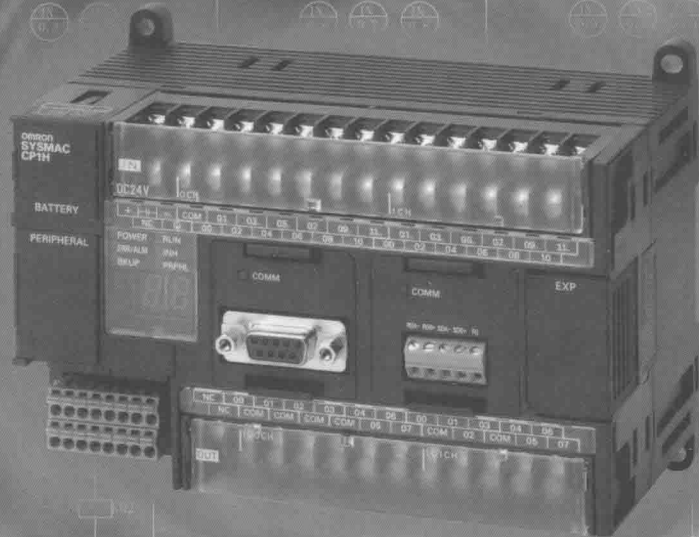




普通高等学校
电类规划教材



OMRON

欧姆龙自动化(中国)有限公司 推荐教材

设备控制回路(1)

可编程控制器 技术及应用

PLC 控制系统
设计、开发与调试

◎蔡华锋 主编

◎陈俊 副主编



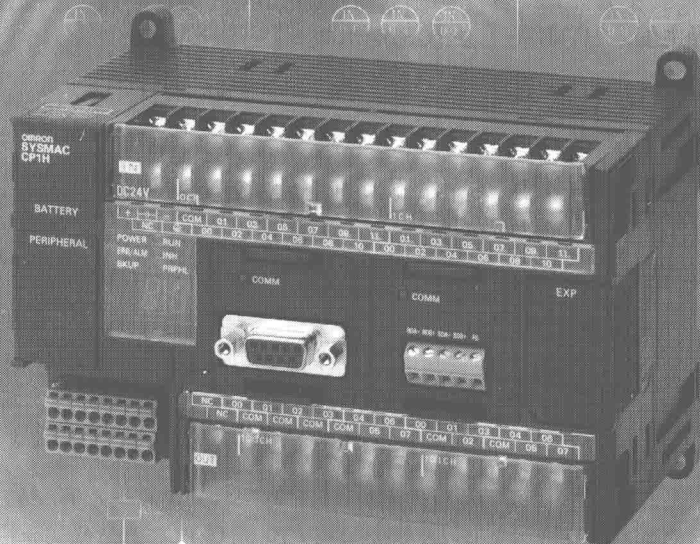
中国工信出版集团



人民邮电出版社
POSTS & TELECOM PRESS



普通高等学校
电类规划教材



碾米阶段控制系统
湖北工业大学

设计
刘旭

校对
肖华

设备控制回路 (1)

可编程控制器 技术及应用

PLC 控制系统
设计、开发与调试

◎蔡华锋 主编
◎陈俊 副主编

人民邮电出版社
北京

图书在版编目(CIP)数据

可编程控制器技术及应用 : PLC控制系统设计、开发与调试 / 蔡华锋主编. — 北京 : 人民邮电出版社, 2016.8

普通高等学校电类规划教材
ISBN 978-7-115-43232-2

I. ①可… II. ①蔡… 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(2016)第175181号

内 容 提 要

本书以一个完整的PLC控制系统项目为主线,从实际项目开发流程入手,结合PLC理论知识来讲解可编程控制器的技术与应用。全书以欧姆龙公司CPI系列PLC为背景,介绍了PLC的特点和应用,并从PLC控制系统的设计入手,配以实际工程案例,围绕系统开发过程,详细阐述了系统主控器选择、系统电路设计、系统程序设计、系统通信结构、上位机软件开发,以及系统调试等。主要内容包括PLC的工作原理、硬件结构、编程资源与指令系统,常用低压电器工作原理,继电—接触器控制系统设计原则、规律和实践,并从项目开发的角度详细介绍了梯形图程序的常用设计方法以及PLC系统设计与调试方法。

另外,本书突出介绍了PLC网络通信、变频器的选择与使用,以及组态王的上位机软件开发等内容。为了便于读者学习,书中选用的电路和软件程序都已经过测试和验证,读者可直接使用,且在各章设有适量的习题供练习。

本书可作为高等院校自动化、电气工程、电子信息、机电一体化及相关专业的教材,也可供工程技术人员自学。

◆ 主 编 蔡华锋

副 主 编 陈 俊

责任编辑 税梦玲

责任印制 彭志环

◆ 人民邮电出版社出版发行 北京市丰台区成寿寺路11号

邮编 100164 电子邮件 315@ptpress.com.cn

网址 <http://www.ptpress.com.cn>

北京昌平百善印刷厂印刷

◆ 开本: 787×1092 1/16

印张: 19.25

2016年8月第1版

字数: 470千字

2016年8月北京第1次印刷

定价: 48.00元

读者服务热线: (010)81055256 印装质量热线: (010)81055316

反盗版热线: (010)81055315

本书的编写方式与常规图书有所不同，这里简单介绍编者的初衷，希望对读者的阅读有所帮助。

本书以 PLC 控制系统工程项目开发过程为主线，将低压电气与 PLC 原理的理论知识贯穿其中，读者通过学习本书可以实现“零培训上岗”。考虑到读者的层次和从事的工作不同，本书在选取 PLC 工程项目时，以大米的加工自动生产线为例，并经过适当处理，以便读者能理解和掌握系统工作过程。

本书在介绍了 PLC 的定义和特点的基础上，从工程项目开发过程的角度出发，先讲解项目的工艺需求及如何设计系统控制方案，接着重点讲解主控器选择、系统电路设计和软件设计这 3 个主要内容。

(1) 主控器选择：需要了解 PLC 的分类、硬件组成、软件组成、工作原理和主要技术指标，这些是 PLC 选型的依据。

(2) 系统电路设计：需要了解常用低压电器设备、继电—接触器控制系统设计原则和规律。

(3) 系统软件设计：在熟悉常用指令的基础上，掌握常用编程方法，并付诸实践。

另外，本书注重培养读者的 PLC 控制系统综合设计能力，因此特别设置了 PLC 网络通信、变频器的选择与使用、组态王的上位机软件开发等内容。

本书由湖北工业大学蔡华锋任主编，陈俊任副主编。其中，第 4 章 4.1、4.2 小节和第 5 章 5.1、5.2、5.3 小节由陈俊编写，其他章节由蔡华锋编写，全书由蔡华锋统稿。

本书的编写得到了湖北工业大学廖冬初教授和付波教授的支持，同时也得到了欧姆龙自动化（中国）有限公司的大力支持，在此一并表示衷心的感谢。

编者

2016 年 5 月

第 1 章 绪论 1	第 2 章 PLC 控制系统主控制器基础 18
1.1 PLC 概述..... 1	2.1 PLC 的分类..... 18
1.1.1 PLC 的产生与定义..... 1	2.2 PLC 的硬件组成..... 21
1.1.2 PLC 的特点..... 2	2.2.1 中央处理器..... 22
1.1.3 PLC 的应用领域..... 3	2.2.2 存储器..... 23
1.1.4 PLC 的发展状况与趋势..... 4	2.2.3 输入/输出接口..... 23
1.2 可编程控制系统与其他控制系统 比较..... 6	2.2.4 电源..... 27
1.2.1 可编程控制系统与继电器— 接触器控制系统的比较..... 6	2.2.5 各种接口..... 27
1.2.2 可编程控制系统与微机控制 系统的比较..... 7	2.2.6 编程工具..... 27
1.2.3 可编程控制系统与集散型控制 系统的比较..... 7	2.2.7 智能单元..... 27
1.3 可编程控制系统设计过程..... 7	2.2.8 其他部件..... 27
1.3.1 PLC 控制系统设计思想..... 8	2.3 PLC 的软件组成..... 27
1.3.2 PLC 控制系统设计原则..... 8	2.4 PLC 的工作原理和过程..... 29
1.3.3 PLC 控制系统设计的一般 过程..... 9	2.4.1 PLC 的工作原理..... 29
1.4 基于 PLC 的大米加工碾米阶段 控制系统..... 11	2.4.2 PLC 的工作过程..... 31
1.4.1 碾米阶段自动控制工艺流程..... 11	2.4.3 PLC 的 I/O 响应滞后现象..... 33
1.4.2 碾米阶段控制系统分析..... 13	2.5 PLC 性能指标..... 34
1.4.3 碾米阶段控制系统结构设计..... 15	2.6 PLC 选择依据..... 35
1.4.4 碾米阶段 I/O 对象..... 15	2.7 习题..... 38
1.5 习题..... 17	第 3 章 PLC 控制系统与变频器选型 39
	3.1 CP1H 系列 PLC 配置..... 39
	3.1.1 CP1H 系列 PLC 的特点..... 39
	3.1.2 CP1H 系列 PLC 硬件配置..... 41
	3.1.3 CP1H 系列 PLC 内存资源..... 47
	3.2 欧姆龙 CP1H..... 52
	3.2.1 CP1H-XA 内置模拟量..... 52

3.2.2	CP1H 内置高速计数器	56	5.2.1	指令格式	124
3.2.3	CP1H 内置脉冲	60	5.2.2	指令分类	125
3.3	变频器在 PLC 控制系统中的 应用	61	5.2.3	基本指令	127
3.3.1	变频器工作原理	61	5.2.4	其他时序输入/输出指令	134
3.3.2	变频器的控制方式	61	5.2.5	顺序控制指令	137
3.3.3	变频器的选型原则	62	5.2.6	定时器和计数器指令	142
3.3.4	碾米系统中变频器的选型	64	5.2.7	数据传送指令	148
3.4	习题	68	5.2.8	数据比较指令	153
第 4 章 PLC 控制系统的电气控制电路 设计		69	5.2.9	数据移位指令	157
4.1	PLC 控制系统常用低压电器	69	5.2.10	数据转换指令	162
4.1.1	低压电器的分类	69	5.2.11	数据运算指令	163
4.1.2	接触器	70	5.2.12	逻辑运算指令	166
4.1.3	继电器	72	5.2.13	特殊指令	167
4.1.4	熔断器	81	5.3	CP1H 程序编写软件使用	167
4.1.5	断路器	82	5.3.1	CX-P 工程建立与配置	167
4.1.6	主令电器	83	5.3.2	CX-P 程序编写操作	174
4.1.7	刀开关	89	5.3.3	CX-P 程序检查与保存	176
4.1.8	低压电器产品型号	90	5.3.4	CX-P 在线程序调试	177
4.2	电气控制系统设计规律及其 内容	90	5.4	PLC 控制系统编程方法	181
4.2.1	电气控制线路的控制规律	90	5.4.1	经验设计法编程	182
4.2.2	电气控制线路的一般原则	95	5.4.2	继电—接触器/梯形图 转换法	186
4.2.3	电气控制线路设计方法	98	5.4.3	逻辑设计法编程	188
4.2.4	电气控制电路图	104	5.4.4	顺序功能图编程法	189
4.3	碾米阶段控制电路设计	107	5.5	碾米阶段程序设计	194
4.3.1	系统供电电路	108	5.5.1	碾米阶段控制流程	194
4.3.2	系统设备主电路	108	5.5.2	碾米阶段资源分配	195
4.3.3	系统检测与控制电路	108	5.5.3	碾米系统料位器检测程序 设计	199
4.3.4	主要设备清单	120	5.5.4	碾米系统设备故障与运行指示 设计	200
4.4	习题	120	5.5.5	碾米系统自动控制程序 设计	212
第 5 章 PLC 控制系统程序设计		122	5.5.6	碾米系统输出程序设计	226
5.1	PLC 控制系统程序设计基础	122	5.6	习题	228
5.1.1	PLC 程序设计内容	122	第 6 章 PLC 控制系统通信与网络 实现		231
5.1.2	PLC 控制系统软件设计 步骤	122	6.1	PLC 通信基础	231
5.2	欧姆龙 CP1H 系列 PLC 的指令	124			

6.1.1	数据通信概述	231	7.2	组态王开发入门	263
6.1.2	数据通信的传输方式	232	7.2.1	组态王新工程建立	263
6.1.3	数据通信的主要技术指标	232	7.2.2	创建组态画面	264
6.1.4	PLC 串行通信接口	233	7.2.3	定义 I/O 设备	265
6.1.5	通信介质	235	7.2.4	构造数据库	267
6.2	PLC 网络基础	237	7.2.5	建立动画连接	268
6.2.1	局域网的拓扑结构	238	7.2.6	运行和调试	270
6.2.2	网络协议	238	7.3	碾米系统上位机软件设计	270
6.3	欧姆龙 PLC 网络系统	240	7.3.1	碾米系统上位机需求	270
6.3.1	欧姆龙 PLC 网络系统概述	240	7.3.2	碾米系统画面组态	271
6.3.2	信息层网络以太网	240	7.3.3	碾米系统 I/O 设备定义	274
6.3.3	Controller Link 控制器网	241	7.3.4	碾米系统变量建立	275
6.3.4	CompoBus/D 设备网	243	7.3.5	碾米系统动画连接	277
6.3.5	CompoBus/S 器件网	245	7.4	习题	280
6.4	欧姆龙 PLC 的串行通信系统	246	第 8 章	PLC 控制系统现场调试与	
6.4.1	上位链接通信	246		维护	281
6.4.2	无协议通信	247	8.1	PLC 控制系统调试与检测	281
6.4.3	一对一 PLC 链接	249	8.1.1	PLC 调试方法及步骤	281
6.4.4	NT 链接通信	251	8.1.2	PLC 故障检查	282
6.5	欧姆龙 PLC 通信应用实例	251	8.2	PLC 控制系统的安装与维护	285
6.5.1	上位机与 PLC 通信目标	251	8.2.1	PLC 的安装	285
6.5.2	HOSTLINK 通信协议与 设置	251	8.2.2	PLC 的维护	287
6.5.3	VB 与 CPIH 通信实践	256	8.3	习题	288
6.6	习题	259	附录 A	低压电器常用图形符号和文字	
第 7 章	PLC 控制系统上位机软件			符号	289
	开发	260	附录 B	CP1H 系列指令一览表	293
7.1	组态软件介绍	260	参考文献		300

可编程控制器又称为可编程序逻辑控制器 (Programmable Logic Controller, PLC), 它是计算机技术与继电—接触器逻辑控制概念相结合的一种新型控制器。随着微电子技术、计算机技术和数据通信技术的发展, PLC 已经逐渐发展成功能完备的自动化系统。

本章首先介绍 PLC 的产生、定义、特点、应用领域、发展趋势及其与继电—接触器、微机和 DCS 的区别, 随后详细介绍了 PLC 控制系统的设计过程, 并以大米加工控制系统为例, 按照 PLC 设计过程分析该系统。

1.1 PLC 概述

1.1.1 PLC 的产生与定义

从 20 世纪 20 年代起, 人们便学会用导线把各种继电器、定时器、接触器及其触点按一定的逻辑关系连接起来组成控制系统, 以便于控制各种生产机械, 这就是我们所熟悉的传统的继电—接触器控制系统。由于它结构简单、使用方便、价格低廉, 在一定范围内能满足控制要求, 因此在工业控制领域中得到了广泛应用, 并一度占据主导地位。但是这种继电—接触器控制系统有明显的缺点, 即设备体积大、动作速度慢、功能单一, 仅能做简单的控制, 特别是采用硬连线逻辑、接线复杂, 一旦生产工艺或对象变动, 原有接线和控制柜就需要更换, 所以这种系统的通用性和灵活性较差, 不利于产品的更新换代。

20 世纪 60 年代, 由于小型计算机的出现和大规模生产以及多机群控技术的发展, 人们曾想过用小型计算机实现工业控制的要求, 但由于价格高、输入/输出电路不匹配, 以及编程技术复杂等因素导致小型计算机在工业上未能得到推广。

20 世纪 60 年代末期, 美国的汽车制造业竞争十分激烈。1968 年美国通用汽车公司 (GM) 为了适应汽车型号的不断更新, 生产工艺不断变化的需要, 实现小批量、多品种生产, 希望能有一种新型工业控制器, 它能做到尽可能减少重新设计和更换电器控制系统及接线, 以降低成本, 缩短周期。通用汽车公司向全球招标开发研制新型的工业控制装置取代继电器控制装置, 制定 10 项招标技术要求, 其主要内容如下。

- ① 编程简单方便, 可在现场修改程序。
- ② 硬件维护方便, 采用插件式结构。
- ③ 可靠性要高于继电器控制装置。
- ④ 体积小于继电器控制装置, 能耗较低。

- ⑤ 可将数据直接上传到管理计算机，便于监视系统运行状态。
- ⑥ 在成本上可与继电器控制装置竞争。
- ⑦ 输入开关量可以是交流 115V 电压信号。
- ⑧ 输出的驱动信号为交流 115V，2A 以上容量，能直接驱动电磁阀线圈。
- ⑨ 具有灵活的扩展能力，扩展时只需在原有系统上做很小的改动。
- ⑩ 用户程序存储器容量至少可以扩展到 4KB。

1969 年美国数字设备公司 (DEC) 根据美国通用汽车公司的这些要求，成功研制了世界上第一台可编程控制器——PDP-14，此控制器在通用汽车公司的自动装配线上试用，取得了很好的效果。

1971 年，日本从美国引进了这项新技术，并很快研制成日本第一台可编程控制器——DSC-8。1973 年，欧洲也研制出可编程控制器并开始工业领域应用。我国从 1974 年开始研制，并于 1977 年开始工业应用。

可编程控制器自问世以来，以其可靠性高、抗干扰能力强、组合灵活、编程简单、维护方便等独特优势被广泛应用于国民经济的各个控制领域，其应用深度和广度已成为衡量一个国家工业先进水平的重要标志。

进入 20 世纪 80 年代后，随着大规模和超大规模集成电路技术的迅猛发展，以 16 位和 32 位微处理器构成的可编程控制器迅速发展，并且在概念、设计、性能价格比等方面有了重大突破。可编程控制器具有高速计数、中断技术、PID 控制等功能的同时，联网通信能力逐步加强，促使可编程控制器的应用范围和领域不断扩大。

为使这一新型工业控制装置的生产和发展规模化，国际电工委员会 (IEC) 于 1982 年 11 月颁布了可编程控制器标准草案的第一稿，1985 年 1 月又颁布了第二稿，1987 年 2 月颁布了第三稿。第三稿对可编程控制器做了如下定义：“可编程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。它采用了可编程序的存储器，用来在其内部存储和执行逻辑运算、顺序控制、定时、计数和算术运算等操作指令，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或生产过程。可编程控制器及其有关的外围设备，都应按易于与工业系统形成一个整体、易于扩充其功能的原则设计。”该定义强调了 PLC 应直接应用于工业环境，必须具有很强的抗干扰能力、广泛的适应能力和广阔的应用范围，这是区别于一般微机控制器的重要特征。同时，也强调了 PLC 用软件方式实现的“可编程”与传统控制装置中通过硬件或硬接线的变更来改变程序的本质区别。

近年来，可编程控制器迅速发展，几乎每年都推出不少新系列产品，其功能已远远超出了上述定义的范围。

1.1.2 PLC 的特点

PLC 技术之所以得到高速发展，除了工业自动化的客观需要外，主要是因为它具有许多独特的优点。它较好地解决了工业领域中人们普遍关心的可靠、安全、灵活、方便、经济等问题。PLC 技术主要有以下特点。

1. 可靠性高、抗干扰能力强

可靠性高、抗干扰能力强是 PLC 最重要的特点之一。PLC 的平均无故障时间可达几十万个小时，之所以有这么高的可靠性，是由于它采用了一系列的硬件和软件的抗干扰措施。

(1) 硬件方面。I/O 通道采用光电隔离, 有效地抑制了外部干扰源对 PLC 的影响; 对供电电源及线路采用多种形式的滤波, 从而消除或抑制了高频干扰; 对 CPU 等重要部件采用良好的导电、导磁材料进行屏蔽, 以减少空间电磁干扰; 对有些模块设置了连锁保护、自诊断电路等功能。

(2) 软件方面。PLC 采用扫描工作方式, 减少了由外界环境干扰引起的故障; 在 PLC 系统程序中设有故障检测和自诊断程序, 能对系统硬件电路等故障实现检测和判断; 一旦由外界干扰引起故障时, 能立即将当前重要信息加以封存, 禁止任何不稳定的读写操作, 当外界环境正常后, 便可恢复到故障发生前的状态, 继续原来的工作。

2. 编程简单、使用方便

目前, 大多数 PLC 采用的编程语言是梯形图语言, 它是一种面向生产、面向用户的编程语言。梯形图与继电器控制线路图相似——形象、直观, 使用者不需要掌握计算机知识, 当生产流程需要改变时, 可以通过现场改变程序来实现, 非常方便、灵活。同时, PLC 编程器的操作和使用也很简单, 这也是 PLC 获得普及和推广的主要原因之一。许多 PLC 还针对具体问题设计了各种专用编程指令及编程方法, 进一步简化了编程。

3. 功能完善、通用性强

现代 PLC 不仅具有逻辑运算、定时、计数、顺序控制等功能, 还具有 A/D 和 D/A 转换、数值运算、数据处理、PID 控制、运动控制、通信联网等智能功能。同时, 由于 PLC 产品的系列化、模块化, 还配有品种齐全的各种硬件装置供用户选用, 因此可以组成满足各种要求的控制系统。

4. 设计安装简单、维护方便

由于 PLC 用软件代替了传统电气控制系统的硬件, 使得控制柜的设计、安装接线这类工作量大为减少。PLC 的用户程序大部分可在实验室进行模拟调试, 缩短了应用设计和调试周期。在维修方面, 由于 PLC 的故障率极低, 因此维修工作量很小, 而且 PLC 具有很强的自诊断功能, 如果出现故障, 使用者可根据 PLC 上的指示或编程器上提供的故障信息, 迅速查明原因, 维修极为方便。

5. 体积小、重量轻、能耗低

由于 PLC 采用了集成电路, 其结构紧凑、体积小、能耗低, 所以是实现机电一体化的理想控制设备。

1.1.3 PLC 的应用领域

近年来, PLC 已在国内外广泛应用于冶金、石油、化工、建材、机械制造、电力、汽车、轻工、环保及文化娱乐等行业, 随着微处理器芯片及有关元器件的价格大幅度下降, PLC 成本也随之下降。与此同时, PLC 的性能在不断完善, 功能也在增多增强, 应用领域也在逐渐拓宽, 使得 PLC 的应用已由早期的开关逻辑控制扩大到工业控制的各个领域。根据 PLC 的特点, 可以将其应用归纳为如下 9 种类型。

1. 开关逻辑控制

利用 PLC 最基本的逻辑运算、定时、计数等功能实现逻辑控制, 可以取代传统的继电器控制, 用于单机控制、多机群控制、生产自动线控制等, 例如机床、注塑机、印刷机械、装配生产线、粮食生产线、电镀流水线及电梯的控制等, 这是 PLC 最基本的应用, 也是 PLC 最广泛的应用领域。

2. 模拟量控制

在现代工业生产过程中，除必要的开关量和数字量外，还有许多连续变化的模拟量，如温度、压力、流量、液位等。而 PLC 内部所处理的量为数字量，为了能接受模拟量输入和输出信号，PLC 中配置有 A/D 和 D/A 转换模块，先将现场的温度、压力等模拟量经过 A/D 模块转换为数字量，再送入微处理器进行处理，微处理器处理过的数字量又经 D/A 模块转换为模拟量去控制被控对象，这样就可实现 PLC 对模拟量的控制。

3. 顺序（步进）控制

在工业控制中，PLC 的顺序控制可以用移位寄存器和步进指令实现。除此之外，还可采用 IEC 规定的用于顺序控制的标准化语言——顺序功能图（Sequential Function Chart, SFC）编写程序，使得 PLC 在实现按照事件或输入状态的顺序时，能够更加容易地控制相应输出。

4. 运动控制

大多数 PLC 都有拖动步进电机或伺服电机的单轴或多轴位置控制模块。这一功能广泛用于各种机械设备，如对各种机床、装配机械、机器人等进行运动控制。

5. 定时控制

PLC 具有定时控制的功能，它可以为用户提供几十甚至上百个定时器，其定时的时间设置可由用户根据控制时间要求在编写用户程序时设定，定时时间可任意设定，也可由操作人员在工业现场通过编程器进行修改或重新设定，实现定时或延时的控制。通过编程既可以实现通电延时功能，也可实现断电延时功能。

6. 计数控制

计数控制也是控制系统不可缺少的，PLC 也同样为用户提供了几十甚至上百个计数器，实现对某些信号的计数功能，其设定方式同定时器一样，既可实现增计数控制，也可实现减计数控制。若用户需要对频率较高的信号进行跟踪计数，可选用高速计数模块。

7. 过程控制

大中型 PLC 都具有多路模拟量 I/O 模块和 PID 控制功能，有的小型 PLC 也具有模拟量输入输出。所以 PLC 可实现模拟量控制，而且具有 PID 控制功能的 PLC 可构成闭环控制，用于过程控制。这一功能已广泛用于锅炉、反应堆、水处理、酿酒、闭环位置控制和速度控制等方面。

8. 数据处理

现代 PLC 具有数据处理的能力。它不仅能进行算术运算、数据传送，而且还能进行数据比较、数据转换、数据显示和打印以及数据通信等。对于大中型 PLC 还可以进行浮点运算、函数运算等。

9. 通信和联网

PLC 的控制已从早期的单机控制发展到了多机控制，实现了工业自动化。现代的 PLC 一般都具有通信功能，应用远程 I/O 模块可实现远程控制；应用通信模块可实现 PLC 与 PLC、PLC 与计算机、PLC 与远程 I/O 模块之间的通信。也可以构成“集中管理，分散控制”的分布式控制系统（DCS 系统）。因此，PLC 是实现工业生产自动化的理想工业控制装置。

1.1.4 PLC 的发展状况与趋势

1. 可编程控制器的发展状况

限于当时的元器件条件及计算机发展水平，早期的 PLC 主要由分立元件和中小规模集成

电路组成,可以完成简单的逻辑控制、定时及计数功能。微处理器出现后,人们很快将其引入到 PLC 领域,使 PLC 增加了运算、数据传送及处理等功能,完成了真正具有计算机特征的工业控制功能。

纵观 PLC 控制功能的发展,其历程大致经历了以下 4 个阶段。

第一阶段,从第一台 PLC 诞生到 20 世纪 70 年代中期,是 PLC 的崛起阶段。PLC 首先在汽车工业获得大量应用,继而在其他产业部门也开始应用。由于大规模集成电路的出现,采用 8 位微处理器芯片作为 CPU,推动 PLC 技术飞跃发展。这一阶段的产品主要用于逻辑运算和定时、计数运算,控制功能比较简单。

第二阶段,从 20 世纪 70 年代中期到 70 年代末期,是 PLC 的成熟阶段。由于超大规模集成电路的出现,16 位微处理器和 51 单片机相继问世,促使 PLC 向大规模、高速度、高性能方向发展。这一阶段产品的功能扩展到数据传送、比较和运算、模拟量运算等。

第三阶段,从 20 世纪 70 年代末期到 80 年代中期,是 PLC 的通信阶段。由于计算机通信技术的发展,PLC 的性能也在通信方面有了较大的提高,初步形成了分布式的通信网络体系。但是,由于制造商各自为政,通信系统自成体系,造成了不同厂家产品的互联较为困难。在本阶段,由于社会生产对 PLC 的需求大幅增加,PLC 的数学运算功能较大地扩充,可靠性也进一步提高。

第四阶段,从 20 世纪 80 年代中期至今,是 PLC 由单机控制向系统化控制的加速发展阶段。尤其进入 21 世纪,由于控制对象的日益多样性和复杂性,采用单个 PLC 已不能满足控制要求,因此出现了配备 A/D 单元、D/A 单元、高速计数单元、温控单元、位控单元、通信单元、主机链接单元等不同功能的特殊模块构成的功能强大的 PLC 系统,而且不同系统间可以实现网际互联,还可以与上位管理机进行数据交换。

2. PLC 的发展趋势

(1) 更快的处理速度,多 CPU 结构和容错系统。大型和超大型 PLC 正在向大容量和高速化方向发展,趋向采用计算能力更大,时钟频率更高的 CPU 芯片。

采用多 CPU 能提高机器的可靠性,增强系统在技术上的生命力,提高处理能力和响应速度,以及模块化程度。

多 CPU 技术的一个重要应用是容错系统,近年来有些公司研制了三重全冗余 PLC 系统或双机热备用系统。采用热备用系统是否经济,取决于实际的需求和价格。而大多数用户只需要及时诊断,及时更换故障器件。为了及时诊断故障,有的公司研制了智能、可编程 I/O 系统,供用户了解 I/O 组件状态和监测系统的故障,也有的公司研制了故障检测程序,还发展了公共回路远距离诊断和网络诊断技术等。

(2) PLC 具有计算机功能,编程语言与工具日趋标准化和高级化。国际电工委员会(IEC)在制定 PLC 的编程语言时,认为主要的程序组织语言是顺序功能表。功能表的每个动作和转换条件可以运用梯形图编程,这种方法使用方便,容易掌握,深受电工和电气技术人员的欢迎,也是 PLC 能迅速推广的重要因素。然而它在处理较复杂的运算、通信和打印报表等功能时效率低、灵活性差,尤其用于通信时显得笨拙,所以在原梯形图编程语言的基础上加入了高级语言,例如 BASIC、PASCAL、C、FORTRAN 等。

(3) 强化 PLC 的连网通信能力。近年来,加强 PLC 的连网能力成为 PLC 的发展趋势。PLC 的连网可分为两类:一类是 PLC 之间的连网通信,各制造厂家都有自己的数据通道;

另一类是 PLC 与计算机之间的连网通信，一般都由各制造厂家制造专门的接口组件。MAP 是制造自动化的通信协议 (Manufacturing Automation Protocol)，它是一种七层模拟式、宽频带、以令牌总线为基础的通信标准。现在越来越多的公司宣布要与 MAP 兼容。PLC 与计算机之间的联网能进一步实现全工厂的自动化，实现计算机辅助制造 (CAM) 和计算机辅助设计 (CAD)。

(4) 记忆容量增大，采用专用的集成电路，适用性增强。记忆容量过去最大为 64KB，现在已增加到 500KB 以上。记忆的芯片过去主要是 RAM、EPROM，现在有 EEPROM、UVEPROM (可擦除编程 ROM)、NVRAM (非易失性随机访问存储器) 等，对 ROM 片可以涂改，对 RAM 片可以在断电时维持住记忆的信息。

(5) 向小型化、高性能的整体型发展。在提高系统可靠性的基础上，产品的体积越来越小，功能越来越强。欧姆龙公司推出的 CP1H PLC 的体积约为 150mm×90mm×85mm，内置 40 个开关量 I/O 点，4 个模拟量输入点以及 2 个输出量输出点，基本指令的执行时间为 0.1μs，特殊指令的执行时间为 0.3μs。同时，PLC 的制造厂商也开发了多种类型的高性能模块产品，当输入输出点数增加时，可根据过程控制的需求，采用灵活的组合方式进行配套，完成所需的控制功能。

1.2 可编程控制系统与其他控制系统比较

1.2.1 可编程控制系统与继电—接触器控制系统的比较

PLC 的梯形图与继电—接触器控制线路图十分相似，主要原因是 PLC 梯形图的编程沿用了继电—接触器控制电路元件符号，仅个别地方有不同。同时，信号的输入输出形式及控制功能也是相同的。PLC 的控制与继电—接触器的控制的不同之处主要表现在以下 4 个方面。

① 组成器件不同。继电—接触器控制线路由许多真正的硬件继电器组成，而 PLC 梯形图则由许多“软继电器”组成。这些“软继电器”实质上是存储器中的每一位可以置“1”或置“0”的触发器。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”供编程使用的触点数有无限对。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—接触器控制线路中，要进行某种控制是通过各种继电器之间硬接线实现的。由于继电—接触器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 控制是通过软件编程实现的，所以其相对于继电—接触器控制更加灵活多变。

另外，在继电—接触器控制线路中，为了达到某种控制目的，又要安全可靠，同时还要节约使用继电器接点，因此工程技术人员设置了许多有制约关系的联锁电路；而在梯形图中，由于它是扫描工作方式，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，因此 PLC 的电路控制设计比继电—接触器控制设计大大简化了。

④ 工作方式不同。在继电—接触器控制线路中，当电源接通时，线路中各继电器都处于受制约状态，即该吸合的继电器同时吸合，不应吸合的继电器都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；而在梯形图的控制程序中，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取决于程序扫描顺序,这种工作方式称为串行工作方式。

1.2.2 可编程控制系统与微机控制系统的比较

从微型计算机的应用范围来说,微机是通用机,而 PLC 是专用机。微型计算机是在计算机与大规模集成电路的基础上发展起来的,其最大特征是运算速度快、功能强、应用范围广。例如,近代科学计算、科学管理和工业控制等都离不开它,所以说微机是通用计算机。而 PLC 是一种为适应工业控制环境而设计的专用计算机,但从工业控制角度来看,PLC 则又是一种通用机。选配对应的模块可适用于各种工业控制系统,而用户只需改变用户程序即可满足工业控制系统的具体控制要求。如果采用微机作为某一设备的控制器,就必须根据实际需要考虑抗干扰问题和硬件、软件设计,以适应设备控制的专门需要。这样,势必把通用的微机转化成具有特殊功能的控制器,而成为一台专用机。理解了这种关系,下面便可列出 PLC 与微机的主要差异以及各自的特点。

- ① PLC 抗干扰性能比微机强。
- ② PLC 编程比微机简单。
- ③ PLC 设计调试周期短。
- ④ PLC 的输入/输出响应速度慢,有较大的滞后现象(一般为 ms 级);而微机的响应速度快(一般为 ps 级)。
- ⑤ PLC 易于操作,人员培训时间短;而微机则较难,人员培训时间长。
- ⑥ PLC 易于维修,微机维修则较困难。

随着 PLC 越来越多地采用微机技术,其功能不断增强;微机为了适应用户需要,向提高可靠性、耐用性与便于维修的方向发展,两者相互渗透,两者间的差异越来越小,界线也越来越模糊。

1.2.3 可编程控制系统与集散型控制系统的比较

PLC 与 DCS (Distribution Control System, 集散型控制系统)都是应用于工业现场的自动控制设备,都可完成工业生产中的控制任务,但它们之间又有一些不同。

- ① 发展基础不同。初期 PLC 是由继电—接触器控制系统发展而来,在开关量控制、顺序控制功能方面具有优势,集散控制系统是由回路仪表控制系统发展而来,它在模拟量处理、回路过程调节方面具有优势。
- ② 发展方向不同。随着计算机技术、通信技术的发展,PLC 在逻辑控制功能的基础上,发展了数值运算和闭环调节功能及 PID 调节功能,运算速度不断提高,控制规模也随之扩大,并可以与上位机相连,构成以 PLC 为重要控制部件的分散型控制系统。随着微处理器技术及通信技术的发展,DCS 把顺序控制、数据采集、过程控制的 PID 调节、过程监控等装置有机地结合在一起,形成了满足不同工业控制要求的集散型控制系统。
- ③ 由微型计算机为主构成的 DCS 将被 PLC 构成的集散型控制系统取代。

1.3 可编程控制系统设计过程

随着控制系统的发展,在工业控制中 PLC 被广泛使用。在了解了 PLC 的产生、发展、

特点及应用后，接下来先从宏观上熟悉 PLC 控制系统的设计过程，认识在 PLC 控制系统开发过程中需要哪些知识储备，明确后续具体知识点的学习方向。

1.3.1 PLC 控制系统设计思想

首先要了解“系统”的含义，所谓系统，是由相互制约的各个部分组成的具有一定功能的整体。PLC 控制系统存在于各个领域，种类多样，但归纳起来，它们都是由五大要素组成的，即由计算机、传感器、机械装置、动力及执行器组成，与这五大要素相对应的是控制、检测、结构、驱动和运转五大功能。

PLC 控制系统是由相互制约的五大要素组成的具有一定功能的整体，不但要求每个要素都具有高性能和高功能，还强调它们之间的协调与配合，以便更好地实现预期的功能，达到系统整体最佳的目标。

早期的 PLC 控制系统设计法往往是一种“取代法”，即用 PLC 取代原继电器—接触器控制系统，将原来的电气控制电路图转换为梯形图。这种方法简单易行，但通常达不到工艺、机械、控制三者的最佳匹配。

PLC 控制系统整体设计法是以优化的工艺为主线、控制理论为指导、计算机应用为手段、系统整体最佳为目标的一种综合设计方法。要求工程技术人员能够将微电子、电力电子、计算机、信息处理、通信、传感检测、过程控制、伺服传动、精密机械，以及自动控制等多种技术相互交叉、相互渗透、有机结合，做到融会贯通和综合运用。设计 PLC 控制系统的奥秘就在于“融会贯通”和“综合运用”。

1.3.2 PLC 控制系统设计原则

随着 PLC 功能的不断提高和完善，PLC 几乎可以完成工业控制领域的所有任务，它最适合工业环境较差，对安全性、可靠性要求较高，系统工艺复杂的应用场合。在设计 PLC 系统时应遵循以下原则。

1. 满足控制要求

最大限度地满足被控对象的工艺要求是设计控制系统的首要前提。这就要求设计人员在设计前深入现场进行调查研究，收集现场的资料和有效的控制经验，进行系统设计。

2. 安全可靠

控制系统长期运行中能否安全、可靠、稳定是设计控制系统的重要原则，这就要求在系统设计、器件选取、软件编程上要全面考虑。例如，在硬件和软件的设计上，应保证 PLC 程序不仅在正常条件下能正确运行，而且在一些非正常的情况下（如突然掉电再上电、按钮按错）也能正常运行。程序能接受并且只能接受合法操作，对非合法操作能予以拒绝等。

3. 经济实用

在满足控制要求的条件下，一方面要注意不断地扩大工程效益，另一方面也要注意降低成本。系统设计要合理、经济，要能发挥 PLC 控制优势，这就要求控制系统简单，才能保证使用与维护方便且成本低。

4. 适应发展

在设计控制系统时，需考虑到今后的功能扩充。这就要求在选择 PLC 机型和 I/O 单元时，要适当留有冗余量。

1.3.3 PLC 控制系统设计的一般过程

在 PLC 控制系统的设计中, 首先要根据实际条件制定技术路线, 将其作为设计的依据; 接着需要选定电气元件, 如执行器件 (电动机、电磁阀等), 选择电器输入/输出器件; 然后选择 PLC 型号并分配地址, 绘制接线图; 再接下来是制订软件的编写规范和编写软件, 同时设计控制柜等; 最后进行系统的调试和文档的编写工作。

设计 PLC 控制系统的方法很多, 这与设计人员习惯遵守的设计规范及实践经验有关。但是, 所有设计方法都要解决如下基本问题: 进行 PLC 系统的功能设计、系统分析, 提出 PLC 系统的基本规模和布局, 确定 PLC 的机型和系统的具体配置。

所有的 PLC 控制系统都是完整的整体, 一个系统设计从开始到最终完成一般都遵循一定的规律。如果按照通用的流程完成设计, 往往能够达到事半功倍的效果, 下面介绍 PLC 控制系统设计的一般流程。

1. 了解工艺流程

PLC 控制系统是一个相对独立的结构体, 但只有在与现场机械设备建立关联时才能体现出相应的功能, 即电气设备只有与现场设备建立对应的连接后, 才能发挥出电气控制的作用。设计者需要熟悉 PLC 控制系统现场的工艺流程情况, 了解电气设备的应用环境、应用条件, 大致掌握所需设备的类型、特点、动作时序、动作条件, 此外还需了解电气系统与机械设备、现场各种仪表是否具备连接与安装的条件等。因此, 熟悉工艺流程是 PLC 工程设计的前提条件。

2. 项目需求分析

根据合同书或用户对于电气控制的要求, 认真调查研究, 收集资料, 并与用户相关技术人员和操作人员一起分析讨论 (此过程称为联络会), 了解用户对于电气系统在实际操作、界面组态、逻辑时序、控制性能和故障处理等方面的要求。

在需求分析完成后, 要生成明确的工艺流程图 (或说明)、控制要求、故障保护等方面的详细说明文档, 设计者还可自绘示意图以便在硬件设计时用作参考。

3. I/O 资源分配

根据被控对象的特点以及用户对于控制系统的要求, 确定控制台或控制柜需要的 I/O 设备, 例如输入设备中的按键、开关、电位器或现场测量仪表等, 输出设备中继电器、接触器、电磁阀、信号指示灯以及变频器等执行器。

设计需给出 I/O 分配表以及盘面设备的布置图, 如需要的按键或开关等设备的个数及其编号, 在控制台或控制柜上的相对位置等。根据需要进行自动控制的设备, 确定 PLC 的 I/O 分配点。例如 PLC 接收的按键、(继电器) 开关、光电编码器高速脉冲等开关量或变送器送来的模拟量信号, 或由 PLC 向继电器线圈、电磁阀、直流电机或伺服驱动器所需的高速脉冲等发送的开关量信号或向变频器 (或电动阀) 发送的模拟量信号等。在 I/O 分配表中, 需确定端子的位置及其连接的设备编号、信号类型等。

4. 设备选型

为现场的电气控制设备进行选型, 除选取电动机、变频器、触摸屏、PLC、电动阀等主要设备外, 还需选择合适的中间设备, 如继电器、信号灯、断路器 (俗称空气开关)、熔断器等。相对来说, 后者的选取更加重要。在选型时, 功率或电流是电动机、变频器、断路器、

继电器等设备的主要参考指标，同时也需要兼顾设备尺寸等问题。

设备选型完成后，需要给出所有设备主要指标参数（电流、电压、功率等）对照表。

5. 绘制硬件设计图

综合现场工艺、用户需求以及硬件设备情况，绘制出对应的设计图，建议使用专用的设计软件如 AutoCAD 等完成。设计图中要包含尽可能丰富的信息，如硬件电路图、设备选型表、控制台/控制柜尺寸与布置图等。在设计硬件电路图时，如果要求手动和自动可独立进行，则需以设计具有相对独立功能的电路为主，在此基础上增加 PLC 的自动控制电路；否则以 PLC 为核心设计电路。在设计中需要特别重视硬件的保护功能，设备选型需要根据被控对象的情况具体确定。此外，继电器、熔断器等设备要根据后续电路的总功率确定合适的范围，一般选取为最大功率的 110%~150%，具体的范围需根据设备类型确定。控制台/控制柜的尺寸要精确到毫米，如开孔必须给出孔洞在盘面上的位置，开孔的长、宽或半径要给出允许的公差范围。

本步骤是电气控制系统设计中最为重要的部分，设计图在确认无误后将进行硬件安装，如果设计中存在较大问题而没有被发现，轻者导致设备无法安装或项目返工延误工期，重者导致设备无法使用造成浪费，甚至由于保护措施不全导致设备损坏或人身事故，设计者需格外注意。

完整的设计图必须包含硬件电路图、设备选型表、控制台/控制柜尺寸与布置图，硬件电路图中要标明设备的编号、名称，设备选型表中要包含详细的品牌、名称、产品订货号、尺寸、（指示灯）颜色等信息，确保在采购时准确无误。

6. 硬件安装与检验

根据设计图，完成硬件搭建与设备连接，形成实体的硬件设备。在设备完成后，需要检验系统的整体性能，如接线是否正确、手动操作的对应功能是否可以实现、必要的电气保护是否具备等，如存在瑕疵可对设计图与硬件连接进行修正。

在确保不会产生电气事故的前提下对 PLC 上电，检验对应端子的外部连接是否有效。对于 PLC 的开关量输入端，外部给予有效信号，同时检查 PLC 的端子指示灯显示是否正常（例如按下某个按键，检查连接按键的端子指示灯是否点亮）。如果是模拟量输入端，可在外部给予对应信号的情况下，在状态表中检测对应的数据区的数字量是否与输入电流值对应。检测 PLC 的开关量输出端时，可向 PLC 下载一个空的工程（即软件中包括程序块在内的所有模块均为空），然后打开状态表，分别强制 PLC 的输出端，检查连接的设备是否正常（例如对应的端子连接的继电器是否动作）。

7. 软件编制

在硬件连接确认无误后，开始进行程序的编制。

① 结合需求分析的结论。根据功能将整个项目分为若干个功能块；将功能图用粗略的流程图替代；将流程图逐步分解为具体的流程图，对于功能重复的流程图可考虑在程序编制时形成子程序。

② 根据流程图及功能。为定时器（T）、计数器（C）、内部继电器（M）、数据存储区（V）分配地址，形成地址分配表。

③ 编制程序。为每个功能块（或子程序）、每个网络均增加必要的说明（注释）。

④ 调试与修改程序。程序编制完成后，由于程序设计中难免有错误和疏漏的地方，