

ICS 29.240.10  
CCS F 29

**DL**

# 中华人民共和国电力行业标准

DL/T 2239—2021

---

## 变电站巡检机器人检测技术规范

Test specification for substation inspection robots

2021-01-07 发布

2021-07-01 实施

---

国家能源局 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 检验规则 .....	2
5 试验方法及判定准则 .....	3

## 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。

本文件由中国电力企业联合会提出。

本文件由能源行业电力机器人标准化技术委员会(NEA/TC 35)归口。

本文件负责起草单位：中国电力科学研究院有限公司。

本文件参加起草单位：国家电网有限公司、国网山东省电力公司、国网江西省电力公司检修分公司、国网湖南电力有限公司检修公司、南方电网电力科技股份有限公司、南方电网科学研究院、国网智能科技有限公司股份有限公司、浙江国自机器人技术有限公司、深圳市朗驰欣创科技股份有限公司、许昌开普检测研究院股份有限公司、国电南瑞科技股份有限公司。

本文件主要起草人：胡霁、孙杨、邵瑰玮、周大洲、蔡焕青、郭锐、刘壮、徐波、文志科、张琛、谈家英、麦晓明、崔伟、吴观斌、周立玮、付晶、刘旭、吴永康、陈怡、曾云飞、孙志周、曹际娜、李嘉、杜鑫峰、谷湘煜、张斌、李丽。

本文件在执行过程中的意见或建议反馈至中国电力企业联合会标准化管理中心(北京市白广路二条一号,100761)。

# 变电站巡检机器人检测技术规范

## 1 范围

本文件规定了变电站室外轮式巡检机器人的检测规则、试验方法及判定准则。  
本文件适用于变电站室外轮式巡检机器人的试验检测。

## 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 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 4208 外壳防护等级(IP 代码)
- GB/T 4857.23 包装 运输包装件基本试验 第23部分:随机振动试验方法
- GB/T 14598.27 量度继电器和保护装置 第27部分:产品安全要求
- 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 17626.3 电磁兼容 试验和测量技术 射频电磁场辐射抗扰度试验
- GB/T 17626.5 电磁兼容 试验和测量技术 浪涌(冲击)抗扰度试验
- GB/T 17626.8 电磁兼容 试验和测量技术 工频磁场抗扰度试验
- GB/T 17626.9 电磁兼容 试验和测量技术 脉冲磁场抗扰度试验
- DL/T 1610 变电站机器人巡检系统通用技术条件

## 3 术语和定义

DL/T 1610 界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

### 3.1

**变电站巡检机器人** **substation inspection robots**

由机器人本体、通信设备、充电装置和监控后台等组成,可遥控或自主开展变电站巡检作业的系统。

### 3.2

**机器人本体** **robot body**

以激光导航等导航方式搭载检测设备,可进行自主移动的变电站设备移动巡检平台。

### 3.3

**检测设备** **inspection equipment**

搭载在机器人本体上,用于检测、采集和记录变电站设备运行状态信息的设备或装置,例如可见光摄像机、红外成像仪、噪声采集设备等。

## 3.4

**通信设备 communication equipment**

用于机器人本体、检测设备与监控后台间数据通信的网络设备。

## 3.5

**监控后台系统 monitoring system**

由计算机(服务器)、通信设备、监控分析软件和数据库等组成,用于监控机器人运行的计算机系统。

## 4 检验规则

## 4.1 型式检验

有下列情况之一应进行型式检验:

- a) 新产品投产或老产品转厂生产的试制定型;
- b) 产品结构、材料、设计、工艺以及元器件等有较大改动时;
- c) 产品停产1年及以上,恢复生产时;
- d) 验收检验结果与上一次型式检验结果有较大差异时;
- e) 与上一次型式检验时间间隔已超过3年;
- f) 国家质量监督机构提出进行型式检验要求时。

型式检验按表1规定的试验项目进行。

表1 试验项目的选择

序号	试验项目	型式检验	出厂检验	验收检验
1	外观质量试验	√	√	√
2	环境适应性试验	低温环境适应性试验	√	—
3		高温环境适应性试验	√	—
4		防雨性能试验	√	—
5		防尘性能试验	√	—
6		恒定湿热试验	√	—
7		交变湿热试验	√	—
8		模拟运输性能试验	√	—
9		运动功能试验	自主导航定位精度试验	√
10	最大平均速度试验		√	√
11	制动距离试验		√	√
12	防碰撞功能试验		√	√
13	绕障功能试验		√	√
14	越障能力试验		√	√
15	涉水能力试验		√	√
16	爬坡能力试验		√	√
17	防跌落功能试验		√	√
18	最小转弯半径试验		√	√
19	续航时间试验		√	√
20	云台运动范围试验	√	√	

表 1 (续)

序号	试验项目	型式检验	出厂检验	验收检验	
21	巡检功能试验	自主充电功能试验	√	√	√
22		巡检方式设置和切换功能试验	√	√	√
23		自检功能试验	√	√	√
24		表计巡检试验	√	√	√
25		红外测温准确率试验	√	√	√
26		链路中断脱机工作功能试验	√	√	√
27		双向语音对讲功能试验	√	√	√
28		一键返航功能试验	√	√	√
29	电磁兼容性能试验	静电放电抗扰度试验	√	—	—
30		射频电磁场辐射抗扰度试验	√	—	—
31		工频磁场抗扰度试验	√	—	—
32		脉冲磁场抗扰度试验	√	—	—
33		浪涌(冲击)抗扰度试验	√	—	—
34	监控后台功能试验		√	√	√
35	安全性能试验	绝缘性能试验	√	—	—
36		介电强度试验	√	—	—
37		冲击电压试验	√	—	—

#### 4.2 出厂检验

出厂检验项目见表 1。

#### 4.3 现场检验

验收检验项目见表 1。

### 5 试验方法及判定准则

#### 5.1 外观质量试验

##### 5.1.1 试验方法

在良好的光线条件下,检查机器人外观结构、外壳、连接件、紧固件、电气部件、可拆卸更换部件及指示标识等。测量机器人本体的尺寸和质量。

##### 5.1.2 判定准则

试验结果应满足以下要求:

- 整机外观美观整洁,结构坚固,布局合理,可拆卸更换部件以及内部结构的坚固措施不应采用胶水、胶带等方式;
- 指示灯、按钮、接口等标识正确清晰,无导线外露、无部件松动等情况;
- 外壳边缘应采用倒角处理,外壳表面应有保护涂层或防腐设计,不应有伤痕、毛刺等其他缺陷;
- 变电站巡检机器人的尺寸及质量应满足产品说明书中的标称尺寸和质量。

## 5.2 环境适应性试验

### 5.2.1 低温环境适应性试验

#### 5.2.1.1 试验方法

根据 GB/T 2423.1 的规定,按照下列试验步骤进行:

- a) 将机器人本体放置在温湿度试验箱内,监控后台放置在温湿度试验箱外。
- b) 关闭试验箱门,以不超过 1 K/min 的变化速率调节试验箱内温度至  $-25^{\circ}\text{C}$ 。然后保持温度不变(波动范围不大于 2 K),放置 2 h;将试验样品通电,启动试验样品使其开始工作,完成自检,处于待机工作状态。
- c) 使用试验箱外的监控后台,控制机器人本体在试验箱内行进 10 min(行进范围不小于  $2.5\text{ m}\times 2.5\text{ m}$ ),启动检测设备进行摄像,期间控制检测设备进行左右方向和上下方向转动并拍摄。
- d) 以不超过 1 K/min 的变化速率使试验箱内温度恢复至与箱外一致,然后放置 1 h。
- e) 打开试验箱门,观察机器人本体状态是否正常。

#### 5.2.1.2 判定准则

样品无变形和裂纹等现象,各项功能正常。试验过程中,监控后台对机器人本体操控响应正常,检测设备转动、拍摄功能正常。

### 5.2.2 高温环境适应性试验

#### 5.2.2.1 试验方法

根据 GB/T 2423.2 的规定,按照下列试验步骤进行:

- a) 将机器人本体放置在温湿度试验箱内,监控后台放置在温湿度试验箱外。
- b) 关闭试验箱门,以不超过 1 K/min 的变化速率调节试验箱内温度至  $55^{\circ}\text{C}$ 。然后保持温度不变(波动范围不大于 2 K),放置 2 h;将试验样品通电,启动试验样品使其开始工作,完成自检,处于待机工作状态。
- c) 使用试验箱外的监控后台,控制机器人本体进行巡检任务 10 min,启动检测设备进行摄像,期间控制检测设备进行左右方向和上下方向转动并拍摄。
- d) 以不超过 1 K/min 的变化速率使试验箱内温度恢复至与箱外一致,然后放置 1 h。
- e) 打开试验箱门,观察机器人本体状态是否正常。

#### 5.2.2.2 判定准则

样品无变形和裂纹等现象,各项功能正常。试验过程中,监控后台对机器人本体操控响应正常,检测设备转动、拍摄功能正常。

### 5.2.3 防雨性能试验

#### 5.2.3.1 试验方法

根据 GB/T 4208 的规定,按照下列试验步骤进行:

- a) 将机器人本体放置在喷水试验指定区域,使机器人本体外壳在各方向都能受到喷水。
- b) 试验条件如下:
  - 1) 喷嘴内径:6.3 mm;

- 2) 水流量:( $12.5 \pm 0.625$ ) L/min;
- 3) 水压:按规定水流量调节;
- 4) 主水流的中心部分:离喷嘴 2.5 m 处直径约为 40 mm 的圆;
- 5) 外壳表面每平方米喷水时间:约 1 min;
- 6) 试验时间:最少 3 min;
- 7) 喷嘴至外壳表面距离:2.5 m~3 m。

c) 取出试验样品,通过监控后台控制机器人本体进行自主巡检任务,启动检测设备进行摄像,期间控制检测设备进行左右方向和上下方向转动并拍摄。

### 5.2.3.2 判定准则

试验后,试验样品各项功能正常,整机防护性能符合 GB/T 4208 中 IPX5 的要求。

## 5.2.4 防尘性能试验

### 5.2.4.1 试验方法

根据 GB/T 4208 的规定,按照下列试验步骤进行:

- a) 将试验样品放置在防尘试验箱指定区域;
- b) 试验用尘宜为滑石粉;
- c) 关闭试验箱门,通过自上而下的气流使尘在试验箱内均匀分布,尘浓度为  $2 \text{ kg/m}^3$ (试验箱体积不小于  $8 \text{ m}^3$ ),试验持续 8 h;
- d) 取出试验样品,通过监控后台控制机器人本体进行自主巡检任务,启动检测设备进行摄像,期间控制检测设备进行左右方向和上下方向转动并拍摄。

### 5.2.4.2 判定准则

试验后,试验样品各项功能正常,整机防护性能符合 GB/T 4208 中 IP5X 的要求。

## 5.2.5 恒定湿热试验

### 5.2.5.1 试验方法

根据 GB/T 2423.3 的规定,按照下列试验步骤进行:

- a) 试验样品(机器人本体及充电设备)带电,机器人本体完成自检,处于待机工作状态。机器人本体及充电设备放置在温湿度试验箱内,监控后台放置在温湿度试验箱外。
- b) 以不超过  $1 \text{ K/min}$  的变化速率调节试验箱内温度至  $(40 \pm 2) \text{ }^\circ\text{C}$ ,相对湿度  $(93 \pm 3)\%$ 。然后保持温度不变(总的温度容差为  $\pm 2 \text{ K}$ ,短期温度波动范围不大于  $0.5 \text{ K}$ ),持续时间 12 h。
- c) 在试验过程最后 1 h~2 h,使用试验箱外的监控后台控制机器人本体启动检测设备进行左右方向和上下方向转动并拍摄。
- d) 试验结束后在正常大气条件下带电恢复至少 1 h 但不超过 2 h,使用监控后台控制机器人本体启动检测设备进行左右方向和上下方向转动并拍摄。

### 5.2.5.2 判定准则

样品无变形和裂纹等现象。试验过程中、带电恢复后及复查后,监控后台对机器人本体的操控响应正常,检测设备转动、拍摄功能正常。



## 5.2.6 交变湿热试验

### 5.2.6.1 试验方法

根据 GB/T 2423.4 的规定,按照下列试验步骤进行:

- 试验样品(机器人本体及充电设备)带电,机器人本体完成自检,处于待机工作状态。机器人本体及充电设备放置在温湿度试验箱内,监控后台放置在温湿度试验箱外。
- 试验的低温温度为 $(25\pm 3)$ ℃,高温温度为 $(55\pm 2)$ ℃,相对湿度95%,试验持续时间24 h (12 h+12 h),循环2次。
- 在试验过程最后1 h~2 h,使用试验箱外的监控后台,控制机器人本体启动检测设备进行左右方向和上下方向转动并拍摄。
- 试验结束后在正常大气条件下带电恢复至少1 h,但不超过2 h,使用监控后台控制机器人本体启动检测设备进行左右方向和上下方向转动并拍摄。

### 5.2.6.2 判定准则

样品无变形和裂纹等现象。试验过程中及带电恢复后及复查后,监控后台对机器人本体的操控响应正常,检测设备转动、拍摄功能正常。

## 5.2.7 模拟运输性能试验

### 5.2.7.1 试验方法

根据 GB/T 4857.23 的规定,按下列试验步骤进行:

- 检查试验样品外观结构和主要功能是否正常。确认正常后,将其按储运状态放置。
- 试验样品应按其储运状态放置在模拟运输振动试验台指定位置。对于运输时要求固定的,按运输时要求进行模拟固定;对于运输时不要求固定的,在试验样品周围布置限制挡板,但应保证试验样品中心能在其周围10 mm范围内做无约束运动。
- 将处于储运状态的试验样品在模拟运输振动试验台上进行布置。
- 按表2规定的功率谱密度进行60 min的振动试验。
- 取出试验样品,按正常工作要求进行布置,查看其外观结构是否正常,检查各项功能是否正常。

表2 模拟运输性能试验功率谱密度

频率 Hz	功率谱密度 $g^2/Hz$
1	0.000036
3	0.06
4	0.06
8	0.007
12	0.016
30	0.006
40	0.015
60	0.0014
100	0.001
200	0.00005
加速度均方根	0.82

### 5.2.7.2 判定准则

试验样品无变形和裂纹等现象,插接件、紧固件等无开裂、松脱等现象,检测设备无变形、开裂、花屏等现象,试验样品、检测设备转动、拍摄等功能正常。

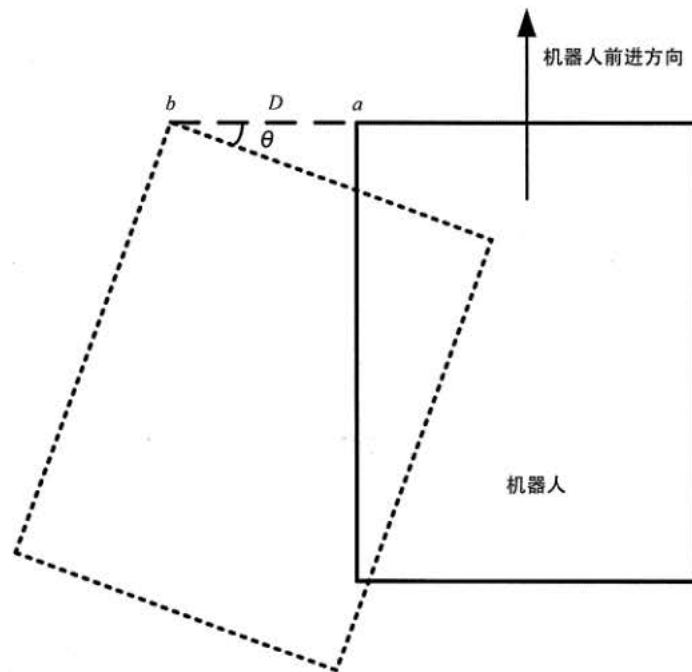
## 5.3 运动功能试验

### 5.3.1 自主导航定位精度试验

#### 5.3.1.1 试验方法

按下列规定的试验步骤进行:

- 选择周长不小于30 m的闭环路径作为测量区间,测试区间应为平坦干燥的水泥路面;
- 在测量区间标定预设点位置和起始点位置,起始点至预设点路径中应至少包含一个弯道;
- 试验样品行驶至起始点,设定试验样品自主行走路线;
- 试验样品按预设路线行走,待试验样品停稳后测量并记录试验样品停车位置的起点和方向:以机器人本体前进方向左侧最前 endpoint 为起点,沿试验样品最外侧边缘后退方向的射线;
- 试验重复进行3次,记录3次停车位置的起点和方向 [即按 d) 的3条射线,射线起点为停车位置起点,射线方向为停车位置方向],并测量记录后2次停车位置起点与第1次停车位置起点之间的距离、后2次停车位置方向与第1次停车位置方向之间的夹角,停车位置起点的距离和停车方向夹角测量示意图如图1所示。



说明:

- $a$  —— 第一次停车起点;
- $b$  —— 第二次停车起点;
- $D$  ——  $a$ 、 $b$ 之间的直线距离;
- $\theta$  —— 两次停车位置方向之间的夹角。

图1 停车位置起点的距离和停车方向夹角测量示意图

### 5.3.1.2 判定准则

后 2 次停车位置起点与第 1 次停车位置之间的距离均小于 1 cm,后 2 次停车位置方向与第 1 次停车位置方向之间的夹角均小于 20°。

### 5.3.2 最大平均速度试验

#### 5.3.2.1 试验方法

按下列规定的试验步骤进行:

- a) 试验场地应为平坦干燥的水泥路面,在试验场地标记直线测量区间的始端线和终端线,始端线和终端线距离不小于 10 m,试验场地内距地面 2 m 高处的最大瞬时风速应小于 3 m/s;
- b) 控制试验样品以最大速度驶入测量区间,测量试验样品行走完测量区间所需的时间;
- c) 试验重复进行 2 次,并计算试验样品通过测量区间的平均速度。

#### 5.3.2.2 判定准则

试验样品最大平均速度不小于 1.2 m/s。

### 5.3.3 制动距离试验

#### 5.3.3.1 试验方法

按下列规定的试验步骤进行:

- a) 试验场地应为平坦干燥的水泥路面,在试验场地标记直线测量区间的始端线、终端线和预设停车点,始端线与终端线间距离不小于 10 m,预设停车点应在终端线后方 0.5 m 以外,试验场地内距地面 2 m 高处的最大瞬时风速应小于 3 m/s;
- b) 控制试验样品以 1 m/s 速度驶入测量区间,记录试验样品越过始端线时间;
- c) 试验样品越过终端线时,对试验样品发出紧急制动指令,同时记录试验样品越过终端线时间并计算试样样品在始端线和终端线间的平均速度;
- d) 试验样品停稳后测量并记录停车位置与终端线的距离;
- e) 试验重复进行 2 次,取最大值为试验样本最小制动距离。

#### 5.3.3.2 判定准则

试验样品经过始端线和终端线区间的平均速度不小于 1 m/s 时,最小制动距离不大于 0.5 m。

### 5.3.4 防碰撞功能试验

#### 5.3.4.1 试验方法

按下列规定的试验步骤进行:

- a) 分别测试对两种类型的障碍物的防碰撞功能,障碍物正面规格如下:
  - 1) 高 15 cm、宽 10 cm 表面无镂空;
  - 2) 高 170 cm、宽 100 cm 的围栏,网线直径为 0.3 cm~0.5 cm(包含 0.3 cm 和 0.5 cm),最大的单个镂空网格面积不大于 150 cm<sup>2</sup>。
- b) 设定试验样品行走路线,并在试验样品的行走路线中心线设置障碍物,障碍物正面垂直于试验样品行进方向。
- c) 试验样品按照预设路线行走,观察试验样品行走过程中遇到障碍物是否及时停止。

以上内容仅为本文档的试下载部分，为可阅读页数的一半内容。如要下载或阅读全文，请访问：<https://d.book118.com/735310011242011041>