

DB4403

深 圳 市 地 方 标 准

DB4403/T XXX—XXXX

地面巡检机器人 环境可靠性要求和试验方法

Ground inspection robots—Environmental reliability requirements and
test methods

(送审稿)

XXXX-XX-XX 发布

XXXX-XX-XX 实施

深圳市市场监督管理局 发布

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 工作环境分类 2

5 环境试验要求 2

6 试验方法 6

7 试验报告 15

附录 A（资料性） 试验报告记录表 17

附录 B（资料性） 试验过程记录表 18

参考文献 19

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。

本文件由深圳市工业和信息化局提出并归口。

本文件起草单位：

本文件主要起草人：

地面巡检机器人环境可靠性要求和试验方法

1 范围

本文件规定了地面巡检机器人（以下简称“机器人”）工作环境分类、环境试验要求、试验方法以及试验报告。

本文件适用于深圳市地区地面巡检机器人的设计、制造和检验。

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 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. 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

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

地面巡检机器人 ground inspection robot
用于在室内或室外地面环境中进行巡视、检测、监控等活动的机器人。

3.2

工作状态 working state
机器人通电，在典型应用场景和负载条件下执行规定动作的状态。

3.3

停机状态 stop state

机器人断电，不进行任何工作或运行活动的状态。

3.4

气候环境 climate environment

机器人可能遇到的各种温度、湿度、盐雾等大气环境条件。

3.5

机械环境 mechanical environment

机器人可能遭遇的冲击、振动、跌落等物理环境条件。

3.6

平均故障间隔时间 mean time between failure;MTBF

在规定的条件下和规定的期间内，产品寿命单位总数与故障总次数之比。

注：可修复产品的一种基本可靠性参数。

[来源：GB/T 39590.1—2020，3.1.6]

3.7

加速度谱密度 acceleration spectral density;ASD

当在带宽趋于零和平均时间趋于无穷的极限状态下，各单位带宽上通过中心频率窄带滤波器的加速度信号均方值。

[来源：GB/T 2423.56—2023，3.18]

4 工作环境分类

按工作空间属性划分，机器人的工作环境分为以下类别。

a) 一类（室内环境）：在建筑物内部，环境可调可控的工作环境。此类环境通常较为稳定，温度、湿度变化较小，无直接的风雨影响。

示例：洁净车间、办公楼、商场、剧院、实验室、仓储中心。

b) 二类（室外环境）：在开放区域或暴露于自然条件下的工作环境。此类环境受天气、地形、光照影响显著，复杂多变，需要机器人具备较高的适应性和防护等级。

示例：工业园外部区域、市政道路、公园、建筑工地、农田。

注：车站候车厅、地铁站口、露天雨棚等半遮蔽但与自然环境直接连通的场所，归属于室外环境。

c) 三类（特殊环境）：在极热、极寒、高粉尘、强腐蚀、强电磁干扰、强辐射等特殊条件下的工作环境。此类极端环境对机器人性能要求非常高，需要具备特殊的设计和防护措施。

示例：冶炼厂、化工厂、炼油厂、煤矿隧道、核电站、冷库。

5 环境试验要求

5.1 气候环境试验要求

5.1.1 温湿度环境试验要求

除非相关规范规定或制造商另有说明，温湿度环境试验项目的严酷等级按照表1选取。

表 1 温湿度环境试验严酷等级

试验项目	一类	二类	三类
低温贮存	$T_A^a=0\text{ }^{\circ}\text{C}$ 持续时间：48 h	$T_A=-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ 持续时间：48 h	$T_A=-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ 持续时间：48 h
低温工作	$T_A=0\text{ }^{\circ}\text{C}$ 持续时间：24 h	$T_A=-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ 持续时间：24 h	$T_A=-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ 持续时间：24 h
高温贮存	$T_B^b=50\text{ }^{\circ}\text{C}$ 持续时间：48 h	$T_B=60\text{ }^{\circ}\text{C}$ 持续时间：48 h	$T_B=70\text{ }^{\circ}\text{C}$ 持续时间：48 h
高温工作	$T_B=40\text{ }^{\circ}\text{C}$ 持续时间：24 h	$T_B=50\text{ }^{\circ}\text{C}$ 持续时间：24 h	$T_B=60\text{ }^{\circ}\text{C}$ 持续时间：24 h
温度变化	$T_A=0\text{ }^{\circ}\text{C}$ $T_B=40\text{ }^{\circ}\text{C}$ 温度变化速率：(1±0.2) K/min 暴露持续时间：3h 循环次数：2	$T_A=-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ $T_B=50\text{ }^{\circ}\text{C}$ 温度变化速率：(1±0.2) K/min 暴露持续时间：3h 循环次数：2	$T_A=-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ $T_B=60\text{ }^{\circ}\text{C}$ 温度变化速率：(1±0.2) K/min 暴露持续时间：3 h 循环次数：2
恒定湿热	$T_B=30\text{ }^{\circ}\text{C}$ (93±3) %RH 持续时间：48 h	$T_B=40\text{ }^{\circ}\text{C}$ (93±3) %RH 持续时间：48 h	$T_B=40\text{ }^{\circ}\text{C}$ (93±3) %RH 持续时间：48 h
交变湿热	$T_B=40\text{ }^{\circ}\text{C}$ 循环次数：2	$T_B=55\text{ }^{\circ}\text{C}$ 循环次数：2	$T_B=55\text{ }^{\circ}\text{C}$ 循环次数：2
^a T_A —试验项目中的低温温度值。 ^b T_B —试验项目中的高温温度值。			

在温湿度环境相关试验项目中，机器人应满足以下要求：

- 低温贮存：按照 6.2.1.1 进行试验，机器人外观无明显变化，无涂层脱落、开裂现象；所有按键、开关等操作部件灵活可靠，无卡滞现象；机器人正常开机自检，各系统功能正常运行，无故障提示；电池具有足够的续航时间；各项功能、性能指标满足产品标准要求；
- 低温工作：按照 6.2.1.2 进行试验，机器人外观保持完好，无结冰、冻裂等现象；操作界面显示清晰，触控响应灵敏；机器人运行稳定，各项功能、性能指标满足产品标准要求；
- 高温贮存：按照 6.2.1.3 进行试验，在试验结束后，机器人外壳无变形、软化等现象；内部元件无过热损坏现象；机器人正常开机自检，各系统功能正常运行，无故障提示；电池具有足够的续航时间；各项功能、性能指标满足产品标准要求
- 高温工作：按照 6.2.1.4 进行试验，机器人无性能下降或故障；机器人运行稳定，各项功能、性能指标满足产品标准要求；
- 温度变化：按照 6.2.1.5 进行试验，机器人密封性能良好，无结构松动或功能失效；内部元件工作状态稳定，各项功能、性能指标满足产品标准要求；
- 恒定湿热：按照 6.2.1.6 进行试验，在试验结束后，机器人无锈蚀、霉变等现象；机器人运动部件润滑良好，无卡滞现象；各项功能、性能指标满足产品标准要求；
- 交变湿热：按照 6.2.1.7 进行试验，机器人密封性能良好，内部元件保持干燥，无材料老化、性能下降或故障；各项功能、性能指标满足产品标准要求。

5.1.2 沙尘环境试验要求

对不同工作环境机器人的沙尘环境试验要求如表2所示，并按照6.2.2进行试验。

表 2 沙尘环境要求

试验项目	一类	二类	三类
沙尘	-	IP5X	IP6X
注1：IP5X防护等级要求为机器人内部进尘的滑石粉沉积量及沉积地点不影响设备的正常操作和安全，在可能沿爬电距离导致电痕化处无灰尘沉积。			
注2：IP6X等级要求为试验后壳内无明显灰尘沉积。			

5.1.3 盐雾环境试验要求

对不同工作环境机器人的盐雾环境试验要求如表3所示。按照6.2.3进行试验，在盐雾环境下，机器人应无腐蚀现象，涂层无剥落或起泡；电气绝缘性能应符合要求，无漏电风险；机器人所有金属部分（如充电桩、充电极板等）应保持良好状态，无锈蚀或氧化现象；机器人应正常开机运行，各项功能、性能指标满足产品标准要求。

表 3 盐雾环境试验要求

试验项目	一类	二类	三类
恒定盐雾	-	无锈蚀	无锈蚀
交变盐雾	-	无锈蚀	无锈蚀

5.1.4 淋雨环境试验要求

对不同工作环境机器人的淋雨环境试验要求如表4所示。按照6.2.4进行试验，在淋雨环境下，机器人外壳应无渗水或漏水现象，内部无短路或腐蚀现象；操作界面应显示清晰，触控响应灵敏；机器人应正常开机运行，各项功能、性能指标满足产品标准要求。

表 4 淋雨环境试验要求

试验项目	一类	二类	三类
淋雨	-	IPX5	IPX6

5.1.5 光源暴露试验要求

对不同工作环境机器人的光源暴露试验要求如表5所示。按照6.2.5进行试验，在光源照射下，机器人外壳应无老化、褪色或变形现象；材料应保持良好的物理和化学性能，无脆化或粉化现象；光学部件（如摄像头、传感器等）应保持清晰，无模糊或失真现象；机器人应正常开机运行，各项功能、性能指标满足产品标准要求。

表 5 光源暴露试验要求

试验项目	一类	二类	三类
荧光紫外灯	-	表面完好	-
氙弧灯	-	表面完好	-

5.1.6 霉菌环境试验要求

对不同工作环境机器人的霉菌环境试验要求如表6所示，按照6.2.6进行试验，在霉菌环境下，机器人不应生长霉菌或霉斑，内部电路板等关键部件保持干燥，无霉变或腐蚀现象；机器人应正常开机并运行，功能性能指标满足产品标准要求。

表 6 霉菌环境试验要求

试验项目	一类	二类	三类
长霉	-	培养周期：28d 允许长霉程度等级：≤1级	-
注：长霉程度1级为显微镜下看到长霉痕迹。			

5.1.7 低气压环境试验要求

对不同工作环境机器人的低气压环境试验要求如表7所示，按照6.2.7进行试验，在低气压环境下，机器人应正常工作，密封性能良好，无气体泄漏、结构松动或功能失效现象；机器人应正常开机运行，功能、性能指标满足产品标准要求。

表 7 低气压环境试验要求

试验项目	一类	二类	三类
低气压	-	试验气压：84 kPa 试验持续时间：2 h	-

5.1.8 风压环境试验要求

对不同工作环境机器人的风压环境试验要求如表8所示，按照6.2.8进行试验，在风压环境下，机器人应具备对应风力等级的抗风能力，密封性能良好，无结构松动或功能失效现象；机器人应正常运行，功能、性能指标满足产品标准要求。

表 8 风压环境试验要求

试验项目		一类	二类	三类
风压	静态抗风性	-	试验风力等级：≥6级 试验持续时间：8 min	-
	动态抗风性	-	试验风力等级：≥6级 试验持续时间：10 min	-
注：6级风力的风速为10.8~13.8 m/s。				

5.2 机械环境试验要求

5.2.1 冲击试验要求

按照6.3.1进行试验，在冲击环境下，机器人外观应无明显变形或裂纹；所有固定部件应无松动或脱落现象；内部元件应保持完好，无损坏现象；机器人应正常开机自检并运行，功能性能指标满足产品标准要求。

5.2.2 振动试验要求

按照6.3.2进行试验，在振动环境下，机器人外观应无磨损或划痕，表面涂层无脱落；所有运动部件应保持灵活，无卡滞现象；内部元件应无松动或移位现象；机器人应正常开机并运行，功能性能指标满足产品标准要求。

5.2.3 倾斜与翻倒试验要求

按照6.3.3进行试验，试验后，机器人所有部件无脱落现象；机器人应正常开机运行，功能、性能指标满足产品标准要求。

5.2.4 自由跌落试验要求

按照6.3.4进行试验，试验后，机器人外观应无明显损伤或变形，内部元件保持完好，无损坏现象；机器人应正常开机运行，功能、性能指标满足产品标准要求。

5.3 可靠性试验要求

平均故障间隔时间(MTBF)用来表示机器人可靠性，对不同工作环境机器人的MTBF试验要求如表9所示，按照6.4进行试验。

表 9 平均故障间隔时间（MTBF）要求

试验项目	一类	二类	三类
MTBF时间（h）	≥1500	≥1000	≥500

6 试验方法

6.1 一般试验要求

6.1.1 基准试验条件

基准试验应避免外电磁场、振动、风干扰以及阳光直射，其他条件符合表10给出的要求。

表 10 基准试验条件

序号	影响量	基准值或范围	公差
1	环境温度	15℃～35℃	±2℃
2	相对湿度	25%RH～75%RH	—
3	大气压	86 kPa～106 kPa	—
4	交流供电电压	额定值	±10%
5	交流供电频率	50 Hz	±1 Hz
6	交流供电波形	正弦波	$\beta^a=0.05$
7	直流供电电压	额定值	±10%
^a β 为失真因子，交流供电电压波形是 $(1\pm\beta)\text{Asin}(\omega t)$ 形成的包络。			

6.1.2 试验设备要求

试验设备应在校准合格期内，准确度及测量范围等条件满足试验项目的相应要求。

6.1.3 产品测试要求

根据机器人产品标准，在试验的初始检测、条件试验检测和最后检测中，应包括但不限于以下测试内容：

- a) 结构和外观检查；
- b) 主要功能测试；
- c) 主要性能测试。

6.2 气候环境试验

6.2.1 温湿试验

6.2.1.1 低温贮存

按照GB/T 2423.1试验Ab的试验方法进行试验，并应满足以下要求：

- a) 试验严酷等级见表 1；
- b) 在升降温过程中，试验箱内的温度变化速率不超过 1 K/min(不超过 5 min 时间的平均值)；
- c) 试验期间，机器人处于停机状态；
- d) 试验结束后，机器人在 6.1.1 基准试验条件下恢复 1 h；
- e) 按照 6.1.3 完成试验初始检测和最后检测，检测结果满足 5.1.1 中 a) 要求。

6.2.1.2 低温工作

按照GB/T 2423.1试验Ad的试验方法进行试验，并应满足以下要求：

- a) 试验严酷等级见表 1；
- b) 在升降温过程中，试验箱内的温度变化速率不超过 1 K/min(不超过 5 min 时间的平均值)；
- c) 试验期间，机器人处于工作状态；
- d) 试验结束后，机器人在 6.1.1 基准试验条件下恢复时间 1 h；
- e) 按照 6.1.3 完成试验初始检测、条件试验检测和最后检测，检测结果满足 5.1.1 中 b) 要求。

6.2.1.3 高温贮存

按照GB/T 2423.2试验Bb的试验方法进行试验，并应满足以下要求：

- a) 试验严酷等级见表 1；
- b) 在升降温过程中，试验箱内的温度变化速率不超过 1 K/min(不超过 5 min 时间的平均值)；
- c) 试验期间，机器人处于停机状态；
- d) 试验结束后，机器人在 6.1.1 基准试验条件下恢复 1 h；
- e) 按照 6.1.3 完成试验初始检测和最后检测，检测结果满足 5.1.1 中 c) 要求。

6.2.1.4 高温工作

按照GB/T 2423.2试验Bd的试验方法进行试验，并应满足以下要求：

- a) 试验严酷等级见表 1；
- b) 在升降温过程中，试验箱内的温度变化速率应不超过 1 K/min(不超过 5 min 时间的平均值)；
- c) 试验期间，机器人处于工作状态；
- d) 试验结束后，机器人在 6.1.1 基准试验条件下恢复 1 h；
- e) 按照 6.1.3 完成试验初始检测、条件试验检测和最后检测，检测结果满足 5.1.1 中 d) 要求。

6.2.1.5 温度变化

按照GB/T 2423.22试验Nb的试验方法进行试验，并应满足以下要求：

- a) 试验严酷等级见表 1；
- b) 试验期间，机器人处于停机状态；
- c) 试验结束后，机器人在 6.1.1 基准试验条件下恢复 1 h；
- d) 按照 6.1.3 完成试验初始检测和最后检测，检测结果满足 5.1.1 中 e) 要求。

6.2.1.6 恒定湿热

按照GB/T 2423.3的试验方法进行试验，并应满足以下要求：

- a) 试验严酷等级见表 1；
- b) 试验期间，机器人处于停机状态；
- c) 试验结束后，机器人在 6.1.1 基准试验条件下恢复时间 1 h；
- d) 按照 6.1.3 完成试验初始检测和最后检测，检测结果满足 5.1.1 中 f) 要求。

6.2.1.7 交变湿热

按照GB/T 2423.4试验Db的试验方法进行试验，并满足以下试验条件和要求：

- a) 试验严酷等级见表 1；
- b) 试验期间，机器人处于停机状态；
- c) 循环试验的温度降低过程，按照 GB/T 2423.4 中 7.3.3 方法 1 降温；
- d) 试验结束后，机器人在 6.1.1 基准试验条件下恢复 1 h；
- e) 按照 6.1.3 完成试验初始检测和最后检测，检测结果满足 5.1.1 中 g) 要求。

6.2.2 沙尘试验

按照GB/T 4208中的13.4的试验方法进行试验，并应满足以下试验要求：

- a) 机器人防护等级要求见表 2；
- b) 试验期间，机器人处于工作状态；
- c) 如不能将整机机器人置于试验箱内作试验，选用下列方法之一进行：
 - 1) 用外壳的各个封闭部分做试验；
 - 2) 用外壳有代表性的部件做试验，包括组件（如门、通风孔、接头、轴封等），试验时这些部件应安装就位；
 - 3) 用具有相同结构、按比例缩小的设备进行试验。
- d) 试验结束后，机器人在 6.1.1 基准试验条件下恢复 1 h；
- e) 按照 6.1.3 完成试验初始检测和最后检测，检测结果满足 5.1.2 要求。

6.2.3 盐雾试验

6.2.3.1 恒定盐雾

按照GB/T 2423.17的试验方法进行试验，并满足以下试验要求：

- a) 机器人盐雾要求见表 3；
- b) 选取机器人整机或在盐雾环境中可能面临腐蚀风险的机器人典型部件作为试样，每种试样数量不少于 2 个；
- c) 试样在试验前应确保表面状态与实际使用时一致，防护涂层、镀层不得有损伤或缺陷，且不应进行额外的预处理；
- d) 试样应进行以下预处理：

- 1) 使用干净的软布或脱脂棉球，蘸取适量的乙醇或异丙醇等有机溶剂，擦拭试样表面，去除试样表面的油污、灰尘、指纹等污染物，擦拭过程中应避免对试样表面造成机械损伤；
- 2) 清洁后的试样应在基准试验条件下放置 1h~2h，使其表面达到稳定状态。
- e) 进行试验时，宜以正常使用时相同的角度安置试样；
- f) 试验应持续 48 h；
- g) 按照 6.1.3 完成试验初始检测和最后检测，检测结果应满足 5.1.3 要求。

6.2.3.2 交变盐雾

按照 GB/T 2423.18 中的 9.4.3 试验方法 2 进行试验，并应满足以下试验要求：

- a) 机器人盐雾要求见表 3；
- b) 试样的选取、预处理、放置同 6.2.3.1 中的 b) 到 e)；
- c) 试验持续 72h；
- d) 按照 6.1.3 完成试验初始检测和最后检测，检测结果满足 5.1.3 要求。

6.2.4 淋雨试验

按照 GB/T 4208 中的 14.2 试验方法进行试验，并应满足以下试验要求：

- a) 不同环境下机器人防水等级要求见表 4；
- b) 试验期间，机器人处于停机状态；
- c) 试验持续 5 min；
- d) 按照 6.1.3 完成试验初始检测和最后检测，检测结果满足 5.1.4 要求。

6.2.5 光源暴露试验

6.2.5.1 荧光紫外灯试验

按照 GB/T 16422.3 中 7.5 的表 4，方法 A 进行试验，并满足以下试验要求：

- a) 不同环境下机器人光源暴露要求见表 5；
- b) 以机器人整机或选取在光源暴露环境中可能受光源影响的机器人典型部件作为试样，每种试样数量应不少于 3 个；
- c) 试样在试验前应确保表面状态与实际使用时一致，防护涂层、镀层不得有损伤或缺陷，且不应进行额外的预处理；
- d) 试样应进行以下预处理：
 - 1) 使用干净的软布或脱脂棉球，蘸取适量的乙醇或异丙醇等有机溶剂，擦拭试样表面，去除试样表面的油污、灰尘、指纹等污染物，擦拭过程中应避免对试样表面造成机械损伤；
 - 2) 清洁后的试样在基准试验条件下放置 1 h~2 h，使其表面达到稳定状态。
- e) 进行试验时，宜以正常使用时相同的角度安置试样；
- f) 试验应持续 1000 h；
- g) 按照 6.1.3 完成试验初始检测和最后检测，检测结果应满足 5.1.5 要求。

6.2.5.2 氙弧灯试验

按照 GB/T 16422.2 中 7.3 的表 3，方法 A 进行试验，并应满足以下试验要求：

- a) 机器人光源暴露要求见表 5；
- b) 试样的选取、预处理、放置同 6.2.3.1 中的 b) 到 e)；
- c) 试验持续 2000 h；

- d) 按照 6.1.3 完成试验初始检测和最后检测，检测结果满足 5.1.5 要求。

6.2.6 长霉试验

按照GB/T 2423.16中的12.1试验方法1进行试验，并应满足以下试验要求：

- a) 机器人长霉要求见表 6；
- b) 试验期间，机器人处于停机状态；
- c) 采用喷洒的方法对机器人试样和对照条进行接种孢子悬浮液；
- d) 试验持续 28 d；
- e) 按照 6.1.3 完成试验初始检测和最后检测，检测结果满足 5.1.6 要求。

6.2.7 低气压试验

按照GB/T 2423.21的试验方法进行试验，并应满足以下试验要求：

- a) 机器人低气压要求见表 7；
- b) 试验期间，机器人处于工作状态；
- c) 试验持续 2 h；
- d) 降压和升压的气压变化速度不超过 10 kPa/min。
- e) 试验结束后，机器人在 6.1.1 基准试验条件下恢复 1 h；
- f) 按照 6.1.3 完成试验初始检测、条件试验检测和最后检测，检测结果满足 5.1.7 要求。

6.2.8 风压试验

按照以下试验条件和要求进行试验：

- a) 宜采用满足 GB/T 2423.41 中第 3 章要求的风洞或风场模拟系统作为试验设备，试验设备的风速调节范围应满足机器人最大抗风测试的要求；
- b) 将机器人置于风洞或风场模拟系统内，将风速调节至 6 级风或以上，分别进行以下试验：
 - 1) 静态抗风性试验：机器人停机状态，按照存储时姿态放置于水平地面，机身四面分别迎风吹风 2 min；
 - 2) 动态抗风性试验：机器人工作状态，按照工作时最不利姿态在水平地面上以额定速度前进、后退、左侧移、右侧移、原地旋转运动，吹风 10 min。
- c) 按照 6.1.3 完成试验初始检测、条件试验检测和最后检测，检测结果满足 5.1.8 要求。

6.3 机械环境试验

6.3.1 冲击试验

按照GB/T 2423.5进行试验，并应满足以下试验要求：

- a) 机器人刚性固定在冲击试验台上，使冲击力直接传递给机器人机体，不通过减震缓冲装置连接固定；
- b) 试验严酷度等级如下：
 - 1) 试验脉冲波形：半正弦波；
 - 2) 冲击加速度：150 m/s²；
 - 3) 脉冲持续时间：6 ms；
 - 4) 冲击次数：从 X、Y、Z 轴线的正、负方向各施加 3 次冲击，共 18 次。
- c) 试验期间，机器人处于停机状态；
- d) 按照 6.1.3 完成试验初始检测、条件试验检测和最后检测，检测结果满足 5.2.1 要求。

6.3.2 振动试验

6.3.2.1 扫频耐久试验

按照GB/T 2423.10中的8.3.1进行扫频耐久试验，并应满足以下试验要求：

- a) 机器人刚性固定在冲击试验台上，使冲击力直接传递给机器人机体，不通过减震缓冲装置连接固定；
- b) 控制方式：单点/多点控制；
- c) 试验严酷度等级如下：
 - 1) 频率范围：5 Hz~500 Hz；
 - 2) 振动幅值：0.5 mm；
 - 3) 加速度：10 m/s²；
 - 4) 扫描速度：每分钟一个倍频程；
 - 5) 耐久试验持续时间：X、Y、Z 轴线方向各持续扫频 0.5 h。
- d) 试验期间，机器人处于停机状态；
- e) 按照 6.1.3 完成试验初始检测和最后检测，检测结果满足 5.2.2 要求。

6.3.2.2 随机振动试验

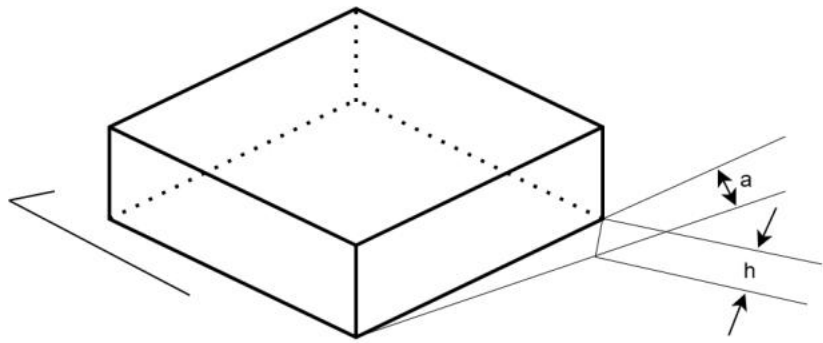
按照GB/T 2423.56进行试验，并应满足以下试验要求：

- a) 机器人刚性固定在冲击试验台上，使冲击力直接传递给机器人机体，不通过减震缓冲装置连接固定；
- b) 控制方式：单点/多点控制；
- c) 试验严酷度等级如下：
 - 1) 频率范围：5 Hz~500 Hz；
 - 2) 加速度谱密度（ASD）：1.0 m/s²；
 - 3) 耐久试验持续时间：X、Y、Z 轴线方向各持续振动 1 h；
- d) 试验期间，机器人处于停机状态；
- e) 按照 6.1.3 完成试验初始检测和最后检测，检测结果满足 5.2.2 要求。

6.3.3 倾跌与翻倒试验

按照GB/T 2423.7中的5.1进行试验，并应满足以下试验要求：

- a) 面倾跌：机器人绕着一条底边倾斜直至使机器人底面与试验地面成 30° 夹角，使机器人自由倾跌在试验地面上。分别围绕 4 条底边各进行一次倾跌试验（见图 1）；
- b) 翻倒：机器人绕着一条底边倾斜直到处于不稳定的位置。然后让其从这个位置自由地翻倒在相邻的一面上。应沿机器人的 4 条底边各进行一次翻倒试验（见图 2）；
- c) 试验期间，机器人处于停机状态；
- d) 按照 6.1.3 完成试验初始检测和最后检测，检测结果满足 5.2.3 要求。



标引序号说明:

a ——样品的底边与试验台面之间的夹角;

h ——样品底边与试验台面之间的高度。

图 1 面倾跌示意图

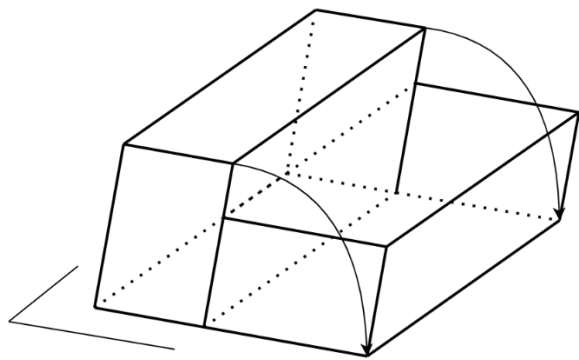


图 2 翻倒示意图

6.3.4 自由跌落试验

按照GB/T 2423.7中的5.2进行试验，并应满足以下试验要求：

- a) 试验期间，机器人处于停机状态；
- b) 跌落姿态：机器人正常运输或使用时的姿态；
- c) 自由跌落 2 次；
- d) 依据机器人的质量，跌落试验的高度值从表 11 中选取；
- e) 按照 6.1.3 完成试验初始检测和最后检测，检测结果满足 5.2.4 要求。

表 11 跌落高度与质量

机器人质量 m (kg)	跌落高度值 h (mm)
$m \geq 50$	—
$10 < m < 50$	25

表 11 跌落高度与质量（续）

机器人质量 m (kg)	跌落高度值 h (mm)
$1 < m \leq 10$	50/100/250/500
$m \leq 1$	750/1000/1500

6.4 可靠性试验

6.4.1 总则

- 6.4.1.1 可靠性试验场所分为实验室和现场。宜先在实验室进行可靠性试验，后在现场进行可靠性试验。
- 6.4.1.2 机器人可靠性试验宜在其设计、生产工艺、软件算法等关键环节稳定后进行，且试验前应已功能和性能测试。
- 6.4.1.3 进行机器人可靠性试验的样品从可代表该技术状态的同一批次中随机抽取，应抽取至少 2 台进行试验。

6.4.2 试验条件

6.4.2.1 实验室可靠性试验条件

根据机器人在深圳地区常见的地面环境（如城市道路、公园绿地、工业园区等）以及不同季节的气候特点，结合可能遇到的天气情况（如白天强光照射、夜晚低光照条件、雨天潮湿环境等），综合分析确定供可靠性试验用的环境参数（如温度范围、湿度范围、振动频率和幅度等）与时间的关系图。无其他特殊要求时，可靠性试验应在温度、湿度、盐雾、电压和其他相关试验条件的综合作用下进行。

6.4.2.2 现场可靠性试验条件

在现场运行可靠性试验过程中，被测机器人应模拟实际运行工况，如行驶道路类型（如柏油路、水泥路、石板路等）、行驶速度等。行驶速度应根据实际交通规则和常见巡检场景设定不同的区间，同时考虑不同时段（如工作日高峰、非高峰时段，节假日等）的人流、车流密度对机器人运行的影响。

6.4.3 可靠性试验方法

6.4.3.1 可靠性指标

试验应按照表9规定的MTBF检验下限值进行可靠性验证。

6.4.3.2 试验统计方案

假定机器人的故障时间分布符合指数分布规律，即故障率为常数。试验统计方案宜采用定时截尾试验方案。

- 注1：在试验期间，对机器人进行连续或短间隔监测，直至累计相关试验时间超过预定的相关试验时间(接收)或发生了预定的关联失效数(拒收)。
- 注2：预定的相关试验时间和关联失效数将根据机器人的实际使用要求和可靠性目标合理设定。

6.4.3.3 故障判定

- 可靠性试验中被测机器人出现下列情况之一应判为故障：
- a) 不能工作或部分功能丧失；

- b) 参数检测结果超出规范(规定)允许范围;
- c) 机械、结构部件或元器件发生的松动、破裂、断裂或损坏。

6.4.3.4 故障统计原则

故障可参照以下原则进行统计:

- a) 经证实为同一原因引起的间歇故障,计为一次故障;
- b) 经证实多个故障现象由同一原因引起时,计为一次故障;
- c) 有多个元器件在试验过程中同时失效,当不能证明是一个元器件失效引起另一些元器件失效时,每个元器件的失效计为一次独立的故障。当能证明是一个元器件失效引起另一些元器件失效时,所有元器件失效合计为一次故障;
- d) 已经报告过的由同一原因引起的同一部位发生的独立故障,由于未能真正排除而再次出现时,和原来报告过的故障合计为一次故障,其间试验时间无效;
- e) 若不能确定故障发生的准确时刻,相关试验时间的统计追溯到上一检测点时间,即上一检测点至发现故障检测点之间的试验时间无效;
- f) 在试验后的常温功能检查和性能测试中若出现故障,与试验中出现故障的判定、统计等做相同处理;
- g) 在故障检测和修理期间,还存在其他故障且不能确定是原有故障引起的,视为单独故障进行统计;
- h) 在现场运行可靠性试验中,对于零部件的轻微缺陷,不丧失规定功能,能够按照维修规程通过日常检查予以原位修复(不引起拆卸)的事件,包括松动、漂移、噪声、渗漏等,经确认后记录在案,不计入故障。

6.4.3.5 故障处理

在可靠性试验中出现故障时,故障处理应按下述试验程序的规定进行:

- a) 在故障处理过程中,更换所有故障零部件,其中包括由其他零部件故障引起应力超出允许额定值的零部件,不更换性能未超出允许额定值的零部件;
- b) 经修理恢复到可工作状态的被测机器人,在证实其修理有效后,并经试验组确认后重新投入试验;
- c) 当被测机器人出现元器件故障时,试验后应对故障元器件进行失效分析,找出元器件失效机理,并落实纠正措施,为故障归零提供支持。

6.4.3.6 试验时间统计

试验时间统计应按如下原则执行:

- a) 机器人的相关试验时间为被测机器人正常运行的时间之和;
- b) 当试验中测试发现某个被测机器人故障时,该被测机器人的相关试验时间为截至上次对应检测时间为止的试验时间,该故障被测机器人上次对应检测时机至本次检测发现故障期间的试验时间为无效时间;
- c) 各被测机器人的相关试验时间为其相关试验时间减去无效试验时间,各个被测机器人的相关试验时间之和为总累积相关试验时间。

6.4.3.7 试验终止

当超过可接受的故障数或达到规定的相关试验时间时,试验终止。

6.4.4 试验实施

6.4.4.1 试验实施条件

在试验前，应保证试验机器人正常工作，基本性能满足要求。机器人应模拟实际使用条件进行安装。

6.4.4.2 试验过程中的监测和记录

在试验过程中，应记录试验条件、试验时间、故障情况、受试机器人连续监测/间断性能检测结果等。

6.4.4.3 试验过程中的维护

试验过程中，按照产品使用规定定期进行维护，试验或修理过程中不应采取任何其他的维护。

7 试验报告

7.1 总则

本节规定了机器人在进行环境可靠性试验后，试验报告的编制要求。试验报告应记录试验条件、试验过程、试验结果及其分析结论，以便于对机器人的评估。试验报告记录表参见附录A。

7.2 报告内容

7.2.1 客户信息

客户信息应包含以下信息：

- 客户名称；
- 联系人；
- 联系电话。

7.2.2 试验样品信息

受试机器人样品的基本信息应包括但不限于：

- 样品名称；
- 型号；
- 数量；
- 外观尺寸；
- 重量；
- 送样日期；
- 与试验项目相关的描述。

7.2.3 试验方法

概述试验方法，包括试验项目名称、试验设备名称、试验条件、试验步骤、试验目的和依据的标准或规范。

7.2.4 试验数据记录

记录试验过程的数据，应包括试验时间、试验人员、试验设备参数、试验前后的机器人功能、性能、外观检查的结果记录等。试验过程记录表参见附录B。

7.2.5 试验结果

分析试验数据和结果，并得出受试机器人环境可靠性结论。对机器人未通过的试验项目，提出改进措施或重新试验的建议。

7.2.6 附件

附加任何有助于更好理解试验结果的支持性文档，如试验照片、数据图表等。

附 录 A
(资料性)
试验报告记录表

地面巡检机器人试验报告记录表如表A. 1所示。

表 A. 1 试验报告记录表

报告编号：

1. 客户信息					
客户名称		联系人		电话	
2. 试验样品信息					
样品名称		型号规格		样品数量	
样品尺寸		样品重量		送样日期	
样品编号		样品图片			
样品描述	<input type="checkbox"/> 完好 <input type="checkbox"/> 待出厂 <input type="checkbox"/> 研发机				
3. 检测记录					
检测项目	检测与判定依据要求			检测结果	
4. 主要试验仪器设备清单					
试验设备名称	型号规格			有效日期	
5. 审批					
编制人：		审核人：		批准人：	
日期：		日期：		日期：	

附 录 B
(资料性)
试验过程记录表

地面巡检机器人试验过程记录表如表B. 1所示。

表 B. 1 试验过程记录表

记录编号：

附表_____：_____试验 试验时间：____年__月__日__时__分 — ____年__月__日__时__分		
1. 样品和试验类别	<input type="checkbox"/> 非散热试样	试验 _____
	<input type="checkbox"/> 散热试样	<input type="checkbox"/> 样品在试验后通电
		<input type="checkbox"/> 样品在整个试验过程中通电
2. 严酷等级 (由相关规范规定)		
3. 初始检测	<input type="checkbox"/> 目视检查	<input type="checkbox"/> 正常 <input type="checkbox"/> 其他：
	<input type="checkbox"/> 功能性能检测 (相关规范有要求时)	要求：
		<input type="checkbox"/> 正常 <input type="checkbox"/> 其他：
4. 试验方法		
5. 条件试验检测	规范是否有要求： <input type="checkbox"/> 是 <input type="checkbox"/> 否	
	规范要求	
	检测内容：	
	时间间隔：	
	是否满足要求： <input type="checkbox"/> 是 <input type="checkbox"/> 否	
6. 恢复	试验样品在标准环境条件下进行恢复，恢复时间应足够使温度达到稳定，至少__h。 <input type="checkbox"/> 相关规范其他要求：	
7. 最后检测	<input type="checkbox"/> 目视检查	<input type="checkbox"/> 正常 <input type="checkbox"/> 其他：
	<input type="checkbox"/> 功能性能检测 (相关规范有要求时)	要求：
		<input type="checkbox"/> 正常 <input type="checkbox"/> 其他：
备注：		

参 考 文 献

- [1] GB/T 39266—2020 工业机器人机械环境可靠性要求和测试方法
 - [2] GB/T 39006—2020 工业机器人特殊气候环境可靠性要求和测试方法
-