

团 体 标 准

T/CES XXX XXX

架空输电线路引流板发热处理机器人

Heat treatment robot for drainage plate of overhead transmission
line

(征求意见稿)

XXXX-XX-XX 发布

XXXX-XX-XX 实施

中国电工技术学会 发布

目 录

前言	1
1 范围	1
2 规范性引用文件	1
3 术语和定义	1
4 分类和型号编码	2
4.1 分类	2
4.2 型号编码	2
5 技术要求	3
5.1 基本要求	3
5.2 外观和结构	3
5.3 移动性能	3
5.4 控制性能	4
5.5 作业性能	4
5.6 通信性能	4
5.7 安全保护性能	4
5.8 环境适应性	4
5.9 持续工作	5
5.10 可靠性要求	5
6 试验方法	5
6.1 外观和结构试验	5
6.2 移动性能试验	5
6.3 控制性能试验	5
6.4 作业性能试验	5
6.5 通信性能试验	5
6.6 安全保护性能试验	5
6.7 环境适应性试验	6
6.8 持续工作时间试验	6
6.9 可靠性试验	6
7 检验规则	6
7.1 检验分类	6
7.2 检验项目	6
7.3 出厂检验	6
7.4 型式试验	7
7.5 例行试验	7
8 标志、使用说明书、包装、运输	7
8.1 标志	7
8.2 使用说明书	7
8.3 包装	7
8.4 运输	7
8.5 贮存	7

前 言

本标准依据 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》制定。

本标准由国网湖南省电力有限公司超高压输电公司提出。

本标准由中国电工技术学会归口。

本标准起草单位：国网湖南省电力有限公司超高压输电公司、武汉大学、长沙理工大学、武汉纺织大学、中国电科院、国网智能科技股份有限公司、克诺机器人（深圳）有限公司。

本标准主要起草人：刘兰兰、牛捷、蒋智鹏、李化旭、邹德华、江维、樊绍胜、王伟、李承农、王振宇、彭沙沙、郭昊、彭勇、刘凯、郭锐、乔明明、王海跃、汪志刚、魏瀛、王琳、段启平、杨琪、周明珠、王灿、杨嘉妮。

架空输电线路引流板发热处理机器人

1 范围

本标准规定了适用于通过紧固螺栓来处理引流板发热的机器人分类和型号编码、技术要求、试验方法、检验规则、标志、使用说明书、包装等内容。

本标准适用于能够在 110kV 及以上电压等级架空输电线路通过人工遥控或自主作业紧固螺栓来执行引流板发热处理的机器人系统。

2 规范性引用文件

下列文件对于本文件的应用是必不可少的。凡是注日期的引用文件,仅注日期的版本适用于本文件。凡是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。

- GB2894 安全标志及其使用导则
- GB5226.1 机械电气安全 机械电气设备 第1部分:通用技术条件
- GB50171 电气装置安装工程 盘、柜及二次回路接线施工及验收规范
- GB/T191 包装储运图示标志
- GB/T2423.7 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/T4025 人机界面标志标识的基本和安全规则 指示器和操作器件的编码规则
- GB/T4208 外壳防护等级(IP 代码)
- GB/T7251.8 低压成套开关设备和控制设备 智能型成套设备通用技术要求
- GB/T9969 工业产品使用说明书 总则
- GB/T11533 标准对数视力表
- GB/T12643 机器人与机器人装备 词汇
- GB/T13384 机电产品包装通用技术条件
- GB/T16754 机械安全 急停 设计原则
- GB/T22677 电动冲击扳手
- GB/T36239 特种机器人 术语
- GB/T36321 特种机器人 分类、符号、标志
- DL/T 2153 输电线路用带电作业机器人

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。为了便于使用,以下重复列出了GB/T12643、GB/T36239中界定的一些术语和定义。

3.1 耐张线夹引流板 Tension clamp drainage plate

高压架空输电线路连接输电导线与引流线的金属隔板,由具有较高弹性、高强度的镀锌钢绞线及线夹组成,是为了减少导线因风力掀起振动、舞动导致线路安全隐患而安装的一种线路金具,其主要连接件是螺栓。

3.2 引流板发热处理机器人 Drainage plate heating processing robot

引流板发热处理机器人是一种在带电或停电情况下,进入 110kV 及以上电压等级架空输电线路作业环境,辅助或替代电力工人开展紧固高压架空输电线路耐张线夹引流板连接件螺栓作业任务的人工遥控或自主作业移动作业机器人,一般由机器人移动平台、机械臂、作业末端、控制系统、视觉检测

装置、通信装置、操控单元、人机交互控制基站等组成。

3.3 移动平台 Mobile platform

能够使引流板发热处理机器人整体位姿发生改变的载体，一般是通过控制箱搭载机械臂和作业末端构成的轮-臂复合移动平台。

3.4 控制系统 Control system

一套具有逻辑控制功能的系统，能控制和监测机器人机械结构并与作业环境、设备和使用者进行通信，并控制机器人各关节的运动。

3.5 视觉检测装置 Vision detection device

用于获取机器人作业环境视频图像信息、并利用视觉处理算法对图像进行处理及对末端实施视觉伺服控制的装置。

3.6 机械臂装置 Mechanical arm device

搭载于机器人控制箱上，用于支撑并将作业末端送至工作位的装置。

3.7 通信装置 Communication device

实现机器人本体与操控单元间信息传递的装置。

3.8 作业末端 Operation end

位于机械臂之上，能够实现架空输电线路夹引流板发热处理作业功能的装置。

3.9 操控单元 Operation control unit

通过操作员与机器人间的信息交互，实现操作、控制机器人的装置。

3.10 遥控控制与人机交互 Tele operation control and human interaction

由操作员从本地连续控制远程机器人或机器人装置的作用力与运动，有目的地执行预期任务，同时机器人及其末端的运行状态可实时监测的系统。

3.11 半自主控制 Semi-autonomous control

在遥控控制下，基于当前状态和感知信息，由操控者、机器人共同合作控制，有目的地执行预期任务。

3.12 自主控制 Autonomous control

在遥控控制下，基于当前状态和感知信息，无人为干预条件下，有目的地执行预期任务。

4 分类和型号编码

4.1 分类

4.1.1 按控制方式可分为：

- a) 半自主控制；
- b) 全自主控制。

4.1.2 按通信方式可分为：

- a) 有线通信；

- b) 无线通信;
- c) 有线无线兼备通信。

4.2 型号编码

引流板发热处理机器人型号编码由企业代号、名称代号、行业代号、空间代号、运动方式代号、功能代号、设计代号组成，编码规则符合 GB/T36321 的规定。设计代号由产品特征代号和设计顺序代号组成，由企业自定义。型号编码结构见图 1。

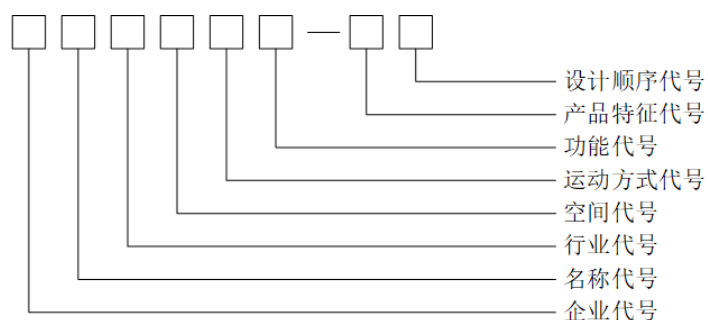


图1 型号编码结构

5 技术要求

5.1 基本要求

引流板发热处理机器人的基本功能配置应符合表 1 规定。

表 1 基本功能配置

序号	功能	单导线	多分裂导线
1	移动	▲	▲
2	控制	▲	▲
3	螺栓紧固	▲	▲
4	通信	▲	▲
5	安全保护	操作安全	▲
6		异常报警	▲
7	环境适应性	耐温、耐湿	▲
8		防尘、防水	▲
9		防跌落	▲
10	跨越防震锤	-	-
11	跨越间隔棒	-	-
12	持续工作时间	▲	▲
13	可靠性	▲	▲
注：▲表示必须具有此项功能，-表示该功能非必须			

5.2 外观和结构

机器人外观和结构应符合：

- a) 机器人表面应无裂纹、无明显的凹陷和变形，不应存在其他有损结构强度的质量缺陷；
- b) 机器人机箱、机械臂、末端装置等金属零件不应有锈蚀；
- c) 机器人所有连接件、紧固件均应有防松防脱落措施；

d) 机器人高空作业端重量均不大于 45kg。

5.3 移动性能

a) 机器人能够在相应电压等级的高压架空输电线路运动。

b) 机器人能够适应相应电压等级的高压架空输电线路。

c) 机器人能够在地面基站人-机交互界面的控制下，在架空输电线路实现正向行驶、逆向行驶、速度控制、引流板螺栓定位和处理等基本功能。此外，机器人可通过速度模式控制机器人的行走速度，同时，机器人还可进行行走距离精确定位，通过人-机交互界面位置环模式控制机器人行驶距离。

表 2 移动性能要求

移动性能参数	要求		
	I	II	III
坡度等级			
爬坡角度（最大）	不小于 10°	不小于 20°	不小于 30°
行走速度（最大）	不小于 0.6m/s	不小于 0.35m/s	不小于 0.2m/s
越障性能	能可靠越过防震锤、间隔棒		

注：机器人能在该坡度等级下停止、启动、前行、后退；

5.4 控制性能

5.4.1 机器人动作须与操作指令一致，响应速度快，延迟时间应小于 0.2s。

5.4.2 机器人在架空导线上的运行状态及视频图像信息应能够实时回传至控制终端。

5.4.3 机器人所有操作指令应具有互锁能力。

5.4.4 机器人应同时具备遥控控制、半自主控制和全自主控制等多种控制方式。

a) 机器人可通过遥控控制，完成机器人移动及作业全过程。

b) 机器人可通过半自助控制方式，进行人机协作，以遥控为主，机器人实时反馈信息为辅完成作业全过程。

c) 机器人可自行进行目标判定，自主实现作业功能。

5.5 作业性能

5.5.1 引流板发热处理机器人

引流板发热处理机器人作业性能应满足如下要求：

a) 机器人作业系统（机械臂或其他作业机构）自由度应大于等于 4；

b) 应能实时检测并定位到耐张线夹引流板螺栓，准确度应大于 80%；

c) 应能通过半自主或全自主遥控控制模式，实现作业末端对引流板螺栓的定位与对接控制；

d) 应能提供 80NM 及以上拧紧力矩使得螺栓拧紧。

5.6 通信性能

5.6.1 应具有数据、图像传输能力。

5.6.2 采用无线通信时，空旷无遮挡条件下，通信距离应大于 500m。在带电作业环境下，通讯信号稳定，控制信息传递没有阻滞、断线情况，视频图像清晰，能够满足机器人作业要求以及无异常情况发生。

5.6.3 在带电作业环境下，通讯距离 500m 时通讯信号延迟时间应小于 0.2s。

5.7 安全保护性能

5.7.1 机器人本体和操控单元控制器的安装和接线应符合 GB50171 的规定。

5.7.2 机器人本体和操控单元控制器的技术特性应符合 GB/T7251.8—2005 中 5.2、5.4、5.5 的规定。

5.7.3 机器人应具有急停按钮，应符合 GB/T16754—2008 中 4.4 规定的要求。

5.7.4 机器人机箱电源电路与壳体之间应绝缘，绝缘电阻应不低于 $2M\Omega$ 。

5.7.5 机器人应具有防坠落功能。

5.8 环境适应性

5.8.1 在表 3 耐温耐湿环境条件下使用时，应能保持正常。

表 3 耐温耐湿要求

作业条件	工作条件		
	I	II	III
工作温度	$0^{\circ}\text{C}\sim+40^{\circ}\text{C}$	$-20^{\circ}\text{C}\sim+55^{\circ}\text{C}$	$-50^{\circ}\text{C}\sim+85^{\circ}\text{C}$
环境湿度	0%~90%		
适应电压等级	110kV	220kV	500kV

5.8.2 防尘防水防护等级不低于 IP54。

5.8.3 风速 10m/s 时，试验 2min，机器人应能正常工作；风速 20m/s 时，试验时间 2min，机器人不应发生坠落。

5.9 持续工作

无外接动力源时，机器人连续工作时间应不小于 1h。

5.10 可靠性要求

单台设备无故障工作时间应不小于 72h，单台设备修复时间应不大于 1h。

5.11 电磁兼容要求

5.11.1 静电放电抗扰度

应能承受 GB/T 17626.2-2018 中第 5 章规定的试验等级为 4 级的静电放电抗扰度试验。

5.11.2 射频电磁场辐射抗扰度

应能承受 GB/T 17626.3-2016 中 5.1 规定的试验等级为 3 级的射频电磁场辐射抗扰度试验。

5.11.3 浪涌(冲击)抗扰度

应能承受 GB/T 17626.5-2008 中第 5 章规定的试验等级为 4 级的开路试验电压 4kV 浪涌(冲击)抗扰度试验。

5.11.4 工频磁场抗扰度

应能承受 GB/T17626.8-2006 中第 5 章规定的稳定持续磁场试验等级为 5 级、1s~3s 短时试验等级为 5 级的工频磁场抗扰度试验。

5.11.5 脉冲磁场抗扰度

应能承受 GB/T17626.9-2011 中第 5 章规定的试验等级为 5 级的脉冲磁场强度 1000A/m(峰值)抗扰度试验。

5.12 紧固扭矩要求

螺栓应逐个紧固，螺栓紧固扭矩值应大于表 4 的规定。

表 4

螺栓规格	强度等级	紧固扭矩
M16	4.8 级	80N. m
	6.8 级	120N. m
M20	4.8 级	100N. m

	6.8 级	170N. m
M24	4.8 级	250N. m
	6.8 级	300N. m

6 试验方法

6.1 外观和结构试验

应在常规环境条件下，观察检验处于初始状态的机器人。

6.2 移动性能试验

将机器人置于高压架空输电试验线路之上，通过地面人机交互系统对机器人发送运动控制命令，测试前进、后退、加速、减速等移动性能以及机器人的位置环定位精度、速度控制、拧紧力矩大小控制性能。

6.3 控制性能试验

6.3.1 按钮功能检查

机器人本体、操控单元按钮开关应布局合理、操作方便。全部按钮开关动作须灵活可靠、能正确完成按钮的指令功能。

6.3.2 显示检查

机器人电源视检按钮、指示灯颜色应符合 GB/T4025—2010 中 4.2.1.1 的规定，功能应正常。

6.3.3 动作检查

检查：通过操控单元发送所有动作指令，检查机器人动作是否正确，检查全部联锁功能。

试验：延迟时间采用往返延迟测量方法：操控单元发送指令后开始计时，机器人接收到指令后，须立即发送应答数据；操控单元接收到应答数据后，再次发送指令，重复试验 1000 次后停止计时，取计时时间间隔的千分之一为延迟时间。

6.4 作业性能试验

6.4.1 人机交互控制试验

通过人机交互控制，由地面基站向线上机器人发送控制命令，观察机器人响应命令的实时性，同时观察视频图像信息传输的稳定性和流畅性。

6.4.2 视觉检测试验

通过机器人机器视觉系统检测机器人对于引流板上螺栓的自主识别与定位能力，由地面基站发送自主螺栓识别与对接命令，观察机器人的响应情况。

6.5 通信性能试验

6.5.1 机器人传输数据和图像功能试验

操控单元与测试目标的无遮挡距离不小于 500m。测试过程中，机器人沿测试线路移动，顺次在 4 个测试点处停留，搜索到警示标志后停止。要求在 4 个测试点处，操控单元能够呈现警示标志影像及声音。

6.6 安全保护性能试验

6.6.1 视检控制系统的安装、接线，判断试验结果是否符合 GB50171 的规定。

6.6.2 按照 GB/T7251.8—2005 中第 7 章的规定对机器人本体和操控单元控制器进行试验。

6.6.3 对急停按钮功能实时性进行试验，按下急停按钮，检验机器人动力电源是否实时切断。

6.6.4 绝缘电阻按照 GB5226.1—2008 中 18.3 的规定要求进行。

6.6.5 耐跌落试验按照 GB/T2423.7—2018 中 5.2 所述的方法 1 规定进行。

6.7 环境适应性试验

6.7.1 耐温耐湿环境试验按照 JB/T8896—1999 中 5.10 规定进行。

6.7.2 防尘防水试验按照 GB/T4208—2017 中 13.4、14.2.4 规定进行。

6.8 持续工作时间试验

由用户操控引流板发热处理机器人，在中途不补充电能的条件下，持续执行引流板发热处理作业 1h。

6.9 可靠性试验

按照技术规格书中的约定进行单台设备无故障工作时间、单台设备修复时间试验。

6.10 电磁兼容试验

6.10.1 静电放电抗扰度试验

按照《GB/T17626.2-2006 电磁兼容 试验和测量技术 静电放电抗扰度试验》中规定，进行静电放电抗扰度试验

6.10.2 射频电磁场辐射抗扰度试验

按照《GB/T 17626.3-2016 电磁兼容 试验和测量技术 射频电磁场辐射抗扰度试验》的试验规定，进行射频电磁场辐射抗扰度试验。

6.10.3 浪涌(冲击)抗扰度试验

按照《GB/T 17626.5-2008 电磁兼容 试验与测量技术 浪涌（冲击）抗扰度试验》试验规定，进行浪涌（冲击）抗扰度试验。

6.10.4 工频磁场抗扰度试验

按照《GB/T17626.8-2006 电磁兼容 试验和测量技术 工频磁场抗扰度试验》试验规定，进行工频磁场抗扰度试验。

6.10.5 脉冲磁场抗扰度试验

按照《GB/T17626.9-2011 电磁兼容 试验和测量技术 脉冲磁场抗扰度试验》试验规定，进行脉冲磁场抗扰度试验

6.11 螺栓松紧功能试验

试验方法参照 GB/T22677 中 6.3 规定的方法进行，试验结果应符合本标准 5.12 的规定。

7 检验规则

7.1 检验分类

7.1.1 产品检验分为型式试验、出厂试验和验收试验。检验项目需按照 7.2 规定的项目进行，检验结束，均应完整保存测试记录或提交测试报告。

7.2 检测项目

电磁兼容试验；

电磁兼容试验		
工频磁场抗扰度试验	静电放电抗扰度试验	射频电磁场抗扰度实验

a) 工频磁场抗扰度试验；

- b) 静电放电抗扰度试验
- c) 射频电磁场抗扰度实验;

环境性试验:

环境性试验			
耐温耐湿试验	防尘防水试验	防跌落试验	防震试验

- a) 耐温耐湿试验;
- b) 防尘防水试验;
- c) 防跌落试验;
- d) 防震试验。

功能性试验:

功能性试验			
控制系统试验	操作系统试验	机器人动作精度试验	机器人动作重复性试验

- a) 控制系统试验;
- b) 操作系统试验;
- c) 机器人动作精度试验;
- d) 机器人动作重复性试验。

7.3 型式试验

有下列情况之一时, 应进行型式试验:

- a) 新产品或老产品转厂生产的试制定型鉴定时;
- b) 已定型的产品, 如设计、关键工艺、材料有较大改变, 可能影响产品性能时;
- c) 正常生产的产品, 每隔 3 年或累计台数大于 50 台时;
- d) 产品停产 3 年恢复生产时;
- e) 出厂检验结果与上次型式检验有较大差异时;
- f) 国家市场监督管理总局提出要求时。

7.4 出厂试验

出厂试验内容包括:

- a) 每台产品均应按照 7.2 所规定项目进行出厂检验, 经确认合格后方可出厂, 并应具备合格证明书;
- b) 质量证明文件;
- c) 产品说明书;
- d) 产品安装图、接线图及原理图;
- e) 出货清单。

7.5 验收试验

性能及功能指标实验应按照 7.2 所规定项目逐一进行测试。

7.6 型式试验要求

7.6.1 进行型式试验的机器人, 应是出厂检验合格的产品, 受检台数由产品标准规定。

7.6.2 型式试验由制造单位的质量检验部门负责实施。

7.6.3 试验中任一项目不符合要求或出现故障时, 应查明原因, 进行返修。经修复后, 对该项目重新进行检验。

7.6.4 试验后出具型式检验报告。

7.7 出厂检验要求

7.7.1 每台机器人都应进行出厂检验，并由制造单位的质量检验部门负责实施。

7.7.2 出厂检验项目全部检验合格后，出具产品合格证。

7.7.3 检验中出现某项目不符合要求或发生故障时，应查明原因，进行返修，对该项重新检验。在重新检验中，该项目再次出现不符合要求或发生故障时，则该产品被判为不合格。

7.8 验收试验要求

7.8.1 新开发的机器人样机和试产的第一批机中抽取样机需做例行试验。

7.8.2 对于不符合要求的机器人，针对不良项目安排做例行试验。

7.8.3 如试验不合格，由开发、工程部分析原因，加以改进，将问题解决后，再行试验。新开发的机器人只有通过例行试验才能投入生产。

8 标志、使用说明书、包装、运输、贮存

8.1 标志

引流板发热处理机器人应有永久性标签，标签上应包括：产品名称、型号编码、电源额定电压和功率、生产编号、生产日期、制造单位名称、制造单位地址等。

8.2 使用说明书

使用说明书按 GB/T9969 的规定编写。

8.3 包装

8.3.1 包装箱应选用轻质材料，符合 GB/T13384 的规定，耐振、耐摔。

8.3.2 包装标志应符合 GB/T191 中的规定。

8.3.3 包装箱内用衬垫定位，机器人不应串动、碰撞。

8.3.4 包装箱应防尘、防雨。

8.3.5 包装箱内应附装箱清单、产品合格证、技术规格书、使用说明书、备件及专用工具。

8.4 运输

运输、装卸时应小心轻放，严禁抛掷和碰撞，防止剧烈撞击、振动；避免雨雪淋。

8.5 贮存

8.5.1 应存放在室内或能避雨、雪、风、沙的干燥场所，环境温度为-10℃~+50℃，相对湿度应小于80%。

8.5.2 不应与腐蚀性物品放在一起。