

基于 FAST 法的透水事故救援产品模块化设计

赵飞¹, 许娜²

(1.四川外国语大学重庆南方翻译学院, 重庆 401120; 2.四川美术学院, 重庆 401331)

摘要: **目的** 通过分析透水事故原因、矿工心理特征和煤矿巷道场景, 以矿工自救互救的设计理念为基础, 提出矿难救援舱的开创性设计, 提高矿难透水事故的救援效率。**方法** 结合矿难透水事故救援过程中存在的问题和矿工不同的需求, 对透水事故救援产品模块、结构、人因工程、交互和形态等进行创新, 制定 FAST 透水事故救援产品模块化设计准则, 重新定义和解构功能, 使矿工自主救援设备与外部救援相结合, 更好地解决和适应当今社会的矿难救援抢险工作。**结论** 运用矿难救援舱设计案例, 建立 FAST 功能树来确立矿难救援舱功能主从关系, 通过矿工自救互救的救援模式, 验证救援设计的可行性与有效性, 为透水事故救援产品设计提供科学思路和理论依据, 进而减少伤害并提高矿难救援效率。

关键词: 透水事故; FAST; 自救互救; 模块化; 人因工程

中图分类号: TB472 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2020)16-0141-06

DOI: 10.19554/j.cnki.1001-3563.2020.16.021

Modular Design of Water-Permeable Accident Rescue Products Based on the FAST

ZHAO Fei¹, XU Na²

(1.Chongqing Nanfang Translators College of SISU, Chongqing 401120, China;

2.Sichuan Academy of Fine Arts, Chongqing 401331, China)

ABSTRACT: The paper aims to put forward innovative design of mine rescue cabin to improve the rescue efficiency of mine inrush accidents based on the design concept of self-rescue and mutual rescue of miners by analyzing the causes of inrush accidents, miners' psychological characteristics and coal mine roadway scenes. According to the problems existing in the rescue process of inrush accidents and the different needs of miners, innovations were made in the modules, structures, human factors engineering, interaction and forms of rescue products for inrush accidents; modular design criteria for FAST inrush rescue products were formulated; redefinition and functional deconstructions were made, so that miners' independent rescue equipment could be combined with external rescue, thus solving and adapting to the mine disaster rescue today. The FAST function tree is established to establish the principal-subordinate relationship of mine rescue cabin function by applying the design case of mine rescue cabin. The feasibility and validity of rescue design are verified through the rescue mode of self-rescue and mutual rescue of miners. It provides scientific ideas and theoretical basis for the design of inrush accident rescue products, and then reduces the injury and improves the efficiency of mine disaster rescue.

KEY WORDS: water inrush accident; FAST; self-rescue and mutual rescue; modular; human factors engineering

煤矿生产伤亡事故不仅造成国家和企业财产的巨大损失, 而且造成许多家庭的破碎与分离, 这种持久的和严重的心灵创伤, 给家庭和社会造成了难以估

量的无形损失, 影响家庭和社会的稳定。透水事故是井下矿山重大灾害之一, 透水事故救援通常都是被动救援, 救援方式存在一定的不足和缺陷, 救援持续时

收稿日期: 2020-03-14

基金项目: 重庆市教育委员会科学技术研究项目 (KJQN201802303); 重庆市社会科学规划培育项目 (2018PY91)

作者简介: 赵飞 (1984—), 男, 河南人, 硕士, 四川外国语大学重庆南方翻译学院讲师, 主要从事可持续设计、跨学科设计与创新、服务设计等方面的研究。

间比较长,效率不高。FAST 功能树能体现产品整体功能自上而下的逻辑层次关系,各局部功能在质与量方面与整体功能保持高度的协调与统一,满足产品的整体功能,避免局部功能缺少的破坏性和多余的无效性,寻求功能形成的替代性,最终降低产品成本,增加产品功能,构建功能与成本的和谐关系,将功能与成本控制在适度的弹性范围内^[1]。以 FAST 功能树来确定透水事故救援产品的主从关系,进行功能整理、功能评价和功能模块设计。根据功能模块方案,以跨学科设计理念对透水事故救援产品进行设计,使矿工能够自主救援,提升救援效率。

1 设计需求分析

1.1 透水事故救援场景分析

构建合理的透水事故救援情景,了解情景故事环节,模拟矿井结构和救援的故事情景,分析透水事故救援产品的问题,矿工被困矿井场景叙述见图 1。

政府组织救援,耗费大量的人力、物力;救援方式比较被动,不能直接地了解矿井内部矿工受害状况。矿井内部构造十分复杂,救援人员对巷道不熟悉,展开营救过程中不能够第一时间给出正确的救援方案。透水救援设备功能单一,发生透水事故不能更好地保护自己,只能按照以往的经验模式和等待施救者辅助救援,这样会错过黄金救援时间。

前期对透水事故救援现场进行考察,在复杂的救援系统中,跳出框架去思考什么才是矿工真正需要的救援产品。以往被动救援的方式会耗费大量的人力和物力,不能够直观地了解矿井里面的具体情况^[2],而主动救援方式提高了救援效率。本文使用 FAST 模块化设计法进行研究,透水事故救援产品设计从人性化、交互化和引导式角度入手,让矿工在遇到矿难时能够准确、安全和快捷地操作和使用产品,从而达到有效的自救。

1.2 马斯洛需求分析

根据马斯洛需求层次理论,用户在低层次的需求被满足后,就会产生更高层次的需求,在设计产品中,需要考虑如何满足用户各个层次的需求。本文在分析了矿工生理特点、生产条件、生存环境和心理特点等基础上,基于马斯洛需求层次理论,绘出透水事故救援产品需求递进塔^[3-4],见图 2。

2 设计要素分析

2.1 FAST 法构建透水事故救援产品功能树

基于透水事故救援产品需求分析递进关系,对设计要素进行分析,确定主动救援功能、舒适性以及救援过程中的用户体验是透水事故救援产品设计的关键要素。为满足用户期望,设计师需要按照输入—运

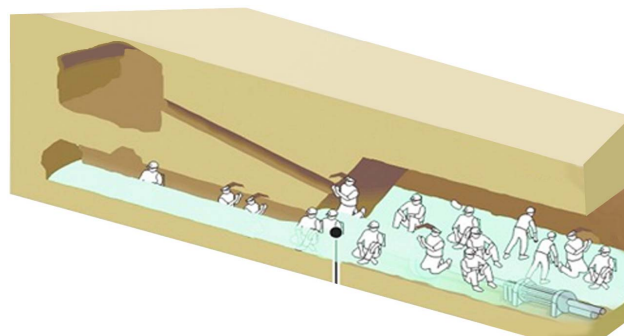


图 1 矿工被困矿井场景叙述

Fig.1 Scene description of miners trapped in mines

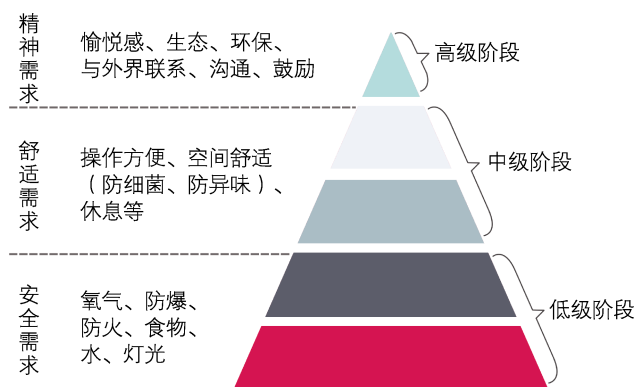


图 2 透水事故救援产品需求递进塔

Fig.2 Demand analysis of water intrusion accident rescue products

行—输出的模式建立系统模型,将用户对产品的现实需求转化为功能,并确定其主要功能和各级子功能,进而创建产品功能树^[5-6]。FAST 的基本设计运行方法:采用自顶向下的系统化功能分析思维,基于产品需求对产品功能进行定义、分析和理解,进而确定产品的重要功能及各功能之间的关系,并对其功能按优先级进行排序,进而检验各功能之间的相互依赖关系^[5]。本文运用上述 FAST 法构建出透水事故救援产品功能树,见图 3。

2.2 透水事故救援产品系统设计

透水事故救援是一个复杂的救援系统,通过系统内部要素和外部要素的有效组合,实现产品的价值,从“事”的角度思考设计问题。从造型与结构要素、色彩要素、材料要素、人机要素、交互设计要素和文化与情感要素等方面进行有机结合^[7]。造型与结构要素方面,通过造型与结构要素的有机组合,能够让矿工在第一时间作出正确的认识与反应,从而引导矿工进行正确的操作,提高安全性和主动救援效率;色彩方面,通过对矿井阴暗环境下色彩对比度的调整,让矿工迅速地作出正确的判断和反应,而不需要设计说明来进行指导,提高安全性和主动救援效率;材料方面,让矿工感觉到温暖,比较结实、耐摩擦和抵抗意外冲击与碰撞,提高安全性;人机方面,让矿工清楚

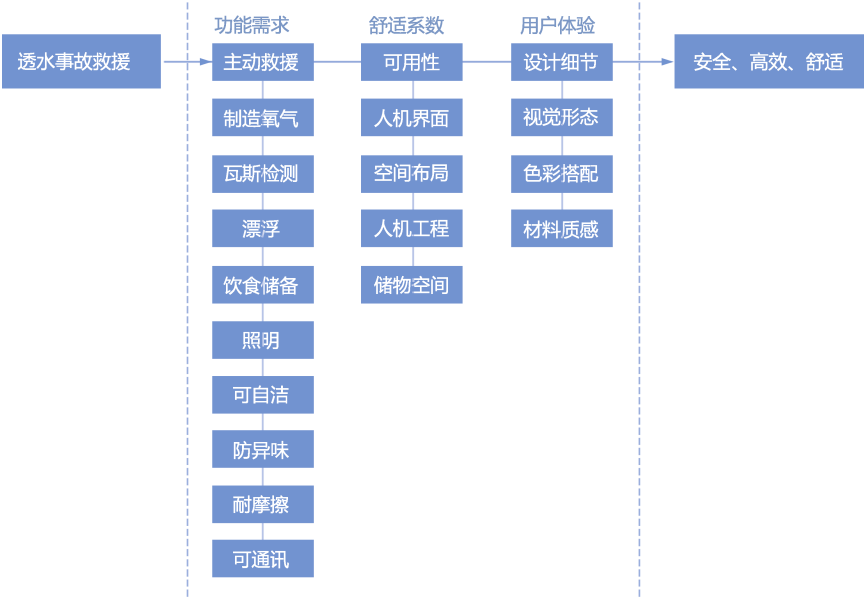


图 3 透水事故救援产品功能树

Fig.3 Function tree of water intrush accident rescue products

表 1 透水事故救援产品可行性分析

Tab.1 Analysis on the feasibility of water intrush accident rescue products

透水事故救援产品		低	中	高	透水事故救援产品		低	中	高
自救/情感	信心			▲	文化	思想			▲
	团结			▲		信仰			▲
	互助			▲		智慧			▲
	安全			▲		可持续			▲
	鼓励		▲		影响	家庭			▲
人因工程	价值			▲		国家			▲
	效率			▲		政府			▲
	质量			▲					
	环境			▲					
	舒适			▲					

功能分配，整个操作过程流畅，能够易用、安全和高
效地操作透水救援产品，提高安全性和主动救援效
率；交互设计方面，了解矿工所思、所说和所做的过
程，创造可用与有用的救援设计，真正地了解矿工需
求；文化和情感方面，让救援产品与矿工产生一种情
感交流与互动，使他们内心能够得到安慰。

透水事故救援产品将“主动”救援优势进行最大
化设计，创造可用与有用的设计服务，引导矿工进行
自我救助，更好地满足安全性及救援效率，达到功能
与形式的统一。

2.3 设计可行性分析

透水事故救援产品用低、中和高三种程度来定量
表现，在相应的级别用三角符号标示。（1）自救，透
水事故救援产品能给矿工带来信心和安全感，使矿工
能够互相鼓励和帮助，促使人心团结；（2）人因工程，
易用、安全和耐用，减少自救的易错性，提高救援效

率和救援产品的价值^[8]；（3）影响，为矿工家庭减少
伤害，为国家减少经济损失，为提倡的可持续发展奠
定坚实的基础；（4）文化是智慧群族的一切群族社会
现象与群族内在精神的传承、创造和发展的总和。透
水事故救援产品可行性分析见表 1。

透水事故救援过程非常复杂，透水事故可行性分
析为救援设计提供了思路 and 方向，设计救援产品时更
多地为“人”考虑，符合他们的使用心理和使用方式。
FAST 模块化设计法，为透水事故救援产品设计的实
施提供了更加准确和更加科学的理论模型^[9-10]。

3 方案设计

3.1 形态矩阵建立

根据透水事故救援产品 FAST 功能树，围绕功能
整合、用户体验、结构及功能扩展重新组合，并进一
步对其所涉及的各级子功能进行功能、原理及结构的

表 2 透水事故救援产品形态矩阵
Tab.2 Form matrix of water intrush accident rescue products

各级子功能	解决方案		
	1	2	3
A 检测方式	激光瓦斯检测仪	光学瓦斯检测仪	红外光谱吸收式瓦斯检测仪
B 净水装置	活性炭	RO 反渗透	超过滤
C 制氧装置	空气分离	电解水	混合物
D 防 爆	表面耐高温	救援舱结构改进	舱内部增加耐火材料
E 除 异 味	负离子吸附	救援舱材料改进	活性炭
F 食 品	有机食品	压缩食品	新资源食品
G 照明方式	LED 灯	荧光灯	卤素灯

排列组合，得到更多的原理解释，产生更多的技术方案，为最佳方案的设计提供参考依据^[11]。

对透水事故救援产品的部分功能，可以利用不同的技术手段来完成，也可以利用不同的材料和结构来满足设计的要求，从多个可行性方案中选择最有效和最理想的设计方案。形态矩阵的建立可以更方便地评估最佳设计方案，透水事故救援产品形态矩阵，见表 2。

根据图表对透水事故救援产品各功能模块的研究和分析，列出理论上原理方案的总数为： $N=3 \times 3 \times 3 \times 3 \times 3 \times 3 \times 3=2187$ 个。

组合原理方案，并考虑生产成本、使用方式、使用环境、救援效率和可靠性等要求，对众多理论方案进行定性评估，最终确定透水事故救援产品的设计方案为 A2、B2、C3、D2、E2、F1 和 G1 的组合。

3.2 透水事故救援舱模块化设计思路

模块化设计就是将复杂化的产品进行简化分解为独立的系统单元，并把这些独立单元进行重组，通过分解与组合生成新的产品功能，集成为标准化的可进行独立设计的子系统。模块化的设计具有独立性、置换性、通用性与可行性的特点^[12]。

透水事故是一个没有规律可寻的灾害，随机性比较强，这使矿难救援变得更为复杂。通过模块化的方式把透水事故救援设备规划成一个有序的救援体系，救援功能模块按照功能需求进行区分，同时也增加了产品的灵活性，降低了生存成本，提高了工作效率^[13]。模块化的造物理念与时代发展接轨，透水事故救援产品巧妙地利用分解和组合这个概念，在可持续的设计中能够实现产品的快速开发。

以透水事故救援舱的最终形态矩阵为导向，把救援产品分成两个模块：第一是通用模块，包括车气压安全门、救援舱、声光报警器、蓄电池和瓦斯检测器等一些不可缺少的功能模块，保证透水事故救援产品基本的功能；第二是基础模块，主要是透水救援工具的救援模块，医用箱、食物箱和供氧器等救援相关设备。搭配不同的工具箱体确保透水事故救援的高效性与易操作性，同时还对救援工具的储放进行了合理化

的布局，救援舱功能布局见图 4，救援舱模块和结构布局见图 5。

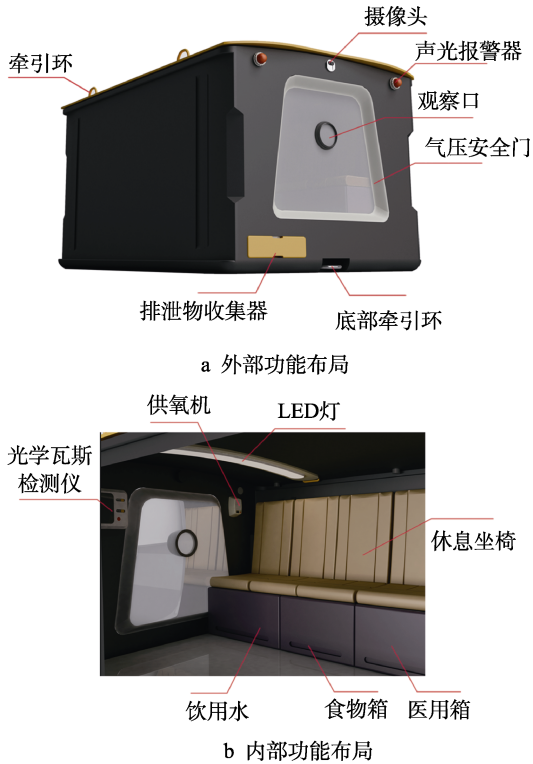


图 4 救援舱功能布局
Fig.4 Functional layout of rescue cabin

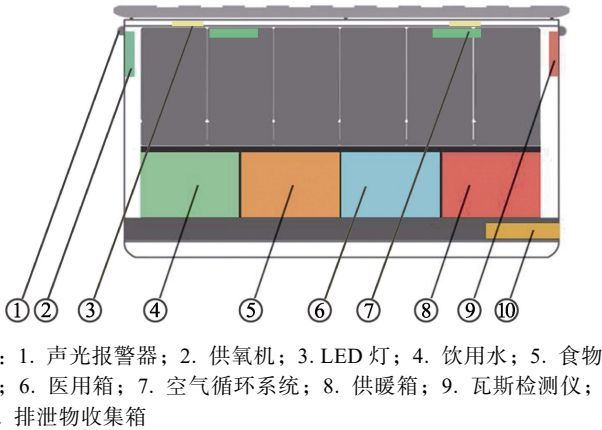


图 5 救援舱模块和结构布局
Fig.5 Module and structure layout of rescue cabin

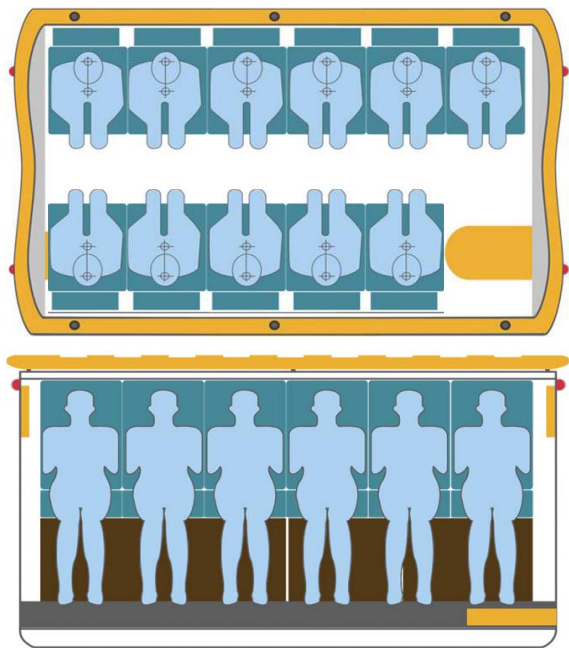


图 6 救援舱人机工程
Fig.6 Man-machine engineering of rescue cabin

表 3 设计评价
Tab.3 Design evaluation

评估结果	人性化设计	信息系统	功能合理	人机工程	品质与美学	系统设计
设计师 A	4.5	4.5	4.9	4.5	4.8	4.9
设计师 B	4.6	4.6	5	4.8	4.7	4.8
人机/结构工程师 C	4.8	4.8	4.8	4.7	4.9	4.7
平均值	4.6	4.6	4.9	4.66	4.8	4.8



图 7 透水事故救援舱改进设计
Fig.7 Improved design of rescue cabin for water inrush accident

3.3 材质选择

在材质方面，材质设计主要以碳纤维和橡胶等为主。煤矿巷道墙壁非常粗糙，在发生透水事故时巷道会增加救援舱表面磨损力度，因此需要使用硬度高的材料，避免因磨损发生意外。同时，产品材质满足矿工的情感体验需求，为矿工带来积极的心理暗示，缓解紧张的情绪，增加矿工的安全感。

3.4 人机工程

采用人机工程学来进行救援舱模块设计。救援舱的整体尺寸和操作布局方式等都需要考虑矿工的生理和心理因素。在医用箱和报警系统的设计上遵循矿工的习惯，将功能模块分割成不同颜色的模块，最大程度地降低矿工在紧急状态下的认知负荷，救援舱人机工程见图 6。

4 透水事故救援舱设计评价

通过设计走查法对产品进行验证，组织资深产品设计师与人机结构工程师对设计方案进行评估与分析，按 5 分制进行打分，并提出改进方向。从矿工安全的角度出发，确保人性化设计、功能合理、人机工程、系统设计、品质与美学等设计要点，最大程度地提高救援效率，减少矿工痛苦，设计评价见表 3。

设计评估是衡量该项目的重要手段和工具，通过设计走查法，对本文的救援产品作出改进，透水事故救援舱改进设计见图 7。

5 结语

通过对透水事故救援特征的分析，获取救援中存在的问题，结合煤矿巷道构造和救援场景不同的设计需求，提出基于 FAST 法的透水事故救援产品模块化设计准则。通过设计案例研究，对透水事故救援舱定位管理系统、形态、功能及救援模块化结构等方面，建立设计过程和表达框架，归纳出模块化在透水事故救援产品设计中的重要性，从根本上改善救援方式，为透水事故救援产品的设计提供新的思路与方法。运用 FAST 法设计思维，解决矿难救援过程中复杂的关系，建立煤矿生产预警系统，减少透水事故的发生概率，将用仿真软件对矿工主动救援过程进行情景模拟，在提高救援效率和准确性方面，仍需进一步研究。另外，本文的透水事故救援舱设计处于概念设计阶段，在参数化设计阶段将对结构强度和安全性进行仿真实验证。

参考文献：

[1] 吴晓莉, 陈慧娟, 庄坤. 基于功能系统技术 FAST 法的车体设计与分析[J]. 机械设计与制造, 2013(7): 260-262.
WU Xiao-li, CHEN Hui-juan, ZHUANG Kun. Design and Analysis of Car Body Based on Function Analysis System Technique Method[J]. Machinery Design & Manufacture, 2013(7): 260-262.

[2] 武强. 我国矿井水防控与资源化利用的研究进展、问题和展望[J]. 煤炭学报, 2014, (5).
WU Qiang. Research Progress, Problems and Prospects of Mine Water Prevention and Control and Resource

- Utilization in China[J]. Journal of China Coal Society, 2014, (5).
- [3] 观晓雷. 基于马斯洛需求层次理论的产品需求递进趋势初探[J]. 工业设计, 2018, 146(9): 43-45.
GUAN Xiao-lei. A Preliminary Study on the Progressive Trend of Product Demand Based on Maslow's Hierarchy of Needs[J]. Industrial Design, 2018, 146 (9): 43-45.
- [4] 诺曼·唐纳德·A. 设计心理学 3——情感化设计[M]. 北京: 中信出版社, 2015.
NORMAN D A. Design Psychology 3: Emotional Design[M]. Beijing: Citic Publishing House, 2015.
- [5] 陈晨, 孙志学, 张乐. FAST 法在家用智能固体有机废弃物处理机概念设计中的应用[J]. 机械设计, 2017, 31(1): 110-113.
CHEN Chen, SUN Zhi-xue, ZHANG Le. Application of FAST Method in the Conceptual Design of Domestic Intelligent Solid Organic Waste Processor[J]. Journal of Machine Design, 2017, 31(1): 110-113.
- [6] 石元伍, 潘思颖. 基于 FAST 法与 TRIZ 的适老智能陪护机器人设计[J]. 包装设计, 2018, 39(8): 129-135.
SHI Yuan-wu, PAN Si-ying. Design of Elderly Intelligent Companion Care Robot Based on FAST Theory and TRIZ Theory[J]. Packaging Engineering, 2018, 39(8): 129-135.
- [7] OTTO K N, WOOD K L. 产品设计[M]. 齐春萍, 宫晓东, 张帆, 译. 北京: 电子工业出版社, 2007.
OTTO K N, WOOD K L. Product Design[M]. QI Chun-ping, GONG Xiao-dong, ZHANG Fan, Translate. Beijing: Electronic Industry Press, 2007.
- [8] 罗仕鉴, 朱上上. 用户体验与产品创新设计[M]. 北京: 机械工业出版社, 2010.
LUO Shi-jian, ZHU Shang-shang. User Experience and Product Innovation Design[M]. Beijing: China Machine Press, 2010.
- [9] 蔡敏, 胡善刚, 陈丽娜, 等. 基于模块化方法的复杂机械产品变型设计[J]. 机械设计, 2013, 30(4): 24-27.
CAI Min, HU Shan-gang, CHEN Li-na, et al. Variant Design of Complex Mechanical Products Based on Modular Method[J]. Journal of Machine Design, 2013, 30(4): 24-27.
- [10] 李君华, 苗梦宇. 基于 FAST 法的城市救援车模块化设计[J]. 包装设计, 2018, 39(4): 177-180.
LI Jun-hua, MIAO Meng-yu. Modularization Design of Urban Rescue Vehicle Based on the FAST[J]. Packaging Engineering, 2018, 39(4): 177-180.
- [11] 孙志学. 基于灰色关联分析的产品色彩方案多意象优选[J]. 机械设计, 2015, 32(1): 120-122.
SUN Zhi-xue. Multiple Image Selection of Product Color Schemes Based on Grey Relational Analysis[J]. Journal of Machine Design, 2015, 32(1): 120-122.
- [12] 孙明阳. 汽车造型模块化设计研究[D]. 长春: 吉林大学, 2014.
SUN Ming-yang. Research into Automotive Styling Modular Design[D]. Changchun: Jilin University, 2014.
- [13] 柳冠中, 中国设计思想[M]. 长沙: 中南大学出版社, 2018.
LIU Guan-zhong, Chinese Design Philosophy[M]. Changsha: Zhongnan University Press, 2018.