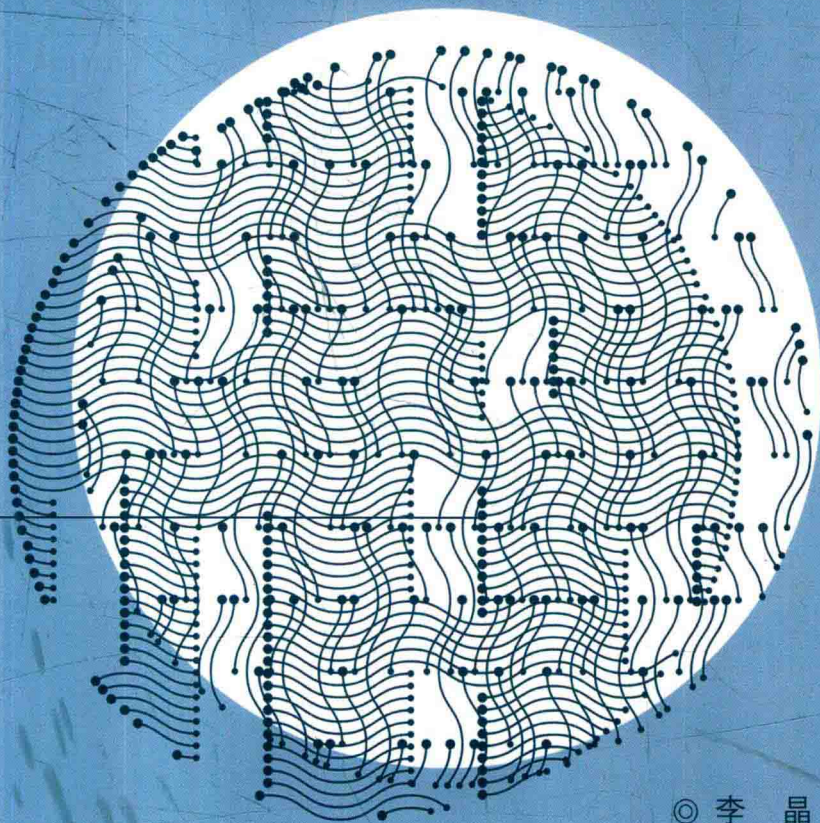




◎ 李 晶 著

均衡认知负荷的 人机界面信息编码和研究

Human-machine Interface Information Coding and
Research for Balanced Cognitive Load



东南大学出版社
SOUTHEAST UNIVERSITY PRESS

均衡认知负荷的人机界面 信息编码和研究

李 晶 著



东南大学出版社
SOUTHEAST UNIVERSITY PRESS

• 南京 •

内 容 提 要

本书以复杂信息系统人机界面需求为导向,以均衡认知负荷为研究目的,通过设计编码手段及实验验证,提出了提高人机交互效率、降低人为失误的设计方法和理论。为人机交互研究学者、界面设计人员以及广大读者提供了一种从用户认知能力出发进行人机界面设计的新方法。

本书既可作为从事信息系统开发、人机交互信息设计、人机交互设计等相关领域的研究者和设计者的业务参考用书,也可以作为信息科学、工业设计、交互设计等相关专业的本科生和研究生的专题教材。

图书在版编目(CIP)数据

均衡认知负荷的人机界面信息编码和研究 / 李晶著.

—南京:东南大学出版社,2018.9

ISBN 978-7-5641-7976-2

I. ①均… II. ①李… III. ①人机界面—信息编码—研究 IV. ①TP11

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2018)第 203731 号

均衡认知负荷的人机界面信息编码和研究

出版发行 东南大学出版社

出 版 人 江建中

社 址 南京市四牌楼 2 号

邮 编 210096

经 销 全国各地新华书店

刷 虎彩印艺股份有限公司

开 本 700 mm×1000 mm 1/16

印 张 14.25

字 数 289 千字

版 次 2018 年 9 月第 1 版

印 次 2018 年 9 月第 1 次印刷

书 号 ISBN 978-7-5641-7976-2

定 价 58.00 元

(本社图书若有印装质量问题,请直接与营销部联系。电话:025-83791830)

前 言

复杂信息系统环境中人机界面的信息容量巨大、结构关系错综复杂,容易造成界面信息编码与人类认知机理之间的不平衡。复杂信息系统中的超视距全局态势显示人机界面是系统正常运转的关键技术领域。而摆脱了硬件表盘限制的设计师,可以通过以数字界面为基础的多通道交互方式,为界面设计打开创意的大门。本书以复杂信息系统人机界面需求为导向,以均衡认知负荷为研究目的,通过设计编码手段及实验验证,提出了提高人机交互效率、降低人为失误的设计方法和理论。

实现人机界面认知负荷的均衡需要注意的是:认知负荷的过高或过低都会对人的信息加工能力造成负面的影响,降低操作者的反应速度和正确性,乃至系统任务的效率。针对上述两大方向的问题,本书在分析国内外人机界面认知负荷问题及研究现状的基础上,运用理论研究、实验观察、原型开发和实例验证相结合的方法,围绕均衡认知负荷的理论基础、方法和优化策略展开研究。首先,通过研究人机界面信息编码的设计信息编码和大脑信息解码两阶段过程,找到大脑信息解码与认知负荷的关系;综合人机界面中认知负荷的来源、分类、资源消耗和层次结构,构建认知负荷与设计元素的关联;以工作记忆为突破口,最终提出均衡认知负荷的结构及关系框架,为论文后述的方法研究提供了理论依据。其次,根据均衡认知负荷的结构及关系框架模型,从工作记忆容量、客体工作记忆和空间工作记忆能力三部分内容出发,寻找均衡认知负荷的信息编码规律。一方面,基于复杂信息系统的任务特征及视觉认知特点,实验获取不同时间压力的水平等级;结果应用于认知容量实验,获得不同时间压力下的颜色、形状编码阈值,建立不同时间压力下的信息编码原则。另一方面,针对觉察和分辨负荷,对于颜色和形状编码,利用时间相关性原理、注意捕获理论和辨别任务实验,建立视觉感知层次性的客体信息编码原则;针对理解、获取和预测负荷,对于布局和可视化结构

编码,利用时空接近性原理、空间构型原则和背景线索效应的视觉搜索眼动实验,建立视觉感知次序性的空间信息编码原则。最后,综合系统设计、以活动为中心的设计、感知层次和感知次序编码理论方法,构建人机界面的信息编码层次结构、均衡认知负荷的编码原则和方法;从提高认知能力和绩效方面考虑,应用颜色感知分层原则进行了计算机辅助设计原型开发;根据提出的信息编码结构、流程、原则和方法,进行专题界面的设计和认知负荷评估实验,通过眼动实验结果验证了本书提出的信息编码方法和框架的有效性和可行性。

本书从降低认知负荷过载所带来的事故风险和减少认知负荷过低所导致的人因失误两个方面,提出了均衡认知负荷水平的设计元素的选取和编码的定量和定性的原则,为复杂信息系统人机交互领域解决认知负荷问题提供了信息编码方法和实验方法,为认知负荷失衡的人机界面问题提供了有效的研究思路 and 方向。从设计角度为提升我国复杂信息系统多维数字化人机交互环境下的人员认知能力和决策判断的可靠性做出了积极的贡献。

感谢薛澄岐老师、王海燕老师、徐江老师在我学习、课题研究及论文写作过程中,给予的关心、指导与鼓励。谨向各位恩师致以最诚挚的感谢和最崇高的敬意,感谢各位恩师在学习上海人不倦的教导与鼓励,在生活上无微不至的关怀与照顾。感谢实验室已经毕业的各位学长学姐,同级的陈默、吴晓莉、牛亚峰、沈张帆、邵将,以及学弟学妹们给予我学习与生活中的支持与帮助。

著 者

2018 年 3 月

目 录

1	绪论	(1)
1.1	研究背景及意义	(1)
1.2	国内外研究现状	(4)
1.3	课题研究内容	(10)
1.4	本书撰写安排	(12)
1.5	本书结构	(13)
	本章小结	(14)
2	基于认知负荷的信息编码机理分析	(15)
2.1	信息编码研究	(15)
2.1.1	信息编码过程	(15)
2.1.2	设计信息编码	(16)
2.1.3	大脑信息解码	(18)
2.2	认知负荷的产生原因及原理	(22)
2.2.1	概念的提出	(22)
2.2.2	认知负荷的影响因素	(23)
2.2.3	认知负荷的分类及特性	(24)
2.3	人机界面认知负荷的结构	(25)
2.3.1	注意和记忆与认知负荷的关系	(25)
2.3.2	基于认知阶段资源消耗的认知负荷	(26)
2.3.3	人机界面认知负荷的层次结构	(27)
2.3.4	人机界面认知负荷与设计元素的关系	(28)
2.4	现有控制认知负荷的信息编码手段	(32)
2.4.1	信源编码	(33)
2.4.2	设计层信道编码	(33)
2.4.3	显示层信道编码	(33)
2.4.4	大脑层信道编码	(33)
2.4.5	信宿编码	(34)
2.5	认知负荷的均衡策略	(34)

2.5.1 人机界面认知负荷失衡问题	(34)
2.5.2 认知负荷的均衡基础和原理	(37)
2.5.3 均衡认知负荷的信息编码方法	(38)
2.5.4 均衡认知负荷的信息编码总体架构	(42)
本章小结	(44)
3 基于时间压力的信息编码研究	(45)
3.1 概述	(45)
3.2 时间压力	(47)
3.2.1 时间压力的影响	(47)
3.2.2 时间压力的水平	(47)
3.3 时间压力的获取	(48)
3.3.1 传统的时间压力获取方法	(48)
3.3.2 生理技术获取方法	(48)
3.3.3 获取时间压力水平的实验研究	(49)
3.4 均衡时间压力的认知容量实验	(51)
3.4.1 视觉认知容量的研究现状	(51)
3.4.2 实验方法	(51)
3.4.3 实验材料	(52)
3.4.4 实验程序	(53)
3.5 实验结果和分析	(54)
3.5.1 视觉认知绩效和反应时分	(54)
3.5.2 视觉认知容量分析	(55)
3.5.3 编码方式与视觉认知容量/速度之间的关系	(56)
3.5.4 实验结果验证分析	(57)
3.5.5 实验结论	(58)
本章小结	(58)
4 基于感知分层的信息编码研究	(59)
4.1 概述	(59)
4.2 感知分层方法的理论基础	(59)
4.2.1 时间相关性原理	(59)
4.2.2 注意捕获理论	(60)
4.2.3 辨别任务范式	(61)
4.3 信息编码与视觉感知分层	(61)

4.3.1 颜色编码与视觉感知分层	(61)
4.3.2 形状编码与视觉感知分层	(63)
4.4 颜色编码的层次性感知实验	(64)
4.4.1 实验方法	(64)
4.4.2 实验内容	(65)
4.4.3 实验程序	(65)
4.4.4 实验结果和分析	(67)
4.4.5 验证实验	(71)
4.4.6 实验结论	(72)
4.5 形状编码的注意捕获实验	(73)
4.5.1 实验方法	(73)
4.5.2 实验内容	(73)
4.5.3 实验程序	(76)
4.5.4 实验结果和分析	(77)
4.5.5 实验讨论	(86)
4.5.6 实验结论	(88)
本章小结	(89)
5 基于感知次序的信息编码研究	(90)
5.1 概述	(90)
5.2 感知次序方法的理论基础	(91)
5.2.1 时空接近性原理	(91)
5.2.2 空间构型原则	(91)
5.2.3 背景线索效应的视觉搜索范式	(92)
5.3 信息编码与视觉感知次序	(93)
5.3.1 布局编码与视觉感知次序	(93)
5.3.2 可视化结构编码与感知次序	(94)
5.4 布局编码的感知实验	(96)
5.4.1 实验方法	(96)
5.4.2 实验目标	(97)
5.4.3 实验内容	(97)
5.4.4 实验数据分析	(100)
5.4.5 实验讨论和结论	(110)
5.5 可视化结构编码的感知实验	(115)
5.5.1 实验方法	(115)

5.5.2	实验目标	(116)
5.5.3	实验内容	(117)
5.5.4	实验数据分析	(118)
5.5.5	实验讨论和结论	(127)
	本章小结	(129)
6	均衡认知负荷的信息编码方法	(130)
6.1	均衡认知负荷的信息编码层次结构	(130)
6.2	均衡认知负荷的信息编码原则	(131)
6.2.1	信息过滤原则	(132)
6.2.2	信息凸显原则	(132)
6.2.3	构建视觉感知的结构化和层次化	(133)
6.2.4	构建视觉感知的次序化和整体化	(134)
6.3	视觉感知分层编码方法	(135)
6.3.1	方法原理	(135)
6.3.2	层次性认知和层次化意义	(136)
6.4	视觉感知次序编码方法	(137)
6.4.1	方法原理	(137)
6.4.2	一致性认知和次序化意义	(138)
6.5	基于感知分层的人机界面颜色辅助设计原型开发	(139)
6.5.1	色彩的感知分层	(140)
6.5.2	系统功能分析	(140)
6.5.3	系统应用分析	(141)
6.5.4	程序技术平台	(142)
6.5.5	原型系统的操作步骤	(145)
	本章小结	(150)
7	专题界面设计与眼动实验分析	(152)
7.1	概述	(152)
7.2	专题界面设计	(152)
7.2.1	概念层次特征及任务流程	(152)
7.2.2	信息层的信息架构模式	(154)
7.2.3	信息层到视觉层的映射	(156)
7.2.4	视觉层导航结构设计	(158)
7.2.5	界面设计方案	(160)

7.3 专题界面眼动评估实验	(162)
7.3.1 实验设备及环境	(162)
7.3.2 实验材料及被试	(162)
7.3.3 实验任务	(163)
7.3.4 实验程序	(164)
7.3.5 实验 1 数据处理和分析	(165)
7.3.6 实验 2 数据处理和分析	(169)
7.3.7 实验结论	(172)
本章小结	(174)
8 总结和展望	(175)
8.1 总结	(175)
8.2 后续工作展望	(177)
附录 A 华东四省一市汽车 4S 店 GIS 软件监控系统原型设计方案	(178)
附录 B 实验数据	(188)
附录 C Aesthete 人机界面颜色辅助设计软件说明书	(204)
参考文献	(206)

1.1 研究背景及意义

随着计算机技术和控制技术的快速发展,旧式的指针表盘式显示系统已经跟不上时代发展的脚步,不可避免地走入了被淘汰之列。人机交互系统的快速发展,使得先进的数字化技术逐渐走入了各种复杂信息系统环境中(如核电、石油化工、航空航天和航海雷达等领域),对信息呈现进行优化和管理,提高了人机对话的效率。例如 Runeson(1977)通过对自动化智能设备与机械设备之间的区别进行分析,指出飞行员对飞机状态、作战环境等感知不适合使用机械仪表的指示信息^[1]。座舱中有大量机械仪表同时显示数据时,飞行员不仅要逐一读数,还要综合、判断才能做出决策和行为,过重的负荷远不能满足高度紧张的作战环境对于反应时间的要求。可见,应用人机交互系统对于增强系统设备工作状态的预警和检测功能,提高操作员对信息的监测与控制绩效,建立和谐的人机环境,都具有十分重要的意义。人机界面作为人机交互系统的重要组成部分,是承载人机对话活动的基本构件之一,是对信息系统更好地优化和管理的重要支撑条件。

目前,常见的人机交互系统主要是指某一部分的数字化,如单个控制机的计算机控制、分散控制和总线系统控制等,而非整体的数字化人机交互系统。为了使整个复杂信息系统环境下的监控和管理都智能化、数字化和透明化,有专家提出了在其整个生命周期过程中,即从建设到运行的数字化智能控制预想,包括完整的数字化信息集成、数字化设计、数字化工程建设和数字化移交等。通过在监控系统的各个层次采用数字化和智能化的设备,在信息系统中采用相应的智能管理和控制软件,人机界面将向采用大屏幕显示器显示超视距的全局态势发展。美国空军研究实验室早在1990年便提出了“全景座舱控制和显示系统”计划^[2-4],通过采用大屏幕显示器显示超视距全局态势,增强飞行员对于战场全景态势信息的知晓。而且大屏幕全彩多功能显示器已经成功应用在了F-35战斗机上^[5]。在我国的核电仪控系统方面,虽然第二代模拟单元组合式仪表外加计算机数据采集系统仍普遍应

用,但随着田湾核电站成为世界上第一家使用全数字化控制系统的新建核电站,第三代全数字化的核电站仪控系统已经作为普遍研发产品有待应用。可见,随着高清晰大屏幕显示器逐渐进入发电厂、核电厂、道路交通控制和航空航天等复杂信息系统领域,人机界面也将向超信息量、多维度和多通道的显示技术方向发展。

伴随大规模的数字化人机系统趋势,操作者的工作模式将由原来的以操作为主转换为以监视和决策为主,由此带来的人类认知机理与界面信息编码之间的不平衡问题急剧增加。据美国有关机构 1995 年统计结果显示,当今世界上所有人机系统失效的事件中,约有 70%~90%直接或间接源自于人的因素^[6]。同时有资料报道,世界工业企业事故中,约有 85%以上的事故直接或间接源于人的因素;在国内,核工业事故中约有 70%与人因失误有关,在冶金、化工、航空、矿山等行业也是如此^[7]。可见,人机界面不但是人机接口最重要、最集中的地方,也是发生人因失误最多的地方。人机界面的信息容量巨大、结构关系错综复杂,容易引起操作者认知理解和决策判断障碍,造成信息识别、管理或者操作、行动过程中出现人因失误,甚至引发重大操作事故。这些问题严重影响了人机系统的高效运行和人员安全,已经成为制约人机交互发展的主要瓶颈。对造成负荷过重、认知模糊、态势感知弱等问题的内在机理已经引起众多科研工作者的广泛关注。在人机界面信息编码的用户友好性方面,国外先进的软件界面开发和军用操作系统中都专门对图形界面的应用做了研究,比如 NASA(National Aeronautics and Space Administration)在 HMPP(Human Measures and Performance Project)项目中特别研究了航空领域各种复杂图形界面显示中的色彩安全性和可用性设计问题。Schnell 等人通过实验研究,发现在驾驶舱中使用综合视觉系统进行飞机正前方真实三维地形图的显示时,可以减少类似可控飞行撞地这样的事故发生^[8]。因此,信息编码作为赋予离散信息清晰结构的过程,既要保证整个信息系统显示的完整性,又要与操作者的认知能力、认知规律相符,是人机界面中降低人因失误的有效途径,也是设计师最要考虑的方面之一。

人机界面信息编码是操作者获取信息的重要载体,也是人们进行信息感知、认知、判断和决策的重要手段和操作依据。数字化技术的发展使信息编码的方式和内容与模拟式仪器仪表相比发生了重大变化,研究人员也从早期对体力负荷的研究转到信息认知和脑力负荷的研究。其中,人在信息处理过程中心智能量消耗所引发的认知负荷,已经成为人机交互系统可靠性评价的一个重要指标。

早在 20 世纪 60 年代,国内外的许多研究者就认识到认知负荷对于工作绩效和操作安全是一个非常严重的威胁。随着近几年人机交互系统的复杂性不断增长,认知负荷的过高或过低都会对人的信息加工能力造成巨大的影响,其均衡性决定了操作者的准确性和速度,乃至系统的效率。面对大屏幕显示器、显示超视距的

全局态势界面,操作者为了获取整个系统的态势,必须通过界面管理任务进入不同功能的子界面以掌握所需的全部信息,并对信息进行搜索、整合、记忆等,这在很大程度上增加了操作者的认知负荷。如国外的一些研究表明,对于一些复杂的系统(空中交通管制、危机管理和大型多人角色扮演游戏等),人机界面信息的复杂和多样性都有可能争夺用户的注意力,用户因为需要同时在屏幕上与众多不同的信息进行交互,从而导致认知过载^[9]。认知负荷过载时,操作者由于认知资源供应不足,无法顺利完成工作任务,引起绩效恶化,表现为准确率下降、反应时间延长,甚至造成事故。但是,对认知负荷进行有效控制并非一味地降低认知负荷(Sweller等1999年提出“低负荷效应”,太过简单的材料让人学习动机低下,对学习没有积极帮助)。Endsley和Kiris于1995^[10]年发表报告指出,用户的认知负荷过低可能会导致操作性能退化,因为用户会由于作为被动的监测者而产生认知惰性,操作过程中大脑容易离开信息处理循环。即当认知负荷过低时,尤其是当处于一种单调枯燥的情境中时,操作者往往由于态度散漫而出现反应迟钝、信息漏失增加和误操作增多等现象。

复杂信息系统环境中,认知负荷不仅仅是效率问题,也是安全问题。特别是故障发生后,在繁重的工作和紧迫的时间压力下,操作者容易过滤、忽略一些极为重要的信息。例如当操作者处于紧急状态时,由于受到周围诸多因素的影响,不确定该如何应对紧急事件,或者是感到所接受的训练起不到任何帮助,此时增加的认知负荷将导致认知能力的下降,从而容易引发包括注意分配不当、感知失误等在内的人因失误问题。更为严重的是,在极高心理负荷下,由于剩余资源耗尽,操作者无法应付紧急事件,有可能导致记忆失误和决策失误等系统瘫痪或重大事故。另一方面,许多人因失误的现象表明认知负荷过低时,操作者会因为得不到刺激强化而导致兴奋度降低、注意力下降,这也导致了許多重大事故的发生。Redenbo等(2009)在关于感知和认知负荷对司机驾驶行为的影响研究中指出,调查资料显示2006年由于驾驶员缺乏对关键信息的认识、注意力不集中而造成的事故占总共发生的2 575 000起交通事故的25%~30%;在美国,由于司机注意力不集中而造成的车辆事故致使每年会有772 500人受伤、12 792人死亡^[11]。可见,过高或过低的认知负荷都会影响人机系统的交互效率,以及系统的可靠性和安全性。因此,界面的认知负荷控制成为界面信息编码中极其重要的目标,是避免人因失误及提高人机系统运作效率的保证。

科学技术的发展改变了传统复杂信息系统中使用者的工作方式,同时也使得数字化控制系统中使用者、显示信息,以及人与界面的交互变得越来越重要。因此,剖析控制人机界面认知负荷水平的信息编码影响因素,结合定性和定量方法分析界面信息编码如何影响认知负荷并建立两者之间的关联关系,构建均衡认知负

荷(降低过高认知负荷,增加过低认知负荷)的信息编码流程、编码原则和编码方法,对于优化人机界面、提升使用者操作的安全性和减少人因失误有积极意义。

1.2 国内外研究现状

1) 早期认知负荷的研究

研究均衡认知负荷的信息编码方法,首先必须对认知负荷产生的原因和机理进行研究。在认知心理学研究领域,最著名且受到公认的是澳大利亚认知心理学家 John Sweller 于 1988 年所提出的认知负荷理论(Cognitive Load Theory, CLT),他将认知负荷定义为人在进行信息处理过程中所需要的“心智能量”(认知资源)的水平^[12]。随后,Paas 等(1994,2003)指出认知负荷的结构模型是人在处理具体任务时加在其认知系统上的负荷的多维结构,即由反映任务与操作者特征之间交互的原因维度和反映心理负荷、心理努力和绩效等可测性指标的评估维度所组成^[12]。同时,Paas 和 Sweller(2012)^[13]指出基于人的认知结构的认知负荷理论的观点适用于大脑加工的所有类别信息。在人类进行复杂的认知任务和学习时,认知负荷的影响因素依赖于大脑加工过程中生物初次信息的获取,以及获取二次信息时初次信息的促进协助作用。除此以外,其他学者也在认知负荷的产生和形成方面进行了探讨与实验。Massa 等(2006)^[14]通过电子文本和图片两种呈现方式,实验研究影响学生认知的可视化维度(包括认知方式、学习偏好、空间能力等),并对呈现材料和认知维度所产生的学习结果进行解释。他们指出在产生认知负荷的原因上,学习者的认知风格也与之相关,会对学习效果产生影响。DeStefano 等(2007)^[15]在探讨超文本阅读的认知过程中,通过分析视觉信息和需求决策的增加是否会产生高认知负荷,发现了学习者的个体差异性(如工作记忆容量、先验知识、智力等)影响认知负荷大小。

根据 John Sweller 的观点,认知负荷理论最早提出的目的是为教学提供科学的策略,因此关于认知负荷的研究最早集中于多媒体教学领域,Jones 等(2010)^[16]通过调查五大教育心理学期刊发现,从 2003—2008 年的文献研究中,研究最多的前 20 个主题中有 4 个是使用认知负荷理论作为研究工作的中心理论。

对于如何改善教学中认知负荷的研究,一部分学者从人的认知结构出发,基于认知理论总结设计原则。如 Mayer 等(2003)^[17]提出了多媒体学习中 9 种降低认知负荷的设计方法。他们首先基于双通道假设、资源有限假设和主动处理假设,提出了一个多媒体学习理论;其次基于多媒体学习的认知理论,通过研究学习者在认知加工超额时的工作能力,分析认知超载的概念;最后针对如何减少认知负荷中的过载量,总结出有效的建议,为多媒体教学设计提供参考。Gerjets 等(2004)^[18]认

为能否成功解决教学中的知识问题不仅仅取决于问题架构的组成和结构任务功能的解决程序,还需要考虑人的认知要求。他们提出“模块化”的观点,指出当学习者工作记忆中容纳了大量信息时,需要将复杂的模块分解为更小的元素,通过设计教学案例、教学设计模型等构建相关学习图式以降低内在认知负荷。Jean 等(2009)^[19]认为文档学习也会引发认知负荷,设计者需要从个体学习特征、信息资源和工具特征、任务特性等几个方面考虑,通过提供任务和环境特征的熟悉程度管理学习者的认知负荷。Paas 等(2010)^[20]概括性地指出在教学领域,研究者们通过讨论认知负荷的不同类别和概念,多从一个面向流程和集成的角度寻找协作学习和降低认知负荷的方法,从知识结构方面寻找一种手段促进灵活解决问题的能力。龚德英(2009)^[12]、Wang 等(2010)^[21]从认知负荷的分类提出对多媒体中的认知负荷进行控制,即降低外在认知负荷(减少冗余信息等)、减少内在认知负荷(减少元素之间的交互作用)和增加相关认知负荷。Mierlo 等(2011)^[22]提出如何在多媒体环境中设计和使用认知负荷理论的指导原则,指出设计者需要考虑如何通过增加图式设计来降低学习者的工作记忆负荷。Zhang 等(2012)^[23]基于认知负荷理论,提出多媒体教学中应当采用的设计原则,包括在信息量大的情况下应使用多通道学习、注意时间和空间上的信息一致性、去除多余的信息,以及根据不同信息的类别进行分别设计等。

也有一部分学者从实验实践出发,探讨教学指导中的设计依据。如 Moreno (2004)^[24]基于心理负荷定量测评依据,探讨了一个可以减少学生工作记忆的具有解释反馈机制的辅助教学软件。他认为多媒体教学中提供潜在的解释说明和信息反馈可以降低学习者的工作记忆负荷,从而降低高认知负荷。Berends 等(2009)^[25]认为多媒体算术教学中的插图应用影响学生的认知负荷。他们通过对算术应用题提供不同信息价值的四类插图,分析学生解题过程中是否产生不相关或多余信息,以及工作记忆能力和工作记忆中信息的相互作用,解释所产生的认知负荷问题。Wirth 等(2009)^[26]发现由于学习者在解决特殊问题时需要使用问题解决策略,而在解决一般问题时仅需使用学习的策略,因此解决特殊问题比解决一般问题的认知负荷高。Madrid 等(2009)^[27]通过测试超文本学习中的认知负荷和学习结果,提供链接和导航支持系统的设计意见。他们认为单个导航对于学习者是有帮助的,但是大量的导航会增加认知负荷,降低可学习性。

2) 人机界面中的认知负荷问题

随着认知负荷的研究逐渐从多媒体教学领域发展到人机交互领域,人机界面设计的可靠性和安全性问题也引起了众多广泛的研究。Saade 等(2007)^[28]指出界面的第一印象决定了其是否可以实现简单任务并帮助用户自主学习。基于认知负荷是认知中的主要问题,文中通过一份问卷对两种类型界面的认知负荷进行调查,

证实了感知与绩效之间有很强的联系。Redenbo 等(2009)^[11]通过分析设计线索和非目标干扰物对驾驶员辨别力和对目标位置可预测性的影响,观察认知和感知负荷如何影响驾驶策略及注意力。基于干扰物在高负荷下比在低负荷下对驾驶员决策行为的影响大的实验结果,提出通过调整任务优先级或任务压力,使驾驶员的工作记忆可以被更多的使用。Lee 等(2009)^[29]考察了驾驶任务中司机的内生(认知负荷)和外生(行为控制)之间的关系,以及内、外源注意控制对认知负荷的影响。他们发现在复杂动态环境下,不相关的外源性线索使司机处于高认知负荷中,视觉的混乱容易降低驾驶员的注视持续时间;而内源性的定向驱动注意容易导致用户对场景和视野注意力的缩小,损害风险检测。因此内源性和外源性线索对认知负荷产生交互影响,设计时需要考虑自然的互动和恰当的认知负荷(如增加听觉任务),从而抑制无关外源性和内源性注意驱动的干扰。Gwizdka 等(2010)^[30]指出界面搜索任务中认知负荷是不断变化的。用户在搜索公式和相关文件描述时的认知负荷远大于搜索结果和个人文档的情况。由于搜索目标和目标呈现方式的差异,认知负荷的大小也是不同的。基于以上观点,他们提出了在搜索任务中评估动态认知负荷,通过检测搜索任务中的认知负荷水平以分配负载,为流程任务和互动活动过程中的信息检索行为提供意见。Zongyuan Wang(2013)^[31]通过观察不同感知和认知负荷情况下,用户在与网络游戏交互过程中对广告信息的记忆、评价和相似性等情况,发现用户对外围广告的记忆、相似性和评估与感知负荷的相关性较大,与认知负荷的相关性较小。

3) 控制人机界面认知负荷的研究

近 20 年来,伴随人机界面中认知负荷问题的频繁性,其控制方法受到各国和相关领域的高度重视。针对人机界面中人的认知结构和过程,一些学者通过构建认知和行为预测模型,试图解决认知负荷问题。Shi 等(2009)^[32]提出认知负荷与人的认知能力密切相关,用户界面和信息系统设计需要以人的认知过程模型为前提。他们基于认知工程和认知负荷理论,设计了一个城市交通事故和应急管理系统,以期通过这个认知自适应多媒体界面系统控制管理者的认知负荷。Sega 等(2011)^[33]认为目前已有的定性推理研究尚缺乏对用户认知模式和心理负荷的考虑,为了提高其有效性,必须对用户的识别认知模式进行模拟,因此作者通过研究人的眼动行为构建了新的认知模型。Fan 等(2011)^[34]根据人类信息加工系统可以被建模为信息处理执行组件,建立认知负荷模型,评估人机交互中的共享心智模型,并实现对协作成员的认知负荷波动趋势进行实时动态的监视。Gahangir 等(2011)^[35]提出了一种基于认知负荷水平的手机用户界面,基于交互过程中用户认知反馈的任务绩效和任务负荷水平,采用机器学习算法自移动界面和适应性辅助技术对智能手机的 Android 平台进行重新配置,使得基于认知负荷反馈的辅助用

户界面在日常操作中更加有效。李金波等(2010)^[36]通过设计模拟的人机交互实验,分析了动态过程中认知负荷的评估指标变化,基于 Elman 回归和 BP 前馈型神经网络构建预测模型的方法,探讨了人机交互过程中认知负荷的变化预测模型如何构建的问题。程时伟等(2008)^[37]通过分析认知过程中的信息内外表征,使用信息结构对各类资源进行定义和组织,以交互策略对使用流程进行资源配置,提出了基于分布式认知的资源模型,以期降低用户的认知负荷。

也有学者通过寻找认知负荷测评指标和建立评估方法、模型,使用测评手段对人机界面认知负荷进行优劣评估和筛选。在认知负荷测评方面,评价方法主要集中于四类,即主作业测量、次作业测量、主观评价和生理测量。NASA 从 1983 年开始在其航空训练总部进行了一系列的飞行实验,采用次要任务测量法对飞行驾驶员的心理负荷数据进行了分析,Hart 和 Hauser 等(1987)在此基础上提出了 NASA-TLX (NASA-Task Load Index)主观评定方法测量飞行员的心理负荷水平^[38]。Gwizdka (2010)^[39]指出由于用户任务、系统和个人特点都会对认知负荷的高低产生影响,针对任务系统或信息本身构成的认知困难,提出基于视觉形态的数据质量分析方法,通过双任务范式测评认知负荷。Harper 等(2009)^[40]推测通过了解用户在网页上的视觉感知复杂性,可以理解用户与界面交互时所需的认知努力,从而作为认知负荷的内隐指标;通过探讨视觉复杂性和一般认知复杂性之间的关系,基于主观评价方法测评网页认知负荷。张智君等(1997)^[41]对追踪作业中心理负荷评价指标的敏感度进行了研究,指出主任务测量法的敏感性优于主观评定法。Bandlow 等(2011)^[42]认为有效的可视化应该是最小化认知需求以及数据驱动的推理,难以使用的可视化将消耗认知资源,减少用户参与高阶推理的能力。他们通过记录用户的正确率、反应时间和工作记忆数量的客观评价方法测量认知负荷。Albers 等(2011)^[43]以一个相对高保真原型提供实时交互为基础,以客观指标测量用户认知负荷的波动情况如何随着设计而变化。Chen 等(2011)^[44]指出在一些真实场景中,评估问卷在进行实时连续测量认知负荷时并不可行,而生理信号(如瞳孔变化、眨眼数据等)测量方法是在用户实时监控决策过程中测量认知负荷的更合适的选择。Di 等(2011)^[45]通过眼动行为测量方法评估人机交互过程中操作者的心理工作负荷;通过心理努力程度的相关眼动指标分析,评估在不同搜索任务中用户的心理状态。Ji 等(2013)^[46]使用眼动仪对核电厂事故诊断任务中的认知负荷进行测量,将眨眼时间、眨眼频率和扫视时间等眼动指标作为评价认知负荷大小的依据。Ulf Ahlstrom 等(2006)^[47]根据认知工作负荷引发的眼动行为,进行眼动指标与负荷大小的关联分析。韩东旭等(2001)^[48]运用心算效能评价法研究脑波复杂度与心理负荷之间的关系。Tyler 等(2013)^[49]使用经颅多普勒超声脑电评估方法,测量两个缓解工作负荷的方法(即增加重要信息的突显性和增加观察者的经验)对于