

面向人机交互的轨道维护工程机械内室设计研究

王沈策¹, 刘瑶¹, 王贞², 邱增华³

(1.湖南科技大学, 湘潭 411201; 2.湖南师范大学,
长沙 410000; 3.湘电重型装备有限公司, 湘潭 411201)

摘要: **目的** 轨道维护工程机械是典型的复杂产品, 根据用途需要自行研发制造, 致使内室人机交互成为设计研究的难点。**方法** 根据轨道维护工程机械运动行驶、静态作业和移动作业三种形式, 以及作业人员组和作业机械组两部分结合的行业现状, 从界面、通道和用户三个方面, 分析轨道维护工程机械的多类型界面组合、多通道信息传递和多用户行为协同的人机交互特点。依据开发过程的系统特性, 界定轨道维护工程机械内室人机交互的概念, 构建设计原则, 并提出内室人机交互设计模型。**结论** 轨道维护工程机械内室设计以作业工况为核心, 具有轨道交通和工程机械双重属性。内室人机交互既要符合轨道行业标准, 也要顺应作业规范要求, 结合工业设计与人机工程满足人机交互的作业工况。最后对磁浮轨道维护车内室人机交互进行设计应用, 为理论与实践研究提供参考。

关键词: 人机交互; 轨道工程机械; 内室设计; 产品造型设计

中图分类号: TB472 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2020)22-0060-06

DOI: 10.19554/j.cnki.1001-3563.2020.22.009

Cab Design of Rail Maintenance Engineering Machinery for Human-Machine Interaction

WANG Shen-ce¹, LIU Yao¹, WANG Zhen², QIU Zeng-hua³

(1.Hunan University of Science and Technology, Xiangtan 411201, China; 2.Hunan Normal University, Changsha 410000, China; 3.Xiangtan Electric Manufacturing Group Heavy-duty Equipment Co., Ltd., Xiangtan 411201, China)

ABSTRACT: The work aims to develop and manufacture the rail maintenance engineering machinery according to the needs of the application in view of that the machinery is a typical complex product, so as to make the human-machine interaction in the cab become a difficult point in design research. From the three aspects of interface, channel and user, the human-machine interaction characteristics of multi-type interface combination of rail maintenance engineering machinery, multi-channel information transmission and multi-user behavior coordination were analyzed according to the driving, static operation and mobile operation of rail maintenance engineering machinery and the industry status of operators and operating machinery. According to the system characteristics of the development process, the concept of human-machine interaction in the cab of the rail maintenance engineering machinery was defined, the design principle was constructed, and the cab human-machine interaction design model was proposed. The cab design of the rail maintenance engineering machinery is centered on the working conditions and has the dual attributes of rail transit and engineering machinery. The cab human-machine interaction meets the standards of the rail industry and the industrial specifications as well as the working conditions of human-machine interaction combined with industry design and human-machine engineering. Finally, the design and application of human-machine interaction in the cab of the maglev rail maintenance engineering machinery is carried out, which provides a reference for theoretical and practical research.

KEY WORDS: human-machine interaction; rail engineering machinery; chamber design; product form design

收稿日期: 2020-07-21

基金项目: 湖南省哲学社会科学基金资助项目 (18YBA155)

作者简介: 王沈策 (1978—), 男, 黑龙江人, 博士生, 湖南科技大学副教授, 主要研究方向为用户体验领域的交互设计、服务设计和产品设计。

随着轨道交通时代的到来,高铁、动车、轻轨、地铁和磁浮列车等轨道交通工具成为旅客出行的重要选择。由此,带来轨道交通基础设施维护需求,致使轨道维护工程机械市场快速增长^[1]。然而,轨道维护工程机械具有轨道列车和工程机械双重属性,设计过程既要符合轨道列车的通用标准,也要符合工程机械的行业规范,成为设计研究的难点。另外,轨道维护工程机械是一种非标准产品,外观或性能不在国家设备产品目录内,根据用途需要自行设计制造^[2]。轨道维护工程机械具有复杂产品的特点,也是目前学术界研究较少的原因之一。文中针对此类行业和市场发展需求,面向人机交互,对轨道维护工程机械内室进行设计探索,为轨道工程机械内室设计开发提供参考与借鉴。

1 轨道维护工程机械内室的人机交互

轨道维护工程机械保证轨道状态良好,使列车按规定速度安全、平稳、不间断运行而进行的各项轨道维护作业。包括恢复轨道各组成部件性能的轨道更新、修理,预防和消除轨道在列车动力作用及其他影响下所产生的变形、病害等的经常维修工作。轨道维护工程机械开发涉及多学科,技术、质量和可靠性等要求高,研发必须遵循相关行业标准和规范^[3]。作业工况见图1,轨道维护工程机械一般包含运动行驶、静态作业和移动作业三种形式,工况是由作业人员组和作业机械组两部分组成,带来人机交互的复杂性。

1.1 人机交互界面的多类型组合

人机交互界面主要划分为实体界面和自然用户界面两种类型^[4-5]。轨道维护工程机械的人机交互是软件、电子、机械、液压和控制等模块于一体的典型多技术系统,因此,人机交互过程以实体界面与自然用户界面组合的形式构成。其中实体界面的形态、质感和元器件之间的空间构成关系成为人机交互的重要载体。自然用户界面充分发挥用户在自然而然的情境下潜意识的交互行为。从交互空间来看,自然用户界面将交互行为从二维、三维实体界面形式发展为三维空间交互形式。透过自然的语言、手势、动作等行

为与产品进行互动的方式。轨道维护工程机械的人机交互通过多类型界面组合的方式,实现信息交互,可满足功能多、层次深和布局广的要求,达到操作、控制和量化等目的。

1.2 人机交互的多通道信息传递

多通道交互是指使用多种通道与计算机通信的人机交互方式,通道涵盖了用户表达意图、执行动作或感知反馈信息的通信方法^[6]。由于轨道维护工程机械的复杂性特点,人机交互过程需要处理大量的信息。为取得人机之间高效感知与反馈,采用多通道交互,如通过视觉、听觉、触觉、味觉、唇语、手势、和眼识等进行传递,并表现为视频、音频、震动和周期信号等方式。需要根据轨道维护工程机械的运行状态及时获取相关信息,并作出接受、判断、处理和评估等反馈行为。轨道维护工程机械多通道的人机交互具有两种特性,一方面表现为多通道的多路径信息路线,根据设计要求进行通道的选择与组合,获取产品控制过程的最佳人机交互路线;另一方面表现为多通道的信息多重表征,即信息通过不同通道进行重复表达,确保信息及时、有效传递。

1.3 人机交互的多用户行为协同

由于轨道维护工程机械人机交互过程较为繁杂,流程缜密,特别是在较大的交互空间,用户独立完成交互工作较为困难,在交互过程需多用户行为协同。一方面是多用户层级行为协同,即用户之间存在层级关系,以主控用户为核心,其他用户进行协作、辅助、配合和检验等职责,用户可在同一交互空间内,亦可在不同的空间和位置,并通过交互系统进行通讯;另一方面是多用户流程行为协同,整体交互过程呈线性关系,即相同任务由若干阶段组成,每个用户完成相应的工作,从而达到行为协同交互的目的。

2 轨道维护工程机械内室人机交互定义与设计原则

复杂产品开发过程,人机交互信息量大,信息关系复杂,不同于普通产品,需要人与系统的配合更加严谨,信息的组织与呈现更加科学^[7]。轨道维护工程机械人机交互设计在满足已有人机交互概念的前提下,具有自身的复杂性特点。其人机交互的概念可以定义为:面向轨道维护作业面,由多类型界面组合而成,采用多通道信息传递,通过多用户行为协同交互的方式,领域遵循相关标准的限制和行业规范的约束,面向复杂作业环境,取得人机交互过程高效感知与反馈效应的控制方式。在交互流程内,轨道维护工程机械人机交互设计要满足交互的可靠性、准确性和协调性原则。用户与用户之间通过产品进行协同,满足运行、维护与通讯等作业。

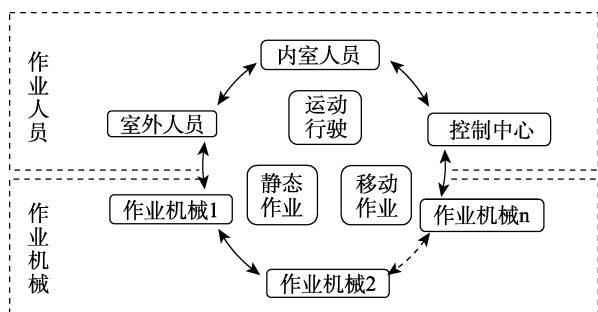


图1 作业工况

Fig.1 Working conditions

2.1 可靠性原则

用户操作失误会造成任务失败、系统故障或系统崩溃,甚至导致严重事故^[8]。提高轨道维护工程机械人机交互设计的可靠性可从两个方面着手,一方面在交互方式上有针对性,如机械交互元器件对防尘、防水和防火等方面具有高度的防护性,避免非人为因素的影响,但需要物理操作,有些还需要一定的技巧和力度才能完成,体验感较差。而非接触式的交互元器件对环境的灰尘、空气湿度和光线强度等要求较高。另外,交互空间方面,交互元器件之间的布置要防止误操作或干涉操作,如有线对讲装置,在使用的过程中会掉落、挤压和碰撞等情景。在交互空间内不能与其他按键重合,或是采用产品造型与空间分布设计的方式规避移动路线。

2.2 准确性原则

轨道维护工程机械用户需要进行岗前培训,熟练作业规范、流程,防止误操作并提高操作精准性。如在移动运行时,仪表台小踏板防止操作员离开岗位、打瞌睡等问题。经过培训,在操作中,要每隔三十秒踩一下,否则“警惕装置”会报警,如果在报警十秒后还没踩,会自动紧急停车,并将信息反馈至总控中心。需要参考作业规范和行业标准提高准确性。首先,采用形态设计进行物理分区,确定各区域相应的界面形式,根据功能实现与行为操作划分独立的物理空间,物理空间中的元素具有相关性,并采用造型、色彩和材质等进行划分,使得交互空间具有层次性,便于交互行为细分;其次是关联性交互行为,为防止在操作过程中的误操作或者其他失误,同级同区或单一的元件需要连续的交互行为才能实现交互目的,如翘板开关,可进行二级、三级和多级可调的设置,再如旋转按钮可根据旋转角度可以进行多级操作,完成精准控制。

2.3 整体协调性原则

轨道维护工程机械人机交互中的交互元器件较多,在有限的空间内,同时存在交互元器件的安装空间和行为空间两个方面。安装空间在产品的内部,需要满足工程结构设计要求。行为空间在产品的外部,

与产品的外观形态、色彩、质感等相协调。并需要满足以下条件:一是交互元器件的空间布置要有主次、先后、轻重、缓急和高低之分。如基于音频或视频端的交互元器件,可以布置在交互空间的边缘,而常用的物理操作交互元器件布置在用户的右侧。二是工程结构和产品形态辅助的交互空间设计,从这个角度来看,工程结构与产品造型、色彩、材质等,也是交互设计的组成部分,可通过产品外在形态来定位交互元器件,并辅助人机交互。

3 面向人机交互的轨道维护工程机械内室设计模型

针对轨道维护工程机械人机交互的特点,从作业工况-用户系统-交互空间-物理承载-人机评估之间的关系出发,借鉴相关研究^[9-10],构建内室设计模型,面向人机交互的轨道维护工程机械内室设计模型见图2。

工况环境。结合工况需求,工况环境可以分为内环境和外环境两个部分,内环境是进行主要检测、探查和运动行为,对维护点位进行作业时,以外环境为主,内环境与外环境进行协同作业。将轨道维护工程机械作为环境的基本单元,而环境是由多个子环境构成,并且环境之间具有关联和主次,如运动行驶以内环境为主,静态作业是以外环境为主。

交互系统。对内外环境的确定性,需要对相关的人机交互系统进行构建,以人机交互、人人通讯和机机通讯为基础,满足工况人机环境系统中各子系统之间沟通、对接和通讯。

交互流程。由于轨道维护工程机械存在不同的工况环境,因此人机交互界面中会存在多个交互行为。根据交互任务对系统进行匹配,确定交互路径。

交互空间。根据用户协同、通道协同和界面协同的情况,从可靠性、准确性和整体协调性角度,对交互空间进行整体规划。

工业设计。由于轨道维护工程机械内室人机交互是基于物理实体进行承载,涉及人机交互空间物理实体造型、色彩和材质需要结合工业设计技术进行开发。

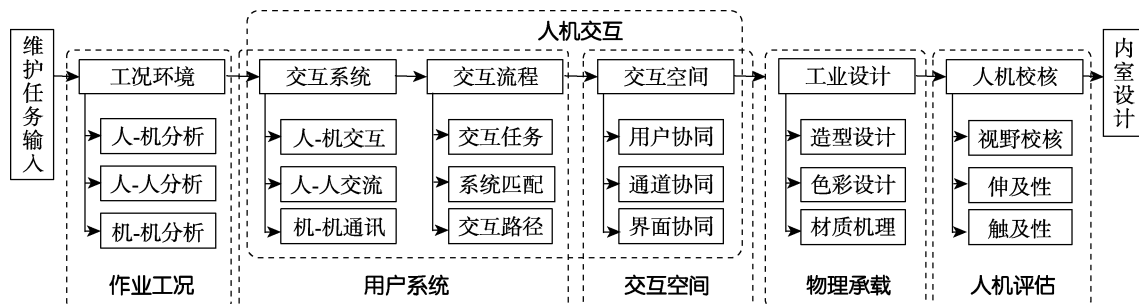


图2 面向人机交互的轨道维护工程机械内室设计模型

Fig.2 Design model of cab in rail maintenance engineering machinery for human-machine interaction



图 3 整车布置
Fig.3 Vehicle layout

人机校核。基于轨道交通行业规范对相关交互行为进行人机工程校核。另外，内外环境之间观察的需要，视野校核同样至关重要，因此，需要从人机工程要求对人机交互载体进行校核，满足人体交互行为要求。

4 应用案例

长沙磁浮工程位于湖南省长沙市境内，西起长沙高铁南站，东至黄花机场。全线在长沙高铁南站附近新建车辆段与综合基地（含控制中心）处，为了满足正常运营需要，配备用于线路、车辆检查和牵引作业的磁浮轨道维护车。整车布置见图 3。

4.1 磁浮轨道维护车工况环境

内室工况环境见图 4，磁浮轨道维护车内室包含 A（去向驾驶位）、B（反向驾驶位）两个工位和 C（乘员位）四个室外作业人员。由 A 位、B 位两名驾驶员进行内环境作业，即一个车组由六名成员构成，对行驶状态进行控制、轨道检测作业和故障车辆牵引作业。工况环境以运动行驶、定点静态维护作业、动态线路检测作业和动态牵引作业为主。

4.2 磁浮轨道维护车人机交互系统

根据磁浮轨道运行规范要求，整车作业时间为晚上十点至次日凌晨六点。在此期间，磁浮客运车辆停止运行，控制中心对磁浮轨道维护车作业情况进行跟踪和监控。人机交互系统构成见表 1，内室的人机交互系统划分为驾驶、轨道检测、安全监控和维修辅助（轨道维修时的照明、用电和液压臂的控制）四个部分。由于夜间作业驾驶员极易疲劳，安全监控界面为自然用户界面，采用红外感应、语音通讯和视频信号技术，包含听觉、视觉和动作通道，满足高效反馈的交互过程。其他界面为实体界面，包含数码显示屏、翘板开关、机械按键和拉杆手柄等器件。

4.3 磁浮轨道维护车人机交互流程

磁浮轨道维护车人机交互流程包含车辆电源送电、柴油机起停、紧急制动、液压系统控制、灯光控制和受流轨成像系统。以拖车模式、维护模式、检测模式三种工况为主，如拖车模式具有 DI 2024-1A

XM2.18~XM2.21（单机运行）、DI 2024-1A XM2.18（一拖一运行）、DI2024-1A XM2.19（一拖二运行）、DI 2024-1A XM2.20（对车运行）和 DI 2024-1A XM2.21（最大牵引运行）四种。

4.4 磁浮轨道维护车人机交互空间与工业设计

由于交互过程较为复杂，内室人机交互以仪表台进行承载，采用交互层级布置的设计方式，满足各交互元器件之间互不干扰的可靠性和准确性要求。将红外感应交互、语音交互布置在仪表台斜面的顶部。最后，结合仪表台的空间特性和工程结构特点，采用工业设计技术，完成磁浮轨道检车内室效果图，设计效果见图 5。内室仪表台见图 5a，内室内饰见图 5b。

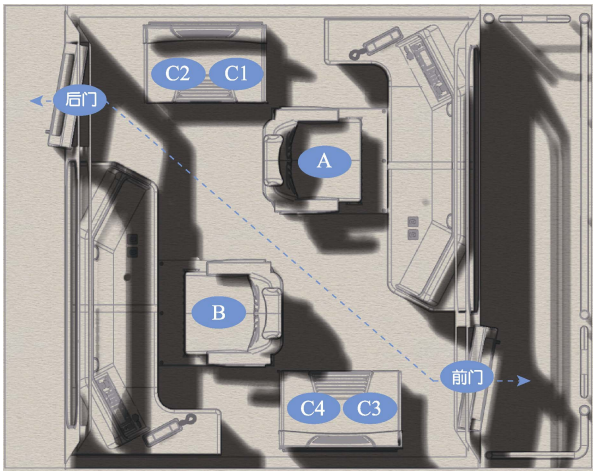


图 4 内室工况环境
Fig.4 Interior working environment

表 1 人机交互系统构成
Tab.1 Composition of human-machine interaction system

系统构成	交互元器件
驾驶系统	电源开关、柴发开关、钥匙开关、牵引手柄、车辆状态显示屏、工况选择开关、方向开关、紧急停车、雨刮开关、喇叭...
轨道检测	图像记录显示屏、检测器、洗涤器...
安全监控	摄像头、红外感应器、音频输入、音频输出...
维修辅助	维修灯开关、扫雪机开关、机械臂开关...



图 5 设计效果
Fig.5 Design renderings

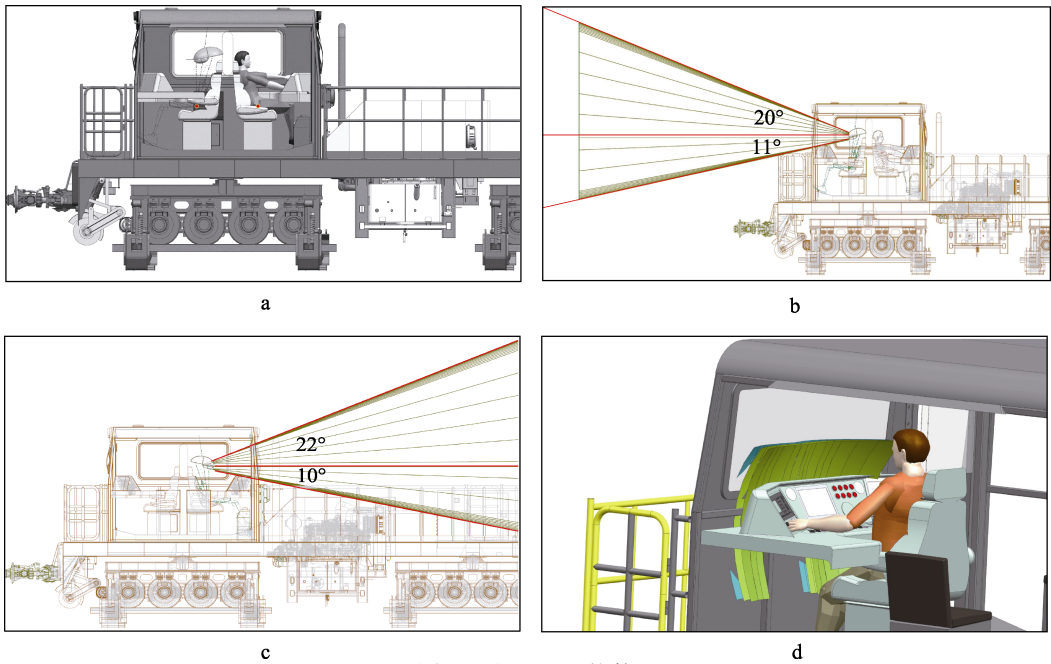


图 6 人机工程校核
Fig.6 Man-machine engineering analysis

4.5 磁浮轨道维护车人机工程校核

根据 UIC 651（2002 年 7 月第四版）推荐值^[1]，磁浮维护车内室设计应符合机车、动车、动车组和驾驶拖车的司机室设计规程。磁浮维护车司机台带搁板和刚性搁脚板，SRP 点高度范围 420~500 mm，SRP 点范围见图 6a 中红点位置所示。眼椭圆和前窗玻璃边界算出驾驶视野，驾驶员 A 的上视角为 20°，下视角为 11°，A 工位可见度见图 6b。驾驶员 B 的上视角为 22°，下视角为 10°，B 工位可见度见图 6c。计算出驾驶员手的触控范围最大值。深绿色为握物可控区，浅绿色为三指抓取可控区，蓝色为手指伸开可控区。依分析结果可见，全部控制按钮都在控制弧面内，驾驶员驾驶员 B 位置的布置 A 位置的布置满足操控要求，仪表台范围见图 6d。

5 结语

轨道维护工程机械的特性决定了人机交互的复

杂性，当前此方面研究较少。通过分析轨道维护工程机械人机交互界面、通道和用户特点，界定轨道维护工程机械人机交互的概念，并归纳设计原则，提出内室人机交互设计模型。在人机交互过程中，单一的界面、通道和用户模式无法满足功能多、层次深和布局广的人机交互工况环境，因此，轨道维护工程机械人机交互设计需要在交互空间内对用户和产品进行整体协同设计。通过交互系统、交互流程和交互空间的设计，满足工况作业条件，并结合工业设计、人机评估确保可靠性、准确性和整体协调性。最后以磁浮轨道维护内室人机交互设计进行实践，此研究对轨道工程机械及复杂产品内室人机交互具有借鉴意义和价值。

参考文献：

[1] 曾剑群，张雷，邹志安. 基于大数据技术的轨道工程机械智能化应用[J]. 企业技术开发, 2015, 34(28): 79-81.
ZENG Jian-qun, ZHANG Lei, ZOU Zhi-an. Intelligent

- Application of Rail Engineering Machinery Based on Big Data Technology[J]. Technological Development of Enterprise, 2015, 34(28): 79-81.
- [2] 王沈策, 刘德顺. 面向运行工况的矿山机械人机交互设计研究[J]. 机械设计, 2017, 34(10): 115-118.
WANG Shen-ce, LIU De-shun. Human-Machine Interaction Design Study of Mining Machinery Oriented to the Operation Condition[J]. Journal of Machine Design, 2017, 34(10): 115-118.
- [3] 范钦满, 吴永海, 徐诚. 复杂产品设计与多学科设计优化综述[J]. 机械设计, 2009, 26(8): 6-11.
FAN Qin-man, WU Yong-hai, XU Cheng. Overview on Complex Product Design and Multidisciplinary Design Optimization[J]. Journal of Machine Design, 2009, 26(8): 6-11.
- [4] 张茫茫, 傅江. 基于实体用户界面与自然用户界面结合的产品设计[J]. 科技导报, 2013(Z2): 99-102.
ZHANG Mang-mang, FU Jiang. Product Design of TUI & NUI Combination[J]. Science & Technology Review, 2013(Z2): 99-102.
- [5] CELENTANO A, DUBOIS E. Evaluating Metaphor Reification in Tangible Interfaces[J]. Journal on Multimodal User Interfaces, 2015, 9(3): 51-52.
- [6] 董士海, 陈敏, 罗军. 多通道用户界面的模型\方法与实例[J]. 北京大学学报(自然科学版), 2001, 32(2): 231-239.
DONG Shi-hai, CHEN Min, LUO Jun. The Model Method and Instances of Multi modal User Interface[J]. Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Pekinensis, 2001, 32(2): 231-239.
- [7] 吴晓莉, 薛澄岐, 王海燕. 复杂系统人机交互界面 E-C 映射模型[J]. 机械工程学报, 2014, 50(12): 206-212.
WU Xiao-li, XUE Cheng-qi, WANG Hai-yan. E-C Mapping Model Based on Human Computer Interaction Interface of Complex System[J]. Journal of Mechanical Engineering, 2014, 50(12): 206-212.
- [8] 刘泽林, 钱仲焱, 陈泳. 基于概念图的民机概念设计要求识别与获取[J]. 计算机集成制造系统, 2015, 21(10): 2549-2557.
LIU Ze-lin, QIAN Zhong-yan, CHEN Yong. Identification and Acquisition for Conceptual Design Requirements of Civil Aircraft Based on Conceptual Graphs[J]. Computer Integrated Manufacturing Systems, 2015, 21(10): 2549-2557.
- [9] 支锦亦, 向泽锐, 李然. 情境意识理论在驾驶界面设计中的研究现状与展望[J]. 包装工程, 2019, 40(18): 35-39.
ZHI Jin-yi, XIANG Ze-rui, LI Ran. Status and Prospect of Situation Awareness Theory in Intelligent Driving Interface Design[J]. Packaging Engineering, 2019, 40(18): 35-39.
- [10] 孙远波, 董一辰, 高若琳. 车辆人机交互设计虚拟评价系统构建与应用[J]. 包装工程, 2019, 40(2): 17-22.
SUN Yuan-bo, DONG Yi-chen, GAO Ruo-lin. Construction and Application of Virtual Evaluation System for Vehicle Human-Machine Interaction Design[J]. Packaging Engineering, 2019, 40(2): 17-22.
- [11] UIC 651-2002, Layout of Drive's Cabs in Locomotives, Railcars, Multiple Unit Trains and Driving Trailers[S].

(上接第20页)

- [13] 王静. 山西传统交通工具研究[D]. 太原: 山西大学, 2011.
WANG Jing. Study on Traditional Vehicles in Shanxi[D]. Taiyuan: Shanxi University, 2011.
- [14] 张靖杰. 张载“知”论研究[D]. 上海: 华东师范大学, 2015.
ZHANG Jing-jie. Zhang Zai's "Knowledge" Theory[D]. Shanghai: East China Normal University, 2015.
- [15] 李天道. 中国古代环境美学的学理溯源[N]. 中国社会科学报, 2015-09-29.
LI Tian-dao. The Origin of the Ancient Chinese Environmental Aesthetics[N]. Journal of China Social Sciences, 2015-09-29.
- [16] 唐明邦. 《易传》中的朴素辩证法思想[J]. 武汉大学学报(人文科学版), 1984(3): 60-65.
TANG Ming-bang. The Simple Dialectical Thought in Yi Zhuan[J]. Journal of Wuhan University (Humanities and Sciences), 1984(3): 60-65.
- [17] 张金星. 论庄子的“朴素”美学观的思想内涵[J]. 成都师范学院学报, 2010, 26(2): 41-42.
ZHANG Jin-xing. Ideological Connotation of Zhuangzi's "Simple" Aesthetic View[J]. Journal of Chengdu Teachers College, 2010, 26(2): 41-42.
- [18] J·W·德鲁克, 薛磊, 易晓. 中国设计影响力在西方的兴衰及未来复兴之路[J]. 装饰, 2017(2): 52-61.
J·W·Druck, XUE Lei, YI Xiao. The Rise and Fall of Chinese Design Influence in the West and the Road to Future Revival[J]. Zhuangshi, 2017(2): 52-61.
- [19] 邹其昌, 陈征洋. 中国设计理论与社会变迁关键词[C]. 中国设计理论与社会变迁学术讨论会——第三届中国设计理论暨第三届全国“中国工匠”培育高峰论坛, 2019.
ZOU Qi-chang, CHEN Zheng-yang. Key Words of Chinese Design Theory and Social Change[C]. Chinese Design Theory and Social Change Academic Symposium: Proceedings of the 3rd China Design Theory and the 3rd National "Chinese Artisan Cultivation Summit Forum", 2019.
- [20] 陈登凯. 设计哲学[M]. 西安: 西安交通大学出版社, 2014.
CHEN Deng-kai. Design Philosophy[M]. Xi'an: Xi'an Jiaotong University Press, 2014.