

# 数控加工中心自动换刀系统的研究

郑新武, 章明众, 李春木, 李寅, 陈永明\*

(厦门大学 机电工程系, 福建 厦门 361005)

**摘要**: 自动换刀系统(ATC)包括刀库机构、换刀机构以及控制系统 3 个部分, 是加工中心的重要组件之一。为了解决数控加工中心自动换刀速度慢、稳定性低及控制系统编程复杂等问题, 将一种软件式内置 PLC 技术应用于自动换刀系统中。在分析自动换刀系统的基本结构、工作原理以及研究圆盘刀臂式自动换刀系统的控制流程的基础上, 结合 ServoWorks CNC 技术, 开发了适用于各种自动换刀机构的 PLC 程序以及宏程序。最后, 将所开发的控制系统应用于 YY-1060 立式加工中心, 其在 4 s~6 s 内可完成整个换刀过程。研究结果表明, 换刀过程快捷、准确、可靠, 完全能够满足使用的要求。

**关键词**: 加工中心; 自动换刀; 可编程逻辑控制器

中图分类号: TG71; TH39; TD273

文献标志码: A

文章编号: 1001-4551(2011)12-1457-04

## Research on the automatic tool changer system of the machining center

ZHENG Xin-wu, ZHANG Ming-zhong, LI Chun-mu, LI Yin, CHEN Yong-ming

(Department of Mechanical & Electrical Engineering, Xiamen University, Xiamen 361005, China)

**Abstract**: The automatic tool changer(ATC), which includes a magazine, a tool changer and a control system, is one of the key components of the machining center (MC). General issues of the ATC, however, are its slowness and low stability during tool changes and the complexity of control system programming. To solve those problems, one type of software and its internal PLC technology were investigated. Based on an analysis of the fundamental structure and operating principle of the ATC system and a research of the control procedure of the "disc with arm"-type ATC, the PLC program and macro programs combined with ServoWorks CNC technology were developed. Finally, it was shown that the newly designed control system can complete the whole process of changing tools in 4 to 6 seconds on the YY-1060 vertical MC. The results indicate that the process is rapid, accurate and reliable enough to completely meet the practical requirements.

**Key words**: machining center(MC); automatic tool changer(ATC); programmable logic controller(PLC)

## 0 引 言

利用刀库(MAG)实现自动换刀是目前加工中心大量使用的换刀方式, 独立的刀库大大增加了刀具的存储数量, 有利于扩大机床的功能, 并能较好地隔离各种影响加工精度因素的干扰<sup>[1]</sup>。加工中心的常用刀库类型有: 盘式刀库和链式刀库。刀库换刀方式按照换刀过程有无机械手参与, 分成有机手换刀和无机械手换刀。本研究以 YY-1060 立式加工中心装备的 DEX-A402 盘式刀库有机手自动换刀机构为对象,

对自动换刀系统(ATC)进行研究。

可编程控制器(PLC)是自动换刀系统的核心部分。目前, 国内对自动换刀机构的控制多采用传统 PLC(简称硬 PLC)及单片机, 如三菱 FX<sub>2N</sub> 系列的 PLC 控制<sup>[2]</sup>、西门子 S7-200 系列 PLC<sup>[3]</sup>、AT98C51 单片机<sup>[4]</sup>。硬 PLC 控制方法没有专用的选刀指令, 需要编写复杂的选刀 PLC 程序, 同时无法通过宏程序简化数控编程过程; 采用单片机控制电路搭建复杂, 系统稳定性较低, 编程复杂。本研究采用的 LadderWorks 是一种基于 ServoWorks 技术的软件式内置 PLC 系统, 可与 CNC

收稿日期: 2011-06-23

作者简介: 郑新武(1986-), 男, 福建莆田人, 主要从事数控技术方面的研究。E-mail: 19920091152487@stu.xmu.edu.cn

通信联系人: 陈永明, 男, 副教授, 硕士生导师。E-mail: zhenym@xmu.edu.cn

之间进行内部的信号的快速传输。

### 1 刀库的结构及换刀动作

自动换刀机构主要构成包括：刀臂电机、凸轮、刀臂、刀库电机、刀杯、刹车、松夹刀、原点讯号轮等。DEX-A402 自动换刀机构如图 1 所示。



图 1 自动换刀机构

刀臂动作由步进电机驱动，换刀动作分 4 个步骤完成。刀臂电机单方向旋转，通过自动换刀机构中的凸轮机构控制刀臂的正反转，该驱动方式提高了刀臂旋转角度的精度，同时简化了电机的控制。刀臂运动的具体流程如图 2 所示。

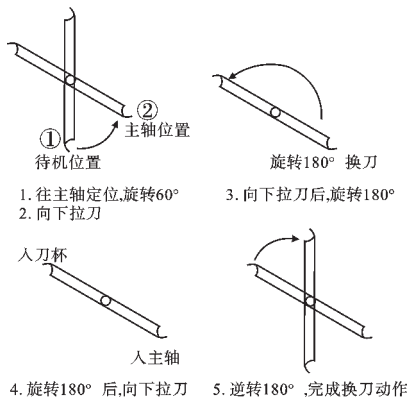


图 2 刀臂动作

### 2 换刀指令

数控编程通过 T 指令、M 指令完成自动换刀动作，换刀指令经系统内部译码，将目标刀号、宏指令号译为相对应的二进制数保存到系统指定的寄存器。ServoWorksPLC 系统中 T 指令译码到 F26，M 指令译码到 F10，用户可根据换刀动作要求编写宏程序以及 PLC 程序。T 指令指定目标刀号，完成刀库选刀、刀库旋转方向的判断以及旋转步距的确定；M 指令指定宏程序号，根据换刀要求完成主轴回零、Z 轴回换刀点，刀臂旋转方向、位置以及刀杯上下等动作。

#### 2.1 刀具的选择(T 指令)

刀具的选择是把刀库上指定的刀具转到换刀位置，该动作由 T 功能指令实现。自动换刀系统(ATC)根据来自刀库的位置信息和 T 指令，按照给出的命令，

控制系统决定刀库的旋转方向、要求的步数等<sup>[5]</sup>，通常可采用记忆模式随机控制和机械随机控制两种方式。机械随机控制每把刀对应各自的刀套，通常在主轴和刀库之间，以“中间刀套”提供换刀。相比而言，记忆模式随机控制采用指针方式，指针指出了刀库旋转的位置，每把刀具和刀套不总是一一对应，该控制方式换刀迅速、可靠。一般根据刀库的机械结构选择换刀的控制方式，以下介绍一种浮动指针系统的换刀方式：用户通过 T 指令指定刀号，系统译码后，在浮动指针指向的内存中找到对应刀具号，采用系统专用指令 ROTB 判断刀库旋转方向及旋转距离，刀库旋转到目标刀具位置完成选刀动作，M6 指令完成换刀动作，具体流程如图 3 所示。

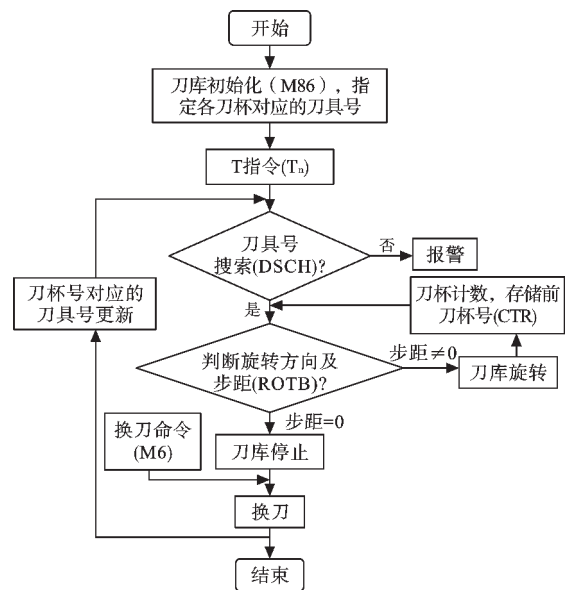


图 3 选刀流程图

#### 2.2 换刀指令(M 指令)

辅助 M 指令通过系统译码到 PLC 中 R 点（内部继电器），用户根据动作要求编写 PLC 程序。ATC 的辅助 M 指令主要有：M6 换刀，M19 主轴定位，M86 刀库初始化等。加工中心刀库换刀流程如图 4 所示。

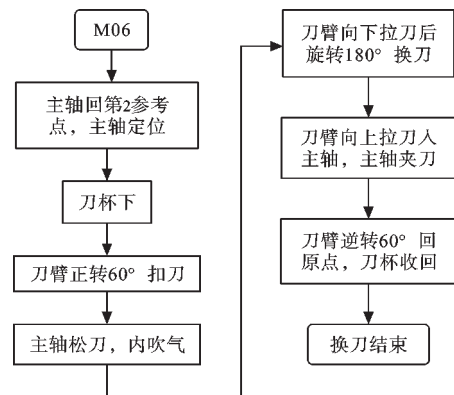


图 4 换刀流程图

ServoWorks CNC 可以根据用户的需求自定义 G/M/S/T 宏调用简化数控编程,常用机床运动程序可集成到一个指令中,如使用 M06 完成整个换刀动作。根据换刀流程编写 M6 宏程序调用 O9001,系统规定宏程序可以同名调用辅助 M 指令。系统内部指定存储单元分类储存移动指令,如 G00(快进)、G01(直线进给)、G02G03(圆弧插补)等指令存储在系统变量 #4001。宏指令调用方法如下:

```

O9001
G40G80 //取消刀补、固定循环
#510=#4001 //移动指令暂存 G00,G01,G02,G03,G32,G90,G92,G94
#511=#4003 //暂存平面选择指令 G17,G18
#512=#4120 //T 代码
#513=#1032AND256 //与操作 取 #1032 低 8 位 主轴刀号
#514=BIN[#513] //主轴刀号 BCD 转 BIN
(IF[#512 EQ #514] GOTO N1000) //判断是否换刀
G90G30Z0 //Z 轴回第二参考点 (设置为 Z 轴换刀点)。
M19 //主轴定位
M6 //开始 PLC 程序中的换刀译码
G#510G#511 //模态恢复
N1000M99 //返回主程序

```

### 3 PLC 程序开发

自动换刀 PLC 程序主要包括刀库选刀程序及刀臂换刀程序。ServoWorks PLC 程序的地址有:机床到 PLC 的输入信号(X) PLC 到机床的输出信号(Y), CNC 引擎到 PLC 引擎的信号(F) PLC 引擎到 CNC 引擎的信号(G) 中间继电器(R) 计数器(C) 计时器(T)等。下面通过 PLC 的 R 点描述换刀动作。

#### 3.1 刀库选刀 PLC 程序

基于 LadderWorks PLC 的自动换刀指令(如图 3 所示)主要有:刀具号搜索指令 DSCH、旋转方向和距离计算指令 ROTB、刀库旋转刀位计数指令 CTR<sup>[6]</sup>。

DEX—A402 刀库刀具容量为 24 把,刀库选刀主要 PLC 程序如图 5 所示。程序中 R270 存储目标刀号,DSCH 指令在 D20 起的 25 个储存单元寻找与 R270 相同内容的地址,并存储到 R280。C0 指定刀库的刀具容量,ROTB 指令实时计算目标刀杯号 R290 与当前刀杯号 C2 之间的步距及方向,R283 存储步距,R203.6 存储旋转方向,C2 的计数由 CRT 指令完成,刀库旋转方向 R960.3 决定 C2 的增、减计数,R200.4 为刀杯计数信号。

#### 3.2 刀臂换刀 PLC 程序

换刀 PLC 程序实现刀臂的旋转动作控制。自动换刀机构通过刀臂电机带动凸轮控制刀臂运动,机构配

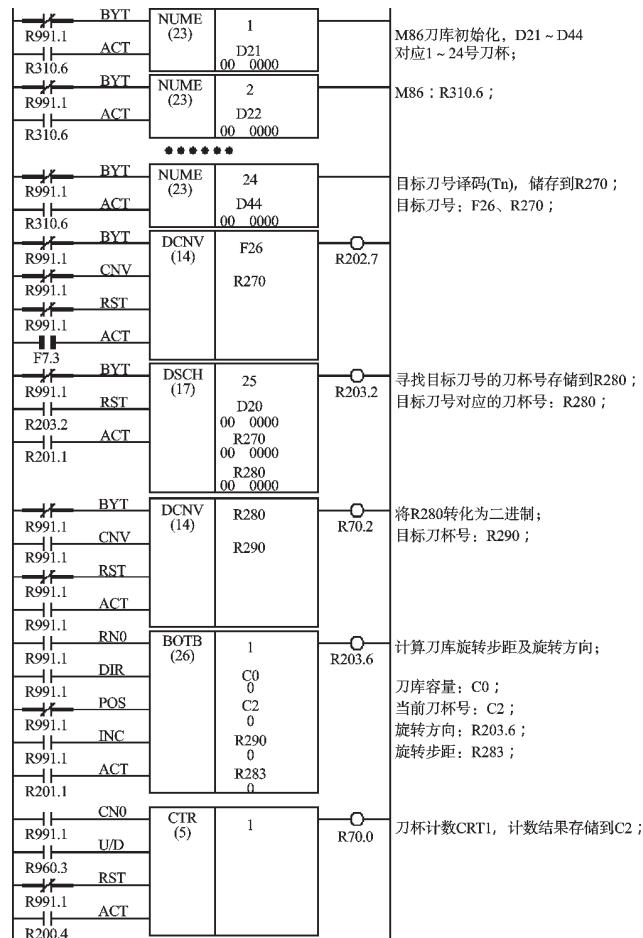


图 5 刀库选刀程序

备的刹车讯号轮及凸轮讯号轮提供刹车信号、松夹刀信号、原点信号,通过以上信号的时序图编写刹车位置。位置 1 对应原点位置,位置 2 对应刀臂正转 60°,位置 3 对应刀臂正转 180°。本研究根据换刀流程图编写换刀 PLC 程序,如图 6 所示。

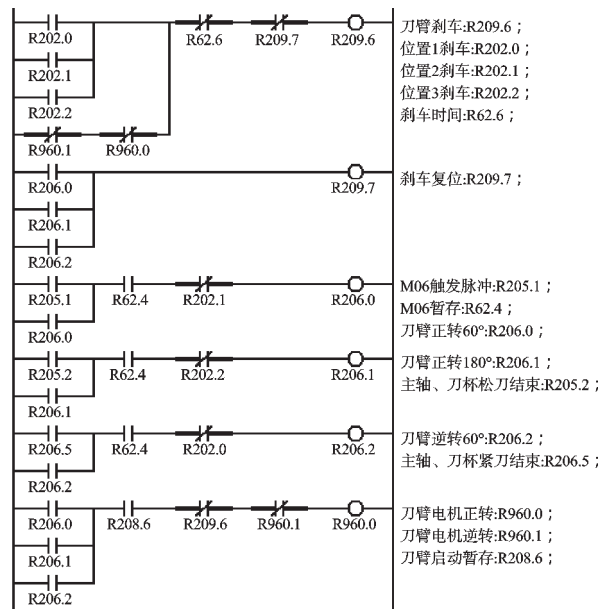


图 6 换刀 PLC 程序

### 3.3 存储单元刀号互换

自动换刀是一个随机连续的过程<sup>[7]</sup>,在换刀完成后需要修改存储单元中内容,保证下次准确换刀。存储单元刀号互换,完成主轴刀号 D20 与当前刀杯号对应刀号 D(20+C2)调换,通过中间存储器 D18 过渡,具体的实现方式如图 7 所示。XMOV 指令完成存储单元读取、写入数据,RW=0 执行读取操作,RW=1 执行写入操作。

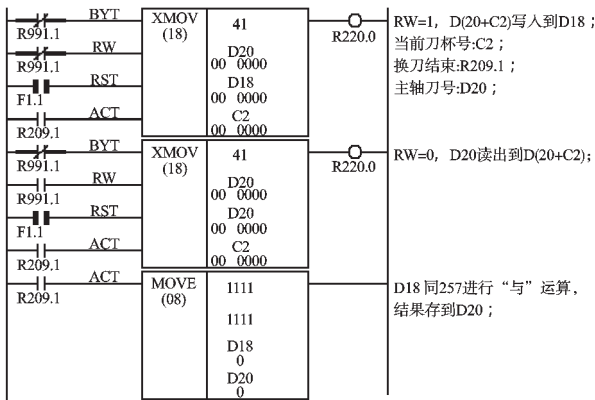


图 7 存储单元刀号互换

## 4 试 验

LadderWorks 控制台是一个集 PLC 程序创建、编辑、编译、运行监控和调试功能于一体的 PLC 控制平台<sup>[8]</sup>。LadderWorks PLC 各种功能指令齐全,编程方法简便,支持“txt”格式的文本文件。上述程序按照 LadderWorks PLC 编程要求编写相应的语句表,保存到“txt”文档中,通过 LadderWorks 控制台编译,完成 PLC 编程。作为一种软件式内置 PLC 系统,机床配电时 LadderWorks PLC 软件需要专门配置外部 I/O 通信模块来实现 PLC 与外部执行机构的通信。此次设计采用 BECKHOFF 公司的 EL1004 作为信号输入模块、EL2889 作为信号的输入模块。

最后本研究将设计的自动换刀 PLC 程序及宏程序应用于 YY-1060 加工中心中,验证程序的准确性及可靠性。开启系统,在手动编程模式(MDI 模式)下将 1

表 1 刀库旋转路径计算

当前刀杯号(N <sub>1</sub> )与目标刀杯号(N <sub>2</sub> )的关系	刀库旋转方向	刀库旋转步距
0 < N <sub>2</sub> - N <sub>1</sub> ≤ 12	正转	N <sub>2</sub> - N <sub>1</sub>
12 < N <sub>2</sub> - N <sub>1</sub> ≤ 23	反转	N <sub>1</sub> - N <sub>2</sub> + 24
-12 ≤ N <sub>2</sub> - N <sub>1</sub> < 0	反转	N <sub>1</sub> - N <sub>2</sub>
-23 ≤ N <sub>2</sub> - N <sub>1</sub> < -12	正转	N <sub>2</sub> - N <sub>1</sub> + 24

号刀杯调到换刀位置,进行刀库初始化,随后采用 T 指令任意选择指定范围内的刀具。经验证系统自动计算出最短的刀库旋转路径的方法如表 1 所示。

当指定的目标刀号超出刀具号范围系统报错。经多次调试,完成最近距离的刀具更换(刀库旋转 1 个刀位)需要 4 s,最远距离换刀(刀库旋转 12 个刀位)需要 6 s。试验结果表明本研究所设计的系统随机换刀过程选刀准确,没有出现乱刀现象,换刀动作稳定,能很好地满足加工中心自动换刀的快速性、准确性及稳定性要求。

## 5 结 束 语

与传统自动换刀控制系统相比,基于 ServoWorks 技术的软件式内置 LadderWorks PLC 系统,具有自动换刀专用的控制指令,很大程度上简化了数控加工中心换刀系统的编程及维护难度。同时,该技术与 CNC 技术结合可快速、准确地完成整个换刀过程。随着纯软件 CNC 技术的发展,该控制方式将得到广泛应用。

### 参考文献(References) :

[1] 刘战术. 加工中心结构、维护与调试[M]. 北京:机械工业出版社,2003.

[2] 邓昌奇,江冠练. 基于 PLC 的刀库自动选刀应用与开发[J]. 组合机床与自动化加工技术,2010(6):53-56.

[3] GU Jian, NIU Yun-yan. Research on the Structure and PLC Control of a New Automatic Tool Changer[C]//2011 International Conference on Consumer Electronics, Communications and Networks. United States:IEEE Computer Society,2011:686-689.

[4] ZHANG Lian-zhong, WANG Li. Machining Center Automatic ATC Analysis and Research [C]//3rd International Conference on Information Management, Innovation Management and Industrial Engineering. United States:IEEE Computer Society,2010:355-358.

[5] Mitsubishi. CNC EZMotion-NC E60 PLC programming Manual[Z]. Mitsubishi,2002.

[6] 李寅. 纯软件开放式数控系统的研究及其在加工中心上的应用[D]. 厦门:厦门大学物理与机电学院,2009.

[7] DENG Chang-qi, LI Bin. The Application and Development of Automatic Tool Selection in Tool Magazine based on PLC[C]//2010 International Conference on Manufacturing Engineering and Automation, ICMEA2010.Germany:Trans Tech Publications,2010:1959-1962.

[8] Soft Servo System Inc.. ServoWorks CNC LadderWorks PLC User's Manual[Z]. Soft Servo System Inc.,2006.

[编辑:李辉]