

基于PLC的桁架机械手控制系统设计

程晟

(山西能源学院 机电工程系 山西 晋中 030600)

摘要 设计了一款小型二轴式气动桁架机械手样机。该样机可有效、可靠地抓取物件,节省了人工成本,提高了产品生产效率。针对轻小物料精准抓取和移动的问题,进行了电动机选型计算,给出计算方法与过程,选取了合适的设备配件进行组装。根据控制流程图对PLC程序编译,设计出自动化桁架机械手。

关键词 桁架机械手;控制系统设计;气压传动

中图分类号:TP 242

文献标志码:A

文章编号:1002-2333(2023)10-0034-04

Design of Truss Manipulator Control System Based on PLC

CHENG Sheng

(Department of Mechanical and Electrical Engineering, Shanxi Institute of Energy, Jinzhong 030600, China)

Abstract: This paper designs a small two-axis pneumatic truss manipulator prototype, which can grab objects efficiently and reliably, save labor cost and improve production efficiency. Aiming at the problem of grasping and moving light and small materials accurately, the motor and other equipment selection calculation is carried out, the calculation method and calculation process are given, the suitable equipment accessories are selected for assembly. According to the control flow chart of the PLC program compilation, the automatic truss manipulator is designed.

Keywords: truss manipulator; control system design; pneumatic transmission

0 引言

近年来,随着我国科学技术的日益发展与完备,机械设计制造及自动化行业在此大背景下,呈现出较快的发展势头,有力地推动了我国社会经济的持续、高速、稳健发展^[1]。在欧美日等发达工业国家,由加工中心和桁架机械手组成的敏捷柔性生产系统已经是主流产品。桁架机械手作为柔性输送系统,已成为柔性加工自动线中的重要组成部分^[2]。桁架机械手将在推动中国产业智能化的进程中起到举足轻重的作用。桁架式机械手也叫龙门式机器人,属于直角坐标机器人的一种。机械加工行业所设计的桁架式机械手与数控机床的结合,可以实现在该设备或多设备之间的工件自动抓取、上料、下料、工件转序加工^[3]。桁架机械手与机床是构成自动加工生产线的主要设备,可实现全部工艺过程中的工件自动抓取、上下料、装夹、工件移位翻转、工件转序加工等操作^[4]。

桁架机械手由机械结构、电动、气动回路和控制系统等部分组成。本次设计的桁架机械手可以与自动生产线配合,完成以大批量生产为基础的小型部件生产运输,具有良好的经济价值。与关节式的工业机器人相比,桁架机械手有以下特点:1)工作行程自由设计,节省工作空间;2)制造成本较低,制造工艺简单,后期维护方便;3)结构简单,便于安装与调试;4)稳定性和精确度高;5)拓展能

力强,可根据实际需要为机械手更换不同的工作部件,具有工作多样性及生产方式的高适应性。

1 桁架机械手结构设计

桁架机械手结构为两轴式(如图1),由桁架主体、X轴进给传动机构、Z轴进给传动机构、桁架机械手夹取装置、工件工位摆放台等组成。桁架主体安装在工件摆放台上,立柱支撑X轴和Z轴分别设有导轨和进给传动机构,气动手夹取装置安装在Z轴下端。

X轴横梁距离长、负载大,容易导致弯曲,而使X轴的水平度不够导致Z方向产生距离误差,也使得X方向运行流畅度降低。故对X方向平直度和刚度均具有一系列要求。本设计以滑轨控制运动轨迹,以滚珠丝杠驱动水平进给运动,通过固定轴承将X轴的滚珠丝杠进行轴向固定,轴端安装有步进电动机,驱动滚珠丝杠旋转运动,带动滚珠螺母进行轴向移动,滚珠螺母与滑块之间固定,实现滑块X轴进给带动进给运动。通过安装在滑块上的一个位置传感器定位三工位对应X轴方向位置,通过X轴桁架固定的限位传感器对X轴运动进行限制。

Z轴实现上下进给运动,保证手臂强度和刚度,同时保证其在重力作用下的位置控制,使自身单元能实现平稳流畅的高速运动并保证较高精度的定位。此方向的驱动电动机采用了带抱轴功能的伺服电动机。Z轴是通过滚珠螺母固定在X轴滑块上,Z轴滚珠螺母并不进行Z轴方向的运动,也不转动,是滚珠丝杠相对固定的螺母转动,从而实现整体在Z轴方向的上下运动。这样设计的好处是可以保证Z轴的手臂强度和刚度,并且有足够空间安装气动机械夹爪。在传感器设置方面,通过安装在固定桁架结构

基金项目 2020年山西能源学院院级教学改革创新项目“新工科背景下基于能力导向的机械电子工程专业实践教学体系构建”(NJ202014) 2007年教育部高教司产学研合作协同育人项目实践条件建设柔性制造实验室(201701043030)

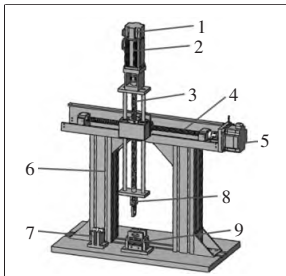


图1 桁架机械手结构

- 1.伺服电动机 2.电动机座
- 3.4.滚珠丝杠 5.步进电动机
- 6.桁架机架 7.V形卡台
- 8.气动夹爪 9.夹爪气缸

上的一个位置传感器定位三工位对应Z轴方向位置,通过桁架固定的限位传感器对Z轴运动进行限制。

通过X轴与Z轴的电动机控制就可以完成气动夹爪在竖直平面的复合运动,在此位置安装气动机械夹爪,配合工件工位摆放台的光电传感器,通过气压传动系统,完成桁架机械手装置的相关夹取动作。

2 桁架机械手电动机计算选型

已知工作台与工作物的总质量 M ,工作台与工作物移动时的最大速度为 V ,丝杠直径为 D ,丝杠全长为 L ,丝杠导程为 P_B ,螺杆机构的机械效率为 η ,滑动面摩擦因数为 μ ,移动量为 l ,总移动时间为 t_0 。

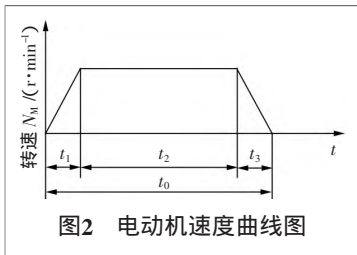


图2 电动机速度曲线图

1)桁架机械手X轴电动机拟采用步进电动机,其选型计算过程如下。先分析其运动的电动机速度曲线图,如图2所示。

步进电动机加速

时间计算公式为

$$t_1=t_3=t_0-\frac{l}{V}$$

电动机所需转动速度计算公式为

$$N_M=\frac{Vl}{P_B}$$

步进电动机负荷转矩计算公式为

$$T_L=\frac{\mu g M P_B}{2\pi\eta}$$

然后进行步进电动机负荷惯量计算。

直线运动的负荷惯量计算公式为

$$J_{LM}=M\left(\frac{P_B}{2\pi}\right)^2$$

滚珠丝杠的负荷惯量计算公式为

$$J_B=\frac{\pi}{32}\rho L D^4$$

总的负荷惯量计算公式为

$$J_L=J_{LM}+J_B$$

再进行电动机转矩计算。

启动转矩计算公式为

$$T_s=\frac{2\pi N_M(J_M+J_L)}{60t_1}$$

必需转矩计算公式为

$$T_M=(T_L+T_s)\cdot S$$

式中 S 为安全系数; J_M 为电动机转子惯量 $\text{kg}\cdot\text{m}^2$ 。

通过如上计算过程,初步选择电动机型号为步科Kinco2S56Q-02054,该电动机的转子惯量为 $J_M=0.24\times 10^{-4}\text{kg}\cdot\text{m}^2$,最大转矩为 $0.135\text{N}\cdot\text{m}$ 。该电动机满足选型要求。

2)桁架机械手的Z轴拟采用伺服电动机,其选型计算过程如下。首先计算折算到电动机轴上的负载惯量。

重物折算到伺服电动机轴上的转动惯量计算公式为

$$J_W=M\cdot[P_B/(2\pi)]^2$$

螺杆转动惯量计算公式为

$$J_B=\frac{M_B\cdot\left(\frac{D_B}{2}\right)^2}{8}$$

总负载惯量计算公式为

$$J_L=J_W+J_B$$

电动机转速计算公式为

$$N=V/P_B$$

再计算伺服电动机驱动负载所需要的转矩。

克服摩擦力所需转矩计算公式为

$$T_f=\frac{M\cdot g\cdot\mu\cdot P_B}{2\pi\cdot\eta}$$

重物加速时所需转矩计算公式为

$$T_{A2}=J_B\cdot\alpha/\eta$$

螺杆加速时所需要转矩计算公式为

$$T_{A1}=\frac{M\cdot a\cdot P_B}{2\pi\eta}$$

加速所需总转矩计算公式为

$$T_A=T_{A1}+T_{A2}$$

下面计算瞬时最大转矩。

加速转矩计算公式为

$$T_a=T_A+T_f$$

匀速转矩计算公式为

$$T_b=T_f$$

减速转矩计算公式为

$$T_c=T_A\cdot T_f$$

实效转矩计算公式为

$$T_{rms}=\sqrt{[(T_a^2\cdot t_1+T_b^2\cdot t_2+T_c^2\cdot t_3)/(t_1+t_2+t_3)]}$$

选择伺服电动机的要求为:额定伺服电动机转矩 $T_N>T_f$ 且 $T_N>T_{rms}$,且最大伺服电动机转矩 $T_{max}>T_f+T_A$ 。由以上2个条件选择合信E10系列的CTSDM16-B2012-M100伺服电动机。

传动系统的主要元器件及品牌型号如表1所示。

表1 传动系统的主要元器件列表

品牌及型号	X轴	Z轴
品牌	Kinco步科	合信
型号	2S56Q-02054	CTSD M16-B2012-M100
驱动器型号	2M530	CTSD E10-B2010-M110

3 气动回路设计

实际被抓取物的质量较轻,所以机械手的抓取能力

图3 气动传动系统图

1.气源 2.空气过滤器 3.调压阀 4.压力表
5.油雾器 6.二位五通电磁换向阀 7.单向节流阀 8.手指气缸 9.大口径手指气缸

1.气源 2.空气过滤器 3.调压阀 4.压力表
5.油雾器 6.二位五通电磁换向阀 7.单向节
流阀 8.手指气缸 9.大口径手指气缸

名称	品牌	型号
空压机	奥突斯	550W-8L
气源三联件	亚德客	GC200-08
电磁控制换向阀	亚德客	4V210-08 DC24 V
单向节流阀	亚德客	ASC200-08
手指气缸	亚德客	HFZ 25
大口径手指气缸	亚德客	HFT10×20

打开开关,机械手在桁架上寻找零点,先右移寻找 X 轴零点,再上移寻找 Z 轴零点,接下来右移到 X 轴一号位,机械手再向下移动到 Z 轴一号位,进行物料抓取,抓取物

输入			输出		
地址	功能文本	连接设备	地址	功能文本	连接设备
I0.0	X轴 原点PX1	兰宝 LE18SN08DNO	Q0.0	X轴脉冲	步进电动机 驱动器
I0.1	X轴 左限位PX2	兰宝 LE18SN08DNO	Q0.1	X轴方向	步进电动机 驱动器
I0.2	X轴 右限位PX3	兰宝 LE18SN08DNO	Q0.2	Y轴脉冲	伺服电动机 驱动器
I0.3	Y轴 原点PX4	兰宝 LE18SN08DNO	Q0.3	Y轴方向	伺服电动机 驱动器
I0.4	Y轴 上限位PX5	兰宝 LE18SN08DNO	Q0.4	Y轴伺服使能	伺服电动机 驱动器
I0.5	Y轴 下限位PX6	兰宝 LE18SN08DNO	Q0.5	Y轴报警复位	伺服电动机 驱动器
I0.6	一号位 检测PH1	兰宝 PSC-TM15TNB	Q0.6	控制手爪气缸	亚德客电磁 换向阀1
I0.7	二号位 检测PH2	德力西CS1-G	Q0.7	控制物料二位 置的气缸	亚德客电磁 换向阀2
I1.0	伺服准备好	伺服电动机 驱动器	—	—	—
I1.1	报警	伺服电动机 驱动器	—	—	—
I1.2	启动	启动按钮	—	—	—
I1.3	停止	停止按钮	—	—	—
I1.4	复位	复位按钮	—	—	—
I1.5	急停	急停按钮	—	—	—

设计的二轴式桁架机械手以PLC为控制核心,滚珠丝杠、
(下转第39页)



图9 机械臂ADAMS模型图

度要求。折叠臂角度变化平缓,伸缩臂的速度幅值整体数值较小,说明修剪系统的各关节运动过程比较平稳。

4 结语

多功能道路树木养护车以车为载体,装备有树木修剪装置、木材粉碎装置、浇水及树木刷白装置,可完成树木修剪、残枝粉碎回收、树木浇水及刷白多种树木养护作业。该设备机械化程度高,提高了整机综合利用率,降低了劳动强度。通过对修剪液压机械臂的ADAMS运动学仿真结果分析,修剪高度达到预期要求,修剪液压机械臂运行稳定,整机满足设计需要。

[参考文献]

- [1] 蒋辉.城市道路绿化养护存在的问题与对策[J].绿色科技,2018(9):48-49.
- [2] 高建军.浅析城市行道树的养护管理[J].农业科技与信息,2022(18):82-84.
- [3] 郝兵,张将,杨柳松,等.液压重载机械手的结构设计与分析[J].矿山机械,2021,49(6):50-54.
- [4] 高彦玉,时玲,杨陆强,等.一种自动升降式树木刷白机的设计[J].林业机械与木工设备,2017,45(7):37-39.
- [5] 李耀龙,袁晓琪,郭云刚.洒水车罐体及水路设计[J].汽车实用技

(上接第36页)

电动机、夹爪气缸为执行机构,编码器、传感器为反馈元件。通过PLC程序编译,实现对轻小物料实施精准的抓取和移动。该桁架机械手可以与自动生产线配合,完成以大批量生产为基础的小型部件生产运输,具有良好的经济价值。数字化信息的交流可实时记录生产情况,充实智能化生产线。

制造业是国民经济的主要支柱,也是今后我国经济“创新驱动、转型升级”的主战场^[5]。在两化融合的今天,桁架机械手在生产、运输等各行各业广泛采用,无论从生产质量、运输速度、经济效益等各方面来衡量,都已经远远超过原来的生产模式。桁架机械手有较强的负载能力,结构简单,调试方便,适用于大体积和大质量的货物,还可以和输送线、运料小车等联网联动,实现更为综合的仓储系统^[6]。未来我国制造业在新业态、新气象下的发展,将会使桁架机械手与智能化、自动化的关系更加密切。

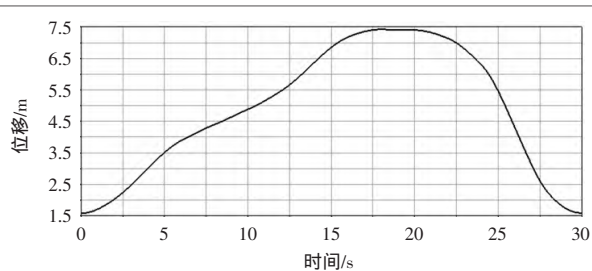


图10 修剪链锯Y轴位移变化曲线

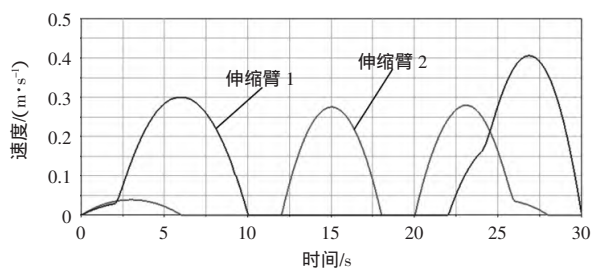


图11 伸缩臂速度幅值变化曲线

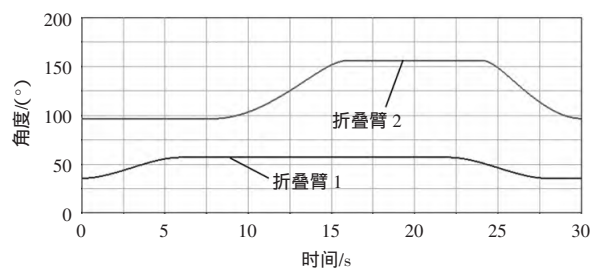


图12 折叠臂角度变化曲线

术,2019(1):97-99.

(编辑 邵明涛)

作者简介 曹旭峰(1996—),男,硕士研究生,研究方向为机械结构设计;孟利民(1968—),女,博士,教授,主要研究方向为微结构成型及应用、液压传动及控制、机械CAD/CAM技术等。

通信作者 孟利民,lmeng@aust.edu.cn.

收稿日期 2022-10-13

[参考文献]

- [1] 程心远.基于德国工业4.0背景下机械设计制造及其自动化行业的影响探讨[J].中国设备工程,2017(22):185-186.
- [2] 权占群,张树礼.桁架机械手及在柔性加工自动线上的应用[J].金属加工(冷加工),2014(12):23-25.
- [3] 蒲军.桁架式机械手伺服电机选型[J].制造业自动化,2019,41(6):1-3.
- [4] 陈智元.桁架机械手在加工自动生产线上的应用[J].内燃机与配件,2020(6):265-266.
- [5] 周济.智能制造“中国制造2025”的主攻方向[J].中国机械工程,2015,26(17):2273-2284.
- [6] 郭志冬.基于PLC的桁架机械手控制系统设计[J].湖南邮电职业技术学院学报,2022,21(2):44-46.

(编辑 马忠臣)

作者简介 程晟(1982—),男,硕士研究生,讲师,研究方向为智能制造。收稿日期 2023-03-29