

WB

中华人民共和国物流行业标准

WB/T XXXXX—XXXX

智能物流装备 场内无人驾驶叉车通用技术 要求

Intelligent logistics equipment—General technical requirements for unmanned
forklift in defined fields

(点击此处添加与国际标准一致性程度的标识)

(征求意见稿)

在提交反馈意见时，请将您知道的相关专利连同支持性文件一并附上。

XXXX - XX - XX 发布

XXXX - XX - XX 实施

中华人民共和国国家发展和改革委员会 发布

目 次

前言 I

1 范围 1

2 规范性引用文件 1

3 术语和定义 1

4 场内无人驾驶叉车组成 2

5 环境适应性要求 2

6 性能要求 2

7 本体技术要求 2

8 控制系统技术要求 3

9 电源系统技术要求 3

10 感知系统技术要求 3

11 调度系统技术要求 4

12 试验方法 5

附录 A（资料性）故障及异常处理流程要求 9

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。

本文件由中国物流与采购联合会提出。

本文件由全国物流标准化技术委员会（SAC/TC 269）归口。

本文件起草单位：齐鲁空天信息研究院、中国物流与采购联合会物流装备专业委员会、北京交通大学、中国科学院空天信息创新研究院、山东顺和商贸集团有限公司、中国计量科学研究院、合肥搬易通科技发展有限公司、青岛孚鼎泰智能技术有限公司、鞍山钢铁集团公司、临沂临工智能信息科技有限公司、邯郸珠峰计量检测站。

本文件主要起草人：任宇飞、吴海涛、张晓东、尹晓旭、房建华、王文明、孟德强、杨绪飞、于新莉、马增荣、左新宇、王沛、秦璐、郎茂祥、赵玉玺、曹松荣、杭晨哲、刘佃忠、陆铮、房宇轩、汪屯利、黄佳佳、唐辉、侯海云、田洪云、申运法。

智能物流装备 场内无人驾驶叉车通用技术要求

1 范围

本文规定了场内无人驾驶叉车的组成、环境适应性要求、性能要求、本体技术要求、控制系统技术要求、电源系统技术要求、感知系统技术要求、调度系统技术要求，描述了试验方法。

本文件适用于场内无人驾驶叉车的选用。

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 1184 形状和位置公差 未注公差值

GB/T 1804 一般公差 未注公差的线性和角度尺寸的公差

GB/T 2423.1 电工电子产品环境试验 第2部分：试验方法 试验A：低温

GB/T 2423.2 电工电子产品环境试验 第2部分：试验方法 试验B：高温

GB/T 2423.3 环境试验 第2部分：试验方法 试验Cab：恒定湿热试验

GB/T 4208 外壳防护等级（IP代码）

GB/T 16754 机械安全 急停功能 设计原则

GB/T 26949（所有部分） 工业车辆 稳定性验证

GB/T 43756—2024 叉车设计规范

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

无人驾驶叉车 unmanned forklift

利用自动控制、人工智能、传感器融合等技术手段，实现自主行驶、无人装卸的叉车。

3.2

场内 defined fields

物流园区内，用于无人装卸的区域。

3.3

系统自检 system initializing

无人驾驶叉车（3.1）开机时，控制系统自动检测，确认通信、传感器初始状态的功能。

3.4

待机点 standby area

无人驾驶叉车（3.1）待机，等待接收任务的地点。

3.5

作业点 operating area

无人驾驶叉车（3.1）开启视觉任务，确定所需装卸载具位姿的地点。

3.6

充电点 charging area

无人驾驶叉车（3.1）充电的地点。

3.7

车位基准点 parking reference area

货车停车框端点位置。

4 场内无人驾驶叉车组成

场内无人驾驶叉车（以下简称“无人叉车”）由本体、控制系统、电源系统、感知系统及调度系统组成。

5 环境适应性要求

5.1 地面条件适应性

5.1.1 应能适应室外或半室外的水泥地面、沥青地面、环氧地坪地面、钢板地面等多种常见地面材质，行驶过程中不出现明显打滑现象。

5.1.2 应具备在一定坡度地面上的行驶和作业能力。

5.2 其他环境条件适应性

无人叉车在下述环境条件下应能正常使用和贮存：

- a) 环境温度：-20℃~+55℃；
- b) 环境相对湿度：≤85%，无结露；
- c) 防护等级：满足IP55。

6 性能要求

6.1 叉车定位精度应≤1cm。

6.2 叉车行驶速度应≤1m/s。

6.3 叉车紧急制动距离应<0.19m。

6.4 障碍物检测层级应≥2级。

7 本体技术要求

7.1 车体

车体应符合：

- a) 外观要求：
 - 1) 不使用尖角、锐边等可能对外界人或物造成伤害的几何形态；
 - 2) 无锈蚀；
 - 3) 按钮、指示灯、插座等有明确的标志，有标牌或产品铭牌。
- b) 结构要求：
 - 1) 零部件配合可靠，紧固部位无松动，关键紧固部位做划线标志，活动部位润滑良好，减振可靠，液压连接可靠（如有）；
 - 2) 静载承受1.25倍以上额定负载，测试15min后，无永久性变形和损坏；
 - 3) 急停按钮、开关等装置的位置合理，操作方便。
- c) 车体稳定性应符合GB/T 26949（所有部分）的要求。

7.2 传感器支架

传感器支架应符合以下要求：

- a) 尺寸、结构强度、机械接口、线槽设计适配传感器的尺寸、重量、材质、安装形式、走线等要求；

- b) 尺寸公差符合GB/T 1804的要求，形位公差符合GB/T 1184的要求；
- c) 无尖角、锐边等对人或物造成伤害的结构，金属安装支架无锈蚀；
- d) 易于安装和拆卸；
- e) 安装位置不影响叉车正常运转。

7.3 安全防护

本体安全防护应满足以下技术要求：

- a) 具有清晰、醒目的安全及警示标识；
- b) 具有非接触式防护装置或接触式防护装置；
- c) 具有能提示叉车故障及异常的声光报警装置；
- d) 具备符合GB/T 16754要求的车体急停装置；
- e) 配备有人机操作界面。

8 控制系统技术要求

控制系统应具备以下功能：

- a) 多种车型的货车识别及定位功能；
- b) 多种载具的识别及定位功能；
- c) 自动搜寻目标载具的功能；
- d) 室内外高精度定位功能；
- e) 根据场地大小、车体尺寸、转弯半径等因素实现自主路径规划功能；
- f) 二次进叉作业功能；
- g) 安全避障功能；
- h) 系统自检功能；
- i) 运行状态监测及作业状态感知功能；
- j) 故障及异常监测、上报及应急处理功能。常见故障及异常处理流程参考附录A。

9 电源系统技术要求

9.1 电池容量应满足叉车连续工作 8h 的需求。

9.2 供电电源应符合 GB/T 43756—2024 中 7.2.1.2 的要求，控制电源应符合 GB/T 43756—2024 中 7.2.2 的要求。

9.3 当叉车标称电压值不超过直流 120V 时，电池与车体之间的绝缘电阻应不小于 50Ω 乘以标称电压值。当叉车标称电压值超过直流 120V 时，电池与车体之间的绝缘电阻应不小于 500Ω 乘以标称电压值。

9.4 充电连接器应有防反接设计，且连接器外应有绝缘盖保护。

10 感知系统技术要求

10.1 导航子系统技术要求

无人驾驶叉车导航子系统应满足系统的运行环境及工艺流程要求，兼容导航及作业精度、抗干扰能力、场景适应性及可维护性等因素。常用的导航方式及适用场景见表1。

表 1 常用导航方式及适用场景

导航方式	适用场景
北斗导航	室外无遮挡场景下
激光反射板导航	可布设反光板场景（非空旷）
激光自然导航	场景变化率≤30%的场景
惯性导航	相对定位场景，一般与其他定位手段融合使用
视觉导航	光线条件较好、特征点较多的场景
电磁导航	工作区域内可布设磁条/磁钉的场景
光学导航	工作区域地面布设色带或其他标志物的场景
二维码导航	工作区域内可布设二维码的场景

10.2 传感器子系统技术要求

传感器子系统应配备安全型传感器和作业型传感器。安全性传感器应包括避障传感器、货叉检测传感器、触边传感器。作业型传感器应包括到位传感器、在位传感器、拉线编码器，宜具备相机、起升下限位接近开关。各类传感器功能要求按表 2。

表 2 各类传感器功能

传感器类型	传感器名称	功能要求
安全型传感器	避障传感器	应能感知叉车一定范围内障碍物情况，防止叉车与障碍物发生碰撞
	货叉检测传感器	应能防止货叉与障碍物相撞
	触边传感器	应能防止叉车与障碍物相撞
作业型传感器	相机	应能实现对载具及货车的视觉识别和定位，使叉车顺利叉取货物
	起升下限位接近开关	应能检测货叉是否到达下限位
	到位传感器	应能判断叉车是否叉取到位
	在位传感器	应能判断货物是否已放置到位
	拉线编码器	应能回传货叉高度

11 调度系统技术要求

调度系统应具备任务管理、货车车位管理、配置管理、调度监控、安全管理等功能，各功能的内容及相应技术要求按表 3。

表 3 调度系统技术要求

功能	技术要求
任务管理	a) 应能接收仓储管理系统（WMS）或仓储控制系统（WCS）下发的任务，并将接收到的任务拆解并分配给对应无人叉车； b) 具备多任务并发执行处理能力； c) 应能接收无人叉车反馈的任务执行情况，并及时在页面更新任务执行状态； d) 应能动态切换无人叉车任务，即当前叉车出现故障或异常时，更换其他叉车执行该任务
	a) 应具备当天任务数统计及任务状态查询功能； b) 应具备历史任务查询功能
	a) 应能暂停正在执行的任务； b) 应能停止正在执行的任务； c) 应能重新发送未执行完的任务； d) 应能根据需求手动更改任务状态
货车货位管理	a) 应能根据车长、车宽、货物数量信息及车辆预期停靠位置，对货车上货物的位置进行初步计算； b) 非整车货物卸车时，应能人为更改货车上货位占用情况

	装车货位管理	a) 应根据车长、车宽、货物数量信息及车辆实际停靠位置，对货车上放置货物的位置进行初步计算； b) 非整车货物装车时，应能支持人为确定货物装车位置
配置管理	用户配置管理	应支持系统登录用户身份自定义，能根据身份不同，设置不同的系统管理权限。
	叉车配置管理	应支持扩展、配置多台叉车基本信息，对多台叉车进行管理。
	位置配置管理	a) 应能新增/删除待机点、充电点、作业点、车位基准点； b) 应能配置待机点、充电点、作业点、车位基准点的坐标信息
调度监控	应支持集成现场地图，能显示任务统计信息、叉车实时位置信息、叉车运行日志、叉车数量及状态信息等	
安全管理	a) 应支持用户划定叉车行驶区域； b) 应具备多台叉车的调度功能，当出现拥堵情况下，支持根据道路情况及避让规则，为叉车规划避让策略； c) 应具备一键急停功能； d) 应支持系统备份及恢复、敏感信息加密处理功能	

12 试验方法

12.1 试验环境

12.1.1 场地环境部署

叉车工作区域内地面符合叉车正常行驶要求，通信所需的有线网络和无线网络正常。

12.1.2 硬件环境

无人叉车传感器、控制器、驱动器之间接线正确，系统运行所必需的服务器、调试笔记本等硬件设备以及网络通信所必备的交换机、无线交换机等硬件设备状态正常。

12.1.3 软件环境

无人叉车运行所需的操作系统、驱动软件、应用软件等部署正确，运行正常。

12.2 环境适应性

12.2.1 地面条件适应性

12.2.1.1 地面材质适应性

测试无人叉车在水泥地面、沥青地面、环氧地坪地面、钢板地面完成空载行驶、空载作业、满载行驶、满载作业，目测是否出现明显打滑现象。

12.2.1.2 地面坡度适应性

测试无人叉车在坡面上空载行驶、空载作业、满载行驶、满载作业，目测无人叉车是否出现明显打滑现象。

12.2.1.3 倾斜角度

无人叉车安装角度测量装置，按12.2.1.1试验步骤，记录在行驶及作业过程中的叉车倾斜值。

12.2.2 其他环境条件适应性

12.2.2.1 环境温度

高温试验：除无人叉车技术条件另有规定外，按GB/T 2423.2试验Bd在55℃下进行高温试验。将无人叉车放入试验箱中，启动试验箱，箱内温度达到55℃，待温度稳定后通电运行，无人叉车在此条件下连续曝露时间为4h，试验过程中无人叉车处于工作状态，试验结束后，无人叉车断电停止运行，待箱内温度恢复室温取出无人叉车。

低温试验：除无人叉车技术条件另有规定外，按GB/T 2423.1试验Ad在-20℃下进行高温试验。将无人叉车放入试验箱中，启动试验箱，箱内温度达到-20℃，待温度稳定后通电运行，无人叉车在此条件

下连续曝露时间为4h，试验过程中无人叉车处于工作状态，试验结束后，无人叉车断电停止运行，待箱内温度恢复室温取出无人叉车。

12.2.2.2 环境相对湿度

按GB/T 2423.3开展试验。将无人叉车放入试验箱内，如无特殊要求，试验的严酷等级选择温度 $(30\pm 2)^{\circ}\text{C}$ ，相对湿度RH $(85\pm 3)\%$ ，推荐持续时间为12h。

12.2.2.3 防护等级

按GB/T 4208规定的试验条件及步骤进行试验。

12.3 性能要求

12.3.1 定位精度

试验步骤如下：

- 在试验场地上规划出满足检测要求的测量路径，并标定测量起始点和测量终止点；
- 无人叉车按预设路径自动由测量起始点行驶到测量终止点，测量车体上某一固定点与测量终止点的距离 L ；
- 空载和额定负载状态各检测5次；
- 按公式（1）计算固定点与测量终止点的平均距离：

$$L_v = \frac{L_1 + L_2 + \dots + L_n}{n} \quad \dots\dots\dots (1)$$

式中：

L_v ——平均距离，单位为cm；

L_1 ——第1次测量距离，单位为cm；

L_2 ——第2次测量距离，单位为cm；

L_n ——第n次测量距离，单位为cm。

- 按公式（2）计算停靠偏差值：

$$\Delta L_n = L_n - L_v \quad \dots\dots\dots (2)$$

式中：

ΔL_n ——第n次停靠误差，单位为cm；

L_n ——第n次测量距离，单位为cm；

L_v ——平均距离，单位为cm。

- 按公式（3）计算定位精度：

$$E = \pm \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \Delta L_n^2} \quad \dots\dots\dots (3)$$

式中：

E ——定位精度，单位为cm；

ΔL_n ——第n次停靠误差，单位为cm。

12.3.2 行驶速度

测试步骤如下：

- 在试验地面划定长约10m的测试路线；
- 使无人叉车在额定负载下保持最大速度按照测试路线行驶，记录所用时间，计算行驶速度；
- 试验重复进行5次，取平均值。

12.3.3 紧急制动距离

划定长度为10m的一段直线路径，控制无人叉车保持1m/s的行驶速度从场地前后两个方向各行驶1次，当叉车行驶至终点时执行紧急制动，测量其停止位距离终点的距离，记为制动距离 s_0 。测量5次制动距离，取其平均值。

12.3.4 障碍物检测层级

叉车的障碍物检测区域如下图所示， S_1 为第一层检测区域， S_2 为第二层检测区域。无人叉车正常行驶过程中将障碍物放置于 S_1 内，测试无人叉车是否会减速行驶，将障碍物移开后，测试无人叉车是否可继续行驶。无人叉车正常行驶过程中，将障碍物放置于 S_2 内，测试无人叉车是否会停止，将障碍物移开后，测试无人叉车是否可继续行驶。

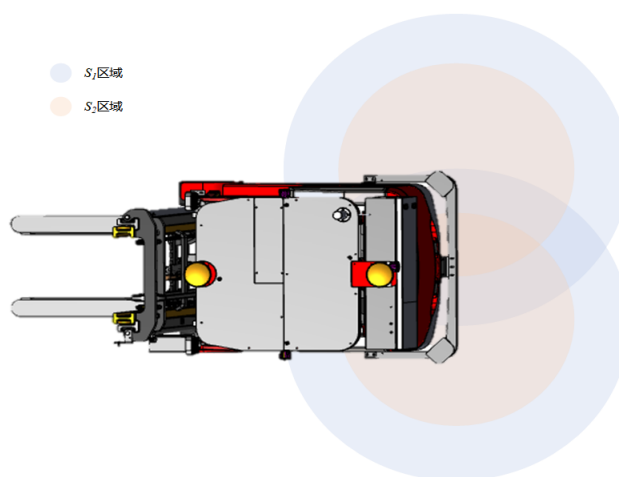


图 1 障碍物检测区域示意图

12.4 本体技术要求

对照本体技术要求现场目视查验。

12.5 控制系统技术要求

对每一个功能点，设计相应的测试用例，并通过叉车日志打印及叉车的实际表现情况判定是否符合8要求。

12.6 电源系统技术要求

12.6.1 电池容量

根据续航时间、电池额定电压、无人叉车平均功率可以计算得到电池容量理论值，并预留20%的裕量，比对电池标注的容量值与1.2倍的计算理论值。

电池容量按公式（4）计算：

$$C = \frac{T \times P_{avg}}{V} \dots\dots\dots (4)$$

式中：

C ——电池容量，单位为安时（Ah）；

T ——电池续航时间，单位为小时（h）；

V ——电池额定电压，单位为伏特（V）；

P_{avg} ——无人叉车平均功率消耗，单位为瓦特（W）。

12.6.2 供电电源及控制电源

对照无人叉车的产品说明书或图纸检查。

12.6.3 绝缘电阻

测试步骤如下：

- 断开电池与整车电气系统的连接，确保电池处于断电状态；
- 用万用表查看电池两端电压，确认电池电压 $\leq 36V$ ；
- 将兆欧表量程调至500V，一端接电池正极，另一端接车体裸露金属部位，按下测试按钮，记录绝缘电阻值；
- 一端接电池负值，一端接车体裸露金属部位，按下测试按钮，记录绝缘电阻值。

12.6.4 连接器

目测检查充电连接器。

12.7 感知系统技术要求

12.7.1 导航子系统技术要求

测试步骤如下：

- a) 目视检查无人叉车导航传感器的种类、数量，判断其是否满足使用场景需求；
- b) 控制无人叉车在全场景下作业，查看叉车打印日志，判断是否丢失定位数据；
- c) 定位精度测试方法见12.4.1。

12.7.2 传感器子系统技术要求

对照无人叉车的产品说明书或图纸目视检查配置传感器配置。

12.8 调度系统技术要求

对每一个功能点，设计相应的测试用例，并通过调度系统显示信息及叉车的实际表现情况判定是否符合11要求。

附录 A

(资料性)

故障及异常处理流程

无人叉车故障及异常包括传感器故障及异常、电池故障及异常、业务流程故障及异常，根据故障及异常是否影响安全和作业，处理流程见表A.1。

表 A.1 场内无人驾驶叉车故障分类及处理流程

序号	故障类型		检测手段	是否影响安全	是否影响作业	处理流程
1	传感器故障及异常	有故障码反馈	依靠故障码判断	是	是	a) 自检流程：异常上报，等待人工维修； b) 作业流程：暂停当前流程，异常上报，等待人工维修
2				否	是	a) 自检流程：异常上报，等待人工维修； b) 作业流程：暂停当前流程，异常上报，等待人工维修
3				否	否	a) 自检流程：上报异常，人工确认是否继续工作； b) 作业流程：暂停当前作业流程，异常上报，人工确认是否继续流程
4		无故障码反馈	自检过程中依靠初始位置反馈状态一致性判断	是	是	异常上报，等待人工维修
5				否	是	异常上报，等待人工维修
6				否	否	异常上报，等待人工确认是否继续工作
7	电池故障及异常	电池电量不足	电池反馈电量信息	否	是	异常上报，完成当前作业流程后停止运动，等待人工处理
8		电池故障	电池反馈故障码	否	是	停止当前流程，异常上报，等待人工处理
9	业务流程故障及异常	与其他设备衔接异常	其他设备状态反馈异常	否	是	暂停当前流程，异常上报，等待状态反馈正常后继续当前作业流程
10		视觉任务失败	视觉软件反馈故障码	否	是	暂停当前流程，异常上报，等待人工处理，视处理结果判断退出/继续当前作业流程
11		存在障碍物	相关传感器状态反馈异常	是	是	暂停当前流程，异常上报，等待人工处理，视处理结果判断退出/继续当前作业流程
12		叉取不到位	相关传感器状态反馈	是	是	暂停当前流程，异常上报，等待人工处理，视处理结果判断退出/继续当前作业流程