



新世纪高职高专教改项目成果教材

XINSHIJI GAOZHI GAOZHUAN JIAOGAI XIANGMU CHENGGUO JIAOCAI

机械制造及机电一体化系列

# 机电一体化 综合实践指导

王长春 姜军生 主编



高等教育出版社

新世纪高职高专教改项目成果教材

# 机电一体化综合实践指导

王长春 姜军生 主编

高等教育出版社

## 内容提要

本书是新世纪高职高专教改项目成果教材,是高职高专机电一体化专业系列教材之一,也适用于高职高专数控技术应用专业、机械制造及自动化专业和其他相关专业,也可作为应用型本科相关专业的参考书。

本书共分6章,内容主要包括机电综合实践总论、机电综合实验、机电液综合设计、数控机床伺服系统综合实践及大型综合式平移制动器的拟仿设计、电动刀架及经济型数控机床改造等实例,最后还给出了部分综合实践课题。

## 图书在版编目(CIP)数据

机电一体化综合实践指导 / 王长春, 姜军生主编.  
北京: 高等教育出版社, 2004.7  
ISBN 7-04-014674-6

I. 机... II. ①王...②姜... III. 机电一体化-高等学校-教学参考资料 IV. TH-39

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2004) 第 059373 号

策划编辑 赵 亮 责任编辑 唐 磊 封面设计 于 涛 责任绘图 朱 静  
版式设计 范晓红 责任校对 刘 莉 责任印制 杨 明

出版发行 高等教育出版社  
社 址 北京市西城区德外大街 4 号  
邮政编码 100011  
总 机 010-82028899

购书热线 010-64054588  
免费咨询 800-810-0598  
网 址 <http://www.hep.edu.cn>  
<http://www.hep.com.cn>

经 销 新华书店北京发行所  
印 刷 国防工业出版社印刷厂

开 本 787×1092 1/16  
印 张 9.75  
字 数 230 000  
插 页 1

版 次 2004 年 7 月第 1 版  
印 次 2004 年 7 月第 1 次印刷  
定 价 13.10 元

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题,请到所购图书销售部门联系调换。

版权所有 侵权必究

## 出版说明

为认真贯彻《中共中央国务院关于深化教育改革全面推进素质教育的决定》和《面向 21 世纪教育振兴行动计划》，研究高职高专教育跨世纪发展战略和改革措施，整体推进高职高专教学改革，教育部决定组织实施《新世纪高职高专教育人才培养模式和教学内容体系改革与建设项目计划》（教高[2000]3 号，以下简称《计划》）。《计划》的目标是：“经过五年的努力，初步形成适应社会主义现代化建设需要的具有中国特色的高职高专教育人才培养模式和教学内容体系。”《计划》的研究项目涉及高职高专教育的地位、作用、性质、培养目标、培养模式、教学内容与课程体系、教学方法与手段、教学管理等诸多方面，重点是人才培养模式的改革和教学内容体系的改革，先导是教育思想的改革和教育观念的转变。与此同时，为了贯彻落实《教育部关于加强高职高专教育人才培养工作的意见》（教高[2000]2 号）的精神，教育部高等教育司决定从 2000 年起，在全国各省市的高等职业学校、高等专科学校、成人高等学校以及本科院校的职业技术学院（以下简称高职高专院校）中广泛开展专业教学改革试点工作。其目标是：在全国高职高专院校中，遴选若干专业点，进行以提高人才培养质量为目的、人才培养模式改革与创新为主题的专业教学改革试点，经过几年的努力，力争在全国建成一批特色鲜明、在国内同类教育中具有带头作用的示范专业，推动高职高专教育的改革与发展。

教育部《计划》和专业试点等新世纪高职高专教改项目工作开展以来，各有关高职高专院校投入了大量的人力、物力和财力，在高职高专教育人才培养目标、人才培养模式以及专业设置、课程改革等方面做了大量的研究、探索和实践，取得了不少成果。为使这些教改项目成果能够得以固化并更好地推广，从而总体上提高高职高专教育人才培养的质量，我们组织了有关高职高专院校进行了多次研讨，并从中遴选出了一批较为成熟的成果，组织编写了一批“新世纪高职高专教改项目成果”教材。这些教材结合教改项目成果，反映了最新的教学改革方向，很值得广大高职高专院校借鉴。

新世纪高职高专教改项目成果教材适用于高等职业学校、高等专科学校、成人高校及本科院校举办的二级职业技术学院、继续教育学院和民办高校使用。

高等教育出版社

2002 年 11 月 30 日

## 前 言

本书是新世纪高职高专教改项目成果教材,适用于高职高专机电一体化专业、数控技术应用专业、机械制造及自动化专业和其他相关专业,也可作为应用型本科相关专业的参考书。

机电综合实践是机电一体化专业的重要实践环节,是在学习了“机械设计基础”、“机床数控技术”、“微机原理与接口技术”等课程的基础上,开设的一个综合运用所学知识的实践性环节,主要以实验与设计为主要方式,着重培养和锻炼综合运用机电等各种技术的能力。机电综合实践也是完成工程师基本训练的一个重要的实践性教学环节。它对学生理解、巩固、深化和应用所学理论,培养学生分析问题和解决问题能力有较大的辅助作用。

本课程的特点主要表现在综合性、实用性、实践性强,通过该环节的训练,完成综合运用知识能力和综合实践能力培养。随着机电一体化设备的大量使用,培养掌握机电一体化综合应用能力的高素质人才也越来越重要。

本书编者参阅了大量的资料,结合多年来的实践教学经验,系统介绍了综合实践的组织方法和运行方式,内容涉及机电系统的相关部分器件、分系统的实验和设计以及其他有关内容。

本书共分6章。第1章、第3章的3.2~3.3节、第4章的4.1节、第6章由王长春、王克琦合编,第2章的2.2节、第4章的4.3节和第5章由王克琦编写,第2章的2.1节、第3章的3.4节和第4章的4.2节由赵风雷编写,第3章的3.1节由张鹏编写。第4章的4.4节由王克琦、姜军生合编。王长春、姜军生任主编,并对全书进行统稿;张鹏任副主编。本书由华北航天工业学院赵先仲教授审阅,他对本书提出了许多宝贵的修改意见,在此表示衷心的感谢。在本书的编写过程中还得到了杨祖效教授的大力支持,在此一并致谢。

在全书的编写过程中,参考了近年来机电一体化技术方面的诸多论著和教材,本书编者对参考文献中的各位作者深表谢意。

编 者

2004年2月

# 目 录

|                                   |    |                                              |     |
|-----------------------------------|----|----------------------------------------------|-----|
| <b>第1章 机电综合实践总论</b> .....         | 1  | 4.2 大型综合式平移制动器的<br>拟仿设计 .....                | 52  |
| 1.1 机电综合实践的基本概念 .....             | 1  | 4.3 电动刀架 .....                               | 56  |
| 1.2 机电综合实践的必要性 .....              | 1  | 4.4 经济型数控机床改造实例 .....                        | 75  |
| 1.3 机电综合实践的主要内容<br>与基本要求 .....    | 2  | <b>第5章 数控机床伺服系统综合实践</b> .....                | 93  |
| <b>第2章 机电综合实验</b> .....           | 4  | 5.1 数控机床进给伺服系统机械<br>部分设计计算 .....             | 93  |
| 2.1 机械手的 PLC 编程实验 .....           | 4  | 5.2 数控机床进给伺服系统 .....                         | 106 |
| 2.2 微型计算机控制步进电机<br>实验 .....       | 7  | 5.3 伺服传动系统的动力学方法<br>设计计算 .....               | 131 |
| <b>第3章 机电液综合设计</b> .....          | 13 | <b>第6章 综合实践课题</b> .....                      | 137 |
| 3.1 液压系统的设计 .....                 | 13 | 6.1 激光加工机的设计计算 .....                         | 137 |
| 3.2 机电结合的分析与设计 .....              | 25 | 6.2 数控机床的应用和设计 .....                         | 139 |
| 3.3 机电一体化系统的微型<br>计算机控制系统设计 ..... | 34 | <b>附录 A <math>F_1/F_2</math> 系列 PC</b> ..... | 141 |
| 3.4 可编程控制器控制系统设计 .....            | 39 | <b>附录 B 部分液压元件的型号规格表</b> .....               | 142 |
| <b>第4章 机电综合实践</b> .....           | 45 | <b>参考文献</b> .....                            | 145 |
| 4.1 走迷宫机器人设计 .....                | 45 |                                              |     |

# 第1章 机电综合实践总论

## 1.1 机电综合实践的基本概念

机电综合实践是机械工程类专业尤其是机电一体化专业的重要实践环节,是在学习了“机械设计基础”、“机床数控技术”、“微机原理与接口技术”等课程的基础上,开设的一个综合运用所学知识的实践性环节,主要以实验与设计为主要方式,着重培养和锻炼学生综合运用机电等各种技术的能力。

机电综合实践是对机电一体化系统及其相关部件进行测试与设计的统称,机电一体化技术是从系统工程观点出发,综合运用机械、微电子等有关技术,根据系统功能目标和优化组织结构目标,使机械、电子有机结合,实现系统或产品整体最优的综合性技术。它以智能、动力、结构、运动和感知组成要素为基础,对各组成要素及其间的信息处理、接口耦合、运动传递、物质运动、能量变换机理进行实验和综合设计,使得整个系统有机的结合与综合集成,在系统程序和微电子电路的有序信息流控制下,形成物质和能量的有规则运动,在多功能、高质量、高精度、高可靠性、低能耗意义上实现多种技术功能负荷的最佳系统工程技术。

机电一体化产品或系统种类繁多,涉及技术领域及其技术和结构的复杂程度也不同,大致可分为开发性设计(全新设计)、适应性设计(原理方法相同,仅对功能及结构进行重新设计)和变异性设计(仅改变部分结构尺寸而形成系列)。

机电综合实践是完成工程师基本训练的一个重要的实践性教学环节。它对学生理解、巩固、深化和应用所学理论,培养学生分析问题和解决问题能力,对学生工程概念、劳动观点和群众观点的培养、锻炼,都起着重要的作用。通过机电综合实验和机电一体化系统设计,缩短从学生到工程技术人员差距。

## 1.2 机电综合实践的必要性

本课程的特点主要表现在综合性、实用性、实践性强,通过该环节的训练,完成综合运用知识能力和综合实践能力的培养。

机电一体化技术的本质是将电子技术引入机械控制中,也就是利用传感器检测机械运动,将检测信息输入计算机,计算得到能够实现预期运动的控制信号,由此来控制执行装置。开发计算机软件的任务,就是通过输入计算机的检测信息,计算得到能够实现预期运动的控制信号。另外,若是一件真正意义上的机电一体化产品,则其应具备两个明显特征:一是产品中要有运动机械;二是采用了电子技术,使运动机械实现柔性化和智能化。

采用机电一体化技术的最大作用是扩展新功能,增强柔性。首先,它是众多自动化技术中最重要的一种,如实现过程自动化(PA,即连续体自动化)、机械自动化(FA,即固体自动化)、办公

自动化(OA,即信息自动化)等。其次,机电一体化技术又是按照用户个人的特殊需求来制造、提供产品这一当今最高级供货方式的关键技术。一个机电一体化的系统主要是由机械装置、执行装置、动力源、传感器、计算机这五个要素构成,如机器人就是一个十分典型的机电一体化系统。

现有高职高专学校的教学实验、实训条件落后,实践训练水平有待提高。尽管具备一些专业基础课、专业课的实验设施,但基本上都是以验证性、演示性为主,很少具有本专业的综合性、设计性实验,缺乏融合机与电为一体的大型综合性实验或综合性课程,影响了专业技能和工程实践能力的提高。教学实训设施也大大落后于当今企业,实践训练水平不高,急需采用与企业合作等方式,来全面提高实践教学的水平。

高职教育要保持其自身的特色,必须强化专业方向,充分考虑与地方经济的紧密结合。与此同时,为妥善解决学生择业范围广与针对性强这对矛盾,可设以下几个专门化方向:机械制造及自动化专门化;机电一体化产品开发专门化;数控加工技术专门化;工业机器人专门化。通过设立专门化方向,可完成有针对性的就业前培训。当然,也可根据各校实际情况并结合企业对本专业的人才需求,另行设置其他专门化方向。

具体操作时可把学生分成若干个专门化合作组,由学生自愿选择参与某个合作组。每个合作组完成一个子课题,各子课题可以是同一大课题下的子课题,也可以是独立设置的子课题,合作组之间可以是互相协作的关系,也可以相对独立。子课题按性质不同分以下三类:开发设计型、制造加工型和设计制造综合型。如开发设计型可结合学生的能力安排某个总成的设计,或者某个控制系统的电路制作,或者某个控制系统的程序编制等;制造加工型主要是根据已有的设计,完成零件的机加工、装配和调整工作;设计制造综合型则完成一个简单机电一体化产品或其中一部分设计与制作的全过程。为使学生较全面地掌握知识和技能,应以设计制造综合型为主。

### 1.3 机电综合实践的主要内容与基本要求

#### 1.3.1 综合实践对组织者的要求

针对上述情况,机电综合实践的安排、组织、指导、考核等方面应形成一套较为完整的体系,为此应该做到以下几点。

##### 1. 明确综合实践目的

(1) 使学生验证、加深、巩固和扩大已学过的专业基础理论和专业知识,了解和掌握本专业的实际知识,为后期学习打下基础,提高学习效果。

(2) 培养学生理论联系实际,在实验和设计中,综合运用所学知识分析解决技术问题的方法和能力,提高独立工作能力和合作精神。

##### 2. 固定负责人员,落实组织,巩固、加强实践效果

为便于机电综合实践的顺利进行,并不断完善,应固定一名有一定经验和责任心强的教师负责组织此项工作,其职责是:

(1) 落实综合实践内容。

(2) 制订实践计划。

(3) 检查了解学生进展情况、总结实习经验。

(4) 修订综合实践大纲。

### 3. 完善指导方法、提高综合实践效果、增强学生工作能力

综合实践指导教师的指导质量,直接影响实践效果和学生的培养,指导教师最好是老、中、青三结合。在综合实践实施之前,应与上一届的指导教师座谈,商议本届实践工作如何开展,指导教师针对指导学生的具体情况写出详细的指导计划、指导方法和内容。

#### 1.3.2 机电综合实践的内容与基本要求

##### 1. 设计内容

机电一体化主要涉及机械技术与电气、计算机技术的有机融合,为此设计内容主要以此方面的技术融合作为重点,包括液压系统的设计、伺服控制系统的设计、机电结合的分析与设计、PC控制系统的设计等,完成系统的总体方案的拟定,进给伺服系统机械部分设计、计算机控制系统硬件电路的设计,或完成液压系统的设计,或完成机电结合的分析与设计,或完成PC控制系统设计。另外,还以实例的形式介绍用反求设计的方法解决工程实际问题。

##### 2. 工作量

(1) 机械部分的装配图(A0、A1 图纸一张)。

(2) 微机应用系统电路原理图一张(A1 图纸一张)。

(3) 说明书一份,应包括以下内容:

① 控制系统的总体方案的分析及控制框图。

② 机械部分设计计算、结构设计说明。

③ 硬件电路部分设计说明。

说明书应不少于 6 000 字。

##### 3. 机电综合实验的内容与要求

实验内容主要集中在机械手的 PLC 编程实验与步进电机控制实验两个方面,通过这两个实验,熟悉机电系统的机械结构、控制方式,尤其是通过这些实验,培养学生的综合运用知识的能力,也进一步提高学生的实践动手能力,增强创新意识。

## 第2章 机电综合实验

### 2.1 机械手的 PLC 编程实验

机械手模型由机械结构(滚珠丝杠、导向杆)和电气部分(步进电机、驱动模块、传感器、开关电源等)组成,如图 2.1.1 所示,是 PLC、位置控制等技术有机结合的综合教学实验装置。

#### 2.1.1 实验目的

- (1) 掌握机械手步进控制程序的设计。
- (2) 进一步加强对机械手顺序控制指令的理解和应用。

#### 2.1.2 实验仪器

|               |     |
|---------------|-----|
| PLC 可编程控制器实验台 | 1 台 |
| FX-20P-E 编程器  | 1 台 |
| 编程电缆          | 1 根 |
| 连接导线          | 若干  |

#### 2.1.3 实验内容

机械手的工作示意图如图 2.1.2 所示。

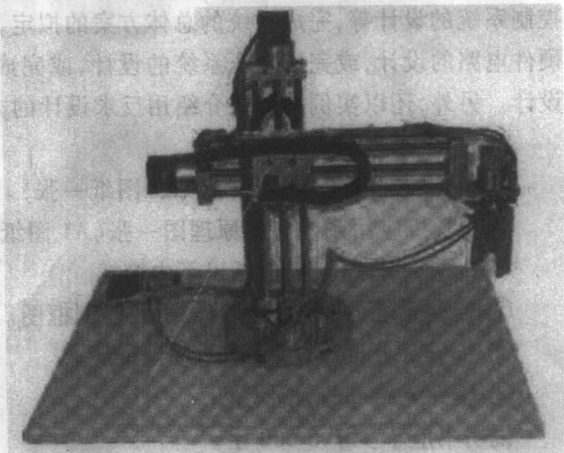


图 2.1.1 示意图

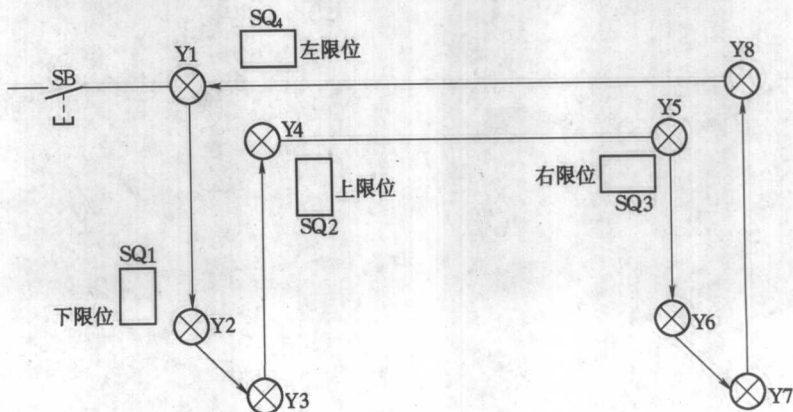


图 2.1.2 机械手的工作动作示意图

### 1. 动作循环过程

开始时,机械手处于原始位置,原点灯 Y1 灯亮(原点),Y7 灯亮(放松),按下启动按钮 SB 后,机械手的顺序动作为:

- (1) 机械手下降:到下限位后(压下行程开关 SQ1,Y1 灯灭,Y2 灯亮)转入第二步。
- (2) 机械手夹紧:延时  $T_1$  后(夹紧灯 Y3 亮,Y2 灯亮)转入第三步。
- (3) 机械手上升:到上限位后(压下行程开关 SQ2,Y2 灯灭,Y3、Y4 灯亮),转入第四步。
- (4) 机械手右行:到右限位后(压下 SQ3,Y4 灯灭,Y2、Y5 灯亮)转入第五步。
- (5) 机械手下降:下降到位后(压下开关 SQ1,Y5 灯灭、Y6 灯亮)转入第六步。
- (6) 机械手放松:延时  $T_2$  后(Y3 灯灭,Y6、Y7 灯亮)转入第七步。
- (7) 机械手上升:上升到位后(压下 SQ2,Y6 灯灭,Y8 灯亮)转入第八步。
- (8) 机械手左移:左移到位后(压下 SQ4,Y8 灯灭,Y1、Y7 灯亮)回到原点,整个循环过程结束。机械手上升、下降、左行、右行分别由输出指示灯 Y12 ~ Y15 表示。

### 2. I/O 地址

|               |     |          |     |
|---------------|-----|----------|-----|
| 输入地址: 启动按钮 SB | X0  | 停止按钮     | X1  |
| 手动/自动         | X2  | 上限开关 SQ2 | X3  |
| 下限开关 SQ1      | X4  | 右限开关 SQ3 | X5  |
| 左限开关 SQ4      | X6  | 手动夹紧     | X7  |
| 手动放松          | X10 | 手动上升     | X11 |
| 手动下降          | X12 | 手动左移     | X13 |
| 手动右移          | X14 |          |     |
| 输出地址: 原点      | Y1  | 放松下降到位   | Y2  |
| 夹紧            | Y3  | 夹紧上升到位   | Y4  |
| 夹紧右移到位        | Y5  | 夹紧下降到位   | Y6  |
| 放松            | Y7  | 放松上升到位   | Y10 |
| 上升            | Y15 | 下降       | Y12 |
| 左移            | Y13 | 右移       | Y14 |

根据设计要求,控制机械手的梯形图如图 2.1.3 所示,控制程序如下:

```
LD      X0
SET     S21
STL     S21
OUT     Y11
LD      X1
SET     S22
STL     S22
OUT     Y2
OUT     T0    K10
RST     Y7
SET     Y3
```

```

LD      T0
SET     S23
STL     S23
OUT     Y12
LD      X2
SET     S24
STL     S24
OUT     Y13
OUT     Y4
LD      X3
SET     S25
STL     S25
OUT     Y5
OUT     Y11
LD      X1
SET     S26
STL     S26
OUT     Y6
OUT     T1
          K10
RST     Y3
SET     Y7
LD      T1
SET     S27
STL     S27
OUT     Y12
LD      X2
SET     S28
STL     S28
OUT     Y8
OUT     Y14
LD      X4
OUT     S0
RET
END

```

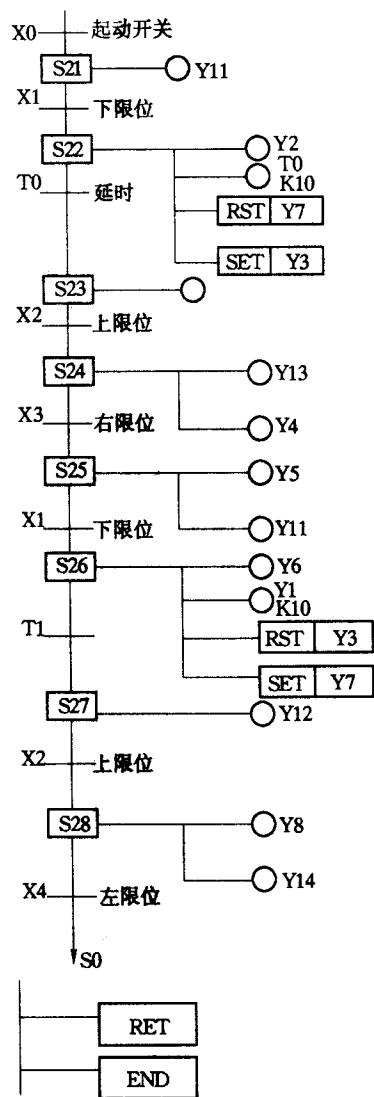


图 2.1.3 机械手的梯形图

#### 2.1.4 实验步骤

(1) 按图 2.1.3 所示步进顺控程序输入至 PLC 中, 仔细检查, 确保输入无误。

(2) 按图 2.1.4 所示的 PLC 实验与机械手演示板连接线路。

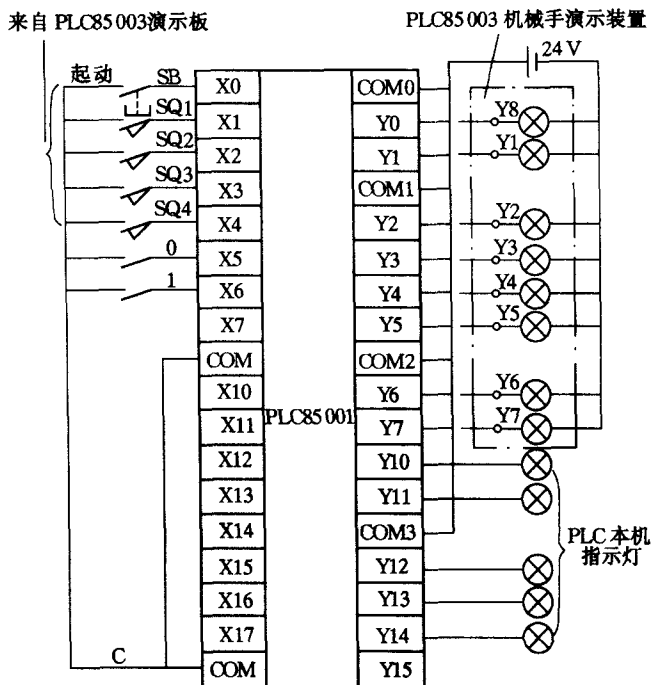


图 2.1.4 PLC 与机械手演示装置接线图

(3) 运行 PLC。

(4) 观察每一步是否正确(和机械手实际工作情况对照),并记录。

### 2.1.5 实验报告要求

(1) 按一定格式完成实验报告。

(2) 若为电磁阀或电动机控制机械手的动作,其实际接口线路又如何?

## 2.2 微型计算机控制步进电机实验

### 2.2.1 实验目的

(1) 学习用微型计算机控制步进电机运行的方法。

(2) 学习软件环形分配器编程方法。

(3) 学习单板机操作方法。

### 2.2.2 实验原理

采用 TP801 单板机控制步进电机运行的原理框图如图 2.2.1 所示。X 向步进电机的 A、B、C 三相绕组分别由 PIO A 口的  $D_0$ 、 $D_1$  和  $D_2$  位控制,Y 向步进电机的 A、B、C 三相绕组则分别由 PIO

的 B 口  $D_0$ 、 $D_1$  和  $D_2$  位控制。当任意一位输出高电平时,相应的一相绕组通电。 $X$  或  $Y$  向电机的三相通电状态可以用 PIO 和 A 口或 B 口的输出数据来控制,一种通电状态对应一个输出数据。若按一定顺序输出通电状态所对应的数据,即可控制步进电机转动。

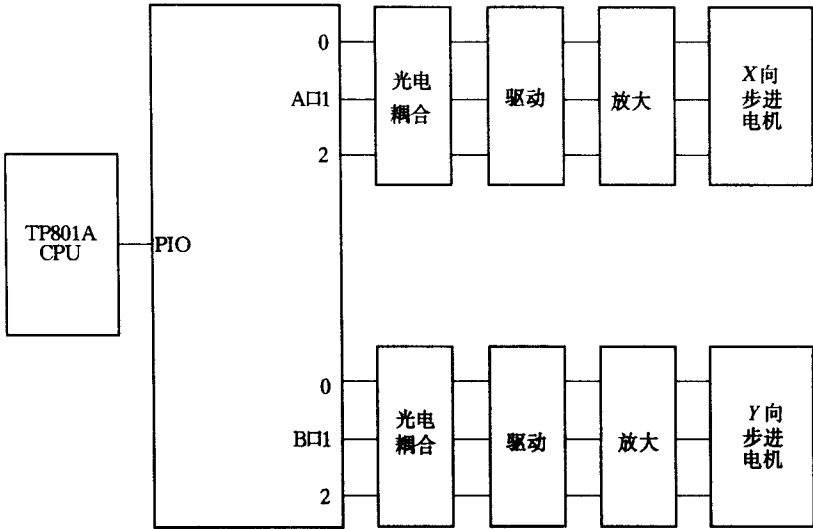


图 2.2.1 微机控制步进电机原理框图

1. 通电状态代码与电机正、反转的实现

三相六拍工作方式的通电状态代码如表 2.2.1 所示。代码按正向顺序输出,步进电机正转;按反向输出时,步进电机反转。

表 2.2.1 步进电机通电状态代码表

| $D_7$ | $D_6$ | $D_5$ | $D_4$ | $D_3$ | $D_2$ | $D_1$ | $D_0$ | 十六进制数 | 通电状态 |
|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------|
| 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 1     | 01H   | A    |
| 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 1     | 1     | 03H   | A B  |
| 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 1     | 0     | 02H   | B    |
| 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 1     | 1     | 0     | 06H   | B C  |
| 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 1     | 0     | 0     | 04H   | C    |
| 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 1     | 0     | 1     | 05H   | C A  |

步进电机的状态码存于 TP801 单板机的内存中,本实验中存于 2800 ~ 2807 单元。从 2800 单元开始依次为 00,01,03,02,06,04,05,00。

若要使  $X$  向电机正转,则 PIO A 口应顺序输出 01→03→02→06→04→05。在输出最后一个状态码 05 后,要修改地址指针,即地址指针重新赋值。其程序框图如图 2.2.2 所示。

2. 步进电机转速控制

改变输出状态代码之间的间隔时间,即可调整电机的转速。间隔时间可由软件延时程序来实现,也可利用 TP801 的 CTC 定时器来实现。

3. 控制字的设置

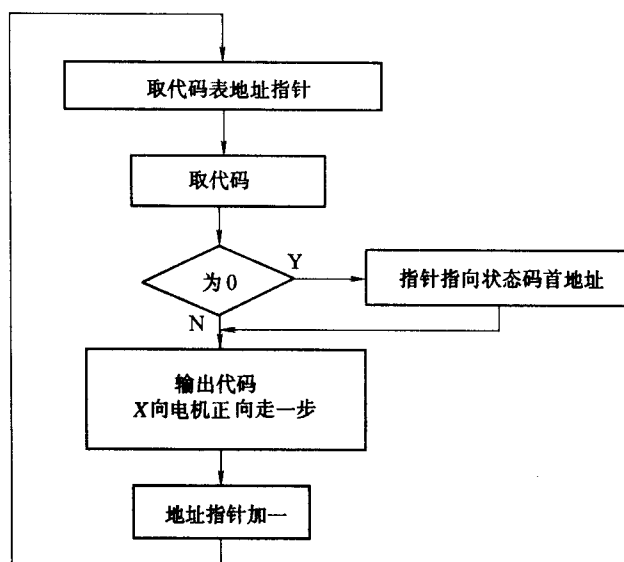


图 2.2.2 电机正转程序框图

控制字 FCW 用来控制步进电机的转动与转向。在本实验中,FCW 占一个字节,并存于 2820 单元。FCW 各位含义如图 2.2.3 所示。

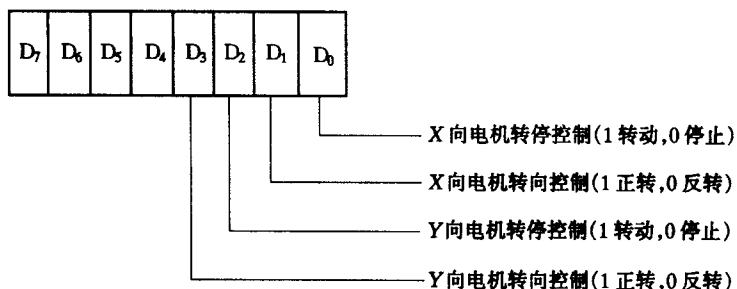


图 2.2.3 控制字 FCW 各位含义

#### 4. 软件环形分配器子程序框图

软件环形分配器子程序框图如图 2.2.4 所示,每调用一次子程序,X 或 Y 向电机转动一个步距角。

### 2.2.3 实验仪器

|           |    |
|-----------|----|
| TP801 单板机 | 一台 |
| 步进电机驱动电源  | 一套 |
| 步进电机      | 两台 |

### 2.2.4 实验内容

(1) 采用 TP801 单板机作为控制机,通过编程控制步进电机运行。

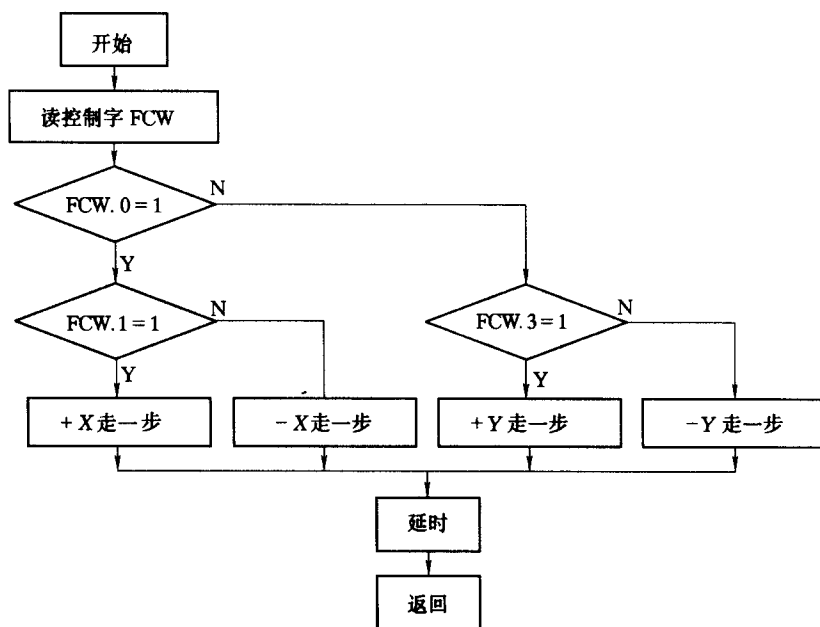


图 2.2.4 软件环形分配器子程序框图

(2) 通过改变参数,达到控制步进电机转向和转速的目的。

### 2.2.5 实验步骤

- (1) 接通电源。
- (2) 将控制字存于 2820 单元,将步进电机通电状态代码存于 2800 ~ 2807 单元。
- (3) 将主程序及软件环分子程序输入 TP801。
- (4) 改变 2820 单元控制字及 2830、2831 单元运动步数,观察其执行过程。

### 2.2.6 思考题

- (1) 如何实现状态代码循环?
- (2) 若延时时间为 20 ms,步进电机转速大约为多少?
- (3) 如何改变电机运行速度? 延时时间能否无限制减小? 如何提高电机运行速度?
- (4) 软件环形分配器有何优缺点?
- (5) 若 Y 向电机改接至 A 口 PA3,PA4,PA5 上,如何修改程序?
- (6) 若采用五相步进电机,状态码如何设置?

### 2.2.7 参考程序

#### 1. 主程序

|      |    |    |    |     |         |               |
|------|----|----|----|-----|---------|---------------|
| 2000 | 31 | B8 | 2F | LD  | SP,2FB8 | ;设置栈底         |
| 2003 | 3E | 0F |    | LD  | A,0F    | ;设 A、B 口为输出状态 |
| 2005 | D3 | 82 |    | OUT | (82),A  |               |

|        |    |    |    |    |              |                 |
|--------|----|----|----|----|--------------|-----------------|
| 2007   | D3 | 83 |    |    | OUT (83),A   |                 |
| 2009   | 3E | 01 |    |    | LD A,01      | ;X,Y向电机初态       |
| 200B   | D3 | 80 |    |    | OUT (80),A   |                 |
| 200D   | D3 | 81 |    |    | OUT (81),A   |                 |
| 200F   | DD | 21 | 01 | 28 | LD IX,2801   | ;赋循环字初值         |
| 2013   | FD | 21 | 01 | 28 | LD IY,2801   |                 |
| 2017   | 21 | 60 | 09 |    | LD HL,0960   | ;存运行步数(对应电机转5圈) |
| 201A   | 22 | 30 | 28 |    | LD(2830),HL  |                 |
| 201D   | CD | 00 | 26 |    | CALL 2600    | ;调电机定子程序        |
| 2020   | 2A | 30 | 28 |    | LD HL,(2830) | ;倒计数,终点判别       |
| 2038   | 2B |    |    |    | DEC HL       |                 |
| 2024   | 22 | 30 | 28 |    | LD (2830),HL |                 |
| 2027   | 7C |    |    |    | LD A,H       |                 |
| 2028   | B5 |    |    |    | OR L         |                 |
| 2029   | 20 | F2 |    |    | JR NZ,201D   |                 |
| 202B   | 76 |    |    |    | HALT         |                 |
| 2. 子程序 |    |    |    |    |              |                 |
| 2600   | F5 |    |    |    | PUSH AF      | ;保护现场           |
| 2601   | C5 |    |    |    | PUSH BC      |                 |
| 2602   | E5 |    |    |    | PUSH HL      |                 |
| 2603   | 21 | 20 | 28 |    | LD HL,2820   | ;FCW 0位为0,转Y向电机 |
| 2606   | CB | 46 |    |    | BIT 0,(HL)   |                 |
| 2608   | 28 | 3E |    |    | JR Z,2648    |                 |
| 260A   | CB | 4E |    |    | BIT 1,(HL)   | ;FCW 1位为0,电机反转  |
| 260C   | 28 | ID |    |    | JR Z,262B    |                 |
| 260E   | DD | 7E | 00 |    | LD A,(IX+00) | ;环行分配(X+)       |
| 2611   | FE | 00 |    |    | CP 00        |                 |
| 2613   | 20 | 07 |    |    | JR NZ,261C   |                 |
| 2615   | DD | 21 | 01 | 28 | LD IX,2801   |                 |
| 2619   | DD | 7E | 00 |    | LD A,(IX+00) |                 |
| 261C   | D3 | 80 |    |    | OUT (80),A   |                 |
| 261E   | 06 | 05 |    |    | LD B,05      | ;延时0.1s         |
| 2620   | CD | 4F | 06 |    | CALL 064F    |                 |
| 2623   | 10 | FB |    |    | DJNZ 2620    |                 |
| 2625   | DD | 23 |    |    | INC IX       |                 |
| 2627   | E1 |    |    |    | POP HL       | ;恢复现场           |
| 2628   | CI |    |    |    | POP BC       |                 |
| 2629   | FI |    |    |    | POP AF       |                 |