

电机与电气控制技术

李言武 刘明◎主编

电机与电气控制技术

李言武 刘 明 主编

中央广播电视大学出版社·北京

图书在版编目 (CIP) 数据

电机与电气控制技术 / 李言武, 刘明主编. -- 北京:
中央广播电视大学出版社, 2015. 12

ISBN 978 - 7 - 304 - 07587 - 3

I. ①电… II. ①李…②刘… III. ①电机学 - 职业
教育 - 教材②电气控制 - 职业教育 - 教材 IV. ①TM3
②TM921.5

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2015) 第 298536 号
版权所有, 翻印必究。

电机与电气控制技术

DIANJI YU DIANQI KONGZHI JISHU

李言武 刘 明 主编

出版·发行: 中央广播电视大学出版社

电话: 营销中心 010 - 66490011

总编室 010 - 68182524

网址: <http://www.crtvup.com.cn>

地址: 北京市海淀区西四环中路 45 号

邮编: 100039

经销: 新华书店北京发行所

策划编辑: 戈 博

责任校对: 张 娜

责任编辑: 宋亦芳

责任印制: 赵连生

印刷: 北京云浩印刷有限责任公司

版本: 2015 年 12 月第 1 版

2015 年 12 月第 1 次印刷

开本: 787mm × 1092mm 1/16

印张: 18 字数: 402 千字

书号: ISBN 978 - 7 - 304 - 07587 - 3

定价: 49.00 元

(如有缺页或倒装, 本社负责退换)

前 言

现代高职教育的培养目标是适应企业建设、生产与服务第一线的技术型应用人才。本教材以现代高职教育的培养目标为依据,针对岗位需求,立足实验、实训、实习,将职业资格认证嵌入课程体系,行业标准嵌入课程标准,企业文化嵌入课程培育环境。

《电机与电气控制技术》课程是机电类专业的必修核心专业课程,在整个专业的课程体系中起承上启下的作用。本课程的任务是培养学生掌握典型电气控制线路的基本原理、安装调试与检修的基本操作,具有电气线路改造与设计的基本能力,培养出适应社会需求的应用型、操作型、创新型人才。

本教材分九个项目,采用任务驱动式的编写方法,培养目标明确,应用针对性强。内容以实用、够用为原则,减少一些繁杂的公式推导过程及计算,基于认知规律建立由简单到复杂的工作任务,选取工业现场典型控制线路实例作为任务,所选的任务针对性及实用性强,包括典型电动机的控制、机床电气控制、电气控制的 PLC 改造、电气控制系统综合实训,介绍电动机及其控制方式。在内容选择上以电动机应用能力要求为出发点,介绍低压电器、电动机、变频器以及 PLC 等元件和装置,以及电动机典型控制线路的安装与检修,交流电动机及控制电机的 PLC 控制等。每个项目从任务导入、知识准备、任务实施、扩展提升四个方面展开,将理论与实践、知识与技能有机地融为一体,将能力培养贯穿于每个任务的全过程,注重学生的学练结合。并结合企业生产操作任务,选定若干典型任务,如项目 1“典型三相异步电动机正转控制线路的安装与检修”中,选取货物升降机上升控制线路的安装与检修、手动排水泵自锁控制线路的安装与检修等任务编写教材,使新教材更适合工学结合教学模式的实施。保证学生掌握基本知识的同时具有一定的技能专长与职业素质,达到“双证融通”、岗位能力与职业素质并重,培养出更加贴近企业需求的人才。

读者通过项目与任务驱动式的学习,将较系统地掌握电机与电气控制的基础知识,同时具备解决电气控制线路中出现的一般故障的能力。

本教材内容丰富,不同专业在选用时可根据本专业的教学计划及教学要求合理选用,以下学时分配方案可供参考。



教学内容	建议学时		
	理论	实验实训	合计
项目 1 典型三相异步电动机正转控制线路的安装与检修	10	8	18
项目 2 典型三相异步电动机正反转控制线路的安装与检修	8	8	16
项目 3 典型三相异步电动机降压启动控制线路的安装与检修	4	4	8
项目 4 三相异步电动机调速控制线路的安装与检修	4		4
项目 5 典型三相异步电动机制动控制线路的安装与检修	4		4
项目 6 典型单相异步电动机控制线路的分析与检修	6		6
项目 7 典型机床电气控制线路的分析与电气故障检修	16	18	34
项目 8 电气控制线路的 PLC 改造	4		4
项目 9 电气控制系统综合实训	2		2
总计	58	38	96

本教材在编写过程中得到安徽理工大学电气与信息工程学院祝龙记教授的指导和帮助，在此表示感谢。

由于编者水平有限，书中难免有疏漏和不妥之处，欢迎广大读者提出宝贵意见。

本教材是安徽省《电机与电气控制技术》课程教学改革实践重点项目（编号 2013jyxm422）的研究成果。

编 者

目 录

项目 1 典型三相异步电动机正转控制线路的安装与检修	1
任务 1 货物升降机上升控制线路的安装与检修	1
任务 2 手动排水泵自锁控制线路的安装与检修	28
任务 3 行车两地控制线路的安装与检修	38
任务 4 皮带运输机控制线路的安装与检修	47
【思考与练习】	56
项目 2 典型三相异步电动机正反转控制线路的安装与检修	58
任务 1 建筑工地卷扬机正反转控制线路的安装与检修	58
任务 2 混凝土搅拌机正反转控制线路的安装与检修	66
任务 3 简易工作台自动往返控制线路的安装与检修	74
任务 4 钻孔自动加工控制线路的安装与检修	85
【思考与练习】	96
项目 3 典型三相异步电动机降压起动控制线路的安装与检修	98
任务 1 大功率水泵起动控制线路的安装与检修	98
任务 2 重载起动机械起动控制线路的安装与检修	108
【思考与练习】	115
项目 4 三相异步电动机调速控制线路的安装与检修	116
任务 1 机床双速异步电动机控制线路的安装与检修	116
任务 2 水泵、风机类负载变频调速控制线路的安装与检修	123
【思考与练习】	131
项目 5 典型三相异步电动机制动控制线路的安装与检修	132
任务 1 厢式电梯制动线路的安装与检修	132
任务 2 机床主轴反接制动线路的安装与检修	140



【思考与练习】	149
项目 6 典型单相异步电动机控制线路的分析与检修	150
任务 1 空调器起动控制线路的分析与检修	150
任务 2 研磨机调速控制线路分析与检修	158
任务 3 洗衣机正反转控制线路分析与检修	165
【思考与练习】	170
项目 7 典型机床电气控制线路的分析与电气故障检修	171
任务 1 CA6140 型卧式车床主轴不能自锁的电气故障检修	171
任务 2 M7130 型平面磨床砂轮电动机不能起动的电气故障检修	177
任务 3 Z3050 型摇臂钻床摇臂不能上升的电气故障检修	184
任务 4 T68 型卧式镗床快速移动电动机不能正转运行的电气故障检修	190
任务 5 X62W 万能铣床工作台不能向下进给的电气故障检修	199
【思考与练习】	209
项目 8 电气控制线路的 PLC 改造	210
任务 1 工作台自动往返控制线路 PLC 改造	210
任务 2 三相笼型异步电动机 Y - Δ 降压起动控制线路 PLC 改造	239
【思考与练习】	247
项目 9 电气控制系统综合实训	248
任务 1 电气控制系统设计的基本内容、基本规则及方法	248
任务 2 电气线路的设计实例	263
【思考与练习】	276
附录 常用电器元件标识	278
参考文献	280

项目 1 典型三相异步电动机正转控制线路的安装与检修

知识目标

- 熟悉常用低压电器的结构、工作原理、型号规格与符号。
- 掌握常用低压电器的使用方法及其在控制电路中的作用。
- 掌握国家统一的电气控制电路绘图原则和标准。
- 掌握三相异步电动机基本电气控制电路的工作原理及安装接线方法。

能力目标

- 能根据控制要求，选配合适型号的低压电器。
- 能根据控制要求，熟练画出典型控制电路原理图，并进行装配。
- 掌握常用控制电路的安装、调试及维修方法。
- 能熟练运用所学知识读懂电气图纸。

任务设计

- 货物升降机上升控制线路的安装与检修。
- 手动排水泵自锁控制线路的安装与检修。
- 行车两地控制线路的安装与检修。
- 皮带运输机控制线路的安装与检修。

任务 1 货物升降机上升控制线路的安装与检修

知识目标

- 了解三项笼型异步电动机的结构、工作原理。
- 掌握点动控制概念。
- 掌握刀开关、熔断器、按钮、接触器的符号、结构、原理及选用。

能力目标

- 能正确使用万用表检测元器件。
- 能独立完成货物升降机上升控制线路的安装。
- 能按规定进行通电试车，并能够对线路出现的故障进行检修。



任务导入

货物升降机是指在垂直通道运送货物的起重机械。小型的货物升降机一般由三相笼型异步电动机、滑轮、钢丝绳、吊笼、低压电器等组成。货物上升时，需要按下上升控制按钮，上升到位时，松开按钮即可。本任务是完成三相异步电动机单向点动控制线路的电气安装、线路检测及故障检修。



知识准备

一、三相笼型异步电动机的基本知识

(一) 三相笼型异步电动机的结构

三相笼型异步电动机主要由定子和转子两大部分组成。固定不动的部分叫定子，旋转部分叫转子。转子装在定子腔内，两者之间有一个间隙，称为气隙。图 1.1.1 所示是三相笼型异步电动机拆开后各个部件的形状。

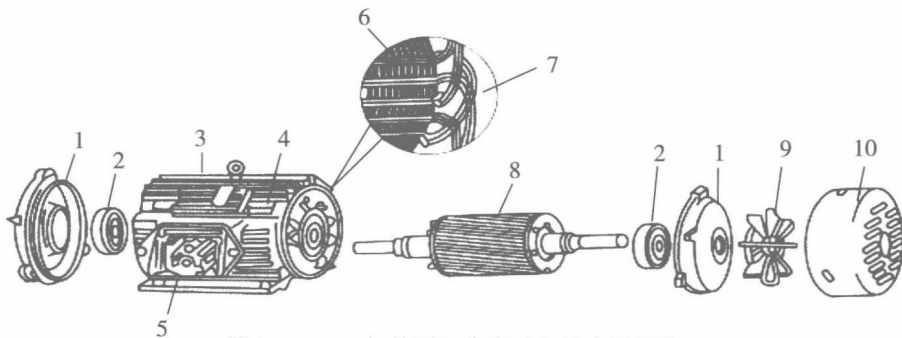


图 1.1.1 三相笼型异步电动机的主要部件

- 1—端盖；2—轴承；3—定子；4—机座；5—接线盒；6—定子铁芯；7—定子绕组；
8—转子；9—风扇；10—罩壳

1. 定子部分

定子主要由机座、定子铁芯和定子绕组三部分组成。三相笼型异步电动机的装配图如图 1.1.2 所示。

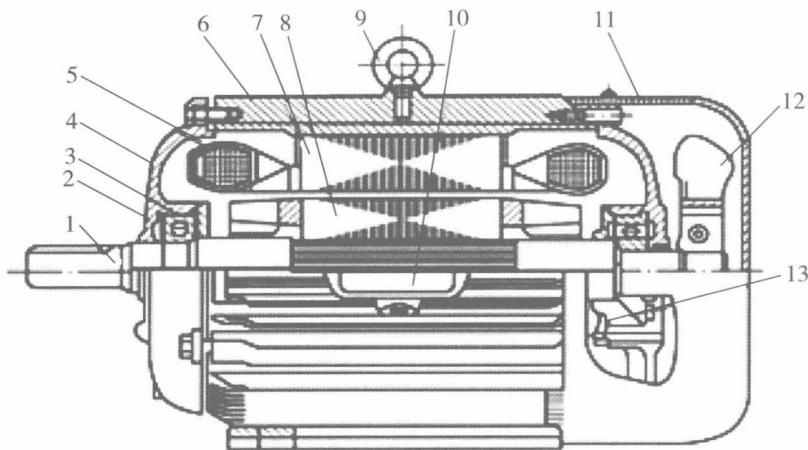
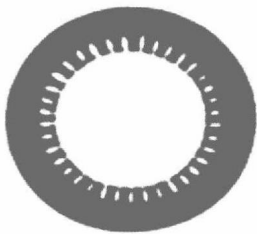


图 1.1.2 三相笼型异步电动机的装配图

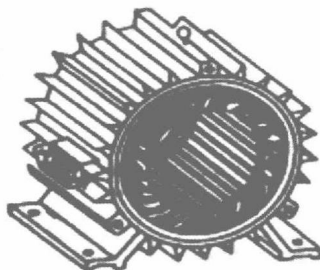
1—转轴；2—弹簧片；3—轴承；4—端盖；5—定子绕组；6—机座；7—定子铁芯；
8—转子铁芯；9—吊环；10—出线盒；11—风罩；12—风扇；13—轴承内盖

(1) 机座。三相笼型异步电动机的机座起固定和支撑定子铁芯和端盖、保护电动机的绕组和旋转部分的作用，一般用铸铁铸造而成。

(2) 定子铁芯。铁芯内圆有均匀分布与轴平行的定子槽，如图 1.1.3 (a) 所示，用以嵌放对称绕组。绕组是根据电机的磁极对数和槽数按照一定规则排列与连接的。铁芯外圆周面固定在机座内，如图 1.1.3 (b) 所示。



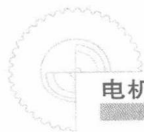
(a) 定子的硅钢片



(b) 装有三相绕组的定子

图 1.1.3 定子铁芯

(3) 定子绕组。三相笼型异步电动机的定子绕组是三相对称绕组，由三个完全相同的绕组组成，每个绕组即为一相，三相绕组在铁芯内圆周面上相差 120° 电角度布置，每相绕组两端分别用 $U1-U2$ 、 $V1-V2$ 、 $W1-W2$ 表示，三相绕组的六个出线端引到接线盒上，从接线盒与三相电源相连接，可以根据需要接成星形或三角形。图 1.1.4 (a) 为定子绕



组的星形接法；图 1.1.4 (b) 为定子绕组的三角形接法。

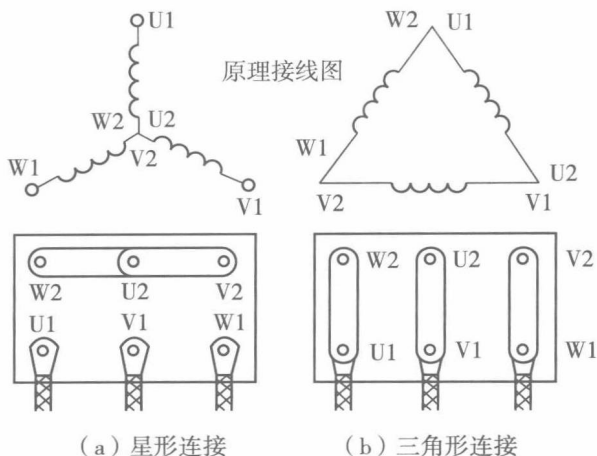


图 1.1.4 三相异步电动机定子绕组的连接

2. 转子部分

转子主要由转子铁芯、转子绕组和转轴三部分组成。

(1) 转子铁芯。一般中、小型三相笼型异步电动机的转子铁芯用 0.5 mm 厚的硅钢片叠压而成，铁芯外圆有均匀分布与轴平行的槽，如图 1.1.5 所示，用以嵌放转子绕组，套在转轴上。

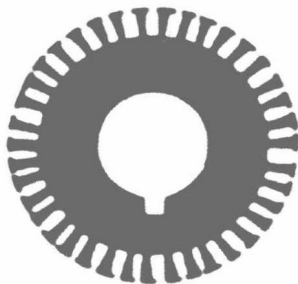


图 1.1.5 转子的硅钢片

(2) 转子绕组。笼型转子绕组是在铁芯槽内放置铜条，铜条的两端用短路环焊接起来，转子的外形和形状如图 1.1.6 所示。

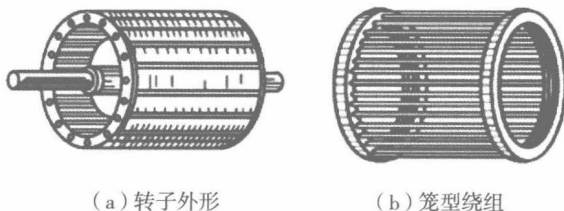


图 1.1.6 三相笼型异步电动机的笼型转子

小型三相笼型电动机采用铸铝转子绕组，如图 1.1.7（a）所示。具有上述笼型转子的异步电动机称为三相笼型异步电动机，图 1.1.7（b）所示是这类电动机的外形之一。

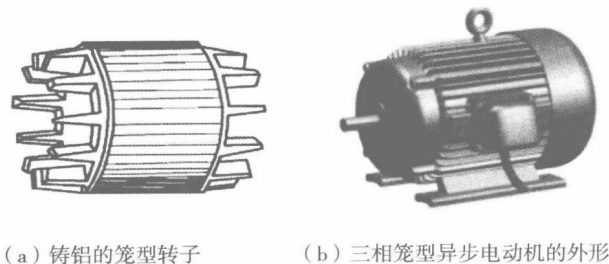


图 1.1.7 小型三相笼型异步电动机

（3）转轴，用于固定和支撑转子铁芯。转轴一般用中碳钢做材料，起支撑和固定转子铁芯及带动其他机械设备旋转的作用。

3. 气隙

异步电动机定子与转子之间有一定的间隙，称为气隙。气隙大小对电动机性能的影响很大，气隙越大则为建立磁场所需的励磁电流就越大，从而降低电动机的功率因数。因此应尽量让气隙小些，但也不能太小，否则会导致加工和装配困难，运转时定转子之间易发生扫膛。

（二）三相异步电动机的铭牌及主要技术参数

三相异步电动机的铭牌及主要技术参数如表 1.1.1。

表 1.1.1 三相异步电动机的铭牌

三相异步电动机		
型号 Y160M-6*	功率 7.5 kW	频率 50 Hz
电压 380 V	电流 17 A	接法 Δ
转速	绝缘等级 B	工作方式 连续
年 月 日	编号	电机厂

1. 型号

各类型电动机的主要产品代号意义摘录于表 1.1.2。

表 1.1.2 三相异步电动机产品代号

产品名称	产品代号	代号汉字意义
三相异步电动机	Y	异
绕线型三相异步电动机	YR	异绕
三相异步电动机（高起动转矩）	YQ	异起
多速三相异步电动机	YD	异多
防爆型三相异步电动机	YB	异爆

2. 三相异步电动机的额定值

(1) 额定功率 P_N 。指电动机在额定状态下运行时，转子轴上输出的机械功率，单位为 kW 或 W。

(2) 额定电压 U_N 。指电动机在额定运行情况下，三相定子绕组应接的线电压值，单位为 V。

(3) 额定电流 I_N 。指电动机在额定运行情况下，三相定子绕组应接的线电流值，单位为 A。

三相异步电动机额定功率、电压、电流之间的关系为：

$$P_N = \sqrt{3} U_N I_N \cos \varphi_N \eta_N \quad (1-1)$$

3. 温升及绝缘等级

根据耐热程度不同，将电动机的绝缘等级分为 A、E、B、F、H、C 几个等级，它们允许的最高温度见表 1.1.3，其中最高允许温度是按环境温度 40℃ 计算出来的。

表 1.1.3 绝缘材料温升限值

绝缘等级	A	E	B	F	H	C
最高允许温度/℃	105	120	130	155	180	> 180

(三) 三相笼型异步电动机的旋转原理

1. 旋转磁场的产生

三相绕组通入三相交流电流时，将产生旋转磁场。若满足两个对称（绕组对称、电流对称），则此旋转磁场的大小恒定不变（称为圆形旋转磁场），否则将产生椭圆形旋转磁场（磁场大小不恒定）。由图 1.1.8 可看出，旋转磁场是沿顺时针方向旋转的，如果将定子绕组接在电源三根端线中的任意两根对调一下，即沿逆时针方向旋转，与未对调端线时的旋转方向相反。由此可知，旋转磁场的旋转方向总与定子绕组中三相电流的相序一致。所以，只要将三相电源线中的任意两相与绕组端的连接顺序对调，就可改变旋转磁场的旋转方向。

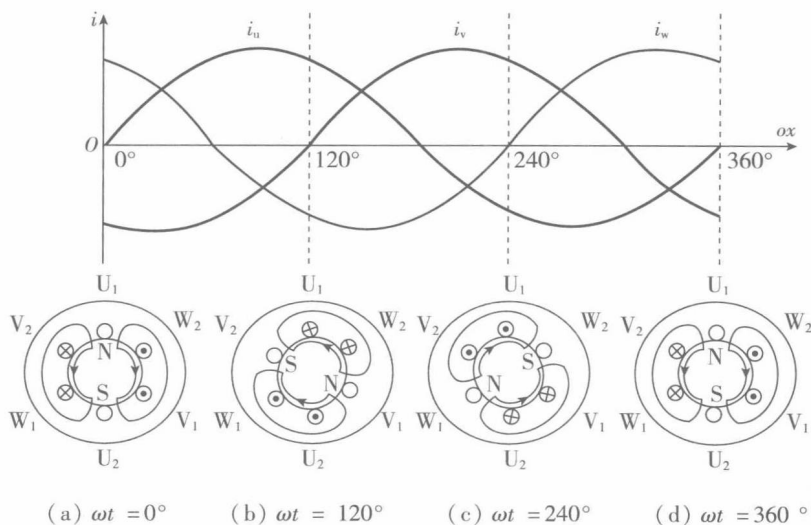


图 1.1.8 三相两极旋转磁场

一般地,若定子旋转磁场的磁极对数为 p ,则它的转速为:

$$n_1 = \frac{60f_1}{p} \quad (1-2)$$

2. 三相异步电动机转子的旋转原理

三相异步电动机的旋转原理图,如图1.1.9所示。

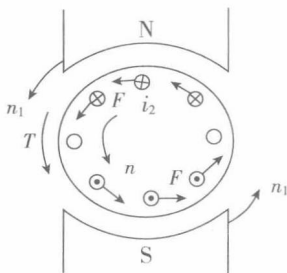


图 1.1.9 三相异步电动机的旋转原理图

转子的6个小圆圈表示自成闭合回路的转子导体。当向三相定子绕组中通入三相交流电源后,按前面分析可知将在定子、转子及其空气隙内产生一个同步转速 n_1 ,在空间按顺时针方向旋转的磁场。该旋转的磁场将切割转子导体,在转子导体中产生感应电动势,由于转子导体自成闭合回路,因此该电动势将在转子导体中形成电流,其电流方向可用右手定则判定。在使用右手定则时必须注意,右手定则的磁场是静止的,导体在作磁感线的运动,而这里正好相反。为此,可以相对地把磁场看成不动,而导体以与旋转磁场相反的方向(逆时针)去切割磁感线,从而可以判定出在该瞬间转子导体中的电流方向如图中所示,该电流将在旋转磁场中受电磁力 F 的作用,其方向可用左手定则判定,如图中箭头所示,该电磁力 F 在转子轴上形成电磁转矩,使异步电动机以转速 n 旋转。由此可以归纳出三相异步电动机的旋转原理为:在定子三相绕组中通入三相交流电时,在电动机气隙中即形成旋转磁场;转子导体在旋转磁场的作用下产生感应电流;载有电流的转子导体受电磁力的作用,产生电磁转矩使转子旋转。由图可见,电动机转子的旋转方向与旋转磁场的旋转方向一致。因此要改变三相异步电动机的旋转方向只需要改变旋转磁场的旋转方向即可。

三相异步电动机的转速 n 恒小于定子旋转磁场的转速 n_1 ,只有这样,转子绕组与定子旋转磁场之间才有相对运动,转子绕组才能感应电动势和电流,从而产生电磁转矩。因而 $n < n_1$ (有转速差)是异步电动机旋转的必要条件,异步的名称也由此而来。

由此可知, n_1 与 n 的差异是异步电动机运行的必要条件。通常把同步转速 n_1 与转子转速 n 二者之差称为“转差”,“转差”与同步转速 n_1 的比值称为转差率(也叫滑差率),用 s 表示,即

$$s = (n_1 - n)/n_1 \quad (1-3)$$

转差率 s 是异步电动机运行时的一个重要物理量,当同步转速 n_1 一定时,转差率的数值与电动机的转速 n 相对应,正常运行的异步电动机,其 s 很小,一般在0.01~0.05之间。



二、低压电器的基本知识

电器是能够根据外部信号要求手动或自动接通或断开电路实现对电路进行切换、控制等操作的元件或设备。低压电器按照用途可分为低压配电电器和低压控制电器；按照低压电器的动作方式分类可分为自动切换电器和非自动切换电器；按照执行机构分类可分为有触点电器和无触点电器。如刀开关、熔断器是配电电器，热继电器、接触器、按钮是有触点的控制电器。

交流 1 200 V 以下、直流 1 500 V 以下的电压称为低压，此范围内使用的用于对线路进行控制的电器元件，统称为低压电器。低压电器在工业电气控制系统电路中的作用主要是对电路或电路中其他的电器进行通断、保护、控制或调节。

（一）低压电器的分类

按照低压电器的用途和所控制的对象，可分为低压配电电器和低压控制电器两类。

1. 低压配电电器

低压配电电器主要用于低压配电系统和动力回路。常用的有：刀开关、转换开关、熔断器、自动开关、接触器等。

2. 低压控制电器

根据外界电信号或非电信号可以自动或手动对所控制的电路或者不具备电气性能的对象进行控制的电器设备或器件被称为控制电器。低压控制电器主要用在电力传输系统和电气自动控制系统。常用的有：主令电器、继电器、起动机、控制器、电阻器、变阻器、万能转换开关。

（1）按低压电器的动作方式，可分为自动切换电器和非自动切换电器两类。自动切换电器是依靠电器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，如接触器、继电器等；非自动切换电器主要依靠外力（如手控）直接操作来进行切换，如按钮、刀开关等。

（2）按低压电器的执行机构，可分为有触点电器和无触点电器两类。有触点电器具有可分离的动触点和静触点，利用触点的接触和分离来实现电路的通断控制；无触点电器没有可分离的触点，主要利用半导体元器件的开关效应来实现电路的通断控制。

（二）常用术语

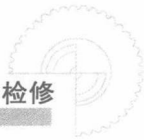
（1）通断时间：从电流开始在开关电器一个极流过的瞬间起，到所有极的电弧最终熄灭的瞬间为止的时间间隔。

（2）燃弧时间：电器分断过程中，从触点断开（或熔体熔断）出现电弧的瞬间开始，至电弧完全熄灭为止的时间间隔。

（3）分断能力：电器在规定的条件下，能在给定的电压下分断的预期通断电流值。

（4）接通能力：开关电器在规定的条件下，能在给定的电压下接通的预期接通电流值。

（5）通断能力：开关电器在规定的条件下，能在给定的电压下接通和分断的预期通断电流值。



- (6) 操作频率：开关电器在每小时内可能实现的最高循环操作次数。
- (7) 短路分断能力：在规定条件下，包括开关电器的出线端短路在内的分断能力。
- (8) 短路接通能力：在规定条件下，包括开关电器的出线端短路在内的接通能力。
- (9) 通电持续率：电器的有载时间和工作周期之比，常以百分数表示。
- (10) 电气寿命：在规定的正常工作条件下，机械开关电器无须修理或更换零件的负载操作循环次数。

三、相关低压电器

(一) 刀开关

刀开关是低压配电电器中结构最简单、应用最广泛的电器。广泛应用于照明电路、小容量（5.5 kW 及以下）的动力电路且不频繁起动的控制电路中。

刀开关按极数分为单极、双极和三极；按操作方式分为直接手柄操作式、杠杆操作机构式和电动操作机构式；按刀开关可转换的方向分为单投式和双投式。刀开关的种类很多，在电力拖动控制线路中最常用的是由刀开关和熔断器组合而成的负荷开关。负荷开关按结构可分为开启式负荷开关和封闭式负荷开关两大类。刀开关的图形符号和文字符号如图 1.1.10 所示。

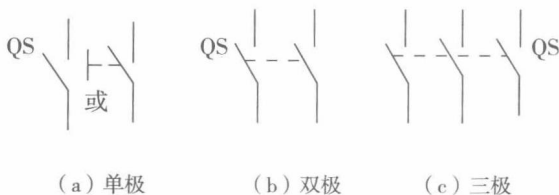


图 1.1.10 刀开关的图形符号和文字符号

1. 开启式负荷开关

又称为胶盖闸刀开关，简称闸刀开关。生产中常用的是 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，供手动不频繁地接通和分断电路，并起短路保护。其外形及结构如图 1.1.11 所示。

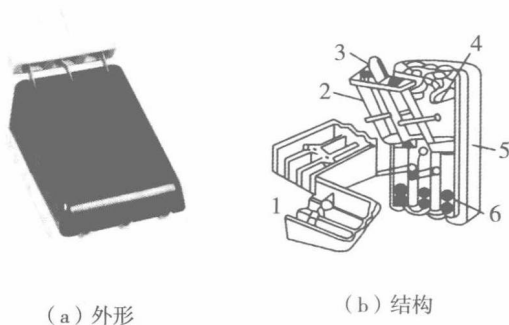


图 1.1.11 开启式负荷开关的外形及结构图

1—胶盖；2—动触点；3—瓷柄；4—静触点；5—瓷底；6—熔断丝接头



(1) 开启式刀开关的型号及含义如图 1.1.12 所示。

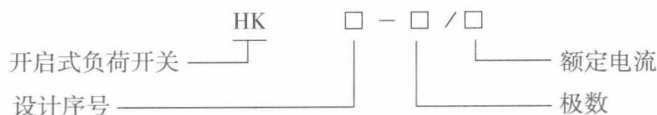


图 1.1.12 开启式刀开关的型号及含义

(2) 开启式负荷开关的安装与使用：必须垂直安装在控制屏或开关板上，且合闸状态时手柄应朝上，不允许倒转或平装，以防发生误合闸事故。使用时，要装接熔断器作短路和过载保护。接线时应把电源进线接在静触点一边的进线座，负载接在动触点一边的出线座，这样在开关断开后，闸刀和熔体上都不会带电。开启式负荷开关用作电动机的控制开关时，应将开关的熔体部分用铜导线直连，并在出现端另外加装熔断器做短路保护。更换熔体时，必须在闸刀断开的情况下按原规格更换。在分闸和合闸操作时，应动作迅速，使电弧尽快熄灭。

(3) 开启式负荷开关的常见故障及处理方法如表 1.1.4。

表 1.1.4 开启式负荷开关的常见故障及处理方法

故障现象	可能原因	处理方法
合闸后，开关一相或两相开路	1. 静触点弹性消失，开口过大，造成动、静触点接触不良 2. 熔丝熔断或虚连 3. 动、静触点氧化或有尘污 4. 开关进线或出线线头接触不良	1. 休整或更换静触点 2. 更换熔丝或紧固 3. 清洁触点 4. 重新连接
合闸后，熔丝熔断	1. 外界负载短路 2. 熔体规格偏小	1. 排除负载短路故障 2. 按要求更换熔体
触点烧坏	1. 开关容量太小 2. 拉、合闸动作太慢，造成电弧过大，烧坏触点	1. 更换开关 2. 修整或更换触点，并改变操作方法

(4) 开启式负荷开关的选用：额定电压的选择条件是刀开关的额定电压要大于或等于线路实际的最高电压；额定电流的选择条件是当作为隔离开关使用时，刀开关的额定电流要等于或稍大于线路实际的工作电流。如果直接用其控制小容量（小于 5.5 kW）电动机的起动和停止，则需要选择电流容量比电动机额定值大的刀开关。

(5) 开启式负荷开关的检测：打开下胶盖盒检查各相保险丝是否完好、固定螺钉是否牢固，而后将胶盖触刀手柄闭合，用万用表电阻挡测试各组触点是否全部接通，若不是，则说明开关已坏。