

## 摘要

刀具自动控制系统是数控机床的重要组成部分。随着制造业加工水平的不断提高,用户对机床刀具系统的控制功能提出了新的需求,呈现出控制对象多样化、过程复杂、使用灵活、可靠性高的特点。课题即在此背景下产生,文章对课题软件的设计开发和应用进行了介绍和分析。随着数控技术的发展,也对数控系统中的整个运动控制核心的机床逻辑控制提出了较高的要求。传统的机床逻辑控制器都是由硬件来实现的,即继电器逻辑控制。为了适应数控系统的发展,我们使用可编程控制器(Programmable Logic Controller,简称 PLC)的功能完成逻辑控制和功能控制。PLC 采用循环扫描工作方式,逐条读取用户程序,经过命令解释后,产生相应的控制信号。解释执行按动态顺序重复翻译,每次都需对源程序逐条语句执行。软件的核心功能之一是刀具自动换刀管理。软件通过构建各种相关信息,而使用数据更新程序则实现了数据与现实的同步。由于自动换刀的关键是信号逻辑控制部分,故对各种信号控制方式进行了比较分析。PLC 把微计算机技术与继电器控制技术很好地融合在一起,是新发展的 PLC 产品,还把直接数字控制(Direct Digital Control,简称 DDC)技术加进去,并具有与监控计算机联网的功能,因而它的应用几乎覆盖了所有工业企业,既能改造传统机械产品成为机电一体化的新一代产品,又适用于生产过程控制。本设计真对换刀方式进行了全面的分析。针对系统的总体结构,对换刀的工艺流程进行了概述,并确定了由 PLC 来实现刀库、机械手和主轴信号控制,完成了刀库、机械手和主轴控制系统中可编程控制器的选择和选型。系统硬件设计分别对电气元件部分、PLC 控制部分和液压部分进行硬件设计。PLC 控制部分则首先阐述了控制方式、设计思路,并对 PLC 的选择及 I/O 点数分配以及主轴、机械手和刀库与 PLC 的连接。最后阐述了换刀系统的两个工作方式和五种工作状态,以及系统的软件设计方法,针对系统软件设计特点,设计出了软件总的程用到序图,提出了模块化的编程思想,在介绍每一个模块之前,先说明每一个模块相应的指令,介绍了五种工作状态的梯形图,最后写出了总的系统设计的程序软件。

关键词:软件开发,可编程控制器,逻辑控制,数控机床,模块化

---

## Abstract

Tool exchanger is an essential ingredient of numerical control machine tool. With the development of product quality and productivity, tool exchanger is required to have more features, such as versatility of the tools, complexity of the control processes, flexibility and reliability. With this background, the development and application of tool exchanger were introduced and proposed in our study. With the development of NC, the function requirements of machine control unit are also enhanced. Traditionally, the logical control of machine tools is performed by conventional had-wired machine control unit, known as relay logic control. In our study, we substituted programmable logic controller for the machine control unit to give the control system of machine tools additional features to meet the command the development of numerical control. PLC works in a periodic scanning mode, and in each recycle, PLC reads the user programs, interprets the instructions, and generates the corresponded control signals. The instructions are read and interpreted step by step in turn. Tool exchanging management is one of the central functions of the software. The software controls the tool exchanging, and a subprogram updates the database periodically according to the status of control system. Signal logical control is the key part of the tool exchanger, and has many work models, which were compared and analyzed in our study. PLC integrates computer technology and relay control technology perfectly, and direct digital control technology and network technology are also included in modern PLC. Thus, PLC can find wide use in the transformation of traditional machine tool to their numerical control versions, process controlling in almost all of the industries. The methods of tool exchanging were studied comprehensively in our project. At the beginning, the process of tool exchanging was described. According to the functions to be performed, it was determined to use PLC to control the robot and spindle signals, and proper PLC and robot was selected. Then the

# 华中科技大学硕士学位论文

---

system hardware was designed which includes electrical elements, PLC control and hydraulic sections. In the PLC control part, control methods, design schemes, selection of PLC, counters of I/O contacts and the connection among spindle, robot and PLC was discussed. Last, the two work modes and five works static were discussed. Directed by the methods of software development, program flow diagram was plotted, and the whole program was modularized. In each module, all instructions used and the ladder diagram of the five work modes were described. After the integration of all modules, the whole software was established.

**Key Words:** Software Development, Programmable Logic Controller, Logic Control, Numeric Control Machine Tool, Modularization

## 独创性声明

本人声明所提交的学位论文是我个人在导师指导下进行的研究工作及取得的研究成果。尽我所知，除文中已经标明引用的内容外，本论文不包含任何其他个人或集体已经发表或撰写过的研究成果。对本文的研究做出贡献的个人和集体，均已在文中以明确方式标明。本人完全意识到本声明的法律效果由本人承担。

学位论文作者签名：邓昌奇

日期：2006年5月8日

## 学位论文版权使用授权书

本学位论文作者完全了解学校有关保留、使用学位论文的规定，即：学校有权保留并向国家有关部门或机构送交论文的复印件和电子版，允许论文被查阅和借阅。本人授权华中科技大学可以将本学位论文的全部或部分内容编入有关数据库进行检索，可以采用影印、缩印或扫描等幅值手段保存和汇编本学位论文。

本论文属于  保密口，在\_\_\_\_\_年解密后适用本授权书。  
 不保密口。

(请在以上方框内打“v”)

学位论文作者签名：邓昌奇  
日期：2006年5月8日

指导教师签名：陆永生  
日期：2006年5月8日

## 1 绪论

随着工业自动化的发展,出现了数控加工中心,它在减轻工人的劳动强度的同时,大大提高了劳动生产率。目前,我国数控机床占机床总量比例不到3%,远远低于国外的水平。而机床役龄10年以上的占60%以上,10年以下的机床中,自动/半自动机床不到20%,能进行柔性加工的自动化生产线更少。但当今产品的制造追求精密、美观、更新快、成本低、普通机床加工出来的产品存在质量波动大、加工精度低、品种少、成本高、时间长等缺点,而这些因素又直接影响一个企业的产品、市场、效益,关系到企业的生存和发展。因此,大力提高机床的数控化率是目前很多企业正着力进行的事情,同时为企业今后实现信息化改造打下良好的基础。

### 1.1 课题背景

数控机床是加工制造业的重要装备,而刀具自动控制系统是数控机床的重要组成部分,优秀的刀具自动控制系统能为机床带来更高的效率和更多的减轻劳动强度<sup>[1]</sup>。随着制造业加工水平的不断提高,用户对机床刀具系统的控制功能提出了新的需求,即:

1. 控制对象多样化。一方面体现在机床型式的多样性,使用自动换刀机构的机床有数控车床、铣床、镗床、磨床和齿轮机床等。这些机床上的刀具机构具有不同的特点和使用方法;另一方面,目前存在多种型式的刀库、主轴和机械手,它们传送刀具的原理有诸多差异<sup>[2]</sup>。如何统一处理这些控制对象是控制系统首先需要考虑的问题。

2. 控制的复杂性。不但控制对象的类型多,在具体的对象上可能还有不同需求。如在刀具的使用上,除了选择普通刀具外,有的用户需要处理大型刀具,而还有用户需要处理多刀刃刀具。为了这两种不规则刀具,软件不但要增加数据的属性,还要更改数据的组织型式和计算过程;另外与当前数控系统强大的功能相对应,用户提出了刀具多通道、多主轴、和多刀库控制的要求,其中多通道导致了用户刀具指

令的并发；而多主轴、多刀库的配置既要求软件能有效的描述它们间的连接关系，还要求软件自动控制刀具的逐级传送过程<sup>[3]</sup>。

3. 使用灵活。在进行刀具控制的过程中，不同的用户会针对具体的机床配置情况使用不同的方法即控制策略不同。例如，进行目标刀具的查找时，可能使用不同的查找方向或方式，也可能使用替换刀具和不同的替换方式。与之类似，还有不同的刀位搜索方式和刀库定位方式等。此外，对于刀具动作后的数据表更新也可能存在不同需求，或者由用户自行处理，或者由软件自动处理。

4. 可靠性高。由于系统的复杂性的增加，为用户同时也提出了控制系统高可靠性的要求。例如要求刀具传送过程中断电后，既不能发生数据错误，也要能方便地恢复传送动作；又如发生刀具折断等刀具故障后，要求软件程序能方便地处置，帮助用户尽快回到正常加工过程中。

5. 应用功能丰富。不仅要求软件提供刀具传送过程的处理，而且要求实现丰富的应用功能。如刀具寿命管理、刀具几何补偿的自动提供、手动刀具、刀具测量、零件对刀等<sup>[4]</sup>。另外随着系统管理数据的日益增加，保证数据的安全性成为刀具系统的重要任务，故刀具系统的数据备份和恢复功能很有必要。为了满足用户的上述需求，机床制造厂需要通过软件实现一种通用型的刀具管理能力。基于目前机床行业的技术水平和机床制造厂的设计现状，这种软件可以方便的通过 PLC 程序实现。

## 1.2 课题意义及来源

### 1. 替代进口软件

作为本课题软件的参照，西门子刀具管理软件是西门子数控系统软件中的重要选件之一，它具有较多功能和较广泛的应用能力。同时由于全球数控系统的另两家厂商（日本的发那科（FANUC）公司和西班牙的法格（FAGOR）公司）未提供同类软件，该软件目前已经成为西门子数控系统销售时的重要卖点<sup>[5]</sup>。

由于从德国进口，同时作为工控专用软件，西门子刀具管理软件价格昂贵，目前其销售价格约为 2000~3000 欧元。如果该软件不从西门子购买而是自己开发，就能明显节省产品采购成本。

## 2. 增加产品开发的灵活性

对机床制造厂而言,使用进口刀具管理软件,除价格昂贵外,尚存在以下问题:

1) 应用水平不高。由于语言、思维方式和表达方式上的较大差异,靠软件提供的资料学习使用软件是较困难的过程,同时由于缺乏深入的技术培训,使该软件的利用率较低,如昆明机床厂 2002 年 200 台产品中只有 4 台数控机床使用了该软件,同时大多数电气设计员也未完全掌握其使用方法。

2) 增大了对外购软件的依赖性。西门子的软件升级换代速度很快,比如其两种版本的刀具管理软件:分别用于 840C 和 840D 型数控系统,此 2 种软件除少量概念外,包括软件的设计思路和使用方法都发生了根本性的变化,已经截然不同了。推广使用此类软件后,机床制造厂在技术上只能紧跟外国数控厂商的发展步伐,增加对其依赖的程度,而软件的个性化几乎不可能进行。

3) 可能降低机床制造厂的设计能力。刀具刀库系统的电气设计一直是数控机床设计工作中的难点和重点,大量使用现成的外购软件在简化机床设计工作的同时,减少了产品设计的灵活性,也降低了机床制造厂的电气设计能力。从长远看对机床制造企业不利。机床制造厂使用自己开发的刀具管理软件后,一方面降低了软件方面对国外数控系统厂商的依赖程度,同时也能增加产品设计的灵活性;另一方面则提高了自身的设计水平<sup>[6]</sup>。

## 1.3 课题的主要研究内容

以高速化为先导,提高数控机床的综合性能数控机床的高速化是提高其高效柔性和高精化的一个重要措施。本课题以较大型的数控立式移动加工中心为基础,根据其工艺要求,利用可编程控制器研究刀库和机械手及主轴间自动换刀的程序设计。

熟悉开发环境和开发工具有利于开发工作的顺利进行,论文在课题研究相关技术部分对自动换刀系统及可编程控制器作了比较全面的总结和介绍。

控制系统是自动换刀系统的主要部分,可分为换刀控制部分和执行部分,论文在系统的架构及其基本方案的选择时,对自动换刀控制系统作了全面的介绍和总结。对本系统的主要器件可编程控制器进行了选择和选型,确定基本方案。系统硬件开

# 华中科技大学硕士学位论文

---

发部分，介绍了对硬件部分的要求和条件。系统的软件部分进行开发，先介绍可编程控制器使用的元件及其相关的技术，在介绍程序前，介绍了要用到的相应指令。

硬件和软件开发部分是全文的重点内容。程序调试,对上述设计所得到的程序进行模拟调试,以确保程序的正确性和可靠性。最后对本论文的工作作了全面的总结。经过对程序的模拟调试,该设计取得了良好的设计效果。



## 2 课题研究相关技术

### 2.1 数控技术

#### 1. 数控系统发展简史

自 1946 年诞生世界上第一台电子计算机以来,由于计算机技术在机床上的应用,于 1952 年在美国诞生了第一台数控机床。纵观数控系统发展史,可分为两个阶段。1) 数控 (NC) 阶段 (1952-1970 年), 这个阶段经历了三代, 即第一代电子管; 第二代晶体管; 第三代小规模集成电路。2) 计算机数控 (CNC) 阶段(1970 年—现在) 计算机数控阶段也经历了三代, 即第四代—小型计算机; 第五代—微处理器和第六代—基于 PC(国外称为 PC-BASED)<sup>[7][8]</sup>。

#### 2. 数控技术的作用和地位

数控的广泛含义是指对流程工业的过程控制和对离散工业运动控制而言的。机床数控仅仅是运动控制中的一种类型。

数控技术问世已有 40 多年的历史,它是由机械学、控制论、电子学、计算机科学四大基础学科发展起来的一门综合性的新型科学。数控技术是数控机床的关键技术,数控机床又是推行 FMC(柔性制造单元)、FMS(柔性制造系统)以及 CIMS(计算机集成制造系统)等的基础。数控技术已经成为制造业自动化的核心技术和基础技术。我国每年都有大量机电产品进口,这也是从宏观上说明了机床数控化的必要性<sup>[9]</sup>。

数控技术的特点如下: 1) 作用和地位上的战略性; 2) 技术上的综合性; 3) 控制上的实时性; 4) 软件上的领域性; 5) 推广应用上的适应性; 6) 跟踪上的滞后性; 7) 发展上的开放性。

随着制造业的发展,中小批量生产趋势日益增强,对数控机床的柔性和通用性提出了更高的要求。随着计算机的飞速发展,各种不同层次的开放性数控系统应运而生,发展很快。目前正朝标准化开放体系结构的方向前进。就结构形式而言,当今世界上的数控系统大致可分为 4 种类型: 1)传统数控系统,如 FANUC 0 系统、

## 华中科技大学硕士学位论文

---

MITSUBISHI M50 系统、Siemens 810 系统等。这是一种专用的封闭体系结构的数控系统,尽管可以用用户人机界面,但必须使用专门开发工具(如 Siemens 的 WS800A) 耗费较多的人力,而对它的功能扩展、改变和维修,都必须求助于系统的供应商。目前,这类系统还是占领了制造业的大部分市场。但由于开放体系结构数控系统的发展,传统数控系统的市场正在受到挑战,已逐渐减小。2)“PC 嵌入 NC”结构的开放式数控系统。如 FANUC18i、16i 系统、Siemens840D 系统、Num1060 系统、AB9/360 等数控系统。这是由于一些数控系统制造商不愿放弃多年来积累的数控软件技术,又想利用计算机丰富软件的资源而开发的产品。然而,尽管它也具有一定的开放性,但由于它的 NC 部分仍然式传统的数控系统,其体系结构还是不开放的。因此用户无法介入数控系统的核心。这类系统结构复杂、功能强大,但价格昂贵。3)“PC 嵌入 NC”结构的开放式系统,它由开放体系结构运动控制卡+PC 机构成。这种运动控制卡通常选用高速 DSP 作为 CPU,具有很强的运动控制和 PLC 控制能力。它本身就是一个数控系统。因此这种开放结构运动控制卡被广泛应用于制造业自动化控制各个领域。如美国 Delta Tan 公司用 PMAC 多轴运动控制卡结构的 PMAC-NC 数控系统、日本 MAZAK 公司用三菱电机的 MELDASMAGIG 64 结构的 MAZATROL 640 CNC 等。4) SOFT 型开放式数控系统。这是一种最新开放体系结构的数控系统。它提供给用户最大的选择和灵活性,它的 CNC 软件全部装在计算机中,而硬件部分仅是计算机与伺服驱动和外部 I/O 之间的标准化通用接口。就像计算机中可以安装各种品牌的声卡、CD-ROM 和相应的驱动程序一样。用户可以在 WINDOWS NT 平台上,利用开放的 CNC 内核,开放所需的各种功能,结构各种类型的高性能数控系统,与前几种数控系统相比,SOFT 型开放式数控系统具有最高的性价比,因此最具有生命力。其典型产品有美国 MDSI 公司的 Open CNC,德国 Power Automation 公司的 PA8000 NT 等<sup>[10][11]</sup>。

传统数控系统大多是封闭专用的体系结构,用于实现某种专用的功能。这类数控系统虽结构简单、成本低,但若增加用户的特殊功能时需从头开始设计,造成大量人财物的浪费,随着计算机技术的发展,为了满足市场的普及型和个性化需要,现代制造技术对数控技术提出了更高的要求,数控软件的开发也就成为现代数控领

# 华中科技大学硕士学位论文

---

域的一项关键技术，即可读性、可维护性和可重用性。PC 机进入数控领域，极大地丰富了数控系统的软硬件资源，体系结构上的发展趋势必将时开放性。

## 2. 数控技术未来发展趋势

1) 数控技术未来发展的趋势是继续向开放式、基于 PLC 的第六代方向发展。基于 PC 所具有的开放性、低成本、高可靠性、软硬件资源丰富等特点，更多的数控系统生产厂家走上了这条道路。至少采用 PC 机作为它的前端机，来处理人机界面、编程、联网通信等问题，由原有的系统承担数控的任务。PC 机所具有的友好的人机界面，将普及到所有的数控系统。远程通讯，远程诊断和维护将更加普遍。

2) 向高速化和高精度化发展。这是适应机床向高速和高精度方向发展的需要。

3) 向智能化方向发展。随着信息化社会的到来，制造业已从单纯依靠提高设备的自动化程度和加工精度占有市场，转向以信息为基础，从产品整个生命周期的大系统的角度来适应市场，满足社会各方面需求，增强企业的竞争能力。发达国家纷纷投入巨资研究制造业面临的挑战和相应的对策，从而提出了计算机集成制造、精良生产、敏捷制造、并行工程、智能制造等概念。加工设备在不断提高自动化水平的同时，注意整体、人和信息的因素，以信息为纽带、人为中心，具有相对独立性的智能化的加工设备，是未来发展的方向。随着人工智能在计算机领域的不断渗透和发展，数控系统的智能化程度将不断提高。当前开发研究适应于复杂制造过程的、具有闭环控制体系结构的智能化程度已成为可能。智能化的内容包括在数控系统中的各个方面：①为追求加工效率和加工质量方面的智能化，如自适应控制，工艺参数自动生成；②为提高驱动性能及使用连接方便的智能化，如前馈控制，电机参数的自适应运算，自动识别负载自动选定模型，自整定等；③简化编程、简化操作方面的智能化，如智能化的自动编程、智能化的人机界面等；④还有智能诊断、智能监控方面的内容，方便系统诊断及维修等<sup>[1][2]</sup>。可以说，智能化数控系统 ICNC 是将计算机智能技术、网络技术、CAD/CAM、伺服控制、自适应控制、动态数据管理及动态刀具补偿、动态仿真等高新技术融于一体，形成严密的制造过程闭环控制体系。人工智能则试图用计算机模型实现人类的各种智能行为。科学技术发展到今天，实时系统和人工智能相互结合，人工智能正向着具有实时响应的更现实的领域发展，

而实时系统也朝着具有智能行为的、更复杂的应用发展，由此产生了实时智能控制这一新的领域。在数控技术领域，实时智能控制的研究和应用正沿着几个主要分支发展：自适应控制、模糊控制、神经网络控制、专家控制、学习控制、前馈控制等。ICNC 同传统数控系统重要的区别之一就在于它可参与任务规划，承担适合自己的加工任务，并能不断调整目标任务。CNC 知识的表达及获取知识的能力是 CNC 智能化的基础，常规的知识表示方法有多种，每一种方法都有其使用的范围<sup>[13]</sup>。

总之，在性能发展方向是高可靠性、高速度、高效率、柔性化、多轴化和智能化。在体系结构发展方向是集成化、模块化、网络化。在功能发展方向是可以直接用高级语言编程的高性能 PLC。

## 2.2 可编程控制器技术

### 1. 产生

PLC 是以微处理器为基础，综合了计算机技术，自动化技术和通讯技术的一种新型工业控制装置。其可靠性极高、耐恶劣环境能力强、使用极为方便等特点。与机器人技术、CAD/CAM 并列成为工业生产自动化的三大支柱，是本世纪 60 年代发展起来的被国外成为“先进国家三大支柱”之首的自动化理想控制装置，是近年来发展极为迅速，应用面极广的工业控制装置，现已广泛应用于自动化的各个领域。

可编程控制器 PLC 的产生/出现/发展历史：60 年代末，由于工业生产从大批量少品种的生产转变为小批量多品种的生产方式。而当时大规模生产线的控制电路大多是继电器控制系统，难以改变生产程序，且体积大、耗电多、可靠性低。对此，美国通用汽车公司 GE (General Motor) 于 1968 年提出十项指标：(1) 编程方便，现场可修改程序。(2) 维修方便，采用插件式结构。(3) 可靠性高于继电器控制装置。(4) 数据可直接输入管理计算机。(5) 输入电源可为市电。(6) 输出电源可为市电，负载电流要求 2 安培以上，可直接驱动电磁阀和接触器等。(7) 用户存储器容量大于 4K。(8) 体积小于继电器装置。(9) 扩展时，原系统变更最少。(10) 成本可与继电器控制装置竞争。微电子学和计算数学相结合，产生了电子计算机，其渗透到工业自动化领域就出现了各种工业控制计算机，而将微处理器特别是单片机

# 华中科技大学硕士学位论文

---

与机械系统紧密结合所研制出的一种最重要、最普及、应用广泛的工业控制设备——PLC。1969年，美国数字设备公司（DEC）制成了世界上第一台可编程控制器PDP-14，它在美国通用汽车公司汽车装配线上的应用成功，立刻引起全世界的关注，开创了PLC的新时代。我国从1974年开始研制，1977年开始工业应用。早期的可编程控制器是为了取代继电器控制线路，采用存储程序指令完成顺序控制而设计的。它仅有逻辑运算、计时、计数等顺序控制功能，用于开关量控制。所以通常将可编程控制器简称为PLC，即可编程逻辑控制器<sup>[16]</sup>。它采用了计算机的设计思想，初期的PLC主要用于顺序控制、进行逻辑运算。其发展可分为三个阶段：（1）实用化发展阶段（七十年代中期），由于大规模集成电路的出现，使多种8位微处理器芯片和位片处理器相继问世，使可编程控制器技术产生了飞跃。（2）成熟阶段（七十年代末），由于超大规模集成电路的出现，使16位微处理器和51单片机相继问世，使可编程控制器向大规模、高速度、高性能方向发展，这样就形成了多种系列化产品，出现了紧凑型、低价格的新一代产品和多种不同性能的分布网络系统。（3）加速发展阶段（九十年代）。世界各国，各公司不断开发新产品，在软件方面，也不断向上发展并与计算机系统兼容。PLC近几年得到了迅速发展和广泛应用，引起了国内工程界的极大兴趣。目前，从市场调查可知：销售已处于14种工业自动控制装置的首位。

## 2. 定义

可编程控制器的定义：可编程逻辑控制器（programmable logic controller）简称PLC机，它特别适合逻辑、顺序控制，随着PLC的发展，它不仅能完成逻辑运算控制，而且能实现模拟量，脉冲量的算术运算，故把原来的logic删去。简称可编程控制器PLC<sup>[4][17]</sup>。但是此名称与市面上IBM-PC机和个人电脑容易混淆，故近年来国内外期刊中常采用PLC代表可编程逻辑控制器，以示区别。英文全称没变。可编程逻辑控制器一直在发展中，因此直到目前为止，还未能下最后的定义。1980年，美国电气制造商协会NEMA(National Electrical Manufacturers Association)将PLC正式命名为可编程逻辑控制器。其定义为：“可编程逻辑控制器是一个数字式电子装置，它使用于可编程序的记忆体用以储存指令，用来执行诸如逻辑、顺序、计时、计数和

演算等功能，并通过数字或模拟的输入和输出，以控制各种机械和生产过程。一部数字电子计算机若是用来执行可编程逻辑控制器之功能者，亦并被视同为可编程逻辑控制器。但并不包括鼓式或机械式顺序控制器。”国际电工委员会（IEC）先后于1982年11月、1985年1月、1987年2月颁布草案。其定义为：‘可编程逻辑控制器是一种数字运算操作的电子系统，专为在工业环境下应用而设计，它采用一类可编程序的储存器，用于在其内部储存程序，执行逻辑运算、顺序控制、定时、计数和算术操作等面向用户的指令，并通过数字式和模拟式的输入输出’，控制各种类型的机械的生产过程，可编程逻辑控制器及其有关外围设备，都按易于与工业控制系统联成一个整体，易于扩充功能的原则设计<sup>[18]</sup>。”

### 3. 特点

PLC 的特点：可编程逻辑控制器属于存储程序控制，其控制功能是通过存放在存储器内的程序来实现的。其优点与这个“可”字有关；从软件上来讲，它的程序可编、也不难编；从硬件上来讲，它的配置可变，也易变。1) 运行稳定，可靠性高。由于可靠性是用户选用的首位依据。因此，每个 PLC 生产厂都将可靠性作为第一指标而加以研制，以单片机为核心，在硬件和软件上做了大量的抗干扰措施，使 PLC 的平均故障时间达到 30 万小时以上，使用寿命长。2) 控制功能强。PLC 具有逻辑判断、计数、定时、步进、跳转、移位和记忆、四则运算和数据传送等功能，可以实现顺序控制、逻辑控制和过程控制等等。3) 编程简单，使用方便。PLC 采用与继电器电路相似的梯形图编程，比较直观，易懂易编，深受电气技术人员和电工的欢迎，容易推广和使用。4) 适用于恶劣的工业环境，抗干扰能力强，工业生产一般对控制设备的可靠性提出很高的要求，应具有很强的抗干扰能力，能在恶劣的环境中可靠地工作，平均故障间隔时间（MTBF）高，故障修复时间短。任何电子设备产生的故障通常有两种：偶发性和永久性。在硬件和软件上采取提高可靠性的主要措施：屏蔽，滤波，电源调整与保护，隔离和采用模块式结构。B)故障检测，信息保护和恢复，设置了警戒时钟 WDT，加强对程序的检查和校验，对程序及动态数据进行电池后备。5) 功能完善，具有各种接口，与外部设备连接非常方便。6) 扩充方便，组合灵活。采用积木式结构或模块式结构，具有较强的灵活性和可扩性，扩展灵活

# 华中科技大学硕士学位论文

---

方便，控制程序可变，具有很好的柔性。7) 硬件配置、安装、使用和维护都方便，PLC 上有 I/O 指示灯 (LED)，哪个 I/O 元件有故障，一目了然。8) 可根据生产工艺要求或运行情况，随时对程序进行在线修改，不用更改硬接线，灵活性大。9) PLC 的软件简单易学，易于短期培训。10) 减少了控制系统设计及施工的工作量，设计施工周期短。11) 体积小、重量轻，是机电一体化特有的产品。

当人们对可编程控制器的结构和编程技术了解后，就可结合实际问题进行可编程控制器控制系统的系统设计。

可编程控制器的结构和工作方式与通用微型计算机不完全一样。因此，用可编程控制器设计自动控制系统与微机控制系统开发过程也不完全相同，需要根据可编程控制器的特点进行系统设计。可编程控制器与继电器控制系统有本质区别，硬件和软件可分开进行设计是可编程控制器的一大特点。

工业生产一般对控制设备的可靠性提出很高的要求，应具有很强的抗干扰能力，能在恶劣的环境中可靠地工作，平均故障间隔时间 (MTBF) 很高，故障修复时间短。这是 PLC 控制优于微机控制的一大特点。

PLC 本身具有较强的自诊断功能，保证在“硬核”(如 CPU, RAM, I/O 总线等)都正常的情况下执行用户的控制程序。一旦出现 CPU 故障，RAM 故障或 I/O 总线故障则立即给出 CPU 发出错信号，并停止用户程序的执行，切断所有输出信号，等待修复。有些高档的 PLC 具有 CPU 并行操作，一旦某个 CPU 出现故障，系统仍能正常工作，并给出“带病工作信号”，要求修复出现故障的 CPU，这就增加了 PLC 的可靠性。它在硬件、软件上采取提高可靠性的主要措施是：

硬件保障措施：

(1) 屏蔽 对电源变压器、CPU、编程器等主要部件，采用导电、导磁良好的材料进行屏蔽，以防外界干扰。

(2) 滤波 对供电系统及输入线路采用多种形式的滤波，如 LC 或 II 型滤波网络，以消除或抑制高频干扰，也削弱了各种模块之间的影响。

(3) 电源调整与保护 对微处理器这个核心部件所需的+5V 电源，采用多级滤波，并用集成电压调整器进行调整，以适应交流电网的波动和过电压、欠电压的影响。

响。

(4) 隔离 在微处理器与 I/O 电路之间, 采用光电隔离措施, 有效地隔离 I/O 间电的联系, 减少故障和误动作。

(5) 采用模块式结构 这种结构有助于在故障情况下短时修复。因为一旦查出某一模块出现故障, 就能迅速更换, 使系统恢复正常工作。同时也有助于加快查找故障原因<sup>[19]</sup>。

软件保障措施:

(1) 故障检测 软件定期地检测外界环境, 如掉电、欠电压、锂电池电压过低及强干扰信号等, 以便及时进行处理。

(2) 信息保护和恢复 当偶发性故障条件出现时, 不破坏 PLC 内部信息, 一旦故障条件消失, 就可恢复正常, 继续原来的工作。所以, PLC 在检测到故障条件时, 立即把现状存入存储器, 软件配合对存储器进行封闭, 禁止对存储器的任何操作, 以防存储信息被冲掉。这样, 一旦检测到外界环境正常后, 便可恢复到故障发生前的状态, 继续原来的程序工作<sup>[20]</sup>。

(3) 设置了警戒时钟 WDT 如果程序每循环执行时间超过了 WDT 规定时间, 预示了程序进入死循环, 立即报警。

(4) 加强对程序的检查和校验 每次扫描都对程序进行检查和校验, 一旦程序有错, 立即报警, 并停止执行。

(5) 对程序及动态数据进行电池后备 停电后, 利用后备电池供电有关状态及信息就不会因此而丢失。在硬件、软件方面采取了各种措施后, PLC 的可靠性、抗干扰能力大大提高。

控制程序可变、具有很好的柔性: 在生产工艺流程改变或生产线设备更新的情况下, 不必改变 PLC 的硬设备, 只需改编程序就可以满足要求。

控制程序简单、使用方便: 这是 PLC 优于微机的另一特点。目前大多数 PLC 均采用继电控制形式的“梯形图编程方式”, 既继承了传统控制线路的清晰直观, 又考虑到大多数工矿企业电气技术人员的读图习惯和微机应用水平, 易于接受, 因此受到普遍欢迎。



# 华中科技大学硕士学位论文

---

为进一步简化编程，当今的 PLC 还针对具体问题设计了诸如步进梯形指令、功能图及功能指令等。

**功能完善：**现代 PLC 具有数字量和模拟量输入输出、逻辑和算术运算、定时、计数、顺序控制、功率驱动、通信、人机对话、自检、记录和显示等功能，使设备控制水平大大提高。

**扩充方便，组合灵活：**可编过程控制器产品已经标准化、系列化、模块化。配备有品种齐全的各种硬件装置供用户选择，用户能灵活方便地进行系统配置，组成不同功能、不同规模的系统。可编程控制器的安装接线也很方便，一般用接线端子连接外部接线。可编程控制器有较强的带负载能力，可以直接驱动一般的电磁阀和交流接触器。

**系统的设计、安装、调试工作量少：**可编过程控制器用软件功能取代了继电器控制系统中大量的中间继电器、时间继电器、计数器等器件，使控制柜的设计、安装、接线工作量大大减少。可编过程控制器的梯形图一般采用顺序控制设计法。这种编程方法很有规律，很容易掌握。对于复杂的控制系统，设计梯形图所花的时间比设计继电器系统电路图的时间要少得多。可编过程控制器的用户程序可以在实验室模拟调试，更减少了现场的工作量，输入信号用小开关来模拟，输出信号的状态可以观察可编过程控制器上有关的发光二极管，调试后再将可编过程控制器安装在现场统调。调试过程中发现的问题一般通过修改就可以解决，调试的时间比继电器系统少得多。

**维修工作量小，维修方便：**可编过程控制器的故障率很低，而且有完善的自诊断和显示功能。可编过程控制器或外部的输入装置和执行机构发生故障时，可以根据可编过程控制器上的发光二极管或编程器提供的信息迅速地查明故障的原因，用更换模块的方法可以迅速地排除故障。

**体积小、重量轻、能耗低、是“机电一体化”特有的产品：**对于复杂的控制系统，使用可编过程控制器后，可以减少大量的中间继电器和时间继电器，而可编过程控制器的体积仅相当于几个继电器的大小，因此可将开关柜的体积缩小到原来的  $1/2 \sim 1/10$ 。由于 PLC 是专为工业控制而设计的专用计算机，其结构紧密、坚固、体积小巧，并由于具备很强的抗干扰能力，使之易于装入机械设备内部，因而成为实

现“机电一体化”较理想的控制设备。可编过程控制器的配线比继电器控制系统的配线少得多，故可以省下大量的配线和附件，减少大量的安装接线工时，加上开关柜体积的缩小，可以节约大量的费用。

由于 PLC 具备了以上特点，它把微计算机技术与继电器控制技术很好地融合在一起。最新发展的 PLC 产品，还把 DDC（直接数字控制）技术加进去，并具有与监控计算机联网的功能，因而它的应用几乎覆盖了所有工业企业，既能改造传统机械产品成为机电一体化的新一代产品，又适用于生产过程控制，实现工业生产的优质、高产、节能与降低成本。

## PLC 的编程语言

常见的编程语言 PLC 是针对工业自动控制而开发的，其主要使用者是各生产部门的电气操作维修人员，为此，PLC 通常不采用微机的编程语言，而采用下列编程表达方法：

梯形图(ladder diagram 简称为 LAD)主要利用常开触点、常闭触点、继电器线圈、定时器和计数器等图形符号来表示其输入和输出之间的关系。梯形图与电路图相呼应，形象、直观且实用。梯形图是大中型 PLC 的主要编程语言<sup>[9]</sup>。

语句表 (Step Ladder 简写 STL) 或称命令语句。命令语句主要使用逻辑语言建立 PLC 输入和输出的关系，其中包括了逻辑 AND、OR、NOT 及定时器、计数器、移位寄存器、算术运算和 PID 控制功能等。中小型 PLC 一般用语句表编程。

每条命令语句包括命令部分和数据部分<sup>[21]</sup>。其命令部分要指定逻辑功能；其数据部分要指定功能存储器的地址号或直接数值。

控制系统流程图 (CSF) 控制系统流程图 (control system flowchart 简写 CSF) 很像逻辑控制电路，也较直观易懂。有一定数字电路知识的人很容易就能掌握。

计算机的通用语言 对过程控制，有的 PLC 中用了计算机通用语言编程，诸如 BASIC、PASCAL、FORTRAN 等。

PLC 的编程主要使用两种基本类型的语言：即梯形图和语句表。

梯形图与继电器控制电路的比较<sup>[9][22]</sup>，相同之处：(1) 电路结构形式大致相同；(2) 梯形图大都沿用继电器控制电路组件符号，有的有些不同；(3) 信号输入、信

号处理以及输出控制的功能均相同。不同之处：(1) 组成器件不同。继电器控制电路是由许多真正的继电器组成，而梯形图则由许多所谓软继电器组成。软继电器实质上是存储器中的每一位触发器。硬继电器触点易磨损，而软继电器则无此现象。(2) 工作方式不同。当电源接通时，继电器控制电路中各继电器都处于该吸合的继电器都应吸合，不应吸合的继电器都因条件限制不能吸合。而在梯形图中，各继电器都处于周期性循环扫描接通之中。(3) 触点数量不同。继电器控制电路中的继电器触点数量有限，一般作中间控制用，每只继电器的触点数只有 4~8 对；而在梯形图中，每只软继电器的触点数则可无限，因为在存储器中的触发器状态可取任意次。(4) 编程方式不同。在继电器控制电路中，其程序已包含在固定电路之中，因此它功能专一，不灵活；而梯形图的设计和编程，则可灵活多变。(5) 联锁方式不同。在继电器控制电路中，为了达到某种控制目的，而又安全可靠，因此设置了许多制约关系的联锁电路；而在梯形图中，因它是扫描工作方式，不存在几个并列支路同时动作的因素，因此简化了电路设计。

功能图法是专用于工业顺序控制程序设计的一种功能说明语言。IEC（国际电工委员会）于 1988 年公布了“控制系统功能图准备”标准（IEC848）<sup>[12]</sup>。我国在 1986 年年颁布了菜单图的国家标准（GB6988—6—86）。功能图法在可编过程控制器程序设计中两种用法<sup>[23]</sup>：(1) 用功能图说明可编程控制器所要完成的控制功能，即作为规格说明语言使用，然后再由其设计出逻辑方程，画出梯形图。由于目前中小型 PLC 在数量上占大多数，并且 80% 以上的 PLC 采用梯形图作为编程语言，因此可以先将控制要求表达为功能图，再由功能图转换成梯形图。(2) 直接根据功能图的原理研制 PLC，目前国际上已有此类产品，多数应用在大、中型 PLC 上。本设计用到的是第一条用法。

### 2.3. 本章小结

本章阐述了数控系统的发展简史、数控系统的作用和地位以及数控系统的未来发展趋势，可编程控制器的产生、定义和特点。由于 PLC 具备了它的特点，它把微计算机技术与继电器控制技术很好地融合在一起。最新发展的 PLC 产品，还把 DDC（直接数字控制）技术加进去，并具有与监控计算机联网的功能，因而它的应用几

# 华中科技大学硕士学位论文

---

乎覆盖了所有工业企业，既能改造传统机械产品成为机电一体化的新一代产品，又适用于生产过程控制，实现工业生产的优质、高产、节能与降低成本。

## 3 系统的架构及其基本方案的选择

课题开发是基于 PLC 的自动换刀系统，采用 PLC 和液压组成的自动换刀控制系统。动作的执行部分由电机驱动的液压完成，逻辑部分由 PLC 来实现。

数控仿形加工中心机床控制的内容包括很多方面，其中比较关键的控制包括刀库的自动选刀和刀库主轴和机械手间的自动换刀。

### 3.1 系统的总体结构

系统采用集中控制方式，主要包括信号控制系统和拖动控制系统两大部分，其系统框图如图 3.1 所示。控制系统的核心为可编程控制器、操纵盘和装在

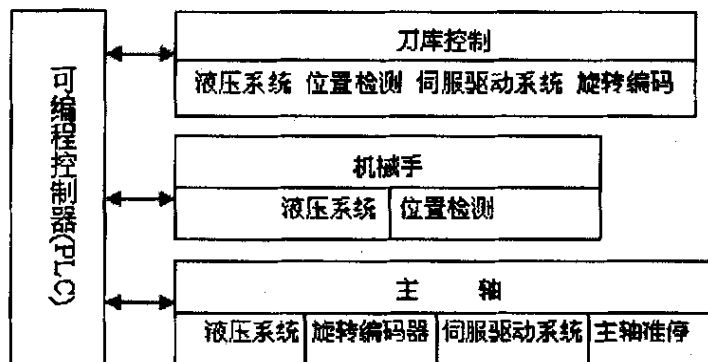


图 3.1 自动换刀控制系统框图

刀库和机械手及主轴上的接近开关的工作状态等信号输入 PLC，经 PLC 运算处理后由输出接口分别向电磁阀和电动机发出控制信号完成<sup>[24]</sup>。

工艺流程如 3.2 图所示。机械手在原点时按上图所示的动作顺序。机械手在原点按启动按钮，刀库机械手和主轴进行的动作顺序为机械手执行正抓刀，正抓刀执行完后，即正抓刀到达信号到达后，执行刀库松刀，执行刀库松刀执行完成后，机械手拔刀，机械手拔刀执行完成后，机械手手臂正转 90°，正转执行完成后，机械手负抓刀（抓主轴的刀），负抓刀完成后，主轴松刀吹气，吹气的主要目的是不能将机床外的铁屑带入主轴刀座内。主轴松刀完成后，机械手拔刀，机械手拔刀动作完成后，

机械手正转  $180^\circ$ ，正转  $180^\circ$  完成后机械手插刀，机械手插刀动作完成后，主轴紧刀，同时停止吹气，完成了将刀库的刀具放到主轴上的动作。主轴紧刀完成后，机械手正松刀，机械手正松刀动作完成后，机械手拔刀，机械手拔刀完成后，机械手手臂反转  $90^\circ$ ，反转  $90^\circ$  完成后，机械手插刀，机械手插刀完成后，刀库紧刀，刀库紧刀完成后机械手负松刀，机械手负松刀完成后，机械手拔刀，机械手拔刀完成后，机械手反转  $180^\circ$ ，机械手反转  $180^\circ$  完成后，机械手插刀，插刀完成后，机械手回到原点位置。

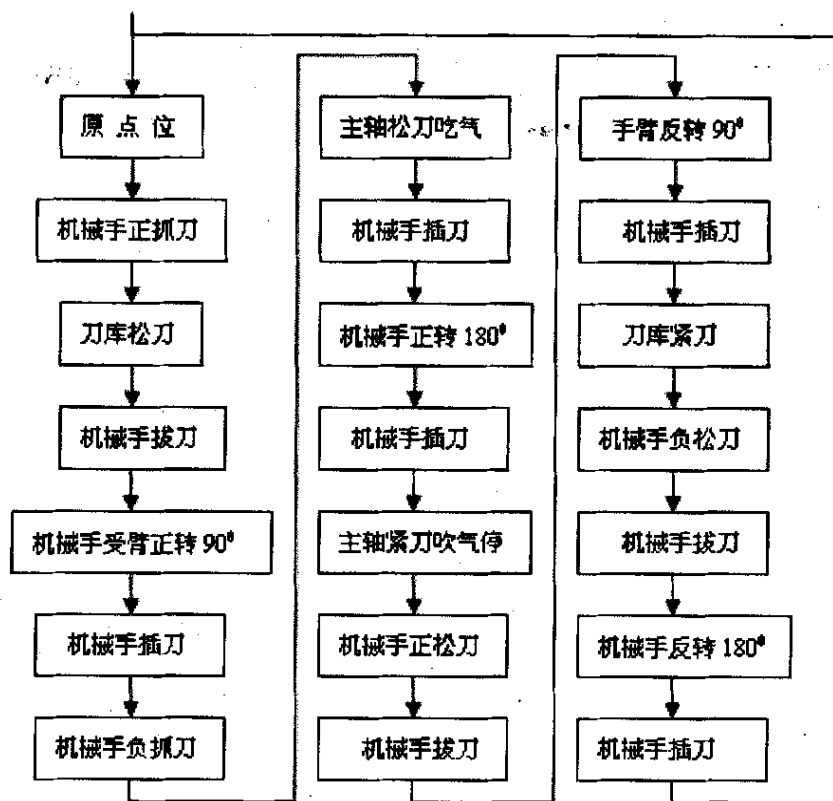


图3.2 换刀流程图

## 3.2 可编程序控制器的选择

自动换刀系统的 PLC 控制系统不再使用继电器进行逻辑控制。刀库、机械手和主轴的运行过程中，刀库、机械手和主轴的位置如何检测，PLC 软件如何根据给定的输入信号及运行条件的判断，是自动换刀系统正常运行的首要问题，是正确定向和停止执行本动作的前提<sup>[25]</sup>。

## 1) 位置检测

刀库在零点、机械手和主轴位置检测装置接近开关，它检测机械手和主轴运行状态，所处位置，及时向控制系统发出所需要的信号。其主要功能是：机械手和主轴的位置关系，确定运行方向；当机械手和主轴将要到达所需位置时，给 PLC 一个到达信号；信号到达时执行下一个动作。

位置检测方法主要有如下几种：(1)用于行程开关或其它位置开关 这种方法直观、简单，但位置精度很差，会占用 PLC 太多的输入点。(2)利用接近开关 这种方法精度高，方便易于检测。(3)利用旋转编码器。

目前，PLC 一般都有高速脉冲输入端或专用计数单元，计数准确，使用方便，因而在 PLC 控制系统中，可用编码器测取运行机械手和主轴过程中的准确位置，编码器可直接与 PLC 高速脉冲输入端相连，电源也可利用 PLC 内置 24V 直流电源，硬件连接可谓简单方便。

旋转编码器是一种旋转式测量装置，通常安装在被测轴上，随被测轴一起转动，用以测量转动量（主要是转角），并把它们转换成数字形式的输出信号。在控制系统中用码盘来检测机械手和主轴的运行速度及机械手和主轴所处位置，用作速度反馈信号和位置指示信号。旋转编码器的转轴直接与曳引电动机转轴相连接，当电动机转动时，编码器输出与转角对应的脉冲数，通过累计脉冲数量可直接算出相应的位置行程，进而，算出机械手和主轴运行过程机械手和主轴所处位置，确定下一动作等。

以上分析可见，用旋转编码器检测机械手和主轴位置优于其他方法，但用于换刀系统的动作相对较慢，故本设计采用接近开关检测位置。

## 2) 可编程控制器 (PLC) 的选型

该控制系统的控制器件为可编程控制器，所以选择的核心器件为可编程控制器，现在市场上存在许多种可编程控制器可供选择，选择那一种既能满足要求而且价格又最便宜、并且希望与之配套的模块也便宜这就成为其选择的关键，考虑到本系统要求的 I/O 口比较少，而对系统容量要求比较大，通过对比，本系统最后确定选用三菱公司 FX<sub>2N</sub> 系列中产品。

可编程控制器的选型要考虑的有四个问题：其一，输入输出是开关量还是模拟量，其二，输入输出的点数，考虑以后控制的扩展性。其三，选用的可编程控制器

的生产公司。

根据以上选择的刀库、机械手和主轴位置检测法，要求可编程控制器只需具有开关量即可，输入输出的点数，可扩展等等因素，综合考虑后，本设计选择了日本三菱公司生产的 FX<sub>2N</sub> 系统 PLC<sup>[26]</sup>。

FX<sub>2N</sub> 系统 PLC 具有以下几方面的优点：

(1) FX<sub>2N</sub> 配置灵活，除主机单元外，还可扩展 I/O 模块，A/D 模块，D/A 模块和其它特殊功能模块。

(2) FX<sub>2N</sub> 指令功能丰富，有各种指令 107 条，且指令执行速度快。

(3) FX<sub>2N</sub> PLC 可用内部辅助继电器 M，状态继电器 S，定时器 T，寄存器 D，计数器 C 的功能和数量满足了系统控制要求的需要。

(4) FX<sub>2N</sub> PLC 的编程，可用编程器，也要以在 PC 机上使用三菱公司的专用编程软件包 MELSEC MEDOC 进行。编程语言可用梯形图或指令表。尤其是可用 PC 机对系统实时进行监控。为调试和维护提供了极大的方便。

### 3.3 本章小结

本章确定了系统的总体结构，并针对系统的总体结构，对换刀的工艺流程进行了概述，并确定由 PLC 来实现机械手和主轴信号控制，完成了机械手和主轴控制系统中可编程控制器的选择和选型。



## 4 系统硬件开发

自动换刀控制系统硬件由刀库、机械手、PLC、液压系统构成，控制系统结构图如图 4.1 所示。

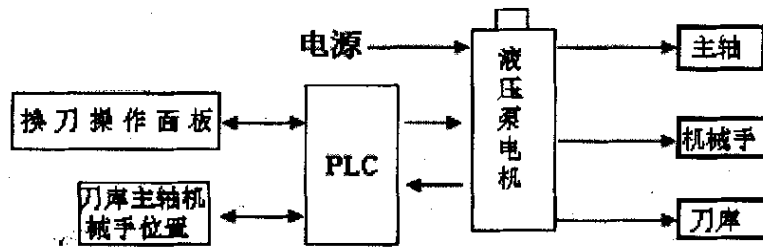


图 4.1 控制系统结构图

图中由操作面板发出控制信号，经可编程控制器，液压泵电机用来驱动主轴、机械手和刀库的旋转只完成其旋转调速功能，而逻辑控制部分是由 PLC 完成的。PLC 负责处理各种信号的逻辑关系，从而液压系统的电磁阀发出起停信号<sup>[27]</sup>，同时也将主轴、机械手和刀库位置状态输送给 PLC，形成双向联络关系，从而控制其动作。

### 4.1 电气元件系统硬件开发

按钮 SB、接近开关 SQ 全部采用常开触点，输出除 Y16 接指示灯外，其余均接到电磁阀的线圈上<sup>[28]</sup>。由于电磁阀线圈是大感量的线圈，且线圈额定电压为 DC24V，因此在两端要并接续流二极管，考虑到电感线圈产生的能量很大，消除产生的能量，可在续流二极管中串联电阻，但是电阻不能采用自制的电阻，要综合考虑续流二极管的因素。

1 接近开关 SQ 依据毕业设计任务书的要求，凡松刀、紧刀均采用接近开关。接近开关是位置开关的一种，其它行程开关与微动开关工作时均有挡块与触杆的机械碰撞和触点的机械分合，在动作频繁时，易于发生故障，工作可靠性较低<sup>[29][6]</sup>。与这不同的是接近开关是无触点行程开关，是当运动的金属片之这接近到一定距离时发出接近信号，它不需要机械式行程开关所必须施以机械力。它的用途已远超出一般

## 华中科技大学硕士学位论文

---

行程控制和限位保护，它还可用于高速计数、测速、液面控制、检测金属体的存在，检测零件尺寸等。它具有工作可靠、寿命长、功耗低、重复定位精度高、操作频率高以及适应恶劣的工作环境等特点。

按工作原理分，接近开关有高频振荡型<sup>[30]</sup>、电容型、感应电桥型、永久磁铁型、霍尔效应型等多种，其中，以高频振荡型最为常用，本设计也采用了这种类型及其行程控制功能，它是由装在运动部件上的一个金属片移近或离开振荡线圈来实现接通或断开的控制的<sup>[31]</sup>。

2 按钮开关 SB 按钮开关是一种结构简单，应用广泛的手动主令电器，用以接通或断开控制回路中的电流，在控制电路中发出手动指令远距离控制其它电器，再由其它电器去控制主电路或转移各种信号，也可以直接用来转换信号电路和电气连锁电路等<sup>[32]</sup>。

3 选择开关 SA 选择开关是由多组相同结构的开关组件叠装而成，可以控制多回路的一种主令电器，它由操作机构、定位装置和触点三部分组成。

4 续流二极管 PLC 的输入端或输出端常常接有感性组件。如果是直流感性组件，应在其两端并联通流二极管；如果是交流组件，应在其两端并联阻容电路（也称灭弧器，有系列产品可供选择）。从而抑制电路断开时产生的电弧对 PLC 内部输入、输出组件的影响。其工作原理是：正常通电时，电源电压为正，二极管不通，当电源断开，电压变负时，负载上产生很大的反电动势，并联二极管可使负载间的电压等于二极管管压降，接近于零这样电路中总的电压的变化将会很少，就不易产生弧光，从而起到保护负载的作用。

5 电磁阀 YV 数控加工中心自动换刀的所有动作的执行都用双线圈的三位四通电磁阀推动油缸来完成的。当某个电磁阀线圈通电，就一直保持现有的机械动作，直到反方向通电<sup>[6][33]</sup>。

(1) 当左线圈 YV1 通电时，三位四通电磁阀 HF 阀体左移，油泵压力油进入左腔，油缸右腔回油流回油箱，油缸活塞右移，使机械手正抓刀（或正松刀）、负抓刀（或负松刀）、拔刀（或插刀）、正转 90 度（或反转 90 度）、正转 180 度（或反转 180 度）、刀库松刀（或刀库紧刀）、主轴松刀（或主轴紧刀）。

# 华中科技大学硕士学位论文

(2) 当左线圈 YV1 断电时, 阀体 HF 返回中间位置, 油缸左右油腔被封死, 机械手保持原来状态, 这时液压系统中油泵的压力油经溢流阀回到油箱。

(3) 当右线圈 YV2 通电时, 移动相反。

(4) 在油路中串有定量泵节流阀<sup>[34]</sup>, 控制油缸进(回)油的速度, 从而控制机械手的运动速度。

## 4.2 PLC 控制系统的硬件开发

### 1. 信号控制系统

自动换刀系统信号控制基本由 PLC 软件实现。换刀信号控制系统<sup>[23]</sup>如图 4.3 所示, 输入到 PLC 的控制信号有: 运行方式选择(如自动、单步、返回原点、单周期和连续运行方式等)、运行控制、面板指令、安全保护信息、位置信号等。

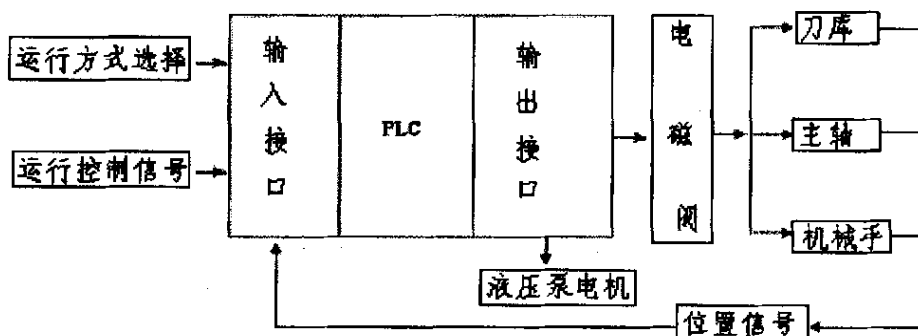


图 4.3 换刀 PLC 信号控制框图

### 1 设计思路

换刀控制系统实现如下功能<sup>[3]</sup>:

#### 1) 手动方式:

(1) 手动操作: (操作旋钮旋至“单步操作”)——用各按钮开关(拔刀、插刀、正松刀、正抓刀、负松刀、负抓刀、刀库松刀、刀库紧刀、主轴松刀、主轴紧刀、正转 90°、反转 90°、正转 180°、反转 180°)来接通或断开各负载的工作方式, 选择开关旋到手动操作时, 各按钮就执行该操作。

(2) 返回原点: (操作旋钮旋至“返回原位”)——按下返回原位按钮时, 机械

# 华中科技大学硕士学位论文

手自动返回到它的原点位。

## 2) 自动方式:

(1) 步进操作: (操作旋钮旋至“步进操作”)——每按一次启动按钮, 机械手按顺序自动向前执行一个工步(或工序)后自动停止的工作方式。

(2) 单周期操作: (操作旋钮旋至“单周期操作”)——机械手从原点位置开始, 按一下启动按钮, 自动地执行一个周期的操作, 操作完成后, 机械手停在原点位。如果在操作过程中, 按下停止按钮, 则机械手停留在某动作的工序上。如果再按启动按钮, 则又从该工序继续工作, 完成一个循环后, 最后自动停止在原点位上。

(3) 连续操作: (操作旋钮旋至“连续操作”)——机械手处从原点位开始, 按一下启动按钮, 机械手的动作将自动地、连续不断地周期性循环。在工作中若按一下停止按钮, 则机械手将继续完成一个周期的动作后, 回到原点位自动停止。

上述操作方式是供用户选用的。当机械硬件和软件都调试好后, 可以用“返回原点”和“连续操作”方式工作。其余各操作方式供用户在调试硬件和软件时用, 比如接近开关的接近程度的调整可在“单步操作”方式下调试, 动作顺序检验可在“步进操作”方式下检验, 一个循环周期可在“单周期操作”方式下测试等。其操作面板是根据上述两种工作方式, 五种工作状态, 操作按钮和急停按钮是接通和断开外电路负载电源按钮, 主要是为了操作人员的安全考虑<sup>[25]</sup>。

## 2. I/O 点数的分配及机型的选择

本设计根据需要控制的开关, 设备大约有 40 个输入点, 16 个输出点, 需进行控制, 由于输入点数已有 40 个点, 经过查阅三菱系列 PLC 的安装手册, 由于都是开关量控制信号, 并且考虑以后的功能扩展和技术改造, 故选择 FX<sub>2N</sub>-128MR, I/O 分配如表 4.1 所示。

表 4.1 输入输出分配表

输入触点		输出触点	
X0	机械手正松刀到位	Y0	机械手正松刀
X1	机械手正抓刀到位	Y1	机械手正抓刀
X2	机械手负松刀到位	Y2	机械手负松刀
X3	机械手正抓刀到位	Y3	机械手负抓刀
X4	刀库松刀到位	Y4	机械手拔刀
X5	刀库紧刀到位	Y5	机械手插刀

# 华中科技大学硕士学位论文

X6	主轴松刀到位	Y6	刀库松刀
X7	主轴紧刀到位	Y7	刀库紧刀
X10	机械手拔刀到位	Y10	主轴松刀、吹气开始
X11	机械手插刀到位	Y11	主轴紧刀、吹气停止
X12	机械手手臂正转 90 度到位	Y12	机械手手臂正转 90 度
X13	机械手手臂反转 90 度到位	Y13	机械手手臂反转 90 度
X14	机械手正转 180 度到位	Y14	机械手正转 180 度
X15	机械手反转 180 度到位	Y15	机械手返回 180 度
X16	机械手正松刀	Y16	原点指示灯 HL1
X17	机械手正抓刀		
X20	机械手负松刀		
X21	机械手负抓刀		
X22	刀库松刀		
X23	刀库紧刀		
X24	主轴松刀、吹气开始		
X25	主轴紧刀、吹气停止		
X26	机械手拔刀		
X27	机械手插刀		
X30	机械手手臂正转 90 度		
X31	机械手手臂反转 90 度		
X32	机械手正转 180 度		
X33	机械手反转 180 度		
X34	急停		
X40	单步操作		
X41	返回原点操作		
X42	步进操作		
X43	单周期操作		
X44	连续操作		
X45	返回原点		
X46	启动		
X47	停止		

## 4.3 本章小结

本章是系统硬件设计，分别对电气元件的选择部分、PLC 控制部分的地址和液压部分进行硬件设计。PLC 控制部分则首先阐述了控制方式、设计思路，并对 PLC 的选型及 I/O 点数和地址的分配以及主轴、机械手和刀库与 PLC 的连接。

## 5 系统软件开发

在自动换刀系统控制中，有大量的输入输出和中间的逻辑信号需要处理，这部分工作是由 PLC 来完成的，系统软件根据运行要求及对电气元件保护要求由 PLC 来实现自动换刀系统的逻辑控制。

### 5.1 功能需求分析

#### 1 简单的控制例子

为了说明刀具管理控制软件的功能，现分析一个简单的机床刀具控制例子，希望从数据处理的角度来分析控制程序的功能。

1) 机床配置为：铣床，单主轴，单刀库，1 个双爪交换型机械手用于主轴和刀库间的刀具交换，刀库为链式刀库，用普通电机驱动，由接近开关实现刀位计数。

2) 用户的功能要求：(1) 程序控制进行自动找刀、主轴换刀；(2) 手动控制的刀库、机械手分解动作；(3) 程序生成并维护刀库表，记录刀具和刀库的当前位置；(4) 手动查看、修改刀库表；(5) 手动装卸刀具。

#### 3) 程序的控制过程：

##### ●程序主轴换刀的执行过程<sup>[36]</sup>：

接收用户加工程序中的换刀指令后，首先通知 CNC 中止用户加工程序以等待换刀结束，通知 CNC 定位相关坐标轴到换刀点，定位主轴，然后控制机械手开始预定义的动作序列，将主轴刀具与刀库换刀点刀具进行交换，更新刀库表中被交换的数据项。完成后通知 CNC 继续运行用户加工程序。

##### ●相关手动控制过程：

接收用户的手动控制指令，分别控制对应的运动部件动作，同时更新刀库表中的相关数据项。

##### ●查看、修改刀库表的控制过程：

若接收到用户的查看指令，则将刀库表中相关信息输出到 CNC 屏幕；若接收到修改指令，首先记录用户修改的数据项，再更新刀库表中的相关内容。到修改指令，首先记录用户修改的数据项，再更新刀库表中的相关内容。

## ●装卸刀具:

接收到用户的装刀指令,先读取待装的刀具号,后在刀库表中找空刀位,找到后以此值为参数开始刀库定位,使空刀位定位于装刀位置,通知并等待装刀动作,收到确认信号后程序修改刀库表,将用户指定的刀具号填到刚才的空刀位中:若收到用户的卸刀指令,同样读取待卸的刀具号,在刀库表中找到该刀。找刀后将它定位到卸刀位置,通知并等待卸刀动作,收到确认信号后将该刀号从刀库表中删除。

## 2.一般功能需求

从上面的例子看出:

### 1) 机床用户的总的需求是:

- 刀具信息管理。包括刀具信息的程序自动更新和手动访问或修改;
- 控制刀具运动。包括刀具、刀库等相关部件的手动、自动运动。

### 2) 控制程序需实现刀具信息的综合处理,包括以下功能:

- 用户命令的输入接口。接收 CNC 加工程序指令、用户手动控制指令等;
- 刀库表的管理功能。既提供查找功能,如刀具搜索、空位置搜索和刀库表的更新等,如刀库定位后或刀具交换后对数据的更新;
- 动作的计算和协调。按照用户指令和进程状态决定具体功能执行与否和顺序,实现了功能的同步和互锁。允许执行的,尚需计算其执行参数等。
- 具体动作程序的输出接口。启动刀库定位程序和传送器动作等。

这些软件功能满足了机床最终用户的一般要求,而当设计一个通用刀具管理控制软件时,还要考虑机床最终用户的不同的控制需求和软件的中间用户(即机床制造厂)的使用情况,如实现特殊的控制策略等,因此软件还需要具有较规范的控制接口和更多的功能,以实现其通用化。

## 3.其他需求

由于目前机床及刀库的设计型式多种多样,控制方法也不尽相同,而机床用户越来越注重高生产率,同时希望机床更可靠、更易用,因此刀库管理控制软件除了帮助用户实现对刀具数据及对刀具动作的一般控制外还要满足用户的更高要求,它们呈现出以下特点:

复杂性。如多刀库的配置、多 CNC 通道的用户接口、多刀刀刀具和异型尺寸刀具的支持等;

易用性。如刀具补偿号的自动提供、固定刀具位置编码的兼容和程序中的手动换刀等；

可靠性。如刀具替换、刀具损坏后的处理、刀具寿命监控、不同的刀库定位策略和刀具数据库 I/O 功能等；

高效性。如可变刀具位置编码系统、刀具批量转移、批量装卸、刀具的预先准备和不同的刀具搜索策略等；

## 5.2 软件功能综述

### 1. 刀具相关的信息

软件的一个重要工作就是记录与处理与刀具相关的各种信息。它们包括：

1) 刀具主体信息，如刀具号、替换刀具号、刀具位置占用尺寸、刀具类型和刀具状态等。这些数据描述了一把刀具除刀刃外的主要信息；

2) 刀刃信息，如刀刃类型、刀刃几何尺寸、磨损值、寿命值和刀刃状态等。刀刃指安装在刀具主体上的用于切削加工的部分，一把刀具可能具有数个刀刃，即可以有数项刀刃数据对应于 1 项刀具数据；

3) 刀库主体特征信息，如刀库类型、刀位数量、几何参数、装卸位置、换刀位置和刀库状态等。刀库中具有确定数量的刀位，用于刀具的存放，允许多个刀库的配置；

4) 主轴信息，如主轴编号、刀具号和主轴状态等。主轴能存放一把刀具，用于加工，允许多个主轴；

5) 传送器信息，如手爪状态、手爪位置、传送器的整体状态等。传送器安置于刀库、主轴和过渡位置之间，用于传送刀具；

6) 连接信息，如刀库、主轴间的传送器编号、对应传送器两边部件的传送位置和使用该传送器时刀具的安装方向变化等。连接信息描述了主轴和刀库及其之间传送器的连接关系，唯一对应于机床的实际配置，决定了刀具传送的可能性；

7) 刀位信息，如刀位编号、刀具号、位置类型、刀具尺寸和位置状态等。刀位信息描述了刀库中每个位置的情况；

8) 转换头信息，如几何尺寸和安装方向。转换头即刀具接头，是一种刀具附件，用于改变安装刀具的加工方向；



9) 全局信息, 包括配置数据如: 刀库数量、主轴数量、传送器数量、刀具数量、刀刃数量和刀具最大安装占位; 也包括刀具管理软件的全局配置参数, 如刀具搜索策略、位置搜索策略、刀库定位策略等。

## 2. 软件技术指标

结合分析机床最终用户及机床制造厂对刀具系统的使用现状及需求, 同时借鉴西门子刀具管理软件的功能后, 提出了软件的技术指标:

### 1) 物理对象

多刀库。最多同时控制 6 个刀库和最多 800 个刀位、800 把刀具, 但每刀库最多 200 个刀位, 200 把刀;

阵列式刀库。除了圆盘式和链式刀库外, 允许使用阵列式刀库。可同时控制不同的刀库类型;

2) 种常见的传送器。可控制最多 10 套传送器, 用于刀具传送, 其 2 种类型包括拾刀器型和交换型传送器;

多主轴和多加工位。可以同时进行多个刀具加工, 用于组合机床;

多通道。可将主轴或刀库分别分配到最多 4 个 CNC 通道中, 同时运行; 普通刀具和大型刀具。普通刀具占用 1 个刀位, 大型刀具允许最大占位为  $7 \times 7$  刀位;

多刀刃刀具。指一把刀具同时具备数个刀刃的情况, 每个刀刃都有自己的几何尺寸、寿命和状态值, 加工都是基于单个刀刃而言的。

### 3. 控制特性

刀具替换。目标刀具不存在或不可用时, 程序可以自动使用替换刀具;

刀刃寿命。监控并更新刀刃的使用寿命, 达到极限后刀刃不能使用;

随机刀具定位。实现旧刀的随机还刀, 能达到较高的加工效率;

固定刀具定位。维持刀具与刀位的一一对应关系, 使用直观;

刀位类型。实现刀具的分类存放, 提供一种附加的刀具—刀位匹配;

自动提供 D 号 (D 号指刀具几何尺寸补偿编号)。由软件向 CNC 自动提供刀刃的几何补偿号;

刀具搜索策略。包括刀具替换方式、搜索范围、优先模式和反向替换;

刀位搜索策略。实现对称搜索、向前搜索和向后搜索;

刀库定位策略。对于圆盘或链式刀库可以选择单方向或最短路径定位;

兼容转换头。使用转换头时自动修改刀具补偿值，操作者无须手动输入；  
刀具损坏对策。提供刀具损坏后的数据处理和继续加工的支持；  
动作控制的准并行。提高刀具传送的效率；  
路径自动产生。程序通过计算产生刀具在多刀站间的传送路径。

## 4. 控制功能

刀具搜索。对刀具数据库中的刀具按刀具搜索策略进行查找，为其他功能提供对象刀具的位置信息；

刀位搜索。在刀具数据库中按照指定搜索策略查找指定的位置；

加工位换刀。将准备刀库中的刀具传送到加工位的过程；

刀具准备。将目标刀具传送到准备刀库中换刀位并等待换刀的过程；

后台备刀。控制刀具在后台传送到准备刀库，允许批量处理；

手动刀具。程序换刀时若目标刀具不存在或不可用时，系统进入手动刀具程序，等待操作者手动换刀，随后程序继续运行；

刀具批量转移。控制一批刀具从一刀库到另一刀库的传送；

装刀。控制批量刀具的装刀过程，提供刀库定位和数据处理的支持；

卸刀。控制批量刀具的卸下操作，提供刀库定位和数据处理的支持；

刀库定位。提供几种典型的刀库定位程序的控制方法；

传送器控制。提供 2 种常见传送器的控制；

刀具测量。为机床操作者提供一种简捷的刀具长度、半径测量工具；

零件对刀。为机床操作者提供一种快捷的零件对刀功能。

## 5.3 软件设计目标

本软件的最终目标是为机床制造厂和机床刀库使用者提供功能强、操作方便与性能可靠的管理控制手段。除了实现刀具的基本动作控制和位置记忆外，还应实现以下目标：

### 1. 拓宽刀具管理软件的应用范围

1) 适用于包括车、铣镗和车铣复合机床在内的多种机床应用。这通过软件对车、铣床特性的适应，通过对 CNC 多通道、多主轴功能的适应，也通过对刀具数据库属性和控制方法的设计来实现。

2) 适用于多种刀库配置。不单允许使用包括转塔刀架、圆盘刀库、链式刀库和阵列式刀库在内的多种刀库,也允许使用 2 种常见的刀具交换器用于刀库的连接。另外多种刀库配置也体现在能够实现刀库间的自由连接,并实现多刀库间的刀具自动转移。

3) 支持多种刀具配置。一方面支持用户自定义尺寸的刀具,包括允许不同尺寸刀具的混排,自动处理不同尺寸刀具换刀后的回撤等;另一方面支持多刀刃的刀具特性,提供面向刀刃的刀具补偿和寿命管理。

## 2. 提高刀具处理的自动化水平

1) 缩短刀具动作的执行时间。一方面支持数种找刀和刀库定位策略,减少单一动作的执行时间。另一方面,通过多个任务的准并行执行,可提高批量刀具动作的整体执行效率,减少等待时间<sup>[38]</sup>。

2) 实现批量刀具处理。对主要的刀具动作控制包括刀具准备、换刀、刀具转移和装卸刀具,允许批量化的处理,也允许不同类型的批量处理的混合执行。批量处理的基础是各层次控制指令和参数的队列化处理。

3) 实现刀具在多刀库间的自动传送和回撤。要求实现多刀库环境下的刀具传送路径的自动产生和协调的动作输出。由于刀库连接信息的复杂性,拟采用有向图的广度优先法进行刀具传送路径的计算。

## 3. 提供方便、灵活的功能

1) 实现刀具的方便控制。如刀具补偿号的自动提供、程序中的手动刀具、和替换刀具的兼容。可提高工作效率和减少或弥补操作者编程错误。

2) 提高刀库中刀具排列的灵活性。既允许刀具的随机定位,也允许用户使用刀具位置的固定编码系统。还提供刀位类型对刀具一刀位作出的额外匹配。

3) 提供通用的刀具应用功能。包括刀刃寿命管理、刀具测量功能和零件对刀功能。它们实现了具体刀具功能对刀具数据库的访问和更新。

## 4. 提高系统的可靠性

1) 断电对刀具动作的影响。分析意外断电对正在进行中的刀具动作控制的影响,提出避免或解决错误的对策。

2) 提供刀具损坏的对策。为用户提供快速恢复加工的能力。

## 5. 提高系统的可使用性

- 1) 为用户提供许多可配置的应用参数和功能。包括各个刀库的刀具搜索策略和定位策略。也提供常见刀库的定位控制程序, 常见传送器的控制程序。
- 2) 实现系统的整体化, 便于安装和使用。
- 3) 提供数据库的输入输出功能, 方便用户进行数据备份和恢复。

## 5.4 系统软件的开发

### 1. 用户元件

#### 1) 输入/输出继电器 (X/Y)

输入继电器 (X0—X7, X10—X17, X20—X27, ---) PLC 的输入端子是从外部开关接收信号的窗口。与输入端子连接的输入继电器 (X) 是光电隔离的电子继电器, 其常开触点 (a 触点) 和常闭触点 (b 触点) 的使用次数不限。这些触点在 PLC 内可以自由使用。FX2N 的输入继电器最多可达 256 点, 且不能用程序驱动。

输出继电器 (Y0—Y7, Y10—Y17, Y20—Y27, ---) PLC 的输出端子是向外部负载输出信号的窗口。输出继电器的外部输出触点 (继电器触点、双向可控硅 SSR、晶体管等输出元件) 接到 PLC 的输出端子上。输出继电器的电子常开和常闭触点使用次数不限, 在 PLC 中可以自由使用, 但外部输出触点 (输出元件) 与内部触点的动作有所不同。FX2N 的输出继电器最多可达 256 点<sup>[7][39]</sup>。

2) 辅助继电器 (M) PLC 内有很多辅助继电器。辅助继电器的线圈与输出继电器一样, 由 PLC 内各软元件的触点驱动。辅助继电器的电子常开和常闭触点使用次数不限, 在 PLC 内可以自由使用。但是, 这些触点不能直接驱动外部负载, 外部负载的驱动必须由输出继电器实行。它分为通用辅助继电器、停电保持辅助电器、停电保持专用辅助电器和特殊辅助继电器。

3) 状态元件 (S) 状态元件 S 在步进顺序控制程序的编程中是重要的软元件。它与步进顺控指令 STL 组合使用。它有四种类型: 初始状态 S0—S9, 回零 S10—S19, 通用 S20—S499 和保持 S500—S899。各状态元件的常开和常闭触点在 PLC 内可以自由使用, 使用次数不限。不用步进顺控指令时, 状态元件 (S) 可以作为辅助继电器使用在程序中。

## 华中科技大学硕士学位论文

---

4) 定时器 (T) 定时器在可编程控制器中的作用相当于一个时间继电器, 它有一个设定值寄存器、一个当前值寄存器以及无数个触点。对于每一个定时器, 这三个使用量同一名称, 但使用场合不一样, 其所指也不一样。通常在一个可编程控制器中有几十至数百个定时器, 可用于定时操作。

定时器的动作及元件号 在 PLC 内定时器是根据时钟脉冲累积计时的, 时钟脉冲有 1ms、10ms、100ms, 当所计时间到达值时, 其触点动作。定时器可以用用户程序存储器内的常数 K 作为设定值, 也可以将数据寄存器 (D) 的内容用作设定值。在后一种情况下, 一般使用有停电保持功能的数据寄存器。即使如此, 若锂电池电压降低, 定时器、计数器均可能发生误动作, 须注意。定时器的元件号及其设定值和动作如下: 定时器 (T0—T245) 100 ms 定时器 T0—T199 设定范围: 0.1—3276.7s; 10ms 定时器 T200—T245 设定范围: 0.01—327.67s。定时器线圈 T 的驱动输入接通时, T 的当前值计数器对时钟脉冲进行累积计数, 当该值与设定值 K 相等时, 定时器的输出触点就接通, 即输出触点上在驱动线圈后的定时时间时动作。②积算定时器 (T246—T255) 1ms 积算定时器 T246—T249 设定范围: 0.001—32.767s; 100ms 积算定时器 T250—T255 设定范围: 0.1—3276.7s。定时器线圈 T 的驱动输入接通时, T 的当前值计数器对时钟脉冲进行累积计数, 当该值与设定值 K 相等时, 定时器的输出触点就接通, 即输出触点上在驱动线圈后的定时时间时动作。计数中途即使输入断开或发生停电, 当前值可保持。输入再接通时或复电时, 计数继续进行, 其累积时间达到设定值时, 触点动作。

### 5) 计数器 (C)

内部信号计数器 内部信号计数器是在执行扫描操作时对内部元件 (如 X、Y、M、S、T 和 C) 的信号进行计数的计数器。因此, 其接通 (ON) 时间和断开 (OFF) 时间应比 PLC 的扫描周期稍长, 通常其输入信号频率大约为几个扫描周期。

①16bit 增计数器 (设定值: 1—32767), 有两种类型的 16bit 二进制增计数器, 一种是通用 (C0—C99), 一种是停电保持用 (C100—C199)。设定值 K0 和 K1 含义相同, 即在第一次计数时, 其输出触点动作。使用计数器 C100—C199 时, 即使是停电, 当前值和输出触点的置位/复位状态也能保持。通用/停电保持型计数器数目分配可以

## 华中科技大学硕士学位论文

---

通过参数设置加以改变。②32bit 双向计数器(设定值:-2147483648—+2147483647)。有两种类型的 32bit 增/减计数器,一种是通用计数器(C200—C219),一种是停电保持用(C220—C234)。使用计数器 C220—C234 时,即使是停电,当前值和输出触点的置位/复位状态也能保持。通用/停电保持型计数器数目分配可以通过参数设置加以改变。计数的方向(增计数或减计数)由特殊辅助继电器 M8200—M8234 设定。特殊辅助继电器 M8200—M8234 与计数器 C220—C234 是一一对应关系,当相应的特殊辅助继电器接通时,它对应的计数器为减计数器,当相应的特殊辅助继电器未接通时,它对应的计数器为增计数器。

高速计数器(C235—C255) 虽然 C235—C255 都是高速计数,但它们共享同一个 PLC 上的 6 个高速计数器输入端(X0—X5)。即如果输入已被某个计数器占用,它就不能再用于另一个高速计数器(或其他用途)。也就是说,由于只有 6 个高速计数的输入,因此,最多同时用 6 个高速计数器。另外,还可用比较和直接输出等高速应用功能。高速计数器的选择并不是任意的,它取决于所需计数器的类型及高速输入的端子。

6) 数据寄存器(D) 可编程控制器用于模拟量、位置量、数据 I/O 时,需要许多数据寄存器存储参数及工作数据。这类寄存器数量随机型的不同而不同,较简单的只能进行逻辑控制的机器没有此类寄存器,而高档机中可达数千。

每个数据寄存器都是 16bit (最高位为符号位);可以用两个数据寄存器合并起来存放 32bit 数据(最高位为符号位),称为数据寄存器对。

①通用数据寄存器(D0—D199)(可通过参数设置改为保持型)只要不写入其他数据,已写入的数据不会变化,但是,PLC 状态由运行(RUN)变为停止(STOP)时,全部数据均清零。若将特殊辅助继电器 M8033 置 1,在 PLC 由 RUN 转为 STOP 时,数据可以保持。

②停电保持数据寄存器 D200—D511(可通过参数设置改为通用型)同上,除非改写,否则原有数据不会丢失。无论电源接通与否,PLC 运行与否,其内容也不会变化。在两台 PLC 作点对点的通信时,D490—D509 被用作通信操作。

③停电保持专用数据寄存器 D512—D7999 参数设置无法改变其保持的性质,但

通过参数设置可将 D1000 以后的最多 7000 点设为文件寄存器。

④特殊数据寄存器 D8000—D8255 这些数据寄存器供监控 PLC 中各种元件的运行方式之用，其内容在电源接通（ON）时写入初始化值（全部先清零，然后由系统 ROM 安排写入初始值）。

⑤文件寄存器 D1000—D7999 文件寄存器是一类专用数据寄存器，用于存储大量重要数据，例如采集数据、统计计算数据、控制参数、配方等。FX<sub>2N</sub> 可编程控制器的数据寄存区域，从 D1000 开始，以 500 点为一个子文件，即  $500 \times 14 = 7000$  点作为文件寄存器。D1000—D7999 中不作为文件寄存器的部分，仍可作为一般使用的停电保持型数据寄存器。

## 2. 模块化编程

本系统是集选式控制系统，控制比较复杂，适合采用模块化编程方法，将各个输出信号的属性分类，模块与模块之间的衔接可以用中间寄存器模块来传递信息。系统软件大致分为：返回原点手动操作模块；返回原点模块；步进操作；单周期操作模块；连续操作模块。每部分软件，程序编好并调试正常后，把每一模块直接装到里面，然后进行总程序调试，这样简单明了，在调试总程序时缩短调试时间，因为在调试总程序时，如果程序有错误，就不知道是那部分有问题，调试检查比较困难，而且调试的周期会较长<sup>[40]</sup>。

### 1) 自动换刀的总程序图

#### (1) 逻辑取及输出线圈 (LD/LDI/OUT)

LD、LDI 指令用于将常开、常闭触点接到母线上。可以使用的操作元件为输入继电器 (X)、输出继电器 (Y)、中间继电器 (M)、状态器 (S)、定时器 (T) 和计数器 (C)。OUT 指令是对输出继电器、辅助继电器、定时器、计数器的线圈的驱动指令，对于输入继电器不能使用。可以使用的操作元件为输出继电器 (Y)、中间继电器 (M)、状态器 (S)、定时器 (T) 和计数器 (C)。并行输出指令可多次使用 OUT 指令。

#### (2) 触点串联 (AND/ANI)

AND 逻辑与 常开触点串联连接。可以使用的操作元件为输入继电器 (X)、输出继电器 (Y)、中间继电器 (M)、状态器 (S)、定时器 (T) 和计数器 (C)。

## 华中科技大学硕士学位论文

---

ANI 逻辑与非常闭触点串联连接。可以使用的操作元件为输入继电器 (X)、输出继电器 (Y)、中间继电器 (M)、状态器 (S)、定时器 (T) 和计数器 (C)。

功能指令 FNC00 (CJ 和 CJ (P)) 指令用于跳过顺序程序中的某一部分, 这样可以减少扫描时间, 并使“双线圈操作”成为可能。当输入信号接通时, 程序从该指令步跳到程序所指到的步数。如果输入信号没接通时, 跳转不执行, 程序按原顺序向下执行。跳转时, 被跳过的那部分的指令不执行。即使触点发生变化, 被跳过的那部分指令的线圈的状态也不变。对积算型定时器及计数器的 RESET 指令在跳转程序中时, 即使跳转生效, RESET 指令仍会被执行; 定时器 T192—T199、高速计数器 C235—C255 一经驱动, 即使处理指令被跳过, 也会继续工作, 输出触点也能动作<sup>[10][41]</sup>。

(3) 程序 自动换刀总程序是包含了两种工作状态, 五种工作方式。单步操作程序, 返回原点程序, 步进操作程序, 单周期程序和自动 (连续) 程序的。该五种工作方式均由设置在操作面板上的选择开关来完成的操作。

当选择开关 SA 没有选择单步操作时, 即旋钮没有旋到单步操作时, X40 没有输入信号, X40 常闭触点闭合, 程序跳转到 P1 标志处, 单步 (单一) 操作程序不执行; 当选择开关 SA 没有选择返回原点操作时, 即旋钮没有旋到返回原点操作时, X41 没有输入信号, X41 常闭触点闭合, 程序跳转到 P2 标志处, 返回原点操作程序不执行; 当选择开关 SA 没有选择步进操作时, 即旋钮没有旋到步进操作时, X42 没有输入信号, X42 常闭触点闭合, 程序跳转到 P3 标志处, 步进操作程序不执行<sup>[42]</sup>; 单周期和连续运行是一块程序, 主要区别是当旋钮旋转到连续时, X44 的常开触点闭合, 同时当按下启动按钮时 X46 的常开触点闭合, 给中间继电器 M503 置位, 使程序执行一周期后, 自动执行下一周期程序; 当旋钮旋转到单周期位置时, X43 有输入信号, 使 X43 的常开触点闭合, 或者按下停止按钮时, X47 的常开触点闭合, 对中间继电器 M503 复位 (即 M503 变为 0), 机械手运行一周后, 到原点位置停止下来。

当选择开关旋转到单步操作时, 其它四种工作状态都不得选择, 这时 X40 有输入信号, X40 的常闭触点断开, CJ P1 功能指令就不调转, 就执行单步 (单一) 操作程序, 其它的跳转指令要执行, 即其它的四种工作状态就不在执行之内。同样的其它的工作状态也由选择开关选择执行的工作方式, 其逻辑关系同前面类似, 只执行



一种工作方式，其它四种方式不执行。如图 5.1 换刀总程序流程图所示。

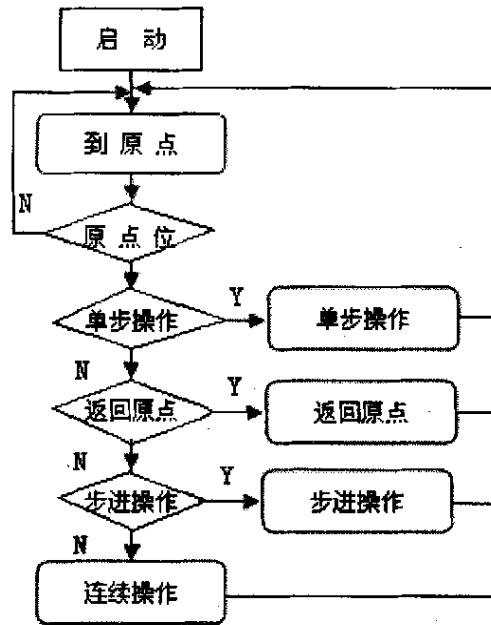


图 5.1 换刀总程序流程图

## 2) 单步操作程序

在没有正抓刀情况下，当有正抓刀输入信号时，在机械手插刀到位信号，主轴紧刀到位信号和机械手正转  $180^\circ$  到位信号都到位时，给机械手正松刀输出信号  $Y_0$ ；在没有正松刀情况下，当有正抓刀输入信号时，在机械手插刀到位信号，主轴紧刀到位信号和机械手反转  $180^\circ$  到位信号都到位时，给机械手正抓刀输出信号  $Y_1$ 。机械手的正抓刀和机械手的正松刀是一对互锁信号，也就是说在机械手处于正抓刀时，不能进行正松刀；同样的机械手处于正松刀时，不能进行正抓刀。在没有负抓刀情况下，当有负松刀输入信号时，在机械手插刀到位信号，机械手反转  $90^\circ$  到位信号和机械手反转  $180^\circ$  到位信号都到位时，给机械手负松刀输出信号  $Y_2$ ；在没有机械手负松刀情况下，当有机械手负抓刀输入信号时，在机械手插刀到位信号，机械手手臂正转  $90^\circ$  到位信号和主轴紧刀到位信号都到位时，给机械手负抓刀输出信号  $Y_3$ ；同样机械手负松刀和机械手负抓刀是一对互锁信号，也就是说在机械手处于负抓刀时，不能进行负松刀；同样的机械手处于负松刀时，不能进行负抓刀。在没有主轴紧刀情况下，当有主轴松刀输入信号时，在机械手插刀到位信号，机械手正转  $180^\circ$  到

信号和机械手抓刀到位信号都到位时，给主轴松刀输入信号 X22 时，PLC 输出主轴松刀信号 Y6；同样主轴松刀和主轴紧刀是一对互锁信号，也就是说在主轴处于松刀时，不能进行主轴紧刀；同样的主轴处于紧刀松刀时，不能进行松刀。

同样的机械手的拔刀和插刀，机械手的手臂正转  $90^\circ$  和反转  $90^\circ$  以及机械手的正转  $180^\circ$  和反转  $180^\circ$  它们两两均为一对互锁信号。对互锁信号的互锁，采用双重互锁，以保证其安全。其一是在软件上采用互锁关系，其二是在硬件上采用互锁。由于互锁信号是接在电磁阀线圈的两端上，一端线圈接通时，执行一信号的动作，而另一端线圈接通时是执行另一个动作。保证其动作的互锁性质。

例如机械手的正抓刀和正松刀互锁关系如图 5.2 机械手的正抓刀和正松刀关系

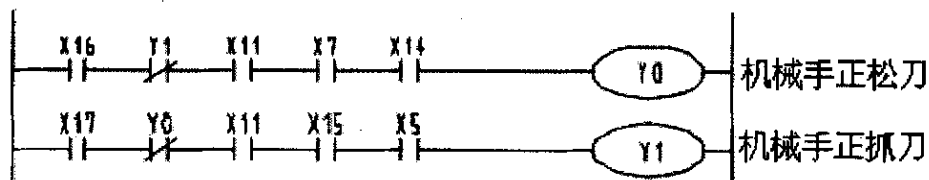


图 5.2 机械手正抓刀和正松刀关系

当机械手处于正松刀时，继电器 Y0 线圈为 1 其常闭触点断开，因此即使 X17、X11、X15 和 X5 触点均闭合，由于 Y0 的常闭触点断开的，所以 Y1 线圈不能得电，使机械手正抓刀动作不能执行。

### 3) 返回原点

#### (1) 自保持与解除 (SET/RST)

SET 置位 令元件自保持为接通 (ON)，可以使用的操作元件为输出继电器 (y)、中间继电器 (M)、状态器 (S)。

RST 复位 令元件自保持为断开 (OFF) 清除数据存储器，可以使用的操作元件为输入继电器 (X)、输出继电器 (y)、中间继电器 (M)、状态器 (S)、定时器 (T) 和计数器 (C)。

(2) 程序 如图 5.3 所示。当 X0 一接通，即使 X0 再变成断开，Y0 也保持接通。X1 接通后，即使 X1 再变成断开，Y0 也将保持断开。对于中间继电器 (M)、状态器 (S) 也是同样。对于同一元件可以多次使用 SET、RST 指令，顺序可任意，但在最后执行的一条才有效。要使数据寄存器 D、变址寄存器 V、Z 的内容清零，也可以用

RST 指令。

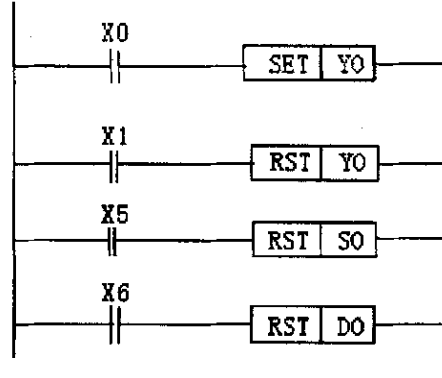


图5.3 SET/RST 指令应用

在“返回原点”方式下，刀库松刀、机械手负抓刀、正转 180°、主轴松刀、机械手正抓刀、正转 90°和拔刀动作应被停止，刀库紧刀、机械手负松刀，反转 180°、主轴紧刀、机械手正松刀、反转 90°和插刀动作未动作时应进行运作并到达其限位才

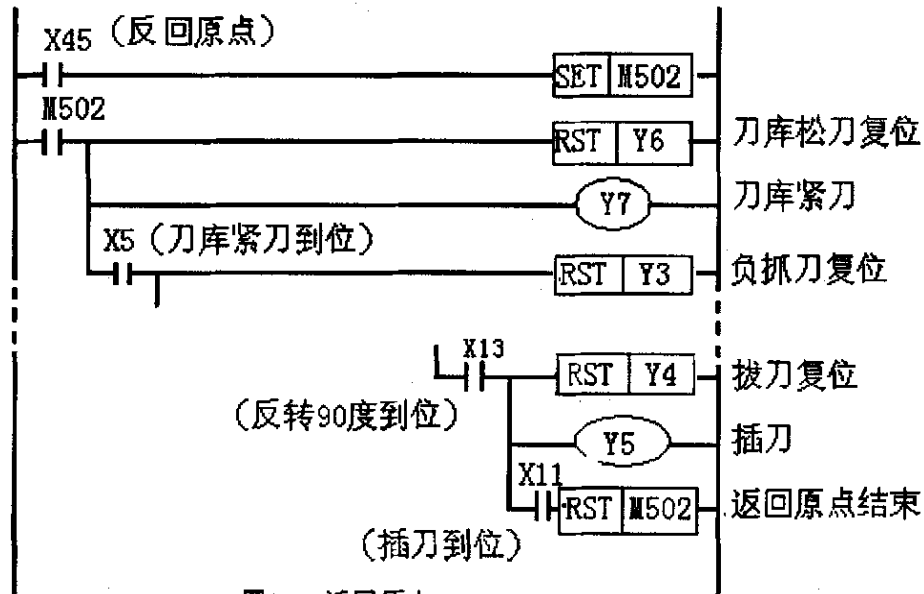


图5.4 返回原点

停止。它们的逻辑关系如图 5.4 返回原点程序图。

在返回原点按钮输入信号后，首先对 M502 置 1，在 M502 置 1 的情况下，才能对执行返回原点以后的程序，M502 为 1 时，对 Y6 复位，使刀库松刀复位，同时给 Y7 输出 1，使刀库紧刀，在刀库紧刀到位信号到时，对 Y3 复位同时使 Y2 为，使机械手负抓刀复位，使其负松刀。在机械手负松刀到位时，对 Y14 复位，同时机械手反转

180°，在机械手反转 180°到位信号到达时，对 Y10 复位，同时使 Y11 为 1 使主轴紧刀；在主轴紧刀到位时 X7 为 1，使 Y1 为 0，机械手正抓刀复位，同时使 Y0 为 1，机械手正紧刀；在正紧刀到位信号到达时 X0 为 1，使 Y12 复位，机械手正转 90°复位，同时使 Y13 为 1，机械手反转 90°；在反转 90°到位时，X13 为 1，使 Y4 机械手拔刀复位，同时 Y5 为 1，使机械手插刀；在机械手插刀到位信号到达时，X11 为 1，使 M502 复位变为 0，M502 复位变为 0 后，这里面的程序不再执行，刀库停在原位，机械手停在原点位置，主轴回到原位，达到要加工的状态，在总程序执行时，由于此条件不满足执行条件，因此它要跳过此段程序，使此段程序不再执行。

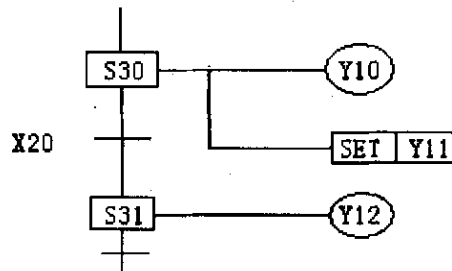
#### 4) 步进操作

##### (1) 步进顺序控制指令 (STL)

用梯形图或指令表编程固然广为电气技术员所接受，但对于一个复杂的控制系统，尤其是顺序控制程序，由于内部的联锁、互动关系极其复杂，其梯形图往往长达数百行，通常要由熟练的电气工程师才能编制出这样的程序。另外，如果在梯形图上不加上注释，则这种梯形图的可读性也会大大降低。

近来，许多生产的 PLC 在梯形图语言之外加上了符合 IEC1131—3 标准的 SFC (Sequential Function Chart) 语言，用于编制复杂的顺序程序。利用这种先进的编程方法，初学者也容易编制出复杂的程序。熟练的电气工程师用这种方法后也能大大提高工作效率。另外，这种方法也为调试、试运行带来难以言传的方便。SFC 语言是一种通用的流程图语言。不同生产的可编程控制器中用 SFC 语言编制的程序极易相互变换。三菱的小型 PLC 在基本逻辑指令之外增加了两条简单的步进顺控指令 (STL, 意为 Step Ladder), 同时辅之以大量元件, 就可以用类似于 SFC 语言的状态转移图方式编程。

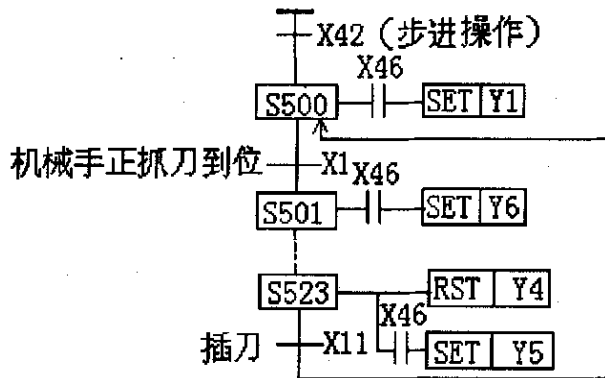
状态的功能 要用继电器梯形图编制顺序控制程序，并且所编制的复杂程序也难以读懂。若机械动作所谓状态转移图表示，则编程就很方便。称为“状态”的软元件是构成状态转移图的重要元素。FX<sub>2N</sub> 系列可编程控制器的软元件中有 900 点状态 (S0—S899) 可用于构成状态转移图。其中 S0—S19 用作特殊目的，如 S0—S9 称为初始状态，是状态转移图中的其始状态。工作原理如图 5.5 状态器工作原理图。



5.5 状态器工作原理图

状态 S30 有效时输出 Y10, Y11 动作, 程序等待转移条件 X20 动作。当 X20 瞬时接通时, 动作状态就从 S30 向 S31 转移。S30 转到 S31, 使 Y10 为 OFF, Y12 为 ON。SET 驱动的 Y11 保持接通。虽然通常用单独触点作为转移条件, 但是实际上, X, Y, M, S, T, C 等各种元件触点的逻辑组合 (复杂的串联、并联) 连接时也可用作转移条件。各种负载 (Y, M, S, T, C) 和功能指令可由“状态”的触点驱动, 也可由各种元件触点的逻辑组合驱动<sup>[10]</sup>。

(2) 步进操作程序 每按一次启动按钮, 机械手按顺序自动向前执行一个工



5.6 状态转移图

步 (或工序) 后最后自动停止在原点位的工作方式<sup>[31]</sup>。当选择开关 SA 旋钮旋至“步进操作”时执行该操作。此方式主要是为调试程序和调试机床的换刀考虑而设置的工作方式。如图 5.5 状态转移图所示。

该方式由于动作顺序比较固定, 因此采用状态器来编程简单方便, 而且很容易写出它的梯形图和程序<sup>[32]</sup>。

## 5) 连续操作和单周期操作

### (1) 功能指令 FNC40 (ZRST)

小型的 PLC 由于运算速度及存储容量的限制，功能自然稍弱。但是为了使 PLC 在其基本逻辑功能、顺序步进功能之外具有更进一步的特殊功能，以尽可能多地满足 PLC 用户的特殊要求，从 20 世纪 80 年代开始，PLC 制造商就逐步地在小型 PLC 中加入一些功能指令 (Functional Instruction) 或称为应用指令 (Applied Instruction)。这些指令实际上就是一个功能不同的子程序。随着芯片技术的进步，小型 PLC 的运算速度、存储量不断增加，其功能指令的功能也越来越强。通过功能指令就成为极容易实现的现实，从而大大提高了 PLC 的实用价值。

ZRST FNC40 区间复位 如图 5.7 ZRST 指令例所示。

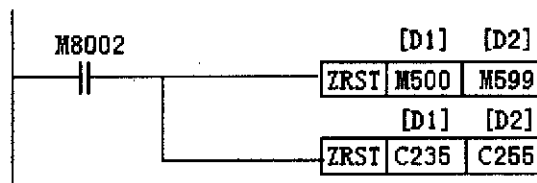


图 5.7 ZRST 指令例

当初始化脉冲 M8002 触点闭合时，位元件 M500—M599 成批复位，字元件 C235—C255 成批复位。可以使用的操作元件：字元件 (T、C、D) 和由位元件组合形成的字元件 (KnX、KnY、KnM、KnS)；位元件 (Y、M 和 S)。

其他的复位指令：①可用 ZRST 指令逐个元件复位；②FNC16 指令 (FMOV) 是对多点写入 K0。利用该指令，可将“0”写入 KnY、KnM、KnS、T、C 和 D。

[D1]和[D2]指定的应为同类元件，[D1]指定的元件应小于等于[D2]指定的元件号。如[D1]号) [D2]号，则只有[D1]指定的元件被复位。虽然 ZRST 作 16bit 指令处理，[D1]、[D2]也可同时指定 32bit 计数器。而[D1][D2]一个指定 16bit、另一个指定 32bit 计数器是不允许的。

(2) 程序 连续操作和单周期操作的梯形图基本一样，差别不大，只是处理稍微有点差别，因此作为一起来处理，这样使程序简单易懂。如图 5.8 自动换刀流程图所示。

机械手从主轴上换下换上刀具的过程 当机械手处于正松刀和负松刀，刀库紧

刀, 主轴紧刀, 机械手反转  $180^\circ$  和机械手处于插刀的情况下, 输出 M503, 当 M503 为 1 时, 做两项工作, 其一是对状态器 S601 到 S630 进行置 0, 其二是对状态器 S601 置 1, 置 1 后, 对正抓刀信号 Y1 置 1, 执行机械手正抓刀, 当正抓刀信号到位后, 状态器 S601 的 1 传送给状态器 S602, 同时状态器 S601 的 1 变为 0, 但是由于正抓刀信号 Y1 是置位信号, 因此 Y1 的 1 保持不变, 使正抓刀信号维持不变。状态器 S602 为 1 时, 对刀库的松刀信号 Y6 置 1, 使刀库执行松刀, 刀库松刀到位信号 X4 为 1, 就将状态器 S602 的 1 送给状态器 S603, 同时状态器 S602 的 1 变为 0, 同样的道理尽管状态器 S602 变为 0, 但是由于刀库的松刀信号 Y6 是置 1 的, 因此 Y6 的 1 保持不变, 使刀库的松刀状态保持不变。状态器 S603 为 1 时, 给机械手的拔刀信号 Y4 置 1, 拔刀信号 Y4 为 1 时, 使机械手将主轴上的刀换到机械手上。当拔刀到位信号到时 X10 为 1, X10 为 1 时, 将状态器 S603 的 1 传送给状态器 S604, 同时状态器 S603 的 1 变为 0, 状态器 S604 为 1 时, 给机械手正转  $90^\circ$  信号 Y12 为 1, Y12 为 1 使机械手正转  $90^\circ$ , 将从刀库上取下的刀具位置移到主轴要换上的刀具的位置, 机械手正转  $90^\circ$  到位信号到达时 X12 为 1, X12 为 1 时, 给状态器 S605 置 1, 给状态器 S605 置 1 时作两件事, 其一是对拔刀信号复位变为 0, 使拔刀信号不在保持; 其二是使插刀信号 Y5 置 1 使机械手插刀。当插刀到位信号 X11 到达时, X11 为 1, 将状态器 S605 的 1 送给状态器 S606, 同时状态器 S605 为 0, S606 为 1 时, 主轴紧刀 Y11 为 1 使主轴紧刀, 主轴紧刀到位信号到达时 X5 为 1, 将 S606 的 1 送给 S607, S607 为 1 时给机械手拔刀信号 Y4 置, 使机械手拔刀, 至此就将刀库的刀换到了主轴上了<sup>[44]</sup>。

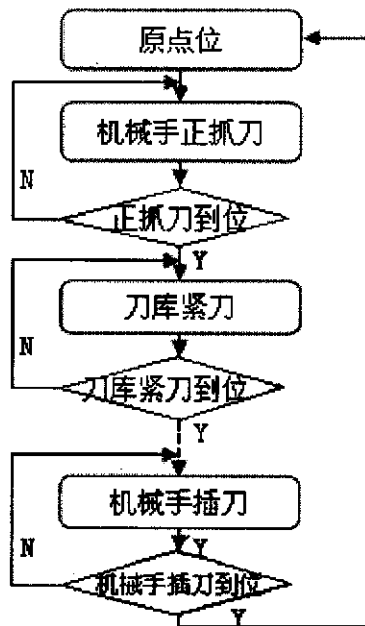


图 5.8 自动换刀程序流程图

机械手上的刀具换到刀库上 当机械手拔刀到位信号 X10 到达时, 将 S607 的 1 送给 S611, S611 为 1 时给机械手正转 180°Y14 置位信号, 使机械手正转 180°机械手正转 180°到位信号 X14 到达时, 将 S611 的 1 送给 S612, S612 为 1 时一方面使拔到信号 Y4 为 0, 另一方面使插刀信号 Y5 为 1, 使机械手插刀, 将机械手上的刀放到刀库上, 插刀到位信号 X11 到位时, S612 的 1 送给 S613, S613 为 1 使刀库紧刀, 刀库紧刀到位信号到达时 X5 为 1, X5 为 1 时, S613 的 1 送给 S614 使 S614 为 1 给机械手松刀信号 Y0 置 1, 同时机械手的紧刀信号复位为 0, 使机械手松刀; 当机械手松刀到达信号 X0 为 1, 将 S614 的 1 送给 S615, S615 为 1 时使插刀信号 Y5 复位, 同时使机械手拔刀信号 Y4 为 1 使机械手拔刀。至此完成了机械手从主轴上换下的刀具换到刀库上了。其详细的过程见图 5.8 自动换刀程序流程图。

单周期和连续操作程序的转换在总程序中可以看出<sup>[46]</sup>, 当连续运行时, 是对 M503 置 1, M503 为 1 时, 程序直接状态器 S601 置 1, 程序直接转向 S601 的状态器, 执行下一步动作, 而单周期时, 是对 S601 复位变为 0, 使程序直接对状态器 S600 置 1, 那程序就还需判断相应的条件, 能否执行下一周期的动作, 在条件满足时才能执行下一周期的动行。

(6) 自动换刀程序, 单周期操作和连续操作程序每一部分程序放到相应位置,



# 华中科技大学硕士学位论文

使用功能指令 FNC00 和 FNC40 的跳转指令进行跳转和对状态器清零。在满足不同条件下，执行不同部分指令，使指令的运行时间减少，增强其执行功能，增大程序容量，其程序处理如图 5.9 连续单周期状态转移图所示。

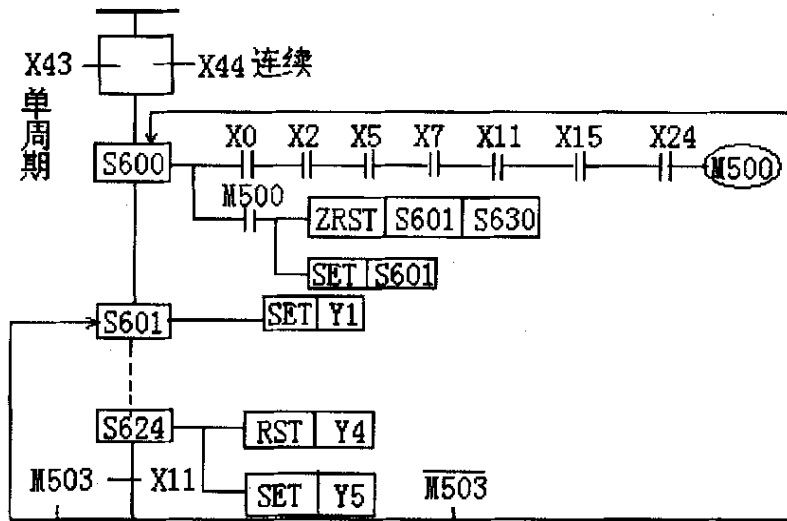


图 5.9 连续单周期状态转移图

## 5.5 本章小结

本章是系统软件部分设计。阐述了功能需求、软件功能综述、软件设计目标和软件的开发。在软件的开发中说明了换刀系统的两个工作方式和五种工作状态，以及系统的软件设计方法，针对系统软件设计特点，设计出了软件总的程序图，提出了模块化编程思想，在介绍每一个模块之前，先说明每一个模块相应要用到的指令，介绍了五种工作状态的梯形图，最后写出了总的系统设计的程序软件。

## 6 自动换刀系统模拟测试及安装

自动换刀系统的 PLC 程序应在未带载情况下模拟调试好，在液压、接触器等输出状态正确后，再将电机接上，模拟调试完成后，则进行现场安装，并进行运行调试，确定参数，完善程序，最后交付运行使用。软件中的程序都经过数控系统上的调试运行，在调试的过程中不但排除了许多小的故障，也更改了多处大的算法或处理思路。

### 6.1 PLC 控制系统对安装的要求

PLC 是专门为工业生产环境而设计的控制装置<sup>[46]</sup>，具有较强的抗干扰能力，一般可直接在工业环境下使用。但是，也必须严格按照 PLC 技术指标规定的条件进行安装、使用，否则就不能保证 PLC 的正常运行。因此，PLC 控制系统在安装过程中应该注意，以提高 PLC 系统的可靠性，保证 PLC 长期正常运行<sup>[47]</sup>。

### 6.2 刀库机械手和主轴的安装调试

在所有的梯形图和程序都设计出来以后，因为都是在理论上进行设计的，并不知能否运用到生产中，而在学校并没有具体的设备能让我们去运用，要检查有没有错，只有通过间接的调试，即通过可编程控制器和其配置进行调试，观察输入输出指示灯来检查其运行，看是否按所设计的那样运行，并得出这个设计所要得到的结果。

因为总程序太长，且有多种运作方式，一次调完的话容易造成混乱，且在出现错误不易检查出错误的地方，这样修改起来就比较困难，因此，采取了分段调试的方法，先把各种运作方式的程序调试出来再把总的合起来调。

安装调试过程是一个比较复杂且耗时间的过程，首先要确定器件型号，选择器件型号除了要考虑机械设备、电压、电流外，还要考虑经济实用及美观问题。所有的器件都准备好后，接下来就是安装，主电路及 PLC 都装在控制柜内，这就要考虑互相干扰的问题，按钮、指示灯或数码显示也按照同样原则接线，所有的元器件都按

照一定的编号安装好后，确保无误后，就可以调试了，由于调试过程中，输入输出点比较多，且完成一个动作所涉及的开关、按钮、输出显示也比较多，所以这里不详细说明，只对动作中一部分加以说明。

## 1. 单步操作指令运行调试

这是一种最简单的调试方法，检查所设计的程序在完成其最简单的控制功能时是否会发生错误。若各种调试无错误，则再用复杂的方法进行调试。单步操作指令运行调试的具体内容如下：在没有机械手正抓刀情况下，按按钮 X16 机械手就应正松刀，同样在没有机械手正松刀情况下，按按钮 X17 机械手就应正抓刀；在没有机械手负抓刀情况下，按按钮 X20 机械手就应负松刀，同样在没有机械手负松刀情况下，按按钮 X21 机械手就应负抓刀。在没有机械手手臂负转  $90^{\circ}$  情况下，按按钮 X30 机械手手臂就应正转  $90^{\circ}$ ，同样在没有机械手手臂正转  $90^{\circ}$  情况下，按按钮 X31 机械手手臂就应负转  $90^{\circ}$ ；在没有机械手负转  $180^{\circ}$  情况下，按按钮 X32 机械手就应正转  $180^{\circ}$ ，同样在没有机械手正转  $180^{\circ}$  情况下，按按钮 X33 机械手就应负转  $180^{\circ}$ 。这由于主轴的松刀和紧刀是一对互锁信号，刀库的松刀和紧刀是一对互锁信号，机械手的插刀和拔刀是一对互锁信号，它们的程序调试与上述方式一样，不再一一叙述。

## 2. 返回原点程序调试

单指令运行调试之后，再下来就是返回原点程序调试，以确保程序再多条指令运行时的正确性<sup>[47]</sup>。此种调试是让刀库机械手和主轴间的回原点，在首先按返回原点按钮 X45，在刀库机械手和主轴中，他们的执行过程是否是按照以下顺序：刀库松刀复位—刀库紧刀—机械手负抓刀复位—机械手负抓刀—机械手正转  $180^{\circ}$  复位—机械手反转  $180^{\circ}$ —主轴松刀复位—主轴紧刀—机械手正抓刀复位—机械手正紧刀—机械手正转  $90^{\circ}$  复位—机械手反转  $90^{\circ}$ —机械手拔刀复位—机械手插刀，最后回到原点。如果是按照上述顺序，就证明是正确的。

## 3. 步进操作程序调试

步进操作程序调试相对来说还是比较简单，在选择步进操作方式情况下，即 X42 为闭合下，按按钮 X46，每按一次它运行一个工步，每按一次它运行一个工步，该工步是根据第三章图 3.2 自动换刀流程图是否一致，即可检验程序是否有问题，从而

进行修正。

#### 4. 复杂运行调试

此种调试是对单周期和自动连续运行程序进行调试。首先调试单周期程序，单周期是在 M503 为 0 情况下进行的，在选择开关旋到单周期位置时，按下启动按钮，系统就应按照图 3.2 自动换刀流程图所示的流程运行，一周最后停止在零点位置。在单周期程序调试好后，再调试连续自动换刀的复杂程序，连续的自动换刀程序是在 M503 为 1 的情况下进行的，在选择开关旋到连续位置时，按下启动按钮，系统就应按照图 3.2 自动换刀流程图所示的流程运行，一周最后在零点位置不停止而且继续进行下去。这种调试最容易发现一些潜在的开始不易发现的问题<sup>[48]</sup>。鉴于这种调试比较复杂，在这里不再举例。

我们现在用的这中软件可以实现程序和梯形图之间的转化，因为一开始是以程序自动换刀系统经过模拟调试后，能实现绝大部分功能，包括：单步操作，返回原点，步进操作，单周期操作和连续操作<sup>[49,50]</sup>。

### 6.3 本章小结

本章首先介绍了可编程控制器控制系统对安装的要求和刀库机械手及主轴的安装调试。在刀库机械手及主轴的安装调试中，介绍了因为总程序太长，且有多种运作方式，一次调完的话容易造成混乱，且在出现错不易检查出错误的地方，这样修改起来就比较困难，因此，采取了分段调试的方法，先把各种运作方式的程序调试出来再把总的合起来调。经过调试该程序已满足设计要求。

## 7 结束语

### 7.1 全文总结

经过几个月的论文工作，本课题的研究工作已经基本告一段落，经过大量的查阅文献、设计、系统资料实现，较好的达到了预期目标。根据数控技术发展的现状，论文主要研究了应用 PLC 技术、继电器控制技术以及计算机安全技术等，并把它们充分应用于数控系统的设计与实现中。现在回顾论文工作有以下几点需要说明：

(1) 论文对机械手、刀库和主轴间的换刀所采用的重要技术，如 PLC、数控等技术进行了分析，并对其优劣进行了讨论。认为无论在操作的可行性和方便性方面，还是在性能上，都是一种实现动态换刀很好的手段。

(2) 论文采用的 PLC 和 CNC 平台基础，以标准接口技术作 RS232 为数据库连接方法，以 PLC 技术作为应用的具体开发手段，设计实现了自动换刀系统的控制。这一方案的选择，不但管理方便，而且有利于系统功能的开发和扩展。

(3) 该系统开发遵循工程技术规范，包括各种技术资料，功能模块。具有良好的动态功能，操作方便，并具有人机界面美观、实用。

(4) 为了保证运行的安全性，我们采取安全措施，对其进行安全保护，有效的保证了系统的安全操作。

(5) 由于时间的限制，本系统在设计与实现过程中还存在如下问题：

首先实验室没有真实的刀库、机械手和主轴，在调试程序的时候，都是模拟的输入输出信号，理论和实际有一定的距离，真实的较大型的加工中心需要几百万的造价，因此在使用过程中有些功能有待完善，目的是使系统的丰富内容被充分使用。

其次是液压部分的压力和实际需要的压力还有一定的差距，不可避免的不可遇见因素没有出现。

本课题以工厂实际的机床电气设计和调试需求出发，研制了一种主要基于 PLC 自动换刀系统的软件。软件的开发经历了方案设计、模块编程、单模块试运行和最终的联合调试。在这些设计过程中进行了许多数控系统试验，并以大量的机床调试和实验工作为基础，不断修正原方案和程序中的错误和不足，使软件达到了预期的

主要技术指标。最后软件被成功应用于机床的换刀控制中，充分证明本课题的研究工作达到了预定目标。本文正是以这些工作为背景，对软件的设计思路和实现方法进行全面的阐述，并结合实际的调试和试验工作作出许多对比分析和结论。

软件中的程序主体是通过 PLC 指令实现的，并且刀具数据库和各种信号也存储在 PLC 内，因此软件是基于 PLC 实现的。随着机床制造厂的进一步发展，机床使用的控制系统将呈现多样化的趋势，自动换刀程序设计将不再局限于 PLC 的范围，很可能会设计为超越硬件平台的通用软件，但其中的基本控制方法将得以继承和扩充。所以在 PLC 上面做出的工作是有意义的。

## 7.2 展望

虽然整个数控加工系统的自动换刀性能还是十分令人满意，取得了阶段性的成功，达到预定的设计要求，但由于开发时间短，软件中必然存在缺陷和错误，下一阶段该课题的主要任务是一方面主动对软件进一步改进，另一方面在厂内自用机床上推广使用，进一步测试和完善软件的可靠性，功能性。在这些性能得到保证后，建议在机床上安装使用，以降低外购成本。就目前看，还需针对以下方面进一步改进软件进行准备：

1. 完善功能。首先需要增加系统的断电对策，增加传感器的自动初始化功能，提高系统的可用性；其次需要跟踪各种机床对刀具换刀系统的特定使用需求，改良软件，增加软件的通用性；再次，全面彻底的测试软件功能，暴露其中的缺陷和错误并加以改正和修正。

2. 改善人机接口。虽然基于 PLC 是软件的一个特色，但它同时带来了人机接口难以处理和不友好的问题，因此目前软件借助 CNC 的参数区和 PLC 信息提示系统初步建立了人机接口。下一步改良方案可以是：

- 1) 使用界面设计程序进行人机接口的界面设计，底层仍然使用 PLC 实现换刀的程序控制。这种方法较好的将软件融合到数控系统中，并可以获得最为满意的使用性；

- 2) 在外部 PC 通过编制的软件实现数据处理，后使用软件的数据输入输出功能传输数据。

3. 增加外部数据处理功能。由于目前通过软件传出的数据具有确定的格式，在 PC 对它们进行再处理是可能的，而这些处理应包括在 PLC 内不便进行的工作，如排序或系统配置等。

#### 4. 将程序扩展到 FANUC 等其他数控系统

目前我国机床使用最多的机床数控系统分别来自于 Siemens、FANUC、FAGOR 和 FIDIA 公司，本软件基于 PLC 也为其转换到 Siemens、FANUC、FAGOR 和 FIDIA 系统提供了理论上的可能性。但转换前还需要充分考虑其 PLC 的程序和数据容量、寻址方式、CNC 指令与 PLC 的接口等问题。

## 致 谢

经过几个月的毕业设计工作，本课题的研究工作已经基本告一段落，经过大量的查阅文献、设计、系统实现较好的达到了预期目标。

鉴于本人所学知识有限，经验不足，又是研究这种复杂的设计，在此过程中难免存在一些错误和不足之处，恳请各位老师给予批评和指正。

本次在课题选题设计和研究过程中，得到了其他老师和同学的帮助及各方面的大力支持，特别我的导师陆永忠老师的大力支持指导，无论从题目的选取审查，还是设计内容的修改，都得到了陆老师的悉心指导和帮助，我要在这里说一声“谢谢您陆老师，您辛苦了！”。导师严谨求实的治学态度、诲人不倦的敬业精神、正直坦荡的为人风范使我受益非浅。谨此向导师致以崇高的敬意和衷心的感谢！使我顺利完成了工程硕士学位论文。



## 参考文献

- [1] 廖效果, 朱启述. 数字控制机床. 武汉: 华中科技大学出版社, 2003, 1: 1
- [2] 张运波. PLC 梯形图设计中的关键技术. 长春工程学院学报, 2000, 1: 30-32
- [3] 卢艳军. 基于软件 PLC 的 I/O 控制研究. 研究·开发, 2005, 6: 21-22
- [4] SYSMAC. Programmable Controller. OMRON Programmable Manual 2003, 5: 26-31
- [5] SYSMAC. Programmable Controller. OMRON INSTALLATION, 2003, 5: 16-19
- [6] 陈达华. 各国 PLC 在工控领域中的应用现状及发展规律. 基础自动化, 1997, 2: 7-16
- [7] 钟肇新. 可编程控制器原理及应用 (第三版). 广州: 华南理工大学出版社, 2002, 3: 3-4
- [8] 刘家亮. “软件 PLC” 的设计与实现研究. 电子机械工程, 2001, 2: 37-40
- [9] MITSUBISHI. Programmable Controller. FX OPERATION MANUAL, 1992, 7: 5-16
- [10] MITSUBISHI. Programmable Controller. FX PROGRAMMABLE MANUAL, 1992, 7: 8-45
- [11] 刘炜. 数控加工中心自动换刀系统. 机床与液压, 2005, 5: 58-59
- [12] MITSUBISHI. 三菱微型可编程控制器. FX2N 使用手册, 1999, 11: 9
- [13] FANUC. PC PROGRAMMER. OPERATOR'S MANUAL, 2003, 9: 13-19
- [14] FANUC. AC SERVO MOTOR. SERIES DESCRIPTIONS 2001, 6: 2-19
- [15] 付愚. 基于 PLC 的液压机械手的控制系统. 湖南工程学院学报, 2005, 6: 53-55
- [16] 樊留群. 数控机床中 NC 与 PLC 的结构及现实. 工业仪表与自动化装置, 1998, 1: 20-23
- [17] 张波. 多功能上下料用机械手液压系统. 液压与气动, 2002, 2: 31-32
- [18] FANUC. AC SERVO UNIT. SERIES DESCRIPTIONS, 2001, 6: 11-28
- [19] FIDIA. THE NEW F1 COPYMILL. POWERFUL and ECONOMICAL, 2001, 8: 8
- [20] FAGOR 8050 MS, MG, M. INSTALLATION AND START-UP. MANUAL, 2003,

## 华中科技大学硕士学位论文

---

- 9: 23
- [21] 唐耀庚. 一种 PLC 系统监控用图形操作终端和开发软件. 电子技术, 2001, 1: 44-46
- [22] FAGOR 8050 MS, MG, M. CNC SYSTEM PROGRAMMABLE MANUAL. 2003, 9: 9
- [23] 宗群. PLC 在变压变频调速电梯控制系统中的应用. 电气传动, 1999, 2: 19-21
- [24] FIDIA. CNC UNIT. DESCRIPTIONS, 2001, 8: 10
- [25] 刘素伦. PLC 在数控定位控制系统中的应用. 应用, 2005, 3: 31-32
- [26] 朱春波. PLC 控制的气动上下料机械手. 液压气动与密封, 1999, 12: 21-24
- [27] John W. Satzinger 等. Systems Analysis and Design in a Changing World (第一版). 北京: 机械工业出版社, 2002, 8: 127-139
- [28] 罗华丽. 开放式数控系统的软件 PLC 技术的研究. 组合机床及自动化加工技术, 2003, 2: 38-40
- [29] Agresti W. New Paradigms for Software Development. IEEE Computer Society Press, Washington, D.C., 1986: 45-51
- [30] Myers Glenford J. To Be Art of Software Testing. Wiley Inter-science, New York, 1979: 23-26
- [31] Miller Edward F Jr. Automated Software Testing: a Technical Perspective. Amer. Programmer, April 1991, Vol. 4, 4: 38-43
- [32] Paul C Jorgensen. 软件测试(第二版). 韩柯译. 北京: 机械工业出版社, 1995.1: 70-117
- [33] 杨春永. 加工中心刀具的微机管理. 机械工艺师, 1995, 6: 20-23
- [34] Roger S. Pressman. 软件工程(第 5 版). 梅宏译. 北京: 机械工业出版社, 2004.1: 389-475
- [35] 郁汉琪. 数控 (NC) 加工中心刀库自动取刀的 PLC 控制. 机床电器, 1997, 4: 22-23
- [36] Bachmann F, Bass L, Klein M. Illuminating the Fundamental Contributors to Software Architecture Design Alternatives, CMU/SEI-2001-TR035. Software Engineering Institute, Carnegie Mellon University, 2001
-

## 华中科技大学硕士学位论文

---

- [37] 秦忆. 现代交流伺服系统(第2版). 武汉: 华中理工大学出版社, 1995, 2: 43-55
- [38] 王焱玉. 数控机床液压机械手的 PLC 控制系统. 机床与液压, 2005, 4: 113-115
- [39] 张燕宾. SPWM 变频调速应用技术(第1版). 北京: 机械工业出版社, 1998, 4: 33-35
- [40] 钱平. 伺服系统(第1版). 北京: 机械工业出版社, 2005, 4: 190-232
- [41] 蒋荣. PLC 在数控加工中心刀库控制中的应用. 南京机械高等专科学校学报, 2000, 4: 10-12
- [42] 王兆安, 黄俊. 电力电子技术(第4版). 北京: 机械工业出版社, 2201.4: 13-35
- [43] Weimin Du, Jim Davis, and Yan-nong Huang et al. Enterprise Workflow Resource Management. HP Laboratories, 1999: 15-20
- [44] 张敬毅. 数控加工中心刀库计数问题的一个解决方案. 机床电器, 2000, 3: 17-18
- [45] Hall, J. IT Groupware Services-Making them Effective. Management Services, Middleware, 2002, 46(7): 22-23
- [46] 黄俊. 电力电子变流技术(第3版). 北京: 机械工业出版社, 2004, 8: 73-175
- [47] Alesina A, and Venturini M GB, Analysis and Design of Optimum-amplitude Nine-switch Direct AC-AC Converters, IEEE Transactions on Power Electronics, 1989, Vol. 4(1): 101-112
- [48] 李仁. 电器控制(第1版). 北京: 机械工业出版社, 2003.1: 65-121
- [49] 张明达. 电力拖动自动控制系统(第4版). 北京: 冶金工业出版社, 2005, 4: 135-163
- [50] Bouman Win, Sheng Olivia R, Liu George, and Joey F et al. A Knowledge-Based Approach to Integrated Office Systems. Journal of Management Information System, 1992, 9(1): 133-164