



**Rockwell
Automation**

罗克韦尔自动化技术丛书

电气控制与 可编程序控制器 应用技术

李凤阁 佟为明 等编著



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS



本书共分为三部分 15 章, 以低压电器及其控制与 PLC 的基本原理、种类、结构、特性为基础, 以其应用为目的, 以美国罗克韦尔 (Rockwell) 自动化公司的硬件产品与软件产品为主线, 以其 A-B 品牌的 PLC 为重点。第一部分 (前 3 章) 介绍了低压配电电器、低压控制电器和智能电器以及基于继电器和接触器的电气控制系统的设计; 第二部分 (第 4~11 章) 以罗克韦尔自动化公司的 PLC 为例, 介绍了 PLC 的原理、结构、指令系统、编程软件、通信工具软件与监控组态软件及其应用; 第三部分 (第 12~14 章) 阐述了通信网络基础和具体应用于罗克韦尔自动化公司 PLC 中的通信网络及通信组态软件; 第 15 章给出了 PLC 系统设计方法与应用实例。

本书可作为电气工程领域工程技术人员设计、开发、应用电器与 PLC 控制系统的参考书或培训教材; 亦可作为高等院校电气工程及其自动化专业和机电一体化等相关专业的高年级本科生或研究生的教材或参考书。

图书在版编目 (CIP) 数据

电气控制与可编程序控制器应用技术/李凤阁、佟为明等编著. —北京: 机械工业出版社, 2007. 8

(罗克韦尔自动化技术丛书)

ISBN 978-7-111-22095-4

I. 电… II. ①李…②佟… III. ①电气控制②可编程序控制器 IV. TM921.5 TP332.3

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2007) 第 121849 号

机械工业出版社 (北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

策划编辑: 林春泉 责任编辑: 赵玲丽 版式设计: 霍永明

责任校对: 陈立辉 封面设计: 鞠 杨 责任印制: 李 妍

北京瑞德印刷有限公司印刷 (三河市明辉装订厂装订)

2008 年 1 月第 1 版第 1 次印刷

184mm×260mm·30.5 印张·757 千字

0001—4000 册

标准书号: ISBN 978-7-111-22095-4

定价: 49.00 元

凡购本书, 如有缺页、倒页、脱页, 由本社发行部调换

销售服务热线电话: (010) 68326294

购书热线电话: (010) 88379639 88379641 88379643

编辑热线电话: (010) 88379768

封面无防伪标均为盗版

前 言

可编程序控制器 (PLC) 以其可靠性高、功能完善、适用性强、编程容易、维修方便等特点而成为现代工业实现自动化的核心设备, 在工业控制的各个领域获得了极为广泛的应用, 提高了工业自动化的水平和档次。低压电器 (低压断路器、接触器、继电器等) 作为量大面广的基础元件, 其应用几乎覆盖了所有工业领域; 其控制电路/系统亦在各种生产机械的控制或过程控制中有诸多应用, 特别是在控制逻辑相对简单、希望价格较低、对功能要求不多、对动作时间要求不高、对场地或体积要求不严的场合中, 应用更多。实际上, PLC (及其系统) 即是继电器-接触器控制系统的更高级形式, 同时扩展了更多的功能、拓宽了更多的应用领域。在一个典型的、高档次的、完善的现代工业控制系统中, 往往以 PLC 为核心, 其外围元件为一定数量的继电器、接触器等。可以说, 继电器、接触器等低压电器及其控制电路/系统或者独立应用, 或者存在于以 PLC 为核心的控制系统中。换言之, 低压电器及其控制电路/系统与 PLC 联系紧密, 有时甚至密不可分, 而 PLC 是现代工业控制系统中的主流产品。因此, 本书的内容包括低压电器及其控制与 PLC, 重点是 PLC。

选择何种 PLC 为对象进行介绍是我们主要考虑的一个问题。虽然各生产厂家的 PLC 的工作原理均基本相同, 但其性能、功能、适用性、编程语言/指令等均有较大的差别。目前, 国内外有 200 个 PLC 生产厂家, 其中举足轻重的有: 提供 A-B (Allen-Bradly) 品牌的美国罗克韦尔 (Rockwell) 自动化公司、GE-Fanuc 公司, 德国的西门子 (Siemens) 公司, 法国的施耐德 (Schneider) 自动化公司, 日本的三菱公司、松下电工和欧姆龙 (OMRON) 公司等。这几家公司的 PLC 产品占世界 PLC 市场的 80% 以上。

目前, 图书市场上以日本和德国西门子公司的 PLC 产品为例介绍 PLC 原理及应用的书籍很多, 而介绍美国 PLC 产品的书籍相对缺乏, 远远不能满足读者的需求。另一方面, 美国 PLC 技术与欧洲 PLC 技术是在相互隔离的情况下, 独自研究开发形成的, 以 A-B 品牌等为代表的美国 PLC 产品可靠性更高、功能更强大、梯形图指令更丰富、通信性能更优异, 更适合要求更高的大中型控制系统。同时, 由于多年来我们一直在哈尔滨工业大学电气工程系及其罗克韦尔自动化实验室从事以 A-B 品牌为主的 PLC 的教学和培训工作, 积累了较丰富的教学经验, 并自编了讲义, 完成了多项应用 PLC 的科研和工程项目, 因此编写了本书。本书以 A-B 品牌的 PLC 产品为重点内容, 系统全面地展示了 A-B 品牌的 PLC 产品全貌。

本书在总体上以低压电器及其控制与 PLC 的基本原理、种类、结构、特性为基础, 以其应用为目的, 以美国罗克韦尔自动化公司的硬件产品及软件产品为主线。在前两章中, 阐述了低压电器的两大类——低压配电电器 (刀开关、熔断器、低压断路器) 和低压控制电器 (接触器、主令电器、继电器) 以及智能电器的基本概念、工作原理、参数、种类、结构、特性等; 在具体实例中介绍了罗克韦尔自动化公司的 MCS 模块化电动机控制系统、

SMP-3 过载保护继电器、Pico 小型控制器。在第 3 章中介绍了基于继电器和接触器的电气控制系统的设计。第 4 章为可编程序控制器概述,亦提到了罗克韦尔自动化公司的 PLC-5 和 ControlLogix 控制系统。第 5 章简要地介绍了罗克韦尔自动化公司的 MicroLogix™ 系列可编程序控制器、SLC 控制系统及有关模块和人机接口设备。第 6~9 章以罗克韦尔自动化公司的 PLC 为例,介绍了 PLC 的指令及其应用,包括基本控制指令、高级功能指令、中断控制与程序控制指令、过程控制指令及其应用。第 10、11 章分别介绍了 MicroLogix1200/1500 的功能文件、RSLogix500™ 编程软件及通信工具软件 RSLinx 与监控组态软件 RSView32™。由于工业通信网络已越来越多地应用于 PLC,成为高档 PLC 的必备功能,而罗克韦尔自动化公司的 PLC 通信功能尤其强大,因此单独用第 12、13 章阐述了 PLC 通信网络及具体应用于罗克韦尔自动化公司 SLC 中的通信网络,如 DeviceNet、ControlNet、EtherNet 等。第 14、15 章介绍了 PLC 通信指令和通信组态软件 RSNetworx 及 PLC 系统设计与应用。

本书可作为电气工程领域工程技术人员设计、开发、应用电器与 PLC 控制系统的参考书或培训教材;亦可作为高等院校电气工程及其自动化专业和机电一体化等相关专业的高年级本科生或研究生的教材或参考书。

本书第 1 章由佟为明、梁慧敏撰写,第 2、3 章由佟为明、李中伟撰写,第 4 章由李凤阁撰写,第 5 章由李凤阁、刘松斌撰写,第 6~9 章由李凤阁撰写,第 10 章由林景波撰写,第 11 章由李凤阁、佟为明撰写,第 12 章由佟为明撰写,第 13 章由佟为明、林景波撰写,第 14 章由李凤阁、梁慧敏撰写,第 15 章由李凤阁撰写。全书由李凤阁、佟为明统稿。

本书在撰稿过程中得到了美国罗克韦尔自动化公司大学项目部的支持,该公司技术人员对本书的编写提出了许多建设性意见,本书还引用了一些国内外有关专著、教材和期刊的资料,充实了本书的内容。在此,向他们表示敬意和感谢。

由于编者水平有限,加之编写时间所限,书中难免有错误和不妥之处,敬请广大读者批评指正。

E-mail: ralfg@yeah.net, dianqi@hit.edu.cn。

编 者

2007 年 3 月于哈尔滨工业大学

目 录

前 言

第 1 章 常用低压电器	1
1.1 电气控制系统概述	1
1.1.1 系统对开关电器的要求	2
1.1.2 配电电路与用电设备的保护	4
1.1.3 低压开关设备的电源系统	6
1.2 低压配电电器	7
1.2.1 刀开关	8
1.2.2 熔断器	9
1.2.3 低压断路器	11
1.3 低压控制电器——接触器与主令电器	15
1.3.1 接触器	15
1.3.2 主令电器	18
1.4 控制电器——继电器	21
1.4.1 继电器的一般概念	21
1.4.2 电磁式继电器	24
1.4.3 极化继电器	27
1.4.4 其他常用继电器	29
1.5 罗克韦尔自动化公司 MCS 模块化电动机 控制系统	34
1.5.1 MCS 接触器	35
1.5.2 MCS 断路器	37
1.5.3 MCS 过载保护继电器	39
1.5.4 MCS 组态软件	40
第 2 章 智能电器	43
2.1 智能电器概述	43
2.1.1 智能电器定义与分类	43
2.1.2 智能电器的理论与技术体系	44
2.1.3 智能电器的组成	46
2.1.4 智能电器的工作原理	48
2.2 DeviceNet 现场总线智能电动机保护 测控装置	51
2.2.1 装置硬件构成	51
2.2.2 装置的主要功能与特点	52
2.3 智能固态继电器	53
2.3.1 过载保护继电器的综合保护性能	53
2.3.2 SMP-3 过载保护继电器	56

2.4 Pico 小型控制器	60
2.4.1 Pico 控制器硬件结构	61
2.4.2 Pico 继电器及功能块	63
2.4.3 Pico 控制器通信	66
2.4.4 Pico 控制器应用	67
第 3 章 继电器-接触器控制系统设计	68
3.1 电气控制设计基础	68
3.1.1 电气控制电路的符号	68
3.1.2 基本控制逻辑	71
3.1.3 电气控制电路的基本规律	72
3.2 电气控制电路的设计方法	75
3.2.1 经验设计法的原则	75
3.2.2 经验设计法实例分析	77
3.2.3 逻辑设计法的一般步骤	79
3.2.4 逻辑设计法实例分析	80
3.2.5 电器工作流程图法	82
3.2.6 电气工作流程图法实例分析	83
3.2.7 电气控制电路设计方法的比较	85
3.3 电气控制系统设计方法	85
3.3.1 电气控制设计	86
3.3.2 电气工艺设计	87
3.3.3 电气控制电路中的保护措施	88
第 4 章 可编程序控制器概述	91
4.1 PLC 的产生与发展	91
4.1.1 PLC 的发展史	91
4.1.2 PLC 的发展趋势	92
4.1.3 PLC 的主要生产厂家及特色	95
4.2 PLC 的基本结构与分类	96
4.2.1 PLC 的基本结构	96
4.2.2 PLC 的分类	100
4.3 PLC 的工作原理与编程方式	101
4.3.1 PLC 的工作过程	101
4.3.2 PLC 的响应时间	102
4.3.3 PLC 的编程方式	103
4.4 PLC 的特点与应用	106
4.4.1 PLC 的特点	106
4.4.2 PLC 的应用	109

4.5 罗克韦尔自动化公司的 PLC 概述	109	6.3 梯形图语言编程规则及应用	173
4.5.1 PLC-5 控制系统	109	6.3.1 梯形图语言编程规则	173
4.5.2 Control Logix 系统	112	6.3.2 用基本控制指令编制梯形图 程序	176
第 5 章 罗克韦尔自动化公司 ML/SLC 控制系统	114	6.4 基本控制指令在钻孔机控制中的 应用	180
5.1 罗克韦尔自动化公司与 A-B 品牌	114	6.4.1 钻孔机控制系统简介	180
5.1.1 Allen-Bradley 公司的历史	114	6.4.2 用基本逻辑指令编制钻孔机控制 程序	182
5.1.2 罗克韦尔自动化公司	115	6.4.3 高速计数器指令在钻孔机控制中 的应用	183
5.1.3 罗克韦尔自动化公司在中国	115	第 7 章 PLC 高级功能指令及其应用	185
5.2 Micro Logix 系列 PLC	116	7.1 运算指令	185
5.2.1 Micro Logix1000 系列 PLC	117	7.1.1 数据比较指令	185
5.2.2 Micro Logix1200 系列 PLC	118	7.1.2 文件比较指令	188
5.2.3 Micro Logix1500 系列 PLC	120	7.1.3 算术运算指令	191
5.2.4 Micro Logix1100 系列 PLC	122	7.1.4 逻辑运算指令	195
5.2.5 Micro Logix 系列控制器性能 比较	123	7.1.5 数据转换指令	196
5.3 SLC 控制系统	126	7.1.6 高级运算指令	200
5.3.1 系统概述	126	7.2 数据处理指令	208
5.3.2 SLC 控制器	127	7.2.1 数据传送指令	209
5.3.3 I/O 模块及接线	129	7.2.2 堆栈指令	211
5.3.4 特殊功能模块	134	7.3 移位/顺序控制指令	213
5.3.5 通信模块	137	7.3.1 移位指令	213
5.3.6 I/O 框架与电源模块	139	7.3.2 顺序控制指令	216
5.4 独立 I/O 模块	141	7.4 高级功能指令在钻孔机控制中的 应用	221
5.4.1 Flex I/O 模块	141	7.4.1 比较指令在钻孔机控制中的 应用	221
5.4.2 紧凑型块 I/O 模块	143	7.4.2 算术指令在钻孔机控制中的 应用	221
5.5 人机接口设备	145	7.4.3 数据处理指令在钻孔机控制中的 应用	222
5.5.1 RediPANEL 按钮模块	145	7.4.4 顺序控制指令在钻孔机控制中的 应用	223
5.5.2 InView 信息显示界面	147	第 8 章 PLC 中断与程序控制	226
5.5.3 PanelView 操作员终端	148	8.1 中断及中断子程序	226
5.5.4 VersaView 终端	152	8.1.1 用户故障中断	226
第 6 章 PLC 基本控制指令及其应用	155	8.1.2 可选定时中断	228
6.1 PLC 的存储器结构	155	8.1.3 离散量输入中断	231
6.1.1 程序文件	155	8.1.4 I/O 中断	235
6.1.2 数据文件	156	8.1.5 中断处理	236
6.1.3 寻址方式	160	8.2 中断控制指令	237
6.2 SLC 基本逻辑控制指令	161		
6.2.1 位逻辑指令	161		
6.2.2 计时器指令	163		
6.2.3 计数器指令	166		
6.2.4 复位指令	168		
6.2.5 高速计数指令	168		

8.2.1 可选定时中断控制指令	238	10.5.3 存储器模块信息	287
8.2.2 I/O 中断控制指令	239	10.5.4 微调电位器的使用	288
8.3 程序控制指令	240	10.5.5 其他硬件信息	289
8.3.1 跳转指令	240	第 11 章 PLC 编程及组态软件	291
8.3.2 主控复位指令	242	11.1 PLC 编程器	291
8.3.3 立即输入/输出指令	243	11.1.1 手持编程器	291
8.3.4 其他程序控制指令	244	11.1.2 ML1000 手持编程器的使用	293
8.4 程序控制指令在钻孔机控制中的 应用	245	11.2 PLC 编程软件	297
第 9 章 PLC 过程控制指令及其应用	247	11.2.1 RSLogix500 编程软件概述	298
9.1 PID 过程控制概述	247	11.2.2 配置 PLC 控制系统	299
9.1.1 PID 控制的基本原理	247	11.2.3 编制梯形图逻辑程序	302
9.1.2 PID 的性能指标	249	11.2.4 下载并运行控制程序	309
9.2 PID 指令及其应用	251	11.2.5 在线编程	311
9.2.1 PID 指令参数	251	11.2.6 仿真运行	313
9.2.2 PID 指令参数配置	252	11.2.7 数据监控	315
9.2.3 PID 指令标志位	254	11.3 通信工具软件	318
9.2.4 PID 指令故障诊断	256	11.3.1 RSLinx 通信软件	318
9.2.5 I/O 参数整定	257	11.3.2 RSLinx 通信软件的配置	320
9.2.6 PID 指令应用注意事项	259	11.3.3 RSLinx 通信软件的 DDE 应用	322
9.3 PID 参数调整	262	11.4 上位机监控组态软件	324
9.3.1 PID 指令调整方法	263	11.4.1 组态软件概述	325
9.3.2 PID 回路调整软件 RSTune	265	11.4.2 RSView32 组态软件	326
第 10 章 MicroLogix 1200/1500 功能 文件	270	11.4.3 RSView32 通信配置	327
10.1 高速计数器	270	11.4.4 创建系统标签数据库	330
10.1.1 高速计数器功能文件	271	11.4.5 设置用户账号和安全码	331
10.1.2 高速计数器指令	273	11.4.6 系统图形显示界面	332
10.1.3 高速计数器的应用	274	第 12 章 PLC 通信网络	337
10.2 脉冲串输出	275	12.1 通信网络基础	337
10.2.1 脉冲串输出功能文件	275	12.1.1 信号的传输与通信方式	337
10.2.2 脉冲串输出相关指令	277	12.1.2 网络拓扑结构	338
10.3 脉宽调制	279	12.1.3 网络的传输介质	339
10.3.1 脉宽调制功能文件	279	12.1.4 网络的媒体访问控制方式	341
10.3.2 脉宽调制相关指令	280	12.1.5 网络通信协议	345
10.4 中断及中断功能文件	281	12.1.6 通信网络分类	350
10.4.1 可选定时中断	281	12.1.7 现场总线概念	351
10.4.2 事件输入中断	282	12.1.8 PLC 网络通信方法及特点	352
10.4.3 中断指令及其应用	282	12.2 罗克韦尔自动化公司通信网络	356
10.5 硬件设置信息	284	12.2.1 以太网	357
10.5.1 实时时钟模块信息	284	12.2.2 控制网	361
10.5.2 数据存取仪的使用	285	12.2.3 设备网	366
		12.2.4 DH-485 网络	370
		12.2.5 DH+ 网络	371
		12.2.6 远程 I/O 链路	373

12.2.7 NetLinx 开放网络架构	375	13.8 网径的使用	427
12.3 罗克韦尔自动化公司集成架构一瞥 ...	377	13.8.1 DF1 至 DH+ 网径	427
12.3.1 Logix 平台概述	378	13.8.2 DH+ 至 DH-485 网径	428
12.3.2 高性能的 ControlLogix 系统	381	13.8.3 远程 I/O 链路网径	429
12.3.3 基于 PC 的 SoftLogix	384	13.8.4 DeviceNet 网径	429
12.3.4 分布式 FlexLogix	386	13.9 选择 ML/SLC 通信网络	430
12.3.5 经济有效的 CompactLogix	387	第 14 章 通信指令及通信组态软件	431
12.3.6 用于驱动控制的 DriveLogix	388	14.1 SLC 通信指令	431
12.3.7 用于信息集成的 FactoryTalk	389	14.1.1 MSG 指令参数配置	431
12.3.8 可视化的 ViewAnyWare	390	14.1.2 MSG 指令状态位	434
12.3.9 集成架构的兼容性与特点	391	14.1.3 SLC5/05 处理器的 MSG 指令 ...	436
第 13 章 ML/SLC 通信网络	393	14.1.4 通信服务指令	437
13.1 DH-485 网络通信配置	395	14.1.5 通信指令的执行过程	438
13.1.1 DH-485 网络参数配置	395	14.1.6 通信指令应用举例	440
13.1.2 DH-485 接口转换模块	396	14.2 块传送指令	444
13.2 串行通信接口	400	14.2.1 块传送指令参数和状态位	444
13.2.1 DF1 全双工通信	401	14.2.2 块传送指令操作	446
13.2.2 DF1 半双工通信	403	14.2.3 块传送指令应用举例	447
13.2.3 DF1 调制解调器通信	404	14.3 通信组态软件	447
13.3 DH+ 网络通信配置	405	14.3.1 DeviceNet 组态软件	448
13.3.1 SLC 5/04 与 DH+ 网络	406	14.3.2 ControlNet 组态软件	453
13.3.2 DH+ 网络应用及参数配置	406	14.3.3 EtherNet/IP 组态软件	460
13.4 以太网通信配置	409	第 15 章 PLC 系统设计及应用	461
13.4.1 SLC5/05 与以太网	409	15.1 PLC 系统设计	461
13.4.2 其他控制器的以太网通信	411	15.1.1 PLC 选型	462
13.5 RIO 链路通信配置	412	15.1.2 PLC 控制系统硬件设计	464
13.5.1 SLC 的 RIO 扫描器	413	15.1.3 PLC 软件设计及调试	465
13.5.2 SLC 的 RIO 适配器模块	416	15.1.4 提高 PLC 控制系统可靠性的 措施	466
13.5.3 SLC 热备扫描器模块	418	15.2 PLC 应用	468
13.6 DeviceNet 通信配置	420	15.2.1 基于 PLC 的电梯模型控制 系统	468
13.6.1 DeviceNet 网络扫描器模块	421	15.2.2 PLC 在油田油水分离控制系统 中的应用	471
13.6.2 DeviceNet 接口设备	423	15.2.3 ML/SLC 通信网络在水处理控制 中的应用	477
13.7 ControlNet 通信配置	423	参考文献	478
13.7.1 SLC 控制器与 ControlNet 网络 通信方式	423		
13.7.2 ControlNet 扫描器模块	424		
13.7.3 SLC 控制器的 ControlNet 通信 ...	426		

第 1 章 常用低压电器

1.1 电气控制系统概述

电能由发电厂产生，一般经升压后并入电网并传输，在变电站降压后输送到用电区域（工厂等）。在工厂首先将电压经变压器（称为供电变压器）进行降压，再向下进行电能分配，提供给需要电能的负载，如电动机、电磁阀、照明灯具等。电能从供电变压器到最终用电负载的分配过程的典型电路如图 1-1 所示。其中，供电变压器至中央配电盘母线这一区间的电路称为主电路；中央配电盘母线至动力配电盘这一区间的电路称为分支电路；动力配电盘至负载（一般为电动机）这一区间的电路称为馈电电路。

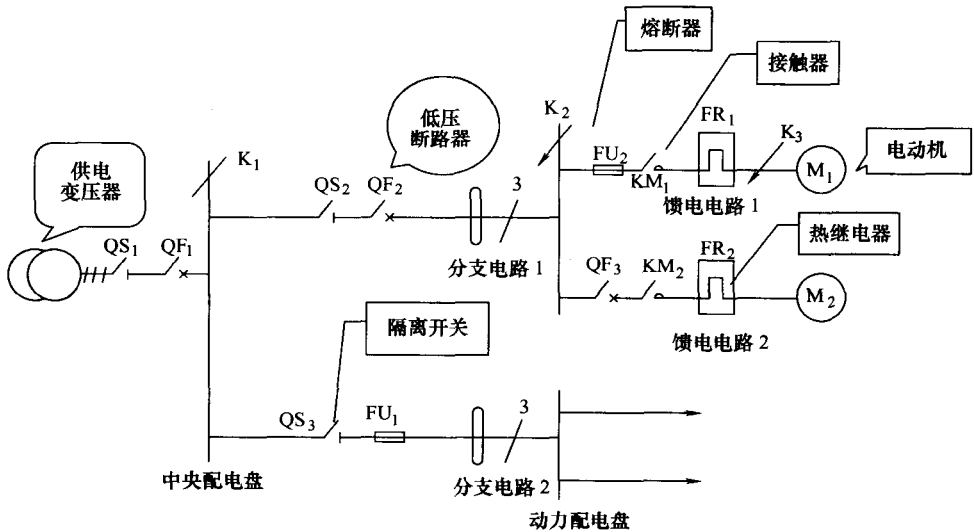


图 1-1 工矿企业典型配电电路图

在图 1-1 所示的整个电路中使用了多种的电器。电器是指根据外界指定信号和要求，自动或手动接通和断开电路，断续或连续地改变电路参数，以实现电路或非电对象进行切换、控制、保护、检测、变换和调节的电气设备。用于交流电压 1200V 以下、直流电压 1500V 以下的电路中，起通断、保护、控制或调节作用的电器称为低压电器。低压电器按用途分为低压配电电器和低压控制电器。

低压配电电器是指在低压配电系统（也称低压电网）或动力装置中用来进行电能分配、接通和分断电路及对低压电路和设备进行保护的电器；低压控制电器是用于低压电力拖动系统或其他各种控制系统中，对电动机或被控电路进行控制、调节与保护的电器。

图 1-1 中的主电路、分支电路和馈电电路都使用了低压电器。通常，前面两种电路使用的电器，如隔离开关 QS_1 和 QS_2 、断路器 QF_1 和 QF_2 、熔断器 FU_1 等均属于配电电器。馈

电电路中所用的电器，如接触器 KM_1 和 KM_2 、热继电器 FR_1 和 FR_2 等都是用于控制和操作负载的，属于控制电器；但这个区间也装有配电电器，如熔断器 FU_2 。

从图 1-1 中各种电器的作用来看，低压电器主要用作配电电路和用电设备的保护和控制。如当图 1-1 中电动机 M_1 的接线端发生短路时，要依靠熔断器 FU_2 进行保护。即当馈电电路 1 的 K_3 点发生短路时，应使熔断器 FU_2 动作， QF_1 、 QF_2 及 QF_3 不动作；若分支电路 1 的 K_2 点发生短路，应使 QF_2 动作， QF_1 不动作，以保证对分支电路 2 的正常供电。即当电路发生故障时，离故障点最近的保护电器动作，切除故障，同时保持配电系统其他部分的正常供电，以缩小停电范围。这种保护措施称为选择性保护，能满足这一要求的电器称为具有选择性保护特性的电器。

1.1.1 系统对开关电器的要求

1. 配电电器的通断能力和通断条件

在电路中不同的电器所承担的任务是不同的，因此对不同低压电器的技术要求也各不相同。对有些低压电器的技术要求与使用该电器的电路的工作要求有关，比如与配电电路的短路电流有关。所谓短路是指相与相之间通过较小阻抗的一种非正常短接，或通过电弧的短接，或相与地之间的接通。低压配电电路最严重的故障就是短路，所以一旦发生短路，就要求电路中用于短路保护的低压配电电器（如断路器和熔断器等）立即工作，分断短路电流。有时也会出现这样的情况，即在系统存在故障的情况下开关电器合闸，因此要求一些配电电器具有接通短路电流的能力。

电器的短路接通能力与短路电流最大峰值（短路冲击电流）有关。因为冲击电流产生的电动力可能使触头在接通过程中斥开，引起触头熔焊。额定短路接通能力表明配电电器的接通能力，该能力是指在规定的试验电压和规定的参数条件下，电器能够接通的最大的短路电流峰值。规定参数是指，对交流电器而言是试验回路的功率因数，对直流电器是时间常数。交流电器的接通能力一般用额定短路分断电流 I_c 乘以表 1-1 所规定的峰值系数 n 来表示。额定短路分断能力是指在规定的电压、频率以及一定的功率因数（或时间常数）下，电器能够分断的短路电流 I_c ，交流电器是用周期分量有效值表示。交流电器的分断能力和接通能力所要求的功率因数相同，见表 1-1，它的值随分断短路电流值的增大而减小。

表 1-1 交流配电电器额定短路分断能力与功率因数和峰值系数 n 的关系

分断电流（有效值）/kA	功率因数	峰值系数 n
$I_c \leq 1.5$	0.95	1.41
$1.5 < I_c \leq 3$	0.9	1.42
$3 < I_c \leq 4.5$	0.8	1.47
$4.5 < I_c \leq 6$	0.7	1.53
$6 < I_c \leq 10$	0.5	1.7
$10 < I_c \leq 20$	0.3	2.0
$20 < I_c \leq 50$	0.25	2.1
$50 < I_c$	0.2	2.2

注：峰值系数 n 是指短路电流的第一半波最大峰值与周期分量有效值之比。

2. 电器的电动稳定性及热稳定性

从短路故障发生到切除该故障，通过短路电流的各电器都要受到短路电流的考验。短路

电流的效应有两种：一是短路电流产生的电动力会导致电器破坏；二是短路电流产生的热效应会使电器温升过高，导致导电接触系统和绝缘部分的损坏。因此，对电器提出了电动稳定性和热稳定性的要求。

1) 电器的电动稳定性是指电器承受短路电流的电动力作用而不致破坏或产生永久变形的能力。由于电动力与电流瞬时值的二次方成正比，因此电器的电动稳定性可用允许通过它的电流的峰值（冲击电流）来表示，对交流配电电器，取短路电流的冲击值；对直流电器，取短路电流的最大值。

2) 电器的热稳定性指在一定时间内电器承受短路电流引起的热效应而不致损坏的能力。短路电流包含周期分量和非周期分量两部分，低压电路中电阻一般较大，电路的时间常数较小，通常在0.01s以下，因而非周期分量衰减很快，实际上不到0.03s就已消失。所以，短路电流的发热可以不计电流非周期分量的影响。为此，热稳定电流用短路电流周期分量有效值表示。短路电流的发热取决于电流二次方值与时间的乘积（ I^2t ），所以电器的热稳定性应以通电时间的热稳定电流表示，低压电器基本标准是取1s热稳定电流。但各电器元件实际承受短路电流的时间各不相同，不同短路持续时间 t 的热稳定电流 I_t 可用与给定的1s热稳定电流的 I^2t_1 乘积保持相等来换算，即

$$I_t = \sqrt{\frac{I^2 t_1}{t}} \quad (1-1)$$

电器的热稳定电流也称短时耐受电流。我国低压电器基本标准规定：电器的电动稳定性可用短时耐受电流与表1-1所列峰值系数的乘积作为允许通过的短路冲击电流值。所以低压电器用短时耐受电流来综合描述电动稳定性和热稳定性。

3. 控制电器的通断能力

控制电器用来控制用电设备的接通和分断。常用的用电设备有电阻炉、各种类型的交直流电动机。不同的用电设备（被控设备）在接通或分断时的工作特点不同，对控制电器的要求也不相同。笼型电动机是控制电器的主要控制对象，其常见工作状态的接通与断开电流各不相同。

(1) 通常的起动与停止 电动机起动电流一般为额定电流 I_N 的5~6倍。进入正常运行状态时，定子的电流为电动机的额定电流。

控制电器在分断电路时，触头两端的电压与负载运行状况有关。定子绕组断开时，转子绕组中感应一个很大的电流，阻止磁路中磁通变化，这个与转子绕组一起旋转的磁通在定子绕组中产生一个感应电动势，作用于控制接触器触头间的电压为电源电压与这个反电动势之差。如果分断正常运转的电动机，则产生的反电动势接近于电源电压，因而触头间电压很低，实验表明仅为电源电压的0.16倍左右。相反，如果断开刚起动的电动机，这时转子的转速很低，电动机产生的反电动势很小，所以触头分断时加在它两端的电压近似为额定电源电压 U_N 。

由此可知，对于通常的起动与停止，控制接触器触头的接通和断开参数为：接通电流为5~6 I_N ，电压为 U_N ；断开电流为 I_N ，电压为0.16 U_N 。

(2) 正反转控制 有些笼型电动机工作于正反转状态，此时反转接触器接通电流更大，达7~8 I_N ，而断开则与情况(1)类似，故接触器触头的接通和断开参数为：接通电流为7~8 I_N ，电压为 U_N ；断开电流为 I_N ，电压为0.16 U_N 。

(3) 点动 车床对刀时, 常采用点动, 点动时, 由于电动机尚处于起动阶段, 接通电流为 $5 \sim 6I_N$, 又因此时电动机转速低, 反电动势很低, 触头间电压近于 U_N , 故接触器触头间的参数为: 接通电流为 $5 \sim 6I_N$, 电压为 U_N ; 断开电流为 $5 \sim 6I_N$, 电压为 U_N 。

(4) 反接制动 如同正反转的接通状态, 但断开时电动机的转速为零, 电流也接近于起动电流, 断开电压为 U_N , 所以接触器触头参数为: 接通电流为 $7 \sim 8I_N$, 电压为 U_N ; 断开电流为 $5 \sim 6I_N$, 电压为 U_N 。

上述分析表明, 用电设备的不同工作状态, 对控制电器的工作有较大影响。

对控制电器的基本要求是操作频率高、电寿命长。要求用于主电路的控制电器既能适应各种负载情况, 又要有高的操作频率和电寿命。在设计与生产时把主电路的控制电器按用途分成几类, 不同使用类别有不同的通断和寿命要求。

1.1.2 配电电路与用电设备的保护

低压配电电路和用电设备在运行中应该安全可靠, 当发生各种故障时, 设置在低压配电电路上的各种低压保护电器应该能按需要及时开断主线路, 从而切除故障。保护主要包括两大类: 其一为保证在故障工作状态下电路及设备的安全; 其二为保证人身安全。具体有: ①过电流保护; ②欠电压与失电压保护; ③电动机的断相保护; ④漏电保护。在低压配电系统中应用的保护电器有低压断路器(又称自动开关)、熔断器以及各种保护继电器。下面介绍各种保护性能:

1. 过电流保护

过电流是指电流超过负载额定电流, 它包括过载和短路, 是低压系统最常见的故障。

1) 低压电器过电流保护性能可以用它的保护特性来描述。过电流保护特性是指保护电器动作时间 t 与通过它的电流的函数关系, 又叫时间-电流特性, 以前也称为安秒特性。动作时间是指从短路或过载开始到切除故障所需的时间。过电流可以用通过电流 I 与保护元件额定电流 I_N 之比来表示, 因此过电流保护特性可以写成 $t = f(I/I_N)$ 。

过载时, 一般需积累一定时间才会引起设备损坏, 因此并不是一发生过载, 便立即切断故障电路, 而是要求保护特性与被保护设备允许过载特性有良好的配合, 如低压断路器的过载脱扣器或热继电器, 就是用来保护笼型电动机或其他用电设备的。每种电气设备在过载条件下的允许工作时间与其过载倍数有关。被保护电气设备的允许工作时间与其过载倍数之间的关系称为其过载特性, 一般具有反时限特性。

反时限特性也就是电气设备过载越重, 发热越快, 允许工作时间就越短。为了充分利用被保护对象的过载能力, 又不使它发热超过允许值, 要求保护电器的保护特性尽量接近并略低于被保护对象的允许过载特性, 如图 1-2 所示。保护电器的最小动作过载倍数对应的电流称为临界动作电流(图 1-2 中 I_0), 对继电器而言, I_0/I_N 值一般在 $1 \sim 1.2$ 之间。

2) 选择性保护。配电电路出现短路故障时, 保护电器应瞬时动作, 以尽快切除故障, 但并不要求所有的

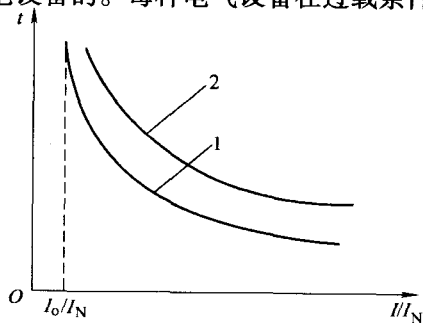


图 1-2 保护电器与被保护对象的特性配合

1—保护电器的保护特性
2—被保护对象的允许过载特性

保护电器都动作，否则，势必造成配电电路大范围停电。这对某些重要的供电系统来说是不允许的。因此，要求有选择地保护切断。所谓选择性保护，就是在哪一级发生短路，就由该级的保护电器动作，将故障切除，保证配电系统正常工作。如图 1-1 中介绍的配电系统中， K_3 点短路时，仅熔断器 FU_2 动作，而分支电路 QF_2 不动作，以保证对馈电电路 2 的正常供电。 K_2 点短路时，仅 QF_2 动作，而主电路的断路器 QF_1 不动作，以保证分支电路 2 的正常供电。

为了达到逐级的选择性保护，可采用各级保护电器动作时间有差别的办法，使越靠近电源的保护电器的动作时间越长。这样，当发生故障时，靠近短路点的保护电器由于动作时间短而首先动作，而其上一级的保护电器因动作时间长而来不及动作。对图 1-1 的电路，一般可取馈电电路的保护电器为瞬时动作，而分支电路和主电路的保护电器具有短延时动作特性。

3) 低压断路器的三种保护特性。断路器是一种具有多种保护性能的保护电器，其保护特性主要有三种：其一为反时限特性，用于过载保护；其二为瞬时动作特性，用于短路保护；其三为定时限特性，用于选择性短路保护。图 1-3 为断路器的各种过电流保护特性。

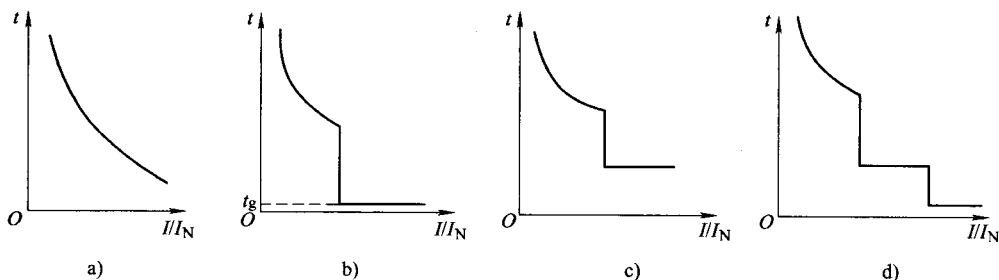


图 1-3 断路器的保护特性

a) 反时限 b) 反时限与瞬时 c) 反时限与短延时 d) 反时限、短延时与瞬时

图 1-3a 为反时限的一段特性，用于过载保护；图 1-3b 为两段特性，前一段为反时限特性，后一段为瞬时动作特性， t_g 为电器的固有动作时间；图 1-3c 也为两段特性，但后一段是短延时的定时限特性；图 1-3d 为三段保护特性，由反时限、短延时和瞬时组成三段时间-电流特性曲线。图 1-3c 和图 1-3d 的特性都能作选择性保护。低压断路器中产生反时限动作的部件称为长延时过电流脱扣器。短路故障时能瞬时动作的部件称为瞬时过电流脱扣器；以固有时间动作，短路故障时作短延时动作的部件称为短延时过电流脱扣器。

2. 欠电压和失电压保护

低压配电电路运行时，由于过载、短路故障等原因，电路电压会大幅度下降甚至消失，造成电路和用电设备的损坏，同时给生产带来损失（如炼钢、纺织、造纸等）。其原因是：

1) 电压降低到某一程度时，用电设备如电动机就会疲倒、堵转，使大批电动机同时出现几倍的过电流，故障迅速扩大，造成损失。

2) 有时电压经短时降低又复原，会造成已停转电动机的再起，大量电动机同时启动会重新导致电路电压大幅度下降。另外，从某些生产工艺以及操作人员的安全要求考虑，也不允许电动机自启动。因此，需要对出现上述故障的情况进行保护。

电动机疲劳时的电源电压称为临界电压。当电路电压下降到临界电压时，要求保护电器

动作,叫做欠电压保护。对电路电压低于或大大低于临界电压时的保护叫做失电压(零电压)保护。失电压保护主要用于防止电动机的自启动。

3. 电动机的断相保护

由于三相异步电动机在使用中断相运行是其损坏的主要原因之一,因此断相保护问题日益受到重视。造成断相运行的原因:熔断器一相熔断;电源引线或电动机绕组一相断线;电动机绕组引出线与电源端子接触不良;刀开关、熔断器、断路器或接触器的一相触头接触不良;变压器一次侧或二次侧一相开路等。

4. 漏电保护

电能 in 工农业和日常生活的应用日益广泛,因此安全用电非常重要。电气绝缘损坏而引起漏电,不但会酿成火灾,而且容易导致人体触电。触电使人受害程度与电流流过人体部位、电流大小和通过的时间有关。触电电流通过心脏时的危害最大。触电危及生命的主要原因是使心室各部分肌肉发生不协调的颤动,导致心脏不能有节律地进行整体收缩而停止跳动。

电压等级在 400V 以下的低压线路中,触电电流危险值为几十毫安至几百毫安。心室颤动与触电电流大小和作用时间有关:当触电电流为 30~50mA 时,通电数分钟才会发生心室颤动;当电流为 50mA 至数百毫安时,发生心室颤动所需持续时间只要几个心脏脉动周期。目前世界上大多数国家采用电流时间积为 30mA·s,作为安全的临界值,这也是设计漏电保护电器的依据。

电压等级在 400V 以下的低压电网有中性点接地和中性点不接地两种系统。所谓接地是指用接地导线与埋在地下的金属连接,以获得与大地有良好连接的一种措施。如果电源变压器低压侧的中性点不接地,触电回路的构成如图 1-4a 所示。中性点直接接地,触电回路的构成如图 1-4b 所示。电动机因绝缘损坏而使一相碰壳,人触及电动机外壳时,触电电流就经过大地和电路对地电容构成回路。当电路较短时,分布电容小,不会有危险的电流通过人体;但当电路很长时,因电路对地分布电容增加,通过分布电容构成的回路电流增大,人体就有触电危险。不同的接地系统,对漏电保护的要求也不同。

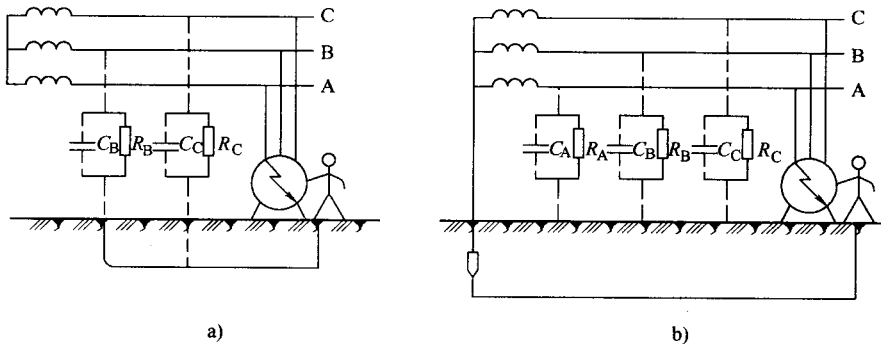


图 1-4 触电回路的形成

a) 中性点不接地系统 b) 中性点接地系统

1.1.3 低压开关设备的电源系统

电源系统按其接地方式可分为三种类型:TN 系统、TT 系统和 IT 系统。具体电路如图

中发生故障时动作准确、工作可靠，并有足够的热稳定性和动稳定性。

1.2.1 刀开关

刀开关是低压电器中结构比较简单，应用十分广泛的一类手动操作电器。它可以作为电源隔离开关，也可用来不频繁地接通与断开容量不大的低压配电电路。

刀开关按极数分为单极、双极和三极；按切换功能（位置数）可分为单投和双投；按操作方式分为中央手柄式、带杠杆机构式和旋转操作式等。

刀开关在电路图中的文字符号为 QK，型号含义如图 1-6 所示。

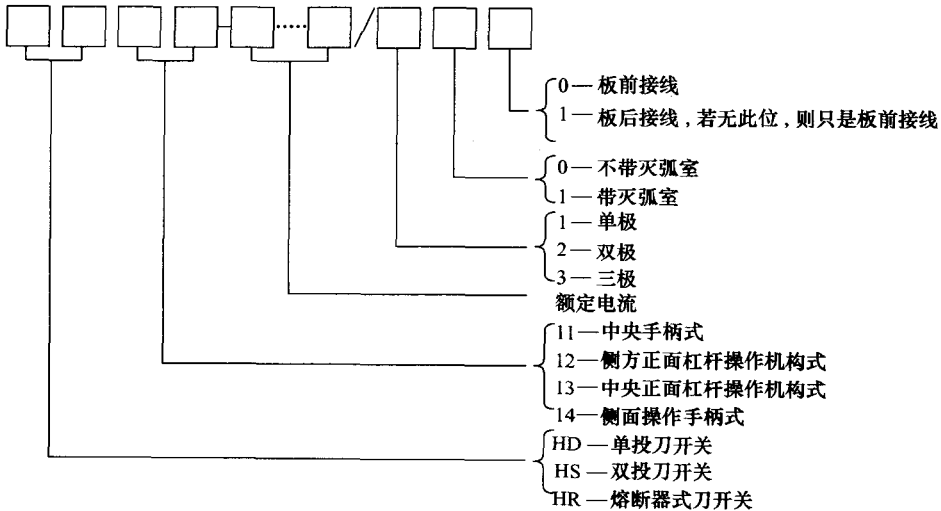


图 1-6 刀开关的型号含义

1. 普通刀开关

某型号平板式中央手柄操作的三极刀开关结构如图 1-7 所示，由手柄、触刀、静插座、支座和绝缘底板等组成。合上手柄时，使触刀绕铰链支座转动，将触刀插入静插座内，电路接通；拉下手柄时，触刀脱离静插座时将电路断开。

2. 熔断器式刀开关

某型号熔断器式刀开关如图 1-8 所示，它由刀开关和熔断器组合而成，具有熔断器和刀开关的双重性能。如 HR3 系列熔断器式刀开关适用于交流电压为 380V（频率为 50Hz）或直流为 440V、额定电流为 100~600A 的工业企业配电网，作为电气设备及电路的过载和短路保护用，以及正常供电情况下不频繁地接通和切断电路的场合。

3. 组合开关

也是一种刀开关，只是它的刀片是旋转式的，它的动触头（刀片）和静触头封装在同一个绝缘触头基座内。可以将最多 6 个触头基座叠装起来组成一个组合开关，这样使整个机构向空间发展，从而节省了安装面积。每个动触头都装在操作手柄的转轴上，随转轴旋转而改变各对触头的通断状态。

由于采用了扭簧储能，可使开关能快速接通及分断电路而与手柄旋转速度关系不大，因此它不仅可用作不频繁地接通、分断及转换交、直流电阻性负载电路，而且降低容量使用时可直接起动和分断运转中的小型异步电动机。

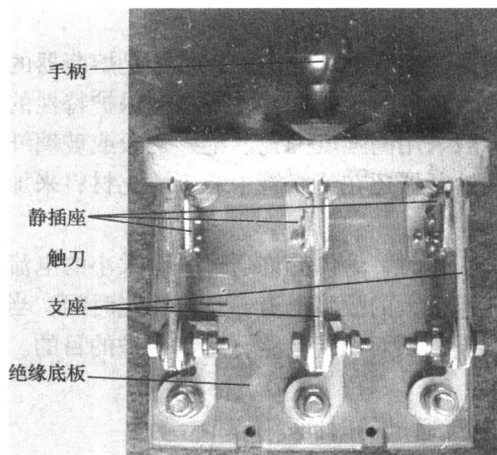


图 1-7 中央手柄操作的三极刀开关

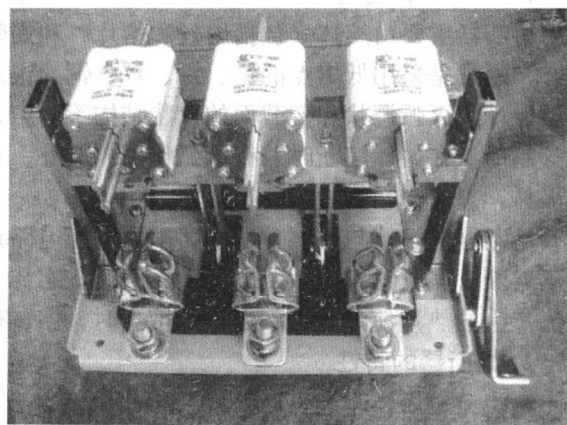


图 1-8 熔断器式刀开关

4. 刀开关的主要技术参数

- (1) 额定电压 指在规定条件下，刀开关长期工作能承受的最大电压。
- (2) 额定电流 指在规定条件下，刀开关在合闸位置允许长期通过的最大工作电流。
- (3) 通断能力 指在规定的条件下，刀开关在额定电压下能接通和分断的最大电流值。
- (4) 电寿命 指在规定的条件下，刀开关不经维修或更换零部件的额定负载操作循环次数。

5. 刀开关的选用

在选择刀开关时，其额定电压应大于或等于电路的额定电压，额定电流应稍大于或等于电路中的工作电流，刀开关的极数、位置数和操作方式可根据实际需要选定。当刀开关直接通断小型负载时，应注意选择相应的通断能力。

1.2.2 熔断器

熔断器是一种当电流超过规定值一定时间后，以它本身产生的热量使熔体熔化而分断电路的保护电器。它是集感应、比较与执行于一体的最简单且性能优异的保护电器，广泛应用于低压配电系统和各种控制系统中，主要用作短路保护，同时也是单台电器设备的重要保护元件之一。熔断器与开关电器组合可构成各种组合电器，使开关电器附加了短路保护功能。

常用的熔断器按其结构可以分为开启式、半封闭式和封闭式。封闭式又分为无填料封闭管式、有填料封闭管式和有填料螺旋式熔断器。具体型号如图 1-9 所示。

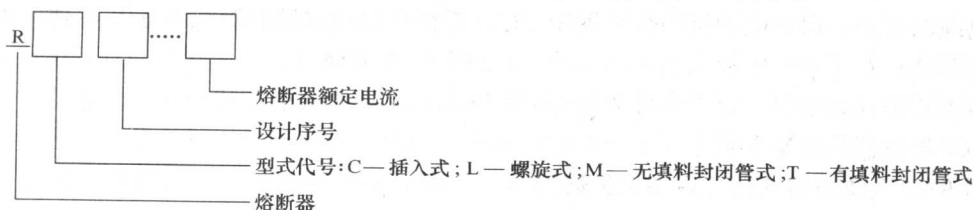


图 1-9 熔断器的型号含义