



策划编辑: 刘子嘉
责任编辑: 高 宇
封面设计: 刘文东



定价: 40.80元

『十三五』职业教育国家规划教材

电气控制技术及应用 (第2版) 主编 冀俊茹 陈琳

北京邮电大学出版社

X-A



“十三五”职业教育国家规划教材



(2024修订)



主编 冀俊茹 陈琳

电气控制技术及应用

DIANQI KONGZHI JISHU JI YINGYONG

(第2版)



北京邮电大学出版社
www.buptpress.com



“十三五”职业教育国家规划教材



主 编 冀俊茹 陈 琳
副主编 李玉芬 黄咏梅

电气控制 技术及应用

DIANQI KONGZHI JISHU JI YINGYONG

(第2版)



北京邮电大学出版社
www.buptpress.com

内 容 简 介

本书是“十三五”职业教育国家规划教材,主要包括电气控制技术基础知识、三相异步电动机的典型控制技术、电气控制系统的设计及应用、应用实践。

本书既可作为高等职业院校电气、机电、数控、电工电子等专业的教材,也可作为相关工程技术人员的参考用书。

图书在版编目(CIP)数据

电气控制技术及应用 / 冀俊茹, 陈琳主编. -- 2 版. -- 北京: 北京邮电大学出版社, 2022. 4(2024. 2 重印)

ISBN 978-7-5635-6625-9

I. ①电… II. ①冀… ②陈… III. ①电气控制—高等教育—教材 IV. ①TM921. 5

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2022)第 055414 号

策划编辑: 刘子嘉 责任编辑: 高 宇 封面设计: 刘文东

出版发行: 北京邮电大学出版社

社 址: 北京市海淀区西土城路 10 号

邮政编码: 100876

发 行 部: 电话: 010-62282185 传真: 010-62283578

E-mail: publish@bupt. edu. cn

经 销: 各地新华书店

印 刷: 三河市骏杰印刷有限公司

开 本: 787 mm×1 092 mm 1/16

印 张: 12. 25

字 数: 253 千字

版 次: 2022 年 4 月第 2 版

印 次: 2024 年 2 月第 3 次印刷

ISBN 978-7-5635-6625-9

定 价: 40. 80 元

• 如有印装质量问题, 请与北京邮电大学出版社发行部联系 •

服务电话: 400-615-1233

第2版前言

本书根据《“十四五”职业教育规划教材建设实施方案》的新要求,为推进习近平新时代中国特色社会主义思想进教材进课堂进头脑,积极培育和践行社会主义核心价值观,实施立德树人战略,推动职业教育“三教”改革服务于人才培养的目标,坚持正确的政治方向和价值导向,适应智能化技术的发展,融合电气领域的新技术、新工艺、新规范、新标准,以实际生产项目和典型工作任务为载体,突出教材的职业化特色,在入选教育部“十三五”职业教育国家规划教材的第1版的基础上修订而成。

为了使本书能适应培养德、智、体、美、劳全面发展的高素质劳动者和技能型人才的需要,更方便学习者使用,编者以育人为导向,融入思政元素,秉持质量为先、突出职教特色的理念,对本书进行了如下修订。

(1)增加“迈向星辰大海的中国航天人”“大国工匠”等思政内容,使学生了解大国制造的技术能力,增强“制造强国”的民族自豪感,坚守“科学、严谨”的设计初衷,培养学生赶超先进的“创新魄力”。

(2)优化“提升知识”内容,在第1版基础上着力突出教材的实用性和实践性,兼顾学生分层次培养目标,符合高职学生的心理特质和认知规律,有利于学生理解及掌握电气控制知识。内容精练,体现新工艺、新技术,语言通俗易懂,图文并茂。

(3)扩充“应用实践”项目,本着夯实理论、启智增慧、提高技能的宗旨,将真实工作项目引入教材,既与技能竞赛衔接,又与专业课程对接。以解决实际问题的思考模式为纽带,在实践中学习硬件选择、设计技巧、故障排除等知识,全面提升学生综合理解和运用的实战能力。

(4)根据国际电工委员会和国家最新标准,更新和完善了全书的图形、文字符号。

本书内容浅显,可操作性强,信息化资源配套完善,可作为职业院

校电气、机电、数控、电工电子等专业的教学用书。为了配合教师教学和增加教材的可视性,本书配备有微课、动画和电子教学资源。本书建议总课时为 60 课时(包括实践)。

本书由南京科技职业学院冀俊茹和陈琳任主编,由南京科技职业学院李玉芬和南京化工技师学院黄咏梅任副主编。

根据本课程的特点,编者认真梳理教学内容,深入挖掘课程思政元素,给出如下建议。

课程思政案例库		
单 元	融 入 点	思政元素
第一单元	知深而行远	关注我国低压电器产品的发展,引导学生进行创新实践
第二单元	电气“刀手”,给钢铁巨龙打通“任督二脉”的大国工匠——李刚	学习大国工匠的事迹,树立攻坚克难的信心
第三单元	谦逊而笃定,迈向星辰大海的中国航天人——周建平	学习中国航天人持之以恒的品质,激发行业创新活力
第四单元	技改大王,专治疑难杂症的大国工匠——刘云清	不忘初心,方得始终,打响中国“智能制造”的民族品牌

本书在编写过程中参阅了许多同行专家们的文献,在此表示感谢。由于编者知识水平和实践经验有限,书中难免有疏漏和不当之处,恳请读者批评指正。

编 者

第1版前言

《电气控制技术及应用》教材采用学习单元分解的教学形式,以任务来引领,以可视性配套资源为指导,以技能培养为主线。全书共分四个单元,按照从易到难、从简单到复杂、从基础到提升的原则进行编排,力求符合学生的认知规律。

本书内容包括电气系统常用低压电气元件的认识、电气识图、电气控制环节与原则的学习、三相异步电动机单向运行的控制电路、正反转控制电路、顺序控制电路、笼型异步电动机的起动控制电路、调速控制电路、绕线式异步电动机起动控制电路、三相异步电动机制动控制电路以及电气控制电路的设计等,内容涵盖控制电路的分析、装接、故障检修及设计等。本书将元器件认识与检测、电路的分析装接与故障检修等分层次融于各个实践内容中,使学生在实践操作过程中掌握必备的岗位技能和专业知识。

本书内容浅显,可操作性强,信息化资源配套完善,可作为高等职业院校电气、机电、数控等专业的教材,也可作为相关工程技术人员的参考用书。

为了配合教学和增加可视性,本书配有免费微课、动画和电子教学资源。

本书建议总课时为 64 课时(包括实践),具体课时分配如下表。

单 元	内 容	理论课时	实践课时
第一单元	电气控制技术基础知识	14	2
第二单元	三相异步电动机的典型控制技术	30	8
第三单元	电气控制系统的设计及应用	4	2
第四单元	应用实践	2	2
小计		50	14
总计		64	

本书由南京科技职业学院冀俊茹和陈琳任主编,由南京科技职业学院李玉芬和南京化工技师学院黄咏梅任副主编。其中,第一单元,第三单元以及第二单元的任务1、任务2由冀俊茹编写,第二单元的任务3、任务4由黄咏梅和李玉芬编写,第二单元的任务5、任务6、任务7和第四单元由陈琳编写。

本书在编写过程中参阅了许多同行的文献,在此对相关人员表示感谢。由于编者知识水平和实践经验有限,书中难免有疏漏和不当之处,敬请各位读者批评指正。

编 者

目 录

第一单元 电气控制技术基础知识	1
学思园地 知深而行远	1
任务 1 认识常用低压电器	2
一、电器的概念和分类	2
二、非自动切换电器	8
三、自动切换电器	17
任务 2 识读电气控制系统图	43
一、电气控制系统图	44
二、电气原理图的阅读方法与识图步骤	48
任务 3 掌握电气控制环节与原则	50
一、电气控制环节	50
二、电气控制原则	53
第二单元 三相异步电动机的典型控制技术	61
学思园地 电气“刀手”,给钢铁巨龙打通“任督二脉”的 大国工匠——李刚	61
任务 1 分析三相笼型异步电动机全压起动控制电路	62
一、单向全压起动控制电路	62
二、异步电动机点动控制电路	63

任务2 学习三相笼型异步电动机正反转控制电路 70

- 一、正-停-反控制电路 70
- 二、正-反-停控制电路 73
- 三、自动往返行程控制电路 74

任务3 学习三相笼型异步电动机顺序起停控制电路 80

- 一、顺序起动、同时停止控制电路 81
- 二、顺序起动、顺序停止控制电路 82
- 三、顺序起动、逆序停止控制电路 83

任务4 学习三相笼型异步电动机降压起动控制电路 89

- 一、定子串联电阻降压起动控制电路 90
- 二、Y- Δ 降压起动控制电路 91
- 三、自耦变压器降压起动控制电路 93

任务5 学习三相绕线式异步电动机降压起动控制电路 101

- 一、转子串联电阻降压起动控制电路 101
- 二、转子串联频敏变阻器降压起动控制电路 102

任务6 学习三相笼型异步电动机调速控制电路 104

- 一、变极调速控制电路 105
- 二、变频调速控制电路 107
- 三、变转差率调速控制电路 108

任务7 学习三相笼型异步电动机制动控制电路 116

- 一、能耗制动控制电路 117

二、反接制动控制电路	120
三、回馈制动控制电路	121

第三单元 电气控制系统的设计及应用 126

学思园地 谦逊而笃定,迈向星辰大海的中国航天人——周建平 126

任务1 懂得电气控制系统设计的原则和内容 127

一、电气控制系统设计的原则	127
二、电气控制系统设计的内容	128
三、电气控制系统设计的步骤	129

任务2 掌握电气原理图的设计步骤和方法 130

一、电气原理图的设计步骤	130
二、电气原理图的设计方法	131
三、电气原理图设计注意事项	132
四、电气原理图的设计应用	133

第四单元 应用实践 142

学思园地 技改大王,专治疑难杂症的大国工匠——刘云清 142

任务1 CA6140 车床原理及故障排查方法 143

一、实践目的	143
二、实践设备和元器件	143
三、实践电路及原理	143
四、实践步骤	147

任务 2 M7120 磨床原理及故障排查方法	148
一、实践目的	148
二、实践设备和元器件	148
三、实践电路及原理	148
四、实践步骤	157
任务 3 X62W 万能铣床原理及故障排查方法	157
一、实践目的	157
二、实践设备和元器件	157
三、实践电路及原理	157
四、实践步骤	168
附录	169
附录 I 常用低压电器的检修	169
附录 II 常用元件电气文字与图形符号	175
附录 III 安全用电	178
参考文献	186

知深而行远

低压电器是电力系统中的基本元件,凡是用电的地方都离不开低压电器。低压电器是实现智能制造的重要基础单元,在国民经济中有着不可替代的地位,其产品性能与质量直接影响我国各行各业用电系统的安全可靠和经济运行,更涉及千家万户的日常生活和人身安全。

中华人民共和国成立的 70 多年,也是我国低压电器披荆斩棘发展的 70 多年,其发展历程大致可分为四个阶段(见图 1-1)。一代代电器工作者以振兴民族产业为己任,用精益求精、不断创新的工匠精神,推动我国低压电器从无到有,从弱到强,逐渐形成了较为完整的科研、设计、制造、选用体系,实现了“从简单模仿到自主创新”的质的飞跃,中国成为全球低压电器最大的生产制造国。

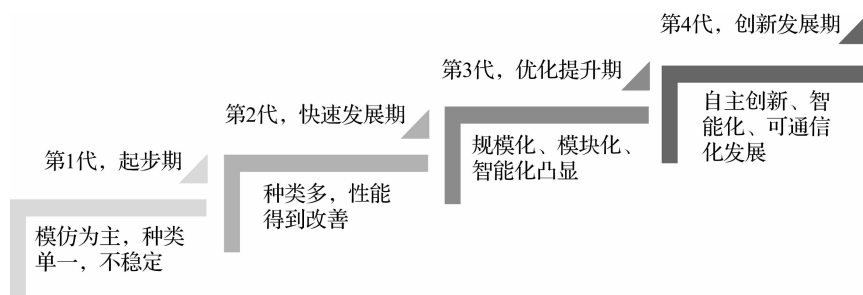


图 1-1 我国低压电器产品的四个发展阶段

随着科技的发展,人们对低压电器产品的质量、性能、使用寿命与产品的结构设计等提出了更高的要求。作为一名电气人,应该不忘初心,坚信“路虽远,行则将至;事虽难,做则必成”,牢记使命,“驍马十驾,功在不舍”,推动中国电器沿着智能化、集成化、可通信化的道路发展。



知识目标

- (1) 认识按钮、刀开关、接触器、断路器、继电器等常用低压电器的外形。
- (2) 了解按钮、刀开关、接触器、断路器、继电器等常用低压电器的结构和工作原理。
- (3) 比较各种低压电器的基本参数、适用场合以及在电路中的功能。
- (4) 概括电气原理图、电器布置图和安装接线图之间的联系。
- (3) 理解电气控制技术的控制原则与控制环节的应用。



技能目标

- (1) 熟练选用按钮、刀开关、接触器、中间继电器、热继电器、熔断器等常用低压电器。
- (2) 能够识读电气类相关的图纸。
- (3) 扩展应用电气控制技术的控制原则与控制环节。



素养目标

认识传统电器,探究现代控制。

电气控制广泛用于工业生产和民用生活等领域。电气控制所涉及的内容包括控制器件及控制电路系统,本单元主要针对电气控制技术的基础知识进行入门学习。

任务1 认识常用低压电器

电器即电能的控制器件,可以根据外界特定的信号或要求对电路或非电信号进行分配、控制、切换、保护、检测和调节。其中,“控制”就是接通或断开电路,因此,“通”和“断”是电器最基本和最典型的功能。



想一想

- (1) 生产中常用的低压电器有哪些?它们有什么样的结构?又是如何实现控制功能的?
- (2) 生活中用来接通和断开电路的电器还有哪些?插座、灯开关属于电器吗?

一、电器的概念和分类

低压电器(电器)是电力拖动与自动控制系统的基本组成元件,控制系统的优劣与所选用低压电器的性能有直接的关系。

低压电器是指工作于交流 50 Hz 额定电压 1 200 V 以下、直流额定电压 1 500 V 以下的,在电路中起通断、保护、控制或调节作用的电器。低压电器的分类如下。

1. 按用途或所控制的对象分类

1) 低压配电电器

低压配电电器是主要用于配电电路,对电路及设备进行保护以及通



微课
电器的概述
和分类

断、转换电源或负载的电器,如刀开关、转换开关、熔断器和断路器。

2) 低压控制电器

低压控制电器是主要用于控制电气设备,使其达到预期要求的工作状态的电器,如接触器、控制继电器、主令控制器。

2. 按动作方式分类

1) 非自动切换电器

依靠外力直接操作的电器称为非自动切换电器,如按钮、刀开关等。

2) 自动切换电器

依靠电器本身参数或外来信号(如电、磁、光、热等)变化而自动完成接通或分断的电器称为自动切换电器,如接触器、继电器和电磁铁。

3. 按执行机理分类

1) 有触点电器

有触点电器具有机械可分断的触点系统,利用动、静触点的接触和分离来实现电路的通断控制。

2) 无触点电器

无触点电器没有可分断的机械触点,主要利用功率晶体管的开关效应,即导通或截止来控制电路的阻抗,以实现电路的通断与保护。

4. 按工作原理分类

1) 电磁式电器

这类电器根据电磁感应原理来工作,如交、直流接触器,各种电磁继电器、电磁铁等。

2) 非电磁式电器

这类电器依靠外力或非电量的变化而动作,如压力继电器、行程开关、速度继电器、温度继电器等。



知识提升

电磁式电器在电气控制线路中的使用广泛,类型也多,但是工作原理和结构基本相同。从结构看,电磁式电器是利用电磁铁原理制成的,可分为直流电磁铁和交流电磁铁两类。其一般由两部分组成,即电磁机构(感测部分)和触点机构(执行部分)。电磁机构接收外界输入的信号,并通过转换、放大、判断做出反应,而触点机构则根据信号输出指令,完成电路的通、断控制。

1. 电磁机构

电磁机构的主要作用是将电磁能转换成机械能,带动执行部分(触点)闭合或断开,实现对电路的通、断控制。它由线圈、铁心(静铁心)、衔铁(动铁心)、铁轭和空气隙等部分组成。常见电磁机构的结构如图 1-2 所示。

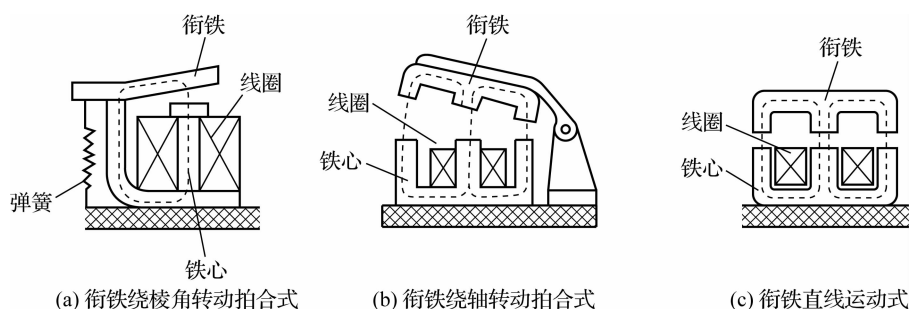


图 1-2 常见电磁机构的结构

图 1-2(a)所示电磁机构的铁心采用软铁,广泛应用于直流接触器、继电器。图 1-2(b)所示电磁机构的铁心采用硅钢片叠压而成,适用于交流接触器。图 1-2(c)所示电磁机构的衔铁在线圈内做直线运动,多用于交流接触器、继电器。

电磁式电器正常工作时,作用在衔铁上的力有电磁吸力与反力,其中电磁吸力由电磁铁机构产生,反力则由复位弹簧和触点弹簧产生。衔铁良好吸合时要求电磁吸力大于反力,衔铁复位时要求反力大于电磁吸力。

电磁铁机构的电磁吸力为

$$F = \frac{10^7}{8\pi} B^2 S \quad (1-1)$$

式中, F 为电磁吸力,N; B 为工作气隙中的磁感应强度,T; S 为铁心截面积, m^2 。

值得注意的是,交流电磁铁机构在工作过程中,因为交流电产生磁场的磁感应强度按正弦规律变化,即 $B = B_m \sin \omega t$,所以交流电磁吸力 F 为

$$\begin{aligned} F &= \frac{10^7}{8\pi} (B_m \sin \omega t)^2 S \\ &= \frac{10^7}{16\pi} B_m^2 (1 - \cos 2\omega t) S \\ &\approx 2B_m^2 S (1 - \cos 2\omega t) \times 10^5 \\ &= 2B_m^2 S \times 10^5 - 2B_m^2 S \cos 2\omega t \times 10^5 \end{aligned} \quad (1-2)$$

由式(1-2)可知,交流电磁铁机构的电磁吸力 F 将在最大值与零之间变化。在一个周期内,交流电磁铁机构将发生两次振动,产生了难以忍受的噪声,污染环境;振动还可能导致触点弹跳而加重侵蚀,甚至发生熔焊。因此,必须采取有效措施消除或最大限度地削弱衔铁的振动现象。

交流电磁铁机构常采用裂极结构,即在部分磁极表面套装一个由导体制成的短路环(又称分磁环),安装位置如图 1-3 所示。在铁心端面装设短路环后,气隙磁通 Φ 分为两部分,即不穿过短路环的 Φ_1 和穿过短路环的 Φ_2 ,且 Φ_2 滞后于 Φ_1 ,它们不仅相位不同而

且幅值不同。短路环消除振动的原理分析如图 1-4 所示。由这两个磁通产生的电磁吸力 F_1 与 F_2 在不同时刻经过零点(如果短路环设计得比较合理,使 Φ_1 、 Φ_2 的相位互差 90° ,并且 F_1 、 F_2 的大小近似相等),则合成的电磁吸力 F 就会相当平坦,只要最小吸力大于反作用力,衔铁就会牢牢地被吸住,不会产生振动和噪声。

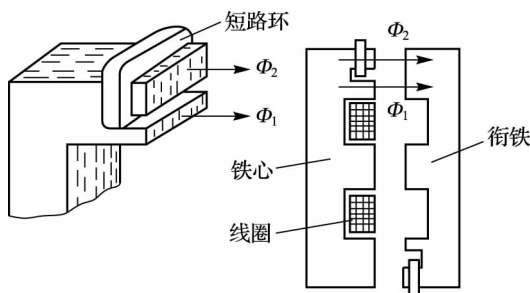


图 1-3 短路环的安装位置

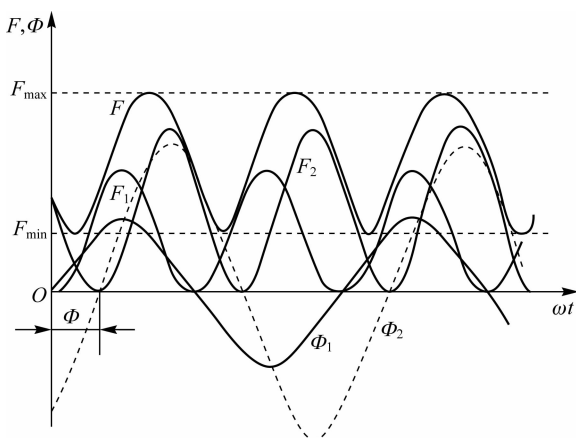


图 1-4 短路环消除振动的原理分析

2. 触点机构

触点是电器的执行机构,通过分、合动作控制电路的通、断,通常由铜制成。由于铜的表面容易氧化而生成一层氧化膜,氧化膜会使触点接触电阻增大,因此,对于小容量的电器,常采用银作为触点制作材料。银触点的氧化膜电阻率与纯银相似,从而避免触点表面氧化、接触电阻增大导致的接触不良现象。

触点的接触形式有点接触、线接触和面接触三种,如图 1-5 所示。影响触点工作情况的主要因素是触点的接触电阻,接触电阻大,易使触点发热而温度升高,从而使触点产生熔焊现象,影响工作的可靠性和使用寿命。触点的接触电阻不仅与接触形式有关,而且

与接触压力、触点材料及触点表面状况有关。为使触点接触得更加紧密,减小接触电阻,并消除触点开始接触时产生的振动,可在触点上安装接触弹簧。

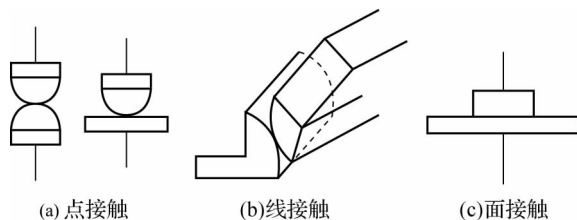


图 1-5 触点的三种接触形式

3. 灭弧系统

根据电流性质的不同,电弧分为直流电弧和交流电弧。交流电弧有自然过零点,所以容易被熄灭,而直流电弧则不易熄灭。通常采用的灭弧方式有电动力灭弧、磁吹灭弧、栅片灭弧、灭弧罩与纵缝灭弧等,分述如下。

1) 电动力灭弧

电动力灭弧一般用于交流接触器等交流电器。图 1-6 所示为面接触双断口触点系统。双断口就是在一个回路中有两个产生和断开电弧的间隙。当触点打开时,在断口中产生电弧。两触点在弧区内产生图 1-6 中所示的磁场。根据左手定则,电弧电流要受到一个指向外侧的力 F 的作用而向外运动,迅速离开触点而熄灭。这种灭弧方法效果较弱,多用于小容量的电器中。

2) 磁吹灭弧

在触点电路中串入一个磁吹线圈,如图 1-7 所示。该线圈产生的磁通经过导磁夹板引向触点周围。在弧柱下方,两个磁通是相加的;而在弧柱上方,两个磁通相减。因此,在下强上弱磁场的作用下,电弧被拉长并吹入灭弧罩中。引弧角与静触点相连接,其作用是引导电弧向上运动,将热量传递给灭弧罩,使电弧冷却熄灭。

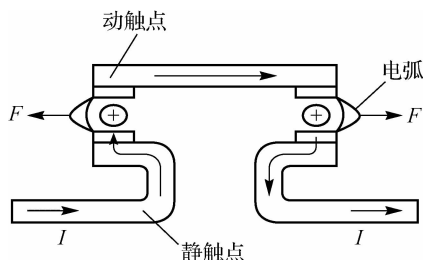


图 1-6 面接触双断口触点系统

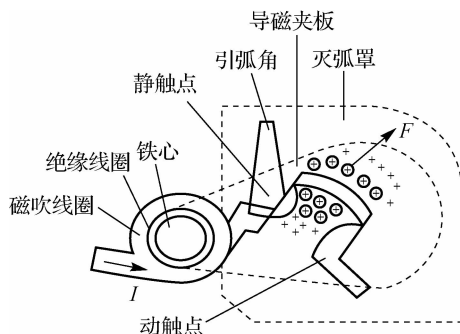


图 1-7 磁吹灭弧装置示意图

由于磁吹线圈串联于主电路中,所以作用于电弧的磁场力随电弧电流的大小而改变,电弧电流越大,灭弧能力越强,而且磁吹力的方向与电流方向无关。所以,磁吹灭弧装置适用于交直流低压电器中。

3) 栅片灭弧

栅片灭弧装置有绝缘栅片与金属栅片两种。前者借助于拉长电弧并使之在与绝缘栅片紧密接触的过程中迅速冷却。后者栅片彼此之间互相绝缘,安装在电器触点上方的灭弧罩内。一旦产生电弧,电弧周围产生磁场,导磁的钢片将电弧吸入栅片,电弧被栅片分割成许多串联的短电弧,而栅片就是这些短电弧的电极。每两片栅片之间都有 150~250 V 的绝缘强度,使整个灭弧栅的绝缘强度大大加强,外加电压无法维持,电弧迅速熄灭,如图 1-8 所示。

除此之外,栅片还能吸收电弧热量,使电弧迅速冷却。基于上述原因,电弧进入栅片后就会很快熄灭。在交流时要比直流时强得多,因此栅片灭弧装置在交流电器中经常采用。

4) 灭弧罩与纵缝灭弧

常采用耐弧的陶土、石棉水泥或耐弧塑料制造灭弧罩。有些灭弧罩还设有狭窄的纵缝,使电弧进入后在与缝壁的紧密接触中被冷却,如图 1-9 所示。这种灭弧方式多用于低压直流接触器。

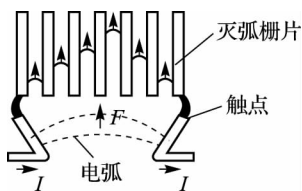


图 1-8 栅片灭弧原理图

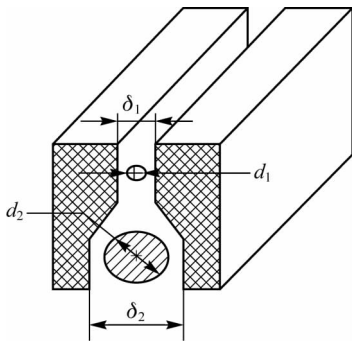


图 1-9 纵缝灭弧装置



知识提升

喷流熄弧法,主要利用压力流弧技术,是灭弧的一种新技术。灭弧罩采用新材料(如 BMC 材料),在电弧高温环境下产生气体和压力喷流,而带有出气口的半封闭灭弧小室,使产生的气体返回出气口,在室内形成压差驱动电弧,喷流熄弧。该方法常与栅片灭弧装置组合使用,如日本富士 SC 系列新型接触器、三菱电机的断路器等。

二、非自动切换电器

生产和生活中的非自动切换电器主要有控制按钮、行程开关、刀开关,分别介绍如下。

1. 控制按钮

控制按钮简称按钮,是最常用的发布命令控制其他电器动作,以及短间接通或断开小电流电路的电器。

1) 按钮的结构与原理

按钮为手动控制电器,可做远距离电气控制使用。以 LA18、LA19 系列按钮为例,其外形与电气符号如图 1-10 所示,其结构如图 1-11 所示。



图 1-10 按钮的外形与电气符号

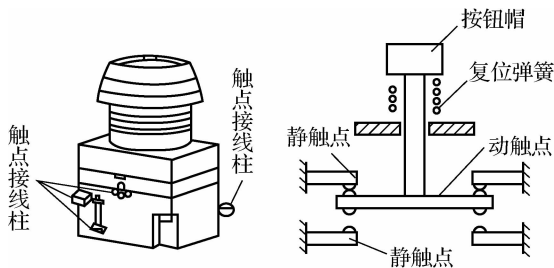


图 1-11 按钮的结构

由于按钮的触点允许通过的电流不超过 5 A,所以不能用按钮直接控制大电流电路,而是由按钮发出命令给其他电器(如接触器、继电器等),再由它们来控制大电流电路。

常态(未施加外力),即按钮帽未受力时,静触点与动触点保持断开的触点称为常开触点,静触点与动触点保持闭合的触点称为常闭触点。

当需要发出指令,有外力施加于按钮帽上时,常闭触点分断,所以常闭触点也称为动断触点;常开触点闭合,所以常开触点也称为动合触点。当外力消失时,触点在复位弹簧的作用下自动复位。

按钮的工作过程如下:按下按钮时,常闭触点先断开,常开触点再闭合;释放按钮时,在复位弹簧的作用下,常开触点先恢复至断开状态,常闭触点再复位。



微课
认识按钮



动画
按钮工作过程

2)按钮的技术参数与型号含义

常用按钮的主要技术参数如下。

(1)额定电压。额定电压是指触点长期正常工作能承受的最大电压。

(2)额定电流。额定电流是指在额定工作条件下触点长期连续工作的允许电流。

按钮的型号含义如图 1-12 所示,常用按钮的主要技术参数见表 1-1。

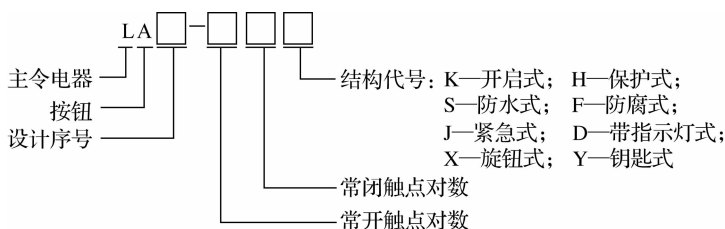


图 1-12 按钮的型号含义

表 1-1 常用按钮的主要技术参数

型 号	额定电压/V	额定电流/A	结构形式	触点対数		按钮颜色
				常 开	常 闭	
LA2	交流:500 直流:400	5	元件	1	1	红、绿、黑
LA10-2K			开启	2	2	红、绿、黑
LA10-3H			保护	3	3	红、绿、黑
LA18-44J			元件(紧急)	4	4	红
LA18-22Y			元件(钥匙)	2	2	本色
LA18-22X			元件(旋钮)	2	2	黑
LA18-11D			元件(带指示灯)	1	1	红、绿、黄

3)按钮的选用

按钮通常用作短时间通、断小电流电路的控制开关。其主要根据使用场合、所需的触点数、触点类型及颜色来选用。



温馨提示

为便于识别各个按钮的作用,避免误操作,通常在按钮帽上做出不同标志或涂以不同颜色,用来表示按钮的不同作用。国标《机械电气安全 机械电气设备 第1部分:通用技术条件》(GB 5226.1—2019)中对按钮的颜色规定如下。

(1)停止和急停按钮:红色,按红色按钮时,使设备断电、停车。

(2)起动按钮:绿色。

(3)点动按钮:黑色。

(4)起动与停止交替按钮:必须是黑色、白色或灰色,不得使用红色和绿色。

(5)复位按钮:必须是蓝色;当其兼有停止作用时,必须是红色。



知识提升

脚踏开关是将脚踏板、弹簧、操作按钮和触点装置组合在一起,通过脚踏板可以直接施加外力到操作按钮上,经过一定行程实现通、断电路的控制开关。脚踏开关的外形与结构如图 1-13 所示,其图形、文字符号与型号含义如图 1-14 所示。

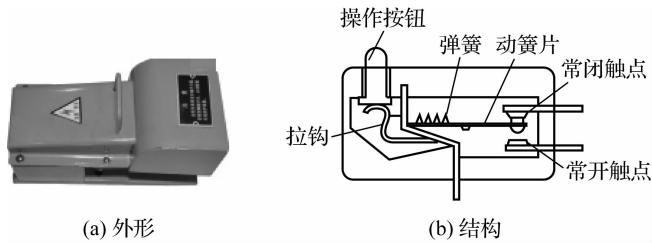


图 1-13 脚踏开关的外形与结构

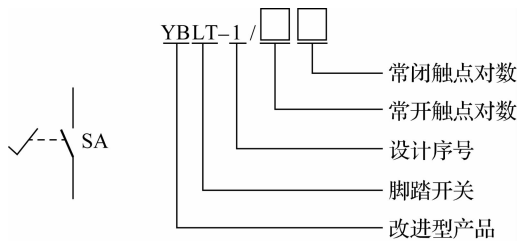


图 1-14 脚踏开关的图形、文字符号与型号含义

2. 行程开关

行程开关又称位置开关或限位开关,是一种利用机械外力的碰触接通或分断小电流电路的电器。

1)行程开关的结构与原理

行程开关在电路中的作用主要是限定运动部件的行程,从结构来看,包括操作机构、触点机构和外壳。

行程开关的种类很多,按其操作机构的不同可以分为直动式、滚动式和微动式,按其触点性质的不同可以分为有触点式和无触点式,按其运动方式的不同可以分为直动式和转动式。行程开关的外形与电气符号如图 1-15 所示,其内部结构如图 1-16 所示。



微课
认识行程开关



图 1-15 行程开关的外形与电气符号

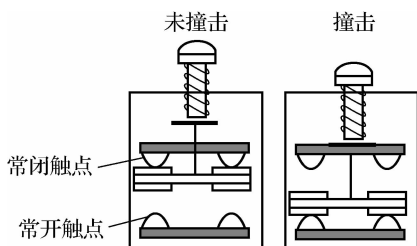


图 1-16 行程开关的内部结构



动画
行程开关工作
过程

本节重点介绍有触点式行程开关。在生产或生活中利用行程开关使运动机械按一定位置或行程自动停止、反向运动、变速运动或自动往返运动等。

行程开关的工作过程如下：碰触时，常闭触点先断开，常开触点再闭合；释放时，在复位弹簧的作用下，常开触点先恢复断开状态，常闭触点再复位。

2)行程开关的技术参数与型号含义

行程开关的主要技术参数如下。

(1)额定电压。额定电压是指触点正常工作能承受的最大电压。

(2)额定电流。额定电流是指在额定工作条件下，触点长期连续工作的允许电流。

行程开关的型号含义如图 1-17 所示，其主要技术参数见表 1-2。

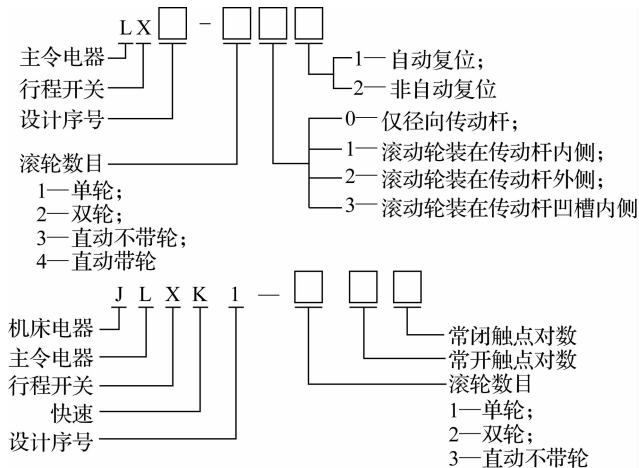


图 1-17 行程开关的型号含义

表 1-2 行程开关的主要技术参数

型 号	额定电压/V	额定电流/A	结构形式	触点对数		工作行程或角度
				常 开	常 闭	
LX19K	交流:380 直流:220	5	元件	1	1	3 mm
LX19-001			无滚轮,传动杆	1	1	4 mm
LXK19-111			单轮(内侧装)	1	1	30°
LX19-131			单轮(外侧装)	1	1	30°
LX19-212			双轮(内侧装)	1	1	30°
LX19-222			双轮(外侧装)	1	1	30°
JLXK1-111	交流:500 直流:220		单轮防护式	1	1	12°~15°
JLXK1-211			双轮防护式	1	1	45°
JLXK1-311			直动防护式	1	1	1~3 mm

3)行程开关的选用

行程开关通常用作生产或生活装置的运动方向、行程大小的位置控制,主要根据使用场合、工作行程或角度、环境条件等来选用。



温馨提示

- (1)行程开关应牢固地安装在设备的安装板或机械本体上。
- (2)行程开关上的触碰挡块、推杆及滚轮的安装位置要与设备控制的行程距离吻合。



知识提升

用于位置控制和限位控制的电器还有接近开关。接近开关是一种利用信号检测实现行程控制的无触点电子开关。

接近开关的结构是内部嵌入了一块电气线路板和必要的电子器件,然后用环氧树脂进行封装,最后通过引线进行连接。常用的接近开关有电感式接近开关、电容式接近开关、磁感应式接近开关、超声波开关、光电开关等,如图 1-18 所示。



图 1-18 接近开关的外形

接近开关分为传感接收、信号处理、驱动输出三部分,形状有方形、圆形、槽形等,其

电气与文字符号如图 1-19 所示。

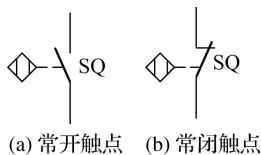


图 1-19 接近开关的电气与文字符号

接近开关主要技术参数的范围一般为：电压 DC 0~30 V，输出电流 100~500 mA，接近距离 0~50 mm，输出形式有 NPN、PNP 型。

接线方式有两线式(棕+、蓝-)、三线式(棕+、蓝-、黑或白)、四线式(棕+、蓝-、黑、白)，三线式接线方式如图 1-20 所示。

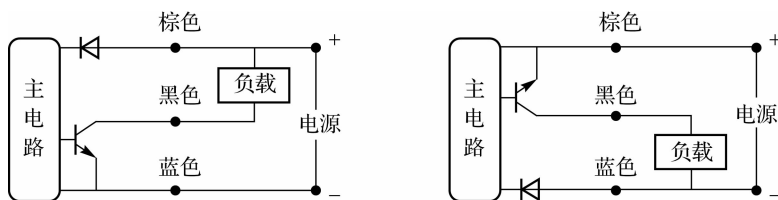


图 1-20 三线式接线方式

3. 刀开关

低压刀开关简称刀开关，是具有明显分断点的常用电气开关，用于实现电路的不频繁分断及切换，以及负载与电源的隔离。

1) 刀开关的结构与原理

刀开关是手动电器中结构最简单且应用最早的低压电器。它由操作手柄、动触点、静触点和绝缘底座等组成。手动推压操作手柄，将动触点插入静触点的弹性夹槽中，电路就被接通。刀开关的外形与结构如图 1-21 所示。

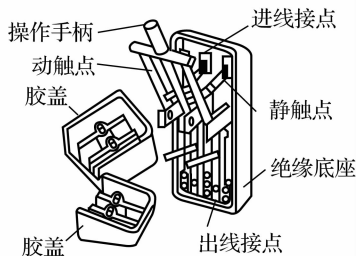


微课

认识刀开关



(a) 外形



(b) 结构



动画

刀开关的结构

图 1-21 刀开关的外形与结构

刀开关种类很多,按操作手柄转换方向可分为单掷和双掷,按结构不同分为封闭式、开启式、熔断器式等,按触点数分为单极、双极和三极。各型刀开关的电气与文字符号如图 1-22 所示。

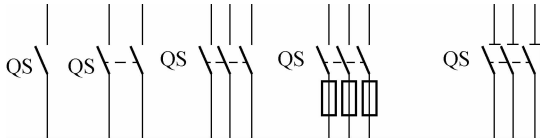


图 1-22 各型刀开关的电气与文字符号

由于刀开关允许通断的操作频次较低,因此主要用在配电电路中作为电源引入的开关通常称为隔离开关。

刀开关开放式的结构决定了它不具备灭弧功能,所以刀开关禁止带负荷操作。

2) 刀开关的技术参数与型号含义

刀开关的主要技术参数如下。

- (1) 额定电压。额定电压是指主触点长期正常工作能承受的最大电压。
- (2) 额定电流。额定电流是指在额定工作条件下,主触点长期连续工作的允许电流。
- (3) 分断能力。分断能力是指设备允许通过的最大工作电流。

刀开关的型号含义如图 1-23 所示,其主要技术参数见表 1-3。

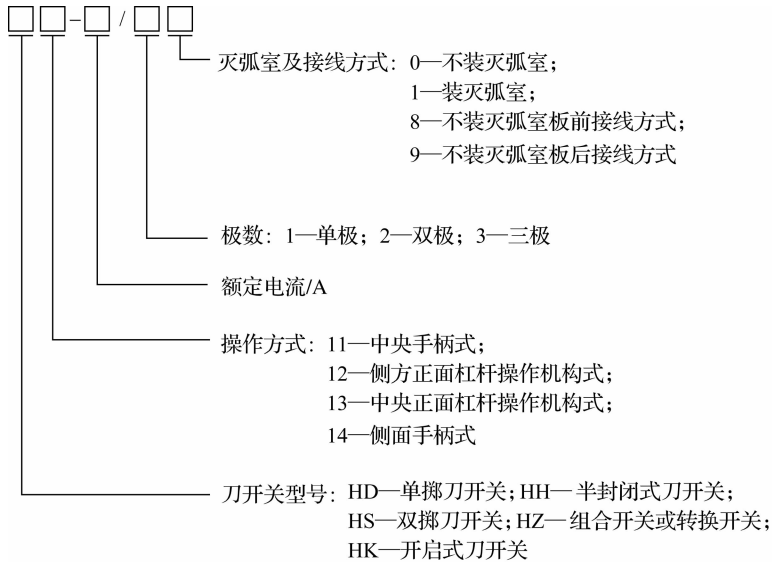


图 1-23 刀开关的型号含义

表 1-3 刀开关的主要技术参数

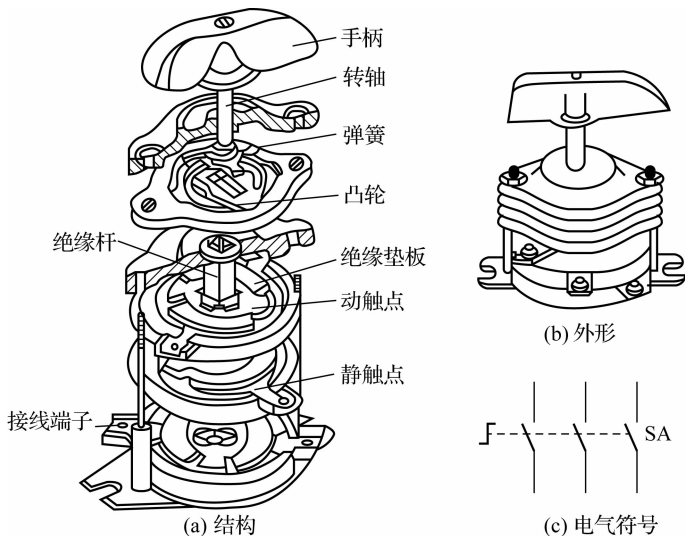
型 号	极 数	额定电压/V	额定电流/A	可控制电动机最大容量/kW	配用熔丝规格		
					铅	锡	锑
HK1-15/2	2	220	15	1.5	98%	1%	1%
HK1-30/2	2	220	30	3			
HK1-60/2	2	220	60	4.5			
HK1-15/3	3	380	15	2.2			
HK1-30/3	3	380	30	4			
HK1-60/3	3	380	60	5.5			

3) 刀开关的选用

选用刀开关时,应使其额定电压大于或等于电路的额定电压,其额定电流大于或等于电路的额定电流。当用刀开关控制电动机时,其额定电流要大于电动机额定电流的2~3倍。

4) 转换开关

转换开关也称组合开关,是刀开关的一种,但是其电气符号为 SA,不同于刀开关的 QS。转换开关是一种多触点、多挡式,可以控制多条回路的电器。常见的转换开关有 HZ10、HZ5 系列,其结构、外形和电气符号如图 1-24 所示。



微课
认识转换开关



动画
HZ 型转换开关的工作过程

图 1-24 转换开关的外形、结构和电气符号

转换开关在电路中的触点状态如图 1-25 所示。图中的虚线表示操作位置,与虚线相交的位置上涂黑点表示触点接通,没有涂黑点表示触点断开。不同操作位置的各对触点的通断状态表示在图中的状态表中(+表示闭合,一表示断开)。

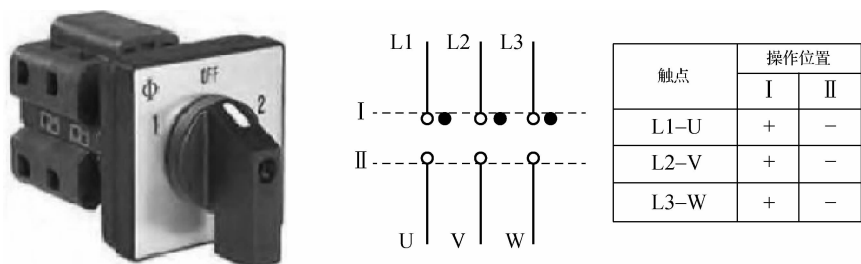


图 1-25 转换开关在电路中的触点状态

转换开关主要用作电源引入开关,或用于控制 5 kW 以下小容量电动机的直接起动、停止。应根据电源的种类、电压等级、所需触点数及电动机的容量选用转换开关,其额定电流应取电动机额定电流的 1.5~2 倍。

电灯开关是最简单的转换开关。转换开关与按钮都可以实现通断电路,但是转换开关通过外力转换挡位后,即使外力撤销,触点动作也保持状态不变。



温馨提示

(1)刀开关安装时,手柄要向上,不得倒装或平装,避免刀开关手柄由于重力自动下落而引起无动作合闸。

(2)接线时,电源线接在刀开关的上端触点,负载线接在刀开关的下端触点。



知识提升

1. 铁壳开关

铁壳开关又称半封闭负荷开关,常用的 HH 系列铁壳开关的外形、结构与型号含义如图 1-26 所示。

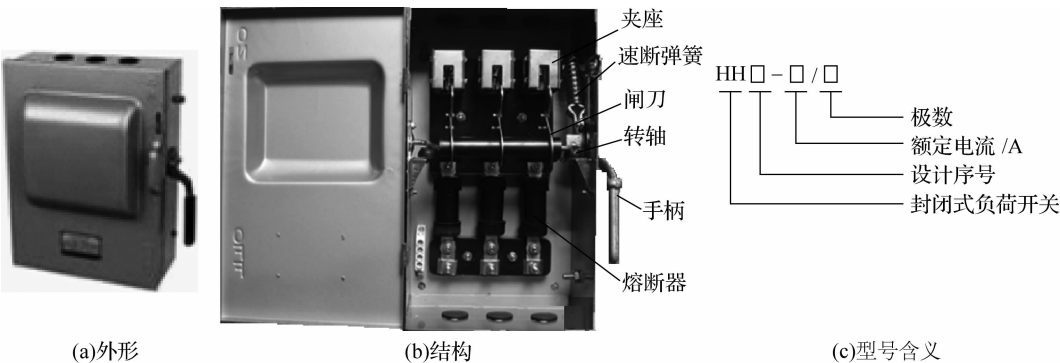


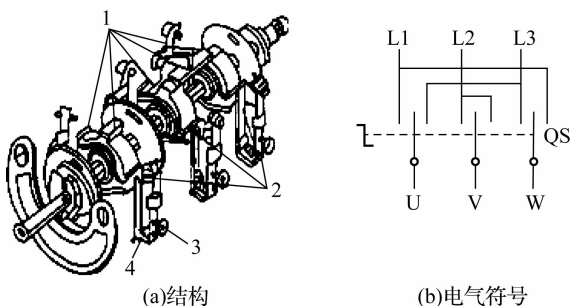
图 1-26 HH 系列铁壳开关的外形、结构与型号含义

选择铁壳开关时,应使其额定电压等于或大于电路的额定电压,额定电流等于或大于电路的额定电流;控制电动机时,其额定电流应为电动机额定电流的 2 倍。

使用时注意,铁壳开关的外壳应该可靠接地,防止壳体漏电;接线时电源进线在静触点的接线端子,负载接在熔断器一侧。

2. 倒顺开关

倒顺开关又称可逆转换开关,通过改变电源相序控制电动机的正反转及停止,其结构与电气符号如图 1-27 所示,控制过程如图 1-28 所示。



1—定位机构; 2—带动触点的鼓轮; 3—静触点; 4—带静触点的基座。

图 1-27 倒顺开关的结构与电气符号

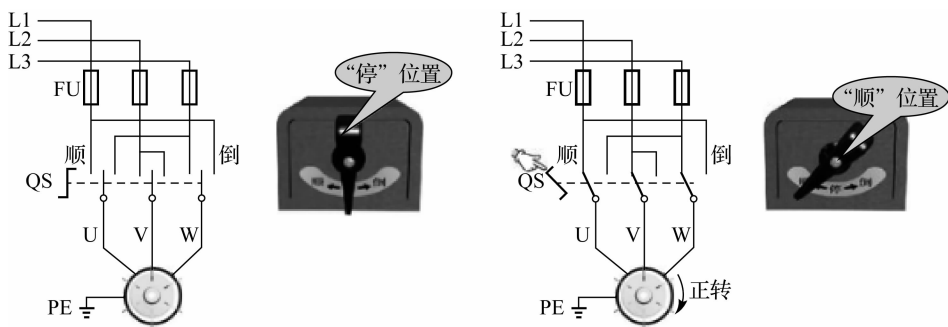


图 1-28 倒顺开关的控制过程

三、自动切换电器

依靠电器感测部件的参数或信号变化而自动执行接通或分断电路的电器主要有低压断路器、熔断器、接触器、继电器等。

1. 低压断路器

低压断路器又称自动空气开关或自动空气断路器,可用来分配电能、不频繁地起动异步电动机,是低压系统中常用的一种配电电器,集控制和多种保护功能于一体。

低压断路器在电路中的作用是实现电路的短路、过载、欠压和失压保护。低压断路器的外形与电气符号如图 1-29 所示。



图 1-29 低压断路器的外形与电气符号

1) 低压断路器的结构与工作原理

低压断路器主要由三部分组成:触点和灭弧装置,各种脱扣器(包括电磁脱扣器、欠压脱扣器、热脱扣器),操作机构和自由脱扣机构(包括锁扣和搭钩),如图 1-30 所示。低压断路器的按钮和触点接线柱分别引出壳外,其余各组成部分均在壳内。

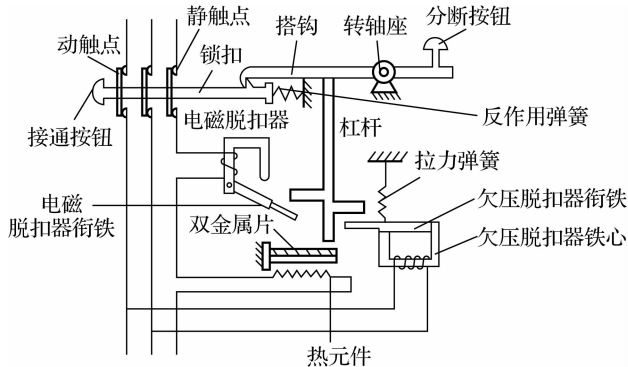


图 1-30 低压断路器的结构

低压断路器在使用时,接通按钮闭合后,动、静触点闭合,搭钩被锁扣钩住,将触点保持在闭合状态。发热元件与主电路串联,有电流流过时发出热量,使热脱扣器向上弯曲,发生过载时,热脱扣器弯曲通过杠杆将搭钩推离锁扣,动、静触点受反作用弹簧的作用而迅速分开。电磁脱扣器有一个匝数很少的线圈与主电路串联,发生短路时,电磁脱扣器衔铁被吸引,从而向上推动杠杆,将搭钩推离锁扣,最后也使触点断开。欠压脱扣器有欠压保护功能,这样断路器在电路发生过载、短路和欠压时起到保护作用。

如果要求手动分断,按下分断按钮就可使触点断开。当低压断路器由于过载而断开后,应等待 2~3 min 再重新合闸,以保证热脱扣器回复原位。

2) 低压断路器的技术数据与型号含义

- (1) 额定电压。额定电压是指断路器的最大工作电压。
- (2) 额定电流。额定电流一般是指断路器的额定持续电流。
- (3) 通断能力。通断能力是指在规定条件下接通和分断的最大电流值,也称额定短路通断能力。



微课
认识 低压断
路器



动画
DZ 系列断路
器工作过程

(4)分断时间。分断时间是指切断故障电流所需的时间,包括固有的断开时间和燃弧时间。

低压断路器的型号含义如图 1-31 所示,DZ20 系列塑壳式低压断路器的主要技术数据见表 1-4。

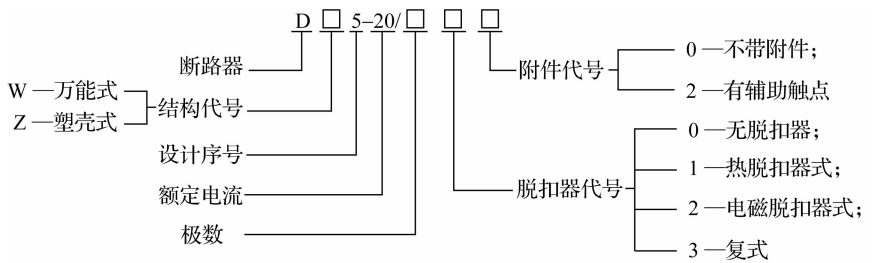


图 1-31 低压断路器的型号含义

表 1-4 DZ20 系列塑壳式低压断路器的主要技术数据

型 号	额定电压/V	断路器额定电流 I_N /A	瞬时脱扣器整定电流倍数
DZ20Y-100	交流 220、380	16、20、25、32、40、50、63、80、100	配电用 $10I_N$ 保护电动机用 $12I_N$
DZ20J-100			
DZ20G-100			
DZ20Y-225		100、125、160、180、200、225	配电用 $5I_N$ 、 $10I_N$ 保护电动机用 $12I_N$
DZ20J-225			
DZ20G-225			
DZ20Y-400		250、315、400	配电用 $10I_N$ 保护电动机用 $12I_N$
DZ20J-400			
DZ20G-400		400、500、630	配电用 $5I_N$ 、 $10I_N$
DZ20Y-630			
DZ20J-630			

3) 低压断路器的选择

(1) 低压断路器的额定电压和额定电流应大于或等于线路、设备的正常工作电压和工作电流。

(2) 低压断路器的极限通断能力应大于或等于线路最大短路电流。

(3) 低压断路器的欠电压脱扣器额定电压应等于线路额定电压。

(4) 低压断路器的过电流脱扣器额定电流应大于或等于线路的最大负载电流。



温馨提示

(1) 低压断路器的电流分为额定电流和电磁脱扣器电流,电磁脱扣器电流小于或等

于额定电流。

(2)正常时的工作电流应该小于或等于电磁脱扣器电流。如果工作电流大于电磁脱扣器电流,则称为过载。

(3)安装了三极低压断路器的电路中只要发生短路,都会使断路器跳闸,分断三相电路。



知识提升

漏电保护断路器通常称为漏电开关,是一种安全保护电器,其在线路或设备出现对地漏电或人身触电时迅速自动断开电路,能有效地保证人身和线路的安全。常用的漏电保护断路器的外形与电气符号如图 1-32 所示。

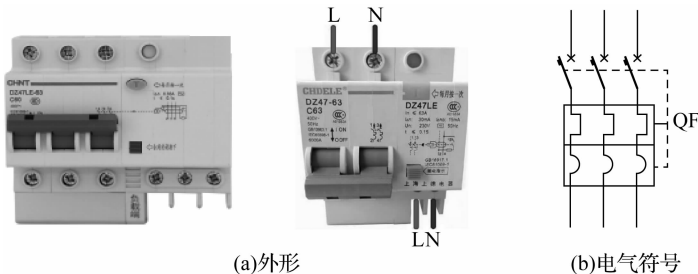


图 1-32 常用的漏电保护断路器的外形与电气符号

1. 结构与原理

漏电保护断路器主要由零序电流互感器(TA)、漏电脱扣器(WS)、试验按钮(SB)、操作机构和外壳等组成,如图 1-33 所示。

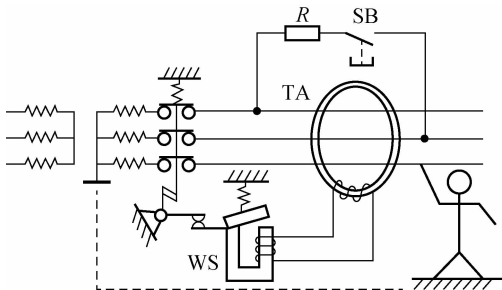


图 1-33 漏电保护断路器的结构

在电路正常工作时,无论三相负载电流是否平衡,通过零序电流互感器一次侧的三相电流相量和为零,二次侧没有电流。

当出现漏电和人身触电时,漏电或触电电流将经过大地流回电源的中性点,因此零序电流互感器一次侧三相电流的相量和不为零,二次侧会感应出电流,此电流使漏电脱扣器线圈动作,则低压断路器分闸,从而切断了主电路,保障了人身安全。

2. 选择

选择漏电保护断路器时,应参照普通低压断路器。

3. 注意事项

为了经常检测漏电保护断路器的可靠性,断路器上设有试验按钮,与一个限流电阻(R)串联后跨接于两相线路上。当电源接入后,连续按压试验按钮,漏电保护断路器应立即分闸,这样才能说明该断路器的保护功能良好。

2. 熔断器

熔断器广泛用于供电线路和电气设备中,是一种简单、有效的在短路和严重过载时起保护作用的保护电器。其种类很多,常用的有螺旋式、瓷插式、封闭式、快速熔断式等。熔断器的外形与电气符号如图 1-34 所示。



图 1-34 熔断器的外形与电气符号

1) 熔断器的结构与工作原理

熔断器主要由熔体和熔座两部分组成,其结构如图 1-35 所示。熔体由低熔点的金属材料(铅、锡、锌、银、铜及其合金)制成丝状或片状,俗称保险丝。工作中,熔体串接于被保护电路,既是感测元件,又是执行元件。

熔座(或熔管)是由陶瓷、硬质纤维制成的管状外壳。熔座的作用主要是便于熔体的安装并作为熔体的外壳,在熔体熔断时兼有灭弧的作用。

当电路发生短路或严重过载故障时,通过熔体的电流使熔体发热,当达到熔点时,熔体自行熔断,从而分断故障电路,起到保护作用。

2) 熔断器的技术参数与型号含义

(1)熔断器额定电压。熔断器额定电压是指熔断器长期工作时和分断后能够承受的电压,其值一般大于或等于电气设备的额定电压。

(2)熔体额定电流。熔体额定电流是指熔体长期通过而不会熔断的电流。

(3)熔断器额定电流。熔断器额定电流是指熔断器长期工作时,设备部件温升不超过规定值所能承受的电流。熔体额定电流不得超过熔断器额定电流。



微课
认识熔断器