

变配用电设备 电气试验与 典型故障分析及处理

BIANPEI YONGDIAN SHEBEI
DIANQI SHIYAN YU
DIANXING GUZHANG FENXI JI CHULI

赵永生 主编
彭玉槐 唐亚笛 参编
王先存 胡灵荣



三菱 FX 系列 PLC 原理 及工程应用

王雅芳 编著



机械工业出版社

本书结合作者多年的教学与工程实践经验,以当今市场比较典型实用的三菱 FX 系列 PLC 为例进行介绍,全书共分为 9 章,具体包括 PLC 概述、系统组成与工作原理,PLC 的编程语言与基本逻辑指令、功能指令与步进梯形指令,PLC 的控制系统设计,PLC 手持编程器和编程软件、网络及计算机通信,PLC 控制系统开发应用、特殊功能模块内容等。

本书立足于专业,理论和实践结合、深入考虑读者的需求,简明实用,实例丰富、图文并茂,可作为高职高专电子信息工程、电气工程、自动化、计算机应用以及机电一体化等专业教材,亦可作为职大和电大相近专业的教学用书,还可用作电工类技师、高级技师的 PLC 技术培训教材。对于广大的电气工程技术人员来说,本书也是一本有价值的参考书。

图书在版编目 (CIP) 数据

三菱 FX 系列 PLC 原理及工程应用/王雅芳编著. —北京:
机械工业出版社, 2012. 6

ISBN 978-7-111-38047-4

I. ①三… II. ①王… III. ①PLC 技术 IV. ①TM571. 6

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2012) 第 070130 号

机械工业出版社 (北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

策划编辑: 张俊红 责任编辑: 张俊红

版式设计: 霍永明 责任校对: 张晓蓉

封面设计: 马精明 责任印制: 杨曦

北京市朝阳区展望印刷厂印刷

2012 年 6 月第 1 版第 1 次印刷

184mm × 260mm · 16 印张 · 395 千字

0001—3000 册

标准书号: ISBN 978-7-111-38047-4

定价: 39.8 元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

电话服务

网络服务

社服务中心: (010) 88361066

门户网: <http://www.cmpbook.com>

销售一部: (010) 68326294

教材网: <http://www.cmpedu.com>

销售二部: (010) 88379649

读者购书热线: (010) 88379203

封面无防伪标均为盗版

前 言

可编程序控制器 (Programmable Logical Controller, PLC), 是在继电器接触器控制技术和计算机技术的基础上开发出来的。它是一种以微处理器为核心, 带有指令存储器和输入/输出接口, 能将自动化技术、计算机技术、通信技术融为一体的新型工业控制装置, 适用于不同控制要求的各种控制对象。它具有简单易懂、操作方便、可靠性高、通用灵活、体积小、使用寿命长等许多其他控制器件所无法相比的优点。

PLC 自面世以来, 在汽车、钢铁、航空航天、船舶、化工、纺织、食品、造纸、军工等工业领域获得了广泛的应用, 已成为一种最重要、最普及、应用场合最多的工业控制器, 与机器人、CAD/CAM 并称为工业生产自动化的三大支柱。

本书以目前市场上主流机型 FX 作为主要对象, 详细介绍了 PLC 的工作原理、软硬件构成、指令系统和通信、控制系统设计以及应用等相关知识。在选材上本书特别注意从应用角度出发, 以大量的编程方法和 PLC 的工程应用实例贯穿全书, 以帮助读者能更快地理解和掌握 PLC 技术及使用方法。在编写风格上力求由浅入深、通俗易懂, 并注重实用性。

本书由福建水利电力职业技术学院王雅芳编写, 在本书编写过程中, 在资料收集引用和技术交流方面得到许多专家与学者及同仁的大力支持, 在此表示衷心感谢。

由于编者水平有限, 时间仓促, 书中难免有错误和不妥之处, 敬请广大读者批评指正。

编 者

目 录

前言

第 1 章 绪论	1
1.1 PLC 的发展历史和定义	1
1.1.1 PLC 的发展历史	1
1.1.2 PLC 的定义	2
1.2 PLC 的主要特点和应用领域	2
1.2.1 PLC 的主要特点	2
1.2.2 PLC 的应用领域	4
1.3 PLC 的发展趋势	5
第 2 章 PLC 的系统组成与工作	
原理	8
2.1 PLC 的基础知识	8
2.1.1 PLC 的基本控制原理	8
2.1.2 PLC 的主要性能指标	10
2.1.3 PLC 的分类	11
2.1.4 PLC 的硬件和软件	13
2.2 PLC 的工作原理	24
2.2.1 PLC 的工作方式	24
2.2.2 扫描过程	24
2.2.3 PLC 对输入/输出的处理	27
2.3 三菱 FX 系列 PLC	32
2.3.1 三菱 FX 系列硬件配置和技术	
指标	33
2.3.2 三菱 FX 系列 PLC 的编程元件	40
第 3 章 PLC 的编程语言与基本逻辑	
指令	51
3.1 PLC 的编程语言	51
3.2 PLC 的梯形图的基本概念和基本编程	
规则	53
3.2.1 PLC 的梯形图的基本概念	53
3.2.2 PLC 的梯形图的基本编程规则	54
3.3 三菱 FX 系列 PLC 的基本逻辑	
指令	56
3.3.1 三菱 FX 系列逻辑指令基	
本类型	56
3.3.2 三菱 FX 系列基本逻辑指	
令简介	58

第 4 章 PLC 的功能指令与步进梯形

指令	65
4.1 PLC 的指令系统	65
4.1.1 指令系统概述	65
4.1.2 指令系统的表示形式	65
4.1.3 程序流向控制指令	69
4.1.4 传送与比较指令	71
4.1.5 算术和逻辑运算指令	75
4.1.6 循环与移位指令	78
4.1.7 数据处理指令	80
4.1.8 高速处理指令	83
4.1.9 方便指令	86
4.1.10 外部 I/O 设备指令	88
4.1.11 浮点数运算、时钟运算和 FX 外	
部设备指令	91
4.2 状态转移图及步进梯形指令	95
第 5 章 PLC 的控制系统设计	101
5.1 PLC 控制系统设计概述	101
5.1.1 PLC 控制系统设计的基本原则	101
5.1.2 PLC 控制系统设计流程简述	101
5.2 PLC 控制系统设计步骤的内容	103
5.2.1 确定控制对象和控制范围	103
5.2.2 内存容量估计	104
5.2.3 PLC 供电方式的选择	105
5.2.4 输入/输出模块的选择	105
5.2.5 PLC 的硬件设计	107
5.2.6 PLC 的软件设计	107
5.2.7 PLC 扩展模块的选择	108
5.2.8 PLC 的外围电路设计	108
5.2.9 总装统调	108
5.3 梯形图设计法	109
5.3.1 PLC 程序的的经验设计法	109
5.3.2 PLC 程序的顺序控制设计法	111
5.3.3 PLC 程序的逻辑设计法	128
5.3.4 PLC 程序的移植设计法	132
5.4 PLC 的控制系统程序设计举例	135
5.4.1 程序设计项目举例一：十字路口	

交通信号灯控制	135	7.2.3 PLC 与计算机专有协议通信	201
5.4.2 程序设计项目举例二：艺术彩灯 控制	138	7.2.4 PLC 与计算机无协议通信	206
5.4.3 程序设计项目举例三：送料车 控制	140	7.3 现场总线技术	206
第 6 章 手持编程器和编程软件	144	7.4 三菱 PLC 网络在汽车总装线上的应用 实例	212
6.1 手持编程器的组成及其使用	144	第 8 章 PLC 控制系统开发应用	215
6.2 编程软件 GX Developer 的简介和 使用	156	8.1 PLC 应用程序开发	215
6.2.1 编程软件的简介	156	8.1.1 PLC 应用程序开发要点	215
6.2.2 编程软件的使用	157	8.1.2 典型单元程序的设计	215
6.3 SWOPC - FXGP/WIN - C 编程软件 简介	169	8.2 PLC 控制系统开发应用实例	222
第 7 章 三菱 FX 系列网络及计算机 通信	181	8.2.1 PLC 在机械加工中的应用——搬 运机械手	222
7.1 PLC 数据通信和网络基础	181	8.2.2 PLC 在化工生产中的应用——液 体搅拌机	227
7.1.1 PLC 通信基础	181	8.2.3 PLC 在楼宇智能化中的应用——轿 厢升降电梯	228
7.1.2 PLC 网络基础	190	8.3 提高 PLC 控制系统可靠性的措施	233
7.1.3 三菱的 PLC 网络	193	第 9 章 特殊功能模块	236
7.2 PLC 的通信	194	9.1 模拟量 I/O 模块	236
7.2.1 PLC 的 N:N 通信	195	9.2 通信模块	243
7.2.2 PLC 双机并联通信	198	9.3 其他特殊模块简介	244
		参考文献	247

第 1 章 绪 论

在 PLC 出现前，在工业电气控制领域中，继电器控制占主导地位，应用广泛。但是电器控制系统存在体积大、可靠性低、查找和排除故障困难等缺点，特别是其接线复杂、不易更改的缺点，对生产工艺变化的适应性变差。

1968 年美国通用汽车（GM）公司为了适应汽车型号不断更新，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，做到尽可能减少重新设计和更换电器控制系统及其接线，以降低成本，缩短设计周期。于是将计算机功能强大、灵活、通用性好等优点与电器控制系统简单易懂、价格便宜等优点结合起来，制成一种通用控制装置，而且这种装置采用面向控制过程、面向问题的“自然语言”进行编程，使不熟悉计算机的人也能很快掌握使用。

1969 年美国数字设备公司（DEC）根据美国通用汽车公司的这种要求，研制成功了世界上第一台正式的 PLC，并在通用汽车公司的自动装配线上试用，取得很好的效果，从此这项技术迅速发展起来。

PLC 及其控制系统初期主要用来替代继电器控制，进行开关量逻辑控制。在其内部结构和功能上都类似于通用计算机，它有一套功能完善且简单的管理程序，能够完成故障检查、用户程序输入、修改、执行与监视等功能，有适应于各种工业控制系统的模块，易于与自动控制系统相连接，可以方便灵活地构成不同要求、不同规模的控制系統。

本章主要介绍 PLC 及其控制系统的基本知识，包括 PLC 的产生和发展、主要特点及应用等，使读者对 PLC 有比较全面的了解。

1.1 PLC 的发展历史和定义

1.1.1 PLC 的发展历史

PLC 是 20 世纪 70 年代以来在继电器 - 接触器控制系统中引入微型计算机控制技术后发展起来的一种新型工业控制设备。

PLC 的发展过程：

1) 数字电路构成的初创阶段（20 世纪 60 年代末期第一台 PLC 问世到 20 世纪 70 年代中期）。1968 年美国通用汽车公司首先提出了“可编程序控制器”的概念，美国数字设备公司（DEC）于 1969 年研制出世界上第一台被大家认可的可编程序控制器。在 20 世纪 70 年代初期、中期，可编程序控制器即可以完成顺序控制，有逻辑运算、定时、计数等控制功能，并且已将可编程序控制器称为 PLC。

2) 微处理器构成的实用型产品扩展阶段（20 世纪 70 年代中后期到 80 年代初期）。20 世纪 70 年代末至 80 年代初，随着微电子技术、计算机技术的发展，可编程序控制器的处理速度大大提高，不仅可以进行逻辑控制，而且可以对模拟量进行控制。美国电器制造协会

(NEMA) 将可编程序控制器命名为 PC (Programmable Controller)。

3) 大规模应用的成熟产品阶段 (20 世纪 80 年代初到 80 年代末)。20 世纪 80 年代, PLC 以单片机或其他 16 位、32 位的微处理器作主控芯片, 输入/输出等电路也采用 LSI 或 VLSI, 功能有了突飞猛进的发展。这时的 PLC 具有了高速计数、中断技术、PID 调节和数据通信等功能。

4) 通用的网络产品开放阶段 (20 世纪 80 年末到现在)。为了适应现代化生产需求, 扩大 PLC 在工业领域的应用范围, PLC 的发展趋势一是向超小型、专用化和低价格的方向发展; 二是向大型化、高速、多功能和分布式全自动化网络方向发展, 以适应现代企业自动化的需要。

自 PLC 面世以来, 在机械、电力、冶金、能源、化工、交通等领域中有着广泛的应用, 已成为一种最重要、最普及、应用场合最多的工业控制器。与机器人、CAD/CAM 并称为工业生产自动化的三大支柱。

早期的可编程序控制器在功能上只能进行逻辑控制, 替代继电器、接触器为主的各种顺序控制, 其后功能大大增强, 不仅具有逻辑运算功能, 而且具有算术运算、模拟量处理和通信联网等功能。为了便于与个人计算机 (Personal Computer, PC) 相区别, 人们习惯上仍将可编程序控制器称为 PLC。

1.1.2 PLC 的定义

国际电工委员会 (IEC) 在 1987 年 2 月通过了对它的定义: 可编程序控制器 (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。它采用可编程序的存储器, 用来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。可编程序控制器及其有关外围设备, 都按易于与工业系统连成一个整体、易于扩充其功能的原则设计。

事实上, PLC 是一种以微处理器为核心, 带有指令存储器和输入/输出接口, 将自动化技术、计算机技术、通信技术融为一体的新型工业控制装置。

通过以上定义可知, 相对一般意义上的计算机, PLC 并不仅仅具有计算机的内核, 它还配置了许多使其适用于工业控制的器件。它实质上是经过一次开发的工业控制用计算机。但是, 从另一个方面来说, 它是一种通用机, 不经过二次开发, 它就不能在任何具体的工业设备上使用。不过, 自其诞生以来, 电气工程技术人员感受最深刻的也正是 PLC 二次开发编程十分容易。再加上体积小、工作可靠性高、抗干扰能力强、控制功能完善、适应性强、安装接线简单等众多优点, PLC 在短短的几十年中获得了突飞猛进的发展, 在工业控制中获得了非常广泛的应用。

1.2 PLC 的主要特点和应用领域

1.2.1 PLC 的主要特点

PLC 是现代计算机技术与传统继电—接触器控制技术相结合的产物, 专用于工业控制环境, 具有许多其他控制器件所无法相比的优点。

1. 高可靠性与高抗干扰能力

PLC 产品是专为工业控制环境设计的，机内采取了一系列抗干扰措施，其平均无故障时间可高达 4~5 万小时，远远超过采用硬接线的继电器—接触器控制系统，也远远高于一般的计算机控制系统。PLC 产品在软件设计上采取了循环扫描、集中采样、集中输出的工作方式，设置了多种实时监控、自诊断、自保护、自恢复程序；在硬件设计上采用了屏蔽、隔离、滤波、联锁等抗干扰电路结构，并实现了整体结构的模块化。PLC 能在一般高温、振动、冲击和粉尘等恶劣环境下工作，能在强电磁干扰环境下可靠工作，这是它优于普通微机控制系统的首要特点，是 PLC 产品的市场生存价值。

2. 通用性强，使用方便

采用模块化结构，通用性强，扩展方便，组合灵活，实用性强，与外围设备的连接较为方便，使用通信协议标准。PLC 作为专用微机控制系统产品，采用了标准化的通用模块结构，其 I/O 电路又采用了足够的抗干扰设计，既可以使用模拟量，也可以使用开关量，现场信号可以直接接入，用户不需要进行硬件的二次开发，控制规模又可以根据控制对象的信号数量与所需功能进行灵活方便的模块组合。

由于 PLC 自身硬件特点，用户在进行控制系统的设计时，不需要自己设计和制作硬件装置，只需要根据控制要求进行模块的配置；用户所做的工作只是设计满足控制对象的控制要求的应用程序。对于一个使用 PLC 的控制系统，当控制要求改变时，只需修改程序，就能变更控制功能。

3. 编程简单，易于掌握

这是 PLC 产品优于普通微机控制系统的另一个特点。PLC 的程序编写一般不需要高级语言，其通常使用易学易懂的梯形图语言，梯形图语言类似于继电器控制原理图，未掌握专门计算机知识的现场工程技术人员也可以很快熟悉和使用，这种面向问题和控制过程的编程语言直观、清晰、修改方便且易于掌握。当然，不同机型 PLC 在编程语言上是多样化的，但同一档次不同机型的控制功能可以十分方便地相互转换。

4. 系统设计周期与开发周期短

设计一套常规继电器控制系统需顺序进行电路设计、安装接线、逻辑调试三个步骤，只有进行完前一步才能进入下一步，开发周期长，线路修改困难，工程越大这一缺点就越明显。而使用 PLC 完成一套电气控制系统，只要电气总体设计完成，I/O 点分配完毕，软件设计模拟调试与硬件设计施工就可以同时分别进行。在软件调试方面，控制程序可以反复修改；在硬件施工方面，安装接线只涉及输入和输出装置，不涉及复杂的继电器控制线路，硬件投资较少，故障率低。在软、硬件分别完成之后的正式调试中，控制逻辑的修改也仅涉及软件修改，大大缩短了开发周期。

5. 功能强、体积小且重量轻

微电子技术及电子电路装配工艺的发展，使 PLC 的体积变得更小，以便于嵌入到任何小型的机器和设备中，同时 PLC 的执行速度也越来越快，目前大型 PLC 的程序执行速度可高达 34ns，从而保证了控制作用的实时性，可使系统的控制作用及时、准确。I/O 点数达 14336，配置 32 位微处理器，多 CPU 可并行工作，大容量存储器，扫描速度高速化等。

由于 PLC 产品是以微型计算机为核心的，所以具有许多计算机控制系统的优越性。以日本三菱公司的 FX2N-32MR 小型可编程序控制器为例，该 PLC 的外形尺寸是 87mm × 40mm ×

90mm，重量为 0.65kg，内部包含各类继电器 3228 个，状态寄存器 1000 个，定时器 256 个，计数器 241 个，数据寄存器 8122 个，耗电量为 150W，其应用指令包括程序控制、传送比较、四则逻辑运算、移位、数据（包括模拟量）处理等多种功能，指令执行时间为每步小于 0.1 μ s，无论在体积、重量上，还是在执行速度、控制功能上，都是常规继电器控制系统所无法相比的。体积小、重量轻，是实现“机电一体化”的理想产品。

6. 对生产工艺改变适应性强

其控制功能是通过软件编程来实现的，当生产工艺改变时，在很大程度上只需改变用户程序，这对现代化的小批量、多品种产品的生产尤其适合；现今 PLC 已经朝着嵌入式系统发展，将进入日常生活中。

7. 安装与调试方便，维护工作量小

PLC 控制系统的安装接线工作量比继电器控制系统少得多，只需将现场的各种设备与 PLC 相应的 I/O 口相连。PLC 软件设计和调试大部分可以在实验室模拟进行，模拟调试好后再将 PLC 控制系统进行现场联机调试，方便省时。其本身可靠性高，有完善的自诊断能力和系统监控能力，方便迅速进行故障查明和排除，维护的工作效率高。

8. 适应工业环境

PLC 的技术条件能在一般高温、振动、冲击和粉尘等恶劣环境下工作，能在强电磁干扰环境下可靠工作。

1.2.2 PLC 的应用领域

PLC 具有可靠性高、体积小、功能强、程序设计简单、灵活通用、维护方便等一系列优点，根据这些特点，可将其应用形式归纳为以下几种：开关量的逻辑控制、模拟量控制、过程控制、计数控制、运动控制、数据处理、通信和联网。

1. 开关量的逻辑控制

开关量的逻辑控制是 PLC 最基本、最广泛的应用领域，可用它取代传统的继电器控制电路，实现逻辑控制、顺序控制，既可用于单台设备的控制，又可用于多机群控制及自动化流水线。

2. 模拟量控制

在工业生产过程中，为了使可编程序控制器能处理如温度、压力、流量、液位和速度等模拟量信号，PLC 厂家都有配套的 A-D、D-A 转换模块用于模拟量控制。

3. 运动控制

PLC 可以用于圆周运动或直线运动的控制。各主要 PLC 厂家几乎都有运动控制功能专用模块，如可驱动步进电动机或伺服电动机的单轴或多轴位置控制模块，广泛地用于各种机械、机床、机器人、电梯等场合。

4. 过程控制

过程控制是指对温度、压力、流量、物位、成分等各种模拟量进行控制，通过其模拟量的输入/输出单元，可以实现闭环的 PID 过程控制，还可以和计算机联网组成集散控制系统。PLC 能编制各种各样的控制算法程序，完成闭环控制。如 PID 调节就是一般闭环控制系统中常用的调节方法。PID 处理一般是运行专用的 PID 子程序。过程控制在冶金、化工、热处理、锅炉控制等场合有非常广泛的应用。

5. 数据处理

现代 PLC 具有数学运算（含矩阵运算、逻辑运算）、数据传送、数据转换、排序、查表、位操作等功能，可以完成数据的采集、分析及处理。可实现软件滤波、线性化处理、标度变换的功能。这些数据可以与存储器中的参考值比较，完成一定的控制操作，也可以利用通信功能传送到别的智能装置，或将它们打印制表。数据处理一般用于大型控制系统，如无人控制的柔性制造系统；也可用于过程控制系统，如造纸、冶金、食品工业中的一些大型控制系统。

6. 计数控制

为满足计数的需要，不同的 PLC 提供不同数量、不同类型的计数器。如 FX1S 提供 16 位增量计数 C0 ~ C15（一般用）、C16 ~ C31（保持用），32 位高速可逆计数器 C235 ~ C245（单相单输入）、C246 ~ C250（单相双输入）、C251 ~ C255（双相双输入）共 26 个定时器。用脉冲控制可以实现加、减计数模式，可以连接码盘进行位置检测，且在 PLC 运行中也可以读出、修改，使用方便。

7. 通信和联网

PLC 的通信包括 PLC 与 PLC、PLC 与上位计算机、PLC 与其他智能设备之间的通信，PLC 系统与通用计算机可直接或通过通信处理单元、通信转换单元相连构成网络，以实现信息的交换，并可构成“集中管理、分散控制”的多级分布式控制系统，满足工厂自动化（FA）系统发展的需要，具有通信联网、显示和打印功能。

1.3 PLC 的发展趋势

现代 PLC 发展的主要趋势：其一是向体积更小、速度更快、功能更强和价格更低的微小型方面发展，即现今开始发展的嵌入式 PLC 控制方式；其二是向大型网络化、高可靠性、好的兼容性和多功能方面发展。

1. 向模块智能化与大型网络化方向发展

为满足各种自动化控制系统的要求，近年来不断开发出许多功能模块，如高速计数模块、温度控制模块、远程 I/O 模块、通信和人机接口模块等。这些带 CPU 和存储器的智能 I/O 模块，既扩展了 PLC 功能，又使用灵活方便，扩大了 PLC 应用范围。

加强 PLC 联网通信的能力，是 PLC 技术进步的潮流。PLC 的联网通信有两类：一类是 PLC 之间联网通信；另一类是 PLC 与计算机之间的联网通信，一般 PLC 都有专用通信模块与计算机通信。为了加强联网通信能力，PLC 生产厂家之间也在协商制订通用的通信标准，以构成更大的网络系统，PLC 已成为集散控制系统（Distributed Control System, DCS）不可缺少的重要组成部分。一方面，PLC 网络系统已经不再是自成体系的封闭系统，而是迅速向开放式系统发展，各大品牌 PLC 除形成自己各具特色的 PLC 网络系统，完成设备控制任务之外，还可以与上位计算机管理系统联网，实现信息交流，成为整个信息管理系统的一部分；另一方面，现场总线技术得到广泛的采用，PLC 与其他安装在现场的智能化设备，如智能仪表、传感器、智能型电磁阀、智能型驱动执行机构等，通过一根传输介质（如双绞线、同轴电缆、光缆）链接起来，并按照同一通信规约互相传输信息，由此构成一个现场工业控制网络，这种网络与单纯的 PLC 远程网络相比，配置更灵活，扩展更方便，造价更低，

性能价格比更好，也更具开放意义。

大型网络化主要是朝 DCS 方向发展，使其具有 DCS 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，向下可将多个 PLC、I/O 框架相连；向上与工业计算机、以太网、MAP 网等相连构成整个工厂的自动化控制系统。

2. 向多功能、高速度、大容量方向发展

为了提高 PLC 的处理能力，要求 PLC 具有更好的响应速度和更大的存储容量。目前，有的 PLC 的扫描速度可达 0.1ms/K 步。PLC 的扫描速度已成为很重要的一个性能指标。在存储容量方面，有的 PLC 最高可达几十兆字节。为了扩大存储容量，有的公司已使用了磁泡存储器或硬盘。

随着自调整、步进电动机控制、位置控制、伺服控制等模块的出现，使 PLC 控制领域更加宽广，如研制出了多回路闭环控制模块、步进电动机控制模块、仿真模块和通信处理模块等。并为用户提供了方便的人机界面，用户程序多级口令保护，极强的计算性能，完善的指令集，通过工业现场总线 PROFIBUS 以及以太网联网的网络能力，强劲的内部集成功能，全面的故障诊断功能；模块式结构可用于各处性能的扩展，脉冲输出晶闸管步进电动机和直流电动机；快速的指令处理大大缩短了循环周期，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。

3. 向高可靠性方向发展

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现有产品中，推出了高可靠性的冗余系统，并采用热备用或并行工作、多数表决的工作方式。PLC 即使在恶劣、不稳定的工作环境下，坚固、全密封的模板依然可正常工作，在操作运行过程中模板还可热插拔。

根据统计资料表明：在 PLC 控制系统的故障中，CPU 占 5%，I/O 接口占 15%，输入设备占 45%，输出设备占 30%，线路占 5%。前两项共 20% 故障属于 PLC 的内部故障，它可通过 PLC 本身的软、硬件实现检测、处理；而其余 80% 的故障属于 PLC 的外部故障。因此，PLC 生产厂家都致力于研制、发展用于检测外部故障的专用智能模块，进一步提高系统的可靠性。

4. 向超大型、高性能小型化方向发展

当前中小型 PLC 比较多，为了适应市场的多种需要，今后 PLC 要向多品种方向发展，特别是向超大型和超小型两个方向发展。如现已有 I/O 点数达 14336 点的超大型 PLC，其使用 32 位微处理器，多 CPU 并行工作和大容量存储器，功能强。

小型 PLC 由整体结构向小型模块化结构发展，使配置更加灵活，为了市场需要已开发了各种简易、经济的超小型微型 PLC，最小配置的 I/O 点数为 8~16 点，以适应单机及小型自动控制的需要，如三菱公司 α 系列 PLC。

PLC 的功能正越来越丰富，而体积则越来越小。比如三菱的 FX-1S 系列 PLC，最小的机种，体积仅为 60mm×90mm×75mm，相当于一个继电器，但却具有高速计数、斜坡、交替输出及 16 位四则运算等能力，还具有可调电位器时间设定功能。PLC 已不再是早期那种只能进行开关量逻辑运算的产品了，而是具有越来越强的模拟量处理能力，以及其他过去只有在计算机上才能具有的高级处理能力，如浮点数运算、PID 调节、温度控制、精确定位、步进驱动、报表统计等。从这种意义上说，PLC 系统与 DCS 的差别越来越小了，用 PLC 同

样可以构成一个过程控制系统。

5. 操作向简易化方向发展

目前 PLC 推广的难度之一就是复杂的编程使得用户望而却步，而且不同厂商 PLC 所有编程的语言也不尽相同，用户往往需要掌握更多种编程语言，难度较大。PID 控制、网络通信、高速计数器、位置控制、数据记录、配置和文本显示器等编程和应用也是 PLC 程序设计中的难点，用普通的方法对它们编程时，需要熟悉有关的特殊存储器的意义，在编程时对它们赋值，运行时通过访问它们来实现对应的功能。这些程序往往还与中断有关，编程的过程既烦琐又容易出错，阻碍了 PLC 的进一步推广应用。PLC 必然朝着简化复杂任务的编程方向发展。

第 2 章 PLC 的系统组成与工作原理

2.1 PLC 的基础知识

2.1.1 PLC 的基本控制原理

PLC 是微机技术和控制技术相结合的产物，是一种以微处理器为核心的用于控制的特殊计算机，因此 PLC 的基本组成与一般的微机系统类似。

PLC 控制系统的输入、输出部分和继电器—控制器系统的输入、输出部分基本相同，但 PLC 控制部分是采用可编程的 PLC，而不是实际的继电器电路。继电器—控制器系统是根据操作指令及被控对象发出的信号，由控制电路按规定的动作要求决定执行什么动作或动作的顺序，然后驱动输出设备去实现各种操作。由于控制电路是采用硬接线将各种继电器及按钮、开关等按一定的要求连接而成，所以接线复杂且故障点多，同时不易灵活改变。

由 PLC 构成的控制系统如图 2-1 所示。PLC 控制系统可以方便地通过改变用户程序，以实现各种控制功能，从根本上解决了继电器—控制器系统的控制电路难以改变的问题。同时，PLC 控制系统不仅能实现逻辑运算，还具有数值运算及过程控制等复杂的控制功能。

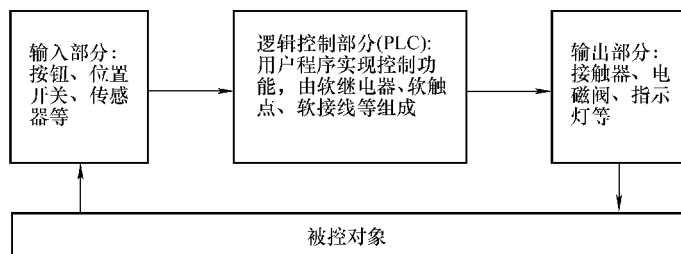


图 2-1 PLC 控制系统的组成

输入部分：收集并保存被控对象实际运行的数据和信息。

逻辑控制部分：处理输入部分取得的信息，并按照被控对象实际的动作要求做出反映。

输出部分：提供正在被控制的许多装置中，哪几个设备需要实时操作处理。

PLC 将输入信息采入 PLC 内部，通过执行用户程序来实现输入信号和输出信号之间的逻辑关系，再执行逻辑部件组合后所达到的逻辑功能，并将程序的执行结果通过输出端输出来实现对设备的控制。PLC 用于简易指示灯控制的电路图如图 2-2 所示。

从上述可知，PLC 的用户程序（软件）代替了继电器控制电路（硬件）。因此，对于使用者来说，可以将 PLC 等效成是许许多多各种各样的软继电器和软接线的集合，而用户程序就是用软接线将软继电器及其触点按一定要求连接起来的控制电路。

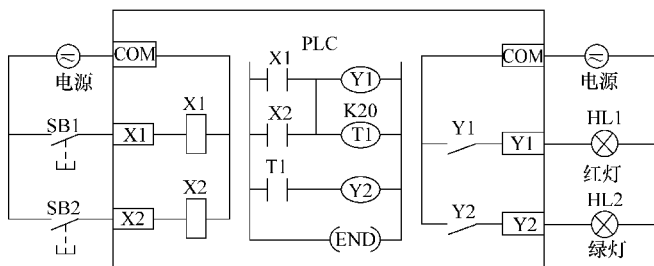


图 2-2 PLC 用于指示灯控制电路

为了更好地理解这种等效关系，下面通过一个继电器—接触器控制例子来说明。图 2-3 所示为三相异步电动机单向起动运行的继电器—接触器控制系统。其中，由输入设备 SB1、SB2、FR 的触点构成系统的输入部分，由输出设备 KM 构成系统的输出部分。

如果用 PLC 来控制这台三相异步电动机，组成一个 PLC 控制系统，根据上述分析可知，系统主电路不变，只要将输入设备 SB1、SB2、FR 的触点与 PLC 的输入端连接，输出设备 KM 线圈与 PLC 的输出端连接，就构成 PLC 控制系统的输入、输出硬件电路。而控制部分的功能则由 PLC 的用户程序来实现，其等效电路如图 2-4 所示。

图 2-4 中，输入设备 SB1、SB2、FR 与 PLC 内部的软继电器 X0、X1、X2 的线圈对应，由输入设备控制相对应的软继电器的状态，即通过这些软继电器将外部输入设备状态变成 PLC 内部的状态，这类软继电器称为输入继电器；同理，输出设备 KM 与 PLC 内部的软继电器 Y0 对应，由软继电器 Y0 状态控制对应的输出设备 KM 的状态，即通过这些软继电器将 PLC 内部状态输出，以控制外部输出设备，这类软继电器称为输出继电器。

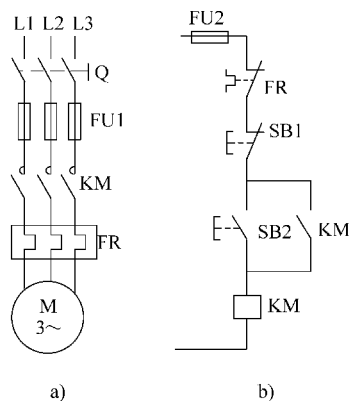


图 2-3 三相异步电动机单向起动运行继电器—接触器控制系统
a) 主电路 b) 控制电路

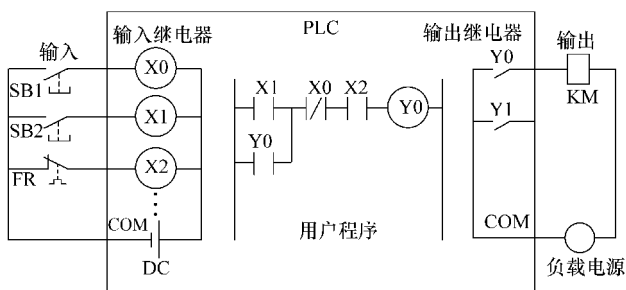


图 2-4 PLC 的等效电路

因此，PLC 用户程序要实现的是：如何用输入继电器 X0、X1、X2 来控制输出继电器 Y0。当控制要求复杂时，程序中还要采用 PLC 内部的其他类型的软继电器，如辅助继电器、

定时器、计数器等，以达到控制要求。

要注意的是，PLC 等效电路中的继电器并不是实际的物理继电器，它实质上是存储器单元的状态。单元状态为 1，相当于继电器接通；单元状态为 0，则相当于继电器断开。因此，我们称这些继电器为软继电器。

PLC 控制系统的特点：

(1) 从控制方法上

继电器控制系统采用机械触点的串、并联的硬接线来实现对设备的控制，同时继电器的触点数量有限，使系统构成后灵活性和扩展性受到很大限制。

PLC 采用程序（软）的方式来实现对设备的控制，系统连线少，要改变控制逻辑只需改变程序。同时 PLC 中的各种软继电器实际上是存储器中的触发器，当软继电器通时相当于该触发器为 1，反之为 0，而触发器的状态可取用任意次，因此每个软继电器的触点数量是无限的。

(2) 从工作方式上

继电器控制系统为并行工作方式，即该吸合的继电器都同时吸合。

PLC 控制系统为串行工作方式，其程序按一定顺序循环执行，各软继电器处于周期性循环扫描接通状态，其动作顺序取决于程序的扫描顺序。

(3) 从控制速度上

继电器控制系统依靠机械触点来实现控制，动作慢，存在抖动现象。

PLC 控制系统采用程序方式来实现控制，指令的执行时间在微秒级。

(4) 从定时和计数方式上

继电器控制系统的时间继电器的延时精度易受环境温度和湿度的影响，精度不高。无计数功能。

PLC 控制系统的时钟脉冲由晶振产生，精度高，范围宽。用户可根据需要在程序中设定定时值，修改方便，不受环境的影响，且 PLC 具有计数功能。

(5) 从可靠性和可维护性上

继电器控制系统采用机械触点，寿命短，连线多，可靠性和可维护性差。PLC 控制系统采用微电子技术，体积小，可靠性高，同时 PLC 还有自诊断功能，为调试和维护提供了方便，并能动态地监视控制程序的执行情况，为现场调试和维护提供了方便。

2.1.2 PLC 的主要性能指标

由于各公司产品技术性能指标不同，且各有特色。一般可从 CPU 档次、I/O 点数、存储容量、扫描速度、网络功能等方面来衡量 PLC 的性能，PLC 的主要性能指标是控制系统设计选型的重要依据。

1. I/O 点数

输入/输出（I/O）点数是 PLC 可以接受的输入信号和输出信号的总和，是衡量 PLC 性能的重要指标。I/O 点数越多，外部可接的输入设备和输出设备就越多，控制规模就越大。

2. 存储容量

存储容量是指用户程序存储器的容量。用户程序存储器的容量大，可以编制出复杂的程序。一般来说，小型 PLC 的用户存储器容量为几千字，而大型机的用户存储器容量为几