

基于绿色特征的绿色创新产品设计方法

凤羽佳

华东理工大学艺术设计与传媒学院, 上海

收稿日期: 2026年6月15日; 录用日期: 2026年7月31日; 发布日期: 2026年8月11日

摘要

随着可持续发展理念日益受到重视, 产品设计必须同时兼顾绿色性能、功能创新与用户体验。然而, 传统设计方法往往缺乏系统化手段来整合这些需求。本研究提出了一种融合潜在狄利克雷分配(LDA)、TRIZ理论和感性工程(KE)的绿色创新产品设计框架: 首先通过LDA主题建模从在线评论中提取用户需求, 并将其划分为绿色、功能和美学三大维度; 随后运用TRIZ理论解决技术矛盾并生成创新功能模块; 同时借助感性工程将用户的感性偏好转化为产品形态要素; 进一步采用基于人工智能的生成工具生成设计方案, 并结合绿色指标与感性感知因素的加权体系进行评估。该框架通过基于21,812条在线评论的空气净化器案例研究进行了验证, 结果表明所提出的方法能有效整合可持续性、功能性与情感化设计, 为可持续产品开发提供了系统化的解决方案。

关键词

绿色特征, 绿色创新产品设计, TRIZ, LDA

Green Innovative Product Design Method Based on Green Features

Yujia Feng

School of Art Design and Media, East China University of Science and Technology, Shanghai

Received: June 15, 2026; accepted: July 31, 2026; published: August 11, 2026

Abstract

With the growing emphasis on sustainable development, product design must simultaneously address environmental performance, functional innovation, and user emotional experience. However, traditional design approaches often lack systematic methods for integrating these multiple requirements. This study proposes a green innovative product design framework integrating Latent Dirichlet Allocation (LDA), TRIZ theory, and Kansei Engineering (KE). First, user needs are extracted

文章引用: 凤羽佳. 基于绿色特征的绿色创新产品设计方法[J]. 设计进展, 2026, 11(4): 203-217.

DOI: 10.12677/sheji.2026.114019

from online reviews using LDA topic modeling and categorized into green, functional, and aesthetic requirements. TRIZ is then applied to resolve technical contradictions and generate innovative functional modules. Meanwhile, Kansei Engineering translates users' perceptual preferences into product form elements. AI-based generative tools are further employed to produce design alternatives, which are evaluated through a weighted system combining green feature indicators and kansei perception factors. The framework is validated through a case study of an air purifier based on 21,812 online reviews. Results demonstrate that the proposed method effectively integrates sustainability, functionality, and emotional design, providing a systematic approach for sustainable product development.

Keywords

Green Features, Green Innovative Product Design, TRIZ, LDA

Copyright © 2026 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

在 21 世纪的今天,可持续发展已成为全球关注的焦点。可持续发展的目标是在考虑到环境和资源限制的同时增加未来人类的福祉,其中特别需要关注环境的脆弱性[1]。随着可持续设计目标的不断体现,设计行业逐渐越来越关注消费者的行为[2]、消费者与产品的互动[3]、健康的生活方式[4]以及生态环境以外的其他方面。绿色设计作为一种注重环境保护和可持续性设计的理念,已经在全球范围内得到了广泛的关注和应用[5]。因此,随着消费者日益关注环境的影响,产品设计也面临着绿色设计与可持续设计方面的转型[6]。消费者变得不仅要求产品具备出色的功能和外观,还越来越关注其环保性和可持续性[7]。然而,传统的产品设计往往侧重于单一方面的优化,这种局限性不仅限制了产品的市场竞争力,也阻碍了可持续发展目标的实现。

因此,本文提出一种基于 TRIZ 和绿色特征的产品设计方法,该方法旨在结合环境用户需求、功能需求和外观设计需求,为产品设计提供一种新的思路和方法,期望能够填补现有研究在绿色设计与外观设计结合方面的空白,为产品设计领域提供新的理论支持和实践指导。

2. 文献综述

本章全面概述了绿色创新产品设计、LDA 主题建模、TRIZ 和 KE 的研究进展,以促进它们在绿色创新产品中的应用。

2.1. 绿色创新产品设计

绿色创新产品设计是一种将环境保护和资源节约的理念融入产品开发过程中的方法[8]。这种设计不仅关注产品的功能和性能,还强调减少产品在其整个生命周期中对环境的负面影响[9]。绿色设计的目标是通过提高产品的生态效率和环境友好性来增强其市场竞争力和消费者满意度,同时促进可持续发展。

绿色创新产品设计涉及产品的材料选择、可拆卸性、可升级性和可回收性,这些特性有助于延长产品的使用寿命,减少废物产生[10]。生命周期评估(LCA)是评估产品设计环境影响的重要工具,它帮助设计师识别产品开发过程中的环境热点。联合国可持续发展目标(SDGs)的提出,进一步强调了绿色创新产品设计在全球可持续发展中的作用[11]。

2.2. 绿色特征

欧盟首先提出了生态产品的设计要求, 包括: (1) 产品的重量和体积, (2) 使用回收材料, (3) 在产品的整个生命周期内消耗的能源、水和其他资源, (4) 使用被归类为对健康或环境有害的物质, (5) 需要适当使用和维持的消耗品的数量和性质, (6) 易于再利用和回收, (7) 旧组件的组合, (8) 避免不利于组件和整个设备的再利用和回收的技术解决方案, (9) 延长产品寿命, 表现为最短保证寿命、备件稀缺可用性、模块化、可升级性、可修复性, (10) 产生的废物和危险废物流量, (11) 排放到空气中, (12) 排放到水中, 以及(13) 排放到土壤中[12]。

世界可持续发展工商理事会 WBCSD 将生态效率描述为旨在创造具有更多价值的东西, 他们提出了七种可以纳入产品设计的方法: (1) 降低材料强度, (2) 最大限度地降低能源强度, (3) 减少有毒物质的扩散, (4) 进行回收, (5) 利用可再生能源, (6) 延长产品耐用性, 以及(7) 增加或提高服务强度[13]。

Ghazali 等人(2021 年)也进行了类似的研究, 通过查阅 45 篇文献, 将其总结为与产品部件设计相关的 10 个绿色产品特征, 它们是: (1) 能源效率; (2) 减少有害物质; (3) 提供产品服务; (4) 易于升级; (5) 可生物降解材料; (6) 可回收材料; (7) 减轻重量; (8) 易于维护; (9) 可回收材料; (10) 易于重复使用[14]。Marcon, A 等人则使用系统文献综述辅助软件(StArt-State of the Art through Systematic Review tool)来协助组织和选择文章, 通过检索几千篇文章进行绿色产品属性的定义, 并将这些属性进行分类, 将 73 个单独的绿色产品属性分为 18 个属性组[15]。

2.3. 在线评论和 LDA

在线评论作为消费者反馈的一种形式, 为产品设计提供了宝贵的数据资源。在线评论的研究主要集中在顾客感知分析、产品推荐和产品特征挖掘[16]。

基于 Python 的网络爬虫与 NLP 自然语言处理方法相结合可以挖掘消费者评论文本和进行情绪分析。Latent Dirichlet Allocation (LDA)是一种主题模型, 也是一种非监督式机器学习技术, 它主要从大量文本数据中发现隐含的主题[17]。LDA 模型认为每篇文档都由多个主题混合而成, 而每个主题则由多个词汇按照一定概率分布构成。该模型基于贝叶斯统计理论, 通过构建一个三层结构(文档 - 主题 - 词汇)的生成模型来工作。通过 LDA 提取文档的主题特征, 可以辅助进行文本的分类和聚类操作[18]。

2.4. TRIZ

TRIZ 是发明问题解决理论(Theory of Inventive Problem Solving)的缩写, 起源于俄语“теории решения изобретательских задач”, 缩写为“ТРИЗ” [19]。这是一种系统化的方法论, 用于解决发明和创新问题。TRIZ 理论提供了多种工具, 如矛盾矩阵、76 标准解答、ARIZ (Algorithm for Inventive Problem Solving 发明问题解决算法)及标准解等, 帮助解决设计中的冲突和问题[20]。它通过分析专利和技术创新, 揭示了创造发明的内在规律和原理, 专注于澄清和强调系统中存在的矛盾, 旨在完全解决这些矛盾, 实现最终的理想解决方案[21]。在产品设计领域, TRIZ 被广泛应用于创新解决方案的生成, 其不仅能够帮助解决技术矛盾, 还能够激发创新思维, 推动产品技术的突破。

2.5. 感性工学

感性工学(Kansei Engineering)是一门介于设计、工程和其他学科之间的综合性学科[22]。它起源于日本, 旨在通过科学的方法捕捉和量化人的感觉和情感, 并将这些因素应用于产品开发中[23]。感性工学认为人的情感是一个动态的过程, 会随着时代、潮流、个性的变化而变化, 但这些情感的基本过程是通过测量和分析进行捕捉的[24]。它的核心在于理解消费者对产品的情感反应, 并将这些反应转化为设计

元素，以创造出能够引起用户情感共鸣的产品[25]。

感性工学关注产品设计如何影响人的情感反应和感官体验，以及如何通过设计提升产品的感性品质。其应用包括色彩心理学、形态心理学等领域，旨在通过科学的方法提升产品的感性价值。例如，Nagamachi [26]通过感性工学的方法，研究了产品形态对用户情感的影响，并提出了一系列设计原则以提升产品的感性品质。

3. 研究方法

3.1. 框架

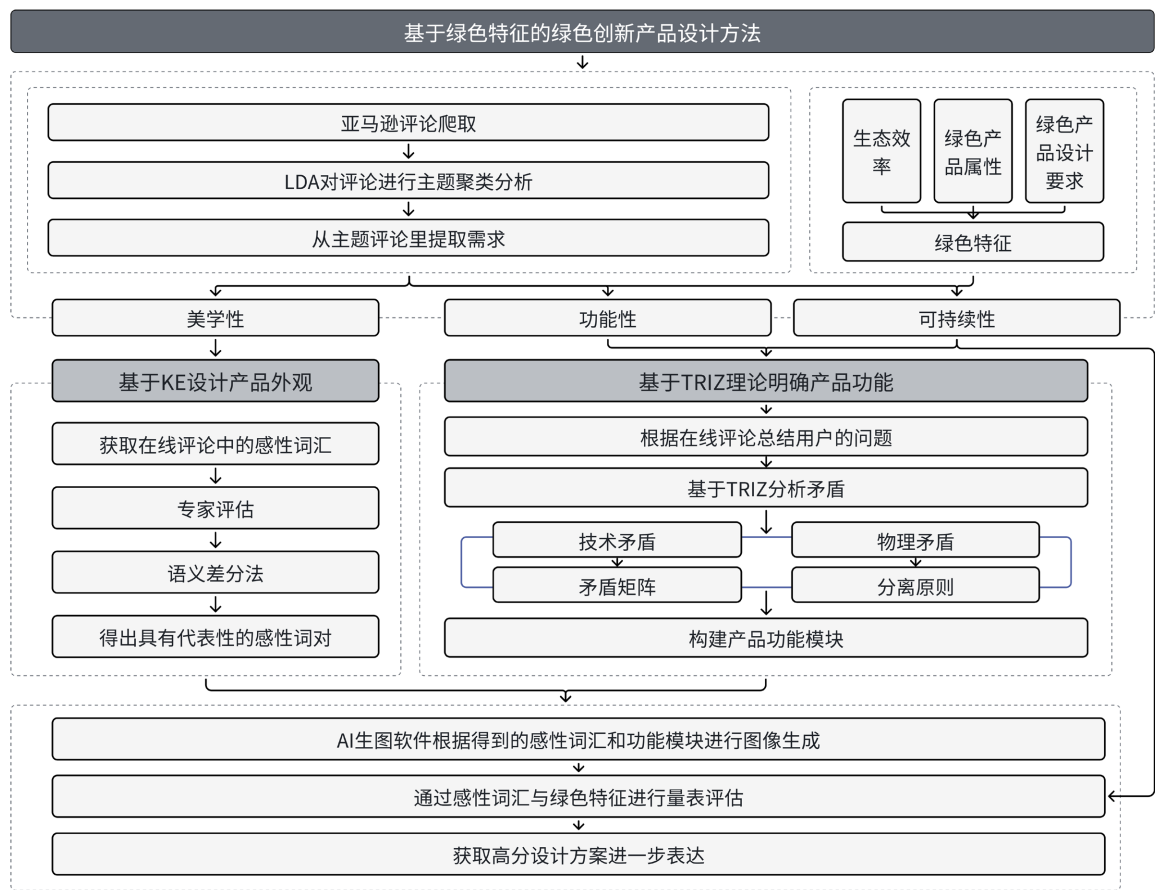


Figure 1. Research framework of green innovative product design methodology

图 1. 绿色创新产品设计方法的研究框架^①

本研究构建了一个综合框架(见图 1)，旨在通过 TRIZ 方法和绿色特征分析，并利用在线评论和感性工学，开发出一种绿色创新产品设计方法。该框架分为以下几个步骤：首先，爬取电商评论，利用 LDA 对评论进行主题聚类，提取用户需求。同时，从绿色产品设计要求(包括生态效率、绿色产品属性、绿色产品设计要求)中提取绿色特征。然后，将产品需求分为美学性、功能性和可持续性三个方面。在美学性方面，基于 KE 设计产品外观，获取在线评论中的感性词汇，进行专家评估和语义差分法，得出具有代表性的感性词对。在功能性方面，基于 TRIZ 发明问题解决理论明确产品功能，根据在线评论总结用户问题，通过 TRIZ 分析技术矛盾和物理矛盾，构建产品功能模块。最后，利用 AI 生图软件根据得到的感性

词汇和功能模块进行图像生成，通过感性词汇与绿色特征进行量表评估，获取高分设计方案并进一步表达。若 AI 生成的方案在评估中未达到绿色特征阈值，则返回 TRIZ 阶段重新调整功能模块，或回到 LDA 阶段补充需求挖掘。

3.2. 绿色特征提取

绿色特征提取是识别和定义产品绿色属性的过程，本研究通过整合世界权威绿色可持续机构的可持续相关要求和文献回顾，根据产品生命周期的顺序，分类得到的绿色特征见表 1。

Table 1. Green features

表 1. 绿色特征

生产制造	使用维护	终结处理
1. 易于加工和装配	1. 高耐用性	1. 易于分解
2. 更少的能源与材料消耗	2. 易于重复使用	2. 易于安全处置
3. 可持续材料的使用	3. 易于清洁	3. 零部件与材料的可回收性
	4. 拆装方便	
	5. 易于维护和修理	

3.3. 在线评论聚类 and 用户需求分析

本研究利用 LDA 主题模型对在线产品评论进行聚类分析，以识别消费者关注的关键主题和情感倾向。使用 Python 编程语言编写的脚本来实现 LDA 主题聚类。在此框架中，文本预处理和主题发现组件使用程序自动执行，而主题命名和分析过程则手动执行。首先，使用爬虫工具抓取产品的在线评论生成表格文档。接着，需要对收集到的评论数据进行预处理，通过代码运行，删除重复的、空白的和非英文的评论，以确保分析数据的质量和可信度。其次，使用 LDA 从在线评论语料库中提取主题。

步骤 1. 数据准备。使用数派 isellerpal 从亚马逊的购物平台抓取在线评论。编写 python 代码完成评论的预处理。

步骤 2. 获取 CR。处理后的用户在线评论数据被运用到 LDA 模型中进行主题提取。

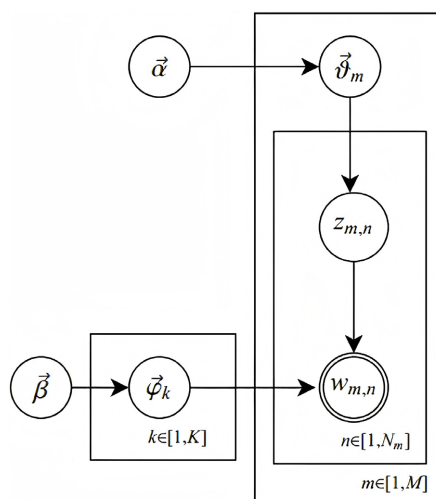


Figure 2. LDA graphical model

图 2. LDA 图形模型^②

LDA 图形模型如图 2 所示。该模型包括以下几个主要步骤：(1) 参数初始化：为每个主题的词分布 β 和每篇文档的主题分布 θ 设置初始值。(2) 文档生成：对于每篇文档，根据主题分布 θ 选择主题，然后根据所选主题的词分布 β 选择词汇，构建文档[27]。(3) 使用变分贝叶斯推断[28]或吉布斯抽样等方法来更新每个文档的主题分布 θ 和每个主题的词分布 β 。

困惑度计算如下，其中 $p(W_d)$ 是测试集中每个单词出现的概率。

$$\text{Perplexity}(D_{\text{test}}) = \exp \left\{ - \frac{\sum_{d=1}^M \ln(p(W_d))}{\sum_{d=1}^M N_d} \right\} \quad (1)$$

计算公式为 $p(W_d) = p(z|d) \times p(w|z)$ ，其中 $p(z|d)$ 是文档中每个主题出现的概率。 $p(w|z)$ 是给定主题下词在字典中出现的概率。 d 是语料库 M 中词汇项的个数，它是一个多项式随机变量，其值随文档个数的变化而变化。通过 LDA 模型来分析用户的在线评论，我们可以从多个方面获得 CR。

一致性计算如下，其中， $D(v)$ 表示 v 的文本频率， $D(v, v')$ 表示与 v 共现的文本频率， $V^{(t)} = (v_1^{(t)}, \dots, v_M^{(t)})$ 表示主题 t 中最有可能的一组代表词。该指标值越大，主题识别效果越好。

$$\text{Coherence}(t; V^{(t)}) = \sum_{m=2}^M \sum_{l=1}^{m-1} \log \frac{D(v_m^{(t)}, v_l^{(t)}) + 1}{D(v_l^{(t)})} \quad (2)$$

步骤 3. 对 CR 进行分类并定义问题。根据 LDA 主题模型分类得到的数据，结合绿色特征需求，将 CR 进行版块分类。同时，建立从 LDA 主题词到用户需求 CRs 的映射规则：(1) 绿色关联规则：只要主题词与表 1 中的绿色特征关键词(如 “energy” “durable” “recycle”)存在语义关联，就将其归入绿色需求；(2) 同现规则：若主题高频词中同时出现功能描述词(如 “noise” “filter”)与情感评价词(如 “easy” “disappointed”)，则将其归类为功能需求 CR；(3) 美学归类规则：涉及外观、形态、色彩及空间适配的词汇(如 “design” “compact” “sleek”)归入美学性需求。例如 “dust” “filter” “clean” “pet” 等词与过滤清洁直接相关，依据绿色关联规则将其定义为绿色需求。

3.4. 运用 TRIZ 以得到功能模块

在确定了绿色特征和消费者需求 CR 后，本研究通过 TRIZ 提供的解决技术矛盾的工具和方法，来解决设计中的矛盾并生成创新的功能模块。

步骤 4. 运用 TRIZ 解决矛盾。定义矛盾的类型，根据 TRIZ 理论中的冲突问题解决方法解决冲突[29]。技术冲突需要结合工程参数定义改进参数和恶化参数，并将其代入矛盾矩阵，得到相应的发明原则。相比之下，物理冲突使用分离原则来获得相应的发明原则。工程参数见表 2，发明原则见表 3。

Table 2. TRIZ engineering parameters
表 2. TRIZ 工程参数

工程参数			工程参数		工程参数
1	移动物体的重量	14	强度	27	可靠性
2	静止物体的重量	15	移动物体的耐久性	28	测量精度
3	移动物体的长度	16	静止物体的耐久性	29	制造精度
4	静止物体的长度	17	温度	30	对物体有害的因素
5	移动物体的面积	18	亮度	31	有害副作用
6	静止物体的面积	19	移动物体消耗的能量	32	可制造性

续表

7	移动物体的体积	20	静止物体消耗的能量	33	使用便利性
8	静止物体的体积	21	功率	34	可维修性
9	速度	22	能量浪费	35	适应性
10	力	23	物质浪费	36	设备复杂性
11	张力、压力、应力	24	信息丢失	37	控制复杂性
12	形状	25	时间浪费	38	自动化水平
13	物体的稳定性	26	物质数量	39	生产力

Table 3. TRIZ invention principles
表 3. TRIZ 发明原则

发明原则		发明原则		发明原则	
1	分割	15	动态特性	29	气动或液压结构
2	提取	16	未达到或过度的作用	30	柔性膜或薄膜
3	局部质量	17	空间维数变化	31	多孔材料
4	非对称	18	机械振动	32	改变颜色
5	合并	19	周期性作用	33	同质性
6	多用性	20	有益作用的连续性	34	抛弃和再生部件
7	嵌套	21	快速通过	35	参数变化
8	重量补偿	22	变害为利	36	相变
9	预先反作用	23	反馈	37	热膨胀
10	预先作用	24	中介物	38	强薄化
11	预补偿	25	自服务	39	复合材料
12	等势	26	复制	40	动态化
13	反向作用	27	一次性用品		
14	曲率增加	28	替代机械系统		

步骤 5. 获得创新产品功能模块和用途的具体解决方案。基于第 4 步中产生的创新原则，开发具体的解决方案，并规划产品的功能模块和使用方法，同时满足环保 CR 和用户友好设计。

3.5. 基于感性工学的 AI 方案生成与评价

在这个阶段，利用 KE 从在线评论中得到高频和充满情感的感性工学词汇组，同时利用 TRIZ 生成的解决方案，进一步整合成为具体的设计概念。通过 AI 进行方案生成，通过输入产品设计提示词，生成不同类型的多种方案。当然，需要在 AI 生图工具(如 Midjourney)上对生成的设计进行微调以更符合得到的功能点。方案生成后，邀请产品领域的设计专家进行评审，验证设计方案的可行性和市场接受度。

步骤 6. 获取感性工学单词并提取产品感知因子。从在线评论中选择感性工学词，使用语义差分方法对用户首选的感性词进行聚类。

步骤 7. AI 生成方案并进行专家评估。将因子分析得到的感知因子进行语义拓展，建立描述词库；其次，结合产品功能模块确定形态约束；最后，按照 AI 提示词格式组织为 “[主体描述]+[形态细节]+[材质光影]+[氛围风格]” 的结构，通过 AI 生成几个设计方案。并邀请专家根据步骤 6 得到的感性词汇组和

之前得到的绿色特征进行评估分析，选择同时具有符合功能需求、美学和绿色设计要求的设计方案。

4. 案例研究

1823 年，约翰和查尔斯·迪恩发明了一种新型烟雾防护装置，这是现代空气净化器的雏形。进入 21 世纪以来，新技术不断涌现，空气净化器也得到了更先进的发展，高效率的 HEPA 滤器和活性炭过滤器被广泛采用，光触媒技术、紫外线杀菌等新技术也被应用于空气净化器中[30]。空气净化器能够有效去除空气中的有害物质和细菌，为用户提供一个健康、清新的呼吸环境[31]。随着环境污染问题的日益严重，人们对空气质量的关注度不断增加[32]，对清洁空气的需求也日益迫切[33]。目前，空气净化器虽然已经为改善室内空气质量提供了有效解决方案，但其在绿色设计方法领域的研究几乎很少与功能和美学结合。

基于上述原因，本研究通过以家庭中广泛使用的空气净化器为重点的案例研究，验证了所提出的绿色设计方法的科学严谨性和实际可行性。本章全面介绍了该方法在空气净化器设计中的应用过程。

4.1. 空气净化器的在线评论挖掘和 CR 分析

步骤 1. 数据准备。选择数派 isellerpal 从亚马逊的购物平台抓取最畅销的三款空气净化器产品的在线评论。获取和分析获得市场认可的畅销款的用户评论极具价值和代表性。共收集 21,812 条在线评论，并以“xlsx.”格式保存。为了数据分析的准确性，需要对原始数据进行预处理，首先要删除空白和非英文评论，得到 19,209 条评论。其次，对英文文本预处理，去除标点和数字并分割单词、去除停用词，然后使用 nltk 库的 WordNetLemmatizer 对数据中的单词进行词形还原。

步骤 2. 获取 CR。先进行主题获取和分类，主题数量 K 根据 Perplexity 方程确定。如图 3 所示，当主题数为 7 时，困惑度相对较低，一致性相对较高，因此令 K = 7。使用 sklearn 库在 python 中构建 LDA 模型，其中 α 和 β 设置为主题数量的倒数。打印出每个主题的前 25 个特征词，以确定每个主题中权重更高、代表性更强的词(结果见表 4、图 4)。

步骤 3. 对 CR 进行分类并定义问题。根据 LDA 主题模型分类得到的数据，结合绿色特征需求，最终将 CR 分为美学性、功能性和可持续性三大版块。

根据在线评论，表 5 概述了用户在绿色需求、外观需求和功能需求中面临的问题。

Table 4. Theme extraction results
表 4. 主题提取结果

主题	主题标签	主题高频词	主题摘要
Topic 1	使用环境	quiet quality love easy bedroom difference recommend job size nice highly clean perfect price happy purchase bought excellent feel super space unit compact living design	外观
Topic 2	安静睡眠	noise sleep setting night light level fan mode quiet loud white speed sound low bedroom noisy love hear nice bit lowest timer sleeping machine pretty	功能
Topic 3	服务体验	month review unit day fan started return noise customer week service bought time amazon received item disappointed company issue sound loud ago stopped update couple	功能
Topic 4	清洁效果	dust filter clean lot month money pet week house hair dog dander difference dusty bedroom bought running noticed particle time worth day help cleaning vacuum	绿色
Topic 5	滤网更换	filter unit plastic light easy change time month replacement price expensive box model larger remove replace oil expected instruction purifier red brand bought device control	功能
Topic 6	异味去除	smell smoke odor house cat apartment bought day box clean dog bedroom litter fresh hour cooking living rid difference kitchen live door running remove time	功能
Topic 7	过敏抵抗	allergy night bought bedroom sleep day difference wake nose cat helped morning feel breathing time recommend asthma breathe son noticed bad sneezing love stuffy dog	功能

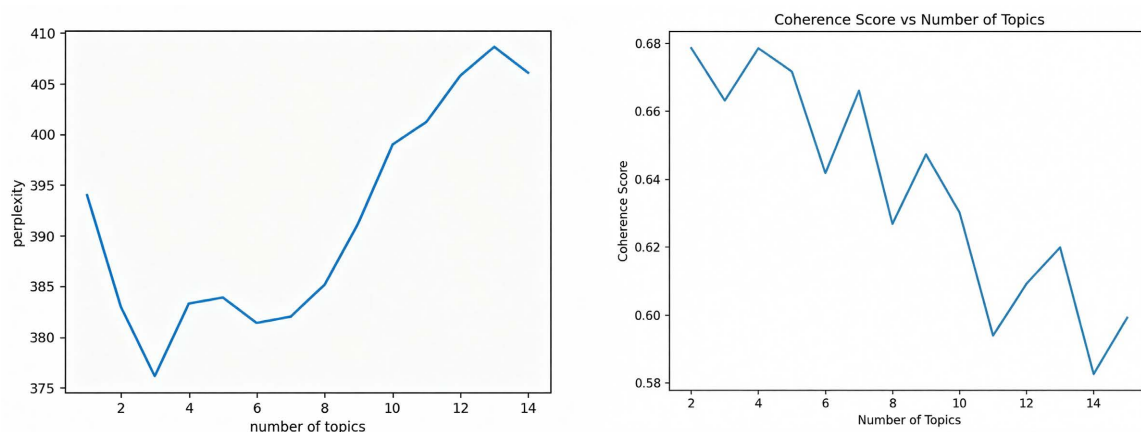


Figure 3. Relationship between K value and perplexity/consistency
图 3. K 值和困惑度/一致性的关系^①

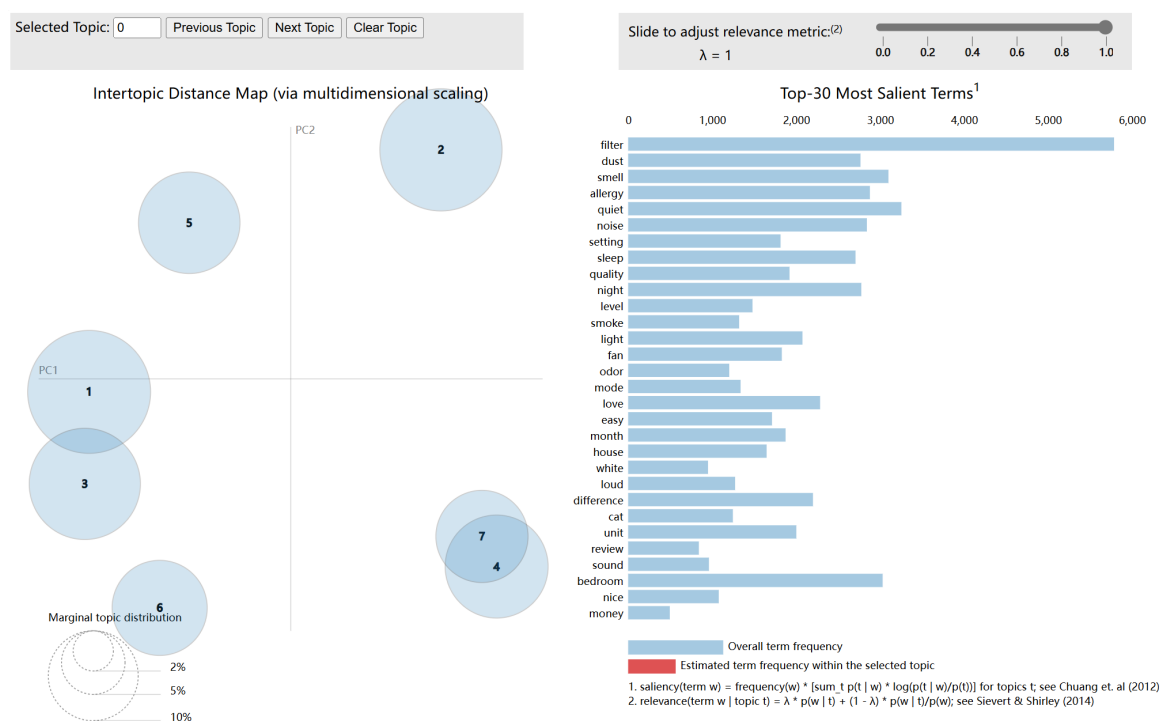


Figure 4. Theme extraction results
图 4. 主题提取结果^①

Table 5. CR and problem definition summary
表 5. CR 和问题定义摘要

类型	编号	CR 的定义	问题定义
绿色需求	CR1	滤网寿命	滤网使用寿命短，更换不方便
	CR2	空气净化效率	过滤系统不够强，导致室内 PM2.5 仍然处于污染状态
	CR3	节能	需要消耗很多的资源与能源
外观需求	CR4	与环境融合	新风系统安装通常在装修初期进行，对房屋结构有一定要求，可能影响美观
	CR6	体积与便携性	需要铺设全屋，安装位置固定，不够灵活

续表

功能需求	CR7	噪音控制	噪音水平可能会影响生活
	CR8	智能互联	操作界面复杂，无法连接网络
	CR9	过滤材料更换	用户更换过滤材料不方便

4.2. 建立新风空气净化器的功能模块

步骤 4. 分析问题并生成通用解决方案。根据表 5 中的问题定义和 TRIZ 理论的工程参数，结合表 2 中 39 个工程参数，将定义的问题转化为工程参数，以便后续集成到矛盾矩阵中求解。结果如表 6 所示。

Table 6. TRIZ engineering parameters corresponding to the problem
表 6. 与问题对应的 TRIZ 工程参数

编号	问题定义	产品特征	TRIZ 工程参数
CR1	滤网使用寿命短，更换不方便	滤网	16. 静止物体的耐久性
		自动清洁装置	38. 自动化程度
CR2	过滤系统不够强， 导致室内 PM2.5 仍然处于污染状态	杀菌灯	21. 功率；26. 物质的数量
		过滤结构	27. 可靠性
CR3	需要消耗很多的资源与能源	电机	19. 运动物体的能量消耗；22. 能量浪费
CR4	新风系统的安装可能影响房屋美观	外观	12. 形状
CR6	需要铺设全屋，安装位置固定，不够灵活	体积	8. 静止物体的体积
CR7	噪音水平可能会影响生活	风扇	30. 对象生成的有害因素
CR8	操作界面复杂，无法连接网络	控制面板	36. 设备复杂性
		传感器	37. 监测和测量困难；38. 自动化程度
CR9	用户更换过滤材料不方便	抽拉把手	33. 易于操作

步骤 5. 获得创新产品功能模块和用途的具体解决方案。技术冲突需结合工程参数定义改进参数和恶化参数，并将其代入矛盾矩阵得到相应的发明原则。物理冲突使用分离原则来获得相应的发明原则。

Table 7. TRIZ theory contradiction and conflict problem solving methods
表 7. TRIZ 理论矛盾和冲突问题解决方法

类型	矛盾	改进参数	恶化参数	创新原则
技术矛盾	空气过滤效率 - 节能	22. 可靠性	28. 能量损失	7. 嵌套原理；21. 快速通过物质场的原理
	噪音控制 - 大风量运行	12. 噪音	25. 时间损失	13. 反向作用原理；3. 局部质量原理
	滤网自动清洁 - 便于更换	40. 自动化程度	35. 复杂性	28. 替代机械系统原理；1. 分割原理
物理矛盾	设备体积 - 净化范围	整体与部分分离		24. 中介物原理；27. 一次性用品原则 (此情境下可引申为“模块化替换”)

见表 7，第一个技术矛盾是空气净化效率和节能问题，为解决这个矛盾，可以运用发明原则 7. 嵌套原理，设计节能模式或智能控制系统，根据空气质量自动调节功率；和发明原则 21. 快速通过物质场的原理，探索新型过滤材料或技术，以提高过滤效率同时降低能耗。第二个矛盾是噪音控制和大风量运行。空气在机器内部流动时和通过滤网时会产生阻力和噪声[34]，尤其是在大风量运行时。可以运用原则 13.

反向作用原理：尝试通过反向设计(如使用静音技术或改变气流路径)来降低噪音，同时保持足够的空气流量；原则 3. 局部质量原理，优化风扇或气流通道的设计。第三个矛盾是滤网自动清洁和便于更换。可以使用原则 28. 替代机械系统原理，使用可自清洁的滤网技术或设计；原则 1. 分割原理，将滤网设计为可拆卸和易于清洁的部分，以便用户根据需要轻松进行清洁。第四个矛盾是设备体积 - 净化范围。作为物理矛盾，可以使用整体与部分分离的方式。利用发明原则 24. 中介物原理，使用可调节的风扇速度、气流通道或模块化设计，以适应不同大小的房间和净化需求；和发明原则 27. 一次性用品原则，设计可替换或可扩展的模块，以便用户根据需要增加净化范围。

结合本发明的推荐原理和生成的具体解决方案，总结了空气净化器的功能模块和用途。功能模块包括机身模块、控制模块、显示模块、出风模块、进气模块、支撑模块和过滤模块。

4.3. 基于感性工学的空气净化器的造型

步骤 6. 获取感性工学单词并提取产品感知因子。为了获得用户对空气净化器视觉图像的偏好，从关于外观的在线评论中选择高频度出现及充满情感的 15 个初始感性工学词组成感性工学词对，见表 8。

Table 8. Extraction of emotional word pairs
表 8. 感性词对提取

感性词对	感性词对
quiet-noisy (安静的 - 吵的)	Simple-complex (简约的 - 繁复的)
nice-nasty (美好的 - 糟糕的)	technological-nature (科技的 - 自然的)
clean-dusty (干净的 - 脏的)	Modern-Traditional (现代的 - 传统的)
easy-difficult (易用的 - 难用的)	efficient-basic (高效的 - 基础的)
expensive-cheap (昂贵的 - 便宜的)	sleek-square (流线型的 - 方正型的)
compact-bulky (紧凑的 - 笨重的)	intimate-alienating (亲切的 - 疏离的)
Fresh-stuffy (新鲜空气的 - 通风不畅的)	

选择了 18 位具有五年以上设计经验的设计师(其中 8 位家中有空气净化器)，加上 37 名空气净化器用户，共 55 人参与了调查。采用 7 点 SD 法进行无时间限制的主观评分。将结果导入 SPSS 软件进行因子分析和降维，得到 3 个感知因子：易用的、安静的、现代的。

步骤 7. AI 生成方案并进行专家评估。运用 AI 生图软件针对步骤六得到的三个感性词汇，加上之前得到的产品功能模块进行图像生成。选出 5 个有代表性的空气净化器样式，通过绿色特征与感性词汇进行量表评估。共邀请了 12 名相关用户进行评估，其中，1 分表示非常不符合，5 分表示非常符合，经过标准化处理后，评估结果如表 9 所示。

本研究参考了 Rau 等[6]在绿色产品设计评估中的处理方式，并采用层次分析法(AHP)邀请 5 位绿色设计领域的专家进行权重判定。专家问卷要求对绿色特征、功能创新与感性美学三个准则进行两两比较，经一致性检验(CR = 0.046 < 0.1)后，得到绿色特征相对权重为 0.7，感性工学为 0.3。

根据统计分析结果，第一款空气净化器的设计评价价值优于其他四种。由此，我们选择进一步设计实现该款空气净化器。最终产品的功能模块和外观设计符合在线评论中确定的用户需求。在外观设计上，它采用了环保材料，加之技术上无滤网、自清洁等特点，符合了绿色健康、可持续发展的社会需求。产品可根据室内数据自动调节风量，确保室内空气始终保持优质状态。其次，它提供一键智能自清洗，并拥有简单易懂的操作界面和智能显示屏的实时显示。该空气净化器恒定的高效净化效率、更低压降的净化过程等带来低能耗，以及全生命周期的节材、节水、节能、节约人力，减少了碳足迹和环境危害。

Table 9. AI image generation evaluation
表 9. AI 生图评估

特征项						
绿色特征 评估	易于加工和装配	4.0	3.4	3.9	3.6	3.1
	更少的能源与材料消耗	3.1	3.8	2.6	3.6	3.1
	可持续材料的使用	3.9	3.4	3.6	3.5	3.3
	高耐用性	4.6	4.3	4.5	3.8	4.3
	易于重复使用	3.6	3.0	2.9	2.8	2.6
	易于清洁	4.3	3.6	3.6	3.5	3.4
	拆装方便	3.5	3.3	3.5	2.8	2.4
	易于维护修理	3.9	4.4	3.9	3.3	3.9
	易于分解	4.4	4.4	3.9	4.1	4.0
	易于安全处置	4.3	4.4	3.9	3.8	4.0
感性工学 评估	零部件与材料的可回收性	4.3	4.5	4.3	4.1	3.9
	易用的	4.4	4.8	4.3	3.9	4.3
	安静的	4.0	3.9	3.5	3.9	3.5
评分拟合(绿色特征*0.7 + 感性工学*0.3)		4.10	3.95	3.73	3.63	3.56

5. 结果与讨论

本研究通过构建基于绿色特征、TRIZ 理论、LDA 主题建模以及感性工学的综合设计框架，开发出一款绿色创新空气净化器。该方法通过对在线评论的挖掘与分析，识别用户在绿色需求、功能需求和外观需求方面的关键问题，并借助 TRIZ 矛盾矩阵和发明原则解决了设计中的技术与物理矛盾，提出了创新的功能模块。在感性工学方面，基于高频感性词汇的 AI 方案生成与评估，进一步优化产品的外观设计，使其在满足绿色特征的同时，具备了易用性、安静性和现代感等用户期望的感性品质。最终产品的绿色特征评估和感性工学评估结果表明，该设计在原材料用量、可回收性、产品耐用性等方面表现优秀，同时在易用性、安静性和现代感上也获得了较高的用户满意度。

本研究的创新性体现在以下方面：其一，通过 LDA 与 TRIZ 结合，将用户需求转化为可落地的技术解决方案；其二，引入感性工学量化用户情感需求，使绿色设计兼具功能性与美学价值；其三，提出“绿色特征 - 功能模块 - 感性评估”的闭环设计流程，为产品开发提供了系统性工具。

本研究也存在以下局限性：第一，本研究以空气净化器为案例进行验证，虽然具有代表性，但不同产品类别(如可穿戴设备、大型家电)在绿色特征、用户感知及技术约束上存在显著差异，框架的普适性仍需多案例检验。第二，小样本评估的偏差。在感性工学评估环节，受试者共 55 人，AI 方案最终评估 12 人，样本量相对有限，可能导致评估结果的主观偏差。第三，AI 生成模型的黑盒特性。Midjourney 等生成式 AI 模型的内部决策机制不透明，设计师难以完全控制输出结果与预期功能模块的精确对应关系，存在生成方案与工程约束脱节的风险。第四，本研究侧重于概念设计阶段，尚未将制造成本、供应链限制

及批量生产工艺纳入评估体系。

6. 总结

本研究针对传统产品设计方法在绿色与美学需求整合中的不足，提出并初步验证了一个整合性的绿色创新设计概念框架，该框架融合了 TRIZ、LDA 与感性工学。通过新风空气净化器的案例探索，该方法在环境友好、功能优化与用户情感需求的协同设计方面展现出初步可行性。主要结论如下：

(1) 用户需求驱动设计：基于 LDA 的在线评论分析能够精准捕捉消费者对绿色、功能与美学的核心诉求，为设计目标提供数据支撑。

(2) 矛盾解决与功能创新：TRIZ 理论通过技术矛盾与物理矛盾分析，生成嵌套式节能模块、静音风扇等创新方案，有效平衡了环保与性能冲突。

(3) 感性价值量化：感性工学结合 AI 生图技术，将抽象的用户情感(如“现代”“易用”)转化为具体的设计元素，提升了产品的市场接受度。

(4) 综合评估体系：通过绿色特征与感性工学的加权评分，实现了设计方案的多维度优化，为决策提供科学依据。

本研究为绿色产品设计领域提供了概念性的理论支持与实践参考，但其应用范围与算法精度仍有待拓展，未来研究可从以下方向深入：其一，开发半自动化的 CRs 映射工具，建立从 LDA 主题词到设计需求的标准化转换规则库，降低人工解读的主观性；其二，建立考虑工程约束(如结构强度、模具分模、材料成本)的 AI 设计生成模型，通过引入可制造性设计(DFM)规则约束 AI 输出，提升方案的工程可行性；其三，在企业环境中开展实地应用研究，跟踪框架在实际产品开发流程中的迭代效率、成本效益及设计师接受度，以验证其产业化价值。

注 释

①图片来源：作者自绘

②图片来源：参考文献[16]

参考文献

- [1] Ma, F., Wang, H., Tzachor, A., Hidalgo, C.A., Schandl, H., Zhang, Y., *et al.* (2025) The Disparities and Development Trajectories of Nations in Achieving the Sustainable Development Goals. *Nature Communications*, **16**, Article No. 1107. <https://doi.org/10.1038/s41467-025-56076-6>
- [2] Irizar-Arrieta, A., Casado-Mansilla, D., Garaizar, P., López-de-Ipiña, D. and Retegi, A. (2020) User Perspectives in the Design of Interactive Everyday Objects for Sustainable Behaviour. *International Journal of Human-Computer Studies*, **137**, Article 102393. <https://doi.org/10.1016/j.ijhcs.2019.102393>
- [3] Wever, R., van Kuijk, J. and Boks, C. (2008) User-Centred Design for Sustainable Behaviour. *International Journal of Sustainable Engineering*, **1**, 9-20. <https://doi.org/10.1080/19397030802166205>
- [4] Ludden, G.D.S. and Offringa, M. (2015) Triggers in the Environment. Increasing Reach of Behavior Change Support Systems by Connecting to the Offline World. *Proceedings of the Proceedings of the Third International Workshop on Behavior Change Support Systems*, Chicago, 3 June 2015, 7-16.
- [5] Batwara, A., Sharma, V., Makkar, M. and Giallanza, A. (2022) An Empirical Investigation of Green Product Design and Development Strategies for Eco Industries Using Kano Model and Fuzzy AHP. *Sustainability*, **14**, Article 8735. <https://doi.org/10.3390/su14148735>
- [6] Rau, H., Wu, J.J. and Procopio, K.M. (2023) Exploring Green Product Design through TRIZ Methodology and the Use of Green Features. *Computers & Industrial Engineering*, **180**, Article 109252. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2023.109252>
- [7] Mengistu, A.T., Dieste, M., Panizzolo, R. and Biazzo, S. (2024) Sustainable Product Design Factors: A Comprehensive Analysis. *Journal of Cleaner Production*, **463**, Article 142260. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2024.142260>
- [8] Dang, M.Y., Wang, Q.C., Qi, J., Liu, G., Li, N. and Chen, W.Q. (2023) Green Design Evaluation of Electrical and

- Electronic Equipment Based on Knowledge Graph. *ACS Sustainable Chemistry & Engineering*, **11**, 18011-18020. <https://doi.org/10.1021/acssuschemeng.3c05866>
- [9] Bovea, M.D. and Pérez-Belis, V. (2012) A Taxonomy of Ecodesign Tools for Integrating Environmental Requirements into the Product Design Process. *Journal of Cleaner Production*, **20**, 61-71. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2011.07.012>
 - [10] Shi, J., Yang, D., Zheng, Z. and Zhu, Y. (2022) Strategic Investment for Green Product Development and Green Marketing in a Supply Chain. *Journal of Cleaner Production*, **366**, Article 132868. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.132868>
 - [11] Lee, B.X., Kjaerulf, F., Turner, S., Cohen, L., Donnelly, P.D., Muggah, R., *et al.* (2016) Transforming Our World: Implementing the 2030 Agenda through Sustainable Development Goal Indicators. *Journal of Public Health Policy*, **37**, 13-31. <https://doi.org/10.1057/s41271-016-0002-7>
 - [12] European Union (2005) EcoDesign Requirements for Energy Using Products.
 - [13] WBCSD (2006) Eco-Efficiency: Learning Module. World Business Council for Sustainable Development. <https://docs.wbcsd.org/2006/08/EfficiencyLearningModule.pdf>
 - [14] Ghazali, I., Abdul-Rashid, S.H., Md Dawal, S.Z., Huda, N., Shariff, A.H.M., Herawan, S.G., *et al.* (2021) Guidelines for Designing Green Products Considering Customers' Cultural Preferences. *Sustainability*, **13**, Article 673. <https://doi.org/10.3390/su13020673>
 - [15] Marcon, A., Ribeiro, J.L.D., Dangelico, R.M., de Medeiros, J.F. and Marcon, É. (2022) Exploring Green Product Attributes and Their Effect on Consumer Behaviour: A Systematic Review. *Sustainable Production and Consumption*, **32**, 76-91. <https://doi.org/10.1016/j.spc.2022.04.012>
 - [16] Yang, C., Xu, T. and Ye, J. (2024) Applying TRIZ and Kansei Engineering to the Eco-Innovative Product Design towards Waste Recycling with Latent Dirichlet Allocation Topic Model Analysis. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, **133**, Article 107962. <https://doi.org/10.1016/j.engappai.2024.107962>
 - [17] El Dehaibi, N., Goodman, N.D. and MacDonald, E.F. (2019) Extracting Customer Perceptions of Product Sustainability from Online Reviews. *Journal of Mechanical Design*, **141**, Article 121103. <https://doi.org/10.1115/1.4044522>
 - [18] Blei, D.M., Ng, A.Y. and Jordan, M.I. (2003) Latent Dirichlet Allocation. *Journal of Machine Learning Research*, **3**, 993-1022.
 - [19] Al'tshuller, G.S. (1996) And Suddenly the Inventor Appeared: TRIZ, the Theory of Inventive Problem Solving. Technical Innovation Center Inc.
 - [20] Dubois, S., Guio, R.D. and Rasovska, I. (2011) Resolution of Inventive Problems: Different Kind of Mechanisms. *International Journal of Systematic Innovation*, **1**, 1-9.
 - [21] Sojka, V. and Lepsik, P. (2025) Tools of Theory of Inventive Problem Solving Used for Process Improvement—A Systematic Literature Review. *Processes*, **13**, Article 226. <https://doi.org/10.3390/pr13010226>
 - [22] Huang, Y., Chen, C.H. and Khoo, L.P. (2012) Kansei Clustering for Emotional Design Using a Combined Design Structure Matrix. *International Journal of Industrial Ergonomics*, **42**, 416-427. <https://doi.org/10.1016/j.ergon.2012.05.003>
 - [23] Khaldi, A., Daniel, E., Massin, L., Kärnfelt, C., Ferranti, F., Lahuec, C., *et al.* (2020) A Laser Emitting Contact Lens for Eye Tracking. *Scientific Reports*, **10**, Article No. 14804. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-71233-1>
 - [24] Dahlgaard, J.J., Schütte, S., Ayas, E. and Mi Dahlgaard-Park, S. (2008) Kansei/Affective Engineering Design. *The TQM Journal*, **20**, 299-311. <https://doi.org/10.1108/17542730810881294>
 - [25] Wang, K.C. (2014) Product Design Prediction Using Integrated Dynamic Kansei Engineering Scheme. *Journal of Internet Technology*, **15**, 1217-1225.
 - [26] Nagamachi, M. (1995) Kansei Engineering: A New Ergonomic Consumer-Oriented Technology for Product Development. *International Journal of Industrial Ergonomics*, **15**, 3-11. [https://doi.org/10.1016/0169-8141\(94\)00052-5](https://doi.org/10.1016/0169-8141(94)00052-5)
 - [27] He, B. and Agrawal, D.P. (2010) An Identity-Based Authentication and Key Establishment Scheme for Multi-Operator Maintained Wireless Mesh Networks. *The 7th IEEE International Conference on Mobile Ad-hoc and Sensor Systems (IEEE MASS 2010)*, San Francisco, 8-12 November 2010, 71-78. <https://doi.org/10.1109/mass.2010.5663966>
 - [28] Wang, Y., Blache, R., Zheng, P. and Xu, X. (2018) A Knowledge Management System to Support Design for Additive Manufacturing Using Bayesian Networks. *Journal of Mechanical Design*, **140**, Article 051701. <https://doi.org/10.1115/1.4039201>
 - [29] Ilevbare, I.M., Probert, D. and Phaal, R. (2013) A Review of TRIZ, and Its Benefits and Challenges in Practice. *Technovation*, **33**, 30-37. <https://doi.org/10.1016/j.technovation.2012.11.003>
 - [30] Jiang, J., Liu, J., Wang, C., Yin, Y., Pei, J., Gao, Y., *et al.* (2024) Exploring the Long-Term Performance of Air Purifiers in Removing Particulate Matter and Formaldehyde across Different Residential Environments. *Environmental Research*, **263**, Article 120194. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2024.120194>

-
- [31] Saletović, V., Muminović, A.J., Šarić, I. and Pervan, N. (2023) Development and Design of Air Purifier Device Prototype. In: *Lecture Notes in Networks and Systems*, Springer, 249-259. https://doi.org/10.1007/978-3-031-31066-9_26
 - [32] Huang, J.S. and Yuan, Z.H. (2020) Customized Household Air Purification Product System Design Oriented User Requirements. *Journal of Machine Design*, **37**, 134-138. (In Chinese)
 - [33] Wang, M., Cheng, X. and Liang, J. (2021) Research on the Design of Portable Desktop Air Purifier Based on Kansei Engineering. *IEEE Access*, **9**, 138791-138802. <https://doi.org/10.1109/access.2021.3119203>
 - [34] Lee, B., Sim, W., Jo, J. and Chung, J. (2020) Reduction of Flow-Induced Noise in a Household Air Purifier. *Journal of Mechanical Science and Technology*, **34**, 3105-3115. <https://doi.org/10.1007/s12206-020-0701-7>