

直角坐标机器人的设计研究*

陈 熹¹ 袁 真¹ 李 旭^{1,2*}

(1. 湖南农业大学工学院, 长沙 410128; 2. 南方粮油作物协同创新中心, 长沙 410128)

摘 要: 直角坐标机器人具有稳定可靠、控制精密、编程控制方式简单等特点, 常应用于零件的雕刻、搬运、焊接、喷码、装配等场合, 同时还是数控机床和 3D 打印机等精密加工设备的基础构架。研究设计了一种三自由度龙门式直角坐标机器人, 对其机械结构和控制系统做了设计和优化, 其执行机构末端通过 X、Y、Z 三轴正交方向的直线运动, 能够精确定位到范围空间中的任一点, 实现了机器末端在机构的空间的精确定位。

关键词: 直角坐标机器人 机械结构 控制系统 精确定位

DOI:10.16107/j.cnki.mmte.2018.0926

随着科技水平和制造业的快速发展, 直角坐标机器人在现代工业生产中已得到广泛应用。目前, 国内外主要采用壁挂(悬臂)式、龙门式、挂臂式等结构形式来设计直角坐标型机器人。各轴实现直线运动的传动方式大致有四种: 齿轮齿条传动、滚珠丝杠传动、同步齿形带传动、直线电机传动。另外, 在特殊场合也有采用钢丝绳牵引实现轴的运动, 直角坐标式机器人在驱动方式通常采用步进电机驱动、伺服电机驱动等, 根据机器人的类型和所需要完成的工作来具体选取合适的控制方式, 广泛应用于制造业和其他行业。

本研究设计一种三自由度龙门式直角坐标机器人, 其执行机构末端通过 X、Y、Z 三轴正交方向的直线运动, 能够精确定位到空间中的任一点。其中, X 轴、Y 轴由步进电机驱动、同步齿形带传动; Z 轴为直线电机驱动、丝杆传动。在控制系统的作用下, 旨在实现机构空间中精确定位功能。本文主要直角坐标机器人的机械结构及控制系统, 为直角坐标机器人在龙门型桌面级 3D 打印机的后续开发中提供参考。

1 直角坐标机器人机械结构设计

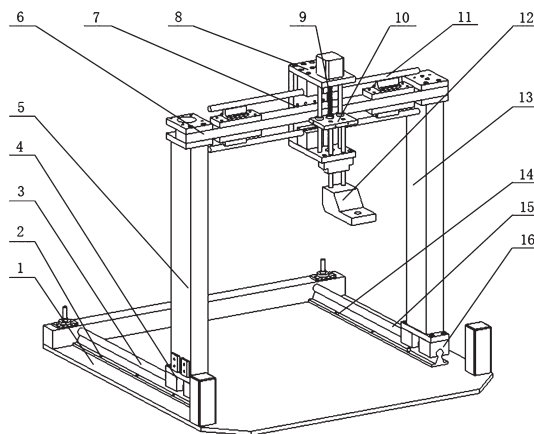
直角坐标机器人的机械机构设计包括: 直角坐标机器人外形的设计、直线导轨的设计、直角坐标机器人传动方式的选择、轴承的选择等。

1.1 直角坐标机器人外形的设计

本研究设计的龙门式结构的直角坐标机器人, 总体空间尺寸设计为: 长度方向 700mm, 宽度方向 716mm, 高度方向 420mm。综合考虑直角坐标机器人的应用场景、成本等方面考虑, 加工零件的材料要求强度较高、重量轻、材料价格低、弹性模量大, 所以, 本次设计的直角坐标机器人机械结构主体材料选择 6063 铝合金和铝型材, 其结构如图 1 所示。

1.2 直线导轨的同步带齿型带传动设计

直角坐标机器人的 X 轴和 Y 轴的传动方式, 是利用同步带传动来实现滑块在滑轨上的直线运动。X 轴和 Y 轴上的受力主要是由径向的压力引起的摩擦力, X 轴上的行程长度为 420mm, Y 轴上的行程长度为 450mm, 为保证运动的稳定性, X 轴及 Y 轴的直线导轨均由两根圆柱形导轨对称分布, 其导向精度高, 安装简便, 高低速均可应用。



1. 底座; 2. Y 方向传送带; 3. Y 左滑座; 4. 左滑块; 5. 左立杆; 6. X 方向支撑架; 7. X 方向传送带; 8. Z 方向固定座; 9. 传动丝杆; 10. Z 轴滑块; 11. X 方向导轨; 12. 末端执行机构; 13. 右立杆; 14. Y 方向传送带; 15. Y 右滑座; 16. 右滑块

图 1 直角坐标机器人结构图

直线导轨应具有良好的耐磨性, 摩擦因数尽可能小, 具有良好的加工和热处理性能。因此, 导轨的材料应选用镀铬钢, 为提高导轨表面硬度, 采用表面淬火工艺。

执行机构末端负载在 X 轴滑块上, 工作时, X 轴驱动电机带动 X 轴方向的滑块运动, 从而带动末端执行机构在 X 轴方向上移动, 实现执行机构末端在 X 轴方向的定位。左右两根立柱分别安在 Y 轴的双滑块上, 与 X 轴方向同理, Y 轴驱动电机工作时, 带动双滑块在 Y 轴方向的导轨上运动, 从而带动立柱上 X 轴滑轨的移动, 实现执行机构末端在平面上任意点的运动。

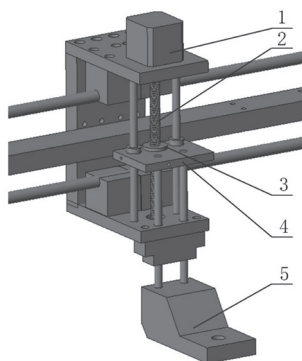
1.3 直线导轨的丝杆传动设计

直角坐标机器人 Z 轴的传动方式是丝杆传动。利用螺旋丝杆带动丝杆螺母上下移动, 从而使与丝杆螺母间接固连在一起的连接杆实现上下运动。螺旋丝杆具有精度高、摩擦阻力小、定位精度高的特点。

执行机构末端与 Z 轴滑块相连, 丝杆螺母稳定装配于滑块上, Z 轴方向驱动部分通过驱动丝杆转动, 带动丝杆螺母

基金项目: 湖南农业大学校科学基金项目 (项目编号: 16QN04); 湖南省普通高等学校教学改革研究项目 (项目编号: [2015]291)。

的升降,从而间接带动末端执行机构的升降,实现末端执行机构在 Z 轴方向的升降。Z 轴方向升降结构图如图 2 所示。



1. Z 轴直线电机; 2. 传动丝杆; 3. 丝杆螺母; 4. Z 轴滑块; 5. 末端执行机构

图 2 Z 方向升降结构

2 直角坐标机器人控制系统设计

本研究的直角坐标机器人控制系统是由 PLC (可编程控制器)、步进电机驱动器、按键控制模块、行程开关保护模块、人机交互模块所组成。通过人机交互模块,人为输入 X、Y、Z 三轴坐标后,PLC 接收模块处理后的信息,并控制各轴电机旋转,最终实现执行机构末端移动至相应坐标轴位置。控制系统结构示意图如图 3 所示。

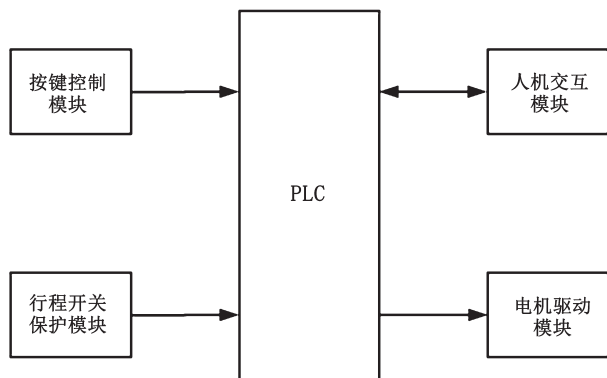


图 3 控制系统结构示意图

2.1 步进电机驱动电路设计

本次设计采用步进电机驱动,其转速与脉冲频率成正比,转动角度由发出的电脉冲数决定,且结构简单,没有累积误差,精度高,带动负载惯量的能力。

步进电机驱动部分由步进电机和步进驱动器组成。在选择步进电机型号时,需要知道电机所要传递的转矩大小来选择电机的型号。本次设计的驱动 X 轴和 Y 轴方向运动的步进电机型号为: 57BYGHT。驱动 Z 轴方向运动的步进电机型号为: 42BYGHT。

步进电机驱动器为直流两相步进电机驱动器。

额定电压为: 12 ~ 42V、额定电流为 4.5A。驱动器的 CP+ 和 CP- 分别表示控制脉冲信号正端和负端; DIR+ 和 DIR- 分别表示方向信号正端和负端; EN+ 和 EN- 分别表示使能信号的正端和负端。A+ 和 A- 接步进电机 A 相绕组的正负端; B+ 和 B- 接步进电机 B 相绕组的正负端。当 A、B 两相绕组调换时,可使电机方向反向。驱动器与步进电机连接电路图如图 4 所示。

2.2 按键控制模块电路设计

按键控制模块实现了控制系统的启动、停止、脱机保护功能。设置启动按钮 SB1、停止按钮 SB2 和脱机按钮 SB3,启动按钮接入控制器 X000 输入端口,按下启动按钮将触发控制器内设定程序,直角坐标机器人按照设定要求完成动作,具体动作顺序由控制器程序给定。停止按钮与控制器 X001 输入端口相连,打开后,各轴上的运动立刻停止,但电机输出轴处于锁死状态,不能转动。脱机按钮 SB3 接入控制器 X002 输入端口,按下后,各电机轴脱机,不再锁死,外力可使轴转动。

2.3 行程开关保护模块电路设计

直角坐标机器人三轴上的运动可将末端执行机构定位到工作空间中任意位置,各轴上的运动有固定的行程。为保证正常工作,方便确定运动开始时的空间原点,需设置行程控制电路,Z 轴上的行程长度为 200mm,在其两端安装行程开关 SB4 和 SB5,接入 PLC 控制输入端口 X003 和

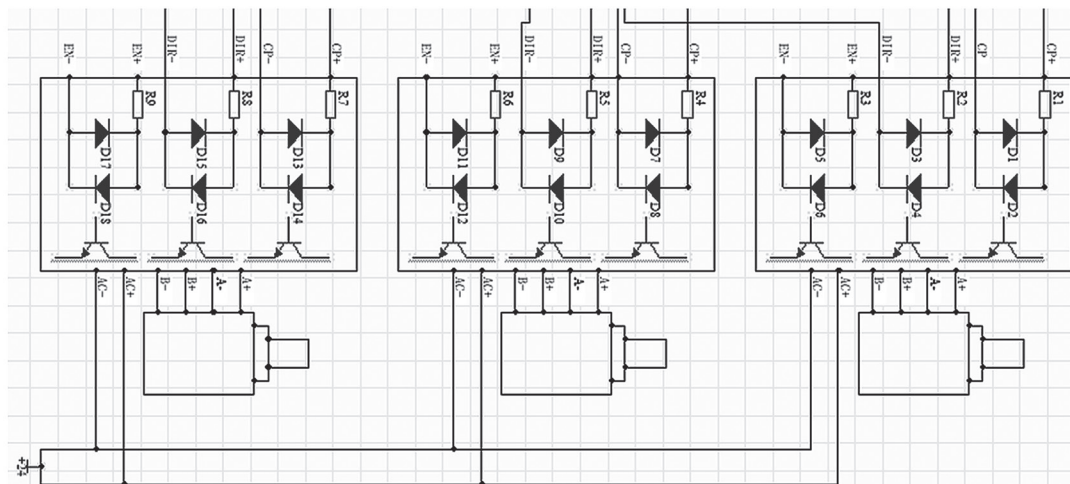


图 4 驱动器与步进电机连接电路

X004; X轴上的行程长度为420mm,在其两端安装行程开关SB6和SB7,接入PLC控制输入端口X005和X006;Y轴上的行程长度为450mm,在其两端安装行程开关SB8和SB9,接入PLC控制输入端口X007和X008;当各轴上的运动达到行程极限位置时,行程开关打开,触发PLC内置程序,改变运动方向或立即停止动作,起到安全保护作用。开关设置电路图如图5所示。

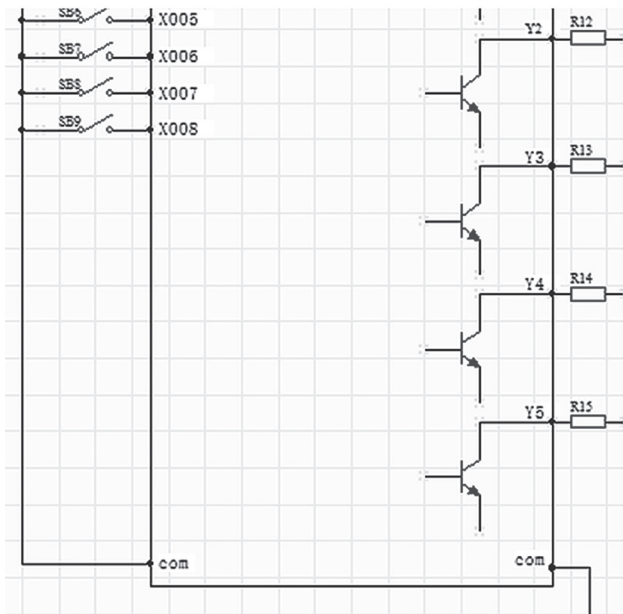


图5 开关设置电路

2.4 人机交互模块设计

以触摸屏作为人机交互模块已经被广泛使用,并能满足本研究控制系统的坐标位置输入与显示功能。为了实现执行机构末端的精确定位,需要通过人为输入X、Y、Z三轴坐标,对输入坐标进行行程范围的合理性判断后,再通过电机驱动,将执行机构末端移动至相应坐标轴位置。

2.5 控制系统程序设计

通过PLC对各个系统模块的数据采集与驱动控制,实现执行机构末端的精准定位。

由于驱动电机的当前位置没有断电记忆功能,在机器断电后,每次重新启动都需要将执行末端移动至空间坐标原点,因此,需要通过固定程序实现空间坐标原点的初始化。初始化功能的实现是通过X、Y、Z三轴电机依次向坐标原点方向进行旋转,直至触发原点位置的行程开关SB4、SB6、SB8,并及时停止相对应的电机,此时程序设定当前三维坐标0.0.0为空间坐标原点。控制系统软件流程图如图6所示。

3 结论

(1) 本文设计制作了一款龙门式直角坐标机器人,总体空间尺寸的长度方向为700mm,宽度为716mm,高度为420mm。X轴上的行程长度为420mm,Y轴上的行程长度为450mm,Z轴上的行程长度为200mm。机械结构主体材料选择6063铝合金和铝型材。

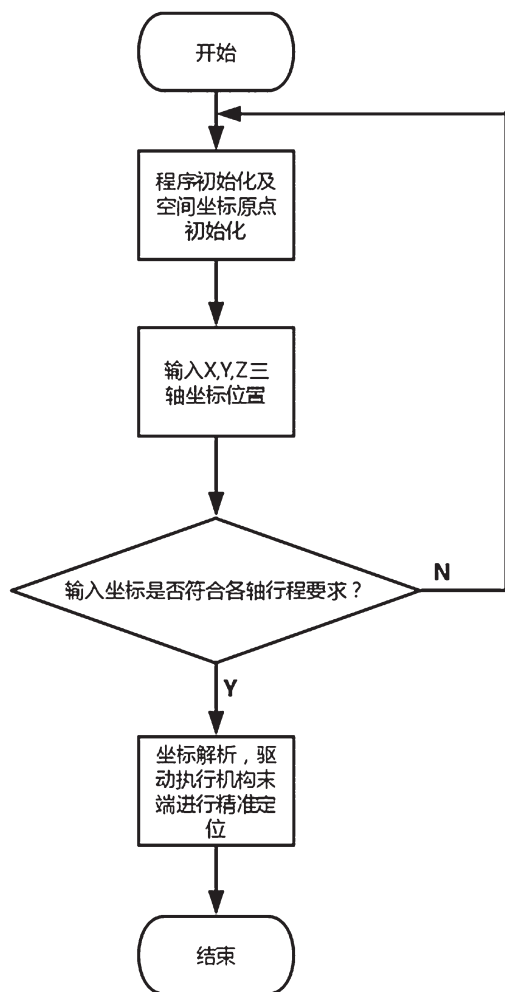


图6 控制系统软件流程

(2) 该直角坐标机器人的驱动方式选用电力驱动,采用步进电机。X轴和Y轴方向运动的步进电机型号为:57BYGHT。驱动Z轴方向运动的步进电机型号为:42BYGHT。

(3) 该直角坐标机器人的工作流程为:按下启动按钮SB1后,程序初始化,各轴复位到行程中点,执行机构末端处于空间原点;然后,通过人机交互模块,人为输入X、Y、Z三轴的坐标信息,控制器通过坐标解析,发送一定频率、数量的脉冲信号,驱动各轴的步进电机匀速转动规定转角,Y、X、Z轴上构件依次移动到目标位置,末端执行机构完成指定动作后,各步进电机再次驱动Z、X、Y三轴上构件依次移动到目标位置,完成工作。

参考文献

- [1] 李刚,周文宝.直角坐标机器人简述及其应用介绍[J].伺服控制,2008,(9):72-75.
- [2] 王炎欢,陈阿三,刘鑫茂.直角坐标机器人控制系统的研制[J].轻工机械,2010,(4):67-69.
- [3] 林君健,张晓瑾,林粤科,等.基于PLC的示教式直角坐标涂胶机器人控制系统设计[J].机床与液压,2016,(3):49-51.

- [4] 周洁. 4 自由度直角坐标焊接机器人控制系统设计 [D]. 哈尔滨: 哈尔滨工程大学, 2013.
- [5] 刘军. 开放式直角坐标机器人运动控制系统研究 [D]. 天津: 天津大学, 2010.
- [6] 李秀琴, 张以都. 直角坐标装配机器人动态特性实验研究 [J]. 北京航空航天大学学报, 2004, (4): 383-386.
- [7] 林威威, 肖勇, 陈明, 等. 用于饲料码垛的直角坐标机器人设计 [J]. 信息系统工程, 2013, (9): 50-52.
- [8] 文怀兴, 柳建华, 白路, 等. 基于 Trio 运动控制器的直角坐标机器人控制系统 [J]. 轻工机械, 2009, (3): 50-53.

Design and Research on Right-Angle Coordinate Robot

CHEN Shang¹, YUAN Zhen¹, LI Xu^{1,2*}

(1. College of Engineering, Hunan Agricultural University,

Changsha 410128; 2. Southern Regional Collaborative Innovation Center for Grain and Oil Crops in China, Changsha 410128)

Abstract: Right-angle coordinate robots have the characteristics of stability, reliability, precise control, simple programming control method, which is often used in parts carving, handling, welding, printing, assembly and other occasions. It is also the basic framework of confidential processing equipment such as CNC machine tools and 3D printers. This paper studies and designs a three-degree-of-freedom gantry right-angle coordinate robot. The mechanical structure and control system are designed and optimized. The end of the actuator can be positioned to any point in the range space precisely through the linear motion in the orthogonal direction of X, Y and Z axes, which realizes the precision of the end of the machine in the space of the mechanism.

Key words: right-angle coordinate robot, mechanical structure, control system, accurate positioning

(上接第 60 页)

$$S(a, b) = \Delta\varphi_0 + \Delta\varphi_j + \dots + \Delta\varphi_n \quad (9)$$

大量实验表明, 裂纹尖端的应力强度因子 K 是裂纹是否发生失稳的决定因素, 随着裂纹长度的增加, 应力强度因子随之增大。根据应力强度因子理论, 裂纹疲劳失效的判据如式 (10) 所示。

$$\begin{cases} K_I \leq K_{IC} \\ K_{II} \leq K_{IIc} \\ K_{III} \leq K_{IIIc} \end{cases} \quad (10)$$

当裂纹应力强度因子达到许用极限时, 可以确定裂纹的极限长度及载荷因素循环次数, 则在役含共线裂纹核级设备的剩余使用寿命如式 (11) 所示。

$$T = \frac{N}{\alpha} \quad (11)$$

N 极限许用循环次数, a 为每天循环次数, T 为剩余许用寿命。

5 结论

本文依据现有单一裂纹疲劳扩展模型, 提出核级设备薄弱区域共线裂纹疲劳扩展的新模型。该模型考虑到了主副裂纹在扩展过程中的相互影响作用。依据提出的新模型, 本文给出了在役含共线裂纹的核级设备剩余寿命的计算方法, 为在役核级设备的运行、维修及报废提供了数据支持, 具有重要的工程实际意义。

参考文献

- [1] 冯西桥, 何树延, 董铎. 核反应堆管道和压力容器的 LBB 分析 [J]. 力学进展, 1998, 28 (2): 198-217.
- [2] 杨文斗. 核电厂压力容器安全评估的新方法—主曲线简介 [J].

核安全, 2011, (2): 7-13.

- [3] 赵在理. 压力容器的结构分析与安全评估研究 [D]. 武汉: 武汉理工大学, 2006: 9-11.
- [4] 赖永泉. 基于合于使用原则的压力容器安全评定技术 [J]. 中国特种设备安全, 2014, 30 (11): 21-25.
- [5] 朱光强, 廖昌斌, 戴兵等. 基于实际运行瞬态的反应堆压力容器疲劳损伤状态评估 [J]. 核技术, 2013, 36 (4): 212-216.

Study on Safety Assessment Method for In-service Nuclear Equipment with Collinear Cracks

DAI Yubing, CAO Na, JIANG Lijuan, LI Ming, LI Binglin

(First Institute of Nuclear Power Research and Design, Chengdu 610041)

Abstract: The existing technical specifications are based on the COD theory, the stress intensity factor or the J integral theory to evaluate the safety of the single crack defects. Under the action of a variety of load factors, the fatigue failure in the local area of the nuclear equipment is mostly the mass behavior of the crack, which affects each other during the crack growth process, and the number and propagation path of the crack are of great randomness and dispersion. A large number of experiments show that the fatigue crack damage effect of multiple cracks is poor, and the nominal load factor is small. In this paper, the fatigue propagation behavior of the primary and secondary cracks is studied, and the calculation method of residual life of the nuclear grade equipment in the service of a common linear main and auxiliary crack is proposed. The calculation method takes into account the interaction between the propagation behavior of the main and the secondary cracks.

Key words: safety assessment, COD theory, fatigue damage, nominal load