

基于KANO模型的智能沙滩垃圾清理车设计研究

万梓梁

武汉工程大学艺术设计学院, 湖北 武汉

收稿日期: 2025年11月3日; 录用日期: 2025年12月23日; 发布日期: 2025年12月29日

摘 要

目的: 针对传统沙滩垃圾清理车的痛点, 致力解决沙滩垃圾堆积问题, 提升清理效能、降低运维成本, 为滨海生态保护与城市垃圾清理提供产品改进方案。方法: 以KANO模型为核心工具, 通过问卷、实地调查、访谈获取需求; 用“正向-反向”KANO问卷划分必备、期望、魅力三类质量需求; 借助AIGC技术优化外观, 构建“起沙-传送-分离-分类-平整”一体化结构, 集成智能垃圾识别、无人驾驶等模块, 通过访谈验证需求优先级与设计可行性。结论: 从“智能分类与清理一体化”、“无人驾驶与运维便捷化”两方面对沙滩垃圾清理车进行改进设计。填补中小型智能沙滩清理设备的空白, 满足用户核心需求, 支持多场景沙滩管理, 助力环境可持续发展。

关键词

产品设计, 智能沙滩垃圾清理车, KANO模型, AIGC技术, 改进设计

Design Research of an Intelligent Beach Waste Collection Vehicle Based on the KANO Model

Ziliang Wan

School of Art and Design, Wuhan Institute of Technology, Wuhan Hubei

Received: November 3, 2025; accepted: December 23, 2025; published: December 29, 2025

Abstract

Objective: Addressing the pain points of traditional beach waste collection vehicles, this study aims

文章引用: 万梓梁. 基于 KANO 模型的智能沙滩垃圾清理车设计研究[J]. 传感器技术与应用, 2026, 14(1): 53-65.
DOI: 10.12677/jsta.2026.141006

to resolve beach litter accumulation issues, enhance cleaning efficiency, reduce operational costs, and provide product improvement solutions for coastal ecological conservation and urban waste management. Method: Employing the KANO model as the core tool, requirements were gathered through questionnaires, field surveys, and interviews. A “forward-reverse” KANO questionnaire categorized quality demands into three tiers: must-have, desirable, and delight. Leveraging AIGC technology optimized the exterior design, establishing an integrated “scoop-convey-separate-sort-level” structure. This incorporates modules like intelligent waste recognition and autonomous driving, with interview-based validation confirming demand priorities and design feasibility. Conclusion: The beach waste collection vehicle was redesigned with dual enhancements: “integrated intelligent sorting and collection” and “autonomous operation with simplified maintenance”. This innovation fills the gap in compact intelligent beach cleaning equipment, fulfills core user needs, supports multi-scenario beach management, and advances environmental sustainability.

Keywords

Product Design, Intelligent Beach Waste Collection Vehicle, KANO Model, AIGC Technology, Design Improvement

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

智能沙滩垃圾清理车是一种沙滩环境下高效作业、智能运维的环保设备，能替代传统人工或燃油驱动的清理工方式，减少人力投入与环境污染，从而缓解沙滩垃圾堆积难题，成为滨海区域垃圾治理的优质选择。现有研究产品存在两极分化现象，要么是 BeachTech 等重型、高干扰的传统机械，要么是轻型、低效的表层清理机器人。市场急需一种能兼顾高效率、低干扰且具备精细化作业能力的中型智能集成设备。现有智能分类技术主要在稳定、受控环境下应用。应用于沙滩的挑战在于：沙子覆盖、海水腐蚀、垃圾形态不规则等因素极大地干扰了视觉识别的准确性；同时，移动平台上的高速、精准分拣对机械臂控制要求更高。本研究将重点解决沙滩场景的特有识别难题，实现“边清理、边分类”的一体化移动操作，这是现有设备的核心空白。为解决上述痛点，本课题将 KANO 模型理论[1]应用于沙滩清理车设计，区分必备、期望、魅力质量，确保设计方案从根本上满足用户核心需求；提出一种中型、履带式、新能源驱动的智能清理车方案；创新性地集成了“智能分类与清理一体化”和“高鲁棒性自主导航”两大模块，并针对沙滩松软、高盐、高光照环境进行技术论证和设计优化。该智能清理车可有效提升沙滩垃圾清理效率、降低人力与运作成本，为沙滩生态保护及城市垃圾管理提供新思路，助力环境可持续发展。

2. 研究方法

2.1. KANO 模型

KANO 模型[2]由日本东京理工大学卡诺教授基于赫兹伯格双因素理论提出，是分析产品质量特性与用户满意度关系的经典工具，核心是建立“产品质量 - 用户满意度”双维度认知框架，为产品改进、需求优先级排序提供科学依据。

KANO 模型将产品质量分为五类[3]：一是必备质量，即用户认为产品必须具备的基础需求，缺失会大幅降低满意度，优化则不提升满意度；二是期望质量，满足程度与满意度呈线性正相关，满足越多用

户越满意；三是魅力质量，超出用户预期的需求，具备可显著提升满意度，缺失不影响；四是无差异质量，用户不关注的特性，是否满足对满意度无影响；五是逆向质量，用户反感的特性，具备会降低满意度。该模型广泛应用于产品设计、服务优化等领域，能帮助企业精准挖掘用户核心需求，避免资源浪费，高效提升产品竞争力与用户满意度，见图 1。

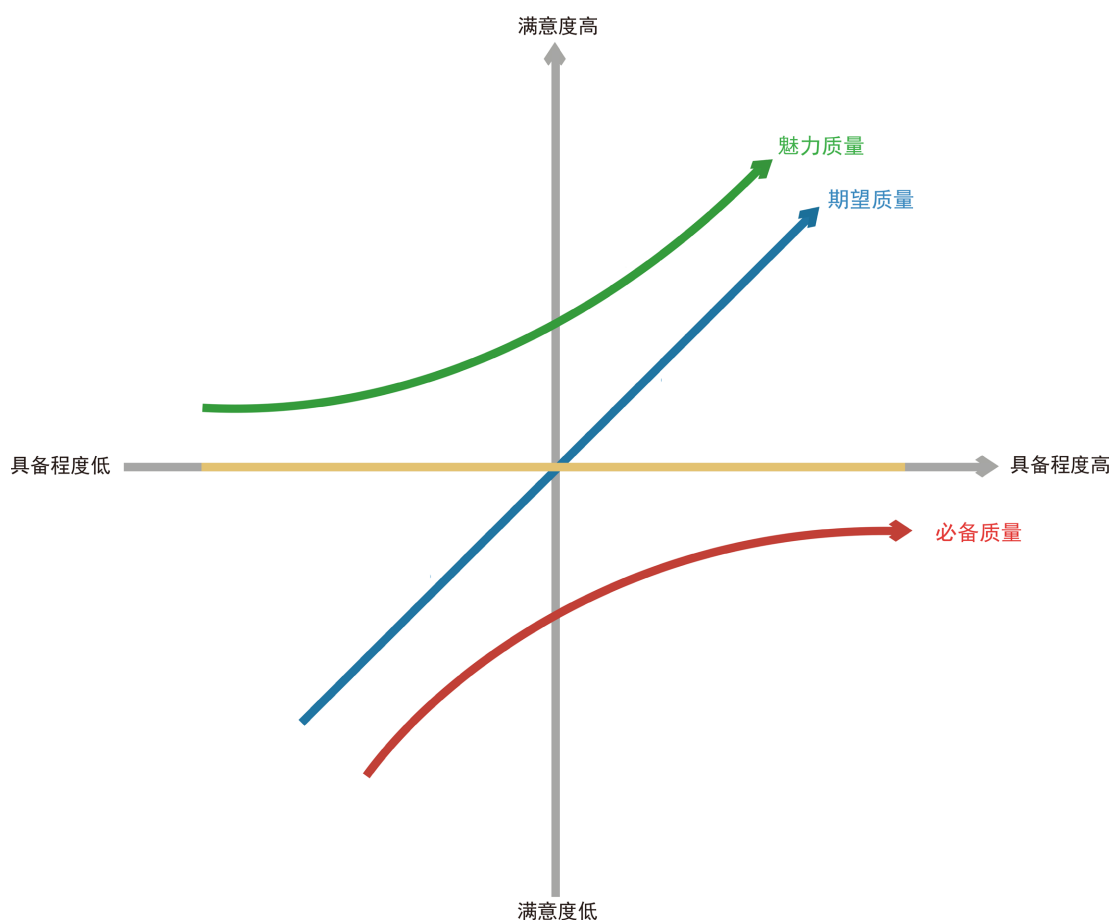


Figure 1. KANO model
图 1. KANO 模型

2.2. KANO 问卷设计与实施

为精准划分沙滩垃圾车的用户需求类型，本研究参考 Sauerwein 提出的 KANO 问卷形式，通过“正向 - 反向”双维度提问，明确用户对沙滩垃圾清理车核心功能的态度。正向问题聚焦“需求被满足时的感受”，反向问题聚焦“需求未被满足时的感受”，每个问题均设置 5 个梯度选项，以判断需求所属的 KANO 质量类别，见表 1。

Table 1. KANO questionnaire
表 1. KANO 问卷

正向问题					反向问题				
如果某质量特性可以得到满足，您会感觉怎么样？					如果某质量特性没有得到满足，您会感觉怎么样？				
喜欢	理应如此	无所谓	能忍受	不喜欢	喜欢	理应如此	无所谓	能忍受	不喜欢

本研究基于现有传统沙滩清理车缺陷、行业技术趋势以及前期初步的用户访谈，共筛选提炼出 28 条主要用户需求作为 KANO 问卷的调查项。问卷采用电子问卷形式进行，面向沙滩管理者、游客以及环保从业者等核心用户群体发放。问卷通过线上社群、邮件邀请，以及线下扫码等方式进行。

2.3. 数据收集与 KANO 分类

最终共回收问卷 150 份，经过对答题完整性、作答时间等指标进行筛选，得到有效问卷 132 份。将每项需求的正向和负向问题答案填入 Kurt Matzler 提出的 KANO 问卷结果分析表[4]，统计各类型需求的数量，以数量最多的类别作为该需求的主要需求类型，从而划分到对应的 KANO 需求[5]类别中，见表 2。其中必备质量、期望质量和魅力质量是用户需求的质量[6]，其他三类是不需要的，可以排除。

Table 2. Analysis table of KANO questionnaire survey results
表 2. KANO 问卷调查结果分析表

产品需求		负向问题				
		喜欢	理应如此	无所谓	能忍受	不喜欢
正向问题	喜欢	Q	A	A	A	O
	理应如此	R	I	I	I	M
	无所谓	R	I	I	I	M
	能忍受	R	I	I	I	M
	不喜欢	R	R	R	R	Q

注：M = 必备质量，O = 期望质量，A = 魅力质量，I = 无差异质量，R = 逆向质量，Q = 可疑质量。

2.4. Better-Worse 系数分析

为了更精细化地评估和排序用户需求优先级[7]，本研究进一步引入了 Better-Worse 系数进行量化分析。Better 系数(满意度提升系数，SI)表示满足该需求能给用户带来的满意度提升程度；Worse 系数(不满意度降低系数，DSI)表示不满足该需求会给用户带来的不满意度降低程度(通常取绝对值)。计算公式如下所示：

$$\text{Better(SI)} = \frac{A + O}{A + O + M + I} \quad (1)$$

$$\text{Worse(DSI)} = \frac{O + M}{A + O + M + I} \quad (2)$$

将所有需求的 Better 值作为纵坐标，Worse 值绝对值作为横坐标，以 Better 和 Worse 的均值作为坐标轴的中心点，绘制 Better-Worse 系数矩阵图，见图 2。该矩阵将所有需求划分至四个象限，为后续确定设计优先级提供了科学依据：

- 第一象限(期望质量)：Better 值高，Worse 值绝对值也高。应尽力满足。
- 第二象限(魅力质量)：Better 值高，Worse 值绝对值低。具备可显著提升满意度，缺失不降低满意度。
- 第三象限(无差异质量)：Better 值低，Worse 值绝对值也低。用户不关注，可暂不考虑。
- 第四象限(必备质量)：Better 值低，Worse 值绝对值高。必须具备，否则满意度会大幅降低。

3. 沙滩垃圾清理车需求研究

3.1. 沙滩垃圾清理车现状

目前，在沙滩垃圾清理设备领域，国内外的研发进展较为缓慢，成型的设备种类相对较少，主要是

中大型设备，其运动方式和驱动方式不同，而且大部分采用柴油作为动力源，这导致了大量的排放污染，见表 3。

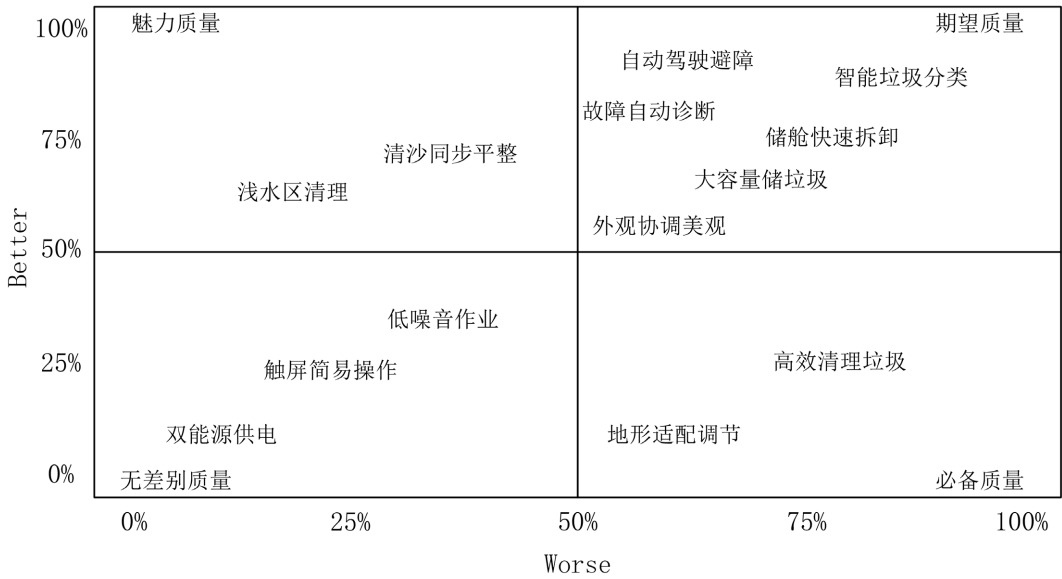


Figure 2. Better-Worse coefficient matrix diagram
图 2. Better-Worse 系数矩阵图

Table 3. Data collation of existing beach waste cleaning vehicles in the market
表 3. 现有市场沙滩垃圾清理车数据整理

品牌	样式	运动方式	驱动方式	清洁宽度 (MM)	清洁深度 (mm)	清理效率 (m ² /h)
鲁环		牵引式	四轮驱动拖拉机	1300~2000	100~300	15,000
Cherrington 5500		牵引式	四轮驱动拖拉机	1520	152	10,000
佐格 555DA		牵引式	四轮驱动拖拉机	1700	300	25,000
天盾安防		牵引式	四轮驱动拖拉机	1900	300	25,000
沙滩清洁机		自行式	柴油发动机	1160	150	6500

续表

威斯塔机械		自行式	柴油发动机	1500	160	15,000
沙滩清洁机		自行式	柴油发动机	1680	150	5040
BeachBot		遥控	太阳能发电	800	100	2000
中远		牵引式	柴油发动机	1680	150	6000

此外，现有沙滩垃圾清理车主要采用传统的牵引式设计[8]，通常由动力模块和清理模块两个部分组成。动力模块作为沙滩垃圾清理车的动力来源，驱动清理模块进行运动；清理模块主要负责整个垃圾清理流程。

传统沙滩垃圾车多靠人工或机械牵引清理[9]，效率低、耗人力时间、运行成本高，难以满足现代城市垃圾管理需求；能源上多采用燃油发动机，废气排放污染环境；收集端能力受限且存储容量不足，适配不了沙滩管理需求；外观材质与设计单一简陋，不美观且难维护，不符合城市审美。

现有沙滩垃圾车问题突出，需借新技术提升收集能力与效率、优化能源及外观，而基于人工智能的智能垃圾车可有效解决这些问题[10]，提高沙滩垃圾清理效率与质量。

3.2. 用户需求获取及分析

沙滩垃圾清理车的要素主要体现在造型、功能及技术 3 个方面。为精准捕捉用户核心需求，研究通过问卷调研、实地调查、用户访谈 3 种方式开展需求获取工作：问卷调研梳理现有产品缺陷与行业技术趋势；实地调查覆盖沙滩管理者、游客及环保从业者等群体；用户访谈选取 15 名资深沙滩运维人员进行深度交流。

3.2.1. 用户访谈及定性分析

本研究针对 15 名资深沙滩运维人员进行了半结构化深度访谈，旨在挖掘其在实际操作传统设备时遇到的痛点以及对智能设备的深层次期望。

访谈提纲主要围绕以下三个主题展开：

传统设备操作痛点：如，传统清理车在不同地形、垃圾类型上的效率如何？运维成本和故障频率如何？

智能化功能期望：如，对自动驾驶、智能分类、远程监控等功能的态度和具体需求？

环保与用户体验：如，燃油驱动的噪音和污染对游客体验的影响如何？对清洁能源的看法？

访谈记录经逐字稿转录后，采用“主题分析法”进行定性处理。通过对访谈文本进行反复阅读、开放式编码、主题构建、主题命名与回顾等步骤，最终提炼出用户核心诉求，并以引言形式增强结论的客观性。

编码摘要与访谈证据(部分)：

主题：人工分拣耗时耗力

证据引言：“每次清完运回去，都得再找人把可回收的挑出来，太费劲了，这个成本比清垃圾本身还高”（来自某滨海景区环卫主管）。

主题：燃油污染与噪音扰民

证据引言：“一到夏天，拖拉机开起来呜呜响，游客投诉噪音和柴油味，机器还容易高温歇火”（来自某沙滩运维工程师）。

主题：潮间带清理空白

证据引言：“最难清的是潮水刚退下去那块，普通车根本进不去，只能靠人弯腰捡，如果能把那里的垃圾清了，沙滩干净一大半”（来自某清洁工人）。

3.2.2. KANO 问卷结果分析

采用 KANO 问卷方法，通过电子问卷和用户访谈的方式对上述需求进行调研。将每项需求质量的正向和负向问题答案填入 KANO 问卷结果分析表，统计各类型需求的数量，以数量最多的类别作为该需求的主要需求类型，从而划分到对应的 KANO 需求类别中。

“智能垃圾分类”为沙滩垃圾清理车主要需求之一。以此为例，统计结果显示：68 人认为“智能垃圾分类”是期望质量，39 人认为是必备质量，25 人认为是魅力质量，期望质量占比最大，因此将其划分为期望质量。去除无差异质量、逆向质量以及可疑质量后，用户需求质量分类，见图 3。

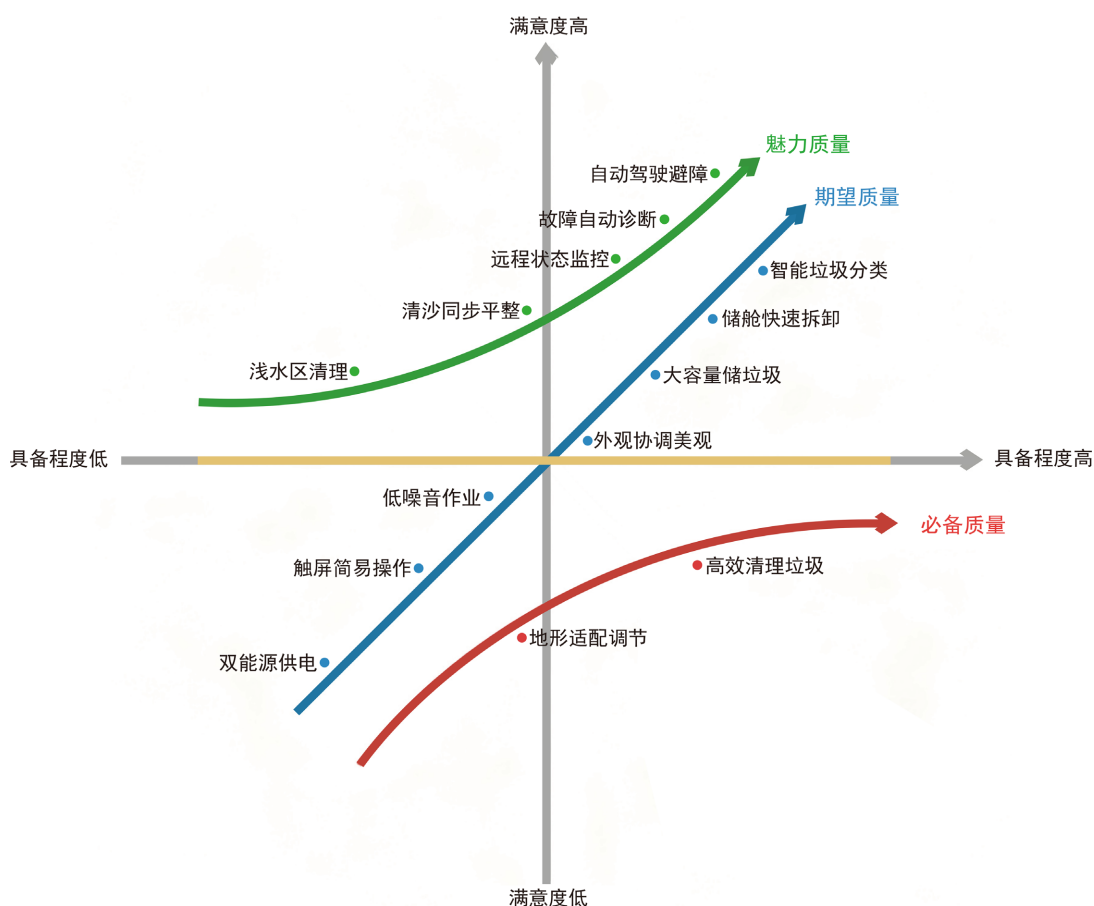


Figure 3. Analysis of KANO user demand types for the intelligent beach waste cleaning vehicle

图 3. 智能沙滩垃圾清理车 KANO 用户需求类型分析

3.3. KANO 模型分析

必备质量是沙滩垃圾车满足基础作业需求的核心底线，这类需求的缺失会导致用户强烈不满，而即使过度优化也难以提升满意度。结合沙滩垃圾清理的核心场景与市场现状，此类需求集中于“保障基础清理能力与环境适配性”。

调研显示，当前市场主流沙滩垃圾车虽基本具备垃圾收集功能，但在核心必备需求的达标率上仍有不足：仅一部分设备能在坡度 $>15^\circ$ 的沙滩稳定作业，约 60% 的传统车型因材质耐腐蚀性不足，在盐雾环境下年损耗率超 40%。因此，“高效清理垃圾”、“地形适配调节”、“防腐抗紫外线”和“垃圾防漏洒”等需求必须作为设计底线——例如采用大面积接触的履带确保多地形的通过性，选用碳纤维复合材料降低腐蚀损耗，配备封闭式存储舱避免二次污染。

由于必备质量是用户对“垃圾车能完成基础清理”的固有预期，现有产品多数已接近需求阈值，因此本次设计仅需确保各项指标达标(如清理效率不低于 500 平方米/小时、噪音 ≤ 60 分贝)，无需额外投入资源优化。

期望质量的满足程度与用户满意度呈线性正相关，是决定产品竞争力的关键，此类需求集中于“提升作业效率与环保适配性”，且与市场现有产品的核心短板高度契合。

调研结果显示，用户对期望质量的诉求主要分为三类：一是智能处理需求，如“智能垃圾分类”和“垃圾压缩存储”，传统车型混合收集导致后续处理成本增加严重，而智能分类可使可回收物利用率提升；二是能源环保需求，“双能源供电”和“低噪音作业”成为核心诉求，燃油车型的碳排放与噪音污染已导致游客对沙滩体验不满，而电能驱动可减少大量碳排放；三是运维便捷需求，“储舱快速拆卸”和“无刷电机维护”直接影响设备利用率，现有车型平均维护间隔短，模块化设计可使备件更换频率大大降低。

目前市场产品在环保与运维便捷性上已有初步探索，但智能处理能力仍显不足，因此本次设计的核心改进方向聚焦于：采用多模态识别技术实现绝大多数垃圾分类准确，搭配可热插拔电池仓与模块化储舱优化运维流程。

魅力质量是超出用户预期的创新型需求，现有沙滩垃圾清理车多未具备，一旦实现可显著提升用户忠诚度，此类需求集中于“拓展作业场景与智能化体验”。

从需求特性来看，魅力质量可分为两类：一是场景延伸功能，如“浅水区清理”和“清沙同步平整”，传统车型仅能处理干燥沙滩，而潮间带垃圾占比达沙滩总垃圾量的 28% 左右，具备浅水区作业能力可填补市场空白，同步平整功能还能降低后续沙滩维护成本；二是智能管理功能，如“自动驾驶避障”、“远程状态监控”和“自动返回充电”，单台设备可替代 8 至 10 名清洁工，远程监控还能实现垃圾分布热力图生成，优化清理作业效率。

这类需求虽非用户明确提出，但贴合《“十四五”海洋生态环境与保护规划》中“智能装备覆盖 50% 重点滨海旅游区”的政策导向。本次设计将重点整合：基于激光雷达与视觉扫描的自动巡航系统、5G 物联网远程监控模块、可升降作业头实现浅水区与陆地场景切换，通过创新功能形成差异化优势。

3.4. 用户诉求分析

基于 KANO 模型对沙滩垃圾车用户需求的分类结果，为明确需求重要度优先级、挖掘现有产品短板，针对期望质量与魅力质量开展深度用户访谈，收集核心使用群体的使用痛点与改进期望，梳理出需求重要度及产品改进机会点。

访谈结果显示，“智能垃圾分类”提及率最高(65%)，用户反馈传统车型无分类功能导致二次分拣成本大大增加、可回收物回收率低；“自动驾驶避障”提及率 48%，人工驾驶需配置多名操作员，人力成

本占比高,还易因疲劳遗漏垃圾;“储舱快速拆卸”提及率 38%,固定储舱使单次转运耗时比模块化设计多大量时间,影响作业效率。“浅水区清理”提及率 35%、“清沙同步平整”提及率 30%,是现有产品缺失但用户高度关注的功能;“双能源供电”提及率 23%,现有燃油车型噪音超 75 分贝且尾气污染影响游客体验,夏季高温故障率还会上升 25%。此外,“远程状态监控”(22%)、“垃圾压缩存储”(18%)也被多次提及,前者解决实时掌握设备状态难题,后者减少转运频次。综上,现有产品核心短板为“无智能分类”、“燃油污染”、“场景适配差”,“智能分类 + 清洁能源 + 场景拓展”是提升用户满意度的关键突破口,也是本次改进设计核心方向。

3.5. 改进设计要素

通过对 KANO 模型及用户诉求进行分析,挖掘用户对智能沙滩垃圾清理车的质量需求,从而找到大幅提高用户满意度的改进设计方向。考虑到沙滩场景特殊性、技术限制及实施难度,最终确定智能沙滩垃圾清理车的改进设计可从以下两个方面进行。

1) 智能分类与清理一体化。传统沙滩垃圾车多为混合收集,后续需人工二次分拣,不仅增加时间成本,还降低可回收物利用率。受沙滩垃圾类型复杂(塑料、金属、有机垃圾等)及清理效率需求制约,需整合智能识别与清理功能:采用图像识别 + 机器学习的多模态技术,实现常见沙滩垃圾精准分类;同时优化“起沙 - 传送 - 分离”模块,用筛网高效分离沙与垃圾,避免沙尘残留,尾部平沙模块同步运行,省去后续人工分拣与沙面二次平整环节,提升单次作业效率。

2) 无人驾驶与运维便捷化。传统沙滩垃圾车依赖人工驾驶,不仅需配备专业操作员、人力成本高,还易因视觉疲劳遗漏角落垃圾。结合沙滩人流密集、地形松软的环境特点,需强化自动化与运维适配:搭载雷达 + 环视视觉系统,实现自主巡航与避障,减少人工干预;同时设计侧面嵌入式可拆卸储舱,搭配垃圾满溢自动报警功能,满舱时设备可自主前往卸载点,通过机械臂完成自动垃圾倾倒,降低运维人员的操作强度与转运耗时。

4. 设计实践

根据以上分析结果,智能沙滩垃圾车可以从智能分类与回收一体化和无人驾驶与运维便捷化两个方面进行改进设计。

4.1. 整体造型与功能布局

造型是产品给用户的直观第一印象,贴合沙滩环境的协调造型更易被接受。本设计使用 AIGC 技术(生成式人工智能)辅助造型设计^[11](见图 4),结合沙滩开阔、人流密集且地形松软的特点,车身整体采用流线型设计以减少行进阻力,主体结构为低矮长方体,避免遮挡游客视线;车身边缘均做圆角处理,既降低磕碰风险,又增强与沙滩自然氛围的融合度;车头顶部采用弧形凸起设计,内置激光雷达与环视摄像头,在统一造型中形成功能化视觉焦点,兼具科技感与识别性。

根据沙滩环境的色彩特征(沙色、海水蓝、天空蓝),主色选用米白色,搭配橙色作为功能标识色,关键部件(如清理装置边缘、操作按钮)用深灰色点缀,既与沙滩环境协调,又通过亮色突出功能区域,提升辨识度。

功能布局上,车身前端为可升降清理装置^[12](收起时与车身平齐,展开后适配不同厚度的垃圾层);中部为模块化分类存储舱(含独立隔间,分别对应可回收物、不可回收物、有机垃圾),舱门设计为侧开式,便于快速卸载;后端集成仿生梳齿平整模块,清理后同步抚平沙面。通过“前端清理 - 中部存储 - 后端平整”的一体化布局,实现垃圾清理全流程高效衔接,见图 5。



Figure 4. Partially refined image after generation

图 4. 生成后的部分细化图

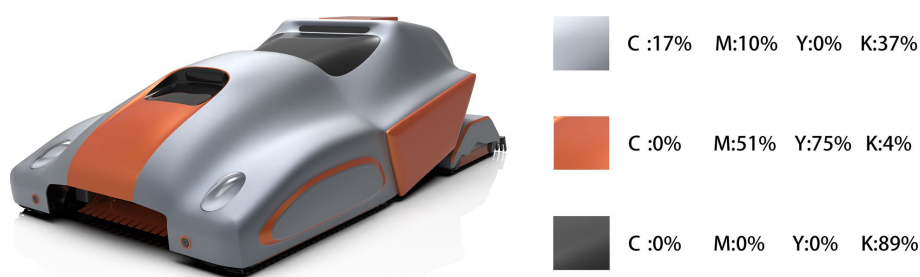


Figure 5. CMYK display diagram

图 5. CMYK 展示图

4.2. 清理结构设计与论证

清理模块是沙滩垃圾清理车的核心功能，它可以划分为五个部分：车架、起沙装置、传送装置、分离装置和储存装置；垃圾清理结构以“起沙-传送-分离-分类存储”一体化为核心逻辑，结合沙滩松软地形、垃圾类型多样(塑料、金属、有机碎屑等)及避免沙面破坏的需求，实现高效清理与降低环境干扰，具体设计如下，见图 6。

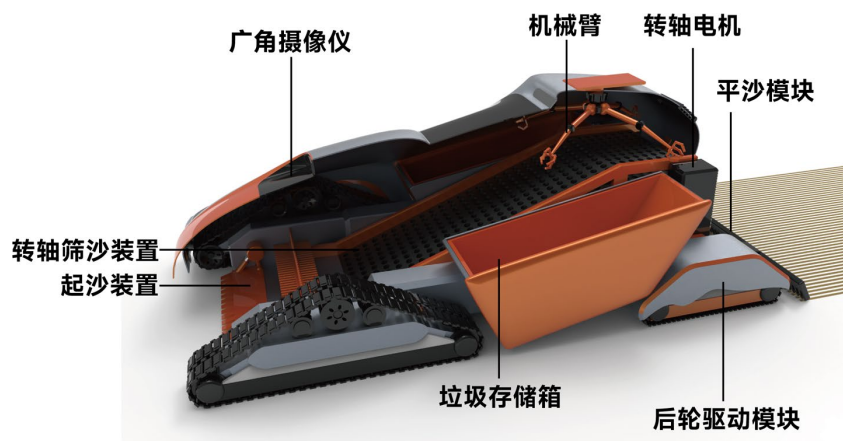


Figure 6. Schematic diagram of the structure of the intelligent beach waste cleaning vehicle

图 6. 智能沙滩垃圾清理车结构示意图

1) 起沙装置设计与运动学分析

起沙装置位于车身前端下方,是垃圾清理的起始环节,重点解决“松软沙地取料、深层垃圾取料”的问题。装置主体采用可调节式锰钢耙齿组,通过液压调节机构实现耙齿入土深度 5~30 cm 可调——针对表层轻质垃圾(如塑料袋、烟头)调至浅度(5~8 cm),针对半埋垃圾(如瓶盖、食物残渣)调至深度(12~20 cm)。同时,耙齿组外侧包裹防缠绕尼龙刷,可实时清理缠绕的塑料袋、杂草,避免装置卡滞,适配沙滩复杂垃圾形态。

技术论证:入土深度力学分析:耙齿在沙地中的作业受沙子内摩擦角和湿度的影响。为确保耙齿组稳定入土并进行有效起沙,需满足垂直下压力 F_v 大于耙齿与沙子接触面产生的阻力 F_r 。由于沙滩湿润区(潮间带)的粘聚力和密度增加,在设计液压驱动系统时,其最大驱动力应能克服最恶劣工况(如湿沙区 20 cm 深度)下的最大阻力矩,以保证深度调节的可靠性。

履带驱动设计可行性:考虑到沙滩松软地形,采用大面积接触的履带设计,以降低接地比压,保证多地形的通过性。驱动系统选用双无刷电机独立驱动,并配备高扭矩减速器,确保在低速重载(如爬坡 $> 15^\circ$)时仍能维持稳定牵引力。

2) 传送与分离装置设计

传送装置衔接起沙装置,采用“倾斜式防滑输送带”结构,输送带宽度 40 cm,材质选用耐紫外线、抗腐蚀的聚氨酯,表面做菱形防滑纹路(防止垃圾与沙子滑落),输送速度可根据垃圾密度调节(0.5~1 m/s)。传送带设计有震动筛网:筛网孔径设 5~10 mm 两档可调,针对细沙区域用小孔径(5 mm)、粗沙区域用大孔径(10 mm);通过高频微震加速沙粒漏筛,分离后的沙子直接落回沙滩,垃圾则被输送至后方分类模块。

3) 智能分类与存储装置设计

分类与存储装置位于车身中部,通过机械臂分类模块,实时识别垃圾类型并自动放入对应垃圾储存箱内[13]。车体右侧划分为 2 个独立密封隔间:可回收物舱(适配塑料、金属)、有机垃圾舱(适配食物残渣、树叶);左侧垃圾存储箱为其他垃圾舱(适配不可回收杂物)。存储箱内侧安装红外满溢传感器[14],当舱体容量达 80%时,传感器触发驾驶系统报警,提示设备应前往垃圾卸载点;存储舱采用侧面抽拉式设计,可自动卸载存储垃圾,无需人工参与,减少垃圾倾倒耗时与成本,见图 7。

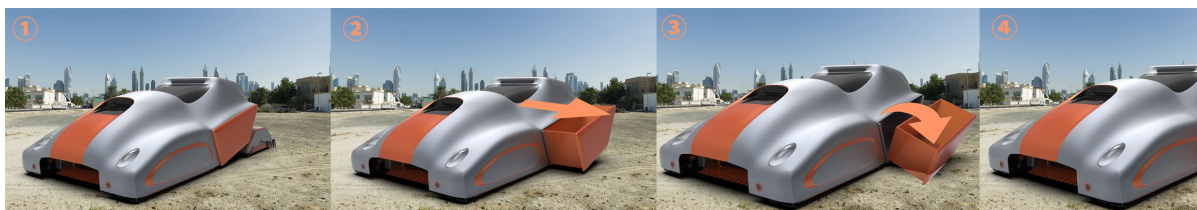


Figure 7. Waste dumping steps

图 7. 垃圾倾倒步骤

技术论证:智能分类算法:采用基于卷积神经网络(CNN)的多模态识别技术,以克服沙滩环境光照强、垃圾形态不规则等挑战。具体流程如下:

- | | |
|------------|--|
| 步骤 1: 图像采集 | 高清摄像头对输送带上垃圾进行实时抓拍。 |
| 步骤 2: 预处理 | 图像去噪、亮度均衡化(适应沙滩强光)。 |
| 步骤 3: 目标检测 | YOLOv8 等实时检测算法识别并定位目标。 |
| 步骤 4: 特征提取 | 利用 CNN 提取形状、纹理、颜色等深度特征。 |
| 步骤 5: 分类决策 | 分类器(Softmax)输出垃圾类别(可回收/有机/其他),并结合近红外(NIR)光谱数据数据进行二次校验,以区分相似材质。 |

步骤 6：机械臂抓取 根据分类结果，控制高速分拣机械臂将垃圾投入对应储舱。

主要挑战在于沙滩垃圾的覆盖(如被沙子半埋)和腐蚀导致的特征不明显。可行性在于结合输送带上的照明补偿系统，保证图像质量；通过大量的沙滩垃圾数据集训练模型，增强其鲁棒性；并引入二次校验机制，确保分类准确率达 90%以上。

4) 辅助平沙模块设计

为避免清理后沙面凹凸不平，在车身尾部集成仿生梳齿平整模块：梳齿采用弹性尼龙材质，呈弧形排列，通过弹簧机构贴合沙面；设备行进时，梳齿随车身同步移动，梳理分离装置回落的沙子，抚平耙齿作业留下的痕迹，使沙面平整，省去后续人工平整环节，提升整体清理效率。

4.3. 智能化系统设计与论证

1) 自主导航与避障技术

设计搭载雷达 + 环视视觉系统，实现自主巡航与避障[15]。技术论证：

定位与地图构建：在空旷且特征点稀疏的沙滩环境，单纯的视觉或激光雷达 SLAM(同步定位与地图构建)稳定性差。故采用 RTK-GPS(实时动态载波相位差分技术)提供高精度绝对定位(厘米级)，结合多线激光雷达(LiDAR)进行局部环境感知和高精度地图构建(融合定位)。

路径规划与避障：路径规划采用 A*或 Dijkstra 算法生成全局最优路径。在避障层面，由于沙滩人流密集且地形动态变化，采用 DWA (Dynamic Window Approach)局部规划算法，结合环视摄像头(提供 360°行人检测)和 LiDAR(提供距离精确测量)，确保在遇到行人、临时障碍物或沙滩地表陷阱时，能实现毫秒级的安全避让和路径重规划。

自主导航算法流程简图见图 8。

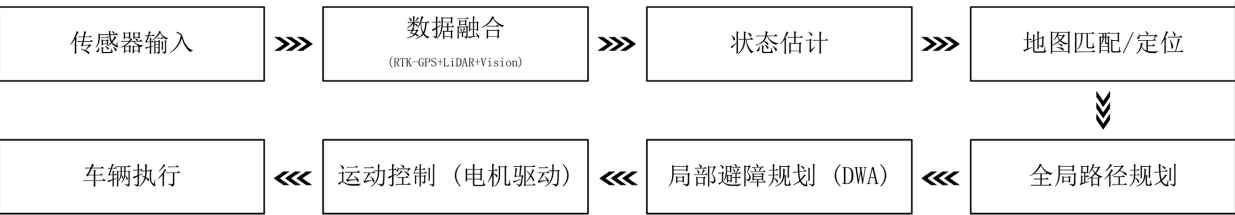


Figure 8. Simplified flowchart of autonomous navigation algorithm
图 8. 自主导航算法流程简图

2) 远程监控与运维(魅力质量实现)

远程状态监控：设备内置 5G 通信模块，将运行数据(电量、故障码、垃圾量、GPS 位置、清理轨迹)实时上传至云平台。运维人员通过 Web 端或 App 实现远程监控，并能生成“垃圾分布热力图”，优化下一轮清理路线。

自动卸载技术：储舱采用侧面抽拉式设计，配合垃圾满溢传感器。当传感器报警后，系统自动规划路径前往预设卸载点。到达后，通过自动识别(二维码/RFID)与卸载平台的对接，由机械臂完成存储舱的自动锁定、拉出、倾倒和归位操作，实现全流程无人化卸载，大大降低运维人员的操作强度与转运耗时。

5. 结语

本研究围绕沙滩垃圾污染治理这一核心环境问题，针对传统沙滩垃圾清理车效率低下、依赖人力、污染环境及智能化不足等痛点，以“提升清理效能、降低运维成本、保护滨海生态”为目标，系统开展了智能沙滩垃圾清理车的设计研究。

研究过程中,通过文献研究梳理传统设备的技术局限,结合 KANO 模型与 132 份有效用户问卷,精准识别出“智能垃圾分类”、“自动驾驶避障”、“场景适配性”等核心需求;借助 AIGC 技术辅助外观优化,确定流线型造型与耐腐材质搭配;构建“起沙-传送-分离-分类-平整”一体化清理结构,集成锰钢耙齿起沙、可调筛网分离、AI 智能分类、尼龙梳齿平整等模块,同步融入太阳能+锂电池供电、可拆卸储舱、云平台监控等创新设计,有效解决了传统设备二次分拣、人工依赖、沙面破坏等问题,实现分类准确率高、沙面平整度误差小、续航长的实用效果。

本设计不仅为滨海景区、沿海城市沙滩管理提供了智能化解决方案,填补了中小型智能沙滩清理设备的技术空白,更通过“环保+智能”的融合,减少碳排放与人力成本,为城市垃圾管理体系升级与生态保护提供了实践参考。未来,可进一步通过实地测试优化设备在潮汐区、不同沙质等复杂场景的适配性,探索与智能城市管理系统的协同联动,推动技术落地与规模化应用;同时可将核心技术拓展至公园、湖泊等户外垃圾清理场景,持续为生态环境保护与可持续发展贡献力量。

参考文献

- [1] 罗正清, 方志刚. 常用客户满意度研究模型及其优缺点分析[J]. 贵州财经学院学报, 2002(6): 14-17.
- [2] 王霜, 殷国富, 何忠秀. 基于 Kano 模型的用户需求指标体系研究[J]. 包装工程, 2006, 27(4): 209-210, 213.
- [3] 陈俊虎, 梁翠翠, 吴进军, 等. 基于 Kano 模型的服务需求研究进展[J]. 中国卫生事业管理, 2010, 27(3): 152-154.
- [4] 侯智, 陈世平. 基于 Kano 模型的用户需求重要度调整方法研究[J]. 计算机集成制造系统, 2005, 11(12): 1785-1789.
- [5] 薛遥, 柴晶, 江月亭. 基于 KANO/AHP/AD 范式下的车载人机交互界面适老化设计研究[J]. 包装工程, 2025, 46(12): 182-192.
- [6] 徐育文, 李永锋, 朱丽萍. 基于 Kano 模型的老年人智能手机 APP 用户界面设计研究[J]. 包装工程, 2017, 38(16): 163-167.
- [7] 盛志远, 沈超, 董丰, 等. 基于 Kano-IPA 模型的新能源汽车产品需求优先级排序方法[J]. 佳木斯大学学报(自然科学版), 2024, 42(9): 61-65.
- [8] 张俊琦. 基于视觉识别技术的沙滩垃圾智能清理车[J]. 今日制造与升级, 2023(1): 85-87.
- [9] 柳超. 一种沙滩环保垃圾车[P]. 中国专利, CN201821823793.7. 2019-08-23.
- [10] 王筱怿. 一种沙滩垃圾收集装置[P]. 中国专利, CN201811185579.8. 2019-01-04.
- [11] 林丽, 李智美. 基于原型理论的产品造型风格创新设计方法研究[J]. 包装工程, 2022, 43(8): 42-49, 100.
- [12] 海南师范大学, 海南铜元科技有限公司. 一种 AI 智能垃圾识别分类系统和方法[P]. 中国专利, CN202110534320.5. 2021-11-23.
- [13] 夏广文. 一种具有自动识别和分类提示功能的智能环保型垃圾桶[P]. 中国专利, CN202011388311.1. 2021-03-26.
- [14] 吴洪艳, 徐东萍, 甘尚艳. 基于图像识别的智能垃圾分类小车设计[J]. 现代信息科技, 2023, 7(3): 143-146.
- [15] 李小润, 钟日敏, 黄祖朋, 等. 纯电动汽车自动驾驶功能设计[J]. 时代汽车, 2021(6): 97-98.