

团 体 标 准

T/GSEE 13-2024

架空导线绝缘包覆带电作业机器人技术规范

Technical Specifications for Overhead wire insulation covered live-working Robot

2024 - 10 - 22 发布

2024 - 10 - 22 实施

广东省电机工程学会 发 布

目 次

前 言 II

1 范围 3

2 规范性引用文件 3

3 术语和定义 3

4 系统组成 4

5 技术要求 5

6 试验规则 9

7 标志、包装、运输、贮存 10

前 言

为规范架空导线绝缘包覆带电作业机器人技术要求，依据国家和行业有关标准、规程和规范，并按照GB/T1.1-2020《标准化工作导则第1部分：标准化文件的结构和起草规则》特制定本标准。

本文件由南方电网电力科技股份有限公司提出并解释。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别专利的责任。

本文件由广东省电机工程学会归口。

本文件起草单位：南方电网电力科技股份有限公司、盛天智能机器人(广东)有限责任公司、南方电网人工智能科技有限公司、江苏宏源电气有限公司、深圳大学、广东联航智能科技有限公司、广州番禺电缆集团有限公司、广州力泰能源技术有限公司、广州勇艺邦电子科技有限公司、盛天浩克智能科技(江苏)有限公司、广东景呈电力设备有限公司、中国质量认证中心有限公司、广东中质检测技术有限公司、德丰电创科技股份有限公司、广东德远科技股份有限公司、海鸿电气有限公司、广东必达电器有限公司、广东中鹏电气有限公司、广东能建电力设备厂有限公司、重庆科宝电缆股份有限公司、威凯检测技术有限公司、达测科技(广州)股份有限公司、电老虎(广东)技术有限公司、中山市宝利金电子有限公司、深圳市光辉电器实业有限公司、广东明阳电气股份有限公司、广东中字电气有限公司、广东珠江开关有限公司、广州市安固信息科技有限公司、众源科技(广东)股份有限公司、广东联德检测技术服务有限公司、广东阳辉明电气设备有限公司、揭阳市氮肥厂、深圳市灿阳电气设备有限公司、广东中认华南检测技术有限公司。

本文件主要起草人：钟力强、高垣照、孙宏棣、汤水成、张翔、李岩山、张淼、胡超强、宋晖、李孔形、黄建、黄程章、杜明慧、李永广、欧阳慧、肖江村、张惠芳、杨斌、李翔、张小明、王靖龙、许海超、张杰锋、宋丙辉、洪英鑫、夏世全、林育铭、黄修作、陈飞虎、刘跃占、蔡志军、林俊容、王富忠、郭晨曦、彭青、甘甲林、邹一、杨熙冲、梁羽、曾鲲鹏、陈锐涛、陈学燕、朱杰斌、吴盛钦、彭越、凌剑雄、吴海中、宾海东、刘祥鹏、曹武涛。

本文件是首次制定。

架空导线绝缘包覆带电作业机器人技术规范

1 范围

本文件规定了架空导线绝缘包覆带电作业机器人产品的功能配置、技术参数试验方法、使用规范以及配用的绝缘材料技术要求等，本机器人适用于10~35kV电网架空裸导线绝缘包覆带电作业。

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。

GB/T191 包装储运图示标志：

GB/T 4208 外壳防护等级(IP代码)

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 电工电子产品基本环境试验规程 试验Ca：恒定湿热试验方法

GB/T 2423.4 电工电子产品基本环境试验规程 试验Db：交变湿热试验方法

GB/T 12706.3 额定电压1kV（Um=1.2kV）到35kV（Um=40.5kV）挤包绝缘电力电缆及附件 第3部分：额定电压35kV（Um=40.5kV）电缆

GB/T 14049 额定电压10kV架空绝缘电缆

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 17626.8 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

3 术语和定义

3.1 架空导线绝缘包覆（Overhead wire insulation covering）

采用固态绝缘方式对配电网10~35kV架空裸导线进行包覆。

3.2 固态绝缘包覆（Solid insulation cladding）

采用固态绝缘材料对架空裸导线进行包覆的方式。

3.3 架空导线绝缘包覆带电作业机器人（Overhead wire insulation covered live-working robot）

具有在带电架空导线上包覆绝缘材料的自动作业设备。

3.4 高分子绝缘材料（Polymer insulation coating materials）

采用高分子技术制作而成的固态带状绝缘包覆材料，材料具备良好的抗老化能力，绝缘性能优异，防腐性能好，包覆后成型时间短。

3.5 远程作业 (Remote work)

在规定可作业导线区域段内，以架空导线档距为作业距离标准，不同位置使用操控端操控机器人，使其可执行在架空导线上进行上下线、线上行走等操控命令，并准确响应。

3.6 等电位耐压能力 (Equipotential voltage withstand capability)

机器人放置于工作电压环境，行走轮与带电导体直接接触，断开和连接测试电压，机器人可正确响应的能力。

4 系统组成

架空导线绝缘包覆带电作业机器人应包括升降/行走机构、绝缘包覆机构、图像视觉模块、智能控制终端、远程通讯组件、高分子绝缘材料等。架空导线绝缘包覆带电作业机器人组成如图 1 所示：

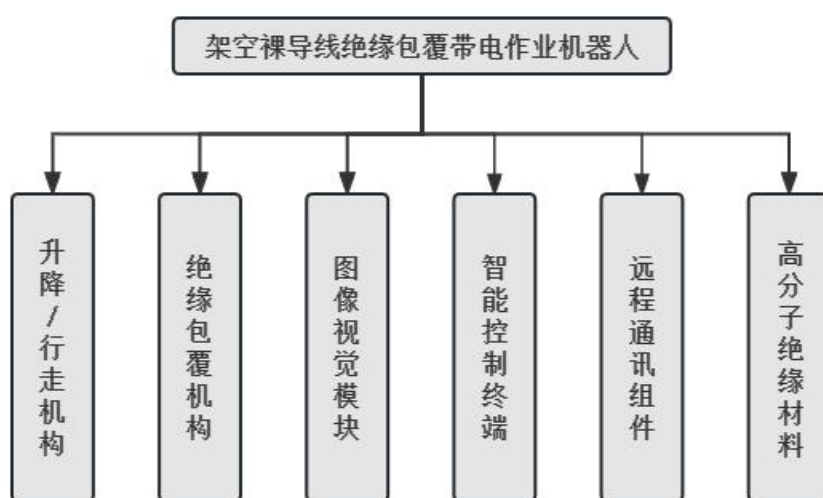


图 1 架空导线绝缘包覆带电作业机器人组成

4.1 升降/行走机构

机器人在带电导线上可以进行自升降、行走：

- 1) 自带绝缘挂载结构，应支持使用绝缘杆或无人机等方式挂载于导线上；
- 2) 自带升级机构，应可通过控制终端操作机器人进行上升或下降；
- 3) 自带线上行走机构，应可通过控制终端控制机器人在导线上前后行走。

4.2 绝缘包覆机构

机器人具有线上带电包覆绝缘材料的功能：

- 1) 包覆机构应可对导线进行匹配；
- 2) 自带包覆机构，应可通过控制终端操作机器人进行自动包覆作业；
- 3) 应可通过控制终端操作机器人终止包覆作业。

4.3 图像视觉模块

机器人具有实时图像监控功能：

- 1) 图像视觉模块应可对导线进行观测、拍摄；
- 2) 图像视觉模块应可对机器人的包覆作业过程进行实时观测、拍摄。

4.4 智能控制终端

机器人具有智能控制功能：

- 1) 控制终端应可对机器人进行本体状态显示，如：电量、作业过程视频等；
- 2) 控制终端应具有对机器人实现上升、下降、行走、包覆作业等控制功能，并可进行人机互动。

4.5 远程通讯组件

机器人具有远程通讯功能：

- 1) 远程通讯宜采用 4G、5G 等无线通讯方式；
- 2) 机器人的本体状态数据、作业过程视频等通过组件实现远程通讯，并在控制终端上呈现；
- 3) 机器人和控制终端通过远程通讯组件实现操作指令的传输。

4.6 高分子绝缘材料

机器人可配套使用绝缘材料进行导线的包覆。

5 技术要求

5.1 使用条件

机器人在以下环境条件下应能正常工作：

- 1) 环境温度： $-10^{\circ}\text{C}\sim 45^{\circ}\text{C}$ ；
- 2) 相对湿度：5%~99%；
- 3) 风力：不大于5级。

5.2 机器人结构外观要求

机器人结构外观应满足以下要求：

- 1) 整机外观整洁，连接线应固定牢靠，布局合理，不外露；整机结构坚固，所有连接件、紧固件应有防松措施；电动机、支架等可更换部件应有明显的标识；
- 2) 外壳表面应有保护涂层或防腐设计，应采用阻燃材料，外表应光洁、均匀，不应有伤痕、毛刺等其他缺陷，标志清晰；
- 3) 内部电气线路应排列整齐、固定牢靠，便于安装、维护，并用颜色和标志加以区分。

5.3 机器人基本功能

5.3.1 机器人自检功能

机器人应具备自检功能，内容包括电源、驱动、通信和检测设备等部件的工作状态，发生异常时应能正确显示，并能上传故障信息。

5.3.2 运动功能

机器人本体应具备沿轨道平移和垂直升降的功能，应能通过指令对机器人进行精确运动控制。

5.3.3 防碰撞功能

机器人应具有移动过程遇障碍物自动停止功能。

5.3.4 自动上升功能

机器人的绝缘挂载机构可采用绝缘杆或无人机等方式挂接于裸导线上后，按控制终端的上升键，机器人应能自动上升至绝缘包覆工作区域。

5.3.5 绝缘包覆材料安装功能

可根据所测量裸导线的截面参数，选择相对应的绝缘包覆材料安装在包覆机器人中。

5.3.6 绝缘包覆功能

操作员使用控制终端按工作键，机器人应能自动包覆绝缘材料。

5.3.7 自动下降功能

作业完成后，按控制终端下降键，机器人应能自动下降至地面。

5.3.8 可见光图像识别功能

应能对线缆外观、工作环境等进行图像、视频采集并清晰地识别出导线表面情况及作业后的效果。

5.3.9 缺陷自动分析功能

应能够对采集到的设备图像进行分析，自动识别作业过程存在的异常情况，并告警提示。

5.3.10 控制终端功能

5.3.10.1 控制终端通讯功能

控制终端与机器人间宜采用 4G、5G 等无线通讯方式，具备图像传输、远程遥控功能。

5.3.10.2 控制终端基本功能

控制终端具有机器人上升、下降、行走、绝缘包覆等控制功能，并可进行人机互动。

5.3.10.3 报警功能

当机器人检测到异常时，应立即发出报警信息，并伴有声光提示，支持人工确认报警。

5.4 性能要求

5.4.1 机器人技术参数

- 1) 机器人总重: $\leq 35\text{kg}$;
- 2) 单次作业距离: $\geq 50\text{m}$;
- 3) 自动包覆作业速度: $> 0.8\text{m/min}$;
- 4) 续航时间: $\geq 2\text{h}$;
- 5) 最大爬坡角度: $\geq 30^\circ$;
- 6) 可实现自拉升上下线;
- 7) 适配控制终端通讯距离: $\geq 300\text{m}$;
- 8) 适用裸导线规格: LGJ-50~LGJ-240。

5.4.2 外壳防护性能要求

机器人的外壳防护性能应符合 GB/T4208-2017 中 IP4X 的要求。

5.4.3 环境适应试验要求

5.4.3.1 低温试验

按照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》进行低温试验，试验结果满足5.1使用条件要求。

5.4.3.2 高温试验

按照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》进行高温试验，试验结果满足5.1使用条件要求。

5.4.3.3 恒定湿热试验

按照GB/T 2423.3《电工电子产品基本环境试验规程 试验 Ca： 恒定湿热试验方法》进行恒定湿热试验，试验结果满足5.1使用条件要求。

5.4.3.4 交变湿热试验

按照GB/T 2423.4《电工电子产品基本环境试验规程 试验 Db： 交变湿热试验方法》进行交变湿热试验，试验结果满足5.1使用条件要求。

5.4.4 电磁兼容试验要求

5.4.4.1 静电放电抗扰度

试验按GB/T 17626.2《电磁兼容试验和测量技术 静电放电抗扰度试验》表1及附录A选取，试验结果满足GB/T 17626.2第9条款要求。

5.4.4.2 射频电磁场辐射抗扰度

试验按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》表1选取，试验结果满足GB/T 17626.3第9条款要求。

5.4.4.3 工频磁场抗扰度

试验等级按GB/T 17626.8《电磁兼容试验和测量技术 工频磁场抗扰度试验》表1、表2及附录C选取，试验结果满足GB/T 17626.8第9条款要求。

5.4.4.4 脉冲磁场抗扰度

试验等级按GB/T 17626.9《电磁兼容试验和测量技术 脉冲磁场抗扰度试验》表1、附录C及附录D选取，试验结果满足GB/T 17626.9第9条款要求。

5.4.5 机器人性能试验要求

5.4.5.1 远程控制试验

1) 检测条件和检测步骤：

- a) 打开机器人电源，并打开控制终端；
- b) 检查机器人状态；
- c) 使用控制终端操控机器人，使其执行操控命令，判断机器人是否准确执行现场操作。

2) 技术要求：

机器人能接收控制终端指令且准确执行操作。

5.4.5.2 视频传输及切换摄像头试验

1) 检测条件和检测步骤：

- a) 打开机器人电源，并打开控制终端；
- b) 查看机器人指示灯和控制终端界面视频，检查机器人视频传输是否正常；
- c) 切出程序后再切入程序，观察视频是否正常传输；
- d) 开关控制终端重新连接摄像头，观察视频是否正常传输。

2) 技术要求：

开关机器人、开关控制终端、切换摄像头后，控制终端与机器人视频传输可正常连接。

5.4.5.3 远程作业试验

1) 检测条件和检测步骤：

a) 在试验地面上以机器人为圆心向外拓展半径为300m的圆形空旷环境作为测量区域；

b) 在 300m区域内不同位置使用操控端操控机器人，使其执行操控命令，判断机器人是否准确执行现场操作。

2) 技术要求：

机器人准确执行远程操作指令，动作指令响应无明显延迟且通讯距离应不小于300m，视频图像清晰流畅通信距离不小于100m。

5.4.5.4 通讯性能试验

1) 检测条件和检测步骤：

a) 打开机器人电源，并打开控制终端；

b) 查看机器人指示灯和控制终端界面数据，检查机器人数据是否正常传输；

c) 操作控制终端进行遥控自检操作，观察机器人是否响应，确认遥控命令是否正常传输；

d) 开关控制终端重新连接机器人，观察数据及遥控命令是否正常传输。

2) 技术要求：

切换程序、开关控制终端后，控制终端与机器人数据及命令信号可正常连接。

5.4.5.5 机器人续航能力试验

1) 检测条件和检测步骤：

机器人电量满电时进行测试，地面工作后开始计时，机器人保持连续工作状态，直至行走轮不能转动或工作状态异常，采用秒表记录时间。

2) 技术要求：

机器人续航能力 $\geq 2h$ 。

5.4.5.6 控制终端断电重连试验

1) 检测条件和检测步骤：

机器人和控制终端在正常工作的情况下，关闭控制终端电源后重新打开控制终端，判断是否可以正常操作机器人。

2) 技术要求：

重新打开控制终端后，通讯正常且可正常操作机器人。

5.4.5.7 机器人作业有效率试验

1) 检测条件和检测步骤：

a) 安装好料盘并检查机器人无误后将机器人上线，开始工作；

b) 判断包覆作业是否成功；

c) 以上步骤重复50次，记录机器人包覆作业成功次数，计算作业成功率。

机器人上线后，可顺利完成包覆作业、回至地面等操作，中途无其他辅助外力介入。作业期间发生上下线、包覆作业失败及其他无法继续作业故障，记为失败。

2) 技术要求：机器人作业有效率 $\geq 98\%$ 。

5.4.5.8 机器人等电位耐压能力试验

1) 检测条件和检测步骤：

a) 断开测试电压，机器人放置于额定工作电压环境，行走轮与带电导体直接接触；

b) 连接测试电压；

c) 测试人员对机器人进行控制测试；

d) 断开测试电压，取出机器人。

2) 技术要求：

机器人应正确响应测试人员遥控指令，各部件无烧损、无放电。

5.4.6 机器人对材料的适用性

机器人配套使用的高分子绝缘材料性能应满足表3要求：

表3 高分子绝缘材料性能要求

序号	性能项	单位	指标	备注
1	电气强度	kV/mm	≥ 20	10kV 材料
2	电气强度	kV/mm	≥ 50	35kV 材料
3	材料厚度	mm	< 1.5	10kV 材料
4	材料厚度	mm	< 3	35kV 材料
5	邵氏硬度	Shore A	≥ 70	
6	拉伸强度	MPa	≥ 4.0	
7	阻燃性能试验	-	V-0 或 FV-0	

6 试验规则

6.1 一般规定

产品试验分为型式试验、出厂试验、验收试验三种。型式试验、出厂试验的试验项目应按表2的规定进行，验收试验的试验项目应按表2的规定进行。试验结束，均应保存完整测试记录或提交试验报告。

表 2 试验项目

序号	试验项目		型式试验	出厂试验	验收试验
绝缘包覆带电作业机器人试验					
1	结构外观试验		√	√	√
2	环境适应要求	低温	—	—	—
3		高温	—	—	—
4		恒定湿热	—	—	—
5		交变湿热	—	—	—
6	远程上下线，线上行走试验		√	—	√
7	视频传输及切换摄像头试验		√	—	√
8	远程作业试验		√	—	√
9	通讯性能试验		√	—	√
10	机器人续航能力试验		√	—	√
11	控制终端断电重连试验		√	—	√
12	机器人作业有效率试验		√	√	—
13	机器人等电位耐压能力试验		√	—	√
14	电磁兼容试验	静电放电抗扰度	√	—	—

15		射频电磁场辐射抗扰度	√	—	—
16		工频磁场抗扰度	√	—	—
17		脉冲磁场抗扰度	√	—	—

6.2 型式试验

6.2.1 型式试验的项目应包括表2所列全部项目，所检项目全部合格，判型式试验合格，否则判型式试验不合格。

6.2.2 有下列情况之一时，应进行型式试验：

- 1) 绝缘包覆带电作业机器人试制定型鉴定和老产品转厂生产；
- 2) 正式生产后, 每5年应进行一次；
- 3) 正式生产后, 如产品结构、材料、工艺等有较大改变，可能影响产品性能时；
- 4) 产品连续停产一年及以上后，恢复生产时；
- 5) 出厂试验结果与上次型式试验有较大差异时；
- 6) 国家质量监督机构或主管部门提出进行型式试验要求时。

经型式试验后的产品，应印有型式试验的标记，不做正品出厂。

6.2.3 型式试验由被认可的独立试验机构进行，对个别特殊的试验项目，如果试验机构缺少所需的试验设备，可在独立试验机构或认证机构的监督下使用制造厂的试验设备进行。

6.2.4 型式试验的项目应包括表2所列全部项目，所检项目全部合格，判型式试验合格，否则判型式试验不合格。

6.2.5 机器人投入正式生产前应进行型式试验，并取得型式试验合格报告。

6.3 出厂试验

出厂试验应满足以下要求：

- 1) 出厂试验由制造单位质量试验部门负责进行；
- 2) 每个机器人产品都应通过出厂试验，并给出产品出厂试验合格证；
- 3) 试验中出现某项不符合要求或故障时，需查明原因, 进行返修，并对该项重新试验。在重新试验中，如该项再次出现不符合要求或故障时，则该机器人产品被判定为不合格；
- 4) 出厂试验项目按表2所列项目进行，所检项目全部合格，判出厂试验合格，否则判出厂试验不合格。

6.4 验收试验

6.4.1 机器人产品交付时, 应根据所需功能进行验收试验。

6.4.2 验收试验的项目按表2所列项目进行，所检项目全部合格，判验收试验合格，否则判验收试验不合格。

6.4.3 验收资料清单见附录A中的表 A. 1。

7 标志、包装、运输、贮存

7.1 标志

7.1.1 铭牌

每台装置及主要部件应有明晰的铭牌, 铭牌内容如下：

- 1) 装置型号；
- 2) 产品(装置及部件)全称；

- 3) 制造厂全称及商标;
- 4) 额定参数;
- 5) 出厂日期;
- 6) 出厂编号。

7.1.2 包装标志

包装箱外表面上,应按 GB/T 191的规定做图示标注。

7.2 包装

7.2.1 产品包装前的检查

产品包装前应进行以下检查:

- 1) 产品的合格证书、接线配置图、外形图、安装尺寸基础图,产品的安装、运行、维护、修理及使用说明书,易损件的清单、工厂试验报告、备品、备件齐全;
- 2) 产品外观无损伤;
- 3) 产品表面无灰尘。

7.2.2 包装的一般要求

产品应有内包装和外包装,包装应有防尘、防雨、防水、防潮、防震等措施。

7.3 运输

产品应适用于陆运、空运、水(海)运,按运输装卸包装箱上的标准进行操作;在运输中应直立放置,不许倒置、侧放。

7.4 贮存

包装好的装置应贮存在环境温度为 $-10^{\circ}\text{C}\sim+45^{\circ}\text{C}$ 、相对湿度不大于95%的库房内,室内无酸碱、盐,无腐蚀性、爆炸性气体,不受灰尘、雨、雪的侵蚀。

附录A
(资料性)
架空导线绝缘包覆带电作业机器人资料清单

架空导线绝缘包覆带电作业机器人资料清单见表A. 1。

表A. 1 架空导线绝缘包覆带电作业机器人资料清单

序号	资料名称	备注
1	装箱清单	
2	使用说明书	
3	出厂试验报告	
4	出厂合格证书	
5	安装图纸	