

图解PLC梯形图

TUJIE PLC TIXINGTU

主 编 郑亚红
副主编 马 兰 郭银环



图解PLC梯形图

主编 郑亚红

副主编 马 兰 郭银环

辽宁科学技术出版社

沈 阳

图书在版编目(CIP)数据

图解PLC梯形图/郑亚红主编. —沈阳: 辽宁科学技术出版社, 2013.4

ISBN 978-7-5381-7861-6

I. ①图… II. ①郑… III. ①plc 技术—图解 IV. ①TM571.6-64

中国版本图书馆CIP数据核字(2013)第013678号

出版发行: 辽宁科学技术出版社

(地址: 沈阳市和平区十一纬路29号 邮编: 110003)

印刷者: 沈阳新华印刷厂

经销者: 各地新华书店

幅面尺寸: 160mm × 230mm

印 张: 11.5

字 数: 180千字

印 数: 1~4000

出版时间: 2013年4月第1版

印刷时间: 2013年4月第1次印刷

责任编辑: 高 鹏

封面设计: 杜 江

版式设计: 于 浪

责任校对: 栗 勇

书 号: ISBN 978-7-5381-7861-6

定 价: 24.00元

联系电话: 024-23284062

邮购热线: 024-23284502

E-mail: lnkj1107@126.com

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

目 录

| | |
|----------------------------|----|
| 第1章 可编程控制器的基础知识 | 1 |
| 1.1 概述 | 1 |
| 1.1.1 PLC的产生 | 1 |
| 1.1.2 PLC的定义 | 2 |
| 1.2 PLC的特点及分类 | 3 |
| 1.2.1 PLC的特点 | 3 |
| 1.2.2 PLC的分类 | 5 |
| 1.2.3 PLC的发展趋势及应用范围 | 7 |
| 第2章 PLC的结构及工作原理 | 11 |
| 2.1 PLC的基本组成 | 11 |
| 2.1.1 微处理器单元 | 11 |
| 2.1.2 存储器单元 | 12 |
| 2.1.3 I/O单元 | 14 |
| 2.1.4 电源单元 | 17 |
| 2.1.5 其他外部设备 | 17 |
| 2.2 PLC的工作原理 | 18 |
| 2.2.1 PLC的等效电路 | 18 |
| 2.2.2 PLC的工作过程 | 22 |
| 2.2.3 输入和输出映像寄存器 | 24 |
| 2.2.4 PLC对输入、输出的处理规则 | 25 |
| 2.2.5 PLC的扫描周期及滞后响应 | 26 |
| 2.3 PLC的编程语言 | 27 |
| 2.3.1 梯形图 | 27 |
| 2.3.2 指令语句表 | 27 |
| 2.3.3 顺序功能图 | 28 |
| 2.3.4 逻辑功能图（功能块图） | 28 |

| | |
|-------------------------------------|----|
| 第3章 西门子S7-200系列PLC | 29 |
| 3.1 S7-200系列PLC的系统配置 | 29 |
| 3.1.1 S7-200系列PLC系统的基本组成 | 29 |
| 3.1.2 S7-200 CPU存储器的数据类型及寻址方式 | 30 |
| 3.1.3 S7-200 PLC的扩展模块 | 38 |
| 3.1.4 S7-200 PLC的电源预算 | 38 |
| 3.2 S7-200系列PLC的指令系统 | 39 |
| 3.2.1 S7-200的基本指令系统 | 39 |
| 3.2.2 S7-200的功能指令 | 51 |
| 3.2.3 程序控制指令 | 63 |
| 3.2.4 高速计数器和高速计数脉冲输出 | 65 |
| 3.2.5 子程序指令、中断指令和通信指令 | 66 |
| 第4章 解读PLC梯形图的方法和步骤 | 70 |
| 4.1 启保停电路 | 70 |
| 4.2 置位复位电路 | 70 |
| 4.3 常闭触点信号的处理 | 71 |
| 4.4 互锁控制电路 | 71 |
| 4.5 闪烁电路 | 72 |
| 4.6 顺序启动控制电路 | 73 |
| 4.7 过载信号的处理 | 76 |
| 第5章 顺序控制的梯形图 | 77 |
| 5.1 顺序功能图的绘制 | 77 |
| 5.1.1 顺序功能图的组成 | 77 |
| 5.1.2 顺序功能图的基本结构 | 79 |
| 5.1.3 顺序功能图的编程方法 | 82 |
| 5.1.4 绘制顺序功能图的注意事项 | 85 |
| 5.2 PLC梯形图的顺序控制设计及应用 | 85 |
| 5.3 电动机顺序启动和停止控制 | 89 |
| 5.4 以转换为中心的编程方法 | 93 |

| | |
|---------------------------------|-----|
| 第6章 PLC控制应用举例 | 99 |
| 6.1 电动机正、反转控制 | 99 |
| 6.2 两台电动机顺序启停控制 | 106 |
| 6.3 电动机Y- Δ 减压启动控制 | 112 |
| 6.4 机械手的步进控制 | 117 |
| 6.5 密码锁控制 | 128 |
| 6.6 交通信号灯控制 | 135 |
| 6.7 节日彩灯的PLC控制 | 141 |
| 6.8 小车往返运行的PLC控制 | 145 |
| 第7章 可编程控制器的系统设计 | 151 |
| 7.1 PLC控制系统设计 | 151 |
| 7.1.1 PLC控制系统设计的基本原则 | 151 |
| 7.1.2 PLC控制系统设计的内容 | 152 |
| 7.1.3 PLC控制系统设计的一般规律 | 153 |
| 7.2 PLC控制系统的硬件设计 | 155 |
| 7.2.1 PLC的选型 | 155 |
| 7.2.2 I/O的地址分配 | 160 |
| 7.2.3 响应时间 | 161 |
| 7.3 PLC控制系统软件设计 | 161 |
| 7.3.1 经验设计法 | 161 |
| 7.3.2 逻辑设计法 | 164 |
| 7.3.3 顺序功能图法 | 166 |
| 7.4 提高PLC控制系统可靠性的措施 | 167 |
| 7.4.1 PLC安装环境 | 167 |
| 7.4.2 抗干扰措施 | 168 |
| 7.4.3 PLC系统的故障检查 | 172 |
| 7.4.4 PLC系统的试运行与维护 | 173 |
| 参考文献 | 174 |

第1章

可编程控制器的基础知识

1.1 概述

1.1.1 PLC的产生

在可编程控制器诞生之前，继电器控制系统已广泛地应用于工业生产的各个领域。继电器控制系统通常可以看成是由输入电路、继电器控制电路、输出电路和生产现场这4部分组成的。其中输入电路部分是由按钮、行程开关、限位开关、传感器等构成，用以向系统送入控制信号。输出电路部分是由接触器、电磁阀等执行元器件构成，用以控制各种被控制对象，是控制系统的核心部分，它通过导线将各个分立的继电器、电子元器件连接起来对工业现场实施控制。生产现场是指被控制的对象（如电动机等）或生产过程。继电器控制系统的结构框图如图1-1所示。

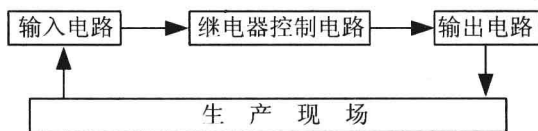


图1-1 继电器控制系统的结构框图

继电器控制系统在传统的工业生产中曾起着不可替代的重要作用，但是随着生产规模的逐步扩大，继电器控制系统已愈来愈难以适应现代工业生产的控制要求。因为继电器控制电路通常是针对某一固定的动作顺序或生产工艺而设计的。它的控制功能也仅仅局限于逻辑控制、定时、计数等一些简单的控制，一旦动作顺序或生产工艺发生

变化，就必须重新进行设计、布线、装配和调试。显然，这样的控制系统已无法满足竞争日益激烈的市场需要。这就迫使人们放弃原来已占统治地位的继电器控制系统，研制可以替代继电器控制系统的新型工业控制系统。

出于上述的考虑，美国通用汽车公司（GM）于1968年提出了公开招标研制新型的工业控制器设想，第二年，即1969年美国数字设备公司（DEC）就研制出了世界上第一台可编程控制器。在这一时期，可编程控制器虽然采用了计算机的设计思想，但实际上只能完成顺序控制，仅有逻辑运算、定时、计数等顺序控制功能。所以人们将可编程控制器称为PLC（Programmable Logical Controller），也称为可编程逻辑控制器。

20世纪70年代末至80年代初，微处理器技术日趋成熟，使可编程控制器的处理速度大大提高，增加了许多特殊功能，如浮点运算、函数运算、查表等。这样可编程控制器不仅可以进行逻辑控制，还可以对模拟量进行控制。因此，美国电气制造协会（NEMA，National Electrical Manufacturers Association）将之正式命名为PC（Programmable Controller）。值得注意的是，因为个人计算机的简称也是PC（Personal Computer），有时为了避免混淆，人们习惯上仍将可编程控制器简称为PLC。

1.1.2 PLC的定义

国际电工委员会（IEC）在1987年对PLC给出了如下定义：“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。它采用可程序的存储器，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的指令，并通过数字式、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设备，都应按易于使工业控制系统形成一个整体，易于扩充其功能的原则设计。”从上述定义可以看出，PLC是一种用程序来改变控制功能的工业控制计算机，除了能完成各种各样的控制功能外，还

有与其他计算机通信联网的功能。

1.2 PLC的特点及分类

1.2.1 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。PLC用软件代替大量的中间继电器和时间继电器，仅剩下与输入和输出有关的少量硬件元件，接线可减少到继电器控制系统的1/100~1/10，因触点接触不良造成的故障大为减少。

各PLC的生产厂商在硬件和软件方面采取了多种措施：硬件方面主要模块均采用大规模或超大规模集成电路，大量开关动作由无触点的电子存储器完成，I/O系统设计有完善的保护和信号处理电路；软件方面PLC具有极强的自检及保护功能，除了本身具有较强的自诊断能力，能及时给出出错信息及停止运行等待修复外，还具有很强的抗干扰能力，平均无故障时间达到数万小时以上，可以直接用于有强烈干扰的工业生产现场。PLC已被广大用户公认为最可靠的工业控制设备之一。

2. 编程方法简单易学，使用方便

梯形图是使用最多的PLC编程语言，其电路符号和表达式与继电器电路原理相似。梯形图语言形象直观，易学易懂，不需要专门的计算机知识，只要具有一定电工和工艺知识的人员都可以在短时间内学会，并用来编制用户程序，配套的编程器的操作和使用也比较简单，这也是PLC获得迅速普及和推广的原因之一。

目前，大多数PLC仍采用继电器-接触器控制电路形式的“梯形图编程方式”。该方式既继承了传统控制电路的清晰直观，又考虑到大多数工厂企业电气技术人员的读图习惯及编程水平，因此非常容易接受

和掌握。梯形图语言的编程元件的符号和表达式与继电器-接触器控制电路相当接近，通过阅读PLC的用户手册或短期培训，电气技术人员和技术工人很快就能学会梯形图编制控制程序。

梯形图语言实际上是一种面向用户的高级语言，PLC在执行梯形图时，用解释程序将它“翻译”成汇编语言再去执行。

3. 功能完善，性能价格比高，通用性强

现代PLC不仅具有逻辑运算、定时、计数、顺序控制功能，而且具有A/D及D/A转换、数值运算和数据处理等功能，此外还具有功率驱动、通信联网、人机对话、自检、记录显示等功能。因此，既可以对开关量进行控制，也可以对模拟量进行控制；既可以控制单个设备，也可以控制一条生产线或全部的工艺生产过程。由于PLC还具有通信联网功能，因此可以与相同或不同类型的PLC通信，并可以连接上位机构成分布式的控制系统。

一台小型PLC内有成百上千个可供用户使用的编程元件，有很强的功能，可以实现非常复杂的控制功能。与相同功能的继电器系统相比，具有很高的性能价格比。

无论哪一个公司的PLC，都配有各种齐全的硬件装置，可以组成能满足各种要求的控制系统，用户不必自己再设计和制作硬件装置。用户在硬件确定以后，在生产工艺流程改变或生产设备更新的情况下，不必改变PLC的硬件设备，只需要用编程器在线或离线修改用户程序即可以满足要求。同一个PLC用于不同的控制对象时，只需改变其输入/输出组件和编制不同的用户程序即可。

4. 系统的设计、安装容易，调试工作量少

PLC的梯形图程序一般采用顺序控制设计法来设计。这种编程方法很有规律，很容易掌握。对于复杂的控制系统，设计梯形图的时间比设计相同功能的继电器系统电路图的时间要少得多。

采用继电器-接触器控制系统完成一项控制工程时，必须首先按工艺要求设计出电气原理图，然后画出继电器控制柜的布置及接线，才能提供订货，而且一旦设计完成，再要修改非常困难。而采用PLC控

制系统，首先，由于其硬件、软件配置均采用模块化、积木式结构，而且都已商品化，只需要按要求选用各种组件组装；其次，在PLC控制系统中，用软件编程取代由许多继电器硬接线来实现的多种功能，因而大大减轻了繁重的安装接线工作；再者，PLC采用面向用户的工业编程语言，具有强制及仿真功能，因此用户程序编程和大部分调试工作都可以在实验室进行。模拟调试好后，再将PLC系统安全安装到生产现场，进行联机调试，既安全，又快捷方便，大大缩短了设计和投入运行周期。

5. 维修工作量小，维修方便

在用户维修方面，由于PLC本身的故障率极低，维护工作量很小，并且PLC有完善的自诊断和显示功能，即使当PLC或外部的输入装置和执行机构发生故障时，也可以根据PLC上发光二极管或在线编程器上提供的信息，迅速地查找到原因。如果是PLC本身的故障，可以用更换模块的方法迅速排除，因此维修极为方便。

6. 体积小，能耗低

对于复杂的控制系统，使用PLC后，可以减少大量的中间继电器和时间继电器，小型PLC的体积仅相当于几个继电器的大小，因此可以将控制柜的体积大大减小。

PLC的配线比继电器控制系统的配线少很多，故可以省下大量的配线和附件，减少大量的安装接线工时，加上开关柜体积的缩小，可以节省大量的费用。

1.2.2 PLC的分类

一般来说，可以按控制规模大小、性能高低、结构特点进行分类。

1. 按PLC的控制规模分类

按PLC的控制规模，可以将其分为大型机、中型机和小型机。

①小型机的控制点一般在256点之内。其控制点数不多，且控制功能有一定的局限性，但是它小巧、灵活、价格低，很适合于单机控制或小型系统的控制。控制点是指PLC面板上连接输入、输出端子上的

开关量输入点数和输出点数之和。

②中型机的控制点一般不大于2048点。其控制点数较多，控制功能较强，有些PLC有较强的计算能力，不仅可用于对设备进行直接控制，还可以对多个下一级的PLC进行监控，它适合中型或大型控制系统的控制。

③大型机的控制点一般多于2048点。其控制点数多，控制功能很强，有很强的计算能力，同时，其运行速度很快，不仅能完成较复杂的算术运算，还能进行复杂的矩阵运算。它不仅可用于对设备进行直接控制，还可以对多个下一级的PLC进行监控。

2. 按PLC的控制性能分类

按PLC的控制性能可以分为高档机、中档机和低档机。

①低档机具有逻辑运算、定时、计数、移位以及自诊断、监控等基本功能。还可能增设少量模拟量输入/输出、算术运算、远程I/O、通信等功能。低档机工作速度低，能带的输入和输出模块数量比较少，输入和输出模块的种类也比较少。这类PLC只适合于小规模简单控制，在联网中一般适合作为从站使用。

②中档机除具有低档机的功能外，还具有较强的模拟量输入/输出、算术运算、数据传送和比较、远程I/O、通信等功能。中档机工作速度比较快，能带的输入/输出模块的数量比较多，输入和输出模块的种类也比较多。这类PLC不仅能完成小型控制任务，也可以完成较大规模的控制任务，在联网中可以作为从站，也可以作为主站使用。

③高档机除具有中档机的功能外，还有符号算术运算、位逻辑运算、矩阵运算、平方根运算及其他特殊功能函数运算、表格功能等。高档机具有更强的通信联网功能，可用于大规模过程控制系统。高档机工作速度很快，能带的输入/输出模块的数量很多，输入和输出模块的种类也很全。这类PLC不仅能完成中等规模的控制工程，也可以完成大规模的控制任务，在联网中一般作为主站使用。

3. 按结构形式分类

PLC按结构形式可分为整体式和模块式。

①整体式PLC是将电源、CPU、I/O部件都集中在一个机箱内，具有结构紧凑、体积小、价格低的特点。一般小型PLC采用这种结构。整体式PLC由不同I/O点数的基本单元和扩展单元组成。基本单元内有CPU、I/O接口部件、与I/O扩展单元相连的扩展口和与编程器或EPROM写入器件相连的接口等。扩展单元内只有I/O和电源等而不带CPU。整体式PLC一般还可配备特殊功能单元，如模拟量单元、位置控制单元等。

②模块式PLC是将PLC各部分分成若干个单独的模块，如CPU模块、I/O模块、电源模块以及各种功能模块。模块式PLC由框架和各种模块组成。这种结构的特点是配置灵活，可根据需要选配不同模块组成一个系统，而且装配方便，便于扩展和维修。一般大、中型PLC采用模块式结构。

1.2.3 PLC的发展趋势及应用范围

1. PLC的发展趋势

进入21世纪后，随着微电子技术、控制技术与信息技术的不断发展，PLC也在不断地发展。PLC的发展趋势主要体现在以下几个方面。

①向高速度、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的扫描速度达到0.1ms/千步左右。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盘存储器或硬盘。

②向超大型、超小型两个方向发展。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。现在已有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。

③PLC大力开发智能模块,加强联网通信能力。为了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功能又可以灵活方便使用,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,各PLC生产厂家都有自己的专有联网手段;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(DCS)不可缺少的重要组成部分。

④增强外部故障的检测与处理能力。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。

⑤编程语言多样化。在PLC系统结构不断发展的同时,PLC的编程语言也越来越丰富,功能不断提高。除了大多数PLC使用的梯形图语言外,为了适应各种控制要求,出现了面向顺序控制的步进编程语言、面向过程控制的流程图语言和与计算机兼容的高级语言(BASIC、C语言等)等。多种编程语言的并存、互补与发展是PLC进步的一种趋势。

2. PLC的应用范围

在发达的工业国家,PLC已经广泛地应用在不同的工业部门,随着其性能价格比的不断提高,应用范围不断扩大,大致可归纳为以下几种。

(1) 数字量逻辑控制。

PLC用“与”、“或”、“非”等逻辑指令来实现触点和电路的串并联，代替继电器进行组合逻辑控制、定时控制与顺序逻辑控制。这是PLC最基本、最广泛的应用领域。PLC的输入和输出信号都是通/断的开关信号，对控制的输入、输出点数可以不受限制，从十几个点到成千上万个点，理论上可以通过扩展实行。数字量逻辑控制可以用于单台设备，也可以用于自动生产线，其应用领域已遍及各行各业，如机床电气控制、电梯运行控制、冶金系统的高炉上料、汽车装配线、啤酒灌装生产线等。

(2) 运动控制。

PLC可用于直线运动或圆周运动的控制。早期直接用开关量I/O模块连接位置传感器和执行机构，现在一般使用专用的运动模块，以实现对各种机械的运动控制。目前，制造商已提供了拖动步进电动机或伺服电动机的单轴或多轴位置控制模块，即把描述目标位置的数据送给模块，模块移动一轴或多轴到目标位置。当每个轴运动时，位置控制模块保持适当的速度和加速度，确保运动平滑。

(3) 闭环过程控制。

PLC通过模块实现模拟量与数字量的A/D、D/A转换，能够实现对模拟量的控制。可实现对温度、压力、流量、液面高度等连续变化的模拟量的PID控制，如锅炉、冷冻、反应堆、水处理、酿酒等。

(4) 数据处理。

现代的PLC具有数学运算（包括矩阵运算、函数运算、逻辑运算）、数据传递、排序和查表、位操作等功能，可以完成数据的采集、分析和处理，可以与存储器中存储的参考数据进行比较，也可以传送给其他智能装置或传送给打印机制表。具有把支持顺序控制的PLC与数字控制设备紧密结合的能力，即CNC功能。数据处理一般用在大、中型控制系统中。

(5) 联网通信。

PLC的通信包括PLC与PLC之间、PLC与上位计算机之间和其他智

能设备之间的通信。PLC和计算机之间具有串行接口，利用双绞线、同轴电缆将它们连成网络，以实现信息的交换。还可以构成“集中管理，分散控制”的分布控制系统。联网增加系统的控制规模，甚至可以使整个工厂实现工厂自动化。

第2章

PLC的结构及工作原理

2.1 PLC的基本组成

可编程控制器实质是一种专用的计算机控制系统，它具有比一般计算机更强的与工业过程连接的接口，具有更适用于控制要求的编程语言。因此，可编程控制器与一般的计算机控制系统一样，也具有中央处理器单元（CPU）、存储器、输入/输出单元（I/O）等部分。其基本组成如图2-1所示。

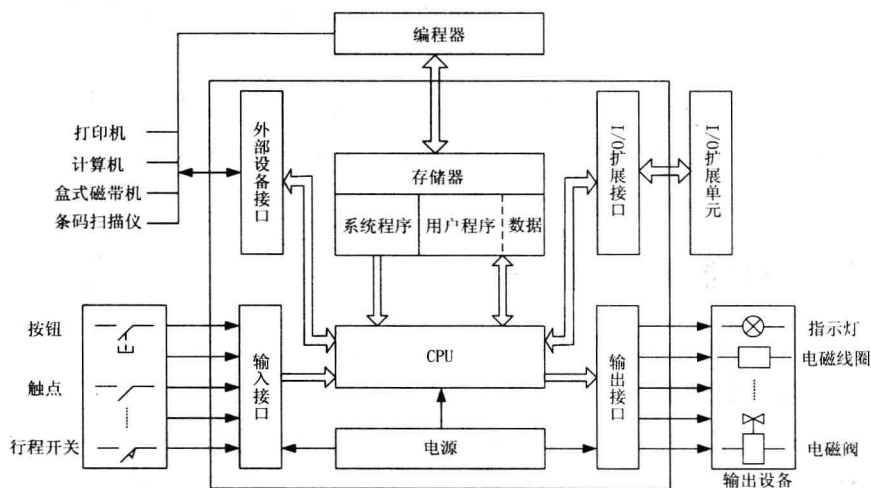


图2-1 PLC的基本组成

2.1.1 微处理器单元

可编程控制器中的微处理器单元（也称CPU单元）与一般计算机