

北极光



学

触摸屏

PLC与变频器

综合应用

◎ 李长军 陈雅华 主编



电子工业出版社  
PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY

<http://www.phei.com.cn>

新手训练营

# 学触摸屏、PLC 与 变频器综合应用

李长军 陈雅华 主编

电子工业出版社

Publishing House of Electronics Industry

## 内 容 简 介

本书是“新手训练营”系列丛书之一,采用学生提问提出问题、老师解答引出知识点的形式,讲述认识 PLC、PLC 内部资源及语言、PLC 常用的外部设备、PLC 与 PLC 通信、认识变频器、西门子 MM440 变频器的标准接线及端子功能、西门子 MM440 变频器的面板基本操作、变频器的外部端子操作控制、组态软件安装与工程下载、MCGS 与西门子 S7-200 PLC 联机、MCGS 与三菱 FX 系列 PLC 联机等内容。本书的编写注重实用性,突出应用能力的提高,起点低,内容结构完整,条理清晰,语言通俗,趣味性强,图文结合,易学易懂,结构安排符合认知规律。

本书不仅适合电气相关技术人员自学,也适合高职院校工业自动化、电气工程及自动化、计算机技术及应用、机电一体化等专业的师生使用。

未经许可,不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。  
版权所有,侵权必究。

### 图书在版编目(CIP)数据

学触摸屏、PLC 与变频器综合应用/李长军,陈雅华主编. —北京:电子工业出版社,2014.7

(新手训练营)

ISBN 978-7-121-23275-6

I. ①学… II. ①李… ②陈… III. ①plc 技术 IV. ①TM571.6

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2014)第 105058 号

责任编辑:富 军

印 刷:涿州市京南印刷厂

装 订:涿州市京南印刷厂

出版发行:电子工业出版社

北京市海淀区万寿路 173 信箱 邮编 100036

开 本:880×1230 1/32 印张:15 字数:462 千字

版 次:2014 年 7 月第 1 版

印 次:2014 年 7 月第 1 次印刷

印 数:3 500 册 定价:39.80 元

凡所购买电子工业出版社图书有缺损问题,请向购买书店调换。若书店售缺,请与本社发行部联系,联系及邮购电话:(010)88254888。

质量投诉请发邮件至 zltz@phei.com.cn,盗版侵权举报请发邮件至 dbqq@phei.com.cn。

服务热线:(010)88258888。

# 前 言

本书集理论知识、技术应用、工程设计及创新于一体，内容包括 PLC 的组成、工作原理、编程工具、指令系统、特殊功能模块、变频器及其操作、PLC 与变频器的综合应用、触摸屏及其调试软件，以及 PLC、变频器、触摸屏的通信及其工程应用。

本书以读者快速入门为目的，既能够知道如何使用，又能够理解为何这样使用。全书配套的插图丰富直观，内容编排由浅入深，文字叙述通俗易懂，应用实例具体生动，具有较强的实用性。

本书分为 30 讲，主要讲述 PLC 技术、变频器技术、触摸屏技术及 PLC/变频器/触摸屏在工业自动化工程中的综合应用实例。

本书可作为初、中和高级电气专业技术人员的自学用书，也可供高职院校工业自动化、电气工程及自动化、计算机技术及应用、机电一体化等专业学生使用。

编写人员具有多年从事自动化教学与科研的丰富经验，所写内容深入浅出，易读易懂。本书在编写过程中参考了大量的相关文献，并应用了其中的一些资料，碍于篇幅所限，难以一一列举，在此一并向有关作者表示衷心的感谢。

本书由李长军、陈雅华主编，李长城、王鹏任副主编，参加编写的还有沈东辉、王圣伟、孙宾、肖云、郭庆玲、卢旭辰。

由于编写时间仓促，加之编者水平有限，书中错误之处在所难免，恳请读者批评指正。

编 者

# 目 录

第一讲 认识 PLC .....	1
一、常见的 PLC 介绍 .....	2
二、PLC 的基本结构 .....	6
三、PLC 的工作原理 .....	11
四、认识西门子 S7-200 系列 PLC .....	13
即学即练 S7-200 系列 PLC 硬件接线 .....	20
第二讲 PLC 内部资源及语言 .....	23
一、S7-200 系列 PLC 内部资源 .....	24
二、PLC 的编程语言及程序结构 .....	26
第三讲 认识 STEP7-Micro/WIN V4.0 编程软件 .....	30
一、STEP7-Micro/WIN V4.0 编程软件的安装 .....	31
二、PLC 与计算机的连接 .....	36
三、STEP7-Micro/WIN V4.0 编程软件的应用 .....	37
四、建立计算机与 PLC 的通信联系 .....	43
即学即练 STEP7-Micro/WIN V4.0 编程软件的操作 .....	49
第四讲 基本指令及其应用 .....	59
一、基本逻辑指令 .....	60
即学即练 三相异步电动机的连续控制 .....	64
即学即练 三相异步电动机的正/反转控制 .....	66
二、定时器和计数器 .....	69
即学即练 定时器的应用——闪烁电路 .....	76
即学即练 计数器的应用——报警器的 PLC 控制 .....	78
第五讲 步进顺序控制 .....	80
一、顺序控制概述 .....	81
二、顺序功能图 .....	82
三、顺控指令 .....	86
四、顺序功能图的类型 .....	87

即学即练 简易红绿灯控制系统 .....	93
即学即练 简易洗车控制系统 .....	97
<b>第六讲 数据传送类指令 .....</b>	<b>102</b>
一、单一传送指令 .....	102
二、块传送指令 .....	103
即学即练 四台电动机的同时启动与停止 .....	105
<b>第七讲 数据比较类指令 .....</b>	<b>107</b>
一、字节比较指令 .....	108
二、整数比较指令 .....	108
三、双字整数比较指令 .....	108
四、实数比较指令 .....	108
即学即练 三台电动机顺序启动与停止的控制 .....	110
<b>第八讲 移位类指令 .....</b>	<b>112</b>
一、移位指令 .....	113
二、循环移位指令 .....	115
即学即练 天塔之光彩灯控制 .....	117
<b>第九讲 转换类指令 .....</b>	<b>121</b>
一、七段显示译码指令 .....	121
二、数值类型转换指令 .....	123
即学即练 七段数码管的控制 .....	125
<b>第十讲 四则运算指令 .....</b>	<b>128</b>
一、增、减指令 .....	128
二、加法和减法指令 .....	130
三、乘法和除法指令 .....	131
即学即练 利用加 1 指令控制 8 位彩灯的逐盏点亮 .....	133
即学即练 利用乘法指令控制彩灯的点亮 .....	135
<b>第十一讲 跳转与循环程序 .....</b>	<b>137</b>
一、跳转指令 .....	137
二、循环指令 .....	139
即学即练 跳转指令的应用——自动与手动切换控制 .....	140
<b>第十二讲 中断与子程序 .....</b>	<b>144</b>
一、中断 .....	144

二、西门子 S7 - 200 PLC 中断指令 .....	146
三、中断程序 .....	147
四、子程序 .....	148
即学即练 利用定时中断控制彩灯循环 .....	151
<b>第十三讲 脉冲输出指令</b> .....	155
一、高速脉冲发生器 .....	155
二、脉冲输出 PLS 指令 .....	156
三、PTO 的种类 .....	159
四、PWM 的应用 .....	168
即学即练 PLC 与步进电动机的运动控制 .....	173
<b>第十四讲 高速计数器</b> .....	181
一、高速计数器 HC .....	182
二、高速计数器指令 .....	190
即学即练 高速计数器的应用 .....	194
<b>第十五讲 PLC 常用的外部设备</b> .....	198
一、S7 - 200 CPU 数字量扩展模块 .....	198
二、S7 - 200 主机的模拟量扩展模块 .....	199
三、特殊功能模块 .....	204
四、I/O 点数扩展和编址 .....	204
五、常用传感器 .....	205
<b>第十六讲 PLC 与 PLC 的通信</b> .....	211
一、通信基础知识 .....	211
二、S7 - 200 PLC 的通信 .....	216
三、S7 - 200 PLC 网络读/写指令 .....	221
即学即练 两台 PLC 的主、从通信 .....	225
<b>第十七讲 认识变频器</b> .....	231
一、变频调速基本原理 .....	232
二、通用变频器的作用与分类 .....	235
三、通用变频器的基本结构 .....	236
四、变频器中常用的电力半导体器件 .....	241
即学即练 认识变频器 .....	246
即学即练 常用电力半导体器件的识别与检测 .....	252

第十八讲 西门子 MM440 变频器的标准接线及端子功能 .....	256
一、西门子 MM440 变频器标准接线原理图 .....	257
二、端子功能介绍 .....	258
即学即练 变频器主电路的接线 .....	259
第十九讲 西门子 MM440 变频器面板基本操作 .....	261
一、西门子变频器的操作面板 .....	261
二、MM440 变频器的快速调试 .....	266
三、变频器基本参数 .....	270
即学即练 操作面板 (BOP) 实现变频器的启、停 .....	277
即学即练 操作面板 (BOP) 实现电动机的点动、 正/反转控制 .....	279
第二十讲 变频器的外部端子操作控制 .....	281
一、基于外部端子实现电动机的点动与正/反转控制 .....	282
二、基于模拟信号实现电动机的运行 .....	285
三、变频器多段速控制 .....	288
即学即练 变频器的三段速运行操作 .....	290
第二十一讲 初识触摸屏 .....	293
一、触摸屏的基础知识 .....	294
二、常见触摸屏介绍 .....	298
第二十二讲 组态软件的安装和工程下载 .....	300
一、认识 TPC7062KS 触摸屏 .....	300
二、认识 MCGS 嵌入版组态软件 .....	303
三、安装 MCGS 嵌入版组态软件 .....	305
四、TPC7062K 触摸屏、PLC 和计算机的连接 .....	308
第二十三讲 MCGS 与西门子 S7-200 PLC 联机 .....	310
一、控制要求 .....	310
二、操作过程 .....	311
第二十四讲 MCGS 与三菱 FX 系列 PLC 联机 .....	321
一、控制要求 .....	321
二、操作过程 .....	322
第二十五讲 PLC 与变频器控制电动机的正/反转运行 .....	331
一、控制要求 .....	331



二、操作步骤 .....	331
<b>第二十六讲 PLC 与变频器控制电动机的三段速运行 .....</b>	<b>336</b>
一、控制要求 .....	336
二、操作步骤 .....	336
<b>第二十七讲 触摸屏与 PLC 控制电动机正/反转 .....</b>	<b>342</b>
一、控制要求 .....	342
二、操作步骤 .....	342
<b>第二十八讲 触摸屏与 PLC 控制电动机星—三角降压启动 .....</b>	<b>363</b>
一、控制要求 .....	363
二、操作步骤 .....	364
<b>第二十九讲 触摸屏与 PLC 控制电动机的变频运行 .....</b>	<b>377</b>
一、控制要求 .....	377
二、操作步骤 .....	378
<b>第三十讲 PLC、触摸屏与变频器的小车运料控制系统 .....</b>	<b>383</b>
一、控制要求 .....	383
二、操作步骤 .....	384
<b>附录 A S7-200 的 SIMATIC 指令集简表 .....</b>	<b>419</b>
<b>附录 B S7-200 的特殊存储器 (SM) 标志位 .....</b>	<b>425</b>
<b>附录 C MM440 变频器常见故障原因与处理 .....</b>	<b>440</b>
<b>附录 D MM440 变频器参数一览表 (简略表) .....</b>	<b>444</b>

# 第一讲

## 认识 PLC



老师，我们都是 PLC 的初学者。在工业控制中，原来大多使用继电器接触器控制，那么 PLC 是什么？都能完成什么控制？我们该怎么学呢？

目前，在工业控制中，PLC 控制逐渐取代了继电器接触器控制。PLC 控制系统以其硬件结构简单、体积小、可靠性高、控制灵活、维护方便等优点获得了越来越广泛的应用。下面大家来认识一下 PLC 吧！





## 常见的 PLC 介绍

1987 年，国际电工委员会（IEC）颁布了可编程控制器（PLC）标准草案第三稿，在草案中对 PLC 进行了如下定义。

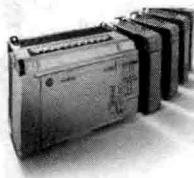
可编程控制器（简称 PLC）是一种数字运算操作的电子系统，专为在工业环境下应用而设计。它采用可编程序存储器存储执行逻辑运算、顺序控制、定时、计数和算术运算等操作的指令，并通过数字的、模拟的输入和输出，控制各种类型的机械或生产过程。可编程序控制器及其有关的设备都应按易于与工业控制系统形成一个整体、易于扩充其功能的原则设计。

目前，世界上 PLC 的主要生产厂家有美国的 Allen - Bradley（简称 AB）公司、Modicon（莫迪康）公司、TeIas Instrument（德州仪器，简称 TI）公司和 General Electric（通用电气，简称 GE）公司，德国的 Siemens（西门子）公司，法国的 Schneider（施耐德）公司，日本的 Mitsubishi Electric（三菱电机）公司、Fuji Electric（富士电机）公司及 Omron（立石）公司等。根据美国 ARC 的调查显示，西门子公司、AB 公司、施耐德公司、三菱电机公司及立石公司是世界 PLC 生产厂商的五强。其 PLC 销售额约占全球 PLC 销售总额的三分之二。

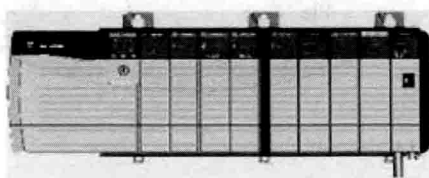
### 1. 美国的 PLC 产品

美国有 100 多家 PLC 厂商，著名的有 AB 公司、GE 公司、Modicon 公司、TI 公司、西屋电气公司等。

图 1-1（a）为美国 AB 公司生产的 Micro Logix I500 PLC，是一种高级的小型 PLC。图 1-1（b）为 AB 公司主推的大、中型可编程序控制器产品 PLC-5 系列 PLC。



(a) Micro Logix I500 PLC



(b) PLC-5 系列 PLC

图 1-1 AB 公司的可编程序控制器

## 2. 欧洲的 PLC 产品

德国的西门子公司、AEG 公司和法国施耐德公司旗下的 TE (Telemechanique) 公司是欧洲著名的 PLC 制造商。

德国西门子公司是世界上生产 PLC 的主要厂商之一。其生产的电子产品以性能精良而久负盛名，产品包括微型、小型、中型和大型等各种类型的 PLC，目前主要流行的有 SIMATIC S7-200/200CN、SIMATIC S7-300/300C 和 SIMATIC S7-400 三大系列 PLC 产品，如图 1-2 所示。西门子的产品不断推陈出新。1995 年底推出的 S7 系列 PLC 产品取代了原来的 S5 系列 PLC；1998 年，S7-200 PLC 升级为第二代产品；2004 年又升级为第三代产品；2005 年底，又推出了面向中国市场的 SIMATIC S7-200CN 系列产品。

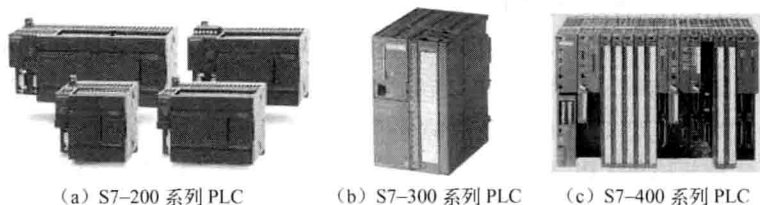


图 1-2 西门子的可编程控制器

### (1) S7-200 系列 PLC

S7-200 系列 PLC 是小型可编程序控制器，由 CPU 模块（主机）和各种功能丰富的扩展模块组成。CPU 模块包括 CPU221、CPU222、CPU224、CPU226 和 CPU226IM 等型号。其主要特点如下：

- ① 极高的可靠性，操作便捷，易于掌握。
- ② 极丰富的指令集，除了具有与其他产品相同的指令外，还有与智能模块配合的指令。
- ③ 丰富的内置集成功能，如内置集成高速计数器和 PID 运算功能。
- ④ 具有强大的通信能力。S7-200 系列 PLC 提供近 10 种通信方式以满足不同的应用需求。从简单的 S7-200 之间的通信到 S7-200 通过 Profibus DP 网络通信，甚至通过以太网通信。其通信能力远远超过小型 PLC 的整体通信水平。
- ⑤ 丰富的扩展模块。
- ⑥ 编程软件简单易用。STEP7 - Micro/WIN V4.0 编程软件为用户

提供了开发、编辑和监控的良好环境。Windows 风格的全中文界面、中文在线帮助信息及丰富的编程向导，可使用户快速掌握编程技巧。

S7-200 系列 PLC 的强大功能使其无论在独立运行中，或联成网络构成集散自动化系统，皆能充分发挥作用。其应用领域极为广泛，覆盖了所有与自动检测、自动化控制有关的工业及民用领域，包括各种冲压机床、磨床、印刷机械、橡胶化工机械、中央空调、电梯控制、运动系统、环境保护设备等。因此，S7-200 系列 PLC 适用于各行各业、各种场合中的检测、监测及控制的自动化。

新型 S7-200CN 系列 PLC 是中国的本土化产品。该系列 PLC 提供 8 种型号的 CPU 模块和 15 种数字量/模拟量扩展模块。CPU 模块的主要性能指标与 S7-200 系列基本相同。

## (2) S7-300 系列 PLC

S7-300 系列 PLC 是中型可编程序控制器，具有无槽位限制的模块化无排风扇结构。该系列 PLC 包括紧凑型 CPU 模块、标准型 CPU 模块、技术功能型 CPU 模块及故障安全型 CPU 模块。在各种类型中又包括了多种规格的 CPU 模块。S7-300 系列 PLC 系统由 CPU 模块、信号模块 SM、通信处理器 CP、功能模块 FM（定位模块、电子凸轮控制模块、步进电动机定位模块、伺服电动机位控模块及智能位控模块）及负载电源模块 PS 和接口模块 IM 等组成。以 CPU314C-2DP 为例，其主要性能指标及特点如下：

① 集成输入/输出点数为 24DI/16DO，4 路 AI/2 路 AO。

② 每条二进制指令的处理时间为  $0.1 \sim 0.2 \mu\text{s}$ ，浮点数运算时间最小为  $3 \mu\text{s}$ 。

③ 内置 96KB 高速 RAM 存储器（相当于大约 32KB 的指令），用于执行程序和数据保存，可扩展最大 8MB 的微存储卡作为程序的装载存储器。

④ 灵活的扩展能力。4 排结构可扩展到 31 个模块（每个机架的模块数量为 7~8 个）。

⑤ 集成高速计数、4 通道频率测量、脉宽调制、定位控制、中断输入等功能。

⑥ 集成多点接口 MPI 和 Profibus DP 接口。MPI 可以用来建立最多 16 个 CPU 模块组成的简单网络。

⑦ 具有密码保护、诊断缓冲等功能。最后 100 个故障和中断事件保存在诊断缓冲区内，供诊断使用。

SIMATIC S7-300 系列 PLC 能满足中等性能要求的应用。其应用领域包括汽车工业、环境技术、采矿、专用机床、纺织机械、包装机械、通用机械、楼宇自动化及食品加工等。

### (3) S7-400 系列 PLC

SIMATIC S7-400 系列 PLC 是用于中、高档性能范围的大型 PLC。该系列 PLC 包括 S7-400、S7-400H 和 S7-400F/FH 等种类。作为通用控制器，S7-400 系列 PLC 系统包括电源模块、CPU 模块、各种信号模块 SM（用于数字量与模拟量的输入/输出）、通信模块 CP、功能模块 FM（专门用于计数、定位、凸轮控制等任务）、接口模块 IM（用于连接中央控制单元和扩展单元，最多能连接 21 个扩展单元）和 SIMATIC S5 模块等。其主要性能指标及特点如下：

① 采用冗余技术，可靠性极高。

② 模块化无风扇的设计，坚固耐用。

③ 易于扩展和具有强大的通信能力，容易实现分布式结构系统和用户友好的操作。

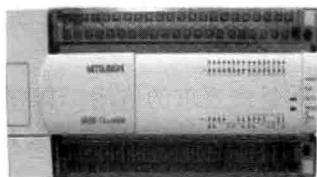
S7-400 系列 PLC 的应用领域包括通用机械工程、汽车工业、立体仓库、机床与工具、过程控制、控制技术与仪表、纺织机械、包装机械、控制设备制造、专用机械。

## 3. 日本的 PLC 产品

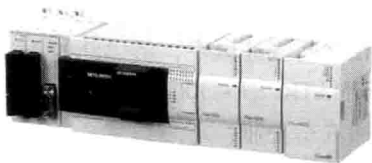
日本的 PLC 产品在小型机领域颇具盛名。某些用欧、美中型或大型机才能实现的控制，日本的小型机就可以解决。日本有许多 PLC 制造商，如三菱、欧姆龙、松下、富士、日立、东芝等。在世界小型机市场上，日本产品约占 70% 的份额。

FI 系列 PLC 是三菱公司为替代原有的 F、F1/F2 系列 PLC 而在 20 世纪 80 年代末期开始陆续推出的小型 PLC 产品，采用了整体式和模块式相结合的叠装式结构。主要产品有 FI1S、FI1N、FI1NC、FI2NC、FI2N、FI3UC、FI3U 和 FI3G 等，外观如图 1-3 所示。

欧姆龙（OMRON）公司的 PLC 产品，大、中、小、微型规格齐全。微型机以 SP 系列为代表；小型机有 CPM1A、CPM2A、CPM2AH、CPM2AH-S、CPM2C [超薄型小型 PLC，如图 1-4（a）所示]、CP1L、



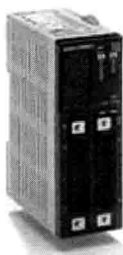
(a) FI1NC 系列 PLC



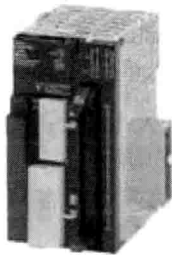
(b) FBG 系列 PLC

图 1-3 三菱公司的可编程序控制器

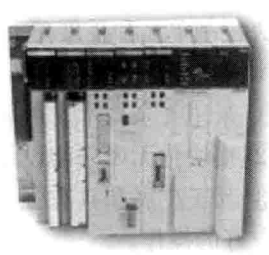
CPIH 等系列 CPU；中型机包括 C200H $\alpha$ 、CJ1、CJ1M [如图 1-4 (b) 所示]、CQM1H 等系列 CPU；大型 PLC 包括 CS1、CS1D（冗余可编程序控制器）、CV、CVM1 [如图 1-4 (c) 所示]、CVM1D 等系列 CPU。



(a) CPM2C CPU



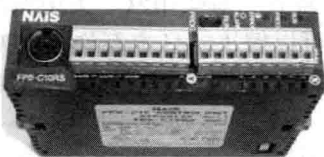
(b) CJ1M CPU



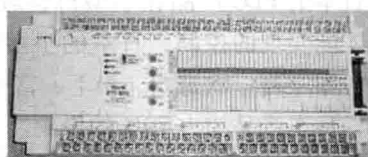
(c) CVM1 CPU

图 1-4 欧姆龙公司的可编程序控制器

在松下公司的 PLC 产品中，FP0 为微型机，FP1 为整体式小型机，FP3 为中型机，FP5/FP10、FP10S、FP20 为大型机，如图 1-5 所示。



(a) FP0



(b) FP1

图 1-5 松下公司的 PLC

## 二、PLC 的基本结构

从 PLC 的定义可知，PLC 实质上是一种工业控制计算机，有着与通用计算机相类似的结构，由硬件和软件两大部分组成。

## 1. PLC 硬件结构

PLC 硬件结构主要由中央处理器 (CPU)、存储器、输入/输出单元 (I/O 接口)、扩展接口、通信接口及电源等组成,如图 1-6 所示。

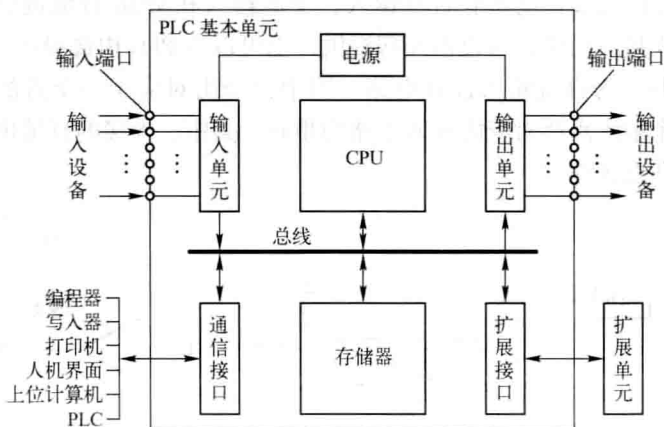


图 1-6 PLC 硬件结构

### (1) 中央处理器 (CPU)

CPU 是 PLC 的逻辑运算和控制指挥中心,通过控制总线、地址总线和数据总线与存储器、输入/输出单元、通信接口等联系。CPU 由通用微处理器、单片机或位片式微处理器组成。

### (2) 存储器

存储器主要用来存放系统程序、用户程序及工作数据。PLC 的存储器 ROM (只读存储器) 中固化了系统程序,用户不能更改其中的内容。存储器 RAM (随机存取存储器) 中存放用户程序和工作数据,用户可对用户程序进行修改。为保证掉电时不会丢失 RAM 存储的信息,一般用锂电池作为备用电源供电。

### (3) 输入/输出单元 (I/O 接口)

输入/输出单元通常也称为输入/输出接口 (I/O 接口),是 PLC 与工业生产现场之间连接的部件。

① 输入接口。输入接口的作用是将用户输入设备产生的信号 (开关量输入或模拟量输入),经过光电隔离、滤波和电平转换等处理,变成 CPU 能够接收和处理的信号,并送给输入映像寄存器。



为了防止各种干扰信号和高电压信号进入 PLC，输入接口电路一般由光电耦合电路进行电气隔离，由 RC 滤波器消除输入触点的抖动和外部噪声干扰。

PLC 输入接口电路有直流输入、交流输入和交流/直流混合输入三种。输入接口的电源可以由外部提供，也可以由 PLC 内部提供。

图 1-7 为直流输入接口电路。图中只画出对应于一个点的输入电路，各个输入点所对应的输入电路均相同。其中，外接的直流电源极性可以为任意极性。

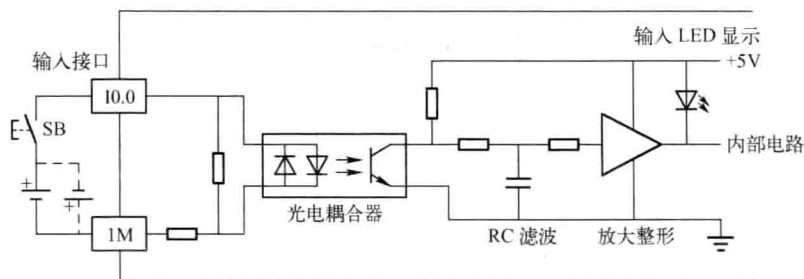


图 1-7 直流输入接口电路

图 1-7 中，SB 为输入元件按钮，当 SB 闭合时，发光二极管有驱动电流流过而导通发光，光敏三极管接收到光线，由截止变为导通，将高电平经 RC 滤波、放大整形后送入 PLC 内部电路中，同时点亮 LED。当 CPU 在循环的输入阶段输入该信号时，将该输入点对应的映像寄存器状态置 1；当 SB 断开时，LED 熄灭，对应的映像寄存器状态置 0。其中，光电耦合器中的发光二极管是电流驱动元件，要有足够的能量才能驱动。干扰信号虽然有的电压值很高，但能量较小，不能使发光二极管导通发光，所以不能进入 PLC 内，实现了电气隔离。

② 输出接口。输出接口的作用是将经过 CPU 处理的信号通过光电隔离和功率放大等处理，转换成外部设备所需要的驱动信号（数字量输出或模拟量输出），驱动接触器、指示灯、报警器、电磁阀、电磁铁、调节阀、调速装置等各种执行机构。

输出接口电路就是 PLC 的负载驱动回路。为适应控制的需要，输出接口的形式有继电器输出型、大功率晶体管或场效应管（MOSFET）输出型及双向晶闸管输出型三种，如图 1-8 所示。为提高 PLC 抗干扰