

# 基于一种独特的修枝机器人的电路及控制方法设计

钟全辉<sup>1</sup> 蒋丰庚<sup>2</sup> 张以全<sup>1</sup> 王泽南<sup>1</sup>

(1 国网浙江省电力有限公司嘉兴供电公司 浙江 嘉兴 314000; 2 国网浙江省电力有限公司双创中心 浙江 杭州 310000)

**摘要:** 输电线路周围树枝的生长为输电安全带来了短路、起火等安全隐患, 因此, 输电线路维护中的一项重要工作为修剪高压输电线周围的树枝。本设计基于一种独特的可伸缩、偏摆修枝机器人, 设计了相应的硬件电路、控制算法和程序, 最终完成了对机器人的测试。

**关键词:** 输电线路维护; 电路设计; 控制方法设计

## 0 引言

输电线路维护中的一项工作为修剪高压输电线周围的树枝, 在极端天气状况, 例如暴雨、大风等天气下, 若这些树枝存在, 容易造成绝缘击穿和停电, 目前存在的一些爬树修枝机器人不适于大范围地树枝修剪。因此, 开发树枝修剪技术和装备, 是解决高压线路树枝修剪问题的一种有效途径。

本设计中需控制的机器人分为负责切割的机械臂部分和负责移动的移动机构, 需使用遥控器控制移动机构的移动和机械臂的伸缩偏摆运动, 由于遥控器只支持点对点的传输方式, 并且机械臂部和移动机构分别由2块电路板控制, 因此需解决机器人与上位机的通讯以及移动机构与机械臂的通讯问题。

本设计中将使用433MHz数传芯片在机械臂与上位机间传输数据。433MHz无线收发模组可高速传输数据, 对无线传输的数据进行打包、检错、纠错处理, 具有工作稳定可靠, 体积小便于安装等优点。

在本设计中使用ZigBee模块进行机械臂与行走机构之间的通讯。ZigBee是目前最常用的通讯协议之一, 其具有低成本、低功耗、自组网等优势。

最终经测试, 机器人的切割范围可覆盖输电线下半径2.7m, 角度 $\pm 18.5^\circ$ 的扇形区域, 能够稳定可靠地完成切割任务。

## 1 机械设计

机械设计部分提供了一种用于修剪高压输电线附近树枝的伸缩和偏摆机构, 解决用传统方式修剪输电线附近树枝存在的各种问题。

机器人的机械结构和基座部分局部放大图如图1、图2所示。机械臂由4段U形槽组成, 在步进电动机

的驱动下可带动同步带运动, 从而带动机械臂做伸缩运动。同时机械臂能够在推杆电动机的驱动下使机械臂绕基座旋转轴做平行于基座的偏摆运动。圆盘锯能够在切割电机的驱动下旋转。

行走机构与机械臂通过绝缘棒相连, 整体如图3所示。可通过控制电动机来控制行走机构的移动。

## 2 硬件设计

本设计的硬件电路设计主要分为4个部分, 分别为

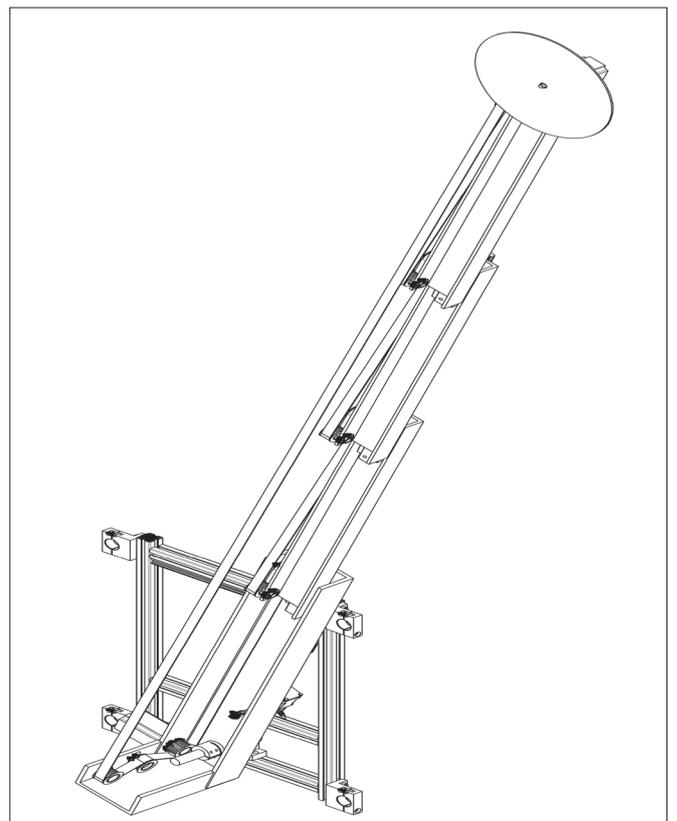


图1 机械臂机械结构

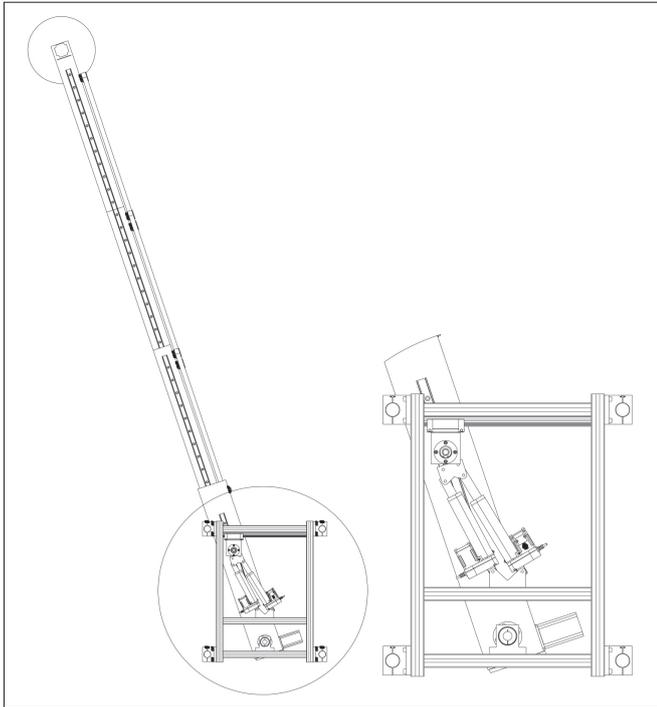


图2 基座局部放大图

主控制器部分、电源部分、数据传输部分和电机驱动部分，其中主控制器部分所使用的主控芯片为STM32F103RCT6，电源部分的功能为提供24V、5V和3.3V电压以供电机和各芯片使用，数据传输部分负责机械臂与移动机构间的通讯，并将机器人的数据传输给上位机，电机驱动部分又分为步进电机驱动部分和推杆电机驱动部分，分别控制机械臂的伸缩运动和偏摆运动。

### 2.1 主控制器部分

主控制器部分如图4所示。主控芯片选用ST公司的STM32F103RCT6处理器，该处理器核心最高频率可达72MHz，拥有256~512KB的闪存和高达64KB的SRAM，内部集成2个12字节D/A转换器和12通道DMA控制器，112个高速I/O口、5个USART、11个计数器也满足本设计的硬件电路方面的所有需求。

### 2.2 电源部分

电源部分如图5所示，主

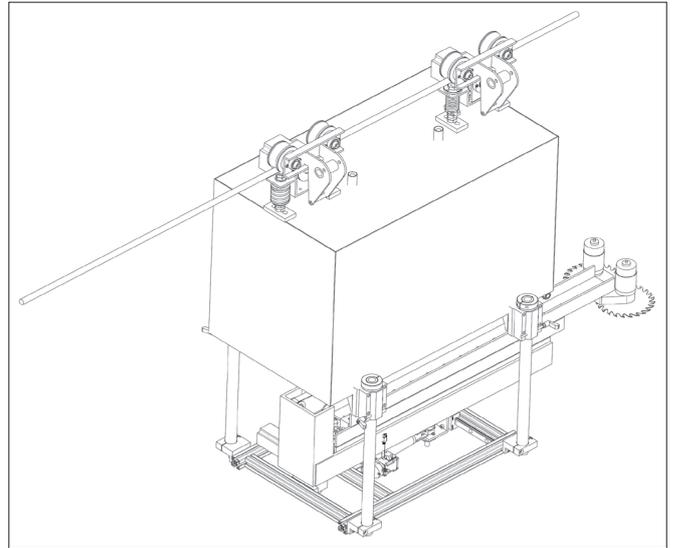


图3 整体机械结构

要通过两片稳压芯片完成降压，通过WRE1205S-3WR2芯片将电池提供的24V电压降为5V，再通过AMS1117-3V3芯片完成5V~3.3V的降压，这样便得到了3个不同电压的电源，这3个电源将会为电机和

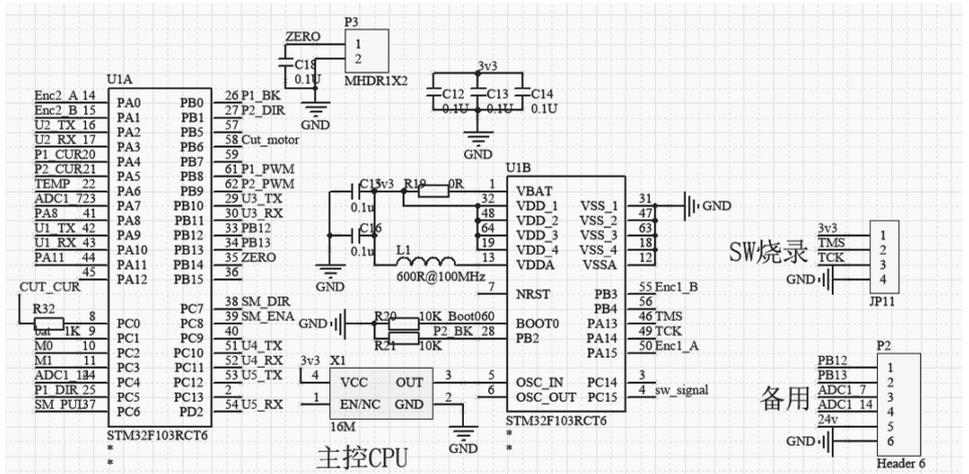


图4 主控制器部分

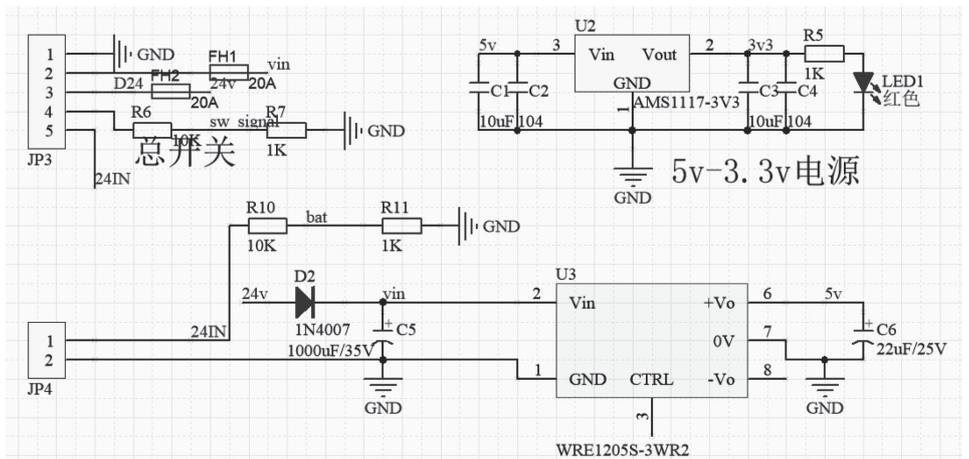


图5 电源部分

芯片供电。

### 2.3 数据传输部分

433 数据传输部分电路如图 6 所示。数传芯片选用亿百特公司的 E22-400T22S 芯片，该芯片采用全新一代 LoRa 扩频技术，与传统 SX1278 方案相比传输距离更远、速度更快、功耗更低、体积更小。433 数据传输部分负责将机械臂的数据传输给上位机。

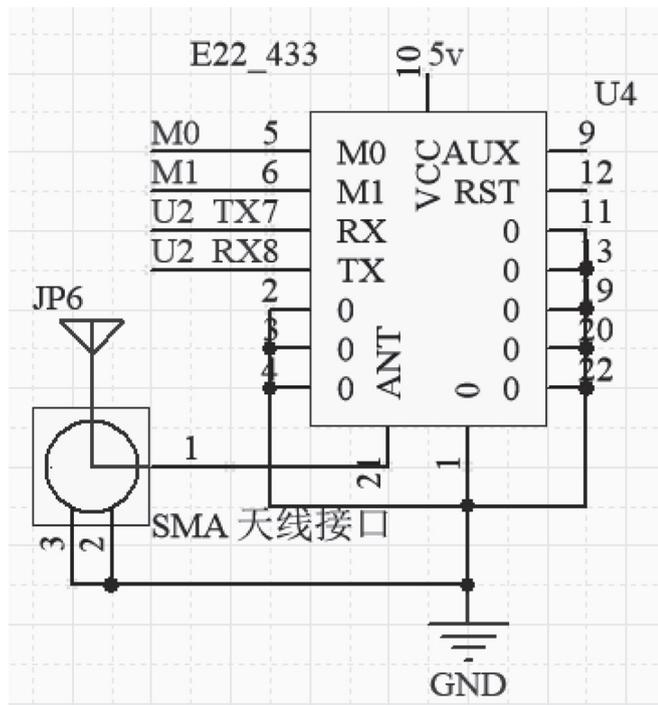


图 6 433 数据传输部分

ZigBee 数据传输部分如图 7 所示。数传芯片选用亿百特公司的 E180-ZG120B，该芯片是一款小体积、低功耗、高可靠性、工作在 2.4GHz 频段的 ZigBee 模块，自带高性能 32-bit ARM Cortex-M4 内核，内部集成功率放大器，发射功率最高可达到 20dBm。ZigBee 数据传输模块负责机械臂与行走机构之间的数据传输。

### 2.4 电机驱动部分

电机驱动部分分为步进电机驱动部分和推杆电机驱动部分，分别控制机械臂的伸缩运动和偏摆运动。

#### 2.4.1 步进电机控制

步进电机控制电路如图 8 所示，JP1 连接步进电机驱动器脉冲接口和方向控制接口，JP2 连接步进电机使能接口，通过单片机控制 SM\_PUL、SM\_DIR、SM\_ENA 高低电平控制三极管 Q1、Q2、Q3 的通断，进而控制步进电机的转速和旋转方向。步进电机的编码器如图 9 所示，JP8 连接步进电机编码器，该编码器为绝对式编码器，用于反馈机械臂伸缩长度。

#### 2.4.2 推杆电机驱动部分

推杆电机驱动部分如图 10 所示。JP9 和 JP10 分别

连接 2 个推杆电机，其中 JP9 中 Enc1\_A 和 Enc1\_B 引脚为编码器 AB 相脉冲接口，可以反馈电机转速和旋转方向，JP10 同理，使用两片 LMD18200 驱动芯片控制推杆电机的转速、旋转方向和急停，其中 R22、R23 为电流传感器负载电阻。

### 3 控制方法

机械臂的伸缩运动仅需控制步进电机的旋转方向和转速即可控制伸缩和伸缩的速度，而对于偏摆运动由于推杆会自动锁死，故在一个推杆伸缩时，另一个推杆并不能受其牵引而伸缩，这个自动锁死的特性虽保障了机械臂的稳定，但同时对于推杆的控制提出了更高的要求：需同时控制 2 个推杆电机，使 2 个推杆的长度相互配合，否则会造成电机或基座的损坏。

由 2 个推杆组成的机械臂偏摆运动的驱动部分如图 11 所示，简化后的模型如图 12 所示。

图中：(a, b) 为滑块 1 与滑块 2 连接机构的旋转中心；P1 为推杆电机 1 的前后两安装孔距离；P2 为推杆电机 2 的前后两安装孔距离；d 与 -d 为推杆电机末端

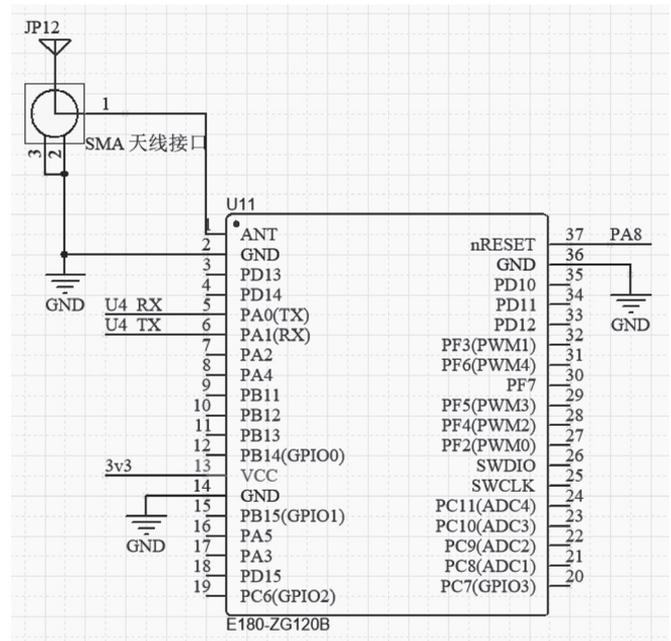


图 7 ZigBee 数据传输部分

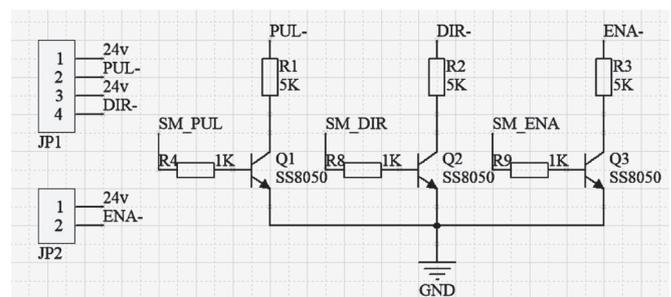


图 8 步进电机驱动部分

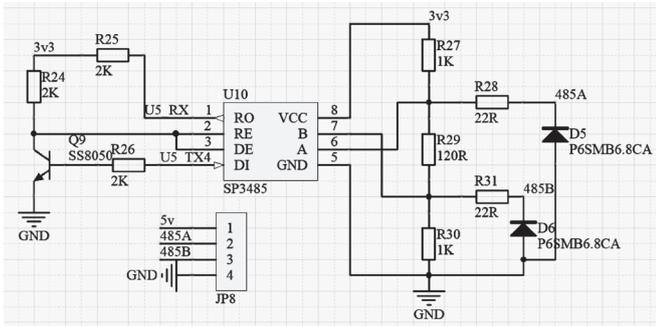


图9 步进电机编码器部分

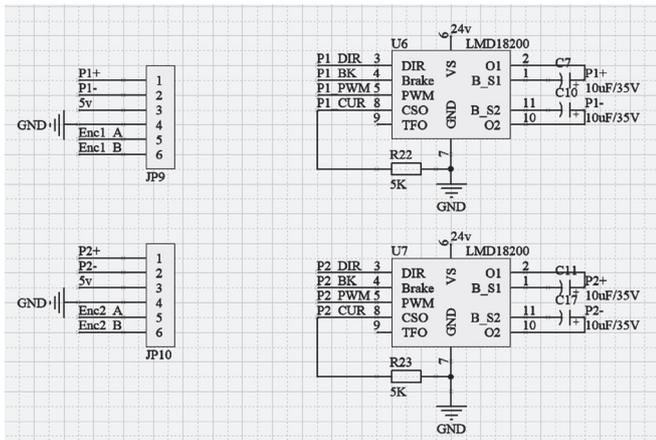


图10 推杆电机驱动部分

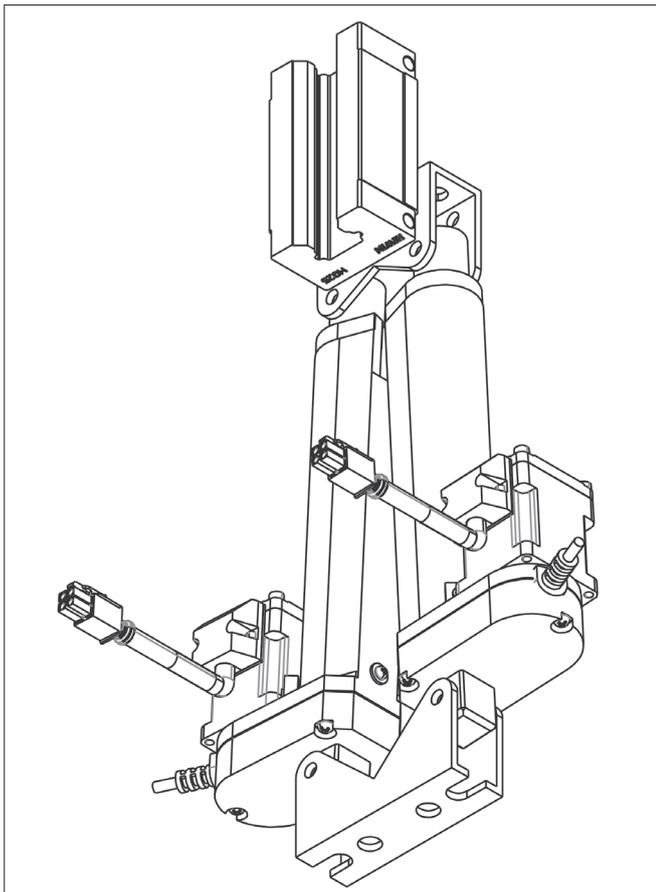


图11 偏摆运动驱动推杆

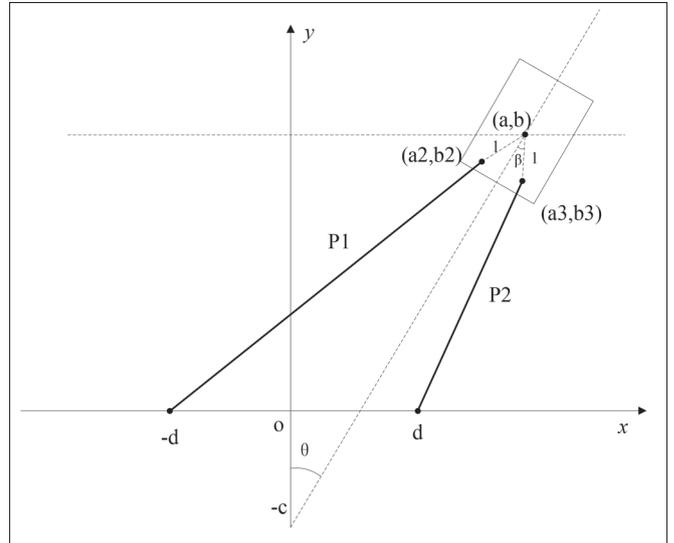


图12 偏摆机构模型

固定点;  $(a_2, b_2)$  与  $(a_3, b_3)$  为推杆电机 1、推杆电机 2 的首端固定点;  $-c$  为偏摆臂的旋转中心。  $\theta$ 、 $a_2$ 、 $b_2$ 、 $a_3$ 、 $b_3$  的计算公式如下:

$$\theta = \arctan\left(\frac{a}{b+c}\right)$$

$$a_2 = a - l \cdot \sin(\theta + \beta)$$

$$b_2 = b - l \cdot \cos(\theta + \beta)$$

$$a_3 = a - l \cdot \sin(\theta - \beta)$$

$$b_3 = b - l \cdot \cos(\theta - \beta)$$

控制核心思想: 遙控器推杆给定 a 点速度  $\frac{da}{dt}$ , 通过初始位置和积分计算可以得到下一控制周期期望 a 点的位置, 进一步的, 可以通过基本三角函数计算得到:

$$P1 = \sqrt{(a_2+d)^2 + b_2^2} = \sqrt{\left(a - l \cdot \sin\left(\arctan\left(\frac{a}{b+c}\right) + \beta\right) + d\right)^2 + \left(b - l \cdot \cos\left(\arctan\left(\frac{a}{b+c}\right) + \beta\right)\right)^2} \quad (1)$$

$$P2 = \sqrt{(a_3-d)^2 + b_3^2} = \sqrt{\left(a - l \cdot \sin\left(\arctan\left(\frac{a}{b+c}\right) - \beta\right) - d\right)^2 + \left(b - l \cdot \cos\left(\arctan\left(\frac{a}{b+c}\right) - \beta\right)\right)^2} \quad (2)$$

接着将给定位置与实时位置做差然后通过 PID 控制输出控制电压值驱动电机。

控制框图如图 13 所示, 其中  $P1^*$ 、 $P2^*$  为期望  $P1$ 、 $P2$  数值,  $P1$ 、 $P2$  是由推杆电机的编码器直接测得, 驱动为由 H 桥结构 MOS 开关管、MOS 开关管驱动电路组成。

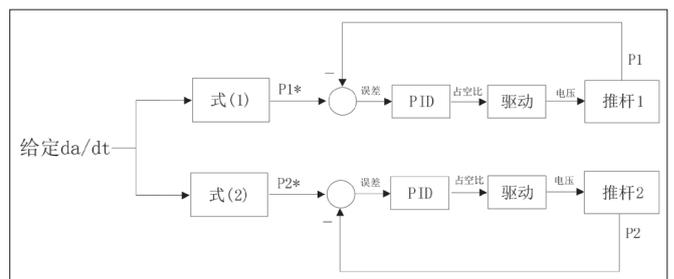


图13 控制逻辑图

#### 4 结语

本设计中, 机械臂的偏摆由 2 个推杆电机驱动, 充

分利用了推杆的强大推力和自锁能力，可以保障偏摆运动的稳定。切割范围可覆盖输电线下半径 2.7m，角度  $\pm 18.5^\circ$  的扇形区域，同时提高了刀具运动的稳定性和灵活性。本设计的机械臂部分由 4 段 U 形槽组成，由伸缩电机带动同步带和同步轮使机械臂进行伸缩运动，在大风天气环境下，不切割树枝时可将机械臂缩至 1.22m，减小巡线机器人的晃动，同时可以更灵活地选择切割树枝的角度。偏摆动作使用推杆电机可以很好地提高稳定性能，推杆电机因自身丝杆结构的自锁特性，即使在切割时产生剧烈变化的反作用力也可以保持偏摆不发生变化，根据伸缩和偏摆机构完成了软硬件的设计，最终在实际试验中，机械臂可流畅地进行伸缩和偏摆运动，稳定性和可靠性远高于现有的技术方案。实际测试现场的照片如图 14 所示。



图 14 实际测试现场图

参考文献：

[1] 李永阳. 爬树修枝机器人机械系统的设计与试验 [D]. 泰安：山东农业大学，2016.  
 [2] 李中秋. 以 433MHz 无线通讯技术为基础的 LED 智能路灯照明系统研究 [D]. 南京：东南大学，2019.

[3] 刘悦沅. 基于 ZigBee 的智能滴灌系统 [D]. 成都：四川大学，2021.  
 [4] 张洋，刘建粉. 基于 STM32 的新型智能防盗门 [J]. 电子设计工程，2022, 30 (03): 58-62.  
 [5] QB/T 4288-2012, 直流电动推杆 [S].

(上接第 19 页)

(3) 后车走行机构采用液压均衡，降低支腿高度，有效降低喂梁高度。首末孔桥架设能力强，同时保持轮轨走行机构，实现快速过孔。

(4) 通过运梁车配套自行折叠驮运穿越隧道，出隧无需其他设备辅助即可自行恢复架梁，过隧道拆解少、难度小、过隧周期短。

7 结语

目前，单线梁 550t 架桥机配合运梁车在盐通铁路已成功应用，同时该架桥机已实现双线并置梁的架设、驮运转场、曲线和上下坡度架设，使用结果表明架桥机设计各项指标均达到设计指标，满足使用要求。现场架设双线并置梁照片见图 7。该机的成功应用为以后

特殊工况提供了参考价值，同时，该机还能够满足城市轨道交通 500t 级双线箱梁的架设和系杆拱桥架梁，满足施工工况较多、自动化程度高、施工效率较高，具有广阔的应用前景和市场发展潜力。

参考文献：

[1] 马福辉. 客运专线 500t 单线简支箱梁架设施工技术 [J]. 安徽建筑，2011(06): 138-139.  
 [2] 房亮. 高铁客专 550t 单线箱梁运架技术研究 [J]. 桥梁工程，2017(09): 40-41.  
 [3] 王艳芳，王亮，高振凯，等. HZQ550 型架桥机扩展使用探讨 [J]. 建筑机械化，2011(02): 49-52.