

情境意识理论在驾驶界面设计中的研究现状与展望

支锦亦, 向泽锐, 李然

(西南交通大学 建筑与设计学院, 成都 611756)

摘要: **目的** 针对列车驾驶自动化和智能化的发展带来驾驶界面信息量大增, 司机工作转变为信息监控和决策后, 带来的心理负荷明显上升且情境意识下降等问题, 梳理情境意识理论在智能驾驶界面设计中的研究现状, 并对下一步研究进行展望。 **方法** 进行文献分析, 整理情境意识理论的研究现状和进展, 从情境意识与自动化驾驶界面设计、显控界面图文信息、工作负荷、自动化下的人机交互四个具有智能化驾驶界面显著特征的相关设计应用的研究入手, 对相关研究成果进行了综述。 **结论** 分析了目前的研究现状和发展方向, 提出了应加强对智能化背景下司机的驾驶人机交互认知特征、驾驶情境意识的表现特征及视觉策略、基于情境意识增强的智能列车驾驶界面可视化设计方法等方面的研究。

关键词: 情境意识; 人机界面设计; 工作负荷; 人机交互

中图分类号: TB472 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2019)18-0035-05

DOI: 10.19554/j.cnki.1001-3563.2019.18.005

Status and Prospect of Situation Awareness Theory in Intelligent Driving Interface Design

ZHI Jin-yi, XIANG Ze-rui, LI Ran

(School of Architecture and Design, Southwest Jiaotong University, Chengdu 611756, China)

ABSTRACT: Aiming at the problems that the development of train driving automation and intelligence brings about a large increase in the amount of information on the driving interface, and the psychological load brought about by the change of driver's work into information monitoring and decision-making is obviously increased and the situation awareness is decreased, the work aims to comb the research status of situation awareness theory in the design of intelligent driver interface, and look forward to further research. Literature analysis was carried out to sort out the research status and progress of situation awareness theory. The related research results were summarized from the research of situation awareness and four related design applications with significant characteristics of intelligent driving interface, namely, automatic driving interface design, graphic information of display and control interface, workload and human-computer interaction under automation. The current research status and development direction are analyzed, and it is proposed that the research on driver's cognitive characteristics of human-computer interaction, performance characteristics and visual strategies of driving situation awareness, visual design method of intelligent train driving interface based on situation awareness enhancement and other aspects should be strengthened.

KEY WORDS: situation awareness; human-computer interface design; workload; human-computer interaction

近年来我国高速铁路建设取得了举世瞩目的成就, 运营里程和在建规模跃居世界第一。2017 年 6 月 26 日京沪高铁正式首发的“复兴号”, 是达到世界先进水平的中国标准动车组, 标志着我国高速列车装

收稿日期: 2019-08-01

基金项目: 教育部资助项目(19YJA760094); 国家重点研发计划资助项目(2017YFB1201103-09, 2017YFB1201103-10, 2017YFB1201103-11, 2017YFB1201103-12)

作者简介: 支锦亦(1974—), 女, 四川人, 博士, 西南交通大学建筑与设计学院教授, 主要从事工业设计和车辆人因评价研究。

备制造达到新的高度。高速列车是一个集机械、电子、计算机、通讯等技术为一体,具备高度自动化的复杂体系,近年来列车自动化、智能化水平与速度同步提升。欧洲推进了“欧洲列车控制系统”(ETCS),我国的“中国列车控制系统”(CTCS)也迅速发展。根据中国铁路总公司的计划,2020年实施高速动车组自动驾驶系统(非无人驾驶),届时铁路装备智能化水平全面提升,将突破传统驾驶模式。

列车驾驶自动化和智能化的发展,也带来了新的人因问题。在高铁新时代,高速列车司机室中人—自动化系统这种新型人机关系,与传统人机关系已大不相同。传统列车以机械设备为主,主要依靠司机的驾驶技能、体能和经验来运行。而在高铁新时代,高速列车甚至普通动车都是以自动化设备为主,司机从繁重、单调、不断重复的机械运动式驾驶工作中解放出来,主要从事驾驶信息监控、沟通、决策方面的工作,体力负荷大幅下降,但需要更高的知识水平,而且心理负荷明显上升。传统的列车驾驶界面由字符和色块构成,设备运行状态都以文字形式显示,不直观且信息量小,对司机的驾驶水平要求高。而智能列车有大量电子设备和传感器,需要呈现的设备信息是传统列车的数倍,传统驾驶技巧已不适用,因此,更直观的设备状态显示显得尤为必要。智能模式下列车司机视觉认知机理研究,在目前可参考的文献有限。目前铁路人机研究领域,多数都是通过模拟驾驶或问卷调查等方式,研究自动化发展对列车司机行为和操作绩效的影响,但对隐藏在背后的认知机理缺乏系统揭示,应通过多个实验方案尽可能多地挖掘视觉信息对驾驶认知的影响。

目前国内关于列车司机室布局的标准主要是《机车司机室布置规则》(GB/T 6769-2016),其中的规定大多是影响司机操作的物理布局和几何尺寸,涉及到人机交互显控的要求较少,因此,可在视觉认知和交互机理研究的基础上,结合情境意识理论及“Endsley设计指南”,研究智能列车驾驶界面信息可视化方法,制定符合司机驾驶认知的“驾驶界面设计指南”并加以应用、验证和优化,为提升显控界面质量,提高司机驾驶情境意识,保障驾驶安全等方面,具有显著的应用价值。

1 情境意识理论及其研究进展

情境意识(Situation Awareness, SA)是个体在一定的时间和空间内,对环境中的各组成成分的知识、理解,进而预知这些成分随后的变化状况^[1]。在复杂、动态变化的信息环境中,它是影响操作者决策和绩效的关键因素之一^[2]。其中, Wickens 等人提出了注意—情境意识(Attention-Situation Awareness, A-SA)模型^[3],该模型提出了情境意识第一层次(SA1)的机理定性分析及其量化方法,并对高层次

情境意识(SA2/SA3)的维持进行了解释,从机理层面建立了工作负荷和注意力分配的闭环反馈。冯传宴等人提出了基于多资源负荷理论的情境意识模型^[4],结合多资源负荷理论及信息认知加工理论,以(A-SA)模型和注意资源分配SA模型为基础,针对SA由低层次到高层次的认知表达过程。研究发现,个体的SA水平受低层次的注意感知和高层次的认知后期记忆负荷影响。张超等人将情境意识的内部思维特点,映射到交互界面的设计过程中,并从感知、理解、预测三个层级,描述了汽车导航交互中用户情境意识的生成过程,提出了界面设计策略^[5]。

情境意识的测量方法一般分为记忆探查测量、作业绩效测量、主观测量和生理测量四种类型^[6]。其中,记忆探查测量是通过自我主观报告获得的情境意识,其测量结果可以对应真实状态进行比较^[7]。全局情境意识评估工具(Situation Awareness Global Assessment Technique, SAGAT)是目前在列车驾驶情境意识评价中,应用较为广泛的情境意识测量方法。这种记忆探查测量方法基于冻结技术,采用自我陈述报告的方式,由于在实验过程中需要随时暂停任务而探查记忆,因此只能在模拟器上实施,其预测效度有一定的局限性^[8]。而作业绩效测量是利用任务表现来推测操作者的SA水平,属于间接测量。此外,主观情境意识评定技术(Situation Awareness Rating Technique, SART)和十维度情境意识测评技术(10-D SART)^[9],从注意需求、注意供应和信息获取等维度测量情境意识的状况,具有较高的敏感性、精确性^[10]和易操作性^[11],也是应用广泛的测量方法。情境意识的生理测量方法一般包含眼动追踪技术(eyetracking)^[12]、心电、皮电及呼吸等生理指标测量^[4]、脑电技术(EEG)^[13]、核磁共振(fMRI)^[14]等技术。生理的测量技术提高了情境意识检测的客观性,但由于实验设备的限制,难以在实际驾驶测试中采用。

2 驾驶界面设计中情境意识理论的研究进展

2.1 情境意识与自动化驾驶界面设计

在传统的驾驶方式下,司机收到的大部分信息都是车外的信息,而在使用自动化系统的列车上,司机面对的是信息丰富的人机界面(DMI)。对司机驾驶的眼动研究表明,与传统列车司机相比,自动化列车司机明显更多地关注驾驶室内显示信息,尤其是速度信息。如果司机驾驶任务需要集成的信息大幅增加,而界面不能提供有效的支持,则可能发生注意力冲突^[15]。研究发现,在自动化系统中,操作员对问题的察觉、理解和干预通常不够及时,原因在于司机主要从事监控工作,情境意识(SA)会下降^[16]。而且,自动化程度越高,操作员的情境意识越低,紧急情况时转换为人工控制的可能性反而越低^[17],导致“自动化难题”。模拟器驾驶研究也发现,在自动驾驶状态

下，人的操作绩效退化，对紧急事件反应不及时，警惕性有所下降^[18-19]。

2.2 情境意识与显控界面图文信息

在智能系统的自动化状态下，由于注意力分配导致情境意识下降的效应，可以通过提升系统界面质量而大幅改善。研究发现，与情境意识相关的主要因素包括：界面在多大程度上能有效提供决策所需信息；界面在多大程度上能凸显自动化状态有关的线索，包括模式和系统边界条件；对模式转换的支持，包括必要的自动化参与，以及在突发情况下对自动化转换为人工控制的必要察觉和反应；自动化的透明度，有助于提升系统行动的可理解性和可预测性。有效的界面设计，有助于直接提高情景意识，改善自动化信任程度^[20]。驾驶交互系统多通道的反馈方式会一定程度改善操作效率^[21]。全面的反馈信息会有助于操作员建立情境意识，但在实际设计时难以实现。而在只提供与用户认知任务相匹配的信息，不提供其他非任务信息的情况下，用户解决问题及报警处理的绩效会得到提升^[22]。而相较于下视仪表，驾驶的平视仪表更利于获取和保持高质量的情境意识。因此，列车司机驾驶界面信息表达是否科学合理，对驾驶职能具有重大影响^[23]，但是目前我国司机室界面的布局过多依赖人的主观判断^[24]。有的研究探讨了驾驶显控界面的字符及汉字识别特征^[25-27]，但都是基于传统驾驶模式的单色扁平化界面，未能很好地反映智能系统的功能。

2.3 情境意识与工作负荷

工作负荷会以多种方式直接影响情境意识^[28]：如果工作负荷太低，情境意识也可能较低，因为操作员清醒度不足和警惕性降低；如果工作负荷太大，超过操作员的能力，脑力负荷和 SA 呈现了一定程度的负相关，操作员没有足够的时间来收集和加工所需的信息，情境意识也可能变差。总的来说，存在一个最佳的工作负荷区间，操作员具备足够的清醒度和充分的认知参与时，情境意识状态良好，在特征上表现为 U 型曲线。

尽管许多设备应用自动化的目的，是希望减少操作员的工作负荷，但有可能忽略了维持操作员较高水平的认知参与度和情境意识^[29]。

2.4 情境意识与自动化人机交互研究

鉴于自动化人机交互研究的重要性逐渐增加，Endsley 构建了 HASO (Human-Autonomy System Oversight) 模型^[30]，该模型描述了造成自动化难题的因素之间的关系，表达了影响成功监督、干预和与自动化系统交互的人类认知过程的关键系统设计特征。总的来说，操作员在进行自动化任务时，监督和干预行为的表现取决于他们的 SA 水平和工作负荷。操作员必须具有足够的 SA，以认识到当前情况超出了自动化能力的范围，或者自动化在当前情况下执行不正确，以便决定是否需要干预。人一自动化系统失误模型 (HASO)^[30]见图 1。

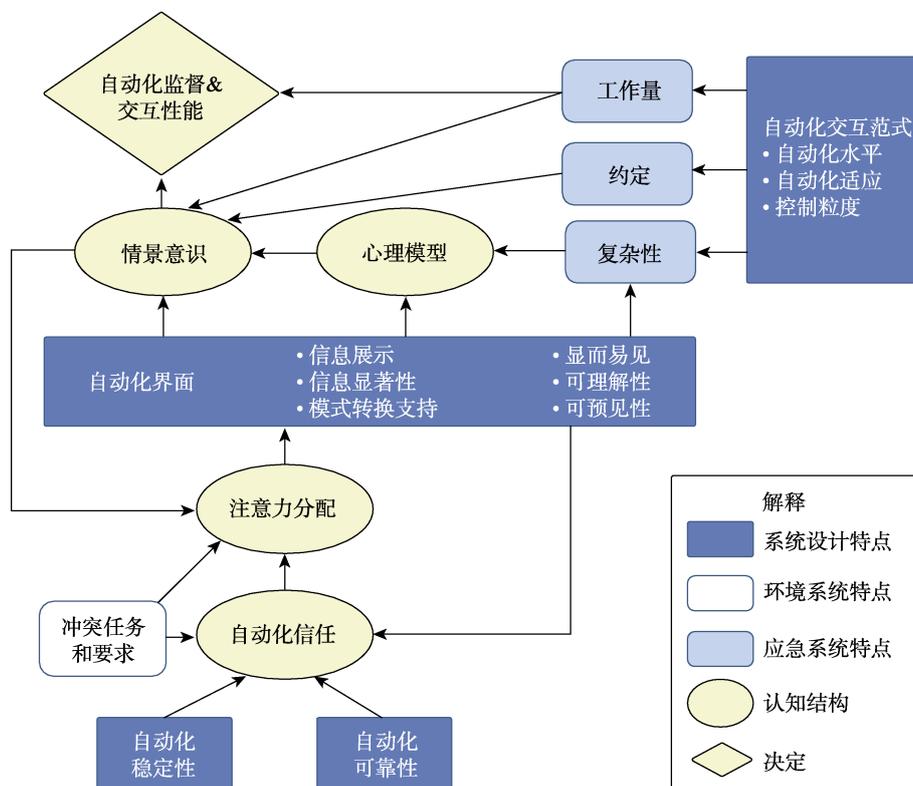


图 1 人一自动化系统失误模型
Fig.1 Human-automation system oversight(HASO) model

同时,基于该模型提出“人一自动化系统设计指南”,包含二十条建议,涵盖三个方面,即提高系统的可理解性、降低系统的复杂性、支持情境意识。具体如下:仅在必要时自动化,如果可能,避免出现人在环外问题;使用自动辅助来执行常规任务,而不是更高级的认知功能;提供SA支持而不是决策;使操作员处于掌控并在环中;避免自动化模式的扩散;使模式和系统状态显著;加强自动化一致性;避免任务的高级排队;避免使用信息提示;使用决策支持的方法来建立人一系统的共生关系,例如应急计划和评价系统;提供自动化透明度;确保功能和模式之间的逻辑一致性;最小化逻辑分支;将系统功能映射到用户的目标和心理模型;减小任务复杂度;整合信息以支持对信息的理解(Level 2 SA);提供对情境意识的预测(Level 3 SA);谨慎使用信息筛选;支持对复合数据的信心评估;支持系统可靠性评估。

“Endsley设计指南”是一个普适性的指南,对于列车驾驶界面的设计,还需要进一步验证和优化。

3 情境意识理论在列车驾驶界面设计中的研究展望

为保障轨道交通列车的安全、高效运营,研究新型智能化列车司机—控制系统的交互特性,深入探究列车智能化发展对司机认知特性、工作负荷、注意力分配、情境意识的影响机制。基于情境意识理论,对符合未来智能化列控系统要求的驾驶界面信息可视化设计方法进行探索,建立符合智能化发展趋势的“智能列车驾驶界面信息可视化设计指南”。通过司机用户对界面交互可用性的评价,验证该“设计指南”应用的可行性,可为今后的智能化列车驾驶界面提供设计策略指导。

3.1 智能化背景下司机的驾驶人机交互认知特性

以列车司机为对象,可通过模拟驾驶实验及主观心理和客观生理测量工具,来研究司机的操作行为、对界面的视觉识别及其相关认知特性以及工作负荷进行评价,分析界面信息呈现、视觉识别与视觉负荷之间的关系,揭示驾驶情境意识与界面信息可视化的影响机制。由于列车智能显示终端用于呈现列车运行状态及车载设备工作状态信息,表现形式包含了文本、图形及色彩,信息量巨大,可能带来司机认知负荷的增加。因此,测试视觉界面的信息接收与传递效率、效果和满意度,分析不同界面方案、视觉风格、功能图示、交互流程及其与情境意识的关联,有助于理清界面信息与注意力和认知负荷的影响关系。此外,列车司机的驾驶任务更多地表现为视觉任务,但是司机的注意力资源有限,如何在驾驶室内外、不同兴趣区(AOI)之间分配注意力,研究列车司机的注意力分配机制,具有非常高的价值,将为司机室人机

界面的布局设计提供理论依据。

3.2 智能化系统下列车司机驾驶情境意识的表现特征及视觉策略

司机在不同情境意识水平下的注意力分配有所差异,可通过实验研究,分析司机在不同界面下注意力分配差异的潜在原因,研究司机视觉行为及其产生原因。探究不同视觉策略和行为之间的相互关系,提取驾驶视觉策略及其影响因素。研究司机在驾驶过程中的视知觉、意识及预测行为,从空间意识(对列车位置直接相关信息的把握)、系统意识(对列车自身状态信息的把握)和任务意识(对任务及操作步骤的管理、统筹和协调方面信息的把握)三个方面,评估被试司机的情境意识(SA),驾驶界面条件下SA水平及认知参与情况,为人—机的驾驶任务分配和驾驶视觉策略提供依据。

3.3 基于情境意识增强的智能列车驾驶界面可视化设计方法

列车智能显示终端是列车信息监控系统中重要的一部分,其在列车监控系统中实现列车信息显示的功能,作为一个人机交互的平台,为列车工作人员实时地提供列车运行时的相关参数和故障信息等内容,以保证列车的安全运行。驾驶人机界面显示信息包含:列车信息显示,向车辆驾驶人员和维护人员提供车辆综合信息、各设备的工作状态;参数设定,对车号、时间日期等参数进行更改与设定;自检测试,对牵引/制动系统相关部件进行测试。同时列车工作人员还可以对其进行简单操作,对列车的部分设备进行远程控制等。对功能及界面要素的表现形式,测试其识别和认知,评价图形视觉特征,优化图形界面。

由于设计活动可以创建新的知识,可基于前期研究得到的认知方式和视觉策略,结合HASO模型及其“人一自主性系统设计指南”的二十条建议,提出多种驾驶界面设计方案,对驾驶界面信息可视化进行探索性设计,以主客观的方式结合眼动仪和问卷,测试司机对不同界面设计方案图文的识别度、可理解性和情境意识等因素,对显控信息可视特征对司机认知及情境意识的影响,进行比较与归纳,进而提出智能列车驾驶界面信息可视化设计方法,对视觉信息、交互方式、图文色彩等满意度,进行评价及优化。

4 结语

未来几年,随着铁路装备智能化水平的全面提升,列车驾驶自动化和智能化逐步带来的新人因问题,保持或提升驾驶状态下司机的情境意识,是列车驾驶交互和人机界面设计的重点。研究自动化对列车司机行为和操作绩效的影响,揭示隐藏在背后的认知机理,将情境意识理论与方法应用于智能列车驾驶交互界面及图文信息可视化设计中,提出可增强情境意

识的视觉策略,进行界面信息可视化方法的研究,将进一步提升高速列车人机工程的设计能力,有助于提升智能失效时驾驶的安全性。

参考文献:

- [1] ENDSLEY M R. Design and Evaluation for Situation Awareness Enhancement[C]. Proceedings of the 32nd Human Factors Society Annual Meeting, 1988.
- [2] 杨家忠, 张侃. 情境意识的理论模型、测量及其应用[J]. 心理科学进展, 2004(6): 842-850.
YANG Jia-zhong, ZHANG Kan. Theoretical Model, Measurement and Application of Situational Awareness[J]. Advances in Psychological Science, 2004(6): 842-850.
- [3] WICKENS C D, MCCARLEY J S, ALEXANDER A L, et al. Attention-situation Awareness Model of Pilot Error: ARL-01-13/NASA-01-6[R]. Washington, D. C: NASA, 2001.
- [4] 冯传宴, 完颜笑如, 陈浩, 等. 基于多资源负荷理论的情境意识模型与应用[J]. 北京航空航天大学学报, 2018, 44(7): 1438-1446.
FENG Chuan-yan, WANYAN Xiao-ru, CHEN Hao, et al. Situation Awareness Model Based on Multi-resource Load Theory and Its Application[J]. Journal of Beijing University of Aeronautics and Astronautics, 2018, 44(7): 1438-1446.
- [5] 张超, 赵江洪. 基于情境意识的汽车导航界面设计研究[J]. 包装工程, 2016, 37(2): 48-51.
ZHANG Chao, ZHAO Jiang-hong. Research on the Design of Automotive Navigation Interface Based on Situational Awareness[J]. Packaging Engineering, 2016, 37(2): 48-51.
- [6] ENDSLEY M R, GARLAND D J. Situation Awareness Analysis and Measurement[M]. Mahwah: Erlbaum, 2000.
- [7] MOGFORD R H. Mental Models and Situation Awareness in Air Traffic Control[J]. The International Journal of Aviation Psychology, 1997, 7(4): 331-341.
- [8] ENDSLEY M R. Situation Awareness in Aviation Systems[C]. Handbook of Aviation Human Factors, 1999.
- [9] 苏永强, 刘志方, 陈朝阳, 等. 中文版情境意识评价技术的研究与应用[J]. 航天医学与医学工程, 2018, 31(5): 513-519.
SU Yong-qiang, LIU Zhi-fang, CHEN Chao-yang, et al. Research and Application of Situational Awareness Assessment Technology in Chinese Version[J]. Aerospace Medicine and Medical Engineering, 2018, 31(5): 513-519.
- [10] VIDULICH M A. Testing the Sensitivity of Situation Awareness Metrics in Interface Evaluations[C]. Principles and Practices of Aviation Psychology, 2003.
- [11] SELCON S J, TAYLOR R M, KORITSAS E. Workload or Situational Awareness?[C]. Proceedings of the Human Factors Society 35th Annual Meeting, 1991.
- [12] VIDULICH M A, STRATTON M, CRABTREE M, et al. Performance-based and Physiological Measures of Situational Awareness[C]. Aviation, Space, and Environmental Medicine, 1994.
- [13] ENDSLEY M R. Measurement of situation awareness in dynamic systems. Human Factors, 1995, 37(1): 65~84
- [14] METALIS S A. Assessment of Pilot Situational Awareness: Measurement Via Simulation[C]. Proceedings of the Human Factors Society 37th Annual Meeting, 1993.
- [15] KECKLUND L, MOWITZ A. Human Factors Engineering in Train Cab Design-prospects and Problems [M]. Italy: Springer, 2011.
- [16] ENDSLEY M R, KIRIS E. The Out-of-the-loop Performance Problem and Level of Control in Automation[J]. Human Factors, 1995, 37(2): 381-394.
- [17] ENDSLEY M R. From Here to Autonomy: Lessons Learned from Human-Automation Research[J]. Human Factors, 2017, 59(1): 5-27.
- [18] SPRING P, MCINTOSH A, BAYSARI M. Counteracting the Negative Effects of High Levels of Train Automation on Driver Vigilance[C]. Proceedings of the 45th Annual Human Factors and Ergonomics Society of Australia Conference, 2009.
- [19] BRANDENBURGER N, JIPP M. Effects of Expertise for Automatic Train Operations[J]. Cognition Technology & Work, 2017, 19(4): 699-709.
- [20] ENDSLEY M R. The Integration of Humans and Advanced Manufacturing Systems[J]. Journal of Design and Manufacturing, 1993, 3(3): 177.
- [21] ENDSLEY M R, KIRIS E. The Out-of-the-loop Performance Problem and Level of Control in Automation[J]. Human Factors, 1995, 37(2): 381-394.
- [22] HOFF K A, BASHIR M. Trust in Automation: Integrating Empirical Evidence on Factors That Influence Trust Human Factors[J]. Human Factors, 2015, 57(3): 407-434.
- [23] 尤作, 谭浩. 手势操控车载信息交互系统研究[J]. 包装工程, 2019, 40(2): 50-54.
YOU Zuo, TAN Hao. Research on Gesture Manipulation Vehicle Information Interaction System[J]. Packaging Engineering, 2019, 40(2): 50-54.
- [24] DADASHI N, GOLIGHTLY D, SHARPLES S. Seeing the Woods for the Trees: the Problem of Information Inefficiency and Information Overload on Operator Performance[J]. Cognition Technology & Work, 2017, 19(4): 561-570.
- [25] 郭北苑. 高速列车驾驶界面人因适配性设计理论与方法研究[M]. 北京: 北京交通大学出版社, 2010.
GUO Bei-yuan. Research on Theory and Method of Human Factor Adaptation Design for High-speed Train Driving Interface[M]. Beijing: Beijing Jiaotong University Press, 2010.
- [26] 陈德钧, 方卫宁, 秦永贞, 等. 轨道车辆司机操纵台人机界面布局优化模型与算法[J]. 铁道学报, 2014, 36(11): 40-47.
CHEN De-jun, FANG Wei-ning, QIN Yong-zhen, et al. Optimization Model and Algorithm for Human-machine Interface Layout of Rail Vehicle Driver Console[J]. Journal of the China Railway Society, 2014, 36(11): 40-47.
- [27] 郭孜政, 李永建, 盛金根, 等. 动车组显控界面字符行距对司机识别效率的影响性研究[J]. 铁道学报, 2012, 34(12): 31-34.
GUO Zi-zheng, LI Yong-jian, SHENG Jin-gen, et al. Research on the Influence of Character Line Spacing on Driver Recognition Efficiency in EMU Display and Control Interface[J]. Journal of the China Railway Society, 2012, 34(12): 31-34.
- [28] 郭孜政, 李永建, 马国忠, 等. 动车组显控界面字体大小对司机识别效率的影响[J]. 中国铁道科学, 2013, 34(3): 93-97.
GUO Zi-zheng, LI Yong-jian, MA Guo-zhong, et al. Influence of the Font Size on Driver Recognition Efficiency in EMU Display and Control Interface[J]. China Railway Science, 2013, 34(3): 93-97.
- [29] 张之勇, 郭孜政, 谭永刚, 等. 动车组显控界面汉字特征对司机识别效率的影响性研究[J]. 铁道学报, 2015, 37(11): 58-62.
ZHANG Zhi-yong, GUO Zi-zheng, TAN Yong-gang, et al. Research on the Influence of Chinese Character Features on Driver Recognition Efficiency in EMU Display and Control Interface[J]. Journal of the China Railway Society, 2015, 37(11): 58-62.
- [30] ENDSLEY M R. From Here to Autonomy: Lessons Learned from Human-Automation Research[J]. Human Factors, 2017, 59(1): 5-27.