

高压电线巡线检修轮进式机器人研究设计

俞昊天 姚俊莹 冯毅诚 孙乾泷

哈尔滨理工大学 黑龙江 哈尔滨 150080

摘要：高压巡线检修机器人是高压电线路巡线检修的重要设备。本文根据国内外高压巡线机器人的研究现状，综合仿人攀登、跃障检修、独立行走、带电作业、远程监控以及无人机技术，设计了一款高压电线巡线检修轮进式机器人。该机器人可以代替工人进行巡检工作，飞行平台载有巡线底盘上升至高压线处，操控者通过摄像头图传系统实时观测高压线路状况，根据所需完成工作不同，选取机械臂合适组件，远程操控精准维修。若高空中遇突发状况，通过避障检修模块、低温维持模块等电控系统进行调节，或通过跃障方案进行跃障工作，同时飞行平台与巡线底盘的可分离式设计，提升了整体的续航时间。此装置不仅降低了高压线路检修成本，而且提高了巡线检修的效率保证工人的安全。

关键词：远程操控；巡线检修；安全高效

前言

高压电线路是电力传输过程中必不可少的设备，它对供电系统的安全性与可靠性起着决定性作用^[1]。而高压电线路长期处于室外高空自然环境中，受风吹日晒，易造成表皮老化，而北方冬天的冰雪堆积，增加对高压电线的压力，减小电线的使用寿命；所以高压电线路需定期进行巡线检修；而受地形及环境影响，人工检修存在着极大的风险，且人工带电作业存在安全隐患。为有效替代人工检修，高压带电检修轮进式机器人成为了保护高压电线的重要设备。

1 高压电线巡线检修轮进式机器人国内外研究现状

1.1 国外发展现状

自20世纪80年代末期开始，日本、加拿大等国家相继展开了对巡线机器人的研究工作。1988年日本设计出了第一台可仿人攀援跃障的光纤复合架空地线巡线机器人，由于未安装外部环境感知传感器^[2]，因而适用范围较小；而在21世纪初，加拿大研制出了LineScout高压输电线路检测机器人^[3]，可实现315kV^[4]及以上带电作业。使得高压电线路巡线检修达到真正的智能化时代。

1.2 国内发展现状

而国内对巡线机器人的研究始于20世纪90年代末，由中国科学院、武汉大学等多所单位^[4]率先开展巡线机器人技术研究工作，并取得了关键性突破。相继研制出500kV超高压输电线路巡线机器人^[5]及两臂巡线机器人^[6]，在高压电线路可自主行走及完成跃障等工作，同时携带摄像头等监控设备，实现远程操控。到2005年山东大学研制出110kV输电线路自动巡线机器人^[7]，其设计有驱动装置、控制装置以及柔性臂，通过手掌开合顺利完成输电线路的巡线检修工作。

目前对于巡线检修机器人的研发，已很大程度上实现了人工智能，但没有将无人机飞行平台与轮式机器人结合起来，使人真正的远离高空高压，实现远程操控。如今的移动机器人技术成为了研究的热点。

2 目前高压电线巡线检修存在问题及研究目标

2.1 待解决问题：

哈尔滨及各北方城市远距离输电系统冬天会发生结冰（如图1所示）或飘挂垃圾（如图2所示）等问题，对线路造成破坏或引发火灾等，人工清理困难的，耗时长，安全性差，甚至必须停电作业。且人工巡线成本高，效率低。尤其在偏远地区，复杂地形增加了工人的巡查工作难度。目前急需一种高压电线巡线检修机器人，可装配有破冰锤，机械钳可破除结冰或取下垃圾，以及将巡线检修机器人与飞行平台相结合，实现真正的远程操控，响应速度、工作效率以及安全性均高于人工。

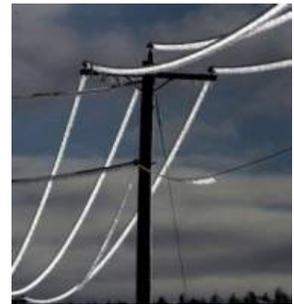


图1 冰棱对高压线的影响 图2 工人摘取风筝

2.2 研究目标

巡线机器人以飞行平台及索道缆车技术为基础，通过机械模型设计及算法变成可用于高压电线路巡检，摘除悬挂异物，破除电线上凝固的冰棱。同时具备飞行能力及图像实时传输功能，可检测高压电线损耗情况。轨道轮进式机器人的方式，保障机器人顺利进入指定区域并成功挂线，工作时稳定。通过图像传输功能，将高空电线画面传输回地面，实现巡检功能。此装置前置安装的机械臂模块可实现针对不同的工作需要更换不同的工作组件。

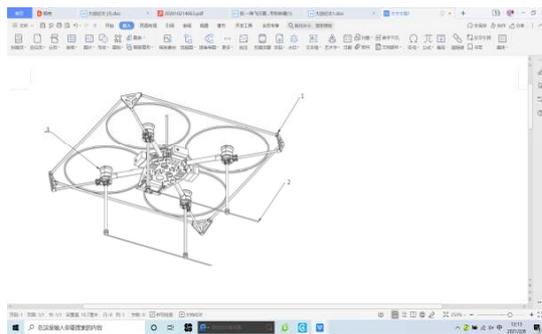
3 高压电线巡线检修轮进式机器人各模块设计

由于不同的工作境需要机器人续航时间不同，为保证机器人可顺利在高空中完成作业并返航，所以将机器人的飞行平台与轮进式行进模块设计为可分离式结构，无人机只起到运输作用，耗电量较低，可提升整体续航时间。其整体装置主要包含飞行平台与巡线底盘模块：

3.1 飞行平台设计

空中平台主要由 GPS 模块，多轴无人机平台以及控制端三部分组成。其中 GPS 模块定位可达到厘米级，保证飞行与搭线的精准。飞行平台通过 PIX2.4.8 飞控系统的算法调试实现两种模式：正常模式及搭线巡航模式，其中正常模式与常规无人机的操作方式大体相同，而搭线模式为机器人与高压电线咬合后降低螺旋桨转速，从而节省电能，增加工作时间。

飞行平台采用多旋翼无人机，而多轴飞行器与巡线底盘挂载杆相连，通过无刷电机提供升力。可通过实时图传进行第一人飞行，装有远程控制摄像的高清相机，回收后可进行作业回放。其装置如图 3 所示：

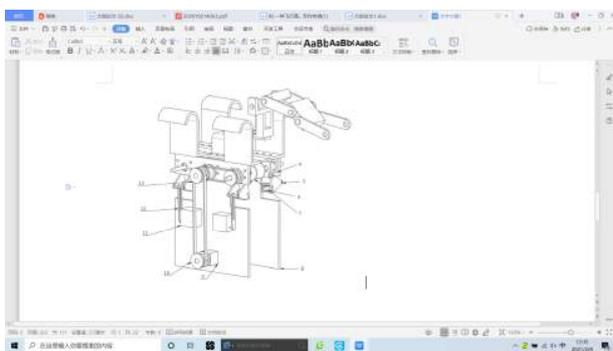


1. 多轴飞行器 2. 巡线底盘挂载杆 3. 无刷电机

图 3 飞行平台装置图

3.2 巡线底盘设计

底盘挂钩的底端与直角撑的上端连接，挂载板与直角撑的侧端连接，主动轮处于两侧的挂载板内侧，步进电机通过皮带轮及传动皮带与主动轮相连，电子设备屏蔽盒安置在挂载板外侧，侧方辅助轮与侧方辅助轮架连接，侧方辅助轮架安置在挂载板内侧，辅助轮连杆上端与侧方辅助轮架连接。而为了提高机器人稳定性，将重量较大的电机放置在远离电线且较低的位置，同时在电线两侧安装辅助轮组，由舵机提供动力轮组可以绕其旋转中心旋转，轮组与导线之间的距离可变，从而使两侧辅助轮组不同程度的挤压电线，电线提供不同的压力以保证装置在有侧翻趋势的时候及时调整平衡。其装置如图 4 所示：



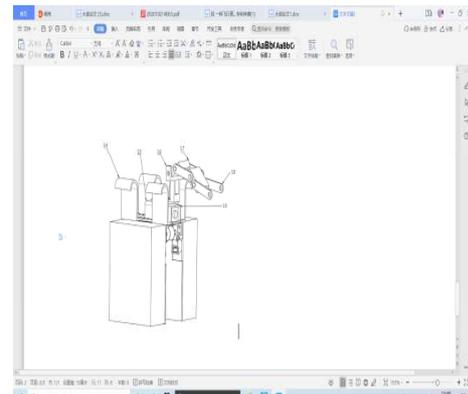
4. 直角撑 5. 侧方辅助固定轮架 6. 侧方辅助轮 7. 主动轮 8. 挂载板 9. 步进电机 10. 皮带轮 11. 电子设备屏蔽盒 12. 侧方辅助轮杆 13. 传动皮带

图 4 巡线底盘装置图

4 机械臂工作原理分析

4.1 机械臂模型：

机械臂由舵机与铝制杆构成，其前端放置图传系统，机械臂支架同时连接机械臂底座与舵机，而机械大臂与机械小臂通过末端安装头将舵机 1 与舵机 2 连接起来，舵机提供动力，实现机械臂完成破冰及摘取悬挂物的工作。其装置如图 5 所示：



14. 底盘挂钩 15. 机械臂底座 16. 机械臂支架 17. 舵机

18. 末端安装头 19. 图传系统

图 5 机械臂装置图

4.2 工作原理

破冰模块：采用电机带动齿轮单项转动，压缩弹簧。由于齿轮只有部分有齿，齿轮转动至无齿的角度时，齿轮不啮合，弹簧会向下运动，弹射除冰齿。利用除冰齿的冲量破除冰棱。其装置如图 6 所示：

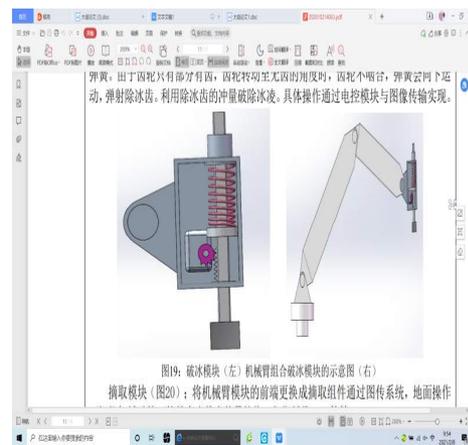


图 6 破冰模块

摘取模块：将机械臂模块的前端更换成摘取组件，通过图传系统，地面操控者控制两齿轮的旋转调节机械机械钳开合的角度，以摘取高压电线上的悬挂物。其装置如图 7 所示：



图 7 摘取组件

6 电控系统设计

由于高压电线巡线检修轮进式机器人为分离式设计，固采用双遥控分别控制飞行平台、底盘模块与机械臂模块。而电控系统多用于负载设备，部分与无人机共用。以 STM32F130VCT6 为核心芯片，以 C 语言为主，汇编语言为辅；利用红外传感器与超声波测距传感器控制避障模块，以检测周围障碍物，保证无人机的安全；而温度传感器控制低温维持模块，确保极寒环境下，维护设备正常工作；通过电控技术控制驳接对接模块与评估预警模块，实现快速咬合高压线，同时稳定机器人以及实时检测设备工作环境，非常态时提出预警。主控板对机械臂模块与底盘程序进行控制，完成除杂除冰等工作。

同时，电控系统还设计有抗干扰模块，防止电流畸变，稳定信号输入输出；机械工作模块，对机械臂以及破冰装置进行高度控制；摄像图传模块，实时反馈图像，便于操作和指挥；无线链路模块，实时传输机械工作模

块数据。而云台采用自平衡技术，利用陀螺仪实现算法。

7 结束语

通过此项目我们设计了高压巡线检修轮进式机器人，其满足可远程操控跃障、带电作业、安全高效等多项要求，同时飞行平台于巡线底盘的可分离式结构设计，提升了整体的续航时间。但由于飞控系统与单片机主板为分别控制，所以工作时需两名操作者同时对飞行平台与巡线底盘进行操控，这造成相同时间内人力资源效率的降低，目前还未有更好的设计方案，欢迎广大学者在此基础上进行深入研究并作进一步改进。

参考文献：

- [1] 董洁. 基于高压输电线路的智能巡线机器人, 2019 (11)
- [2] 左岐, 谢檀, 梁自泽, 唐健隆, 孙德辉, 刘仁学. 巡线机器人的发展与应用, 2007 (3)
- [3] 黄洪升, 李绪镇, 盛启玉, 王昊, 杨净洁, 王慧明. 高压输电线机器人的研究现状及展望, 2019 (8)
- [4] 张成巍. 智能巡检机器人研究现状与发展趋势, 2015 (1)
- [5] 李晓舟, 许金凯, 于化东, 孙志怀, 刘岩. 超高压输电线路巡线机器人结构设计与运动学仿真, 2009 (9)
- [6] 吴功平, 戴锦春, 郭应龙, 于俊清, 袁文华. 具有自动跃障功能的高压线巡线小车, 1999 (1)
- [7] 周凤余, 吴爱国, 李贻斌. 110kV 输电线路巡线机器人, 2008 (3)