

ICS 29.240.01

F 20

备案号: 60081-2017

DL

中华人民共和国电力行业标准

DL / T 1722 — 2017

架空输电线路机器人巡检技术导则

Technical guide of robot inspection for overhead transmission line

2017-08-02 发布

2017-12-01 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 巡检系统	2
5 巡检作业要求	3
6 巡检方式	4
7 巡检内容	5
8 巡检前准备	6
9 巡检作业	8
10 巡检资料整理	9
附录 A (资料性附录) 机器人上下线装置和操作方法	10
附录 B (资料性附录) 机器人行走路径改造方法	14
附录 C (资料性附录) 机器人巡检作业流程	21
附录 D (资料性附录) 机器人巡检记录单	24

前 言

本标准依据 GB/T 1.1—2009 给出的规则起草。

本标准由中国电力企业联合会提出。

本标准由全国架空线路标准化技术委员会线路运行分技术委员会（SAC/TC202/SC1）归口。

本标准主要起草单位：广东电网有限责任公司电力科学研究院、中国电力科学研究院有限公司、武汉大学、广东电网有限责任公司、广东科凯达智能机器人有限公司、国网湖北省电力有限公司、国网山东省电力公司电力科学研究院、国网吉林省电力有限公司、国网安徽省电力有限公司检修公司、中国科学院沈阳自动化研究所、湖北省送变电工程公司。

本标准主要起草人：彭向阳、易辉、吴功平、麦晓明、王柯、邵瑰玮、张丽华、周华敏、付守海、马建国、郭锐、曹琪、贾辉、蔡焕青、沈杨、潘新安、李勇、罗新、易琳、刘江钒、钱金菊、张学凯。

本标准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）。

架空输电线路机器人巡检技术导则

1 范围

本标准规定了采用机器人巡检架空输电线路的技术原则，主要包括机器人巡检系统、巡检作业要求、巡检方式、巡检内容、巡检前准备、巡检作业、巡检资料整理等。

本标准适用于沿 110kV（66kV）及以上架空输电线路地线行走机器人的巡检作业。

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/T 2314 电力金具通用技术条件

GB 26859 电力安全工作规程 电力线路部分

DL/T 741 架空输电线路运行规程

DL/T 966 送电线路带电作业技术导则

DL/T 1126 同塔多回线路带电作业技术导则

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

架空输电线路机器人巡检系统 robot inspection system for overhead transmission line

由机器人、地面监控基站和巡检数据管理系统等部分组成，必要时配置塔上充电装置、自动上下线装置，能够通过自主或遥控模式进行架空输电线路巡检作业的系统。

3.2

架空输电线路机器人 robot for overhead transmission line inspecting

由电池作为电源的移动载体、通信设备和检测设备等组成，用于架空输电线路巡检作业的移动巡检装置。

3.3

地面监控基站 local 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，在地面监控机器人巡检作业的计算机系统。

3.4

行走路径 moving path

指机器人沿架空输电线路地线行走的通道。

3.5

穿越越障机器人 robot to pass obstacles

指在沿地线行走过程中，机器人采用行走末端执行器（行走轮）不脱离行走路径，可直接通过行走路径上障碍物方式的机器人。

3.6

跨越越障机器人 robot to cross obstacles

指在沿地线行走过程中，机器人采用行走末端执行器（行走轮）交替脱离行走路径，从行走路径

上障碍物一端跨越障碍物到达另一端方式的机器人。

3.7

自主巡检 autonomous inspection

无操作人员干预，机器人按预先规划路线及任务进行的巡检作业。

3.8

遥控巡检 remote control inspection

操作人员通过地面监控基站操控机器人进行的巡检作业。

3.9

爬坡能力 climbing ability

机器人具备的在作业过程中能够连续行走的最大坡度。

3.10

人工辅助上下线 manual installing/uninstalling

通过人工辅助作业的方法，作业前将机器人从地面安装至地线上，作业后将机器人从地线上拆除至地面。

3.11

自动上下线 automatic installing/uninstalling

机器人通过专用的上下线装置，自动完成从地面至地线的上线过程，以及从地线至地面的下线过程。

3.12

塔上充电 charging on tower

机器人在非巡检（静止）状态下，通过本体感应取电模块或连接至杆塔上的基站式充电模块进行电能补给。

4 巡检系统

4.1 系统组成

4.1.1 架空输电线路机器人巡检系统由机器人、地面监控基站和巡检数据管理系统等部分组成，必要时可配置塔上充电装置、自动上下线装置。机器人上下线装置及方法参见附录 A。

4.1.2 机器人搭载的检测设备一般包括可见光检测设备（可见光照相机或摄像机）、红外热像仪、激光扫描仪等。检测设备应根据巡检任务要求配备，并可根据巡检任务更换不同的检测设备。

4.2 系统功能

4.2.1 巡检系统应具有自主巡检和遥控巡检模式，可制订巡检计划对输电线路局部或全线开展自主巡检，采集线路设备及通道环境的可见光图像、红外影像、三维激光点云等数据，或通过遥控巡检，到达线路指定位置对指定目标进行巡检作业。

4.2.2 巡检系统应具备对杆塔、档中、通道等不同目标进行巡检的功能，巡检过程中按照预先设定的参数调整检测设备方向及视场，对杆塔各种设备、档中重点部位及通道环境进行巡检。

4.2.3 巡检系统应具备测控数据双向传输功能，在通信链路不中断情况下应具有实时视频传输功能。

4.2.4 巡检系统应具备数据分析和功能，可查询历次巡检计划编制、数据记录和报表生成情况，可对线路典型缺陷或故障进行分析与诊断，并对异常情况报警。

4.3 作业方式与机器人选择

4.3.1 档内巡检，一般适用于大跨越段或重要交叉跨越段的巡检。可采用穿越越障机器人，在未改造

行走路径的地线段中不能跨越防振锤；也可采用跨越越障机器人，在巡检过程中能跨越档距内防振锤。

4.3.2 耐张段巡检，一般适用于故障或特殊区段巡检。当采用穿越越障机器人巡检时，需改造耐张段内地线防振锤及直线塔地线悬垂线夹。而采用跨越越障机器人巡检则可不改造行走路径。

4.3.3 多耐张段或全线巡检，一般为线路的正常巡检。可采用穿越越障机器人，但对行走路径进行改造，包括地线防振锤、直线塔地线悬垂线夹，并搭建耐张塔地线过桥结构；而当采用跨越越障机器人时，仅需搭建耐张塔地线过桥结构。

4.3.4 绝缘架空地线采用单点接地或分段单点接地方式的，必要时需改造行走路径。地线防振锤的改造方法与地线逐塔接地时相同，直线塔地线悬垂线夹以及地线分段点耐张塔过桥结构改造可分别参照地线逐塔接地的改造方法进行。

4.3.5 机器人行走路径改造需要设计单位进行设计和校核，改造工程应满足机器人安全通行要求。机器人行走路径改造方法参见附录 B。

5 巡检作业要求

5.1 人员要求

5.1.1 作业人员应具有架空输电线路运行维护经验，熟悉 GB 26859 和 DL/T 741 等技术标准。

5.1.2 作业人员应通过架空输电线路机器人巡检系统相关操作培训和考核。

5.1.3 作业人员应熟悉巡检系统，包括基本组成、工作原理、功能性能和技术参数，熟练掌握机器人巡检作业方法、操作程序和日常维护方法。

5.1.4 作业人员应严格按照机器人巡检作业流程开展巡检工作。

5.2 设备要求

5.2.1 投入巡检作业的机器人巡检系统应通过型式试验和出厂试验。

5.2.2 机器人巡检系统及其备品备件应有专人负责，妥善保管。

5.2.3 机器人应定期进行检查、清洁、润滑、紧固工作，确保设备状态正常。设备电池应定期进行充、放电，确保电池性能良好。

5.2.4 应按照规定的维护周期对机器人巡检系统及其零部件进行维修、保养和更换。

5.2.5 机器人如长时间不用，应定期启动，检查设备状态。如有异常现象，应及时调整、维修。

5.2.6 机器人人工辅助上下线所用作业工器具应根据使用条件和绝缘性能妥善保管，安全工器具应按 GB 26859 的规定存放和定期检查试验；自动上下线装置、塔上充电装置及其附属设施应定期检查维护，确保功能正常。

5.2.7 机器人巡检系统供应商应提供完整的产品用户资料，包括巡检系统使用手册、出厂试验报告、软硬件版本信息等。

5.3 环境要求

5.3.1 机器人巡检作业一般在良好天气下进行。

5.3.2 需要在雾、雪、雨、大风、冰雹等恶劣天气或强电磁干扰条件下巡检时，应针对现场气象和工作条件，组织技术讨论，制定可靠的安全措施。

5.4 安全要求

5.4.1 作业人员应熟悉机器人待巡检线路情况，并于作业前办理巡检线路作业手续。

5.4.2 机器人上下线过程中，地面作业人员不应在机器人下方或附近停留。机器人上下线应满足带电作业安全距离要求，符合 DL/T 966 及 DL/T 1126 的规定。

5.4.3 机器人上下线应严格按照操作流程及要求进行，实施人工辅助上下线时，应避免机器人高空坠落及发生碰撞；实施自动上下线时，应监控自动上下线装置工作状态，发现异常时应及时停机检查，不应强行操作。

5.4.4 对存在严重断股或锈蚀等损伤情况的地线，不应进行机器人巡检作业。巡检线路地线标称截面不应小于 50mm^2 ，机器人全重不宜超过 65kg 。

5.4.5 对存在大档距、大高差档段的线路，作业人员应根据机器人的爬坡能力和续航能力判断是否适合开展巡检作业。

5.4.6 巡检过程中，机器人与下方导线的电气距离应符合安全距离要求，机器人与地线及金具不应发生冲击碰撞，应采取措施防止机器人损伤地线及发生坠落。

5.4.7 巡检作业前，应预先设置紧急情况下机器人的安全策略。实施机器人遥控巡检时，应严格按照要求操作，避免误操作。

5.4.8 架空输电线路机器人巡检作业应满足 GB 26859 的规定。

6 巡检方式

6.1 正常巡检

6.1.1 运行单位根据线路巡检计划，安排机器人对线路进行周期性的巡检工作。

6.1.2 正常巡检一般对整条线路进行，也可以根据巡检任务和机器人的续航能力分区段进行。

6.1.3 正常巡检一般要求机器人搭载可见光摄像机、红外热成像仪、三维激光扫描仪等装置对线路本体设备和通道环境进行细致巡视和检查。

6.1.4 正常巡检宜采用自主巡检方式，必要时可采用遥控巡检方式。

6.2 故障巡检

6.2.1 线路发生故障或发现异常状况后，根据故障或异常信息，确定重点巡检区段、部位和巡检内容，采用机器人对故障区段进行巡检工作。

6.2.2 故障巡检目的主要是查明线路故障点、故障情况及故障原因，或者对线路缺陷进行跟踪检查。

6.2.3 根据不同故障巡检需求，故障巡检一般要求利用特定的检测设备查找故障点或对异常情况进行细致检查。

6.2.4 故障巡检计划应根据具体巡检任务和巡检目的制订。

6.2.5 故障巡检宜采用自主巡检和遥控巡检相结合的方式，宜全程人工监控，同步进行巡检数据的检查与复核。

6.3 特殊巡检

6.3.1 在自然灾害等特殊条件下或因特殊原因，安排机器人对输电线路本体设备和通道进行灾情检查或专项检查等辅助巡检工作。

6.3.2 特殊巡检一般在以下情况下适时进行：

- a) 线路走廊及周围环境发生自然灾害，如山火、山体滑坡、泥石流等。
- b) 线路走廊存在违章施工等外力破坏风险。
- c) 交叉跨越或特殊区段需要短期安全监控。
- d) 对重要线路执行重要保供电任务。
- e) 特殊线路区段现场作业短期需要现场监视或远程视频指导时。
- f) 输电线路处于大负荷运行或特殊运行方式时。

6.3.3 特殊巡检计划应根据具体巡检任务和巡检目的制订。

6.3.4 特殊巡检宜全程人工监控，同步进行巡检数据检查与复核，如果现场环境或条件不利于巡检工作继续或机器人行为异常，应立即中止巡检。

7 巡检内容

架空输电线路机器人巡检内容见表 1。

表 1 架空输电线路机器人巡检内容

巡检目标	巡检对象	巡检内容	检测设备
杆塔	地基与基面	回填土是否下沉，或是否缺土、水淹、冻胀、堆积杂物等	可见光相机/ 摄像机
	杆塔基础	是否存在明显破损、酥松、裂纹、露筋等； 基础是否移位、边坡保护是否不够等	
	杆塔	塔材是否变形、严重锈蚀； 塔材、螺栓、脚钉是否缺失，是否土埋塔脚； 混凝土杆是否未封杆顶、破损、裂纹、爬梯变形等	
	接地装置	接地引下线是否断裂、严重锈蚀、螺栓松脱等	
	绝缘子	伞裙是否破损、锁紧销是否缺损，绝缘子串是否严重倾斜； 铁帽是否存在裂纹、断裂； 钢脚是否严重锈蚀或蚀损、是否有放电痕迹等	红外热像仪
		是否严重污秽	
		绝缘子温度是否异常	
	线路金具	是否存在线夹断裂、裂纹、磨损、销钉脱落、严重锈蚀； 是否存在均压环、屏蔽环烧伤、螺栓松动； 是否存在防振锤移位、脱落、严重锈蚀、阻尼线变形等； 是否存在联板、连接环、调整板损伤、裂纹等	可见光相机/ 摄像机
		线夹、接续管、引流线等是否异常发热	红外热像仪
	防雷装置	是否存在线路避雷器外观异常，计数器受损、引线松脱； 是否存在放电间隙变化、烧伤等	可见光相机/ 摄像机
	防鸟装置	固定式：是否存在破损、变形、螺栓松脱等； 活动式：是否存在动作失灵、褪色、破损等； 电子、光波、声响式：是否损坏	
	监测装置	是否缺失、损坏、断线、移位	
	航空警示器材	高塔警示灯等是否缺失、损坏	
	防舞防冰装置	是否缺失、损坏等	
	ADSS	杆塔悬挂处是否损坏、断裂	
	杆号、警告、防护、 指示、相位等标志	是否缺失、损坏、字迹或颜色不清、严重锈蚀等	
档中	导线、地线 (OPGW)	是否存在散股、断股、损伤情况	可见光相机/摄像机、 红外热像仪
		弧垂是否过大或过小； 导线是否被异物缠绕； 导线对地及交叉跨越距离是否不足	可见光相机/摄像机、 激光扫描仪
		是否存在放电烧伤、严重锈蚀； 是否存在悬挂漂浮物、覆冰	可见光相机/ 摄像机
	ADSS	是否损坏、断裂、弛度变化	

表 1 (续)

巡检目标	巡检对象	巡检内容	检测设备
档中	航空警示器材	是否缺失、损坏	可见光相机/ 摄像机
	线路金具	是否存在间隔棒松脱、变形或移位、悬挂异物	
		接续管等是否异常发热	红外热像仪
通道	建(构)筑物	是否有违章建筑, 导线与之安全距离是否不足等	可见光相机/摄像机、 激光扫描仪
	树木(竹林)	是否有超高树木(竹), 导线与之安全距离是否不足等	
	交叉跨越变化	是否有新建电力及通信线路、道路、铁路、索道、管道等	
	山火及火灾隐患	线路附近是否有烟火现象	可见光相机/摄像机、 红外热像仪
		是否有易燃、易爆物堆积等	
	违章施工	线路下方或保护区是否有危及线路安全的施工作业等	可见光相机/ 摄像机
	防洪、排水、 基础保护设施	是否淤堵、破损等	
	自然灾害	是否有山洪、山体滑坡等引起通道环境变化	
	道路、桥梁	巡线道、桥梁是否损坏等	
	采动影响区	是否出现新的采动影响区; 采动区是否出现裂缝、塌陷对线路影响等	

8 巡检前准备

8.1 作业准备

8.1.1 应提前对巡检线路及地线状态进行安全评估, 确认地线上是否存在特殊障碍物(如航空警示球等), 必要时开展现场勘查, 确定能否进行机器人巡检作业。作业前应办理巡检作业手续。

8.1.2 作业人员应根据巡检线路长度、线路高差、线路环境及巡检要求, 估算机器人巡检作业时间和巡检里程, 提前编制巡检计划, 并根据巡检计划作好任务规划。

8.1.3 巡检线路较长或地理环境复杂时, 应评估机器人与地面监控基站的通信状况, 提前选定备用地面监控基站的安置地点, 编制备用监控基站安置预案。

8.1.4 机器人出库前, 作业人员应仔细检查设备电池电量是否充足, 各零部件、工器具及保障设备是否携带齐全, 准备好必要的备品备件, 做好出库记录后方可前往作业现场。

8.1.5 机器人上线作业前, 作业人员应在地面开展巡检系统自检和操作检查, 确保机器人巡检系统各部分功能正常。

8.2 任务规划

8.2.1 巡检前, 作业人员事先根据巡检计划和任务需求进行巡检任务规划。

8.2.2 任务规划应充分利用机器人的爬坡能力和线路高差, 合理规划巡检方向和巡检区段。并针对线路最大坡度校核机器人的爬坡能力, 提高机器人的巡检效率和续航能力。

8.2.3 机器人巡检任务规划包括巡检区段、巡检内容、操作模式、上下线方式、塔上充电方式、检测设备选择、巡检任务点布设、巡检数据处置等方面的内容, 保证机器人能够准确执行巡检任务。

8.2.4 巡检任务点的布设包括确定检测设备的拍摄地点、拍摄角度、视场范围、拍摄数量等, 确保巡检对象处于良好视角, 具有足够清晰度。

8.2.5 不同电压等级，单回、同塔多回线路杆塔、绝缘子、导线、地线、金具的外观结构与尺寸、巡检对象数量与安装位置、线路环境等多方面存在差异，巡检任务点应根据具体情况确定。

8.2.6 任务规划时，机器人检测设备的选择见表 1，巡检任务点的一般布设原则见表 2。

表 2 机器人巡检任务点的布设原则

巡检目标	巡检对象	拍摄数量	巡检要求
杆塔	地基与基面	每基塔 ≥ 5 张	能清晰显示地基及其周围情况
	杆塔基础	每基塔 ≥ 5 张	能清晰显示塔基表面及其周围情况
	塔身	每基塔 ≥ 5 张	能清晰显示塔身表面、连接结构及杆塔整体情况
	接地装置	每基塔 ≥ 2 张	能清晰显示接地装置及其周围情况
	绝缘子	220kV 及以下每串 ≥ 5 张 500kV (330kV) 每串 ≥ 8 张	能清晰显示绝缘子表面、连接销钉螺栓及整体倾斜情况，红外影像能反映绝缘子表面温度
	线路金具	每金具 ≥ 2 张	能清晰显示金具表面、结构及其连接情况，红外影像能反映表面温度
	防雷装置	每装置 ≥ 2 张	能清晰显示各装置表面及其周围情况
	防鸟装置	每装置 ≥ 2 张	
	监测装置	每装置 ≥ 2 张	
	航空警示器材	每装置 ≥ 2 张	
	防舞防冰装置	每装置 ≥ 2 张	
	ADSS 光缆	每基塔 ≥ 2 张	
档中	杆号、警告、防护、指示、相位等标志	每装置 ≥ 2 张	
	导线、地线、OPGW	每 10m ≥ 1 张	能清晰显示导线、地线表面情况，红外影像能反映表面温度
	ADSS 光缆	每 10m ≥ 1 张	能清晰显示各装置表面及其周围情况
	航空警示器材	每装置 ≥ 2 张	
通道	线路金具（接续管、间隔棒）	每金具 ≥ 2 张	能清晰显示金具表面、结构及其连接情况，红外影像能反映表面温度
	建（构）筑物	每 10m ≥ 1 张	能清晰显示通道情况，激光点云数据能反映导线与导线、下方树木、建筑空间距离信息
	树木（竹林）		
	交叉跨越变化		
	山火及火灾隐患		
	违章施工		
	防洪、排水、基础保护设施		
	自然灾害		
	道路、桥梁		
	采动影响区		

8.3 拍摄要求

8.3.1 杆塔巡检时，任务设备从塔前、塔后两个方向分别对巡检对象进行拍摄，与巡检对象长度方向

的夹角不宜大于 45°，无法区分长度方向的设备无拍摄角度要求。

8.3.2 杆塔巡检时，对塔基、塔身、绝缘子拍摄，每个任务点宜包含不低于 2 张的覆盖整体的全局图片和不低于 3 张的局部特写照片，其他任务点不要求拍摄覆盖整体的全局照片；绝缘子、金具及附属装置的局部照片包含目标不宜大于 1m×1m。

8.3.3 可见光图片成像质量要求清晰，能较好地区分图像中的前景和背景、目标轮廓及纹理清楚。

8.3.4 红外照片要求对导线及所有与之连接金具成像，实时显示影像中温度最高点位置及温度值。

8.3.5 照片应按成像时间、拍摄目标杆塔号及位置、目标名称、拍摄设备代号来命名，各种设备的影像资料应互相关联。

9 巡检作业

9.1 巡检作业流程

9.1.1 架空输电线路机器人巡检作业流程包括：巡检线路分析、巡检任务规划、巡检作业申请、机器人出库检查、机器人上线前检查、机器人上线及线上检查、巡检作业、机器人下线、巡检数据导出、机器人检查入库、巡检资料整理等。

9.1.2 架空输电线路机器人巡检作业流程参见附录 C。

9.2 机器人上下线

9.2.1 机器人上下线可采用人工辅助方式，亦可采用自动上下线装置。

9.2.2 人工辅助上线采用绝缘绳和滑车，由地面人员牵引起吊绝缘绳和控制护绳，将机器人由地面起吊到行走路径附近处，由塔上人员调整和控制机器人姿态，在地面人员配合下，将机器人安装到行走路径上。

9.2.3 自动上线采用自动上下线装置，将机器人装入自动上下线装置的吊篮中，作业人员控制卷扬机牵引吊篮，吊篮沿导轨从地面上升到与入线导轨对接，对接后机器人从吊篮沿入线导轨自动进入到行走路径上。

9.2.4 巡检作业结束后应及时安排机器人下线，机器人下线方法与上线方法类同，程序相反。

9.3 巡检过程

9.3.1 作业人员从地面监控基站发送巡检开始控制指令，操作机器人开始自主巡检，按任务规划自动执行巡检任务；或从地面监控基站直接操作机器人进行遥控巡检。

9.3.2 巡检过程中，机器人按自主或遥控方式执行巡检任务，并自动向地面监控基站发送状态信息和巡检图像，接收地面监控基站发送的控制指令。

9.3.3 机器人与地面监控基站进行正常通信时，作业人员应认真观察地面监控基站显示的状态信息和巡检图像，并做好必要记录。

9.3.4 当发现机器人与地面监控基站间通信中断时，应检查地面监控基站运行状态，采取措施以恢复通讯。

9.3.5 自主巡检过程中存在下述情形时，作业人员宜中断自主巡检，改为遥控巡检：

- a) 任务规划遗漏了重要的巡检目标，或临时需要增加新的巡检目标，或任务规划的巡检目标与实际巡检结果不一致。
- b) 任务规划的巡检目标检测得到的图像不清晰，不满足巡检质量要求。
- c) 需要对巡检目标进行多次巡检和确认。

9.3.6 巡检过程中，若发现机器人电池电量低，机器人可通过塔上充电装置，及时补充电能。

9.3.7 当机器人完成或中止自动巡检任务并向地面监控基站发送巡检结束信息，或当遥控巡检任务完

成或中止后，巡检作业结束。

9.4 异常情况处理

9.4.1 巡检过程中，遇到突发大风、暴雨、沙尘暴等恶劣气象变化，机器人应立即中止巡检作业，并执行安全保护操作，确保安全。

9.4.2 巡检过程中，当发现前方杆塔倒塌、地线严重断股或断线、地线绝缘子掉串、悬垂线夹断裂、机器人过于靠近下方导线时，或行走路径倾角与任务规划相差很大时，应立即中止巡检任务，操控机器人返回到最近的杆塔处停止移动，并执行安全保护操作。

9.4.3 巡检过程中，当电池电量不足或设备异常告警时，应立即中止巡检任务，并操控机器人到最近杆塔处停止移动，并执行安全保护操作。

9.4.4 自主巡检时，若地面监控基站与机器人通信中断无法恢复，在预计时间内机器人未到达预计位置，应根据通信中断前最后地理坐标或机载追踪器发送的报文等信息，及时查找定位机器人。

9.4.5 巡检过程中，若发生不可自动恢复的紧急故障导致机器人停留在档中区域，应立即中止作业，根据实际情况妥善处理。

10 巡检资料整理

10.1 机器人巡检作业的原始数据包括巡检的影像文件、点云数据文件、机器人运行日志记录文件、作业人员记录的信息等。

10.2 巡检作业结束后，作业人员应及时完成机器人巡检原始数据的下载、整理和分析诊断，编制巡检作业报告。

10.3 机器人巡检作业结束后，巡检系统应记录本次巡检作业的各项信息，自动生成《机器人巡检记录单》，参见附录 D。记录单与原始数据、巡检报告等资料一并归档。

10.4 巡检作业结束后，应对巡检发现的异常数据进行核实，及时处理巡检线路设备缺陷和安全隐患。

10.5 宜定期利用巡检系统的数据管理系统对巡检数据进行统计分析，了解巡检线路设备运行状态，制定有效的防范措施。

附 录 A
(资料性附录)
机器人上下线装置和操作方法

A.1 人工辅助上下线

A.1.1 所需工具

牵引绝缘绳、绝缘护绳、牵引滑车、导向滑车等。

A.1.2 上线操作步骤与方法

操作步骤与方法如下：

- a) 作业人员携带牵引绝缘绳与牵引滑车登塔，在地线上放置滑车，穿好绝缘绳并将绝缘绳放至塔下地面。地面人员将绝缘绳一端固定在机器人上，另一端穿过塔脚处安装的导向滑车并预留足够的长度。
- b) 塔下人员预先将绝缘护绳固定在机器人上，牵拉护绳控制机器人吊装过程中的摆动方向，与杆塔及导线保持足够的安全距离。同时牵拉绝缘绳将机器人提升至塔上地线附近。塔上人员负责监护整个吊装过程。
- c) 机器人到达地线附近后，塔上人员将机器人举起并将行走轮放置到地线上，待机器人自检完成后解开绝缘绳与护绳，机器人先试运行，确认无误后塔上人员方可下塔。若上线与下线在同一杆塔进行，则宜将滑车、绝缘绳和护绳在塔顶固定好。

A.1.3 下线操作步骤与方法

操作步骤与方法如下：

- a) 作业人员携带牵引绝缘绳、绝缘护绳与牵引滑车登塔，在地线上放置滑车并穿好绝缘绳，分别将绝缘绳和护绳的一端固定在机器人上，另一端放至塔下地面。地面人员在塔脚处安装导向滑车，将绝缘绳另一端穿过导向滑车并预留足够的长度。
- b) 塔下人员将绝缘绳拉紧，塔上人员将机器人的压紧轮放下，将行走轮脱离地线。
- c) 塔下人员控制绝缘绳，让机器人缓慢下降。同时控制护绳，让机器人与杆塔及导线保持足够的安全距离。
- d) 待机器人下降至地面后，解下机器人上的绝缘绳与护绳，塔上人员将绝缘绳收回，下塔时将绝缘绳与滑车一并带下。

A.1.4 注意事项

机器人上下线应注意：

- a) 吊装过程中使用的绝缘绳、护绳以及滑车需满足绝缘要求。
- b) 吊装过程中应时刻关注机器人与导线的安全距离，避免导线对机器人放电。
- c) 机器人升到地线附近时，需放慢绝缘绳牵拉速度，防止机器人与地线、滑车等发生碰撞。

A.2 自动上下线

A.2.1 结构

自动上下线装置包括卷扬机、垂直导轨、吊篮、塔顶引导部分、地线搭接部分等：

- a) 卷扬机：包括卷扬机、减速器、电机等，为机器人从塔底上升到塔顶对接处提供足够动力。
- b) 垂直导轨：为吊篮提供一条道路，使吊篮能够沿着指定线路到达塔顶，与塔顶引导部分对接。
- c) 吊篮：将机器人放入其中，沿着塔身垂直导轨到达塔顶。
- d) 塔顶引导部分：机器人到达塔顶后，从吊篮中驶出，沿着引导部分到达地线搭接部分。
- e) 地线搭接部分：使机器人从上下线装置出口进入地线。

A.2.2 功能

要求如下：

- a) 上下线装置应全程无人员登塔操作。
- b) 电机应具有自锁功能，在电机未通电时不会反转。
- c) 吊篮应有防坠落机构。

A.2.3 安装

要求如下：

- a) 垂直导轨各导轨段间应连接顺畅。
- b) 塔顶引导部分、各段连接部分应无干扰机器人行走的突出物，如突出的销钉等。
- c) 卷扬机的安装应便于钢丝绳的牵引，钢丝绳在牵引过程中不应与塔材接触防止磨损。
- d) 上下线结构与塔身的连接不得取下塔身的螺栓，且不得对塔身进行焊接，宜使用夹具。
- e) 自动上下线装置的安装应采取防盗措施。

A.2.4 设置

要求如下：

- a) 采用机器人进行多耐张段巡检或全线巡检的线路首末端或一端宜设置自动上下线装置。
- b) 线路故障多发、人工巡检困难以及大面积水域、大范围林区、大跨越、大档距等特殊区段，需要频繁采用机器人辅助巡检的，在特殊区段宜设置自动上下线装置。
- c) 上下线装置宜设置在高度较低的杆塔。

A.2.5 示例

卷扬机安装在两塔腿之间；塔顶引导部分安装在地线塔头横担与塔顶中部处；垂直导轨安装在两侧的塔身上，从塔头一直安装到塔底；地线搭接部分安装在地线金具上；吊篮安装在垂直导轨中。将机器人放入吊篮中，开启上下线控制箱，操作控制箱使机器人到达垂直导轨顶部，机器人从吊篮中驶出进入塔顶引导部分，沿着地线搭接部分进入地线，完成自动上线。

机器人巡检完毕，到达下线杆塔，沿着地线搭接部分进入自动上下线装置，在塔顶引导部分中行走进入吊篮，机器人进入吊篮后启动上下线控制箱，操作吊篮顺着垂直导轨到达塔底，完成自动下线。

自动上下线装置整体结构如图 A.1 所示，各部分结构如图 A.2～图 A.4 所示，吊篮结构如图 A.5 所示。

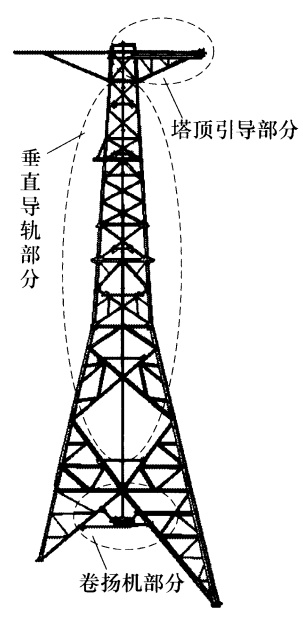


图 A.1 自动上下线装置整体结构

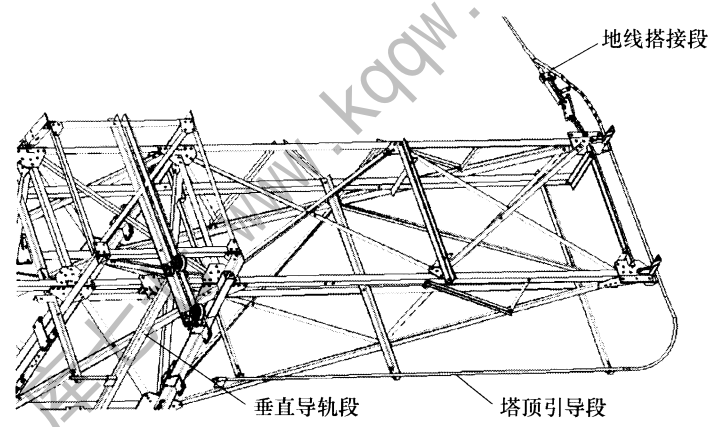


图 A.2 塔顶引导段与地线搭接段结构

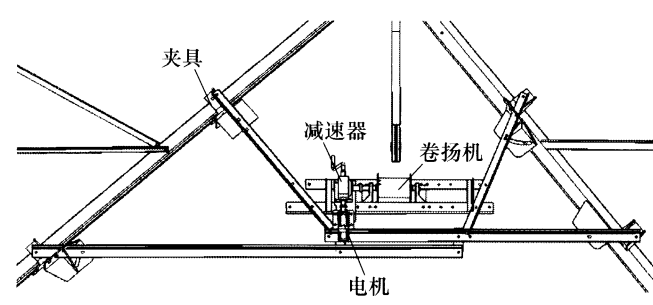


图 A.3 卷扬机结构

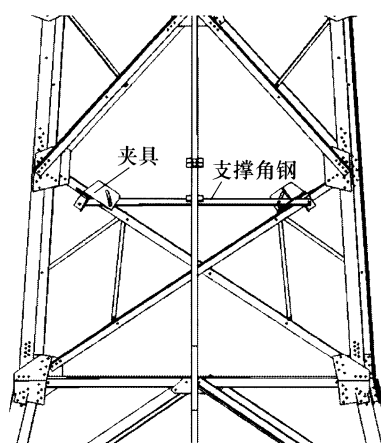


图 A.4 垂直导轨结构

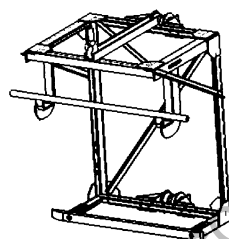


图 A.5 吊篮结构

附录 B
(资料性附录)
机器人行走路径改造方法

B.1 普通地线行走路径改造

B.1.1 直线塔地线悬垂线夹、地线防振锤的改造

B.1.1.1 悬垂线夹改造后的结构型式分别如图 B.1、图 B.2 所示，C 型挂板和改造后的悬垂线夹通过铰连接，其结构型式分别如图 B.3、图 B.4 所示。

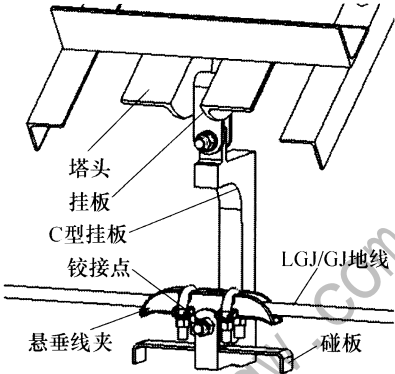


图 B.1 普通地线单悬垂线夹穿越结构

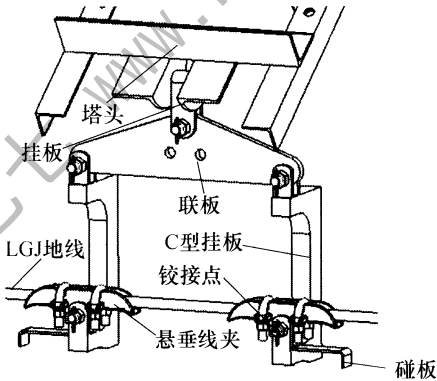


图 B.2 普通地线双悬垂线夹穿越结构

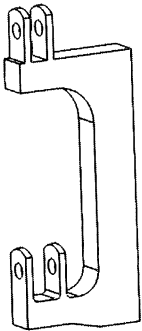


图 B.3 C型挂板结构

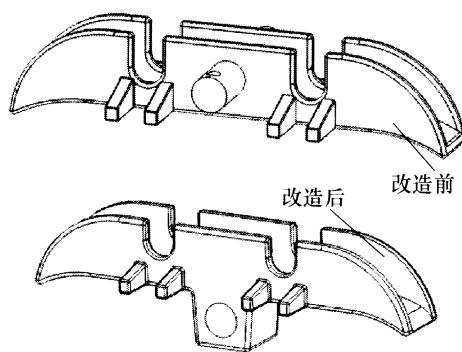


图 B.4 改造前后悬垂线夹结构

B.1.1.2 防振锤改造前、后的结构型式分别如图 B.5、图 B.6 所示。

B.1.1.3 组合障碍物路径型式如图 B.7 所示。

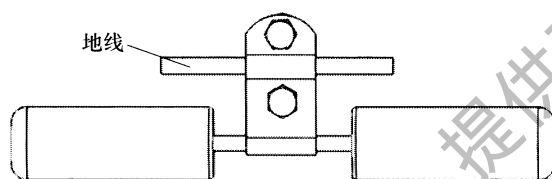


图 B.5 防振锤改造前结构

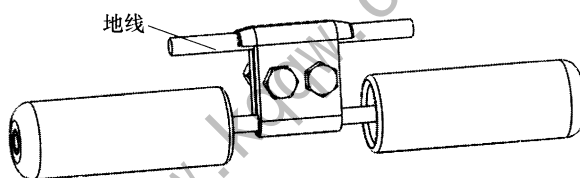


图 B.6 防振锤改造后结构

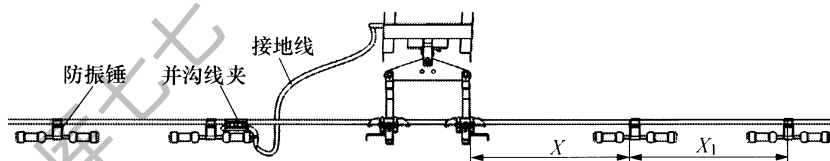


图 B.7 普通地线悬垂线夹组合障碍物路径型式

B.1.1.4 地线悬垂线夹和防振锤改造要求如下：

- 对于不同地线型号应分别选用尺寸结构适合的悬垂线夹。
- 线夹—C 型挂板—行走轮组合结构如图 B.8 所示，巡线机器人行走轮宽度为 W ，其宽度中心面距离 C 型挂板侧面的距离 D 需满足 $D \geq 0.5W + \Delta$ (Δ 为 C 型挂板宽度安全裕量，不宜小于 10mm)；行走轮的外径为 ϕ ，其行走轮中心面距离 C 型挂板上平面间的距离 H_1 应满足 $H_1 \geq 0.5\phi + \varepsilon$ (ε 为 C 型挂板高度安全裕量，不宜小于 20mm)；C 型挂板和改造后悬垂线夹的铰接点距离 C 型挂板上表面的距离 H 宜满足 $H \geq \phi + \varepsilon_1$ (ε_1 为安全裕量，不宜小于 50mm)。
- 改造后的线夹组合结构应满足 GB/T 2314 的力学要求。
- 参照图 B.7，防振锤间的安装距离 X_1 不宜小于 800mm，防振锤与悬垂线夹中心间的距离 X 不宜小于 1000mm。
- 改为 C 型挂板后，应校核地线悬挂点高度变化，不应显著降低地线悬挂高度。

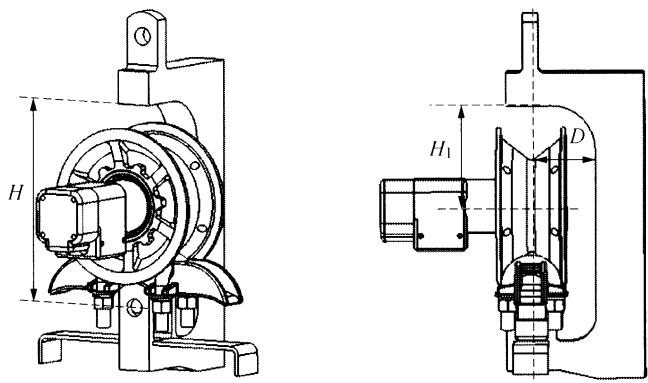


图 B.8 线夹—C 型挂板—行走轮组合结构

B.1.2 耐张塔地线过桥结构的搭建

B.1.2.1 普通地线耐张塔地线过桥结构型式如图 B.9 所示，根据不同型号地线连接至耐张塔头的连接金具不同，导轨支撑件应相应变化。

B.1.2.2 组合障碍物路径如图 B.10 所示，其中防振锤之间距离 X_1 以及靠近杆塔防振锤和穿越过桥引导管末端的距离 X_2 均不宜小于 800mm。

B.1.2.3 耐张塔地线过桥结构搭建要求如下：

- a) 线路改造不改变现有耐张塔地线连接结构。
- b) 耐张塔地线过桥结构安装时，不应拆卸杆塔原有螺栓或结构件。
- c) 为了使机器人能顺利通过耐张塔过桥，安装在横担上的刚性过桥段与安装在地线上的刚性过桥段，应采用柔性连接，参见图 B.9 中的柔性导轨。
- d) 为了确保机器人在过桥结构上行走的安全性和平顺性，耐张塔过桥路径的各段径向结构尺寸不应有过大的突变。
- e) 耐张塔地线过桥结构的机械强度除应满足线路设计规范要求之外，还应校核机器人荷载及叠加 12 级风下的风荷载。

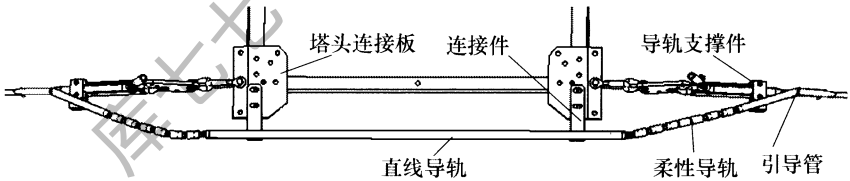


图 B.9 普通地线耐张塔地线过桥结构

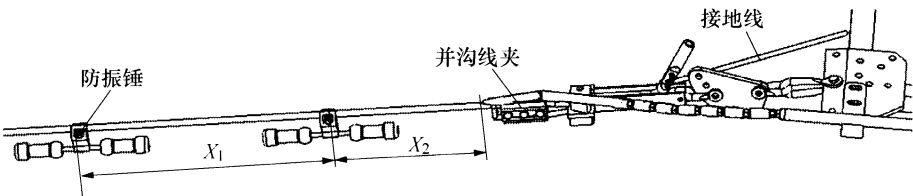


图 B.10 普通地线耐张塔组合障碍物路径

B.2 OPGW 地线行走路径改造

B.2.1 直线塔地线悬垂线夹、地线防振锤的改造

B.2.1.1 改造后单、双悬垂线夹结构型式分别如图 B.11、图 B.12 所示，OPGW 悬垂线夹上搭建过桥，

通过 C 型挂板以及挂板等金具连接至塔头。

B.2.1.2 组合障碍物路径型式如图 B.13 所示。

B.2.1.3 地线悬垂线夹和防振锤改造要求如下：

除满足普通地线悬垂线夹结构及其路径要求外，还应满足：

- C 型挂板—过桥—线夹组合结构如图 B.14 所示，C 型挂板的吊点和与悬垂线夹连接的铰接点位于同一直线上，C 型挂板下侧与改造悬垂线夹铰接点距离 C 型挂板上表面的距离 h 不宜小于 350mm。行走轮中心面距离 C 型挂板上表面的距离 h_1 不宜小于 100mm； D 尺寸要求应校核地线线径。
- 参照图 B.13，防振锤间的安装距离 X_1 不宜小于 800mm，防振锤与外预绞丝间的距离 X_3 不宜小于 300mm。
- 悬垂线夹过桥结构参照图 B.11、图 B.12，搭接过桥与直线过桥通过铰进行连接，能够适应不同的运行坡度，搭接过桥尾部焊接的 U 型螺栓和猴头卡的配合压紧外预绞丝实现悬垂过桥末端的固定。
- 改为 C 型挂板后，应校核地线悬挂点高度变化，不应显著降低地线悬挂高度。

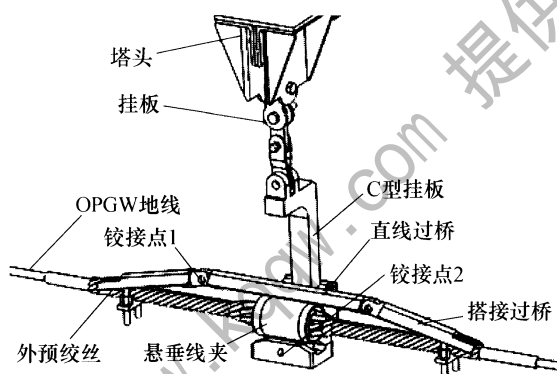


图 B.11 OPGW 地线单悬垂线夹穿越结构

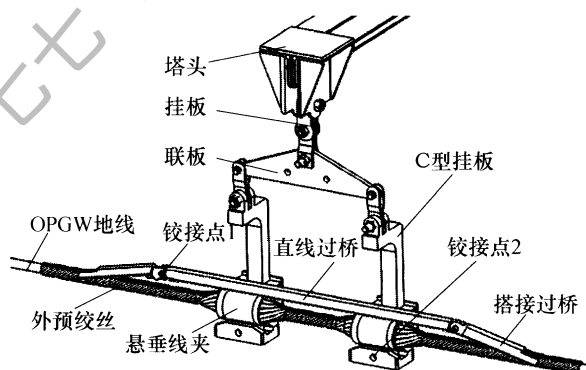


图 B.12 OPGW 地线双悬垂线夹穿越结构

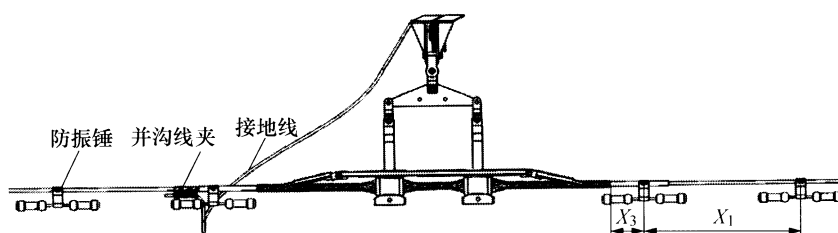


图 B.13 OPGW 地线悬垂组合障碍物路径

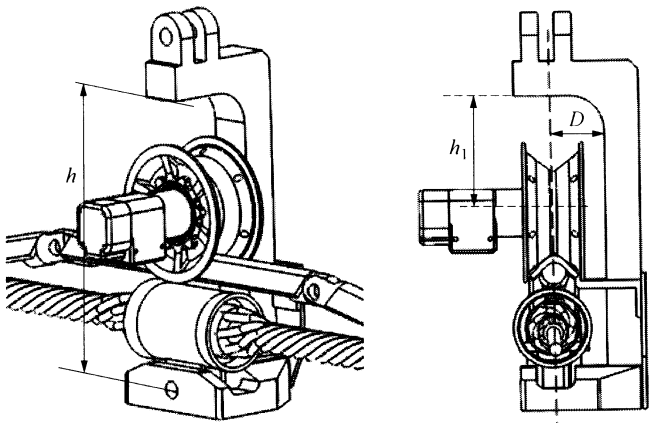


图 B.14 C 型挂板—过桥—线夹组合结构

B.2.2 耐张塔地线过桥结构的搭建

B.2.2.1 OPGW 地线耐张塔过桥结构型式类似普通地线耐张塔过桥结构，但应根据实际情况，在导轨支撑件固定位置、形式等方面有所调整。

B.2.2.2 组合障碍物路径，如图 B.15 所示。

B.2.2.3 耐张塔地线过桥结构搭建要求如下：

除满足普通地线耐张塔过桥结构及其路径要求外，参照图 B.15，防振锤与外预绞丝之间的安装距离 X_3 不宜小于 300mm。

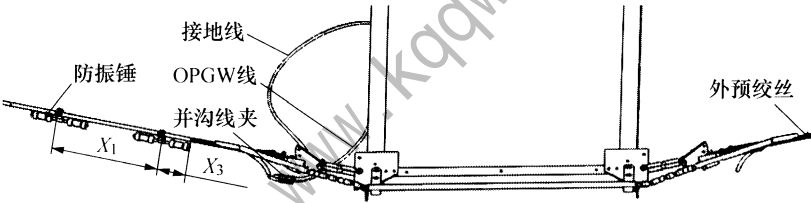


图 B.15 OPGW 地线耐张塔组合障碍物路径

B.3 跨越越障机器人行走路径改造

B.3.1 耐张塔地线过桥结构的搭建

耐张塔地线过桥结构型式，如图 B.16、图 B.17 所示，通过耐张塔头连接板固定耐张过桥杆。

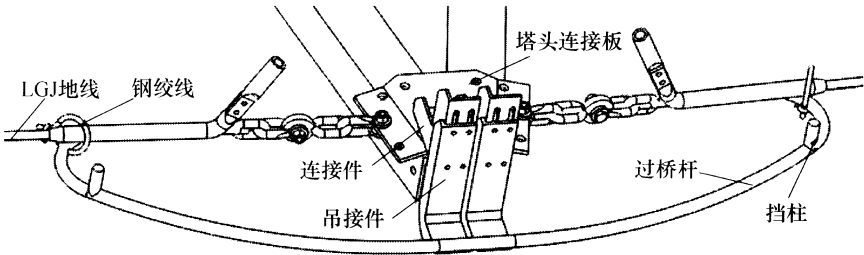


图 B.16 普通地线耐张塔过桥结构

B.3.2 障碍物组合路径

B.3.2.1 直线塔障碍物组合路径，如图 B.18 所示，接地线从地线上方引向杆塔。

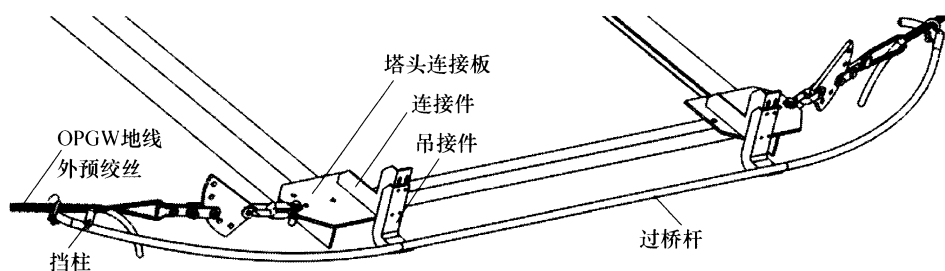


图 B.17 OPGW 地线耐张塔过桥结构

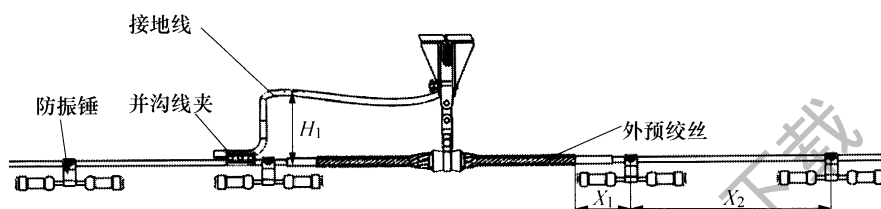


图 B.18 普通及 OPGW 地线直线塔组合路径

B.3.2.2 耐张塔障碍物组合路径，如图 B.19 所示，并沟线夹靠近跨越过桥地线搭接处布置。

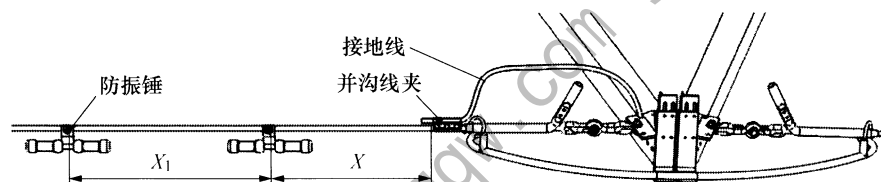


图 B.19 普通地线耐张塔障碍物组合路径

B.3.3 改造要求

改造要求如下：

- 线路改造不改变现有耐张塔地线连接结构。
- 跨越耐张塔地线过桥结构安装时，不应拆卸任何连接螺栓或结构。
- 跨越耐张塔地线过桥组合结构应满足 GB/T 2314 规定的力学要求。
- 参照图 B.19，OPGW 耐张塔地线过桥，防振锤距离并沟线夹的距离 X 不宜小于 800mm。

B.4 机器人穿越、跨越越障示例

B.4.1 穿越越障机器人越障示例

B.4.1.1 穿越悬垂线夹示例，如图 B.20 所示，两臂挂线，行走轮滚动通过改造挂板、并沟线夹、防振锤等，实现直线杆塔的穿越越障。

B.4.1.2 穿越耐张塔地线过桥示例，如图 B.21 所示。

B.4.2 跨越越障机器人越障示例

B.4.2.1 跨越悬垂线夹示例，如图 B.22 所示。

B.4.2.2 跨越耐张塔地线过桥示例，如图 B.23 所示。

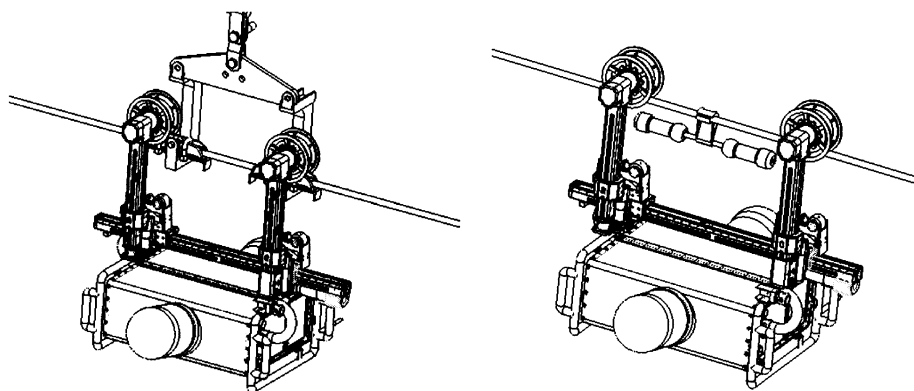


图 B.20 穿越悬垂线夹示例

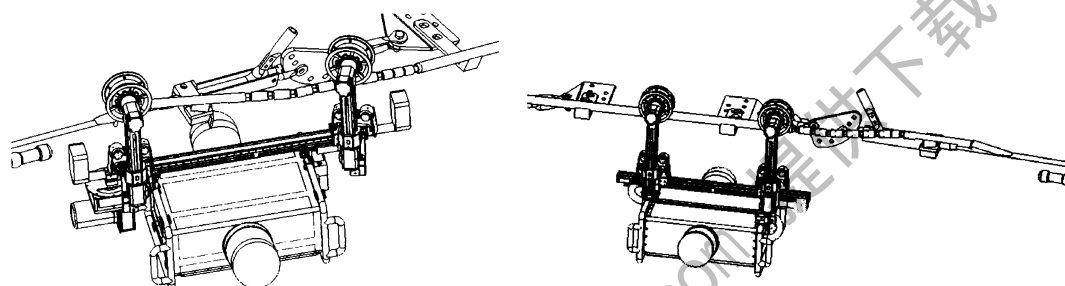


图 B.21 穿越耐张塔地线过桥示例

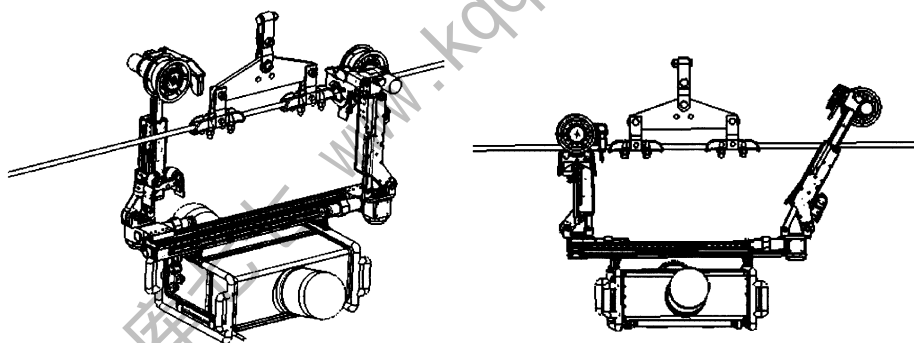


图 B.22 跨越悬垂线夹示例

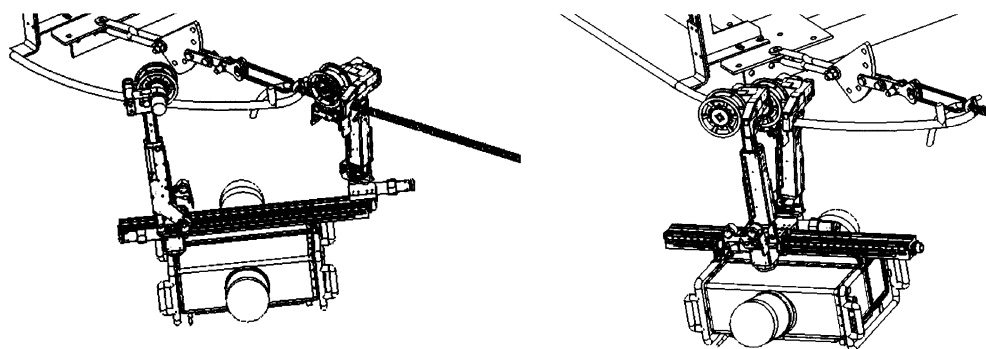


图 B.23 跨越耐张塔地线过桥示例

附 录 C
(资料性附录)
机器人巡检作业流程

机器人巡检作业流程见图 C.1。

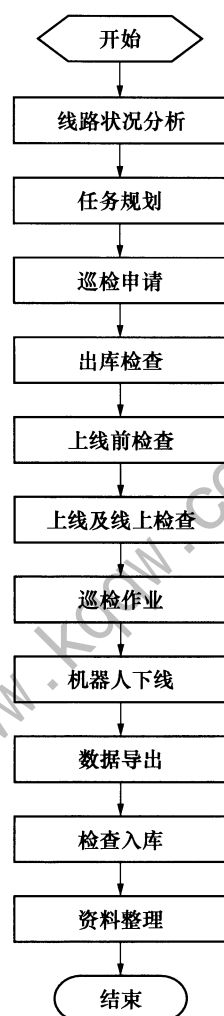


图 C.1 机器人巡检作业流程图

C.1 线路状况分析

收集巡检线路的设计、运行资料，进行线路状况分析，为制订巡检计划和任务规划提供参数。线路分析内容主要包括：

- a) 线路本体分析。线路类型、线路长度、线路高差、直线塔和耐张塔数量、最大坡度及其所在档段，以及线路是否有大跨越及其档距和杆塔号等。
- b) 机器人行走路径及其配套设备分析。行走路径是否具备穿越或跨越条件，是否安装塔上充电基站及其数量和对应的杆塔号，是否安装自动上下线装置及其对应的杆塔号。
- c) 线路走廊及其环境分析。是否有交叉跨越及其所在档段和杆塔，是否跨越大江、大河、山区或森林及其所对应的杆塔，线路周边建筑或设施及其对应杆塔，线路周边交通情况等。

- d) 线路历史故障及缺陷分析。故障及缺陷类型及其部位。

C.2 任务规划

制订巡检计划，根据巡检目的和任务进行任务规划，做好巡检前的准备工作：

- a) 根据巡检内容确定机器人检测设备的配置。
- b) 根据巡检线路和天气情况，预估机器人巡检作业时间、工作日、每日巡检的起止杆塔号及其巡检线路段长度。
- c) 依据巡检线路情况，检查核实机器人巡检任务规划的正确性。
- d) 安排好人员、车辆、工器具等。
- e) 完成巡检前的其他准备工作。

C.3 巡检申请

准备以下材料，提出巡检作业申请，办理机器人巡检作业手续：

- a) 巡检线路名称、巡检线路或线路段长度、巡检模式、主要巡检内容等。
- b) 巡检计划。
- c) 巡检作业准备情况。
- d) 巡检作业应急预案。

C.4 出库检查

进行机器人出库检查，做好出库记录。出库检查内容主要包括：

- a) 设备完整性检查。
- b) 设备外观检查。
- c) 设备状态检查。
- d) 确定设备是否具备巡检作业条件。

C.5 上线前检查

机器人上线前，应在地面开展巡检系统自检和操作检查，确保系统功能正常。上线前检查内容一般包括：

- a) 完整性检查。
- b) 连接的牢固性检查。
- c) 开机自检，检查机器人与地面监控基站的工作状态是否正常。
- d) 遥控操作检查，检查机器人与地面监控基站通信是否正常，各项遥控操作是否正常。

C.6 上线及线上检查

采用人工辅助或自动上线方法，完成机器人上线。

机器人上线后，再进行一次检查，检查内容主要包括：

- a) 机器人和地面监控基站工作状态。
- b) 遥控操作检查。
- c) 任务规划检查，确认任务规划文件与实际巡检任务一致。

C.7 巡检作业

一般巡检作业过程或事项如下：

- a) 线上检查完成且正常时，由地面监控基站向机器人发送巡检指令。

- b) 机器人正确接收并执行巡检指令，开始自主巡检作业，按任务规划自动执行巡检任务；或持续接受地面监控基站指令开展遥控巡检作业。
- c) 按巡检任务规划，机器人完成全部巡检任务，并到达下线杆塔处停止作业。
- d) 机器人可在塔上充电装置处暂停作业自动充电，充电完成后继续巡检作业。
- e) 遇大风等突发天气状况时，机器人暂停作业并原地待命，待突发情况解除后继续巡检作业。
- f) 可临时中止机器人自主巡检作业，改用遥控模式，待遥控巡检结束后，继续自主巡检作业。
- g) 如遇特殊情况无法继续进行巡检作业时，可中止当前巡检任务，停止作业。

C.8 机器人下线

机器人到达下线杆塔处并停止作业后，采用人工辅助或自动下线方法，完成机器人下线。
按照巡检计划，可继续转场到下一个作业点进行巡检作业，直至完成全部巡检任务。

C.9 数据导出

从机器人及地面监控基站中导出影像文件、点云数据文件、机器人运行日志记录文件等，并将巡检过程中作业人员记录的事件、信息等整理成完整的文件资料。

C.10 检查入库

对作业完成后的机器人巡检系统进行设备完整性检查、外观检查、状态检查。
检查无异常后，对机器人巡检系统进行常规保养维护并入库。
如有异常，应及时通知供应商进行维修。

C.11 资料整理

对巡检数据进行核对，检查数据是否完整、有效，检查无误后，将数据录入信息系统。
对巡检数据进行分析，判断巡检线路是否存在缺陷及隐患，并编制巡检报告。
核实巡检发现的线路缺陷、隐患，以备及时进行处理。

附 录 D
(资料性附录)
机器人巡检记录单

机器人巡检记录见表 D.1。

表 D.1 机 器 人 巡 检 记 录 单

编号:		巡检时间: 年 月 日															
巡检线路	线路名称																
	起始杆塔号				终止杆塔号				巡检里程								
任务类型		正常巡视、故障巡视、特殊巡视															
任务规划简况																	
机器人型号				机器人编号													
地面监控基站型号				地面监控基站编号													
气候情况		天气				气温				地面风速				其他			
巡检作业人员		负责人				操控人						其他人员					
线路变更信息		记录巡检线路实际情况与线路资料的差别															
作业过程记录		记录操作过程、任务规划变更、机器人设备异常情况和处理措施															
缺陷检出情况	杆塔号			缺陷部位				缺陷内容									
巡检结论																	
记录人:		工作负责人:															

中 华 人 民 共 和 国
电 力 行 业 标 准
架空输电线路机器人巡检技术导则
DL/T 1722—2017

*

中国电力出版社出版、发行
(北京市东城区北京站西街19号 100005 <http://www.cepp.sgcc.com.cn>)
北京传奇佳彩印刷有限公司印刷

*

2019年2月第一版 2019年2月北京第一次印刷
880毫米×1230毫米 16开本 1.75印张 49千字
印数 001—500册

*

统一书号 155198·1171 定价 **22.00** 元

版 权 专 有 侵 权 必 究
本书如有印装质量问题，我社营销中心负责退换

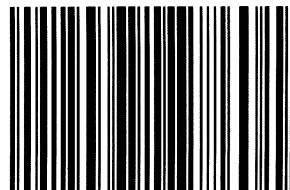


中国电力出版社官方微信



电力标准信息微信

为您提供 **最及时、最准确、最权威** 的电力标准信息



155198.1171