

T/HW

团 体 标 准

T/HW 0000X-202X

人工智能清扫机器人(车)技术要求

Standard for Intelligent Sanitation Robot(Vehicles)

(征求意见稿)

202X-X-X 发布

202X-X-X 实施

中国城市环境卫生协会 发布

前 言

根据《2023-2024年中国城市环境卫生协会团体标准制修订计划(第八批)》增补内容,《人工智能清扫机器人(车)技术要求》编制课题组经广泛调查研究,认真总结实践经验,参考有关标准规范,并在广泛征求意见的基础上,制定了本标准。

本标准的主要技术内容:1.总则;2.术语;3.基本规定;4.技术要求;5.试验方法。

本标准由中国城市环境卫生协会负责管理,由深圳市环境卫生协会和深圳赛特智能科技有限公司负责具体技术内容的解释。执行过程中如有意见或建议,请寄送至中城院(北京)环境科技股份有限公司(地址:北京市西城区德胜门外大街36号楼10层1单元1001-5,邮政编码:100120)。

本标准主要起草单位:深圳市环境卫生协会

深圳赛特智能科技有限公司

本标准参加起草单位:深圳酷哇科技有限公司、城市之光(深圳)无人驾驶有限公司、福龙马集团股份有限公司、深圳市图元科技有限公司、深能环保科技研发中心(深圳)有限公司、深圳市深能发展集团有限公司、广东盈峰智能环卫科技有限公司

本标准主要起草人员: (略)

本标准主要审查人员: (略)

目 次

1 总则	1
2 术语	2
3 基本规定	5
4 技术要求	11
4.1 通用功能要求	11
4.2 通用性能要求	14
4.3 通用安全要求	16
4.4 远控平台要求	17
4.5 小型人工智能清扫机器人性能要求	18
4.6 中型人工智能清扫机器人性能要求	19
5 试验方法	21
5.1 试验项目	21
5.2 试验场地及试验环境	22
5.3 功能试验方法	23
5.4 性能试验方法	29
5.5 安全试验方法	37
本标准用词说明	39
引用标准名录	40

1 总则

1.0.1 为规范人工智能清扫机器人技术要求，推动人工智能清扫机器人的配套建设与应用推广，促进人工智能清扫机器人快速、有序、健康发展，特制定本技术规范。

1.0.1 本条明确了编制本标准的目的。本标准规定人工智能清扫机器人的相关技术规范，涉及了智能清扫设备（车）技术要求（包括但不限于产品功能、产品性能、作业安全要求、机械安全要求、电气安全要求及控制安全要求等）、远程运维平台功能要求、信息安全要求等，满足人工智能清扫机器人行业产品技术要求、安全要求并明确相关的测试方法，便于厂家选型及政府监管需要。

1.0.2 人工智能清扫车除应符合本标准外，尚应符合《GB/T 44721-2024 智能网联汽车自动驾驶系统通用技术要求》要求及各地政府管理部门出台的相关法规政策要求。

1.0.2 本条明确针对人工智能清扫车进行技术要求定义。因大型人工智能清扫车属于机动车类，针对机动车的无人驾驶要求有相应的国家标准进行规范，因此本技术规范书针对人工智能清扫车部分的自动驾驶驾驶参考国标执行，同时因各地政府针对大型车辆上路也会有一些法律法规要求且具体要求存在差异，具体以实际发布内容为准。

2 术语

2.0.1 人工智能清扫机器人（Intelligent Cleaning Robot）

人工智能清扫机器人主要针对应用于环卫、物业等领域，具备自主导航、环境感知和智能决策功能，可自主完成地面清扫等任务的作业设备。

2.0.1 本定义明确了人工智能清扫机器人属于清洁作业设备，主要应用环卫、物业等应用场景，采用无人驾驶的方式实现自主清扫。人工智能清扫机器人自主清扫主要依赖自动导航、环境感知以及智能决策等模块协同完成。

2.0.2 人工智能清扫车（Intelligent Sanitation Sweeper）

人工智能清扫车主要针对应用于环卫、物业等领域，指具备自主导航、环境感知和智能决策功能，可自主完成地面清扫等任务的机动车。

2.0.2 本定义明确了人工智能清扫车属于大型清洁作业车辆，属于机动车范畴，需通过工信部《公告》准入，并在公安交管部门完成注册登记。人工智能清扫车主要针对环卫、物业等应用场景，采用无人驾驶的方式实现自主清扫。自主清扫主要依赖自动导航、环境感知以及智能决策等模块协同完成。

2.0.3 贴边作业（Curb-Aligned Sweeping Function）

人工智能清扫机器人（车）在清扫过程中，通过技术手段或操作规范，使其清扫机构（如扫盘）紧贴道路边缘（路沿或路牙）进行稳定作业，确保清扫范围覆盖路沿区域。

2.0.3 本条明确清扫机器人的一种重要作业方式：紧贴道路边缘清扫作业。因为道路边缘很容易积累垃圾，所以贴边作业是最常见的作业方式，该方式需要将垃圾从道路边缘清扫掉，所以需要扫刷紧贴道路边缘。

2.0.4 远程驾驶员（Remote Operator）

当人工智能清扫机器人（车）需要接管时，可通过远程操控系统实时监控并控制设备运行的专业人员。

2.0.4 本条明确人工智能清扫机器人（车）的远程操控人员的职责，工作方式以及意义：主要是通过远程操控的方式控制人工智能清扫机器人（车），其核心职责是在智能驾驶系统出现故障、超出设计范围或紧急情况下接管车辆，确保安全。

2.0.5 工作站（Robotic Service Depot）

为人工智能清扫机器人（车）提供充电、加水、排水、维护保养、垃圾收集及任务调度等全部或部分功能的基础设施。

2.0.5 人工智能清扫机器人（车）停靠、补给、维护的区域及设施，只是解决其中的一部分功能的站点，也可以是工作站。

2.0.6 爬坡能力（grade-climbing capability）

人工智能清扫机器人（车）在最大设计载荷状态下，通过自身动力系统在沥青、水泥等硬化且平整路面上能够稳定行驶作业克服的最大坡度，通常以百分比坡度（%）或坡度角（°）表示。

2.0.6 机器人及车辆在作业区域内，均有爬坡的需求，该处作了爬坡能力所指的机器人（车）的满载状态，并且正常路面上能作业的最大坡度，且在该最大坡度下能够驻车，不溜车。

2.0.7 转弯半径（Turning Radius）

人工智能清扫机器人（车）在转向轮转至极限位置且保持低速稳定行驶时，其转向中心到外侧轮轨迹中心线的距离。

2.0.7 本条文明确了转弯半径所指的极限转向且能平稳转向掉头状态下所测量的值。

2.0.8 越障高度（Maximum Traversable Obstacle Height）

人工智能清扫机器人（车）在平坦路面作业时能够安全越过垂直障碍物的最大高度。

2.0.8 本条文明确了越障的环境以及障碍物的形式。

2.0.9 作业宽度（Effective Sweeping Width）

人工智能清扫机器人（车）在规定作业速度下，直行单程清扫作业后清扫区域的宽度。

2.0.9 本条文明确作业宽度是在作业情况下，单程清扫时，刷子能够扫到的宽度。

2.0.10 扫净率（Sweeping Cleanliness Ratio (SCR)）

人工智能清扫机器人(车)单次作业所清除的路面垃圾质量与作业前路面垃圾质量之比。

2.0.10 本条文明确，扫净率是在设计的作业速度下，单次作业过后，所清洁的路面的垃圾质量比。

2.0.11 最大作业速度（Maximum Operational Speed）

人工智能清扫机器人（车）按最大作业宽度进行清扫作业，在保证扫净率、制动性能达到本标准要求时的最大速度。

2.0.11 本条文明确了最大作业速度下的作业工况和作业效果，同时确保作业安全。

2.0.12 人机协同（Human-AI Collaborative Operation (HACO)）

环卫工人与人工智能清扫机器人（车）在同一作业场景中分工配合，实时交互及动态调整，共同完成清扫任务，通过智能化设备提升作业效率，实现更精细化的环卫作业。

2.0.12 本条文给出人机协同是人和机器人（车）之间的配合，目的是为了更好提高效率。

2.0.13 垃圾转移（Waste Transfer Process）

人工智能清扫机器人（车）将收集的垃圾通过倾倒等方式转移至外部垃圾收集装置或区域内。

2.0.13 本条文指的是机器人（车）将清扫作业后收集的垃圾通过倾倒、打包后倒出垃圾包等方式，将垃圾从机器人（车）内清理出，并转移到指定垃圾箱或者垃圾站的过程。

3 基本规定

3.0.1 作业场地要求

人工智能清扫机器人(车)适用于室外环境清扫作业，宜应用于市政道路（机动车道、人行道、非机动车道等）开放式场所，以及公园、广场、城中村、住宅小区、校园、园区等封闭/半封闭场所。

3.0.1 本条要求根据人工智能清扫机器人（车）当前应用的场景进行定义，并推荐设备当前能够比较适合作业的场景，为设备厂家及终端客户进行应用设备提供场景部署参考。

3.0.2 作业道路宽度要求

人工智能清扫机器人(车)宜用于宽度为清扫机器人（车）最小作业宽度 1.3 倍及以上的道路。

3.0.2 本条要求人工智能清扫机器人（车）选择作业道路作为参考，设备为自动驾驶，需要保留左右两边一定的宽度，同时需预留一定的空间进行避让，同时各家产品的尺寸大小并无统一的规范标准，结合当前产品技术水平，推荐设备的最小作业宽度为设备的 1.3 倍以上的道路作业，便于设备购买厂家筛选应用场景。

3.0.3 气候条件要求

人工智能清扫机器人(车)宜应用在以下气候条件：

1) 环境温度： - 20℃至 50℃。

2) 环境湿度：不超过 95%（无凝露）。

3) 无降雨或中小雨天气，请勿在下暴雨、雪、冰雹、台风、严重雾霾、沙尘暴等恶劣天气下使用设备。

3.0.3 本条推荐人工智能清扫机器人（车）的气候条件，基于当前产品技术水平，设备当前不能在中雨以上、下雪、冰雹、台风、雾霾、沙尘暴等恶劣天气下作业，主要影响激光雷达及电池等关键零部件的正常工作，存在一定的危险性，推荐环境作业温度及相应的湿度条件下工作。

3.0.4 地面要求

人工智能清扫机器人(车)适用于石砖、水泥、沥青、塑胶等材质的平整地面运行，应用

在以下地面环境条件：

- 1) 地面平整度：地面高差不超过 20mm/m²，局部凸起或凹陷高度不超过 30mm。
- 2) 坡度：不超过 15°。

3.0.4 本条要求人工智能清扫机器人（车）的作业路面，为了确保清扫的洁净度及设备的使用寿命，设备不宜在颠簸路面下长期作业；道路坡度参考城市道路坡度建设要求，城市道路坡度设计一般不超过 15°，引入标准原文。

3.0.5 停放场地要求

人工智能清扫机器人(车)应配备专用停放场地，停放场地应具备以下条件：

- 1) 单个设备存放区域面积不小于设备投影面积的 1.2 倍，场地四周预留不小于 0.5m 的通道。
- 2) 停放场地具备天花板的，天花板顶部高度距离设备顶部应不小于 0.5 m。

3.0.5 本条要求具备人工智能清扫机器人（车）的停放场地条件，场地需满足设备能够正常进出及停放后人工可能进行设备维护。

3.0.6 供电线路要求

人工智能清扫机器人(车)应配备供电线路，宜兼容新能源汽车充电桩的供电线路，单台设备供电线路应具备以下条件：

- 1) 供电电压宜采用 220V 供电或符合新能源汽车供电有关要求。
- 2) 供电线路参数应不小于 4mm²，宜为 6mm²。

3.0.6 本条要求人工智能清扫机器人（车）的充电条件，随着新能源车越来越普及，新能源充电桩普遍存在，因此推荐设备能够兼容新能源汽车充电桩，便于设备取电，供电电压采用 220V 的依据直接来源于国家电气设计标准，例如 GB51348-2019《民用建筑电气设计标准》明确规定了交流充电桩供电电源应采用单相、交流 220V 电压，电压偏差不得超过标称电压的+7%、-10%，因此推荐供电电压为 220V；设备供电功率主要集中在 3000~7000W，因此需要满足供电线路的参数要 4mm²（最大承载电流为 34A，极限功率为 7840W），设备部署后长期固定充电，针对人工智能清扫车的供电线路推荐 6mm²，符合新能源汽车充电桩的典型配置标准，保障充电过程安全。

3.0.7 供水线路要求

人工智能清扫机器人(车)宜配备供水线路，给水类型应优先采用再生水，宜兼容消防取水点取水接口，供水线路宜具备以下条件：

- 1) 线路参数应不小于DN 20（公称口径）。
- 2) 供水压力应不小于 0.16Mpa。

3.0.7 本条在条件允许的情况下推荐配备供水线路，人工智能清扫机器人（车）需洒水降尘，参考城市环卫作业选用再生水，水压要具备压力 0.16MPa（约 1.6 公斤力）是市政再生水管道的最低压力下限，可支撑设备水枪喷射、滤网冲洗等基础功能，供水线路口径不小于 DN 20（内径约 20mm，可提供 $\geq 1.0\text{m}^3/\text{h}$ 的流量），符合设备集成水箱的注水效率要求，国内消防栓取水口公称口径普遍采用 DN 50/DN 65。

3.0.8 专用垃圾收集点要求

人工智能清扫机器人(车)应配备专用垃圾收集点，专用垃圾收集点应配有专用标准垃圾桶（参考CJ/T 280-2020 塑料垃圾桶通用技术条件）或其它垃圾存储装置，清扫机器人(车)可自主完成垃圾投放。

3.0.8 本条要求配备专用的垃圾收集点，满足人工智能清扫机器人（车）自动将垃圾投放到相应点位，为了实现垃圾桶和现有环卫作业垃圾桶复用，垃圾桶参考 CJ/T 280-2020 塑料垃圾桶通用技术条件配备相应的垃圾桶。

3.0.9 工作站场地条件

人工智能清扫机器人(车)宜配备专用工作站，专用工作站场地应具备以下条件：

- 1) 工作站面积应不小于单个设备投影面积的 3 倍。
- 2) 应配备供电线路，供电线路参考 3.0.3 供电线路要求。
- 3) 宜配备供水线路，供水线路参考 3.0.4 供电线路要求。
- 4) 宜配备专用垃圾收集点，专用垃圾收集点参考 3.0.5 专用垃圾收集点要求。
- 5) 宜配备环卫工人休息区。

3.0.9 本条建议为人工智能清扫机器人（车）配备专用工作站，工作站需保障设备能够正常进出、充电、停放、人员进出维护等功能，工作站面积应不小于设备投影面积的 3 倍，同时配备供电线路，条件许可的情况下，建议配备供水线路，垃圾收集点和工人休息区，实现工作站点一体化配套。

3.0.10 车型分类

按照人工智能清扫机器人的整备质量及外廓尺寸，将人工智能清扫机器人(车)区分为小型人工智能清扫机器人、中型人工智能清扫机器人、大型人工智能环卫车。

序号	车型类别	额定总质量 (M)	建议适配场景
1	小型人工智能清扫机器人	$M < 2000\text{kg}$	人行道、非机动车道、城中村、公园、广场、校园、住宅小区、园区等
2	中型人工智能清扫机器人	$2000\text{kg} \leq M \leq 6000\text{kg}$	辅道
3	大型人工智能清扫车	$M > 6000\text{kg}$	机动车道

3.0.10 本条结合行业现状对设备进行分类，针对不同的机型推荐不同的场景应用作为参考。

3.0.11 推荐作业范围定额（人工作业区域）

序号	场景名称	场景特点	机器清扫配置标准	作业时长	作业频次	人均保洁面积	机器效能对比	辅助人员数量、作业时长
1	广场 / 公园	封闭/半封闭区域,有多种路面类型(砖石/水泥/沥青/塑胶),存在行人、城市家具等	10000 m ² ~15000 m ² / 台(不足 10000 m ² 按 10000 m ² 计算)	不 低 于 8h	不 小 于 3 次/天	3300-7000 m ² /人	3-5 人	1人/台,每天 2小时辅助作业(负责台阶边缘、花坛、树池树穴等机器人无法清扫区域垃圾捡拾、清扫)
2	城中村	砖石/塑胶路面为主,人、非机动车等混流通行,可能涉及通	5000 m ² ~10000 m ² / 台(不足 5000 m ² 按	不 低 于 8h	不 小 于 3 次/天	3300-5000 m ² /人	1-3 人	1人/台,每天 3小时辅助作业(负责台阶边缘、花坛、

		过红绿灯路口，路口隔离桩宽度一般在1.0m-1.5m	5000 m ² 计算)					树池树穴等机器人无法清扫区域垃圾捡拾、清扫，并进行人机协同作业，如吹扫作业)
3	人行道	砖石/塑胶路面为主，人、非机动车等混流通行，可能涉及过红绿灯路口，路口隔离桩宽度一般在1.0m-1.5m	7000 m ² ~10000 m ² / 台 (不足 7000 m ² 按 7000 m ² 计算)	不低 于 8h	不 小 于 3 次/天	3300-7000 m ² /人	1-3 人	1 人/台，每天3 小时辅助作业 (人机协同作业，如吹扫作业，针对人机协同难以清扫的垃圾进行人工捡拾、清扫)

3.0.11 本条规定指导当前人工智能清扫机器人对应的作业场景进行设备作业时间、作业频次、作业面积、人工作业效能对比及人机协同的内容，结合行业应用现状制定此参考标准。

3.0.12 推荐作业范围定额 (机械作业区域)

序号	场景名称	场景特点	机器清扫配置标准	作业时长	作业频次	传统车辆道路长度	机器效能对比
1	非机动车道-辅道	水泥/沥青路面，人、非机动车等混流通行，涉及通过红绿灯路口，道路宽度通常在 4m 左右	8~10 公里/台	不低于 8h	不小于 3 次/天	8~10 公里/台	1 人+1 车
2	机动车道	城市主干道、快速路	8-12 公里/台	不低于 8h	不小于 3 次/天	8-12 公里/台	1 人+1 车

3.0.12 本条基于中型人工智能清扫机器人和大型人工智能清扫车的应用场景，配置设备的道路长度，作业时长、作业频次以及机器的效能对比，指导使用方进行设备配置，当前中型人工智能清扫机器人的作业速度为 6~8km/h，按一天 8h 计算，中型人工智能清扫机器人作业长度为 48~64km/天，道路为 2 侧均需要清扫，一天按 3 次计算，则一台车一天覆盖的长度约为 8~10km；大型人工智能清扫车作业速度为 8~10km/h，按一天 8h 计算，每天的作业长度约为 64~80km，部分道路需要走快慢车道，每天 3 次作业，综合情况每台车辆负责的长度为 8~12km。

3.0.13 设备操作系统及核心零部件宜采用国产化产品。

3.0.13 本条文主要针对设备操作系统应优先采用国产化系统，如鸿蒙系统等，核心零部件宜选用国产化产品，如激光雷达、摄像机等，确保供应链安全与自主可控。

4 技术要求

4.1 通用功能要求

4.1.1 应采用锂电池供电并具备手动充电接口及自动脱桩功能，宜具备国标充电接口（参考 GB/T 20234.1-2023 电动汽车传导充电用连接装置第 1 部分:通用要求），宜具备自动充电功能或快充功能或换电功能。

4.1.1 搭载自动补能和自动脱桩功能，使得人工智能清扫机器人可在全天任意时段（含凌晨）具备自主作业能力，从而增加有效作业时间，降低人工使用管理要求。同时，人工智能清扫机器人采用符合 GB/T 20234.1-2023 要求的充电接口，可有效复用新能源汽车的充电基础设施，降低应用建设难度。

4.1.2 应具备水箱和水量检测装置，应具备手动加水口，宜具备自动加水功能。

4.1.2 为避免清扫作业时产生的扬尘过大，有必要时进行洒水降尘。通过水量检测装置可确保实时检测水余量，在水余量不足时自主前往指定点进行自动加水，完成加水后继续进行清扫作业，从而增加有效作业时间，降低人工使用管理要求。

4.1.3 应具备垃圾存储装置和垃圾容量检测装置，应支持手动操作垃圾卸载，宜支持自动垃圾卸载，宜支持垃圾密闭卸载。

4.1.3 不同路段、不同时间段的垃圾量各不相同，为保障人工智能清扫机器人可自主持续清扫作业，通过垃圾容量检测装置可确保实时检测垃圾箱余量，在垃圾箱余量不足时自主前往指定点并自动完成垃圾转移（形式包括但不限于将垃圾倾倒入标准垃圾桶、垃圾自动打包、自主更换标准垃圾桶等），完成垃圾转移后继续进行清扫作业，从而增加有效作业时间，降低人工使用管理要求。垃圾密闭转移指过程无灰尘或垃圾泄露，如垃圾打包。

4.1.4 扫刷应具备自动升降控制和自动启停控制功能。

4.1.4 扫刷触地清扫作业时，会产生摩擦损耗。为延长扫刷的使用寿命，人工智能清扫机器人在非清扫作业时，应将扫刷抬起至非触地状态。在清扫作业时，将扫刷降至地面并启动清扫。

4.1.5 应具备洒水装置，洒水装置应具备自动启停控制功能。

4.1.5 道路垃圾类型和垃圾量各不相同，可根据清扫作业的扬尘情况按需开启洒水降尘。洒水应呈雾化状，在降尘的同时不会造成路面尘土结块堆积。

4.1.6 应具备前照灯、前转向灯、后转向灯、后位灯、作业警示灯、制动灯。不应有后射灯。

4.1.6 参考 JB/T 10856-2018 道路施工与养护机械设备 扫路机中要求，应设置照明、信号、作业警示装置。前转向灯和后转向灯用于变道信号指示，后位灯用于示廓，制动灯用于刹车信号指示。后射灯会干扰后方人员视线，存在安全隐患。

4.1.7 应具备提示音装置，发出的音量应不超过 75dB。

4.1.7 参考 TCSAE 286.2-2022 功能型无人车 第 2 部分：总体技术要求，确保人工智能清扫机器人发出的提示音可被周边人员辨识，且不会造成扰民。

4.1.8 应具备前向、后向、左向、右向监控摄像头，所有摄像头应具备车载端存储功能，视频存储时间不少于 7 天。

4.1.8 本条文参考 TCSAE286.2-2022 功能型无人车第 2 部分：总体技术要求，功能型无人车应自动记录和存储事故或失效状况发生前至少 90s 的状态信息，包括但不限于视频数据和底盘日志数据，车端存储时间应不少于 3 天。结合日常运行剐蹭可能无法实时发现，需进行事后追溯的情况，3 天难以满足应用需求，因此将存储时间提升至 7 天。

4.1.9 应具备雨量检测能力，检测到中雨或以上级别的雨量时应可自主停止作业并不阻碍交通，宜具备自主回库功能。

4.1.9 中雨及以上雨量会造成地面湿润且可能产生积水，清扫机构在此工况作业效果不佳。当雨量过大时，可能会造成激光雷达等传感器无法正常识别障碍物，影响自主运行，下雨无法作业时，需自主停靠到路边不阻挡道路通行或自主回库。

4.1.10 应具备光线检测能力，夜间或光线较暗时支持自主打开前照灯和后位灯。

4.1.10 人工智能清扫机器人在公共环境下人机共存作业。在光线弱的环境下，自主开启前

照灯和后位灯可方便周边人员在远距离提前辨识，避免造成碰撞。

4.1.11 应具备手动驾驶模式和自动驾驶模式。

4.1.11 在自动驾驶模式异常情况下，可切换至手动驾驶模式进行应急处置。手动驾驶模式包括遥控器控制或驾驶舱内操控或远程接管等。

4.1.12 应具备紧急制动装置，触发后车辆立即停止运动。

4.1.12 参考 TCSAE 286.2-2022 功能型无人车 第 2 部分：总体技术要求，应具备紧急停止装置。在出现运行异常行为时，可通过急停按键控制人工智能清扫机器人立刻停止运动。

4.1.13 扫刷应具备过载保护能力，遇到绳状物缠绕时可自主停止转动。宜具备针对直径不小于 1cm，长度不小于 30cm 的水管、电线等绳状易缠绕物的检测以及自主避让能力。

4.1.13 人工智能清扫机器人的作业环境会存在水管喷淋作业、用电施工作业等情况，类似水管电线等细长条状物体，在清扫时会卷入清扫机构并形成缠绕，造成堵转或损坏。

4.1.14 应具备检测道路凹陷落差区域能力，检测到坑洼、台阶、缺失井盖等长度、宽度和高度均不小于 10cm 的凹陷落差区域时可自主绕行/急停。

4.1.14 人工智能清扫机器人基本采用轮式底盘，清扫机构离地高度较低的，超过 10cm 的路面落差会造成机身磕碰/跌落。

4.1.15 应具备定时开启作业能力，到达预定任务开始时间，自动开始作业。

4.1.15 人工智能清扫机器人需在全天任意时段（含凌晨）具备自主作业能力，自主定时开启作业可增加有效作业时间，降低人工使用管理要求。

4.1.16 小型人工智能清扫机器人宜具备自主检测符合 GB14886-2016 要求的非机动车道信号灯和人行横道信号灯，在通过道路路口时根据交通信号灯状态指示执行相应的停车或通过动作；中型人工智能清扫机器人应具备自主检测符合 GB14886-2016 要求的机动车信号灯、非机动车道信号灯和人行横道信号灯，在通过道路路口时根据交通信号灯状态指示执行相应的停车或通过动作。

4.1.16 小型人工智能清扫机器人适用于人行道、非机动车道场景作业，中型人工智能清扫机器人适用于辅道/非机动车道作业，两者均涉及通过路口转场至其他道路进行作业，在通过路过时需按照交通信号灯指示遵守规则通行。因行驶的道路类型不同，小型和中型人工智能清扫机器人需检测各自行驶道路上不同类型的交通信号灯，交通信号灯的设置条件、组合形式和安装要求等参考 GB14886-2016 相关要求。

4.1.17 应能够探测设计运行范围内的目标及事件，并作出安全避让响应，不发生碰撞。要求见下表：

序号	试验项目	试验场景
1.	障碍物识别及响应	交通锥识别
2.		隔离护栏识别
3.		路墩及水马识别
4.	行人与非机动车识别及响应	行人横穿
5.		非机动车横穿
6.	周边车辆行驶状态识别及响应	前方车辆切入
7.		前方车辆切出
8.		前方车辆静止

4.1.17 小型和中型人工智能清扫机器人的应用环境中均可能存在交通锥、护栏、路墩和水马等静态障碍物，以及行人、非机动车和机动车等动态障碍物。参考 TCSAE 285-2022 功能型无人车自动驾驶功能场地试验方法及要求，在遇到上述各类动静态障碍物时，人工智能清扫机器人应可提前检测并进行安全避让通行，不能发生碰撞，保障人员及物品安全。

4.2 通用性能要求

4.2.1 满电状态下连续作业时长应不小于 4h。

4.2.1 随着纯电动产品使用越来越广泛，连续作业时间 $\geq 2h$ 已不满足使用需求。加之新能源技术发展，扫路机的连续作业时间已大幅度增长，部分产品可达到 10 几小时，综合考虑当下技术水平、清扫作业效果、实际使用需求、人为干预次数等因素后，连续作业需满足 $\geq 4h$ ；

4.2.2 最大清扫作业速度应不低于 5km/h。

4.2.2 结合实际需求,大部分公共区域对于清扫作业效率、垃圾停留时间等均有特定的要求,为保证特定时间内区域清扫作业的时效性,且结合考虑当下技术水平,最大清扫作业速度不低于 5km/h。

4.2.3 作业噪音应不大于 80dB。

4.2.3 考虑人工智能清扫机器人的作业环境,可能位于居民居住区附近,因此作业噪音不可过大,且相比燃油产品,纯电动产品的作业噪声已可达到 80dB(A)。

4.2.4 清扫作业时扫刷与道路边沿(路缘石等硬化道路边界)的距离不大于 30mm。

4.2.4 结合道路实际垃圾分布情况,大部分垃圾位于道路边沿,为提升作业效果,作业时扫刷距离道路边沿越近作业效果越好,结合当下实际技术水平,定为不大于 30mm 较为合适。

4.2.5 扫净率不应小于 92%。

4.2.5 参考《道路施工与养护机械设备扫路机》JB/T 10856-2018 中,纯扫式扫路机的扫净率不小于 85%,纯吸式和吸扫式扫路机的扫净率不小于 92%,人工智能清扫机器人由于作业死角相较于人工驾驶更多,因此应对扫净率提出更高的要求才可满足作业要求,因此定为 92%。

4.2.6 爬坡能力应不低于 20%,应能够在坡度为 20%的坡道上起步,不应溜坡。。

4.2.6 结合行业现状及实际作业环境,在《道路施工与养护机械设备扫路机》JB/T 10856-2018 的基础上,将爬坡要求提高至 20%,并在此基础上增加了“机械驻坡制动系统”的安全要求。参考《功能型无人车 第 2 部分:总体技术要求》TCSAE 286.2-2022 功能型无人车在坡度为 20%的坡道上起步,不溜坡。

4.2.7 涉水深度应不小于 100mm。

4.2.7 参考《电动汽车安全要求》GB 18384-2020,并结合实际试验情况进行了适当调整,无人驾驶装备涉水深度参考《YZ/T 0182-2022 寄递无人车技术要求》。

4.2.8 垂直级差越障高度应不小于 50mm。

4.2.8 结合实际作业情况，存在较多 50mm 以下的垂直极差物体，例如路沿、砖石路等，因此定为 50mm。

4.2.9 整机防水等级应不低于 GB 4208 标准规定的 IPX5。

4.2.9 参考 GB 4208 标准规定，结合人工智能清扫机器人实际作业需满足雨天环境下正常作业和日常清洗维护，应能够防止从任何方向的喷射水流的进入，如喷头的喷射，设备防水等级需满足 IPX5。

4.2.10 定位精度误差应不大于 20cm。

4.2.10 参考《功能型无人车 第 2 部分：总体技术要求》TCSAE 286.2-2022，功能型无人车实时定位精度应保证 20cm 以内，定位精度误差指设备所在真实物理位置与设备自主检测的位置在前、后、左、右方向的距离偏差。

4.3 通用安全要求

4.3.1 故障诊断

应具备车辆硬件自检功能。至少包括行走驱动电机、激光雷达、摄像头、扫刷控制电机故障检测，发生异常时应报警提醒并停止作业。

4.3.1 参考《功能型无人车 第 2 部分：总体技术要求》TCSAE 286.2-2022，在运行过程中，功能型无人车应能持续探测自身功能完整性，当出现失效导致无法继续执行功能任务时，功能型无人车应执行最小风险策略。

4.3.2 人员触电保护

应符合 GB 18384 中“5.1 人员触电防护要求”。

4.3.2 参考 GB 18384-2020《电动汽车安全要求》第 5.1 章“人员触电防护要求”。

4.3.3 碰撞防护

应具有接触式碰撞检测功能的防护装置，避免或减轻对交通参与者和自身的伤害。

4.3.3 参考《功能型无人车 第 2 部分：总体技术要求》TCSAE 286.2-2022，功能型无人车应安装具有碰撞防护功能的装置，避免或减轻对交通参与者和自身的伤害。

4.3.4 远程接管

车辆应具备远程接管能力，具体如下：

- 1) 车辆具备远程接管能力，在被远程接管之后，自动驾驶优先级低于远程接管，控制响应远程操作。远程接管后，系统应能够被远程驾驶员执行全部动态驾驶任务。
- 2) 远程接管后，系统应交出全部动态驾驶任务且在远程驾驶员未再次激活自动驾驶模式前不恢复自动驾驶系统激活状态。
- 3) 车辆在远程接管模式下，远程驾驶员可执行紧急制动、前进、倒退、左转、右转等0级驾驶自动化应急辅助动作。
- 4) 车辆在远程接管模式下，能够远程退出接管模式并确认激活自动驾驶模式后，能够恢复自动驾驶模式。

4.3.4 参考《功能型无人车 第2部分：总体技术要求》TCSAE 286.2-2022，远程驾驶系统应具有操纵车辆的能力，包括转向、制动、驱动、档位等。在此基础上，定义更为详细的远程接管系统的能力，保证远程接管时的安全。

4.4 远控平台要求

4.4.1 远控平台应具有对机器人（车）的数据监测能力，信息包括但不限于：

- 1) 位置信息：实时位置；
- 2) 状态数据：驾驶模式、作业状态、电量、水量、垃圾量、速度等；
- 3) 告警数据：碰撞告警、故障告警、停滞告警等；
- 4) 视频数据：实时视频数据；
- 5) 作业数据：作业时长、作业里程、作业面积、告警数、用水量、用电量、垃圾收集量、倾倒垃圾次数等。
- 6) 管理部门依法要求接入的数据。

4.4.1 参考《功能型无人车 第2部分：总体技术要求》TCSAE 286.2-2022，结合功能性无人车远程监控系统的通用定义，增加和细化与清扫功能有关的定义，如水量、垃圾量、作业面积等业务数据，便于管理人员对设备进行调度及保养要求。

4.4.2 位置数据宜采用 JT/T 808 协议传输，视频数据宜采用 GB/T 28181 协议传输，其他数据宜采用 HTTPS 协议进行传输。

4.4.2 JT/T 808-2019《道路运输车辆卫星定位系统终端通信协议及数据格式》是交通运输部发布的强制性行业标准，主要用于规范“道路运输车辆卫星定位系统”中车载终端（如北斗定位设备）与监管平台（如交通管理部门、企业监控平台）之间的通信。其核心目标是统一车辆位置数据的传输格式与交互逻辑，解决不同厂商设备与平台间的“数据孤岛”问题。GB/T 28181-2016《公共安全视频监控联网系统信息传输、交换、控制技术要求》是公安部主导制定的安防行业标准，旨在解决不同厂商视频监控设备（摄像头、NVR、平台）之间的互联互通问题，是国内视频监控联网的核心技术规范。HTTPS（HyperText Transfer Protocol Secure）是HTTP协议的安全版本，通过TLS/SSL加密传输层，确保数据在客户端与服务器之间的机密性、完整性，是目前互联网通用数据传输的“安全基石”。

4.4.3 远控平台应具有对机器人（车）的操纵能力，至少包括转向、制动、前进、后退指令及任务调度。

4.4.3 参考《功能型无人车 第2部分：总体技术要求》TCSAE 286.2-2022。

4.5 小型人工智能清扫机器人性能要求

4.5.1 非清扫作业时，最小转弯半径应不大于2.5m。

4.5.1 小型人工智能清扫机器人应用于公园、人行道等场景，存在道路宽度较窄的情况，机器人应具备灵活的转弯和调头能力，以满足场景应用要求。

4.5.2 最大行驶速度应不小于5km/h，且不大于10km/h。

4.5.2 结合实际作业及转场需求，综合考虑应用场景的人流复杂度，小型人工智能清扫机器人的运行速度不宜过大，在确保安全的前提下兼顾转场时的效率。

4.5.3 直线道路非清扫作业时，最小通过宽度应不大于1.5m。

4.5.3 小型人工智能清扫机器人应用于公园、人行道等场景，存在道路宽度较窄的情况，机器人应具备灵活的窄道通行能力，以满足场景应用要求。

4.5.4 最大清扫宽度应不小于1.2m。

4.5.4 小型人工智能清扫机器人应用于人行道、公园、广场等场景，道路边沿可能存在绿植等障碍物悬空伸出情况，为确保道路边沿的清扫效果，降低机身的剐蹭风险，为保障机器的作业效率，同时兼顾对道路通行影响，最大清扫宽度应不小于 1.2m。

4.5.5 机器满载状态的制动距离宜不大于 1m。

4.5.5 本条文参考物理学中的动能定理和摩擦力的基本概念，制动距离公式 $d=V^2/2g\mu$ 进行计算，其中 v ：刹车前速度（需转换为米/秒，m/s）； μ ：轮胎与水泥路面的滑动摩擦系数（无 ABS 时为滑动摩擦，有 ABS 时接近滚动摩擦）； g ：重力加速度（约 $9.8m/s^2$ ），如速度为 10km/h，湿滑地面按 $\mu=0.4$ 计算， $d=0.98m$ ，建议以最大设计速度运行时制动距离不大于 1m。

4.5.6 水箱容量宜不小于 50L。

4.5.6 综合考虑小型人工智能清扫机器人的作业续航时间和外形尺寸，水箱容量建议不小于 50L，避免反复加水影响作业效率。

4.5.7 垃圾箱容量宜不小于 100L。

4.5.7 综合考虑小型人工智能清扫机器人的作业续航时间和外形尺寸，垃圾箱容量建议不小于 100L，避免反复倒垃圾影响作业效率。

4.6 中型人工智能清扫机器人性能要求

4.6.1 非清扫作业时，最小转弯半径应不大于 4m。

4.6.1 中型人工智能清扫机器人应用于辅道、机动车慢车道等场景，考虑到道路宽度条件各不相同，机器人应具备灵活的转弯能力，以应对不同场景的要求，同时减少对道路交通通行的影响，暂定为 4m。

4.6.2 最大行驶速度应不小于 5km/h，且不大于 30km/h。

4.6.2 参考《道路施工与养护机械设备 扫路机》JB/T 10856-2018 的要求，最高行驶速度应

不高于 40km/h。考虑自动驾驶的安全性，将最高速度限为 30km/h 以下。

4.6.3 直线道路非清扫作业时，最小通过宽度应不大于 1.8m。

4.6.3 中型人工智能清扫机器人应用于辅道、机动车慢车道等场景，道路宽度通常不低于 2.5m。为减小非清扫作业时(收刷通行)对道路通行的阻挡影响，最小通过宽度不大于 1.8m。

4.6.4 最大清扫宽度应不小于 1.8m。

4.6.4 中型人工智能清扫机器人应用于辅道、机动车慢车道等场景，道路宽度通常不低于 2.5m，为保障机器的作业效率，同时兼顾对道路通行的影响，最大清扫宽度不小于 1.8m。

4.6.5 机器满载状态的制动距离参考 JBT 10856-2018 道路施工与养护机械设备扫路机标准，制动距离应不大于 6.5m，宜不大于 3.5m。

4.6.5 本条文规定中型人工智能清扫机器人的制定距离参考《道路施工与养护机械设备 扫路机》JB/T 10856-2018 的制定距离要求，该标准设定最高行驶速度大于 20km/h 时，制动距离不大于 6.5m，中型人工智能清扫机器人的制定距离应不大于 6.5m。结合中型人工智能清扫机器人的运行速度不大于 20km/h 以及工作环境车流复杂，建议以最大设计速度运行时制动距离不大于 3.5m。

4.6.6 水箱容量宜不小于 180L 。

4.6.6 综合考虑中型人工智能清扫机器人的作业续航时间和外形尺寸，结合市政道路补给点设置距离较远，水箱容量建议不小于 180L，避免反复加水影响作业效率。

4.6.7 垃圾箱容量宜不小于 600L。

4.6.7 综合考虑中型人工智能清扫机器人的作业续航时间和外形尺寸，结合市政道路垃圾点不可随意设置等要求，垃圾箱容量建议不小于 600L，避免反复倒垃圾影响作业效率。

5 试验方法

5.1 试验项目

序号	分类	试验项目
1.	功能试验	充电试验
2.		加水试验
3.		垃圾倾倒试验
4.		清扫装置试验
5.		洒水装置试验
6.		照明信号装置试验
7.		提示音量试验
8.		视频监控试验
9.		雨量检测试验
10.		光线检测试验
11.		驾驶模式试验
12.		紧急制动试验
13.		防缠绕试验
14.		跌落检测试验
15.		定时作业试验
16.		交通信号灯识别及响应试验
17.		行人与非机动车识别及响应试验
18.		周边车辆行驶状态识别及响应试验
19.		障碍物识别及响应试验
20.	性能试验	最大作业时长试验
21.		最大行驶速度试验
22.		最大清扫速度试验
23.		贴边距离试验
24.		爬坡能力试验
25.		涉水能力试验
26.		越障能力试验
27.		防水能力试验
28.		定位精度试验

29.		最小转弯直径试验
30.		通过能力试验
31.		行车制动试验
32.		清扫宽度试验
33.		扫净率试验
34.		垃圾箱容量试验
35.		水箱容量试验
36.		作业噪声试验
37.	安全试验	故障诊断试验
38.		人员触电防护试验
39.		碰撞防护试验
40.		远程接管试验

5.1 试验方法内容来源于第四章节，进行汇总说明。

5.2 试验场地及试验环境

5.2.1 测试场地要求

- 1) 宽度不应小于设备清扫宽度的1.5倍;
- 2) 长度不应小于200m,其中直线段区域长度不应小于100m;
- 3) 应为平整、清洁、干燥的水泥混凝土路面，其中铺放垃圾试样的路面区域应无露石、蜂窝、麻面、裂缝、脱皮和掉角等现象，垃圾量(如沙子、灰尘等)不应大于10g/m²;
- 4) 在以场地中心为基点、半径为25m的范围内应无大的声反射物，背景噪声应至少比被测设备的作业噪声低10dB(A)。

5.2.2 测试气候条件

考核气候条件应符合下列要求：

- 1) 无雨雪雾霾等特殊天气条件；
- 2) 风速小于1.5m/s。

5.2.3 垃圾试样

考核用的垃圾试样应符合下列规定：

- 1) 10%的质量为沙子，粒径≤2 mm;
- 2) 25%的质量为石子，粒径为2 mm~8 mm。
- 3) 25%的质量为空塑料水瓶、纸张，长度≤300 mm。

- 4) 40%的质量为树叶、树枝，长度 ≤ 300 mm。

5.2.4 考核场地垃圾试样的分布

垃圾试样应均匀分布在考核场地，并符合下列规定：

- 1) 垃圾试样的分布宽度不应小于人工智能清扫机器人(车)设计清扫宽度的1.2倍；
- 2) 垃圾试样的分布长度不应小于100 m；
- 3) 垃圾试样的分布平均量为200 g/m²。

5.2.1-5.2.4 以上条文参考《QC_T 51-2019 扫路车》标准，结合人工智能清扫机器人(车)的实际应用场景，对垃圾式样等内容作了调整。

5.3 功能试验方法

5.3.1 充电试验

控制触发自动充电任务，通过目视方式检查机器是否能够自动对接配套的充电装置并进行充电。电量充满至100%后，通过目视方式检查机器是否能够自动脱离配套的充电装置并结束充电。

5.3.1 本条文主要针对自动充电功能进行测试，目的是为了验证设备具备“自动对桩 - 自主检测充电成功 - 自主检测电量充满 - 电池过热 - 自动脱桩”组合的自动充电功能，通过目测方法即可简易快速实现过程验证。

5.3.2 加水试验

控制触发自动加水任务，通过目视方式检查机器是否能够自动对接配套的加水装置并进行加水。水量加满至100%后，通过目视方式检查机器是否能够自动脱离配套的加水装置并结束加水，且机身水箱内的水不会满溢出机身外部。

5.3.2 本条文主要针对自动加水功能进行测试，目的是为了验证设备具备“自动对桩-自主检测加水成功-自主检测水量加满-自动脱桩”组合的自动加水功能，加水至 100%，测试在最大容量下设备安全性（如防爆、防漏），暴露焊缝、密封圈等潜在缺陷（如渗漏、变形），如未加满可能无法触发上述故障，通过目测方法即可简易快速实现过程验证。

5.3.3 垃圾倾倒试验

在机身的垃圾箱内放置 5.2.3 的垃圾试样，通过目视方式检查机器是否能够检测到垃圾满并自动前往至设定的垃圾倾倒点，并且自动完成垃圾倾倒，不同垃圾倾倒方式的通过要求如下：

1) 自动倾倒至标准容量的垃圾桶：机器可自主检测垃圾桶是否在位，并准确将垃圾完全倾倒到垃圾桶内，不会掉落至垃圾桶外部。

2) 自动打包垃圾：机器可自主将垃圾袋打包密封，并倾倒至指定位置区域，垃圾不会漏出地面。

3) 自动更换垃圾存储容器：机器可自主将机身内装满垃圾的存储容器卸下至指定位置区域，垃圾不会掉落至容器外部，并可自动将空的垃圾存储容器装载至机身。

5.3.3 本条文目的是验证人工智能清扫设备在垃圾满载状态下，能否自主完成从垃圾满检测、前往指定倾倒点到按对应方式完成垃圾倾倒的全流程操作，通过目测方法可直观观察垃圾满检测的准确性、前往倾倒点的自主性及倾倒过程的完整性（如是否漏洒、是否精准）。

5.3.4 清扫装置试验

控制开启、关闭、升起、降下清扫机构，通过目视方式检查功能响应是否符合要求。

5.3.4 本条文目的是验证清扫机构的基础操作功能是否正常可靠，测试设备在作业过程中能否按指令准确完成开启、关闭、升起、降下等动作，模拟了设备实际作业中对清扫机构的常规操作指令，通过目测方法即可简易快速实现过程验证。

5.3.5 洒水装置试验

控制开启、关闭洒水装置，通过目视方式检查功能响应是否符合要求。

5.3.5 本条文目的是验证洒水装置的基础操作功能是否正常可靠，覆盖了洒水装置最核心的基础操作（开启、关闭），无关键操作环节遗漏，目视检查能快速判断动作是否响应、是否到位（如开启时是否正常出水、关闭时是否彻底断水），结果判定清晰。

5.3.6 照明信号装置试验

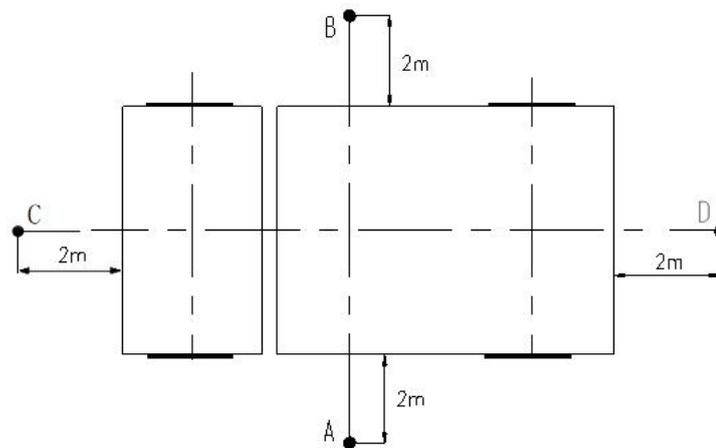
开启并验证相关照明、信号装置是否符合要求，并通过目视方式检查标识、标志是否符合要求。

5.3.6 本条文目的是验证设备照明装置、信号装置的功能有效性及相关标识、标志的规范性，测试覆盖了照明信号装置的核心内容——照明与信号装置的功能验证、标识标志的规范性检查，聚焦“开启验证功能”与“目视检查规范”两个核心动作，直接对应照明信号装置的基础功能需求和标识标志的核心作用，目视检查能快速判断照明是否达标、信号是否明确、标识是否清晰合规，结果判定标准简单易懂。

5.3.7 提示音量试验

测量场地开阔，试验地面为平坦的混凝土或沥青等地面。以清扫机器人中心为基点，其周边10 mm内无大的声反射物。背景噪声(包括风的影响)应比被测噪声低10 dB(A)以上。测量时的风速应小于等于5 m/s。

清扫机器人处于驻停状态，用声级计“慢”档测量作业噪声（A计权声级）。声级计分别布置在机器人外壳正前方、正后方、正左方、正右方距离2m处，离地高度1.2m，测量4个位置的提示音量。调节机器人语音播报至最大，读取声级计测量的最大语音播报声量，测量3次，相同点测量结果之差不应大于2 dB(A),取算术平均值。



5.3.7 本条文目的是验证清扫机器人提示音量（如语音播报等）的有效性，“开阔场地、无大的声反射物、背景噪声低 10dB (A) 以上、风速 $\leq 5\text{m/s}$ ”等设置，可最大限度减少环境噪声、回声、风噪等干扰因素，“声级计布置在正前、后、左、右方 2m 处，离地 1.2m”模拟了人员在机器人周边常见位置的听觉场景，“驻停状态、最大音量调节”则聚焦提示音量的最关键工况，“测量 3 次、相同点结果差 $\leq 2\text{dB (A)}$ 、取平均值”的要求，通过多次测量减少偶然误差。

5.3.8 视频监控试验

通过目视方法检查车身外壳的前、后、左、右方向，确认机身每个方向是否至少具备一个监控摄像头。给机器人设定作业任务，循环作业7天，每天作业时长不低于8小时，作业完成后通过目视方法检查车端存储设备内的历史视频，试验期间的历史视频应存在记录且完整。

5.3.8 条文目的是验证清扫机器人视频监控系统的覆盖完整性与记录可靠性，测试完整覆盖了视频监控系统的核心要素——摄像头的物理覆盖（四个方向各一个）与视频记录的时间覆盖（7天×8小时的连续作业），验收视频的清晰度，无花屏、抖动、黑屏等情况，以及视频记录的完整性，目视检查方式无需复杂设备，结果判定直观。

5.3.9 雨量检测试验

按照 5.4.8 防水能力试验的雨量模拟条件，机器人以作业速度匀速行驶工作，通过目视方法检查机器人是否可检测到下雨并停止作业。

5.3.9 本条文目的是验证清扫机器人对降雨的检测能力及相应的安全响应机制，“按照 5.4.8 防水能力试验的雨量模拟条件”进行测试，确保雨量大小、分布等环境参数与防水能力试验保持一致，避免因雨量条件差异导致测试结果不准确，“机器人以作业速度匀速行驶工作”模拟了设备实际作业时的动态状态，更贴近降雨时机器人正在作业的真实场景，能有效验证在运动过程中雨量检测的准确性；目视方法检查是否检测到中雨及以上并停止作业可操作直观，可直接判定功能是否响应。

5.3.10 光线检测试验

参考《CJJ 45-2015 城市道路照明设计标准》要求，将机器停放在环境平均照度 $\geq 100\text{lx}$ 的空间。随后熄灭环境照明灯光，使环境平均照度低于 30lx 。通过目视方式检查机身的照明灯和后位灯是否从熄灭状态自动切换为打开状态。

5.3.10 本条文目的是验证清扫机器人对环境光线变化的感知与响应能力，参考“《CJJ 45-2015 城市道路照明设计标准》”设定照度条件，明确照度值（ $\geq 100\text{lx}$ 为较高照度、 $< 30\text{lx}$ 为低照度），贴合实际道路环境中光线变化的典型场景（如白天到黄昏的过渡），“从环境平均照度 $\geq 100\text{lx}$ 到低于 30lx 的切换”，借助照度计检测环境照度值，测试照度变化是否有效触发机器照明响应机制，保障设备运行安全、节能环保和视觉舒适性。“目视方式检查灯光切换”操作直观，可直接判定功能是否正常响应。

5.3.11 驾驶模式试验

机器处于自动驾驶模式下，设定作业任务自主运行。行进过程中控制切换至手动驾驶模式，通过目视方式检查机器是否停止运动，并通过软件指令/物理驾驶方式控制车辆运动，车辆应按照人为控制内容进行响应。

机器处于手动驾驶模式时，控制切换至自动驾驶模式，通过目视方式检查机器是否可恢复自主运行，并触发手动驾驶模式的软件指令/物理驾驶控制，检查机器是否响应手动控制。

5.3.11 条文目的是验证机器在自动驾驶模式与手动驾驶模式之间双向切换的可靠性与安全性。“设定作业任务自主运行时切换至手动模式”“手动模式时切换至自动作业模式”模拟了实际作业中常见的模式切换场景（如自动驾驶遇复杂情况需人工干预、人工处理后恢复自动作业），目视方式检查“是否停止运动、是否响应控制”操作直观，可直接判定模式切换时的状态过渡是否符合预期。

5.3.12 紧急制动试验

机器人以作业速度匀速行驶，手动触发紧急制动装置，通过目视方法检查机器人是否立刻停止运动。

5.3.12 本条文目的是验证机器人在紧急情况下的制动装置的可靠性，“机器人以作业速度匀速行驶”模拟实际作业中的正常运行状态，模拟机器人在真实场景下可能遇到紧急情况的动态环境，“手动触发紧急制动装置”模拟了人为发现危险时的紧急干预行为，符合实际作业中人员及时处置突发情况的操作逻辑；“目视方法检查是否立刻停止运动”直观且快速，能直接判定制动是否及时有效。

5.3.13 防缠绕试验

在5.4.2的测试场地中，在测试区域中依次放置满足4.1.1.13要求的水管、电线（放置方向于机器人行进方向垂直），机器以最大清扫速度经过测试区域。通过目视方式检查机器是否可检测到缠绕物并安全绕行通过/抬起清扫装置安全通过。

5.3.13 本条文目的是验证机器人对作业环境中常见缠绕物（如水管、电线）的检测与处理能力，模拟实际作业中缠绕物可能出现的典型形态与位置（垂直于行进方向的线缆更易被清扫装置卷入），贴近真实作业场景；“以最大清扫速度经过”则测试了机器人在最具挑战

的作业速度下的防缠绕能力，目视检查方法操作简单直观，可直接判定制动机器人是否能有效识别缠绕物并采取正确应对措施。

5.3.14 跌落检测试验

测试区域长度为 10 倍设备长度（沿运动方向的长度），但不小于 10000mm，宽度要保证人工智能清扫机器人能够正常行走。在测试区域的末端设置满足4.1.14要求的台阶，机器以最大清扫速度经过测试区域。通过目视方式检查机器是否可检测到跌落区域并停止运动，不会产生跌落。

5.3.14 本条文目的是验证机器人在作业环境中对跌落风险（如台阶）的感知与安全响应能力，测试完整覆盖跌落检测的关键要素 —— 测试场地保证机器人可加速至最大清扫速度，采用符合 4.1.14 要求的台阶明确跌落风险标准，以最大清扫速度模拟高风险作业状态，验证“检测跌落区域 - 触发停止指令 - 执行停止动作”的完整流程。目视检查方法操作简便直观，可直接判定机器人是否有效识别风险并及时停止。

5.3.15 定时作业试验

按T/ITS 0146 9.6章节的规定进行。

5.3.15 本条文目的是验证机器人按照预设时间自动启动并执行作业任务的可靠性与准确性，T/ITS 0146 9.6 章节提供的测试方法能够满足人工智能清扫机器人的功能测试要求。

5.3.16 交通信号灯识别及响应试验

试验方法按 T/CSAE 285 中6.2.3、6.4章节的规定进行。

5.3.16 本条文目的是验证机器人在道路作业场景中对交通信号灯（如红灯、绿灯、黄灯）的准确识别能力及规范响应行为，T/CSAE 285 中 6.2.3、6.4 章节提供的测试方法能够满足人工智能清扫机器人的功能测试要求。

5.3.17 行人与非机动车识别及响应试验

按TCSAE 285-2022中的6.2.3章节规定进行。

5.3.17 本条文目的是验证机器人在作业环境中对行人及非机动车的准确识别能力和安全响应机制，TCSAE 285-2022 中 6.2.3 章节提供的测试方法能够满足人工智能清扫机器人的功能测试要求。

5.3.18 周边车辆行驶状态识别及响应试验

按 TCSAE 285-2022 中的 6.2.2、6.4.4 章节规定进行。

5.3.18 本条文目的是验证机器人在作业环境中对周边车辆（如小汽车、货车等）行驶状态（如速度、方向、距离等）的准确识别能力及安全响应机制，TCSAE 285-2022 中的 6.2.2、6.4.4 章节提供的测试方法能够满足人工智能清扫机器人的功能测试要求。

5.3.19 障碍物识别及响应试验

按TCSAE 285-2022中的6.2.1、6.4.3章节规定进行。

5.3.19 本条文目的是验证机器人在作业环境中对各类障碍物（如静态障碍、动态障碍等）的准确识别能力及安全响应机制，TCSAE 285-2022 中的 6.2.1、6.4.3 章节提供的测试方法能够满足人工智能清扫机器人的功能测试要求。

5.4 性能试验方法

5.4.1 最大作业时长试验

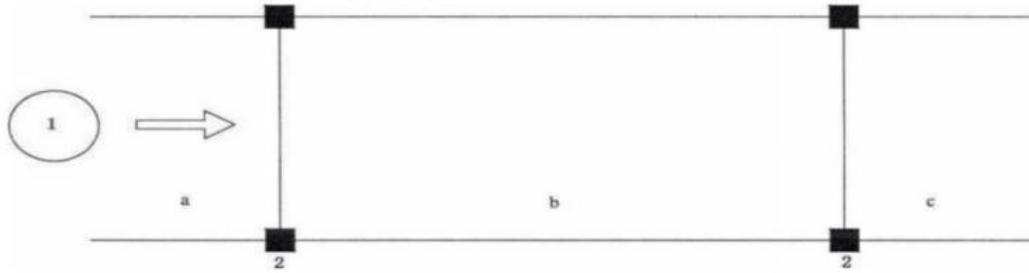
检测对象应在满电情况下，以标准工况连续作业，全程不中断作业。

测量从测试对象开始作业至测试对象上的电量缺电报警时操作人员将测试对象停止的时间。

5.4.1 本条文目的是验证设备在满电状态下，以标准工况连续作业时的持续运行能力，测试完整覆盖了“满电→标准工况连续作业→电量缺电报警”的全流程，明确排除非作业时间，确保测量的是设备纯作业状态下的最大时长，直接记录有效作业时长。

5.4.2 最大行驶速度试验

速度测试区域长度为 10 倍设备长度（沿运动方向的长度），但不小于 10000mm，宽度要保证人工智能清扫机器人能够正常行走。测试区域各端要保留足够的空间进行加速和减速。



1 人工智能清扫机器人；

2—起始线和终止线；

a——加速区域；

b——测试区域；

c——减速区域。

- (1) 将载有额定负载的人工智能清扫机器人放置在初始位置；
- (2) 人工智能清扫机器人从初始位置开始加速，以便在起始线前达到最大速度；
- (3) 人工智能清扫机器人在同一位置通过速度测试区域的时间为 t ；
- (4) 人工智能清扫机器人通过终止线后减速至停止；
- (5) 按式 1 计算最大速度。

$$V = S / 1000t$$

式中：

V--- 速度，单位为米每秒（m/s）；

s---距离，单位为毫米（mm）；

t---时间，单位为秒（s）。

如果人工智能清扫机器人未通过测试区域的终止线或者偏离指定行驶方向超过速度测试区域长度的 10%,则认为测试失败，失败的情况需在报告中说明。

取连续 3 次测试成功的最大速度值作为本测试中的最大速度值 v 。

5.4.2 本条文目的是准确测定载有额定负载的人工智能清扫机器人在稳定行驶状态下的最大速度，测试完整覆盖了最大速度测量的关键环节——从测试区域的设计（含加速、测试、减速区域）、负载条件（额定负载）、操作流程（加速→匀速通过测试区域→减速），到数据采集（时间测量、速度计算）、结果判定（成功 / 失败标准）及数据处理（3 次测试取最大值），明确的失败条件避免无效数据，保证结果的客观性与可重复性。

5.4.3 最大清扫速度试验

测试方法按 QCT 51-2019中5.3.4的规定进行。

5.4.3 本条文目的是验证人工智能清扫机器人（车）在满载状态下，按标定作业宽度进行清扫作业时，在满足制动性能要求的前提下能达到的最高稳定作业速度。QC/T 51-2019 中

5.3.4 章节提供的测试方法能够满足人工智能清扫机器人的性能测试要求。

5.4.4 贴边作业试验

测试方法按 T/ITS 0146-2020 中 9.10 章节规定进行。

5.4.4 本条文目的是验证人工智能清扫机器人（车）在贴边作业时，其清扫机构（如扫盘）与道路边沿（路沿或路牙）之间的距离是否符合规定要求，T/ITS 0146-2020《智能网联扫路机系统技术要求与测试规程》9.10 章节测试方法能够满足人工智能清扫机器人的性能测试要求。

5.4.5 爬坡能力试验

测试方法按 GB/T 18385-2024 中6.6的规定进行，需要区分空载和满载状态，分别得出测试结果。

5.4.5 本条文目的是验证人工智能清扫机器人（车）在空载和满载两种状态下，通过自身动力系统在良好路面上能够稳定行驶并完成清扫作业的最大坡度，同时检验其在规定坡度（如20%）上起步时的防溜坡能力，GB/T 18385-2024《纯电动汽车 动力性能 试验方法》6.6 章节提供的测试方法能够满足人工智能清扫机器人的性能测试要求。

5.4.6 涉水能力试验

设置长度10m以上、宽度大于设备净宽度1.5倍、水深100mm的测试区域，小型人工智能清扫机器人应以2km/h的速度行驶至少30m，中型人工智能清扫机器人应以10km/h的速度行驶至少200m，测试对象能否通过测试区域，设备经过涉水测试区域后，标准工况运行10分钟后，各系统、装置能否正常工作，自动驾驶功能可正常使用，视为测试通过。

5.4.6 本条文目的是验证人工智能清扫机器人在规定水深、行驶速度和距离条件下，能否安全通过涉水区域，且涉水后各系统、装置及自动驾驶功能仍能正常工作，针对小型、中型人工智能清扫机器人作业场景差异设置参数，强制要求涉水后运行10分钟，而非仅通过涉水即判定合格，避免设备“短期通过但长期进水失效”的隐患，更能保障实际作业中的可靠性，为了降低测试场地搭建投入，可通过多次折返进行长度模拟测试。

5.4.7 越障能力试验

设置5cm的垂直障碍，人工智能清扫机器人为空载状态，在不开启作业装置的情况下，以低于5km/h行驶速度垂直驶向障碍。设备可通过5cm垂直障碍，视为测试通过。

5.4.7 本条文目的是验证人工智能清扫机器人在空载状态、不开启作业装置的情况下，以低于 5km/h 的行驶速度通过 5cm 垂直级差障碍的能力，测试设定的 5cm 垂直级差障碍，与实际环卫作业中常见的路面障碍（如小石块、地砖凸起、轻微路面破损等）高度匹配，属于设备日常作业需应对的典型障碍类型，测试结果能直接反映设备的实际越障能力。测试方法明确了障碍高度、设备状态、行驶速度及通过标准，参数具体、流程简单，无需复杂设备即可实施，结果可直观判断。

5.4.8 防水能力试验

防水试验参照GB/T 4208 的规定进行。

5.4.8 本条文目的是验证人工智能清扫机器人的外壳及内部电气系统、部件的防水防护性能，按照 GB/T 4208-2017《外壳防护等级 (IP 代码)》搭建测试场景。

5.4.9 定位精度试验

定位精度测试步骤如下：

- 1) 如图5-1所示,按说明书做好导航准备(建图等)后使机器人到达位置A;
- 2) 自动模式下使机器人到达位置B,手动模式下返回位置A;
- 3) 重复步骤30次;
- 4) 按下列公式计算位置准确度(AP);

$$AP_p = \sqrt{(\bar{x}-x_c)^2 + (\bar{y}-y_c)^2}$$
$$\bar{x} = \frac{1}{30} \sum_{j=1}^{30} x_j$$
$$\bar{y} = \frac{1}{30} \sum_{j=1}^{30} y_j$$

式中：

\bar{x}, \bar{y} ——平均位置信息；
 x_c, y_c ——命令位置信息；
 x_j, y_j ——第 j 次的位置信息。

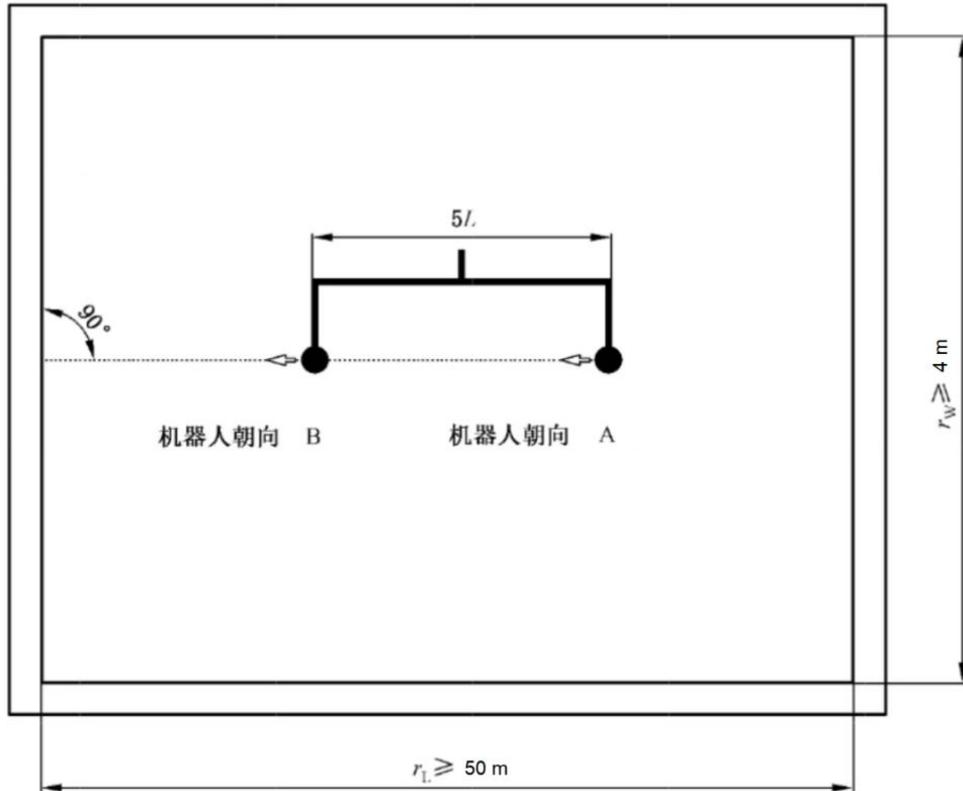


图5-1

说明：

r_L ——测试环境长度；

r_W ——测试环境宽度。

5.4.9 本条文目的是验证人工智能清扫机器人在自动模式下，从指定位置 A 自主移动到目标位置 B 的位置准确度，模拟测试设备实际作业中“自主前往目标作业点”的典型场景，手动返回位置 A 则保证每次测试的起点一致，消除起点偏差对结果的影响，使测试条件更接近实际自主导航时的定位需求。步骤明确（准备、往返、重复、计算），通过公式量化位置准确度，结果可直接与“定位精度误差不大于 20cm”的要求对比，判定标准清晰。

5.4.10 最小转弯直径试验

最小转弯直径按照 GB/T 12540 的规定进行。

5.4.10 本条文目的是验证人工智能清扫机器人在转向轮转至极限位置且低速稳定行驶时，其转向中心到外侧轮轨迹中心线距离的两倍（即最小转弯直径）是否符合对应车型的要求，**GB/T 12540-2009《汽车最小转弯直径、最小转弯通道圆直径和外摆值测量方法》**是汽车及相关机动设备转弯性能测试的权威国家标准，其规定的测试方法（如转向轮极限位置、行驶速度、测量点选取等）经过行业长期验证，适用于具备转向功能的机动设备。

5.4.11 通过能力试验

设置长度不低于 10m 的测试道路，在测试道路两侧放置固定边界，边界高度不小于 1.5m，障碍物构成的通道宽度根据机器人的最小通过宽度设定。

车辆停在测试道路入口前 5m 处，启动自动驾驶模式，自主通过测试道路。重复检测 10 次，均能成功通过测试道路且产生碰撞刚蹭视为测试通过。

5.4.11 本条文目的是验证人工智能清扫机器人在自动驾驶模式下，能否安全、稳定地通过符合其最小通过宽度的狭窄通道，测试设置“长度不低于 10m 的测试道路”“两侧固定边界（高度 $\geq 1.5\text{m}$ ）”，模拟了实际作业中常见的狭窄通道场景（如两侧有围墙、护栏或其他障碍物的道路），通道宽度按机器人的“最小通过宽度”设定，直接对应设备设计的通行能力指标，测试结果可直接验证设备是否安全稳定通过。

5.4.12 行车制动试验

1) 行车制动性能检验应在平坦、硬实、清洁、干燥且轮胎与地面间的附着系数大于或等于 0.7，道路纵向任意 50m 长度上的坡度应小于 1% 的混凝土或沥青路面上进行；

2) 试验通道宽度为 2.5m（或车身宽度+0.5m），测试过程中无人驾驶装备任何部位(不计入车宽的部位除外)不超出试验通道的边缘线；

试验时，被测人员操作无人驾驶装备（满载和空载两种情形）加速到最高设计时速（不超过最高行驶速度），在最高设计时速稳定行驶距离不小于 20 米后，紧急制动直至停车，测量无人驾驶装备启动紧急制动时到停止时的距离。测量 3 次，取算术平均值。

5.4.12 本条文目的是验证人工智能清扫机器人在空载和满载两种典型载荷状态下，以最高设计时速稳定行驶后，紧急制动时的制动距离是否在安全范围内，“附着系数 ≥ 0.7 ”“坡度 $< 1\%$ ”的路面确保制动性能不受路面滑溜或坡度影响，测试结果反映设备自身制动系统的能力，数据可靠。通过“满载”和“空载”的对比测试，覆盖设备实际作业中的全部载荷、

真实场景，避免因单一工况测试导致的结果片面性。通道宽度限制防止制动时跑偏，模拟实际道路中车辆的行驶边界，测试结果更贴近真实作业中的安全需求。

5.4.13 清扫宽度试验

清扫宽度试验按照JB/T 10856的规定进行。

5.4.13 本条文目的是验证人工智能清扫机器人在规定作业速度下，直行单程清扫作业时覆盖的横向区域宽度是否符合设计要求，JB/T 10856-2018《道路施工与养护机械设备 扫路机》是针对道路清扫设备的行业标准，其规定的清扫宽度测试方法（如测试场地、作业速度、测量方式等）与人工智能清扫机器人的核心清扫属性高度匹配，作业原理和宽度测量需求一致，可直接借鉴成熟的测试逻辑。

5.4.14 扫净率试验

扫净率试验按照QC/T 51的规定进行。

5.4.14 本条文目的是验证人工智能清扫机器人在标定作业速度下，单次清扫路面垃圾能力与作业前路面垃圾总质量的比值（即扫净率）是否达到规定标准，QC/T 51是《道路清扫车性能要求及试验方法》的行业标准，与人工智能清扫机器人的核心作业属性高度匹配，可直接借鉴。

5.4.15 垃圾箱容量试验

垃圾箱容量试验按照JB/T 10856的规定进行。

5.4.15 本条文目的是验证人工智能清扫机器人（车）的垃圾存储装置所能容纳垃圾的最大体积是否符合设计要求，JB/T 10856-2018《道路施工与养护机械设备 扫路机》是针对道路清扫设备的行业标准，其规定的垃圾箱容量测试方法（如容积测量、实际装载验证等）专为清扫设备的垃圾存储装置设计，与人工智能清扫机器人的垃圾存储功能属性高度匹配，垃圾存储装置的结构和功能逻辑一致，可直接借鉴成熟的测试规范。

5.4.16 水箱容量试验

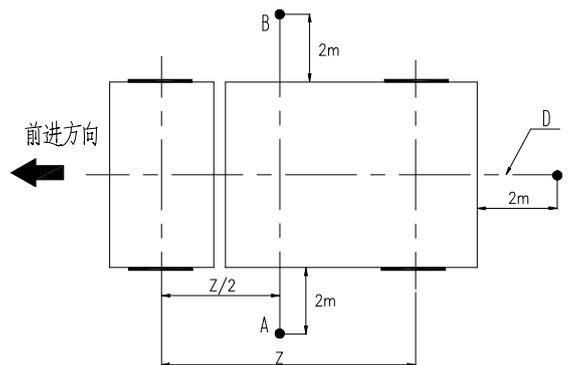
水箱容量试验按照JB/T 10856的规定进行。

5.4.16 本条文目的是验证人工智能清扫机器人的储水装置所能容纳的最大水量是否符合设计要求, JB/T 10856-2018《道路施工与养护机械设备 扫路机》是针对道路清扫设备的行业标准, 其规定的水箱容量测试方法(如有效容积测量、实际注水验证等)专为清扫设备的储水装置设计, 与人工智能清扫机器人的储水功能属性高度匹配, 储水装置的结构和功能逻辑一致, 可直接借鉴该标准的成熟测试规范。

5.4.17 作业噪声试验

测量场地开阔, 试验地面为平坦的混凝土或沥青等地面。以清扫机器人中心为基点, 其周边10 m内无大的声反射物。背景噪声(包括风的影响)应比被测噪声低10 dB(A)以上。测量时的风速应小于等于5 m/s。

清扫机器人处于驻停状态, 按设计规定的工况进行装载作业, 用声级计“慢”档测量作业噪声(A计权声级)。声级计的布置见图2, 测量A、B、C点的作业噪声。读取作业过程中声级计测量的最大读数, 测量3次, 相同点测量结果之差不应大于2 dB(A), 取算术平均值。



说明:

A——左侧测量位置;

B——右侧测量位置;

C——尾部测量位置;

D——纵向中心;

Z——轴距。

A、B、C三点距地高度1.2 m。

5.4.17 本条文目的是验证人工智能清扫机器人在作业状态下产生的噪声水平是否符合规定标准, 测试方法明确要求“场地开阔、周边 10m 内无大的声反射物、背景噪声比被测噪声低 10dB (A) 以上、风速 $\leq 5\text{m/s}$ ”, 这些条件可最大限度减少环境因素(如回声、风噪、外界

杂音)对噪声测量的干扰,通过在设备左侧(A)、右侧(B)、尾部(C)三点布置声级计(距离车身2m,距离地面1.2m,模拟人员在机器人周边常见位置的听觉场景),可全面捕捉设备不同方向的噪声情况,避免单一测点导致的片面性;“驻停状态下按设计工况作业”则模拟了设备实际作业时的典型运行状态,确保噪声测量与实际作业场景一致。

5.5 安全试验方法

5.5.1 故障诊断试验

分别断开行走电机、激光雷达、摄像头、扫刷控制电机等硬件的供电线路,随后控制下发清扫作业任务,通过目视方式检查机器是否具备文字/声音/灯光报警提醒,是否可执行作业任务。

5.5.1 本条文目的是验证人工智能清扫机器人对关键零部件(如行走电机、激光雷达、摄像头、扫刷控制电机等)故障的检测能力,通过“断开关键零部件供电线路”的方式,直接模拟硬件失效的真实故障状态(如电机断电、传感器离线),这种“故障注入”式测试可最直接地验证设备对实际故障的响应能力,通过“目视方式检查报警提醒”和“是否执行作业任务”,结果判定简单直接。

5.5.2 人员触电防护试验

人员触电防护试验按照GB 18384—2020的规定进行。

5.5.2 本条文目的是验证人工智能清扫机器人在正常使用及故障状态下,对操作人员和周边人员的触电防护措施是否有效,GB 18384—2020《电动汽车安全要求》是针对电动车辆电气安全的权威国家标准,该标准提供的测试方法能够满足人工智能清扫机器人的性能测试要求。

5.5.3 碰撞防护试验

机器处于行进运动过程中,采用推力计对机身的接触式碰撞检测装置施加不低于30N的作用力,通过目视方式检查机器是否立刻停止运动。

5.5.3 本条文目的是验证人工智能清扫机器人的接触式碰撞检测装置在受到外力作用时,能否快速触发紧急制动,使设备立即停止运动,测试设定“机器处于行进运动过程中”,模拟了设备实际作业时的动态场景,此时碰撞风险更高,更能反映装置在真实运行状态下的防

护效果；“采用推力计施加不低于 30N 的作用力”则模拟实际碰撞中可能受到的接触力，力值设定兼顾了灵敏度与抗误触需求，通过目视方法检查机器是否立刻停止运动简单有效。

5.5.4 远程接管试验

测试方法按照TCSAE 285-2022 中6.11的规定进行。

5.5.4 本条文目的是验证人工智能清扫机器人在自动驾驶系统出现故障、超出设计范围或紧急情况下，远程驾驶员通过远程操控系统接管车辆的能力是否可靠，TCSAE 285-2022 的 6.11 章节提供的测试方法能够满足人工智能清扫机器人的性能测试要求。

本标准用词说明

1 为便于在执行本标准条文时区别对待，对要求严格程度不同的用词说明如下：

1) 表示很严格，非这样做不可的：

正面词采用“必须”，反面词采用“严禁”。

2) 表示严格，在正常情况下均应这样做的：

正面词采用“应”，反面词采用“不应”或“不得”。

3) 表示允许稍有选择，在条件许可时首先应这样做的：

正面词采用“宜”，反面词采用“不宜”。

4) 表示有选择，在一定条件下可以这样做的，采用“可”。

2 条文中指明应按其他有关标准执行的写法为：“应符合……的规定”或“应按……执行”。

引用标准名录

- 1 《电动汽车安全要求》 GB/T 18384
- 2 《智能网联扫路机系统技术要求与测试规程》 T/ITS 0146-2020
- 3 《扫路车》 QC_T 51-2019
- 4 《汽车最小转弯直径、最小转弯通道圆直径和外摆值测量方法》 GB/T 12540-2009
- 5 《道路清扫车性能要求及试验方法》 QC/T 51-2023
- 6 《外壳防护等级(IP 代码)》 GB/T 4208-2017
- 7 《道路交通信号灯设置与安装规范》 GB 14886-2016
- 8 《道路施工与养护机械设备 扫路机》 JBT 10856-2018
- 9 《纯电动汽车 动力性能 试验方法》 GB/T 18385-2024
- 10 《功能型无人车 自动驾驶功能场地试验方法及要求》 TCSAE 285-2022
- 11 《智能网联汽车 自动驾驶功能场地试验方法及要求》 GB/T 41798-2022
- 12 《智能网联汽车 自动驾驶系统通用技术要求》 GB/T 44721-2024
- 13 《塑料垃圾桶通用技术条件》 CJ/T 280-2020
- 14 《电动汽车传导充电用连接装置》 GB/T 20234.1-2023
- 15 《电动汽车传导充电用连接装置第 1 部分:通用要求》 GB/T 20234.1-2023
- 16 《城市道路照明设计标准》 CJJ 45-2015
- 17 《GB 37300-2018 公共安全重点区域视频监控系统要求》