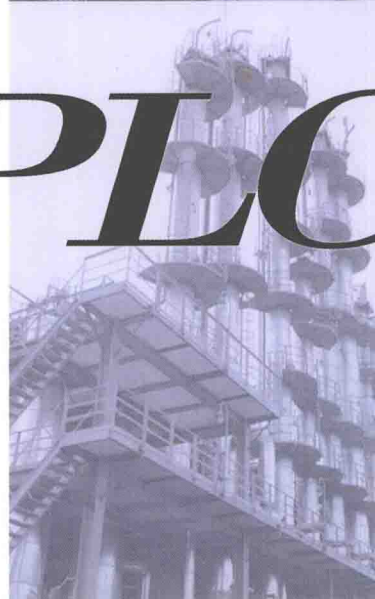


PLC and Application of
Security Automation Technology
in Industrial Control Systems

PLC与工控系统安全 自动化技术及应用

韩兵 编著



PLC



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

PLC and Application of
Security Automation Technology
in Industrial Control Systems

PLC与工控系统安全 自动化技术及应用

韩兵 编著



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

内 容 提 要

本书主要介绍 PLC 的工作原理、编程应用与工控系统的安全保障技术。全书共分 6 章,由 PLC 的基础知识开始,以欧姆龙和西门子系列 PLC 为例,分别介绍了 PLC 的编程方法与实例;PLC 与工控系统自动化;PLC 控制系统的安全性;PLC 控制系统的功能安全实现;PLC 自动化安全系统应用实例。

本书编写的着重点是工控系统安全自动化技术与应用实例,力求将这一领域的最新技术成果献给读者,为现场工程技术人员研究、开发应用和企业控制系统升级提供工具和范本。本书既可作为工业自动化、电气技术、测控技术等相关行业人员的自学用书,也可作为高职高专、成人教育、本科院校的电气工程、自动化、机电一体化、计算机控制等专业的参考教材。

图书在版编目(CIP)数据

PLC 与工控系统安全自动化技术及应用/韩兵编著. —北京:
中国电力出版社, 2010. 10

ISBN 978 - 7 - 5123 - 0887 - 9

I. ①P… II. ①韩… III. ①可 编 程 序 控 制 器
IV. ①TM571. 6

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2010) 第 181329 号

中国电力出版社出版、发行

(北京三里河路 6 号 100044 http: //www. cepp. com. cn)

汇鑫印务有限公司印刷

各地新华书店经售

*

2011 年 1 月第一版 2011 年 1 月北京第一次印刷

787 毫米×1092 毫米 16 开本 15. 25 印张 369 千字

印数 0001—3000 册 定价 38. 00 元

敬 告 读 者

本书封面贴有防伪标签,加热后中心图案消失
本书如有印装质量问题,我社发行部负责退换

版 权 专 有 翻 印 必 究



随着 PLC（可编程控制器）产品的不断更新（例如具有网络通信功能的 PLC 系统）和功能的不断提高，各种类型、不同功能和规模的 PLC 控制系统在各个领域得到了更为广泛的应用。PLC 技术与 PLC 控制系统在工业生产和民用工程自动化应用中占重要地位。进入 21 世纪以来，随着工业自动化技术的高速发展，控制系统的自动化程度越来越高，规模越来越大，系统复杂性也越来越强；在系统互连的情况下，单个单元的故障可能引起全系统瘫痪。原来系统安全依靠操作人员的安全操作和故障的迅速排除，逐渐改变为依靠安全自动化系统提供安全保障，对应工控系统的安全自动化技术应运而生。在 IEC 61508 国际标准中，给安全做了如下的定义：安全是不存在不可以接受的风险。安全问题转化为风险问题，如此一来，安全就是可以控制的了，因为风险是可控的。

PLC 的产品众多、应用范围广泛，PLC 控制系统结构复杂，对于从事控制系统开发、应用和维护的工程技术人员来说，PLC 控制系统的安全性越来越重要了。为了帮助现场工程师和技术人员进一步掌握 PLC 与工控系统安全自动化技术，我们编写了此书。全书分为 6 章，第 1 章介绍 PLC 的基础知识；第 2 章分别以欧姆龙和西门子系列 PLC 为例，介绍 PLC 的编程方法与实例；第 3 章介绍 PLC 自动化技术与工控系统；第 4 章介绍 PLC 控制系统的安全性；第 5 章介绍 PLC 控制系统的功能安全实现；第 6 章介绍 PLC 自动化安全系统应用实例。

在本书的编写过程中，黄之炯、赵铮也参与了部分工作，在此表示感谢；对提供资料的单位和个人表示感谢。

由于编者水平有限，时间仓促，不足之处在所难免，恳请读者批评指正。

编 者

2011 年 1 月

目 录



前言

第1章 PLC的基础知识	1
1.1 PLC的基本原理	1
1.1.1 概述	1
1.1.2 PLC技术的发展	3
1.2 PLC的系统应用	5
1.2.1 PLC的结构与分类	5
1.2.2 PLC的功能与应用	7
第2章 PLC编程方法与实例	11
2.1 PLC的指令集与梯形图编程	11
2.1.1 指令及形式	11
2.1.2 欧姆龙系列 PLC 重要应用指令	11
2.1.3 西门子系列 PLC 梯形图及指令	26
2.2 PLC的编程顺序与状态图	33
2.2.1 顺序图编程与实例	33
2.2.2 交通灯 PLC 控制编程实例	35
2.3 先进的 PLC 编程应用软件	41
2.3.1 欧姆龙编程软件	41
2.3.2 西门子编程软件	48
第3章 PLC自动化技术与工控系统	56
3.1 PLC控制技术	56
3.1.1 PLC顺序逻辑控制	56
3.1.2 PLC运动系统控制	59
3.2 工控系统的功率输出驱动	70
3.2.1 PLC的输入/输出驱动方式	70
3.2.2 驱动继电器	71
3.3 工控系统传感器	72
3.3.1 运动控制系统传感器	72
3.3.2 过程控制系统传感器	77
3.4 PLC与工控系统总线通信	105
3.4.1 PLC通信方式	105
3.4.2 PLC串行通信	106
3.4.3 总线通信	109

3.4.4 网络通信	113
第4章 PLC 控制系统安全性	119
4.1 PLC 控制系统的安全等级	119
4.1.1 系统功能安全国际标准	120
4.1.2 系统功能安全重要概念	123
4.2 电气与电子及可编程系统的功能安全	124
4.2.1 系统风险评估与管理	124
4.2.2 系统安全完整性等级	127
4.2.3 系统功能安全的评估	129
4.3 过程工业控制安全仪表系统的功能安全	131
4.3.1 安全生命周期	131
4.3.2 连锁系统安全等级	131
第5章 PLC 控制系统的功能安全实现	135
5.1 工业控制系统的安全等级实现	135
5.1.1 功能安全的基本方法	135
5.1.2 安全相关系统安全等级设计	140
5.2 电气与电子及可编程系统功能安全实现	146
5.2.1 安全 PLC 实现	146
5.2.2 安全现场总线	150
5.3 过程工业控制安全仪表系统功能安全实现	161
5.3.1 安全仪表系统设计整体策略	161
5.3.2 安全仪表系统自诊断策略	161
5.3.3 化工控制安全仪表系统	161
5.3.4 安全仪表系统的故障模式	162
5.3.5 选择合适的仪表回路结构	163
5.3.6 失效可能性达到要求的安全仪表系统	164
5.3.7 安全仪表系统结构确定	167
5.3.8 安全仪表系统标识	167
5.3.9 安全仪表系统作用与结构	167
第6章 PLC 自动化安全系统应用实例	170
6.1 PLC 自动化在工业过程控制中的应用	170
6.1.1 电厂 600MW 机组 DCS 安全系统	170
6.1.2 安全自动化技术在安固力化工产品生产中的应用	184
6.2 PLC 自动化在钢铁工业控制中的应用	192
6.2.1 PLC 在钢铁高炉槽下配料控制系统应用	192
6.2.2 安全自动化技术在轧钢生产线的应用	206
6.3 PLC 自动化在机器制造工业控制中的应用	209
6.3.1 PLC 在机床运动控制中的应用	209

6.3.2 安全自动化技术在汽车制造业的应用	229
6.4 PLC 紧急停车系统在工业控制中的应用	233
6.4.1 风力发电机组制造的安全要求	233
6.4.2 风力发电机组制造安全自动化技术应用	234
参考文献	236

第 1 章

PLC 的基础知识

PLC (Programmable Logic Controller, 可编程控制器) 技术与 PLC 控制系统在工业生产与民用工程自动化应用中占支配地位。随着 PLC 产品不断更新和功能不断提高, 各种类型、不同功能和大小规模的 PLC 控制系统在各个领域得到了更广泛的应用。进入 21 世纪以来, 几乎所有的工业产品都离不开自动化技术。在我们生活的各个方面也越来越与自动化联系在一起。随着可编程控制技术大量应用, PLC 与 PLC 系统越来越重要。例如, 在运动控制过程中无论是选择哪些变量进行监控, 都可以采用光电 PLC 控制系统来实现。由于可编程控制器具有数字控制、网络通信和抗干扰能力强的优点, 使得 PLC 控制技术成为大小控制系统的核心部件。PLC 在航空航天工程、能源工程、机器人系统、生产流水线、机器制造、交通车辆控制、工程测量系统、安全监控系统、环境工程中起着实时控制、测量转换、采集数据传输和网络信息处理等功能。因此, PLC 的正常可靠工作对工业生产和居民生活至关重要。

1.1 PLC 的基本原理

1.1.1 概述

1.1.1.1 PLC 的定义

PLC 是以嵌入式微处理器为核心, 具有数字逻辑或模拟输入/输出模块, 专为适用工业和工程复杂环境而设计的数字控制装置。经过长期的实际应用, 它已经成为技术通用和标准化的控制器, 是综合了微计算机技术、自动化技术和网络通信技术的新一代工业产品。PLC 采用了专门设计的模块化硬件结构, 其控制功能通过执行控制程序来完成, 具有高可靠性以及适应工业现场的高温、高湿度、冲击和振动等恶劣环境的特点, 是机械制造控制、化工过程控制和能源工程控制等工业控制应用最普遍使用的工具, 在工业自动化和民用与环境工程领域得到了广泛的应用。随着可编程控制器的发展, 它不仅能完成编辑、逻辑控制和数字通信功能, 而且能实现模拟量与数字量的相互转换。可编程控制器不但具有存储程序的存储器, 还在内部对数据进行存储。它可执行逻辑运算、顺序控制、定时、记数和算术操作的指令, 通过数字量或模拟量的输入输出来控制各种类型的机械设备或生产过程; 还具有液晶显示功能, 通过触摸屏可实现人机对话, 设定控制系统的参数和状态。可编程控制器之所以有生命力, 在于它更适合工业现场和市场的要求, 具有高可靠性、强抗干扰能力、编程安装使用简便、低价格长寿命等优点。可编程控制器可采用特有的编程语言——梯形图, 当使用它进行编程时, 可以直接应用继电器逻辑电路的设计, 而不必进行计算机方面的专门培训。可

编程控制器具有丰富的输入/输出接口,并且具有较强的驱动能力。在实际应用时,可编程控制器系统硬件可根据实际需要选择不同的配置模块,其软件根据控制要求进行设计编制,因此编程控制器可以在恶劣环境中完成各种各样复杂程度不同的工业生产实时控制任务与工程现场的数据采集处理和通信任务。

1.1.1.2 PLC 的工作过程

PLC 的基本工作原理是采用程序扫描技术来实现逻辑控制功能。扫描是一种形象化的术语,用来描述可编程序控制器内部的 CPU 的工作过程。所谓扫描就是依次对各种规定的操作项目全部进行访问和处理。PLC 运行时,用户程序中有众多的操作需要执行,但是一个 CPU 每一个时刻只能执行一个操作而不能同时执行多个操作,因此 CPU 按程序的顺序依次执行各个操作。这种在处理多个作业时依次按顺序处理的工作方式称为扫描工作方式。由于扫描是周而复始无限循环的,每扫描一个循环所用的时间为扫描周期。顺序扫描的工作方式是 PLC 的基本工作方式,它简单直观,方便用户程序设计,为 PLC 的可靠运行提供了有利保证。一方面,所扫描的指令被执行后其结果马上就可以被后面将要扫描的指令所利用;另一方面,还可以通过 CPU 设置定时器来监视每次扫描时间是否超过规定时间,避免由于 CPU 内部故障使程序执行进入死循环。

PLC 的工作过程基本上是用户的梯形图程序的执行过程,即在系统软件的控制下顺次扫描各输入点的状态,按用户程序解算控制逻辑,然后顺序向各个输出点发出相应的控制信号。除此之外,为提高工作的可靠性和及时地接收外来的控制命令,每个扫描周期还要进行故障自诊断和处理,处理与编程器或计算机的通信请求。因此,PLC 工作过程分为以下 5 个步骤:

(1) 自诊断。

自诊断功能可使 PLC 系统防患于未然,而在发生故障时能尽快地修复,为此 PLC 每次扫描用户程序以前都对 CPU、存储器、输入/输出模块等进行故障诊断,若自诊断正常便继续进行扫描,而一旦发现故障或异常现象则转入处理程序,保留现行工作状态,关闭全部输出,然后停机并显示出错的信息。

(2) 网络通信。

自诊断正常后 PLC 即扫描编程器、上位机等通信接口,如有通信请求便响应处理。在与编程器通信过程中,编程器把指令和修改参数发送给主机,主机把要显示的状态、数据、错误码进行相应指示,编程器还可以向主机发送运行、停止、清内存等监控命令。在与上位机通信过程中 PLC 将接收上位机发出的指令进行相应的操作,把现场状态、PLC 的内部工作状态、各种数值参数发送给上位机,并执行启动、停机、修改参数等命令。

(3) 输入现场状态。

完成前两步工作后 PLC 便扫描各个输入点,读入各点的状态和数据,如开关的通断状态、形成现场的内存映像。这一过程也称为输入采样或输入刷新。在一个扫描周期内,内存映像的内容不变。即使外部实际开关状态已经发生了变化,也只能在下一个扫描过程中的输入采样时刻进行刷新,解算用户逻辑所用的输入值是该输入值的内存映像值,而不是当时现场的实际值。

(4) 解算用户逻辑。

解算用户逻辑即执行用户程序。一般是从存储器的最低地址存放的第一条程序开始,在



无跳转的情况下按存储器地址的递增方向顺序地扫描用户程序,按用户程序进行逻辑判断和算术运算,因此称之为解算用户逻辑。解算过程中所用的计数器/定时器、内部继电器等编程元件内数据为相应存储单元的即时值,而输入继电器/输出继电器则用的是内存映像值。在一个扫描周期内,某个输入信号的状态不管外部实际情况是否已经变化,对整个用户程序是一致的,不会造成结果混乱。

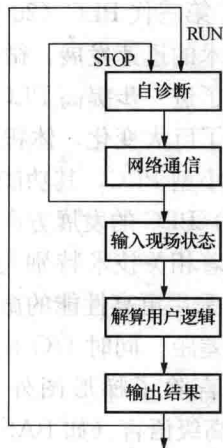
(5) 输出结果。

将本次的扫描过程中解算最新结果送到输出模块取代前一次扫描解算的结果,也称为输出刷新。解算用户逻辑时,每一步所得到的输出信号被存入输出信号寄存表并未发送到输出模块,相当于输出信号被输出门阻隔,待全部解算完成后打开输出门并输出,所用输出信号由输出状态表送到输出模块,其相应开关动作。在依次完成上述 5 个步骤操作后,PLC 又开始进行下一次扫描。如此不断的反复循环扫描,实现对全过程及设备的连续控制,直至接收到停止命令、或停电、出现故障为止。PLC 的扫描工作的过程如图 1-1 所示。

1.1.2 PLC 技术的发展

随着 PLC 技术与应用的快速发展,PLC 已成为控制应用中心,数据采集中心、人机交互处理中心、数据通信处理

图 1-1 PLC 扫描工作的过程



中心、信号变换处理中心和网络控制中心。可编程控制器 (PLC) 具有非常好的应用前景,在中国自动化部分领域的年增长率已经超过 20%。尽管价格在降低,中国的 PLC 市场仍预期在今后 5 年将以 14.1% 的复合增长率 (CAGR) 增长。美国 ARC 咨询机构一项研究结果表明,2003 年这个市场大约是 3 亿 7 千万美元,并且到 2008 年翻一番。中国国民经济发展的众多因素正在驱动中国 PLC 市场的增长。例如,三峡和黄河的电力工程将使应用 PLC 的制造业缓解面临的电力饥荒;在中国建立生产基地的多国公司外购趋势也促进了 PLC 自动化产品的应用;随着老产品的升级改造,现在国有企业需要更高的 PLC 自动化程度,以便在出口市场的激烈竞争中取胜;急速发展的中国机床市场将持续需要更多的 PLC,进行 PLC 工程教育的浪潮和以出口为目标的中国公司采用的最新 PLC 控制技术,都将使 PLC 得到更加广泛而深入的应用和发展。

(1) PLC 的发展过程。

PLC 的发展过程大致可分 3 个阶段。

1) 第一代 PLC (20 世纪 60 年代末~70 年代中期)。早期的 PLC 作为继电器控制系统的替代物,其主要功能只是执行原先由继电器完成的顺序控制和定时/计数控制等任务。PLC 在硬件上以微计算机的形式出现,在输入/输出接口电路上作了改进,以适应工业控制现场的要求。装置中的器件主要来分立元件和中小规模集成电路,存储器采用磁芯存储器。另外还采取了一些措施,以提高其抗干扰的能力。PLC 在软件上吸取了广大电气工程技术人员所熟悉的继电器控制线路特点,形成了特有的编程语言—梯形图 (Ladder Diagram),并一直沿用至今。其优点是简单易懂,便于安装,体积小,能耗低,有故障指示,能重复使用等。

2) 第二代 PLC (20 世纪 70 年代中期~80 年代后期)。20 世纪 70 年代,微处理器的出现使 PLC 发生了巨大的变化。各个 PLC 厂商先后开始用微处理器作为 PLC 的中央处理单

元 (Central Processing Unit, CPU), 使 PLC 的功能大增强。在软件方面, 除了原有功能外, 还增加了算术运算、数据传送和处理、通信、自诊断等功能。在硬件方面, 除了原有的开关量 I/O 以外, 还增加模拟量 I/O、远程 UO 和各种特殊功能模块, 如高速计数模块、PID 模块、定位控制模块通信模块等。同时扩大了存储器容量和各类继电器的数量, 并提供一定数量的数据寄存, 进一步增强了 PLC 的功能。

3) 第三代 PLC (20 世纪 80 年代后期至今)。20 世纪 80 年代后期, 随着超大规模集成电路技术的迅速发展, 微处理器的价格大幅下降, 各种 PLC 采用的微处理器的性能普遍提高。为了进一步提高 PLC 的处理速度, 制造厂家还开发了专用芯片, PLC 的软件和硬件功能发生了巨大变化, 体积更小, 成本低, I/O 模块更丰富, 处理速度更快, 指令功能更强。即使是小型 PLC, 其功能也大大加强, 在有些方面甚至超过了早期大型 PLC 的功能。

(2) PLC 的发展方向。

随着相关技术特别是超大规模集成电路技术的迅速发展及其在 PLC 中的广泛应用, PLC 中采用更高性能的微处理器作为 CPU, 功能进一步增强, 逐步缩小了与工业控制计算之间的差距。同时 I/O 模块更丰富, 网络功能进一步增强, 以满足工业控制的实际需要。程序语言除了梯形图外, 还可采用指令表、顺序功能图 (Sequential Function Charter, SFC) 高级语言 (如 BASIC 和 C 语言) 等。另外还普遍采用表面安装技术, 不仅降低成本, 减小体积, 而且进一步提高子系统性能。

现代 PLC 的发展有两个主要趋势: ①向体积更小、速度更快、功能更强的微小型方面发展; ②向大型网络化、高可靠性、良好的兼容性和多功能方面发展, 相当于当前工业控制计算机 (工控机) 的性能。

大中型 PLC 主要是朝 DCS (Distributed Control System, 分布式控制系统) 方向发展, 使 PLC 具有 DCS 系统的一些功能。网络化和通信能力强是 PLC 发展的一个重要方面, 对特定、标准的现场总线的支持则是必然的趋势。向下可将多个 PLC、ISO 框架相连, 向上与工控、工业以太网、MAP 网等相连, 构成整个工厂的自动化控制系统, 真正实现管控一体化。步进电机控制、位置控制、伺服控制等模块的出现, 使得 PLC 的应用领域更加广泛。

例如西门子 (SIEMENS) 公司的 S7-200、S7-300 和 S7-400 系列 PLC 都支持现场总线标准 Profibus, 并具有全面的故障诊断功能。模块式结构可用于各种功能的扩展, 快速的指令处理大大缩短了扫描周期, 并采用了高速计数器。高速中断处理可以分别响应过程事件, 大幅度降低了成本。

由于控制系统的可靠性日益受到人们的重视, 一些公司已将自诊断技术、冗余技术、容错技术广泛应用到新产品中, 推出了高可靠性的冗余系统, 并采用双机热备、并行工作或多数表决的工作方式。S7-400 系列 PLC 即使在恶劣的工作环境下, 坚固、全密封的模板依然可正常工作, 在系统运行过程中还支持模板的热插拔。

总之, PLC 的发展主要趋向于大型化和小型化的两极, 具体体现在标准化、模块化、网络化、低价格、高性能等方面。但 PLC 长期以来走的是专门化的道路, 使其在获得成功的同时也带来了一些不便, 主要表现在软件和硬件的互不兼容, 从而妨碍了自身的发展。因此, 实现 PLC 硬件和软件的标准化则是以后发展的必然趋势。从 1978 年起, IEC 在其下设 TC65 的 SC65B 中专设 WGT 工作组, 着手制定 PLC 的国际标准。我国也于 1992 年成立了 PLC 委员会, 着手制定 PLC 的国家标准。目前 IEC 已经制定和公布的标准有以下 5 种:



IEC 1131—1 General Information (一般信息)

IEC 1131—2 Equipment Characteristics and Test Requirement (设备特性与测试要求)

IEC 1131—3 Programming Language (编程语言)

IEC 1131—4 User Guidelines (用户指南)

IEC 1131—5 MMS Companion Standard (制造信息规范伴随标准)

遗憾的是,直到今天,PLC 在兼容性方面基本上还是原地踏步,硬件资源配置和指令系统仍然是各自为政,除了网络通信方面以外几乎没有什么进展。如果 PLC 能够真正实现标准化,则必将大大促进其自身的应用和发展。

1.2 PLC 的系统应用

1.2.1 PLC 的结构与分类

1.2.1.1 PLC 的结构

PLC 是模块化结构的控制系统,模块化的主要目的是为了适应环境变化的生产过程。它具有抗电磁干扰、温度和湿度变化以及标准化功能,便于使用与维护。PLC 还可以根据应用功能的需要选择不同的功能模块组合成系统,例如使用电源模块、CPU 模块、通信模块、I/O 接口和模数转换模块等。控制器的模块并列安装在导轨上,导轨和模块都符合相应的工业标准。一种 ControlLogix PLC 外形如图 1-2 所示。



图 1-2 ControlLogix PLC 外形

虽然 PLC 一般是模块化的结构,但在某种应用场合,有一体化的微型 PLC 存在,例如 North Eastern Ohio 有限公司的微型 PLC,如图 1-3 所示。

1.2.1.2 PLC 的分类

PLC 一般分为小型 PLC、中型 PLC 和大型 PLC。I/O 点数表明 PLC 可以从外部接收多少输入量和向外部输出多少个输出量,即 PLC 的 I/O 端子数。一般来说,点数多的 PLC 功能较强。I/O 点总数在 256 点以下的 PLC 称为小型 PLC。小型 PLC 体积小,结构紧凑,整个硬件融为一体,是实现机电一体化的理想控制器,也是一种在实际控制中应用得最为广泛的机型。小型 PLC 一般就 CPU 速度、存储器规模、输入输出节点数、内部定时器/计数器个数、编程指令都比中大型 PLC 少得多,一般用来实现条件控制、定时/计数控制、顺序控制等功能。新一代的小型 PLC 都具有算术运算、浮点

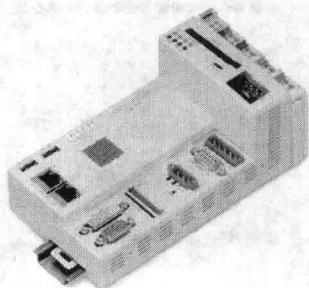


图 1-3 North Eastern Ohio 有限公司的微型 PLC

数运算、函数运算和模拟量处理的功能，可满足更为广泛的需要。I/O 点数在 256~1024 点之间的 PLC 为中型 PLC。中型 PLC 在逻辑运算功能的基础上增加了模拟量处理、算术运算、数据传送、数据通信等功能，可完成既有开关量又有模拟量的复杂控制。中型 PLC 的编程器有便携式和带有 CRT/LCD 的智能图形编程器供用户选择。后者为用户提供了更直观的编程工具，梯形图能直接显示在屏幕上。用户可以在屏幕上直观地了解用户程序运行中的各种状态信息，方便用户编写和调试程序，提供了良好的监控环境。

I/O 点数在 2048 点以上的 PLC 为大型 PLC。大型 PLC 具有极强的软件和硬件功能、自诊断功能、通信联网功能，它可以构成二级通信网，实现工厂生产管理自动化。另外大型 PLC 还可以采用一个 CPU 构成表决式系统，使机器具有更高的可靠性。如西门子公司的 S7-400 系列 PLC、三菱公司的 A3M、A3N 系列 PLC 都属于大型机。

I/O 点数是大家以往常常引用的、用来衡量 PLC 规模大小的传统方法，I/O 点标准见表 1-1。

表 1-1 I/O 点新旧标准对照

新标准	旧标准	更早标准
Nano 型：少于 15 个 I/O 点	Nano 型：少于 15 个 I/O 点	Nano 型：0~64 个 I/O 点
微型：16~255 个 I/O 点	微型：16~128 个 I/O 点	微型：65~128 个 I/O 点
中型：256~1024 个 I/O 点	中型：129~511 个 I/O 点	中型：129~256 个 I/O 点
大型：2048 或更多 I/O 点	大型：512 或更多的 I/O 点	大型：256 或更多的 I/O 点

然而，现在最小型 PLC 的 I/O 处理能力，也超过了过去大型 PLC 的处理能力。所以专家认为现在的 PLC 最好是以提供所需的功能而不是 I/O 点数来衡量 PLC 的规模大小。现在一般微型 PLC 控制盘的安装空间非常有限，却需要适用于高产量生产线和高处理速度的操作环境。由于它的一体化的外形结构，这种紧凑型的 PLC 可以提供多达 64 个点的 I/O 处理能力，并且可以扩展到 176 个点。快速的系统扫描周期，固件的编程指令集，可使编程选项倍增的扩展内存，模块化的设计使得系统的硬件安装更灵活、更容易。一种带有液晶显示功能的小型 PLC 如图 1-4 所示。

PLC 专家建议用户根据具体的应用场合来决定采用何种 PLC。今天的控制处理过程很

大程度上依赖包罗万象的信号和数据，其涵盖的范围包括模拟及数字输入/输出设备、高分辨率高速的摄像机，以及多轴运动控制器。很多应用场合，比如高速生产线、实时的机械状态监测、高精度控制，以及复杂过程控制，他们往往需要在确定的时间间隔内，执行完成高速的数据采集、先进的数据分析以及处理算法任务。

高级的 PLC 可以满足上述部分要求。然而，工程师为了能够高效地处理这些信号，需要一些进行计算的资源，如浮点处理器及足够的内存。也可以利用其他设备构成 PLC 系统将这些控制器硬件与实时操作系统集成在一起，为控制工程师的应用提供了一种低成本高效益的工作平台。

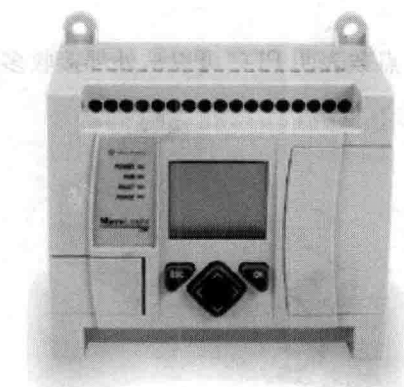


图 1-4 一种带有液晶显示功能的小型 PLC



日本松下 (Panasonic) 公司的 FP-X 型 PLC 带有一系列的新的特性和功能。FP-X 型 PLC, 它的处理器速度高达 $0.32\mu\text{s}$, 并且带有 32KB 的编程内存, 可以取代处理规模小且价格昂贵的高速 PLC。这种 PLC 还带有内置的 24V 传感器电源, 可移动的端子排和继电器输出。该产品可以交流供电, 且提供通信功能, 同时还提供模拟和离散 I/O 信号, 以及相关运动控制模块的扩展。FP-X 型 PLC 也可使用可用于 FP0 系列 PLC 上的所有扩展模块。

美国罗克韦尔自动化公司的 AB MicroLogix 1100 控制器是为用户提供的一种低成本高效益、带有灵活的在线编辑功能的低端控制器。这种新型控制器能够帮助用户在线的修改程序, 其中包括 PID 回路 (即比例—积分—微分回路)。嵌入式的以太网/IP 通信端口, 可通过产品提供的现成便利工具, 来共享所有的数据, 同时还省去了网络接线的麻烦。一台嵌入式的以太网 Web 服务器, 使得用户可以远程访问相关的控制信息。有些应用场合, 包括了透过以太网的分散控制, 如在原料处理和包装方面的应用就属此类情况。在这种应用中, 监控系统和数据采集系统可能位于一处, 而控制器作为远程终端单元可能又位于另外一处。该系统内置的多用途文本 LCD 屏幕, 可以省去在很多应用中各个独立的操作人机界面。

法国施耐德电气公司的 Telemecanique Twido Nano PLC 具备了很多原先只有在更大型 PLC 上才会拥有的性能, 并且体积更小, 具备多种通信功能, 对于每一指令逻辑, 拥有最快的扫描周期。当用户在选择更为小型的 PLC, 还是更为大型的 PLC 时, 主要考虑的是实际应用中的处理规模 and 范围, 然后才能决定。一套小型 PLC 是否合适的结论往往是, 一套小型 PLC 对于复杂的机械方面的应用还比较合适, 而一套大中型 PLC 则更加适用于复杂的过程控制。如果初步认为一套小型的 PLC 可以适用于用户应用场合的话, 那么下一步就可以判断, 该类 PLC 是否有足够的 I/O 点数 (离散量和模拟量), 是否有 PID 回路的处理能力, 是否有足够的内存和通信处理能力, 是否有足够快的处理速度。如果安装空间不是很大的话, 那么同样还需考虑系统硬件的物理尺寸。在实际的工程应用中, 小型控制器的优势和适应性已经充分展现出来。

1.2.2 PLC 的功能与应用

1.2.2.1 PLC 组成模块的功能

(1) CPU 功能。

CPU 是 PLC 的核心部分。与通用微机 CPU 一样, CPU 在 PC 系统中的作用类似于人体的神经中枢。其主要功能为: 用扫描方式 (后面介绍) 接收现场输入装置的状态或数据, 并存入输入映像寄存器或数据寄存器; 接收并存储从编程器输入的用户程序和数据; 诊断电源和 PC 内部电路的工作状态及编程过程中的语法错误; 在 PLC 进入运行状态后, CPU 执行用户程序——产生相应的控制信号 (从用户程序存储器中逐条读取指令, 在命令解释后按指令规定的任务产生相应的控制信号, 启闭有关的控制电路); 进行数据处理——分时和分通道地执行数据存取、传送、组合、比较与变换等动作, 完成用户程序中规定的逻辑或算术运算任务; 更新输出状态——输出实施控制 (根据运算结果, 更新有关标志位的状态和输出映像寄存器的内容, 再由输入映像寄存器或数据寄存器的内容, 实现输出控制、制表、打印、数据通信等)。

(2) 存储器。

系统程序存储器存放系统工作程序 (监控程序)、模块化应用功能子程序、命令解释、

功能子程序的调用管理程序和系统参数。

用户存储器存放用户程序，即用户通过编程器输入的用户程序。

功能存储器（数据区）存放用户数据。

PC 的用户存储器通常以字（16 位/字）为单位来表示存储容量。系统程序直接关系到 PLC 的性能，不能由用户直接存取，所以通常 PC 产品资料中所指的存储器形式或存储方式及容量，是针对用户程序存储器而言的。

(3) I/O（输入/输出部件）。

I/O 模块（包括接口电路、I/O 映像存储器）是 CPU 与现场 I/O 装置或其他外部设备之间的连接部件。PLC 提供了各种操作电平与驱动能力的 I/O 模块，以及各种用途的 I/O 组件供用户选用。可实现输入/输出电平转换，电气隔离，串/并行转换，数据传送，A/D、D/A 转换，误码校验等功能。I/O 模块可与 CPU 放在一起，也可远程放置。通常，I/O 模块上还具有状态显示和 I/O 接线端子排。

(4) 编程器等外部设备。

编程器是 PLC 开发应用、监测运行、检查维护不可缺少的工具，其作用适用于用户程序的编制、编辑、调试、检查和监视；通过键盘和显示器去检测 PLC 内部状态和参数，通过通信端口与 CPU 联系，实现与 PLC 的人机对话。编程器分为简单型（只能联机编程，只能用指令清单编程）和智能型。智能型编程器既可联机（Online），也可脱机（Offline）编程；可以采用指令清单（语句表）、梯形图等语言编程。常可直接以电脑作为编程器，安装相关的编程软件编程。编程器一般不直接加入现场控制运行。一台编程器可开发、监护许多台 PLC 的工作。其他外设包括磁盘、光盘、EPROM 写入器（用于固化用户程序）、打印机、图形监视系统或上位计算机等。

(5) 电源模块。

电源内部为开关稳压电源，供内部电路使用，大多数机型还可以向外提供 DC24V 稳压电源，为现场的开关信号、外部传感器供电。外部电源时可用一般工业电源，并备有锂电池（备用电池），使外部电源故障时内部重要数据不致丢失。

1.2.2.2 PLC 的控制功能

经过长期的工程实践，PLC 的各种特性和优点越来越为广大技术人员所认识和接受，已经广泛应用到石油、化工、机械、钢铁、交通、电力、轻工、采矿、水利、环保等各个领域，包括从单机自动化到工厂自动化，从机器人、柔性制造系统到工业控制网络。PLC 的控制功能主要包括以下几个方面。

(1) 逻辑（开关）控制。

这是 PLC 最基本的功能，也是最为广泛的应用。PLC 具有与、或、非、异或和触发器等逻辑运算功能。采用 PLC 可以很方便地实现对各种开关量的控制，用来取代继电器控制系统，实现逻辑控制和顺序控制。PLC 既可用于单机或多机控制，又可用于自动化生产线的控制。PLC 可根据操作按钮、各种开关及现场其他输入信号或检测信号控制执行机构完成相应的功能。

(2) 定时控制。

PLC 具有定时控制功能，可为用户提供几十个甚至上千个定时器。且设定值既可以由用户在编程时设定，也可以由操作人员在工业现场通过人机对话装置实时设定，实现具体的



定时控制。

(3) 计数控制。

PLC 具有计数控制功能, 可为用户提供几十个甚至上千个计数器。计数设定值的设定方式同定时器一样。计数器分为普通计数器、可逆计数器、高速计数器等类型, 以完成不同用途的计数控制。一般计数器的计数频率较低。如需对频率较高的信号进行计数, 则需要选用高速计数器模块, 其计数频率可达 50kHz。也可选用具有内部高速计数器的 PLC, 目前的 PLC 具有几千~几十千赫的内部高速计数器。计数器的实际计数值也可以通过人机对话装置实时读出或修改。

(4) 步进控制。

PLC 具有步进(顺序)控制功能。在新一代的 PLC 中, 可以采用 IEC 规定的用于顺序控制的标准化语言顺序功能图编写用户程序, 使 PLC 在实现按照事件或输入状态的顺序控制相应输出的时候更加简便。

(5) 模拟量处理与 PID 控制。

PLC 具有 A/D (Analog/Digital, 模/数) 和 D/A 转换模块, 转换的位数和精度可以根据用户要求选择, 因此能进行模拟量处理与 PID 控制。PLC 可以接模拟量输入和输出模拟量信号, 模拟量一般为 4~20mA 的电流、1~5V 或 0~5V 的电压。为了既能完成对模拟量的 PID 控制, 又不加重 PLC 的 CPU 负担, 一般选用专用的 PID 控制模块实现 PID 控制。此外还具有温度测量接口, 可以直接连接各种热电阻和热电偶。

(6) 数据处理。

PLC 具有数据处理能力, 可进行算术运算、逻辑运算、数据比较、数据传送、数制转换、数据移位、数据显示和打印、数据通信等功能, 如加、减、乘、除、乘方、开方、与、或、异或、求反等操作。新一代的 PLC 还能进行三角函数运算和浮点运算。PLC 可以和触摸屏联合使用成为人机信息系统。

(7) 通信和联网功能。

现在的 PLC 具有 RS232、RS422、RS485 或现场总线等通信接口, 可进行远程 I/O 控制, 可实现多台 PLC 联网和通信。外部设备与一台或多台 PLC 之间可实现程序和数据的传输。通信口按标准的硬件接口和相应的通信协议完成通信任务的处理。例如西门子 S7-200 系列 PLC 配置有 Profibus 现场总线接口, 其通信传输速率可以达到 1.5Mbit/s (比特/每秒)。在系统构成时, 可由一台计算机与多台 PLC 构成“集中管理、分散控制”的分布式控制网络, 以便完成较大规模的复杂控制。

1.2.2.3 PLC 的性能指标

PLC 的性能指标是反映 PLC 性能高低的一些相关的技术指标, 主要包括 I/O 点数、处理速度(扫描时间)、存储器容量、定时器/计数器及其他辅助继电器的种类和数量、各种运算处理能力等。下面予以简要介绍。

(1) I/O 点数。

PLC 的规模一般以 I/O 点数(输入/输出点数)表示, 即输入/输出继电器的数量。这也是在实际应用中最最重要的一个技术指标。按输入/输出点数 PLC 一般分为小型、中型和大型 3 种。通常一体式的主机都带有一定数量的输入继电器/输出继电器, 如果不能满足需求, 还可以用相应的扩展模块进行扩展, 增加 I/O 点数。

(2) 处理速度。

PLC 的处理速度一般用基本指令的执行时间来衡量,一般取决于所采用的 CPU 的性能。早期的 PLC 运行速度在 $20\mu\text{s}$ 左右,现在的速度则快得多,如西门子的 S7-200 系列 PLC 的执行速度为 $0.8\mu\text{s}$,欧姆龙的 CPM2A 系列 PLC 达到 $0.6\mu\text{s}$,1000 步基本指令的运算只需要 $640\mu\text{s}$,大型 PLC 的工作速度则更高。因此,PLC 的处理速度可以满足绝大多数的工业控制要求。

(3) 存储器容量。

在 PLC 应用系统中,存储器容量是指保存用户程序的存储器大小,一般以“步”为单位。1 步为 1 条基本指令占用的存储空间,即两个字节。小型 PLC 可达 1 千步到几十千步,大型 PLC 则能达到几百千步。西门子 S7-200 系列 PLC 的存储容量为 2~8K,选配相应的存储卡则可以扩展到几十 K。

(4) 定时器/计数器的点数和精度。

定时器/计数器的点数和精度从一个方面反映了 PLC 的性能。早期定时器的单位时钟一般为 100ms,最大时限(最大定时时间)大多为 32 765。为了满足高精度的控制要求,时钟精度不断提高,如三菱 FX2N 系列 PLC 和西门子 S7-200 系列 PLC 的定时器有 1ms、10ms 和 100ms 三种,而松下 FP 系列 PLC 的定时器则有 1ms、10ms、100ms 和 1s 4 种,可以满足各种不同精度的定时控制要求。

(5) 处理数据的范围。

PLC 处理的数值为 16 位二进制数,对应的十进制数范围是 $0\sim 9999$ 或 $-32\,768\sim 32\,767$ 但在高精度的控制要求中,处理的数值为 32 位,范围是 $-2\,147\,483\,648\sim 2\,147\,483\,647$ 。在过程控制等应用中,为了实现高精度运算,必须采用浮点运算。现在新型的 PLC 都支持浮点数的处理,可以满足更高的控制要求。

(6) 指令种类及条数。

指令系统是衡量 PLC 软件功能高低的主要指标。PLC 的指令系统一般分为基本指令和高级指令(也叫功能指令或应用指令)两大类。基本指令都大同小异,相对比较稳定。高级指令则随 PLC 的发展而越来越多,功能也越强。PLC 具有的指令种类及条数越多,则其软件功能越强,编程就越灵活,越方便。另外,各种智能模块的多少、功能的强弱也是说明 PLC 技术水平高低的一个重要标志。智能模块越多,功能就越强,系统配置和软件开发也就越灵活、越方便。