

21
世纪

普通高等教育电气信息类
应用型规划教材

电气与PLC控制技术

姚屏 王晓军 王会芹 主编



化学工业出版社

21 世纪普通高等教育电气信息类应用型规划教材

电气与 PLC 控制技术

姚 屏 王晓军 王会芹 主编
薛家祥 李玉忠 主审



化学工业出版社

· 北 京 ·

本书以电气控制与 PLC 控制为主线,对工业中广泛应用的电气与 PLC 控制技术进行了分析和讲解。全书分为电气控制和 PLC 控制两个相对独立的部分,电气控制部分根据现有电气发展趋势选取了目前常用的低压电气进行讲解;精心选择了大量基本控制电路进行分析,突出电气控制的基本原理和逻辑控制思想;通过对工程典型电气控制系统的分析,使读者加强工程电路分析能力;通过电气控制系统设计方法和相关设计计算的讲解,提高读者的实际设计能力,为后续的 PLC 学习奠定良好的基础。

本书可作为普通高等院校电气工程及其自动化、自动化、机械设计制造及其自动化等专业的教材,也可选作相关专业高职高专、成人教育的教材,亦可供工程技术人员参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

电气与 PLC 控制技术/姚屏,王晓军,王会芹主编.
北京:化学工业出版社,2009.3
21 世纪普通高等教育电气信息类应用型规划教材
ISBN 978-7-122-04600-0

I. 电… II. ①姚…②王…③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. TM921.5 TP332.3

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2009) 第 003816 号

责任编辑:唐旭华 郝英华
责任校对:宋 玮

装帧设计:风行书装

出版发行:化学工业出版社(北京市东城区青年湖南街 13 号 邮政编码 100011)

印 装:化学工业出版社印刷厂

787mm×1092mm 1/16 印张 16 $\frac{1}{2}$ 字数 408 千字 2009 年 2 月北京第 1 版第 1 次印刷

购书咨询:010-64518888 (传真:010-64519686) 售后服务:010-64518899

网 址: <http://www.cip.com.cn>

凡购买本书,如有缺损质量问题,本社销售中心负责调换。

定 价:28.00 元

版权所有 违者必究

前 言

本书是根据全国高等学校电气工程及其自动化类专业教学指导委员会制定的教材编写规划，结合作者多年的教学经验和电气 PLC 控制的实际应用情况而编写的。

全书理论结合实际，重视学生工程应用能力的训练和培养，内容精炼，条理清晰，示例丰富，实用性强，便于组织教学和实践。在内容上电气控制和 PLC 部分既有联系又相互独立，不仅可作为“电气与 PLC 控制技术”的教材，还可供分别开设“电气控制技术”和“可编程序控制技术”这两门课程的院校使用。

此外本书还有以下特色。

(1) 内容新颖。针对控制技术的飞速发展，本书选取了目前广泛应用的各种电气元件和主流的 PLC 设备进行了介绍，以便读者更好地理论联系实际。

(2) 实例丰富。本书精选了大量来自工程一线的实例，深入浅出地介绍了电气与 PLC 控制的方法和技巧。此外，基本上每条指令都给出了简短的实例，每个元件都给出实物以及选用安装和主流型号等知识。

(3) 系统全面。本书全面、系统地对电气和 PLC 控制的基本理论给予了介绍，涉及了元器件原理、结构、电气表示、选用、安装；PLC 指令、编程方法、典型电路、选型、抗干扰设计等知识，为读者从事相关工作打下良好基础。

(4) 深入浅出。全书重点突出，没有很深的推导和大量的公式演算，而是根据需要给出了各种实际应用的经验公式和方法，利用图表实例来说明一些重要理论，并归纳和总结了大量工程用的电气和 PLC 控制基本电路。本书既有一定理论深度，又偏重实用性，力求满足不同层次读者的需求。

(5) 条理清晰。在编写本书时编者根据多年教学经验精心设计了内容顺序，使全书由浅入深，符合认知规律；其次通过每章引言和小结归纳了全章内容，一目了然，能有效提高学习效果。

(6) 资源丰富。本书每章都提供了相当数量的习题，以助加深理解；附录提供了相关标准；为采用本书作为教材的老师提供课件、元件资料和大量的参考手册，请发送邮件至 txh@cip.com.cn 索取。

本书第 1 章由广东技术师范学院姚屏编写；第 2 章由中国传媒大学王会芹编写；第 3 章由广东技术师范学院张平、周莉、彭海燕编写；第 4 章由广东技术师范学院姚屏、广东水利电力学院李冬梅编写；第 5 章由广东技术师范学院向丹、杨永编写；第 6 章由井冈山大学尹溪、杨庆煊编写；第 7 章由邵阳学院姚宏编写；第 8 章由井冈山大学王晓军编写；第 9 章由井冈山大学黄春英、吴文通编写。全书由姚屏、王晓军、王会芹主编，姚屏统稿。华南理工大学博士生导师薛家祥教授和广东技术师范学院机电学院院长李玉忠教授在百忙中审阅文稿并提出修改意见。广东技术师范学院的曾俊健、唐惠才、许敬捷、赵芝平对本书亦有贡献，在此表示谢意。此外，本书还受到国家自然科学基金（50875088）、江西省教育厅科技计划项目（GJJ08414）的资助，在此一并致谢。

由于编者水平有限，书中难免有错漏之处，恳请广大读者批评指正。

编 者
2008 年 11 月

目 录

第 1 章 常用低压电器	1
1.1 低压电器概述	1
1.1.1 定义与分类	1
1.1.2 电磁机构	2
1.1.3 触头系统	4
1.1.4 电弧的产生与灭弧	4
1.2 刀开关、转换开关和自动空气开关	6
1.2.1 刀开关	6
1.2.2 组合开关	7
1.2.3 低压断路器	9
1.3 熔断器	11
1.4 主令电器	14
1.4.1 按钮	15
1.4.2 行程开关	16
1.4.3 接近开关	17
1.4.4 主令控制器	18
1.5 接触器	19
1.5.1 交直流接触器	19
1.5.2 接触器的安装与维护	21
1.6 继电器	22
1.6.1 电磁式继电器	23
1.6.2 时间继电器	25
1.6.3 热继电器	26
1.6.4 信号继电器	28
1.6.5 继电器的安装与维护	31
1.7 电磁铁	32
1.8 本章小结	33
习题 1	34
第 2 章 基本电气控制电路	35
2.1 电气控制系统图	35
2.1.1 电气原理图	35
2.1.2 电器布置图	38
2.1.3 电气安装接线图	39
2.2 电气控制的基本控制	40
2.2.1 基本控制规律	40
2.2.2 参量控制规律	42
2.3 三相异步电动机的启动控制	45
2.3.1 鼠笼异步电动机直接启动控制	45
2.3.2 鼠笼异步电动机降压启动控制	47
2.3.3 绕线式异步电动机启动控制	51
2.4 三相异步电动机的调速电路	52
2.4.1 异步电动机调速原理	52
2.4.2 双速异步电动机的变极调速	53
2.4.3 三速电动机的变极调速控制	54
2.4.4 电动机变差调速控制	55
2.4.5 电动机变频调速控制	57
2.5 三相异步电动机的制动控制	58
2.5.1 机械制动控制	58
2.5.2 电气制动控制	59
2.6 三相异步电动机的自启动控制	62
2.6.1 短时间停电后来电的电动机自启动	62
2.6.2 短时间停电后来电多台电动机分批自启动	62
2.6.3 长时间停电后来电再启动电路	63
2.7 本章小结	63
习题 2	64
第 3 章 电气控制线路分析	66
3.1 电气控制电路分析基础	66
3.2 普通车床电气控制系统	67
3.2.1 主电路分析	68
3.2.2 控制电路分析	68
3.3 磨床电气控制系统	70
3.3.1 主电路分析	71
3.3.2 控制电路分析	71
3.4 摇臂钻床电气控制系统	74
3.4.1 主电路分析	75
3.4.2 控制电路分析	75
3.5 T68 型卧式镗床的电气控制	77
3.5.1 主电路分析	78
3.5.2 控制电路分析	78
3.6 小型冷库电气控制电路分析	81
3.6.1 主电路分析	81
3.6.2 控制电路分析	81
3.7 桥式起重机电气控制系统	84
3.7.1 起重机电机的工作状态	85

3.7.2 凸轮控制器控制线路分析	86	5.2.1 可编程控制器的性能指标	119
3.7.3 主令控制器控制电路分析	87	5.2.2 可编程控制器的分类	120
3.8 本章小结	90	5.3 可编程控制器的硬件组成	121
习题 3	90	5.4 可编程控制器的软件组成	124
第 4 章 电气控制系统设计	91	5.4.1 系统程序	124
4.1 电气控制系统设计的方法	91	5.4.2 用户程序	124
4.1.1 电气控制系统设计的一般原则	91	5.5 可编程控制器的工作原理	126
4.1.2 电气控制系统设计的基本内容	93	5.5.1 扫描工作方式	126
4.1.3 电气控制系统设计的一般程序	94	5.5.2 扫描工作过程	127
4.1.4 电气控制原理图设计的步骤与 方法	95	5.5.3 扫描周期的计算	128
4.2 电力拖动方案的确定和电动机的 选择	98	5.5.4 PLC 的 I/O 响应时间	129
4.2.1 确定电力拖动方案	98	5.6 本章小结	129
4.2.2 拖动电动机的选择	98	习题 5	130
4.3 电气控制设计中的元器件选择	100	第 6 章 FX 系列可编程控制器	131
4.3.1 接触器的选用	100	6.1 FX 型 PLC 的系统配置与命名	131
4.3.2 继电器的选择	100	6.1.1 系统配置	131
4.3.3 熔断器的选择	101	6.1.2 FX 型 PLC 的命名方式	132
4.3.4 控制变压器的选用	102	6.2 FX 系列 PLC 的编程元件	133
4.3.5 其他控制电器的选用	102	6.2.1 基本数据结构	133
4.4 电动机控制系统的保护	103	6.2.2 输入继电器 (X)	134
4.4.1 电流型保护	104	6.2.3 输出继电器 (Y)	134
4.4.2 电压型保护	106	6.2.4 辅助继电器 (M)	135
4.4.3 断相保护	106	6.2.5 状态寄存器 (S)	136
4.4.4 温度保护	107	6.2.6 数据寄存器 (D)	137
4.4.5 漏电保护	107	6.2.7 定时器 (T)	138
4.4.6 电动机常用保护电路分析	107	6.2.8 计数器 (C)	143
4.5 电气控制工艺设计	109	6.2.9 指针与常数	146
4.5.1 电气设备总体配置设计	109	6.3 本章小结	147
4.5.2 元件布置图的设计	110	习题 6	148
4.5.3 电气部件接线图的绘制	111	第 7 章 FX 系列 PLC 的编程语言及 基本指令	149
4.5.4 电气箱及非标准零件图的设计	111	7.1 基本指令	149
4.5.5 元器件材料清单汇总	113	7.1.1 逻辑取及输出指令 (LD, LDI, OUT)	149
4.5.6 编写设计及使用说明书	113	7.1.2 单个触点串联指令 (AND, AND)	150
4.6 本章小结	113	7.1.3 单个触点并联指令 (OR, ORI)	150
习题 4	114	7.1.4 串联电路块的并联指令 (ORB)	151
第 5 章 可编程控制器的结构与原理	115	7.1.5 并联电路块的串联指令 (ANB)	151
5.1 概论	115	7.1.6 多重输出电路指令 (MPS, MRD, MPP)	152
5.1.1 可编程控制器的起源与发展	115		
5.1.2 可编程控制器的特点	117		
5.1.3 可编程控制器的应用领域	117		
5.1.4 发展趋势及对工业的影响	118		
5.2 可编程控制器的性能指标及分类	119		

7.1.7 主控及主控复位指令 (MC, MCR)	152
7.1.8 置位和复位指令 (SET, RST)	154
7.1.9 脉冲输出指令 (PLS, PLF)	155
7.1.10 空操作指令 (NOP)	155
7.1.11 接点逻辑取反指令 (INV)	156
7.1.12 程序结束指令 (END)	159
7.2 梯形图的编程规则	159
7.2.1 梯形图设计规则	159
7.2.2 输入信号的最高频率问题	160
7.3 步进指令与状态编程	161
7.3.1 SFC 语言	161
7.3.2 步进顺控指令	163
7.3.3 SFC 的编制与梯形图表示	163
7.4 基本控制环节程序的编制	170
7.4.1 启动、保持和停止	170
7.4.2 多输出控制	170
7.4.3 多地点控制	170
7.4.4 优先控制	170
7.4.5 顺序启动控制	171
7.4.6 断开延时	171
7.4.7 定时范围扩展电路	172
7.4.8 自动与手动切换电路	173
7.4.9 闪烁控制	173
7.4.10 分频电路	173
7.5 编程实例	174
7.6 本章小结	184
习题 7	184

第 8 章 FX 系列 PLC 的功能指令及

编程方法	187
8.1 功能指令的表示方法与数据结构	187
8.1.1 功能指令的图形符号和指令	187
8.1.2 功能指令的格式及说明	187
8.2 程序流控制指令	190
8.2.1 条件跳转指令 (CJ)	190
8.2.2 子程序调用与返回指令 (CALL, SRET)	190
8.2.3 与中断有关的指令 (EI, DI, IRET)	192
8.2.4 主程序结束指令 (FEND)	193
8.2.5 警戒时钟指令 (WDT)	193
8.2.6 循环指令 (FOR-NEXT)	193
8.3 比较与传送指令	194

8.3.1 比较指令 (CMP, ZCP)	194
8.3.2 传送指令	195
8.3.3 变换指令	197
8.4 算术运算和逻辑运算指令	198
8.4.1 算术运算	198
8.4.2 逻辑运算	200
8.5 循环移位与移位指令	202
8.5.1 循环移位指令	202
8.5.2 移位指令	203
8.6 数据处理指令	207
8.6.1 区间复位指令 (ZRST)	207
8.6.2 解码与编码指令 (DECO, ENCO)	208
8.6.3 置 1 位数总和与置 1 位判别指令 (SUM, BON)	208
8.6.4 报警器置位与复位指令 (ANS, ANR)	209
8.6.5 其他指令 (MEAN, SQR, FLT)	209
8.7 高速处理指令	211
8.7.1 与输入输出有关的指令 (REF, REFF, MTR)	211
8.7.2 高速计数器指令 (HSCS, HSCR, HSZ)	212
8.7.3 速度检测与脉冲输出指令 (SPD, PLSY, PWM, PLSR)	213
8.8 方便指令	215
8.8.1 状态初始化指令 (IST)	215
8.8.2 数据检索指令 (SER)	215
8.8.3 凸轮顺控指令 (ABSD, INCD)	216
8.8.4 示教定时器指令 (TTMR)	217
8.8.5 特殊定时器指令 (STMR)	217
8.8.6 交替输出指令 (ALT)	218
8.8.7 斜坡信号输出指令 (RAMP)	218
8.8.8 旋转台控制指令 (ROTC)	219
8.8.9 数据排序指令 (SORT)	220
8.9 外部 I/O 设备指令	220
8.9.1 数据输入指令	220
8.9.2 数据译码输出指令	223
8.10 本章小结	225
习题 8	226

第 9 章 可编程控制器的系统设计

9.1 PLC 控制系统设计的基本原则	
---------------------	--

与步骤	227	9.4.2 控制系统的冗余性设计	241
9.1.1 PLC 控制系统设计的		9.4.3 控制系统的抗干扰性设计	242
基本原则	227	9.4.4 控制系统的故障诊断	245
9.1.2 PLC 控制系统设计的一般		9.5 本章小结	246
步骤	227	习题 9	246
9.2 PLC 的选型与硬件配置	229	附录	247
9.2.1 PLC 的选型	229	附录 1 国产低压电器产品型号编	
9.2.2 PLC 容量的确定	231	制办法	247
9.2.3 I/O 模块的选择	232	附录 2 FX 系列 PLC 基本指令、	
9.3 PLC 运行方式及外部电路设计	233	步进指令	252
9.3.1 系统运行方式的设计	233	附录 3 FX 系列 PLC 功能指令简表	252
9.3.2 PLC 外部电路设计	234	附录 4 几种常见 PLC 性能一览表	253
9.4 PLC 控制系统的可靠性设计	239	参考文献	255
9.4.1 PLC 的环境适应设计	239		

第 1 章 常用低压电器

低压电器是设备电气控制系统中的基本组成元件，控制系统的优劣与所用的低压电器直接相关。电气技术人员只有掌握低压电器的基本知识和常用低压电器的结构及工作原理，并能准确选用、检测和调整常用低压电器元件，才能够分析设备电气控制系统的工作原理，处理一般故障及维修。

随着科学技术的飞速发展，自动化程度的不断提高，电器的应用范围日益扩大，品种不断增加，尤其是随着电子技术在电器中的广泛应用，近年来出现了许多新型电器，要求电气技术人员不断学习和掌握新知识。本章主要介绍目前常用的低压电器的结构原理、电气表示、型号含义以及安装等知识，通过本章的学习，可以为电气控制部分和 PLC 部分的学习打下良好基础。

1.1 低压电器概述

1.1.1 定义与分类

电器是接通和断开电路或调节、控制和保护电路及电气设备用的电工器具。由控制电器组成的自动控制系统，称为继电器-接触器控制系统，简称继电接触式控制系统。

下面是几种常用的电器分类。

(1) 按工作电压等级分

① 高压电器。用于交流电压 1200V、直流电压 1500V 及以上电路中的电器。例如高压断路器、高压隔离开关、高压熔断器等。

② 低压电器。用于交流 50Hz(或 60Hz)，额定电压为 1200V 以下；直流额定电压 1500V 及以下的电路中起通断、保护、控制或调节作用的电器。例如接触器、继电器等。

(2) 按动作原理分

① 手动电器。用手或依靠机械力进行操作的电器，如手动开关、控制按钮、行程开关等主令电器。

② 自动电器。借助于电磁力或某个物理量的变化自动进行操作的电器，如接触器、各种类型的继电器、电磁阀等。

(3) 按用途分

① 控制电器。用于各种控制电路和控制系统的电器，例如接触器、继电器、电动机、启动器等。

② 主令电器。用于自动控制系统中发送动作指令的电器，例如按钮、行程开关、万能转换开关等。

③ 保护电器。用于保护电路及用电设备的电器，如熔断器、热继电器、各种保护继电器、避雷器等。

④ 执行电器。指用于完成某种动作或传动功能的电器，如电磁铁、电磁离合器等。

⑤ 配电电器。用于电能的输送和分配的电器，例如高压断路器、隔离开关、刀开关、自动空气开关等。

(4) 按工作原理分

① 电磁式电器。依据电磁感应原理来工作，如接触器、各种类型的电磁式继电器等。

② 非电量控制电器。依靠外力或某种非电物理量的变化而动作的电器，如刀开关、行程开关、按钮、速度继电器、温度继电器等。

1.1.2 电磁机构

(1) 电磁机构的结构型式 电磁机构是电磁式电器的感测部分，它的主要作用是将电磁能量转换成机械能量，带动触点动作，接通或分断电路。电磁机构由吸引线圈、铁芯、衔铁等几部分组成。

① 常用的磁路结构。常用的磁路结构如图 1-1 所示，可分为三种型式。

a. 衔铁直线运动的直动式铁芯，如图 1-1(a) 所示。多用于交流接触器、继电器中。

b. 衔铁沿棱角转动的拍合式铁芯，如图 1-1(b) 所示。这种型式广泛应用于直流电器中。

c. 衔铁沿轴转动的拍合式铁芯，如图 1-1(b) 所示。其铁芯形状有 E 形和 U 形两种。

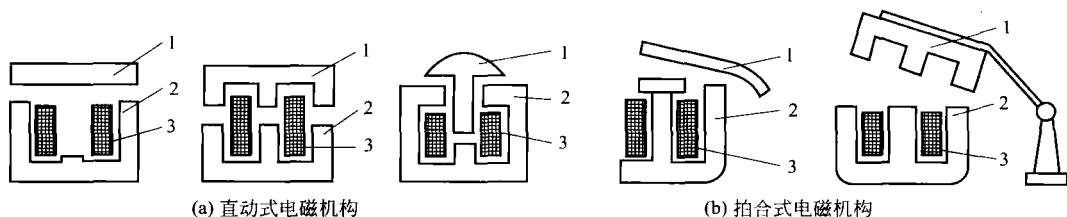


图 1-1 电磁机构

1 衔铁；2 铁芯；3 线圈

此种结构多用于触点容量较大的交流电器中。

电磁式电器分为直流与交流两大类，都是利用电磁铁的原理而制成。通常直流电磁铁的铁芯是用整块钢材或工程纯铁制成，而交流电磁铁的铁芯则用硅钢片叠铆而成。

② 吸引线圈。吸引线圈的作用是将电能转换成磁场能量。按通入线圈的电流种类不同，可分为直流线圈和交流线圈。

对于直流电磁式电器，因其铁芯不发热，只有线圈发热，所以直流电磁式电器的吸引线圈做成高而薄的瘦高型，且不设线圈骨架，使线圈与铁芯直接接触，易于散热。

对于交流电磁式电器，由于其铁芯存在磁滞和涡流损耗，这样线圈和铁芯都发热，所以交流电磁式电器的吸引线圈设有骨架，使铁芯与线圈隔离并将线圈制成短而厚的矮胖型，这样有利于铁芯和线圈的散热。

(2) 电磁机构的工作原理 电磁式电器是根据电磁铁的基本原理而设计，电磁吸力是影响其可靠工作的一个重要参数。

① 直流电磁机构的电磁吸力特性：对于固定线圈通以恒定的直流电流时，其电磁力仅与气隙 δ^2 成反比，吸力特性为二次曲线。当外施电压为常数和线圈电阻不变时，吸合电流 ($I=U/R$) 与气隙长度无关。吸力特性曲线如图 1-2 所示。

直流电磁机构在吸合时，气隙较小，吸力也就较大，因此对于依靠弹簧复位的电磁铁来说，在线圈断电时，由于剩磁产生的吸力，使复位比较困难，会造成一些保护用继电器的性能不能满足要求，如在吸力较小的直流电压型电器中，如衔铁上一般都装有一片 0.1mm 厚非磁性磷铜片，增加在吸合时的空气间隙。在吸力较大的直流电压型电器中，如直流接触

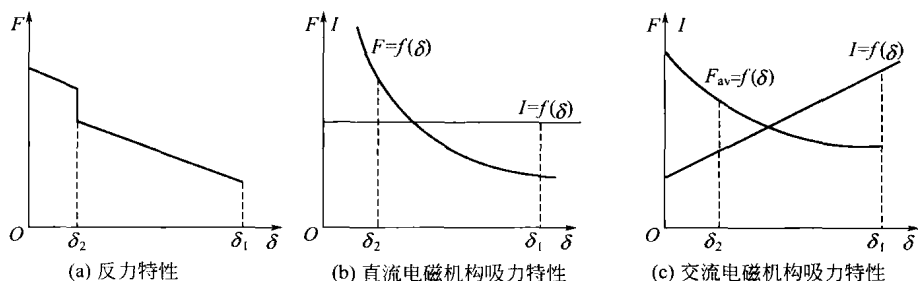


图 1-2 电磁机构反力特性与吸力特性

器，铁芯的端面上加有极靴，减小在闭合状态下的吸力，使衔铁复位自如。

② 交流电磁机构的电磁吸力特性：与直流电磁机构相比，交流电磁机构的吸力特性有较大的不同。对于交流电磁机构多与电路并联使用，当外施电压 U 及频率 f 为常数时，忽略线圈电阻压降

$$U \approx E = 4.44 f \Phi N \quad (1-1)$$

式中， $\Phi = \text{常数}$ （对于固定线圈，匝数 $N = \text{常数}$ ）。交流电磁机构的吸力特性为一条与气隙长度无关的直线，实际上考虑衔铁吸合前后漏磁的变化时，电磁吸力 F_x 随 δ 的减小而略有增加。对于并联电磁机构，由磁路欧姆定律 $NI \approx \Phi R_m$ 可知（ R_m 为气隙磁阻、随 δ 的变化成正比变化），在线圈通电而衔铁尚未吸合瞬间，吸合电流随 δ 的变化成正比变化；为衔铁吸合后的额定电流的很多倍，U 形电磁机构可达 5~6 倍，E 形电磁机构可达 10~15 倍。所以，在可靠性要求较高或要求频繁动作的控制系统中，一般采用直流电磁机构而不采用交流电磁机构。

由于交流电磁机构的磁通是交变的，会在磁芯中感应出涡流，使铁芯的磁通幅值减小，相位滞后，电能损耗及铁芯发热。为解决这一问题，铁芯采用矫顽力很小的硅钢片叠加在一起做成，硅钢片之间相互绝缘。因此，交流电磁机构的剩磁很小。一般不会产生衔铁被剩磁吸住而不能释放复位的现象。

电磁机构的复位是依靠弹簧的弹力实现的，因此在吸合过程中，电磁吸力必须克服弹簧的弹力 F_r ，电磁吸力 F_x 与弹力 F_r 相比，应大一些，但不宜相差太大。对于交流电磁机构，由于电流是交变的，吸力也是脉动的，电流为零时，吸力也为零。所以 50Hz 的电源加在线圈上时，吸力为 100Hz 的脉动吸力，脉动的吸力 F_x 小于弹力 F_r 时，衔铁将在弹簧的作用下移动，而当吸力 F_x 大于弹力 F_r 时，衔铁将克服弹簧力而吸合。如此周而复始，使衔铁产生振动，发出噪声，因此，必须采取有效措施，消除振动和噪声。

具体办法是在铁芯端部开一个槽，槽内嵌入称为短路环（或称分磁环）的铜环，如图 1-3 所示。当励磁线圈通入交流电后，在短路环中就有感应电流产生，该感应电流又会产生一个磁通。短路环把铁芯中的磁通分为两部分，即不穿过短路环的 Φ_1 和穿过短路环的 Φ_2 ，由于短路环的作用，使 Φ_1 与 Φ_2 产生相移，即不同时为零，使合成吸力始终大于反作用力，从而消除了振动和噪声，如图 1-3 所示。短路环通常包围 2/3 的铁芯截面，它一般用铜、康铜或镍铬合金等材料制成。

③ 反力特性。电磁系统的反作用力与气隙的关系曲线称为反力特性。反作用力包括弹簧力、衔铁自身重力、摩擦阻力等。图 1-4 中所示曲线 3 即为反力特性曲线。

为了保证使衔铁能牢牢吸合，在整个吸合过程中，吸力都必须大于反作用力，但不能过大或过小，吸力过大，动、静触点接触时以及衔铁与铁芯接触时的冲击力也大，会使触点和衔铁发生

弹跳导致触点的熔焊或烧毁,影响电器的机械寿命;吸力过小,会使衔铁运动速度降低,难以满足高操作频率的要求。在释放衔铁时,其反力特性必须大于剩磁吸力特性,这样才能保证衔铁的可靠释放。因此,反力特性必须介于电磁吸力特性和剩磁吸力特性之间,如图 1-4 所示。在实际应用中,可调整反力弹簧或触点初压力以改变反力特性,使之与吸力特性有良好配合。

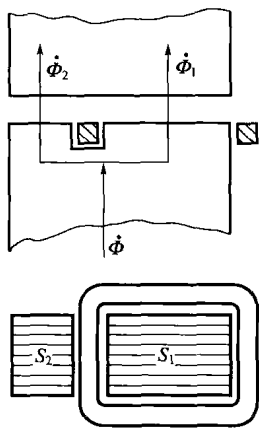


图 1-3 交流电磁机构短路环

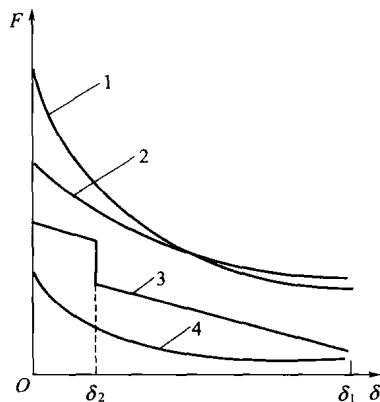


图 1-4 电磁机构吸力特性与反力特性的配合

1—直流吸力特性；2—交流吸力特性；
3—反力特性；4—剩磁吸力特性

1.1.3 触头系统

触点是电器的执行部分,起接通和分断电路的作用。触点的结构型式很多,按其所控制的电路可分为主触点和辅助触点。主触点用于接通或断开主电路,允许通过较大的电流;辅助触点用于接通或断开控制电路,只能通过较小的电流。

触点按其原始状态可分为常开触点和常闭触点:原始状态时断开,线圈通电后闭合的触点叫常开触点;原始状态时闭合,线圈通电后断开的触点叫常闭触点。

触点按其结构型式可分为桥型触点和指型触点,如图 1-5 所示。

(1) 桥式触点 图 1-5(a) 为两个点接触的桥式触点,图 1-5(b) 是两个面接触的桥式触点,两个触点串于同一条电路中,电路的接通与断开由两个触点共同完成。点接触型式适用于电流不大,且触点压力小的场合;面接触型式适用于大电流的场合。

(2) 指式触点 图 1-5(c) 为指式触点,其接触区为一直线,触点接通或分断时产生滚动摩擦,以利于去掉氧化膜。指式触点适用于接电次数多、电流大的场合。

为了使触点接触的更加紧密,以减小接触电阻,并消除开始接触时产生的振动,在触点上装有接触弹簧,在刚刚接触时产生初压力,并且随着触点闭合增大触点互压力。

触点要求导电、导热性能良好,通常用铜制成。但铜的表面容易氧化而生成一层氧化铜,将增大触点的接触电阻,使损耗电能增大,触点温度上升。所以有些电器,如继电器和小容量的电器,其触点常采用银质材料,这不仅在于其导电和导热性能均优于铜质触点,更主要的是其氧化膜的电阻率与纯银相似(氧化铜则不然,其电阻率可达纯铜的十余倍以上),而且要在较高的温度下才会形成,同时又容易粉化。因此,银质触点具有较低和稳定的接触电阻。对于大中容量的低压电器,在结构设计上,触点采用滚动接触;另外,可将氧化膜去掉,保证触点接触可靠。

1.1.4 电弧的产生与灭弧

在大气中开断电路时,如果被开断电路的电流超过某一数值,开断后加在触点间隙(或

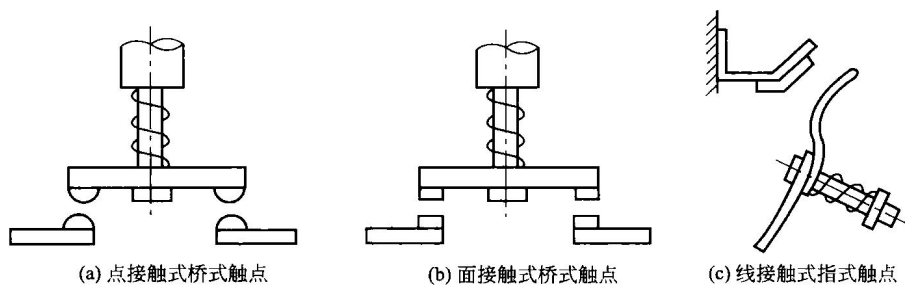


图 1-5 触点的结构型式

称弧隙) 两端电压超过某一数值时, 触点间隙中就会产生电弧。电弧实际上是触点间气体在强电场作用下产生的放电现象, 产生高温并发出强光, 将触点烧损, 并使电路的切断时间延长, 严重时会引起火灾或其他事故, 因此应采取适当措施熄灭电弧。灭弧的基本方法如下。

① 拉长电弧, 从而降低电场强度。

② 用电磁力使电弧在冷却介质中运动, 降低弧柱周围的温度。

③ 将电弧挤入绝缘壁组成的窄缝中以冷却电弧。

④ 将电弧分成许多串联的短弧, 每一短弧两边可看作一对电极, 而每对电极间都有 150~250V 的绝缘强度, 这就大大加强了触头间的绝缘强度, 使触头间电压不足以达到电弧的燃烧电压。

常用的灭弧装置有: 电动力灭弧, 磁吹灭弧, 灭弧栅、灭弧罩 (常用于交流接触器中), 窄缝灭弧等, 如图 1-6 所示。

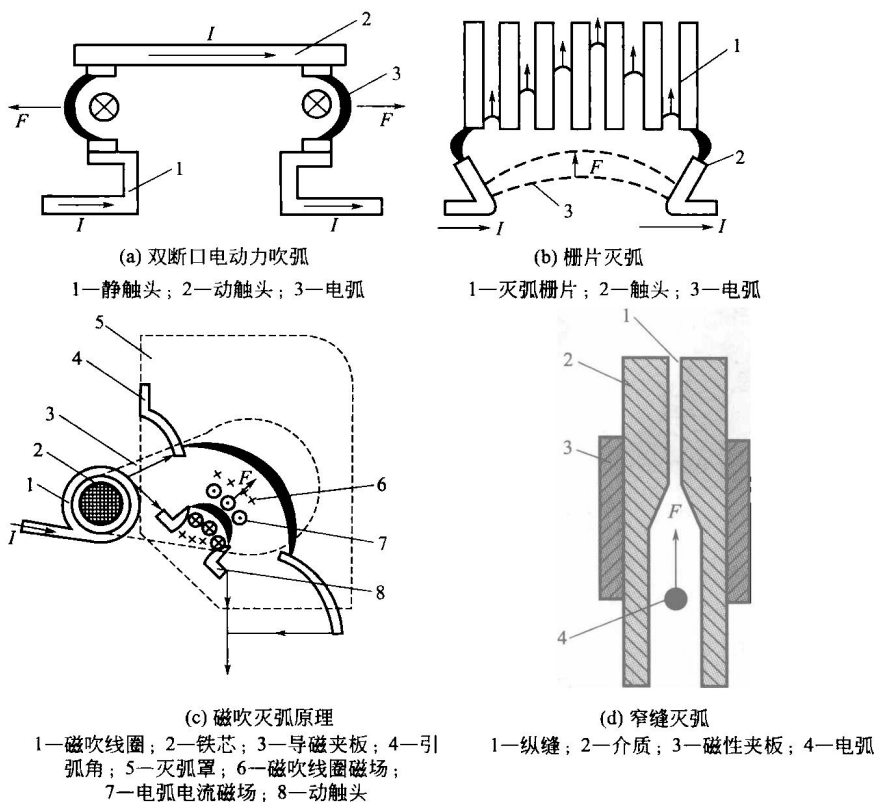


图 1-6 灭弧装置图

1.2 刀开关、转换开关和自动空气开关

1.2.1 刀开关

(1) 结构与原理 刀开关又称闸刀开关或隔离开关，它是手控电器中最简单而使用又较广泛的一种低压电器，图 1-7 是最简单的刀开关（手柄操作式单级开关）示意图。

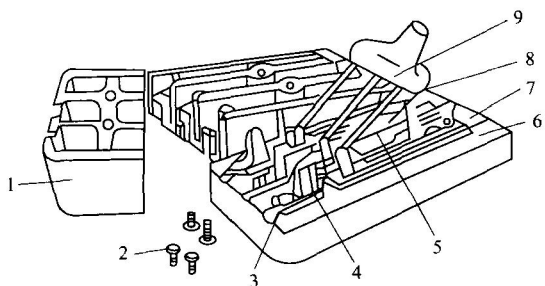


图 1-7 手柄操作式单极刀开关

1—胶盖；2—胶盖固定螺钉；3—进线座；4—静触点；5—熔丝；6—瓷底；7—出线座；8—动触点；9—瓷柄

刀开关在电路中的作用是：隔离电源，以确保电路和设备维修的安全；分断负载，如不频繁地接通和分断容量不大的低压电路或直接启动小容量电动机。刀开关是带有动触点-闸刀，并通过它与底座上的静触点-刀夹座相契合（或分离），以接通（或分断）电路的一种开关，具体可分为单刀、双刀、三刀等几种形式。其中以熔断体作为动触点的，称为熔断器式刀开关，简称刀熔开关。

简称刀熔开关。

(2) 型号与电气表示 常用的刀开关有 HD 型单投刀开关、HS 型双投刀开关（刀形转换开关）、HR 型熔断器式刀开关、HZ 型组合开关、HK 型闸刀开关、HY 型倒顺开关和 HH 型铁壳开关等。常用的开启式负荷开关有 HK1 和 HK2 系列，HK1 系列为全国统一设计产品，HK 系列开启式负荷开关适用于照明、电热设备及小容量电动机控制线路中，供手动不频繁地接通和分断电路，并起短路保护作用。图 1-8 分别为各种刀开关的实物图。刀开关的型号含义与电气表示如图 1-9 所示。

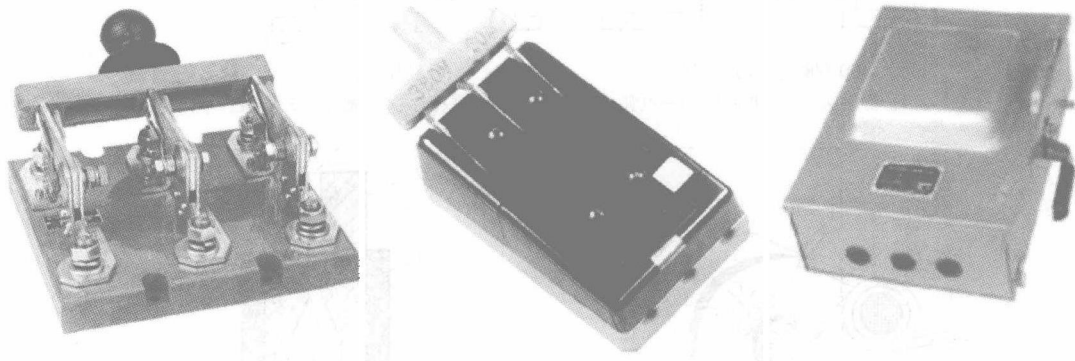


图 1-8 常用刀开关实物

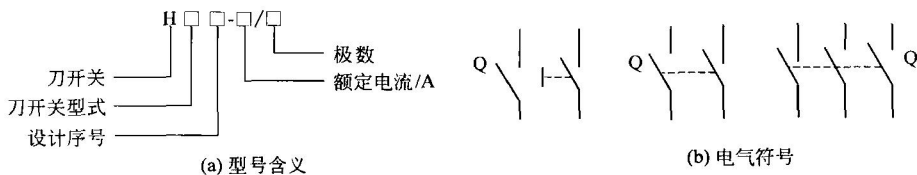


图 1-9 刀开关型号含义和电气符号

其中常用的开关形式有：K—开启式，R—熔断器式刀开关，Z—组合开关。

【例 1-1】 HK1-60 的刀开关的型号含义？

解 含义是开启式刀开关，第 1 系列，额定电流 60A，三极刀开关。

(3) 刀开关的安装

① 垂直安装，使闭合操作时的手柄操作方向应从下向上合，断开操作时的手柄操作方向应从上向下分，不允许采用平装或倒装，以防止产生误合闸。

② 安装后检查闸刀和静插座的接触是否成直线和紧密。

③ 母线与刀开关接线端子相连时，不应存在极大的扭应力，并保证接触可靠。在安装杠杆操作机构时，应调节好连杆的长度，使刀开关操作灵活。

1.2.2 组合开关

组合开关经常作为转换开关使用，但在电气控制线路中也作为隔离开关使用，起不频繁接通和分断电气控制线路的作用。采用刀开关结构型式的称为刀形转换开关；采用叠装式触头元件组合成旋转操作的，称为组合开关。

(1) 结构与原理 转换开关由接触系统、定位机构、手柄等主要部件组成。组合开关外形和结构见图 1-10，组合开关沿转轴 2 自下而上分别安装了三层开关组件，每层上均有一个动触头 6、一对静触头 7 及一对接线柱 9，各层分别控制一条支路的通与断，形成组合开关的三极。当手柄 1 每转过一定角度，就带动固定在转轴上的三层开关组件中的三个动触头同时转动至一个新位置，在新位置上分别与各层的静触头接通或断开。组合开关由多层绝缘壳体组装而成，可立体布置，减小了安装面积，结构简单、紧凑，操作安全可靠。

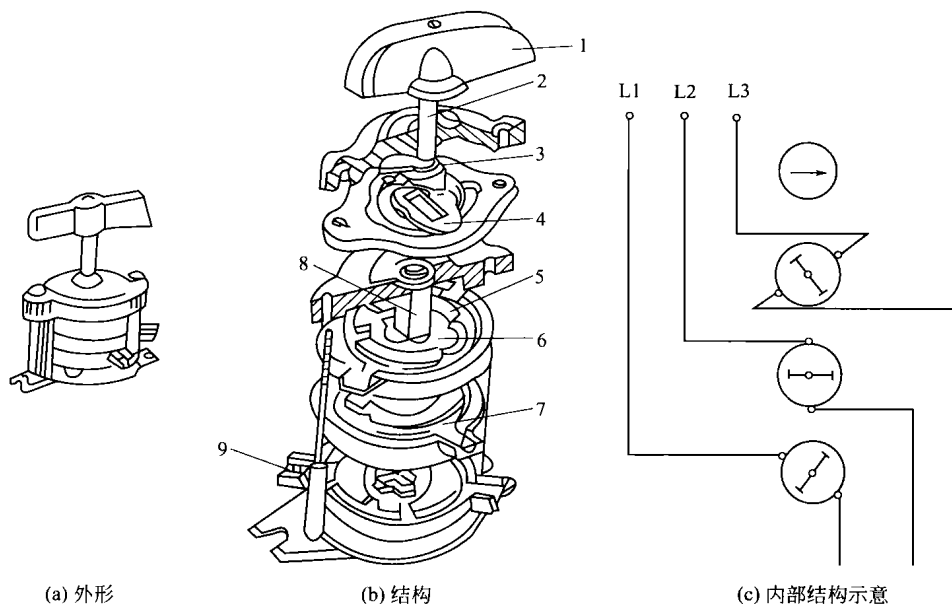


图 1-10 组合开关结构图

- 1 手柄；2—转轴；3 扭簧；4—凸轮；5—绝缘垫板；
6 动触片；7—静触片；8 绝缘杆；9—接线柱

组合开关可以按线路的要求组成不同接法的开关，以适应不同电路的要求。在控制和测量系统中，采用组合开关可进行电路的转换。例如电工设备供电电源的倒换，电动机的正反

转倒换, 测量回路中电压、电流的换相等。用转换开关代替刀开关使用, 不仅可使控制回路或测量回路简化, 避免操作上的差错, 还能够减少使用元件的数量。

(2) 型号与电气表示 组合开关是刀开关的一种发展, 其区别是刀开关操作时上下平面动作, 转换开关则是左右旋转平面动作, 并且可制成多触头、多挡位的开关。具体实物如图 1-11 所示, 电气控制线路中常用的组合开关系列规格有 HZ5, HZ10, HZ15, 3LB 等, 型号含义可参考刀开关。

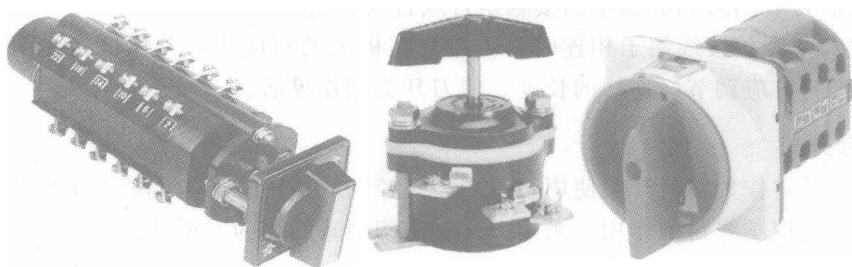


图 1-11 万能转换开关实物

根据组合开关在电路中的不同作用, 组合开关图形与文字符号有两种。当在电路中用作隔离开关时, 其图形符号见图 1-12(a), 其文字标注符为 QS, 有单极、双极和三极之分, 机床电气控制线路中一般采用三极组合开关。

图 1-12(b) 所示是组合开关作转换开关使用时的图形符号, 图示是一个三极组合开关, 图中 I 与 II 分别表示组合开关手柄转动的两个操作位置, I 位置线上的三个空点右方画了三个黑点, 表示当手柄转动到 I 位置时, L1, L2 与 L3 支路线分别与 U, V, W 支路线接通; 而 II 位置线上三个空点右方没有相应黑点, 表示当手柄转动到 II 位置时, L1, L2 与 L3 支路线与 U, V, W 支路线处于断开状态。文字标注符为 SA。图 1-13 是用组合开关代替两个刀开关使电动机进行正反向倒换运行的线路图。

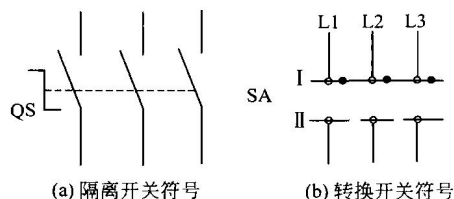


图 1-12 组合开关的电气符号

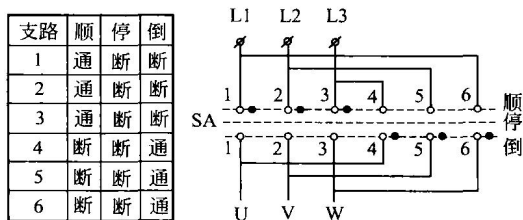


图 1-13 转换开关应用

(3) 主要技术参数 根据组合开关型号可查阅更多技术参数, 表征组合开关性能的主要技术参数如下。

- ① 额定电压。额定电压是指在规定条件下, 开关在长期工作中能承受的最高电压。
- ② 额定电流。额定电流是指在规定条件下, 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。通断能力指在规定条件下, 在额定电压下能可靠接通和分断的最大电流值。
- ④ 机械寿命。指在需要修理或更换机械零件前所能承受的无载操作次数。
- ⑤ 电寿命。指在规定的正常工作条件下, 不需要修理或更换零件情况下, 带负载操作

的次数。

(4) 安装

① HZ10 系列组合开关应安装在控制箱（或壳体）内，其操作手柄最好在控制箱的前面或侧面。开关为断开状态时手柄应在水平位置。HZ3 系列组合开关外壳上的接地螺钉应可靠接地。

② 若需在箱内操作，开关最好装在箱内右上方，并且在它的上方不安装其他电器，否则需要采取隔离措施或绝缘措施。

③ 组合开关的通断能力较低，不能用来分断故障电流。用于控制异步电动机的正反转时，必须在电动机完全停止转动后才能反向启动，且每小时的接通次数不能超过 15~20 次。

④ 当操作频率过高或负载功率因数较低时，应降低开关的容量使用，以延长其使用寿命。

⑤ 倒顺开关接线时，应将开关两侧进出线中的一相互换，并看清开关接线端标记，切忌接错，以免产生电源两相短路故障。

1.2.3 低压断路器

低压断路器也称为自动空气开关，可用来接通和分断负载电路，也可用来控制不频繁启动的电动机。它功能相当于闸刀开关、过电流继电器、失压继电器、热继电器及漏电保护器等电器部分或全部的功能总和，是低压配电网中一种重要的保护电器，目前被广泛应用。

(1) 结构和原理 低压断路器由操作机构、触点、保护装置（各种脱扣器）、灭弧系统等组成。低压断路器工作原理图如图 1-14 所示。

低压断路器的主触点是靠手动操作或电动合闸的。主触点闭合后，自由脱扣机构将主触点锁在合闸位置上。过电流脱扣器的线圈和热脱扣器的热元件与主电路串联，欠电压脱扣器的线圈和电源并联。当电路发生短路或严重过载时，过电流脱扣器的衔铁吸合，使自由脱扣机构动作，主触点断开主电路。当电路过载时，热脱扣器的热元件发热使双金属片上弯曲，推动自由脱扣机构动作。当电路欠电压时，欠电压脱扣器的衔铁释放。也使自由扣机构动作。分励脱扣器则作为远距离控制用，在正常工作时，其线圈是断电的，在需要距离控制时，按下启动按钮，使线圈通电，衔铁带动自由脱扣机构动作，使主触点断开。

低压断路器有多种分类方式。

① 按极数分：单极、双极和三极。

② 按保护形式分：电磁脱扣器式、热脱扣器式、复合脱扣器式（常用）和无脱扣器式。

③ 按全分断时间分：一般和快速式（先于脱扣机构动作，脱扣时间在 0.02s 以内）。

④ 按结构型式分：塑壳式、框架式、限流式、直流快速式、灭磁式和漏电保护式。电力拖动与自动控制线路中常用的自动空气开关为塑壳式。如 DZ5-20 系列。

自动空气开关具有操作安全、使用方便、工作可靠、安装简单、动作后（如短路故障排

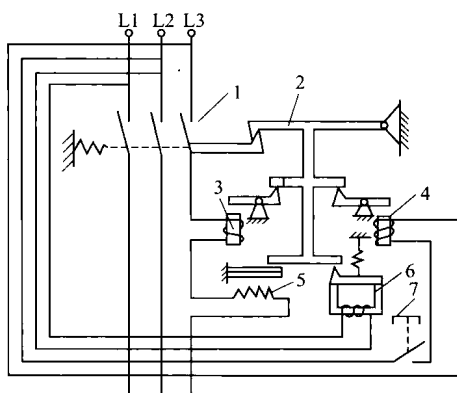


图 1-14 自动空气开关结构

- 1 主触头；2—自由脱扣机构；
3 过电流脱扣器；4—分励脱扣器；5—热脱扣器；6 失压脱扣器；7 按钮