基于PLC的加工中心自动换刀控制系统设计

潘晓贝[1,2]

（1.河南省高校节能照明工程技术研究中心，河南三门峡 472000；
2.三门峡职业技术学院，河南三门峡 472000）

【摘要】文章针对加工中心的换刀系统展开研究，设计了一款立式加工中心自动换刀机械手装置，硬件设计包括刀库设计、机械手设计和PLC系统设计，软件设计包括选刀程序设计、刀库定位、换刀程序和人机界面，并以PLC为控制核心将整个过程进行了优化。研究表明，该自动换刀装置解决了实际生产中低效率的问题，有一定的参考和借鉴价值。

【关键词】PLC；机械手；刀库；步进电机
【doi:10.3969/j.issn.2095-7661.2022.02.010】
【中图分类号】TG659　　【文献标识码】A　　【文章编号】2095-7661（2022）02-0037-03

Design of Automatic Tool Change Control System of Machining Center Based on PLC

PAN Xiao-bei[1,2]

(1. Henan University Energy-saving Lighting Engineering Technology Research Center, Sanmenxia, Henan, China 472000; 2. Sanmenxia Polytechnic, Sanmenxia, Henan, China 472000)

Abstract: This paper studies the tool change system of the machining center and designs an automatic tool change manipulator device of the vertical machining center. The hardware design includes tool magazine design, manipulator design and PLC system design. The software design includes tool selection program design, tool magazine positioning, tool change program and man-machine interface. The whole process is optimized with PLC as the control core. The research shows that the automatic tool changing device solves the problem of low efficiency in actual production and has a certain reference value.

Keywords: PLC; manipulator; tool magazine; stepper motor

数控机床在进行自动加工时，要在不同的加工工艺及方法之间进行多次切换刀具，例如车、铣、刨、磨、钻等，若采用人工更换刀具，则必定增加工件加工时间。如果将换刀时间缩短，机床的加工效率将极大提高。因此许多厂家都投入大量的时间、精力和资金研制柔性的自动换刀装置，以代替人工进行自动、可靠、高效的换刀操作。当机床需要换刀时，自动换刀装置会从刀库中选取所需的刀具安装到主轴上，同时把主轴上的刀具取下放回刀库中。整个换刀过程效率提高，错误率降低，对刀具也是一种保护[1]。自动换刀装置可以在高节拍连续换刀的工作要求下缩短刀具更换及停机占用的时间，降低了机床操作工人的劳动强度和重复换刀工作时的心理疲惫。所以，为了充分适应我国现代化机械制造工业技术不断发展表现出的各种现实应用需求，加工制造中心应装设自动换刀装置[2]。

1 整体控制方案设计

根据要求分别从硬件和软件两个方面对自动换刀装置的各个部分进行设计。硬件设计包括：刀库设计、机械手设计和PLC系统设计，其中PLC系统设计包括硬件选型和驱动方式的确定。软件设

[收稿日期] 2022-04-18
[作者简介] 潘晓贝（1982—），女，河南灵宝人，三门峡职业技术学院副教授，工程硕士，研究方向：自动化技术应用、传感检测技术。
[基金项目] 2021年度三门峡职业技术学院院级科研项目“基于PLC的加工中心自动换刀控制系统研究与设计”（项目编号:SZY-2021-001）。

计包括：选刀程序设计、刀库定位、换刀程序和人机界面。整体方案设计如图1所示。

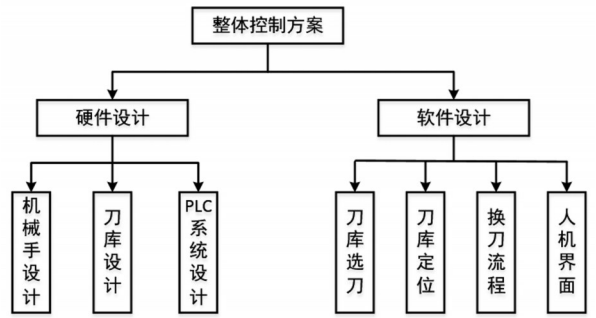

图1 整体方案设计结构图

2 硬件设计

2.1 刀库结构设计

刀库主要有圆盘式、链式、转塔式、斗笠式等。随着各种刀库类型的应用，机床多采用圆盘式刀库结构。圆盘式刀库也叫盘式刀库，通常被广泛应用在立式切削加工中心。圆盘式刀库整体尺寸不会太大，直径一般在1米左右，这种刀库需要使用换刀机械手配合完成换刀过程。需要换刀时，刀库的驱动装置按照PLC指令旋转相应的角度，使主轴需要的刀具正对机械手夹爪夹取刀具的位置，并将刀套翻转，使机械手能够夹紧刀具，之后机械手旋转180°，将所需刀具换位，完成刀具的替换。圆盘式刀库结构外形如图2所示[3]。

图2 圆盘式刀库结构外形图

2.2 换刀机械手设计

对于自动换刀装置而言，目前大多采用机械手来更换刀具。机械手换刀时不仅灵活性大并且具有柔性加工特性，适用广度更大，效率更高，可以充分应用于各种柔性加工场合中。目前各种加工中心自动换刀所用的机械手常用的是双臂双爪回转式换刀机械手，如图3所示。双臂机械手有两个在一条直线上的机械手臂，其回转机构在两个手臂之间，每个手臂端各有一个夹爪，两个抓刀手在加工过程中都可以进行装刀和卸刀，通过旋转180°来替换主轴上的刀具。换刀时，机械手同时抓住主轴上暂时不用的刀具和刀库中需要使用的刀具向下运动，旋转180°，交换刀具，再把机械手向上提起，使两把刀具运动到位，再把刀具夹紧，完成换刀[4]。

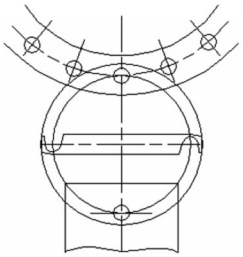

图3 双臂双爪回转式换刀机械手

2.3 PLC控制系统设计

2.3.1 PLC选型

本设计选择西门子1200PLC作为主要控制器。S7-1200采用了一种模块化的结构设计，可以同时满足多种工作场所的要求，并且它们能够很好地实现各种自动化场合。S7-1200具备200系列的各种功能，又添加了许多全新的实用功能，可以适应更广阔的专业应用领域。S7-1200具有强大的频率测量闭环控制以及频率运动闭环控制等核心功能，拥有一个集成多达六个高速计数器，使其同时能够被用来精准地实时监视多个编码器的高速频率运动计数，或者对运算过程中可能发生的复杂事件实时进行高速频率计数。

2.3.2 PLC控制系统I/O地址的分配

控制系统中PLC的输入信号有：启动、停止、自动/单步、刀库定位、刀具计数、刀库刀套翻转、主轴松刀、主轴紧刀、机械手旋转、机械手紧刀、机械手松刀等输入端。PLC输出信号有：刀库步进电动机正转、刀库电机反转、刀套翻转、刀套回位、机械手旋转、机械手紧刀、机械手松刀等[5]。本控制系统的I/O分配表如表1所示。

表1 PLC I/O分配表

输入端子分配	对象用途	输出端子分配	输出功能
I0.0	启动	Q0.0	电机控制
I0.1	停止	Q0.1	电机控制
I0.2	自动	Q0.2	刀库正转
I0.3	手动	Q0.3	刀库反转
I0.4	刀库定位接近开关	Q0.4	刀套翻转
I0.5	刀套翻转接近开关	Q0.5	刀套回位
I1.1	主轴松刀接近开关	Q1.1	主轴紧刀
I1.2	主轴紧刀接近开关		

3 软件系统设计

3.1 PLC程序流程设计

刀库中刀具数量和编号需要在PLC内部存储器存储。将刀库中刀具的编号下载到PLC内部存储器中，使其一一对应，可以通过PLC程序进行选刀。

选刀流程为：首先判断刀库中的刀具号是否准确，然后判断刀具是否在主轴上，最后判断刀具是否在换刀位置上，计算需要转动的角度，并旋转刀具，使其和机械手位置对应，停止旋转，选刀结束，如图4所示。换刀流程为：刀库转到位后，机械手夹具松开，然后上升夹紧需要更换的两个刀具，下降，并转动180°，上升，夹具放松，机床夹紧新的刀具，刀库夹紧换掉的刀具，如图5所示[6]。

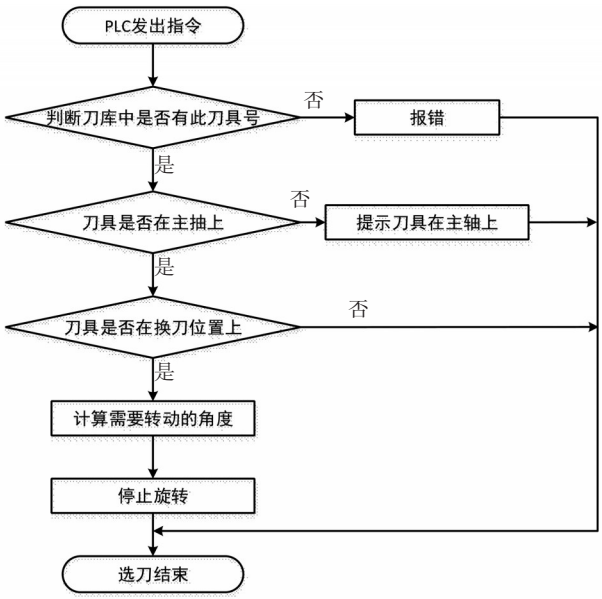

图4　选刀流程图

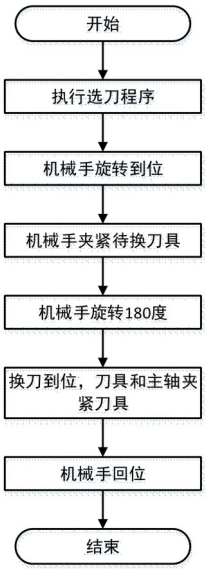

图5　换刀流程图

3.2 组态设计

本系统的人机界面使用西门子TP700精智面板，这款面板采用7英寸触摸屏，800*480像素，支持一个MRP和RT/IRT的 PROFINET/工业以太网接口（2个端口），两个多媒体卡插槽，三个USB接口。本设计使用HMI组态，与其他同类产品相比，该软件具备将数据转换为图形的特性，操作界面使用中文，极大地方便了用户使用，该触摸屏设计方便，操作简单，库图标和函数较多，使用方便。设计组态画面如图6所示，界面中可以显示机械手和刀库中的各个状态和信息，包括目标刀具和当前刀具与机械手的状态、刀套的状态、主轴的状态等信息，操作者可根据工艺要求设定目标刀具，PLC运行程序，操作者可以观测整个过程和监控各个部件的工作状态。

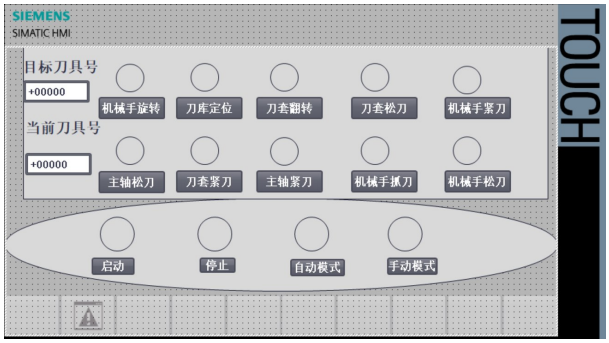

图6　组态画面

4 结语

本文设计了立式加工中心自动换刀机械手装置，实现了自动换刀功能。在设计过程中，从刀库、机械手、驱动装置三部分出发，对各部分的功能、部分结构和驱动方式进行了选型设计。对自动换刀装置的整体结构设计了一套PLC控制系统，实现刀库旋转、刀套翻转、抓刀、松刀、机械手旋转、主轴抓刀、紧刀等功能。对PLC控制部分进行了电气元件的选型，设计了选刀、刀库定位、换刀等关键步骤的流程。自动换刀装置只是能够初步进行换刀工作，解决了实际生产中的一些低效率的问题，有一定的参考和借鉴价值[7]。

【参考文献】

[1]乔志刚.基于PLC的加工中心控制设计[J].河南科技,2021(4):76-78.

[2]方亚梅.基于西门子S7-200 PLC和步进电机的自动换刀控制程序设计[J].工业控制计算机,2020(12):135-136.

[3]武永强,于涛.数控回转刀架PLC控制系统设计[J].机电技术,2020(4):54-58.

[4]朱卫国,齐琦.KUKA制孔机器人自动换刀系统设计[J].唐山学院学报,2020(6):1-5,30.

[5]王蕊,张孝元,高昆,王琪.基于PLC的刀库自动换刀控制系统设计[J].电子技术与软件工程,2018(13):110-111.

[6]梁盈富.圆盘式刀库机械手换刀的控制程序设计[J].机械设计与制造工程,2018(7):46-49.

[7]王新刚,吕春梅,赵玉倩,陈晓明.基于刀具失效率的换刀策略研究[J].兵工学报,2016(5):903-908.