人机界面设计

RENJI JIEMIAN SHEJI



刘　伟　庄达民　柳忠起　编　著

北京邮电大学出版社
www.buptpress.com

人机界面设计

刘　伟　庄达民　柳忠起　编　著

北京邮电大学出版社
www. buptpress. com

内 容 简 介

随着近几十年来科学技术的飞速发展，人机界面技术的地位越来越重要。本书介绍和分析了人机界面技术中交互信息的输入、处理、输出三大过程的特性和关系，阐述了相应的基本理论模型和方法。主要内容包括人机界面技术的形成和发展、人机界面中人的感觉特性（人机界面信息输入阶段）、认知特性与分析、人机界面中情境认知特性（人机界面信息处理阶段）、人机界面中人的控制特性（人机界面信息输出阶段）、网络用户行为信息分析、信息产品中人机交互研究案例（视盲现象与界面设计研究案例、Web 信息架构设计对网络用户视觉搜索能力的影响、即时游戏中玩家流体验的研究）等，章末附有思考题与习题，便于读者掌握所学内容。

本书可作为自动化、计算机、工业设计、信息、通信等专业高校师生的参考书，也可供计算机界面设计、交通运输、航空航天、工业控制等领域的工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

人机界面设计/刘伟，庄达民，柳忠起编著. --北京：北京邮电大学出版社，2011.5
ISBN 978-7-5635-2624-6

Ⅰ.①人… Ⅱ.①刘…②庄…③柳… Ⅲ.①人—机系统—系统设计 Ⅳ.①TB18

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2011)第 100477 号

书　　名：人机界面设计
作　　者：刘 伟　庄达民　柳忠起
责任编辑：何芯逸　韩 琪
出版发行：北京邮电大学出版社
社　　址：北京市海淀区西土城路 10 号(邮编：100876)
发 行 部：电话：010-62282185　传真：010-62283578
E-mail：publish @ bupt.edu.cn
经　　销：各地新华书店
印　　刷：北京忠信诚胶印厂
开　　本：787 mm×1 092 mm　1/16
印　　张：18.5
字　　数：445 千字
印　　数：1—2 000 册
版　　次：2011 年 5 月第 1 版　2011 年 5 月第 1 次印刷

ISBN 978-7-5635-2624-6　　**定　价**：33.00 元

·如有印装质量问题，请与北京邮电大学出版社发行部联系·

前　言

人机界面技术是随着现代科技与艺术的飞速发展而孕育出的一门交叉学科，广义地讲，它研究人与机器、环境之间的交互作用；狭义地讲，它是计算机科学和认知心理学两大学科相结合的产物，同时也吸收了自动化、艺术设计、语言学和社会学等学科的研究成果。近年来，人机界面的设计理论已经更广泛地发展和应用到人—机—环境系统工程等领域，使工程技术设计与使用者的身心行为特点相适应，从而使人能够安全、高效、舒适地工作与生活。

人机交互本质上是认知过程，人机界面理论以认知科学为理论基础，人机界面技术研究是以系统科学作为人机交互研究的框架的方法学。同时，人机界面又是以信息技术作为用户交互的技术基础，通过信息系统的建模、形式化描述、评估方法以及系统框架等信息技术最终实现和应用人机界面理论的。作为技术人才，计算机、自动化、通信、工业设计、信息等专业的学生毕业后参与或从事软、硬件方面的设计已成为必须面对的现实之一。为适应社会及技术发展需求，我们有必要学习人机界面设计的理论和方法。

“人机界面设计”是集认知心理、计算机、信息、自动化、生理学等知识综合应用的一门课程，是计算机等工科专业十分重要的一门专业课。

本书是编著者根据近年来在人机工程、用户界面设计与评价教学中的体会和讲稿，根据国家有关规定，在吸收了人机交互设计理论和实践的最新研究成果的基础上编写而成的。主要内容包括人机界面技术的形成和发展、人机界面中人的感觉特性（人机界面信息输入阶段）、认知特性与分析、人机界面中情境认知特性（人机界面信息处理阶段）、人机界面中人的控制特性（人机界面信息输出阶段）、网络用户行为信息分析、信息产品中人机交互研究案例（视盲现象与界面设计研究案例、Web 信息架构设计对网络用户视觉搜索能力的影响、即时游戏中玩家流体验的研究）等几个方面。

本书在介绍一般人机界面技术方法时，按理论分析和应用实例两个步骤进行讲解，并在理论阐述之后辅以例题或实例，以便读者深入体会和掌握人机界面设计的理论和方法。

鉴于本书的许多研究成果来源于国家自然基金项目（30400137、60672181、30970904）及国家重点基础研究发展计划（2010CB734104），所以在此谨向上述项目提供者表示感谢！

本书由刘伟、庄达民、柳忠起编著，张乐媛、张彦、邓智聪、吕丽娟、武艳龄、雷静、李仕颖、李晟、李雪、于畅等研究生亦参与了本书的编写工作。

本书在编写过程中参考了有关文献，在此向文献作者表示感谢。

限于编者水平，书中有不妥之处，敬请读者批评指正。

编　者

目　　录

第 1 章　概述 …… 1

1.1　人机界面技术的形成和发展 …… 2

1.1.1　人机交互技术 …… 2

1.1.2　人机交互技术的起源与发展 …… 3

1.2　人机界面设计的研究内容 …… 8

1.2.1　国家军用标准表述方法 …… 9

1.2.2　欧美国家等同的系统工效表述方法 …… 10

1.2.3　人机交互工程的研究内容取例 …… 11

1.2.4　人机交互技术的相关学科 …… 17

1.3　人机工程的研究方法 …… 25

1.3.1　观察记录法 …… 25

1.3.2　实测法 …… 26

1.3.3　实验法 …… 27

1.3.4　模拟器或模型试验法 …… 27

1.3.5　计算机数值仿真法 …… 28

1.3.6　分析法 …… 28

1.3.7　调查研究法 …… 29

1.4　人机界面技术的小结 …… 31

习题与思考题 …… 31

第 2 章　人机界面中人的感觉特性 …… 32

2.1　人的基本感觉特性 …… 32

2.1.1　感觉的分类 …… 32

2.1.2　感觉现象 …… 33

2.1.3　感觉与知觉的对比 …… 33

2.2　神经系统与感觉 …… 34

2.2.1　神经系统的组成及其功能 …… 34

2.2.2　神经组织 …… 34

2.2.3　中枢神经系统 …… 36

2.2.4　周围神经系统 …… 38

2.3 眼睛与视觉系统 …… 38
2.3.1 眼的基本构造 …… 39
2.3.2 最佳视野和最大视野 …… 40
2.3.3 眼椭圆 …… 41
2.4 人机交互中的视觉与眼动系统 …… 45
2.4.1 眼动系统的研究发展 …… 45
2.4.2 眼动系统的一般概念 …… 46
2.4.3 眼动测量方法 …… 48
2.4.4 红外电视法眼动测量系统 …… 48
2.4.5 生物视觉与计算机视觉的比较研究 …… 54
2.5 听觉系统 …… 59
2.5.1 声音与测量 …… 60
2.5.2 耳朵解剖图 …… 61
2.5.3 屏蔽 …… 62
2.6 触觉、嗅觉、味觉和本体觉 …… 62
2.6.1 触觉 …… 62
2.6.2 嗅觉 …… 63
2.6.3 味觉 …… 63
2.6.4 本体觉 …… 64
2.7 联觉 …… 65
2.8 人的物理特性 …… 66
2.8.1 人体尺寸 …… 66
2.8.2 人体尺寸的统计特性 …… 70
2.8.3 人体各部分尺寸与身高的相关计算 …… 72
2.8.4 人体数据库管理系统设计 …… 75
习题与思考题 …… 77

第 3 章 认知特性与分析 …… 78

3.1 理解和认识 …… 78
3.1.1 理解 …… 78
3.1.2 认识 …… 79
3.2 人的知觉 …… 82
3.2.1 知觉特征 …… 82
3.2.2 知觉的种类 …… 83
3.3 学习和习惯 …… 84
3.3.1 学习 …… 84
3.3.2 习惯 …… 86
3.4 文字和标识符号的判别和认知 …… 90

3.4.1　文字/数字的判别和认知 …… 90
3.4.2　标识符号的认知与评价 …… 91
3.4.3　色彩认知 …… 96
3.5　声音的知觉和传递 …… 99
3.5.1　声音的感知 …… 99
3.5.2　语音的感知 …… 100
3.5.3　人对语言的理解度 …… 100
3.6　注意和注意力分配 …… 102
3.6.1　注意和注意力的区别 …… 102
3.6.2　从注意向注意力的展开 …… 102
3.6.3　注意力分配的数学模型 …… 103
3.7　决策 …… 103
3.7.1　决策的信息加工模型 …… 103
3.7.2　人行为三层次控制模型 …… 104
3.7.3　整合模型 …… 105
3.8　空间认知 …… 107
3.8.1　空间认知的形成机制 …… 108
3.8.2　空间认知能力的影响因素 …… 108
3.8.3　影响空间认知的生理因素 …… 109
3.8.4　空间认知在航空航天领域的应用 …… 110

第4章　人机界面中情境认知特性 …… 111

4.1　情境认知的概念 …… 111
4.2　情境认知机理 …… 114
4.2.1　三层模型理论 …… 114
4.2.2　子系统交互理论 …… 117
4.2.3　感知循环理论 …… 119
4.3　情境认知过程 …… 120
4.3.1　情境认知中的注意机制 …… 120
4.3.2　情境认知中的记忆机制 …… 134
4.3.3　有关情境认知的影响因素 …… 141
4.3.4　有关情境认知的定性模型 …… 143
4.4　情境认知测量 …… 147
4.4.1　情境认知测量方法的研究 …… 147
4.4.2　情境认知各种测量方法的比较 …… 152
4.4.3　情境认知测量实例分析 …… 152
4.5　情境认知定性分析模型与定量评价模型的比较 …… 154
4.6　情境认知的降低与提高 …… 155

4.6.1 情境认知的降低 …… 155
4.6.2 情境认知的提高 …… 156
4.7 团队情境意识 …… 157
4.8 飞行员情境认知中注意力分配研究举例 …… 159

第 5 章 人机界面中人的控制特性 …… 164

5.1 感觉—运动 …… 164
5.1.1 动作的速度和准确性 …… 164
5.1.2 简单反应时间和选择反应时间 …… 164
5.2 反应选择 …… 168
5.2.1 人的输入与输出通道 …… 168
5.2.2 影响人的控制的因素 …… 169
5.2.3 输入—输出关系 …… 170
5.3 人的失误 …… 176
5.3.1 失误的定义和分类 …… 176
5.3.2 人失误的发生原因和防止对策 …… 176
5.3.3 产生人失误的心理原因 …… 177
5.4 人的控制理论模型 …… 178
5.5 人机交互技术中有关人的特性研究 …… 181
5.6 生理疲劳与影响因素 …… 185
5.7 反应时间 …… 188
5.8 人体生理和心理测量 …… 190

第 6 章 网络用户行为信息分析 …… 200

6.1 研究现状及意义 …… 200
6.1.1 研究意义 …… 200
6.1.2 用户需求分析 …… 201
6.1.3 Web 数据挖掘 …… 201
6.1.4 个性化服务 …… 202
6.1.5 国内外研究现状 …… 203
6.1.6 存在的主要问题 …… 204
6.2 相关理论知识 …… 204
6.2.1 数据挖掘 …… 204
6.2.2 Web 挖掘及相关技术 …… 205
6.2.3 上下文及上下文感知 …… 207
6.3 Web 上下文定义及分析 …… 208
6.3.1 Web 上下文概述及定义 …… 208
6.3.2 Web 上下文获取 …… 210

6.3.3　Web 上下文分析 …… 210
6.4　基于 Web 上下文感知的用户行为分析 …… 214
6.4.1　Web 上下文信息识别及预处理 …… 215
6.4.2　Web 用户信息识别及预处理 …… 218
6.4.3　基于 Web 上下文感知的行为参数建模 …… 220
6.5　用户访问行为分析系统模块设计 …… 222
6.5.1　各模块的基本功能 …… 223
6.5.2　Web 上下文信息预处理模块 …… 224
6.5.3　系统应用实例分析 …… 225
第 7 章　信息产品中人机交互研究案例 …… 231
7.1　视盲现象与界面设计研究案例 …… 231
7.1.1　不注意视盲的概念 …… 231
7.1.2　不注意视盲的影响因素实验 …… 232
7.1.3　不注意视盲原理在界面设计中的实际应用 …… 253
7.2　Web 信息架构设计对网络用户视觉搜索能力的影响 …… 254
7.2.1　实验一:网页信息排列方式对视觉搜索效率的影响 …… 254
7.2.2　实验二:色彩对视觉搜索效率的影响 …… 258
7.2.3　实验三:信息层级深度对视觉搜索效率的影响 …… 260
7.2.4　不同排列方式对视觉搜索效率影响分析 …… 262
7.2.5　一级、二级栏目色彩因素对视觉搜索效率影响分析 …… 263
7.2.6　三种信息层级深度对视觉搜索效率影响分析 …… 263
7.2.7　研究结论 …… 263
7.3　即时游戏中玩家流体验的研究 …… 264
7.3.1　沉浸感与不注意视盲的实验 …… 264
7.3.2　软硬操作比与态势感知的实验 …… 268
附录 …… 277
附录一　实验一沉浸感问卷 …… 277
附录二　实验一原始数据 …… 277
附录三　实验二技能脚本原代码和改进设计 …… 279
附录四　实验二问卷 …… 281
参考文献 …… 283

第1章　概　　述

“人机界面(又称用户界面或使用者界面)是系统和用户之间进行交互和信息交换的媒介,它实现信息的内部形式与人类可以接受形式之间的转换。凡参与人机信息交流的领域都存在着人机界面。”——转自百度词条

随着现代科学技术的发展,人机界面的概念广泛出现在各个领域中,而与这些概念有关的思想和方法,在航空、航天、航海、交通、信息、生命、艺术等诸多学科中起着非常重要的作用。虽然,在各个学科中的人机界面研究及应用的侧重点大不同,但它们的本质却有着几个基本的共同点,即人机界面,顾名思义是主要研究人、机及其交互环境方面的学问,而对人的研究侧重于对其心理、生理机理等方面的知识,对于机及其环境的研究则侧重于满足人心理、生理要求的物理等方面的知识。简而言之,人机界面技术就是通过研究人机交互中心理、生理、物理等方面的基本规律应用于某个具体领域的技术。信息技术的每一次重大突破同交互界面的革新息息相关。同时,人机界面作为人与机器之间,更进一步来看是人与人之间的沟通和交流的媒介、信息转换场,它的新的变化和发展都能给人类的生存和生活方式带来巨大的影响,这也将引导未来社会结构模式的一种变革。人机界面同时也是多种学科领域的交集,如信息技术学科、心理学、社会学、美学、人机工程学、传播学等的交叉研究领域。

从历史的角度来看,自从原始人类拿起了手工工具开始进行劳动之际,最早的人机交互模式就悄然形成了。因此,人机界面的开始并不是 HCI(Human-Computer Interface),而是 HMI(Human-Machine Interface)。后来随着第一次工业革命(18 世纪 60 年代,哈格里夫斯发明珍妮纺纱机标志着第一次工业革命的开始)、第二次工业革命(以电力的广泛应用为显著特点)的兴起,人机界面技术的发展越来越迅速,直到以电子计算机等领域发明和应用为主要标志的第三次工业革命兴起,HCI 的称谓才逐步走向前台。近年来,随着机器人、移动通信技术领域的不断发展,也有人把人机界面看成了 HRI(Human-Robot Interface)。客观而言,无论 Computer 还是 Robot,它们都是 Machine 的一部分,因此,人机界面理应也是 HMI:是人与各种机器之间传递、交换信息的媒介和对话接口,是机器系统的重要组成部分,是指人和机器在信息交换和功能上交互的领域,所说人机结合面,信息交换,功能接触或互相影响,指人和机器的硬接触和软接触,此结合面不仅包括点线面的直接接触,还包括远距离的信息传递与控制的作用空间。

从信息转换的角度来看,人机界面的作用是实现“用户认知空间”与“机器信息处理空间”间信息的双向映射。由于人类的交互意图通常是一个涉及人的认知和行为因素的高维复杂信息,且这些信息是非精确的或模糊的,而机器遵循线性信息表示和存储模式来表示和处理交互信息,所能捕获和处理的必须是形式化的精确信息,且其感知和处理结果不一定能够依从人的感知规则,两者间的差异决定了其双向映射实现的技术复杂性和方式多样性,因此,人机界面(交互)技术的任务就是要选择合适的映射方式来解决其技术实现的复杂性与

用户交互的易用性问题。技术实现的复杂性主要体现在如何提升机器感知和识别用户交互行为和状态并进而理解其交互意图;用户交互的易用性则表现为如何充分利用、协调人类的多个感觉和效应通道并进而降低其完成交互行为所需付出的“认知努力”。虚拟现实、协同合作、神经网络和多通道用户界面技术的迅速发展,显示出未来人机交互技术的发展趋势是追求“人机和谐”的多维信息空间和“基于自然的交互方式”的人机界面风格。

1.1 人机界面技术的形成和发展

人机界面存在于人-物信息交流的过程,甚至可以说,人-物信息交流的一切领域都属于人机界面,它反映着人-物之间的关系。它的内涵是极其广泛的。在不同科学学科的共同作用之下,人机界面拥有了多种不同学科的综合特性,其中以人机工程学或人因学、计算机科学、认知心理学、社会与组织心理学、计算机辅助设计和工程学、人工智能、语言学、哲学、社会学以及人类学为主。

1.1.1 人机交互技术

狭义地讲,人机交互(HCI)是研究人、计算机以及它们间相互影响的技术。用户界面是人与计算机之间传递、交换信息的媒介和对话接口,是计算机系统的重要组成部分。人机交互和用户界面有紧密的联系,但又是两个不同的概念:前者强调的是技术和模型,后者是计算机的关键组成部分。广义地讲,人机交互是人—机—环境系统工程学研究的一个重要领域,它不但研究在设计人机系统时如何考虑人的特性和能力以及人受机器、作业和环境条件的限制,而且还研究人的训练、人机系统设计和开发以及同人机系统有关的心理学、生物学或医学问题。经过多年的发展,人机交互技术已演变成为一门交叉性极强的新兴边缘学科,目前已由仅仅针对计算机人机界面领域的单纯学科,逐渐成为广泛应用于机械及自动化、工程心理学、工业设计、人机与环境工程、安全技术工程、交通运输、航空航天工程等领域的应用学科。表 1-1 所示为《eWeek》杂志和新浪网 2007 年总结的人类最迫切需要的 10 项技术与十大超越人类极限的未来技术,其中大部分内容都与人机交互技术有着密切的关联(详细见▲栏内部分)。

表 1-1 人类最迫切需要的 10 项技术与十大超越人类极限的未来技术

人类最迫切需要的 10 项技术	十大超越人类极限的未来技术
拇指般大小磁盘可存储 100TB 数据	人体冷冻
▲通用语言翻译器:可随身携带,实时翻译多种语言	▲电子人
锂离子电池的替代物:无论是燃料电池、纳米技术,还是其他神秘能源	▲自我复制的机器人
▲打造真正的虚拟世界:就像《黑客帝国》所描述的那样	▲虚拟现实
▲像《黑客帝国》那样,可随时安全地输入数据,然后就知道下一步该怎么做	▲超大型工程:如太空电梯、戴森球体
▲用意志控制计算机操作	▲意识上传:指非生物学智慧

续 表

人类最迫切需要的 10 项技术	十大超越人类极限的未来技术
▲更快的旅游方式：尽管当前的交通工具已经很发达，但旅游还是很浪费时间	▲太空移民
▲真正的人工智能：尽管计算机已经比以前聪明多了，但距真正的人工智能还很遥远	▲人工智能：可实现人工合成的有情感的智慧
安全的纳米技术：纳米技术可以清洁城市环境，治愈人类疾病，但同时也能破坏城市环境，给人类带来疾病	分子制造技术：能够以原子的精度生产绝大多数产品
▲隐形术：可以帮助人类遁于无形，免受 RFID 扫描、视频扫描以及 GPS 跟踪	基因疗法/核糖核酸干预

1.1.2　人机交互技术的起源与发展

人机交互技术的形成可追溯到人类的早期活动，它的发展经历了漫长的历史阶段。

人类使用简单劳动工具时，客观上就存在人、机、环境三者的最优组合问题。在我国两千多年前的“冬官考工记”中，就有按人体尺寸设计工具和车辆的论述。这就是当今人机交互技术中的“机器适应人”(Machine to Human)的思想。

第一次产业革命(1750—1890)和第二次产业革命(1870—1945)时期，人类的劳动进入了机器时代，人的劳动作业在复杂程度及负荷量上均有了很大变化，人、机、环境三者也相应形成了更复杂的关系。虽然在 1884 年，德国学者莫索(A. Mosso)就在人进行劳动时将人体通以微电流，通过电流的变化测量人体的疲劳程度，但人们一般认为人机交互技术作为一门科学形成于 20 世纪初，这主要应归功于泰勒(F. W. Taylor)和吉尔布雷思(Gilbreth)，他们用近代科学研究手段研究人机交互问题。1898 年，美国人泰勒从提高工作效率的角度出发，对装卸工使用的铁锹进行了研究。他发现每次铲运的重量在 10 千克左右时，劳动效率最高。因此他设计了许多大小不同的铁锹，以适应装卸不同的物料。在此以后，他还进行过搬运生铁的研究，通过制定每次的搬运量、搬运速度、休息时间，使作业者充分发挥劳动潜力，从而提高工作效率。他的研究成果在美国和西欧得到了推广应用，成为可提高劳动生产率的“泰勒制”。泰勒为科学方法研究人机工程做出了开拓性贡献。后来，人们开始对人、机、环境三者之间关系进行了较系统的实验研究，并积累了大量数据。另外，1911 年，美国人吉尔布雷思对建筑工人砌砖进行了研究，通过去掉砌砖动作中的无效动作和辅助装置，使砌砖工人每小时的砌砖数由过去的每小时 170 块提高到每小时 350 块，大大提高了砌砖工人的工作效率。这样，在泰勒和吉尔布雷思工作的基础上，形成了时间和动作研究这样一个领域，他们致力于熟练动作和作业疲劳方面的研究、进行工作站设计以及为残疾人设计合适的工具。例如他们对外科手术过程的研究成果直到今天还在使用。现在在手术中，外科大夫只需说出所需的器械，同时把手伸向护士，由护士从器械盘中拿起所需器械并递给大夫。而在以前，外科大夫是自己从托盘中拿器械的，显然这样很浪费时间，尤其是当大夫正在手术却又不得不去寻找工具时。

第一次世界大战客观上促进了人机工程学的发展。在欧洲，一方面，工厂必须开足马力生产战争及民需物品；另一方面，由于男性到前线参战，生产第一线大都依靠没有工作经验的女性参与。在这种特定环境下开展的人机工程研究称为工效学(Ergonomics)。Ergonomics一词是由希腊词根ergo(工作、劳动)和nomos(管理、规则)复合而成，其本义为人的劳动规律，以劳动中疲劳、劳动时间和休息等为着眼点，开展人的能力和极限以及对作业工具、作业环境和作业顺序的设计等的研究。另外，各参战国几乎都有心理学家去解决战时兵种分工、特种人员的选拔训练及军工生产中的疲劳等问题，其研究特点是选拔和训练人，使“人适应机器”(Human to Machine)。早在19世纪末，英国就创立了心理研究所，并在第一次世界大战中得到进一步发展，在1921年创立了国立产业心理学研究所。

穿孔卡是较早的人机交互方式，19世纪末，美国人Herman Hollerith参照Jacquard发明的提花机，研制成功穿孔制表机(如图1-1所示)，并成功地应用于全美第十一次人口普查，有效地实现了大规模的数据处理。

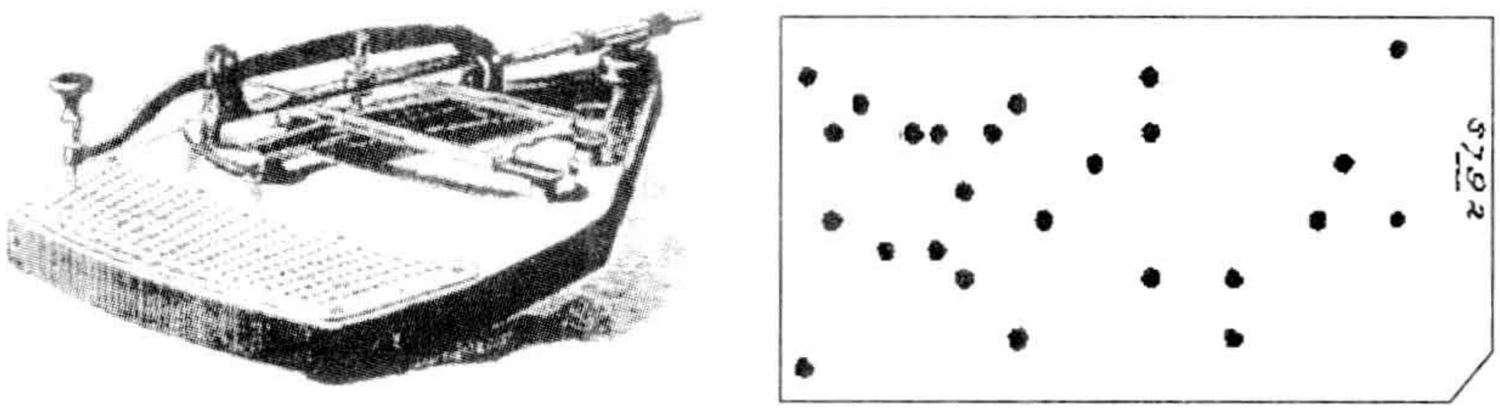


图1-1　较早的人机交互方式——穿孔卡

随着第二次世界大战的爆发，一些更新型、更复杂、更精密的高技术装备应运而生。大战初期，飞机失事率很高，其中很多原因并不在于飞机的材料、结构等，而是由于飞行员的误操作引起的。一架飞机的驾驶舱内有一两百个仪表、信号灯、按钮及操纵手柄，飞行员要通过眼耳与手的感觉去获得外界信息，并要迅速做出判断，再通过手脚等运动器官来操纵，这是相当困难的。在着陆阶段的短短五分钟内，飞行员要做100多个动作，平均观察仪表100多次，稍有差错就会酿成大祸，飞机故障率高也就不足为奇了。随着更复杂的作战系统(如导弹系统、雷达与高炮网联防系统)的出现，引起了人们对系统中人的因素的注意，人对复杂系统的认识也达到了新的层次：不能仅从使操作人员去适应机器这一“心理技术”原理出发，和“让人能够做”着眼，而必须转变为“技术适应人”和“让人有效地去做”。这就是人机工程学的精髓之所在。随后，美国陆军建立了第一个人素工程实验室，着重研究各种显示设备、旋钮、按钮和手柄等操纵设备，以适应人的生理心理特点。由此，一门新兴的边缘科学——人因工程学便应运而生。第二次世界大战结束后，从事人机工程的专家分散到企业和学校后进一步扩大了人机工程的应用范围。但从研究内容来说，由于科技的日新月异以及计算机在各个领域的普及应用，对人的特性的研究越来越得到重视。

在美国以人素学(Human Factors)来表示人机工程。美国早期的人机工程的研究叫Human Engineering,后来又叫 Human Factors Engineering,在 20 世纪 60 年代前后改叫 Human Factors。而对于 Human Factors 这一流行术语也有很多指摘,如认为该术语从日常用语的角度去考量应包括与人有关的所有因素,对该术语的解释和理解也存在差异。为此,美国 NASA 的人素学研究部门的各种活动以及人素学学会会员资格都明确规范了人素学的研究内容和活动。

日本东京大学的松本教授在第一次世界大战期间到美国访问留学,归国后在 1920 年至 1921 年期间先后发表和出版《人间工学》论文与专著,正式将人机工程引入日本。日本在 1921 年由大原创设了仓敷劳动科学研究所,开始了作业效率与身体负担方面的工效研究。其后,在产业心理学领域也开展了人机工程方面的研究。更进一步,在人类学领域,包括对人的生物学特性的解明、身体负担和疲劳、环境适应能力等方面开展了生理人类学研究。日本"人间工学"是按照美国的 Human Engineering 直译过来,但内容是以练习效果或疲劳为中心,阐述如何提高作业效率,即以提高工效为研究对象。松本的研究在日本影响甚微,但"人间工学"名称被沿袭至今,1963 年日本正式成立人间工学学会,但人间工学的英文翻译使用的是 Ergonomics,这在很大程度上是为了与国际接轨,因为于 1959 年成立的国际工效学会(International Ergonomics Association,IEA)使用的就是 Ergonomics。德国和法国这些欧洲工业强国也先后开展了人机工程方面的研究,他们都统一使用了 Ergonomics 这一术语来表示人机工程。

人素学早期的研究(如泰勒的研究)具有很强的管理科学和劳动科学的内涵,从事这一领域的研究学者大都是心理学家,这一影响一直沿袭至今。在对美国 Human Factors 学会(成立于 1957 年)会员专业领域的调查表明,有心理学背景的会员人数远多于有工学背景的会员人数。在第二次世界大战期间,以防止飞机事故为目的的对仪表显示方式和对人的操作控制装置的研究则注重于对人的认知特性开展研究,这一研究在很大程度上影响了人机工程今后的发展。

20 世纪 80 年代开始的对人机界面(HMI)的研究其核心就是对人的认知科学的研究。人机界面是指人与机(装备、设备、系统)间信息交互、作业交互的连接部。界面形式有硬件和软件两种,如作业域的开关、按钮、驾驶操纵杆、脚蹬等为硬件人机界面,通过计算机软件和显示器实现的视觉信息交互为软件人机界面。信息交互界面包括视觉、听觉、语音等人机交互接合部。交互界面包括手脚体能作业的操纵器和控制器等人机交互接合部。

认知科学研究信息科学如何与人的特性和行为相结合、人如何感知数据、如何将其转化成综合信息、如何将综合信息作为决策依据,其研究目的旨在提高人机工效,揭示人为失误的原因、失误本质以及减少失误的措施。可见,人机界面研究已从传统的人机关系研究深入到对人机交互的研究,从传统的人适应机器到机器的设计和使用要符合人的特性,从传统的采用劳动和安全科学对人体的研究到采用心理学、生理学和精神物理学来对人的认知特性开展研究。即人机界面的研究又为人机工程的研究注入了新的内容,如图 1-2 所示。

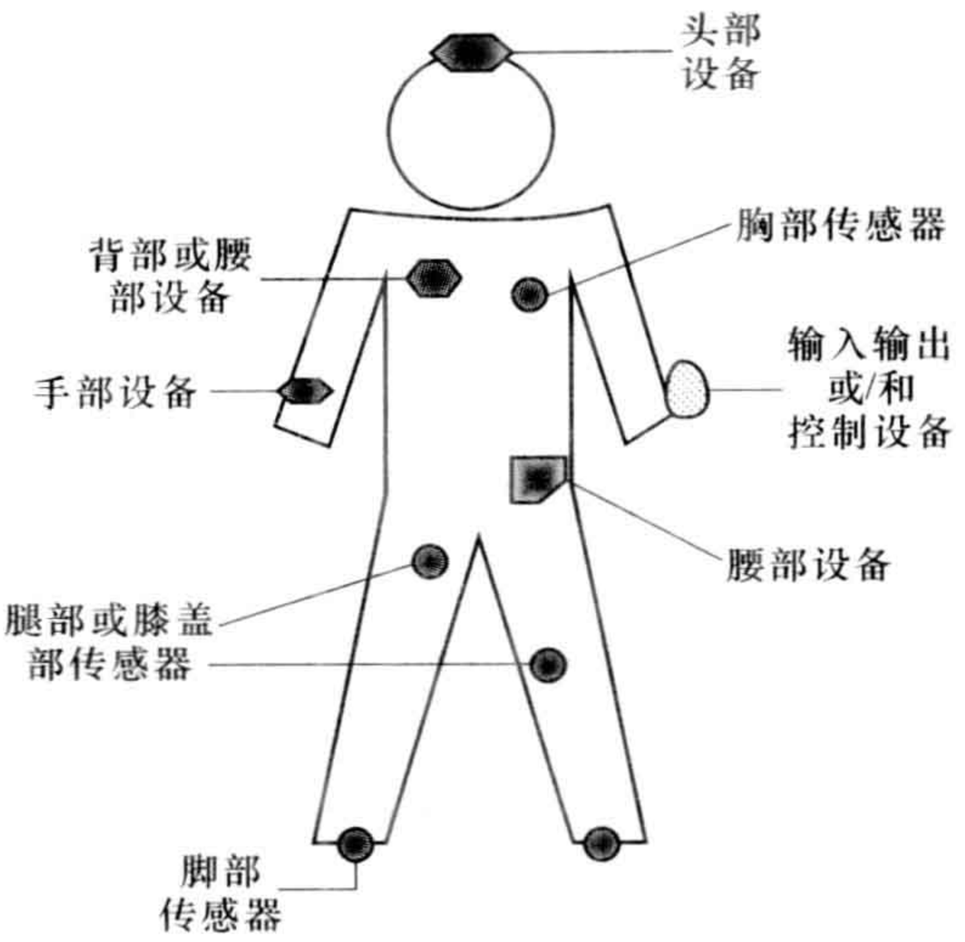


图 1-2　现代的人机交互方式——穿戴式交互装置

我国的人机工程研究始于 20 世纪 50 年代。例如在中苏友好时期，我国消化吸收苏式飞机和坦克的设计技术过程中遇到了大量的人机工程问题。以苏式飞机和坦克的座椅设计为例，设计规范确定了适用该座椅的驾驶员身高范围，但按照设计图纸生产出来的飞机和坦克在使用过程中都发现问题，如弹射座椅弹射过程中有座舱舱盖与座椅扣合时与人头发生碰撞的事故，坦克驾驶员踩刹机时有踩不到底的案例。仔细分析后才了解到欧洲体型与亚洲体型相比，欧洲型身体上身较短和下身较长。故在采用前苏联标准设计弹射座椅的情况下，因中国人上身长，座舱舱盖与座椅扣合时容易发生人头碰撞的事故。同样，因中国人下身短，采用前苏联标准设计坦克座椅有踩刹机时踩不到底的情况。为了解决这类问题，我国在航空生理与心理学、飞行器驾驶舱人机工效设计、飞行器作业环境对人体影响及防护等方面做了大量的研究工作。50—80 年代中，当时的人机工程研究框架仍是由“人适应机器”、“机器适应人”以及“环境适应人”三个领域构成。1981 年，在著名科学家钱学森的指导下，陈信、龙升照等发表了《人—机—环境系统工程概论》一文，概括性地提出了“人—机—环境系统工程”的科学概念。人—机—环境系统工程是人体科学和现代科学的理论和方法，正确处理人、机、环境三大要素的关系，是研究人—机—环境系统最优组合的一门科学。“人”是指作为工作主体的人，指参与系统工程的作业者（如操作人员、决策人员、维护人员等）；“机”是指人所控制的一切对象，是指与人处于同一系统中与人交换信息、能量和物质，并为人借以实现系统目标的物（如汽车、飞机、轮船、生产过程、具体系统、计算机等）的总称；“环境”是指人、机共处的外部条件（如外部作业空间、物理环境、生化环境、社会环境）或特定工作条件（如温度、噪声、振动、有害气体、缺氧、低气压、超重及失重等）。研究中，把人、机、环境三者视为相互关联的复杂巨系统，运用现代科学技术的理论和方法进行研究，使系统具有“安全、高效、经济”等综合效能。

作为对人机与环境工程学科的认可，1990 年，国务院学位委员会批准了我国第一个人机与环境工程博士学位授权点——北京航空航天大学人机与环境工程博士学位授权点。目前，南京航空航天大学、西北工业大学、北京理工大学等大学也先后成立了该专业。此外，从

事其他人机交互技术领域研究的单位就更多了，如中科院计算所/软件所/自动化所/心理所、航天医学与医学工程研究所、航空医学研究所、北京大学、清华大学、浙江大学、北京邮电大学、山东大学、北京师范大学、天津师范大学等科研院所。各研究单位的研究内容根据国家需要，有着重于人的因素的，也有着重于人机工效的。我国载人航天的辉煌成就包括了对人的因素和人机工效的综合研究成果，既体现在对航天员的培训，也包括飞船人机系统设计的工效和适人性研究等。在人机工程的学术用语上大致有人机与环境工程、人机工程、人因工程等。其既反映了不同的研究重点，也反映了对人机工程新的理解和认识。如果要总结人机工程的研究内容和含义，按照 IEA 的定义可表达为：人机工程是研究人在某种工作环境中的解剖学、生理学和心理学等各方面的各种因素，研究人和机器及环境的相互作用，研究在工作中、家庭生活中和休假时如何统一考虑工作效率、人的健康、安全和舒适等问题的学科。IEA 的定义实质上是综合考虑了人—机—环境三大要素，其核心是以人为本和人机工效。

近年来，人机交互技术越来越多地应用于计算机和信息技术（计算机界面、智能家居、互联网等）中。3C（计算机、通信、消费电子）融合已不是一个新词汇，当人们把 3C 融合与人机交互技术二者联系起来时可以发现，人机交互技术的发展过程正是 3C 的融合过程，也正是当今信息社会的形成过程。人机交互是计算机系统的重要组成部分，是当前计算机行业竞争的焦点，它的好坏直接影响计算机的可用性和效率。计算机处理速度和性能的迅猛提高并没有相应提高用户使用计算机交互的能力，其中一个重要原因就是缺少一个与之相适应的高效、自然的人——人机交互界面。例如协同式虚拟环境（Collaborative Virtual Environments，CVE）作为虚拟现实（Virtual Reality，VR）的新的应用方向，在 3D 计算机游戏、网络虚拟社区、协同设计与制造、军事仿真等领域发展迅速。国内外关于协同式虚拟环境的研究目前主要侧重于技术层面，包括 3D 图形学、3D 引擎、增强现实以及无处不在的计算技术，然而关于人的因素以及人机交互设计层面的研究却是滞后的。随着虚拟技术的成熟、人机交互学科的发展，尤其是协同式虚拟环境在商业和民用领域的日益增多，人机交互与用户界面设计的研究意义越来越凸显出来。

传统的人机交互基本上都离不开用户的视觉和触觉（键盘、鼠标），而进入 21 世纪后能用眼睛“眼标”及直接用大脑思维来控制的“脑标”来操控图形界面已经应运而生，如图 1-3 所示。

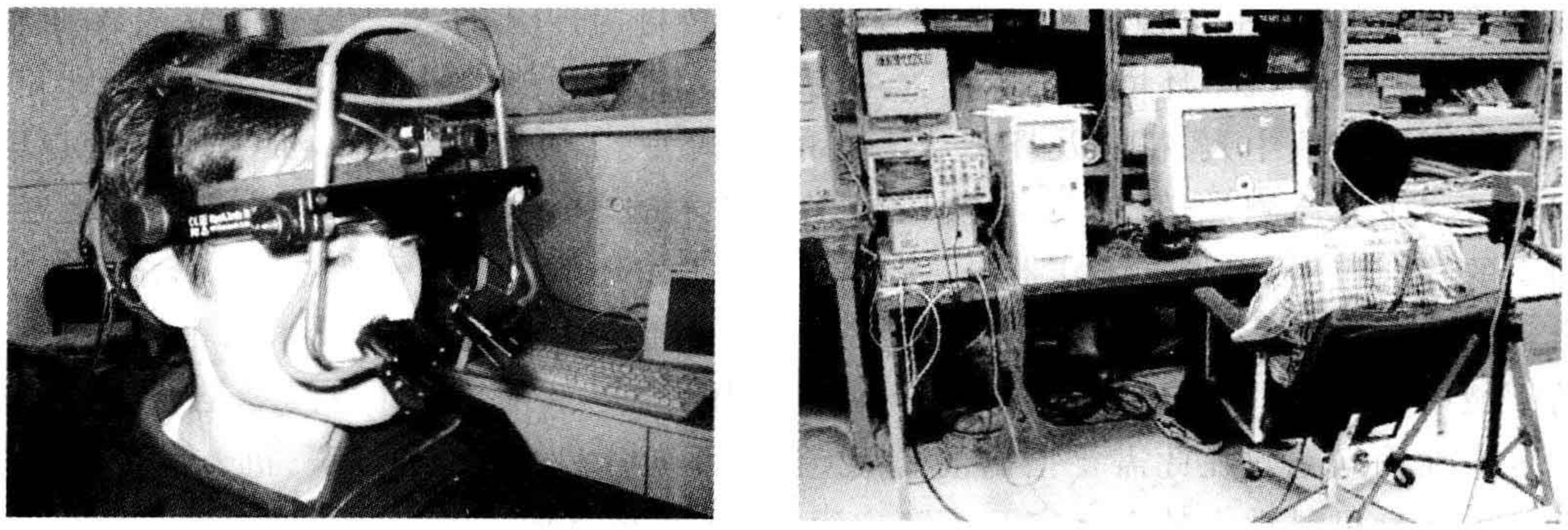


图 1-3　用眼睛“眼标”及直接用大脑思维来控制的“脑标”来操控图形界面实验

综上所述，20 世纪 40 年代前是人机交互技术发展的萌芽期；40—70 年代是准备期；80 年代进入发展期；进入 21 世纪后，人机交互技术与其他学科不断融合，正酝酿着新的技术创新时代，它的研究和应用已全面侵入到航空航天、通信、计算机科学、兵器、航海、交通、电子、建筑、能源、煤炭、冶金、管理等领域，并随着它的不断发展和完善，必将在新一轮科学技术革命中发挥积极作用。

未来的人机界面可能需要让交互变成一种无形的信息动态环境，如同一个大的信息场，在这个信息场中“机”这个概念会越来越淡化，因为它表现出来的虚拟成分会越来越多，进而使人与人之间的沟通壁垒会越来越薄，同时也更加感性化。未来的交互界面与操作方式将有虚拟与真实融合为一体的方式体现，同时利用人体自身的优势做了全新的尝试，进而达到人—机—环境的一种融合状态。

1.2 人机界面设计的研究内容

完整的人机系统包括人、机、人机之间的界面以及人机系统所处的环境。人与机之间存在一个相互作用的界面，人和机器的所有信息交流都发生在这个作用面上，通常称其为人机界面。人机界面上的显示设备显示了机器的工作状态，将机器工作的信息传递给人，实现人—机信息传递：人通过控制器操纵机器，将自己的决策信息传递给机器，实现人机信息传递。由此可见人机界面在人机与环境系统中的重要地位，设计出优良的人机界面一直是人因工程学研究的核心内容。另外，由于环境因素对人的决策有着十分显著的影响，人与环境的协调性研究在人因工程学中也很重要，如果在系统设计的各个阶段中，尽可能地排除各种不利环境因素对人的影响，不仅有利于劳动者的健康和安全，还有利于最大限度地提高系统的综合效能。关于这一类问题的研究主要是针对工作场所、办公室的室内照明方式、温度湿度条件、色彩协调、防止噪声、通风情况、空气组成等同人的心理和生理疲劳有关的问题。

人机交互技术的研究内容按研究的范围不同可以划分为两大部分。第一部分是因近年来计算机科学迅猛发展而产生的狭义人机交互技术研究内容，如 HCI 是研究关于设计、评价和实现供人们使用的交互计算系统的科学，是人与计算机之间传递、交换信息的媒介和对话接口，是计算机系统的重要组成部分，是狭义的人机交互研究范畴。随着人工智能及自动化技术等领域的发展，这种狭义的人机交互研究必将与广义的人机交互研究内容相融合。第二部分是以人—机—环境系统工程为主的广义人机交互技术研究内容，如 HMI 研究的核心问题是不同作业中人、机器及环境三者间的协调关系，研究方法和评价手段涉及心理学、生理学、医学、人体测量学、社会学、美学和工程技术的多个领域，研究的目的则是通过各学科知识的综合应用，以指导工作器具、工作方式和工作环境的设计和改造，使得作业在效率、安全、健康、舒适等几个方面的特性得以提高。这种广义的人机交互技术从不同的学科、不同的领域中得来，又面向更广泛领域的研究和应用，这是因为人机环境问题是人类生产和生活中普遍性的问题。在此需要指出的是，以上这种划分只是为了从人—机—环境系统工程中区别出计算机科学中的人机交互研究内容，实际上两类研究工作并不是独立分割，而是相互渗透、协同攻关，所以才会有人机交互系统工程技术今天的蓬勃发展。本书将从广义的人机交互技术角度进行论述。

人机交互技术学科的研究内容有两种表述方法。第一种是国家军用标准 GJB-90“人—机—环境系统工程术语”中表述的方法；第二种是欧美国家等同的系统工效(System Ergonomics)表述方法。

1.2.1　国家军用标准表述方法

第一种表述方法的研究内容可用图 1-4 来形象描述。它包括七个方面：人的特性研究、机器的特性研究、环境的特性研究、人—机关系的研究、人—环关系的研究、机—环关系的研究、人—机—环境系统总体性能的研究。

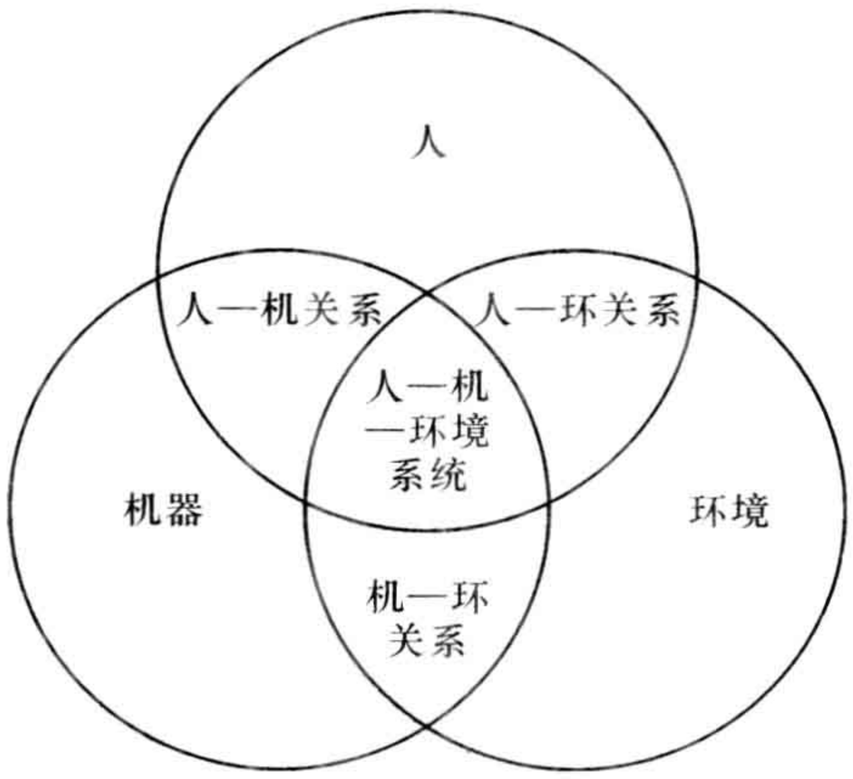


图 1-4　人—机—环境系统研究内容示意图

1. 人的特性研究

人的特性研究主要包括人的工作能力研究，人的基本素质的测试与评价，人的体力负荷、智力负荷和心理负荷研究，人的可靠性研究，人的数学模型(控制模型和决策模型)研究，人体测量技术研究，人员的选拔和训练研究。

2. 机器特性研究

机器特性研究主要研究人机工程相关的机器特性及其建模技术。

3. 环境特性研究

环境特性研究主要研究人机工程相关的环境特性及环境建模技术。

4. 人—机关系研究

人—机关系研究主要包括静态人—机关系研究、动态人—机关系研究和多媒体技术在人—机关系中的应用三个方面。静态人—机关系研究主要包括作业域的布局与设计；动态人—机关系研究主要包括人机功能分配研究(人机功能比较研究、人机功能分配方法研究、人工智能研究)和人—机界面研究(显示和控制的人—机界面设计及评价技术研究)。

5. 人—环关系研究

人—环关系研究主要包括环境因素对人的影响、个体防护及救生方案的研究。

6. 机—环关系研究

机—环关系研究主要研究人机工程相关的机—环关系及特性。

7. 人—机—环境系统总体性能的研究

人—机—环境系统总体性能的研究主要包括人—机—环境系统总体数学模型的研究，人—机—环境系统全数学模拟、半物理模拟和全物理模拟技术的研究，人—机—环境系统总体性能(安全、高效、经济)的分析、设计和评价，虚拟现实技术在人—机—环境系统总体性能研究中的作用。

1.2.2 欧美国家等同的系统工效表述方法

第二种表述方法的研究内容可用图 1-5 所示描述，其研究内容包括四个方面：人的工效、人体工程、环境工效、系统工效。

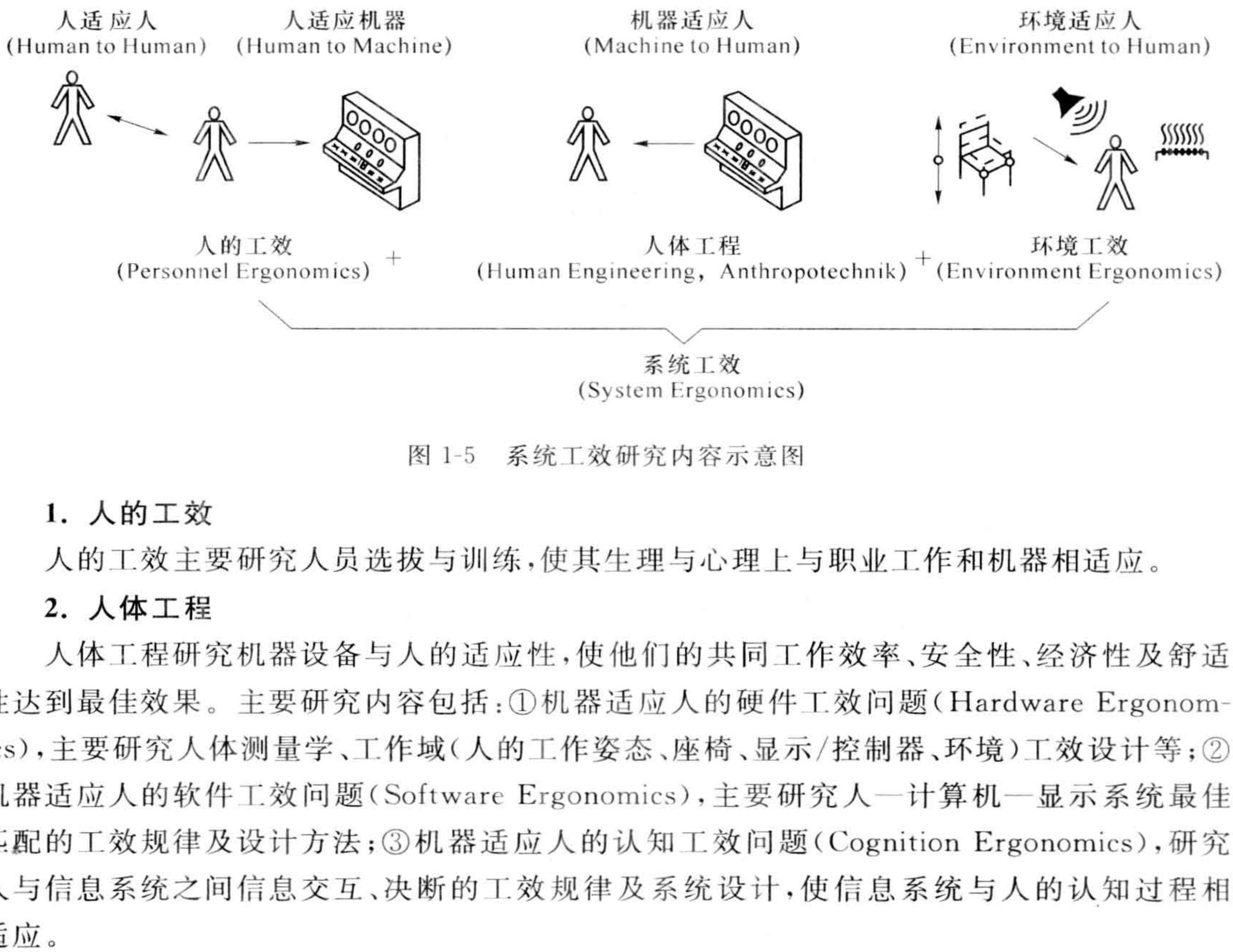


图 1-5 系统工效研究内容示意图

1. 人的工效

人的工效主要研究人员选拔与训练，使其生理与心理上与职业工作和机器相适应。

2. 人体工程

人体工程研究机器设备与人的适应性，使他们的共同工作效率、安全性、经济性及舒适性达到最佳效果。主要研究内容包括：①机器适应人的硬件工效问题(Hardware Ergonomics)，主要研究人体测量学、工作域(人的工作姿态、座椅、显示/控制器、环境)工效设计等；②机器适应人的软件工效问题(Software Ergonomics)，主要研究人—计算机—显示系统最佳匹配的工效规律及设计方法；③机器适应人的认知工效问题(Cognition Ergonomics)，研究人与信息系统之间信息交互、决断的工效规律及系统设计，使信息系统与人的认知过程相适应。

3. 环境工效

环境工效研究环境适应人的生活和工作的防护及控制方法。即人与环境或人机系统与环境的共处作用中，研究环境(气候、照明、噪声等)适应人的生活和工作要求的措施。

4. 系统工效

系统工效研究提高人—机系统效率的途径及系统优化设计方法。研究和设计的依据为人、机的特点及能力，工效及系统任务要求等。

以上人—机—环境系统工程研究内容两种表述方法虽然有所不同，但都强调要从系统角度去研究人、机、环境三大要素所构成系统的最优设计问题。

人对机器的驾驶或操纵是通过人与操纵多种技术系统的界面(或称接口)来实现的。所以,人机交互中的机器适应人,主要是作业技术系统的人机界面(接口)适应人的问题。正常情况下,对于生活、工作在特定情境中的人来说,只有那些与手边的任务相关的情景片断是重要的。比如一位医生诊断病人的病情,他只需知道病人的所有症状,而通常不需要了解病人历史的各种细节。同样的,一架飞机的驾驶员必须了解其他飞机、天气情况以及周围地势的变化,并不需要知道其他驾驶员吃的什么午餐。所以,人机交互环境适应人主要研究情境适应人的问题。

1.2.3　人机交互工程的研究内容取例

图 1-6 表示航空航天方面的人机交互工程研究内容。研究内容可划分为 3 个领域:界面(接口)人机工程、环境人机工程、系统人机工程。它们都是以适应人为主题,以高效、安全、舒适、经济为目标进行研究,使人、机器、环境与设备之间达到最合理或最佳匹配关系。

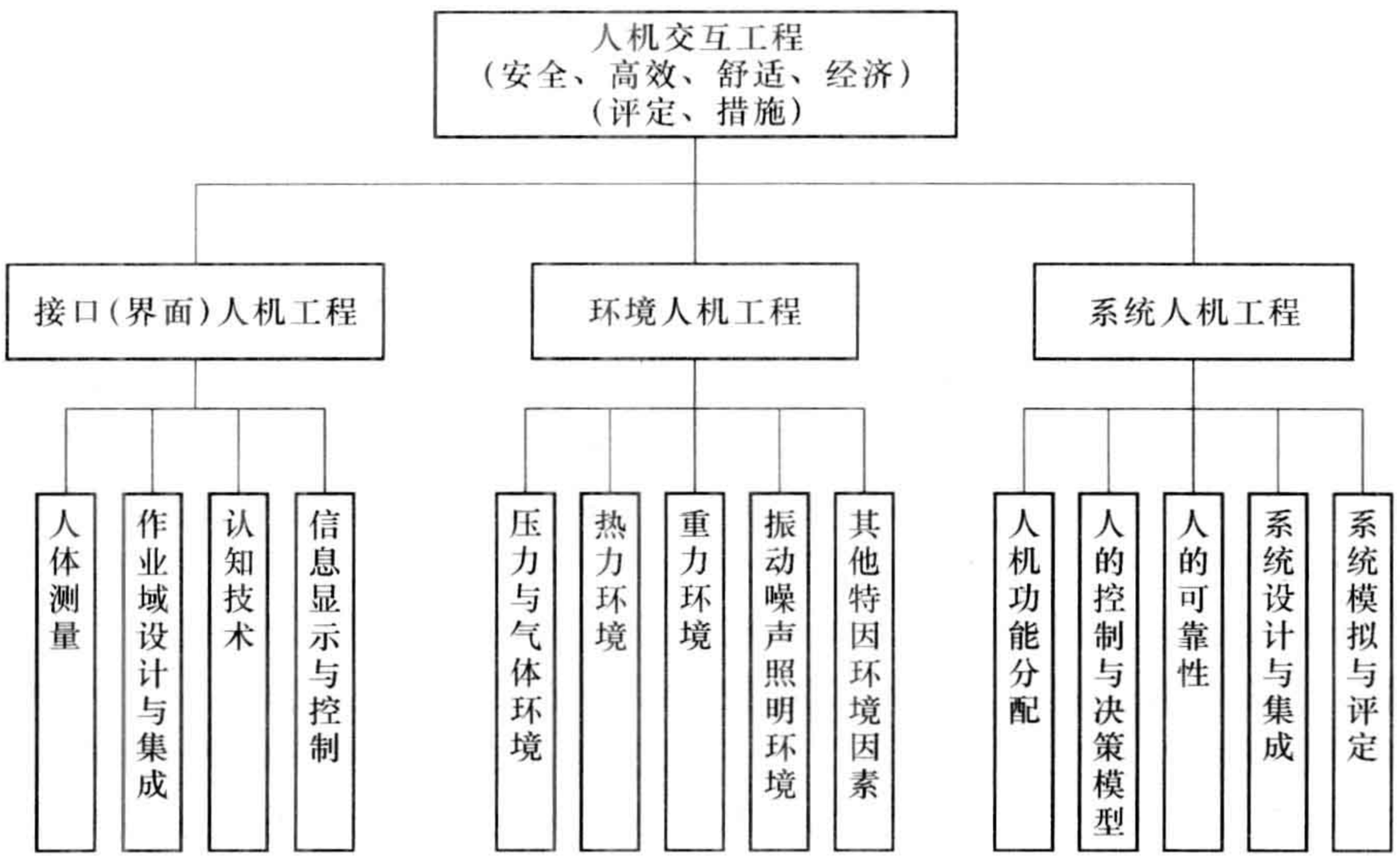


图 1-6　人机交互工程研究内容示意图

1. 界面(接口)人机工程

界面(接口)是指人(飞行员、乘员)与机(装备、设备、系统)间信息交互、作业交互的连接部。界面(接口)形式有硬件和软件两种形式。如作业域的开关、按钮、驾驶操纵杆、脚蹬等为硬件人机界面(接口);通过计算机软件和显示器实现的视觉信息交互为软件人机界面(接口)。信息交互界面(接口)包括视觉、听觉、语音等人机交互接合部。作业交互界面(接口)包括手脚体能作业的操纵器和控制器等人机交互接合部。此外,尚有作业交互界面(接口)的延伸,包括与飞行员、乘员及航天员的休息、生活设备使用有关的接合部。

界面(接口)人机工程研究内容包括以下 4 个方面。

(1) 人体测量。人体测量主要研究作业中人体的几何及力学特性参数测量,包括静态及动态参数测量。影响作业效率及作业域设计的主要人体测量参数有静态和动态体形参数,视域,四肢作业的位置角、力、力矩及可达域,身体及其节段质心等。图 1-7 为中国飞行员人体测量侧面样板示意图。我国飞行员人体静态尺寸测量共有 97 个数据。

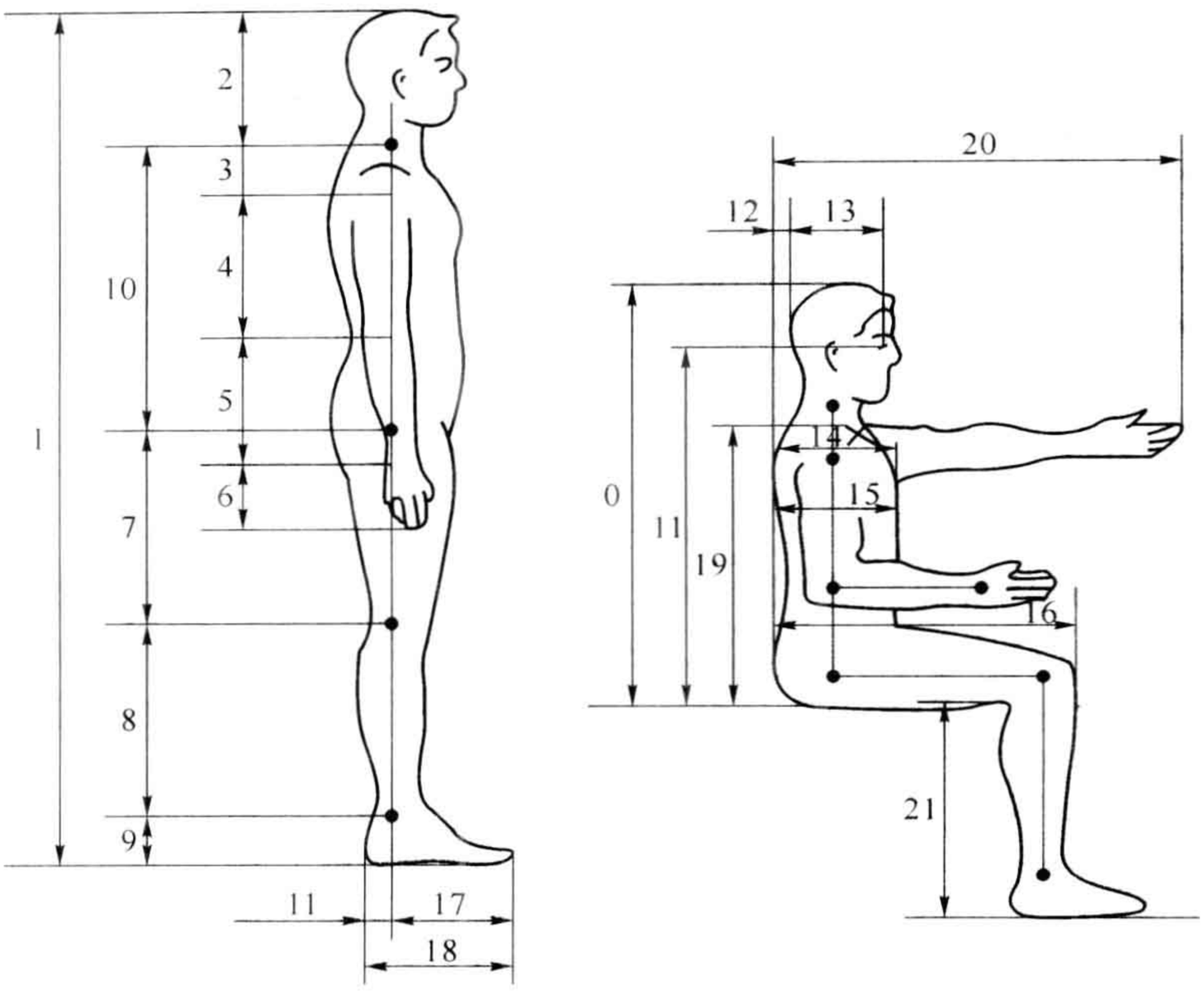


图 1-7　中国飞行员人体测量侧面样板示意图

(2) 作业域设计与集成。由操作者、座椅、操纵台、显示仪表台及工作有关设备等构成操作者的作业域，又称为工作空间、作业空间等，主要研究作业空间、作业相关的器件及设备与操作者相适应的设计和评价方法，以达到作业的高效、安全、舒适等要求。作业域布局的人机工程设计及评价对保证作业效率、安全性、舒适性有决定性作用。所以，它是顶层设计和总体设计中重要的设计任务之一。作业域设计与集成可采用 CAD 技术。作业域的评定方法可采用电子物理混合式仿真技术、VR 技术以及全尺寸样机评价等。前两种评定技术主要用于方案设计阶段及研究发展阶段。电子物理混合式作业域评定为当前应用的主要方式，全尺寸样机作业域评定用于设计实施阶段。图 1-8 为飞机驾驶舱作业域布局示意图。

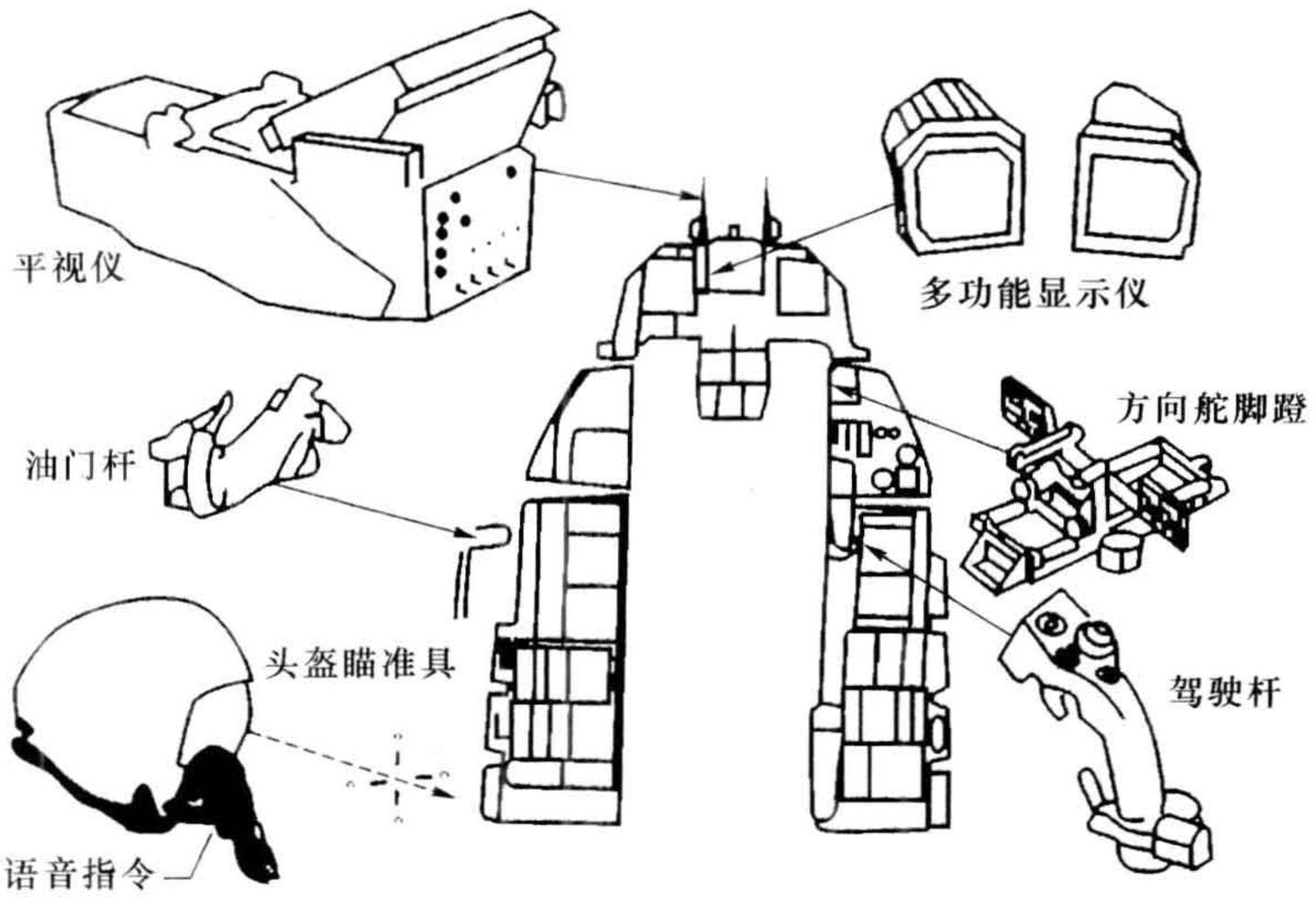


图 1-8　飞机驾驶舱作业域布局示意图

图 1-9 为飞行员作业域工效设计中要考虑的一些主要几何参数示意图。图 1-10 为作业域工效计算机辅助设计示意图。

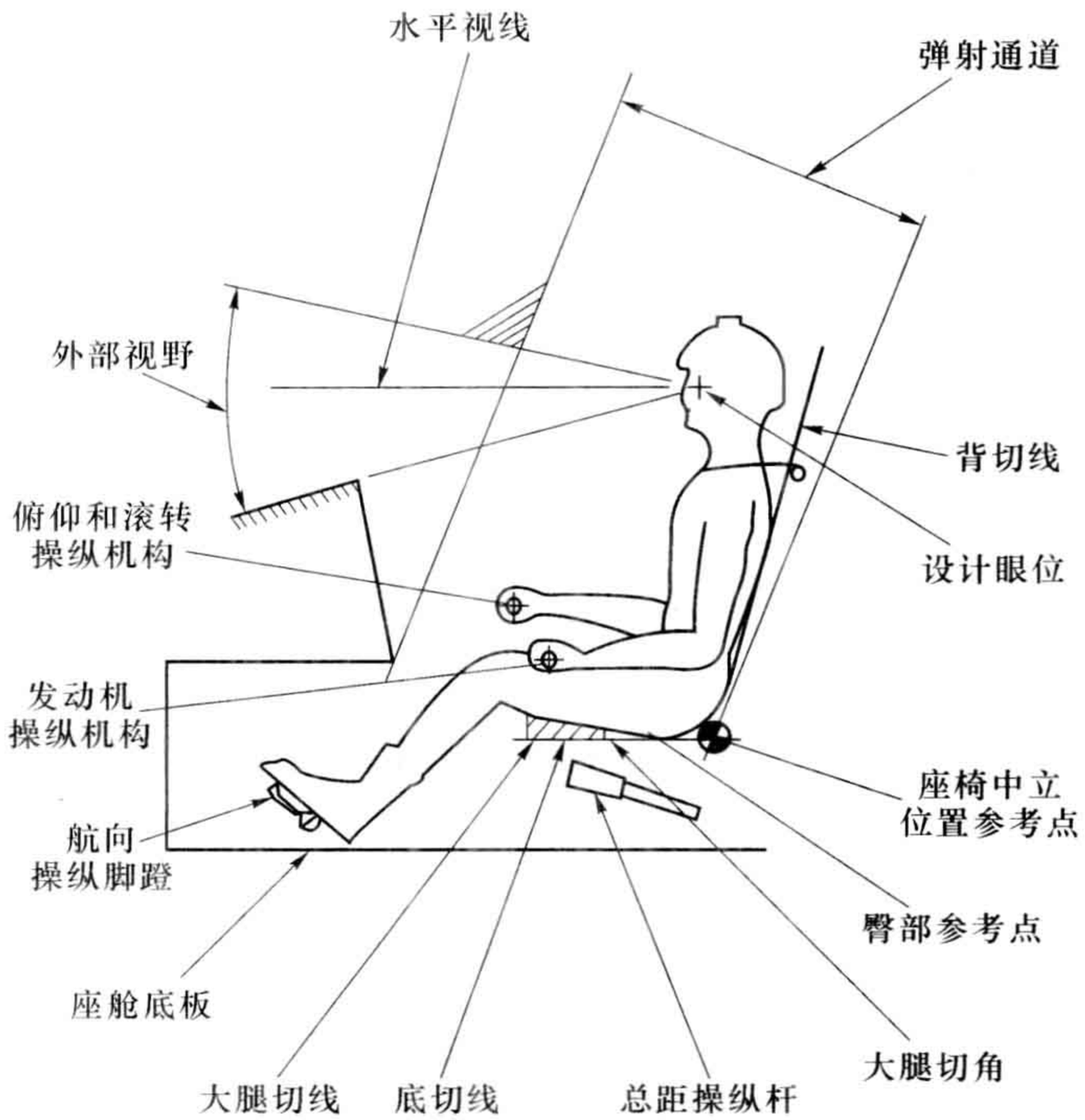


图 1-9　飞行员作业域工效设计几何参数示意图

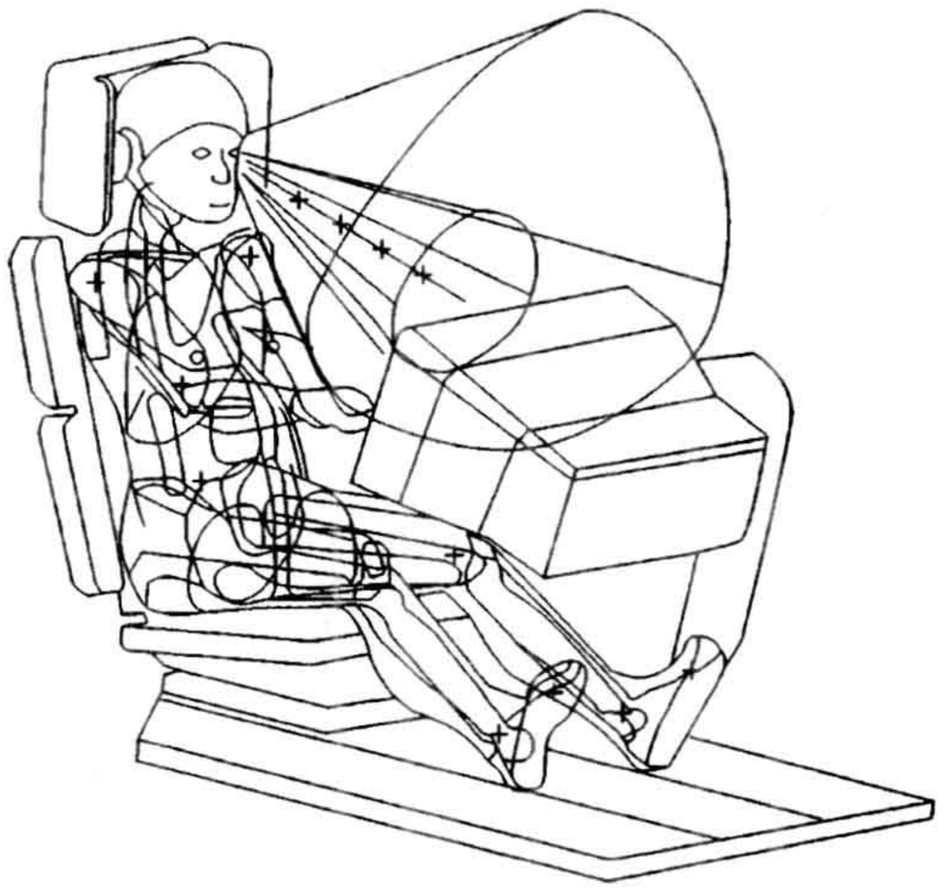


图 1-10　作业域工效计算机辅助设计示意图

(3) 认知技术。信息科学与人的特性和行为研究的结合称为认知技术或认知工程。认知技术主要研究人如何感知数据，如何将其转化成综合信息，如何将综合信息作为决策依据。研究旨在揭示人为错误的原因、错误本质，减少错误。图 1-11 为人与外部信息交互认识过程的示意图。

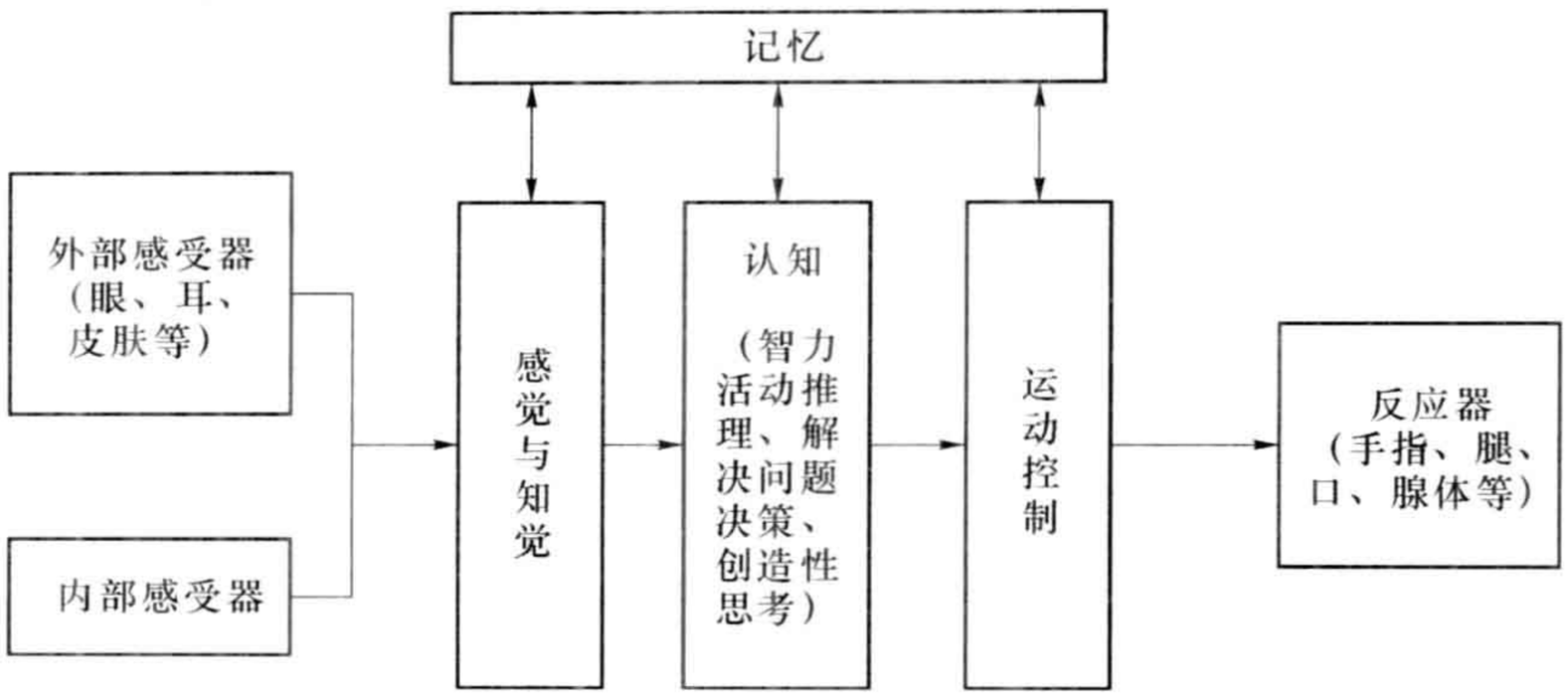


图 1-11　人与外部信息交互认识过程示意图

（4）信息显示与控制。信息显示与控制主要研究信息显示与控制符合操作者认知规律的原理、措施及评价方法，以减少工作中的人为错误，保证高效作业和飞行安全。图 1-12 为用于驾驶舱显示/控制工效评价发展研究的平台示意图。图 1-13 为环境人机工程研究内容示意图。

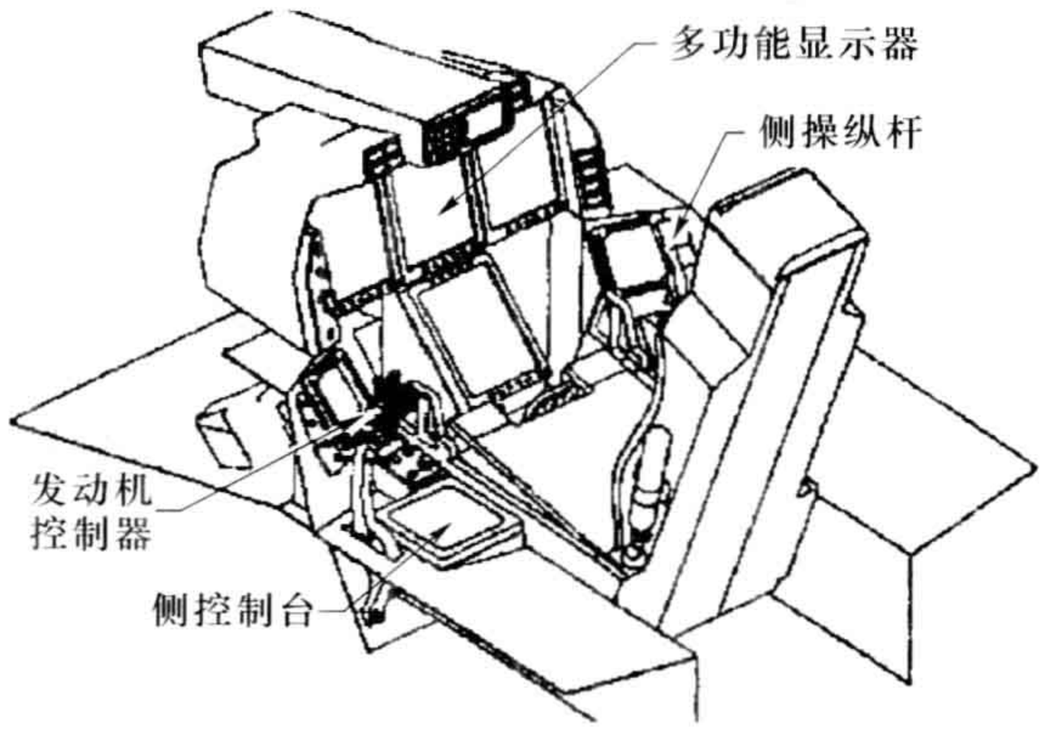


图 1-12　可用工效评价驾驶舱显示/控制发展研究平台

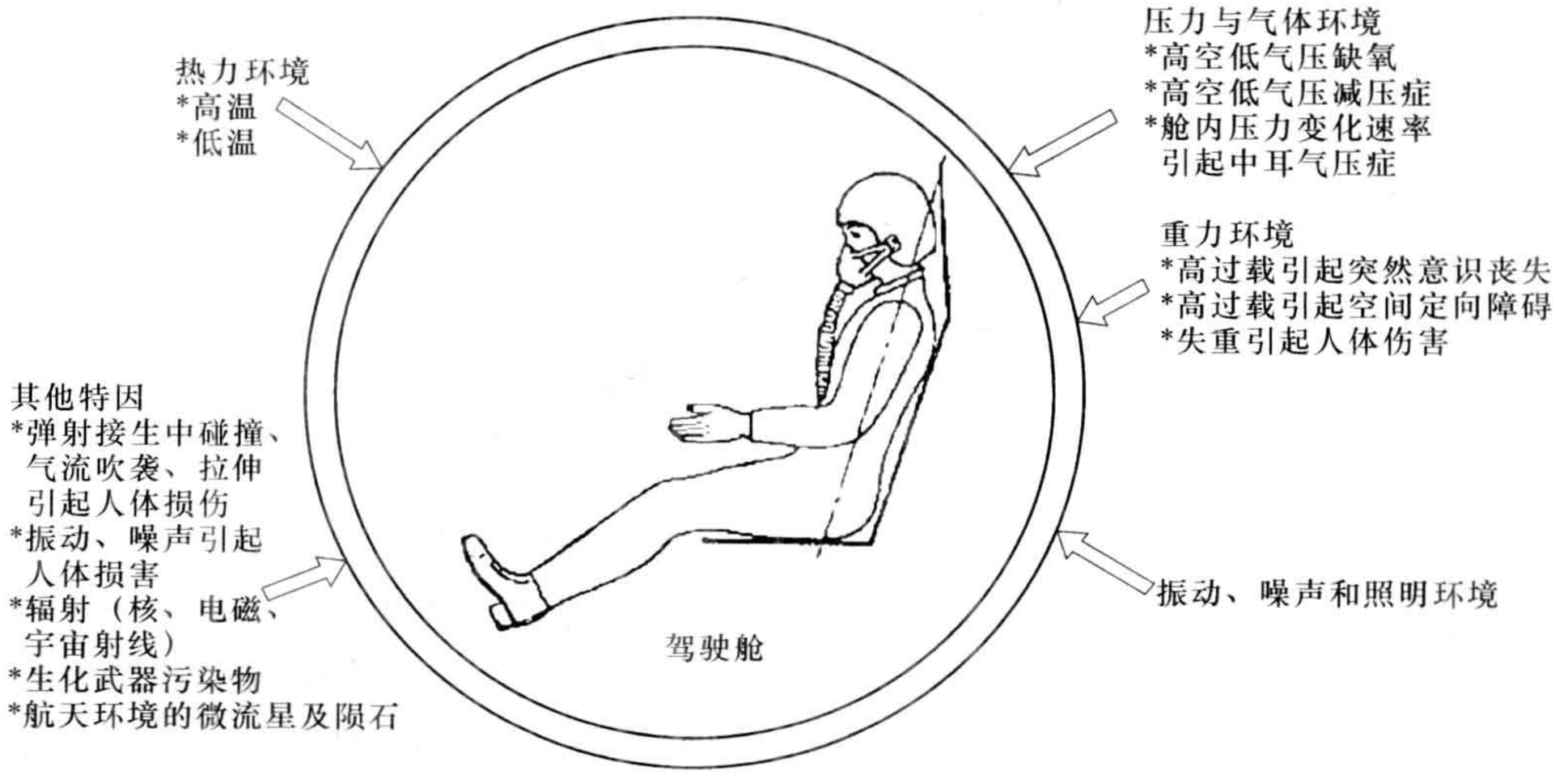


图 1-13　环境人机工程研究内容示意图

2. 环境人机工程

环境人机工程包括与室内作业环境和航空航天作业环境相关的人机工程问题。室内作业环境的研究内容在很多人机工程书中已有叙述，而航空航天作业环境是人类实现高空（太空）飞行而产生的一门新兴技术科学。

1903 年，莱特兄弟制造第一架飞机后的一段时间内，由于飞机飞行高度低，使用的都是开敞式座舱，舱内舱外气体参数相同，乘员所处的大气环境条件不会造成对人体的危害。但随着飞机性能的不断改进，飞行高度越来越高，伴随而来的是高空低温、低气压及缺氧等对人体带来的伤害及生命危险。为保证人的工作能力及生命安全，要求将飞机的开敞式座舱改为气密座舱，气密座舱内形成满足人体生理要求的微气候。可以说，自那时起就出现了航空人机工程相关的微环境工程研究领域。1934—1936 年，苏联研制出飞机最初用的实验气密座舱，1938 年英国的波音 707 客机上第一次使用了增压气密座舱。当今，气密座舱是人类实现大气层内及太空飞行的必要技术措施。载人航天的座舱气密性要求远高于飞机气密座舱，所以载人航天习惯将气密座舱称为密闭舱。气密座舱为人的工作和生存所需微环境调节提供了必要的有限空间条件，对该有限空间环境进行控制的技术装备即为环境控制系统（Environment Control System）。环境控制系统将气密座舱内的空气压力、温度、湿度、气体成分及清洁度控制在生活和工作要求的水平。现代飞机，无论是军用机还是民用机，都广泛使用大气通风式气密座舱，即周围新鲜空气流入座舱经使用后排出机外，其舱内空气清洁度由吸入周围大气新鲜空气通风交换来保证。习惯将这种具有一定气密性、具有新鲜空气不断交换的座舱称为大气通风式座舱。由于载人航天器外界无空气，人与太空由全密闭舱隔离，舱内空气需再生循环使用，故要采用再生式密闭舱。1961 年苏联发射的世界第一艘“东方号”飞船和以后的太空飞船、空间站都是采用再生式密闭舱。航空航天载人舱的环境控制技术是有限空间的微环境工程问题。通过有限空间的气体参数调节，保证飞行中人的工作和生存条件。设备舱环境控制技术主要解决电子设备冷却问题，它也是有限空间微环境工程的重要研究内容。

战斗机飞行中，人体可能受到超重过载作用，甚至气密座舱可能失效或因飞机其他事故而需要应急救生。在应急救生情况下，人可能离开飞机而暴露在高空大气环境中。这时，如果没有相应有效的防护营救措施，人的生命安全将受到威胁。在飞行应急危险环境中，由个体防护装备和救生装备对人提供安全保障。它是通过控制/限制直接施加人体的物理参数，或者控制/限制人体附近环境参数对人体伤害来实现的。航天员在太空出舱活动进行作业时要穿着舱外航天服。舱外航天服（Space Suit）将人与太空密闭隔离，可防止外界因素对人体的伤害。航天服与人体间有限狭小空间微气候参数的调节及再生，由便携式生命保障系统（Portable Life Support System，PLSS）实现。从工作原理而言，航天服类同再生式密闭舱。它是保证航天员在舱外活动中生命安全和工作的重要设备。航空航天器的人及作业/生活系统共处于微环境（作业/生活舱）中。所以，航空航天个体防护救生装备是微环境工程技术在特殊条件下的延伸。

乘员，特别是航天员在舱内的生活设施技术，也是微环境工程的重要研究内容。航天员要在航天舱中长期生活和工作，像水和食物供给、人体排泄物处理以及休息等生活设施，都是微环境工程中的重要研究内容。

由于载人舱和设备舱环境控制技术、个体防护技术、救生技术、生活设施技术在航空航

天中的广泛应用，特别是要求解决飞行员客机救生、航天员出舱活动的工作和安全保障，要解决航天员在空间站长时间工作、生活和安全保障等问题，促使了微环境工程学科的迅速发展，并使其在航空航天技术中的地位显得更加重要。

环境人机工程为微环境工程技术装备研制提供生理技术依据和措施，而微环境工程为实现环境人机工程的要求和措施实现相应的具体技术装备。

（1）压力与气体环境。主要研究高空压力与气体环境对人体的影响，研究对抗高空缺氧、低气压的措施和评价方法。

（2）热力环境。主要研究高温、寒冷环境对人体的影响，研究人体抗热、抗寒的措施和评价方法。

（3）重力环境。主要研究超重（航空）、失重（航天）环境对人体的影响，研究对抗重力环境对人体危害的措施和评价方法。

（4）振动、噪声、照明环境。主要研究振动、噪声、照明、撞击、气流吹袭对人体的影响，以及研究相应的防护措施和评价方法。

（5）其他特因环境因素。主要研究其他特因环境（弹射救生中损伤、振动、噪声、照明、生化武器、核武器、电磁辐射、宇宙射线、微流星、陨石）对人体的影响以及研究防护措施和评价方法。

3. 系统人机工程

（1）人机功能分配。人机功能分配主要研究人与机器共同完成工作中的任务分工，主要体现在人工作业和机器自动作业（包括计算机的智能辅助）的分工。由于飞行器的作业任务复杂，人机功能分配对保证作业效率及安全显得尤为重要。人机功能分配对控制分系统的设计、评价具有指导意义。

图 1-14 为系统人机工程研究内容示意图。图 1-15 为人工作业与自动化作业分工与任务难度关系示意图。

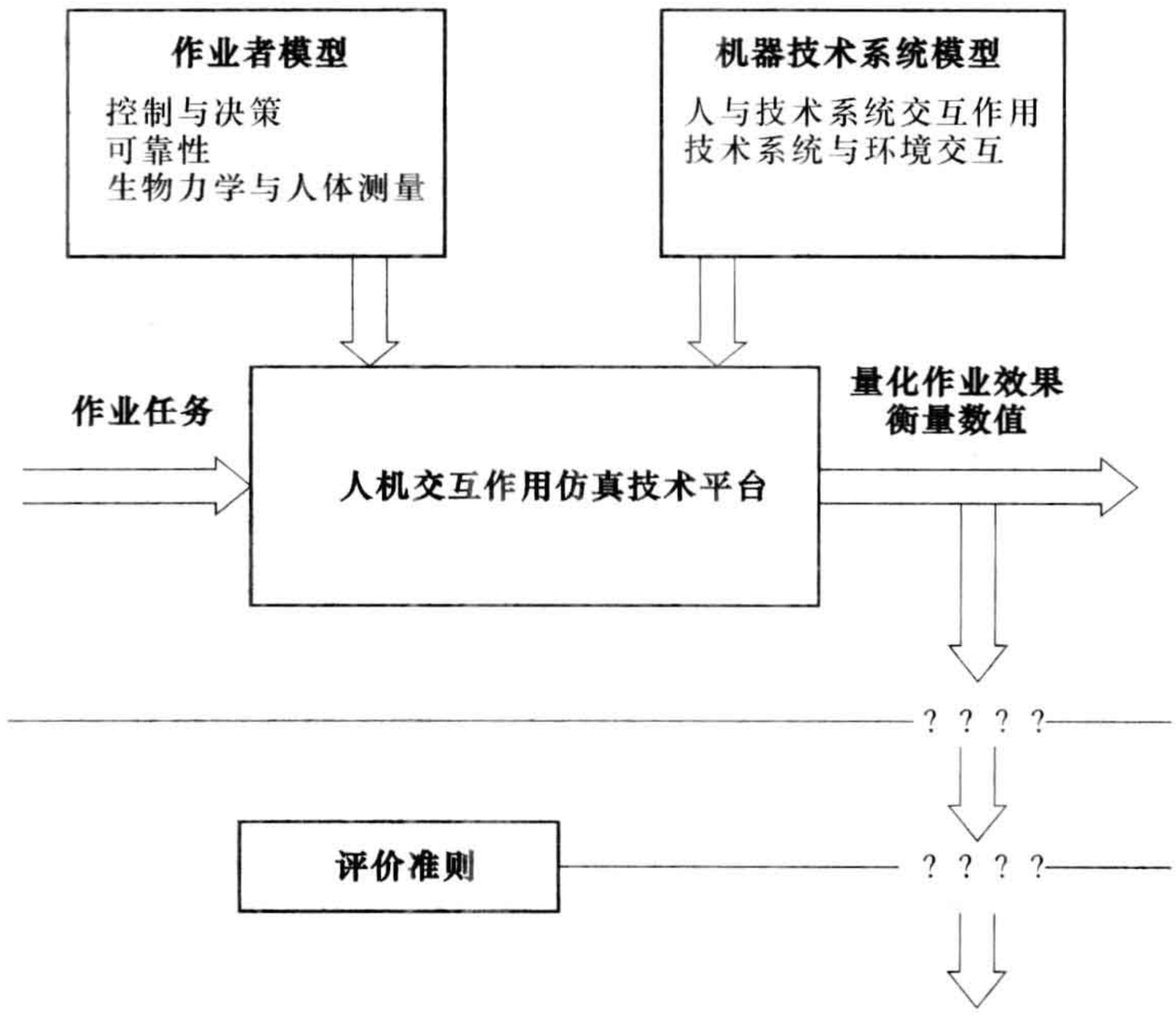


图 1-14　系统人机工程研究内容示意图

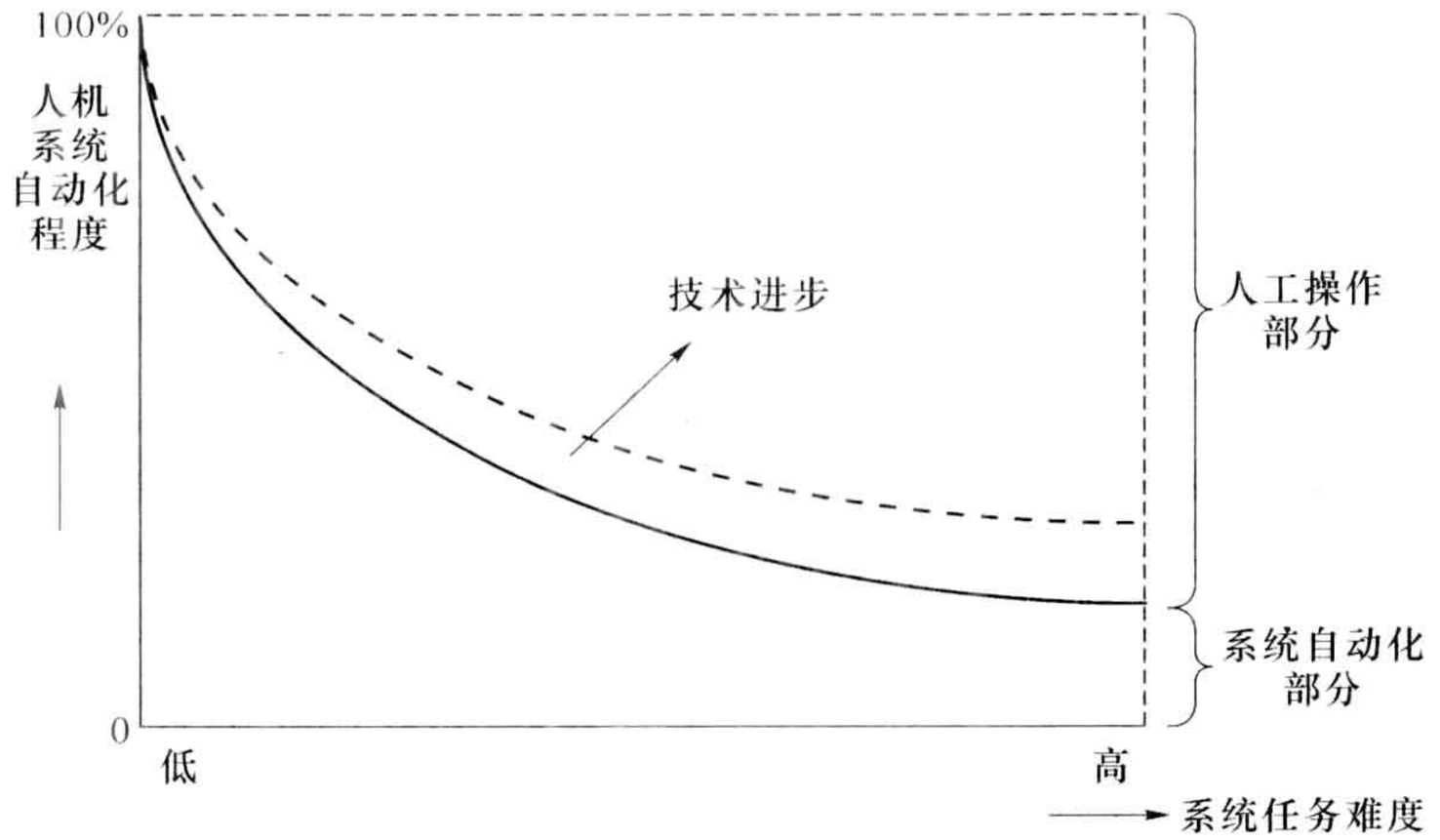


图 1-15　人工作业与自动化作业分工与任务难度关系示意图

(2) 人的控制与决策模型。人的控制与决策模型主要研究在工作回路中操作者的控制与决策能力的数学物理描述，以满足人机系统分析、设计和集成的需要。

(3) 人的可靠性。人的可靠性主要研究航空领域人为错误的可能性、对抗人为错误的评价方法，并研究对系统性能影响、危害的措施及衡量方法。

(4) 系统设计与集成。系统设计与集成主要研究人机系统的设计与集成方法，使人、机、环境三者间在高效、安全、舒适与经济的目标上具有合理或最佳匹配关系。

(5) 系统模拟与评定。系统模拟与评定主要研究人机系统模拟与评定方法，并研究人机系统高效和安全性评价的置信度。

1.2.4　人机交互技术的相关学科

人机交互是人—机—环境系统工程学研究的一个重要领域，它不但研究在设计人机系统时如何考虑人的特性和能力以及人受机器、作业和环境条件的限制，而且还研究人的训练、人机系统设计和开发以及同人机系统有关的心理学、生物学或医学问题。美国国防关键技术计划不仅把人机交互列为软件技术发展的重要内容之一，而且还专门增加了与软件技术并列的人机界面这项内容。日本也提出了 FPIEND21 计划(Future Personalized Information Environment Development)，其目标就是要开发 21 世纪个性化的人机交互信息环境。我国“973”计划、“S-863”计划、“十五”计划、“十一五”计划均将人机交互列为主要内容。从广义的角度而言，人机交互的研究内容主要包括以下几个方面。

(1) 工作事故，健康与安全。主要包括事故与安全、事故调查、事故改造、健康与安全、健康人机工程、危险分析、健康与安全课题、健康与安全规则的应用、工业工作压力、机器防护、安全文化与安全管理、安全文化评价与改进、警示与提醒技术、安全概率分析。

(2) 人体工作行为解剖学和人体测量。主要包括解剖学、人体测量、人体测量和工作空间设计、生物力学、残疾人设计、姿势和生物力学负荷研究、工作中的滑倒与差错研究、背部疼痛、听觉障碍研究。

(3) 认知工效学和复杂任务。主要包括认知技能和决策研究、法律人机工程、团队工

作、过程研究。

(4) 计算机软件人机工程。主要包括软件设计、软件发展、软件人机工程、执行和可用性。

(5) 计算机终端:设计与布局。主要包括计算机产品和外部设备的设计与布局、计算机终端工作站、显示屏设备与规则、显示屏健康与安全、办公环境人机工程研究。

(6) 显示与控制布局设计。主要为显示与控制信息的选择与设计。

(7) 控制室设计。主要包括控制台和控制室的布局设计、控制室人机工程。

(8) 环境人机工程。主要包括环境状况和因素分析、噪声测量、工作中的听力损失、热环境、可视性与照明、工作环境人机工程、振动。

(9) 专家论证:多工作环境。主要包括专家论证调查研究、法律人机工程、工业赔偿申诉、伤害诉讼、伤害原因、诉讼支持。

(10) 人机界面设计与评价。主要包括人机界面的设计与发展、知识系统、人机界面形式、HCI/MMI 原型、GUI 原型。

(11) 可靠性。主要包括人的失误和可靠性研究、人的失误分析、人的可靠性评价。

(12) 工业设计应用。主要包括信息设计、市场/用户研究、医疗设备、桌的设计与舒适性研究、座椅设计与分类、家具和家电分类与选择。

(13) 工业/商业工作空间设计。主要包括工业工作空间设计,工业人机工程,工作设计与组织,人体测量学与工作空间设计,工作空间设计与工作站设计,警告、标签与说明,工作负荷分析。

(14) 管理与人机工程。主要包括变化管理、成本—利益分析、突发事故应变研究、人机战略实施、操作效能、操作负荷分析、标准化研究、人力资源管理、工作程序、人机规则和实践。

(15) 手工操作负荷:安全与培训。主要包括手工操作评价与培训、手工操作与举力、手工操作负荷。

(16) 办公室人机工程与设计。主要包括办公自动化、办公室和办公设备设计、办公室设计人机工程。

(17) 生理学方面和医学人机工程。主要包括生理学、生理能力、医学人机工程、医学设备、心理生理学、行为期望、行为标准。

(18) 产品设计与顾客。主要包括人机工程销售与市场、产品设计与测试、产品中人机工程、产品发展、产品可靠性与安全性、产品缺陷、产品材质、服装人机工程。

(19) 风险评估:多种工作状况。主要包括风险与成本—利益分析,风险评估与风险管理,风险预测,总体骨骼、肌肉风险研究。

(20) 社会技术系统与人机工程。主要包括组织行为、组织变化、组织心理学、人机工程战略、社会技术系统、暴力评估与动机。

(21) 系统分析。主要包括系统分析与设计、系统整合、系统需求、电信系统与产品、人机系统、人员配备研究、三维人体模型、实验设计、系统设计标准与类别、通信分析。

(22) 任务分析。主要包括任务分析与工作设计、任务分析与综合、团队协作。

(23) 管理培训与人员培训。主要包括人机工程培训、整体培训、认知技能/决策分析、

工程师培训、STUDIO 中的训练、训练模型、培训需求分析。

(24) 可用性评估。主要包括可用性评估与测试、可用性审核、可用性评估、可用性培训、试验与验证、仿真与试验、仿真研究、仿真与原型。

(25) 用户需求与用户指导。主要包括用户文档、用户指导、用户手册与说明、用户界面设计与原型、用户需求分析与类别、用户实验管理。

(26) 车辆与交通人机工程。主要包括航空人机工程、头盔显示、乘客环境、铁路车辆与系统、交通设计、车辆设计、车辆人机工程、车辆安全性。

(27) 其他特殊的人机工程应用。主要包括原子能、军队人机工程、过程控制、文化调查、调查与研究方法、自动语音识别。

人机交互技术在人—机—环境系统工程的研究中，经历了人适应机、机适应人、人机相互适应几个阶段，现在又已深入到人、机、环境三者协调的人—机—环境系统。在系统内，从单纯研究个人生理和心理特点，发展到研究怎样改善人的社会性因素。随着市场竞争的加剧和生产水平的提高，人机交互技术在各种产品的设计和制造中的应用也必将更加广泛和深入。

作为一门多学科交叉的科学(详见图 1-16)，因此，它的重要研究领域——人机交互的研究需要多学科的知识，特别需要计算机科学、工业设计、生理学、心理学等工程技术科学和人体科学的有关知识。这些知识对于开展人机交互的研究具有重要意义。

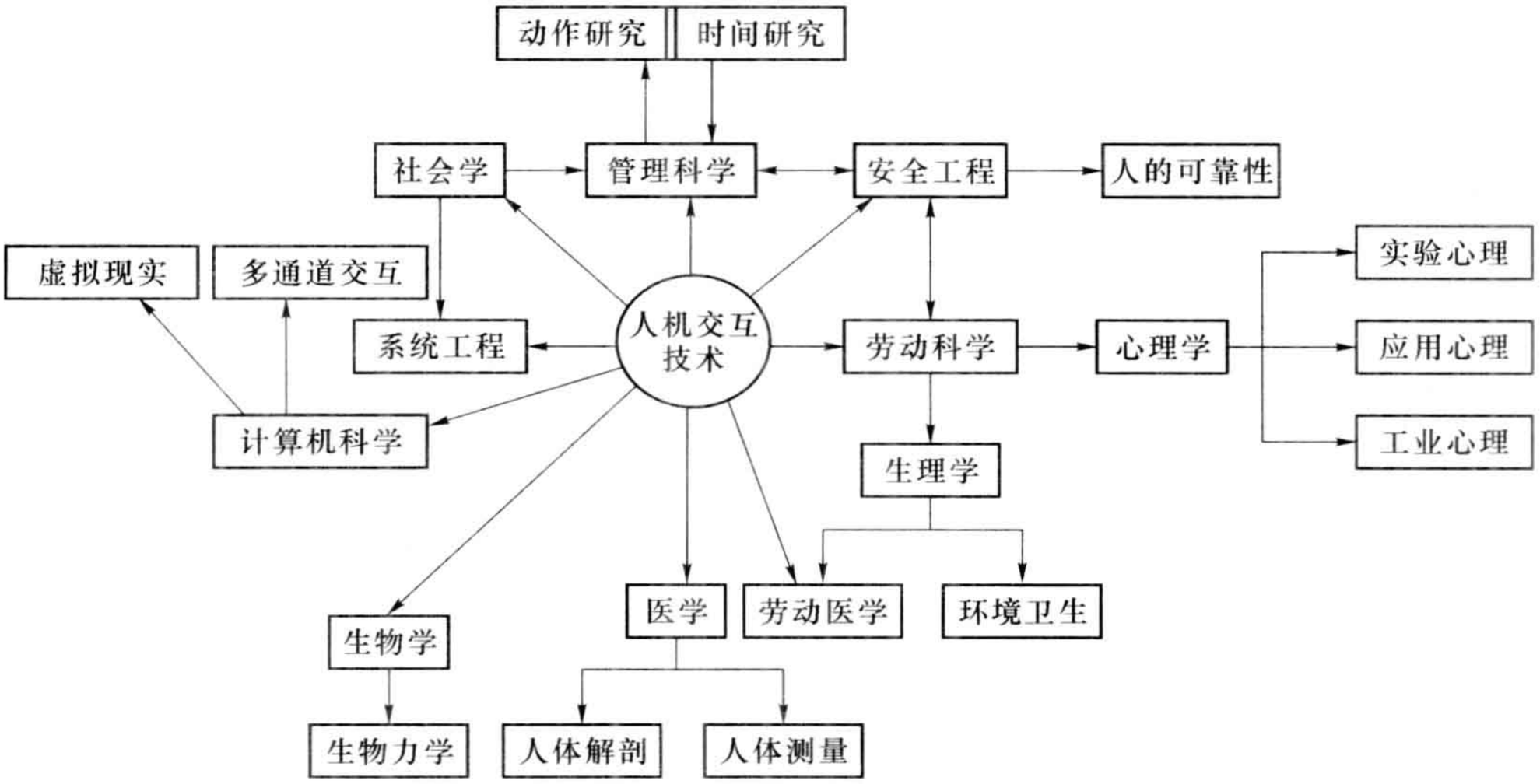


图 1-16　人机交互技术与其他学科之间的关系图

1. 人机交互与计算机科学

人机接口系统，即人和计算机之间相互作用的界面系统，它是计算机科学发展的必不可少的重要组成部分(详见图 1-17)。人机接口系统不仅在硬件上，而且在软件上也取得了很大进展。特别是在人机对话(或人机通信)方面，已研究出许多高级语言，正在研究采用自然语言进行人机对话，加快人机对话的速度，提高通信效果，发挥计算机的潜力。计算机作为一位不知疲倦的“仆人”，替人们完成了许多繁杂和劳累的体力及脑力活动，提高了人们工作

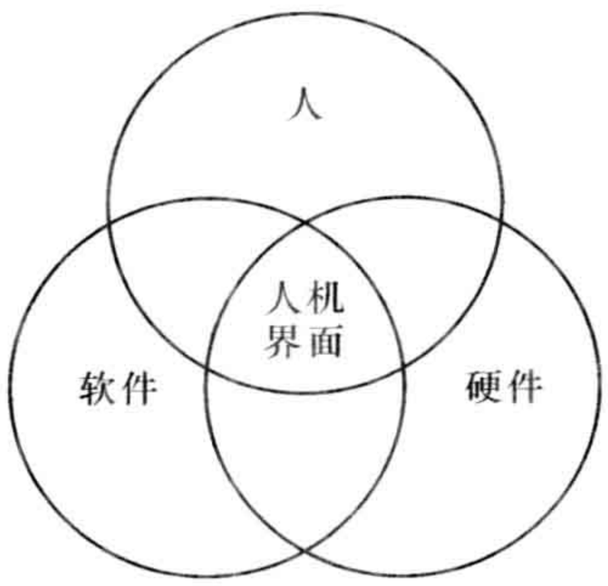


图 1-17　人机接口系统的组成示意图

的效率。但是，人们在使用它的时候，只是被动地适应它。随着计算机在人们生活中发挥着越来越重要的作用，如何使计算机更加人性化和功能更强大正成为新的研究课题。目前，能够听、看和随时感知使用者需要的计算系统——情感计算系统仍然处于初期研发阶段。不过，它很可能在未来几年内风靡世界。

通过在当前的计算机上添加特殊的传感器，利用先进的通信技术手段，研究人员就可以研制出自身反应能力和功能大为提升的人机和谐系统。目前，这种能够适应用户需求的情感计算系统已如雨后春笋般涌现出来，成为人们日常生活的助手。

随着计算和通信技术的广泛应用，人机交互技术将会以多种方式出现，例如用户界面将会从“认知型”转向“直觉型”。举例来说，一台电视机在未打开的情况下，就可以通过理解你所说的话语、你的面部表情、你的手势甚至你走路的姿态，知道你想要做的事情。如果技术再先进一点，电视机还能够意识到你所处的情境，譬如你在打电话，它就会自动调低音量。此外，它还能够对你进行识别，记住你所喜欢的频道和你想录制的节目。

目前，有些产品已经具备了情感计算系统的特征。例如，通过在手机上增加一个传感器，就可以避免用户不得不打开手机，频繁地进行按钮操作来回电话的麻烦，用户只需打开手机前盖就可以回电话，合上盖子通话就自动停止。一个小小的改变就使得手机使用起来如此方便。类似地，微软研究人员已经通过添加倾斜传感器和加速计为 PDA 提供了新的用户界面。用户可以通过前后倾斜 PDA 来浏览文档，就好像在玩具迷宫中控制滚珠一样；将 PDA 放到耳边就会产生传感器输出，使装置自动拨号。研究人员甚至已经使用加速计来确认行走的方式，从而使 PDA 能够决定是否接受或者转接某个电话。

目前，欧洲和美国的各大信息技术实验室正加紧对情感计算系统的研究。剑桥大学、麻省理工学院、飞利浦公司等通过深入研究“环境智能”、“环境识别”、“智能家庭”等科研项目来开辟这一领域。实际上，自 20 世纪 80 年代末以来，位于剑桥的一些研究团体就已开始对情感计算系统进行研究。现在，移动通信产业和娱乐业的发展正促使更多的研究团体和公司从其他领域转向这一领域。例如麻省理工学院提出的“ 氧工程”，是一项由宏基、惠普、诺基亚和飞利浦等公司资助的以人为中心的计算研究项目。该项计划的诞生源于四个方面的考虑：第一是让计算机帮助人们提高工作效率；第二是了解计算和通信技术的发展趋势；第三是让计算机为使用者服务；第四是使计算机理解人的需要。

目前许多家庭拥有 DVD 播放机、宽屏电视机、多媒体计算机、家庭网络、无线设备以及便携式音乐播放器等各种计算机和通信产品，同时家庭充塞着大量来自电话、宽带因特网、数字电视、收音机、CD 机、DVD 机等的信息流。而与此相关的一大堆遥控装置则充分说明，人们需要一种更好的方式来控制这些机器。情感计算的研究无疑迎合了这一需求。此外，商业利益的驱使也是一个重要的原因。除去上述因素之外，商业运作方式发生了显著变化——正在转向以个人体验为基础的“体验经济”时代。随着消费者对个性化、人性化的追求，未来产品的关键区别在于它所能给消费者带来的体验。如果能够正确抓住这一点，市场

的成功将会随之而来。

不过，如果情感计算进入每个人的日常生活，人们还需要审视很多问题。例如，为使用户可以随时随地享受它所带来的便利，蓝牙、WiFi 和移动网络将实现融合，而且必须提供 GPS 定位功能。在产品和各种环境中应当配备传感器，以为用户提供所需的背景信息。情感计算系统必须能够将大量广泛分布的数据整合起来，并能够以一种个性化的方式将它们呈现给每个用户。

一旦这些问题得到解决，以人为中心的信息技术产品将会不断涌现。想象一下，在不久的将来，你可以利用你在房屋里所处的位置信息来控制灯光，使离你最近的电话桌上响起呼叫你的电话铃声，或者你正在看的电视节目可以随着你在房间的移动而在各个屏幕之间切换；你还可以想象一下：你正在家中大屏幕上欣赏的电影，在你离开家门之后，仍然能够在你的手机上继续播放。这种便利和体贴真是让人叹服！

对此，麻省理工学院“氧工程”的研究人员和比利时 IMEC 的一个工作小组认为，开发出一种整合各种应用技术的“瑞士军刀”是提供移动情感计算服务的关键。麻省理工学院研制的被称作“Handy21”的多功能工具可以将 PDA 同摄像机、无线网络、耳麦、扬声器和加速计组合起来。IMEC 研究小组已推出了“多模式多媒体”(M4) 程序，作为解决随时随地传递任意信息量的一种方法。研究人员认为，目前实现上述目标的基本技术已经存在，但缺少将它们进行无缝整合的技术。IMEC 已经提出了一个弹性信息电器，它可处理现在需各种专门设备完成的多种不同的任务，并且将它们重整为可在功能强大的计算机上使用的应用软件。

这些装置一旦上市，将会对人们的生活产生何种影响呢？欧洲委员会的一份关于环境智能的报告为我们描述了一幅美妙的情景：女商人玛丽亚抵达了机场，她手上佩戴的微型芯片中贮存的个人身份证和签证信息由机场的监测系统读取后，得以顺利入境。当玛丽亚走近她租来的汽车时，车门自动打开。然后汽车载着她来到旅馆的专用停车场。当玛丽亚进入房间的时候，房间已经根据她的偏好为她调整好了温度、光线、电视节目和音乐频道。随后，她通过可视屏同她的女儿对话。

当然，在今天看来，这些都是科幻小说中的场景。除了硬件和基础设施问题之外，研究人员们还需要解决如何来升级有限的情感计算系统的问题。他们也需要建立全球合作档案系统，并且使得情感应用程序能够很容易地找到距离用户最近的网络打印机和屏幕。此外，还有比较敏感的安全、隐私和许可问题需要解决，而这一切都离不开人机交互技术的支持和帮助。

2. 人机交互与工业设计

人机交互技术和工业设计在基本思想与工作内容上有很多一致性：人机交互技术的基本理论“产品设计要适合人的生理、心理因素”与工业设计的基本观念“创造的产品应同时满足人们的物质与文化需求”意义基本相同，侧重稍有不同；工业设计与人机交互技术同样都是研究人与物之间的关系，研究人与物交接界面上的问题，不同于工程设计(以研究与处理“物与物”之间的关系为主)。由于工业设计在历史发展中融入了更多的美的探求等文化因素，工作领域还包括视觉传达设计等方面，而人机交互技术则在劳动与操作科学中有广泛应用，这是二者的区别。

另外，工业设计是一项综合性的规划活动，是一门技术与艺术相结合的学科，同时受环境/社会形态、文化观念以及经济等多方面的制约和影响，即工业设计是功能与形式、技术与艺术的统一；工业设计的出发点是人，设计的目的是为人而不是产品；工业设计必须遵循自然与客观的法则来进行。这三项明确地体现了现代工业设计强调“用”与“美”的高度统一、

“物”与“人”的完美结合，把先进的技术科学和广泛的社会需求作为设计风格的基础。简而言之，工业设计的主导思想以人为中心，着重研究“物”与“人”之间的协调关系。

人机技术所研究内容对于工业设计学科的作用可以概括为以下几方面。

（1）人机交互技术可为工业设计中考虑“人的因素”提供人体尺度参数。应用人体测量学、人体力学、生理学、心理学等学科的研究方法，对人体结构特征和肌能特征进行研究，提供人体各部分的尺寸、体重、体表面积、比重、重心以及人体各部分在活动时相互关系和可及范围等人体结构特征参数，提供人体各部分的发力范围、活动范围、动作速度、频率、重心变化以及动作时惯性等动态参数，分析人的视觉、听觉、触觉、嗅觉以及肢体感觉器官的肌能特征，分析人在劳动时的生理变化、能量消耗、疲劳程度以及对各种劳动负荷的适应能力，探讨人在工作中影响心理状态的因素以及心理因素对工作效率的影响等。

（2）人机交互技术的研究，为工业设计全面考虑“人的因素”提供了人体结构尺度：人体生理尺度和人的心理尺度等数据，这些数据可有效地运用到工业设计中去，如图 1-18 所示的新式鼠标的设计。

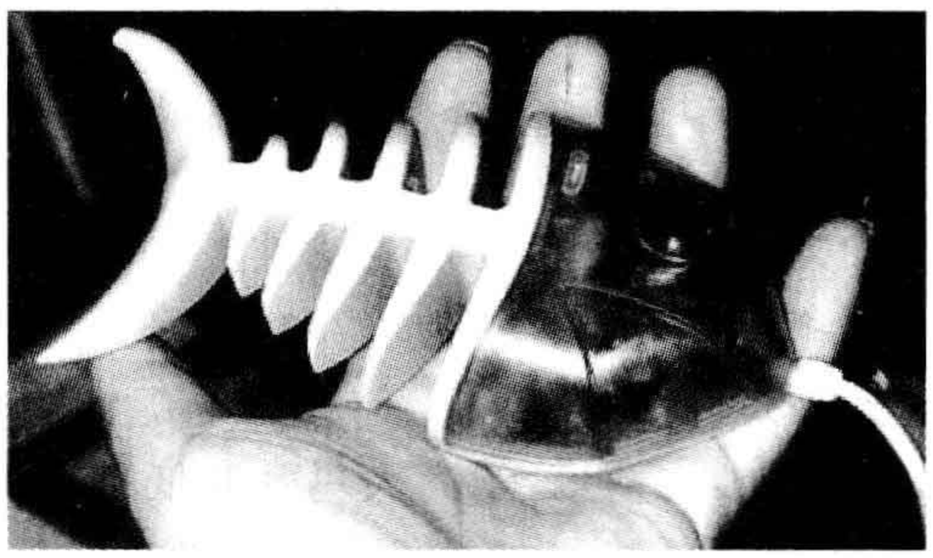


图 1-18　新式鼠标的设计

（3）人机交互技术为工业设计中“机”的功能合理性提供科学依据。现代工业设计中，如搞纯物质功能的创作活动，不考虑人机交互的需求，那将是创作活动的失败。因此，如何解决“机”与人相关的各种功能的最优化，创造出与人的生理和心理肌能相协调的“机”，将是当今工业设计中在功能问题上的新课题。人体交互技术的原理和规律将是设计师在设计前需要考虑的问题。

（4）人机交互技术为工业设计中考虑“环境因素”提供设计准则。通过研究人体对环境中各种物理因素的反应和适应能力，分析声、光、热、振动、尘埃和有毒气体等环境因素对人体的生理、心理以及工作效率的影响程序，确定了人在生产和生活活动中所处的各种环境的舒适范围和安全限度，从保证人体的健康、安全、合适和高效出发，为工业设计方法中考虑“环境因素”提供了设计方法和设计准则。

以上几点充分体现了人机交互技术为工业设计开拓了新设计思路，并提供了独特的设计方法和理论依据。社会发展，技术进步，产品更新，生活节奏紧张，这一切必然导致“产品”质量观的变化。人们将会更加重视“方便”、“舒适”、“可靠”、“价值”、“安全”和“效率”等方面的评价，人—机—环境系统工程学等边缘学科的发展和应用，也必须会将工业设计的水准提到人们所追求的那个崭新高度。

3. 人机交互与生理学

许多原则对设计人使用的机器是很重要的，它们虽然不与人的信息加工能力有关，但仍

应把它们归入到人机交互范围之内。例如，设计一辆汽车，使它的全部控制器都使驾驶员容易触及且操作时不会引起肌肉疲劳，使所有的显示器都容易看得见而不会引起头颈紧张，这就是人机交互所关心人的生理学问题。

研究人体在各种工作环境下的体态特征、受力情况、运动状况等动态特性，可以为各种工业设计和产品设计提供关于人体测量方面的各种数据。这些数据的准确性、可信度和丰富性关系到最终所提出方案及所设计出的产品的优劣程度。可见，有关人体各种动态、静态参数的测量对研究人机交互方面的问题具有极为重要的意义。

人机交互中的人体测量数据主要有两类，即基于人体结构的人体构造尺寸和基于任务完成的人体功能尺寸。这两类尺寸的侧重面不尽相同。人体构造尺寸是指静态尺寸，也就是人体的基本结构尺寸，包括人的身高、四肢长度等；人体功能尺寸是指动态尺寸，也就是人的生活或工作中，处在某种特定姿势或某种操作活动状态下人体的各种动态参数，如人四肢的速度、加速度及与人接触的相互作用、所产生的力量大小等。只有测得这些数据才能进一步提出人体的各部分仿生模型，进而研制出适于人机交互的产品和装置。

在数字轿车（功能虚拟样机，详见图 1-19）开发过程中，产品设计人员在新型轿车开发的早期就全面考察数字轿车在各种工况下的性能，使用有关仿真软件（如 CATIA V5）构造人体模型（HBR：CATIA Human Builder），在虚拟环境中建立和管理标准的数字化“虚拟”人体模型，以在产品生命周期的早期进行人机工程的交互式分析。HBR 提供的工具包括人体模型生成、性别和身高百分比定义、人机工程学产品生成、人机工程学控制技术、动作生成及高级视觉仿真等。有效地将 HBR 与 HAA（人体行为分析）、HME（人体模型测量编辑）及 HPA（人体姿态分析）结合起来可以生成更高级的人体模型，得到更详尽的分析结果，使设计更符合人机工程学对舒适性、功能性及安全性的要求。

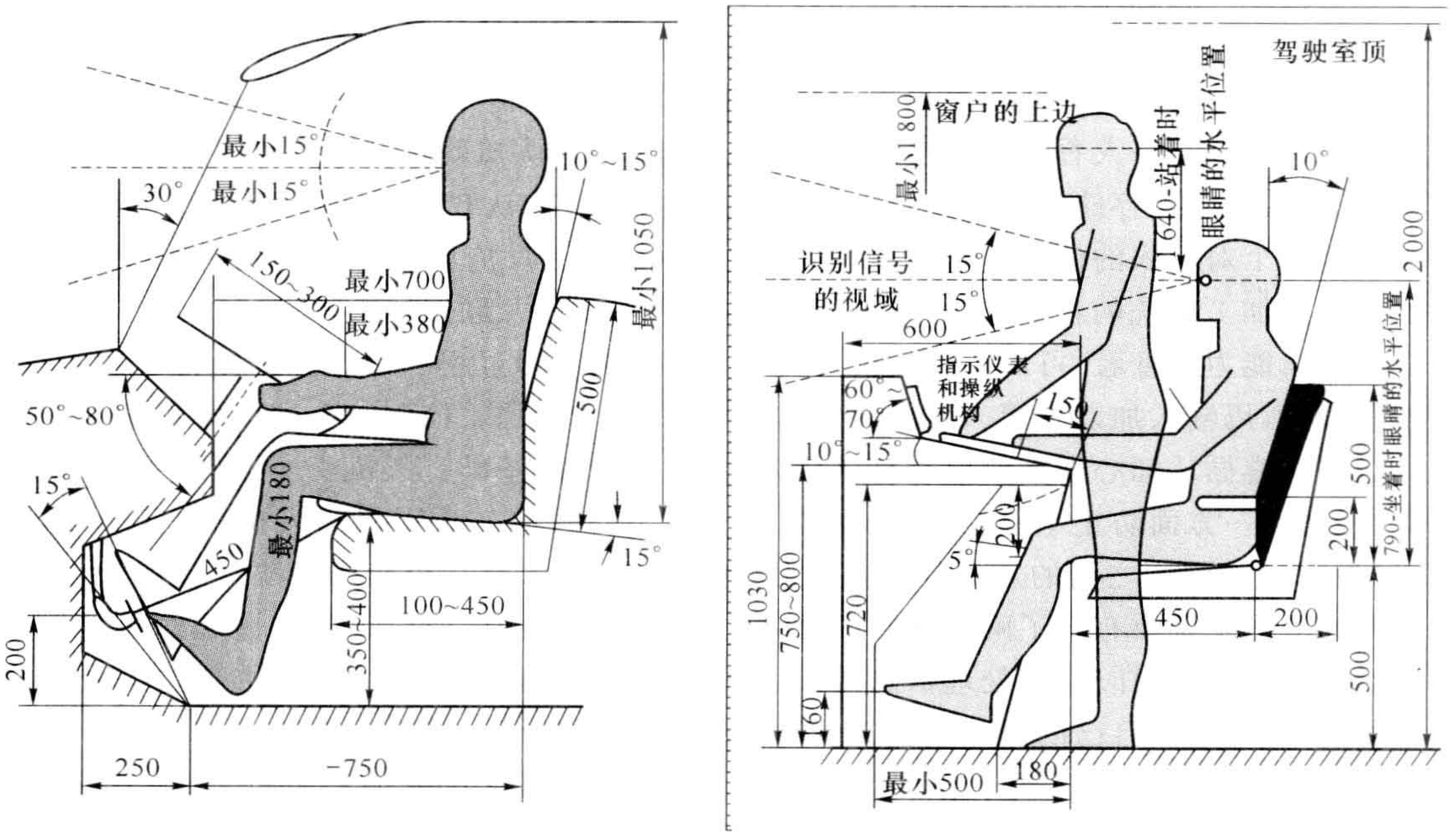


图 1-19　功能虚拟样机仿真

在太空飞行过程中，由于长期处于失重状态，航天员常常会出现知觉上的幻觉和操作技

能上的衰退现象。由于幻觉与操作技能的衰退涉及航天活动的安全/生产力问题，因而NASA当前的研究计划主要是研究结合重力环境(在地面或太空中)的视觉刺激是怎样影响人的眼动控制、感知和视觉—运动特性的。这些研究结果对理解人的空间定位和方向知觉的丧失以及多感官的交互作用和修正感知、动作行为的反馈机制具有重要的作用，并在此基础上确定系统人—机功能分配、人—机接口、航天服合体性、舱外活动机动装置的可操作性等涉及人的因素问题。近年来欧美及俄罗斯航天科技工作者正在研究语音控制和人工智能技术的应用，希望通过让计算机理解人所发出的口头命令、手势、体位、眼的运动等行为来操作被控对象，以减轻其肢体所承受的负荷，并缩短作业反应时间，从而开辟人—机接口的新通道。同时，运用人工智能技术，并根据人—机间的几次交互情况，就能判断出操作者的作业水平，让同一界面能为不同层次的航天员使用。这样，多通道和自适应性将产生载人航天器新一代的人—机接口——全用户界面。它采用一切可以表达信息的媒介物(文字、图像、声音和视频等)，全面刺激人的感官，充分调动其注意力，并实现全方位互动，从而提高人—机交互的可靠性和效率。

4. 人机交互与认知心理学

在人机作业中，人与机之间存在着信息传递与反馈、运动的输出与结果的关系，为了能够使信息的传递更加快捷、精确，运动的输出达到高效、准确，就要研究其中的信息交互、运动交互，而要实现这些问题必须研究人机作业中的认知心理学问题。

认知心理学是20世纪50年代中期在西方兴起的一种心理学思潮，70年代成为西方心理学的一个主要研究方向。认知心理学研究我们如何获得世界的信息，这种信息又怎样表征并转化为知识，它怎样贮存，知识又是怎样用来指导我们的注意和行为。它涉及心理过程的全部范围——从感觉到知觉、模式识别、注意、学习、记忆、概念的形成、思维、表象、回忆、语言、情绪和发展过程，而且还贯穿于行为的各个领域。

以信息加工观点研究认知过程是现代认知心理学的主流，可以说认知心理学相当于信息加工心理学。它将人看作是一个信息加工的系统，认为认知就是信息加工，包括感觉输入的变换、简约、加工、存储和使用的全过程。按照这一观点，认知可以分解为一系列阶段，每个阶段是一个对输入的信息进行某些特定操作的单元，而反应则是这一系列阶段和操作的产物。信息加工系统的各个组成部分之间都以某种方式相互联系。

从逻辑能力角度看，可以用计算机来类比人的内部心理过程。计算机接受符号输入，进行编码，对编码输入加以决策、存储，并给出符号输出，与人加工信息的全过程相类似。

了解并遵循认知心理学的原理是进行人机交互设计的基础。人机交互设计主要用理论来指导设计，一方面防止出错，另一方面用以提高工作效率。为了提高人机交互设计的水平，增强用户与“机”之间的友好程度，必须对使用“机”的人有一个较为清晰的认识，也就是说对人的心理基础要有所了解。既要了解人的感觉器官(视觉、听觉、触觉)是如何接受信息的，也要了解人是怎样理解、处理信息的，以及学习记忆有哪些过程，人又是如何进行推理的等。由此，应尽量使自己的设计适应于人的自然特性，以使设计的系统满足用户的要求。

设计“机”使之与“人”的工作限度相适应，这是与人机交互领域有关的问题。Meister(1989)把人机交互定义为“在人机系统操作中，人如何完成工作任务，以及人的行为与非行为变量如何影响这种作业完成的研究”。人机交互的基本目标就是为了在人与机器发生相互作用时减少误差，提高生产率，增进安全性与舒适度。人机交互专注于研究有助于实现上

述目标的因素和工具的开发。人机交互所包括的范围十分广泛，当前它尤其关注与脑的信息加工能力相适应的系统设计。脑的加工研究属于心理学研究的范围，尤其是属于把认知心理学观点用于系统设计的人机交互研究范围。根据认知心理学和用户调查，有些学者提出了如下基本原则指导人机交互设计。

（1）一致性原则，即从任务、信息的表达、交互控制操作等方面与用户理解熟悉的模式尽量保持一致。

（2）兼容性，在用户期望和交互设计的现实之间要兼容，要基于用户以前的经验。

（3）适应性，用户应处于控制地位，因此界面应在多方面适应用户。

（4）指导性，交互设计应通过任务提示和反馈信息来指导用户，做到“以用户为中心”。

（5）结构性，人机交互设计应是结构化的，以减少复杂度。

（6）经济性，人机交互设计要用最少的必须步骤来实现一个操作。

在上述基本原则指导下，这些学者同时提出了以下针对人机交互界面设计的几点参考。

（1）由具体到抽象，即首先通过多媒体界面给用户提供具体的对象，然后从具体对象、内容中让学习者归纳出抽象的概念或原理，或用模拟系统来引导出抽象的原理。

（2）由可视化的内容显示不可见的内容，尽可能利用数字、图解、动画、色彩等清晰爽目的对象显示原理、公式或抽象的概念。

（3）由模拟引导创新，突出人机交互，尽量启发用户的积极思维，并激起用户的学习和创造欲望。

（4）合理运用再认与再忆，减少用户短期记忆的负担。所谓再认就是从系统给定的几个可能答案中要用户选择一个正确的或最好的。再忆即要求用户输入正确的答案或关键字。

（5）考虑用户的个别差异，使用用户语言。

以上 5 点具体体现了“由易而难，逐步强化”这一源于认知心理学的设计原则。

1.3　人机工程的研究方法

人机工程的研究根据研究内容和目的交叉融合了信息科学、心理科学、人体科学、生物医学、安全科学、系统工程、控制理论、计算机科学等多种学科的研究方法，探讨和解决人机与环境三要素之间的复杂关系，以充分发挥人机与环境系统的综合效能。目前常用的研究方法有以下几种。

1.3.1　观察记录法

为了研究人机系统中人和机的工作状态，常采用各种各样的观察记录方法，如工人在生产线上的操作动作分析、功能分析和工艺流程分析等。图 1-20 为采用摄像法进行超市收银员姿态动作和疲劳分析的案例，在显示器上不仅能分析收银员的姿态和动作，还能根据该姿态和动作持续的时间及收银员本人的情况申报来进行疲劳分析。

NASA 在多次实施修复哈勃望远镜计划时，通过将哈勃望远镜的修复过程生成计算模型，同时加入失重条件下的视景变化规律后，使航天员进行模拟训练取得了很好的效果。计算模型的可用性验证本身来自于中性浮力水槽中航天员修复哈勃望远镜的模拟演练。如美国航天员在修复哈勃望远镜的“近视眼”和“颤抖症”时，事先在水槽里进行了 400 多个小时

的训练。对训练过程的观察记录本身又为计算模型的建立提供了可靠的数据。

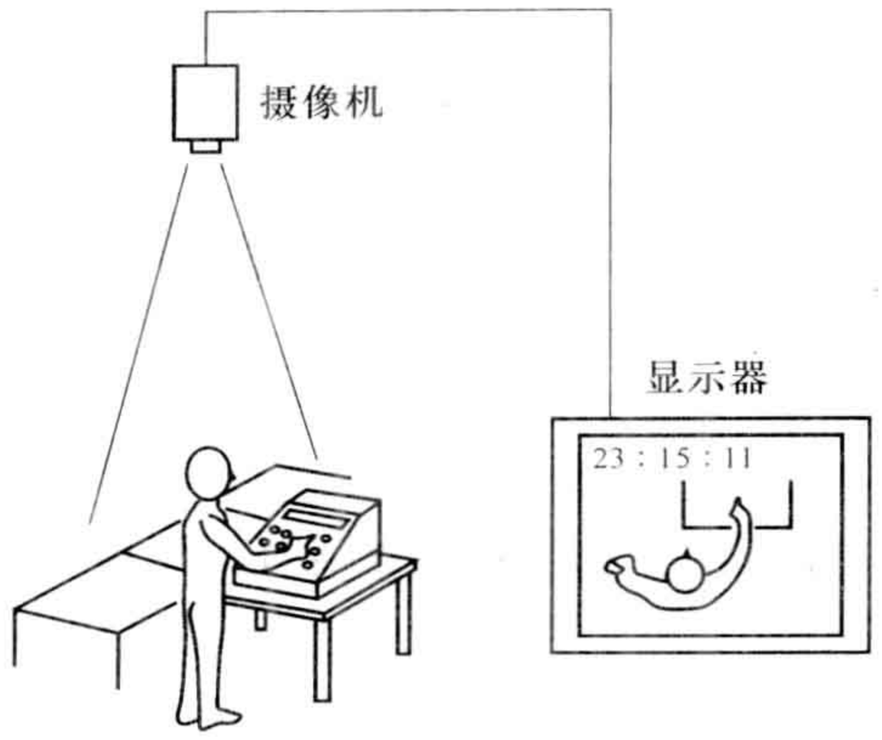


图 1-20　基于摄像法的超市收银员姿态动作和疲劳分析

1.3.2　实测法

为了获得实际的人体尺寸及生理或心理参数、机械尺寸和环境数据等，需借助于各种仪器设备进行实际的测量。如对人体尺寸的测量除需要各种常规的测量仪器外，根据需要还要用到照相测量和激光测量等。图 1-21 所示是采用脑电仪测量人观察事物时脑波的变化情况。图中 MI 1 到 MI 5 分别表示观察 5 张反映人脸或脸的特征图片及 5 张反映汽车或汽车的特征图片时脑波的变化，用不同颜色的曲线反映在图 1-21(a)中，与此对应的大脑皮层电压分布由图 1-21(b)反映。不同测量点位的脑波变化可用于分析人的注意力和脑负荷等。

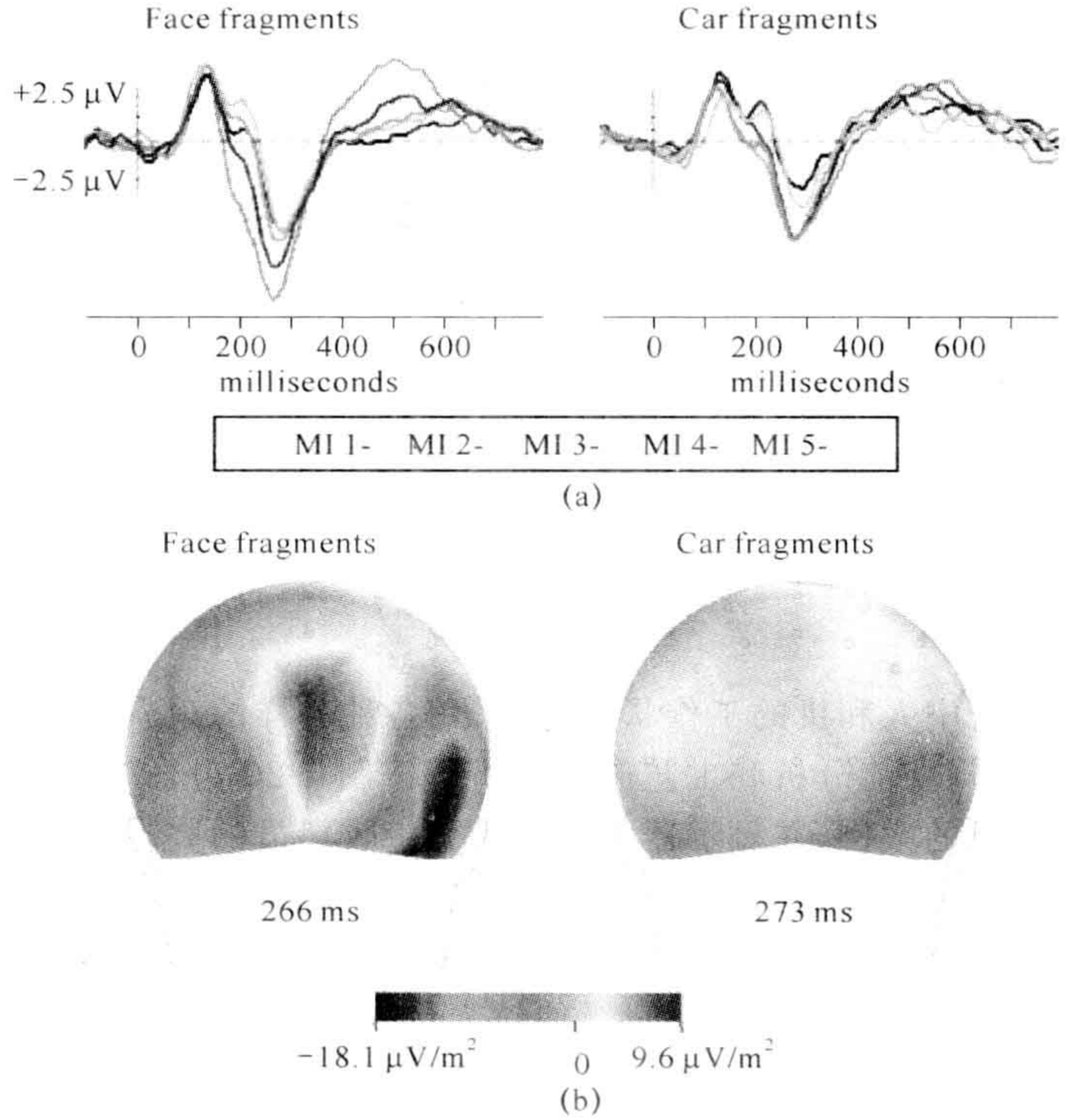


图 1-21　采用脑电仪测量人观察事物时脑波的变化

1.3.3　实验法

前述的实测法是针对个体或简单的人机与环境系统，通过测量来获得各种参数或实验数据。如测量人体参数是为了座舱布局，测量环境参数是为了座舱环境设计与控制。实验法针对的是更明确的研究内容、任务与目标，通过人机组合或人机与环境系统组合，用实验的方法给出研究结果。在实验法中常包括前述的观察记录和测量。图 1-22 所示为 BRE 公司开展的座舱人机环境综合试验，主要研究热环境、噪声、振动等因素对座舱舒适性影响。座舱环境模拟测试设备是长 17 m 的 A300 前机身部分，包括驾驶舱、客舱和两个厨房，主舱可容纳超过 40 个受试者进行试验。模拟飞机从起飞到降落的全过程，飞行时间为 3.5 h，测试不同座舱温度、湿度、噪声和振动情况下乘员的动态响应。

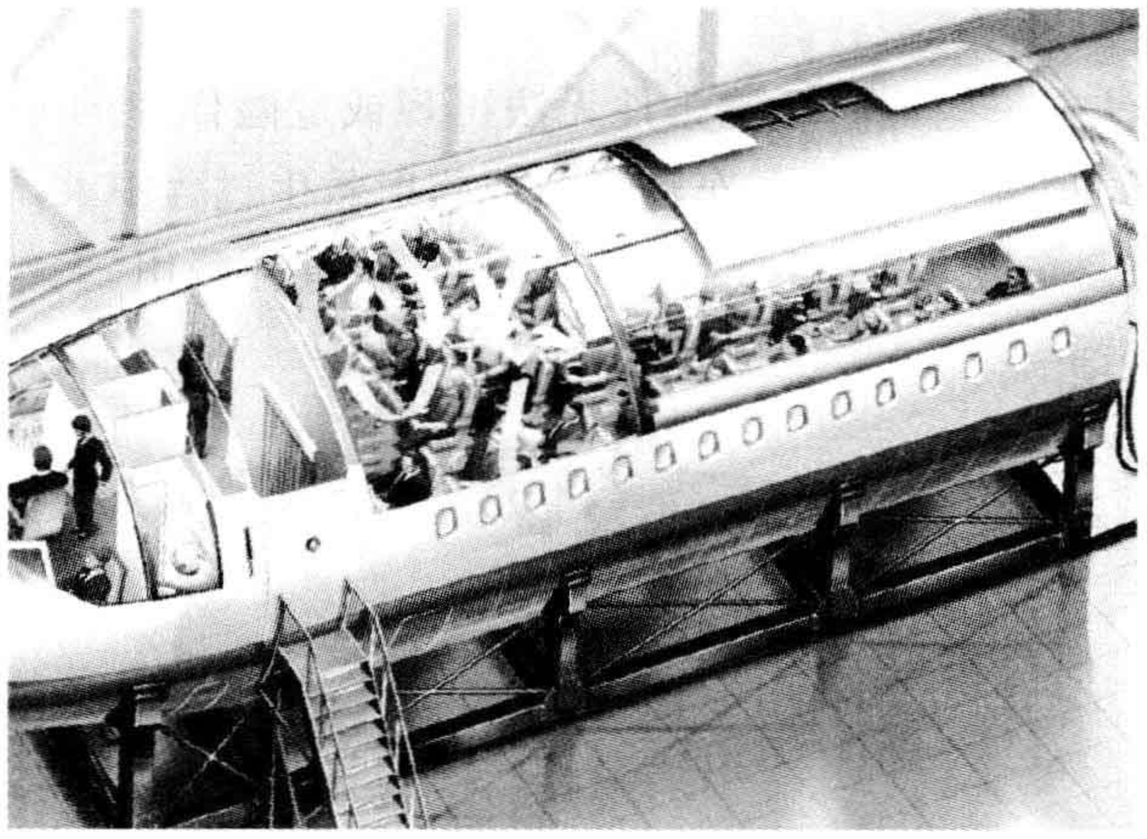


图 1-22　座舱人机环境综合试验

1.3.4　模拟器或模型试验法

目前，模拟器已广泛用于汽车或飞机驾驶员的操作培训等。图 1-23 所示为具有我国自主知识产权的新州 60 飞行模拟器。在人机与环境系统设计研制阶段，为了充分发现问题，还有一种界于原理样机和实际样机之间的工程模拟器。图 1-24 所示为 Boeing 747 工程模拟器，通过仿真飞行来研究飞行员在多任务情况下的人机工效，并对座舱布局或系统设计提出改善意见。

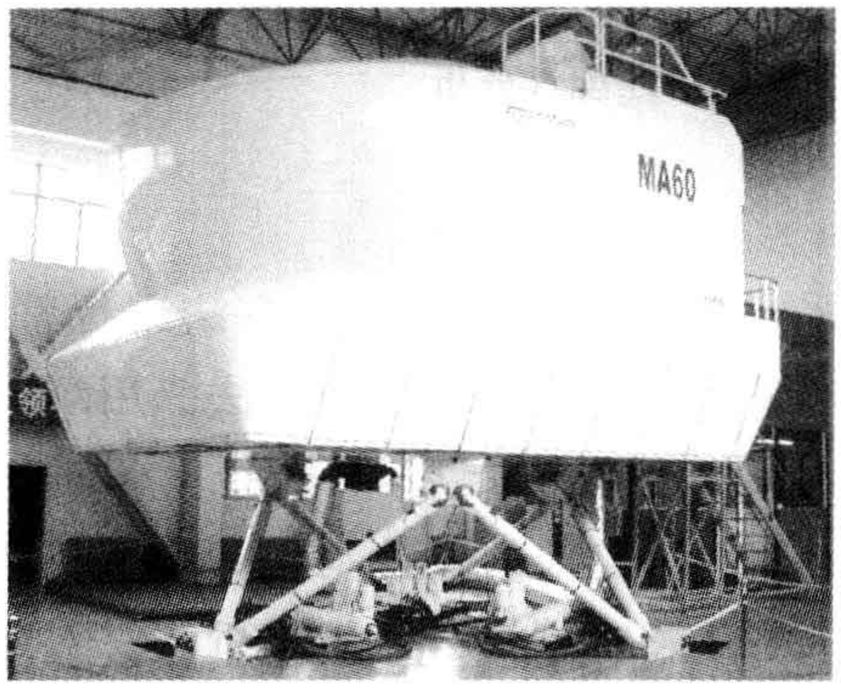


图 1-23　新舟 60 全任务飞行模拟器

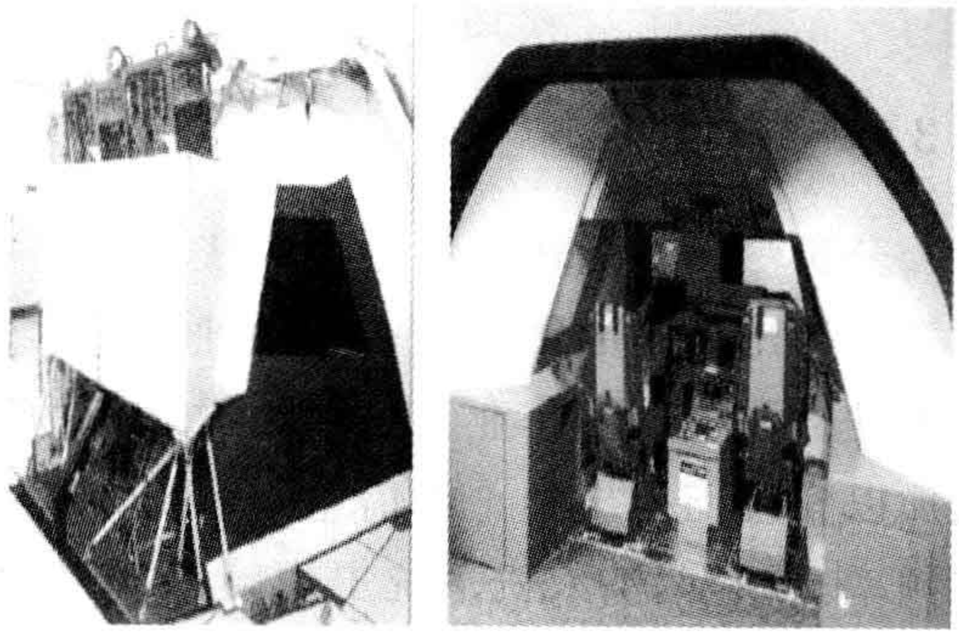


图 1-24　Boeing 747 工程模拟器

1.3.5 计算机数值仿真法

数值仿真是通过对人机系统的数学建模，在计算机上对数学模型进行仿真性实验研究。人机系统中人的模型和机的模型分别属于不同内涵的数学模型，因此要分别采用不同的数学方法构建人机模型后再将其集成来综合考虑人机工效。以飞机座舱布局为例，驾驶舱模型包括座舱、座椅、操纵控制装置和仪表板等。这类以几何图形构成的，为了提高数学建模的效率以及为了方便对构建的人机系统进行改进或改造，常利用各种图形软件直接绘制三维人机系统。人的模型除了要正确反映人的三维形象外，还要能反映人的运动特性和生理特性等，这需要通过引入运动学方程、动力学方程及有关的生物力学方程后才能反映人的上述特性。图 1-25 所示是采用计算机仿真法分析航天员从返回舱出舱和人机显示界面布局的匹配性分析。

计算机数值仿真法在一些地面环境条件无法再现或危险作业的分析中作用巨大，例如太空失重环境下的航天员舱外活动仿真，车辆碰撞或弹射救生过程中人体颈椎或腰椎受力分析。采用计算机仿真能大大缩短人机系统的设计周期，节省设计费用。

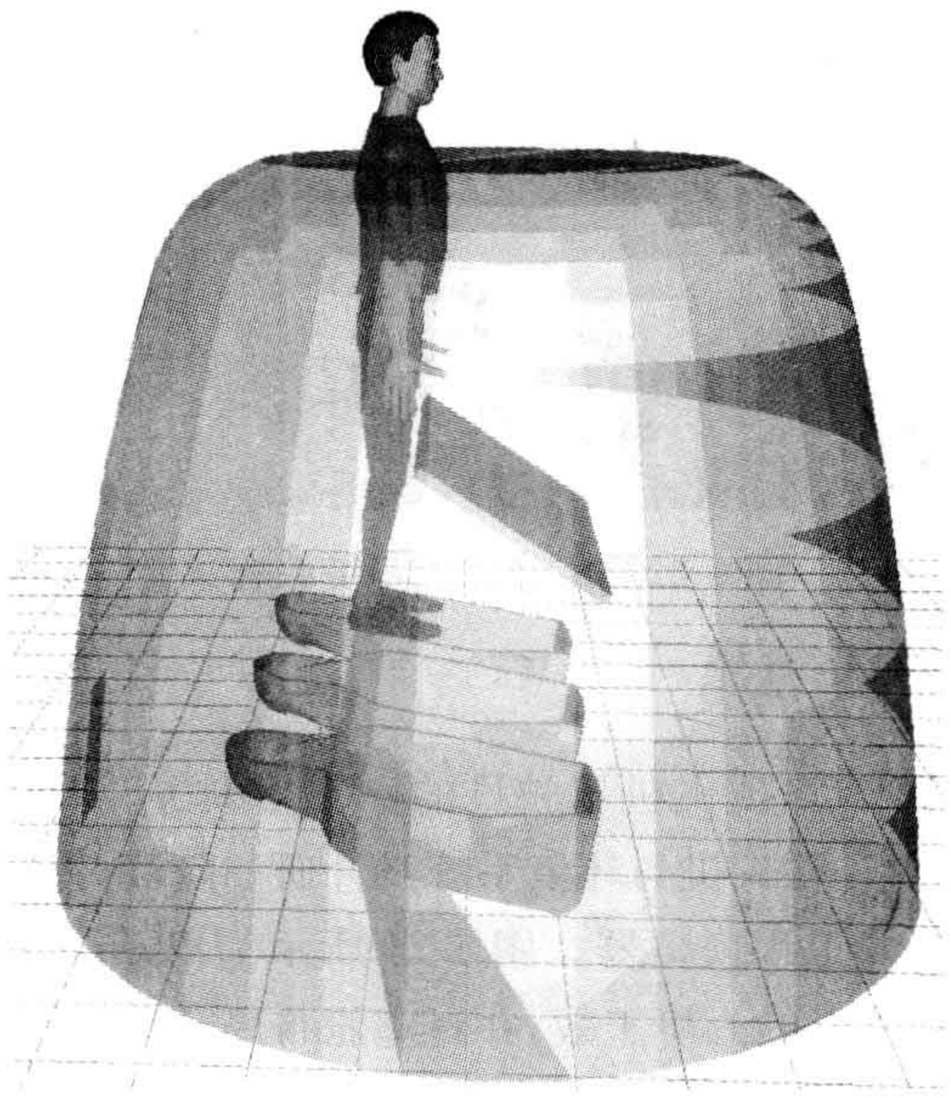


图 1-25 航天员出舱和人机显示界面布局的匹配性分析

1.3.6 分析法

分析法是对上述各种方法中获得的资料和数据采用统计学方法或其他方法进行整理、归类以得出科学的结论或客观的评价等。常用的分析法有：①瞬间操作分析法。用统计学中的随机取样法对作业人员和机械之间的某一间隔时刻的信息测定后，再用统计推理的方法加以整理而得出结论或信息资料。②频率分析法。分别测定人的作业动作频率和机的动作频率，作为调整人机系统工作频率或人的工作负荷的依据。③动作负荷分析法。对作业人员单位时间内工作负荷进行分析，以此推断工作时间内最大和平均工作负荷。④信息认

知分析法。通过显示界面，被人认知的信息将经历感知、知觉、判断、决策和动作反应的各个阶段，动作反应是指将通过决策判断后通过手脚的动作反应转化为对设备系统的操作，而对设备系统的动作又将反馈新的信息给作业人员。通过对整个信息认知过程的分析能正确处理信息流强度和人的认知水平的对应关系。⑤相关分析法。在研究两种以上变量关系时通过相关分析法能确定各变量之间是否存在统计关系，以及如何利用统计关系对变量进行描述和预测，或找出符合规律的变化关系。

1.3.7　调查研究法

调查研究是人机工程应用最广泛的方法。通过建立科学的调查表可获得第一手的设计资料或信息。通过模糊理论对调查结果进行处理可获得可信的设计资料或参数。北京航空航天大学飞机班研究生在进行客舱设计时制定的客舱调查表如表 1-2 所示，采用在首都机场现场调研填表的方式来获得相关信息。

表 1-2　民航旅客客舱调查表

本调查所采集的数据仅用于改进客舱环境，我们将对您的资料严格保密，请如实填写，谢谢！

年龄_____　　性别：□男 □女

1. 您的身高在何范围内？

A. 165 厘米以下　　B. 165～170 厘米　　C. 170～175 厘米　　D. 175～180 厘米　　E. 180 厘米以上

2. 您平均一年乘坐_____次飞机？

A. 3 次以下　　B. 3～6 次　　C. 6～9 次　　D. 9～12 次

E. 12 次以上(_____次/月)

您平均每次的乘坐时间为_____？

A. 2 小时以下　　B. 2～3 小时　　C. 3～5 小时　　D. 5 小时以上

3. 您经常乘坐飞机的机型：

A. 波音公司　　B. 空客公司

□777 □767 □757 □747 □737　　□A319/320/321 □A310 □A300 □A330 □A340

4. 您经常乘坐飞机所选择的座舱等级：

A. 经济舱　　B. 公务舱　　C. 头等舱

注：以下问题以您经常乘坐的机型为准。

5. 您经常携带的行李(需存放在行李箱中)尺寸为：("长"尺寸＞"宽"尺寸＞"高"尺寸)

长：A. 20 厘米以下　B. 21～40 厘米　C. 41～60 厘米　D. 61 厘米以上

宽：A. 20 厘米以下　B. 21～30 厘米　C. 31～40 厘米　D. 41 厘米以上

高：A. 10 厘米以下　B. 11～20 厘米　C. 21～30 厘米　D. 31 厘米以上

6. 您认为现有行李架是否存在如下问题？(可多选)

A. 底端距地面距离小，进出不便　　B. 坐姿时距头顶距离小，感觉压抑　　C. 取放行李(过高、过低)

7. 您认为行李箱现有设计是否存在如下问题？(可多选)(请注明针对何航空公司和机型)

A. 操作　　B. 行李架高度不适合 □高 □低(针对打开行李箱情况)

C. 不能完全打开行李箱　　D. 行李箱尺寸：□过长 □过高 □过深

□过短 □过低 □过浅

8. 如果增加适当费用，可获得单独的行李箱，您是否采用？

A. 不需要　　B. 费用在_____范围内可接受

□20 元以下

□20～40 元

□40～60 元

□60～__元

9. 您经常乘坐的座椅是否具有调节角度功能？您是否经常使用该功能？

A. 不具有　　B. 具有，但是受到座椅间距的限制

C. 具有，但一般不需要调节座椅角　　D. 具有，能良好地发挥其功能

10. 您在乘坐过程中会经常用到何种功能？（可多选）

A. 电视等娱乐功能　　B. 餐桌　　C. 呼叫器　　D. 阅读灯　　E 靠枕、毯子

11. 如果将座椅设计成无头部靠枕的型式，您是否会接受？

A. 不接受　　B. 在旅行时间小于 2 小时时接受　　C. 在旅行时间为 2～3 小时时接受

D. 在旅行小时为 3～5 小时时接受　　E. 均接受，如果费用有所不同

12. 您乘坐时间达到_____小时会感觉不舒适？

A. 2 小时　　B. 3 小时　　C. 大于 3 小时（_____小时）

13. 您更愿意坐在客舱的何种位置？（从“愿意到不愿意”排序）_____

A. 窗旁　　B. 过道旁　　C. 中间位置（三座椅）

14. 乘坐的机型（用“√”表示）中，您认为空间感最佳的是_____（用“√√”表示）

A. 波音公司　　B. 空客公司

□777 □767 □757 □747 □737　　□A319/320/321 □A310 □A300 □A330 □A340

15. 您对现有座舱内部空调、压力等舱内环境是否感到满意？（可多选）

A. 满意　　B. 不满意，有明显吹风感或温度分布不均（空调吹风口设在_____位置）

C. 不满意，舱内压力低，明显感觉不舒服　　D. 不满意，感觉干燥

16. 您在选择航班时考虑的因素（由“主”到“次”排序）：

A. 航空公司　　B. 时间　　C. 经济　　D. 航线限制

17. 您是否关注过飞机上的逃生装置？

A. 从不　　B. 每次　　C. 偶尔

关注点：（可多选）

A. 逃生门位置　　B. 逃生门数量　　C. 应急逃生灯、指示　　D. 逃生指导手册　　E 逃生通道

您较喜欢何种逃生辅助教学方法？

A. 服务人员逃生示范　　B. 逃生录像　　C. 逃生指导手册

18. 在您的经历中，是否遇到过紧急情况？机上采取了什么应急措施？

A. 无　　B. 起落架不能正常放下

C. 外界天气状况恶劣　　D. 降落时重新起飞

采取的应急措施：_____

19. 您更倾向于乘坐哪家航空公司的飞机？

A. 中国国际航空公司（国航）　　B. 海南航空公司　　C. 东方航空公司　　D. 南方航空公司

E. 上海航空公司　　F. 深圳航空公司　　G. 厦门航空公司

20. 您更倾向于乘坐何种机型的飞机？请说明原因。

A. 波音公司　　B. 空客公司

□777 □767 □757 □747 □737　　□A319/320/321 □A310 □A300 □A330 □A340

原因：_____

21. 您对乘客舱还有何需求？哪些方面需要改进？并请具体描述希望如何改进。例如，行李架、座椅设计、间距和室内环境控制系统等。_____

1.4 人机界面技术的小结

随着人机界面在自动化技术、人工智能技术、计算机技术、网络技术、图形技术、多媒体技术以及新型输入输出设备方面的迅速发展，今后的人机界面将具有一些新的特点。

(1) 人与机器(包括计算机)的交互操作变得更接近于同现实世界的交互操作，为减轻人在交互作用上的认识负担和更多地利用人从演化和经历中获得的自然技能提供了新的可能性。

(2) 人机界面将越来越多地具有多模态高宽带的特点。更多人的感受表达模态将被用于和机器(包括计算机)的信息交流，甚至可以设想把人的神经细胞的直接触发和测取作为交互的通道，与此同时输入输出设备之间的区别将变得越来越不明显。

(3) 网络技术尤其是 Internet 的普及使今后的计算机用户具有更多的群体特点，从而对适应人的群体社会化组织和行为规律的群体用户界面将会有大的需求。

人机界面设计下一代方法是交互的集成方法。它将大量地使用语音、自然语言、高级图形和虚拟技术，也可用其他交互媒体，如眼的动作和手势、姿态等，还可用三维图像生动地引导解释交互和任务。

总之，未来的人机界面设计对研究和设计者提出了多方面的挑战。许多信息技术领域的公司企业，这些年纷纷对与用户界面开发有关的专业人员提出要求，很多大学适应这种要求，设立了相关的课题甚至专业。

习题与思考题

1-1 查阅资料后详细论述人机界面(交互)技术的发展过程与发展趋势。

1-2 调查你最熟悉的某种信息产品(如互联网、手机、电视等)，从人机界面(交互)角度提出问题及改进意见。

1-3 论述人机界面技术中对人的认知机理研究的重要性。

第 2 章　人机界面中人的感觉特性

感觉，即客观事物的个别特性作用于人的感官时在人脑中引起的直接反应。感觉是最简单的心理过程，是形成各种复杂心理的基础，同时也是人机界面研究的源泉和起始点。从人机交互角度关心的人的特性主要有生理特性、心理特性以及与此有关的信息输入、处理、输出特性等。

2.1　人的基本感觉特性

人对客观事物的认识是从感觉开始的，它是最简单的认识形式。例如当菠萝作用于人们的感觉器官时，通过视觉可以反映它的颜色，通过味觉可以反映它的酸甜味，通过嗅觉可以反映它的清香气味，同时通过触觉可以反映它的粗糙的凸起。人类是通过对客观事物的各种感觉认识到事物的各种属性。感觉器官是脑的工具，脑是借助于感觉器来反映外部世界的。

感觉不仅反映客观事物的个别属性，而且也反映身体各部分的运动和状态。例如，人们可以感觉到双手在举起，感觉到身体的倾斜，以及感觉到肠胃的剧烈收缩等。

感觉虽然是一种极简单的心理过程，可是它在生活实践中具有重要的意义。有了感觉，可以分辨外界各种事物的属性，因此才能分辨颜色、声音、软硬、粗细、重量、温度、味道、气味等；有了感觉，才能了解自身各部分的位置、运动、姿势、饥饿、心跳；有了感觉，才能进行其他复杂的认识过程。失去感觉就不能分辨客观事物的属性和自身状态。因此，感觉是各种复杂的心理过程（如知觉、记忆、思维）的基础，就这个意义来说，感觉是人关于世界的一切知识的源泉。

2.1.1　感觉的分类

一般把感觉分成两大类。

第一类是外部感觉，有视觉、听觉、嗅觉、味觉和肤觉五种。这类感觉的感受器位于身体表面，或接近身体表面的地方。

（1）视觉。人类可以看得到从 0.77～0.39 μm 的波长之间的电磁波。

（2）听觉。人类能听到物体振动所发出的 20～20 000 Hz 的声波，可以分辨出声音的音调（高低）、音强（大小）和音色（波形特点），通过音色可以分辨出哪是火车的声音，哪是汽车的声音，能够分辨出熟人的说话声甚至走路声，还可以确定声源的位置、距离和移动。

（3）嗅觉。嗅觉是挥发性物质的分子作用于嗅觉器官的结果。通过嗅觉我们也可以分辨物体。

（4）味觉。味觉是溶于水的物质作用于味觉器官（舌）产生的。味觉有甜、酸、咸、苦等不同的性质。

(5) 肤觉。肤觉也称触觉，是具有机械的和温度的特性物体作用于肤觉器官引起的感觉，分为痛、温、冷、触(压)四种基本感觉。

第二类感觉是反映机体本身各部分运动或内部器官发生的变化，这类感觉的感觉器位于各有关组织的深处(如肌肉)或内部器官的表面(如胃壁、呼吸道)。这类感觉有运动觉、平衡觉和机体觉。

(1) 运动觉。运动觉反映我们四肢的位置、运动以及肌肉收缩的程度，运动觉的感受器是肌肉、筋腱和关节表面上的感觉神经末梢。

(2) 平衡觉。平衡觉反映头部位置和身体平衡状态的感觉。平衡觉感受器位于内耳的半规管和前庭。

(3) 机体觉。机体觉反映机体内部状态和各种器官的状态。它的感受器多半位于内部器官，分布在食道、胃肠、肺、血管以及其他器官。

2.1.2　感觉现象

1. 感觉后象

当刺激对感官的作用停止以后，对刺激的感觉并没有立即停止，而是继续维持一段很短的时间，这种现象叫感觉后象。

2. 感觉适应

当刺激持续地作用于人的感官时，人对刺激的感觉能力会发生变化，这种现象叫感觉适应。感觉适应在视觉和嗅觉中最为明显。

3. 感觉对比

当同一感官受到不同刺激的作用时，其感觉会发生变化，这种现象叫感觉对比。

2.1.3　感觉与知觉的对比

感觉：脑对直接作用于感觉器官的客观事物个别属性的反映。

知觉：脑对直接作用于感觉器官的客观事物整体属性的反映。

两者的区别如下。

(1) 产生的来源不同。感觉是介于心理和生理之间的活动，它的产生主要来源于感觉器官的生理活动以及客观刺激的物理特性。知觉是在感觉的基础上对客观事物的各种属性进行综合和解释的心理活动过程，表现出了人的知识经验和主观因素的参与。

(2) 反映的具体内容不同。感觉是人脑的客观事物的个别属性的反映，知觉则是对客观事物的各个属性的综合整体的反映。

(3) 生理机制不同。感觉是单一分析器活动的结果，知觉是多种分析器协同活动对复杂刺激物或刺激物之间的关系进行分析综合的结果。

两者的联系如下。

(1) 感觉是知觉产生的基础。感觉是知觉的有机组成部分，是知觉产生的基本条件，没有对客观事物个别属性反映的感觉，就不可能有反映客观事物整体的知觉。

(2) 知觉是感觉的深入与发展。一般来说，若能对某客观事物或现象感觉到的个别属性越丰富、越完善，那么对该事物的知觉就越完整、越准确。

(3) 知觉是高于感觉的心理活动，但并非是感觉的简单相加之总和，它是在个体知识经

验的参与下，以及个体心理特征（如需要、动机、兴趣、情绪状态等）影响下产生的。

2.2 神经系统与感觉

2.2.1 神经系统的组成及其功能

神经系统由包括脑和脊髓的中枢神经以及遍布全身各处的周围神经所组成。神经系统是人体的主导系统，全身各器官、系统均在神经系统的统一控制和调节下，互相影响、互相协调，保证人体的统一及其与外界环境的相对平衡。在此过程中，首先是借助于感受器接受体内外环境的各种信息，通过脑和脊髓各级中枢的整合，最后经周围神经控制和调节各个系统的活动，从而使机体能够对多变的外环境做出反应，同时也调节着机体内环境的平衡。

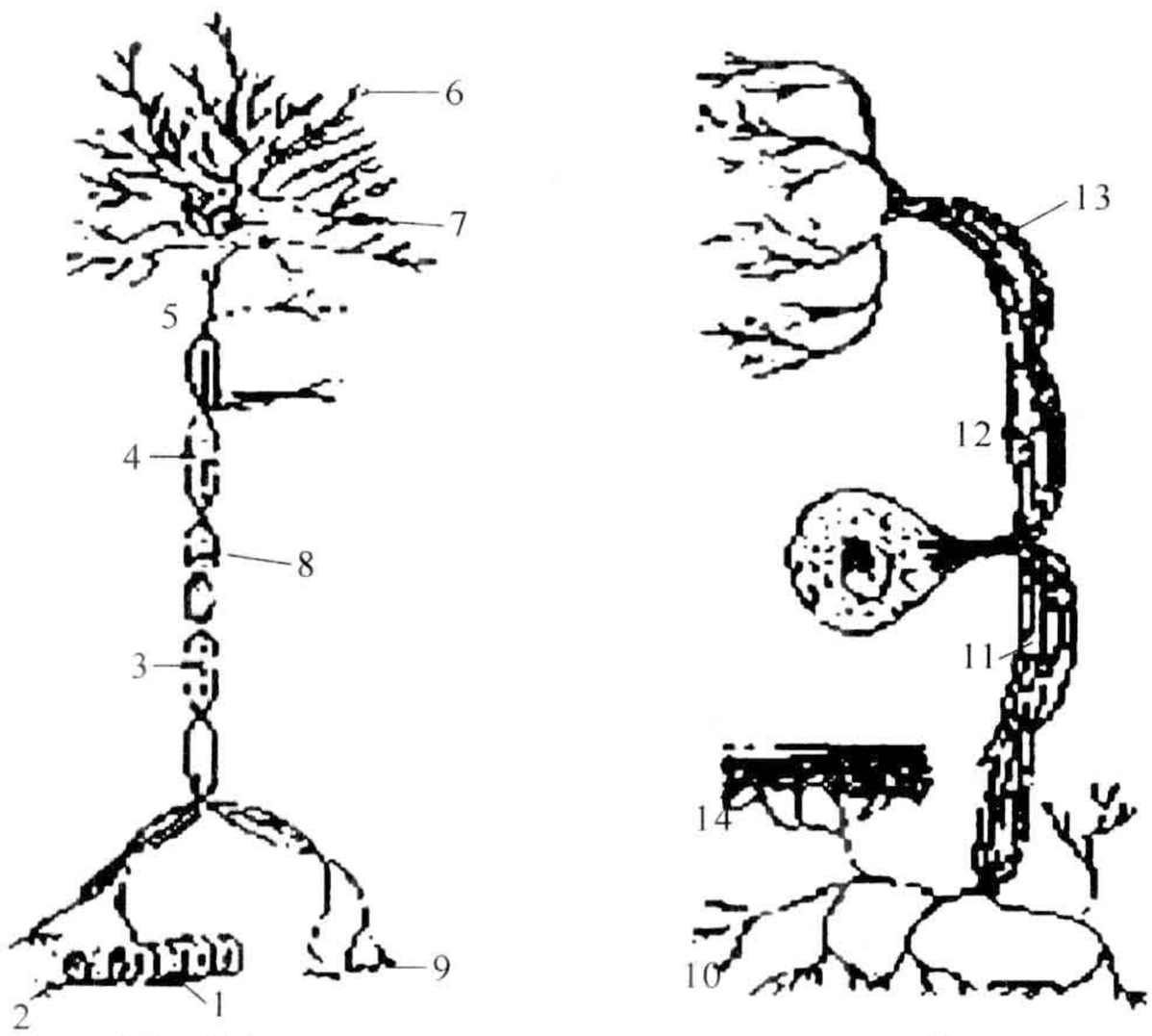
从心理学角度看，人的一切心理和意识活动也是通过神经系统的活动实现的，因此，神经系统也是心理现象的物质基础。

2.2.2 神经组织

人的神经组织主要由神经元和神经胶质细胞组成。神经元也称神经细胞，是神经系统的结构、功能和营养的基本单位，具有感受体内外刺激、整合信息和传导信息的功能。神经胶质细胞分布在神经元周围，构成网状支架，对神经元起支持、绝缘、营养、防御等作用。

1. 神经元

一个神经元由三个部分组成：一是包含有细胞核的细胞体，它是神经元代谢和营养的中心；二是由细胞体向外伸出的呈树枝状的短突部分，称为树突；三是由细胞体向外伸出的一条细长的单突，称为轴突，如图 2-1 所示。



(a)运动神经元　　(b)感觉神经元

1—运动终板；2—骨骼肌纤维；3、12—施旺氏细胞；4、11—髓鞘；5、13—轴突；6—树突；7—核仁；8、14—神经膜；9、10—神经末梢

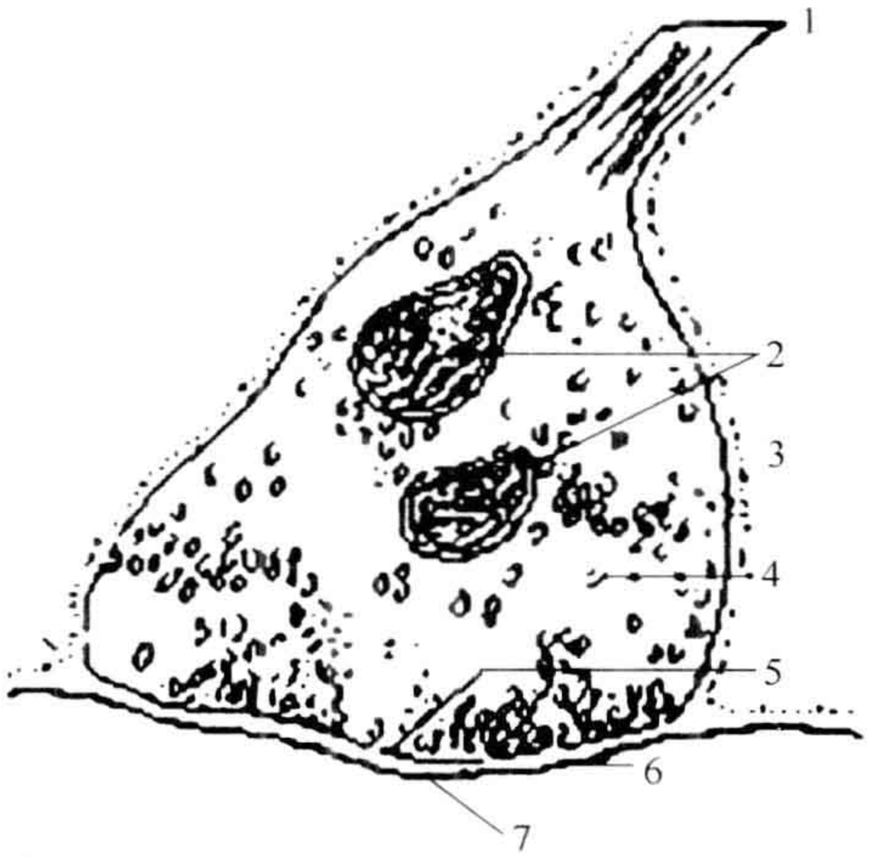
图 2-1　神经元模型

轴突的长短随神经元类型不同而不同，短的轴突仅数十微米，长的可达 1 m 以上。轴突外被髓鞘及施旺氏细胞包围组成神经纤维。神经纤维的末端有许多分枝，称为神经末梢。神经元的树突接受由其他神经元传来的信息，经细胞体整合后再由轴突将信息传递给另一神经元或机细胞和腺细胞，从而在整个机体内形成传递信息的神经元链。刺激沿神经纤维的传递速度和轴突髓鞘的厚度有关。髓鞘厚时，速度可达 120 m/s；髓鞘很薄，则可低至0.6 m/s。传递速度还与神经元之间的间隙数目有关，因为突触间隙对刺激传递有微弱的障碍作用。

2. 突触

神经系统的机能活动依赖于众多神经元之间的密切联系，而神经元之间的联系是彼此接触，突触即为神经元之间发生接触并进行信息传递的特殊连接装置。神经元之间通过突触形成密如蛛网般的联系，构成一个庞大的复杂的神经网络系统，从而使神经冲动有效地在神经系统内传导。

突触由突触前膜、突触间膜和突触后膜三部分组成，如图 2-2 所示。轴突末梢的每个分支末端都有一个膨大成球状的突触小体。突触小体内含有大量的直径约为 50 μm 的突触小泡，贮存着高浓度的化学递质（神经递质）。突触小体的细胞膜称为突触前膜，与突触前膜对应的另一神经元的细胞膜称为突触后膜，两膜之间的空隙则称为突触间隙，宽为 15～30 nm。由于突触前、后神经元之间有突触间隙相隔，并无原生质联系，因此信息的传递是通过化学递质转变为电位变化而完成的。当神经冲动传至突触前膜时，突触小泡即向前膜移动并附贴于前膜形成破裂口，此时，大量的化学递质被释放到突触间隙并扩散至突触后膜，产生突触后电位。通过突触后电位的作用，使神经冲动由突触前膜单向地传向突触后膜，引起突触后神经元兴奋或抑制。正是由于突触传递的单向性，才保证了信息有效地传向中枢和大脑。



1—轴突分枝；2—线粒体；3—神经胶质膜；4—突触小泡；
5—突触前膜；6—突触间隙；7—突触后膜

图 2-2　突触结构模式

2.2.3 中枢神经系统

1. 脊髓

脊髓是中枢神经系统的最低级部位，位于脊柱的脊椎管内，其上端进入颅腔扩展成为大脑的一部分——延髓。脊髓的功能有两个方面：一是传导功能，来自躯干、四肢和大部分内脏的各种刺激通过脊髓传导至脑，而脑的活动又通过脊髓传导至躯体和内脏，脊髓是脊神经与脑之间的神经传导通路；二是反射功能，脊髓可以完成一些简单的躯体反射和内脏反射，如腱反射、屈肌反射和行走反射等。

2. 脑

脑是中枢神经的高级部位，位于颅腔内，由大脑半球、间脑、中脑、脑桥、延髓和小脑六部分组成。通常把中脑、脑桥和延髓合称为脑干，有时也将间脑列入脑干。脑干参与传导上、下行神经冲动，是大脑半球与脊髓之间的联络通路。

（1）延髓。它为脊髓的延续，它不仅是食物反射（如唾液分泌、咀嚼、吞咽等）和某些防御反射（喷嚏、咳嗽、呕吐等）的中枢，而且是呼吸和循环系统的反射性自动调节中枢，故有“生命中枢”之称。大部分由脊髓上行的和由脑下行的神经纤维在延髓交叉，以致形成左、右大脑半球分别控制对侧躯体的状况。

（2）脑桥。它位于延髓上方、小脑腹侧，是联系小脑两半球上、下行神经纤维的桥梁。脑桥参与或完成头面部肌肉（如眼外直肌、咀嚼肌、表情肌）的运动以及某些感觉（面部肤觉、味觉、平衡觉和听觉）的形成。

（3）中脑。它位于脑桥上方，是视、听运动的反射中枢。中脑的反射机能对于机体的定向反射具有重要意义。

位于延髓、脑桥和中脑中央部位的一个广泛区域称为脑干网状结构，由各种来源的神经纤维交织而成的网络及散布其中的神经细胞、核团构成。该结构存在两个相互对立的调节系统——激活系统和抑制系统。激活系统不断接受来自体内外的各种刺激并经丘脑广泛地传至大脑皮质，引起大脑皮质处于醒觉状态。抑制系统则引起大脑皮质活动水平的降低。两系统的协调活动使大脑皮质维持正常功能。脑干网状结构也调节内脏活动和躯体运动。

（4）间脑。间脑位于脑干上方，由丘脑和下丘脑组成。丘脑是大脑皮质下的低级感觉中枢。除嗅觉外，身体各部分的感觉冲动均传至丘脑，经丘脑更换神经元后传向大脑各高级感觉中枢，引起特定的感觉，故丘脑为各种感觉的中继站。下丘脑是调节内脏活动和内分泌活动的较高级中枢，同时也参与某些情绪反应活动及昼夜周期性变化活动等。

（5）小脑。小脑位于颅后窝内，在延髓和脑桥的背侧、大脑的后下方。小脑的主要机能是维持身体的平衡，调节与校正肌肉的紧张度和协调肌肉的运动。

（6）大脑半球。大脑半球位于中枢神经系统的最高部位，被一条纵裂分为左、右两个半球，两半球之间通过联合神经纤维——胼胝体连合与沟通。大脑表面有许多深浅不一的皱褶，皱褶凹陷部位称为沟或裂，隆起部位称为回。三条主要的沟裂将大脑分为额叶、顶叶、颞叶、枕叶等4叶。半球表面被覆2～5 mm厚的灰质细胞层，称为大脑皮质。皮质的深部为髓质，亦称白质，有联系左、右大脑半球和同侧半球各区域以及皮质与低级中枢的机能。靠近大脑半球底部埋藏于白质之中的灰质核团称为基底神经节，亦称大脑核，是调节肌肉紧张度

和保证机体完成复杂活动时使肌肉协同活动的神经细胞集团，是大脑皮质下的运动中枢。

大脑皮质是统一机体的最高神经中枢。人的大脑皮质大约含有 140 亿个神经细胞，在垂直切面上大致分六层排列。皮质浅部的 1～4 层为最重要的细胞层，其主要机能是对进入皮质的各种冲动进行复杂精细的分析、综合，并作出反应。皮层深部的 5～6 层则主要是接受并传递来自 1～4 层的信息。正是由于大脑皮质含有极大量的神经元以及它们相互联系的广泛性和复杂性，才使得大脑皮质具有了完善的分析、综合能力，成为人类思维和语言的物质基础。

大脑皮质的各个不同区域在功能上具有不同的分工（如感觉区和运动区），但皮质各区域在这种功能上的分工又不是绝对的，一个区域只是执行某一种功能的核心部位，皮质的其他区域也分散有类似的功能。如皮质的中央前回（第 4、6 区）主管全身骨骼肌的运动，称为运动中枢，但该区域也接受部分的感觉冲动。而中央后回（第 2、3、1 区）则主管全身的感觉，称为感觉中枢，但刺激该区域也可产生少量的运动。中枢损伤的人依靠皮质其他功能区域的代偿，不会完全丧失该中枢所管理的功能。

1909 年，K. 布罗德曼（K. Brodmann）根据皮质不同部位的组织结构特点不同、功能不同，将大脑皮质分为 52 区，并注上阿拉伯数字号码，成为至今仍有权威意义的细胞构筑图或脑地图。1950 年，加拿大的潘菲尔德（Penfield）也绘制出了相当精确的皮质第 1 躯体感觉区和运动区的定位图，如图 2-3 所示。该图所显示的是沿中央沟纵切的切面部位。由于控制身体某部的大脑皮质与被控制部位的实际大小不成比例，因此，图中用两个变形的人体表示皮质部位与身体解剖各对应部位的关系。

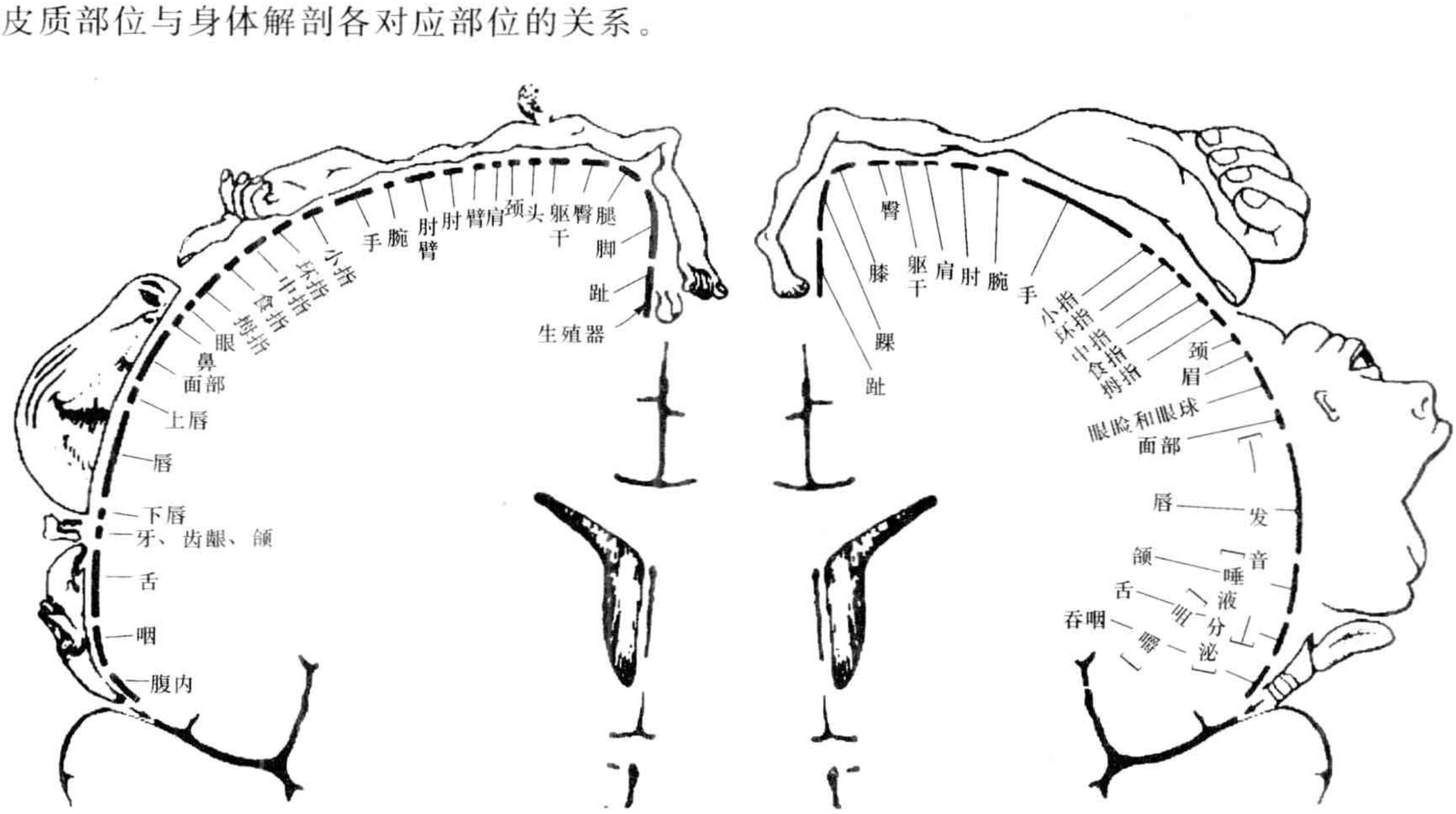


图 2-3　大脑皮质活动区和感觉区的定位图

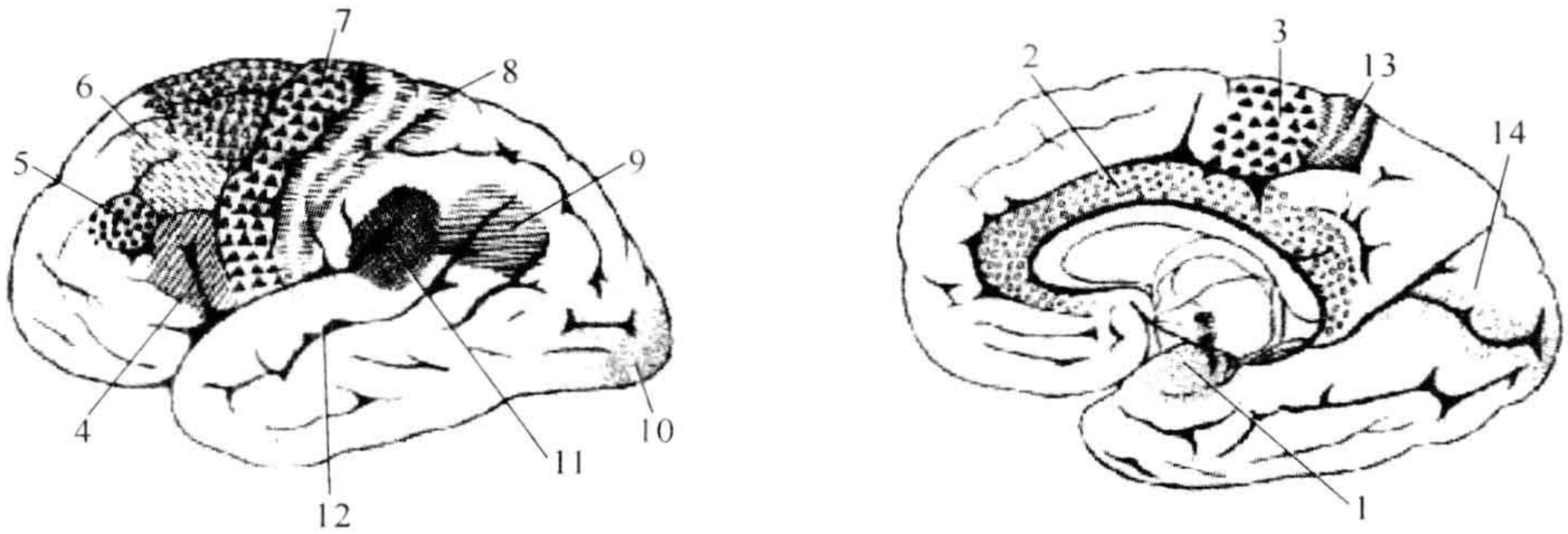
第 1 躯体运动中枢也称大脑皮质运动区，位于中央前回第 4、6 区。每个半球的大脑皮质运动中枢控制对侧躯体的运动（控制头面部的运动是双侧的），且具有精细的定位，即一定

的区域支配一定部位肌肉的运动。具体地说，中央前回的下部支配头面部肌肉的运动；中央前回的中部支配上肢和躯干肌肉的运动；中央前回的上部则支配下肢肌肉的运动，从而使身体各部位在皮质运动中枢的投影呈一倒置的人形（头面部在其内部排列呈正立）。同时身体各部位在皮质运动中枢的投影的大小与该部位所从事的运动的精细复杂程度有关，如在人体上尽管口和手比下肢要小得多，但由于口和手是从事精细运动的部位，所以它们在运动中枢的投影特别大。

第 1 躯体感觉中枢也称大脑皮质感觉区，位于中央后回和中央旁小叶的后部，包括第 3、1、2 区。它是皮肤的触、压、冷、温、痛等感觉的高级中枢，也是躯体动觉和平衡觉的中枢。人体各部位在大脑皮质感觉中枢的投影与其在运动中枢的投影具有类似的特点。

在大脑皮质中，除上述运动中枢和感觉中枢外，还有距状裂两侧的视觉中枢（第 17 区）、颞上回和颞横回的听觉中枢（第 41、42 区）、海马旁回沟附近的嗅觉中枢等。

如图 2-4 所示，在大脑皮质中除上述区域以外的广大区域为机能联合区。联合区具有高度的整合能力。人的语言、记忆、抽象思维、运筹计划等复杂心理活动和动机行为均与联合区的机能有关。



(a) 大脑半球背外侧面　　(b) 大脑半球内侧面

1—嗅觉中枢；2—内脏调节中枢；3、7—运动中枢；4—运动性语言中枢；5—眼球协调运动中枢；6—书写中枢；8、13—感觉中枢；9—视性语言；中枢10、14—视觉中枢；11—听性语言中枢；12—听觉中枢

图 2-4　大脑皮质中枢

人的语言功能区包括视性语言中枢（第 39 区）、听性语言中枢（第 22 区）、运动性语言中枢（第 44 区）以及位于额中回后部的书写中枢，它们均位于大脑皮质的机能联合区。这 4 个语言中枢是构成人类特有的第二信号系统的生理基础。

2.2.4　周围神经系统

周围神经系统由脑和脊髓发出，其末梢分布于身体各器官和组织的神经系统。它包括脊神经、脑神经和植物性神经。周围神经的功能有两个方面：一是接受来自体内外的各种刺激并将其传导至中枢神经；二是传递由中枢神经发出的指令并完成运动反应。

2.3　眼睛与视觉系统

在工作和生活中，作为主体的人总是通过五官从周围环境中获取信息，并根据这些信息

来指导自己的行动。其中视觉最为重要，约占获取信息的 80%。由于视觉的重要性，有关视觉与眼动系统的研究始终是科学界关注的问题之一，其中有关人眼的定位机制早就引起了神经病学家、眼科学家、生理学家、解剖学家以及工程师们的极大兴趣。特别是近年来，世界各国对视觉与眼动系统的研究越来越多，如 NASA、哈佛、麻省理工、剑桥、牛津、日本东京工业大学等著名科研机构或大学都设有专门的视觉—眼动系统研究部门。因此，如何发挥各渠道信息交换能力，特别是研究利用视觉信息，是促进人机工效学发展的十分重要的课题。以下将从人机工效学的角度对视觉系统进行探讨。

2.3.1　眼的基本构造

人的眼睛是光的接受器官，视觉(Visual Sense)是由眼球、视觉神经和视觉中枢的共同活动来完成的，其结构如图 2-5 所示。

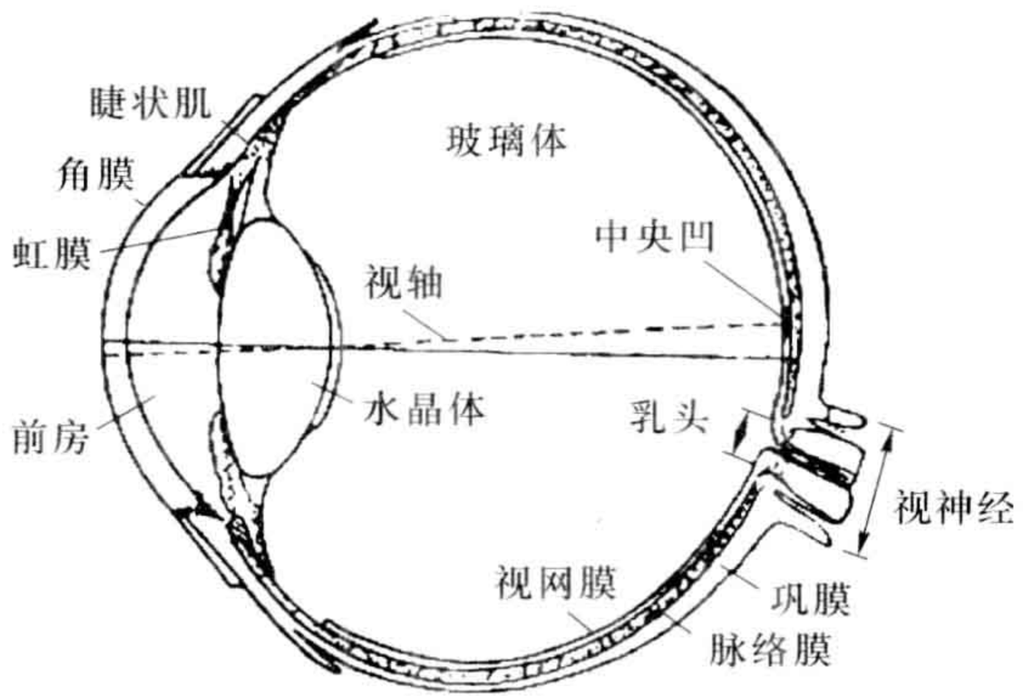


图 2-5　眼的基本构造

人的眼睛像一个小型的照相机。光线经过瞳孔投射到厚度约为 0.4 mm 的视网膜上，与光的强度能产生 100 万倍变化相比，眼的瞳孔面积只能产生 20 倍左右的变化。为了与这种惊异的变化相对应，在视网膜上有两种类型的感光细胞，按其形状分为锥体细胞和杆体细胞。锥体细胞约有 700 万个，杆体细胞约为 12 000 万个。锥体细胞是明适应条件下的感光器，它对光和色都有反应，而杆体细胞仅对亮度起作用。当亮度等于或大于 3 cd/m^2 时，只有锥体细胞起作用；而当亮度小于 0.000 3 cd/m^2 时，锥体细胞的作用完全停止；当亮度为 0.000 3～1 cd/m^2 时，两种细胞共同起作用。

在视网膜中心锥体细胞的密度最大处形成一个椭圆形斑点，称为黄斑。黄斑具有最高的分辨细微物体的能力和色觉能力。人在注视物体时，会本能地转动眼睛，其目的就在于使物像落在黄斑上，以便于识别。在黄斑的中心部位视网膜最薄，形成一个直径约为 0.4 mm 的凹窝，大约为 1.3°，称中央窝，感光细胞的平均密度达到了每平方毫米 15 万个。离窝中心越远，锥体细胞密度越小。在离窝中心 0.5°～1°的地方开始出现杆体细胞。大约在离窝中心 20°的地方，杆体细胞密度增至最大，每平方毫米约有 16 万个，而锥体细胞密度减到最小，每平方毫米约有 0.5 万个。在鼻侧离窝中心 15°的地方是视网膜的视神经入口处，没有感光细胞，这个区域称为盲点。盲点的大小在水平方向约为 6°，在垂直方向约为 8°。当两眼看东西时，由于两眼的互补性，盲点并非死角。但单眼看东西时，盲点是完全死角。

2.3.2 最佳视野和最大视野

人机交互技术规定了图 2-6 所示的人的眼球转动、头部转动以及头部和眼睛同时转动等状态下，在垂直和水平面内的最佳视野和最大视野。

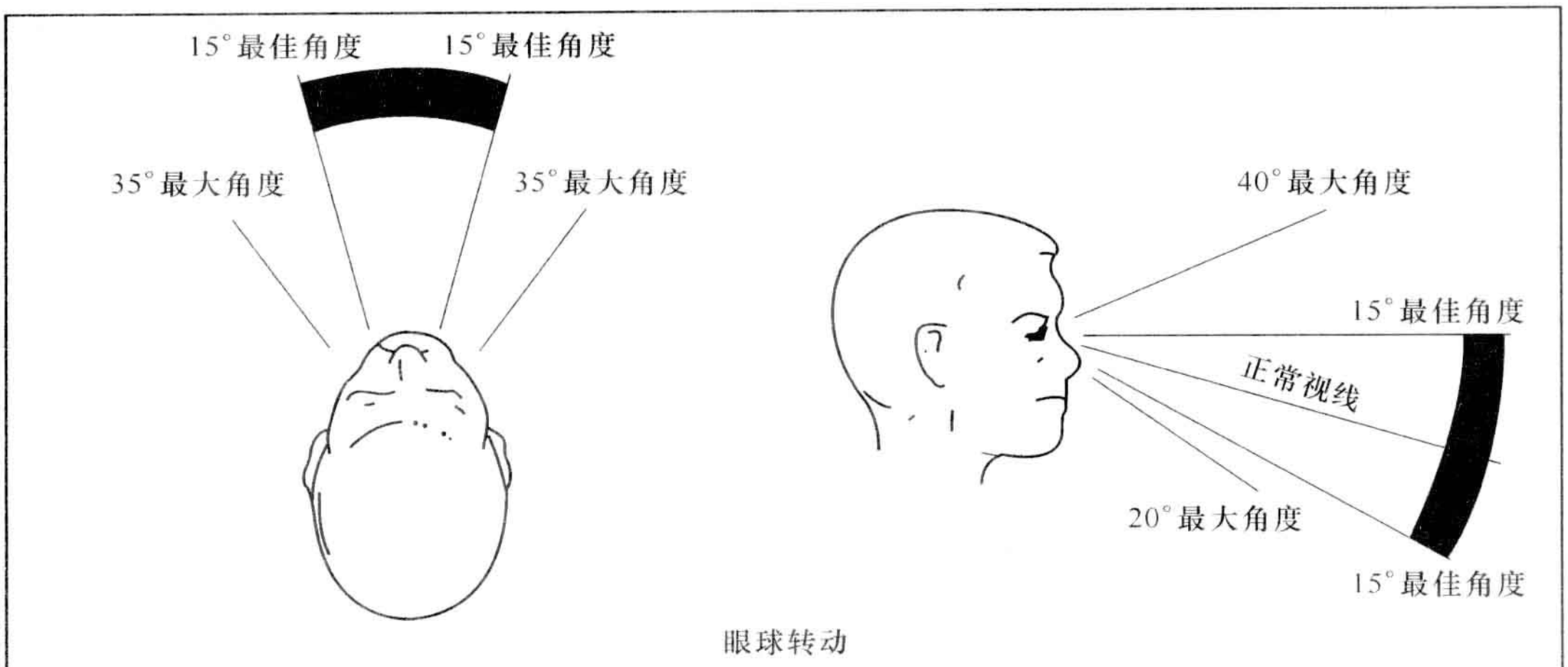


图 2-6 最佳视野和最大视野

视区分布的具体要求如下。

1. 水平方向视区

10°以内为最佳视区，是人们辨别物体最清晰的区域。

30°以内为良好视区，人们需要集中注意力才能正确辨认。

120°以内为最大视区（驾驶员头部不动，只用眼睛扫视），对于处在 120°边缘的物体，人们需要高度集中注意力才能识别。

2. 垂直方向视区

视水平线以下 10°以内为最佳视区。

视水平线向上 10°和向下 30°的范围内为良好视区。

视水平线向上 60°和向下 70°范围内为最大视区。

3. 视觉运动规律

（1）眼睛的水平运动比垂直运动快。即视物时往往先看到水平方向的东西，然后才看到垂直方向的东西。许多机器设计成长方形，就是根据此原理。

（2）视线习惯于从左到右、从上到下的运动。看圆形仪表时，沿顺时针方向比沿逆时针方向看得迅速。

（3）眼睛对水平方向的尺寸比对垂直方向估计得要准确。

（4）当眼睛偏离视中心时，对左上象限的观察力优于右上象限，对右上象限的观察力却优于左下象限，右下象限最差。

（5）两眼运动是协调的、同步的，不可能一只眼转动，另一只眼睛不动；也不可能一只眼睛看，另一只眼睛不看。

（6）直线轮廓比曲线轮廓易于视觉接受。

（7）快速视觉转动时，不易引起视觉注意。

（8）目标连续更换时，人的视觉有时会出现失真现象。例如，观看曲线的时间久了，转换成直线时，会把直线看成曲线。

（9）识别信息的细节，要靠视力中心。视力边缘只能识别大致情况。

（10）对于运动目标，只有当运动的角速度大于 1～2(′)/s 时，才能辨别出它的运动状态。

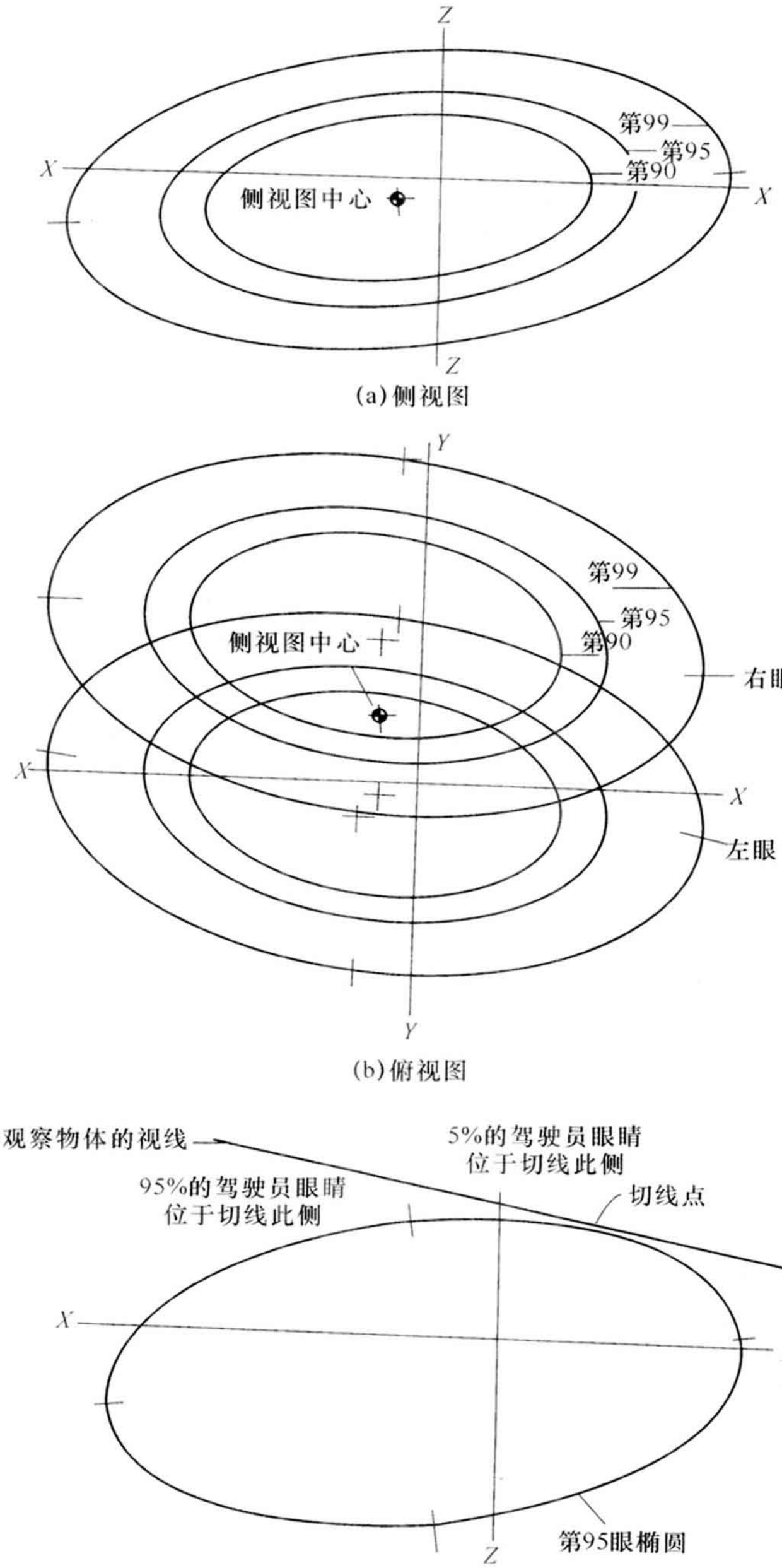
2.3.3　眼椭圆

1. 眼椭圆概念

根据上述视区分布的人机交互技术，要求布置驾驶舱（室）内的显示仪表及各类控制器件时，应考虑满足绝大多数驾驶员的人体尺寸要求和驾驶员坐在驾驶椅上的眼睛位置分布。运用统计的观点和方法研究驾驶员的视点分布规律时发现车辆驾驶员的视点分布图形呈椭圆状，故称为驾驶员眼椭圆。即汽车驾驶员以正常的驾驶姿态坐在座椅上时，它们的眼睛在车身坐标系中的范围不可能是某个固定的点，而是在投影平面内呈椭圆形态分布的曲线。

美国汽车工程师协会（SAE）对各国 2 300 多名男女驾驶员进行试验测定和统计分析后得出了汽车驾驶员眼睛位置在纵向垂直面和水平面上的分布范围都是眼椭圆的结论。SAE 眼椭圆可分为第 90、95、99 等几种百分位的投影图，分别代表一定百分比的驾驶员眼睛位置，如图 2-7 所示。在投影图中绘出一条相切于第 95 百分比位的切线（视线），说明有 95%

驾驶员的眼睛位于切线下侧，而仅有5%的眼睛位于切线的上侧。也就是说，SAE眼椭圆就是代表了驾驶员眼睛的位置的范围，因而它是驾驶舱总布置设计中确定驾驶员视线的依据，对于确定驾驶员的视域有重要的作用。



(a) 侧视图

(b) 俯视图

(c) 95%切线示例

图 2-7　汽车驾驶员眼椭圆

2. 眼椭圆的测定方法

眼椭圆测定是在较大的室内或厅内进行的，眼椭圆测定场地布局如图 2-8 所示。银幕前方一定距离处停放着测定用汽车，银幕中央藏设一架照相机，在汽车驾驶员旁侧与第一架照相机等高度处设置第二架照相机，两架照相机等高且两光轴互相垂直。被测驾驶员在明确了有关测定要求后，将座椅按自己身材调节到舒适位置，以正常驾驶姿态入座。当银幕上映出事先拍摄好的市区街道交通镜头时，驾驶员即如同在此交通情况下行车，此时两架照相机便同步拍摄被测驾驶员眼睛在汽车车身坐标系中位置的照片。由于两照相机的光轴在同一水平面内互相垂直，故可根据照片确定眼睛在车身坐标系中的位置。

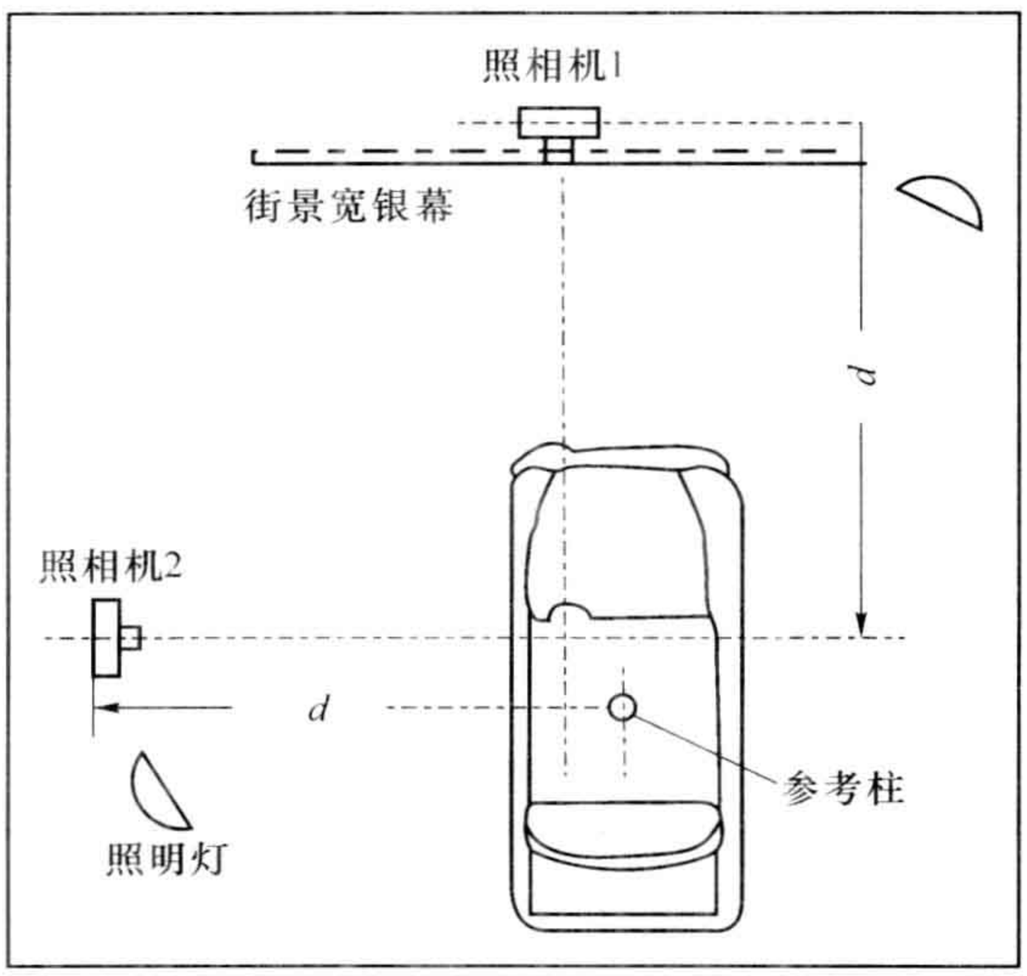


图 2-8　眼椭圆测定场地布局

3. 眼椭圆图形生成

由于眼椭圆是相对于胯点绘出，故在胯点建立坐标系，X 轴正向为水平正前方向；Z 轴正向为垂直向上，根据右手坐标系而定出 Y 轴方向。侧视图眼椭圆在 XOZ 平面内生成，俯视图眼椭圆在 XOY 平面内生成。以俯视图眼椭圆为例，其生成方法简述如下。由于眼椭圆是斜置的且中心不在原点，故各点数据不易得出。为解决此问题，必须先生成一个中心在原点、大小相同的椭圆，其外形各点数据 (X,Y) 由方程 $x^2/a^2+y^2/b^2=1$ 得出。眼椭圆中心离 X、Y、Z 轴的距离及长、短轴 a 和 b 的数值如表 2-1、表 2-2、表 2-3 所示。为使此椭圆变换成确定位置的斜置眼椭圆，只需将椭圆各点乘以两个变换矩阵即可，即

$$[X \quad Y \quad 1]=[X_1 \quad Y_1 \quad 1]\cdot \boldsymbol{R}\cdot \boldsymbol{T} \tag{2.1}$$

式中，$\boldsymbol{R}$ 和 $\boldsymbol{T}$ 为旋转变换矩阵和平移变换矩阵，矩阵中各元素的值根据斜置眼椭圆在坐标系中的位置和方位确定。

表 2-1　眼椭圆中心离 X、Y、Z 轴的距离

H 点水平调节量	X/mm	Z/mm	Y(左眼)/mm	Y(右眼)/mm
102	+1.8	−5.6	−6.4	+58.0
114	−4.6	−6.4	−5.6	+58.9
127	−10.7	−7.1	−5.1	+59.0
140	−17.0	−7.6	−4.3	+59.7
152	−20.3	−8.4	−4.1	+60.2
165	−22.9	−8.4	−4.1	+60.5

表 2-2　眼椭圆长轴

H 点水平调节量	眼椭圆的百分位		
	90%	95%	99%
102	109 mm	147 mm	216 mm
114	122 mm	160 mm	229 mm
27	135 mm	173 mm	241 mm
140	147 mm	185 mm	254 mm
152	155 mm	193 mm	262 mm
165	160 mm	198 mm	267 mm

表 2-3　眼椭圆短轴

轴长度	眼椭圆的百分位		
	90%	95%	99%
正视图上	77 mm	86 mm	122 mm
俯视图上	82 mm	105 mm	149 mm

4. 眼椭圆的使用原则

根据视区分布规律，最重要的、经常观察的显示仪表及控制器要布置在最佳视区；较重要的显示仪表及控制器在最佳视区中已经没有地方安置时，则布置在良好视区；驾驶员不经常，或者偶尔观看的显示仪表及控制器属于重要性较低的一类，在最佳视区已无法放置时，则布置在最大视区。

如果显示仪表及控制器的体积很小，就用其表面的中心点代表它。如果其中心点在良好视区时，就认为该显示仪表及控制器被布置在良好视区；如果显示仪表及控制器表面较大，则必须判定其视表面周缘上各点。由于眼椭圆在俯视图和侧视图上分别绘出，因此需要将显示仪表及控制器判定点投影到俯视图和侧视图上，分别在俯视图和侧视图上进行判定。而俯视图又有左、右椭圆之分，故分别用左、右眼椭圆对仪表在俯视图上的投影点进行判定，取较好的情况作为俯视图判定结果。例如，沿某一视线方向，某显示仪表及控制器判定点的俯视图投影点，根据左眼椭圆判定是在最大视区，而根据右眼椭圆判定是在良好视区，则取其较好者定为良好视区；然后，再将俯视图投影点判定结果与侧视图投影点判定结果进行比

较，取其较差的情况作为该显示仪表及控制器的最后判定结论。上例中，如果该显示仪表及控制器的判定点在侧视图上根据侧视图眼椭圆判定为在最佳视区，则最后判定该显示仪表及控制器在良好视区。如所放置视区与该显示仪表及控制器的重要性等级相匹配，则认为布局合理。否则应继续调整后再继续进行判定，直到布局合理为止。

2.4　人机交互中的视觉与眼动系统

现代人机交互系统中，作业人员是在特定环境中操作和管理复杂系统和机械设备的。当人在这种环境中工作时，既要靠眼睛来观察环境，又要靠细致的注视来完成精确的控制动作。分析眼睛的运动就可知道人在操作时如何分配注意力，同时了解屏幕、仪表以及外景如何设计和合理分配才能获得最好的人机交互。这样既减轻操作人员的工作负担，又避免出错，切实提高了人机工效。这对于计算机领域、一般工业以及军事、航空航天等领域的显示/控制仪表配置都有实际意义。

视觉与眼动系统是一种自动控制系统，可以用控制论来研究它，但眼的活动与大脑和神经活动有关，故有关视觉与眼动系统的研究应从不同学科角度、利用不同方法来进行。

2.4.1　眼动系统的研究发展

作为探求人类如何从视觉获取信息的一种手段，对人眼的研究源于 19 世纪 90 年代，但视觉测量的研究开始得比较晚。最初是通过对测试者的询问来确定眼睛注视点（主观感知法）。随后，E. B. Delabarre 和 E. B. Huey 发明了机械记录眼睛注释点的方法。后来，R. Dodge 采用了摄影记录眼睛注释点的运动的方法。这种方法的可利用性使得它得到了很大的发展。1931 年，M. A. Tinker 可通过拍摄获取双眼运动的图像，并可同时记录横向、纵向运动的图像，利用角膜反射光点的位置变化可估算眼睛的位置。

20 世纪 60 年代以来，随着红外技术和微电子技术的飞速发展，才出现了一些比较实用的方法，而且呈迅猛发展的态势。美国和日本在这方面的研究居世界前列，而且已进入实用化和商业化阶段。美国在 1988 年年末向市场推出的商用 Erica 系统（The Eye-gaze-response interface computer aid）是一种基于红外电视和图像处理方法的系统。它直接由眼睛来控制输入，具有实用性强、处理速度高等优点。佳能照相机的新机型（EOS2E）增加了一种眼控对焦的新功能，可以在一幅画面中根据人的注视位置进行聚焦，而这种功能正是在照相机上加了一维眼动测量装置来实现的。由此可见，眼动测量的研究及应用已深入到日常生活领域中。近年来，随着计算机及人机界面技术的发展，眼动仪在人机界面设计上也受到高度重视。美国空军最早在新的人机交互设计中运用视觉追踪技术，其主要目的是要把视觉追踪用于战斗机座舱的设计。这一领域的深入研究表明，视觉追踪技术不但可以用于战斗机座舱的设计，而且还可以把人眼作为计算机的一种输入工具，形成视觉输入的人机界面，如图 2-9 所示。美国 Pittsburgh 的 SST（Sentient System Technology）开发了一系列主要用于残疾人员的视觉追踪系统。其中，Eye-Typer 300 系统是一个眼—视觉—控制的键盘系统，当人在 LED 上注视一段时间后就能输入信息。这种系统可设计用来操纵一些控制系统，如电视机、打字机和其他电器。日本研制的 EMR-600 系统则具有良好的测量精度以及 600 Hz 的高采样频率。另外，日本的 ATR 通信系统研究实验室和东京工业大学已将眼动

测量用于对虚拟现实的研究，有效地解决了大的视场和高精度的图像显示之间的矛盾。随着高性能摄像机的出现和图像处理技术的发展，眼动仪将朝着高精度、高实用性和低成本的方向发展，其应用前景是非常广阔的。图 2-10 所示是单眼眼动仪示例图（眼动仪构成及工作原理见眼动测量系统）。

国内对视觉测量的研究起步较晚，专门研究始于 20 世纪 70 年代末、80 年代初。一般都是引进了国外设备做实验研究。西安电子科技大学在自主开发研制眼动仪样机方面做了很多工作，但总的来说，我国在这方面的研究开展不多，用视觉与眼动系统进行人机工效方面的研究则更少。北京航空航天大学人机环境工程研究所在 90 年代末开展了飞机座舱人机界面评价实验台的研制，利用视觉与眼动系统分析控制面板仪表布局是研究内容之一。显然，开展视觉与眼动系统的研究，对提高人机交互工效研究有着极其重要的意义。

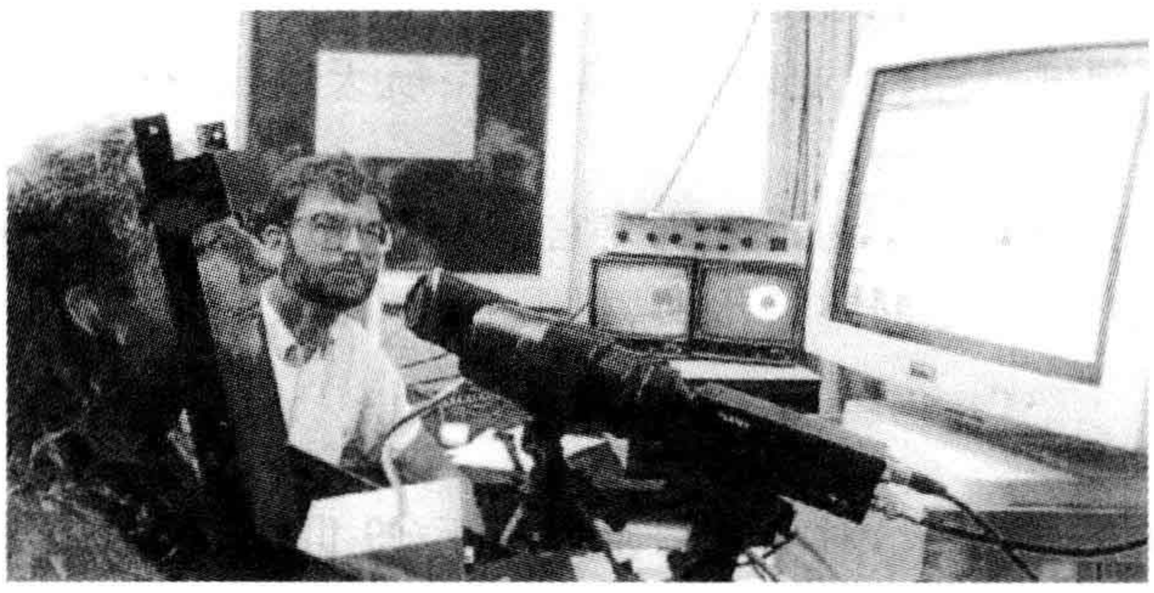


图 2-9　人眼控制操作计算机



图 2-10　单眼眼动仪

2.4.2　眼动系统的一般概念

眼动可在视觉与眼动系统中受一定刺激下发生，而且其信息可被记录。刺激的方式不同，其诱发的眼动信号形式也不同，参与眼动系统的神经通路、生理解剖构成以及发生眼动的机制均不同。一般把视觉与眼动系统分为反射性和主动性两类。

1. 反射性眼动系统

反射性眼动系统也被称为前庭眼动系统，是通过刺激前庭系统诱发眼动的。由于从刺激信号（输入）到眼动（输出）不受大脑（意识）的控制，通常属于反射性动作，因而又被称为前庭—视反射系统。其眼动信号是典型的三角波，常称为眼震电图（ENG），如图 2-11 所示。一般而言，眼电信号波形参数的变化与神经系统异变有相关性，例如在 ENG 中，AB 段叫做慢相，BA 段叫做快相，慢相和快相的斜率在许多异变中表现出不同性。

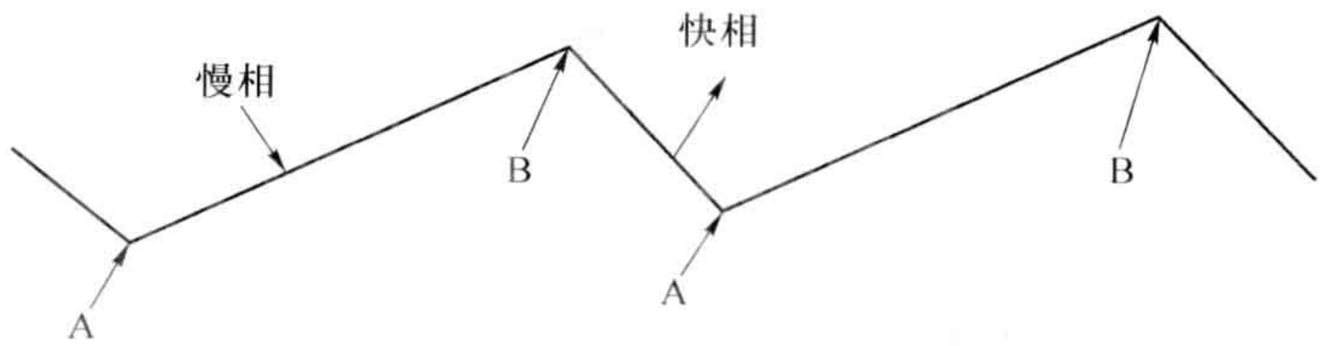


图 2-11　眼震电图

2. 主动性眼动系统

主动性眼动系统也称为眼球运动系统，除前庭眼动系统外，其他的刺激信号都须通过皮层中枢的作用，下行到脑干眼动核才能启动眼球运动。其间的意识作用是不可避免的，故称为主动性眼动系统。根据具体情况，主动性眼动系统又可分为注视运动、眼球跳动、眼球平滑跟踪运动三类。

(1) 注视运动(Fixation)

正常的视觉观察过程中，眼动表现为在被观察目标上一系列的停留以及停留点之间的飞速跳动。这些停留一般至少在 100 ms 以上则被称为注视。绝大多数的信息只有在注视时才能获得加工。在注视中眼球仍有三种微小的运动。一种是自发的间歇微颤，频率在 30～70 Hz之间，振幅约为数十秒角。这种自发的高频眼动是人的视觉活动所必需的。Ratliff 和 Yarbus 曾分别用试验方法证明了这一点。视觉通道就像交流放大器一样，把不变的直流信号隔除掉，只有当高频眼动把一幅静止的图像调制成交流信号时，才能通过视觉通道获得信息，从而产生物体的影像。注视运动的另外两种形式分别是慢漂移(Slow Shifts)和微跳动(Microsaccades)。前者的速度约为 1(′)/s，运动幅度为每秒 3′～5′，时程约为 0.2 s。一般认为慢漂移使目标逐渐离开中央凹的中心，而由微跳动纠正这个偏差，以保持正确的注视状态。

(2) 眼球跳动(Saccade)

注视点之间的飞速跳动称为眼球跳动。这是使眼球注视方位突然变化的随意运动，在目标图像中含有位置信息时，就可以作为刺激引起眼球的跳动。眼球跳动是一种联合运动(即双眼同时移动)，其大小为 1°～40°视角，持续时间 30～120 ms，最高速度为 400～600(°)/s。在眼跳动期间，几乎不获取任何信息。眼跳动的机制有两个特点：其一是弹射式控制(Ballistic Control)，特点是中枢神经系统对视觉目标位置完成计算，发出信号，通过眼肌给眼球一定的加速度和作用时间，引起眼球的快速跳动，一旦运动开始后，直到结束都不再控制其运动参数，如果运动终止位置有偏差则再发第二次信号，如此反复直至终止在所要求的注视点上；其二是采样控制(Sampling Data Control)，特点是中枢视觉系统在进行眼球运动控制时，并不是连续地对信号进行处理，而是对目标位置信息作采样，一旦采集到数据就进行计算，并发出跳动控制信号，而在采样计算期间，对任何信息不起反应。眼跳运动还具有适应性，经过若干次训练后，就能随刺激条件改变眼球跳动的增益。

(3) 眼球平滑跟踪运动(Smooth Pursuit)

由运动目标的速度信息输入到中枢神经系统过程中，眼睛为了追随这个目标而引起的一种连续反馈的伺服运动称为眼球平滑跟踪运动。视觉系统对目标速度的检测与反馈控制，在整个平滑跟随过程中都是不断在进行的。平滑跟踪运动一定需要在目标运动的刺激下才能产生，将静止的图像作为刺激输入时，眼球只能产生跳动运动(Saccade)，这已被试验所证实。平滑跟踪运动的最大运动速度为 30(°)/s。

需要注意的是，人的视觉器官在对物体(静止或运动的)进行观察时，总是同时进行多种形式的眼动。通过三种不同形式的运动，眼睛才能完成对目标的瞄准和连续动态观察，从而保证清晰的视觉输入。实验证明，跳动和平滑跟踪两种眼动，虽然是使用同一种眼肌和同样的输入输出神经，但由于参加作用的中枢控制机制不同，所以它是由两套独立系统控制的两

种运动模式，也称为双重模式控制。

（4）双眼的运动规律

人的两个眼球并不像其他功能相同的两个器官（如一对肾脏和一双手），原因在于左右两眼的两个视网膜神经以半交叉结构通向左右半球大脑，这种结构有利于检测双眼视差，从而产生立体视觉。由此，双眼的运动也就有许多的约束条件，不像双手可以分别独立运动。

视觉中枢总有单一视觉的倾向，一旦给双眼以视差刺激时，中枢就会控制双眼做对称的会聚运动，把双眼感觉到的重像融合成单一像。海林（Hallin）定律认为双眼的运动只能是同方向同幅度的运动，或者是对称的会聚或反相的会聚运动，而没有其他形式。实验结果也证明双眼运动的规律均符合海林定律。这充分说明了双眼是单个器官的两个部分，中枢神经总是发出一对信号同时控制左右两只眼，因而双眼只能是共轭或对称运动。

虽然双眼运动具有所述的相关性，但这并未改变双眼各有其独立的自由度数，测量双眼的运动仍是极其必要的。因为只有通过双眼注视点的获取才能真实地反映人眼的运动，为研究人的双眼在信息获取及处理时的数据融合机制打下基础。

2.4.3 眼动测量方法

眼动测量方法经历过早期的直接观察法、主观感知法，以及后来发展起来的脑电图法、眼电图法或 EOG 法（Electro-Oculo-Graph）、接触镜法、电磁线圈法（Electromagnetic Coil）、角膜反射法（Corneal Reflection）、红外光电反射法（Infrared Photoelectric）等。它们当中，有的由于测量精度低，有的由于易于引起眼部不适而对人造成较大干扰而无法满足实验研究要求。目前较为理想的眼动测量方法是红外电视法（Infrared TV）。

红外电视法的基本原理是：在红外线照射下，利用眼睛各部分对红外光反射特性各异的特点，用对红外敏感的电视摄像系统捕捉到人眼的红外光反射，并将所形成的人眼图像转换成视频电视信号，经过信号处理就能得到垂直和水平方向的二维眼球位置信号，将此信号输入计算机就可以对眼球位置信号进行视场叠加和处理。该法具有操作简便、对人眼干扰小、可移动等优点，是目前较为理想的一种眼动测量方法。

2.4.4 红外电视法眼动测量系统

利用红外电视法原理的眼动测量系统（Eye Movement Measuring System，EMMS）是现代最先进眼动测量的代表。其基本原理是利用各种高速光电转换器件和不断成熟的图像处理技术，检测并提取出眼睛的位置信息，从而达到记录视觉运动过程的目的，为研究视觉追踪的生理特征、双眼的信息获取、数据融合等机制提供科学依据，同时也为信息显示/控制的人机工效研究提供实验手段。

1. 电视法 EMMS 系统的原理

红外电视法 EMMS 系统的原理如图 2-12 所示，其结构可分为以下几部分。

（1）成像部分；

（2）模拟信号处理及 A/D 转换部分；

（3）瞳孔中心数字化检测及数据发送部分；

（4）计算机处理部分。

其中(1)～(3)可归为系统硬件，(4)中的计算机处理包括标定及视场匹配环节，主要用相关软件来完成。

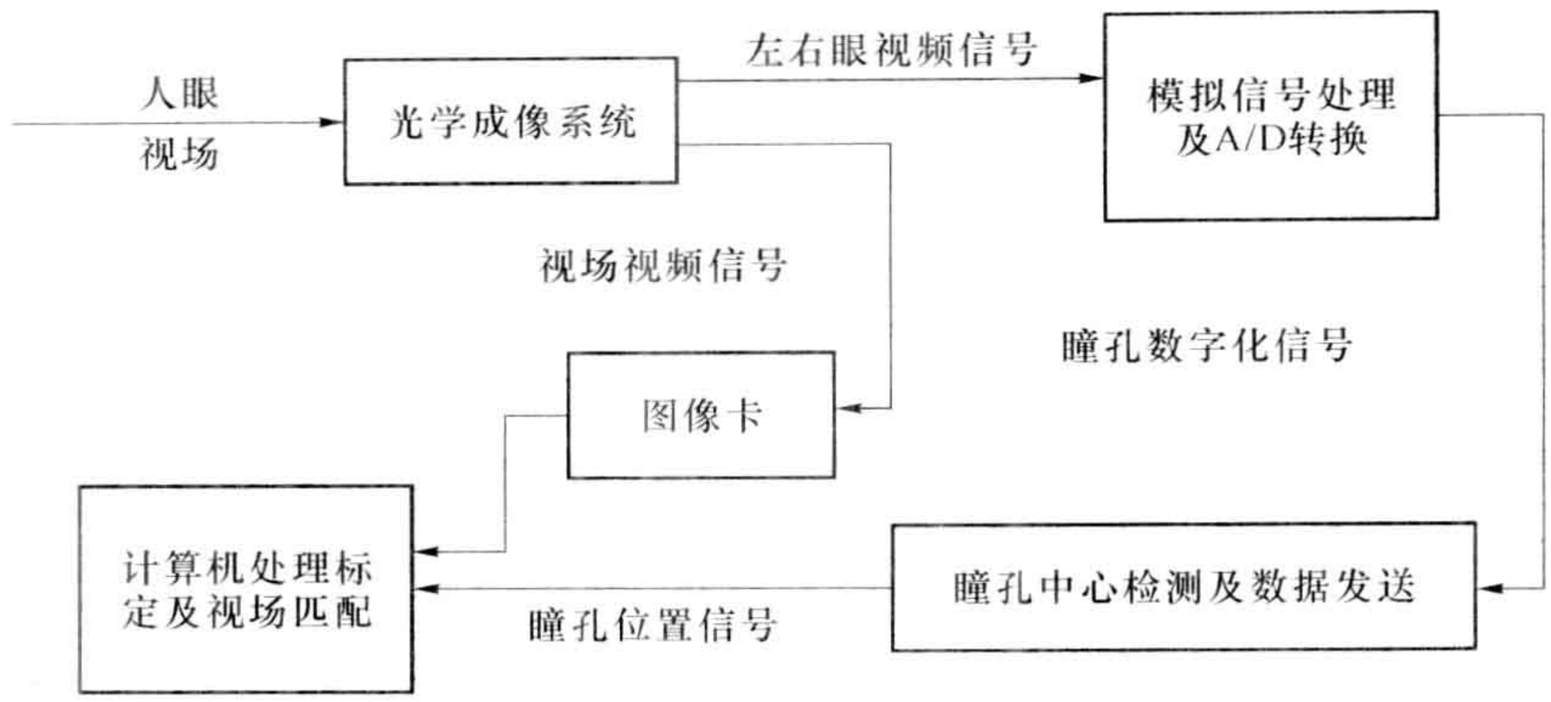


图 2-12　红外电视法 EMMS 眼动仪工作框图

整个系统的测量原理为：利用光学系统中的图像传感器获得眼睛运动的瞬时图像，然后交由图像处理系统，经滤波、放大以及 A/D 转换产生含有瞳孔位置信息的数字信号。由数字检测系统负责瞳孔中心坐标检测及数据转换，并以异步串行通信方式和计算机进行通信，将瞳孔中心坐标数据传输给计算机完成标定等工作。计算机对于背景视场摄像机传输来的图像和标定后的瞳孔中心坐标进行叠加及数据后处理。

图中的光学成像系统是利用眼球各部分在红外光照射下对红光反射特性不同的特点，用红外光传感摄录系统获得眼的眼外光反射信息，然后由图 2-11 中的相应部分得到瞳孔的位置信号。人的眼球是一个精巧、复杂的光学系统，它的基本功能是把目标图像反射光会聚到视网膜上，使人能看到外界的景物。眼球本身对各种波长的光吸收和反射的情况不一样。为了不干扰人眼观察目标，系统采用 920 nm 的红外光照射眼睛。因为视网膜对红外线是不敏感的，而眼动仪的红外光传感测量系统对 920 nm 的红外线仍有较好的响应，以此可以获得满意的测量结果。

2. 眼动测量系统的应用取例一

图 2-13 所示为测试所获得的视觉注意力分配情况，通过测试要达到以下目的。

(1) 明确信息来源，即了解人正在看什么；

(2) 了解信息接收的顺序；

(3) 在所接收的信息中，最关心的信息是什么；

(4) 对所接收信息的关心程度(用注视时间和次数来表示)；

(5) 从接收一个信息转化到另一个信息的切换速度。

图 2-13 中曲线右 1 为眼注视点的轨迹曲线；右 2 为在视野图上叠加眼注视点的轨迹曲线；右 3 为在代表性的固定点上显示眼注视点的情况；右 4 为眼的注视点叠加到视野图上；右 5 为用三维柱体来表示固定点的密度分布，三维柱体越高，固定点的数量就越大；右 6 为用三维柱体来表示眼注视点的持续时间，三维柱体越高，眼注视点的持续时间越长；右 7 为用圆坐标来表示眼注视点的矢量运动分布情况，外圆代表频数的百分数；右 8 为用直方图来表示眼注视点的运动速度分布情况。图中横坐标表示频数百分比，纵坐标表示运动速度。

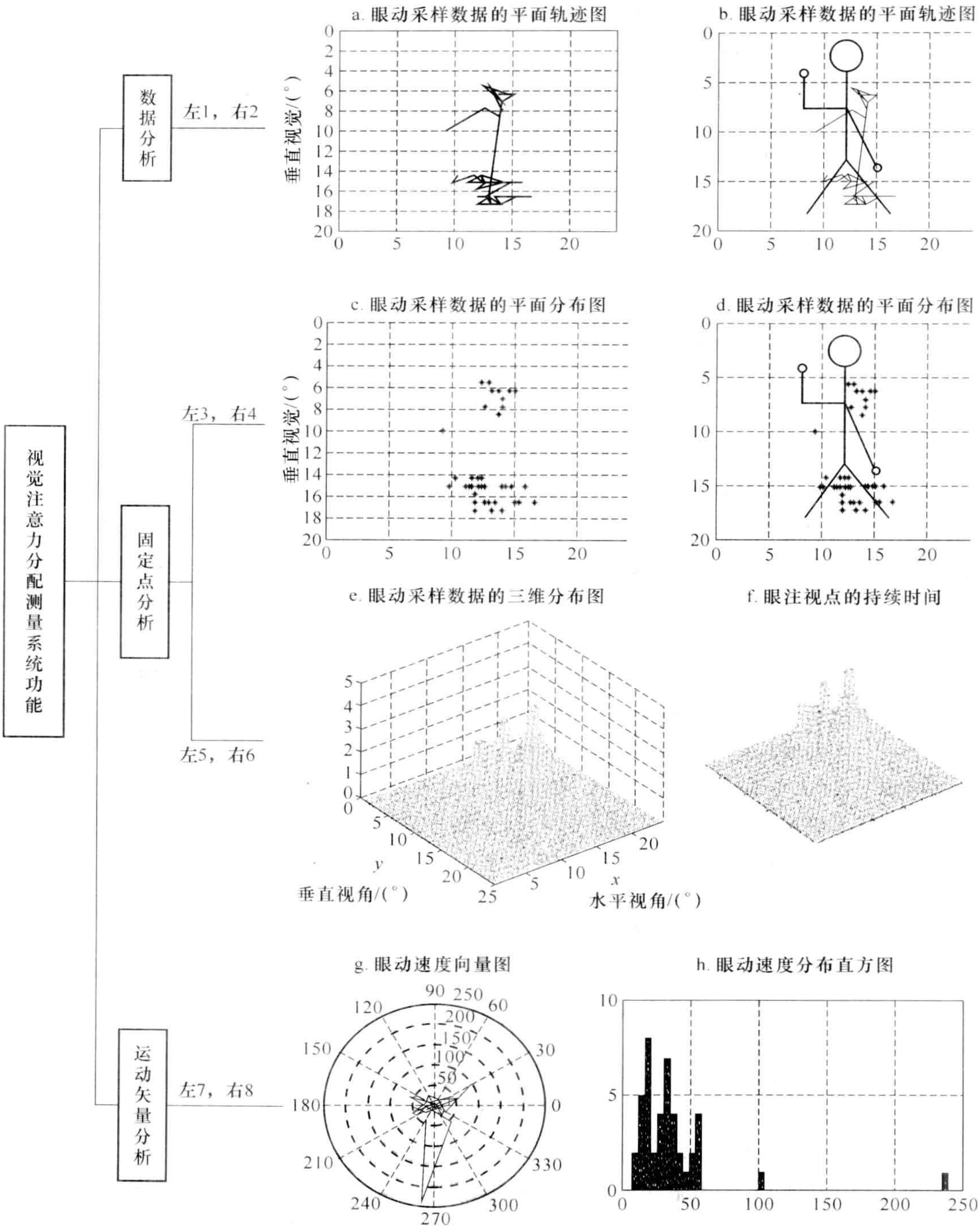


图 2-13　眼动仪测定应用举例

3. 眼动测量系统的应用取例二

飞机降落过程是成功完成飞行任务的最后一步，是一个工效评定的复杂任务，飞机飞得太高、太低、太快或太慢都不能正确降落。为了安全降落，飞行员必须有清晰的意识，即必须

知道自己目前的飞行速度和高度、飞机的航向和姿态、飞机外部视景中跑道的位置和其他地面景物。为此，飞行员要不断地搜索和获取有效信息，这主要由观看屏显和着陆场景完成，因此飞机降落过程是一种高强度的视觉活动。平显集成了飞机的速度、高度、俯仰角度等飞机的各种主要参数，是信息高度集中的显示器，是飞行员的主要信息源。飞行员通过视觉对平显和外视景进行扫视，获得飞机的速度、高度和飞行姿态信息，操纵飞机顺利完成降落任务。

扫视是眼动的一种重要方式，通过扫视，飞行员把注意力在不同的兴趣范围之间进行切换，并通过对重要信息源的注视，达到对信息的感知、获取和加工。本研究的主要目的是通过模拟飞行员的飞行降落过程，分析扫视过程中的眼动规律和注视点分布特征，研究被试者在不同视觉兴趣区域如何对注意力进行分配和大脑的初步认知加工过程。驾驶舱指示仪表及机外环境的控制情景合成在计算机显示屏幕上(见图 2-14)，用键盘模拟飞机操纵系统。眼动的测量设备采用的是西安电子科技大学的西电-3B 型头盔(箍)式眼动测量仪，它用红外摄像法的原理获取双眼的图像，用高速信号处理的方法实时提取瞳孔中心的坐标。

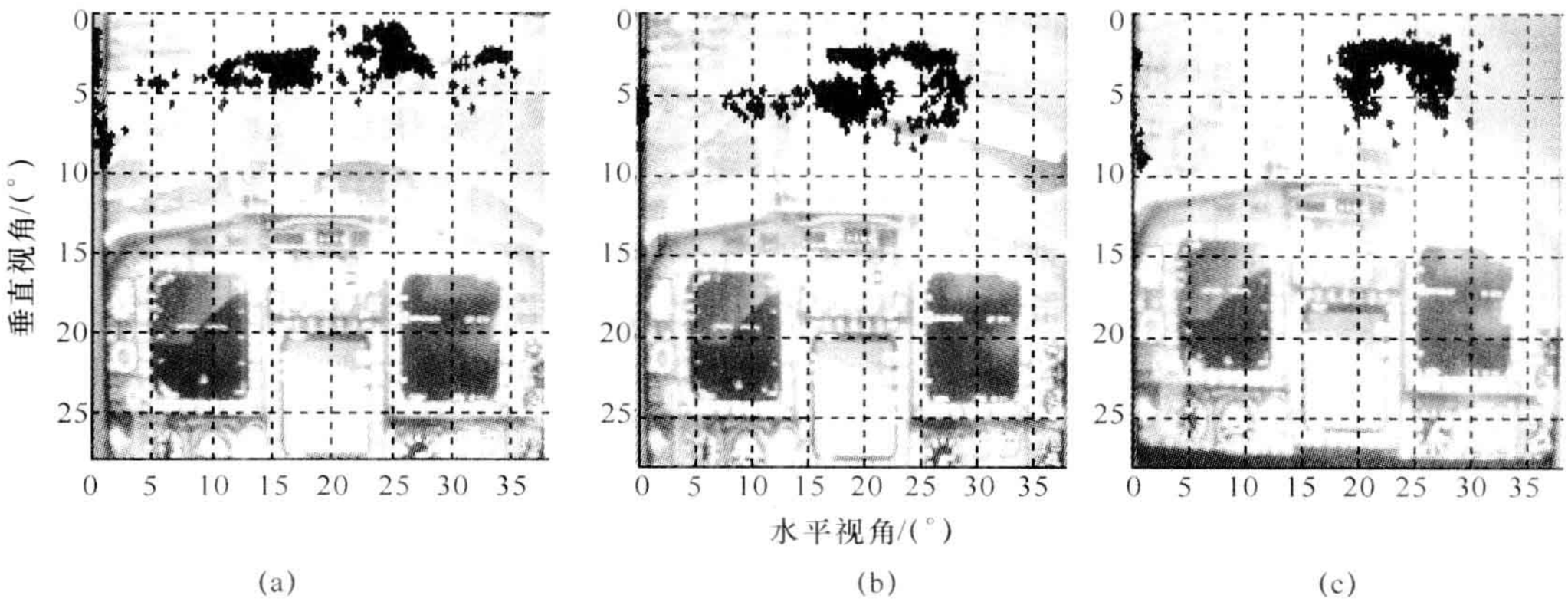


图 2-14　注视点平面分布图

在降落的开始，被试者要对座舱进行全局扫视，以获取飞行高度、姿态、速度和外景的全部信息，所以图 2-14(a)中注视点分布比较分散，但在平显的高度显示、俯仰角度显示和速度显示三个位置的注视点较为集中，平显外的外景也有少量的注视点分布。由于被试者要透过平显来观察外景的跑道，所以平显中间部分的注视点为被试者扫视俯仰角度位置和外景跑道时的两部分的叠加。速度对于被试者并不是一个重要的信息，在速度降到 260 节以后，已不需要再注视速度显示位置。在前两个过程，被试者只需付出较少的努力去获得速度信息，所以图 2-14(b)的注视点比较集中，主要分布在平显的高度显示和俯仰角度显示位置，速度显示位置注视点较少。图 2-14(c)的注视点高度集中在高度和俯仰角度显示两个位置。飞行降落的全部过程注视点集中分布在垂直视角 5°左右、水平视角的 10°～30°之间的平显区域。

图 2-15 所示为飞机降落的整个过程的眼动注视点分布立体图，从图可知，注视点在水平视角 25°附近的高度显示位置的注视次数最高，水平视角 20°左右的俯仰角度位置较高，水平视角 15°左右附近的速度显示位置较低。注视点是人眼采集信息的地方，注视点集中的地方是信息集中的地方，目标位置注视点的密集程度反映了被试者对该位置的关心程度和注意程度的大小，平显上注视点区域性分布的特点反映了视觉搜索任务中各目标兴趣区域在被试者的扫视策略中的重要程度的差异。

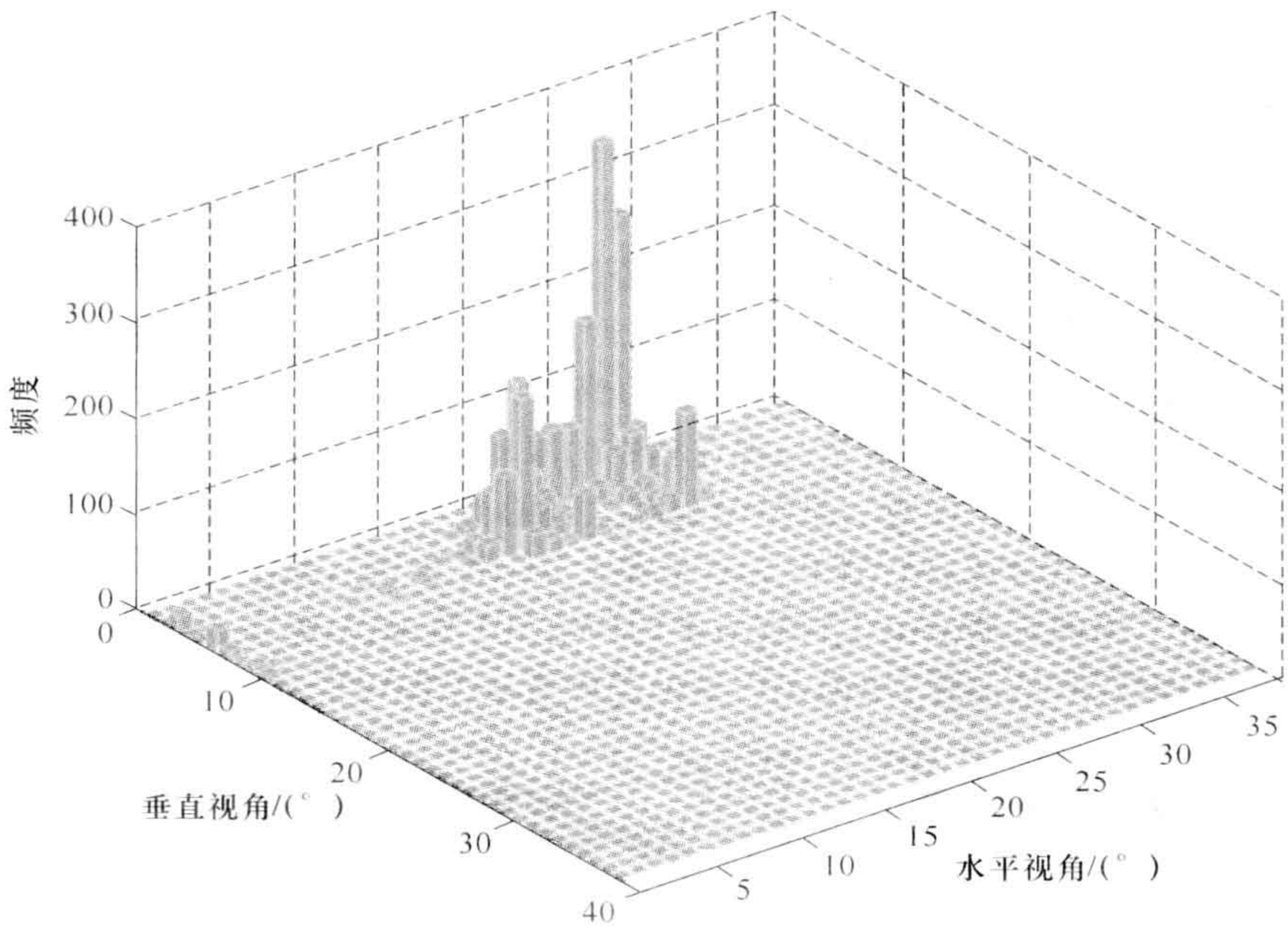


图 2-15　眼动数据采样三维直方图

扫视速度分析：从图 2-16 可以看出，在 x 方向上各速度值有极大的分布频度，在 y 方向上只有很少的速度值分布。从图 2-17 也可以看出眼动速度的向量主要在水平方向上，可以认为被试者的扫视眼动方向主要为水平方向。这在一定程度上与平显上角度、速度和高度显示的设计排列相关，当被试者在兴趣区域间进行视觉切换时，水平方式的任务排列使眼动扫视轨迹必然显现出 x 方向上的优势。Mackworth 和 Bruner 的研究发现，无论目标刺激和视觉任务怎么设置，人眼在水平方向上的眼动扫视次数总是大大多于竖直方向上的次数。对这种现象的可能解释是，人眼的视域为椭圆状，与之相关椭圆形状的眼动扫视方式是一种高效实用的扫视方式。

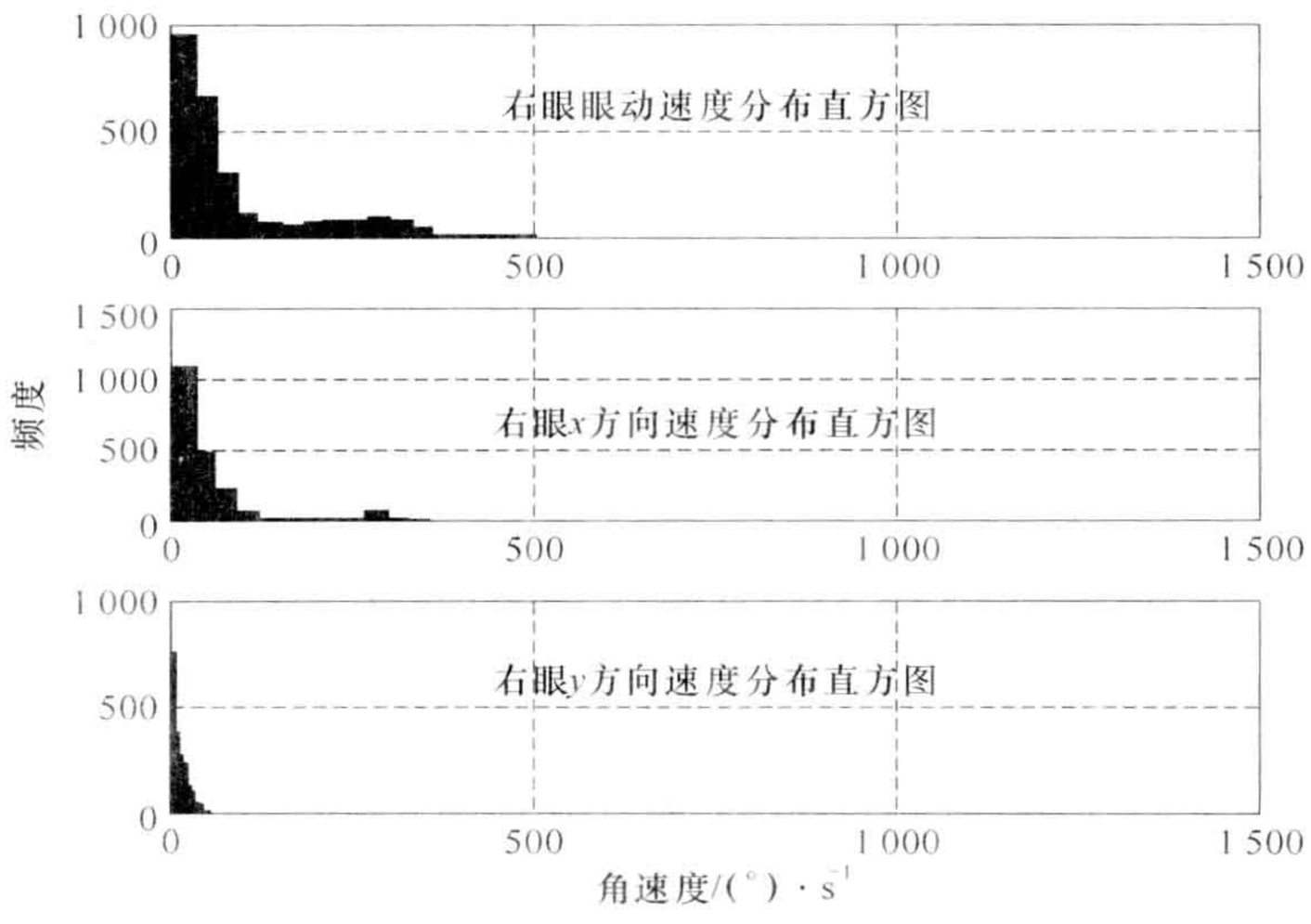


图 2-16　眼动速度分布直方图

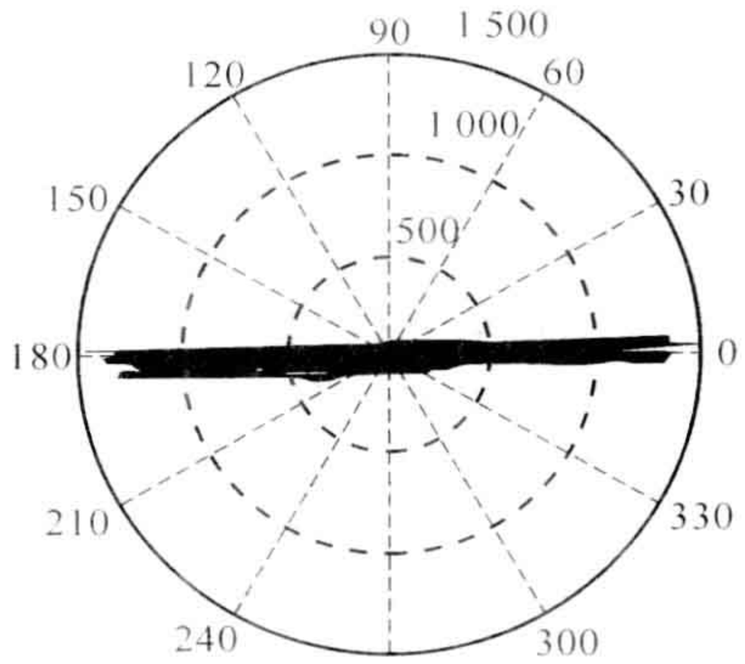


图 2-17　眼动速度向量图

当人扫视(saccade)时不获取任何信息，扫视使眼球从一注视点移动到另一注视点或从一个目标位置移向另一目标位置，只有通过注视(fixiation)才能获得目标位置的信息。因为被试者的大部分注意力集中在三个关键信息位置，主要进行注视和扫视两种眼动形式，通过扫视在兴趣区域间或在兴趣区域内注视点间进行视觉切换，通过注视，被试者获得了有关高度、速度和角度信息。在同一兴趣区域内，被试者的注视点集中，其扫视速度较小，当他在不同兴趣区域之间进行视觉切换或观察平显外部时，被试者很快地扫视平显，在图 2-18 所示的速度—时序图上表现为大幅度的速度上升。在开始降落过程，被试者要对平显和外视景快速进行全局扫视，把握飞机飞行的整体局势，获得飞机飞行的情景意识(Situation Awareness，SA)。在此阶段，被试者心理负荷较高，视觉任务较重，图形上表现为高频率的高扫视速度。随着飞机的降落，被试者的注意力越来越集中在所关心的兴趣区域上，他可以利用前面的扫视成绩，在兴趣区域间进行较少的视觉切换就可以获得目前的情境意识，在图形上表现为较高场序数的小速度扫视。

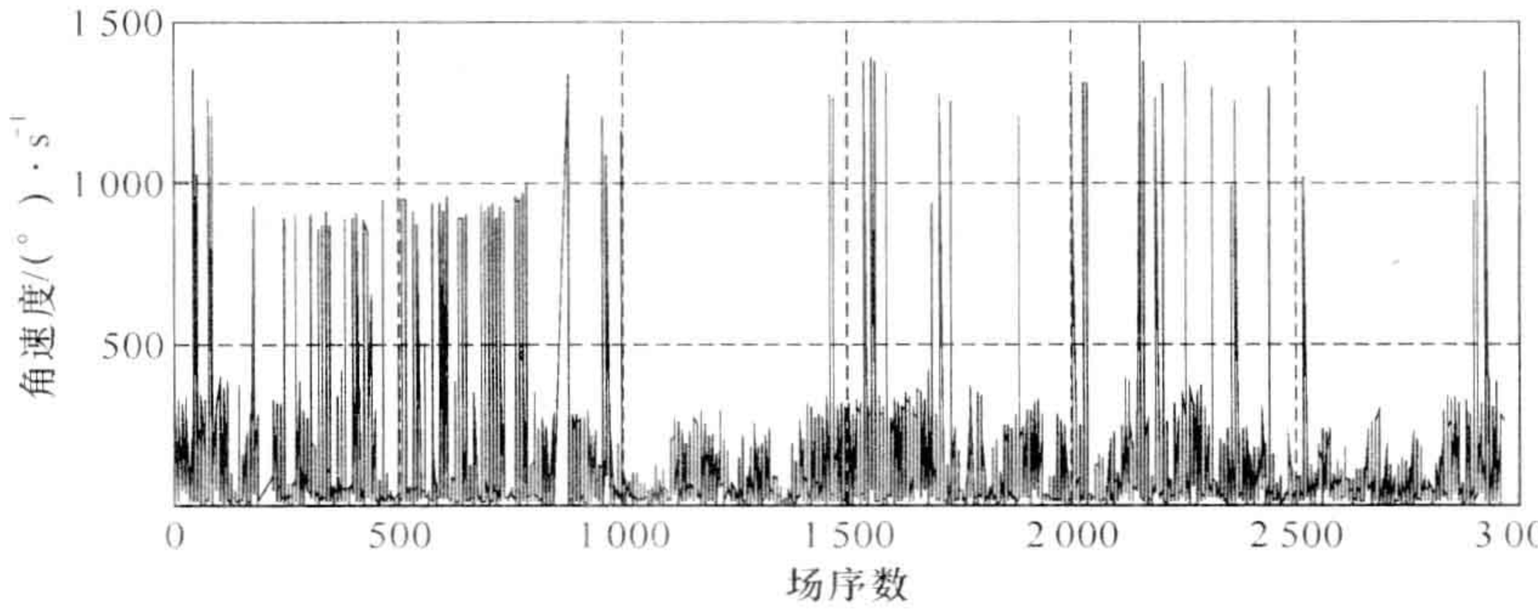


图 2-18　眼动采样数据的速度—时序图

在被试者工作较长时间后，图 2-18 也可以分析被试者的视觉工效，随着工作时间的延长，其眼睛疲劳加重，无论是兴趣区域内的扫视还是区域间的视觉切换，被试者的扫视速度都将降低。

通过对被试者在飞机飞行降落过程中的眼动分析，可以认为被试者的注意力主要分布在平显上的高度显示、速度显示和俯仰角度显示三个兴趣区。他运用眼动的 Top-down 机

制，通过注意力的转移完成在三个兴趣区域间的视觉切换。当注意力在兴趣区域内时，其眼动扫视速度较小；当在兴趣区域间切换时，其眼动速度较大。在模拟飞机飞行降落的全部过程，被试者都必须保持正确的情境意识，持续地从他所工作环境里提取有效信息，整合成“图画”，做出操作的计划和决策，使飞机安全飞行和降落。

通过模拟飞行过程对被试者进行眼动分析，可以发现人的一些眼动规律和注意力的利用分配。眼动分析对于工程中的各种安全驾驶和揭示人的认知加工过程具有重要意义，在合理设计人机界面、提高人机工效和其他一些工程应用上，也有一定的借鉴和参考价值。

2.4.5 生物视觉与计算机视觉的比较研究

生物视觉是计算机视觉研究的基础，计算机视觉的发展可以进一步促进生物视觉的研究。

1. 生物视觉的研究

视觉系统是一种复杂的自动控制系统，可以从控制论的角度来研究它。但是它不仅涉及眼的活动，而且和脑干、小脑、大脑等神经活动有关，即使从医学上讲也是一个跨学科的复杂系统。有关视觉系统的研究有许多不同的方法，研究眼的不同侧面，有生理生化方面，也有系统与信息方面以及临床应用方面。以下将从形态学的角度对生物的视觉系统进行探讨。

图 2-19 所示为人类视觉通路示意图，物体在可见光的照射下经眼的光学系统在眼底视网膜上形成物像。视网膜上的感光细胞又将视网膜上接收的光能转换成神经冲动，经过视交叉部分交换神经纤维后形成视束，传到中枢的许多部位，其中包括脑的外膝状体或外膝状核(LGN)、四叠体上丘(SC)、顶盖前区(AP)和视皮层(VC)等。上丘与眼动等视反射有关，顶盖前区与调节反射、瞳孔反射有关，外膝状体和视皮层都直接与视觉知觉有关。视束的大部分纤维的去向称为视觉第一通路。视束的小部分纤维走向内方，经上丘臂，到达上丘和顶盖前区。上丘浅层神经元再投射到丘脑枕(PT)换元后再投射到视皮层；上丘还有纤维直接投射到视皮层。由于这条通路不经外膝体，故称膝状体外通路或第二视通路。

由眼、外膝状体和视皮层解剖学结构中的视通路可以看到，眼、外膝状体与视皮层构成了对视觉信息处理的三个基本层次。进一步的分析表明，外膝状体与视皮层，尤其是视皮层还有更为复杂的分块分层结构，分块表明了视觉信息处理的并行性质，不同区域的神经细胞具有不同的功能；分层表明了视觉信息处理的串行性质。因此，生物视觉系统是一个串行与并行处理相结合的复杂系统。

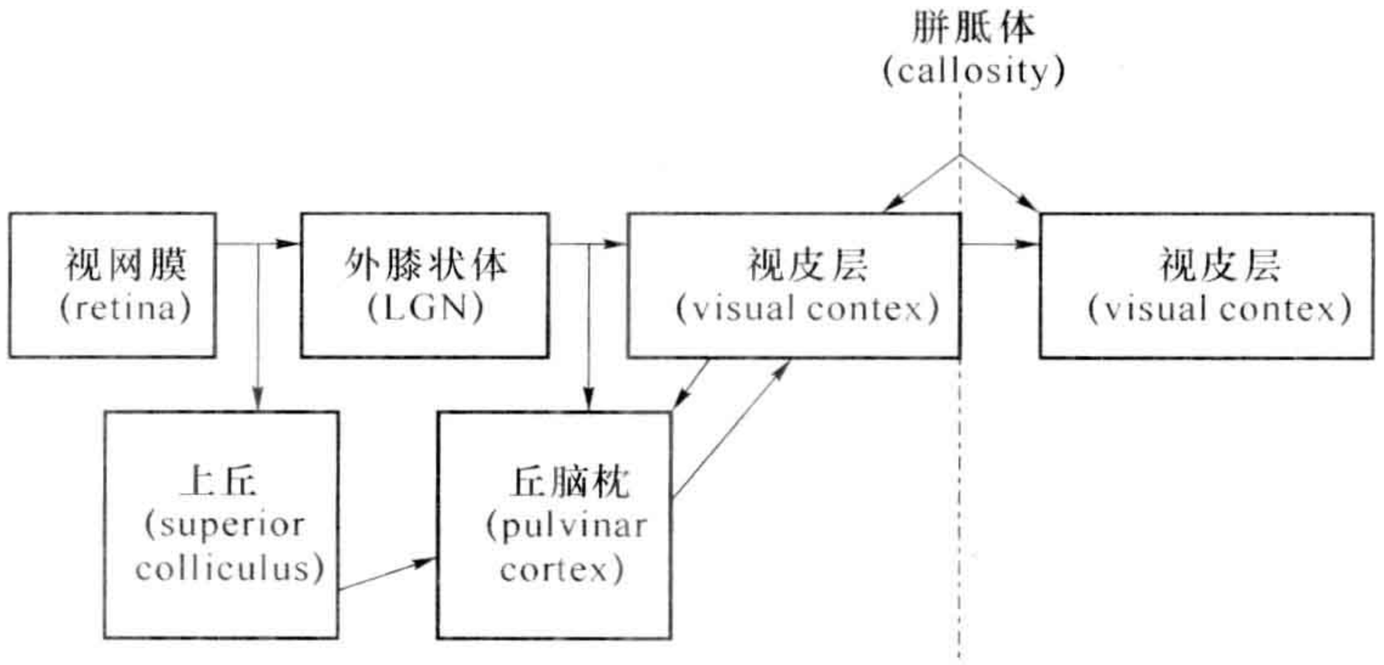


图 2-19 人类视觉通路示意图

2. 感受野分层等级假设

视通路上各层次的神经细胞，由简单到复杂，它们所处理的信息，分别对应于视网膜上的一个局部区域，层次越深入，该区域就越大，这就是著名的感受野(RF)与感受野等级假设。感受野是支持视觉信息分层串行处理的最重要的生理学基础。

以信息处理的第一级为例，视网膜上的神经节细胞(GC)将感官细胞上接收到的光信号转换成电信号，再由它的轴突传出，但每一个 GC 细胞只能接受视网膜上一个局部区域的信号，该区域就是 GC 的感受野。研究表明，GC 感受野及其对光信号的转换作用可划分为以下几种。

(1) 对空间亮度变化敏感的感受野，其形状可用两个同心圆表示，如图 2-20 所示。这种同心圆形状的感受野按其对光信号的转换作用又可分为中心兴奋区、周边抑制区组成的 On-中心型以及中心抑制区、周边兴奋区组成的 Off-中心型。图中还画出了这两种感受野对光信号的响应曲线(图中只画出了沿同心圆直径方向上一个截面上的响应曲线)，该曲线近似于两个方差不同的高斯函数的差。具有这种感受野的 GC 细胞对于在同心圆区域上受到均匀光照的光刺激的反应，为响应曲线的积分，一般地说，GC 的输出为响应曲线与光信号乘积的积分。

图 2-21 表示当视网膜上光信号为一边亮一边暗的具有一定对比度的信号时，感受野位于不同空间位置的 GC 的输出。当亮暗边缘线过同心圆中心时，GC 的输出与感受野受到均匀光照时一样，设为 E；而当边缘线位于同心圆的其他位置时，GC 的输出分别高于或低于该平均输出 E。如将输出看作实际输出减去平均输出 E，则当亮暗边缘线过感受野同心圆中心时，输出为零。可见，由 GC 的输出与感受野的位置可以检测亮暗边缘线。这也是计算机视觉中轮廓、边缘等特征抽取的生物视觉基础。

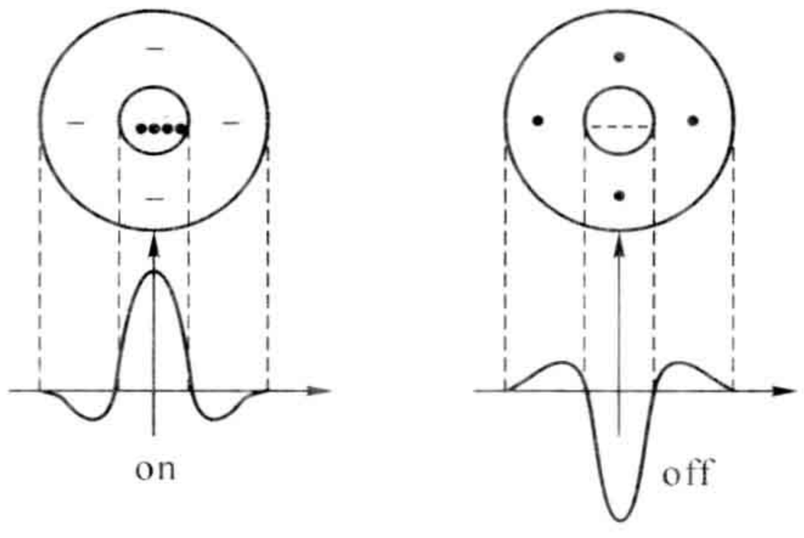


图 2-20　On-中心型与 Off-中心型感受野

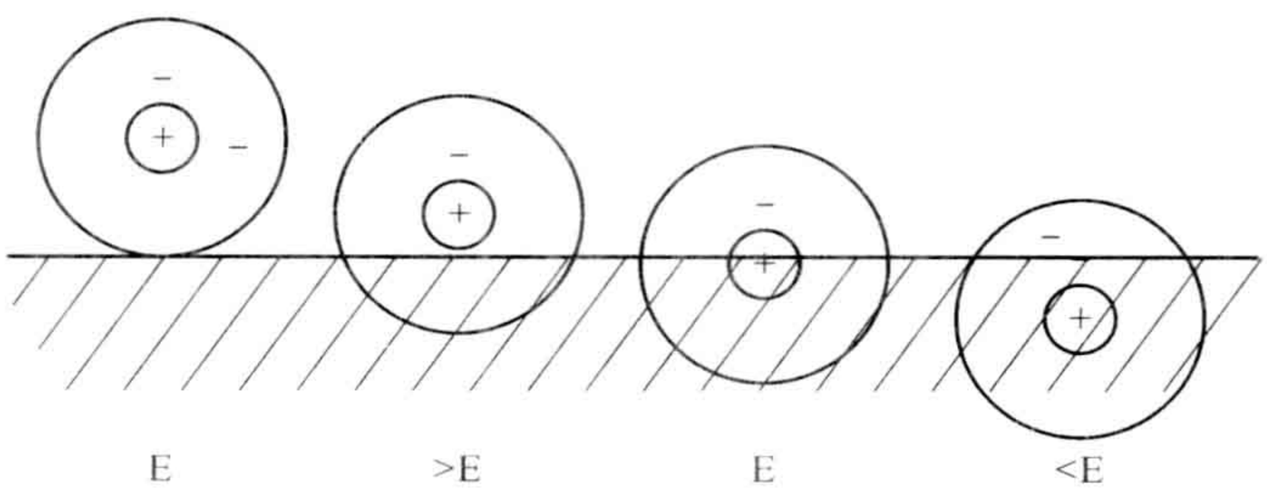


图 2-21　不同位置感受野的 GC 细胞对具有黑白对比度的光信号的响应

(2) 除具有上述响应特征及感受野的 GC 细胞外(这种 GC 细胞也称为 x 型细胞),还有一种 y 型细胞,它的响应不对亮度的空间变化敏感,而是对时间变化敏感,即当感受野圆形区域内的亮度随时间变化时,GC 输出会增大或减少。y 型细胞也可划分为 On 型或 Off 型,这种对局部亮度随时间变化敏感的性质是计算机视觉中物体运动分析的基础。

除了视觉信息处理第一层次的感受野外,对于更高层次,包括外膝状体细胞及初级视皮层(即视皮层的前几层),也发现了类似的性质,即单个细胞只接受视网膜上的局部信息,但层次越高感受野越大,即信息处理是从局部到更大的区域的。

3. 视觉信息处理的多通道、多任务并行处理性质

感受野的等级假设与局部性质主要支持视觉信息处理的自上而下的分层次串行处理性质。但视觉系统的任务不是单一的,它要识别物体的形状与颜色,要得到三维物体的深入信息,要检测物体的方位与运动参数。另外,物体的空间与时间频率性质也有很大差异,例如较细的表面纹理表现了物体表面较高的空间频率特征,较快的运动表现为图像较高的时间频率特征。神经生理学的研究表明,视通路的各个层次上存在着基本相互独立的并行通道,分别完成不同的视觉任务,下面是几种不同的并行通道。

(1) x、y 通道

除了视网膜神经节细胞 GC 的感受野有 x、y 之分,更高层次细胞的感受野也有 x、y 之分,即某一层次的神经细胞(如外膝状体的神经细胞)只接受来自 x(或 y)型 GC 细胞的信号,使它也具有 x(或 y)型的感受野。由于 x、y 型感受野的不同,x 通道传递高空间分辨率的、时间上变化慢速的信息与颜色信息,而 y 通道传递低空间分辨率的、高时间变化频率的信息。

(2) 空间与时间频率通道

虽然 x、y 型细胞分别对具有空间频率或时间频率的信息敏感,心理物理学实验证明,外膝状体上的某一个神经细胞并不对所有频率的信息敏感,而是对某一频段的信息呈现较强的反应,在视觉皮层也发现了类似的证据,即皮层的某一部分只对某一定频率的信号敏感。这些实验证据表明,在视通路中存在处理不同频道信号的独立通道。

(3) 颜色信息通道

首先在视网膜上就存在不同的光感受细胞,即锥状细胞与杆状细胞,其中杆状细胞对颜色不敏感,而锥状细胞又分为对不同光谱(红、绿、蓝)敏感的三种细胞,对外膝状体与视觉皮层 17 区的分析也表明,它们都有专门的区域从事颜色信息的处理与识别。

(4) 左右眼信息通道与立体视觉

眼睛、外膝状体与视觉皮层都有左右两侧,分析表明,左右两侧的神经细胞分别处理由左右两眼半侧来的信息。也就是说,每一个眼睛的左右侧视野的信息是交叉地分别投射到左右外膝状体与视皮层的。视皮层处理来自两眼的信息,得到双眼视差信息是立体视觉的基础,即只有比较来自两眼的信息,才能使人们有深度感。近来的研究表明,直到视皮层的 17、18、19 区,还存在独立处理不同视差的并行通道。

(5) 空间方位信息通道

早期对视觉信息处理的研究认为,视皮层细胞对空间几何元素(如直线)的方位敏感。阮迪云等对外膝体细胞的研究表明,这种方位敏感性也存在于外膝状体细胞,即具有相似最

优方位敏感的细胞在外膝体层次已经聚集在一起。可见在视皮层处理之前，外膝体已经对方位信息进行了组织，在视觉通路中存在着处理方位信息的通路。

(6) 视皮层对形状、颜色、运动与深度信息的并行处理

对视皮层 17 至更高层次的研究表明，对物体的形状、颜色、运动与深度等不同视觉信息的处理已经明显分离开，最近的研究成果已经提供了两类确定的视信息处理流向，这两类信息处理流在 V1 区即已发出，且可以跟踪好几个等级。第一条信息通路包括 MT 和 MST 区，主要功能涉及视运动功能分析；第二条通路包括 V4、VP 和 IT(下颞皮层)，主要涉及颜色和形状信息处理。

4. 视觉皮层间的反馈和整合作用

一般而言，至少存在着 3～5 个及以上的大脑皮层区域是直接地或紧密地与视觉信息处理有关，它们既平行又串行处理着各种不同视觉信息。通过研究，迄今为止尚未发现一个单独的皮层区域只接受所有的其他视皮层区域来的信息。以英国科学家 Zeki 为代表，提出了关于视觉皮层整合作用的“多级同步整合作用”假说，即在视皮层的整合作用包括三个不必在时间上连续的过程：①放大视觉感受野，并在整个视野内收集信息；②与前一个过程同时，产生更加复杂和特殊的性质；③将代表不同的视觉功能的视觉皮层的信息统一在一起，但并不要求信号都走到同一个皮层区来，而可能是空间上分离的，时间上却是同步的。

5. 计算机视觉的研究

20 世纪 80 年代初，Marr 首次从信息处理的角度综合了图像处理、心理物理学、神经生理学及临床神经病学的研究成果，提出了第一个较为完善的视觉系统框架，这一框架虽然在细节上甚至在主导思想上还存在不完备的方面，许多方面还有很多争议，但仍是目前计算机视觉研究的基本框架。计算机视觉的研究目标及任务是把输入的二维数字图像概括成抽象的符号描述或参数模型表示，不但能够真实地反映客观世界物体的空间几何信息，包括它的形状、位置、姿态、运动等，而且还能对它们进行存储、识别与处理。

(1) 计算机视觉系统研究的层次

Marr 从信息处理系统的角度出发，认为对此系统的研究应分为三个层次：计算理论层次、表达与算法层次、硬件实现层次。

目前计算机视觉的研究工作主要在计算理论、表达与算法这两个层次上，对于硬件实现，当前只有较成熟的部分，如低层次处理的去噪声、边缘抽取等；对简单的二维物体识别及简单场景下的视觉方法，已有专用芯片或其他并行处理体系结构方面的研究与试验产品；从系统上构造一般的视觉系统，虽有些尝试，但并不成功。

(2) 视觉信息处理的三个阶段表达与算法

Marr 从视觉计算理论出发，将系统分为自上而下的三个阶段，即视觉信息是从最初的原始数据(二维图像数据)到最终对三维表达经历了三个阶段的处理。第一阶段构成所谓“要素图”或“基元图”，基元图由二维图像中的边缘点、直线段、曲线、顶点、纹理等基本几何元素或特征组成。第二阶段，Marr 称为环境的 2.5 维描述，即部分的、不完整的三维信息描述，用“计算”的语言来讲就是重建三维物体在观察者为中心的坐标系下的三维形状与位置。这一阶段中存在许多并行的相对独立的模块，如立体视觉、运动分析、由灰度恢复表面形状

等不同处理单元。第三阶段，当观察者从不同角度去观察物体，其形状都是不完整的，不能设想，人脑中存有同一物体从所有可能的观察角度看到的物体形象，以用来与所谓的物体的2.5维描述进行匹配与比较，因此，2.5维描述必须进一步处理以得到物体的完整三维描述，而且必须是物体本身某一固定坐标系下的描述，这一阶段被称为第三阶段或三维阶段。第一阶段与第二阶段被称为视觉的低层次处理，也有人将第一阶段称为早期视觉，第二阶段称为中期阶段。

6. 计算机视觉系统的基本体系结构与研究问题

(1) 计算机视觉系统的基本体系结构

计算机视觉系统的基本体系结构如图2-22所示。

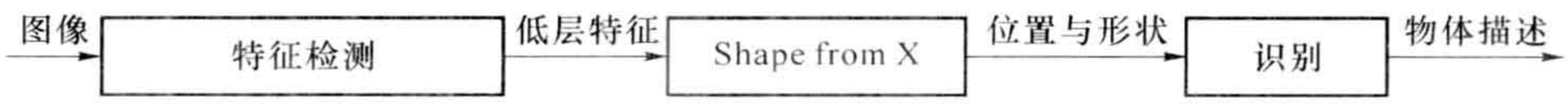


图2-22　计算机视觉系统基本结构

其中Shape from X表示由某些图像特征(如边缘点、直线、曲线、纹理、物体轮廓线、序列图像对应特征、图像灰度、颜色等)恢复物体三维形状。

(2) 计算机视觉系统研究存在的问题

20世纪80年代至今，世界各国的研究者们按照Marr提出的基本理论框架，对计算机视觉系统的各个研究层次及各个阶段的各个模块进行了大量的研究，并提出了相应的解决方法。但总的来讲，这些方法都存在着一些问题，或缺乏通用性，或抗干扰能力差，或存在多解性。究其因，不外乎两点：一是计算机视觉是一个逆问题，即输入图像为二维图像的灰度，它是三维物体几何特征、光照、物体材料表面性质、物体的颜色、摄像机参数等许多因素的函数，由灰度反推以上各种参数是逆问题，而这些问题大都是非线形的，问题的解不具有唯一性，而且对噪声或离散化引起的误差都极其敏感；二是Marr的视觉系统框架是一个自上而下的、模块的、单向的、数据驱动型的结构，神经生理学的深入研究表明，这种结构与人的视觉系统还有很大差距，人的视觉系统上下各层次之间、各模块之间存在着更为复杂的相互作用，并且由眼动等现象可知，生物视觉系统的认知过程是一种与外界交互作用的有目的、主动性过程，而不仅仅是一种被动式的反应，这些发展都突破了Marr的视觉理论框架。

7. 生物视觉与计算机视觉的比较研究

虽然计算机视觉的发展得益于神经生理学、心理学与认知科学对生物视觉的系统研究，但计算机视觉计算理论与算法的发展却相对独立，并不刻意去“仿真”生物视觉。主要原因有以下几点。①目前，生物视觉在更高层次上的机理尚未搞清楚，对计算机视觉的发展指导意义不大；②有不少有关学者认为，只要从信息转换的角度真正理解了视觉信息处理过程并发展出一套信息处理的计算理论，用哪种体系结构去实现它是无关紧要的；③一般而言，计算机视觉系统要观察的环境相对比较简单。

生物视觉系统在硬件实现层次上是神经网络，因而与计算机视觉有很大的差别，但如果两者在计算理论层次上是相同的，则本质上应没有太大区别。传统的思想是，计算机视觉信息处理的理论研究应侧重计算理论、表达与算法，而神经网络则属于实现层次，对视觉不具

有本质上的重要性。然而有两个原因正促使这种看法的改变：一是硬件实现方式很可能反过来影响计算理论与表达；二是由于条件的限制，目前的人工神经网络也只是真正神经网络的一种“过分简化”，但确有一种新的自适应、自学习机制存在，需要进一步研究。

比较人的视觉系统与计算机视觉系统的工作过程，在低层处理阶段，图像中物体受到退化、噪声、模糊、阴影等影响，现有低层处理算法很难把物体在图像中的区域截然分开，而人的视觉却具有相当强的区分能力。第二个困难是在平面图像中发现立体信息，人能很快地辨别出图像的前后关系，而要计算机做到这一点，光凭图像上的信息是很难甚至不可能做到的。

计算机视觉系统现在一般分为两大类：工业视觉系统和通用型视觉系统。前者已在实际工作中得到大量的应用，各类系统的技术层次、指标差异很大，一般是功能相对专门化，使用条件和环境有一定限制。后者虽有实验室研究，但多侧重于图像识别和景物分析（包括三维运动）等，而复杂的生物视觉系统的行为功能要用工程技术加以实现，还面临许多困难，难度较大。

从目前对生物视觉的研究现状来看，视觉信息处理是一个串行与并行相结合的复杂视觉信息处理过程，到目前为止搞清楚的仅仅是其中的极小一部分，而且从信息处理的角度看，对大多数处理单元，人们仅仅知道非常浅的知识，即只知道这个单元对某种信息“敏感”，而信息是如何表征的、如何变换的则仍不清楚，尤其是在较高层信息的处理，关于串行与并行处理进入高级皮层后信息是如何综合等方面。

总之，由于当前生物视觉在更高层次上的机理研究尚未有突破性进展，生物视觉系统与计算机视觉系统的研究从总体上是处于“独立自主，各自为政”的发展阶段。但是从未来的发展趋势来看，一旦人们对于生物视觉系统中的信息转换及处理机制完成由定性分析到定量计算的跃进，那么计算机视觉系统的研究将会逐步地与生物视觉系统的研究融合在一起。

视觉是人类和一些动物的基本功能，也是人们认识世界、了解客观世界的主要感知手段，同时也是了解脑的认知功能的突破口。视觉系统的研究目的是感知视觉世界的空间存在，了解周围视觉世界的空间结构、特点、组成以及它们的空间运动变化规律。从信息处理角度来说，计算机视觉系统的任务是把输入的二维数字图像概括成抽象的符号描述或参数模型表示，以真实反映客观世界中物体的空间信息。从根本上说，生物视觉的研究是计算机视觉研究的基础，但由于对生物视觉的研究尚未出现突破性进展等原因，造成了计算机视觉远远没有达到期望的目标，其中一些关键性技术尚未得到解决。但随着神经生理学、认知心理学、物理学、数学、图像处理、模式识别、人工智能等相关学科的迅速发展，无论是生物视觉（尤其是人的视觉）还是计算机视觉的研究，都将会出现实质性、革命性进展，进而将极大地改变人们的生活、工作方式。

2.5　听 觉 系 统

除了视觉之外，人的听觉系统也是人的接收外界信息的一个主要通道。因此，了解人的听觉系统的特性，对于改善人的信息接受、提高人的工作效率也具有十分重要的意义。

2.5.1 声音与测量

声音是由震源震动产生的。震动可以通过不同的媒介进行传递，这里主要考虑通过空气传入人耳的情况。声音的两个主要度量就是频率和强度(或振幅)。

1. 声波的频率

利用音叉做实验可以很方便地理解声波的频率。当敲击音叉时，它就以固有频率开始震动，音叉的震动就会引起空气分子的来回震动，这样相应地引起了空气压力的增加或降低。

音叉的震动产生的是正弦波，每秒震动重复的次数就是频率。频率以 Hz 为单位。在音阶中，中音 C 的频率是 256 Hz。任何一个八度音阶都是前一音阶频率的两倍，因此高于中音 C 的一个音阶的频率就是 512 Hz。一般情况下，人耳对 20～20 000 Hz 频率范围内的声音较敏感，其敏感程度随频率而变，且存在个体差异。

音频影响音调。频率越高，音调也越高，因此人们通常都认为音调和频率是同义的。实际上，除了频率以外还有其他的因素影响音调的接收，例如音调的强度。当强度增加时，低频的音调(低于 1 000 Hz)会显得更低，高频的音调(高于 3000Hz)会显得更高。在 1 000～3 000 Hz之间的音调对强度造成的影响不是很敏感。当然，乐器所演奏出的复杂声音一般是比较稳定的，并不随着演奏的声音大或小而变化。

2. 声音的强度

声强与人对响度的感觉有关。在频率和音调的研究中，除了强度以外还有其他的因素影响声音的强度。

声强是根据单位面积上的能量来定义的，比如 W/m^2。因为一般情况下能量的数值都很大，所以通常用对数来描述声强。贝尔(B)是测量时使用的基本单位。贝尔值是两个声强比率的对数。实际上，更方便、更普遍的声强测量单位是分贝(dB)，1 dB＝0.1 B。

多数的声音测量仪器并不能直接测量声音的能量。但是，声音会改变空气的压力，而这些气压的振动是能够直接进行测量的。声音的能量与声压的平方成正比。因此，单位是分贝的声压级(SPL)定义如下。

$$\mathrm{SPL}=10\log\frac{P_1^2}{P_0^2}$$

式中，P_1^2 是指想要测量的声音的声压的平方，P_0^2 是指 0 dB 参考声压的平方。对上式进行简化得

$$\mathrm{SPL}=20\log\frac{P_1}{P_0}$$

显然 P_0 不能等于零，当 P_1 等于 P_0 时，SPL 就等于 0 dB。最常用的参考值 P_0 是 20 $\mu N/m^2$，或者称为 20 μPa。这个声压相当于强度非常低的 1 000 Hz 的纯音阶，正常的成年人在理想状态下也几乎听不到这样的声音。

分贝是对数值，增加 10 dB 就意味声压增强 100 倍。使用对数还有一个特点就是两个声音的比率可以用减法来计算。工程中的信噪比实际就是指一个信号与背景噪声的分贝之差。如果信号是 90 dB，噪声是 70 dB，那么信噪比就是＋20 dB。

声压是用声压级仪表来测量的。ANSI 和美国标准协会已经为声压级仪表建立了一个标准。标准要求三个不同重要性的级别建成这样的仪器。每个级别根据标准频率—反应曲线对不同的频率做出反应。在第 8 章讨论噪声时再详细说明。

3. 复合音

很少有声音是纯音。乐器发出的声音也是由一个基本频率结合了其他的频率形成的。复合音可以用两种方式表示：一种是由几个单独的波形叠加成它的波形；另一种方法是使用音谱来描述复合音，即把声音分成几个频率段，然后测量每一范围内的声强。使用音谱来描述复合音要使用频率段分析方法。范围越窄，音谱就分得越细，音阶也就越多。在把音谱分成八度音阶时，有很多不同的分法。ANSI 的规定是把听得见的范围分成 10 段，每段的中心频率分别是 31.5 Hz、63 Hz、125 Hz、250 Hz、500 Hz、1 000 Hz、2 000 Hz、4 000 Hz、8 000 Hz 和 16 000 Hz。

2.5.2　耳朵解剖图

耳朵由外耳、中耳、内耳三部分构成，如图 2-23 所示为内耳的构造。

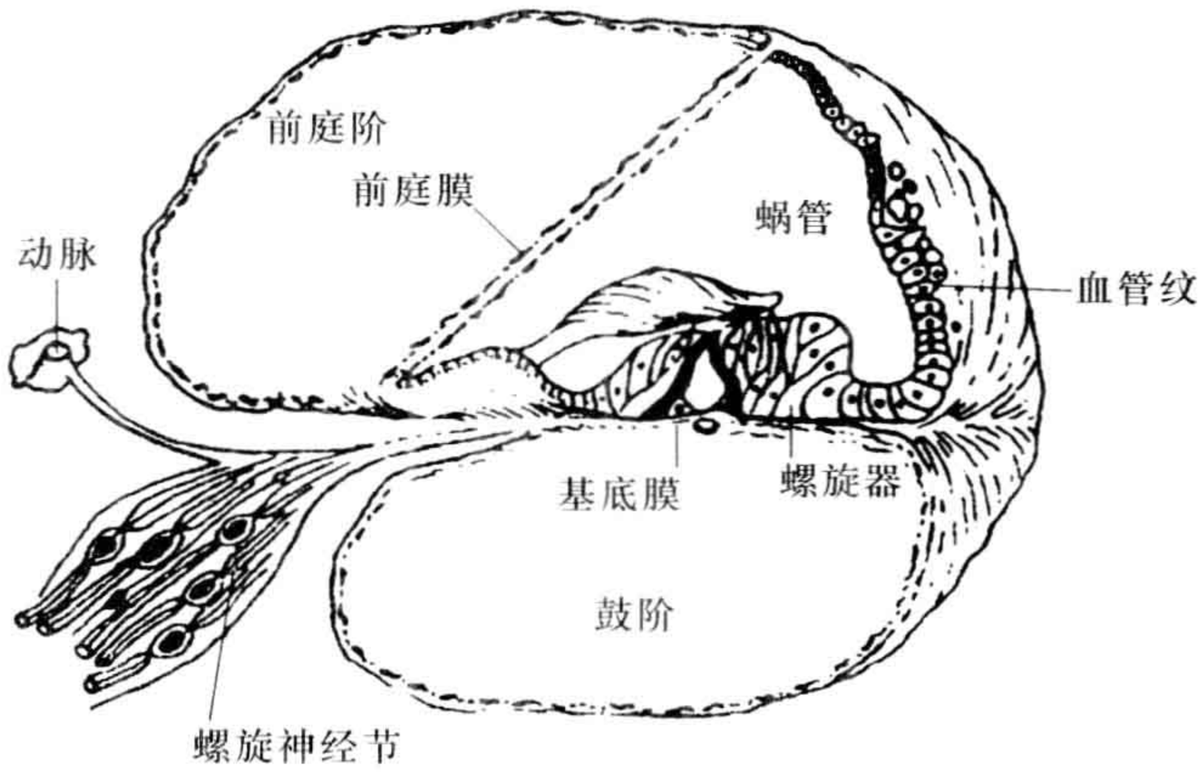


图 2-23　内耳的构造

1. 外耳

外耳是收集声音能量的，由耳廓、从耳廓延伸进去的外耳道、外耳道末端的鼓膜构成。在增强声压级到 12 dB 时，外耳道能够引起听觉的共振结构的频率段是 2 000～5 000 Hz。

2. 中耳

鼓膜把中耳和外耳隔离开来。中耳包括三块听小骨组成的听骨链（锤骨、砧骨、镫骨）。这三块小骨通过相互之间的联系把振动从鼓膜传到内耳的卵形窗。镫骨底面积附着在内耳耳蜗的卵形窗上，它把鼓膜的振动传到卵形窗上，引起内耳耳蜗内淋巴液的波动。因为鼓膜的面积比较大以及听骨链的杠杆作用，镫骨作用于卵形窗的压力被放大了将近 22 倍。

定音鼓张肌附着在锤骨上，镫骨附着肌与镫骨相连。当噪声过大时，镫骨附着肌就会收缩，减少声音向内耳的传导，以此来保护耳朵，这种反应被称为听觉反射。当声音大约在 80 dB、超出了极限水平时就会发生听觉反射。对宽频带的反射要比纯音强烈一些，低频要比高频强烈一些。听觉反射大约能够使声音降低 20 dB。在一直是高强度的噪声的情况下，肌肉可以保持紧张状态约 15 min。当耳朵充满噪声时，在肌肉收缩以前还会有 35～150 ms 的延

迟。在延迟时不能保护耳朵免受冲击，但是冲击后的放松时间又可以有 2～3 s 的延长，多数会在 0.5 s 内发生。因此，当两次冲击的间隔小于 1 s 时，这种延长时间又会起到一定的保护作用。

3. 内耳

内耳或称耳蜗，是一个螺旋的类似蛇形的构造，如图 2-23 所示。如果解开的话，约有 30 mm长，最宽的地方大约有 5 mm 或 6 mm 宽。内耳中充满了淋巴液。中耳的镫骨就像一个活塞，随着声压的改变而前后推动卵形窗的膜。淋巴液的波动会引起基底膜的振动，基底膜上的科蒂氏器含有感受声波刺激的毛细胞和神经末梢。神经末梢产生的神经冲动经过听觉神经传至大脑。

尽管人们早已知道耳朵的结构，但听觉形成的过程还没有完全了解。目前的听觉理论通常分为两类：①位置理论假设沿基底膜的不同位置的绒毛运动就好像竖琴的琴弦一样，由于这些绒毛长短不一，它们对不同频率声波的敏感性也不一样，这样就提高了感觉的程度；②时间理论认为感觉程度与绒毛发出的神经冲动的间隔时间有关。并不是一种理论就能解释所有的听觉现象。高音比较倾向于位置理论，低音则比较倾向于时间理论，在中频范围两种理论都有一定的位置。

所有这些理论的一个推论就是耳朵对于不同的声波敏感程度是不同的。通常，耳朵对于低频的声波敏感度低，高频的敏感度高一些。也就是说，对于一个给定的声压级，4 000 Hz 的声音就会听上去感觉比 200 Hz 的声音要大一些。

2.5.3 屏蔽

屏蔽是指环境中的一种声音使得耳朵对另一种声音的敏感度降低的现象。实际操作中，屏蔽是指由于屏蔽声音的出现使得被屏蔽的声音极限增加的数量。在研究屏蔽的影响时，典型的实验是先测量一个声音的绝对极限，然后加入屏蔽声音再测量它的极限，两者的差异就是屏蔽产生的效果。在选择一个在特定环境中使用的听觉信号时，我们必须要考虑信号接收时噪声的屏蔽影响。

屏蔽的影响随屏蔽声音和被屏蔽声音的类型（纯音、复合音、白噪声、语音）的不同而变化。几个通用原则如下：当屏蔽声音的频率与被屏蔽声音很接近时影响最大；屏蔽声音强度越大，屏蔽的影响范围也就越广；低强度的屏蔽声音主要影响频率接近屏蔽声音的声音，高强度的屏蔽声音却对更高频率的声音都有影响。在宽波段的噪声屏蔽纯音时，主要考虑的是在被屏蔽声音频率附近的屏蔽噪声的临界波段的强度。临界波段的大小是中心频率的函数，频率越高，临界波段就越宽。

2.6 触觉、嗅觉、味觉和本体觉

2.6.1 触觉

皮肤有三种感觉系统，一是压力感觉，二是痛觉，三是温度变化的感觉。多数情况下，人都是利用手和指头作为信息的主要感受体。工人一直在利用他们的触觉探测工件表面粗糙度。

一般使用两点极限法来测量触觉的敏感程度，即测量感觉到压力是在两个点上时，这两点间的最小距离。手的不同部分对触觉的敏感程度是不一样的，从手掌到指尖敏感度逐渐增加，指尖的分辨程度最高。当皮肤温度比较低时，触觉敏感度也会下降。因此，在低温环境中要谨慎使用触觉。然而，在凉爽或温暖的环境中，热量刺激会使温度的感觉被屏蔽。

尽管人们对触觉使用的很多，但很少用触觉来交流信息。触觉主要用在替代听觉的地方，如作为耳聋的人的辅助工具，还可以替代视觉用做盲人的辅助工具。

2.6.2　嗅觉

在日常生活中，人们经常使用嗅觉来表达一些其他器官所不能表达的信息，如花的香味、热咖啡的气味、酸奶的味道。嗅觉器官的结构很简单，但它的工作过程仍然是个谜。嗅觉上皮细胞是比较小的，为 4～6 cm^2，这些细胞位于每个鼻孔的内上侧。嗅觉细胞包括感觉不同气味的嗅觉绒毛。这些细胞都是直接和大脑中的嗅觉区域相连的。

一般都认为嗅觉是由进入鼻孔中的空气分子中的挥发性物质引起的。但研究人员还不能确定到底是分子的什么特性使得它能够引起嗅觉呢。如果嗅觉是由其固有的主要气味组成的，那它们又是什么呢？

鼻子显然是探测各种气味的一个敏感的器官，它的敏感程度依靠物质的特点和用力吸的程度。尽管人们的嗅觉是很灵的，但往往有很高的错误警报率，一般都是把没有气味误认为成有气味了。令人迷惑的是嗅觉在对具体的气味绝对判断时并不是很灵敏。对不同气味进行区别的能力也要依靠气味的类型和训练的程度而定。比如，Desor 和 Beauchamp 发现，没有经过训练的被测者只能区别出 15～32 种气味，经过训练之后，一些人就能够准确无误地辨别出 60 多种气味。这好像比视觉或听觉要高得多，其实不然。复合气味是相对于简单的化学气味而言的，而视觉的复杂图像和简单色彩是完全不同的。人们能够从文字上确定上百个不同的图像，但是确定气味的能力却相对弱一些，因为描述气味的词汇是比较贫乏的。

当仅从浓度上分辨气味时，大约能分辨三四种浓度。因此，从多种气味中辨认某种气味时，嗅觉的效果可能并不是很好，但在感觉一种气味的存在与否还是很有效的。

嗅觉的用途并不是很广，原因之一就是信息的来源不是很可靠，因为人们对不同气味的敏感程度差异很大，不新鲜的空气可能降低敏感度，人们对气味适应得很快，片刻之后对这种气味的感觉就会麻木，气味的传播很难控制。

尽管存在着这些问题，嗅觉还是有一些用途的，主要用在报警设备上。例如，煤气公司在天然气中加入一种气体，当天然气泄漏时就会闻到特别的味道。这一点也不亚于灯光报警设备的效果。

2.6.3　味觉

味觉是指食物在人的口腔内对味觉器官化学感受系统的刺激而产生的一种感觉。不同地域的人对味觉的分类不一样。从味觉的生理角度分类，只有四种基本味觉：酸、甜、苦、咸，是食物直接刺激味蕾产生的。

1. 味觉产生的过程

呈味物质刺激口腔内的味觉感受体，然后通过一个收集和传递信息的神经感觉系统传

导到大脑的味觉中枢，最后通过大脑的综合神经中枢系统的分析，从而产生味觉。不同的味觉产生有不同的味觉感受体，味觉感受体与呈味物质之间的作用力也不相同。

2. 味觉的阈值

在四种基本味觉中，人对咸味的感觉最快，对苦味的感觉最慢，但就人对味觉的敏感性来讲，苦味比其他味觉都敏感，更容易被觉察。阈值是指感受到某种呈味物质的味觉所需要的该物质的最低浓度。常温下蔗糖(甜)为0.1%，氯化钠(咸)为0.05%，柠檬酸(酸)为0.002 5%，硫酸奎宁(苦)为0.000 1%。

3. 味的相互作用

(1) 对比现象，指两种或两种以上的呈味物质适当调配，可使某种呈味物质的味觉更加突出的现象。如在10%的蔗糖中添加0.15%氯化钠，会使蔗糖的甜味更加突出，在醋酸中添加一定量的氯化钠可以使酸味更加突出，在味精中添加氯化钠会使鲜味更加突出。

(2) 相乘作用，指两种具有相同味感的物质进入口腔时，其味觉强度超过两者单独使用的味觉强度之和，又称为味的协同效应。甘草铵本身的甜度是蔗糖的50倍，但与蔗糖共同使用时末期甜度可达到蔗糖的100倍。

(3) 消杀作用：指一种呈味物质能够减弱另外一种呈味物质味觉强度的现象，又称为味的拮抗作用，如蔗糖与硫酸奎宁之间的相互作用。

(4) 变调作用，指两种呈味物质相互影响而导致其味感发生改变的现象。刚吃过苦味的东西，喝一口水就觉得水是甜的。刷过牙后吃酸的东西就有苦味产生。

(5) 疲劳作用，当长期受到某种呈味物质的刺激后，感觉刺激量或刺激强度减小的现象。

2.6.4 本体觉

1. 平衡觉

平衡觉是人对自己头部位置的各种变化及身体平衡状态的感觉。平衡觉感受器位于内耳的前庭器官——半规管和耳石器中。

半规管是三个互相垂直的呈“C”形的骨性管，分别称为水平半规管和前、后半规管。当人直立，头前倾30°时，水平半规管的平面与地面平行，前、后半规管则与地面垂直。半规管的膨大端称为壶腹，内有隆起称为壶腹嵴，含有感受性毛细胞，毛细胞周围充满液体——内淋巴。当人的头部开始旋转或停止旋转时，引起淋巴液流动，从而刺激毛细胞发放神经冲动。冲动经前庭神经传入前庭中枢。一方面传至大脑皮质产生旋转感觉，另一方面反射性地改变肌紧张度，以维持身体的平衡。如旋转以等速运动持续下去，毛细胞将不再受到刺激。因此壶腹嵴感受的刺激是旋转加速和旋转减速运动。

耳石器是两个膜质小囊——椭圆囊和球囊。囊内的囊斑含有感受性细胞。当头部位置改变时，由于重力影响，囊内的耳石膜下垂，使毛细胞被牵拉而兴奋发放神经冲动。冲动经前庭传至前庭中枢，一方面向上传至大脑皮质，产生位置感觉和变速感觉，另一方面向下通过脊髓反射性地改变肌紧张度，以维持身体的平衡。囊斑感受的刺激是直线加速和直线减速运动。

影响平衡觉并导致失去平衡的原因有酒精(当喝多了的时候可引起头晕或失去平衡)、

年龄(老年人常有一些内耳神经类型的损伤,因而造成眩晕、迷失方向)、恐惧(例如由于害怕高空,因而在高处时就眩晕)、突然的运动(如在床上躺几小时后突然跳起来)、热压(在夏天的太阳光下工作时间太长可引起头晕)、不常有的姿势等。了解上述影响平衡觉的因素,有助于对某些生产现场发生事故的原因做出全面的合理的分析。

2. 运动觉

运动觉是人对自己身体各部位的位置及其运动状态的一种内部感觉。运动觉的感受器有三种:一是广泛分布于全身肌肉中的肌梭,它接受肌肉收缩长短的刺激;二是位于肌腱内的腱梭,接受肌肉张力变化的刺激;三是关节内的关节小体,接受关节运动(屈、伸)的刺激。当人体动作时,上述感受器接收来自肌肉、关节的刺激发放神经冲动,经传入神经最后传至大脑皮层的相应区域,使人感受自己在空间的位置、姿势以及身体各部位的运动状况。

运动觉涉及人体的每一个动作,是仅次于视、听觉的感觉。人的各种操作技能的形成,更是有赖于运动觉信息的反馈调节。例如技术熟练的打字员,依靠来自其手指、臂、肩等部位的动觉信息的反馈,即可准确而协调地完成一系列动作,在此过程中,意识的参与减少到最低程度,使绝对动作的控制也被动觉对动作的控制所代替。由此可见,运动觉在随意运动的精确化和自动化方面有着其他感觉所不能及的作用。

2.7　联　觉

联觉是指各种感觉之间产生相互作用的心理现象,即对一种感官的刺激作用触发另一种感觉的现象。最常见的联觉是“色—听”联觉,即对色彩的感觉能引起相应的听觉,现代的“彩色音乐”就是这一原理的运用。色觉又兼有温度感觉,例如,红色、橙色、黄色会使人感到温暖,所以这些颜色被称作暖色;蓝色、青色、绿色会使人感到寒冷,因此这些颜色被称作冷色。还有一种色觉称“光幻觉”,可伴有味、触、痛、嗅或温度觉。“语—色联觉”是指某些词汇引起的色觉。日常生活中,人们常说“甜蜜的声音”、“冰冷的脸色”等,都是联觉现象。人们在绘画、建筑、环境布置、图案设计等活动中经常利用联觉现象以增强相应的效果;有些画家进行过联觉实验,比如用鲜明的色调对比引起一种非视觉的反应;联觉还被许多诗人用做一种创作手段。不妨想象一下,如果声音能用视觉感知,而味道能用听觉感知,那将是什么样的情景。你可能会看到带颜色的音符,品尝到甜的或咸的歌曲,触摸到粗糙的乐曲。近几年,人们通过正电子发射计算机断层扫描(Positron Emission Tomography,PET)研究证实,人类大脑的每一个区域负责某种感觉成分,这就使得声音分属听觉区,而不是视觉或嗅觉区。但是,有时两种不同的区域发生融合,于是就会看见有颜色的音符,听见土豆的味道,并且在许多数字中能立刻辨别出一组相同的数字,因为这些数字可以从颜色上分辨出来。这就是联觉现象。

美国神经学家理查德·西托威克(Richard Cytowic)在其《尝出形状味道的人》(*The Man Who Tasted Shapes*)一书中说:“我们可以把感觉与电视转播信号相比拟。电视信号从演播室出发,经过漫长的旅程,最后传送到电视机上。电视屏幕上出现的画面可比作我们正常的感觉,信号在其行程的终点被转换成电视图像信息。但是如果我们能在信号传送的中途截获并解读它,我们看到的东西就不同于电视画面:这种经验可以与联觉的感受相比拟。”

在15年的研究中，西托威克估算了这种现象在人群中的发生率：大约在25 000人中有1人具有较稳定的联觉感知，在这些人中大部分是女性。因此可以设想，联觉是一种与X染色体相关联的遗传特性。实际上，继承这个特性就意味着要打乱发育期间的一种进程，在这一进程当中，人的感觉被“分为”5种不同的类别。在西托威克看来，这种感觉分类的过程从胎儿大约4个月时就开始了，直到青春期才彻底结束。

2002年，英国剑桥大学的西蒙·巴伦-科恩(Simon Baron-Cohen)在《自然》(*Nature*)杂志上发表的研究文章再一次证实了这个论点。他认为，各种感知能力在开始时是融合在一起的，只是在成长的过程中才逐渐被分开。因此，对一个婴儿来说，妈妈的声音很可能带有美丽的颜色和温馨的香气。然而，在某些人身上，各种感觉区之间的联系是如此之多，以致没有发生感觉的分离，从而在成年后出现了联觉的感受。在外人看来，他们是一些特殊的“幸运儿”，得以自动获得这种感觉，事实上他们并不想这样。对于他们来说，世界可能完全是另一个模样：伴有视觉的声音类似于五颜六色的烟火，对语言和抽象的概念与颜色混在一起。西托威克解释说：“多数情况下，两种合并的感觉往往是视觉和听觉。如清脆的铃声可能引出一组三角形，出现在自己面前约15 cm远的地方；狗的叫声可能与一组运动着的圆和点联系起来。”发生这种联觉是因为负责这些感觉的大脑皮层区很接近，解读颜色的皮层区与解读数字和声音的皮层区都相距很近。

2.8 人的物理特性

本节主要介绍与人体尺寸相关的人的物理特性。

2.8.1 人体尺寸

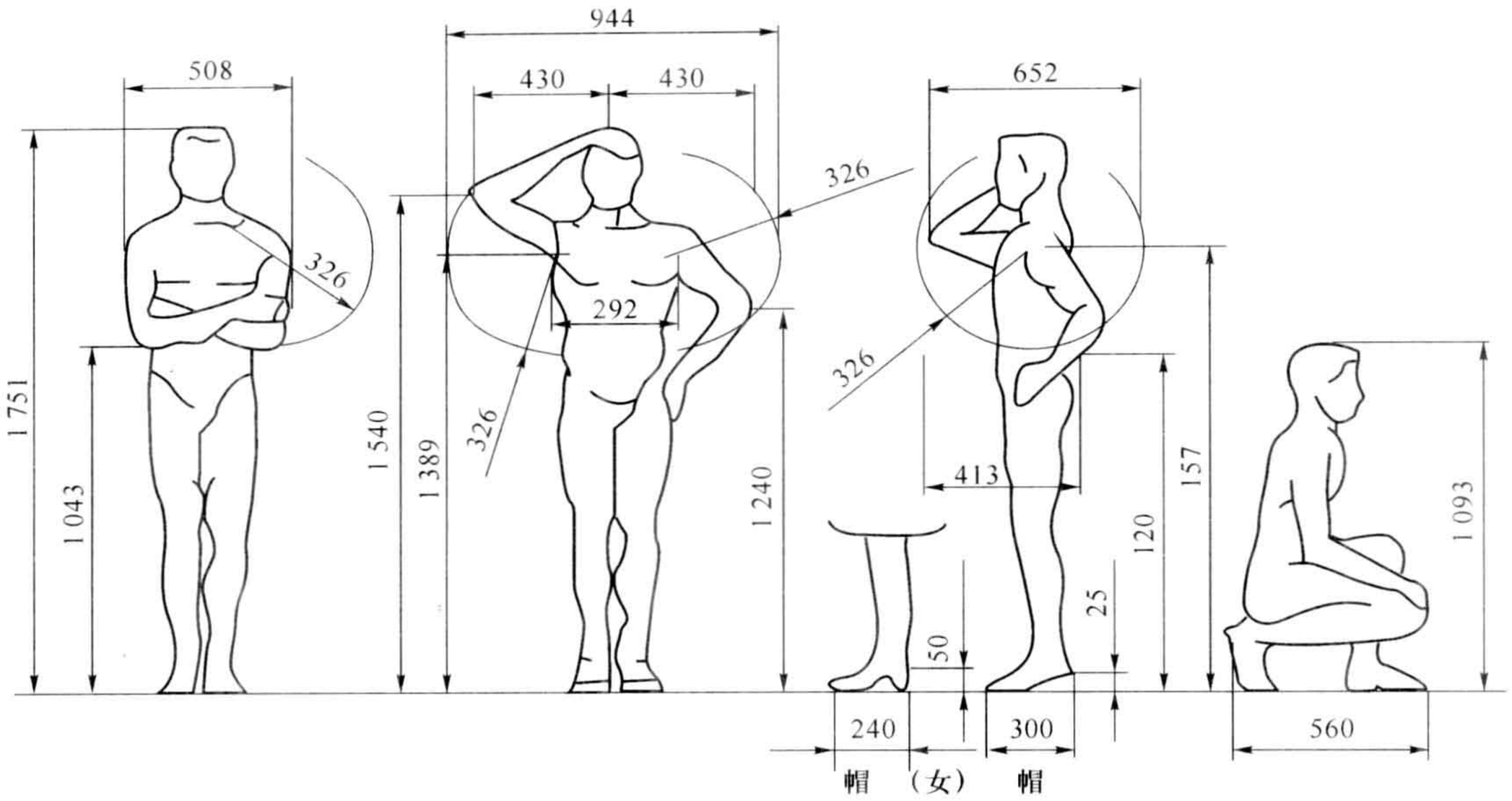
人体的测量尺寸数据主要有两类：静态人体尺寸(或称人体构造尺寸)和动态人体尺寸(或称人体功能尺寸)。

1. 静态人体尺寸

静态人体尺寸是指被测者静止地站着或坐着测量时获取的人体尺寸。静态人体尺寸可以作为工作空间大小的设计依据。目前我国成年人静态测量项目，国家标准规定的立姿有40项，坐姿有22项。图2-24所示为静态下测出的男性身体处于站、坐、跪、卧、蹲等位置时的限制尺寸，供设计时参考。

2. 动态人体尺寸

动态人体尺寸是指被测者处于动作状态下测量时获取的人体尺寸。动态人体尺寸是在执行某种动作时的身体动态特征。在任何一种身体活动中，身体各部位的动作并不是独立的，而是协调一致的。例如，手臂可及的极限并非由手臂长度唯一决定，它还受到肩部运动、躯干的扭转、背部的屈曲的影响。动态人体测量通常是对手、上肢、下肢、脚所及的范围以及各关节能转动的角度进行测量。GB/T13547—92提供了我国成年人立、坐、跪、爬等作业姿势功能尺寸数据，表2-4列举了部分尺寸。



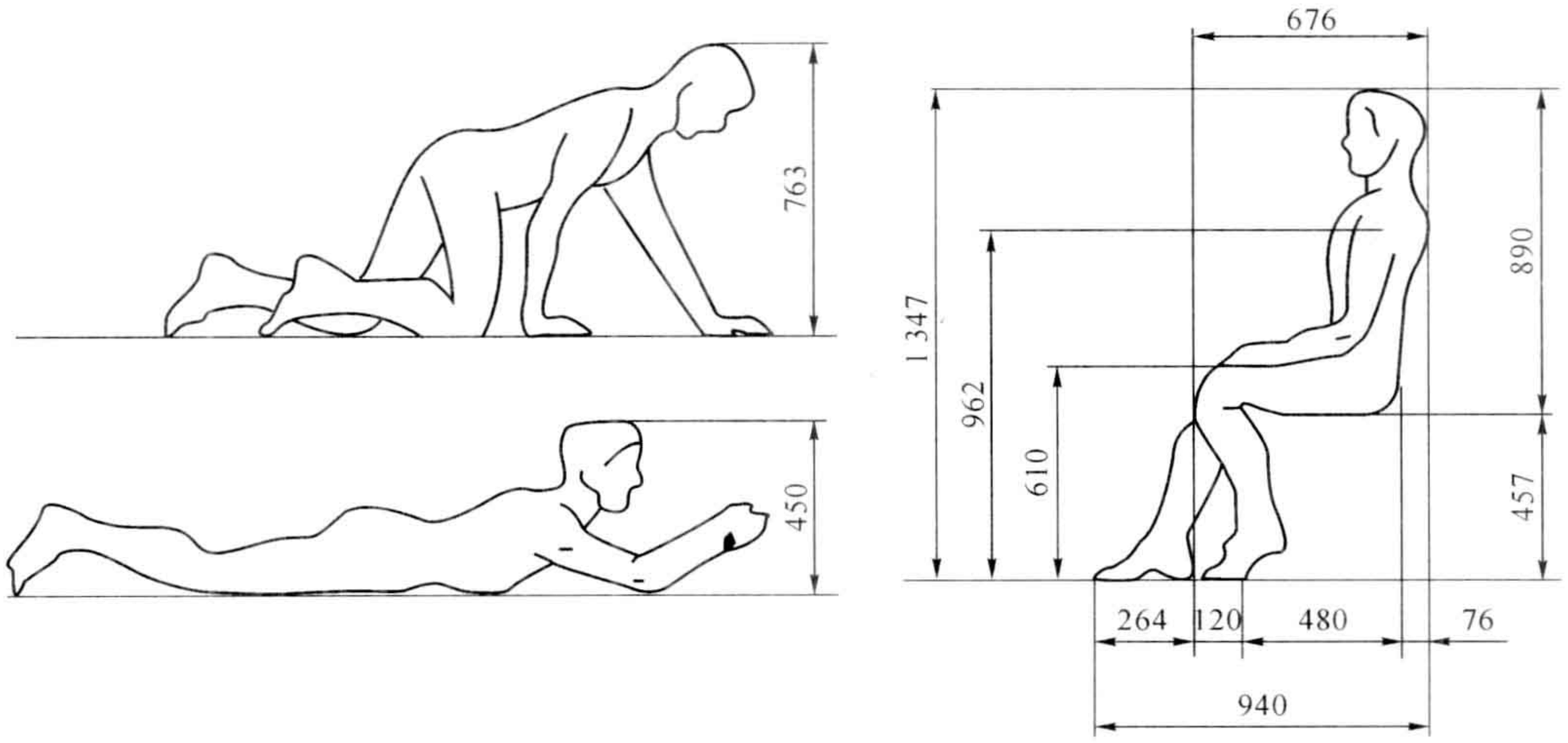


图 2-24　男性静态限制尺寸

表 2-4　我国成人男女上肢功能尺寸

测量项目	男(18～60 岁)			女(18～55 岁)		
	5%	50%	95%	5%	50%	95%
立姿双手上举高	1 971 mm	2 108 mm	2 245 mm	1 845 mm	1 968 mm	2 089 mm
立姿双手功能上举高	1 869 mm	2 003 mm	2 138 mm	1 741 mm	1 860 mm	1 976 mm
立姿双手左右平展宽	1 579 mm	1 691 mm	1 802 mm	1 457 mm	1 559 mm	1 659 mm
立姿双臂功能平展宽	1 374 mm	1 483 mm	1 593 mm	1 248 mm	1 344 mm	1 438 mm

续 表

测量项目	男(18～60 岁)			女(18～55 岁)		
	5%	50%	95%	5%	50%	95%
立姿双肘平展宽	816 mm	875 mm	936 mm	756 mm	811 mm	869 mm
坐姿前臂手前伸长	416 mm	447 mm	478 mm	383 mm	413 mm	442 mm
坐姿前臂手功能前伸长	310 mm	343 mm	376 mm	277 mm	306 mm	333 mm
坐姿上肢前伸长	777 mm	834 mm	892 mm	721 mm	764 mm	818 mm
坐姿上肢功能前伸长	673 mm	730 mm	789 mm	607 mm	657 mm	707 mm
坐姿双手上举高	1 249 mm	1 339 mm	1 426 mm	1 173 mm	1 251 mm	1 328 mm
跪姿体长	592 mm	626 mm	661 mm	553 mm	587 mm	624 mm
跪姿体高	1 190 mm	1 260 mm	1 330 mm	1 137 mm	1 196 mm	1 258 mm
俯卧体长	2 000 mm	2 127 mm	2 257 mm	1 867 mm	1 982 mm	2 102 mm
俯卧体高	364 mm	372 mm	383 mm	359 mm	369 mm	384 mm
爬姿体长	1 247 mm	1 315 mm	1 384 mm	1 183 mm	1 239 mm	1 296 mm
爬姿体高	761 mm	798 mm	836 mm	694 mm	738 mm	783 mm

人体尺寸数据随年龄、性别、种族、职业的不同而具有显著的差异。这种差异性必然会影响设备和工作空间的设计。

(1) 年龄差异

人体尺寸随年龄增长过程而变化。通常男性 15 岁、女性 13 岁时,双手的尺寸就达到了一定值。男性 17 岁、女性 15 岁时,脚的大小也基本定型。在 35～40 岁时,成年人身高随年龄的增长开始减小,且女性比男性明显。与身高不同,体重、肩宽、腹围、臀围、胸围却随年龄的增长继续增加。因此,在选用人体尺寸时,必须考虑所选年龄组的人的工作和生活环境。

(2) 性别差异

在男性与女性之间,人体尺寸、重量和比例关系都有明显差异。对于大多数人体尺寸,男性都比女性大些,但有四个尺寸:胸厚、臀宽、臂部及大腿周长,女性比男性的大。男女即使在身高相同的情况下,身体各部分的比例也是不同的。同整个身体相比,女性的手臂和腿较短,躯干和头占的比例较大,肩较窄,骨盆较宽。因此,以矮小男性的人体尺寸代替女性人体尺寸使用是错误的,特别是在腿的长度尺寸起重要作用的工作场所,如坐姿操作的工作,考虑女性的人体尺寸的特殊性至关重要。

(3) 种族差异

不同的国家、不同的地区、不同的种族人体尺寸差异较大,即使在同一国家,不同区域也有差异。对美国空军中男性黑人和白人军人所作的人体测量调查表明:他们的平均身高虽然相同,但是黑人军人群体的四肢长度大于白人军人群体;相反,其躯干长度却比白人军人群体的短。对美国空军和日本空军的人体测量数据加以比较后,研究人员发现,日本人虽然在身材上矮些,但他们的平均坐高值与美国空军人员的该值相差不多(说明两者间身高值的差异主要体现在下肢长度上)。不同种族之间,上肢相对长度的差异性与下肢相对长度的差异性是相类似的。有研究表明,不同种族间身体的差异主要是由于四肢的远位部分(即小臂

和小腿)在长短上的差异引起的,而不是由于四肢的近位部分(即上臂和大腿)的长短差异所致。在进行设计时,必须考虑不同国家、不同区域人体尺寸的差异。

(4) 职业差异

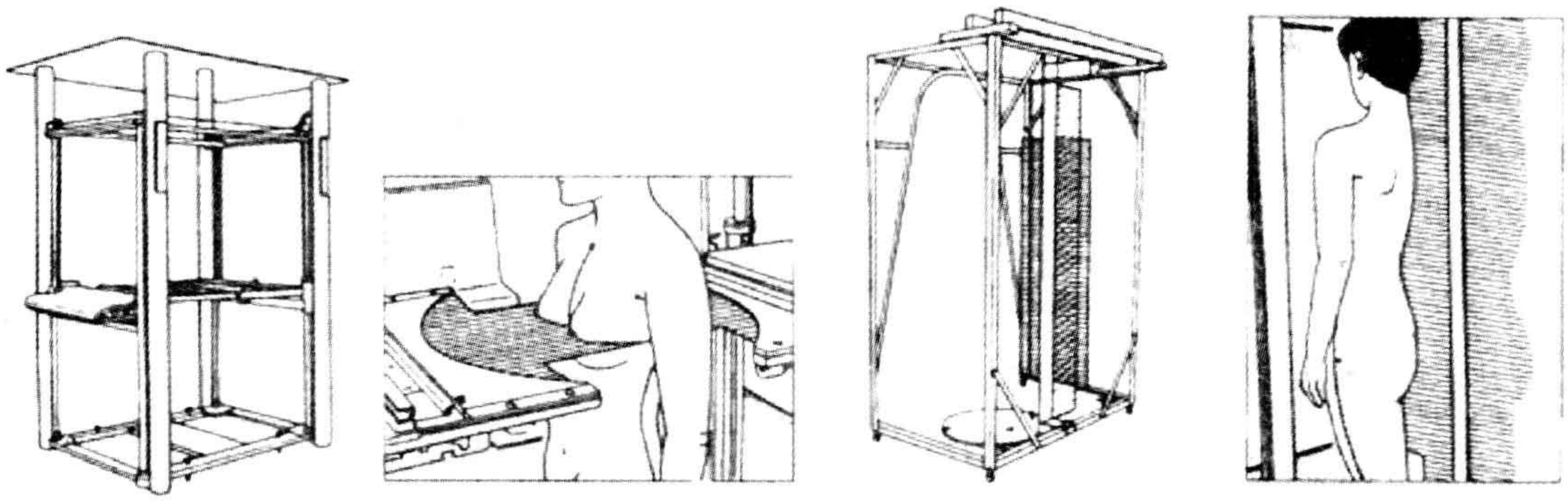
不同职业的人,在身体大小及比例上也存在着差异,例如,一般体力劳动者平均身体尺寸都比脑力劳动者稍大些。在美国,工业部门的工作人员要比军队人员矮小;在我国,一般部门的工作人员要比体育运动系统的人矮小。由于职业引起的差异性是由多个因素导致的,如工作时体力活动的类型和强度,某些职业要求特定的身体条件,不同个体择业时的自我评价和选择等。也有一些人由于长期的职业活动改变了形体,使其某些身体特征与人们的平均值不同。对于不同职业所造成的人体尺寸差异,在产品设计中必须予以注意。

3. 人体形状测量

在人机工程及界面科学中,为了设计适合人体的环境、道具、机械等,人体形状是首先要考虑的因素。前述的人体计测是以人体的点、线计测为核心,对人体形状的计测要求进行三维立体测量。其主要测定方法有以下几种。

(1) 滑动测量

使用滑动测量法可测出人体的任一水平断面和垂直断面。图 2-25(a)、(b)分别为水平断面测量用滑动测量装置和测量例,图 2-25(c)、(d)分别为垂直断面测量用滑动测量装置和测量例。以图 2-25(c)、(d)所示垂直断面测量为例,在一垂直平板上密布有很多根同直径、同长短、能自由抽动的很细的短棒。测定时将短棒前端依次触到人体皮肤表面,短棒前端形成的曲线或曲面即为人体在某一垂直面上的体形。滑动测量装置四周框架除了安装测量件外,还起到固定被测人员,使其在测量过程中保持不动的作用。



(a)横断面测定用滑动测量装置　(b)横断面体型的测定用滑动测量装置　(c)纵断面测定用滑动测量装置　(d)纵断面体型的测定用滑动测量装置

图 2-25　滑动测量方法及装置

(2) 照相计测

结合计算机技术的立体照相计测不仅可获取人体形状,在医学诊断上(如人体的脊柱检测)也使用了照相计测技术。我国的有关科研部门也在开展这方面的应用研究。照相测量法是一种运用光学技术对被测对象进行数码拍摄,并在拍摄结果上根据像素位置计算得到物体实际尺寸的间接非接触式测量手段。利用照相法进行人体尺寸测量主要有以下三个步骤。

① 在被测对象的身体上标定待测尺寸的测量点,例如测量肩宽时需要标定对象的肩峰点等。

② 选定标杆的位置及拍摄角度，标杆应尽量与被测尺寸处在同一平面内，同时相机的主光轴应与标杆和被测尺寸所在的平面垂直。

③ 对被测对象进行拍照，并将结果读入计算机，利用图像处理软件精确读取标杆两端点的像素坐标以及被测尺寸两端点的像素坐标，两者比值乘以标杆实际尺寸即为被测部分实际尺寸。

(3) 激光计测

图 2-26 所示为三维人体计测装置。将人体立于圆桶形膜盒中，用激光从周围对人体全身进行计测。

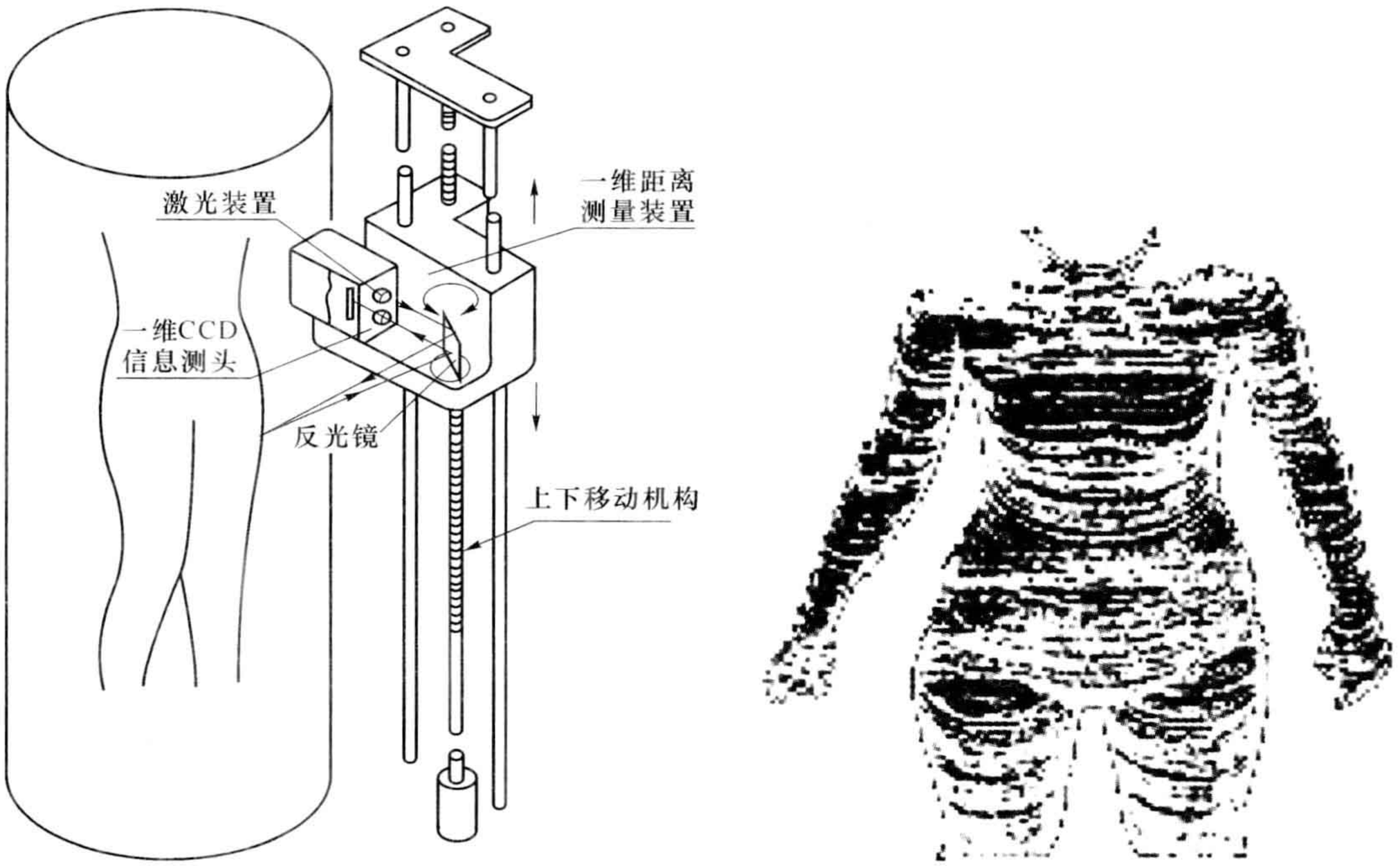


图 2-26　激光测量方法及装置

2.8.2　人体尺寸的统计特性

为了在工程设计中处理各种人体测量尺寸的差异性，通常将人体测量尺寸作为统计分布值来加以分析。受多种变量因素的影响，人体尺度表现出多样性、变化性和复杂性。但人体测量值大多数都符合正态分布(高斯分布)规律，这样使得这些数据处理起来方便和容易得多。

1. 均值

均值是人体测量数据统计中的一个重要指标。它表示样本的测量数据集中地趋向某一个值，该值称为均值。它可用以衡量一定条件下的测量水平或概括地表现测量数据的集中情况。对于有 n 个样本的测量值 $x_1, x_2, \cdots, x_n$，其均值为

$$\overline{X} = \frac{\sum_{i=1}^{n} x}{n} \tag{2.2}$$

2. 方差

描述测量数据在中心位置(均值)上下波动程度差异的值叫方差。方差表明样本的测量值既趋向均值,又在一定范围内波动。对于均值为$\overline{X}$的 n 个样本测量值 $x_1, x_2, \cdots, x_n$,其方差 S^2 的定义为

$$S^2 = \frac{1}{n-1}\sum_{i=1}^{n}(x_i - \overline{x})^2 \tag{2.3}$$

在很多情况下用下式计算方差

$$S^2 = \frac{1}{n-1}\sum_{i=1}^{n}(x_i^2 - n\overline{x}^2) \tag{2.4}$$

如果测量值 x_i 全部靠近均值,则优先选用式(2.3)来计算方差。

3. 标准差

方差的量纲是测量值量纲的平方,为使其量纲和均值相一致,则取其均方根,即用标准差来说明测量值对均值的波动情况。对于均值为$\overline{X}$的 n 个样本测量值 $x_1, x_2, \cdots, x_n$,其标准差 S_D 的一般计算式为

$$S_D = \left[\frac{1}{n-1}\left(\sum_{i=1}^{n}x_i^2 - n\overline{x}^2\right)\right]^{\frac{1}{2}} \tag{2.5}$$

4. 抽样误差

抽样误差又称标准误差,即全部样本均值的标准差,在实际测量和统计分析中,总是以样本推测总体,而在一般情况下,样本与总体不可能完全不同,其差别就是由抽样引起的。抽样误差数值大,表明样本均值与总体均值的差别大。当样本数据的标准差为 S_D,样本容量为 n 时,则抽样误差计算公式为

$$S_{\overline{x}} = \frac{S_D}{\sqrt{n}} \tag{2.6}$$

由式(2.6)可知,如果测量方法不变,样本容量越多,则测量结果精度越高。因此,在许可范围内增加样本容量,可以提高测量结果的精度。

5. 百分位概念

百分位是一个界限,以符号 P_K 表示,一个百分位值将群体或样本的观测值分为两部分,有 $K\%$的观测值小于等于它,有$(100-K)\%$的观测值大于它。百分位表示设计的适应域。在人类工程学设计中常用的是第 5、50、95 百分位。第 5 百分位数代表“小身材”,即只有 5% 的人群的数值低于此值;第 50 百分位数代表“适中”身材,即分别有 50% 的人群的数值高于或低于此值;第 95 百分位数代表“大”身材,即只有 5% 的人群的数值高于此值。必须注意的是,百分位是针对特定的群体对象的,在讨论人体中的某一个身体尺寸时,须指明百分位是针对哪个身体尺寸。

在人体测量资料中,常常给出的是第 5、50 和 95 百分位数值。在设计中,当需要得到任一百分位数值时,则可按下式进行计算。

1%～50%之间的数值

$$P_K = \overline{X} - S_D K \tag{2.7}$$

50%～99%之间的数值

$$P_K = \overline{X} + S_D K \tag{2.8}$$

式中，$\overline{X}$为平均值；S_D 为标准差；K 为百分比变换系数，可由表 2-5 查得。

平均值是作为设计的基本尺寸，而标准差是作为设计的调整量的。

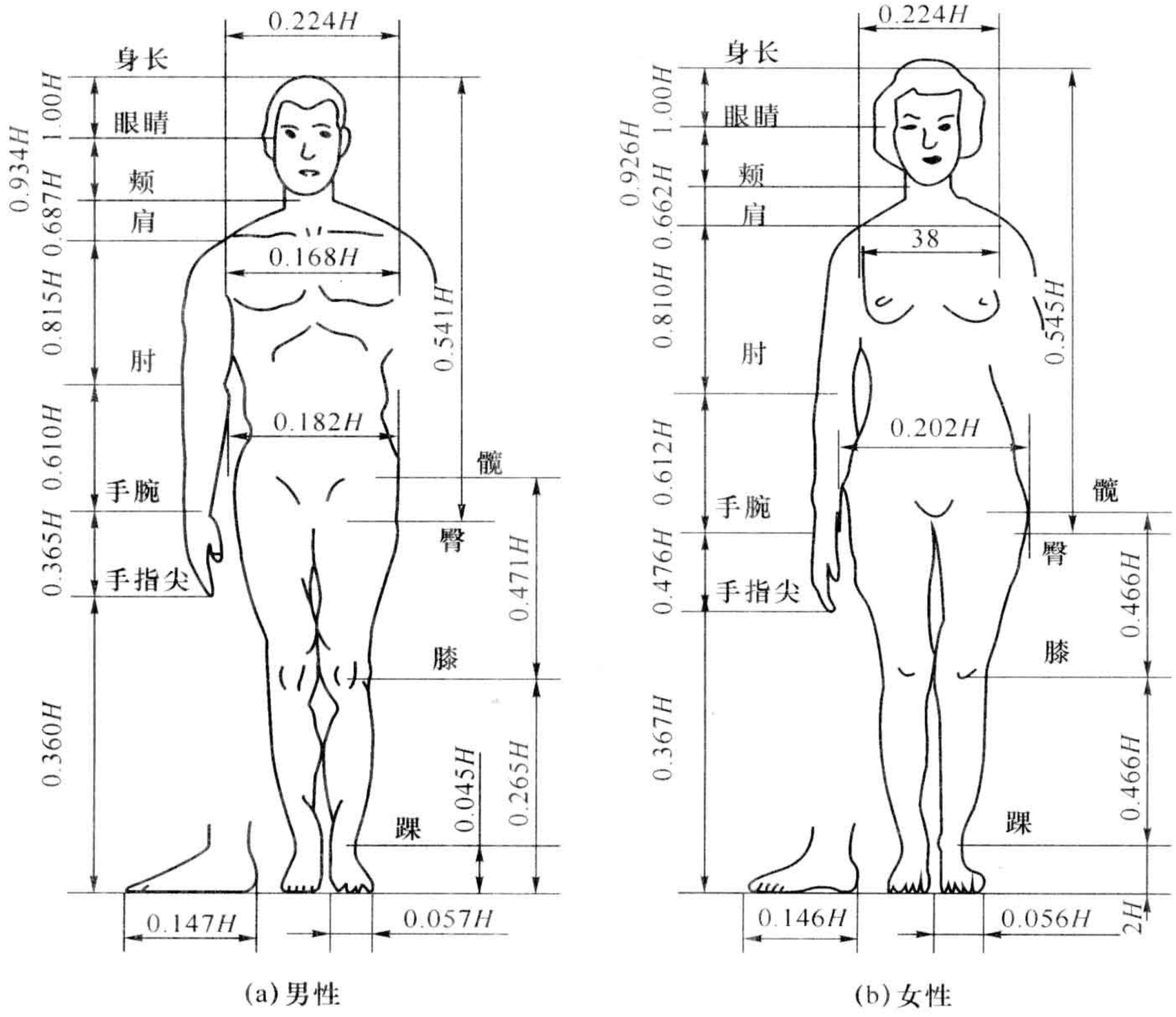
表 2-5　百分比与变换系数 K

百分比/(%)	K	百分比/(%)	K	百分比/(%)	K
0.5	2.576	25	0.674	90	1.282
1.0	2.326	30	0.524	95	1.645
2.5	1.960	50	0.000	97.5	1.960
5	1.645	70	0.524	99.0	2.326
10	1.282	75	0.674	99.5	2.576
15	1.036	80	0.842		
20	0.842	85	1.036		

2.8.3　人体各部分尺寸与身高的相关计算

1. 我国成年人人体各部分尺寸与身高的比例关系

根据 GB 10000—88《中国成年人人体尺寸》给定的人体尺寸数据的均值，推算出我国成年人(男 18～60 岁，女 18～55 岁)人体各部分尺寸与身高 H 的比例关系如图 2-27 所示。



(a) 男性　　(b) 女性

图 2-27　我国成年人人体各部分尺寸与身高 H 的比例关系

2. 体重与身高的相关计算

一般人体的体重与身高之间存在下述关系。

$$W=H-110 \tag{2.9}$$

式中，W 为体重(kg)；H 为身高(cm)。

3. 人体体积和表面积的计算

当体重在 50～100 kg 时，可根据体重、身高按下列公式求得人体体积和表面积。

人体体积计算公式为

$$V=1.015W-4.937 \tag{2.10}$$

式中，V 为人体体积(L)。

人体表面积计算公式如下。

(1) 由身高计算人体表面积

男性
$$B=100H \tag{2.11}$$

女性
$$B=77H \tag{2.12}$$

(2) 由身高和体重计算人体表面积

$$B=0.006\,1H+0.012\,8W-0.152\,9 \tag{2.13}$$

或
$$B=W^{0.425}H^{0.725}\times 72.46 \tag{2.14}$$

式中，B 为人体表面积(m^2)。

4. 人体生物力学参数的计算

在已知人体身高 H(cm)、体重 W(kg)、体积 V(L)时，可计算出人体生物力学各参数的近似值，见表 2-6。

表 2-6　人体生物力学参数的计算公式

名　称	算　式
人体各部分长度(以人体身高 H 为基础)/cm	手掌长 $L_1=0.109H$
	前臂长 $L_2=0.157H$
	上臂长 $L_3=0.172H$
	大腿长 $L_4=0.232H$
	小腿长 $L_5=0.247H$
	躯干长 $L_6=0.300H$
人体各部分重心位置(指靠近身体中心关节的距离)/cm	手掌重心位置 $O_1=0.506L_1$
	前臂重心位置 $O_2=0.403L_2$
	上臂重心位置 $O_3=0.436L_3$
	大腿重心位置 $O_4=0.433L_4$
	小腿重心位置 $O_5=0.433L_5$
	躯干重心位置 $O_6=0.660L_6$
人体各部分的旋转半径(指靠近身体中心关节的距离)/cm	手掌旋转半径 $R_1=0.587L_1$
	前臂旋转半径 $R_2=0.526L_2$
	上臂旋转半径 $R_3=0.542L_3$
	大腿旋转半径 $R_4=0.540L_4$
	小腿旋转半径 $R_5=0.528L_5$
	躯干旋转半径 $R_6=0.830L_6$

续 表

名　称	算　式
人体各部分体积(L)	手掌体积 $V_1=0.005\ 66V$
	前臂体积 $V_2=0.017\ 02V$
	上臂体积 $V_3=0.034\ 95V$
	大腿体积 $V_4=0.092\ 4V$
	小腿体积 $V_5=0.408\ 3V$
	躯干体积 $V_6=0.613\ 2V$
人体各部分的重量(kg)	手掌重量 $W_1=0.006W$
	前臂重量 $W_2=0.018\ 2W$
	上臂重量 $W_3=0.035\ 7W$
	大腿重量 $W_4=0.094\ 6W$
	小腿重量 $W_5=0.042W$
	躯干重量 $W_6=0.580\ 4W$
人体各部分转动惯量(指绕关节转动的惯量 $kg\cdot m^2$)	手掌转动惯量 $I_1=W_1\times R_1^2$
	前臂转动惯量 $I_2=W_2\times R_2^2$
	上臂转动惯量 $I_3=W_3\times R_3^2$
	大腿转动惯量 $I_4=W_4\times R_4^2$
	小腿转动惯量 $I_5=W_5\times R_5^2$
	躯干转动惯量 $I_6=W_6\times R_6^2$

5. 不同性别的相关计算

同一民族的男性与女性，在身高、体重等参数之间也存在着相互关系，可用相互换算。日本人机工程学者大岛正光由测量调查而求得了以男性数据为基数求女性参数的换算系数。表 2-7 是由男性测量值求女性人体尺寸的换算系数。

表 2-7　由男性测量值求女性人体尺寸的换算系数

部位	系数/(%)	部位	系数/(%)
身长	95	胸围	90
上肢长	93	腰围	89
下肢长	94	臀围	102
两臂展开宽	93	上臂围	96
足长	94	前臂围	92
躯干长	96	大腿围	102
头长	92	腿肚围	98
形态面高	92	手宽	94
头周	98	足宽	93
颈围	90		

根据上述图、表和公式计算人体参数，可以简化人体测量的复杂过程，比较方便、实用。但是，通过间接计算所得的数据均为近似值。与直接测量所得数据比较，有一定的误差。因此，将这些近似值用于设计时，必须考虑它们能否满足设计要求。

2.8.4　人体数据库管理系统设计

人体数据库管理系统是三维人体建模系统的一个子系统，它除了具有一般数据库管理的查询、添加、删除、更新的功能外，还为建立人体建模提供必要的人体测量参数。

1. 数据源

三维人体建模系统主要用于座舱人机界面设计，故人体测量数据主要来源于 GJB 4856—2003《中国男性飞行员人体尺寸》。该标准收录了男性飞行员（包括混合机种飞行员、歼/强击机飞行员、轰炸机/直升机飞行员、运输机飞行员）的基础测量项目数据 141 项和推荐项目数据 164 项。这些测量项目为静态测量，缺乏建立人体模型和进行人机工程分析必须的功能尺寸和生物力学参数。为此，人体尺寸数据库补充了中国成年人人体尺寸、人体的动态尺寸数据、人体生物力学参数（人的最大关节力矩和关节活动范围等）、可根据已有尺寸推算未知尺寸的公式等人体尺寸数据和资料。

2. 数据库开发工具

人体尺寸数据库采用 Microsoft Access 作为后台数据库，利用数据库访问对象（DAO）作为数据库接口，Visual C＋＋编程进行前端数据操作。

DAO 是“数据访问对象”的缩写。数据访问对象就是一组 Microsoft Access/Jet 数据库引擎的（COM）自治接口。DAO 直接与 Access/Jet 数据库对话。DAO 作为数据库访问接口，具有如下优点。①DAO 的基于 COM 的自治接口提供了比基于函数的 API（应用程序接口）更多的功能。②DAO 提供了一种数据库编程的对象模型，更适合于面向对象的程序开发。③DAO 提供了一组用于连接数据库并对数据库进行操作的对象，这些 DAO 对象很容易集成到面向对象应用程序的源代码中。④DAO 对象模型还封装了 Access 数据库的结构单元，如表、查询、索引等，这使用户可以直接修改 Access 数据库的结构。

3. 数据库构架和功能

人体数据库的框架结构如图 2-28 所示。人体数据库是人体建模系统的子系统。按数据在人机工程分析中的作用将它们分为静态尺寸、动态尺寸、生物力学参数和经验公式 4 大类。这 4 类数据还可以进一步分解，如静态尺寸可分为飞行员数据和成年人数据，飞行员数据又包含各个机种的飞行员数据。以此类推，将人体数据层层细分至最基本的数据组，形成一个树状结构。基本数据组存贮在一个数据表中，按“多对一”的关系建立上层数据表，以此类推，直至树结构的根节点，完成数据库的创建。按这样的层次结构即可访问数据库中的每一个数据。

人体数据库也具有一般数据库的基本功能，如查询、添加、删除和更改数据。基本功能的流程如图 2-29 所示，使用者通过人体建模系统的数据库管理选项进入数据库用户界面，选择功能选项，执行相应的 SQL 语句，然后返回调用处。如果出错则给出错误提示。

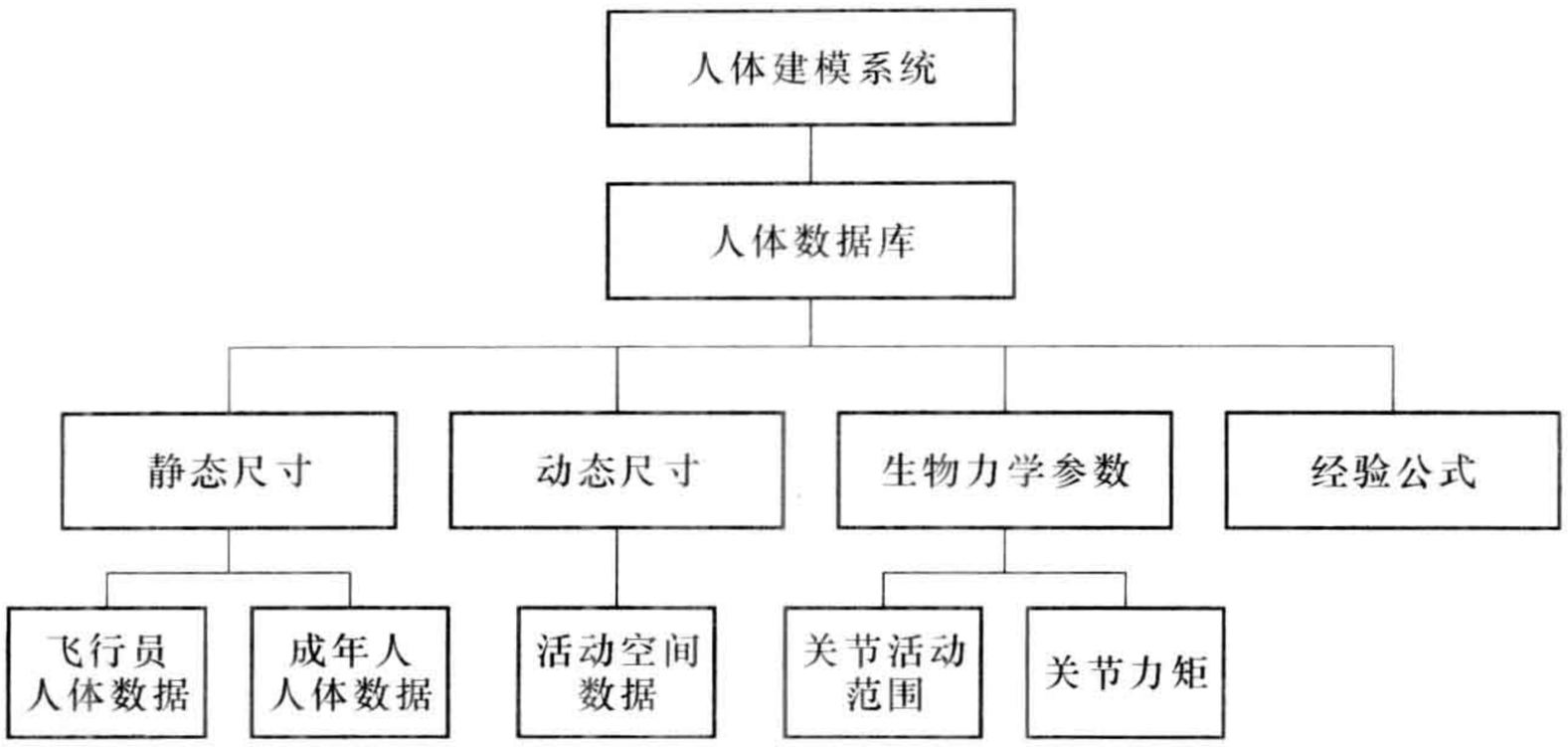


图 2-28　数据库构架

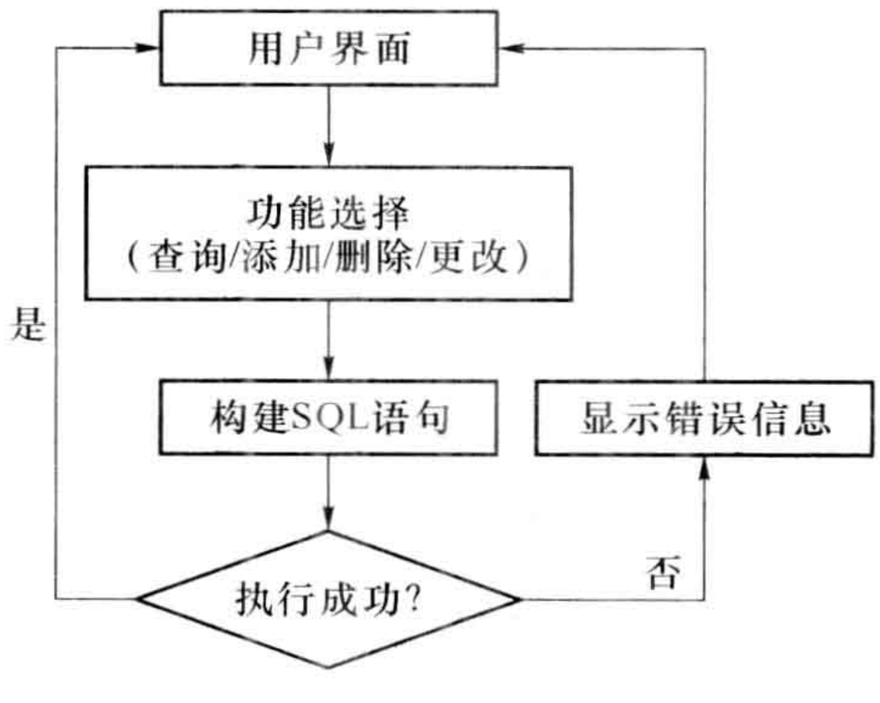


图 2-29　数据库的基本功能流程

人体数据库主要功能是为人体建模提供相关的人体数据，工作过程如图 2-30 所示。当有新建人体模型的指令时，首先分析建立模型需要哪些数据，然后优先检索飞行员相关的数据表，若数据存在，调用该数据建立人体模型。若不存在，检索补充数据库，如果找到数据则调用数据建模，否则检查能否用现有的经验公式算出所需数据，能算出则继续建模工作，不能算出则返回调用处，并给出缺少数据，建模中止的提示。作为人体尺寸数据库的应用，图 2-31 显示了混合机种飞行员测量数据查询结果。

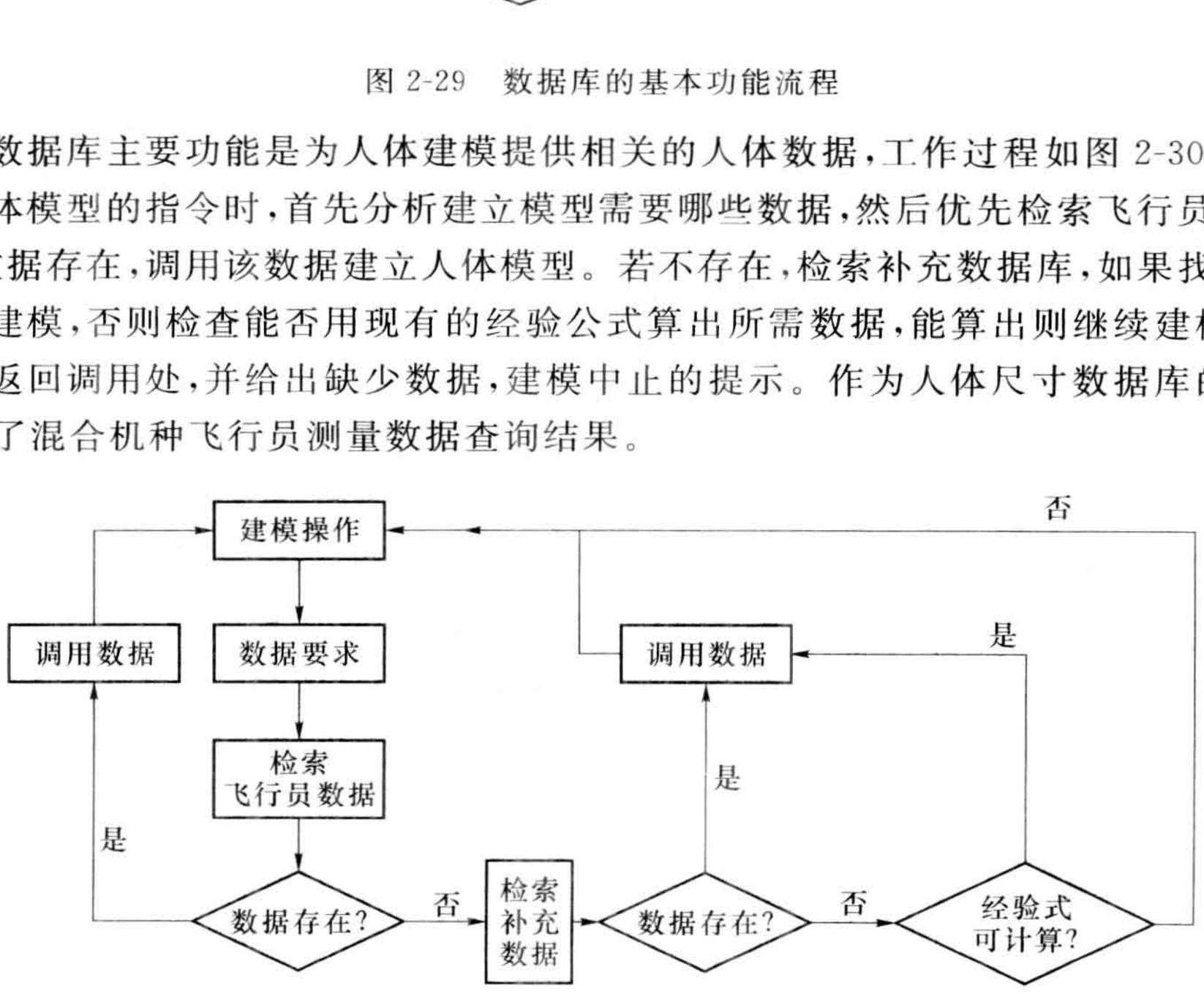


图 2-30　人体建模数据支持功能

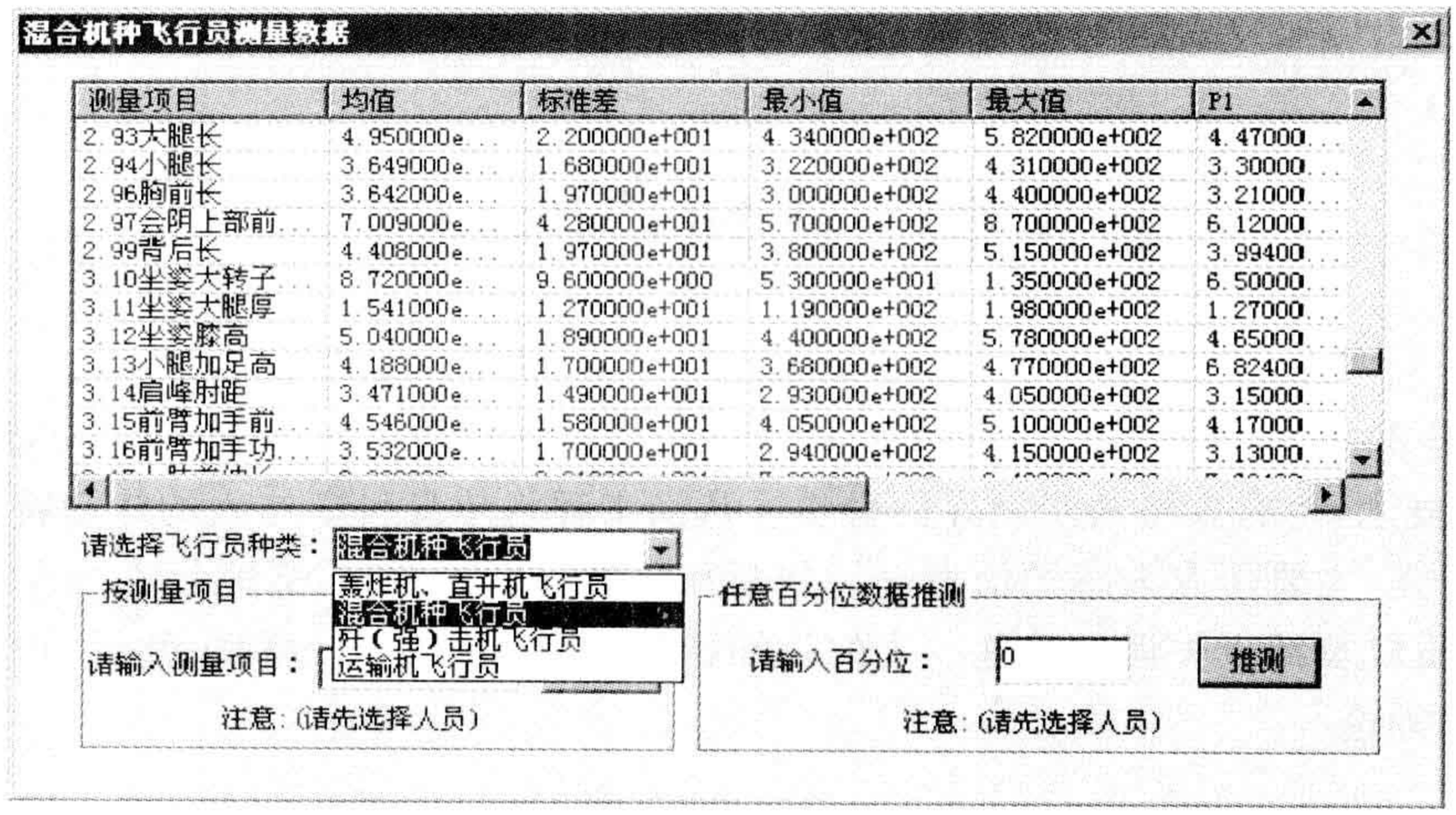


图 2-31　混合机种飞行员测量数据查询结果

习题与思考题

2-1　人的感觉特性主要有哪几种？它们的特点是什么？

2-2　人体的测量尺寸数据主要有哪两类？它们对人机界面的设计有何影响？

2-3　查阅资料后论述如何针对某个具体人机界面(互联网、手机、电视等)对人的感觉特性进行研究，并尝试设计一个实验以证明你的研究结论。

第3章　认知特性与分析

20世纪80年代中期，D. NormanJ. 和 Rsmuseen 分别提出了认知工程(cognitive engineering)的概念，也有人将其叫做界面科学。认知工程将信息科学与人的认知特性和行为相结合进行研究，主要研究人感知信息进行判断和决策的行为过程，研究旨在揭示人失误的原因、失误本质以及减少失误的措施。人的认知特性涉及人的认识过程中知觉、记忆、注意、思维等特性和理论。

3.1　理解和认识

3.1.1　理解

理解是学习过程的重要组成部分，现代认知心理学认为理解实质上就是人以信息的传输、编码为基础，根据已有信息建构内部的心理表征，并进而获得心理意义的过程。

理解可因人的特征和学习内容不同而异，每个人会根据自己的图式对输入信息进行整合，从而产生自己的理解。但就学习的具体过程而言，人的理解存在着一般的模式，从信息加工理论的角度来看，人的理解过程可以用如下模式来表示，如图 3-1 所示。

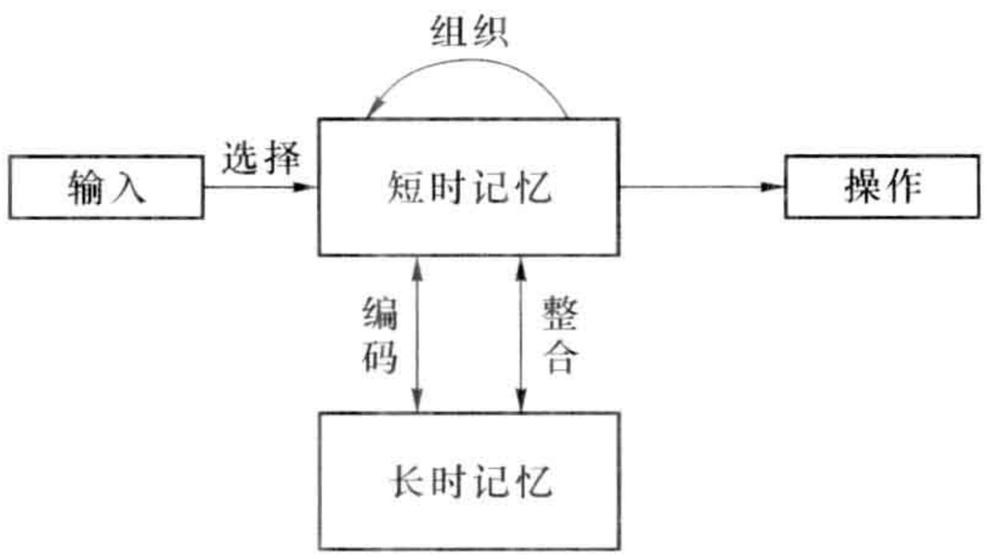


图 3-1　理解过程的一般模式

从理解的模式可将人的理解分为以下三个阶段。

第一阶段，选择性注意阶段。在这个阶段，当前的各种信息经注意的“过滤”，一部分信息经过感觉登记进入短时记忆。究竟哪些信息能进入短时记忆，既取决于信息本身的特性，也取决于人自身特点。

第二阶段，信息的编码阶段。当人们注意到外界的信息时，这些信息就存在于我们的短时记忆之中了。通过进一步加工(即编码)的信息进入长时记忆。Paivio 认为人的信息编码方式是一种双重编码，既可以用言语—序列储存来编码，也可以用映像—空间储存来编码。在学习中，一些抽象的概念、原理是以言语序列储存的方式来编码的，而一些具体的、形象的

词汇和语句则既有言语序列的编码，又有映像空间储存的编码。因此，具体、形象的材料的理解和提取要远比抽象材料的理解和提取容易。

第三阶段，表征的重新建构和整合阶段。当新的信息经过上一阶段的编码进入人的长时记忆后，人已有的图式就发生了相应的变化。一方面，当信息输入后，已有图式的一些节点和相应的区域被激活，使已经得到了编码的信息获得了心理意义；另一方面，新信息的纳入又使已有的图式发生了相应的变化。如果新信息和已有图式中的命题网络相关联，则为原来的网络增添了新的内容；如果新信息和已有图式中的命题网络没有直接的关系，这些信息就会进入图式中如前所说的空位。个体在这种对内在心理表征的不断建构中逐渐使新信息和已有的知识建立起了相应的联系，并使头脑中的各种表征得到了重组和整合。

3.1.2　认识

认识过程是心理学的主要研究内容之一，包括感觉、知觉、记忆、注意、思维等心理现象。一般认为，感觉和知觉是认识过程的起始阶段，居于认识过程的基础地位；记忆是对经验的反映，处于认识过程的中间位置；思维作为高级的认识活动，是认识过程的核心，占据着最为显赫和重要的地位。认知心理学在 20 世纪 70 年代提出了图 3-2 所示的认知过程微观模型，描述了人从感觉上升到知觉的认知过程中所涉及的感觉和记忆工作过程。感觉是对刺激的一种本能反应，知觉是对感觉信息进行解释的高级认知过程，解释过程依赖人的短期和长期记忆。而认知除了感觉和知觉外，还包括判断、决策和反应。

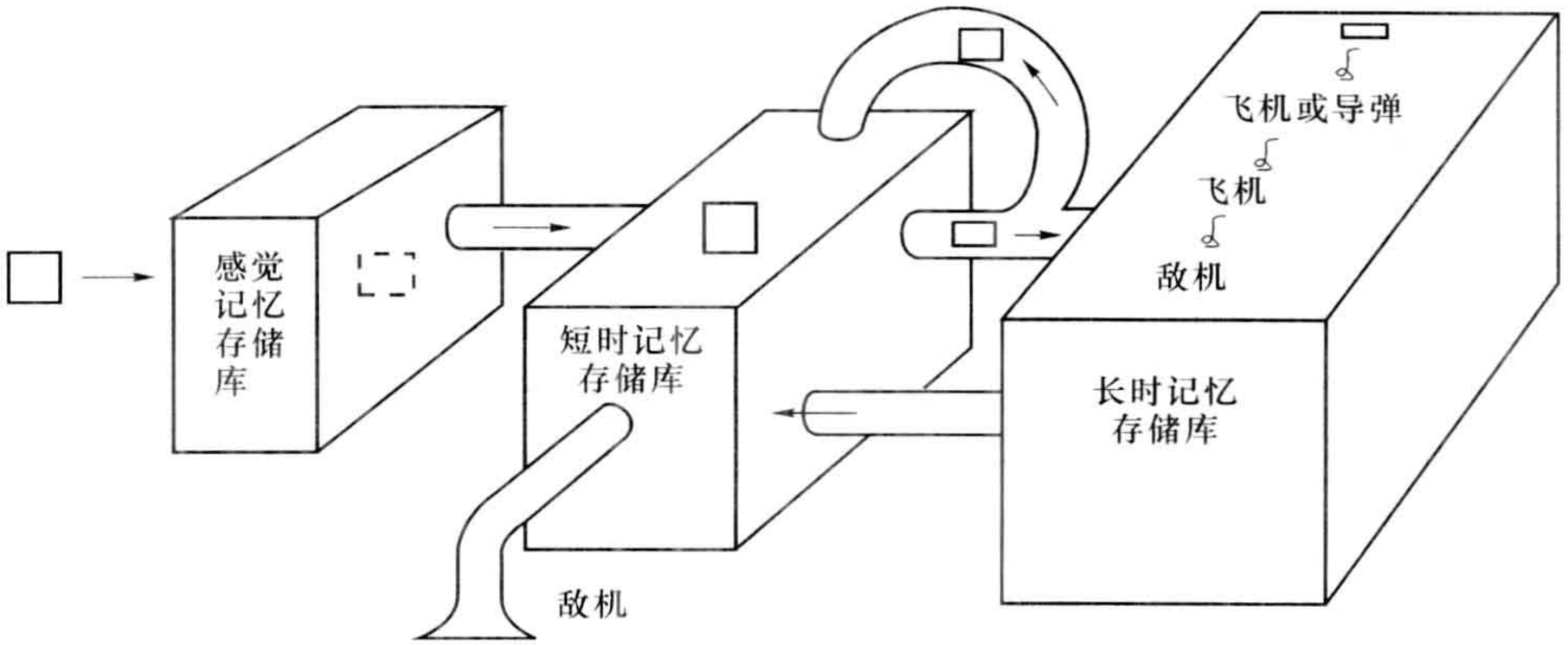


图 3-2　认知过程微观模型

从现代认知心理学的观点来看，记忆是人脑对信息的获得、储存和提取过程。记忆过程中有识记、保持、再认(回忆)三个环节。识记相当于信息的输入和编码过程，也就是使不同感官输入的信息，经过编码而成为头脑可接受的形式；保持相当于信息的储存，即信息在头脑中被进一步加工整理，使其成为有序的组织结构，以便储存；再认和回忆相当于信息的提取。显然，信息编码越完善、组织越有序，提取也就越容易；反之则提取越困难。

根据信息的输入、加工、储存、提取方式的不同以及信息储存时间长短的不同，记忆可分为感觉记忆、短时记忆和长时记忆三个阶段或三个记忆储存库。记忆的三个阶段或三个记忆储存库是相互联系、相互影响并密切配合的。

感觉记忆又称为瞬时记忆，是外界输入刺激后人对信息进行加工的第一个模块。它储存输入感觉器官的刺激信息并保持极短时间记忆，对图像记忆保持时间为 0.25～1 s，对声像记忆时间保持约为 2 s。由于外界信息处于迅速变化的状态，所以感觉记忆信息若不尽快被选用或抹掉，就会同新输入的信息混杂，导致对原有信息识别的失效。感觉记忆的容量为 9～20 bit，外界信息输入感官后只有受到格外注意的信息才能转换成一种较持久的形式而得到保持，否则信息就会迅速消失。

因此，由感觉记忆向短时记忆过渡的关键是注意的保持功能。在感觉记忆储存库中首先把刺激的基本特征提取出来，加以组合，并把已编码的物理刺激送入记忆系统。输入的信息再与记忆中的信息进行比较，并与记忆中的模式相匹配。

瞬时记忆的特点是：具有鲜明的形象性；信息保持时间极短；记忆容量较大，几乎进入感官的所有信息均可被登记，但是其中只有被特别注意的信息或者是在进行模式识别时被赋予一定意义的信息才能转入短时记忆，而其余部分则迅速消失。

短时记忆也叫做业记忆，但也有心理学家认为短时记忆和做业记忆有所区别，这里仍将短时记忆视做作业记忆。短时记忆的信息主要是以语音、听觉和视觉的形式编码和储存的，是一种初步的低水平的信息加工。短时记忆中信息的提取是按依次逐项的检索方式。短时记忆中的信息只有被及时复述或复习的部分，才能转入长时记忆。

短时记忆存储库包含着各种信息以及用来处理这种信息的特定的操作，它是精细的认知活动的工作场所。而长期记忆是一个巨大的信息存储库，它存储着各种信息，如运动技能、语义信息、加工程序等。当前和过去信息的输入激活了长时记忆中的一部分信息，这部分信息称为主动记忆，它也参与对当前信息的加工活动。图 3-2 中小矩形块表示飞行员或基地人员从显示界面发现一经过计算机处理后的信息（一个矩形方块）从东南方向漂移过来，感觉记忆储藏库具有将该信息原封不动地保留 0.5 s 的机能。在向短时记忆储藏库移送过程中，大量其他无用的信息已丢失，但直观认为有价值的信息将输送到短时记忆储藏库中。短时记忆存储库能保留信息时间约为 20 s，能同时记忆的信息单元量为 7±2 个。短时记忆存储库根据需要对信息进行各种加工，如从长时记忆库中检索到所需知识或规则对原信息进行加工处理（如信息对照、记忆再生、推理判断等）。长时记忆库中存储着各种知识或规则。如对于显示界面呈现的移动方块按信息对照应是飞机或导弹等飞行物，作为例外也有可能是雷达探测到的鸟类飞禽，因在高空飞行，局部结冰而被雷达捕捉到。飞行物也有敌我之分，要进一步对照敌我标志才能最终确定信息内容。经长期记忆库确认后，信息又反馈到短时记忆存储库，在那里最终完成判断、决策和反应。

为了有效地掌握人的短时记忆能力，可采用记忆广度实验来确认。图 3-3 所示为采用数字记忆广度来测定短时记忆能力所获得的实验结果。此时信息单元为阿拉伯数字，从 3 位数字开始，然后是 4，5，6，7，8，…，直到同一数字系列的 3 遍都错了为止。每一系列数字呈现时间为 750 ms，与第二次呈现中间间隔 250 ms。图 3-3(a)所示为某学生实验结果，它能准确同时记忆住的信息单元数为 6 个，当信息单元数为 7 时正确率为 1/3，当信息单元数为 8 时正确率为 2/3，当信息单元数为 9 时正确率为 0，则该生的短时记忆广度为 6＋1/3＋2/3＝7。图 3-3(b)为另一学生实验结果，其记忆广度为 7.33。

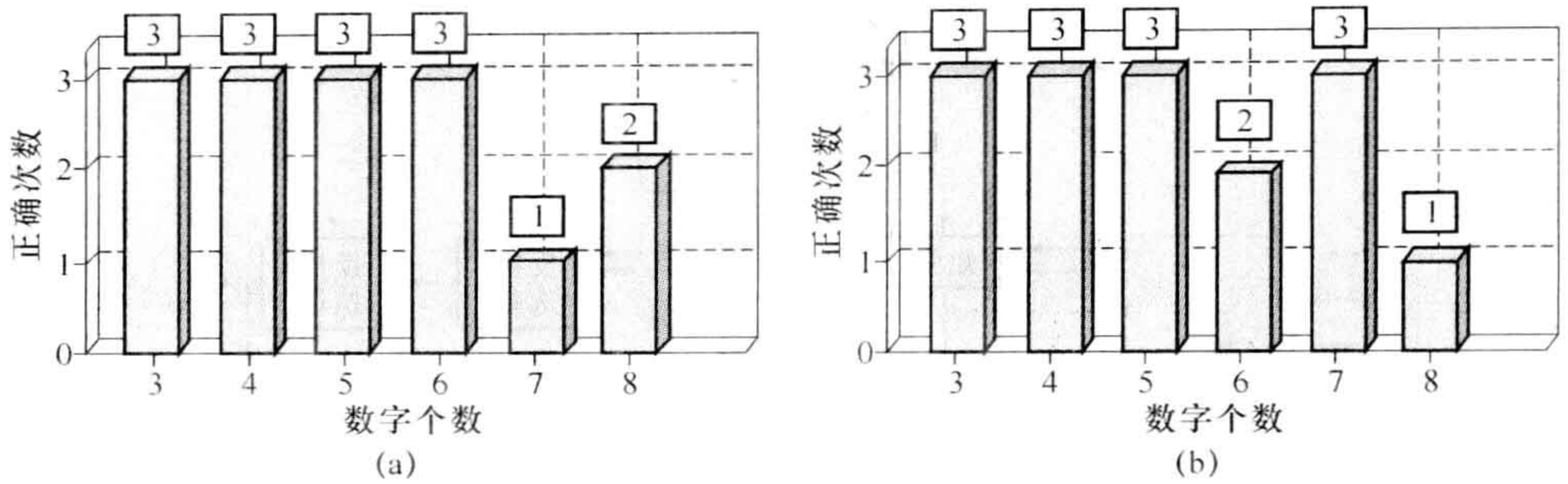


图 3-3　短时记忆能力心理实验结果

长时记忆是记忆发展的高级阶段，它的保持时间可至数月、数年，甚至终身不忘。长时记忆中存储的信息，大多是由短时记忆中的信息通过各种形式的复述或复习转入的，但也有些是由于对个体具有特别重大的意义并且印象深刻的事物在感知中一次形成的。长时记忆中的信息是按意义进行编码和组织加工并按层次网络存储。编码种类有两类，一类是语义编码，对于语音材料多采用此类编码；另一类是表象编码，即以视觉、听觉、嗅觉、味觉甚至温度觉等心理图像形式对材料的意义编码。

长时记忆的内容是以往信息处理的结果，比较稳定，具有备用的作用，对人的活动不会增加过多的负担。长时记忆具有极大的容量，可以说是没有限度的，它可以包容人整个一生所获得的全部知识和经验。凡保持到几分钟以上的每件事情显然必存在于长时记忆之中。一切后天获得的经验，包括语言规则在内，都必然是长时记忆组成部分。长时记忆中信息的提取方式是再认和回忆，这是与长时记忆有关的一个主要问题，因为记忆中包含的信息数量非常大。

知觉过程的信息加工可分为“自下而上”和“自上而下”两种方式。“自下而上”的信息加工是由输入的信息（感觉）所引起的加工，它主要依赖刺激物自身的性质和特性。“自上而下”的加工是根据长时记忆的知识和经验等引导的加工。在注意的参与下对外界刺激进行编码，头脑中已存储的与刚输入的信息有关的知识经验，甚至有组织的结构图式被激活，其中适合于图式的信息被加工，而不适合于图式的信息则被忽略。头脑中被激活的图式实际上构成了一系列的“知觉期待”，使得对刺激信息的加工更为迅速、准确，使图形从背景中迅速分离，并尽快地被整合为知觉表征，产生对事物的完整知觉。“自下而上”和“自上而下”是大脑统一加工信息过程中的两种方式。这两种方式不是各自独立、互相排斥的，而是互相联系、互相补充的。

图 3-4 所示为人的信息加工模型，人经过感觉、知觉和整合后，将进入对信息的思维和决策过程。决策是人的信息加工过程中的重要模块。某个知觉对象一旦被知觉归类确定，将经选择决定对它做出某种行动。例如，前述的矩形方块一旦被确定为是敌机入侵，就决定是采取攻击还是避让。决策以反应选择的形式表现出来，在有些情况下人也可能对当前出现的刺激暂不做出反应，而是把这些信息存入长时记忆，再根据需要由长时记忆中检索出信息输送到短时记忆，进行选择执行。在实际决策中往往包含多种可能的行动方案，需要分析比较，以便从多种方案中择优选用。

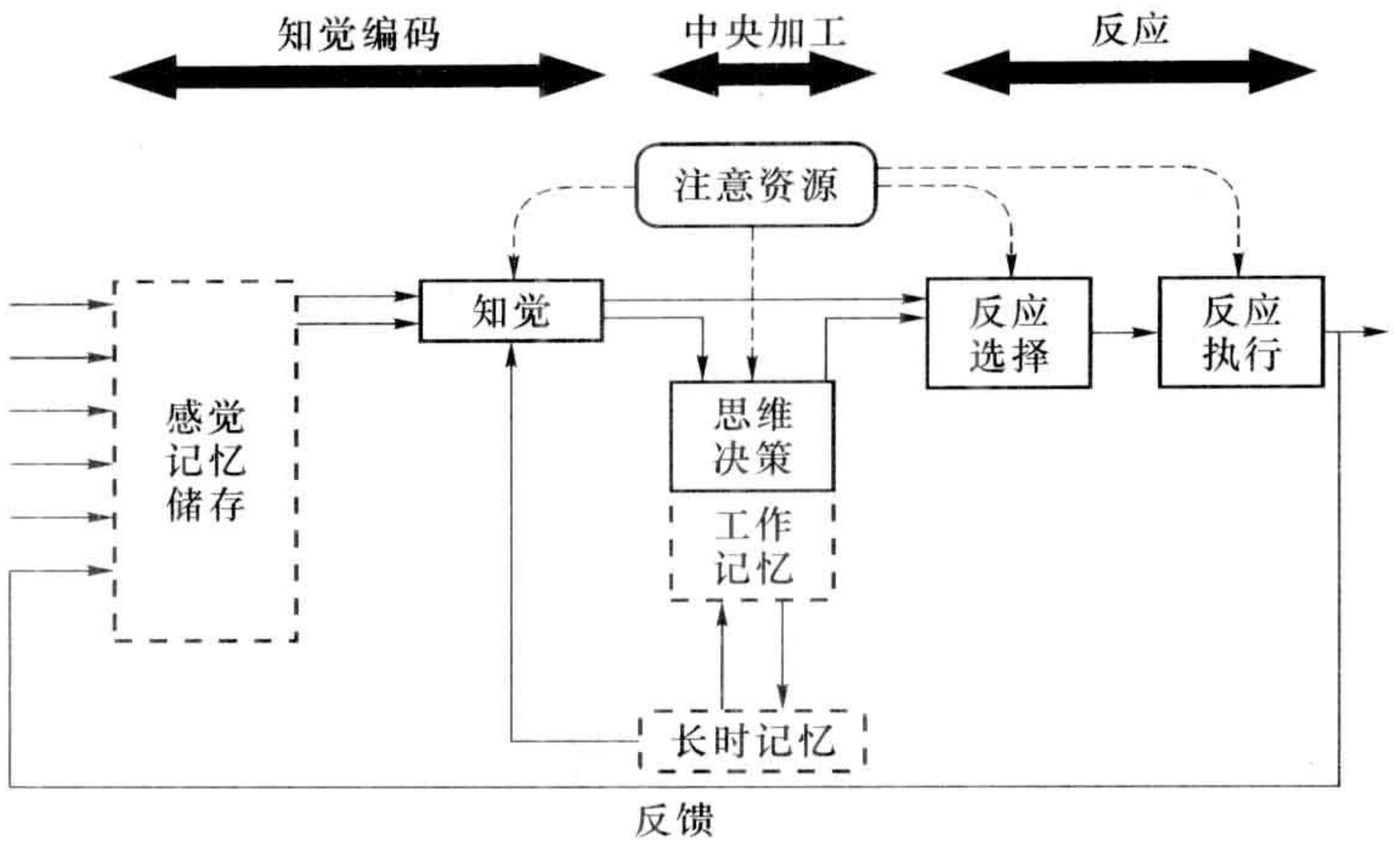


图 3-4　人的信息加工模型

图 3-4 中，反应执行的含义是信息经上述加工后，如果人决定对外界刺激采取某种反应活动，这个决策将以指令形式输送到效应器官，支配效应器官做出相应的动作。效应器官是反应活动的执行机构（如手指），反应执行就是信息输出的过程。

而反馈实质上是被动系统对主动系统的反作用。将效应器官做出相应动作的结果作为一种新的刺激，反向传递给输入端，即构成反馈回路。人借助于反馈信息，将加强或者抑制信息的再输入，从而更为有效地调节效应器官的活动。

注意则是作为一种重要的心理努力贯穿信息加工的全过程。从感觉存储开始，到反应执行的各个阶段的信息加工几乎都离不开注意。注意的重要功能在于对外界大量信息进行过滤、筛选，即选择并跟踪需要的信息，避开和抑制无关的信息，使需要的信息在大脑中得到精细的加工。然而，这并不意味着注意总是指向和集中在同一对象上，根据当前活动的不同需要，注意可有意识地从一个对象转移到另一个对象。注意在一定条件下还可以在同一时间内分配给两种或几种活动，如汽车司机在开车的过程中，既要注意周围的动态，又要注意掌握驾驶等。在现代复杂的科学技术和生产活动中，只有具备较高的注意分配能力才能提高工作效率，防止出现差错和发生事故。

了解人的信息输入和加工过程以及人的信息传递能力，使人在人机系统中处于最优信息条件下，对于提高工作效率、防止人因失误、改进系统作业环节的效果等都具有重要意义。

3.2　人的知觉

3.2.1　知觉特征

人的知觉一般分为空间知觉、时间知觉、运动知觉等。它们有如下共同特征。

1. 知觉的整体性

当多个具有相同或不同属性与特征的物体同时出现时，人们对这些形态的知觉往往不是独立的，而是借助一定的知识经验，加上思维习惯，把这些对象感知为一个统一的整体。

例如看到一个四边形，人们不会把它感知为孤立的四条直线，而是习惯于看成是一个矩形四边形。进一步，在美国国家导弹防御系统中，人机界面上呈现的矩形四边形代表着敌方来袭的导弹；而北约 1984 年颁布的陆基系统军事标志协议 APP-6 中用矩形四边形代表当前区域的友军单位。即普通的标识符号除了常规意义外，根据使用目的和对象还包含其所代表的内涵。

当人在第一印象中没有可以直接匹配的模型时，知觉就会更多地以感知对象的特点为转移，按照一定的习惯将它感知为具有某种意义的形态。格式塔理论研究人员将这些习惯总结为接近、相似、封闭、连续、美的形态等，如图 3-5 所示。

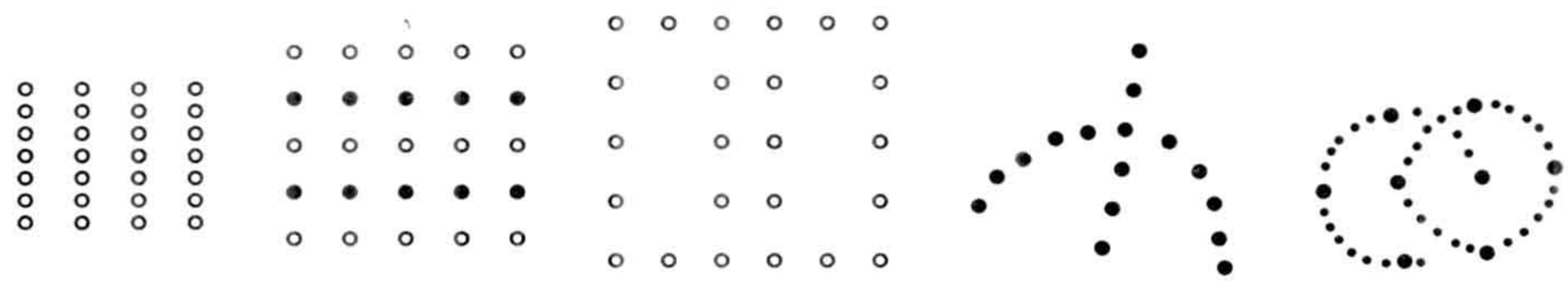


图 3-5　影响知觉整体性的因素

2. 知觉的理解性

人们根据自己的知识和经验去理解和感知信息或对象，在此基础上进行了解与感悟，这就是知觉的理解性。

3. 知觉的选择性

从人的认知过程微观模型可知，人总是根据需要有选择地把少数刺激作为知觉对象，在向短期记忆存储库移送过程中已将大量其他无用的信息丢失。

4. 知觉的恒常性

当知觉条件发生变化时，知觉的印象保持相对不变的特性叫知觉的恒常性。知觉恒常性是经验在知觉中起作用的结果，其中视知觉的恒常性表现得特别明显。主要有以下几方面。

(1) 大小恒常性

在不同距离观察同一物体时人的视网膜上呈现的物象是近大远小，但人的知觉系统将修正视网膜映像的变化，使知觉的物体是其真正的大小。

(2) 形状恒常性

在不同角度观察同一物体时人的视网膜上呈现的物象有差别，但人的知觉系统将修正视网膜映像的变化，使知觉的物体仍然保持同样形状。

(3) 颜色恒常性

在光环境变化时有时会改变物体本身固有的颜色，如黑色屏幕有时会因反光形成其他颜色的光斑，但是人的知觉系统仍然判断这光斑的颜色是黑色的。

3.2.2　知觉的种类

1. 深度知觉

深度知觉又称为距离知觉，是人对物体的远近或距离的视觉感受。人生活在三维立体

世界中，靠眼球中视网膜感光和晶状体调距形成深度知觉。如在晴朗天空看飞机起飞，从最初看到一架完整的飞机到最后看到一个黑点而从视界消失，给人带来天空无限深远的感受。

2. 时间知觉

时间知觉是人对时间长短的估计。人的心态和情绪将影响人对时间长短的估计，如对感兴趣的事感觉时间过得快，反过来对不感兴趣的事感觉时间过得慢。

3. 方位知觉

方位知觉是人对空间位置等属性的判断与反映。人对上下、左右、前后等方位的判断主要靠人的视觉。方位知觉还可通过声音发出的位置和方向来判断，而且运动觉和平衡觉也会对方位知觉产生影响。

4. 运动知觉

物体在空间的位移引起的视觉感受称为运动知觉。知觉者固定不动，物体实际运动的视觉感受叫真动知觉。知觉者固定不动，物体也不运动时的视觉感受叫似动知觉，这是在视觉残留的作用下产生运动的感觉。

5. 错觉

错觉是知觉恒常性颠倒时产生的对客观事物不正确的知觉。错觉中最常见的是视觉错觉。另外，人的听觉、嗅觉、味觉等都会产生错觉，有时会把无声错听为有声，把无味错认为有味等。

3.3 学习和习惯

3.3.1 学习

人从学习中获得知识，从知识中加深理解而得到新的知识，如此反复使整体智能逐渐提升。这种过程既是学习过程也是认知过程。由学习对象与被学者之间的不同关系划分学习认知类型有以下几种模式。

1. 单向式学习认知类型

这类学习为学习内容通过信息传递界面向被学者单向传递而获得学习效果的认知方式。如对物体大小形状的视觉感知，对物体温度的皮肤感知，对气味的嗅觉感知等。这些知识的获得都是由学习对象通过与人体的某一功能部位的接触（界面）获得，传递方向为由外至内。这类学习往往只需一次性接触即可，不要求学习者事先必须具有某种知识，所以也可称之为一次性认知方式。此类学习认知模型如图 3-6 所示。图中，信息传递界面是指由学习对象发出的信息到学习者思维活动区之间的途径总称。这类学习属于人的基础性学习，它不需要或很少需要其他知识的支持。学习结果的优劣主要与信息传递界面的性能有关。

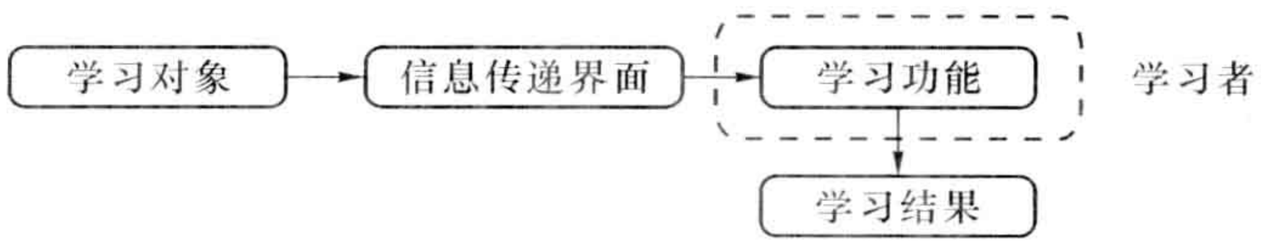


图 3-6 单向式学习认知模型

2. 双向式学习认知类型

当人具备一定知识后，若想提高知识级别，或学习更复杂的学习对象时，采用单向一次性学习是难以完成的，需要学习者与学习对象相互作用多次才可实现的一种认知方式。如此多次反复，最后达到某一希望的学习结果。比如学飞机驾驶，飞行员在模拟机里推或者拉操纵杆将改变飞机往上或往下的飞行状态，获得相应学习结果（或叫中间结果），结合已学的学习结果，采用左右脚分别推脚蹬又可获得飞机往左或往右飞行状态。如此反复，便可掌握飞机的基本驾驶技术（即获得一种基本定型的学习结果）。在这种学习中，学习对象的状态并不是固定不变的，会受学习者的作用而发生变化。这类学习认知模型如图 3-7 所示。图中的双向箭头表示各功能部分相互作用的情况。从以上两种图式可以看出，都属于有界面的学习。学习者通过界面接受学习对象的有关信息，而且学习者对学习对象的作用信息也经过界面而实现。如果界面质量不好，那么学习者获得的信息与学习者发出的信息就很难完整与正确，学习效果也难以理想。

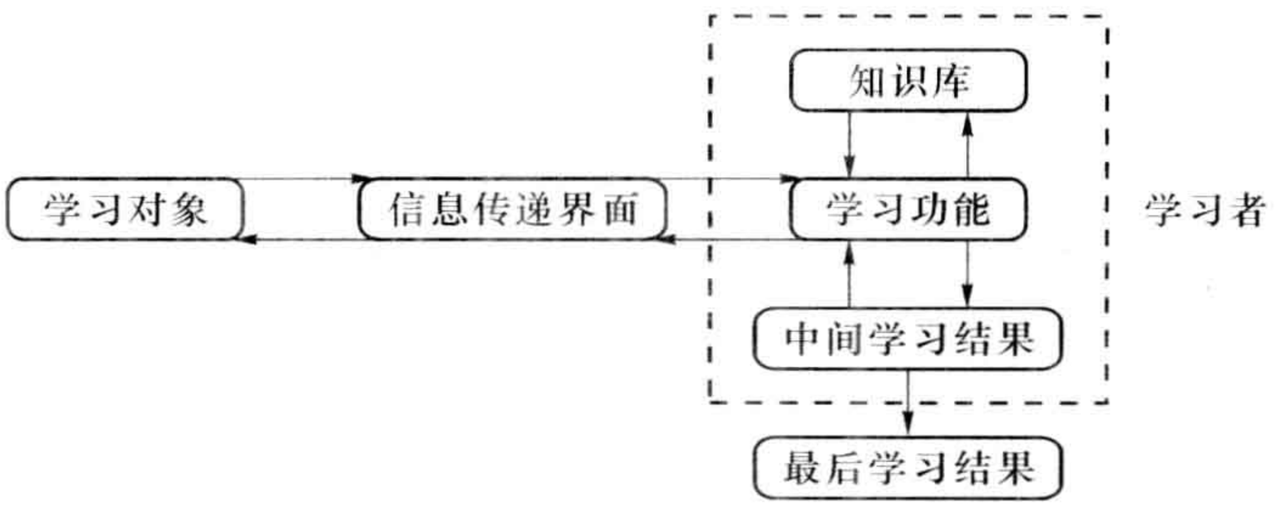


图 3-7　双向式学习认知模型

3. 理想学习认知类型

学习对象为记忆信息的学习认知方式。上述两类学习的学习对象皆为思维以外的客观现实，这种客观现实经过界面作用于思维，思维又要经界面作用于学习对象。在此情况下，思维活动要受外界学习对象及界面的各种影响，要完成一项学习有时很困难，有时可能做不到。为了提高学习效率，减少损失，人们常常根据已学过的知识暂不与客观外界打交道，而是先思考有无可能，即先做思想实验，如有可能再实践，科学理论的提出常是如此进行。在这种学习认知中，可随意给出思维的学习对象，设置实验手段与方法，经过思维活动的多次反复，可获得一个自我认可的最好思维学习结果。由于这种学习对象是非外部客体，所以也可称为内部学习。此类方式的认知模型如图 3-8 所示。

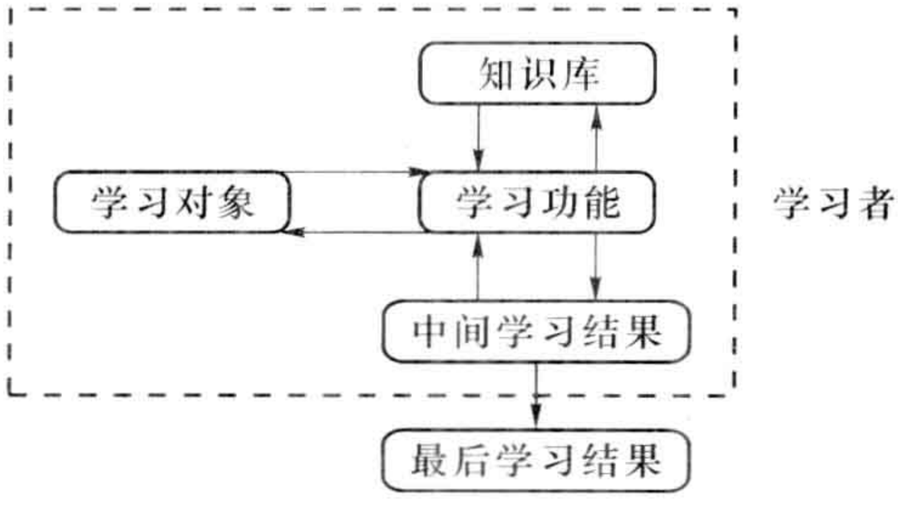


图 3-8　理想学习认知模型

从图 3-8 可看出此模型为无界面学习，信息无损失。这类学习的质量与知识库的质量密切相关。当然学习的最终结果还需通过与实际客观对象的相互作用来获得，但作为一种学习认知方式，它仍表现出很强的生命力。

3.3.2 习惯

1. 习惯的含义

对于习惯一词，东西方各形成了不同的含义。美国心理学家詹姆斯在 1890 年发表的著名的《心理学原理》里提出，习惯是属于物理学领域的问题，即各种较简单的物质彼此互相应对时所遵守的不随意更改的自然定律。自然现象依据自然定律运作，心理现象则依据习惯进行，二者有相同之处。美国心理学家赫尔(C. L. Hull)也对习惯做了较深刻的论述，他认为感受器官和反应器官间的联结关系会经过强化过程建立并增强，而感受器和反应器的联结就是习惯，可以说习惯不是肉眼可观察到的具体行为变量，而是一种假设性的中介变量，它会随着强化的次数、时间等手段而改变。

在我国的心理学专著里也有关于习惯的解释。如有学者指出习惯是“不需要特殊的练习，由于多次重复而形成的对于实现某种自动化动作的需要”；还有学者提出，“习惯是指与完成某种自动化动作的需要相联系的、经过练习而获得的动作方式”；或“习惯是人在后天一定情境下自动化地进行某种动作的特殊倾向”。

2. 习惯的形成机制

从生理角度来讲，习惯的形成过程大致可以这样来表述：首先，一些外部信息经由弥散于大脑各部网状结构传输到高一级的机构进行处理，并在海马、纹状体、下丘、大脑新皮质尤其是前额叶的系统配合下进行高一级的加工和处理，再经下行反馈神经网络和网状结构送入下一级的组织中去处理或执行，使行为更为精确、平稳和可靠；接着，为了认识和解决某个新问题，不断地被输入新的信息，人们必须要从自己的记忆中调用大量与大脑中以前储存的相类似的信息块，来跟这些新的信息进行联系与建构，于是这些被激活了的信息块在大脑新皮质、前额叶结构功能的配合下，在总期望和目标方向的引导下，经过内部反应器、控制器的相互配合，达到最后的认识。由于调用的信息量大，处理的时间长，这就导致反应的速度比较慢，但是这种相似性经过无数次的重复，会产生一定的易化效应，于是外部信息认知阶段逐渐转化为内部认知阶段，并形成快速反应通道，其反应过程呈现出定型化、自动化的特点，习惯于是慢慢产生了。

简单地说，人对事物的熟悉程度越高，相似的程度越大，反应速度或解决问题就越快，动作就越准确，行为就越自动化。

认知心理学提出的观察学习理论认为，动物是靠直接经验来学习的。但对人类来说，除了直接经验外，一些技能、态度、观念等还来自于间接经验，是靠人主动求知获得的。

观察学习是指个人通过观察他人而习得复杂行为的过程，大体经历 4 个阶段。

(1) 注意。个人有选择地注意榜样行为的模式、特点，这是观察学习的开始。

(2) 保持。个人把选择注意所获得的信息转换成语言符号或表象保持在自己的记忆中，这样的记忆能指导以后模仿时的行为操作。

(3) 复现。个人把注意和保持的榜样行为付诸行动，这要求个人有必要的体力和技能，

且开始时模仿行为常与榜样有距离，通过获得反馈信息而逐渐变得精确。

（4）动机。个人去重现自己所注意和保持的榜样行为不是自动的，是受动机变量所控制的，能满足个体需要的榜样行为才能使观察者处于去加以仿效的动机状态。注意和保持过程是观察学习的获得阶段；复现和动机过程为观察学习的操作阶段。获得是操作的前提，没有获得不可能有操作。操作则是把头脑中获得的榜样行为加以具体化、外化或物化。

按照观察学习的理论，习惯不是简单的刺激与反应的联结，它的形成是相当复杂的。①习惯是习得的，即习惯这一行为既不是先天决定或遗传造成的，也不是从潜意识中产生的，它完全是个人后天在自己的生活环境中通过学习而获得的；②习惯的获得也要经历注意—保持—复现—动机 4 个阶段，最后达到自动化；③重新学习可以改变不良习惯，既然习惯是习得的，那么改变不良的环境条件，采取一定的特殊措施，进行有系统的重新学习，也就一定能够使不良习惯得到矫正。

3. 操作方向的习惯性

欧美的应用心理学者在 20 世纪 40 年代就开展了对操作方向习惯性的研究，这是因为在飞机界面或同一台机器设计中都没有统一使用方法和操作方向。这就使单纯作业中人的习惯动作能节省时间和劳力同时也容易滋生误操作。故从人机工程角度，为了最低限度地减少作业者的失误，在界面设计过程中就要考虑人对操作方向的习惯性。

Loveless 在 20 世纪 60 年代从操作方向的习惯性归纳了图 3-9 所示的几种典型的指针运动方向和操作方向性。其中序号 6 和 7 的案例就是著名的 Warrick 法则，即直线刻度的指针配旋转按钮操作时，与刻度最近的旋转按钮转动方向与指针运动方向相同。Warrick 法则要求旋转按钮配置在刻度附近如图 3-10 中①的情况，对②的情况该法则不适用。日本学者针对 48 种刻度的指针运动与拨动开关或旋转按钮的匹配，对 326 名男大学生和 313 名女大学生进行了调查问卷，其得出的调查统计结果如图 3-11 和图 3-12 所示，图中 a＋b＋无回答＝100％。

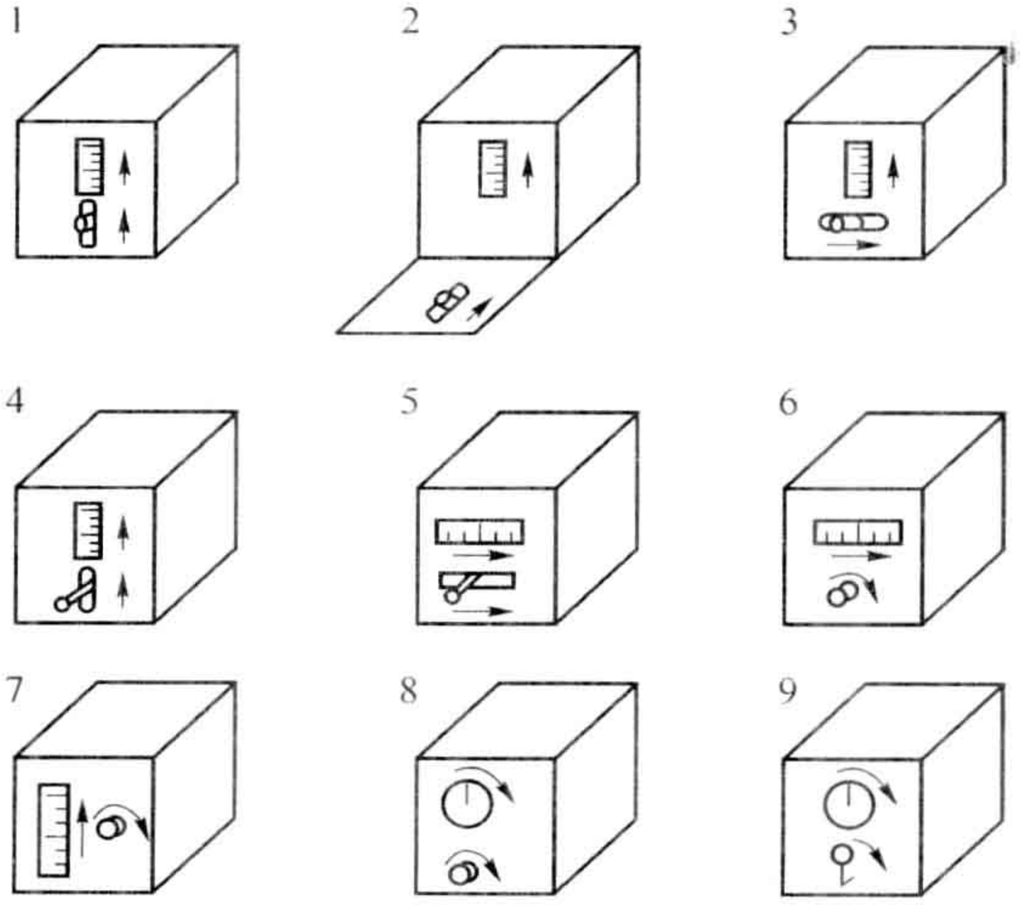


图 3-9　指针运动方向和操作方向性 1

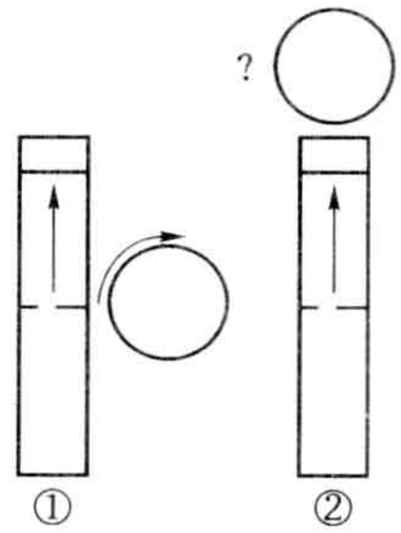


图 3-10　Warrick 法则

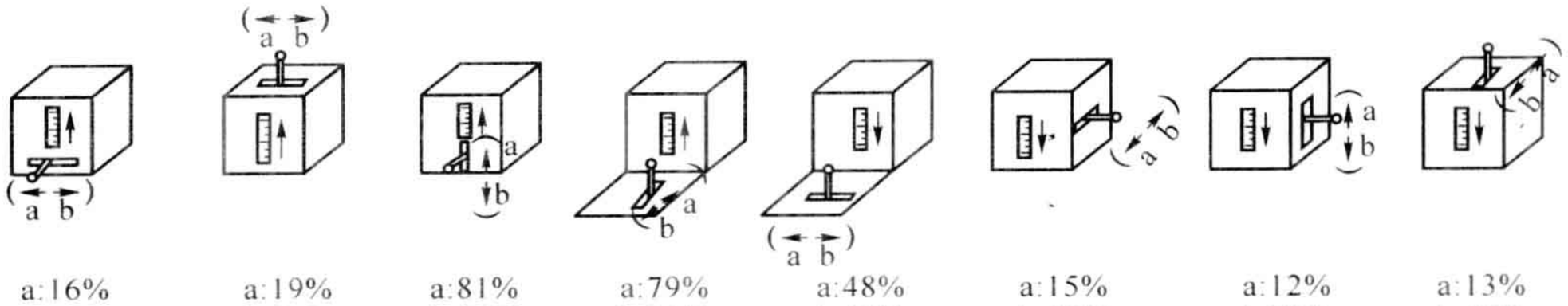


图 3-11　指针运动方向和操作方向性 2

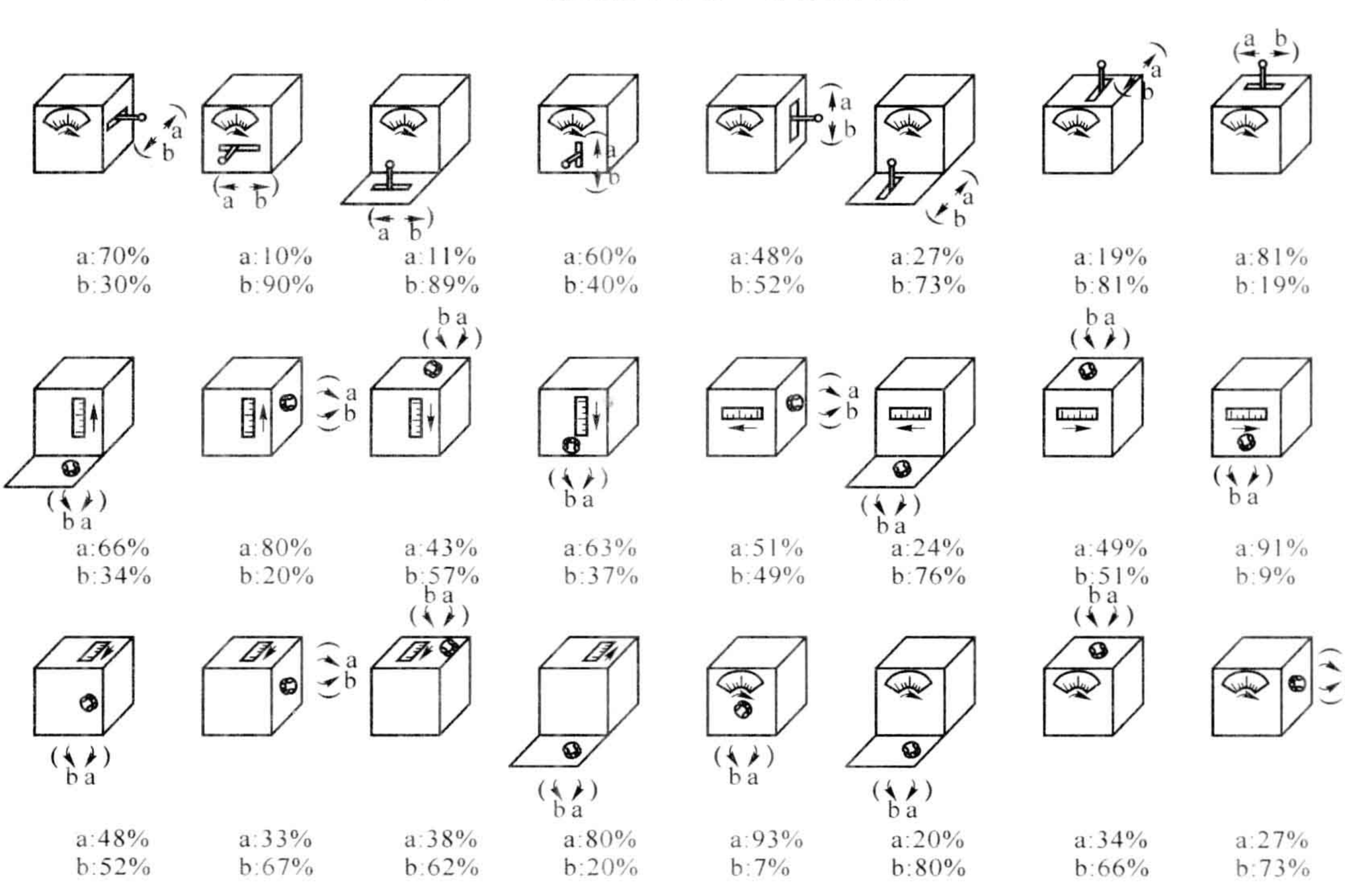


图 3-12　指针运动方向和操作方向性 3

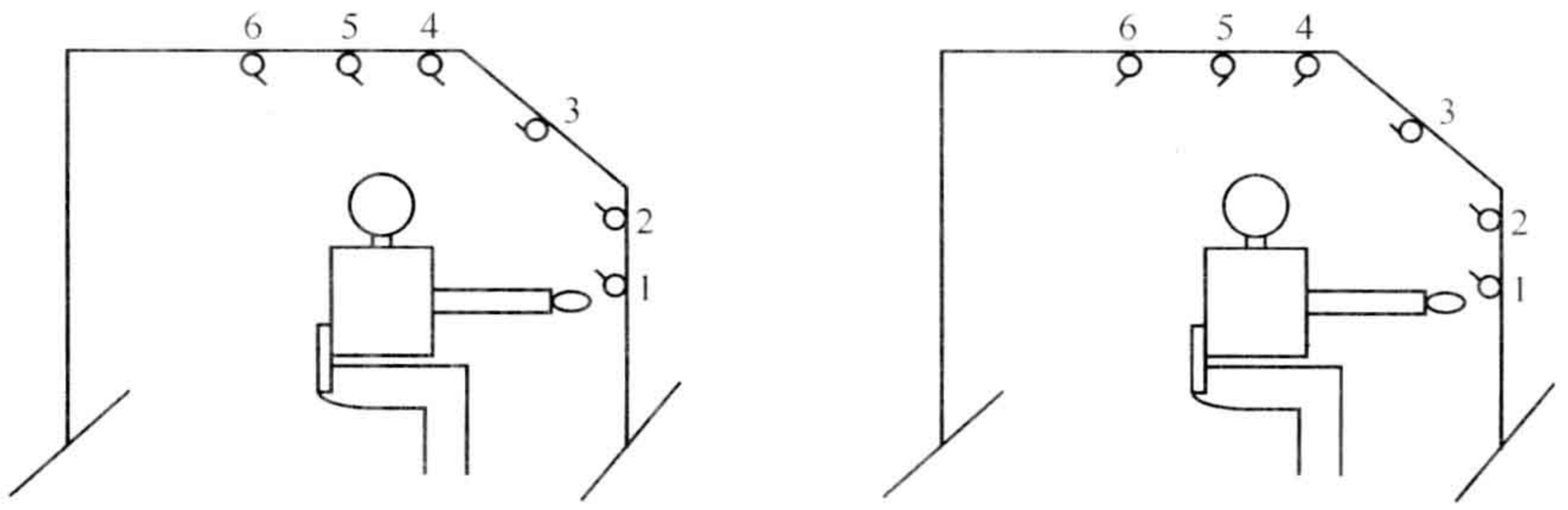
在飞机驾驶员操作作业中，也有很多针对拨动开关的安装位置与操作方向的习惯性问题。图 3-13(a)所示为我国军标针对具体的安装位置推荐了拨动开关的拨动方向，但却未注

明是基于什么理由给出的这些推荐意见。针对拨动开关的安装位置与拨动方向可通过人的习惯性动作实验来加以确定。实验设计为把开关布置在相对人体坐姿的不同方位及在设定的十种不同的应急情况下，通过被试的实际操作找出操作特性，从而得出怎样布置开关才能更符合人的操作特性，以减少飞行员在飞行过程中误操作的几率。

图中按钮 1 基本上是设计在人的手臂伸直位置处，这个位置通过仿真结果分析，对人来说是舒适的。按钮 2、3、4 的布置方位是位于人手臂的舒适可达域范围之内。按钮 5 的布置方位是在人手臂的舒适可达域范围的临界状态。按钮 6 的布置方位在人手臂舒适的可达域范围之外，而位于人手臂可达域的最大范围之内。之所以这样设计实验方案，是因为这 6 个位置具有一定的代表性和实际使用意义。

被试者为北京航空航天大学学生。首先假设在飞行过程中控制开关可能产生的十种不同指令，它们分别是：往开的方向、往关的方向、往加速方向、往减速方向、往高音方向、往低音方向、往前方向、往后方向、往高温方向、往低温方向。为了使实验能体现出在飞行过程中飞行员的实际操作情况，根据 6 个不同位置布置的开关的十种典型指令随机组合（但保证不重复），在每一种组合下测试受试者的操作情况。计算机编程后将随机生成多种情况，以某开关控制指令为例，它们是：往开的方向、往关的方向、往加速方向、往减速方向、往高音方向、往低音方向、往前方向、往后方向、往高温方向、往低温方向等。由软件所得出的随机情况制成表格供被测人员进行测试。

图 3-13(b)所示为实验所得超过 50％几率的拨动方向。实验结果表明，在位置 1、2、3 处，按钮布置在正前方、左侧、右侧时往顺时针方向拨动的几率（超过了 50％）要大于往逆时针方向的，该结果与我国军标中规定的往开拨动的方向相同；而在位置 4、5、6 处实验结果与我国军标推荐值间有一定的差异，且在位置 5、6 处往逆时针方向拨动的几率逐渐增大。由于该布置位置已在人手臂运动的舒适范围外和在最大可达域内，飞行员在疲劳时很容易对布置在该位置处的开关发生误操作。



(a)我国军标推荐的“开”（“ON”）位置指向　(b)大于50%几率的“开”（“ON”）位置指向

图 3-13　实验得出的大于 50％几率的“开”（“ON”）位置指向

图 3-14 所示为 Hawkins 根据旋转动作推荐的“开”（“ON”）位置指向，其推荐的“开”（“ON”）位置指向与图 3-13(b)的实验吻合。由此可见，在座舱布局中，对开关的合理布置和符合作业者习惯的操作特性进行研究是很有必要的。

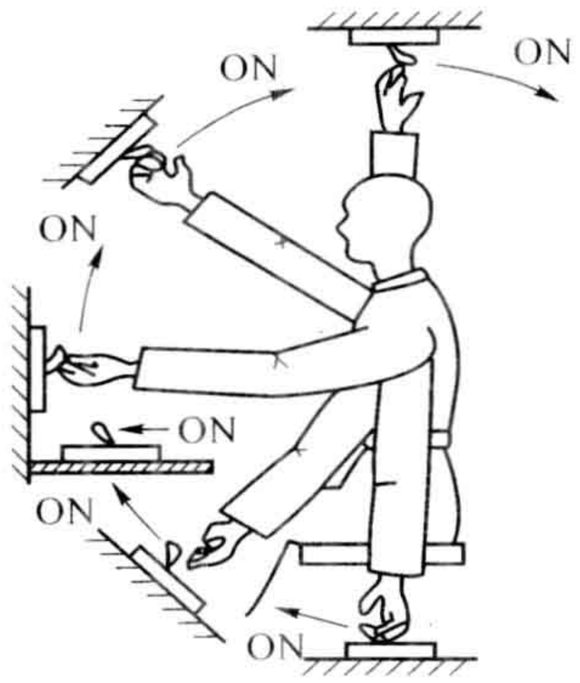


图 3-14　根据旋转动作推荐的“开”(“ON”)位置指向

3.4　文字和标识符号的判别和认知

研究人的判别和认知特性对界面设计科学化有着非常重要的作用。如飞机人机显示界面中很多信息是以标识符号形式或文字图像形式出现的，需经过判别和认知后及时作出反应，对信息辨认的速度和准确度极大地影响人机工效。如雷达捕捉到的飞机或导弹在屏幕上常以小矩形方块或圆动态显示，敌我双方谁先发现雷达目标并加以辨认(是敌机还是友机)和及时作出反应(发射导弹或脱离危险范围等)至关重要。因此，在界面编码设计中需充分考虑信息呈现方式、大小、时间、颜色匹配等。初定的编码设计还要在虚拟作业中通过对多名被试者的工效评价后才能最终用于界面设计。

3.4.1　文字/数字的判别和认知

在视觉显示系统最常见的是图形、文字/数字和标识符号。在文字/数字的设计中要考虑的因素主要有视角、视距、文字/数字本身的特性及环境因素等。

1. 视角

视距不同所产生的视觉感受也不同，文字的大小通常以文字高度所对应的视角来度量。对于字母和数字，当视角 α 位于 $18'\sim22'$ 时是比较合理的，这时文字位于视野的敏感区域，易于辨识。当 $\alpha<18'$ 时，可读性开始减弱。对于汉字，应使 $\alpha\geqslant20'$，一般汉字的判别效果随字高的增加而提高，但是不能超过人对字符识别的视野范围。

2. 文字高度

对于文字的高度有很多种计算模型，如有的用视距的 1/200 表示，有的用公式 $H=$视距×最小视角/3 600 表示，Peters 和 Adams 建议的文字的高度公式为

$$H=0.002\,2D+25.4\cdot(K_1+K_2) \tag{3.1}$$

式中，H 为文字/数字的高度(mm)；D 为人眼到所观察的文字/数字的距离(mm)；K_1 为与照明条件相关的系数，对应 K_1 的取值分别取 0.06、0.16 和 0.26；K_2 为与内容重要性相关的系数，一般情况取 0，重要的情况取 0.075。

由于数字所需要的空间较小，在可能范围内应优先选用大尺寸。如对于仪表屏幕或面

板设计，在正常亮度高于 3.5 cd/m² 时不同观察距离下字的高度参考取值如表 3-1 所示。

表 3-1　字符高度和观察距离的关系

观察距离/mm	<500	500～1 000	1 000～2 000	2 000～4 000	4 000～6 000
字符高度/mm	2.3	4.7	9.4	19.0	38.0

3. 文字宽度

研究表明，狭长型字母比扁平型字母的分辨率高。文字的宽度一般用与文字高度的比例来表示。从可读性角度文字宽度应该为 0.6～0.8 倍字符高度；拼音字母和数字的宽度应取 0.6 倍字符高度；对汉字而言，应取大约 1 倍字符高度；对于一些关键的信息，应采用较大的文字宽度；对于冗余线索来说，随着有助于可读性的可替换或者冗余线索的减少，也应使用较宽的字符；对于动态字符，建议使用比静态字符更大的宽高比。

4. 笔画宽度

笔画的宽度也影响可读性。笔画宽度一般也用与字符高度的比例来表示。它不仅与字符高度有关，还与文字的背景有关，因为浅色的文字更容易扩散或者融入到深色背景中去，所以对于浅字深底和深字浅底的最优比例也不一样。如对于有源显示器，亮背景上暗字符的笔画宽度应取 0.17～2 倍字符高度，而对于暗背景上亮字符的笔画宽度应取 0.08～0.12 倍字符高度。

5. 字间距和行间距

文字间距和行间距对于文字的可读性和易识别性有很大的影响，在显示器上字或行的间距过大会影响语句或信息的整体性，间距过小又会使字与字及行与行难以区分而产生识别错误。一般情况下，字母之间的间距应为 0.2～0.5 倍字符宽度；字母组成的单词之间的间距应为 1～1.5 倍字符宽度；最小行距应为字高的 0.5～1 倍；浅字深底时应适当增大字间距和行间距。另外，应该尽量使用均匀的间距或行距，使文字更整齐清晰，易于辨识。

6. 字体

选择适当字体会提高识别性，在重要的仪表或屏幕显示中要使用标准的正体字，而不宜使用斜体或带有特殊效果的艺术字体或草体。在使用汉字和英文时，从语意理解方面汉字要快于英文，但在视认性方面英文又优于汉字。表 3-2 所示为日本学者对汉字、英文和日文平假名进行的视认比较，表中日语片假名是日本固有的语言文字，汉字基本为繁体字，实验表明汉字最难视认，而英文最简洁方便，其视认容易程度是汉字的两倍。

表 3-2　汉字和其他语种的视认比较

字的种类	英文	日文片假名	汉字
视认系数	800	667	400

在选择字体时，另一个需要注意的就是避免字符的混淆，易混淆的字符有 B、R 与 8，G 与 C，数字 0 与字母 O、Q、D，Z 与 2，S 与 3、5、8，8、6 与 3、9，数字 1 与 I 等，这些字符如果处理不当就很容易混淆。

3.4.2　标识符号的认知与评价

日本学者对几种几何图形采用被试实验，从统计学角度来确认其识别特性。实验要求

被试者头不转动，眼睛注视中心点，然后将各种等直径图形分别在人眼水平方向各视角处出现 8 ms，实验统计结果如图 3-15 所示。图中，三角形符号最易辨认，在偏离眼睛注视中心点 35°处三角形符号还能被正确识别。而圆和等边六角形在偏离眼睛注视中心点 20°处就易辨认出错。对其他不特定的图形，一旦偏离眼睛注视中心点就容易辨认出错。类似的实验还被用于确定 26 个字母的辨认特性。Munn 和 Geil 采用的实验方法则是将等面积为 10 cm^2 的图形呈现在距注视点 60 cm 处，能清楚地辨认出图形的视野范围如图 3-16 所示。两者实验都证明三角形在人的视野范围最易辨认，但对六角形和圆的评价结果相差甚大。这里除了有采用等直径还是等面积及辨认时间的影响外，被试者及环境条件也会影响人对图形的辨认。

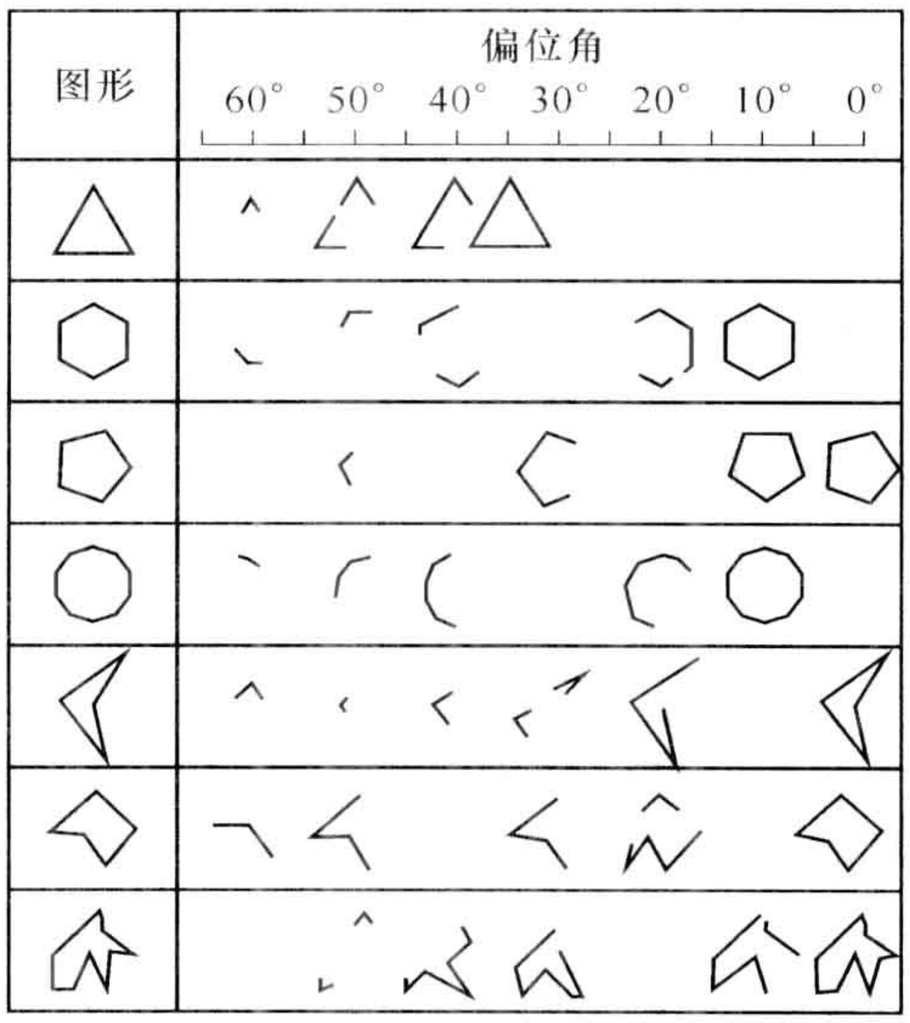


图 3-15　人眼对图形的辨认实验 1

形状	三角形	正方形	菱形	圆	矩形	六角形
	△	□	◇	○	▭	⬡
视野范围	55°	46.5°	46°	44.5°	35°	26°

图 3-16　人眼对图形的辨认实验 2

在确定图形大小时，日本学者也进行过这样的实验。在自动洗衣机界面设计中为了在一组圆形触摸屏按钮中确定某关键按钮尺寸，要求在一般按钮中一眼识别关键按钮。从辨认和操作特性来看，关键按钮的直径比一般按钮大点将易于操作和识别，但大多少为宜呢？首先他们确定了一般按钮的直径为 15 mm。关键按钮直径将通过认知实验来确定，实验在计算机屏幕上进行。设计的界面尺寸为 250 mm×60 mm，底色为浅绿色，在界面的水平对称位置设 7 个直径为 15 mm 的白色同心圆和一个位置随机而定、直径为 15.5 mm 的白色同心圆（称其为特定目标），圆和圆的间距为 3 mm。要求被试者找出直径非 15 mm 的白色同心圆。每组实验中特定目标位置将被随机更换，共要进行 100 人次的目标确认。当该组实验结束后，该直径为 15.5 mm 的白色同心圆的直径递增 0.5 mm，再次重复上述实验，直到该白色同心圆的直径大于 20 mm 为止。

图 3-17 所示为统计得出的被试者寻找该特定圆所花时间。由图示可知，当圆的直径大于17 mm时，寻找该按钮所花时间已趋于稳定。

图 3-18 为统计得出的被试者寻找该特定圆的出错数。由图示可知，直径为 15.5 mm 的圆混在 15 mm 中的出错数最高。当圆的直径大于 17 mm 时，被试者已能正确找出与 15 mm 不同的特定的圆。

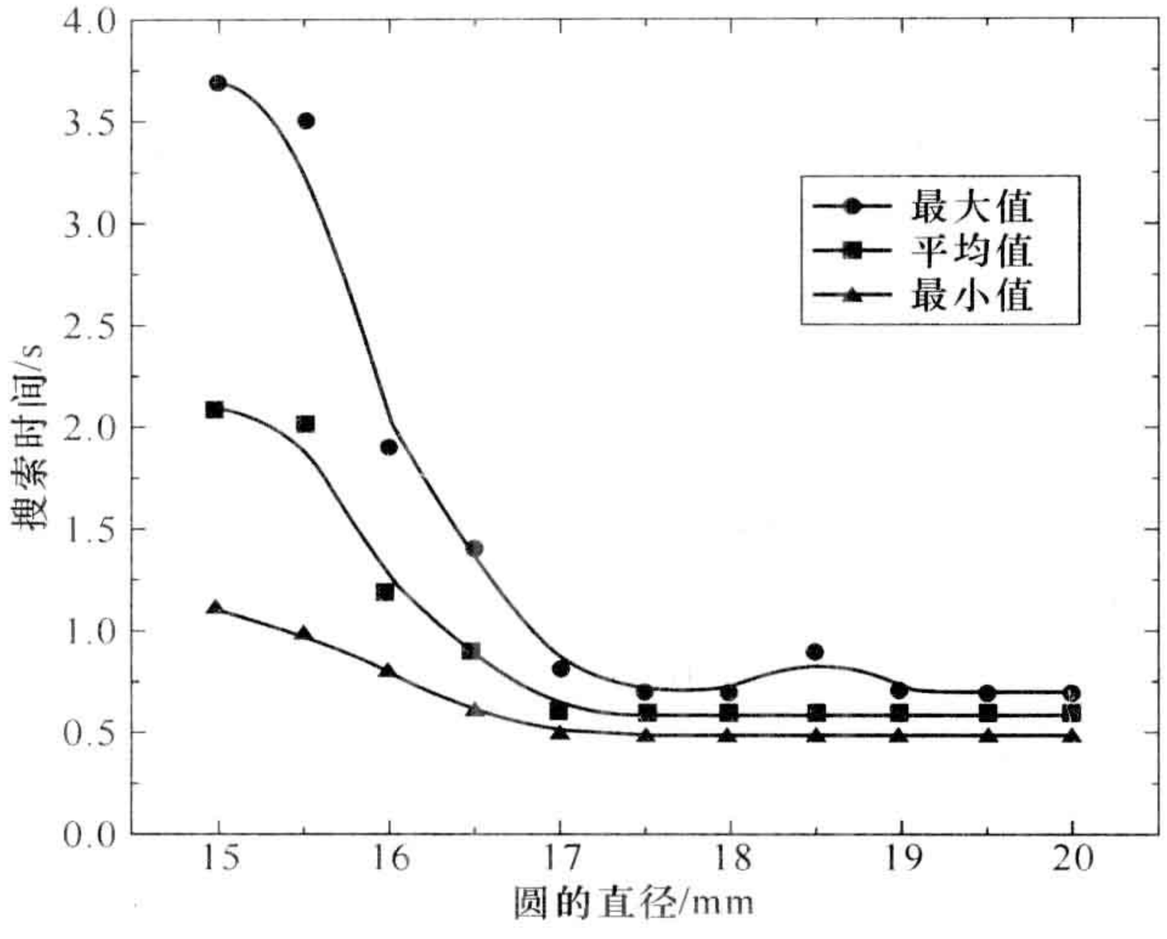


图 3-17　寻找特定圆所花时间

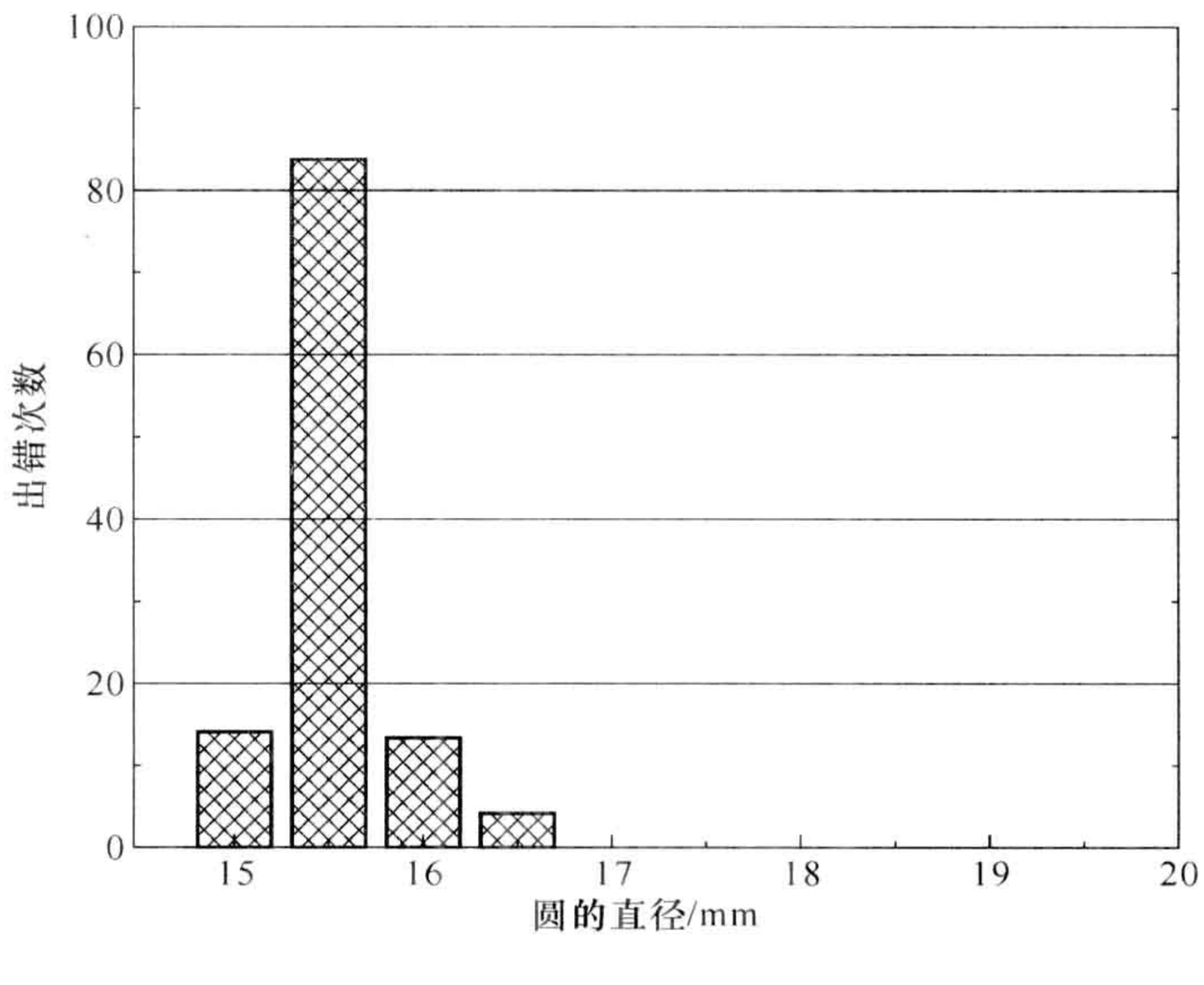


图 3-18　寻找特定圆的出错数

当界面使用一组直径为 15 mm 的圆形按钮时，关键按钮直径应大于或等于 17 mm，此时最忌使用与 15 mm 相近的 15.5 mm 直径的按钮。诚然，为了区别不同按钮还可以采用不同的颜色等，但上述实验及评价方法是符合人的认知特性的。

在前述的编码设计中，早期的二维目标识别实验采用方法如下。

1. 目标(包括文字)大小确定

目标高度采用前述的 Peters 和 Adams 建议的公式确定。

2. 反应时间确定

根据前述的 $T=\tau_p+\tau_c+\tau_m$,确定一个目标呈现时间,分析被试者在该呈现时间范围能否正确识别目标。

3. 实验设计

注视点到目标平均距离为 700 mm,由公式算出的目标高度为 3 mm,这与国军标要求的字符高度基本吻合。目标的形状取圆形、正方形和等边三角形,颜色有红、绿和蓝 3 种。目标的反应时间通过目标在屏幕上的显示时间来代替。根据 Card 的建议值取人对单个信息的反应时间为 105～470 ms。实验要求受试者辨别目标的形状、颜色、位置。另外,考虑到现代飞机电子仪表以图形和数字两种方式显示信息,驾驶员在读取数字信息并做出决策的同时还需辨认图形,为了对这一过程的反应时间进行评估,在实验中引入了两位数的数字运算来取代。据此可认为知觉系统被刺激两次(知觉目标和运算符),认知系统被刺激四次(形状、颜色、位置和运算符),运动系统被刺激四次(用嘴报出形状、颜色、位置和运算结果)。考虑到人对多个信息的反应时间不一定是单个信息反应时间简单的累加,而且加减计算涉及复杂的脑力劳动,故目标显示时间不包括加减计算大致在 0.4 s 左右(具体所需的反应时间亦通过实验验证),包括加减计算后的时间按实验预演确定。实验预演时将时间分为 1 s、2 s、3 s 和 4 s 四个档次,当目标显示时间为 1 s 时基本上无时间进行加减运算,而将时间定为 2 s、3 s 和 4 s 时,对目标辨认的正确率稍有提高,对加减运算的正确率提高很多。

实验在计算机上进行,在计算机上生成的目标在图 3-18 所示的椭圆周与 0°、45°、90°、135°、180°、225°、270°和 315°分角线相交的任一点处随机出现,如图 3-19 所示。根据需要可以设定椭圆区域的长、短轴(当两者相等时,区域为圆)。实验中,被试者双眼注视椭圆区域的中心,头部被头托固定。椭圆外沿与双眼形成的视野约为 20°夹角。目标序列个数为 10,在显示时间内(目标出现到消失时间内),目标的颜色和形状的随机变化出现在椭圆周上。当测试人员用鼠标点击开始,便进入实验状态,需不停地识别和报出 10 个随机出现的目标的形状、位置、颜色及两位数的数字计算结果(当有该项内容的情况下)。实验结束后,正确的答案将自动保存在该次实验的数据库中。

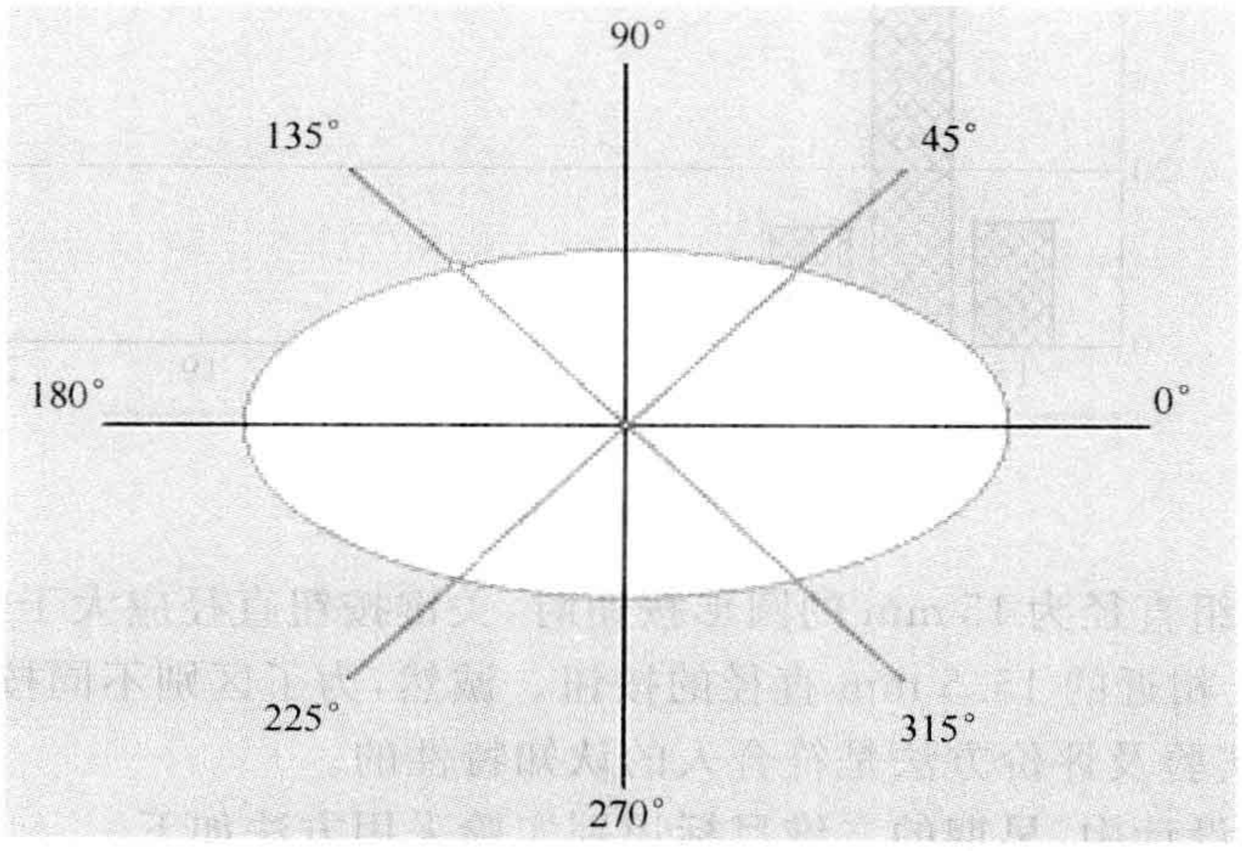


图 3-19　实验状态

实验分 3 人一组，1 人进行目标辨认及运算，并用嘴报出实验结果，另两人帮助记录。同样的实验每人进行两次。本实验的受试者为北京航空航天大学 18 名选修人机工程研究生课程的在校硕士生，其中男生 13 人，女生 5 人，视力和矫正视力在 1.0 以上，无色盲症状。

表 3-3 所示为有数字运算时辨别的正确率。由表中数据可知，在有数字运算时，圆形目标的识别情况略低于其他两种；三角形和正方形目标的识别情况较接近。随着目标显示时间的增长，目标识别的正确率有所提高。数据表明，目标在中心视野附近时，颜色的影响将不明显。

表 3-3　有数字运算时辨别的正确率(%)

	形状			颜色			位置							
	三角	圆形	矩形	红色	绿色	蓝色	0°	45°	90°	135°	180°	225°	270°	315°
2 s	95	88	93	91	95	90	100	100	90	94	100	97	92	100
1 s	90	86	88	89	90	80	89	100	86	93	90	95	89	92

从该实验发现，位置对目标辨认的影响不明显，这可认为与目标出现在偏离中心视野 10°的范围内有关。当目标显示时间为 1 s 时，被试者只能完成对目标的辨认而无暇进行加减运算，正确率接近零。当目标显示时间为 2 s 时，加减运算的正确率可达 50%以上。另外，在前面指出的实验预演中当显示时间为 3 s 时，加减运算的正确率可达 80%以上。上述实验有助于确定复杂情况下目标辨认所需的时间。

表 3-4 所示为无数字运算时辨别的正确率，此时目标识别反应时间大为缩短。从表中看出，显示时间从 0.3 s 变化到 0.4 s 时，对形状识别的正确率有较大幅度的提高，且仍然是三角形和矩形目标的辨别情况优于圆形目标，而对颜色识别的正确率变化幅度不大，再增加显示时间对提高正确率的帮助不显著。在显示时间为 0.3 s 时对 180°的目标识别情况较差。

诚然，表中给出的正确率为所有样本的算术平均值，对偏离中心视野各位置的目标，辨认正确率还有待进一步增加实验样本数来得出统计结果。但实验方法显示了用反应时间确定目标辨认的难易程度是有效的，用数值计算来评估被试者在读取数字信息并做出决策的同时还需辨认图形等所需的反应时间也是一种新的尝试。

表 3-4　无数字运算时辨别的正确率(%)

	形状			颜色			位置							
	三角	圆形	矩形	红色	绿色	蓝色	0°	45°	90°	135°	180°	225°	270°	315°
0.5 s	90	85	88	95	85	90	95	100	100	100	88	100	95	90
0.4 s	85	80	82	89	80	85	85	100	100	100	75	100	90	88
0.3 s	60	50	46	88	70	80	72	85	80	90	60	88	84	86

图 3-20 所示为被试者中心视时右眼注视点的分布，由眼动仪测量数据和屏幕图形叠加生成。从图中可以看出，在椭圆的中心区域有一个注视点集中区，这和实验要求受试者注视椭圆中心吻合。由于该眼动仪只能使用右眼观测，所得结果和双眼注视稍有区别，但由对称性来判断，椭圆的中心区域亦是注视点集中区。

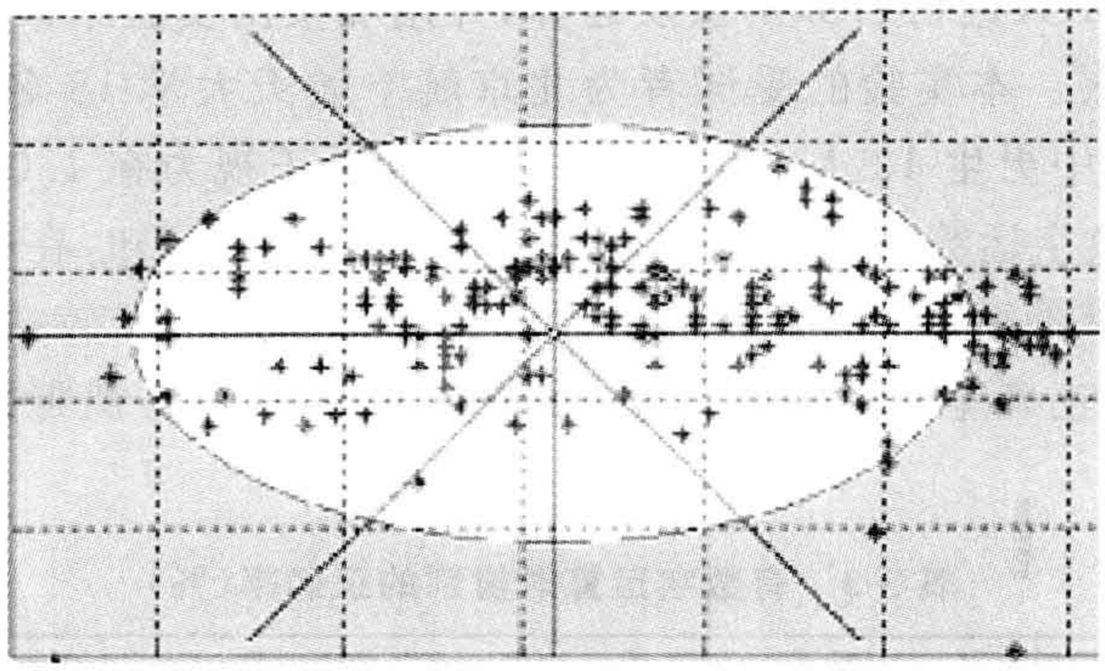


图 3-20　中心视时注视点分布

3.4.3　色彩认知

色彩心理是客观世界的主观反映。不同色彩的光信息作用于人的视觉器官，通过视觉神经传入大脑后，经过思维与以往的记忆及经验产生联想，从而形成一系列的色彩心理反应。

1. 色彩的象征意义

每种色彩都有一定的象征意义，这与人们以往的记忆及经验有关。

红色：在交通信号中红色用于危险和停止。

橙色：有兴奋作用，给人愉快的感觉。

黄色：引人注目，在交通信号中提示限行。

绿色：象征和平和安全。在交通信号中作为“开”或继续前进的指令。

蓝色：象征沉着、凉爽、清静。

紫色：象征优雅、温厚、庄重。

白色：象征纯洁、明快、清静。

黑色：给人以沉闷和坚实的感觉。

正确选择颜色不仅有益于视觉工效，而且也会满足人们的审美情趣。

2. 颜色对人的生理影响

色彩的生理作用主要表现在对视觉疲劳的影响。由于人眼对明度和彩度的分辨力差，在选择色彩对比时，常以色调对比为主。对引起人眼视觉疲劳而言，蓝、紫色最厉害，红、橙色次之，黄绿、绿、绿蓝等色调不仅不易引起视觉疲劳，相反还可提高认读速度和准确度。

色彩的生理作用还表明，眼睛对不同颜色光具有不同的敏感性。例如人眼对黄色光较敏感，因此常用黄色作警戒色。危险部位、危险障碍等涂以黄色、黄黑或黄蓝相间的颜色是适宜的。美国和日本学者通过实验研究都认为，黑底黄色最易辨认。

色彩对人体其他机能和生理过程也有影响，例如红色调会使人各种器官的机能兴奋和不稳定，起促进和增高血压及加快脉搏的作用；蓝色色调则会使人各种器官的机能稳定，起降低血压及减缓脉搏的作用。

3. 颜色对人的心理效应

日本学者大山的“意义微分法”把色彩三属性作为三个横坐标，把心理影响的程度大小

作为纵坐标，对室内环境的色彩气氛影响程度进行测评可得到图 3-21 所示的三类曲线。这里色调用门塞尔色环上的 R(红)、YR(黄红)、Y(黄)、GY(绿黄)、G(绿)、BG(青绿)、B(青)、PB(紫青)、P(紫)、RP(红紫)十种颜色作坐标点，明度也用门塞尔表色系 0～9 V(表示从理想黑经灰到理想白的绝对明度)分成若干等级，饱和度的划分则按门塞尔表色系的 0～14 C(表示从无色彩的白灰黑逐渐到纯色的程度)分成若干等级。这里摘录三类曲线是根据心理因子中的“活动性”再分为“活动性”、“心情愉快”、“暖和”这三者测定的。

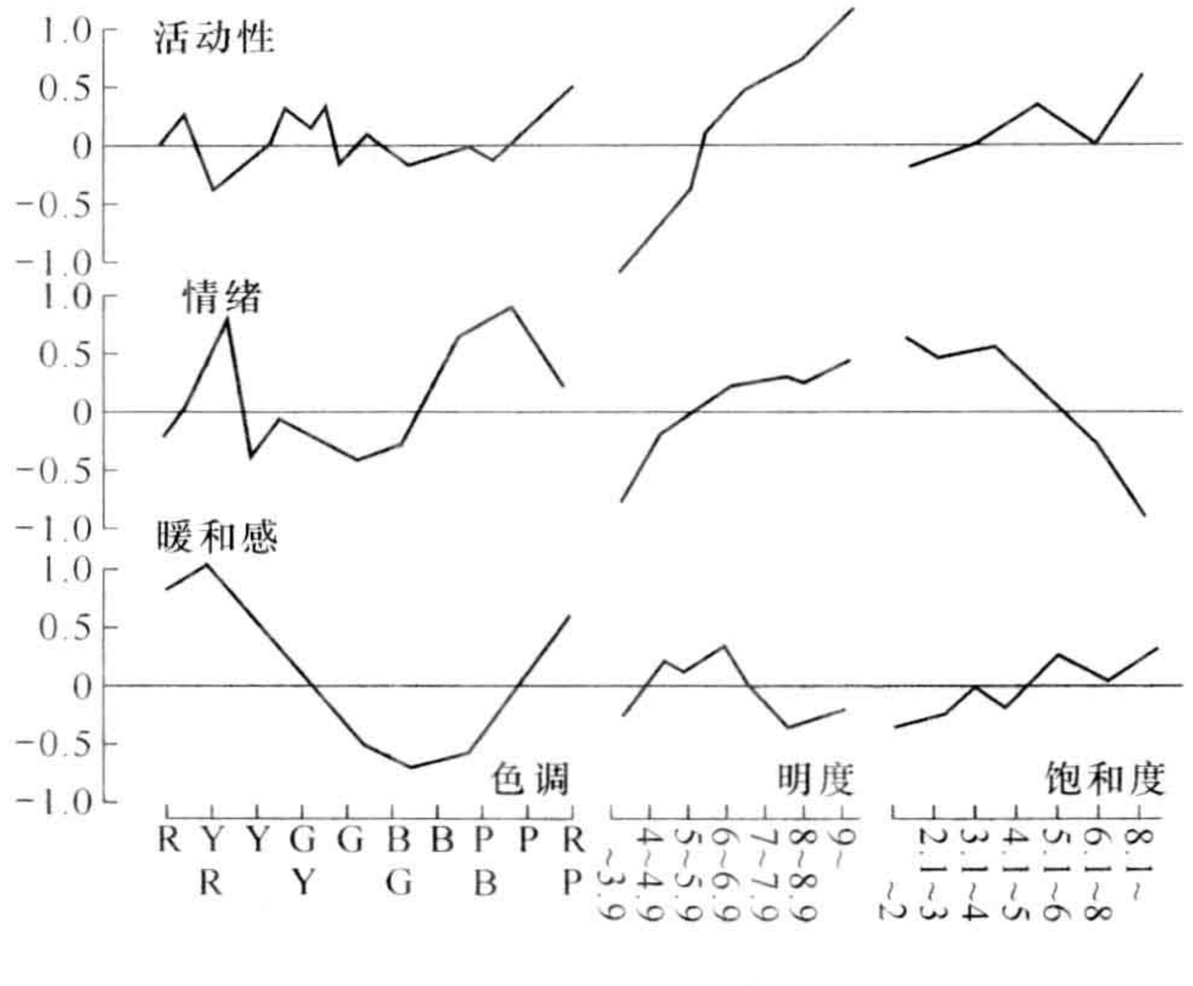


图 3-21　环境色彩对气氛的影响程度

由图 3-21 可知，活动性～明度、情绪～饱和度、暖和感～色调三种曲线的变化最大，说明明度对活动性因子影响最大，饱和度对情绪的影响最大，色调对暖和感的影响最大。所以，亮度大的壁面增加活力造成快活的气氛；饱和度过大对情绪有不良影响；饱和度在 2 左右时也有一个低负荷谷，说明饱和度过低对情绪也有不良影响，较佳为 4 左右，这与实际中人们不希望壁面涂料太蓝或太白的心情符合；而暖色给人以暖和感，冷色给人以寒冷感，这是人们的日常生活经验。

人类在漫长的生活实践中获得和形成了大量有关色彩的感受和联想，并赋予不同的情感和象征。他们虽然因人的年龄、性别、经历、民族和习惯等有所差异，但共同的社会条件和生活环境也必然使其具有一般的共性。在色视觉传达设计中，应根据一般人对色彩感知的感情效果去选择和运用颜色。通常认为颜色的心理作用有以下几点。

(1) 冷暖感

由于人对色彩的温度错觉，使得颜色能引起人们的冷暖感觉。通常情况下，红、橙、黄等颜色能产生温暖、热烈的感觉；绿、青、蓝紫等颜色能产生寒冷、平静的感觉。

(2) 兴奋抑制感

暖色一般起积极的兴奋作用，还会使人的行动活跃起来，但也会引起神经紧张和不安感。冷色一般起抑制、镇静的心理作用，大面积使用会给人以荒凉的感觉。

(3) 活泼和忧郁感

颜色的这种感情作用，主要是明度和纯度起作用。暖色、高纯度色、丰富多彩色、强对比

色使人感觉跳跃、活泼有朝气；冷色、低纯度色、低明度色、低对比色使人感觉庄重、严肃。

(4) 胀缩感

一般说来，暖色、亮色看起来有膨胀感，冷色、暗色有收缩感。白色具有膨胀感，而黑色具有收缩感。在设计时，要使各种颜色在视觉上取得平衡，就要暖、亮色面积取小些，冷、暗色面积取大些。

(5) 轻重感

由于人对颜色有重量错觉，所以颜色给人们心理感情上能带来轻重感。明度高的色彩轻柔、灵活，明度低的色彩沉重、稳定。如大型机械一般都会采用明度低的深色，给人稳定安全感；小型产品则采用明度高、色彩鲜艳的亮色，给人轻盈灵活的感觉。

(6) 软硬感

一般来讲，明亮的颜色感觉软，深暗的颜色感觉硬，中等纯度的颜色感觉软，高纯度或低纯度的颜色都感觉较硬。白色和黑色是坚固色，而灰色是柔软色。灰色系中，明度较高的具有软感，明度较低具有硬感；纯度越高越硬，纯度越低越软。

(7) 进退感

几种颜色在同一位置时，有的感到近些，有前进感；有的感到远些，有后退感。一般暖色系的色是前进色，冷色系的色是后退色。

(8) 华丽质朴感

不同的颜色还可以让人感到辉煌华丽和典雅质朴。明度高、纯度高、丰富、强对比色彩可以使人感觉华丽、辉煌；明度低、纯度低、单纯、弱对比的色彩使人感觉质朴、古雅。

4. 色彩与工效

色彩与工效是一个值得重视的研究课题。研究表明，对那些光线不足，或者易使人感到冷落、闭塞的车间，刷涂白色、淡黄、蓝绿色可改变照明效果，造成明朗气氛。如在食品厂、药厂、精密仪器工厂采用明快的色调，则可增加明亮度和清洁感。在温度较高的车间，涂刷草绿、浅蓝、蟹青一类的冷色彩，会使人有凉爽感。而对那些温度较低的场所，涂以朱红色一类暖色，则可使人产生暖热感。在多噪声的车间涂刷绿色、紫罗兰色，则可增加环境的安静感。在某些车间里，由于机器不停地转动，机件来回运动，明和暗快速地变换，将会使人眼花缭乱，精神紧张从而感到疲劳。为改变这种环境状况，可在那些运动着的部件上涂上色调一致、和谐的色彩，使明暗色彩对比不那么强烈，由此可减轻人的视觉器官的疲劳。

色彩可用来预防生产事故。如工厂里一些危险品、重要开关、报警信号灯等，一般都采用红色作标志。这是因为红色光波在空气中传播距离最远，易于被人发现，这样就改善了工作环境的安全条件。因此，规定某种颜色指示某种危险情境，使人对危险的反应成为“自动的行为”，就是颜色在作业区的重要编码功能。所采用的这些颜色又可称之为安全色。常用的表达安全信息含义的颜色如下。

(1) 红色表示危险、暂停、停止、禁止。红色也是指示火警和火警系统的规定用色。

(2) 黄色表示小心、注意，为了醒目也常与黑色一起使用。黄色和黑色是起警告作用的颜色。

(3) 橙黄色用于防护罩的旋转部分，防扎伤。

(4) 绿色表示安全、正常、通行。

(5) 蓝色主要用于标注说明等。

3.5　声音的知觉和传递

声音是人人界面和人机界面的重要部分。在我国自主开发的某型号飞机试飞过程中，在离地高度 3 320 m 时，飞行员听到了三声飞机发动机振动值超限告警。在紧急状态下拉升了飞机高度，为事故处理争取了时间，使失去动力的飞机安全降落。整个危机事故处理过程中飞行员的沉着冷静和技术高超是关键，但声音警示也为危机处理赢得了时间。声音的交流除了传递信息、表达人的喜怒哀乐外，人发音的自然性与快捷性是其他手段难以比拟的。表 3-5 所示为数据输入速度的比较，由表 3-5 可知对简单的语句，朗读输入的速度比键盘输入快 4 倍。

表 3-5　输入方式与速度的关系

输入方式	速度/语·秒$^{-1}$
声音	4
朗读：自然说话	2.5
孤立发声	1
键盘输入（熟练者）	1
手写	0.4
按钮	0.3

3.5.1　声音的感知

感知是人体对信息的感受、传递、加工，以及形成整体认识的过程。按对听觉信号的感知程度可分为三个层次，即觉察、识别、解释。图 3-22 所示为声音知觉过程模型。

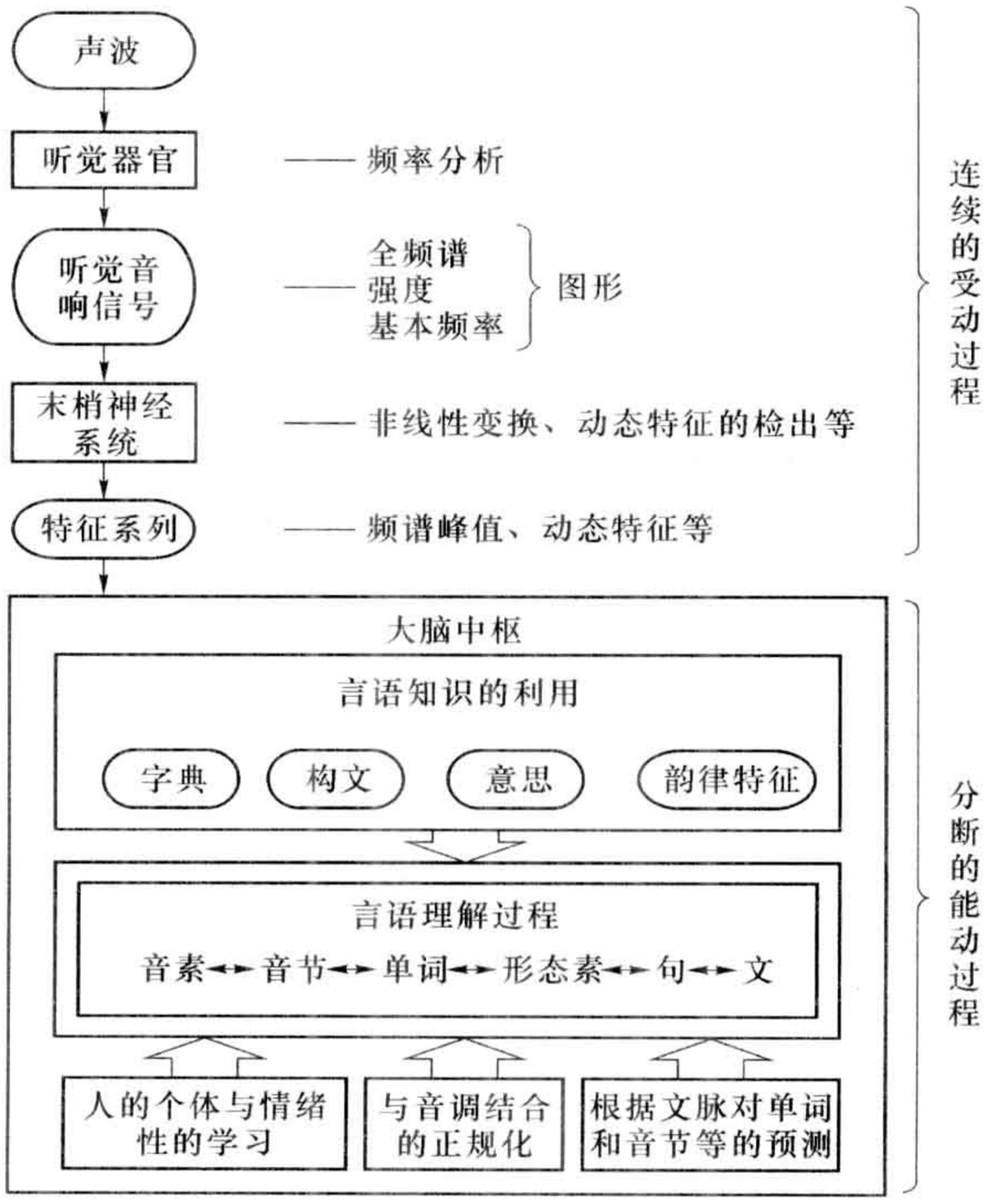


图 3-22　声音知觉过程模型

(1) 听觉信号的觉察条件:主要影响因素是相对于环境噪声的声压水平。另外,声音的特征因素也很重要,如频率变化的速度、频谱、瞬时特性、循环和持续时间等。

(2) 听觉信号的识别条件:识别主要由下述因素确定,即相对于噪声的声压级、相对于噪声信号的频谱、振幅和频率按某些特定模式的变化、声源位置和现场的声学特性。一个听觉信号识别的基础是对觉察的综合判断,但也取决于信号给出的紧急程度。

(3) 听觉信号的解释条件:取决于多种因素,通常受作业者的训练程度和后来所获得的经验的制约。

3.5.2 语音的感知

语音是一种特殊的声音,是由人讲话发出的声音。语音由一连串的音组成,是组成语言的声音。语音的产生是由人的大脑中枢的语言活动转换成人发声器官的运动,产生声波并传播出去。人耳将语音声波经初步处理后,转换成神经元活动,然后逐级传递到大脑皮层的语言中枢。

语音传递系统是指从讲话人到听话人之间传递语音信号的媒介或电声系统。它由传声器,放大、传递和接收装置,扬声器或耳机组成。

语音听觉是一个复杂的感知过程,影响人对语音的知觉与传递的因素主要有以下几点。

1. 言语的清晰度

言语的清晰度是指由发音人发出的语言单位(字、词、音节等)经语音传递系统,为听音人正确识别的百分比。言语清晰度与人的主观感觉之间的关系如表 3-6 所示。

表 3-6 言语的清晰度与人的主观感觉

言语清晰度百分率	96%以上	85%～96%	75%～85%	65%～75%	65%以下
人的主观感觉	言语听觉完全满意	很满意	满意	言语可以听懂 但非常费劲	不满意

影响言语清晰度的因素主要有讲话人所用语言、听话人对于语言的熟悉程度、讲话的声级、讲话的清晰度、讲话人与听话人之间的距离及物体、房间的混响时间和干扰噪声等。

2. 语音的强度

语音的强度直接影响语音的清晰度,从而影响人对语音的识别。当语音强度增至刺激阈限以上时,清晰度的百分数逐渐增加,直到全部语音差不多都能被正确听到的水平,之后清晰度不再随强度增加而增加。不同的研究结果表明,语音的平均感觉阈限为 25～30 dB(即 50%被听清楚),而汉语语音的平均感觉阈限是 27 dB。如果达到 80%以上被听清楚,平均而言,语音强度要达到 60 dB 以上。辅音一般比元音听起来困难些。

3. 环境噪声

噪声不仅会影响语音的清晰度,还对语音会产生掩蔽效应,使人的听阈提高。当噪声的声压级超过语音声压级 10～15 dB 时,互相交谈是困难的;超过 20～25 dB 时,语音完全被噪声所掩蔽;当噪声频率在 1 000 Hz 以下时,噪声对清晰度的影响最大。

3.5.3 人对语言的理解度

对美国 ASRS 数据库中保存的 5 万份以上报告分析可知,出现航空事故或发生失误时,

70%以上与信息交流中的语言问题有关。如机长指示“Back-on the power”(提高功率),副操纵师却理解为“Back on-the power”(降低功率)。可见,为了提高信息交流的效率和准确性,必须提高语言的理解度。

语言理解度与语言的长短有关。为了提高交流的效率,减少误解,国际航空业开发了航空标准用语词汇,由这些词汇构成航空用语语句。在确定具体的航空标准用语词汇时需考虑人的发声和听觉特性。从认知学来分析,语言的长短影响语言理解度,长句比短句容易理解。在听一个长句时,无须听完全文就可理解意思。但在听一个短句时,即使听完全文也不一定能理解意思。特别在有噪声、杂音、通信干扰情况下忌讳使用短句或单词,而应在一个句子中包括这些短句或单词。如光说“起火了”可以给对方很多猜想,应具体指出是哪个部位或设备“起火了”才能有效地将信息传递出去。但也不是说句子越长越好,多余的话也是一种浪费和失误的诱因。

语言理解度还与发音的明了度和杂音及噪声的影响有关。人耳对 1 000 Hz 以下周波数的声音不敏感,即对低周波音比对同样强度的高周波音听觉差。单词是由元音和辅音构成,元音是由通过咽喉和口腔中相对自由的气息发出的声音,常形成音节最突出和中心的音;辅音是由语言器官的收缩所致的部分或完全气流堵塞产生的音。辅音大部分是高周波的弱音,一般情况下辅音的发音量比元音低,且辅音的词汇量要远大于元音,即辅音占会话和情报交流的大部分词汇量。这就意味着辅音容易被杂音覆盖。因此,在确定具体的航空标准用语词汇时必须考虑单词的词性。

图 3-23 所示为发音的明了度指数和正确理解度。明了度指数通过物理测定单词的发音难度和杂音算出,指数大意味着发音难度及杂音大。由图示可知,由 52 个声音均衡、选定的单词构成的实验用语在发音明了度指数大于 0.3 的情况下,正确理解度就接近 100%;如果是对方了解的文章,在发音的明了度指数大于 0.4 的情况下,正确理解度可接近 100%;如果是单词,只有在发音的明了度指数为 1 的情况下正确理解度为 100%。

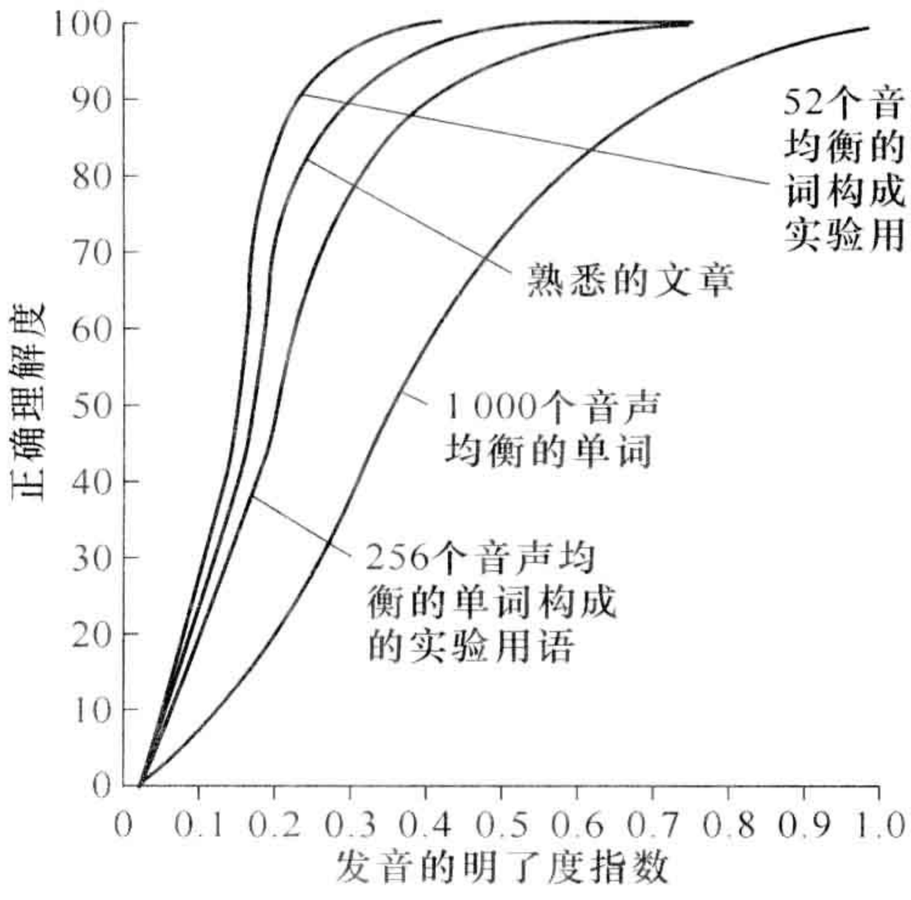


图 3-23　发音的明了度指数和正确理解度

3.6 注意和注意力分配

由前述的情境意识的信息加工机制可知，人的短期记忆涉及的知觉、理解和整合、决策与行动等各个过程都与人的注意机制密切联系。

3.6.1 注意和注意力的区别

到目前为止，注意(attention)和注意力(attentiveness)并没有被认为有很大的区别。很久之前，注意是一种概念，不含注意力。20 世纪中期，作为神经机构的一部分，通过实验证明了注意的存在。最近，研究人员对注意机能提出了几个构成要素。所以，注意逐渐被看成是一个实体并具有能力，而注意力则代表某种意义。

3.6.2 从注意向注意力的展开

人们生活、工作中涉及的各种环境会有很多情报，人并不需要根据所有的情报去知觉或认识对象。毋宁说人是根据情况选择特定的情报进行处理。这一类认识过程中的机能的总称叫注意。注意本身是一种谁都知道的现象，从很久以前人们对注意就有很多研究，对注意的生理机理和心理机理，也有很多的真知灼见。另外，近几年，人们将注意与可观察的神经活动相联系，即和具有神经基盘的实在的概念相联系在一起。

注意这一概念含有很多意思。很难对注意下一个明确的定义，不管怎样定义，都是有片面性，因此，下面罗列的仅是从人机界面的观点对注意的几个定义。

(1) 精神集中。对某件事，精神能否集中地去处理。

(2) 监视。监视作业中，监视发生概率低，但有可能发生的事情。

(3) 选择的注意。对同时提示的复数的情报进行选择和捕捉。

(4) 探索。从很多信号中，找出、发现其中的一部分。

(5) 活性或定位反射。时刻戒备、严阵以待即将来临的事。

(6) 准备。在认识或筋肉运动方面准备下一次反应。

(7) 综合分析。认识某特定图案的过程。

(8) 努力或资源。努力是极限容量说中的中心的概念。资源意味着情报处理中能利用的记忆容量或情报传输回路等。

人的情报处理系统能处理的量是有极限的。如把人看成是知觉、认识情报的情报处理系统，则注意促进增强认识的感度和增大处理速度，这是确定注意力时的基本概念。关于注意是在人的情报处理系统的哪个阶段起作用，以神经机构为基础的研究正处在对其不断解明过程中。此外，各种各样观点的注意研究也在进行中。从注意力的观点认为，注意机能的特征基本由以下三个基本要素集约而成。

(1) 选择机能，是一种只选择所需情报的过滤器。

(2) 觉醒水准，是注意的强度和持续性。

(3) 容量，是能分配的努力、资源的量和情报处理量的关系。如人开汽车时，看前方是理所当然的，还要观察侧镜和后镜，对侧方和后方给予注意。与此同时，还要看速度计、动

量、水温等各种仪器，然后从提示的各种情报中，在最短的时间内进行正确操作。

3.6.3　注意力分配的数学模型

比起注意本身，更重要的是注意分配的机能和注意力。例如，在情报社会中，从情报海洋中筛选出所需的情报需要有选择的注意能力，以防止情报将人淹没。另外，为高速化、高精度化的工业社会或运输机构的作业者开发的注意容量极限辅助装置能较好的起到防止重大事故发生的作用。这样，在知觉、认识目标对象时，注意所起的重要作用是无法预测的。实际上，只要注意没被引起，就不可能有正确的认识。另外，注意将根据状况发生变容。因此，如何弄清楚人内部的注意机制并将其量化，是人机界面设计中的一个不可缺少的基础研究课题。

Kleinman(1976)在监视控制中为了定量地求出最佳注意分配，在最佳控制理论范畴内，考虑生理极限，将人的反应模型化了。

人在知觉 m 个表示的信息 $y=(y_1,y_2,\cdots,y_m)$ 时，脑内情报处理系统受容的状态为 $Q=(w_1,w_2,\cdots,w_m;p_1,p_2,\cdots,p_m)$。$w_i$ 是与各信息 y_i 对应的实际受容的量，可以认为是反映了注意的强度；p_i 是发生的概率。即 m 个信息不是全部都被情报处理系统接受，而是由 p_i 所定的比例被接受。w_i 对各信息 y_i 的注意强度的差异可由相关函数 $x(w_i)$ 给出。这样可得出求解注意力的公式。

$$s(m)=\frac{1}{m}\sum_{i=1}^{m}\left[p_i x(w_i)\ln p_i x(w_i)-p_i(1-x(w_i))\ln p_i(1-x(w_i))\right] \tag{3.2}$$

式中，$s(m)$是表示注意力的量，$s(m)$对信息 y_i 是否重要不明朗时呈很大的值。$s(m)$值大表示想要得到信息的渴望高。对应于使 $s(m)$为最大的 p_i^*，信息 y_i 的注意分配量 f_i 为

$$f_i=\frac{p_i^* x(w_i)}{\sum_{i=1}^{m}p_i^*(w_i)x(w_i)} \tag{3.3}$$

f_i 的有效性已被众多的认识实验证明。

3.7　决　策

飞行员作业过程中要接收大量信息，通过对信息的感知、认知后要作出正确的决策和行动。由于信息量大、情况复杂以及系统复杂，这使得决策和问题解决变得复杂且容易出错。于是，决策成为人机工程专家关注的一个核心问题。

3.7.1　决策的信息加工模型

图 3-24 描述了一个简单的信息加工示意图，提示了选择性注意及从短期记忆和长期记忆中提取相关信息的活动对决策和行动起着重要的影响。决策有三个过程：①收集和知觉同决策有关的信息或线索；②考虑同决策有关的现在和将来的状态，产生或选择同线索有关的假设或情境评估；③根据推断的状态、不同结果的成本和效果，计划和选择选项。其中每

个过程可能还包括一些子过程。而在一个完整的决策中，上述三个过程经常循环和反复。

决策包括风险，一个好的决策者要能够有效地评估每个选择的风险。考虑到人的认识能力和决策时间的紧迫性，很难要求人立即做出最好的决策，反馈系统要求人根据行动的结果对决策进行进一步的修正和改善，使决策合情合理。

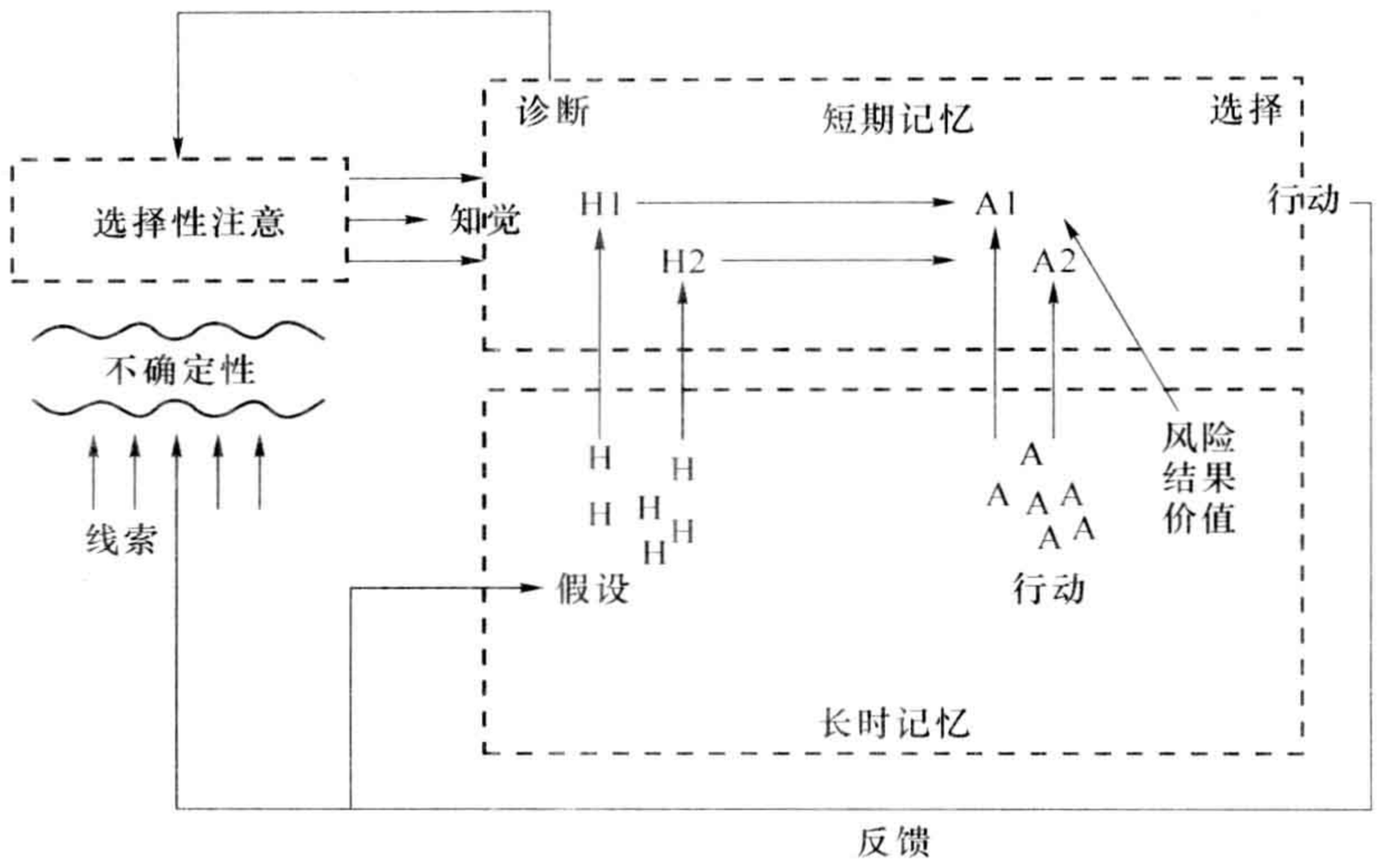


图 3-24　决策的信息加工模型

3.7.2　人行为三层次控制模型

1986 年，Rasmussen 对原子能发电厂和飞机等大型系统中人的行为方式提出了图 3-25 所示的人行为三层次控制模型。

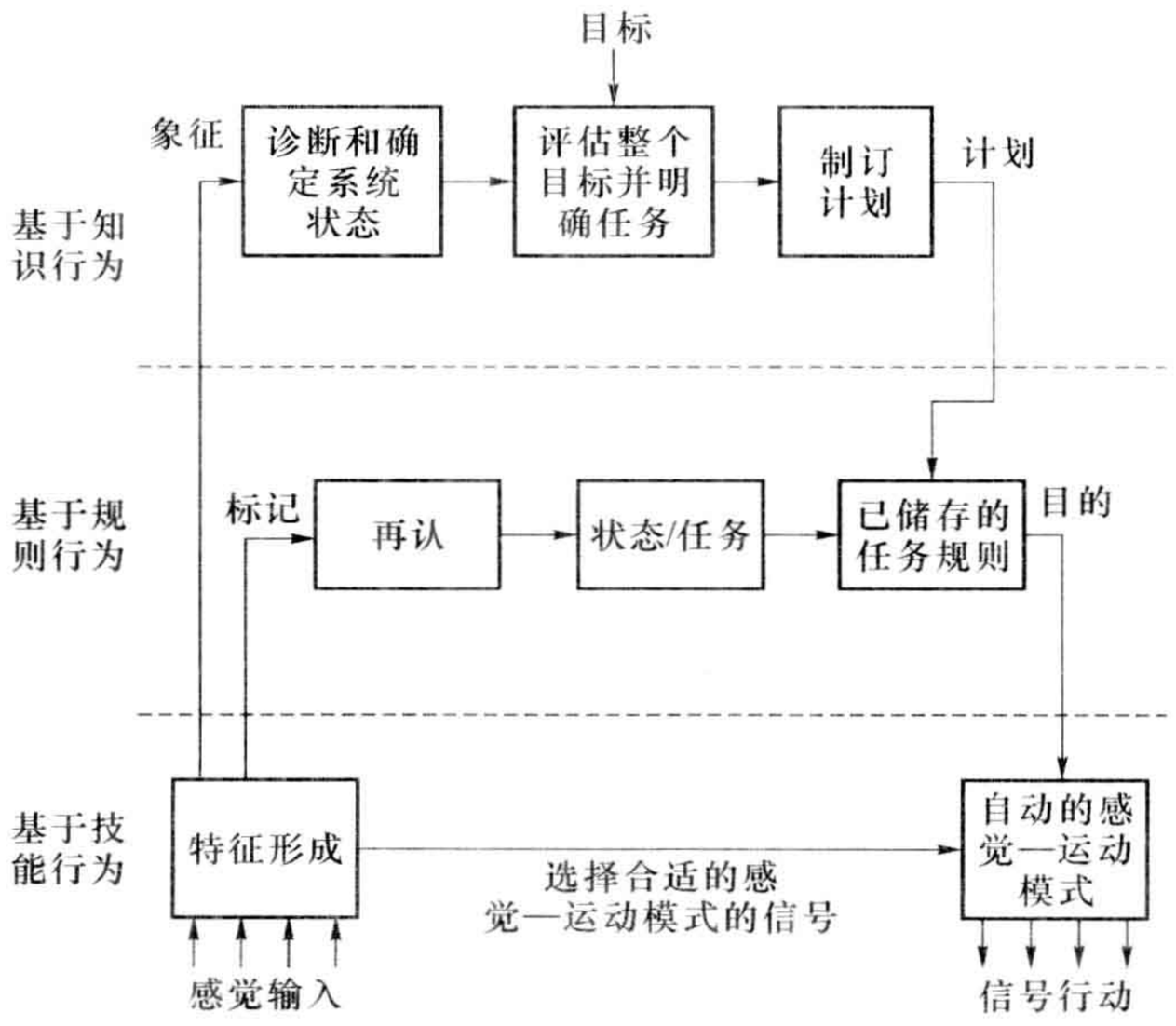


图 3-25　人行为三层次控制模型

如在进行界面作业时，对熟练的事情常会不加思考，做出反射性动作，这是一种基于技能的行为(skill-based)，称为行为第一层次。第二层次是为了实现特定的目标，将利用现有规则构筑所需的行为系列，最后加以实行，可看成是基于规则行为(rule-based)。在该层次，将对外界状况进行确认，考虑采用什么规则合适，反复推敲后再转移到基于技能的行为去实行。最复杂的层次是第三层次，即基于知识行为(knowledge-based)。它将从对外部状况的认知和解释出发，进行判断和决策，在对照规则要求后再转移到基于技能的行为去实行。该模型的最大优点是能发现人失误的原因，找到解决问题的对策。

以飞机驾驶舱中的人失误为例，可将其分成以下几类。

1. 技能型层次人失误

在正常情况下，人的活动属于技能型，只对外界信息作浅层处理(即习惯性反应)即技能型活动。这种行为在信息输入与人的响应之间存在着非常密切的关系，不完全依赖于给定任务的复杂性，而只依赖于人员的培训水平和完成该任务的经验。这种人失误的特点是人不经过理性思考，常常是一种人对信号的直接反应。

疏忽和过失常常发生在技能型动作的执行过程中，主要是因为人的疲劳或环境影响等丧失(或分散)注意力，或由于作业环境的高度自动化性质所致。当飞行员工作量较大、压力较大、疲倦或精神松懈时容易发生此种类型的人失误。如 1965 年一架波音 727 飞机失事，事故调查怀疑是驾驶员将 3 针式高度计中的读数 6 000 foot 误读为 16 000 foot 而使飞机掉到湖里。同年，一架装有最新的一针式开窗式数字高度计的波音 727 飞机，因下雨等因素干扰，驾驶员因误读高度而使飞机坠毁在机场。

2. 规则型层次人失误

当飞机进入异常状态，飞行员注意到这种情况之后，他就会对这些异常信息进行深层处理，运用现成的规则去解决问题，在这种情况下出现的人失误就是规则型层次的人失误。在此类人失误中，人的行为是由一组规则控制和支配的，它强调对实际问题的了解或把握的程度。如果规则没有很好的经过实践检验，那么人们就不得不对每项规则进行重复和校对，这时，人就可能由于时间短、认识过程差等原因造成对规则的理解不够而产生失误。

3. 知识型层次人失误

如果发生的异常情况十分复杂，或从未遇到过，飞行员不得不运用所掌握的基本知识深入考虑造成异常的原因并采取相应的措施，这就是知识型的问题解决过程。在这个过程中出现的失误就是知识型层次人失误。

显然，当失误发生在规则和知识层次上时对失误的纠正将更为困难，这是因为产生失误的原因更为复杂所致。

3.7.3　整合模型

整合模型是将不同的关于决策的观点整合为一个描述决策的模型。整合模型开始于人行为控制的三个层次。将人行为的三层次控制模型扩展并结合决策的信息加工模型即构成图 3-26 的整合模型。

为了有效地解释外界线索，采用了基于技能、规则和知识为基础的分析过程。当技巧和规则为基础的过程没有提供令人满意的解决方案时，或者决策时间允许时，将依赖知识为基础的分析过程。此时，元认知在寻找合适的决策策略中将发挥关键性作用。

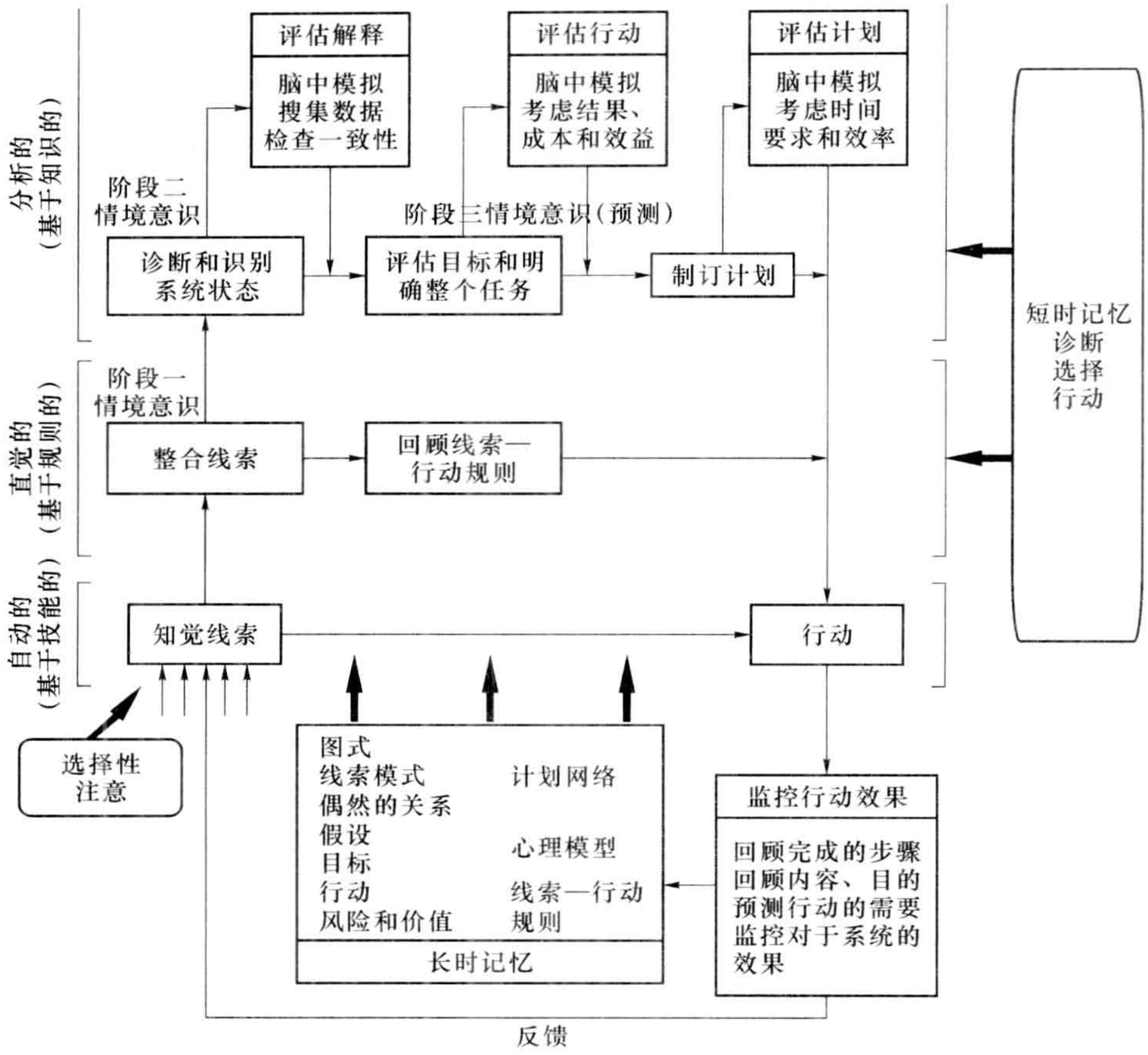


图 3-26　整合模型

心理学家发现一种在作业过程的许多方面都很重要、性质不同的知识来源，将其称为元认知。它是指人们对自己的知识和能力的认知。在整合模型中给出了元认知是如何通过指导人们适应特定决策情景来影响决策过程。

整合模型中的情境意识(Situation Awareness，SA)概念最早出现在航空心理学中，是作业者在特定的时间和空间内对环境中关键因素的认知，对它们意义的理解以及对环境未来变化的预测。随着科技的进步，近 20 多年来，复杂技术系统的应用越来越广泛，作业者的工作由过去单纯的以“操作”为主变为复杂的监视—决策—控制，涉及大量的认知科学问题，SA 的研究对象也逐渐扩展到飞行员、空中交通管制员、核电厂的操作员、军事指挥员等。以空中交通管制员为例，其情境意识是为了保证运行中的飞机保持一定的间隔、安全有序的交通流量，管制员对管制区域(或扇区)内的交通情况，即三维空间中每架飞机不断改变的位置、它们未来的相对位置以及它们相关的因素(如目的地、燃油、通信等)的清楚了解。管制员的情境意识是制定计划和管制飞机航迹的基础。管制员要想获得良好情境意识必须主动地关注和思考各种有意义的感觉和知觉信息。在获得情境意识的过程中受到很多因素的影响，这些因素包括情境中信息的特性(即这些信息是否容易被我们发现，是否充分和准确)、作业者注意力的分配技巧、情绪状况、工作负荷等。

图 3-27 所示为情境意识的信息加工机制，在该图中，长时记忆内涵中出现了图式和脚本用语。长时记忆中信息是以联结网的方式储存的，每一条信息都与其他相关信息联系在一起。有时，信息是以中心概念或话题进行组织的，关于一个特定话题的全部知识被称作为一个图式。人们拥有关于周围世界的各方面的图式，包括它们的设备和系统。描述一种典型活动顺序的图式（如打开计算机查阅文件、修改文件内容等）叫脚本。

在整合模型中强调了检测决策效果的重要性。这是决策过程中的一个关键部分，即清楚的和有诊断性的反馈能改善或纠正错误的决策。

整合模型本身还需继续完善。另外，各种因素及人认知的局限性也影响了决策。因此，为了改善决策，还需决策支持系统等来帮助决策者。支持决策的最有效的方式就是提供一个好的显示，这涉及下几章介绍的人机界面的优化设计。

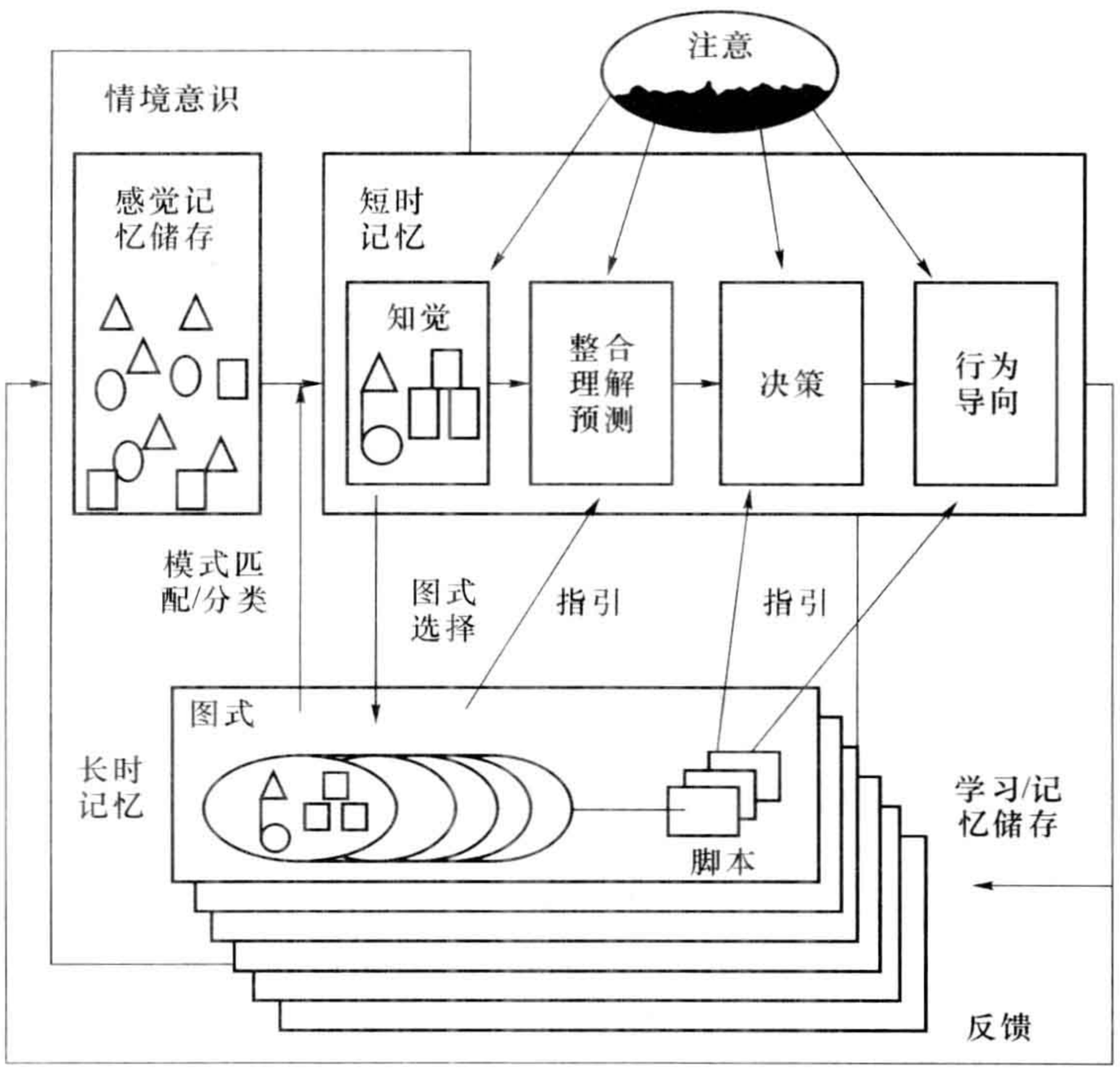


图 3-27　情境意识的信息加工机制

3.8　空间认知

空间认知是指人们对物理空间或心理空间三维物体的大小、形状、方位和距离的信息加工过程。认知工效学界对空间认知的研究以视觉通道为主，分为心理空间视觉和物理空间视觉。心理空间视觉是指心理表象、心理扫描和心理旋转等信息加工过程。物理空间视觉方面主要研究影响三维物体认知的客观因素和深度视觉的神经生理学基础。

一般认为，空间认知能力包括准确知觉外界的能力、对知觉到的客体进行改造和修正的能力以及重建视觉经验的能力。具体体现为视空间定向、空间旋转、空间关系和视觉形状重构等要素，其核心是视觉空间表象能力。人的空间认知能力是有个体差异的，在一定程度上可以通

过适当地训练来提高，并且视觉空间能力是从事飞行职业所必备的，与飞行能力紧密相关。

3.8.1 空间认知的形成机制

生理心理学界对空间认知的生理机制进行了多层次的深入研究。由于人的视网膜是平面的，在平面视网膜的基础上产生深度知觉（一般把物体距观察者距离的知觉和立体知觉合称为深度知觉），必须依靠人体自身和环境提供的各种深度线索。这些线索包括眼肌调节的线索；凭过去经验形成的单眼线索，如遮光、空气透视、结构级差和运动视差等；双眼视差。

在自然环境中观察一个物体时，由于两只眼睛之间相距约 65 mm，所以两眼是从不同角度获取信息的，在左眼和右眼视网膜上分别感受着不完全相同的刺激，形成双眼视差，这样两眼不相应部位的视觉刺激以神经冲动的形式传到大脑皮层，以尚不清楚的方式整合起来，产生一个单一的具有深度感的视觉像，便产生立体知觉。

认知心理学认为，通过生活经验的积累，人们在反映外界三维空间时形成了一个内部的视觉表象空间体系，人们按照这个内部表象体系的空间坐标来调节自己在环境中的活动，确定所知觉物体的空间方向并在心理上对物体的空间关系进行操作。空间认知的过程可以用表 3-7 表示。

表 3-7 空间认知过程

获取信息	→ 处理信息	→ 处理结果
收集	编码	位置
感知	存储	距离
	回忆	方向
	解码	

3.8.2 空间认知能力的影响因素

影响空间认知能力的因素可以归纳为以下几个方面。

1. 性别

Daly(1994)在其报告中提到，按空间视觉能力高低（由空间能力测试表获得）将男、女被试者排队。完成心理旋转作业后的实验结果表明，性别和技能水平上的差异是存在的，男被试者的平均旋转速度快于女被试者，空间视觉能力高的被试者快于该能力低的被试者。

2. 个性因素

Witkin(1977)发现，个性因素对视知觉的影响具有明显的个体差异，并因此提出了场依赖性—独立性的认知方式理论。张厚粲等人(1981)认为，具有场依赖特征的人善于从环境中提取信息，周围视觉参考物对于当前的知觉和图形后效应有明显的影响；场独立性强的人不受或少受视觉参照物的影响，知觉和图形后效更多地为直接刺激所决定。最近的研究也发现，场依赖性—独立性认知方式是视动性错觉个体差异性的一种重要影响因素，前者主要倾向于以外在场（视野线索）为参照，后者则更多地利用内在线索（自身平衡感觉）。

3. 睡眠

Cian 和 Barravd(1992)的实验中，剥夺被试者 60 小时睡眠，观察被试者的心理表征和空间定向能力变化，结果心理表象活动随着睡眠量的减少而减慢，但记忆表象的操作无影响。

4. 自身姿势

人在空间知觉中，主体只有先明确自己的状态，然后才能正确判断对象在空间的相对位

置。若身体处于不正常姿势时，知觉的正常经验系统受到破坏，知觉恒常性失去作用，视网膜的物理学规律便起更大的作用。身体倾斜、俯、仰和旋转都会影响到观察者的正确判断。

5. 环境因素

一个空间物体的识别除了主观因素的影响外，环境及物体本身的特点也影响人们的判断力，如刺激物的大小、刺激物暴露时间、刺激物隐蔽面多少、观察距离、周围参照物的亮度级差、视线分离方向（交叉与不交叉）等。

3.8.3　影响空间认知的生理因素

1. 基于单眼视的空间认知

使观察对象在视网膜上成像的焦点调节和成像的大小这两个因素对精确预测观察对象的绝对距离影响甚大。

观察者的移动产生的运动视差和视野这两个因素有助于空间认知。

2. 基于双眼视的空间认知

双眼视是指一个外界物体的物像，分别落在双眼的黄斑部或其他对应点上，同时产生神经冲动，并经神经系统传递到大脑视中枢。视中枢对来自两眼的神经冲动信号进行分析，综合成一个完整的具有立体感觉的单一物像。注视在双眼的黄斑部物像时的两眼辐辏运动与焦点调节的连动是正确检出对象物绝对距离的关键。另外，虽然两眼能同时注视一个物体，但由于两眼间有一定距离，所以两眼所见的物体位置不是完全一致的。从而使所见物体存在微小差异，即两眼视差。由于视差的原因，两个物像传递到大脑后，通过视皮质的活动产生了上下、左右、前后三维图像的立体视，使人能更准确地获得有关位置、方向、距离和物体大小的概念以及正确判断自身与客观环境之间的位置关系。表 3-8 所示为影响空间认知的因素和有效距离范围。

表 3-8　影响空间认知的因素和有效距离范围

	影响因素	有效距离范围
单眼视	① 焦点调节	2～3 m 以内
	② 像的大小（根据物体距离在网膜上成像的大小） ②′ 线透视（相等大小的物体呈规则排列时，与距离相应的像大小的变化容易掌握） ②″ 明度和彩度（红色物体看起来似乎在近处，青色物体看起来似乎在远处） ①与②″空气透视（因空气分子的散乱与吸收使远方物体的颜色看起来变青等）	2 000 m 以内 500 m 以内 2 000～3 000 m
	③ 运动视差（观察者或物体移动时对产生的物像的影响） ③′ 物体重合（观察位置的变化引起的物体能见部分的变化；前方物体对后方物体遮掩状态的变化） ③″ 光和影（照明方向一变化，物体的凹凸状态引起的影子变化）	200 m 以内 50 m 以内
	④ 视野	50 m 以内
双眼视	⑤ 两眼辐辏（注视物体时两眼的辐辏运动；左右眼的像情报形成单一物像的状态）。两眼辐辏和焦点调节联动时，两者间如产生极端的偏差会引起不协调	30 m 以内
	⑥ 两眼视差（两眼间隔引起的观察位置的差，将导致左右眼的像情报形成的单一物像的差异，该偏差对应物体的距离而变化）	100 m 以内

3.8.4 空间认知在航空航天领域的应用

首先，飞行活动与其他职业相比具有很大的特异性。因此，飞行职业对人的心理素质要求远高于普通职业。在飞行实践中，为了做好操纵飞机的动作，飞行员必须形成一个当前飞行状态和飞机空间状态的表象，并用这个表象同规定的飞行状态进行比较。飞行员不仅要了解飞机的空间状态（根据仪表读数和智力判断），还必须把它十分清晰地表象出来，使直接感知与以符号形式取得的认知统一起来。由于在空中的定向方式和在地面上形成的习惯性定向方式相同，飞行产生的加速度常常会破坏人们自然的定向方式，如果没有正确的空间位置的智力判断，飞行员就会在操纵中犯错误，破坏飞行安全。因此，在飞行员的选拔中，空间认知技能的测试是不可缺少的。

另外，空间定向障碍是飞行员飞行中经常遇到的情况。因此，通过研究影响空间认知的主客观因素，设计出相应的软、硬件设备，并加以生物反馈的方式模拟空间障碍，训练飞行员控制错误的空间知觉，施以正确的操纵能力，降低应激水平。国内开展较早的空间视觉的研究主要集中在飞行错觉方面，涉及飞行错觉调查、飞行错觉发生机理、地面与空中模拟飞行错觉、心理生理训练、前庭功能与飞行错觉和飞行错觉的鉴定、预防及治疗等，这方面的内容在后续章节中将详细介绍。

第4章　人机界面中情境认知特性

无论是狭义的人机交互(人—计算机交互),还是广义的人机交互(人—机器—环境交互),都必然会涉及信息问题,即信息的输入、信息的处理和信息的输出三个基本过程,前面一章我们结合这个基本过程对人机交互中信息输入——人的感觉过程进行了描述,下面将针对信息的处理部分——人的情境认知特性进行说明。

4.1　情境认知的概念

前雷鸟飞行队的领队和美国空军参谋长(1990—1994年任期)Merrill McPeak认为区别一个好的战斗机飞行员与一个伟大的战斗机飞行员的一个标准就是是否具有情境意识(Situational Awareness,SA)。Merrill McPeak认为如果一个飞行员能够对刚刚过去的情境和当前的情境在头脑中建立和保持准确清晰的画面,那么他就能创造出辉煌的战绩。既然情境意识那么重要,那它究竟是什么呢?

在第一次世界大战期间,Oswald Boelke提出了这样的观点:“在敌人意识到我们之前获得对敌人意图的意识是非常重要的,因此我们迫切地需要找到实现这个目的的方法”,这就是情境意识概念的雏形。在20世纪80年代之前,这个思想并没有获得太多的重视,但是,自从20世纪80年代后期以来,这个思想已成了最受人—机—环境系统工程学中人机交互研究领域关注的问题之一。确切地说,对这个问题的原始动力源自于航空工业的要求:随着航空设备自动化/智能化水平的不断提高,飞行员及空中交通管制人员的任务、时间压力很大(即人的体力负荷下降、心理负荷增加的现象变得更加突出),这就要求他们应具有更好的情境意识以应对日益复杂的监视/控制操作。因此,对情境意识的研究在航空人机交互领域已成了一个极有发展前景的研究方向。

与其他涉及到人主观活动的概念(如注意、工作负荷、紧张、冒险)相似,情境意识的定义并不是绝对唯一的,而是被用来描述那些不能被直接测量、评价的概念,这也是造成此概念难以准确定义的一个重要原因。目前,对情境意识的定义公认比较好的是Endsley于1988年在人素学协会年会上发表的“Design and evaluation for Situation Awareness enhancement”[*Proceedings of the Human Factors Society 32 nd Annual Meeting*(Volume 1, pp. 97 -101). Santa Monica, CA]一文中提出的情境意识的定义:“…the perception of the elements in the environment within a volume of time and space, the comprehension of their meaning, and the projection of their status in the near future.”(情境意识就是在一定的时间和空间内对环境中的各组成成分的感知、理解,进而预知这些成分的随后变化状况。)

另外，1995 年，Smith 和 Hancock 的定义是："Situational awareness is the invariant in the agent-environment system that generates the momentary knowledge and behaviour require to attain the goals specified by an arbiter of performance in the environment."（情境意识是人—环境系统中的不变量，该不变量产生瞬间的知识和行为特性以满足由一个在环境中决定者提出的具体要求。）而 Bedny 和 Meister 于 1999 年对情境意识下的定义则是这样："Situational awareness is the conscious dynamic reflection on the situation by an individual. It provides dynamic orientation to the situation, the opportunity to reflect not only the past, present and future, but the potential features of the situation. The dynamic reflection contains logical-conceptual, imaginative, conscious and unconscious components which enables individuals to develop mental models of external events."（情境意识是一个个体对情境有意识的动态反应。它不但反映了情境的过去、现在和未来动态变化趋势，还反映了该情境可能的要素特征。这种动态的反映包括逻辑概念、想象虚构、有意识和无意识的成分——能够使个体形成外部事件的心理模型。）

结合上面提到的三个情境意识定义，我们可以看出，1988 年 Endsley 的定义主要强调当前情境的感知、理解及未来发展预测；相比之下，1995 年 Smith 与 Hancock 的定义则侧重于人与情境之间的交互，主要集中于两者之间有机协调作用的方法；而 1999 年 Bedney 和 Meister 提出的定义则主要着重于情境意识产生反射的方面，尤其是涉及了对当前系统理解的心理关系模型。这些定义之间的主要区别是它们对决定情境意识的交互特性侧重的程度不同，这种区别也可以根据是侧重情境意识的过程还是情境意识的结果来衡量，而这两者很可能对正确地理解情境意识都起着重要作用。从根本上说，SA 就是指意识到你周围发生了什么，并且了解这些信息对你的现在和将来都意味着什么。这种意识通常以如下方式定义：即对于一项特定的工作或目标来说，最重要的信息是什么。

尽管情境意识是人机交互领域中非常常见的概念，但是它仍然缺乏统一的严格定义，几乎每个学者对此都可能有不同的定义。然而，作为把人、机和环境之间的交互作为一个整体来进行分析的集成概念，它仍具有基本的可描述性：一般而言，通过情境意识这个概念可以把人的能力、经验、目标驱动行为、信息环境、资源约束以及它们之间的相互关系有机联系成为一体。但情境意识本质上不是决策或执行行为，例如，人可以存在这样的情形：有较高的情境意识，但执行行为的绩效却较差（较差的反应）；有较低的情境意识，但执行行为的绩效却较好（较好的反应）。这是由于有许多其他的因素（如决策产生偏差，执行反应失误等）会影响情境意识的处理过程。

我们研究的情境认知（Situation Cognitive，SC）与情境意识不完全相同，它不但包括情境意识，而且还包括决策、执行行为等因素。它们之间的关系如图 4-1 所示。

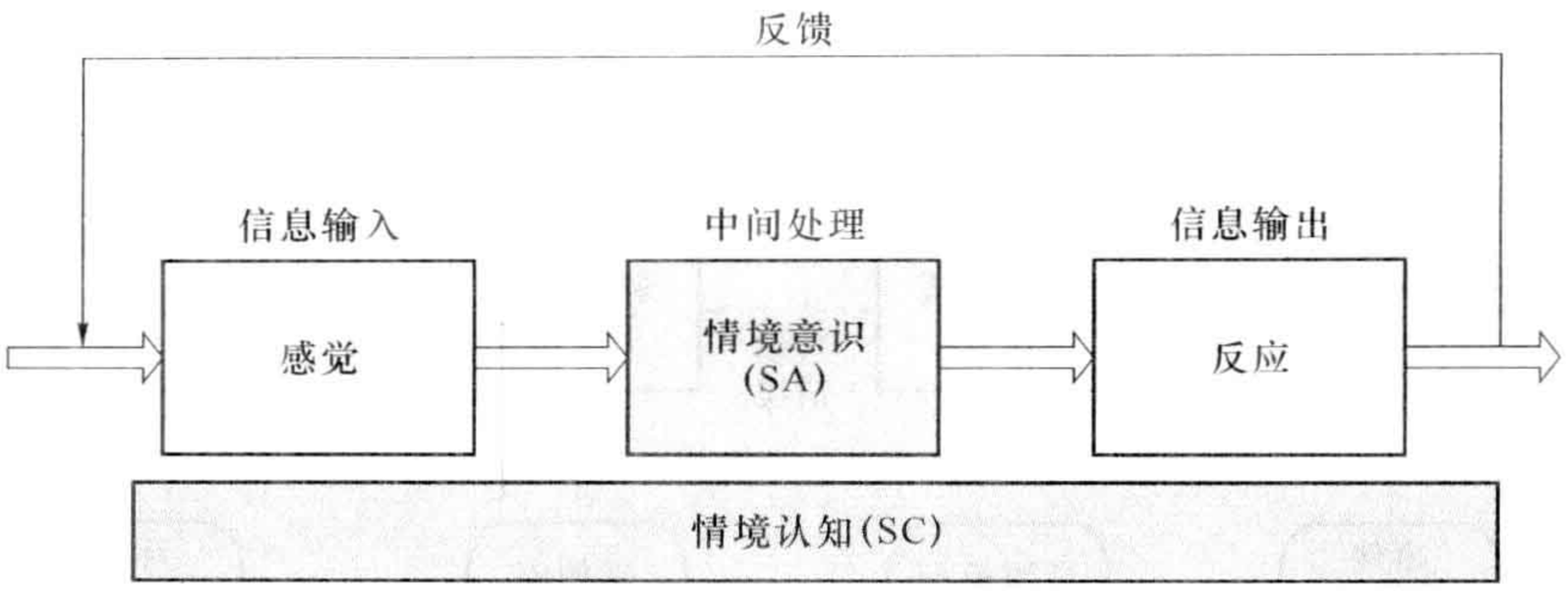


图 4-1　情境认知与情境意识研究内容区别系统图

从图 4-1 可以看出，在信息处理过程中，情境意识只属于中间处理阶段，而情境认知则贯穿了整个信息处理过程，即包括了信息的输入、中间处理和信息的输出三个阶段，因而可以宏观地说，对情境认知的研究就是对以“人”为核心的人、机、环境三者之间关系及其最佳匹配研究，同时也是人机交互界面（如汽车、飞机等驾驶室显示/控制面板）优化设计的基础和根据，是保障人员安全和提高训练效率的重要手段，是涉及研究新一代高性能军用、民用飞机亟待解决的重大安全技术问题。对交通运输、智能家居、机器人的智能化/情感化、工业设计/控制、空中交通管制员/飞行员的科目训练等相关的研究领域都有着现实意义，尤其是对当前高新技术中的人机系统功能优化设计与配置方面有着重要的现实指导意义。

目前，如何提高空战中飞行员的情境认知已成了美国空军发展计划署（USAF Development Planning Directorate）对人机交互系统技术投资的一个重点目标，并正在进行实时情境评估智能处理器项目（On-line Intelligent Processor for Situation Assessment，OLIPSA ）的研究，见图 4-2。同时，欧洲共同体也正在实施“通过情境认知整合提高训练的安全性”（Enhanced Safety through Situation Awareness Integration in training，ESSAI）的项目研究计划。

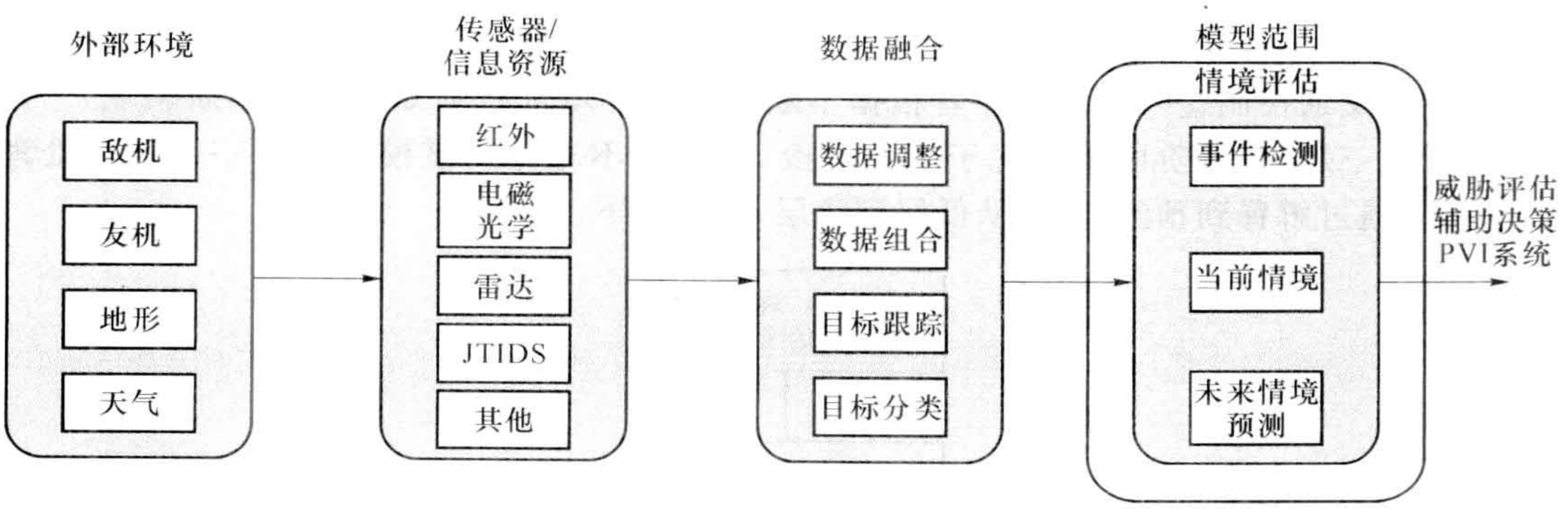


图 4-2　机载数据融合及情境评估的全部环境

图 4-3 所示为 OLIPSA 模型的功能方块图，它具有四个阶段处理器结构：①一个事件检测器；②一个当前情境评估器；③一个未来情境预测器；④一个发生事件环境处理器。

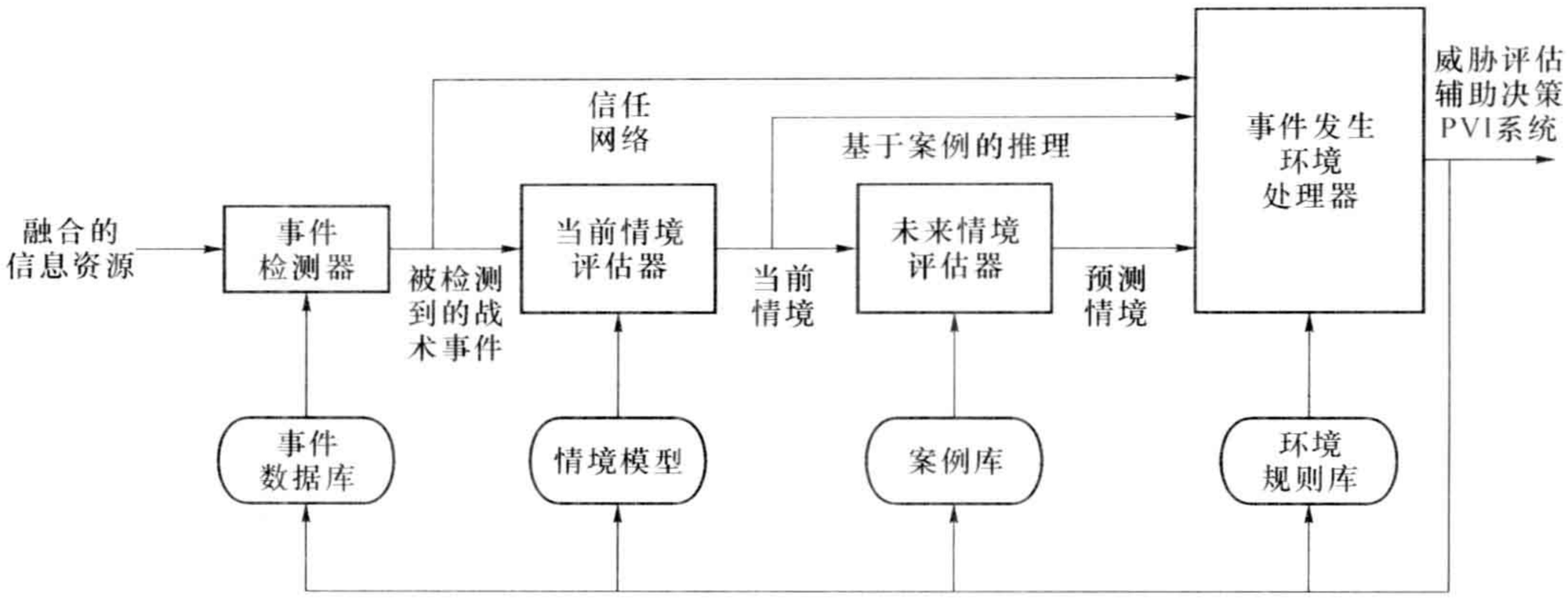


图 4-3　OLIPSA 模型的功能方块图

下面将结合我们的研究进行以下几个问题的探讨：情境认知究竟是什么；有关情境认知的影响因素；有关情境认知的定性模型分析。

4.2　情境认知机理

情境认知机理与情境认知定义的概念、方法有着密切的联系。三个主要的理论方法是信息处理方法、行为方法、生态关系(人与环境之间的关系)方法。信息处理方法已由 Endsley(1995)用三级情境意识模型得到较好的描述，这种方法把一个发展的情境认知看作高层的认知处理行为。而行为理论方法仅把情境认知看作有意识的朝向动态反应行为(如 Bedny 和 Meister 所描述的那样)。感知循环模型把情境认知看作是人与所处环境间的一个动态交互作用，这种方法的支持者建议把情境认知定义为这种交互作用的前后关系。下面将针对这三种观点依次进行说明。

4.2.1　三层模型理论

Endsley 的三层情境意识模型如图 4-4 所示，它最初应用在理解航空任务方面(如飞机驾驶和空中交通控制这些要求操作者根据不断变化的环境进行觉知的动态刷新领域)。该模型被分成三层，每一阶段都是先于下一阶段(必要但不充分)，该模型沿着一个信息处理链，从感知通过解释到预测规划，从低层到高层，具体如下。

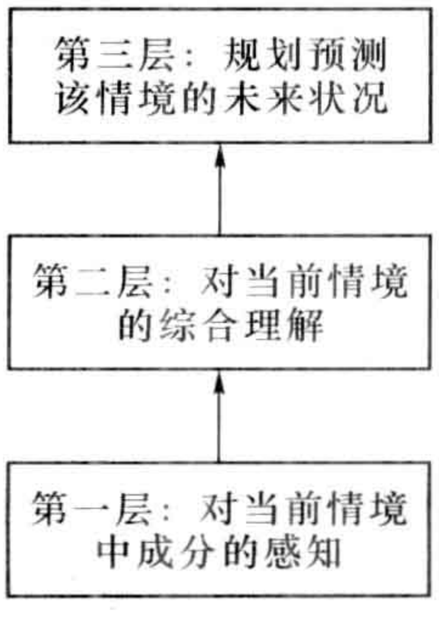


图 4-4　情境意识的三级模型

1. 第一层：感知情境中的元素

具备情境意识的第一步就是要感知环境中相关因素的重要性、特性、力度。对于不同的领域和工作类型，SA 的要求是很不一样的。如对于一个飞行任务而言，在飞机驾驶舱中，飞行员所要感知的重要元素是其他飞行器的状态、飞行高度、系统态势、警示灯以及它们相关的飞行数据特性等；而对于一个地面指挥员来说，他需要的是了解敌军状态，鉴别敌我双方的位置和行为、地势障碍特征和天气情况等因素。同样，对于一个航空交通管制人员或者机动车驾驶员则需要完全不同的信息作为情境意识。

信息感知的途径有视觉、听觉、触觉、味觉、嗅觉或它们的综合。比如，一个调酒师可能会通过尝、闻或视觉刺激来收集发酵过程中的重要信息；一个外科医生会调动所有感觉以及可得到的其他历史信息来诊断病人的健康状况，所有这些可能都是细微不易察觉的。一个训练有素的心脏病学家可以听出心跳节奏中几分钟之内的不同之处，也可以看得出心电图纸所显示出的重要特点，然而这些正是未训练过的观察者会经常忽略掉的；有经验的飞行员仅凭听到发动机的声音或在座舱里看到指示灯的状态就知道那里出了毛病。同样，在很多复杂的系统当中，电子显示及系统提供的可读信息更需要得到重视，然而事实上很多第一层的情境意识来自于人直接感知环境——看看窗外或感觉震动，常常忽略了一些重要的间接信息来源，使得情境意识的第一层就存在不完整性。

每一种信息来源都与可靠性的不同层有关。在大多数领域中，信息的可信性（主要基于传感器精度、组织或提供信息的个体可靠性）以及信息本身共同构成了情境意识第一层的重要部分。

在许多领域中，仅是搜集第一层的所有需要数据就是一项非常困难的工作，如在军事行动中，由于变化迅速的情境中视野模糊、噪声、烟雾、迷惑性信息、动力学因素等的影响，就很难对该情境的所有因素做出评估，而地面指挥员必须要在敌军极力保密或提供假消息情况下对当前态势做出判断，其难度可想而知。又如在飞机降落阶段，跑道标志可能很模糊，相关信息飞行员可能也知之甚少，对于复杂系统（如电子设备）中大量信息的蜂拥而至，使得感知有用信息变得异常困难，如何准确及时处理大量直接、间接信息并实施决策，对于飞行员来说是非常困难的。

航空领域关于 SA 的问题大部分出现在第一层中。Jones 和 Endsley（1996）发现，情境意识中 76%的错误都与未注意到必要信息有关。在一些案例中（大约 2/5），必要信息并未提供给本该了解这些信息的人员，或由于系统局限或缺陷并未清晰地呈现出来，而导致了这些错误的发生。例如，跑道线退色模糊、天气多云或者天电干扰无线电信号传送。在另外一些案例中（大约 1/5），他们也确实探测到一些必要信息，但随后得到一些新信息后就把之前的信息忘掉了。还有一些案例中（大约 1/3），所有信息都摆在那，其中关键信息却没有抓出来。这可能由于人们被外界因素干扰而分心（比如一个电话或与工作无关的谈话），更多的可能由于人们处理了工作中与紧迫任务相关的其他信息。基于情境意识的设计也就意味着确保系统中必要信息是可以获得的，其呈现方式使得用户很容易处理这些系统信息，以免可能有大量未经过过滤的信息占用着用户有限的注意资源。

2. 第二层：理解当前情境

拥有情境意识的第二步，就是要理解与相关目标和对象有关系的数据和感知到的暗示

都意味着什么。这种理解(SA 第二层)是基于对第一层中不连贯的元素进行整合,以及这些信息与个人目标所进行比较而得出的。它包括将众多数据流汇聚成信息,也包括重视这些合成信息的重要性和意义,因为这些信息涉及近期目标的实现问题。情境意识第二步就像是拥有很高的阅读理解水平,而不仅仅是读懂单词。

比如邻近十字路口的司机,他看到黄灯亮了,此时他知道他必须根据与十字路口的距离来处理这个警示,并通过感知到前面车的减速情况,进一步决定要停下来还是穿过这个路口以及在靠近前车的速度大小。这样,司机对于情境如何影响他的目标理解也定义了情境意识第二层所必需的条件是什么。

在起飞过程中,飞行员一旦看到预示问题的警示灯亮起,就要立刻通知指挥塔台以判断问题的严重性,并运用多年跑道经验来综合看待这些问题,当然同时也是为了明确是否应当为终止飞行做准备。一名新飞行员可能和许多老飞行员一样可以达到 SA 第一层,但是在整合众多目标数据信息以期获得更好的情境理解时却有很多不足之处。

对于一个地面指挥员来说,他的 SA 第二层或许包括以下理解:特定地区的分析报告也就意味着附近敌军的态势,或者观察地面车辆走过的痕迹,并据此推断其所在部队之前走过的军种以及军人的数量等。

通过理解数据流的重要性,具备情境意识第二层的人已经可以把与目标相关的特定含义与手边的信息联系起来了。至于目标的重要性以及它们如何影响情境意识将在本章的后半部分将会充分探讨。

据统计,大约 19%的航空情境意识错误都与情境意识第二层的问题有关。在这类案例中,人们能够看到或听到必要数据(情境意识第一层),但却不能正确地理解这些信息的意义。例如,一个飞行员可能知道他的飞机在海拔 10 000 m 的高度,但可能并未意识到下面有山,或者他已经偏离了飞行航线控制系统的控制范围。如何根据感知到的众多信息流加深对当前情境的理解需要很好的数据融合能力或一个智力模型,这样才能把这些迥然不同的数据流整合在一起并解释出来。一个新手,或者刚到达一个全新类型的场景的人,可能并没有这种知识背景可以参考,所以谈及发展加深情境意识第二层时,他们将处于明显的劣势。我们在这章的后半部分将着很多笔墨来探讨智力模型的作用。

3. 第三层:预测将来的情境

一旦人们知道了元素是什么,以及对于当前目标而言它们意味着什么,就可以预测这些元素将来会起什么作用(至少是短期的),这种能力即情境意识第三层。一个人只有能够很好地理解情境(第二层)和他所操作系统的功能和趋势时,才能达到情境意识第三层。

拥有了情境意识第三层,司机就可以知道如果红灯时他继续过十字路口,他可能会被车撞倒。这个可能性使得他做决定前更加谨慎;地面指挥员基于自己的情境意识第三层,可以预测敌军将从哪个方向靠近,以及己方行动可能的效果如何。飞行员和空中交通管制人员可以积极有效地预测各个飞机的动向,以及提前预判可能出现的问题。

根据当前情境的理解形成预测,需要非常了解该领域(一个高度完善的智力模型)以及大量的智力工作。很多领域的专家都耗费了大量时间来研究形成情境意识第三层以及发展预测理论。近几年,通过不断的研究,有些专家开发出了一套某个具体领域的情境意识理论

并可以对事件做出相应的回应，规避了很多令人不快的情境，如目前我国已开发出了奥运会应急事件预案处理系统。

一般而言，在情境意识第二层的基础上没能形成正确及时的预测（形成情境意识第三层），这可能是因为没有足够的智力资源（如一个人不断地超量输入其他信息），或者是因为没有足够的专业知识。但有时也是因为过分主观估计当前形势，例如，空中交通管制人员主观地猜测一架飞机将会在它现有速度的基础上减速，而不是在已减速的基础上匀速。据统计，目前大约 6％的航空情境意识错误与情境意识第三层有关。可能是因为在这个领域，获取情境意识第一层和第二层的难度要远远大于获得很好的第三层。若没有足够的专业知识设计精细的信息系统和良好的用户界面，人们可能会止步于情境意识早期阶段，很难达到第三层，这可能与情境意识受任务因素、环境因素和个体因素影响的缘故。这从一个侧面也说明了为什么两个人面对相同的任务可能得出不同的结论，这应该与人的不同能力、经验、训练等因素有关。

总之，Endsley 的三层情境意识模型表明随着信息在较高层处理，觉知程度越来越高，并指出综合理解需要用知识和目标来整合外部的数据，进而预测后续的情境变化。这个模型基于普通的认知过程，适用于多个应用领域。在动态系统中，Endsley 建议应根据系统的具体子类（如模式觉知、空间觉知、时间觉知）进行有区别的分析处理。

感知时间和众多元素的时间动力都对情境意识起着重要作用。一般来说，时间在众多领域中都对情境意识产生巨大作用。情境意识中一个关键问题就是要了解在事件发生或必须采取某些行动之前，有多少时间可以利用。

大部分领域中，操作者收集外部（情境）信息时，他们感兴趣的不仅仅基于空间（某些元素有多远），而且还包括该元素要过多久才会对他们的目标和任务产生影响。时间在情境意识第二层（理解）和第三层（预测将来事件）中都有着重要作用。情境意识中另外一个很重要的时间因素是真实世界情境意识的动力因素，即对于信息变化速度的理解要充分考虑到对将来情境的预测。由于情境是在不断地变化的，所以人们的情境意识也必须不断地变化，否则就会信息过时或不准确。在高度复杂的不确定性环境中，操作人员为了保持情境意识，最好通过训练获得动态信息处理认知策略。

4.2.2　子系统交互理论

第二种方法基于行为理论（如 Bedny 和 Meister 所描述的那样）。该理论提出了由 8 个主功能块组成的朝向行为函数模型。这是一种交互式、认知、子（次）系统方法。作为一个信息处理方法，它与传统的认知心理方法不同，它不是对感知、记忆、思维和行为执行的具体处理，而是依赖于任务的性质和个体的目的进行的处理。这种观点看上去与认知心理学的矩阵方法类似，由过程的两个主要维度和功能构成。在情境评估方面，Bedny 和 Meister 主张功能块必须朝向该情境的含义理解任务。他们的模型的 8 个功能模块通过前馈和反馈循环进行连接，如图 4-5 所示。

如图 4-5 所示，在情境认知和行为建构发展中，每个功能模块都有一个具体的任务，其内容依赖于动态情境的特性。其作用如表 4-1 所示。

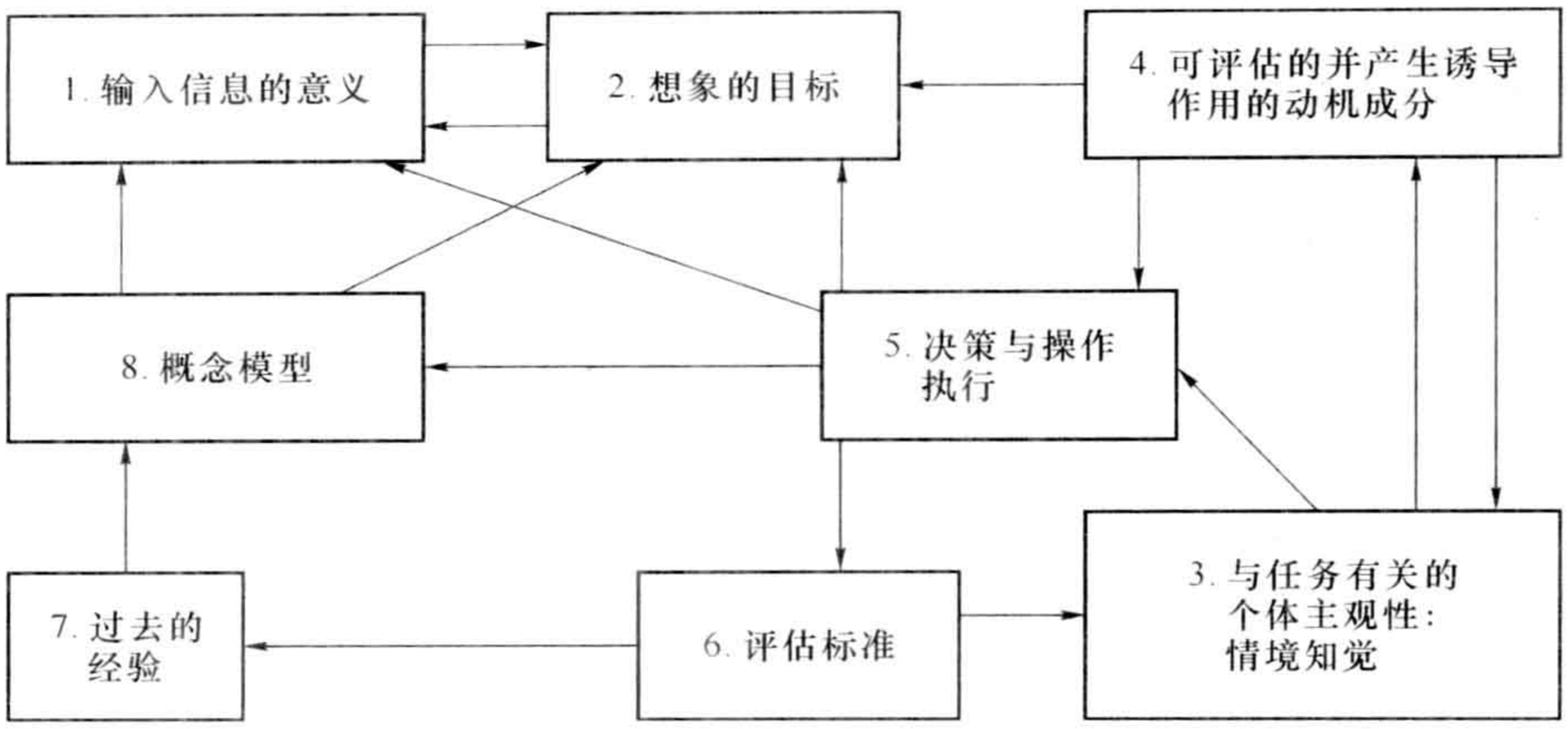


图 4-5　情境认知的一个交互式子系统方式示意图

表 4-1　图 4-5 中功能模块的输入及作用总结表

模块	功能	输入块	作用总结
1	含义	0,2,5,7	解释从外而来的信息
2	想象	1,4,5,8	概念化信息—任务—目的“图形”
3	条件	4,5	情境和任务的动态反映
4	评估	3,6	动机与操作特性的比较
5	操作特性	3,4	与外界环境交互
6	标准	4,5	规定评估的有关标准
7	经验	6	完善经验以解释新的信息
8	模型	7	完善环境模型以解释新的信息

由 Bedny 和 Meister 提出的活动理论是指，通过传感器—感知系统获得新信息传到功能模块 1，再由个体的环境概念模型（功能块 8）、它们的任务目标计划“图式”（功能块 2）和它们要求活动类型的朝向（功能块 5）进行解释。然后，这个解释通知人的任务目标完整的“图式”（功能块 2）。依据指向任务目标（功能块 4）的重要性和动机及其与环境的结合（功能块 5），由个人决定在功能块 3 内有关的环境特征是什么。它们结合任务目标的程度在功能块 2 内被决定，并依次受评估制定标准（功能块 6）和环境当前状态（功能块 3）的影响。这种评估的结果控制操作行为和人与任务的结合（功能块 5），从中可以产生进一步的标准（功能块 6）。与环境的交互作用被当作经验（功能块 7）储存并通知个体储存环境的表征（功能块 8）。如交互式模型所示，从人的行为和概念模型（分别为功能块 5 和功能块 8）得来的信息前馈到来自环境信息的新解释（功能块 1）。

作为一个活动的系统理论，该模型看上去并不完善，主要有两个重要的问题：一是缺乏来自功能块 2 的前馈（如一条连接功能块 4 的直线），二是从功能块 5 没有到环境的连接直线。尽管这样，交互式子系统对人的认知进行了较有力的说明。Bedny 和 Meister 认为产生情境认知的关键过程是概念模型（功能块 8）、图式—目标（功能块 2）和主观相关任务条件（功能块 3）。他们建议前两个功能块应是相对稳定的（即功能块 2 和功能块 8），而后者更易

于控制(功能块 3)。如果操作者误导了主观相关事物,那么将导致情境认知的错误发展。这可能被认为是丧失了部分的情境认知。这样一来,将会涉及情境认知整体的进行,进而使操作者重新客观地评估事物的重要性,创建一个更接近现实的情境反应将会变得更难。

4.2.3　感知循环理论

对情境认知的另外一个观点是它既不是环境中固有的事物,也不是人的固有的特点,只是通过人与环境交互作用而存在(Smith an Hancock)。这种看法是 Neisser 的感知循环模型的一个发展。Adams 等人主张情境认知的过程—结果二分法,应根据人的信息处理理论所使用的范围而定。过程涉及情境认知状态修正的感知和认知活动,而结果要考虑情境认知状态中可用的信息和知识。在 Neisser 的开创性工作"认知与现实"中,他提出这样的观点:人的思维方式与其交互的环境紧密相关。他证实:在特定情境中,已有知识将直接导致对某种类型信息的期望(如心理模型),这种知识依次引导行为挑选某种信息并提供解释信息的准备方式。在事件发展过程中,随着环境不断地变化,适应于环境刷新后的内在认知图信息,将依次引导操作者进一步的搜索,感知循环的一个方框图说明详见图 4-6。

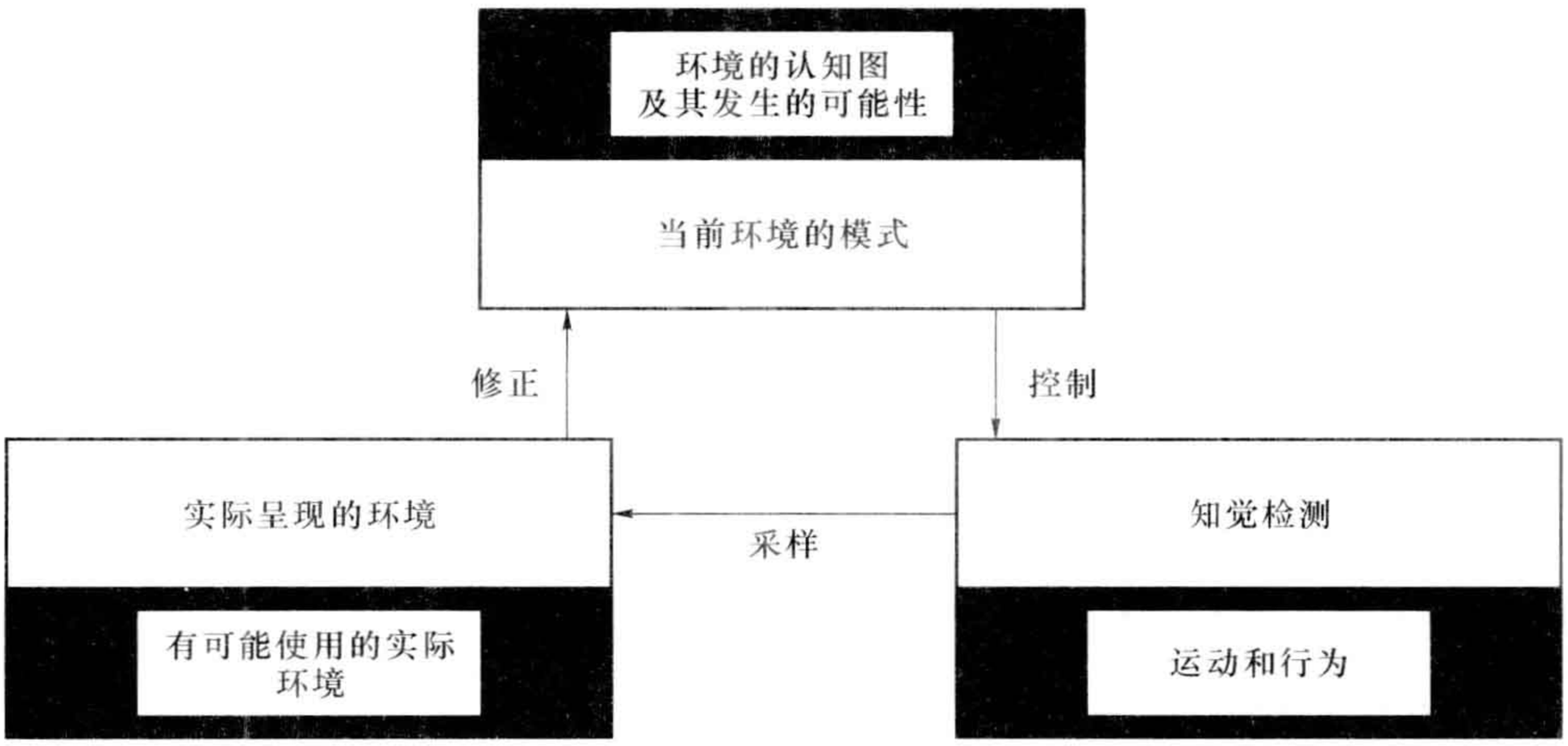


图 4-6　感知循环理论示意图

感知循环可以被用于解释在飞机座舱内飞行员的信息处理。例如假定飞行员对他们控制的系统有正确的知识,他们形成的心理模型将能够使自己预料事件(如飞行中需要的状态),搜索确定的证据(考虑预测),控制行为过程(不断调节操纵杆或油门杆)并连续检查输出量是否像希望的那样(仪表显示是否符合预期的要求)。如果他们发现有些数据与预期的不一致(如仪表读数或高或低于预期的要求),他们就会调动更多有关飞机/环境的知识,以充分地解释支持随后的监视/控制活动。该模型的完成就是对过程(飞机/环境信号采样的循环)和结果(在任何一点飞机/环境模型的及时刷新)的描述。

在这些理论中间都有合理的成分。内嵌(embedded)交互式模型在解释情境认知的动态方面有长处,如瞬间的知识是怎样被刷新的和环境中的信息是怎样被检索到的。这表现了人与环境交互的高层认识,基于系统的方法在这方面似乎特别有用。认知子系统方法对考虑基本功能及它们可能是怎样进行交互的方面非常理想。这种方法主要使用于对个体大脑

信息处理活动方面。三级情境意识模型用一种注重实效的方式为评估洞察力(领悟抓住事物内在的或隐藏的性质或靠直觉感受的行为能力)的不同程度提供了一个功能模型。尽管内嵌交互式模型认为数据是基于整个环境的状况获得的(同时,认知子系统方法认为有关个体的数据也是重要的),三级情境意识模型为"当进行情境知觉分析时,在个体中哪种数据类型可能被查找到"提供了一个指导。通过更综合的人的认知功能模型,所有这三种观点都得到巩固。基于对人生理的生物模型研究,Pedersen 认为知觉系统具有几个信息处理级别。第一级要求人们从充满噪声的环境中检测信号和目标,筛出非目标信息;第二级要求人们必须将这些检测到的信号组织成有意图的信息模式。最后,即第三级,通过把这些模式归类整理及合并到已存在的信任和知识网络,人们必须理解它们。再回到结果—过程二分法,交互式子系统模型和感知循环主要集中于过程,而三层情境意识模型主要集中于结果。在情境认知测量中,这两者都不能被忽略,因为后者很可能由前者所决定。

目前工效界对情境认知究竟是一个过程还是结果一直存在着争论。三层模型和交互式子系统强调是结果(也就是操作者大脑中的情境认知的合成状态),而感知循环则强调是过程(也就是操作者获取情境认知的行动)。这个争论很可能要延续一段时间。

4.3 情境认知过程

在人们的工作记忆中,情境意识是建立在大量不同的认知机制上的。尽管在任何一个领域,情境意识的重要因素都是有很大不同的,但这些领域的基本认知过程其实都是很一致的,因为这种认知过程是所有人都拥有的信息处理能力,情境认知就是这一过程的产物。人的情境认知反过来还会影响人搜索何种信息以及对哪些信息感兴趣,这与产品对于过程的影响同属一个循环圈。通过加深对人们如何发展情境认知的理解以及对这一过程中的挑战与限制的理解,可以加强情境认知的设计方法就显而易见了。下面将会把每一个对于发展情境意识都很重要的过程和机制都深入下去,进行细节探讨。

4.3.1 情境认知中的注意机制

注意作为心理活动的状态在近代心理学发展的初期就已受到重视。构造主义心理学创始人冯特在 1908 年专门出版了专题性著作《情感和注意心理学》。冯特在论述他的统觉说时指出,注意是伴随着一种心理内容的清晰领会的状态;并指出注意的范围和作用:注意也与视野一样,是一个以一定的阈限为境界的有限领域,任何的心理内容只有进入这个领域才有被领会的可能。在该领域内有一个范围狭小的中心区域,任何心理内容只有进入这个中心区域才会获得最大的清晰性和鲜明性。这个中心区域被称为"注意焦点"。美国机能主义心理学创始人 W. James 在其 1892 年出版的《心理学教科书》一书中,把注意作为意识的 4 大特征之一。他指出,意识总是对于它的某些部分发生兴趣,而把其他部分加以排除。它始终在欢迎或拒绝,始终在对它们进行选择,他还指出,所谓我们的"经验",几乎完全决定于我们的注意习惯。然而,后来随着行为主义心理学和格式塔心理学的兴趣和传播,注意的研究几乎完全被排斥。行为主义心理学以人的活动和行为作为研究的对象,坚决主张把不可捉摸和不可靠近的心理现象彻底摒弃于心理学的研究之外,因而,从根本上否定注意这一心理

状态；格式塔心理学则把注意掩没在“组织作用”和“完全趋向”之中。

在二次大战期间和战后，由于通信工程的需要，工程心理学开始重视对注意的研究，以求了解人同时能加工的信息数量，以及注意的分配、保持和转移的特性等，来保证人—机系统的工作效率和可靠性。特别是 20 世纪 50 年代中期以后，认知心理学兴起，注意的重要性越来越被人们认识，因而对注意的研究也越来越广泛地开展和深入。1967 年，Neisser 出版了《认知心理学》一书，在书中他有意地用“拾取”(pick up information)的词组，以表明人不是像行为主义心理学者们所说的那样被动地接受外界刺激，而是“挑选”，即主动地选取某种信息，从而将人的注意这一十分重要的内容又纳入心理学的范围。实际上，人在客观世界中首要的是他选取了什么信息，又忽略了什么信息，然后才论及如何利用这些所获取的信息。认知心理学目前将注意作为一种内部机制，借以实现对刺激选择的控制并调节行为。因而，认知心理学家在实验的基础上提出了一些注意模型，试图从理论上说明注意的认知机制。

1. 过滤器模型

对注意的研究是从有关信息缩减问题开始的。人类的各种感官每时每刻都在受到许许多多的内外刺激的撞击，又由于人类的信息加工系统的能力是有限的，人不可能对所有撞击器官的刺激都进行完善加工，所以，人们总是选择重要的而忽略其他的。因此，注意的核心问题也就是对信息的选择分析。

1）单通道的过滤器模型

过滤器模型(filter model)是英国心理学家 Broadbent(1958)在双耳同时分听实验的基础上提出的一个较早的注意模型。

Broadbent 认为，来自外界的信息是大量的，而人的神经系统高级中枢的加工能力是有限的，于是就出现了瓶颈。为了避免系统超载，使其进入高级分析阶段，这类信息将受到进一步加工被识别和存储，而其他信息则不允许通过。这种过滤器体现着注意的选择功能，因此这种理论被称为“注意的过滤器模型”(如图 4-7 所示)。因为这种过滤器模型的核心思想是它到达高级分析水平的通道只有一条，因而，Welford(1959)称之为“单通道模型”。

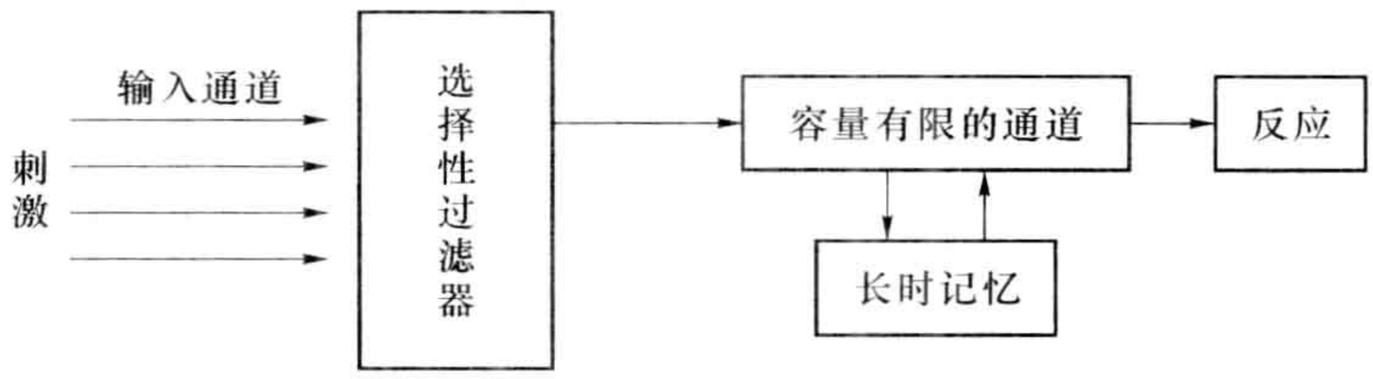


图 4-7　Broadbent 的过滤器模型

2）衰减模型

根据非追随耳的信息也可得到高级分析的实验结果，Treisman(1960，1964)对上述的过滤器模型加以改进，提出了衰减模型(attenuation model)。Treisman 认为，高级分析水平的容量有限，必须由过滤器加以调节，不过，这种过滤器不是只允许一个通道(追随耳)的信息通过，而是既允许追随耳的信息通过，也允许非追随耳的信息通过，只是非追随耳的信号受到衰减，强度减弱了，但其中一些信息仍可以得到高级加工。

衰减模型如图 4-8 所示，从图中可以看出，追随耳和非追随耳的信息都先通过初级的物理特征分析，然后都经过过滤器。只是非追随耳的信息经过过滤器时受到衰减，以虚线表示；而追随耳的信息经过过滤器时未衰减，仍以实线表示。为了解释受到衰减的非追随耳的

信息如何得到高级分析而被识别，Treisman 将阈限概念引入高级分析水平。她认为，已存储的信息，如字词(在图中以圆圈表示)，在高级分析水平(即意义分析)有不同的兴奋阈限。追随耳的信息通过过滤器时其强度没有衰减，从而得到识别；而非追随耳的信息，由于受到衰减而强度减弱，常常不能激活相应的字词，因而难于识别。但是，特别有意义的项目(如自己的名字)虽然有较低的阈值，却仍可能受到激活而被识别。在图 4-8 中，凡被识别的项目以实心圆表示。因而可以看到，追随耳的信息可以激活较多的项目，而非追随耳的信息则只能激活像自己的名字这类特别有意义的项目。

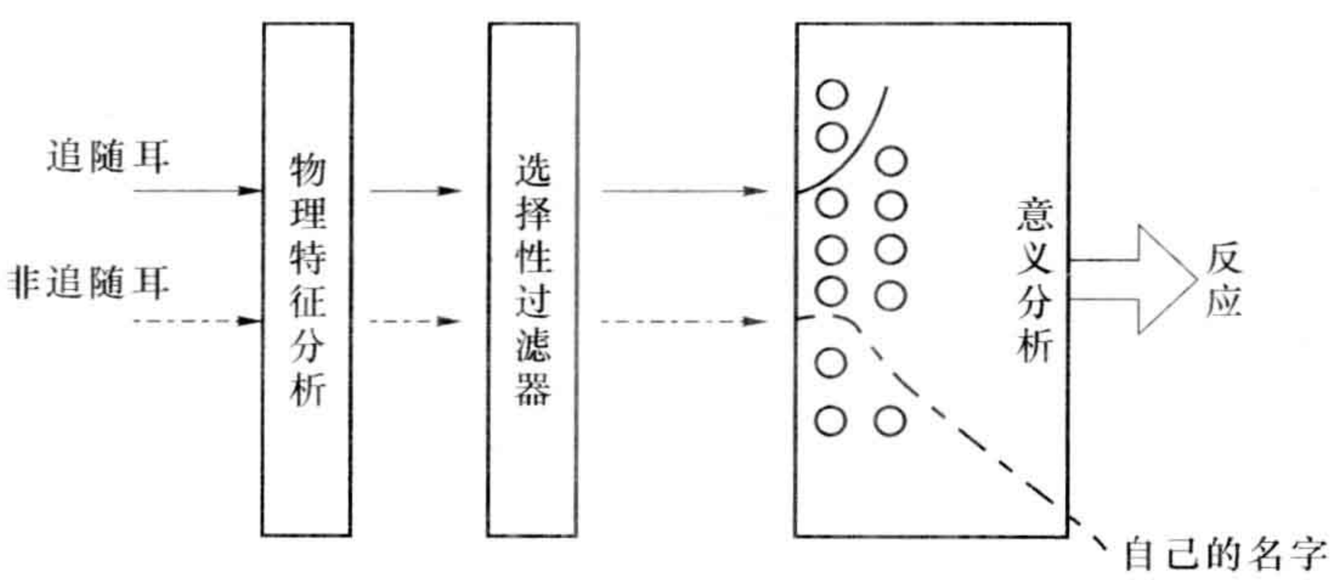


图 4-8　Treisman 衰减模型

虽然 Treisman 的衰减模型有别于 Broadbent 的过滤器模型，但是这两个模型却也有着基本的共同点：两者都认为高级分析水平的容量有限，必须由过滤器来调节；两者都认为这种过滤器的位置处在初级分析和高级的意义分析之间。因而，这种注意选择都具有知觉性质。为此，在当前的认知心理学中多倾向于将这两个模型合并，称之为 Broadbent-Treisman 过滤器—衰减模型，并将之看作注意的知觉选择模型。

3) 反应选择模型

依据非追随耳的信息也可以得到高级分析的实验结果，Deutsch(1963)提出了反应选择模型(Response Selection Model)，之后 Norman(1968，1976)支持这个模型并加以一定的修订，该模型的一个基本假定是，由感觉通道输入的所有信息都可进入高级分析水平，得到知觉加工，并加以识别。而注意选择位于知觉和工作记忆之间，换言之，即过滤器不在于选择知觉刺激，而在于选择对刺激的反应。其选择的标准是对于人的重要性，即对于重要的刺激才会作出反应，对于不重要的刺激则不作出反应，若有更重要的刺激出现，则会去掉原先重要的事件，并对更重要的刺激作出反应。因 Deutsch-Norman 的模型主张，注意是对反应的选择，所以它被称为反应选择模型(见图 4-9)。Norman 曾提出，这些输入的信息没有被报告出来，并不是没被识别，只是因为要对其他信息作反应，因此这些信息除识别外没有得到继续的加工(例如从记忆中提取)。

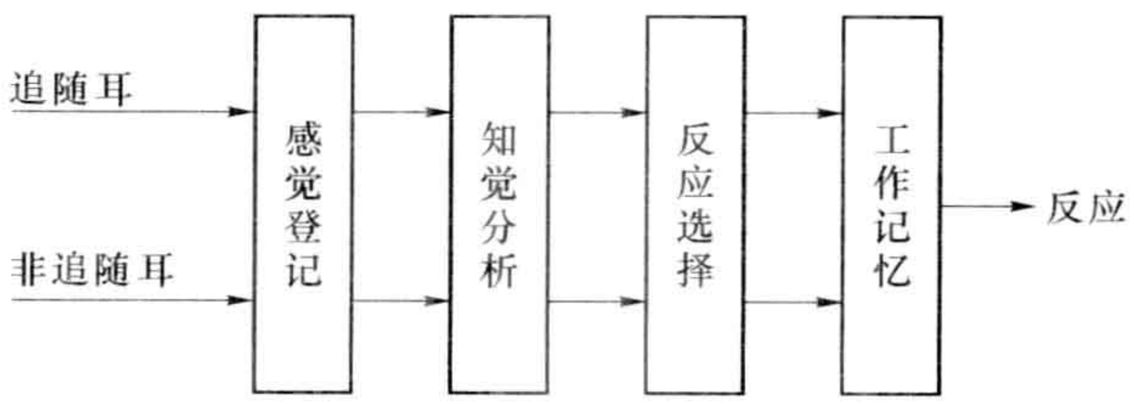


图 4-9　Deutsch-Norman 的反应选择模型

反应选择模型得到一些实验结果的支持，如 Hardwick(1969)和 Shiffrin(1974)的单、双耳同时分听的追随靶子实验。这些实验结果表明，无论是单耳还是双耳听，都能识别输入的信息，如果所设计的条件相同，双耳能有相同的识别率。

4）知觉选择模型和反应选择模型的比较

两类注意模型的主要不同点在于对注意选择机制(即过滤器)在信息加工系统中所处的位置不同。如图 4-10 所示，知觉选择模型认为过滤器位于觉察和识别之间。它还表明，不是所有的输入信息都能进入高级分析而被识别。而反应选择模型则认为，过滤器位于识别和反应之间。它还表明，凡进入输入通道的信息都可加以识别，但只有一部分信息才可引起反应。这两类注意模型都各有其实验依据。自 20 世纪 60 年代至今，在它们两者之间始终存在着激烈的争论。

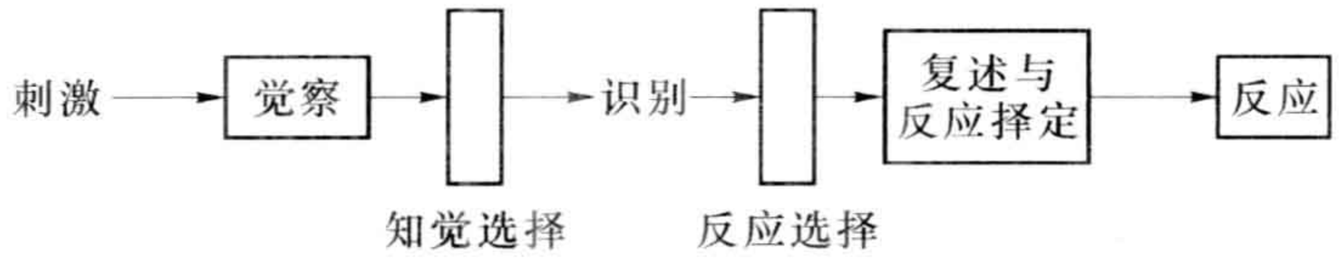
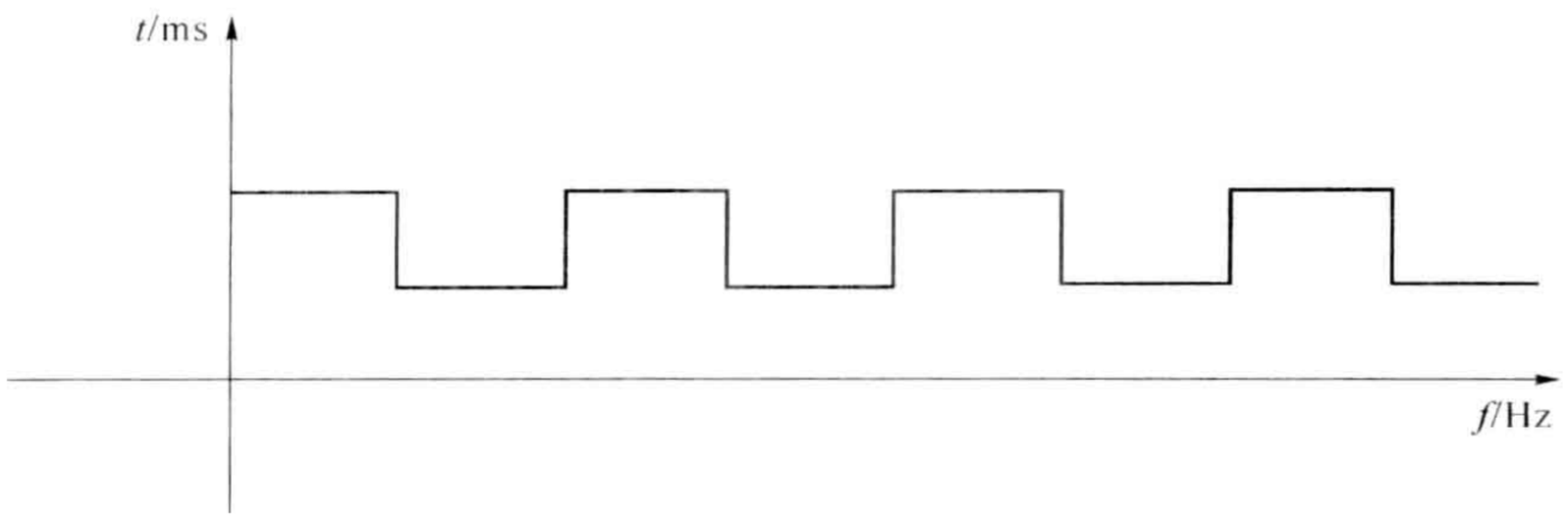


图 4-10　两类注意模型中注意选择的位置比较

目前，对于这两类模型，心理学界还没有充分依据来肯定一个而否定另一个。然而，从研究方法和研究的具体问题而言，这两类模型似乎还不至于像两方所想象的那么对立。一般而言，主张知觉选择模型的研究者，一般都运用附加追随耳程序的双耳同时分听的实验方法。这种实验方法将注意引向一个通道，然后再来分析和比较两个通道的作业情况。可见，他们所研究的是注意的集中性。而支持反应选择模型的研究者，一般都运用不附加追随耳程序的靶子词的双耳同时分听的实验方法。这种实验方法使注意分配到两只耳中，可见，他们所研究的具体问题是注意的分配性。由于这两种实验方法和研究的具体问题的不同，所以它们必然会反映在实验结果上，并影响理论分析。

从上述可知，无论是知觉选择模型还是反应选择模型都是以认知系统的加工能力或资源有限作为出发点的。实际上，认为注意是资源有限的加工系统的工作结果的想法，最早是由 Broadbent(1985)提出并予以详细说明的。并且他所提出的注意过滤器模型也体现了这种思想。然而，在上述的各种模型并没有用这种思想来具体说明注意，没有成为注意的机制或解释注意的原则。因而从 20 世纪 70 年代开始，一些认知心理学家已经开始避开注意过滤器在信息加工系统中所处的位置，而把注意能量有限当作注意机制来解释注意。图 4-11 所示为熟练驾驶员与一般驾驶员(降落)的眼动及注意分配触发器模型。



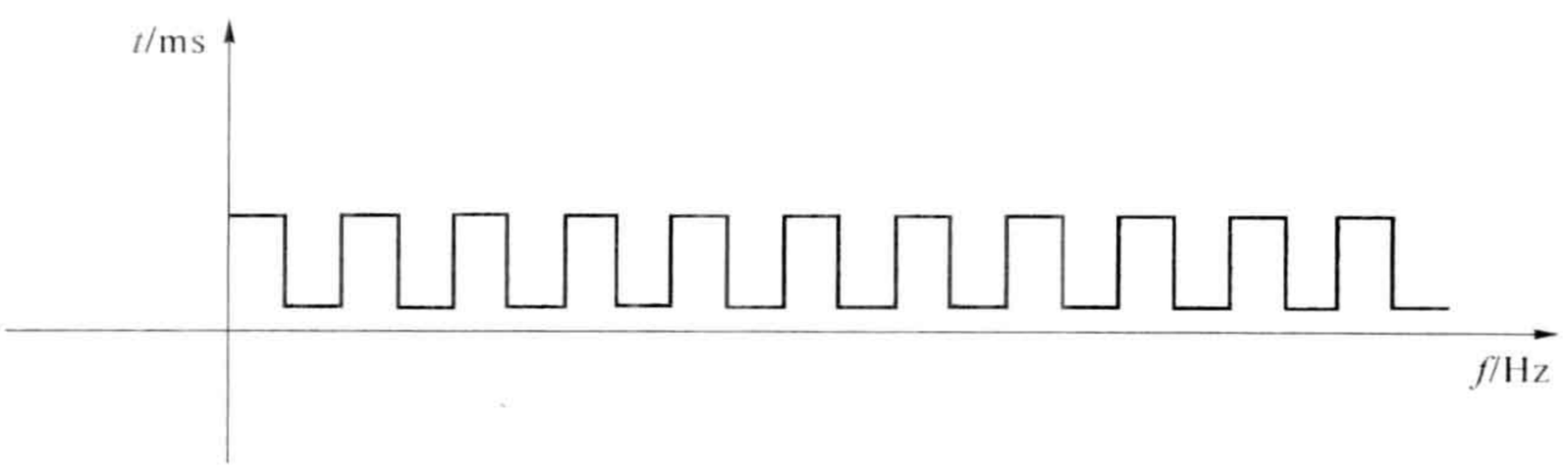


图 4-11　熟练驾驶员与一般驾驶员(降落)的眼动及注意分配触发器模型

2. 注意能量分配

1) 注意能量分配模型

Kahneman(1973)在其出版的《注意与努力》(Attention and Effort)一书中提出的注意能量分配模型,较好地体现了注意能量有限的理论。图 4-12 所示为 Kahneman 的注意能量分配模型。

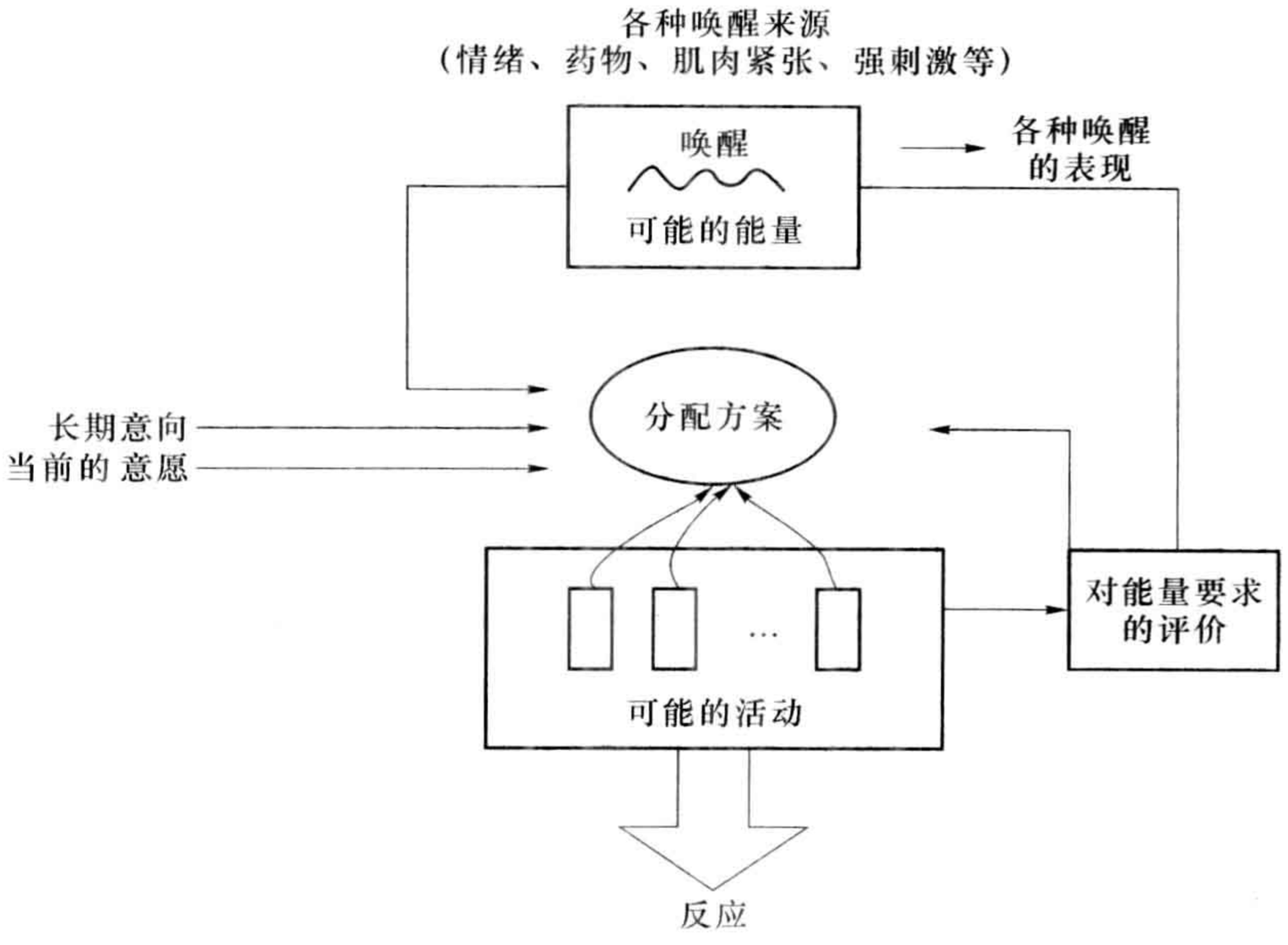


图 4-12　Kahneman 的注意分配模型

他解释道，人可利用的资源总是和唤醒相连的，其资源的数量可随各种情绪、药物、肌肉紧张等因素的作用而变化。图 4-12 中的资源分配方案是决定注意分配的关键。而分配方案则要受制于唤醒因素可利用的能量、当前的意愿、对完成作业所要求能量的评价以及个人的长期意向。在这些因素的作用下，所实现的分配方案就体现着注意的选择。他指出，对完成作业所要求能量的评价是一个重要因素。它不仅影响着唤醒水平，使可利用的能量增加或减少，而且极大地影响着分配方案；个人长期意向反映着不随意注意的作用，即它要求将能量分配给新异的刺激、突现刺激和自己的名字等；当前意愿体现着完成当前作业的要求和目的等。从该模型可知，只要不超过可利用的能量，人就可同时接受两个或多个输入，或者从事两种或多种活动。

有一些认知心理学家也为能量有限理论做出了许多贡献。Norman 和 Borow(1975)把能量或资源有限分成两类过程，即资源有限过程(resource-limited process)和材料有限过程(data-limited process)。若某作业因受到所分配的资源的限制，但一旦能得到较多的资源，这种作业就能顺利进行，则称之为资源有限过程；若某作业因受到其质量低劣或记忆信息不适当的限制，当时即使分配到较多的资源，也不能改善该作业操作水平，称之为材料有限过程。例如，在强噪声的背景下检测一个特定的声音，若该声音强度过弱，则此时即使分配到较多的资源，也难以加以检测。对于双作业操作而言，如果两者对资源的总需要超过可利用的总能量，双作业操作就会产生干扰。此时，一个作业的操作所要用的资源增加多少，就会使另一作业操作可得到的资源相应地减少多少，这被称为双作业操作的互补原则(principle of complementarity)。

2) 正、负启动实验依据

能量有限理论不仅得到听觉方面的双耳同时分听实验的支持，还得到视觉方面的正、负启动实验的支持。例如，Anderson(1983)把扩展激活看作认知系统能量的运行，并认为如果发源于一个结点的激活在实验中被许多相关物所分占，那么其中任何一个特定的激活点所占能量就必然会减少，因为能量是有限的。这说明，选择性注意机制之一的目标激活及其扩展是遵循资源有限理论的。金志成、张雅旭(1995)设计了一个负启动实验。这一实验证实了分心物抑制扩散也遵循资源有限理论。该实验假设在实验条件下，被试者对探测显示中目标的反应时(RT_{DT})将随着启动显示中分心物数目的增加而缩短，亦即如果扩散抑制遵循资源有限理论，那么在启动显示中的分心物越多，对其中任一个分心物的心理表征的抑制程度就会越低。在实验中设置了以下 4 个条件。

(1) 启动显示中只有 1 个分心物，并且该分心物在随后的探测显示中作为目标。

(2) 启动显示中有 2 个分心物，并且其中一个在随后的探测显示中作为目标。

(3) 启动显示中有 4 个分心物，并且其中一个在随后的探测显示中作为目标。

(4) 控制条件，即启动显示中的目标和分心物和随后的探测显示中的目标和分心物均无关系。

表 4-2 所示为 4 种条件下的平均反应时。

表 4-2　4 种条件下的平均反应时(RT_{DT}和 3 种条件下的负启动量 NP)

	实验条件			
	1	2	3	4
RT_{DT}/ms	1 980	1 871	1 812	1 810
NP/ms	170	61	2	—

3）两种加工过程的理论及其实验依据

在能量有限理论的前提下，Schneider 和 Shiffrin(1977)提出了两种加工过程理论——控制性加工和自动加工。他们认为，控制性加工(controlled processing)是一种需要注意的加工，其容量有限，可灵活地用于变化着的环境。由于这种加工受人的意识控制，所以称为控制性加工，又称注意性加工。自动加工(automatic processing)是不需应用注意、无一定的容量限制、不受人的意识控制的加工，并且一旦形成就难以改变。

(1) 练习与自动加工

自动加工与练习有密切的关系。Shiffrin 和 Schneider(1977)进行过许多实验。其中，一个是视觉搜索实验。在该实验中要求被试者在一系列字母中搜寻目标字母，而目标字母数从 1～6 个随机变化；因变量为反应时间。结果发现：①未经练习的被试者，其反应时间随目标字母增加而增加；②经反复练习的被试者，其结果是他们搜寻 6 个目标字母与搜寻 1 个字母的反应时间几乎相等。

从上述实验结果可知，未经练习的被试者，其反应时间是目标数量的函数，这种现象被称为搜寻的目标物数量效应。可是经过反复练习之后，被试者对 6 个目标物的反应与对一个目标物的反应速度趋于相同，即搜寻目标物数量效应的消失。这是为什么呢？Shiffrin 等人认为，因经反复练习，被试者对于搜寻目标物已经形成了自动化。

(2) 两种加工过程的理论的实验依据

他们也曾设计过记忆扫描实验。在实验中，先让被试者识记 1～4 个项目，然后再视觉呈现再认 1～4 个，要求被试者判定在再认项目中是否有以前识记过的项目，有则单击 yes 键；无则单击 no 键。在实验中，识记项目和再认项目设置两种条件。

① 不同范畴条件，其中识记项目均为字母，而再认项目中只含一个字母，其余的为数字或再认项目均为数字(也可字母和数字倒过来设置)。在这一条件中，被试者只需从数字(或字母)中发现是否有字母(或数字)，就可做出是与否的反应。此条件中识记项目和无关的再认项目分属不同范畴。

② 相同范畴条件，其中识记项目均为字母(或均为数字)，再认项目中也均为字母(或均为数字)，在再认项目中可包含也可不包含曾识记过的项目。在此条件中被试者要从字母(或数字)中发现是否有识记过的字母(或数字)，并做出恰当的反应。此条件中识记项目和再认项目同属相同范畴。

实验结果如下。

在相同范畴条件下，当识记项目和再认项目均为 1 个时，要达到 80%的正确反应率，再认项目的呈现时间需 120 ms；而当识记项目和再认项目均为 4 个时，要达到 70%的正确反应率，再认项目的呈现时间需 800 ms。

在不同范畴条件下，不论识记项目和再认项目的数量多少，再认项目的呈现时间只需 80 ms 就可达到 80%的正确反应率。这些结果说明，不同范畴条件下的再认或搜索优于相同范畴条件，而且识记项目和再认项目的数量对不同范畴条件下的反应没有什么影响。但是在相同范畴条件下，随着识记项目和再认项目的增多，判定所需的时间也增加。

对于上述实验结果，Schneider 和 Shiffrin 认为，在相同范畴条件下，被试者所进行的是控制性加工。它将每一个再认项目与同一范畴的每一个识记项目按顺序进行比较，直到匹

配为止。在不同范畴条件下，被试者从字母中搜索出数字或从数字中搜索出字母，他们进行的是自动加工。由于采用加工方式不同，所以表现出判定速度的不同。被试者在不同范畴条件下所进行的自动加工是在长期的实践中分辨字母和数字的结果。

Schneider 和 Shiffrin 还进行了另一个类似的实验。在实验中，将英文字母表中的 B 和 L 之间的辅音字母作为识记项目，而将 Q 和 Z 之间的辅音字母作为再认项目。结果发现，被试者要经过 2 100 次试验才能达到上述的自动加工的作业水平。之后，他们把识记项目和再认项目对调。结果发现，被试者相应地要进行 2 400 次试验的练习，才能达到上述的自动加工的作业水平。其中仅仅为了达到对调前实验开始时的作业水平，就需进行 1 000 次试验的练习。这些结果说明：①练习对自动加工的重要性；②已形成的自动加工是难以改变的。

从两种加工过程理论来分析，注意可以成功地在几个输入或作业中间进行分配。显然，这种分配是有条件的，即当在两个作业同时进行时，至少其中有一个作业是自动加工，则两个作业能顺利地进行。若两个都需控制加工的作业，就难以顺利地同时进行。此时，若需要将注意集中于某种信息输入时，控制加工还需排除另一些信息输入。当自动加工过程对无关信息作出反应，则它会干扰主作业的操作，从而降低主作业的操作水平。Schneider 和 Shiffrin 的关于两种加工之间关系的论述对具体说明能量分配和注意机制是有积极意义的。

还值得一提的是 Neisser(1967)的理论观点，他最先提出前注意加工和集中注意加工。前注意加工是自动的，可能是平行的加工；集中注意加工则是系列的加工。Neisser 还指出，注意在概念驱动和数据驱动的共同作用下引导知觉，知觉是主动的、灵活的。从中可知，Neisser 着眼于注意和知觉操作的联系。后来，受 Neisser 的观点影响，Treisman 等人(1980)提出了一个涉及自动加工的注意理论——特征整合理论。

Treisman(1977，1980)提出的特征整合理论(feature integration theory)是在注意研究的背景中提出来的。她吸取了由 Schneider 和 Shiffrin 所提出的自动加工和控制性加工的思想，特别是吸取了 Neisser 所提出的前注意加工和集中注意加工，注意在数据驱动(即自下而上)和概念驱动(自上而下)的共同作用下引导知觉以及平行加工和系列加工等思想，并进一步发挥了 Neisser 的把注意和知觉操作相联系的思想，力图将注意和知觉的内部过程更紧密地结合起来。

特征整合理论的核心是将客体知觉过程，分成早期的前注意阶段和特征整合阶段。它的出发点是知觉的特征分析。知觉在前注意阶段是对特征进行自动的平行加工，无须注意，而在整合阶段，通过集中注意将诸特征整合为客体，其加工方式是系列的。亦即对特征和客体的加工是在知觉过程的不同阶段实现的。Treisman 将特征看作是某个维度的一个特定值，而客体则是一些特征的结合。例如，图形、颜色都是维度，三角形、红色则分别为这两个维度的值，而红色三角形是红色和三角形这两个特征值所组成的客体。

Treisman 针对特征整合论进行了大量的实验研究，其中有一个视觉搜索实验。在实验中，向被试者视觉呈现 1～30 个不同颜色的字母，要求他们从其中搜寻一个特定的靶子，这靶子或者是一个客体(如绿色的字母 T)，或者是一个特征(如蓝色的字母或一个字母 S)。同时记录被试者的反应及所用的时间。结果如下。

① 当靶子是一个客体时，呈现的项目数量对觉察靶子所需时间有很大的影响，项目数越多，所需的时间也越长。

② 当靶子是一个特征时，呈现的项目数量对觉察靶子所需时间没有实际意义的影响。

Treisman 认为，搜索特征比搜索客体快，并不受所呈现的项目数的影响，是因为对特征的加工是自动的平行式加工；而搜索客体则是系列加工。后来，Treisman 还设计了一系列的非对称性搜索实验。非对称性搜索是指，在若干个甲类项目（干扰项）中搜索一个乙类项目（靶子），与同样的若干个乙类项目（干扰项）中搜索一个甲类项目（靶子）。结果两者的搜索速度有明显的差异，即出现非对称现象。例如，Treisman 曾进行的一个实验是向被试者呈现一些刺激卡，所有的刺激卡分（a）、（b）两类。在（a）类中靶子是 0，干扰项是 Q；而在（b）类中靶子是 Q，干扰项是 0。在所有的刺激卡中靶子只有一个或无，而干扰项则可根据实验要求设置不同的数目。靶子和干扰项在画面上的位置每次都是不同的。在每次实验前，告诉被试者何为靶子，然后用速视器呈现。要求被试者按键作出“有”或“无”的反应。结果发现，在（b）类刺激卡中搜索 Q 要显著地快于在（a）类卡中搜索 0。Treisman 对此解释为，在（b）类卡中搜索 Q，只需判断画面中有无一竖线，就可作出反应，不必考虑竖线在哪个位置或与哪个圆相交。这种搜索属前注意加工的快速过程，是以平行方式实现的。然而，在（a）类卡中搜索 0，则需要对画面上的每个项目依次扫描，以判断哪个圆不与竖线相交，需要将注意依次集中于有关的位置。这种搜索属集中注意阶段的慢速加工，是以系列的方式实现的。另外，进一步分析为，两种靶子的差别仅在于有无一竖线，并有一竖线的靶子的搜索快于无竖线的靶子的搜索。这说明，前注意阶段中的加工原则是表征“特征有”，而不表征“特征无”。Treisman 的非对称性搜索实验以及对实验结果的分析，对进一步研究前注意阶段的加工具有方法学意义的，亦即通过两种靶子的比较，可查明究竟哪些特征可得到前注意加工，从而可揭示前注意加工阶段的特点。

Treisman 还进行了一系列错觉性结合实验。所谓错觉性结合是指在不注意的条件下，向被试者呈现不同客体的特征发生彼此交换的现象。如所呈现的是绿字母 X 和红字母 O，而被者试却报告为绿 O 和红 X。错觉性结合实验通常采用双作业任务。第一作业是需集中注意的作业，目的是将被试者的注意吸引到该作业上；第二作业是非注意作业，这一作业才是真正考察的实验作业。例如 Treisman 曾设计过一个字母错觉性实验，在实验中向被试者快速呈现一些刺激卡，其中第一作业的刺激为 2 个数字，第二作业的刺激为 3 个不同颜色的字母。如图 4-13 所示。

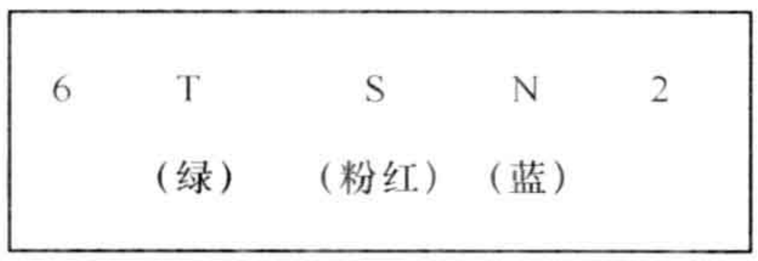


图 4-13　字母错觉实验刺激卡

告知被试者只注意两侧的数字，要求被试者先报告所看到的数字，再报告所呈现的字母及其颜色和位置，如左侧 T、中间粉红色 S 等。结果发现，第一作业正确率达 90％以上，而第二作业的正确率为 52％。并发现在第二作业的刺激报告中出现两类错误：一类为特征错误，即报告出刺激卡所没有的字母或颜色；另一类为结合错误，即报告出的字母或颜色虽为刺激卡上有的，但不在正确的位置上，如报告出“左面粉红 T”或“中间粉红 N”等。这说明发生了不同位置上的特征交换，即出现错觉性结合。

这种结果说明，在不注意条件下会导致特征的错觉性结合。由于错觉性结合的前提是觉察特征，因此还说明前注意加工阶段可对单个特征进行独立编码，特征是处于自由漂移状态。

Treisman 用了约 10 年时间做了大量的系列实验，这些实验结果都支持了她的特征整合论的理论框架。但这一理论并未终止，它还将进一步发展和完善。

4）注意的促进和抑制及其正负启动实验

注意的核心问题是对信息的选择分析。然而，人的信息加工系统是如何对信息进行选择的，亦即选择性注意的认知机制是什么，许多研究者都围绕着这个问题进行了长期的探索。

最初，注意的选择性通常被概念化为一个促进的过程，即在信息加工系统中，对于专注信息的加工被选择性地加强了。在 20 世纪 50—60 年代的有关理论中就已提出，在人的信息加工系统中存在着一个有限容量的通道或称“瓶颈”。研究人员认为，进入这个通道的信息将接受进一步的认知加工，而未进入这个通道的信息就得不到进一步的加工。在 70—80 年代，注意的选择性被重新概念化为一种可分配的加工能量，按需要被灵活地分配到不同的过程中去。研究者们常用如“心理努力(mental effort)”(Kahneman 1973)、一个“资源池(pool of resources)”(Norman & Bobrow 1975)、“聚光灯(spot-light)”(Posner，Snyder 等 1980)或一种“变焦距透镜(Zoom lens)”(Erikson & Yeh 1985)来作比喻。Broadbent 指出，选择像一个聚光灯一样拾取进一步加工的信息。

瓶颈和能量分配理论形成了选择性注意的一些共同的假定。

① 在不注意的条件下能在某种程度上加工一些信息，这种加工被称为前注意加工。

② 注意机制作用于专注的信息。

③ 对进一步的认知加工而言，注意是必需的，没有它则不能进行进一步加工。因而注意被假定为进一步的认知加工。

上述 3 点在 20 世纪 70—80 年代关于启动的实验研究中获得了有力的支持。

(1) 启动实验方法

在认知心理学中，启动效应(priming effect)是指先前的加工活动对随后的加工活动所起的促进作用。相对于抑制作用而言，起促进作用的启动效应被称为正启动效应或促进性启动效应，而起抑制作用的启动效应被称为负启动效应(negative priming effect)或抑制性启动效应(inhibitory priming effect)。一般而言，启动实验由启动显示与探测显示组成，启动显示在先，探测显示在后。每种显示都包含目标(T)和分心物(D)。在试验中，要求被试者只对两个显示中的目标(T_0，T_1)反应，而不理会分心物(D_0，D_1)。若启动显示中的目标(T_0)和探测显示中的目标(T_1)相同，称为目标重复启动(T T)，它往往会产生正启动效应。亦即被试者对 T_1 的反应时间比控制条件下的要短。所谓控制条件是指两种显示中的目标和分心物是无关的。在目标重复启动中，这种反应时间的节省被称为激活。例如，在启动显示中视觉呈现“猫”为启动目标词，在探测显示中仍以“猫”作为目标词，那么在探测显示中对“猫”的觉察反应时间会短于控制条件的目标词的反应时间。不仅在目标重复条件下会出现这种反应时间的节省，而且探测显示中的目标与启动显示中的目标有某种联系，如语义等联系，那么也会出现类似的正启动效应。例如，Meyer 等(1971)在词汇判定实验中，向被试者呈现一串字母，要求被试者判定字母串是否是英语单词。字母串是成对地呈现的。被试者对第一个字母串作出反应后，立即呈现第二个字母串。所采用的字母串是各式各样的，其中

有英语单词，也有无意义字母的组合；成对呈现的两个单词之间的意义联系也不同，其中有语义联系的如“nurse-doctor”，也有无语义联系的如“bread-doctor”。结论发现，判定前一组的反应时间要比后一组更短。

对上述的实验结果，研究者们用扩散激活理论来作解释。在启动显示中目标被激活了，那么在重复启动中，该目标反应阈限已降低，所以反应时间缩短了；而在有联系的词之间，一词被激活了，这种激活使与之联系的词也从静止向激活方向变化，从而降低了激活的反应阈限，因而反应时间缩短，这种现象被称为扩散激活。金志成等人(1992)曾设计了一个跨感觉道的启动实验。在实验中，以视觉呈现汉字为启动显示，以双耳同时分听不同汉字为探测显示。在双耳同时听到的汉字中，其中有一个汉字与视觉呈现的汉字有关系(如同义词、反义词和同类词)，另一汉字则与视觉呈现的汉字无关。要求被试者报告出双耳所听到的汉字。例如，视觉呈现汉字“钟”作为启动刺激，42 ms 后，双耳同时听到：左耳“表”，右耳“树”，结果，被试者报告出的字与视觉启动字有关的占 68.5%(其中同义词占 67.8%，反义词占 71.1%，同类词占 67.8%)。这一实验结果不仅说明目标的激活在跨感觉道之间扩散传播，而且还说明启动效应是选择性注意的机制之一。就上面所举的例子而言，被试者之所以会从双耳同时分听中选择“表”是由于视觉呈现“钟”而引起的。

(2) 负启动效应的实验研究

20 世纪 80 年代中期之后，Tipper 等人(1985)开创了负启动效应的实验研究。

负启动效应最早是由 Dalrymple-Alford 和 Budayr(1966)在 stroop 色词研究中提出的。但负启动作为分心物抑制的研究方法却是由 Tipper 的研究而开始的。Tipper 指出，涉及注意选择性机制主要有两种理论观点。一种观点认为，选择的主要作用是使专注信息得到进一步加工(即目标激活)。像 Vander Heijden(1981)指出的那样，选择使专注信息的意义(logogens)保持激活水平；Broadbent(1982)提出，选择像聚光灯一样拾取进一步加工的信息。这种观点还认为被忽略的信息可能很快地衰退。另一种观点认为，选择具有双重机制，即专注信息的进一步加工和被忽略信息的积极抑制相结合(即目标激活和分心物抑制)。Tipper 认为考查这个问题的方法是采用启动范例。他认为，如果在专注刺激的选择期间，一个被忽略信息的内部表征是与抑制相联系的，那么对要求相同内部表征的一个随后的刺激加工就会像先前被忽略的信息一样被削弱。Tipper 的这一论述就是负启动实验的方法学思想。这一方法就是，当在启动显示中作为不理会的分心物(D_0)，其内部表征与抑制相联系，而在随后的探测显示中此分心物作为目标时，被试者对此目标的反应时间比在控制条件下的要延长。如果在目标选择期间同时对分心物抑制，则说明选择性注意具有双重机制，即目标激活和分心物抑制。

Tipper&Cranston(1985)曾设计了一系列负启动实验。在一个实验中向被试者呈现用红、绿墨水书写的两个部分重叠的英文字母，红字母为目标字母，即要求被试者又快又准地读出的字母；绿字母为分心字母，要求被试者不理会它。实验中设置了以下 3 种条件。

① 控制条件，即每次实验中目标字母和分心字母都是不同的；

② 分心字母启动条件，即在启动显示中的分心字母将作为探测显示中的目标字母；

③ 重复分心字母条件，即分心字母在各试验中保持不变。

结果，分心字母启动条件下的反应时间最长，并且与控制条件下的反应时间差异显著。

这种反应时间的延长被称为负启动效应。这是因为在探测显示中的目标字母是在启动显示中受到抑制，故它会影响对此字母的反应。后来，在一系列的其他作业和材料中都发现了类似效应。

近 20 多年来，负启动的研究是研究者们感兴趣的研究课题，这不仅因为它为揭示选择性注意的机制做出了贡献，而且与其显示着一种更普遍的认知功能有关。许多研究都表明，认知不足的特定人群往往表现出负启动效应的削弱。例如，老年人相对于中年人，其负启动效应较小；Tipper(1989)报告，儿童的负启动效应也较小；Beech(1989)也发现精神分裂症患者的负启动效应较小；金志成等(1997)采用正、负启动技术，在严格控制条件下比较学困生和学优生在选择性注意加工机制——目标激活和分心物抑制方面的差异。在实验中设置了以下 3 种处理条件。

① 目标重复条件，其中启动显示中的目标作为探测显示中的目标；

② 负启动条件，其中启动显示中的分心物作为探测显示中的目标；

③ 控制条件，其中探测显示中的目标和分心物均与启动显示中的目标和分心物无关。

结果发现，学困生在目标激活方面与学优生虽然有差异但差异不显著($P>0.05$)，而在分心物抑制方面学困生却大大小于学优生，即负启动效应大大小于学优生($P<0.01$)。这些结果都说明，认知不足的特定人群对分心物抑制能力弱，易受分心物的干扰。

Tipper(1985)还提出了扩散抑制的现象。在他的实验中，向被试者呈现两个上下放置的普通物体的线条画，一个是绿色的(作为分心物)，另一个是红色的(作为目标)。当探测显示中的目标是启动显示中的分心物时会出现负启动效应，有趣的是，当探测显示中的目标是与启动显示中分心物有语义联系的其他物体时，如启动显示的分心物是“狗”，而现在的探测显示中的目标是“猫”，对“猫”的反应时间也会延长。这样，Tipper 就提出了一种类似于扩散激活的扩散抑制，因为在此实验中对分心物的抑制显然已扩散到了它的语义上的“邻居”。并且研究者也已证明这种扩散抑制也像扩散激活那样遵循着能量有限理论。

是什么引起负启动？Neill 和 Valdes(1996)将负启动归结为以下 6 种。

① 反应压制(response suppression)

这是由 Dalrgmple-Alford 和 Budayr(1996)根据 stroop 色字实验结果而提出的。他们认为，在启动显示中由于对色字字义反应的阻止，使在随后的探测显示中对与启动字义相同墨水色的反应可得性减少。他们把负启动效应归于外显反应的压制。

② 认知去活化(cognitive deactivation)

这是由 Neill(1996)提出的。Neill 认为，若在启动显示中有一个认知表征去活化，那么在随后的探测显示中把这一去活化的表征再作为目标重新激活是很困难的。

③ 编码协调(code coordination)

这是由 Lowe(1979)提出的。Lowe 认为，负启动产生是由于被试者在探测显示中看到的目标是否是真正的目标产生了混淆。例如，被试者在探测显示中看到绿色，但记得在启动显示中分心词是绿，此时，他就不能确定绿色是不是真正的反应目标。

④ 认知阻塞(cognitive blocking)

这是由 Tipper 等(1985)提出的。Tipper 和 Granston 提出，被忽略刺激的表征并不是本身的去活化，而是被阻止进入反应机制。在特定条件下，这种阻止可以被解除，允许从较

低水平的持续激活中出现促进效应。

⑤ S-R 映射(S-R mapping)

这是由 Neill 和 Valdes 等提出的。Neill 等人在定位作业的实验中发现,只有当启动和探测试验以相同映射规则要求时负启动才产生。即在定位作业中负启动与 S-R 一致性有很强的交互作用。

⑥ 情景恢复(episodic retrieval)

这是由 Logan(1988)提出的。

前 5 种解释都假定负启动是由启动实验中一些事物被抑制了,而这种抑制又给探测显示中的加工带来了明显的影响。而情景恢复的解释却认为,负启动是由在探测显示中所发生的加工的特殊性造成的。Logan 提出,作业操作的自动性是经由许多事例积累而发展的。当呈现一个目标刺激时,它提示着从记忆中恢复过去的情景,其中包括这个目标刺激,也包括关于实施反应的信息。如果该反应信息是恰当的,被试者就能快速作出反应;若不恰当,则由于此反应的算法计算,而使反应变慢。因此,负启动的产生是由于所恢复的过去情景的不恰当性造成的。

对于上述 6 种负启动效应的起因的解释,Neill 和 Valdes 曾做过简单的评论。他们认为,简单的反应压制和认知去活化的观点,当今已不太受到支持;编码协调可用于定位作业,但不能解释识别作业中的负启动效应;认知阻塞和 S-R 映射有其正确的一面,也有其不足;而情景恢复理论则能解释当前大部分资料,但不能解释负启动反转现象(negative priming reverse)。所谓负启动反转现象是指在负启动模式中,本应产生负启动,但却因某些条件(如只强调反应速度等)而产生了正启动效应。

Baylis 和 Tipper(1997)设计了一个外部线索选择和内部生成选择的实验。由主试者指定目标和分心物,并要求被试者只对目标进行反应,不理会分心物,这种条件称为外部线索选择。此时,像大多数负启动实验一样,分心物会受到抑制。由被试者从几个可能的目标之中,自己自由选择一个作为反应目标,这种条件称为内部生成选择,此时分心物没有受到抑制,并且这些分心物也受到较完全的分析。因此,他们主张选择的形式(即外部选择和内部选择)决定着是否有负启动发生。

到目前为止,还不能说是什么造成了负启动,因为还没有一种解释能充分说明负启动实验的各种问题。

5) 注意的生理机制的研究

对注意的研究大体可分为两类:研究注意的认知机制和研究注意的生理机制。本节侧重讨论注意的生理机制的研究及几个重要的理论。

(1) 关于注意的生理指标的探索

关于注意的生理机制的研究始于朝向反射的研究。

早期巴甫洛夫在狗的唾液条件反射实验中发现了朝向反射,他发现对于已建立起唾液条件反射的狗,给予一个突然意外的新异的声音刺激,则原先的条件反射立即停止,狗出现了朝向反射以做出应付的准备。他对此解释为,这种对新异刺激的朝向反射本质是脑内发展了外抑制过程。即新异刺激在脑内产生的强兴奋灶对其他脑区发生明显的负诱导,因而抑制了已建立的条件反射活动;而随着新异刺激的重复呈现,则失去了它的新异性,在脑内

逐渐发展了消退抑制过程，抑制了引起朝向反射的兴奋灶，这样朝向反射就不复存在。从中可知，巴甫洛夫主要是根据动物的行为变化，推论脑内抑制过程的变化来加以解释的。

20 世纪 50—60 年代，世界各地的研究者曾系统地研究了朝向反射的各种生理变化。这是因为朝向反射是由新异性强刺激引起机体的一种反射活动，表现为有机体现行活动突然中止，头面部甚至整个身体转向新异刺激发出的方向，探究新异刺激的性质及其对自身的意义，因而研究者们认为朝向反射是注意（非随意注意）的生理基础。在研究过程中发现，新异刺激能够引起瞳孔放大，皮肤电迅速增强等交感神经的兴奋效应，头颈肌肉和眼外肌肉收缩使头转向刺激源，脑波出现弥散性去同步化反应，皮层的兴奋性水平提高等。同时他还发现，所有这些朝向反射的生理变化对于各种新异刺激的性质都是非特异性的，即无论是声、光还是痛刺激，只要它对于机体是新异的，就都会引起这些生理变化，而且刺激量的差异也会引起这些生理变化。这种非特异性使朝向反射不同于适应反应和防御反应。适应反应随刺激性质不同而异，如温刺激会引起外周血管和脑血管的扩张，而冷刺激则使它们收缩；在有害刺激引起的防御反应中，无论是外周血管还是脑血管都发生收缩，并在重复应用有害刺激情况下，这种收缩反应不会减弱。朝向反射除非特异性特点外，还有对刺激模式很敏感的特点，如重复应用同一模式的刺激，则朝向反射消退；而变换刺激模式，则会再次出现朝向反射。

直到 20 世纪 60 年代初，在心理学研究中正式采用计算机的叠加功能对人脑颅表电位进行加工，提取了一系列过去不可能观察到的心理活动所引起的脑电波，并形成了一个独特的事件相关脑电位（Event-Related brain Potential，ERP）研究领域。目前，ERP 被认为是观察人脑心理活动这个暗盒子的一个窗口。70 年代，在国际上 ERP 研究尚处于正在兴起的初期阶段，各国生理心理学的研究者对各种心理因素的 ERP 进行了广泛的研究，发现由于实验条件的微小差异即可使结果发生很大的变化，从而致使各研究者的实验结果常常不一致。魏景汉等人（1982）在总结前人工作的基础上采用诱发电位方法严格控制了实验条件，在同一组被试者身上同时分析研究有意注意和无意注意对大脑听觉诱发电位晚成分的影响，并分析有意注意和无意注意在诱发电位上的异同。

（2）神经匹配模型

在上述论述中，研究者们试图从朝向反射的各种生理变化的测量中来寻求注意的机制。Sokolov（1969）从朝向反射对刺激模式敏感的现象中得到启示，从而提出了“神经匹配模型”（the neuronal matching model）。

该模型认为，刚刚呈现的外部刺激在神经系统内形成了某种神经元组合的固定反应模式。如果同一刺激重复呈现，传入的信息与已形成的反应模式相匹配，则朝向反射就会消退。但若刺激因素发生变化，新的传入信息与已形成的神经活动模式不相匹配，则朝向反射就又会重新建立起来。因此，Sokolov 认为，无论是第一次运用新异刺激引起的朝向反射，还是在它消退之后，由刺激模式变化所再次引起的朝向反射，都是由同一神经活动模型的机制所实现的。具体而言，这种机制发生在对刺激反应的传出神经之中，在这里将感觉神经元所传入的信息模式和中间神经元所保存的以前刺激痕迹的模式相比较。如果两种模式完成匹配，则传出神经元不再发生反应；如果两种模式不匹配，那么就会使传出神经元从不反应状态变为反应状态。这种模型有许多朝向反射的实验证据的支持。

(3) 神经活动双重过程模型

Groves 和 Thompson(1970)在他们对动物实验研究的基础上提出了神经系统“双重过程模型”(dual-process model)。他们发现,在神经系统中有一些特定的细胞,对任何输入都发生反应并快速放电。此外,他们发现,更强的输入就会有更多的神经细胞的反应。一系列较弱的输入,随时间的延续也会逐渐增加神经放电。这种效应称之为敏感化(sensitization)。他们还发现,当重复一个输入时,参与对这个特定输入加工的一些神经细胞就会变得疲劳,并随着输入的每一次重复,该细胞的反应强度逐渐减弱。这种效应称为习惯化(habituation)。Groves 和 Thompson 推断,有机体对输入的反应强度是习惯化和敏感化两种作用的整合,他们称这为双重过程模型。因为该模型是从动物实验中获得证据,所以在用它来解释人类注意机制时应谨慎使用。

关于注意的生理机制的研究还有很多,如丘脑网状闸门理论。该理论指出,丘脑网状核在注意机制中起着闸门作用。中脑网状结构的兴奋使丘脑网状核抑制,是非随意注意的基础;额叶—内侧丘脑系统的兴奋引起丘脑网状核兴奋,是随意注意的基础。因此,丘脑网状结构在非随意注意和随意注意的交替中,起着控制闸门的作用。又如前运动中枢控制理论,该理论认为,注意过程与前运动皮层和顶盖前区或上丘眼动中枢的功能有关。注意以多种运动中枢的连续活动为其生理基础。

4.3.2 情境认知中的记忆机制

记忆是人类积累经验的心理过程。表象是记忆的基本形式。它们是从感知向思维过渡的中间环节。有了记忆,人才能将感知内容在头脑中保存下来。

1. 记忆及其意义

记忆是人脑对过去经验的反映。

在一个人的经历中,曾经感知过的事物、思考过的问题、采取过的行动、练习过的动作、体验过的情绪和情感,都会有一部分在头脑中保留下来,形成记忆。

记忆和感知一样都是人脑对客观现实的反映,但感知反映的是当前的刺激,而记忆是过去刺激在大脑中留下的痕迹。

识忆、保持和回忆(包括再认)是记忆过程中的三个基本环节。识忆是记忆的开端,是通过感知事物进行认识的过程,是获得和积累经验的过程;保持是对识忆内容的保存和巩固,只有在头脑中得以保持的识忆内容,日后才能回忆起来;回忆是恢复经验的过程,是对识忆内容的重新辨认或在脑中的浮现。这三个基本环节是相互联系的:识忆是保持和回忆的前提,保持是中间环节,回忆是结果和检验。

记忆研究在现代认知心理学中占有核心地位。认知心理学家把记忆的三个环节,类比为计算机信息的输入、储存和输出过程。

记忆的意义是不言而喻的。从认识过程来看,通过感觉和知觉产生对事物的感性认识,获得对许多个别具体事物的印象,而要想把握事物的共同特征,了解事物的活动规律,就要通过思维的概括。记忆是从感性认识到理性认识过渡的中间环节,如果感知过的事物不形成记忆,思维失去了素材和基础,就无法进行概括和集中。可以说,记忆是实现从感性认识向理性认识飞跃的桥梁。

记忆在整个心理活动中的作用也很重要，它是全部心理活动的基础。感知、思维、情感、意志都要在记忆的基础上展开，使心理活动成为一个连续的、统一的、发展的过程。有了记忆，人就能在以往反映的基础上反映当前事物，使当前的反映更为全面和深入。正如俄国生理学家谢切诺夫所言："记忆是整个心理活动的基本条件"。

2. 记忆的分类及信息加工过程

依据记忆的内容有以下几种分类。

(1) 形象记忆。这是以事物具体形象为内容的记忆。事物形象可以是视觉的、听觉的、触觉的。这是一种最基本、最广泛的记忆类型。

(2) 逻辑记忆。这是以语词所概括的逻辑思维结果为内容的记忆。揭示事物本质属性的概念、定理、公式、规律等内容，都要通过语词来表达其逻辑关系，逻辑记忆就是对语词所表达的思维结果的记忆。这是一种比较复杂的记忆类型，在知识掌握中有极为重要的作用。

(3) 情绪记忆。这是以体验过的情绪情感为内容的记忆。凡是能激起强烈情绪体验的事件都能形成深刻的记忆。

(4) 运动记忆。这是以做过的运动或实际操作为内容的记忆。例如，熟练的驾驶操作技能等都可以形成记忆。此种记忆最不易遗忘。

以上四种记忆是相互联系的。逻辑记忆在知识掌握中是十分重要的，但这种记忆不易巩固，如能与其他三种形式配合起来，就会形成良好的记忆。

现代认知心理学按照信息加工的观点，把记忆按时间进行了分类，并分析了信息的输入、加工和储存过程。认知心理学家根据记忆保持的时间长短不同，把记忆分为感觉登记(注册)、工作记忆(即短时记忆)和长时记忆三种信息储存系统。

(1) 感觉登记(注册)。感觉登记(注册)(亦称瞬时记忆)是一个时间非常短暂的记忆储存系统，保持时间在 0.25～2 s 之间。在这一系统所进行的活动叫作感觉登记(注册)或感觉缓冲。刺激信息被感觉到了，但多数信息未及输入大脑就已消逝。它只是把刺激暂时登记(注册)一下，为下一阶段的加工提供一个极为短暂的缓冲过程。在众多被登记(注册)的信息中，只有受到特别注意或经验中熟悉的事物才能转入下一个储存系统——工作记忆。信息在工作记忆中进行加工。

经 G. Sperling[1960 年，向被试者快速呈现 50 ms 排列成方阵的刺激项目(字母或数字)，每排 4 个，共 3 排，刺激停止后，要求被试者立即将它们回忆出来，被试者对如此短促的刺激，能记住的项目实际很少，一般只能回忆出 4～5 个项目]实验表明，瞬时记忆确实存在，它能保持许多信息，但维持时间很短，只有零点几秒的时间而已。瞬时记忆一般所起作用不大，但能为下一个记忆系统提供一个短促的选择信息的机会。

(2) 短时记忆。短时记忆又称工作记忆，它是对信息进行加工编码的一个重要环节，是正在工作的、活动着的记忆。只有在这一系统经过加工编码的信息，才能被储存入长时记忆库中，在以后一定条件下得以提取，进行回忆。

短时记忆的特点是保持时间短，约在 1 分钟以内；信息的容量有限，为 5～7 个组块("组块"是 Chunk 的意译，它表示一组有意义联系的信息单位)；加工过程中易受干扰而造成遗忘。

信息加工主要是指对出入于工作记忆的信息流的控制，即从瞬时记忆中接受信息和从长时记忆中提取信息；识别、比较和重组短时记忆中的符号；往长时记忆中储存信息。工作

记忆是一个动态系统，处于不停的工作之中，外面进来的信息要加工储存，头脑里储存的要提取。它总是处于流动、变化的活动状态。但是，工作记忆的容量有限（不超过 6 或 7），因而限制着大脑对信息的成功处理。不过组块却会大大增加大脑的记忆能量，组块代表着一些相互关联的信息集团，如一串电话号码、一组成语、一盘棋的残局，甚至是数学、物理学中一系列解决问题的公式……组块使得对大量具体信息进行自动化的加工成为可能，它反映着信息的意义性。

短时记忆有两个不同于瞬时记忆的特点：第一，瞬时记忆的内容人们往往意识不到，而短时记忆的内容是能够意识的；第二，瞬时记忆中的信息很快地大量消失是不可避免的，短时记忆的信息则可经过复述等加工过程而保持下来。

在日常生活中可以观察到许多短时记忆现象，如电信工程中的接号、发报，语言翻译的口译过程，打字员从看稿到打字的过程，以及学生听课记笔记等，都需要进行短时记忆。

（3）长时记忆。长时记忆是指一分钟以上直至终身不忘的记忆。长时记忆的信息容量被认为是无限的，是一个大的信息储存库。长时记忆的信息来源于短时记忆的加工复述，也有些印象深刻的内容，一次即可形成长时记忆。长时记忆的作用是把信息系统地保存起来，以便需用时迅速提取。长时记忆的特点是以信息的意义性为核心的，不是按输入的顺序。

认知心理学的研究认为，信息在长时记忆中是以网结的形式被储存。每个“结”代表一个信息项目或一簇有联系的组块。如果网络中的一个项目被激活，则这一组成部分的全部都可能被激活。这些“结”中，有些包含的是感知知识，有些是经过语言加工的由词义表述的命题、规律、法则，还有一些是与已习得的动作或认知技巧有关的程序信息。信息是可以高度组织起来的概念系统，这些概念系统再组成一些“结”或“线”。长时记忆含有数十个这种网络，每个网络又各自联结着另一些网络。正是由于这种交互联结，信息才能得以清晰地储存。长时记忆中的“结”通常是不活跃的，活跃状态的信息在于工作记忆之中。

瞬时记忆、短时记忆和长时记忆是整个记忆过程中的三个不同的时间系统。它们是相互联系、相互作用的：刺激作用于视、听等不同的感觉，引起感觉登记；感觉登记中被注意到了的信息才能进入短时记忆进行加工；在短时记忆中经过重复等方式的加工后，才能输入长时记忆被储存起来。长时记忆对前两个系统也有影响，长时记忆中有印象的内容，容易在前两个系统中被选择和加工。

这三个记忆系统的加工模式如图 4-14 所示。

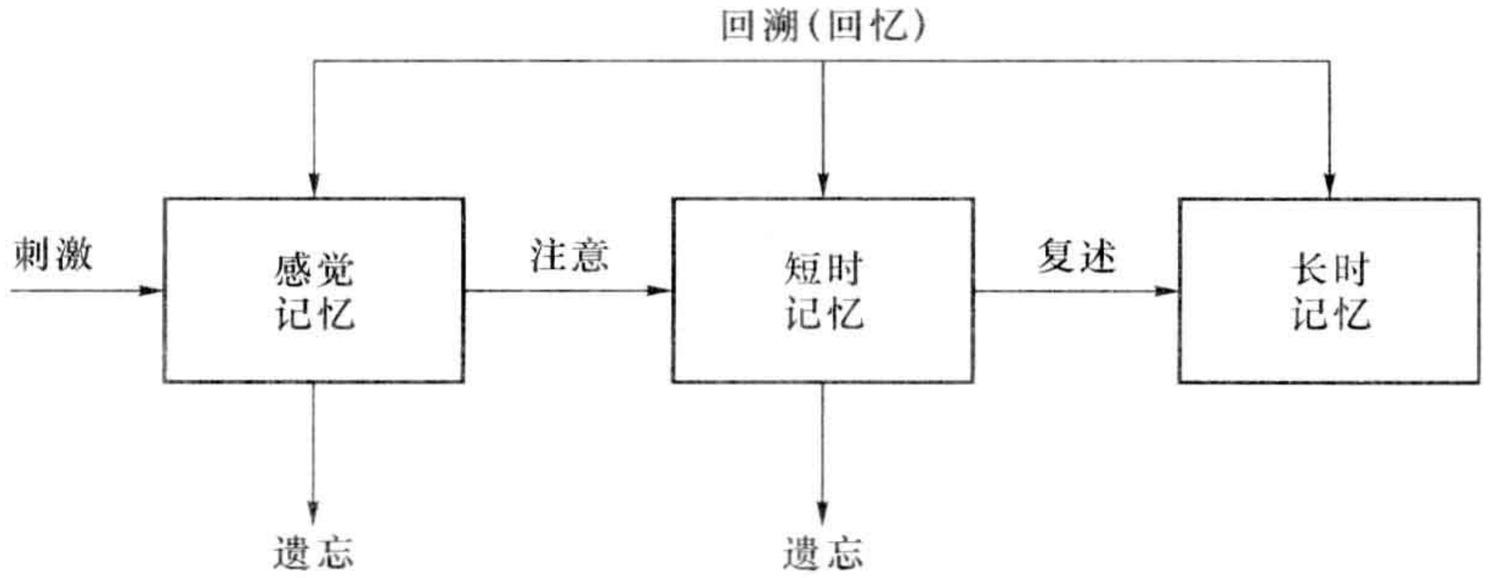


图 4-14　记忆系统信息加工模式图

3. 记忆的生理机制

记忆的机制是当代记忆研究中的中心问题。在这方面的研究，有巴甫洛夫学派关于暂时神经联系的学说、记忆的定位说和均势说，还有关于记忆机制生物化学水平的探索等。

巴甫洛夫学派认为，记忆过程就是大脑皮层上暂时神经联系的形成、巩固和重新活跃的过程。识记和保持是在大脑皮层上形成暂时的神经联系，并留下痕迹和在一定条件下得到巩固的过程；再认和回忆则是暂时神经联系的痕迹在有关刺激影响下的重新活跃。

人类记忆和动物记忆有着本质的区别。人类除了可以在具体事物间形成暂时联系外，还能借助语言形成和强化各种暂时神经联系。由于语言的参与，人类的记忆就成为一种内容更加丰富，更具有目的性、自觉性的积极主动的心理过程。

在记忆生理机制的研究中，有“定位说”和“均势说”两种理论：实验研究表明，额叶和海马回是记忆痕迹的重要储存部位。加拿大神经生理学家 W. Penfield 在治疗病人时，用微电极刺激其右脑额叶区，引起患者对往事的回忆，病人说他听到了过去曾听到过的音乐，并情不自禁地唱了起来，但刺激皮层其他区域则不发生这种回忆。W. Penfield 将这种由电极刺激引起的回忆称为“诱发回忆”。进一步的实验表明，刺激额叶区诱发的回忆大都是视觉和听觉的形象记忆。

近期的研究表明，切除以海马为中心的部位会产生记忆障碍。如把两侧海马切除，近期记忆消失，而远期记忆（孩提时代的事情和技能）并不丧失。这说明，海马与短时记忆有关。海马的破坏影响了短时记忆的信息加工，新的事物不能进入长时记忆，从而使近期记忆消失。但远期记忆属于长时记忆储存的信息，所以不受影响。

还有一些研究表明，语词抽象材料的记忆与大脑额叶有关，言语记忆信息储存在大脑左半球，形象记忆信息储存在右半球。以上理论称为定位说。

美国心理学家 K. S. Lashley 认为记忆并无特殊的皮层区域定位。他以许多动物实验为根据，说明动物学习成绩的好坏与大脑皮层特定部位的切除关系不大，而主要与损坏面积的大小有关。切除面积越大，学习成绩越差。对一些脑损伤病人记忆破坏的研究也可以观察到同样的情况。K. S. Lashley 认为，记忆在大脑皮层上并无定位，而与脑的广泛区域相联系，保存的脑区域越大，记忆破坏越小。这种学说称为均势说。

对定位说和均势说的理解不能绝对化。应该看到，记忆是整个中枢神经系统的功能，是不同神经部位参加的联合活动，但不同的部位所起的作用是不同的。信息的储存多数在大脑皮层，但边缘系统、丘脑、脑干网状结构，甚至脊髓也具有储存信息的功能。

关于记忆机制问题，还有神经物理学和生物化学方面的探索。神经物理学的理论认为，当神经冲动通过神经元时，其痕迹的物质化表现在突触的物理变化上，即表现为突触的电变化和机械变化（突触变大、突触间隙变小）方面。由于这些变化使得神经冲动再次通过变得容易。记忆的生化机制研究认为，除了突触结构的变化以外，神经细胞中所产生的特殊的化学变化是长时记忆的基础。这一假说称为记忆的分子理论。瑞典神经生理学家 H. Hyden 的研究表明，动物学习某种东西时，脑内不同区域蛋白质的合成情况有变化。生化水平的研究反映了记忆机制研究的深入。目前，世界各国有关生理学、神经生理学等方面的科学家仍在进行实验研究。

4. 记忆过程分析

人类的记忆是一个积极能动的发展过程，它有自身的活动规律，掌握了这些规律，人就

有了积累和储存经验的主动权。通过对记忆过程的分析，可以了解它的规律，并运用这些规律增强我们的记忆能力。

1）识记及有效识记的依存条件

识记是记忆的开端，是记忆成功的重要的第一步。它是保持和回忆的前提，提高记忆效果必须有良好的识记。识记是一个感知或重复感知的过程，通过它才能获得对客观世界的印象，进而形成记忆。识记可分为以下几种。

根据有无明确的识记目的，可将识记分为无意识记和有意识记。

（1）无意识记

无意识记是事先没有明确的识记目的，也未借助于专门的方法，无意识间自然而然地形成的识记。

哪些事物能被无意间记住呢？生活中具有重要意义的事物；适合人的兴趣、需要，与人的活动目的、任务相吻合的事物；激起深刻情绪体验的事物等，都容易形成无意识记。

无意识记在生活和学习、工作中有很重要作用。人的生活经验主要是通过无意识记积累的。人生道路上某些关键时刻的情景，曾引起强烈情绪体验的事件，重大的成功或挫折，往往会终生难忘。人的许多知识也是通过无意识记积累起来的。“近朱者赤，近墨者黑”的社会影响也都是无意识记的结果。无意识记是儿童的主导记忆形式，儿时的各种记忆大都是无意识记的结果。

无意识记无须经过意志的努力，运用起来既省力又能提高效率。但是由于缺乏预定目的，识记的内容往往带有偶然性和片断性，不能构成系统的知识，所以对知识技能的系统掌握还需要进行有意识记。

（2）有意识记

有意识记是有明确目的，并运用一定方法，经过意志努力而形成的识记。

有意识记是一种主动自觉的识记形式。在社会实践活动中，有意识记更为重要。人们掌握系统的科学文化知识，主要依靠有意识记。因为有意识记获得的识记内容完整、系统，识记效果牢固、持久，它是根据需要和任务对识记内容有选择的记忆。在其他条件相同的情况下，有意识记的效果高于无意识记。在有意识记中，记忆任务的远近和记忆的持久性有关。实验表明，有较长期识记任务的材料，保持时间长；只有短期识记任务的材料，保持的时间短。长久的识记任务能够引起更复杂的智力活动和更大的积极性。识记方法、进程和效果受不同识记任务的影响。例如，对一篇文章的记忆，识记任务不同，方法、进度、效果就会不同。

根据识记材料有无意义或学习者是否了解其意义，识记又可分为机械识记和意义识记。

（1）机械识记

机械识记是依靠重复形成的识记。

机械识记主要是在两种情况下出现：一是识记材料本身缺乏意义联系；二是识记在尚不理解识记材料意义的情况下单靠重复来进行识记。

（2）意义识记

意义识记是识记者在理解识记材料意义的基础上进行的识记。

实验材料说明，以理解为基础的意义识记在全面、速度、精确性和巩固性等方面，都比机

械识记好。这是因为材料的意义反映了事物的本质及其内在联系，也反映了识记材料和学习者知识经验的联系。由于有些材料是较少意义联系的，所以需要通过机械记忆的重复来巩固。

有效记忆具有以下依存条件。

（1）对主体生理、心理状态的依存性

大脑的兴奋状态：记忆是脑的机能，只有在大脑的兴奋状态下进行识记，才能产生鲜明的事物印象。当你感到疲劳、怠倦的时候记忆效果就差。

集中注意、精细感知：学习过程中的识记是有目的、有意识并通过意志识记。研究表明，识记效果与重复次数并无函数关系。

情绪稳定、充满信心：识记过程中的情绪状态，对识记效果有重要影响。在紧张慌乱、焦躁不安或情绪激动、得意忘形的情绪状态下，都不会形成良好的识记。

目的明确、动机有力：要有良好的识记效果，必须有识记和学习的动力因素。良好的学习动机和强烈的学习愿望才能驱使人去自觉地集中注意，精细感知。

身体健康、精力充沛：大脑的兴奋状态、高度集中的注意力，除了目的动机因素的支持外，还必须有健康的身体条件作保证。有意识记是一个艰苦的脑力劳动过程，需要消耗肌体的能量，神经衰弱、体力不支的人很难集中注意，也不能保持大脑的兴奋状态。

（2）对识记方法的依存性

加强识记材料的意义性。识记材料的意义性是记忆保持的核心，要想使识记材料得以长期保持，就必须在识记之初加强对识记材料意义的理解。

加强识记材料意义的含义有两点：一是对有意义联系的材料加深理解，如不理解材料的意义，就会把意义联系的材料变成无意义的内容；二是赋予无意义联系的材料以人为的意义，使无意义材料意义化。例如为无意义联系的数字寻找特征。

整理分类便于记忆。对所记忆的事物或内容，可按其性质、特点、近义、反义等进行分类，这样形成的记忆就会条理系统。如能按其相似、相反，时间、空间上的接近或种属关系等进行分类、系统化，日后很容易通过联想唤起回忆。

多种感觉通道参加识记。人对事物的感知是通过多种器官实现的，进行识记时也要动员各种感觉器官通过多种感觉通道输入信息，才能巩固识记内容，便于以后回忆。

多种记忆类型协同记忆。在各种记忆类型中，形象记忆、动作记忆、情绪记忆其巩固程度都优于逻辑记忆。因此，在识记文字材料时，要尽可能地联系文字所表述的直观形象，并伴以可能的运动和操作，就会取得良好的识记效果。

2）保持和遗忘的心理规律

保持是记忆的重要环节，通过保持可以使识记内容得到巩固，为回忆或再认提供条件。但是，识记内容并不能全部得到长期的保存，很多内容会被遗忘。遗忘是保持的相反方面，两者必须放在一起进行研究。

（1）保持

记忆中的保持是一个动态过程，经验在头脑中的保持，并不像保险柜中的保存文件一样原封不动，而是会发生一些变化。这种变化有两种倾向：一种倾向是原有内容中的细节趋于消失，主要内容和显著特征得以增添了某些原来没有的细节或将原有的细节突出和夸大，使

记忆内容更趋于合理化，这种现象叫做记忆内容的改造。记忆内容的变化和改造受多方面因素的影响。如被试者依据自己的经验对识记内容进行了无意识的补充，激起被试者兴趣和情绪的部分无意间给予了渲染和夸张，对无关紧要的情节（区域、任务）进行了自然的省略和缩减，由于近似内容的泛化而造成的混淆和歪曲等。总之，在对识记内容的保持过程中，记忆者的种种主观因素会无意间渗透进去。

保持内容变化的另一种表现是记忆的恢复。一般说来，识记内容的保持量会随时间的延长而减少，但是学习之后 2～3 天所测得的保持量，会比当时回忆测得的保持量有所增加，这种现象叫做记忆的恢复。

记忆恢复现象在学习较难的材料中比学习容易的材料中表现明显；巩固程度较低的材料比纯熟的材料中表现明显。

关于记忆恢复现象产生的原因有几种解释：一般认为，在识记时由于积累抑制，影响了刚刚识记后的回忆成绩，这一段时间抑制解除，回忆效果有了提高；有的解释认为，刚刚识记后保持在头脑中的材料比较零散，需要一段巩固发展的过程；记忆内容的改造和记忆恢复现象都说明保持是一个积极的、创造性的过程。

（2）遗忘

对识记过的内容不能再认和回忆，或错误的再认和回忆叫做遗忘。遗忘同样不能被认为是一个消极的过程，它也是心理反映选择性的表现。德国心理学家艾宾浩斯是率先对记忆中遗忘规律进行系统实验研究的人，主要是探索遗忘的时间规律，并制作成了著名的艾宾浩斯保持曲线。曲线表明了遗忘的时间规律：遗忘的发展是不均衡的，其速度是先快后慢。

艾宾浩斯遗忘曲线所反映的是无意义联系材料的遗忘规律，但是材料的性质对遗忘进程有重要影响。一般说来，熟练的动作遗忘最慢。Bell 发现，一项技能一年只能忘掉 29%，而且稍加练习即能恢复；形象材料也不易遗忘；文字材料中，有意义联系的材料比无意义联系的材料忘得慢，但仍呈现先快后慢的发展趋势。

（3）影响保持和遗忘的因素

保持和遗忘受多种因素的制约。除上述目的动机因素、时间因素、识记材料性质等因素外，还可受下列因素的影响。

① 原始学习的程度和速度

能否有巩固持久的保持，首先取决于原始学习的程度。在首次接触某一事物或学习某种知识的时候，如果感知清晰，印象鲜明就会在头脑中留下深刻的印记，而使保持持久，不易遗忘。其次，保持还和原始的学习速度有关。

② 原始学习的水平——过度学习

“过度学习”是指识记或进行练习时超过那种刚好能回忆起来的程度。实验证明，适当的过度学习可以减少遗忘。但是巩固程度并不与重复次数成正比。

③ 学习内容的相互干扰——前摄抑制和倒摄抑制

学习前后的干扰是造成遗忘的重要原因。干扰造成遗忘的抑制现象有前摄抑制和倒摄抑制两种。

先学习的材料对随后学习材料的干扰作用称为前摄抑制。在无意义材料的记忆中，前摄抑制是造成大量遗忘的重要原因之一；有意义的材料由于联系较多，较易分化，受前摄抑

制的影响较无意义材料少些。

后学习材料对先学习材料的干扰作用称为倒摄抑制。实验表明，倒摄抑制受前后两种学习材料类似程度、难度、时间安排及识记巩固程度等条件的制约。如前后两种材料相同，随后的学习即为复习，不产生倒摄抑制；前后两种材料性质区别明显，容易分辨，倒摄抑制作用较小；前后两种材料性质相似，则容易混淆（泛化）而产生明显的倒摄抑制作用。此外，后学习材料的难度不同，倒摄抑制作用也不同。实验表明，后学习材料难度大的，倒摄抑制作用也大。先学习材料巩固程度越好，受到抑制的干扰越小。总之，掌握了前摄抑制和倒摄抑制的规律后，就能大大地提高学习效率了。

3）再认和回忆的心理规律

再认和回忆是过去经验的恢复过程，是提取信息的两种形式。它们是整个记忆过程的最后一道环节。识记内容得到保持是重要的，但保持内容能否在需要时及时提取出来也是非常重要的。如果保持内容在需要时不能提取，那么保持也就失去了意义。

经验过的事物再度出现在面前时，能够确认，就是再认。它是回忆过程中的初级形式，比回忆要简单和容易。

再认有水平的不同，有完全再认和不完全再认之分。

对事物再认的不同速度和不同程度的确定性，取决于以下两个条件：①对经验事物识记的巩固程度。对旧事物的识记越巩固、越熟悉，再认的速度就越快、越准确；识记不巩固，再认的速度就慢，而且不能确切地辨认。②当前事物与经验过事物的类似程度。事物总是在不断发生变化的，如果当前事物与过去经历时的变化不大，就容易迅速再认出来，如果发生了很大的变化，就不易迅速再认了。

4.3.3　有关情境认知的影响因素

情境意识是一个在工效领域文献中非常常见的概念，但缺乏统一的严格定义，几乎每个学者对此都可能有不同的定义。但是，作为把人、环境情形和系统状态之间的交互作为一个整体来进行分析的集成概念，它具有基本的可描述性。当前的最基础的研究工作就是通过对情境认知影响因素的系统分析实现概念定义，以便于对其进行定性分析、定量评价。

从航空领域来看，通过情境意识这个概念可以把飞行员的能力、经验、目标驱动行为、信息环境、资源约束及它们之间的相互关系有机联系成为一体。但情境意识不是决策、工作负荷或行动执行。例如，可以存在这样的情形：有较高的情境意识，但行动执行却较差（较差的反应执行）；有较低的情境意识，但行动执行却较好（如自动驾驶飞行）。这样当一个驾驶员的情境意识驱动实现执行的决策和反应时，有许多其他的因素（如决策产生偏差、执行反应失误等）会影响这些处理过程。

我们研究的情境认知（Situation Cognitive，SC）与情境意识不完全相同，它不但包括情境意识，而且还包括决策、工作负荷或行动执行等因素。情境认知被认为是操作者与有关的系统及环境之间交互所产生的一种综合作用。获得并保持情境认知的影响因素有很多，既包括内在的（人的认知活动），也包括外在的（环境及系统），也有直接或间接之分，详见表 4-3。

表 4-3　影响情境认知因素的结构分类表

	内在的	外在的
直接的	感知 综合 规划 目标捕捉	工作负荷和压力 界面设计 自动化 系统能力
间接的	固有能力 经验 当前目的	条例 规则 程序

下面对表 4-3 中的影响因素分类进行具体的说明。

表 4-4 所示为影响情境认知的直接内部因素。

表 4-4　影响情境认知的直接内部因素表

第一阶段：对环境中各成分的感知	
视觉感知	感觉的组织、空间视觉及深度知觉、颜色知觉
对象识别	模式的检测、辨别、识别
知识认知	“Top-down” 及“Bottom-up”处理过程运用
注意	集中听觉注意、集中视觉注意、注意分配、注意的保持、自动处理
环境感知	选择、偏差
第二阶段：对当前情境的综合理解	
记忆	工作记忆、回忆与遗忘、长时记忆
图式	知识经验的组织与综合
认知偏差	认知不一致的偏差
第三阶段：对未来状态的预测规划	
推理	通过线索的诊断认知
记忆	使用心理图式搜索
认识偏差	形成反馈调节机制
目标	整合“Top-down” 及“Bottom-up”处理过程

表 4-5 所示为影响情境认知的间接内部因素。

表 4-5　影响情境认知的间接内部因素表

决策	基于经验的认知决策、基于评估的自然决策
内在能力	视觉灵敏度、感知与模式识别、运动控制、技能记忆
经验	判断与正确性的关系
情绪	情绪与记忆/识别/控制、焦虑与注意的关系

表 4-6 所示为影响情境认知的直接外部因素。

表 4-6　影响情境认知的直接外部因素表

压力	形成认知隧道
工作负荷	认知与操作活动的绩效
任务中断	执行多任务时
系统	系统设计、系统复杂性、自动操作
界面	交互任务的线索、信息预测/合成/过载

表 4-7 所示为影响情境认知的间接外部因素。

表 4-7　影响情境认知的间接外部因素表

条例	通过条例、规则和程序训练约束可调节 SC 的获取与保持
规则	
程序	

总之，通过对上述因素的分析可以得出，不同个体情境认知的差别主要在于感知能力（包括感知速度、编码速度、警觉性及模式匹配能力）、注意分配、记忆（包括工作记忆和长期记忆）能力、高级认知能力（分析、综合理解、预测）、决策及操作能力等方面。我们可以因此制定出提高情境认知技能的相应训练措施。例如，可以要求操作者识别特定区域内的重要特征（如情境中的成分、这些成分的运动特性及其随后的变化情况）。另外也可以训练对情境认知的获取与保持。例如使用有效的扫描、注意方式、从客体有限特征数据中提取最大信息量等。此外，通过训练建立的有效反馈机能还可以增强操作者情境认知的精确性和完整性，使操作者充分了解自己对情境中的评估和觉知错误，以便更好地进行修正。

4.3.4　有关情境认知的定性模型

情境认知可被看成是操作人员与系统、环境诸多成分相互作用的合成产物。但从更广的意义上讲，情境认知是操作人员为完成任务在特定环境下充分运用各种认知活动（如目的、感觉、注意、动因、预测、自动性、运动技能、计划、模式识别、练习、动机、经验、编译码技能及认识的提取、存储、执行等）的综合体现。下面我们将对情境认知研究发展过程中的几个重要模型进行分析和总结，然后结合我们的研究工作建立一个情境认知的多级触发定性分析模型。

1. Beringer 和 Hancock 的模型

Beringer 和 Hancock 在 1989 年提出的情境认知加工的三层模型如图 4-15 所示。

高层加工：其主要活动包括保持情境认知，即保持决策和动作的优先次序、子任务的有机整合以及监视任务变化的预示。

中层加工（信息处理）：通知观测者环境中的成分是什么、在哪里、什么时间出现。

低层加工：从内部或外部的环境中感知刺激（信息）。

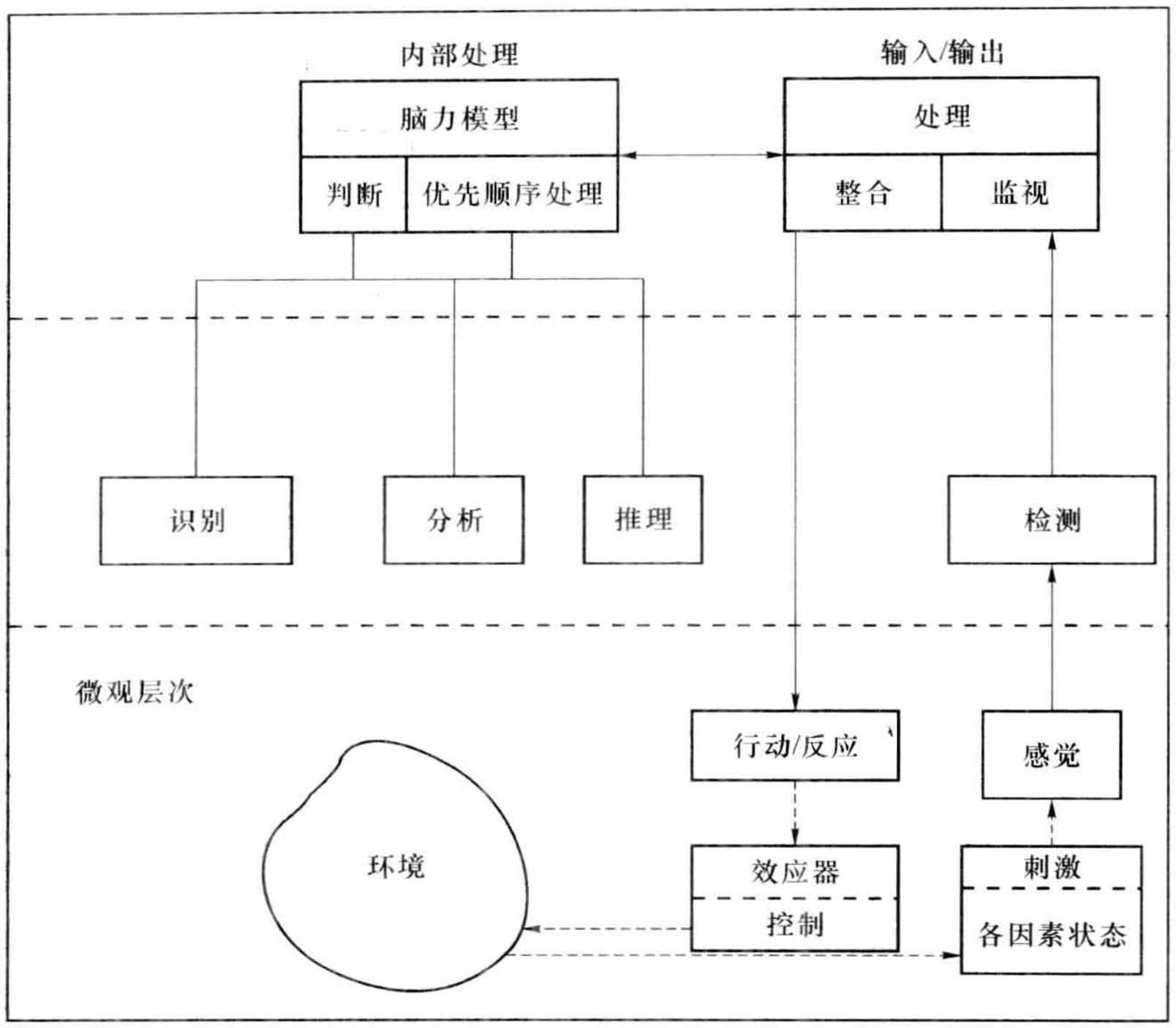


图 4-15　情境认知中各成分活动的层次系统图(Beringer and Hancock,1989)

2. Finnie 和 Taylor 的模型

Finnie 和 Taylor(1998)根据 Power 的感知控制理论提出了一个情境认知模型,如图4-16所示。感知控制整合模型的主要思想在于情境认知是由行为控制的。与感知控制理论类似,情境认知的获取与保持是从减小实际与期望的误差行为中得来的。

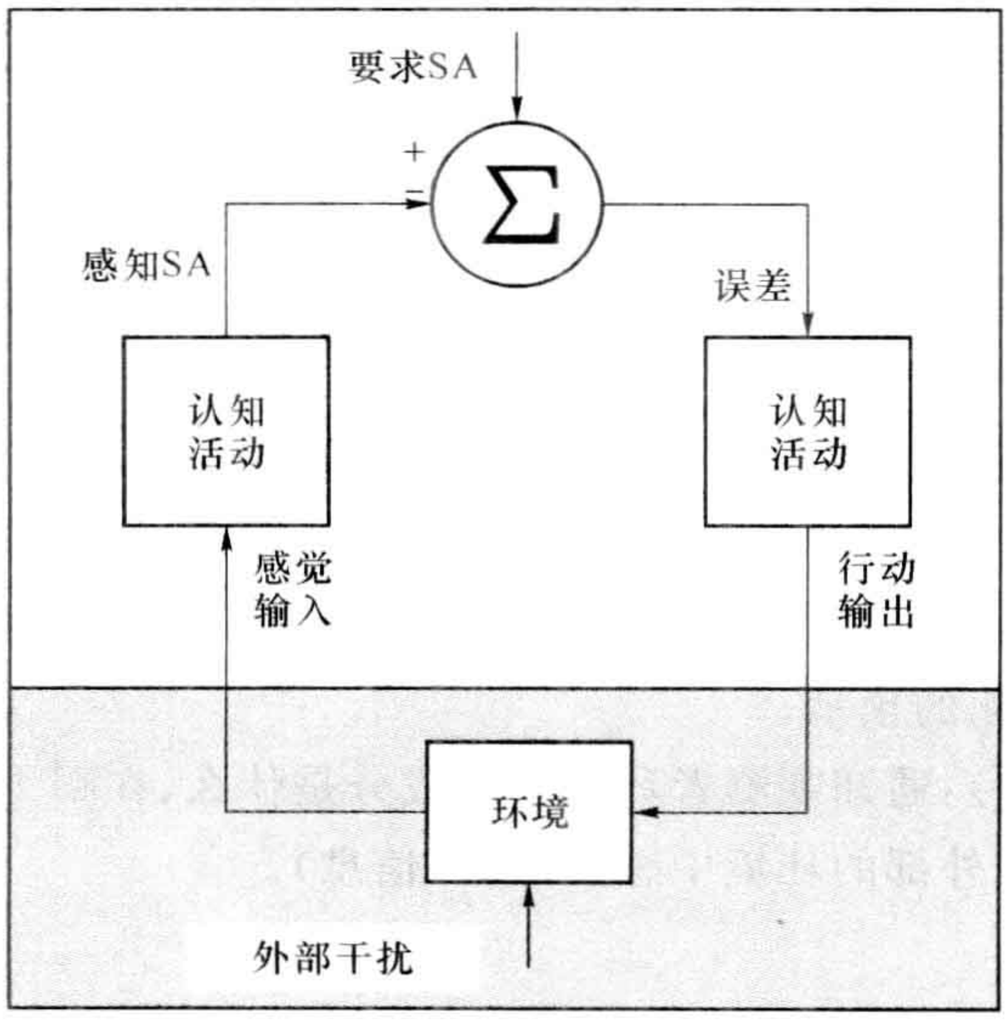


图 4-16　情境认知的感知控制整合模型(Finnie,Taylor 1998)

3. Endsley 的模型

Endsley 于 2000 年明确地提出人对环境中有关成分的感知是形成情境意识的基础，决策、动作执行被看成是与情境意识不同的阶段。人们情境意识的活动不是一成不变的，这可能与内在能力、经验和练习程度有关。另外，人们的某种目的与计划也可能使对环境的感知和分析受到影响；任务系统与环境中的其他因素（如工作负荷、压力、系统复杂性等）对情境意识也产生重要的影响。图 4-17 所示是动态决策情境意识(SA)模型。

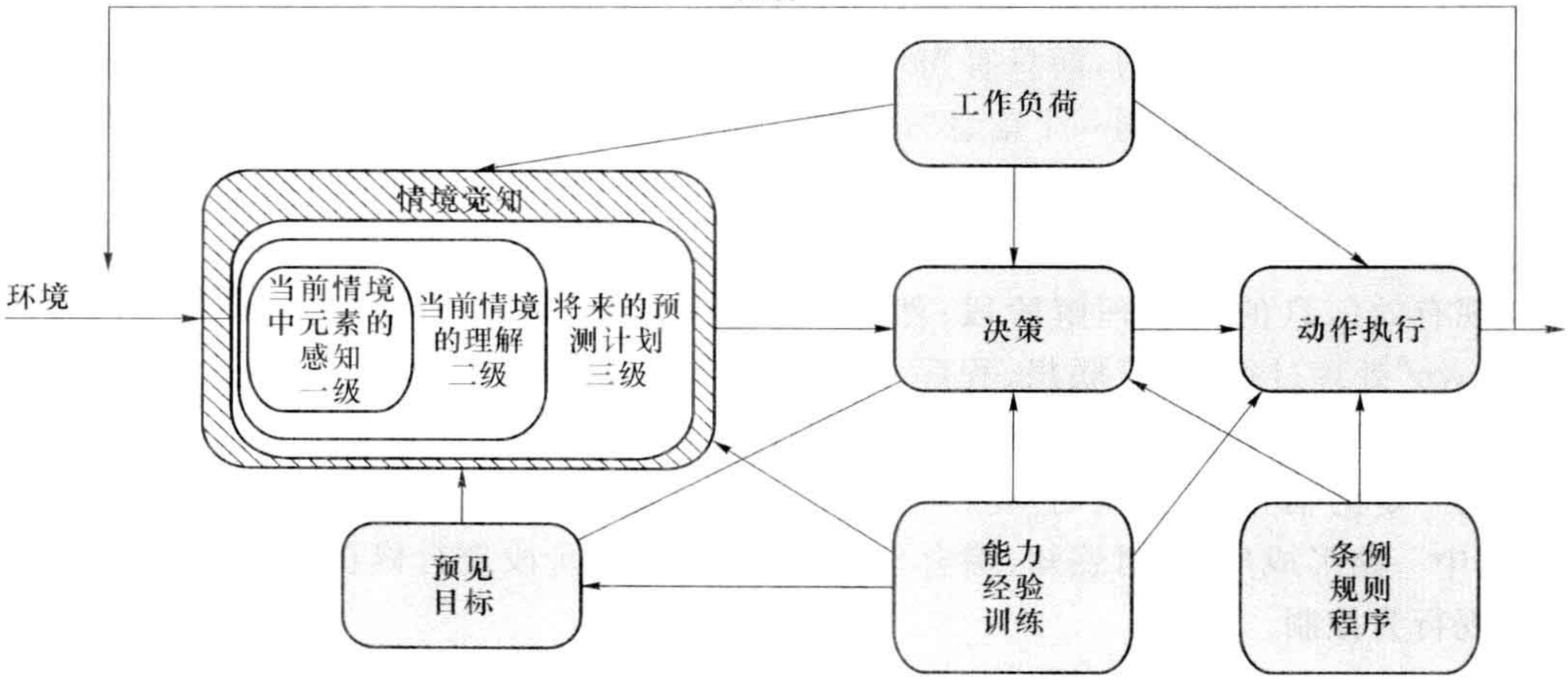


图 4-17　动态决策情境意识(SA)模型（Endsley，2000）

4. 情境认知多级触发定性分析模型

通过实验和现场调查分析，我们认为高级飞行员存在着情境意识“跳蛙”现象，即从感知刺激阶段直接进入预测规划阶段（跳过了综合理解阶段）。这主要是由于注意和环境任务的驱动引起的，他们进行的是信息的关键特征搜索，而不是整个客体的搜索。与一般飞行员的情境意识相比，他们 SA 的采样更离散一些，尤其是在感知刺激后的信息过滤中，表现了较强的“去伪存真、去粗取精”的能力。对于每个刺激客体而言，既包括有用的信息特征，又包括冗余的其他特征，而高级飞行员具备了准确把握刺激客体的关键信息特征的能力（可以理解为“由小见大”的能力），所以能够形成跳跃式扫视、立即规划预测的情境意识能力。对于一般飞行员来说，由于没有形成高级飞行员所具备的情境意识能力，所以觉察到的刺激客体中不但包括有用的信息特征，还包括冗余的其他特征，所以扫视范围较大，并需要综合理解那些被感知的信息，然后才能预测规划。与高级飞行员相比，信息采样量大，情境意识比较连续渐进（速度较慢），具体如图 4-18 所示。

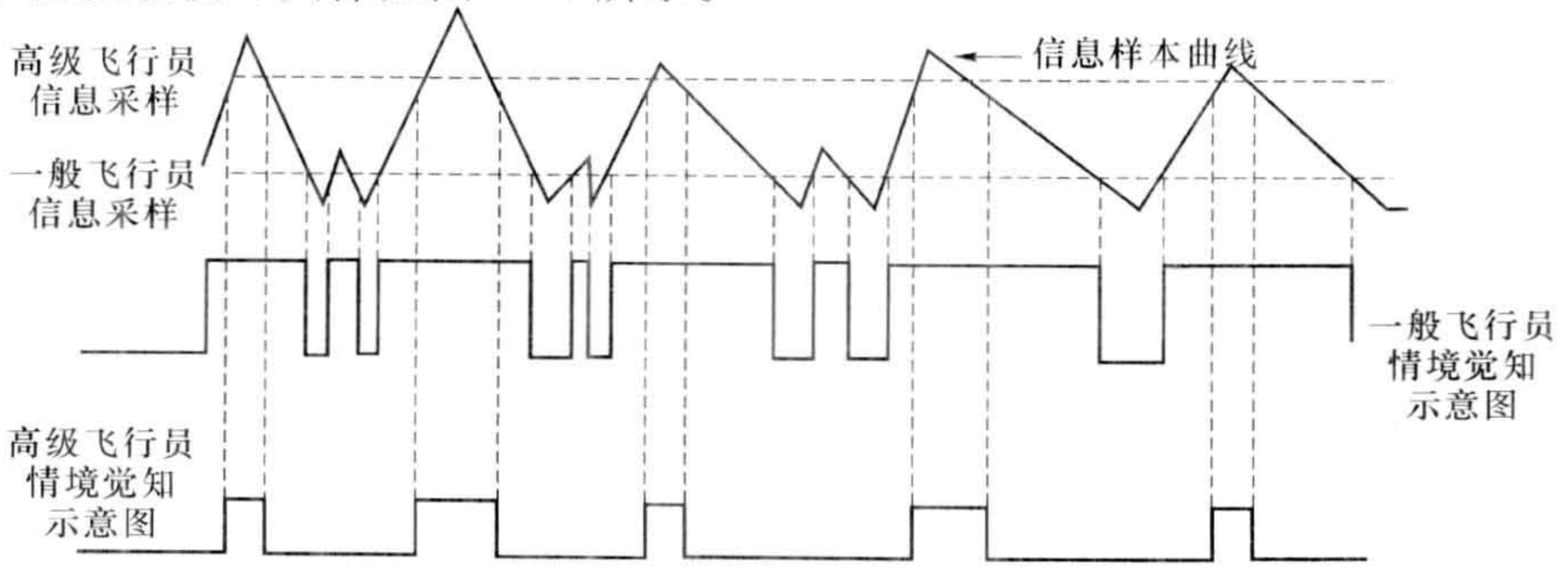


图 4-18　高级飞行员与一般飞行员信息采样与情境意识比较示意图

在有时间、任务压力的情境下，经验丰富的高级飞行员常常使用基于认知（而不是基于评估）的决策策略。事实上，他们是基于以前的经验进行反应和行动的，而不是通过常规统计的方法进行决策选择。基本认知决策中的情境评估是基于图式和脚本的。图式是一类概念或事件的描述，是形成长期记忆组织的基础。在“Top-down”处理过程中，被感知事件的信息可按照最匹配的存在思维图式进行映射，而在“Bottom-up”处理过程中，根据被感知事件激起的思维图式调整不一致的匹配，或通过积极的搜索匹配最新变化的思维图式结构。

我们建立的 SC 多级触发模型（图 4-19）与 Endsley 模型不同之处在于：SC 的三个阶段之间的关系是递进触发式的，即只有当环境信息达到一定的数量/质量要求时，感知阶段才可能起作用并把信息传输到一个信息“过滤器”（过滤器的基本功能是让指定的信号能比较顺利地通过，而对其他的信号起衰减作用，利用它可以突出有用的信号，抑制/衰减干扰、噪声信号，达到提高信噪比或选择的目的）中；只有经过过滤后的有效信息达到一定的阈值时，才能实现有效信息的综合理解阶段；然后，通过与长时记忆中存储的经验图式匹配产生“Top-down”处理过程（基于联想、程序），或面对当前情境刺激（包括短时记忆中的存储信息）直接进行“Bottom-up”处理过程（基于分析），信息经过这样两个过程或（它们的）复合处理并达到一定的临界值后，规划预测阶段才能够正常进行；最后将情境规划预测的指令分成两路，其中一路形成反馈，对感知、综合理解、预测规划等阶段进行修正，另一路形成决策输出并实现行为控制。

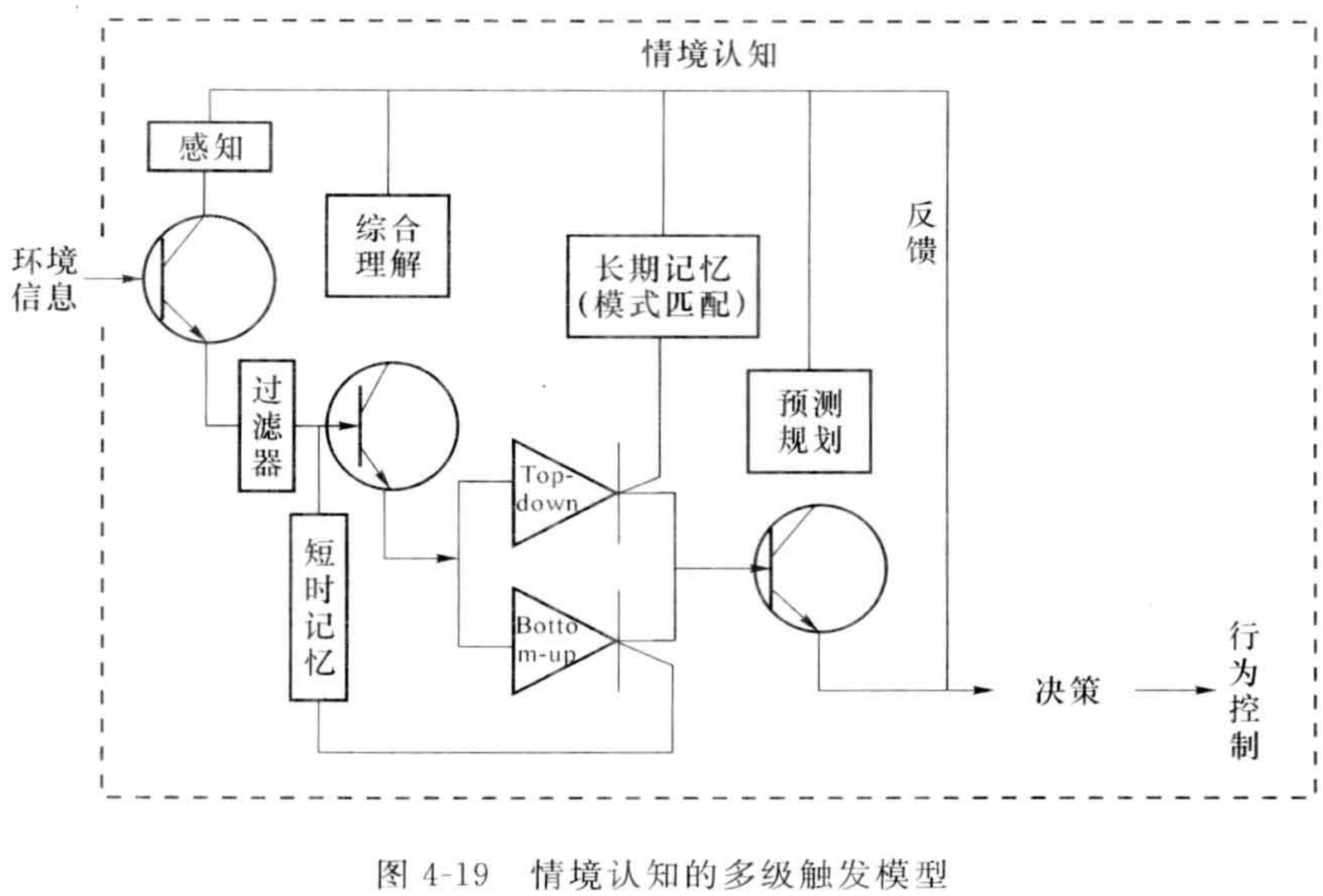


图 4-19　情境认知的多级触发模型

面对同样的情境信息成分，高级飞行员与一般飞行员表现出的觉知过程（如信息的接受、处理、加工）是不同的，这种现象不妨称为“信息不对称”现象。这主要是由于许多高级飞行员使用的是基于经验性思维图式/脚本的认知活动，这些图式/脚本认知活动是形成自动性模式（即不需要每一步都进行分析）的基础。另外，高级飞行员有时也要被迫对特定的情境做有意识的分析（自动性模式已不能保证准确操作的要求）。高级飞行员很少把注意转移到诸如驾驶的基本技巧或显示/控制位置等因素上，这将会减少他的分心。

这种现象也许与训练规则有关，因为在规则中一般飞行员被要求依程序执行，而规则程

序设定了触发其情境认知的阈值(即遇到规定的信息被激活);熟练驾驶员通过大量的实践和训练经验,形成了一种内隐的触发情境认知阈值(即遇到对自己有用的关键信息特征就被激活,而不是规定的)。

一个"Top-down"处理过程提取信息依赖于(至少受其影响)对事物特性以前的认识;一个"Bottom-up"处理过程提取信息只与当前的刺激有关。所以,任何涉及对一个事物识别的过程都是"Top-down"处理过程,即对于该事物已知信息的组织过程。"Top-down"处理过程已被证实对深度知觉及视错觉有影响。"Top-down"与"Bottom-up"过程是可以并行处理的。

利用"Top-down"处理过程,飞行员的注意和规划可以在 SC 第一阶段发生时就朝向环境的有关方面,然后根据目标综合理解信息形成 SC 第二阶段。与这些"Top-down"过程并行,"Bottom-up"处理过程也产生了。例如,环境中变化的趋势及模式意味着新的规划必须适应新的注意需要,这就需要飞行员当前的注意和规划要随着环境的变化而变化。而且,飞行员的注意(即从众多竞争目标中挑选出的最重要的目标)将指引向最适合的思维模型或图式的选择,进而使两者相匹配以实施规划预测(SC 第三阶段)。

在大多数正常情境下,飞行员按"Top-down"处理过程达到目标;而在不正常或紧急情境下,飞行员可能会按"Bottom-up"处理过程达到新的目标。无论如何,飞行员应在情境中保持主动性(前摄的)(如使用前馈控制策略保持在情境变化的前面)而不是反应性(如使用反馈控制策略跟上情境的变化),这一点是很重要的。这种主动性的(前摄的)策略可以通过对不正常或紧急情境下的反应训练获得。

4.4　情境认知测量

4.4.1　情境认知测量方法的研究

情境认知是人机交互领域迫切需要测量的一个最普遍但又很模糊的概念。Tenney 于 1992 年提出"认知处理过程应包括在情境认知的获得及保持过程中",这非常接近我们的最终研究目标:实现对操作者(如飞行员、控制者)将来操作行为的预测评价并开发出相当的实时自动辅助系统,以增强操作者的情境认知和操作绩效。如果要实现对情境认知的评价进而准确地预测出操作者在复杂任务环境中的操作特性,那么有效的测量方法是必需的。目前,对情境认知的测量包括主观和客观两种方法,这两种方法既可以是实时进行的,也可以是非实时进行的。

1. 情境认知的主观测量法

在过去的 20 多年中,对情境认知的测量评估已有许多不同的方法。其中大多数方法都是想通过主观方法直接地测量评估情境认知,对情境认知的过程及操作特征指标的测量方法研究较少。对于直接测量评估情境认知来说,到目前为止,主观方法(调查表、问卷)最为普遍。由于该方法简便易行,所以很受欢迎。其主要测量影响因素有以下四个方面。

(1) 由谁评估? 操作者还是观察者?

由于操作者本人很少知道自己情境认知的缺陷,所以 Endsley 认为操作者自评方法测

量的主要是操作者本人确信的感觉，而不是真正的情境认知状况。

观察者评估是指有关评价主题的专家或有一定知识的观察者使用精确的准则来评估操作者的情境认知。McMillan 在 1994 年对战斗机飞行员技能的研究中（情境认知作为一个独立的研究变量），由 200 多个专家和其他观察者共同制定了一个情境认知调查表，并且两者的评估结果非常相近，但是有潜在的缺陷：观察者不能了解到操作者内在的情境认知究竟是什么；操作者为处理某个事件会不管哪个变量；基于获得的变量，操作者进行了怎样的信息处理。当然，与其他情境认知的测量方法一样，这种方法也存在着许多不确定因素的制约。

（2）测量什么？操作者情境认知的感知，操作者当前的认识/记忆，还是要求资源的评估？

毫无疑问，不同的主观测量表的目的是测量不同的事情。一些是要求操作者（或观察者）对情境认知的直接说明，这种方法有时不切实际地假设操作者没认出他们没有感知到的事物，并因此只能提供一个他们觉察出的情境认知，这明显和实际的情境认知不符；另有一些是测试操作者对特定条件或状况下的记忆（觉知）；最后，有些表不仅是对情境认知结果的测量，而且还包括获得结果的要求资源的测量。

（3）测量应用在何处？是作为事件的一个绝对的指标还是作为相对指标？

绝对（或直接）评估要求操作者在某一特定时刻确定一个自己情境认知的数值（如在进入一个信息密集区时），此时，假定评估在该事件过程中与情境认知的绝对幅度有关（如整个的飞行阶段，要求飞行员果断地回答同意或是不同意）。相对（间接）评估要求操作者比较自己在不同事件过程中确定的情境认知的数值，或通过多个操作者再进行比较。

（4）什么时候测量？试验过程中还是试验之后？

试后（回顾）调查表是指在试验完成后实施的调查，常常包括参加者的回忆：什么类型的目标出现，有多少个？它们在何处？通过要求参加者对完成某项任务决策的一系列问题的事后询问，来实现对广义合理化行为、结果偏差的回忆、驱动行为的回忆、遗忘、近因作用的调查。Sarter 和 Woods 认为，后效情境认知的数据采集是与内在的上下文相关的驱动，因此很可能产生失真。

实时问卷调查，即在操作者执行任务时进行的调查（如飞模拟器控制飞行空域），可以克服许多试后（回顾）调查表带来的问题。实时的记忆测试可以在特定事件发生时获得数据，进而克服了时间延迟（在事件发生到回忆之间）问题。情境认知可被看作是飞行员出错的函数。飞行员可以分神或被打断以实时地回答（通过飞行自动驾驶等方法）问卷调查问题。也可以采用口头协议的形式，如飞行员被要求一边操作一边自言自语，但这种方式很可能改变执行任务的方式。Pew 于 1995 年提出，实时口头协议的情境认知评估方法在其发展的早期（感知阶段）非常有用，随后有可能干扰综合理解、预测规划阶段的正常进行。

另一个实时问卷调查的方法是“冻结”。模拟器可以随机地在任何时刻被冻结/停止，所有的显示一片空白，然后询问飞行员当时的情境认知状况问题，情境认知可被看作是飞行员对问题反应出错的函数。根据 Pew 的观点，对这种方法提出了两个问题：①由于操作行为随模拟器的冻结而被终止，此时的情境认知评估会不会准确？②进一步的调查会不会改变飞行员的行为？即当试验任务被冻结，这本身是否给情境认知评估增加了一些新的变量？对“冻结”方法的有效性问题，Endsley 专门设计了多个实验进行了分析和比较，其中包括一组有关空对空作战飞行员的“冻结”实验，实验结果证明该方法对操作行为和情境觉知的影

响都不明显。

表 4-8 提供了一个对情境认知主观测量方法的总结。

表 4-8　情境认知主观测量法影响因素的属性矩阵表

属性/测量	SART	SAGAT	SWORD	CSA	SASRF
谁					
自评	▲	▲	▲		
他评				▲	▲
什么					
直接 SC	▲		▲		
SC 资源	▲		▲		▲
SC 认识/记忆	▲	▲			
SC 过程				▲	▲
操作				▲	▲
哪里					
绝对	▲	▲		▲	▲
相对			▲		
何时					
试验中		▲		▲	▲
试验后	▲		▲		

下面是对表中所列方法的简要描述及评论。

(1) 情境觉知评估方法(Situation Awareness Rating Technique,SART)

SART(Selcon 和 Taylor)是用来评估操作人员(如飞行员)觉知的主观测量方法,主要包括三个方面:①对注意资源的需要;②注意资源的供应;③对情境觉知的综合理解。也就是说,SART 是把所讨论的注意能量(最小需求)及情境觉知的综合感知作为操作人员(如飞行员)的工作负荷进行测量。其主要作用是测量基于规则的操作行为和基于知识的决策,Pew 认为这种方法的坏处在于掺杂了操作人员(如飞行员)的自信与习惯,尽管如此,研究者仍可以获得一些结论以指导进一步的研究。

(2) 情境觉知综合评估方法(Situation Awareness Global Assessment Technique,SAGAT)

SAGAT(Endsley)调查方法,要求参加者在试验(如驾驶模拟器)进行某一点时暂停,并在重新开始前回答有关自己对环境的认识及评估方面的问题。SAGAT 提供了一个较简单的飞行员心理模型描述,涉及了有关情境认知的许多要素,并通过容易的记录和评估提出一个对飞行员(本身)的情境认知评估的直接测量。使用这种方法可以获得有关特定情境认知综合水平的大量数据,美中不足的是,SAGAT 要求暂停模拟以便于收集数据,如果设计不当,则会干扰试验任务的正常进行。

(3) 情境觉知—主观工作负荷支配(SA-Subjective Workload Dominance,SWORD)

SA-SWORD 方法(Vidulich),就是让两个操作者基于各自的情境认知/工作负荷感受来比

较不同的设计。这种方法的缺点在于很难对习惯与较高的情境认知之间的选择做出区别。

(4) 机组成员情境觉知法(Crew Situational Awareness,CSA)

CSA 方法(Mosier 和 Chidester)是用来测量运输机机组成员间情境觉知的一种方法。由专家评价机组成员之间的信息交互协作和操作反应错误。该方法对测量错误类型和决策提示非常有效,但是需要机组成员之间的频繁通信,并且需要许多专家共同制定信息交互的测量指标。

(5) 情境觉知监测评估表(Situational Awareness Supervisory Rating Form,SASRF)

SASRF 方法的研究起源于对 F-15 飞行员的情境认知测量。该评估表有 31 个条目,从一般特征到战术使用的方面都有涉及。由主试或同伴进行评估。Caretta 等认为在主试与同伴评估中的 92.5%不一致是由于飞行经验不足。

2. 情境认知的客观测量方法

(1) 基于操作绩效的测量方法

基于操作绩效的测量方法具有客观、非侵入、易收集等特点。但是基本操作的绩效测量存在着精度问题,并造成局部的测量误差,进而影响情境认知中变量测量的准确性和规律性。针对上述问题,一些学者使用更具体的任务作为情境认知测量的指标,如 Hansman 等使用允许补偿误差的方法测量机组成员间的情境认知(使用自动数据链系统);Zenyuh, Reising, Walchi and Biers 把测量目标搜索任务的操作作为评估立体显示中的飞行员情境认知指标。

(2) 嵌入式情境认知的测量方法

由于通过直接的操作测量评估情境认知的研究较少,所以更普遍的方法是采用在某个模拟场景中间接、嵌入地操作测量以评估具体的情境认知问题。Sarter 和 Woods 在 1991 年率先使用了这种方法。当涉及研究飞行员的操作行为是否会被某些事件的发生影响这个问题时,Pew 提出了一个作为嵌入式操作测量的例子。

第一个场景包括违反直觉的指示或较少的引导,在并行跑道上驾驶一架飞机,此时飞行员的反应时间作为对空间及周围活动的情境认知。第二个场景使飞行员失去方向感,如取消飞行仪表并测量飞机返回原来航线上的时间(即显示恢复时间)。Andre 在比较 2-D 与 3-D 导航显示器的研究中使用了该方法。该场景涉及仪表数据的异常,并在要求的时间内评估检测反常现象的情境认知。此时,飞行员注意力的集中应保持在被操作的数据上以便确保情境认知的任何变化都能被精确地测量到。

Endsley 认为嵌入式情境认知的测量(依赖于设计的场景)要求过多地影响了操作者,使之不能通过自己的方式处理一些情境认知的问题。对此,Wickens 提出了内隐情境认知的测量方法(在这里 Wickens 把内隐看作是非侵入的意思),其基本原则是使用较高的情境认知操作新任务时远好于使用较低的情境认知处理。该方法的缺点是较差的操作可能是较低的情境认知或较差的决策、执行造成的。

另一个间接、嵌入式评估情境认知的方法是信号检测理论(Fracker),具体如下:“假设事件 X 发生。如果飞行员意识到该事件的发生,那么他将以一种方式反应(击中);但是如果没有意识到该事件的发生,那么他将以一种不同方式反应(漏报)。同时对虚报和正确否定的测量也是必要的。一旦在执行任务过程中这四种反应被分别记录下来,可以用几种方法

计算飞行员的感觉灵敏度。由于如果飞行员没觉察到事件发生，那么其感觉灵敏度下降，反之，其感觉灵敏度增加，这种方法包括了对特定事件的经验和直觉推理的测量。”

Fracker 规定若使用这种评估情境认知的方法必须满足三个测量标准：首先，目标事件及其反应必须是明确清晰的、可计算的；其次，目标事件及其反应必须都是有限的；最后，目标事件及其反应是一一对应的。

Green 及其同事(Odom 和 Yates)根据信号检测理论于 1995 年提出了一个“理想观察者”模型。在这个模型中，任务操作仅由三个因素限制：外部噪声、内部噪声和功效(从外部环境采集信息的能力)。其优点在于，通过一个相对标准实现对情境认知的绝对测量，并可用多个显示或任务进行情境认知的比较研究。通过一个评估圆点的任务，研究者们使用模型预测了一个操作者在噪声中的决策能力，并确定了减小噪声、增大功效的因素。研究发现，在观察者中，不同程度的噪声和功效可被检测到并与模型预测的相一致。

Gugerty 和 Tirre 使用信号检测理论在 1995 年也提出了一个基于操作的嵌入式的任务测量以评估情境认知。他们把对刺激的错误反应当作“击中”，故而把危险检测(觉知)的记录从其他所有的决策/执行动作过程分离出来。这个结果是情境认知过程从全部操作中分离后得到的，而全部操作则是觉知与决策/执行动作过程的综合体。

Sarter 和 Woods 于 1991 年也提出了一个嵌入式场景操作评估情境认知。在该方法中，通过以某种出乎意料的方式改变显示信息(从而使模拟也得到了改变)，同时测量操作者是怎样、什么时候注意到这个变化。

(3) 基于生理指标的情境认知测量方法

有许多情境认知的生理测量方法被提出，如脑电图描记器(EEG)、眨眼率等。这些测量方法中的一些能够证实从环境中提取的信息是否已被认知注册。然而，由于一个人必须从所看到的、所理解的信息中进行推理，因而通过这些方法并不能准确地知道哪些信息被记忆、哪些信息被正确地感知、哪些信息被综合理解。

(4) 基于特征指标的情境认知测量方法

情境认知特征测量的目的是为了在不同操作者的情境认知能力的基础上发现感知、能力、智力上的个体差别。例如，Bolstad 在 1991 年设计了一套飞行员情境认知特征测量测试系统，主要包括空间能力、注意、记忆、感知能力、识别能力及性格因素，并与 SAGAT 测试(两者之间具有很高的相关性)得分相结合对飞行员的情境认知能力进行综合评判。

McMillan 于 1994 年提出了另外一个用于测试情境认知发生及保持的特征、技能、能力的系统，并对一个中队的空军飞行员进行了专家打分，主要包括工作记忆能力、多任务操作能力、空间知觉能力等。

(5) 基于过程/行为的情境认知测量方法

顾名思义，情境认知的过程测量与情境认知的结果测量联系较少，更多的是获得情境认知的过程及策略。眼动跟踪仪就是一个测量操作者信息获得及注意分配过程的范例。口头协议则是获得并保持情境认知过程的又一过程方式(Sullivan 和 Blackman)。Mosier 和 Chidester 于 1991 年使用通信频率作为商业驾驶舱中组员间情境认知的测量指标。Tenney 等在 1992 年提出了一个基于模式的情境认知过程测量方法，使用这种方法，可以把人的模式行为动作、知识状况、信息处理策略等编程处理以得出情境认知。这种方法允许研究者弄

清支持有效情境认知的层次结构。其好处在于可以不打断正在进行的模拟试验收集数据。

根据 Tenney 等人的想法，一个人—机操作模型应包括：①一个设定的环境；②有一些系统因素可以影响人的操作控制性能；③在人—机交互中有具体的目标和任务；④表现出人的操作能力和限制，如视觉扫视规则及基于资源的工作负荷限制。在有过多的监视要求和任务负荷的情况下，该模型通过跟踪记忆内容和任务执行程序可以提供线索提示缺乏情境认知与否。

4.4.2 情境认知各种测量方法的比较

通过分析我们可以看出，以上这些不同类型的情境认知测量方法都有其适用的范围，都有各自的优缺点。由于大多数情境认知的定义都是以结果为基础的，所以大多数测量都是评估情境认知结果的，只有少数是针对情境认知的特征、过程或条件的。如果不考虑这些差别，那么是很容易选择测量方法的。通过对情境认知测量的讨论我们可以得出以下结论。

首先，测量方式是根据研究者可操作的情境认知定义来选择的，要用绝对统一的条件评论不同的测量是比较困难的，这是由于研究者对情境认知的概念、可操作定义的不同造成的。

其次，如果大多数情境认知的研究都是基于结果的，那么大多数情境认知的测量是集中在对情境认知的结果的评估上。

再次，大多数研究者采用照字面的方式去定义认知，这是因为他们认为情境认知的测量仅仅揭示了操作者所意识到的（外显的知识）和那些通过主观的调查能够清楚说明的知识。如此，他们就不能获得操作者的内隐知识。相比之下，一些研究通过使用嵌入式的任务操作指标试图揭示内隐的（和外显的）情境认知，但是这些方法常常忽略了情境觉知、决策和反应选择间的区别。

最后，几乎所有的情境认知测量都缺乏一个演绎的标准定义。毕竟，如果在测量情境认知之前，我们没有定义一套外部目标及达到这些目标的标准，那么我们又怎么能判断一个操作者情境认知的绝对质量呢？所以，对情境认知的研究需要一套完整的测量（包括对特定情境下的注意、工作负荷及操作者内隐和外显情境认知的综合）方法，既包括陈述性的形式，又包括程序性的形式，这将有助于理解注意、工作负荷对该情境下操作者认知的影响。总之，在对任何情境认知测量评估之前，首先要建立一套情境认知的标准测量方法。

4.4.3 情境认知测量实例分析

一般而言，在飞行过程中，当检测到某个信号或事件（如仪表/外景变化）被触发时，飞行员一般会通过注意力分配测定它的紧急程度、程序及与目标的联系，形成内隐/外显的情境认知。同时，飞行员的经验、操作绩效差别也反映出情境认知的水平变化情况，对于有经验的飞行员，许多特定情境的出现常常会激活他的熟练操作模式，从而反映出他们出众的训练水平或信息处理能力，或完全的情境认知评估技能，以至于在不增加工作负荷的情况下产生“自动性”反应，进而可以在不出错的情形下从事多项任务。

评估、测量不同熟练程度飞行员的认知过程及策略的方法很可能有利于洞察每种情境认知及策略的好坏，因此，我们对情境认知的测量不仅要考虑不同工作负荷下的操作绩效，还将把认知过程（尤其是扫视和注意力分配）作为形成飞行员情境认知的基本因素来考虑。

这对于量化飞行员情境认知技能的训练或飞机座舱人机交互界面的设计都是非常重要的。另外，我们的测量方法既要考虑情境认知结果，又要考虑过程。

为开发一个有效的、综合的方法去研究飞行员情境认知的测量，需要重点考虑下列问题。

(1) 不同任务阶段情境下飞行员的扫视(注意)变化；

(2) 工作负荷与任务难度的关系；

(3) 工作负荷与情境认知的关系；

(4) 经验与情境认知的关系。

下面将分别对这几个方面进行阐述。

1. 使用 SAGAT 调查法研究扫视(注意)变化情况

要求飞行员在试验(驾驶模拟器)进行某一点时暂停并在重新开始前回答有关自己在当前情境下对各仪表或外景的扫视(注意)策略情况。比较不同级别被试者的测试结果，其具体测试过程如下。

(1) 飞行员飞一个模拟阶段；

(2) 模拟在关键处暂停，情境不消失；

(3) 按编排的问题调查飞行员在此时对各仪表/外景变化的扫视(注意)策略情况；

(4) 试验结束后，把飞行员的回答(觉知的)进行实际记录，得出较客观的情境认知测量结果；

(5) 通过被试者重复两次试验以获得满足要求的有意义的结果。

2. 使用 NASA-TLX 及 SWAT 法调查飞行员的工作负荷

飞行员工作负荷的主观测量方法是指让飞行员陈述飞行过程中的脑力负荷体验或根据这种体验对飞行作业项目进行过程排序、质的分类或量的评估。方法的理论基础是操作者心理资源耗费的增加同他的努力程度联系并能准确地表达出来。

典型的主观测量方法是三个等级量表 NASA-TLX 量表、主观负荷评价技术 SWAT 和修正的库柏哈柏法 MCH。NASA-TLX 量表涉及六个负荷因素：心理需求、生理需求、时间需求、操作绩效需求、努力需求和挫折。这些因素被赋予不同的权重，评价结果是一个总的负荷评价。SWAT 方法把时间、压力和努力看作是三个引起脑力负荷的主要因素。每个因素有分高、中、低三个水平，最后合并成一个脑力负荷测量指标。MCH 量表由一系列的问题组成，是评价飞机驾驶难易程度的单维量表，可进行作业负荷的综合评价。NASA-TLX 和 SWAT 量表是多维量表，在敏感性和诊断性方面效果相近。但是，NASA-TLX 和 SWAT 方法分别是通过各自不同的维度测量诊断性的。这三种主观测量方法间存在一定的相关，在航空界都有广泛的应用。

主观测量方法的主要好处首先在于，这是一种脑力负荷的直接评定方法，操作简单，容易让操作人员接受；其次，由于是事后进行，方法不对主任务产生侵入性，Eggermeier 和 Wilson 研究发现，如果不是复杂的多任务操作，任务完成后 30 分钟内的脑力负荷评价结果没有多大差异。主观测量方法使用统一的维度评定，可以对不同情境、不同机型和不同飞行员的负荷测量结果对比。此外，主观评定不仅能区分超负荷与非超负荷，而且对中、低负荷水平的变化也较敏感。由于这种方法效度高，无侵入性，使用经济，近 20 年来一直受到研究人员和使用者的重视，是最受欢迎的脑力负荷测量方法。

我们采用的方法就是要求飞行员在试验(驾驶模拟器)结束后结合 NASA-TLX 和 SWAT 调查表制定的有关问题进行打分(NASA-TLX 和 SWAT 调查表详见附录 1)。

3. 研究不同阶段中工作负荷与情境认知间的关系

飞行员情境认知测量的影响依赖于具体情境下被试者工作负荷情况的变化。当前国外测量情境认知时,大都研究相应情境下的工作负荷变化情况。最新的研究结果表明两者之间并不存在一致性关系。

4. 使用不同的飞行员比较经验与情境认知间的关系

有关情境认知研究的一系列心理问题,概括起来分为两组:感知—运动问题、认知问题。感知—运动问题包括感觉的敏锐度(如视觉)、感知和模式的识别、运动控制。有证据表明在飞行中的感觉敏锐度是可以训练出来的。认知问题包括自动性、近极限处理和熟练的记忆。

高级飞行员高超的技术常常可以通过具体环境中的熟练操作表现出来,也可以从他快速准确地对环境线索和模式进行评估的能力(作为高层情境认知建立与保持过程的一部分)分析出来。一般认为高级飞行员具有多种事件模式的记忆储备并可以在需要时提取出来。

评估这种表现出来的知识储备程度很可能是有关准确测量飞行员知识和记忆(内隐情境认知的一部分)的一个基本因素。高级飞行员常常能够凭借他的经验从得到的线索或模式中得出准确的推理,进而在复杂多变的环境中做出正确的决策并采取相应的行动。然而,他们经常不能清楚地说出在评估中注意的线索及怎样运用的这些线索。通过调查分析高级飞行员与飞行员学员在情境中扫视线索或模式的能力及其对决策、操作绩效的影响程度的差异来反映,这也可能是测量经验与情境认知的一种有效途径。

我们将采用测试不同级别飞行员情境认知有关特性的对比研究方法,通过检测飞行员个体情境认知品质之间的差异来反映经验与情境认知的关系。

总之,我们对上述四种关系的研究将涉及情境认知的过程及其结果,即我们的方法既包括对过程的测量,也包括对结果的测量,较好地解决了有关测量情境认知的争议问题(应该测量其过程还是结果的问题),为情境认知定量评价模型的有效验证打下了基础。

4.5 情境认知定性分析模型与定量评价模型的比较

通过对情境认知定性分析模型及其具体成分测量的研究,建立起情境认知的定量评价模型是工程应用研究的最终要求。表 4-9 所示是情境认知定性分析与定量评价模型之间的特点比较,通过该表我们可以直观地看出两者之间的差别。

表 4-9 情境认知定性分析与定量评价模型的特点比较表

类型	特点	优点	缺点
定性分析模型	定性分析	反映实际的 SC 过程 能够处理定性约束	缺乏预测能力 提供的是模糊、不可扩展的结论 不能计算
定量评价模型	假设或理论驱动 定量分析	规定 SC 过程 支持计算实现 支持 SC 的客观测量	研究成本高 有应用限制

4.6　情境认知的降低与提高

4.6.1　情境认知的降低

正如以上所述，情境认知的降低与较差的系统操作特性有关。Endsley 及其合作者对情境认知降低的牵连状态进行了专门的研究。他们认为情境认知降低的人对正被控制的系统问题检测反应较慢，而且当检测到问题并采取相应的诊断和补救处理活动时需要另外的时间。Jones 与 Endsley(1996)分析了 143 起航空突发事件及相应的飞行员和机组人员错误级别，如表 4-10 所示。这两组在 SA 第一级中犯的错误占很大的比例，而空中控制人员在 SA 第三级中的错误比飞行机组人员要高。这大概有两个主要因素：①他们大部分工作是预测/规划未来的状况；②他们在难以处理的动态空间内被要求跟踪许多对象。

表 4-10　143 起突发事件中飞行员和空中控制人员 SA 每一级别上的错误比例(262 个错误)

级别/人员	飞行机组人员	空中控制人员
SA 第一级	77.4%	72.4%
SA 第二级	21.1%	17.2%
SA 第三级	1.5%	10.4%

Jones 与 Endsley(1996)基于三层模型也进行了人的错误分类，详见表 4-11。分析表明了空中控制人员与飞行机组人员整个的错误情况。

表 4-11　基于 143 起航空突发事件的 263 个错误分类

级别	错误类型描述	比例(%)
SA 第一级	数据不可用	14.0
	数据很难检测或区别	11.1
	没能观察或监视数据	35.1
	误解数据	8.7
	忘记数据	8.4
SA 第二级	缺乏或不完善心理模型	6.9
	使用不正确的心理模型	6.5
	过分依赖系统设定值	4.6
	其他	2.3
SA 第三级	缺乏或不完善心理模型	0.4
	当前趋势预测过度	1.1
	其他	1.9

Jones 与 Endsley 得出结论：到目前为止，错误的最大比例是由空中控制人员或飞行机组人员对数据观察或监视的疏忽造成的。减少这些错误首先应使用更好的数据显示方式和提高情境判断策略的训练。在另一项涉及情境认知的操作错误研究中，Dorso 等人(1998)对有情境认知的空中控制人员与无情境觉知的空中控制人员之间的错误进行了比较研究。

他们研究了1993年的388份操作报告档案。从这些报告中,专家认为有62%的空中控制人员没有“觉知”操作事故的发生,38%的空中控制人员虽然“觉知”到这种情境但不能及时地校正。该技术因素的分析见表4-12。

表4-12 技术因素分析见表

技术错误类型	没觉知到的	觉知到的
计算机输入	12.2	2.7
飞行状态刷新	8.4	9.9
错误辨识雷达显示	12.2	10.7
雷达显示数据不适当的使用	51.2	67.4
通信	28.9	14.3
复述	21.0	11.4
协调	12.9	7.9
在协调中交流信息的不适当使用	1.0	4.1
提交咨询	4.8	0.7

从表4-12中的分析可以看出,“觉知”到的控制者更可能不适当地使用显示数据,而没“觉知”到的控制者更可能在数据输入、通信和复述中出现错误。Dorso等人(1998)继续根据感知、注意、记忆和决策的基本心理机理对每一种错误进行了分类。如果是由于控制者看错或听错信息,那么这种错误就归为“感知”类;如果是由于控制者分心或不注意引起的错误,就归为“注意”类;如果是由于控制者忘记或混淆信息,那么就归为“记忆”类;最后,如果是由于控制者较差的判读、较差的理解、较差的判断力、较差的推理或较差的规划造成的错误,那么就归为“决策”类。具体对“觉知”与没“觉知”到的控制者心理因素的分析见表4-13。

表4-13 基本心理机制的技术错误表

心理机制	没觉知到的	觉知到的
感知	24	14
注意	26	24
记忆	32	18
决策	38	56

注意:一个操作错误可能由多个心理机制造成,使整个比例超过100。

如表4-13所示,觉知到的控制者所犯的错误更可能与决策有关,而没觉知到的控制者所犯的错误在四个机制中比较平均。乍一看,就会有这样一种担心:好像“觉知”到的控制者的决策错误更多。然而,这些数字只是作为整个错误数量的一个比例表示,有理由认为随着情境觉知的提高,除了错误类型上有一个比例的变化外,错误的绝对数量将会减少。在人的技能获得效果方面也有类似的看法(Reason,1990)。

根据上述论证,对情境认知错误类型的理解有助于决定有效对策的策略研究。

4.6.2 情境认知的提高

Endsley(1995)认为系统的设计应当尽量地支持并增强情境觉知。为此,她对增强情境认知提出了一套界面设计标准。

(1) 减少对人的计算要求。
(2) 使用 SA 第二级(综合理解)和第三级(预测规划)的方式表现数据更好一些。
(3) 组织信息的方式与人的目的/目标要一致起来。
(4) 系统的状况或当前模式指示器有助于提示正确的情境觉知。
(5) 在危急(临界)事件发生期间应提供危急(临界)提示信号以引起高度的注意。
(6) 通过一个操作者目标情境全面纵览以支持全局情境觉知。
(7) 系统支持对未来事件的预测规划并且状态支持 SA 第三级(预测规划)。
(8) 系统设计应该是多模型并能综合显示来自不同源的信息,而不是顺序地显示以支持信息的并行处理过程。

同时,这些规则的大部分的应用将预示着一个好的设计,通过它们可以为提高情境认知提供一个设计参照系。如果不考虑情境觉知,这些标准也可以提供显而易见的参考。

在一个情境认知概念和方法广泛应用论证实例中,Gaba 与 Howard(1995)对麻醉学者进行了研究。他们认为情境认知是一个基本的认知技能(在动态、复杂、不确定环境下要求专门操作的所有情境整体)。作为一种技能,Gaba 与 Howard(1995)认为情境认知的许多方面可以被训练和教授。

(1) 有关显示扫视的练习可以把感觉增加到最大限度;
(2) 使用扩充的一览表以确保不丢失有关的数据;
(3) 注意力分布的明确训练;
(4) 多任务的练习;
(5) 模式识别和模式匹配的训练。

有时从表面上看这些建议似乎显而易见并只是重复早就有的这方面的想法,情境认知只是通过一个简单统一的概念把这些想法综合起来。有些学者已经把情境认知训练具体融入到了机组资源管理(Salas,1999)程序。这些程序对提高紧急情况下的适当的显示、动态工作负荷的分配、通信、反馈和策略等方面的及时采样很有帮助。

4.7　团队情境意识

在很多系统和组织中,人们并不是单独工作的,而是以团队中的成员这种形式工作的。因此研究团队中个人的情境意识,以及团队这个整体的情境意识都很重要。为了理解团队情境意识需要什么,我们需要定义团队的组成。团队不仅仅是个体的集合,团队有很多特点及属性。Salas 等人在 1992 年对团队下的定义是:“两个或两个以上人的可区分的集合,成员间动态的、互相依存的、适应性的相互作用,并有同一个有价值的目标/目的/任务,其中每个人都有特定的角色或作用,以及每个成员都有一定的成果关系限制。”

团队情境意识指“每个团队成员为完成自己的责任所具有的情境意识的程度”,团队的成败取决于每个团队成员的成败。如果团队成员中任意一个人情境意识较弱,这可能导致工作中的关键性错误,从而使得整个团队不能成功。从这个角度而言,每个团队成员都需要具备与自己工作相关因素的较高情境意识。如果团队中应该知道这个重要信息的人不知道此信息,而其他的成员知道,这也是不充分的。

在团队中，每个成员都有对应其特定角色的子目标，此目标支撑着整个团队的目标。与成员子目标相关的是成员所关注的情境元素集合。由于团队成员在实现团队目标时在本质上是相互依存的，所以我们应着重研究每个成员的子目标及其情境意识之间交叉的部分。正是这些信息集组成了很多团队的协调性，并通过口头交流、复述呈现的信息或其他方式可以保持(团队)协调。

1. 情境意识的共享

共享情境意识指“团队成员拥有相同的情境意识或共享的情境意识需求”(Endsley)。根据此定义可知信息需求与多个成员有关。团队工作一个重要的部分包括情境意识需求所重叠的部分——就像团队成员间必不可少的相互依赖。在工作效率低的团队，两个或更多的成员可能对这些共享情境意识需求的评估不尽相同，因此行动结果常常协调性较差，甚至不能完成任务目标。相反在运行顺畅的团队，每个成员都共享着情境意识元素，并对未来的趋势具有相同的理解。

2. 团队情境意识模型

团队情境意识可被视做整体，因此它取决于每个团队个体的高层情境意识以及成员间高层共享情境意识，它能提供给每个成员所需要的精确情境运作预测。Endsley 和 Jones (2001)提出了一个团队情境意识模型，该模型可解释团队在成员间如何发展高层共享情境意识(见图 4-20)。需求、设备、途径和进程这四个因素帮助建立团队和共享情境意识。

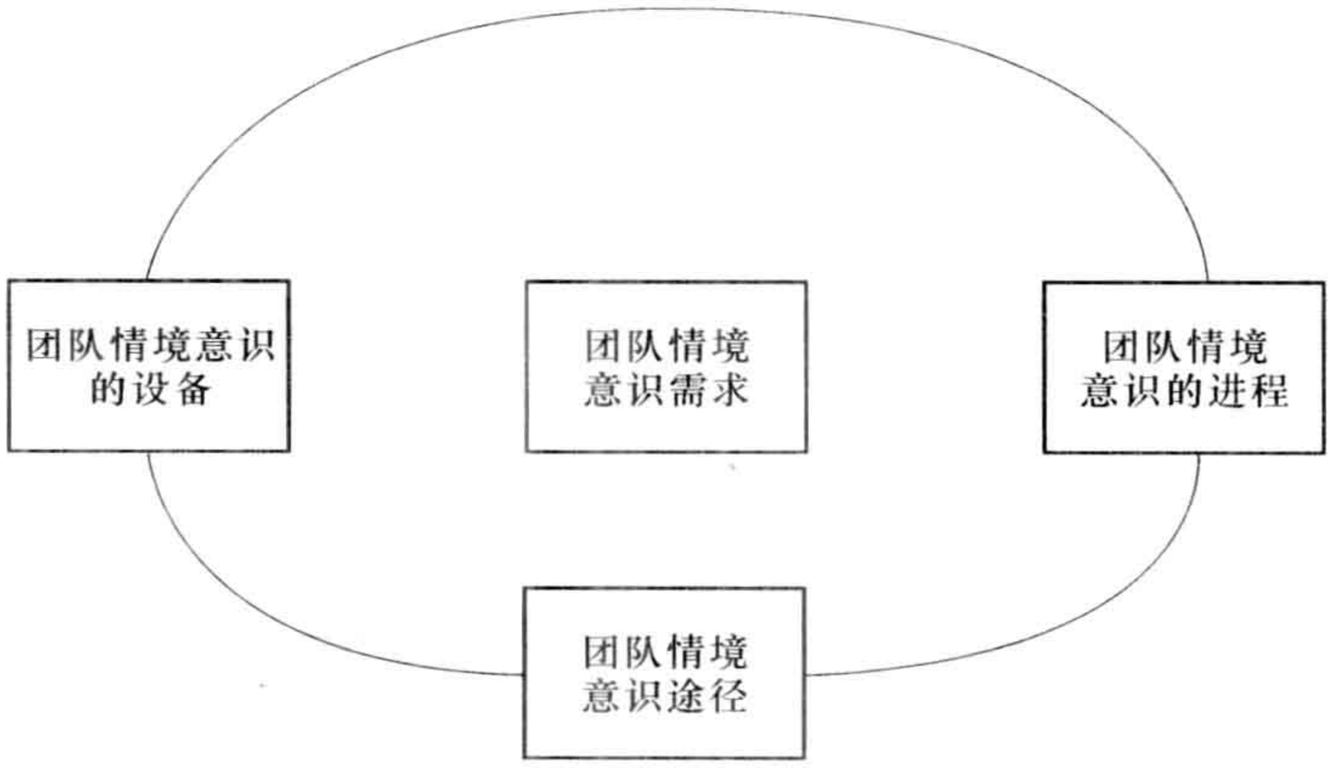


图 4-20　团队情境意识模型

(1) 团队情境意识需求。团队成员知道哪些信息需要被共享，包括他们高层评估和预测(对个体成员有用)，以及关于团队成员任务状态和当前能力的信息。

(2) 团队情境意识的设备。这些设备对共享这些信息是有用的，包括直接交流(言语和非言语)、共享显示(例如视觉或听觉或触觉的显示)、共享环境。非言语的交流，如手势的示意，在分散较远的团队中是不适用的，在这些地方更加强调言语交流和产生共享信息展示的通信技术。

(3) 团队情境意识途径。成员们拥有的途径，例如共享支持他们在相同的模式下解释信息并根据每个人的行为做出相应预测的思维模型。共享思维模型能很好的促进团队交流和协调。

(4) 团队情境意识的进程。团队成员参与有效的共享情境意识信息的进程，信息包括团队怀疑性的推测、校对相冲突的信息或预测、协调并排序任务以及建立应急预案。

4.8　飞行员情境认知中注意力分配研究举例

飞机驾驶是一个复杂的高难度任务，任务的顺利完成高度依赖于视觉信息的有效获得，依赖于注意力的合理分配。在飞机座舱视觉显示信息日益增加的今天，正确理解飞行员的视觉扫视行为，从中获取有关注意力分配的有效信息，逐渐成为越来越多的专家关心和研究的热点。利用眼动追踪技术对飞行员的扫视模式进行研究是研究者们普遍采用的研究手段。Fitts 等早在 20 世纪 40 年代末就率先对飞行员的仪表扫视行为进行了一系列研究，研究结果奠定了经典的“T”型仪表布局。当今，国际上对飞行员的眼动行为研究的较多的是伊利诺伊大学的航空学院和依阿华大学的操作绩效实验室，研究成果为飞机座舱设计和飞行员的选拔与培训提供了有效依据。

对飞行员进行问卷调查也可以获得他们的仪表扫视行为的信息，但是这种问卷只能作为辅助参考手段，因为在飞行中飞行员并不能一直清楚地意识到自己在看哪里，特别是在高负荷的情况下，飞行员会产生“认知隧道效应”。眼动追踪技术是一种客观的测量方式，能准确测量飞行员的视线和注视位置，眼动数据也可以揭示飞行员的心理活动和心理负荷状况。在飞行中，飞行员主要是通过对座舱内的仪表和座舱外的视景的不停扫视来获得信息，控制飞机飞行的，我们的实验研究目的就是利用眼动追踪手段对被试者在座舱仪表和外景的眼动扫视行为进行测量，分析他们的眼动数据，从而得到飞行员在不同任务情景中注意力分配情况。

实验对象为四个在军用模拟器上受过长时间专门训练的模拟飞行员，训练时间都在 100 小时以上，能够完成各种基本模拟飞行任务。年龄从 22 岁到 34 岁，平均为 29 岁。他们的视力全部正常，双眼视力都在 1.0 以上。

实验设备包括飞行模拟器和眼动追踪系统。模拟器的原型是一军用战斗机，具有较高的效度，包括真实的座舱、操纵杆、油门杆、方向舵和真实的飞行动力系统，能完成飞机的加速、减速、俯仰、偏航和横滚等的基本控制。仪表显示在一个 10×12 的液晶显示器上，包括高度仪表、速度仪表、姿态仪表、航向、升降速度等主要的飞行仪表，座舱外的视景由投影仪投影到前边的屏幕上，产生的视角为 90°。

眼动数据的测量采用的是最近开发的头盔式 eyelink II 眼动测量系统。系统有一个场景摄像头，可以对实验场景和过程录像，录像和眼睛位置数据叠加后以视频的形式存放到硬盘上，对视频数据回放分析就可以准确地知道被试者扫视仪表的次序和视线的位置。系统允许被试者自由地转动头部，平均凝视位置误差小于 0.5°，采用瞳孔和角膜反射追踪模式，眼睛的位置由两个红外摄像头追踪，采样频率是 250 Hz。飞行任务示意图如图 4-21 所示。

实验要求被试者按照目视飞行规则(VFR)在无风晴朗的天气完成三种模拟任务。任务一要求被试者完成一个大约 50 s 的降落任务，从距离地面 400 m，距离跑道中心 5 400 m 对正跑道的位置开始。任务二要求被试者完成一个大约 60 s 的平飞任务，开始位置和任务一相同，最后从跑道正上方穿场飞过。任务三要求被试者完成一个大约 40 s 的爬升任务，开始

位置和任务一相同，任务具体场景如图 4-21 所示。

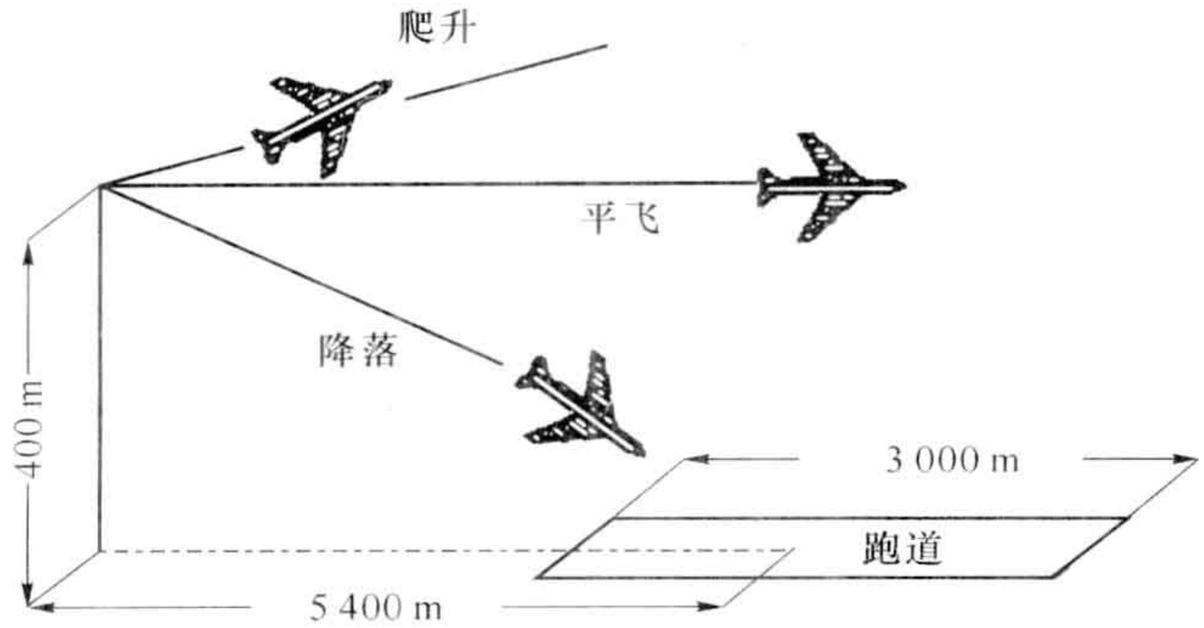


图 4-21　飞行任务示意图

每一个被试者开始任务前，都要接受关于实验任务的研究背景介绍，然后让被试者带上头盔式眼动系统进行调节和标定程序，标定好后让他们坐进座舱，先让被试者练习 5 min 以熟悉任务，然后开始正式实验。每一个被试者开始任务前都要重新进行标定，执行相同的程序。

实验结果分析如下。

为了研究需要，和许多眼动研究员一样，我们采取划分兴趣区域(AOI)的方法研究飞行员的扫视模式。由于座舱仪表和外部视景是被试者的两个最重要的视觉信息源，我们就划分 2 个兴趣区域，外部视景兴趣区域(OV)和座舱仪表兴趣区域(IP)，如图 4-22 所示。对实验测得的原始的注视点位置数据进一步处理，得到注视点百分比、注视时间百分比、注视点的平均注视时间三个指标。这几个眼动指标是航空领域眼动研究中常用的几个指标，对于测量特定任务情景中飞行员的注意力分布和分配特征具有较高效度的诊断性，试验中我们还记录了被试者的平均瞳孔尺寸大小。

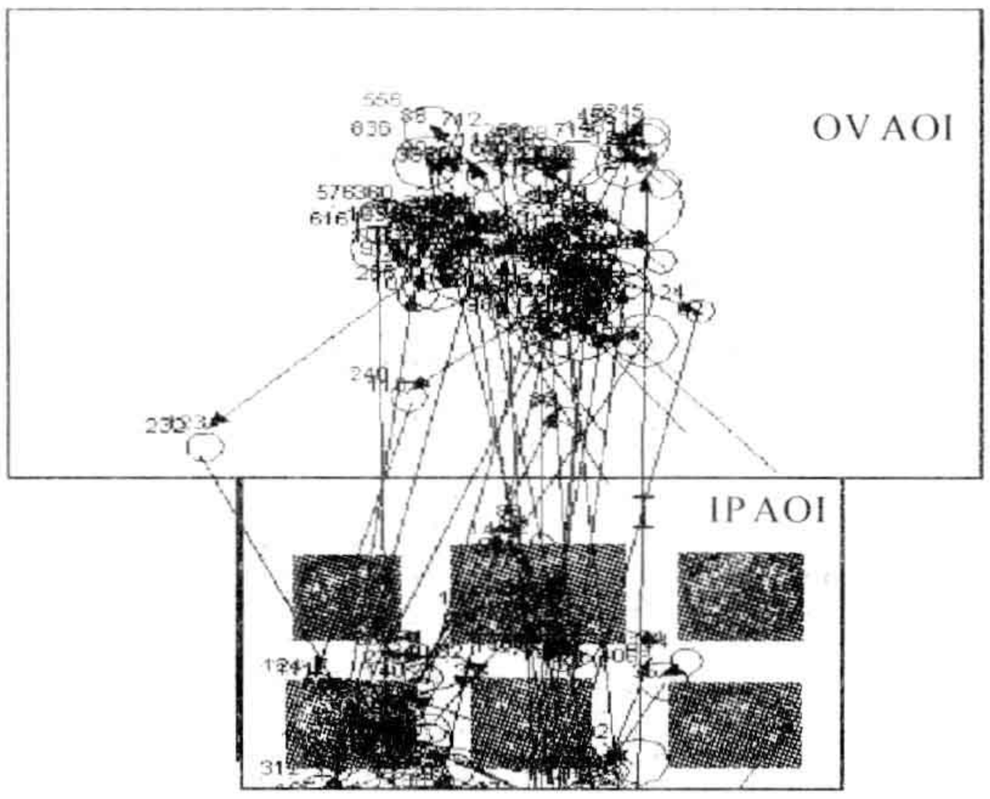


图 4-22　兴趣区域划分和眼动扫视示意图

注视点百分比是指落在每个兴趣区域内的注视点数目和总注视点的比值，和注视频率密切相关，用来描述不同任务场景下对某一区域注视点的数量或者注视次数。从图 4-23 可明显看出，被试者在外部视景比座舱仪表有更多的注视点分布，在降落过程中外景的比重比平飞(P=0.006)和爬升任务(P=0.015)百分比更大，爬升和平飞任务之间没有差异(P=0.801)。

从视频数据的回放中可以看到不同任务中观察的仪表有不同的侧重，降落任务的观察仪表只有速度表，而平飞任务对升降速率表和高度表检查较多，爬升任务注视速度表、升降速率和航向表较多。Bellenkes 等人研究了仪表飞行规则(IFR)下飞行员对不同仪表的扫视行为，发现当方向变化时看高度计较多，当方向和高度同时变化时看速度计较多。对一个信息源的注视点频率的大小代表了该信息源的重要程度，可以作为座舱显示信息设计优化的参考依据。

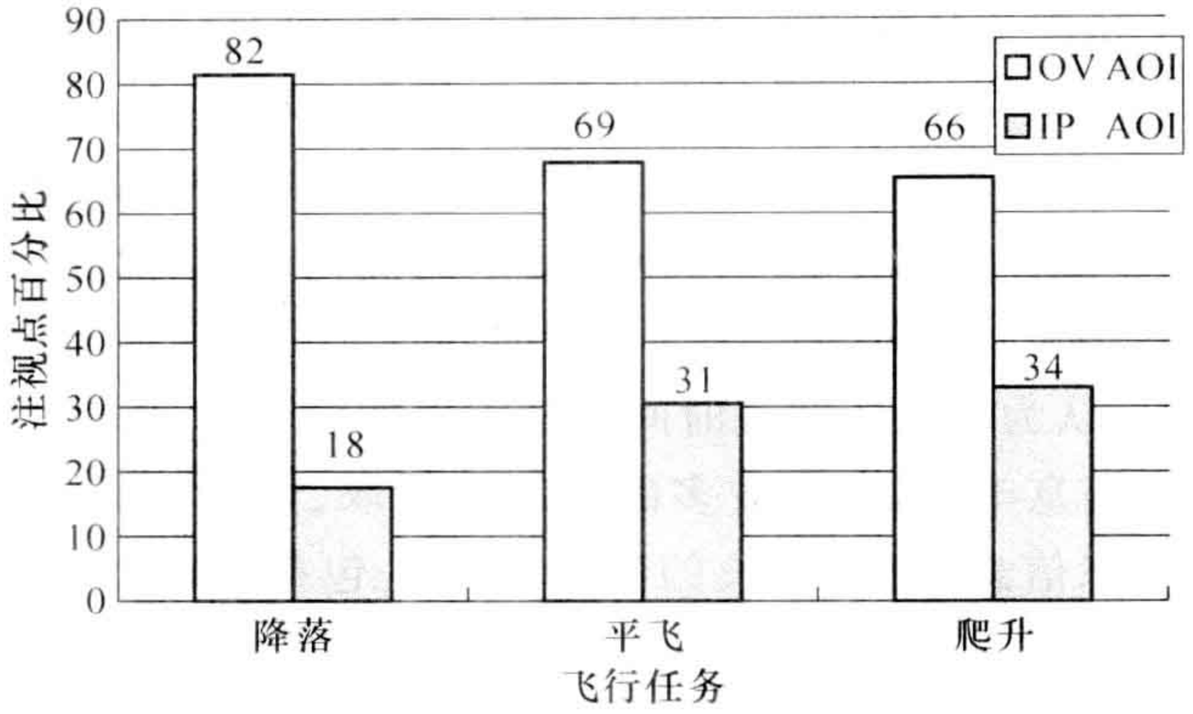


图 4-23　三种任务下注视点在两个兴趣区域的百分比

兴趣区域内注视时间百分比是指在每个兴趣区域内的注视时间和任务过程中全部注视时间的比值，注视时间百分比体现了被试者对兴趣区域关心的程度，常被航空领域的研究者们用来测量被试者的注意力分配程度。从图 4-24 可以看出，飞行过程中，被试者的注意力主要集中在外景，尤其是降落任务，在外景比平飞($P=0.001$)和爬升($P=0.005$)集中了更多的注意力，爬升和平飞没有显著差别($P=0.162$)。飞行员主要是靠速度、姿态、航向、高度控制飞机完成各种飞行任务的，目视飞行规则下，飞行员可以靠观看远方的天地线、地面的跑道、机场、地形和建筑就能获得关于飞机的高度、姿态、航向的主要信息，特别是在降落任务中，机场的跑道包括了飞机的姿态、航向和高度的全部信息，飞行员基本可以不看飞机座舱内的参考仪表就可以控制飞机飞行。

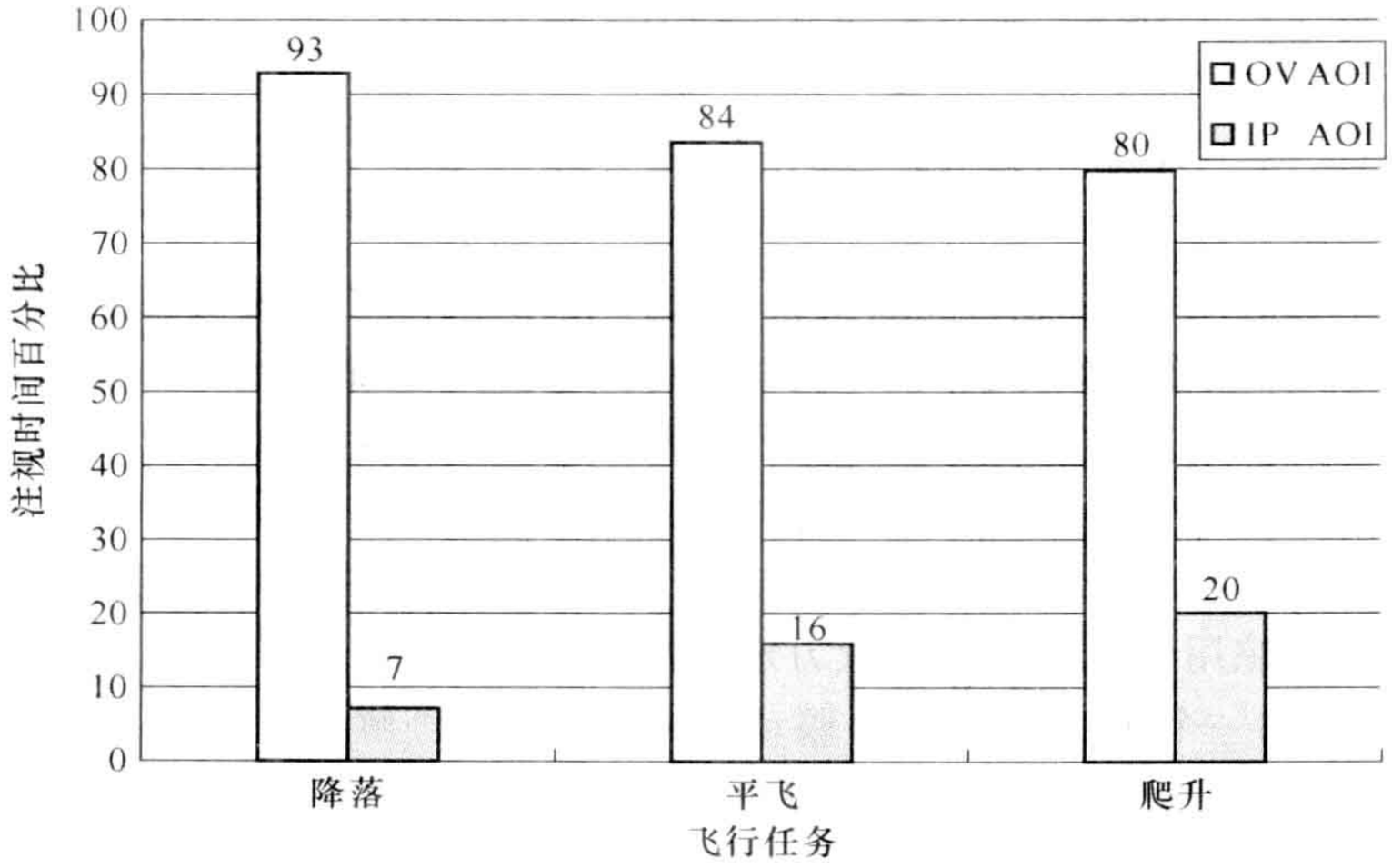


图 4-24　三种任务下两个兴趣区域内注视时间百分比

研究者们曾做过各种模拟飞行任务下的注意力分配实验，结果不尽相同。Kasarskis，P等人对6名熟练空军飞行员和10名新手在降落过程中的扫视行为进行了研究，发现飞行员有13%的时间扫视内部仪表面板，87%的时间看外部世界。在通用商业航空飞行中的巡航阶段，Wickens等研究发现，基线飞行中大约60%的时间用于看座舱内部仪表，40%的时间用于看外部世界。自由飞条件下看内部仪表的时间达到了80%。事实上，同军机飞行员相比，商业飞行员通常更依赖于从仪表获取信息，他们对外景的视觉依赖程度很小。我们的降落任务情景和Peter、Kasarskis等人的任务相似，结果也比较接近。

注视点的平均注视时间是指任务中的总注视时间和全部注视点数的比值。Fitts和他的同事们测量的平均注视点时间在360～900 ms之间变化，其他大多数研究者的结果在200～600 ms之间。从表4-14看出外景的平均注视时间远大于在仪表上的时间，大约是内部仪表的2倍多。研究者们认为较长的注视时间有两种可能的原因：①信息难以提取，需要较大的认知努力；②信息源信息丰富，需要较多的时间去读取。外景有天地线、机场跑道等的高度信息、航向信息和姿态信息，所以较长的时间可能是包括了以上两个原因。所以他们认为，延长的注视时间会导致认知负荷的增加，注视时间的长短可以判别认知负荷的变化。对3个任务的外部视景的平均注视时间做T检验的结果是，降落任务与平飞任务的值存在显著差异($P=0.031$)，爬升任务与平飞任务存在显著差异($P=0.042$)，爬升与降落任务无差异($P=0.410$)。以上结果表明被试者获得的视觉信息主要是来自外部视景，飞行员主要依靠从外景获得视觉信息来理解情景做出决策和控制飞机，对于内部仪表只是进行快速地循环检查。降落任务与爬升任务比平飞任务的视觉认知负荷重。由于爬升任务和降落任务的难度大，特别是降落任务，飞机必须精确地着陆，所以必须获取足够的信息，进行复杂的信息处理才能够完成任务，表现为较长的平均注视时间。可以看出平均注视时间是工作负荷大小的一个良好指标，有较高的诊断性，它随着任务难度的增加而延长。另外，它也可以用来诊断飞机座舱信息设计的可读性，设计良好的显示信息可以减少注视时间。

表4-14　不同任务兴趣区域内的注视点的平均注视时间/ms

	降落	平飞	爬升
外部视景	594	501	586
内部仪表	250	220	276

眼动的注视点位置和注意的焦点是紧密相关的，研究人员认为眼动是测量注意状态的敏感指标。虽然在没有眼动的情况下，被试者可以容易地将部分注意隐蔽地分配到其他视域位置，大多数研究者还是把眼动追踪技术作为定量测量注意力的手段，认为注视点位置的改变伴随着注意焦点的切换，注视点时间的长短反映了被试者对目标位置注意时间的长短。特别是航空领域的眼动研究都是基于任务的，由Top-down机制驱动眼动，受主动意识控制，所以把眼动追踪用于飞行员的注意力定量测量是很有效的手段。单一的眼动指标只能反映注意力状态的一个侧面，综合多个眼动指标才能全面理解和描述飞行员的注意力状态。

实验测得的外景和仪表的注视点比率的大小，反映了在兴趣区域内注意力焦点切换的频度，在外景注意焦点切换频繁。注视时间的比率反映了在整个任务中分配在兴趣区域内的注意力比重的大小，而注视点的平均注视时间反映了在兴趣区域内注意焦点平均每次注

意力持续时间的长短。整合这三个指标，就可以知道被试者如何在兴趣区域内以及兴趣区域之间对注意力进行保持、切换和分配，研究结果可以为飞行员训练和实际飞行提供参考。在降落阶段空军训练时，美国要求飞行员重复地在跑道和速度表之间进行视觉扫视。目视飞行规则飞行时，美国联邦航空局建议了一个他们认为可以加强空中交通中视觉搜索最佳的扫视策略，推荐飞行员应该把大约 70%的视觉注意力分配在座舱外边。美国的飞机业主和飞行员组织推荐飞行员以 2∶1 的时间比率看座舱外部和内部，或者用“扇区扫视”或者用“略视扫视”方式。

通过以上分析和讨论，我们认为，不同的任务飞行员会有不同的注意力分配策略和扫视模式，降落任务比平飞和爬升任务在外景分配有更多的注意力比率和更多的注视点比率；在三种任务下，按照视觉飞行规则，飞行员的大部分注意力都集中在外景，只分配少量的注意力对座舱内的仪表进行快速地循环检查；在外景注视焦点多，注意力切换频繁；被试者主要是从外景获取信息。眼动追踪技术是一种客观准确的注意力定量测量手段，眼动指标对于分析被试者的工作负荷也有较好的诊断性。眼动追踪技术的研究成果可应用于座舱显示信息的设计和培训飞行员。

自从 Fitts 等用摄影技术测量飞行员的眼动行为以来，眼动追踪手段在航空领域中的应用研究进行了将近 60 年。由于眼动测量设备的限制和测量结果精度的考虑，眼动在航空领域的应用研究还处于实验室阶段。实际航空飞行处于一个复杂的环境中，变化的气象条件、变化的地形、其他地面或者飞行器的干扰都会影响到飞行员的心理，引起飞行员扫视模式的变化和注意力的重新分配，这在实验室里是难以完全模拟的，期望随着眼动测量技术的不断进步，将来能够探测到实际飞行中飞行员的眼动行为，向着应用研究迈进一步。

第 5 章　人机界面中人的控制特性

5.1　感觉—运动

5.1.1　动作的速度和准确性

一般来说，速度是完成动作的主要要求。但在诸如跟踪动作（它要求连续的控制）、某些要求有准确性和控制性的定位动作以及进行某些操作活动时，准确性就成了主要要求。然而在某些情况下，可能速度和准确性两者都需要。

许多动作是由某些外部刺激（听到警告信号）而引起的。在受到这种刺激后所做动作的时间，实际上包括一组延迟的时间。这些延迟的性质及其典型的时间（以毫秒表示）范围如下：接受器的延迟为 1～38 ms；神经传达至外皮的时间为 2～100 ms；中枢神经加工延迟为 70～300 ms；神经传达到肌肉的时间为 10～20 ms；肌肉潜伏和启动的时间为 30～70 ms；总加起来为 113～528 ms。从受到刺激到做出反应的总时间常称为“反应时间”。然而，人们还能区分开始一个动作的时间（这是对反应时间作更严格的定义）和做这一动作的时间（有时称动作时间）。

5.1.2　简单反应时间和选择反应时间

简单反应时间是指只有一个特殊的刺激出现时（通常是个人期待着该刺激的出现，如在一般实验室做实验时）人们所产生的某一专门的反应时间。通常，这种情况下的反应时间最短，约为 150～200 ms，相当有代表性的数值是 200 ms。因刺激的形态、性质（包括其强度和延续时间）不一，也由于受试人的年龄不同以及其他的个人之间的差别，这一数值可能有高有低。在选择反应时间（那时存在两个或两个以上刺激和可能有两个或两个以上的反应）的情况下，由于存在下列因素，反应时间通常要增加，如鉴别特殊刺激的时间，需要重新给刺激源“编码”、做决策的时间，自然也需要时间计算刺激的个数并作相应的反应。选择的个数影响反应时间的某些指标见表 5-1。

表 5-1　选择的个数影响反应时间

选择数目	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
近似的反应时间/s	0.20	0.35	0.40	0.45	0.50	0.55	0.60	0.60	0.65	0.65

有关简单反应时间和选择反应时间的多数资料来自实验室，在试验中受试人期待着某一刺激的出现。但当刺激不经常发生，或当它们不为人们所期待时，做出反应的时间就会增

加。Johansson 等在瑞典收集了有关 321 个汽车司机在听到信号使用制动踏板的反应时间的资料。这一试验是在两种情况下进行的，一种情况是驾驶员在 10 km 范围内期待信号，另一种情况是在没有预先警告的“突击”条件下进行的，这两种情况的平均反应时间见表 5-2。

表 5-2　两种情况平均反应时间

条件	平均反应时间/s
“期待”信号	0.54
“突击”信号	0.73

有些受试人在突击的条件下的反应时间达 2 s 以上，调查人员统计半数以上的驾驶员做出反应的时间要超过 0.9 s。因此总的来说，有相当充足的理由可以认为：当人们没有“期待”，准备自己必须做出反应时，比期望着某些信号或暗号作出反应时的反应时间要长得多。

能影响反应时间的其他因素还有许多，例如通过练习一般会减少反应时间。此外，假如要做出的反应与一个人的“期待”一致，比不一致时反应时间将要短得多。

接到信号后实施一个动作的时间，当然会由于动作的类型、动作的行程不同而不同：对于多数控制活动，最低限度的动作时间约为 300 ms，再加上估计的 200 ms 反应时间，总反应时间就要达到 500 ms 左右。然而，反应机械的性质、距离与位置也能影响反应时间总量。可见，做某些反应的时间要受到一系列变化因素的影响，例如刺激的性质、选择的数量、期待的程度、使用的装置等。在某些情况下，所要求的总的反应时间的大小是具有重大意义的。

虽然时间如人们所说的那样是关键问题，但我们不应为人类反应上的时延而觉得无能为力。事实上，还有许多方法能帮助和支持人们对刺激迅速做出反应。例如，使用能以最短的反应时间传递感觉通道；以清楚、毫不含糊的方式呈现刺激信号；最大限度地减少应选择的刺激数量；如果可能，预先提供有关刺激的警告；利用接近外皮的身体器官，以减少神经传导时间；使用能最大限度地缩小反应时间的控制机械；训练工作人员等都可加快反应速度，减少对时间的要求。在更为特殊的情况下，人们甚至可以绕过人体反应，直接使用行动肌肉电位以控制反应。

1. 定位动作

当一个人（通常用手）要拿什么东西或者将什么东西移到另外一个地方时，就要做定位动作，因此它们是身体一部分的移动。定位动作的时间及其准确性受到下列因素的影响：激起该动作的刺激的性质，该动作的距离和方向，是视觉的还是非视觉的（即“盲目的”）控制等。某些定位动作能被分解为两个或三个相对不同的成分，即反应时间（在激起该活动的刺激物发生后开始反应的时间）、基本移动时间或总移动时间（使肢体接近终点）以及将身体一部分带到指定准确位置的运动辅助类型或矫正类型的动作时间。如果终点本身是固定的，那么辅助的或矫正的动作实质上就会取消。在进行定位动作时，反应时间与动作距离相关，但并不与距离成比例。

（1）定位动作的方向

由于身体结构的特点，朝某些方向活动要比朝另外一些方向活动快些。以 Stier 等发表的资料为例，他们在试验中，令受试人用右手在水平面上从一个中心点出发做八个方向的定

位动作，测得各方向定位动作的平均时间。得出结论：主要靠肘枢轴的旋转所进行的有控手臂动作（如向左下方和右上方的活动），要比更大程度上用上臂及肩部的动作（如右下方和左上方）花费较少的时间。

（2）盲目定位运动

当不可能用视觉控制动作时，操作者就需依靠运动器官进行反馈。就像眼睛看着别的事物，而又要伸手触及一个控制仪器那样，操作者在自由的空间把手（或脚）从一个位置移向另一个位置的动作，大概是最常见的一种盲目定位动作。众所周知的 Fitts 试验，在有关自由空间中做类似动作的方向准确性方面所提供的数据，可能是可利用的最好的资料。试验中，他将靶子排列在受试人左右周围 0°、45°、90°和 135°的地方，靶子分三层（中心层或称参考层和位于中心层上下各 45°的上下层）。眼睛被蒙住的受试人都拿着一个带尖头的标靶器，并把它压向他们想触及的每一个靶子，击中靶心记 0 分，击中各靶环相应记 1～5 分，脱靶记 6 分。

一般而言，在放置人们盲目地伸手够得着的控制仪器或其他装置时，位置放在靠近中心并低于肩膀的高度，人们通常比较容易准确地伸手够到；而位置放在远离中心的旁边或较高处则准确性较低。

（3）连续动作

连续动作是在动作时间内需要准确控制的那些动作。它偏离所期望的途径，由身体一部分的抖动所产生。Mead 等对连续动作过程中产生抖动进行了研究，并得出结论：在垂直平面上作向里、向外的手臂动作时，手的抖动最大（此处是上、下抖动）；而在水平面上作向右、向左的手臂动作时，抖动最小。

（4）操纵动作

多数操纵动作要用手、手指或者两者都有，如在使用手工工具或控制仪器时。但是，Mc Cormick 在巴基斯坦和印度，曾吃惊地看到灵巧的切肉匠竟将刀夹在他们的脚趾间切肉！由于操纵动作的性质各不相同，难以做任何概括的讨论。

（5）重复动作

任何一种重复动作都是由连续进行的同一动作组成。这种动作可以是自我定速的，或是定速的（自我定速动作的速度由驾驶员控制，而定速动作的速度则由某些外部因素所控制，如信号、机械传输的滞后等）。虽然各人进行同一作业的专门方式有多种差别，但各人的行动反映着肌肉反应的一个“子程序”，这个子程序已为各人所熟悉，因此能自动地根据前面提及的“执行程序”来完成。

进行重复作业的最重要方面，大概是要不断地安排工作间歇，特别是在定速的工作中。可是，正如 Corlett 所指出的，要说清间歇（积极的还是消极的）的性质、什么时候应该间歇，是很困难的，因为这取决于工作的性质，部分也取决于各人的情况不同。在缺乏有关安排这种间歇的专门准则的情况下，负责监视这种工作的人要善于识别有关的迹象（不管什么样的），这种迹象有助于决定究竟何时安排这类减轻疲乏的间歇才合适，这里需要注意有关人员的反应。

（6）序列动作

在多数情况下，序列动作属于同一大类，只是有些特征不同，就像在操作键盘时那样。

可是在某些情况下，多种类型的动作的混杂可能会逐个发生，如在起飞前的一系列动作。多数序列动作的研究是有关第一类（同种动作）的研究，特别是在使用键盘时的同种动作。

在同种动作中，手要从一处移向另一处。特别要指出，有关序列动作，有不少迹象表明：从一位置移向另一位置所需的时间（移动时间）会受到两端位置上所执行的操作性质的影响。Schappe 考察了有关该相关作用的研究后，得出结论认为：身体一部分（如手）移动时间的长短事实上受到移动动作两端操作活动的影响，而这两者又都要受知觉因素的影响。由于存在这种相互作用，在采取预定的工作时间顺序表来估计完成各操作活动所允许的时间方面，就提出了一个有关各种基本动作“容许”时间的可加性问题。然而，总时间的估计可能要受到这种相互作用的不利影响，其范围人们也许还不清楚。可是，某些预定的工作时间表制定，在推导序列动作所允许的总时间的计算中，一定程度上考虑了这种相互作用。

（7）静态反应

在静态反应中，某些肌肉的作用通常相互制约，以维持身体或身体某些部位的平衡。因此，如果身体一部分（如手）保持着一个固定的姿态，那么控制手动作的各种肌肉就要相互平衡，以防止手做其他的动作。但肌肉为支持这一平衡所必须保持的紧张状态，需要持续不断的作用力，这为曾试图在一段时间内保持某一静止状态的大多数人所证实。事实上，保持一静止姿态要比某些可调姿态更使人疲劳。

静止姿态的失常有两类：一类称抖动（身体一部分微小的振动），另一类是整个身体或身体一部分偏离原来位置。

（8）保持静态姿势时的抖动

在身体一部分必须保持准确、不动的姿势的工作活动中（如在巡航中，持操纵杆与某一位置），抖动有特别重要的意义。有关抖动有一个有趣的现象：通常一个人越想控制抖动，结果抖动得就越厉害。下述四个条件有利于减轻抖动。

① 使用视觉基准；

② 在静态反应中，支撑整个身体（例如坐着时）和身体相应部分（如手或臂）；

③ 手的位置（当手放在心脏水平线上下 20.3 cm 范围内时，手的抖动较小）；

④ 摩擦（被使用的装置上有机械摩擦能减小抖动，因为摩擦能增加消耗身体的部分振动能量）。

2. 工作负荷

（1）工作负荷的概念

工作负荷的概念有点难以捉摸，如 Leplat 就此概念发表了两种观点：①将工作负荷看成作业的特性，因此将它看成施加在人身上的义务和强制（他建议把这个看成工作的需要）；②将工作负荷看成人在完成作业中的负荷或后果（他为这概念保留了负荷这个词）。与此相同，Welford 发表的观点，认为工作负荷的基本思想用“个人身体一部分的肌肉出力”这个词来表达最易为人们理解，这里又可区分两种类型的肌肉出力，即在完成某一特殊作业中施出的瞬时最大力，和在一既定时期内所做的工作量。在脑力活动方面，工作负荷的观念更难以捉摸，但大体上可设想上述的两种类型，即脑力上所做的瞬时最大出力，与一段时间内所做的脑力工作量。Welford 指出：当需求量确实超过个人负荷能力时（这意味着工作量要受到限制），改变策略可能使需求降到个人负荷能力范围以内的水平。许多工效的研究目标就是

采取措施使人类活动的工作负荷保持在其负荷能力范围以内。

(2) 工作负荷与应激

一项作业或某个环境条件所带来的工作负荷可以限制在个人负荷能力范围之内。否则,会变成产生应激的源泉。

应激的后果(这种后果常常是生理或心理上的)可表现为某些应损状态,或表现在效能上的变化。持续的应激可以影响到个人的健康和操作状况。

5.2 反应选择

一般而言,控制装置的功能分为下述几种:启动一些设备(通常用"通—断"开关);做出不连续的(即单独的、截然分开的)设定(如选择控制器);连续控制(如控制一架飞机);数据输入(如使用计算机或打字机)。某些系统的控制相当复杂,如飞行交通指挥或管理一个核电站的运行。但是,不管该系统的性质如何,人相应的基本职能大体是不变的,即信息输入、信息处理以作决策、做出行动或反应。采取的行动提供系统的输入。在要求连续控制的一些系统中,操作者通常能得到某些形式的反馈。

5.2.1 人的输入与输出通道

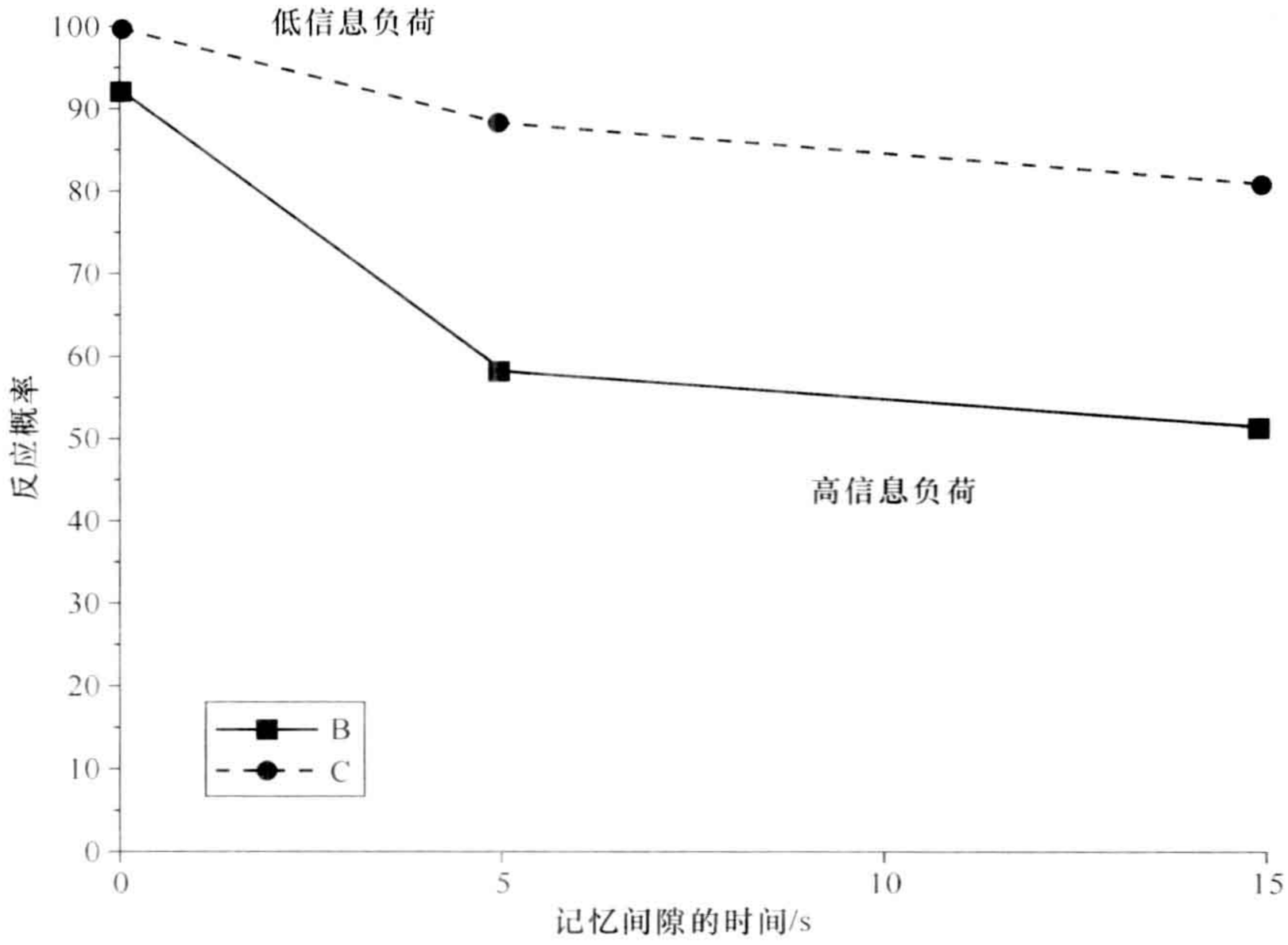
在某些情况下,系统的输入来自个人,如判断是否应开始某个特殊的行动(如攻击空中的目标)。然而,在大多数"典型的"系统运行中(驾驶飞机时),经常存在来自环境的刺激而引起操作人员的反应。这种情况,刺激自然要被这一或另一感觉器官所接受。视觉与听觉是最主要的感觉通道。但是某些其他的感觉,诸如皮肤的感觉(压力和温度)、动觉、身体运动与平衡的感觉,在某些情况下也是有用的输入通道。对感觉接受器的输入,当然应该包括与所论系统控制有关的刺激,这种刺激可以直接从原始(远处的)源接受到,或间接通过某些人工显示器接受到。

运动反应(特别是手和脚)和语言(如在飞机指挥塔的操作中)是系统控制中使用的最基本的输出通道(即效应器)。最常见的运动反应包括控制装置的使用,如操纵杆、按钮和踏板等。但是在特殊情况下也使用其他的反应(如脑电图、肌电图等)。另外,在控制过程中使用眼睛的动作也已取得了某些进展。在任何既定的情况下选择输出通道,当然都取决于该通道对达到当时的目标是否合适。

控制过程中,人所处地位的性质自然取决于所涉及的系统类型、人要完成的职能以及控制过程中提供给人的设备类型。在简单情况下,人的作用可能是按一个按钮或开关;在复杂的跟踪任务中,个人要有能力对不断变化的输入信号做出反应,如驾驶员要不断地观察外景及管理众多的显示/控制器。不管操作的复杂程度如何,信息输入(如来自显示器)和输出(通常是控制设备的某些物理反应)之间总要夹杂着进行某些形式的信息处理和决策。各种控制任务中涉及决策的范围广泛,有的极为简单(在某些情况下),实质上只是做有限的反应;有的复杂。在某些操作中,工作负荷在一定时间内可达到高峰,由此带来脑力负荷过重的危险。

控制操作中负担过重可能产生的后果之一,是短时记忆能使人们忘记有关的信息。在

一次模拟机场控制(涉及地面调度员与驾驶员之间的通信联系)的试验中证实了这种遗忘的结果。在这次试验过程中的某一阶段,要求调度员记忆四位数的飞机识别号(应答器代码)。图 5-1 所示为低信息负荷和高信息负荷条件下,上述信息的遗忘曲线。高信息负荷条件下,遗忘曲线恶化得较为显著。



模拟飞机控制试验中地面调度员的遗忘曲线图

图 5-1　低信息负荷和高信息负荷条件下信息的遗忘曲线

5.2.2　影响人的控制的因素

在某些控制操作中,不但不会发生影响正确控制的特殊问题,而且没有对有关个人产生不愉快后果的任何理由的可能性。操作家电等简单的设备很少会产生严重的问题。但是在某些条件下,特别是当操作要求高、难度大时,人对系统或设备的控制具有重要意义。在这一方面,Baum 等特别提到对完成任务效能或策略会起某些影响的各种因素,他们曾区分任务本身的因素与个人的因素如下。

(1) 任务本身的因素:

给控制者的输入(特别是其复杂程度);

显示复杂性;

控制复杂性;

过程复杂性。

(2) 操作人员的因素:

操作人员的技能;

操作人员的动力。

任务本身的因素自然要影响控制者所必须作的那些决策的性质与复杂性，而控制动作必须以这类决策为基础。

5.2.3 输入—输出关系

关于控制者的决策和控制者所作出的反应，Baum 等曾强调，设计系统时必须对系统的输入—输出关系进行分析的重要性。可用输入—输出矩阵的形式进行打分来说明什么样的系统输入影响着每一个输出，并叙述输出如何受到影响，用十点记分法对上述影响按作用大小分等级。

1. 兼容性

兼容性是指与人们期望或预料一致的刺激与反应（不管它是个别地进行或是结合地进行），在空间、运动和概念上的相互关系。

（1）兼容性关系的基础

构成人们期望或预料的一般基础有三个。第一，某些兼容性关系是清楚地表现出来的，或者说是该关系内涵的。显示器与其相应的控制器之间位置关系的情况尤其是如此。例如一排有四个显示器，它们下面就有各自对应的控制器。第二，某些兼容性关系来源于文化，并为人们所熟知，如红色表示“停止”，绿色表示“通过”。第三，存在着多种“反应倾向”，这些倾向至少是某些（不一定是所有的）人的特性，如顺时针方向转动控制按钮比逆时针方向转动控制按钮倾向性更强，这是大部分人的习惯。实际上，兼容性的这些基础是相互交叉混合的，并不是轮廓清楚的不同范畴。有关某些运动的兼容性关系常常被说成是习俗。

不管兼容性关系的来源如何，在设计显示/控制器时，这概念包含着十分明确的人的因素的含义，因为应用了兼容性原则，通常将提高有关设备或系统的使用效果。但我们必须记住有关兼容性的两种可能限制：①某些兼容性比另一些兼容性作用更大（如更为鲜明或者为更多的人们所公认）；②在某些情况下设计某些系统时，为了应用某一个兼容性关系的优点，可能必须违反另一个兼容性关系。

（2）空间兼容性

空间兼容性的课题有许多种，其中多数是观测显示器与对应的控制器以及它们的布局，观测任一组显示器或控制器布局中的全部外形相似点。

（3）动作关系上的兼容性

在几种不同的环境里，系统中的动作关系可从兼容性的观点加以考虑。举例如下。

① 控制装置的动作追随显示的移动（如移动操纵杆向右以追随雷达显示器上反射脉冲向右移动）；

② 控制装置的动作控制显示的移动（如油门杆的移动控制速度表的运动）；

③ 控制装置的动作产生某一特殊的系统反应（如驾驶杆的转动控制飞机姿态的变化）。

据 Bradley 的研究，对具有固定指针的活动刻度盘来说，一般应遵循下列原则：

① 刻度盘与控制旋钮同一方向旋转（即控制器与显示器之间具有直接驱动的联系）；

② 刻度值从左至右增加；

③ 控制器顺时针旋转以增加受调整指标的数值。

如采用旋转控制器与固定的直线型显示器，Warrick 主张直线型显示器的指示器的移动

方向与控制器旋钮上最近点移动方向一致(刻度边原则的影响不大)。

从上述可以看出,与动作有关的兼容性关系确实复杂,甚至可能各原则之间相互矛盾,从而使显示/控制设计工作更为复杂。最佳的操作配置应该能使各种操作原则结合在一起促进并加强同一个反应倾向。同时还应指出,当同一系统或同一类系统的不同模式中,使用某种程度上相同的显示器和控制器时,设计的原则也应相同,这是特别重要的。

(4) 杆式控制器的动作关系

Smith 等人曾对跟踪任务中杆形控制器和有关显示指示器动作的兼容性进行了研究。得出的结论是:对跟踪类任务,将操纵杆安装在水平位置上或垂直位置上,效果大致相似,只要当操纵杆安装在水平位置上时,控制—显示的相互联系不是向上—向下就行。

(5) 概念兼容性

最常用的一种概念兼容性,大概是涉及在系统、信号或其他刺激的代码应用中的相关性,这种相关性可以是固有的,也可以是由文化习俗而得的。

2. 跟踪操作的性质

在人的控制方面,跟踪操作提出了不少特殊的问题,为此本章需作某些专门的探讨。跟踪任务是要求对一些事物进行连续控制的任务,如驾驶飞机。跟踪任务的基本要求是要在恰当的时间内完成正确的动作。在某些情况下,完成任务的速度由驾驶员所掌握;在另外一些情况下,任务进行的速度由外界因素所决定。这时,人对任务必定要进行的速度就无法控制。

对跟踪操作的分析可能十分复杂,同时在此对这类操作进行广泛论述也并不恰当。但是,对这些操作的某些方面要做简要的讨论,以便对跟踪操作中所涉及的一些概念提供某些基础,同时对有关跟踪性能的各种因素提供一些粗浅的想法。

(1) 跟踪任务中的输入与输出

在跟踪任务中,某些输入详细规定了人们所期望的输出。这输出可以是不变的(如按确定的高度驾驶飞机),也可以是变化的(如跟踪一架正在机动的飞机)。这种输入通常直接来自外界环境,并为机械传感器或人们所检测。如果通过机械传感器检测,那么这种输入可以通过显示器呈现给操作者。有时输入信号被称为目标(一些情况下它确实也是目标),而它的移动则称为轨迹。

输入规定着人们期望的"系统"输出。输入可能有不同的种类。阶跃输入是规定着一个有显著区别的期望输出目标的输入,如从控制塔发出一个规定飞机改变飞行高度的指令,或在计算尺某一特殊值上做一标记。在某些情况下"跟踪"可能有许多阶跃输入。等速输入规定着某些特殊输出保持在某一特殊值上,如速度、某些变量的变化率或加速度等,如要求飞机保持某个速度(速率)。等加速度输入主要在实验室条件下应用。

输出通常是由使用控制机械的身体反应来实现(如果由人来控制),或是用传递某些形态的能量来实现(如果由设备来控制)。在某些系统中,输出通过显示器上的指示反映出来,有时这种指示称做跟随指示或游标。在另外一些系统中,人们能通过系统外部行为观察到输出,如飞机的运动。这两种情况的输出通常称为控制对象。

(2) 跟踪任务中的追踪显示器与补偿显示器

输入(目标)和输出(控制对象)可反映在追踪显示器或补偿显示器上。如果反映在追踪显示器上,则两个指示都移动,每一指示都反映各自相对于另一指示的空间位置。在补偿显

示器中，两指示之一（目标或控制对象）是固定的，而另一个则是活动的。当这两者重叠时，控制对象处在目标上面；两者的任何偏离代表着误差，而操作者的职能是要操纵控制器去消除或最大限度地缩小这一误差，任何偏离（误差）的根源，都不能被预测，究竟是目标已经移动或改变行程，还是控制对象已经移动都不能反映出来。在追踪显示器中，操作者能得到有关两对象实际位置的信息。而在补偿显示器中，操作者只知道绝对误差或偏离，由于不需要反映这两个对象的可能数值或位置的全部范围，在节省仪器棉板空间方面，补偿显示器有时有实际的优点。

（3）系统的控制阶

控制阶是指控制动作与它旨在控制的输出之间控制关系的等级。控制阶的性质及其对跟踪任务的关系错综复杂，对这个课题我们不再深入讨论。但为了使读者对控制阶有一些印象，首先叙述“位置”的概念。“位置”是指系统的输出，因为跟踪任务的目标是控制系统以便使输出尽可能紧密地符合输入（当然，输入规定了输出是什么）。虽然我们能很方便地设想一架飞机在空间的“位置”，但我们应从更广阔的范围，作为输出的测量去思考它。它可以表示为刻度盘上移动的指针、雷达屏幕上的反射脉冲、机器每分钟旋转的指标或其他。

① 位置（零阶）控制。在位置控制的跟踪任务中，控制装置的移动直接控制着输出，如移动飞机锁定雷达上的目标。如果系统有显示器，那么在控制动作及其所产生的显示动作之间有直接的关系。

② 速度（一阶）控制。用速度控制系统时，操作者动作的直接结果就是控制在输出正被改变时的速度。飞机上的油门就是一个速度或一阶控制装置，因为它控制着飞机的速度（位置改变的速率）。油门杆的行程大小控制着速度的大小，尽管在动作与速度仪表显示存在着时滞。而飞机本身又控制着飞机在空中的位置。某些机关炮的操作是用手轮或摇把控制着机关炮改变方向和速度，故也涉及速度控制。

③ 加速度（二阶）控制。加速度是物体运动速度的变化率。操纵飞机的驾驶杆，就是加速度控制的一例。因为驾驶杆偏转的角度控制着机翼的角度，而机翼所指的方向本身又决定着飞机转弯的变化率。因此，驾驶杆以某一给定的速度偏转就使飞机朝着偏转的方向有一个相应的加速度。

④ 高阶控制。某些系统所具有的控制体系可看作高阶的系统，如三阶、四阶的控制。例如三阶的控制涉及直接控制加速度的变化率（急动），从而控制速度，最后控制着任何被控制对象的位置。由于驾驶员、飞机的实际运动与位置、飞机的质量（或重量）之间的联系，控制一架飞机大体上是三阶甚至是四阶的控制。在控制一架飞机时，在具有一系列控制联系（类似船只）的连续控制过程中，一连串连锁反应的影响，可以用数学函数来描述，犹如一个变量的位置变化，其次能改变一个变量的速度（速率），再次改变一个变量的加速度，等等。

（4）采用各种控制阶的控制反应

许多系统的操作者需要做出控制反应，以实现人们所期望发生的、为输入所要求的系统的操作（如飞机的飞行航线）。在缺乏任何操作方案帮助操作者的情况下，采用较高的控制阶，这类控制就会十分复杂。运用位置、速度、加速度控制系统对正弦、阶跃、等速输入做出恰当的反应。总的来说，控制阶越高，对输入中任何单一的变化做出反应时，操作者所需做的控制动作的数量也越大。因此，在需要高阶控制（类似二阶、三阶、四阶系统）的复杂系统

的情况下，就必须设想某些方法和手段以解除操作者从事这类脑力活动的必要，或者说免除操作者要“补偿”情况的反应要求与人们反应能力之间的不一致。以下将讨论某些类似的措施。

① 辅助装置。使用辅助装置就是这样的措施之一。辅助装置最早发展应用于射击跟踪系统，也最适用于一般类型的跟踪场合。在这类跟踪任务中，操作者要用某些装置跟随某一运动的目标。其作用是改变控制器输出，以帮助跟踪装置。在速度辅助装置中，对控制器进行简单的调整就会影响跟踪系统中速度和位置这两个分量。如果采用速度辅助系统，试图使高倍望远镜保持瞄准高空飞机，当跟不上目标时，重新捕捉目标的控制动作将自动使望远镜的运动速度加快（当然，这样也就改变了望远镜的位置）。同理，如果望远镜的瞄准线超过了目标，校正运动将自动地降低它的速度（并相应地影响其位置）。这样的速度辅助装置将简化跟踪装置的运动速度迅速与目标运动速度相匹配的问题，从而改进了跟踪效能。在加速度辅助装置中，控制动作控制着控制对象的三个变量，即加速度、速度和位置。

辅助装置在操作上的作用，是使操作人员摆脱脑力运算（类似某些跟踪任务所要求的微分、积分及代数和），这样操作者感到困难的工作就变得容易了（实际上，意味着操作者只要算出控制器运动与控制对象运动的比值）。辅助装置操作效果取决于一系列的因素，如输入信号的性质、控制阶以及该系统是追踪型的还是补偿型的。因此，应该在控制场合中有选择地使用那些特别适合的辅助装置。

② 加快装置。涉及二阶、三阶或更高阶控制的车辆控制系统中，使用加快装置特别合适。加快装置显示器的电子设备非常复杂，但使用这类显示器的作用一般是向操作者显示为实现某一特殊的输出反应，该做什么样的控制动作。从本质上讲，在下列情况下使用加快系统最为合适，即操作者动作的后果并不能立即反映在系统上，而要有一定的延迟，这种延迟通常是由系统的动能特性所造成，如在飞机和潜艇上就是如此。考虑二阶、三阶或更高阶系统所要求的反应时，在有加快装置的情况下，操作者仍需做哪些反应，这将会得到说明，从而不必考虑更多的脑力或体力活动（另外，计算这些动作也是行不通的）。

虽然加快装置能简化和改善某些跟踪任务，但它也有其局限性和不足之处。例如在典型的加快系统中，操作者并不能得到有关系统当前情况的信息，因为显示器主要显示采取什么样的控制动作。同时也应记住，在非常简单的系统中，或在控制动作到系统效应间没有延迟的系统中，以及在已经有类似系统反应的实时反馈的系统中，加快装置都没有任何明显的优点。

③ 预测显示器。另一个简化高阶系统控制的方法是使用预测显示器。实际上，预测显示器是使用系统的一个短时模式来预测系统（或控制对象）未来的偏移，并在观察装置或其他装置上给操作者显示此偏移。这模式根据一个或多个有关操作者使用控制器将要做什么的假设（如使控制器回到中间位置，保持其所在位置，或使其移到一个末端或另一个末端）重复地计算有关真实系统的未来的预测，并显示这样产生的预测，使操作者能减少预测输出与期望输出之间的偏离。

预测显示器对于复杂的控制系统具有特殊的优越性，在复杂的控制系统中，如潜艇、飞机、宇宙飞船的操作人员需要在几秒钟以前就进行预计。在这种情况下使用预测显示器的优点已为许多试验结果所证实，例如 Dey 对一架垂直起飞与降落的飞机所作的模拟试验就

证实了这一点。在试验中，偏离期望航线的指标值，在使用预测显示器的情况下为 2.48，而在不用预测显示器的情况下则为 7.29。试验与其他试验所提供的证据相当一致地说明，使用了预测显示器，控制特性有所改善。

利于跟踪任务完成的各种可能措施的相对效用，越来越与输入的类型（正弦、阶跃、等速等）、控制阶（零阶、一阶、二阶等）以及显示器的类型（追踪的还是补偿的）相互交融在一起。在某些情况下，辅助装置是有用的，但普遍适用性较差。至于加快装置，Bradley 对某些试验中所采用的研究策略提出了重要的问题，同时也指出加快显示器的某些缺点。总的来说，他的结论是：对于高阶控制系统来说，“真实动作”的预测显示器可能要远比加快显示器容易操作，也安全得多。

3. 影响跟踪操作的因素

人对跟踪操作的控制效率受多种因素的影响，如显示器与控制器的性质、跟踪系统的特点等，以下简要讨论其中一些因素。

（1）显示器类型：追踪型的和补偿型的

回顾了有关视觉模拟追踪显示器较补偿显示器的可能优点之后，Bradley 得出结论，认为如果要在这两者中做一选择，则常规的追踪（真实运动）显示器要比补偿（相对运动）显示器受欢迎。他的论断是根据大量试验得出的，见表 5-3。

表 5-3　常规的追踪（真实运动）显示器与补偿（相对运动）显示器之间的比较

控制阶	试验次数	各试验结论中可信优越性的比较		无确定结果
		追踪显示器	补偿显示器	
零阶	45	29	0	16
高阶	34	14	7	13

Bradley 论证说：在补偿跟踪试验中最好的七次试验结果可能是由于不恰当试验程序引起的，因此不应予以重视。在“无确定结果”一栏所包括的三个涉及零阶控制的试验结果确实有利于补偿跟踪。但他指出，试验的变化因素可能会影响这样的结果（他只提到在使用环行显示器与曲柄跟踪器同时执行两个跟踪任务的情况下，使用补偿显示器的效果证明较好）。

有关追踪显示器与补偿显示器的多数试验涉及能提供连续跟踪信息的模拟显示。在一次数字显示的试验中发现这两类显示的性能并无区别。因此，该试验提示我们，追踪显示的一般优点，在数字显示（相对于模拟显示）中并没有完全表现出来。

虽然通常追踪显示的跟踪性能要比补偿显示器的效果好（至少视觉的模拟显示是这样），但从实际考虑，尤其是补偿显示器占有控制面板上的空间较少，有时可能会主张采用补偿显示器。

（2）跟踪中误差显示的特征

在某些补偿跟踪系统中，误差（输入与输出之间的偏差）能具有不同程度的特征。虽然各种试验的结果与其并不完全相符，但证明了在跟踪任务中，由于提供了更多（而不是更少）专门信息，中间的控制功能是增强了。

（3）对未来跟踪信息踪迹的预视

在某些跟踪位置，个人对未来的跟踪踪迹可能有某些预视。总的来说，输入有一些预

视，有助于操作者完成跟踪任务。如果预视能显示紧接“当前”位置前面的那一部分踪迹，而不是在当前位置与被预视的跟踪之间有一段信息间隔的那种“时滞”预视，那么这种预视是最有效的。预视的时间持久看来要比至少有几次预视机会的效果来得差。如果预视持续时间大致近似 0.5 s，则操作性能会稳定地改善，超过这一时间，预视的效果就会迅速地降低。

（4）预测

预视一个跟踪过程的输入，是指必须在控制反应之前，有机会看到输入的某些部分。另外，预测（有时称为预知）则是在没有任何预视的条件下，操作者预测未来跟踪踪迹的能力。只有在以往的输入已经具有某些系统模式而且被操作者掌握时，这种预测才有可能进行。总的来说，正弦波输入预测相对地较为容易，尤其是使用追踪显示器的情况下更是如此（相对补偿显示器而言）。随着实践经验的丰富，某些操作者也能掌握一些相对不规则的输入模式。

（5）定速与自我定速的跟踪

多数跟踪任务是自我定速的，在这种任务中，一个人能控制输出的速度。但在某些跟踪任务中，速度并不为个人所控制。如 Bradley 曾提到：在飞机着陆时，飞机驾驶员不得不将飞行速度掌握在极窄的范围内，同时要将飞机保持在严格规定的下滑道上。当任务是自我定速时，跟踪是最容易的，而随着外界规定速度的等级的提高，困难也不断增加。

（6）跟踪中的时滞

在某些跟踪任务中可能有各种类型的时滞。例如，一个显示器的时滞既包括轨迹输入上的延迟，又包括相关系统输出的延迟。反应时滞是个人对某一输入作出反应所用的时间。而控制系统时滞则是从个人做出控制反应后到受控制系统作出反应之间的时间。基本上有三种类型的控制时滞，阶跃输入时滞如图 5-2 所示。

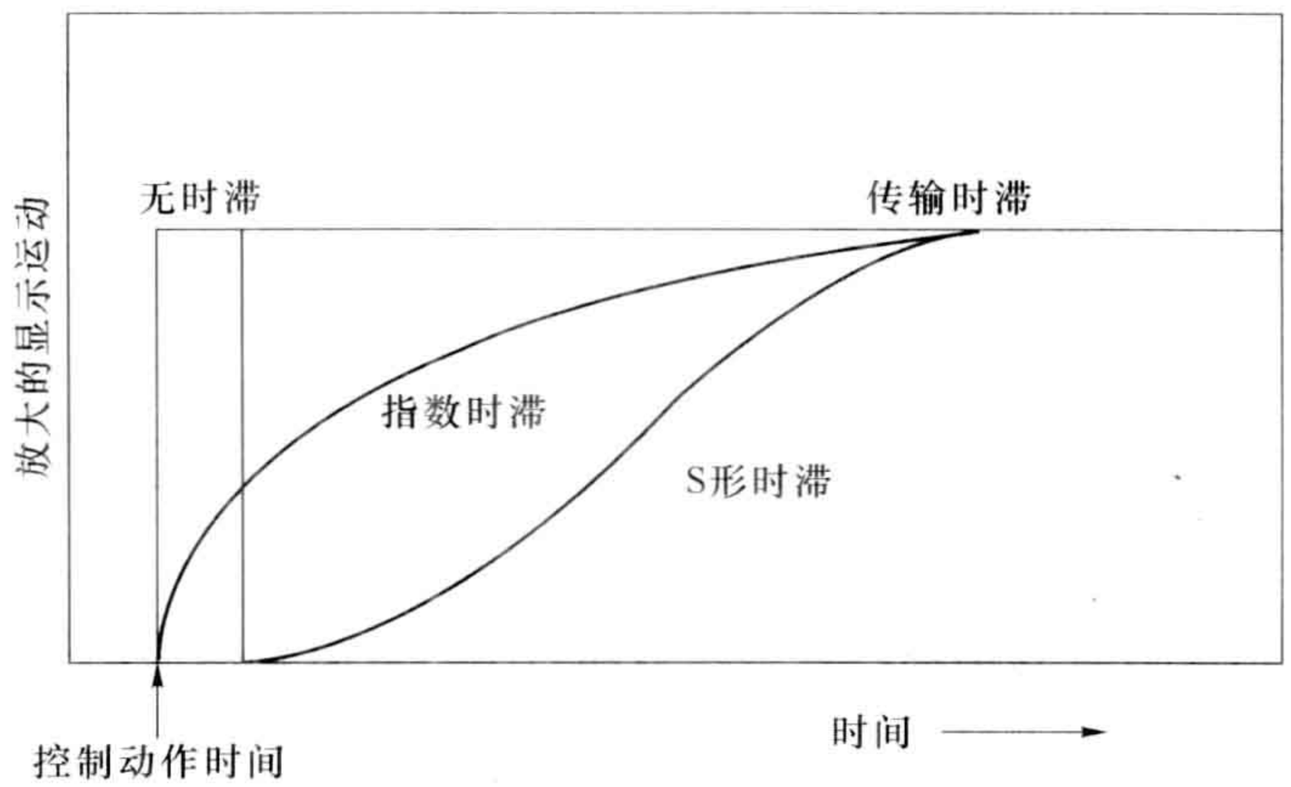


图 5-2　阶跃输入后的三种时滞图

在这三种时滞中，传输时滞只推迟个人反应的效果，经过一段固定的时间间隔后，输出才跟随控制反应。指数时滞是指跟随阶跃输入的输出是用指数函数描述的情况。而 S 形时滞是由 S 形曲线表示。

5.3 人的失误

5.3.1 失误的定义和分类

由于人被要求的机能和实际上人所达到的机能间有偏差，其结果有可能以某种形式给系统带来不良影响，这叫做人失误。

根据人的作业内容将人失误原因归类为以下几种。

(1) 设计过失：因计算错误或考虑出错引起的设计错误或因不完善的设计产生的错误。

(2) 制造过失：技术含量低，使用了劣质或用错了材料，没按图面要求等引起的过失。

(3) 操作过失：这是最一般的人失误。作业人员在操作过程产生的各种失误。

(4) 保养过失：机器或设备的安装问题或修理出错。

(5) 维修过失：将次品当正品，或将正品判为次品的判断失误。

(6) 处理过失：没按说明书要求进行的物品的保管和运输带来的过失。

5.3.2 人失误的发生原因和防止对策

人失误的发生原因和防止对策如图 5-3 所示。

(1) 状况原因：如作业环境恶劣，或操作不方便等，起因与系统设计的原因。

(2) 个人原因：与人的个人特性有关，如缺乏动力或大气，技术不熟练，身体不佳。

(3) 精神压力原因：这里分心理的和生理上的压力。

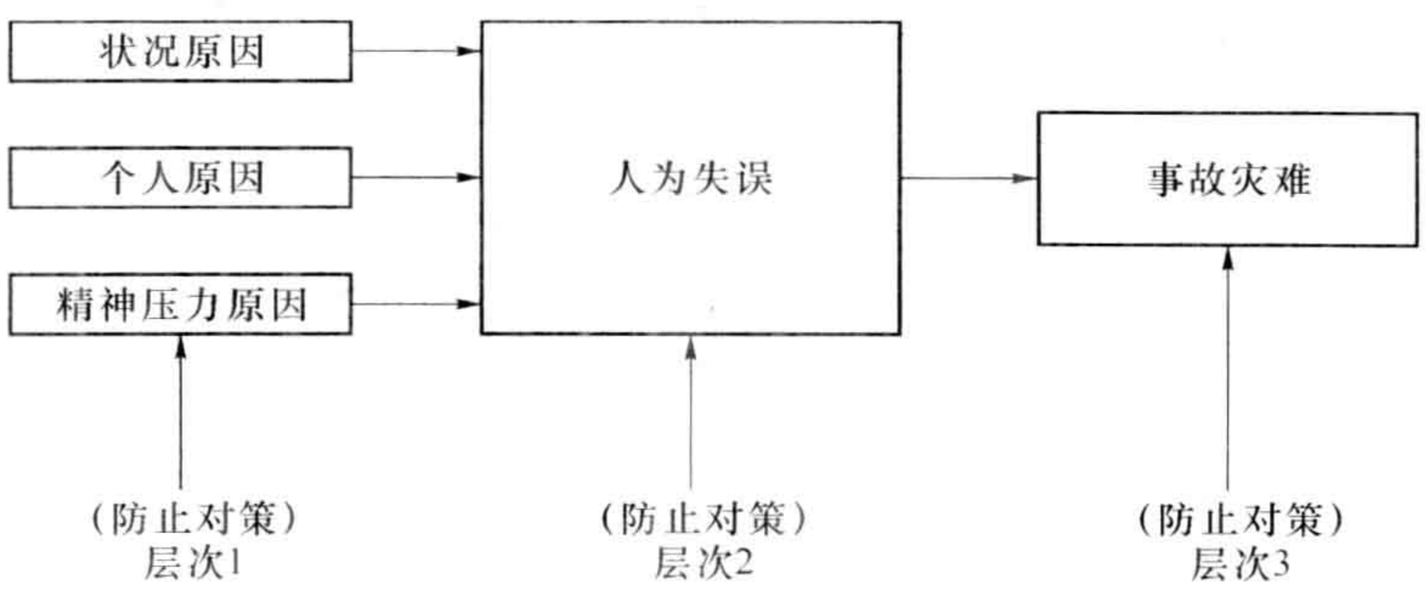


图 5-3 人失误的发生原因和防止对策

层次 1 的防止对策是最基本的减少人失误的对策。具体来说，对于状况原因，要改善系统、改善环境、改进人机界面。对于个人原因，要进行职能教育、培训、提高人工作的积极性等。对精神压力原因，为了保持人的最佳工作状态，应尽量避开单调反复的作业，或者经常提供必须且充分的信息给作业人员。

层次 2 的防止对策是如何将人失误无害化或及时进行修正。在系统设计上应有联锁装置、防错装置、安全装置等。另外在失误发生后应能马上通过光或音等方式将信息反馈到作业人员。

层次 3 的防止装置是尽量将失误或事故局部化或不让他发生。它应由安全装置或安全对策构成，根据情况还应设置多重安全装置。

5.3.3　产生人失误的心理原因

1. 感知觉原因

人视觉信息最大输入量为 3×10^6 bit/s，听觉信息最大输入量为 3×10^4 bit/s。而人的中枢(神经)最大信息处理量是 100 bit/s，仅相当于输入量的千分之一，而对与实验相关的基于知识的处理能力仅 6～7 bit/s。即人瞬间获取的信息量与对其进行处理的能力极不相称，这就为人失误埋下伏笔。

这体现了 SRK 模型的重要性，作为 SRK 模型的动态应用模型有如图 5-4 所示的 GSMS 模型(Genetic Error Modelling System)。基于技能的行动是如同交叉路口遇到红灯，作为条件反射马上踩刹车这样的行动(见图 5-4)。

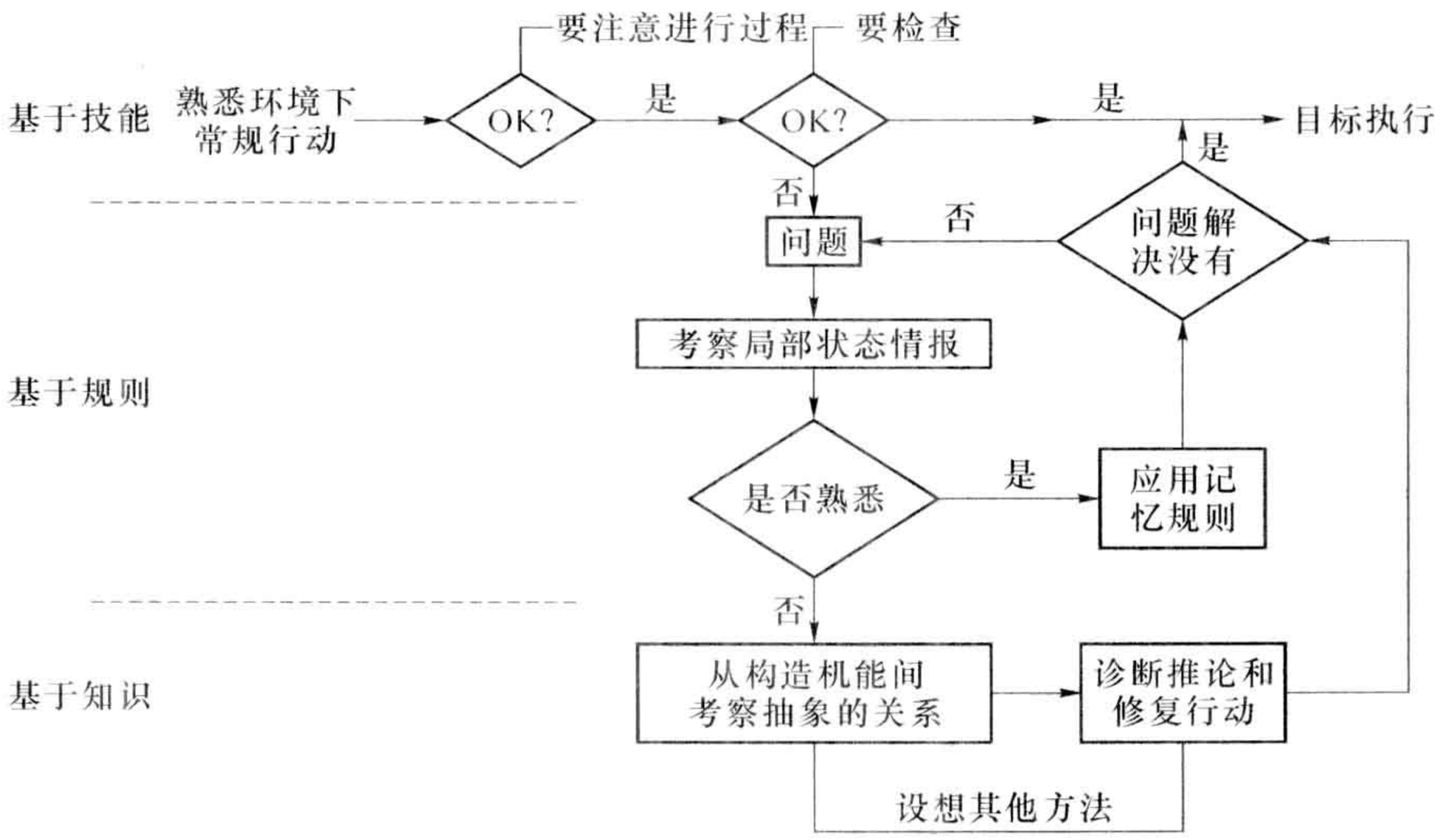


图 5-4　GSMS 模型

显然，在精密作业中人不加思考或检查就采取行动容易出问题。如同战斗过程中雷达显示有飞机接近，不加辨认就按导弹发射按钮有可能击中友机。这类失误在正常情况下是不会发生的，但在人紧张或疲劳等时有可能发生。美国攻打伊拉克战争中多次发生的误击英军战机和误炸友军事件除了技术原因外，与过度紧张、缺乏仔细检查和辨认有很大关系。

2. 其他原因

人与计算机除了具有情报处理系统这一相同点外，人还会因生活、教育环境、组织形式或人的意欲和情绪等对情报处理系统产生影响。或者说人与计算机不同之处在于人具有两面性。如人具有理性和情绪是人的特性，而情绪将支配行动。

人的大脑新皮质是由作为情绪、本能、意欲等的中枢的旧皮质所支配。对于人的生命维持起重要作用的机能中枢起着管理人的情绪、防卫、意欲、食欲、性欲等的人的行动的作用，他们对情报处理系统影响甚大。对容易诱发人失误的原因主要有以下几点。

(1) 性急。如不为完成任务的时间留有余地而赶任务，或紧急情况下不按操作程序操作等。日本交通事故者约 50%的心理背景都存在因各种原因产生心情不好而出差错。

(2) 过度自信。如同基于技能行为，作业人员过度自信。或认为以前这样做过没出问

题，这次这样做也不会出问题而放松警惕最终招致失误。

（3）疲劳或单调作业。在人疲劳时或因自动化生产过程中的监视作业的单调无聊将降低总的情报处理能力。监视作业是最易出差错的作业，应采用作业休息制及交替制等来降低出错率。

（4）生气。因人际关系、家庭生活、工作不顺或人不适应机器等而使人的情绪变坏、抱有发怒或攻击的情感。这类情感的起伏将使人的情报处理精度引起突发变质。

（5）紧急事态。如遇到突如其来无法预测的停机事故而吃惊、对因本人知识不足不能善后处理而引起不安、对因故障带来的严重后果的恐惧或因无效操作引起的混乱等都将极度降低新皮质系的情报处理能力。

（6）面子观念。出于对小集团利益的照顾或友情观念等不及时处理事故和故障而招致更大程度的失误或事故。

任何一个作业都是在一定的社会环境中实施或受其影响的。其影响将以各种形态转而影响人的情绪。例如，工厂里的作业环境、人际关系、对工厂和职务的满足度、经验、对作业的理解度、工厂的安全文化、家庭等各种因素都会产生影响。其中，人的性格、资质、生活经历等左右着人的感受性。

认识行动中的失误在某种程度上可加以解明和预防。但牵涉到情绪因素和社会心理因素而产生的失误或因偶发事故引起的失误很难通过数学模型加以解明。但是，人之所以产生失误，一定可从包括人机界面、软件、环境、心理等方面的认知行动规则上找原因。为此，对过去发生的失误事例从人机界面观点对其分门别类建立数据库，编写以人为中心的失误防止手册是非常必要的。

5.4 人的控制理论模型

作为人—机—环境系统中的工作主体，人对外部世界的认识是通过感觉获得的，感觉器官接受到外界环境信息，并经大脑处理后形成知觉信息，进而根据这些信息来控制自己的行动。在视觉—情境认知—目标拾取认知技术科学研究中最为重要的问题就是人对信息流的获取（输入）、认知（中间处理）和信息流的控制（输出）这三个问题。

由于人是人—机—环境系统的主体，只有深刻认识人在系统中的作业特性，才能研制出最大限度地发挥人及人机系统的整体能力的优质高效系统。人的目标拾取运动作为人的一种输出形式，具有速度—精确度的折中关系，即目标拾取运动的运动完成时间与命中目标的精确度成反比。这种特性广泛存在于人的各种输出和其他控制系统中。所以如何建立人的目标拾取运动过程中实用、精确的速度—精确度折中关系理论模型就成了研究的主要任务。

建立描述人的目标拾取运动的理论模型是一个通过实验分析和理论研究来获取运动过程中的固有特性，并用数学语言来描述这些不变特性之间的关系的过程。到目前为止，描述人的目标拾取运动的模型一般分为两类。第一类是从运动策略的角度进行研究。这类研究偏重对运动过程的分析，往往是提出一些假设，通过对实验数据的分析和研究来验证它们，最终得到理论模型。这种方法一般不研究人对运动的深层控制机理，只关心运动过程中可

以观察到的物理量的变化情况。因此，这类研究的生理基础较薄弱，不能深刻地说明问题的本质。但是，这种研究是从实验结果出发的，其结论与实验结果吻合较好，具有一定的实用价值。第二类研究则从运动控制优化来进行。一般是先根据人的生理模型建立运动的控制模型或给出运动的动力学和运动学分析，并提出一定的目标函数，将目标拾取运动过程转化为一个优化问题来处理。这种研究方法的理论基础较为坚实，实验数据只是被用来验证模型的正确性，并不是推导出这种模型的基础。因此，这种研究虽然更能从本质上反映人对运动的控制形式，但获得的理论模型可能同实验观测到的一些现象和结论不完全相符。早期的研究成果大多是在第一类的研究方向上取得的。近年来，许多研究人员在第二类研究方向上进行了大量的工作。下面是按时间顺序分析了人的目标拾取运动研究发展过程中所提出的具有代表性的理论和模型：

1. Woodworth 理论(1899)(速度—准确性折中关系理论)

按照正常的经验，命中准确性与肢体运动完成时间成正比，而与速度成反比。

2. Fitts 定理(1954/1964)

随着信息理论的发展，一些实验生理学家以信息理论为框架，来研究人的知觉工程、认知过程和运动过程，提出了许多描述人的特性的模型。其中，Fitts 定理作为信息理论在描述人的一维目标拾取运动过程的应用，取得了巨大的成功。Fitts 认为一个目标拾取运动任务的难易程度(ID)可以采用信息理论中的计量单位比特(bits)来描述。

$$\mathrm{ID}=\log_2(2A/W) \tag{5.1}$$

$$\mathrm{MT}=a+b\times\mathrm{ID} \tag{5.2}$$

式中，ID 为一个目标拾取运动任务的难易程度，难度指数，可采用信息论中的计量单位比特(bits)来描述；A 为起始点到目标中心的距离；W 为目标宽度或运动终止区域的误差容许量；MT 为运动时间；a、b 均为由实验确定的系数。

3. Plamondon 肌肉运动整合模型(1995)

Plamondon 等人从 1989 年开始研究人的目标拾取运动，他以终端效应器的速度为主要研究的方向；根据众多的实验数据和研究结果，他认为终端效应器的速度随时间变化曲线为“钟形”，如图 5-5 所示。最后，他从生理学层次分析了人体运动过程，把导致终端效应器的肌肉系统分为两个子系统。主动肌系统和拮抗肌系统。要求的运动是通过这两个子系统的整合作用实现的，如图 5-6 所示。

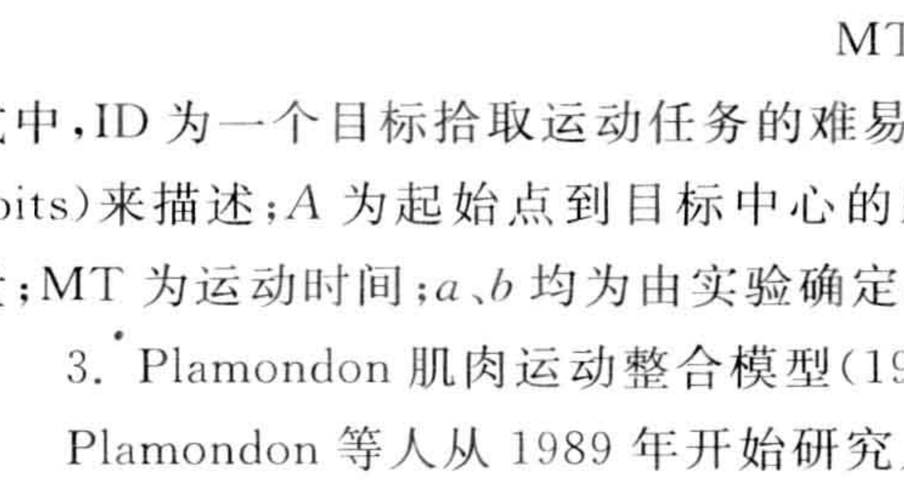


图 5-5　终端效应器速度—时间曲线

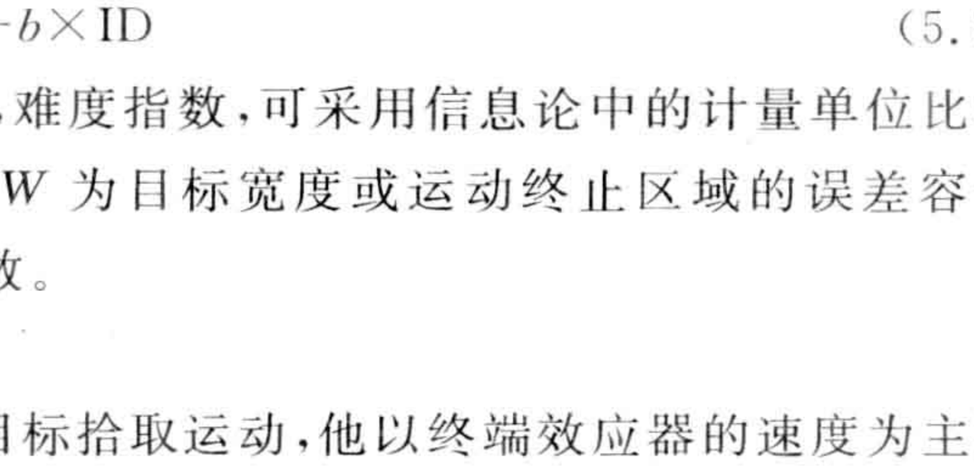


图 5-6　肌肉系统的整合作用模型

无论主动作用系统和拮抗作用系统都是通过肌肉的整合作用来工作的，即其表现出来的运动特性是由大量相互独立的神经肌肉网络共同工作、相互作用、相互耦合的综合作用形成的，并且每一个个别因素在总的影响中所起的作用都是微小的。

4. 袁修干—王立刚的目标拾取运动的理论模型(1998)

(1) 根据有关实验分析的结果提出了关于目标拾取运动的5条基本假设。

① 人的运动控制系统是模拟控制系统，由于神经冲动、神经传导等生物现象的作用，使多次重复相同条件的目标拾取运动时，运动过程(包括运动完成时间和终点位置)不是完全相同的，而是服从正态分布。

② 人的目标拾取运动的运动过程一般包括一个规划运动和一系列修正运动。运动难度较小，只有规划运动存在；修正运动的数量随运动难度增加而增加。

③ 规划运动的加速度变化较剧烈，具有基本相等的加速和减速阶段。该阶段的持续时间与平均速度成正比，与运动距离的平方根成正比。

④ 修正运动的数量和持续时间由运动难度决定，而运动难度则由目标的水平和垂直尺度与运动距离共同决定。

⑤ 运动夹角和目标形状对目标拾取运动的难度指数影响不大。

(2) 在以上五条基本假设的基础上，提出了目标拾取运动的理论模型。

① 根据假设2可以得到：整个目标拾取运动过程的运动时间等于规划运动阶段和修正运动阶段各自花费的时间之和，即

$$T = T_0 + T_1 \tag{5.3}$$

式中，T 为总的运动时间，T_0 为规划运动阶段运动时间，T_1 为修正运动阶段运动时间。

② 根据假设3和假设4分别将规划运动阶段运动时间 T_0 和修正运动阶段运动时间 T_1 代入方程(5.3)，得到目标拾取运动的运动时间与其主要影响因素的关系式。

$$\begin{aligned} T &= a_0 + b_0\sqrt{A} + a_1 + b_1\log_2\left(\frac{\sqrt{A}}{W}+1\right) + c_1\log_2\left(\frac{\sqrt{A}}{H}+1\right) \\ &= a + b\sqrt{A} + c\log_2\left(\frac{\sqrt{A}}{W}+1\right) + d\log_2\left(\frac{\sqrt{A}}{H}+1\right) \end{aligned} \tag{5.4}$$

式中，a、b、c、d 均为实验系数。W、H 分别为目标的水平和垂直尺度。

对于一维目标拾取运动或 W 等于 H 时，式(5.4)可简化为

$$T = a + b\sqrt{A} + c\log_2\left(\frac{\sqrt{A}}{W}+1\right) \tag{5.5}$$

采用典型的实验数据对所提出的理论模型进行了检验，表明该模型对各种一维和二维的目标拾取运动具有较广泛的适用性和较高的描述精度，具有一定的实用价值。

5. 通过对以上诸典型模型的分析，我们可以看出目标拾取运动各模型中的不足，并得出以下结论。

(1) 以前的目标拾取运动模型大都是从简单的经验、信息论、控制论、生理学等角度提出的，而在实际工作中，往往伴随着人的各种心理变化及认知环境的变化，所以如何把这些因素整合起来进而形成一个定性与定量相结合的应用模型，这将是认知技术的一个重要研究方向。

(2) 目标拾取运动作为认知技术中的一种基本操作,对于系统的设计具有重要的影响。在实际工作中,大多数运动是三维的,因此开展对三维目标拾取运动的研究工作十分必要。

(3) 在认知技术中,存在着大量对运动目标的拾取操作,战斗机驾驶员瞄准敌机就是一个典型的事例,所以应进一步开展对具体系统中的目标拾取操作的研究。实现目标拾取运动作业效率测试技术是一个重要研究方向,细致、准确地记录目标拾取运动的有关数据,可以为作业效率的研究、训练以及工程评价提供先进的手段。

(4) 在复杂的操作过程中,存在着以经验为基础的无视觉(或弱感觉)拾取操作过程,如何正确地揭示这种运动的规律仍然是困扰人们的一个未揭开的谜。

在真实的复杂背景下,对视觉—目标拾取认知技术进行整体、系统的研究,根据人的视觉认知过程及肢体目标拾取操作/控制过程的生理、心理、环境基础,建造精确、可靠的数学模型已成为研究者所追求的目标。人类认知的经验表明:人具有从复杂环境中搜索特定目标,并对目标信息有选择处理的能力。这种搜索与选择的过程被称为注意力集中(focus attention)。在多批量、多目标、多任务情况下,快速有效地获取所需要的信息是人面临的一大难题。如何将人的认知系统所具有的环境聚焦(environment focus)和自聚焦(self focus)机制应用于多模块认知技术系统的学习,根据处理任务确定注意机制的输入,使整个系统在注意机制的控制之下有效地完成信息处理任务并形成高效、准确地信息输出,有可能为上述问题的解决提供新的途径。如何建立适度规模的多模块认知技术系统是首先解决的问题,另外,如何控制系统各功能模块间的整合与协调也是需要解决的一个重要问题。

通过研究,我们是这样看待认知技术问题的:首先,人的认知过程不是被动地对环境的响应,而是一种主动行为,人们在环境信息的刺激下,通过眼动、头动,改变观察点,从动态的信息流中抽取不变性,在交互作用下产生有知觉的操作或控制;其次,认知技术计算是动态的、非线形的,通常不需要一次将所有的问题都计算清楚,而是对所需要的信息加以计算;最后,认知技术计算应该是自适应的,认知技术系统的特性应该随着与外界的交互而变化。因此,认知技术计算应该是外界环境和人的认知感知器共同作用的结果,两者缺一不可。

研究基于人类行为特征的视觉—目标拾取认知技术,即研究在不确定性动态环境中的感知及反应能力,对于社会系统中重大事变(战争、自然灾害、金融危机等)的应急指挥和组织系统、复杂工业系统中的故障快速处理、系统重构与修复、复杂环境中仿人机器人的设计与制造等问题的解决都有着重要的参考价值。

5.5　人机交互技术中有关人的特性研究

人机交互系统是指由人和机器、环境构成并完成特定任务的系统。人是人—机交互系统的主体;机器是该系统中除人外,与人相对应的"物";有时也将环境条件作为人—机交互系统中一个独立因素。人—机交互系统设计思想的发展经历了三个阶段。二次世界大战以前,人—机交互系统的设计思想是以机器的性能提高作为提高人—机交互系统性能的主要手段。这是人—机交互系统发展的第一阶段。由于当时机械设计水平较低,复杂程度弱,功能单一,提高机器的设计水平和性能对提高整个系统的性能起关键作用。二次大战期间,由于战争的需要,首先在军事产品中出现了复杂的人—机交互系统,如战斗机的操纵和驾驶系统、自动火炮的瞄准和操纵系统等。这是人—机交互系统发展的第二阶段。在这个阶段,人

们还没有从根本上认识到系统中人的能力和可靠性等问题，而是希望通过对人的训练等手段使人能够适应机器，从而保证人—机交互系统中机器性能可以充分发挥。但是，人们很快发现在某些复杂的系统运行过程中，不同的操纵人员（包括一般水平和高水平的操作员）往往会在某些特定的条件下犯类似的错误，导致系统故障甚至毁坏。这促使研究人员开始注意到系统中人的性能。研究发现，越是在机器设备自动化程度高的系统中，人的性能的问题越突出。例如，日本对灾害事故的统计，有 80％是由人的因素造成的。1959—2004 年的世界喷气民航机失事统计也表明，70％～75％的失事是由于机组人员操作失误所造成。这些事实促使人—机交互系统的设计思想有了进一步的发展。现阶段人—机交互系统的设计思想突出地表现为以人为核心的设计方法和思路。例如波音飞机公司在客机 B-777 飞机的设计中，真正采用以人为核心的人—机交互系统设计思想进行了该型飞机的驾驶舱设计。设计中遵循“以机组为中心”的设计原则，在充分考虑驾驶员特性的前提下，引入新的技术和功能。这种设计思想直接导致的结果是机组任务分工明确，工作舒适性提高，新技术的采用对人机界面没有负效应，而且提高了飞机驾驶的安全可靠性，设计出的驾驶舱是一个为众多民航机驾驶员所认为“成功”的现代化驾驶舱。

以人为核心的人—机交互系统设计的主要内容是：将人—机交互系统中的人作为设计主体，人—机交互系统及其各个分系统的设计均应按照人机工程的理论和方法，围绕着更好地发挥人的能力、提高人的性能的原则进行。人—机交互系统的理论模型如图 5-7 所示。在系统运行过程中，环境和机器的状态和特性都会对人的性能产生一定的作用，这些作用是人机工效学研究的内容。以人为核心的人—机交互系统设计正是要通过对其中具有共性的作用研究，避免降低人的性能的作用，使人在系统运行中能够保持高效、准确和可靠的工作状态，从而提高整个系统的性能。要正确分析环境和机器对人的性能的作用，必须建立准确、可靠的人—机交互系统中人的模型。以人为核心的人—机交互系统设计阶段中，人处于系统的主体地位，人的模型必须能够反映人—机交互系统中人的主要特性和人对机器及环境作用的响应，即系统中人的性能。

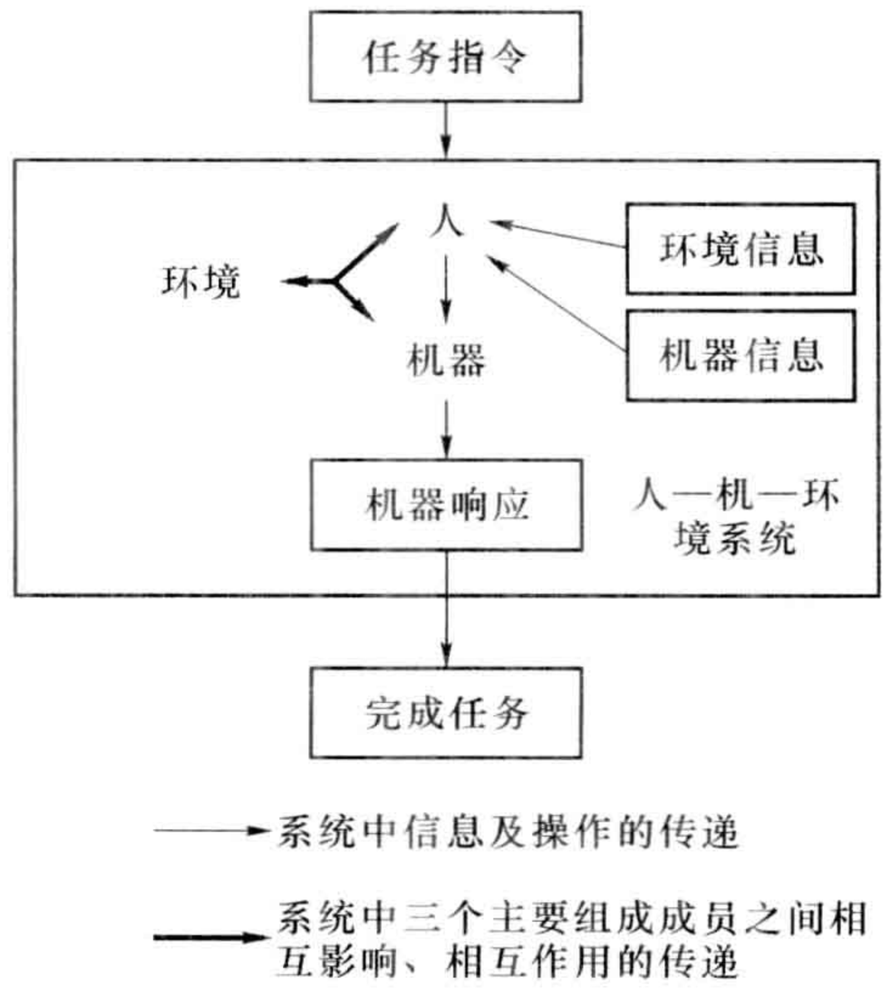


图 5-7　人—机交互系统的理论模型

在人—机交互系统设计中必须考虑人的生理特性，要求在机器设备和环境等因素的作用下人的生理特性参数仍能处于合适的范围内。如军用飞机驾驶舱设计中的急性高空缺氧问题。人在缺氧情况下，轻则困倦、疲劳，直接影响工作效率，重则恶心呕吐，甚至意识模糊、意识丧失，严重威胁安全。因此，对于军用飞机驾驶舱这种典型的人—机交互系统，人的生理模型中必须包含急性高空缺氧对人的作用，其最直接的反映是给出急性高空缺氧的一些生理耐限值，如最佳值、夜航安全值、功效保证值、功效允许值、缺氧耐限值和缺氧极限值等。在人的生理模型中一般要考虑的因素有温度、照明、噪声、振动和视野等。对于不同的人—机交互系统，由于其工作条件不同，要求考虑的人的生理特性也不同。地面的人—机交互系统（汽车驾驶室等）设计中，缺氧问题就不用或很少被考虑，而例如乘坐舒适性的问题却可能被放在重要地位。因此，针对不同的人—机交互系统设计，建立人的生理特性模型时，要根据系统的情况，具体问题具体分析，抽取合适的评判参数。人的生理特性的研究起源于医学和生理学研究，发展到现在已较为成熟。作为人—机交互系统的设计人员，应将医学和生理学的研究成果与人机工效学原理相结合，建立侧重于人机工效分析的人的生理模型。

由于人的心理特性在人—机交互系统运行中的表现是隐性的，所以长期以来对人的心理特性模型的研究并没有引起人们足够的重视。随着机器设备自动化程度的大幅度提高，对人的各个方面素质的要求就越来越高，人的心理问题也日益变得重要起来。人的心理特性对人—机交互系统设计影响的一个典型实例是色彩问题，通常在人—机交互系统中，用红色表示警告信息，这不仅仅是因为红色具有穿透效果好的物理特性，更重要的原因是在人的心理中红色与警告之间具有某种特殊的联系，这不是某个人的反映，而是大多数人的心理反映。人的心理学是一门复杂的学科，其研究的内容包含许多方面，在人—机交互系统中，通常只研究那些对系统运行产生影响的内容。

通过某些人—机交互系统的事故分析，可以发现人的心理特性具有一种错误非线性放大的规律，一般表现为人的心理特性具有一定的阈值，当系统任务变化或机器设备和环境状态变化带来的干扰信息出现在安全区时，人的心理特性具有自我调节的能力，可以进行自动纠正。当干扰信息出现在危险区时，人的心理特性不但不能自我调节，还可能放大干扰，造成系统运行事故。人的心理特性受干扰时的曲线示意图如图 5-8 所示。由于人—机交互系统中人的心理特性模型的研究工作开展得较晚，加之人的心理特性固有的复杂性，这方面的研究工作应该进一步开展。

随着人—机交互系统自动化程度和复杂程度的不断提高，系统中的机器和环境监控设备等与系统中的人之间的信息交换就越来越多，这是由于机器本身在目前阶段尚不具备像人一样的对各种不正常情况的综合分析和处理能力，对系统的整体运行控制仍然必须依靠，甚至更加依靠系统中的人的作用。估计将来机器可以具备一定的人工智能，但同人的智能相比，至少在相当长的一段时期内不能相提并论。即使是人这种高智能生物，其对信息的处理能力依然是有限的。因此系统中其他部分提供给人的信息必须符合人的认知能力，也就是说，给人的信息输入要符合人机工效的要求，保质保量。人的认知能力是指人感知各种输入信息，将其转化成综合信息，然后将这种综合信息作为决策依据的能力，其随输入的信息量的变化示意曲线如图 5-9 所示。

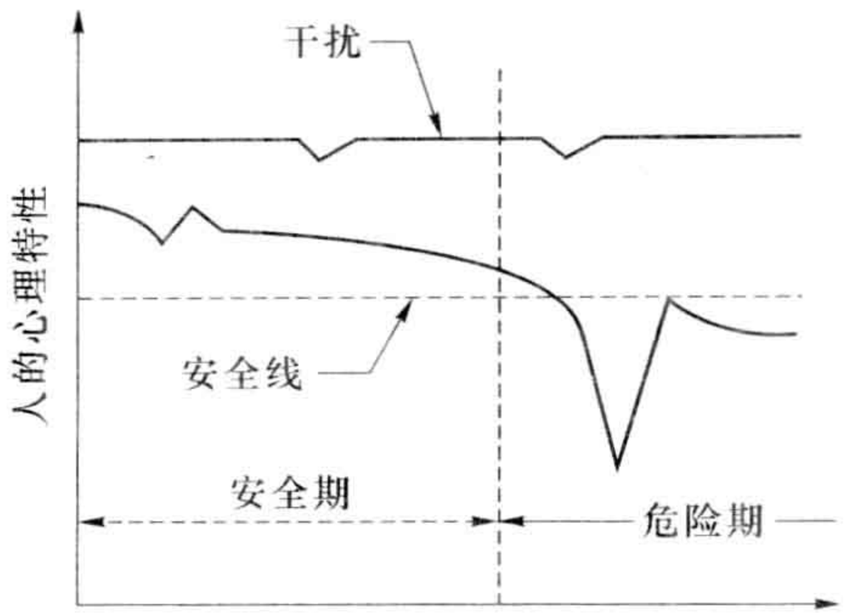


图 5-8　人的心理特性受干扰时的曲线示意图

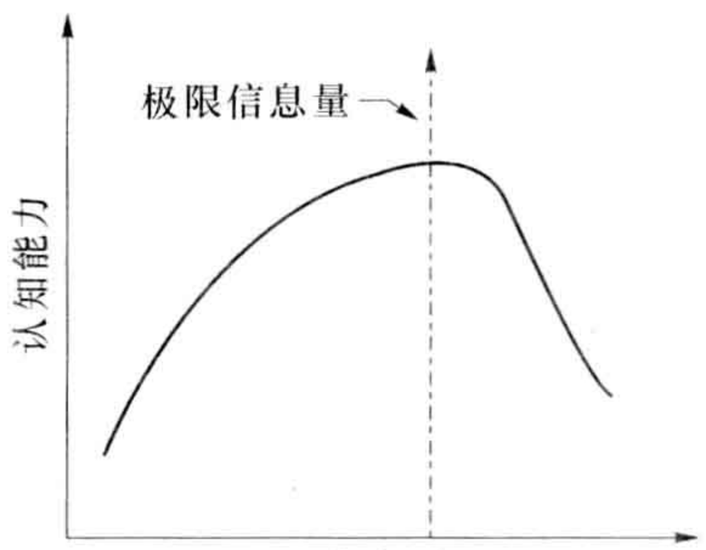


图 5-9　人的认知能力示意曲线

提供信息的目的是反映问题。信息量太少说明不了问题，信息量太大会淹没主要问题，甚至影响人的认知能力。信息的质量包含狭义和广义两方面的内容：从狭义上讲，每条信息必须是准确的。如一条信息提示飞机燃料不足，其实是电子线路故障的误报，这种信息就是不准确的。从广义上讲，即使提供的每一条信息都是准确的，如果信息的结构组织不好，同样会造成人的决策失误。例如 1992 年 7 月 20 日美国一架 V-22“鱼鹰”倾转旋翼飞机坠毁事件。该事故调查报告表明，其主要原因是因为该飞机驾驶舱信息传递设计不足，虽然在机器发生故障时提供了许多在狭义上讲是准确的信息，但是由于未能在关键时刻向驾驶员报告最重要信息而造成驾驶员判断失误，无法实施正确的补救措施，导致了飞机坠毁。因此，如何设计人—机交互系统的信息流动，使其提供给人的信息恰到好处是十分重要的。事实上，自动化和计算机的发展带来了所谓的“信息应激”问题，使对人的认知特性的研究成为人机工程中一个新的热点方向，典型的问题如“人—计算机系统工程”等，正吸引越来越多的研究人员参与。通过以上分析表明，人的认知特性模型应该准确反映人对信息的接受、反映和综合等特性。系统信息流传递的设计应通过这个模型来检验。人在形成决策后，将通过各种运动或动作来实现系统控制。人的运动和动力学特性模型可以用来进行系统操纵性的工效分析。对应某个具体任务，如飞机的俯仰控制，是通过推拉驾驶杆实现的。在完成该类任务时，一般至少会涉及两个重要的工效学问题：①推拉驾驶杆的过程中是否会与其他设备或部件发生碰撞或干涉；②推拉驾驶杆的过程中作用在人的手臂上的反作用力大小如何，是否在人手臂的生理限度之内。第一个问题属于人体运动学，第二个问题属于人体动力学，对这两个问题的回答必须依据人的运动和动力学特性模型。

以上几方面的因素对人—机交互系统人机交互特性的影响各有侧重，然而它们并不是相互独立的，而是几个方面同时进行、同时作用的。例如温度对人的影响一般来自环境因素的改变，首先影响的是人的生理特性，在人自身温度调节失效后甚至调节过程中，人的认知特性将受到干扰，从而影响人的决策的正确形成。目前，由于对人在单因素条件下的人机工效特性的认识尚不够深入，对复合因素作用下的模型研究更是十分困难。然而，实际的人—机—环境系统中人往往是处于各种因素的耦合作用下，因此只有建立该模型，才能较为真实、可靠地反映人的特性。我国对人—机—环境系统和人机工效学的研究工作起步较晚，对其认识仍有不足。随着科技水平的不断进步，人—机交互系统设计和研究已受到越来越大

的重视。今后应进一步开展与人—机交互系统中人的模型相关的各方面的研究工作，特别应该重视多因素耦合作用下人机特性模型的研究，提高和改进实验手段。

5.6　生理疲劳与影响因素

在作业过程中，作业者的作业机能衰退，作业能力明显下降，有时伴随着疲倦感等主观症状的现象，称为作业疲劳，简称疲劳。疲劳产生后必须减轻作业强度或暂时中断作业，否则不仅会造成作业效率下降，而且还会影响人的身心健康，诱发事故的产生。疲劳现象表明不能再继续进行该项作业活动，它是人体活动过程中产生的正常生理反应，是一种自然性的保护性反应，对防止机体产生过度疲劳起到警告性作用。疲劳后的身体可通过适当休息得到恢复，合理的安排工作和休息时间以及设计良好的工作环境有助于减轻、缓解或消除疲劳。

疲劳者继续作业不仅不安全，也不经济。第一次世界大战期间，英国的工业企业曾以延长工作日时间的办法企图增加产量，结果生产率却直线下降。因为时间延长缩短了工作日之间的休息时间，疲劳机体得不到恢复，造成疲劳累积。后来，他们把工作时间缩短了，生产率却大幅度提高，轻劳动强度每小时生产率提高 13%；中等劳动强度每小时生产率提高 19%；重劳动强度每小时生产率提高 33%。

疲劳产生的原因主要有以下两方面因素。

(1) 工作方面因素

① 劳动制度和生产组织不合理，作业时间过久、劳动强度过大、作业速度过快、工作体位欠佳等。

② 机器设备和各种工具条件欠佳，设计不良。

③ 不良的工作环境，照明欠佳、噪声太强、振动、高温、高湿以及空气污染等。

(2) 作业者本身因素

① 劳动效果不佳，在相当长的一段时间内没有取得满意的成果，引发心理疲劳。

② 劳动内容单调。作业动作单一、乏味，不能引起作业者兴趣。

③ 劳动环境缺少安全感。技术方面的安全防护措施不完善和职业的不稳定，以及不适的督导和过分暗示，都会造成心理压力与精神负担。

④ 劳动技能不熟练。当工作任务的繁杂程度超过劳动者能力水平很多时，由于负担重、压力大，也会产生心理疲劳。

⑤ 劳动者本人的思维方式及行为方式导致的精神欠佳。人际关系不好，上下级关系紧张，以及家庭生活的不顺，都会引起心理疲劳。

根据疲劳发生的机理不同，疲劳分为生理疲劳和心理疲劳。

(1) 生理疲劳主要是由于生理方面因素变化所造成的疲劳，如肩扛重物行走所引起的疲劳，剧烈体育运动所引起的疲劳等。视产生疲劳的部位不同，生理疲劳又可分为体力疲劳、脑力疲劳和技术性疲劳。

① 体力疲劳是指由于肌肉的长时间重复收缩而引起的疲劳。它可分为局部性疲劳和全身性疲劳。局部性疲劳是在个别器官或肢体参与紧张活动时，身体的相应部位产生疲劳，一般不影响其他部位的功能，如写字时的手部疲劳，对视、听觉并无明显影响。全身性疲劳

是全身参与较繁重的体力劳动所致，表现为疲乏、关节酸痛等主观疲倦感，以及操作迟钝、混乱或错误增加等客观操作能力的降低。

② 脑力疲劳主要是由于大脑和神经系统紧张活动而引起的疲劳，表现为头晕脑涨或大脑一片空白、全身乏力、失眠或嗜睡等。

③ 技术性疲劳是指需要脑力、体力并重，且神经系统相当紧张的劳动所引起的疲劳，如飞机、汽车驾驶员工作时出现的疲劳。其具体表现形式以活动时脑力、体力参与的比重不同而不同，也就是活动时脑力参与的比重大则倾向于脑力疲劳特征，而活动时体力参与的比重大则倾向于体力疲劳的特征。

根据引起疲劳的原因和状态的不同，生理疲劳又可分为急性疲劳、慢性疲劳、姿势疲劳、缺氧疲劳、病理疲劳等多种类型。

① 急性疲劳是由于短时间过重的活动所引起的疲劳。这种疲劳只要及时减轻或消除活动负荷，适当休息即可恢复。

② 慢性疲劳是由于长时间活动累计成的疲劳，这种疲劳恢复较慢，要进行长期的治疗和休养，如果得不到妥当的处理，就会积劳成疾。

③ 姿势疲劳是由于某一姿势活动持续较久，没有注意合理调节，从而引起某些器官的疲劳。这种疲劳的产生过程较长，未能引起操作者本人的注意，如长期伏案写字引起胸痛、颈椎腰椎疲劳、肩部不适，时间久了会引起疾病。

④ 缺氧疲劳是由于长期营养不足或氧气供应不足所造成的疲劳。这种疲劳表现为乏力无劲，有的会引起疾病。如睡眠时间太长，就会引起缺氧疲劳，这在医学上称为久卧伤身。

⑤ 病理疲劳是指由于疾病造成的疲劳。如感冒发烧或肝炎病人在发病期和恢复期，都会感到四肢酸痛，浑身乏力。

(2) 心理疲劳是由于心理和精神方面因素变化所引起的疲劳。心理疲劳往往带有主观体验的性质，并不完全是客观生理指标变化的反映。在日常的工作生活中，虽然劳动强度不大，但由于神经系统过于紧张或长时间从事单调、厌烦的工作而使操作者表现出较强的疲劳症状，如感觉体力不支、注意力不集中、反应迟缓、情绪低落、心烦意乱，并往往伴随着工作效率低下、错误率上升等现象。心理疲劳的症状进一步发展，将导致头痛、眩晕、心血管和呼吸系统功能紊乱、食欲下降、消化不良及失眠等。

疲劳具有以下特征：

(1) 疲劳的可感受性。人在主观上能够感受到疲劳状况的存在，有自觉不适的反应，如感到身体不适、头晕、头痛、控制力下降、注意力涣散、信心不足等。人对疲劳的可感受性可以防止人产生过度疲劳。

(2) 疲劳的可恢复性。疲劳可以通过适当的休息得到恢复。

(3) 疲劳的积累效应。未完全恢复的疲劳可在一定程度上继续存在到次日。

(4) 疲劳的可适应性。人对疲劳有一定的适应能力，例如连续工作十几天，反而觉得不累了，这是体力上的适应性。

(5) 疲劳的可耐受性。当疲劳出现时，人对疲劳会有一个从轻微疲倦到精疲力竭的感受过程，这一过程所经历的时间长短因人而异。

（6）疲劳的滞后性。人对疲劳的产生和感受在时间上未必一致，有些人对疲劳的感受比较迟钝，也就是虽然这些人主观上尚未感受到疲劳，但机体早已进入疲劳状况，这是疲劳的滞后性。这种滞后性除与人的体质有关外，还与人的心理状态有关。体质较好的人或活动时注意力集中的人较能抑制疲劳感。疲劳的可耐受性和滞后性有时会造成人的过度疲劳，甚至会积劳成疾。

（7）疲劳的超前性。疲劳的超前性是指人主观上已有疲倦感，而实际上集体尚未进入疲劳状态。这种疲劳的超前性是由人的心理作用所致，与人的工作动机、兴趣、事业心等有关。

（8）疲劳的暗示性。疲劳暗示可分为自我暗示和他人暗示。自我暗示是一个人在某项活动中，自己向自己发出某种指令。在同一活动过程中，由于自我暗示的不同会导致不同的结果。积极的自我暗示能使人废寝忘食，消极的疲劳暗示易使人疲劳。他人暗示是指某人对疲劳的感受会传播给他人。例如，在紧要关头，领导者的坚持往往会使下属克服疲劳感而完成任务；而某人对疲劳的感受会暗示、传播给他人，使疲劳像传染病那样蔓延开来。

从上述疲劳的几个特征来看，作业疲劳的突出特点是生理反应。作业者疲劳时，出于作业机能衰退，作业能力下降，有时伴有疲倦感而产生不能把作业坚持下去的感觉。作业疲劳也是心理反应。作业者为了某种目的，通过自己的努力可以在短时间内掩盖疲劳的效应；相反，由于心理上的某种不适或不满又会提前加速疲劳的出现。作业疲劳又是环境因素的反应。单调的作业内容、强制而令人不适的作业节奏，使作业者产生厌倦感，因而造成作业者的作业效率下降。疲劳本来是指生理反应，但是由于心理因素和环境因素等影响，有时难以区分劳动强度的科学性与合理性，这必须引起生产组织者的重视并作出解决方案。

作为疲劳对策，应从以下几个方面关注和改善人文环境和条件。

（1）与个人属性相关因素

要充分考虑作业者的性别、年龄、身心状况、专业技能水平、健康程度等。

（2）与个人生活相关条件

要积极改善作业者的居住环境和条件，而作为作业者本人则要保持良好的人际关系，保证休息和运动时间等。

（3）工作环境

要科学地进行作业空间布局、改善作业环境（噪声、振动、温湿度、气流分布、照明、色彩调节、有害气体、粉尘），作为作业者本人则要搞好同事及上下级关系。

（4）作业时间

要合理安排每天作业时间及连续工作时间、每周休息时间及节假日时间等。

（5）作业内容与条件

要充分考虑作业动作、作业姿态、作业强度、作业速度和密度对人体身心影响，合理安排使用工具和机械。

（6）福利条件

改善和提高各种相关福利条件。

5.7 反应时间

1. 单纯反应时间

在人机界面设计中要充分考虑人的反应时间和生理极限。反应时间是指人从外界感知信息(刺激)后,经过大脑分析判断做出决策,由运动器官执行所需时间。单纯反应时间 T 如下式所示,由知觉时间、认知时间和运动时间构成。

$$T=\tau_p+\tau_c+\tau_m \tag{5.6}$$

式中,τ_p、τ_c 和 τ_m 分别表示知觉时间、认知时间和运动时间,Card 提出的典型值为 $\tau_p=50\sim100$ ms,$\tau_c=25\sim170$ ms 和 $\tau_m=30\sim100$ ms。

在人机界面编码设计中,各种信息通过信号识别后将用标识符号等方式呈现在显示界面,人看到这些信息后需经历辨认与确认过程,此时反应时间不能简单地用式(5.6)来计算。如信号只有与事先提示的其他信号相同时才能作出运动反应的情况,认知过程实际上做了检查对比 2 个信号的工作,故此时从信号发生到产生反应的时间为 $T=\tau_p+2\tau_c+\tau_m$。由此可知,从感知信息到作出反应的时间将视具体情况而变。

简单反应时间可以使用简单反应时间测定仪进行测试。测试时被试者需静坐在弱光照明的测试台前,面对将要呈现的光(或声)信号刺激方向。事先让被试者熟悉刺激信号性质,被试者将手指放在反应键上,当刺激信号呈现时立即按反应键,计时器将记录刺激呈现到被试者做出反应的时间。各种感觉通道的简单反应时间如表 5-4 所示。

表 5-4 各种感觉通道的简单反应时间

感觉通道	反应时间/ms	感觉通道	反应时间/ms
视觉	150～225	味觉	305～1 080
听觉	120～185	痛觉	400～1 000
触觉	115～225	冷觉	150
嗅觉	200～800	温觉	180

2. 选择反应时间

由于人的心理因素的限制,人对刺激的反应速度是有限的。随着信息量增加,人的反应时间延长,信息量个数和反应时间关系如下式所示。

$$T_r=k\log_2(n+1)+\tau_m \tag{5.7}$$

式中,T_r 为选择反应时间;k 为常数;n 为选择信号数;$(n+1)$是考虑判明是否出现刺激。

一般条件下,对于复杂的选择反应时间达 1 000～3 000 ms ,而要进行复杂判断和认识的反应时间平均达 3 000～5 000 ms。影响反应时间的因素有以下几点。

(1) 感觉通道的种类

不同感觉通道受刺激的反应时间明显不同。在所有感觉通道中,触觉和听觉反应时间最短,其次是视觉。根据感觉通道反应时间的特点,在报警信号中,常以听觉刺激作为报警信号形式。在普通信号中,则多以视觉刺激为主要信号形式。

(2) 刺激信号的性质

刺激强度必须达到一定的能量才能使感觉器官形成感觉。当刺激强度逐渐增加时,反应时间随刺激强度的增加而缩短,并逐渐趋近一个特定值。越接近这个值,强度对反应时间

的影响越小。刺激强度也应包括刺激时间的积累，它对反应时间也有影响。在一定范围内，反应时间随刺激时间的增加而缩短。还有刺激的清晰度，信号本身越清晰，其刺激反应时间越短。此外信号的清晰度还与背景环境有关，因此设计信号应考虑与背景的对比度因素。如使用灯光信号，要考虑与背景的亮度比；使用标志信号，要考虑与背景的颜色对比；使用声音信息，要考虑与背景的信噪比及频率分布的区别等。在实际应用上，如对重要的监控，要求有一定程度的隔音和合理的照度分布等，以保证对监控信号反应迅速、准确。

对于选择反应时间，刺激信号的以下性质对其影响有特殊的意义，应该特别加以考虑。

① 刺激物数量的影响。人接受心理、生理刺激的能力有一定的界限，如果给予的刺激或信号数量过多，接收和做出反应困难，甚至不可能全部接收和做出反应。如作业人员观察 2 个仪表进行相应操作与观察 8 个仪表进行相应操作相比，后者由于选择判断的内容增加，导致选择反应时间延长。实践证明，随着刺激物数量的增加，选择反应时间增加。

② 刺激物间差别的影响。刺激物间的差别越小，识别判断等信息处理活动越复杂，因而选择反应时间越长。在显示系统设计中，应尽量突出刺激物间的差别特征，以提高可辨性。但不同感官辨别差异的能力不同，视觉约为 1/100，触觉为 1/10，味觉只有 1/5。

③ 作业时间长短的影响。人的感官识别能力，在作业开始不久的一段时间内较高，识别速度较快，以后渐渐降低。一般经过 30～40 min，识别效率可能降至开始时的一半。信号出现率低比出现率高时识别能力降低更快。因此，长时间从事监视、检查作业的人员，应当考虑采取中间休息，适当轮换作业等措施，以有效利用作业开始后一段时间内其具有较高识别和检出能力的时机。

④ 信号间隔与发生频度的影响。信号间隔小于 0.5 s 时，连续发出的信号往往检查不出来。因此，一般认为，0.5 s 是人对信息处理能力的一个界限。在监视作业情况下，信号有规律的呈现时，识别速度快，检出率高。对不限定间隔时间的信号，作业人员能预期发生时识别时间较短；非预期发生时则识别时间较长。对发生频率高的监视作业，识别时间较短，信号检出率较高；相反则识别时间较长，检出率较低。

（3）人的机体状态

人的机体如果处于适应环境条件的状态，刺激反应时间短。如视觉适应照明环境，对光的刺激反应时间就短。听觉适应声音环境，对声刺激反应时间也短。相反，对新的、不熟悉的环境，或不断变化的环境，机体没有适应时反应时间就长。在视、听信号刺激反应中，为了缩短反应时间，必须考虑机体对环境的适应问题。另外，人对将要出现的刺激在精神上有准备或准备充分，反应时间就短，无准备或准备不充分则反应时间长。准备程度可以用预备时间长短来说明。所谓预备时间是指从预备开始到刺激信号呈现这一段时距。如果预备时间太短，没有做反应的充分准备；如果预备时间太长，准备又有可能衰退，这都会使反应时间变长。反应时间还受唤醒水平、动机、练习、个体因素和疲劳影响。

从以上因素可以看出，为了提高人的反应速度，缩短反应时间，必须注意以下几点。①合理选择感觉通道；②确定刺激信号特点；③合理设计显示装置；④进行职业选择和适应性训练。应当指出，尽管采取一些措施可以缩短人的反应时间，但是这种缩短是相对的，也是有限的。在现实作业中，一般完成控制操作最少需 300 ms。因此，自刺激呈现到反应动作完成最少需 300 ms，加上反应时间 200 ms（估计数），共计 500 ms。在没有任何期待（预先警告）的情况下，反应时间加运动时间一般为 700～1 000 ms，甚至 1 000 ms 以上。

5.8 人体生理和心理测量

为改善人机界面，调和人和界面的关系，最终将界面作业带来的疲劳度、压力、身体活性度（觉醒度）这一类人的感觉量用生理指标来客观评价的研究非常活跃。其原理是根据处理人的心理和生理影响的心理生理学，以及从界面给出的外部刺激引起的人的心理和生理反应的相互关系，将其作为评价界面的适合度。

以生理反应为中心描述的外部刺激引起的人的心理和生理反应如图 5-10 所示。

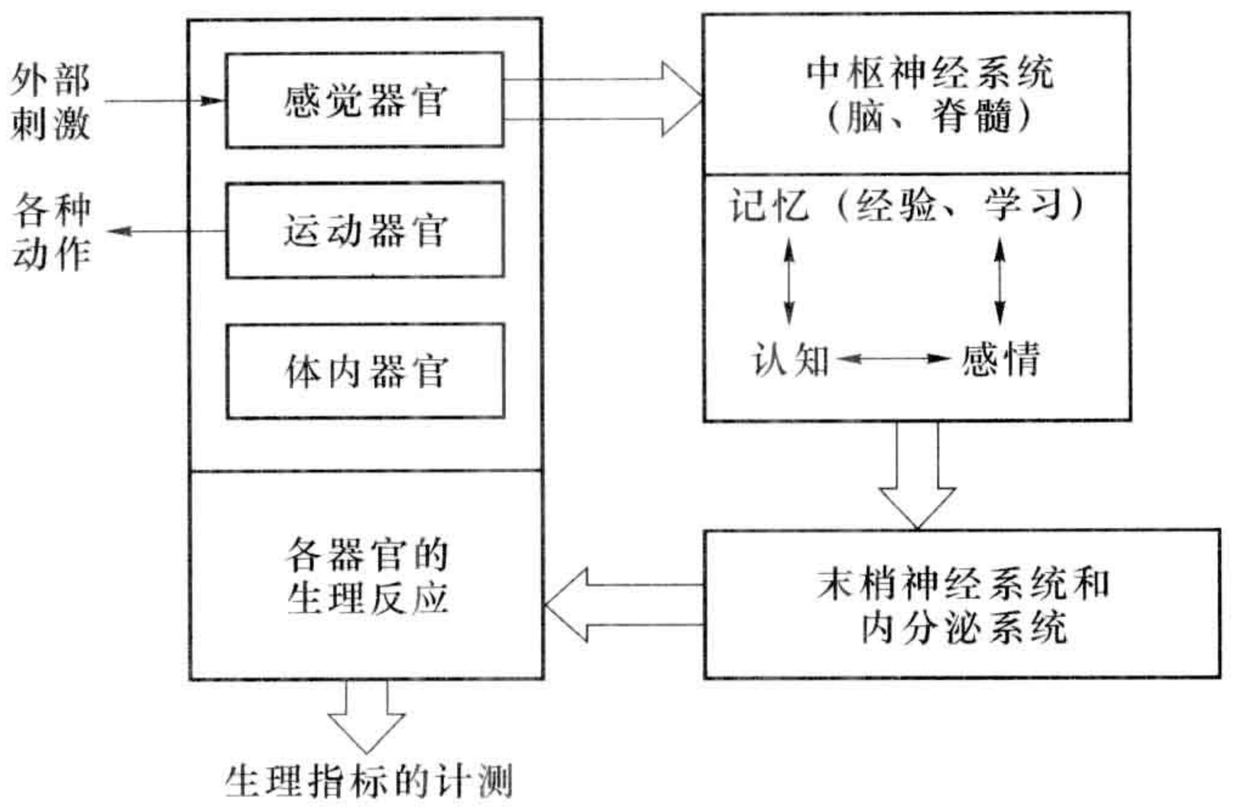


图 5-10　人的生理反应过程

外部刺激通过人的眼和耳等这些感觉器官被传到大脑中枢，在那里产生的各种心理作用以末梢神经系统或内分泌系统为媒介在人体器官引起各种生理反应。因此，各种人体器官的生理反应根据身体情报检测器作为生理指标计测，并导出人感觉量和生理指标间的相互关系，从而对人的感觉量进行科学推理。

与关注特定的单一指标相对应，最近，将各种生理指标组合起来的计测和解析方法受到重视。对以人的生理和心理的联系为对象的研究来说，和物理学不同，在结果的再现性和一般性方面有人特有的问题。对界面评价，为了设定合理的作业程序、验证其有意义性，要特别注意实验条件的整合和统计方法。表 5-5 表示了生理指标和人体感觉的相关性。

表 5-5　生理指标和人体感觉的相关性（○表示相关、◎表示与眼相关）

身体系统	生理指标	身体活性度		作业负荷	精神负荷	疲劳度
		觉醒度	身体规律			
循环系统	心电图、心跳		○	○	○	
	血压、脉搏			○	○	
	血中 O_2/CO_2 浓度			○	○	○
呼吸系统	呼吸数			○	○	
	呼吸中 O_2/CO_2 浓度					○
脑神经系统	脑电位图	○		○	○	
	诱发电位图			○	○	
	CNV			○	○	

续 表

身体系统	生理指标	身体活性度		作业负荷	精神负荷	疲劳度
		觉醒度	身体规律			
视觉系统	眼球电位	○			○	◎
	瞳孔				○	◎
	眨眼				○	◎
	焦点位置				○	◎
人体运动系统	筋电图				○	○
	各部位运动轨迹	○				○
生理代谢系统	皮肤电位活动	○			○	
	临界融合频率	○		○		◎
	体温、直肠温度、鼓膜温度		○	○		
	颜面皮肤温度		○	○	○	
	发汗量	○		○	○	
内分泌系统				○		

1. 脑电图和脑波

通过脑电图和脑波测量能分析一个人是否处于兴奋和疲劳状态，图 5-11 所示为人的脑电图和脑波。

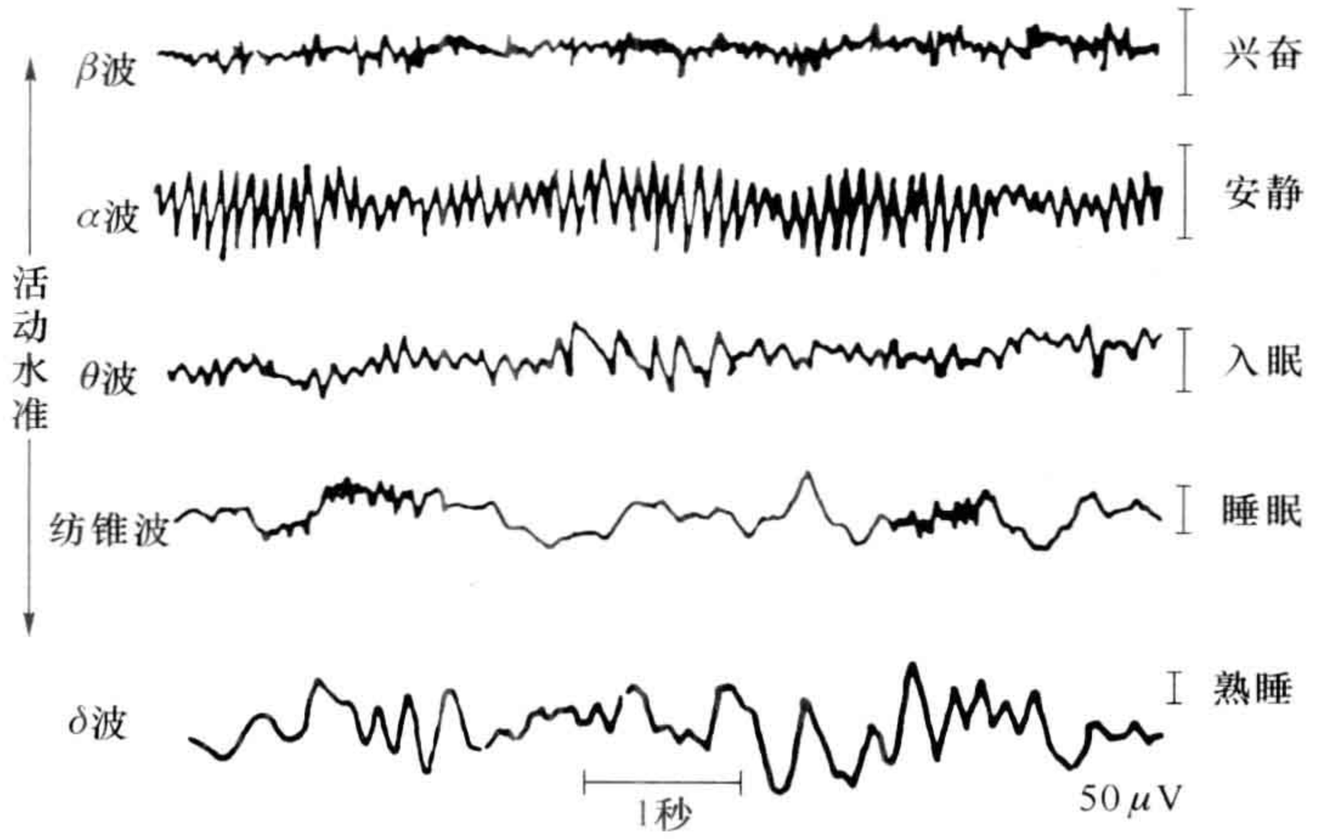


图 5-11　脑电图和脑波

成年人正常脑电图的主要特征如下。

（1）由 α 波和快波组成，慢波只有少数、散在性 θ 波占 10%～15%以下。

（2）α 波和快波显示正常分布，即 α 波主要分布于枕顶区，快波主要分布于额前区。

（3）左右对称部的波幅差一般不超过 20%。

（4）左右对称部的频率差异不超过 10%。

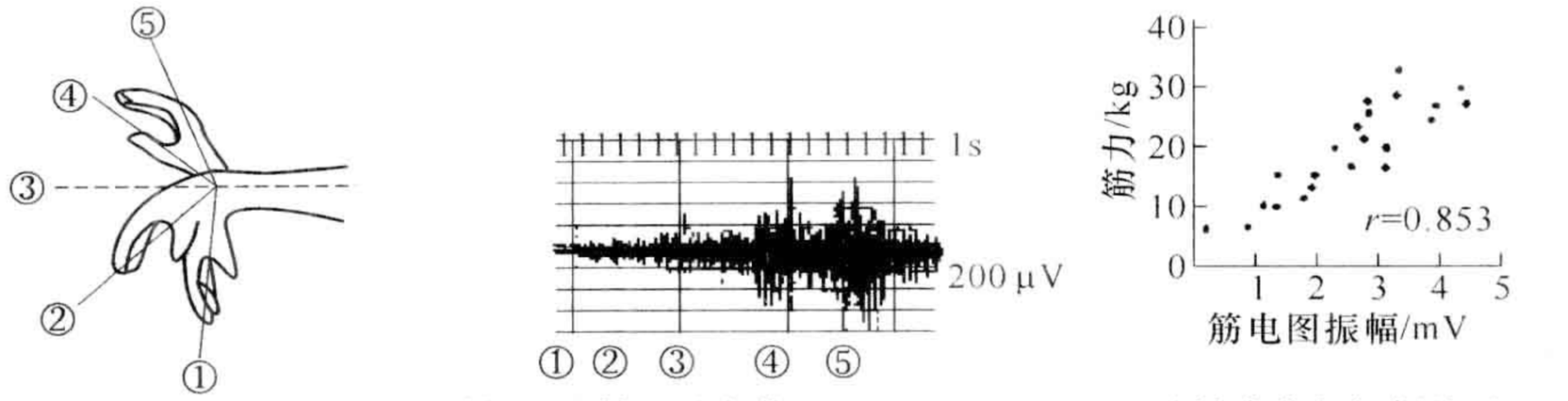
（5）α 波在睁眼、感觉刺激、精神活动时有反应（衰减）。

各种脑波的频率范围为：δ 波 0.5～3 Hz，θ 波 8～13 Hz，α 波 18～30 Hz，中间快波 4～7 Hz，β 波 14～17 Hz，γ 波 31 Hz 以上。

大脑受到某种刺激产生的脑波叫诱发脑波。在数百毫秒到数秒间发生的缓慢的脑波变化检测出的伴随性负电位变化 CNV 反映了认知和注意等的高度的精神心理过程。

2. 筋电图

伴随着筋的收缩发生的电位可通过计测皮肤表面沿着筋安装的电极间的电位差而得到。如图 5-12(a)所示，从筋电图上可得到某一时间段的积分值或包络线变化情况及中心频率等指标。图 5-12(b)所示为筋疲劳与筋电图振幅的关系，图中 r 为相关系数。筋的活动越强，筋电图的振幅将越大，而当筋疲劳时，筋的活动频率将降低。筋活动的测量数据可用于评价作业强度、时间分配、作业系统的配置、作业姿态等，即可用于作业系统界面的物理评价。另外，通过筋的活动可分析人的精神负荷，作业人员的情动反应等。



(a)某一时间段的筋活动变化　　(b)筋疲劳与振幅关系

图 5-12　筋电图

3. 心电图

心电图将心脏的收缩发生的电位变化通过计测装在胸部或四肢上的两个电极的电位差而获得，如图 5-13 所示。

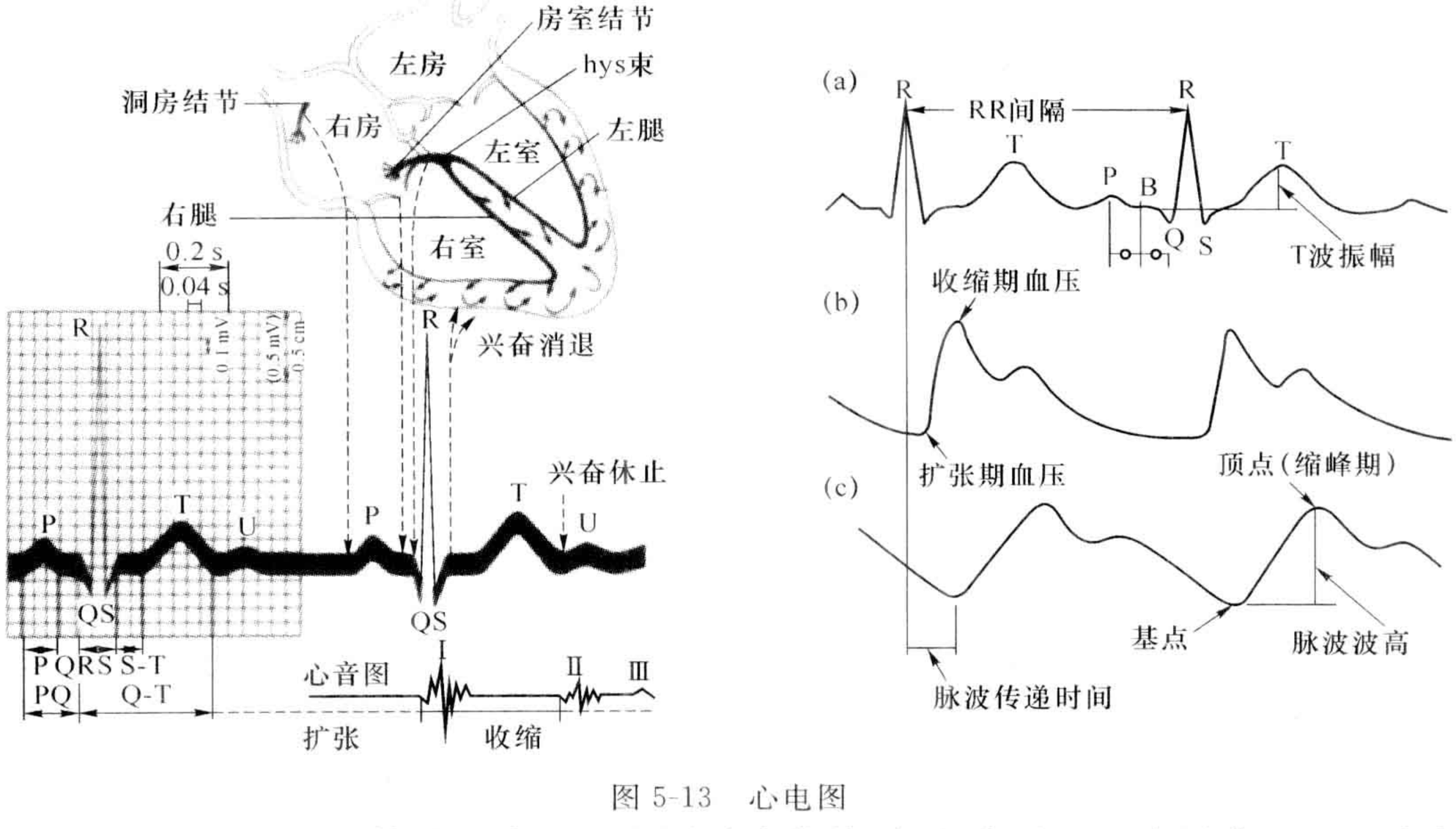


图 5-13　心电图

图 5-13(a)反映了心筋的兴奋和心电图对应的关系，兴奋过程可由图中 P～U 波来观察。P 波对应于心房筋收缩，表示心房兴奋。QRS 波表示兴奋向心室筋传播。T 波对应于心室筋的兴奋的消退。U 波的成因尚不明。

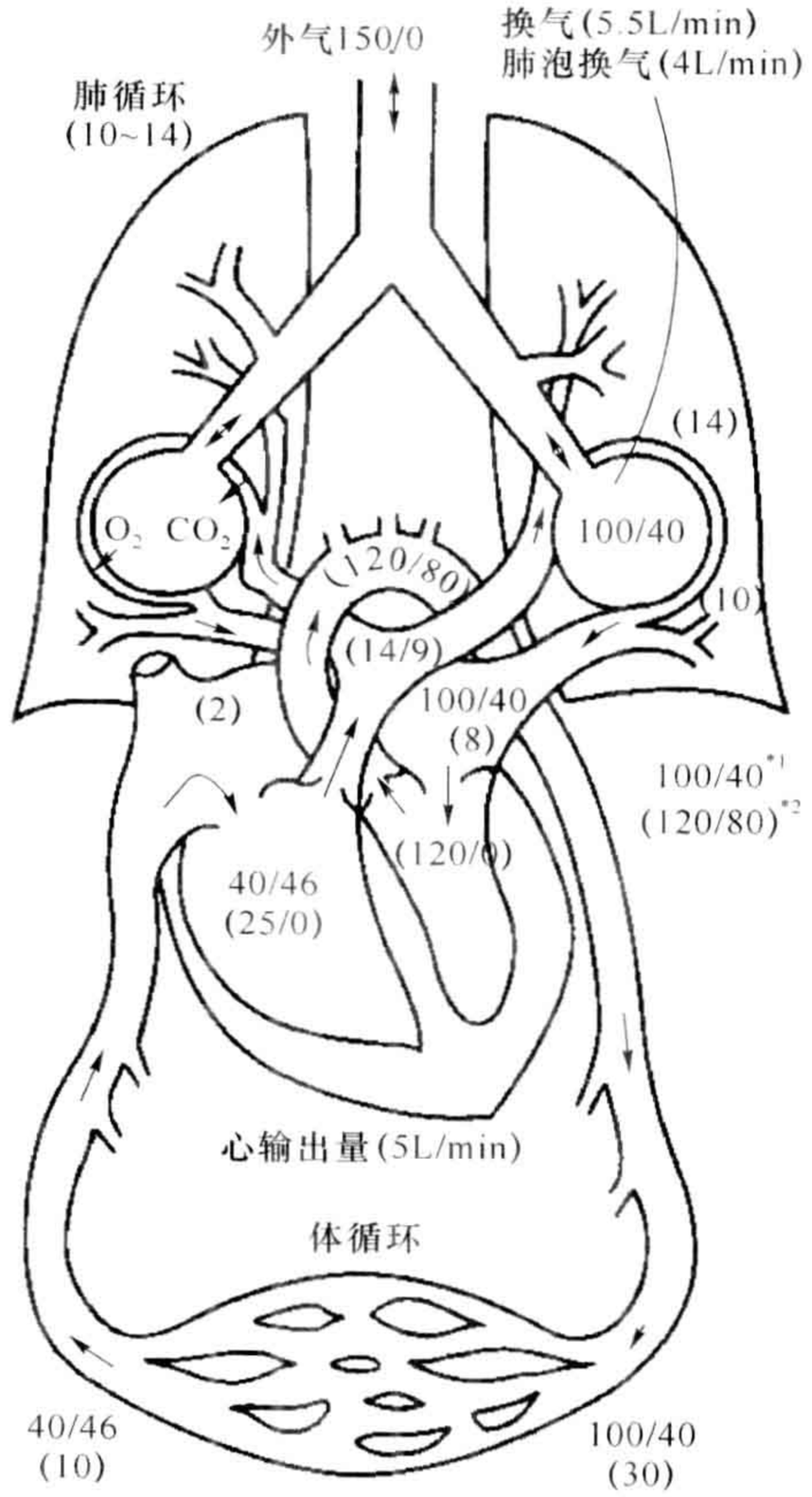
图 5-13(b)所示的心电图指标能用于人的作业负荷和脑负荷分析。RR 间隔指心电图中 R 波与 R 波的间隔，承受着心脏交感神经和心脏副交感神经的拮抗控制。另外，常将 RR 间隔换算成每分钟的心跳数。作为瞬时心跳率(HR)被使用。根据人体的负荷和精神负荷，

如果引起心脏交感神经的负荷或者心脏副交感神经的低下，RR 间隔将短缩，HR 上升，这将变为总体作业负担的指标。

RR 间隔系列或者心跳率系列随时间而变动，分别被称为 RR 间隔变动和心跳变动。心跳变动有两个成分，第一成分是源于呼吸成分叫呼吸性不整脉(RSA)，可解释为呼吸引起的胸部内压的变化并将影响血压，通过副交感神经性的受压容体反射引起心跳变化。另外还有很多其他方面的解释，但可认为其主要是副交感神经系统的指标。当自律神经障碍或作业负荷引起副交感神经系统的活动低下时其值将变小。RSA 与呼吸的频率和深浅度有关。当呼吸得快且浅时其值变小。第二成分是源于血压的 Mayer wave 成分(MWSA)，在 0.1 Hz 附近。如改变 Mayer wave 的大小，和 RSA 一样将成为副交感神经性受压容体反射的指标，其值随作业负荷的加大而变小(降低)。从心电图得到的另一个指标是 T 波振幅(TMA)。TWA 是从 P 波和 Q 波的中点到 T 波顶点的高度，是指心室再分极时发生的电位变化。其主要反映控制心脏收缩力的心脏筋交感神经的活动。因作业负荷引起心脏筋交感神经负荷时其振幅将变小。

4. 呼吸与循环系统

呼吸与循环系统的模式如图 5-14 所示。呼吸系统主要是外气和肺循环间的氧和二氧化碳的交换，循环系统是指心脏血液的循环。测量内容有呼吸量、血液气体成分、心输出量、血流量等。



*1—氧分压/二氧化碳分压，Torr；*2—血压（最高/最低），mmHg

图 5-14　呼吸与循环系统的模式

(1) 呼吸量

为了正确测量呼吸量可戴上面罩测量流量,但用得更多的是在身上紧系一绑带,在带上装有伸缩性可变的阻抗元件,可测出伴随着呼吸的胸围和腹围的变化,由此推算出呼吸量来。在鼻子里装测温元件后还可测出与呼吸相应的温度变化。

呼吸快慢的指标有呼吸时间、吸气时间、换气时间及通过对呼吸频率解析求最大呼吸频率。

人在很放松情况下的呼吸是缓慢的深呼吸,当有精神作业负荷时的呼吸大多是快而浅的呼吸。在作业开始时或注意集中时,有可能出现短暂的呼吸停止现象,当有精神作业负荷时呼吸的规律将打乱。呼吸指标的变化将对心搏变动等其他指标带来影响。

目前应用于脑力负荷生理评价指标的呼吸指标主要有呼吸率和呼吸变异性。呼吸率是指在单位时间内呼吸的次数,它的另一种表达方式是逐次呼吸间期,两者是倒数关系。呼吸变异性是指逐次呼吸周期之间的时间变异数。

呼吸频率通常随脑力负荷增加而增快,关于呼吸变异性与脑力负荷的关系的研究较少。Sire-vaag 等曾研究发现呼吸变异性在通信负荷增加时均减小,但因为是语音通信,因此,是通信中语音影响了呼吸形式,进而引起呼吸变异性的变化,还是这种变化的确反映了通信负荷与呼吸变异性的关系还难以定论。董明清等人的研究中所用任务不要求有语音反应,呼吸率从对照到不同难度任务逐渐增快(由标准差反映),变异性指标在各任务条件时均呈现不同变化。说明在某种程度上呼吸率及呼吸变异性与脑力负荷有一定的关系。

目前脑力负荷的研究中,测量呼吸指标都是使用多道生理记录仪配套的呼吸鼻夹记录呼吸,通过信号放大器放大信息,如日本产的 RM 系列多道生理记录仪,空四所研制的便携式飞行生理参数记录分析系统。

呼吸指标的影响因素很多,诸如性别、体重、身高、年龄、营养、锻炼等。由于呼吸指标易受外界的干扰,而且个体差异较大,因此不能单独作为测量脑力负荷的生理指标,必须结合其他指标做综合分析。

(2) 心输出量

心输出量是指心脏的每个心室(左心室或右心室)在单位时间里泵出的血容量。通常以心搏量即一次心跳(收缩)心室射出的血容量与心率的乘积来计算。

$$CO = SV \times HR \tag{5.8}$$

式中,CO 为心输出量,单位为 ml/min;SV 为心搏量,单位为 ml/次;HR 为心率,单位为次/min。

由此,心输出量可以作为描述循环中血流总容量的变量。心输出量的数值是依据收缩前心室内血液容量(前负荷),射血阻力(后负荷)及心肌收缩力这些生理学变量来确定的。

测量人体心输出量有多种方法,有损伤性和非损伤性测量法。损伤性测量法有古典的费克氏法、电磁血流量计法、利用热和染料的指示剂稀释法以及心血管造影法等;非损伤性测量法有同位素稀释法、呼吸法(改进的费克氏法)、阻抗法、超声多普勒法、核磁共振法等。

第一种测量人体心输出量的技术是由 Adolph Fick 在 1870 年描述的。这项技术的原理是根据静脉和动脉血氧含量之差及总体氧消耗量来计算心输出量。但不能频繁进行测量。

目前采用各种指示剂技术进行心输出量的测定。图 5-15 所示为基于色素稀释法的心输出量测定。从人的静脉注入一定量的色素，测定人动脉血中色素浓度叫色素稀释法。浓度可根据耳朵的吸光度从皮肤上来测定。一次循环中指示剂的消失如图中虚线所示。由色素浓度推出的心输出量的计算公式如下所示。

$$F=\frac{I}{A}=\frac{I}{C\times t} \tag{5.9}$$

式中，F 为心输出量，单位为 ml/s；I 为色素注入量，单位为 mg；C 为一次循环中的色素平均浓度，单位为 mg/ml；t 为一次循环时间，单位为 s。

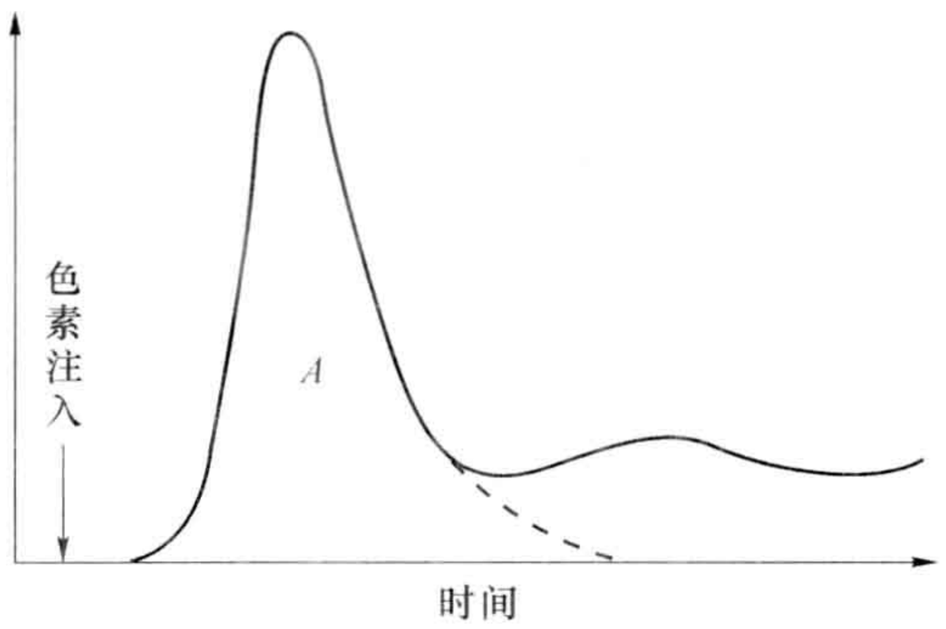


图 5-15　基于色素稀释法的心输出量测定

(3) 血压

血压是指血液在血管内流动时对血管壁所产生的压力，是人体循环系统的重要生理参数。血压分为动脉压与静脉压，通常说的血压是指动脉压。动脉压包括收缩压和舒张压，一个心动周期内动脉血压的时域平均值为平均动脉压。动脉血压的高低主要决定于心搏出量和外周血管阻力。

血压测量的方法有以下两种。

① 直接测量法。直接法通过将附有压力传感器的管道插入动脉内来检测血压。其测量系统由 3 部分组成：输入部分、处理器、输出部分。通常导管的置入点可以在主动脉、肚动脉、股动脉等处。它的优点是测量准确，可连续检测。但这种有创的检测对病人伤害很大。

② 间接测量法。间接法分为连续和非连续两种，它不需要进行外科手术，是一种无创血压测量手段。根据检测方法的不同，间接血压测量法又可分为听诊法、示波法、容积示波法、触诊法、超声法、动脉张力法、脉搏波速法等。

(4) 血流量

血流的测量对于检查心血管功能，诊断血管疾病等都有实际价值。特别是微循环的血流信息，将为了解微循环生理机理，观察微循环障碍，研究药理提供必要可靠的依据。

血流计量方法主要有以下几种。

① 注入示踪法。将某些示踪物质(如荧光物质、染料等)注入血管，然后测其移动的速率，典型方法有费克氏法、快速注入指示剂稀释法等。

② 容积法。将某一器官或机体某一部分的静脉回流阻断，则在阻断期间，该器官组织

的容积变化将代表该时间内进入这部分组织的血量。

③ 电磁流量计法。在血管的垂直方向加磁场，当血管中血流通过时，产生感应电动势，从而求出血流速度。另外，在生物医学实验或临床中还常用一些血流量传感器以及机械式的血流量计等。但由于传统方法的空间分辨率低，而且有些方法操作复杂，需进行有损测量，所以也给快速测量带来了困难。

(5) 血液气体成分

血液气体及酸碱度的测定大多采用血气分析仪来测定。该仪器可同时测出氧分压、二氧化碳分压和 pH 三项指标，并由此计算出其他酸碱平衡诊断指标。血液气体分析仪主要应用于呼吸生理研究、休克、心肌梗死、肺功能监护等及酸碱平衡诊断指标，特别是在某些情况下，血液气体也可称之为肺功能的总指标。只有动脉采血才能全面反映血流的"酸碱生理"及气体状态。因此，合理选择动脉采血是进行血气分析的正规方法。

5. 视觉机能测量

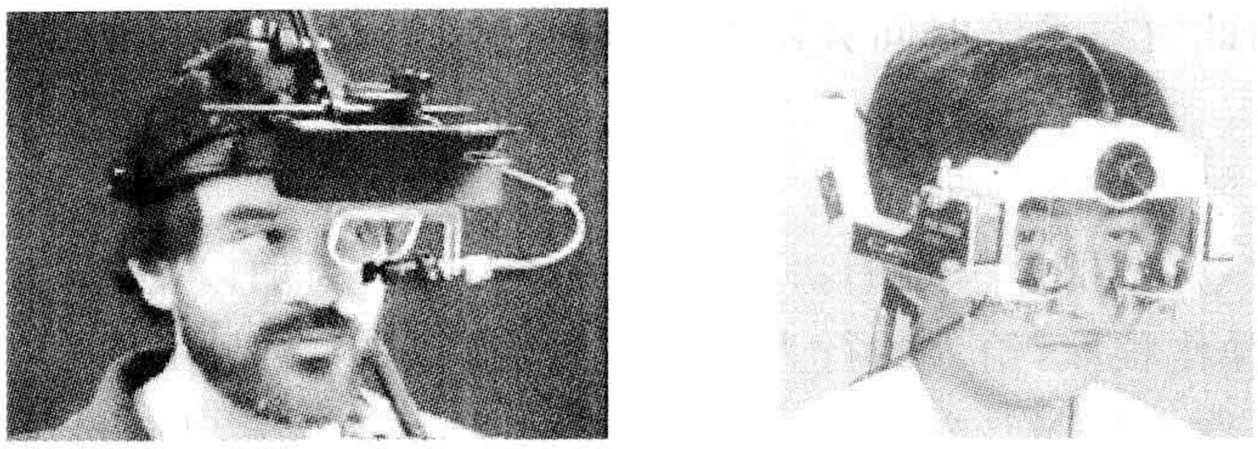
视觉机能测量内容主要有视力、焦点调节、眼球运动、瞳孔运动、视野、色觉和光觉。在人机工程领域重点关注的是人的眼球运动和瞳孔运动。

测试眼球运动和瞳孔运动有多种方法，如生物电位法、红外电子摄像法等。

生物电位法是根据眼睛的角膜和视网膜之间存在着稳定的电位，其电位值与眼球位置几乎呈线性函数关系。通过测量在眼球周围水平和垂直方向所贴的电极间的电位变化，可检测出眼球在各个方向的运动情况，如眼睛对作业面的扫视或眨眼率。眨眼率(BR)作为一个脑力负荷评价的生理指标主要应用于视觉操作任务，它是指在单位时间内眨眼的次数。关于眨眼率与脑力负荷的关系，有关研究的结论基本一致，即眨眼率一般认为与视觉负荷有关，从无视觉负荷到有视觉负荷，从低视觉负荷到高视觉负荷时眨眼率均减小。眨眼频率受气流速度、空气温度、室内刺激性污染物的种类和浓度、照明条件等的影响。在受非意识的神经中枢控制时，眼刺激感觉的强度与眨眼频率呈正相关关系。

红外电子摄像法的基本原理是：用发光二极管红外线照射眼睛，利用眼睛各部分对红外光反射特性各异的特点，用对红外敏感的电视摄像系统捕捉到人眼的红外光反射，并将所形成的人眼图像转换成视频电视信号，经过信号处理就能得到垂直和水平方向的二维眼球位置信号。将此信号输入计算机，就可以对眼球位置信号进行视场叠加和处理。

红外电子摄像法有接触式和非接触式两种红外眼动仪。接触式亦称头盔式红外眼动仪，将眼动仪戴在头上，所连接的数据线路汇总后由电缆连接到计算机里进行存储和处理。接触式眼动仪有单眼和双眼两种，根据需要由眼动仪正中的摄像头(双眼眼动仪正中为摄像头)记录场景，眼动数据可叠加到场景中。非接触式眼动仪采用三个外置的红外摄像头来实现对被试者在完全自然状态下的眼动追踪，可用于获取飞机或汽车驾驶状态下人眼对仪表的观察分析等，场景可由外置的摄像头记录，眼动数据可叠加到场景中。通过眼动仪能获取实时眼动、头部运动、人眼注视位置、注视时间、视线运动轨迹、眨眼和瞳孔直径等(如图 5-16 所示)。



(a)接触式红外眼动仪

(b)非接触式红外眼动仪

图 5-16　接触式和非接触式两种红外眼动仪

在视觉机能测量中涉及视觉阈限的测定，视觉阈限的测定方法主要有以下几种。

① 最小变化法。这种方法是把微弱的刺激量一点一点地增加，直到产生感觉为止。用逐渐加大刺激量的方法来测定出现的阈限，用逐渐减少刺激量来测定消失的阈限。绝对阈限的数量就是这种阈限的算术平均数。

② 适应法(即平均误差法)。这是由受试者自己调整一个刺激强度，使它和实验者所给的标准刺激相等(测定差别阈限)或由受试者自己调整一个刺激强度，使它刚能引起感觉(测定绝对阈限)，把多次调整所得的全部结果求平均误差或标准差，即可计算感觉阈限。

③ 定常刺激法。以强度不同的刺激物随机呈现给被试者，由被试者自诉是否感觉到刺激(绝对阈限)及刺激程度(比标准刺激大或小)，根据正确反应的百分比来计算阈限，一般采用自诉正确率为 75%的刺激值作为阈限值。

6. 听觉机能测量

人能够听到的声音的周波数范围为 20～20 000 Hz，1 000～3 000 Hz 的声音感度最好。听觉机能随年龄增长而增长。人对高周波数声音难以听清。

医学上对人的听觉机能的检测主要有以下几种方法。

① 气导听力检查。通过空气的振动，检查经外耳、中耳到内耳的听觉机能。

② 骨导听力检查。检查不经空气，通过直接传到头的振动经骨头传达到内耳所引起的听觉。该检查目的是了解从内耳到中枢神经的机能。

③ 语音听力检查。人即使能听到声音，也不一定能听清楚词汇或语言。为了检查人能否听清语音所进行的检查叫语音听力检查。语音听力检查又分为语音听取阈值检查和语音辨别能力测定。

在认知科学领域须开展对时间分辨率检测。时间分辨率是指听觉系统对声音信号在时间上的快速变化加以反应的能力。GAP 阈值是指被试者刚刚能感觉到连续声音中断时该中断的最小时间间隔。GAP 阈值的大小可以反映出听觉系统对在时间上快速变化的声音

响应的灵敏度。因此听觉系统时间分辨率可以通过测量 GAP 阈值来间接反映。

7. 心理测量

(1) 概述

所谓心理测量,就是根据一定的法则用数字对人的行为加以确定,即根据一定的心理学理论,使用一定的操作程序,给人的行为和心理属性确定出一种量化的价值。

心理测量学又称心理测验学,是心理学的分支之一。它是以测量人的智力水平和心理特征方面的个体差异的方法为研究对象的学科。心理测量学研究的主要内容包括:①用来测验人的智力水平和心理特征的各种测验方法的组成与编制;②有关测验方法的标准化、常模、信度、效度、数据统计处理的理论;③因素分析理论。

(2) 心理测量的内容及方法

桑戴克(E. L. Thorndike)曾经说过,"所有存在的东西都是在量中存在。量的存在是可以测定的"。物质是可以测量的,心理能力也是可以测量的。心理测量包括以下三方面。

① 心理物理学方法。心理物理学方法是用于感性经验测定的方法。它来自费希纳(G. T. Fechner)所创立的心理物理学。在现代心理学中,测定视觉、听觉等绝对阈限值和辨别阈限值的心理物理学方法包括平均误差法(调整法)、极限法和恒定刺激法三种代表性的方法。现今的心理学研究中,心理物理法不仅局限于感觉量的测定,也被应用于测量知觉、记忆、思维、情感、注意等心理活动。可以说是适用于所有心理过程量化的重要方法。

② 心理量表法。心理量表法是适用于对态度、爱好、兴趣的调查,对性格特性的判定以及对绘画和作文的评价等极其复杂的心理现象的一系列心理测定方法。它是以心理学的量表值来表示测定结果的方法。以前被称之为评定法或等级法的各种测定法现在都被包括在心理量表法之中了。心理量表法也是源于费希纳所创立的实验美学中的试验方法,特别是评定法。其后,由卡特尔设计了等级法。另外,由韦特墨设计的对偶法及等第评定量表法也被广泛地应用。瑟斯顿的比较判断律使心理量表法和心理物理学方法在理论上联系起来,并提供了有关心理量表构成的理论依据。

③ 心理测验

心理测验就是通过观察人的少数代表性的行为,对贯穿在人的全部行为活动中的心理特点做出推论和数量化分析的一种科学手段,是一种用来测量人类行为与心理个体差异的客观的标准化的评鉴工具。心理测量和心理测验是两个不同的概念,心理测验更多的是指工具,例如韦克斯勒智力测验是一个心理测验;而心理测量是指一个过程,是用心理测验来对人的行为进行测量的过程。

从心理测量的功能上来看,心理测验可分为以下几种。

① 能力测验。用于测量一个人现有的各种能力或潜在的能力,如明尼苏达空间关系测验、普度插板测验、认知能力测验等。

② 智力测验。应用较广泛的主要有斯坦福—比纳智力测验、韦克斯勒智力测验系列、考夫曼儿童成套评估测验、瑞文测验等。

③ 学业成就测验。主要测量一个人经某种正式教育或训练之后对知识和技能掌握的程度。最常见的是学校中的各种学科测验。国外常用的学业成就测验有斯坦福成就测验、

衣阿华基本技能测验、加州成就测验、韦克斯勒个人成就测验等。

④ 人格测验。主要测量一个人的性格、气质、兴趣、态度、品德、情绪和动机等个性心理特征，如艾森克个性问卷、卡特尔 16 种人格因素问卷、明尼苏达多项人格问卷、罗夏墨迹图等。

从心理测量的人数上来看，心理测验可分为以下几种。

① 个别测验。指一个主试者每次仅测一个被试者，即一对一地进行测验。

② 团体测验。是一个主试者可以同时测试许多人。

从心理测量的方式上来看，心理测验可分为以下几种。

① 文字测验。又称纸笔测验，即测验题都印在纸上。团体测验大多数采用这种测验。

② 非文字测验。又称操作测验，其测验材料为图画、照片、拼板、仪器、工具、模型等。对学龄前儿童的测验大多采用此种形式。这种测验不能采用团体形式，只能个别进行。

从心理测量的目的来看，心理测验可以分为以下几种。

① 筛查测验。一般或大概地了解一个人的心理特征，比如一个人的智力是正常、超常还是低常的。至于到什么程度就不是筛查量表所能测量的。

② 诊断测验。对某些问题行为作进一步的诊断，以便确定是否真的有问题，或问题出在什么地方。诊断测验的结果比较精确可靠，一般采用个别测验的形式。

从测量原理分类，心理测验可以分为以下几种。

① 常模参照测验。所谓常模参照测验是将某人的测验结果与一个同质团体比较。

② 标准参照测验。标准参照测验则是将测验结果与某个标准加以比较，该标准通常是人为设定的。

第6章　网络用户行为信息分析

Internet的出现跨越了时间和空间的障碍，实现了信息自由便捷的流通，世界上任何一个人都可以在任何时候获取自己愿意得到的信息，人们获取信息的方式变得越来越主动，而Web也已成为人们获取信息的一个重要途径。

Web信息的存在使人们有了接触更多信息的畅通渠道。同时，人们也不得不忍受信息噪声，不得不花费大量的时间去搜索、浏览自己需要的信息，从而产生了网络信息无限和人们注意力有限这样的矛盾。Web信息日益增长使这一矛盾激化，故必须寻找一种有效的途径缓解这一问题。目前提到比较多的一种解决方法是通过了解用户特征及需求，推荐相应的信息，从而减轻用户查找信息的负担。

6.1　研究现状及意义

6.1.1　研究意义

未来世界是Web世界，用户和服务方需要通过访问信息互相了解、沟通，服务方据此改进服务，访问者由此提高访问效率，这样能够更好地促进互联网的发展。对服务方来说，分析互联网背后的用户行为，是获取用户偏好、了解用户的必要利器，而理解用户行为最好的方式就是对其访问信息进行挖掘。由于用户的访问信息存在于每一台Web服务器上，因此具有普遍性，并且遵循共同的标准，那么开展这项研究就具有普遍意义。然而对服务器日志进行简单的统计，如页面访问次数、日均访问人数、最受用户欢迎的页面等，已不能满足设计人员对站点结构进行优化的需求。用户访问信息挖掘则是将数据挖掘技术作用于Web服务器日志文件等以发现隐藏在其中的用户访问模式的技术。通过对总的用户访问行为、频度、内容等的分析，可以得到群体用户访问行为和方式的普遍知识，用以改进Web服务。

从网站使用者的角度来看，用户访问信息挖掘技术在Web服务中的应用及价值主要表现在以下几个方面。

首先，从用户的角度来看，通过对用户访问行为进行分析，网站系统可以发现用户的兴趣偏好，智能地向用户推送相关信息，从而减轻用户寻找信息的负担，使其操作更加简单，节省了时间成本和精力。

其次，从服务方的角度来看，通过分析客户访问过的内容和没有访问过的内容、浏览路径、频繁访问页面、相关页面，从而得到客户群体的构成及其动态改变等特点，辨别重要客户和偶然客户。另外，从顾客行为上的不同表现发现顾客的兴趣和偏好，最终促进网站建设和进行个性化服务。

最后，从商业价值角度来看，通过对网站的用户访问行为进行分析，首先可以发现目标

用户群，并了解用户对业务的贡献率，如知道哪部分人使用目标业务频率最高，哪部分人对目标业务没有吸引力；其次易于目标业务拓展，通过分析发现目标用户群特征，了解他们的文化背景、经济基础、社交目的、娱乐方式、心理诉求等特征，投其所好，在满足用户心理需求和功能需求基础上提供更丰富的业务应用留住用户；最后凸显网站的商业价值。尤其是对于商业 Web 网站或电子商务站点的客户行为的研究更为重要，通过对这些用户特征的理解和分析，有助于开展有针对性的电子商务活动。

目前，国外学者已尝试着把 Web 用户访问日志挖掘相关的研究应用在以下几个方面。

(1) 为用户提供个性化服务

在 Web 个性化应用中，可以辨认出每个用户或用户群的需求和爱好，配置基于用户需求的 Web 信息的内容和结构的组织。在电子商务网站进行个人营销，根据用户访问历史，动态地向用户推荐商品。通过 Web 日志挖掘完全可以实现这一功能。

(2) 提高系统效率

通过日志挖掘，可以提供网站服务效率全方面的信息，从而有助于找到平衡服务器的负荷，优化传输，减少阻塞，缩短用户等待时间，提高系统效率和服务质量。

(3) 提高网站结构设计

Web 结构的复杂度正在飞速发展，因此，Web 站点和 Web 服务器设计和维护的难度也在增加。而通过挖掘得到的用户使用网站信息，可以帮助网站设计者确定如何修改网站结构。

(4) 网络安全

分析网上银行、网上商店交易用户日志，可以防范黑客攻击、恶意诈骗。

综上所述，如何从海量的数据和信息中高效地提取有用的知识，如何提高信息检索与推荐的智能水平，以及如何满足各种用户不同的个性化需求等，都是新的信息服务系统面临的挑战性课题，同时也具有普遍性的意义。

6.1.2　用户需求分析

以用户为中心的设计思想认为，产品的成败最终取决于用户的满意程度。要达到用户满意的目标，首先应当深入而明确地了解谁是产品的目标用户。产品的设计者关心的不是这些用户的姓名，而是目标用户群体区别于一般人群的具体特征，如特定年龄区间、特殊地文化背景等。这一过程就是用户特征描述。同时，产品设计者还应当明确地了解目标用户对被设计产品各方面期望是什么，包括用户希望使用的功能或达到目标的指标等，这一过程就是需求收集和需求分析。用户特征描述和用户需求分析是以用户为中心设计的基础。用户需求的数据和信息可以来源于用户试验或者市场分析资料等多种渠道，其中用户试验是进行需求收集的常用渠道。

在用户需求收集过程中常用到的用户试验包括观察、聆听和讨论法(contextual injury)，个人采访法，焦点小组(focus group)，问卷研究等方法。通过试验可以获取到用户行为操作数据，再经过进一步的信息提取和加工，可以得到用户特征模型及深层次的需求分析结论，如人物角色(persona)等。

6.1.3　Web 数据挖掘

Web 数据挖掘也是在此背景下产生的。它是传统数据挖掘技术在 Web 环境下的应用，

试图从大量的 Web 文档集合和用户浏览 Web 的数据信息中发现蕴涵的、未知的、有潜在应用价值的、非平凡的模式。互联网上包含了丰富和动态的超链接信息以及页面的访问和使用信息，这为数据挖掘提供了丰富的资源。应用 Web 数据挖掘可以改善人们获取信息的速度和准确度。

其中，搜索引擎(Search Engine)是最普遍的辅助人们检索信息的工具，满足了人们一定的需要，但由于其通用的性质，现有的信息服务系统仍存在着明显的缺陷，比如资源分散，检索集中，对所有的用户是一副面孔，有求则应，无求不动；用户按格式请求，系统按字面匹配，因而查询方式局限、死板，且其检索结果庞杂，用户很难从查询结果中得到自己真正想要的信息；没有统一的标准，而且门户林立，各自为政，不同信息源使用不同服务机制，不同服务使用不同身份论证机制等。所以现有查询系统仍不能满足不同背景不同目的和不同时期的查询请求。

6.1.4 个性化服务

在一些网站服务应用上，Web 信息的迅速增长使得原有不区分用户的服务越来越难以满足人们的需求。因为随着用户网络经验的增长，网站靠提供大量的信息也已经不能完全吸引用户，用户需要质量更高、效果更好的服务。人们期望得到个性化的服务，对于网站的风格以及内容都可以根据自己的兴趣进行定制。也希望网站可以根据用户的兴趣所在，为用户推荐可能感兴趣但是尚未阅读的内容。这些都为网站的设计提出了更高的要求。

在这种市场的需求下，研究者提出了 Web 个性化服务、推荐系统以及自适应站点等商业智能技术以满足用户的需求，如 Yahoo 的个性化窗口 My Yahoo 的用户模型就是以用户选择的网站栏目来表示。如果用户定制了体育和科技，My Yahoo 就将这一定制记录下来，作为用户模型。下次用户登录时，My Yahoo 就会显示根据保存的用户模型定制的个性化页面。

所谓个性化服务就是指对不同的用户采取不同的服务策略，提供不同的服务内容。显然，在提供个性化服务时，系统必须知道用户的兴趣、偏好和访问模式等用户信息，才有可能“投其所好”，实现个性化服务。因此，如何准确有效地对用户的浏览兴趣进行度量和表达是实现个性化服务的基础。而在网络环境中，用户兴趣与所浏览网页时的浏览行为是密切相关的，用户很多浏览行为都能很好地反映用户的兴趣。张莹等人指出用户的很多动作都能暗示用户的喜好，如查询、浏览页面和文章、标记书签、反馈信息、点击鼠标、拖动滚动条、前进、后退等。谭琼等人在研究中指出用户访问时的停留时间、访问次数、保存、编辑、修改等动作能够揭示用户兴趣。文献研究表明浏览页面和拖动滚动条所花的时间可以有效揭示用户兴趣。而另一文献研究指出网页平均阅读速度有助于确定用户兴趣的等级。

另外，Internet 环境的动态、异构等特性要求基于 Web 提供的服务更灵活、可靠地满足客户的要求，从而实现个性化的服务，也就是按照用户的要求将各种已有的服务组合起来，协同工作完成用户的任务。为了实现个性化服务自由组合以达到用户的要求，必须综合考虑环境、用户的偏好、组合服务上下文、执行组合服务上下文等因素。所谓上下文(context)，是一种信息输入，该信息可以是任一种描述与用户及其应用相关的环境实体的信息，包括人物、地点、时间、物体、用户的心理状态及相互关系等。而上下文感知就是系统利用上下文信息智能判断用户行为并提供最合适的服务，从而实现对用户服务的人性化。

6.1.5　国内外研究现状

国内外关于互联网用户行为分析的研究非常多，但总的来说，根据研究目的可以分为两类，一类是为了实现个性化服务，主要通过分析用户在网页上的具体点击行为，得到用户的兴趣点及相应的兴趣度，并根据兴趣给出相应的信息推荐；另一类是为了实现网站系统架构的完善，主要通过分析用户访问行为流，建立大众用户浏览模型，从而指导页面之间的组织关系。这两种方法都可以有效地解决用户访问互联网时信息量过大，用户查找信息困难这一问题，可以有效提升网站易用性。

目前，对于用户点击行为分析，建立相应的个性化服务系统，重庆大学的付关友等人在这方面有很深的研究。付关友等人探索性地将心理学中的内驱力理论用到了用户兴趣发现当中。作者认为用户的信息心理行为分析属于一种社会性的研究，并且经过分析发现用户的浏览行为和用户对网页的兴趣度之间确实存在某种关系，故从众多的社会研究方法中选用回归分析方法来描述它们之间的相关性，通过多组实验数据分析证明所建立的模型是成立的，并且确实能较好地描述用户对网页的兴趣度。

关于用户访问行为流的研究，更多的是对用户的访问日志进行挖掘，分析其浏览路径，建立模型，从而预测用户的访问行为。如施建生等人研究了 Web 日志挖掘相关知识，在经过数据预处理和事务识别两个阶段后，使用频繁遍历路径作为用户浏览模式，并在分析挖掘频繁遍历路径的问题特征和对其进行形式化描述的基础上，进一步提出了一种在 Web 日志中挖掘频繁遍历路径的类 Apriori 算法，该算法能够正确、快速地从 Web 日志中抽取频繁遍历路径。

另外，目前关于互联网用户访问行为分析及其兴趣建模的系统已被广泛应用到各领域，具体实例如下。

SeAN(Sever for Adaptive News)是一个自适应系统，它能够为访问互联网新闻的用户提供个性化的服务。在 SeAN 中，用户兴趣建模可分为两个独立的阶段，第一个阶段是为首次登录到新闻服务器的用户建立初始的兴趣模型，这一过程是根据用户在登录时所填写的注册信息把用户划分到预先定义好的用户类型中；第二个阶段是更新用户兴趣模型，在这个阶段中 SeAN 观察用户浏览新闻时的动作，获取相应的事件，并利用这些事件激活用户兴趣建模规则。所以 SeAN 在建模用户兴趣时需要用户的直接参与，而且用户的初始类型是事先定义好的，因此缺乏灵活性。

IBM 的 Lee 和 Podlaseck(2000)则在 Star field 显示器的基础上，开发出 Star field 可视化(visualization)软件来分析网上商店的点击流数据和产品的绩效。这个可视化系统通过分配并行的坐标到点击流的顺序序列中，提供给用户更大的能力来解释和探索网上商店的点击流数据，并使这些点击流信息更加形象和生动。

WebMate 是一个个性化的 Agent，它能够帮助用户浏览和搜索 Web 中的信息。WebMate 在学习用户兴趣模型的过程中并没有要求用户提供初始的兴趣信息，而是从用户对 Web 页面的隐式反馈中逐渐地学习用户兴趣模型。每当用户表明对某一页面感兴趣时，WebMate 便用该页面的信息来更新用户兴趣模型，但它没有区分用户对不同 Web 页面的感兴趣程度。

Personal Web Watcher是一个个性化代理，在用户浏览网页时提供帮助，将用户感兴趣的链接突出显示出来。与Web Watcher相同，Personal Web Watcher针对特定用户，通过学习用户以前的浏览模式来得到用户兴趣模型。它无须用户参与，不需要用户给出对网页的评价。

6.1.6 存在的主要问题

互联网的用户访问行为分析在研究领域获得了广泛关注，也在实际的个性化服务系统和网站信息架构分析中得到了广泛应用。特别是针对互联网环境下的用户兴趣研究，更多的是分析用户的信息浏览行为（主要浏览行为包括信息打开时长、信息打开次数、是否保存信息、信息是否被转发）建立了描述用户兴趣的用户模型。但是，随着其规模越来越大，目前面临着一系列亟待解决的问题，主要包括以下几点。

（1）研究的对象是形形色色的各类用户群。各个用户可能有不同的背景、兴趣和使用目的，而大部分用户可能并不了解信息网络结构，这些因素在具体的行为分析过程中，会形成数据噪声和冗余，影响兴趣计算的精度。

（2）Web自身具备的一些特点使系统分析更加困难。例如Web页面的复杂性远比任何传统的文本文档复杂得多，缺乏统一的结构。另外Web是一个动态性极强的信息源，不仅以极快的速度增长，而且其信息还在不断地更新。

（3）系统孤立地分析单一用户行为信息，没有考虑其周围环境对其行为的影响。如在用户兴趣一致的情况，不同的环境下访问网速不一致，导致同一网站的访问时长也不一致；同一兴趣下，用户访问不同的页面，也会存在访问时长和访问频率的差异。

（4）系统学习效率较低。一方面，用户兴趣的学习和获取中更多依赖于对众多用户访问过的网页中全文本内容的分析，因网页过大会导致用户兴趣信息提取的效率降低；另一方面，为适应用户兴趣变化的需要，要求用户提供必要的学习所需信息，在信息提供的格式、准确性和系统操作上给用户带来诸多不便。

6.2 相关理论知识

6.2.1 数据挖掘

数据挖掘，通常又称为数据库中的知识发现（KDD），是一个多学科交叉的领域，包括数据库技术、机器学习、人工智能、神经网络、统计学、模式识别、知识库系统、知识获取、信息检索、高性能计算和数据可视化等领域。

数据挖掘的常用知识表示模式和方法归为5类，分别为广义知识挖掘、关联知识挖掘、类知识挖掘、预测型知识挖掘和特异性知识挖掘。其中，广义知识挖掘主要是对数据的所蕴含的概念特征信息、汇总信息和比较信息等的概括、精练和抽象的过程。关联知识挖掘的目的是反映不同对象之间的关联。类知识挖掘主要是指分类和聚类两类数据挖掘应用所对应的知识。

完成大型源数据中发现有价值知识的过程可以简单的概括为：首先从数据源中抽取感

兴趣的数据，并把它组织成适合挖掘的数据组织形式；然后调用相应的算法生成所需的知识；最后对生成的知识模式进行评估，把有价值的知识集成到企业的智能系统中。

Usasa M. Fayyad 等人提出的 KDD 操作系统把整个知识发现的过程分为 9 个阶段，这 9 个阶段分别是数据准备、数据选择、数据预处理、数据缩减、KDD 目标确定、挖掘算法确定、数据挖掘、模式解释及知识评价。具体描述如下。

(1) 数据准备。了解 KDD 相关领域，确定挖掘的总体目标和方法，了解相关的源数据结构并加以分析，确定数据选择的准则。

(2) 数据选择。根据用户的要求从数据库中提取与 KDD 目标相关的数据。在此过程中，KDD 系统将从备选的源数据中进行知识提取。

(3) 数据预处理。主要是对上一阶段产生的数据进行再加工，检查数据的完整性和数据的一致性，对其中的噪声数据进行处理，对丢失的数据可以利用统计方法进行填补，对一些不适合操作的数据进行必要的处理等。

(4) 数据缩减。对经过预处理的数据，根据知识发现的任务对数据进行必要的再处理，使数据集中在用户的挖掘目标上。此过程对 KDD 系统的精度和效率起着重要的作用。

(5) KDD 目标确定。根据挖掘的目标和用户的要求，确定 KDD 所发现的具体知识模式和类型，为选择或开发适合用户要求的数据挖掘算法提供模式或模板。

(6) 挖掘算法确定。根据上一阶段所确定的模式，选择合适的数据挖掘算法，包括选择合适的参数、知识表示方式，并保证数据挖掘算法与整个 KDD 的评判标准相一致。

(7) 数据挖掘。运用选定的算法，从数据中提取出用户所需要的知识。这些知识可以用特定的方式表示或者使用一些常用的表示方法。

(8) 模式解释。对发现的模式进行解释。在此过程中，为了获取更加有效的知识，可能会返回前面处理步骤中的某些步以改进结果，保证提取出的知识是有效和可用的。

(9) 知识评价。将发现的知识以用户能了解的方式呈现给用户。这期间也包括对知识的一致性检查，以确信本次发现的知识不与以前发现的知识相抵触。

在每个阶段中，KDD 系统可以借助于相应的处理工具来完成相应的工作，在对挖掘的知识进行评测后，根据结果可以决定是否重新进行某些处理过程，在处理的任一阶段都可以返回以前的阶段进行再处理。

6.2.2　Web 挖掘及相关技术

Web 挖掘是数据挖掘技术在 Web 上的应用，一般的定义为：Web 挖掘就是从与 WWW 相关的资源和用户浏览行为中抽取感兴趣的、有用的模式和隐含信息。根据挖掘对象的不同，可以将 Web 挖掘分为三个方面，即 Web 内容挖掘(Web Content Mining)、Web 结构挖掘(Web Structure Mining)和 Web 使用挖掘(Web Usage Mining)。

Web 内容挖掘是数据挖掘在网络信息处理中的应用，不同于传统的数据挖掘技术，Web 内容挖掘主要针对各种非结构化的数据，如文本数据、音频数据、视频数据、图形图像数据等多种数据相融合的多媒体数据挖掘，又可将其分为基于文本的挖掘和基于多媒体的挖掘两种。

Web 结构挖掘是从 Web 的组织结构和链接关系中推导知识。在整个 Web 空间中，有用的知识不仅包含在 Web 页面中，而且包含在页面的结构中。由于文档之间的互连，Web

能够提供除文档内容之外的有用信息，利用这些信息可以对页面进行排序，发现重要的页面。这种思想源于引文分析，即通过分析一个网页链接和被链接数量以及对象来建立 Web 之间的链接结构模式。这种模式可以应用于网页的归类，并且可以由此获取有关不同网页间相似度及关联度的信息。这种基于链接结构的 Web 结构挖掘还有助于用户找到相关主题的权威站点和网页，对网络资源检索结果的排序也有很大的意义。另外，每个 Web 内部也有或多或少的结构，通过对 Web 内部结构的研究，发现可以利用给定的 Web 页面的集合得出一定的规则，寻找到相关的其他页面。

Web 使用挖掘是通过挖掘 Web 用户的使用数据发现用户访问 Web 页面的模式、挖掘有价值的模式或规律并预测用户行为模式的技术，其主要目的就是要从大量的 Web 使用数据中挖掘出隐藏的、感兴趣的模式。Web 中的每个服务器都保留了访问日志，分析这部分的内容可以理解用户的行为，从中抽取行为模式。有的文献中提到，对于服务器日志的研究主要有两个方向：一般的访问模式追踪和个性化的使用记录追踪。一般的访问模式追踪通过分析使用记录来了解用户的访问模式和倾向，以改进站点的组织结构。而个性化的使用记录追踪则倾向于分析单个用户的偏好，其目的是根据不同用户的访问模式，为每个用户提供定制的站点。数据挖掘中的各种挖掘技术都可以用在 Web 使用记录挖掘中，根据不同的需要可以选取不同的方法。

Web 使用挖掘是通过挖掘 Web 用户的使用数据发现用户访问 Web 页面的模式，挖掘有价值的模式或规律并预测用户行为模式的技术，其主要目的就是要从大量的 Web 使用数据中挖掘出隐藏的、感兴趣的模式。Web 使用挖掘过程和数据挖掘过程类似，分为数据采集、数据预处理、模式发现和模式分析四个阶段。其中在模式发现阶段，可以进行用户访问路径的解读、用户特征发现。其中主要应用的技术如下。

1. 关联规则

关联规则挖掘是由 Rakesh Apwal 等人首先提出的。两个或两个以上变量的取值之间存在某种规律性，就称为关联。关联分析的目的是找出数据库中隐藏的关联网。一般用支持度和可信度两个阈值来度量关联规则的相关性，还不断引入兴趣度、相关性等参数，使得所挖掘的规则更符合需求。

在 Web 使用记录挖掘中，关联规则用来发现用户在一个服务器会话期间访问服务器上的页面/文件间的联系。这些页面之间并不需要存在直接的链接，只要它们同时出现在服务器会话中就认为是相互关联的页面。最常用的技术 Aprior 算法，从事务数据库中挖掘出最大频繁访问项集，这个项集就是关联规则挖掘出来的用户访问模式。根据分析出各个页面之间的关联程度，从而了解到用户在访问网页时的习惯以及兴趣。而网站也可以根据这些分析数据对网站结构做出合理的调整，甚至可以在用户分类的情况之下对不同用户组的访问页面有不同的推荐项目。

2. 聚类分析

聚类是把数据按照相似性归纳成若干类别，同一类中的数据彼此相似，不同类中的数据相异。聚类分析可以建立宏观的概念，发现数据的分布模式以及可能的数据属性之间的相互关系。

在 Web 使用记录挖掘中主要有两种类型的聚类：用户聚类和页面聚类。用户聚类是将具有相似浏览模式的用户分为一类。用户聚类可以为用户群体细分提供重要的信息，是开展 Web 个性化服务的重要依据，而页面聚类是将具有相似内容的页面分为一类。页面聚类对智能搜索引擎有重要的意义，同时也有利于 Web 个性化服务中推荐项目集的产生。

3. 决策树分类和回归

分类就是找出一个类别的概念描述，它代表了这类数据的整体信息，即该类的内涵描述，并用这种描述来构造模型，一般用规则或决策树模式表示。分类是利用训练数据集通过一定的算法而求得分类规则。分类可被用于规则描述和预测。

4. 时序模式

时序模式是指通过时间序列搜索出的重复发生概率较高的模式。与回归一样，它也是用已知的数据预测未来的值，但这些数据的区别是变量所处时间的不同。

6.2.3　上下文及上下文感知

所谓上下文是一种信息输入，该信息可以是任一种描述与用户及其应用相关的环境实体的信息，包括人物、时间、地点、物体、用户的心理状态及其相互关系等。Dey 定义上下文(context)为“与用户和所处的环境之间交互相关的任何信息”。

常见的上下文信息有时间、位置、场景等环境信息，屏幕大小、处理能力等设备信息，身份、操作习惯、个人喜好、情绪状态等用户信息。Schilit 将上下文定义为以下 3 类。

(1) 计算机上下文，如网络的可用性、网络带宽、通信开销、周边的打印机、显示器等资源。

(2) 用户上下文，包括用户的个性、位置、周围的人员甚至社会关系等。

(3) 物理上下文，如光线的明暗、噪声的大小、交通状况、气候、温度等。

上下文感知就是系统通过自动收集和分析用户的信息，利用上下文信息智能判断用户行为并提供高效率的信息交互，从而实现对用户服务的人性化。上下文感知集中体现了普适计算中以人为服务中心的理念。

上下文感知系统是装备了许多兼容的传感器，通过传感器协同工作和后端的高性能分布处理器一起提供信息服务的智慧。这种智慧使得系统能够识别用户的身份，并且根据用户所处的环境及交流习惯随时随地提供高效的信息服务。一个系统中的上下文信息一般有两个：①由传感器系统直接得到的低层上下文，如位置、时间等，是进行上下文推理的素材；②利用低层上下文，采用某些逻辑规则进行推理得到的启发性知识，属于高层上下文。高层上下文能揭示系统内深层次的关系，体现用户的真实目的，是上下文感知系统服务变化的重要决策依据。因此上下文的推理和与之配套的上下文知识表示和存储、检索机制是建立一个上下文感知系统框架的重要部分。

李蕊等人总结了国内外上下文感知系统，最终提出了一个通用的上下文感知系统框架，其中主要包括四部分内容：上下文感知、上下文演化、智能执行体和应用程序接口。如图 6-1 所示。

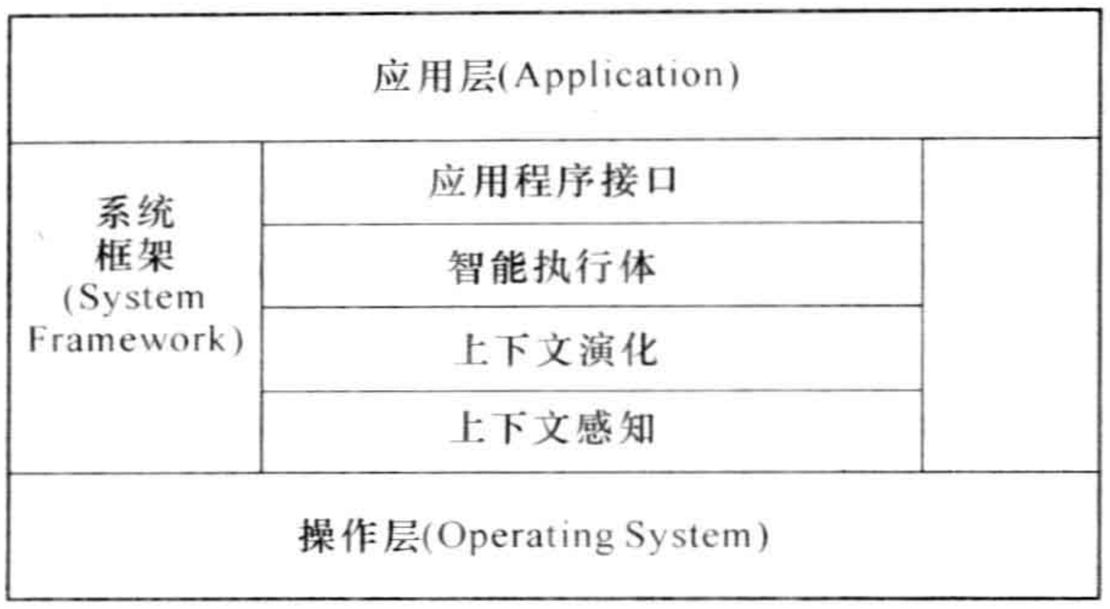


图 6-1　上下文感知框架图

(1) 上下文感知。上下文感知层从分布广泛的传感器采集原始上下文并进行初步处理,使上下文感知与实际使用相分离。一般来说,原始的上下文是模糊、不精确、不稳定甚至包含冲突的。

(2) 上下文演化。上下文的建模、过滤、推断、融合和存储构成了上下文演化的主要内容。其目标是通过对原始上下文进行过滤、推断等得到各应用所需的高层上下文。上下文演化的另一个目标是构建统一的上下文模型以支持上下文互操作,并允许上下文以统一的方式自由传输。

(3) 智能执行体。智能执行体是框架的核心,主要包括对感知触发、互操作、自适应策略、自配置和自组织技术等的支持。

(4) 应用程序接口。应用程序主要负责提供程序开发接口,以方便开发者充分利用框架的功能并快速构建感知应用。其接口不仅包括框架所能提供的服务业,还应包含应用开发所应遵循的规范。

6.3　Web 上下文定义及分析

6.3.1　Web 上下文概述及定义

在互联网中,上下文同样也是一种信息,描述的是在互联网的大环境下,用户及其应用相关的互联网的信息,同样包括人物、时间、地点、用户的状态及相互关系等。本书对互联网上下文进行了定义,首先,把 Web 上下文进行划分,分为用户上下文、网络环境上下文和设备上下文。其次,在目前的研究基础上,分别对这三类上下文进行了定义。以下是这三类上下文信息的具体定义说明。

1. Web 用户上下文

陈哲强等人提出用户上下文描述了用户在给定时间的状态,用侧面、需求和偏好来表示。由于用户上下文的动态特性,使得用户的侧面可以进化,并且任何交互都可以修改它。故把用户上下文用<U-context>元素描述,并分成<U-static>和<U-dynamic>两个元素。<U-static>元素描述用户的个人特征,<U-dynamic>元素描述用户的动态特征。其中静态的用户上下文由元素<U-static>描述,这个元素包括五个元素:<age>、<gender>、

<language>、<religion>和<race>。动态的用户上下文用元素<U-dynamic>描述，这个元素由六个元素组成：<goal>、<environmental>、<device>、<interests-preferences>、<state>、<others>。

在本书的研究中，主要是根据和用户访问行为分析和兴趣建模相关的信息以及后台服务器可以收集到的数据进行定义的。认为用户上下文包括两部分的内容，一部分是用户的基本属性信息，另一部分是用户的行为上下文。其中，用户基本属性主要是指用户在注册时主动提供的，能决定或影响用户行为的基本概要信息，包括年龄、性别和职业。用户行为上下文主要是指服务器记录的用户历史行为属性特征，如对某个页面的浏览行为。结合本书研究的需求和以往的研究，对 Web 用户上下文定义如下。

定义 1：用户上下文 UC 为

$$UC=<UBI,UHI> \tag{6.1}$$

$$UBI=<Uage,Usex,Uprofessional> \tag{6.2}$$

$$UHI=<Ustate,Uhistory,Uhabit> \tag{6.3}$$

UBI 是用户在注册时主动提供的，能决定或影响用户行为的基本概要信息，包括年龄、性别、职业。

UHI 是服务器端记录的用户的行为状态及其点击历史等行为状态信息。

2. 网络环境上下文

用户所处的网络环境对用户的行为也会产生一定的影响。用户访问的网络页面资源会对用户的访问时长和访问深度有一定影响，如图片资源为主的页面访问时长要远远小于文字资源为主的页面访问时长。所以对网络环境上下文定义如下，在本书中，主要考虑到的是网络资源类型上下文，即 NPI 的状况，具体定义如下。

定义 2：网络环境上下文 NC 为

$$NC=<NPI,\ NSI> \tag{6.4}$$

NPI 是指用户当前所在网页的属性特征。

$$NSI=<Ntime,\ Nip,\ Nculture> \tag{6.5}$$

NSI 指用户当前所处的网络环境状态以及可能影响用户行为的因素，包括用户开始浏览的时间、用户的 IP 地址，当前的网络文化。

3. 设备上下文

用户设备特征会对用户的行为产生一定的影响，如用户使用不同的浏览器会导致页面呈现的速度有一定的差异，同时在一定程度上对用户的行为产生一定的影响。如用户使用支持多页面同时打开的浏览器，会导致多个页面同时处于活动状态，其页面浏览时长和一次单独一个活动页面的浏览时长产生很大的差异性。在本书中，设备上下文主要是指浏览器类型及其操作系统类型，具体定义如下。

定义 3：设备上下文 DC 为

$$DC=<D\text{-}net\text{-}bandwidth,\ D\text{-}browser,\ D\text{-}operating\ system> \tag{6.6}$$

DC 主要是指描述用户端网络工具运行状况及其特征的设备上下文，包括网络带宽、浏览器型号、操作系统类型。

6.3.2 Web 上下文获取

在上下文感知计算中，能否正确地感知上下文信息起到决定性的作用。理想中获取的上下文应该是精确、有效、恰当、无冗余和无冲突的。但由于信息源通过不同的方式获取，获取上下文的时间间隔与上下文的有效性、精确度和可靠性等限制导致获取上下文会发生冲突，从而存在不完整和有效性的问题。

在 Web 环境下，因为 Web 服务器可以同时记录用户信息和其所处的环境上下文，以及运用的设备属性信息，故上下文信息获取这一问题可以得到缓解。具体来说，Web 上下文信息的获取途径主要通过服务器记录相关信息保存到相应的数据库中。但在实际的应用过程中，需要对获取到的上下文信息进行预处理，如信息筛选，去除不可用的冗余信息；信息量提取及量化，方便后续的计算。具体的数据获取方式会在第 7 章的 Web 上下文信息处理过程中进行描述。

6.3.3 Web 上下文分析

取某网站收集的数据，具体包含访问站点、访问者 IP、目标 URL、访问时长、分辨率、浏览器、操作系统几个参数变量。分析 Web 上下文中用户自身属性、网页属性及设备属性对用户访问网站的影响。其中站点编号固定，即用户访问的是同一网站。具体数据如图 6-2 所示。

A	B	C	D	E	F	G
站点编	访问者IP	目标URL	访问时长	分辨率	浏览器	操作系统
59	58.17.127.246	http://cn.sbo-motor.com/	3	1024*768	IE6	WinXP
59	58.17.127.246	http://cn.sbo-motor.com/product.asp?Ca	14	1024*768	IE6	WinXP
59	58.17.127.246	http://cn.sbo-motor.com/product.asp?Ca	4	1024*768	IE6	WinXP
59	58.17.127.246	http://cn.sbo-motor.com/productshow.as	14	1024*768	IE6	WinXP
59	58.17.127.246	http://cn.sbo-motor.com/product.asp?Ca	3	1024*768	IE6	WinXP
59	58.17.127.246	http://cn.sbo-motor.com/productshow.as	45	1024*768	IE6	WinXP
59	58.17.127.246	http://cn.sbo-motor.com/product.asp?Ca	4	1024*768	IE6	WinXP
59	58.17.127.246	http://cn.sbo-motor.com/productshow.as	23	1024*768	IE6	WinXP
59	58.17.127.246	http://cn.sbo-motor.com/productshow.as	15	1024*768	IE6	WinXP
59	117.60.224.117	http://cn.sbo-motor.com/	61	1024*768	IE6	WinXP
59	117.60.224.117	http://cn.sbo-motor.com/product.asp?Ca	128	1024*768	IE6	WinXP
59	117.60.224.117	http://cn.sbo-motor.com/productshow.as	16	1024*768	IE6	WinXP
59	117.60.224.117	http://cn.sbo-motor.com/product.asp?Ca	4	1024*768	IE6	WinXP
59	219.136.145.234	http://cn.sbo-motor.com/	26	1024*768	IE6	WinXP
59	219.136.145.234	http://cn.sbo-motor.com/productshow.as	72	1024*768	IE6	WinXP
59	219.136.145.234	http://cn.sbo-motor.com/product.asp	25	1024*768	IE6	WinXP
59	219.136.145.234	http://cn.sbo-motor.com/product.asp?Ca	5	1024*768	IE6	WinXP
59	219.136.145.234	http://cn.sbo-motor.com/productshow.as	12	1024*768	IE6	WinXP
59	219.136.145.234	http://cn.sbo-motor.com/messages.asp	11	1024*768	IE6	WinXP
59	125.106.39.4	http://cn.sbo-motor.com/product.asp?Ca	3	1024*768	IE6	Win2000
59	116.113.131.53	http://cn.sbo-motor.com/	25	800*600	IE7	WinXP
59	124.67.106.161	http://cn.sbo-motor.com/	21	800*600	IE7	WinXP

图 6-2　不同上下文情境下的用户访问时间(数据来源:某网站 1 天的用户访问日志)

为方便进行统计分析，对数据进行预处理。首先，访问者 IP 用数字代号。其次，目标 URL 根据其网页属性分为 3 类，并用数字 1、2、3 分别代替三种不同的页面类型，其中 1 代表首页导航页面，2 代表二级导航页面，3 代表信息详情页。最后，分辨率、浏览器、操作系统分别划分为两类，用数字 1，2 代替。其中，分辨率类型 1 代表 1024×768，类型 2 代表 800×600；浏览器类型 1 代表 IE6，类型 2 代表 IE7；操作系统 1 代表 WinXP，类型 2 代表 Win2000，如图 6-3 所示。

	站点编号	访问者IP	目标URL	访问时长	分辨率	浏览器	操作系统
1	59	1	1	3	1	1	1
2	59	1	2	14	1	1	1
3	59	1	2	4	1	1	1
4	59	1	3	14	1	1	1
5	59	1	2	3	1	1	1
6	59	1	3	45	1	1	1
7	59	1	2	4	1	1	1
8	59	1	3	23	1	1	1
9	59	1	3	15	1	1	1
10	59	2	1	61	1	1	1
11	59	2	3	16	1	1	1
12	59	2	2	4	1	1	1
13	59	3	1	26	1	1	1
14	59	3	3	72	1	1	1
15	59	3	3	25	1	1	1
16	59	3	2	5	1	1	1
17	59	3	3	12	1	1	1
18	59	3	3	11	1	1	1
19	59	4	2	3	1	1	2
20	59	5	1	25	2	2	1
21	59	6	1	21	2	2	1

图 6-3　用户访问日志预处理后的数据

1. 用户上下文对访问行为的影响分析

不同类型的页面所包含的信息及信息量差异较大，因此选择详情页作为目标页面，查看不同 IP 用户在访问此类页面上浏览时长的差异。以浏览时长参数为因变量，用户 IP 参数为自变量，进行方差分析，分析发现用户访问时长差异不显著（如表 6-1 所示，Sig. =0.847>0.05）。可以认为，用户自身因素对网页访问的影响不显著，但是从统计上可以看出，不同用户访问时长有一定的差异（见表 6-1、表 6-2）。

表 6-1　同一页面不同用户访问时长方差分析

	Sum of Squares	df	F	Sig.
Between Groups	176.139	2	0.171	0.847
Within Groups	3 096.750	6		
Total	3 272.889	8		

表 6-2　访问时长平均值

	N	Mean
1	4	24.25
2	1	16.00
3	4	30.00
Total	9	25.89

2. 页面上下文对访问行为的影响分析

对页面上下文影响用户访问的分析，主要从页面资源因素方面进行考察。把页面资源

分为一级页面、二级页面和三级页面。其中一级页面为导航页面，二级页面为次级导航页面，三级页面为内容详情页。因为通过上述分析发现用户自身因素的影响并不显著，故分析的是所有用户访问网站页面的数据，其中，以“访问时长”参数为自变量，“目标 URL”参数为因变量，进行方差分析，分析发现用户在不同页面进行浏览时，其访问时长差异显著（如表 6-3 所示，Sig. =0.047<0.05），故可以认为网页资源属性对用户访问网站的影响较大（见表 6-4）。

表 6-3　不同页面用户访问不同页面时长方差分析

	Sum of Squares	df	F	Sig.
Between Groups	2 077.549	2	3.640	0.047
Within Groups	5 137.117	18		
Total	7 214.666	20		

表 6-4　访问时长平均值

	N	Mean
1	5	27.20
2	7	5.29
3	9	25.89
Total	21	19.33

3. 设备上下文对访问行为的影响分析

把数据按浏览器和分辨率属性差异分为两类，一类是 1024×768——IE6，另一类是 800×600——IE7。同时，上述分析发现网页资源属性会影响用户访问，为了规避网页资源带来的误差，分析固定在页面资源类别 1 上，用户在不同的设备属性上的访问差异。以“访问时长”参数为自变量，以“分辨率”参数为因变量，进行方差分析，分析发现用户浏览器和分辨率对用户访问的影响差异不显著（如表 6-5 所示，Sig. =0.769>0.05），故可以认为设备属性对用户访问 Web 的影响不大，但其在基本统计上呈现一定的差异。

表 6-5　不同设备属性用户访问不同页面时长方差分析

	Sum of Squares	df	F	Sig.
Between Groups	58.800	1	0.103	0.769
Within Groups	1 714.000	3		
Total	1 772.800	4		

表 6-6　访问时长平均值

	N	Mean
1	3	30.00
2	2	23.00
Total	5	27.20

通过分析 Web 上下文对访问行为的影响，得到如下结论。

(1) 页面资源属性信息(页面信息类型、信息量等)对用户访问行为参数影响显著。

(2) 用户自身属性信息(年龄、性别等)对访问行为参数的影响不显著，但呈现一定的差异性。

(3) 设备属性信息(浏览器类型、分辨率等)对访问行为的影响不显著，但呈现一定的差异。

根据以上结论，在 Web 上下文基础上对用户行为分析时，重点研究针对不同页面资源类型，如何进行用户访问 Web 站点时的行为参数建模。但是考虑到大多数用户对网站的访问不是一次行为，而且不同用户之间存在操作习惯上的差异，故在本书中，会基于用户上下文信息对兴趣模型进行修正(在此用户上下文信息除了包括基本属性信息，还有用户的历史行为信息，特别是用户的历史行为建模信息)。而设备上下文信息更多地应用在进行信息推荐的时候，会考虑到设备属性的差异，如针对不同的设备分辨率推荐的图片信息。

(4) Web 上下文感知。

在上下文感知计算中，核心在于上下文的获取和推理，同时整个系统架构也需要上下文知识的表示、存储和检索。另外，在一些文章中，会把上下文获取的过程称之为上下文感知。本书对 Web 上下文感知计算的定义更接近于传统意义上的理解，即重点在于 Web 上下文的推理。

商鹏等人提到上下文感知计算中 CBR 推理机的运作流程。CBR 推理机接收信息，并根据这些信息建立问题事例，通过事例的检索匹配找到最优事例，确定是否有用户提出过相同的新闻请求。如果提出过，复用事例中保存的新闻结果；如果没有，根据问题事例进行新闻查询。

本书 Web 上下文感知中的推理计算沿用商鹏等人提到的 CBR 推理机基础框架，重点在于通对 Web 上下文信息推理计算，得到用于兴趣度量计算的访问行为参数，也可以认为 Web 上下文推理的过程即是行为参数建模的过程。具体的推理过程如图 6-4 所示。

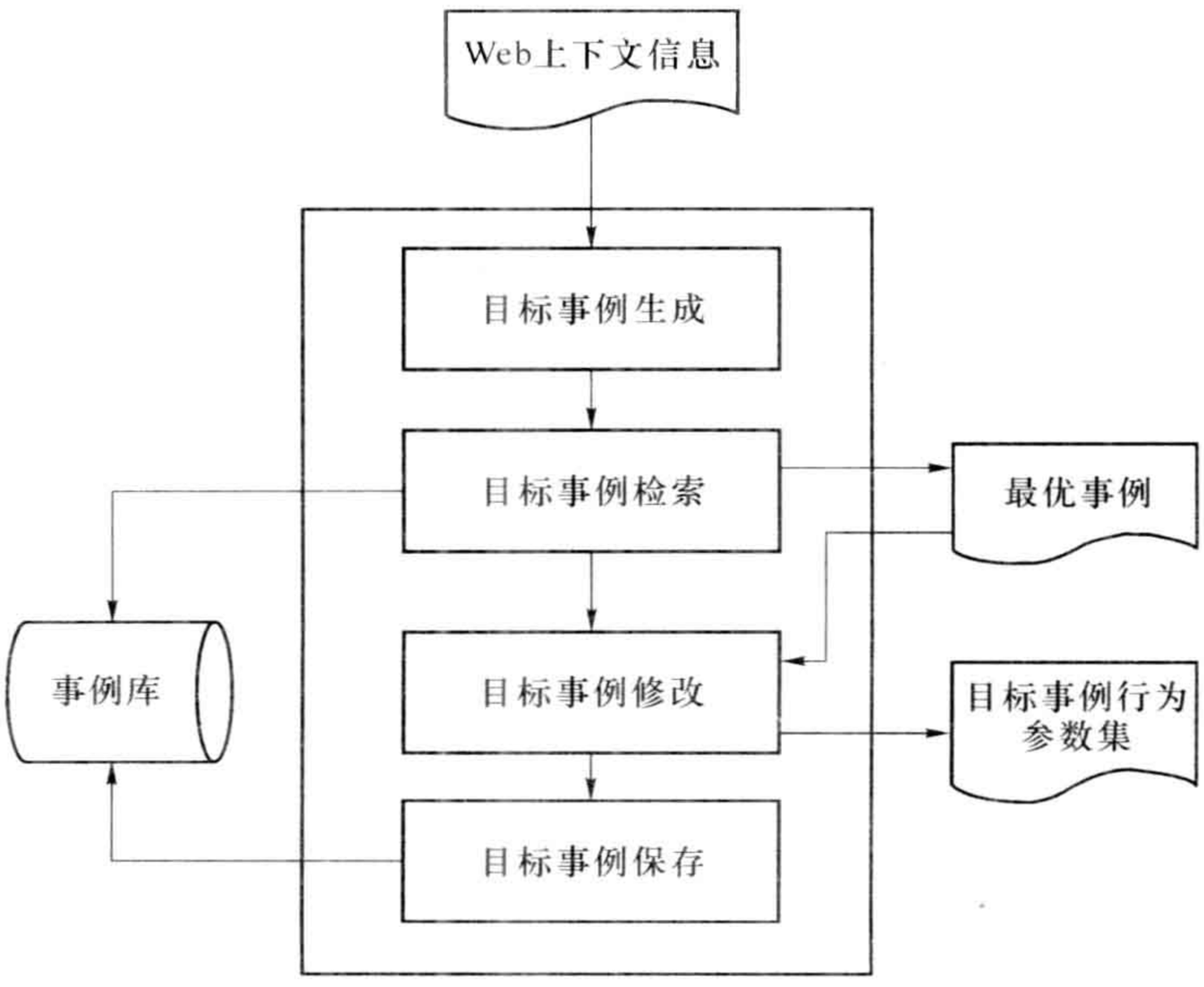


图 6-4　Web 上下文推理机流程图

第 1 步:目标事例生成

对获取到的上下文信息进行筛选判断,接收符合分析需求的用户基本属性信息和页面资源属性信息,并组合成 Web 上下文信息。

第 2 步:事例检索匹配

这一步骤的主要目的在于通过目标事例与相似 Web 上下文事例集进行匹配,确定最佳的事例。主要包括两部分内容:一是确定相似 Web 上下文事例集;二是对目标事例和相似事例集进行检索匹配,看是否有其他用户同样浏览过该页面,最后确定最优事例,即可用性最高的事例。

其中相似事例的寻找方法是通过把 Web 上下文信息保存在表中,将目标事例中的信息与表中的每一项条件进行比较,计算两者的相似度,把相似度值最大的事例作为最优事例。

第 3 步:事例修正

根据最优事例中选取的行为信息参数及其影响因子设定,将目标事例与最优事例中的相似度值进行比较,确定目标事例的行为参数值。

第 4 步:事例保存

目标事例保存到事例库中相应的相似用户事例集里,以方便下次信息提取。

另外,通过以上分析得到 Web 上下文中的页面上下文信息对用户访问行为的影响较大,在具体的行为参数建模中会着重考虑其影响因素的分析。故在本书中,Web 上下文推理重点在于针对页面上下文信息确定所需的行为参数,而用户上下文信息会作为参考因素对行为参数进行修正。

6.4 基于 Web 上下文感知的用户行为分析

传统的用户行为分析,更多的是仅仅考虑用户“个人因素”,如访问模式、习惯等,并没有考虑用户的“环境因素”,如所处的网站资源类别等。本书认为真正自适应的个性化服务系统不单考虑用户个人特性,还应该考虑所处的互联网环境因素。

首先,在个性化服务系统设计上,用户行为模式的发现是通过分析用户自身的需求以及所处环境信息形成的。然而,用户行为过程本质在很大程度上受到了实际环境上下文信息(如页面资源信息)以及用户对上下文信息认知程度的影响。多元化的页面中,表征用户兴趣的行为属性并不一致,且对兴趣度计算的影响程度也存在差异,如用户在以图片为主的页面进行的操作和在以文本为主的页面进行的操作行为不一致。现有技术中对所有页面采用同一套浏览行为分析模型是比较武断的做法。

其次,从个性化服务系统的技术实现上来看,不同的设备特征存在一定的差异。时间费用上,低带宽环境下应该减小数据传输量;服务质量上,高带宽用户应该得到更高质量的服务;信息组织显示上,不同浏览器及操作系统下,信息的组织和显示应当有所区别。

针对以上提到的这些问题,本书侧重于根据不同的上下文信息结合用户操作行为进行兴趣建模。其中,用户的上下文信息包括用户所处的网络环境、用户的终端设备(如浏览器、操作系统等)信息以及用户特征属性。并把此建立的模型称之为上下文依赖的用户行为模型。与现有技术相比,针对不同用户所处的 Web 上下文信息,采用不同的浏览行为分析模

型，考虑因素更全面，模型更准确。

第 5 章对 Web 上下文信息进行了分析，发现页面资源信息对用户访问行为的影响呈显著性特征，而用户个体特征和设备特征对访问行为的影响不显著，但呈现一定差异。故在本书中，主要研究如何针对页面资源属性特征建立访问行为模型，进行兴趣发现。但考虑到用户本身会有自己的访问行为特征，在此通过用户上下文信息对建立的行为模型进行修正。

6.4.1　Web 上下文信息识别及预处理

对 Web 上下文信息进行识别，针对不同的用户、页面资源以及设备属性采用不同的行为信息建模方式。对于 Web 上下文信息进行分析时，对于前面所列举的三类上下文信息中，可进一步分为两类，一类是静态性的用户基本属性信息和用户设备属性信息，另一类是动态性的页面资源信息。静态性的上下文信息不会随时间的改变而改变；动态性的上下文信息实时都在改变，需要实时捕捉。通过分析发现，静态信息对用户访问行为的影响不显著，而动态的页面资源信息对用户行为的影响较为显著，故在处理的过程中，着重考虑页面资源信息对用户兴趣建模的影响及处理。

对 Web 页面信息的处理主要分三个步骤：首先是无效页面过滤，筛选目标页面；其次对目标页面进行信息提取，信息向量化；最后根据向量化的信息进行资源分类，在此把页面资源信息分为三类。通过这三个步骤的处理，一方面可以减少不必要的计算，减轻系统计算负担，另一方面对信息资源分类可以提高计算精度。

(1) Web 页面筛选识别目标页面

目前的研究中，对网页文本的分析没有考虑到噪声页面的剔除和页面中无效信息的剔除。这里的噪声页面主要指的是导航页、首页、索引页等，如果不加区分，对于这些页面的分析是费时却又无意义的。这里的无效信息主要指的是页面中存在的广告信息，对于这些信息的分析是费时却又无意义的。故对 Web 页面的预处理中，首先需要对用户访问的 Web 页面进行判别，识别导航页和无意义页面并将其剔除，不予以分析计算。

判断的依据有两种：一种是根据用户在该页面的操作行为数据，判断其是否为导航页或者无意义的页面，如访问次数、单会话内的访问总时长等超过一定的阈值；另一种是根据页面的源码内容进行解析，判断其是否为导航页或者无意义页面，如页面的链接总数超过一定阈值或者页面连续成文的文字长度超过一定阈值等。为存储相应的阈值数据，页面筛选单元进一步还包括一个页面筛选阈值的数据存储单元，在具体实现过程中，可以表现为一个 XML 配置文件，如图 6-5 所示。

```
<filter>
   <maxAccessCount>15</maxAccessCount>
   <maxLinkNum>20</maxLinkNum>
   <minStayTime>4</minStayTime>
</filter>
```

图 6-5　XML 配置文件举例说明

其中，maxAccessCount 表示单个网页的最大访问次数，maxLinkNum 表示页面内的链接个数，minStayTime 表示页面的停留时间。通过这几个参数可以对用户访问页面记录做一个初步筛选。比如，一般来说，首页的访问量是比较大的，另外首页内的链接个数比较多，对于那些用户停留时间很短的页面，分析意义也不是很大，所以在筛选阶段可以将这些访问记录剔除出去，以减少以后的处理时间。

这些阈值的设置可以是人为的通过专家经验确定，也可以通过样例数据训练得出。训练时，首先选择适量具有代表性的页面集合作为测试数据集，然后提取相应的访问时长、访问次数、链接数目，最后统计分析得出满足要求的阈值。

(2) Web 页面信息分析提取，过滤广告等无效信息

Web 页面分析的主要框架图如图 6-6 所示

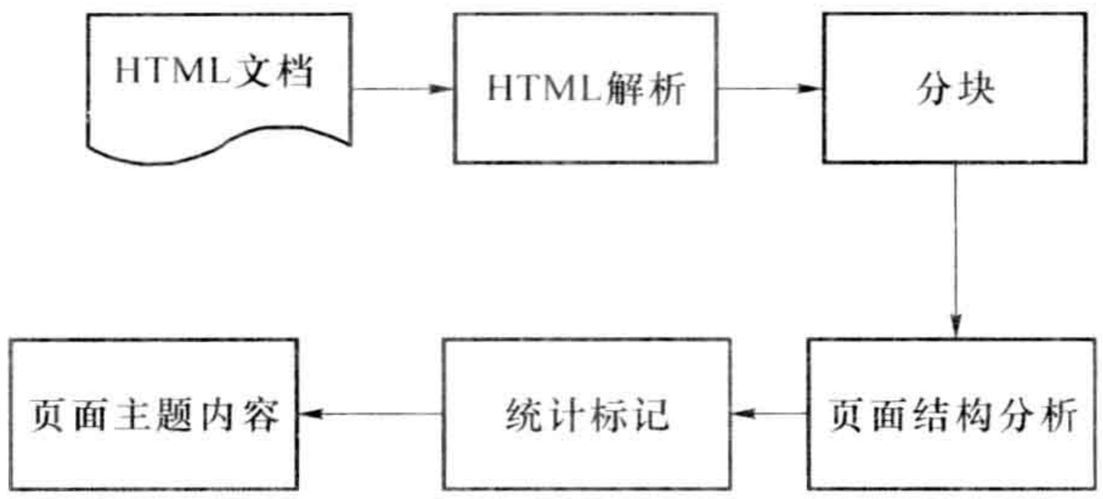


图 6-6　页面内容提取流程

Web 页面分析和提取主要流程表述为：首先，解析器将 HTML 文档转化成 DOM 树，分块器利用位置将页面分为头、脚、左、右和中间区域，然后进入到页面结构器中进行分析；页面分析器计算其特征并删除无关内容块；标记统计器对有主体内容的中间区域的标记进行统计。最后输出只有主题内容的文档。

其中，无效信息的判别主要通过两种途径实现，一种途径是识别文件格式，另一种途径是识别标记位置。

① 识别文件格式，删除无效信息。现有的网页中嵌入的广告信息大都是动态的 flash 格式，故认为文档中出现的 flash 格式的图片为无效的广告信息，在此需要对中间区域的 flash 格式的标记文件过滤删除。

② 识别标记位置，删除无效信息。在本书中，“距离”的概念被定义为在 HTML 源文件中文字标记和图片标记位置之间的字符数或者行数。根据训练集，设定一个距离上限 D_{max}，即图片标记距离最近文字标记的之间的最大字符数或行数，目标页面中相对于<img>标记在文本流中的位置，如果超过阈值，被指定为广告等无效信息，将其剔除；如果在阈值范围之内，则被认为是文字相关的图片信息，对其进行保留。

(3) 根据页面的实际信息量对目标页面进行资源分类

① 页面信息特征化表示。页面特征化首先需要实验或者专家分别确定文字表示的单位信息量的字节数 d_1、标准图片表示的单位信息量的字节数 d_2，标准图片的像素 α；然后统计目标页面的内容属性等信息，根据专家定义的标准确定页面的信息量；最后对特征页面属性资源向量化表示。其中，页面的特征属性向量表示为(文字，信息量 L_1；图片，信息量 L_2；视频，信息量 L_3)

文字的信息量 L_1 表示为

$$L_1 = \frac{D_1}{d_1} \tag{6.7}$$

式中，d_1 为文字表示的单位信息量的字节数；D_1 为目标网页中文字部分的总字节数。

图片的信息量 L_2 表示为

$$L_2 = \frac{D_2}{\frac{\alpha'}{\alpha} \times d_2} \tag{6.8}$$

式中，d_2 为标准图片表示的单位信息量的字节数；α 为标准图片的像素（可用 width 和 height 属性表示）；D_2 为目标网页中图片部分的总字节数；α' 为目标网页中图片的像素。

视频的信息量 L_3 表示为

目标页面中存在视频即为 1，不存在即为 0。

② 根据页面特征属性计算其隶属度进行资源分类。通过计算目标页面的特征属性向量和各资源类别特征属性向量的相近程度，判别当前页面所属的资源类别。为了使下步计算精确，采用模糊数学里面的隶属度计算来代替相似度，即得到目标页面相对于每个类别的距离程度。

目标页面特征属性向量对于每一类属性向量的隶属度计算方法为

$$u_{ij} = \frac{\| x_i - z_j \|^2}{\sum_{k=1}^{c} \frac{1}{\| x_i - z_k \|^2}} \tag{6.9}$$

式中，$\sum_{j=1}^{c} u_{ij} = 1, 1 \leqslant i \leqslant n$；$x_i$ 代表目标页面的特征属性向量值；z_j 代表资源 c_j 类代表性的特征属性向量值；d_{ij} 为 x_i 与 z_j 的距离，定义 $d_{ij}^2 = \| x_i - z_j \|^2$。

根据隶属程度判断目标页面的所属资源类别，特别地，若目标页面属于两个类别的隶属度相似，可认为目标页面同属两个类别。

实现对页面的分类，需要定义一组页面特征描述标准，还包含一个称为类型特征向量集的数据存储单元，用于存储各类型的典型特征属性向量标准。所述的页面的特征属性向量是一组能够表征页面各类型资源组成的向量 $\boldsymbol{V}(s_j)$，而所述特征属性向量标准是一组表征某类型页面的平均向量值。

判断目标页面类型的过程，也就是将目标页面的特征属性向量与标准分类的特征属性向量进行比较的过程，最终将目标页面归入与其最接近的标准分类中。

所述类型特征向量集中的标准分类的特征向量是预先设置的一组向量值，该标准可以基于专家经验人工定义，也可以通过训练数据统计训练得到。训练时首先定义页面为三个类别，分别为文字为主的页面、图片为主的页面和视频为主的页面；给出训练页面集合 $S=(s_1, s_2, \cdots, s_n)$ 中每个训练页面 s_j 确定其所属的类别 c_i（也可以通过专家自定义等方法确定类别）；提取训练页面集合 S 中所有页面的特征属性向量 $\boldsymbol{V}(s_j)$，具体表示为（文字，信息量；图片，信息量；视频，信息量）。

6.4.2 Web 用户信息识别及预处理

不同用户之间存在差异，例如，即使两个理解能力不同的用户对同一个页面的关注程度完全一样，他们花在浏览这个页面上的时间也是不一样的。但通过前期分析发现，用户个体因素对访问行为的影响并不显著，考虑到用户对于网站的访问行为及兴趣的形成是一个长期的过程，故在此更重要的是区分新用户和老用户之间的差异。

对用户行为进行预测的时候，对用户有个划分，主要分为有行为记录的老用户和注册新用户。对于老用户，我们除了了解其基本属性信息外，还可以得到其历史行为信息及其之前建立的行为模型。对于这类用户，我们更多的是对其用户模型进行更新和修正。但是对于第二类用户，我们只能得到其基本属性信息，需要新建立相应的行为模型。对于这两类不同的用户，可以运用不同的方法对其行为进行感知和预处理。

新用户来到网站后，首先会注册，提供其基本属性信息，系统会自动对其属性信息存储到整体的用户信息数据库中，同时会根据用户的属性信息进行分类，这样可以通过相似用户的行为模型对新用户的行为模型进行修正和调整。对于老用户，我们认为其基本属性信息在一段时间内不会发生变化，会直接判别其所属的资源类别。具体处理过程如图 6-7 所示。

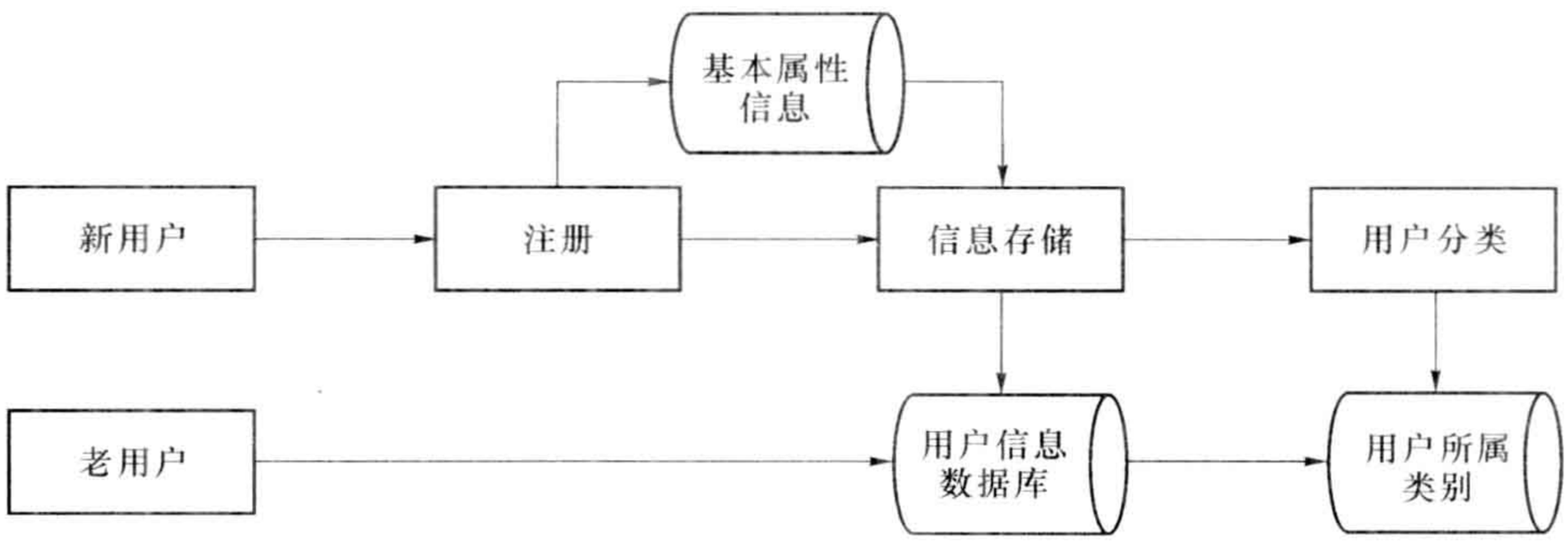


图 6-7　用户上下文识别及预处理

1. 用户识别

根据用户注册信息判别用户身份。

2. 用户信息存储

收集到的用户基本属性信息主要包括三个部分的信息：用户的年龄、性别和职业。一般来说，这三部分信息不会随着时间的变化而改变，可认为是静态信息。对用户基本属性信息存储后，需要对这部分信息进行特征向量化表示，以方便信息存储及下面的用户分类计算。

定义 1：用户的年龄属性表示

用户的年龄段划分可以为 15 岁以下、15～19 岁、20～25 岁、25～30 岁、31～40 岁、41～50 岁、50 岁以上，分别赋值为 1、2、3、4、5、6、7 表示，其中数字代表了一定的有序集合的概念。

定义 2：用户的职业特征属性表示

学生、企事业单位等公司职员、自由职业者、军人、其他，分别赋值为 1、2、3、4、5 表示，其中数字仅代表集合的概念，无具体意义。

定义 3：用户的性别属性表示

If sex＝male，then 1；if sex＝female，then 2；在此 1 和 2 仅为集合的概念，无实体意义。

综上所述，用户基本属性特征向量可表示为：{用户 id；年龄；性别；职业}。

3. 用户分类

对于新用户建立的行为模型往往不够完善和精确，同时考虑到系统计算的实时性要求，本书中采用通过其相似邻居用户的行为模型对其修正的方法解决这一问题，故需要进行用户分类计算，分类计算主要是根据用户上下文信息中的基本属性信息作为向量进行的相似性计算。具体算法描述如下。

输入：目标用户信息向量；用户信息数据库；相似性矩阵

输出：目标用户的 l 个最近邻居。

步骤：

(1) 计算目标用户给定分类属性(最佳属性)与数据库中之间的相似性，获得 $1\times k$ 的向量$(v_1, v_2, \cdots, v_k)$。

(2) 计算向量$(v_1, v_2, \cdots, v_k)$与 $\boldsymbol{V}(m, k)$ 各行之间的欧氏距离。

任意两个单元 i 和 j 之间的欧氏距离为

$$d(i,j)=\sqrt{|x_{i1}-x_{j1}|^2+|x_{i2}-x_{j2}|^2+\cdots+|x_{ip-x_{jp}}|^2} \tag{6.10}$$

这里的 $i=(x_{i1}, x_{i2}, \cdots, x_{ip})$和 $j=(x_{j1}, x_{j2}, \cdots, x_{jp})$是两个 P 维的数据对象。

(3) 上述欧氏距离最小的前 l 个基本用户视为目标用户的最近邻居。

(4) 设定阈值，根据 l 的大小对阈值进行自动调整。

(5) 根据阈值，决定是否返回(1)循环计算各个属性指标的相似性。

4. 用户访问行为数据获取

目前，用户行为数据收集的常用方法有两种：一种是服务器端进行的，主要是基于 Web 日志文件，即以 Web 日志文件作为数据采集的对象；另一种是基于客户端进行的，主要是基于用户的行为源，可以全面而准确地捕捉用户的行为。

服务器端获取数据方法是通过从 Web 服务器所产生的日志文件来获取有用的数据。服务器日志文件就是用来记录 Web 服务器的活动，提供了详细的客户和服务器的交互活动日志，其中包括客户的请求和服务器的响应。这些文件里包含了大量的与用户访问有关的数据，关键数据主要有四个：页面浏览流量、页面停留时间、鼠标移动轨迹、链接点击分布。但严格地说，由于 Web 日志文件记录的是服务器发送的一个个文件流，是面向服务器的，不是面向客户端的，因此 Web 日志文件并不是研究用户访问模式的最佳数据源。

与服务器端数据的收集相比，客户端信息的收集有许多优势。例如，它可以解决缓存和会话辨认的问题，可以收集单用户、单站点的浏览行为和收集单用户对多个站点的浏览数据。另外，客户端主机系统审计日志、应用程序的日志也可以帮助我们进行网络用户行为的分析。实现客户端数据采集最直接的方法是修改用户使用的浏览器，使浏览器自身具备自动采集用户使用信息的功能。目前广为使用的 IE 没有这项功能，有第三方的浏览器如 NetZero、Alexa、AllAdvantage 等初步具有相关功能。对绝大多数使用 IE 浏览器的用户来说，要采集他们的使用数据，利用相关技术进行软件开发是一种不错的解决方案。可利用的技术包括 Java Applet、Java Script、Plug2in 和 Frame 技术。

本书的研究中，系统的输入是一组用户访问页面的信息，包含了用户 ID、页面 ID、页面

源码、页面属性信息、用户在该页面上的操作行为。操作行为包括用户访问时间、停留时长、访问次数、滚动滑轮次数、是否有复制/粘贴、是否收藏等信息。采用的数据收集方法是以客户端收集方法为主，通过 java script 技术嵌入到相关页面中，收集更为精确的页面浏览时间以及相关的访问行为数据，如右击复制行为、拖动滚动条次数。

6.4.3 基于 Web 上下文感知的行为参数建模

由于 Web 上下文信息的差异性，不同资源类别的页面信息和不同用户属性情况下，用户的兴趣计算所需要的行为参数是不统一的。在本书中，基于 Web 上下文信息，对行为参数进行建模，针对不同的 Web 上下文信息采用不同的行为参数来衡量其兴趣值。对于每一个类型对应的每一种行为参数，还可以带有一个影响因子，用以表征该种行为数据在该类页面的兴趣值计算中的重要程度。特别地，如果目标页面同属两个类别，需要考虑两个类别的行为参数合集。

1. 行为参数及影响因子确定

根据页面资源类别，确定了相应的行为参数集合，同时还需要确定不同页面资源类别下行为参数的影响因子。针对 Web 上下文信息确定对应的行为参数和影响因子可以采用多种方法，在本书中运用了属性增益计算方法。其中，在属性增益计算方法中，认为最高兴趣增益的属性对于评判兴趣的程度最有效。最后，根据运用专家或测试等方法确定不同资源类别中信息量对各行为参数的影响因子。属性增益算法具体表述如下。

(1) 计算对给定样本分类所需的期望信息。

$$I(s_1, s_2, \cdots, s_m) = -\sum_{i=1}^{m} \frac{s_i}{s} \log_2 \frac{s_i}{s} \tag{6.11}$$

式中，$\frac{s_i}{s}$为任意一个样本属于类 c_i 的可能性；s_i 是分类 c_i 的样本数；s 是数据集样本总数。

(2) 计算一个给定分类属性 A 的各子类的分布。根据 ID3 算法计算期望信息，计算该属性样本分类的信息熵 $E(A)$。

$$E(A) = \sum_{j=1}^{v} \frac{s_{1j} + \cdots + s_{mj}}{s} I(s_{1j} + \cdots + s_{mj}) \tag{6.12}$$

(3) 计算该属性 A 分类的信息增益。

$$\text{Gain}(A) = I(s_1, s_2, \cdots, s_m) - E(A) \tag{6.13}$$

(4) 返回(2)循环计算各属性的信息增益。

举例说明，假设根据算法，最后输出结果如表 6-7 所示。

表 6-7 页面资源特征属性表示

类别 C	信息增益值			
	行为参数 1	行为参数 2	…	行为参数 n
文字类	0.7	0.4	…	0.2
图片类	0.2	0.7	…	0.3
视频类	0.4	0.2	…	0.8

统计分析得出各类别进行兴趣分析可得到不同页面资源类别下所需要的行为参数表述。

文字类{行为参数 1,行为参数 4,行为参数 5,行为参数 8};

图片类{行为参数 2,行为参数 5,行为参数 7};

视频类{行为参数 9,行为参数 5,行为参数 1,行为参数 3,行为参数 6}。

同时,运用专家或测试等方法确定不同资源类别中信息量对各行为参数的影响因子,其表述如下。

文字类{影响因子 w_1,影响因子 w_4,影响因子 w_5,影响因子 w_8};

图片类{影响因子 w_2,影响因子 w_5,影响因子 w_7};

视频类{影响因子 w_9,影响因子 w_5,影响因子 w_1,影响因子 w_3,影响因子 w_6}。

2. Web 上下文信息感知计算确定行为参数

当数据积累到一定程度,我们可以采用 Web 上下文感知方法确定用于兴趣计算的用户行为参数值,这样可以大大缩减后台运算时间及计算负担。基于前文 Web 上下文信息的推理机制,确定了行为参数的计算方法。

Web 上下文信息确定行为参数主要是通过四步实现,首先对获取到的上下文信息进行筛选判断,识别需要分析的信息;其次对 Web 上下文事例进行检索,寻找可用性最高的事例;再次根据最优事例确定目标 Web 上下文事例下的行为参数集,并根据其相似性进行修正;最后把结果进行保存,方便下次信息提取和计算。通过对 Web 上下文分析,发现页面上下文信息对行为参数的影响程度最大,故 Web 上下文信息的推理机制中的上下文信息主要是 Web 页面上下文信息。

3. 基于用户上下文信息修正参数模型

不同用户个体,即使对目标页面兴趣相同,操作行为也会有很大的不同。而这种差异如果不被加以考虑,会带来计算误差,影响用户兴趣的计算精确,最终导致推荐的信息不理想。

考虑不同用户个体特征对行为参数会产生一定的影响,如年龄较大的用户在访问页面时的浏览时长会高于平均水平。在此,用户个体特征用行为参数的影响因子来修正度量兴趣值的行为参数具体数值。具体的计算方法如下。

$$X_i = x_i(i) + \nabla w_i \tag{6.14}$$

式中,X_i 代表对行为参数 i 修正后的数值,x_i 代表修正前行为参数值,∇w_i 代表用户个体属性对行为参数 i 影响因子的修正值。

4. 行为参数度量用户兴趣

兴趣值计算的过程是根据该页面所属类型对应的行为参数和影响因子,以及页面本身的有效信息量,综合衡量用户对该页面的兴趣度。可以采用多种计算方法计算兴趣值。以下描述采用线性回归方程处理的全过程。

首先,在计算该组页面之前,需要对于不同资源类别,以及不同资源类别分析需要的行为参数,分别设定相应的回归方程。回归方程算法步骤描述如下。

(1) 根据研究目标进行用户行为参数的统计测量,获取一系列特征数据。

(2) 对统计测量进行分析,用某一已知函数对其进行拟合。

(3) 分析拟合函数,通过计算得出总体特征的回归方程。

(4) 用相关系数法检验关系的显著性,确定回归方程的可靠性。

另外也可以通过专家自定义确定回归方程系数。

统计分析可得出各类别对应的回归方程。

$$\text{文字类：}R_{ij}^{1}=\beta_1 X_1+\beta_2 X_2+\beta_3 X_3+\beta_4 X_4+c_1 \tag{6.15}$$

$$\text{图片类：}R_{ij}^{2}=\beta_1^2 X_1+\beta_2^2 X_2+\beta_3^2 X_3+c_2 \tag{6.16}$$

$$\text{视频类：}R_{ij}^{3}=\beta_1^3 X_1+\beta_2^3 X_2+\cdots+\beta_5^3 X_5+c_3 \tag{6.17}$$

其次，需要对收集到的行为参数进行预处理。定义的行为参数本身存在的异构性，需要对其进行离散化分析，从而得到统一化的数据形式进行兴趣度计算。离散方法是将用户兴趣设定五个等级，相应的行为参数体现用户兴趣的程度值由大到小分别设为 5、4、3、2、1。

通过用户上下文属性分析，对行为参数模型修正计算后，确定多元线性回归方程表示行为参数和兴趣度之间的定量关系，其中需要根据目标页面所属资源类别选取相应的回归方程和系数。

$$R_{ij}=\beta_1(x_1(i)+\nabla w_1)+\beta_2(x_2(i)+\nabla w_2)+\cdots+\beta_n(x_n(i)+\nabla w_n)+c \tag{6.18}$$

式中，β_1，β_2，…，β_n 是目标所属资源类别的回归系数，且 $0<\beta_n<1$；c 为修正参数；∇w_1，∇w_2，…，∇w_n 是用户上下文对各行为参数的影响因子。

回归系数、修正参数、影响因子可通过训练集测试或专家自定义等确定。

特别的，目标页面同属于两个类别，计算方法如下。

$$\begin{aligned}R_{ij}&=\alpha_1 R_{ij}^{1}+\alpha_2 R_{ij}^{2}\\&=\alpha_1\left[\beta_1(x_1(i)+\nabla w_1^1)+\beta_2(x_2(i)+\nabla w_2^1)+\beta_3(x_3(i)+\nabla w_3^1)+c_1\right]+\\&\quad\alpha_2\left[\beta_1^2(x_1^2(i)+w_1^2)+\beta_2^2(x_2^2(i)+w_2^2)+\beta_3^2(x_3^2(i)+w_3^2)\right.\\&\quad\left.+\beta_4^2(x_4^2(i)+w_4^2)+c_2\right]\end{aligned} \tag{6.19}$$

式中，α_1 为目标页面对于资源类别 1 的隶属度，α_2 为目标页面对于资源类别 2 的隶属度；β_1、β_2、β_3 为线下计算得出的资源类别 1 的回归系数，β_1^2、β_2^2、β_3^2 为线下计算得出的资源类别 2 的回归系数；∇w_1^1、∇w_2^1、∇w_3^1 为资源类别 1 中用户上下文信息对各行为参数的影响因子，∇w_1^2、∇w_2^2、∇w_3^2 为资源类别 2 中信息量对各行为参数的影响因子。

6.5 用户访问行为分析系统模块设计

本书设计一种基于 Web 上下文信息，分析用户行为，建立用户兴趣模型的自适应系统。本系统从功能上划分包含五个逻辑处理模块，分别是用户识别模块、Web 上下文信息预处理模块、信息分享模块、行为参数模型建立模块和兴趣确定模块。各模块连接关系和数据走向如图 6-8 所示。

其中待处理信息是整个系统的输入数据，具体来讲，即用户访问互联网信息记录，包括用户标识，用于唯一标识互联网用户，比如用户的手机号码、访问终端 IP 等；互联网页面信息，比如用户访问的页面 URL 地址、页面 HTML 源码等数据；用户的操作行为数据，比如用户访问时间、停留时长、访问次数、滚动滑轮次数、是否有复制/粘贴、是否收藏等信息。对于上述用户操作行为数据的获取过程，可以通过现有的客户端插件技术实现。最终的输出信息是针对目标用户兴趣的网站相关推荐信息。

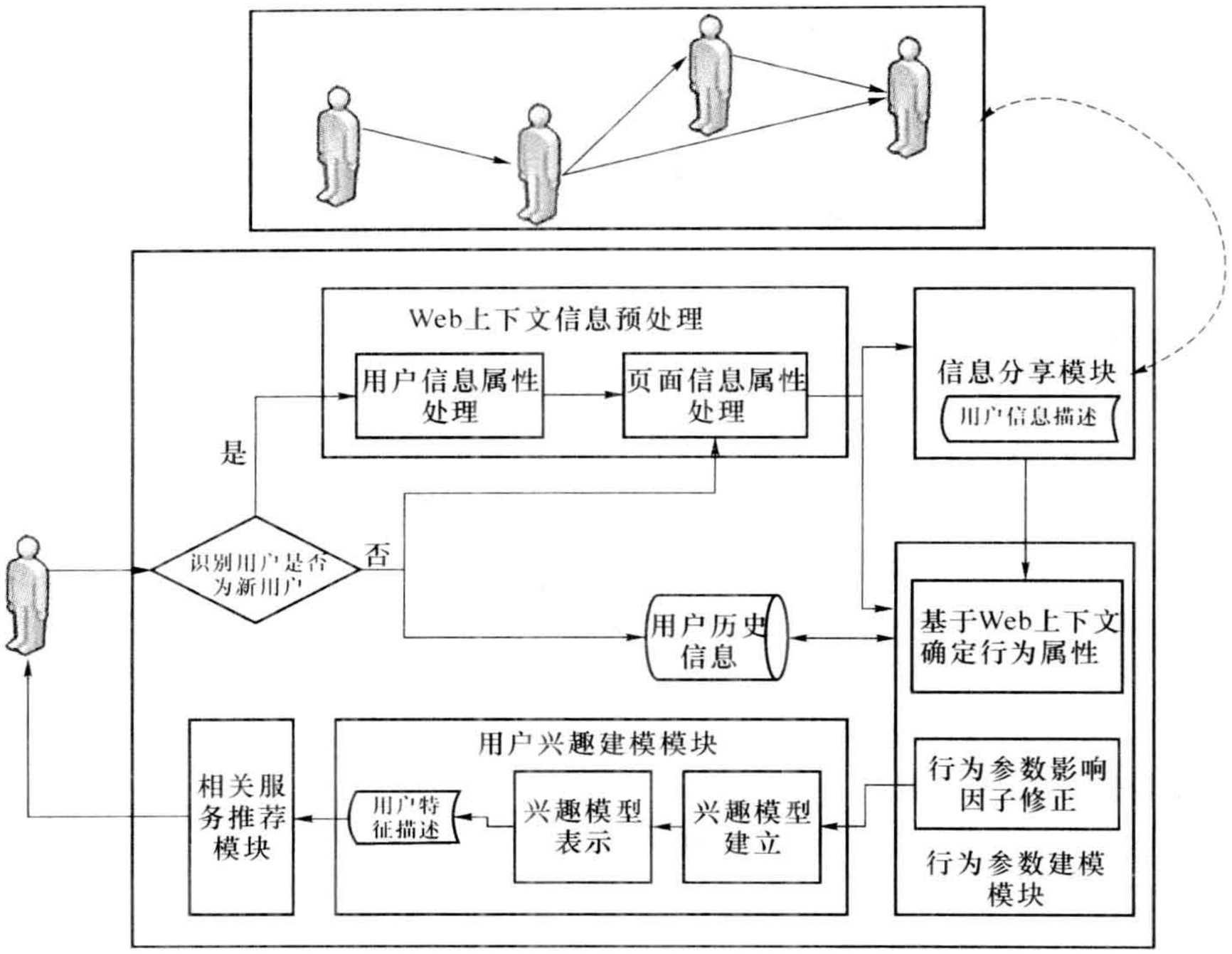


图 6-8　用户兴趣发现系统的体系结构

6.5.1　各模块的基本功能

用户识别模块的主要功能是实现新老用户的判别。由于新老用户有不同的历史访问行为信息，且针对老用户有历史访问行为建模记录，故新老用户两者的兴趣度量方法也不一致，需要加以区分。另外，本系统的最终目标是针对访问网站的用户个体提供相应的个性化服务，从这一层面上来讲，用户识别也是必需的步骤。

现有的 Web 数据挖掘中，一般会采用 IP 地址来标识用户，但由于本地缓存、代理服务器和防火墙的存在，识别每一个用户的任务会变得很复杂。目前另外一种常被采用的技术就是基于日志和站点相结合的方法，可以使用一些启发式规则帮助识别用户。

(1) 如果用户的 IP 地址不同，则认为是不同的用户。

(2) 如果 IP 地址相同，但是代理日志中显示用户的浏览器或操作系统改变了，则表示用户改变。

(3) 将访问日志、引用日志和站点拓扑结构结合，构造用户的浏览路径。如果当前请求的页面同用户已浏览的页面之间没有链接关系，则认为存在 IP 地址相同的多个用户。

在本系统中，需要收集用户相关的基本属性信息，故用户在第一次访问该网站时需要进行注册，填写相关信息。故对用户的识别主要基于用户注册时填写的用户名、手机号等信息，对于非注册用户访问本网站时，本系统中采用上述提到的基于日志和站点结合的方法对用户进行识别。

6.5.2 Web 上下文信息预处理模块

Web 上下文信息处理模块的主要功能是对获取的用户上下文信息进行筛选及预处理，滤掉多余的记录，合并相关数据，并将不恰当的或冗余的数据项从数据集里清除，从而降低计算负担。其中，这一模块的计算主要包括对用户基本属性信息的处理和页面资源信息的处理。

1. 用户属性处理子模块

用户属性处理模块主要是对异构的用户属性信息进行统一化并且用向量的方式表现出来，用以下一步的行为参数建模。同时，这一模块还需要对采用训练集的方法，对用户属性信息进行归类，建立基于 IF-THEN 的关系模型。用户兴趣分类的目的在于考察不同用户上下文环境下，访问行为兴趣建模的影响分析。

特别的，对于老用户，可以认为在一段时间其用户属性信息（如用户的性别、职业、年龄等）是静态的，不容易发生改变；故在一定时间段内，老用户访问网站可直接跳过以上两个步骤，直接进行页面信息的过滤和预处理。

2. 页面信息处理子模块

页面信息处理又包括页面筛选识别确认需要分析的目标页面和页面信息特征抽取并进行资源分类两部分。

（1）需要对页面筛选和识别。

Web 页面上下文处理时，因为对于导航页、索引页及广告页进行分析不仅增加计算冗余，且影响对用户行为分析的精确性。故首先需要对用户访问的当前页面进行识别，判断其是否为将要分析的目标页面。判断的依据有两种：一种是根据用户在该页面的操作行为数据，判断其是否为导航页或者无意义的页面，比如访问次数、单会话内的访问总时长等超过一定的阈值；另一种是根据页面的源码内容进行解析，判断其是否为导航页或者无意义页面，比如页面的链接总数超过一定阈值或者页面连续成文的文字长度超过一定阈值等。

（2）对页面信息进行特征抽取，并根据页面特征向量进行资源分类。

这一部分的核心是根据页面特征判断页面的资源所属类型。这里的资源类型包括文字类页面、图片类页面、视频类页面以及一些常见的混合页面，比如文字图片混合页面等。判断目标页面类型的过程，也就是将目标页面的特征属性向量与标准分类的特征属性向量进行比较的过程，最终将目标页面归入与其最接近的标准分类中。所述类型特征向量集中的标准分类的特征向量是预先设置的一组向量值，该标准可以基于专家经验人工定义，也可以通过训练数据统计训练得到。

3. 信息分享模块

信息分享模块的主要功能有两个方面，一方面是从大量的其他用户行为数据中总结规律，对目标用户行为参数的设定进行参考和定义；另一方面利用其他用户的历史访问信息计算与目标用户的相似性，从而为目标用户的行为参数设定进行相关信息匹配。其中主要的计算包括以下几个方面。

（1）测量用户间相似性。首先是针对用户基本属性信息的相似性计算，其次是针对访问行为及兴趣偏好的兴趣度计算。

(2) 计算行为参数的可参考性。针对相似邻居用户的行为参数选择及建模，对目标用户的行为参数进行匹配和修正。

(3) 推荐的行为参数权值。参考具有相似访问行为的邻居用户，其行为兴趣建模时行为参数影响因子的设定，对目标用户行为参数影响因子进行修正。

4. 行为参数设定模块

这一模块也可以称之为 Web 上下文感知模块，核心功能是对 Web 上下文信息进行推理计算，得到相应知识的过程。行为参数设定模块是指示了对于不同的 Web 上下文信息，如不同的页面类型、不同的用户特征及其设备特征，应该采用哪些不同的行为参数来衡量其兴趣值。对于每一个类型对应的每一种行为参数，还可以带有一个影响因子，用以表征该种行为数据在该类页面的兴趣值计算中的重要程度。

在本书中，主要运用属性增益计算方法，分析行为参数和兴趣的相关性，来确定行为参数模型，即确定不同 Web 上下文信息确定对应的行为参数和影响因子。其中，认为最高兴趣增益的属性对于评判兴趣的程度最有效。

本系统还对行为参数的设定模型提供了一种修正方式，即根据目标用户的上下文信息及其所属用户类别，对其访问行为参数的影响因子进行修正。另外，对于老用户，系统中有用户的历史访问信息，并且可以得到历史信息下的行为参数设定模式。

5. 页面兴趣度量模块

该单元包含兴趣值计算模块和兴趣确定两部分的功能，兴趣值计算模块基于页面类型和该类型对应的行为参数模型，计算用户对该页面的兴趣值。兴趣值计算主要采用的技术是常用的多元线性回归方法。

兴趣确定主要是根据上述计算得出的用户兴趣值和目标页面的属性信息，确定用户当前兴趣。所属目标页面的属性信息表征了目标页面的频道归属信息，或者内容归属信息，比如页面描述的是一个“汽车”类的信息，或者“二手房”类的信息。兴趣确定的目的在于系统可以根据计算得出的兴趣信息提供相应的个性化服务，如向用户提供相关信息内容的网页。

6.5.3　系统应用实例分析

该系统在社区网站(博客类网站)中进行应用实现，收集相应的用户行为数据并进行分析。在该网站使用客户端嵌入相关技术，可以收集用户在网站具体页面的操作行为，同时可以对收集到的行为数据进行实时的运算。另外，为了方便计算，此网站的信息内容主要是以文字类信息为主。

1. 用户注册

用户访问该网站，首先需要进行信息注册，其中包括的信息主要是年龄、性别和职业。填写完后的信息保存在用户信息数据库中，具体保存表格见表 6-8。

表 6-8　注册 ID 为“test”的访问用户基本属性信息

用户 ID	年龄	性别	职业
test	22	男	学生

2. Web 上下文信息处理

(1) 用户上下文信息处理

对收集到的用户属性信息进行离散化处理,得到向量表示的用户信息{test,3,1,1};进行用户分类计算得到用户所属类别为“大学生类”。

(2) 页面资源属性分析

首先,对当前页面进行筛选,取用户访问的其中一个页面的统计数据见表 6-9。

表 6-9 页面统计数据

	平均访问次数 N	链接数目 M	浏览时长 T
页面	10	5	6

页面筛选阈值为:{maxN=15,maxM=20,minT=4 };平均访问次数 10<maxN=15;链接数目 5<maxM=20;浏览时长 6>minT=4。故确定当前页面符合分析要求,对此页面保留作为目标页面进行下一步分析。

其次,对页面信息进行分析和提取(此部分信息在离线阶段处理,以保证在线计算的实时性),确定页面包含的数据信息:文字部分字节数 D1;图片部分字节数 D2 和目标网页中图片的像素为 α';页面中不存在视频,字节数为 0。从而确定目标页面的特征属性向量为:(文字,信息量 12;图片,信息量 10;视频,0)。

最后,根据页面的信息量,隶属度计算当前页面所属资源类别,确定为“文字类”页面。如图 6-9 所示。

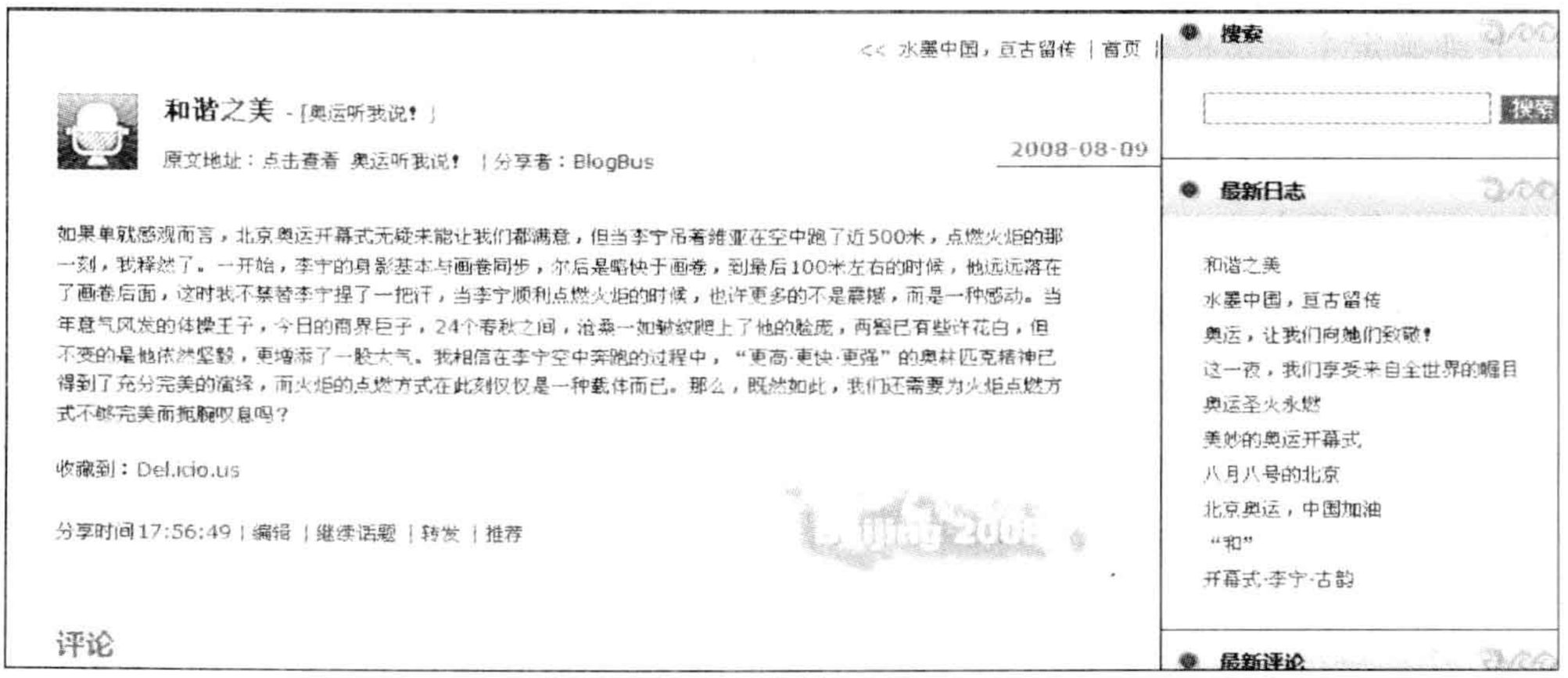


图 6-9 访问目标页面截图

3. 基于 Web 上下文信息的用户行为分析

(1) 行为参数确定

线下计算确定不同资源信息类别页面所需要的行为参数集合,如“文字类”页面分析所需要的行为参数为:浏览时长、访问频率、是否复制、拖动滚动条次数四个参数。根据上述结果,目标页面属于“文字类”页面,故确定需要考虑的参数数据为:{浏览时长,访问频率,是否复制,拖动滚动条次}。

（2）影响因子分析

同时对用户上下文信息预处理，确定用户所属类别为“大学生类”，根据不同类别的用户访问行为上的差异，对行为参数的影响因子进行修正。

（3）收集相应的行为数据并离散化表示

收集用户在当前页面的访问行为数据，而定义的行为参数本身存在的异构性，首先，需要对其进行离散化分析，从而得到统一化的数据形式进行兴趣度计算。其次，根据以上修正的影响因子，对行为参数进行统计，得到如图 6-10 所示的数据集合。

用户ID	用户兴趣	访问时长	访问频率	是否复制	滚动频率
test	http://127.0.0.1:3000/pages/index/index_1.html	4.5	4.5	5.0	5.0
test	http://127.0.0.1:3000/pages/index/logs/27465941.html	5.0	5.0	5.0	4.0
test	http://127.0.0.1:3000/pages/index/logs/27465968.html	3.0	3.0	5.0	3.0
test	http://127.0.0.1:3000/pages/index/c2058103/c2058103.html	3.57107	3.57107	5.0	4.0
test	http://127.0.0.1:3000/pages/index/logs/27453842.html	2.60976	2.60976	5.0	3.0
test	http://127.0.0.1:3000/pages/index/index_4.html	3.03846	3.03846	5.0	4.0
test	http://127.0.0.1:3000/pages/index/c2058118/c2058118.html	3.0	3.0	5.0	3.0

图 6-10　处理后的用户访问行为参数集

4. 用户兴趣计算

对收集到的行为参数进行兴趣度计算，采用多元线性回归方法，计算兴趣度结果如图 6-11 所示。

用户ID	用户兴趣
test	http://127.0.0.1:3000/pages/index/index_1.html
test	http://127.0.0.1:3000/pages/index/logs/27465941.html
test	http://127.0.0.1:3000/pages/index/logs/27465968.html
test	http://127.0.0.1:3000/pages/index/c2058103/c2058103.html
test	http://127.0.0.1:3000/pages/index/logs/27453842.html
test	http://127.0.0.1:3000/pages/index/index_4.html
test	http://127.0.0.1:3000/pages/index/c2058118/c2058118.html

图 6-11　用户兴趣度系统计算结果

对该测试用户进行网站页面兴趣测试，让用户对系统记录的相关页面进行回顾打分，其中评分标准为 1～5，1 代表兴趣最低，5 代表兴趣最高。统计结果见表 6-10。

表 6-10　用户兴趣度统计

用户 ID	目标页面	用户测试兴趣度	系统计算兴趣度
test	http://127.0.0.1:3000/pages/index_1.html	5	1.211 99
test	http://127.0.0.1:3000/pages/index/logs/27465941.html	5	1.103 82
test	http://127.0.0.1:3000/pages/index/logs/27465968.html	4.8	0.952 52
test	http://127.0.0.1:3000/pages/index/c2058103/c2058103.html	4.8	0.921 74
test	http://127.0.0.1:3000/pages/index/logs/27453842.html	4.5	0.849 398
test	http://127.0.0.1:3000/pages/index_4.html	4.5	0.807 794
test	http://127.0.0.1:3000/pages/index/c2058118/c2058118.html	4.5	0.805 607

对以上两种方法得到的兴趣度结果进行相关性分析，两组数据表现出了强相关性（可以认为用户测试兴趣度和系统计算兴趣度存在追随关系），可以认为系统计算用户兴趣度基本上是符合实际情况的。具体数据见表 6-11。

表 6-11　用户兴趣度 t 检验

	t	df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference
用户测试兴趣度	26.045	6	0.000	4.429
系统计算兴趣度	16.215	6	0.000	0.950 409 86

另外，在此可用散点图图 6-12 进行表示，由图 6-12 也可以看出，基本上本系统的计算结果符合用户兴趣评价。

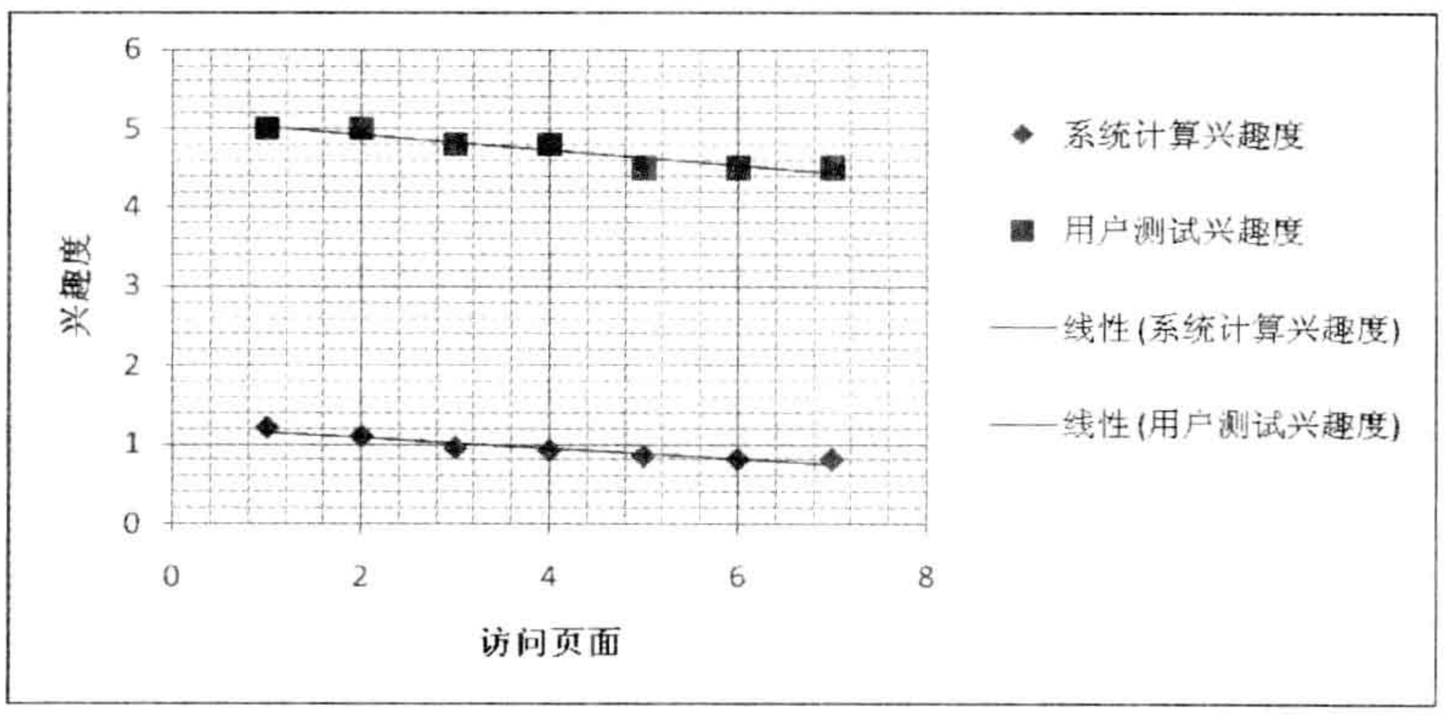


图 6-12　用户访问网页兴趣比较

5. 系统提供推荐信息

最后，系统根据计算得出的兴趣度，寻找相似的其他页面作为相似信息推荐给用户，帮助用户快速找到自己需要的信息。系统的推荐结果基于两种方法，一种是相似页面的推荐，另一种是相似邻居用户所浏览的页面推荐。具体的推荐如图 6-13 所示。

用户ID	推荐地址
test	http://127.0.0.1:3000/pages/index/index_3.html
test	http://127.0.0.1:3000/pages/index/index_1.html

图 6-13　相似页面推荐结果

计算得出的相似邻居用户是注册用户名为“collector”的用户，其相似度计算为 0.715 981。收集相似邻居用户兴趣度较高的页面，具体如图 6-14 所示。

collector　http://localhost:3000/pages/index/logs/27453692.html

collector　http://localhost:3000/pages/index/logs/27453690.html

collector　http://localhost:3000/pages/index/logs/27453681.html

collector　http://localhost:3000/pages/index/logs/27429464.html

collector　http://localhost:3000/pages/index/logs/27420651.html

collector　http://localhost:3000/pages/index/logs/27357606.html

collector　http://localhost:3000/pages/index/c2058088/c2058088.html

collector　http://localhost:3000/pages/index/logs/27465968.html

collector　http://localhost:3000/pages/index/c2058103/c2058103.html

图 6-14　相似邻居用户推荐信息

对获取到的推荐信息和用户进行核实，推荐信息可以表征用户兴趣。表 6-12 中用户反馈的满意度上可以反映出来，系统推荐的信息是有效的。

表 6-12　用户反馈满意兴趣度

用户 ID	用户访问目标页面	用户反馈满意度
test	http://127.0.0.1:3000/pages/index_1.html	75%
test	http://127.0.0.1:3000/pages/index/logs/27465941.html	85%
test	http://127.0.0.1:3000/pages/index/logs/27465968.html	75%
test	http://127.0.0.1:3000/pages/index/c2058103/c2058103.html	80%
test	http://127.0.0.1:3000/pages/index/logs/27453842.html	80%
test	http://127.0.0.1:3000/pages/index_4.html	75%
test	http://127.0.0.1:3000/pages/index/c2058118/c2058118.html	80%

6. 系统应用说明

随着互联网络的迅猛发展，以信息获取、交流沟通类为主的基础网络服务正逐渐发展为以休闲娱乐、电子服务、电子商务三大类服务为主的扩展网络服务。与此同时，一方面，安全方面的问题成为制约 Internet 网络良性发展的关键因素；另一方面，商业网站等盈利性站点需要分析用户的行为及爱好来提供更满意的服务使得利润最大化，它也与提高网站服务的效率和个性化程度极为相关；政府、科研机构等非盈利性的网站也需要通过分析用户构成与其网络行为上的特点来构建科学的决策支持系统。为此，网络用户行为的分析研究越来越亟待提到日程上来。

不同的网站用户数据分析的重点不同，主要是因为不同的网站提供的内容和服务不同，用户行为分析方面的侧重点也就不同。比如资讯类网站和电子商务网站对用户行为分析的关注点就会有所不同，其主要的系统应用也会有所差异。如果是资讯类站点，更多关注的是用户对哪类资讯题材最感兴趣，通过对用户的行为分析找到下一步的内容规划是分析的重点。而电子商务站点往往会研究用户浏览量较多的页面信息并根据用户特点进行关联分析，推送相关商品信息给用户，一方面可以减轻用户查找信息的负担，另一方面可以作为商品的信息推广。

但基于用户属性和用户行为的分析都是研究用户的基础。本系统在实际的网站应用中，基本可以实现以下功能。

（1）用户兴趣发现。对于访问该网站的用户，跟踪其网站上的访问行为，实时地计算用户对当前 Web 页面的兴趣偏好程度。

（2）相关信息推送。根据计算得到的用户兴趣偏好，在网站中寻找相关的信息推荐给用户，减轻用户查找信息的负担。

（3）制定网站规划相关的策略。根据用户的兴趣偏好，把相关的信息和功能组织在一起，方便用户进行信息查阅和功能使用。

（4）个性化的服务提供。可以通过针对不同的设备终端，设定相应的规则，把推荐的服务以更加个性化的形式推送给用户。

第 7 章　信息产品中人机交互研究案例

随着计算机技术的发展及互联网的普及，用户需求逐渐由功能化转向智能化、情感化及个性化，新型交互技术及设备的出现使得用户界面呈现出更加丰富多彩的形式。然而信息的获取与传递仍然是计算机及互联网用户使用的主要目的。人机界面作为用户与计算机之间信息传递的媒介，也越来越被人们所关注和重视。下面我们将通过三个实例进行具体的应用分析和研究。

7.1　视盲现象与界面设计研究案例

该案例从一个新的视角出发，将心理学领域中的对“不注意视盲”与“变化视盲”现象的研究引入用户界面设计领域，并且利用视盲现象的研究成果指导界面设计。

7.1.1　不注意视盲的概念

不注意视盲的概念最早由 Arien Mack 和 Irvin Rock 在 1992 年提出，并正式出现于 1998 年出版的 *Inattentional Blindness* 一书中。不注意视盲是指当人们的注意集中在某件事物上时，常常会无视其视野范围内非预见性的其他事物，即使这些意外刺激，也就是被试者并未期望的刺激可能有着极其显著的特征。

不注意视盲与注意捕获密切相关，同时也涉及意识和无意识的问题，将这些概念结合起来进行研究，有助于我们更好地了解不注意视盲的现象。

早期的一些心理学家注意到，在实际生活中，人的视觉信息的获取与加工过程会受到很多因素的影响而失败。研究人员试图从人的信息处理能力是有限的这一观点来解释问题，然而这并不能很好地解释这样一种现象：当刺激出现在被试者的视域范围内，甚至出现在其有意观察的位置点附近时，被试者仍然可能注意不到刺激的发生。

对于个体来说，由于先天因素和过往经验的不同，可以形成独特的认知图示，这些图示反映了个体已经形成并且较为稳定的认知结构，同时决定了个体在做信息选择时的内容和相应偏好。注意捕获中自上而下的加工理论认为导致注意捕获的是那些符合某种目标模式的物体或者区域，这就为不注意视盲现象发生的原因提供了一个理论假设：由于不符合被试者的注意图式，因此意外刺激无法进入被试者的知觉中。Most 等人将知觉环路理论引入对不注意视盲的研究，他们认为：当信息冲击感知觉系统时，其中一部分信息可能会引起“定向反应”(Orienting Response)，然后这部分信息是破碎不完整的，因此不具备形成意识表征的能力，当注意指向某个特定刺激时，基于前意识信息的期望图式将推动进一步的注意探索，循环的视觉分析和再分析过程最终决定了人们的意识知觉。而连接瞬间注意转向和持续注意转向的关键就是注意图式，如果刺激的特征与注意图式相符合，持续注意转向将会随着瞬时注意转向而发生，如果刺激的特征与注意图式不符，则注意有可能终止，从而导致不注意

视盲现象的发生。

7.1.2 不注意视盲的影响因素实验

近年来，研究人员已经通过实验证明了一些可能引起视盲的因素，其中包括刺激物与注意事件及不注意事件的相似程度、注意事件的任务难度以及刺激物的位置等。这里将对与界面设计元素相关的影响因素进行实验研究。

实验一：任务难度对不注意视盲率的影响

1. 研究目的

已有的一些实验证明，在静态呈现的实验范式下，增加初始任务的难度会降低注意强度，而在动态呈现模式下也有同样的结果。本实验采用静态的研究范式，研究任务难度对于被试者的影响。

2. 理论假设

（1）被试者需要执行的任务难度越大，出现不注意视盲的概率越高。

（2）即使在被试者不执行额外任务的情况下，仍然会出现不注意视盲现象。

3. 实验方法

（1）被试者

被试者 21 人，均为来自北京邮电大学本科三年级的学生，年龄 18～22 周岁，所有被试者均为惯用右手者，身体健康，矫正视力正常，无色盲色弱患者，可以盲打并且熟练操作计算机。

（2）实验仪器

笔记本电脑一台：型号为 hp compaq，屏幕大小为 17 寸，分辨率为 1024×768，刷新频率为 60 Hz。

（3）实验材料

Axure 软件制作的静态网页模型(prototype)，如图 7-1 所示(以复杂任务组为例进行说明)：

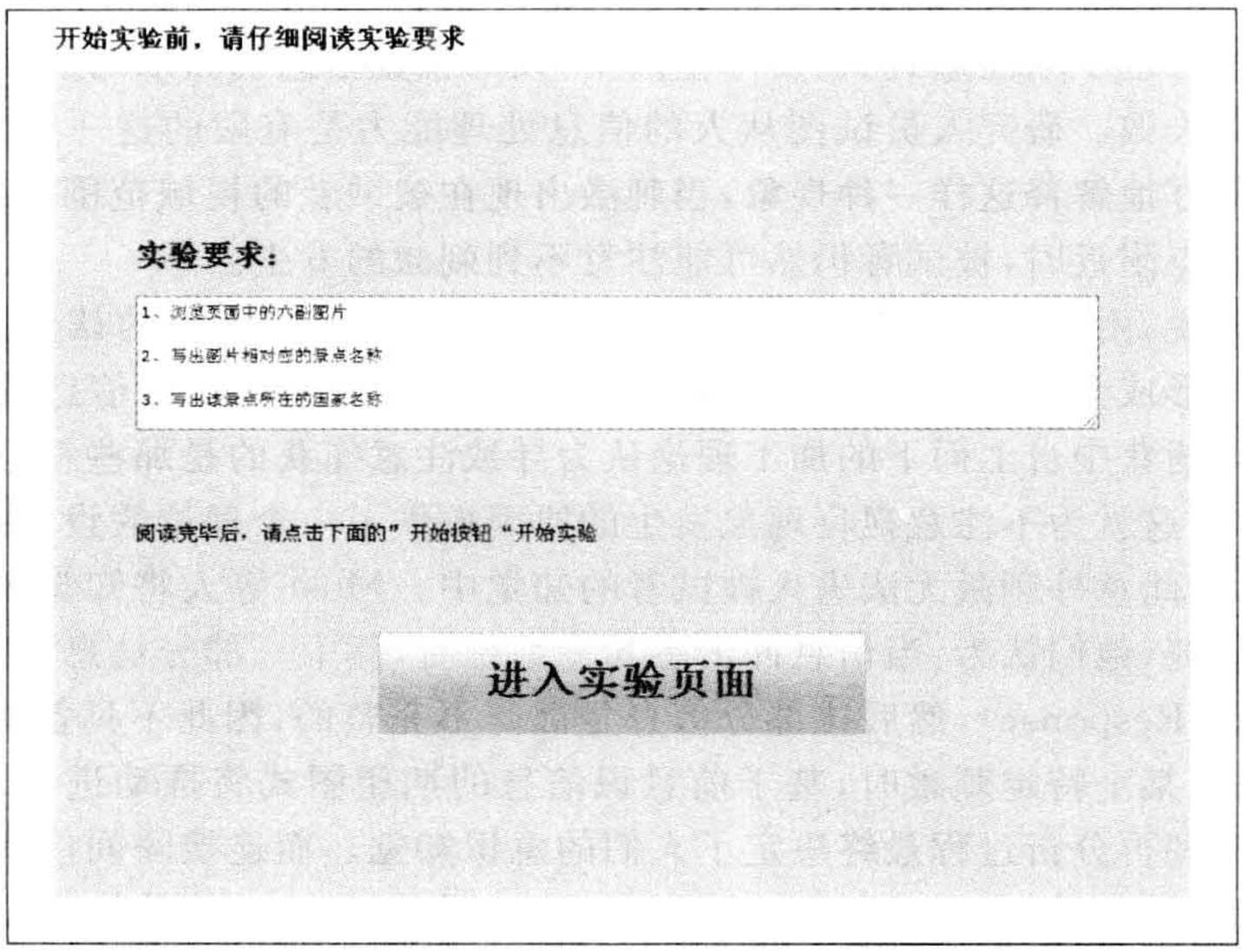


图 7-1 实验一(界面 1)

① 被试者在指导下打开浏览器，看到如图 7-1 所示的界面，在阅读完实验要求之后，单击“进入实验页面”。

② 进入实验页面后，界面提示被试者有一分钟的时间进行浏览及完成任务，单击“开始计时”，如图 7-2 所示。

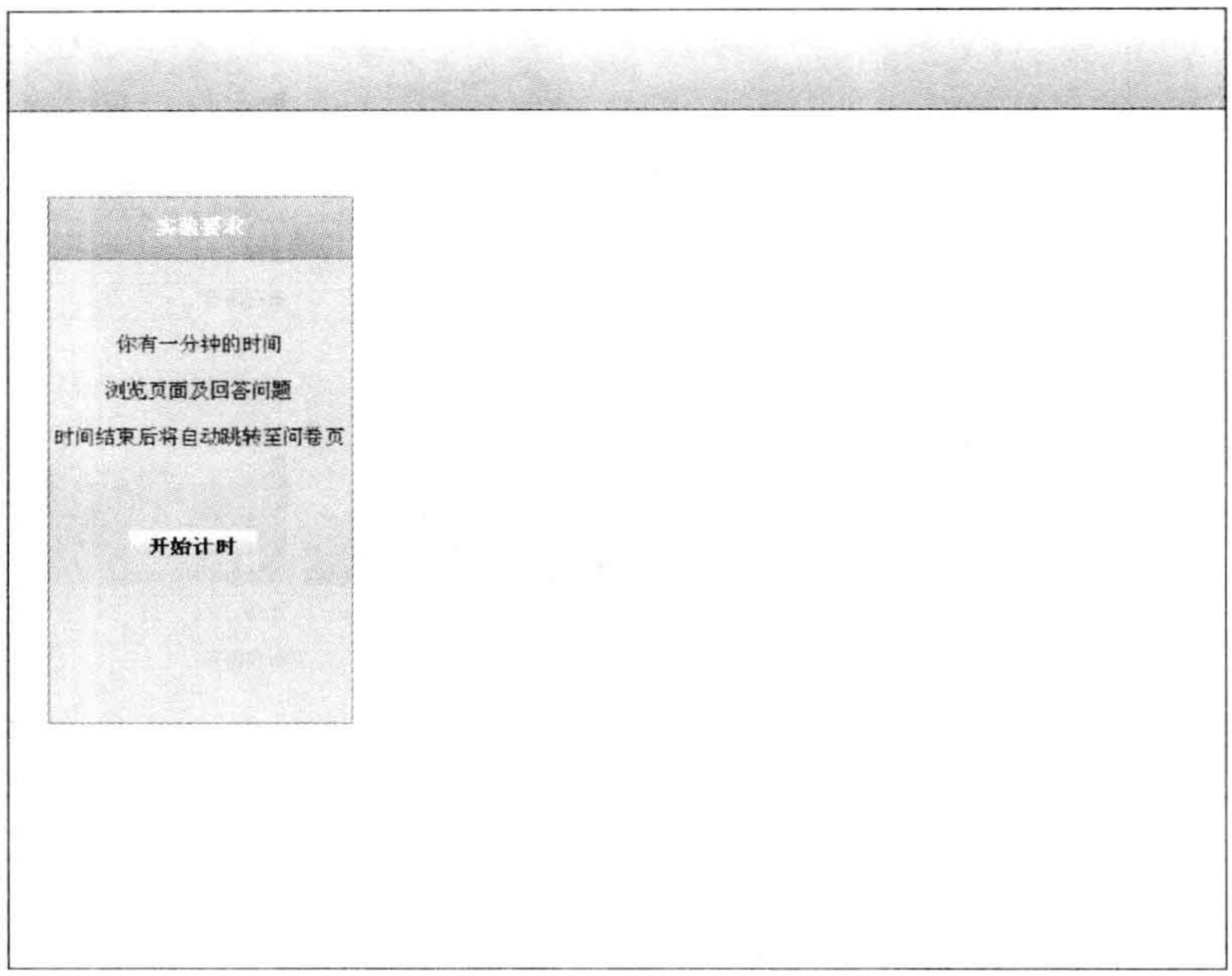


图 7-2　实验一（界面 2）

③ 单击后出现如图 7-3 所示界面。



图 7-3　实验一（界面 3）

④ 在单击计时后的 40 s 时，页面右上角出现一个“笑脸”，如图 7-4 所示。

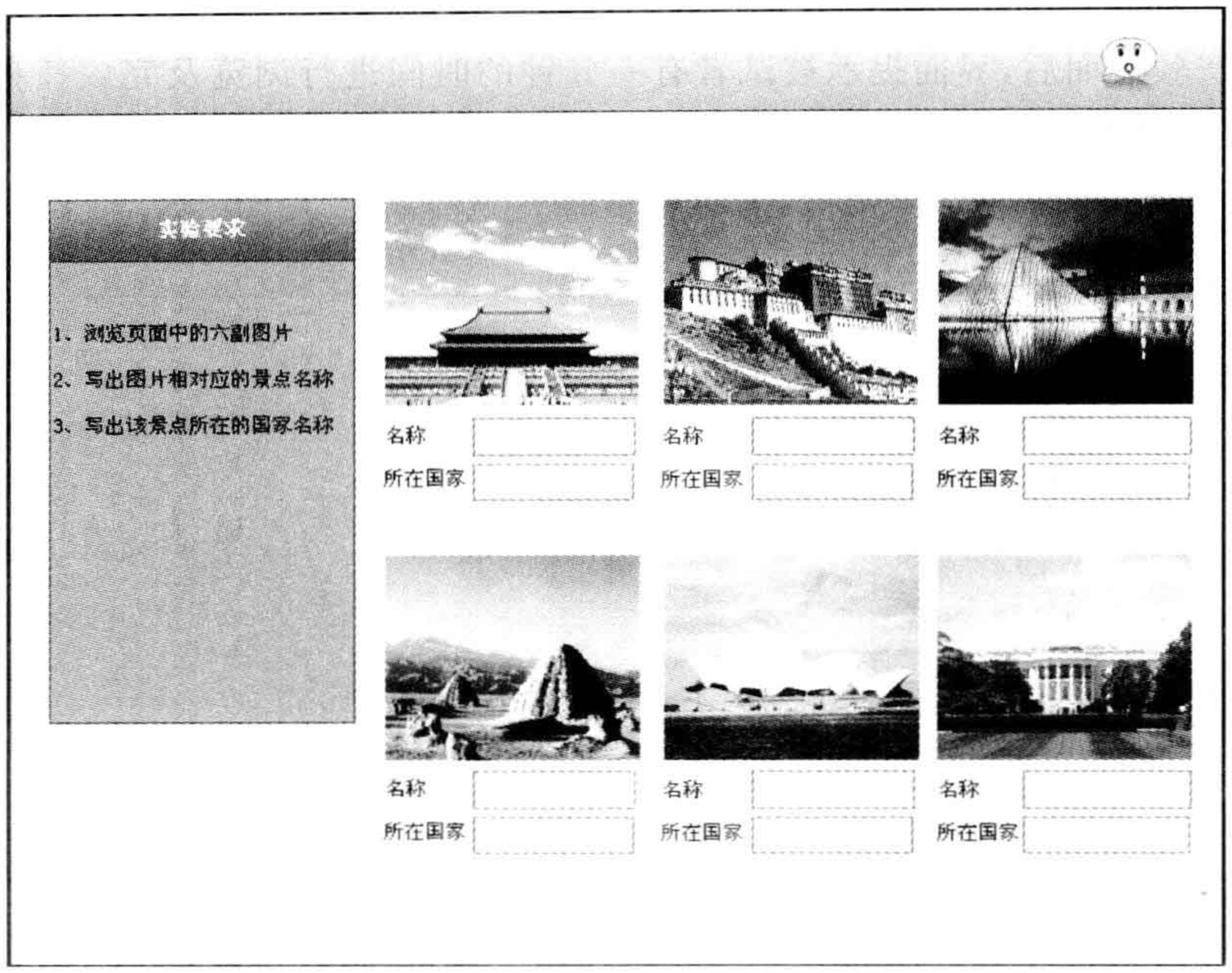


图 7-4　实验一（界面 4）

⑤ 一分钟时间到，页面自动跳转至问题区，如图 7-5 所示。

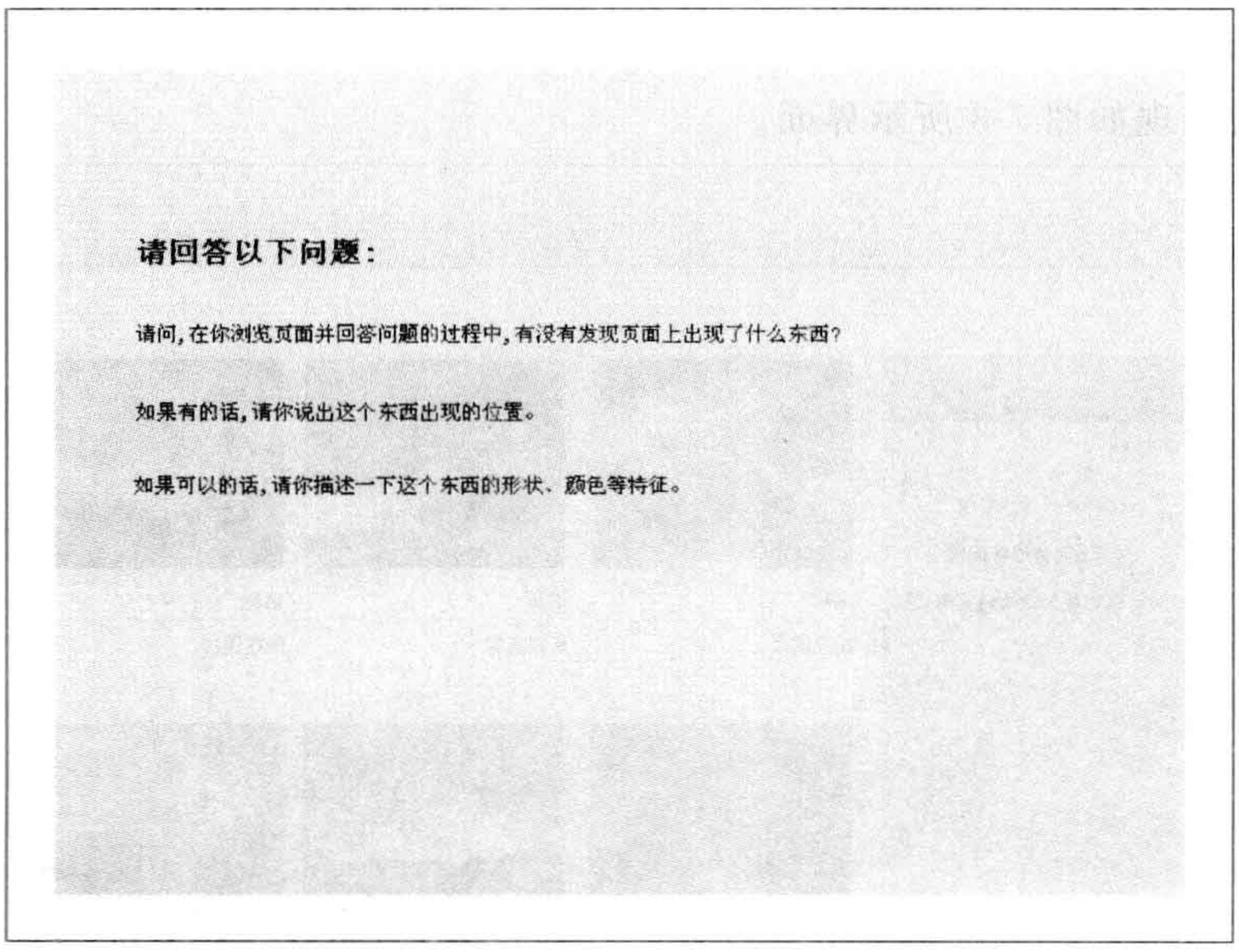


图 7-5　实验一（界面 5）

（4）实验设计

本实验采用单因素实验设计，任务难度因素分为三个水平：无任务组、简单任务组和复

杂任务组。

实验采用基于计算机屏幕呈现静态网页与内省报告相结合的研究范式，研究在三种任务难度水平下被试者出现不注意视盲现象的情况。

(5) 实验程序

实验开始，计算机屏幕呈现实验说明及相关要求。被试者阅读完毕选择开始，打开实验页面，中心区呈现六张旅游景点照片。

六幅图片的内容分别为：故宫(中国北京)、布达拉宫(中国西藏)、西夏王陵(中国宁夏)、卢浮宫(法国巴黎)、悉尼歌剧院(澳大利亚悉尼)、白宫(美国华盛顿)。

在无任务组中，被试者被要求在一分钟内自由浏览网页。

在简单任务组中，被试者被要求在一分钟内浏览网页，并写出六张照片中的景点名称。

在复杂任务组中，被试者被要求在一分钟内浏览网页，并写出六张照片中的景点名称及所在地(要求精确到国名＋省名/城市名)。

在被试者点击进入实验页面后 40 s 的时候，页面右上角出现一个笑脸。

一分钟后，页面自动跳转至问题页面，被试者根据提示问题口头报告。

4. 实验结果与分析

如表 7-1 所示，在所有 21 名被试者中，只有 5 名被试者表示看到了意外刺激出现，并且都能准确描述刺激出现的位置(屏幕右上角)以及形状(椭圆形)，不注意视盲率为 76.2%。

表 7-1　实验结果对比

零任务组	简单任务组	复杂任务组	全部
3	6	7	16

三个组别的实验结果如下。

在零任务组的 7 个被试者中，3 个人没有注意到笑脸出现，不注意视盲率为 42.9%；

在简单任务组的 7 个被试者中，6 个人没有注意到笑脸出现，不注意视盲率为 14.3%；

在复杂任务组中，7 个被试者均没有注意到笑脸出现，不注意视盲率为 100%。

其中，零任务组的三名被试者中有一名可以准确描述出意外刺激的颜色(青色)以及具体特征(人脸)，另外两名被试者的描述出现偏差(笑脸、黄色)。

简单任务组的被试者无法描述意外刺激的颜色，但是可以描述出是一个表情。

5. 讨论

Ula Cartwright-Finch 和 Nilli Lavie 认为与意外刺激无关的任务难度是影响被试者不注意视盲率的重要因素，决定注意瓶颈发生位置的是知觉负荷(The role of perceptual load in inattentional blindness)。在 Daniel J. Simons 和 Christopher F Chabris 的实验中，被试者分为两个组别，简单组出现不注意视盲的概率为 36%，复杂组为 55%。

在实验中，复杂任务组的被试者全部报告称没有看到意外刺激出现，主要原因是本实验中，意外刺激与任务本身需要注意的对象距离较远，当任务难度比较大的时候，被试者的注意集中在任务执行区，因此很难注意到视野内离注视点较远的区域。

这与理论假设的结果是相符合的，也就是说，执行的任务难度越大，被试者出现不注意视盲的概率越高；即使没有额外的任务，被试者仍然会出现不注意视盲现象。

实验二：目标距离对不注意视盲率的影响

1. 研究目的

已有的一些实验证明，随着意外刺激与视觉焦点距离的增加，不注意视盲率呈线性增长模式；当意外刺激位于视觉中心区域时，不注意视盲率最低为 20%；而当意外刺激远离视觉中心时，不注意视盲率可增加到 60%。

2. 理论假设

意外刺激（非注意刺激）与目标刺激（注意刺激）的距离越远，用户出现不注意视盲的概率越大。

3. 实验方法

（1）被试者

被试者 15 人，年龄 18～25 周岁，其中男性 5 名，女性 10 名，采取自愿报名的方式。所有被试者均为惯用右手者，身体健康，矫正视力正常，无色盲色弱患者，可以熟练操作计算机。

（2）实验仪器

电脑两台：主试电脑用于记录被试者的眼动轨迹，被试者电脑用于记录被试者使用鼠标/键盘的操作情况。电脑屏幕大小均为 22 寸，分辨率为 1024×768，刷新频率为 70 Hz。两台电脑设置相同，以网线连接共享数据。

眼动仪一台，德国 SMI 公司生产，型号为 iView X Hi-Speed，数据采集频率 500 Hz，能进行高精度高分辨的眼动追踪。

（3）实验材料

Axure 软件制作的静态网页模型（prototype）。下面将以远距离组的实验材料为例进行说明。

① 被试者在指导下打开浏览器，看到以下界面，如图 7-6 所示，在阅读完实验要求之后，单击“进入第一部分”。

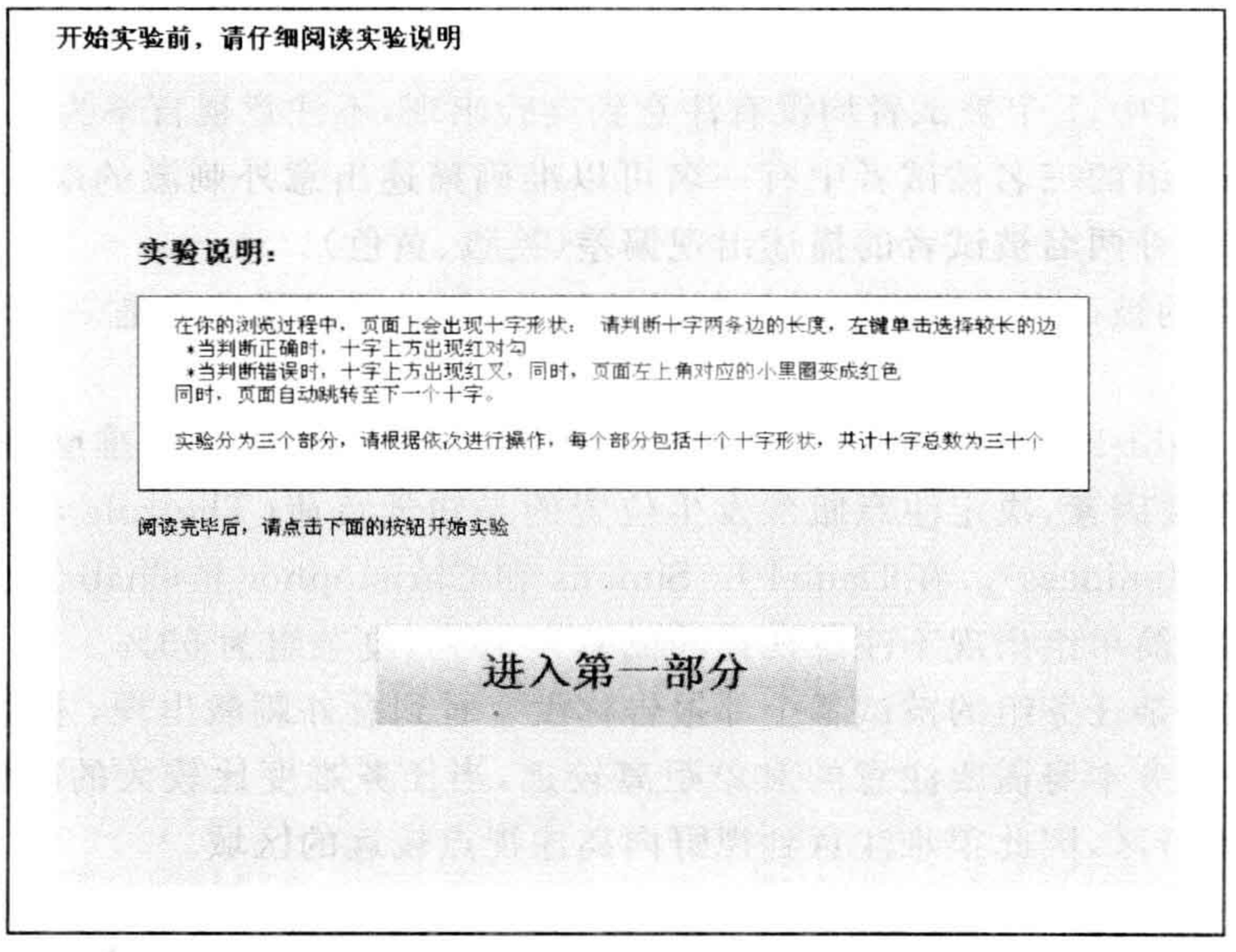


图 7-6　实验二（界面 1）

② 进入实验页面，如图 7-7 所示。

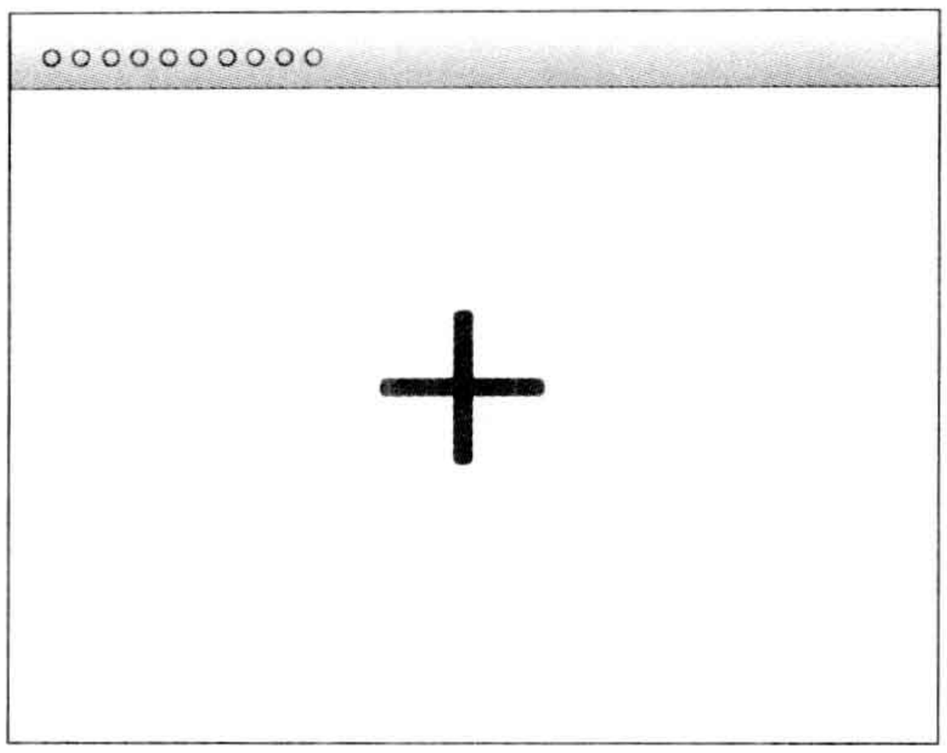


图 7-7　实验二（界面 2）

③ 被试者判断正确时，页面中出现红色对勾提示，如图 7-8 所示。

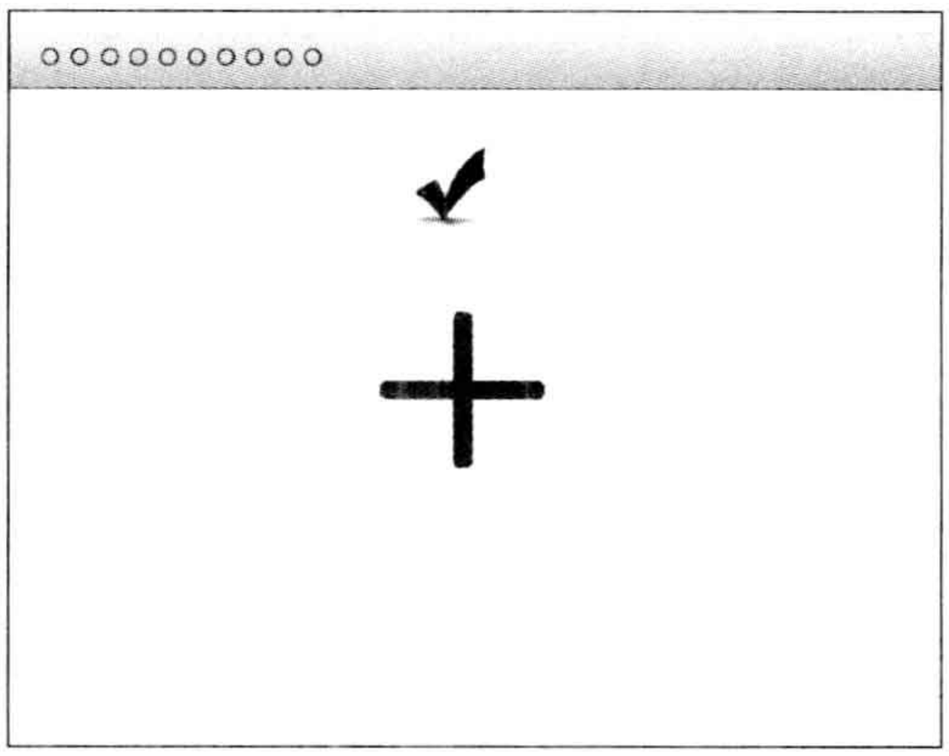


图 7-8　实验二（界面 3）

④ 被试者判断错误时，页面中出现红叉提示，左上角相应序号的黑色圆圈变为红色，如图 7-9 所示。

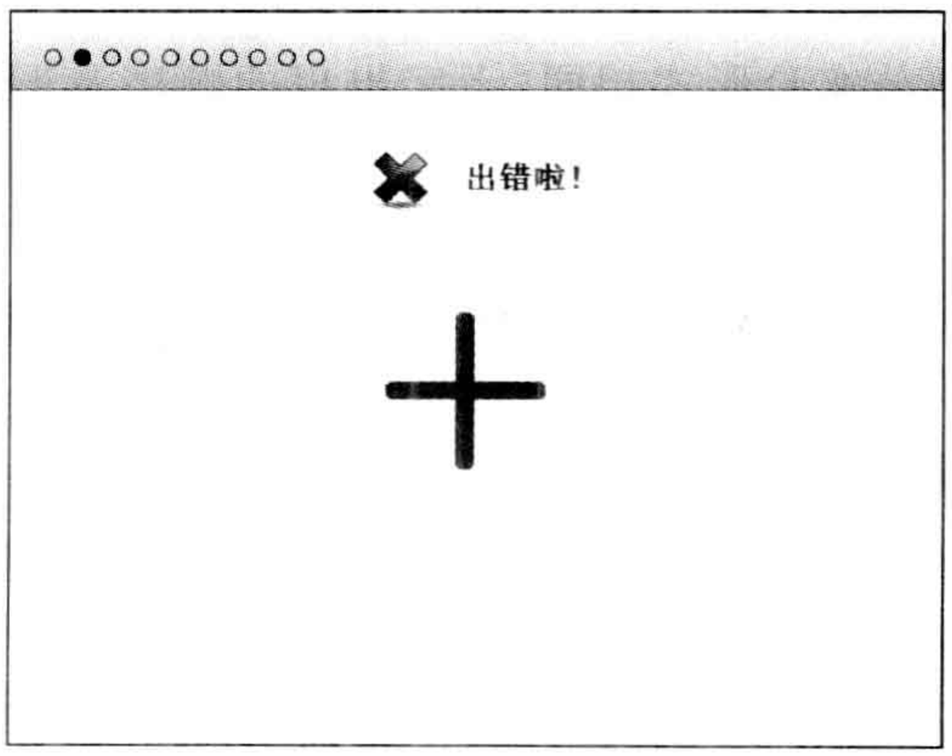


图 7-9　实验二（界面 4）

⑤ 在第 8 个十字出现 2 000 ms 后，页面底部出现笑脸图案，呈现时间为 1 000 ms，如图 7-10 所示。

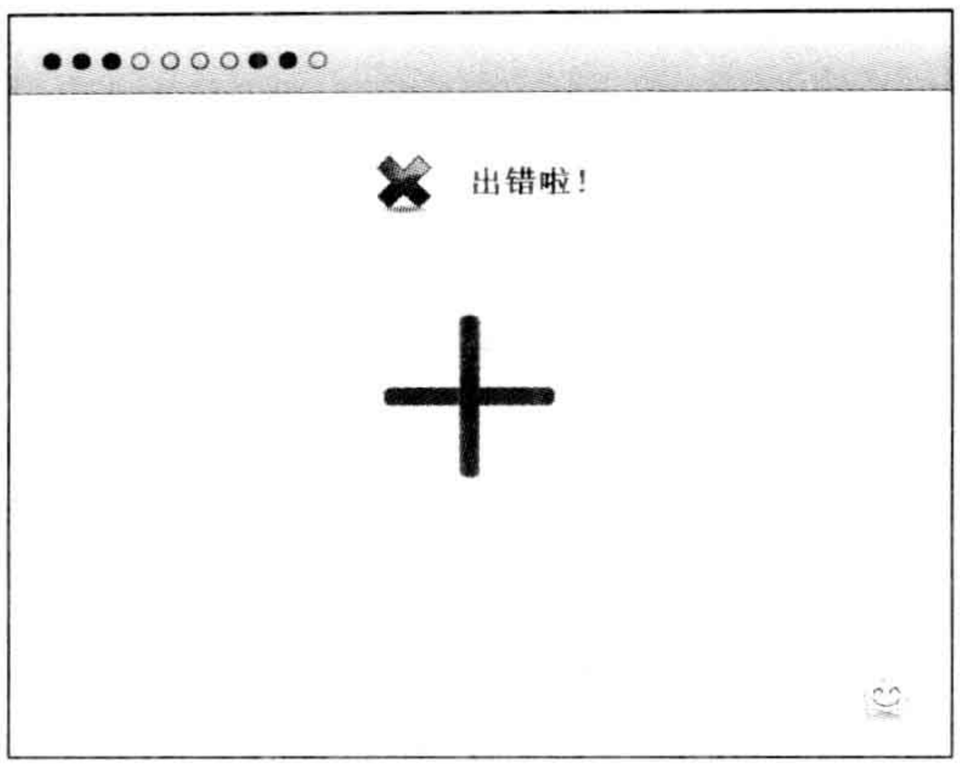


图 7-10　实验二（界面 5）

⑥ 第一部分结束，主试记录被试者出错情况，被试者单击“进入第二部分”，如图 7-11 所示。



图 7-11　实验二（界面 6）

⑦ 第二部分和第一部分实验形式相同，十字出现的顺序及形状与第一部分不同（排除被试者的记忆干扰因素），在第 7 个十字出现 2 000 ms 后，页面顶部出现笑脸图案，呈现时间为 1 000 ms，如图 7-12 所示。

⑧ 第二部分结束，主试记录第二部分被试者的错误情况，被试者单击“进入第三部分”，如图 7-13 所示。

⑨ 第三部分和第一部分实验形式相同，十字出现的顺序及形状与第一部分不同（排除被试者的记忆干扰因素），在第 7 个十字出现 2 000 ms 后，页面中部出现笑脸图案，呈现时间为 1 000 ms，如图 7-14 所示。

⑩ 第三部分结束，主试记录第三部分被试者的错误情况，单击“点击回答问题”进入问题区，如图 7-15 及图 7-16 所示。

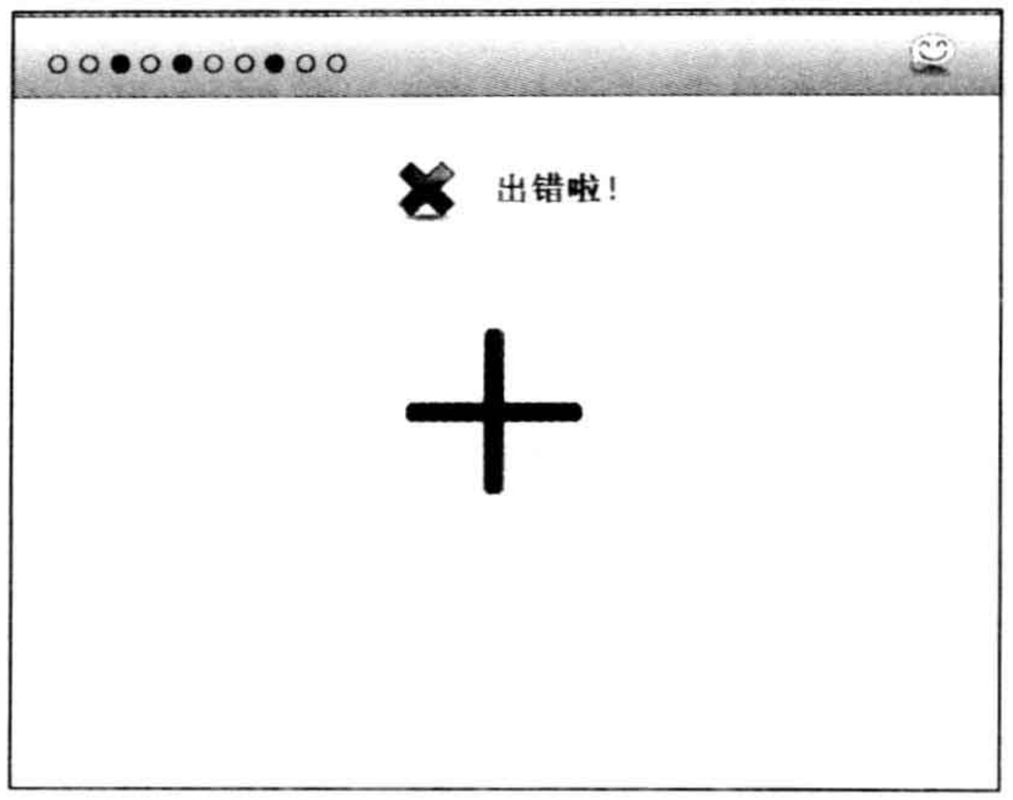


图 7-12　实验二(界面 7)

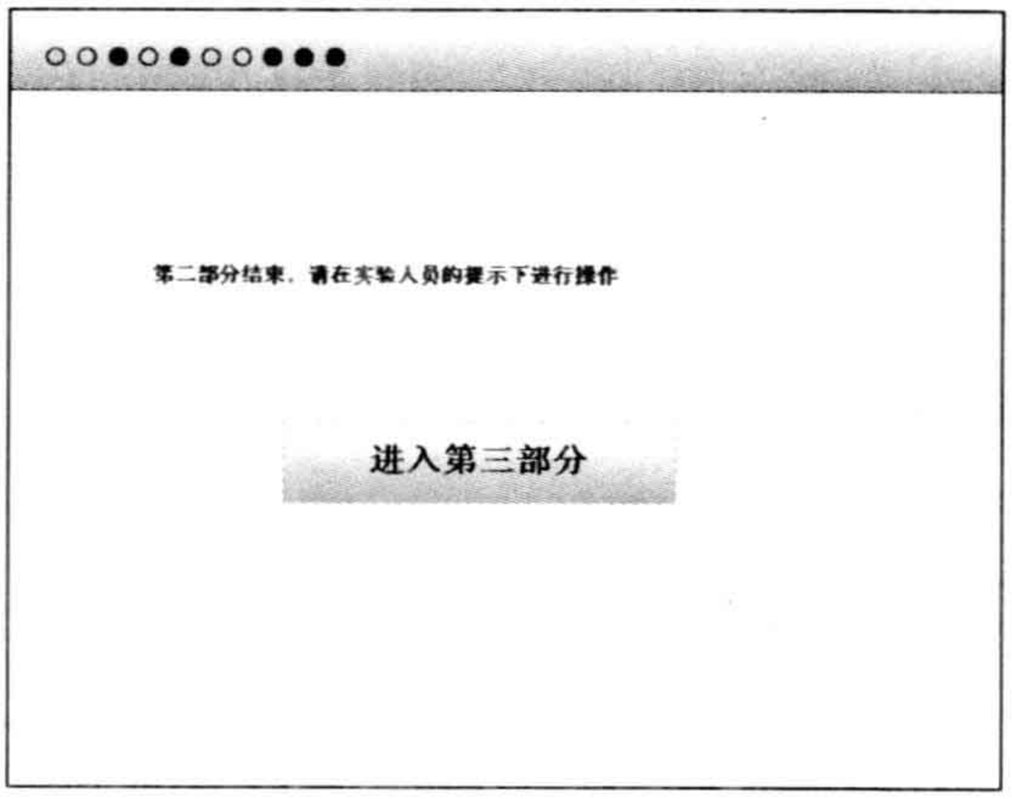


图 7-13　实验二(界面 8)

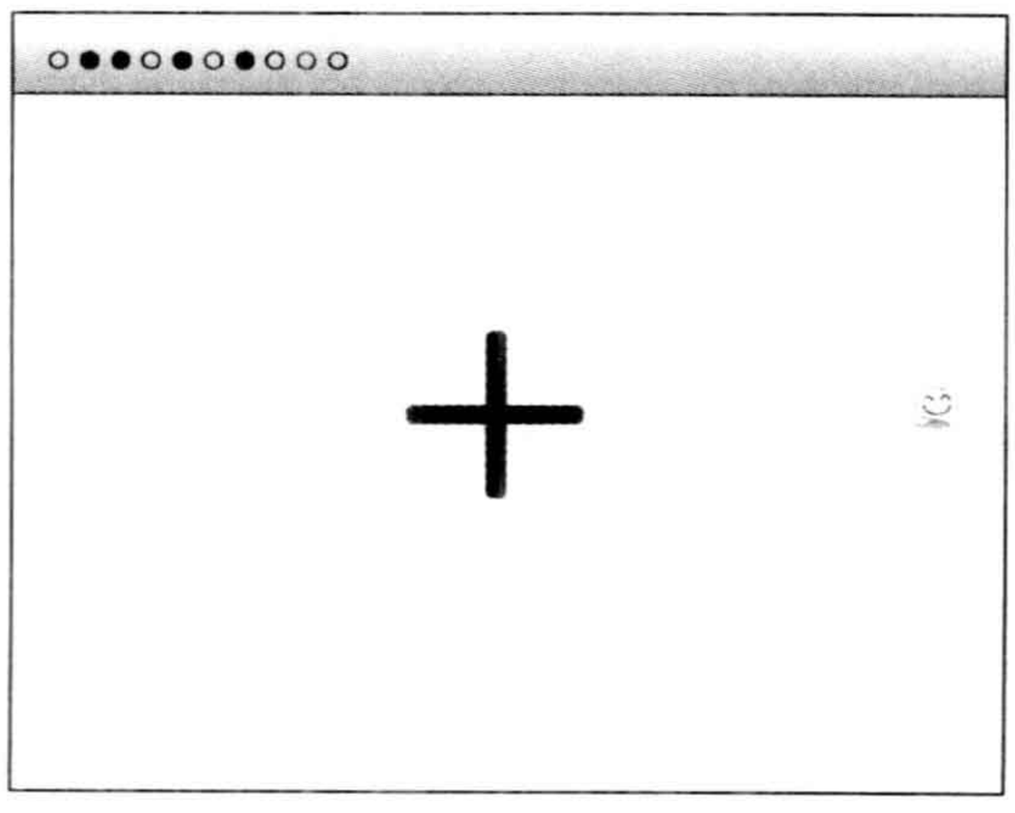


图 7-14　实验二(界面 9)

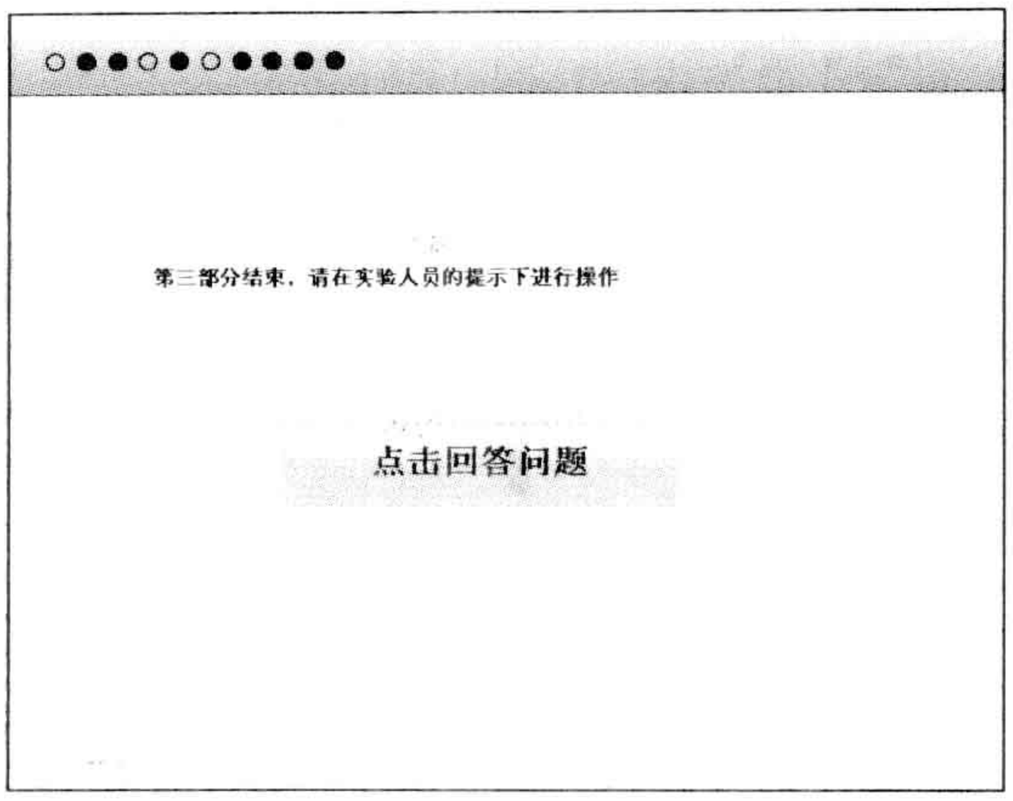


图 7-15　实验二(界面 10)

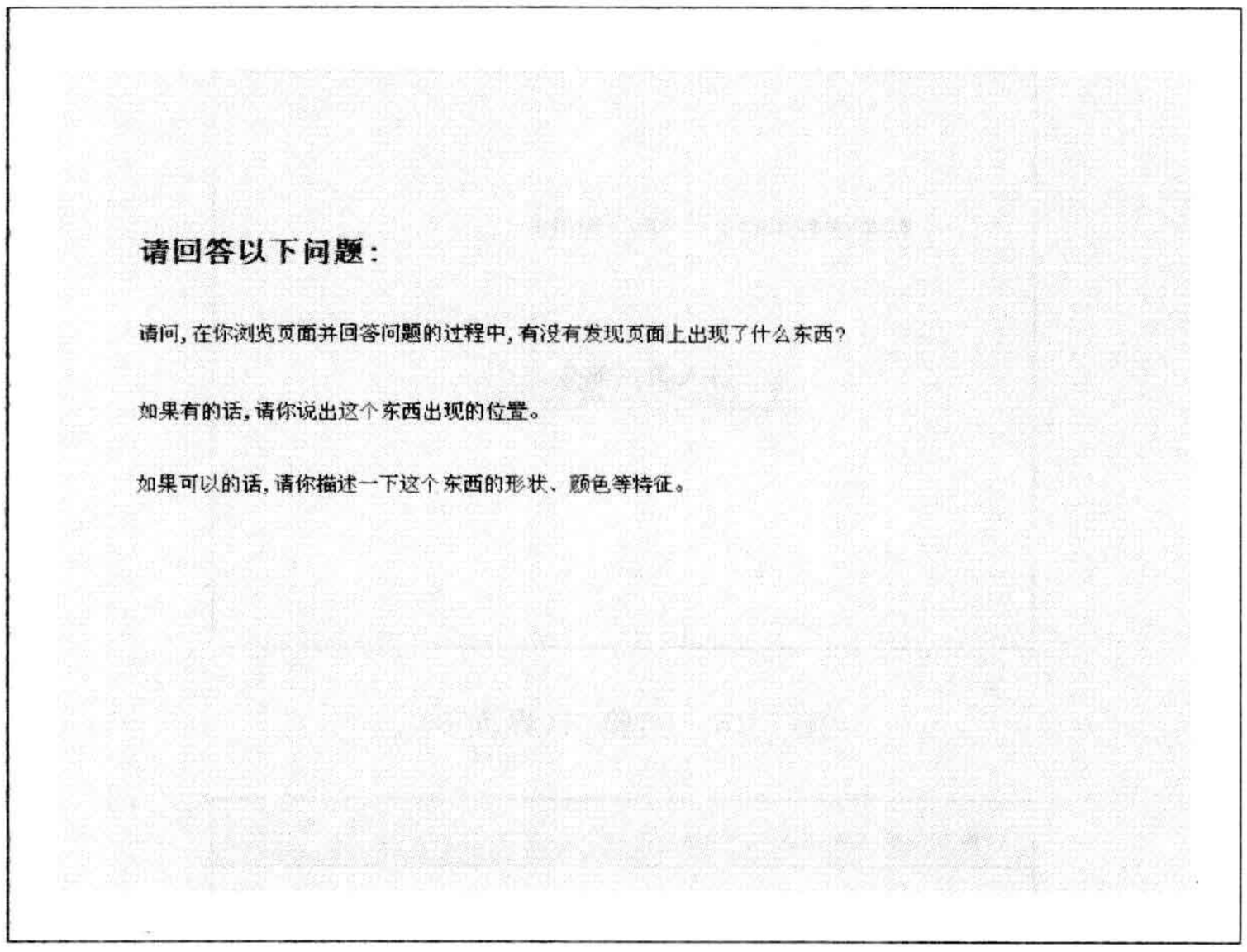


图 7-16　实验二(界面 11)

(4) 实验设计

本实验采用单因素实验设计，位置因素分为三个水平：远距离组、近距离组和零距离组。实验采用基于计算机屏幕呈现静态网页与内省报告相结合的研究范式，研究在三种位置水平下被试者出现不注意视盲现象的情况。

实验中，刺激均出现在页面的右侧(实际中提示信息出现较为频繁的区域)。

远距离组中，笑脸图案位于页面右下方，距离任务区域和进度提示区最远。

近距离组中，笑脸图案位于页面右上方，距离任务区域和进度提示区距离适中。

零距离组中，笑脸图案位于页面右侧中部，距离任务区域最近。

根据位置因素的三个水平将实验分为三个部分，每部分包括 10 个十字形状，被试者需

要依次完成三个部分的实验。

眼动仪记录被试者的眼动轨迹，与被试者在实验后的报告相结合进行分析。

(5) 实验程序

实验开始，计算机屏幕呈现实验说明。用户阅读完毕开始实验，根据页面提示进入实验的第一个部分(远距离组)。

被试者被要求在屏幕出现的十字上点击选择较长的一边。

当被试者判断正确时，十字上方出现红对勾提示选择正确；

当被试者判断错误时，十字上方出现红叉提示选择出错，同时，页面左上角进度提示区内对应的小黑圈变成红色。

在第 8 个十字出现 2 000 ms 后，页面底部出现笑脸图案，呈现时间为 1 000 ms。第一部分的 10 个十字全部出现完毕后，主试根据进度提示区的红点分布记录被试者的错误情况，被试者根据主试的提示进入实验的第二部分。

第二部分和第一部分实验形式相同，十字出现的顺序及形状与第一部分不同(排除被试者的记忆干扰因素)，在第 7 个十字出现 2 000 ms 后，页面顶部出现笑脸图案，呈现时间为 1 000 ms。第二部分的 10 个十字全部出现完毕后，主试根据进度提示区的红点分布记录被试者的错误情况，被试者根据主试的提示进入实验的第三部分。

第三部分和第一部分实验形式相同，十字出现的顺序及形状与第一部分不同(排除被试者的记忆干扰因素)，在第 7 个十字出现 2 000 ms 后，页面中部出现笑脸图案，呈现时间为 1 000 ms。第二部分的 10 个十字全部出现完毕后，主试根据进度提示区的红点分布记录被试者的错误情况，被试者根据主试的提示进入问题区。

被试者根据提示问题，在主试的引导下进行口头报告。

(6) 数据收集

用眼动仪记录从材料呈现到被试者点击被试者的眼动轨迹、被试者发生点击错误的次数、实验完成后被试者的报告结果(是否看到“笑脸”)。

4. 结果与分析

利用软件 SPSS16.0 进行数据的录入及处理分析。

(1) 不注意视盲率

如图 7-17 所示，意外刺激在页面的右上角和右下角出现时，被试者发生不注意视盲现象的概率相类似，当意外刺激出现在页面的右下角时，被试者发生不注意视盲的概率最高。当意外刺激出现在页面的右边居中的位置时，被试者发生不注意视盲现象的概率显著降低。

利用单因素方差分析进行分析，$F=6.271$，$P<0.01$($P=0.004$)，因此可认为右下角、右上角以及右边居中三个位置变量对于被试者出现不注意视盲的影响是差异显著的，见表 7-2。

表 7-2　ANOVA

	离均差平方和 *SS*	自由度	均方 *MS*	*F* 值	*P* 值
组间变异	1.911	2	0.956	6.271	0.004
组内变异	6.400	42	0.152		
总变异	8.311	44			

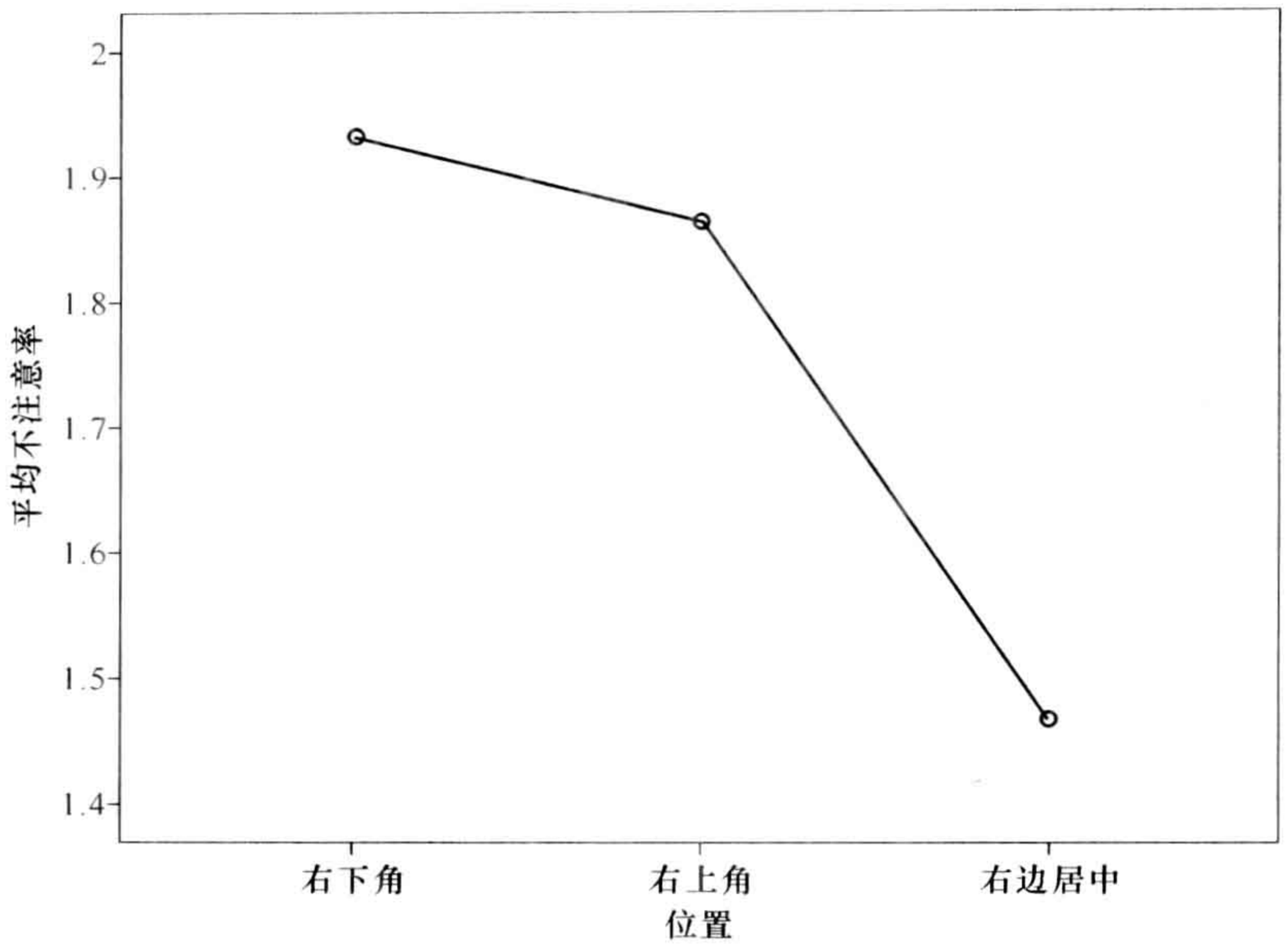


图 7-17　实验二(结果 1)

(2) 出错率

如图 7-18 所示，当意外刺激出现的位置不同时，被试者完成任务的正确率也有差异，利用单因素方差分析进行分析，$F=1.820$，$P>0.05$($P=0.175$)，因此可以认为，三个位置的不同对于被试者完成任务的出错率没有影响，见表 7-3。

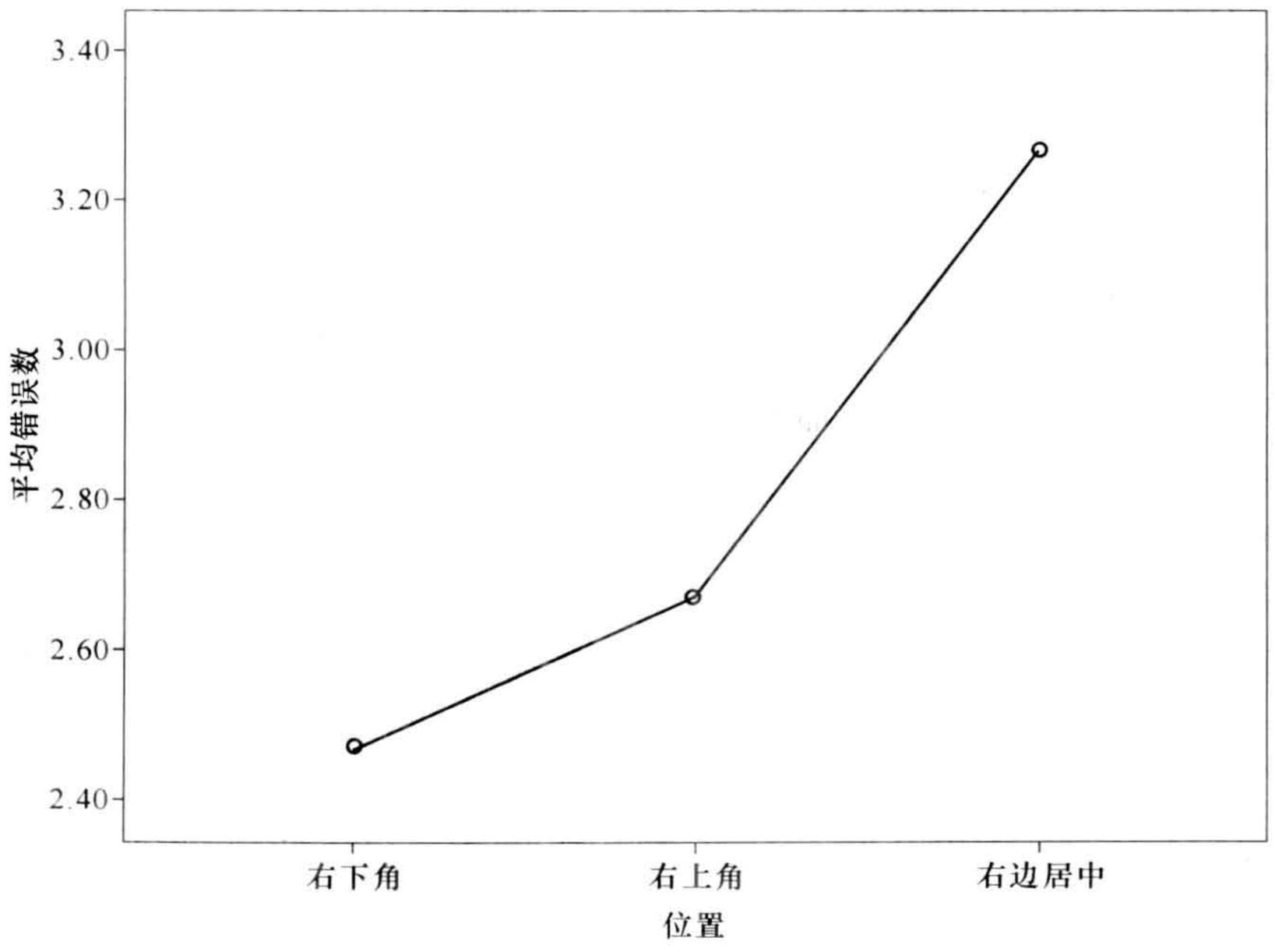


图 7-18　实验二(结果 2)

表 7-3　ANOVA

	离均差平方和 *SS*	自由度	均方 *MS*	*F* 值	*P* 值
组间变异	5.200	2	2.600	1.820	0.175
组内变异	60.000	42	1.429		
总变异	65.200	44			

（3）不注意视盲率与出错率

从图 7-17 和图 7-18 可以看出，对于不同的位置因素水平来说，被试者的出错率和不注意视盲率有着相似的走向，因此，这里继续对不注意视盲率以及出错率之间的关系进行分析。

如图 7-19 所示，在实验中，被试者出现错误的数量与被试者出现不注意视盲的情况没有相关性。

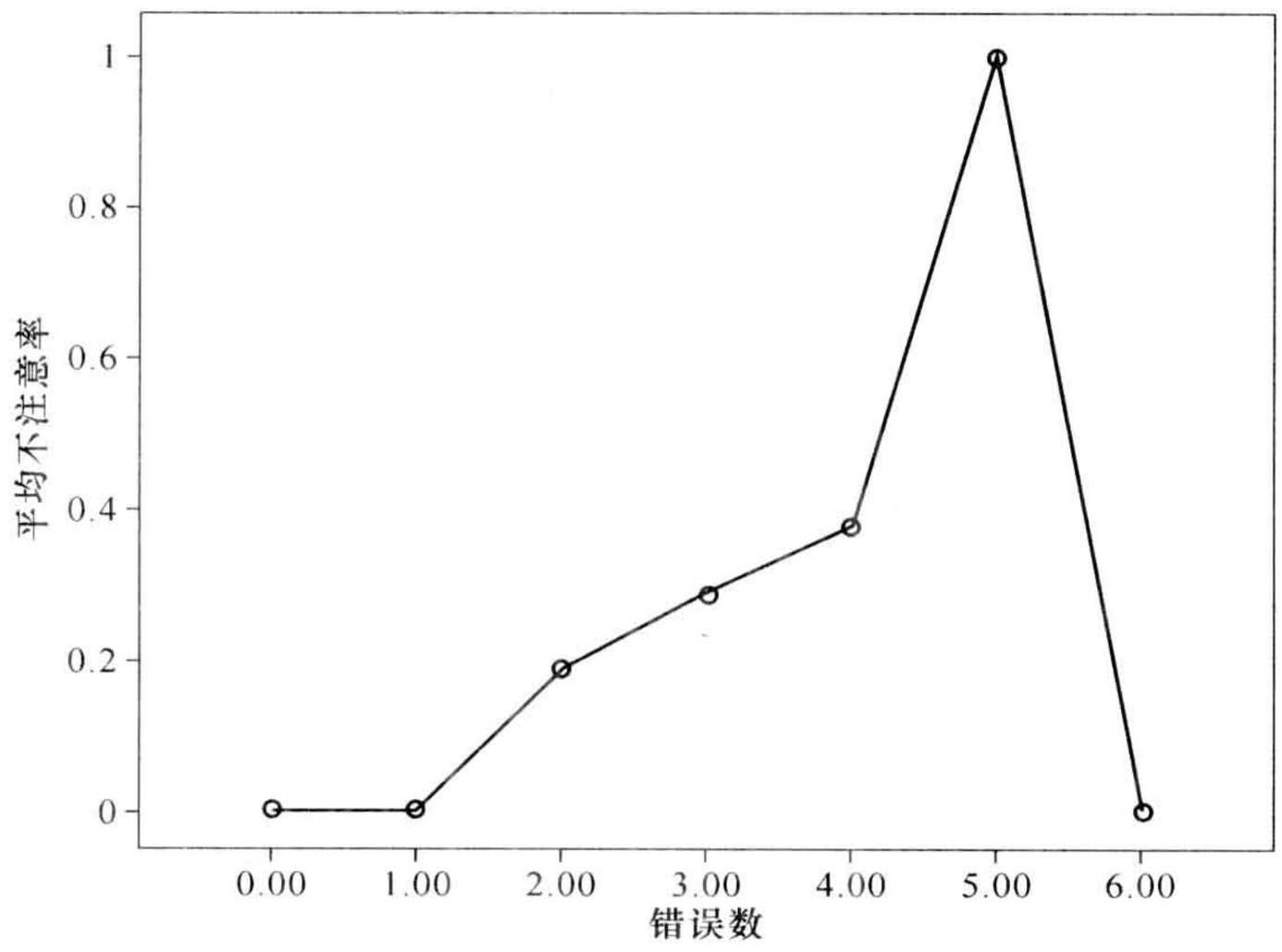


图 7-19　实验二（结果 3）

5. 讨论

由图 7-17 可以看出，当意外刺激出现在右上角和右下角时，被试者出现不注意视盲的概率远远高于意外出现在右边中部的情况。也就是说，对于被试者来说，意外刺激出现的位置离目标刺激越近，越有可能被注意到，这与 Newby 等人的研究结果相类似。但是应该注意到，在实验中，意外刺激与目标刺激十分接近，并且这个距离远远小于任务区域本身的宽度。因此我们可以得出以下的结论：当意外刺激与目标刺激的距离小于目标刺激可能出现的区域的宽度时，被注意到的可能性相对更大。

另外，对于出现在右上角和右下角的意外刺激来说，虽然与目标刺激的距离相同，被注意到的概率也较为相似，但是被注意的程度仍然有所差异。由图 7-17 可以看出，位于右上角的意外刺激更有可能被看到。对于这种现象，一方面可能是因为对于被试者来说，视觉中心通常比实际中心相对偏上；另一方面则可能是由于实验任务本身的视觉中心略微偏上。

值得注意的是，尽管在分别对位置水平与不注意视盲率、位置水平与被试者出错次数的

研究中，相对于位置水平因素来说，被试者出现错误的次数和发生不注意视盲的概率呈现出了相似的走势，然而在对不注意视盲率和错误刺激进行的相关性分析中并没有呈现出相关性。

总体来说，实验结果与假设是一致的。

实验三：意外刺激的意义对不注意视盲率的影响

1. 研究目的

Mark 等人认为，当意外刺激对于被试者来说具有某种意义的时候容易被看见，如被试者自己的名字或卡通笑脸，一旦名字中的某个字母出错或者笑脸破碎不完整，则会增加不注意视盲率。同时，实验证明引起注意的是名字或笑脸本身所具有的含义，仅仅因为被试者对刺激熟悉并不能捕获注意。

然而，在过去的实验中，并没有明确地提出引起注意的刺激是具有普遍意义还是特殊意义。在本实验中，我们试图探讨具有普遍意义的意外刺激和具有特指意义的意外刺激对于用户不注意视盲情况的影响是否相同。

2. 理论假设

具有泛指意义的意外刺激（非注意刺激）与具有特指意义的意外刺激（非注意刺激）对于用户出现不注意视盲的影响不同。

3. 实验方法

（1）被试者

被试者 30 人，年龄 18～22 周岁，均为来自北京邮电大学本科三年级的学生，其中男性 14 名，女性 16 名，采取自愿报名的方式。所有被试者均为惯用右手者，身体健康，矫正视力正常，无色盲色弱患者，可以熟练操作计算机。

（2）实验仪器

笔记本电脑一台，型号为 hp compaq，屏幕大小为 17 寸，分辨率为 1024×768，刷新频率为 60 Hz。

（3）实验材料

Axure 软件制作的静态网页模型（prototype）。下面将以无意义－泛指意义－特指意义顺序的实验材料为例进行说明。

① 被试者在指导下打开浏览器，看到以下界面，在阅读完实验要求之后，单击“进入第一部分”，如图 7-20 所示。

② 进入实验页面，如图 7-21 所示。

③ 被试者判断正确时，页面中出现红色对勾提示，如图 7-22 所示。

④ 被试者判断错误时，页面中出现红叉提示，左上角相应序号的黑色圆圈变为红色，如图 7-23 所示。

⑤ 在第 7 个十字出现 2 000 ms 后，页面右下角出现文字“的”，呈现时间为 1 000 ms，如图 7-24 所示。

⑥ 第一部分结束，主试记录第一部分被试者的错误情况，被试者单击“进入第二部分”，如图 7-25 所示。

开始实验前，请仔细阅读实验说明

实验说明：

在你的浏览过程中，页面上会出现十字形状： 请判断十字两条边的长度，左键单击选择较长的边
*当判断正确时，十字上方出现红对勾
*当判断错误时，十字上方出现红叉，同时，页面左上角对应的小黑圈变成红色
同时，页面自动跳转至下一个十字。

实验分为三个部分，请根据依次进行操作，每个部分包括十个十字形状，共计十字总数为三十个

阅读完毕后，请点击下面的按钮开始实验

进入第一部分

图 7-20　实验三(界面 1)

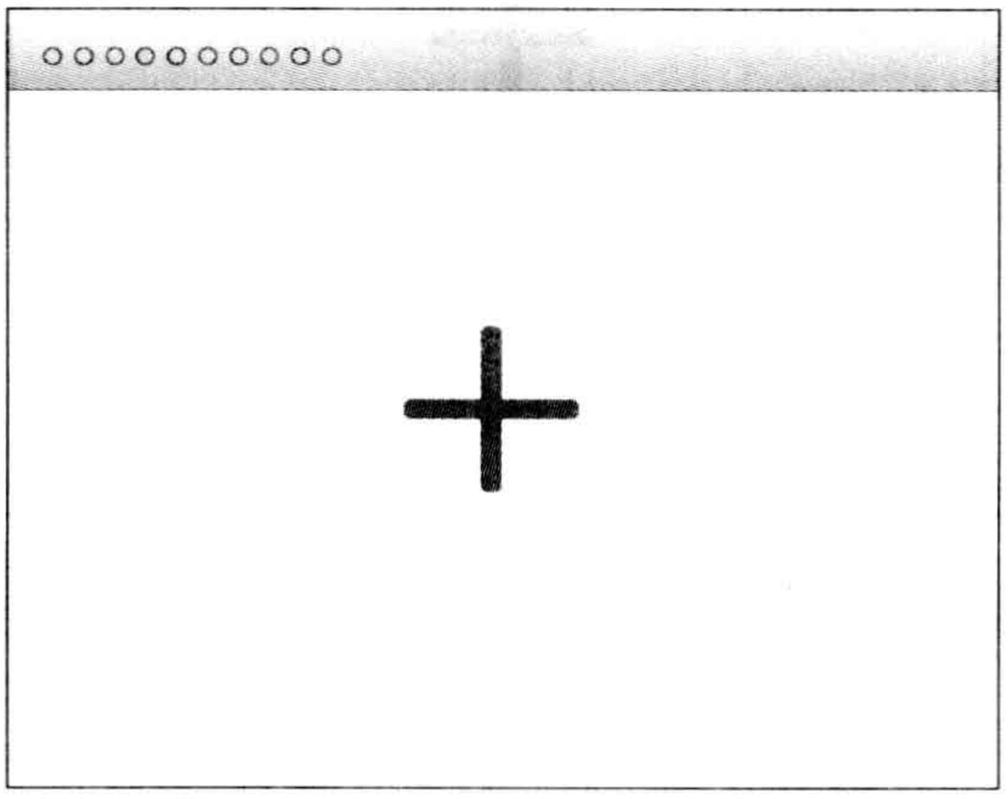


图 7-21　实验三(界面 2)

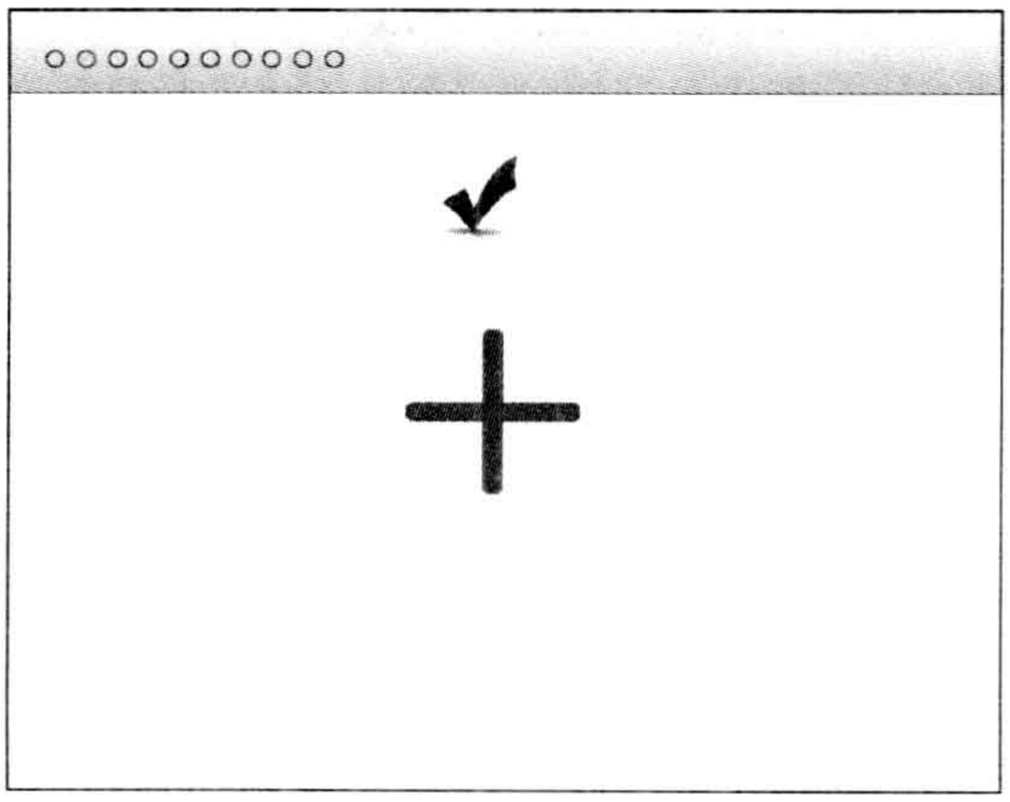


图 7-22　实验三(界面 3)

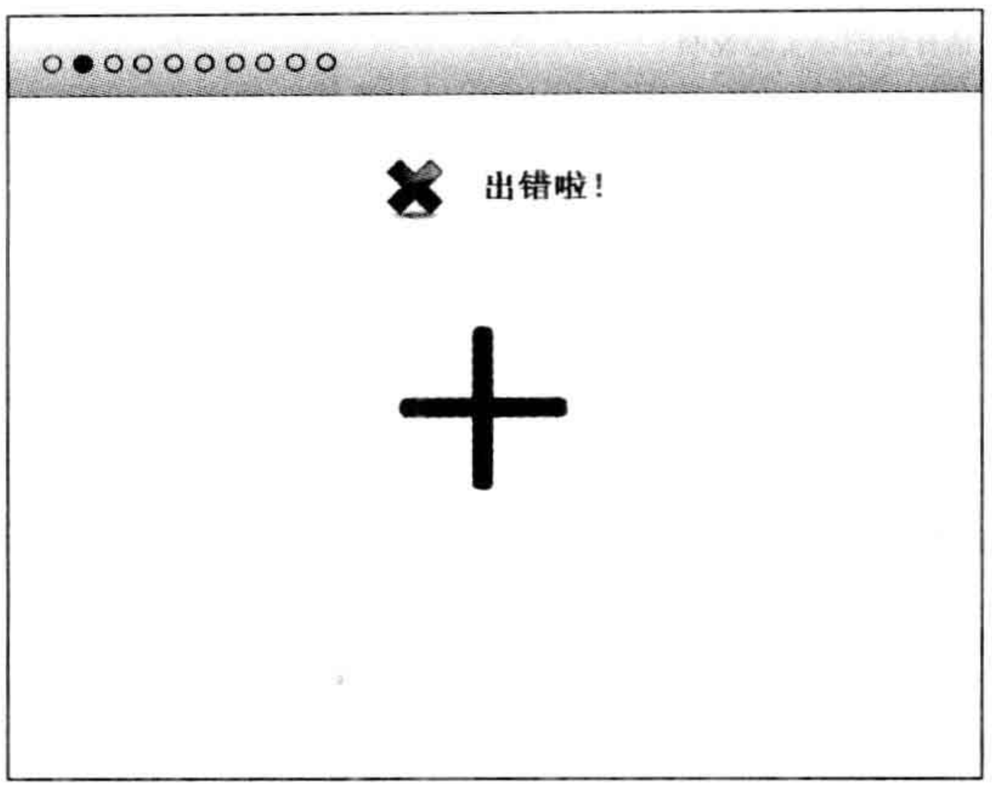


图 7-23　实验三(界面 4)

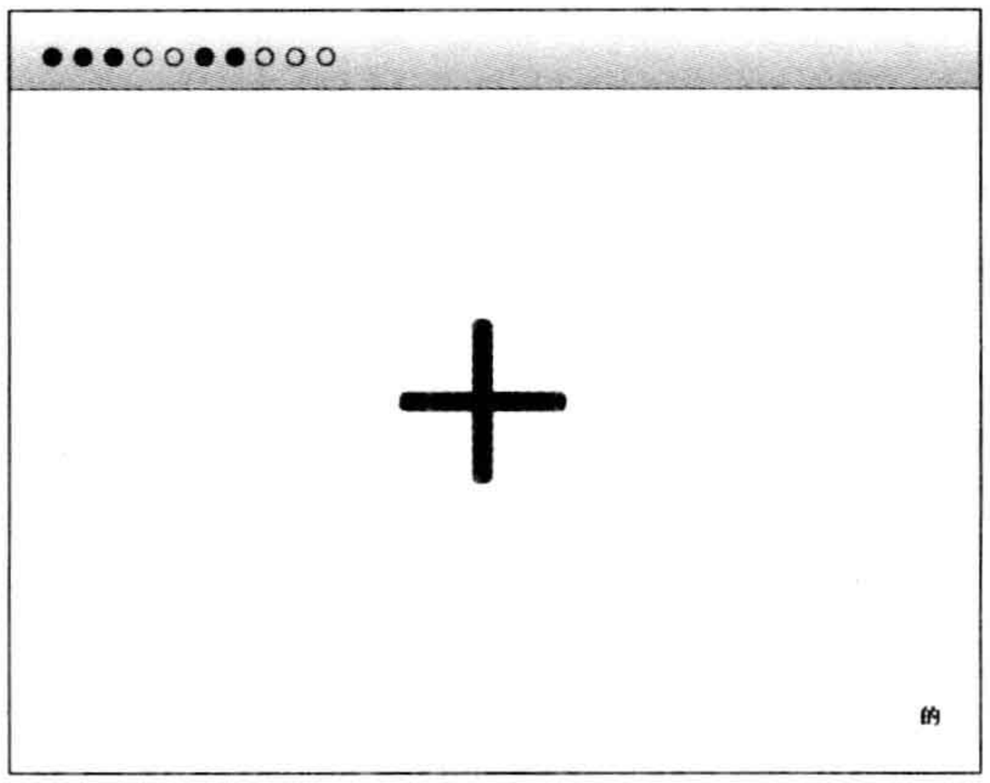


图 7-24　实验三(界面 5)

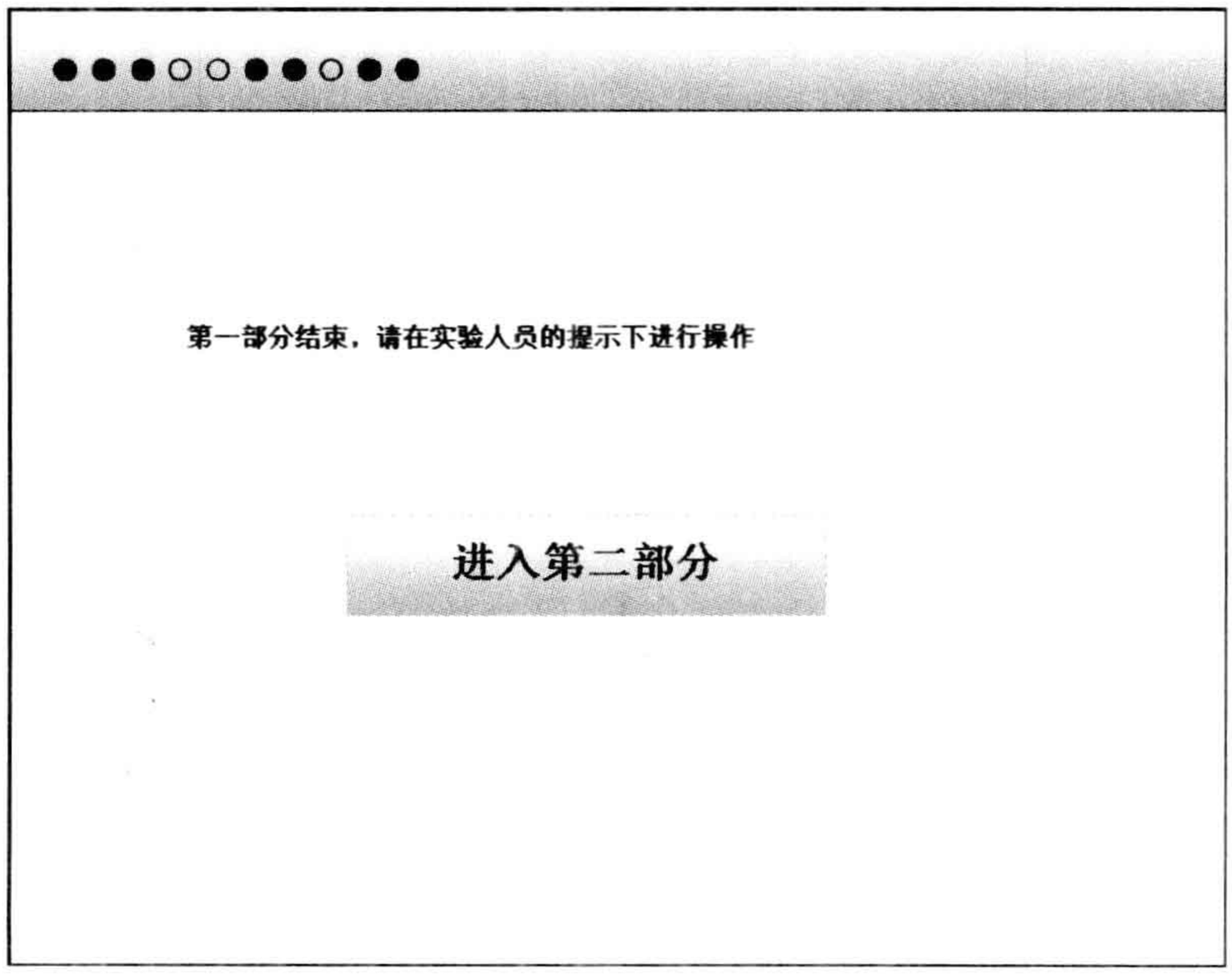


图 7-25　实验三(界面 6)

⑦ 第二部分和第一部分实验形式相同，十字出现的顺序及形状与第一部分不同（排除被试者的记忆干扰因素），在第 7 个十字出现 2 000 ms 后，页面右下角出现文字“你好”，呈现时间为 1 000 ms，如同 7-26 所示。

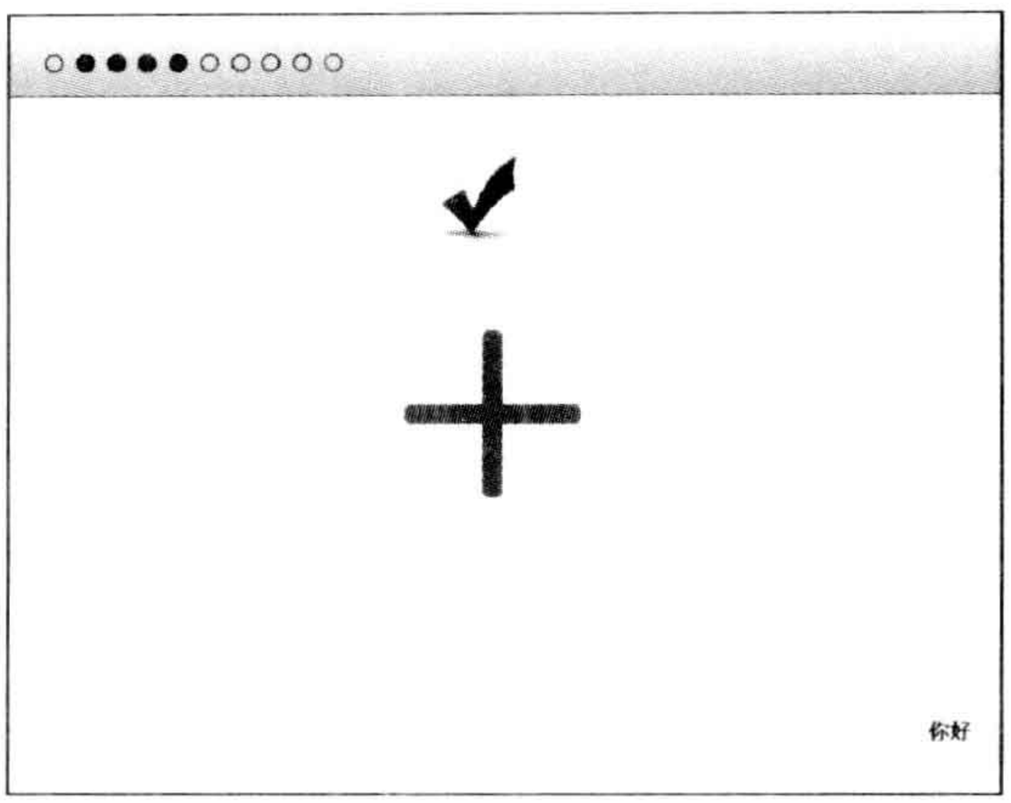


图 7-26　实验三（界面 7）

⑧ 第二部分结束，主试记录第二部分被试者的错误情况，被试者单击“进入第三部分”，如图 7-27 所示。

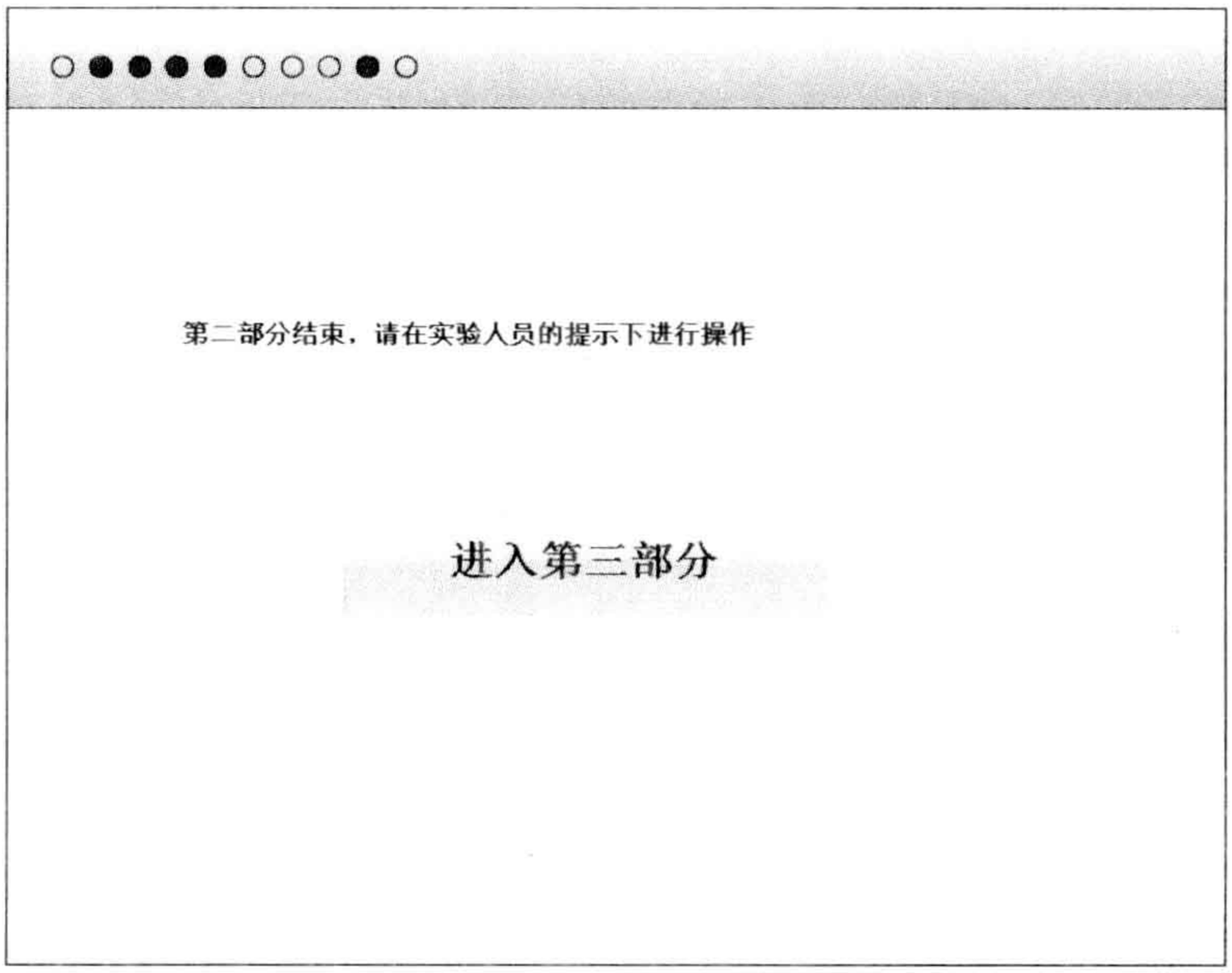


图 7-27　实验三（界面 8）

⑨ 第三部分和第一部分实验形式相同，十字出现的顺序及形状与第一部分不同（排除被试者的记忆干扰因素），在第 7 个十字出现 2 000 ms 后，页面右下角出现文字被试者的姓名（调查问卷的第一部分有记录），呈现时间为 1 000 ms，如图 7-28 所示。

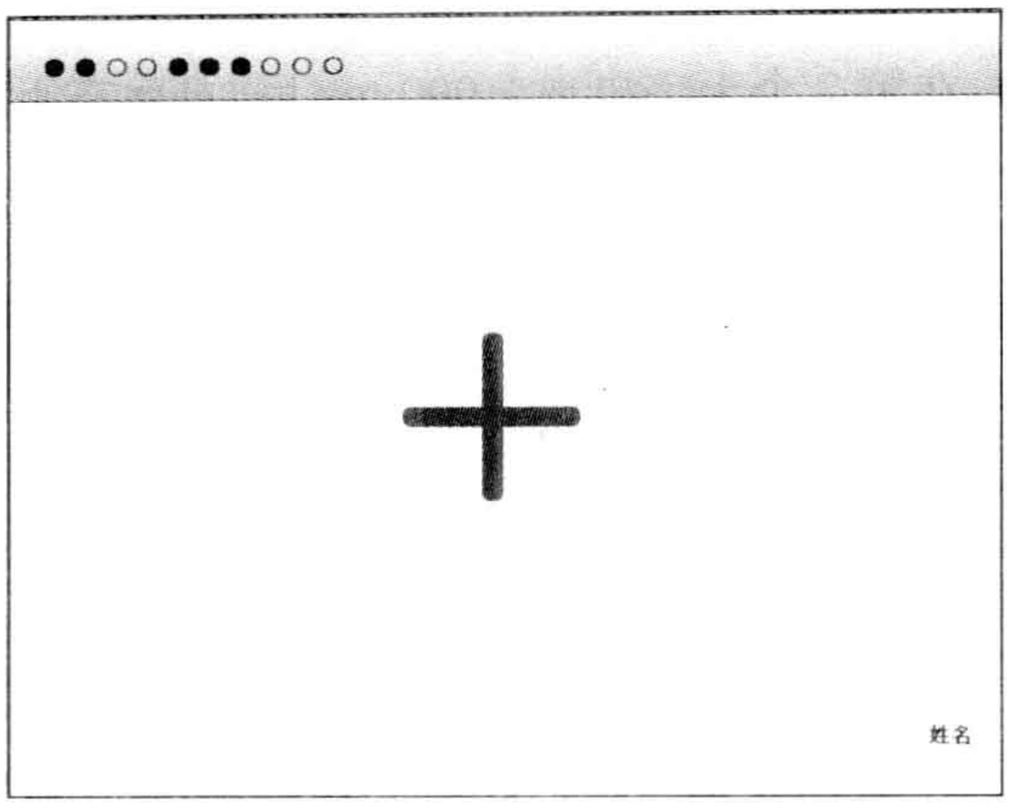


图 7-28　实验三(界面 9)

⑩ 第三部分结束,主试记录第三部分被试者的错误情况,被试者在主试的提示下单击“点击回答问题”,继续完成调查问卷,如图 7-29 所示。



图 7-29　实验三(界面 10)

(4) 实验设计

本实验采用单因素实验设计,意义因素分为三个水平:无意义组、有泛指意义组和有特指意义组。其中,无意义组中,意外刺激为被试者的母语文字“的”;有泛指意义组中,意外刺激为被试者的母语文字“你好”;有特指意义组中,意外刺激为被试者姓名的母语文字。

实验采用基于计算机屏幕呈现静态网页与内省报告相结合的研究范式,研究在三种意义水平下被试者出现不注意视盲现象的情况。

根据意义因素的不同将实验分为三个部分,每部分包括 10 个十字形状,被试者需要依

次完成三个部分的实验。

为了减少因首次发现意外刺激对于被试者注意区域的影响，将无意义刺激材料设置为1，有普遍意义刺激材料设置为 2，有特殊意义刺激材料设置为 3，实验中三个部分出现的六种顺序为 123、132、213、231、312、321，出现的概率相同。

(5) 实验程序

实验准备阶段，被试者在主试的提示下填写调查问卷的第一部分，主试根据被试者的填写情况修改实验材料(有意义组的姓名显示)。

实验开始，计算机屏幕呈现实验说明。用户阅读完毕开始实验，根据页面提示进入实验的第一个部分。

被试者被要求在屏幕出现的十字上点击选择较长的一边。

当被试者判断正确时，十字上方出现红对勾提示选择正确；

当被试者判断错误时，十字上方出现红叉提示选择出错，同时，页面左上角进度提示区内对应的小黑圈变成红色。

在第 7 个十字出现 2 000 ms 后，页面右下角出现意外刺激，呈现时间为 1 000 ms。第一部分的 10 个十字全部出现完毕后，主试根据进度提示区的红点分布记录被试者的错误情况，被试者根据主试的提示进入实验的第二部分。

第二部分和第一部分实验形式相同，十字出现的顺序及形状与第一部分不同(排除被试者的记忆干扰因素)，在第 7 个十字出现 2 000 ms 后，页面右下角出现意外刺激，呈现时间为 1 000 ms。

第二部分的 10 个十字全部出现完毕后，主试根据进度提示区的红点分布记录被试者的错误情况，被试者根据主试的提示进入实验的第三部分。

第三部分和第一部分实验形式相同，十字出现的顺序及形状与第一部分不同(排除被试者的记忆干扰因素)，在第 7 个十字出现 2 000 ms 后，页面右下角出现意外刺激，呈现时间为 1 000 ms。

第三部分完成后，主试记录被试者的错误情况，被试者继续填写调查问卷。

(6) 数据收集

收集被试者发生点击错误的次数、各部分被试者看见意外刺激的情况。

4. 结果与分析

利用软件 SPSS16.0 进行数据的录入及处理分析。

(1) 刺激意义对于不注意视盲率的影响

如图 7-30 所示，当意外刺激的意义不同时，被试者发生不注意视盲现象的概率有差异；当意外刺激具有普遍意义时，被试者出现不注意视盲现象的概率最低；当意外刺激无意义时，被试者出现不注意视盲的概率最高。

表 7-4 所示为方差齐次性检验结果，$P>0.05$($P=0.445$)，说明方差具有齐次性。

表 7-4　方差齐次性检验

F 值	样本数	变量数	P 值
0.817	2	87	0.445

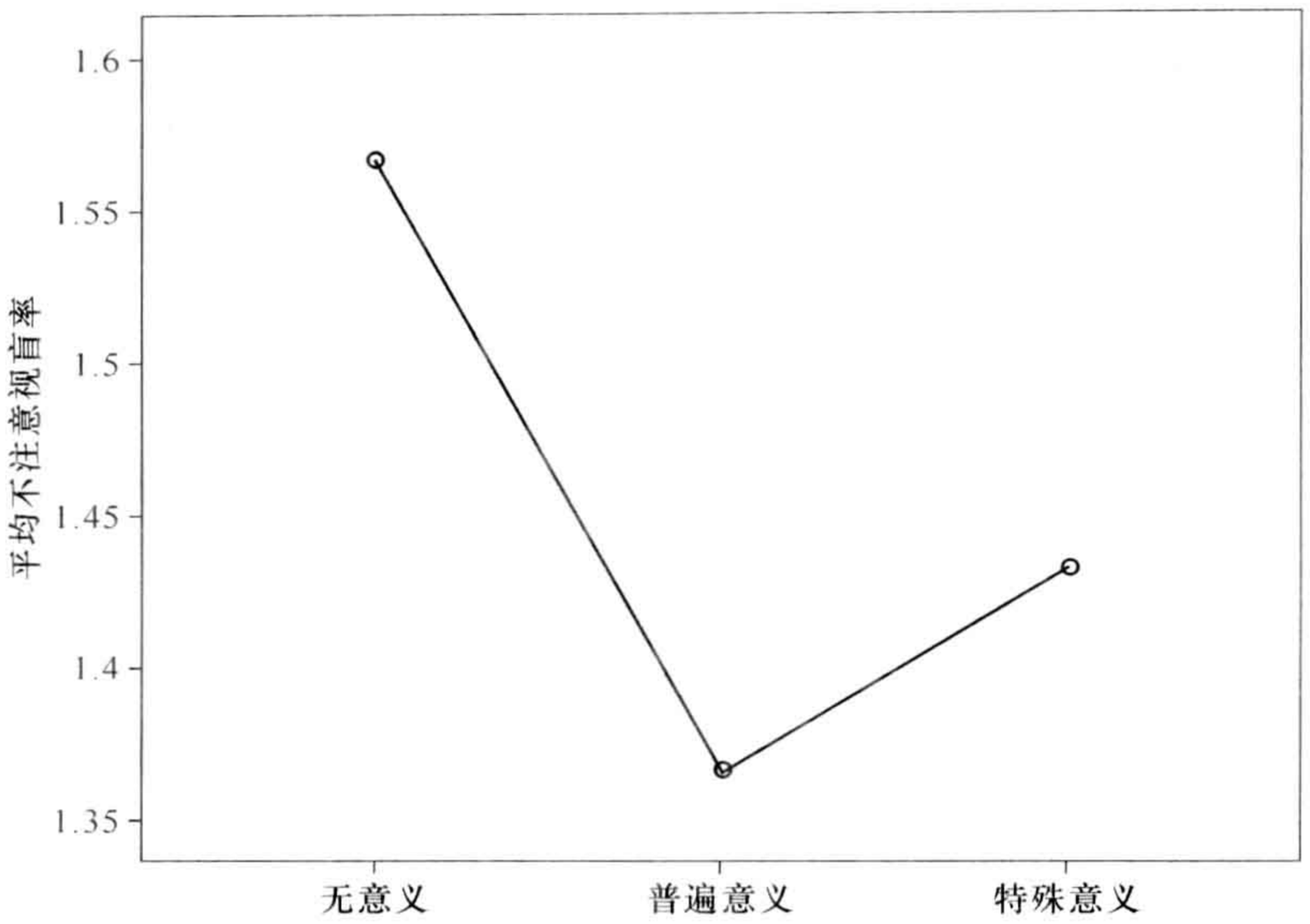


图 7-30　实验三(结果 1)

利用单因素方差分析进行分析,得到 $F=1.247$,$P>0.05$($P=0.292$),说明在 $a=0.05$ 水平上,意外刺激意义不同的各组被试者出现不注意视盲的平均概率没有显著性差异,见表 7-5。可以认为意义的区别对于被试者出现不注意视盲现象几乎是没有影响的,因此不需要进行多重比较法。

表 7-5　ANOVA

	离均差平方和 SS	自由度	均方 MS	F 值	P 值
组间变异	0.622	2	0.311	1.247	0.292
组内变异	21.700	87	0.249		
总变异	22.322	89			

(2) 实验材料的顺序对于不注意视盲的影响

如图 7-31 所示,在实验材料不同时,被试者出现不注意视盲的概率也有所差异。其中,编号为 132(无意义—特殊意义—普遍意义)和编号为 321(特殊意义—普遍意义—无意义)两组的被试者出现不注意视盲的概率最低,编号为 312(特殊意义—无意义—普遍意义)和编号为 213(普遍意义—无意义—特殊意义)两组的被试者出现不注意视盲的概率较高。

表 7-6 所示为方差齐次性检验结果,$P>0.05$($P=0.051$),说明方差具有齐次性。

表 7-6　方差齐次性检验

F 值	样本数	变量数	P 值
2.308	5	84	0.051

利用单因素方差分析进行分析,得到 $F=1.451$,$P<0.05$($P=0.000$),说明在 $a=0.05$ 的水平上,不同实验材料对于被试者出现不注意视盲现象的影响具有显著性差异,见表 7-7。

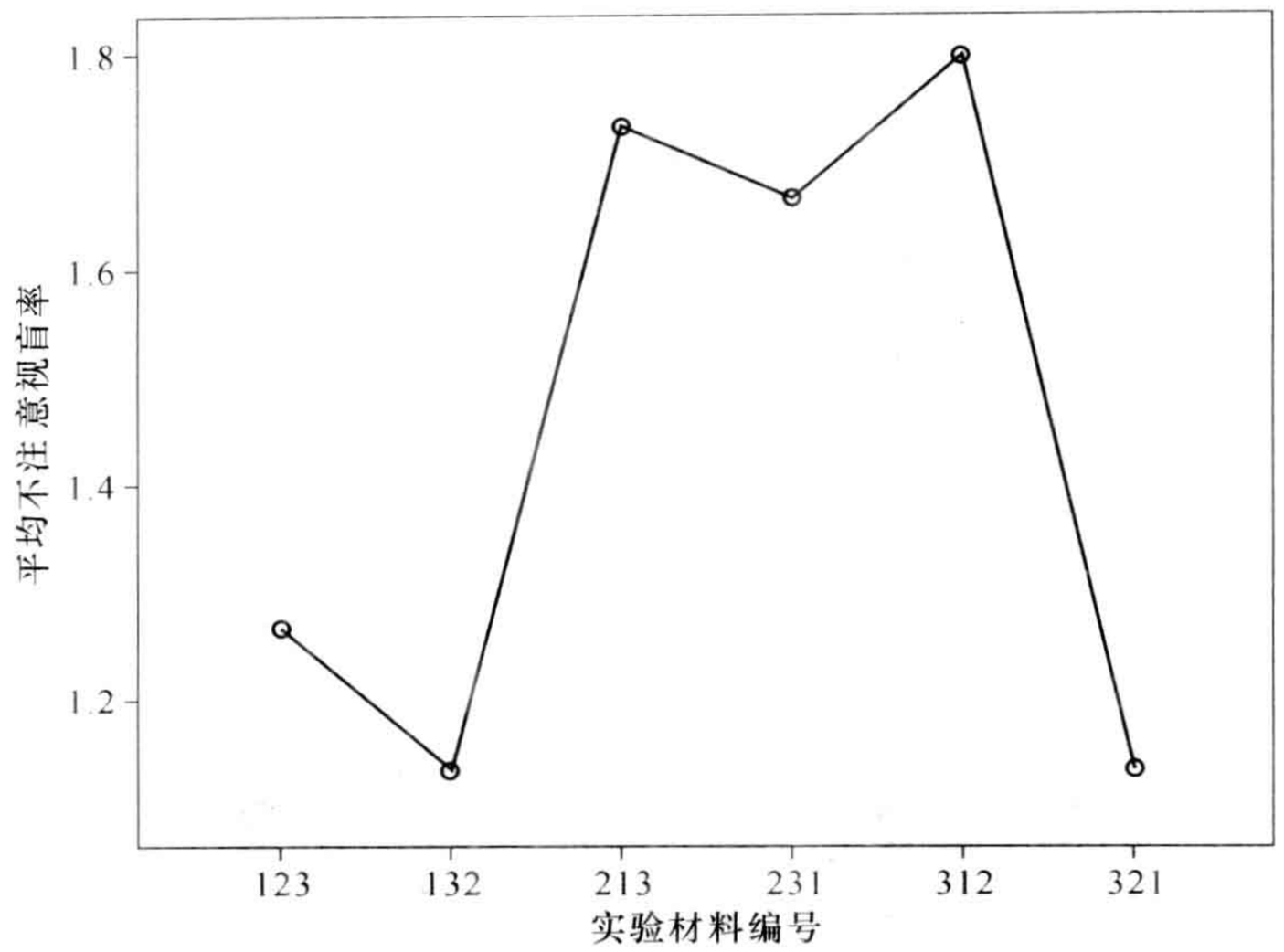


图 7-31　实验三(结果 2)

表 7-7　ANOVA

	离均差平方和 *SS*	自由度	均方 *MS*	*F* 值	*P* 值
组间变异	7.256	5	1.451	8.090	0.000
组内变异	15.067	84	0.179		
总变异	22.322	89			

图 7-32 所示为不同实验材料组中，被试者在第一次注意到意外刺激后对页面的观察情况。如图所示，在出现不注意视盲现象较多的 312(特殊意义—无意义—普遍意义)和 213(普遍意义—无意义—特殊意义)组中，更多的被试者选择了在注意到意外刺激后不主动观察及观察整个页面的选项。而在不注意视盲率较低的组中，选择主动观察第一次注意到文字的区域的被试者数量更多。

因此，我们需要考查被试者的观察习惯对于不注意视盲率的影响。

(3) 被试者的观察习惯对于不注意视盲率的影响

如图 7-33 所示，选择在第一次观察到意外刺激后主动观察该区域及十字区(任务区)的被试者更容易观察到意外刺激，而不主动观察的被试者出现不注意视盲现象的概率最高。

如表 7-8 所示，利用单因素方差分析进行分析，得到 $F=12.087$，$P<0.05$($P=0.000$)，说明在 $a=0.05$ 的水平上，不同实验材料对于被试者出现不注意视盲现象的影响具有显著性差异。

表 7-8　ANOVA

	离均差平方和 *SS*	自由度	均方 *MS*	*F* 值	*P* 值
组间变异	6.620	3	2.207	12.087	0.000
组内变异	15.702	86	0.183		
总变异	22.322	89			

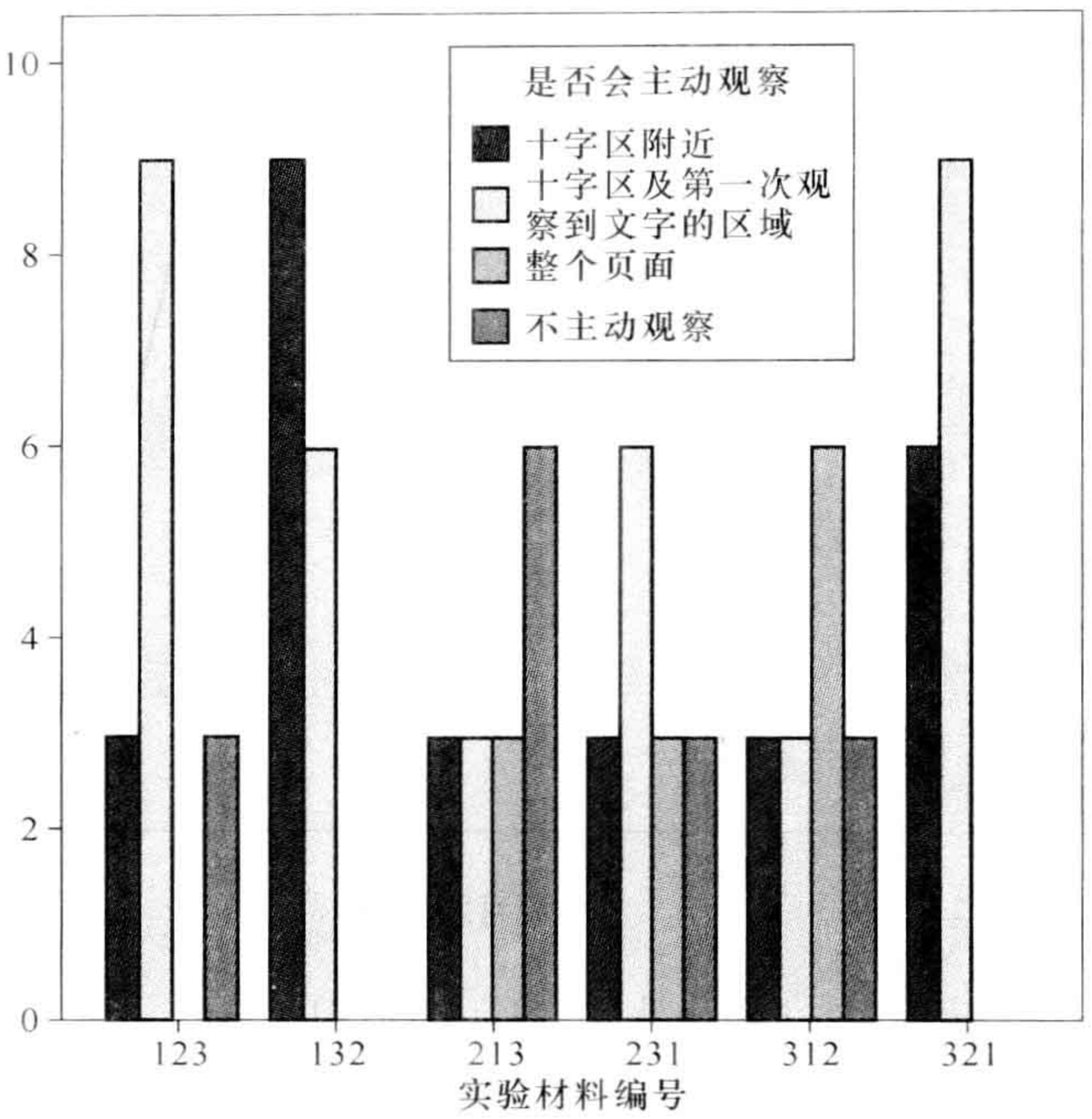


图 7-32　实验三(结果 3)

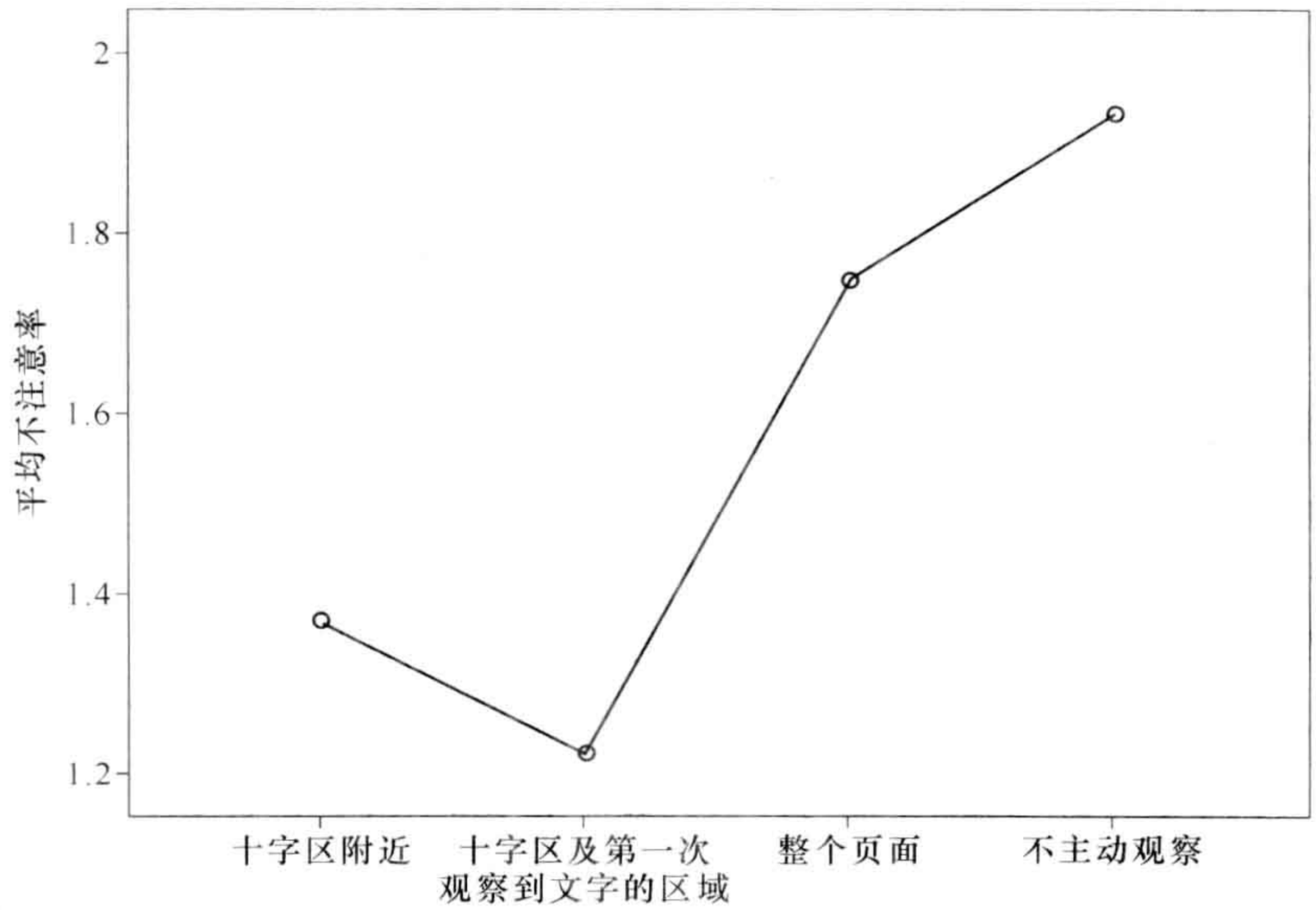


图 7-33　实验三(结果 4)

5. 讨论

Mark 等人的实验表明,引起注意的是名字或笑脸本身所具有的含义,仅仅因为被试者对刺激熟悉并不能捕获注意。

在本实验中,继续将刺激的意义细分为具有普遍意义和具有特殊意义,例如,笑脸是对

于所有人或者一个群体是有意义的，就是具有普遍意义的刺激，而被试者姓名是只对被试者具有某种意义，则被归类为具有特殊意义的刺激。实验结果表明，具有普遍意义的刺激和具有特殊意义的刺激对于被试者出现不注意视盲现象的影响基本没差异，也就是说，对于被试者来说，当意外刺激的其他形式（如色彩、形态、出现方式等）相类似时，并不需要选择对被试者有特殊含义的刺激来引起被试者的关注。

另外，在本实验中，意外刺激选取了汉字，对于被试者来说，汉字刺激是否与图形刺激有所差异，是否意味着不同的信息加工过程还需要进一步的实证研究，本书不做说明。

7.1.3　不注意视盲原理在界面设计中的实际应用

尽管目前关于视盲的研究仍处于实验室阶段，然而由于它在生产生活中的普遍性以及在某些领域可能造成的危害性，因此对这种现象的研究与应用就具有十分重要的意义。对于视盲现象的认识越深刻，则越可能避免一些因为视盲引起的事故。例如根据研究结果采取有效措施，降低驾驶员在行驶过程中可能出现的不注意视盲率，从而减少交通事故；降低危险工程作业中操作人员产生不注意视盲的概率，减少生产事故等。

对于设计师来说，可以利用视盲现象的研究成果来指导界面设计。通过合理选用界面元素，安排其布局方式，使用户可以迅速准确地捕捉到有效信息，从而使用户的信息获取更为简单。对于普通界面设计如网页设计来说，可以提高用户的操作效率从而提高满意度及体验感。对于特殊界面如飞机仪表及操作面板设计来说，可以减少驾驶员对于仪表的误读及误操作，提高安全性。

1. 视觉元素的数量及布局的复杂性

对于界面设计来说，视觉元素的数量过多，布局过于复杂，则很有可能会提高用户捕捉信息的难度。复杂的界面设计对于用户，尤其是新用户来说会转变为繁重的认知负荷，使任务变得更为复杂，从而加重用户的认知负担。在这种情况下，一方面个体需要将更多的注意分配在任务本身上，从而忽视对意外刺激的觉察；另一方面可能会通过影响个体的认知方式及认知能力影响不注意视盲率。

因此，应当在满足视觉元素基本数量的前提下，尽可能减少不必要的元素堆积，在同时存在多个需要用户完成的任务时，根据重要性进行取舍，保证重要信息的传递。

2. 视觉元素的形态及特异性

在符合界面设计风格的同时，重要的视觉元素应当略大于周围的其他元素，并且具有较为突出的色彩，通过与周围元素的对比，强调重要信息，增加元素的“可见性”。

3. 视觉元素的意义

对于界面设计的提示元素来说，具有用户熟悉的意义的元素更有可能被用户注意到。

4. 视觉元素的位置

在界面设计中，应当把希望用户注意到的信息或者用户完成操作必须要用到的信息布置在界面的中心区域，这个中心区域不只是位置中心，也可以是色彩中心、用户习惯的注视点等。

变化视盲在日常生活中十分普遍，在用户浏览界面时，也常常会发生不注意视盲的情况。对于用户来说，界面的刷新变化并非总是没有意义的，注意不到界面上的重要变化有可

能会影响他们的操作，如果是特殊界面（如飞机仪表盘）的操作者发生了变化视盲的情况，甚至会发生十分可怕的后果。对变化视盲原理及其影响因素的研究有助于我们在界面设计的过程中尽量避免此类状况的发生。

Bahrami 等人认为，在多刺激觉察任务中，被试者需要对颜色的变化投入更多的注意才能意识到。同时，David 等人的研究也表明，面部表情比无表情刺激的单纯颜色变化觉察率更高。Aginsky 等人认为，刺激的位置和呈现方式等属性在用户的认知过程中都会得到自动编码，而颜色则没有，因此无论场景是否改变，都会呈现出线索效应，从而使用户发生视盲现象。

因此，在界面设计中，需要用户注意到的重要变化应该尽可能避免单纯的色彩提示。由于颜色变化相对于其他属性变化来说，不会引起用户太多的注意，因此，仅仅使用色彩改变的视觉元素可能会被用户所忽视。同时，单纯使用色彩提示的设计对于视觉障碍者来说也是极其糟糕的体验。

尽管近年来国外有关不注意视盲和变化视盲的研究越来越丰富，对于不注意视盲和变化视盲的产生原理及其影响因素的研究已经有了一些突破，但是仍然存在许多尚未解决的问题，需要未来研究做进一步探讨。

未来的视盲研究需要解决以下一些问题。从注意、意识等多角度深入研究不注意视盲和变化视盲现象的形成机制，整理研究影响不注意视盲的各种因素及其相互间的关系，以及这些因素对不注意视盲和变化视盲的影响程度的界定。这些研究不仅有助于理解注意捕获及选择性注意的过程，同时也将推动意识及无意识研究领域的发展。相信这一课题也将很快受到国内注意和意识研究领域学者的关注。

本案例将不注意视盲和变化视盲的研究引入界面设计指导中，从减少视盲现象发生的角度提出了界面设计需要注意的一些指导原则。在今后的研究中，可以专注于某类特定界面的研究。

7.2 Web 信息架构设计对网络用户视觉搜索能力的影响

根据 EPIC（Executive process Interactive Control）和 ACT-R 认知模型理论的理论，用户在视觉搜索过程中一般采取导向搜索策略和序列搜索策略，但没有就导航设计时如何引导用户多使用导向搜索策略，提高视觉搜索效率进行引证研究。多数研究旨在提出较为宏观的用户视觉搜索模型，对实际设计的指导作用不是很大。很少有研究对信息层级之间的排列方式、信息层级深度等信息架构和导航设计的关键性细节进行联合的证实和测试。本研究针对这个拟采用记录不同形式页面操作时间的方式，通过类别词汇和信息条目形成层次结构的视觉界面，探讨类别词汇的排列形式、色彩、多级类别词汇形成信息深度这三种因素在用户与视觉界面交互时的作用，试图证明信息层级排列方式、色彩差别程度、信息层级深度因素影响到用户的视觉搜索的效率。

7.2.1 实验一：网页信息排列方式对视觉搜索效率的影响

（1）被试者

被试者 15 名，其中女性 10 名，男性 5 名，年龄 18～25 岁，网龄 3～6 年。新手用户对网

络不熟悉，网页内容之外的许多因素都容易干扰其操作。所有被试者均为惯用右手者，裸眼视力或矫正视力在 1.0 以上，要求被试者不戴眼镜或者使用隐形眼镜。

（2）实验材料

实验材料的主体是 137 个词条，排布成类似真实网站的导航系统。若干词条组成一组，共 33 组，每组有一个概括词，设定其为一级栏目（类别词汇）。137 个词条即为二级栏目（信息条目）。一级和二级栏目在字号大小和粗细方面有差别。意义相近的词汇排布在一起，将所有词汇分成 12 块。实验材料是使用 Axure 软件制作的仿真静态网页模型，这样能够排除实际网站中广告、色块等其他干扰因素，易于控制变量（如图 7-34 所示）。

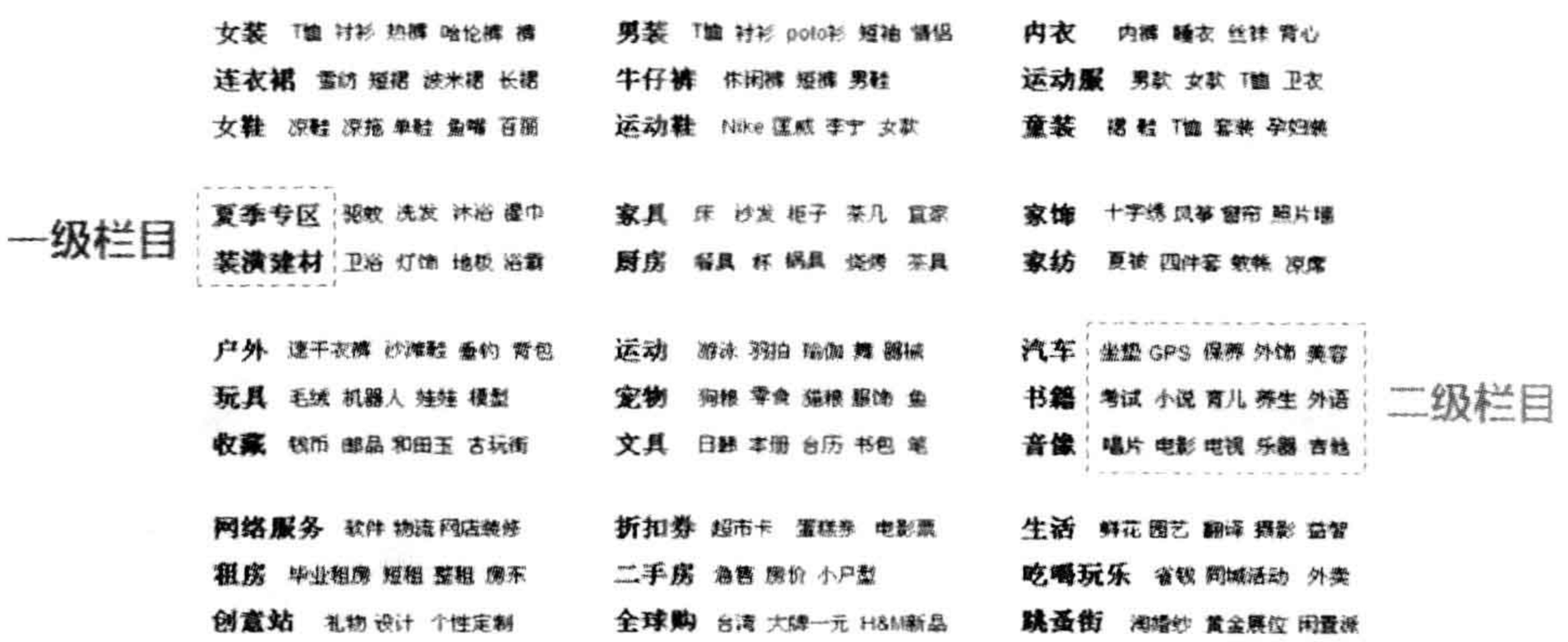


图 7-34　实验一材料示意图

实验一采用单因素设计，排列方式因素分为两个水平：上下结构和水平结构。进行两组对比实验，分别使用材料 A1-B1、A2-B2（如图 7-35 所示）。

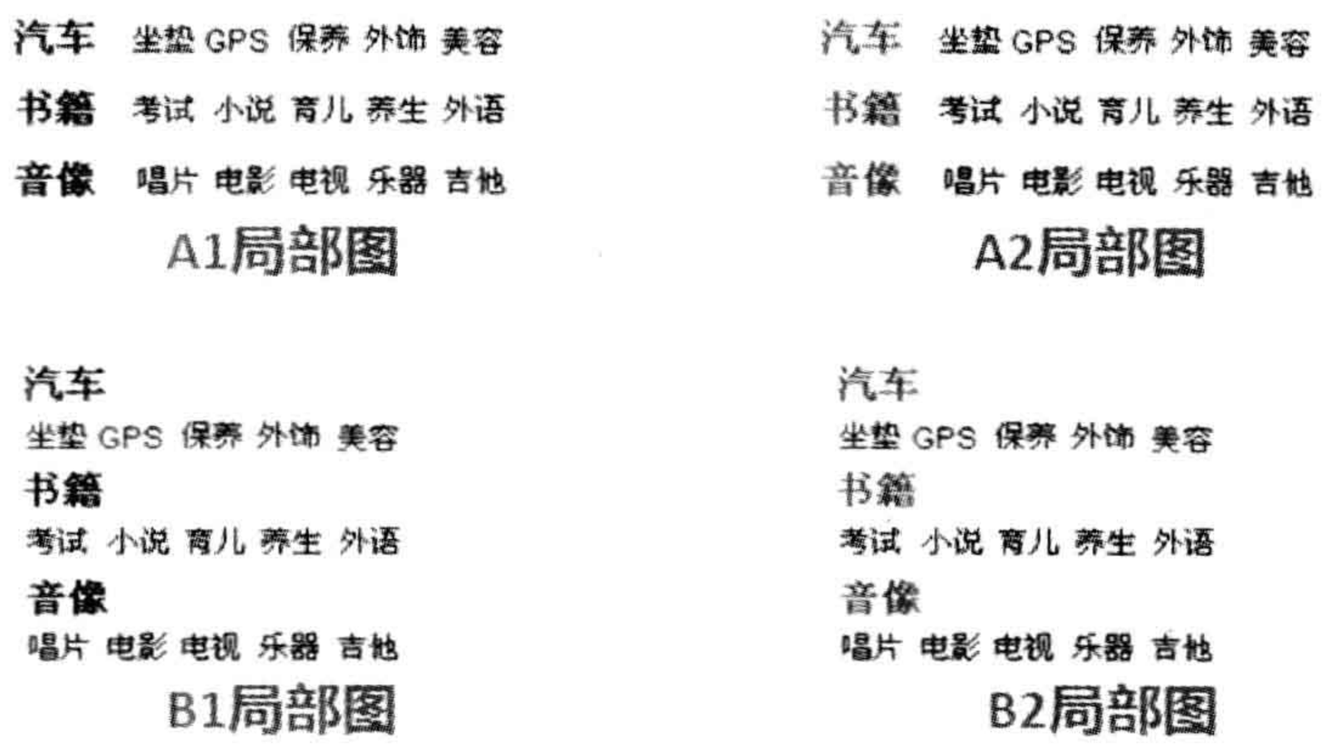


图 7-35　实验一材料局部示意图

4 种实验材料排布方式不同，高度宽度也不尽相同。高度占屏幕的 49.0%～73.5%，宽度占 66.2%～70.8%。

（3）实验仪器

实验在可用性实验室进行。本实验采用德国 SMI 公司生产的 iView X Hi-Speed 型号眼动仪。SMI 眼动仪工作过程是用红外线摄像机摄取被试者眼睛图像，经过 MPEG 编码后

送入计算机进行图像数据采集分析，实时计算出眼珠的水平和垂直运动的时间、位移距离、速度及瞳孔直径、注视位置。能够进行注视分析，即发生视觉刺激时注视点移动的路径，观看活动图像或静止图像时目光停留的位置和时间。

SMI 的眼动仪产品分为三个型号：HED、RED、Hi-speed。HED 型号眼动仪是头盔式眼动仪，可以记录被试者观看真实景物时的注视位置，取样频率为 50/60 Hz，相对来说精度不够高。RED 型号眼动仪是桌面式眼动仪或嵌在被试者显示器下方的眼动仪。优点是对被试者头部没有束缚，长时间测量也不会有太多不适，但取样频率为 50/60 Hz，精度也不够高。

Hi-Speed 系统结构如图 7-36 所示，包括研究人员使用的 iView PC 测试计算机（用于记录被试者眼动轨迹）、被试者面前的 Stimulus PC 图像显示计算机（用于记录被试者操作情况）和测试托架。测试托架用于固定被试者头部，以获得更高的测试精度。此型眼动仪适用于阅读研究等需要较高精度的眼动测量。

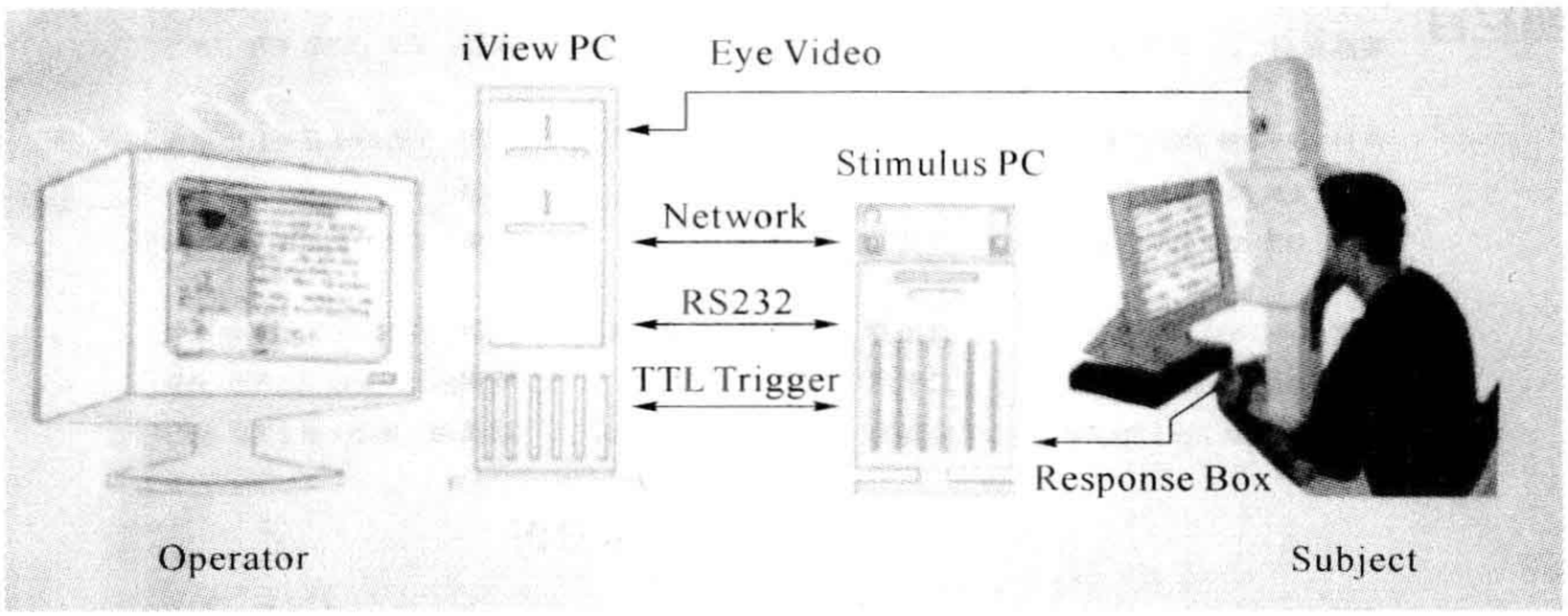


图 7-36　Hi-Speed 系统结构图

iView PC 测试计算机与 Stimulus PC 图像显示计算机通过 Ethernet，RS232 或 TTL Triggers 进行同步通信。显示器屏幕大小为 22 寸，分辨率为 1024×768，刷新频率为 70 Hz，两台电脑设置相同，如图 7-36 所示。

表 7-9 所示是 iView X Hi-Speed 型号眼动仪技术参数。

表 7-9　iView X Hi-Speed 型号眼动仪技术参数

Sampling Rate	1 250 Hz/500 Hz(monocular)，500 Hz(binocular)
Tracking Resolution	<0.01°(typ.)
Gaze Position Accuracy	0.25°～0.5°(typ.)
Processing Latency	<0.5msec
System Latency	<2 msec(typ.)
Viewing Angle(hor./vert.)	±30°/30°(up)，45°(down)

系统具有以下特点：

① 快速眼动补偿(1 250 Hz)；

② 高精度长时间不间断记录数据；

③ 视野无遮挡，可无障碍直接俯视；

④ 不受眼镜或其他透镜影响；

⑤ 头部可以自由连接其他记录或刺激设备，如 EEG 电极；

⑥ 可以很方便地使用各种刺激软件。

本实验数据采用单目采集，采集频率 500 Hz，相对来说精度比较高。

被试者将下颚放在安装了红外灯和摄像头的托架上，注视前方 Stimulus PC 计算机屏幕上的图形。测试人员通过 iView PC 测试计算机控制 Stimulus PC 上显示的图像并采集分析被试者的眼动数据。

系统将摄像技术和眼动切边算法相结合，测量眼珠的水平和垂直运动以及瞳孔尺寸，记录相关的实验刺激数据。获得的综合数据库包含多个被试者和多种实验材料的所有相关图形数据（如注视点移动的轨迹、感兴趣区域的分析）。所有记录的数据可以输出以便进一步分析。

（4）实验设计

主试告知被试者目标词汇，被试者打开实验材料寻找到目标词汇并点击，完成一个任务。为了消除顺序效应的影响，设定了两种材料出现的顺序。为了消除位置效应的影响，每种材料分 X′版和 X 版，交替出现。被试者在正式操作前完成两个任务以熟悉材料（该数据不在数据分析的范围内）。共 4 种材料，通过每种材料获得 15 人×3 次＝45 个数据。

（5）实验过程

① 主试告知被试者目标词汇，被试者找到该词汇并点击。

② 重复上述过程完成 5 次目标定位任务（前两次为熟悉实验材料）。

③ 实验完毕后主试对被试者进行访谈，询问被试者认为每种因素哪个水平对被试者寻找信息更有帮助，即主观偏好，并给出原因。整个实验大约持续 20 分钟。

（6）数据指标

需记录的数据指标包括眼动仪自动记录的客观数据和主观访谈数据两种。客观数据指标包括注视时间、鼠标点击时间等。从退出前一页面进入当前页面的时刻开始，到点击目标词汇的时刻停止，认为是任务的完成时间。实验材料中出现的词汇都有明确的含义，因此在被试者清楚主试指令之后，查找目标任务没有出现错误，不存在分析错误率的必要性。

（7）实验结果与分析

将完成时间数据导出，用 SPSS15 统计软件进行分析。

从表 7-10 和图 7-37 可知，15 名被试者对水平排列方式偏好率为 53%，对上下排列方式偏好率为 34%，还有 13%的人表示不认为哪一种方式能提高视觉搜索效率，无偏好。根据 15 名被试者使用每种材料完成 45 个任务得到的操作时间数据，对排列方式因素进行配对样本 T 检验，结果如表 7-11 所示。

表 7-10　排列方式偏好数据

	频次	比例	有效比例
无偏好	2	13.3	13.3
上下	5	33.3	33.3
水平	8	53.3	53.3
Total	15	100.0	100.0

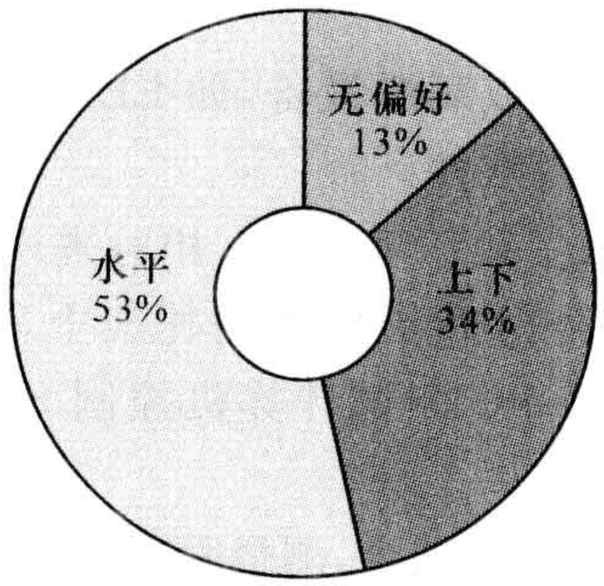


图 7-37　排列方式偏好比例

表 7-11　A1-B1 色彩无差异时两种排列方式配对样本 T 检验；
A2-B2 色彩有差异时两种排列方式配对样本 T 检验

Pairs	df	Sig.（2-tailed）
A1-B1	44	0.040
A2-B2	44	0.007

表 7-12　四种材料上任务的平均视觉搜索时间

	N	最小值	最大值	平均值/s	方差
A1	45	5.815	44.828	11.005 89	6.344 481
A2	45	5.512	37.406	12.674 87	6.612 359
B1	45	5.534	28.400	13.279 67	6.058 443
B2	45	5.515	45.397	17.719 29	10.617 532

从表 7-11 和表 7-12 中可知，色彩无差异时，水平结构视觉搜索效率显著高于上下结构（$P=0.040$，$P<0.05$）；色彩有差异时，水平结构视觉搜索效率仍然显著高于上下结构（$P=0.007$，$P<0.01$）。

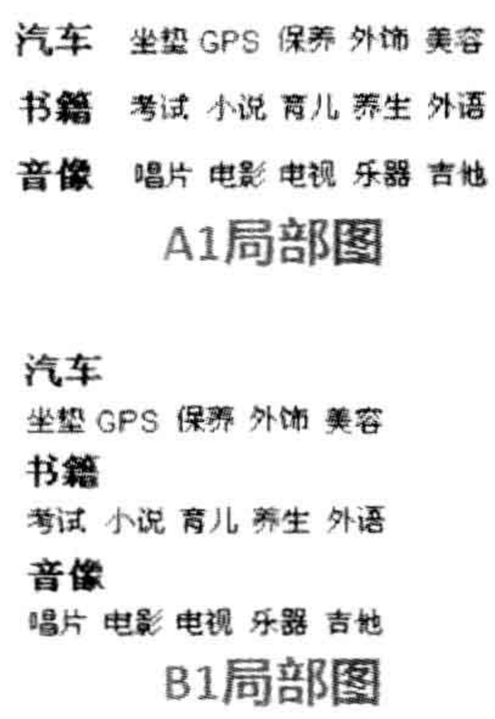
7.2.2　实验二：色彩对视觉搜索效率的影响

（1）被试者

被试者 15 名，其中女性 10 名，男性 5 名，年龄 18～25 岁，网龄 3～6 年。所有被试者均为惯用右手者，裸眼视力或矫正视力在 1.0 以上，要求被试者不戴眼镜或者使用隐形眼镜。

（2）实验材料和仪器

实验二采用单因素设计，色彩因素分为两个水平：一级信息栏目（类别词汇）和二级信息栏目（信息条目）颜色无差别、有差别。进行两组对比实验，分别使用材料 A1-A2、B1-B2（如图 7-38 所示）。



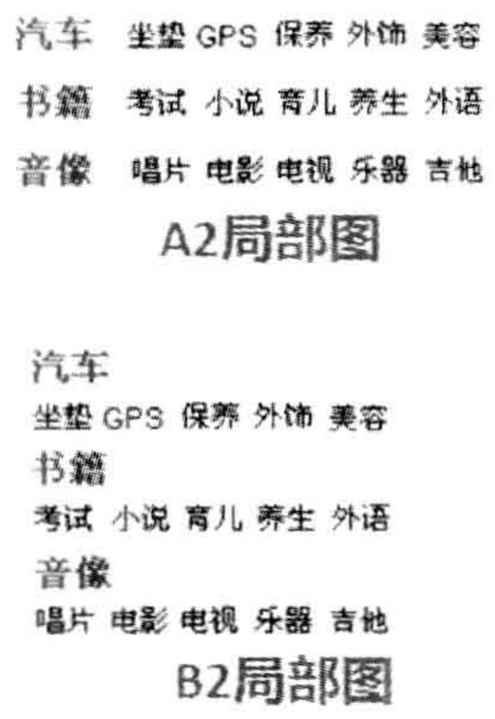


图 7-38　实验一、二材料 A1、A2、B1、B2 局部示意图

实验设备同实验一。

(3) 实验设计

实验设计同实验一，主试告知被试者目标词汇，被试者打开实验材料寻找到目标词汇并点击，完成一个任务。共 4 种材料，通过每种材料获得 15 人×3 次＝45 个数据。

(4) 实验过程

① 主试告知被试者目标词汇，被试者找到该词汇并点击。

② 重复上述过程完成 5 次目标定位任务(前两次为熟悉实验材料)。

③ 实验完毕后主试对被试者进行访谈，询问被试者认为每种因素哪个水平对被试者寻找信息更有帮助，即主观偏好，并给出原因。整个实验大约持续 20 分钟。

(5) 数据指标

需记录的数据指标包括眼动仪自动记录的客观数据和主观访谈数据两种。客观数据指标包括注视时间、鼠标点击时间等。从退出前一页面进入当前页面的时刻开始，到点击目标词汇的时刻停止，认为是任务的完成时间。实验材料中出现的词汇都有明确的含义，因此在被试者清楚主试指令之后，查找目标任务没有出现错误，不存在分析错误率的必要性。

(6) 实验结果与分析

将完成时间数据导出，用 SPSS15 统计软件进行分析。

从表 7-13 和图 7-39 可知，15 名被试者对一级、二级栏目色彩有差异的偏好率为 73.3%，对色彩无差异偏好率为 20%，另有 6.7%的人表示认为色彩有无差异对他进行视觉搜索无影响。

表 7-13　色彩差异偏好数据图

	频次	比例	有效比例
无偏好	1	6.7	6.7
无	3	20.0	20.0
有	11	73.3	73.3
Total	15	100.0	100.0

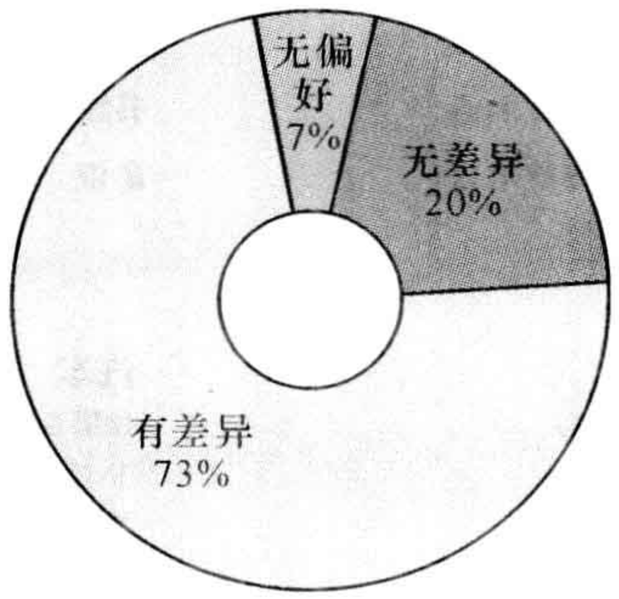


图 7-39　色彩差异偏好比例

根据 15 名被试者使用每种材料完成 45 个任务得到的操作时间数据，对色彩差异因素进行配对样本 T 检验，结果如表 7-14 所示。

表 7-14　A1-A2 水平排列方式下两种色彩呈现方式配对样本 T 检验；B1-B2 上下排列方式下两种色彩呈现方式配对样本 T 检验

Pairs	df	Sig.（2-tailed）
A1-A2	44	0.272
B1-B2	44	0.012

从表 7-13 和表 7-14 可知，水平排列方式下，一级、二级栏目色彩相同或不同差异不明显（$P=0.272, P>0.05$）；上下排列方式下，一级、二级栏目色彩无差异时视觉搜索效率显著高于色彩有差异（$P=0.012, P<0.05$）。

7.2.3　实验三：信息层级深度对视觉搜索效率的影响

（1）被试者

被试者 15 名，其中女性 10 名，男性 5 名，年龄 18～25 岁，网龄 3～6 年。所有被试者均为右手习惯者，裸眼视力或矫正视力在 1.0 以上，要求被试者不戴眼镜或者使用隐形眼镜。

（2）实验材料和仪器

实验三采用单因素实验设计，层级深度因素分为三个水平：信息结构分为两层（一级＋二级栏目）、信息结构分为三层（对一级栏目进行归纳的 0 级，含 4 个词汇＋一级＋二级栏目）、信息结构分为四层（对 0 级栏目进行归纳的 0′级，含 2 个词汇＋0 级＋一级＋二级栏目）。实验三使用 3 种实验材料，其中两层材料为实验一中的一种，两个实验共 6 种实验材料。如图 7-40 所示。

实验设备同实验一。

（3）实验设计

实验设计同实验一，主试告知被试者目标词汇，被试者打开实验材料寻找到目标词汇并点击，完成一个任务。共 3 种材料，通过每种材料获得 15 人×3 次＝45 个数据。

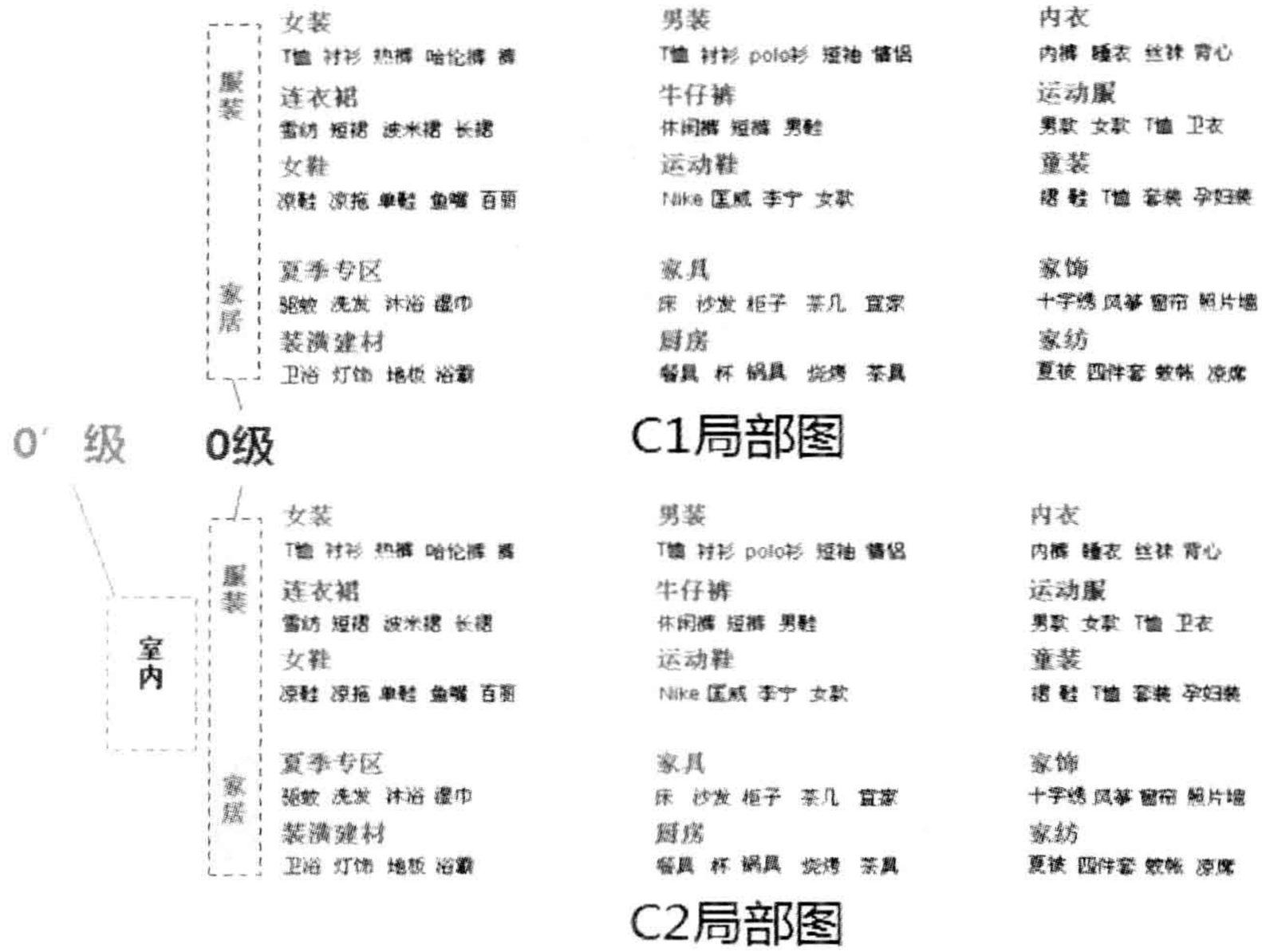


图 7-40　实验三材料 C1、C2 示意图

(4) 实验过程

① 主试告知被试者目标词汇，被试者找到该词汇并点击。

② 重复上述过程完成 5 次目标定位任务(前两次为熟悉实验材料)。

③ 实验完毕后主试对被试者进行访谈，询问被试者认为每种因素哪个水平对被试者寻找信息更有帮助，即主观偏好，并给出原因。整个实验大约持续 20 分钟。

(5) 数据指标

需记录的数据指标包括眼动仪自动记录的客观数据和主观访谈数据两种。客观数据指标包括注视时间、鼠标点击时间等。从退出前一页面进入当前页面的时刻开始，到点击目标词汇的时刻停止，认为是任务的完成时间。实验材料中出现的词汇都有明确的含义，因此在被试者清楚主试指令之后，查找目标任务没有出现错误，不存在分析错误率的必要性。

(6) 实验结果与分析

将完成时间数据导出，用 SPSS15 统计软件进行分析。

从表 7-15 和图 7-41 可知，15 名被试者对两层信息深度的偏好率为 7%，对三层信息深度的偏好率为 80%，对四层信息深度的偏好率为 13%。

表 7-15　信息深度偏好数据

	频次	比例	有效比例
2 层	1	6.7	6.7
3 层	12	80.0	80.0
4 层	2	13.3	13.3
Total	15	100.0	100.0

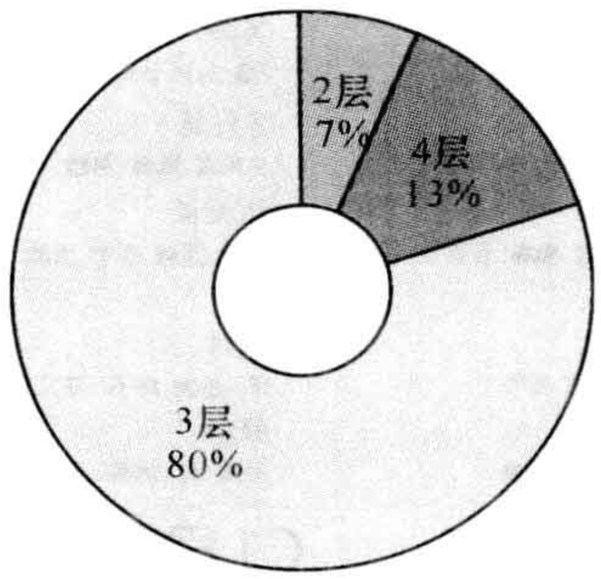


图 7-41　信息深度偏好比例

根据 15 名被试者使用每种材料完成 45 个任务得到的操作时间数据，对信息层级深度因素进行配对样本 T 检验，结果如下。

从表 7-16 和表 7-17 可知，使用三层信息深度材料视觉搜索效率显著高于两层信息深度的材料（$P=0.031$，$P<0.05$）；使用三层和四层信息深度的材料在视觉搜索效率上无显著差异（$P=0.459$，$P>0.05$）；使用四层信息深度材料视觉搜索效率显著高于两层信息深度的材料（$P=0.047$，$P<0.05$）。

表 7-16　B2-C1 两层与三层信息深度配对样本 T 检验；C1-C2 三层与四层信息深度配对样本 T 检验；B2-C2 两层与四层信息深度配对样本 T 检验

Pairs	df	Sig.（2-tailed）
B2-C1	44	0.031
C1-C2	44	0.459
B2-C2	44	0.047

表 7-17　三种材料上任务的平均视觉搜索时间

	N	最小值	最大值	平均值/s	方差
B2	45	5.515	45.397	17.719 29	10.617 532
C1	45	7.061	48.453	13.492 00	7.037 638
C2	45	6.588	36.660	14.606 00	7.072 338

7.2.4　不同排列方式对视觉搜索效率影响分析

15 名被试者对水平排列方式偏好率为 53%，对上下排列方式偏好率为 34%，还有 13% 的人表示不认为哪一种方式能提高视觉搜索效率，无偏好。部分被试者完成操作任务后给出解释，无论一级、二级栏目色彩有无差异，水平结构排列方式使得一级栏目较为集中和整齐，目光更容易扫视，进行初步定位后进一步再查看二级细节栏目；而上下排列方式，一级栏目不够突出，扫视时需跳过二级栏目，不便于定位。因此有人按序列从上到下从左到右进行查看，影响了视觉搜索效率，因此水平结构视觉搜索效率显著高于上下结构。本组实验的客观数据与主观数据趋势相吻合，能够相互印证。

7.2.5　一级、二级栏目色彩因素对视觉搜索效率影响分析

在本组实验中，主观数据与客观数据趋势并不完全相吻合。15 名被试者对一级、二级栏目色彩有差异的偏好率为 73.3%，即大多数人认为一级、二级栏目色彩有差异会有助于进行视觉搜索。对色彩无差异偏好率为 20%，这一部分人认为阅读色彩有差异的文字更累，容易疲劳，对视觉搜索无帮助。另有 6.7%的被试者认为色彩有无差异不影响他进行视觉搜索，给出的原因是习惯逐行序列式搜索而不参考一级栏目给出的标签。事实上，根据实际任务操作的完成时间，水平排列方式下，一级、二级栏目色彩因素视觉搜索效率差异不明显（$P>0.05$）；上下排列方式下，一级、二级栏目色彩无差异时视觉搜索效率显著高于色彩有差异（$P<0.05$）。这与被试者的主观偏好数据正好相反。究其原因，人主观上认为相比无色差的文字内容，自己更容易从色彩差异大的文字中搜索到目标。然而一级、二级栏目色彩有差异会分散人的注意资源，降低视觉搜索效率。

7.2.6　三种信息层级深度对视觉搜索效率影响分析

被试者对两层信息深度的偏好率为 7%，因为有的人习惯逐行序列式搜索，无所谓信息深度。多数人认为相比三层和四层，查找两层信息深度的材料较为吃力。三层信息深度的偏好率为 80%，被试者认为 0 级的四个词汇对初步定位有帮助，能够减少近 3/4 的视觉搜索工作量。四层信息深度的偏好率为 13%，有被试者认为查找这种的材料类似于二分法查找，利于视觉搜索。但也有人认为三层信息已足够，四层信息过深，会加重人的认知负荷，降低视觉搜索效率。

主观数据得到的结论与客观数据趋势相同。使用三层或四层信息深度材料视觉搜索效率都会显著高于两层信息深度的材料（$P<0.05$），三层和四层信息深度的材料在视觉搜索效率上无显著差异（$P>0.05$）。对于信息量较大的网页，两层信息深度容易造成序列式查找，效率不高；增加一级标签能够减少视觉初步定位的工作量，减少疲劳感，提高效率。理论上，增加多层总结归纳性质的词汇有助于减少用户视觉定位的次数，但实际上信息层级过深会对标签有效性要求更高，一旦标签对其内容阐释不到位，就会使得被试者迷失在层级结构里。

对于本实验中信息量较大的实验材料，三层信息深度能够达到被试者操作效率和满意度最高，为最佳方案。只有标签的深度和广度有效的平衡，才能达到最高的视觉搜索效率。

7.2.7　研究结论

对于需要从较大信息量中寻找目标词汇的网页，一级栏目（类别词汇）和二级栏目（信息条目）呈水平结构排列比上下结构排列更利于视觉搜索；一级栏目（类别词汇）和二级栏目（信息条目）色彩相同、字号大小不同更利于视觉搜索；三层信息深度最利于视觉搜索；四层信息深度过深，两层信息深度过浅，都不能使视觉搜索效率达到最高。

实验结论的实践意义在于，在设计以用户视觉搜索以提取信息的情境下网页信息架构的表现形式时（例如浏览主营网购或提供分类信息的网站），应考虑将一级信息栏目和二级信息栏目排布成水平的相对位置关系，信息层级不宜过深，根据实际情况考虑是否要将一级栏目和二级栏目拉开色差。

7.3 即时游戏中玩家流体验的研究

游戏产业是互联网产业中的一个支柱产业。目前针对游戏产业、游戏技术和游戏心理学的研究已经比较深入和成熟。不过游戏体验的研究由于处于上层，而且交叉学科多，是当前游戏研究的薄弱环节，其理论研究没有完全展开，甚至缺乏理论框架和研究手段。现在游戏内容丰富，操作复杂，玩家进行态势觉知和操作的难度越来越大，即时游戏的特点对游戏设计提出了新的要求。游戏设计的核心是游戏性的设计，主观体现为游戏体验。游戏体验的研究需要迁移认知心理学的相关知识，为研究提供理论支持和模型框架。本案例的研究工作主要是围绕着沉浸感与不注意视盲的实验、软硬操作比与态势感知的实验展开的。

7.3.1 沉浸感与不注意视盲的实验

本实验欲验证沉浸感与不注意视盲的关系，采用官方魔兽世界为素材，不做改动。实验的测量方法主要为作业绩效测量、嵌入式任务测量和主观测量。

1. 被试者

被试者选取北京某大学男生 16 名，年龄在 22～26 岁之间，视力或矫正视力正常，均未参加过类似实验，均是魔兽世界游戏玩家。其中 8 名玩家拥有满级 70 级的人物，平均每周在线时间大于 30 小时，为高端玩家；8 名玩家玩过魔兽世界，平均每周在线时间小于 20 小时，大于 8 小时，为普通玩家。

2. 实验设计

本实验是一个 2×2 的双因素混合设计。第一个因素为参与度，分为玩家操作和仅仅是观看两个水平。第二个因素为玩家水平，分为高级和普通玩家两个水平。因变量是玩家对游戏中意外刺激的感知与否。使用玩家的平均在线时间来定义玩家的娴熟程度，使用内嵌式任务来测量玩家的不注意视盲。

实验中被试者将进行(观看)魔兽世界中的一个任务，如图 7-42 所示。任务是魔兽世界的野外任务魔能机甲，要求玩家操作魔能机甲完成限时 5 分钟的摧毁工作。在任务中玩家将控制魔能机甲和玩家角色本身两个人物，魔能机甲使用技能负责对付大片的敌人，玩家角色自己则要解决零碎敌人的不断骚扰。该限时任务要求玩家兼顾两个角色，有较高的操作能力，同时也拥有不错的杀怪体验(俗称“割草”体验)，然而游戏难度却不高，因而成为本书的理想实验对象，满足游戏沉浸、注意集中、操作频繁和难度适中四个方面的要求。

由于一组实验每个被试者只进行一次，为了避免偶然性，本实验将在每次实验中嵌入两次意外刺激。没感受到刺激的为 0 分，感受到 1 次的为 0.5 分，全部感受到的为 1 分。

实验第一阶段为玩家被告知学习任务的流程和打法，并计算杀死的怪物总数(实则已经开始实验)，即观看魔能机甲的任务视频，在该视频中 3 分 07 秒和 4 分 15 秒将会有一名骑着虚空龙的敌对玩家在屏幕上方 2/3 处飞过，持续 2 秒左右。观看结束后将立即询问玩家是否看到危险信号。如果玩家感觉到了，必须描述出任意一项相关的刺激特征，包括 1 在屏幕什么位置，2 大约出现的时段(4 个选项)，3 角色的种族，如果只报告出了一次刺激那么只计 0.5 分。休息 20 分钟后，开始第二阶段，玩家将操作角色开始魔能机甲任务，并被要求计算杀死的地狱火总数，在任务中主试将安排一名敌对玩家骑着虚空龙从屏幕上方 2/3 处飞

过，持续 2 秒左右，在 2 分钟后随机出现，在 3 分钟后随机飞回。任务结束后询问玩家是否看到危险信号，玩家的角色是什么种族，大约什么时段(4 个选项)。如果玩家感觉到了，必须描述出任意一项相关的刺激特征，包括 1 在屏幕什么位置，2 大约出现的时段(3 个选项)，3 角色的种族，如果只报告出了一次刺激那么只计 0.5 分。玩家没有感受到刺激计 0 分，玩家准确报告了两次刺激计 1 分。由于玩家对敌对阵营的敏感性都非常强，而且虚空龙也是非常吸引眼球为众多玩家所向往的坐骑，因而将两者搭配作为本实验的刺激，在形式和意义上都属于强刺激。



图 7-42　魔兽世界魔能机甲任务

3. 仪器和材料

实验显示器为 17 寸纯平显示器，分辨率为 1024×768。实验鼠标为罗技 G1，键盘为戴尔 SK-8115。实验材料是魔兽世界大陆官方服务器二区 PVP 麦维影歌。使用的人物角色包括人类 70 级圣骑士一名，人类 70 级术士一名，以及对立的牛头 70 级萨满一名。擅长物理系的将使用圣骑士人物，擅长法术系的将使用术士人物，如果对该职业不熟悉，将在实验前用 20 分钟左右熟悉技能。

4. 实验流程

熟悉人物角色，告知观看的任务，观看视频，回答两个问题，并填写问卷(见附录 1)，休息 30 秒，被告知嵌入式任务，开始正式任务，回答两个问题。平均每人时间大约 20 分钟。

5. 实验结果

具体实验结果见附录 2。

(1) 沉浸感测量实验结果与分析，见表 7-18 和表 7-19。

表 7-18　普通玩家的沉浸度

	a	b	c	d	e	f	g	h	均值
观看水平	2.2	2.6	3	2.8	2.8	2.2	2.2	2.8	2.57
操作水平	3	3	3	2.8	3.4	3.4	3	3.2	3.10

表 7-19　高端玩家的沉浸度

	A	B	C	D	E	F	G	H	均值
观看水平	3.2	2.4	2.6	2.2	1.6	3	2.8	2.8	2.57
操作水平	3.6	3.6	3.4	3	2	3.8	3.2	3.6	3.27

无论是普通玩家还是高端玩家的沉浸度，在观看水平和操作水平上的均值都有显著的提升。使用 SPSS17.0 配对样本 T 检验结果如表 7-20 所示。

表 7-20　玩家不同参与水平的沉浸度配对 T 检验结果

		t	df	Sig.（双侧）
普通玩家	观看水平—操作水平	−3.594	7	0.009
高端玩家	观看水平—操作水平	−7.000	7	0.000

可以看出，普通玩家和高端玩家的配对显著差异的置信水平分别为 99.1%和 100%，因而不同参与水平的玩家沉浸度有着显著的差异。实验前提假设成立。

（2）不注意视盲实验结果与分析

在实验中，主试在两米外全程观察实验。其中对普通玩家 f 的操作水平的回答产生质疑，从而追加了一次提问，将原始评分 0.5 修正为 0，见表 7-21 和表 7-22。

表 7-21　普通玩家的不注意盲视分数（修改）

	a	b	c	d	e	f	g	h	均值
观看水平	0	0.5	0.5	0	0	0	0	0.5	0.1875
操作水平	0.5	0.5	1	0	0.5	0	0	1	0.4375

表 7-22　高端玩家的不注意盲视分数

	A	B	C	D	E	F	G	H	
观看水平	0	0.5	0.5	0	0	0.5	0.5	0	0.25
操作水平	1	0	0.5	1	0.5	0.5	0.5	1	0.625

对实验结果进行配对样本 T 检验，使用 SPSS17.0 进行统计检验，结果如表 7-23 所示。

表 7-23　普通玩家观看水平—普通玩家操作水平的配对 T 检验

	成对差分					t	df	Sig.（双侧）
	均值	标准差	均值的标准误	差分的 95%置信区间				
				下限	上限			
普通玩家观看水平—普通玩家操作水平	−0.25000	0.26726	0.09449	−0.47344	−0.02656	−2.646	7	0.033

对于普通玩家配对，$t=-2.646>T(7)0.05$，$P=0.033<0.05$ 即普通玩家的观看水平与操作水平的不注意视盲成绩有显著差异。假设在普通玩家中成立，沉浸感将有效地降低玩家的不注意视盲发生的情况。

对于高端玩家配对，$t=1.821<T(7)0.1$，$P=0.111>0.1$，即高端玩家的观看水平与操作水平的不注意视盲成绩差异不显著，置信水平为 88.9%，由于高端玩家的观看水平与操作水平的不注意视盲成绩均值差异很大，我们认为假设在高端玩家中可以在一定程度上接受：沉浸感很可能非常有效的降低高端玩家的不注意视盲发生。另外高端玩家由于对游戏非常娴熟，在实验中自信度可能使得他们严重高估了视觉信息同时注意的程度。如表 7-24 所示。

表 7-24　高端玩家观看水平—高级玩家操作水平的配对 T 检验

		t	df	Sig.（双侧）
对 1	高端玩家观看水平—高端玩家操作水平	−1.821	7	0.111

值得注意的是，对于所有玩家的无差别配对样本检验，$P=0.013<0.05$，即对于所有玩家来说，沉浸度对不注意视盲成绩影响显著。考虑到玩家在操作时的注意资源更为紧张，从而影响了玩家对外源性刺激的转向，我们有理由相信，沉浸度对不注意视盲成绩影响可能非常显著，如表 7-25 所示。

表 7-25　所有玩家观看水平—操作水平的配对 T 检验

		t	df	Sig.（双侧）
对 1	所有样本观看水平—所有样本操作水平	−2.825	15	0.013

6. 实验分析

（1）实验结论

本章使用魔兽世界的一个有趣任务魔能机甲为素材设计的实验，目的是证明沉浸感对玩家不注意视盲的影响。

实验证明了不同参与水平情况下玩家沉浸感有显著差异，以及沉浸度不同时，不注意视盲发生频率存在显著差异。在这一点上，普通玩家和高端玩家有一点差异，高端玩家的观看水平与操作水平的不注意视盲成绩差异不是很显著，这主要是由于高端玩家过于自信地高估了视觉信息同时注意的程度。

（2）实验不足

本实验欠缺的地方主要包括以下两点。

① 实验本意是测量不同沉浸感水平下，玩家不注意视盲发生的概率，但本实验没能直接改变沉浸感水平而是使用了不同的参与水平来控制玩家的沉浸度，从而导致一些干扰因素的产生。

② 被试者的样本量不够大。不注意视盲是个随机性比较大的事件，样本量较小可能导致数据不够准确。

7.3.2 软硬操作比与态势感知的实验

本实验欲验证软硬操作比与态势感知的关系。用魔兽争霸 3 的对抗性地图 Defense of the Ancients 为素材，重新设计操作方式以对比原方案。实验的测量方法主要为作业绩效测量和主观测量。

1. 被试者

被试者选取北京邮电大学男生一共 16 名，年龄在 22～26 岁之间，视力或矫正视力正常，均未参加过类似实验，均是 Dota 游戏玩家。其中 8 名玩家有固定的战队，平均每周 Dota 时间大于 30 小时，为高端玩家；8 名玩家玩过 Dota，平均每周 Dota 时间小于 20 小时，大于 8 小时，为普通玩家。

2. 实验设计

本实验是一个 2×2 的双因素混合设计。第一个因素为软操作和硬操作之比，分为高和低两个水平。第二个因素为玩家水平，分为高端玩家和普通玩家两个水平。因变量有四个分别是玩家的态势感知水平、玩家的游戏愉悦性体验、玩家的技能操作速度和操作准确率。结合第二章的游戏愉悦度体验指标设计问卷调查被试者的愉悦性体验，同时设计客观问题调查被试者的态势感知状态，主试根据录像和被试者的回答来客观的评定被试者的态势感知水平。被试者的技能总操作时间除以被试者的技能操作总数即为技能操作速度，被试者的技能操作失误数除以技能操作总数即为操作准确率。

本实验选择的对象是 Dota 游戏中的秀逗魔导士，如图 7-43 所示，一技能的原释放过程是移动鼠标点击图标(快捷键)〉鼠标移动寻找释放点〉鼠标点击释放技能〉，现将设计改成移动鼠标调整角度〉释放技能；二技能的原理释放过程是移动鼠标点击图标(快捷键)〉鼠标移动寻找释放点〉鼠标点击释放技能〉，现将设计改成移动鼠标点击图标(快捷键)〉鼠标移动寻找释放点〉鼠标点击释放技能〉(镜头轻微转移)鼠标点击完成技能。在 dota6.66AI 地图的基础上进行修改。图 7-44 和图 7-45 所示为技能原设计与对比设计的不同交互方式，见附录 3。



图 7-43 Dota 游戏界面

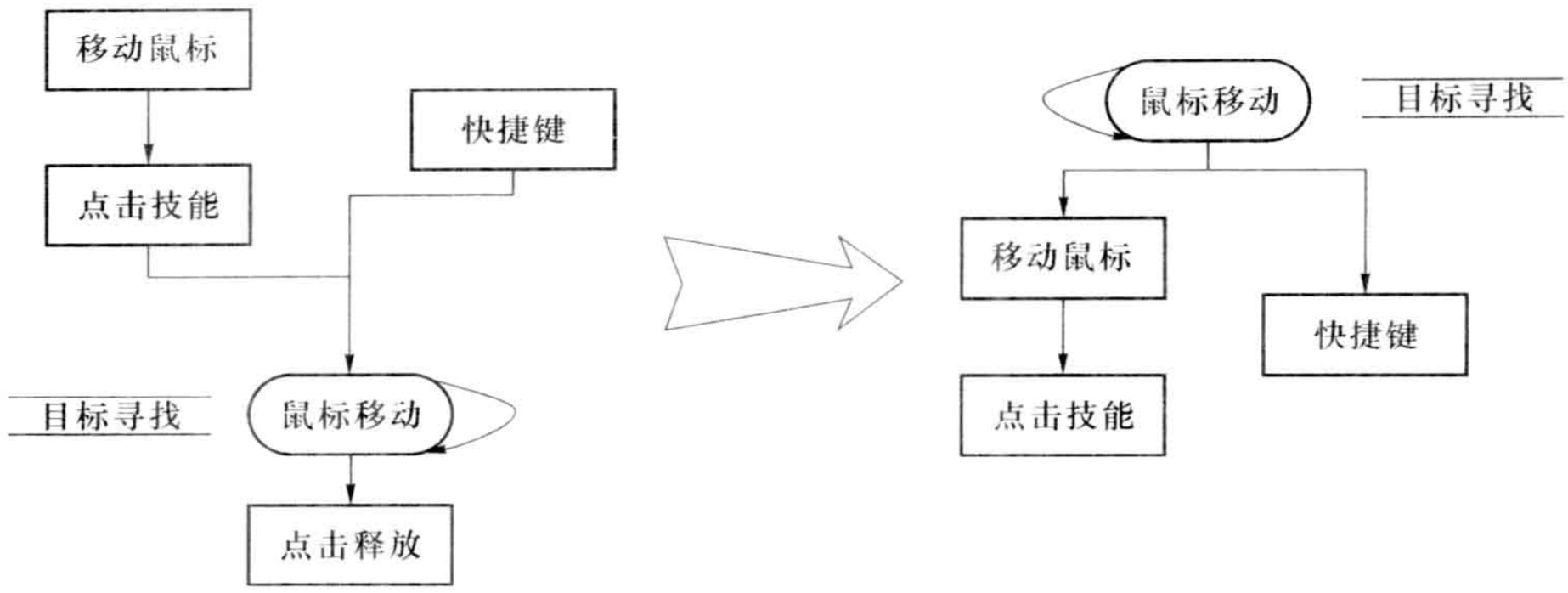


图 7-44　技能原设计与对比设计的不同交互方式

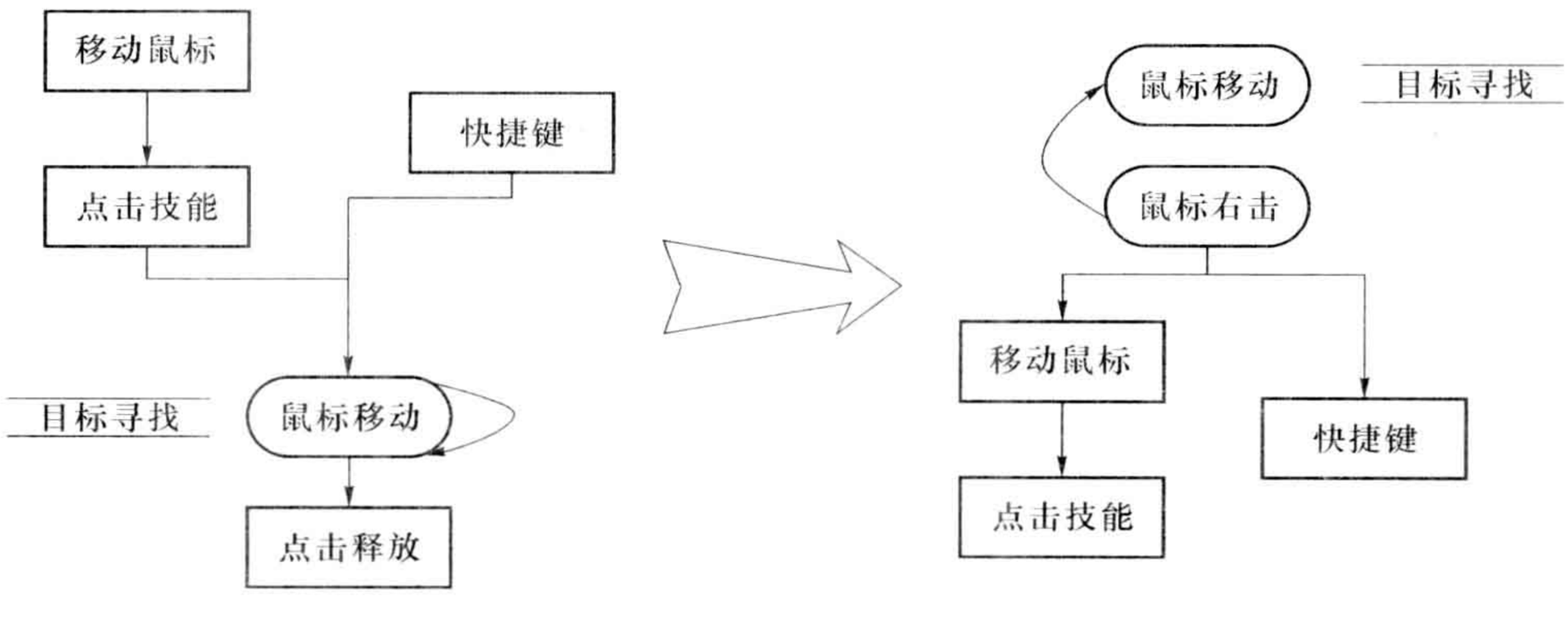


图 7-45　技能原设计与对比设计的不同交互方式

实验中被试者将选择秀逗魔导士这个英雄完成游戏，与普通的 Dota 游戏不同的是，玩家的对手是 AI，队友也是 AI，只需要完成 25 分钟的游戏时间即可。AI 由于拥有稳定的水平和相对固定的战术，因而符合实验稳定性的需求。对被试者玩家的唯一要求是尽量多杀人，此外玩家将自由发挥。

实验第一阶段为玩家被告知任务：使用秀逗魔导士进行 25 分钟的游戏，并在游戏时间内拿到尽可能多的 kill。实验第二阶段为玩家开始 25 分钟的游戏，主试将在一边观察，填写待完成的问卷。实验第三阶段为玩家游戏结束后立即填写问卷，见附录 4。

问卷的前半部分用于测量玩家的游戏愉悦性体验，后半部分用于测量玩家的态势感知水平，都为 5 分制。

3. 仪器和材料

实验显示器为 17 寸纯平显示器，分辨率为 1024×768。实验鼠标为罗技 G1，键盘为戴尔 SK－8115。实验材料是《魔兽争霸 3——冰封王座》、地图 dotaallstarsAIseeking 修正版 6.66以及 dotaallstars6.66AI。实验所用的记录软件为魔兽争霸的专用鼠标键盘记录软件 Warcraft RepKing。

4. 实验流程

熟悉英雄技能，告知游戏任务，随机使用地图一进行游戏，填写问卷。休息 25 分钟，使

用另外一张地图进行游戏，填写问卷。平均每个被试者时间大约 1 小时。

5. 实验结果

在实验中，主试在两米外全程观察实验。其中对高端玩家 E 的态势感知的原设计回答产生质疑，从而追加了两次提问，将原始评分 5 修正为 4。表 7-26 所示为原设计与改进设计的软硬操作对比。

表 7-26　软硬操作比

	a	b	c	d	e	f	g	h
原设计	6.11	4.82	5.37	5.68	5.07	4.99	6.06	4.74
改进设计	4.14	3.39	3.88	3.90	4.01	3.64	4.25	3.40
	A	B	C	D	E	F	G	H
原设计	4.39	4.43	6.02	4.22	4.83	4.96	4.53	5.36
改进设计	3.77	4.52	4.06	3.66	3.76	4.88	3.85	2.87

表 7-27 所示为普通玩家的原设计与改进设计的态势感知水平对比。

表 7-27　普通玩家的态势感知水平

	a	b	c	d	e	f	g	h	均值
原设计	3	1	4	2	3	2	1	3	2.375
改进设计	3	2	3	3	3	3	3	3	2.875

表 7-28 所示为高端玩家的原设计与改进设计的态势感知水平对比。

表 7-28　高端玩家的态势感知水平(修正)

	A	B	C	D	E	F	G	H	均值
原设计	4	3	3	2	4	2	3	3	3
改进设计	5	3	4	3	4	3	5	4	3.875

表 7-29 所示为普通玩家的原设计与改进设计的成就体验维对比。

表 7-29　普通玩家的成就体验维

	a	b	c	d	e	f	g	h	均值
原设计	2	4	3	2	1	3	2	3	2.5
改进设计	3	4	4	4	1	2	3	4	3.125

表 7-30 所示为高端玩家的原设计与改进设计的成就体验维对比。

表 7-30　高端玩家的成就体验维

	A	B	C	D	E	F	G	H	均值
原设计	4	3	2	1	4	4	2	2	2.75
改进设计	5	4	4	2	4	5	3	3	3.75

表 7-31 所示为普通玩家的原设计与改进设计的轻松体验维对比。

表 7-31　普通玩家的轻松体验维

	a	b	c	d	e	f	g	h
原设计	4	1	2	3	3	3	2	1
改进设计	3	2	2	3	2	2	2	1

表 7-32 所示为高端玩家的原设计与改进设计的轻松体验维对比。

表 7-32　高端玩家的轻松体验维

	A	B	C	D	E	F	G	H
原设计	3	2	5	3	1	2	3	4
改进设计	3	2	3	3	1	3	3	3

表 7-33 所示为普通玩家的原设计与改进设计的幽默体验维对比。

表 7-33　普通玩家的幽默体验维

	a	b	c	d	e	f	g	h
原设计	2	5	2	4	3	3	3	3
改进设计	2	4	3	4	3	3	3	3

表 7-34 所示为高端玩家的原设计与改进设计的幽默体验维对比。

表 7-34　高端玩家的幽默体验维

	A	B	C	D	E	F	G	H
原设计	3	3	2	4	2	3	3	3
改进设计	4	3	3	3	2	3	3	3

表 7-35 所示为普通玩家的原设计与改进设计的惊喜体验维对比。

表 7-35　普通玩家的惊喜体验维

	a	b	c	d	e	f	g	h
原设计	3	2	3	2	3	2	2	3
改进设计	3	3	4	3	4	3	3	3

表 7-36 所示为高端玩家的原设计与改进设计的惊喜体验维对比。

表 7-36　高端玩家的惊喜体验维

	A	B	C	D	E	F	G	H
原设计	2	3	1	3	2	2	2	3
改进设计	2	4	3	3	2	2	2	3

表 7-37 所示为普通玩家的原设计与改进设计的自我表达体验维对比。

表 7-37　普通玩家的自我表达体验维

	a	b	c	d	e	f	g	h
原设计	2	3	3	2	3	2	2	3
改进设计	3	3	3	2	3	3	2	3

表 7-38 所示为高端玩家的原设计与改进设计的自我表达体验维对比。

表 7-38　高端玩家的自我表达体验维

	A	B	C	D	E	F	G	H
原设计	3	3	2	3	4	2	3	2
改进设计	3	3	3	3	4	3	3	3

表 7-39 所示为普通玩家的原设计与改进设计的权力体验维对比。

表 7-39　普通玩家的权力体验维

	a	b	c	d	e	f	g	h
原设计	3	2	3	3	4	3	3	3
改进设计	3	2	4	2	4	3	3	3

表 7-40 所示为高端玩家的原设计与改进设计的权力体验维对比。

表 7-40　高端玩家的权力体验维

	A	B	C	D	E	F	G	H
原设计	3	3	2	2	3	2	3	2
改进设计	4	3	3	3	3	2	3	2

表 7-41 所示为普通玩家的原设计与改进设计的愉悦度对比。

表 7-41　普通玩家的愉悦度

	a	b	c	d	e	f	g	h	均值
原设计	2.33	2.83	2.67	2.67	2.83	2.33	2.33	2.67	2.582 5
改进设计	2.83	3	3.33	3	2.83	2.5	2.67	2.83	2.873 8

表 7-42 所示为高端玩家的原设计与改进设计的愉悦度对比。

表 7-42　高端玩家的愉悦度

	A	B	C	D	E	F	G	H	均值
原设计	3	2.83	2.33	2.67	2.67	2.5	2.67	2.67	2.667 5
改进设计	3.5	3.17	3.17	2.83	2.67	3	2.83	2.83	3

表 7-43 所示为普通玩家的原设计与改进设计的操作速度对比。

表 7-43　普通玩家的操作速度

	a	b	c	d	e	f	g	h	均值
原设计	1.34	1.55	1.73	1.44	1.22	1.62	1.38	1.32	1.45
改进设计	1.42	1.60	1.68	1.37	1.16	1.71	1.40	1.57	1.488 8

表 7-44 所示为高端玩家的原设计与改进设计的操作速度对比。

表 7-44　高端玩家的操作速度

	a	b	c	d	e	f	g	h	均值
原设计	1.66	1.21	1.39	1.32	1.48	1.72	1.05	1.20	1.45
改进设计	1.52	1.28	1.43	1.37	1.36	1.61	1.11	1.18	1.488

表 7-45 所示为普通玩家的原设计与改进设计的失误率对比。

表 7-45　普通玩家的失误率(修正)

	a	b	c	d	e	f	g	h	均值
原设计	12.3	20.7	9.6	14.4	26.0	18.5	24.1	11.9	17.187 5
改进设计	15.8	19.2	12.3	18.0	22.5	19.1	30.3	17.7	19.362 5

表 7-46 所示为高端玩家的原设计与改进设计的失误率对比。

表 7-46　高端玩家的失误率(修正)

	a	b	c	d	e	f	g	h	均值
原设计	15.6	5.3	22.6	17.2	8.4	14.9	12.7	20.0	14.587 5
改进设计	17.9	7.2	19.3	13.5	14.6	18.1	6.6	21.7	14.862 5

6. 结果分析

对实验结果进行配对样本 T 检验，使用 SPSS17.0 进行统计检验，其中软硬操作比如表 7-47 所示。

表 7-47　普通玩家原设计—改进设计的软硬操作比配对 T 检验

	成对差分					t	df	Sig.(双侧)
	均值	标准差	均值的标准误	差分的 95%置信区间				
				下限	上限			
原设计—改进设计	1.528 75	0.301 30	0.106 53	1.276 85	1.780 65	14.351	7	0.000

对于普通玩家配对，$t=-14.351>T(7)0.001$，$P=0.000<0.001$，即普通玩家在改进前和改进后的软硬操作比有非常显著的差异，置信度为 100%。实验前提条件假设成立。其中软硬操作比如表 7-48 所示。

表 7-48　高端玩家原设计—改进设计的软硬操作比配对 T 检验

	成对差分					t	df	Sig.（双侧）
	均值	标准差	均值的标准误	差分的 95%置信区间				
				下限	上限			
高端玩家原设计—改进设计	0.921 25	0.892 18	0.315 43	0.175 37	1.667 13	2.921	7	0.022

对于高端玩家配对，$t=2.921>T(7)0.05$，$P=0.022<0.05$，即高端玩家在改进前和改进后的软硬操作比有显著的差异，置信度为 97.8%。实验前提条件假设成立。

对于其他组数据的分析，摘选如下。

(1) 态势感知水平结果分析

对于普通玩家配对，$t=1.528<T(7)0.1$，$P=0.170>0.1$，即普通玩家在改进前和改进后的态势感知水平有显著性差异的可信度仅为 83%。考虑到普通玩家的态势感知水平均值差异也不是很大，本书认为不同软硬操作比的设计对普通玩家的态势感知水平有影响，可能能够提高玩家的态势感知水平，但不是很显著。如表 7-49 所示。这可能和普通玩家对技能的娴熟程度有关。

表 7-49　普通玩家原设计—改进设计的态势感知水平的配对 T 检验

	t	df	Sig.（双侧）
普通玩家原设计态势感知水平—改进设计的态势感知水平	−1.528	7	0.170

对于高端玩家配对，$t=3.092>T(7)0.01$，$P=0.006<0.01$，即高端玩家的态势感知水平在改进前和改进后有非常显著的差异，置信度为 60%，这一点在事后的交谈中也得出，高端玩家普遍对改进设计充满了兴趣，如表 7-50 所示。本书认为软硬操作比的设计对高端玩家的态势感知水平有非常显著的影响，能够显著地提高玩家的态势感知水平。值得注意的是，这一点和普通玩家形成了很大的方差，这是事先没有预料到的。本书认为，这可能是由于软操作对于玩家娴熟程度和经验积累程度的需求非常大所引起的。也就是说对于普通玩家来说，应在不提高软操作的前提下，但提高软硬操作比，对于高端玩家可以没有这个顾忌。结合第 6 章的模型，可以得出软硬操作比提升有利地活跃了玩家在态势感知过程中的第二阶段，因而只要玩家能够接受软操作量，便能在一定水平上提高态势感知水平。

表 7-50　高端玩家原设计—改进设计的态势感知水平的配对 T 检验

	t	df	Sig.（双侧）
高端玩家原设计态势感知水平—改进设计的态势感知水平	−3.062	7	0.006

(2) 成就体验维结果分析

对于普通玩家配对，$t=1.930>T(7)0.1$，$P=0.095<0.1$，即普通玩家的成就体验感在改进前和改进后有显著的差异，置信度为 90.5%，因而本书认为软硬操作比能够提升玩家的成就体验感，如表 7-51 所示。

表 7-51　普通玩家原设计—改进设计的成就体验维结果的配对 T 检验

	t	df	Sig.（双侧）
普通玩家原设计成就体验维—改进设计的成就体验维	−1.930	7	0.095

对于高端玩家配对，$t=5.292>T(7)0.001$，$P=0.001=0.001$，即高端玩家的成就体验感在改进前和改进后有显著的差异，置信度为 99.9%，同时考虑到配对样本均值间的大差异，本书认为软硬操作比能够非常显著地提升高端玩家的成就体验感，如表 7-52 所示。结合第 6 章的模型，可以得出软硬操作比提升有利的活跃了玩家在态势感知过程中的工作记忆或长期记忆，因而只要玩家能够接受软操作量，便能显著地提高游戏中的成就感。

表 7-52　高端玩家原设计—改进设计的成就体验维结果的配对 T 检验

	t	df	Sig.（双侧）
高端玩家原设计成就体验维—改进设计的成就体验维	−5.292	7	0.001

（3）愉悦度结果分析

对于愉悦度其他维的统计结果不显著，因而没有特别意义，在此省略。

表 7-53　普通玩家原设计—改进设计的愉悦度结果的配对 T 检验

	t	df	Sig.（双侧）
普通玩家原设计愉悦度—改进设计的愉悦度	−3.884	7	0.006

对于普通玩家配对，$t=3.884>T(7)0.1$，$P=0.06<0.1$，即普通玩家的愉悦度在改进前和改进后有非常显著的差异，置信度为 99.4%，考虑到配对样本的均值差异不大，本书认为软硬操作比能够在一定水平上提升普通玩家的愉悦度。这可能是和普通玩家对新操作方式的接受程度不高有关。

对于高端玩家配对，$t=3.472>T(7)0.01$，$P=0.01=0.1$，即普通玩家的愉悦度在改进前和改进后有非常显著的差异，置信度为 99.0%，考虑到配对样本的均值差异不大，本书认为软硬操作比能够在一定水平上提升高端玩家的愉悦度，如表 7-54 所示。这主要是因为在愉悦度的放松体验维上，高端玩家做的评价是原设计比改进设计更为放松，由于本书对放松体验的定义是，越放松则玩家的体验越好，在愉悦度中的加权值默认为 1。然而在实际游戏中，尤其是对于高端玩家在流体验中，放松带来的愉悦度影响并不是很大，换而言之愉悦度中放松维的加权值应该是动态的，至少不是 1。出于篇幅和技术限制，本书不讨论愉悦度中放松维的加权值确定，而默认为 1。

表 7-54　高端玩家原设计—改进设计的愉悦度结果的配对 T 检验

	t	df	Sig.（双侧）
高端玩家原设计愉悦度—改进设计的愉悦度	−3.472	7	0.010

（4）可用性结果分析

玩家的操作速度在均值上变化很小，没有表现出明显差异，使用 T 检验也没有表现出显

著差异，如表 7-55 所示。

表 7-55　玩家操作速度配对 T 检验统计结果

		T	Df	Sig
普通玩家	原设计操作速度—改进后操作速度	0.675	7	0.521
高端玩家	原设计操作速度—改进后操作速度	−1.032	7	0.336

普通玩家的失误率在改进后从 17.18%提高到了 19.36%，使用配对 T 检验结果如表 7-56所示。

表 7-56　普通玩家失误率配对 T 检验统计结果

	t	df	Sig.（双侧）
原设计失误率—改进后失误率	−1.802	7	0.115

$t=1.802<T(7)0.1$，$P=0.115>0.1$，即两组数有显著差异的置信度为 88.5%，虽然低于 90%，不过考虑到两对数的均值差异较大，本书认为改进后的设计使得普通玩家失误率增加了，其中主要原因是玩家对新技能掌握不够娴熟。改进后的设计没有给高端玩家带来显著变化，这一方面是由于高端玩家由于更快的适应速度，另一方面是改进设计拥有更合理的操作和思考方式。

7. 实验分析

（1）实验结论

本章使用魔兽争霸 3 的最著名 mod 地图《Defense of the Ancients》为素材设计的实验，目的是证明软硬操作比对玩家态势感知水平和游戏体验的影响，其中考虑到不同水平的玩家对软硬操作比的适应水平和偏爱程度可能有所不同，因而样本选择时选择了普通玩家和高端玩家各半。此外，为了排除及考察对比设计的负面影响，实验问卷加入了玩家操作的可用性测量，包括操作速度和操作准确率两个方面。

实验证明了在高端玩家中软硬操作比对态势感知水平的显著影响，然而在普通玩家中，这一影响并不显著，其原因可能在于软操作对玩家的娴熟程度和经验积累程度的需求非常大，而普通玩家难以满足高比率的软硬操作比所引起的。那么我们可以得出结论：提高软硬操作比能够有效地提高高端玩家（娴熟玩家）的态势感知水平，而对于普通玩家的效果则很有限。这同时也证明了模型中的假设：游戏中输入对玩家态势感知的影响。

实验还证明了软硬操作比对玩家游戏体验的显著影响，其中主要是针对成就维的提升，那么我们可以得出结论：提高软硬操作比能够有效地提高所有玩家的游戏体验，其中主要是成就感。

实验中对新操作有效性和效率测试的数据证明，除了普通玩家的准确率之外，改进的设计并没有显著地影响玩家操作时的有效性和准确性。也就是说软硬操作比未必会对玩家操作的准确率和效率产生负面影响，需要注意的仅仅是普通玩家的操作准确率。

（2）实验不足

本实验在以下几个方面有所欠缺。

① 使用的实验素材本身在操作上存在一定的缺陷。Dota 的交互模式本身并不完善，那么实验结果可能因此出现偏差。

② 被试者的样本量不够大。

③ 实验本意是想证明软硬操作比对态势感知过程中感知和识别过程的影响，但最终只证明了软硬操作比对态势感知最终结果的影响。

④ 实验对玩家体验的测量不够精细，关键维度测量有些粗糙。

附　录

附录一　实验一沉浸感问卷

你认为刚才过了多长时间：_____分_____秒。

1. 你杀死的怪物总数是_____。

2. 本次游戏中你的注意力_____。

a. 一直非常集中　　b. 很集中　　c. 集中　　d. 偶尔集中

e. 完全分散

3. 你在游戏中对于毕业设计、找工作，或生活中其他烦恼_____。

a. 完全抛之脑后　　b. 暂时忘掉了　　c. 有点阴影　　d. 没有忘记

e. 仍然苦恼，完全惦着

4. 本次游戏你感觉_____。

a. 非常有趣　　b. 挺有趣的　　c. 一般　　d. 不怎么有趣

e. 完全无趣

5. 本次游戏过程中你的自我意识_____。

a. 完全消失了　　b. 基本消失了　　c. 不强烈　　d. 被弱化了，不过有

e. 没变化

6. 现在你的自我意识_____。

a. 非常强烈　　b. 被强化了　　c. 没什么变化　　d. 弱化了

e. 非常弱

附录二　实验一原始数据

表 7-57　普通玩家的注意力

	a	b	c	d	e	f	g	h
观看水平	2	3	5	4	4	1	2	3
操作水平	3	3	4	4	3	3	3	4

表 7-58　高端玩家的注意力

	A	B	C	D	E	F	G	H
观看水平	1	2	3	4	3	4	3	3
操作水平	3	3	4	3	4	5	3	4

表 7-59　普通玩家对生活中挫折和失败的遗忘水平

	a	b	c	d	e	f	g	h
原设计	2	1	3	4	3	4	1	2
改进设计	2	2	2	3	3	4	2	3

表 7-60　高端玩家对生活中挫折和失败的遗忘水平

	A	B	C	D	E	F	G	H
原设计	4	3	3	2	1	3	4	2
改进设计	4	4	4	3	2	3	3	3

表 7-61　普通玩家的乐趣

	a	b	c	d	e	f	g	h
原设计	3	4	2	1	2	1	4	3
改进设计	4	4	3	2	3	3	4	3

表 7-62　高端玩家的乐趣

	A	B	C	D	E	F	G	H
原设计	4	3	2	1	1	2	3	3
改进设计	4	4	3	3	2	3	4	3

表 7-63　普通玩家的自我意识前后对比

	a	b	c	d	e	f	g	h
原设计	2	2	4	3	2	3	2	3
改进设计	3	3	3	4	4	3	3	3

表 7-64　高端玩家的自我意识前后对比

	A	B	C	D	E	F	G	H
原设计	4	3	1	2	1	2	2	3
改进设计	4	4	2	3	2	3	3	4

表 7-65　普通玩家的时间扭曲度

	a	b	c	d	e	f	g	h
原设计	2	3	1	2	3	2	2	3
改进设计	3	2	3	1	4	3	3	3

表 7-66　高端玩家的时间扭曲度

	A	B	C	D	E	F	G	H
原设计	3	1	4	2	2	4	2	3
改进设计	3	3	4	3	4	5	3	4

附录三　实验二技能脚本原代码和改进设计

秀逗魔导士的龙破斩

```
function InitTrig_Orb_casting takes nothing returns nothing
    set gg_trg_Orb_casting = CreateTrigger(  )
                call TriggerRegisterAnyUnitEventBJ( gg_trg_Orb_casting, EVENT_PLAYER_UNIT_SPELL_EFFECT )
                call TriggerAddCondition( gg_trg_Orb_casting, Condition( function Trig_Orb_casting_Conditions ) )
    call TriggerAddAction( gg_trg_Orb_casting, function Trig_Orb_casting_Actions )
endfunction
```

改后龙破斩

```
function Trig_Orb_casting_Actions takes nothing returns nothing
    call DisableTrigger( GetTriggeringTrigger() )
            call CreateNUnitsAtLoc( 1, 'e007', GetOwningPlayer(GetTriggerUnit()), PolarProjectionBJ(GetUnitLoc(GetTriggerUnit()), 50.00, AngleBetweenPoints(GetUnitLoc(GetTriggerUnit()), GetSpellTargetLoc())), bj_UNIT_FACING )
            call IssuePointOrderLocBJ( GetLastCreatedUnit(), "move", PolarProjectionBJ(GetUnitLoc(GetTriggerUnit()), 1500.00, AngleBetweenPoints(GetUnitLoc(GetTriggerUnit()), GetSpellTargetLoc())) )
    call UnitApplyTimedLifeBJ( 4.00, 'BHwe', GetLastCreatedUnit() )
    set udg_Orb_Effect = GetLastCreatedUnit()
    call CreateNUnitsAtLoc( 1, 'e007', GetOwningPlayer(GetTriggerUnit()), GetSpellTargetLoc(), bj_UNIT_FACING )
    call ShowUnitHide( GetLastCreatedUnit() )
    set udg_Orb_Die = GetLastCreatedUnit()
    call EnableTrigger( gg_trg_Orb_effect )
    call EnableTrigger( gg_trg_Distance_judgment )
endfunction
```

秀逗魔导士的光击阵

```
Orb effect:(初始关闭)
function Trig_Orb_effect_Actions takes nothing returns nothing
    set bj_forLoopBIndex = 1
```

```
        set bj_forLoopBIndexEnd = 18
        loop
            exitwhen bj_forLoopBIndex > bj_forLoopBIndexEnd
                call CreateNUnitsAtLoc( 1, 'e004', GetOwningPlayer(udg_Orb_
Effect), GetUnitLoc(udg_Orb_Effect), ( I2R(GetForLoopIndexB()) * 20.00 ) )
            call UnitApplyTimedLifeBJ( 1.00, 'BHwe', GetLastCreatedUnit() )
                call IssuePointOrderLocBJ( GetLastCreatedUnit(), "carrionswarm",
PolarProjectionBJ(GetUnitLoc(GetLastCreatedUnit()), 100.00, ( GetUnitFacing(GetLa-
stCreatedUnit()) + ( I2R(GetForLoopIndexA()) * 10.00 ) )) )
            call ShowUnitHide( GetLastCreatedUnit() )
            set bj_forLoopBIndex = bj_forLoopBIndex + 1
        endloop
    endfunction
    修改后光击阵
    function Trig_Orb_finish_Actions takes nothing returns nothing
        call DisableTrigger( gg_trg_Orb_effect )
        call DisableTrigger( gg_trg_Distance_judgment )
        set bj_forLoopAIndex = 1
        set bj_forLoopAIndexEnd = 2
        loop
            exitwhen bj_forLoopAIndex > bj_forLoopAIndexEnd
            set bj_forLoopBIndex = 1
            et bj_forLoopBIndexEnd = 18
            loop
                exitwhen bj_forLoopBIndex > bj_forLoopBIndexEnd
                    call CreateNUnitsAtLoc( 1, 'e004', GetOwningPlayer(udg_
Orb_Effect), GetUnitLoc(udg_Orb_Effect), ( I2R(GetForLoopIndexB()) * 20.00 ) )
                call UnitApplyTimedLifeBJ( 1.00, 'BHwe', GetLastCreatedUnit() )
                    call IssuePointOrderLocBJ( GetLastCreatedUnit(), "carrion-
swarm", PolarProjectionBJ(GetUnitLoc(GetLastCreatedUnit()), 100.00, ( GetUnitFac-
ing(GetLastCreatedUnit()) + ( I2R(GetForLoopIndexA()) * 10.00 ) )) )
                call ShowUnitHide( GetLastCreatedUnit() )
                set bj_forLoopBIndex = bj_forLoopBIndex + 1
            endloop
            call TriggerSleepAction( 0.50 )
            set bj_forLoopAIndex = bj_forLoopAIndex + 1
        endloop
        call EnableTrigger( gg_trg_Orb_casting )
    endfunction
```

附录四　实验二问卷

1. 本次游戏中你感觉很有成就感吗？

a. 非常强的成就感，多次极限操作（或完成了非常难的任务）

b. 不错的成就感，成功地玩转了这个英雄（或完成了很多任务）

c. 有成就感

d. 只有一点成就感，没有实现很多目标

e. 完全没有成就感，什么都没干成

2. 本次游戏过程你觉得轻松吗？_____

a. 非常轻松，爽快，精神抖擞　　b. 挺轻松的，从容面对

c. 还算轻松，累但充实　　d. 勉强轻松，玩得累

e. 完全不轻松，操作，意识，想法都跟不上

3. 本次游戏你觉得有幽默感吗？_____

a. 非常有趣，常常笑出声来　　b. 挺有趣的，游戏时面带微笑

c. 有趣，会出现些有趣的场面　　d. 不怎么有趣，比较乏味，亮点较少

e. 完全无趣，这个游戏需要活泼点

4. 本次游戏你觉得有惊喜感吗？_____

a. 非常惊喜，有许多期望之外的东西　　b. 挺惊喜的，让人眼前一亮

c. 有惊喜感　　d. 没有惊喜感，很多乏味的东西

e. 非常乏味，就像个劣质的山寨

5. 本次游戏你觉得自我表达了吗？_____

a. 非常畅快的表达，完全地发挥了自己　　b. 不错地自我表达

c. 能够自我表达　　d. 不能自我表达

e. 完全不能自我表达

6. 本次游戏你觉得有权力感吗？_____

a. 非常高的权力感、各种掌控的感觉

b. 不错的权力感，随时能有控制感（调配感、操作感等）

c. 有权利感

d. 很弱的权力感，不能随心

e. 没有权力感，没自己什么事

7. 本次游戏你觉得焦虑吗？_____

a. 高度焦虑，一直集中所有精神　　b. 很焦虑，经常得集中注意

c. 焦虑　　d. 不怎么焦虑，偶尔需要集中精神

e. 一点也不焦虑，感觉游戏时甚至可以嗑瓜子

8. 在××时刻（时间根据每次游戏的不同而不同，为第一次被 gank 时），你觉得对面的英雄 A 在哪里？_____

a. 上路　　b. 中路　　c. 前来 gank　　d. 家里

9. 在××时刻(时间根据每次游戏的不同而不同,为第一次到6级时),你觉得你的魔法够一次杀死对面的英雄吗?_____ a. 能 b. 不能

10. 在××时刻,(时间根据每次游戏的不同而不同,为团战前夕)盟友的技能CD好了吗?_____

a. CD完成 b. CD中

11. 在××次团战,对面输出最高(或者控制时间最长)的是哪个英雄?_____

a. ×× b. ×× c. ×× d. ××

12. 在××次团战,对面××英雄站在哪里?_____

a. 后面 b. 中间 c. 左边缘 d. 右边缘

参 考 文 献

[1] 袁修干,庄达民,张兴娟. 人机工程计算机仿真. 北京:北京航空航天大学出版社,2005

[2] 廖建桥. 教育部高等学校管理科学与工程类学科教学指导委员会组. 人因工程. 北京:高等教育出版社,2006.4

[3] 马江彬. 人机工程学及其应用. 机械工业出版社,1993.12

[4] 丁玉兰. 人机工程学(第三版). 北京:北京理工大学出版社,2005

[5] 任立生. 设计心理学. 北京:化学工业出版社,2005

[6] 童时中. 人机工程设计与应用手册. 北京:中国标准出版社,2007

[7] 蔡启明,余臻,庄长远. 人因工程. 北京:科学出版社,2005

[8] 袁修干,庄达民. 人机工程. 北京:北京航空航天大学出版社,2002

[9] (美)罗伯特·L. 索尔所. M. 金伯利麦克林. 奥托·H. 麦克林. 认知心理学. 邵志芳,等,译. 上海:上海人民出版社,2008

[10] 庄达民,王睿. 基于认知特性的目标辨认研究[J]. 北京航空航天大学学报,2003,29(11)

[11] 庄达民,王睿,曾庆新,等. 人—人界面的研究与应用. 中国科技论文在线

[12] 田志强. 空间认知研究及其在航空航天领域中的应用. 航天医学与医学工程,1998,11(6)

[13] 游旭群,苗丹民. 空间认知技能在选拔军事飞行员中的重要作用. 心理科学,1991,(4)

[14] 秦宇,张晶,张洁,等. 基于空间认知的北京定位导航系统的设计与实现. 首都师范大学学报(自然科学版),2008,29(2)

[15] 李新成. 现代认知心理学关于理解过程的研究. 教育理论与实践,1997,17(2)

[16] 高岸起. 论认识的主体性的主要特征. 济南大学学报,1997,7(1)

[17] 张贤根. 论认识系统中的不确定性. 湖北民族学院学报(社会科学版),1994,12(4)

[18] 王培铎. 几类基本学习认知模型. 武警学院学报,1999,15(6)

[19] 徐玲,白文飞. 习惯形成机制的理论综述. 北京体育大学学报,2005,28(5)

[20] 张侃等译. 人因工程学导论. 华东师范大学出版社,2007

[21] Kageyu Noro. IIlustrated Ergonomics. Kikakukyoukai. Japan,1990

[22] 孙林岩. 教育部高等学校管理科学与工程类学科教学指导委员会组编. 人因工程. 北京:高等教育出版社,2008

[23] 刘金秋,石金涛,李崇斌,等. 人类工效学. 北京:高等教育出版社,1994

[24] 郭伏,钱省三. 人因工程学. 北京:机械工业出版社,2005

[25] 中国人民解放军总装备部军事训练教材编辑委员会. 航天工效学. 北京:国防工业出版社,2003

[26] 李红杰，鲁顺清. 安全人机工程学. 武汉：中国地质大学出版社，2006
[27] 童时中. 人机工程设计与应用手册. 北京：中国标准出版社，2007
[28] 刘伟，袁修干. 人机交互设计与评价. 北京：科学出版社，2008
[29] 谢庆森，牛占文. 人机工程学. 北京：中国建筑工业出版社，2005
[30] 邵志芳等译. 认知心理学. 上海：上海人民出版社，2008
[31] 上官棣华，赵睿，等，译. 生物体系中的化学测量. 北京：化学工业出版社，2003
[32] 林仲贤，孙秀如. 视觉及测色应用. 北京：科学工业出版社，1987
[33] 凌文辁，方俐洛. 心理与行为测量. 北京：机械工业出版社，2003
[34] 陈国鹏. 心理测验与常用量表. 上海：上海科学普及出版社，2005
[35] 范朝霞，赵广平. 心理测量的发展现状及趋势. 太原师范学院学报(社会科学版)，2005，4(4)
[36] 陈国鹏. 心理测量的原理和应用. 诊断学理论与实践，2005，4(3)
[37] 吴玺宏，等. 一种测量听觉系统时间分辨率的新方法. 中国听力语言康复科学杂志，2003，01
[38] 董明清，马瑞山，程宏伟. 双任务脑力负荷评定的多变量判别分析. 航天医学与医学工程，1997，10(5)
[39] 董明清，马瑞山，程宏伟，等. 双重任务脑力负荷的心理生理学评定. 中华航空航天医学杂志，1997，8(3)
[40] 易测位，昌玮. 动态心电仪国内外发展动向和各种 Holter 特点及优缺点. 医学信息，1999，12(3)
[41] 王振杰. 心率变异性研究新进展. 心血管病学进展，2000，21(6)
[42] 段克宇，马红宇，李毅竹. 血液气体分析结果影响因素的分析及质量管理点滴体会. 医疗装备，1995，8(10)
[43] 靳玲玲. 400 例正常人血液气体酸碱分析结果的实验探讨. 实用医技杂志，2007，14(3)
[44] 徐国栋，骆清铭. 生物医学测量的现状与发展. 武汉体育学院学报，2002，36(3)

策 划 人：何芯逸
责任编辑：何芯逸
封面设计：[illegible]工作室

人机界面设计

RENJI JIEMIAN SHEJI



ISBN 978-7-5635-2624-6
9 787563 526246 >
定价：33.00元