

ICS 国际标准分类号
CCS 中国标准文献分类号



团 标 准

T/CES XXX-XXXX

0. 4kV 配网带电作业机器人技术规范

0. 4kV distribution network live work robot technical
specification

(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 次

前言	III
1 范围	1
2 规范性引用文件	1
3 术语和定义	1
4 机器人技术要求	2
4.1 机器人本体技术要求	2
4.2 专用末端作业工具性能指标	3
4.3 机器人安全功能性能技术要求	4
4.4 机器人电气性能要求	5
4.5 机器人作业功能要求	7
4.6 机器人环境适应性要求	8
4.7 机器人作业过程安全要求	9
4.8 绝缘承载平台要求	9
5 试验方法	11
5.1 机器人本体性能试验	11
5.2 绝缘性能试验	11
5.3 电气性能试验	14
5.4 作业功能试验	15
5.5 环境适应性试验	15
5.6 末端工具的试验要求	17
6 检验规则	17
6.1 出厂检验	17
6.2 型式检验（参照标准）	17
6.3 定期检验	18
7 标志、包装、运输和贮存	18
7.1 标志要求	18
7.2 包装要求	19
7.3 运输要求	19
7.4 贮存要求	19
7.5 安全注意事项	19
附录 A（资料性）机器人典型作业场景	20
附录 B（规范性）机器人维护与保养	21

T/CES XXX—XXXX

附录 C (规范性) 绝缘承载平台功能配置	23
参考文献	24

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》给出的规则起草。

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这些专利的责任。

本文件由中国电工技术学会提出。

本文件由中国电工技术学会标准工作委员会带电作业与智能运检工作组归口。

本文件起草单位：

本文件主要起草人：

本文件为首次发布。

0. 4kV 配网带电作业机器人技术规范

1 范围

本标准规定了 0. 4kV 配网带电作业机器人本体、末端作业工具、技术要求、试验方法、检验规则、标志、包装、运输及贮存的要求。

本标准适用于 0. 4kV 配网带电作业自主和人机协同机器人。

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/T 14284 《工业机器人 通用技术条件》
- GB/T 12642-2013 工业机器人性能规范及其试验方法
- GB/T 38871-2020 工业环境用移动操作臂复合机器人通用技术条件
- GB/T 14468-2006 工业机器人 机械接口
- GB/T 1182-1996 形状和位置公差通则、定义、符号和图样表示法
- GB/T 1800. 1~1800. 4 极限与配合基础
- GB/T 507 绝缘油 击穿电压测定法
- GB/T 2423. 1 电工电子产品环境试验 第 2 部分（在试验要求中说明借用内容）
- GB/T2900. 55 电工术语 带电作业
- GB 4208 外壳防护等级
- GB/T 12643 机器人与机器人装备 词汇
- GB/T 14286 带电作业工具设备术语
- GB/T 17618 信息技术设备 抗扰度 限值和测量方法
- GB/T 17626. 2 电磁兼容 试验和测量技术（合并，并可在试验要求中说明借用哪一条内容）
- GB/T 18857 配电线路带电作业技术导则
- GB/T 37556 10kV 带电作业用绝缘斗臂车
- GB/T 4857 运输包装件基本试验标准
- DL/T2318-2021 配电带电作业机器人
- T/CEC 393-2020 配网带电作业机器人通用技术条件
- DL/T 853 带电作业用绝缘垫

3 术语和定义

GB/T 2900. 55、GB/T 12643 和 GB/T 14286 界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

3. 1

0. 4kV 配网带电作业机器人 *0. 4kV distribution network live work robot*

通过人机协同或自主模式替代或辅助作业人员开展 0. 4kV 配网线路带电作业的机器人系统，包括机器人本体、末端作业工具、移动控制终端和绝缘承载平台等部分，以下简称“机器人”。

3. 2

0. 4kV 自主配网带电作业机器人 *autonomous live working robot on distribution line*

在地面操作人员操（监）控下，机器人可实现自主识别定位、路径规划、末端工具更换，自动执行带电作业任务的 0.4kV 配网带电作业机器人，以下简称“自主机器人”。

3.3

0.4kV 人机协同配网带电作业机器人 *collaborative live working robot on distribution line*

在地面操作人员操（监）控下，需要带电作业人员辅助机器人识别作业对象或协作实施作业步骤，协作配合执行带电作业任务的 0.4kV 配网带电作业机器人，以下简称“人机协同机器人”。

3.4

机器人本体 *main body of the robot*

具备固定在绝缘承载平台可实现带电作业功能的装置，包括作业机械臂、控制单元、识别定位模块监控模块以及电源模块等，以下简称“机器人本体”。

3.5

末端作业工具 *end working tools*

配置在机械臂末端用于完成特定带电作业步骤的智能作业装置，包括绝缘导线剥皮工具、线夹安装工具、螺栓松紧工具、断线工具等部分，以下简称“末端工具”。

3.6

移动控制终端 *mobile control terminal*

可远程接收机器人带电作业画面，并对绝缘承载平台调整和机器人进行操作的控制装置，以下简称“控制终端”。

3.7

人机交互终端 *human-robot interaction terminal*

可远程接收机器人带电作业画面，可在斗内电工协助下，对人机协同机器人完成带电作业的交互装置，简称“人机交互终端”。

3.8

绝缘承载平台 *insulated load platform*

由底盘车、绝缘高架装置等组成，满足配网带电作业机器人本体承载、固定和 0.4kV 带电作业需求的承载装置，简称“绝缘承载平台”；例如：绝缘斗臂车等。

3.9

机械臂绝缘衣 *insulated coat for arm*

具有一定电压耐受能力和防电弧能力，为作业机械臂提供绝缘和电弧防护的包覆层，简称“机械臂绝缘衣”。对于 1000m 及以上高海拔地区、高湿度等特殊环境下开展机器人带电作业，应对机器人本体、绝缘承载平台、绝缘防护等装备、工具的绝缘水平进行充分的验证。

3.10

绝缘遮蔽 *insulating shelter (blanketing)*

利用机械臂或协同机械臂完成对带电设备或邻近的导电部件，形成物理隔离屏障，阻断电流通路的采用绝缘材料覆盖或隔离的技术措施。

4 机器人技术要求

4.1 机器人本体技术要求

4.1.1 外观、结构设计要求

- a) 外观和结构，应符合 GB/T 14284 的要求；
- b) 外壳表面应光洁、均匀，不应有伤痕、毛刺等其它缺陷，并有保护涂层或防腐设计；
- c) 外壳标识清晰表面说明功能的文字、符号和标志清晰、端正。
- d) 机器人表面应光洁，不能有明显的凹痕、裂纹和变形，不应存在划痕、裂纹、缩孔等缺陷；
- e) 机器人裸露金属部件不应有腐蚀及其他机械损伤；
- f) 机器人本体间所有紧固件应无松动、活动件间润滑良好，所有连接件、紧固件应有防松措施。
- g) 机器人本体上末端工具存放处具备明显对应标识，并具备提示、预警装置；
- h) 机器人结构、布局应合理，便于维护、保养；
- i) 机器人部件质量应可靠，并符合相关标准；
- j) 机器人本体外壳防护等级应满足 IP54。

4.1.2 机器人重量要求

- a) 双臂机器人本体、末端作业工具及附件的总重量应不超过 280kg。
- b) 单臂机器人本体、末端作业工具及附件的总重量应不超过 110kg。
- c) 机器人本体上各部件应合理设计并各自固定，重量分布均匀，避免机器人吊装或使用过程中的倾翻风险。

4.1.3 机器人本体机械性能要求

4.1.3.1 机械强度和稳定性要求

- a) 机器人外壳应具有足够的机械强度；
- b) 机械臂在最大负载及最大工作范围条件下，机器人整体不应失衡。

4.1.3.2 机器人机械臂作业指标

4.1.3.2.1 运动性能指标

- a) 机械臂运动自由度： ≥ 6 自由度；
- b) 机械臂各关节最大工作范围： $\pm 360^\circ$ ；
- c) 机械臂各关节最大转动速度： $\pm 120^\circ /s$ 。

4.1.3.3 机器人机械臂性能指标

- a) 机械臂工作半径应不小于 1.2m；
- b) 机械臂最大负载有效工作半径：不小于 1.0m；
- c) 机械臂末端最大移动速度：不大于 0.2m/s；
- d) 电动型机械臂额定载荷应不小于 10kg，应满足断接引线、清除异物等轻载作业任务；
- e) 液压型机械臂额定载荷应不小于 30kg，应满足更换绝缘子、更换跌落式熔断器等重载作业任务；

4.2 专用末端作业工具性能指标

4.2.1 机器人末端机械连接要求

- a) 机械臂末端工具最大持重 $\geq 10\text{kg}$ （含绝缘夹钳、剥线器等工具），同时保持重复定位误差 $\leq \pm 0.5\text{mm}$ 。
- b) 末端工具应采用与机械臂或绝缘连接件适配的快速拆装自动链接和手动链接接口。
- c) 末端工具应采用与机器人本体控制单元适配的无线通信方式，或者与机械臂末端适配的有线递信接口。

4.2.2 机器人末端作业工具推荐技术要求

- a) 自适应剥皮器：应能根据线径大小、绝缘层厚度自动或手动调整剥皮刀具，具备自动开合、自动剥皮功能，剥皮长度可自由设定，并具备快速更换功能，剥皮速度应不小于 30mm/min；
- b) 线夹安装工具：具备快速并自动抓取线夹功能，通过识别自动锁紧主线及引线，适用并沟、C 型、J 形、穿刺等非承力线夹；
- c) 断线工具：应具备高强度断切刀头，断切后刀头可自动复位，断面质量应整齐，并具备快速更换功能；
- d) 遥控套筒工具：应具备快速更换、自动切换正反转及过载保护功能，扭矩应不小于 30N·m，适用于 8mm、10mm、12mm、14mm、16mm 螺母。

4.3 机器人安全功能性能技术要求

- a) 机器人应具备自动预警（告警）、手动急停功能，该急停功能包括但不限于以下功能：
 - 1) 具有最高控制优先级；
 - 2) 机器人系统在不断电的情况下立即停止动作，延时不大于 100ms；
 - 3) 机器人急停动作后，具备保持停止锁定状态直至急停解除。
- b) 机器人应具备保护性停止功能：机械臂负载与所设定载荷区间不一致时，机械臂保护性停止。
- c) 机器人承载平台底盘部分应部署多轴倾角传感器(精度不低于±0.1°)和重心偏移检测装置，实时采集承载平台底盘倾斜角度（纵向、横向）；当超过预设阈值（根据地面坡度和作业场景设定），如≥3° 时，立即触发报警并切断机械臂动力，强制停止作业。

4.3.1 机器人本体电气部件接线

机器人本体应无裸露各连接用线、管等，内部电气线路应排列整齐、标识清晰并固定可靠、走向合理，便于安装、维护，并用醒目的颜色和标志加以区分。

4.3.2 机器人绝缘性能要求

4.3.2.1 绝缘材料选择与性能指标

4.3.2.2 机器人各绝缘间设计合理、重叠规范，各绝缘材料层向应满足以下要求：

- a) 主绝缘：1min 耐受电压 10kV，闪络或击穿电压不小于 60kV；
- b) 辅助绝缘：3min 耐受电压 10kV，闪络或击穿电压不小于 30kV。

4.3.2.3 机械臂绝缘衣应满足以下要求：

- a) 应按照机器人本体实际使用的绝缘衣材料和结构形式，提供试验样品进行测试并测试合格；
- b) 机械臂绝缘衣的层向绝缘应按照 5.2.2.1 的方法进行试验，并满足表 1 要求；
- c) 机械臂绝缘衣在机械臂各活动关节处应采取重叠或隔离措施，保证机械臂各关节处的绝缘水平满足表 1 的层向绝缘要求；
- d) 机械臂绝缘衣的沿面绝缘应按照 5.2.2.3 的方法进行试验，并满足表 1 要求。
- e) 机器人驱动采用的液压管路和液压介质应具有绝缘性能，满足 GB/T 507 规定的试验方法，击穿电压应不小于 20kV；

4.3.2.4 机器人绝缘连接件、机械臂、末端工具等绝缘性能应按照 5.2.2.4 的方法进行试验，并满足表 2 要求，机器人操作杆（末端工具）的材料性能应符合 GB 13398 的要求。

4.3.2.5 机器人本体外壳绝缘性能应按照 5.2.2.5 的方法进行试验，并满足表 3 要求。

4.3.2.6 承载机器人的绝缘承载平台（斗）时，绝缘承载平台（斗）的绝缘要求应满 5.2.2.5 的规定。

表 1 机械臂绝缘衣绝缘性能要求

试验部件	试验项目								
	型式试验			出厂/验收试验			预防性试验		
	层向		沿面耐压	泄漏电流	层向耐压	沿面耐压	泄漏电流	层向耐压	沿面耐压
	耐压	验证							
机械臂绝缘衣	10kV 3min	10kV 3min	10kV 3min	10kV $\leq 100\mu A$	10kV 3min	10kV 3min	10kV $\leq 100\mu A$	10kV 3min	10kV 3min

注 1：工频耐压试验过程中以无击穿、无闪络、无明显发热为合格。

注 2：“-”表示不必检测项目。

表 2 绝缘连接件或机器人操作杆绝缘性能要求

试验部件	试验项目								
	型式试验			出厂/交接试验			预防性试验		
	工频耐压	工频验证	泄漏电流	工频耐压	工频验证	泄漏电流	工频耐压	工频验证	泄漏电流
绝缘连接件或绝缘操作杆	10kV 1min	10kV	10kV $\leq 100\mu A$	10kV 1min	-	10kV $\leq 100\mu A$	10kV 1min	-	-

注 1：工频耐压试验过程中以无击穿、无闪络、无明显发热为合格。

注 2：工频验证试验升压至 60kV 后立刻降压，以无击穿、无闪络、无明显发热为合格。

注 3：“-”表示不必检测项目。

表 3 机器人本体外壳绝缘性能要求

试验部件	试验项目								
	型式试验			出厂/交接试验			预防性试验		
	层向耐压	沿面耐压	泄漏电流	层向耐压	沿面耐压	泄漏电流	层向耐压	沿面耐压	泄漏电流
本体绝缘外科	10kV 1min	0.4m 10kV 1min	0.4m 10kV $\leq 200\mu A$	-	0.4m 10kV 1min	0.4m 10kV $\leq 200\mu A$	-	0.4m 10kV 1min	0.4m 10kV $\leq 200\mu A$

注 1：层向耐压、沿面耐压试验过程中应无击穿、无闪络、无明显发热为合格。

注 2：“-”表示不必检测项目。

注 3：如果机器人本体固定在绝缘承载平台的承载斗内，不必开展机器人外壳绝缘性能试验。

4.3.3 机器人绝缘防护设计与要求

作业任务执行过程中，机器人各部件运动时与带电体、接地体相互间安全距离应符合 Q/GDW 12218《低压交流配网不停电作业技术导则》的要求。

4.4 机器人电气性能要求

4.4.1 电源系统要求

机器人电源系统要求如下：

- a) 机器人本体电池容量应满足续航时间不少于 4h，电池充放电循环次数不低于 600 次，600 次后电池容量不低于标称容量的 80%；
- b) 末端作业工具续航时间不少于 2h；
- c) 移动控制终端和人机交互终端续航时间不少于 4h；
- d) 机器人的应急处理系统应具有后备电源并留有充足的电量预警裕度。

4.4.2 机器人识别、通信与控制和驱动系统技术要求

4.4.2.1 识别、通信与控制

4.4.2.1.1 识别定位功能要求

- a) 识别定位可采用以下方式
 - 1) 视觉和激光雷达定位：机器人通过视觉或激光雷达具备对作业对象自动识别并判断其空间姿态，自主或人工选择作业位置能力；
 - 2) 卫星导航系统和陀螺仪定位：机器人通过卫星导航系统对作业对象定位，陀螺仪判断作业对象的空间姿态，自主或人工选择作业位置的能力。
- b) 机器人识别定位精度应满足作业功能的需求。在断、接引流线作业项目中，对主导线或引流线识别定位的精度应符合以下要求。
 - 1) 机器人自主定位，识别定位精度 $\leq 20\text{mm}$ ；重复识别定位精度 $\leq 10\text{mm}$ 。
 - 2) 作业人员使用定位工具辅助机器人定位，识别定位精度 $\leq 30\text{mm}$ ；重复识别定位精度 $\leq 15\text{mm}$ 。

4.4.2.1.2 通信功能要求

- a) 机器人本体与移动控制终端间控制信号和图像传输应采用高速率、低延时的无线通讯方式，通信距离 $\leq 30\text{m}$ ；
- b) 两台或两台以上机器人在同一区域内工作时，其控制信号不应相互干扰；
- c) 两件或两件以上末端工具同一区域内工作时，其控制信号不应相互干扰；
- d) 监控系统应能实时、可靠地接收机器人采集的作业位姿等信息。

4.4.2.1.3 控制功能要求

- a) 自主机器人控制功能要求：自主机器人应具备通过移动控制终端接收指令，机器人自主完成主要操作，人工辅助确认、监控及紧急停止等；
- b) 人机协同机器人控制功能要求：人机协同机器人应具备通过移动控制终端或人机交互终端进行启停操作，带电作业指令的接收、确认等应在人机交互终端上执行；
- c) 机器人控制系统具备准确执行现场操作或自动规划指令，响应应迅速、及时，运动应平稳、正常。

4.4.2.2 机器人驱动系统技术要求

- a) 整机振动：机器人应能承受 GB/T 2423.10 规定的振动试验。振动试验严酷等级应满足下列条件要求：
 - 1) 频率范围：10Hz~55Hz；
 - 2) 位移振幅：0.15mm；
 - 3) 扫频持续时间：10min；
 - 4) 扫频循环次数：2 次。

- b) 运输振动：包装后应能承受 GB/T 4857.23 规定的严酷水平 II 级、试验时间 180min 运输振动试验。

4.5 机器人作业功能要求

4.5.1 常见 0.4kV 配网带电作业项目功能实现要求

4.5.1.1 操作及控制方式

机器人系统借助本地无线网络实现对机器人和末端工具连接管理，通过工业平板电脑以及操控装置实现对系统的无线操作，指令机器人自主完成作业。

4.5.1.2 推荐项目作业时间及质量要求

机器人应完成表 4 所示的作业项目，并达到时间和质量要求。

表 4 机器人作业时间及质量要求

序号	作业项目	作业时间	质量要求
1	断引流线	单相断线步骤时间≤10min	1) 断线工具要有夹持功能，能够固定待断电线； 2) 断线位置准确，残余引线长度≤5cm。
2	接引流线	单相： 剥线时间≤5min 接线时间≤5min	1) 剥皮不能损伤线芯； 2) 剥皮长度大于线夹长度 2cm； 3) 下引线穿出线夹长度在 2~5cm 范围内； 4) 线夹螺丝必须冲击锁紧，保证紧固牢靠，且处于剥皮中间位置，不应压住绝缘皮； 5) 接线过程中引线不应过分拉扯受力或脱落，主导线和引线不应脱出线夹槽，引线搭接方向一致。
3	安装接地线夹	单相： 剥线时间≤5min 接线时间≤3min	1) 剥皮不能损伤线芯； 2) 剥皮长度大于线夹长度 2cm； 3) 线夹螺丝必须冲击锁紧，保证紧固牢靠，且处于剥皮中间位置，不应压住绝缘皮； 4) 安装后各相接地挂环角度一致。
4	装/拆故障指示器	安装故障指示器时间≤5min 拆除故障指示器时间≤5min	1) 故障指示器与导线连接应紧固牢靠，安装位置准确； 2) 安装完成后指示器各项功能应正常。
5	修剪树枝	单次修剪动作时间：≤10min	1) 能够完成直径 5cm 以下树枝修剪作业； 2) 对剪下的树枝应有导向措施，当树枝高出导线时，避免树枝倒在线路上。

4.5.2 机器人末端工具技术要求

- a) 各个末端工具均为独立的驱动模块，内置可以快速更换的电池；
- b) 末端工具与机械手臂之间通过快换装置连接，连接后在连接位置无间隙；
- c) 末端工具通过本地无线网络接入机器人管控系统，系统通过无线通讯指令实现对工具的控制和检测；
- d) 末端工具和机器人系统之间具备实时通讯检测功能，当长时间通讯故障时，末端工具可以自行复位，保证机器人可以脱离作业区域；
- e) 末端工具具备机械逃逸机构，当出现断电或者自身无法复位的极端情况时，由人工或借助绝缘杆操作协助工具复位，保证机器人可以脱离作业区域。
- f) 各个末端工具的技术指标符合表 5 的要求。

表 5 末端工具功能及技术要求

序号	工具名称	功能	技术要求
1	视觉定位工具	1) 视觉定位主线空间位置; 2) 视觉定位下引线空间位置。	1) 相机像素 $\geq 3000*2000$ 2) 视觉分辨率 $\leq 0.1\text{mm}$; 3) 实际定位精度 $\leq \pm 3\text{mm}$
2	剥皮工具	1) 自动剥皮; 2) 验电。	1) 剥皮不能损伤线芯; 2) 剥皮长度误差 $\leq 1\text{cm}$; 3) 自适应电线规格 35mm^2 至 240mm^2 ;
3	线夹安装工具	1) 引线抓取; 2) 固定引线并导入线夹中; 3) 把线夹送到主线并冲击锁紧线夹螺丝。	1) 主线可适应电线规格 35mm^2 至 240mm^2 ; 2) 可抓取引线规格 16mm^2 至 185mm^2 ; 3) 螺丝冲击锁紧时间可以数控调节
4	故障指示器安装工具	安装和拆除故障指示器	1) 可适用至少两种常用的故障指示器。
5	避雷器安装工具	1) 抓取对应型号的避雷器; 2) 锁紧和拆除避雷器固定螺丝 3) 挂接避雷器上引线	1) 抓取机构牢固可靠，有自锁功能（断电不脱落）; 2) 螺丝冲击锁紧时间可以数控调节。
6	直线杆绝缘子安装工具	1) 抓取对应型号的绝缘子; 2) 举升电线到预定高度; 3) 锁紧和拆除绝缘子固定螺丝。 4) 固定导线	1) 抓取机构牢固可靠，有自锁功能（断电不脱落）; 2) 螺丝冲击锁紧时间可以数控调节; 3) 电线举升力量 $\geq 150\text{kg}$
7	电动剪钳	1) 剪断树枝 2) 落枝方向控制 3) 与带电体的绝缘性能	1) 能够完成直径 5cm 以下树枝修剪作业。

4.6 机器人环境适应性要求

4.6.1 温度、湿度等气候环境适应性

机器人本体适用的环境应满足以下要求：

- a) 相对湿度： $\leq 80\%$ （ 25°C 时）；
- b) 最大风速： 10.8m/s ；
- c) 环境温度： $-20^\circ\text{C} \sim +50^\circ\text{C}$ 。

4.6.2 电磁环境适应性

4.6.2.1 静电放电抗扰度

机器人应能承受 GB/T 17626.2 中规定的试验等级为 4 级的静电放电抗扰度试验，机器人各项功能无异常。

4.6.2.2 射频电磁场辐射抗扰度

机器人应能承受 GB/T 17626.3 中规定的试验等级为 3 级的射频电磁场辐射抗扰度试验，试验扫描频率为 80MHz – 2000MHz ，机器人各项功能无异常。

4.6.2.3 工频磁场抗扰度

机器人应能承受 GB/T 17626.8 中规定的稳定持续磁场试验，试验施加 50Hz 磁场强度 1000A/m ，持续时间 5min ，机器人各项功能无异常。

4.6.2.4 脉冲磁场抗扰度

机器人应能承受 GB/T 17626.9 中规定的试验等级为 5 级的脉冲磁场抗扰度试验，试验磁场波形为 6.4(1±30%)/16(1±30%)ms，施加正负极性脉冲磁场各 5 次，机器人各项功能无异常。

4.6.2.5 阻尼振荡磁场抗扰度

机器人应能承受 GB/T 17626.10 中规定的试验等级为 5 级的阻尼振荡磁场抗扰度试验，试验磁场波形的振荡频率为 0.1(1±10%)MHz 和 1(1±10%)MHz，机器人各项功能无异常。

4.6.2.6 工频感应放电抗扰度

机器人应按照 6.6.2.6 的方法进行工频感应放电抗扰度试验，机器人各项功能无异常。

4.7 机器人作业过程安全要求

4.7.1 机器人作业参与人员应满足 GB/T 18857、Q/GDW 12218、Q/GDW 12316.2—2023 要求。

4.7.2 机器人作业安全要求应符合 DL/T 2318、Q/GDW 12316.2—2023 的要求。

4.7.3 作业安全要求

机器人作业过程应满足 GB/T 18857、Q/GDW 12218、Q/GDW 12316.2 及以下安全要求。

- a) 机器人在某一相带电体上作业时，为保证机器人在作业过程中晃动或受其他因素影响，造成其他部件与相邻带电体或附近杆塔、横担等短路或者接地故障，确定最小安全距离不得小于 0.1m，如不能满足，应采取绝缘遮蔽或隔离措施；
- b) 人机协同作业方式下，作业人员与周围带电体或接地体的最小安全距离（不包括人体活动范围）不得小于 0.4m，如不能满足，作业前应对人体可能触及范围内的带电体和接地体进行绝缘遮蔽或隔离措施；
- c) 其他注意事项参照 Q/GDW 12218、GB 26859、GB/T18857 执行。

4.8 绝缘承载平台要求

4.8.1 绝缘承载平台安装要求（例如：绝缘斗臂车）

- a) 绝缘承载平台分为单斗型和双斗型，单斗型绝缘承载平台（以下简称“单斗平台”）适用自主机器人作业，双斗型绝缘承载平台（以下简称“双斗平台”）适用自主机器人或人机协同机器人作业。采用“单斗平台”人机协同的，协同作业人员穿戴好个人防护用具后采用绝缘杆作业法协同作业。
- b) “双斗平台”一般为机器人承载斗和载人工作斗组成，机器人承载斗分为单臂机器人斗和双臂机器人承载斗，载人工作斗分为单人斗和双人斗。
- c) 单斗平台工作斗和双斗平台工作斗的 3 种配置方式分别为：单臂机器人斗与单人斗、单臂机器人斗与双人斗、双臂机器人斗与单人斗。
- d) 绝缘承载平台需满足不同种类机器人、作业人员、作业工具等作业必需用品的总重量需求，单臂机器人斗额定载荷应≤ 120kg，双臂机器人斗额定载荷应≤ 280kg，单人斗额定载荷应≤ 120kg，双人斗额定载荷应≤ 280kg，工作斗类型及额定载荷应在斗部明确标注。
- e) 机器人承载斗尺寸应能满足机器人安装要求，单人斗长×宽×高应≤ 0.5×0.5×0.9m，双人斗长×宽×高应≤ 1.0×0.6×0.9m。
- f) 绝缘承载平台搭载机器人后，车辆总高度（含绝缘承载平台）应< 4m，总宽度和总长度不得超过车辆公告限定。

- g) 单斗平台的承载斗摆动角度应 $\leq 160^\circ$ （左右各 80° ）；双斗平台的机器人承载斗和载人工作斗应具备 $\leq 160^\circ$ （左右各 80° ）的同步旋转功能。
- h) 双斗平台中机器人承载斗和载人工作斗应分别具备 90° 单斗旋转功能。
- i) 单斗平台应具备上升功能，上升高度 $\geq 0.5m$ ；双斗平台中机器人承载斗和载人工作斗均应具备独立上升功能，上升高度 $\geq 0.5m$ 。
- j) 工作斗应具备自动调平功能，机器人承载斗自动调平精度 $< 5^\circ$ ，载人工作斗自动调平精度 $< 3^\circ$ 。

4.8.2 绝缘平台操作系统基本功能要求

- a) 绝缘承载平台操控系统包括液压、电气操作等系统。操控系统的各管线应布置合理、固定可靠，不得有松动、渗漏、脱落等现象，行驶中不能发生磨损。
- b) 绝缘承载平台操控系统应位于工作人员能够同时观察机器人及绝缘高架装置的位置，方便工作人员判断状况、进行作业。
- c) “单斗平台”和“双斗平台”应在工作斗和下部各装备一套或以上的操控系统。
- d) 工作斗及下部操控系统均应具有一键紧急停止功能，下部操控系统应具有比斗部操控系统更高的优先级。
- e) 绝缘承载平台应具备智能调平功能，根据车身状态和支腿着地检测，自动调节支腿，使车辆达到水平状态。
- f) 绝缘承载平台应有优先级高于智能调平终端的手动调平操控系统。
- g) 绝缘承载平台的下部操作系统应具备控制机器人本体升降、旋转的功能。
- h) “双斗平台”斗部操作系统应具备机器人承载斗和载人工作斗单独旋转、提升功能。
- i) 绝缘承载平台宜具备机器人控制接口，支持接入机器人主控系统，完成对绝缘承载平台的数据通讯和操作控制，接口要求应符合规定。

4.8.3 绝缘承载平台与机器人安装方式要求

- a) 机器人应安装在“单斗平台”或“双斗平台”的机器人绝缘承载斗中，安装应稳固、牢靠。机器人承载斗外部不得有结构件或遮挡物，便于机器人置于其中。
- b) 机器人与机器人承载斗之间应使用夹具固定，不得在工作斗上打孔或对工作斗绝缘造成其他损害。由不少于4个夹紧机构将机器人与机器人承载斗连接在一起，夹紧机构的位置应均匀分布在机器人承载斗边缘的4条边上。
- c) 夹紧机构（含末端工具等）应采用绝缘材料或加装绝缘护套，绝缘性能应满足GB/T 37556中表2绝缘外斗性能要求。
- d) 需要拆除承载斗安装的机器人，必需使用承载斗原有连接位置安装，不能改变原有机械结构，保证承载斗可以正常恢复原状。

4.8.4 绝缘斗、机械臂绝缘衣的绝缘配置要求

- a) 单斗平台的绝缘装置由绝缘工作斗、机械臂绝缘衣等构成；双斗平台的绝缘装置由工作斗、机械臂绝缘衣等构成。
- b) 工作斗的绝缘性能应满足GB/T 37556中表2的规定，机械臂绝缘衣的绝缘性能应满足GB/T 37556中的规定，绝缘承载平台整体的绝缘性能应满足GB/T 37556中的规定。

4.8.5 绝缘承载平台接口要求

- a) 绝缘承载平台宜具备接入机器人控制系统的无线接口或光电接口（以下简称“接口”），接口的通讯抗干扰能力应满足 GB/T 17618 的要求。
- b) 接口应具备机器人与承载平台的联动控制功能，应能实现机器人对发动机启停、上装动作紧急停止、上装各关节的控制，应能实现多个上装关节同时动作及机器人对上装动作速度控制。
- c) 接口应具备状态上报功能，绝缘承载平台能够实时向机器人上报发动机启停、平台高度、作业半径、起伏角度等关键信息状态。
- d) 接口宜具备上装初始位置标定功能，能够对机器人反馈初始位置状态。
- e) 接口宜具备上装位置及姿态精确控制功能，控制精度宜满足：人/机斗旋转 $\leq \pm 3^\circ$ ，臂伸缩 $\leq \pm 30\text{mm}$ ，人/机斗升降 $\leq \pm 20\text{mm}$ ，上/下臂起伏 $\leq \pm 1^\circ$ ，回转 $\leq \pm 1^\circ$ 。
- f) 绝缘承载平台斗部及下部的人工操控系统应具有比机器人控制接口更高的优先级。

5 试验方法

5.1 机器人本体性能试验

5.1.1 机械结构强度与可靠性试验

5.1.1.1 目测检查机器人外观结构（强度）应满足 4.1 的规定。

5.1.1.2 应按照标准 GB 4208 规定的方法进行，机器人外壳防护等级应符合 4.1.1 的规定。

5.1.2 运动性能测试方法

运动性能试验结果应符合 4.1.2 的规定。试验应按下列步骤进行：

- a) 启动机器人进入正常作业流程；
- b) 使机器人系统不停电情况下停止一切操作，观察发出指令后机器人是否立即停止动作；
- c) 解除急停，再次启动机器人工作流程，观察机器人能否继续完成待进行工作；
- d) 重复步骤 b) ~c) 10 次。

5.1.3 定位精度检测方法

在机器人工作的各流程阶段(如识别定位、剥线、验电、安装线夹和更换末端工具等)按下急停按键，定位精度检测试验结果应符合 4.4.2.1 的规定。试验应按下列步骤进行：

- a) 在满足附录 A 或产品说明书适用范围要求的试验线路或实验室中的模拟导线上选取 100mm 长度的导线段为识别目标，确定识别目标附近合适位置为标定线；
- b) 操控机器人进入导线识别流程；
- c) 机器人完成导线识别以及作业位置选定后控制机械臂末端移动到标定线位置；
- d) 计算机械臂末端中心点与标定线最短距离得到单次识别定位精度；
- e) 对同一目标重复识别定位共 10 次，获得识别定位精度(取均值)和重复识别定位精度。

5.2 绝缘性能试验

5.2.1 绝缘材料性能测试

对机器人绝缘部件、末端工具绝缘部件等（硬质板材或软质遮蔽材料），取 500mmx500mm 样品，采用下图所示的不等直径电极进行试验。进行耐压试验（主绝缘 10kV，1min），并升压至 4.3.2.1 规定的闪络或击穿电压后立刻降压，不应发生闪络、击穿和明显发热。试验布置如图 1 所示。

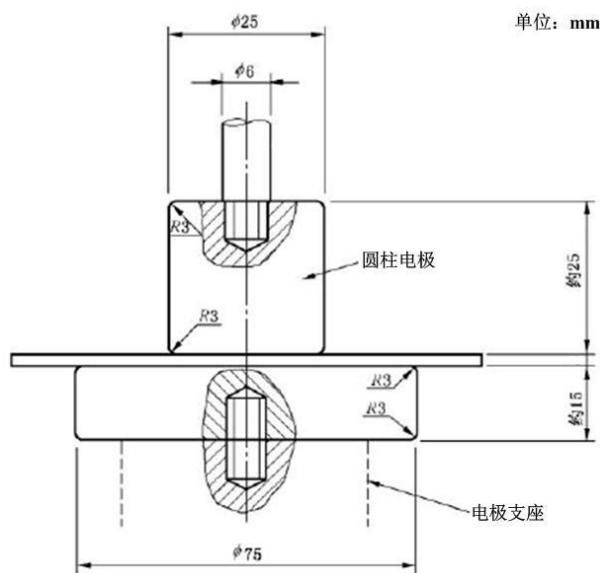


图 1 绝缘材料层向耐压试验布置

5.2.2 整体绝缘性能测试流程与标准

5.2.2.1 机械臂绝缘衣的层向耐压试验

将机械臂绝缘衣直臂处截取不小于 400mm 长度，套在合适尺寸的空心圆柱体构成的内电极上，保证绝缘衣内壁与内电极紧密贴合，用水浸湿的导电布包裹在绝缘衣表面构成外电极，内外电极的沿面距离 $d \geq 100\text{mm}$ ，试验结果应符合 4.3.2 的要求。试验布置如图 2 所示。

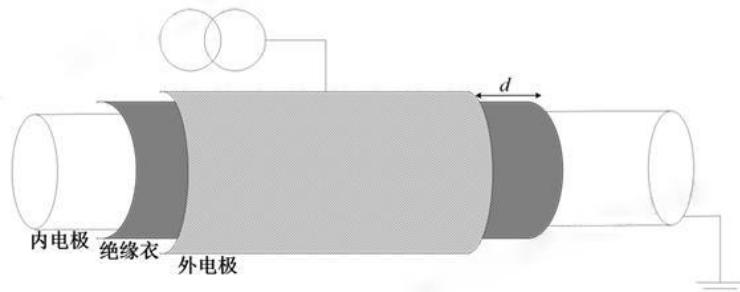


图 2 绝缘衣的层向耐压试验布置

5.2.2.2 机械臂关节处的绝缘试验

对绝缘衣在机械臂关节处的活动部分，在采取重叠或绝缘隔离措施后，应按照图 2 的电极布置进行工频耐压试验，试验结果应符合 4.3.2 的要求。

注：机械臂关节处的绝缘性能无法满足上述要求时，应结合实际带电作业场景及作业方式严格控制安全距离并在功能试验中进行安全评估。

5.2.2.3 机械臂绝缘衣沿面绝缘试验

将绝缘衣取下，采用 10mm 宽的金属箔缠绕作为试验电极，试验时保证绝缘距离为 400mm，试验结果应符合 4.3.2.1 的要求。

试验布置如图 3 所示。

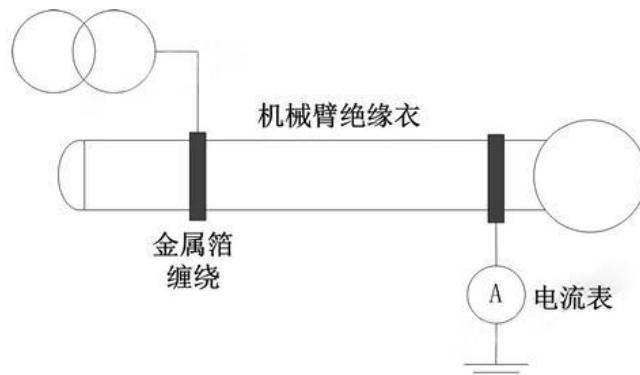


图 3 绝缘衣沿面绝缘试验布置

5.2.2.4 绝缘连接件或机器人操作杆绝缘试验

按照末端工具绝缘连接件两端结构，定制相匹配的金属电极，进行工频耐压、工频验证和泄漏电流试验，试验结果应符合 4.3.2 的要求。试验布置如图 4 所示。

机器人操作杆试验布置应按照 GB 13398 中的规定进行。

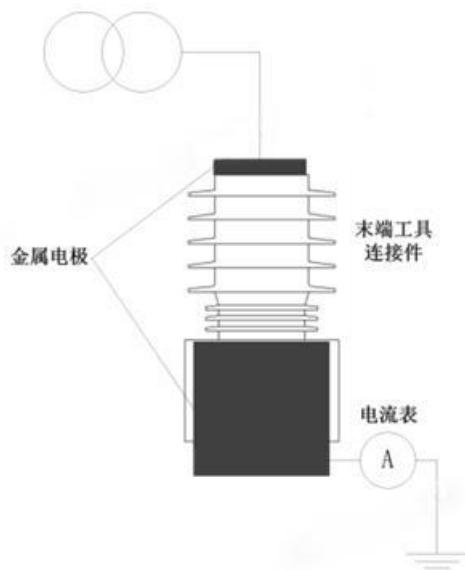


图 4 末端工具连接件绝缘试验布置

5.2.2.5 机器人本体外壳绝缘试验

机器人本体外壳绝缘试验按下列步骤进行：

- 层向耐压试验：按照 GB/T 37556—2019 中 6.9.1 节绝缘外壳向耐压试验规定的方法进行，试验结果应符合 4.2.1.4 的要求；
- 沿面耐压试验：按照 GB/T 37556—2019 中 6.9.2 节绝缘外壳工频耐压试验规定的方法进行，试验结果应符合 4.2.1.4 的要求；
- 沿面泄漏电流试验：按照 GB/T 37556—2019 中 6.9.3 节绝缘外壳泄漏电流试验规定的方法进行试验，结果应符合 4.2.1.4 的要求。

注：如果由于功能需求，机器人绝缘外壳表面存在开孔等因素，导致无法按照标准的试验方法进行层向耐压试验时，应根据绝缘外壳的形状采用导电布等试验电极代替注水试验，并对外壳及机器人本体的绝缘水平进行评估。绝缘性能无法满足上述要求时，应结合实际带电作业场景及作业方式严格控制安全距离并在功能试验中进行安全评估。

5.3 电气性能试验

5.3.1 电源系统性能测试

机器人电源系统在连续作业状态下应满足 Q/GDW 12316.1—2023 中 4.3.1 节机器人电源系统要求的规定。

5.3.2 控制与驱动系统功能测试

5.3.2.1 急停功能试验

急停功能试验结果应符合 4.1.4.4 的规定。试验应按下列步骤进行：

- a) 启动机器人进入正常作业流程；
- b) 在机器人工作的各流程阶段（如识别定位、剥线和更换末端工具等）按下急停按键，使机器人系统不停电情况下停止一切操作，观察发出指令后机器人是否立即停止动作；
- c) 解除急停，再次启动机器人工作流程，观察机器人能否继续完成待进行工作；
- d) 重复步骤 b) ~c) 10 次。

5.3.2.2 通信功能试验

通信功能试验可采用相关通信软件进行数据传输速率整定检测和数据传送功能检测，试验结果应符合 4.3.2.1.2 的规定。试验应按下列步骤进行：

- a) 将机器人与移动控制终端放置在距离 30m 的位置进行测试；
- b) 用移动控制终端控制机器人动作及接收机器人采集的作业位姿、温湿度、风速等信息。

5.3.2.3 控制功能试验

控制功能试验结果应符合 4.3.2.1.3 的规定，试验应按下列步骤进行：

- a) 启动机器人，通过终端输入各类动作指令（如激光雷达扫描、机械臂运动等），观察机器人动作是否正常；
- b) 在机器人运动过程中输入停止、恢复、复位等指令，观察响应时间，有无故障等。

5.3.2.4 机器人特征参数测量步骤

- a) 操作机械臂各旋转轴左右回转运动，记录回转角度，观察有无异常现象，记录机械臂自由度；
- b) 操作机械臂分别运动至最大垂直工作位置和最大水平工作位置，测量机械臂末端法兰中心与底盘转轴中心的距离，取两者较小值为机械臂的有效工作半径；
- c) 操作机械臂以最大作业速度由初始位置起升至最大垂直工作位置，再下降至最大水平工作位置，再左右各回转 360°，用秒表测量机械臂起升、下降、回转所用时间，记录机械臂末端最大起升、下降速度，最大回转速度，取最大值为机械臂末端最大移动速度。
- d) 负重测试要求：

5.3.2.5 机器人振动性能测试步骤

- a) 整机振动试验按照 GB/T 2423.10 规定的方法进行。试验结果应满足 4.3.2.2 的要求；
- b) 运输振动试验按照 GB/T 4857.23 规定的方法进行。试验结果应满足 4.3.2.2 的要求。

5.3.2.6 机械臂性能试验

5.3.2.6.1 机械臂额定载荷试验

如图 5 所示，在机械臂末端挂接重量为机械臂额定负载的配重块，负载重心与机械臂末端法兰中心距离为 100mm，操作机械臂由初始位置起升至最大垂直工作位置，再下降至最大水平工作位置，再左右各回转 360°，最后回到初始位置，并在升降、回转过程中，各进行 1~2 次停止、启动，观察有无异常现象，机械臂各关节启动、回转、制动应平稳、准确，无抖动、晃动现象。

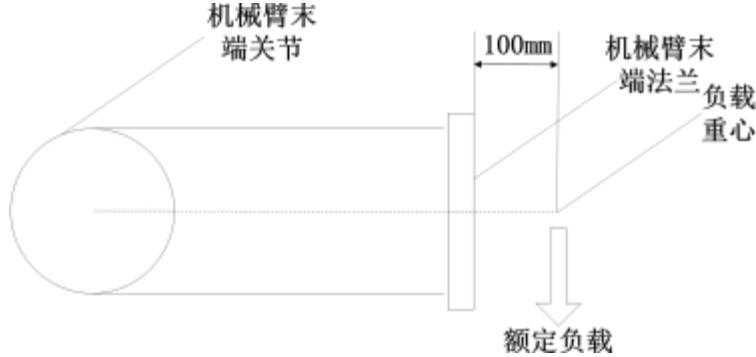


图 5 机械臂额定载荷试验

5.3.2.6.2 机械臂重复定位精度试验

试验应采用精度不低于 0.01mm 的测量系统进行位移测量，在示教模式下将机械臂调整至某一有效工作位置，控制机械臂回到初始位置后返回记录的位姿点，重复往返 10 次，按照 GB/T 12642 的试验方法测量该位姿下的重复定位精度。试验应至少选取 5 个位姿的进行测量。每个位姿下的重复定位精度均应满足 4.3.2.1.1 的要求。

5.4 作业功能试验

5.4.1 模拟实际作业场景的功能测试

5.4.1.1 通信功能试验

通信功能试验可采用相关通信软件进行数据传输速率整定检测和数据传送功能检测，试验结果应符合 4.4.1 的规定。试验应按下列步骤进行：

- 将机器人与移动控制终端放置在距离 30m 的位置进行测试；
- 用移动控制终端控制机器人动作及接收机器人采集的作业位姿、温湿度、风速等信息。

5.4.2 作业效果与质量评估方法

机器人作业过程应满足 4.1~4.5 技术要求，作业效率较人工有明显提高，作业过程不应发生安全事故，有效完成作业目标。

5.5 环境适应性试验

5.5.1 高低温、湿度等环境模拟试验

5.5.1.1 低温试验

按照 GB/T 2423.1 进行，严酷等级应满足：温度-20℃，持续时间 16h。试验后，机器人应能正常工作。

5.5.1.2 高温试验

按照 GB/T 2423.2 进行，严酷等级应满足：温度+50℃，持续时间 16h。试验后，机器人应能正常工作。

5.5.1.3 湿热试验

按照 GB/T 2423.3 进行，严酷等级应满足：温度(40±2) °C，湿度(93±3)%RH，持续时间 16h。试验后，机器人应能正常工作。

5.5.2 电磁兼容性测试

5.5.2.1 静电放电抗扰度试验

应按照 GB/T 17626.2 规定的方法进行，试验结果应符合 4.5.2 的要求。

5.5.2.2 射频电磁场辐射抗扰度试验

应按照 GB/T 17626.3 规定的方法进行，试验结果应符合 4.5.2 的要求。

5.5.2.3 工频磁场抗扰度试验

应按照 GB/T 17626.8 规定的方法进行，试验结果应符合 4.5.2 的要求。

5.5.2.4 脉冲磁场抗扰度试验

应按照 GB/T 17626.9 规定的方法进行，试验结果应符合 4.5.2 的要求。

5.5.2.5 阻尼振荡磁场抗扰度试验

应按照 GB/T 17626.10 规定的方法进行，试验结果应符合 4.5.2 的要求。

5.5.2.6 工频感应放电抗扰度试验

应按照 GB/T 17626.10 规定的方法进行，试验结果应符合 4.5.2 的要求。

5.5.2.6.1 试验布置

试验布置见图 6，模拟导线采用直径 20mm 的金属杆，可靠固定在有效绝缘长度不低于 1m 的绝缘支架上，将末端作业工具与机器人固定并放置在绝缘升降平台上，通过驱动装置控制平台上下运动可调节末端作业工具尖端与模拟导线的高度，调节精度应不大于 1mm。绝缘支架和绝缘升降平台下方铺设绝缘垫，绝缘垫应满足 DL/T 853 的 2 级要求。试验前，调节末端作业工具尖端高度使其与模拟导线间隙距离 d 为 30mm。

5.5.2.6.2 电晕放电抗扰度试验

通过工频高压电源给模拟导线加压至 10kV，控制驱动装置逐渐减小间隙距离 d，调节步长为 10mm，每次调整后保持时间 3min，直至模拟导线与作业工具尖端金属部分接触并保持 3min；然后控制驱动装置逐渐增加间隙距离 d，调节步长为 10mm，每次调整后保持时间 3min，直至回到初始位置，以此为一个循环，试验需进行 3 次循环。试验过程中，末端工具和机器人本体不应出现功能失效、部件损坏或停止工作。

5.5.2.6.3 电弧放电抗扰度试验

通过工频高压电源给模拟导线加压至 45kV，控制驱动装置逐渐减小间隙距离 d，调节步长为 10mm，每次调整后保持时间 10s，直至模拟导线与作业工具尖端金属部分接触并保持 10s；然后控制驱动装置逐渐增加间隙距离 d，调节步长为 10mm，每次调整后保持时间 10s，直至回到初始位置，以此为一个循环，试验需进行 3 次循环。试验过程中，末端工具和机器人本体不应出现功能失效、部件损坏或停止工作。

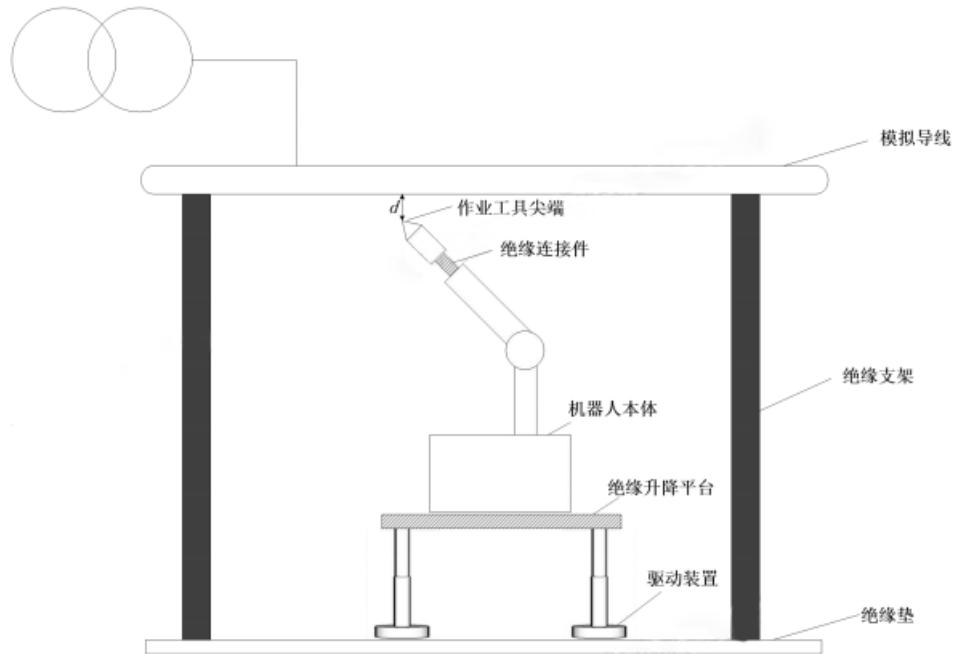


图 6 工频感应放电抗扰度试验布置图

5.6 末端工具的试验要求

5.6.1 末端工具的电磁兼容试验

试验方法见 5.5.2，末端工具的电磁兼容试验可独立实施，也可与机器人本体试验共同实施。

5.6.2 定位功能试验

在正常运行状态下，确认绝缘导线定位工具功能是否符合 4.4.2 的规定。

5.6.3 剥线功能试验

在正常运行状态下，确认绝缘导线剥线工具功能是否符合 4.4.2 的规定。

5.6.4 线夹安装功能试验

在正常运行状态下，确认绝缘导线线夹安装工具功能是否符合 4.4.2 的规定。

5.6.5 验电功能试验

在正常运行状态下，确认绝缘导线验电工具功能是否符合 4.4.2 的规定。

6 检验规则

6.1 出厂检验

6.1.1 产品以批为单位进行验收。同一牌号原料、同一规格、连续生产的产品为一批。

6.1.2 产品出厂应逐个进行表 1 所列项目的出厂试验。

6.2 型式检验（参照标准）

在下列情况下，应进行型式试验：

新产品投产前的定型鉴定；

产品的结构、材料或制造工艺有较大改变，影响到产品的主要性能。

6.3 定期检验

使用中的带电作业机器人应定期进行维护与保养。维护保养项目与指标见附录B。

表6 试验项目

序号	检验项目		标准条纹	型式试验	出厂试验	交接试验	预防性试验
1	基本要求	低温试验		+	-	-	-
2		高温试验		+	-	-	-
3		湿热试验		+	-	-	-
4		外观检查		+	+	+	+
5		外壳防护等级		+	-	-	-
6	基本功能试验	急停功能		+	+	+	+
7		识别定位功能		+	-	-	-
8		通信功能		+	+	+	-
9		控制功能		+	+	+	-
10	带电作业功能试验			+	+	+	-
11	绝缘性能试验	绝缘材料性能测试		+	-	-	-
12		机械臂绝缘衣的层向耐压试验		+	-	+	+
13		机械臂关节处的绝缘试验		+	-	+	+
14		机械臂绝缘衣沿面绝缘试验		+	-	+	+
15		绝缘连接件或机器人操作杆绝缘试验		+	-	+	+
16		机器人本体外壳绝缘试验		+	-	+	+
17	电磁兼容试验	静电放电抗扰度试验		+	-	-	-
18		射频电磁场辐射抗扰度试验		+	-	-	-
19		工频磁场抗扰度试验		+	-	-	-
20		脉冲磁场抗扰度试验		+	-	-	-
21		阻尼振荡磁场抗扰度试验		+	-	-	-
22		工频感应放电抗扰度试验		+	-	+	-
23	末端工具试验	电磁兼容试验		+	-	+	-
24		定位功能试验		+	-	-	-
25		剥线功能试验		+	-	-	-
26		线夹安装功能试验		+	-	-	-
27		验电功能试验		+	-	-	-

注：“+”表示试验必做项目，“-”表示试验可选项目。

7 标志、包装、运输和贮存

7.1 标志要求

出厂前机器人自身应附有明显的产品标识，注明生产商名、地址、商标、产品名称、规格、型号，并附有安全警示标志。

7.2 包装要求

包装要求符合 GB/T 4857，包装箱(袋)上应注明生产商名、地址、商标、产品名称、规格、型号，每台机器人应附有产品合格证及产品说明书，使用说明应符合附录 B 的要求。

7.3 运输要求

7.3.1 参照 GB/T 4857 产品应适用于陆运、空运、水（海）运，运输装卸按照包装箱上的标准进行操作。机器人本体运输过程中，应采取专用的固定和防震措施，在绝缘承载平台上运输时应将机械臂可靠固定并加装防护罩，防止受潮、淋雨、暴晒、碰撞等。

7.3.2 工器具在运输过程中，应存放在工具袋、工具箱或工具车内，用木质包装箱或硬纸外壳箱，包装的标志应清楚整齐，并注明“切勿淋雨”、“切勿受潮”、“小心轻放”、“避免重压”等标志。以防受潮和损伤。

7.3.3 其他参照 GB/T 4857.1-23 规定执行。

7.4 贮存要求

机器人本体应随承载平台存放在干燥通风的车库内，加装防护罩，注意防尘、防潮、防止损坏。

7.5 安全注意事项

机器人使用操作时应严格按照操作手册、使用说明书及本规范，保证操作的规范性和正确性。

附录 A
(资料性)
机器人典型作业场景

A. 1 单回线路

单回线路典型作业场景如图 A. 1~A. 2:

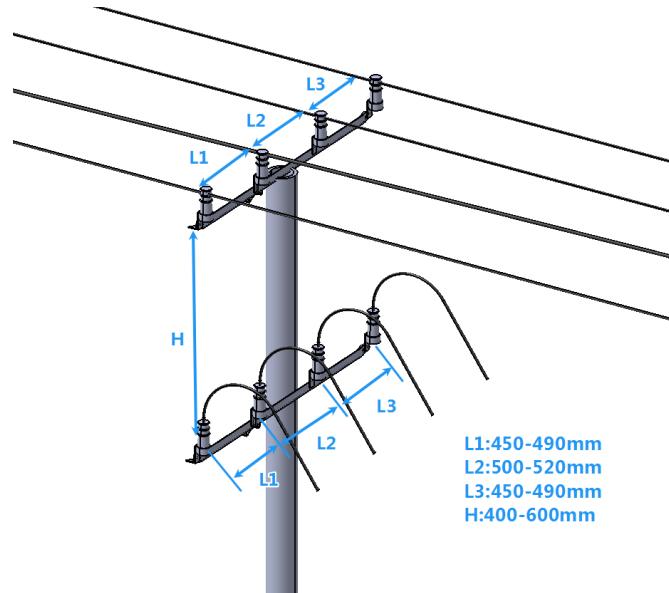


图 A. 1 引线与导线平行

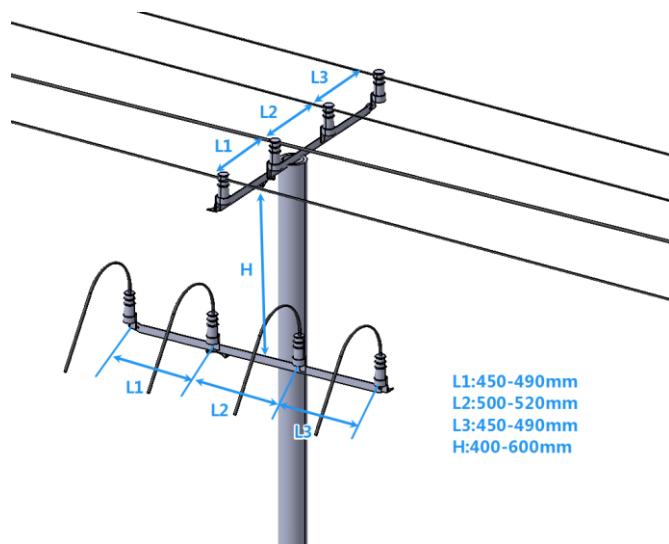


图 A. 2 引线与导线垂直

附录 B
(规范性)
机器人维护与保养

B. 1 例行维护

例行维护见表 B. 1。

表 B. 1 机器人维护保养的项目和周期

序号	对象	检查维护项目	检查维护指标	检查维护周期
1	机器 人本 体	机器人外观	机器人外观干净整洁，无明显破损、变形、污、渍，表面色泽均匀，无起泡、磨损现象；金属零部件无锈蚀现象，各螺栓连接可靠，无松动；文字标识完整清晰。	一个月
2		机械臂绝缘衣及本体绝缘外壳	外壳密封完好，无明显裂缝。	一个月
3		温控模块	机器人本体内部温度显示正常。	三个月
4			机器人内部冷却风扇运转正常，出风口排风正常，无异响。	三个月
5		作业机械臂	机械臂各个关节开合、旋转等基本运动功能正常。	一个月
6		监控模块	机器人云台水平旋转、上下俯仰正常。	一个月
7			监控摄像机成像功能正常，画面稳定、清晰。	一个月
8		视觉识别模 块	定位识别相机成像功能正常，画面稳定、清晰。	一个月
9			激光雷达自检正常。	三个月
10		导引模块	导引模块电量充足，正常开机。	一个月
11		开关模块	电源开关工作正常。	三个月
12			急停功能	急停开关功能正常。
13		微型气象站	外观	微型气象站外观良好、固定牢靠。
14			气象监控功 能	温度、湿度、风速等数据显示正常。
15		供电模块	电池	电池无漏液、破损、变形现象，对电池进行充放电维护。
16			电池监控功 能	机器人电池电量正常显示。
17	控制 系统	控制功能	运行机械臂控制功能检查程序，无异常提示。	一个月
19		移动控制终 端	外观	移动控制终端外观良好，无破损，无受潮、积灰现象发生。
20			状态	移动控制终端运行状态良好，显示屏画面正常，按钮功能正常，无过热、死机等现象。
21			扬声器	移动控制终端扬声器正常，声音稳定、清晰、无严重杂音现象。
22	末端 作业 工具 及附 件	末端作业工 具	外观	末端作业工具外观良好，各机构活动正常、无损坏，
23			电池	电池无漏液、破损、变形现象，对电池进行充放电维护。
24		附件	绝缘连接件	绝缘连接件外观完好，表面干净整洁无磨损及划痕

表 B.1 (续)

序号	对象	检查维护项目		检查维护指标	检查维护周期
25	末端作业工具及附件	附件	工具支架	工具支架外观良好，螺栓无松动	半年
26			线夹盛放盒	线夹盛放盒外观良好，螺栓、弹簧等无松动	三个月
27	其他设备	夹紧机构		螺栓滑块等配合紧密，无卡顿现象，外观良好，无锈蚀。	一个月
28		天线		天线及天线支座连接正常，外观无断裂、表皮老化、接触不良。	一个月
29		备品备件		备品备件完善，保存条件符合相关要求。	半年

B. 2 专业维护

专业维护见表 B. 2

表 B.2 专业维护项目与周期

序号	对象	专业维护项目	专业维护指标	检查维护周期
1	机器人本体	机械臂	机械臂关节校准，零点校验。	一年
2		机械臂绝缘衣	检查外观磨损情况，进行预防性试验或定期更换	一年
3		温控模块	水冷系统无漏液、冷却液量充足、水泵运转正常；温控模块温度校准。	一年
4		定位识别相机	视觉定位精度校准。	一年
5		激光雷达	雷达精度校准。	一年
6		供电模块	电池电压、电量校准。	一年
7		导引模块	导引定位精度校准。	一年
8		微型气象站	温度、湿度、风速等测量精度校准。	一年
9	末端作业工具及附件	末端作业工具	断线剪、剥皮刀等易损件更换。	一年
10		绝缘连接件	检查外观磨损情况，进行预防性试验或定期更换。	一年
11	机器人软件	系统软件	软件维护升级，漏洞修复。	一年
12		功能软件	功能优化与更新。	一年

附录 C
(规范性)
绝缘承载平台功能配置

绝缘承载平台功能配置见表 C.1。

表 C.1 功能配置表

序号	功能	配置要求
1	支腿型式 A 型、H 型、W 型支腿或其他	○
2	支腿着地检测装置	○
3	车体接地装置	●
4	发动机油门自动调节	●
5	应急动力启动、停止	●
6	进行单边支腿水平伸出作业或任一支腿跨距作业	○
7	电动力低噪音作业方式	○
8	工作斗液压调平或机械调平	●
9	智能调平终端	●
10	单独可调支腿操控装置	○
11	防倾翻控制	●
12	支腿跨距自动监测装置	○
13	工作臂自动收回装置	○
14	工作臂防干涉装置	○
15	折叠或混合式工作臂具有两段绝缘段	●
16	伸展机构超限自锁	●
17	伸展机构速度智能调节	○
18	工作斗独立旋转及同步旋转	●
19	工作斗单独垂直升降，升降高度不小于 500mm	●
20	工作斗积水倾倒	●
21	工作斗落地	●
22	工作斗部超负荷报警	○
23	工作斗具备机器人承载能力	●
24	斗部具备液压工具接口	●
25	斗部具有吊臂	○
26	泄漏电流监测装置	○
27	机器人系统与承载平台联动控制(如控制发动机启停、动作紧急停止、上装各关节的控制等)	○
28	机器人系统对上装位置及姿态精确控制	○
29	车辆状态数据实时显示并上报机器人系统(如斗臂车发动机启停、急停状态、支腿接地状态、上装关节参数等)	○
30	作业安全范围查询预警	○
31	机器人控制系统供电	○
32	导航装置、倒车辅助	○

注：“●”表示应具备的功能，“○”表示可选具备的功能

参 考 文 献

- [1] Q / GDW 12316. 2-2023 配网带电作业机器人 第 1 部分：技术规范
 - [2] Q/GDW 12316. 2-2023 配网带电作业机器人 第 2 部分：作业规范
 - [3] Q/GDW 12218 低压交流配网不停电作业技术导则
-