

# 《地面巡检机器人环境可靠性要求和试验方法》 (送审稿) 编制说明

## 一、项目背景

在国家政策的指导下，深圳市积极响应推进，近年来陆续出台了《深圳市加快推动人工智能高质量发展高水平应用行动方案（2023—2024年）》《关于加快发展新质生产力进一步推进战略性新兴产业集群和未来产业高质量发展的实施方案》《深圳市具身智能机器人技术创新与产业发展行动计划（2025—2027年）》等相关政策，制定巡检机器人环境可靠性要求和试验方法的地方标准对于推动深圳地方政策落地实施，提升机器人产品质量、促进行业发展、增强国际竞争力等方面都具有重要的意义。

巡检机器人能够在特定的环境中代替人工进行巡检工作，如电力巡检、工业厂房巡检、安防巡检等，广泛应用于电力、石油、化工、铁路等行业的设备监测和维护。在这些应用场景中，巡检机器人面临着复杂多变的环境条件，其性能和可靠性对整个作业系统的安全起着至关重要的作用。在巡检机器人运行过程中，容易受环境温度、湿度、灰尘浓度、振动、冲击等因素影响，导致自身机械故障或性能降低。为了确保巡检机器人在各种恶劣环境下的稳定运行和可靠工作，进行环境可靠性测试是非常必要的。通过模拟各种可能遭遇的环境条件，检测巡检机器人的适应能力和性能表现，确保其在实际应用中的稳定性和可靠性，提高机器人的使用寿命并降低运维成本。

然而，目前巡检机器人并没有统一的环境可靠性要求和试验方法。不同的企业或测试机构采用不同的测试方法和条件，导致测试结果的一致性差，无法对巡检机器人进行有效地比较和评估，产品质量难以保证，同时也增加企业的研发成本和时间，影响机器人行业的健康发展。

因此，有必要建立巡检机器人环境可靠性要求和试验方法的标准。通过规范和明确巡检机器人环境可靠性要求和试验方法，为巡检机器人产品的可靠性提供技术支撑，填补巡检机器人试验方法和检验规则的空白，提高测试效率与准确性，

从而提升机器人行业的技术水平和产品质量，增强国内企业在国际市场上的竞争力。

## 二、工作简况

### 2.1 任务来源

本项目由深圳市市场监督管理局于 2024 年 7 月正式批准立项。由深圳市人工智能与机器人研究院提出，深圳市工业和信息化局归口管理。由深圳市人工智能与机器人研究院、深圳市优艾智合机器人科技有限公司、招商局重庆交通科研设计院有限公司、中广核研究院有限公司、工业和信息化部电子第五研究所及广东产品质量监督检验研究院等单位负责起草。

### 2.2 主要工作过程

#### 2.2.1 预研阶段

项目预研阶段，深圳市人工智能与机器人研究院组织成立了标准编制组，落实了标准主要内容、涉及范围、基本原则、时间节点等工作。通过收集、整理相关技术资料，对机器人环境可靠性方向相关现状展开调查研究，为标准制定提供技术参考和支撑，并编制标准立项申报材料，申请立项。

#### 2.2.2 立项阶段

2024 年 3 月 6 日，市市场监管局、市工业和信息化局组织专家对深圳市地方标准《地面巡检机器人环境可靠性要求和试验方法》进行立项评审，经专家组评审，该地方标准符合立项条件，批准立项。

#### 2.2.3 起草阶段

2024 年 12 月至 2025 年 6 月，标准编制小组快速推进项目研究、加快项目执行进度，为实现预期目标，由深圳市人工智能与机器人研究院组织，采用线下、线上结合方式召开《地面巡检机器人环境可靠性要求和试验方法》标准启动会及多次标准讨论会。深圳优艾智合机器人科技有限公司、中广核研究院有限公司、招商局重庆交通科研设计院有限公司、广东产品质量监督检验研究院、工业和信息化部电子第五研究所等单位对标准提出修改意见。标准编制小组根据各专家提出的意见进行多次整理并修改完善标准讨论稿形成标准征求意见稿。

#### 2.2.4 征求意见阶段

2025年6月至7月，起草单位充分讨论并修改完善初稿，形成《地面巡检机器人环境可靠性要求和试验方法（征求意见稿）》，面向市、各区有关单位公开征集意见。

### 三、主要内容的依据和国内外标准对标情况

#### 3.1 编制原则

本标准编制符合以下原则：

##### (1) 规范性

本标准严格遵照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》的有关规定。

##### (2) 适用性

本标准结合地面巡检机器人技术的发展水平和深圳地方应用环境，满足大部分巡检机器人企业及机构使用，符合未来发展需要。

##### (3) 公正性

本标准可指导企业和用户明确地面巡检机器人在不同类型环境的可靠性要求和试验过程。标准起草工作组确保标准条款的起草过程客观公正。

#### 3.2 主要内容确定依据

本标准的主要内容包括：适用范围、列出规范性引用文件和术语和定义，按工作空间属性分类地面巡检机器人工作环境，提出了气候环境、机械环境和可靠性的相关要求，规定了地面巡检机器人试验的一般要求、气候环境、机械环境和可靠性的试验方法和试验条件，提供了地面巡检机器人进行环境可靠性试验的试验记录、试验报告的编制内容要求及记录表模板。

##### 3.2.1 范围确定依据

本标准依据地面巡检机器人的典型工作环境特点，以及在实际应用中对地面巡检机器人可靠性要求，规定了地面巡检机器人的工作环境分类、环境可靠性要求、试验方法以及试验报告。

本标准适用于深圳市地区地面巡检机器人的设计、制造和检验。

### 3.2.2 工作环境分类确定依据

工作环境分类依据地面巡检机器人空间属性、环境可控性及深圳地域特征制定。一类环境（室内）针对洁净车间、办公楼等温度湿度可控场景，因环境稳定，对地面巡检机器人的防护要求较低；二类环境（室外）覆盖工业园、市政道路等开放区域，深圳多雨、高温、盐雾及台风气候显著，需应对自然条件变化，故防护等级提升；三类环境（特殊）面向冶炼厂、冷库等极端场景，结合深圳港口、化工园区等特殊应用需求，满足极热极寒、强腐蚀等条件下的运行要求。分类参考GB/T 4798系列等国家标准，覆盖地面巡检机器人的工作环境。

### 3.2.3 环境试验要求确定依据

#### 3.2.3.1 气候环境试验

##### （1）温湿度环境试验

深圳市地处亚热带季风气候区，夏季高温多湿，冬季温和湿润，全年平均湿度较高。因此，温湿度环境试验要求需覆盖极端高温（40℃以上）和低温（0℃以下）条件，同时考虑高湿环境（93%RH）对机器人性能的影响。根据深圳市气候特点并参考GB/T 2423系列标准，制定了温湿度环境各项试验的严酷等级（标准中表1），以覆盖深圳全年温湿度波动和冷库/冶炼厂等的极端工况。这些指标确保了地面巡检机器人在深圳多变的气候条件下仍能稳定运行，避免因温湿度变化导致电子元件老化、机械部件卡滞等问题。

##### （2）沙尘环境试验

深圳市工业园、建筑工地、煤矿隧道等区域存在粉尘污染。因此，二类环境地面巡检机器人需满足IP5X防护等级（防尘），三类环境地面巡检机器人需满足IP6X防护等级（完全防尘）。试验依据GB/T 4208，模拟地面巡检机器人长期暴露于粉尘环境下的性能表现，确保其内部元件不受粉尘侵入影响，避免因粉尘积累导致散热不良或短路故障。

##### （3）盐雾环境试验

深圳是沿海城市，海洋性气候导致空气中盐雾浓度高，在二类、三类环境使用的地面巡检机器人易受盐雾影响发生金属腐蚀。依据行业应用案例，无防护的金属结构件在深圳沿海地区6个月即出现锈蚀，因此恒定盐雾与交变盐雾试验均要求无锈蚀，参考GB/T 2423.17/18中沿海地区设备防腐标准，试验持续48h（恒定）和72h（交变），模拟地面巡检机器人在盐雾环境下的长期耐受性。

#### （4）淋雨环境试验

深圳市年降水量充沛，夏季多暴雨。淋雨试验依据 GB/T 4208，二类环境地面巡检机器人需满足 IPX5 防护等级（防喷水），三类环境地面巡检机器人需满足 IPX6 防护等级（防强喷水）。淋雨试验持续 5min，模拟机器人遭遇暴雨时的防水性能，确保其外壳密封性良好，内部电路和传感器不受水汽侵入影响，避免因淋雨导致短路或功能失效。

#### （5）光源暴露环境试验

深圳年日照时数 2000h，紫外线辐射强。光源暴露试验依据 GB/T 16422.2 和 GB/T 16422.3，对于在二类环境下使用的地面巡检机器人需通过 1000h 紫外老化试验和 2000h 氙灯老化试验，试验后要求表面完好、无粉化，防止外壳褪色、脆化，确保其在强光环境下长期使用时的材料稳定性和功能可靠性。

#### （6）霉菌环境试验

深圳市高湿环境易滋生霉菌，可能影响地面巡检机器人内部电路和材料。霉菌试验依据 GB/T 2423.16，二类环境地面巡检机器人需通过 28 天霉菌培养试验，允许长霉程度不超过 1 级。试验要求地面巡检机器人内部无霉斑生长，确保其在高湿环境中长期使用时的材料抗霉变能力。

#### （7）低气压环境试验

深圳市虽无高原地区，但低气压试验可模拟地面巡检机器人运输或特殊应用场景下的性能表现。试验依据 GB/T 2423.21，二类环境地面巡检机器人需在 84kPa（模拟约 1600m 海拔）低气压下工作 2h，确保其密封性和功能稳定性，避免因气压变化导致结构变形或功能性能异常。

#### （8）风压环境试验

深圳市年均受台风影响 4~5 次，且夏季对流天气易产生短时的强阵风，对室外环境使用的地面巡检机器人运行造成影响，因此本标准提出通过风压试验模拟地面巡检机器人抗风能力。依据 GB/T 2423.41，二类环境机器人需通过 6 级风（13.8m/s）静态和动态抗风试验。试验要求地面巡检机器人结构稳固，无松动或功能失效，确保其在强风环境中的稳定运行。

### 3.2.3.2 机械环境试验

#### （1）冲击试验

针对深圳多台阶、井盖的路况及地面巡检机器人运输过程中的颠簸、装卸时的碰撞等场景，参考 GB/T 2423.5 中的冲击指标，冲击试验采用  $150\text{m/s}^2$  加速度、

6ms 脉冲持续时间，确保地面巡检机器人内部元件在机械冲击下不失效。

#### (2) 振动环境试验

地面巡检机器人在不平路面或工业振动环境长期运行，试验依据 GB/T 2423.10 和 GB/T 2423.56, 正弦振动(5Hz-500Hz, 0.5mm 幅值)与随机振动( $1.0\text{m/s}^2$  ASD)覆盖深圳常见路面(柏油路、水泥路、石板路)的振动频率。试验要求地面巡检机器人机械部件无松动、电气连接可靠，确保其抗振动性能。

#### (3) 倾斜与翻倒试验

基于深圳山地地形及人为碰撞风险，标准参考 GB/T 2423.7 中“设备倾跌防护”要求，规定了  $30^\circ$  倾斜试验，模拟地面巡检机器人在山地、斜坡、台阶等复杂地形的稳定性，确保地面巡检机器人在深圳山地公园、市政斜坡等场景下不翻倒。翻倒试验后要求部件无脱落，保障设备在极端姿态下的结构完整性。

#### (4) 自由跌落试验

地面巡检机器人在日常使用及搬运过程中存在意外跌落的场景，依据 GB/T 2423.7，按照机器人质量设定跌落高度。试验要求地面巡检机器人外观无破损、内部功能正常，确保其抗跌落性能。

### 3.2.3.3 可靠性试验

结合深圳不同应用场景地面巡检机器人的使用频率和平均使用时长(室内地面巡检机器人日均运行 12h，户外 8h，特殊 4h)，确保地面巡检机器人在一个维护周期内(3 个月)无故障。制定地面巡检机器人的 MTBF 指标(一类  $\geq 1500\text{h}$ 、二类  $\geq 1000\text{h}$ 、三类  $\geq 500\text{h}$ )，确保地面巡检机器人稳定性符合实际应用的需求。

### 3.2.4 试验方法确定依据

#### 3.2.4.1 一般试验要求

一般试验要求的内容，主要参考了 GB/T 2423 系列标准及机器人行业通用测试规范，确保试验条件的一致性、可重复性和科学性。基准试验条件(如温度  $15^\circ\text{C}$ - $35^\circ\text{C}$ 、湿度 25%-75%RH)模拟了深圳市典型气候特征，同时考虑了实验室环境的可控性。试验设备校准要求(如高低温试验箱、振动台)严格遵循计量标准，保证测试数据的准确性。初始检测、条件试验检测和最后检测包含地面巡检机器人的结构、功能和性能等关键指标，确保试验结果能够全面反映产品的环境适应性和可靠性。

#### 3.2.4.2 气候环境试验方法

气候环境试验方法依据 GB/T 2423 系列标准，结合深圳市高温、高湿、盐雾、强降雨等气候特点制定。例如，低温贮存试验（GB/T 2423.1）模拟冬季极端低温对地面巡检机器人的影响，高温工作试验（GB/T 2423.2）验证地面巡检机器人在夏季高温下的稳定性。盐雾试验（GB/T 2423.17）针对沿海地区的高盐环境，淋雨试验（GB/T 4208）模拟暴雨条件下的防水性能。光源暴露试验（GB/T 16422.2/3）则考虑了深圳强紫外线辐射对材料老化的影响。试验参数的设定（如温度范围、持续时间）均基于地面巡检机器人实际环境数据和行业经验，确保测试结果具有代表性和实用性。

#### 3.2.4.3 机械环境试验方法

机械环境试验方法参考 GB/T 2423.5（冲击）、GB/T 2423.10（振动）等标准，模拟地面巡检机器人在运输、安装和使用过程中可能遇到的机械应力。冲击试验（ $150\text{m/s}^2$ 、 $6\text{ms}$ ）模拟机器人意外跌落或碰撞场景，振动试验（ $5\text{--}500\text{Hz}$ 、 $10\text{m/s}^2$ ）覆盖了不平路面或工业设备引起的振动影响。倾斜与翻倒试验（GB/T 2423.7）和自由跌落试验（根据机器人重量分级设定高度）验证了地面巡检机器人在非正常姿态下的结构强度和功能稳定性。这些试验方法的严酷等级和参数设置是基于机器人实际应用场景中的风险分析，确保产品在复杂机械环境下的可靠性。

#### 3.2.4.4 可靠性试验方法

可靠性试验方法以平均故障间隔时间（MTBF）为指标，参考 GB/T 39266—2020 等标准，采用定时截尾试验方案。故障判定原则严格遵循行业规范，确保统计结果的客观性。MTBF 基于地面巡检机器人实际运行数据和用户需求，兼顾技术可行性和经济性。其目的是验证地面巡检机器人的长期稳定性和故障率，为产品设计和改进提供科学依据。

#### 3.2.5 试验报告

试验报告的编制要求依据 GB/T 1.1—2020《标准化工作导则》，确保报告内容的完整性、规范性和可追溯性。报告涵盖客户信息、样品信息、试验方法、数据记录、结果分析等内容，详细记录试验条件和过程，便于复现和验证。试验

报告和过程数据记录表参考了实验室质量管理体系和第三方检测机构的检测报告，确保数据采集的准确性和一致性。试验结果的分析结论需明确机器人是否符合标准要求，并对未通过项目提出改进建议。试验报告和试验过程数据记录的标准化设计有助于用户、监管机构和第三方机构对机器人性能的评估和认证。

### 3.3 与国内外同类标准对标情况

#### 3.3.1 国际标准

目前国际标准化组织(ISO)与机器人相关的有ISO 13849-1:2023 Safety of machinery—Safety—related parts of control systems—Part 1:General principles for design为执行安全功能的控制系统(SRP/CS)的安全相关部件的设计和集成提供了相关要求，ISO 10218-1:2025 Safety requirements for industrial robots规定了在工业环境中使用机器人的本质安全设计、风险降低措施和信息的要求。目前没有专门针对地面巡检机器人的环境可靠性要求指标和具体的试验方法的国际标准。

#### 3.3.2 国内标准

结合参考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 2423.4《电工电子产品环境试验 第2部分：试验方法 试验Db：交变湿热（12h+12h循环）》、GB/T 2423.5《环境试验 第2部分：试验方法 试验Ea和导则：冲击》、GB/T 2423.7《环境试验 第2部分：试验方法 试验Ec：粗率操作造成的冲击（主要用于设备型样品）》、GB/T 2423.10《环境试验 第2部分：试验方法 试验Fc：振动（正弦）》、GB/T 2423.16《环境试验 第2部分：试验方法 试验J和导则：长霉》、GB/T 2423.17《电工电子产品环境试验 第2部分：试验方法 试验Ka：盐雾》、GB/T 2423.18《环境试验 第2部分：试验方法 试验Kb：盐雾，交变（氯化钠溶液）》、GB/T 2423.21《电工电子产品环境试验 第2部分：试验方法 试验M：低气压》、GB/T 2423.22《环境试验 第2部分：试验方法 试验N：温度变化》、GB/T 2423.37《电工电子产品环境试验 第2部分：试验方法 试验L：沙尘试验》、GB/T 2423.41《环境试验 第2部分：试验方法 风压》、GB/T 2423.56《环境试验 第2部分：试验方法 试



验Fh: 宽带随机振动和导则》、GB/T 4208《外壳防护等级( IP代码 )》、GB/T 16422. 2《塑料 实验室光源暴露试验方法 第2部分: 氙弧灯》、GB/T 16422. 3《塑料 实验室光源暴露试验方法 第3部分: 荧光紫外灯》, 并结合地面巡检机器人应用环境的实际情况制定本地方标准。

## 四、主要条款说明以及主要技术指标参数、试验验证

### 4.1 主要条款说明

本标准严格遵循 GB/T 1.1—2020《标准化工作导则》的要求, 并结合深圳市地面巡检机器人的实际应用, 确保标准的科学性、适用性和可操作性。本标准各章节内容如下:

- (1) 范围: 明确本标准适用于深圳市地面巡检机器人的设计、制造和检验, 涵盖工作环境分类、环境可靠性要求、试验方法及试验报告等内容。
- (2) 规范性引用文件: 引用 GB/T 2423 系列、GB/T 4208 等国家标准。
- (3) 术语和定义: 明确定义关键术语, 避免理解歧义。
- (4) 工作环境分类: 根据机器人应用场景, 将环境分为室内、室外和特殊三类。
- (5) 环境试验要求: 详细列出气候环境( 温湿度、沙尘、盐雾、淋雨等) 和机械环境( 冲击、振动、跌落等) 的试验指标要求, 与第 6 章试验方法对应。
- (6) 试验方法: 提供具体试验步骤、设备要求和检测内容, 确保试验过程的可重复性和数据的可靠性。
- (7) 试验报告: 为试验报告的具体格式和内容提供参考。

### 4.2 主要技术指标参数

本标准的技术指标参数基于深圳气候特点、机器人行业水平及实际应用需求制定, 具体包括:

- (1) 气候环境试验指标
  - 1) 温湿度: 低温贮存(  $-20^{\circ}\text{C}$  )、高温工作(  $50^{\circ}\text{C}$  )、恒定湿热(  $40^{\circ}\text{C}$ , 93%RH )等, 符合深圳高低温及高湿环境。
  - 2) 沙尘: IP5X( 防尘 )、IP6X( 完全防尘 ), 确保内部元件不受粉尘侵入影响, 避免因粉尘积累导致散热不良或短路故障。

- 3) 盐雾：恒定盐雾（48h）、交变盐雾（72h），模拟沿海高盐环境对机器人的腐蚀影响。
- 4) 淋雨：IPX5（防喷水）、IPX6（防强喷水），确保机器人在暴雨条件下的防水性能。
- 5) 光源暴露：紫外老化（1000h）、氙灯老化（2000h），验证材料在强紫外线下的耐久性。
- 6) 机械环境试验指标
- 7) 冲击：150m/s<sup>2</sup>、6ms 脉冲，模拟运输或使用中的意外碰撞。
- 8) 振动：5~500Hz、10m/s<sup>2</sup>，覆盖不平路面或工业设备引起的振动影响。
- 9) 自由跌落：根据机器人重量分级设定高度，验证抗跌落能力。
- 10) 可靠性指标
- 11) MTBF：一类环境≥1500h，二类环境≥1000h，三类环境≥500h，确保机器人在长期运行中的稳定性。

### 4.3 试验验证

本标准的试验验证方法严格遵循引用文件（如 GB/T 2423 系列）的规定，并结合深圳市地面巡检机器人的实际应用场景进行优化，所涉及的试验验证方法如下：

#### (1) 气候环境试验

通过高低温试验箱、盐雾试验箱等设备模拟深圳的气候条件，验证机器人的耐候性。试验参数均基于实际环境数据设定，确保测试结果具有代表性。

#### (2) 机械环境试验

采用振动台、冲击试验机等设备模拟运输和使用中的机械应力，验证机器人的结构强度和功能稳定性。试验严酷等级参考行业通用标准，兼顾科学性和可行性。

#### (3) 可靠性试验

通过实验室和现场试验相结合的方式，模拟机器人长期运行工况，统计 MTBF 指标。明确故障判定标准，确保数据统计的客观性。

试验验证过程中，所有设备均需在校准/检定有效期内使用，试验数据需详细记录并分析，确保测试结果的准确性和可追溯性。对于未通过试验的项目，需提出改进措施并重新验证，直至符合标准要求。

## **五、标准中涉及专利和知识产权问题的情况**

本标准不涉及专利和知识产权问题。

## **六、预期达到的社会效益**

本标准的实施具有至关重要的社会意义，通过统一地面巡检机器人环境可靠性要求和试验方法，确保产品符合专业标准，降本增效，提高产品质量，规范市场秩序。同时，统一的标准可以帮助规范行业秩序，减少不合格、低质量产品的流入市场，保护消费者权益，促进市场公平竞争。这也将推动相关企业加大技术创新力度，不断探索新材料、新技术、新工艺，进一步提高产品的环境适应性和可靠性，从而提升整个行业的技术水平，推动产业的健康可持续发展。

## **七、与我国有关的现行法律、法规和相关强制性标准的关系**

本标准与国家现行法律、法规和相关强制性标准相协调配套。

## **八、重大分歧意见的处理依据和结果**

编制组根据起草前确定的编制原则进行了标准起草，标准起草组前期进行了充分的准备和调研，并做了大量调查论证、信息分析工作，标准在主要技术内容上，行业内取得了较为一致的意见，标准起草过程中未发生重大分歧意见。

## **九、实施地方标准的措施建议**

拟通过开展标准的宣贯、培训和标准实施跟踪检查等方式推动标准实施。

## **十、其他需要说明的事项**

无。