

基于多方满意度的户外分类垃圾桶可持续设计评价方法

张亚军¹, 张旭¹, 蒋超¹, 俞琳^{2,3}

(1.安徽财经大学 艺术学院, 安徽 蚌埠 233030;

2.西安工程大学 服装与艺术设计学院, 西安 710048;

3.西北工业大学 现代设计与集成制造技术教育部重点实验室, 西安 710072)

摘要: **目的** 从可持续设计角度出发, 为了更好地平衡用户、企业、环境、资源等多方需求的综合满意度, 对户外分类垃圾桶可持续设计评价方法展开研究。 **方法** 通过实地观察和访谈调研收集了多方需求, 并利用双因子五阶 Likert 量问卷采集了初步需求的满意度调查数据; 采用 Kano 模型分析计算需求敏感度并完成需求的筛选; 将筛选后的需求和相应的敏感度分别作为评价指标和指标权重, 完成了可持续设计评价指标体系的构建; 结合灰色关联评价算法, 对户外分类垃圾桶设计方案进行了评价实践和验证。 **结果** 以 12 款户外垃圾桶设计方案作为评价实例, 不仅实现了方案的综合得分排序, 还通过单指标优势对综合最优方案做了进一步的优化。 **结论** 实践结果表明, 基于多方满意度户外分类垃圾桶可持续设计评价方法, 能够有效评判户外分类垃圾桶的可持续设计质量, 并帮助设计师优化和提升设计方案, 具有较强的可操作性。

关键词: 可持续设计; 设计评价; Kano 模型; 户外分类垃圾桶

中图分类号: TB472 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2023)14-0200-09

DOI: 10.19554/j.cnki.1001-3563.2023.14.021

Sustainable Design Evaluation Method of Outdoor Classified Garbage Cans Based on Multi-satisfaction

ZHANG Ya-jun¹, ZHANG Xu¹, JIANG Chao¹, YU Lin^{2,3}

(1.School of Art, Anhui University of Finance and Economics, Anhui Bengbu 233030, China; 2.Apparel and Art Design College, Xi'an Polytechnic University, Xi'an 710048, China; 3.Key Laboratory of Modern Design and Integrated Manufacturing Technology of the Ministry of Education, Northwestern Polytechnical University, Xi'an 710072, China)

ABSTRACT: The work aims to study the evaluation method of sustainable design of outdoor classified garbage cans from the perspective of sustainable design, in order to better balance the comprehensive satisfaction of users, enterprises, environment, resources and other needs. Through field observation and interview research, multiple needs were collected, and the satisfaction survey data of preliminary needs were collected by the two-factor five-order Likert questionnaire. Kano model was adopted to analyze and calculate the need sensitivity and screen the needs. By taking the screened needs and corresponding sensitivity as the evaluation index and index weight, the sustainable design evaluation index system was constructed. Combined with the grey correlation evaluation algorithm, the schemes of outdoor classified garbage cans were evaluated and verified. 12 design schemes were used as the evaluation cases and ranked comprehensively, and then the comprehensive optimal scheme was further optimized by single index advantage. The practice results show that the sustainable design evaluation method of outdoor classified garbage cans based on multi-satisfaction can effectively evaluate the sustainable design quality of outdoor classified garbage cans, help designers optimize and improve the design

收稿日期: 2023-02-21

基金项目: 安徽财经大学研究生创新科研 (ACYC2021608); 安徽高校科学研究重点项目 (SK2021A0260)

作者简介: 张亚军 (1979—), 男, 硕士, 副教授, 主要研究方向为产品创新设计理论与方法。

通信作者: 蒋超 (1987—), 男, 博士, 副教授, 主要研究方向为计算机辅助工业设计、设计方法创新与应用等。

scheme, and have strong operability.

KEY WORDS: sustainable design; design evaluation; Kano model; outdoor classified garbage can

可持续发展作为我国发展的重要战略,是我国经济转型与升级的必由之路^[1]。如何平衡可持续发展中经济、社会、环境、资源等多方面的需求,一直以来都是各学科可持续发展研究的重要课题。然而,自 1987 年世界环境与发展委员会《我们共同的未来》报告提出“可持续发展”以来,直至 21 世纪,“可持续发展”这一概念仍不甚清晰,并从不同的研究侧重出发衍生出几十种含义^[2]。为进一步明确研究范畴,对相关定义进行梳理发现,消费需求合理满足、社会经济良性发展、环境资源优化利用是国内外学者普遍公认和热切关注的 3 个核心方面。而产品作为可持续发展系统中联系上述 3 方面的重要“纽带”,不仅汇集和体现了多方需求,也因此被认为是平衡多方需求、寻求多方共赢的重要手段之一^[3]。因此,对产品可持续设计评价方法进行研究,并从设计角度对产品的可持续性进行优化,对我国可持续和高质量发展具有一定意义。

目前,针对产品的可持续设计评价研究尚处于探索阶段。可持续设计评价相关研究成果多集中于服务设计、环境设计、建筑设计等相似领域。例如: LUCIA^[3]等重点考虑社会关系可持续,并从该角度对产品服务系统的可持续设计评价方法进行了一定的梳理;贾艳阳^[4]等基于可持续理念,从生态链、供应链、消费链、价值链 4 个维度提出产品服务系统的可持续设计评估指标体系;申瑞娜^[5]等从资源、环境、创新 3 个维度,通过综合比选提出环境可持续设计评价指标体系;孙璐^[6]基于规范化的设计步骤和量化的优选方法提出建筑系统的可持续设计评价方法;吕明月^[7]以生菜屋实验室为例提出一种指导设计项目实践的可持续设计评价标准;WOO^[8]等以韩国永三公园为例,将一种通过连通性分析的折衷方法应用于大型城市公园的可持续设计与规划中,并进行了评价和验证;HOSSAIN^[9]等采用生命周期评价 LCA (Life Cycle Assessment, LCA) 对路面系统进行可持续性评估并提出设计建议等。

此外,考虑到绿色设计评价和可持续设计评价在研究内容上存在一定重合,故对绿色设计评价领域的相关研究成果也进行一定梳理。例如:韩珍玉^[10]通过机械产品材料选择中的机械、工艺、经济、环境协调 4 项指标进行 LCA 分析,并建立了产品绿色设计中材料选择的评价指标体系;周凯^[11]等采用 TOPSIS (Technique for Order Preference by Similarity to Solution, TOPSIS) 的方法对绿色包装从环境、经济、资源、功能、能源 5 个方面进行打分排序,并且得到了有效的评价方法;付自由^[12]等运用 FAHP (Fuzzy Analytic Hierarchy Process, FAHP) 的方法,结合专家

权重系数和熵权法,重点考虑人性化因素,建立了一个绿色的包装评价方法;韩晓晓^[13]等利用 QFD (Quality Function Deployment, QFD) 方法获取产品的常规需求及环境需求,并建立质量屋,从而生成绿色产品质量评价指标体系;李方义^[14]等从产品绿色设计的生命周期环境影响方面建立了一套产品 AHP (Analytic Hierarchy Process, AHP) 评价模型,通过实例验证评估分析了该评价模型的应用等。

对现有研究成果分析发现,一方面,产品领域与服务、环境、建筑等领域对可持续设计评价的侧重不同,因此在具体评价指标上虽有相似,但仍存在一定差异;另一方面,相较于绿色设计,可持续设计评价的考虑更为综合。因此,现有可持续设计和绿色设计评价研究虽在指标和方法上提供了一定的借鉴和参考,但产品可持续设计评价仍需专门讨论和研究。因此,本文以户外分类垃圾桶为实例和研究对象,从消费者、社会、环境、企业等多方需求满意度的平衡出发,寻求一种基于多方满意度的产品可持续设计评价方法。

1 可持续设计评价方法及流程概述

产品可持续设计理念倡导以合理引导和满足用户需求为基础,综合考虑经济、环境、社会等多方因素与需求。因此,户外分类垃圾桶可持续设计评价方法也应基于这一理念,从用户、经济、环境等多方需求满意度出发对产品设计质量进行评价,并帮助设计师实现设计方案的优化。

为方便读者理解和参考,将基于多方满意度的户外分类垃圾桶可持续设计评价方法和流程进行整理,见图 1,并做简要描述:对涉及多方满意度的相关人员进行可持续设计需求采集,对采集到的需求设计双因子五阶 Likert 量问卷,并通过 Kano 模型计算需求敏感度和筛选有效需求;对筛选出的评价指标进行层次聚类分析,确定评价指标权重,从而完成评价指标体系的构建;利用所构建的评价指标体系对几款待评价方案进行实例应用,通过逐项指标打分和综合评价计算,得到单一指标最优方案和综合最优方案,进而帮助设计师对综合最优方案做进一步的优化。

2 评价指标和权重确立

2.1 需求的初步收集

由产品设计专业 8 名研究生和 21 名本科生组成调研团队,历时 64 天对广州、西安、合肥等典型城市的 12 个市政垃圾中转站、40 个社区、86 个分类

垃圾桶、214 次垃圾转运运输过程、778 次扔垃圾行为进行实地调研和观察，并通过单独访谈和小型座谈相结合的形式对 182 位相关人员进行了需求调研。访谈对象包括户外分类垃圾桶的一般使用者、社区

垃圾分类指导监督人员、一线环卫工人、垃圾中转站工作人员、分类垃圾桶生产和制造企业相关人员、政府相关管理部门人员等。初步采集到的需求，见表 1。

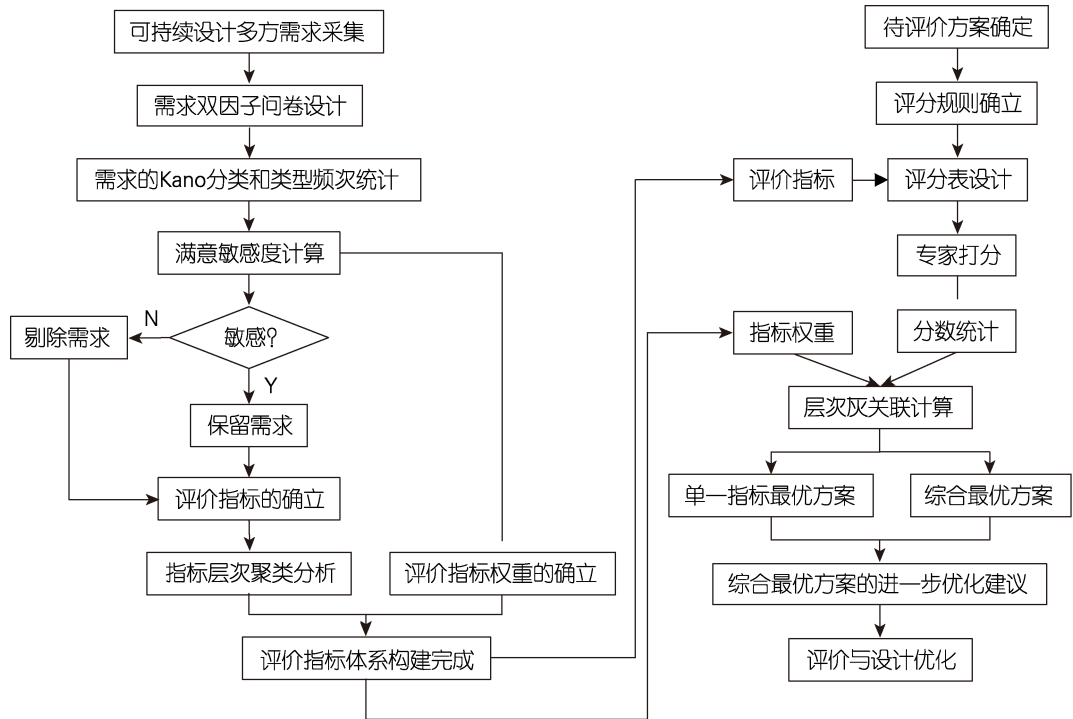


图 1 评价方法及流程
Fig.1 Evaluation method and process

表 1 需求初步采集
Tab.1 Preliminary collection of needs

编号	需求	编号	需求	编号	需求	编号	需求
P1	垃圾桶易清理	P10	外观契合城市形象	P19	垃圾科学分类	P28	零件回收使用
P2	回收垃圾补贴	P11	垃圾桶易于移动	P20	标识系统清晰	P29	智能管理系统
P3	其他附加功能	P12	易于运输	P21	生产成本低	P30	工具存取方便
P4	使用便捷、无障碍	P13	规格多样化	P22	垃圾转运及时	P31	人力成本低
P5	垃圾桶密封、不渗漏	P14	防水挡雨	P23	降低生产排放	P32	具有盈利能力
P6	垃圾桶可拆装	P15	存储空间大	P24	废弃口罩收集	P33	不可降解垃圾收集
P7	垃圾易于装卸	P16	用料绿色环保	P25	垃圾桶回收循环	P34	垃圾桶抗污、自清洁
P8	垃圾桶结实耐用	P17	污水处理	P26	拖拽噪音小	P35	可燃垃圾安全收集
P9	正向鼓励机制	P18	减少生产耗能	P27	维护成本低	P36	易腐垃圾技术处理

2.2 需求满意度的问卷调查

1) 需求分析和问卷设计。对表 1 中的需求进行分析发现，由于需求内容来自于不同人群，其社会角色、职责立场存在不同。故初步采集的需求之间存在一定矛盾。如“P8 垃圾桶结实耐用”与“P21 生产成本低”“P7 垃圾易于装卸”与“P15 存储空间大”等。从可持续设计的系统思维出发，为综合满足多方群体的不同需求，需对初步采集到的需求进行 Kano 分析。依据 Kano 需求分析理论^[15]将表 1 中的 36 项

需求设计为双因子五阶 Likert 量问卷——对需求进行正反提问，并将答案分为 5 种不同程度“非常满意、理应如此、无所谓、能够忍受、不能接受”，问卷设计，见图 2。

2) 问卷发放、回收与信度检测。通过线上线下结合的方式进行问卷发放和回收。线上问卷发放和回收渠道包括业主群、生活类论坛、社交和通信软件等。线下方式主要包括对住宅区、商业区、校园、相关部门与企业进行问卷发放和回收。最终发放问卷共计 2 003 份，有效回收问卷共计 1 926 份，有效回收率为

96.16%。考虑到需求满意度主要受职业因素影响，受年龄、性别等其他特征因素的影响不显著，故将职业作为受测对象的关键特征。有效受测对象的职业特征见表 2。为确保问卷调研数据的可靠性，将有效回收的问卷随机分为 2 组，并通过 SPSS 软件进行 Cronbach's alpha 信度检测，经计算结果得出 $\alpha=0.807 \geq 0.8$ 。有效回收率和信度检测结果均说明问卷调研数据具有较好的可靠性，能够有效支撑进一步分析和研究。

需求	需求说明	问题及答案									
		户外分类垃圾桶提供此项性能， 您的满意度					户外分类垃圾桶若是不提供此项性能， 您的满意度				
		...									
P13 规格多样化	为适宜不同使用场景设计不同规格	非常满意 □	理应如此 □	无所谓 □	能够忍受 □	不能接受 □	非常满意 □	理应如此 □	无所谓 □	能够忍受 □	不能接受 □
P14 防水挡雨	使户外分类垃圾桶具有防水、挡雨功能，避免垃圾桶积水、潮湿等	非常满意 □	理应如此 □	无所谓 □	能够忍受 □	不能接受 □	非常满意 □	理应如此 □	无所谓 □	能够忍受 □	不能接受 □
P15 存储空间大	使户外分类垃圾桶可容纳更多垃圾	非常满意 □	理应如此 □	无所谓 □	能够忍受 □	不能接受 □	非常满意 □	理应如此 □	无所谓 □	能够忍受 □	不能接受 □

图 2 问卷设计
Fig.2 Questionnaire design

表 2 受测对象职业特征
Tab.2 Occupational characteristics of the tested subject

特征类别	样本数（人次）	特征类别	样本数（人次）	特征类别	样本数（人次）
设计研发人员	87	社区工作者	77	相关管理部门人员	13
社区居民	1 297	一线环卫工人	86	相关领域学者和专家	9
社区商户	289	垃圾转运站工人	57	相关企业经营者	11

2.3 需求的敏感度分析

基于多方满意度的户外分类垃圾桶可持续设计评价指标体系由评价指标与评价指标权重构成。其中，评价指标即为来自多方面的真实需求；评价指标权重反映了需求对满意度的影响大小，即需求敏感度。为了筛选有效需求、确定需求敏感度，对表 1 中初步采集到的需求进行敏感度计算和分析。主要步骤如下。

1) 需求频次统计。Kano 模型将需求分为必要型需求 (M)、期望型需求 (O)、兴奋型需求 (A)、无

差异型需求 (I)、反向型需求 (R) 和可疑型需求 (Q)。以“P1 垃圾桶易清理”为例进行需求频次统计，“P1 垃圾桶易清理”的 M、O、A、I、R、Q 型需求频次统计分别为 264、369、1 088、194、6、5，各型需求频次的具体数据，见表 3。

2) 需求敏感度计算。设需求总数为 m，用 M_i 、 O_i 、 A_i 、 I_i 、 R_i 、 Q_i 分别表示第 i 个需求的基本型、期望型、魅力型、无差异型、反向型、可疑型统计频次， $i=1,2,\cdots,m$ 。则第 i 个需求的 Better 系数 B_i 的计算，见式 (1)。

表 3 需求分类表及 P1 数据
Tab.3 Need classification and P1 data

P1 垃圾桶易清理		户外分类垃圾桶若是不提供此项性能，您的满意度				
		非常满意	理应如此	无所谓	能够忍受	不能忍受
户外分类垃圾桶提供此项性能，您的满意度	非常满意	Q (5)	A (4)	A (26)	A (1058)	O (369)
	理应如此	R (0)	I (7)	I (43)	I (86)	M (209)
	无所谓	R (2)	I (3)	I (14)	I (21)	M (32)
	能够忍受	R (1)	I (3)	I (6)	I (11)	M (23)
	不能忍受	R (0)	R (0)	R (0)	R (3)	Q (0)

$$B_i = (A_i + O_i) / (A_i + O_i + M_i + I_i) \tag{1}$$

第 i 个需求的需求系数 W_i 的计算, 见式 (2)。
$$W_i = -1 \times (M_i + O_i) / (A_i + O_i + M_i + I_i) \tag{2}$$

最终, 第 i 个需求的敏感度计算, 见式 (3)。
$$q_i = \sqrt{B_i^2 + W_i^2} \tag{3}$$

依据公式 (1) — (3) 计算表 1 中的 36 个需求所得结果, 见表 4。

3) 需求筛选。构建平面坐标系 Oxy , 其中: O 为坐标系原点; P 为坐标系中心; OP 为坐标系原点和中心的连线。以第 i 个需求的需求系数 B_i 和 W_i 值作为需求 i 的点坐标 (x_i, y_i) , 则各项需求在坐标系 Oxy 中的表示, 见如图 3。一般认为, 以 O 为圆心、 OP 为半径的圆弧所包含的需求不敏感^[16], 可以忽视; 未包含的需求则具有较高的敏感度, 应作为评价指标。

表 4 敏感度计算结果
Tab.4 Sensitivity calculation results

No.	B_i	W_i	q_i	No.	B_i	W_i	q_i	No.	B_i	W_i	q_i
P1	0.761	-0.331	0.830	P13	0.476	-0.431	0.642	P25	0.633	-0.533	0.828
P2	0.727	-0.249	0.768	P14	0.803	-0.636	1.024	P26	0.438	-0.748	0.867
P3	0.595	-0.360	0.695	P15	0.704	-0.654	0.961	P27	0.659	-0.588	0.883
P4	0.799	-0.502	0.944	P16	0.741	-0.354	0.821	P28	0.516	-0.544	0.750
P5	0.843	-0.503	0.982	P17	0.339	-0.564	0.658	P29	0.501	-0.672	0.838
P6	0.574	-0.368	0.682	P18	0.724	-0.454	0.855	P30	0.433	-0.505	0.665
P7	0.480	-0.585	0.757	P19	0.833	-0.613	1.034	P31	0.422	-0.584	0.721
P8	0.813	-0.704	1.075	P20	0.684	-0.424	0.805	P32	0.525	-0.418	0.671
P9	0.500	-0.485	0.697	P21	0.654	-0.697	0.956	P33	0.575	-0.518	0.774
P10	0.391	-0.554	0.678	P22	0.615	-0.608	0.865	P34	0.559	-0.461	0.725
P11	0.451	-0.529	0.695	P23	0.812	-0.766	1.116	P35	0.533	-0.589	0.794
P12	0.535	-0.517	0.744	P24	0.730	-0.508	0.889	P36	0.615	-0.466	0.772

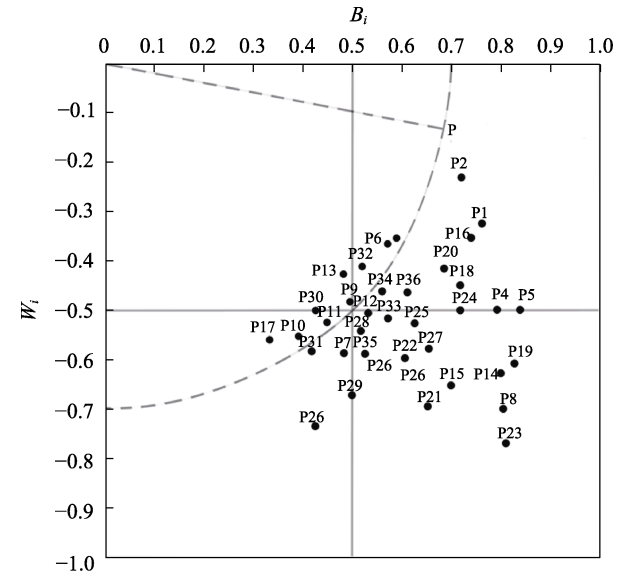


图 3 敏感度分析结果
Fig.3 Sensitivity analysis results

4) 评价指标及权重的最终确立。由图 3 可知, “P3 其它附加功能” “P6 垃圾桶可拆装” “P9 正向鼓励机制” “P10 外观契合城市形象” “P11 垃圾桶易于移动” “P13 规格多样化” “P17 污水处理” “P30 工具存取方便” “P32 具有盈利能力” 为不敏感需求, 故将其他 27 项需求纳入评价指标体系。此外, 将需

求敏感度作为评价指标权重。最终梳理出的评价指标和归一化的指标权重, 见表 5。

2.4 评价指标归类分析

为更好地厘清和展示评价指标间的关系, 对筛选出的评价指标进行分析梳理。利用德尔菲法将 27 个指标层次聚类, 见表 6。

3 实例验证

3.1 灰色关联算法

通过对评价指标进行分析, 指标之间存在一定的关联和交叉。例如: “P18 减少生产能耗” 既可以帮助企业降低成本, 又可以降低环境资源和能源的消耗; “P24 废弃口罩收集” 和 “P35 可燃垃圾安全收集” 既是社区居民所关注的内容, 也关系到社会公共安全问题。这表明: 评价指标系统呈现出一定的 “灰色” 性, 是一个 “灰色系统”。对模糊评价、质量功能展开、灰色关联等多种评价算法进行比较分析后发现, 灰色关联评价可以有效解决灰色系统的评价问题^[17], 故实例验证采用灰色关联算法。算法过程简要描述如下。

1) 设待评价的方案数量为 n , 评价指标数量为 m , 则待评价方案 X 的表示, 见式 (4)。

表 5 评价指标权重
Tab.5 Evaluation index weight

编号	权重	编号	权重	编号	权重	编号	权重	编号	权重
P1	0.744	P8	0.963	P18	0.766	P23	1.000	P28	0.672
P2	0.688	P12	0.667	P19	0.927	P24	0.797	P29	0.751
P4	0.846	P14	0.918	P20	0.721	P25	0.742	P31	0.646
P5	0.880	P15	0.861	P21	0.857	P26	0.777	P33	0.694
P7	0.678	P16	0.736	P22	0.775	P27	0.791	P34	0.650
								P35	0.711
								P36	0.692
								—	—
								—	—
								—	—

表 6 指标层次体系
Tab.6 Index hierarchy system

目标层	准则层	指标层	指标简要说明
户外分类垃圾桶可持续设计评价	U 使用人群	P1 垃圾桶易清理	使户外分类垃圾桶更加容易清理和清洁
		P2 回收垃圾补贴	参与垃圾分类可获得一定的补贴
		P4 使用便捷无障碍	能够卫生、方便地使用垃圾桶
		P5 垃圾桶密封不渗漏	应具有密封性,防止渗气、漏液造成二次污染
		P7 垃圾易于装卸	提高垃圾装卸的人机性能
		P12 易于运输	造型、大小等适宜运输
		P14 防水挡雨	具有良好的防水、挡雨功能,避免垃圾桶积雨、腐败等
		P15 存储空间大	可容纳更多垃圾
		P20 标识系统清晰	分类标识一目了然,无判断和分类障碍
		P22 垃圾转运及时	垃圾及时转运,不堆积、溢出
	C 企业	P26 拖拽噪声小	不移动,或移动过程中噪声小
		P8 垃圾桶结实耐用	产品结构和材料稳定耐用
		P16 用料绿色环保	垃圾桶自身材料安全绿色
		P18 减少生产能耗	降低户外分类垃圾桶制造过程中所消耗的能源
		P21 生产成本低	降低生产加工过程中的直接和间接成本
		P27 维护成本低	降低户外分类垃圾桶维护、维修的费用
		P28 零件回收使用	提升户外分类垃圾桶零件的回收和再利用性能
	W 社会/环境/资源	P34 垃圾桶抗污、自清洁	不易污染,污染不顽固,或具有一定的自清洁能力
		P19 垃圾科学分类	提高垃圾分类的科学性
		P23 降低生产排放	降低制造和生产环节的有害物质排放
		P24 废弃口罩收集	增设医疗废弃专门分类,防止二次污染
		P25 垃圾桶回收循环	垃圾桶便于流动、回收、循环使用
		P29 智能管理系统	软、硬件设计,协调相关部门协同工作
		P31 人力成本低	降低维护、清洁、转运等环节的人力成本
		P33 不可降解垃圾收集	增添不可降解垃圾收集桶,或不可降解垃圾继续细分
		P35 可燃垃圾安全收集	增添易燃、可燃垃圾安全收集桶,安全处理
		P36 易腐垃圾技术处理	易腐垃圾防腐处理

$$X = \begin{cases} \{X_1\} = \{x_1(1), x_1(2), \dots, x_1(m)\} \\ \{X_2\} = \{x_2(1), x_2(2), \dots, x_2(m)\} \\ \dots \\ \{X_n\} = \{x_n(1), x_n(2), \dots, x_n(m)\} \end{cases} \quad (4)$$

2) 依据各项指标的最大得分构成参考方案, 则参考方案 X_0 的表示, 见式 (5)。

$$\{X_0\} = \{x_0(1), x_0(2), \dots, x_0(m)\} \quad (5)$$

X_0 表示参考方案, 则第 i 个方案与参考方案在第

k 个指标的关联系数计算公式, 见式 (6)。

$$\zeta_i(k) = \frac{\min_i \min_k |x_0(k) - x_i(k)| + \rho \cdot \max_i \max_k |x_0(k) - x_i(k)|}{|x_0(k) - x_i(k)| + \max_i \max_k |x_0(k) - x_i(k)|} \quad (6)$$

式中: ρ 为分辨系数, $0 < \rho < 1$; $k=1,2,\dots,m$; $i=1,2,\dots,n$ 。

设 W_k 为各指标权重, r_i 为第 i 个评价对象的灰色关联度, 则第 i 个方案的加权关联度平均值计算公式,

见式 (7)。

$$r_i = \frac{1}{m} \sum_{k=1}^m W_k \zeta_i(k)$$

(7)

3.2 评价实例

组织产品设计专业 6 名研究生设计了 12 款户外

分类垃圾桶，并作为待评价方案，见图 4。

组织 7 位专家根据评分表（如表 7 所示）对 12 款垃圾桶设计方案进行逐项打分。评分规则依据五级 Likert 心理量表，见表 8。

取 7 位专家的评分平均值作为方案的最终分数。依据灰色关联算法，将每项评价指标的最大值构成参



图 4 设计方案
Fig.4 Design schemes

表 7 评分表设计示例
Tab.7 Example of the score scale design

评价指标内容	您认为本款垃圾桶在该项指标方面的表现如何				
	...				
P14 防水挡雨：具有良好的防水、挡雨功能，避免垃圾桶积雨、腐败等	不好	较不好	一般	较好	好
	☒	☐	☐	☐	☐
	...				
P36 易腐垃圾技术处理：通过干燥、冷却等手段延长易腐垃圾的腐败期	不好	较不好	一般	较好	好
	☐	☐	☐	☐	☒

表 8 评分量表
Tab.8 Score scale

设计评价	不好	较不好	一般	较好	好
评价得分	1	2	3	4	5

考方案,取分辨系数 $\rho=0.5^{[17]}$,利用公式(5)–(6),通过 MATLAB 软件进行编程计算,获得 12 个方案的关联度值,见表 9。其中,综合最优方案为方案 S10,单项指标对应的最优方案,见表 10。

由表 9—10 分析可知,S10 虽然为综合最优方案,但其他方案也存在局部亮点和优势。例如: S01 在“P21 生产成本低”具有一定优势; S11 在“P2 回收垃圾补贴”“P14 防水挡雨”“P29 智能管理系统”具有明显优势; S12 设有专门的进水装置,故在“P34 垃圾桶抗污、自清洁”得分较高,同时其在“P12 易于运输”“P20 标识系统清晰”“P25 垃圾桶回收循环”

也具有良好表现。
借鉴其他方案的亮点和优势,对综合最优方案 S10 进一步优化:在“P12 易于运输”“P25 垃圾桶回收循环”指标方面,通过内置垃圾桶的移动性和改良设计使 S10 具有良好的易于运输、垃圾桶回收循环功能;在“P20 标识系统清晰”指标方面,方案 S10 增添了标识系统设计,此功能得到提升;在“P34 垃圾桶抗污、自清洁”指标方面,通过增加进水装置使 S10 具有良好的垃圾桶抗污、自清洁功能;在“P14 防水挡雨”指标方面,对方案 S10 增添了挡雨板,改善了此项功能;在“P2 回收垃圾补贴”“P29 智能管理系统”指标方面, S10 通过智能化设计,管理系统更加智能化,同时具备了回收垃圾补贴的功能。然而“P21 生产成本低”指标方面 S10 难以完全参照 S1 方案,仅能在一定程度上进行适当改良。最终得到的 S10 进一步优化方案,见图 5。

表 9 方案关联度值(归一化)
Tab.9 Correlation values (normalization)

方案编号	S01	S02	S03	S04	S05	S06	S07	S08	S09	S10	S11	S12
最终评分	0.661	0.604	0.695	0.701	0.692	0.737	0.853	0.868	0.891	1.000	0.935	0.976

表 10 单项指标最优方案
Tab.10 Optimal scheme for each index

编号	最优方案	编号	最优方案	编号	最优方案	编号	最优方案
P1	S10	P14	S11	P22	S10	P29	S11
P2	S11	P15	S10	P23	S10	P31	S10
P4	S10	P16	S10	P24	S10	P33	S10
P5	S10	P18	S10	P25	S12	P34	S12
P7	S10	P19	S10	P26	S10	P35	S10
P8	S10	P20	S12	P27	S10	P36	S10
P12	S12	P21	S01	P28	S10		



图 5 优化后的 S10 方案
Fig.5 Optimized scheme S10

4 结语

从可持续观念系统性出发,梳理出一套针对户外分类垃圾桶的设计评价指标和方法。通过对 12 款户外分类垃圾桶的概念设计方案进行评价验证和设计

优化,表明所提出的方法不仅可以有效评价户外分类垃圾桶的可持续设计质量,还能够利用其他方案的设计亮点对综合评价最优方案进行进一步优化和提升。随着我国的可持续发展战略的不断推进,该评价方法可以为类似设计提供一定启发和参考,帮助企业 and 设计师提升产品设计的可持续性。

参考文献:

- [1] 周毅. 再论可持续发展[J]. 经济学家, 2002(1): 68-72.
ZHOU Yi. Re-discussion on Sustainable Development[J]. ECONOMIST, 2002(1): 68-72.
- [2] 樊越. 可持续发展理念的历史演进及其当前困境探析[J]. 四川大学学报(哲学社会科学版), 2022(1): 88-98.
FAN Yue. The Historical Evolution of the Concept of Sustainable Development and the Current Difficulties It Faces[J]. Journal of Sichuan University (Philosophy and Social Science Edition), 2022(1): 88-98.
- [3] LUCIA C, JAMES M. What Is Design for Social Sustainability? A Systematic Literature Review for Designers of Product-Service Systems[J]. Sustainability, 2021, 13(11): 1-18.
- [4] 贾艳阳, 张军. 共享自行车服务系统的可持续设计与评估[J]. 生态经济, 2018, 34(11): 232-236.
JIA Yan-yang, ZHANG Jun. Sustainable Design and Evaluation of Shared Bicycle Service System[J]. Ecological Economy, 2018, 34(11): 232-236.
- [5] 申瑞娜, 樊重俊, 张青磊, 等. 机场可持续发展理念下环境评价指标体系研究与设计[J]. 金融经济(理论版), 2013(10): 118-120.
SHEN Rui-na, FAN Chong-jun, ZHANG Qing-lei, et al. Research and Design of Environmental Assessment Index System under the Concept of Sustainable Development of Airports[J]. Finance & Economy, 2013(10): 118-120.
- [6] 孙璐. 可持续建筑设计中的寿命周期评价方法[J]. 天津大学学报(社会科学版), 2007, 9(6): 552-555.
SUN Lu. Life Cycle Assessment in Sustainable Building Design[J]. Journal of Tianjin University(Social Sciences), 2007, 9(6): 552-555.
- [7] 吕明月, 刘新, 夏南. 可持续设计评价标准研究——试以“生菜屋: 可持续生活实验室”项目评估为例[J]. 生态经济, 2017, 33(1): 185-189.
LYU Ming-yue, LIU Xin, XIA Nan. Research on the Evaluation Criteria of Sustainable Design——Taking the Evaluation of the "Lettuce House: Sustainable Living Laboratory" as an Example[J]. Ecological Economy, 2017, 33(1): 185-189.
- [8] WOO J H, CHOI H Y. A Trade-off Method Through Connectivity Analysis Applied for Sustainable Design and Planning of Large Urban Parks[J]. International Journal of Sustainable Development & World Ecology, 2022, 29(2): 139-152.
- [9] HOSSAIN M U, WONG J J. Y, WANG Y H, et al. Sustainable Design of Pavement Systems in Highly Urbanized Context: A Lifecycle Assessment[J]. Journal of Environmental Management, 2022, 305: 1-13.
- [10] 韩珍玉. 基于 LCA 的机械产品绿色设计中材料优化选择评价研究[J]. 组合机床与自动化加工技术, 2018(10): 68-72.
HAN Zhen-yu. Study on Evaluation of Material Optimum Selection in Green Design of Mechanical Products Based on LCA[J]. Modular Machine Tool & Automatic Manufacturing Technique, 2018(10): 68-72.
- [11] 周凯, 孙宏悦, 姜辉, 等. 基于粗糙集理论和 TOPSIS 的绿色包装评价方法[J]. 包装工程, 2018, 39(17): 142-146.
ZHOU Kai, SUN Hong-yue, JIANG Hui, et al. The Evaluation Method of Green Packaging Based on Rough Set Theory and TOPSIS[J]. Packaging Engineering, 2018, 39(17): 142-146.
- [12] 付自由, 兰建义, 王放. 改进模糊层次分析法在绿色包装评价中的应用[J]. 包装工程, 2021, 42(1): 230-236.
FU Zi-you, LAN Jian-yi, WANG Fang. Application of Improved Fuzzy Analytic Hierarchy Process in Green Packaging Evaluation[J]. Packaging Engineering, 2021, 42(1): 230-236.
- [13] 韩晓晓, 王玫. 基于绿色 QFD 的产品设计与模糊综合评判[J]. 组合机床与自动化加工技术, 2015(5): 156-160.
HAN Xiao-xiao, WANG Mei. Fuzzy Comprehensive Evaluation and Product Design Based on QFDE[J]. Modular Machine Tool & Automatic Manufacturing Technique, 2015(5): 156-160.
- [14] 李方义, 李剑峰, 段广洪, 等. 面向绿色设计的产品 AHP 生命周期环境影响评价模型[J]. 山东大学学报(工学版), 2008, 38(5): 57-61.
LI Fang-yi, LI Jian-feng, DUAN Guang-hong, et al. A Product Life Cycle Assessment Model Based on AHP Methodology in Support of Green Design[J]. Journal of Shandong University (Engineering Science), 2008, 38(5): 57-61.
- [15] 徐斌, 余军合, 沙鹤, 等. 基于产品评论数据的 KANO 模型分析方法研究[J]. 生产力研究, 2020(9): 10-15.
XU Bin, YU Jun-he, SHA He, et al. Research on KANO Model Analysis Method Based on Product Review Data[J]. Productivity Research, 2020(9): 10-15.
- [16] 耿秀丽, 徐士东, 叶春明. 考虑定量 KANO 分析的产品功能需求优化设计[J]. 计算机集成制造系统, 2016, 22(7): 1645-1653.
GENG Xiu-li, XU Shi-dong, YE Chun-ming. Optimal Design Method of Product Function Requirements Considering Quantitative KANO Analysis[J]. Computer Integrated Manufacturing Systems, 2016, 22(7): 1 645-1 653.
- [17] 蒋超, 余隋怀, 姚澜. 飞机客舱内环境人机性能层次灰关联评价[J]. 机械科学与技术, 2014, 33(5): 785-788.
JIANG Chao, YU Sui-huai, YAO Lan. Multi-hierarchy Grey Relation Evaluation on Ergonomics Performance of Aircraft Passenger Cabin Interior Environment[J]. Mechanical Science and Technology for Aerospace Engineering, 2014, 33(5): 785-788.