

# 复杂信息系统 人机交互数字界面

设计方法及应用

薛澄岐·著



东南大学出版社  
SOUTHEAST UNIVERSITY PRESS

# 复杂信息系统人机交互数字 界面设计方法及应用

薛澄岐 著



东南大学出版社  
SOUTHEAST UNIVERSITY PRESS

· 南京 ·

## 内容提要

本书是一部全面介绍复杂信息系统人机交互数字界面设计理论、方法和应用的专著。主要包括复杂信息系统人机交互数字界面的设计要素、信息结构、设计理论、设计方法、设计原则以及评价方法,为复杂环境下执行复杂操作任务的显控界面设计研究提供了完善的理论知识和结构脉络。

本书可作为从事复杂信息系统数字界面人机交互设计的设计人员和研究人员的参考用书,也可作为工业设计、信息设计、交互设计等专业的博士、硕士研究生教材或参考用书。同时适合作为航空航天、军事指挥、高铁驾控、核电厂控制、车辆导航等复杂信息系统的数字化界面设计工具书。

## 图书在版编目(CIP)数据

复杂信息系统人机交互数字界面设计方法及应用/  
薛澄岐著. —南京:东南大学出版社, 2015. 11

ISBN 978-7-5641-5737-1

I. ①复… II. ①薛… III. ①人一机系统—用户  
界面—系统设计—研究 IV. ①TB18

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2015)第 102921 号

## 复杂信息系统人机交互数字界面设计方法及应用

---

出版发行 东南大学出版社  
社 址 南京市四牌楼 2 号  
网 址 <http://www.seupress.com>  
出 版 人 江建中  
责任编辑 姜晓乐(joy\_seup@126.com)

---

经 销 全国各地新华书店  
印 刷 江苏凤凰数码印务有限公司  
开 本 787 mm×1092 mm 1/16  
印 张 16.25 彩插:8  
字 数 418千  
版 次 2015 年 11 月第 1 版 2015 年 11 月第 1 次印刷  
书 号 ISBN 978-7-5641-5737-1  
定 价 59.00

---

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

# 序 一

复杂信息系统人机交互界面在军事、信息安全、地理交通等诸多重要领域发挥着不可替代和非常重要的作用。在军事领域,随着新军事革命时代的到来,现代战争作战效能的发挥建立在能量流(动力系统)、信息流(信息系统)和物质流(武器装备)的有机结合之上。信息化条件下,战机稍纵即逝,军事人员要及时关注战场态势并作出决策,单靠“人脑”显然难以完成,必须借助于以计算机技术为主的复杂信息系统。

复杂信息系统信息的最终呈现以及与人之间的信息交互,成为人机交互数字界面设计的核心和关键,信息的合理呈现和有效交互也是复杂系统精准运行的核心战略能力。

为了全面分析研究复杂信息系统人机交互数字界面的设计方法、理论体系,需要系统性地建立设计要素、信息结构、设计理论、设计方法、设计原则以及评价方法,为复杂环境下执行复杂操作任务的界面显控设计研究提供完善的理论知识和结构脉络。

本书运用设计技术、生理技术及脑成像技术对复杂信息系统数字界面进行了分析,探讨数字信息设计的要素、结构、理论及方法,探索不同因素条件下影响信息设计认知的关键性要素和指标,围绕复杂信息系统人机交互数字界面要素、信息结构、设计原则、关键技术等展开系统阐述,详细介绍了复杂信息系统人机交互数字界面的设计方法和评价体系。该书的出版对于提高我国复杂系统人机交互数字界面的设计水平与量化评测能力,优化我国航空航天、汽车、船舶、核电厂和发电站等重大信息系统人机交互数字界面设计,全面提升信息化武器装备系统、指挥作战系统的性能,进一步加快国防现代化建设,提高国防现代化水平等均有重要的战略意义和现实意义。



中国工程院

院士

2015年10月16日 于青岛

## 序 二

近年来,互联网思维、商业模式、工业 4.0、创新设计 3.0、交互设计、用户体验设计、服务设计等新名词、新概念层出不穷,让人眼花缭乱。其实,不管这个世界怎么变化,有一点是不变的,那就是工业设计始终以产品为对象,这个对象不仅仅包括我们所说的物质产品,也包括了非物质产品。

手工业时代催生了工艺美术,工业时代产生了工业设计,信息化时代诞生了交互设计。可以说交互设计是工业设计在信息化时代软件领域一个新的表现形式和延伸。在信息化时代,工业设计最有效拓展发挥的领域之一就是数字化产品的人机交互设计。信息系统数字界面的设计已经由传统的软件设计师主导,快速过渡到工业设计师主导的设计轨道上。

交互设计涉及多学科的知识交叉,如认知科学、用户体验、人因工程、可用性工程、人机交互、用户界面设计、视觉传达设计等。传统的界面交互设计主要基于设计师的主观感受,更多的是注重界面的美化和功能。现代界面的设计则更加关注使用者的交互体验,也逐步引入科学的设计理念和方法。而对复杂信息系统人机交互界面的设计,由于其承载的任务复杂、呈现的信息量大、交互方式变化多样、信息结构层次繁杂,仅依靠感性、主观设计思维,已很难获得设计合理、获取信息快速有效、决策判断准确、人机操作精准的数字人机交互界面。

复杂信息系统人机交互数字界面的设计,急需科学的设计方法和评价方法作为指导。薛澄岐教授的这本著作,为交互界面设计提供了一种科学的方法,同时该书提出的结合人生理(眼动追踪、ERP 脑电实验)的评价方法,是将工业设计、人机交互、脑机制进行交叉融合,反映了最新的学术成果和学术前沿。

该书的出版对于提高我国复杂系统人机交互数字界面的科学设计水平与量化评测能力,促进工业设计与认知学科、生命科学、信息科学等学科的交叉融合,推动工业设计与科学设计的联姻,具有重要的战略意义和现实意义。



清华大学

教授

2015年5月27日 于浙江

# 前 言

当今数字界面已越来越多地取代传统人机硬件界面而成为信息智能系统人机交互的主要载体。对于战机、船舶驾驶、核电厂控制、战场指挥、汽车驾控等复杂信息系统人机交互数字界面(Digitalized Human-Computer Interface, DHCI), 信息来源渠道多, 信息量大, 信息结构关系错综复杂, 从某种意义上来说, 复杂信息系统 DHCI 就是系统的大脑, 系统的各方面信息都汇集于此, 为操作者提供决策判断乃至操作的依据。为了能更好地掌控整个系统, 并使得整个系统的效能得到充分发挥, 对该界面进行合理设计是保障信息化环境下操作者高效安全工作的关键所在。由于复杂信息系统信息表达的多样性, 操纵活动中人的智力、体力、理解力等复杂性因素, 容易造成视觉信息的设计与人类认知机理失衡, 使得系统全面地解决复杂信息系统 DHCI 的设计问题变得十分棘手和困难。

在军事领域, 信息化装备系统的人机交互可以看作是信息化装备系统与操作人员之间的对话, 是一种双向的信息交换。国内外实际运行经验表明, 在军事装备系统事故中, 人为因素所造成的事故远高于设备故障引起的事故数。由于信息化武器装备系统的各方面信息都汇集于 DHCI 上, 如何保证操作人员在较短的时间内, 对战场态势做出准确的判断并实施精准操作, 是信息化装备系统 DHCI 设计的核心问题。国外已针对这一课题展开了深入的研究, 但在我国则还未真正重视起来。从某种意义上来说, 信息化装备的自动控制系统和 DHCI 共同构成了现代化装备的硬件和软件部分。在相同的硬件水平下, 软件的绩效直接影响着操作人员的战斗力、生存能力和协调作战能力, 在很大程度上影响了武器系统整体的性能水平。

同时, 信息化装备系统 DHCI 的优化设计和工效学评估、均衡操作人员对数字界面的认知负荷(CL)和态势感知(SA)、消除操作人员与装备系统间的认知摩擦现象等手段的实施, 可有效降低 DHCI 的信息复杂度, 提高操作人员认知效率和态势感知绩效, 从而提升信息化装备系统的整体水平。

东南大学从 2006 年开始涉足复杂信息系统 DHCI 设计, 近十年来承担了一系列设计研究, 在完成这些设计的过程中, 也认识到复杂信息系统 DHCI 设计并不是业界传统意义上的美化设计, 而是有其独特的理论体系和方法来指导设计的, 好的 DHCI 设计是建立在深度研究分析基础上的。基于此指导思想, 我们在 2010 年和 2012 年分别申请了两个国家自然科学基金(71071032, 基于认知负荷(CL)和态势感知(SA)均衡的人机交互数字界面设计研究; 71271053, 数字界面视觉信息认知的脑机制研究), 对复杂信息系统 DHCI 设计理论和

评估方法进行全面深入研究,并不断将研究成果用于实际设计项目中。在此感谢国家自然科学基金委给予本研究的支持。

基于理论研究和实际设计项目,我们对复杂信息系统 DHCI 设计的关键设计理论和设计技术做了系统阐述,全面总结了复杂信息系统 DHCI 设计的体系和过程,将眼动追踪和脑电生理技术引入 DHCI 的设计评价体系中。2014 年 5 月,东南大学产品设计及可靠性工程研究所和国家国防科技工业局共同主办了“装备信息系统人机交互数字界面设计”培训。通过培训过程中和学员交流,感觉到国内在该领域的专业设计才刚刚起步,急需提高复杂信息系统 DHCI 设计水平的指导性书籍,用于全面分析研究复杂信息系统人机交互数字界面的设计方法、理论体系,系统性地建立设计要素、信息结构、设计理论、设计方法、设计原则以及评价方法,为复杂环境下执行复杂操作任务的界面显控设计研究提供完善的理论知识和结构脉络。

本书运用设计技术、生理技术及脑成像技术对复杂信息系统数字界面进行分析,探讨数字信息设计的要素、结构、理论及方法,探索不同因素条件下影响信息设计认知的关键性要素和指标,围绕复杂信息系统人机交互数字界面要素、信息结构、设计原则、关键技术等展开系统阐述,提出了复杂信息系统人机交互数字界面的设计方法和评价体系。本书的出版对于提高我国复杂信息系统人机交互数字界面的设计水平与量化评测能力,优化我国航空航天、飞机、汽车、船舶、核电厂和发电站等重大信息系统人机交互数字界面设计,全面提升装备系统、指挥作战系统的性能,进一步加快国防现代化建设,提高国防现代化水平都有重要的战略意义和现实意义。

本书的成果大部分来自东南大学研究团队近年来的研究工作,同时研究团队的师生对本书的出版做出了巨大贡献,正是这些原创性的工作和设计实践,保证了本书的独特性和前沿性。在此感谢参与本书撰写和校审工作的王海燕副教授、吴晓莉博士、李晶博士、牛亚峰博士、周蕾博士、陈默博士、苗馨月硕士、王芳硕士、匡雨驰硕士、郑佳佳硕士等师生。同时,书中部分内容源引专家、学者的著作,谨在此一并表示衷心的感谢。

最后感谢中国信息融合领域顶尖权威专家何友院士,中国工业设计领域最具影响力大师清华大学柳冠中教授为本书作序。希望本书的出版能够为提高我国复杂信息系统 DHCI 设计水平、提升信息装备系统性能尽微薄之力。

由于时间紧,人力、水平和其他条件所限,书中难免有疏忽遗漏之处,敬请各位同仁、读者批评指正。

本书得到国家自然科学基金 71071032(基于认知负荷(CL)和态势感知(SA)均衡的人机交互数字界面设计研究)和 7127105(数字界面视觉信息认知的脑机制研究)项目资助出版。

薛澄岐

2015 年 10 月 7 日 于南京

# 目 录

第 1 章 概 述 .....	1
1.1 信息化时代 .....	1
1.2 研究背景 .....	1
1.3 国内外研究现状 .....	3
1.4 复杂信息系统人机交互的研究方向 .....	10
1.5 研究意义 .....	10
【本章参考文献】 .....	11
第 2 章 复杂信息系统人机交互数字界面定义 .....	19
【内容提要】 .....	19
2.1 定义 .....	19
2.1.1 系统的复杂性 .....	19
2.1.2 复杂信息系统的定义 .....	20
2.1.3 人机交互数字界面 .....	20
2.1.4 复杂信息系统人机交互数字界面 .....	22
2.2 特点 .....	23
2.3 复杂性分析 .....	24
2.4 拟解决关键问题 .....	26
2.5 主要研究内容 .....	26
【本章参考文献】 .....	27
第 3 章 复杂信息系统人机交互数字界面设计要素 .....	29
【内容提要】 .....	29
3.1 图标 .....	29
3.1.1 图标的概念及分类 .....	29
3.1.2 图标的设计难点 .....	30
3.2 控件 .....	31
3.2.1 控件的概念及分类 .....	31
3.2.2 控件的设计难点 .....	33
3.3 导航 .....	36
3.3.1 导航的概念及分类 .....	36



3.3.2	导航的设计难点 .....	37
3.4	色彩 .....	38
3.4.1	数字界面的色彩构成及功能 .....	38
3.4.2	软件界面设计中色彩的功能 .....	39
3.4.3	复杂信息系统对色彩设计的要求 .....	41
3.5	布局 .....	41
3.5.1	布局设计的概念及设计难点 .....	41
3.5.2	布局中的视觉感知与视觉规律 .....	42
3.5.3	数字界面的功能区块 .....	43
3.6	交互 .....	44
3.6.1	交互的概念与分类 .....	44
3.6.2	交互的设计难点 .....	45
3.6.3	数字界面交互设计的影响因素 .....	45
	【本章参考文献】 .....	45
<b>第4章</b>	<b>复杂信息系统人机交互数字界面信息结构 .....</b>	<b>47</b>
	【内容提要】 .....	47
4.1	信息结构概述 .....	47
4.1.1	信息结构的定义 .....	47
4.1.2	设计信息结构的目的 .....	48
4.1.3	信息结构的交付产物 .....	48
4.1.4	信息结构与相关领域 .....	49
4.1.5	复杂数字界面的信息结构特征 .....	49
4.2	信息结构类型 .....	50
4.2.1	线性结构 .....	50
4.2.2	层级结构和多层级结构 .....	51
4.2.3	网状结构 .....	52
4.2.4	分面结构 .....	52
4.2.5	综合结构 .....	53
4.2.6	自组织结构 .....	53
4.3	信息分类方法 .....	53
4.3.1	自上而下法和自下而上法 .....	53
4.3.2	分类法 .....	54
4.3.3	精确分类和模糊分类 .....	55
4.3.4	展示性信息的结构 .....	56
4.4	界面组件 .....	57
4.4.1	软件界面组件功能介绍 .....	57

4.4.2 不同信息结构对应的功能组件 .....	58
4.5 界面信息结构模式 .....	59
【本章参考文献】 .....	61
<b>第5章 复杂信息系统人机交互数字界面设计理论 .....</b>	<b>62</b>
<b>【内容提要】 .....</b>	<b>62</b>
5.1 数字界面的视觉感知理论 .....	62
5.1.1 视觉感知 .....	62
5.1.2 数字界面的视觉感知 .....	64
5.1.3 眼动追踪技术在数字界面中的应用——案例分析 .....	66
5.2 数字界面的认知摩擦理论 .....	76
5.2.1 认知摩擦概述 .....	76
5.2.2 认知摩擦研究 .....	79
5.2.3 认知摩擦的关联量化指标 .....	81
5.2.4 认知摩擦的脑电测量案例 .....	82
5.3 数字界面的认知负荷理论 .....	86
5.3.1 认知负荷的概念 .....	86
5.3.2 认知负荷的结构 .....	87
5.3.3 认知负荷的分类 .....	88
5.3.4 CL 产生过程中的认知资源消耗机制 .....	89
5.3.5 认知负荷与工作绩效的关系 .....	90
5.3.6 认知负荷的有效控制策略 .....	93
5.3.7 基于时间压力的认知负荷研究案例 .....	94
5.3.8 基于认知负荷的复杂信息系统数字界面设计案例 .....	98
5.4 数字界面的注意捕获理论 .....	101
5.4.1 数字界面中的视觉注意 .....	101
5.4.2 数字界面中的注意捕获 .....	102
5.4.3 设计元素的注意捕获 .....	105
5.4.4 基于注意捕获的设计研究 .....	106
5.4.5 设计元素的注意捕获应用 .....	109
5.5 数字界面的生态融合理论 .....	111
5.5.1 生态融合理论概述 .....	111
5.5.2 影响生态界面效果的因素研究 .....	113
5.5.3 基于生态融合理论的界面设计案例 .....	113
5.6 数字界面的情境认知理论 .....	116
5.6.1 界面情境认知理论概述 .....	116
5.6.2 情境认知特征 .....	116

5.6.3	情境认知要素	119
5.6.4	情境假设	120
5.6.5	基于情境认知的图形符号设计案例	121
	【本章参考文献】	126
<b>第6章</b>	<b>复杂信息系统人机交互数字界面设计方法</b>	129
	【内容提要】	129
6.1	数字界面视觉信息的解码机理	129
6.1.1	人机界面视觉信息加工的生理基础	130
6.1.2	基于视觉通路理论的界面信息属性	130
6.2	数字界面人机交互的任务域模型	132
6.2.1	界面抽象层级分析	132
6.2.2	任务域模型	132
6.2.3	界面视觉信息关联属性分析	135
6.3	数字界面视觉信息的具象化设计	135
6.3.1	界面视觉信息的组织结构模型	136
6.3.2	界面信息集成方法	137
6.3.3	界面视觉信息的设计方法	139
6.4	数字界面视觉信息的布局规划	140
6.4.1	界面最优布局分析	140
6.4.2	界面视觉信息的布局规划模型	141
6.4.3	界面视觉信息的布局规划算法	142
6.5	数字界面视觉信息的布局评价	147
6.5.1	界面布局分析	147
6.5.2	界面布局的计算指标	149
6.5.3	界面布局指标的应用	160
6.5.4	界面布局计算原型系统	161
	【本章参考文献】	165
<b>第7章</b>	<b>复杂信息系统人机交互数字界面设计原则</b>	167
	【内容提要】	167
7.1	数字界面一般性设计原则	167
7.1.1	基本显示原则	168
7.1.2	基本布局原则	168
7.1.3	基本交互原则	169
7.2	数字界面的优化设计策略	169
7.2.1	图标优化设计策略	169

7.2.2	文本优化设计策略	173
7.2.3	布局优化设计策略	174
7.2.4	导航优化设计策略	177
7.2.5	色彩优化设计策略	179
7.2.6	信息呈现优化设计策略	182
7.2.7	信息流优化设计策略	187
7.2.8	交互优化设计策略	189
	<b>【本章参考文献】</b>	191
<b>第 8 章</b>	<b>复杂信息系统人机交互数字界面评价方法</b>	193
	<b>【内容提要】</b>	193
8.1	评价方法综述	193
8.2	数字界面可用性的眼动追踪评估方法	194
8.2.1	任务信息提取	195
8.2.2	眼动信息的信号采集	195
8.2.3	检测指标的计算处理	196
8.2.4	可用性子特征的质量检测	197
8.2.5	可用性质量检测	198
8.3	数字界面可用性的脑电评估方法	198
8.3.1	数字界面元素可用性的脑电评价指标汇总	198
8.3.2	数字界面整体可用性的脑电评估方法	199
8.3.3	数字界面局部可用性的脑电评估方法	200
8.3.4	脑电评价方法和其他评价方法的结合	201
8.4	数字界面可用性的眼动实验评价方法案例	206
8.4.1	实验方法	208
8.4.2	结果分析	210
8.4.3	结果讨论	217
8.5	数字界面脑电实验评价方法案例	218
8.5.1	实验方法	218
8.5.2	行为数据分析	219
8.5.3	脑电数据分析	220
8.5.4	结果讨论	221
	<b>【本章参考文献】</b>	223
<b>第 9 章</b>	<b>复杂信息系统人机交互数字界面设计案例</b>	226
	<b>【内容提要】</b>	226
9.1	复杂信息系统人机交互数字界面一般设计流程	226

9.1.1	设计流程框架·····	226
9.1.2	各流程阶段任务分解·····	227
9.2	优秀设计案例·····	231
9.2.1	设计案例1——某大型复杂指挥系统信息交互设计·····	231
9.2.2	设计案例2——某新闻信息系统复杂信息交互界面设计·····	239

# 第 1 章 概 述

无论你有没有做好进入信息化/数字化时代的准备,有一点很清楚,我们正以飞快的速度进入它,我们身边所有能被信息化/数字化的东西,都将被信息化/数字化。

——Nicholas Negroponte

## 1.1 信息化时代

自 1982 年 ACM 成立了人机交互专门兴趣小组以来,人机交互已经走过了 30 多年的历程,在经历了几十年不同的发展阶段之后,已经以越来越自然的方式呈现给用户。然而,随着科技的飞速发展,计算机用户群体规模的逐步扩大,用户个性意识的不断增强和交互需求的不断提高,数字化界面设计面临着巨大的挑战。

1977 年,Kay 和 Goldberg 在 *Personal Dynamic Media* 一文中首先提出了“计算机能像书本一样方便地使用和携带”的理想。Nielsen 在 1993 年对下一代人机交互技术做出了两个预言,一方面,未来人机交互将有更多的媒体类型构成更高的信息维度;另一方面,交互也将高度便携和个性化。2007 年,Sharp 等给出的下一代交互范型包括:无处不在的计算、可穿戴的计算和可触摸的用户界面等。微软公司于 2011 年在美国 TechFest 发表的 *Natural User Interface* 提出了未来希望用自然的语言、手势、动作等方式,来取代传统的键盘、滑鼠的操控方式。此外,在科幻电影中常见的脑波操控也是科学家们积极研究的方向,在未来也是颇令人期待的革命性技术。可以这样说,无论你有没有做好进入信息化时代的准备,有一点很清楚,我们正以飞快的速度进入它,我们身边所有能被信息化的东西,都将被信息化。

然而,信息时代也面临着令人困惑的复杂性和快速性问题。当信息的交互令人费解时,当复杂度是由于糟糕的界面设计而造成的,就会使自然的交互变得混乱、困惑、令人沮丧。数字化、智能化的人机交互界面需要将系统抽象信息转化为操作者易识别、易理解的信息界面元素。当呈现的信息复杂时,需要合理的导航设计以及信息层次的结构设计,才能达到信息交互的合理性。在这个信息时代,自动化控制与用户控制、语音识别与视觉交互、自然语言交互与直接操纵、拟人的伙伴与人的操作、自适应界面与可适应界面、媒体的丰富性与精简设计、3D 界面与 2D 界面等在人机交互的持续进展中不断交锋与平衡,如何科学地进行信息呈现并有效交互,给信息时代画了一个问号。

本书,在信息化时代的背景下应运而生。

## 1.2 研究背景

随着计算机技术和控制技术的快速发展,复杂的信息操控系统也进入了信息化时代。

在很多复杂信息系统中已经逐步取代传统的显控界面,被广泛应用到战机、船舶及汽车的操控,核电厂控制,战场指挥等各种复杂的人机交互系统和环境之中。复杂信息系统的计算机数字界面信息来源渠道多、信息量大、信息结构关系错综复杂,是人机信息交互的重要载体和媒介。从某种意义上来说,复杂信息系统人机交互数字界面就是系统的大脑,系统的各方面信息都汇集于此,它已成为操作者获取信息、知识推理、判断决策的重要手段和操作依据。从信息操控模式的转变来分析,旧式的指针表盘式显示系统大多使用寿命短、读数误差大、可靠性不强,已经跟不上时代发展的脚步,不适应现代化信息发展的需求,因而不可避免地步入被淘汰之列。计算机交互和人机界面的快速发展,使得先进的数字化技术逐渐走入各种复杂大型系统环境中,如核电、石油化工、航海雷达、航空航天等领域,取代了以往的模拟技术。人-机系统中操作人员的工作模式也由原来的以操作为主转换为以监视和决策为主。数字化显控能通过对信息系统更好地优化和管理,增强管理软件对设备运行状态的检测和预警功能,提高操作员对信息的监测与控制绩效,以及对设备进行故障诊断和预测性维护的可靠性。如战机座舱中大量的机械仪表数据同时显示时,飞行员不仅要逐个读数,还要综合判断才能做出决策和行动,过重的认知负荷远不能满足高度紧张的作战环境对反应时间的要求,因此机械仪表界面的可控性差,在获取信息方面给飞行员造成了很大的负担。以自动化智能设备为物质基础的人机界面替代传统的机械设备界面,将改变复杂大型系统人机交互的整个知觉过程。

在人机系统中,“人”始终处于核心地位,人为失误是导致系统事故的主要原因。根据国际民航组织的统计,人为因素约占飞行事故原因的75%;联合国国际海事组织在《国际船舶安全营运和防止污染管理规则》中指出,海上事故的发生约有80%是由人为因素引起的。通过对全球400多座核电站大大小小的事故分析可知,20%~90%的系统失效与人有关,其中由人直接或间接肇发事故的比率为70%~90%。1998年我国记录在案的道路交通事故则表明,人、车、路和环境等诸因素中,人为失误是其中最重要的原因,约占92.77%,其中,机动车驾驶员过失占84.25%。美国面向航天器和武器系统的重大事故调查也同样指出,50%~70%的事故是由于人为失误引起的。其中,在548次导弹故障和事故中,有46%是由于人为失误所致;在47起军用飞机的重大事故中,有51%是人为失误所致;在核武器的生产和试验过程中,曾发现23000个产品缺陷,其中82%是人为失误所致;在3种军用电子系统中,曾发现1820个质量问题,其中23%~45%是人为失误所致。通过人机交互数字界面的合理设计可显著降低人为失误。

复杂信息系统人机交互界面在军事、信息安全、地理交通等诸多重要领域发挥着不可替代的作用。在军事领域,随着新军事革命时代的到来,现代战争作战效能的发挥建立在能量流(动力系统)、信息流(信息系统)和物质流(武器装备)的有机结合之上。信息化条件下,战场情况变化急剧,战机稍纵即逝,军事人员要及时关注战场态势并作出决策,单靠“人脑”显然难以完成,必须借助于以计算机技术为主的数字界面信息系统。如F18航电驾驶舱内1个平视界面和3个多功能显示器上共有60多幅显示画面,近700个图标符号,其中177个符号有4种不同大小,总信息量1000多个,在5分钟战机着陆阶段,操作者要完成100多个动作,凝视仪表平均达100余次,每次凝视仅有0.1~0.6s,稍有差错就会发生重大事故,造成机毁人亡。越来越复杂的数字化人机交互界面让操作员几乎达到信息辨别、认知和理解的认知负荷极限。在信息安全领域,数字界面已成为数据显示的主要载体,数字界面信息显



示的有效性和可靠性,直接关系到网络安全、硬件安全、数据安全和系统安全。在地理交通领域,随着地理科学、计算机技术、遥感技术和信息科学的发展,地理信息系统将计算机硬件、软件、地理数据以及操作人员等信息进行高效获取、存储、更新、操作、分析及显示,信息终端即为数字界面。

因此,复杂信息操控系统环境中,数字界面的信息架构与编码、信息可视化、认知负荷、可用性评估等问题直接与任务的执行效率、系统安全有着紧密的联系。从信息架构与编码角度来看,科学技术的发展改变了传统复杂控制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作用变得越来越重要。因此,剖析人机界面视觉认知的信息编码,结合定性和定量方法分析界面信息编码如何影响认知加工过程,构建符合人的认知行为的信息编码流程、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的意义。一方面,从认知负荷角度来看,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也起不到任何帮助,此时增加的认知负荷也导致了认知能力的下降,从而容易引发包括感知失误、注意力分配不当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,有可能因记忆失误或决策失误导致发生系统瘫痪等重大事故。另一方面,许多人因失误的现象表明了认知负荷过低时,操作者会因为得不到刺激强化而导致兴奋度降低,操作者注意力的进一步下降也导致了許多重大事故的发生。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任务,是避免人因失误及提高人机系统高效运作的保证。

从视觉可视化角度来看,需要分析人类视觉信息加工的双通路(what 通路和 where 通路)在获取界面信息过程中视觉流向的心理和生理特点,并以此为基础探讨基于 what 属性和 where 属性的数字界面视觉信息的布局设计方法。研究遵循从“抽象”到“具象”、从“功能”到“感官”的设计理念,对界面视觉构成元素之间的关系、秩序、距离、位置、面积和视觉流程提出以定量分析为主的布局设计方法,对界面布局构图、设计评估和方案优化具有切实的指导意义和普适性。从可用性评估角度来看,人机交互界面的可用性评估是设计流程中的关键环节,评估方法的有效性、合理性和可靠性决定后期的改进和设计迭代,选择合适的评估方法可促进设计方案的完善和优化。界面可用性评估方法包括主观评估法、绩效评估法、数学模型评估法、综合理论评估法和生理实验评估法。前四种方法为传统评估方法,实际应用较为成熟和完善,但受主观因素影响较大,具有客观性不足和稳定性较差的特点,而生理实验评估法更加科学、客观和稳定,可实现用户实时生理数据的定量反应,通过眼动追踪技术和脑电技术,获取被试对界面信息的视觉认知策略和神经生理指标,使外源物理刺激和内源心理反应相互验证,全面揭示用户对数字界面的认知规律。因此,综合各种评估方法,能够弥补各自的不足,发现界面中的不足和缺陷,指导和改进数字界面的设计。

### 1.3 国内外研究现状

在信息化时代的背景下,在复杂信息系统进入数字化操控的复杂认知状态下,人机交互



领域的研究也逐见规模。近 20 年来,关于人机交互的研究受到世界各国的高度重视,目前,在全球有 8 万余名专业人士从事人机交互的工作,全世界共召开了 50 多次相关的学术会议,发表了 5 万余篇论文,出版了 500 余本相关书籍。

国外对于复杂信息系统人机交互的研究起步较早,最早可以追溯到 1945 年,冯·诺依曼提出二进制方案,建立了多级存储结构和并行计算原理,确立了 20 世纪计算机基本的数学结构,宣告计算机时代的来临,就此,数字界面人机交互的研究也随之拉开帷幕。近年来,随着科技的不断发展,世界各国都将目光转向了复杂信息系统界面设计的开发与研究。美国将 21 世纪的基础研究内容分为 4 项,其中有一项就是人机界面。美国国防部的关键技术计划不仅把人机交互界面列为软件技术发展的重要内容之一,而且专门增加了与软件技术并列的人机系统界面这项内容。日本也提出了 FPIEND21 计划(Future Personalized Information Environment Development),其目标就是要开发 21 世纪的计算机信息系统界面。此外,世界各大顶级软件公司也都在不断地开发和改进各自操作系统的用户界面,如微软的新一代操作系统 Windows 8 和苹果的 OS X Yosemite,它们更加追求界面的简单易用、美观时尚和自然友好,更加符合人的心智模型,更好地体现了以人为本的设计价值观。这些软件公司均指出运用建立“指南文档”的方式来规范软件开发过程,指导后续的软件开发,如早期苹果公司和微软公司所建立的指南,影响了桌面界面设计人员,也为其他的企业团队所参照。

在学术研究中,复杂信息系统的研究主要可分为两个方面,普通民用复杂信息系统研究领域和特殊军用复杂信息系统研究领域。普通民用复杂信息系统主要有汽车、船舶、民用飞机、核电控制等操控系统;特殊军用复杂信息系统主要有航天飞行器、舰艇、战斗机以及现代化战场指挥等监控指挥系统。以美国为首的西方国家,在复杂信息系统研究领域处于绝对的领先地位,无论是对民用还是军用复杂信息系统,他们都进行了大量深入的研究,取得了许多阶段性研究成果。虽然我国在硬件方面已逐步接近美国、日本等科技发达国家,但以软件交互为核心的复杂信息系统研究一直处于落后地位。随着对复杂信息系统人机交互研究的认识逐步提升,从国家层面上,人机交互先后被列入我国“973”计划、“863”计划、“十二五”规划中。近年来,国内从事界面设计的学者越来越多,大型企业也开始设立独立的界面设计部门,各大院校纷纷开设了专门的人机界面设计专业。在学术研究方面,浙江大学的罗仕鉴等编著的《人机界面设计》将人机界面分为硬件人机界面和软件人机界面,从认知心理学、人机工程学、设计艺术学等多学科出发,结合实际案例,探讨了硬件人机界面设计和软件人机界面设计的相关问题,从概念到理论,从方法到未来趋势的分析,都进行了全面深入的介绍。北京航空航天大学的庄达民等人对信息的色彩编码、图形编码、文字编码和位置编码方式与脑力负荷的交互关系做了一系列的实验研究。在复杂信息系统人机交互领域,东南大学薛澄岐教授研究团队近年来在复杂信息系统数字界面视觉设计与认知研究、认知负荷与态势感知均衡、视觉信息脑机制等研究领域开展了一系列研究,并取得大量的研究成果。主要包括“面向信息化作战环境的战斗机航电系统人机交互界面设计研究”、“基于认知负荷(CL)和态势感知(SA)均衡的人机交互数字界面设计研究”、“数字界面视觉信息认知的脑机制研究”、“面向大数据的信息可视化设计方法研究”等一系列国家自然科学基金和国家航空科学基金,奠定了复杂界面设计、视觉认知机理和脑认知研究领域的前沿设计理念和设计实践基础,也为本书的撰写工作提供了科学的理论基础。