策划编辑　高小红　彭　敏
责任编辑　赵倩莹
封面设计
上架编码　PLC-000229

PLC
原理及应用

ISBN 978-7-5770-2300-7
9 787577 023007 >
定价: 49.80元

PLC原理及应用

主　编／刘文洁

电子科技大学出版社

新时代高等教育创新型教材
“互联网+”教育改革立体化教材

PLC
原理及应用

PLC
YUANLI
JI
YINGYONG

主　编／刘文洁

电子科技大学出版社
University of Electronic Science and Technology of China Press

PLC 原理及应用

PLC
YUANLI
JI
YINGYONG

主　编／刘文洁

副主编／李佳玉　李晓彦　王　蕊　陈小艳
张锦荣　张攀峰　史丰硕　潘国平

电子科技大学出版社
University of Electronic Science and Technology of China Press

·成都·

图书在版编目(CIP)数据

PLC 原理及应用 / 刘文洁主编. -- 成都 : 成都电子科大出版社, 2026.1. -- ISBN 978-7-5770-2300-7

Ⅰ. TM571.6

中国国家版本馆 CIP 数据核字第 2026NA5267 号

PLC 原理及应用

PLC YUANLI JI YINGYONG

刘文洁　主编

策划编辑　高小红　彭　敏

责任编辑　赵倩莹

责任校对　饶定飞

责任印制　梁　硕

出版发行　电子科技大学出版社

成都市一环路东一段 159 号电子信息产业大厦九楼　邮编 610051

主　　页　www.uestcp.com.cn

服务电话　028-83203399

邮购电话　028-83201495

印　　刷　崇阳文昌印务股份有限公司

成品尺寸　185 mm×260 mm

印　　张　16.5

字　　数　380 千字

版　　次　2026 年 1 月第 1 版

印　　次　2026 年 1 月第 1 次印刷

书　　号　ISBN 978-7-5770-2300-7

定　　价　49.80 元

版权所有，侵权必究

目　录

第 1 章　PLC 的基础知识 …… 1

1.1　PLC 概述 …… 1
1.2　PLC 的组成和工作原理 …… 8
1.3　PLC 的分类 …… 18
1.4　三菱 FX 系列 PLC …… 21
1.5　习　题 …… 31

第 2 章　三菱 GX Works2 编程软件 …… 32

2.1　三菱 GXWorks2 软件概述 …… 32
2.2　创建梯形图程序 …… 35
2.3　创建 SFC 语言程序 …… 54
2.4　习　题 …… 63

第 3 章　FX3U 系列 PLC 的基本指令及应用 …… 64

3.1　FX3U 系列 PLC 的软元件 …… 64
3.2　FX3U 系列 PLC 基本指令 …… 79
3.3　定时器和计数器的应用 …… 89
3.4　习　题 …… 93

第 4 章　FX3U 系列 PLC 的应用指令 …… 95

4.1　应用指令概述 …… 95
4.2　数据处理指令 …… 99
4.3　四则运算与逻辑运算指令 …… 110
4.4　程序流程控制指令 …… 115
4.5　其他指令 …… 123
4.6　习　题 …… 131

第 5 章　顺序功能图和步进梯形图 …… 133

5.1　顺序功能图 …… 133
5.2　SFC 程序的创建 …… 136
5.3　SFC 编程基础 …… 140
5.4　SFC 流程基本形式 …… 146
5.5　步进梯形图 …… 154
5.6　顺序功能图编程的典型实例 …… 161
5.7　习　题 …… 171

第 6 章　PLC 的通信 …… 174

6.1　通信基本知识 …… 174
6.2　FX 系列 PLC 的通信用硬件及通信形式 …… 180
6.3　FX 系列 PLC 的通信功能 …… 182
6.4　习　题 …… 189

第 7 章　PLC 的工程应用 …… 191

7.1　自动生产线实训台 …… 191
7.2　供料单元 …… 194
7.3　冲压加工单元 …… 199
7.4　装配单元 …… 203
7.5　分拣单元 …… 209
7.6　输送单元 …… 217
7.7　系统整体运行控制 …… 221
7.8　习　题 …… 238

附　录 …… 239

附录 A　三菱 FX3U 基本指令一览表 …… 239
附录 B　三菱 FX3U 应用指令一览表 …… 241
附录 C　三菱 FX3U 常用特殊软元件一览表 …… 253

参考文献 …… 260

第 1 章

PLC 的基础知识

1.1 PLC 概述

1.1.1 PLC 的定义

可编程逻辑控制器(ProgrammableLogicController，简称为可编程控制器或 PLC)，是一种具有微处理器的数字电子设备，用于自动化控制系统的数字逻辑控制，它可以将一系列的控制指令加载到内存储存和运行，实现对设备的自动化控制。

最初的可编程控制器只有电路逻辑控制的功能，所以被命名为可编程逻辑控制器，后来随着不断的发展，这些当初功能简单的计算机模块已经有了包括逻辑控制、时序控制、模拟控制、多机通信等许多功能，名称也改为可编程控制器(ProgrammableController)，但是由于它的简写也是 PC，与个人电脑(PersonalComputer)的简写相冲突，也由于多年来的使用习惯，人们还是经常使用可编程逻辑控制器这一称呼，并在术语中仍沿用 PLC 这一缩写。

1980 年，美国电气制造商协会(NEMA)将可编程控制器正式命名为 ProgrammableController，简称为 PC，并定义为："可编程控制器是一种带有指令存储器、数字的或模拟的输入/输出接口，以位运算为主，能完成逻辑、顺序、定时、计数和算术运算等功能，用于控制机器或生产过程的自动控制装置。"

1987 年 2 月国际电工委员会(IEC)颁布可编程控制器标准草案第三稿。该草案通过了 PLC 的定义："可编程控制器是一种数字运算操作的电子系统，专为在工业环境应用而设计的。它采用可编程的存储器，用于其内部存储程序，执行逻辑运算、顺序控制、定时、计数与算术操作等面向用户的指令，并通过数字或模拟式输入/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外部设备都按照易于与工业控制系统联成一个整体、易于扩充其功能的原则设计。"

关于可编程控制器的定义，因其仍在不断地发展，所以国际上至今还未能对其下最后的定义。

1.1.2 PLC 的发展史

可编程控制器起源于 1960 年代，它的兴起与美国现代工业自动化生产发展的要求密不可分。

在 PLC 出现之前，汽车制造业中的一般控制、顺序控制、安全互锁和逻辑控制等必须完全依靠众多的继电器、定时器、接触器和计数器以及专用回路控制器来实现。这就是传统的继电器—接触器控制装置或系统，一般称为继电器控制装置。这种装置体积庞大、有着严重的噪音，不但每年的维护、检修等工作要耗费大量的人力物力，而且在工厂生产线调整时，电路修改耗时、耗钱。

1968 年，美国通用汽车公司(GM)为改造汽车生产设备的传统控制方式，解决因汽车不断改型而重新设计汽车装配线上各种继电器控制系统问题，提出了著名的 10 条技术指标面向社会公开招标，要求制造商为其装配线提供一种新型的通用控制器，也就是著名的“通用十条”招标指标，这些也是 PLC 的特点：

①编程方便，现场可修改程序；

②维修方便，采用模块化结构；

③可靠性高于继电器控制装置；

④体积小于继电器控制装置；

⑤具有数据通信功能；

⑥成本可与继电器控制装置竞争；

⑦输入可以是交流 115V；

⑧输出为交流 115V，2A 以上，能直接驱动电磁阀，接触器等；

⑨在扩展时，原系统只要很小变更；

⑩用户程序存储器容量能扩展。

随后，美国数字设备公司(DEC)根据这一设想，于 1969 年研制成功了第一台 PDP—14 控制器，并在汽车自动装配线上使用并获得成功。由于当时系统主要用于顺序控制、只能进行逻辑运算，所以被命名为可编程逻辑控制器(ProgrammableLogicController，PLC)。最早期的 PLC 只具有简易的逻辑开关(on/off)功能，但比起传统继电器控制方式，已具有容易修改、安装、诊断与不占空间等优点。

可编程控制器这一新技术的出现，受到世界范围内工程技术界的极大关注，纷纷投入力量研制。1969 年，美国的哥德公司(GOULD)推出了第一个商品化 PLC。1971 年，日本从美国引进了 PLC 技术，研制出日本第一台可编程控制器 DSC—1。1973 年，德国西门子公司(SIEMENS)研制出欧洲第一台 PLC，型号为 STMATICS4。1974 年，法国也研制

出自己的可编程控制器。我国从 1974 年开始研制，1977 年开始工业应用。

可编程控制器从产生到现在，尽管时间很短，但由于其具有适应面广、通用性强、使用方便、可靠性高、抗干扰能力强、编程简单、维护容易、价格适中等特点，得到了迅猛的发展，在冶金、机械、石油、化工、纺织、轻工、建筑、运输、电力等部门得到了广泛的应用。

20 世纪 70 年代初出现了微处理器。人们很快将其引入可编程控制器，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装置。此时的 PLC 为微机技术和继电器常规控制概念相结合的产物。

20 世纪 70 年代中末期，可编程控制器进入实用化发展阶段，计算机技术已被全面引入可编程控制器中，使其功能发生了飞跃。更高的运算速度、超小型体积、更可靠的工业抗干扰设计、模拟量运算、PID 功能及极高的性价比，奠定了它在现代工业中的地位。

20 世纪 80 年代初，可编程控制器在先进工业国家中已获得广泛应用。世界上生产可编程控制器的国家日益增多，产量日益上升。这标志着可编程控制器已步入成熟阶段。

20 世纪 80 年代至 90 年代中期是 PLC 发展最快的时期，年增长率一直保持为 30～40%。在这时期，PLC 在处理模拟量能力、数字运算能力、人机接口能力和网络能力得到大幅度提高，PLC 逐渐进入过程控制领域，在某些应用上取代了在过程控制领域处于统治地位的 DCS 系统。

20 世纪末期，可编程控制器的发展特点是更加适应于现代工业的需要。这个时期发展了大型机和超小型机，诞生了各种各样的特殊功能单元，生产了各种人机界面单元和通信单元，使应用可编程控制器的工业控制设备的配套更加容易。

现在，工业上使用可编程逻辑控制器已经相当接近于一台轻小型电脑，甚至已经出现整合个人电脑（采用嵌入式操作系统）与 PLC 结合架构的可编程自动化控制器（ProgrammableAutomationController，简称 PAC），能透过数字或模拟输入/输出模块控制机器设备、制造处理流程以及其它控制功能的电子系统。

在工业控制领域中，PLC 技术已成为工业界不可或缺的一员。

1.1.3　PLC 的应用 >>>

目前，PLC 的生产厂家很多，每个厂家生产的 PLC，其主要性能参数，如点数、容量、功能各有差异，但都自成系列，指令及外设向上兼容。因此在选择 PLC 时，若选择同一系列的产品，则可以使系统构成容易、操作人员使用方便，备品、配件的通用性及兼容性好。

比较有代表性的有：德国西门子（SIEMENS）公司的 S5 系列、S7 系列，日本欧姆龙（OMRON）公司的 C 系列，三菱（MITSUBISHI）公司的 FX 系列，日本松下（PANASONIC）公司的 FP 系列，法国施耐德（SCHNEIDER）公司的 TWIDO 系列，美国

通用电气(GE)公司的 GE 系列，美国 AB 公司的 PLC5 系列等。

世界上 PLC 产品可按地域分成美国、欧洲和日本三大流派。美国和欧洲的 PLC 技术是在相互隔离情况下独立研究开发的，因此美国和欧洲的 PLC 产品有明显的差异。而日本的 PLC 技术是由美国引进的，对美国的 PLC 产品有一定的继承性，但日本的主推产品定位在小型 PLC 上。美国和欧洲以大中型 PLC 而闻名，而日本则以小型 PLC 著称。

三菱公司的 PLC 是较早进入中国市场的产品。其小型机 F1/F2 系列是 F 系列的升级产品，早期在我国的销量也不小。F1/F2 系列加强了指令系统，增加了特殊功能单元和通信功能，比 F 系列有了更强的控制能力。继 F1/F2 系列之后，20 世纪 80 年代末三菱公司又推出 FX2 系列，在容量、速度、特殊功能、网络功能等方面都有了全面的加强。FX2 系列是在 90 年代开发的整体式高功能小型机，它配有各种通信适配器和特殊功能单元。FX2N 是前几年推出的高功能整体式小型机，它是 FX2 的换代产品，各种功能都有了全面的提升。近年来还推出最新的 FX3U 为代表的系列产品。

三菱公司的大中型 PLC 产品有 A 系列、QnA 系列、Q 系列，具有丰富的网络功能，I/O 点数可达 8192 点。其中 Q 系列具有超小的体积、丰富的机型、灵活的安装方式、双 CPU 协同处理、多存储器、远程口令等特点，是三菱公司现有 PLC 中最高性能的 PLC。

(1)PLC 应用领域

目前，PLC 已广泛应用于钢铁、石油、化工、电力、建材、机械制造、汽车、轻纺、交通运输、环保及文化娱乐等行业，其应用情况大致可归纳为如下几类。

1)开关量的逻辑控制

开关量逻辑控制是 PLC 最基本、最广泛的应用，它取代了传统的继电器电路，实现了逻辑控制、顺序控制。它既可用于单台设备的控制，也可用于多机群控及自动化流水线，如注塑机、印刷机、电梯控制、组合机床、磨床、包装生产线、电镀流水线等。

2)模拟量过程控制

在工业生产过程中，为应对连续变化的模拟量，如温度、压力、速度、流量等，PLC 厂家生产有配套的 A/D 和 D/A 转换模块，并可以使用 PID 调节实现闭环控制系统中的模拟量过程控制。

3)运动控制

PLC 可以用于圆周运动或直线运动的控制。现在一般使用专用的运动控制模块，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。世界上各主要 PLC 厂家的产品几乎都有运动控制功能，广泛应用于各种机械手、机床、机器人、电梯等场合。

4)数据处理

随着微电子技术的发展，PLC 发展成现在的以 16 位和 32 位微处理器构成的微机化 PLC，现代 PLC 具有数学运算、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。这些数据可以与存储在存储器中的参考值比较，完成一定的控制操作。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过程控制系统。

4)通信及联网

随着工厂自动化网络的发展，各 PLC 厂商都十分重视 PLC 的通信功能，新型的 PLC 都具有多种通信接口，可以进行 PLC 与计算机之间的通信、PLC 间的通信及 PLC 与其他智能设备间的通信。

(2)PLC 市场情况

1)国际市场

可编程控制器是“专为工业环境下应用而设计”的工业控制计算机，由于其具有很强的抗干扰能力，很高的可靠性，大量的能在恶劣环境下工作的 I/O 接口，伴随着新产品、新技术的不断涌现，始终保持着旺盛的市场生命力。

在全世界约 200 家可编程控制器生产厂商中，控制整个市场 60%以上份额的公司只有 6 家，即美国的 AB 公司和 GE－FANUC 公司、德国的 SIEMENS 公司、法国的 SCHNEIDER MODICON 公司、日本的 MITSUBISHI 公司和 OMRON 公司。

从市场份额指标来看，第一位是 SIEMENS 公司，约占有 30%的市场份额；第二位是 AB 公司，约占有的市场份额的 17%；第三位是 SCHNEIDER MODICON 公司，约占有 12%的市场份额；剩下的被包括 OMRON 公司在内的近 200 家 PLC 厂商瓜分。

按市场占有率排序，一流厂商主要有 4 大厂商：SIEMENS、AB、SCHNEIDER MODICON，GE－FANUC；二流厂商主要有 4 大厂商：MITSUBISHI，OMRON，PANASONIC 和 FUJI－TON；三流厂商主要有：SAMSUNG，LG，台达等。

2)国内市场

我国可编程控制器的研制始于 1974 年。当时上海、北京、西安等一些科研院校都在研制，但是始终未能走出实验室，更未能投人工业化生产。到 1980 年代中期，又掀起研制热潮。目前全国有 30 多个生产厂家，生产的产品大多为 128 点以下的小型机，年产量超过 1000 台的只有几家。

国内的可编程控制器市场同工业发达国家相比，目前还处于初级阶段。尽管在对外开放政策的推动下，引进国外先进设备和技术，如宝钢的一、二期工程(引进了 500 多套)、秦皇岛煤码头、平朔煤矿、咸阳显像管厂等，都是我国较早引进和应用可编程控制器的企业，但目前仍局限在钢铁、化工、煤炭、汽车、机床、电站等行业，其它生产行业的应用尚未普及。如饮水处理及供水系统，全国应用可编程控制器的比率不足 10%，还有在国外已广泛应用的食品加工、交通、造纸、制药、精细化工等行业，应用可编程控制器的更是屈指可数，因此我国有广阔的应用领域等待开拓。

目前的国内市场几乎被国外的 PLC 产品占领。在大、中型 PLC 中，几乎 100%是国外产品，主要以上述 6 家公司中的前 4 家为主。而小型 PLC 则由日本的 MITSUBISHI 公司 OMRON 公司和德国的 SIEMENS 公司占据主要地位。

通过以上介绍，可以看到 PLC 技术代表了当今电气控制技术的世界先进水平，它发

展速度之快、应用范围之广，已与 CAD/CAM、工业机器人并列为工业自动化的三大支柱。

1.1.4 PLC 的特点和发展趋势 >>>

(1)PLC 的特点

1)可靠性高，抗干扰能力强

传统的继电器控制系统使用了大量的中间继电器、时间继电器，由于触点接触不良，容易出现故障。工业生产对电气控制设备的可靠性要求非常高，它应具有很强的抗干扰能力，能在很恶劣的环境下长期连续可靠地工作，平均无故障时间长，故障修复时间短，而 PLC 是专为工业控制设计的，能适应工业现场的恶劣环境。PLC 采用软元件代替继电器的触点，在内部电路采用了先进的抗干扰技术，并具有硬件故障的自我检测功能和软件故障的自诊断功能，出现故障时可及时发出报警信息。

2)硬件配套齐全，使用方便

目前，每家公司生产的 PLC，都已经形成了大、中、小各种规模的系列化产品，可以用于各种规模的工业控制场合。虽然 PLC 种类繁多，由于其产品的系列化和模块化，并且配有品种齐全的各种软件，用户可灵活组合成各种规模和要求不同的控制系统，用户在硬件设计方面，只是确定 PLC 的硬件配置和 I/O 通道的外部接线。在 PLC 构成的控制系统中，只需在 PLC 的端子上接入相应的输入/输出信号即可，不需要诸如继电器之类的固体电子器件和大量繁杂的硬接线电路。在生产工艺流程改变，或生产线设备更新，或系统控制要求改变、需要变更控制系统的功能时，一般不必改变或很少改变 I/O 通道的外部接线，只要改变存储器中的控制程序即可，这在传统的继电器控制中是难以想像的。PLC 的输入/输出端子可直接与交流 220V、直流 24V 等强电相连，并有较强的带负载能力。

3)编程语言易学易用

PLC 的编程语言采用梯形图语言，这种梯形图语言既继承了传统继电器控制线路的表达形式(如线圈、触点、常开、常闭)，又考虑到工业企业中的电气技术人员的读图习惯和微机应用水平。

4)系统设计周期短，容易改造

PLC 的设计和修改，都是可以通过编程软件来实现。用可编程控制器完成一项控制工程时，由于软件编程不影响硬件的施工，所以设计和施工可同时进行。由于用户程序大都可以在实验室里模拟调试，模拟调试好后再将 PLC 控制系统在生产现场进行联机统调，使得调试方便、快速、安全，因此，大大缩短了设计和投运周期。

5)体积小，能耗低，易于实现机电一体化

因为可编程控制器的结构紧凑、体积小、重量轻、可靠性高，防潮和耐热能力强，使之易于安装在机器设备内部，制造出机电一体化产品。以 PLC 作为控制器的 CNC 设备和

机器人装置将成为典型的机电一体化产品。

(2)PLC 的发展趋势

随着微电子技术、控制技术与信息技术的不断发展，可编程控制器也在不断地发展。可编程控制器的发展趋势主要体现在以下几个方面：

1)高性能、超小型和超大型

随着软硬件技术的进步，PLC 产品的性能不断升级。以一个衡量 PLC 性能的重要指标——指令执行周期为例，目前，即使是微型 PLC 产品，每个逻辑指令的执行周期已经从几百纳秒缩短到几十纳秒，大型的高端产品更是缩短到几纳秒。再如模/数转换单元，转换位数从早期的 8 位到后来的 12 位，再到现今的 16 位，不但转换精度大大提高，转换速度也成倍提高了。

与此同时，PLC 的体积却在缩小。现在所说的大型 PLC 系统，往往只是指其可以达到的控制规模(如 1/0 点数)，而不一定与其实际尺寸有关了。可以说，PLC 的体积已经小到一定的极限，考虑到接线、信号显示等实际操作的需求，几乎没有再缩小的空间了。另一方面，各厂家也向高速度、大容量、技术完善的大型 PLC 方向发展。PLC 具有越来越强的高级处理能力，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。

2)网络化

通信发展有两个趋势，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，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，比如智能仪表、传感器、智能型电磁阀、智能型驱动执行机构等，通过传输介质(如双绞线、同轴电缆、光缆)连接起来，并按照同一通信协议互相传输信息，由此构成一个现场网络，各 PLC 制造商之间也在协商指定通用的通信标准，以构成更大的网络系统。

3)集成化

PLC 已经成为很多典型的控制方案的唯一选择，如恒压供水的水泵切换控制。在这些方案中，往往又涉及如变频器、伺服驱动器等必需的控制器件。于是，有厂商就推出了将 PLC 集成在这些器件中的产品，针对典型的应用，用户可以直接设置相关的参数，连编程的过程都可以省略。目前，在市场上可以看到将 PLC 集成在变频器、伺服驱动器、人机界面的产品。可以预见，将来会出现更多这类集成了 PLC 的控制器件。

4)模块化和智能化

为满足工业自动化各种控制系统的需要，近年来，PLC 厂家先后开发了不少新器件和模块，如智能 1/0 模块、温度控制模块和专门用于检测 PLC 外部故障的专用智能模块等，这些模块的开发和应用不仅增强了功能，扩展了 PLC 的应用范围，还提高了系统的可靠性。

5)多样化和专用化

PLC 的高可靠性与易用性，使之在各种特定控制场合都很受欢迎。专用的 PLC 系统也越来越多。例如，嵌入 Windows XP 的 CPU 模块，可以运行基于 Windows 开发的各类软件，支持强大的数据运算或数据医疗库管理等。对于以轴或空间转移为对象的运动控制，如印刷机等，也有专门的产品。不少厂商还推出了适用于某类设备、过程的 PLC，如用于注塑机、电梯和过程控制的专用产品。

1.2 PLC 的组成和工作原理

1.2.1 三相异步电动机正反转控制

下面从一个简单的 PLC 应用实例开始——三相异步电动机正反转的 PLC 控制，学习可编程控制技术。

因为三相异步电动机的转动方向是由旋转磁场的方向决定的，而旋转磁场的转向取决于定子绕组中通入三相电流的相序。因此，要改变三相异步电动机的转动方向非常容易，只要将电动机三相供电电源中的任意两相对调，这时接到电动机定子绕组的电流相序被改变，旋转磁场的方向也被改变，电动机就实现了反转。

这一简单的控制要求，可以利用继电器控制装置来实现，也可以利用 PLC 控制系统来实现，分析它们的工作原理和特点可以清楚地认识 PLC 系统的结构组成和工作原理。

(1)继电器控制

图 1.1 是三相异步电动机正反转控制的主电路和继电器控制电路图。主电路为动力电路，为电动机提供动力。主电路由组合开关 Q、熔断器 FU1、正转接触器 KM1、反转接触器 KM2、热继电器 FR 及三相交流异步电动机组成。

控制电路由低压电器组成，实现电动机正反转的控制。控制电路包括：按钮开关 SB1、SB2 和 SB3 的触点，接触器 KM1、KM2 的线圈和辅助触点，热继电器 FR 触点。

继电器控制装置工作原理如下。

组合开关 Q 闭合后，接通电源并给控制电路供电。

当按钮开关 SB1 按下，SB1 常开触点闭合，接通 KM1 的线圈，使 KM1 主触点闭合，电动机正转；同时，KM1 的一个常开辅助触点闭合保持正转电路导通，另一个常闭触点断开切断反转电路。

当按钮开关 SB2 按下，SB2 常开触点闭合，接通 KM2 的线圈，使 KM2 主触点闭合，电动机反转；同时，KM2 的一个常开辅助触点闭合保持反转电路导通，另一个常闭触点断开切断正转电路。

当按钮开关 SB3 按下，SB3 常闭触点断开，切断 KM1 或 KM2 的线圈电路，使 KM1

或 KM2 主触点断开，电动机停转。

电路中，接触器 KM1、KM2 的常开辅助触点在线圈通电后能够自锁，保持电路导通，称为自锁控制；接触器 KM1、KM2 的常闭辅助触点在线圈通电后能够切断对方电路，以保证安全，称为互锁控制。

电路中，熔断器 FU1 起到电路短路保护作用，热继电器 FR 起到电动机长期过载保护作用。

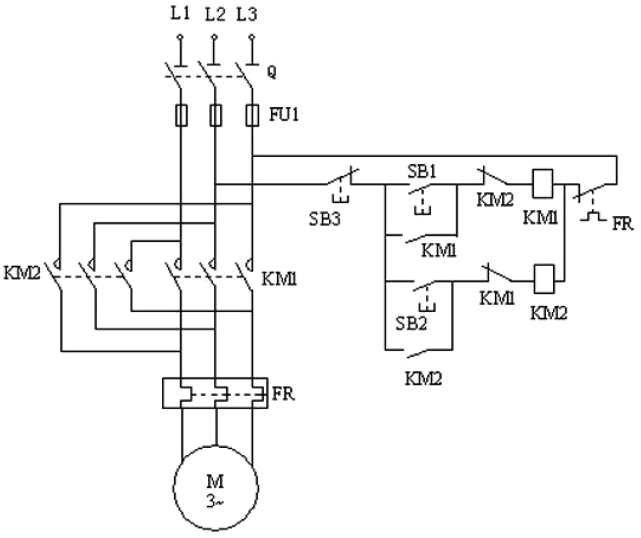


图 1.1　主电路与继电器控制电路

(2)PLC 控制

1)控制电路组成

图 1.2 是三相异步电动机正反转的 PLC 控制系统的外部接线图。该控制电路也可以分成主电路和控制电路。

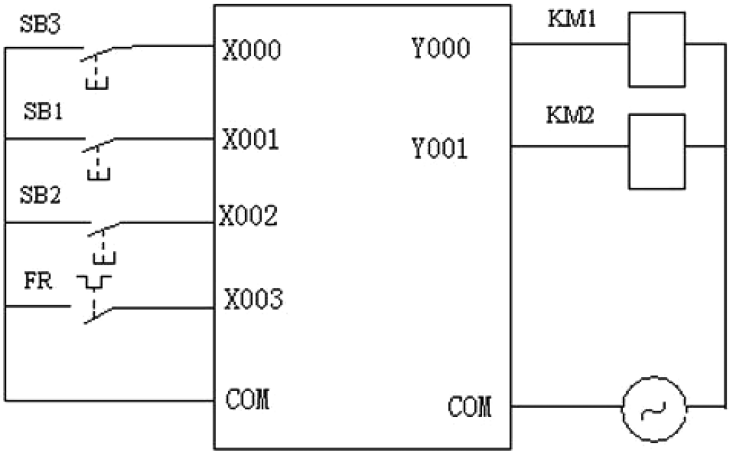


图 1.2　PLC 外部接线图

主电路和上述继电器控制装置的主电路组成和原理相同。控制电路由 PLC 加低压电器组成，包括：PLC，按钮开关 SB1、SB2 和 SB3 的触点，接触器 KM1、KM2 的线圈，热继电器 FR 触点。将图 1.3 所示的梯形图程序或表 1.1 所示的指令表程序写入 PLC，然后运行程序，就可以实现三相异步电动机正反转的 PLC 控制。

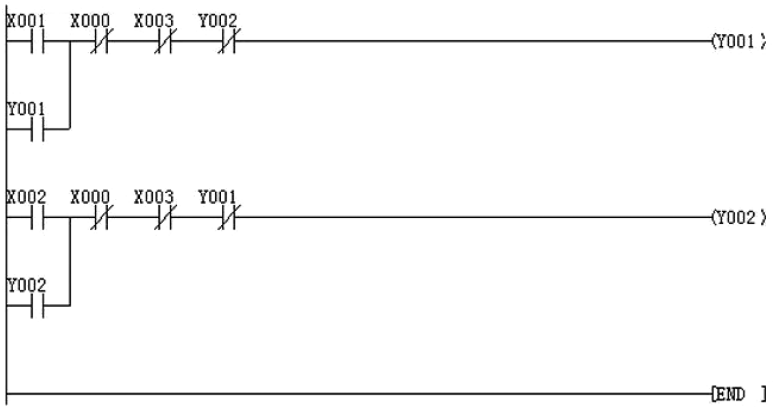


图 1.3　梯形图

表 1.1　指令语句表

步序	指令	数据	步序	指令	数据
0	LD	X001	7	OR	Y002
1	OR	Y001	8	ANI	X000
2	ANI	X000	9	ANI	X003
3	ANI	X003	10	ANI	Y001
4	ANI	Y002	11	OUT	Y002
5	OUT	Y001	12	END	
6	LD	X002			

2)PLC 控制系统工作原理

在没有按下停止按钮 SB3 且热继电器 FR 没有动作的情况下，X000 和 X003 触点均为闭合状态。

按下正向起动按钮 SB1，输入继电器 X001 常开触点闭合，输出继电器 Y000 线圈通电并自锁，接触器 KM1 通电吸合，电动机正转；同时，Y000 常闭触点切断 Y001 线圈回路，KM2 不能吸合，实现了电气互锁控制。

按下反向起动按钮 SB2，输入继电器 X002 常开触点闭合，输出继电器 Y001 线圈得电并自锁，接触器 KM2 得电吸合，电动机反转；同时，Y001 常闭触点切断 Y000 线圈回路，KM1 不能吸合，实现了电气互锁控制。

停机时按下按钮 SB3，X000 常闭触点断开；过载时热继电器 FR 动作，X003 常闭触点断开，这两种情况都使得 Y000、Y001 线圈失电，进而使 KM1、KM2 失电断开，电动机停转。

(3)两种控制特点比较

可编程控制器的工作过程：先读入所有输入点的信息，然后对各个状态进行逻辑运算，最后统一输出刷新。由上例可见，整个工作过程需要输入采样、逻辑运算、输出刷新三步。输入是给定量或反馈量，输出是被控量。因为计算机工作为串行方式，即每一瞬间只能做一件事，因此工作过程是读取所有输入→执行程序，做第一步运算→第二步运算→……→最后一步运算→输出及刷新，然后周而复始。

这种工作方式称为扫描工作方式，从输入到输出的整个执行时间称为扫描周期。所以，PLC 控制工作方式是“串行”，继电器控制工作方式是“并行”。前者用“软件”，后者用“硬件”。PLC 扫描工作原理和计算机的不同，也和继电器控制原理不一样。

PLC 可用多种形式的编程语言编写应用程序，梯形图是 PLC 最常用的编程语言。要注意梯形图与继电器控制电路最根本区别为：梯形图是编程语言，是程序，是存储逻辑，是存储器中编程元件各种逻辑关系的组合；继电器控制线路是各种物理继电器与导线的连接，是硬件，是接线逻辑。

在可编程控制器出现之前，继电器硬接线电路是逻辑控制、顺序控制的唯一执行者，它结构简单，价格低廉，一直被广泛应用。以各种继电器为主要元件的电气控制线路承担着生产过程自动控制的艰巨任务，可能由成百上千只各种继电器构成复杂的控制系统，需要用成千上万根导线连接起来，安装这些继电器需要大量的继电器控制柜，且占据大量的空间。当这些继电器运行时，又产生大量的噪声，消耗大量的电能。为保证控制系统的正常运行，需安排大量的电气技术人员进行维护，有时某个继电器的损坏，甚至某个继电器的触点接触不良，都会影响整个系统的正常运行。如果系统出现故障，要进行检查和排除故障又非常困难，全靠现场电气技术人员长期积累的经验。尤其是在生产工艺发生变化时，可能需要增加很多的继电器或继电器控制柜，重新接线或改线的工作量极大，甚至可能需要重新设计控制系统。尽管如此，这种控制系统的功能也仅仅局限在能实现具有粗略定时、计数功能的顺序逻辑控制。

因此，人们迫切需要一种新的工业控制装置来取代传统的继电器控制系统，使电气控制系统工作更可靠、更容易维修、更能适应经常变化的生产工艺要求。计算机出现后，很快可编程控制系统就应运诞生了。

1.2.2　PLC 结构组成 >>>

PLC 可以分为整体式和模块式两种，但它们的结构组成基本是相同的。整体式结构包括基本单元、扩展单元、扩展模块及功能模块。基本单元是把 CPU、存储器、I/O 接口及

与编程器或 EPROM 写入器相连的接口、输入输出端子、电源、指示灯等都装配在一起的整体装置。

对模块式 PLC，主要由 CPU 模块、I/O 模块、内存模块、电源模块、底板或机架组成。PLC 一般都采用了总线式开放型结构，其 I/O 能力可按用户需要进行扩展与组合。

一个简单的整体式 PLC 基本结构组成如图 1.4 所示。整体式 PLC 由 CPU、存储器、I/O 接口和电源等组成。外围设备包括输入、输出单元和编程设备，输入单元有按钮、开关、传感器等，输出单元有指示灯、继电器、接触器、电磁阀等，编程设备有手持编程器和电脑。

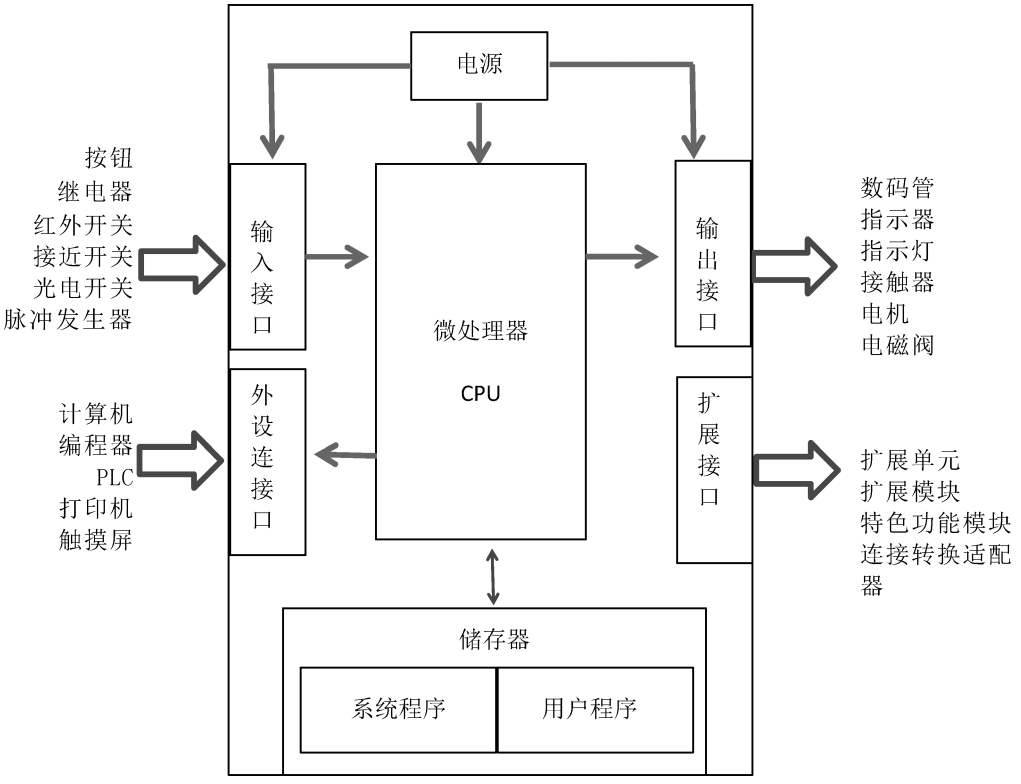


图 1.4　整体式 PLC 的硬件结构

(1)中央处理器(CPU)

中央处理器(CPU)是 PLC 的核心，它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工作等任务。PLC 中所配置的 CPU 随机型的不同而不同，主要有三类：通用的 8 位或 16 位微处理器、单片微处理器和位片式微处理器。小型 PLC 大多采用 8 位通用微处理器和单片微处理器；中型 PLC 大多采用 16 位通用微处理器或单片微处理器；大型 PLC 大多采用高速位片式微处理器。微处理器的档次越高，CPU 的位数越多，PLC 的运算速度越快，指令功能也越多。

(2)存储器

PLC 的存储器主要用于存储系统程序、用户程序及运算数据的单元。

PLC 的存储器分为系统程序存储器和用户存储器。系统程序存储器用以存放系统程序，包括管理程序、监控程序以及对用户程序做编译处理的解释编译程序。系统程序存储器采用只读存储器(ROM)，由厂家使用，内容不可更改，断电不消失。用户存储器分为用户程序存储区和工作数据存储区，采用随机存取存储器(RAM)，可扩展，由用户使用，断电内容消失，常用高效的锂电池作为后备电源。

(3)输入/输出接口

输入/输出接口通常也称为 I/O 接口或 I/O 模块。PLC 的 I/O 信号可以是开关量或模拟量，I/O 接口用于连接工业控制现场各类信号。工业现场对 PLC 的 I/O 接口的要求是既有较好的抗干扰能力，又能满足工业现场各类信号的匹配要求，因此各厂家为 PLC 设计了不同的接口单元。

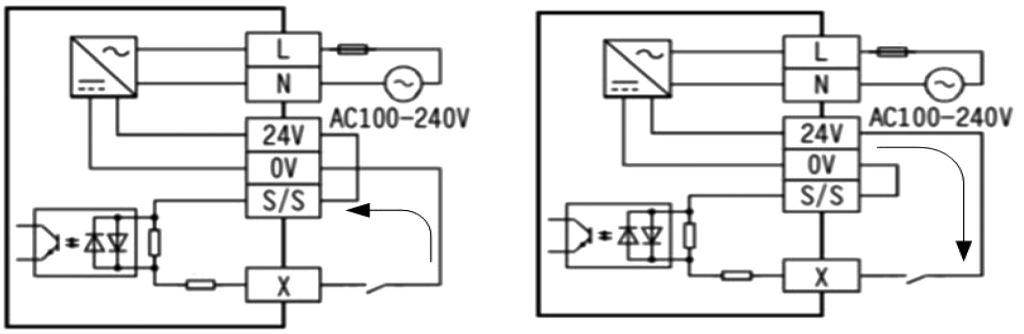
1)输入接口

输入接口用来接收和采集输入信号，并存放于输入映像寄存器中。其作用是把现场的开关量信号转变成 PLC 内部处理的标准信号。PLC 的输入/输出信号电压较高，直流 24V 和交流 220V。开关量输入接口按可接收的外信号电源的类型不同，分为直流和交流输入单元。

为方便适应不同工程设计需要，PLC 直流输入分为漏型输入和源型输入两种。图 1.5a 为漏型输入，电流从输入端子流出。图 1.5b 为源型输入，电流从输入端子流入。

为了保证能在恶劣的工业环境中使用，PLC 输入接口都采用了隔离措施。图 1.5 中输入电路采用光电耦合器隔离措施，能有效地避免输入端引线可能引入的电磁场干扰和辐射干扰。在光敏输出端设置 RC 滤波器，是为了防止用开关类触点输入时触点振颤及抖动等引起的误动作，因此使得 PLC 内部约有 10ms 的响应滞后。

当各种传感器(如接近开关、光电开关、霍尔开关等)作为输入点时，可以用 PLC 机内提供的电源或外部独立电源供电，且规定了具体的接线方法，使用时应加以注意。



a）漏型输入　　b）源型输入

图 1.5　PLC 输入接口

2)输出接口

输出接口的作用是把 PLC 内部的标准信号转换成执行机构所需要的信号。其原理是 CPU 执行程序指令，PLC 运行程序后输出的控制信息刷新输出映像寄存器，由输出接口输出，根据运行结果驱动输出单元，从而实现对外部负载，如指示灯、接触器、继电器、电磁阀等的控制。输出电流的典型值为 0.3～2A，负载电源由外部现场提供。输出接口通常有三种形式：继电器型输出，晶体管型输出和晶闸管型输出。

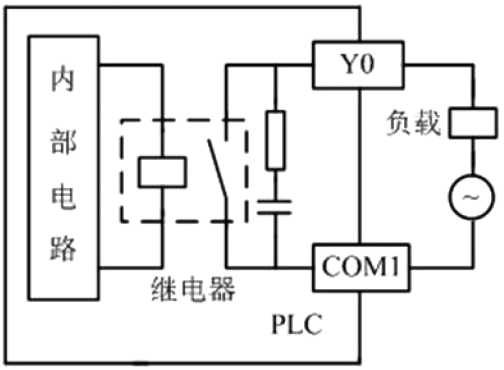


图 1.6　继电器型输出

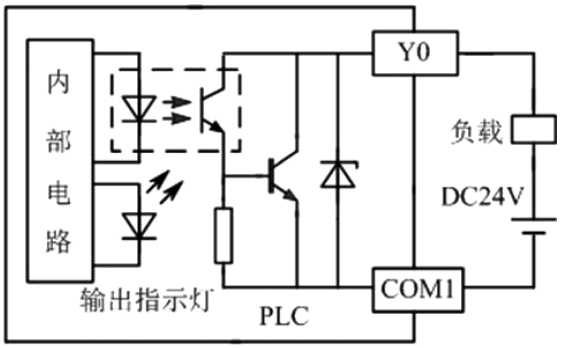


图 1.7　晶体管型输出

图 1.6 为继电器型输出，输出电路工作过程为：当内部电路输出数字信号 1，有电流流过，内部继电器线圈通电，常开触点闭合，提供负载导通的电流和电压。当内部电路输出数字信号 0，则没有电流流过，内部继电器线圈断电，常开触点断开，断开负载的电流或电压。也就是通过输出接口电路把内部的数字电路化成一种信号使负载动作或不动作。与触点并联的 RC 电路用来消除触点断开时产生的电弧，以减轻它对 CPU 的干扰。

图 1.7 为晶体管漏型输出，晶体管型输出只能是直流输出，分漏型和源型输出两种。图中负载电流流入输出端子，内部输出电路的公共点 COM1 接外部直流电源的负极。输出信号送给内部电路中的输出锁存器，再经光电耦合器送给输出晶体管，晶体管的饱和导通状态和截止状态相当于触点的接通和断开。

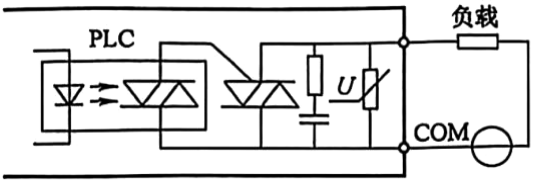


图 1.8　晶体管型输出

图 1.8 为晶闸管型输出，只能是交流输出，内部电路与输出负载之间采用光电晶闸管进行隔离，响应时间较短。

继电器型输出电路的工作电压范围广，触点的导通压降小，承受瞬时过电压和瞬时过电流的能力较强，但是动作速度较慢，触点寿命(动作次数)有一定的限制。在负载的通断状态变化不是很频繁的条件下，建议优先选用继电器型输出。

另外，在使用时需注意：

①PLC 输出接口是成组的，每一组有一个 COM 口，只能使用同一种电源电压。

②PLC 输出负载能力有限，具体参数要参考相关硬件手册。

③对于电感性负载应加阻容保护。

④负载采用直流电源小于 30V 时，为了缩短响应时间，可并接续流二极管改善响应时间。

(4)电源

在小型可编程控制器内部都包括一个稳压电源(FX 系列为开关电源)，它用于对 CPU 板、I/O 板等内部器件供电，有些还可以向外提供 DC24V 稳压电源，用于对外部传感器供电，这给用户很大方便。FX3U 系列 PLC 的电源是 AC22OV，也可以用 DC24V 供电，为 PLC 各工作单元供电。另外，PLC 还提供了内置锂电池作为后备电源，提供停电保持作用。

PLC 的电源在整个系统中起着十分重要得作用。如果没有一个良好的、可靠的电源系统是无法正常工作的，因此 PLC 的制造商对电源的设计和制造十分重视。一般交流电压波动在 10%(或 15%)范围内，可以不采取其它措施而将 PLC 直接连接到交流电网上去。如 FX 系列额定电压 AC100V—240V，而电压允许范围在 AC85V—264V 之间，并允许瞬时停电在 10ms 以下。

(5)编程器

编程器分为两种，一种是手持编程器，简单方便，早先用于现场修改和调试程序，现在基本不用了。另一种是通过 PLC 的 RS232、USB 等接口与计算机相连，在计算机中编辑完成程序，还可以进行仿真和模拟，然后将程序写入 PLC。这种方式也可以在现场调试和监控程序。

1.2.3 PLC 工作原理

(1)扫描工作方式

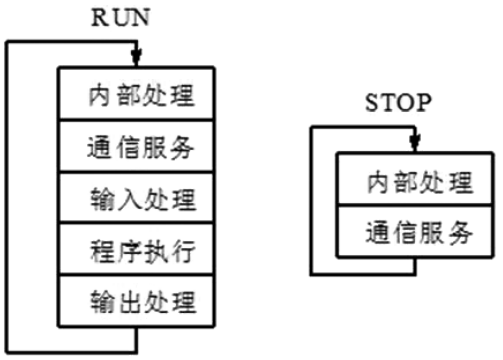


图 1.9 扫描过程

由于 PLC 以微处理器为核心，在本质上是一台微型计算机，其工作原理与普通计算机类似，具有微机的许多特点，但它的工作方式却与微机有很大不同。微机一般采用等待命令的工作方式，如常见的键盘扫描方式或 I/O 扫描方式，若有键按下或 I/O 有变化，则转入相应的子程序，若无则继续扫描等待。

PLC 中的 CPU 有两种基本的工作状态，即运行(RUN)状态和停止(STOP)状态。CPU 处于运行状态时，通过反复执行用户程序来实现控制功能。除了执行用户程序外，在每次循环过程中，PLC 还要完成内部处理、通信服务等工作，一次循环分为 5 个阶段，如图 1.9 所示。PLC 的这种周而复始的循环工作方式称为扫描工作方式。对每个程序，CPU 从第一条指令开始执行，按指令序号作周期性的程序循环扫描。如果无跳转指令，则从第一条指令开始逐条执行用户程序，直至遇到结束符后又返回第一条指令，如此周而复始不断循环，每一个循环称为一个扫描周期。由于 PLC 执行指令的速度极高，从外部输入、输出关系来看，处理过程似乎是同时完成的。

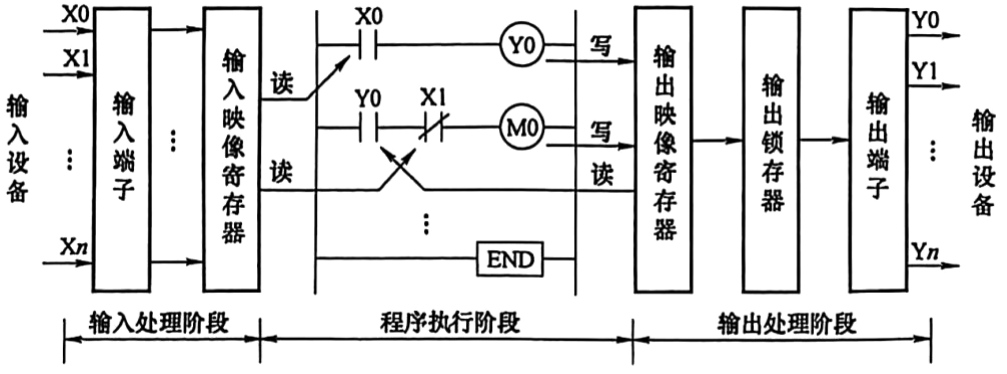


图 1.10 PLC 的循环扫描过程

(2)扫描周期

执行一次图 1.9 所示的扫描操作时间称为扫描周期，其典型值为 10～100ms。扫描周期主要分为三个阶段：输入处理阶段、程序执行阶段、输出处理阶段，如图 1.10 所示。

1)输入处理阶段

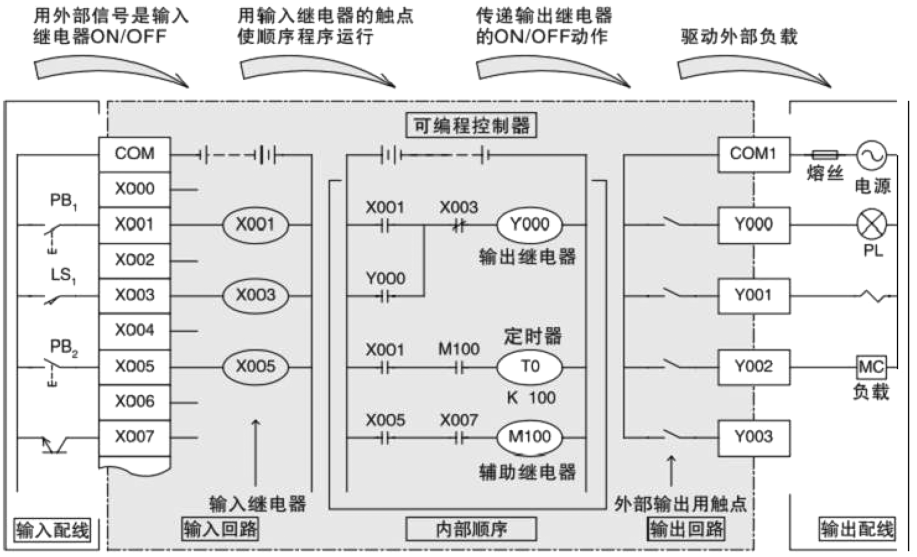
在输入处理阶段，CPU 扫描全部输入端口，读取其状态并写入输入状态寄存器。完成输入端采样工作后，将关闭输入端口，转入程序执行阶段。在程序执行期间即使输入端状态发生变化，输入状态寄存器的内容也不会改变，而这些变化必须等到下一工作周期的输入处理阶段才能被读入。

2)程序执行阶段

在程序执行阶段，根据用户输入的控制程序，从第一条开始逐步执行，并将相应的逻辑运算结果存入对应的内部辅助寄存器和输出状态寄存器。当最后一条控制程序执行完毕后，即转入输出处理阶段。

3)输出处理阶段

当所有指令执行完毕后，将输出状态寄存器中的内容，依次送到输出锁存电路(输出映像寄存器)，并通过一定输出方式输出，驱动外部相应执行元件工作，这才形成 PLC 的实际输出。



上图中包含了：输入设备、输出设备、顺序程序。
输入设备与可编程控制器的输入继电器相连，输出设备被外部输出用触点控制。

图 1.11　PLC 控制过程

输入处理、程序执行和输出处理三个阶段构成 PLC 一个工作周期，然后由此循环往复，图 1.11 示出了一个完整的 PLC 控制过程。

由于输入处理阶段是紧接输出处理阶段后马上进行的，所以亦将这两个阶段统称为 I/

O 刷新阶段。实际上，除了执行程序和 I/O 刷新外，PLC 还要进行各种错误检测、自诊断，并与编程工具通讯，这些操作统称为“监视服务”，一般在程序执行之后进行。因此，PLC 的扫描周期也可以看成为五个阶段：自检、通讯、输入处理、程序执行、输出处理。

扫描周期的长短主要取决于三个因素：一是 CPU 执行指令的速度，二是执行每条指令占用的时间，三是程序中指令条数的多少。显然扫描周期的长短主要取决于程序的长短，扫描周期越长，响应速度越慢，所以 PLC 的程序不是越长越好，而是在相同控制功能的情况下程序越短越好，编程水平越高。

由于每个扫描周期只进行一次 I/O 刷新，即每一个扫描周期 PLC 只对输入、输出状态寄存器更新一次，所以系统存在输入输出滞后现象，这在一定程度上降低了系统的响应速度。但是由于对 I/O 的变化每个周期只刷新一次，并且只对有变化的进行刷新，这对一般的开关量控制系统来说是完全允许的，不但不会造成影响，还会提高抗干扰能力。这是因为输入采样时间很短且仅在刷新阶段进行，PLC 在一个工作周期的大部分时间是与外设隔离的，如果工业现场的干扰脉冲时间更短的话，常常无法被扫描到，所以这种高频干扰将被隔离掉。但是在快速响应系统中就会造成响应滞后现象，这时一般都会采用高速模块。

总之，PLC 采用扫描的工作方式，是区别于其它设备的最大特点之一，在学习和使用 PLC 中应特别注意。

1.3 PLC 的分类

可编程控制器具有多种分类方式，了解这些分类方式有助于 PLC 的选型及应用。

1.3.1 根据结构分类

从结构上看，PLC 可分为整体式和模块式两种形式。

(1)整体式

整体式是把 PLC 各组成部分，如 CPU、存储器、I/O 接口等部件都集中安装在一起或少数几块印刷电路板上，并连同电源一起装在机壳内形成一个单一的整体，称之为主机或基本单元。小型、微型 PLC 采用这种结构。

整体式 PLC 的缺点是主机的 I/O 点数固定，使用不够灵活，维修也较麻烦。但是，整体式 PLC 结构紧凑，体积小、重量轻、价格低，容易装配在工业控制设备的内部，比较适合于单机控制的生产机械。

(2)模块式

模块式是把 PLC 各基本组成做成独立的模块。这种形式的 PLC 各部分以单独的模块

分开设置，如电源模块、CPU 模块、输入模块、输出模块及其它智能模块等。这种 PLC（如 S7－400）一般设有机架底板，在底板上有若干插槽，使用时，各种模块直接插入机架底板即可。也有的 PLC（如 S7－300）为串行连接，没有底板，各个模块安装在机架导轨上，而各个模块之间通过背板总线连接。这种结构的 PLC 配置灵活、装备方便、维修简单、易于扩展，可根据控制要求灵活配置所需模块，构成功能不同的各种控制系统。一般中型机、大型机和巨型机均采用这种结构。

模块式 PLC 的缺点是结构较复杂，各种插件多，因而增加了造价。

1.3.2　根据 I/O 点数分类 >>>

PLC 的输入/输出点数表明了 PLC 可从外部接收多少个输入信号和向外部发出多少个输出信号。根据 I/O 点数的多少可将 PLC 分为微型机、小型机、中型机、大型机和巨型机。一般来说，点数多的 PLC，功能也相应较强。

（1）微型机

I/O 总点数在 64 点以下，结构为整体式，主要用于小规模的开关量控制。

（2）小型机

I/O 点总数小于 128 点，一般只具有逻辑运算、定时、计数和移位等功能，适用于中小规模开关量的控制，可用它实现条件控制、顺序控制等。有些小型 PLC，也增加了一些算术运算和模拟量处理等功能，能适应更广泛的需要。目前的小型 PLC一般也具有数据处理和通信等功能。

微型机和小型机的特点是价格低，体积小，适用于控制自动化单机设备，开发机电一体化产品。

（3）中型机

I/O 总点数为 129～512 点，除了具备逻辑运算功能之外，还增加了模拟量输入/输出、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，一般还有 PID 调节、整数/浮点运算等功能模块。

中型机的特点是功能强，配置灵活，适用于小规模的综合控制系统。

（4）大型机

I/O 总点数为 513～1024 点，甚至更多，功能更加完善，具有数据运算、模拟调节、联网通信、监视记录、打印等功能。监控系统采用 CRT 显示，能够表示生产过程的工艺流程、各种曲线、PID 调节参数选择图等。大型机适用于具有诸如温度、压力、流量、速度、角度、位置等模拟量控制和大量开关量控制的复杂机械及连续生产过程控制的场合。

（5）巨型机

I/O 点数大于 1024 点，特点是 I/O 点数特别多，控制规模宏大，组网能力强，可用于大规模的过程控制，构成分布式控制系统或整个工厂的集散控制系统。

1.3.3 根据用途分类

(1)低档 PLC

低档 PLC 用于顺序逻辑控制。早期的可编程控制器主要用于取代继电器控制电路，完成如顺序、联锁、计时和计数等开关量的控制，因此，顺序逻辑控制是可编程控制器最基本的控制功能，也是可编程控制器应用最多的场合。比较典型的应用如电梯的自动控制、自动化仓库的自动存取、各种管道上的电磁阀的自动开启和关闭、皮带运输机的顺序启动，或自动化生产线的多机控制等，这些都是顺序逻辑控制。要完成这类控制，不要求可编程控制器有太多的功能，只要有足够数量的 I/O 点即可，因此可选用低档的可编程控制器。

(2)中档 PLC

中档 PLC 用于闭环过程控制。对于闭环控制系统，除了要用开关量 I/O 点实现顺序逻辑控制外，还要有模拟量的 I/O 点，以供采样输入和调节输出，实现过程控制中的 PID 调节，形成闭环过程控制系统。而中档 PLC 由于具有数值运算和处理模拟量信号的功能，可以设计出各种 P1D 控制器。现在随着可编程控制器控制规模的增大，PLC 可控制的回路数已从几个增加到几十个甚至几百个，因此可实现比较复杂的闭环控制系统，实现对温度、压力、流量、位置、速度等物理量的连续调节。比较典型的应用如连轧机的速度和位置控制、锅炉的自动给水、加热炉的温度控制等。要完成这类控制，不仅要求可编程控制器有足够数量的 I/O 点，还要有模拟量的处理能力，因此对 PLC 的功能要求高，根据能处理的模拟量的多少，至少应选用中档 PLC。

(3)高档 PLC

高档 PLC 用于多级分布式和集散控制系统中，除了要求所选用的可编程控制器具有上述功能外，还要求具有较强的通信功能，以实现各工作站之间的通信、上位机与下位机的通信，最终实现全厂自动化，形成通信网络。由于现在的 PLC 都具有很强的通信和联网功能，建立一个自动化工厂已成为可能。显然，能胜任这种工作的可编程控制器为高档 PLC。

(4)专用 PLC

专用 PLC 用于机械加工的数字控制和机器人控制。机械加工行业也是 PLC 广泛应用的领域，PLC 与 CNC(计算机数控，ComputerNumberControl)技术有机地结合起来，可以进行数字控制。由于 PLC 处理速度的不断提高和存储器容量的不断扩大，使 CNC 的软件不断丰富，用户对机械加工的程序编制越来越方便。随着高科技技术的不断完善，各种性能的机器人相继问世，很多机器人制造公司也选用 PLC 作为机器人的控制器，因此 PLC 在这个领域的应用也将越来越多。

1.3.4　根据生产厂家分类

PLC 的生产厂家很多，每个厂家生产的 PLC，其点数、容量、功能各有差异，但都自成系列，指令及外设向上兼容，因此在选择 PLC 时，若选择同一系列的产品，则可以使系统构成容易、操作人员使用方便，备品配件的通用性及兼容性好。比较有代表性的有：德国西门子(SIEMENS)公司 S5 系列、S7 系列，日本欧姆龙(OMRON)公司的 C 系列，三菱(MITSUBISHI)公司的 FX 系列，日本松下(PANASONIC)公司的 FP 系列，法国施耐德(SCHNEIDER)公司的 TWIDO 系列，美国通用电气(GE)公司的 GE 系列，美国 AB 公司的 PLC5 系列等。

上述各种分类方式并不十分严格，也不是一成不变的。随着 PLC 的发展，分类方法已经有过多次变化和修改。例如，现在的小型机甚至是微型机的 I/O 点数、速度，数据处理能力、通讯功能等也能够达到了上述中型机、中档机的水平。

1.4　三菱 FX 系列 PLC

三菱电机自动化(中国)有限公司作为机电产品综合供应商，其业务范围覆盖工业自动化(FA)产品和机电一体化(Mechatronics)产品。FA 产品包括可编程控制器(PLC)、变频调速器(INV)、人机界面(HMI)、运动控制及交流伺服系统(MotionController&Servo)、电动机(Motor)及减速电动机(GearMotor)等。机电一体化产品包括数控系统(CNC)、放电加工机(EDM)、激光加工机(LP)等。

70 年代初三菱电机开始研发 PLC，1974 年第一台 F 系列投入实际应用，至今已经成为世界范围内高性能、高可靠性的代表。三菱 PLC 的发展历程可以分为三个阶段：

1980－1990 年，三菱 PLC 主要产品有 F、F1、F2 系列小型 PLC，K/A 系列中、大型 PLC；

1990－2000 年，三菱 PLC 主要分为 FX 系列小型 PLC，A 系列(A2S、A2US、Q2A)中大型 PLC；

2000 年以后，三菱 PLC 主要分为 FX2N 系列小型 PLC，Q 系列(Qn、QnPH)中大型 PLC。

三菱 PLC 在中国市场常见的有以下型号有：FX1N、FX1S、FX2N、FX3U、FR－AFR－Q。

本书重点介绍三菱的小型 PLC，中大型 PLC 的典型代表是 Q 系列 PLC。Q 系列 PLC 是三菱公司从原 A 系列 PLC 基础上发展过来的中、大型 PLC 系列产品，Q 系列 PLC 采用了模块化的结构形式，系列产品的组成与规模灵活可变；最大输入输出点数达到 4096

点；最大程序存储器容量达到 252K 步，采用扩展存储器后可以达到 32M；基本指令的处理速度可以达到 34ns；可以适合各种复杂机械、自动化生产线的控制。

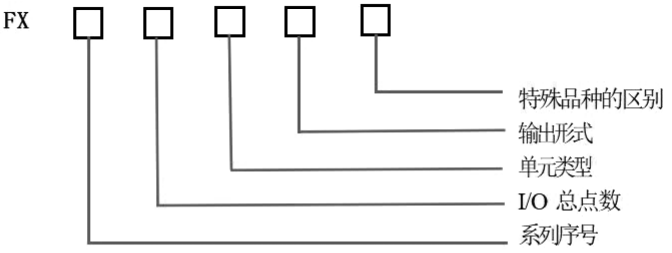
1.4.1 FX 系列 PLC

(1)FX 系列 PLC 型号含义

FX 系列 PLC 型号含义如图 1.12。

若特殊品种缺省，通常指 AC 电源、DC 输入、横式端子排，其中继电器输出 2A；晶体管输出 0.05A；晶闸管输出 0.3A。

例如 FX3U－48MRD，其参数含义为三菱 FX3UPLC，有 48 个 I/O 点的基本单元，继电器输出，使用 DC24V 电源。



FX后各参数意义如下：

系列序号：即系列名称，如 0S、0N、1N、1S、2N、2NC等。

I/O 总点数：10～256。

单元类型：
M ——基本单元；
E——输入输出混合扩展单元与扩展模块；
EX——输入专用扩展模块；
EY—— 输出专用扩展模块。

输出形式：
R——继电器输 出；
T——晶体管输出；
S——晶闸管输出。

特殊品种的区别：
D——DC电源，AC 输入；
A1——AC电源，AC 输入；
H——大电流输出扩展模块(1A/1 点)；
V——立式端子排的扩展模块；
C——接插口输入输出方式；
F——输入滤波器1ms的扩展模块；
L——TTL输入型扩展模块；
S——独立端子(无公共端)扩展模块。

图 1.12 FX 系列 PLC 型号含义

(2)FX 系列 PLC 产品

FX 系列 PLC 包括 FX1S、FX1N、FX2N 和 FX3U 四种基本类型，早期还包括 FX0 系列产品。FX 系列 PLC 拥有较快的速度，高级的功能逻辑选件以及定位控制等特点。这四种基本类型的 PLC 的输入输出控制点数越来越多，功能越来越强，如图 1.13 所示。

FX1S 系列为整体固定 I/O 结构，最大 I/O 点数为 40，I/O 点数不可扩展。

FX1N、FX2N、FX3U 系列为基本单元加扩展的结构形式，可以通过 I/O 扩展模块增加 I/O。FX1N 最大的 I/O 点数是 128，FX2N 最大的 I/O 点数是 256 点，FX3U 最大的 I/O 点数是 384 点(包括 CC－Link 连接的远程 I/O)。

FX1NC、FX2NC、FX3UC 是变形系列，主要区别是端子的连接方式和 PLC 的电源输入，变形系列的端子采用插入式，输入电源只能 24VDC，较普通系列要便宜。普通系列采用接线端子连接，允许使用 AC 电源。

FX1S 系列 PLC 只能通过 RS－232、RS－422、RS－485 等标准接口与外部设备、计算机以及 PLC 之间通讯。FX1N、FX2N、FX3U 增加了 AS－I、CC－Link 网络通讯功能。

三菱 FX 系列 PLC 是一种集成型小型单元式 PLC，具有完整的性能和通讯功能等扩展性。如果考虑安装空间和成本，它们是一种理想的选择。

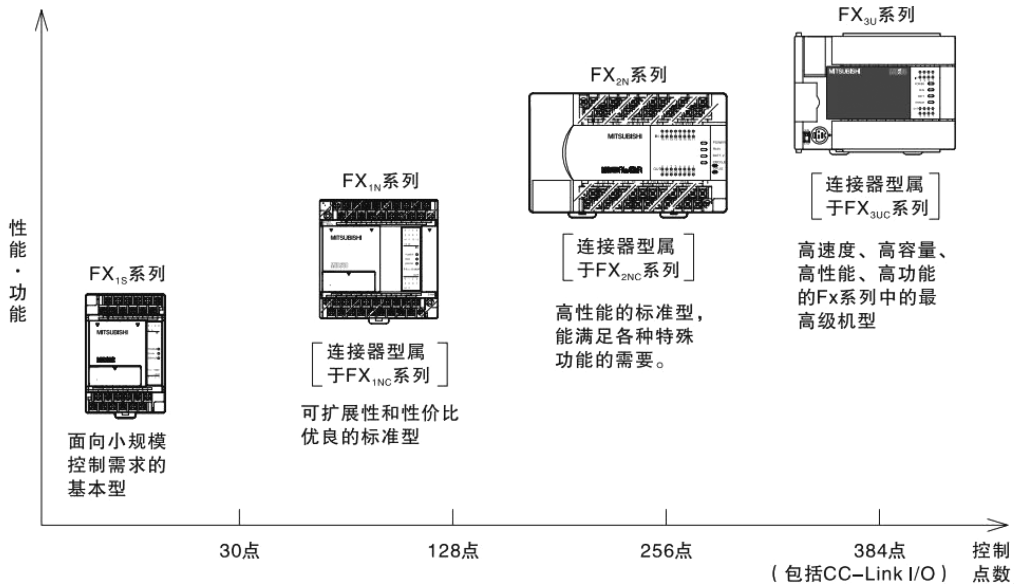


图 1.13　FX 系列四种基本类型

(3)FX 系列 PLC 特点

FX 系列 PLC 的技术特点如表 1.2，其它特点还有：

1)系统配置既固定又灵活；

2)编程简单；

3)备有可自由选择、丰富的配件；

4)技术性能高；

5)高速运算；

6)可应用于多种特殊用途；

7)外部机器通讯简单化；

8)共同的外部设备。

表 1.2　FX 系列 PLC 的技术特点

■功能一览表(端子座型 PLC 的本体配置)　　○：可使用　×：不可使用

功能	端子台型			
	FX_{1S}	FX_{1N}	FX_{2N}	FX_{3U}
存储器容量(步)	2000	8000	8000 最大 16000	64000
扩展输入输出	×	○	○	○
连接特殊单元和模块	×	○	○	○
安装功能扩展板	○	○	○	○
特殊适配器	○	○	○	○
安装显示模块	○	○	×	○
内置高速计数器功能	○	○	○	○
用输入中断和脉冲捕捉功能进行高速处理	○	○	○	○
用定时器中断和计数器中断进行高速处理	×	×	○	○
内置实时时钟(时钟功能)	○	○	○	○
内置模拟电位器	○	○	×	×
内置 DC24V 维修用电源	○	○	○	○
恒定扫描功能	○	○	○	○
输入滤波器调整功能	○	○	○	○
注释登录功能	○	○	○	○
运行中变更程序功能	○	○	○	○
内置 RUN/STOP 开关	○	○	○	○
密码程序保护功能	○	○	○	○

FX 系列 PLC 可以由基本单元构成一个简单的控制系统，也可以以基本单元为核心外接特殊适配器、扩展模块、扩展单元等进行扩展构成较大的系统，完成复杂的的控制任务，如图 1.14 所示。

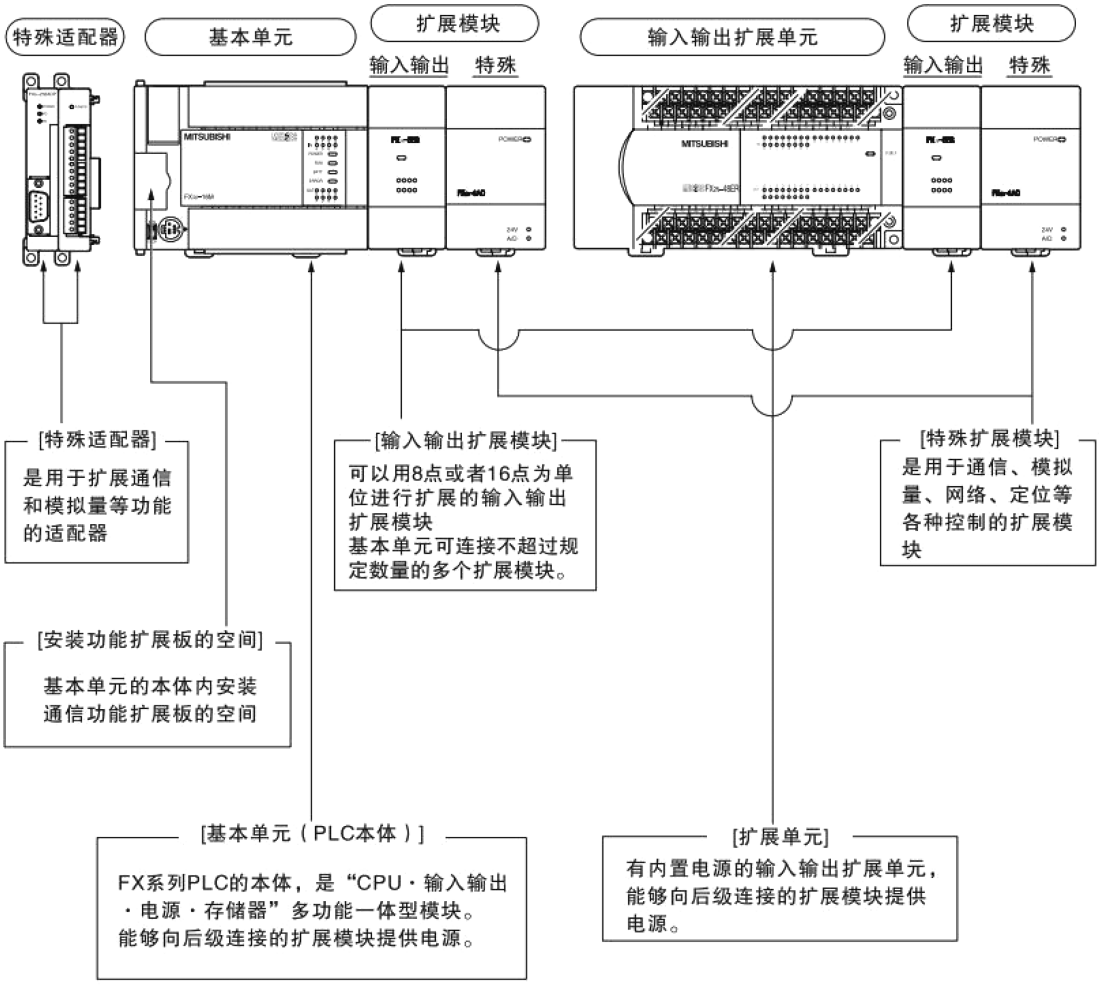


图 1.14　FX 系列 PLC 控制系统构成

1.4.2　FX3U 性能特点

FX3U 是三菱公司新近推出的新型第三代 PLC，可以称得上是小型至尊产品。FX3U 外形如图 1.15 所示。它的基本性能大幅提升，晶体管输出型的基本单元内置了 3 轴独立最高 100kHz 的定位功能，并且增加了新的定位指令，从而使得定位控制功能更加强大，使用更为方便。FX3U 产品为 FX2N 替代品，FX2N 系列产品已于 2012 年 12 月停止供货，以后用户都会选用 FX3 系列产品。



图 1.15　FX3U 基本单元

(1)FX3U 主要特点

1)内置高达 64K 大容量的 RAM 存储器。

2)高速处理性能，基本指令处理时间快达 65ns。

3)控制规模大，I/O 总点数可达 384 点(包括 CC—Link)。

4)内置独立 3 轴 100kHz 定位功能(晶体管输出型)。

5)基本单元左侧可以连接功能强大简便易用的适配器。

6)内置的编程口可以达到 115.2kbps 的高速通信，而且最多可以同时使用 3 个通信口。

7)通过 CC—Link 网络的扩展可以实现最高 84 点(包括远程 I/O 在内)的控制。

8)模块上可以进行软元件的监控、测试，时钟的设定。

9)FX3U 系列还可以将显示模块安装在控制柜的面板上。

10)FX3U 系列 PLC 编程软件需要 GXDeveloper8.23Z 以上版本，或 GX Works2。

(2)FX3U 系统构成

以 FX3U 基本单元为核心可以组成如图 1.16 所示的规模比较大的系统。



图 1.16　FX3U 控制系统

构成这个系统的基本单元和扩展设备如图 1.17。

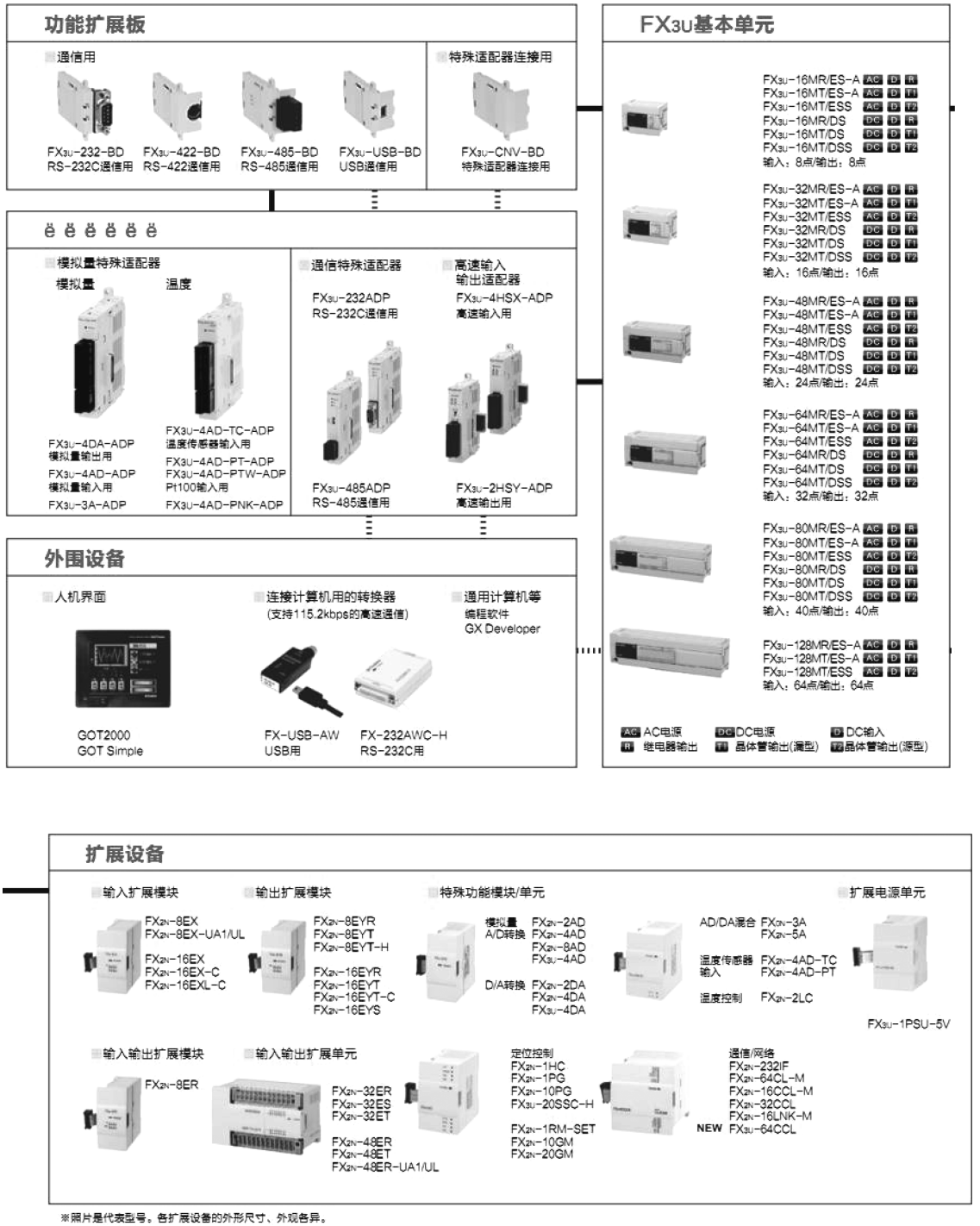


图 1.17　FX3U 基本单元和扩展设备

1.4.3 FX3U 系列编程语言 >>>

FX3 系列 PLC 支持 6 种编程语言：指令表、梯形图、顺序功能图、功能块图、结构文本和结构化梯形图，其中顺序功能图、梯形图和功能块图是图形编程语言，指令表和结构文本是文字语言。指令表、梯形图和顺序功能图是常用的编程语言，顺序功能图要重点掌握。

(1)指令表

指令表(InstructionList)是采用 PLC 指令助记符编写的程序。它与计算机的汇编语言很相似，但比汇编语言简单得多，是一种用得最多的编程语言，微型、小型 PLC 常采用这种方法。如三菱 FX3 系列的控制指令 LD、LDI、AND、ANI、OR、ORI、ANB、ORB 与 OUT 等。

指令表程序看起来比梯形图简单许多，但是不太直观，可读性差，特别是遇到较复杂的程序，更难读。PLC 生产厂家使用的助记符不尽相同，表 1.3 列出了常见几种 PLC 的一些指令助记符。

表 1.3 常见 PLC 指令助记符

功能或逻辑运算		OMRONC 系列	三菱 FX 系列	西门子 S5 系列	GE－1	西屋
触点	常开触点	LD	LD	A	STR	RD
	常闭触点	LDNOT	LDI	AN	STRNOT	RDNOT
与		AND	AND	U	AND	AND
与非		ANDNOT	ANI	UN	ANDNOT	ANDNOT
或		OR	OR	O	OR	OR
或非		ORNOT	ORI	ON	ORNOT	ORNOT
输出		OUT	OUT	=	OUT	WR
与括弧		ANDLD	ANB	A( )	ANDSTR	ANDMEM
或括弧		ORLD	ORB	O( )	ORSTR	ORMEM
主控		ILC	MC	MCR	MCS	WRMCR
取消主控		ILC	MCK	MCR(E)	MCR	WRNOTMCR

表 1.4 示出了三菱 FX 系列 PLC 的一个指令表程序。

表 1.4　FX 系列 PLC 指令表程序实例

指令序号	指令	软元件编号
0000	LD	X000
0001	OR	Y005
0002	ANI	X002
0003	OUT	Y005
……	……	……

(2)梯形图

梯形图(Ladder Diagram)由原继电器控制系统演变而来，类似于传统上用继电器控制接触器的电路图，与电气原理图很相似，是通过连线把 PLC 指令的梯形图符号连接在一起的连通图，用以表达所使用的 PLC 指令及其前后顺序。它形象、直观、实用，为广大电气技术人员所熟知，是 PLC 的主要编程语言。绝大多数 PLC，特别是中、小型 PLC，均具有这种编程语言，只是一些符号的规定有所不同而已。梯形图与电气逻辑控制原理图非常相似，由连线和基本编程元件组成。

梯形图程序看起来像个梯子，左右分别有一根很长的竖线，称为母线。左母线为指令的开始，右母线为指令的结束，实际编程时往往省略右母线。梯形图内部用横竖线把一个个梯形图符号指令连成一个指令组。这个指令组一般总是从母线开始，继以若干个输入指令、逻辑操作指令，以建立逻辑条件，最后为输出指令，实现输出控制，包括数据处理、流程控制、通讯和监控等工作。

表 1.3 的指令表程序可以用梯形图编程如图 1.18。

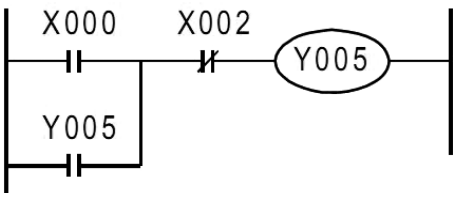


图 1.18　FX 系列 PLC 梯形图程序实例

(3)顺序功能图

顺序功能图(SequentialFunctionChart，SFC)类似于流程设计图，又称为状态转移图。用于规划动作顺序的流程图，即是一步一步控制，而这一步与上一步是有关连性的，有顺序性的。必须有上一个动作，才会启动下一个动作。顺序功能图就是表示了这种动作或状态的顺序，动作或状态的触发条件和结束条件。

顺序功能图和其它程序可以相互转换，比如可以转换成指令表程序及梯形图程序，如果依照一定的规则编制，也可以倒过来转换成 SFC 图。

顺序功能图将在第五章中详细介绍。图 1.19 是一个公园水景系统控制的 SFC 程序实例，程序具体运行情况在后面章节中详细分析。

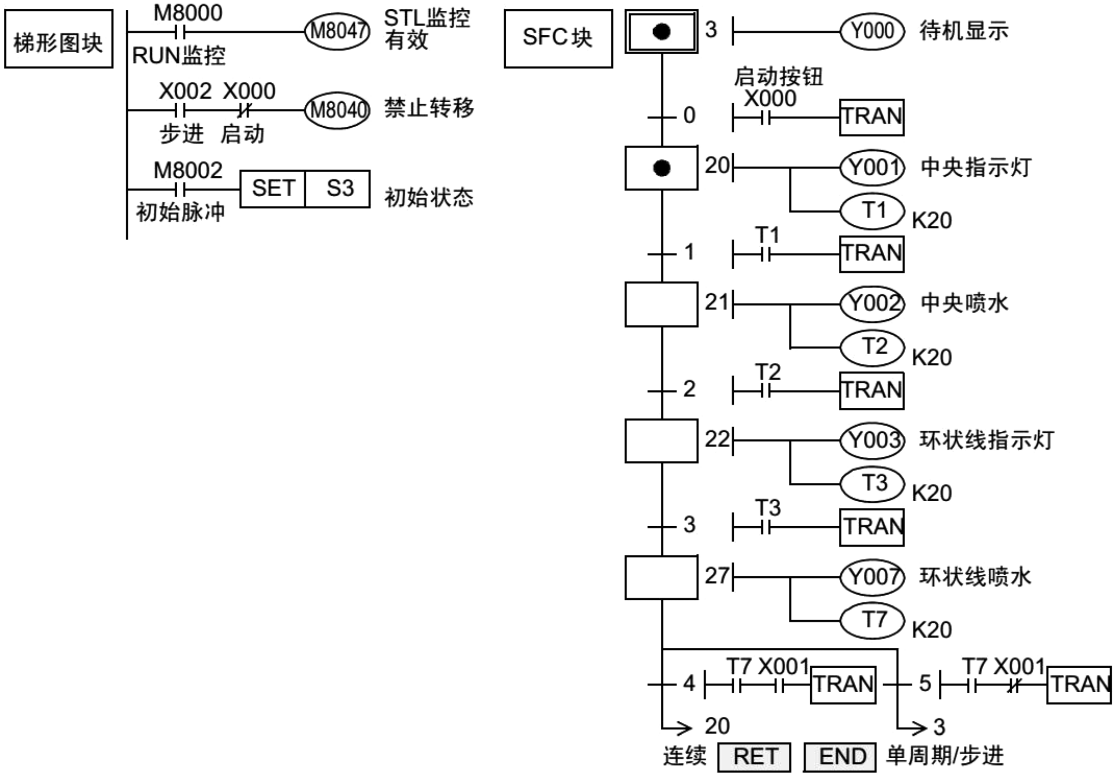


图 1.19　公园水景系统控制的 SFC 程序实例

(4)结构文本

结构文本(StructuredText，ST)是类似 PASCAL 与 C 语言的一种 PLC 编程语言，具有和 C 语言等高级语言相似的语法构造、文本形式，可以通过语法进行控制。例如，采用条件语句进行选择分支、利用循环语句进行重复等，用户可以用简洁的方法书写清楚的程序。结构文本编程适合编写程序较大、算法复杂的程序。由于类似于计算机编程语言，因此可利用与计算机相同的程序设计技术，编写出梯形图和指令表难以实现的复杂计算和控制程序。

(5)功能块图

功能模块图(FunctionBlockDiagram，FBD)是一种建立在布尔表达式之上的图形语言。实质上是一种将逻辑表达式用类似于“与”、“或”、“非”等逻辑电路结构图表达出来的图形编程语言。可以使用预先定义的函数、变量部件、常数部件等功能模块，描述 PLC 所要完成的控制功能，即工艺过程，然后根据一定规则画出梯形图。这种用法，因为有易学易懂、描述简单清楚、设计时间少等优点，因此成为用梯形图设计程序的一种前置手段，是一种先进的设计方法。由于它是一种通用的技术语言，并不涉及所描述的控制功能