

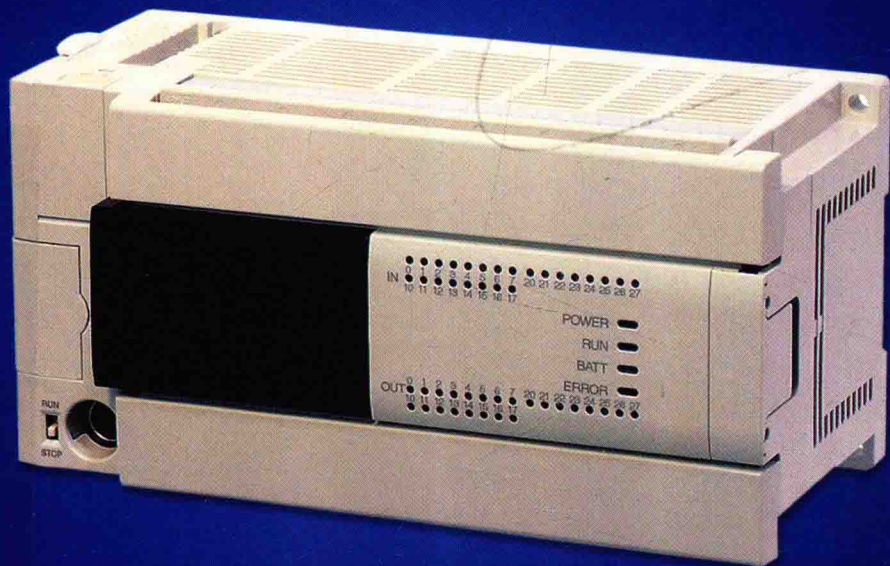
高等院校电子信息科学与工程规划教材

高等院校
精品教材

电气可编程控制 原理与应用

第4版

王阿根 ● 编著



清华大学出版社



高等院校电子信息科学与工程规划教材

电气可编程控制 原理与应用

第4版

王阿根 编著



清华大学出版社
北京

内 容 简 介

日本三菱公司生产的小型、超小型系列可编程控制器产品是进入我国市场最早的 PLC 产品之一,在我国电气自动化控制系统中有较多的应用。为了适应高等教育的各类教学要求,本书选择比较有代表性的三菱 FX_{3U} 系列可编程控制器为主进行讲述。

全书共分 9 章,内容根据教学的需要进行编排,兼顾实际工程应用。第 1、2 章介绍常用低压电器、电气逻辑控制基础知识和常见电器控制电路,作为可编程控制器的基础知识;第 3 章是从常规电气控制过渡到可编程控制的基础,介绍二者的共同点和特殊性,并进一步说明可编程控制器的基本控制原理;第 4~6 章分别介绍三菱 FX 系列 PLC 的三大类指令:基本逻辑指令、步进顺控指令和应用指令;第 7 章介绍 FX 系列 PLC 的扩展设备,主要介绍输入/输出扩展模块和模拟量模块;第 8 章介绍 PLC 的基本设计方法和典型实例;第 9 章介绍 FX 系列 PLC 编程软件的使用方法,并列举了 10 个电气控制电路和 PLC 控制电路的实验项目,以提高读者的实践能力。

本书可作为高等院校自动化、电气工程及其自动化、机械工程及其自动化、电子工程自动化、机电一体化等相关专业的本科、专科教材,也可供相关工程技术人员参考。

本书封面贴有清华大学出版社防伪标签,无标签者不得销售。

版权所有,侵权必究。侵权举报电话:010-62782989 13701121933

图书在版编目(CIP)数据

电气可编程控制原理与应用/王阿根编著. —4 版. —北京:清华大学出版社,2018
(高等院校电子信息科学与工程规划教材)
ISBN 978-7-302-49598-7

I. ①电… II. ①王… III. ①电气控制-高等学校-教材 ②可编程序控制器-高等学校-教材
IV. ①TM921.5 ②TM571.6

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2018)第 028913 号

责任编辑:邓 艳
封面设计:刘 超
版式设计:魏 远
责任校对:马子杰
责任印制:沈 露

出版发行:清华大学出版社

网 址: <http://www.tup.com.cn>, <http://www.wqbook.com>

地 址:北京清华大学学研大厦 A 座 邮 编:100084

社总机:010-62770175 邮 购:010-62786544

投稿与读者服务:010-62776969, c-service@tup.tsinghua.edu.cn

质 量 反 馈:010-62772015, zhiliang@tup.tsinghua.edu.cn

印 装 者:三河市少明印务有限公司

经 销:全国新华书店

开 本:185mm×260mm 印 张:29.75 字 数:741 千字

版 次:2007 年 4 月第 1 版 2018 年 5 月第 4 版 印 次:2018 年 5 月第 1 次印刷

印 数:1~4000

定 价:69.80 元

产品编号:076824-01

前 言

日本三菱公司生产的小型、超小型系列可编程控制器产品是进入我国市场最早的 PLC 产品之一,在我国电气自动化控制系统中有较多的应用。到目前为止,已有 F、F₁、F₂、FX₂、FX₁、FX_{2C}、FX₀、FX_{0N}、FX_{0S}、FX_{2N}、FX_{2NC}、FX_{1S}、FX_{1N}型和最近推出的 FX_{3S}、FX_{3U}、FX_{3UC}、FX_{3G}、FX_{3GC}型等多种可编程控制器。日本三菱公司生产的可编程控制器发展很快,控制功能也在不断增强,早期的产品现在已基本不再使用。另外,该公司还生产有 A 系列和 Q 系列中、大型可编程控制器。为了适应高等教育的各类教学要求,本书选择比较有代表性的三菱 FX_{3U} 系列可编程控制器进行讲述。

本书内容新颖独特,内容安排由易到难、由浅到深,有一定的广度和深度。本书主要介绍三菱 FX_{3U} 系列可编程控制器的基本工作原理及结构、基本逻辑指令、步进顺控指令和功能指令的应用与编程等。书中的大部分电气控制电路都经过实际接线验证,PLC 梯形图应用实例基本上都在笔者自制的实验装置上经过实际验证,或在三菱仿真软件上经过验证。这些控制电路、梯形图和应用实例都是笔者经过反复推敲、多次修改而精选出来的。

本书注重精选内容、结合实际、突出应用。在编排上循序渐进,在内容阐述上力求简明扼要、图文并茂、通俗易懂,便于教学和自学。由于本课程的实践性强,因此在编写上安排了电气控制与可编程控制器的实验内容。另外,本书还对有关文献资料中的缺陷和不足做了纠正,对部分比较烦琐的控制电路和控制程序进行了简化,总结出不少有代表性的控制电路和控制程序。本书力求内容新颖独特、精练,前后衔接自然,符合教学和自学的规律,理论联系实际,有很强的实用性,即使是长期从事相关工作的工程专业技术人员也会从中受益。

本书第 1 版自 2007 年出版以来,被多所学校选为教材,并于 2009 年荣获“江苏省高等学校精品教材”。期间收到了不少读者的反馈,根据这些反馈,我们从适应教学的角度考虑,主要对第 3 版从以下几个方面进行补充完善。

- (1) 调整和修订各章节内容。
- (2) 将 FX_{2N} 型可编程控制器更新为 FX_{3U} 型可编程控制器。
- (3) 调整章节习题内容和补充习题数量。
- (4) 修订完善 PPT 课件和习题解答。

本书较全面地介绍了 PLC 的原理及应用,可适用于 32~72 学时的理论课程教学安排,建议实验环节为 8~16 学时,课程设计安排 1~2 周。对于少学时教学安排,可根据专业教学要求进行内容选取。我们可为使用本书的任课教师提供电子课件、习题解答及其他教学文件,可发电子邮件(到 wangagen@126.com)联系;也可登录清华大学出版社网站(www.tup.com.cn)查找本书进行下载。笔者还为本书编写了教学参考书《PLC 控制程序

精编 108 例》和《PLC 应用指令实例与编程技巧》，可供读者参考。

本书主要由王阿根编著，参加编写工作的人员还有王建冈、顾春雷、王晰、宋玲玲、薛迎成、李杜、李小凡、陈中、姚志树、李爱琴、王军。本书内容未经笔者同意，谢绝引用。

由于编者水平有限，书中不足之处在所难免，敬请读者批评指正。

编者

目 录

第 1 章 常用低压电器	1
1.1 常用低压电器的分类	1
1.2 刀开关	2
1.2.1 HD 型单投刀开关	3
1.2.2 HS 型双投刀开关	4
1.2.3 HR 型熔断器式刀开关	4
1.2.4 组合开关	5
1.2.5 开启式负荷开关和封闭式负荷开关	5
1.3 熔断器	7
1.3.1 熔断器的结构原理及分类	7
1.3.2 熔断器的主要技术参数	7
1.3.3 常用的熔断器	7
1.4 断路器	8
1.4.1 断路器的结构和工作原理	9
1.4.2 低压断路器的选择原则	10
1.5 控制器	10
1.6 接触器	11
1.7 起动机	13
1.8 控制继电器	13
1.8.1 电磁式继电器	13
1.8.2 中间继电器	15
1.8.3 电流继电器和电压继电器	15
1.8.4 时间继电器	16
1.8.5 热继电器	18
1.8.6 速度继电器	20
1.8.7 液位继电器	20
1.8.8 压力继电器	21
1.9 主令电器	21
1.9.1 按钮	22
1.9.2 行程开关	24
1.9.3 转换开关	26
1.10 电阻器	27

1.11	变阻器	27
1.12	电压调整器	28
1.13	电磁铁	28
1.14	其他	29
1.14.1	信号灯	29
1.14.2	报警器	30
1.14.3	液压控制元件	30
1.15	电器的文字符号和图形符号	31
1.15.1	电器的文字符号	31
1.15.2	电器的图形符号	36
	习题	37
第2章	电气控制基本电路	38
2.1	控制电路的基本逻辑概念	38
2.1.1	控制电路的基本组成	38
2.1.2	控制电器的状态和值	39
2.1.3	控制电路的逻辑表达式	39
2.1.4	基本逻辑电路的类型	40
2.2	三相交流异步电动机基本控制电路	44
2.2.1	鼠笼型电动机直接起动控制电路	44
2.2.2	鼠笼型电动机降压起动控制电路	49
2.2.3	绕线型异步电动机起动控制电路	56
2.2.4	异步电动机的制动控制电路	60
2.2.5	异步电动机的调速控制电路	66
2.3	直流电动机的控制电路	70
2.3.1	直流电动机的基本控制特点	70
2.3.2	直流电动机的控制电路	72
	习题	76
第3章	PLC的基本结构和工作原理	80
3.1	PLC的组成	80
3.1.1	概述	80
3.1.2	初步认识可编程控制器(PLC)	80
3.2	PLC的基本工作原理	82
3.2.1	PLC的等效电路	82
3.2.2	PLC的工作过程	84
3.2.3	PLC的接线图和梯形图的绘制方法	86
3.2.4	串行工作方式对梯形图控制结果的影响	87

3.3 PLC 的输入/输出接口电路.....	89
3.3.1 开关量输入接线.....	89
3.3.2 开关量输出接口模块.....	91
3.3.3 FX _{3U} 型 PLC 的主要种类及型号.....	93
3.4 PLC 中的软元件.....	94
3.4.1 输入/输出继电器 (X、Y)	94
3.4.2 辅助继电器 (M)	96
3.4.3 状态继电器 (S)	101
3.4.4 定时器 (T)	101
3.4.5 计数器 (C)	107
3.4.6 数据寄存器 (D)	116
3.4.7 指针 (P、I)	119
习题.....	121
第 4 章 基本逻辑指令及应用.....	125
4.1 单接点指令.....	126
4.1.1 普通单接点指令.....	126
4.1.2 边沿单接点指令.....	127
4.2 连接导线指令.....	130
4.2.1 接点组连接导线指令.....	130
4.2.2 回路分支导线指令.....	132
4.3 接点逻辑取反指令.....	134
4.3.1 接点逻辑取反指令的基本用法.....	134
4.3.2 边沿常闭接点.....	135
4.3.3 边沿接点 M2800~M3071 的特点.....	137
4.4 接点边沿导通指令.....	138
4.4.1 MEP 指令.....	138
4.4.2 MEF 指令.....	139
4.5 逻辑线圈指令.....	139
4.5.1 普通线圈指令.....	139
4.5.2 置位线圈指令和复位线圈指令.....	140
4.5.3 边沿线圈指令.....	143
4.5.4 主控线圈指令和主控复位线圈指令.....	144
4.6 空操作和结束指令.....	148
4.6.1 空操作指令.....	148
4.6.2 结束指令.....	149
4.7 编程注意事项.....	149
4.8 编程实例.....	153

4.8.1	十字路口交通灯控制	153
4.8.2	按钮人行道	155
4.8.3	送料车自动循环控制	156
	习题	157
第5章	步进顺控指令	162
5.1	步进梯形图指令与状态转移图	162
5.1.1	步进梯形图指令	162
5.1.2	状态转移图和步进梯形图	163
5.1.3	SFC图和STL图编程注意事项	166
5.1.4	状态转移条件的有关处理方法	169
5.2	SFC图的跳转与分支	170
5.2.1	SFC图的跳转	170
5.2.2	SFC图的分支	174
	习题	183
第6章	应用指令	188
6.1	应用指令概述	188
6.1.1	应用指令的图形符号和指令	188
6.1.2	应用指令的格式	189
6.1.3	应用指令中的数值	198
6.2	程序流程指令	200
6.2.1	条件跳转指令 (CJ)	200
6.2.2	子程序调用 (CALL)、子程序返回 (SRET) 和主程序结束指令 (FEND)	203
6.2.3	中断指令 (IRET、EI、DI)	205
6.2.4	监视定时器 (WDT)	209
6.2.5	循环指令 (FOR、NEXT)	210
6.3	传送比较指令	211
6.3.1	比较指令 (CMP)	211
6.3.2	区间比较指令 (ZCP)	213
6.3.3	传送指令 (MOV)	214
6.3.4	移位传送指令 (SMOV)	217
6.3.5	取反传送指令 (CML)	218
6.3.6	成批传送指令 (BMOV)	219
6.3.7	多点传送指令 (FMOV)	221
6.3.8	交换指令 (XCH)	222
6.3.9	BCD交换指令 (BCD)	222

6.3.10	BIN 交换指令 (BIN)	223
6.4	四则逻辑运算	225
6.4.1	BIN 加法指令 (ADD)	225
6.4.2	BIN 减法指令 (SUB)	227
6.4.3	BIN 乘法指令 (MUL)	229
6.4.4	BIN 除法指令 (DIV)	230
6.4.5	BIN 加 1 指令 (INC)	231
6.4.6	BIN 减 1 指令 (DEC)	233
6.4.7	逻辑字与、或、异或指令 (WAND、WOR、WXOR)	235
6.4.8	求补码指令 (NEG)	237
6.5	循环移位	239
6.5.1	循环右移指令 (ROR)	239
6.5.2	循环左移指令 (ROL)	240
6.5.3	循环带进位右移指令 (RCR)	241
6.5.4	循环带进位左移指令 (RCL)	242
6.5.5	位右移指令 (SFTR)	242
6.5.6	位左移指令 (SFTL)	243
6.5.7	字右移指令 (WSFR)	246
6.5.8	字左移指令 (WSFL)	247
6.5.9	位移写入指令 (SFWR)	248
6.5.10	位移读出指令 (SFRD)	249
6.6	数据处理	250
6.6.1	全部复位指令 (ZRST)	251
6.6.2	译码指令 (DECO)	252
6.6.3	编码指令 (ENCO)	254
6.6.4	1 的个数指令 (SUM)	255
6.6.5	置 1 位判断指令 (BON)	256
6.6.6	平均值指令 (MEAN)	257
6.6.7	报警器置位指令 (ANS)	257
6.6.8	报警器复位指令 (ANR)	258
6.6.9	BIN 数据开方指令 (SQR)	259
6.6.10	BIN 转为 BIN 浮点数指令 (FLT)	260
6.7	高速处理	260
6.7.1	输入/输出刷新指令 (REF)	261
6.7.2	滤波调整指令 (REFF)	262
6.7.3	矩阵输入指令 (MTR)	263
6.7.4	比较置位指令 (高速计数器用) (HSCS)	265
6.7.5	比较复位指令 (高速计数器用) (HSCR)	266

6.7.6	区间比较指令 (高速计数器用) (DHSZ)	267
6.7.7	脉冲密度指令 (SPD)	270
6.7.8	脉冲输出指令 (PLSY)	271
6.7.9	脉宽调制指令 (PWM)	273
6.7.10	可调速脉冲输出指令 (PLSR)	274
6.8	方便指令	275
6.8.1	状态初始化指令 (IST)	276
6.8.2	数据查找指令 (SER)	281
6.8.3	凸轮控制 (绝对方式) 指令 (ABSD)	283
6.8.4	凸轮控制 (增量方式) 指令 (INCD)	286
6.8.5	示教定时器指令 (TTMR)	288
6.8.6	特殊定时器指令 (STMR)	290
6.8.7	交替输出指令 (ALT)	291
6.8.8	斜波信号指令 (RAMP)	292
6.8.9	旋转工作台指令 (ROTC)	295
6.8.10	数据排列指令 (SORT)	297
6.9	外部设备 I/O	298
6.9.1	十字键输入指令 (TKY)	298
6.9.2	十六键输入指令 (HKY)	301
6.9.3	数字开关指令 (DSW)	303
6.9.4	七段码译码指令 (SEGD)	305
6.9.5	带锁存七段码译码指令 (SEGL)	306
6.9.6	方向开关指令 (ARWS)	308
6.9.7	BFM 读出指令 (FROM)	310
6.9.8	BFM 写入指令 (TO)	312
6.10	外部设备 SER	314
6.10.1	串行数据传送指令 (RS)	314
6.10.2	电位器值读出指令 (VRRD)	317
6.10.3	电位器值刻度指令 (VRSC)	319
6.10.4	串行数据传送 2 (RS2)	320
6.10.5	PID 运算指令 (PID)	321
6.11	时钟数据运算	329
6.11.1	时钟数据比较指令 (TCMP)	329
6.11.2	时钟数据区间比较指令 (TZCP)	330
6.11.3	时钟数据加法指令 (TADD)	331
6.11.4	时钟数据减法指令 (TSUB)	332
6.11.5	时、分、秒数据的秒转换指令 (HTOS)	332
6.11.6	秒数据的[时、分、秒]转换指令 (STOH)	333

6.11.7	时钟数据读出指令 (TRD)	334
6.11.8	时钟数据写入指令 (TWR)	336
6.11.9	计时表指令 (HOUR)	337
6.12	比较型接点	338
6.12.1	比较型接点指令	338
6.12.2	比较型接点的改进	340
	习题	343
第 7 章	可编程控制器的扩展设备	347
7.1	概述	347
7.1.1	基本单元与扩展设备的连接	347
7.1.2	特殊单元和特殊模块的模块号	348
7.1.3	扩展单元和扩展模块的输入/输出编号	348
7.1.4	扩展点数及供给电源的容量	349
7.1.5	输入/输出点数的确定	350
7.2	模拟量输入/输出模块	350
7.2.1	FX _{2N} -2AD 模拟量输入模块	351
7.2.2	FX _{2N} -4AD 模拟量输入模块	356
7.2.3	FX _{2N} -2DA 模拟量输出模块	362
7.2.4	其他模拟量输入/输出模块简介	366
7.3	定位控制模块	367
7.3.1	FX _{2N} -1HC 高速计数器模块	367
7.3.2	FX _{2N} -1PG 和 FX _{2N} -10PG 脉冲输出模块	368
7.3.3	FX _{2N} -10GM 和 FX _{2N} -20GM 定位专用单元	369
7.3.4	FX _{2N} -1RM-E-SET 可编程凸轮开关	371
7.4	FX _{3U} 系列 PLC 的通信和数据链接简介	372
7.4.1	CC-Link 省配线网络	372
7.4.2	AS-I 省配线网络	374
7.4.3	数据链接	374
7.4.4	通用通信、外围设备通信	376
7.5	图形操作终端	377
	习题	378
第 8 章	可编程控制器的设计及示例	379
8.1	PLC 控制系统设计概述	379
8.1.1	PLC 控制设计的基本原则	379
8.1.2	PLC 控制设计的基本步骤	379
8.2	输入/输出接线图的设计	380

8.2.1	输入接线图的设计	380
8.2.2	节省输入点的几种方法	383
8.2.3	输出接线图的设计	385
8.2.4	节省输出点的几种方法	386
8.3	PLC 控制设计示例	387
8.3.1	十字路口交通灯控制	387
8.3.2	电镀自动生产线 PLC 设计	391
8.3.3	传送带机械手控制设计	400
	习题	404
第9章	编程软件与实验	409
9.1	GX Developer 编程软件	409
9.1.1	编程软件的基本操作	409
9.1.2	程序编辑操作	412
9.1.3	程序的传送	415
9.1.4	在线监视	416
9.1.5	程序的仿真	416
9.2	电气控制线路实验	417
	实验 1 三相异步电动机起动、点动、停止控制	417
	实验 2 三相电动机可逆控制	419
	实验 3 单按钮起动、停止控制	421
9.3	PLC 实验	422
	实验 4 十字路口交通灯控制	422
	实验 5 智力竞赛抢答	424
	实验 6 6 台电动机顺序起动、逆序停止控制	427
	实验 7 小车定点呼叫	428
	实验 8 简易电梯控制	430
9.4	电气及 PLC 控制综合实验	432
	实验 9 三相异步电动机能耗制动控制	432
	实验 10 三相异步电动机星形-三角形降压起动控制	434
9.5	设计性实验	436
	实验 11 3 台电动机顺序延时起动电气控制实验	436
	实验 12 电动机点动起动能耗制动电气控制实验	436
	实验 13 两台电动机顺序延时起动、逆序停止电气控制实验	437
	实验 14 电动机点动起动能耗制动 PLC 实验	437
	实验 15 两台电动机不同时起动 PLC 实验	437
	实验 16 3 人表决 PLC 实验	437
	实验 17 两台电动机顺序起动、逆序停止 PLC 实验	437

实验 18 电动机正反转起动能耗制动控制 PLC 实验.....	437
实验 19 电动机延时正反转停控制 PLC 实验.....	438
实验 20 8 个人表决 PLC 实验.....	438
实验 21 3 个按钮控制 3 盏灯 PLC 实验.....	438
实验 22 电动机运行时间设定 PLC 实验.....	438
附录 A 《国产低压电器产品型号编制办法》(JB2930—81.10)	439
附录 B 应用指令一览表	441
附录 C 特殊辅助继电器 (部分)	450
附录 D 特殊数据寄存器 (部分)	455
附录 E FX _{3U} ·FX _{3UC} 可编程控制器软元件表	459
参考文献.....	461

第1章 常用低压电器

工矿企业的电气控制设备基本都采用低压电器，因此，低压电器是电气控制中的基本组成元件，控制系统的优劣与低压电器的性能有直接关系。作为电气工程技术人员，应该熟悉低压电器的结构、工作原理和使用方法。可编程控制器在电气控制系统中需要大量的低压控制电器才能组成一个完整的控制系统，因此熟悉低压电器的基本知识是学习可编程控制器的基础。

低压电器是指额定电压等级在交流 1200V、直流 1500V 以下的电器。在我国工业控制电路中，最常用的三相交流电压等级为 380V，只有在特定行业环境下才用其他电压等级，如煤矿井下的电钻用 127V、运输机用 660V、采煤机用 1140V 等。

单相交流电压等级最常见的是 220V，机床、热工仪表和矿井照明等采用 127V 电压等级，其他电压等级如 6V、12V、24V、36V 和 42V 等一般用于安全场所的照明、信号灯以及作为控制电压。

直流常用电压等级有 110V、220V 和 440V，主要用于动力；6V、12V、24V 和 36V 主要用于控制；在电子线路中电压等级有 5V、9V 和 15V 等。

1.1 常用低压电器的分类

低压电器种类繁多，功能各异，构造各异，用途广泛，工作原理各不相同，常用低压电器的分类方法也很多。

1. 按用途或控制对象分类

(1) 配电电器：主要用于低压配电系统中。要求系统发生故障时准确动作、可靠工作，在规定条件下具有相应的动稳定性与热稳定性，使电器不会被损坏。常用的配电电器有刀开关、转换开关、熔断器和断路器等。

(2) 控制电器：主要用于电气传动系统中。要求寿命长、体积小、重量轻且动作迅速、准确、可靠。常用的控制电器有接触器、继电器、起动机、主令电器和电磁铁等。

2. 按动作方式分类

(1) 自动电器：依靠自身参数的变化或外来信号的作用，自动完成接通或分断等动作，如接触器和继电器等。

(2) 手动电器：用手动操作来进行切换的电器，如刀开关、转换开关和按钮等。

3. 按触点类型分类

(1) 有触点电器：利用触点的接通和分断来切换电路，如接触器、刀开关和按钮等。

(2) 无触点电器：无可分离的触点。主要利用电子元件的开关效应，即导通和截止来实现电路的通、断控制，如接近开关、霍尔开关、电子式时间继电器和固态继电器等。

4. 按工作原理分类

(1) 电磁式电器：根据电磁感应原理动作的电器，如接触器、继电器和电磁铁等。

(2) 非电量控制电器：依靠外力或非电量信号（如速度、压力和温度等）的变化而动作的电器，如转换开关、行程开关、速度继电器、压力继电器和温度继电器等。

5. 按低压电器型号分类

为了便于了解文字符号和各种低压电器的特点，采用我国《国产低压电器产品型号编制办法》(JB 2930—81.10)的分类方法（参见附录 A），将低压电器分为 13 个大类。每个大类用一位汉语拼音字母作为该产品型号的首字母，第二位汉语拼音字母表示该类电器的各种形式。

(1) 刀开关 H，例如，HS 为双投式刀开关（刀型转换开关），HZ 为组合开关。

(2) 熔断器 R，例如，RC 为瓷插式熔断器，RM 为密封式熔断器。

(3) 断路器 D，例如，DW 为万能式断路器，DZ 为塑壳式断路器。

(4) 控制器 K，例如，KT 为凸轮控制器，KG 为鼓型控制器。

(5) 接触器 C，例如，CJ 为交流接触器，CZ 为直流接触器。

(6) 起动器 Q，例如，QJ 为自耦变压器降压起动器，QX 为星三角起动器。

(7) 控制继电器 J，例如，JR 为热继电器，JS 为时间继电器。

(8) 主令电器 L，例如，LA 为按钮，LX 为行程开关。

(9) 电阻器 Z，例如，ZG 为管型电阻器，ZT 为铸铁电阻器。

(10) 变阻器 B，例如，BP 为频敏变阻器，BT 为起动调速变阻器。

(11) 电压调整器 T，例如，TD 为单相调压器，TS 为三相调压器。

(12) 电磁铁 M，例如，MY 为液压电磁铁，MZ 为制动电磁铁。

(13) 其他 A，例如，AD 为信号灯，AL 为电铃。

低压电器的选用常根据型号来进行，所以本书按型号分类对上述低压电器进行说明。

1.2 刀 开 关

刀开关是一种手动电器，常用的刀开关有 HD 型单投刀开关、HS 型双投刀开关、HR 型熔断器式刀开关、HZ 型组合开关、HK 型闸刀开关和 HY 型倒顺开关等。

HD 型单投刀开关、HS 型双投刀开关和 HR 型熔断器式刀开关主要用于成套配电装置中，作为隔离开关。装有灭弧装置的刀开关也可以控制一定范围内的负荷线路。作为隔离开关的刀开关的容量比较大，其额定电流在 100~1500A 之间，主要用于供配电线路的电源隔离作用。隔离开关没有灭弧装置，不能操作带负荷的线路，而只能操作空载线路或电流很小的线路，如小型空载变压器、电压互感器等。操作时应注意，停电时应将线路的负

荷电流用断路器、负荷开关等开关电器切断后再将隔离开关断开，送电时操作顺序相反。隔离开关断开时有明显的断开点，有利于检修人员的停电检修工作。隔离刀开关由于控制负荷能力很小，也没有保护线路的功能，所以通常不能单独使用，一般要和能切断负荷电流和故障电流的电器（如熔断器、断路器和负荷开关等电器）一起使用。

HZ 型组合开关、HK 型闸刀开关一般用于电气设备及照明线路的电源开关。

HY 型倒顺开关、HH 型铁壳开关装有灭弧装置，一般可用于电气设备的起动、停止控制。

1.2.1 HD 型单投刀开关

HD 型单投刀开关按极数分为 1 极、2 极、3 极几种，其示意图及图形符号如图 1-1 所示。图 1-1 (a) 所示为直接手动操作，图 1-1 (b) 所示为手柄操作，图 1-1 (c) ~ 图 1-1 (h) 所示为刀开关的图形符号和文字符号。其中，图 1-1 (c) 所示为一般图形符号；图 1-1 (d) 所示为手动符号；图 1-1 (e) 所示为 3 极单投刀开关符号；当刀开关用作隔离开关时，其图形符号上加有一横杠，如图 1-1 (f) ~ 图 1-1 (h) 所示。

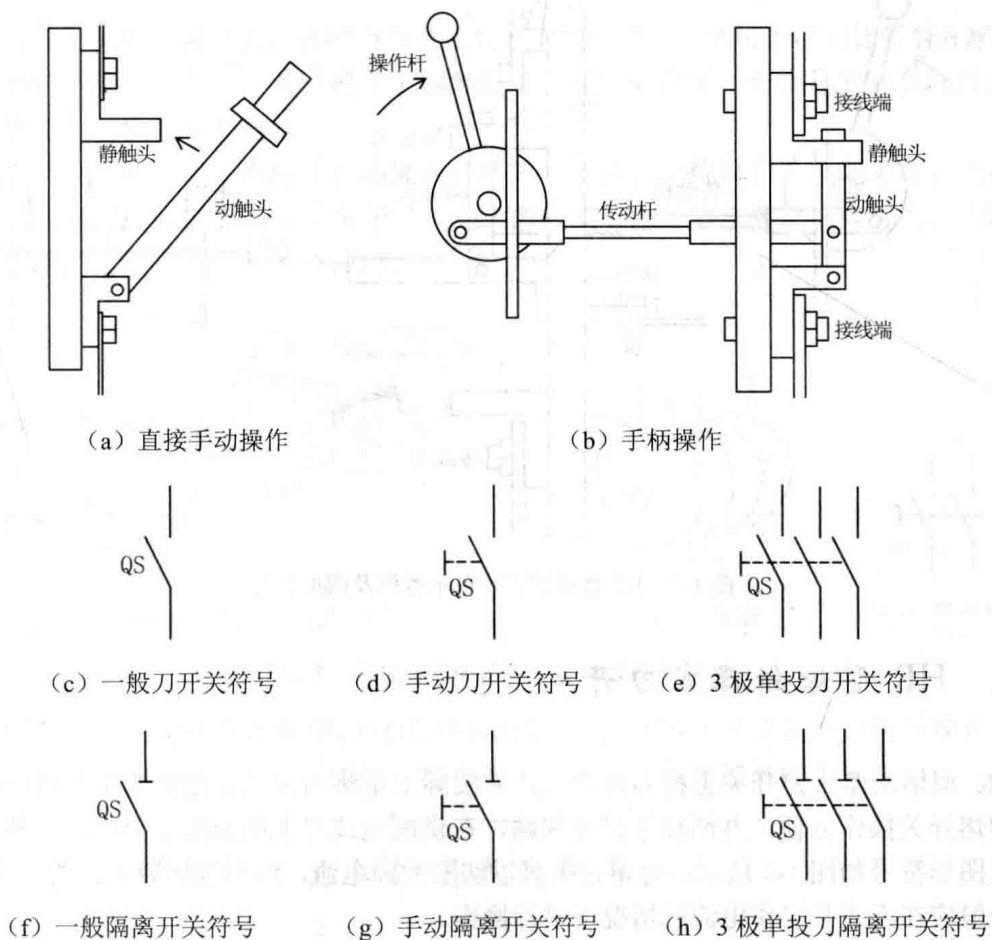


图 1-1 HD 型单投刀开关示意图及图形符号