



PLC

原理与工程应用技术

PLC YUANLI YU GONGCHENG YINGYONG JISHU

■ 张克涵 梁庆卫 著

- 即学即用，深入理解PLC工程应用机理，让工程应用不再遥远。
- 从设备一次及二次接线图，到就地设备控制箱、MCC柜，全面掌握PLC工程应用技术。



国防工业出版社

National Defense Industry Press

PLC 原理与工程应用技术

张克涵 梁庆卫 著

国防工业出版社

· 北京 ·

内 容 简 介

本书主要包括:工厂自动化的发展现状及趋势,PLC 的硬件基础知识及自锁、互锁和联锁等相关概念,根据设备一次接线图及二次接线图设计 PLC 系统的一般流程,设备启动回路及停机回路的软件编程方法,引入干接点、主站、远程站、双机热备等工程术语使读者快速掌握 PLC 的工程应用方法等。

本书可作为相关专业高年级本科生教材,也可作为工程技术人员的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

PLC 原理与工程应用技术 / 张克涵, 梁庆卫著. —
北京:国防工业出版社,2016.4
ISBN 978-7-118-10753-1

I. ①P… II. ①张… ②梁… III. ①plc 技术 IV.
①TM571.6

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2016)第 045566 号

※

国防工业出版社出版发行

(北京市海淀区紫竹院南路 23 号 邮政编码 100048)

三河市众誉天成印务有限公司印刷

新华书店经售

*

开本 710×1000 1/16 插页 2 印张 11½ 字数 212 千字

2016 年 4 月第 1 版第 1 次印刷 印数 1—3000 册 定价 42.00 元

(本书如有印装错误,我社负责调换)

国防书店:(010)88540777

发行邮购:(010)88540776

发行传真:(010)88540755

发行业务:(010)88540717

序

Preface

从业 20 余年,我对 PLC 既熟悉又陌生。熟悉是因为 1992 年至 2000 年这 8 年中,我作为工程技术人员应用了近 20 余套 PLC 系统,从设计、组态、成套、编程、调试到最终设备投运,在国家重点工程项目中得到成功实践。看到数百台就地设备在自己设计的控制系统指挥下自动运转,心里的满足感和成就感现在还依然能够体会。我也见证了西安航天自动化股份有限公司将上千套 PLC 应用到电力、水利、环保、轨道交通等领域,使这些领域的自动化水平显著提高。说到陌生,那是因为近 6 年我的研究方向关注于物联网技术领域,没有更多地研究 PLC 技术,不过物联网技术的感知、传输、处理依然可以借鉴 PLC 的原理和方法。

PLC 技术经过数十年的发展,功能不断强大,将网络、处理、编程等能力集于一体,PLC 与 DCS、FCS 互相学习、互相渗透。PLC 以更具灵活性、分散性和可靠性等优点,已成为工业自动化的基础,在制造、能源、交通、化工等行业依然占有强劲的市场空间。

张克涵老师曾经是自动化行业的一员猛将,经他亲自设计投运的 PLC 系统达 10 余套之多。张老师的《PLC 原理与工程应用技术》一书突破了多数 PLC 书籍的局限性:其他多数书基本上只是 PLC 说明书及相关指令介绍,实际应用时参考价值有限,而张老师的书是面向工程应用,全书条理清晰,层次分明。本书第 1、4、5 章讲述 PLC 的原理和技术,第 2、3、6 章将他自己 10 余年的工程经验融入其中,使读者可深入理解工业现场情况。全书由浅入深,实例丰富,对从事自动化领域的读者来说是一本不可多得的实用教材。

2015 年,继德国提出工业 4.0,美国提出互联企业之后,中国政府提出“中国制造 2025”。我国的传统工业转型升级迫在眉睫,互联网+工业将开启一个新时代,从而实现制造业大国向制造业强国转变。可喜的是 PLC 不断进步,国产 PLC 也正在迎头赶上,它们必将在新的工业浪潮中得到洗礼与发展。

西安航天自动化股份有限公司总经理
陕西省物联网与智能控制工程研究中心主任

鲍复民

2015 年 12 月

前言

Foreword

可编程逻辑控制器(PLC)自诞生以来,凭借其功能强大、可靠性高、编程灵活简单、适应复杂恶劣工业环境等优点在工业控制各个领域得到了广泛应用,成为现代工业控制三大支柱(PLC、CAD/CAM、ROBOT)之一。在火电厂、化工厂、机械加工厂等行业中,PLC都发挥着至关重要的作用,它已成为使用最广泛的控制系统硬件平台,推动工厂控制水平向着高度的自动化和透明工厂方向不断发展,因此对于希望从事控制工程领域工作的读者来说很有必要学习和掌握 PLC 应用技术。

本书作者具有十年 PLC 系统工作经验,把参与的部分工程实例引入到本书中,力求让读者在较短时间内快速掌握 PLC 的相关基础知识及工程术语,尽快熟悉并全面掌握 PLC 应用技术。本书与其他相关书籍相比,具有以下特点:

(1) 此书的著述原则是力求体现系统化、实用性及工程应用的特点,从了解整套控制系统的工艺流程,到根据 I/O 清单设计 PLC 系统,再到现场调试,引导读者了解 PLC 应用系统开发的全过程,有助于读者在日后工程实践中独立设计 PLC 系统。

(2) 由浅入深地介绍 PLC 的相关基础知识,由单机点动到长动,引入自锁、互锁和联锁等相关概念,层层递进,便于读者慢慢深入理解。

(3) 引入工程典型应用实例,充分考虑现场情况的复杂多样性,对设备的启动回路及停机回路编程方法进行了深入阐述,读者理解这些程序就能掌握 PLC 编程的精髓,具备复杂 PLC 系统逻辑编程的能力。

(4) 引入工程术语,如一次接线图及二次接线图、干接点、主站、远程站、双机热备等概念,有助于读者快速全面掌握 PLC 的工程应用技术。

全书共分为 6 章。第 1 章介绍了 PLC 的产生背景、发展现状及应用前景,使读者了解 PLC 在工业控制中的重要地位,激发学习兴趣。第 2 章介绍了继电器-接触器控制系统,该系统与 PLC 梯形图编程语言有许多相似之处,PLC 也是在继电器-接触器控制系统的基础上发展而来的,因此掌握继电器-接触器控制系统的基本知识是学习 PLC 的基础。第 3 章结合工程实例,主要讲述电气系统原理图,包括控制系统的一次接线图、二次接线图及与 PLC 系统的关系;就地控制柜、MCC 控制柜、高压开关柜与 PLC 系统的信号关系等。第 4 章介绍了

PLC 内部功能结构、硬件组成及工作过程,对常用的功能模块工作原理进行了分析,讲解了 PLC 的网络结构与配置方法。第 5 章通过梯形图介绍了 PLC 的程序编写,设备启动回路及停机回路的基本编程方法。第 6 章通过工程实例完整地介绍了 PLC 应用系统的设计方法。

本书由西北工业大学航海学院张克涵老师主要撰写,梁庆卫老师参与了第 2 章部分撰写工作。参与本书写作工作的还有姜恩博、刘梦焱两位硕士生,王袁硕士对本书进行了全面的校对,并提出了许多修改意见。这三位研究生也是作者在上课期间最为欣赏的学生,正是由于他们的辛勤工作,使本书顺利完成,在此一并表示衷心的感谢。

由于水平有限,书中难免存在一些错误和不妥之处,敬请广大读者批评指正。若有意见或建议请发送电子邮件至 zhangkehan210@163.com。

作者

2015 年 11 月

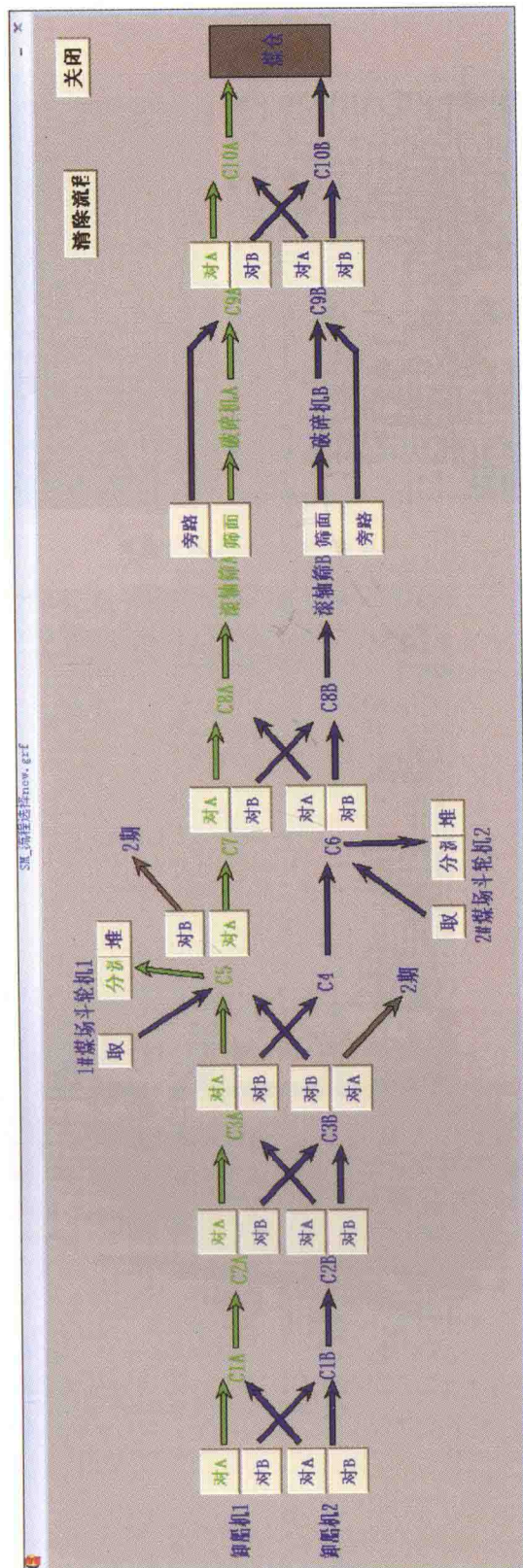


图 6-2 流程选择界面



图 6-9 皮带机操作窗口



图 6-10 三通挡板操作窗口

目录

Contents

第 1 章 PLC 的产生与发展	1
1.1 工业自动化的发展	1
1.2 PLC 的诞生	3
1.3 PLC 的发展现状	6
1.4 PLC 未来的发展	9
1.4.1 PLC 与物联网	9
1.4.2 PLC 与工业 4.0 计划	10
1.5 其他常用的硬件平台介绍	10
1.5.1 继电器控制系统	10
1.5.2 嵌入式控制系统	11
1.5.3 计算机控制系统	13
1.5.4 分散控制系统	13
1.6 目前国内常用的 PLC 品牌	14
1.7 PLC 面临的挑战	15
思考与练习	15
第 2 章 继电器—接触器控制系统	16
2.1 单个电动机的点动控制	16
2.1.1 示例分析	16
2.1.2 相关知识	16
2.1.3 示例展示	24
2.2 单个电动机的长动控制	24
2.2.1 示例分析	24
2.2.2 相关知识	25
2.2.3 示例展示	25
2.2.4 知识拓展	25
2.3 单个电动机的正反转控制	30
2.3.1 示例分析	30

2.3.2	相关知识	30
2.4	知识拓展	31
2.4.1	联锁与互锁	31
2.4.2	电路保护的几种常见类型	32
2.5	常用电气设备的图形符号和文字符号	35
	思考与练习	37
第3章	电气系统图	38
3.1	电气系统图的概念	38
3.2	带式输送机	39
3.3	一次接线图	40
3.3.1	基本概念	40
3.3.2	基本工作原理	40
3.3.3	主要元器件	41
3.4	二次接线图	42
3.4.1	基本概念	42
3.4.2	远方控制的工作过程	42
3.4.3	就地控制的工作过程	43
3.4.4	现场显示功能	43
3.4.5	查询电压介绍	44
3.4.6	二次接线图的作用	44
3.4.7	一次接线图与二次接线图的关系	45
3.5	电动机控制中心(MCC)控制柜	45
3.5.1	概念	45
3.5.2	MCC控制柜与PLC系统	46
3.5.3	智能MCC控制柜	46
3.6	就地控制箱	47
3.6.1	就地控制箱的概念	47
3.6.2	就地控制箱端子排接线图	47
3.6.3	本节总结	48
3.7	实例1:某火电厂10kV带式输送机接线图	49
3.7.1	系统介绍	49
3.7.2	高压开关柜	50
3.7.3	高压开关柜主接线图	50
3.7.4	高压开关柜控制回路	52
3.7.5	就地控制箱	55
	思考与练习	59

第4章 PLC 硬件基础知识	60
4.1 PLC 的分类	60
4.2 PLC 的组成	62
4.3 PLC 的工作原理	65
4.3.1 PLC 的工作过程	65
4.3.2 PLC 的工作特点	66
4.4 PLC 处理的信号类型	66
4.4.1 数字量输入/输出	66
4.4.2 模拟量输入/输出	70
4.4.3 热电阻热电偶信号输入	72
4.5 PLC 的通信介质	73
4.6 PLC 的通信方式	75
4.6.1 工业以太网	75
4.6.2 现场总线	80
4.6.3 串行通信	81
4.7 PLC 系统的配置	83
4.7.1 设置主站与远程站	83
4.7.2 控制系统网络结构	84
4.7.3 双机热备	85
4.7.4 PLC 编程软件及上位监控组态软件简介	87
4.8 系统配置实例	89
4.8.1 PLC 应用系统开发过程	89
4.8.2 PLC 配置	90
思考与练习	94
第5章 PLC 软件编程基础	95
5.1 PLC 主要编程语言	95
5.1.1 顺序功能图	95
5.1.2 功能块图	96
5.1.3 指令表	96
5.1.4 结构化文本	96
5.1.5 梯形图	97
5.2 梯形图编程	105
5.2.1 梯形图的主要特点	105
5.2.2 梯形图的编程规则	106
5.2.3 定时器编程示例	109
5.3 PLC 程序的设计步骤	110

5.4	PLC 程序的质量要求	112
5.4.1	程序设计实例	113
5.4.2	PLC 与变频器的应用	121
5.4.3	输煤程控系统	127
	思考与练习	132
第 6 章	工程实例	134
6.1	工程介绍	134
6.1.1	工程概况	134
6.1.2	控制系统概况	135
6.1.3	现场传感器配置概况	136
6.2	系统设计原则	137
6.2.1	系统设计必须要有系统工程的概念	137
6.2.2	把可靠性放在第一位	137
6.2.3	先进性	137
6.2.4	易操作性	137
6.2.5	易维护性	138
6.2.6	标准化与开放性	138
6.3	PLC 系统方案说明	138
6.3.1	PLC 配置	138
6.3.2	操作员站的硬件组成	155
6.3.3	操作台	157
6.3.4	电源柜	157
6.3.5	控制柜	158
6.3.6	系统软件	159
6.4	系统上位机操作说明	166
6.4.1	系统主操作界面说明	166
6.4.2	操作按钮说明	166
6.4.3	流程选择说明	166
6.4.4	主要设备操作视窗介绍	167
6.4.5	系统操作说明	169
6.4.6	系统常见故障及处理方法	170
	参考文献	172

第 1 章

PLC 的产生与发展

1.1 工业自动化的发展

1913 年 10 月 7 日,亨利·福特应用创新理念和反向思维逻辑在密歇根州海兰德帕克的汽车制造厂建立了一条活动装配线,对传统的汽车生产流程进行了革命性的创新,使汽车沿 250 英尺^①长的装配线传送而来,工人们沿线逐步装上发动机、操控系统、车厢、方向盘、仪表、车灯、车窗玻璃、车轮等零件。这种装配线使一台汽车在 3 小时内就能制造出来。仅 1914 年里,即按预期生产出近 25 万辆汽车,而且能让汽车的价格削减 50%,降至每辆 260 美元。大规模流水线带来的是生产方式的一次伟大革命,福特公司连续创造了世界汽车工业时代的生产新纪录:1920 年 2 月 7 日,组装一辆汽车用时一分钟,1925 年 10 月 30 日,10 秒钟便可组装一辆汽车,如此高的速度让同行震惊,让世界震惊。图 1-1 为福特汽车生产流水线。

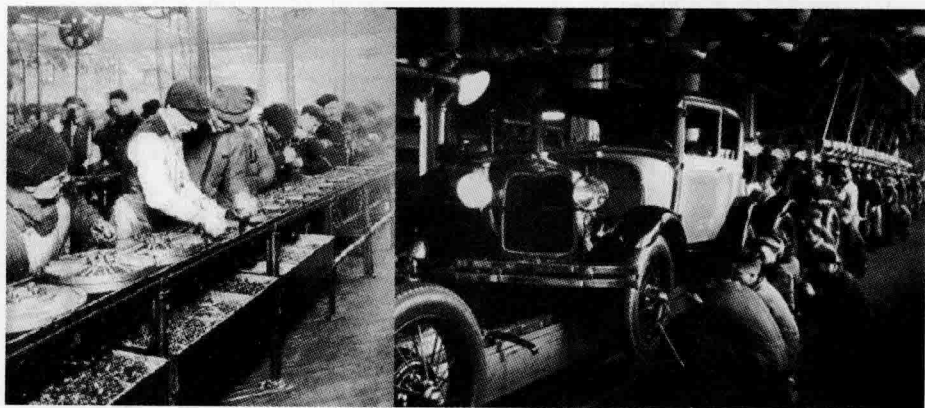


图 1-1 福特汽车生产流水线

^① 1 英尺 = 0.3048m。

“流水线”把一个重复的过程按照不同的生产工艺分为若干个子过程,并且每一个子过程都是对特定的机械装配方式的重复,相互之间可以并行运作,互不干扰。与此同时,人们迫切需要一种解放工人们双手的控制系统把人类从重复的特定生产过程中解脱出来,达到减轻劳动强度,提高产品质量,提高生产效率的目的。由此,“工业自动化”应运而生。

由最初的简单生产线开始,到了 20 世纪 70 年代,出现了“机电一体化”这个名词,日本从 1971 年开始提出了“mechatronics”这个英语合成名词,其中词首“mecha”表示 mechanic(机械学),词尾“tronics”表示 electronics(电子设备或电子学)。机电控制技术实际上是自动化技术发展到一个阶段的必然产物,它是自动化领域中机械技术与电子技术有机结合而产生的新技术。

在工业生产中,尽量减少人力的操作,而能充分利用人力以外的资源来进行生产工作,即称为“工业自动化生产”。继电器控制系统的顺序逻辑控制推动了工业自动化的发展,这一时期的主要特点是:各种单机自动化加工设备出现,如加工使用的机床。

继电器控制系统利用继电器和接触器来控制电动机和生产设备,从而控制生产过程。简单继电器控制系统的工作原理如图 1-2 所示。

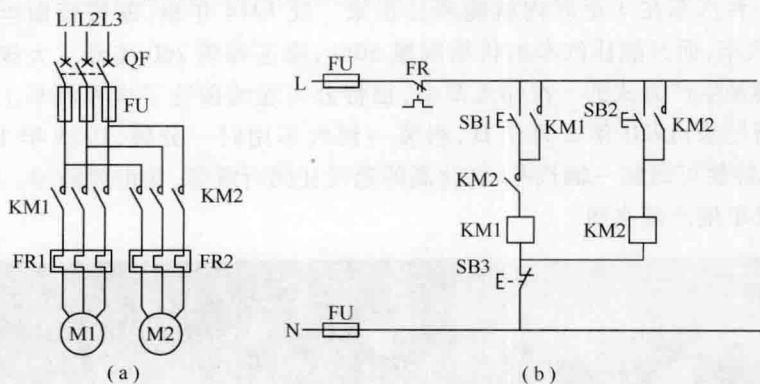


图 1-2 简单继电器控制系统的工作原理

继电器控制系统实现了对机床电动机的各种运动控制,如启停、正反转与速度调节。该控制方法简单直接,工作简单可靠,成本低,逐步取代了原来的手动控制方式,并迅速成为工业控制的主流,是以后众多控制设备产生的基础,并在机床、火电厂辅机自动化、化工行业等领域得到了广泛使用。

继电器控制系统一度占据了工业控制的主导地位,然而随着生产力的发展和科学技术的进步,人们对工业自动控制提出了新的要求,而继电器控制系统是为了实现某一专门控制而设计的,在系统动作复杂,规模较大的场合,由于其功能不灵活、体积庞大、接线复杂、维修困难等问题(见图 1-3),越来越难以适应工业自动化发展的更高要求。

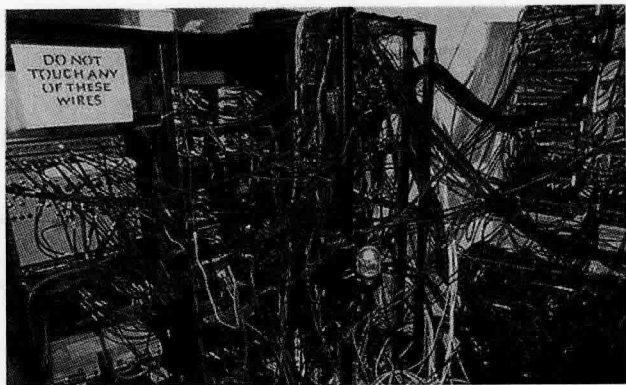


图 1-3 复杂继电器系统控制柜接线

1.2 PLC 的诞生

随着计算机控制技术的不断发展,1968年,美国通用汽车公司(GM)提出了研制一种新型工业控制器的要求,并从用户的角度出发,提出新一代控制器应具备以下十个基本条件(GM 十条)。

- (1) 编程简单,可在现场修改和调试程序。
- (2) 价格便宜,性价比高于继电器控制系统。
- (3) 可靠性高于继电器控制系统。
- (4) 控制柜的体积要更小。
- (5) 可将数据直接送入管理计算机。
- (6) 输入可以是交流 115V(美国电网电压值)。
- (7) 输出为交流 115V、2A 以上,能直接驱动电磁阀等。
- (8) 在扩展时,原有系统只需要很小的变更。
- (9) 维护方便,最好是插件式的。
- (10) 程序存储器的容量至少扩展到 4KB 以上。

1969年,美国数字设备公司(DEC)根据上述要求,研制出了世界上第一台可编程控制器,型号为 PDP-14,并在美国通用汽车公司的汽车自动装配线上试用成功。这种可编程逻辑控制器(Programmable Logic Controller),简称 PLC,具备了执行逻辑判断、计时和计数等功能,大大提高了劳动生产率。

1987年2月,国际电工委员会(IEC)颁布可编程序控制器标准草案第三稿,对可编程序控制器定义为:“可编程序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。它采用了可编程序的存储器,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,控制各类机械的生产过程。可编程控制器及其有关外围