自动化影响下的复杂系统数字界面设计研究

汪海波[1,2]，薛澄岐[1]，史铭豪[1]
（1. 东南大学，南京 211189；2. 安徽工业大学，马鞍山 243002）

摘要：目的 通过探讨数字界面信息设计解决自动化对人-复杂系统交互带来的认知问题。**方法** 以自动化、认知负荷和态势感知的关联性为基础，通过对人-复杂系统数字界面交互任务属性的分析，总结出它的态势感知信息处理链模型。**结论** 一是复杂系统数字界面视觉信息结构化设计，有利于信息层次、信息关系的整合和展现，实现意义构建和信息传达的清晰化、快捷化、高效化；二是视觉信息知识化设计，源于人-复杂系统数字界面交互的脑力活动任务属性，能为交互活动提供一个包括人、设备和环境的认知知识系统；三是视觉信息符号化设计是信息编码的需要，具象图形符号和抽象图形符号在不同信息属性编码上各具特色和优势。

关键词： 自动化；复杂系统；数字界面；信息设计
中图分类号： TB472 **文献标识码：** A **文章编号：** 1001-3563(2014)04-0036-04

Digital Interface Design of Complex System under the Influence of Automation

WANG Hai-bo[1,2], *XUE Cheng-qi*[1], *SHI Ming-hao*[1]
(1. Southeast University, Nanjing 211189, China; 2. Anhui University of Technology, Maanshan 243002, China)

ABSTRACT: Objective The purpose is to explore the digital interface information design to solve the cognitive problems which the automation brings to human-complex system interaction. **Methods** The approach is to summarize situation awareness information processing chain model through the task properties analysis of human-complex system digital interface interaction, and which is based on the relevance of automation, cognitive load and situational awareness. **Conclusion** One is the visual information structured design of complex system digital interface is conducive to integrate and present the information level and relation, which can achieve denotation constructed and information communicated clear, fast, efficiently.Second, visual information knowledge-based design comes from mental activity task properties of problem solving of human-complex system digital interface interaction, which can provide a cognitive knowledge system for interactive activity including people, equipment and environment.Third, visual information symbolic design is used to information coding, which the concrete representation symbols and abstract symbols have different characters and advantages in the information attribute encoding.

KEY WORDS: automation; complex system; digital interface; information design

航空航天、数字化战争等复杂系统中特定任务自动化，被寄希望于减轻操作者的工作负荷，提高系统安全，但过多自动化引起的系统事故和相关文献[1-2]表明：自动化有损操作者态势感知，降低其手动操控能力，甚至会增加监控负荷，这在系统发生异常时十分危险。目前，国内外学者开展了有关自动化的交互课

收稿日期： 2013-07-19
基金项目： 国家自然科学基金资助项目(71071032)；国家自然科学基金资助项目(71271053)；教育部人文社会科学青年基金资助项目(12YJC760019)
作者简介： 汪海波(1978—)，男，安徽人，东南大学博士生，安徽工业大学副教授，主要从事人机交互及人机界面设计研究。

题和设计方法研究，文献[3-4]提出任务属性和自动化程度关联问题；文献[5-6]提出以人为中心的要求和自适应自动化方法；文献[7-8]就自动化系统人机功能分配、认知框架和心理模型提出具体建议。复杂系统的数字界面已成为人-系统交互的主要载体，自动化带来的交互问题能否通过系统数字界面设计来解决值得研究。研究对提高我国航空航天、武器装备等复杂系统人机交互的效率、安全性、舒适性有很好的现实意义。

1　自动化对人-数字界面交互的影响

复杂系统人-数字界面交互任务属性，主要是“信息获取-判断-决策-控制”，是操作者全面掌控系统运行状态的脑力活动。由此可见，过高的认知负荷会增加人作出正确决策和合理操控的负担，导致工作效率降低；过低的认知负荷，也会使操作者警觉性和主动性降低，从而造成信息遗漏和决策失误，因此，应使认知负荷保持在操作者的认知能力范围内，使其达到与认知任务相适应的最佳唤醒水平，过高或过低均会导致工作效率下降。复杂系统人-数字界面交互的任务范畴主要是信息处理，依据Endsley提出的态势感知三阶段模型[9]：感知——感知和获取环境中的重要线索或元素；理解——整合感知到的数据和信息并分析相关性；预测——基于对环境信息的感知和理解来预测未来的发展趋势，可以得出人-数字界面交互态势感知信息处理链模型，见图1。态势感知贯穿于人-数字界面交互的整个信息处理过程，通过数字界面获取高态势感知非常重要。

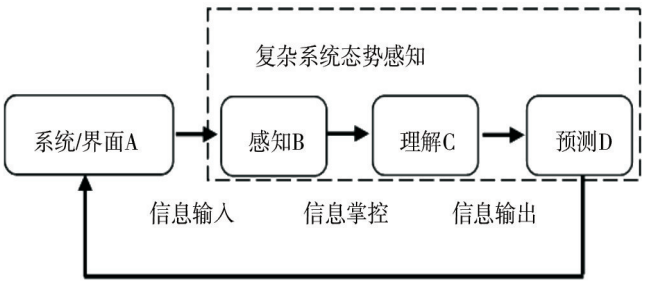

图1　态势感知信息处理链模型

Fig.1　Information chain model of situation awareness

很明显，自动化水平的提升，一方面容易出现因操作者工作负荷过低而引起的疏忽事故，另一方面数字界面有大量的信息断裂和信息盲区，这会导致操作者对系统态势感知的降低从而引起判断决策能力下降。实际飞行的安全记录表明，先进的自动化航空电子系统并不一定能提高飞行的安全性，不合理的数字界面反而给飞行员带来认知困难，尤其是在遇到突发事件时。从1988-1997年全球民用飞机解体事故数据的分析结果来看，70%的事故原因与飞行员（机组）的认知障碍而引起的误操作有关[10]。可见，通过数字界面的信息设计（这里主要研究视觉信息），确保不论自动化“黑箱”如何工作，数字界面都能在正确的时间，以正确的方式，提供正确的信息，使操作者拥有完整的信息链保持高态势感知，并始终处在合理认知负荷范围之内。

2　视觉信息结构化设计

视觉信息结构化设计既是人认知行为的本质需求，也是复杂系统信息特征的必然要求，人认知活动的本质是从关系构建的整体上去认知和理解事物，同时复杂系统信息来源渠道多，信息量大，只有通过结构化整合，才能实现意义构建和信息传达。

视觉信息结构化设计包含两个层面，一是对界面内容进行分组，可通过线、颜色、空间等使界面层次清晰、结构明了、布局合理，见图2；另一个层面是对界面中的信息实体、数据进行设计使之结构化呈现。Colin Ware认为每一个信息实体都是类别属性、区间属性和数值属性的综合体，文字、坐标、表格、图形、图像等信息显示元素，都是信息属性的外在、有形表达，结构是信息的隐含和无形特征，能有效反映信息元素之间的关系，实现对信息属性的整体认知，见图3。复杂系统信息量大、数据多，但显示载体尺寸和像素有限，需要多页面显示大量的数据，极易产生数据超载和钥匙孔现象（大量信息多页面显示，如同通过“钥匙孔”观察），这会增加人的认知负荷，造成操作者在大量显示页面中“迷失”方向。针对此问题，数字界面不能“自动”不显示具体信息和数据，而应使用信息粒度的概念，处理好信息粒度和信息清晰度、状态信息与数据信息、结果信息与过程信息之间的关系，把信息实体进行分层，层级越高，信息的抽象程度也越高，细节少；反之层次越低，信息的抽象程度也越低，细节丰富。分层结构化使数字界面信息呈现更有条理，页面间关系更加清晰，这有助于自动化模式下的系统状态

监控和系统故障原因分析，提高系统安全性。

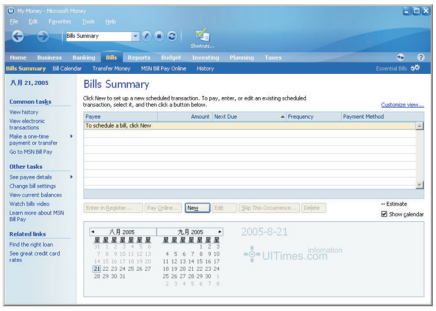

图2 界面内容分组结构化设计

Fig.2 Structured design of interface content grouping

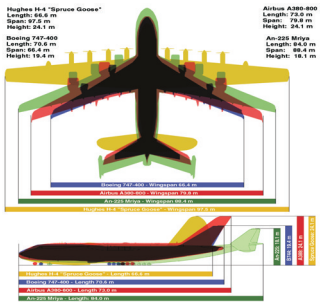

图3 界面信息实体结构化设计

Fig.3 Structured design of interface information object

3 视觉信息知识化设计

传统人机交互基本形式是：信号-操作，而对于人-复杂系统数字界面，界面传达给人的不单单是传统人机界面所传达的简单信息、指令，更多的是知识，界面上的交互元素如按钮、图标、图形、数据、表格等都是知识的载体，它们通过实现操作任务关联起来，构成了一个庞大的解决问题的知识网络[11]。从人机关系来看，人在复杂系统中的作用也从操作者向监视者、决策者转变，数字界面构成了一个庞大的解决问题的语义网络，人-复杂系统数字界面交互的基本任务是知识-求解，任务属性主要是监视-决策-控制系统运行状态的脑力活动，而非体力操作。

复杂系统数字界面应重视视觉信息的知识化设计，采用一个多层的具有策略性知识、任务导向性知识和手段的结构，有效表征复杂系统的领域知识，变传统任务驱动式监控为知识驱动式监控，这能有效地增强操作者失误和系统异常的应急处理能力，这种具有目标导向性的知识表征结构，可通过提供众多目标和手段间的“心理链”，来帮助操作者建立一个有效的解决问题的知识搜索空间。如生态界面设计的抽象层级分析法，就是为复杂系统“工作域”提供一个包括人、设备和环境的认知知识系统。

4 视觉信息符号化设计

复杂系统数字界面中，将视觉信息进行文字、数字和图形符号化设计，使符号成为设计师编码传达与操作者解码接受信息耦合功能实现的载体，能有效地实现人-系统的信息交互。复杂系统数字界面视觉信息符号化设计的价值主要有三点：一是确保操作者清晰感知和理解信息，这是态势感知的基础；二是使操作者不费力地直接感知信息，不需要耗费大量认知资源就能快速理解信息所表达的含义，有效降低操作者的外在认知负荷；三是图形符号能起到美化界面的作用。可见，视觉信息符号化设计集实用价值和精神价值于一体，能有效提高操作者的使用满意度。

文字、数字有自身严密的符号系统和规范的符号形式，设计中较好把握，但图形符号设计的自由度大，若设计结果与操作者的认知图式不符，就会耗费操作者大量的认知资源，增加其认知负担，甚至会产生因信息误导而导致的误操作和系统事故。在复杂系统数字界面中，具象图形符号和抽象图形符号因其各自的价值和传达信息的优势而广泛存在。具象图形符号的使用源于系统硬件的提升，其通常采用写实、象征和隐喻的手法来进行设计[12-13]，清晰明了地传达信息，见图4。由于系统原理的深奥性、专业性、信息实体量大等问题，写实和隐喻等具象手法存在先天的局限，而抽象图形符号，见图5，可以通过形状、尺寸、方向、颜色、纹理等元素的变化和组合编码，能有效地表达信息的形状、数量、程度、位置和方向等属性，能使数字界面呈现简洁、清晰、一致性好的特征，且占用系统硬件资源少，这既有助于操作者快速高效地认知，又提高了系统自身的运行速度。

抽象图形符号的形状可分为点（0维）、线（1维）、面（2维）、体（3维）4个维度，且各自变化形式丰富，是信息形状属性、类别属性和关联属性表达的常用载体。抽象图形符号的尺寸常被用于表达信息的数值或程度属性；抽象图形符号的方向常用来表示信息关于某个属性上的状态或属性变化趋势；抽象图形符号

图4　具象图形符号

Fig.4　Concrete representation symbols

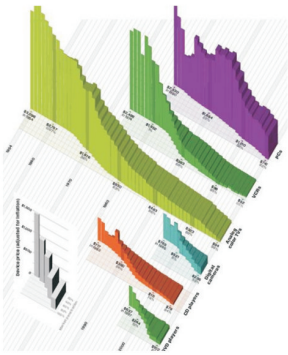

图5　抽象图形符号

Fig.5　Abstract symbols

的色彩对信息属性的高效表达至关重要，它既能起到区分信息实体属性、表达信息数值或程度属性的作用，也能用于强化信息实体可视化结构和可视化结构空间感。总之，抽象图形符号通过形状、尺寸、方向、颜色（色相/明度/纯度）、纹理等元素编码，能有效地表达信息的三大类属性，见表1。第一，表达信息实体类别属性，即以信息实体的某种属性为依据，将信息实体进行区分；第二，反映信息实体的数值或程度属性；

表1　抽象图形符号元素编码

Tab.1　Graphic coding of abstract symbols

元素	类别	数值/程度	关联/变化
形状			
尺寸			
方向			
色相			
明度			
纯度			
纹理			

第三，体现信息实体之间的关联属性。

5　结语

随着科技的发展和信息化水平的提升，自动化影响下的复杂系统数字界面设计研究，将成为人机交互领域的热点、焦点和难点。这里以解决自动化带来的认知负荷不合理和态势感知低的具体问题为出发点，以复杂系统数字界面信息设计为着力点，对基于自动化的人-数字界面交互的影响进行研究，有一定的研究高度和系统性，对人机交互领域的相关研究有很好的应用和借鉴价值。

参考文献：

[1] PARASURAMAN R，RILEY V.Humans and Automation: Use，Misuse，Disuse，Abuse[J].Human Factors，1997，39（2）：230—253.

[2] KABER D B，ENDSLEY M R.The Effects of Level of Automation and Adaptive Automation on Human Performance, Situation Awareness and Workload in a Dynamic Control Task[J]. Theoretical Issues in Ergonomics Science，2004，5（2）：113—153.

[3] JOU Y T，YENN T C.Evaluation of Operators′ Mental Workload of Human-system Interface Automation in the Advanced Nuclear Power Plants[J].Nuclear Engineering and Design，2009，239：2537—2542.

[4] LIN C J，YENN T C，YANG C W.Automation Design in Advanced Control Rooms of the Modernized Nuclear Power Plants[J].Safety Science，2010，48：63—71.

[5] BILLINGS C E.Aviation Automation：the Search for a Human-Centered Approach[M].Mahwah：Lawrence Erlbaum Assoc，1997.

[6] KABER D B，PERRY C M，SEGALL N.Situation Awareness Implications of Adaptive Automation for Information Processing in an Air Traffic Control-related Task[J].International Journal of Industrial Ergonomics，2006，36：447—462.

[7] 陈俊，李倩.驾驶舱自动化与人的因素[J].中国民航飞行学院学报，2011（2）：36—39.
CHEN Jun, LI Qian.Cockpit Automation and Human Factors [J].Journal of Civil Aviation Flight University of China, 2011

（下转第52页）

法简述[J].家具与室内装饰,2009(5):74—75.
NIU Xiao-nan, HE Jian-hua.Furniture Glass Safety and Product Quality Testing Methods Outlined[J].Furniture and Interior Decoration,2009(5):74—75.
[7] 张琲,程俊飞.无障碍设计原理在老年人家具中的应用[J].包装工程,2006,27(6):22—25.
ZHANG Bei,CHENG Jun-fei.Barrier-free Product Pesign for Old People[J].Packaging Engineering,2006,27(6):22—25.
[8] 王道静.家具五金发展及无框蜂窝板家具专用五金件研究[D].南京:南京林业大学,2011.
WANG Dao-jing.Furniture Hardware Development Progress and Research of Cellular-Panel without Frame Furniture Hardware[D]. Nanjing:Nanjing Forestry University,2011.
[9] 段凯锋,杨元钊.产品设计知识重用过程冲突消解[J].机械,2013(2).
DUAN Kai-feng, YANG Yuan-zhao.Product Design Knowledge Reuse Process of Conflict Resolution[J].Machine,2013(2).
[10] HUMPHRIES C,CRISMAN C."重新设计"产品设计[J].科技创业,2013(7).
HUMPHRIES C, CRISMAN C. Redesign the Product Design [J].Technology Review,2013(7).

(上接第39页)

(2): 36—39.
[8] 许为.自动化飞机驾驶舱中人-自动化系统交互作用的心理学研究[J].心理科学,2003(3):523—524.
XU Wei.Psychology of Human-automation Systems Interaction in the Aircraft Cockpit Automation[J].Psychological Science,2003(3):523—524.
[9] ENDSLEY M R.Toward a Theory of Situation Awareness in Dynamic Systems[J].Human Factors,1995,37(1):32—64.
[10] 许为.工效学在大型民机驾驶舱研发中应用的现状和挑战[J].人类工效学,2004(4):53—56.
XU Wei.Ergonomics Applied in the Research and Development of Large Civil Aircraft Cockpit[J].Chinese Ergonomics,2004(4):53—56.
[11] 熊俊浩,盛金根,李永建,等.基于知识特征的界面交互模型及事件激活原则[J].计算机工程与应用,2012,26:76—80.
XIONG Jun-hao, SHENG Jin-gen, LI Yong-jian, et al. Human-interface Interaction Model Based on Knowledge Feature and Incident Activation Principle[J].Computer Engineering and Applications,2012,26:76—80.
[12] 何丽萍.图形符号在数字图形界面中的应用和设计分析[J].包装工程,2011,32(2):22—25.
HE Li-ping.Application and Design Analysis of Graphical Symbol in Digital Graphics Interface[J].Packaging Engineering,2011,32(2):22—25.
[13] 王亮,张凌浩,李彬彬.基于符号传达理论的网络产品可用性研究[J].包装工程,2010,31(14):5—8.
WANG Liang, ZHANG Ling-hao, LI Bin-bin.Usability Research of Network Products Based on the Theory of Symbolic Communication[J].Packaging Engineering,2010,31(14):5—8.

(上接第47页)

FU Lu, FU Li-ming.Research of the Technical Factors of Automobile Modeling[J].Packaging Engineering, 2008, 29(7):167—170.
[4] MACEY S, WARDLE G.H-point[M].Design Studio Press, 2009.
[5] 凌继尧.技术与艺术的双向驱动——以汽车为例[J].文艺争鸣,2010(8):53.
LING Ji-yao.Bilateral Driven by Technology and Art: in the Case of Car[J].Contention of Literature and Art,2010(8):53.
[6] 周俊杰.环喜马拉雅山的生态设计(下)——民俗汽车与小型环保交通工具[J].生态经济,2011(4):194.
ZHOU Jun-jie.Eco Design around Himalaya: Traditional Car and Mini Transportation[J].Ecological Economic,2011(4):194.
[7] 岑华. 浅析汽车结构之绿色设计[J]. 生态经济,2009(9):188.
CEN Hua.Analysis of Green Design in Vehicle Structure[J]. Ecological Economic,2009(9):188.
[8] 张志辉.设计心理学[M].天津:天津人民美术出版社,2010.
ZHANG Zhi-hui.Design Psychology[M].Tianjin: Tianjin People' s Fine Arts Publishing House,2010.
[9] 谭浩,赵丹华,赵江洪.面向复杂交互情境的汽车人机界面设计研究[J].包装工程,2012,33(18):26.
TAN Hao, ZHAO Dan-hua, ZHAO Jiang-hong.Research of the Technical Factors of Automobile Modeling[J].Packaging Engineering,2010,33(18):26.
[10] 赵江洪.汽车造型设计:理论、研究与应用[M].北京:北京理工大学出版社,2010.
ZHAO Jiang-hong.Car Design: Theory, Research and Application[M].Beijing: Beijing Institute of Technology Press,2010.