

团 体 标 准

T/ZIUR XXXX—XXXX

智能装备系统集成与控制技术要求

Technical Requirements for System Integration and Control of Intelligent Equipment

(征求意见稿)

XXXX - XX - XX 发布

XXXX - XX - XX 实施

目 次

前言	II
1 范围	1
2 规范性引用文件	1
3 术语和定义	1
4 总体要求	2
5 系统集成技术要求	2
6 控制技术要求	5
7 集群调度与协同控制要求	7
8 性能指标要求	8
9 测试方法	9
10 检验规则	11
11 标志、包装、运输和贮存	12

前 言

本文件按照GB/T 1.1—2020《标准化工作导则 第1部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别专利的责任。

本文件由××××提出。

本文件由浙江省产学研合作促进会归口。

本文件起草单位：

本文件主要起草人：

智能装备系统集成与控制技术要求

1 范围

本文件规定了智能装备系统集成与控制的术语和定义、总体要求、系统集成技术要求、控制技术要求、集群调度与协同控制要求、性能指标要求、测试方法、检验规则、标志、包装、运输和贮存。

本文件适用于智能仓储物流装备、无人叉车、移动机器人、重载搬运机器人、复合机器人等智能装备的系统集成设计、控制系统开发、部署调试、运行维护与验收检测。

2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中，注日期的引用文件，仅该日期对应的版本适用于本文件；不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

- GB/T 2828.1 计数抽样检验程序 第1部分：按接收质量限(AQL)检索的逐批检验抽样计划
- GB/T 5226.1 机械电气安全 机械电气设备 第1部分：通用技术条件
- GB/T 16855.1 机械安全 安全控制系统 第1部分：设计通则
- GB/T 16855.2 机械安全 控制系统安全相关部件 第2部分：确认
- GB/T 17626.2 电磁兼容 试验和测量技术 静电放电抗扰度试验
- GB/T 20721 自动导引车 通用技术条件
- GB/T 26949.2 工业车辆 稳定性验证 第2部分：平衡重式叉车
- GB/T 30029 自动导引车 设计通则
- GB/T 34043 物联网智能家居 图形符号
- GB/T 38871 工业环境用移动操作臂复合机器人通用技术条件
- GB/T 41402 物流机器人 信息系统通用技术规范
- GB/T 43047 物流机器人 控制系统接口技术规范

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

自动导引车 automated guided vehicle

具备物料运输或操作能力，以轮式移动为特征，基于环境标记物或外部引导信号，沿预设路线运动。
[来源：GB/T 20721—2022，3.1]

3.2 智能装备系统 intelligent equipment system

由智能装备本体、感知模块、控制模块、执行模块、通信模块及调度管理平台等组成，具备自主感知、决策、执行与协同作业能力的装备系统。

3.3

定位精度 positioning accuracy

机器人实际到达位置与目标位置之间的偏差值。

3.4

系统集成 system integration

将工业机器人、末端执行器、传感器、控制系统、周边设备等进行有机组合，使其能够协同完成预定作业任务的技术过程。

3.5

物流机器人 logistics robot

具备运输或操作能力，以轮式移动为特征，基于环境标记物或外部引导信号，沿预设路线运动的自主移动设备。

[来源：GB/T 41402—2022，3.1.1]

3.6

物流机器人 logistics robot

具备运输或操作能力,以轮式移动为特征,基于环境标记物或外部引导信号,沿预设路线运动的自主移动设备。

[来源：GB/T 43047—2023，3.1.1]

3.7

接口 interface

系统与系统之间、系统与模块之间、模块与模块之间进行信息交互与数据传输的连接规范。

[来源：GB/T 43047—2023，4.2.1，有修改]

4 总体要求

4.1 设计原则

- 4.1.1 智能装备系统集成与控制应遵循安全性、可靠性、通用性、可扩展性原则。
- 4.1.2 系统设计应符合应用场景实际作业需求,宜采用模块化、标准化架构。
- 4.1.3 系统集成应兼顾硬件与软件协同,数据交互应稳定、实时、准确。
- 4.1.4 控制逻辑应具备容错能力,出现异常时应优先保障人员与设备安全。

4.2 集成架构

- 4.2.1 智能装备系统宜采用感知层、控制层、执行层、调度层四层架构。
- 4.2.2 感知层应配置激光雷达、视觉传感器、惯性测量单元、里程计等设备,可支持多传感器融合。
- 4.2.3 控制层应具备运动控制、定位导航、任务解析、安全保护等核心功能。
- 4.2.4 执行层应响应控制指令,可靠完成移动、升降、抓取、对位等作业动作。
- 4.2.5 调度层可实现多设备任务分配、路径规划、协同调度与状态监控。
- 4.2.6 系统各层间接口应开放兼容,通信协议应统一规范。

4.3 安全通用要求

- 4.3.1 系统安全设计应符合 GB/T 5226.1、GB/T 16855.1、GB/T 16855.2 的相关规定。
- 4.3.2 智能装备应配置紧急停止装置,急停信号应优先于所有控制指令。
- 4.3.3 系统应具备障碍物检测、声光报警、安全减速和停车功能。
- 4.3.4 人机混行场景下,装备应设置安全区域与动态限速机制。
- 4.3.5 电气安全、机械安全、信息安全应同步设计,不应存在安全短板。

4.4 可靠性与环境适应性

- 4.4.1 系统应满足连续稳定运行要求,关键部件应具备冗余设计。
- 4.4.2 装备应适应室内仓储、车间等典型作业环境,可耐受常规温湿度、粉尘条件。
- 4.4.3 定位与控制系统应具备抗干扰能力,复杂场景下不应出现频繁丢位、失控。
- 4.4.4 系统在重载、高举升等特殊工况下,应保持控制精度与运行稳定性。
- 4.4.5 设备安装、调试、维护应便捷,宜具备故障自诊断与状态提示功能。

5 系统集成技术要求

5.1 硬件集成

5.1.1 装备本体集成

- 5.1.1.1 装备本体结构应根据作业负载、运行工况及场景环境开展专业化设计,整体强度、刚度与稳定性应满足长期连续运行的要求,机械装配精度与配合间隙应符合设计文件规定。

- 5.1.1.2 本体行走、升降、转向等运动机构在空载与满载工况下均应运行顺畅，不应出现卡滞、干涉、异常振动、异响及过度磨损等现象。
- 5.1.1.3 重载、高举升类装备本体应进行载荷匹配校核与结构优化，在额定负载及极限工况下仍应保持姿态稳定，不发生倾斜、形变及安全风险。
- 5.1.1.4 装备本体与感知模块、控制模块、执行模块的机械安装接口应采用标准化设计，保证互换性与通用性，便于现场装配、调试与后期维护。
- 5.1.1.5 本体电气布线应规范整齐，强弱电线路应分离布设，接插件连接可靠，整体防护等级应适配作业现场的粉尘、温湿度及碰撞风险。
- 5.1.1.6 装备整体结构布局、行走机构设计、安全冗余配置应符合 GB/T 30029 自动导引车总体设计通则要求。

5.1.2 传感器集成

- 5.1.2.1 传感器选型应结合定位导航、障碍物检测、目标识别、姿态感知等实际功能需求确定，探测距离、精度、响应频率及视场角应满足系统整体设计指标。
- 5.1.2.2 激光雷达、视觉传感器、IMU、RGBD 传感器的安装位置与角度应经过仿真与现场验证，安装牢固可靠，探测视场应无结构遮挡与干涉。
- 5.1.2.3 多传感器布局应合理规划，避免相互干扰与数据冲突，宜采用多源数据融合架构，提升系统在复杂环境下的感知鲁棒性与可靠性。
- 5.1.2.4 传感器供电、接地及信号传输线路应独立设计，传输稳定可靠，具备良好的抗电磁干扰能力，保证感知数据真实、连续、无失真。
- 5.1.2.5 传感器外壳与镜头宜配置防尘、防雾、防刮擦保护结构，防护等级应适应现场环境，降低外部因素对感知性能的影响。
- 5.1.2.6 传感器应具备定期校准机制，校准方法、周期与判定标准应明确，校准数据应可记录、可追溯，确保长期使用精度不衰减。

5.1.3 执行机构集成

- 5.1.3.1 驱动单元、升降机构、转向机构、货叉对位机构等执行部件应与控制系统、动力系统相匹配，动作响应迅速、输出平稳，满足作业节拍与精度要求。
- 5.1.3.2 执行机构的额定负载、运动行程、运行速度及定位精度应符合设计要求，能够在连续作业工况下保持稳定输出，不出现漂移与偏差。
- 5.1.3.3 执行机构应配置机械限位、电气限位、过载保护、超速保护等多重安全机制，在异常工况下可自动停机并触发报警，保障设备与人员安全。
- 5.1.3.4 执行机构与本体的连接结构应牢固可靠，传动间隙与运动误差应控制在允许范围内，同时便于日常检修、部件更换与易损件替换。

5.1.4 通信模块集成

- 5.1.4.1 通信模块应支持装备与上层调度系统、装备与装备之间的实时数据交互，保证控制指令、状态反馈、任务信息的可靠传输。
- 5.1.4.2 无线通信的传输时延、丢包率、漫游切换性能应满足实时控制要求，在复杂工业环境中应保持连接稳定，不出现频繁掉线。
- 5.1.4.3 通信接口应兼容主流工业总线与无线通信协议，支持多品牌、多类型设备接入，提升系统兼容性与扩展能力。
- 5.1.4.4 通信模块应具备自动重连、链路检测、异常告警与状态日志记录功能，便于故障定位与系统运维。
- 5.1.4.5 数据传输过程中应采用校验与容错机制，确保指令、反馈及状态信息准确无误，不出现误触发与误动作。
- 5.1.4.6 针对高安全要求场景，通信数据可采用加密传输与身份认证机制，防止非法接入、数据窃取与指令篡改。

5.2 软件集成

5.2.1 控制系统集成

- 5.2.1.1 控制系统应集成运动控制、定位导航、安全保护、故障诊断、状态监控等核心功能，形成一体化控制架构，满足装备自主运行需求。
- 5.2.1.2 控制算法应经过仿真验证与现场调试，保证装备运动平稳、定位精准、动作协调，能够适应复杂场景下的连续自动化作业。
- 5.2.1.3 系统应提供可视化参数配置界面，支持在线调试、参数自整定与远程升级功能，便于现场适配与功能迭代。
- 5.2.1.4 控制周期与数据刷新频率应满足实时性要求，关键控制指令无明显延迟、无丢包、无错乱，保证系统响应及时可靠。
- 5.2.1.5 控制系统硬件应具备静电放电抗扰能力，设计与验证应符合 GB/T 17626.2 的相关要求，降低现场静电干扰风险。

5.2.2 调度系统集成

- 5.2.2.1 调度系统应具备任务分配、路径规划、交通管制、协同作业、状态监控等完整功能，实现多装备统一管理与高效调度。
- 5.2.2.2 系统应具备多机冲突预判、动态避堵、死锁检测与自动解死锁能力，保证多装备在同一空间内有序运行。
- 5.2.2.3 系统应支持无人叉车、搬运机器人、复合机器人等多类型智能装备混合调度，可适配人机混行、多工序交叉的复杂作业场景。
- 5.2.2.4 调度系统应实时采集装备位置、状态、故障、电量等信息，出现异常时立即声光报警并联动处置策略。
- 5.2.2.5 系统支持任务优先级配置，可保障重要物料、紧急工序优先执行，提升整体物流效率与作业柔性。
- 5.2.2.6 调度日志、任务记录、运行数据应完整存储，支持历史查询、统计分析与运行复盘，为系统优化提供数据支撑。

5.2.3 数据平台集成

- 5.2.3.1 数据平台应实现运行数据、任务数据、故障数据、能耗数据、作业统计数据的统一采集、解析、存储与管理，形成全维度数据底座。
- 5.2.3.2 平台应提供数据可视化展示、多维度统计分析、报表自动生成与历史趋势查询功能，便于管理人员直观掌握系统运行状态。
- 5.2.3.3 数据传输与存储应安全可靠，宜采用加密、备份与冗余机制，防止数据丢失、篡改与泄漏，满足工业场景数据安全要求。
- 5.2.3.4 平台可开放标准化数据接口，支持与企业 WMS、MES、ERP 等上层信息系统对接，实现数据流与业务流贯通。
- 5.2.3.5 平台应支持数据追溯与故障复盘，通过历史数据快速定位问题根源，为系统持续优化与效率提升提供依据。

5.2.4 接口与协议

- 5.2.4.1 软硬件接口应遵循模块化、标准化设计原则，统一接口定义与交互规范，提升系统兼容性、可扩展性与后期维护便捷性。
- 5.2.4.2 系统间通信宜采用通用工业协议，数据格式、报文结构、交互流程应明确规范，保证不同模块、不同设备之间互联互通。
- 5.2.4.3 接口应具备身份认证、权限管理与访问控制机制，同时明确定义指令集、反馈码与异常处理逻辑，保障交互安全与稳定。

5.3 场景化集成

- 5.3.1 特种仓储场景集成应重点适配狭窄巷道、高密度货架、多层库位、高精度存取等典型条件，保证装备在受限空间内安全高效作业。

- 5.3.2 重载场景集成应强化装备结构强度、制动性能、高举升稳控能力与载荷补偿策略，确保大负载搬运过程平稳、可靠、无安全隐患。
- 5.3.3 冷链场景集成应选用耐低温传感器、控制器、电池与密封结构，保证装备在低温高湿环境下仍可稳定运行，性能不衰减。
- 5.3.4 锂电、新能源等场景集成应满足防静电、绝缘、防爆、阻燃等安全规范，电气系统与控制逻辑应符合特殊工况安全要求。
- 5.3.5 军需等特殊场景集成应遵循高可靠、高保密、强环境适应性原则，系统稳定性、数据安全性与应急处置能力应达到对应等级要求。

6 控制技术要求

6.1 运动控制

6.1.1 行驶与全向移动控制

- 6.1.1.1 装备行驶、加减速、转向等运动过程应平稳柔顺，无冲击、无抖动、无甩尾，保证运行安全性与货物稳定性。
- 6.1.1.2 全向移动装备应具备前后、左右、斜向及原地自旋等全方位运动能力，运动控制响应及时，轨迹平滑，满足狭小空间作业需求。
- 6.1.1.3 行驶速度应支持多级调节与动态自适应，在人机混行、通道收窄、转弯等区域宜自动降低速度，提升现场安全性。
- 6.1.1.4 运动控制性能应符合 GB/T 20721 中对自动导引车运动控制、平稳性及安全性的相关规定。
- 6.1.1.5 在地面不平整、轻微坡度、载荷变化等工况下，控制系统应实时进行姿态补偿，保证行驶稳定不跑偏。

6.1.2 高举升稳控

- 6.1.2.1 高举升机构在升降全过程中应保持匀速平稳运行，控制系统应抑制负载晃动、车体倾斜与位置超调，提升高位作业安全性。
- 6.1.2.2 控制系统应根据负载重量、升降高度实时调整输出力矩，动态补偿姿态偏差，确保不同工况下均保持稳定可靠。
- 6.1.2.3 升降到位后应精准停靠锁止，同时配置软硬件双重限位与重力失衡保护，异常状态下立即锁止并报警。

6.1.3 路径跟踪控制

- 6.1.3.1 装备应按照调度系统规划的路径稳定行驶，路径跟踪偏差应控制在允许范围内，不出现明显偏离与轨迹跳变。
- 6.1.3.2 在弯道、坡道、变道、交汇口等复杂路段，运动控制应实现平滑过渡，保证行驶流畅且不干扰其他设备运行。
- 6.1.3.3 控制系统应具备实时动态修正能力，可抵抗地面打滑、载荷偏移、外部扰动等干扰，保持跟踪精度稳定。
- 6.1.3.4 当路径丢失或跟踪失效时，装备应立即减速悬停，并启动重定位与故障上报机制，避免盲目行驶。

6.2 导航与定位控制

6.2.1 SLAM 导航

- 6.2.1.1 系统应支持 2D/3D SLAM 实时建图与自主定位，建图过程高效稳定，地图精度满足仓储与车间场景作业要求。
- 6.2.1.2 在动态环境下，系统应能有效区分静态环境与动态障碍物，优化地图更新策略，提升导航可靠性与鲁棒性。

- 6.2.1.3 定位刷新率、建图效率、环境适应性应满足连续自动化作业需求，不出现卡顿、漂移与定位失效。
- 6.2.1.4 生成的地图应支持离线存储、在线加载、局部修正与增量更新，适应场景逐步调整与布局优化。
- 6.2.1.5 长距离、大范围运行时，系统应抑制累积误差，保证全局定位一致性与路径准确性。
- 6.2.1.6 当现场布局发生变化时，系统应支持快速重映射与自适应学习，降低人工调试成本。

6.2.2 多传感器融合定位

- 6.2.2.1 控制系统应融合激光雷达、视觉传感器、IMU、里程计等多源感知数据，形成互补式定位输出，提升整体稳定性。
- 6.2.2.2 当单一传感器短时受遮挡、失效或受干扰时，系统应依靠多源信息继续维持可靠定位，不立即中断作业。
- 6.2.2.3 传感器之间的时间同步、空间外参标定应准确完成，融合算法应经过验证，保证定位结果真实可信。
- 6.2.2.4 定位数据输出频率应匹配运动控制周期，保证控制指令与定位信息实时同步，无滞后错位。

6.2.3 定位精度要求

- 6.2.3.1 室内作业装备的重复定位精度应符合 GB/T 38871 中对移动机器人定位性能的相关要求。
- 6.2.3.2 在典型智能仓储、车间搬运等场景中，装备定位精度宜达到 ± 5 mm，满足托盘对接、货叉取放等高精度作业需求。
- 6.2.3.3 定位数据应连续、平滑、无跳变，在正常工况下不出现频繁丢位、重定位与异常波动。

6.3 感知与识别控制

6.3.1 托盘识别与位姿估计

- 6.3.1.1 感知系统应准确识别托盘尺寸、类型、位置及姿态，实时输出横向偏移、纵向距离与偏转角度，为对位控制提供依据。
- 6.3.1.2 在光照变化、地面反光、局部遮挡、背景干扰等复杂条件下，系统仍应保持较高识别成功率与稳定性。
- 6.3.1.3 识别结果应低延迟送入控制系统，与运动控制、末端执行控制形成闭环，实现实时对位修正。
- 6.3.1.4 识别范围、检测距离与处理速度应匹配装备行驶速度与作业节拍，不影响整体效率。
- 6.3.1.5 当目标无法识别或识别置信度不足时，系统应立即触发报警并禁止执行取货动作，避免误操作。

6.3.2 自动对正控制

- 6.3.2.1 控制系统应根据托盘位姿信息驱动装备进行自动纠偏，实现货叉与托盘快速、平稳、精准对正。
- 6.3.2.2 对正过程应柔顺平滑，不发生冲撞、刮擦与顶推，保证托盘与货物完好。
- 6.3.2.3 对正偏差应控制在设计允许范围内，确保货叉可顺利进入托盘孔位，完成安全取放。
- 6.3.2.4 对正完成后系统应输出多重校验确认信号，只有校验通过后方可允许执行升降或取货动作。
- 6.3.2.5 单次对正失败时，系统可按预设策略自动重试，重试次数与间隔应可配置。
- 6.3.2.6 多次对正仍无法成功时，装备应停机并上报调度系统，提示人工介入处理。

6.3.3 动态障碍物检测

- 6.3.3.1 感知系统应实时检测作业区域内行人、移动设备、堆放物料等动态障碍物，输出障碍物距离、方位与运动趋势。
- 6.3.3.2 障碍物跟踪应连续稳定，不出现频繁漏检、误检、轨迹跳变，保证安全决策可靠。
- 6.3.3.3 检测距离、响应时间与识别精度应满足安全减速、制动与避障的控制要求。

6.4 避障与绕障控制

- 6.4.1 装备应按照预警、减速、停车、绕障的分级安全策略执行避障动作，逐级保障人员、设备与货物安全。
- 6.4.2 当具备安全绕障条件时，控制系统应自主规划局部临时路径，绕过障碍后平滑回归原规划路径继续作业。
- 6.4.3 绕障过程中不应侵入安全禁行区、作业通道边界及他人设备空间，保证整体运行秩序。
- 6.4.4 当无法安全绕障时，装备应立即紧急停车并上报调度系统，避障功能应符合 GB/T 5226.1 机械安全相关要求。

6.5 末端执行控制

- 6.5.1 末端执行控制应满足以下要求：
 - a) 取货前确认托盘位置可靠，无偏移、无倾倒风险；
 - b) 拾取过程平稳，不刮擦、不顶起、不侧翻货物；
 - c) 装载或卸载动作与升降、行走动作应互锁；
 - d) 到位后应确认夹持/叉取状态，防止松脱。
- 6.5.2 重载工况下应先进行预紧定位，再缓慢提升，控制系统实时补偿偏载，防止货物侧偏与晃动。
- 6.5.3 单次作业完成后，末端执行机构应自动回位至安全状态，为下一任务循环做好准备。

7 集群调度与协同控制要求

7.1 单系统调度能力

- 7.1.1 调度系统应具备稳定的并发处理能力，可支持多台智能装备在同一作业区域内同时运行，整体调度逻辑应清晰可靠、无指令冲突。
- 7.1.2 单套调度系统应满足大规模设备接入需求，设备在线状态、位置信息、任务状态应实时刷新，保证监控与指令下发准确无误。
- 7.1.3 系统应支持任务队列管理，可对等待任务进行缓存、排序与记录，不因任务数量增加而出现指令堵塞或响应延迟。
- 7.1.4 调度服务器与网络环境应满足冗余配置要求，核心节点故障时宜快速切换或降级运行，不中断整体调度服务。
- 7.1.5 系统调度性能应符合 GB/T 41402 中对物流机器人调度系统的通用技术要求，保证运行安全与效率。

7.2 多机协同与交通管制

- 7.2.1 多台智能装备在交叉路口、狭窄通道、作业工位等关键区域运行时，调度系统应实施统一交通管制，避免路径交叉与抢占。
- 7.2.2 系统应根据装备位置、任务优先级、行驶方向动态分配通行权，按照先到先服务、关键任务优先的原则执行有序通行控制。
- 7.2.3 装备之间应保持安全距离，调度系统应实时预测碰撞风险，提前下达减速、等待或避让指令。
- 7.2.4 多机协同作业时，装备动作应相互配合、时序合理，在对接、换乘、协同搬运等场景下保持节奏一致。
- 7.2.5 交通管制区域应可灵活配置，支持禁行区、限速区、等待区、避让区的划分与动态调整。
- 7.2.6 多机协同日志应完整记录，包括路径分配、指令下发、避让过程、异常处理等信息，便于追溯与优化。

7.3 死锁检测与自动解除

- 7.3.1 调度系统应具备实时死锁检测能力，对多机相互等待、路径闭环阻塞、资源竞争等典型死锁状态进行快速识别。
- 7.3.2 检测到死锁后，系统应在规定时间内启动自动解除策略，通过重新规划路径、调整任务顺序、指令避让等方式恢复通行。
- 7.3.3 自动解除过程应优先保证安全，不进行激进转向、强制倒车等危险操作，避免造成设备碰撞或

货物倾倒。

7.3.4 若多次自动解除失败，系统应立即上报故障信息并提示人工干预，同时保持所有设备处于安全停机状态。

7.4 任务分配与响应时间

7.4.1 调度系统应根据装备位置、负载状态、剩余电量、任务类型等因素进行智能任务分配，提升整体作业效率。

7.4.2 任务分配应公平合理，避免出现单一设备负载过高或部分设备长期闲置的情况，可支持负载均衡策略。

7.4.3 系统接收到新任务后，应快速解析、校验与下发，任务响应时间应满足现场物流节拍要求。

7.4.4 装备收到调度指令后应及时反馈确认状态，无反馈时系统应判定为异常并启动重发或告警机制。

7.4.5 任务执行过程中应支持动态调整与中断接管，紧急任务可插入执行，普通任务可暂停、继续或重新分配。

7.5 人机混行协同控制

7.5.1 在人机混行场景中，调度系统应降低装备运行速度，扩大安全检测范围，提升对人员的感知与避让等级。

7.5.2 装备进入人员活动区域时，应启动声光提示，持续发出安全警示，提醒周边人员注意避让。

7.5.3 系统应结合动态障碍物检测结果，实时判断人员距离与移动方向，主动规划避让路径而非仅执行被动停车。

7.5.4 人员靠近装备危险区域时，装备应自动减速直至停车，待人员离开后再恢复运行，保障人身安全。

7.5.5 人机混行区域的路径规划应尽量避免人员高频活动点，减少人机交叉，提升整体运行安全性。

7.5.6 调度系统应保留人机混行避让记录，对频繁触发减速或停车的区域进行标记，支持后续路径与布局优化。

8 性能指标要求

8.1 定位精度

8.1.1 智能装备在典型室内仓储与车间作业环境下，定位精度应满足系统设计与作业对接要求，数值应符合实际场景应用指标。

8.1.2 采用激光 SLAM、视觉导航等多传感器融合方式的装备，其定位测量结果应真实、稳定、无明显跳变与异常偏移。

8.1.3 定位精度应符合 GB/T 38871 中对移动机器人定位性能的相关规定，测试方法与判定规则应按对应标准执行。

8.1.4 在长距离行驶、动态环境干扰、负载变化等工况下，装备定位精度不应出现显著衰减，应保持持续可靠。

8.2 重复定位精度

8.2.1 装备在相同起始条件、相同目标位置下多次作业，重复定位精度应满足取货、对接、码垛等高精度作业要求。

8.2.2 重复定位精度测试应在空载、满载两种工况下分别进行，测试结果均应达到设计规定指标。

8.2.3 重复定位精度应不受连续运行时长、环境温度、轻微地面差异的显著影响，保持一致性与稳定性。

8.2.4 测试路径、停靠点位、作业姿态应统一规范，数据采集应完整，确保结果真实可复现。

8.2.5 关键工位、对接点位的重复定位精度应高于普通路径区域，以保障作业成功率与安全性。

8.3 运行速度与负载

8.3.1 装备应在额定负载范围内稳定运行，最大运行速度应按设计指标分级可调，满足不同场景效率

与安全需求。

- 8.3.2 空载与满载工况下的速度特性应平稳，加减速过程柔顺，不应出现超速、失控、冲击等现象。
- 8.3.3 高举升、长行程类装备应根据提升高度自动限制运行速度，提升越高速度应越低，保障运行安全。
- 8.3.4 狭窄通道、人机混行、转弯交汇等区域，装备运行速度应自动降低，符合安全管控要求。
- 8.3.5 装备额定负载应明确标识，实际负载不应超过额定值，避免过载导致结构变形、精度下降或安全风险。
- 8.3.6 连续满载运行工况下，速度与动力性能不应明显衰减，确保作业效率稳定可靠。
- 8.3.7 平衡重式无人叉车的稳定性验证应按 GB/T 26949.2 规定的方法进行，确保额定负载及偏载工况下不发生倾翻风险。

8.4 响应时间

- 8.4.1 控制系统对调度指令、感知信号、操作输入的响应时间应满足实时控制要求，无明显滞后与延迟。
- 8.4.2 障碍物检测、安全触发、急停信号等关键指令应具备最高响应优先级，确保动作及时、保护可靠。
- 8.4.3 任务下发、路径更新、状态上报等数据交互响应时间应符合物流系统整体节拍，不影响作业流畅性。

8.5 调度效率

- 8.5.1 集群调度系统应具备高效任务处理能力，调度效率应满足多装备、多任务并发作业需求。
- 8.5.2 系统应实现路径最优规划，减少空驶、等待、绕行时间，提升整体物流周转效率与设备利用率。
- 8.5.3 多机协同调度应降低交通冲突、死锁、避让频次，使整体通行效率与任务完成率达到设计指标。
- 8.5.4 调度效率应符合 GB/T 41402 中对物流机器人系统运行效率的相关要求，指标合理可测。
- 8.5.5 系统应支持效率统计分析，可输出任务完成率、平均作业时间、设备利用率等量化数据。为便于量化考核与验收判定，将上述核心性能指标统一汇总如表 1 所示。

表 1 智能装备主要性能指标

序号	性能项目	要求指标	适用场景
1	定位精度	$\leq \pm 10 \text{ mm}$	室内仓储、车间通用场景
2	重复定位精度	$\leq \pm 5 \text{ mm}$	托盘对接、货叉取放作业
3	最大运行速度	0.5~1.5 m/s (可调)	按场景动态限速
4	任务响应时间	$\leq 200 \text{ ms}$	调度指令交互
5	避障响应时间	$\leq 100 \text{ ms}$	动态障碍物检测
6	平均无故障工作时间 (MTBF)	$\geq 1000 \text{ h}$	整机连续运行

8.6 可靠性

- 8.6.1 智能装备及控制系统应具备高可靠性，平均无故障工作时间 (MTBF) 应达到产品设计与标准规定要求。
- 8.6.2 可靠性指标应在连续作业、典型负载、常规环境条件下进行验证，结果真实有效。
- 8.6.3 关键核心部件，包括控制器、传感器、驱动、通信应选用高可靠方案，提升整机稳定性与寿命。
- 8.6.4 装备应具备故障自诊断、异常预警、保护停机能力，降低故障扩大风险，缩短维修恢复时间。

9 测试方法

9.1 集成完整性测试

- 9.1.1 集成完整性测试应在系统安装调试完成后、正式投运前开展，全面验证硬件、软件、接口及场景化集成的完整性与有效性。
- 9.1.2 硬件集成测试应检查装备本体、传感器、执行机构、通信模块等安装牢固性、布线规范性、接

口匹配性及防护等级符合性，确认无松动、无干涉、无异常。

9.1.3 软件集成测试应验证控制系统、调度系统、数据平台功能模块运行状态，检查功能开启、参数加载、界面显示、日志记录等是否正常。

9.1.4 接口与协议测试应通过指令发送、数据回调、状态互传等方式，确认各模块间通信通畅、协议兼容、数据准确、交互时序正确。

9.1.5 场景化集成测试应在模拟或实际作业环境下进行全流程试运行，确认系统满足特种仓储、重载、冷链、锂电等对应场景的使用要求。

9.2 控制性能测试

9.2.1 控制性能测试应在标准作业环境下进行，测试内容包括运动控制、高举升稳控、路径跟踪、末端执行等关键控制性能。

9.2.2 行驶与全向移动控制测试应记录加减速平稳性、转向柔顺性、速度调节精度及不同工况下的运动姿态，判定是否符合设计要求。

9.2.3 高举升稳控测试应在空载与满载条件下分别进行，监测升降平稳性、姿态偏差、停靠精度及保护功能有效性。

9.2.4 路径跟踪控制测试应按预设路径行驶，测量跟踪偏差、弯道平顺性、扰动修正能力及路径丢失后的处置逻辑。

9.2.5 感知识别与自动对正控制测试应采用标准托盘在不同光照、角度、偏移条件下进行，记录识别率、对正时间、对正精度与成功率。

9.2.6 末端执行控制测试应模拟拾取、装载、卸载全过程，验证动作互锁、平稳性、限位保护及重载工况下的可靠性。

9.3 导航定位测试

9.3.1 导航定位测试应按照 GB/T 38871 规定的方法执行，在典型作业区域内开展静态与动态定位性能验证。

9.3.2 SLAM 导航测试应检查建图精度、地图更新效率、动态环境适应性及长距离运行漂移量，确认导航稳定不中断。

9.3.3 多传感器融合定位测试应通过遮挡单一传感器、模拟干扰等方式，检验定位连续性、容错能力与数据平滑性。

9.3.4 定位精度与重复定位精度测试应在不少于 20 次循环作业条件下测量，统计最大值、最小值与平均值，判定是否满足指标要求。

9.4 集群调度测试

9.4.1 集群调度测试应在多装备同时在线的条件下开展，验证单系统调度、多机协同、交通管制、任务分配等整体调度能力。

9.4.2 单系统调度能力测试应逐步增加在线装备数量，检验系统并发处理、状态刷新、指令下发稳定性与接入容量。

9.4.3 多机协同与交通管制测试应在交叉路口、狭窄通道、共享工位等区域进行，观察通行秩序、避让逻辑与安全距离控制。

9.4.4 死锁检测与自动解除测试应人为构造典型死锁场景，记录检测时间、解除策略、执行过程与恢复正常用时。

9.4.5 任务分配与响应时间测试应使用仪表测量指令下发到装备确认的时间间隔，统计平均响应时间与最大时延。

9.4.6 人机混行协同测试应模拟人员进入作业区域，验证装备减速、报警、避让、停车等动作的及时性与安全性。

9.4.7 为规范测试判定、统一验收依据，可将各类典型测试项目与判定要求汇总如表 2 所示。

表 2 典型测试项目与判定依据

测试类别	测试项目	判定依据	合格判定
集成完整性测试	硬件、软件、接口、场景化集成	本文件第 5 章	无故障、无干涉、通信正常
控制性能测试	运动控制、稳控、对位、避障	本文件第 6 章	动作平稳、精度达标、安全可靠
导航定位测试	定位精度、重复定位精度	GB/T 38871	满足表 1 指标要求
集群调度测试	多机协同、死锁解除、调度效率	GB/T 41402	无冲突、无死锁、调度正常
安全可靠测试	急停、限位、过载、防护	GB/T 5226.1、GB/T 34043	触发有效、停机可靠

9.5 安全与可靠性测试

9.5.1 安全与可靠性测试应严格遵循 GB/T 5226.1、GB/T 34043 相关要求，对机械安全、电气安全、控制安全进行全面检验。

9.5.2 安全功能测试应覆盖急停、避障、绕障、限位、过载、防碰撞等项目，模拟触发条件并验证动作有效性与可靠性。

9.5.3 电磁兼容性与环境适应性测试应在典型工况下进行，检验通信抗干扰、传感器稳定性及系统连续运行能力。

9.5.4 可靠性测试应通过长时间连续试运行，统计故障发生次数、故障类型与恢复时间，按标准计算平均无故障工作时间（MTBF）。

9.5.5 测试完成后应出具完整测试记录，包含测试条件、设备、方法、数据、判定结果，作为系统验收与改进依据。

10 检验规则

10.1 出厂检验

10.1.1 智能装备系统在出厂前应逐台/套进行出厂检验，检验合格并附带合格证明文件后方可出厂。

10.1.2 出厂检验项目应包括集成完整性、控制性能、导航定位功能、基础安全功能及接口通信功能。

10.1.3 检验方法应按照本文件第 9 章相关规定执行，检验样本为每套交付产品。

10.1.4 出厂检验中出现不合格项时，应停机返修，返修完成后重新检验，直至合格。

10.1.5 出厂检验记录应完整保存，包含检验项目、实测数据、结果判定及检验人员信息，保存期限应符合相关管理要求。

10.2 型式检验

10.2.1 有下列情况之一时，应进行型式检验：

- a) 新产品定型、投产或老产品转产时；
- b) 正式生产后，结构、材料、工艺、集成方案有重大改变时；
- c) 产品停产超过一年恢复生产时；
- d) 出厂检验结果与上次型式检验存在较大差异时；
- e) 国家法律法规及相关行业主管部门提出检验要求时。

10.2.2 型式检验应从出厂检验合格的产品中随机抽取，抽样数量与方案应符合 GB/T 2828.1 的相关规定。

10.2.3 型式检验项目应覆盖本文件全部技术要求、性能指标及安全要求，不得缺项。

10.2.4 型式检验应在具备相应资质的检验场地或第三方实验室完成，测试条件与设备应满足标准要求。

10.2.5 型式检验所有项目应全部合格后可判定为合格；出现不合格项时，可允许加倍抽样复检，仍不合格则宜判定该批产品不合格。

10.2.6 型式检验报告应作为产品定型、质量认证及市场准入的重要依据，报告内容应规范、完整、真实。

11 标志、包装、运输和贮存

11.1 标志

- 11.1.1 智能装备系统应在机身明显位置设置清晰耐久的产品标志，标志内容应准确、完整、易于识别。
- 11.1.2 产品标志应包含产品名称、型号规格、额定负载、制造单位、生产日期、产品编号等基本信息。
- 11.1.3 装备应按规定设置安全警示标志、急停标识、作业区域提示标志，图形与文字应符合通用安全标识规范。
- 11.1.4 控制系统、电气柜、关键模块应设置功能标识与接线标识，标识应牢固清晰，便于安装、调试与维护。
- 11.1.5 标志材质应适应作业环境，不易褪色、脱落、模糊，在设备使用周期内应保持完整可辨。

11.2 包装

- 11.2.1 产品包装应符合防潮、防尘、防碰撞、防倾覆要求，适应长途运输与仓储堆放条件。
- 11.2.2 装备本体、传感器、控制器、线缆等部件应采取独立防护与缓冲固定措施，避免运输中松动、磕碰与损坏。
- 11.2.3 包装箱外应标明产品名称、型号、数量、毛重、外形尺寸、收发货单位及防潮、轻放、向上等储运图示标志。
- 11.2.4 包装箱内应随附产品合格证、使用说明书、装箱清单、保修卡等技术文件，文件应密封防潮、齐全完整。

11.3 运输

- 11.3.1 产品运输应采用符合安全要求的运输工具，运输方式应与产品重量、体积、结构特性相匹配。
- 11.3.2 运输过程中应平稳装载、牢固捆扎，限制位移与晃动，严禁超载、偏载、倒置与野蛮装卸。
- 11.3.3 精密传感器、控制单元等关键部件宜采用防震运输措施，避免剧烈振动与冲击造成精度下降或故障。
- 11.3.4 运输过程中应避免暴晒、雨淋、水淹及化学品腐蚀，确保装备与包装完好无损。
- 11.3.5 装卸作业应使用相应吨位的起重设备，严格遵守装卸安全规程，防止坠落与撞击。
- 11.3.6 产品到达目的地后，应检查包装与外观状态，确认无异常后方可进行拆箱与安装。

11.4 贮存

- 11.4.1 产品应贮存在通风、干燥、清洁、无腐蚀性气体、无强电磁干扰的室内环境中。
 - 11.4.2 贮存场地应平整，具备防潮、防锈、防火、防盗条件，环境温湿度应符合产品技术要求。
 - 11.4.3 装备贮存时应按规定姿态放置，支撑牢固，不得叠放过高，避免挤压变形与结构损伤。
 - 11.4.4 长期贮存时应定期进行外观检查、通电保养与功能确认，防止部件老化、受潮与失效。
 - 11.4.5 贮存产品应建立台账管理，做到分类存放、标识清楚、账物相符，便于出入库与追溯管理。
-