

国家自然科学基金 (30400137)
中国博士后科学研究基金 (2004035033)
北京城市学院科学研究基金 (0503N18)

资助

RENJI JIAOHU ZHONG QINGJING RENZHI DE LILUN YU YINGYONG



人机交互中情境 认知的理论与应用

刘伟 袁修干 著

 中国科学技术出版社

国家自然科学基金(30400137)

中国博士后科学研究基金(2004035033) 资助

北京城市学院科学研究基金(0503N18)

人机交互中情境 认知的理论与应用

刘 伟 袁修干 著

中国科学技术出版社

·北 京·

图书在版编目(CIP)数据

人机交互中情境认知的理论与应用/刘伟,袁修干著.
北京:中国科学技术出版社,2005.8
ISBN 7-5046-4103-0

I.人... II.①刘...②袁... III.人-机系统-研究 IV.TB18

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2005)第 074773 号

中国科学技术出版社出版
北京市海淀区中关村南大街 16 号 邮政编码:100081
电话:010-62103210 传真:010-62183872
[http://www.kjp books. com. cn](http://www.kjpbooks.com.cn)
科学普及出版社发行部发行
北京长宁印刷有限公司印刷

*

开本:850 毫米×1168 毫米 1/32 印张:6 字数:156 千字
2005 年 8 月第 1 版 2005 年 8 月第 1 次印刷
印数:1—1000 册 定价:25.00 元

(凡购买本社的图书,如有缺页、倒页、
脱页者,本社发行部负责调换)

内 容 提 要

随着近几十年来科学技术的飞速发展,人机交互技术越来越完善。本书从一独特的视角,提出了基于情境认知的人机交互信息处理理论模型——情境认知多级触发模型,系统地构建了情境认知综合测量体系——过程及结果的同时测量方法,为情境认知的测量提供了客观依据。应用上述理论和多层次模糊综合评价方法,建立了人机交互中飞行员情境认知应用体系。这不但可以填补我国在人机工程/工程心理学基础理论、人机工程综合优化评估技术及交通运输、工业设计/控制、航空航天等工程优化设计领域方面的空白,而且还可以缩短与发达国家在这一领域的理论、技术差距,促进有关的基础理论研究和实际工程设计工作,尤其是对高新技术中的人机交互界面优化设计和人机系统功能优化配置等方面有着重要现实意义。

本书可作为安全工程、工程心理学、工业设计、人机与环境工程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。

Situation Cognitive in Human – machine interaction Theory and Application

Introduction

With the quick development of science and technology, the technology of human – machine interaction is becoming a leading trend. From a special science view, in the book, a new multi – level trigger qualita analysis model of situation cognitive(SC) which based on human – machine interaction information process model was built up; a new synthetical measure system of situation cognitive, which includes process and result measure was set up; and provide a object base for measuring the SC. Through above theory and fuzzy synthetical evaluation of multi – level group model, the application system of pilots' SC was bwilt up, the system not only improve the level of the theory of human – machine, enginering psychology, synthetical evaluation of human – machine and transport, industry design/control, ergonomic of aviation, but also promote the engineering level of out country in tle field, it is very important to tle interface design and function assign of high – new technology.

The book can be referenced by teacher or student of safety engineering, psychology, industry design, hunan – machine and enviroment specialities, and used by engineer of human – computer interface design、transport、aviation and space、industry control fields etc.

前 言

(一)

简单地说,人一机—环境系统工程是研究人、机、环境三者之间关系及其最佳匹配的一门科学。但是,具体到人—机交互系统工效来说,人、机、环境匹配性主要体现在以下几个方面:

首先,应当研究人机系统的变化因素对人的体力、生理及心理的影响和作用。这是进行人一机—环境系统匹配性研究的基础。只有在充分了解了人的生理、心理等各方面的特征和需要的基础上,才能按人的需要设计出友好的人—机界面和环境,才能研究出不同的人—机界面和环境变化对人产生的影响和作用,才能指导进一步的研究工作并对人一机界面及其环境进行合理的改进。

其次,研究工作应当解决显示/控制面板上所需显示及控制的参数越来越多,从而造成人的负荷越来越重的矛盾(可简称为人机空间矛盾)。现代显示/控制设备的功能越来越强大,操作也越来越复杂,仪表/控制面板上密密麻麻地排列着各种显示器和操纵装置,对操作/控制人员造成了非常大的工作压力。怎样通过合理的人、机功能分配,减轻操作人员的工作负荷,使人只进行一些高级判断和决策,从而充分发挥人对全局的反应、预测和控制能力,同时发挥辅助系统快速、精确、重复性好、不疲劳等优势,也是当前人机系统研究的重要课题。

最后,研究解决随着内/外部信息要求反应速度越来越快,造成操作/控制人员精神越来越紧张,进而使其疲劳速度加快的矛盾(可简称为人机时间矛盾)。在一些特定的工作环境下(如航空航天等),需要人的注意力高度集中,并迅速对复杂多变的各种形式做出合理的反应。研究表明,人在精神高度紧张的情况下,肾上腺激素大量分泌,心跳加快,血压升高,疲劳速度大大加快。在这种条件下,人的耐受力降低、有效连续工作时间缩短,不利于连续工作。从设备和环境

的角度来讲,仪器仪表的反应速度越快越好。但是,作为控制主体的工作人员,其反应速度却不可能无限制地提高。更重要的是,要求人提高反应速度将是以缩短有效连续工作时间为代价。所以,如何合理分配人和设备的反应时间,使人、机之间的结合达到最优,也是人机系统研究的一项重要内容。

对人的情境认知机理及其工效评价的研究涉及的科学领域包括人机工程学、计算机图形学、仿真技术、心理学、生理学、信息科学等学科。目前国外对人的视域、听域、操作域的工效及安全性进行了大量的研究,得到了温度、照明、噪音环境等外界因素和眼动、注意力分布、目标拾取等内在因素与工效的关系。但尚缺乏从系统高度全面综合并定量评估工效,作为人机工效的系统设计很难在系统概念设计阶段被工业部门使用,更难以评估,所以建立人机工效/安全性设计/评价技术体系(平台)已是一个国际前沿的理论/技术研究课题。本书正是采用这种综合的研究手段,融合人的情境认知机理、方法研究与现象分析成果,进而建立一种理念全新的情境信息处理模型,对人机交互系统的优化设计意义重大。

(二)

本书采用理论分析和实验相结合的方式,在工程研究和实验的基础上,取得了如下几个方面的研究成果。

(1) 建立了人的情境认知多级触发定性分析模型,初步揭示了人的情境认知变化规律。

(2) 建立了一个人的情境认知综合测量体系,既包括情境认知主、客观方面的测量,又包括情境认知过程及结果的测量。

(3) 在实验研究的基础上,建立了人的情境认知多层次群组模糊综合评判模型,并得出了任务复杂性与视觉扫视、情境认知、操作绩效、工作负荷的相互关系。

(三)

本书是笔者在多年来从事人机交互中情境认知科研实践的基础

上写成的,研究工作得到国家自然科学基金、中国博士后科学研究基金、北京城市学院科学研究基金的资助。有关的研究成果正应用到实践领域。

本书在写作过程中,得到了北京大学医学部王生教授、航空航天医学研究所龙升照教授、空军第八研究所温兆春研究员、北京大学吴艳红副教授、空军第五师邹明现参谋长认真指导和热心帮助。在研究过程中,笔者还得到了北京航空航天大学 505 教研室杨春信教授、庄达民教授、林贵平教授、王长和高级工程师、黄美瑛老师、梅志光、邱义芬、张兴娟、袁卫星等诸位老师的热情帮助,谨在此表示诚挚的谢意。本研究中进行了飞行员认知工效实验,本实验的顺利进行与空军军训器材研究所、空军指挥学院、空军第五师等单位的大力协助是分不开的,另外,还须感谢北京航空航天大学王立刚、柳忠起、韩彦东、葛恒、王睿、康为勇、马锐、林海燕等诸位博士对本书写作的大力支持。最后感谢北京科技大学谭文辉博士的支持!

在此,笔者对提供帮助的单位和个人表示真诚的感谢!

由于笔者水平所限,书中许多论述还很粗浅,不妥之处,恳请读者批评指正!

作者

2005 年 7 月 1 日

目 录

前言

第 1 章 绪论	(1)
1.1 什么是人一机—环境系统工程学	(1)
1.1.1 “人”的因素研究	(5)
1.1.2 “机”的因素研究	(6)
1.1.3 “环境”的因素研究	(6)
1.1.4 “人机系统”的综合研究	(6)
1.2 人一机—环境系统工程学中的人机交互	(11)
1.3 人机交互与其他相关学科的关系	(14)
1.3.1 人机交互与计算机科学	(14)
1.3.2 人机交互与工业设计	(18)
1.3.3 人机交互与生理学	(20)
1.3.4 人机交互与认知心理学	(21)
第 2 章 人机交互中情境认知的理论基础	(26)
2.1 人一机—环境系统工程学中有关人的研究	(26)
2.2 人机交互中的视域	(32)
2.2.1 眼的基本构造	(32)
2.2.2 最佳视野和最大视野	(33)
2.2.3 眼椭圆	(35)
2.3 人机交互中的视觉与眼动系统	(40)
2.3.1 眼动系统的研究发展	(40)

2.3.2	眼动系统的一般概念·····	(42)
2.3.3	眼动测量方法·····	(45)
2.3.4	红外电视法眼动测量系统·····	(45)
2.4	情境认知系统·····	(53)
2.4.1	简介·····	(53)
2.4.2	有关情境认知的影响因素·····	(58)
2.4.3	有关情境认知的定性模型·····	(60)
2.4.4	情境认知的基础理论研究·····	(66)
2.4.5	情境认知的降低与提高·····	(72)
2.5	目标拾取运动研究·····	(76)
2.5.1	Woodworth 理论(1899) (速度—准确性折衷关系理论)·····	(78)
2.5.2	Fitts 定理(1954/1964) ·····	(78)
2.5.3	Plamondon 肌肉运动整合模型(1995) ·····	(78)
2.5.4	袁修干—王立刚的目标拾取运动的理论模型 (1998)·····	(79)

第3章 情境认知测量方法的研究 ····· (83)

3.1	情境认知测量方法的研究·····	(84)
3.1.1	情境认知的主观测量法·····	(84)
3.1.2	情境认知的客观测量方法·····	(88)
3.1.3	情境认知各种测量方法的比较·····	(92)
3.2	情境认知测量方法的完善·····	(93)
3.2.1	使用 SAGAT 调查法研究扫视(注意) 变化情况·····	(93)
3.2.2	使用 NASA-TLX 及 SWAT 法调查飞行员 的工作负荷·····	(94)
3.2.3	研究不同阶段中工作负荷与情境认知间的	

关系·····	(95)
3.2.4 使用不同的飞行员比较经验与情境认知间的 关系·····	(95)
3.3 情境认知定性分析模型与定量评价模型的比较·····	(96)
3.4 飞行员情境认知中注意力分配研究举例·····	(97)
第4章 测量情境认知虚拟现实平台的设计·····	(105)
4.1 测量情境认知虚拟现实平台的设计研究构思·····	(105)
4.1.1 传统模拟座舱设计存在的问题·····	(105)
4.1.2 研究构思·····	(106)
4.2 驾驶工效综合评定实验台概述·····	(107)
4.3 驾驶工效综合评定实验台的组成及用途·····	(109)
4.3.1 驾驶工效综合评定实验台的组成·····	(109)
4.3.2 驾驶工效综合评定实验台的用途·····	(116)
4.4 驾驶工效综合评定实验台操作性能验证·····	(117)
4.4.1 实验方法·····	(117)
4.4.2 实验被试·····	(118)
4.4.3 实验步骤·····	(118)
4.4.4 实验结果分析·····	(118)
第5章 情境认知在航空工效中的应用·····	(123)
5.1 实验设计·····	(123)
5.1.1 实验目的·····	(123)
5.1.2 实验装置·····	(123)
5.1.3 实验方法·····	(125)
5.1.4 实验被试·····	(125)
5.1.5 实验刺激·····	(126)
5.1.6 实验步骤·····	(127)

5.2 飞行员情境认知的模糊综合评判研究	(127)
5.2.1 模糊综合评判法	(128)
5.2.2 飞行员情境认知模糊综合评判模型	(129)
5.2.3 实例分析	(139)
5.2.4 实验结果分析	(148)
附录	(167)
参考文献	(171)

第1章 绪 论

人类漫长的发展历史表明,扩大自己的能力和丰富自己的生活是人类的本能和欲望。为此,人类不断造出方便自己的各种机器、设备和系统(硬件和软件)等,我们把这些简称为机。人和机总是处于一定的具体环境下,且人类总在不断地追求适于人机系统的最佳工作环境。如不断地对照明、颜色、声音、振动和气体等环境条件进行研究,使周围的环境适于人机系统工作和生活。这里所说的最佳环境是指适宜人的相关特性、使人能够高效率地工作和生活的环境。故人—机—环境的相互作用和制约决定了这一复杂巨系统(人—机—环境系统)的性能、效率、经济性、可靠性和安全性等。

人—机—环境系统工程学是运用生理学、心理学、医学和计算机等有关科学知识,研究“人—机—环境”复杂巨系统中人、机、环境三大要素之间的相互关系,为解决系统中人的效能、安全、健康、舒适等问题提供理论与方法,进而提高整个系统工效的新兴边缘科学。人—机—环境系统工程学既是一种设计思想和理论,也是一种有效的人机交互系统综合设计和评价技术。对于后者,面向工程应用的研究已经成为 21 世纪信息领域普遍关注的重大课题。

本章主要介绍以下几个方面的内容:

- (1) 人—机—环境系统工程学的概念。
- (2) 人机交互的研究范围。
- (3) 人机交互与其他相关学科的关系。

1.1 什么是人—机—环境系统工程学

人—机—环境系统工程学在美国有人称之为人类工程学“HU-

MAN ENGINEERING”,人因(素)工程学“HUMAN FACTORS (ENGINEERING)”；在欧洲有人称之为“ERGONOMICS”，生物工艺学，工程心理学，应用实验心理学以及人体状态学等等；日本称之为“人间工学”，我国目前除使用上述名称外，还有译成人机工程学、人机工效学、宜人学、人体工程学、人机学、运行工程学、机构设备利用学、人机控制学等。人一机—环境系统工程学不同的命名就已经充分体现了该学科是“人体科学”与“工程技术”的结合，实际上，这一学科就是人体科学、环境科学不断向工程科学渗透和交叉的产物，它是以人体科学中的人类学、生物学、心理学、卫生学、解剖学、生物力学、人体测量学等为“一肢”；以环境科学中的环境保护学、环境医学、环境卫生学、环境心理学、环境监测技术等学科为“另一肢”，而以技术科学中的工业设计、工业经济、系统工程、交通工程、企业管理等学科为“躯干”，形象地构成了本学科的体系。从人一机—环境系统工程学的构成体系来看就是一门综合性的边缘学科，其研究的领域是多方面的，大致包括电话、电传、计算机控制台、数据处理系统、高速公路信号、汽车、航空、航海、现代化医院、环境保护、教育、体育、互联网、游戏等，人一机—环境系统工程学甚至可用于大规模社会系统，因此可以说与国民经济的各个部门都有密切的关系。

人一机—环境系统工程学作为一门现代学科产生于“二战”期间。这是因为战争刺激了技术的发展和各种武器装备的复杂化，使得人、机与环境间的协调和矛盾变得激化。“二战”后，随着航天技术的发展，人一机—环境系统工程学获得了更为广阔的发展空间，例如，20世纪60年代，美国、前苏联先后提出了人在失重情况下如何操作，在超重状态下人的感觉如何等新问题；随着分时系统的出现，人一机—环境系统工程技术在计算机领域也开始崭露头角，1965年5月，第一次有关人机交互技术的会议在美国召开，1969年，IEEE重印了国际重要的人—机—环境系统工程学杂志《Ergonomics》上发表的一期有关人机交互的论文，1973年，Martin出版了《The Design

of Man - Computer Dialogues》(《人一机对话设计》),使人—机界面问题在工业界引起了广泛的关注;进入 21 世纪后,人一机—环境系统工程技术又成了信息技术的研究热点,美国 21 世纪信息技术计划中的基础研究内容为 4 项:软件、人机交互、网络、高性能计算。其中,人机建模研究在信息技术中被列为与软件技术和计算机技术等并列的 6 项国家关键技术之一,并被认为是“对于计算机工业有着突出的重要性,对其他工业也很重要”。在我国,人一机—环境系统工程学的研究在 20 世纪 30 年代开始即有少量和零星的开展,但系统和深入的开展则在“文革”以后。1980 年 4 月,原国家标准局成立了全国人类工效学标准化技术委员会,统一规划、研究和审议全国有关人类工效学的基础标准的制定;1984 年,国防科工委成立了军用人—机—环境系统工程标准化技术委员会。这两个技术委员会的建立,有力地推动了我国人机系统工效学研究的发展。此后,在 1989 年又成立了中国人类工效学学会。当前,随着我国科技和经济的发展,人们对工作条件、生活品质的要求正逐步提高,对产品的人机工效特性也会日益重视,一些厂商把“以人为本”、“人体工学”的设计作为产品的卖点,也正是出于对这种新的需求取向的意识。

人一机—环境系统工程学作为一门工程学科,其研究常常是围绕具体的现实问题而展开。例如由于航空航天活动对人类生理适应性和工作能力的挑战,促进了航空航天人机工程的发展,在北京航空航天大学航空科学与工程学院,较早开展了人一机—环境系统工程专业的教学和科研,其中袁修干教授于 20 世纪 90 年代初创立了我国第一个该专业的博士学科点,至今已发展成为全国的重点学科;由于工业生产中职业病的广泛危害,在北京大学医学部公共卫生学院也开展了包括坐姿作业导致的肌肉骨骼劳损、粉尘污染致癌等职业病学研究,同时也涉及作业姿势、作业环境评价等方面的人—机—环境系统工程学的研究;近年来,南京航空航天大学、西北工业大学、北京理工大学等也先后成立了该专业。此外,从事相应领域研

究的就更多了,如浙江大学、中科院心理所、清华大学、北京师范大学、天津师范大学等。

人一机—环境系统工程学在其发展过程中,逐步打破了各学科之间的界限,并有机地融合了各相关学科的理论,不断完善自身的基本概念、理论体系、研究方法以及技术标准和规范,从而形成了一门研究和应用范围都极为广泛的综合性边缘学科(详见图 1.1)。

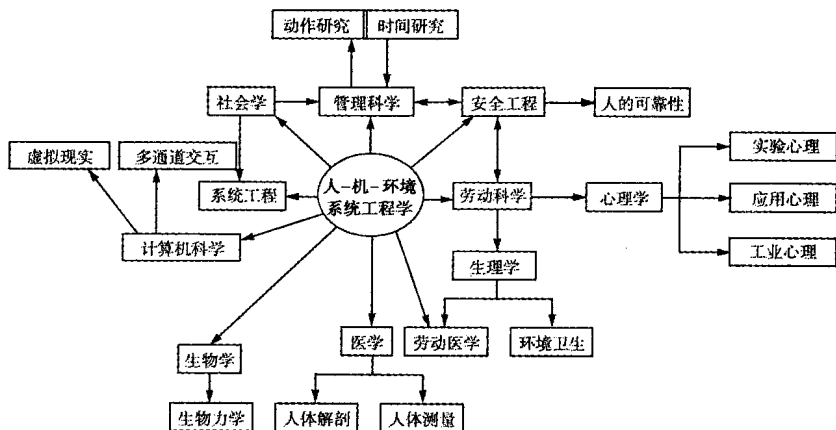


图 1.1 人一机—环境系统工程学与其他学科之间的关系图

国际人类工效学学会(International Ergonomics Association, 简称 IEA)为本学科下了权威、全面的定义: Man-machine and environment system engineering (or human factors, Ergonomics) is the scientific discipline concerned with the understanding of interactions among humans and other elements of a system, and the profession that applies theory, principles, data and methods to design in order to optimize human well-being and overall system performance. Ergonomist contribute to the design and evaluation of tasks, jobs, products, environments and systems in order to make them compatible with the

needs, abilities and limitations of people。从科学性和技术性方面,也可以给人—机—环境系统工程学下定义为:人—机—环境系统工程学研究人在某种工作环境中的解剖学、生理学和心理学等方面的各种因素;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怎样考虑工作效率、人的健康、安全和舒适性等问题的科学。

人—机—环境系统工程学者利用计算机科学、心理学、生理学、医学、人体测量学、技术美学和工程技术等多方面的认识成果、研究方法和测评手段,对不同作业中人、机及环境三者间的关系进行研究,并提出对作业设备、作业方式和作业环境的设计指导意见,以及作业在效率、安全、健康、舒适等方面的特性。其最大的特点是把人、机、环境看做是一个系统的三个有机的组成部分,三者间的信息传递、加工和控制,形成一个相互关联的复杂巨系统,并运用系统工程方法寻找出最佳工作状态,使系统具有“安全、高效、经济”等综合效能。面对人—机—环境系统工程这样一个研究范围广泛、相关领域众多的学科,其本身的研究就是一个复杂而且困难的问题,迅速发展的计算机技术既为人—机—环境系统工程的研究带来了新的研究课题,同时也为加强该学科的研究方法和手段提供了强有力的工具,最具代表性的就是近年来发展极为迅速的人机交互技术与工程应用领域的结合(如虚拟现实技术、人机交互界面设计、交通/航空安全工程、数字家居设计等)。

人—机—环境系统工程学的研究包括理论和应用两个方面,其研究范围极其广泛,并随着应用领域的发展而不断扩展。但其根本研究方向是通过揭示人、机、环境之间相互关系的规律,以达到确保人—机—环境系统总体性能的最优化。从这个角度出发,本学科的主要内容可概括以下几个方面。

1.1.1 “人”的因素研究

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,对人体结构特征和机能特征进行研究,提供人体各部分的尺寸、体