

# 《变电站带电拆接引流导线机器人通用技术条件》

## 编制说明（征求意见稿）

### 一、工作简况

#### 1.主要工作过程

前期调研阶段：2024年12月标准编制工作启动后，由湖南大学、广东电网有限责任公司电力科学研究院、广东电网有限责任公司肇庆供电局等单位牵头成立标准编写组，围绕变电站带电拆接引流导线作业需求、典型作业流程、设备构成、风险点和相关标准体系开展调研。编写组重点调研了母线侧刀闸、隔离开关等设备检修中引流导线拆接作业的典型工况，梳理了引流导线连接方式、线夹结构、作业空间、等电位作业和安全防护需求；同时调研了带电作业机器人、高空作业平台、绝缘臂架、末端执行器、遥操作、视觉识别、力反馈控制和电磁兼容防护等技术现状，并收集分析 GB/T 1.1—2020、GB/T 2900.55、GB/T 39586—2020、GB/T 9465—2018、GB/T 18037—2008、GB/T 16927.3—2010、GB/T 17626 系列、DL/T 876、DL/T 878 等相关标准，为标准编制提供依据。

标准立项阶段：2025年12月，向中国电工技术学会提交立项申请材料，经中国电工技术学会标准工作委员会专家组审议，多位专家对标准提案进行了函审评估并出具了修改意见。编写组根据专家意见和工作组意见对标准草案、立项申请书等文件进行了修改完善，标准获批立项。

编写研制阶段：2026年1月起，标准编写组根据立项评审专家及工作组意见和建议，进一步完善标准技术内容，形成标准征求意见稿。

#### 2.主要参与单位和工作组成员及其所做的工作

标准编写组在前期调研的基础上，系统梳理了变电站带电拆接引流导线机器人领域的技术现状和标准需求，通过对比分析确定了标准主要技术内容。由湖南大学、广东电网有限责任公司电力科学研究院和广东电网有限责任公司肇庆供电局牵头完成标准初稿编制，各参与单位根据分工负责收集相关资料、开展技术验证并提出修改建议。

主要参与单位及分工如下：

(1) 湖南大学：负责标准总体技术框架设计、标准草案编写、机器人协作控制、智能感知与试验方法研究，负责标准统稿和技术内容把关。

(2) 广东电网有限责任公司电力科学研究院：负责提出带电作业安全、等电位作业、绝缘防护、电磁兼容及现场应用需求，参与技术指标和试验验证方案制定。

(3) 广东电网有限责任公司肇庆供电局：负责提供变电站现场作业场景、典型设备结构和引流导线拆接作业流程，参与现场适用性分析和工程应用论证。

(4) 湖南中联重科智能高空作业机械有限公司：负责底盘移动机构、支腿稳定性、整机安全防护和制造要求等技术支持。

(5) 许继三铃专用汽车有限公司：负责绝缘臂架设计及制造相关技术支持，参与性能指标和试验方法论证。

(6) 厦门大学：负责机器人感知、智能控制和视觉定位等技术咨询，参与试验评价方法研究。

主要起草人：张小刚、李端姣、邸龙、张英、李哲、方遒、何家祺、黄汉生、黄乃为、袁小芳、高常青、陈芊宇、陈凯、李育、孙鹏程、李居义、王迎、刘鸿、伍旭翔、梁炳钧、吴思远、刘爽、李昌煜、岳晓、黎佳乐、夏天元、刘瞰东。

## 二、标准编制原则和主要内容

### 1. 标准编制原则

本标准按照 GB/T 1.1—2020《标准化工作导则 第1部分：标准化文件的结构与起草规则》的规定起草，遵循科学性、先进性、实用性原则，坚持以变电站带电拆接引流导线机器人的实际工程需求为导向。

在标准编制过程中，遵循以下原则：

(1) 规范性原则：严格按照 GB/T 1.1—2020 的要求进行标准文件的结构设计和内容组织，确保标准层次清晰、条款表述规范、技术要求明确、试验方法可操作。

(2) 协调性原则：充分考虑与 GB/T 2900.55《电工术语 带电作业》、GB/T 4208—2017《外壳防护等级（IP 代码）》、GB/T 9465—2018《高空作业车》、GB/T 18037—2008《带电作业工具基本技术要求与设计导则》、GB/T 16927.3—

2010《高电压试验技术 第3部分：现场试验的定义及要求》、GB/T 17626 系列电磁兼容标准、GB/T 39586—2020《电力机器人术语》等现有标准的协调衔接，避免重复和矛盾，在现有带电作业、电力机器人和高空作业装备标准体系中形成补充。

(3) 实用性原则：标准内容来源于变电站带电拆接引流导线作业的实际需求和项目工程实践，技术指标围绕机器人实际作业能力、安全防护能力和现场适应能力提出，确保标准具有可实施性和可验证性。

(4) 前瞻性原则：在规定机器人基本功能和基本性能要求的同时，兼顾带电作业机器人向智能化、协同化、少人化、自主化方向发展的趋势，为后续技术进步和标准修订预留空间。

## 2.标准主要内容

本标准分为8个章节和1个规范性附录：(1)范围；(2)规范性引用文件；(3)术语和定义；(4)系统组成；(5)技术要求；(6)试验方法；(7)试验规则；(8)产品要求；附录A 试验方法。主要内容如下：

**范围：**规定了本文件适用于变电站带电拆接引流导线机器人的设计、检测、使用和管理，明确了本标准的规范对象和应用边界。

**术语和定义：**在GB/T 2900.19、GB/T 2900.55、GB/T 39586—2020确定的术语基础上，结合变电站带电拆接引流导线机器人特点，定义了带电拆接、母线、引流导线、视觉识别、等电位连接、带电拆接引流导线消弧、末端执行器、力反馈控制、绝缘臂架、支腿、底盘移动机构、等电位作业平台等术语。

**系统组成：**规定机器人系统由机器人本体、控制系统、遥操系统等组成，必要时可包括辅助作业设备，明确底盘移动机构、绝缘臂架、等电位作业平台、支撑装置、控制系统和地面监控系统等基本组成。

**技术要求：**规定功能要求、性能要求、环境适应性和保护要求，包含遥操作、行进、升降、等电位连接、螺栓拆装、视觉识别、力反馈控制、消弧、安全监控，以及行走速度、续航时间、举升高度、平台稳定性、操作精度、防护等级和电磁兼容等指标。

**试验方法：**规定了功能试验、性能试验、环境适应性测试、安全监控与保护测试等内容，用于验证机器人是否满足技术要求。

试验规则：规定了试验项目、出厂试验和型式试验要求，明确机器人产品在交付前和定型验证时应开展的检验项目。

产品要求：规定了标志、包装、运输和贮存要求，用于保证产品交付、运输、存放和使用过程中的安全性、完整性和可追溯性。

附录 A 试验方法：作为规范性附录，对主要试验项目的试验条件、试验步骤、数据记录和结果判定方法进行细化。

### 3.解决的主要问题

(1) 变电站带电拆接引流导线机器人缺乏统一技术依据的问题。目前该类机器人仍处于研发示范和工程推广阶段，不同研制单位对系统组成、功能配置、性能指标、安全保护和试验方法的理解不完全一致。本标准通过规定术语定义、系统组成、技术要求、试验方法和试验规则，为该类机器人设计、制造、检测和使用提供统一依据。

(2) 带电拆接引流导线作业安全风险高的问题。传统人工带电拆接引流导线作业存在触电、高空坠落、电弧灼伤和误操作等风险。本标准通过规定等电位连接、绝缘臂架、安全监控、急停保护、消弧防护、电磁兼容和环境适应性等要求，提高机器人在高电压、强电磁、狭小空间环境下的安全可靠性能。

(3) 机器人功能与现场作业流程衔接不足的问题。带电拆接引流导线作业涉及移动、支撑、举升、定位、等电位连接、螺栓拆装、线夹处理、引流导线拆接和消弧防护等多个环节。本标准将作业流程转化为机器人功能要求和对应试验方法，保证功能设计与现场作业需求相匹配。

### 4.主要技术差异

本标准为首次制定的团体标准，无前版标准，不存在主要技术差异。本标准与现有相关标准的关系为互补关系：GB/T 39586—2020 侧重电力机器人术语体系，GB/T 9465—2018 侧重高空作业车的通用技术要求，GB/T 18037—2008 侧重带电作业工具的基本技术要求与设计原则，GB/T 16927.3—2010 侧重高电压现场试验的定义及要求，GB/T 17626 系列标准侧重电磁兼容试验和测量方法，GB/T 4208—2017 侧重外壳防护等级要求。本标准聚焦于变电站带电拆接引流导线机器人这一专用装备，重点规定其系统组成、功能要求、性能要求、环境适应性、

安全监控与保护要求、试验方法、试验规则和产品要求，填补了变电站带电拆接引流导线机器人通用技术条件方面的标准空白。

### 三、主要试验（或研制）情况

在标准编制过程中，编写组主要开展了以下试验验证工作：

（1）行进功能与底盘稳定性验证：对机器人样机开展了行驶性能验证。试验过程中，在平台载 250 kg 条件下，对机器人样机进行了 25%坡度前进上坡、后退上坡和驻坡制动试验，同时对最大行驶速度进行了测试。试验结果显示，样机在 25%坡道条件下能够完成前进上坡和后退上坡，驻坡制动过程中未发生溜坡，最大行驶速度达到 1 m/s。该结果表明，标准中关于额定行走速度、25%坡道行驶能力和坡道制动能力等指标具有试验依据。

（2）整机稳定性与作业平台稳定性验证：对已有样机试验开展了整机稳定性、平台下沉量、臂架挠度及偏摆量等测试，覆盖臂架前倾、后倾、侧倾和动态回转等典型工况。试验结果显示，各典型工况下样机未发生倾翻，在 250 kg 平台载荷条件下未出现明显平台下沉。

（3）绝缘臂架防护性能：已有样机绝缘臂架的绝缘长度为 3.1m，按照 GB/T 9465-2018 中 220 kV 电压等级下的相关规定进行场地布置，在 450 kV 下持续对绝缘臂架持续加压 1min，实验时无火花、飞弧或击穿，无明显发热现象；在 252 kV 下持续对绝缘臂架持续加压 1min，测量泄漏电流数值为 32.8  $\mu$ A 小于 GB/T 9465-2018 中规定的 200  $\mu$ A。为标准中有效绝缘长度要求及绝缘臂架防护试验方法的设置提供了真实试验依据。

（4）举升高度试验：对已有样机试验对工作特性曲线进行了测量，试验覆盖不同塔臂角度、主臂状态、臂架伸缩状态和多种平台载荷工况。试验结果显示，样机最大作业高度可达到约 11.146 m，大于标准中最大平台高度不小于 10 m 的要求。该结果为标准中举升高度指标及举升高度试验方法的设置提供真实试验依据。

（5）后续验证计划：在标准编制的试验验证与优化阶段，将依据标准草案在典型 110 kV~220 kV 变电站开展技术可行性及有效性验证，并在 1 座变电站实现带电作业示范应用，进一步验证和优化标准中的技术参数和性能指标。

试验验证结果表明，本标准规定的技术要求和试验方法能够覆盖变电站带电

拆接引流导线机器人主要功能、关键性能和安全保护需求，具有较好的工程适用性和可操作性。

#### 四、知识产权情况说明

本标准不涉及专利问题。

#### 五、预期达到的社会效益、对产业发展的作用等情况

(1) 推动变电站带电作业机器人装备产业化：本标准明确了变电站带电拆接引流导线机器人的系统组成、技术要求、试验方法和产品要求，有利于指导装备制造单位开展产品化设计、批量制造和标准化验收，推动科研样机向工程装备转化。

(2) 提高检修效率和供电连续性：传统母线侧设备检修往往受母线停电影响较大，检修组织复杂、协调成本高。应用带电拆接引流导线机器人后，可在保障安全的前提下完成引流导线拆接作业，减少停电检修需求，提高变电设备检修效率和供电连续性。

(3) 降低人工带电作业安全风险：通过机器人替代人工完成高风险带电作业，可减少作业人员直接暴露在高电压、高空和强电磁环境中的时间，降低触电、高空坠落、电弧灼伤和误操作风险。

(4) 降低运维综合成本：通过机器人完成带电拆接引流导线作业，可减少人工高空带电作业投入，降低作业培训、现场监护、停电协调和事故风险成本。同时，标准化的技术要求和试验方法可减少不同设备之间的适配成本和验收成本。

(5) 促进产业链协同发展：本标准可为机器人本体、高空作业装备、带电作业工具、视觉识别系统、传感器、检测机构和电网运维单位提供统一技术依据，有助于完善电力机器人和带电作业装备标准体系。

(6) 填补标准空白：目前，现行标准对带电作业、电力机器人、高空作业车、绝缘工具和电磁兼容等方面已有规定，但缺乏专门针对变电站带电拆接引流导线机器人通用技术条件。本标准填补了该细分领域标准空白，与现有标准形成互补，有助于完善电力机器人和带电作业装备标准体系。

## 六、与国际、国外对比情况

目前，国际上在带电作业、高空作业平台、工业机器人安全、移动机器人控制、电磁兼容和环境试验等方面已形成较多标准和工程经验，但专门针对“变电站带电拆接引流导线机器人”的统一技术标准较少。欧美等国家在变电设备带电更换和带电检修方面开展较早，但其技术路线、作业方式和装备形态与我国变电站设备布置、运行管理和作业安全要求存在差异。

国内在输电、配网带电作业机器人、变电站巡检机器人、绝缘斗臂车和智能运维装备方面已有一定研究和应用基础，但针对 110 kV 及以上变电站引流导线拆接作业的专用机器人装备仍处于研发和示范应用阶段。本标准结合我国变电站设备密集、作业空间受限、安全管理要求高等特点，对该类机器人的系统组成、作业功能、性能指标、安全防护和试验规则提出要求，具有较强的工程适用性和推广价值。

## 七、在标准体系中的位置，与现行相关法律、法规、规章及相关标准，特别是强制性标准的协调性

本标准与现行的相关法律、法规、规章与相关标准保持一致。

## 八、重大分歧意见的处理经过和依据

标准编制过程中广泛征集了专家意见，所有意见均按照标准编制程序进行了采纳，不存在重大分歧意见。

## 九、标准性质的建议说明

建议本团体标准的性质为推荐性团体标准。

## 十、贯彻标准的要求和措施建议

(1) 建议电网企业、供电单位和变电运维部门，按照本标准的技术要求开展变电站带电拆接引流导线机器人的选型、试点应用、验收和运行管理工作。

(2) 建议带电作业机器人、高空作业平台和电力专用装备制造企业，按照本标准规定的系统组成、功能要求、性能要求和产品要求开展产品开发、制造和出厂检验。

(3) 建议从事电力机器人、带电作业、智能感知、力反馈控制、绝缘防护和电磁兼容技术研究的科研院所和高校,按照本标准提供的技术框架和方法体系,开展相关技术创新和应用研究。

(4) 建议第三方检测与评估机构,按照本标准规定的试验项目、试验方法和判定要求,开展变电站带电拆接引流导线机器人的检测、评价和验收工作。

(6) 建议各实施单位在应用本标准时,结合自身变电站设备结构、作业流程、电压等级、现场环境和安全管理要求开展适应性分析,确保机器人系统满足实际作业需求。

## 十一、废止现行相关标准的建议

无。

## 十二、其他应予说明的事项

无。