

基于 SAPAD-QFD 的施工升降机驾驶室设计研究

张玉萍¹, 杨甜甜¹, 杨一^{2*}, 罗晓庆¹

(1.西华大学, 成都 610039; 2.四川建设机械(集团)股份有限公司, 成都 610081)

摘要: 目的 为提高施工升降机驾驶员工作效率, 改善其工作体验, 设计出满足驾驶员实际需求的施工升降机驾驶室。方法 以 SAPAD 理论和 QFD 理论为理论框架, 梳理出用户需求及与其对应的设计特征, 并在此基础上开展设计实践。首先, 通过观察法和访谈法来获取驾驶员日常行为信息, 根据 SAPAD 理论完成“行为-产品-意义”的映射分析, 并借助聚类分析法获取用户需求; 其次, 利用 AHP 法对用户需求进行权重分析并计算权重值; 最后, 根据 QFD 理论构建施工升降机驾驶室的质量屋, 将各项用户需求转化为设计特征, 指导设计实践。结果 根据研究结果, 提出一种符合驾驶员实际需求的施工升降机驾驶室设计方案。结论 SAPAD 理论与 QFD 理论的综合应用, 一方面可以挖掘出用户的核心需求, 另一方面增加了设计方案的科学性, 在优化施工升降机驾驶室用户体验的同时, 也为其他工业产品设计提供了有价值的参考。

关键词: SAPAD 理论; QFD 理论; 施工升降机驾驶室设计; 用户行为

中图分类号: TB472 **文献标志码:** A **文章编号:** 1001-3563(2024)02-0088-11

DOI: 10.19554/j.cnki.1001-3563.2024.02.009

Design of Construction Hoist Cab Based on SAPAD-QFD

ZHANG Yuping¹, YANG Tiantian¹, YANG Yi^{2*}, LUO Xiaoqing¹

(1. Xihua University, Chengdu 610039, China; 2. Sichuan Construction Machinery (Group) Co., Ltd., Chengdu 610039, China)

ABSTRACT: The work aims to design a cab to meet the actual needs of construction hoist drivers to improve their work efficiency and working experience. With SAPAD theory and QFD theory as the theoretical framework, the user needs and their corresponding design characteristics were sorted out, and the design practice was carried out on this basis. Firstly, the drivers' daily behavior information was obtained by observation method and interview method, the mapping analysis of "behavior-object-meaning" was completed according to SAPAD theory, and the user needs were obtained by cluster analysis method. Then, AHP method was used to analyze the user needs and calculate the weight value. Finally, the house of quality of the construction hoist cab was constructed according to QFD theory, and the user needs were transformed into design characteristics to guide the design practice. Based on the above research results, a construction hoist cab design scheme that meets the actual needs of drivers is proposed. The comprehensive application of SAPAD theory and QFD theory can tap into the core needs of users, and increase the scientificity of the design scheme. While optimizing the user experience of the construction hoist cab, it also provides design reference value for other industrial products.

KEY WORDS: SAPAD theory; QFD theory; construction hoist cab design; user behavior

施工升降机作为建筑领域中的主要运输设备, 在城市高层建筑建设中起到了重要的作用, 并随着建筑业的发展, 以及城镇化进程的推进, 受到诸多

领域的关注。目前, 在学术研究方面, 关于施工升降机的内容主要表现在两个方面, 一方面是以学者 Kim 等^[1-2]、田国承等^[3]为代表, 从功能技术层面, 优化施

收稿日期: 2023-08-19

基金项目: 四川省哲学社会科学重点研究基地-现代设计与文化研究中心 (MD23E028)

*通信作者

工升降机，提高其适用性；另一方面是以学者赵挺生等^[4]、王东红等^[5]、丁承君等^[6]为代表，从安全风险层面，改善施工升降机的系统和结构，降低其事故风险指数。

施工升降机驾驶室是控制整个升降机运行状态的核心，也是驾驶员完成作业的主要工作场所，但是目前关于施工升降机驾驶室的研究较少。此外，施工升降机驾驶室内部空间狭小，可自由利用的空间有限，功能设施及其布局以完成工作任务为主。因此，缺乏合理的空间布局设计及对用户体验的考量，容易导致误操作，影响升降机运行风险指数。良好的驾驶室环境对于提高工作效率，改善驾驶员工作状态极其重要。本文试图从用户行为分析的角度开展研究，采用 SAPAD 理论和 QFD 理论相结合的研究方式，对驾驶员行为进行详细分析，梳理出驾驶员的核心需求，并以此开展施工升降机驾驶室的设计实践，为施工升降机驾驶室提供更加人性化的方案。

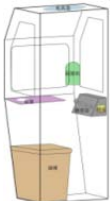
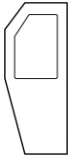
1 施工升降机驾驶室设计现状

施工升降机最早起源于瑞典，是一种在建筑施工现场中起到垂直通道上人员和货物运载作用的起重设备^[7]。根据其运输内容，可以分为载货梯和人货两用梯两种。施工升降机主要具有结构简单、成本低廉、用途广泛等特点。作为建筑工地上的重要设备，其整

体主要由吊笼、传动装置、控制系统、防坠安全装置等部件构成^[8]。其中，驾驶室是升降机最重要的组成部分，控制整个升降机的运行状态，附着于吊笼侧边。施工升降机驾驶员在驾驶室中，根据呼叫器传递的楼层信息，操控手柄，控制升降机上行或下行，到达目的楼层，运载货物或人员。

根据现行国家标准，施工升降机主要分为曳引式（简称 SS 型）施工升降机和齿轮条式（简称 SC 型）施工升降机两种型号^[9]。目前，国内主要以齿轮条式型施工升降机为主。其中以中联重科、徐工、川建、大汉、特威等知名品牌为主要代表。本文在市场调研的基础之上，选取中联重科、徐工、川建三款主流施工升降机，对其驾驶室进行设计分析，梳理其外观特征、内部配置等要素，为后期的设计实践提供一定的参考价值，见表 1。国内施工升降机驾驶室外观主体形态基本相似，大多采用折线式，且侧窗的设计基本采用与驾驶室侧面轮廓相似的形态，或是直接使用矩形，为追求设计感，壁面增加凸起、渐消等肌理效果。在色彩方面，外部整体以灰色或者白色为主色调，加以品牌色或其他亮色进行装饰。驾驶室内部功能配置也基本相同，以实现升降机运输功能为主，操纵台和座椅分别紧贴驾驶室前后壁。考虑到驾驶员的生活需求，驾驶室会增加电风扇、杯架等设施，但并不完善。室内配色主要以灰色、白色为主，降低狭小空间所产生的压抑感。

表 1 三款施工升降机驾驶室对比分析
Tab.1 Comparative analysis of the three construction hoist cabs

品牌名称	施工升降机	驾驶室外部			驾驶室内部			
		实物图	侧面图	肌理效果	实物图	功能配置	配置布局	人机交互
中联重科				凸起 渐消		电风扇、 刷脸机、杯架、 操纵台、座椅、 插座		日常作业：收到呼叫信息，通过控制操纵台的操纵杆，到达目的楼层，完成作业 其他：水杯及杂物放置杯架上
徐工				凸起		电风扇、刷脸机、操纵台、座椅、插座		日常作业：收到呼叫信息，通过控制操纵台的操纵杆，到达目的楼层，完成作业 其他：控制电风扇风向
川建				无		电风扇、操纵台、座椅、插座		日常作业：收到呼叫信息，通过控制操纵台的操纵杆，到达目的楼层，完成作业

驾驶室作为驾驶员的主要工作空间,其室内外的设计会影响驾驶员的工作效率。由于驾驶员工作时间较长,驾驶室空间狭小,因此需要充分考虑驾驶员的实际需求,并通过色彩、肌理等方面的设计,减少驾驶员的工作疲惫感,凸显驾驶室的重要性。

2 SAPAD-QFD 理论与应用

2.1 SAPAD-QFD 理论

SAPAD (Semiotics Approach of Product Architecture Design) 理论,又称为“产品建构设计的符号学路径”,是由胡飞教授与 Keiichi Sato 教授基于符号学阶梯框架理论提出的,以用户为中心的设计方法^[10]。该方法以用户行为为脉络,借助对称矩阵分析模型,对行为-意义-对象进行映射与聚类分析,发掘并满足用户核心需求^[11],其中意义层面内容主要分为物理层、经验层、结构层、语意层、语用层、社会层等六个层次^[12]。SAPAD 理论目前广泛应用于信息交互领域、服务设计领域和产品设计领域。在信息交互领域中,SAPAD 理论主要用于对交互产品的信息架构和视觉呈现进行评估与优化设计^[13-14]。在服务设计领域中,SAPAD 理论的重点在于重构其功能模块及服务系统,从而改善服务流程,提升用户体验^[15-16]。在产品设计领域中,SAPAD 理论主要用于挖掘产品的使用痛点及用户的隐性需求,输出核心需求,指导设计方案^[17-18]。然而目前产品设计利用 SAPAD 理论输出设计方案的相关研究,缺乏对产品技术特征的实际考虑,影响设计方案的可实现性。

QFD (Quality Function Deployment) 理论,即质量功能展开理论,是由日本赤尾洋二教授于 20 世纪 70 年代提出^[19],旨在通过质量屋将用户需求与产品

的技术特征相连接,构建用户需求与产品特性的关系矩阵,得到设计需求系数,形成产品设计参数^[20]。QFD 理论能够从理性客观的角度,将用户需求通过定量分析来转化为产品的功能、结构、规格等技术属性,构建出满足用户需求的产品模型。然而在用户需求获取方面,传统用户需求调研方法存在主观意识强、缺乏定量分析等缺点,会影响 QFD 理论结果输出的准确性^[21]。因此,在产品设计领域中,QFD 理论多数是通过与 AHP 层次分析法、Kano 模型等用户需求分析理论相结合来使用^[22-23],以确保研究结论的参考价值。

基于以上研究(论述),本文将 SAPAD 理论与 QFD 理论相结合,提出一种定性定量双重分析的产品设计研究方法。该方法既能够深入分析用户行为,挖掘用户核心需求,也能将用户需求与产品属性相对应,输出更加科学理性的设计模型,丰富产品设计研究方法。

2.2 SAPAD-QFD 理论应用

SAPAD 理论聚焦于用户行为分析,挖掘用户核心需求。QFD 理论聚焦于设计方案的实现,构建出既满足用户需求,又具有生产价值的产品模型。在将 SAPAD 和 QFD 理论综合应用至产品设计的过程中,可以通过 SAPAD 理论提取用户需求,通过 QFD 理论剖析产品属性,SAPAD-QFD 的综合应用流程见图 1。首先,通过用户行为调研,获取用户行为基本信息;其次,借助 SAPAD 和 QFD 理论,获取符合用户行为习惯的设计特征;最后,根据设计特征分析结果,构建出基于 SAPAD-QFD 理论的设计方案。将 SAPAD 理论和 QFD 理论相结合,可以在精准捕捉用户需求的基础上,形成理性客观的设计方案。

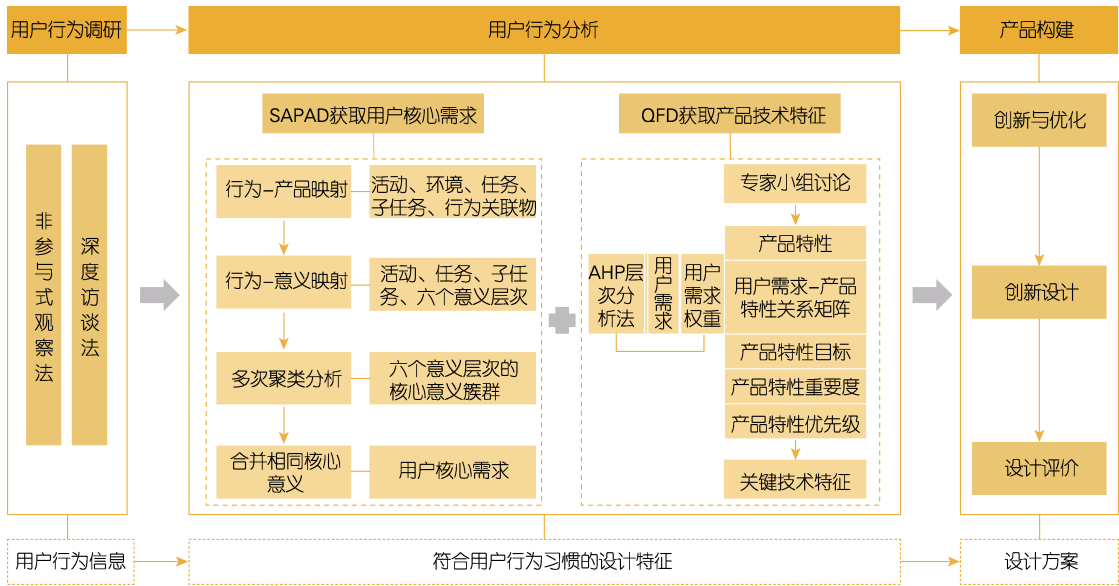


图 1 SAPAD&QFD 的综合应用
Fig.1 Comprehensive application of SAPAD & QFD

3 SAPAD-QFD 理论与施工升降机驾驶室映射分析

3.1 施工升降机驾驶员行为调研

以成都市某建筑工地施工升降机驾驶员为主要调研对象,采用非参与式观察法、深度访谈法对其日

常工作行为进行研究,并结合其他 9 名驾驶员的访谈结果,详细地梳理出驾驶员日常工作行为内容,见图 2。施工升降机驾驶员一般工作时长为 10 h,其主要日常工作内容可以分为准备工作、开展工作、休闲娱乐和收尾工作。开展工作为主要内容,并且一般作业时间集中于上下午前段时间,无需升降机作业时,驾驶员可在驾驶室内休闲娱乐。

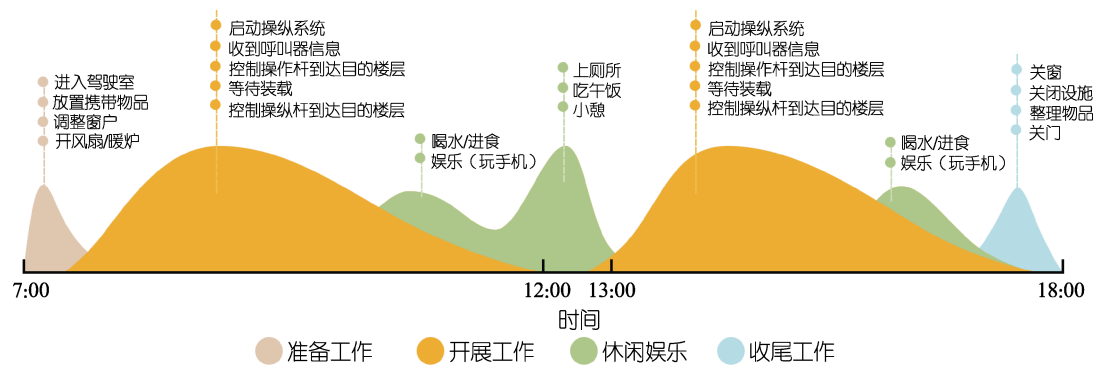


图 2 施工升降机驾驶员一般行为流程
Fig.2 General behavior process of the construction hoist driver

3.2 SAPAD 理论与施工升降机驾驶员行为映射分析

3.2.1 行为-产品-意义的映射分析

在对施工升降机驾驶员日常工作行为深入剖析后,首先梳理出行为与产品的映射关系(见表 2),根据行为与产品的映射分析结果显示,驾驶员日常工作行为可分为准备工作、开展工作、休闲娱乐、收尾工作 4 个阶段,其中包括 15 个任务,33 个子任务,

22 个行为为关联物;然后梳理出行为与意义的映射关系,分析驾驶员日常工作行为的 4 个阶段所对应的 5 个层级意义内容,社会层因驾驶员较少与他人产生互动,所以未产生相关意义,见表 3。由于在不同阶段存在相同行为,所以会产生相同意义,去除相同意义后可以发现,在 4 个阶段中物理层和语构层均产生 27 个一般意义,经验层产生 29 个一般意义,语意层产生 15 个一般意义,语用层产生 14 个一般意义。

表 2 施工升降机驾驶员日常工作行为与产品的映射
Tab.2 Mapping of the daily work behavior of the construction hoist drivers and the products

活动	环境	任务	子任务	行为关联物
A 准备工作	建筑工地、吊笼内部	A1 进入驾驶室	A11 打开开关	开关
			A12 打开吊笼门、关闭吊笼门	门、门把手
			A13 打开总电源	电闸
			A14 打开驾驶室木板门、关闭驾驶室木板门	木板
	驾驶室侧壁	A2 放置携带物品	A21 放置水杯、食物、衣物	置物架、挂钩
			A22 手机放置并充电	手机支架、插头、插座
	驾驶室侧壁	A3 调整窗户	A31 开/关窗	窗户、窗户把手
			A32 放置窗户遮挡物	窗户、纸板
B 开展工作	驾驶室顶部/底部	A4 开风扇/暖炉	A41 放置暖炉(风扇固定于驾驶室顶部)	驾驶室地板
			A42 插电、打开开关	插头、插座、风扇/暖炉的开关
	驾驶室内部	A5 坐下	A51 调整坐姿	座椅
	驾驶室侧壁	B1 启动操作系统	B11 面向刷脸系统刷脸认证	刷脸机
			B21 打开紧急开关、按下警铃键	操作台
	驾驶室内部	B2 控制操作系统	B22 控制操作杆	操作台

表 2 (续)				
活动	环境	任务	子任务	行为关联物
C 休闲娱乐	驾驶室内部	C1 喝水/进食	C11 拿起水杯/食物	置物架
			C12 饮水/进食	操作平台
			C13 放置水杯/整理垃圾	置物架、垃圾袋
	驾驶室内部、吊笼内部、建筑工地	C2 上厕所	C21 打开驾驶室木板门	木板
			C22 走向厕所、回到驾驶室	吊笼地板
			C23 关闭驾驶室木板门	木板
	驾驶室内部	C3 娱乐	C31 拔充电线、拿起手机娱乐	手机支架、插头、插座
			C32 手机放置并充电	手机支架、插头、插座
D 收尾工作	驾驶室内部	C4 小憩	C41 调整窗户	窗户、纸板
			C42 调整坐姿	座椅
	驾驶室侧壁	D1 关窗	D11 关闭窗户	窗户、窗户把手
			D12 放置窗户遮挡物	窗户、纸板
			D21 关闭操作系统	操作台、刷脸系统
	驾驶室内部、吊笼内部	D2 关闭设施	D22 关闭电风扇/暖炉	风扇/暖炉的开关、插头、插座
			D23 关闭电源	电闸
	驾驶室侧壁	D3 整理物品	D31 带上水杯、衣物、垃圾等物品	置物架、挂钩、垃圾袋
	驾驶室内部、吊笼内部、建筑工地	D4 关门	D41 打开驾驶室木板门	木板
			D42 打开吊笼门、关闭吊笼门	门、门把手
			D43 关闭开关	开关

表 3 施工升降机驾驶员日常工作行为与意义的映射
Tab.3 Mapping of the daily work behavior of the construction hoist drivers and the significance

活动	任务	子任务	意义			
			物理层	语构层	经验层	语意层
A	A1	A11 开关	使用升降机	向右旋转红色开关	缺乏操作说明	增加操作说明
		A12 门	进入升降机	通过凹槽上提或下拉	手感欠佳	增加把手改善材质
		A13 电闸	升降机通电	向上推电闸	缺乏提示	使用状态提示
		A14 木板	进入驾驶室	打开：向外拉 关闭：向里拉	占用空间较大	减少空间占用比
	A2	A21 水杯/食物/衣物/置物架/挂钩	物品收纳	水杯、食物放置置物架，衣物挂起	无法固定不够整洁	良好的物品收纳方式
		A22 手机/手机支架/充电器/插座	手机充电	寻找合适插头后固定手机	无法固定 缺乏电源	合理的插座位置 手机固定设施
	A3	A31 窗户	通风换气	根据环境、天气调整窗户	窗户略小	扩大窗户面积
		A32 窗户/纸板	遮光/制造私人空间	竖起纸板	操作繁琐占用空间	易操作的遮窗设施
	A4	A41 暖炉/电风扇/驾驶室地板	暖炉/电风扇不晃动	暖炉置于操作台下面	无法固定	暖炉放置设施
		A42 插头/插座/风扇/暖炉	取暖/降温	通电后打开开关	缺乏电源	合理的插座位置
	A5	A51 座椅	身体舒适	身体略微前倾	座椅不舒适且无法调整	可调节的舒适座椅
B	B1	B11 刷脸机	开启操作系统	面向刷脸机眼睛注视摄像头	缺乏提示	增加操作提示

表 3 (续)

活动	任务	子任务	意义				
			物理层	语构层	经验层	语意层	语用层
B	B2	B21	操作台	提醒周围人	向右旋转红色紧急开关，按下绿色警铃键	缺乏操作说明	增加操作说明
		B22	操作台	控制升降机上 行/下行	提起操作杆黄色按钮，向上推即上升，向下推即下行	缺乏操作说明	增加操作说明
C	C1	C11	水杯/食物/置物架	取拿方便	提前查看，然后拿取	无法固定不够 整洁	良好的物品收纳方式
		C12	水杯/食物/操作平 台	临时搁放	杯盖、包装等放置操作台 台面	台面略小	扩大并优化操作台面
		C13	水杯/垃圾/垃圾袋	易放置、易丢弃	提前查看，然后放置	垃圾无处置放	良好的垃圾处理方式
	C2	C21	木板	出驾驶室	向外推木板门	占用空间较大	减少空间占用比
		C22	吊笼地板	进出升降机	注意地面是否有绊倒物	地面时有货物	安全提示
		C23	木板	进驾驶室	向里推木板门	占用空间较大	减少空间占用比
	C3	C31	手机/手机支架/充 电器、插座	充电完毕	查看是否有电	无法固定 缺乏电源	合理的插座位置 手机固定设施
		C32	手机/手机支架/充 电器、插座	手机充电	寻找合适插头后固定手机	无法固定 缺乏电源	合理的插座位置 手机固定设施
	C4	C41	窗户/纸板	遮光/制造私人 空间	竖起纸板	操作繁琐	易操作的遮窗设施
		C42	座椅	身体舒适	头靠窗户	座椅不舒适且 无法调整	可调节的舒适座椅
D	D1	D11	窗户	安全	查看室外环境	窗户无法遮挡	增加遮挡设施
		D12	窗户/纸板	收置规整	放置于窗户下面	操作繁琐占用 空间	易操作的遮窗设施
	D2	D21	操作台/刷脸系统	关闭升降机操 作系统	向下按紧急按钮	缺乏操作说明	增加操作说明
		D22	风扇/暖炉/插头/ 插座	安全省电	关闭开关，拔取插头	缺少储物空间	暖炉放置设施
		D23	电闸	安全	向下拉电闸	缺乏提示	使用状态提示
	D3	D31	水杯/衣物/垃圾/置 物架/挂钩/垃圾袋	保证驾驶室整洁	穿好衣物，拿取水杯和垃圾	不易取拿	良好的物品收纳方式
	D1	D41	木板	出驾驶室	向外推木板门	占用空间较大	减少空间占用比
		D42	门/门把手	出升降机	通过凹槽上提或下拉	手感欠佳	增加把手改善材质
		D43	开关	关闭升降机	向下按红色开关	缺乏操作说明	增加操作说明

3.2.2 聚类分析与核心意义簇

对语构层、经验层、语意层、语用层的一般意义进行聚类分析获取一般意义簇群。通过使用布尔逻辑算法关联矩阵，将同层级中的相似意义进行合并，构建出要素相关关系群组，形成对称式聚类矩阵。再次邀请前期参与用户访谈的目标用户及国内某施工装备品牌的专家，以工作坊的形式对意义间的相关性进行打分，相关系数用 0~3 表示，0 指示无关联，1 指示有关联，2 指示关联度较强，3 指示关联度强。如“操作繁琐占用空间”和“占用空间大”“缺少储物空间”“无法固定不够整洁”本质上均是指驾驶室空间有限，缺少合理的物品储放方式，属于较强关联。

以语意层一般意义聚类分析为例，见表 4，其中对于名称相同，但在细分上有所区别的需求分别在其名称后加上数字用以区分，如“无法固定缺乏电源 1”与“无法固定缺乏电源 2”在需求上均是指电源分布不合理，但“无法固定缺乏电源 1”具体指缺乏处于操作台上方的手机充电电源，“无法固定缺乏电源 2”具体指缺乏处于操作台下方的暖炉等电器的电源。语意层通过聚类分析得到 7 个一般意义簇：缺乏说明及提示；门把手手感欠佳；空间有限且缺少储物收纳空间；电源分布不合理；座椅无法调节且不够舒适；控制台台面略小；窗户无法遮挡。语构层共得到 10 个一般意义簇，经验层得到 7 个一般意义簇，语用层共

表 4 施工升降机驾驶员日常工作行为语意层意义聚类
Tab.4 Semantic meaning clustering of the daily work behavior of construction hoist drivers

一般意义名称	缺乏操作说明	缺乏提示	地面时有货物	手感欠佳	操作繁琐占用空间	占用空间较大	缺少储物空间	无法固定不够整洁 1	无法固定不够整洁 2	不易取拿	无法固定缺乏电源 1	无法固定缺乏电源 2	座椅不舒适无法调节	台面略小	窗户无法遮挡
缺乏操作说明	3	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
缺乏提示	2	3	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
地面时有货物	0	2	3	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0
手感欠佳	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
操作繁琐占用空间	0	0	0	0	3	2	2	2	2	1	1	1	1	0	0
占用空间较大	0	0	0	0	2	3	2	2	2	1	1	1	1	0	0
缺少储物空间	0	0	0	0	2	2	3	2	2	1	1	1	1	1	0
无法固定不够整洁 1	0	0	0	0	2	2	2	3	3	2	2	2	1	1	0
无法固定不够整洁 1	0	0	0	0	2	2	2	3	3	2	2	2	1	1	0
不易取拿	0	0	1	0	1	1	1	2	2	3	1	1	1	0	1
无法固定缺乏电源 1	0	0	0	0	1	1	1	2	2	1	3	3	1	0	0
无法固定缺乏电源 2	0	0	0	0	1	1	1	2	2	1	3	3	1	0	0
座椅不舒适无法调节	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	3	1	0
台面略小	1	0	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0	1	3	0
窗户无法遮挡	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3

注：颜色越深关联度越强。

得到 6 个一般意义簇。

由于不同意义层次的一般意义簇之间具有一定的关联性和相似性，如语构层的“遮挡功能”和经验层的“关窗取暖遮光”、语意层的“窗户无法遮挡”、语用层的“易操作的遮挡设施”均因遮挡需求而存在强烈的关联性和相似性，所以对语构层、经验层、语

意层、语用层的一般意义簇再次聚类分析，将相似的一般意义簇进行关联与合并，见图 3，共得到 7 个核心意义簇，即 7 个核心用户需求：增加操作说明和提示；手感舒适的门把手部件；良好的物品收纳放置方式；合理的电源分布；易操作的遮挡设施；可调节的舒适座椅；更大的操作台面。

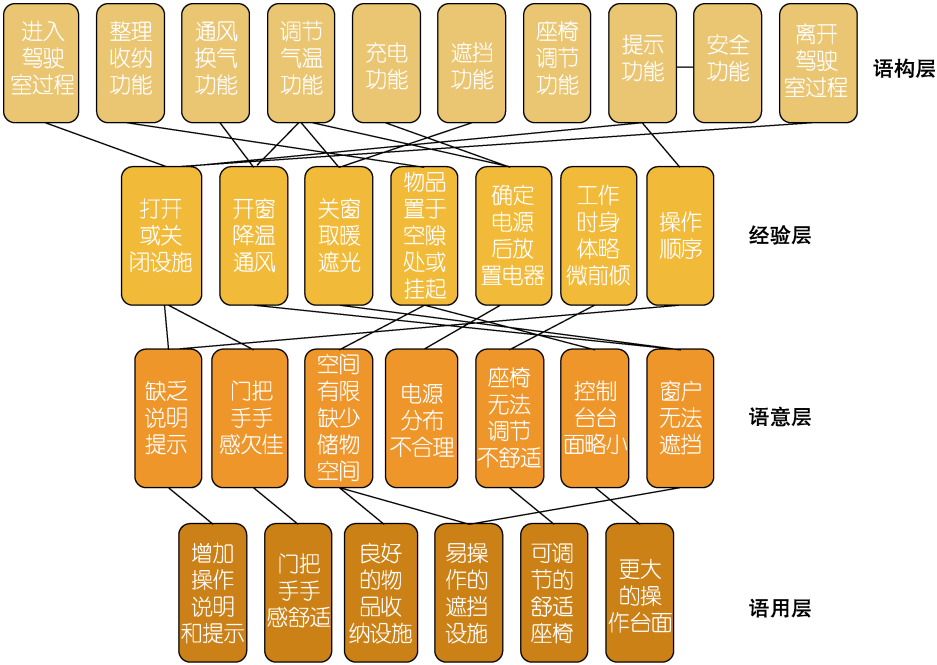


图 3 施工升降机驾驶员日常工作行为核心意义簇构建
Fig.3 Construction of the core meaning cluster of the daily work behavior of the construction hoist drivers

3.3 QFD 理论与施工升降机驾驶员需求映射分析

3.3.1 用户需求重要度分析

在获取用户核心需求的基础上,使用层次分析法 (Analytic Hierarchy Process, AHP),对施工升降机驾驶室用户核心需求进行权重分析。根据判断矩阵标度^[24],见表 5,邀请 5 名专家和 10 名施工升降机驾驶员,对需求指标进行评价,并构建出用户需求判断矩阵。依据 $C_{CI}=(\lambda_{\max}-n)/(n-1)$ 和 $C_{CR}=C_{CI}/R_{RI}$ 成一致性检验。其中用 MATLAB 软件计算最大特征根 $\lambda_{\max}=7.121\ 8$, n 为矩阵阶数 (查表可知为 7),平均随机一致性指标 $R_{RI}=1.36$,因此, $C_{CR}=0.014\ 9$; $C_{CR}<0.1$ 则表示层次分析的结果有满意的一致性,即权系数的分配是非常合理的。据此计算用户核心需求权重,见表 6。

3.3.2 质量屋分析与建立

1) 通过专家小组讨论,根据用户核心需求,合理推断出产品特性属性。结合前期“行为-产品”的映射分析,以及施工升降机驾驶室的市场调研,确定产品特性目标,即设计特征,见表 7。

表 5 判断矩阵标度
Tab.5 Judgement matrix scaling

标度	含义
1	i 元素和 j 元素的影响相同
3	i 元素比 j 元素的影响稍强
5	i 元素比 j 元素的影响强
7	i 元素比 j 元素的影响明显的强
9	i 元素比 j 元素的影响绝对的强
2,4,6,8	i 元素比 j 元素的影响之比在上述两个相邻等级之间
1,1/2,...,1/9	i 元素比 j 元素的影响之比为上面 ij 的倒数

表 6 施工升降机驾驶室用户需求权重
Tab.6 User need weight of construction hoist cab

需求	权重	排序
增加操作说明和提示	0.336 0	1
可调节的舒适座椅	0.202 7	2
易操作的遮挡设施	0.151 7	3
合理的电源分布	0.120 6	4
良好的物品收纳放置方式	0.075 8	5
更大的操作台面	0.067 7	6
手感舒适的门把手部件	0.045 4	7

2) 构建施工升降机驾驶室用户核心需求和产品特性目标的质量屋,邀请专家对用户需求和产品特性目标的相关度进行评价,分别用符号“○”“●”“△”“空白”表示相关度数值分别为 5、3、1、0,其中“5”代表相关度强,“0”代表无相关度。分析评价结果,计算产品特性目标的权重,由此得出设计特征的重要度排序,见表 8。

根据最终的设计特征权重结果,结合前期用户行为分析,可以得出如下结论:在进行施工升降机驾驶室改良设计时,首先应考虑人机关系,确保驾驶员能够以最舒适的状态开展工作;其次应根据用户行为习惯,添加适当的人文功能,改善驾驶员的工作体验,提高其工作效率;最后应增加适当的说明和提示功能,减少工作过程中的误操作行为。

4 施工升降机驾驶室设计实践

4.1 施工升降机驾驶室设计方案

施工升降机驾驶室的外观设计效果图,见图 4c~d。外形与市面主流产品相似,采用折线式,并搭配矩形外窗。以灰色为主色调,在驾驶室上下底面、正面加以黄色点缀,并呈现一种包裹效果,增加其安

表 7 施工升降机驾驶室与产品特性属性以及产品特性目标
Tab.7 Construction hoist cab and product characteristic attributes and product characteristic objectives

用户核心需求	产品特性属性	产品特性目标
F 增加操作说明和提示	F1 内容易获取	F11 透明亚克力文件存放盒
	F2 提示方式明显	F21 灯光
G 可调节的舒适座椅	G1 可调节	G11 可调节结构
	G2 符合人体工学	G21 符合人体工学的尺寸
	G3 材质舒软	G31 记忆棉材质
K 易操作的遮挡设施	K1 易操作	K11 推拉
	K2 遮挡	K21 窗帘、伸缩门
M 合理的电源分布	M1 插电/充电	M11 插电口/快充口
	M2 位置合理	M21 电器插电处/手机充电处
P 良好的物品收纳放置方式	P1 收纳	P11 储物柜
	P2 放置	P21 杯架、挂钩、手机支架、垃圾桶
Q 更大的操作台面	Q1 可自由使用的台面	Q11 折叠隐藏式台面
W 手感舒适的门把手部件	W1 手感舒适	W11 橡胶材质

表 8 施工升降机驾驶室质量屋建立
Tab.8 Establishment of house of quality of construction hoist cab

用户需求	需求权重	产品特性目标												
		F11	F21	G11	G21	G31	K11	K21	M11	M21	P11	P21	Q11	W11
F	0.336 0	●	●	△	○						△	△	○	
G	0.202 7			●	●	●	△	△	△	△	△	○	○	
K	0.151 7			△	△		●	●				△	△	○
M	0.120 6				△				●	●	△	○	△	
P	0.075 8	○		○	○	△	○	○	△	○	●	●	△	△
Q	0.067 7	△	○	○	△	△	△	△	△	○		○	●	
W	0.045 4						○	○			△			●
得分		1.98	1.88	1.93	2.59	1.16	1.39	1.39	0.96	1.24	1.08	2.04	2.30	0.76
排序		4	6	5	1	10	7	8	12	9	11	3	2	13

全感体验，上下对称的条状凸起，表示升降机的垂直运输功能。

施工升降机内部设计以映射分析结果为基准，根据设计特征的重要度排序，从高到底依次实现设计特征，其设计效果图见图 4a~b。施工升降机驾驶员因身高体型的不同，对驾驶室座椅的高度、深度等均有不同需求。根据人机尺寸计算，确定座椅高度可调节范围在 346~457 mm，坐深取最小值 380 mm，因考虑到驾驶员与操纵台的距离，所以增加座椅可前后移动的结构设计，实现 G11 和 G21，见图 5b。隐藏式桌子藏于操纵台面下方，通过滑轨控制，且桌子前端设计成弧形，增大了桌面的可使用空间，实现 Q11，见图 5c。杯架、手机支架、垃圾桶、挂钩主要设计在驾驶员右手边，方便驾驶员取拿，其中手机支架的形态设计能方便手机充电，插座主要分布在手机支架附近和略高于地面的位置，高于地面的插座主要用于落

地电器设施的使用，实现 P21、M21、M11，见图 5a。为实现 P11，将储物柜设置于座椅下方，在为座椅提供支撑作用的同时，增加空间利用率，见图 5d。由于在升降过程中，驾驶员会因阳光、天气等而受到影响，因此窗帘和门均采用隔热防晒材质，并且可自由控制遮挡范围，实现 K11、K21，见图 5e。

4.2 设计评价

为确保设计方案的合理性，邀请此前参与调研访谈的 10 名施工升降机驾驶员和 5 名专家，根据设计方案及模型对设计特征的满意度进行评分，旨在验证设计特征是否满足用户需求，见图 6a~b。此次打分采用李克特量表方式，即 5 代表非常满意，4 代表满意，3 代表中等，2 代表不同意，1 代表非常不同意。纵坐标表示满意度分值，横坐标表示 7 个用户核心需求，对打分结果进行平均值计算，其均值越大，

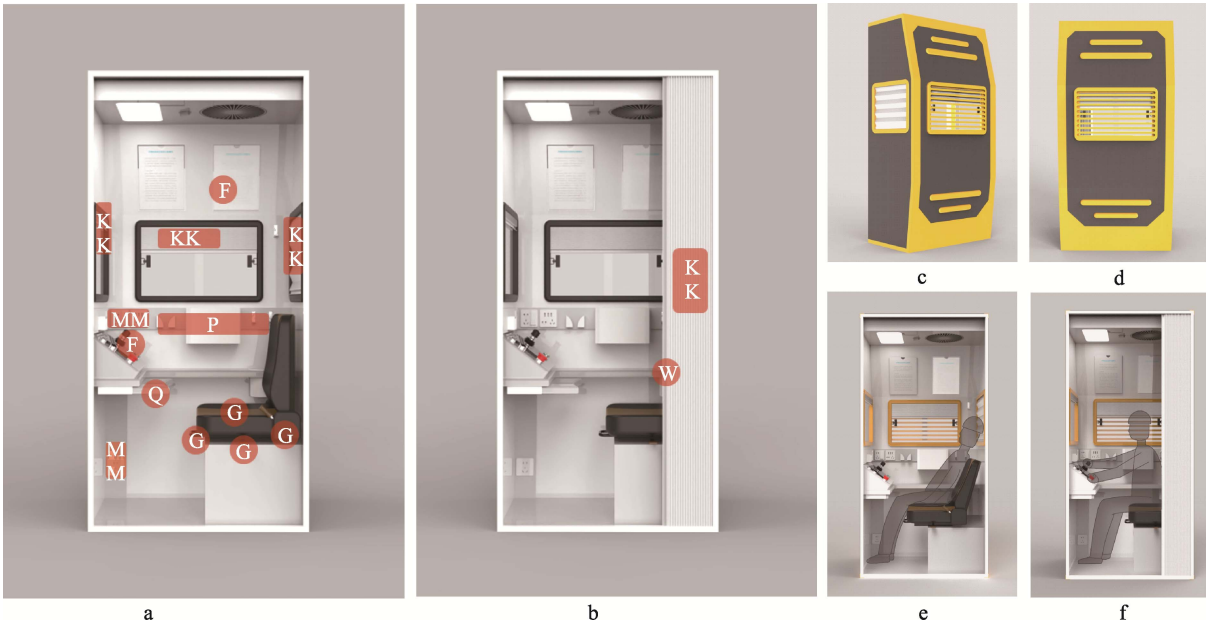


图 4 施工升降机驾驶室设计方案
Fig.4 Construction hoist cab design scheme

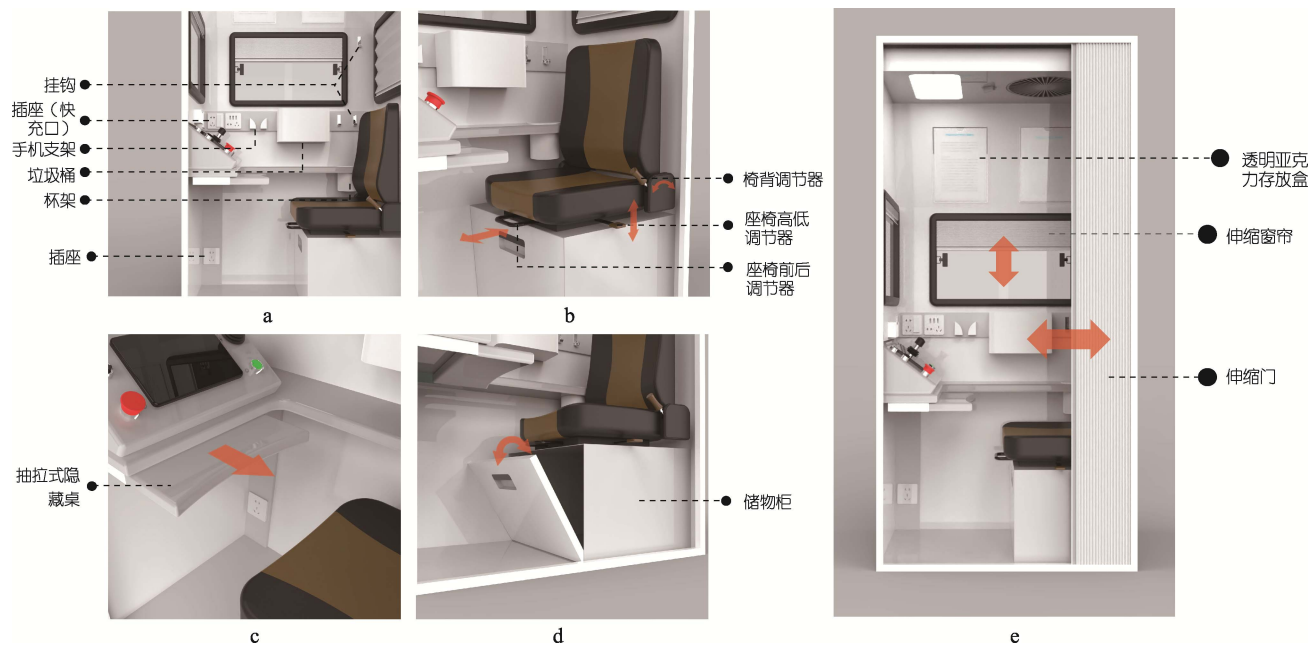


图 5 施工升降机驾驶室内部细节展示
Fig.5 Details of the construction hoist cab

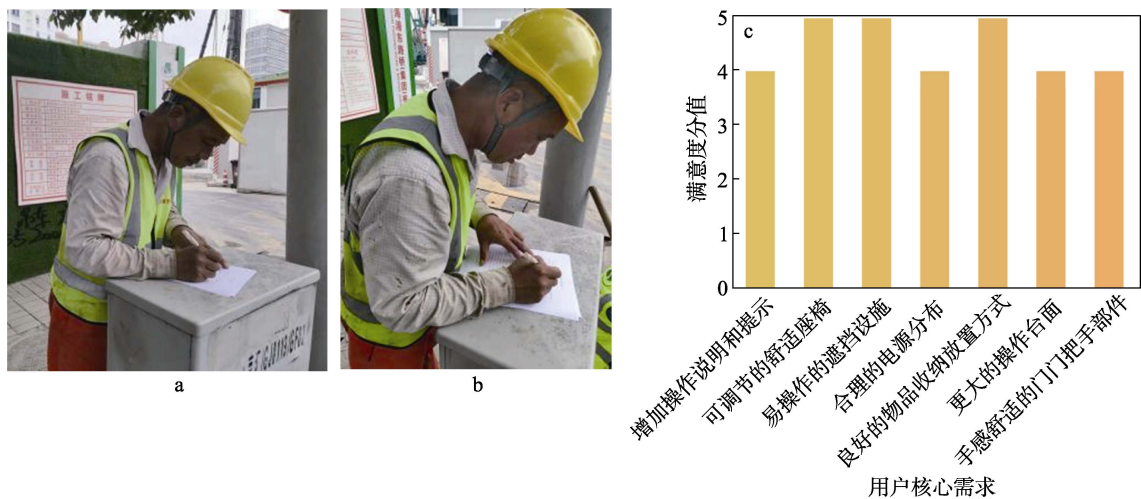


图 6 打分过程及设计特征满意度评价结果
Fig.6 Scoring process and design characteristics of the satisfaction evaluation results

表示用户对设计特征的满意度越高，设计特征与用户需求的匹配度越高，平均值高于 4 则表示用户对设计特征满意。从打分结果得知用户对施工升降机驾驶室各设计特征满意，施工升降机驾驶室方案基本符合用户需求，具体结果见图 6c。

5 结语

本文以满足施工升降机驾驶员实际需求为主要目标，提出将 SAPAD 理论和 QFD 理论相结合的设计研究方法。首先利用 SAPAD 理论对用户行为进行详细分析，梳理出“行为-产品-意义”的映射关系，并结合多次聚类分析获得驾驶员核心需求信息；其次通过 QFD 理论构建出用户需求与产品特性的质量屋，

将驾驶员用户需求转化为驾驶室的设计特征。最后，在设计特征的指导下完成了施工升降机驾驶室设计实践，并得出施工升降机驾驶室改良设计应首先考虑人机关系，其次增加人文功能与操作说明和提示的结论。该研究方法能够从定性和定量两个角度来满足用户需求，提高设计方案的科学性和可实现性，也为未来施工升降机驾驶室的研究与发展提供参考。

参考文献：

[1] KIM T H, LEE M D, LEE U K, et al. Photovoltaic Application in System Formwork Operations of High-Rise Building Construction[J]. Journal of the Korea Institute of Building Construction, 2011, 11(2): 116-126.

- [2] KIM T, LIM H, CHO H, et al. Automated Lifting System Integrated with Construction Hoists for Table Formwork in Tall Buildings[J]. *Journal of Construction Engineering and Management*, 2014, 140(10): 401-449.
- [3] 田国承, 卢宏伟, 王鑫, 等. 一种施工升降机分体式吊笼的设计及研究[J]. *建筑机械化*, 2022, 43(6): 63-65.
TIAN G C, LU H W, WANG X, et al. Design and Research of Construction Hoist Split Cage[J]. *Construction Mechanization*, 2022, 43(6): 63-65.
- [4] 赵挺生, 冯楚璇, 蒋灵, 等. 基于 AcciMap 模型的施工升降机安全风险研究[J]. *中国安全科学学报*, 2022, 32(1): 79-84.
ZHAO T S, FENG C X, JIANG L, et al. Study on Safety Risk of Builder's Hoist Based on AcciMap Model[J]. *China Safety Science Journal*, 2022, 32(1): 79-84.
- [5] 王东红, 董良, 蔡安江. 偏心轮式施工升降机防坠安全装置研究[J]. *机械设计与制造*, 2016(12): 39-42.
WANG D H, DONG L, CAI A J. Research on the Eccentric Safety Device in the Construction Hoist[J]. *Machinery Design & Manufacture*, 2016(12): 39-42.
- [6] 丁承君, 刘云帆, 胡博, 等. 基于物联网的施工升降机监测系统设计[J]. *传感器与微系统*, 2022, 41(3): 101-103.
DING C J, LIU Y F, HU B, et al. Design of Construction Elevator Monitoring System Based on IoT[J]. *Transducer and Microsystem Technologies*, 2022, 41(3): 101-103.
- [7] 赵挺生, 庞奇志, 姜雯茜. 基于数据库与支持向量机的施工升降机安全风险预测[J]. *中国安全科学学报*, 2021, 31(4): 11-17.
ZHAO T S, PANG Q Z, JIANG W X. Safety Risk Prediction of Construction Elevator Based on Database and SVM[J]. *China Safety Science Journal*, 2021, 31(4): 11-17.
- [8] 卢兰兰, 陈浩, 王进进, 等. 一种逆向安装施工升降机的设计研究[J]. *建筑机械化*, 2021, 42(12): 14-16.
LU L L, CHEN H, WANG J J, et al. Design Study of a Reverse Installation Construction Hoist[J]. *Construction Mechanization*, 2021, 42(12): 14-16.
- [9] 赵秉鑫. 智能控制施工升降机关键技术研究[D]. 北京: 北京建筑大学, 2022.
ZHAO B X. Research of Key Technologies of Intelligent Control Construction Lifts[D]. Beijing: Beijing University of Civil Engineering and Architecture, 2022.
- [10] HU F, SATO K, ZHANG X, ZHU T P. Semiotics Basis for Designing Product Architecture. 19th International Conference on Engineering Design (ICED 13)[J]. *Design Society*, 2023(1): 159-168.
- [11] 胡飞, 晋漪萌, 王楷. 基于 SAPAD 的无人售货产品服务系统设计研究[J]. *机械设计*, 2019, 36(10): 127-132.
HU F, JIN Y M, WANG K. Product Service System Design of Self-Service Based on SAPAD Framework[J]. *Journal of Machine Design*, 2019, 36(10): 127-132.
- [12] 胡飞, 沈希鹏, 王兴宇, 等. 基于 SAPAD 的整体橱柜设计研究[J]. *南京艺术学院学报(美术与设计)*, 2015(5): 188-192.
HU F, SHEN X P, WANG X Y, et al. Research on the Design of Integral Cabinet Based on SAPAD[J]. *Journal of Nanjing Arts Institute (Fine Arts & Design)*, 2015(5): 188-192.
- [13] 杨博琳, 何人可. 基于 SAPAD 和场景化思维的在线学习交互产品设计研究[J]. *包装工程*, 2023, 44(2): 167-179.
YANG B L, HE R K. Design of Online Learning Interactive Product Based on SAPAD and Scenario Thinking[J]. *Packaging Engineering*, 2023, 44(2): 167-179.
- [14] 赵佳妮. 基于 SAPAD 的移动音乐 APP 界面设计研究——以网易云音乐为例[D]. 重庆: 重庆大学, 2017.
ZHAO J N. Research on Mobile Music Application Interface Design Based on Semiotic Approach to Product Architecture Design [D]. Chongqing: Chongqing University, 2017.
- [15] 陈珊珊, 段齐骏, 李亚军. 基于 SAPAD-AHP 的儿童牙医服务系统设计研究[J]. *包装工程*, 2021, 42(10): 115-123.
CHEN S S, DUAN Q J, LI Y J. Pediatric Dentistry Service System Design Based on SAPAD-AHP[J]. *Packaging Engineering*, 2021, 42(10): 115-123.
- [16] 卢纯福, 朱雨晴, 吴剑锋, 等. 基于 SAPAD 的同城货运服务设计研究[J]. *包装工程*, 2023, 44(2): 180-187.
LU C F, ZHU Y Q, WU J F, et al. Design of Intra-City Freight Service Based on SAPAD Framework[J]. *Packaging Engineering*, 2023, 44(2): 180-187.
- [17] 程文婷, 樊佳敏, Andreas Papenfussb, 等. 基于 SAPAD 用户行为的适龄儿童剪刀设计研究[J]. *包装工程*, 2023, 44(22): 158-168.
CHENG W T, FAN J M, PAPPENFUSSB A, et al. Design of Scissors for Children Based on SAPAD User Behavior Study[J]. *Packaging Engineering*, 2023, 44(22): 158-168.
- [18] 刘宗明, 王泽琦. 基于 SAPAD-AHP 法的智能充电桩设计研究[J]. *图学学报*, 2023, 44(2): 380-388.
LIU Z M, WANG Z Q. Intelligent Charging Pile Design Based on SAPAD-AHP[J]. *Journal of Graphics*, 2023, 44(2): 380-388.
- [19] YIJI A. New Product Development and Quality Assurance: Quality Deployment System[J]. *Standardization and Quality Control*, 1972, 25(2): 7-14.
- [20] 章彰, 张琳, 丁伟. 基于 QFD-Kano 与 FBS 的产科等待座椅设计研究[J]. *家具与室内装饰*, 2023, 30(1): 38-43.
ZHANG Z, ZHANG L, DING W. Research on the Design of Obstetric Waiting Seat Based on QFD-Kano and FBS[J]. *Furniture & Interior Design*, 2023, 30(1): 38-43.
- (下转第 117 页)

- puter-Aided Design & Computer Graphics, 2018, 30(9): 1778-1784.
- [21] 林丽, 郭主恩, 阳明庆. 面向产品感性意象的造型优化设计研究现状及趋势[J]. 包装工程, 2020, 41(2): 65-79.
- LIN L, GUO Z E, YANG M Q. Current Research Situation and Trend of Product Image-Based Modeling Optimization[J]. Packaging Engineering, 2020, 41(2): 65-79.
- [22] 汪天雄. 在线用户评价驱动的产品形态进化设计方法研究[D]. 上海: 华东理工大学, 2021.
- WANG T X. Research on Product Form Evolution Design Driven by Online User Evaluation[D]. Shanghai: East China University of Science and Technology, 2021.
- [23] 贺玲, 蔡益朝, 杨征. 高维数据聚类方法综述[J]. 计算机应用研究, 2010, 27(1): 23-26, 31.
- HE L, CAI Y C, YANG Z. Survey of Clustering Algorithms for High-Dimensional Data[J]. Application Research of Computers, 2010, 27(1): 23-26, 31.
- [24] 胡洁. 高维数据特征降维研究综述[J]. 计算机应用研究, 2008, 25(9): 2601-2606.
- HU J. Survey on Feature Dimension Reduction for High-Dimensional Data[J]. Application Research of Computers, 2008, 25(9): 2601-2606.
- [25] 毕达天, 邱长波, 张晗. 数据降维技术研究现状及其进展[J]. 情报理论与实践, 2013, 36(2): 125-128.
- BI D T, QIU C B, ZHANG H. Current Situation and Latest Development of Research on Data Dimension Reduction Technology[J]. Information Studies: Theory & Application, 2013, 36(2): 125-128.
- [26] BENGIO Y, DUCHARME R, VINCENT P. A Neural Probabilistic Language Model[J]. Advances in Neural Information Processing Systems. 2000, 13(3): 1137-1155.
- [27] MIKOLOV T, CHEN K, CORRADO G, et al. Efficient Estimation of Word Representations in Vector Space [EB/OL]. 2013: arXiv: 1301.3781. <https://arxiv.org/abs/1301.3781.pdf>
- [28] 奚雪峰, 周国栋. 面向自然语言处理的深度学习研究[J]. 自动化学报, 2016, 42(10): 1445-1465.
- XI X F, ZHOU G D. A Survey on Deep Learning for Natural Language Processing[J]. Acta Automatica Sinica, 2016, 42(10): 1445-1465.
- [29] SALTON G. Automatic Processing of Foreign Language Documents[J]. Journal of the American Society for Information Science, 1970, 21(3): 187-194.
- [30] SALTON G, YU C T. On the Construction of Effective Vocabularies for Information Retrieval[J]. ACM SIGPLAN Notices, 1975, 10(1): 48-60.

(上接第98页)

- [21] 陈媛, 宋端树, 辜俊丽. 集成 QFD/TRIZ/AHP 的产品创新设计模式研究[J]. 包装工程, 2017, 38(20): 150-155.
- CHEN Y, SONG D S, GU J L. Product Innovation Design Method Integrated with QFD/TRIZ/AHP[J]. Packaging Engineering, 2017, 38(20): 150-155.
- [22] 于梦豪, 崔俊杰. 基于 AHP/QFD/TRIZ 的智能门卫机器人设计研究[J]. 包装工程, 2023, 44(22): 82-91.
- YU M H, CUI J J. Design of Intelligent Gatekeeper Robot Based on AHP/QFD/TRIZ[J]. Packaging Engineering, 2023, 44(22): 82-91.
- [23] 周红宇, 王嘉伦. 基于 Kano-QFD 的适老化卫浴产品设计研究[J]. 包装工程, 2023, 44(4): 150-157.
- ZHOU H Y, WANG J L. Design of Elderly-Oriented Bathroom Products Based on Kano-QFD[J]. Packaging Engineering, 2023, 44(4): 150-157.
- [24] 任英丽, 常虹. 基于 F-AHP 在坐躺两用办公椅设计中的应用研究[J]. 包装工程, 2022, 43(10): 145-151.
- REN Y L, CHANG H. Application of F-AHP in the Design of Sitting and Lying Office Chairs[J]. Packaging Engineering, 2022, 43(10): 145-151.