

基于 SEM-KE 的校园共享打印机设计研究

李奋强, 林浩屹*

(兰州理工大学 设计艺术学院, 兰州 730050)

摘要: **目的** 为了提供更好的校园生活,提升校园共享打印机的用户体验,提出以结构方程模型(Structural Equation Modeling, SEM)和感性工学(Kansei Engineering, KE)进行设计分析,从而帮助设计者准确获取用户的复合需求。**方法** 首先,运用语义差分法和聚类分析构建用户感性意象空间,并以形态分析法和正交试验设计构建产品形态要素空间,借助感性工学生成用户感性意象空间和产品形态要素空间的映射关系,进而形成设计知识库;其次,运用类目层次法获取感性层级与设计要素,再通过结构方程模型构建用户感性意象空间和信息条目编码空间的映射关系,根据模型路径分析得到设计策略;最后,形成设计知识和策略的关联模型。**结果** 通过设计知识和策略指导设计者进行校园共享打印机的设计应用。**结论** 通过将感性工学与结构方程模型有效结合,进一步完善校园共享打印机的设计研究,并为相关的用户体验设计提供一定理论参考。

关键词: 产品设计; 用户体验; 感性工学; 结构方程模型; 数量化一类; 校园共享打印机

中图分类号: TB472 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2023)18-0213-14

DOI: 10.19554/j.cnki.1001-3563.2023.18.024

Design of Campus Shared Printer Based on SEM-KE

LI Fen-qiang, LIN Hao-yi*

(School of Design Art, Lanzhou University of Technology, Lanzhou 730050, China)

ABSTRACT: In order to provide better campus life and further enhance the user experience of campus shared printers, the work aims to propose the design analysis with structural equation modeling (SEM) and kansei engineering (KE) to help designers accurately capture the composite user needs. Firstly, semantic difference method and cluster analysis were used to construct user perceptual imagery space, and morphological analysis and orthogonal test design were adopted to construct product morphological element space, and generate the mapping relationship between user perceptual imagery space and product morphological element space with the help of kansei engineering method to form the design knowledge base. Secondly, the class hierarchy method was applied to obtain perceptual levels and design elements, and then structural equation model was used to generate the mapping relationship between user perceptual imagery space and information category coding space, and the design strategies were obtained according to the model path analysis. Finally, the mapping model of design knowledge and design strategies was formed. The design knowledge and design strategy were used to guide the designer in the design application of the campus shared printer. The effective combination of kansei engineering and structural equation modelling further improves the design research of campus shared printers and provides some theoretical reference for the design of related user experiences.

KEY WORDS: product design; user experience; kansei engineering; structural equation modeling; quantification-1 theory; campus shared printer

校园共享打印机已成为校园生活服务网中的重要基础设施,与师生的生活体验息息相关^[1]。用户,是产品、体验,以及服务设计的核心对象,是对设计

好坏的积极评价者,也是设计活动的引导者^[2]。贺雪梅等^[3]通过用户模型、用户行为链,以及服务生态图对校园打印机进行服务设计;罗意^[4]将共享理念融入校

园共享打印机设计研究中,提出了相应设计策略并应用于产品与界面设计中;王佳慧^[5]以 QFD 和 SHERPA-FMEA 方法提升了高校自助打印服务的交互体验。学者们都不约而同地关注到了产品和服务的用户需求。

从感性工学 (Kansei Engineering, KE) 角度进行用户需求研究已成为学术热点。苏建宁等^[6]将用户感性意象与产品造型形态建立对应关系;丁满等^[7]发现感性工学的国内外研究主要集中于意象获取、模型建立和模型优化的设计流程中。从结构方程模型 (Structural Equation Model, SEM) 入手进行用户体验研究也成为设计领域的关注点, VIJAYAKUMAR 等^[8]提出通过将 ISM、SEM, 以及多级模糊相结合的方法, 确定工业工效评价的人因指数, 从人体工学角度提出对汽车工业工作场所的设计考量; KIM^[9]在汽车内饰皮革材料与用户触觉满意度相关性研究中, 利用 SEM 进行触觉满意度的情感变量描述; 李树等^[10]通过将模糊 KANO 与 SEM 融合进行用户需求识别, 以导盲杖为例, 对用户多样性和模糊性需求的研究提供参考方法; 胡珊等^[11]引入 SEM 并借助用户体验五要素对校园公共导视系统的使用需求进行精准获取, 并完成交互体验设计。与此同时, 通过将感性工学与结构方程模型相融合, 从而进行用户体验需求的深度研究也日益兴起。LAI 等^[12]以新能源汽车为研究对象, 利用在线评论收集用户感性意象, 通过 Apriori 算法探索评论集中的隐含关系, 并借助 SEM 来解释其内在关系, 最终汇总设计知识形成感性工学应用系统, 为设计者提供指导建议; 缪晓红^[13]基于感性工学对智能手机形态的意象研究, 借助 SEM 建立感性意象量表评价模型, 为感性意象量表研究提供应用性参考价值。

根据对现有感性工学或 SEM 的研究发现, 感性工学能够很好地建立意象与形态的映射模型, 而结构方程模型则能够梳理潜在意象与设计要素间的关系, 但在设计过程中, 对用户个体因素在意象决策排序和意象形态融合上考虑欠佳, 不能很好地将形态与意象的设计知识对应于潜在意象关系, 从而影响到设计要素优先级的排序。

校园共享打印机因公共空间的多元性、复杂性, 在一定程度上导致用户体验要素趋于复杂。这使得设计者因用户需求过多而无法准确地获取设计重点。为此, 本文提出在现有感性工学意象研究的基础上, 进一步引入结构方程模型, 对感性意象和设计要素之间的映射关系进行分析, 获取设计要素对用户满意度影响, 帮助设计者找到合适的设计切入点, 为校园共享打印机设计提供更为优化的解决方案。

1 SEM-KE 相关概念方法

1.1 SEM

不同于一般线性回归方程仅处理单个因变量, 结构方程模型能基于变量的协方差矩阵处理多个因变

量, 并分析单一自变量对总体模型的影响程度^[14]。该方法被广泛地应用于管理学、心理学、社会科学等领域内针对多因素影响的研究。在设计中, 考虑到用户需求的非单一性, 通过引入结构方程模型对各项需求进行排序, 从而确认设计优先级^[15]。结构方程模型由测量模型和结构模型两部分构成, 其中测量模型反映观测变量与潜在变量的关系, 而结构模型则反映潜在变量间的关系^[16]。

测量模型, 表示外生观测变量、内生观测变量与外生潜变量、内生潜变量的关系, 见式 (1) — (2)。

$$X = \Lambda_x \xi + \delta \quad (1)$$

$$Y = \Lambda_y \eta + \varepsilon \quad (2)$$

式中: X 和 Y 分别指外生观测变量和内生观测变量; ξ 和 η 分别为外生潜变量和内生潜变量; δ 和 ε 分别是 X 和 Y 的不可测残差量; Λ_x 反映的是外生观测变量 X 与外生潜变量 ξ 的关系, Λ_y 反映的是内生观测变量 Y 与内生潜变量 η 的关系。

结构模型, 表示内生潜变量之间与外生潜变量之间的关系, 见式 (3)。

$$\eta = \beta \eta + \Gamma \xi + \zeta \quad (3)$$

式中: β 表示内生结构变量之间的关系; Γ 表示外生潜变量对内生潜变量的影响; ζ 是结构模型的不可测残差量。

结构方程模型的构建步骤为: 模型构建、模型识别、模型估计、模型拟合、模型修正, 以及模型分析。其中, 模型分析主要是对式 (1) — (3) 的模型路径系数进行分析。

1.2 KE

感性工学可帮助设计者深入挖掘用户对产品的感性认知, 其方法分为定性分析的类目层次法和定量分析的数量化方法。类目层次法根据定性推论进行依次分解, 得到设计细节的过程, 从而有效地梳理用户的感性需求和产品设计要素。数量化理论中的数量化一类往往用于定量评估感性意象, 通过数学映射模型建立感性意象评估值和产品形态要素间的相关关系^[17]。数量化一类的描述^[18]如下。

假设有 n 个实验样本, y_i 是因变量 y 在第 i 个样品中的感性意象评价, 并设样本中某个项目有 r 个形态要素, 第 m 个项目的类目数由 r_m 表示, 样本的形态要素总数为 p 。先对产品进行形态分析矩阵赋值, $\mu_i(j, k)$ 为 j 个项目的 k 个类目在第 i 个样本中的反应, 其表达见式 (4)。

$$\mu_i(j, k) = \begin{cases} 1 & \text{当第 } i \text{ 个样本中 } j \text{ 项目的定性数据为 } k \text{ 类目时,} \\ 0 & \text{相反} \end{cases} \quad (4)$$

生成产品形态反应矩阵模型, 并定义 $n \times p$ 阶矩阵 T , 其表达见式 (5)。

$$T = \{\mu_i(j, k)\} \quad (5)$$

式中: 样本为 $i=1, 2, \dots, n$; 项目为 $j=1, 2, \dots, m$; 类目为 $k=1, 2, \dots, r_j$ 。

再根据因变量与各项目、各类目的反应进行线性回归方程模型表达，见式（6）

$$y_i = \sum_{j=1}^m \sum_{k=1}^{r_j} \mu(j,k) \times b_{j,k} + \tau_i \tag{6}$$

式中： $b_{j,k}$ 是第 j 个项目的第 k 个类目的相关系数； τ_i 为随机残差项。

最后，根据最小二乘法来逼近求近似解系数 $b_{j,k}$ ，若使 q 极小，则需求解 q 为关于 $b_{j,k}$ 的偏导数，并令其为 0。其表达，见式（7）。

$$q = \sum_{i=1}^n \tau_i^2 = \sum_{i=1}^n \left[y_i - \sum_{j=1}^m \sum_{k=1}^{r_j} \mu_i(j,k) \times b_{j,k} \right]^2 \tag{7}$$

$$\frac{O_q}{O_{b_{u,v}}} = -2 \sum_{i=1}^n \left[y_i - \sum_{j=1}^m \sum_{k=1}^{r_j} \mu_i(j,k) \times b_{j,k} \right] \mu_i(u,v) \tag{8}$$

式中：项目为 $u=1,2,\cdots,m$ ；类目为 $v=1,2,\cdots,r_u$ 。
最终，根据（4）—（8）进行求解，得到一般系数、标准系数，并进一步计算偏相关系数和复合系数。

2 SEM-KE 模型的研究流程

SEM-KE 模型将结构方程模型的设计要素分析与感性工学形态要素分析进行有效融合，是感性意象和设计要素的映射与感性意象和形态要素的映射。该模型首先将两者的映射关系分成三个要素空间（产品形态要素空间、用户感性意象空间、信息条目编码空间），再形成两个映射模型，并利用两组映射关系，从用户角度进行产品形态和体验的设计。具体流程见图 1。

1) 产品形态要素空间包含对产品样本的收集、

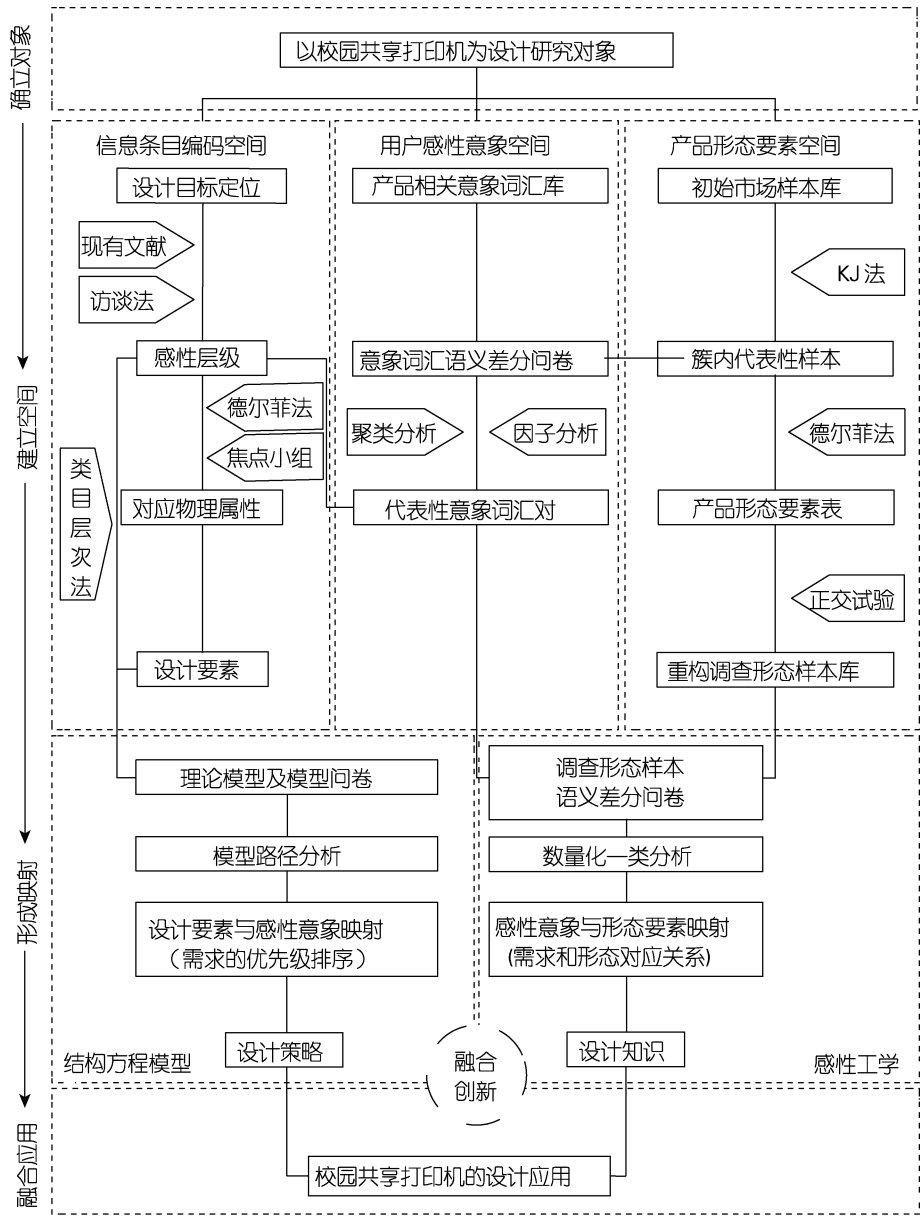


图 1 SEM-KE 模型的研究流程
Fig.1 Research process of SEM-KE model

筛分、分析、扩充，其对应流程分别为初始市场样本库、簇内代表性样本、产品形态要素表、重构调查形态样本库。

2) 用户感性意象空间包含对产品感性意象认知的获取、评价、分析，其对应流程分别为产品相关意象词汇库、意象词汇语义差分问卷、代表性意象词汇对。

3) 信息条目编码空间包含对意象信息的类目层级划分和相关策略要素编码排序，其对应流程包括：划分感性层级及对应设计要素、利用结构方程模型对设计要素进行分析等。

3 感性意象与形态要素映射

3.1 构建产品形态要素空间

确立校园共享打印机作为产品研究样本，并从网络多平台收集海量的相关产品样本图片。由小组成员实施 KJ 法，将相近产品进行分类。再按类赋予编号并发放问卷，让用户选择出每类中的代表性产品，问卷结果的频数分布则指向用户代表性认同，即形成簇内代表性样本。对代表性样本的形态要素进行定性分析，拆解出项目和类目，并对拆解后的各类目进行交叉重组，重新建立实验调查样本。为减少实验次数，设计正交试验，生成实验样本组。

1) 初始市场样本库。产品样本图片从相关网站、文献中广泛收集而来，在初步排除解析度较差及较难辨认其功能的产品图片后，保留样本图片共 36 张。同时，为了在后期实验过程中尽量做到客观、真实，以及高效，对初步收集的样本进行必要的处理。处理条件为“去除无关背景”和“无彩色”，且尽量选择正侧面的平行透视。见图 2。

2) 簇内代表性样本。将 36 个产品样本图制成图像卡片后进行实验分类，先经过焦点小组讨论将样本卡片粗略规定分成六大类，再通过 KJ 法对样本卡片

进行定性分类。KJ 法应以小组讨论的形式开展，且要有不少于四名受试者在自然放松状态下进行亲图和图的制作。根据 KJ 法定性分类后，需进一步找到每类的代表性样本。具有代表性选择应由用户进行决策判断。因此，采用线上问卷的方式寻求用户偏好选择，从而获得六类样本簇的代表中心，即在每个簇中选择一个产品为该类的代表。问卷发放对象仅限于在校大学生和教职工，共计发放 50 份问卷，去除作答时间过短的无效问卷，共收回有效问卷 49 份。通过对问卷选项频数分布状况进行分析，认为用户偏好选择的频数越大，则表示用户越认为该样本具有类内代表性，从而得到代表性样本并重新标号，见表 1。

3) 产品形态要素表。借助形态解构方法帮助设计者了解市场上优秀样本的设计要素，通过德尔菲法，从定性层面对产品形态进行解构分类，以便后期指导形态设计。在分析过程中，既要考虑用户形态感知能力，还要根据专家的功能结构对应形态的知识。因此，从产品侧面剖面特征可划分为四个项目，分别是广告屏（A）、显示屏（B）、机体（C）、底座（D），其各项目下类目分别为 A1~A3、B1~B2、C1~C3、D1~D4，并且从侧面可描述产品整体造型轮廓，具体如表 2 所示。

4) 重构调查形态样本库。根据产品形态要素定性分析拆解出的类目要素，在每个项目中仅选出一项类目进行排列组合，重建实验调查样本，实现调查形态样本库的扩充。除先前筛选的代表性样本外，对样本进行交叉组合，得到 72 个新的产品样本（ $3 \times 2 \times 3 \times 4$ ）。但在实验时，考虑到人对信息存在认知冗余，使用大量样本信息展开问卷会导致其信效度不佳。为体现实验组的代表性，采用正交试验设计，但该正交属于若干非等水平，不可直接用实验表。根据表 2 的项目与类目划分，将四个项目设为四个因素，每个项目的类目数设为对应的若干个非等水平分布，以拟水平

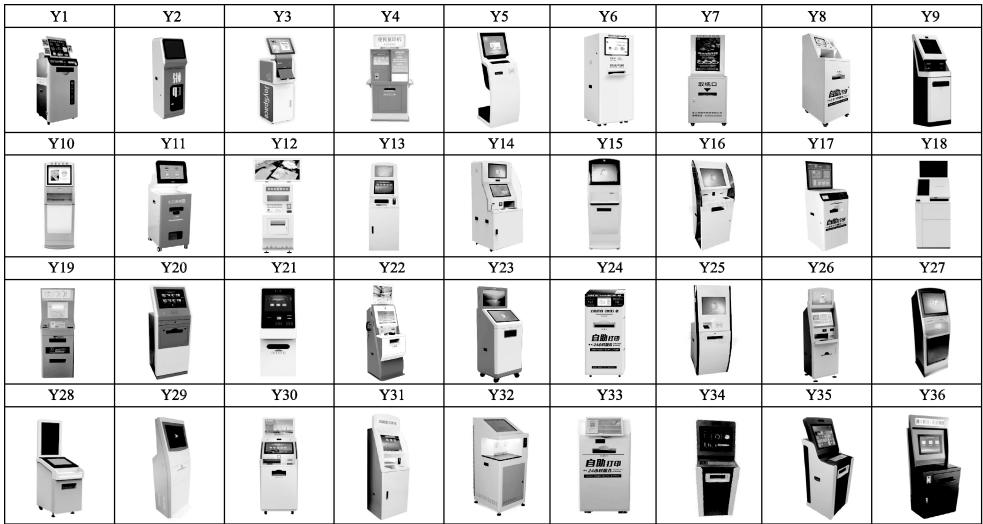


图 2 36 个校园共享打印机样本
Fig.2 36 samples of campus shared printers

表 1 簇内代表性样本
Tab.1 Representative sample in cluster

类编号	样本库										代表性样本
Cluster-A											
	(28%)	(26%)	(10%)	(32%)	(4%)						(32%)
Cluster-B											
	(16%)	(27%)	(57%)								(57%)
Cluster-C											
	(40%)	(18%)	(30%)	(12%)							(40%)
Cluster-D											
	(33%)	(10%)	(4%)	(27%)	(12%)	(10%)	(4%)				(33%)
Cluster-E											
	(28%)	(14%)	(10%)	(10%)	(20%)	(10%)	(8%)				(28%)
Cluster-F											
	(6%)	(27%)	(6%)	(6%)	(4%)	(4%)	(10%)	(23%)	(4%)	(10%)	(27%)

注：百分比为簇内代表性样本问卷用户偏好选择频率。

表 2 形态要素定性分析
Tab.2 Qualitative analysis of morphological elements

项目	类目
广告屏	竖直型A1  倾斜型A2  无广告屏A3 
显示屏	竖直型B1  倾斜型B2 
机体	嵌入型C1  外置型C2  长方体型C3 
底座	吸盘型D1  块型D2  轮子型D3  无底座D4 

方法提炼出 16 次实验样本,得出田口正交表 L16(3²× 2¹×4¹)。借助 SPSS 对项目与类目数据生成正交试验计划卡,如图 3 所示。

3.2 构建用户感性意象空间

确立校园共享打印机的评价作为意象研究样本,从相关文献库中获取海量的意象词汇对,通过用户问卷选择意象词汇对,得到产品相关意象词汇库;制作相关意象词汇对的意象看板,即产品形态要素空间的簇内代表性样本;再将两者进行意象词汇语义差分问

卷的评价打分。借助统计学的因子分析和聚类分析,将产品相关意象词汇对进行聚类,最终得到产品的代表性意象词汇对及每类词汇对的用户偏好词。

1) 产品相关意象词汇库。通过文献库收集描述产品的词汇,并以形容词作为筛选条件,获取大量产品相关的预备词,再对预备词进行正反义的分析 and 补充,得到 48 对词汇对。由于海量词汇对用于形容广义产品,其中部分不适合形容校园共享打印机。因此,需要以线上线下问卷的形式对相关意象词汇对进行筛选,从 48 个词汇对中选择 20 个更符合校园共享打印机的意象词汇对,以降序排列进行筛选,得出用户选择偏向性较高的前二十的词,再去掉意义相近的、生僻的词语,并将剩余词进行统计学分类,最后得到七类关键相关的意象词汇对,分别是:“简洁-复杂”“圆润-直角”“科技-传统”“个性-大众”“小巧-庞大”“亲切-冷漠”“可靠-易损坏”。

2) 意象词汇语义差分问卷。运用语义差分法将 Cluster-A 类至 Cluster-F 类的簇内代表性样本与七组筛选后意象词汇对建立 Likert5 级量表,其感性评价程度为-2~2,最终建立语义差分调查问卷。问卷通过

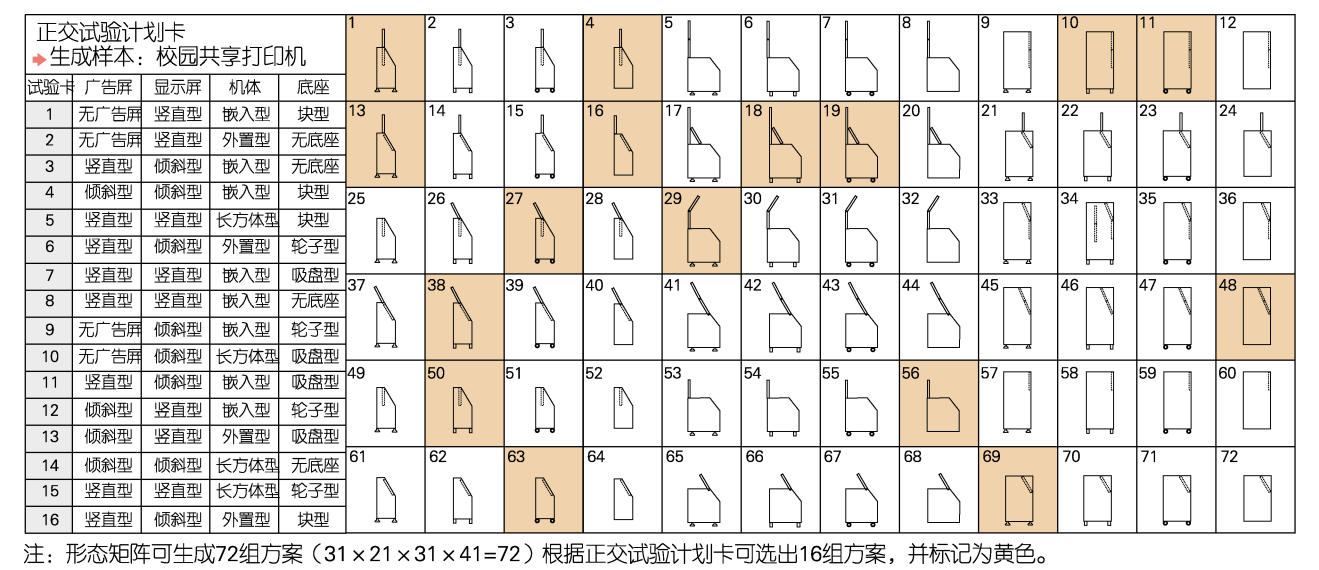


图 3 产品样本的正交试验设计

Fig.3 Orthogonal test design of product samples

线上形式发放，共计发放 140 份，其中有效问卷为 135 份。对问卷进行统计学判断，通过 Cronbach's α 检验得出总体问卷信度达到 0.912，具有很好的数据稳定性；通过 KMO 检验可知，KMO 检验值为 0.793，具备较好的数据准确性，其中 Cluster-A 类至 Cluster-F 类的 KMO 值均>0.6，说明变量间有相关性，可进行因子分析；通过 Bartlett 检验可知，所有数据显著性均<0.05，其 Sig 值越接近 0，则数据越呈球形分布，即各变量间相互独立，这也说明可进行因子分析。见表 3。

表 3 语义差分问卷的信度和效度检验

Tab.3 Reliability and validity test of semantic difference questionnaires

代表性 样本类	Cronbach's α 信度	KMO 效度	Bartlett 效度 (显著性)
Cluster-A	0.690	0.731	0.000
Cluster-B	0.616	0.695	0.000
Cluster-C	0.618	0.626	0.000
Cluster-D	0.714	0.709	0.000
Cluster-E	0.714	0.603	0.000
Cluster-F	0.689	0.709	0.000
ALL	0.912	0.793	0.000

3) 代表性意象词汇对。对问卷数据进行统计求和，并计算其均值，再进行标准化处理，以便导入 SPSS 进行因子分析和聚类分析。首先进行因子分析，对七个意象词汇对进行第一次因子分析，选择主成分分析，提取方式为“基于特征值”，显示的碎石图见图 4。根据碎石图和因子总体方差解释度可知，当成分被分成三类时可显然说明数据情况，三个因子的特征根解释总体方差 96.47%。在此基础上进行二次因子分析，仅将提取方式改为“因子的固定数目”，可

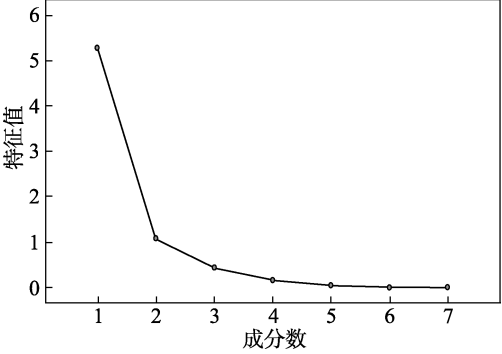


图 4 代表性意象词汇对的因子碎石图

Fig.4 Factor lithotripsy map of representative image word pairs

分别得到成分矩阵和旋转后成分矩阵，见表 4。

在此基础上，结合聚类分析进行分类验证，采用 K-Means 聚类，对七个意象词汇对进行聚类分析，得到聚类成员和词汇聚类中心距离。聚类结果见表 5。将因子分析结果和聚类分析结果进行比对，发现其基本分类一致，可确认最终代表性意象词汇对为“简洁的-复杂的”“亲切的-冷漠的”“可靠的-易坏的”。

3.3 两者映射关系分析

通过产品形态要素空间 and 用户感性意象空间可进一步分析两者映射关系，利用生成式实验样本组和最终产品代表性意象词汇对重新构建语义差分问卷。再将实验样本组的样本形态转化为 0 和 1 矩阵描述，以定性判断的形态值和定量评价的语义值进行多元回归处理，得到感性意象和产品形态的映射关系。

1) 调查形态样本语义差分问卷。先对产品形态要素空间中正交试验设计结果进行汇总（如图 5 所示），并对调研形态样本进行矩阵转化的形态分析，即对 16 个样本、4 个项目所对应的不同类目进行定性判断并赋值，结果见表 6。

表 4 因子分析的成分矩阵和旋转后成分矩阵
Tab.4 Component matrix of factor analysis and component matrix after rotation

意象 词汇对	成分矩阵			旋转后成分矩阵		
	1	2	3	1	2	3
简洁的-复杂的	-0.849	-0.328	0.387	-0.324	0.933	0.047
科技的-传统的	0.949	0.140	0.060	0.700	-0.563	0.340
圆润的-直角的	-0.865	0.168	-0.451	-0.931	0.333	0.460
小巧的-大众的	-0.958	0.170	0.220	-0.515	0.849	-0.097
亲切的-冷漠的	0.941	0.149	0.140	0.752	-0.501	0.332
可靠的-易坏的	0.318	0.935	-0.126	0.105	-0.028	0.900
个性的-大众的	0.997	0.016	0.000	0.695	-0.672	0.244

注：提取方法为主成分分析法，旋转方法为凯撒正态化最大方差法。

表 5 K-Means 聚类分析的结果
Tab.5 Results of K-Means cluster analysis

意象词汇对	聚类编号	聚类的中心距离	偏好评价均值	代表性意象词
简洁的-复杂的	1	0.105	0.127	简洁的
小巧的-庞大的	1	0.106	-0.283	庞大的
亲切的-冷漠的	2	0.070	0.089	亲切的
个性的-大众的	2	0.078	-0.002	大众的
科技的-传统的	2	0.082	0.224	科技的
可靠的-易坏的	3	0.097	0.433	可靠的
圆润的-直角的	3	0.097	0.293	圆润的

注：偏好评价均值以正向词为正值，如“简洁的为正向”。

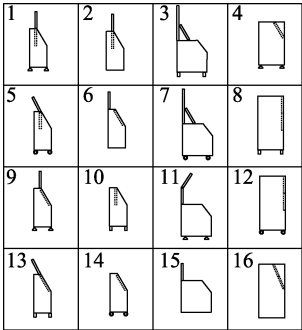


图 5 实验样本库
Fig.5 Experimental sample bank

根据 Likert 5 级评价量表建立实验样本的语义差分问卷，考虑到 16 个样本在答题时所产生的认知负荷，为降低受测试者疲劳度和提高问卷可信度，将样本分配到 α 和 β 两份问卷中，每组问卷包含九个样本产品，其中的重复样本为 $\alpha 1$ 和 $\beta 9$ ， $\beta 1$ 和 $\alpha 9$ 。此外，再对 α 和 β 问卷中的重复题项进行显著性检验。问卷 α 和 β 分别发放 50 份，收回的均为有效问卷。针对两份问卷的重复项进行独立样本 T 检验，发现其莱文方差显著性 >0.05 ，均值方差 Sig 值 >0.05 ，以此判断两组方差一致，进行处理后的数据显示如表 7 所示。需要注意的是，鉴于问卷 α 和问卷 β 的重复部分在方差解释下可认为是一致性的，因此问卷 α 和问卷 β 可被看作是一份问卷。

表 6 形态分析矩阵
Tab.6 Morphological analysis matrix

样本	类目 A			类目 B		类目 C			类目 D			
	A1	A2	A3	B1	B2	C1	C2	C3	D1	D2	D3	D4
Y1	1	0	0	1	0	1	0	0	1	0	0	0
Y2	1	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	1
Y3	1	0	0	0	1	0	1	0	0	1	0	0
Y4	0	0	1	0	1	0	0	1	1	0	0	0
Y5	0	1	0	1	0	1	0	0	0	0	1	0
Y6	1	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	1
Y7	1	0	0	0	1	0	1	0	0	0	1	0
Y8	1	0	0	1	0	0	0	1	0	1	0	0
Y9	1	0	0	1	0	1	0	0	1	0	0	0
Y10	0	0	1	1	0	1	0	0	0	1	0	0
Y11	0	1	0	1	0	0	1	0	1	0	0	0
Y12	1	0	0	1	0	0	0	1	0	0	1	0
Y13	0	1	0	1	0	1	0	0	0	1	0	0
Y14	0	0	1	0	1	1	0	0	0	0	1	0
Y15	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	1
Y16	0	1	0	0	1	1	0	0	0	0	0	1

2) 数量化一类分析。借助均值处理来降低用户信息量维度，同时利用归一化处理来压缩数据，从而提高模型精确度和迭代收敛速度。经初步处理后，在 Matlab 中对形态分析矩阵和评价矩阵进行分析，轮换求解式（4）—（8），得到的数据结果见表 8。在“简洁的-复杂的”意象下，根据偏相关系数得到项目 C

表 7 独立样本 T 检验
Tab.7 T test of independent samples

意象词汇对	莱文方差等同性检验 均值方程等同性检验	
	显著性（Sig 值）	显著性(Sig 值_双尾)
简洁的-复杂的	0.209	0.829
亲切的-冷漠的	0.343	0.251
可靠的-易坏的	0.272	0.707

的贡献度最大，而其中类目 C3 的得点最多，通过复相关系数反映全项目对总体感受的影响程度；在“亲切的-冷漠的”意象下，根据偏相关系数得到项目 B 的贡献度最大，其中类目 B2 的得点最多；在“可靠的-易坏的”意象下，根据偏相关系数得到项目 C 的贡献度最大，其中类目 C3 的得点最多。总结形成的设计知识库，见表 9。

表 8 数量化一类结果
Tab.8 Result of quantification-1 theory

项目	类目	简洁的-复杂的			亲切的-冷漠的				可靠的-易坏的				
		类目 得点	偏相关 系数	偏相关 排名	复相关 系数	类目 得点	偏相关 系数	偏相关 排名	复相关 系数	类目 得点	偏相关 系数	偏相关 排名	复相关 系数
A	A1	0.053			0.759	-0.012			0.677	0.025			0.745
	A2	-0.103	0.114	3		0.051	0.012	4		-0.082	0.128	3	
	A3	0.129				-0.005				0.177			
B	B1	0.142	0.013	4		0.011	0.375	1		0.186	0.044	4	
	B2	0.084				0.147				0.078			
C	C1	0.024	0.502	1		0.197	0.351	3		-0.018	0.496	1	
	C2	-0.265				-0.145				-0.234			
	C3	0.270				-0.045				0.308			
D	D1	-0.181	0.436	2		-0.244	0.359	2		-0.242	0.482	2	
	D2	-0.043			0.184	0.040							
	D3	-0.105			0.013	-0.117							
	D4	0.273			0.273	0.268							

表 9 生成式设计知识库
Tab.9 Generative design knowledge base

意象词汇	设计元素的逐级排序					
简洁的	C3 机体：长方体型	>	D4 底座：无底座	>	A3 广告屏：无广告屏	> B1 显示屏：竖直型
亲切的	B2 显示屏：倾斜型	>	D4 底座：无底座	>	C1 机体：嵌入型	> A2 广告屏：倾斜型
可靠的	C3 机体：长方体型	>	D4 底座：无底座	>	A3 广告屏：无广告屏	> B1 显示屏：竖直型
复杂的	C2 机体：外置型	>	D2 底座：块型	>	A2 广告屏：倾斜型	> B2 显示屏：倾斜型
冷漠的	B1 显示屏：竖直型	>	D1 底座：吸盘型	>	C2 机体：外置型	> A1 广告屏：竖直型
易坏的	C2 机体：外置型	>	D1 底座：吸盘型	>	A2 广告屏：竖直型	> B2 显示屏：倾斜型

4 感性意象和设计要素映射

4.1 构建信息条目编码空间

在信息条目编码空间部分，可通过类目层次法获得感性层级和设计要素，从而弥补产品分析中除形态要素外的使用体验。步骤包括：确定母概念；通过文献库、访谈法，以及参考现有体验模型，筛选后推导

出 1 级的初级用户感知要素；根据焦点小组和德尔菲法推出 2 级的深层感知要素；细化感知要素的具体方向推出 3 级，从而形成可量化方向，即物理属性和对应的计特性；最终通过交叉分析得到设计要素。

由于设计对象为校园共享打印机，得出设计焦点为校园、共享、打印机，母概念为“校园享印”。在文献库中寻找相关设计要求，如人机设计（安全、舒

适、效率)、服务设计(用户导向性、易用性、实用性)、产品设计(指示性、反馈性)、材料色彩(可靠耐用、贴合环境)等。将用户体验蜂窝模型作为评价维度和评价指标建立的理论依据。在此基础上,进行选择性用户访谈,调研对象为 4 名在校学生、1 名在校教师,以及 1 名产品设计专家,并记录访谈内容中的体验意象关键词,便于以词频降序排列确定层级,最终整理得到一级子概念为有用性、体验性、便捷性、美观性;再进行 2 级、3 级的推导。最终,经过德尔非法将物理属性梳理为设计特征和设计要素,见图 6。

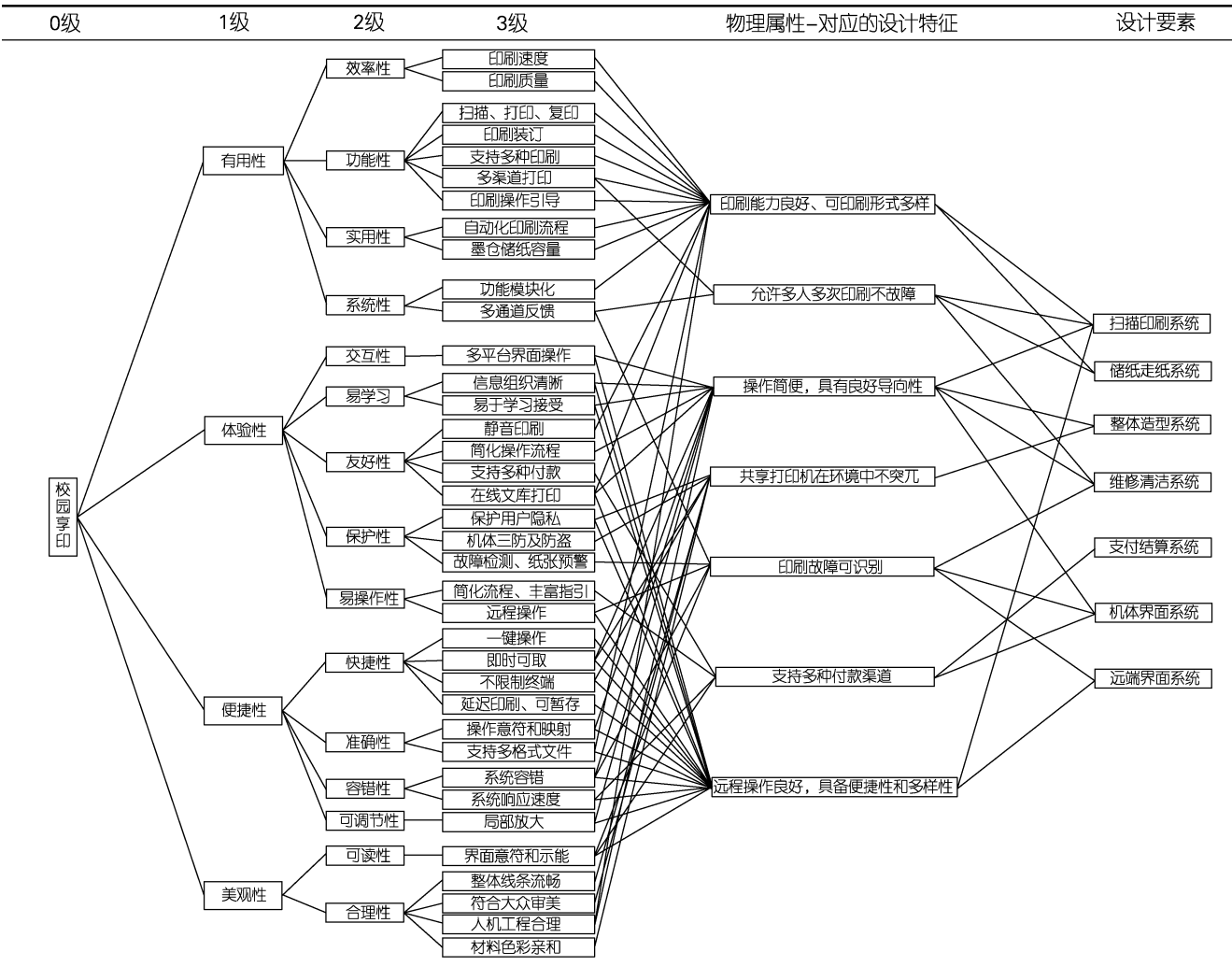


图 6 类目层次法获取设计要素
Fig.6 Acquisition of design elements by class hierarchy method

4.2 分析感性层级与设计要素

通过结构方程模型对产品形态的用户感性意象和类目层次的感性层级进行分析,将感性层级与设计要素形成理论模型,利用该模型进行结构方程模型运算得到相应的路径系数,根据路径系数进行设计要素排序。

1) 理论模型。首先对操作变量定义,即确立结构方程模型的构面。为进一步识别用户的核心需求,因此,潜在构面由语义差分法得到的感性意象词汇和类目层次法得到的用户感知要素词汇构成。排除同义项,最终可得“简洁性”“亲切性”“可靠性”“有用性”“体验性”“便捷性”。以用户满意度作为终点,分别包括形态满意度和使用满意度。再引入结构方程

模型,构建初始理论模型,最终由用户感性意象和体验要素共同指向用户满意度作为研究假设。该模型可分析各项需求与用户满意度之间的关系,从而帮助设计者在产品设计中确定用户需求的优先级,明确设计方向。为考虑模型的准确性,在前人研究的基础上去寻找与潜在变量相关的观测变量^[19-22]。

2) 模型问卷。结构方程模型问卷处理包括样本数据收集和检验分析。问卷样本容量由需要研究的观测变量所决定。当模型中有七个以上的观测变量,且不存在不可定义观测变量时,问卷样本容量不宜少于 150 份^[23]。因此,结构方程模型问卷采用线上发放形式,共计发放和收回有效问卷 175 份,这已满足结构方程模型的基本要求。从人口学变量分析,发现其构

成的年龄、性别、学历的分布情况基本与校园用户群体分布情况相一致。再分析问卷的信度和效度（如表 10 所示），其中信度水平各项均>0.8，KMO 效度水平整体>0.9，其显著性<0.05，说明具有较好数据准确性且变量间各自独立，可进行结构方程模型分析。

3）模型路径分析。模型适配度检验和修正，将数据导入 AMOS 中对式（4）—（8）进行求解，得到初步结构方程模型，见图 7。在潜在变量中由于共

同变化关系导致出现部分自相关，使得模型信息指标不佳，需通过模型修正指标对题项进行修正。模型多重共线性的主要原因是由于选项分类不当，故对原度量题项进行主成分分析，当在碎石图指导下将成分划分为六大类时，具有很强说服力，显示旋转后成分矩阵边，并得到重新分类的选项。分类结果显示，需删除“便捷性”的成份类，保留“简洁性”“可靠性”“体验性”“有用性”“亲切性”“满意度”，随后通过 AMOS 重新梳理观测变量间关系，得到修正后的结构方程模型，见图 8。对 AMOS 中计算的模型适配度进行评价标准值判断，即拟合优度检验（如表 11 所示），可判断出该模型为可接受模型，因此可进行模型的路径系数分析和解释。

从结构方程模型可看出，“有用性”“体验性”“简洁性”“可靠性”“亲切性”对用户满意度具有正向的贡献影响。根据因子载荷值排序可得贡献度情况，总体排序为：“有用性”>“亲切性”>“体验性”>“可靠性”>“简洁性”；根据使用体验进行贡献度排序为“有用性”>“体验性”；根据造型意象进行贡献度排序为“亲切性”>“可靠性”>“简洁性”。

表 10 SEM 问卷的信度和效度检验
Tab.10 Reliability and validity test of SEM

潜变量	题号	Cronbach'α	KMO	Bartlett(Sig)
有用性	Q04-10	0.903		
体验性	Q11-16	0.909		
便捷性	Q17-20	0.905		
简洁性	Q21-24	0.922	0.947	0.000
可靠性	Q25-27	0.826		
亲切性	Q28-31	0.888		
满意度	Q32-34	0.906		

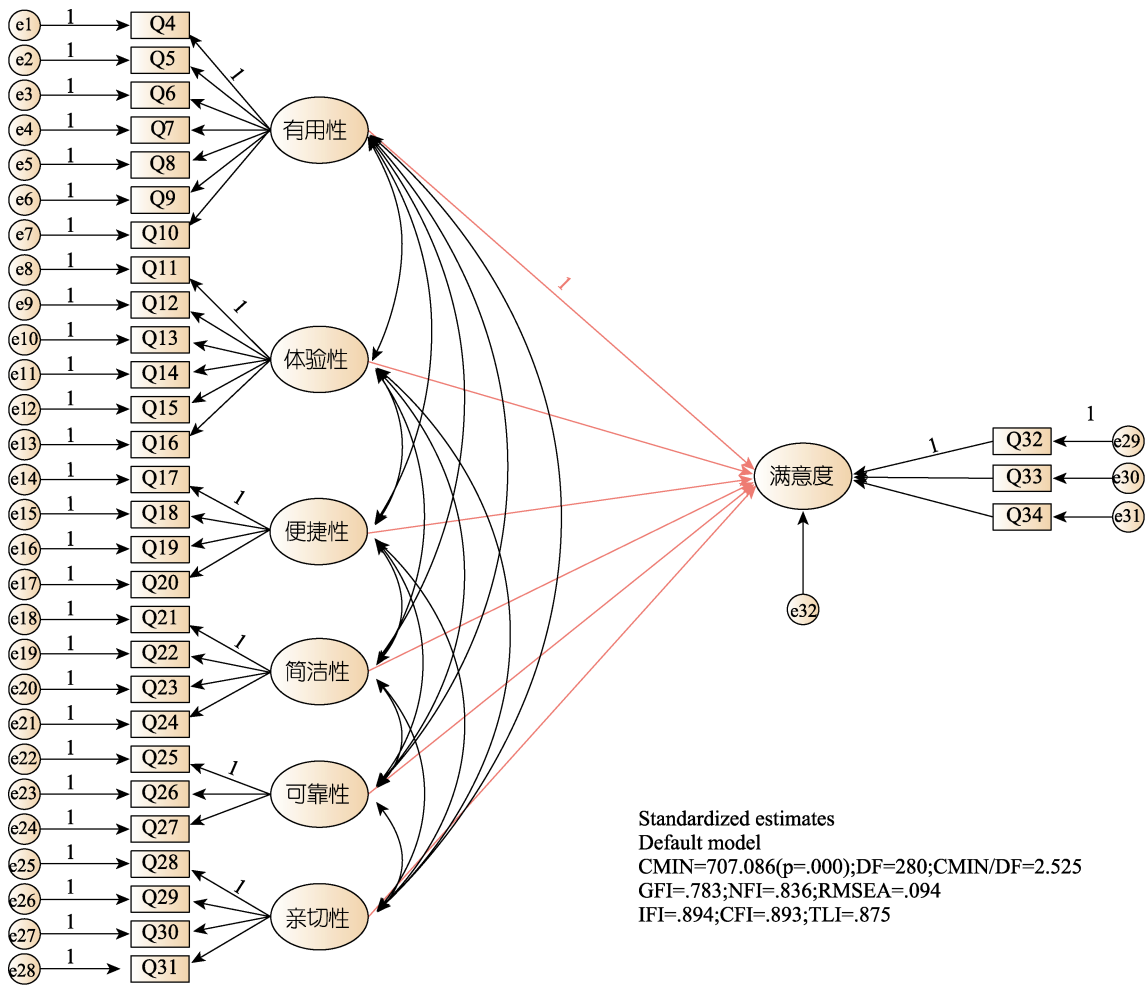


图 7 初始的结构方程模型
Fig.7 Initial structural equation modeling

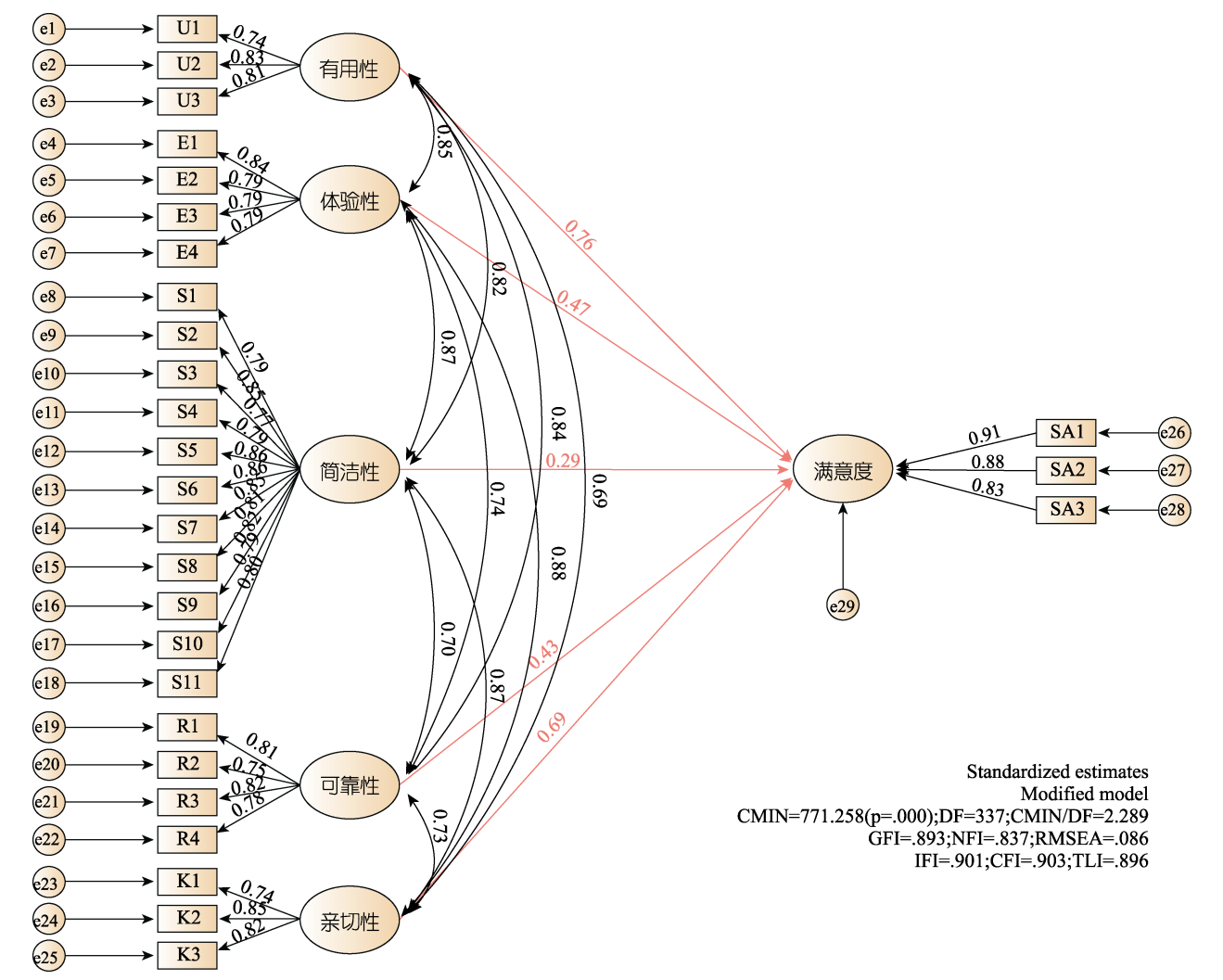


图 8 修正后的结构方程模型
Fig.8 Modified structural equation modeling

表 11 模型拟合优度检验
Tab.11 Model goodness of fit test

度量指标	CMIN/DF	RMSEA	GFI	CFI	NFI	IFI	TLI
参考范围	<3	<0.1	≥0.85	≥0.85	≥0.85	≥0.85	≥0.85
拟合数值	2.289	0.086	0.893	0.903	0.837	0.901	0.896
拟合结论	通过	通过	通过	通过	接近	通过	通过

对修正后模型观测变量进行重新编号,可得到具体观测变量对其潜变量的影响情况,并根据贡献度进行设计策略汇总,具体见图 9。

4.3 三者映射关系分析

将感性意象、形态要素、设计要素建立三角映射关系,即反映为设计知识和策略的映射模型。

由于用户需求的意象认知非单一线性,是复合共

现的,因此存在一定的优先排序,设计者根据若干项排序进行侧重设计。在结构方程模型中,以“有用性”和“体验性”的使用意象作为操作流程设计的参考,而通过“简洁性”“亲切性”“可靠性”的造型意象,进一步分析设计知识与策略的映射关系,见图 10。在“亲切性”中,操作类型与组件显示屏强对应;在“可靠性”中,侧轮廓造型特征影响不显著,但与组件机体有关;在“简洁性”中,机体造型线条对应组件机体,界面设计对应显示屏和广告屏,但显示屏的要求在“亲切性”中更为重要,而在“简洁性”中则为弱要求;机体造型比例则对应组件底座。根据设计知识和策略得到设计原型为:长方形机体、倾斜型屏幕、无广告屏、无底座的校园共享打印机。

5 校园共享打印机的设计应用

在产品形态要素对应的设计知识和策略中,整体造型设计采用长方形机体、倾斜型屏幕、无广告屏、无底座的方案。

潜变量	编号	副号	观测变量	问卷题项	参考设计策略	贡献度排序
有用性 (Useful)	U1	Q4	印刷速度	校园自助打印机能够快速印刷所需要的材料	并行印刷, 减少印刷冲突	3
	U2	Q8	多渠道印刷	校园自助打印机让我能线上线下多渠道印刷	后界面设计、前端数据接口	1
	U3	Q10	扫描打印复印	自助的扫描打印复印对我进行自助打印机使用是有用的	整体造型的合理性规划	2
体验性 (Experience)	E1	Q11	多平台界面操作	我能够与校园自助打印机在多个平台上进行操作	前端显示屏设计、后台界面设计	1
	E2	Q13	静音操作	校园自助打印机能够安静地工作, 不影响我操作	吸音降噪的机体外壳、减少组件间的摩擦	2
	E3	Q15	多渠道支付	校园自助打印机让我能线上线下多渠道支付交易	前端支付、后台远程支付	3
	E4	Q16	隐私保护	使用完校园自助打印机后, 不留下文档的痕迹	前端设置碎纸机、后台记录清除	4
简洁性 (Simplicity)	S1	Q12	操作易学习	学习掌握校园自助打印机的使用流程对我很容易	前端界面设计、后台界面设计	7
	S2	Q17	一键操作	我能够一键操作校园自助打印机	物理按键、虚拟按键的设置	4
	S3	Q18	暂停/随时可取	校园自助打印机可预约印刷, 印刷后可暂停、随时可取	额外设置出纸口/分箱存放	8
	S4	Q20	局部操作处理	校园自助打印机让我能够局部放大进行文档校验	触控前端界面/对文档局部处理	11
	S5	Q21	操作意向映射	校园自助打印机的造型是干净的, 很清晰知道如何使用	物理操作的导向、质感表现	2
	S6	Q22	机体造型线条	我在使用校园自助打印机时, 能够很合意的进行操作	机体侧面形状、显示屏与机体几何关系	1
	S7	Q24	界面设计	在校园自助打印机界面中, 我可以简单知道操作流程	平台界面的使用流程	3
	S8	Q25	机体造型比例	我认为校园自助打印机造型比例在视觉上很协调	广告屏、显示屏、机体、底座的比例	5
	S9	Q26	机体材料	校园自助打印机的造型材料很耐用, 触摸后感觉坚固可靠	机体材料的表面处理、材质搭配	6
	S10	Q28	机体尺寸	操作校园自助打印机时很适宜, 不需要过度弯腰	显示屏大小、出纸口大小	10
可靠性 (Reliability)	R1	Q5	印刷质量	未使用过校园自助打印机的人也可以根据指引进行操作	整体造型和界面设计信息量不易过多	9
	R2	Q6	印刷装订	校园自助打印机能够提高印刷质量, 更加清晰	确数与激光位置、出纸口耐污	1
	R3	Q7	多种印刷	可改善印刷设置, 校园自助打印机支持多和纸张印刷	内部路缝装订、额外自助装订机	4
	R4	Q9	持续印刷	校园自助打印机能够完成大量的印刷任务, 如图书图册	储纸盒大小、出纸口大小	2
亲切性 (Kind)	K1	Q14	操作类型	不同的印刷类型能够增加我使用校园自助打印机的体验	并行印刷装置、进出口的流程	3
	K2	Q29	界面色彩	校园自助打印机的界面色彩令人舒服, 不会视觉疲劳	显示屏类型、扫描复印操作台的设计	3
	K3	Q30	界面字号	校园自助打印机的界面字号可以自行调整, 使人感受亲切	操作导向性色彩	1
满意度 (Satisfaction)	SA1	Q32	界面满意度	我认为校园自助打印机界面使用体验很好	重点操作信息凸显	2
	SA2	Q33	形态满意度	我认为校园自助打印机造型设计的很合理		
	SA3	Q34	使用满意度	我愿意继续使用校园自助打印机并推荐给身边的其他人		

图 9 观测变量信息与参考设计策略

Fig.9 Information of observed variables and reference design strategy

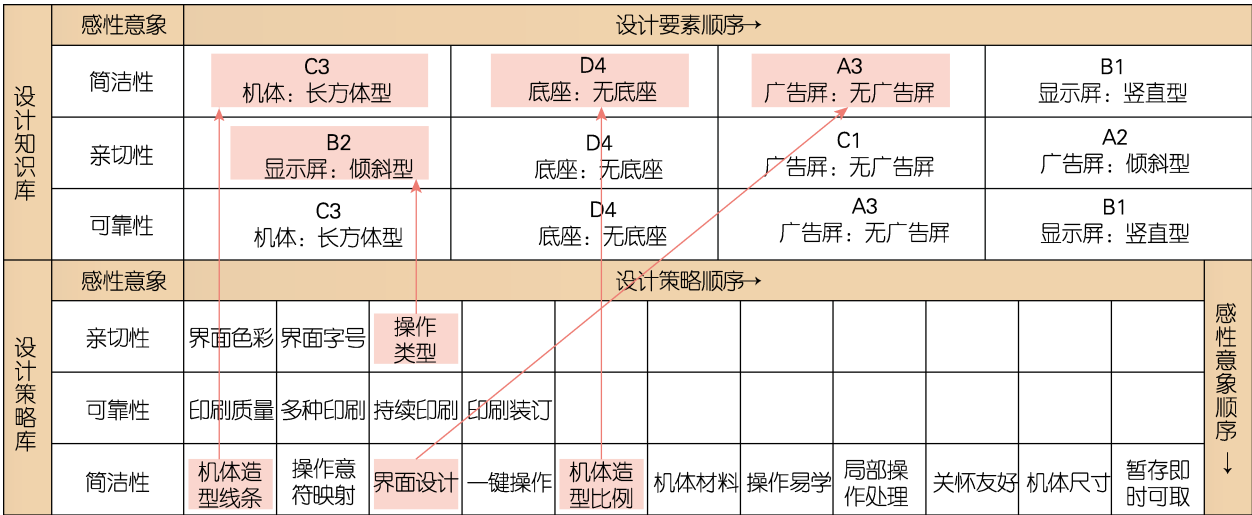


图 10 设计知识和设计策略映射模型

Fig.10 Mapping model of design knowledge and strategy

1) 在“亲切性”中, 设计要求为“操作类型”, 具体表现在显示屏的倾斜度、屏幕放置纵深、操作台高度等方面。

2) 在“可靠性”中, 设计要求为“印刷质量”“多种印刷”“持续印刷”, 具体表现在整体造型稳重、仓体大容量储纸、内部印刷功能模块化, 以及便于检修等方面。

3) 在“简洁性”中, 设计需要造型线条简单、圆润, 操作台形状要能构成向内引导的意符, 扫描台与平面工作台要存在坡度, 纸张出口造型要与即时暂存纸箱的拉手造型一致, 底部要为内嵌式滑轮, 既简洁又便于搬运检修, 机体材料要考虑使用亲肤的软木板, 配合柔和色彩, 让整体自然, 寓意“从树木中取打印纸”, 也呼吁着环保使用。产品形态说明见图 11。

在使用体验对应的设计策略中, 以“有用性”和“体验性”指导设计。

1) 在“有用性”中, 设计要考虑到多渠道印刷、

扫描、打印、复印, 应有多数据接口和操作平台。

2) 在“体验性”中, 则多为针对界面设计的要求, 与“亲切性”的界面色彩和字号相结合。产品使用体验见图 12。



图 11 产品形态说明图

Fig.11 Product morphology description

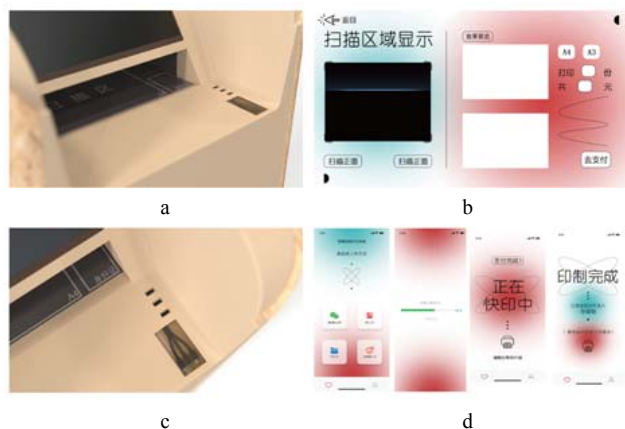


图12 产品使用体验说明图

Fig.12 Product usage experience description

6 结语

为帮助设计者在设计过程中建立与用户沟通的桥梁,深入对用户个体因素在意象决策排序和意象产品形态的研究,通过融合结构方程模型与感性工学的方法,对复合意象下的校园共享打印机设计进行研究。研究结果显示,该融合创新方法能够梳理设计过程中的用户感性意象、产品形态要素、设计信息类目三者间的关系,捕捉用户感性意象形态和用户意象下设计策略的关键点,从而指引校园共享打印机的设计。主要结论如下。

1) 从传统感性工学中获得感性意象,用造型形态构建设计知识库和结构方程模型,将它们与对感性意象进行排序的设计策略库做融合,既从定性方法分析产品形态、意象层级,又从定量方法分析意象与形态间映射、潜在意象重要度排序,从而帮助设计者抓取重点,有针对性地指导设计。

2) 该方法补完了传统感性工学研究和现有校园共享打印机设计的不足,充分考虑了用户实际使用体验中的潜在需求及使用体验中的复杂性与多元性,综合性地考量了影响用户体验的设计要素,为校园共享打印机设计提供了新思路及理论支持。同时,对用户体验的应用研究提供了一定的参考价值。

参考文献:

- [1] 黄耀东,高波,伍玉伟.高校图书馆空间服务现状与分析——以广州大学城高校图书馆为例[J].图书情报工作,2018,62(21):24-33.
HUANG Yao-dong, GAO Bo, WU Yu-wei. Space Service in Academic Library: A Study of Academic Libraries in Guangzhou Higher Education Mega Center[J]. Library and Information Service, 2018, 62(21): 24-33.
- [2] 殷科.基于用户的服务设计创新及其实现[J].包装工程,2015,36(2):9-12.

- YIN Ke. User-based Service Design Innovation and Its Implementation[J]. Packaging Engineering, 2015, 36(2): 9-12.
- [3] 贺雪梅,宋宁.基于用户行为的校园打印中心服务设计[J].包装工程,2020,41(2):166-174.
HE Xue-mei, SONG Ning. Campus Print Center Service Design Based on User Behavior[J]. Packaging Engineering, 2020, 41(2): 166-174.
- [4] 罗意.基于共享理念的校园打印机设计研究[D].桂林:广西师范大学,2019.
LUO Yi. Research on Campus Printer Design Based on Sharing Concept[D]. Guilin: Guangxi Normal University, 2019.
- [5] 王佳慧.基于QFD和SHERPA-FMEA方法的高校自助打印服务设计研究[D].南京:南京理工大学,2020.
WANG Jia-hui. Research on College Self-service Printing Service Design Based on QFD and SHERPA-FMEA Method[D]. Nanjing: Nanjing University of Science and Technology, 2020.
- [6] 苏建宁,江平宇,朱斌,等.感性工学及其在产品中的应用研究[J].西安交通大学学报,2004,38(1):60-63.
SU Jian-ning, JIANG Ping-yu, ZHU Bin, et al. Research on Kansei Engineering and Its Application to Product Design[J]. Journal of Xi'an Jiaotong University, 2004, 38(1): 60-63.
- [7] 丁满,程语,黄晓光,等.感性工学设计方法研究现状与进展[J].机械设计,2020,37(1):121-127.
DING Man, CHENG Yu, HUANG Xiao-guang, et al. Status and Progress of Kansei Engineering Design Method[J]. Journal of Machine Design, 2020, 37(1): 121-127.
- [8] VIJAYAKUMAR K, ROBERT P. Human Factor Index Measurement Using an ISM-SEM-Fuzzy Approach[J]. Sustainability, 2022, 14(13): 1-16.
- [9] KIM W. A Study on the Subjective Feeling Affecting Tactile Satisfaction of Leather in Automobile: A Structural Equation Modeling Approach[J]. International Journal of Industrial Ergonomics, 2021, 84:103617.
- [10] 李树,蒋鹏.基于模糊KANO-SEM模型的用户需求识别方法研究[J].包装工程,2022,43(4):156-162.
LI Shu, JIANG Peng. User Requirements Identification Method Based on Fuzzy KANO SEM Model[J]. Packaging Engineering, 2022, 43(4): 156-162.
- [11] 胡珊,蒋旭,符凯杰,等.基于SEM的交互式公共导识系统体验设计研究[J].图学学报,2020,41(2):204-209.
HU Shan, JIANG Xu, FU Kai-jie, et al. Research on Experience Design of Interactive Public Guidance System Based on SEM[J]. Journal of Graphics, 2020, 41(2): 204-209.
- [12] LAI X, ZHANG S, MAO N, et al. Kansei Engineering for New Energy Vehicle Exterior Design: An Internet

- Big Data Mining Approach[J]. Computers & Industrial Engineering, 2022, 165: 107913.
- [13] 缪晓红. 基于多模式感性测量的产品设计研究[D]. 北京: 北京邮电大学, 2017.
- MIAO Xiao-hong. Research on Product Design Based on Perceptual Analysis[D]. Beijing: Beijing University of Posts and Telecommunications, 2017.
- [14] DASH G, PAUL J. CB-SEM vs PLS-SEM Methods for Research in Social Sciences and Technology Forecasting[J]. Technological Forecasting and Social Change, 2021, 173: 121092.
- [15] 胡珊, 贾琦, 张利艳, 等. 基于结构方程模型的康养智能陪护产品设计[J]. 机械设计, 2021, 38(7): 110-117.
- HU Shan, JIA Qi, ZHANG Li-yan, et al. Intelligent Escort Product Design for Wellness Based on Structural Equation Modeling[J]. Journal of Machine Design, 2021, 38(7): 110-117.
- [16] 贾新明, 刘亮. 结构方程模型与联立方程模型比较[J]. 数理统计与管理, 2008, 27(3): 439-446.
- JIA Xin-ming, LIU Liang. Comparing the Structural Equation Model with the Simultaneous Equation Model[J]. Application of Statistics and Management, 2008, 27(3): 439-446.
- [17] 王新亭, 王灿, 王欢欢, 等. 基于数量化 I 类理论的电动代步车造型设计[J]. 机械设计与制造, 2020(7): 165-169.
- WANG Xin-ting, WANG Can, WANG Huan-huan, et al. Modeling Design of Electric Scooter for the Elderly Based on the Theory of Quantification-I Type[J]. Machinery Design & Manufacture, 2020(7): 165-169.
- [18] 张书涛. 基于感性工学和遗传算法的产品形态智能设计系统研究[D]. 兰州: 兰州理工大学, 2011.
- ZHANG Shu-tao. Research on Product Form Intelligent Design System Based on Kansei Engineering and Genetic Algorithm[D]. Lanzhou: Lanzhou University of Technology, 2011.
- [19] SAURO J. Quantifying the User Experience: Practical Statistics for User Research[M]. San Francisco: Morgan Kaufmann, 2012.
- [20] 吴杨, 吴远征. 基于“云计算”的云打印服务提升对策研究[J]. 科技管理研究, 2014, 34(1): 183-188.
- WU Yang, WU Yuan-zheng. Research on Promoting Strategy of Cloud Print Service Based on "Cloud Computing"[J]. Science and Technology Management Research, 2014, 34(1): 183-188.
- [21] 钟久祥. 面向公共环境的智能自助打印机服务设计研究[D]. 北京: 北京理工大学, 2015.
- ZHONG Jiu-xiang. Study of the Intelligent Self-help Printer Service Design for Public Environment [D]. Beijing: Beijing Institute of Technology, 2015.
- [22] 孙振闯. 基于服务设计理念的自助打印平台设计研究[D]. 成都: 西南交通大学, 2021.
- SUN Zhen-chuang. Research on the Design of Self-service Cloud Printing Platform Based on Service Design Concept[D]. Chengdu: Southwest Jiaotong University, 2021.
- [23] HAIR J F. Multivariate Data Analysis: An Overview[M]. Berlin: Springer, 2011: 904-907.

责任编辑: 蓝英侨