基于 DEMATEL-ISM 的公共设施可持续设计提升策略研究

易西多，刘颖
（武汉理工大学 艺术与设计学院，武汉 430070）

摘要：目的 为探索可持续设计需求在公共设施设计中的重要性问题，准确全面地推进公共设施的可持续设计，构建覆盖公共设施生命全周期的多指标设计体系模型，对设计阶段前期的因素重要性需求及相关性进行评估。从而支持在后续的公共设施设计过程中的可持续设计评估。**方法** 以可持续设计的环境价值、经济价值和社会价值为目标层，对美景度、环保度等 9 个影响因素进行分析，获取公共设施在可持续设计方面的各种影响因素，构建研究体系。在此基础上，提出运用 DEMATEL-ISM 组合模型探究各制约因素间的复杂影响关系，利用排序和重要性结果，寻找关键要素，绘制层级关系示意图，使各种因素之间的关系更加条理化、层次化。根据计算结果提出有助于在设计阶段提高公共设施设计可持续的策略及建议。**结果** 研究表明，在公共设施的可持续设计中，实用度和可控度的中心度最高，为重要的影响因素。公共设施可持续设计需要以提高美景度及和谐度为改善基础，实用度、可控度和体验度为调节因素，最终通过控制环保度、耐久度等因素，保障公共设施设计的可持续运行。**结论** 基于 DEMATEL-ISM 可以直观清晰地展现公共设施可持续设计影响因素之间的相互关系。通过对模型信息的理性分析，能够促使后期设计方案在公共设施生命全周期的各个维度上具有可持续性，并在理论层面为设计环节的决策提供参考依据。

关键词：DEMATEL；ISM；可持续设计；公共设施；影响因素
中图分类号：TB472　　**文献标志码：**A　　**文章编号：**1001-3563(2024)02-0025-11
DOI：10.19554/j.cnki.1001-3563.2024.02.003

Sustainable Design Improvement Strategy of Public Facilities Based on DEMATEL-ISM

YI Xiduo, *LIU Ying*
(School of Art and Design, Wuhan University of Technology, Wuhan 430070, China)

ABSTRACT: The research aims to construct a multi-indicator design system model covering the entire life cycle of public facilities to assess the importance needs and relevance of factors in the early design stage to explore the importance of sustainable design needs in the design of public facilities, accurately and comprehensively promote the sustainable design of public facilities, and provide sustainable design assessment in the subsequent design process of public facilities. With the environmental value, economic value and social value of sustainable design as the target layer, nine influencing factors, such as aesthetics and environmental friendliness, were analyzed to obtain the various influencing factors of public facilities in terms of sustainable design, and to construct a research system. On this basis, it was proposed to use the DEMATEL-ISM combination model to explore the complex influence relationship among the constraints, and use the results of ranking and importance to find the key elements and draw the schematic diagram of the hierarchical relationship, so as to make the relationship among the various factors more organized and hierarchical. Based on the calculation results, strategies and suggestions that helped to improve the sustainability of public facility design at the design stage were proposed. The study showed that the practicality and controllability had the highest degree of centrality and were important

收稿日期：2023-08-03

influencing factors in the sustainable design of public facilities. The sustainable design of public facilities should improve the beauty and harmony as the basis for improvement, the practicality, controllability and experience as the regulating factors, and ultimately through the control of environmental protection, durability and other factors, to ensure the sustainable operation of the design of public facilities. Based on DEMATEL-ISM, the interrelationship between the influencing factors of sustainable design of public facilities can be visualized clearly. Through rational analysis of the model information, it can promote the sustainability of the later design scheme in all dimensions of the whole life cycle of public facilities, and provide a reference basis for decision-making in the design process at the theoretical level.

KEY WORDS: DEMATEL; ISM; sustainable design; public facilities; influencing factors

可持续设计是后疫情时代受到广泛关注的焦点，国家也在各行各业中植入可持续理念。社会可持续发展是人类社会延续与进步的必然逻辑，可持续发展关系整个社会未来的兴衰[1]。联合国 2030 年可持续发展议程提出要建设可持续的城市和人类住区的发展目标。Fortmeyer[2]提出现代设计应该优先以可持续设计作为核心理念。因此，发展社会的可持续性要坚持可持续设计。

城市由错综复杂的社交网络构成。一个好的城市的关键因素是具备集体公共性质。在 *Palaces for the People* 一书中，社会学家 Klinenberg[3]认为，一系列物质和体制基础设施对发展和维护社会联系至关重要。也就是说公共设施是提升城市服务的重要触点，与居民的日常生活形成必然联系，能够在城市社会生活中发挥重要的贡献作用。随着居民日常娱乐需求的提高，加速了对城市公共服务设施建设的需求。目前大部分城市愈发注重对公共设施的建设，增加了国民人均公共设施存量。然而，却面临着有限的经济投入与庞大的需求之间的矛盾。此外，还有设施的利用率及满意度的问题。为此，衡量公共设施在可持续设计中各要素的重要性，发挥各要素之间的联动、制约和平衡作用，实现后续操作的有序进行就显得十分必要。本文首先在前端设计中置入可持续发展理念，融合多学科交叉知识，梳理研究，确定影响因素。其次，运用 DEMATEL-ISM 识别各因素之间的重要性和作用机理。最后，对计算结果的分析提出设计策略，不仅为有效促进可持续发展在公共设施设计环节的提升提供建议，也为设计决策提供科学理论支持。

1 研究现状

公共设施作为社会公共资源，服务大众是其基本属性[4]。目前公共设施存在居民可使用年龄阶段覆盖面窄、区域分布差距大、毫无地域特色、供需不平衡等相问题。社会公共服务的不均衡，容易造成社会隔离的严重现象。目前服务业已经成为我国第一产业。生活水平的提高导致消费者对服务业需求水平也逐步提高。针对性、高效性、独特性已经成为服务行业的热门话题。公共设施作为服务系统的关键触点，能够促进社会公平，帮助居民实现资源共享，提升社会发展的可持续性。

国内外已构建了较多的有关公共设施设计的研究方法和设计策略，主要以受众人群和具体作用物为研究对象，通过对问题的分析，进而有针对性地提出改善策略。Sariya 等[5]分析得出完善的社会设施能明显增加老年人的流动性，促进老年社交。Blommaert[6]提出多样的基础设施能够引导人们进行跨差异的互动，增加社会群体内部联系。刘昱晓[7]提出可持续理念有助于促进城市设施设计的意义和价值延续。张志刚[8]认为在公共设施设计中融入智能交互的手段能够促进人与设施的良性互动。张莹等[9]以服务设计角度介入，通过分析用户各阶段的体验触点能够协助设计师更好地定位和挖掘机会点。章丹音等[10]提出从居民的生活方式入手进行设计，能够提升公共设施的可持续性和趣味性。综上所述，提升公共设施的情感化、公平化、服务性、全周期等特征有助于促进社会和谐及可持续发展，从而有效促进社会公共生活。以往的研究多从人本角度、交互服务、艺术视角等出发。但在实际的设计中，所有的设计准则和目的无法百分之百完成。这时则由设计师和利益相关人员通过主观臆断进行取舍，较少以全局观的角度介入。然而，概念阶段的设计选择会对后续设计与施工的有序进行、经济成本控制等方面起到决定性影响。

因此，需要提供一个综合模型来识别和聚类有效因素和影响因素，其目的是在概念设计阶段获取各类影响因素对整体可持续设计的需求权重，通过纳入考虑已经识别的因素之间的顺序及关系，获取因素之间传递效用对整体设计的影响，在增强公共设施的功能性的同时也助力可持续发展。DEMATEL-ISM 方法常用于对各项影响因素进行分析，以往研究涉及的学科有建筑科学与工程、安全科学与灾害防治等。相关研究表明，该方法能直观有效地表达影响因素内部关系的同时识别核心因素，能够有效地协助相关人员在整个系统中了解相关重点，为后期的环节提供参考。基于以上分析，本文提出从可持续设计角度介入，运用 DEMATEL-ISM 方法对公共设施设计影响因素的重要性和相互作用力进行提炼和排序。首先，通过 DEMATEL 法梳理影响公共设施可持续设计因素的

属性和相对重要性，再结合 ISM 法，建立有向图和研究模型来梳理关系。最后，对相关数据进行分析和识别，有助于设计师把握核心设计理念，有针对性地在面临复杂问题，特别是对来自各方的设计目的难以取舍时，根据因素的重要程度及相互影响关系进行选择和思考应对措施。为建立合理高效的解决问题的全过程方法提供科学依据。

2　方法论与流程

本文联用决策与实验方法（DEMATEL）和解释结构模型（ISM）。其中，DEMATEL 是 BOTTELLE 实验室采用图论、矩阵工具和专家的知识经验对因素进行识别和分析，能够协助解决现实世界中复杂问题的方法论。该方法无需任何假设，能够研究各要素间的逻辑关系，并确定各要素的重要性及在整个系统中的地位优越性[11]。但它存在无法直观表达内部因素之间关系的问题。ISM 是 Warfield 研究出的，运用数学计算程序来解决复杂系统关系结构的方法。该方法将系统进行拆分，构建系统各要素的关系矩阵，对系统进行分解，从而得到层次化的拓扑图来展示系统的结构，具有能够甄选核心因素并展现因素内部关系的优越性[12]。但它无法准确地分析各影响因素对复杂系统的影响程度。因此，通过将 DEMATEL-ISM 联用，不仅能够直观展现因素内部关系，还有助于甄选核心因素，从而协助设计师和利益相关方作出最优判断。操作流程详见图 1。

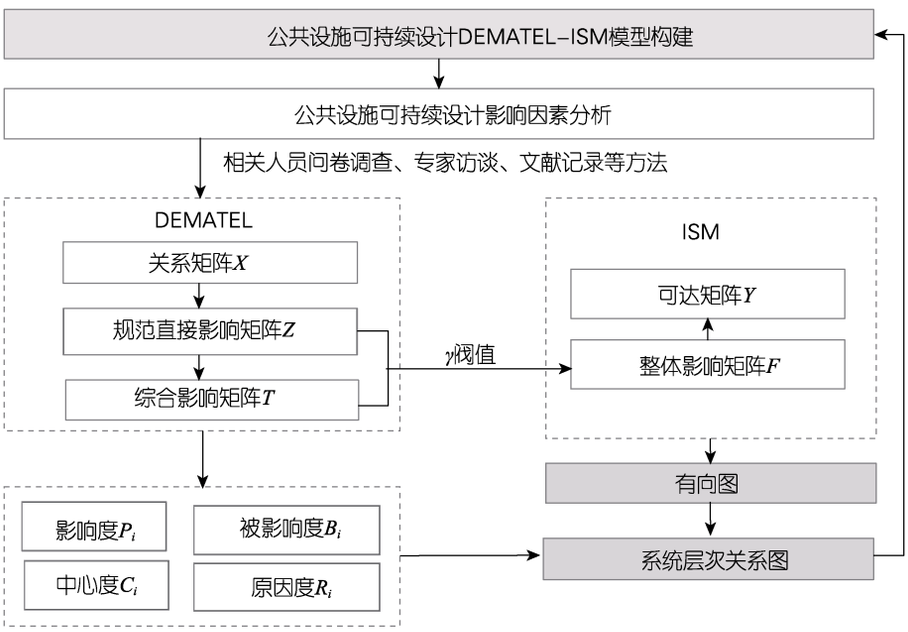

图 1　操作流程

Fig.1 Operating procedures

2.1　DEMATEL 法

2.1.1　确定影响因素并建立关系矩阵 $\boldsymbol{X}$（步骤一）

确定影响因素 $D=\{D_i|i=1,2,\cdots,n\}$。D_{ij} 表示因素 D_i 对 D_j 的影响程度，若 $i=j$ 则 $D_{ij}=0$。生成关系矩阵 $\boldsymbol{X}$，$\boldsymbol{X}=[D_{ij}]n\times n$。

2.1.2　计算综合影响矩阵

基于行和最大值法进行归一化处理，将关系矩阵 $\boldsymbol{X}$ 运用式（1）进行计算，并得出规范直接影响矩阵 $\boldsymbol{Z}$。

$$\boldsymbol{Z}=\frac{\boldsymbol{X}}{\max\limits_{1\leqslant i\leqslant n}\sum\limits_{j=1}^{n}x_{ij}} \tag{1}$$

式中：$i,j=1,2,\cdots,n$。

在规范直接影响矩阵 $\boldsymbol{Z}$ 的基础上进一步表达因素间的间接关系，由式（2）生成综合影响矩阵 $\boldsymbol{T}$。

$$\boldsymbol{T}=\boldsymbol{Z}(\boldsymbol{A}-\boldsymbol{Z})^{-1} \tag{2}$$

式中：$\boldsymbol{A}$ 为单位矩阵；$i,j=1,2,\cdots,n$。

2.1.3　计算中心度与原因度

影响度（P_i）的计算见式（3）。

$$P_i=\sum_{j=1}^{n}t_{ij} \tag{3}$$

式中：P_i 表示因素 i 对其他因素的综合影响值，值越大影响越大。

被影响度（B_i）的计算见式（4）。

$$B_i=\sum_{j=1}^{n}t_{ij} \tag{4}$$

式中：B_i 表示因素 i 被其他因素的综合影响值，值越大影响越大。

中心度（C_i）的计算见式（5）。

$$C_i = P_i + B_i \tag{5}$$

式中：C_i 表示因素 i 的重要性程度，值越大重要性越大。

原因度（R_i）的计算见式（6）。

$$R_i = P_i - B_i \tag{6}$$

式中：R_i 表示因素 i 对其他因素的影响情况。若 R_i>0，为原因因素，对其他要素影响更多；若 R_i<0，为结果因素，表示被其他因素影响更多[11]。

2.1.4 建立中心度和原因度图

其中，横坐标为中心度 $P_i + B_i$ 值，纵坐标为原因度 $P_i - B_i$。第一象限代表 C_i 和 R_i 值均高，即因素重要性高且为原因因素；第二象限代表 C_i 值低和 R_i 值高，即因素重要性低且为原因因素；第三象限代表 C_i 和 R_i 值均低，因素重要性低且为结果因素；第四象限代表 C_i 值高和 R_i 值低，即因素重要性高且为结果因素[11]。

2.2 ISM 法

2.2.1 计算可用于 ISM 计算的整体影响矩阵 $\boldsymbol{F}$

影响矩阵 $\boldsymbol{F}$ 的具体计算，见式（7）。

$$\boldsymbol{F} = \boldsymbol{Z} + \boldsymbol{T} \tag{7}$$

式中：$i, j = 1, 2, \cdots, n$。

2.2.2 计算标准化可达矩阵 $\boldsymbol{Y}$

$\boldsymbol{Y} = [\gamma_{ij}]n \times n$，引入阈值（通过计算综合影响矩阵 $\boldsymbol{T}$ 中所有项的平均值可得到阈值 γ）[13]。若 $F_{ij} \geqslant \gamma$，则 $\gamma_{ij} = 1$，表示要素之间存在连接路径；若 $F_{ij} < \gamma$，则 $\gamma_{ij} = 0$，表示要素之间不存在连接路径。

2.2.3 求影响因素层级和有向图的构建

根据式（8）~（10）求出前因因素 $E(F_i)$ 与可达集 $G(F_i)$，并计算两者之间的交集 $H(F_i)$。当 $E(F_i) = H(F_i)$ 时，F_i 为最高层因素，去除最高层，重复此操作直到所有因素被划除[14]。

$$E(F_i) = \{F_j | F_j \in F, m_{ij} = 1\} \tag{8}$$

$$G(F_i) = \{F_j | F_j \in F, m_{ij} = 1\} \tag{9}$$

$$H(F_i) = \{F_j \in F | E(F_i) \cap G(F_i) = E(F_i)\} \tag{10}$$

根据层次化处理，建立各影响因素间的有向图和层级关系示意图。

3 实例分析

3.1 构建因素识别体系

首先，在 CNKI、WoS、万方等数据库中输入检索词，分别为“公共设施可持续设计”“公共设施评价”“公共设施设计影响因素”“公共设施可持续策略”等筛选出相关文献。以“影响因素”“设计要素”等作为关键词，进行第二次筛选。通过两次筛选，选取与本文研究内容相关、引用度高并发表在国内外重要期刊的论文和优秀硕博论文，共计 80 余篇，进行研读并对评价因素进行识别。

其次，在文献检索的基础上，借鉴 GB 50442-2008《城市公共设施规划规范》[15]和浙江省政府办公厅印发《关于全域推进未来社区建设的指导意见》等指导文件中的相关准则。

再者，为增加因素分析的科学性和有效性，基于 Northcutt 等[16]的建议，决策专家组应由 12~20 名专家组成，此方法在后续的多项研究中验证了科学有效性。本文通过访谈记录的方式与 6 位市政设计师、4 位城市管理部门相关人员和 3 位业内专家确定相关提纲和内容。要求专家们对每个项目的适用性给出了“需要”“有用但不需要”“不需要”的回答。内容效度根据式(11)进行计算，统计显著性 P<0.05，且每项的 CVR 值（C_{VR}）要大于等于 0.75 才能被接受[17]。

$$C_{\mathrm{VR}} - = \frac{n_e - \frac{N}{2}}{\frac{N}{2}} \tag{11}$$

式中：N 为专家总数；n_e 为“需要”的专家数量。

最后，确认了内容有效性。最终结果从可持续设计的经济效益、社会效益和环境效益三方面，确定公共设施的可持续设计需求。详见表 1。

表 1 公共设施可持续设计要素

Tab.1 Sustainable design elements of public facilities

目标层	效益层	准则层	影响因素	释义
环境价值	生态化	审美性	美景度（D_1）	呈现较好的市容市貌、有利于自然健康和生态修复
		绿色性	环保度（D_2）	材质可回收、可再生，碳减排
		地域性	和谐度（D_3）	当地材料的使用、与周围环境相得益彰
经济价值	人本化	安全性	实用度（D_4）	安全生产，便于安装，易于维护
		合理性	耐久度（D_5）	使用寿命长、安全可靠
		效益性	可控度（D_6）	包括维修、使用、设施等成本可控
社会价值	数字化	公平性	包容度（D_7）	符合不同年龄阶段人群使用需求，具有人文关怀特征
		独特性	辨识度（D_8）	集体记忆的沉淀、促进地域文化传播
		舒适性	体验度（D_9）	舒适感受的体验性强，功能多样且有趣，便于操作

3.2　DEMATEL 计算

3.2.1　建立关系矩阵 $\boldsymbol{X}$

为确定影响因素之间的强弱程度，采用四等级打分法，其中，0 代表 D_i 对 D_j 无影响，1~4 的影响程度依次递增，4 代表影响程度非常大。运用集体访谈和单独采访相结合的方式，对前文提到的 13 名专业人员及在江苏省苏州市随机抽取的 180 名居民进行采访，收集问卷 193 份。去掉不完整问卷 17 份，共收取有效问卷 176 份。为检验信效度的合格性，因素之间的影响程度结果由上述专业人员根据回收数据的均值进行最终的判定。最后构建关系矩阵 $\boldsymbol{X}$，见表 2。

表 2　直接影响矩阵 X
Tab.2 Direct influence matrix X

因素	D_1	D_2	D_3	D_4	D_5	D_6	D_7	D_8	D_9
D_1	0	4	3	1	0	2	3	4	2
D_2	4	0	1	2	4	2	0	0	0
D_3	3	2	0	0	0	0	4	2	4
D_4	1	2	1	0	4	4	4	0	4
D_5	0	4	0	4	0	4	0	1	0
D_6	2	2	0	3	3	0	2	2	1
D_7	0	0	1	1	1	0	0	2	4
D_8	1	1	3	1	0	1	0	0	3
D_9	0	0	0	2	2	2	4	2	0

3.2.2　确定综合影响矩阵 $\boldsymbol{T}$

根据式（1）~（2）得出综合影响矩阵 $\boldsymbol{T}$，见表 3。

表 3　综合影响矩阵 T
Tab.3 Comprehensive influence matrix T

因素	D_1	D_2	D_3	D_4	D_5	D_6	D_7	D_8	D_9
D_1	0.187	0.393	0.289	0.272	0.239	0.318	0.399	0.388	0.385
D_2	0.328	0.232	0.164	0.307	0.389	0.325	0.219	0.177	0.213
D_3	0.257	0.245	0.120	0.172	0.171	0.174	0.397	0.270	0.413
D_4	0.215	0.339	0.170	0.287	0.464	0.463	0.462	0.222	0.462
D_5	0.163	0.384	0.102	0.399	0.250	0.415	0.208	0.188	0.207
D_6	0.234	0.304	0.123	0.357	0.362	0.239	0.312	0.261	0.283
D_7	0.065	0.093	0.108	0.161	0.158	0.122	0.140	0.190	0.323
D_8	0.150	0.171	0.218	0.175	0.136	0.181	0.181	0.126	0.308
D_9	0.089	0.138	0.083	0.254	0.253	0.254	0.344	0.218	0.191

3.2.3　确定相关数值并构建象限图

根据式（3）~（6）分别计算出四项数值，见表 4。并建立象限图，见图 2。

3.3　ISM 计算

3.3.1　计算整体影响矩阵

根据式（7）计算得出整体影响矩阵 $\boldsymbol{F}$，通过计算，得出阈值 $\gamma = 0.249$，得到可达矩阵 $\boldsymbol{Y}$，见表 5。

表 4　因素间的综合影响关系
Tab.4 Comprehensive influence relationship among factors

因素	影响度	被影响度	中心度	中心度排名	原因度	原因度排名	权重
D_1	2.870	1.686	4.557	6	1.184	1	0.113
D_2	2.354	2.299	4.653	4	0.055	4	0.115
D_3	2.217	1.376	3.593	9	0.841	2	0.089
D_4	3.084	2.386	5.470	1	0.699	3	0.136
D_5	2.315	2.422	4.736	3	–0.107	6	0.118
D_6	2.474	2.490	4.964	2	–0.016	5	0.123
D_7	1.360	2.661	4.021	7	–1.301	9	0.100
D_8	1.645	2.040	3.685	8	–0.394	7	0.091
D_9	1.824	2.784	4.607	5	–0.960	8	0.114

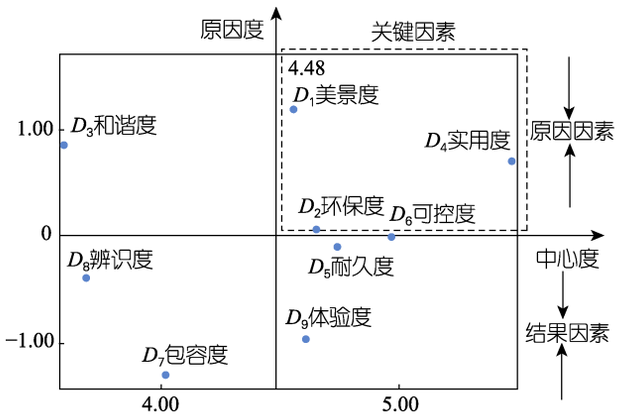

图 2　中心度和原因度图
Fig.2 Centrality and causality diagrams

表 5　可达矩阵 Y
Tab.5 Accessibility matrix Y

因素	D_1	D_2	D_3	D_4	D_5	D_6	D_7	D_8	D_9
D_1	0	1	1	1	0	1	1	1	1
D_2	1	0	0	1	1	1	0	0	0
D_3	1	1	0	0	0	0	1	1	1
D_4	1	1	0	1	1	1	1	0	1
D_5	0	1	0	1	1	1	0	0	0
D_6	1	1	0	1	1	0	1	1	1
D_7	0	0	0	0	0	0	0	0	1
D_8	0	0	1	0	0	0	0	0	1
D_9	0	0	0	1	1	1	1	1	0

3.3.2　计算层次结构模型和关系图

根据式（8）~（10）得出影响因素间的层级结构（如表 6 所示），并根据相关数据分析得出层级关系示意图，见图 3。

表 6 影响因素层级

Tab.6 Hierarchy of influencing factors

因素	可达集	先行集	可达集∩先行集
D_1	2,3,4,6,7,8,9	2,3,4,6	2,3,4,6
D_2	1,4,5,6	1,3,4,5,6	1,4,5,6
D_3	1,2,7,8,9	1,8	8,1
D_4	1,2,4,5,6,7,9	1,2,4,5,6,9	1,2,4,5,6,9
D_5	2,4,5,6	2,4,5,6,9	2,4,5,6
D_6	1,2,4,5,7,8,9	1,2,4,5,9	1,2,4,5,9
D_7	9	1,3,4,6,9	9
D_8	3,9	1,3,6,9	9,3
D_9	4,5,6,7,8	1,3,4,6,7,8	8,4,6,7

注：表中的数字分别对应某一要素，比如 2 代表第 2 个要素[11]。

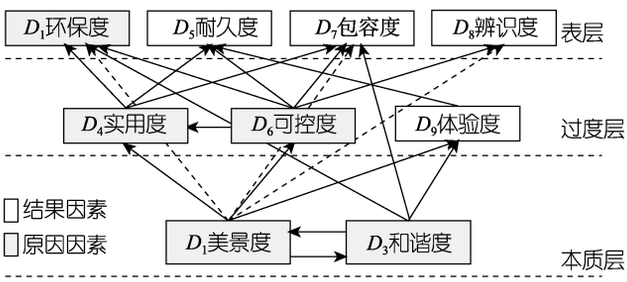

图 3 层级关系示意图

Fig.3 Schematic diagram of hierarchical relationship

3.4 方案对比分析

社会可持续设计视域下，以保护自然资源环境、提升居民满意度及舒适度为核心标准的生活配套设施成为城市关注的重点。为验证层次影响关系和因素排序的有效性，并提升居民满意度，采取在具体的三款垃圾桶设计方案优选中，同样邀请上述的专业人员和居民对其采用模糊综合评价法进行评估。

1）方案一：Clenoscope[18]是孟买设计师 Jethi 为解决人们乱扔垃圾问题设计的垃圾箱，见图 4。垃圾桶盖由三面玻璃组成，表面经过光源折射能够自然形成万花筒图案。该垃圾桶一周收集了 29 公斤垃圾，是以往收集垃圾的两倍，效果显著。

图 4 方案一

Fig.4 Scheme 1

2）方案二：Maroubra[19]是由 Botton+Gardiner 出品的垃圾桶，见图 5。垃圾桶采用穿孔镀锌钢板符合儿童防夹手标准，可以在光线的作用下形成地面阴影，增加趣味性。

图 5 方案二

Fig.5 Scheme 2

3）方案三：Vipp Rubbish Bin [20]采用了通过无接触使用踏板打开盖子的常用垃圾桶开启方式。桶身采用丹麦生产的再生纤维，该材料的使用不仅减轻了桶身重量，也有利于环保和回收。它保持了传统垃圾桶的造型，只在材质选择上进行更新。见图 6。

图 6 方案三

Fig.6 Scheme 3

通过方案汇报和视频演示的方式，在赋值中参考影响因素 D_1~D_9 为评价标准，每个子项为 1~10 分，总分为 90 分。其中，分数大于等于 80 为 A 档；70~79 为 B 档；60~69 为 C 档；小于 60 为 D 档。综合得分见表 7。评价指标的得分与方案决策能够有直接的关联性，为直观展示方案在评价指标中的情况，生成方案综合得分对比图进行分析，见图 7。

表 7　方案综合评价
Tab.7 Comprehensive scheme evaluation

方案编号	方案一	方案二	方案三
综合得分	82.11	75.61	83.21
档位	A	B	A
排序	2	3	1

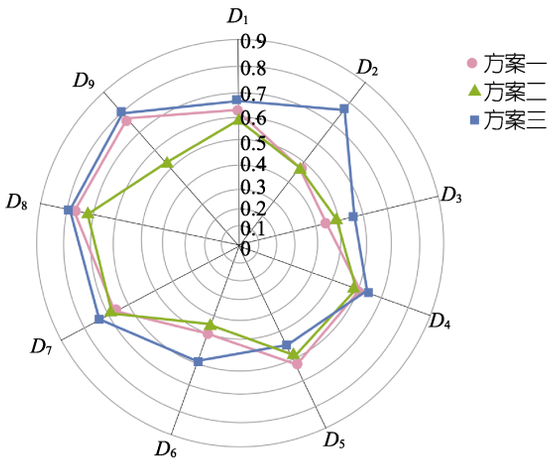

图 7　方案综合得分对比图
Fig.7 Comprehensive score comparison chart of schemes

3.5　整体数据分析

基于上述计算结果，建立 DEMATEL-ISM 模型，形成设计阶段各构成要素之间的影响关系分析及多层结构图。其中，DEMATEL 象限图表示要素之间的影响关系，可直观地对影响因素结果进行分析。通过对 ISM 的层次关系示意图进行分析可以得出，公共设施可持续设计制约要素之间的构成为多层递阶结构形式。对比方案的综合得分，可得出以下分析结论。

3.5.1　影响因素的重要性和类别分析

中心度反映了影响因素对实现可持续设计目标的促进程度，值越大表示在系统中的作用越大。原因度可以反映某种影响要素对其他要素的影响情况。原因度较大则为系统中的原因因素，原因度较小则为系统中的结果因素[21]。由表 4 和图 2 中的数据可以得出如下结果。

1）中心度排名前三的因素分别为：实用度（D_4）、可控度（D_6）、耐久度（D_5），表示三种因素与其他因素连接性较强，是在整个过程中影响公共设施可持续设计的重要因素。三种因素均为经济价值，可见经济价值对公共设施的促进作用较为显著。

2）原因度排名前三的因素分别为：美景度（D_1）、和谐度（D_3）、实用度（D_4），方案综合评价中排名靠前的方案一和方案三的三种因素均排名靠前，表示三种因素会对其他因素造成显著影响，但被其他因素影响的程度较小。若再考虑其他因素对要素的影响可以将这三种排除，注重这三种因素可以促进可持续公共设施设计。

3）第一象限内的因素代表中心度和原因度均高，即要素重要性高且为原因因素[11]。因此，综合影响的关键性因素为美景度（D_1）、环保度（D_2）、实用度（D_4），表示三种因素对可持续公共设施设计起到关键性影响作用。

3.5.2　影响因素逻辑关系分析

由图 3 可知，因素之间呈现多层递阶结构。9 个影响公共设施可持续设计的影响因素被分为三个层级，具体如下。

1）第一层级为表层因素。由于层级系统中所有影响因素都是通过这 4 个因素作用于公共设施可持续设计，因此表层因素等于直接影响因素。其中，耐久度（D_5）、包容度（D_7）、辨识度（D_8）为结果因素，代表最容易受到其他因素的影响，在公共设施的可持续设计中有着直接的影响。环保度（D_2）既是原因因素也是关键性影响因素，说明其影响度高的同时被影响度也高。并且，方案三比另外两个方案的环保度高。因此，在设计环节中环保度能够直接影响整个设计的可持续目的，对居民的满意度也有显著的影响，故需要把环保度（D_2）放在第一位。

2）第二层级为过度层因素，贯穿设计全过程。其中，实用度（D_4）、可控度（D_6）为原因因素，中心度排名前二，代表经济价值，是过度因素中最重要的影响因素。体验度（D_9）为结果因素，代表社会价值。三种因素处于层级系统的中间部位，易受到多方影响。排名靠前的方案一和方案三体验度较高，说明方案二需要在体验度上进行提升。同时，意味着当可持续公共设施设计中各因素之间存在问题和矛盾时，可以通过三种因素实现传导和调节。

3）第三层级为本质层因素，其中美景度（D_1）、和谐度（D_3）属于直接因素，也是原因因素，代表环境价值，表示可以介入影响过度层因素，间接地对表层因素进行影响，最终影响设计结果，属于需要高度重视的根本性作用因素。

因此，结合影响关系权重数据，在经济价值影响因素可控的前提下，优先考虑调整后排序，依次为：环保度（D_2）、美景度（D_1）、和谐度（D_3）、体验度（D_9）、辨识度（D_8）、包容度（D_7）。

4　设计策略

在可持续设计中，公共设施在设计环节中的制约因素众多，通过简单的判断难以把握因素的重要程度和关系。本文采用 DEMATEL-ISM 科学研究方法对各因素之间的重要性进行分析并协助厘清相互之间的关系。鉴于以上数据和分析可以得出，每种因素在可持续公共设施设计中，对设计的影响程度不一。运用因素之间的层次关系图，可以推导出在设计过程中

需要重点关注的环节和因素，在后期的设计建议和策略中起到指导性作用。这有助于协助处理在设计过程中无法确定因素的重要程度和作用路径，从而解决在遇到复杂的设计问题时难以合理地判断和有效地取舍的现象。针对公共设施可持续设计环节提升提出的设计建议和策略如下。

4.1 生态可持续

生态可持续，在实践环境价值的同时要注重社会健康和关怀设计。由数据分析可知，环保度（D_2）既为关键性因素也为原因因素，是影响公共设施可持续设计的重要性因素。同时，处理好环保度有利于协调其他因素，从而影响最终结果。为此，应在整个设计过程中高度重视环境价值，倡导优先生态设计。可持续设计需要贯彻生命全周期设计，在有限的资源和无限的需求之间进行自然循环。Meadows 等[22]的研究指出，对地球上任何资源的消耗只要在一定的百分比之内就能实现稳定的循环。对于公共设施，需要落实生命全周期策略，在设计阶段，要综合考虑经济效益，不仅设施的造型、装饰元素、呈现形式等应与周围环境相互协调、相得益彰，而且对于设施自身，物尽其用、长寿多适是普适原则[23]。

单单的生态可持续并不一定仅仅只在绿色和环保之间进行创新，生态可持续也可以指人们心理的可持续，以及对健康自然环境的向往和憧憬。因此，需要通过介入设计的手段来提高技术适宜性，落实经济效益最大化、资源最优化、生态和谐化等目标。在世界发展的今天，单学科的创造已经无法满足时代的需求。对于公共设施设计，可以考虑与科学家、生态学家等研究人员进行跨学科合作。近年来，荷兰艺术家兼建筑师 Roosegaarde 通过探索创新的可持续方法，巧妙地解决了生态可持续问题。Urban Sun[24]是其工作室设计的一款灯具装置，它使用波长为 222 nm 的远紫外线光，将光投射在地面，对其接触区域进行消毒，声称可以消除 99.9%的冠状病毒。它虽然无法完全消除病毒，但能够有效地降低在户外感染的风险。这在后疫情时代可以激发人们对更美好未来的希望，鼓励人们勇敢、安全地在户外进行自由活动，见图 8。Smog Free Bicycle[25]借鉴了无雾塔原理，在自行车方向盘上插入一款能过滤空气的装置，相同的创新原型的灵感来自蝠鲼——一种过滤水来获取食物的鱼，见图 9。在共享自行车进入极度普及的今天，这一定程度上能够为城市解决交通和空气污染问题，也印证了 Roosegaarde 工作室希望人类成为“未来的建筑师，而不是受害者”，为公共场所的设计提供解决方案，并致力于实现更健康、更清洁的未来城市的愿景。

4.2 体验可持续

体验可持续，隐性需求的挖掘与提升，植入丰富的形式和功能，创造新的场景互动，增强体验在可持续设计中的优越性。从上述 3.5.2 影响因素逻辑关系分析可知，过度层的实用度（D_4）、可控度（D_6）、体验度（D_9）三因素可在设计过程中起到传导和调节作用。因此，对实用度（D_4）、可控度（D_6）和体验度（D_9）的提升有利于公共设施在整个可持续设计中发挥重要作用。同时，三者又易受到多方面影响，但是体验度作为结果因素，不受前置因素影响，设计师可以通过提升体验度来完成可持续设计的多项指标。通过提升使用者的体验感，将舒适的行为和体验进行嫁接。

图 8 Urban Sun 消毒灯
Fig.8 Urban Sun disinfection lamp

图 9 Smog 免费自行车
Fig.9 Smog free bicycle

1）要注重公共设施为人们提供的空间舒适度。例如，Jeraj 设计的 Nuée[26]是一个悬浮的局部降温装置，使用的 3D 网状纺织品可以捕捉湿度并遮阳，能够在夏季为户外活动人群创造了一个凉爽的微气候空间，达到了美景度（D_1）、体验度（D_9）和实用度（D_4）三度一体的设计，见图 10。

图 10 Nuée 悬浮装置
Fig.10 Nuée suspension device

2）要正确识别并融入用户情绪体验。例如，

Orangina 果汁品牌设计了一款可以摇晃的贩卖机[27]，开启了一轮新型的营销模式。该贩卖机关注到了人们在购买产品时，因产品偶尔无法成功掉落而产生烦躁情绪，并需要缓解的隐性需求。基于此进行设计，在无形之中满足了人们的情绪价值，见图 11。

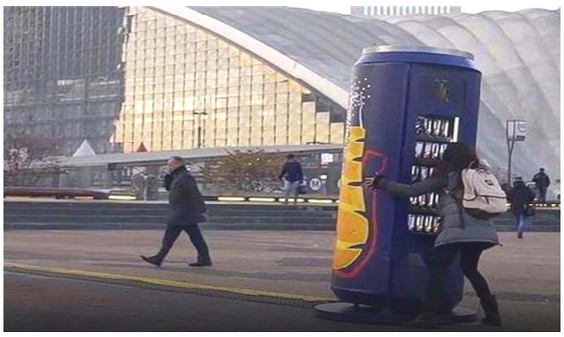

图 11　Orangina 摇晃贩卖机
Fig.11 Orangina swining vending machine

针对公共设施设计需要充分分析使用者使用体验和回馈的情况，设计师需要合理运用各种方法对使用者的生活习惯和行为方式进行数据采集，结合现代文明社会人群需求对数据进行分析，尽可能地在提供现有基础服务的前提下，挖掘用户深层次的隐性需求，搜集用户在使用设施时的自然反应数据，建立自然行为模型库，综合用户体验并进行整合创新。通过设计在日常行为中加深公共设施与使用者的交互体验。从多方面加深对使用者需求的理解，并不断创新互动方式，通过舒适的体验增强联系，从而形成行为习惯，可以协助为场所空间的各种活动提供实现可能性，增加活力，促成循环使用的可持续空间。

4.3　多元文化可持续

多元文化可持续，提升设计内涵，同时倡导公共设施设计融合科技、艺术和文化，实现多元复杂要素之间关系的平衡。上述 3.5.2 节数据分析了美景度（D_1）及和谐度（D_3）可以最终影响设计结果，属于需要高度重视的根本性作用因素，其强调良好的市容市貌、生态恢复和本土材料应用等。为实现意义可持续可以结合地域环境特征，对产品的物质、肌理、结构、色彩等元素进行选择。通过对环境价值的思考，直接作用于经济和社会价值。设计师在设计的过程中，需要遵循公共设施的内涵，挖掘深层次的文化意蕴和情感共鸣，对传统内涵进行思考和改造，将场所的意义和公共设施联系起来，以带动设施设计内涵的提升。通过意义可持续建构来延续使用者、事件、场所与设施之间的联系。运用智能联动，依托虚拟场景与传统现实相融合，在物理场景中满足居民需求，让技术与设施虚实联动的同时，传递新的艺术文化理念，从而服务于生态可持续设计。Spark[28]是一款试图将烟花、气球、无人机和五彩纸屑等传统的、有污染的庆祝方法转变为新的、可持续的庆祝方式的灯光装置。该装置物理表现为数千个可生物降解的光粒子，在风自然速度的驱动下，飘浮在空中。这个空灵的装置构成了 50 m×30 m×50 m 的云，看起来就像天空被神奇的萤火虫、成群的鸟或星星所搅动。通过设计的手段改变了传统的纪念模式，同时传达出新的健康生活理念，见图 12。

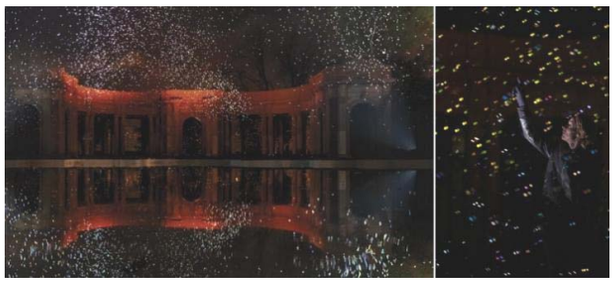

图 12　飘浮在空中的五颜六色的有机烟花
Fig.12 Colorful organic fireworks floating in the air

此外，设计可根据对未来情景的联想来构思设计主题，借助游戏思维、情感化思维、场所记忆思维、文化延续思维等方式，探析使用者、公共设施与场所之间的互动联系。通过不断地模拟使用情境，在使用过程中衍生出移情作用，刺激使用者的想象力，增加使用者的归属感，让使用者尽情地陶醉在某种情境里[29]，从而增加环境的吸引力，持续提升场所活力。Boeri 室内工作室设计了一个名为“漂浮森林”的装置[30]，以促进城市的绿化，是生物多样性的缩影。该项目采用绿色交互式安装，其部件不仅可以十分灵活地进行组装，也可以重复利用。“漂浮森林”安装在米兰的 DARSENA 水域上，构建了一个包含 610 种植物和 30 个物种的微型“森林”，创建了一个独立的生态系统。游客不仅可以重新发现生物多样性的重要性，还能通过引导参观者与工作室的最新生态产品设计进行创新互动。此外，游客还可以通过花朵的气味和所展示物种的触觉品质获得丰富的感官体验，并将游客的感官元素通过现场数字体验汇集在一起。最重要的是，其展示了一种全新的合作模式，带动当地社区、机构和企业一起促进领土的生态过渡，见图 13。

图 13　“漂浮森林”多感官微型生态系统
Fig.13 "Floating forest" multisensory microecosystem

5 结语

随着我国文化消费、审美品位、人均可支配收入和时间的提升，居民对生活和配套提出了多样的高品质要求。公共设施需要体现多元化、超前化、多形态、地域化等特征。设计作为解决社会问题的桥梁，需要深度思考影响最终结果的各因素之间的关系和作用力，推动社会可持续发展。设计师需要重点把握影响因素之间的关系，通过了解因素之间的相互作用来牵制和促成最终想要达到的结果。对于公共设施，通过介入设计手段进行系统性的操作，不仅从日常生活方面为居民提供指引，更能够在使用过程中促进居民精神层面的升华，使之形成具有社会价值、经济价值和环境价值的积极循环。

可持续设计是推动未来社会转型的有效助手。本文通过对可持续理念下影响公共设施设计的相关要素进行梳理，运用 DEMATEL-ISM 法对相关因素进行分析，确定关键因素。在设计初期构建结构模型，形成有效的权重排序，考虑多重影响因素及影响路径，清晰地阐述各要素之间的联系，剖析因素之间的重要作用，尝试提出有助于公共设施的可持续设计策略。对比分析要素之间的关系和重要性，通过科学的计算方法促进设计师、利益相关方，以及跨学科学者对具体设计问题的把握和认识，为重新梳理在可持续设计下的设计基础和重点提供思路，促使未来可持续社会的进步和创新。

本文在确定影响因素时，主要从影响整个设计的全过程中进行考虑，未从公共设施的具体生产过程、制造过程，以及后期使用的反馈等方面进行影响因素考虑。在收集可持续设计因素的评估模型数据时，仍需要借用专家的知识和经验来完成，存在局限性。后续应在后面的研究中进行完善，建构更完整、清晰、全面的影响因素体系模型。

参考文献：

[1] 王思博，王得坤. 我国社会可持续发展战略路径选择研究[J]. 现代管理科学, 2017(8): 60-62.
WANG S B, WANG D K. Research on the Selection of Strategic Paths for Sustainable Development of Chinese Society[J]. Modern Management Science, 2017(8): 60-62.

[2] FORTMEYER J. Sustainable Design: Ecology, Architecture, and Planning[J]. Archit Rec, 2007, 195(10): 170.

[3] KLINENBERG E. Palaces for the People: How Social Infrastructure can Help Fight Inequality, Polarization, and the Decline of Civic Life[M]. London: Penguin, 2018.

[4] 余森林，喻娇. 可持续性产品设计的创新方法与案例解析[J]. 包装工程, 2018, 39(12): 15-19.
YU S L, YU J. Innovative Methods and Case Analysis of Sustainable Product Design[J]. Packaging Engineering, 2018, 39(12): 15-19.

[5] SARIYA S,VILAS N,RANJITH P. Aging Society in Bangkok and the Factors Affecting Mobility of Elderly in Urban Public Spaces and Transportation Facilities[J]. IATSS Research, 2016, 40(1): 26-34.

[6] BLOMMAERT J. Infrastructures of Superdiversity: Conviviality and Language in an Antwerp Neighbourhood[J]. European Journal of Cultural Studies, 2014, 17: 431-451.

[7] 刘昱晓. 可持续理念下公共设施设计研究[J]. 包装工程, 2022, 43(18): 377-381.
LIU Y X. Research on the Design of Public Facilities under the Concept of Sustainability[J]. Packaging Engineering, 2022, 43(18): 377-381.

[8] 张志刚. 交互式城市公共设施设计思路探析[J]. 包装工程, 2022, 43(16): 396-400.
ZHANG Z G. Analysis on Design Ideas of Interactive Urban Public Facilities[J]. Packaging Engineering, 2022, 43(16): 396-400.

[9] 张莹，陆金生，周丰. 服务设计思维下的城市公共设施设计[J]. 包装工程, 2021, 42(10): 303-308.
ZHANG Y, LU J S, ZHOU F. Design of Urban Public Facilities Based on Service Design Thinking[J]. Packaging Engineering, 2021, 42(10): 303-308.

[10] 章丹音，李慧希，熊承霞. 城市社区微更新语境中的公共设施设计研究[J]. 包装工程，2020，41(22): 320-325.
ZHANG D Y, LI H X, XIONG C X. Research on the Design of Public Facilities in the Context of Urban Community Micro-renewal[J]. Packaging Engineering, 2020, 41(22): 320-325.

[11] SEYED-HOSSEINI S M, SAFAEI N, ASGHARPOUR M J. Reprioritization of Failures in a System Failure Mode and Effects Analysis by Decision Making Trial and Evaluation Laboratory Technique[J]. Reliability Engineering & System Safety, 2006, 91(8): 872-881.

[12] 刘才宏，任露丹，郭彬. 基于 DEMATEL-ISM 组合模型的装配式建筑设计环节制约因素分析[J]. 建筑经济, 2022, 43(S1): 476-482.
LIU C H, REN L D, GUO B. Analysis of Constraining Factors in Prefabricated Building Design Based on DEMATEL-ISM Combination Model[J]. Construction Economy, 2022, 43(S1): 476-482.

[13] 林彦，郝萌萌，王艳艳. 基于 DEMATEL-ISM 模型的钢结构装配式建筑成本控制研究[J]. 建筑经济，2022, 43(9): 54-60.
LIN Y, HAO M M, WANG Y Y. Research on Cost Control of Prefabricated Steel Structure Building Based on DEMATEL-ISM Model[J]. Construction Economics, 2022, 43(9): 54-60.

[14] 侯艳辉，庄如洁. 基于 DEMATEL-TISM 的城市居民

生活垃圾分类行为影响因素研究[J]. 山东科技大学学报(社会科学版), 2022, 24(4): 90-99.
HOU Y H, ZHUANG R J. Research on Influencing Factors of Urban Residents' Domestic Waste Sorting Behavior Based on DEMATEL-TISM[J]. Journal of Shandong University of Science and Technology (Social Science Edition), 2022, 24(4): 90-99.

[15] 佚名. 城市公共设施规划规范: 建筑规范[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2008.
Anonymous. Urban Public Facilities Planning Code Building Code[M]. Beijing: China Construction Industry Press, 2008.

[16] NORTHCUTT N, MCCOY D. Interactive Qualitative Analysis: A Systems Method for Qualitative Research[M]. Thousand Oaks: SAGE Publications, 2004.

[17] MCKENZIE J F, WOOD M L, KOTECKI J E, et al. Establishing Content Validity: Using Qualitative and Quantitative Steps[J]. American Journal of Health Behavior, 1999, 23: 311–318.

[18] JETHI N. The Clenoscope [EB/OL]. (2012-02-06) [2023-04-06]. https://www.designboom.com/readers/nishant-jethi-the-clenoscope/.

[19] Botton and Gardiner. Maroubra Capsule Bin[EB\OL]. (2023-01-01)[2023-04-10]. https://www.bottongardiner.com.au/products/maroubra-capsule-bin.

[20] Vipp15. Pedal Bin[EB/OL]. (2023-02-13)[2024-01-05]. https://vipp.com/ en-us/products/rubbish.

[21] 王文龙，崔佳琦，米靖，等. 基于集成 DEMATEL-ISM 的体育赛事新媒体版权开发影响因素研究[J]. 成都体育学院学报, 2022, 48(2): 131-137.
WANG W L,CUI J. Q, MI J, et al. Research on Influential Factors of New Media Rights Development for Sports Events Based on Integrated DEMATEL-ISM[J]. Journal of Chengdu Sports Institute, 2022, 48(2): 131-137.

[22] MEADOWS D H, MEADOWS D L, RANDERS J, et al. The Limits to Growth[M]. London: Routledge, 2018: 25-29.

[23] 宋晔皓，陈晓娟，孙菁芬，等. 体现可持续设计适宜技术及物尽其用思考的云在亭设计[J]. 时代建筑, 2020(3): 92-99.
SONG Y H, CHEN X J, SUN J F, et al. Cloud Pavilion Design Reflecting Appropriate Technology of Sustainable Design and Thinking of Making the Best Use of Materials[J]. Times Architecture, 2020(3): 92-99.

[24] ROOSEGAARDE D. Urban Sun[EB/OL]. (2022-09-10) [2023-04-10]. https://www.studioroosegaarde.net/project/urban-sun.

[25] ROOSEGAARDE D.Smog Free Bicycle[EB/OL]. (2017-05-12)[2023-04-12]. https://www.studioroosegaarde.net/project/smog-free-bicycle.

[26] JERAJ A. NUÉE--Urban Canopy[EB/OL]. (2023-04-12) [2023-05-12]. https://www.red-dot.org/de/project/nuee-urban-canopy-54299.

[27] 佚名. 世界上最奇葩的售货机，不用投币，“揍”一顿才出货！[EB/OL]. (2019-04-01)[2023-04-10]. https://www.163.com/dy/article/EBN9RGK20524UOTO.html.

[28] ROOSEGAARDE D.Spark[EB/OL]. (2022-08-26) [2023-04-12]. https://www.studioroosegaarde.net/project/spark.

[29] 张砚雪，王玮，王喆. 博物馆文创商品开发设计框架与方法实践探索[J]. 包装工程, 2020, 41(2): 324-330.
ZHANG Y X, WANG W, WANG Z. Practical Exploration on Framework and Method of Museum Cultural and Creative Commodity Development and Design[J]. Packaging Engineering, 2020, 41(2): 324-330.

[30] BOERI S. Stefano Boeri Interiors [EB/OL]. (2022-06-15)[2023-04-12]. https://www.archdaily.cn/cn/983615/xuan-fu-sen-lin-stefano-boeri-interiors.