



普通高等教育“十一五”国家级规划教材

电气工程·自动化专业规划教材

汪道辉 主编

可编程控制器原理及应用

(第2版)



电子工业出版社
PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY

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

普通高等教育“十一五”国家级规划教材

电气工程·自动化专业规划教材

可编程控制器原理及应用

(第2版)

汪道辉 主编

电子工业出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京·BEIJING

内 容 简 介

本书为普通高等教育“十一五”国家级规划教材。

本书系统地介绍了自动控制领域中以使用 PLC 为基础的程序控制技术。主要内容包括：PLC 逻辑控制的概念；PLC 的硬件组成及工作原理；PLC 执行用户程序的扫描工作方式及其特点；以 S7 系列和 C200H 系列为例的 PLC 指令系统；以梯形图、指令表和顺序功能图程序设计为主的 PLC 程序设计方法；PLC 的硬件配置、功能扩展模块和 PLC 通信以及 PLC 组成的网络。

本书撰写过程中强调由浅入深、循序渐进、深入浅出的原则，强调突出工程技术实践、理论性与实效性相结合的原则，从基本的继电器控制线路出发，再以简化的、虚拟的初级 PLC 的运行原理入手，然后立足于工程技术中真实的 PLC，并将其应用作为重点。本书力求帮助读者掌握 PLC 应用于顺序控制技术的具有普遍意义的工程实践技术知识与技能，避免单一类型 PLC 手册式的描述，以两种有代表性的 PLC 指令系统为例，并以其中一种软件工具为例，点面结合，重点突出，以使读者学习后能收到举一反三之效，能自如地设计 PLC 顺序控制系统。

本书适合作为大专院校自动化专业、机电类专业和相关专业的教材，也可供从事自动控制工程的工程技术人员参考。

未经许可，不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容
版权所有·侵权必究

图书在版编目(CIP)数据

可编程控制器原理及应用/汪道辉主编. —2 版. —北京: 电子工业出版社, 2011.7

(电气工程·自动化专业规划教材)

ISBN 978-7-121-13616-0

I. ①可… II. ①汪… III. ①可编程序控制器—高等学校—教材 IV. ①TP332.3

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2010)第 094662 号

策划编辑: 章海涛

责任编辑: 陈晓莉

印 刷:

北京市李史山胶印厂

装 订:

出版发行: 电子工业出版社

北京市海淀区万寿路 173 信箱 邮编 100036

开 本: 787×1092 1/16 印张: 17 字数: 435 千字

印 次: 2011 年 7 月第 1 次印刷

印 数: 4 000 册 定价: 34.00 元

凡所购买电子工业出版社图书有缺损问题, 请向购买书店调换。若书店售缺, 请与本社发行部联系, 联系及邮购电话: (010)88254888。

质量投诉请发邮件至 zltz@phei.com.cn, 盗版侵权举报请发邮件至 dbqq@phei.com.cn。

服务热线: (010)88258888。

前 言

以 PLC 为基础的顺序控制、逻辑控制或称程序控制技术,是自动控制领域中应用相当广泛的一项控制技术。本书编写宗旨在于力图使读者不仅学到 PLC 的知识,更重要的是培养应用 PLC 技术的工程实践能力。

本书首先阐述了顺序控制的基本控制思路,剖析了继电器、接触器顺序控制系统以及 PLC 顺序控制系统工作原理,再以一个虚拟的、简化的 PLC 讲述硬件基本组成、软件运行的基本原理和扫描工作的特点,以给予读者一个 PLC 的粗略但又具有本质意义的整体概念。在这样的基础上,再进一步讲述真实 PLC 的硬件组成及其工作原理。着重剖析了 PLC 系统执行用户程序的程序扫描工作方式及其与输入、输出配合的工作过程。以开关量 I/O 为主介绍了 PLC 的各种硬件资源。以 S7 系列和 C200H 系列 PLC 的指令系统为例,讲述了 PLC 指令系统和数据地址的配置和应用,着重讲述了应用指令设计顺序控制程序的思路、方法、步骤以及相关技能。本书以梯形图、指令表和顺序功能图三种程序设计方法为主,阐述了顺序控制的程序设计方法、相关技能和设计中必须掌握的工程技术实践中的许多具体问题。书中还简单介绍了 PLC 的通信及网络。

在本书的编写过程中,尽力体现举一反三之宗旨,以及如下的编撰教材原则:

1. 实效性和量力性的原则

鉴于 PLC 技术涉及的内容繁杂,在编写中对于 PLC 的内容不可能也不应当全部照搬。本书从最基本的技术应用出发,本着重在基础,大量技术细节由读者应用技术手册去拓展的办法,突出诸如开关量输入、输出等比较基础的应用,对于 PID 控制、高速计数等比较细微末节而又繁杂的一些技术内容,只在示例中展示少许部分。乍看起来近乎挂一漏万,实则有助于读者轻装上阵,尽快接近 PLC 技术实质。

2. 难点及难点解决办法

本书所面临的难点是 PLC 具有相当繁多的类型,本书无法包罗所有具体类型的全部内容,同时也必须避免单一类型手册式的、复印机式的描述,否则与看具体 PLC 手册无异。本书的解决办法是从众多具体类型 PLC 中抽取具有普遍意义的精髓给予阐述,并以两种有代表性的指令系统为例,点面结合,以使读者学习后能收到举一反三之效。

3. 深入浅出、循序渐进的原则

为了避免读者在硬件组成、工作原理、寻址方式、指令系统以及程序编制等一大堆杂乱的问题面前束手无策,本着从简到繁的原则,首先用一个虚拟的、简化的 PLC,以较少篇幅,将其硬件、软件和硬软结合的工作原理介绍给读者,先给予读者一个浅显的基本原理以及整个技术问题的概貌,让读者有一个粗略的但带本质意义的整体概念,再有机地回到真实的 PLC 技术,并引导读者深入繁杂的 PLC 技术的一个个“局部”,并不断将各局部与“整体”融汇起来,最终获得一个关于 PLC 的比较完整的整体概念。突出了一个“从整体到局部,再从局部回到整体”螺旋式升华的教与学的方法。

4. 突出工程技术实践、体现理论性与实效性相结合的原则

本书编著者非常看重工程技术实践这一点,期望读者通过本书学习尽可能从相对偏重技术知识的学习转化到工程技术实践技能的运用,力图让读者从一名学生的角色尽快转化到一

名工程技术人员开发人员的角色。这一点，也是本书编著者多年教改的追求。本书的撰写中不仅关注理论、技术知识的传授，更注意比较多地结合技术实例和技术实际问题，使理论有较强的可读性和可操作性。尤其加强了技能的培养，如编制程序、运用编程软件工具的技能等，尽可能让读者学会“在用中学”、“边用边学”，并通过充分调动读者自己的主观能动性和充分促进读者运用自己的工程实践经验，以更充分地实现提高读者工程技术实践能力的目的。本书从内容安排上，尽可能让读者学习每一示例后，都有可能完成设计同类的、更复杂一些的技术项目的任务。为此，强烈建议读者从学习一开始就上 SIEMENS 相关网页下载 STEP 7-Micro/WIN 工具软件。

本书主要特色分述如下。

1. 层次性的特色

本书特别注意技术知识的层次递进深入，绝对不在没有预先给出一个整体的、粗略的、概括的技术知识的前提下，直接地、突兀地进入细节的阐述，使得读者“不识庐山真面目，只缘身在此山中”。例如在硬件设计、软件设计的描述中，都采用先讲述硬件框图再讲述硬件原理图，先讲述程序流程框图再讲述源程序的手段。本书始终注意首先启发读者的思路，让读者首先大体建立一个对于论述问题的轮廓、大体认知结构，这样读者在阅读过程中其思路才会沿着本书的思路走，甚至于超前于本书的论述，使阅读变得很轻松，使得读者在阅读过程中由被动阅读变为主动阅读。

2. 完整性的特色

本书编撰中，力图实现对技术、技能传授的完整性。例如，硬件设计除了写出逻辑设计方面的内容，画出原理图外，还给出时序图、做出时序设计方面的阐述。

3. 实践指导的特色

本书着力体现一种“边学习，边实践”的核心宗旨，即尽可能将本书撰写成为一种“实践指导书”，使学生边学习边实践。

4. 适宜于自学的特色

本书在撰写时尽力做到比较适合于自学。

本书由汪道辉教授主编，由涂源钊教授主审。本书第1章由汪道辉、苏敏、任瑞玲、刘亚梅编写，第2章由汪道辉、苏敏、袁孜、刘亚梅编写，第3章由袁孜、汪道辉、刘亚梅编写，第4章由汪道辉、苏敏编写，第5章由任瑞玲、汪道辉编写，第6章由汪道辉、苏敏、袁孜、任瑞玲编写。全书图纸由张婷描绘，张婷并编制调试了书中部分程序。本书编撰过程中，参考了许多文献，在此谨向书后所列参考文献的全部编著者表示由衷的谢意。本书的出版，还要感谢四川省自动化仪表研究所和四川华盛迅捷机电科技发展有限公司对本书编撰过程中程序试验、调试的大力支持。

囿于编著者知识水平和经验的局限，书中谬误、疏漏之处在所难免，恳请同行学者、读者赐教，于编者、于读者都大有裨益。

编者
2011年4月

目 录

第 1 章 绪论	(1)
1.1 逻辑控制与可编程控制技术	(1)
1.1.1 逻辑控制与可编程控制技术概述	(1)
1.1.2 逻辑控制的分类	(8)
1.1.3 逻辑控制的控制要素	(9)
1.2 可编程控制器	(9)
1.2.1 可编程控制器的概念	(9)
1.2.2 可编程控制器的功能	(10)
1.2.3 可编程控制器的特点和性能	(11)
1.2.4 可编程控制器的应用领域	(12)
1.2.5 常用可编程序控制器简介	(13)
1.3 可编程控制技术应用概况及发展趋势	(16)
1.3.1 PLC 控制在自动控制中的地位	(16)
1.3.2 PLC 控制发展趋势	(18)
1.4 学习 PLC 应当注意的几个关键问题	(21)
习题及思考题	(22)
第 2 章 可编程序控制器的组成及原理	(24)
2.1 可编程序控制器的基本组成和基本工作原理	(24)
2.1.1 可编程序控制器的基本组成	(24)
2.1.2 一个虚拟的可编程序控制器初级机的基本组成和基本工作原理	(25)
2.2 可编程序控制器的组成与工作原理	(36)
2.2.1 可编程序控制器的组成	(36)
2.2.2 可编程序控制器的等效电路	(39)
2.2.3 可编程序控制器的工作原理——程序扫描原理	(40)
2.2.4 可编程序控制器与计算机控制系统的异同	(47)
2.3 可编程序控制器的基本硬件模块	(47)
2.3.1 CPU 模块	(47)
2.3.2 开关量 I/O 模块	(48)
2.3.3 模拟量 I/O 模块	(50)
2.3.4 编程器	(50)
2.3.5 电源及外部设备	(52)
2.4 可编程序控制器功能扩展模块简介	(53)
2.5 常用可编程序控制器的分类	(54)
2.5.1 根据规模和功能状况分类	(54)
2.5.2 根据结构特点分类	(55)
2.5.3 按使用特点分类	(56)
习题及思考题	(56)

第 3 章	可编程控制器的指令系统与程序设计	(57)
3.1	可编程控制器的指令系统	(57)
3.1.1	可编程控制器的指令系统概说	(57)
3.1.2	S7-200 指令系统概述	(58)
3.1.3	S7-200 指令系统	(64)
3.1.4	C200 指令系统概述	(87)
3.1.5	C200 指令系统	(89)
3.2	可编程控制器程序设计	(111)
3.2.1	程序设计方法概述	(111)
3.2.2	继电器梯形图程序设计	(117)
3.2.3	顺序控制梯形图程序设计及顺序功能图程序设计	(132)
	习题及思考题	(149)
第 4 章	基于 IEC 61131-3 标准的可编程序控制系统程序设计	(155)
4.1	IEC 61131-3 标准	(155)
4.1.1	IEC 61131-3 标准概说	(155)
4.1.2	IEC 61131-3 标准的基本内容和工作原理	(160)
4.2	IEC 61131-3 标准的编程语言	(178)
4.2.1	结构化文本编程语言	(178)
4.2.2	功能块图语言	(185)
第 5 章	可编程控制器的通信及网络	(188)
5.1	可编程控制器的网络通信原理概要	(188)
5.1.1	通信的基本类型	(188)
5.1.2	通信介质的选择	(195)
5.1.3	连接形式与通信访问控制协议	(196)
5.1.4	网络拓扑结构	(198)
5.1.5	网络协议	(199)
5.2	可编程控制器的典型网络结构及典型网络简介	(202)
5.2.1	典型网络结构	(202)
5.2.2	典型网络简介	(204)
	习题及思考题	(217)
第 6 章	可编程序控制器的应用	(218)
6.1	STEP 7-Micro/WIN 软件的应用	(218)
6.1.1	STEP 7-Micro/WIN 软件简介	(218)
6.1.2	STEP 7-Micro/WIN 软件基本操作	(219)
6.1.3	STEP 7-Micro/WIN 软件编程操作	(224)
6.2	PLC 控制系统应用例	(229)
6.2.1	恒压供水 PLC 控制系统	(229)
6.2.2	布袋除尘系统的 PLC 控制系统	(241)
6.2.3	发泡塑料成型机 PLC 控制系统	(254)
	参考文献	(266)

第1章 绪 论

1.1 逻辑控制与可编程控制技术

可编程控制技术作为在林林总总的自动控制领域众多控制技术中的一朵奇葩，自它 20 世纪 60 年代问世以来，便受到了控制界同仁的广泛认同和青睐。50 多年来，这种技术异军突起，已经发展成为现代自动化技术的一个主要的、重要的支柱。

1.1.1 逻辑控制与可编程控制技术概述

1. 逻辑控制系统简介

在国民经济建设中有一类工业占有极大的比例，这类工业以改变物体的几何形状和机械性能为特征，从另一个着眼点说，这类工业以断续控制和以机电运动控制为主要特征，或者说是以开关量的控制为主要特征。如机械制造、纺织、服装、皮革、家具、造纸、烟草、电子及通信设备及计算机制造、仪器仪表制造等制造行业，其种类不胜枚举。在这类过程控制中，大量应用于对于位置、位移、速度、角速度、加速度等参量的控制。检测与控制这些参量的变化直接影响着生产的速度，以及最终产品的质量，因而是优质高产、低耗、安全生产的重要技术问题。逻辑控制即是这类工业所采用的关键控制技术。

在过程控制中，有两类控制方式是比较显著的。一类控制方式体现在以物理变化和化学变化为基础，将原料转化成产品的过程工业中，其控制对象有如温度、流量、压力、压差等物理参量，其控制特征是闭环反馈调节，即连续不断地反复检测这些参量并调节这些参量，以使这些参量恒定或按照某种变化规律变化。这类控制的显著特征是连续控制和以变化参量的恒定或按某种规律的变化为目的。另一类控制方式主要体现在前一节所述的制造类过程工业中，其控制对象有如位置、位移、速度、角速度、加速度、角加速度等参量，其控制特征是顺序控制，即按照预先安排好的操作顺序和规则，对输入状态进行某些判断，然后据此做出控制决策，控制执行机构完成以开关量控制为主的生产过程的开环顺序自动控制。在这一类型控制中，是以断续控制和机电运动控制为主要特征，对于控制对象而言是以开关量的控制为主要特征，其着眼点主要在于控制过程的顺序，以及每一进程中完成什么动作。前一类控制的典型例子如调节某对象的温度保持在 $80^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$ 的水平上，而后一类控制的典型例子如泡沫塑料包装件自动化加工装置的合模、预热、填料、反排料、加压、加热、冷却、脱模等全过程的顺序控制。

本书所关注的是后一类控制方式，即顺序控制方式或称为逻辑控制方式。

所谓逻辑控制是指在对生产过程运行状态检测的基础上，依据预先编制好的操作规则，对输入状态进行逻辑运算、或计数、或定时、或对某些变化参量进行判断等，然后根据这些结果做出控制决策，控制执行机构协调动作，完成以开关量控制为主的生产过程的自动控制。在逻辑控制中有三大技术问题须解决：一是按照逻辑条件进行顺序动作或按照时序进行顺序动作；二是按照逻辑关系(如“与”、“或”等)进行相关动作控制，而这是与控制顺序、时序不相关的；三是采集监视大量的开关量、脉冲量、计时量、计数量、模拟量的越限报警等状

态。逻辑控制中的一个关键问题是采用了预先编制好的操作规则，这些操作规则在大量教材上称之为“程序”，故逻辑控制又有“程序控制”之称。不过需要注意，这里所称的“程序”，与计算机软件技术中的“程序”既有联系，又不尽相同，后面的论述将谈及。

读者还须注意在有的教材或技术资料上，也将逻辑控制称为顺序控制或程序控制。

程序控制与我们经常接触的反馈控制是自动控制领域内两个并列的、相辅相成的重要范畴。反馈控制究其目标而言是定量控制，而程序控制更偏重于定性控制。反馈控制是闭环控制，而程序控制多半是开环控制。

逻辑控制技术在早期主要以继电接触控制技术为主，而在 20 世纪 60 年代以后则主要以可编程控制技术为主。因此本书将主要以可编程控制器为背景来讲述逻辑控制技术。但是鉴于可编程控制器实际上也是从继电接触控制系统发展而来的，为此，我们首先对这种继电接触逻辑控制系统做一些简单了解。

2. 继电接触逻辑控制系统

(1) 继电器接触控制系统概述

早期的逻辑控制多以继电器、接触器作为主要控制装置来构成逻辑控制系统，故习惯上称为继电器逻辑控制或继电器接点控制或继电器接触控制。其显著特征是系统的操作规则(亦即控制程序)是以元件、器件的某种连接方式来体现的。这种控制系统要改变控制程序，非得改变这种“连接”方式不可，极大地阻碍了逻辑控制技术的发展。

通常继电器、接触器控制系统可以看成由输入电路、控制电路、输出驱动电路和控制对象 4 个部分组成的。其中输入电路通常是由反映控制对象状态的输入装置及传感器组成，如按钮、行程开关、限位开关以及各种传感器等。输入电路在系统中的作用是向控制系统提供被控对象的运行状态信息。输出及驱动电路由接触器、电磁阀、电磁操动装置、电磁制动装置或可控硅等执行装置组成，其作用是用来控制电机、阀门、电炉、制动装置等各种各样的生产设施，以此保证被控对象有序的、安全的运行。而在这里，继电器控制部分是整个控制系统的核心，其作用是根据输入的控制现场状况以及预先安排的逻辑关系或时间顺序加以判断、决策，以决定通过输出电路对控制现场的具体操作。继电器控制系统的逻辑结构如图 1-1 所示。

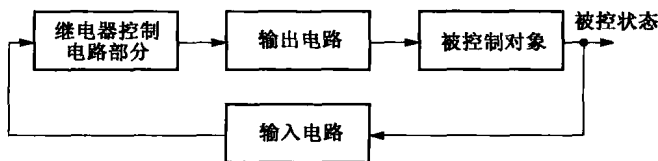


图 1-1 继电器控制系统结构

在这类控制过程中，很大一部分控制问题是解决诸如电动机的起停，电磁阀的开闭，电磁离合器的离合等这样一类开关量控制。这些控制的实施，通常都是通过继电器、接触器、可控硅等器件的接通(ON)或断开(OFF)来实现的。而这些控制的决策，往往又是在对诸如行程开关、接近开关、按钮、接触器触点、继电器触点等开关量状态或各种传感器的状态的检测后，按照预先规定好的一种处理规则做出的。这类控制，就是我们将要述及的逻辑控制或称程序控制。

(2) 继电器逻辑控制系统的典型部件

在介绍整个继电器逻辑控制系统之前，我们先对继电器逻辑控制系统中的典型部件首先给予简单的介绍：

1) 常开按钮

常开按钮的触点在平常状态(即未按动时)是断开(OOPEN)的;当用手按动后,触点闭合(CLOSE),变为电气接通状态;当手离开按钮时,触点又重新断开,恢复为常态的断开状态。

这里请特别留意:在逻辑控制技术里,通常按照英文习惯将电路断开称为“开”,即“OPEN”,与中文中将电路接通称为“开”(如常说的“开灯”、“打开电源”等)刚好是相左的;同样,在逻辑控制技术里,通常按照英文习惯将电路接通称为“闭”,即“CLOSE”,意为电路“闭合”,也就是接通,与中文中所称将电路“关闭”也刚好是相左的。这一点,由于其概念贯穿于整个技术的始终,所以在学习中要切实加以注意,避免混淆。

2) 常闭按钮

常闭按钮的触点在平常状态(即未按动时)是接通(CLOSE)的;当用手按动后,触点断开(OOPEN),变为电气断开状态;当手离开按钮时,触点又重新闭合,恢复为常态的接通状态。

常开按钮、常闭按钮及其触点在电气原理图中的结构与电气符号如图1-2所示。

3) 继电器

常见的简单电磁式继电器如图1-3所示。无论何种继电器,几乎都是由铁心(或称定铁心)、继电器线圈、衔铁(或称动铁心)、由衔铁(或称动铁心)及其连杆机构带动的触头系统(通常包括常开触点或常闭触点或常开触点、常闭触点均具有)组成。

图1-3中所示继电器的工作原理是:当带铁心的继电器线圈⑤由控制电路控制通电后,线圈及铁心产生很强的磁力吸引衔铁④向下运动,衔铁带动连杆机构⑥亦往下移动,使得连接在连杆机构上但与连杆机构绝缘的常闭触点的动触头⑧和常开触点动触头⑨也向下移动,因而形成常闭触点动触头⑧与其静触头⑦先行断开,尔后常开触点动触头⑨与其静触头⑩再接通的结果。

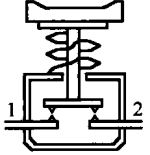
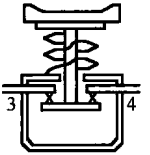


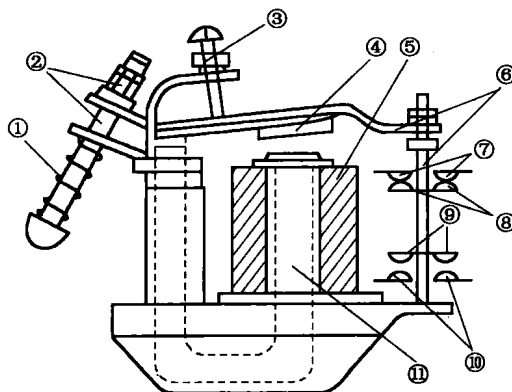
名称	常开按钮	常闭按钮
结构		
电气符号		

图 1-2 常开按钮/常闭按钮电气图形符号



① 弹簧 ② 衔铁张紧调节螺钉 ③ 衔铁间歇调节螺钉 ④ 衔铁 ⑤ 线圈 ⑥ 连杆机构
⑦ 常闭触点静触头 ⑧ 常闭触点动触头 ⑨ 常开触点动触头 ⑩ 常开触点静触头 ⑪ U形铁心

图 1-3 电磁式继电器

而这里常开触点的接通或常闭触点的断开,又可以控制其他的被控制电路的接通或断开。继电器控制系统的基本原理就体现在这里。在继电器中,最主要的部分还是继电器线圈和继电器的常开触点及常闭触点,故下面再给予进一步描述。

4) 继电器线圈

当控制继电器线圈的电路中的所有触点都闭合时，继电器线圈通电，此时衔铁吸合，使继电器的常开触点闭合，使常闭触点断开；而当控制继电器线圈的电路中的所有触点中存在断开的触点，线圈将失电，此时继电器常开触点断开，常闭触点闭合。

5) 继电器常开触点

继电器常开触点在平常工作状态下(即继电器不通电的状况下)是断开状态，即其动触头与其静触头是分断的；当继电器线圈通电时，常开触点闭合，即其动触头与其静触头是接通的，体现为连接状态。

6) 继电器常闭触点

继电器常闭触点在平常工作状态下(即继电器不通电的状况下)为连接状态，即其动触头与其静触头是接通的；当继电器线圈通电时，继电器常闭触点断开，即其动触头与其静触头是分断的，体现为断开状态。

继电器的线圈及常开触点、常闭触点在电气原理图中的电气符号如图1-4所示。

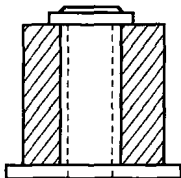





名称	继电器线圈	常开触点	常闭触点
结构			
电气符号			

图 1-4 继电器线圈及常开触点、常闭触点的电气符号

这里还需要强调两点：

① 无论是按钮触点还是继电器触点，虽然它们在控制系统中所起的作用有所不同，如按钮触点主要体现手动操作，而继电器触点主要体现自动操作，但它们在系统中所起的逻辑控制作用是相同的。为了区别，它们在电路图中用不同的电气符号表示。如图1-5中的SB1、SB2即为按钮触点的电气符号。

② 继电器的触点与继电器线圈不一定在电气上有联系，它们是以单独的接线端子引出的，各自工作在各自的电气回路中。继电器线圈主要在控制回路中起作用，而继电器触点可以在控制回路中担负任务，而更多的情况则是在执行、驱动和控制状态判断的回路中担负角色。如果有特别的需要，继电器的触点可以通过其接线端子与继电器线圈连接起来，比如我们在后面的电动机启动、保持、停止电路的例子中可以看到，继电器的保持就是靠继电器线圈连接其继电器触点而实现的。弄清楚这一点特别重要，因为很多初学者在初学逻辑控制系统时，容易误认为同一个继电器、接触器或可编程控制器中的线圈与触点是连接在同一个回路中的，而给分析这些系统的工作原理时造成极大的困难。

(3) 继电器逻辑控制系统的组成及工作原理

用上述按钮和继电器的一共 5 种元素可以组成许多继电器控制电路，以完成各种各样的逻辑控制功能。为说明继电器逻辑控制系统的基本组成及其控制原理，下面我们举一个以继电器控制电动机启动、保持、停止的电动机“启、保、停”电路的简单例子加以说明，如图1-5所示。

1) 继电器逻辑控制系统的组成

采用继电器逻辑控制的电动机“启、保、停”控制系统由负载驱动电路和逻辑控制电路两大部分组成，如图 1-5 所示。其中负载驱动电路担任在逻辑控制电路控制下接通或断开电动机负载，在接通情况下并向电动机提供驱动能量的任务；而逻辑控制电路主要实现在主令按钮 SB_2 给出“启动”信号或 SB_1 给出“停止”信号后，做出“启动”或“停止”或“保持”的决策，并控制负载驱动电路执行。

下面我们介绍该控制系统的组成。这里首先请读者注意，图中电气符号的标注凡是标注相同的，是指其为同一器件的不同部分。如 KM 继电器中，图 1-5(a) 中“负载驱动电路”部分中的 KM 是 KM 继电器的三相主触头，图 1-5(b) “逻辑控制电路”部分中部的 KM 是 KM 继电器的辅助常开触点，而下部的 KM 是 KM 继电器的线圈。而图中的 FR 热继电器，图 1-5(a) 下部的 FR 是 FR 热继电器的加热元件，而图 1-5(b) 上部的 FR 是 FR 继电器的常闭保持触点。这种标注方法，在我们所涉及的技术领域中，将是通行的，请读者一定记住，而且切记不要混淆，这一点至关重要。

负载驱动电路由低压刀开关 QS 、三相熔断器 FU 、继电器 KM 的三相主触头 KM 、热继电器 FR 的加热元件部分和电动机组成。在图 1-5 中， L_1 、 L_2 、 L_3 分别是三条相线； QS 是低压刀开关，用于将控制系统与电源分断或接通，但不直接用于控制； FU 是三相熔断器，主要起短路保护等作用；该处的 KM 是继电器（在这里实际上应当是交流接触器，交流接触器与继电器不同的是其除了可以做控制外，主要还用于负载的驱动）的三相主触头，其实际上是 KM 继电器的功率驱动部分，用于受控制电路的控制以分断或接通电动机，以实现对其的启、停驱动。这里 KM 三相主触头的画法实际上已经是接触器三相主触头的画法，而不是继电器触点的画法。下部的 FR 是热继电器的加热元件部分。热继电器用于避免电动机过载。当电动机过载时， FR 发热元件升温，双金属片弯曲，导致与其机械连接的常闭保持触点 FR （画于右上部，即其在逻辑控制部分）断开，而由于常闭保持触点 FR 断开，导致逻辑控制电路断开， KM 继电器线圈失电因而其三相主触头分断，使得主回路断电，起到保护电动机，避免其过载损坏的作用。在负载驱动电路部分，刀开关作接通电源用，熔断器和热继电器都做保护用，而继电器 KM 的三相主触头才是体现逻辑控制部分控制作用的主要部分。

逻辑控制电路由继电器 KM 的线圈 KM （画于下部）、常开按钮 SB_2 、常闭按钮 SB_1 、继电器 KM 的常开辅助触点 KM 和热继电器 FR 的常闭保持触点 FR 组成。在这里，常开按钮 SB_2 作为“启动”手动按钮，当其按下接通时，使逻辑控制电路继电器接通从而主触头接通电动机通道而使之启动。常闭按钮 SB_1 作为“停止”手动按钮，当其按下分断时，使逻辑控制电路继电器分断从而主触头分断电动机通道而使之停止。继电器 KM 的常开辅助触点 KM 在这里则是起保持作用，即当启动后，继电器 KM 的线圈通电，继电器 KM 的常开辅助触点 KM 也吸合接通，当手动启动按钮释放时，继电器 KM 的线圈由接通的常开辅助触点 KM 通电维持一直导通，故其作用称为“保持”。热继电器常闭保持触点 FR 的作用已如前述，

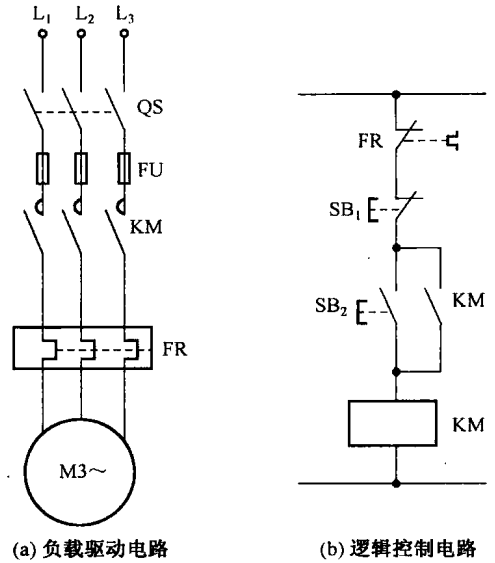


图 1-5 采用继电器逻辑控制的电动机“启、保、停”负载驱动电路和逻辑控制电路

不过需要注意：热继电器常闭保持触点 FR 之所以称为“保持”，是由于电动机在过载情况下未达到规定的极限值之前，尽管双金属片已经弯曲，但还不至于让常闭保持触点 FR 分断，只有当过载情况已经达到或超过允许的极限值时，这时常闭保持触点 FR 才瞬时跳变分断，达到保护的目。

2) 继电器逻辑控制系统的工作原理

电路连接：电动机“启、保、停”控制系统能够达到“启、保、停”的作用，完全是由于常开按钮 SB_2 、常闭按钮 SB_1 、继电器 KM 的常开辅助触点 KM 按照逻辑关系有序地连接（串联或并联）而实现的。如图 1-5 所示，这里我们注意，起“启动”作用的常开按钮 SB_2 首先与起“保持”作用的继电器 KM 的常开辅助触点 KM 并联后，并联电路再与起“停止”作用的常闭按钮 SB_1 串联，串联后的电路再与继电器线圈 KM 连接。正是这样有序的连接，才保证了整个电路的“启、保、停”的控制作用。其工作过程和工作原理分述于下。

工作过程：在工作过程问题的讨论中，为了简单起见，我们可以认为热继电器 FR 始终没有动作，因此，其常闭触点 FR 可以认为是一直接通的，故在讨论中可将其忽略。

① 启动：如图 1-5 所示，当“启动”常开按钮 SB_2 按下接通时，此时“停止”常闭按钮 SB_1 未被按下，其常闭触点仍然是接通的，由于 SB_2 与 SB_1 串联，电源输送的电流通过均处于接通状态的“停止”常闭按钮 SB_1 的常闭触点和“启动”常开按钮 SB_2 的常开触点使继电器线圈得电，继电器吸合，其常开主触头闭合使电动机启动运转。

② 保持：当启动后，由于继电器 KM 吸合，继电器 KM 的常开辅助触头 KM 也闭合，此时电源输送的电流通过“停止”常闭按钮 SB_1 的常闭触点，然后分流经“启动”常开按钮 SB_2 的常开触点和继电器 KM 的常开辅助触头 KM 后合并流向继电器线圈，使继电器线圈继续得电，继电器继续吸合。当手动“启动”常开按钮 SB_2 释放后，由于与 SB_2 常开触点并联的继电器 KM 常开辅助触头 KM 仍然闭合，原来分流经 SB_2 的常开触点和常开辅助触头 KM 的电流仍通过常开辅助触头 KM 流向继电器线圈，因而实现了保持。

③ 停止：需要停车时，按下“停止”按钮 SB_1 ， SB_1 的常闭触点断开，由于其使整个通路失电，因而继电器失电，则电动机也停止转动。

(4) 继电器逻辑控制系统的逻辑关系表述方法

为了弄清楚电动机“启、保、停”控制系统的工作原理，我们先学习下述的一些简单逻辑知识，以及逻辑关系表述的方法。

在逻辑控制的开关电路中，最关键的问题是“闭合”或“断开”，亦即“导通”与“截止”两种状态，从电平的性状说，则是“高电平”与“低电平”。如果用二进制的“0”表示“截止”状态、“低电平”或开关电路操作的“断开”（OPEN），那么二进制的“1”就可以用来表示“导通”状态、“高电平”或开关电路操作的“闭合”（CLOSE）。

在开关电路中存在两个以上的开关且有不同连接方式时，这多个开关在操作上对电路的控制作用必然存在着某种逻辑关系。

1) “或”逻辑电路

“或”逻辑电路是常开触点的并联而组成的。图 1-6(a) 为“或”逻辑的电路图。用逻辑表达式来表示为：

$$Y = A + B$$

符号“+”表示逻辑“或”，也称为逻辑加。若用数学公式来表示，则如下：

若 $A = 0$ ， $B = 0$ ，则 $Y = 0 + 0 = 0$

若 $A = 0$ ， $B = 1$ ，则 $Y = 0 + 1 = 1$

若 $A = 1, B = 0$, 则 $Y = 1 + 0 = 1$

若 $A = 1, B = 1$, 则 $Y = 1 + 1 = 1$

即是说, 逻辑“或”关系中“只要变量中有 1, 则函数为 1; 若变量全为 0, 则函数为 0”。而在“或”逻辑电路中则可叙述为“只要 A 或 B 常开触点任意一个闭合, 继电器 Y 因线圈通电而吸合; A 和 B 常开触点都不闭合, 继电器才不吸合”。

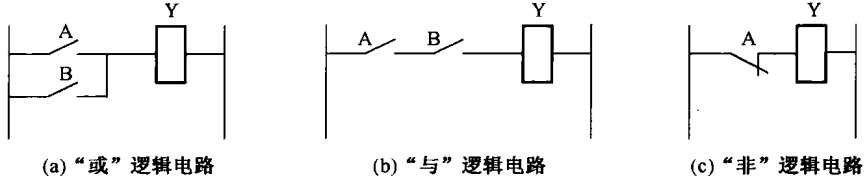


图 1-6 逻辑电路

2) “与”逻辑电路

“与”逻辑电路是常开触点的串联而组成的, 如图 1-6(b) 所示。用逻辑表达式来表示为:

$$Y = A \cdot B$$

符号“ \cdot ”表示逻辑“与”, 也称为逻辑乘。若用数学公式来表示, 则如下:

若 $A = 0, B = 0$, 则 $Y = 0 \cdot 0 = 0$

若 $A = 0, B = 1$, 则 $Y = 0 \cdot 1 = 0$

若 $A = 1, B = 0$, 则 $Y = 1 \cdot 0 = 0$

若 $A = 1, B = 1$, 则 $Y = 1 \cdot 1 = 1$

也就是说, 逻辑“与”关系中“只要变量中有 0, 则函数为 0; 若变量全为 1, 则函数为 1”。而在“与”逻辑电路中则可叙述为“只有当 A 或 B 常开触点都闭合, 线圈才会通电而使继电器 Y 吸合; A 和 B 常开触点只要有一个不闭合, 继电器都不吸合”。

3) “非”逻辑电路

“非”的逻辑控制电路是由常闭触点构成, 如图 1-6(c) 所示。其逻辑表达式为:

$$Y = \bar{A}$$

字母上面“ $\bar{\quad}$ ”表示“逻辑非”, 又称为“逻辑反”。若用数学公式来表示, 则如下:

若 $A = 1$, 则 $Y = \bar{1} = 0$;

若 $A = 0$, 则 $Y = \bar{0} = 1$ 。

也就是说, 逻辑“非”关系中“只要变量为 0, 则函数为 1; 若变量为 1, 则函数为 0”。而在“非”逻辑电路中则可叙述为“只有当 A 继电器不闭合, 其常闭触点闭合, 线圈才会通电而使继电器 Y 吸合; 而当 A 继电器闭合, 其 A 常闭触点不闭合, 继电器 Y 将不闭合”。

以上只介绍了两个(或一个)自变量的逻辑运算, 对于多个变量的逻辑运算可同样定义。

按照上述理论, 电动机“启、保、停”控制系统的工作原理就不难分析了, 与上述讨论同样, 我们在这里也将热继电器 FR 忽略; 此外, 与上述图 1-5 中对同一器件中不同元素的标注方法相同相类似, 我们将继电器 KM 的常开辅助触点书写为 KMO, 则图 1-5 中的电动机“启、保、停”控制系统的工作原理可以用以下逻辑关系式加以描述:

$$KM = (SB_2 + KMO) \cdot \bar{SB}_1$$

由上式我们则可以得出电动机“启、保、停”控制系统启动、保持、停止的逻辑工作关系。

① 启动 当按下 SB_2 时, SB_2 为 1, 此时无论 KMO 为 0 为 1, $(SB_2 + KMO)$ 都为 1,

而此时未按动 SB_1 ，故 SB_1 为 0 而 $\overline{SB_1}$ 为 1， $1 \cdot 1 = 1$ ，故 KM 为 1，即继电器 KM 接通，电动机旋转。

② 保持 在保持期间，由于 KM 先为 1，故 KMO 为 1，此时虽然 SB_2 已经释放，即 SB_2 已经为 0，但由于 KMO 为 1，所以 $(SB_2 + KMO)$ 仍然为 1，同上所述， $\overline{SB_1}$ 为 1， $1 \cdot 1 = 1$ ，故 KM 仍为 1，即继电器 KM 仍接通，电动机仍然旋转。

③ 停止 当按下 SB_1 ，故 SB_1 为 1 而 $\overline{SB_1}$ 为 0，0 与任何逻辑值相与均为 0，故 KM 为 0，即继电器 KM 分断，电动机停止旋转。

各种各样的继电器控制系统各不相同，但其基本组成都与上述例子类似。通过以后的深入学习我们可以看到，这里的电动机“启、保、停”逻辑控制电路，在很多控制系统中实际上都贯穿了同样的逻辑控制思路。

在今后的深入学习中我们会遇到电路的逻辑关系比较复杂的情况，在很多情况下如果我们学会了利用布尔代数理论将复杂逻辑关系式化简的方法，则可以使构成的电路大为简化而功能照样不变，取得事半功倍之效，同时节约大量成本，还提高了系统可靠性。鉴于篇幅的原因这里不便详述。

1.1.2 逻辑控制的分类

逻辑控制，按其输入、输出信号的特点来说，是以开关量 ON 或 OFF 的状态为主，故输入、输出信号的表达，以及控制逻辑的表述、化简等，都可以用到以布尔代数为基础的一整套理论和方法。后面我们也将看到，先进的可编程控制器，其输入、输出的信号已远远不止开关量信号，而可能涉及大量的物理参数，如：温度、流量、压力、速度、加速度以及大量的数据信息。但对开关量的处理，仍是逻辑控制系统主要的和重要的任务。本教材限于篇幅，也是以对开关量控制的研究，作为主要的内容。

逻辑控制，就其操作规则(即控制程序)的特点来说，其控制方法虽然千差万别，但归纳起来通常不外以下三种。

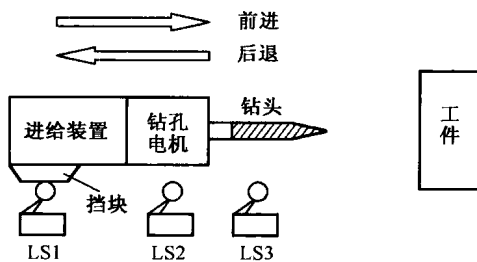


图 1-7 顺次控制简单例子

① 顺次控制：即以前一步动作的完成作为信号，从而启动后一步动作的程序控制方式。逻辑控制中，这种控制方式运用相当普遍。如图 1-7 所示的简单例子中，进给装置可以在进给电机(未画出)正转或反转带动下前进或后退。进给装置上装有一台钻孔电机，它驱动钻头对工件钻孔。该例中的这部分逻辑控制装置的任务是在对工件钻孔时保证一定的深度。在某一控制信号的启动下，进给装置向前运动，释放 LS_1 行程开关，这是第一步动作。当

进给装置上的挡块压下 LS_2 行程开关闭合其常开触点，第一步动作完成，并启动第二步动作开始运行，即进给装置继续前进，同时钻孔电机开始旋转。在这里， LS_2 常开触点的闭合作为第一步动作结束和第二步动作开始的转换信号。在第二步中，进给装置前进、钻头旋转，在某一时刻开始了对工件的钻孔工作。当挡块使 LS_3 闭合时，第二步动作结束，第三步动作开始：钻头继续旋转，而进给装置后退。当挡块再次使 LS_2 闭合时，此时钻头已经退出工件，工作由第三步转换到第四步：钻孔电机停止旋转而进给装置继续后退，当挡块压下 LS_1 使其常闭触点断开时，进给装置停止后退，第四步动作结束。

后面将要讲述到的联锁控制(如互锁、自锁),是顺次控制方式的一种特例。

② 条件控制:即以某一个或某几个动作所产生的综合结果作为转换信号来启动下一步动作(而无论前面的一个或几个动作是在执行延续过程中还是已经执行结束)的程序控制方式。这里所指的综合结果或称条件,可以是控制过程中的计数值(如对传送带中越过某一检测位的工件的计数值),也可以是电压、电流、功率、行程、位置、速度以至于温度、压力、流量等生产过程中的物理量。所谓条件控制,就是当上述这些计数值或物理量等参量达到条件规定的量值时,就启动下一步动作运行。起重机电动机在高速运转中如果其功率超过一定量值,则电动机在逻辑控制系统控制下自动退到低一档级的速度下运转,就是这种条件控制的一例。后面将要讲述到的变化参量控制,也可归属到这一类控制方法中。

③ 时序控制:即以时间为基准来决定每一步动作的运行或停止的程序控制方式。例如,某加热控制系统采用加热 5 秒钟,再停止加热 15 秒钟反复交替的控制方式,即是时序控制的一个典型例子。时序控制亦可看作特殊意义下的变化参量控制,只是这里的变化参量是“时间”。

各种各样的逻辑控制实际上都是按照上述三种控制方式组合起来的,因此,三种控制方式体现了逻辑控制在控制程序规则上的特点。

1.1.3 逻辑控制的控制要素

无论是哪一种程序控制方法,在控制过程中均包含了两个控制要素:一是根据按生产工艺要求所预先确定的顺序,依据输入信号或延时、计数等中间信号,控制前一步动作和后一步动作的转换(或称交替);二是在每一步中根据各工序预先安排好的要求,准确地控制执行机构完成规定的动作。

简而言之,即逻辑控制过程中包含了两个控制要素:动作的转换和动作的执行。前者解决的是如何由前一步转换至后一步的问题,后者解决的是在每一步中干什么的问题。

1.2 可编程控制器

1.2.1 可编程控制器的概念

随着计算机技术的飞速发展,一种全新的逻辑控制技术诞生了,这就是可编程控制技术。其操作规则,即控制程序,是用软件技术的方式存储在可编程控制器的存储器中的。其显著优点,是用户可以依据需要方便地改写这些软件程序,并重新存入可编程控制器的相应存储器中,从而实现更改操作规则(即控制程序)的目的。

可编程序控制器是在继电器控制系统和计算机控制系统的基础上发展起来的,集计算机技术、自动控制技术、现场总线技术和通信技术为一体的自动化装置。可编程序控制器英文全称为 Programmable Controller,简称 PC。不少教材或技术资料也将其称之为 PLC(Programmable Logic Controller),其目的是为了不与常用的个人计算机 PC(Personal Computer)相混淆。本书沿用 PLC 的称谓。

1985 年 1 月,国际电工委员会(IEC)对可编程序控制器做了具有权威性的定义:“可编程序控制器是一种数字运算的电子系统,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。可编程序控制器及其有关设备,都应按易于与工业控制器系统联成一体,易于扩充功能的原则设计。”

对可编程序控制器的定义，补充说明如下：

可编程控制器是一种以微处理器技术为基础，将控制处理规则存储于存储器中，应用于以控制开关量为主或包括控制过程参量在内的逻辑控制、机电运动控制或过程控制等工业控制领域的新型工业控制装置。更先进的可编程控制器还可利用其通信功能联于网络中或与其他装置构成集散控制系统。

本教材拟以继电器逻辑控制技术的基本理论为主线，以比继电器逻辑控制系统更为先进的可编程控制器为技术手段，引导读者掌握逻辑控制系统(尤其是可编程控制系统)的基本知识、工程设计方法与技能。限于篇幅，我们在本书中着重讨论 PLC 的主要的、也是应用最广泛的功能——逻辑控制功能，对其余功能只简略介绍。但这里需要特别提醒读者，不要因此以偏概全，以为本书已包含了 PLC 的全部内容而导致失误。

1.2.2 可编程控制器的功能

1. 逻辑控制功能

逻辑控制功能是 PLC 的主要功能，其体现在外部有开关量输入、输出功能，即输入外部现场开关量状态，以提供 PLC 决策参考，输出开关量以控制外部现场的电动机、阀门等执行机构；其体现在内部则是逻辑运算和决策功能。PLC 的逻辑运算功能，主要有“与”、“或”、“非”等，用于描述继电器触点的串联、并联、串并联、并串联等各种连接，用以替代继电器、接触器实施组合逻辑的各种顺序逻辑控制功能。

2. 数/模转换及模/数转换功能

PLC 如果配置了模/数(A/D)转换和数/模(D/A)转换模块，则能够像对开关量实现逻辑控制功能一样，可以通过 A/D 转换实现对模拟量的检测，PLC 再根据检测结果运算、决策，最终通过 D/A 转换模块对输出模拟量实施控制。

3. 数据处理功能

PLC 设置有针对各种数制、码制的数据实施传送、比较、运算、移位、位操作、数制或码制转换的各种数据处理指令。

4. 定时、计数控制功能

PLC 提供了一定数量的可以根据需要改变时限值的定时器与一定数量的可以根据需要改变计数值的计数器，取代了继电接触逻辑控制系统中的硬件定时器、计数器，以软件方式实现了逻辑顺序控制功能中的定时控制和计数控制，大大节约了成本。

5. 通信功能

PLC 具有与计算机、其他 PLC 和外部设备进行通信与联网的功能。PLC 这一功能的开发，可以进行远程 I/O 控制，使 PLC 不再是独立完成一个单一控制任务的控制设施，而具备了组成大、中型集散控制系统的功能，由计算机和诸多 PLC 可以组成“集中管理、分散控制”的分布式控制系统，以实现更大规模、更广区域的复杂控制。

6. 中断处理功能

PLC 具备中断处理的能力。通过中断的方式，控制系统可以及时地获取控制现场各种状态的变化信息，为实施实时监控、实时紧急事务响应、实时故障报警与处理等功能提供了可能。