摘要

针对当前人工走廊清扫作业效率低下、劳动强度偏高，以及常规清扫设备体积臃肿、无法适配窄小走廊狭长空间与边角清洁需求的痛点，本文开展小型走廊清扫机专项设计研究。结合走廊作业场景特性，完成整机整体结构方案搭建，重点对机身、滚刷、角刷、行走机构及吸尘系统五大核心部件进行优化设计，明确机身宽度、滚刷直径、角刷直径、行走速度、吸尘风量等关键参数的合理取值区间，兼顾设备通过性、清洁覆盖性与运行稳定性。

依托清扫机理与运动学理论，构建关键参数耦合分析模型，深入探究各参数对清洁效率、垃圾回收能力、运动平稳性的影响规律，通过仿真迭代确定最优参数匹配方案。试验与仿真结果验证，该小型清扫机可完美适配窄小走廊作业场景，有效消除边角清洁盲区，大幅提升清扫效率与续航表现，为小型化地面清洁设备的结构研发与参数优化提供了可行的理论依据和技术参考。

关键词：小型走廊清扫机；结构设计；关键参数建模；清扫效率；运动稳定性；吸尘系统

Abstract

Aiming at the pain points such as low efficiency and high labor intensity of manual corridor cleaning, as well as the bulky size of conventional cleaning equipment that cannot adapt to the narrow and long space and corner cleaning requirements of small corridors, this paper conducts a special design research on a small corridor sweeper. Combined with the characteristics of the corridor operation scenario, the overall structural scheme of the whole machine is completed, and the five core components including the machine body, rolling brush, corner brush, traveling mechanism and dust collection system are emphatically optimized and designed. The reasonable value ranges of key parameters such as body width, rolling brush diameter, corner brush diameter, traveling speed and dust collection air volume are defined, taking into account the equipment's passability, cleaning coverage and operation stability.

Based on the cleaning mechanism and kinematics theory, a coupling analysis model of key parameters is constructed to deeply explore the influence law of each parameter on cleaning efficiency, garbage recovery capacity and motion stability. The optimal parameter matching scheme is determined through simulation iteration. Test and simulation results verify that the small sweeper can perfectly adapt to the narrow corridor operation scenario, effectively eliminate corner cleaning blind areas, greatly improve cleaning efficiency and endurance performance, and provide a feasible theoretical basis and technical reference for the structural research and development and parameter optimization of small-scale ground cleaning equipment.

Key Words: small corridor sweeper; structural design; key parameter modeling; cleaning efficiency; motion stability; dust collection system

目录

摘要 1

Abstract 2

第 1 章 绪论 7

1.1 研究背景 7

1.2 研究意义 8

1.3 国内外研究现状 8

1.4 本文内容安排 9

第 2 章 需求分析与总体方案 11

2.1 场景约束与问题定义 11

2.1.1 走廊几何特征 11

2.1.2 污染物分布规律 11

2.1.3 运维边界条件 11

2.2 设计目标与技术路线 12

2.2.1 功能目标 12

2.2.2 技术路线 13

2.2.3 评价方法 13

2.3 总体方案确定 13

2.3.1 方案构型 13

2.3.2 模块边界 14

2.3.3 方案结论 14

第 3 章 关键参数建模与性能计算 15

3.1 清扫覆盖模型 15

3.1.1 有效覆盖宽度 15

3.1.2 理论清扫面积 15

3.1.3 3.1.3 实际面积修正 16

3.1.4 图纸参数代入计算 17

3.2 刷体运动学模型 17

3.2.1 滚刷线速度 17

3.2.2 角刷线速度 18
3.2.3 协同系数与无量纲指标 18
3.2.4 图纸参数代入计算 19
3.3 传动与效率模型 20
3.3.1 转速比关系 20
3.3.2 带轮节径近似关系 20
3.3.3 功率与扭矩传递 21
3.3.4 图纸参数代入计算 22
3.4 功率与能耗模型 22
3.4.1 行走阻力 22
3.4.2 行走功率 23
3.4.3 风机与系统功率 23
3.4.4 图纸参数代入计算 24
3.5 压损与回收模型 25
3.5.1 风道压损 25
3.5.2 回收能力系数 25
3.5.3 回收效率指标 26
3.5.4 图纸参数代入计算 27
3.6 续航、附着与强度模型 27
3.6.1 续航模型 27
3.6.2 附着与转向约束 27
3.6.3 强度与疲劳校核 28
3.6.4 图纸参数代入计算 29
第 4 章 结构系统设计 31
4.1 机械总体布局 31
4.1.1 功能分层布局 31
4.1.2 空间约束处理 31
4.1.3 接口标准化 32
4.2 清扫执行机构 32

4.2.1 角刷机构 32
4.2.2 滚刷机构 32
4.2.3 防缠绕设计 32
4.3 回收与储尘系统 33
4.3.1 风道结构 33
4.3.2 过滤总成 33
4.3.3 尘箱模块 33
4.4 行走与控制安全 33
4.4.1 驱动系统 33
4.4.2 转向与通过 33
4.4.3 联锁安全机制 34
4.5 图纸与零部件对应说明 34
4.5.1 外壳与可视部件 34
4.5.2 角刷传动部件 34
4.5.3 回收与压紧部件 35
4.5.4 轴系与支撑部件 36
4.5.5 连接与安装基础部件 37
第 5 章 参数选型与流程化校核 39
5.1 参数边界与建议值 39
5.1.1 边界设定原则 39
5.1.2 参数建议表 39
5.1.3 参数修正策略 40
5.2 动力系统选型 40
5.2.1 选型方法 40
5.2.2 方案对比 40
5.2.3 风险控制 40
5.3 标准件与可维护性 41
5.3.1 标准件优先策略 41
5.3.2 关键件关注点 41

5.3.3 生命周期评估 41
5.4 流程化校核机制 41
5.4.1 三级校核框架 41
5.4.2 作业流程验证 41
5.4.3 维护流程验证 42
第 6 章 结论与展望 43
致谢 44
参考文献 45
附录 47

第 1 章 绪论

1.1 研究背景

随着学校、医院、办公楼和交通枢纽等公共建筑对环境卫生标准持续提高，走廊场景的机械化、自动化清扫需求显著增长。与大厅、广场等开阔空间相比，走廊具有长条形、高频通行、边界密集和节点突变等典型特征，决定了该类场景不能简单套用通用地面清扫设备的结构方案。若设备在空间包络、边角覆盖或回收连续性方面设计不足，现场将出现“能运行但效果不稳定”的工程问题。

从应用侧看，走廊清扫任务具有明显的“全天候、碎片化、时段约束强”特征。设备既要在高峰前后快速完成作业，又要在人员密集时段保持低噪与安全让行；既要兼顾日常细尘清理，也要具备对突发颗粒污染的恢复能力。这些需求叠加后，使结构设计不再是单模块优化问题，而是涉及行走、清扫、回收、电控与运维的系统协同设计问题。

从研发方法看，当前许多项目仍存在“经验主导、参数口径不统一、试验复现性不足”的共性痛点。针对上述问题，有必要围绕走廊场景建立完整的研究路径，把需求约束转化为可计算模型，把模型结果映射到可制造结构，再通过流程化校核完成工程闭环。由此可提升方案的可解释性、可验证性和可部署性。



图 1-1 走廊清扫场景

1.2 研究意义

本研究的首要意义在于提升走廊清扫装备的场景适配能力。通过面向狭长空间、边界富集污染和节点通过约束进行专用结构设计，可显著改善边角残留、回收中断和复扫频繁等实际问题，使设备从“可用”进一步走向“稳定好用”。这种能力提升不仅体现在清洁效果上，也体现在作业一致性和用户感知质量上。

第二，本文通过参数建模与结构设计联动，推动清扫装备研发从经验迭代向工程化迭代转变。统一参数口径和计算边界后，方案比较将更加客观，设计调整将更具可追溯性，样机验证结果也更容易形成可复用的数据资产。对企业研发与项目实施而言，这种“模型—结构—验证”一体化方法可降低试错成本，缩短版本收敛周期。

第三，研究成果对后续运维体系建设同样具有现实价值。结构方案若在设计阶段就兼顾维护路径、标准件可替换性和故障可诊断性，可显著降低长期运维负担，提高设备可用率与生命周期经济性。因此，本课题不仅面向单机性能优化，也面向“设计—制造—运维”全流程效益优化。



图 1-2 小型清扫机应用

1.3 国内外研究现状

从国外研究进展看，清扫装备的发展总体呈现“模块化平台+智能控制+场景适配”并行推进趋势。部分成熟产品在导航、避障与自主调度方面已形成较高工

程化水平，但其结构设计多面向开阔区域或标准化商业地面，针对狭长走廊、频繁节点收缩和边界富集污染等问题的专用结构研究相对有限。在公开技术资料中，边角清扫能力常依赖算法补偿而非机械结构主动适配，导致在复杂边界场景下仍存在回收连续性不足的问题。

国内研究近年来增长较快，研究重点集中在清扫机构优化、传动效率提升、低噪运行与成本可控性等方面。许多研究与工程项目已验证“角刷+滚刷+吸风”协同链路在室内场景中的有效性，并在参数整定、标准件选型和维护便利性上积累了大量经验。然而，现有成果仍普遍存在参数口径分散、试验评价标准不统一、结构与运维耦合考虑不足等情况，导致方案跨场景迁移能力和长期稳定性仍有提升空间。

综合国内外研究现状可知，走廊场景装备设计的关键不在于单项性能极值，而在于“结构适配—参数建模—流程校核”三者的一体化。基于这一认识，本文在研究方法上强调以场景约束驱动结构方案，以可计算模型支撑参数决策，以流程化校核保障工程落地，力求在可部署性、可复现性和可维护性之间建立更稳健的技术平衡。

1.4 本文内容安排

全文围绕“小型走廊清扫机结构设计与关键参数建模”这一主线展开，章节安排强调由问题到方法、由方法到实现、由实现到总结的递进关系。第 1 章从应用场景出发，阐明研究背景、研究意义与总体研究思路，明确本文要解决的核心工程问题和技术目标。

第 2 章聚焦需求分析与总体方案，重点给出走廊几何约束、污染分布规律和运维边界条件，并据此确定设备构型、模块边界与评价口径。第 3 章进一步建立关键参数建模与性能计算体系，围绕覆盖、节拍、传动、能耗和强度等关键关系构建可计算表达，用于支撑结构参数选择与工况校核。

第 4 章对应结构系统设计与图纸映射，结合核心部件功能定位说明结构实现逻辑，并预留图纸插图位置，便于后续排版与答辩展示。第 5 章在前述模型和结构基础上，给出参数选型、风险控制与流程化校核方法。第 7 章对全文研究进行总结并提出后续优化方向，形成可延展的工程研究框架。

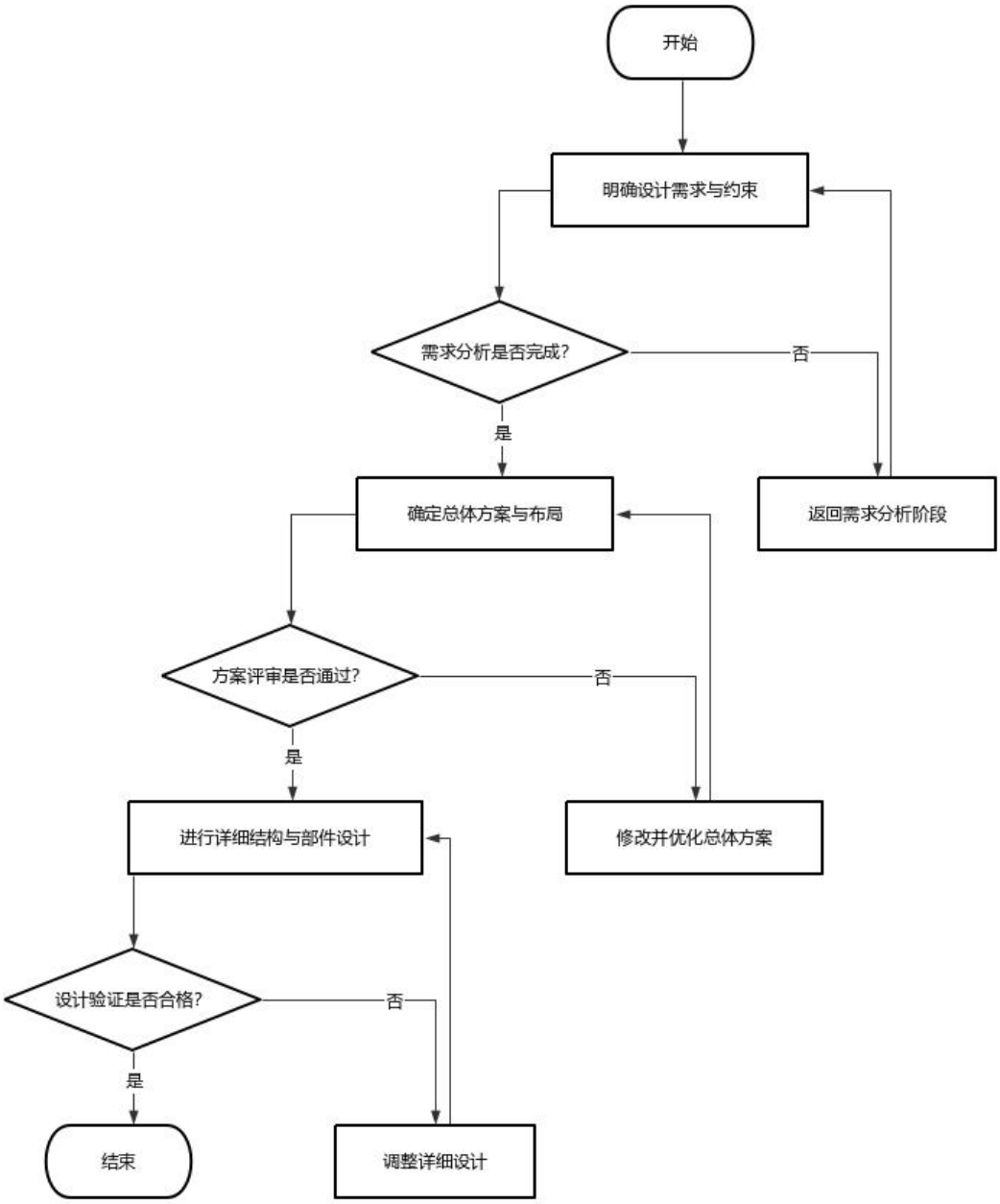

开始
明确设计需求与约束
需求分析是否完成?
否
是
确定总体方案与布局
返回需求分析阶段
方案评审是否通过?
否
是
进行详细结构与部件设计
修改并优化总体方案
设计验证是否合格?
否
是
结束
调整详细设计

图 1-3 技术路线图

第 2 章 需求分析与总体方案

2.1 场景约束与问题定义

2.1.1 走廊几何特征

走廊场景在几何上具有“狭长+突变”的双重特性，典型表现为通道宽度沿路径方向波动、门洞处局部收缩以及转角区域外摆受限。若设备仅按平均宽度进行外形设计，在实际运行中往往会在关键节点出现通过困难或路径重复修正，进而拉低单位时间清扫效率。

在结构方案阶段，几何约束不应只作为静态尺寸条件，还应与动态姿态联合分析。设备在减速转向、让行动作和贴边清扫时，刷体外展和机身外摆会改变瞬时包络边界，因此需要在设计前期建立“最小通行截面+动态安全余量”联合约束。

从工程实现角度，建议将走廊几何特征参数化为“最小宽度、最小转角半径、节点密度”三类指标，并作为后续方案比选和场景验收的统一输入，避免设计、测试、运维阶段口径不一致。

2.1.2 污染物分布规律

室内走廊污染呈现明显的空间非均匀分布，墙边、门口、转角和立柱附近通常为高频富集区域，而中部区域相对均匀。污染类型以细尘、毛发、纸屑和颗粒杂物为主，不同类型污染在同一区域叠加后会显著增加清扫难度。

该分布规律意味着结构设计不能仅追求平均区域清洁度，而应优先解决边界区域的回收完整性。若边界处理能力不足，即便中部效果较好，整体视觉感知仍会下降，且用户对设备稳定性的评价会明显偏低。

因此，后续方案需建立“边界优先、中心协同”的处理策略：边界侧重汇聚与回收，中部侧重连续输送与效率保持。该策略将直接影响角刷、滚刷与吸风链路的参数权重分配。

2.1.3 运维边界条件

设备长期价值不仅取决于清扫性能，还取决于维护动作是否可执行、可重复、可追溯。实际项目中，若尘箱倾倒、刷体清理和风道维护步骤过长或依赖专用工具，维护执行率会随时间下降，进而导致性能衰减与故障频次上升。

从运维视角看，结构设计应尽量将高频维护动作前置，并压缩单次维护路径长度。对于日常点检项，应确保“可视化状态识别+低工具依赖”，把经验式维护转变为状态驱动维护。

此外，运维边界还应包含人员能力差异和班次节奏因素。设计阶段引入维护时间上限与动作复杂度指标，可显著提升后期运维流程的稳定性和设备可用率。

走廊节点与通行约束实景



图 2-1 走廊场景约束示意图

2.2 设计目标与技术路线

2.2.1 功能目标

本课题的功能目标并非单一性能极值，而是多目标协同优化。核心目标包括窄通道稳定通过、边角高覆盖、回收链路连续、低扬尘运行和维护高可执行性。各目标之间存在耦合关系，需要通过系统级设计实现动态平衡。

例如，提高刷体速度可以在短时内提升清扫强度，但同时可能抬升飞散风险和噪声水平；增强吸风能力可以改善回收率，但也会提高功耗和维护负担。因此，功能目标应以“综合最优”而非“单指标最大化”为评价原则。

在后续章节中，参数建模与流程校核将围绕这些目标展开，使目标体系能够

从概念描述转化为可计算、可验证、可落地的工程指标。

2.2.2 技术路线

本研究采用“需求分解—方案比选—参数建模—结构校核—样机验证—运维闭环”的六阶段路线。该路线强调每一阶段都有明确输入、过程方法和输出结果，避免“设计—试验—整改”循环中出现经验化跳步。

在需求分解阶段，重点确定几何约束、污染特征和运维边界；在方案比选阶段，确定协同清扫架构与模块边界；在参数建模与结构校核阶段，形成可量化验证标准；样机验证阶段完成模型反标；运维闭环阶段形成持续优化机制。

该技术路线的优势在于把研发活动从“静态设计文档”升级为“动态数据闭环”。当现场工况变化时，可通过参数更新而非大幅改结构完成迭代，提高工程响应效率。

2.2.3 评价方法

评价体系采用分层结构，目的是同时保证“可比较性”和“可约束性”。结果层用于衡量最终产出，包括覆盖率、回收率和单位面积能耗；过程层用于衡量运行质量，包括作业稳定性、恢复时间和异常频次；约束层用于设定安全边界，包括噪声、温升、联锁响应和结构强度。

分层评价可避免“单项高分掩盖系统短板”的问题。例如，若覆盖率提升但噪声超限，方案不具备工程可部署性；若能耗降低但恢复能力不足，设备在复杂场景中的实际可用率仍会偏低。

评价实施建议采用“阈值约束+加权比较”结合方式：阈值约束用于守住底线，加权比较用于在可行方案中排序，形成更贴合工程决策的评价逻辑。

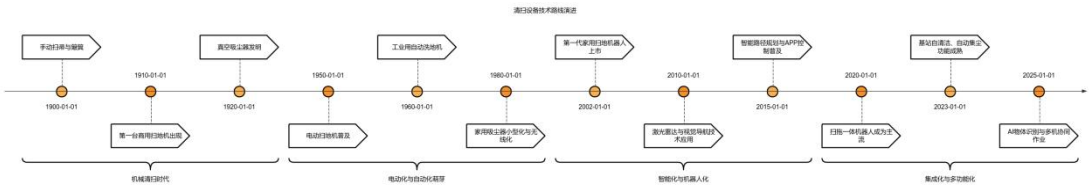


图 2-2 清扫设备技术路线

2.3 总体方案确定

2.3.1 方案构型

总体构型采用角刷聚扫、滚刷输送与负压回收协同架构。其中角刷负责边界

污染汇聚，滚刷负责中部清扫与输送，负压系统负责连续回收。三者协同后可形成稳定清扫链路，减少“局部有效、整体失衡”的问题。

该构型的关键不是单模块能力上限，而是模块间节拍匹配。若角刷聚扫速度与滚刷输送节拍不一致，易出现边界堆积；若回收能力低于输送能力，易出现二次飞散。因此，构型确定后仍需通过参数模型进行节拍与能力双校核。

从工程部署角度，该方案兼顾了清扫效果与维护可执行性，适合在走廊场景下进行标准化推广和后续版本迭代。

2.3.2 模块边界

整机模块划分遵循“功能独立、接口清晰、维护友好”原则，分为行走模块、清扫模块、回收模块、电控模块和安全模块。模块边界明确后，可将结构改动限制在局部范围，降低跨模块连锁影响。

接口基准统一是模块化设计可落地的前提。若接口标准不统一，后期会出现对中困难、装配重复调整和备件互换失败等问题。建议在设计阶段同步定义安装基准、连接规格和公差带，并形成标准化接口清单。

模块边界清晰还能提升研发组织效率。不同团队可基于统一接口并行推进，样机阶段再进行集成校核，从而缩短开发周期并提升版本可控性。

2.3.3 方案结论

综合需求约束、评价指标与方案比选结果可知，协同清扫方案在走廊工况下具有更高适应性与稳定性。该方案在边角覆盖、回收连续性和维护可执行性方面表现均衡，能够满足工程部署的基础要求。

同时，该方案具备良好的参数化扩展空间，可通过后续建模与校核实现分场景优化，而无需频繁进行结构重构。这一特性对于多楼宇、多工况应用场景尤为重要。因此，本章确定的总体方案可作为第 3 章参数建模和第 4 章流程校核的统一基线，为后续样机验证和工程落地提供稳定起点。

第 3 章 关键参数建模与性能计算

3.1 清扫覆盖模型

3.1.1 有效覆盖宽度

该式中，W_{eff} 表示有效覆盖宽度，B 为机身基准清扫宽度，e 为侧向外展量，k 为重叠修正项。该关系用于把几何结构参数映射为覆盖能力，便于在路径规划阶段评估单次通过的理论覆盖边界。

该小节在实施中应优先服务于路径规划与覆盖验收口径统一。建议先以几何可达边界确定理论宽度，再结合不同节点的实际通过轨迹修正参数，避免出现理论覆盖高但现场残留仍明显的偏差。

从工程角度看，该模型把结构几何参数直接映射为覆盖能力，是路径设计和产能预估的起点。若只看机身宽度而忽略外展与重叠修正，一般会高估边界区域有效覆盖。

参数敏感性方面，外展量对边角收益最明显，但重叠修正项会抵消部分增益。宜在直线段、转角段、障碍密集段分别取样标定，再按工况加权，规避单一工况参数外推。

有效覆盖宽度用于描述单次通过几何覆盖边界，是评估路径策略和边界覆盖能力的基础指标。

$$W_{\text{eff}} = B + 2e - k \quad (3\text{-}1)$$

该模型反映了机身宽度、角刷外展和重叠修正对覆盖能力的共同作用。工程宜用中按直线段和转角段分别标定参数，再进行场景加权。

3.1.2 理论清扫面积

该式中，A 为理论清扫面积，W_{eff} 为有效覆盖宽度，v 为行走速度，t 为作业时长，η_s 为路径效率系数；ρ_o 为覆盖重叠率，反映重叠覆盖占比。该组关系用于估算班次理论产出并识别路径重叠带来的效率损失。

理论面积模型更适合作为班次规划与策略比选工具，而非直接作为最终验收值。工程上宜按时段建立独立效率系数，并与实际作业日志联动修正，保证估算

结果可解释、可复核。

该模型适合用于班次能力的快速比较，用于比较“同样时间内不同速度策略谁更优”的问题。由于其结果对路径效率系数高度敏感，系数取值质量直接决定预测可信度。

在宜用边界上，若存在高频让行、回扫和短停，固定系数会明显失真。建议将路径效率拆分为时段或区域参数，并与实测作业日志联动更新。

理论面积模型用于班次能力快速估算，可比较不同速度、时长和路径策略下的理论产出。

$$A = W_{\text{eff}} \cdot v \cdot t \cdot \eta_s \qquad (3\text{-}2)$$

路径效率系数对结果敏感。若现场存在频繁让行和回扫，宜采用分时段系数而非固定值。

为进一步评估重叠带来的覆盖冗余，可引入覆盖重叠率指标。该指标用于量化重复覆盖占总覆盖宽度的比例，数值越高表示路径重叠越明显，通常意味着效率存在改进空间。

$$\rho_o = \frac{k}{B + 2e} \qquad (3\text{-}3)$$

该指标可与现场轨迹热力图联合使用：当重叠率持续偏高时，应优先优化贴边路径与转角策略，而非单纯提升行进速度。

3.1.3 3.1.3 实际面积修正

该组式中，A_{real} 为修正后的实际面积， 和 η_o 分别表示路径与障碍修正影响，A_{net} 为净有效面积，η_r 为复扫修正系数。该组模型用于把理论面积转化为可交付面积，支撑运营口径下的产能评估。

实际面积修正的核心价值在于把运营扰动显式纳入模型。建议将障碍干扰、路径偏差和复扫损耗分别记录，形成分层修正机制，避免把多来源误差压缩到单一系数导致后期难以追踪。

该组关系用于把理论产出转换为运营产出，能够反映障碍、路径偏差和复扫带来的多重损失。相比单公式计算，多级修正更接近现场交付口径。

实践中宜先校正前级修正项，再校正复扫修正项，规避误差叠加难以追溯。

对于季节性污染变化明显的场景，宜设置周期性复标机制。

该小节用于将理论面积映射为实际可交付面积，考虑障碍干扰和复扫损失。

$$A_{\text{real}} = A \cdot \eta_p \cdot \eta_o \qquad (3\text{-}4)$$

该模型将理论面积修正为实际面积，用于反映障碍干扰和路径偏差造成的损失。修正系数宜由现场数据周期更新。

$$A_{\text{net}} = A_{\text{real}} \cdot \eta_r \ \$ \qquad (3\text{-}5)$$

修正系数与现场作业记录联动更新，以保证模型.长期有效。

3.1.4 图纸参数代入计算

结合总装约束与图纸口径，取 $B = 620\ \text{mm}$ 、 $e = 55\ \text{mm}$ 、 $k = 40\ \text{mm}$ 、 $v = 0.65\ \text{m/s}$ 、 $t = 3600\ \text{s}$ 、 $\eta_s = 0.78$ ，可得有效覆盖宽度：

$$W_{\text{eff}} = B + 2e - k = 620 + 2 \times 55 - 40 = 690\ \text{mm} = 0.69\ \text{m} \qquad (3\text{-}6)$$

代入理论面积与实际修正关系，取 $\eta_p = 0.92, \eta_o = 0.95, \eta_r = 0.93$ ：

$$A = W_{\text{eff}} v t \eta_s = 0.69 \times 0.65 \times 3600 \times 0.78 \approx 1259\ \text{m}^2. \qquad (3\text{-}7)$$

$$A_{\text{real}} = A\eta_p\eta_o \approx 1100\ \text{m}^2, \qquad A_{\text{net}} = A_{\text{real}}\eta_r \approx 1023\ \text{m}^2 \qquad (3\text{-}8)$$

由计算可见，理论产能到净有效产能约折减 18.7% ，与走廊场景中障碍扰动和复扫损耗特征一致。

3.2 刷体运动学模型

3.2.1 滚刷线速度

该式中， v_r 为滚刷线速度， D_r 为滚刷直径， n_r 为滚刷转速。该关系用于确定主清扫与输送节拍，是滚刷参数整定的基础；调参时应结合噪声、电流与飞散风险综合判断。

滚刷速度参数应与污染类型和地面状态协同设定。对细尘主导场景可适度提高效率档位，对毛发缠绕高发场景应优先保证稳定输送与低缠绕风险，防止短期提升清扫率却牺牲长期可靠性。

该模型决定主清扫节拍和物料输送能力，是滚刷参数整定的核心依据。滚刷速度过低会造成输送不足，过高则可能导致飞散、噪声和磨损上升。

建议将该参数与吸风能力、行走速度联动优化，而非单独提高转速。可通过“残留率—噪声—电流”三指标联合评估确定稳态工作区间。

滚刷线速度决定主清扫与输送节拍，过低影响输送，过高可能增加噪声和飞散。

$$v_r = \frac{\pi D_r n_r}{60} \qquad (3\text{-}9)$$

上述关系用于滚刷线速度计算，是主清扫节拍的基础。调参时宜同时观察噪声、电流与飞散趋势，规避单一追求高转速。

3.2.2 角刷线速度

该式中，v_c 为角刷线速度，D_c 为角刷直径，n_c 为角刷转速。该关系用于评估边角聚扫能力，尤其适用于门角、墙根等高残留区域的参数校核。

角刷速度主要决定边界污染的汇聚能力，建议在门角、墙根和立柱边缘等高残留区域重点标定。参数整定时应优先追求聚扫连续性与抛散可控性平衡，而不是单纯追求高转速。

角刷线速度直接影响边角污染汇聚效率，特别在门角和墙边富集区更为关键。这一速度关系用于快速评估边界聚扫能力是否达到设计要求。

建议按工况分档设置角刷速度：重污染时保证汇聚强度，常规工况降低不必要能耗与抛散风险。调参时宜同步观察边角残留率变化。

角刷线速度直接关联边角聚扫质量，与边界残留率联动优化。

$$v_c = \frac{\pi D_c n_c}{60} \qquad (3\text{-}10)$$

该模型用于角刷线速度计算，直接关联边角聚扫效果。按重污染与常规工况设置分档，兼顾效果与能耗。

3.2.3 协同系数与无量纲指标

该组式中，κ_v 为双刷体协同速度系数，Π_r, Π_c 为相对于行走速度 v_f 的无量纲速度指标，ξ_v 为节拍偏差因子。该组指标用于判断角刷与滚刷节拍匹配

程度，支持跨机型与跨策略对比分析。

协同指标用于判断双刷体节拍是否匹配，是从“单模块优化”走向“系统协同优化”的关键桥梁。建议把该指标纳入版本回归基线，持续监测参数漂移，降低批次差异带来的性能波动。

该组指标用于判断双刷体节拍是否匹配，是协同清扫能否发挥效益的关键。若匹配失衡，常出现“角刷先到、滚刷滞后”或反向失配。

无量纲处理可消除绝对速度差异，便于跨机型和跨策略对比。建议将其纳入版本迭代回归基线，作为参数迭代中的红线指标。

协同系数用于评估角刷和滚刷节拍匹配，无量纲指标用于跨机型和跨策略比较。

$$\kappa_v = \frac{v_c}{v_r} \qquad (3\text{-}11)$$

此表达式用于衡量两刷体节拍匹配程度。若比例偏离合理区间，容易出现“聚扫已完成但回收未跟上”的效率损失。

$$\Pi_r = \frac{v_r}{v_f}, \qquad \Pi_c = \frac{v_c}{v_f} \qquad (3\text{-}12)$$

.

该组无量纲指标便于跨机型、跨速度策略比较。工程上可将其作为版本迭代回归分析的统一尺度。

在实际调参中，还需要一个对偏差更敏感的评价量来衡量节拍失配程度。节拍偏差因子可直接表征双刷体相对速度偏离协同目标的幅度，便于设置控制阈值与报警边界。

$$\xi_v = \left|1 - \kappa_v\right| \qquad (3\text{-}13)$$

当该因子持续升高时，通常意味着边角聚扫与主刷回收出现不同步，应联合检查角刷转速档位、行走速度与回收链路负载。

3.2.4 图纸参数代入计算

按图纸与参数口径取 $D_r = 160\ \text{mm}$ 、$n_r = 320\ \text{r/min}$ 、$D_c = 220\ \text{mm}$ 、$n_c = 260\ \text{r/min}$ ，可得：

$$v_r = \frac{\pi D_r n_r}{60} = \frac{\pi \times 0.16 \times 320}{60} \approx 2.68\ \text{m/s} \qquad (3\text{-}14)$$

$$v_c = \frac{\pi D_c n_c}{60} = \frac{\pi \times 0.22 \times 260}{60} \approx 2.99\ \text{m/s} \qquad (3\text{-}15)$$

进一步计算协同与偏差指标：

$$\kappa_v = \frac{v_c}{v_r} \approx 1.12, \qquad \xi_v = \left|1 - \kappa_v\right| \approx 0.12 \qquad (3\text{-}16)$$

结果表明角刷节拍略高于滚刷节拍，适合强化边界聚扫；常规工况下可小幅下调 n_c 以降低能耗与抛散风险。

3.3 传动与效率模型

3.3.1 转速比关系

该式中，i_r, i_c 为传动比，n_m 为电机转速，n_r, n_c 为执行端目标转速。该关系用于把电机侧能力映射到滚刷和角刷执行端，是传动初值分配与方案比选的基础。

转速比关系用于将电机侧能力映射到执行端需求，适合用于传动方案初值配置。工程中应结合标准件规格离散性与安装空间约束同步校核，防止理论可行但装配不可实现。

该计算式用于传动初值分配，可把电机侧目标映射到执行端需求。其意义在于建立“目标转速—传动方案”之间的可计算联系。

应用时需同时考虑标准件离散规格和安装空间约束。若仅按理论连续值设计，往往在装配阶段出现不可实现问题。

$$i_r = \frac{n_m}{n_r}, \qquad i_c = \frac{n_m}{n_c} \qquad (3\text{-}17)$$

该关系用于执行端转速目标分配，需结合标准件规格与安装空间做可制造性校核。

3.3.2 带轮节径近似关系

该式中，i 为近似传动比，d_{driven} 和 d_{driver} 分别为从动轮与主动轮节径。该关系适用于方案阶段快速筛选带轮组合，详设时需叠加滑移和张紧修正。

该近似关系可显著提升方案阶段筛选效率，但其精度受滑移和张紧状态影响。进入详设后需补充修正并用样机转速实测对照，确保传动比预测与实物行为一致。

该近似关系适用于方案阶段快速筛选不同带轮组合，能显著缩短初步比选周期。对于多约束场景，它是高效的工程近似工具。

在详设阶段宜补充包角、张紧和滑移修正，以规避理论传动比与实物偏离。建议把修正后结果与试制件转速实测进行闭环验证。

$$i \approx \frac{d_{\text{driven}}}{d_{\text{driver}}} \qquad (3\text{-}18)$$

该表达式适用于方案阶段快速比选，详设时宜补充包角、张紧与滑移修正。

3.3.3 功率与扭矩传递

该组式中，η_{tr} 为传动总效率，$P_{\text{in}}, P_{\text{out}}$ 为输入与输出功率，M_{out} 为输出扭矩，n_{out} 为输出转速。该组关系用于判断执行端可用能力，支撑“先功率后扭矩”的工程校核流程。

功率与扭矩模型用于判断执行端是否具备持续作业能力，建议按“连续工况+峰值工况”双边界校核。若只验证额定工况，可能低估堵塞恢复和突变载荷下的风险。

该组关系分别描述功率衰减与扭矩输出，是执行端能力校核的核心。若仅校核额定工况，可能忽略堵塞恢复和突变载荷风险。

推荐“先功率后扭矩”的校核顺序，并设置最小扭矩裕量阈值。发现不足时优先优化效率链和传动比，而非直接堆叠电机功率。

传动总效率用于快速判断功率在传动链中的整体损失水平。将该量单独表达后，可在方案评审阶段更直观地区分“动力源不足”和“传动损失过大”两类问题。

$$\eta_{\text{tr}} = \eta_b \eta_g \qquad (3\text{-}19)$$

该关系常作为传动方案对比的第一筛选条件：在输出需求相同情况下，传动总效率更高的方案通常具有更好的能耗表现与温升表现。

$$P_{\text{out}} = P_{\text{in}} \cdot \eta_b \cdot \eta_g \qquad (3\text{-}20)$$

上述关系用于计算传动链后的可用功率，是效率损耗分析的关键入口。若功

率不足，优先优化效率链。

$$M_{\text{out}} = \frac{9550 P_{\text{out}}}{n_{\text{out}}} \qquad (3\text{-}21)$$

建议按“先功率后扭矩”顺序校核，并重点关注低速高载工况裕量。

3.3.4 图纸参数代入计算

由 `角刷圆锥齿轮 34×2` 可直接识别齿数 $z_1 = z_2 = 34$，角刷锥齿轮传动比为：

$$i_g = \frac{z_2}{z_1} = \frac{34}{34} = 1.00 \qquad (3\text{-}22)$$

取电机额定转速 $n_m = 3000\ \text{r/min}$，结合执行端目标转速 $n_r = 320\ \text{r/min}$、$n_c = 260\ \text{r/min}$：

$$i_r = \frac{n_m}{n_r} \approx 9.38, \qquad i_c = \frac{n_m}{n_c} \approx 11.54 \qquad (3\text{-}23)$$

该结果说明角刷侧要求更高减速比；在 `角刷带轮` 对应方案中应优先校核中心距、包角与张紧裕量。

3.4 功率与能耗模型

3.4.1 行走阻力

该式中，F_f 为行走阻力，μ 为摩擦系数，m 为整机质量，g 为重力加速度。该关系用于估算不同地面条件下的基础阻力需求，是后续功率计算的前置输入。

行走阻力模型是能耗预测的起点参数，宜按地面材质、污染状态和湿滑等级分组管理。通过分组参数库替代单一经验值，可明显提升跨场景预测稳定性。

该模型将地面附着特性映射为阻力需求，是行走能耗估算前提。不同地材和污染状态下摩擦系数波动明显，统一取值会放大误差。

建议建立分区域阻力参数表，并在运维阶段按季节与地面状态更新，保持模型与现场一致。

$$F_f = \mu m g \qquad (3\text{-}24)$$

该模型用于行走阻力估算，受地材与污染状态影响明显。现场宜用按地面类

型建立分组参数。

3.4.2 行走功率

该式中，P_{move} 为行走功率，F_f 为阻力，v 为行走速度，η_t 为传动效率。该关系用于比较恒速与分段变速策略的能耗差异，服务于节拍与续航联合优化。

行走功率计算不仅用于节能.比较，也用于作业节拍规划。建议将功率模型与任务时限、清洁达标率联合约束，避免出现能耗下降但作业质量下滑的策略偏差。

该模型把阻力需求转化为功率需求，用于比较恒速与分段变速策略。对运营场景而言，它直接关联续航和电耗成本。

实践中减少无效加减速一般比降低巡航速度更有效。宜结合任务时限和清洁标准同步优化速度曲线。

$$P_{\text{move}} = \frac{F_f v}{\eta_t} \qquad (3\text{-}25)$$

该模型把阻力需求转换为功率需求，用于速度策略节能对比。一般减少无效加减速更有利于降低能耗。

3.4.3 风机与系统功率

该组式中，P_{fan} 为风机基础功率，Q 为风量，Δp 为压损，Δp_m 为附加压损，P_{avg} 为系统平均功率，P_b 为电输入功率，E_A, e_A 为单位面积能耗指标。该组关系用于建立从风道状态到系统能耗的统一评价链条。

该小节用于建立风机功耗与系统总功耗的分项关联，是运维诊断的重要依据。建议以压差、电流和流量三类数据联动监测，高效识别异常耗能源。

该组关系描述风机、附加压损与系统总功耗的耦合关系，是能耗诊断的核心工具。滤网污染和局部堵塞会通过附加压损显著放大功耗。

建议按分项功率建立时序监测，并与压差数据联动分析。这样可快速定位高耗能来源，指导维护和结构优化。

$$P_{\text{fan}} = \frac{Q\Delta p}{\eta_f} \qquad (3\text{-}26)$$

此表达式用于风机基础功率估算。压损上升会直接推高功耗，与风道状态联

动分析。

$$P_{\text{fan,real}} = \frac{Q(\Delta p + \Delta p_m)}{\eta_f} \qquad (3\text{-}27)$$

该表达式引入附加压损项，可描述滤网污染与局部堵塞工况，适合用于维护预警阈值设定。

$$P_{\text{avg}} = P_{\text{move}} + P_{\text{fan}} + P_{\text{brush}} + P_{\text{ctrl}} \qquad (3\text{-}28)$$

该计算式用于系统平均功率统计，是续航估算与运营成本核算的核心输入。按班次分段计算。

$$E_A = \frac{P_{\text{avg}} t}{A_{\text{real}}} \qquad (3\text{-}29)$$

该关系用于单位面积能耗的功率口径评价，便于设备横向比较。使用时需统一面积统计口径。

$$e_A = \frac{U_b I_{\text{avg}} t}{A_{\text{real}}} \qquad (3\text{-}30)$$

上述关系用于单位面积能耗的电量口径评价，可直接对接 BMS 数据，适合长期运维趋势分析。

若需将电量口径与功率口径统一到同一分析框架，可先计算平均电输入功率。该关系有助于快速校验电测数据与功率模型的一致性，识别异常能耗来源。

$$P_b = U_b I_{\text{avg}} \qquad (3\text{-}31)$$

当电功率统计值与分项功率求和长期偏离时，应优先排查采样窗口、效率参数与隐藏负载项，避免因统计口径不一致导致错误结论。

3.4.4 图纸参数代入计算

取整机质量 $m = 58\ \text{kg}$、摩擦系数 $\mu = 0.05$、速度 $v = 0.65\ \text{m/s}$、传动效率 $\eta_t = 0.85$，可得：

$$F_f = \mu m g = 0.05 \times 58 \times 9.81 \approx 28.45\ \text{N} \qquad (3\text{-}32)$$

$$P_{\text{move}} = \frac{F_f v}{\eta_t} \approx \frac{28.45 \times 0.65}{0.85} \approx 21.76\ \text{W} \qquad (3\text{-}33)$$

取风量 $Q = 0.055\ .m^3/s$、压损 $\Delta p = 1300$ Pa、附加压损 $\Delta p_m = 250$ Pa、风机效率 $\eta_f = 0.58$：

$$P_{\text{fan}} = \frac{Q\Delta p}{\eta_f} \approx 123.28\ \text{W}, \qquad P_{\text{fan,real}} = \frac{Q(\Delta p + \Delta p_m)}{\eta_f} \approx 146.98\ \text{W} \tag{3-34}$$

再取 $P_{\text{brush}} = 180$ W、$P_{\text{ctrl}} = 30$ W，系统平均功率为：

$$P_{\text{avg}} = P_{\text{move}} + P_{\text{fan,real}} + P_{\text{brush}} + P_{\text{ctrl}} \approx 378.74\ \text{W} \tag{3-35}$$

计算结果显示，风机链路与刷体是主要耗能源，后续节能应优先从压损控制与刷体功率分配入手。

3.5 压损与回收模型

3.5.1 风道压损

该式中，λ 为沿程阻力系数，L 为流道长度，D_h 为水力直径，ρ 为空气密度，v_a 为流速，ζ 为局部阻力系数。该模型用于分解压损来源，定位高损失段并指导风道优化。

压损模型可以把回收不足问题分解为可定位的结构损失项，适用于风道优化优先级排序。工程上建议先治理局部高损失段，再进行全链路复核，通常可获得更高改造收益。

该模型用于分解沿程损失与局部损失，可定位风道高损失段。其价值在于把“回收不足”问题转化为可定位、可优化的结构问题。

优化顺序宜先局部后整体，优先处理急弯和突扩，再做全链路复核。小改动往往可带来明显回收收益。

$$\Delta p = \lambda \frac{L}{D_h} \frac{\rho v_a^2}{2} + \sum \zeta \frac{\rho v_a^2}{2} \tag{3-36}$$

此表达式用于分解风道压损来源，帮助定位高损失段。优化优先处理急弯和截面突变位置。

3.5.2 回收能力系数

该式中，Φ 为回收能力系数，Q 为当前风量，$Q_{\min}$ 为最低需求风量。该指标用于快速判断系统是否接近回收能力下限，适用于巡检与验收场景。

回收能力系数适合用于巡检和验收阶段的快速判定。若指标长期接近下限，应将其视为预警信号，及时复核密封状态、滤网阻塞和风机工况，避免性能突降。

该计算式用于判断当前风量配置是否达到基础回收下限，适合验收与巡检阶段快速判定。指标长期接近下限通常意味着系统处于脆弱边界。

一旦出现临界趋势，宜同步检查密封、滤网和风机工作点，规避把结构问题误判为控制策略问题。

$$\Phi = \frac{Q}{Q_{\min}} \qquad (3\text{-}37)$$

该关系用于回收能力下限判定。当指标接近下限时，优先检查密封状态、滤网阻塞和风机工况。

3.5.3 回收效率指标

该组式中，η_{rec} 为整体回收率，m_{in} 与 m_{all} 分别为回收量与总污染量；η_{edge} 为边角回收率，$m_{\mathrm{edge,in}}$ 与 $m_{\mathrm{edge,all}}$ 分别为边角回收量与边角污染总量。该组指标用于同时评价总体性能与边界短板。

回收效率评估应坚持整体指标与边角指标并重。对于走廊场景，边角指标对用户感知更敏感，建议在优化迭代中提高其权重并作为重点改进方向。

该组指标把整体回收与边角回收分开评价，可规避单指标掩盖局部短板。对于走廊场景，边角指标往往更能反映真实体验。

当整体指标正常但边角偏低时，优先优化角刷轨迹和边界气流；当两者都偏低时，再回到风量与压损链路排查。

$$\eta_{\mathrm{rec}} = \frac{m_{\mathrm{in}}}{m_{\mathrm{all}}} \qquad （3\text{-}38）$$

上述关系用于整体回收率评价，反映系统总体回收水平。用于不同批次样机的性能对比。

$$\eta_{\mathrm{edge}} = \frac{m_{\mathrm{edge,in}}}{m_{\mathrm{edge,all}}} \qquad (339)$$

该模型用于边角回收率评价，能够识别边界区域短板。若偏低，优先优化角刷轨迹与边界气流。

3.5.4 图纸参数代入计算

结合 `垃圾回收箱与回收链路设计口径，取 $Q = 0.055\ \mathrm{m^3/s}$、$\Delta p = 1300\ \mathrm{Pa}$，可得当前风机基础功率约 123.28 W。当滤网与局部损失引起 $\Delta p_m = 250\ \mathrm{Pa}$ 时，风机实耗功率上升至约 146.98 W，说明附加压损对回收链路能耗影响显著。

若最低需求风量取 $Q_{\min} = 0.050\ \mathrm{m^3/s}$，则回收能力系数为：

$$\Phi = \frac{Q}{Q_{\min}} = \frac{0.055}{0.050} = 1.10 \qquad (3\text{-}40)$$

该结果处于可用但裕量有限区间，建议在滤网污染和满载工况下复测，避免回收能力跌至临界边界。

3.6 续航、附着与强度模型

3.6.1 续航模型

该式中，T 为续航时长，U_b 为电池电压，C_b 为电池容量，η_b 为电池有效利用系数，P_{avg} 为平均功率。该关系用于估算班次可达时长，支撑容量选型与排班设计。

续航模型直接服务于容量选型和排班设计，建议采用分工况估算而非单平均估算。将高峰让行、重污染和常规巡检分开建模，可有效提升续航预测可信度。

该模型把电池参数与平均功率统一到同一框架，是班次可达性评估的基础。它可直接支撑容量选型与排班策略制定。

宜采用分工况估算而非单一平均估算，将高峰让行、重污染与常规巡检拆分计算，可显著提升预测稳定性。

$$T = \frac{U_b C_b \eta_b}{P_{\mathrm{avg}}} \qquad (3\text{-}41)$$

此表达式用于续航时长估算。按工况分组计算，规避单一平均功率导致预测失真。

3.6.2 附着与转向约束

该组式中，F_t 为牵引需求，μ_a 为附着系数，N_d 为驱动轮法向载荷，$R_{\min}$

为最小转弯半径，L 为轴距，$\delta_{\max}$ 为最大转向角。该组关系用于联合判断牵引可控性与通过能力。

附着与转向约束需联合校核，才能真实反映通过能力。即便几何上可通过，若牵引裕量不足仍会在湿滑工况下出现失稳风险，因此应进行极限工况联合验证。

该组关系同步约束牵引边界与几何通过能力，规避只看转弯半径而忽略湿滑工况风险。两项约束必须同时满足，系统才具备稳定通过能力。

宜在最小节点和低附着地面开展联合验证。若出现“几何可过但附着不足”，优先调整速度与载荷分配。

$$F_t \le \mu_a N_d \qquad (3\text{-}42)$$

该计算式用于附着约束校核，判断湿滑工况下牵引可控性。可作为速度上限设置依据。

$$R_{\min} \approx \frac{L}{\tan \delta_{\max}} \qquad (3\text{-}43)$$

该关系用于最小转弯半径估算，与现场最小节点半径对照验证通过能力。

3.6.3 强度与疲劳校核

该组式中，σ_{eq} 为等效应力，$[\sigma]$ 为许用应力，n_f 为疲劳安全系数，$[n_f]$ 为最低允许疲劳安全系数，$\sigma_{-1},\sigma_a,\sigma_m,\psi$ 分别表示材料疲劳极限、应力幅、平均应力和修正系数。该组关系用于完成静强度与寿命边界的双重判定。

强度与疲劳校核是关键承载件可靠性论证的核心。建议以静态裕量和寿命裕量双指标给出结论，并结合载荷谱分级验证，使设计判据与长期使用工况一致。

该组关系覆盖静强度和寿命边界，是关键承载件可靠性评估基础。只做静态校核容易低估长期循环载荷风险。

宜输出“静态裕量+寿命裕量”双指标，并结合载荷谱分级校核。对危险截面宜进行重点复核和结构加固预案设计。

$$\sigma_{\mathrm{eq}} = \sqrt{\sigma_b^2 + 3\tau_t^2} \qquad (3\text{-}44)$$

上述关系用于等效应力计算，是静强度校核基础。宜重点检查危险截面与应力集中位置。

$$\sigma_{\mathrm{eq}} \le [\sigma] \qquad (3\text{-}45)$$

该强度判据用于判断静强度是否达标。若超限，优先调整截面尺寸与材料方案。

$$n_f=\frac{\sigma_{-1}}{\sigma_a+\psi\sigma_m} \tag{3-46}$$

该模型用于疲劳安全系数评估，反映长期寿命裕量。宜结合循环载荷谱进行分级校核。

在工程判定中，疲劳安全系数应与最低允许值比较后再给出结论。该判据可把“计算结果”转化为“可执行的合格判断”，便于设计、试验和质控环节统一口径。

$$n_f\ge[n_f] \tag{3-47}$$

当判据不满足时，可优先从应力集中控制、表面质量改进和载荷路径优化三方面入手，而不是仅通过材料升级解决问题。

3.6.4 图纸参数代入计算

在 `24V/45Ah` 电池口径下，取 $\eta_b=0.90$、$P_{\text{avg}}=378.74\ \text{W}$，续航时长为：

$$T=\frac{U_bC_b\eta_b}{P_{\text{avg}}}=\frac{24\times45\times0.90}{378.74}\approx2.57\ \text{h} \tag{3-48}$$

按 `支撑轴`、`轴`、`轴承座`、`轴承座 2` ，取 $\sigma_b=22\ \text{MPa}$、$\tau_t=8\ \text{MPa}$：

$$\sigma_{\text{eq}}=\sqrt{\sigma_b^2+3\tau_t^2}=\sqrt{22^2+3\times8^2}\approx26.02\ \text{MPa}. \tag{3-49}$$

若许用应力 $[\sigma]=120\ \text{MPa}$，则静强度满足：

$$\sigma_{\text{eq}}=26.02\ \text{MPa}<[\sigma]=120\ \text{MPa} \tag{3-50}$$

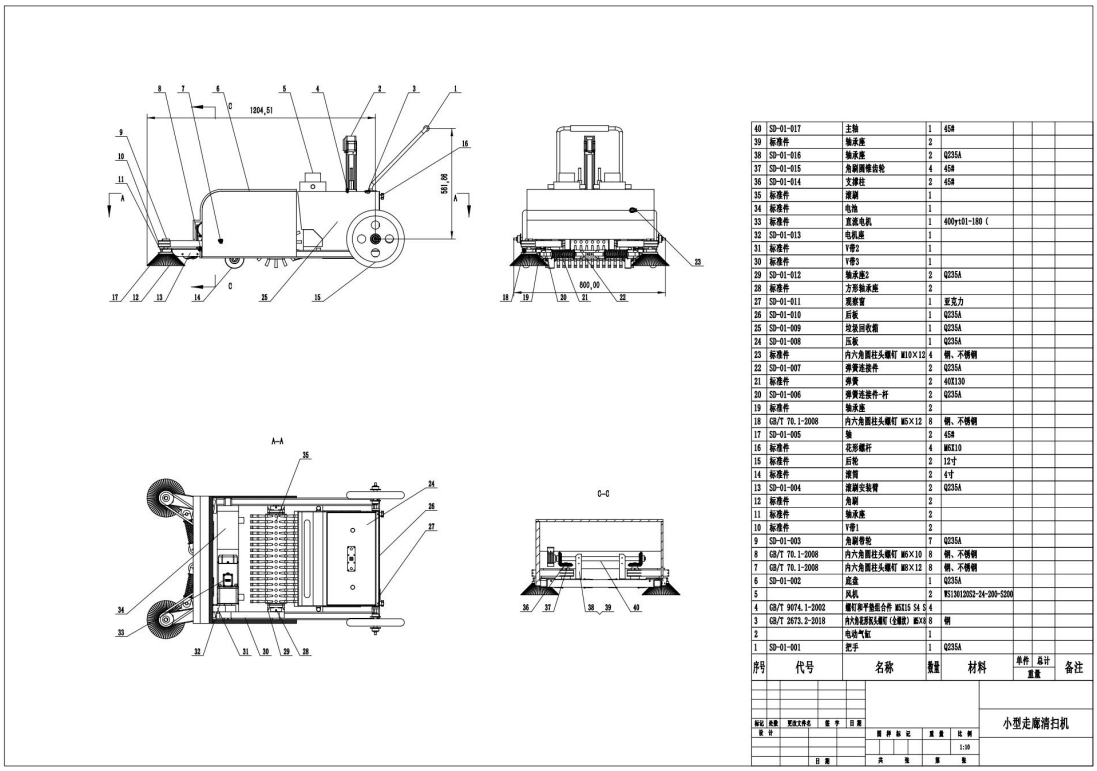
疲劳安全系数按 $\sigma_{-1}=180\ \text{MPa}$、$\sigma_a=32\ \text{MPa}$、$\sigma_m=18\ \text{MPa}$、$\psi=0.2$ 计算：

$$n_f=\frac{\sigma_{-1}}{\sigma_a+\psi\sigma_m}=\frac{180}{32+0.2\times18}=\frac{180}{35.6}\approx5.06 \tag{3-51}$$

取阈值 $[n_f]=1.50$，判据满足：

$$n_f=5.06>[n_f]=1.50 \tag{3-52}$$

结果说明当前参数下续航可覆盖单班次窗口，轴系静强度与疲劳裕量均充足；后续仍需结合 `电机座` 与 `弹簧连接件` 复核冲击载荷放大系数。



序号	代号	名称	数量	材料	单件	总计	备注
40	SD-01-017	主轴	1	45#			
39	标准件	轴承座	2				
38	SD-01-016	轴承座	2	Q235A			
37	SD-01-015	角副圆锥齿轮	4	45#			
36	SD-01-014	支撑柱	2	45#			
35	标准件	滚刷	1				
34	标准件	电池	1				
33	标准件	直流电机	1	400y101-180 (			
32	SD-01-013	电机座	1				
31	标准件	T管2	1				
30	标准件	T管3	1				
29	SD-01-012	轴承座3	2	Q235A			
28	标准件	方形轴承座	2				
27	SD-01-011	质锤管	1	软宝力			
26	SD-01-010	后板	1	Q235A			
25	SD-01-009	垃圾回收箱	1	Q235A			
24	SD-01-008	压板	1	Q235A			
23	标准件	内六角圆柱头螺钉 M10×12	4	钢、不锈钢			
22	SD-01-007	弹簧连接件	2	Q235A			
21	标准件	弹簧	2	40X130			
20	SD-01-006	弹簧连接件-杆	2	Q235A			
19	标准件	轴承座	2				
18	GB/T 70.1-2008	内六角圆柱头螺钉 M5×12	8	钢、不锈钢			
17	SD-01-005	轴	2	45#			
16	标准件	花形螺杆	4	M5X10			
15	标准件	后轮	2	12寸			
14	标准件	滚筒	2	4寸			
13	SD-01-004	滚刷安装臂	2	Q235A			
12	标准件	角副	2				
11	标准件	轴承座	2				
10	标准件	T管1	2				
9	SD-01-003	角副带轮	7	Q235A			
8	GB/T 70.1-2008	内六角圆柱头螺钉 M5×10	8	钢、不锈钢			
7	GB/T 70.1-2008	内六角圆柱头螺钉 M8×12	8	钢、不锈钢			
6	SD-01-002	底盘	1	Q235A			
5		风机	2	WS13012052-24-200-S200			
4	GB/T 9074.1-2002	螺钉和平垫组合件 M5X15 54 S	4				
3	GB/T 2673.2-2018	内六角花形反头螺钉（全螺纹） M8X8	8	钢			
2		电动气缸	1				
1	SD-01-001	把手	1	Q235A			

第 4 章 结构系统设计

4.1 机械总体布局

4.1.1 功能分层布局

功能分层布局的目的在于把行走、清扫、回收、电控和安全模块从结构上解耦，使各子系统可以在统一边界下独立优化。对于走廊场景设备，这种布局方式能显著降低方案迭代时的连锁修改风险，提高开发效率和版本可控性。

在工程实施中，分层布局还应同步考虑维护路径与热源分布。将高频维护部件前置可缩短点检时间，将高热源与敏感控制单元分区可降低热干扰，从而提升整机长期运行稳定性。

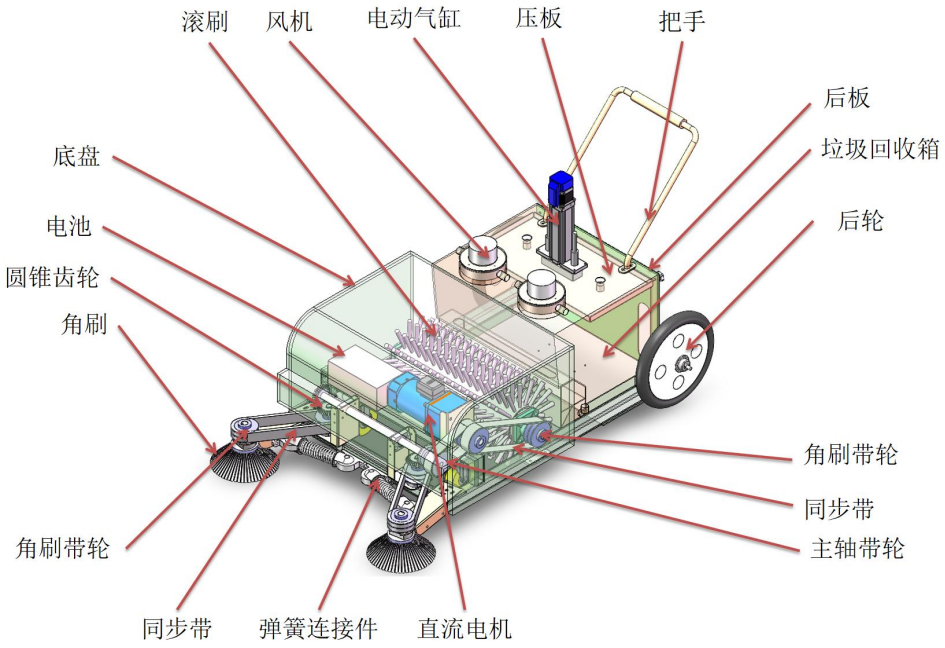


图 4-1 系统总体结构设计图

4.1.2 空间约束处理

空间约束处理应以最小通行截面为硬边界，并将转角外摆、贴边姿态和节点扰动纳入统一分析。走廊场景中门洞缩颈与拐角突变较常见，若缺少动态姿态余量，设备在实测中容易出现“理论可过、现场卡滞”的问题。

建议在方案阶段建立极限包络模型，并结合典型路径做通过性验证。通过“几何校核+场景复核”的双路径方法，可以在样机前期提前暴露风险点，减少后期结

构返工。

4.1.3 接口标准化

接口标准化是实现装配一致性和部件互换性的前提条件。若各模块采用不同基准与连接规则，后期将出现对中困难、装配重复调整和备件替换失败等问题，直接影响可维护性和交付效率。

设计阶段应统一安装基准、连接件规格、公差带和装配扭矩要求，并形成标准接口清单。该做法不仅有利于批量制造，也为后续版本升级保留兼容空间。

4.2 清扫执行机构

4.2.1 角刷机构

角刷机构承担边界污染汇聚任务，其核心设计参数包括刷盘直径、安装偏角和接地刷压。三者之间存在显著耦合关系，任一参数偏离合理区间都会导致边角残留增加或颗粒二次抛散。

工程调参宜采用“残留率+飞散率”双指标评价，并按重污染与常规工况分档优化。通过分档策略可在边界清洁效果与运行能耗之间取得更稳定的平衡。

4.2.2 滚刷机构

滚刷机构负责中部区域主清扫与物料输送，是清扫链路连续性的关键环节。滚刷参数设计不能仅追求短时效率，还需兼顾噪声控制、磨损水平与缠绕风险，确保长期工况下性能稳定。

滚刷线速度应与吸风能力、行走速度联合校核。若仅提高滚刷强度而忽略回收链路匹配，容易形成“输送增强但回收滞后”的系统失衡现象。

4.2.3 防缠绕设计

防缠绕设计直接关系设备连续作业能力，尤其在毛发和纤维类污染占比较高的场景中更为关键。若结构对缠绕抑制不足，设备将频繁停机清理，作业效率与可用率会明显下降。

可通过导流结构、分段刷丝和快拆护罩构建分层防护机制，并在样机阶段开展长周期缠绕测试。建议建立“污染类型—维护周期”映射表，为运维计划提供量化依据。

4.3 回收与储尘系统

4.3.1 风道结构

风道结构决定负压回收链路的效率与稳定性。若风道存在急弯、突扩或过渡不连续等问题，系统会出现压损上升、功耗增大但回收收益有限的低效状态。

优化策略应遵循“先局部、后整体”的原则，优先处理高损失区段，并在关键节点配置压差监测点。通过结构优化与数据监测联动，可更快定位性能瓶颈。

4.3.2 过滤总成

过滤总成设计应兼顾颗粒拦截效率和阻力增长速率。若只追求初始过滤效果，滤材负荷会快速累积，导致维护周期缩短和系统能耗上升。

采用分级过滤可将粗颗粒与细颗粒处理分离，降低主过滤段堵塞速度。该方案能够提升班次内性能一致性，并减轻维护压力。

4.3.3 尘箱模块

尘箱模块既是储存单元，也是作业节拍控制节点。其结构设计直接影响回收链路连续性和班次维护效率。若拆装流程复杂或满载状态不可识别，现场往往会延后维护动作并诱发链路堵塞。

快拆结构与满载识别机制可将维护动作从“经验触发”转为“状态触发”。建议在满载循环工况下复核拆装动作、密封状态和复位可靠性，确保高频使用条件下的稳定性。

4.4 行走与控制安全

4.4.1 驱动系统

驱动系统在走廊场景中应优先满足低速可控与平顺启停要求。由于该场景常伴随频繁让行和短距修正，若驱动响应过激，容易引发轨迹偏移和重复覆盖。

通过柔性启停与速度渐变控制，可降低冲击载荷并提高路径稳定性。该策略有助于在不牺牲效率的前提下提升作业一致性。

4.4.2 转向与通过

转向与通过能力应联合评估几何边界、附着条件和路径执行策略。仅满足理论转弯半径并不足以保证现场通过，湿滑地面和障碍干扰会显著改变实际表现。

建议在典型节点进行实测复核，形成“理论校核—场景验证”闭环。该方法可有效识别“理论可过、现场不稳”的隐性风险。

4.4.3 联锁安全机制

联锁安全机制用于确保异常状态下设备可控停机，并在恢复前完成状态确认。对于人机混行场景，该机制应覆盖堵转、碰撞、通信异常和关键传感失效等风险事件。

恢复流程宜采用分阶段确认而非强制重启，确保故障信息可追溯并防止二次故障扩散。通过联锁逻辑标准化，可显著提升现场运行安全性与维护决策准确性。

4.5 图纸与零部件对应说明

4.5.1 外壳与可视部件

观察窗与后板共同构成外壳观察与封闭界面，前者承担可视化检查功能，后者承担结构封闭和安装基准功能。两者在装配时需重点关注孔位一致性、连接可靠性和密封边界稳定性。

在运维阶段，该组部件的状态会直接影响故障诊断效率和内部清洁可见性。建议将振动工况下的紧固稳定性纳入重点检查项。

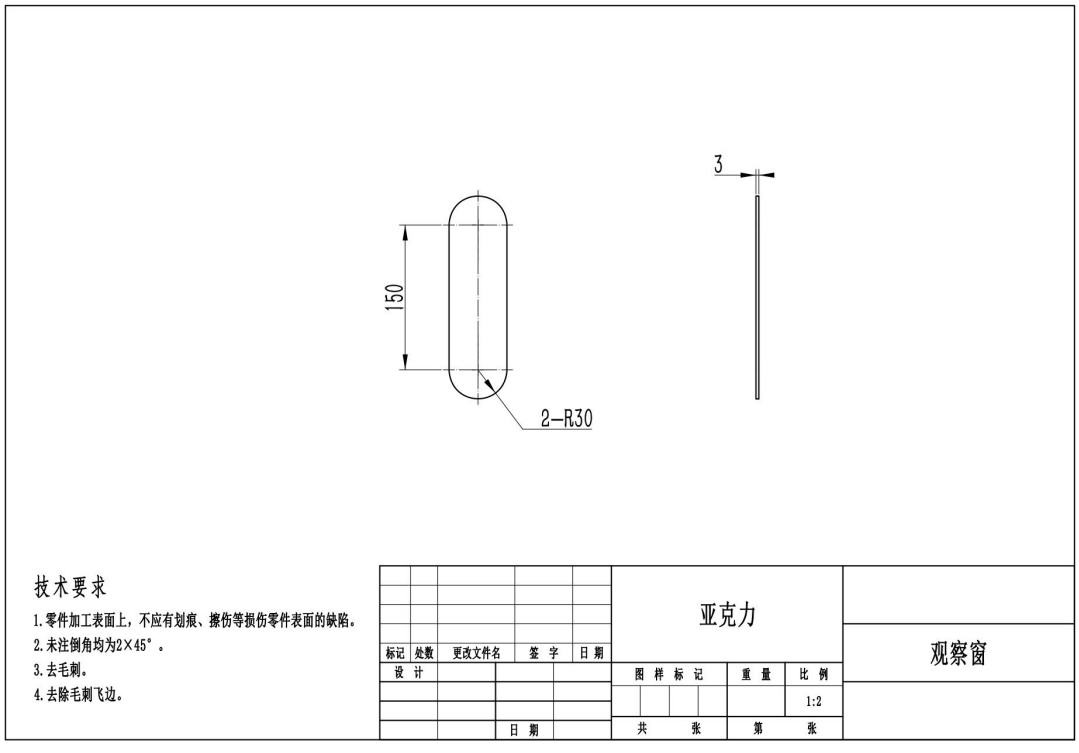


图 4-2 观察窗图纸

4.5.2 角刷传动部件

角刷带轮与角刷圆锥齿轮 34x2 构成角刷侧关键传动链，主要负责边界执行端的速度与扭矩传递。中心距、啮合间隙和装配同轴度将直接影响节拍稳定性和

磨损水平。

该组部件建议在装配阶段执行传动精度复核，并在试运行阶段监测振动与温升趋势，以提前识别潜在失配风险。

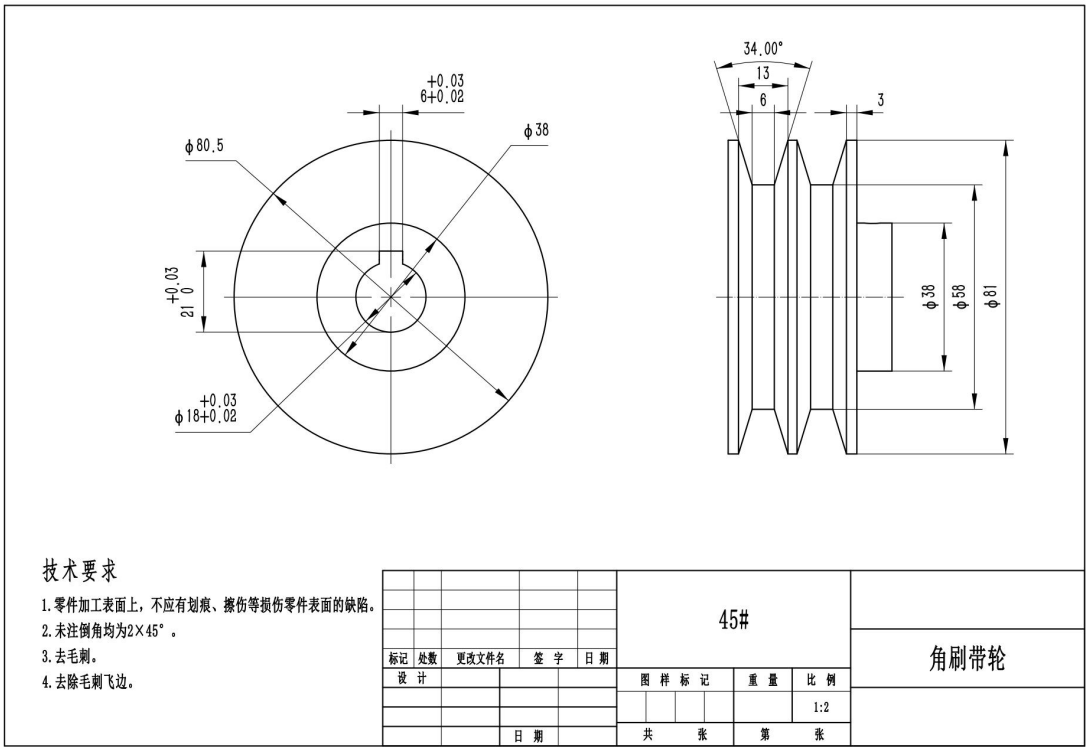


图 4-3 角刷带轮图纸

4.5.3 回收与压紧部件

垃圾回收箱与压板共同影响回收链路稳定性与压实效果。回收箱结构决定容积利用率与维护节拍，压板结构决定压实均匀性和动作可靠性。

设计与验证阶段应重点校核变形、卡滞和复位风险，并通过满载循环测试评估高频工况下的动作一致性。

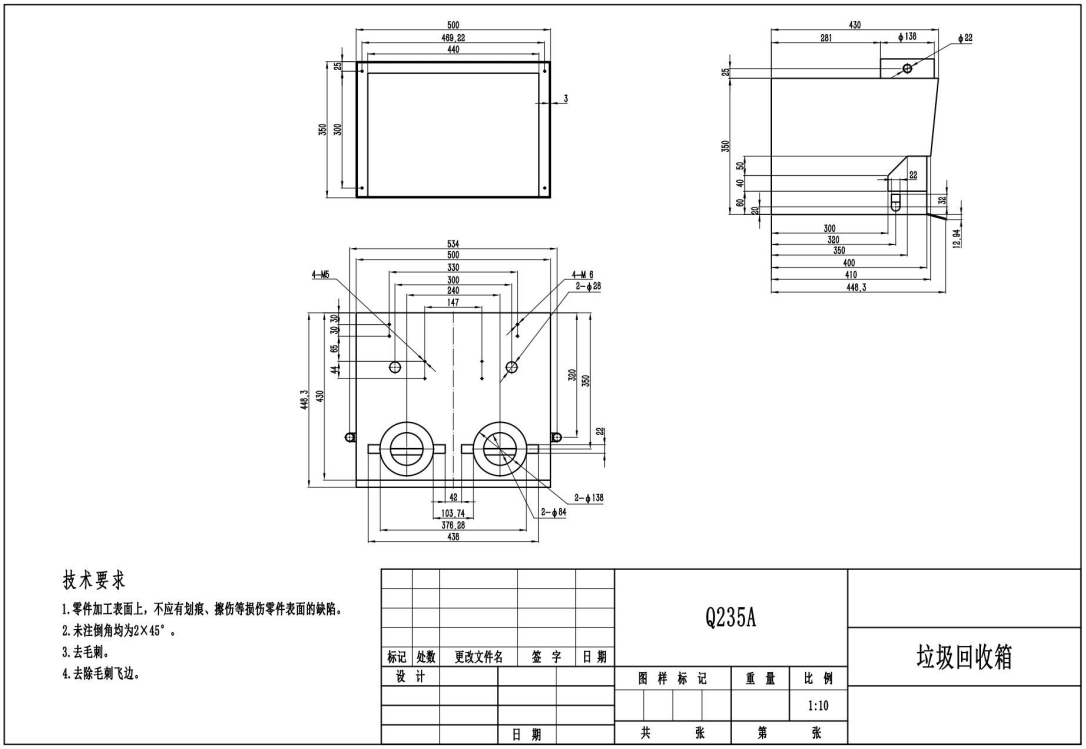


图 4-4 垃圾回收箱图纸

4.5.4 轴系与支撑部件

支撑轴、轴、轴承座和轴承座 2 构成主要旋转支撑体系，是传动效率和运行寿命的基础。若配合精度不足，系统会出现附加载荷和异常磨损，导致噪声上升和寿命下降。

建议将该组部件与强度、疲劳和装配精度校核结果联动分析，形成“设计参数—装配质量—寿命表现”闭环评价。

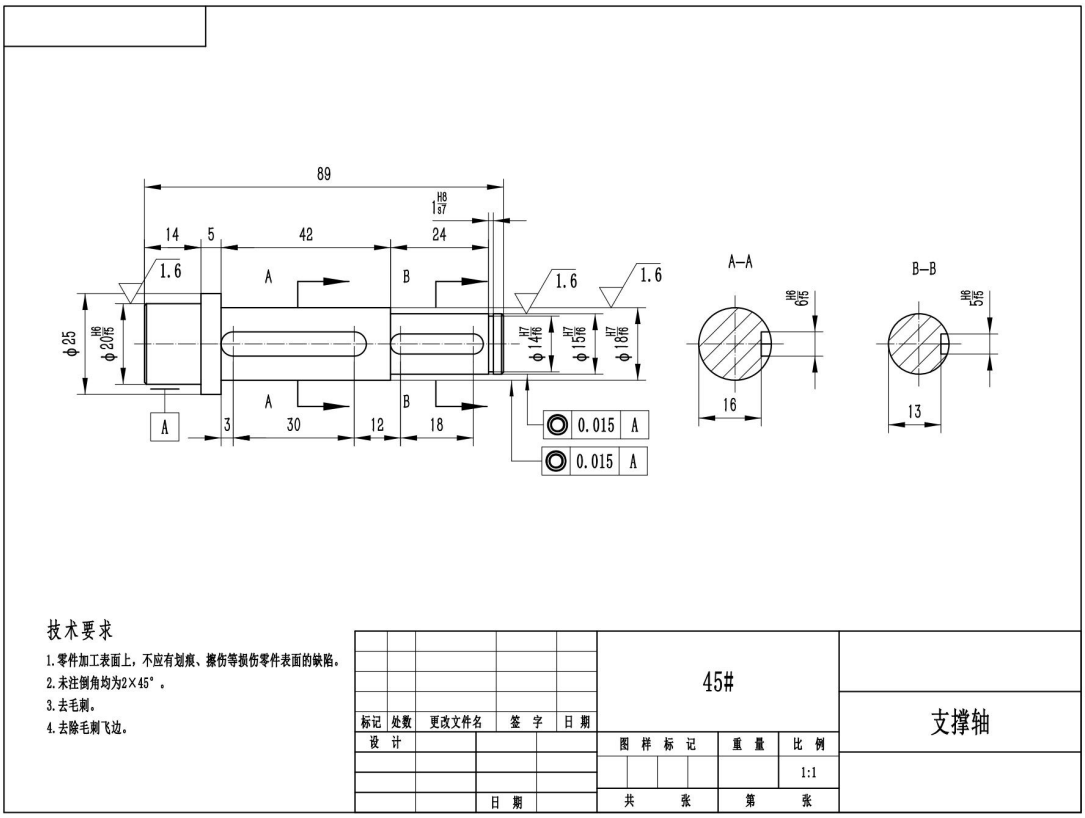


图 4-5 支撑轴图纸

4.5.5 连接与安装基础部件

弹簧连接件与电机座分别承担柔性连接和动力安装基准功能，决定动力链冲击响应与姿态稳定性。弹簧连接件用于吸收瞬态冲击，电机座用于保证安装刚度和定位精度。

在工程应用中，该组部件宜重点关注连接刚度、疲劳耐久与重复定位能力，确保长期运行条件下的结构可靠性和维护一致性。

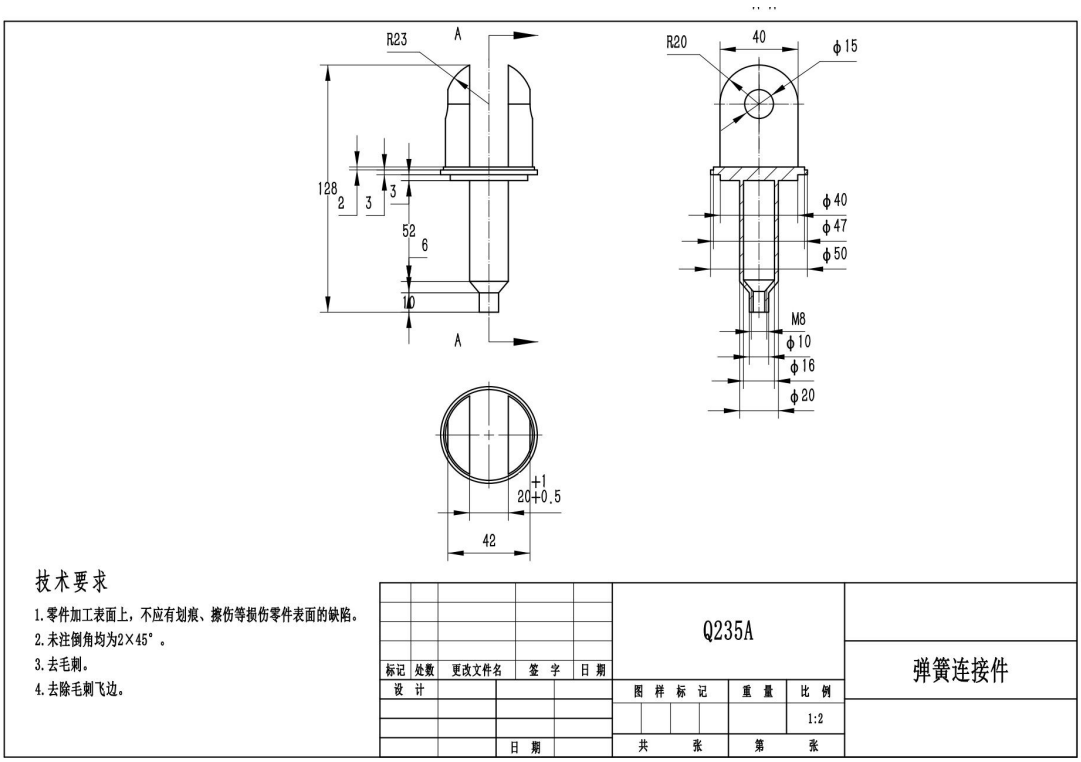

R23
A
128
2
3
3
52
6
10
A
R20
40
φ15
φ40
φ47
φ50
M8
φ10
φ16
φ20
+1
20+0.5
42
技术要求
1.零件加工表面上，不应有划痕、擦伤等损伤零件表面的缺陷。
2.未注倒角均为2×45°。
3.去毛刺。
4.去除毛刺飞边。
标记 处数 更改文件名 签 字 日 期
设 计
日 期
Q235A
图 样 标 记
重 量
比 例
1:2
共 张
第 张
弹簧连接件

图 4-6 弹簧连接件图纸

第 5 章 参数选型与流程化校核

5.1 参数边界与建议值

5.1.1 边界设定原则

参数边界设定应遵循“先可行、后优化”的工程原则。可行边界用于保证结构安全、动力可达和回收稳定，优化边界用于在可行范围内进一步提升效率与经济性。若在可行性尚未确认前直接进行参数寻优，往往会出现试验代价高、结论不稳定、方案难落地的问题。

在实施层面，边界设定宜结合典型场景工况同步建立，包括轻污染、重污染、湿滑地面和障碍密集区等。通过分场景边界管理，可将“统一参数包”转化为“场景化参数包”，提升工程部署的适配性和鲁棒性。

5.1.2 参数建议表

参数建议表的意义不在于给出固定答案，而在于提供可验证的初始区间。不同项目在地面材质、通道宽度和作业节奏方面差异显著，应在建议范围内进行二次校准。通过“建议值—实测值—修正值”三步闭环，可以逐步收敛到最适合现场的参数组合

参数项	符号	建议范围	设计说明
机身宽度	B	500~700 mm	保证机器人在室内环境中具有良好通过性，同时兼顾地面清洁覆盖范围
滚刷直径	Dr	120~180 mm	直径大小直接影响垃圾输送效率，过大易发生毛发缠绕，过小则清洁能力不足
角刷直径	Dc	180~260 mm	决定墙角、边缘区域的清洁覆盖效果，需与机身宽度匹配以消除清洁盲区
行走速度	v	0.4~1.0 m/s	速度过高会增加能耗并降低运动稳定性，过低则影响清洁作业效率

参数项	符号	建议范围	设计说明
风量	Q	0.03~0.09 m3/s	风量大小决定粉尘、碎屑的真空回收能力，需与风机功率及流道设计匹配

5.1.3 参数修正策略

参数修正应以单变量迭代为主，分工况推进为辅。单变量方法能够清晰识别某一参数变化对关键指标的影响方向和幅度，避免多变量联动造成因果关系混淆。

修正流程可采用“参数调整—过程记录—结果复核—策略回写”机制。每轮迭代均需记录输入条件、调整动作和输出指标，最终形成可追溯的参数决策链，便于后续版本复用。

5.2 动力系统选型

5.2.1 选型方法

动力系统选型应同时满足连续输出能力、峰值恢复能力和热稳定边界。若只依据额定功率进行选型，容易忽略效率区间、瞬态负载能力和长期温升约束，导致“纸面可用、现场掉链”的风险。

建议采用工况分级选型方法：先确定重污染与极端工况的最低能力要求，再校核常规工况的能耗表现，最后评估全生命周期成本。该方法可在可靠性与经济性之间建立更合理平衡。

5.2.2 方案对比

方案对比应统一指标口径，重点关注通过性、能耗、温升行为和生命周期成本。若只看单项优势，容易出现短期表现良好但长期维护压力增大的隐患方案。

对比结论应同时给出“可部署性判断”和“风险提示”。前者说明方案是否满足当前项目边界，后者说明在工况扩展时的潜在限制，便于后续决策透明化。

5.2.3 风险控制

动力风险主要分为“动力不足”和“动力过剩”两类。动力不足会导致重污染场景回收中断和频繁保护停机；动力过剩则会带来能耗上升、热负担增加和采购成本浪费。

风险控制应通过上下限裕量设计实现，并配套温升、电流和恢复时间监测阈值。通过阈值化管理，可将风险由“事后处理”转变为“过程预警”。

[图片占位符-图 4：动力选型与校核流程图]

5.3 标准件与可维护性

5.3.1 标准件优先策略

标准件优先策略的核心是降低备件复杂度和维护等待时间。采用通用规格不仅有利于采购与库存管理，也能减少现场更换过程中的适配不确定性。

在设计阶段应优先评估标准件的可替换性和供应稳定性，避免出现“性能达标但长期不可持续供给”的结构方案。

5.3.2 关键件关注点

关键件管理应围绕失效后果进行分级，重点关注密封、轴承、张紧和防松等高风险部位。此类部件一旦失效，往往会引发链式性能下降甚至停机故障。

建议建立关键件检查清单与周期策略，将结构检查与运行数据联动。通过“高风险件高频检查、一般件常规检查”的分层机制，可提升维护资源利用效率。

5.3.3 生命周期评估

生命周期评估不应仅考虑初始采购成本，还应纳入能耗、维护工时、备件消耗和停机损失。某些低成本方案在长期运行中的总成本可能明显高于中等成本方案。

因此，评估结论应以全周期成本为主，辅以可靠性和可维护性指标。该方法更符合工程项目的实际决策逻辑。

5.4 流程化校核机制

5.4.1 三级校核框架

三级校核框架包括设计校核、样机校核和场景校核。设计校核用于验证理论边界，样机校核用于发现模块耦合问题，场景校核用于确认长期运行稳定性。

三层校核应采用统一记录模板，确保结论可比较、可追溯、可复用，为后续版本迭代提供高质量输入。

5.4.2 作业流程验证

作业流程验证应覆盖启动、自检、清扫、回收、倾倒和复位全链路，重点记

录各环节节拍、异常类型和恢复耗时。仅验证“能运行”不足以支撑工程部署，需要验证“能稳定运行且可恢复”。

建议通过时间序列数据识别流程瓶颈，并将异常高发环节优先纳入结构和控制优化清单。

5.4.3 维护流程验证

维护流程验证应坚持可执行、可追踪、可复盘原则。若维护步骤过多或路径过深，现场执行率将明显下降，最终影响设备可用率。

建议将高频维护动作标准化并形成检查闭环，结合故障台账持续优化维护流程，使运维体系具备自我改进能力。

第 6 章 结论与展望

本文围绕小型走廊清扫机完成了从需求定义、参数建模到结构设计与流程校核的完整研究。综合分析表明，角刷聚扫、滚刷输送和负压回收协同方案能够在走廊场景中兼顾边界覆盖能力与系统稳定性；参数化模型能够把设计决策从经验判断转化为可计算、可验证、可复现的工程方法；图纸对应机制和流程化校核框架则进一步提升了方案落地效率与跨团队协同质量。通过将几何约束、污染特征和运维边界纳入统一评价体系，论文形成了可面向工程部署的结构设计路径。

在后续工作中，可重点推进三方面深化：第一，构建更细粒度的场景化参数库，提升模型在复杂工况下的预测精度；第二，引入在线状态监测与自适应调参机制，实现“运行—诊断—优化”闭环；第三，围绕低噪轻量化、自适应刷压与风道智能调控开展联合优化，进一步降低能耗并提升长期可靠性。通过持续迭代，可将单机性能优化扩展为系统级运维效益优化，为室内清扫装备的规模化应用提供更稳健的技术支撑。

致谢

时光荏苒，岁月如梭，数年的大学求学时光即将悄然落幕。回首这段充实而难忘的求学之路，心中充满了无限感慨与深深谢意。本论文从最初的选题立意、研究思路的梳理，到框架结构的搭建、内容的反复推敲与修改完善，每一步都离不开指导老师的悉心指引与耐心教诲。老师以严谨求实的治学态度、深厚扎实的学术功底和精益求精的科研精神，为我指明了研究方向，在我遇到困惑与瓶颈时给予细致点拨，让我得以不断完善研究内容、提升论文质量。老师不仅传授给我专业知识与研究方法，更教会我踏实做事、诚恳待人的人生道理，这份师恩与教诲，我将永远铭记于心。

感谢在求学路上一路相伴的同窗好友，我们一同探讨学术、交流思想、彼此鼓励、共同进步，在学习与生活中相互扶持，留下了许多温暖而珍贵的回忆。同时，我最想感谢的是我的家人，他们是我最坚实的精神支柱，始终给予我无私的关爱、理解与包容，在我面临压力与困难时默默支持，让我能够心无旁骛地完成学业与论文写作。毕业既是一段旅程的终点，也是人生新征程的起点，未来我将带着这份感恩之心继续奋勇前行，不忘初心，脚踏实地，不断提升自我，努力成为更有担当、更有价值的人，以此回报所有关心、帮助与支持我的人。

参考文献

[1]彭安黎,赵学,肖然,等. 新型烟箱清扫机构的研制[J].科技创新与应用,2024,14(32):43-46.

[2] TBM 配套连续输送机投入使用[J].起重运输机械,2024,(13):52.

[3]沈帅.果园避障割草清扫机的设计与试验[D].塔里木大学,2024.

[4]罗彦英.挂板式光伏清扫机器人结构轻量化与防偏控制方法研究[D].贵州大学,2024.

[5]廖树德,黄育飞,王波,等. 便携式蜘蛛网清扫机的设计研究[J].今日制造与升级,2023,(11):44-46.

[6]吕磊,董淑超,孔德龙,等. 火车车厢余煤智能清理机器人龙门架有限元分析[J].科学技术创新,2023,(27):193-196.

[7]石鹏飞,王荣鑫,贾健,等. 影响偏光片清扫机清扫效果因素分析[J].机械工程与自动化,2023,(06):150-152.

[8]雷磊. 原油储罐机械清洗工艺的技术分析[J].中国石油和化工标准与质量,2023,43(20):166-168.

[9]陈书瑶. 自动清扫机[J].快乐语文,2023,(16):23.

[10]黄红燕,方格蔟表面浮丝清扫机.广西壮族自治区,广西壮族自治区蚕业技术推广站,2022-11-22.

[11]全国林业机械标准化技术委员会(SAC/TC 61).以汽油机为动力的背负式风力清扫机:LY/T 1618-2022[S].中国标准出版社,2022.

[12]全国林业机械标准化技术委员会(SAC/TC 61).以汽油机为动力的便携式收集粉碎清扫机:LY/T 1668-2022[S].中国标准出版社,2022.

[13]韦新成,小型清扫机扫刷机构.广西壮族自治区,中国重汽集团柳州运力专用汽车有限公司,2022-06-21.

[14]阳衡,小型多功能纯电动清扫机关键技术及应用.湖南省,湖南纽恩驰新能源车辆有限公司,2022-03-05.

[15]本刊编辑部. 产业园区物业服务的春天[J].城市开发,2021,(05):1.

[16]王海霞,王帅帅,赵成龙. 落叶清扫机的设计与研究[J].山东化工,2021,50(04):193-196.

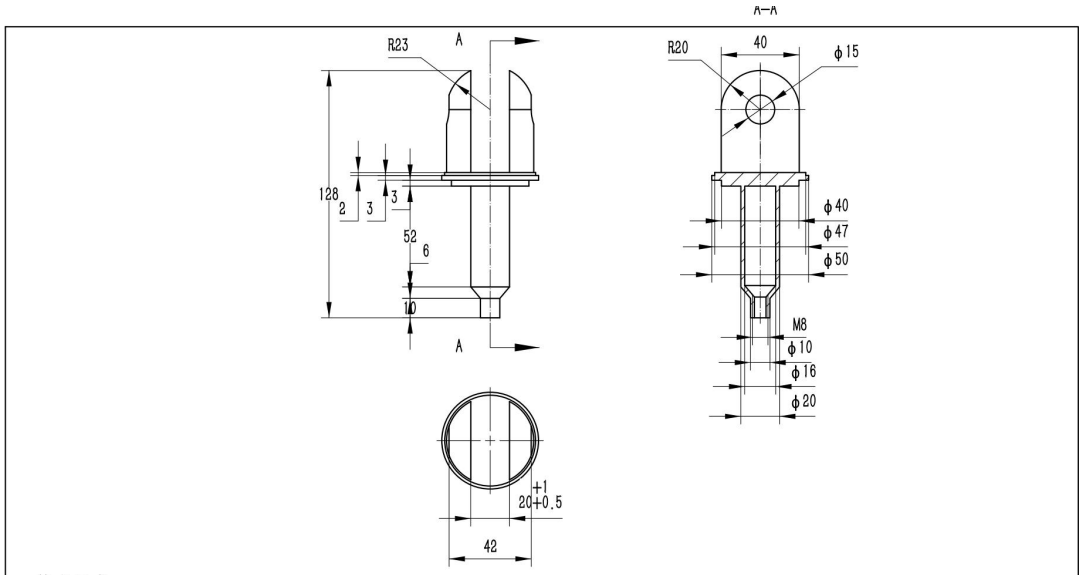
[17] 俞雯,魏山河. 太阳能屋顶清扫机的控制系统设计[J].轻工机械,2021,39(01):63-66+71.

[18]江霖,程亮,王少俊,等. 一种小型无人驾驶环保清扫车机构设计[J].佳木斯大学学报(自然科学版),2021,39(01):69-71+144.

[19]张军,张卫忠,孙文芳. 室内智能无人清扫机的设计研究[J].通化师范学院学报,2020,41(08):7-13.

[20]王福鑫,魏楠,万世勇,等. 楼道智能清扫机设计研究[J].造纸装备及材料,2020,49(03):124+128.

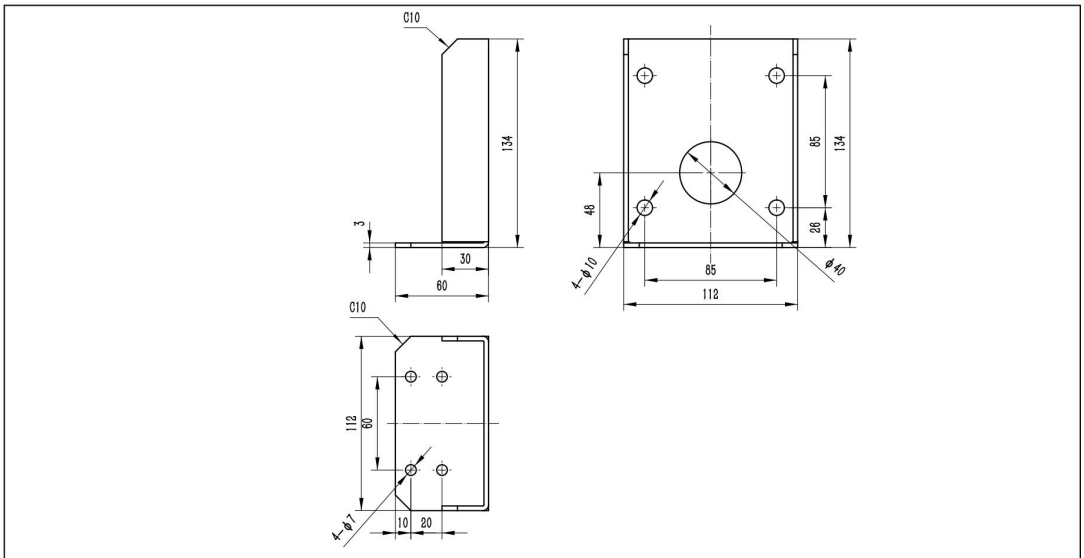
附录



技术要求

1.零件加工表面上，不应有划痕、擦伤等损伤零件表面的缺陷。
2.未注倒角均为2×45°。
3.去毛刺。
4.去除毛刺飞边。

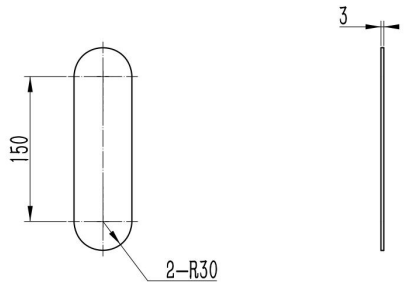
标记	处数	更改文件名	签字	日期	Q235A	弹簧连接件
设计					图样标记	重量	比例
							1:2
			日期		共 张	第 张	



技术要求

1.零件加工表面上，不应有划痕、擦伤等损伤零件表面的缺陷。
2.未注倒角均为2×45°。
3.去毛刺。
4.去除毛刺飞边。

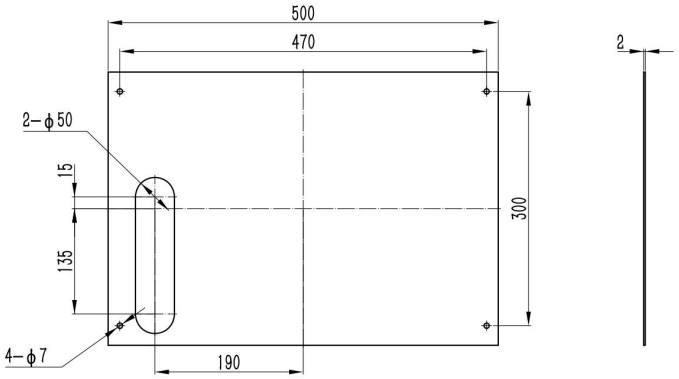
标记	处数	更改文件名	签字	日期	Q235A	电机座
设计					图样标记	重量	比例
							1:2.5
			日期		共 张	第 张	



技术要求

1.零件加工表面上，不应有划痕、擦伤等损伤零件表面的缺陷。
2.未注倒角均为2×45°。
3.去毛刺。
4.去除毛刺飞边。

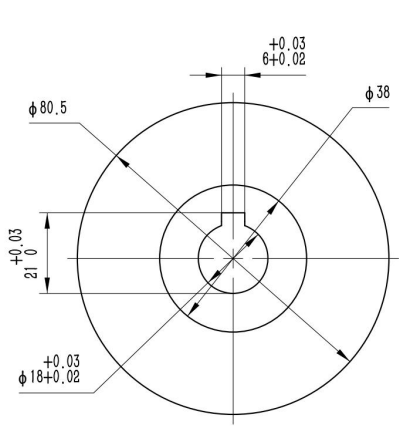
标记	处数	更改文件名	签字	日期	亚克力		观察窗
设计					图样标记	重量	比例
							1:2
			日期		共 张	第 张	

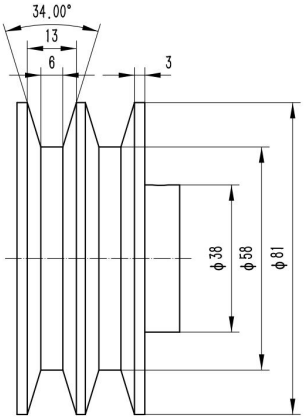


技术要求

1.零件加工表面上，不应有划痕、擦伤等损伤零件表面的缺陷。
2.未注倒角均为2×45°。
3.去毛刺。
4.去除毛刺飞边。

标记	处数	更改文件名	签字	日期	Q235A		后板
设计					图样标记	重量	比例
							1:5
			日期		共 张	第 张	





技术要求

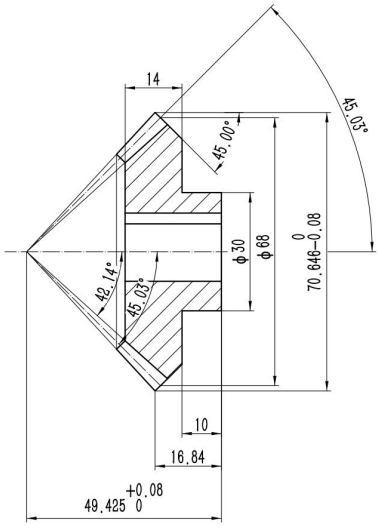
1. 零件加工表面上，不应有划痕、擦伤等损伤零件表面的缺陷。
2. 未注倒角均为2×45°。
3. 去毛刺。
4. 去除毛刺飞边。

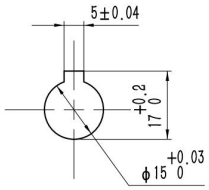
标记	处数	更改文件名	签字	日期
设计				
			日期	

45#	
图样标记	重量 / 比例
	1:2
共 张	第 张

角刷带轮

模楼	2
齿数	34
齿形角	20





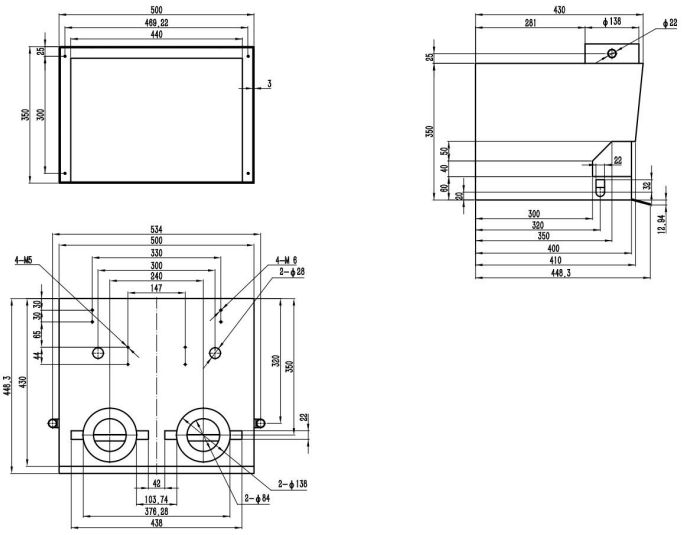
技术要求

1. 零件加工表面上，不应有划痕、擦伤等损伤零件表面的缺陷。
2. 未注倒角均为2×45°。
3. 去毛刺。
4. 去除毛刺飞边。
5. 零件经淬火处理后，硬度应达到50~55HRC。

标记	处数	更改文件名	签字	日期
设计				
			日期	

45#	
图样标记	重量 / 比例
	1:2
共 张	第 张

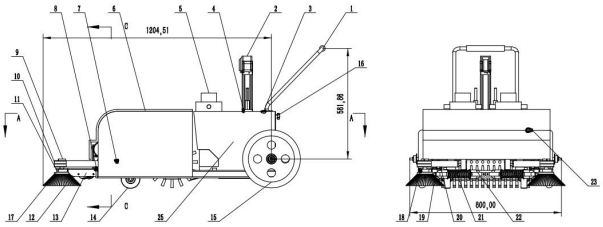
角刷圆锥齿轮

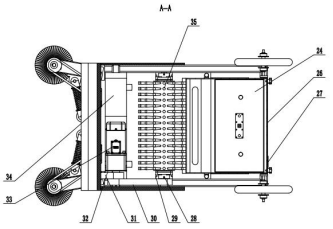


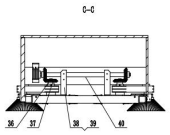
技术要求

1.零件加工表面上，不应有划痕、擦伤等损伤零件表面的缺陷。
2.未注倒角均为2×45°。
3.去毛刺。
4.去除毛刺飞边。

标记	处数	更改文件名	签字	日期	Q235A		垃圾回收箱
设计					图样标记	重量	比例
							1:10
			日期		共 张	第 张	

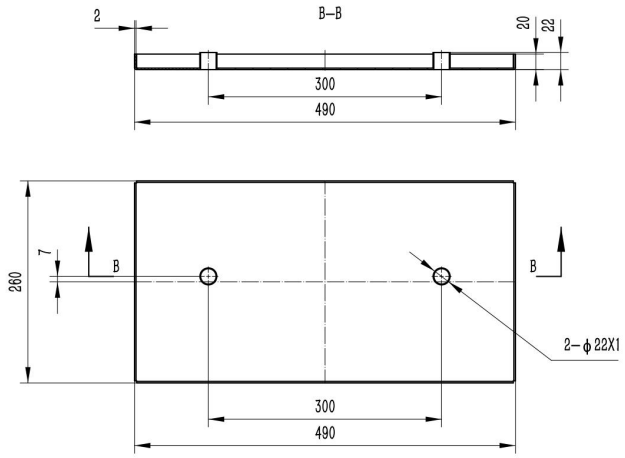






序号	代号	名称	数量	材料	单件 总计 重量	备注
40	SD-01-017	主轴	1	45#		
39	标准件	轴承座	2			
38	SD-01-016	轴承座	2	Q235A		
37	SD-01-015	角副圆锥齿轮	4	45#		
36	SD-01-014	支撑柱	2	45#		
35	标准件	滑道	1			
34	标准件	电池	1			
33	标准件	直流电机	1	400yt01-180（		
32	SD-01-013	电机座	1			
31	标准件	V带2	1			
30	标准件	V带3	1			
29	SD-01-012	轴承座2	2	Q235A		
28	标准件	方形轴承座	2			
27	SD-01-011	观察窗	1	亚克力		
26	SD-01-010	后板	1	Q235A		
25	SD-01-009	垃圾回收箱	1	Q235A		
24	SD-01-008	压板	1	Q235A		
23	标准件	内六角圆柱头螺钉 M10×12	4	钢、不锈钢		
22	SD-01-007	弹簧连接件	2	Q235A		
21	标准件	弹簧	2	40Cr130		
20	SD-01-006	弹簧连接件-杆	2	Q235A		
19	标准件	轴承座	2			
18	GB/T 70.1-2008	内六角圆柱头螺钉 M5×12	8	钢、不锈钢		
17	SD-01-005	轴	2	45#		
16	标准件	花形螺杆	4	M8X10		
15	标准件	后轮	2	12寸		
14	标准件	滑筒	2	4寸		
13	SD-01-004	滑副安装臂	2	Q235A		
12	标准件	角副	2			
11	标准件	轴承座	2			
10	标准件	V带1	2			
9	SD-01-003	角副带轮	7	Q235A		
8	GB/T 70.1-2008	内六角圆柱头螺钉 M5×10	8	钢、不锈钢		
7	GB/T 70.1-2008	内六角圆柱头螺钉 M8×12	8	钢、不锈钢		
6	SD-01-002	底盘	1	Q235A		
5		风机	2	WS13012GS2-24-200-5200		
4	GB/T 9074.1-2002	螺钉和平垫组合件 M5X15 S4	4			
3	GB/T 2673.2-2018	内六角花形长头螺钉（全螺纹） M5X6	8	钢		
2		电动气缸	1			
1	SD-01-001	把手	1	Q235A		

标记	处数	更改文件名	签字	日期	小型走廊清扫机		
设计					图样标记	重量	比例
							1:10
			日期		共 张	第 张	



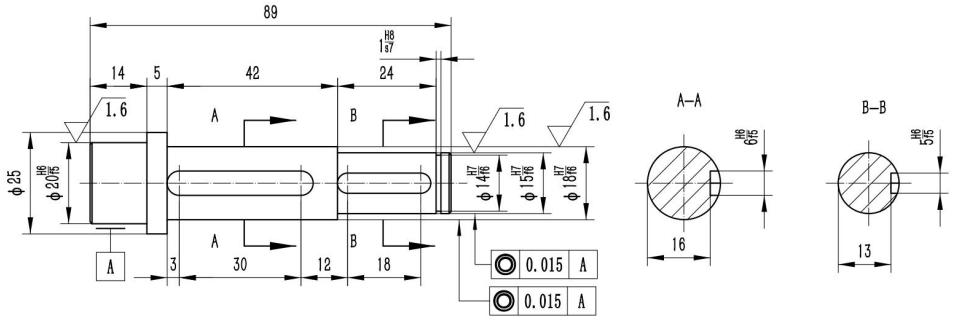
技术要求

1. 零件加工表面上，不应有划痕、擦伤等损伤零件表面的缺陷。
2. 未注倒角均为2×45°。
3. 去毛刺。
4. 去除毛刺飞边。

标记	处数	更改文件名	签字	日期
设计				
			日期	

Q235A	
图样标记	重量 / 比例
	1:5
共 张	第 张

压板



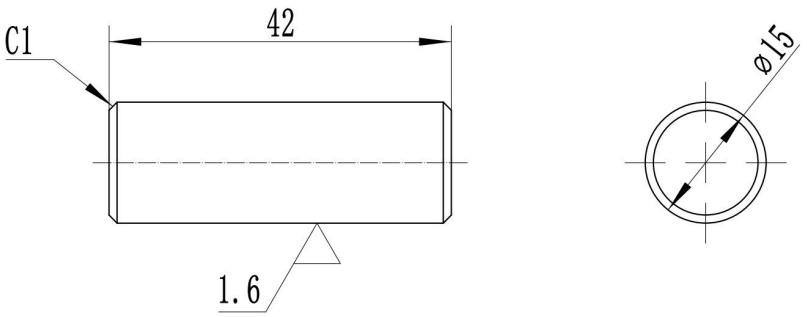
技术要求

1. 零件加工表面上，不应有划痕、擦伤等损伤零件表面的缺陷。
2. 未注倒角均为2×45°。
3. 去毛刺。
4. 去除毛刺飞边。

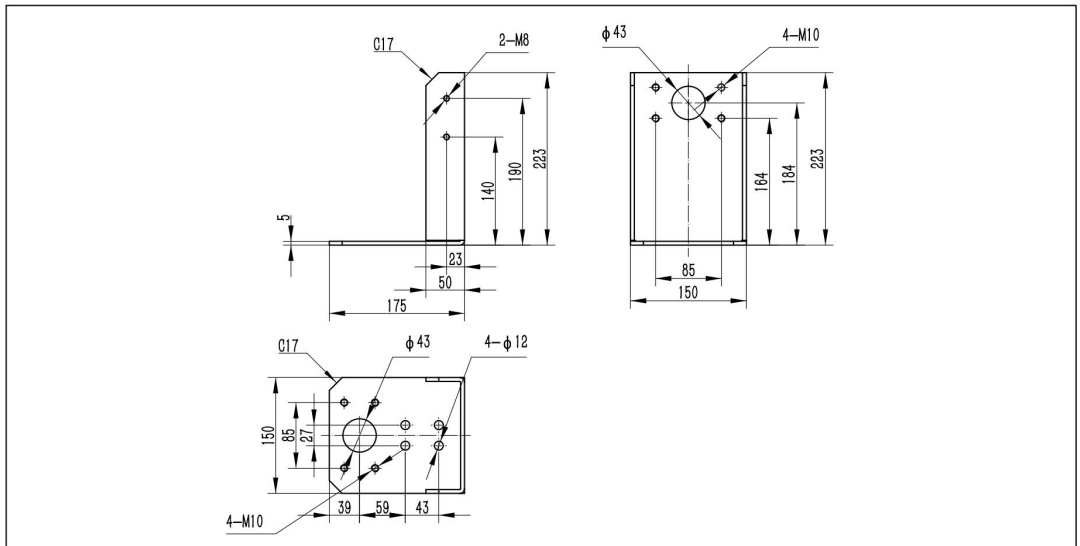
标记	处数	更改文件名	签字	日期
设计				
			日期	

45#	
图样标记	重量 / 比例
	1:1
共 张	第 张

支撑轴



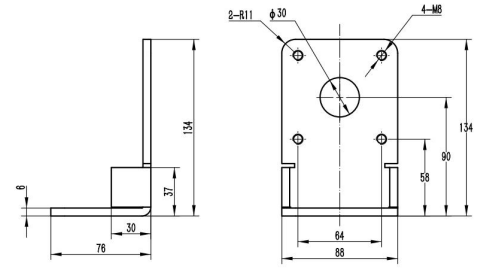
标记	处数	更改文件名	签字	日期	45#		轴
设计					图样标记	重量	比例
							2:1
			日期		共 张	第 张	

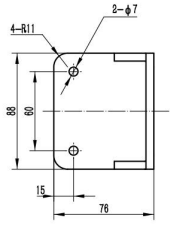


技术要求

1.零件加工表面上，不应有划痕、擦伤等损伤零件表面的缺陷。
2.未注倒角均为2×45°。
3.去毛刺。
4.去除毛刺飞边。

标记	处数	更改文件名	签字	日期	Q235A		轴承座
设计					图样标记	重量	比例
							1:5
			日期		共 张	第 张	





技术要求

1.零件加工表面上，不应有划痕、擦伤等损伤零件表面的缺陷。
2.未注倒角均为2×45°。
3.去毛刺。
4.去除毛刺飞边。

标记	处数	更改文件名	签字	日期
设计				
		日期		

Q235A		轴承座2
图样标记	重量	比例
		1:3
共 张	第 张	