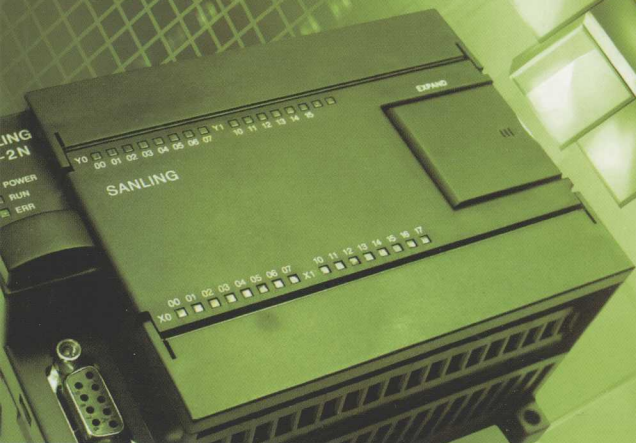


轻松看懂电气控制电路图丛书



轻松看懂 PLC控制系统梯形图

■ 金沙 郑凤翼 编著



中国电力出版社

www.cepp.com.cn

轻松看懂电气控制电路图丛书

轻松看懂 PLC控制系统梯形图

■ 金沙 郑凤翼 编著



中国电力出版社

www.cepp.com.cn

内 容 提 要



随着现代工业的飞速发展, PLC 控制在电气控制中占有越来越重要的地位。西门子公司的 S7-200 系列小型 PLC 在我国电气控制领域中占有很大的份额, 越来越多的人希望学会并掌握这项控制技术。本书正是为了适应这一社会需求而编写的。

本书力图从初学者自学的角度出发, 使学过电工和具有一定电子技术基础知识的读者能够容易地看懂学会 PLC 控制梯形图, 轻松学会 PLC 编程方法和设计技巧。本书以 S7-200 系列小型 PLC 为对象, 从工程应用角度出发, 尽可能与现场设计一致。

全书共 11 章: 第 1 章为 PLC 原理; 第 2、3 章为 S7-200 设备使用及指令; 第 4~7 章为 PLC 设计方法; 第 8 章为 S7-200 编程软件的使用; 第 9~11 章为 PLC 工程应用。本书内容涵盖了 PLC 安装、设计和调试的常见方法, 是进行 PLC 设计的重要参考资料。

本书主要供从事电气工作的人员和相关专业的师生学习参考阅读。

图书在版编目 (CIP) 数据

轻松看懂 PLC 控制系统梯形图/金沙, 郑凤翼编著.
北京: 中国电力出版社, 2008

(轻松看懂电气控制电路图丛书)

ISBN 978-7-5083-7326-3

I. 轻… II. ①金…②郑… III. 可编程序控制器-图解 IV. TP332.3-64

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2008) 第 077574 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

*

2009 年 1 月第一版 2009 年 1 月北京第一次印刷

710 毫米×980 毫米 16 开本 15.375 印张 266 千字

印数 0001—4000 册 定价 25.00 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



随着现代工业的飞速发展, PLC(可编程控制器)在工业生产中有着越来越广泛的应用, PLC控制已经成为自动化生产的主要控制方式, 在电气控制中占有重要地位。因此, 学习和掌握 PLC 应用技术, 已经成为当今电气工程技术人员必备知识和技能。

西门子公司的 S7-200 系列小型 PLC 在我国电气控制领域中占有很大的份额, 随着产品性能的提高和 PLC 应用技术的推广, S7-200 系列小型 PLC 逐渐成为更多的电气设计人员所接受并使用, 同样, 也使越来越多的人希望学会并掌握这项控制技术。本书正是为了适应这一社会需求而编写的。

本书以 S7-200 系列小型 PLC 为对象, 从工程应用角度出发, 通过实际线路来讲解 PLC 的安装, 通过实例来介绍 PLC 的不同设计方法, 通过案例来介绍 PLC 的设计过程, 内容尽可能与现场设计一致。通过本书的学习, 可以使电气工程技术人员熟悉 PLC 控制系统的运行和维护, 掌握 PLC 的基本安装和调试方法, 能够采用 PLC 完成对断序控制的电气设计。

本书共 11 章, 第 1 章为 PLC 原理, 第 2、3 章为 S7-200 设备使用及指令, 第 4~7 章为 PLC 设计方法, 第 8 章为 S7-200 编程软件的使用, 第 9~11 章为 PLC 工程应用。本书内容涵盖了 PLC 安装、设计和调试的常见方法, 是进行 PLC 设计的重要参考资料。

本书第 1 章由郑凤翼编写, 第 2~11 章由金沙编写, 全书由郑凤翼统稿, 全书插图均由赵晶、马菲、李飞、陆晶晶、刘爽绘制。在本书的编写过程中得到了相关人士的大力支持和帮助, 在此表示衷心感谢。

在本书写作过程中, 编者参考了一些书刊杂志, 并引用了其中的一些资料, 在此一并向有关书刊杂志的作者表示衷心的感谢。

作者



前言

● 第1章 PLC的组成及原理	1
1.1 可编程控制器的产生及定义	1
1.1.1 早期的继电器-接触器控制装置	1
1.1.2 可编程控制器的产生	2
1.1.3 可编程控制器的定义	3
1.2 PLC的特点及应用	3
1.2.1 PLC的特点	3
1.2.2 PLC的应用领域	5
1.3 PLC的编程语言	6
1.3.1 软件分类	6
1.3.2 编程语言的表达方式	6
1.4 PLC的硬件组成及结构	9
1.4.1 PLC的硬件组成	9
1.4.2 PLC的分类	13
1.5 可编程控制器的工作原理	15
1.5.1 PLC控制系统的等效电路	15
1.5.2 PLC的工作过程	16
1.5.3 PLC的扫描周期	16
1.5.4 输入/输出滞后时间	17
1.5.5 PLC与继电器-接触器控制电路工作原理的差别	18
● 第2章 S7-200系统配置	19
2.1 S7-200的组成及其性能指标	19
2.1.1 S7-200系列产品的基本构成	19
2.1.2 S7-200的性能指标	21
2.2 S7-200的编程元件及其功能	25

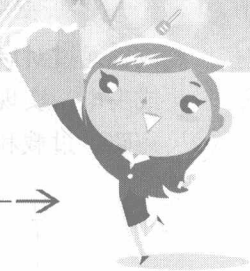
2.2.1	S7-200 编程元件的分类及编址	25
2.2.2	S7-200 主要编程元件及寻址范围	27
2.2.3	S7-200I/O 触点的扩展	29
2.3	S7-200 的安装	31
2.3.1	布置方案	31
2.3.2	电源	32
2.3.3	布线	32
2.3.4	S7-200 的接线	33
● 第 3 章	基本指令系统	35
3.1	位逻辑指令	35
3.1.1	装载指令和线圈输出指令	35
3.1.2	串联指令	36
3.1.3	并联指令	37
3.1.4	置位和复位指令	38
3.1.5	边沿触发指令	38
3.1.6	逻辑结果取反指令	39
3.2	堆栈操作指令	40
3.2.1	块串联指令	41
3.2.2	块并联指令	41
3.2.3	入栈、读栈和出栈指令	42
3.3	定时器指令	43
3.3.1	通电延时型定时器指令	44
3.3.2	断电延时型定时器指令	44
3.3.3	保持型通电延时定时器指令	46
3.4	计数器指令	47
3.4.1	增计数器	47
3.4.2	减计数器	49
3.4.3	增/减计数器	49
● 第 4 章	经验设计法	52
4.1	三相异步电动机的直接启动控制	52
4.1.1	三相异步电动机的单向运行控制	52
4.1.2	单按钮实现的三相异步电动机的单向运行控制	54

4.1.3	三台三相异步电动机的顺序启动和顺序停止	56
4.2	三相异步电动机往复运动的控制	60
4.2.1	三相异步电动机的正反转控制	60
4.2.2	小车自动往复控制	64
4.2.3	送料小车自动控制	68
● 第5章	逻辑设计法	73
5.1	优先权电路的设计	75
5.1.1	三输入位置优先控制系统	75
5.1.2	四输入先输入优先控制系统	78
5.1.3	四组抢答器控制系统	80
5.2	信号显示系统	85
5.2.1	四组抢答器数码显示控制系统	85
5.2.2	三台电动机的工作状态指示控制系统	90
● 第6章	时序设计法	95
6.1	多台电动机的循环工作	96
6.1.1	两台电动机的循环工作	96
6.1.2	3台电动机顺序控制	99
6.2	交通信号灯控制系统设计	104
6.2.1	控制系统的要求及设计分析	104
6.2.2	程序设计	105
● 第7章	顺序功能图设计法	110
7.1	顺序功能图	110
7.1.1	概述	110
7.1.2	顺序控制设计法的设计步骤	110
7.1.3	顺序功能图的绘制	111
7.1.4	顺序功能图到梯形图的转换	113
7.2	单序列顺序控制系统	115
7.2.1	单序列顺序功能图转换成梯形图	115
7.2.2	两台电动机顺序工作	115
7.3	选择序列顺序控制系统	120
7.3.1	选择序列顺序功能图转换成梯形图	120
7.3.2	给水控制系统的多种工作方式控制	121

7.4	并行序列顺序控制系统	128
7.4.1	并行序列顺序功能图转换成梯形图	128
7.4.2	3台电动机运行控制	129
● 第8章	STEP7-Micro/WIN 编程软件	139
8.1	编程软件的操作环境	139
8.1.1	STEP7-Micro/WIN 概述	139
8.1.2	软件安装	139
8.1.3	界面介绍	140
8.2	编程流程	147
8.2.1	编程流程	147
8.2.2	编程实例	148
8.3	程序的监控	150
8.3.1	用状态图监控	150
8.3.2	用程序编辑器监控	151
8.3.3	监控程序实例	151
● 第9章	电动机控制应用举例	153
9.1	电动机启动与制动控制	153
9.1.1	三相异步电动机的Y- Δ 启动控制	153
9.1.2	绕线式三相异步电动机串电阻启动控制	156
9.1.3	三相异步电动机的反接制动控制	160
9.2	电动机循环工作	164
9.2.1	两台电动机循环控制	164
9.2.2	3台电动机的顺序启动逆序停止控制	170
9.3	小车自动送料控制	176
9.3.1	控制系统的要求及设计分析	176
9.3.2	程序设计	177
● 第10章	机床控制系统	186
10.1	车床电气控制系统	186
10.1.1	控制系统的要求及设计分析	186
10.1.2	程序设计	187
10.2	磨床控制系统	190
10.2.1	控制系统的要求及设计分析	190

10.2.2	程序设计	192
10.3	组合机床控制系统	194
10.3.1	组合机床结构及控制要求	194
10.3.2	程序设计	196
● 第 11 章	PLC 在生产装置中的应用	204
11.1	PLC 在电镀生产线的应用	204
11.1.1	控制系统的要求及设计分析	204
11.1.2	程序设计	205
11.2	在化学反应过程控制中的应用	218
11.2.1	控制系统的要求及设计分析	218
11.2.2	程序设计	219
11.3	PLC 在自动传送系统中的应用	225
11.3.1	控制系统的要求及设计分析	225
11.3.2	程序设计	227
参考文献	236

PLC的组成及原理



1.1 可编程控制器的产生及定义

1.1.1 早期的继电器-接触器控制装置

在 PLC 诞生之前,工业设备的电气控制主要采用以继电器-接触器为主体的控制装置。各种继电器-接触器、时间继电器及其触点按一定的逻辑关系用导线连接起来组成控制电路,控制各种生产机械的运动。

继电器-接触器结构如图 1-1 所示,它由线圈、铁心、衔铁、触点等部件组成。当线圈通电后,产生磁场,在铁心和衔铁间形成磁路,衔铁在磁力作用下被铁心吸合,衔铁在吸合的同时,带动接触器的动触点动作,使动合触点接通,动断触点断开,以完成电路连接的切换。

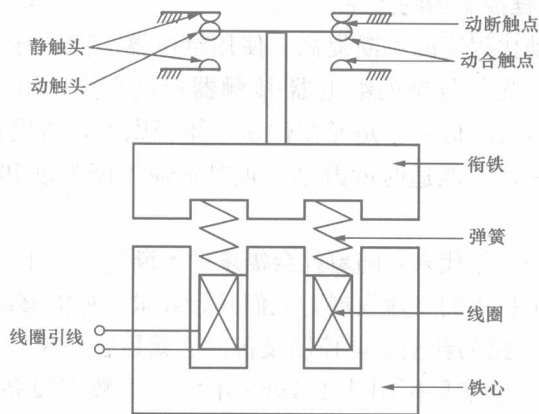


图 1-1 接触器结构示意图

图 1-2 是采用接触器控制的三相异步电动机单向运转电路图。其中 (a) 为主电路,通过接触器 KM 动合主触点的闭合和断开,直接通、断三相异步电动机的电源,实现对电动机的启动、运行和停止控制;(b) 为控制电路,由接触器 KM 的线圈和它的动合辅助触点及启动按钮 SB2、停车按钮 SB1 组

成。通过对启动按钮 SB2 和停止按钮 SB1 的操作,使接触器 KM 的线圈得电或失电,实现对接触器 KM 的控制;此外,控制电路还具有对电气设备进行短路、过载和失欠压保护的功能。

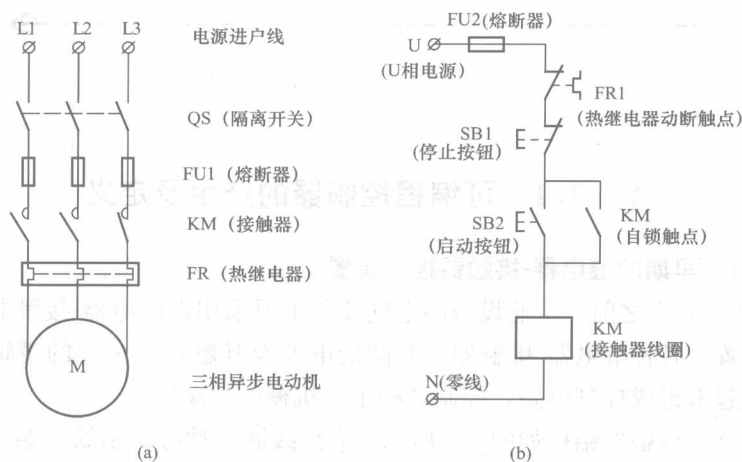


图 1-2 三相异步电动机单向运转电路

(a) 主电路; (b) 控制电路

1.1.2 可编程控制器的产生

随着工业自动化程度的不断提高,使用继电器-接触器控制系统的缺陷不断地暴露出来:首先是复杂的继电器-接触器控制系统,由于线路连接烦琐,使系统的可靠性大大降低;二是元器件多,体积庞大,给设备维修带来困难;三是控制电路单一,不能适时的改动,很难适应不断发展和变化的工业生产要求。

直到 20 世纪 60 年代末,随着社会需求的不断提高,工业产品的不断改造和创新,以及电子技术的飞速发展,人们开始寻求一种能够以存储逻辑代替继电器-接触器控制线路的新型工业控制设备。这就是后来的 PLC。

世界上第一台可编程控制器于 1969 年由美国数字设备公司 (DEC) 研制,并在美国通用汽车公司 (GM) 汽车生产线上首次成功应用。该台可编程控制器利用计算机编程软件进行逻辑程序的编辑和控制,具备了基本逻辑运算和编程能力,可实现生产的自动控制。限于当时的元件条件及计算机发展水平,早期的可编程控制器只能完成简单的逻辑控制功能。20 世纪 70 年代初,随着微处理器的出现和引入,可编程控制器不仅具有逻辑功能,还增加了运算、数据传送和处理等功能,成为真正具有计算机特征的工业

控制装置。20世纪70年代中末期,可编程控制器进入广泛应用阶段,由于计算机技术的引入,使可编程控制器在运算速度、控制功能、适应能力、可靠性、体积和价格等方面有了明显的优势,在工业控制中逐步占有主导地位。

1.1.3 可编程控制器的定义

可编程控制器产生的初期只具有逻辑运算功能,用来代替继电器-接触器控制。因此,可编程控制器被人们习惯叫做PLC(Programmable Logic Controller)。随着PLC功能的不断增加,简单的逻辑控制并不能反映出可编程控制器的全部功能,由此,国际上给它统一的名称——可编程控制器(Programmable Controller)。由于个人计算机的简称为PC(Personal Computer),为了避免混淆,通常可编程控制器的简称仍然为PLC。

PLC的历史虽然只有不到40年,但由于其发展迅速,功能不断增加,控制领域不断扩大,因此,为了确定它的性质,国际电工委员会(IEC)多次发布及修订有关PLC的文件。在1987年颁布的PLC标准草案中对PLC做了如下定义:“PLC是一种专门为在工业环境下应用而设计的数字运算操作的电子装置。它采用可以编制程序的存储器,用来在其内部存储执行逻辑运算、顺序运算、计时、计数和算术运算等操作的指令,并能通过数字式或模拟式的输入和输出,控制各种类型的机械或生产过程。PLC及其有关的外围设备都应按照易于与工业控制系统形成一个整体,易于扩展其功能的原则而设计。”以上定义表明,PLC是一种具有一定数字处理能力,直接应用于工业环境的数字电子装置。它实质上是经过改造的工业控制用计算机。



1.2 PLC的特点及应用

1.2.1 PLC的特点

1. 易学易用,编程方便

PLC是经过改造的工业控制计算机,是面向企业中一般电气工程技术人员的控制电器,它主要采用易于理解和掌握的梯形图语言编程。该编程语言的电路符号和表达方式与继电器-接触器控制电路相近,对于熟悉继电器-接触器控制电路的电气技术人员来说,PLC易于接受、容易掌握;特别是小型PLC,几乎不需要专门的计算机知识,只要经过简单的学习和训练,就能掌握基本的编程方法和应用技能。

2. 可靠性高,抗干扰能力强

可靠性是电气控制设备的重要技术指标,是生产机械能否安全、可靠工作的必要保证。PLC内部电路采用了先进的抗干扰技术,输入/输出电路采用光电耦合和滤波延时,输入信号采用周期分时采样,以及用于防止程序执行时间过长或死机的看门狗定时器(WDT, Watch Dog Timer)等多种措施提高可靠性。这些措施大大地提高了PLC的抗干扰能力,使PLC能够在很恶劣的工业生产环境下长期连续可靠地工作。此外,PLC都带有硬件故障的自我检测功能,出现故障时可及时发出报警信息;外围器件的故障自诊断可通过在PLC应用软件中编入故障诊断程序,这样PLC控制系统可对PLC及其外部电路及设备进行故障自诊断,从而使整个系统具有极高的可靠性。与继电器-接触器控制电路比较,采用PLC控制的电气接线大大减少,平均无故障时间延长,故障修复时间缩短。例如三菱公司生产的FX系列PLC平均无故障时间高达30万小时。一些使用冗余CPU的PLC的平均无故障工作时间则更长。

3. 适用性强,使用方便

现在所使用的PLC,已经形成了大、中、小各种规模的系列化产品。用户可根据不同控制要求,将一个或多个PLC及其功能模块进行灵活组合,组成具有各种规模和控制功能的PLC控制系统。当生产工艺更新、控制要求改变或生产设备增加需要变更控制系统的功能时,通常只需要改变用户程序和对输入/输出触点进行少量的增减或调整,就能够满足控制要求,不需要做大的改动,这些是继电器-接触器控制很难实现的。

4. 系统的设计和施工周期缩短

PLC的程序设计和调试可与电气施工和安装同时进行。程序的设计可在实验室进行,通过模拟和仿真对控制程序进行调试,待电气安装完成后,再进行现场的联机调试;此外PLC的体积和接线数量与继电器-接触器控制电路相比均大大减少。因此使整个的设计和施工周期大大缩短。

5. 维护方便

PLC除了能够按照程序执行工作任务外,还可以通过编程器或计算机上安装的编程软件对PLC进行实时监控,随时了解PLC内部变量的变化过程,这使PLC的操作和维护变得更加方便快捷。此外,PLC还具有自诊断功能,能随时检查自身的故障,发现问题能及时报警,便于及时发现故障点,如输入/输出触点的状态、RAM后备电池的电能是否充足、数据通信是否异常及PLC内部电路是否正常等。PLC这些报警功能的设置,在提高系统可靠性的同时,也使设备维护变得更加容易。

1.2.2 PLC的应用领域

PLC的应用领域十分广泛,在钢铁、石油、化工、电力、机械制造、汽车、轻纺、交通运输和军工等各个行业都有着广泛的应用。根据PLC的使用情况大致可归纳为以下几类。

1. 开关量的逻辑控制

开关量的逻辑控制是PLC最基本的应用领域,它取代传统的继电器-接触器控制,实现对开关量信号的逻辑控制、顺序控制。如应用于注塑机、包装机、组合机床、磨床、包装生产线、电镀流水线等设备。

2. 步进控制

PLC可以用于伺服系统的控制。通过PLC外接的专用控制模块,可以实现对伺服系统运动信号的准确采集和对伺服系统的精确控制。世界上各主要PLC厂家的产品几乎都设有运动控制功能,被广泛地用于各种机械、机床、机器人、电梯等场合。

3. 模拟量控制

对温度、压力、流量等信号的控制,可通过传感器将上述非电量信号转换为电信号并传递给PLC的模拟量输入模块。PLC通过模拟量输入模块,可以实现对模拟信号的采集,通过使用内部专用的比例/积分/微分指令(PID)对采样信号进行调整和处理,并通过模拟量输出模块实现对控制对象的闭环控制。PLC的模拟量控制功能在冶金、化工、热处理、锅炉控制等场合有非常广泛的应用。

4. 数据处理

现代PLC都具有不同程度的数据处理功能,如数学运算(算术运算、函数运算、逻辑运算)、数据传送、数据转换、排序、查表等功能,可以完成数据的采集、分析及处理。

5. 网络通信

目前的PLC多数都具有通信功能,PLC的通信主要包括PLC与PC机之间、多个PLC之间、PLC与其他智能设备间的通信。随着网络技术的发展,工厂自动化系统对PLC的网络化功能需求也越来越高,PLC的网络能力也不断被生产厂家重视,因此,新型PLC的通信和网络在标准化、速度、简便操作等方面都有了显著提高。PLC的通信功能在工厂自动化生产、运行监控、数据记录等方面都有广泛应用。



1.3 PLC的编程语言

1.3.1 软件的分类

PLC的软件包含系统软件及应用软件两大部分。

1. 系统软件

系统软件是指由PLC生产厂家开发的用于PLC运行和系统维护的程序,包括系统管理程序、用户指令的解释程序和系统监控程序等。系统管理程序用于完成PLC运行相关的时间分配、存储空间分配、管理以及系统自检等工作;用户指令的解释程序用于将用户程序转换为PLC识别的机器码;系统监控程序用于对PLC内部主要部件的定期检查和故障的报警。系统软件由PLC生产厂家在PLC出厂前,写入只读存储器(ROM)的系统程序区内,并永久保存,用户无法改动。

2. 应用软件

应用软件也叫用户软件或用户程序,是用户为实现某种控制目的,使用PLC能识别的编程语言编制的程序。例如,用于控制电动机运行的程序、用于控制组合机床工作的程序等。用户程序可根据控制需求进行多次修改,这正是PLC可编程的重要特征。

1.3.2 编程语言的表达方式

用户程序的编制需使用PLC生产方提供的编程语言,各个PLC生产厂家提供的PLC编程语言各自独立,不能互用;目前,一些大的PLC生产厂家,正积极开发标准化编程语言,如西门子公司的S7系列PLC除了提供本系列PLC的编程语言外,还同时提供标准IEC编程指令。由于各国PLC的发展过程有类似之处,PLC的编程语言及编程工具都大体相同,一般PLC常见的编程方式有以下几种。

1. 梯形图

梯形图语言是一种图形编程语言,是由如图1-3(a)所示的继电器-接触器控制电路演变过来的,图1-3(b)所示为以梯形图形式编制的应用程序。可见,梯形图中所绘的图形符号和继电器-接触器电路图中的符号十分相似。

与继电器-接触器电路比较,梯形图程序有以下特征。

(1) 梯形图虽然沿用了继电器-接触器电路的一些名称,如输入继电器、输出继电器、辅助继电器等。但这些继电器不是真实的物理继电器,而是用户程序存储器中数据存储区的一个具体存储单元,是“软继电器”。通过存储单

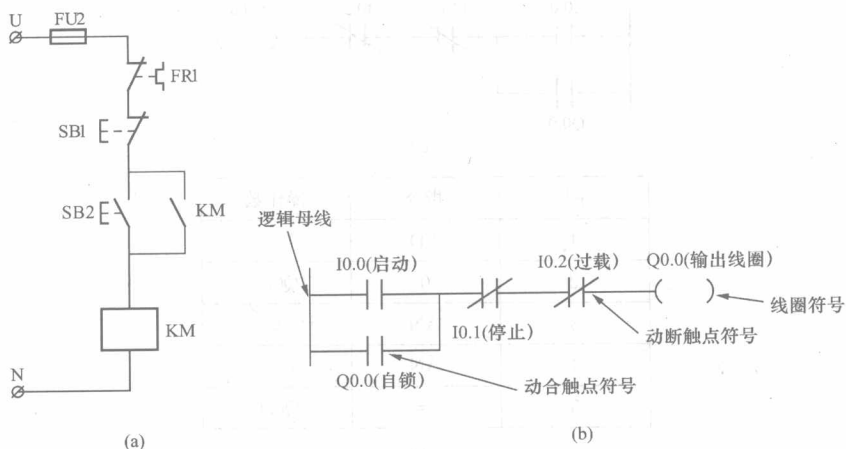


图 1-3 接触器控制电路与梯形图程序

(a) 接触器控制电路；(b) 梯形图程序

元的状态变化（“1”或“0”）来表示相应继电器的“通”或“断”。

(2) 梯形图中的触点仍然使用继电器-接触器电路的动合触点和动断触点，这些触点的通断状态，由相应的继电器线圈是否得电或断电决定，即由相应的存储单元的状态决定。

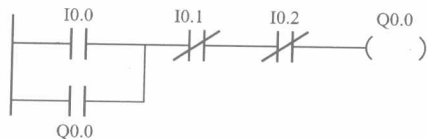
(3) 在梯形图中，左侧的垂线为逻辑母线，每个支路从母线开始，经过触点到线圈或其他输出元件结束。

(4) 梯形图中各触点的数量是没有限制的，因为它们是对元件映像寄存器中各个基本单元状态，按照程序逻辑关系，依次读取出来，进行逻辑运算的。

(5) 梯形图中程序的执行顺序是逐行逐句顺序执行的，与继电器-接触器控制电路的并行工作方式不同。

2. 指令表

指令表也叫语句表。它与单片机程序中的汇编语言类似，由指令语句依一定的顺序排列而成。一条指令一般可分为序号，指令助记符和操作数 3 部分；也有指令只有指令助记符，称为无操作数指令。指令表语言和梯形图有严格的对应关系，对指令表编程不熟悉的人可先画出梯形图，再通过编程软件转换为语句表。由于简易编程器（手持式编程器）不具备直接读取图形的功能，因此使用简易编程器编写程序时，只有通过指令表才可能将程序输入到 PLC 中。图 1-4 所示为电动机单向运行控制的梯形图和指令表。



(a)

序号	指令	操作数
1	LD	I0.0
2	0	Q0.0
3	AN	I0.1
4	AN	I0.2
5	=	Q0.0

(b)

图 1-4 电动机单向运行控制的梯形图和指令表

(a) 梯形图; (b) 指令表

3. 逻辑功能图

逻辑功能图是一种类似于数字逻辑电路的编程语言，它用逻辑功能符号组成的功能块图来表达控制逻辑。该编程语言用类似与门、或门和非门的方框来表示输入信号与输出信号以及其他位元件的逻辑运算关系。图 1-5 所示为电动机单向运行控制的逻辑功能图。

4. 顺序功能图

顺序功能图是一种采用顺序功能符号和功能图块来表达控制过程的程序，它常用来编制顺序控制类程序。它包含步、任务、转换 3 个要素。顺序功能编程法可将一个复杂的控制过程分解为相互联系的工作单元，对这些工作单元的功能分别处理后就可以实现对整体系统的控制。图 1-6 为电动机单向运行控制的顺序功能图。

5. 高级语言

为了增强 PLC 的数学运算、数据处理、图表显示、报表、网络通信等功能，方便用户的使用，许多大中型 PLC 都配备了 PASCAL、BASIC、C 等高级编程语言。与梯形图相比，高级语言有两个很大的优点：一是能实现复杂的控制；二是可以向计算机一样进行结构化编程。

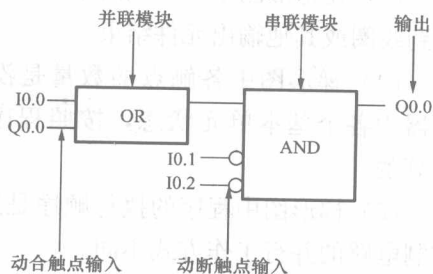


图 1-5 电动机单向运行控制的逻辑功能图