

高空电力线路精准切枝装置研制

万旭,敖娟,肖依梦,朱军,耿威,熊胜

(湖北师范大学 机电与控制工程学院,湖北 黄石 435000)

摘要:在户外电线、高压电线等电力设施周围经常长有较高的树木,这些树木的修剪成为难题。为解决这一问题,基于机械设计理论、电气步进控制、无线智能通讯等原理技术研制了一套高空切枝装置。该装置以剪叉式升降平台为升降机构承载机械手实现高空作业,以落地支架电动转盘作为旋转台控制机械手旋转定位;采用PLC控制步进电机的方向电平置位、复位和高频脉冲输入来实现机械手的 X 轴平移、 Z 轴升降以及肘关节旋转;通过PLC控制电动推杆伸缩实现 Y 轴伸缩运动。切枝时,只需要用遥控器控制 X 轴、 Y 轴和 Z 轴的平移运动、肘关节的旋转运动以及链锯的启、停即可实现对横向树枝或竖向树枝的剪切。此外,切枝装置还包含给缓冲装置和防触电装置。经过现场试用,该切枝装置能够胜任高空树枝的剪切工作及保证操作人员的安全。

关键词:可编程逻辑控制器;切枝装置;链锯;机械手;机构设计

中图分类号:TP23 **文献标识码:**A **DOI:**10.19457/j.1001-2095.dqed21640

Research and Development of Precise Branch Cutting Device for High Altitude Power Line

WAN Xu, AO Juan, XIAO Yimeng, ZHU Jun, GENG Wei, XIONG Sheng

(College of Mechatronics and Control Engineering, Hubei Normal University,
Huangshi 435000, Hubei, China)

Abstract: There are often tall trees around outdoor power lines, high-voltage power lines and other power facilities, and the pruning of these trees becomes a difficult problem. In order to solve this problem, a set of high altitude pruning device was developed based on mechanical design theory, electrical step control, wireless intelligent communication and other principle technologies. In this device, the scissor type lifting platform was used as the lifting mechanism to carry the manipulator to realize the high altitude operation, and the electric rotary table of the landing bracket was used as the rotating platform to control the rotation and positioning of the manipulator. PLC was used to control the direction level setting/resetting and high frequency pulse input of the stepping motor to realize the X -axis translation, Z -axis lifting and elbow joint rotation of the manipulator. The extension and shortening of Y -axis were realized by controlling the extension and contraction of electric push rod through PLC. When cutting branches, it is only necessary to use the remote control to control the translation movement of X -axis, Y -axis and Z -axis, the rotation movement of elbow joint and the start and stop of chain saw to realize the cutting of horizontal branches or vertical branches. In addition, the branch cutting device also comprises a feed buffer device and an anti-electric shock device. After field trial, the branch cutting device can be competent for the work of cutting high-altitude branches and ensure the safety of operators.

Key words: programmable logic controller(PLC); cutting device; chain saw; manipulator; mechanism design

在户外电线、高压电力设施周围经常长有较高的树木,为了防止这些过高的树木对电力设施造成影响,通常需要对这些树木进行剪切。目前市面上销售的树枝剪切机大多只能通过人工攀爬

或者利用可伸缩长杆支撑等方式进行剪切,人在剪切过程中极易被落枝砸伤或者从树上摔落,还有可能遭受到高压电流或感应电流引起的触电危害。此外,现有的修剪机修剪范围在3~4 m左右,

基金项目:2019年大学生创新创业计划国家级项目(201910513005);智能物流输送装备湖北省工程实验室开放项目(20190111)

作者简介:万旭(1998—),男,本科,助理工程师,Email:1972596098@qq.com

通讯作者:朱军(1980—),男,博士,高级工程师,Email:zhuj2016@hbnu.edu.cn

修枝高度不高,人工操作不便,无法对高空树枝进行剪切。因此,研制一种自动化水平高、操作简便并且能够胜任高空切枝工作的切枝装置十分必要。本文着力于研制一种由遥控器远程控制的高空切枝装置,实现对高空树枝的自动化剪切。

1 切枝装置总体设计

1.1 切枝装置设计要求

切枝装置剪切的对象主要是长得较高的乔木,在实际剪切时要能实现对乔木横向树枝和竖直树干的剪切,并且对竖直树干的剪切要能实现从树干左侧向右侧剪切和从右侧向左侧剪切。因此,切枝机械手的手抓(链锯)需具备3个切枝工位。这3个工位的转换通过设计一个转速为45°/s的肘关节旋转机构来实现。此外,机械手要实现对树枝的剪切还必须具备X轴平移移动、Z轴升降移动、Y轴伸缩移动以及工作台旋转功能才能完成对切枝的定位和剪切。

最后,机械手链锯在切割树枝进给过程中还受到进给阻力作用。机械手在剪切表皮粗糙、结实、树龄较大的树木时,如果进给力过大则链锯极易发生回弹现象,导致切枝锯失稳,严重时损坏传动系统和旋转驱动电机,而进给力过小又无法切入。因此,在设计机械手时选择合适的进给力以及如何解决“弹回”现象是关键。查阅链锯锯木参数可知,切割树木的屑片厚度对锯切进给力有较大影响,屑片厚度最佳值为0.466 5 mm,合理取值为0.32~0.68 mm,与其对应的进给力合理取值为6~13 kg^[1]。所以,机械臂可设置最大进给力 $m=13$ kg。故要保证机械臂正常运行必须使其能克服不小于13 kg的进给阻力的冲击。机械手通过X轴和Z轴平移运动来实现横向、竖向切枝进给过程。故要保证机械手的正常运行,可以适当增加X轴和Z轴的驱动电机功率和转矩以提高其抗震能力;还可以在结构上采用柔性进给机构来保护传动装置。另外,X轴和Z轴滑台设计要求如表1所示。

1.2 切枝系统总体设计

高空切枝装置由液压升降工作平台、切枝机械手组成,模型如图1所示。液压升降平台是机械手实现高空作业的支撑平台。机械手具有X轴平移移动、Y轴伸缩移动、Z轴升降移动、肘关节旋转、旋转工作台旋转功能^[2-5]。X轴、Z轴采用固定-支撑方式安装的滚珠丝杠作为传动装置,采

表1 X轴、Z轴平台设计要求

Tab.1 Design requirements of X-axis and Z-axis platform

序号	项 目	参 数
1	最大负载 M	50 kg
2	行程长度 l	1 200 mm
3	最大移动速度 $v_{\max}$	0.2 m/s
4	电机最大驱动转速	1 000 r/min
5	定位精度	0.3/1 000 mm
6	希望净预期寿命	20 000 h
7	加减速时间 t	0.15 s
8	直线导轨滚动摩擦系数 μ	0.003
9	导向面静阻力 f	15 N
10	链锯进给阻力 m	13 kg

用2条直线导轨作为导向轨道,每条导轨上有2个滑块,滚珠螺母固定在4个滑块中间,通过步进电机正反转驱动滚珠丝杠副实现X轴、Z轴运动。Y轴伸缩移动通过DC24 V电动推杆驱动。肘关节旋转机构由步进电机驱动齿轮实现旋转。旋转工作台的旋转通过直流减速电动机驱动实现。

另外,由于切枝装置大多在10 kV及以上的高压电线周围工作,这些高压电线极易发生远距离放电或产生较大的感应电流,人工对电线旁边的树木进行修剪时难度较大且极不安全,即使是采用机械操作剪切时也要做好防护措施。为此,本项目采用了远程遥控方式来控制机械手动作,并在旋转工作台上设计接地线夹以防止工作人员触电。此外,还在旋转工作台和液压升降平台之间设置耐高压绝缘垫。

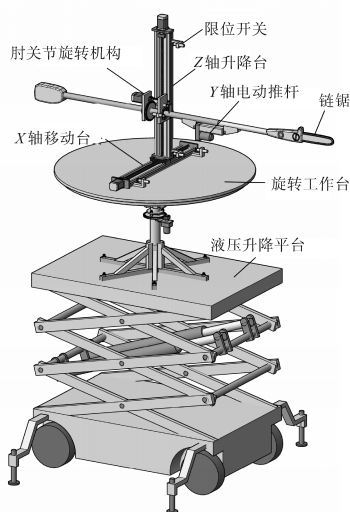


图1 切枝装置模型图

Fig.1 The model diagram of tree branch sharing device

2 升降工作平台选型

升降工作平台选用山东济南金阳升降机械

有限公司的剪叉式液压升降机。该升降机可选用多种液压控制系统,常用有Ⅰ型、Ⅱ型、电磁换向阀和支撑阀液压控制系统。Ⅱ型液压控制系统在Ⅰ型系统的基础上增加了一套备用手动泵,适合在无动力情况下手动升降。考虑到切枝过程在户外进行,故本项目选用Ⅱ型液压控制系统。正常使用时,将回油阀旋钮顺时针拧紧,手动换向阀手柄拉至“中立”位置,启动柴油机,然后将换向手柄拉至“起升”位置,工作平台即可上升。下降时,松开回油阀旋钮,升降平台即可依靠自身重力作用下降。使用手动泵升降时,将上述操作步骤中“启动柴油机”改为“压动手柄平台”即可。

3 切枝机械手设计

3.1 机械部分设计及选型

3.1.1 旋转工作台选择

落地支架电动转盘为加厚镀锌管材质,转盘直径在1.0~3.4 m之间,承载力在100~350 kg之间,具有承重能力强、转动平稳等特点。所以,选用直径为1.2 m的落地支架电动转盘作为该切枝系统的旋转工作台,示意图如图2所示。旋转工作台选用浙江联谊电机有限公司型号为63ZY24-15-02/JB100G0832的24 V永磁直流减速电机进行驱动,通过一对齿轮进行传动。在操作时,通过PLC对KM1和KM2控制来实现正反转控制。

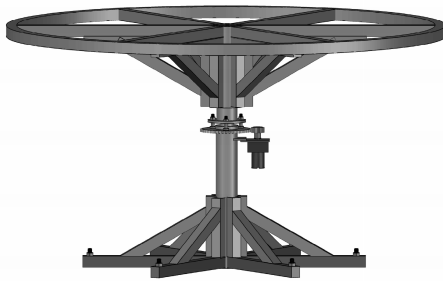


图2 旋转工作台示意图

Fig.2 The schematic diagram of rotary table

3.1.2 Z轴升降台设计

如图3所示,Z轴升降台有2个限位,即Z轴正限和Z轴负限,其总行程为1 200 mm^[2]。Z轴升降台通过Z轴升降电机进行驱动,驱动时由PLC同时向驱动器2输入高频脉冲和方向电平控制电机正反旋转,经柔性联轴器传动^[3],带动滚珠丝杠正反旋转,使得Z轴升降滑台上的滚珠螺母在丝杠作用下沿着Z轴双直线导轨作直线运动。为防止链锯进给冲击下Z轴传动机构及链锯的损坏,

采用BMA-G零背隙扭力限制器作为联轴器传动。当联轴器受到较大冲击而超载时,联轴器将停止传动以保障传动装置和链锯的安全。

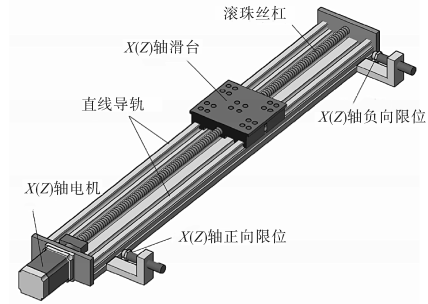


图3 X轴、Z轴移动滑台

Fig.3 X-axis and Z-axis sliding platform

滚珠丝杠副选型计算如下:

1) 导程 L 计算如下:

$$L \geq \frac{v_{\max} \times 60 \times 10^3}{n_{\max}} = 16 \text{ mm} \quad (1)$$

当 $L=20 \text{ mm}$ 时,电机最高转速为

$$n_{\max} = \frac{v_{\max} \times 60 \times 10^3}{L} = 600 \text{ r/min} \quad (2)$$

2) 轴向最大负载。假定Z轴滚珠螺母完成一次升降运动为一个工作周期,在一个周期内下降时的加速阶段和匀速阶段为机械手的切枝过程,根据受力分析及运动学分析可知上升加速阶段时轴向负载最大,即

$$F_z = Ma + Mg + f = 572 \text{ N} \quad (3)$$

其中

$$a = v_{\max} / t$$

式中: a 为加速度;其余参数见表1。

3) 滚珠丝杆预选。预选导程为20 mm,轴径为20 mm,沟槽谷径 $d=17.5 \text{ mm}$,额定动载荷 $C_a=7\,700 \text{ N}$,型号为BLK 2020V-3.6的滚珠丝杆。

4) 丝杠轴的选择。

① 丝杠轴全长:

$$S = l + a_0 + b_0 + c_0 = 1\,530 \text{ mm} \quad (4)$$

式中: l 为最大行程, $l=1\,200 \text{ mm}$; a_0 为滑台长度, $a_0=150 \text{ mm}$; b_0 为余量, $b_0=60 \text{ mm}$; c_0 为轴端尺寸, $c_0=120 \text{ mm}$ 。

② 容许轴向负载 F 为

$$F = \lambda_1 \frac{d^4}{l_1^2} \times 10^4 = 9\,522 \text{ N} \quad (5)$$

式中: λ_1 为由滚珠丝杠的安装方式决定的系数, $\lambda_1=19.9$ (丝杠安装方式为固定-支撑); l_1 为负载与受力点之间间距,取 $l_1=1\,400 \text{ mm}$ 。

③由危险速度决定的容许转速为

$$n_c = \lambda_2 \frac{d}{l_2^2} \times 10^7 = 1\,664 \text{ r/min} \quad (6)$$

式中: λ_2 为由滚珠丝杠的安装方式决定的系数, $\lambda_2=15.1$ (螺母安装方式为固定-固定); l_2 为支撑点间间距,取 $l_2=1\,260 \text{ mm}$ 。

④由 D 值决定的容许速度:

$$n = \frac{50\,000}{D} = 2\,410 \text{ r/min} \quad (7)$$

式中: D 为滚珠中心直径, $D=20.75 \text{ mm}$ 。

5)选取滚珠丝杠型号为BLK 2020V-3.6ZZ + 1530L C7 T。

3.1.3 X轴移动台设计

X轴移动台包含2个限位,即X轴正限和X轴负限,其总行程为1 200 mm^[2]。X轴移动台与Z轴升降台基本相同,X轴升降台通过X轴升降电机进行驱动,驱动时由PLC同时向驱动器1输入高频脉冲和方向电平控制电机正反转。滚珠丝杠副选型计算如下:

假定X轴滚珠螺母完成一次往复运动为一个工作周期,在一个工作周期内的返程加速阶段和返程匀速阶段为机械手切枝过程。根据受力分析及运动学分析知返程加速时轴向负载最大,则

$$F_x = Ma + \mu Mg + f + mg = 213 \text{ N} \quad (8)$$

易知 F_x 的最大轴向负载值小于 $F_z=572 \text{ N}$,又由于X轴和Z轴的滚珠丝杠副的选型要求相同,则X轴可选用与Z轴相同型号的滚珠丝杠副,所选型号为BLK 2020V-3.6ZZ + 1530L C7 T。

3.1.4 Y轴伸缩机构设计

Y轴伸缩机构选用台湾65 W电动推杆进行驱动,以高枝锯的轻质薄皮伸缩杆作为Y轴机械臂^[3]。推杆的工作电压为DC24 V,行程为880 mm,其推力和拉力均为300 N,最大伸缩速度为52 mm/s。另外,推杆内部两端装有限位开关,推杆伸缩到限即停止。推杆通过接触器KM4和KM5控制其电机正反转,在运行途中推杆可在任意位置暂停。

3.1.5 肘关节旋转机构设计

机械手肘关节模型如图4所示,肘关节上安装有3个限位开关及支撑Y轴机械臂旋转的交叉滚子轴承。肘关节通过步进电机进行驱动,通过一对齿轮进行传动,其中主动轮为1.5模30齿电机凸台齿轮,外径为32 mm;从动轮为1模120齿双平面齿轮,外径为122 mm。驱动时由PLC同时

向驱动器3输入高频脉冲和方向电平控制步进电机正反转,进而带动主从齿轮旋转。肘关节作用是负责3个切枝工位的转换。在切枝时,肘关节不能向其他工作位置转换,否则将发生链锯卡死、损坏等不良现象。因此,在切枝时防止肘关节转动是保护链锯和肘关节机构的关键。为此,肘关节的电机上加装了DC24 V电磁制动器,在电机失电的情况下制动器会紧紧抱住电机轴端以防止肘关节的转动,进而起到保护链锯和传动机构的作用。

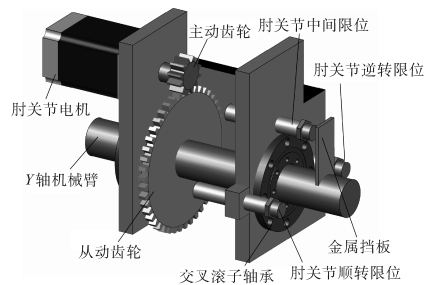


图4 肘关节旋转机构设计图

Fig.4 The design drawing of elbow joint rotating mechanism

3.1.6 接近开关传感器选型

接近开关的作用是避免与被检测物体产生直接接触而损坏机械手和物料^[4]。本项目选用深圳沪工自动化有限公司生产的直流三线常开沪工电感式接近开关,型号为LJ18A3-8-Z/BX,该开关可以检测8 mm距离内的物体。当有物体挡住时,开关处于闭合状态;当无物体挡住时,开关一直断开。

3.1.7 切枝链锯选型

切枝链锯选用YAT亚特品牌的YT4389型DC40 V充电式高枝锯。该链锯采用无刷电机作为驱动电机,相比于传统电机震动更小、噪声更低、无火花。电锯的链条采用10寸进口奥利根链条,链速高达9 m/s。切枝链锯在剪切较大的树木时可能发生夹锯现象。当正转遇阻夹锯时,采用切割电机带动链锯链条反转,同时X轴或Z轴朝反向移动即可退出链锯。链锯反转采用点动方式控制,直接由遥控器无线接收模块控制。

3.2 电机及驱动器选型

3.2.1 X轴、Z轴电机及驱动器选型

1)旋转转矩校核。

①返程匀速时X轴有最大摩擦转矩为

$$T_1 = \frac{(\mu Mg + f + mg) \cdot L}{2\pi \cdot \eta \cdot A} = 510 \text{ N} \cdot \text{mm} \quad (9)$$

式中: L 为滚珠丝杠导程, $L=20 \text{ mm}$; η 为滚珠丝杠

效率, $\eta=0.9$; A 为减速比, $A=1$ 。

②上升匀速时 Z 轴有最大摩擦转矩为

$$T_2 = \frac{(Mg + f) \cdot L}{2\pi \cdot \eta \cdot A} = 1787 \text{ N} \cdot \text{mm} \quad (10)$$

根据摩擦转矩选择北京时代超群有限公司的型号为 86EBP147ALC-TK0 的 86 闭环伺服步进电机,其速度控制方式采用直线型匀加速匀减速控制曲线^[6-7]。电机保持力矩为 $8.5 \text{ N} \cdot \text{m}$,转动惯量为

$$J_m = 2.7 \times 10^{-4} \text{ kg} \cdot \text{m}^2 \quad (11)$$

③加速所需的转矩。每个单位长度上的丝杠转动惯量为

$$J_0 = 1.23 \times 10^{-3} \text{ kg} \cdot \text{cm}^2 / \text{mm} \quad (12)$$

则丝杠轴全长 $S=1530 \text{ mm}$ 下的转动惯量为

$$J_s = J_0 \times S = 1.88 \times 10^{-4} \text{ kg} \cdot \text{m}^2 \quad (13)$$

滚珠丝杠作用于电机上的转动惯量如下式:

$$J = M \left(\frac{L}{2\pi} \right)^2 \cdot \frac{1}{A^2} \times 10^{-6} + J_s \cdot \frac{1}{A^2} \quad (14)$$

角加速度如下式:

$$\omega = \frac{2\pi \cdot n_{\max}}{60t} = 419 \text{ rad/s}^2 \quad (15)$$

则加速所需的转矩为

$$T_a = (J + J_m) \cdot \omega = 404 \text{ N} \cdot \text{mm} \quad (16)$$

④最大总驱动转矩计算。返程加速时 X 轴有最大总驱动转矩为

$$T_x = T_1 + T_a = 914 \text{ N} \cdot \text{mm} \quad (17)$$

上升加速时 Z 轴有最大总驱动转矩为

$$T_z = T_2 + T_a = 2191 \text{ N} \cdot \text{mm} \quad (18)$$

2) 驱动电机选型。根据上述计算可知,总驱动转矩数值 T_z 大于 T_x ,预选电机转矩必须大于 $T_z=2191 \text{ N} \cdot \text{mm}$ 。另外,电机应具有滚珠丝杠转动惯量的 10% 以上,即电机的转动惯量大于 $6.95 \times 10^{-5} \text{ kg} \cdot \text{m}^2$ 。驱动电机若选用传统步进电机进行驱动,电机力矩将随转速增大而急剧下降,电机将无法高速启动并且启动时将出现丢步现象。另外,链锯在切枝时也不能克服切枝进给阻力的冲击,极有可能导致驱动电机和传动机构受损。为解决这一问题,本方案采用带编码器的闭环伺服步进电机和新一代 DSP 数字式步进驱动器,以闭环控制方式驱动机械臂。对照图 5 所示的步进电机矩频特性曲线图可知,当电机转速为 600 r/min 时,电机转矩约为 $4.0 \text{ N} \cdot \text{m}$,满足要求。故可选用北京时代超群有限公司型号为 86EBP147ALC-TK0 的 86 闭环伺服步进电机作为

X 轴和 Z 轴的驱动电机,并用 ZDM-2HA865 闭环步进驱动器对该电机进行驱动。

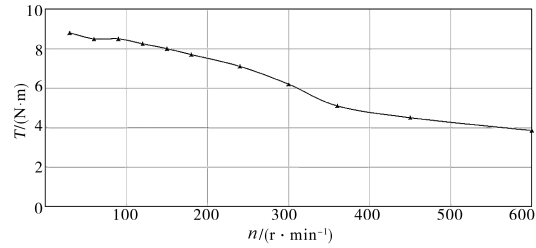


图5 86BEP系列步进电机矩频曲线图

Fig.5 $T-n$ curve of 86BEP series stepping motor

伺服步进电机驱动器采用的是先进的矢量型闭环控制技术^[8],通过与闭环步进电机上的编码器组成闭环系统,可直接对电机编码器反馈的信号进行采样,构成位置环和速度环,保障了步进电机的性能。另外, Z 轴步进电机还加装 DC24 V 电磁制动器。 X 轴和 Z 轴步进电机选用 8 细分,每给 1600 脉冲步进电机转 1 圈。 X 轴和 Z 轴步进电机控制电路设计如图 6 所示。

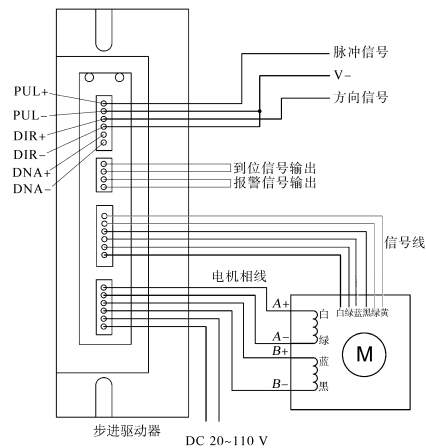


图6 X 轴、 Z 轴电机控制电路图

Fig.6 X -axis and Z -axis motor control circuit diagram

3.2.2 肘关节旋转机构电机选型

肘关节总驱动转矩较小,可选用无锡三拓电气设备有限公司的型号为 57HS4120A4-XG5-10 的 57 行星减速步进电机进行驱动减速比为 10 的行星减速器 XG5-10。步进驱动器选用 DM542,控制时采取 16 细分,每发送 3200 个脉冲步进电机旋转 1 圈,步进电机的转速为 300 r/min 。步进电机控制电路图与 X 轴、 Z 轴相似,区别在于它无信号线。

3.3 PLC 控制系统硬件设计

3.3.1 I/O 分配与 PLC 选型

PLC 的 I/O 点分配情况如表 2、表 3 所示^[2-5]。

本设计需要一个数字量输入口为 22 点、数字量输出口为 11 点的可编程控制器。德国西门子

公司生产的S7-200 SMART系列小型PLC机型丰富,能实现三轴 100 kHz 高速脉冲输出,并且能通过运动控制向导进行编程^[9]。因此,选用SMART系列的CPU ST40作为本方案的PLC,输出为24 V晶体管型。该PLC的数字量输入口为24点,数字量输出口为16点。

表2 PLC输入点分配

Tab.2 Input points allocation of PLC

输入点	作用	输入点	作用
I0.0	X轴正限	I1.3	Y轴正移
I0.1	X轴负限	I1.4	Y轴负移
I0.2	Z轴正限	I1.5	Z轴正移
I0.3	Z轴负限	I1.6	Z轴负移
I0.4	肘关节顺限	I1.7	旋转台顺传
I0.5	肘关节逆限	I2.0	旋转台逆转
I0.6	肘关节中限	I2.1	肘关节顺转
I0.7	上电	I2.2	肘关节逆转
I1.0	停止	I2.3	肘关节回原点
I1.1	X轴正移	I2.4	链锯启动
I1.2	X轴负移	I2.5	链锯停止

表3 PLC输出点分配

Tab.3 Output points allocation of PLC

输出点	元件	作用
Q0.0	驱动器1	X轴电机脉冲
Q0.1	驱动器2	Z轴电机脉冲
Q0.2	驱动器1	X轴电机方向
Q0.3	驱动器3	肘关节电机脉冲
Q0.4	KM1	旋转台电机正转
Q0.5	KM2	旋转台电机反转
Q0.6	KM3	电锯启动
Q0.7	驱动器2	Z轴电机方向
Q1.0	驱动器3	肘关节电机方向
Q1.1	KM4	Y轴推杆电机正转
Q1.2	KM5	Y轴推杆电机反转

3.3.2 PLC外部接线

本方案选用了16路控制器及遥控器控制PLC输入信号。PLC的输入端与输出端均采用DC24 V作为输入输出电压。具体连接情况如图7所示。

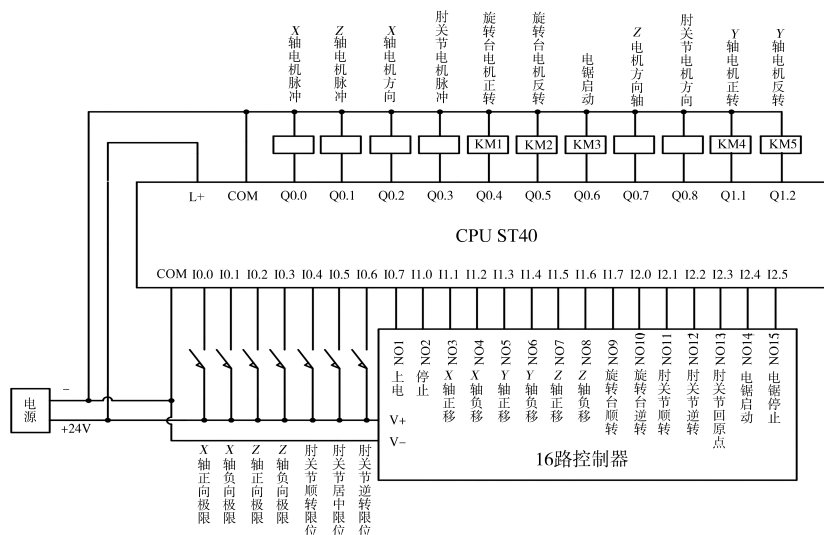


图7 PLC外部接线图

Fig.7 The external wiring diagram of PLC

3.3.3 遥控控制机构

遥控机构由一个16键遥控器和一个16路无线智能接收控制器组成。遥控机构采用遥控器的每一个按钮对应一路控制器,控制该路继电器的吸合与断开。遥控机构工作方式有5种,即信号自锁、非锁、互锁、1~8路自锁与9~16路非锁并存、1路自锁与2~16路非锁并存,它们分别通过遥控器1~5号键学习。在本方案中,16路控制器

中每路控制器的工作方式均为非锁。另外,16路控制器的输入电压和自身工作电压均采用DC24 V电压,具体接线情况如图8所示。

3.4 系统主电路设计

系统主电路如图9所示。

3.5 PLC控制系统程序设计

由于机械手面临的切枝环境复杂、切枝场所不固定,机械手无法自动完成切枝过程。操作

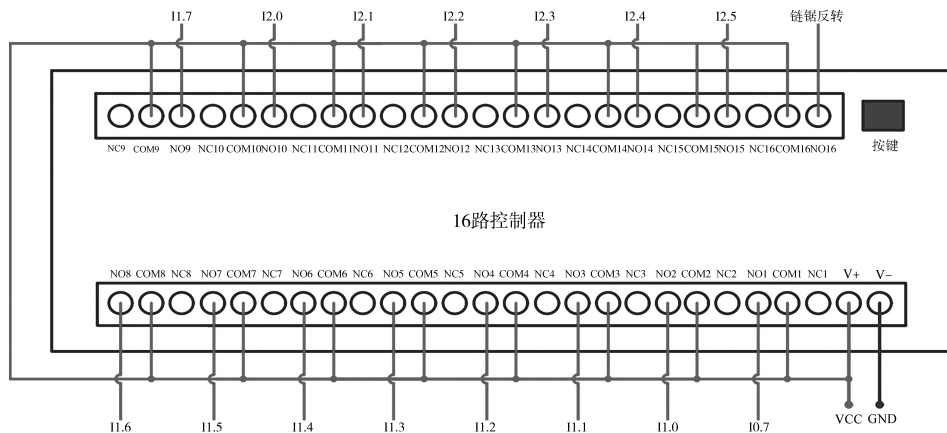


图8 16路无线智能接收控制器

Fig.8 The 16-way wireless intelligent reception controller

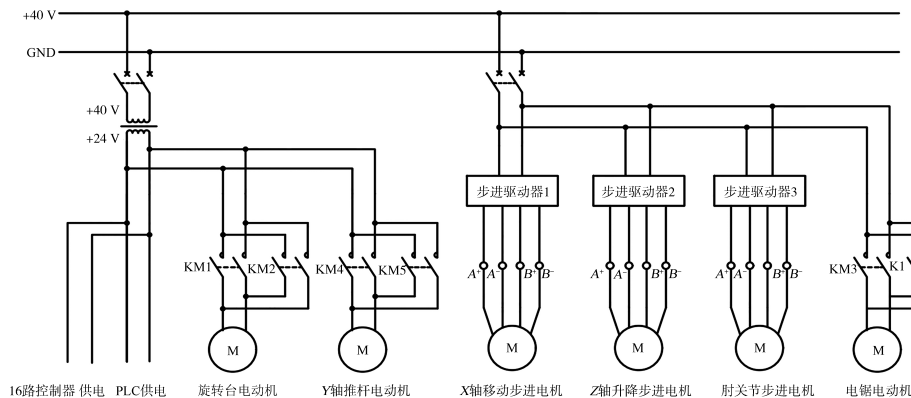


图9 系统主电路电气原理图

Fig.9 The electrical schematic diagram of the main circuit of the system

时,通过手动操作遥控器控制旋转工作台正反转、机械手X轴平移、Z轴升降以及Y轴伸缩,这几种工作方式均为点动。遥控控制机械手肘关节正反转、回原点(即回肘关节中间限位处)以及电锯启动和停止为联动。另外,所有的电机在正反转控制时都设置了软件互锁,防止发生同时按下正反转按钮而发生危险。

机械手肘关节控制程序如图10所示。切枝机械手的X轴、Z轴及肘关节电机均由PLC提供高速脉冲,其运行程序由运动控制向导组态生成运动指令,通过将这些运动指令置于程序中,以实现动态控制步进电机的速度和位置。X轴用轴0组态的AXIS0_CTRL子程序初始化位置模块和AXIS0_MAN子程序手动模式模块控制。Z轴用轴1组态的AXIS1_CTRL子程序初始化位置模块和AXIS1_MAN子程序手动模式模块控制。肘关节用轴2组态的AXIS2_CTRL子程序初始化位置模块、AXIS2_MAN子程序手动模式模块和AXIS2_RSEEK子程序查找参考点位置模块运动控制。肘关节程序相比于X轴、Z轴稍复杂。

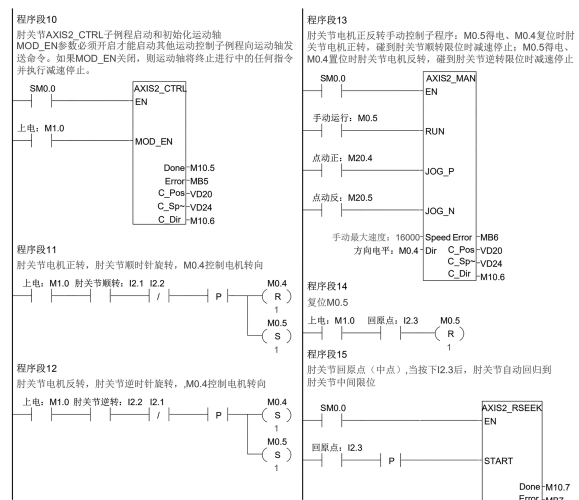


图10 机械手肘关节控制程序图

Fig.10 The control program diagram of manipulator elbow joint

4 结论

本文利用机械设计理论、电气步进控制、无线智能通讯等原理技术,进行了高空电力线路切枝装置的研制,取得了一系列成果:

(下转第76页)

4 结论

本文针对标准 CGC/CF 035:2013 光伏逆变器中国效率技术条件而设计的自动测试系统,不仅具有实用性而且易于操作和维护,能够满足单相以及三相光伏并网逆变器的测试,且能够最大化地保证测试精度及测试稳定性。能够实现全自动测试及快速生成测试报告,平均中国效率测试周期缩短至 20 h 以内,大大提高了实验室的测试效率和自动化管理水平。

参考文献

- [1] 于洪泽,韩松,陆桂军,等.基于LabVIEW与TestStand的关键设备自动测试系统[J].电气传动,2020,50(3):83-86.
- [2] 周仕平,陈权,王群京,等.基于Labview与AVR32的逆变器结温采集系统研究[J].电测与仪表,2017,54(13):56-61,74.
- [3] 王政,刘国海,沈跃,等.基于LabVIEW的电能质量监测系统及其数据存储格式的研究[J].电测与仪表,2013,50(6):

83-87,128.

- [4] 郑东山,骆皓,曹阳,等.基于LabVIEW的双馈风电变流器控制系统设计与实现[J].电气传动,2013,43(9):13-16.
- [5] 康守强,王玉静,王鹏,等.基于LabVIEW的网络实验平台设计[J].实验技术与管理,2016,33(1):72-74.
- [6] 徐晓玲,余佼,张明辉,等.基于LabVIEW的传感器虚拟综合实验系统设计[J].实验技术与管理,2019,36(2):134-136,140.
- [7] 傅键,满庆丰,王钢.基于LabVIEW的多端口直流微电网实验平台[J].实验室研究与探索,2019,38(11):117-119,143.
- [8] 张凯宇,范艾杰,蔡志明,等.基于LabVIEW的3146A多功能测量系统开发[J].实验室研究与探索,2016,35(1):121-124.
- [9] 许昌开普检测研究院股份有限公司.一种变流器自动测试系统:中国,2018222238716[P].2019-12-06.
- [10] 许昌开普检测研究院股份有限公司.变流器自动测试软件V2.0:中国,2018RS1033745[P].2018-12-18.

收稿日期:2020-04-22

修改稿日期:2020-05-15

(上接第71页)

1)完成了切枝装置的整体布局及设计工作,并用AutoCAD对切枝装置进行了三维建模。

2)完成了机械手X轴、Z轴滚珠丝杠副的计算及选型;完成了各个驱动电机及驱动器的选型。

3)完成了PLC选型、I/O口分配及外围电路设计;采用了16路无线智能接收控制器和遥控器控制机械手;完成了切枝系统主控电路设计。

4)在STEP 7-MicroWIN SMART软件中应用运动控制向导对机械手进行了编程。

5)切枝装置试验表明:在对高空树枝进行剪切时,通过遥控器操纵能够顺利地将横向或竖向树枝剪切下来。

参考文献

- [1] 孔德刚.链锯锯木参数的研究[J].东北林业大学学报,1985,13(4):86-93.

收稿日期:2020-03-17

修改稿日期:2020-04-21

- [2] 杨政.基于PLC的工业机械手臂控制设计与触摸屏监控[J].科技与创新,2017(2):113-114.
- [3] 盛强.基于PLC的绝热层自适应打磨控制系统设计[J].电气传动,2019,49(8):71-74.
- [4] 应帅.基于PLC的机械手臂控制系统设计的研究[J].科技创新导报,2017(36):81-81,83.
- [5] 王国轩,聂晓峰,杜江涛,等.真空机械手精确转运系统设计研究[J].科技创新与应用,2019(28):7-11.
- [6] 李东君.步进电机在剪板机中升降速控制的算法研究[J].电气传动,2016,46(6):58-60,70.
- [7] 靳哲,肖军.步进电机在石油管件喷漆设备中的应用[J].电气传动,2016,46(7):26-29.
- [8] 孙泽标.非线性负载下高性能步进电机闭环驱动控制系统设计与实现[D].杭州:浙江大学,2019.
- [9] 廖常初.S7-200 SMART PLC编程及应用[M].北京:机械工业出版社,2015:106-109.