

高等学校**应用型特色**规划教材

# PLC 技术及应用

阳同光 李德英 主 编  
陈 钢 蒋冬初 荀 倩 副主编



- ❶ 面向应用型人才培养  
理论知识与实训内容紧密结合
- ❷ 案例导向型的内容设置  
典型案例+实际工作过程+课后习题
- ❸ 立体化的教材体系  
免费提供电子教案、习题答案和相关资料

清华大学出版社



高等学校应用型特色规划教材

# PLC 技术及应用

阳同光 李德英 主 编

陈 钢 蒋冬初 荀 倩 副主编

清华大学出版社

北 京

## 内 容 简 介

可编程控制器是以微处理器为核心,融合计算机技术、自动控制技术和网络通信技术,广泛应用于工业自动化领域的控制装置。

本书全面介绍了 S7-200 的硬件结构、指令系统和编程软件的使用方法;通过大量的实例,介绍了功能指令的使用;介绍了一整套先进、完整的数字量控制梯形图的设计方法。通过工程实例,深入浅出地介绍了触摸屏的组态和应用、组态软件在系统监控和被控对象仿真中的应用,介绍了 PLC、触摸屏和变频器的综合工程应用方法。各章均配有习题。

本书坚持以“够用、实用、会用”为原则,在内容的安排上,理论要求简明扼要,加强实践内容,突出针对性、实用性和先进性,重点帮助读者提升 PLC 应用能力,更好地满足生产实际的需要。

本书适合作为高等学校电气工程、自动化和其他专业的教材,也可作为自学者的参考书,还可作为电气控制领域工程技术人员的参考书。

本书封面贴有清华大学出版社防伪标签,无标签者不得销售。

版权所有,侵权必究。侵权举报电话:010-62782989 13701121933

### 图书在版编目(CIP)数据

PLC 技术及应用/阳同光,李德英主编. —北京:清华大学出版社,2017

(高等学校应用型特色规划教材)

ISBN 978-7-302-48229-1

I. ①P… II. ①阳… ②李… III. ①PLC 技术—高等学校—教材 IV. ①TM571.6

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2017)第 209691 号

责任编辑:陈冬梅

装帧设计:王红强

责任校对:宋延清

责任印制:沈 露

出版发行:清华大学出版社

网 址: <http://www.tup.com.cn>, <http://www.wqbook.com>

地 址:北京清华大学学研大厦 A 座 邮 编:100084

社 总 机:010-62770175 邮 购:010-62786544

投稿与读者服务:010-62776969, [c-service@tup.tsinghua.edu.cn](mailto:c-service@tup.tsinghua.edu.cn)

质量反馈:010-62772015, [zhiliang@tup.tsinghua.edu.cn](mailto:zhiliang@tup.tsinghua.edu.cn)

课件下载: <http://www.tup.com.cn>, 010-62791865

印 装 者:北京鑫海金澳胶印有限公司

经 销:全国新华书店

开 本:185mm×260mm

印 张:14.25 字 数:299 千字

版 次:2017 年 9 月第 1 版

印 次:2017 年 9 月第 1 次印刷

印 数:1~2000

定 价:35.00 元

---

产品编号:076380-01

# 前 言

可编程控制器是以微处理器为核心,融合计算机技术、自动控制技术和网络通信技术,广泛应用于工业自动化领域的控制装置。目前市场上可编程控制器种类繁多,本书以主流品牌西门子系列产品为讲解对象。

本书共分7章,主要为两大部分,分别介绍S7-200系列的基本结构、工作原理及编程指令,以及触摸屏和组态软件的应用等。

本书针对PLC与人机界面(HMI),以详细的工程实例,深入浅出地讲解PLC与触摸屏相结合的系统设计方法。

**第1~4章:**讲解西门子S7-200系列PLC的编程基础、基本指令和程序设计基本方法,通过工程实例详细介绍S7-200的基本指令和功能指令。

**第5章:**介绍触摸屏的基础知识。

**第6章:**介绍组态软件的基本功能和设置方法,并采用项目式的应用实例对组态的基本步骤进行详细讲解。

**第7章:**介绍PLC、触摸屏和变频器的综合应用,涉及画面对象组态、报警功能使用以及配方组态等。

本书的特点如下。

(1) 遵循学生的认知规律,打破传统的学科课程体系,坚持以任务为引领,以相关知识和技能为支撑,以教师为主导,以学生为主体,采用项目式教学形式对PLC知识与技能进行重构,让学生在完成工作任务的过程中学习相关知识,突出学生技能的培养和职业习惯的养成,力求做到教、学、做合一,理论与实践一体化。

(2) 以就业为导向,坚持以“够用、实用、会用”为原则,在内容的安排上,理论要求简明扼要,加强实践内容,突出针对性、实用性和先进性,重点培养学生的PLC应用能力,更好地满足企业岗位的需要。

(3) 全书内容尽可能多地采用图、表来展示各个知识点与任务,做到图文并茂,增强直观效果,提高教材的可读性与可操作性。

(4) 编写内容贴近生产实际,书中所举案例多来自生产设备电气控制的实际电路,每个任务编写完整,不仅有完成的硬件设计、软件设计,还有详细的调试过程。

本书由湖南城市学院阳同光博士、湖南信息学院李德英老师担任主编,三一重工股份有限公司陈钢、湖南城市学院蒋冬初教授、湖州师范学院荀倩老师担任副主编;同时要感谢长沙理工大学付强博士对本书给予的大力支持和帮助。由于编者水平有限,书中难免存在不足与疏漏之处,希望广大读者朋友给予批评指正。

编 者

# 目 录

|                                       |    |
|---------------------------------------|----|
| 第 1 章 可编程控制器概述 .....                  | 1  |
| 1.1 PLC 的产生及发展 .....                  | 1  |
| 1.1.1 PLC 的产生 .....                   | 1  |
| 1.1.2 PLC 的特点 .....                   | 2  |
| 1.1.3 PLC 的发展 .....                   | 4  |
| 1.2 PLC 的基本组成 .....                   | 4  |
| 1.2.1 PLC 的硬件组成 .....                 | 4  |
| 1.2.2 PLC 的软件组成 .....                 | 6  |
| 1.2.3 PLC 与继电器控制系统的<br>比较 .....       | 6  |
| 1.3 PLC 的工作原理 .....                   | 7  |
| 1.3.1 扫描工作方式 .....                    | 7  |
| 1.3.2 工作过程 .....                      | 8  |
| 1.4 PLC 的主要性能指标 .....                 | 9  |
| 本章小结 .....                            | 9  |
| 习题 .....                              | 10 |
| 第 2 章 西门子 S7 系列 PLC 编程<br>基础 .....    | 11 |
| 2.1 概述 .....                          | 11 |
| 2.1.1 西门子 S7 家族 .....                 | 11 |
| 2.1.2 S7-200 系列 CPU 单元的外部<br>结构 ..... | 14 |
| 2.1.3 S7-200 的主要技术指标 .....            | 15 |
| 2.1.4 PLC 的外部端子 .....                 | 15 |
| 2.1.5 可编程控制器的硬件组成 .....               | 17 |
| 2.2 S7-200 系列 PLC 的内部元器件 .....        | 19 |
| 2.2.1 数据存储类型 .....                    | 20 |
| 2.2.2 数据的编址方式 .....                   | 21 |
| 2.2.3 PLC 内部元器件及编址 .....              | 21 |
| 2.3 S7-200 CPU 存储器区域的寻址<br>方式 .....   | 24 |
| 2.3.1 CPU 存储区域的直接寻址<br>方式 .....       | 24 |

|                                      |    |
|--------------------------------------|----|
| 2.3.2 CPU 存储区域的间接寻址<br>方式 .....      | 25 |
| 本章小结 .....                           | 26 |
| 习题 .....                             | 27 |
| 第 3 章 S7-200 系列 PLC 的指令<br>及应用 ..... | 28 |
| 3.1 基本逻辑指令 .....                     | 28 |
| 3.1.1 位逻辑指令 .....                    | 29 |
| 3.1.2 逻辑堆栈指令 .....                   | 31 |
| 3.1.3 定时器指令 .....                    | 33 |
| 3.1.4 计数器 .....                      | 36 |
| 3.1.5 比较指令 .....                     | 38 |
| 3.2 程序控制指令 .....                     | 39 |
| 3.2.1 跳转及标号指令 .....                  | 40 |
| 3.2.2 结束及暂停指令 .....                  | 40 |
| 3.2.3 看门狗指令 .....                    | 41 |
| 3.2.4 循环指令 .....                     | 42 |
| 3.2.5 子程序 .....                      | 44 |
| 3.2.6 与 ENO 指令 .....                 | 47 |
| 3.3 功能指令 .....                       | 47 |
| 3.3.1 数据处理指令 .....                   | 47 |
| 3.3.2 运算和数学指令 .....                  | 52 |
| 3.4 梯形图编程的基本规则 .....                 | 60 |
| 3.5 应用举例：三相电动机点动 PLC<br>控制系统 .....   | 61 |
| 本章小结 .....                           | 73 |
| 习题 .....                             | 74 |

|                            |    |
|----------------------------|----|
| 第 4 章 PLC 应用系统的设计 .....    | 77 |
| 4.1 PLC 系统设计的内容和步骤 .....   | 77 |
| 4.1.1 PLC 系统设计的原则和内容 ..... | 77 |
| 4.1.2 PLC 系统设计的步骤 .....    | 78 |
| 4.2 PLC 的硬件与软件设计 .....     | 79 |
| 4.2.1 PLC 的硬件设计 .....      | 79 |



|                                     |            |                                          |            |
|-------------------------------------|------------|------------------------------------------|------------|
| 4.2.2 PLC 的软件设计 .....               | 81         | 6.4.6 管道与阀门组态 .....                      | 121        |
| 4.3 PLC 程序的设计方法 .....               | 82         | 6.4.7 趋势视图组态 .....                       | 122        |
| 4.3.1 图解法编程 .....                   | 82         | 6.4.8 配方组态 .....                         | 123        |
| 4.3.2 经验设计法 .....                   | 83         | 6.4.9 动画组态 .....                         | 124        |
| 4.3.3 逻辑设计法 .....                   | 84         | 6.4.10 变量指针组态 .....                      | 126        |
| 4.4 应用举例 .....                      | 84         | 6.5 报警与用户管理 .....                        | 130        |
| 4.4.1 交通灯控制系统 .....                 | 84         | 6.5.1 报警组态 .....                         | 132        |
| 4.4.2 混料罐控制系统 .....                 | 87         | 6.5.2 用户管理组态 .....                       | 133        |
| 本章小结 .....                          | 90         | 6.6 应用实例 .....                           | 137        |
| 习题 .....                            | 91         | 6.6.1 循环灯控制 .....                        | 137        |
| <b>第 5 章 触摸屏基础 .....</b>            | <b>92</b>  | 6.6.2 用触摸屏实现参数的设置与<br>故障报警 .....         | 142        |
| 5.1 人机界面的概述 .....                   | 92         | 6.6.3 多种液体的混合模拟控制 .....                  | 153        |
| 5.2 人机界面的功能 .....                   | 92         | 6.6.4 PLC 与触摸屏的综合运用 .....                | 160        |
| 5.3 西门子人机界面设备简介 .....               | 93         | 本章小结 .....                               | 168        |
| 5.4 应用举例：用触摸屏实现电动机<br>启动/停止控制 ..... | 97         | 习题 .....                                 | 168        |
| 本章小结 .....                          | 102        | <b>第 7 章 触摸屏、PLC、变频器的综合<br/>应用 .....</b> | <b>170</b> |
| 习题 .....                            | 102        | 7.1 电动机变频调速与故障报警 .....                   | 170        |
| <b>第 6 章 触摸屏组态软件 .....</b>          | <b>103</b> | 7.2 基于 PLC、触摸屏的温度控制 .....                | 183        |
| 6.1 WinCC flexible 简介 .....         | 103        | 7.3 基于 PLC、变频器和触摸屏的水位<br>控制 .....        | 193        |
| 6.2 触摸屏的组态与运行 .....                 | 106        | 7.4 基于 PLC 和触摸屏的混凝土<br>搅拌站的控制 .....      | 206        |
| 6.3 组态项目：变量组态 .....                 | 106        | 本章小结 .....                               | 218        |
| 6.4 画面对象组态 .....                    | 107        | 习题 .....                                 | 219        |
| 6.4.1 IO 域组态 .....                  | 107        | <b>参考文献 .....</b>                        | <b>220</b> |
| 6.4.2 按钮组态 .....                    | 110        |                                          |            |
| 6.4.3 指示灯组态 .....                   | 114        |                                          |            |
| 6.4.4 文本列表和图形列表组态 .....             | 116        |                                          |            |
| 6.4.5 棒图组态 .....                    | 119        |                                          |            |

# 第 1 章 可编程控制器概述

## 本章要点

可编程控制器(Programmable Logical Controller, PLC)是以微处理器为核心,结合计算机技术、自动化技术和通信技术发展起来的一种通用自动控制装置,广泛地应用于机械、冶金、能源、化工、石油、交通、电力等领域。本章主要讲述 PLC 的产生、定义、特点及发展,以及 PLC 的发展趋势、基本组成、工作原理、主要性能指标。

## 学习目标

- 了解 PLC 的组成及工作原理。
- 了解 PLC 的发展趋势。
- 掌握 PLC 与继电器接触式控制系统的异同。

## 1.1 PLC 的产生及发展

可编程控制器是现代制造业为适应市场需要和提高竞争力,在生产设备和自动化生产线上对柔性、可靠性和产能方面提出更高要求的背景下应运而生的新型工业控制装置。它综合了计算机技术、自动控制技术和通信技术等,实现了控制装置的三电一体化,是当代工业生产水平的重要标志之一。

### 1.1.1 PLC 的产生

早期的自动化生产设备基本上都是采用继电器控制方式,系统复杂程度不高、自动化水平有限。这种控制系统具有结构简单、价格低廉、容易操作等优点,适用于工作模式固定、要求比较简单的场合,目前应用仍然比较广泛。

随着工业生产的迅速发展,市场竞争更加激烈,产品更新换代的周期日趋缩短。由于传统的继电器控制系统存在设计制造周期长、维修和改变控制逻辑困难等缺点,越来越不能适应工业现代化发展的需要。因此,研制既具有继电器控制系统的优点,又能做到可靠性高、易于维护、开发周期短且能满足控制功能和产品多样化要求的控制器,就显得极为迫切。

电子技术和计算机技术的发展为满足这种需求提供了可能。1968 年,美国通用汽车公司(GM)对外公开招标,要求用新的电气控制装置取代继电器控制系统,以适应迅速改变生产程序的要求。该公司对新的控制系统提出了 10 项指标。

- (1) 编程方便,可现场编辑和修改程序。
- (2) 维修方便,采用插件式结构。
- (3) 可靠性要高于继电器控制系统。
- (4) 体积要明显小于继电器控制柜。



- (5) 具有数据通信功能。
- (6) 价格便宜, 其性价比明显高于继电器控制系统。
- (7) 输入可为 AC 115V。
- (8) 输出可为 AC 115V, 2A 以上, 可直接驱动接触器、电磁阀等。
- (9) 扩展时, 原系统改变最少。
- (10) 用户存储器大于 4KB。

这 10 项指标实际上就是现在 PLC 的最基本的功能。其核心要求可归纳为 4 点。

第一, 用计算机代替继电器控制盘。

第二, 用程序代替硬接线。

第三, 输入/输出电平可与外部装置直接相联。

第四, 结构易于扩展。

1969 年, 第一台 PLC 在美国的数字设备公司(DEC)制成, 并成功地应用到美国通用汽车公司(GM)生产线上, 它既有继电器控制系统的外部特性, 又有计算机的可编程性、通用性和灵活性, 开创了 PLC 的新纪元。

20 世纪 70 年代中期, 随着大规模集成电路和微型计算机技术的发展, 美国、日本、德国等国把微处理器引入 PLC, 使 PLC 在继电器控制和计算机控制的基础上, 逐渐发展为以微处理器为核心, 把自动化技术、计算机技术、通信技术融为一体的新型自动控制装置。而且在编程方面采用了面向生产、面向用户的语言, 打破了以往必须由具有计算机专业知识的人员使用计算机编程的限制, 使广大工程技术人员和具有电工知识的人员乐于接受和应用, 所以得到了迅速的推广。

PLC 未来的发展不仅依赖于对新产品的开发, 还在于 PLC 与其他工业控制设备和工厂管理技术的综合。无疑, PLC 在今后的工业自动化中将扮演重要的角色。

可编程控制器简称为 PLC, 它是在电气控制技术和计算机技术的基础上开发出来的, 并逐渐发展成为以微处理器为核心, 综合了计算机技术、自动控制技术和通信技术的新型工业自动控制装置。PLC 在机械、冶金、能源、化工、石油、交通、电力等领域中的应用非常广泛。

1987 年, 国际电工委员会(IEC)在颁布可编程序控制器标准草案时, 对可编程控制器定义如下: “可编程序控制器是一种以数字运算操作的电子系统, 专为在工业环境下应用而设计。它采用可编程序的存储器, 用于在其内部存储执行逻辑运算、顺序控制、定时、计数和算术运算等的面向用户的指令, 并通过数字式和模拟式的输入和输出, 控制各种类型的机械设备或生产过程。PLC 及其有关外围设备, 都应按易于与工业系统连成一个整体、易于扩充其功能的原则进行设计。”

### 1.1.2 PLC 的特点

PLC 是面向用户的、专为在工业环境下应用而设计的专用计算机, 它具有以下几个显著的特点。

#### 1. 可靠性高, 抗干扰能力强

由于可编程序控制器是专为工业控制而设计的, 所以除了对元器件进行筛选外, 在软

件和硬件上都采用了很多抗干扰的措施,如内部采用屏蔽、优化的开关电源,具有光耦合隔离,采用了滤波、冗余技术,具备自诊断故障、自动恢复等功能,采用了由半导体电路组成的电子组件,这些电路充当的软继电器等开关是无触点的,如存储器、触发器的状态转换均无触点,极大地增加了控制系统整体的可靠性。而继电器、接触器等硬器件使用的是机械触点开关,所以两者的可靠程度是无法比拟的。

可编程序控制器还采用循环扫描的工作方式,所以能在很大程度上减少软故障的发生。有些高档的 PLC 中,还采用了双 CPU 模块并行工作的方式。即使 CPU 出现一个故障,系统也能正常工作,同时,还可以修复或更换有故障的 CPU 模块;一般可编程序控制器的平均无故障时间能达到几万小时,甚至可达几十万个小时。

## 2. 编程简单、直观

PLC 是面向用户、面向现场的,考虑到大多数电气技术人员熟悉继电器控制线路的特点,在 PLC 的设计上,没有采用微机控制中常用的汇编语言,而是采用一种面向控制过程的梯形图语言。梯形图语言与继电器原理图类似,形象直观,易学易懂。电气工程师和具有一定知识的电工工艺人员都可以在很短的时间内学会。PLC 继承了计算机控制技术和传统的继电器控制技术的优点,使用起来灵活方便。近年来,又发展了面向对象的顺控流程图语言(Sequential Function Chart, SFC),使编程更加简单方便。

## 3. 控制功能强

PLC 除具有基本的逻辑控制、定时、计数、算术运算等功能外,配上特殊的功能模块还可实现位控制、PID 运算、过程控制、数字控制等功能。

PLC 可连接成为功能很强的网络系统,低速网络的传输距离达 500~2500m,高速网络的传输距离为 500~1000m,网上节点可达 1024 个,并且高速网络和低速网络可以级联,兼容性好。

## 4. 易于安装,便于维护

PLC 安装简单,其相对较小的体积,使之能安装在通常继电器控制箱一半的空间中。在从继电器控制系统改造到 PLC 系统的情况下,PLC 小的模块结构使之能安装在继电器箱附近,并将连线接向已有的接线端,而且改换很方便,只要将 PLC 的输入/输出端子连向已有的接线端子排即可。

在大型 PLC 系统的安装中,远程输入/输出站安置在最优地点,远程 I/O 站通过同轴电缆和双扭线连向 CPU,这种配置大大减少了物料和劳力,远程子系统也意味着系统不同部分可在到达安装场地前由 PLC 工程商预先连好线,这一做法大大减少了电气技术人员的现场安装时间。

从一开始,PLC 便以易维护作为设计目标。由于几乎所有的器件都是模块化的,维护时,只须更换模块级插入式部件,故障检测电路将诊断指示器嵌在每一部件中,能指示器件是否正常工作,借助于编程设备,可以观察到输入/输出是 ON 还是 OFF,还可以通过写编程指令来报告故障。

总之,在工业应用中使用 PLC 的优点是显而易见的。通过 PLC 的使用,可以使用户获得高性能、高可靠性带来的高质量和低成本。



### 1.1.3 PLC 的发展

可编程序控制器的发展方向：目前 PLC 的发展方向主要有两个。

一是朝着小型化、简易、廉价化方向发展。单片机技术的发展，促进了 PLC 向紧凑型发展，体积减小，价格降低，可靠性不断提高。这种小型的 PLC 可以广泛取代继电器控制系统，应用于单机控制和小型生产线的控制等。

二是朝着标准化、系列化、智能化、高速化、大容量化、网络化方向发展，这将使 PLC 功能更强，可靠性更高，使用更方便，适用面更广。大型的 PLC 一般为多微处理器系统，有较大的存储能力和功能强劲的输入/输出接口。通过丰富的智能外设接口，可以实现流量、温度、压力、位置等闭环控制；通过网络接口，可级联不同类型的 PLC 和计算机，从而组成控制范围很大的局域网络，适用于大型的自动化控制系统。

## 1.2 PLC 的基本组成

可编程序控制器的基本组成包括硬件和软件两部分。

### 1.2.1 PLC 的硬件组成

PLC 的硬件组成包括中央处理器(CPU)、存储器(RAM、ROM)、输入输出(I/O)接口、编程设备、通信接口、电源和其他一些电路。PLC 的硬件结构如图 1-1 所示。

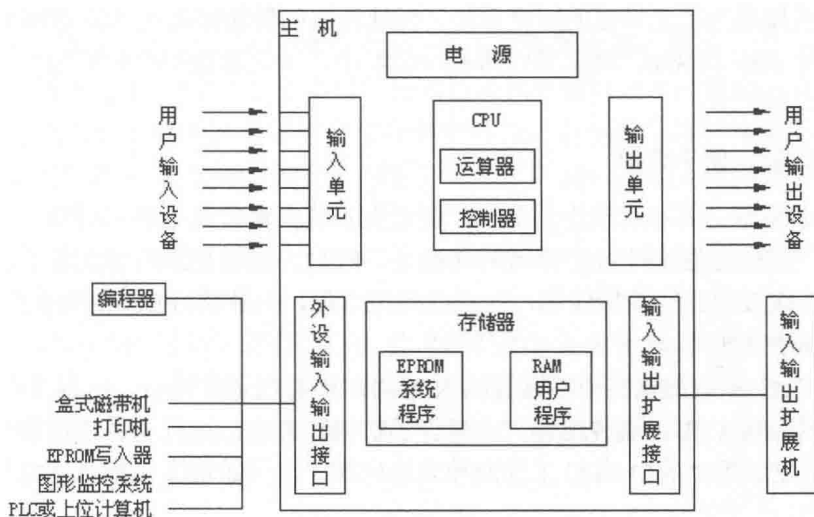


图 1-1 PLC 的硬件结构

#### 1. 中央处理单元

中央处理单元(CPU)是 PLC 的核心部件，整个 PLC 的工作过程都是在中央处理器的统一指挥和协调下进行的，它的主要任务是在系统程序的控制下，完成逻辑运算、数学运算，协调系统内部各部分的工作等，然后根据用户所编制的应用程序的要求去处理有关数

据，最后，向被控制对象送出相应的控制(驱动)信号。

2. 存储器

存储器是 PLC 用来存放系统程序、用户程序、逻辑变量及运算数据的单元。

存储器的类型有可读/可写操作的随机存储器(RAM)和只读存储器(ROM、PROM、EPEOM 和 EEPROM)。

3. 输入/输出接口

输入/输出(I/O)是 PLC 与工业控制现场各类信号连接的部件。PLC 通过输入接口，把工业现场的状态信息读入，输入部件接收的是从开关、按钮、继电器触点和传感器等输入的现场控制信号，通过用户程序的运算与操作，对输入信号进行滤波、隔离、电平转换等，把输入信号的逻辑值准确、可靠地传入 PLC 内部，并将这些信号转换成中央处理单元能接收和处理的数字信号，把结果通过输出接口输出给执行机构。

PLC 通过输出接口，接收经过中央处理单元处理的数字信号，并把它转换成被控制设备或显示装置能接收的电压或电流信号，从而驱动接触器、电磁阀和指示器件等。

PLC 的输入输出等效电路如图 1-2 所示。

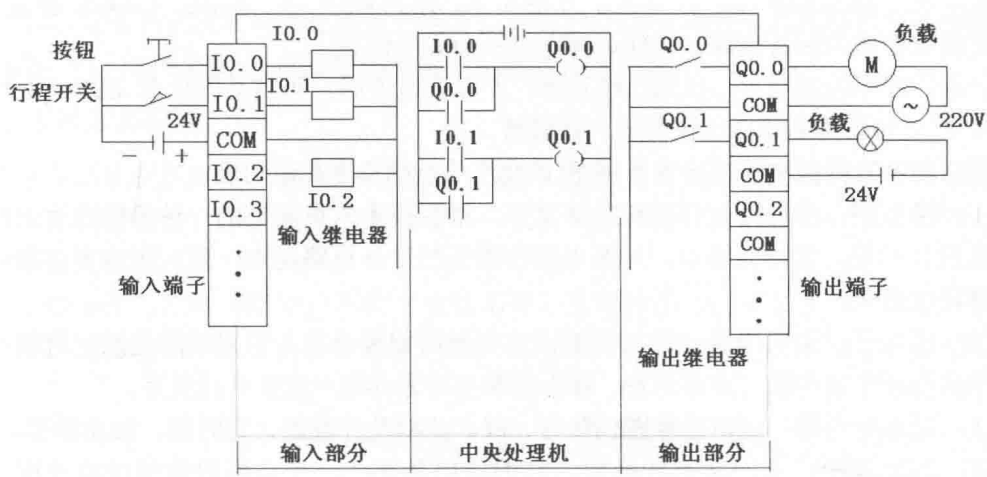


图 1-2 PLC 的输入输出等效电路

4. 电源模块

电源模块是把交流电转换成直流电的装置，它向 PLC 提供所需要的高质量直流电源。可编程控制器的电源包括对各工作单元供电的开关稳压电源和掉电保护电源。PLC 的电源与普通电源相比，其稳定性好、抗干扰能力强。许多 PLC 还向外提供 DC 24V 稳压电源，用于对外部传感器供电。

5. 编程器

编程器是 PLC 必不可少的重要外围设备。它的主要作用是编写、输入、调试用户程序，还可用来在线监视 PLC 的工作状态，与 PLC 进行人机对话。它是开发、应用、维护 PLC 时不可缺少的设备。



## 6. 其他接口

其他接口包括外存储器接口、EPROM 写入器接口、A/D 转换接口、D/A 转换接口、远程通信接口、与计算机相连的接口、打印机接口、与显示器相连的接口等。

### 1.2.2 PLC 的软件组成

可编程控制器的软件组成包括系统程序 and 用户程序。

#### 1. 系统程序

系统程序是指控制和完成 PLC 各种功能的程序。系统程序可完成系统命令解释、功能子程序调用、管理、监控、逻辑运算、通信、各种参数设定、诊断(如电源、系统出错, 程序语法、句法检验)等功能。系统程序由制造厂家直接固化在只读存储器 ROM、PROM 或 EPROM 中, 用户不能访问和修改。

#### 2. 用户程序

用户程序是用户根据 PLC 控制对象的生产工艺及控制要求而编制的应用程序。

为了便于检查和修改, 以及为了方便读出, 用户程序一般保存在 CMOS 静态 RAM 中, 用锂电池作为后备电源, 以保证掉电时不会丢失信息。

当用户程序经过运行, 认为已经正常, 不需要改变时, 可将其固化在 EPROM 中。有的 PLC 已直接采用 EPROM 作为用户存储器。

用户程序常用的编程语言有 5 种(但最常用的是梯形图和语句表)。

(1) 梯形图: 梯形图是目前应用非常广、最受技术人员欢迎的一种编程语言。梯形图具有直观、形象、实用的特点, 与继电器控制图的设计思路基本一致, 很容易由继电器控制电路转化而来。

(2) 语句表: 语句表是一种与汇编语言类似的编程语言, 它采用的是助记符指令, 并以程序执行顺序逐句编写成语句表。梯形图和指令表存在一定的对应关系。

(3) 逻辑符号图: 逻辑符号图包括与、或、非以及计数器、定时器、触发器等。

(4) 功能表图: 又叫状态转换图, 它的作用是表达一个完整的顺序控制过程, 简称 SFC 编程语言。它是将一个完整的控制过程分成若干个状态, 各状态具有不同的动作, 状态间有一定的转换条件, 条件满足则执行状态转换, 上一状态结束时则下一状态开始。

(5) 高级语言: 主要是大中型 PLC 才会采用高级语言来编程, 如 C 语言、BASIC 语言等。

### 1.2.3 PLC 与继电器控制系统的比较

在 PLC 的编程语言中, 梯形图是最为广泛使用的语言。PLC 的梯形图与继电器控制线路图十分相似, 主要原因是, PLC 梯形图的编写大致上沿用了继电器控制电路的元件符号, 仅个别处有些不同。同时, 信号的输入/输出形式及控制功能也是相同的。

但 PLC 的控制与继电器的控制也有不同之处, 主要表现在以下几个方面。

### 1. 组成器件不同

继电器控制线路由许多真正的硬件继电器组成,而梯形图则由许多所谓“软继电器”组成。这些“软继电器”实质上是存储器中的每一位触发器,可以置“0”或置“1”。硬件继电器易磨损,而“软继电器”则无磨损现象。

### 2. 触点数量不同

硬继电器的触点数量有限,用于控制的继电器的触点数一般只有 4~8 对;而梯形图中每只“软继电器”供编程使用的触点有无限对。因为在存储器中的触发器状态(电平)可取用任意次数。

### 3. 实施控制的方法不同

在继电器控制线路中,某种控制是通过各种继电器之间的硬接线实现的。由于其控制功能已包含在固定线路之间,因此它的功能专一,不灵活。而 PLC 控制是通过梯形图(即软件编程)解决的,所以灵活多变。

另外,在继电器控制线路中,为了达到某种控制目的,而又要安全可靠,同时还要节约使用继电器触点,因此设置了许多有制约关系的联锁电路;而在梯形图中采用扫描工作方式,不存在几个支路并列同时动作的因素,同时,在软件编程中也可将联锁条件编制进去,因而,PLC 的电路控制设计比继电器控制设计大大简化了。

### 4. 工作方式不同

在继电器控制线路中,当电源接通时,线路中各继电器都处于受制约状态,即应吸合的继电器都同时吸合,不应吸合的继电器都因受某种条件限制不能吸合。这种工作方式有时称为并行工作方式。

而在梯形图的控制线路中,各软继电器都处于周期性循环扫描接通中,受同一条件制约的各个继电器的动作次序决定于程序扫描顺序,这种工作方式有时称为串行工作方式。

## 1.3 PLC 的工作原理

PLC 有两种基本的工作状态,即运行(RUN)状态与停止(STOP)状态。在运行状态,PLC 通过反映控制要求的用户程序来实现控制功能。为了使 PLC 的输出能及时地响应随时可能变化的输入信号,用户程序不是只执行一次,而是反复不断地重复执行,直至 PLC 停机或切换到 STOP 工作状态。

### 1.3.1 扫描工作方式

当 PLC 运行时,有许多操作需要进行,但执行用户程序是它的主要工作,另外还要完成其他工作。它实际上是按照分时操作原理进行工作的,每一时刻执行一个操作,这种分时操作的工作过程称为 CPU 的扫描工作方式。在开机时,CPU 首先使输入暂存器清零,更新编程器的显示内容,更新时钟和特殊辅助继电器内容等。

在执行用户程序前,PLC 还应完成的辅助工作有内部处理、通信服务、自诊断检查。

在内部处理阶段, PLC 检查 CPU 模块内部硬件、I/O 模块配置、停电保持范围设定是否正常, 监视定时器复位以及完成其他一些内部处理。

在通信服务阶段, PLC 要完成数据的接收和发送任务、响应编程器的输入命令、更新显示内容、更新时钟和特殊寄存器内容等工作。还将检测是否有中断请求, 若有, 则做相应的中断处理。

在自诊断阶段, 检测程序语法是否有错、电源和内部硬件是否正常等, 检测存储器、CPU 及 I/O 部件状态是否正常。当出现错误或者异常时, CPU 能根据错误类型和程度发出出错提示信号, 并进行相应的出错处理, 使 PLC 停止扫描或只能做内部处理、自诊断、通信处理。

PLC 采用循环扫描工作方式。为了连续地完成 PLC 所承担的扫描工作, 系统必须重复执行, 依一定的顺序完成循环扫描工作方式, 每重复一次的时间称为一个扫描周期。由于 PLC 的扫描速度很快, 输入扫描和输出刷新的周期时间通常为 3ms 左右, 而程序执行时间根据程序的长度不同而不同。PLC 一个扫描周期通常为 10~100ms, 对一般工业被控对象来说, 扫描过程几乎是与输入同时完成的。PLC 的循环扫描工作过程如图 1-3 所示。

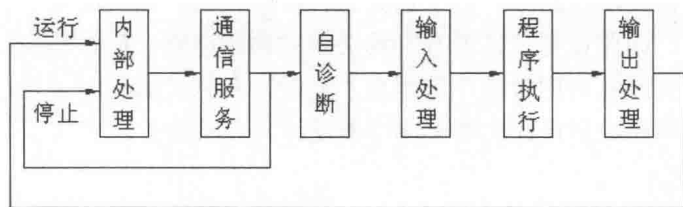


图 1-3 PLC 的循环扫描工作过程

### 1.3.2 工作过程

PLC 的工作过程一般可分为三个阶段：输入采样阶段、程序执行阶段和输出处理阶段。

(1) 输入采样阶段。PLC 以扫描工作方式, 按顺序对所有输入端的输入状态采样, 读入到寄存器中存储, 这一过程称为采样。在本工作周期内, 这个采样结果的内容不会改变, 而且这个采样结果将在 PLC 执行程序时被使用。

(2) 程序执行阶段。PLC 是按顺序进行扫描的, 即从上到下、从左到右地逐条扫描各指令, 直至扫描到最后一条指令, 并分别从输入映像寄存器和输出映像寄存器中获得所需的数据, 进行逻辑运算和算术运算, 把运算结果存入相应的输出映像寄存器中。但这个结果在全部程序未执行完毕之前, 不会送到输出端口上。程序执行阶段的特点是依次顺序执行指令。

(3) 输出处理阶段。输出处理阶段也叫输出刷新。在执行完用户所有程序后, PLC 将输出映像寄存器中的内容送入到寄存输出状态的输出锁存器中, 再送到外部去驱动接触器、电磁阀和指示灯等负载, 这时, 输出锁存器的内容要等到下一个扫描周期的输出阶段到来才会被刷新。

以上这三个阶段也是分时完成的。

值得注意的是, PLC 在一个扫描周期中, 输入采样工作只在输入处理阶段进行, 对全部输入端扫描一遍并记下它们的状态后, 即进入程序处理阶段, 这时, 不管输入端的状态

做何改变,输入状态表都不会变化,直到下一个循环的输入处理阶段,才根据当时扫描到的状态予以刷新。这种集中采样、集中输出的工作方式,使 PLC 在运行中的绝大部分时间实质上与外部设备是隔离的,这就从根本上提高了 PLC 的抗干扰能力,提高了可靠性。

## 1.4 PLC 的主要性能指标

在现代化的工业生产设备中,有大量的开关量、数字量及模拟量的控制装置,例如电动机的启停,电磁阀的开闭,产品的计数,温度、压力、流量的设定与控制等,PLC 已成为解决工业现场中这些自动控制问题最有效的工具之一。

PLC 的基本性能指标如下。

(1) 输入输出点数(I/O 点数)。指 PLC 外部输入输出端子数,这是 PLC 的一项非常重要的技术指标,常用 I/O 点数来表征 PLC 的规模大小。

(2) 扫描速度。一般指 PLC 执行一条指令的时间,单位为 $\mu\text{s}/\text{步}$ ;有时也以执行一千条指令的时间来计算,单位为 $\text{ms}/\text{千步}$ 。

(3) 内存容量。一般指 PLC 存储用户程序的多少。

(4) 指令条数。指令条数(指令种类)的多少是衡量 PLC 软件功能强弱的主要指标。

(5) 内部寄存器。内部寄存器的配置情况是衡量 PLC 硬件功能的一个指标。

(6) 高功能模块。将高功能模块与主模块搭配,可实现一些特殊功能。常用的高功能模块有 A/D 模块、D/A 模块、高速计数模块、位置控制模块、通信模块、高级语言编辑模块等。

另外,在使用 PLC 时,还应考虑电源电压、抗噪声性能、直流输出电压、环境温度、湿度、质量和外形尺寸等性能指标。

## 本章小结

PLC 作为一种工业标准设备,虽然生产厂家众多,产品种类层出不穷,但它们都具有相同的工作原理,使用方法也大同小异。

(1) PLC 是计算机技术与继电器控制技术相结合的产物。它专为在工业环境下应用而设计,可靠性高,应用广泛。PLC 功能的不断增强,使 PLC 的应用领域不断扩大和延伸,应用方式也更加丰富。PLC 从结构上可分为整体式和模块式;从容量上可分为小型、中型和大型 PLC。

(2) PLC 的组成部件有中央处理器(CPU)、存储器、输入/输出(I/O)接口和电源等。

(3) PLC 采用集中采样、集中输出、按顺序循环扫描用户程序的方式工作。当 PLC 处于正常运行状态时,它将不断重复扫描过程,其工作过程的中心内容分为输入采样、程序执行和输出刷新三个阶段。

(4) PLC 是为取代继电接触式控制系统而产生的,因而两者存在着一定的联系。PLC 与继电接触式控制系统具有相同的逻辑关系,但 PLC 使用的是计算机技术,其逻辑关系用程序来实现,而不是实际电路。



(5) 可用多种形式的编程语言来编写 PLC 的用户程序，梯形图和语句表是两种最常用的 PLC 编程语言。

## 习 题

- (1) 简述可编程控制器的定义。
- (2) PLC 有什么特点？
- (3) PLC 与继电接触式控制系统相比，有哪些异同？
- (4) 构成 PLC 的主要部件有哪些？各部分的主要作用是什么？
- (5) 与一般的计算机控制系统相比，PLC 有哪些优点？
- (6) PLC 在一个工作周期中能完成哪些工作？
- (7) PLC 常用的编程语言有哪些？各有什么特点？

# 第 2 章 西门子 S7 系列 PLC 编程基础

## 本章要点

本章主要以西门子公司生产的 S7-200 系列小型 PLC 为例，介绍 PLC 系统的硬件及内部编程单元、编址方法和数据格式，介绍 S7 系列 PLC 的主要技术指标。

## 学习目标

- 了解 S7-200 系列 PLC。
- 掌握 S7-200 PLC 的硬件系统。
- 熟悉 S7-200 PLC 编程元件及编程知识。
- 重点掌握编程软元器件、编址方法和数据格式。
- 学会分析 PLC 的技术指标。

## 2.1 概 述

德国西门子(Siemens)公司生产的可程序控制器在我国是相当常见的，机械、冶金、化工等领域及各种生产线中都有使用。

### 2.1.1 西门子 S7 家族

西门子公司 PLC 产品包括 LOGO、S7-200、S7-1200、S7-300、S7-400 等。西门子 S7 系列 PLC 体积小、速度快、标准化，具有网络通信能力，功能强，可靠性高。S7 系列 PLC 产品可分为微型 PLC(如 S7-200)，小规模低性能要求的 PLC(如 S7-300)和中、高性能要求的 PLC(如 S7-400)等。

如图 2-1 所示，SIMATIC S7 系列 PLC 是德国西门子公司从 1995 年开始陆续推出的性价比很高的 PLC 系统。

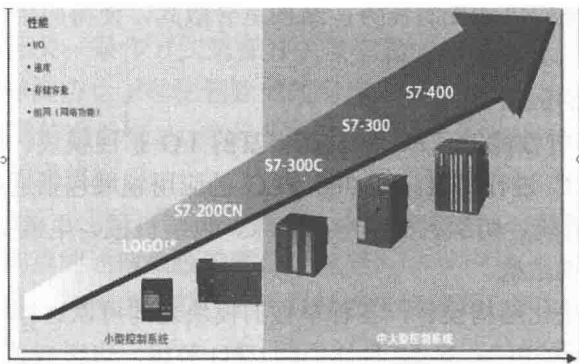


图 2-1 SIMATIC - S7 家族