

包容性设计视角下基于 AHP 和 QFD 法的 智慧照明设计系统研究

丁伟¹, 卓亚琪¹, 何盛^{2*}, 靳紫微³

(1.华东理工大学 艺术设计与传媒学院, 上海 200237; 2.浙江大学, 计算机学院,
杭州 310013; 3.三江学院 艺术学院, 南京 210012)

摘要: **目的** 从包容性设计的角度切入, 以城市照明设施为研究对象, 构建城市智慧照明系统, 旨在优化城市公共设施建设, 提高城市资源利用率, 并通过提高照明设施的自适应性来满足城市不同场景中的照明需求, 探寻城市基础设施智慧化发展的道路。**方法** 综合分析上海主要街道的路灯设施情况, 利用 KJ 法挖掘城市中各类场景下的照明需求。运用 AHP 确定城市照明需求权重, 建立 HOQ 质量屋确定各设计特征指标权重值, 以此开展智慧照明设计实践。**结果** 总结了用户在不同场景下的照明需求, 设计出符合各场景的城市照明设施, 并构建出以智慧照明为基础的智慧交通体系与 CPS 信息物理系统。**结论** 包容性设计理论对城市照明设施设计具有指导意义, 通过 PRONA 智慧照明设计实践, 建立了城市智慧照明系统, 设计新型城市照明设施以解决城市能源问题, 为智慧城市发展建设提供实践参考。

关键词: 智慧照明; 公共设施设计; 包容性设计; AHP; QFD

中图分类号: TB472 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2023)18-0436-12

DOI: 10.19554/j.cnki.1001-3563.2023.18.052

Smart Lighting Design System Based on AHP and QFD from the Perspective of Inclusive Design

DING Wei¹, ZHUO Ya-qi¹, HE Sheng^{2*}, JIN Zi-wei³

(1.School of Art Design and Media, East China University of Science and Technology, Shanghai 200237, China;

2.College of Computer Science, Zhejiang University, Hangzhou 310013, China;

3.College of Art, Sanjiang University, Nanjing 210012, China)

ABSTRACT: The work aims to construct an urban smart lighting system from the perspective of inclusive design with urban lighting facilities as the research object so as to optimize the construction of urban public facilities, improve the utilization rate of urban resources, improve the adaptability of lighting facilities to meet the lighting needs in different scenes of the city, and explore the smart development road of urban infrastructure. Comprehensive analysis was conducted on the main street lighting facilities in Shanghai. The KJ method was used to explore the lighting needs in various scenes in the city. AHP was used to determine the weight of urban lighting demand, and an HOQ quality house was established to determine the weight of each design feature index, so as to carry out smart lighting design practice. The lighting requirements of users in different scenarios were summarized. Urban lighting facilities were designed in accordance with each scenario. An intelligent transportation system and a CPS information physical system based on intelligent lighting were constructed. Inclusive design theory has guiding significance for the design of urban lighting facilities. Through the research process of AHP and QFD, urban smart lighting system is established, and new urban lighting facilities are designed to solve urban energy problems, providing practical reference for the development and construction of smart cities.

KEY WORDS: smart lighting; public facility design; inclusive design; AHP; QFD

收稿日期: 2023-04-23

基金项目: 上海市促进文化创意产业发展财政扶持资金产业研究类项目 (2022020026); 2023 年度江苏高校哲学社会科学
研究项目 (2023SJYB0623)

“智慧城市”这一概念是 IBM 公司于 2009 年提出的^[1], 指利用现代信息技术建立对环境的智能感知, 使城市各系统间信息资源共享、业务协同^[2], 促进城市服务智能化的创新型城市。智慧城市包括感知层、网络层和应用层, 感知层指通过电子信息设备来快速获取与分析城市信息; 网络层指互联网、物联网等, 对感知层产生的信息数据进行连接、交互和共享; 应用层包含城市运营中心、交通、照明等子系统。智慧照明作为智慧城市的重要组成, 利用先进电力线载波通信技术和无线通信方式^[1], 实现了路灯远程控制。根据世界能源展望报告, 截至 2035 年, 路灯所消耗的电力会增加至当前的两倍, 在安全与管理上传统照明设施人力物力成本高昂, 缺乏实时监测。

据中国智慧城市研究院的预测, 全球城市中智慧照明市场在 2023 年达到 39 亿美元。国外市场上, 公司 Sidewalk Labs 已在多伦多试点智慧照明项目, 国内京东、阿里巴巴等也已进入智慧照明市场。随着智慧城市和智能交通概念的提出, 许多研究人员也纷纷对智慧照明进行研究。如解宝新^[3]通过信息技术将照明设施上的照明控制系统、设备运行状态数据、环境监测数据等全部接入云平台, 快速解决了照明设施位置分散、难以识别等问题。郭苓苓等^[4]针对目前我国城市商业广场中存在的光源杂乱、光污染及缺乏对人

们的心理关注等问题, 对城市商业广场照明设施进行了系统设计。朱育辉^[5]从大厅、病房、护士站等提出策略化管理方式, 将信息技术运用在照明控制系统中。朱静怡^[6]通过线上+线下的方式, 以“智慧公共设施体系”和“智慧城市管理平台”, 对北京市核心区公共照明设施进行研究。

1 研究流程与方法

1.1 研究流程

上述学者对智慧照明的研究主要集中在运用通信技术对城市中的商业广场、医院等某一具体场景提出智能化解决路径, 而对智慧城市下多元化场景的综合研究较少。因此, 本文以包容性设计理论、AHP 法、QFD 法作为理论支撑, 首先对城市照明设施现状进行研究; 其次, 以上海市为例, 对用户及相关专家展开深度访谈与实地调研, 挖掘城市景区、商业区、社区、产业园区等各类场景照明需求, 运用 KJ 法进行各场景下用户需求分类, 运用 AHP 法计算出各需求权重值; 最后, 所得的用户需求权重值导入 HOQ 质量屋模型中, 将用户需求转化为设计特征, 构建智慧照明 HOQ 设计理论模型, 并以此为依据完成 PRONA 智慧照明设计实践, 其具体研究流程见图 1。

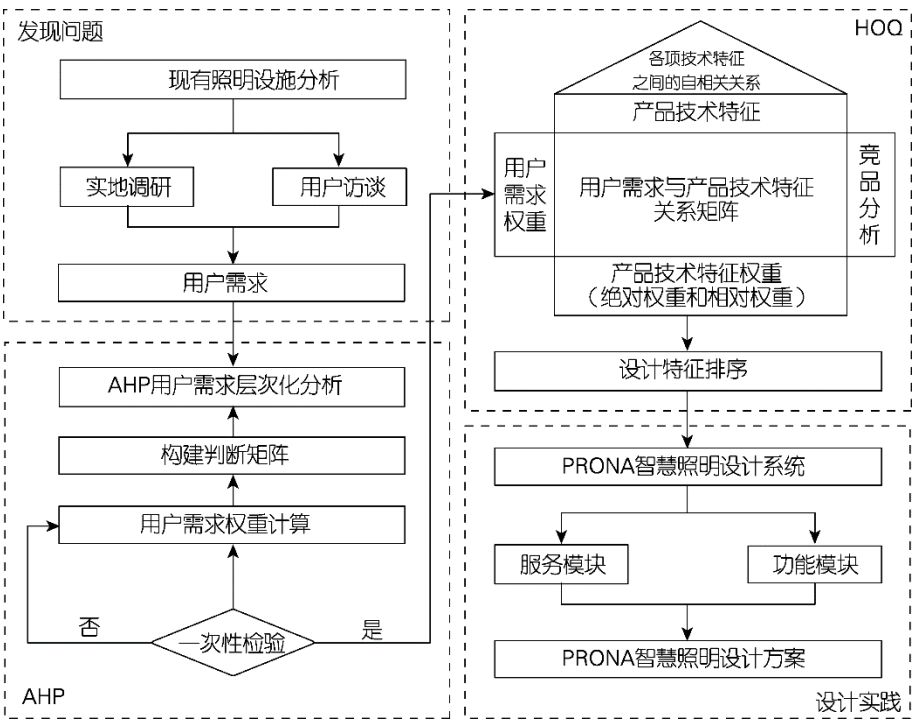


图 1 智慧照明设计系统研究流程
Fig.1 Research process of smart lighting design system

1.2 包容性设计

英国标准协会于 2005 年将“包容性设计”定义为: 在全球范围内、不同情况下, 能使尽可能多的人

易于使用, 而无需特别的适应或专门的设计^[7], 强调平等、尊重、无差别对待各类人群^[8], 包容性设计具备以人为中心、为不同用户提供选择、注重使用灵活性等原则。在城市智慧照明设计系统中, 运用包容性

设计理论来指导设计,可以充分考虑不同人群的能力和 文化背景,例如增加多语言指示牌、提供更加友好的 操作界面等,为他们提供更加贴心的照明服务,提升 服务的普及性。运用包容性设计理论,可以充分考 虑城市多样性,包括不同文化、历史和地理环境,在 设计中融入城市的文化元素,提供与城市环境相匹 配的照明服务。

1.3 AHP 和 QFD 理论概述

层次分析法 (Analytic Hierarchy Process, AHP) 是一种系统性的决策分析工具,由托马斯·萨蒂 (Thomas L. Saaty) 提出。AHP 通过构建层次结构模 型,将评价指标进行两两比较和判断,通过量化方式 进行综合评价,得出决策方案相对重要性的排序^[9]。 QFD (Quality Function Deployment, QFD) 是一种 以消费者需求为导向的结构化设计工具^[10],常用于 将客户需求和要求转换为新的或改进的产品和服务

的技术特征^[11-12]。其核心是通过质量屋(The House Of Quality, HOQ) 将客户需求与产品特性联系起来,实 现需求转化,确定设计目的,最后完成产品开发的质 量功能配置的整体流程^[13]。 AHP 提供了一种系统化的方法来评估和改进设 计,而 QFD 则提供了一种以用户为中心将质量目标具 体化的方法,两者结合帮助设计人员在智慧照明前期 研究阶段明确目标与优先功能,更好理解用户需求,从 而提高照明设施的设计效率,保证总体设计质量。

2 城市照明设施研究

本研究参考《中华人民共和国城市道路照明设计 标准》(CJJ45—2015)^[14]用于规范照明设计要求。为 深入了解城市照明现状,确定产品特性和设计重点, 以文献调查法等方式将现有路灯按外观与功能的差 异分为 5 种类型,见表 1。

表 1 现有照明设施外形分类
Tab.1 Classification of shapes of existing lighting facilities

种类	定义	外观设计	照片示例
单臂路灯	指一种灯杆仅设一个灯臂的路灯,可用 于路边和市区照明,一般用于城市主干 道、公路路段照明	部分单臂路灯会配备环境监测、广告、摄 像头等其他附加功能	
双臂路灯	指一种灯杆设有两个灯臂的路灯,拥有 更广泛的照明范围	线条感和协调的视觉效果起到美化城市、 增强城市特色的作用,部分路灯在灯杆上 安装小型雕塑	
中华灯	中国传统文化中的一种灯具,通常指种 类繁多、造型多样的中式灯具	通常融入多种文化元素,如中国传统花 鸟画、中国传统纹样、道教、佛教等等,这 些文化元素既让中华灯具具有艺术感	
仿古灯	指模仿古代灯具的设计和制作而成的一 种灯具	通常具有浓郁的古典风格 and 历史文化特 色,其整体造型线条优美、典雅、别致	
景观灯	指用于城市、公园、广场、风景区、建 筑物等公共场所的室外灯具,专门用于 照明景观、装饰环境	造型通常与周围环境相协调,根据不同的 场景和需求,选择合适的景观灯类型和造 型设计	

以上海市为例,从 M50 创意园出发徒步至浦东 新区,具体路线见图 2。通过实地观察法重点走访其 中 13 个地点,感受上海各个区域照明设施在功能特点 和环境需求上的差异,并重点考察某些区域的路灯设计。 根据照明设施在不同使用场景下的使用频次、功能 需求等特点,将 13 个调研地点分为景区、社区、商业 区、产业园区四大类,便于进行场景化研究,见表 2—3。

3 城市智慧照明设计模型研究

3.1 用户研究

为了进一步了解目标用户日常行为,本次研究通

过访谈法总结用户的照明需求。在访谈前预先设定问 题,见表 4。随后针对四类场景分别对不同类型的目 标用户进行访谈和观察,本次研究共访谈了 42 名人 员,其中男性 23 人,女性 19 人,主要采访用户为游客、 商户、居民、工作人员(景区管理员、保安、维修人员、 物业管理者、居委会人员、保安、创意工作者等)。将 采集的有效信息进行数据统计并整理,得到四类目标用 户对照明设施的基本需求统计,见表 5—8。

3.2 基于 AHP 法的用户需求权重分析

1) 用户需求层次化展开。采用 KJ 法分别对景 区、社区、商业区、产业园区用户照明设计需求进行 层次化展开。以景区智慧照明设计需求为例,构建出

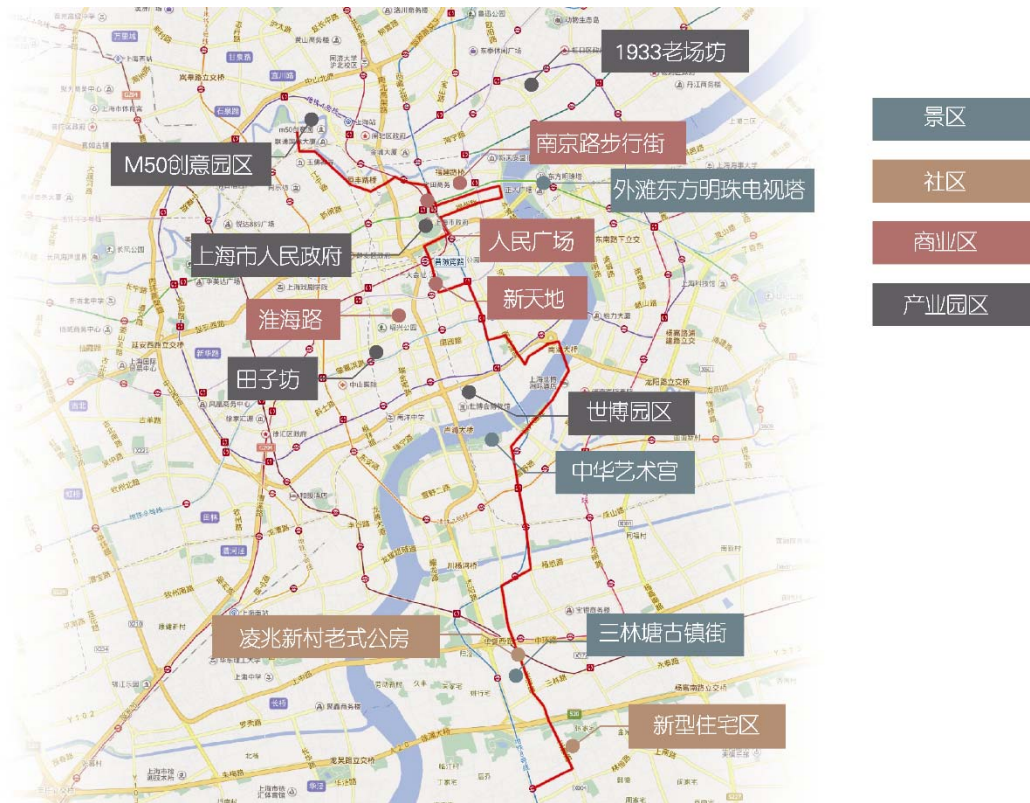


图 2 上海街道走访记录
Fig.2 Shanghai street visit records

表 2 上海景区与社区照明设施照片搜集
Tab.2 Photo collection of lighting facilities in Shanghai scenic spots and communities

使用场景	地点	介绍	照片
景区	中华艺术宫	采用单臂路灯, 十字路口采用四头灯, 有一定新意	
	三林塘古镇街	采用高度较低的仿古灯	
	外滩东方明珠电视塔	款式大气多样, 双臂路灯、欧式风格等, 照明范围较大, 部分路灯与红绿灯结合	
社区	凌兆新村老式公房	老式居民住宅区, 有较多老式的电线杆, 线路错综复杂	
	新型住宅区	路灯款式较新, 大多为单臂路灯类型, 高度较高	

表 3 上海商业区与产业园区照明设施照片搜集
Tab.3 Photo collection of lighting facilities in Shanghai business districts and industrial parks

使用场景	地点	介绍	照片
商业区	淮海路	造型时尚, 维护情况良好, 人行道上配合景观灯, 照明和外观兼顾	

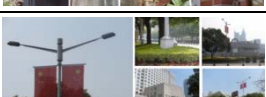
续表 3			
使用场景	地点	介绍	照片
商业区	南京路步行街	高度较低，配合南京路风格，造型独特	
	人民广场	高度较高，造型独特，外观需求和照射需求兼顾	
	新天地	路灯外形种类繁多，庭院灯、景观灯、仿古灯等	
产业园区	世博园区	主干道采用双臂路灯，园区中有普通路灯，造型简单，灯杆造型新颖	
	M50 创意园区	样式老旧，造型与场景结合度较低，夜晚光线昏暗	
	田子坊	路灯种类多样，小巧精致造型与园区相符，部分路灯线路错综复杂，较为老旧	
	上海市人民政府	马路较宽，照射区域大，选用双臂路灯，整体造型正气大方，悬挂国旗	

表 4 访谈/观察概要
Tab.4 Summary of interviews/observations

序号	访谈问题
1	您对这附近路灯情况的整体印象
2	您觉得这周边路灯的整体亮度和照明范围怎么样
3	您觉得这周边路灯存在哪些问题？比如外观、数量、布局等
4	您在这边游玩/居住/工作/开店……会遇到哪些不便吗
5	如果要对路灯进行改进，您希望改进的方向？为什么？（多选）a 环保型 b 创新型 c 节约高效型 d 多功能型

表 5 景区用户对照明设施的基本需求统计
Tab.5 Statistics on basic needs of scenic spot users for lighting facilities

用户	访谈/观察内容	具体表现	设计表现	类别
游客	逛景点时，有时分不清方向	增加指引信息	设置互动模块	交互需求
游客	线下排队浪费时间	参观景区方便快捷	提供订票服务	交互需求
游客	有时堵车，不知道什么时候畅通	增加道路可达性	传播交通信息	交互需求
商户	增加商户信息传播途径	获取商户信息	提供周边商户信息	交互需求
居民/游客	电线杆处少量垃圾广告张贴	广告投放干净整洁	广告模块设计	交互需求
居民/游客	单臂路灯造型老旧	颜色、造型偏好	造型新颖美观	外观需求
居民/游客	路灯风格无特色	风格偏好	与景区风格相融	外观需求
居民/游客	布局分散凌乱，数量较少	布局合理、数量充足	与公共资源结合	外观需求
工作人员	高压钠灯四处散射，造成光污染	关注节能环保	采用环保材料	外观需求
居民/游客	照明亮度不足	扩大照明范围	采用面光源	功能需求
居民/游客	部分景点关灯时间较早	保证照明时间充足	智能灯光调节	功能需求
工作人员	能量转换效率低，浪费电力资源	关注节能环保	安装节能装置	功能需求
工作人员	灯头、灯壁老化锈蚀，易脱落	提高维修效率	模块化设计	安全需求
工作人员	维修麻烦，架高梯作业危险系数高	保证维修安全	模块化设计	安全需求
工作人员	元器件易损坏	优质材料	采用优质灯源	安全需求
游客	路上遇紧急求医等状况需要帮助	提供求助渠道	紧急求助设计	安全需求
商户	监控死角给犯罪分子有机可乘	维修社会治安	配备安防设备	安全需求

表 6 社区用户对照明设施的基本需求统计
Tab.6 Statistics on basic needs of community users for lighting facilities

用户	访谈/观察内容	具体表现	设计表现	类别
居民	老年社区缴水电费路程较远	电费缴纳便捷	自助缴费系统	交互需求
居民	大量新户入住, 频繁询问快递点等信息	提供信息渠道	信息服务系统	交互需求
居民	城市环境污染严重	检测环境指数	环境感知系统	交互需求
工作人员	高压钠灯四处散射, 造成光污染	关注节能环保	采用环保材料	外观需求
居民	路灯多年未更换, 外观造型老旧	颜色、造型偏好	与社区风格相融	外观需求
居民	线路错综复杂, 没有安装在新位置上	节省公共空间	与公共资源结合	外观需求
居民	小区路灯开灯时间晚	保证照明时间充足	智能灯光调节	功能需求
工作人员	照明亮度不足导致夜视监控作用减弱	扩大照明范围	采用面光源	功能需求
工作人员	能量转换效率低, 浪费电力资源	关注节能环保	安装节能装置	功能需求
工作人员	元器件易损坏	优质材料	采用优质灯源	安全需求
居民	树遮挡路灯, 压住墙头电线	定期检查路灯情况	模块化设计	安全需求
居民	电线杆底部生锈且遇到雨天频发故障	定期检查路灯情况	模块化设计	安全需求
游客	路上遇紧急求医等状况需要帮助	提供求助渠道	紧急求助设计	安全需求
居民	老人走失或出现可疑人员	保证居民生命财产安全	配备安防设备	安全需求

表 7 商业区用户对照明设施的基本需求统计
Tab.7 Statistics on basic needs of business district users for lighting facilities

用户	访谈/观察内容	具体表现	设计表现	类别
工作人员	无法掌握路灯情况	提高路面运行质量	运用通信技术	交互需求
游客	对附件商户信息不了解	提供信息渠道	传播商业、交通信息	交互需求
游客	公共安全事件发生造成堵车	加大信息传递速度	设置应急广播	交互需求
居民/游客	路灯风格与商业区建筑风格不合	造型与建筑融合	特色造型设计	外观需求
居民/游客	布局分散凌乱, 数量较少	布局合理, 数量充足	与公共资源结合	外观需求
工作人员	普遍为钠灯, 环保性能差	关注节能环保	安装节能装置	功能需求
居民/游客	路灯夜晚照明范围太小	保证照明范围充足	采用面光源	功能需求
居民/游客	新能源汽车缺少充足充电桩	增加充电桩个数	路灯与充电桩结合设计	功能需求
居民	部分路灯不停闪烁, 存在安全隐患	保证路灯质量	采用优质灯源	安全需求
游客	路上遇紧急求医等状况需要帮助	提供求助渠道	紧急求助设计	安全需求
工作人员	附件监控死角区域多	保证生命财产安全	配备安防设备	安全需求

表 8 产业园区用户对照明设施的基本需求统计
Tab.8 Statistics on basic needs of industrial park users for lighting facilities

用户	访谈/观察内容	具体表现	设计表现	类别
游客	部分产业园区路线复杂, 指示牌较少	提升道路可达性	增加交通指引信息	交互需求
商户	游客对产业园区信息不了解	提供获取信息渠道	设置互动模块	交互需求
工作人员	设备运维困难	提高运行质量	运用通信技术	交互需求
居民/游客	路灯及附近墙壁大量垃圾广告张贴	广告投放整洁	广告模块设计	交互需求
居民/游客	大多为单臂路灯	造型偏好	特色造型设计	外观需求
居民/游客	缺少独特性与美观性	风格偏好	与产业园区风格相融	外观需求
工作人员	能量转换效率低, 浪费电力资源	关注节能环保	安装节能装置	功能需求
居民	部分路灯不停闪烁, 存在安全隐患	保证路灯质量	采用优质灯源	安全需求
工作人员	部分路灯长时间损坏	提高维修效率	模块化设计	安全需求
游客	路上遇紧急求医等状况需要帮助	提供求助渠道	紧急求助设计	安全需求
工作人员	附件监控死角区域多	提高安全性	配备安防设备	安全需求

科学全面的用户需求层次化展开表。见表 9, 第一层为总需求层 A, 第二层为交互、外观、功能和安全需求层 B, 第三层为具体需求层 C。

2) 构建判断矩阵。针对目标用户需求邀请 15 位

表 9 上海景区智慧照明设计用户需求层次化展开
Tab.9 Hierarchical development of user needs of smart lighting design in Shanghai scenic spots

第一需求层次 A	第二需求层次 B	第三需求层次 C
照明设计 A	交互需求 B1	设置互动模块 C1
		提供订票服务 C2
		传播交通信息 C3
		提供商户信息 C4
		广告模块设计 C5
	外观需求 B2	造型新颖美观 C6
		与环境风格相融 C7
		与公共资源结合 C8
		采用环保材料 C9
	功能需求 B3	采用面光源 C10
		智能灯光调节 C11
		安装节能装置 C12
	安全需求 B4	模块化设计 C13
		采用优质灯源 C14
		紧急求助设计 C15
		配备安防设备 C16

工业设计领域专家，运用 Saaty 方法对 9 个重要等级的定义，对所整理的第二需求层 B 进行两两比较，构建相关判断矩阵 D。式中， d_{ij} 为指标 B_i 与指标 B_j 相比较，指同一需求层次下，任意两个指标相关重要性

的比较数值。

$$D = (d_{ij})_{n \times n} = \begin{bmatrix} d_{11} & d_{12} & \cdots & d_{1n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ d_{n1} & d_{n2} & \cdots & d_{nn} \end{bmatrix} \quad (1)$$

3) 计算权重，进行一致性检验。采用几何平均法、算术平均法等方法计算出第二需求层 B 的权重值结果 M，见式(2)。

$$\frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1} = M \quad (2)$$

其中，第二需求层特征向量结果为 $0.05 < 0.1$ ，通过一致性检验，权重结果可以看出用户需求呈交互>外观>功能>安全需求的趋势。判断矩阵及权重值结果，见表 10。

表 10 总需求中各指标权重值
Tab.10 Weight of each index under total demand

总需求	外观	功能	安全	期望	特征向量	权重值
交互	3	3	5	1	2.59	0.516 0
外观	1	3	3	1/3	1.316	0.262 2
功能	1/3	1	2	1/3	0.687	0.136 8
安全	1/3	1/2	1	1/5	0.427	0.085 0

4) 同理对第三需求层 C 构建判断矩阵并计算出权重值，计算结果见表 11—14。CR 值分别等于 0.037，0.022，0.004，0.037，C R 值均小于 1，一致性检验合格。

表 11 交互需求中各个子评价指标的权重值
Tab.11 Weight of each sub-evaluation index under interaction requirements

交互	设置互动模块	提供订票服务	传播交通信息	提供商户信息	广告模块设计	特征向量	权重值
设置互动模块	1	3	1/3	2	5	1.311	0.262 1
提供订票服务	1/3	1	1/3	1/2	2	0.523	0.104 6
传播交通信息	3	3	1	2	5	1.99	0.398 0
提供商户信息	1/2	2	1/2	1	3	0.88	0.176 0
广告模块设计	1/5	1/2	1/5	1/3	1	0.297	0.059 3

表 12 外观需求中各个子评价指标的权重值
Tab.12 Weight of each sub-evaluation index under appearance requirements

外观	造型新颖美观	与景区风格相融	与公共资源结合	采用环保材料	特征向量	权重值
造型新颖美观	1	1/2	2	5	1.189	0.297 3
与景区风格相融	2	1	3	5	1.863	0.465 8
与公共资源结合	1/2	1/3	1	3	0.671	0.168 0
采用环保材料	1/5	1/5	1/3	1	0.276	0.069 1

表 13 功能需求中各个子评价指标的权重值
Tab.13 Weight of each sub-evaluation index under functional requirements

功能	采用面光源	智能灯光调节	安装节能装置	特征向量	权重值
采用面光源	1	5	2	2.154	0.581 6
智能灯光调节	1/5	1	1/3	0.405	0.109 5
安装节能装置	1/2	3	1	1.145	0.310 0

表 14 安全需求下各个子评价指标的权重值
Tab.14 Weight of each sub-evaluation index under security requirements

安全	模块化设计	采用优质灯源	紧急求助设计	配备安防设备	特征向量	权重值
模块化设计	1	1/2	2	1/4	0.548	0.137 0
采用优质灯源	2	1	3	1/4	0.858	0.214 5
紧急求助设计	1/2	1/3	1	1/5	0.332	0.083 0
配备安防设备	4	4	5	1	2.262	0.565 5

5) 综合权重计算。通过将总体需求指标权重分别乘以各个子评价指标的权重值,可以计算出每个子评价指标^[15]的最终需求权重,具体结果见图 3。

3.3 智慧城市照明设计特征转化与 HOQ 分析

1) 设计特征转化。运用小组讨论法将用户需求转化为设计特征,并确定城市智慧照明设计特征所能

达到的预期效果,如 C5 需求为广告模块设计,合理推断可获得 Y5 设置广告信息专栏,见表 15。

2) 城市景区智慧照明设计特征权重分析。通过 AHP 法得到用户需求权重,邀请 20 位专家研究用户需求与设计需求之间的关系, U 表示用户需求, D 表示设计需求,从而建立智慧照明设计需求质量屋。其结果见图 4。

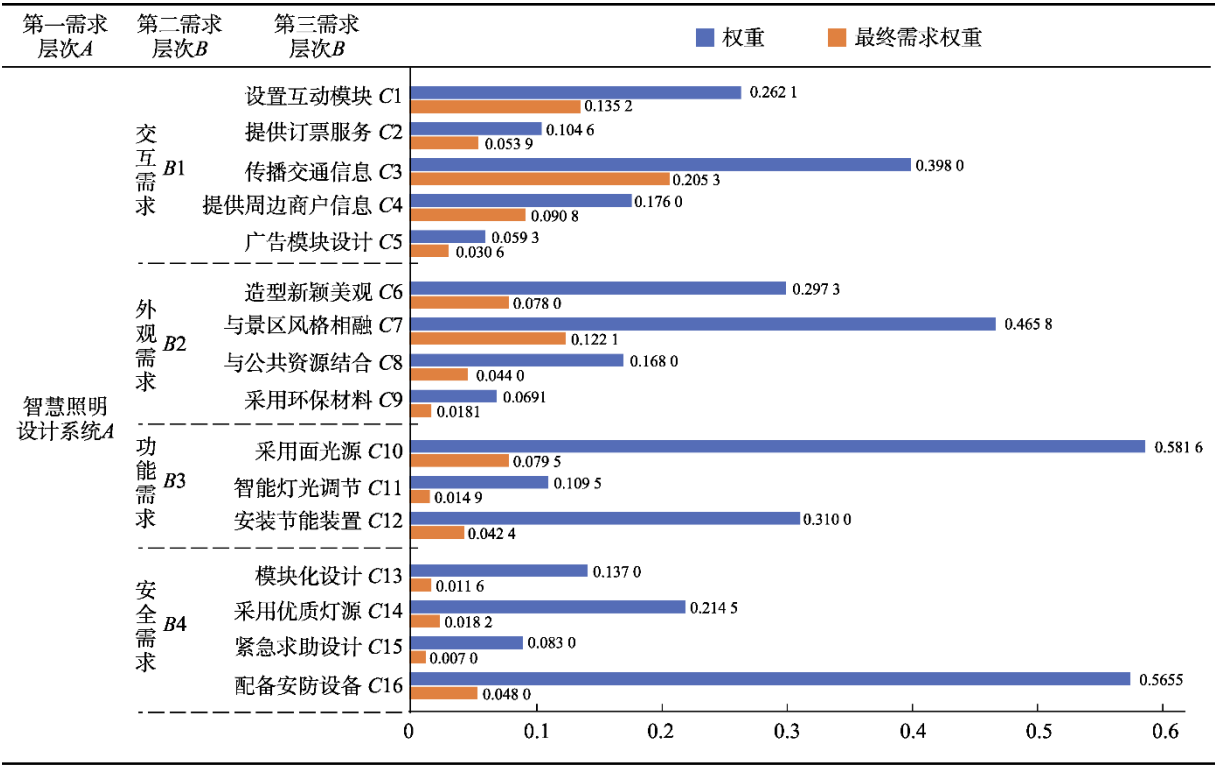


图 3 用户需求权重计算
Fig.3 Calculation of user requirement weights

表 15 景区智慧照明设计特征与预期效果
Tab.15 Design characteristics and expected effects of smart lighting in scenic spots

代号	设计特征要素	设计预期效果
Y1	电子屏幕可触屏	增加产品的交互性
Y2	设置周边景区场所购票模块	提高游客参观效率
Y3	红外线探测道路拥堵程度	为司机提供拥堵源及其他行驶路线
Y4	设置周边商户信息模块	提高游客参观效率
Y5	设置广告信息专栏	无线通信自动更新, 减少人力物力
Y6	简约外观设计	提升造型美观度
Y7	融入中国风元素	提升风格融合度
Y8	利用信息技术整合公共资源	有效利用公共空间

续表															
代号	设计特征要素														设计预期效果
Y9	采用 LED 环保面光源														电能转换率高，且照明范围扩大
Y10	增加人体感应														提升产品合理性
Y11	安装太阳能装置														利用自然资源，节能环保
Y12	对产品硬件进行模块化设计														提升产品维修效率
Y13	设置紧急求助按钮														遇紧急情况及时向外界求助
Y14	配有监控设备														增加监控面积，提升监控效率
	Y1	Y2	Y3	Y4	Y5	Y6	Y7	Y8	Y9	Y10	Y11	Y12	Y13	Y14	用户需求权重
C1	●	□		△		△		△				△	□		0.135 2
C2	□	●		△	△			△							0.053 9
C3			●					□							0.205 3
C4	□	△		●	△			△							0.090 8
C5			□	△	●			□							0.030 6
C6	△					●	●		△		△			△	0.078 0
C7						●	●								0.122 1
C8	△				□			●						□	0.044 0
C9									●		□				0.018 1
C10						□			●			□			0.079 5
C11										●					0.014 9
C12						△			△		●	□			0.042 4
C13						△			△		△	●		△	0.011 6
C14									●						0.018 2
C15	□							□					●		0.007 0
C16						△		□				□		●	0.048 0
设计需求权重	1.253 1	0.765 9	1.118 3	0.673 7	0.429 7	1.476 2	1.000 5	1.372 6	0.711	0.074 5	0.355 9	0.702 9	0.440 6	0.461 6	
															△ 1 微弱 □ 3 中等 ● 5 强烈

注: 分别对应用户需求及设计需求之间的关系程度, 其中“●”代表强烈相关, 取值为 5; “□”代表中等相关, 取值为 3; “△”代表微弱相关, 取值为 1, 二者需求无相关则不进行标记, 取值为 0。

图 4 城市景区智慧照明设计 HOQ 建立

Fig.4 Urban scenic area smart lighting design HOQ establishment

采用 E_j 表示设计需求 D 的绝对重要度权重, e_j 表示相对重要度权重, W_i 为第 i 个用户需求的权重, F_{ij} 为两者所对应的关系数值。导入式 (3) — (4) 进行计算。

$$\sum_{i=1}^n W_i \times F_{ij} (i, j = 1, 2, \dots, n) = E_j \quad (3)$$

$$\frac{E_j}{\sum_{j=1}^n E_j} (j = 1, 2, \dots, n) = e_j \quad (4)$$

将计算得出的设计特征相对重要度权重经规范化后排序, 结果见图 5。得到设计特征权重依次为: 简约外观设计>利用信息技术整合公共资源>电子屏

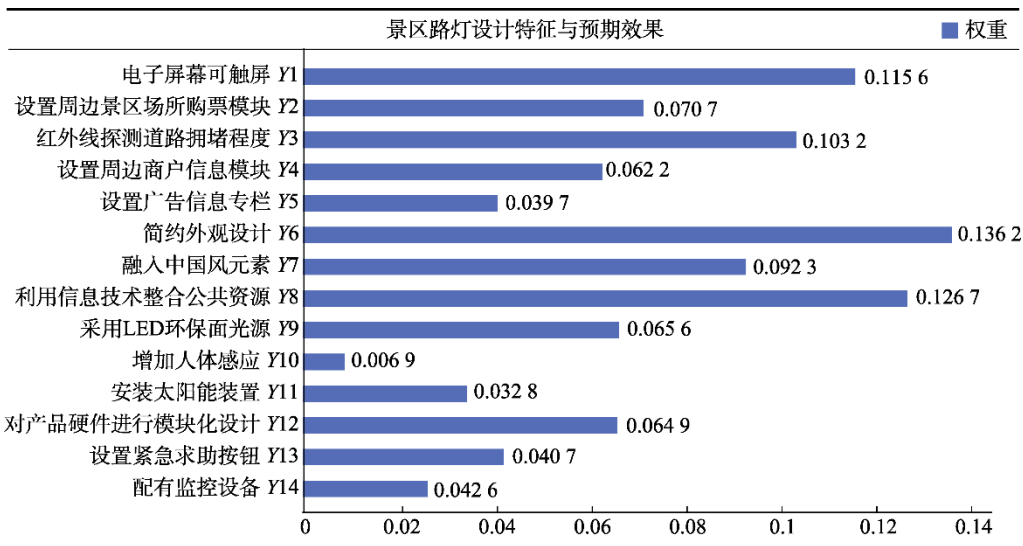


图 5 上海景区智慧照明设计特征相对重要度权重结果

Fig.5 Relative importance weight of smart lighting design features in Shanghai scenic spots

幕可触屏>红外线探测道路拥堵程度>融入中国风元素>设置周边景区场所购票模块>采用 LED 环保面光源>对产品硬件进行模块化设计>设置周边商户信息模块>配有监控设备>设置紧急求助按钮>设置广告信息专栏>安装太阳能装置>增加人体感应。

以上为上海景区智慧照明设计用户需求权重分析与设计特征转化。同理, 对上海社区、商业区与产业园区的用户需求权重进行计算, 建立 HOQ 质量屋, 得出各个场景下智慧照明设计特征权重。最后, 基于上述方法对各场景的分析结果展开智慧城市照明设计实践。

4 智慧照明设计实践

4.1 PRONA 智慧照明设计系统

PRONA 智慧照明设计系统集成了太阳能光伏、LED 照明、视频探头、多媒体屏等多功能硬件。以信息应用系统平台为依托, 实现民生、交通等地方化信息共享, 构建出以智慧照明为基础的“位置网+车联网+道路交通网”“三网合一”的智慧交通体系与 CPS 信息物理系统, 推动城市管理运营水平进一步提升, 见图 6。

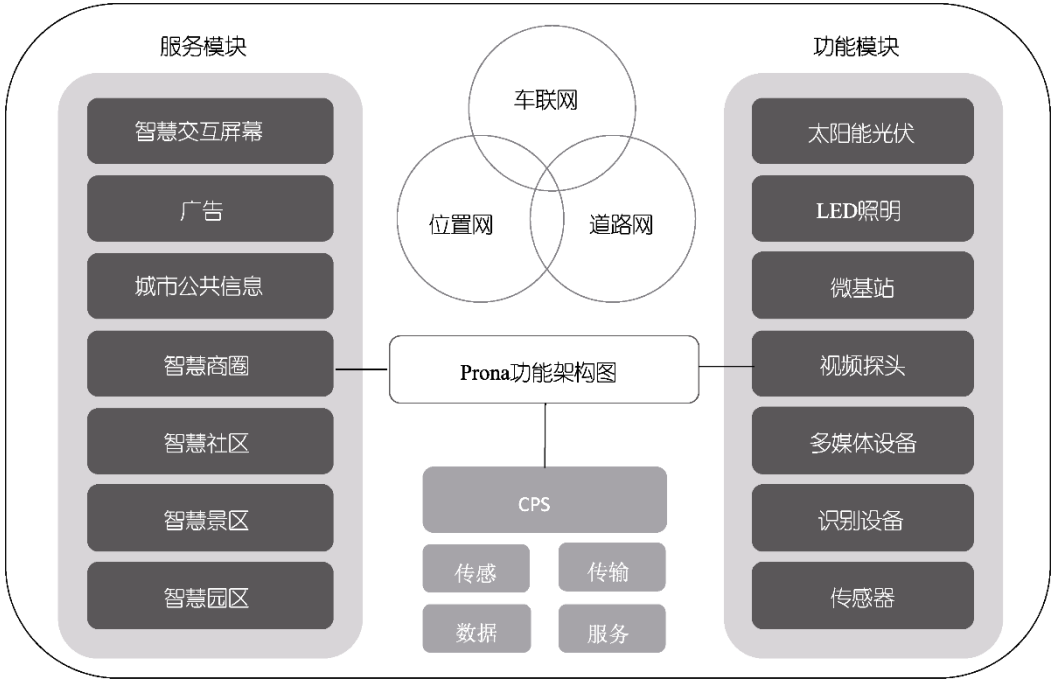


图 6 智慧照明功能架构
Fig.6 Smart lighting function architecture

4.2 PRONA 智慧照明设计方案

普罗米修斯是古希腊神话中拥有智慧、带来光明的男神, 雅典娜是象征艺术与智慧的女神, PRONA 正来源于此。同时, PRONA 这一英文, 也是 PROMOT (提升促进) 与 CHINA (中国) 的结合, 寓意着该本土品牌能够超越过去、突破现在、启迪未来! 华灯初上, 透过 PRONA 感受现代城市美轮美奂的智慧之光; 荧屏之下, 通过 PRONA 体验创新城市的 CityPad 信息应用之便。

PRONA 拥有四种不同外观造型, 中国风系列产品适用于景区、博物馆等场地使用, 主色调为大红色, 纹样提取自传统窗格, 具有浓厚的中国风元素; 极简设计风系列更加注重简洁与现代, 以黑、白、灰为主色调, 适用于商圈等场地; 简欧风系列设计融入上海海派文化, 以石库门建筑和欧洲经典方尖碑为灵感来源, 灯底座是石碑, 古朴大方, 应用于智慧商圈

及外滩、南京路等欧式建筑区域; 未来主义设计风格极具科幻感, 适用于公园及展区主干道使用。在景区, PRONA 可以为商户和市民提供订票系统; 在社区, 可以为居民提供多样化信息服务; 在商业区, 可以随时展示促销信息; 在产业园区, 主干道上的 PRONA 随时展示着交通、园区信息。

PRONA 整体采用模块化设计, 集成了若干个功能模块, 各个功能区域独立又相互配合, 实现多功能协调统一, 便于提高维修效率。其顶部安装太阳能光伏、微基站、LED 面光源, 在一定程度上实现能源自给; 在设施中部, 将电子显示屏、广告灯箱、电子取票机、报刊栏、视频监控等公共设施以模块化的形式整合在一起; 设施底部为信息交互系统和新能源充电桩, 根据红外线装置探测交通信息, 采用无线通信自动更新广告和宣传内容, 减少人力和物力, 见图 7—8。

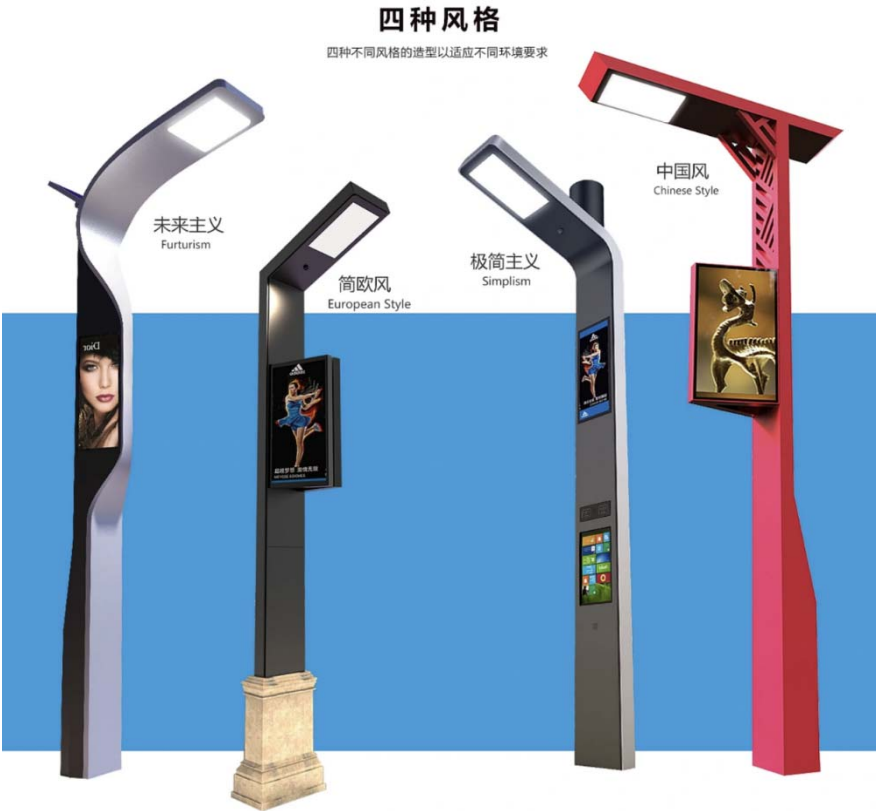


图 7 PRONA 智慧照明外观造型
Fig.7 PRONA smart lighting design renderings



图 8 PRONA 智慧照明整体设计
Fig.8 PRONA smart lighting design renderings

5 结语

本研究以智慧城市为主要背景,以城市智慧照明设计为研究对象,以用户的实际使用需求为出发点,建立了城市智慧照明设计系统。通过分析城市照明问题、调研上海城市照明设施现状,将使用场景分为四大类,总结用户的照明基本需求。然后以上海景区照明需求为例,运用AHP法计算出各需求的权重值,再通过建立HOQ设计理论模型,完成用户需求到设计特征的转变。同理计算得出上海社区、商业区、产业园区场景下的智慧照明设计特征权重,最后构建智慧照明设计系统,进行PRONA设计实践。实例表明,该设计在现代城市环境中具有很好的装饰美化作用,满足了多元化场景的照明需求,促进了城市管理和运营水平进一步提升。

参考文献:

- [1] 罗会胜. “智慧照明”理念下的校园光环境设计——以深圳大学南区为例[D]. 深圳: 深圳大学, 2017.
LUO Hui-sheng. Campus Light Environment Design under the Concept of "Smart Lighting"—Taking the South Campus of Shenzhen University as an Example[D]. Shenzhen: Shenzhen University, 2017.
- [2] 梁永增. 面向智慧城市应用的物联网平台标准化设计[J]. 物联网技术, 2023, 13(3): 97-100.
LIANG Yong-zeng. Standardized Design of Internet of Things Platform for Smart City Application[J]. Internet of Things Technologies, 2023, 13(3): 97-100.
- [3] 解宝新. 基于物联网的城市智慧照明研究[J]. 智能建筑与智慧城市, 2021(4): 150-152.
XIE Bao-xin. Research on Urban Smart Lighting Based on Internet of Things[J]. Intelligent Building & Smart City, 2021(4): 150-152.
- [4] 郭苓苓, 张耀. 智慧照明理念下的商业广场景观照明问题研究[J]. 大众文艺, 2018(20): 77-78.
GUO Ling-ling, ZHANG Yao. Research on Landscape Lighting of Commercial Plaza under the Concept of Smart Lighting[J]. Art and Literature for the Masses, 2018(20): 77-78.
- [5] 朱育辉. 医疗建筑物联网智慧照明方案研究[J]. 灯与照明, 2019, 43(2): 48-51.
ZHU Yu-hui. Research on Smart Lighting Scheme Based on Internet of Things for Medical Building[J]. Light & Lighting, 2019, 43(2): 48-51.
- [6] 朱静怡. 智慧城市背景下的北京核心区公共照明设施设计研究[D]. 北京工业大学, 2021. 000554.
ZHU Jing-yi. Research on the Design of Public Lighting Facilities in the Core District of Beijing under the Background of Smart City[D]. Beijing University of Technology, 2021. 000554.
- [7] BSI. BS 7000-6: 2005. Design management systems Part 6: Managing inclusive design-Guide[S]. London: British Standards Institute, 2005.
- [8] 凯瑟琳·霍韦尔, 埃莉·托马斯, 庞凌波. 包容性设计: 超越无障碍[J]. 世界建筑, 2019(10): 20-25.
Catherine Howell, Ellie Thomas, Pang Lingbo. Inclusive design: Beyond Accessibility[J]. World Architecture, 2019(10): 20-25.
- [9] NADERZADEH M, ARABALIBEIK H, MONAZZAM M R, et al. Comparative Analysis of AHP-TOPSIS and Fuzzy AHP Models in Selecting Appropriate Nanocomposites for Environmental Noise Barrier Applications[J]. Fluctuation & Noise Letters, 2017, 16(4): 1-20.
- [10] ZAIM S, SEVKLI M, CAMGÖZ-AKDAĞ H, et al. Use of ANP Weighted Crisp and Fuzzy QFD for Product Development[J]. Expert Systems With Applications, 2014, 41(9): 4464-4474.
- [11] KOWALSKA M, PAZDZIOR M, KRZTON-MAZIOPA A. Implementation of QFD Method in Quality Analysis of Confectionery Products[J]. Journal of Intelligent Manufacturing, 2018, 29(2): 439-447.
- [12] 李惠, 王时英, 李娟莉. 基于QFD—PUGH的人机界面评价方法研究[J]. 图学学报, 2021, 42(6): 1043-1050.
LI Hui, WANG Shi-ying, LI Juan-li. Research on Human-Machine Interface Evaluation Method Based on QFD-PUGH[J]. Journal of Graphics, 2021, 42(6): 1043-1050.
- [13] 王军, 刘思邑, 伍赛, 等. 基于QFD和AHP法的适老浴室柜设计研究[J]. 包装工程, 2023, 44(4): 158-164.
WANG Jun, LIU Si-yi, WU Sai, et al. Research on the Design of Old Bathroom Cabinet Based on QFD and AHP[J]. Packaging Engineering, 2023, 44(4): 158-164.
- [14] 李铁楠. 关于修编CJJ45《城市道路照明设计标准》的说明[J]. 照明工程学报, 2016, 27(4): 8-11.
LI Tie-nan. Introduction on the Revising of Standard for Lighting Design of Urban Road[J]. China Illuminating Engineering Journal, 2016, 27(4): 8-11.
- [15] 胡康, 邱杰, 艾险峰. 基于iNPD与AHP的老年人陪护产品创新设计[J]. 包装工程, 2019, 40(24): 179-186.
HU Kang, QIU Jie, AI Xian-feng. Innovation Design of the Elderly Accompanying Products Based on iNPD and AHP[J]. Packaging Engineering, 2019, 40(24): 179-186.

责任编辑: 陈作