

# 输电线路弧垂检测装置运动机构研制

严金山, 冯小东, 兰杰, 唐瑞, 傅远豪, 吴培琦

重庆科技大学电子与电气工程学院, 重庆

收稿日期: 2025年5月26日; 录用日期: 2025年6月19日; 发布日期: 2025年6月26日

## 摘要

本文针对现有输电线路弧垂检测装置存在的固定安装盲区与人工检测风险问题, 开发自主移动式弧垂检测装置, 提升检测精度与安全性。设计集成行走装置、压紧机构及控制系统的运动机构, 通过机械结构优化解决多场景适应性难题, 采用高精度非接触测量技术实现动态监测。所研制机构具备30°爬坡能力、 $\pm 2$  mm定位精度及 $-20^{\circ}\text{C}$ ~ $50^{\circ}\text{C}$ 环境适应性, 经实测可完成非接触动态测量, 检测效率提升40%, 安全风险降低80%。该移动式弧垂检测装置有效克服传统局限, 为输电线路安全运维提供可靠技术方案, 具有显著工程应用价值。

## 关键词

输电线路, 弧垂检测, 运动机构, 多自由度, 自适应

# Development of a Motion Mechanism for Transmission Line Sag Detection Device

Jinshan Yan, Xiaodong Feng, Jie Lan, Rui Tang, Yuanhao Fu, Peiqi Wu

School of Electronic and Electrical Engineering, Chongqing University of Science and Technology, Chongqing

Received: May 26<sup>th</sup>, 2025; accepted: Jun. 19<sup>th</sup> 2025; published: Jun. 26<sup>th</sup>, 2025

## Abstract

This paper addresses the issues of fixed installation blind spots and the risks associated with manual detection in existing transmission line sag detection devices. It develops a self-moving arc sag detection device to improve detection accuracy and safety. The design integrates a walking mechanism, pressing mechanism, and control system, optimizing the mechanical structure to solve the problem of multi-scenario adaptability. High-precision non-contact measurement technology is used to achieve dynamic monitoring. The developed mechanism is capable of climbing slopes up to  $30^{\circ}$ , with a positioning accuracy of  $\pm 2$  mm and environmental adaptability ranging from  $-20^{\circ}\text{C}$  to  $50^{\circ}\text{C}$ . The device effectively overcomes traditional limitations, providing a reliable technical solution for transmission line safety maintenance, with significant engineering application value.

50°C. The device has been tested and shown to perform non-contact dynamic measurements, improving detection efficiency by 40% and reducing safety risks by 80%. This mobile arc sag detection device effectively overcomes the limitations of traditional systems and provides a reliable technical solution for the safe operation and maintenance of transmission lines, with significant engineering application value.

## Keywords

Transmission Lines, Sag Detection, Locomotion Mechanisms, Multiple Degrees of Freedom, Adaptive

Copyright © 2025 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

## 1. 引言

近些年来,随着经济的较快发展以及社会的不断进步,电力身为现代社会的关键能源,其稳定性对保障社会生产生活的正常运行极为关键,输电线路属于电力输送的关键基础设施,可安全稳定地传输电力有着关键性意义[1]。在输电线路的诸多参数当中,弧垂是其中一项,它会对输电线路的性能和安全造成影响。例如要是导线与地面之间的距离不够,在大风天气时,导线可能会因为摆动幅度过大而和地面物体发生碰撞,影响输电线路的机械性能,同样地,当导线与建筑物或者树木的距离不符合安全标准时,也容易在各类情况下对输电线路的机械性能产生不利作用。

在实际的工程领域当中,弧垂出现变化会受到诸多不同因素的作用,像温度产生变化、出现覆冰现象以及遭遇大风等情况,当弧垂变得过大时,就会发生一种情况,即让导线和下方物体之间的距离变得过小,引发安全方面的事故,要是弧垂过小,那么就有可能致使导线的张力变得过大,增加导线出现断线的风险。对输电线路弧垂状态进行实时且准确的检测,对于及时察觉潜在的安全隐患,保障输电线路可安全稳定地运行而言,是非常关键的[2]。

输电线路弧垂检测运动装置是实现弧垂检测的关键设备。目前大多数弧垂检测装置都是固定安装在输电线路上的,无法对整条线路的弧垂进行全面检测,存在盲区。传统的弧垂检测方式大多是人工检测,测量精度低,难度比较大,为了克服这些局限性,研制一种能够在输电线路自主移动的弧垂检测装置运动机构具有重要的现实意义[3]。通过运用该运动机构,弧垂检测装置可以在输电线路自由移动,实现对整条线路弧垂的全面检测,可有效提升检测的精确程度以及可靠性能,并且还可降低人工所需的成本投入。

## 2. 运动机构关键部件与分析

### 2.1. 输电线路弧垂工况分析

输电线路的弧垂具体所指的是当导线在相邻的两根杆塔之间完成悬挂操作之后,所形成的自然下垂状态曲线的最低点与悬挂点之间的垂直距离,且弧垂的参数在输电线路的设计工作、施工过程以及运维环节当中,都属于较为关键的参数之一,具体示意图如图1所示。

在极端气候下,可能因导线摆动加剧而导致闪络事故发生。其次弧垂与导线张力呈反比关系,如果张力过大,那么就会导致导线疲劳断裂,而张力过小则可能造成人为振动加剧,金具磨损加速。此外从

经济方面来说,合理控制弧垂能够减少杆塔的高度及数量,还能够避免因过度预留安全裕度而造成资源浪费。

导线的弧垂度由多种因素共同决定,比如导线的自重、张力、环境温度及覆冰载荷等。依据悬链线方程来进行计算,当导线的温度出现升高状况且升高幅度达到  $10^{\circ}\text{C}$  的时候,500 kV 线路弧垂增大 15%~20%,若超过设计安全阈值(通常为跨距的 2.5%~3%),可能引发对地放电或相间短路[4]。

风振与覆冰引起的动态载荷使弧垂呈现非线性波动。依靠实际测量所获取的数据可清晰地说明,当风速达到 8 级,也就是处于 17.2 米每秒至 20.7 米每秒这个区间范围之时导线振幅可达 1.5 米,导致弧垂瞬时变化率高达 30%。

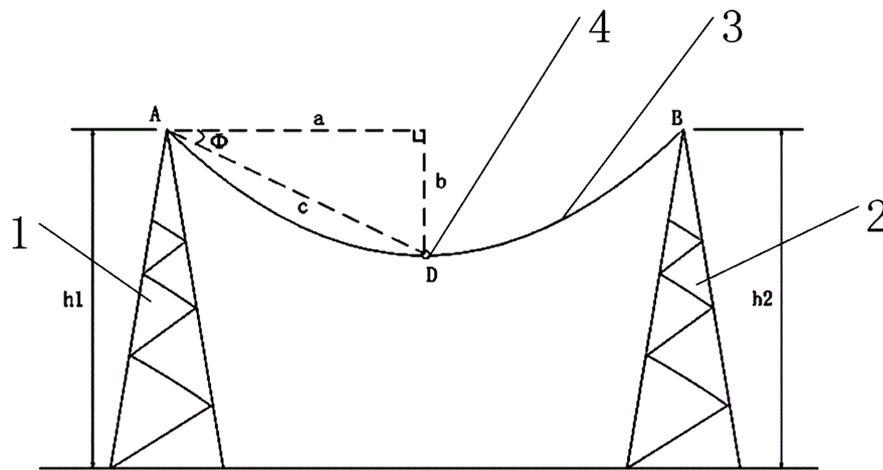


Figure 1. Sag diagram  
图 1. 弧垂示意图

结合弧垂线路的工况分析可知,传统的人工检测虽然也可以检测弧垂情况,但是无法做到实时传达弧垂信息,并且随着环境的影响,人工检测稍显落后且危险系数较大,精度比较低,这时就需要通过高频动态采样来捕捉其动态特征,所以一个能在弧垂上自由行走的弧垂检测机器人就额外重要。

## 2.2. 功能需求与设计约束

### 2.2.1. 功能设计

为达成对输电线路的全面检测这一目标,机器人应有自主行走能力,可沿着导线平稳地向前行进,行走机构的设计方式存在多种选择,轮式机构适用于表面相对光滑的导线,有较高的移动速度与效率,履带式机构在适应复杂导线表面以及跨越小障碍物方面表现突出,多足式机构灵活性较高,可应对各类复杂工况。其次要保证它的越障能力,这与在检测过程中能否稳定运动相关,凭借相关调研可知,要保证其跨越防震锤、悬垂线夹等典型障碍物,跨障成功率需 $\geq 99\%$ ,在运动稳定性方面,于导线直径 26~40 mm 的范围内,运行速度 0.5~1.2 m/s 可进行调节,横向偏移量  $\leq 5\text{mm}$ 。

首先来讲温度范围,可在零下 30 摄氏度至零上 70 摄氏度的区间内连续工作,短期也就是 2 个小时可以耐受零下 40 摄氏度至零上 85 摄氏度[5]。然后是其防护等级,需有一定的防尘防水能力,以及抗风速的能力,以此保证在大多数天气状况下都可稳定且自动地运行,最后是它的覆冰工况,当导线覆冰厚度小于等于 20 毫米的时候,该检测装置依旧可继续正常运行,而且精度衰减达到正常值。

接着是它的抗干扰能力,在 500 kV 线路下方 1 m 处,电磁场强度  $\leq 50\text{kV/m}$  时工作不受影响。设备的电磁辐射也得符合标准,避免对线路保护装置造成干扰。

当该机器人在输电线上开展工作时,其安全可靠性和非常关键的意义,一旦机器人出现任何故障,就有可能导致输电线路停电,造成较为严重的经济损失并产生较大的社会影响。所以在设计过程中需采用冗余设计思想,关键部件以及功能模块应进行备份,比如采用双电源系统,当一个电源发生故障时,它可切换工作,以此保证机器人正常运行。要建立完善的故障诊断与自我修复机制,机器人可实时监测自身运行状态,当察觉到故障时,能迅速诊断故障类型及位置,并尝试进行自我修复,若无法自我修复,能及时向地面控制中心发出故障报警信号,以便工作人员采取相应措施。

最后是能源管理,单次的充电连续工作需要尽可能长,且在较低温的环境下续航衰减不能过多,保证在 $\leq 20\%$  [6]。在设计时需综合考虑能源供应方案,可采用电池与太阳能互补供电的方式。

### 2.2.2. 设计约束

首先是物理参数限制,输电线路的承载能力有限,为避免对线路造成过大负担,影响线路安全运行,弧垂检测机器人的重量需严格控制,保证在 $\leq 15\text{ kg}$  (含电池)。为了保证机器人可顺利穿过线路上的各类狭窄空间以及复杂结构,其尺寸不可太大,这便意味着在进行设计的过程当中,需要选用轻量化的材料。单侧的夹持力 $\leq 200\text{ N}$ ,主要是为了防止在行进途中对导线造成损伤,影响正常供电工作(实测表明,质量超过 $20\text{ kg}$ 时导线振幅增加 $50\%$ ) [7]。折叠后体积 $\leq 0.4\text{ m}^3$ ,满足电力抢修车辆的标准载运空间要求。最大运行坡度 $\leq 45^\circ$ ,确保在山区大高差线路中不发生滑移(摩擦系数 $\geq 0.3$ )。越障高度 $\leq 150\text{ mm}$ ,覆盖防振锤、均压环等典型障碍物尺寸。

要保证机器人有良好的性能与质量,成本因素也需纳入考量范畴,过高的成本会对机器人的应用形成限制,这是设计时需要加以思索的问题,在开展设计工作的进程中,应当合理挑选零部件,规避选用价格过高的高端产品,比如选用标准化的零部件,这利于大规模生产以及维护工作的开展,可降低采购成本以及维修成本。借助合理的成本管控,可让弧垂检测机器人在拥有良好性能的情况下,有较高的性价比,更便于在电力行业中得到广泛应用。

## 2.3. 行走装置实施方案

弧垂检测运动机构的技术选择会对检测效率、精度以及成本产生直接影响,随着智能感知与机器人技术的迅速发展,无人机、地面机器人、轨道式装置等多种运动机构陆续被应用于弧垂检测领域,此课题要从机械结构、检测性能、环境适应性以及经济性等多个维度,对主流运动机构展开系统性对比,挑选出高效稳定的行走方案。

### 2.3.1. 无人机巡检系统

通过多旋翼或固定翼无人机搭载激光雷达、可见光相机等传感器,以空中悬停或航线飞行的方式获取导线空间坐标。典型应用场景为复杂的山地形式,经实际测试,在此环境下的检测效率较人工提升五倍左右[8]。可以同时同步采集多维度数据,比如红光、可见光等。但缺点也很明显,由于自身结构原因,无人机巡检过程中受气象条件的影响较大,在风速达到 $>10\text{ m/s}$ 时就会停飞,大大降低了检测效率。此外续航能力也有限,如果遇到检测量的情况,需要不断地更换电池,且数据后处理耗时,实时性不足,投入的人工成本比较大。

### 2.3.2. 地面移动测量装置

适用场景大多为平原开阔地带,典型应用于农网线路检测,比如江苏农网采用车载激光系统,单日就完成了 $50$ 公里的弧垂普查,该系统还被应用于交叉跨越测量,测量导线与地面以及与建筑物之间的安全距离。优点在于操作简单,无需专业飞手,适合大范围的初步筛查[9]。但缺点也很明显,适用场景少,受地形遮挡影响大(森林、山区不可用),且无法获取导线动态震动数据。

### 2.3.3. 轨道式固定检测系统

此装置是将滑轨式传感器节点安装于导线上, 依靠电机驱动使其沿着导线做周期性移动, 以此达成连续弧垂检测的目的, 其典型应用场景是重点区段监控, 像三峡送出工程在线路上装设轨道系统, 实现高位区段的全天候检测, 该检测装置的优势在于可长期持续检测, 数据稳定性高且干扰少, 还支持多物理量同步采集。不足之处在于安装过程复杂, 并且需要停电进行施工, 投资量较大, 维护难度较高, 修复周期也较长。

### 2.3.4. 导线爬行人

该装置采用轮式或履带式运动机构, 沿导线自主行走, 集成激光测距仪与惯性导航单元, 通过实时解算获取弧垂动态数据[10]。该装置典型应用于覆冰工况检测以及城市密集线路的弧垂检测, 典型案例是上海某 220 kV 线路通过机器人避开高层建筑遮挡, 实现毫米级弧垂检测。该运动装置使检测精度高, 可实时反馈数据, 适应比较恶劣的天气环境, 支持多传感器融合检测。缺点在于长距离的巡检需配备通信设备。

综上所述, 经过对比之后, 研究最终决定该设计采取爬行人方案。其原因有两点, 一是它的动态相应能力和空间定位精度相较于无人机、地面装置等运动机构优势明显, 可以在风振、覆冰等动态载荷下捕捉到顺势形变。二是它的环境适应性优势, 在极端气候下的耐受性相对较强, 泛用性更广, 容错率更大。

该机器人外壳所选用的材料为聚乙烯, 聚乙烯乃是依靠乙烯聚合而形成的热塑性高分子材料。能抵抗大多数酸碱的侵蚀, 防止雨水或其他特殊液体渗入设备; 它具有优异的耐磨性, 有效减少树枝、石头等对设备造成的划痕。

如图 2, 该机器人整体外形尺寸为 500 mm × 500 mm × 600 mm。整体的重量在 12 kg 左右(含驱动和电池), 后续可以根据实际环境, 选取不同材质的外壳以减轻重量来应对不同情况。

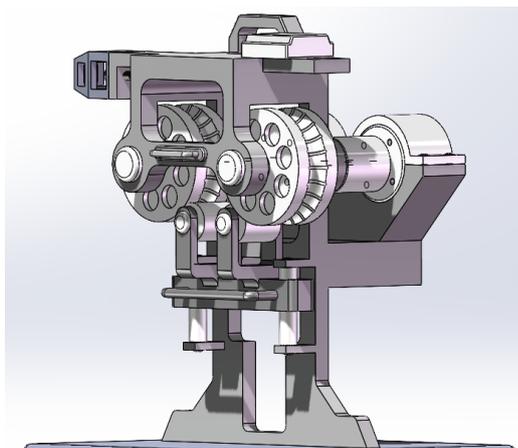


Figure 2. Robot assembly  
图 2. 机器人装配体

## 2.4. 行走装置设计

弧垂检测运动机构的行走装置是其核心功能模块, 直接决定了其在复杂导线环境中的运动稳定性、越障能力及检测效率。基于课题采用爬行人方案, 所涉及的行走方式大致有轮式、履带式、多足式及轨道式四类主要行走装置。

履带式这种类型是依靠橡胶履带将驱动轮包裹起来, 以此增大接触面积。内置张力调节机构, 适应导线直径变化。但其重量较大能耗比较高, 长期运行后易出现履带松弛、链轮磨损或异物卡滞, 需频繁调整张紧度或更换部件, 维护复杂度高于轮式结构。再加上装置体积大、重量重, 运输时需专用车辆或设备, 而轮式机器人可直接通过公路运输或快速拆卸搬运。暂时不考虑采用此方案。

多足式行走装置一般由 4 至 6 组机械足构成, 依靠伺服电机驱动关节进行运动, 以此达成离散式步进越障, 为了支撑多腿结构, 机身需要设计高强度框架, 这使得整体重量有所增加, 而大规模应用轻量化材料会大幅提高成本, 致使成本变得昂贵, 并且检修时需要逐个排查关节状态, 更换部件时需要专业工具以及调试流程, 在野外作业场景中, 维护难度明显增大。

最后要说的是轨道式行走装置, 它预先将滑轨安装在导线上, 检测机构依靠电力驱动沿着轨道滑行, 在固定区段的长期监测工作中应用较多, 运行速度的范围相对较宽[11], 该装置的优点是数据稳定性较高, 可抵抗风振干扰, 还可以集成多个传感器实现实时监测, 不足之处在于安装时需要停止供电进行施工, 成本相对较大, 而且适用范围较窄, 主要应用于重点区段。

通过以上对比分析, 本设计的弧垂测量机器人的行走装置最后选取双轮驱动结构, 如图 3 所示。双轮独立闭环驱动系统通过差速控制实现精准转向(角分辨率  $\leq 0.5^\circ$ ), 可适应直径 20~60 mm 导线拓扑变化。在倾角  $45^\circ$  斜线上仍保持 0.05 m/s 匀速运动, 速度波动率  $< 2\%$ 。相较四轮驱动机构, 运动部件减少 50%, 控制响应时间缩短至 20 ms 级。

材料选择橡胶或聚氨酯材质驱动轮, 通过对称轮组与导线接触, 由电机与轮毂相连, 从而传递电机的驱动力, 输出轴与轮毂连接使电机的动力直接传递到行径轮。最大程度地降低了电机的动力损耗, 保障了机器人在爬坡时所需要的动力, 以及能达到的最大速度。适配直径 26~50 mm 导线, 精度误差  $\pm 1$  cm。这样设计不仅结构简单, 功耗低, 而且和压紧装置配套组合运行, 可以使其更加牢固稳定, 增加其抗震和防抖的能力。

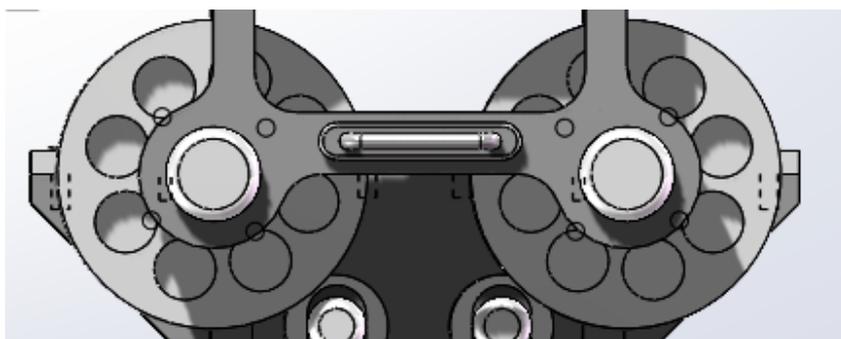


Figure 3. Dual-wheel mechanism

图 3. 双轮结构

见图 4, 驱动轮直径在 120 mm, 包覆层厚度在 15 mm。越障时所需抬升的高度要大于或等于 150 毫米, 这一高度是为了可跨越如防震锤、间隔棒这类障碍物而设定的。

此外, 该机器人在电机与轮毂之间还设计加装了一个刚性连轴, 见图 5。确保在运行途中电机和轮毂的连接更加稳定的同时, 也降低了事故突发率。

## 2.5. 行走装置设计

弧垂检测运动机构里的压紧装置属于核心部件, 它能保证设备和导线稳定接触, 其性能对检测精度以及设备运作时的爬坡能力有着直接影响。

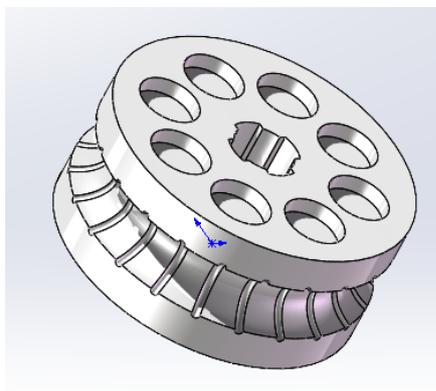


Figure 4. Hub  
图 4. 轮毂



Figure 5. Rigid coupling  
图 5. 刚性连轴

典型的压紧装置包含机械夹爪式、电磁吸附式、真空吸附式以及弹簧预紧式这四类，这些是主流压紧装置所有的技术特性。

机械夹爪式压紧装置采用对称爪臂配合齿轮齿条或连杆机构，通过电机或气动驱动实现开合。爪臂内嵌高摩擦系数橡胶，夹持力通过压力传感器闭环控制。此结构有相对简单的特点，其维护成本较为低廉，并且夹持力可实现精准且可控制的效果。但是在导线直径突变时容易打滑，且在覆冰的工况之下摩擦系数会直线下降。

真空吸附式压紧装置借助真空泵在密封腔体内制造出负压环境，依靠气压差达成吸附的目的。腔体边缘采用柔性硅胶密封圈自适应导线表面。优势是适用于非导磁导线，无机械夹持损伤风险，局限性在于能耗高寿命短[12]。

经过对比，本设计采用弹簧预紧式压紧装置(如图 6)，由 U 型槽(如图 7)和两个压紧轮组成，通过滑块实现压紧装置的上下移动，同时在滑块下有弹簧，在提供压紧力的同时还可以缓冲减震，爬坡能力有了很大提升，行走轮打滑的状况也得到了改善。且结构紧凑，无动力依赖，在低温环境下也能够稳定运行，相较于前两种夹紧装置抗振动性能更优异。

## 2.6. 驱动部分设计

见图 8 是机器人的控制系统，此系统将 Stm32 作为主控芯片，依靠一对电机来控制弧垂机器人本体

的运动情况[13]。电机采用无刷直流电机(额定功率  $200\text{ W} \times 2$ )，峰值扭矩  $2.8\text{ N}\cdot\text{m}$ ，夹持力范围在  $50\sim 200\text{ N}$  (防止过载损伤导线)。如图 9 是电机驱动模块整体的电气原理图。

### 2.6.1. 单片机模块

单片机采用 STM32C6T6 或者是 C8T6 系列，这两者可以说一模一样的，唯一的不同在于芯片的内存和数据不太一样，这里选到 STM32C6T6 芯片。

后续的模块还包含有 USB，据资料显示，它也有  $5\text{ V}$  的供电功能，但是考虑到使用  $5\text{ V}$  电压带动电机运作是远远不够的，所以说暂时不考虑用其来进行供电，主要是运用 USB 来下载程序或者说传输一些数据到单片机上。

此外还有一个程序的下载接口，众所周知单片机有多种的下载方式，这里采用一个最普遍也是较简单的 SW 下载方式。通过 SNDIO、SNCLK 接口来进行程序下载。

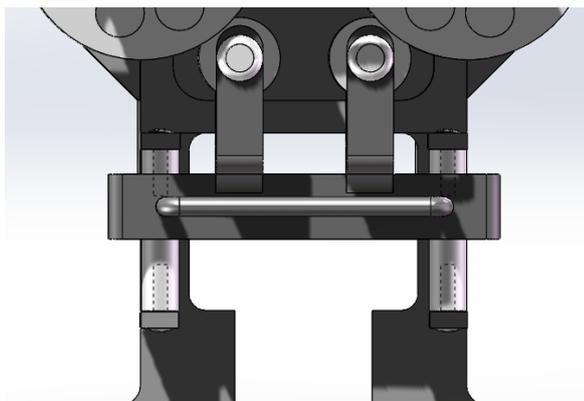


Figure 6. Pressing mechanism  
图 6. 压紧装置

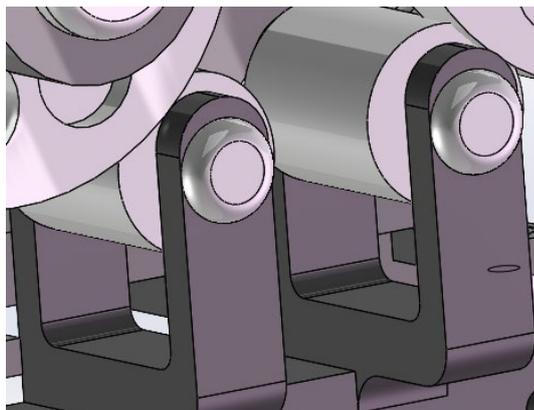


Figure 7. U-groove  
图 7. U 型槽



Figure 8. Control logic diagram  
图 8. 控制流程图

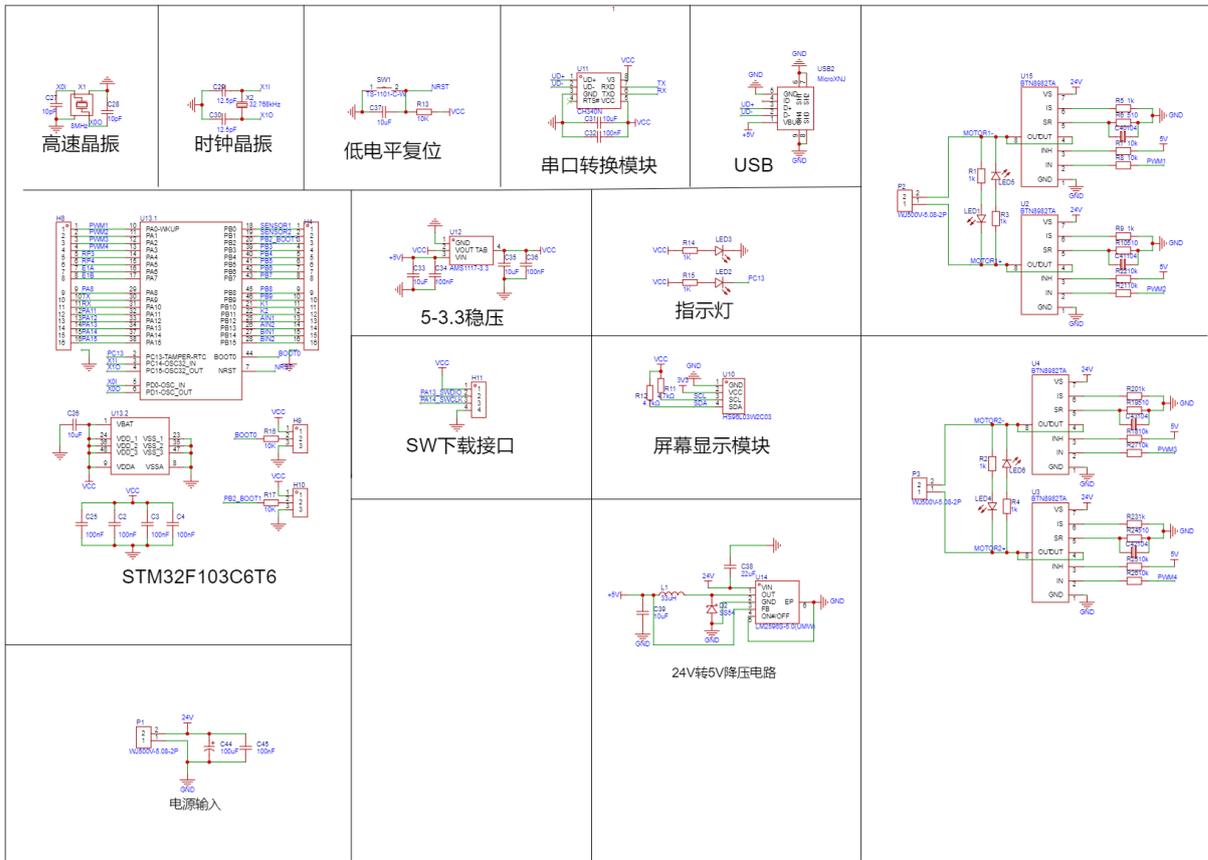


Figure 9. Integrated motor drive module  
图 9. 电机驱动整体模块

接着是串口转换设计，USB 传输的信号有些是没有办法直接让单片机识别到的，所以需要设计一个串口转换模块，将 USB 信号转变为单片机可成功识别的串口信号，借助这种方式单片机可与外界达成数据通信。比如说要从电脑上下达一个指令给单片机，让它去驱动电机，就可以让此芯片转换成单片机能够识别的信号传递给它，所以设计一个串口转换模块就极为重要。在该电路的设计当中，电容所起到的主要作用是对电路进行滤波以及实现去耦功能。

最后是复位电路和晶振电路。复位电路是由 NRST 接到单片机固定的一个复位角的，简单来说其功能实现就是按键按下去的时候该单片机就会自动重启。

晶振电路是让单片机有一个时间的概念，给它一个时间基准的参考，高速和低速区别在于处理数据速度的一个能力，一般情况下都采用高速晶振。

### 2.6.2. 电机驱动模块

电机驱动模块的设计在弧垂检测机器人上得额外注意，因为该电机的供电电压在 24 V，电流需求是比较大的，所以切记在上 24 V 和 MOTOR 线的选用上一定要粗一点的。

接着是电机接线上的设计，这里是用到 WJ500V 的座子接上 MOTOR 两个接口，用来驱动电机的转动。运用三级驱动芯片控制系统，其工作原理主要是通过 IN 从单片机输入一个 PWM 信号，来控制输出一个高电平信号或者一个低电平信号，也就是说单片机可以通过 PWM 信号来控制输出是高还是低，从而控制两端是正极还是负极，电机就可以实现是正转还是负转，或者是快速转动还是慢速转动[14]。

简单来说，比如上面发出的信号是高电平，下面是一个低电平，也就是说上面是正下面是负，若处

于这种情况，那么该电机呈现正转状态，反之则呈现反转状态，并且 PWM 输出的速度越快，电机转动的速度也就越快。此外，由于该机器人是双轮结构，所以得加装两个电机驱动模块(见图 10)。

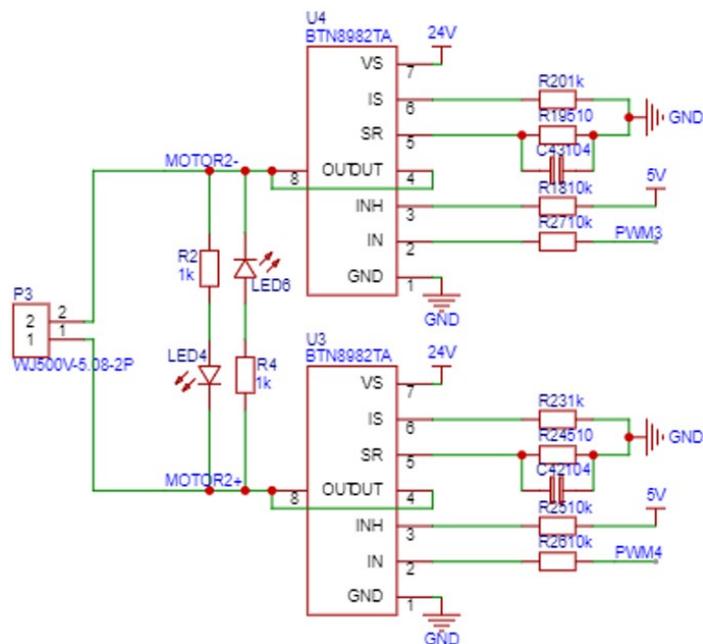


Figure 10. Motor  
图 10. 电机

### 3. 样机装置测试与优化

#### 3.1. 样机组装及稳固测试

由于设计成本有限，本样机决定采用 3D 打印呈现(如图 11)，同比缩小模型之后，来测试该样机是否能正确拼装，以及拼装完成之后能否稳定和牢固。

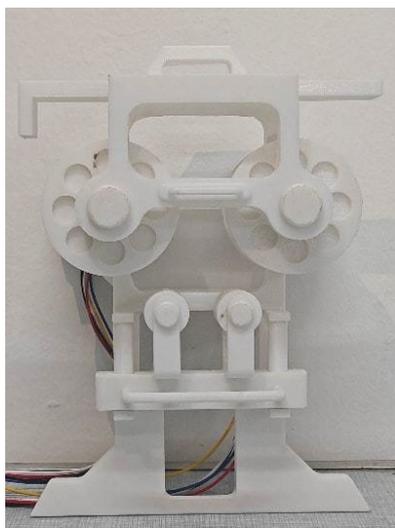


Figure 11. 3D printed physical model  
图 11. 3D 打印实物图

根据 SolidWorks 的结构图分别将该机器人的滚轮、电机以及下面的压紧装置拼装好之后,实验发现该机器人能够稳定站立于桌面之上,并且轮毂和电机之间有轴连器的帮助,即使看似会因为电机过大而导致不稳定倾斜,该机器人也能够稳定站立,在保证稳定性的同时也增强了该机器人的防震防抖能力,在爬坡时也能更加稳定。

### 3.2. 样机运作测试

在样机的测试上,该机器人在实验室工作环境下对它的工作能力进行了验证。搭建长 30 m 的模拟导线场景对其进行运动测试,通过验证表明,该机器人能够稳定在导线上自由运动,且弧垂检测机器人满足了弧垂检测运动机构的基本要求。

在弧垂的测量上,测试时采用分段的方式对输电线路弧垂进行测量,同样也是在实验室环境下,模拟出真实的弧垂测量场景,对机器人的行走能力和压紧能力进行了测试,测试表明,该机器人满足了在输电线路行走的基本要求,能够正常进行弧垂的检测。

同时我们模拟了弧垂机器人在导线抖动环境下行走的场景,测试其防抖动能力。实验表明,该机器人能够稳定运作,在人工抖动干预下,具备一定的防抖动能力。

最后测试还对该机器人测试了其爬坡功能(如图 12)。让其在倾斜度为  $45^\circ$  的模拟导线上行走,在夹紧装置和双轮的配合下,该机器人能够保持稳定运行并且其机械结构不会因为爬坡而导致崩坏,验证了其机械结构的稳定性。



Figure 12. Walking test of arc sag detection robot  
图 12. 弧垂检测机器人行走测试

综上所述,该机器人基本具备了设计的所有功能,在保证能稳定运行的同时也有一定的防抖防震能力,具有一定的可靠性和环境适应性。

## 4. 总结

本设计围绕高压输电线路弧垂自动化检测展开,历经理论分析、结构设计、样机制造以及系统测试

等一系列环节,实现了全流程开发,主要工作成果如下:

1) 本设计运用双驱动轮结合轴连器电机的复合行走结构,解决了传统巡检机器人在导线直径适应性方面的技术难题,保证其在复杂环境中稳定运行,各项参数都严格符合要求,创新性地采用弹簧预紧式压紧装置,该装置由U型槽、双压紧轮以及滑块-弹簧系统构成,有上下移动压紧与缓冲减震功能,此装置能提升机器人的爬坡能力,减少行走轮打滑现象,并且结构紧凑,不依靠动力,可适应低温等恶劣环境。在研究越障能力时,针对输电线路典型障碍物如防震锤和悬垂线夹的跨越需求展开分析,优化机械结构参数并完成实际验证,结果说明机器人有自适应越障功能,可稳定跨越规定障碍物,保证在弧垂检测过程中遇到障碍物后仍可连续运动,提高检测精度,机械设计与越障能力的协同优化,保障了机器人在复杂工况下的稳定性以及检测可靠性。

2) 接着是驱动设计,在立创EDA上对该机器人的电机驱动部分进行了电路图绘制,包含供电模块、单片机模块以及电机驱动模块。考虑到驱动电机的电流和功率是比较大的,课题采用了比较大的电池,也就是24V电池以及后续的降压模块来进行供电。单片机方面该课题采用STM32C6T6,为其设计了USB、串口转换、低电平复位等模块,保证了程序的正确下载输入和单片机的正常运作控制。最后是设计了一个通过IN接口从单片机输入PWM信号,来控制输出的电机驱动模块。这三个板块同时运作配合,可以保证弧垂检测机器人在运作中的前进后退以及速度快慢。

## 参考文献

- [1] 吴千丰,解大波,胡海涛,等.输电铁塔水平钢绞线防坠落装置的安全特性研究[J/OL].安全与环境学报,1-13.  
<http://kns.cnki.net/kcms/detail/11.4537.X.20250430.1804.004.html>,2025-05-11.
- [2] 赵武.电网建设的输电线路电力施工管理探讨[J].中国设备工程,2025(4):250-252.
- [3] 张硕,周孝法,方宇,等.架空输电线路弧垂检测自动调平平台与控制系统[J].智能计算机与应用,2025,15(3):120-124.
- [4] 窦旭,刘友桥,魏亚楠.复杂工况下的架空输电线路安全施工技术研究——雄安新区剧村220kV线路工程停电改造施工为例[J].电气技术与经济,2025(2):345-347.
- [5] 宁阳.输电线路巡检机器人结构设计与运行稳定性分析[D]:[硕士学位论文].青岛:山东科技大学,2023.
- [6] 陈冠英,邹扬燕,蒙智强.充电器(系统)应有互认协同协议[J].日用电器,2024(12):20-23+30.
- [7] 张亚辉.架空导线扭转覆冰流固耦合舞动及间隔棒联合防舞研究[D]:[硕士学位论文].兰州:兰州交通大学,2024.
- [8] 覃建川.基于无人机激光点云实例分割的电力线弧垂及分析研究[D]:[硕士学位论文].南宁:广西大学,2024.
- [9] 陈永健.地面激光雷达在矿山斜坡移动变形测量[J].世界有色金属,2020(15):231-232.
- [10] 徐锦涛,蔡金虎,唐玲玲,等.基于各向异性摩擦的软体爬行机器人设计与实验研究[J/OL].工程设计学报,1-10.  
<http://kns.cnki.net/kcms/detail/33.1288.TH.20250426.1857.002.html>,2025-05-11.
- [11] 刘金明.轨道式智能巡检机器人的应用研究[J].中国建设信息化,2025(2):48-52.
- [12] 常春峰.真空吸附式叶片爬壁机器人结构设计与分析[D]:[硕士学位论文].秦皇岛:燕山大学,2024.
- [13] 花严红,樊辉娜.基于STM32技术的语音和图像双重识别[J].南方农机,2025,56(9):143-146.
- [14] 刘晋鹏,王秀和,孙玲玲,等.无刷直流电机六步换相控制下共模电压的快速准确计算与抑制措施[J/OL].电工技术学报,1-15.  
<https://doi.org/10.19595/j.cnki.1000-6753.tces.2413>,2025-05-11.