

高等院校信息技术规划教材

工厂电气控制技术

程寿国 丁如春 主 编



清华大学出版社

高等院校信息技术规划教材

工厂电气控制技术

程寿国 丁如春 主 编
吴鹰 刘小蕾 龚运新 副主编



清华大学出版社
北京

内 容 简 介

本书以工程项目的形式介绍常用低压电器识别与维修、交流电动机、直流电动机、变压器、控制电机、单相异步电动机、设计和绘制电气控制线路图、典型生产机械结构及电气控制系统。本书在编写过程中打破传统教材的编写模式,采用理论—仿真—实做方式编写,首次将仿真软件 Multisim 10 编入教材,引入教学过程,使学习过程形象直观,易学易懂,教学内容由浅入深、循序渐进,理论内容以“必需、够用”为度,强调基本技能的训练,以增强学生的实践动手能力,达到培养学生职业能力的目的。

本书可作为高职高专电气信息等专业的教学用书,也可供从事电气控制方面工作的工程技术人员参考。

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

工厂电气控制技术/程寿国,丁如春主编. —北京:清华大学出版社,2015

高等院校信息技术规划教材

ISBN 978-7-302-40501-6

I. ①工… II. ①程… ②丁… III. ①工厂—电气控制—高等学校—教材 IV. ①TM571.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2015)第 136989 号

责任编辑:袁勤勇 王冰飞

封面设计:常雪影

责任校对:白 蕾

责任印制:杨 艳

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

课件下载: <http://www.tup.com.cn>, 010-62795954

印 刷 者:北京富博印刷有限公司

装 订 者:北京市密云县京文制本装订厂

经 销:全国新华书店

开 本:185mm×260mm 印 张:21.25

字 数:488 千字

版 次:2015 年 10 月第 1 版

印 次:2015 年 10 月第 1 次印刷

印 数:1~2000

定 价:44.50 元

产品编号:063909-01

前言

foreword

随着科学技术的飞速发展,工厂电气控制技术发生了巨大的变化,新器件、新理论不断涌现,使电气控制更加精确、稳定。本书首次将仿真软件 Multisim 10 编入教材,引入教学过程,使学习过程形象直观,易学易懂。为了培养面向生产第一线的实用型、技能型人才的需要,编者根据多年的教学实践和职业技能培训经验编写了本书。

本书立足高职高专教育培养目标,遵循社会经济与企业发展需求,突出职业岗位应用性和针对性的职业教育特色,注重实践能力与创业能力的培养。本书编写以国家电工技能鉴定标准为依据,理论知识以“必需、够用”为度,加强实践技能的培养,重点突出电工基本技能,培养读者分析与解决实际问题的能力。本书内容的组织由浅入深、循序渐进、层次分明,以工程项目为教学主线,将知识点与技能训练融入各项目中,符合教育部关于职业教育工学相结合的要求。本书在编写过程中打破传统教材的编写模式,采用理论—仿真—实做方式编写,符合应用技能学习规律,教学容易实施。

项目 1 从应用角度出发,在介绍各种电器基本原理的情况下,重点介绍了各种低压电器的作用、应用场合、主要技术参数、国产和进口产品型号以及选择、整定、使用与维护方法。

项目 2 重点介绍组成电器控制线路的基本规律以及现场中使用较多的交流电动机的典型启动、制动。

项目 3 讲述直流电动机的原理及控制调速技术。

项目 4 讲述变压器的原理及结构。

项目 5 讲述各种控制电机的原理及结构,主要有伺服电机、步进电机和测速电机。

项目 6 讲述单相异步电动机的结构、原理及调速方法。

项目 7 讲述电气控制电路图的绘制方法,包括电气原理图的设计、电器布置图的设计、安装接线图的设计、参数计算与元器件的选择以及电控柜安装的一般步骤与方法、系统调试方法等。

项目 8 较详细地介绍工业现场中电器控制线路的分析以及自动

控制系统的设计方法,作为应用,选择了5种典型的生产机械进行分析、设计,包括车床、铣床、磨床、镗床和钻床。

本书适用于高职高专机电一体化、机械设备自动化、电气自动化、生产过程自动化及其他相关专业,也可作为相关工程技术人员的参考书和自学教材。本课程参考教学时数为90学时。

本书由无锡江阴职业技术学院程寿国、无锡科技职业学院龚运新、鄂东职业技术学院机电工程系丁如春担任主编,负责内容的组织与统稿工作;由湖北麻城市职业技术教育集团吴鹰、无锡中智职业培训学校刘小蕾担任副主编。

由于编者水平有限,书中难免有疏漏与错误之处,恳请广大读者批评指正。

编者

2015年5月

目录

Contents

项目 1 常用低压电器识别与维修	1
1.1 配电电器	1
1.2 控制电器	10
1.2.1 主令电器	11
1.2.2 主令控制器	15
1.3 器件仿真	29
1.3.1 器件查找及放置方法	29
1.3.2 器件使用方法研究	32
思考与练习	35
项目 2 交流电动机	36
2.1 三相异步电动机的基本结构和工作原理	37
2.1.1 三相异步电动机的基本结构	37
2.1.2 三相异步电动机的工作原理	41
2.1.3 异步电动机的铭牌	46
2.2 三相异步电动机的运行特性	48
2.3 三相异步电动机控制线路	51
2.3.1 三相异步电动机启动控制线路	52
2.3.2 降压启动控制线路	61
2.3.3 调速控制线路	64
2.3.4 制动控制线路	69
2.4 三相异步电动机的保护和拆装	76
2.4.1 三相异步电动机的保护	77
2.4.2 三相异步电动机的拆装	79
2.4.3 异步电动机的检修	87
2.5 三相异步电动机控制仿真	89
2.6 三相异步电动机拆装实践	94

思考与练习	96
项目3 直流电动机	97
3.1 直流电动机的工作原理与结构	97
3.1.1 直流电动机的基本工作原理	97
3.1.2 直流电动机的基本结构	100
3.1.3 直流电动机的铭牌	102
3.2 直流电动机的电枢绕组	103
3.2.1 直流电动机电枢绕组的基本知识	103
3.2.2 单叠绕组	105
3.3 直流电动机的电枢反应	108
3.3.1 主磁场和电枢磁场	109
3.3.2 发电机的电枢反应	111
3.3.3 电动机的电枢反应	112
3.4 直流电动机的换向	113
3.4.1 直流电动机换向的物理过程	113
3.4.2 改善换向的主要方法	116
3.5 直流电动机的电枢电动势与电磁转矩	118
3.5.1 直流电动机的电枢电动势	118
3.5.2 直流电动机的电磁转矩	119
3.6 直流发电机	121
3.6.1 直流发电机的励磁方式	121
3.6.2 直流发电机的基本方程式	122
3.6.3 直流发电机的运行特性	124
3.7 电力拖动系统的动力学基础	127
3.7.1 单轴电力拖动系统的运动方程式	127
3.7.2 多轴电力拖动系统工作机构转矩和飞轮矩的折算	129
3.7.3 生产机械的负载特性	132
3.8 他励直流电动机的机械特性	134
3.8.1 机械特性方程	134
3.8.2 固有机械特性和人为机械特性	135
3.8.3 电力拖动系统稳定运行条件	141
3.9 直流电动机的启动	143
3.9.1 电枢电路串电阻启动	143
3.9.2 降压启动	146
3.10 他励直流电动机的调速	146
3.10.1 评价调速方法的主要指标	147
3.10.2 调速方法	148

3.10.3 调速方式与负载类型的配合	153
3.11 直流电动机的反转和制动	155
3.11.1 直流电动机的反转	155
3.11.2 直流电动机的制动	156
3.12 直流电动机仿真	164
思考与练习	170
项目 4 变压器	171
4.1 变压器的基本工作原理和结构	172
4.1.1 变压器的基本工作原理及分类	172
4.1.2 变压器的基本结构	173
4.1.3 变压器的铭牌	177
4.2 单相变压器的空载运行	178
4.2.1 空载运行时的电磁关系	178
4.2.2 空载电流和空载损耗	180
4.2.3 空载时的电动势方程式、等效电路和相量图	182
4.3 单相变压器的负载运行	185
4.3.1 负载运行时的电磁关系	185
4.3.2 负载运行时的基本方程式	186
4.3.3 变压器的等效电路及相量图	188
4.4 变压器参数的测定	193
4.4.1 空载试验	193
4.4.2 短路试验	194
4.4.3 标么值	197
4.5 变压器的运行特性	199
4.5.1 变压器的外特性与电压变化率	200
4.5.2 变压器的损耗、效率和效率特性	201
4.6 三相变压器	203
4.6.1 三相变压器的磁路系统	204
4.6.2 三相变压器的电路系统	205
4.6.3 磁路系统和绕组连接方式对电动势波形的影响	209
4.7 变压器的并联运行	212
4.7.1 并联运行的理想条件	212
4.7.2 并联条件不满足时的运行分析	213
4.8 其他用途的变压器	215
4.8.1 自耦变压器	215
4.8.2 仪用互感器	218
4.9 变压器仿真	221

4.10 变压器制作	223
思考与练习	224
项目 5 控制电机	226
5.1 伺服电动机	226
5.1.1 直流伺服电动机	227
5.1.2 交流伺服电动机	228
5.2 步进电动机	233
5.2.1 步进电动机的工作原理	233
5.2.2 步进电动机的运行特性	236
5.2.3 步进电动机的驱动电源	239
5.2.4 步进电动机的应用	239
5.3 测速发电机	239
5.3.1 直流测速发电机	240
5.3.2 交流测速发电机	241
5.4 自整角机	244
5.4.1 控制式自整角机	245
5.4.2 力矩式自整角机	248
5.4.3 自整角机的应用	250
5.5 旋转变压器	251
5.5.1 正余弦旋转变压器	251
5.5.2 线性旋转变压器	255
5.5.3 旋转变压器的应用	256
思考与练习	257
项目 6 单相异步电动机	258
6.1 单相异步电动机的结构	258
6.2 单相异步电动机的基本类型	259
6.3 单相异步电动机的工作原理	260
6.4 单相异步电动机的启动方式	264
6.5 单相异步电动机的调速方法	265
6.6 单相异步电动机仿真	266
思考与练习	271
项目 7 设计和绘制电气控制线路图	272
7.1 电动机基本控制线路图的绘制	272
7.2 电气线路图的基本知识	277

思考与练习	294
项目 8 典型生产机械结构及电气控制系统	295
8.1 C650 普通卧式车床的结构及控制	295
8.2 X62W 型卧式万能铣床的结构及控制	302
8.2.1 X62W 万能铣床的主要结构	302
8.2.2 X62W 万能铣床的电气控制线路分析	303
8.3 M7130 平面磨床的结构及控制	310
8.3.1 M7130 平面磨床的主要结构	310
8.3.2 控制电路及其工作原理	312
8.4 T68 型卧式镗床的结构及控制	315
8.5 Z3040 摇臂钻床的结构及控制	320
8.5.1 Z3040 摇臂钻床的结构	320
8.5.2 电气控制系统	322
8.6 两种机床仿真	326
思考与练习	327

项目 1

chapter 1

常用低压电器识别与维修

1. 项目任务

掌握熔断器、按钮、交流接触器、热继电器等常用低压电器的识别、拆装；学会 Multisim 10 仿真软件的使用方法。

2. 项目分析

本项目主要介绍常用低压电器的结构、型号、参数、工作原理和选用，为以后进行电气控制线路的设计做好准备。

3. 项目实施

网上搜索器件生产厂家，下载复制结构图，掌握工作原理，到器件市场查看实物，购买实物（旧货）或使用损坏器件，测试实物，拆装实物。

4. 相关知识点

低压电器通常是指在交流额定电压 1200V 及以下、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产品。

低压电器的种类很多，分类方法也很多。按操作方式可分为手动切换电器和自动切换电器；前者主要是用手直接操作来进行切换；后者是依靠本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。按用途可分为低压配电电器和低压控制电器两大类。低压配电电器是指正常或事故状态下接通和断开用电设备和供电电网所用的电器，低压控制电器是指电动机完成生产机械要求的启动、调速、反转和停止所用的电器。

本项目主要介绍熔断器、低压开关、主令电器、接触器和继电器等在电力拖动自动控制系统中常用的低压电器。

1.1 配电电器

配电电器是主要用于电能输送和分配的电器。常用的低压配电电器包括开关电器和保护电器等，如熔断器、刀开关、组合开关和低压断路器等。

1. 熔断器

熔断器是在控制系统中主要用作短路和过载保护的电器,使用时串联在被保护的电路中,当电路发生短路故障,通过熔断器的电流达到或超过某一规定值时,以其自身产生的热量使熔体熔断,从而自动分断电路,起到保护作用。

1) 熔断器的结构

熔断器主要由熔体(俗称熔丝)和安装熔体的熔管(或熔座)两部分组成。熔体由铅、锡、锌、银、铜及其合金制成,常做成丝状、片状或栅状。熔管是装熔体的外壳,由陶瓷、绝缘钢制成,在熔体熔断时兼有灭弧作用,熔断器外形及其图形符号和文字符号如图 1.1.1 所示。

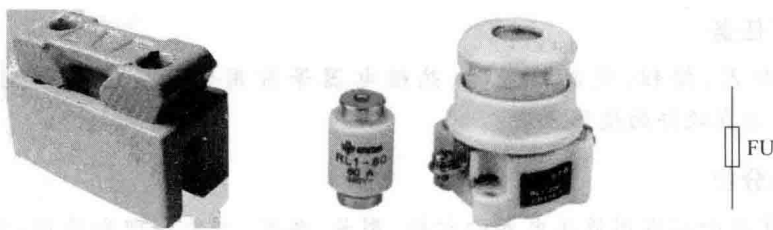


图 1.1.1 熔断器外形及其图形符号和文字符号

2) 熔断器的种类与型号

熔断器按结构形式分为半封闭瓷插式、无填料封闭管式、有填料封闭管式、螺旋式、自复式熔断器等。其中有填料封闭管式熔断器又分为刀形触点熔断器、螺栓连接熔断器和圆筒形帽熔断器。熔断器型号说明如图 1.1.2 所示。

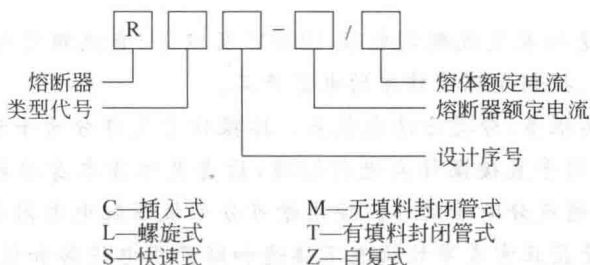


图 1.1.2 熔断器型号说明

常用熔断器型号有 RL1、RT0、RT15、RT16(NT)、RT18 等,在选用时可根据使用场合酌情选择,实物如图 1.1.3 所示。

3) 熔断器的主要技术参数

(1) 额定电压:指能保证熔断器长期正常工作的电压。若熔断器的实际工作电压大于其额定电压,熔体熔断就可能发生电弧不能熄灭的危险。

(2) 额定电流:指保证熔断器在长期工作制下,各部件温升不超过极限允许温升所能承载的电流值。它与熔体的额定电流是两个不同的概念,熔体的额定电流是指在规定工作条件下,长时间通过熔体而熔体不熔断的最大电流值。通常一个额定电流等级的熔



图 1.1.3 常用熔断器

熔断器可以配用若干个额定电流等级的熔体,但熔体的额定电流不能大于熔断器的额定电流值。

(3) 分断能力:指熔断器在规定的使用条件下,能可靠分断的最大短路电流值。通常用极限分断电流值来表示。

(4) 时间-电流特性:又称为保护特性或安秒特性,表示熔断器的熔断时间与流过熔体电流的关系。一般熔断器的时间—电流特性如图 1.1.4 所示。熔断器的熔断时间随着电流的增大而减少。

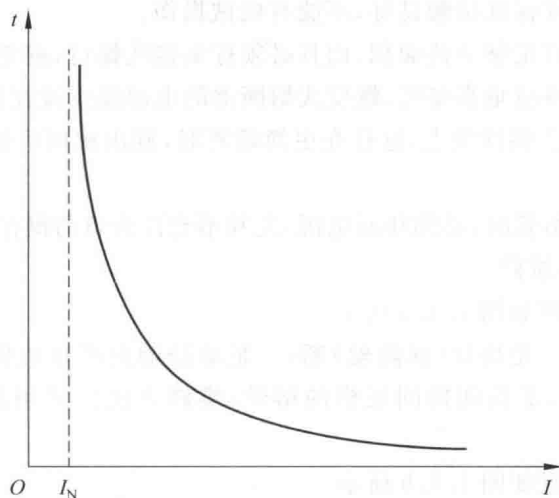


图 1.1.4 熔断器的时间—电流特性

4) 熔断器的选用

熔断器和熔体只有经过正确的选择,才能起到应有的保护作用。选择基本原则如下:

(1) 根据使用场合确定熔断器的类型。例如,对于容量较小的照明线路或电动机的保护,宜采用 RC1A 系列插入式熔断器或 RM10 系列无填料密闭管式熔断器;对于短路电流较大的电路或有易燃气体的场合,宜采用具有高分断能力 RL 系列螺旋式熔断器或 RT(包括低压高分断能力熔断器 NT)系列有填料封闭管式熔断器;对于保护硅整流器件及晶闸管的场合,应采用快速熔断器(RLS 或 RS 系列)。

(2) 熔断器的额定电压必须等于或高于线路的额定电压。额定电流必须等于或大于所装熔体的额定电流。

(3) 熔体额定电流的选择应根据实际使用情况按以下原则进行计算:

对于照明、电热设备等电流较平稳、无冲击电流的负载短路保护,熔体的额定电流应等于或稍大于负载的额定电流。对一台不经常启动且启动时间不长的电动机的短路保护,熔体的额定电流 I_{RN} 应大于或等于 1.5~2.5 倍电动机额定电流 I_N 。即 $I_{RN} \geq (1.5 \sim 2.5) I_N$ 对于频繁启动或启动时间较长的电动机,其系数应增加到 3~3.5,即 $I_{RN} \geq (3 \sim 3.5) I_N$ 对多台电动机的短路保护,熔体的额定电流应等于或大于其中最大容量电动机的额定电流 I_{Nmax} 的 1.5~2.5 倍,再加上其余电动机额定电流的总和 $\sum I_N$,即 $I_{RN} \geq (1.5 \sim 2.5) I_{Nmax} + \sum I_N$ 。

(4) 熔断器的分断能力应大于电路中可能出现的最大短路电流。

5) 熔断器的安装与使用

(1) 安装熔断器除保证足够的电气距离外,还应保证足够的间距,以保证拆卸、更换熔体方便。

(2) 安装前应检查熔断器的型号、额定电压、额定电流和额定分断能力等参数是否符合规定要求。

(3) 安装熔体必须保证接触良好,不能有机机械损伤。

(4) 安装引线要有足够的截面积,而且必须拧紧接线螺钉,避免接触不良。

(5) 插入式熔断器应垂直安装,螺旋式熔断器的电源线应接在瓷底座的下接线座上,负载线接在螺纹壳的上接线座上,这样在更换熔管时,旋出螺帽后螺纹壳上不带电,保证了操作者的安全。

(6) 更换熔体或熔管时,必须切断电源,尤其不允许带负荷操作,以免发生电弧灼伤。

6) 熔断器分解与维修

插入式熔断器分解如图 1.1.5 所示。

熔断器常见故障一是熔丝(保险丝)断;二是动静触点严重氧化,造成接触不良。维修方法一是拔下瓷盖,重新加接同规格的熔丝;维修方法二是用刮刀(或砂布)去除氧化层。

螺旋式熔断器分解如图 1.1.6 所示。

熔断器常见故障一是熔管(保险丝)不导通(内部烧断);二是瓷管两端触点严重氧化,造成接触不良。维修方法一是拧下瓷帽,重新加接同规格的熔管;维修方法二是用刮

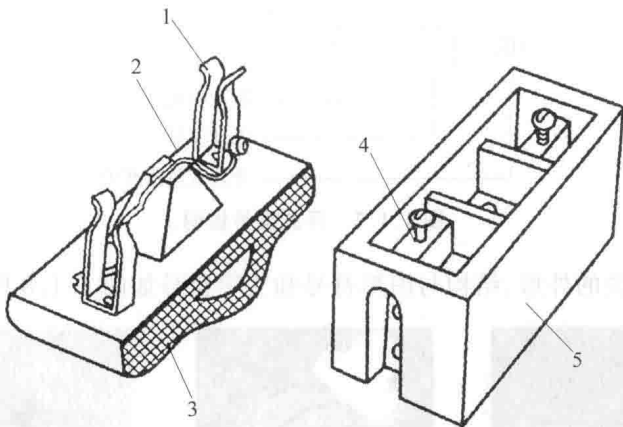


图 1.1.5 插入式熔断器分解
1—动触点;2—熔丝;3—瓷盖;4—静触点;5—瓷座

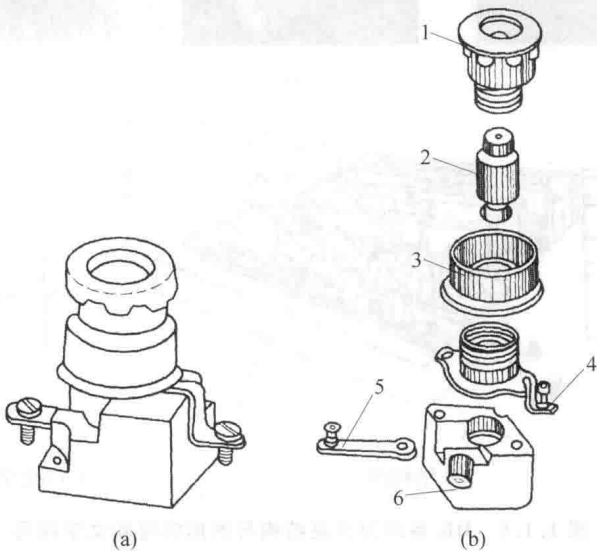


图 1.1.6 螺旋式熔断器分解
1—瓷帽;2—熔管;3—瓷套;4—上接线端;5—下接线端;6—底座

刀(或砂布)去除氧化层。

2. 刀开关

1) 刀开关的分类

刀开关的种类很多,最常用的是由刀开关和熔断器组合而成的负荷开关。负荷开关分为开启式(HK 系列)和封闭式(HH 系列)两种。

开启式负荷开关又称为闸刀开关,适用于额定工作电压三相 380V、单相 220V、额定工作电流至 100A、频率 50Hz 的交流电路中,在照明、电热设备和小容量电动机等控制线路中,供手动不频繁地接通和分断电路,并起短路和过载保护作用。常用的型号为 HK1、HK2 系列,其型号含义说明如图 1.1.7 所示。

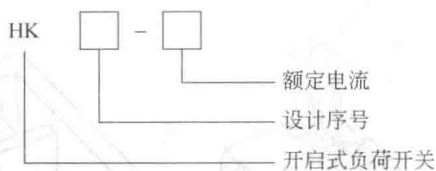


图 1.1.7 开关型号说明

HK 系列刀开关的外形、结构与图形符号和文字符号如图 1.1.8 所示。

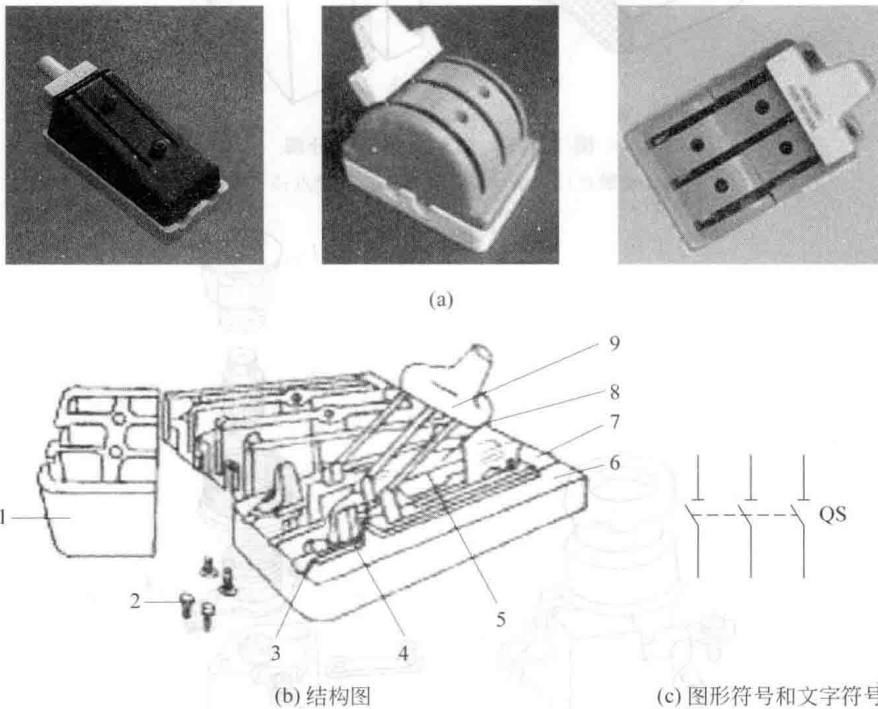


图 1.1.8 HK 系列刀开关结构与图形符号和文字符号

1—胶盖;2—胶盖固定螺钉;3—过线槽;4—静触点;5—熔丝;6—磁底;7—出线槽;8—动触点;9—磁柄

封闭式负荷开关又称为铁壳开关,适用于额定工作电压 380V、额定工作电流至 400A、频率 50Hz 的交流电路中,可作为手动不频繁地接通和分断有负载的电路,并有过载和短路保护作用。常用的型号为 HH3、HH4 系列,如图 1.1.9 所示。



图 1.1.9 HH3、HH4 系列封闭式负荷开关

选用刀开关时首先根据刀开关的用途和安装位置选择合适的型号和操作方式,然后根据控制对象的类型和大小,计算出相应负载电流大小,选择相应级额定电流的刀开关。刀开关的额定电压应等于或大于电路额定电压。其额定电流应等于(在开启和通风良好的场合)或稍大于(在封闭的开关柜内或散热条件较差的工作场合,一般选 1.15 倍)电路工作电流。在开关柜内使用还应考虑操作方式,如杠杆操作机构、旋转式操作机构等。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 3 倍。刀开关在安装时必须垂直安装,使闭合操作时的手柄操作方向应从下向上合,不允许平装或倒装,以防误合闸;电源进线应接在静触点一边的进线座,负载接在动触点一边的出线座;在分闸和合闸操作时,应动作迅速,使电弧尽快熄灭。

2) 刀开关的结构及维修

刀开关结构如图 1.1.8(b)所示。刀开关常见故障一是熔丝(保险丝)烧断;二是刀与触点严重氧化,造成接触不良。维修方法一是拧下瓷帽,重新加接同规格的熔丝,维修方法二是用刮刀(或砂布)去除氧化层。

3. 组合开关

1) 组合开关的分类

组合开关又称为转换开关,它体积小,触点对数多,接线方式灵活,操作方便,常用于交流 50Hz、380V 以下及直流 220V 以下的电气线路中,供手动不频繁地接通和断开电路、换接电源和负载,以及 5kW 以下小容量异步电动机的启停和运转。组合开关有单极、双极和三极之分,由若干个动触点与静触点分别装在数层绝缘件内组成,动触点随手柄旋转而变更其通断位置。常用的组合开关有 HZ10 系列,组合开关型号说明如图 1.1.10 所示。

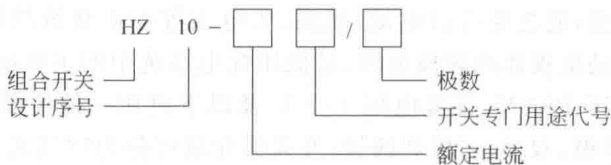


图 1.1.10 组合开关型号说明

HZ 系列组合开关的外形如图 1.1.11 所示。还有各种各样的组合开关,请到网上搜索。

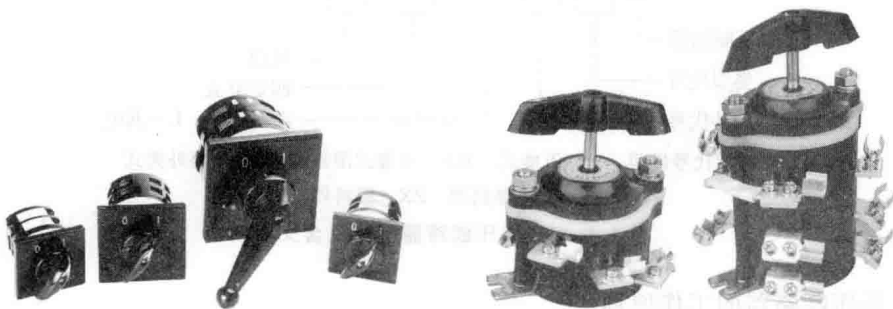


图 1.1.11 HZ 系列组合开关外形