

课题 2

电工基本技能训练

- ◎第一节 常用电工材料
- ◎第二节 导线线头的处理及导线敷设
- ◎第三节 常用照明电路的安装
- ◎第四节 单相、三相异步电动机
- ◎第五节 变压器与互感器

第一节 常用电工材料

一、绝缘材料

1. 绝缘材料的主要性能

绝缘材料又称电介质。它在直流电压作用下，只有极微小的电流通过，其电阻率（亦称电阻系数）大于 $10^9 \Omega \cdot \text{cm}$ 。

绝缘材料的主要作用是隔离带电的或不同电位的导体，使电流能按预定的方向流动。绝缘材料大部分是有机材料，其耐热性、机械强度和寿命比金属材料低得多，因此，绝缘材料是电工产品最薄弱的环节，许多故障发生在绝缘部分。

各种绝缘材料都具有不同的特性，在修理电机和电器时必须合理

选用。固体绝缘材料的主要性能指标有以下几项:

(1) 击穿强度。绝缘材料在高于某一数值的电场强度的作用下, 会被损坏而失去绝缘性能, 这种现象称为击穿。绝缘材料被击穿时的电场强度, 称为击穿强度, 单位为 kV/mm 。

(2) 绝缘电阻。绝缘材料的电阻率虽然很高, 但在一定电压的作用下, 总有微小电流通过, 这种电流称为泄漏电流。泄漏电流由两部分组成, 一部分流经绝缘材料内部, 另一部分沿绝缘材料表面流动。

为了更清楚地表明材料的绝缘性能, 通常用表面电阻率和体积电阻率两项指标, 对各种不同的绝缘材料进行比较。

对同一种绝缘材料, 由于温度不同或表面状态(水分、污物等)不同, 绝缘电阻值也会有很大的差异。随着温度的升高, 体积电阻值将下降。绝缘材料受潮后, 体积电阻值和表面电阻值都会降低。绝缘材料表面积污, 其表面电阻值也要下降。

(3) 耐热性。电机电器在运行过程中, 其内部的绝缘材料长期在热态下工作, 所以选用的绝缘材料必须具有一定的耐热性能。根据各种绝缘材料的耐热性能, 规定了它们在使用过程中的最高温度, 以保证电工产品的使用寿命, 避免使用时温度过高而加速绝缘材料的老化。

电工绝缘材料按其允许最高温度分为 7 个耐热等级, 如表 2-1 所示。

表 2-1 绝缘材料耐热等级和允许最高温度

等级代号	耐热等级	允许最高温度/ $^{\circ}\text{C}$
0	Y	90
1	A	105
2	E	120
3	B	130
4	F	155
5	H	180
6	C	>180

(4) 黏度、固体含量、酸值、干燥时间及胶化时间。绝缘漆是以高分子化合物为基础，能在一定条件下固化成膜或把其他材料黏结成整体的绝缘材料，所以也被列入固体绝缘材料的范围。

绝缘漆分有溶剂漆和无溶剂漆两类。有溶剂漆一般是以合成或天然树脂等为漆基，掺入适量的溶剂、稀释剂、颜料和填料等制成的。烘干或气干后，绝缘漆中的溶剂和稀释剂几乎全部挥发，剩下的漆基、颜料和填料固化并附着在有关物体表面，形成坚韧的漆膜。无溶剂漆是由合成树脂、固化剂和活性稀释剂等组成。活性稀释剂参与固化的化学反应，是漆基的组成部分，因此固化过程挥发物少。

对于有溶剂绝缘漆，除了规定其固化后的性能指标以外，还对黏度、固体含量、酸值和干燥时间作出具体规定。

对于无溶剂绝缘漆要规定其黏度及胶化时间。

(5) 机械强度。根据各种绝缘材料的具体要求，相应规定抗张、抗压、抗弯、抗剪、抗撕、抗冲击等各种强度指标。

各种不同的绝缘材料还有各种不同的性能指标，如渗透性，耐油性、伸长率、收缩率、耐溶剂性、耐电弧等，这里不一一介绍。

2. 绝缘材料的种类和型号

电工绝缘材料分气体、液体和固体三大类。固体绝缘材料按其应用或工艺特征，又可划分为6类，如表2-2所示。

表2-2 固体绝缘材料的分类

分类代号	分类名称
1	漆、树脂和胶类
2	浸渍纤维制品类
3	层压制品类
4	压塑料类
5	云母制品类
6	薄膜、黏带和复合制品类

为了全面表示固体电工绝缘材料的类别、品种和耐热等级，用四位数字来表示绝缘材料的型号。

第一位数字为分类代号，以表 2-2 中的数字代号表示。

第二位数字表示同一分类中的不同品种。

第三位数字为耐热等级代号。

第四位数字为同一种产品的顺序号，用以表示配方、成分或性能上的差别，如 1031 和 1032，同属 B 级的浸渍漆，但 1031 为丁基酚醛醇酸漆，1032 为三聚氰胺醇酸漆。

由于云母的种类较多，除白云母以外的其他云母制品还要在四位数字的后面加一位数字，1 表示粉云母制品，2 表示金云母制品，如 5438-1 表示环氧玻璃粉云母带，5450-2 表示有机硅玻璃金云母带。

二、导电材料

1. 线材

导电材料大部分是金属，其特点是：导电性能好，有一定的机械强度，不易氧化和腐蚀，容易加工和焊接。

铜和铝是最常用的导电材料，常制成线材使用，下面分别介绍铜和铝的特性。

(1) 铜。铜的导电性能好，在常温时有足够的机械强度，具有良好的延展性，便于加工，化学性能稳定，不易氧化和腐蚀，容易焊接，因此广泛用于制造电机、变压器和各种电器的线圈。

纯铜，俗称紫铜，含铜量为 99.5% ~ 99.95%。根据材料的软硬程度，分为硬铜和软铜两种。铜材经过压延、拉制等工序加工后，硬度增加，称作硬铜，通常用作机械强度要求较高的导电零部件。硬铜经过退火处理后，硬度降低，即为软铜，软铜的电阻系数也比硬铜小，故适宜做电机、变压器和各类电器的线圈。

在产品型号中，铜线的标志是“T”，“TY”表示硬铜，“TR”表示软铜。

(2) 铝。铝的电导率约为铜的 62%，它的比重只有铜的 33%，而且铝的资源丰富，价格便宜，在铜材紧缺时，铝材是最好的代用品。由于铝导线的焊接比较困难，必须采取特殊的焊接工艺。

电机和变压器上使用的铝是钝铝，含铝量为99.5%~99.7%。由于加工方法不同，也有软硬铝之分。用作电机、变压器绕组的大部分是软铝。

在产品型号中，铝线的标识是“L”，“LY”表示硬铝，“LR”表示软铝。

2. 电线与电缆

电线与电缆品种很多，这里仅介绍常用的几种。

(1) 裸电线和裸导体制品。这类产品只有导体部分，没有绝缘和护层结构。按产品的形态和结构，分为圆单线、软接线、型线和裸绞线四种。修理电机电器时经常用到的是软接线和型线。

①软接线。软接线是由多股铜线或镀锡铜线绞合或编织而成的。其特点是柔软、耐振动、耐弯曲。

②型线。型线是非圆形截面的裸电线。

(2) 电磁线。电磁线是指应用于电机电器及电工仪表中，作为绕组或元件的绝缘导线。常用电磁线的导电线芯有圆线和扁线两种，目前大多数采用铜线，少数采用铝线。

电磁线的绝缘层除部分采用天然材料（如绝缘纸等）外，主要采用有机合成高分子化合物（如缩醛、聚酯、聚酰亚胺等）和无机材料（如玻璃丝等）。由于用单一材料构成的绝缘层在性能上有一定的局限性，有的电磁线采用复合绝缘或组合绝缘，以提高绝缘层的综合性能。

常用的电磁线有漆包线和绕包线两类。

①漆包线。漆包线是绝缘层是漆膜，广泛用于中小型电机及微电机、干式变压器及其他电工产品。常用的有缩醛漆包线、聚酯漆包线、聚酰亚胺漆包线、聚酰胺酰亚胺漆包线和聚酰亚胺漆包线五类。

②绕包线。绕包线是用玻璃丝、绝缘纸或合成树脂薄膜等紧密绕包在导电线芯上，形成绝缘层。也有在漆包线上再绕包绝缘层的。除薄膜绝缘层外，其他的绝缘层均须经胶粘绝缘漆浸渍处理，以提高其电性能、机械性能和防潮性能，所以它们实际上是组合绝缘。绕包线一般用于大中型电工产品。根据绕包线的绝缘结构，可分为纸包线、薄膜绕包线及玻璃丝包线三类。

(3) 电机电器用电线电缆。电机电器用电线电缆品种很多, 电机修理时常用的有电机电器引接线、电焊机用电缆及潜水电机防水橡套电缆三种系列。其基本结构是由线芯、绝缘层及护层三部分组成。

①J 系列电机电器引接线。J 系列电机电器引接线常用的品种有 JBQ、JBF、JBHF、JBYH、JFEH 及 JHXG6 等, 其第二个字母表示用于配套产品的绝缘等级, 第三、四两个字母表示绝缘护套的特征。

②YH 系列电焊机用电缆。这种系列电缆专供一般环境中使用的电焊机二次侧接线及连接电焊钳用。这种电缆的耐热性能良好、柔软、耐弯曲, 并有足够的机械强度, 其防护层有一定的耐候性、耐油性和耐腐蚀性。电焊机用电缆有 YH 型铜芯电缆和 YHL 型铝芯电缆两种, 工作电压均为 200 V 以下, 最高工作温度 65 ℃。YH 型的规格为 10~150 mm², YHL 型的规格为 16~185 mm²。

③YHS 系列潜水电机用防水橡套电缆。这种系列的电缆有良好的电气和密封性能, 能长期浸在水中使用。另外电缆具有柔软、耐弯曲、质量轻的特点。目前这种电缆都采用铜芯, 工作电压为 500 V, 最高工作温度为 65 ℃。

3. 电机用电刷

电刷是用石墨粉末与金属粉末混合压制而成。按其材质不同, 分为石墨电刷、电化石墨电刷和金属石墨电刷三类。

选择电刷时, 要考虑电刷的技术特性及运行条件, 主要注意以下几个问题:

(1) 接触电压降。接触电压降是电流通过电刷、接触点薄膜、换向器或集电环的电压降。每一种电刷的接触电压降都有其极限值。如果超过了极限值, 滑动接触点的电功率损耗将过大, 并引起电刷过热。接触电压降高的电刷适用于高电压、换向困难的直流电机; 接触电压低的适用于低电压、电流大的直流电机。交流电机的集电环采用数值低的较为合适。

(2) 摩擦系数。摩擦是电刷发热的原因之一。电刷的摩擦情况通常用摩擦系数来衡量。高速电机宜选用摩擦系数较小的电刷。

(3) 电流密度。每种电刷都有其额定电流密度。当电流密度超过

额定值时, 由于发热过大, 摩擦系数增大, 极易引起火花, 甚至电机不能正常运行。但是, 电刷的电流密度也不宜选得过低, 以免增加电刷的数量, 导致摩擦损耗增大。

(4) 圆周速度。当圆周速度超过允许的最大值时, 带入电刷与换向器或集电环之间的空气薄层, 使接触电压降急剧增加, 摩擦系数急剧降低, 并使电刷运行不稳定, 容易产生火花。随着圆周速度的增加, 电刷的磨损也不同程度地增加。

电化石墨电刷和石墨电刷适用于圆周速度高的电机, 金属石墨电刷适用于圆周速度低的电机, 对于换向困难的特殊高速直流电机、圆周速度为 90 m/s 以上的汽轮发电机和圆周速度为 70 m/s 以上的直流电机, 必须选用特殊的电刷。

(5) 施于电刷上的单位压力。施于电刷的单位压力也有一个最佳范围。如果施于同一台电机各个电刷的电流密度不均匀, 会引起个别电刷过热或火花增大。

三、磁性材料

各种物质在外界磁场的作用下, 都会呈现出不同的磁性, 根据其磁性的强弱, 可分为强磁性和弱磁性两类。工程上实用的磁性材料都属于强磁性物质。

磁性材料按其特性不同, 分为软磁材料和硬磁材料(又称永磁材料)两大类。

1. 软磁材料

软磁材料的主要特点是磁导率高, 剩磁弱。这类材料在较弱的外界磁场作用下, 就能产生较强的磁感应强度, 而且随着外界磁场的增强, 很快就达到磁饱和状态; 当外界磁场去掉后, 它的磁性就基本消失。常用的有电工用纯铁和硅钢板两种。

(1) 电工用纯铁。电工用纯铁的电导率很低, 一般只用于直流磁场, 常用的型号有 DT3、DT4、DT5 和 DT6 几种。

(2) 硅钢板。硅钢板的主要特性是电阻率高, 适用于各种交变磁场。

硅钢板分为热轧和冷轧两种。冷轧硅钢板又有单取向和无取向之分。单取向冷轧硅钢板的磁导率与轧制方向有关，沿轧制方向的磁导率最高，与轧制方向垂直的磁导率最低。无取向冷轧硅钢板的磁导率没有方向性。常用的热轧硅钢板有 D21、D22、D23、D32、D42 和 D43 几种，常用的单取向冷轧硅钢板有 Q3、Q4、Q5 和 Q6 几种。常用的无取向冷轧硅钢板有 W21、W22、W32 和 W33 几种。电机电器工业上常用的硅钢板厚度有 0.35 mm 和 0.5 mm 两种，前者多用于各种变压器和电器，后者用于各种交直流电机。

2. 硬磁材料

硬磁材料的主要特点是剩磁强。这类材料在外界磁场的作用下，不容易产生较强的磁感应强度，但当其达到磁饱和状态以后，即使把外界磁场去掉，它还能在较长时间内保持较强的磁性。对硬磁材料的基本要求是剩磁强、磁性稳定。目前电机工业上用得最普遍的硬磁材料是铝镍钴合金，常用的有 13 号、32 号、52 号和 60 号铝镍钴合金及 40 号、56 号和 70 号铝镍钴钛合金，主要用来制造永磁电机和微电机的磁极铁芯。

第二节 导线线头的处理及导线敷设

一、导线线头的剥削

1. 操作技术要求

使用电工刀剥削绝缘层，不得损伤线芯，剥削的长度应根据连接的需要而定，对不同种类的导线应采用不同的剥削方法。

2. 操作过程

(1) 塑料绝缘导线线头的剥削：

- ①用电工刀以 45° 角切入塑料层并向线端推削。
- ②削去一部分塑料层，并将另一部分塑料层翻下，将翻下的塑料

层切取，至此塑料层全部削掉并露出芯线。

(2) 护套线的剥削：

- ① 根据需要长度用电工刀在指定的地方划一圈深痕。
- ② 对准芯线的中间缝隙，用电工刀把保护层划破。
- ③ 剥出线头保护层，露出芯线绝缘层。
- ④ 在距离保护层约 10 mm 处，剖削线头。

3. 剖削时的注意事项

使用电工刀剖削绝缘层的操作中，要注意正确使用电工刀，避免发生损坏芯线和削伤手指等事故。

二、单股芯线的连接

1. 操作技术要求

掌握单股铜芯线和单股铜芯线的直线连接、T 形连接方法。

2. 操作过程

(1) 单股线直线连接：

- ① 先将两导线端去除绝缘层后作十字相交。
- ② 互相绞合 2~3 匝后扳直。
- ③ 两线端分别紧密向芯线上并绕 5~6 圈，多余剪去。
- ④ 钳平切口，整形。电路如图 2-1 (a) 所示。

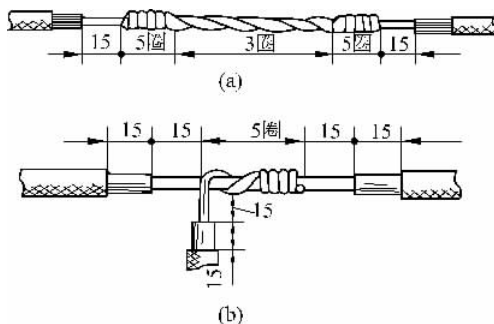


图 2-1 单股铜导线的绞接法

(a) 无分支接头；(b) 分支接头

(2) 单股芯线 T 字型分支连接:

- ① 支线端和干线去其绝缘后十字相交。
- ② 使支线芯线根部留出约 3mm 后向干线缠绕一圈, 再环绕。
- ③ 收紧线端向干线并绕 6~8 圈, 剪平切口。
- ④ 若连接导线线径较大, 两线相交后, 直接在干线上紧密缠绕 5~8 圈即可。如图 2-1 (b) 所示。

3. 安全注意事项

使用电工刀剖削绝缘层的操作中, 要注意正确使用电工刀, 避免发生损坏芯线和削伤手指等事故。

三、导线与接线桩的连接

1. 操作技术要求

掌握导线与各种形式接线桩的连接方法, 对芯线线头必须按工艺处理。

2. 操作过程

(1) 线头与平压式接线桩的连接方法:

- ① 首先剥削线头绝缘层, 在离导线绝缘根部约 3 mm 处向外侧折角。
- ② 按略大于螺钉直径弯曲圆弧, 再剪去芯线余端并修正圆圈。
- ③ 把芯线弯曲成的圆圈套在螺钉上, 顺着螺钉转动方向绕螺钉一圈, 再在线头根部绕一圈, 然后旋紧螺钉, 剪去余下的芯线。

(2) 线头与瓦形式接线桩的连接方法:

- ① 将单股芯线端按略大于瓦形垫圈螺钉直径弯曲成“U”形, 螺钉穿过“U”形孔压在垫圈下旋转。

- ② 两个线头接在同一瓦形接线桩上。

(3) 线头与针孔或接线桩的连接方法:

- ① 芯线直径小于针孔, 将线头折成双股插入针孔内, 芯线直径与针孔大小合适, 可直接插入。
- ② 多股芯线与针孔式接线桩的连线。

(4) 多股芯线压线圈的弯法:

①将芯线线头的 $1/2$ 从根部绞紧, 然后在绞紧部分的 $1/3$ 处弯曲圆圈。

②把已弯成的压接圈最外侧几股芯线折成垂直状, 按直线连接的方法连接。

3. 安全注意事项

线头的连接方法应正确, 避免线头脱落。拧螺钉时应注意用力, 防止使螺钉滑牙。

四、护套线路的敷设

1. 操作技术要求

通过护套线线路的敷设练习, 学会该线路的敷设技术, 掌握不同场合下的敷设方法。

2. 操作过程

①按线路设计图走向, 同时标出支撑点、木台以及接线盒的安装位置。

②在木材板上依次钉上铝扎片, 若是在水泥墙面上可用塑料线卡作为支撑点, 间距为 $25\sim 35\text{ cm}$ 。

③放线和敷线: 展直放开护套线, 按需要长度剪下, 一端先用临时瓷夹紧固, 然后逐段用手捋直, 收紧护套线, 用钉卡固定或依次用铝卡夹住。

④如果是墙顶敷线, 应该两点拉直线, 画线, 作支撑点记号, 如果敷线时水泥顶卡不能钉牢, 应用冲击钻打孔, 削木榫, 再固定支撑点。

3. 安全注意事项

应按正确的剖削方法剥离线头护套线, 以免削伤手指和破坏导线绝缘性能。线路上的护套线不允许直接连接, 应通过接线盒或利用附近电气装置接线桩及在木台内转接连线。

五、导线的钎焊

1. 操作技术要点

能够按照所焊接的工艺接头选用电烙铁的功率、焊料种类，焊件质量要求牢固、导电性良好、无毛刺等。

2. 电烙铁钎焊操作方法

(1) 用电工刀或砂布先清除连接线端氧化层，并在焊接处涂上焊剂。

(2) 将含有焊锡的电烙铁焊头，先沾一些焊剂，然后对准焊接点下焊，焊头停留时间要根据焊件的大小而决定。

(3) 焊接要求：焊接点必须焊牢焊透，焊锡液必须充分渗透，表面要光滑并有光泽，不能有虚假焊点和夹生焊点。

3. 安全注意事项

使用中的电烙铁不可搁在木板上，要搁置在金属制成的搁架上。不可用烧死的烙铁焊接，以免烧坏焊件。不准电动使用中的电烙铁，以免焊锡溅出伤人。

第三节 常用照明电路的安装

一、一控一灯电路的安装

1. 操作技术要点

掌握一只单联开关控制一盏灯电路的实际安装和通电试验技术。

2. 操作过程

(1) 熟悉电路原理，熟悉元件的装接方法，用万用表检查元件是否良好。电路如图 2-2 所示。

(2) 根据模拟线路用护套线敷设，按图固定铝扎片支持点。

(3) 安装开关、灯座、熔断器，并装上保险丝。

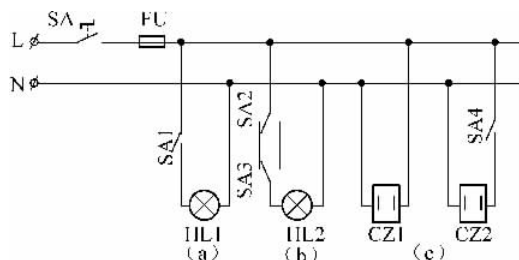


图 2-2 复合照明电路

(4) 紧固护套线，检查电路的安装技术：支持点和装置是否牢固；接线桩和接头是否正确、完好；电线的连接和绝缘恢复是否符合要求；接线是否正确；电源相线必须进开关，中性线直接接灯座的螺口接线桩。

(5) 用摇表校验电路性能，大于 $0.5\text{ M}\Omega$ 。

(6) 经查对无误后，装上灯泡，通电。若发现灯泡不亮或其他故障，应立即切断电源，直至排故找到故障点。

3. 安全注意事项

试电前必须采用绝缘防护措施，通电试验应有人监护。实际施工应符合低压用户电器装置的用电规则。

二、一双控灯电路的安装

1. 操作技术要点

掌握两只双联开关控制一盏灯电路的实际安装和通电试验技术。

2. 操作过程

详见一控一灯电路的操作过程。

3. 安全注意事项

- (1) 双联开关内的接线不要接错，以免发生短路和失控。
- (2) 电路发生故障，应立即切断电源，进行维修。

三、日光灯电路的安装

1. 操作技术要点

掌握一只单联开关控制一盏日光灯电路的实际安装和通电试验技术。

2. 操作过程

(1) 熟悉电路原理，熟悉元件的装接方法，用万用表检查元件是否良好。电路如图 2-3 所示。

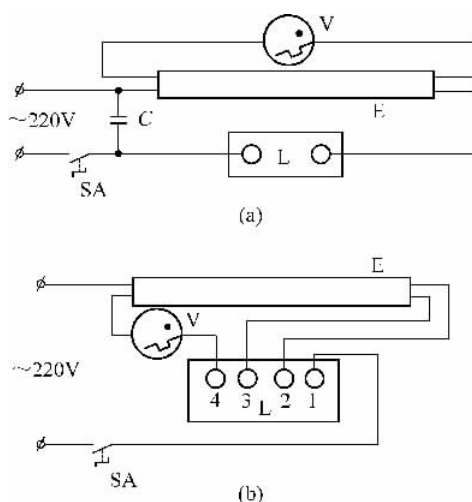


图 2-3 日光灯的接线图

(a) 典型接线；(b) 应用四引出线镇流器的接线

(2) 按模拟线路用护套线敷设，按图固定铝扎片支持点。

(3) 日光灯组件的接线：

①在日光灯盒内将整流器按原理图接在相线上，出线接日光灯管一端线头。

②两头灯座各用一根线接在启辉器接线桩上。

③装上日光灯管。

(4) 如果要求悬挂，应在墙顶面上用冲击钻打孔安装。

- (5) 检查电线的连接和绝缘是否符合要求。
- (6) 用摇表校验电路性能, 大于 $0.5\text{ M}\Omega$ 。
- (7) 经查对无误后, 装上灯泡, 通电。若发现灯泡不亮或其他故障, 应立即切断电源, 直至排故找到故障点。

3. 安全注意事项

不同的灯管需配用不同的整流器和启辉器, 不可错配。整流器一般应安装在灯架内的中间, 以免左右倾斜。电源线的中性线应直接进灯管, 相线进开关。

第四节 单相、三相异步电动机

一、单相异步电动机的特点和分类

单相异步电动机是由单相电源供电的异步电动机。为了使单相异步电动机能像三相异步电动机那样自行启动, 常用的办法是在电动机的定子上安放两相绕组, 使两相绕组在圆周方向上相差 90° 电角度, 并把单相交流电源通过电阻、电容和电抗的合理配合分为两相电源, 把它们分接在两相绕组上。两相电源加在两相绕组上以后, 同样产生旋转磁场, 在笼型转子上产生启动转矩。因此单相异步电动机的主要特点为:

- (1) 定子上装有两相绕组。
- (2) 两相绕组回路中的阻抗性质不同, 两相电流有一定的相位差, 理想的相位差为 90° 。通常单相异步电动机是按其启动方法而分类的。常见的启动方法有分相启动和罩极启动。

1. 分相启动

(1) 电阻分相。图 2-4 是电阻启动分相电动机的接线图。在主绕组 Z_1Z_2 支路中, 感抗是主要的。而在辅助启动绕组 F_1F_2 支路中, 采用加大电阻的办法 (如采用细的或高电阻线材、外接附加电阻等) 使

支路中的阻抗以电阻为主，这样就在两相电流之间产生相位差，使单相电源变为“两相”电源。这种电动机称为电阻启动分相电动机或单相电阻启动异步电动机。

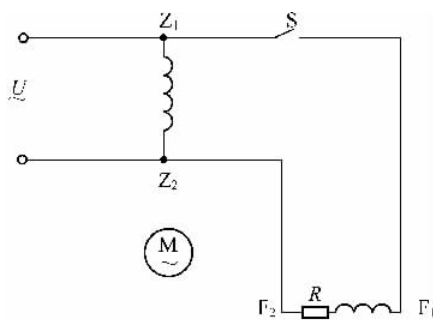


图 2-4 电阻启动分相电动机的接线图

(2) 电容分相。图 2-5 是几种电容电动机。辅助启动绕组 F_1F_2 与电容器串联后和主绕组 Z_1Z_2 并联到电源上。如果绕组设计得合适，并选择适当的电容器容量，可使启动时两相电流的相位差为 90° ，并使两相绕组的磁动势幅值正好相等，从而获得理想的旋转磁场。

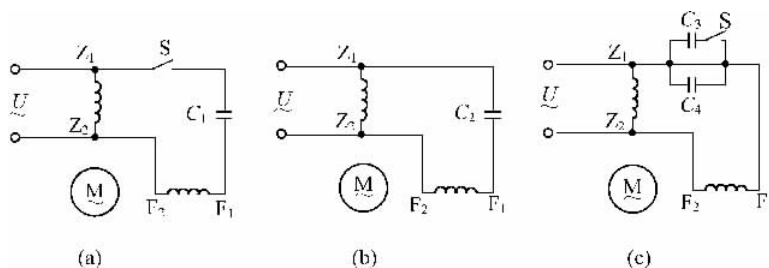


图 2-5 几种电容电动机的接线图

(a) 电容启动电动机；(b) 电容启动及运行电动机；(c) 双值电容电动机

图 2-5 (a) 中的辅助启动绕组及电容器 C_1 只在启动时使用。当转速达到 $75\% \sim 80\%$ 额定转速时，由启动开关 S 将支路与电源切断，由主绕组单独运行。这种电动机称为电容启动电动机或单相电容启动异步电动机。

图 2-5 (b) 中的辅助启动绕组及电容器 C_2 在启动及运行时均接在电路内, 称为电容启动及运行电动机或单相电容运转异步电动机。

图 2-5 (c) 中的辅助启动绕组电路中串联了两个并联电容器 C_3 及 C_4 。考虑到电动机和运行两种状态下需要不同的电容量, 启动时 C_3 及 C_4 均接在电路中, 当进入正常运行时, 将 C_3 切除, 令 C_4 单独参加运行。这种电动机叫做单相双值电容电动机或单相双值电容异步电动机。

2. 罩极启动

罩极电动机也具有两套绕组, 其辅助启动绕组是短路线圈, 按其结构不同可分为凸极和隐极两种。图 2-6 (a) 是凸极式罩极电动机的结构示意图。定子铁芯由硅钢片叠成, 每个极上绕有工作绕组, 在极面的一边开一个小槽, 槽中嵌一个短路铜环作为辅助启动绕组, 转子为笼型。隐极式罩极电动机的定子铁芯与一般交流电机相同, 工作绕组及辅助启动绕组均嵌在槽内, 两相相距 45° 电角度左右, 如图 2-6 (b) 所示。其辅助启动绕组匝数较少, 用粗导线绕制, 自成闭路。这种罩极式电动机也能产生旋转磁场和启动转矩。

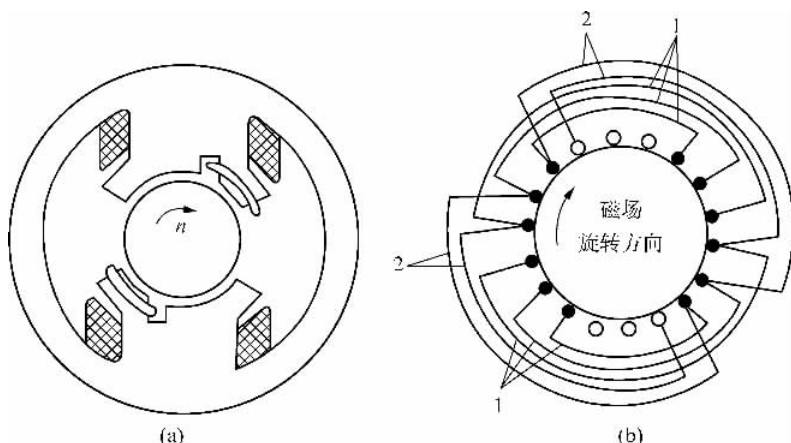


图 2-6 罩极电动机的结构示意图

(a) 凸极式; (b) 隐极式

1—工作绕组; 2—辅助启动绕组

二、单相异步电动机常见故障的排除

单相异步电动机常见的故障及其原因如表 2-3 所示, 可根据不同原因将故障排除。

表 2-3 单相异步电动机常见故障

序号	故障现象	原 因
1	电源电压正常, 通电后电动机不能启动	引线开路 工作绕组或辅助启动绕组开路 离心开关触头合不上 电容器开路 轴承轧住: 轴承质量不好; 轴承装配不良; 润滑脂固结 定子和转子相擦 过载
2	空载能启动, 或外力帮助下能启动, 但启动迟缓且转向不定	辅助启动绕组不通: 辅助启动绕组开路; 离心开关触头合不上; 电容器开路
3	电动机转速低于正常转速	主绕组短路 启动后离心开关断不开, 辅助启动绕组没有脱离电源 工作绕组内有几极反接或接线错误 轴承损坏
4	启动后, 电动机很快发热, 甚至烧毁绕组	工作绕组短路 工作绕组接地 工作绕组和辅助启动绕组短路 启动后离心开关触头断不开, 使启动绕组长期运行, 而发热甚至烧毁 工作绕组、辅助启动绕组相互接错
5	启动后, 电动机发热, 且输入功率特大	电动机过载 绕组短路或接地 轴承损坏 定子和转子相擦

续表

序号	故障现象	原 因
6	通电后, 熔丝熔断, 电动机不动	绕组短路或接地 引出线接地 电容器短路
7	电动机转动时, 噪声太大	绕组短路或接地 离心开关损坏 轴承损坏 轴向游隙太大 杂物(如绝缘片、导线头等)侵入电动机内部

三、三相异步电动机的结构

按电机外壳的不同防护形式可分为开启式、防护式、封闭式及全封闭式等类。

按定子铁芯外圆尺寸的大小可分为小型电机(外圆从120~500 mm)、中型电机(外圆从500~990 mm)和大型电机(外圆大于1 000 mm)。

按电机转子的结构形式可分为笼型(以前称鼠笼型)和绕线型两类。笼型又可分为单笼型、双笼型和深槽型等类。

按通风方式可分为自冷式、自扇冷式、他扇冷式和管道通风式等。

图2-7所示是一台国产小型三相异步电动机的结构图。它是由定子和转子两大部分组成。定、转子之间留有气隙。另外还有端盖、轴承及风扇等部件。

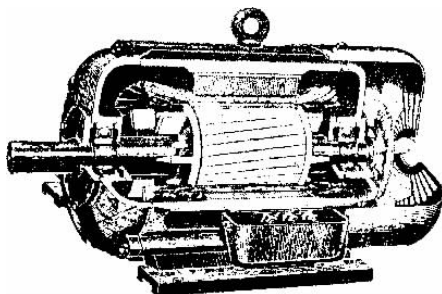


图2-7 小型三相异步电动机结构图

1. 定子

定子由定子铁芯、定子绕组和机座三部分组成。

(1) 定子铁芯。定子铁芯是电机磁路的一部分, 装在机座的内腔

里。它是用 0.5 mm 厚的电工硅钢板经冲剪、涂漆并叠压而成。图 2-8 是小型异步电动机定子铁芯的结构图。当铁芯直径小于 1 m 时, 采用整圆硅钢片叠成; 当铁芯直径大于 1 m 时, 用扇形冲片组合成整圆而叠成。

在定子铁芯内圆上开有均匀分布的槽, 以放置定子绕组。根据绕组的形状, 可选用开口槽、半开口槽和半闭口槽等槽形。

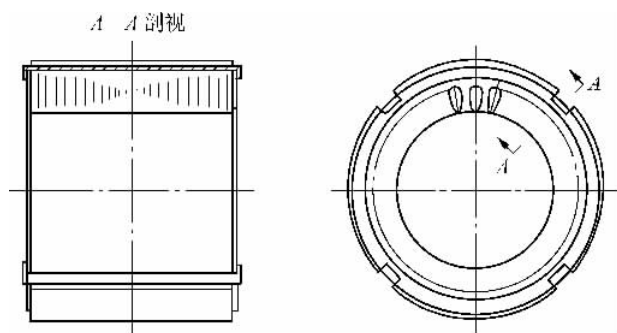


图 2-8 小型异步电动机定子铁芯

(2) 定子绕组。定子绕组是定子的电路部分, 由许多线圈连接而成。每个线圈的两个有效边, 分别放在两个槽内。我国目前生产的 100 kW 以下的 Y 系列小型异步电动机的定子槽形采用半闭口槽, 导体与铁芯之间隔有槽绝缘。如果是采用双层绕组, 在两层绕组之间还要垫以层间绝缘。导线用槽楔固定在槽内。

(3) 机座。机座的主要作用是固定定子铁芯和端盖。中、小型机座采用铸铁制成; 小型机座也可用铝合金压铸而成; 大型机座则采用钢板焊接结构。

2. 转子

转子是由转子铁芯、转子绕组和转轴组成。

转子铁芯也是电动机磁路的一部分, 也是用 0.5 mm 厚的硅钢片叠成。小型电机的转子铁芯直接固定在转轴上; 较大一些的转子铁芯与转轴之间还套有转子支架。

转子绕组分为笼型和绕线型两种。

笼型转子铁芯的每一个槽内都有一根裸导条, 在伸出两端的槽口

处，用两个端环把所有导条都连接起来。如果去掉铁芯，整个绕组的外形就像一个“鼠笼”，如图2-9所示。导条与端环可以用熔化的铝液一次浇铸出来，也可用铜条插入转子槽内，再在两端焊上铜端环。中、小型异步电动机一般采用铸铝转子。

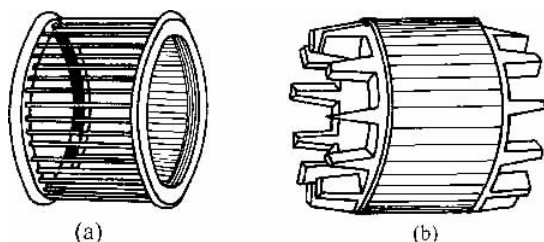


图2-9 笼型转子图

(a) 笼型绕组；(b) 转子外形

绕线型转子的绕组和定子相似，是用绝缘导线嵌在槽内，接成三相对称绕组，三根引出线分别接到轴上的三个彼此绝缘的集电环（或称滑环）上，再通过电刷把电流引出，如图2-10所示。

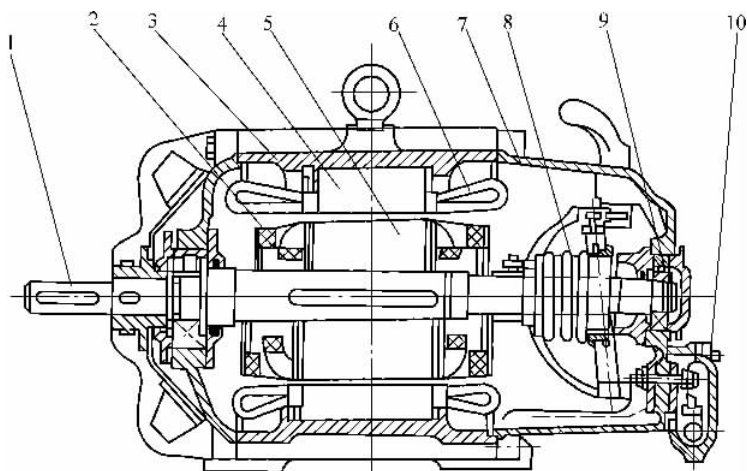


图2-10 绕线型异步电动机

1—转轴；2—转子绕组；3—机座；4—定子铁芯；5—转子铁芯；
6—定子绕组；7—端盖；8—集电环；9—轴承；10—接线盒

四、三相异步电动机常见故障及其排除

异步电动机通常是与其驱动系统、供电电源、线路、控制设备等共同工作的，其中任何一个环节出现故障均能影响电动机的正常运转。因此当电动机不能正常运转时，首先要确定生产故障的环节，再加以排除。常见的故障有：

1. 启动故障

(1) 三相供电线路或定子绕组中有一相或两相断路，不能形成旋转磁场。

(2) 绕线型电动机的转子回路发生断路，使断路相中无电流通过不能产生电磁转矩。

(3) 电源电压过低。三相异步电动机的转矩和电源电压的平方成正比，电压降低后，转矩急剧下降，当电压低至一定程度电机就不能启动。

(4) 错将 Δ 形连接的电机接成Y形连接。这种错误接法实际上是将电机的相电压降低到额定相电压的0.58左右。

(5) 定子绕组重嵌后的其他接线错误及极数改变后的槽配合不当。

(6) 因轴承过度磨损造成转子单边，转子上产生单边磁拉力，甚至产生定、转子铁芯相擦。

(7) 定子绕组相间短路、接地及匝间短路，单相或两相接地及匝间短路都能使三相失去平衡而导致启动故障。

(8) 负载过大。

出现启动故障时应检查三相供电线路的电压、电流、熔断器、每相绕组的电阻以及定子与转子之间的间隙，以确定故障原因加以排除。

2. 转速故障

转速故障是指电动机虽能启动，但在额定负载时，转速达不到额定值。上述启动故障各原因也能引起转速故障。最典型的转速故障有以下几种：

(1) Y形连接的电动机启动后，其中一相断路而造成电动机单相运转。

(2) $\triangle$ 形连接的电动机某相断线而形成开口三角形, 只有两相绕组参与运行, 虽然能启动运行, 但容量降低, 在额定负载下转速明显下降。

(3) 转子一相断线形成转子单相运行, 在负载低时能以额定转速运行, 但当负载增大时降至半速运行, 并且发出不正常响声。

(4) 电动机重绕后改变了极数使定子槽配合不当。使电动机在半速以下的转速运行 (如 $1/7$ 或 $1/13$ 额定转速下运行)。

(5) 转子电阻过大。

3. 异步电动机过热故障

(1) 电网电压增高使空载电流增大, 定子绕组及定子铁芯的温度均会增高。

(2) 电网电压降低使转差率和定、转子电流增大, 定子绕组及转子绕组的温度均会增高。

(3) 轴承过度磨损造成转子单边甚至定、转子相擦, 引起局部过热。

(4) 电网电压不对称, 一相断路、匝间短路、连接错误等不平衡运行状态都能引起总发热量增加和局部过热现象。

(5) 定、转子绕组焊接不良, 可在焊接处出现局部过热。

第五节 变压器与互感器

一、电力变压器

变压器是一种利用电磁感应的原理, 将某一数值的交流电压转变为频率相同的另一种或两种以上的交流电压的电气设备。

变压器的电磁感应由电路和磁路两部分来实现。这两部分是互相环链的, 电流环链着磁通, 磁通又环链着电流。电路分一次电路和二次电路, 参与电磁感应的主磁通即交链着一次电路, 也交链着二次电路。

由于变压器的形式、容量、电压和绕组的不同，它们的外形和附件也不完全一样，但其主要部件大体上是相似的。在电力变压器中，应用最多的是在 $100\sim 800\text{ kV}\cdot\text{A}$ 之间，电压在 $0.4\sim 35\text{ kV}$ 之间的中等容量的三相油浸式电力变压器。这类油浸式电力变压器一般由器身、油箱、储油柜、冷却装置、保护装置和引线部分组成。器身是变压器的最主要部分，由铁芯、绕组、引线及分接开关等部分组成，而铁芯和绕组又是变压器中的两个关键部分。下面以中小型电力变压器的结构为例来讲述变压器身结构。

1. 铁芯

铁芯是变压器最基本的构成部分之一，变压器的一次绕组和二次绕组都绕在铁芯上。一次绕组和二次绕组虽没有线的连接，但任何一个绕组接上电源后，由于电磁感应的关系，使另一个绕组也感应出电动势来。铁芯是用来导磁的，我们叫它磁路。电磁感应会使铁芯感应出电流来，我们把这个电流叫做“涡流”。涡流在铁芯内流动会使铁芯发热。严重时将会把变压器烧坏。为了减少涡流引起变压器发热，变压器的铁芯都是用 $0.35\sim 0.5\text{ mm}$ 厚的硅钢片叠成的，因为硅钢片的导磁性能最好。为了减少因涡流而导致的铁芯发热，在每层的硅钢片上涂上一层绝缘漆，这样把涡流限制在每片硅钢片内，涡流就大大减少了。

变压器铁芯的形式有口字形、日字形、C 字形等多种。为了减少叠装时接缝处的气隙，减少磁阻，增加导磁能力，硅钢片的叠装通常采用交叉叠装法。图 2-11 (a) 和图 2-11 (b) 分别为单相和三相变压器铁芯的叠装方法。

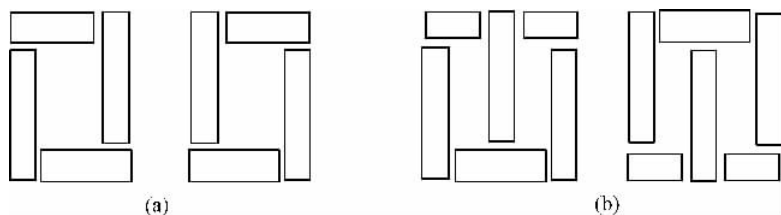


图 2-11 变压器铁芯的叠装方式

(a) 单相变压器铁芯；(b) 三相变压器铁芯

在心式变压器中,绕组包围着铁芯,一、二次绕组分别装在两个铁芯柱上。因此,绕组每匝的平均长度较短,而其磁路的平均长度则较长;壳式变压器绕组装在中间铁芯柱上,铁芯包围着绕组。一、二次绕组分里、外两层,因此绕组每匝的平均长度增加,而其全部磁通经过中间铁芯柱,然后分两路经两侧铁芯柱返回,所以磁通平均长度较短。由于两侧铁芯柱的长度是中间铁芯柱的两倍,所以两侧铁芯柱每柱的截面积约为中间铁芯柱截面积的一半。

变压器铁芯截面形状通常做成方形,另外也有做成十字形和阶梯形的。

铁芯必须有一点接地,因为变压器运行和实验时,铁芯对地会产生悬浮电压,导致铁芯对地间歇放电,这是不允许的。

不允许用两片铜片把铁芯不同电位的两点同时接地,以免通过铜片形成涡流而过热。

铁芯接地的方法是一片薄铜片,一端夹于铁轭在两硅钢片间,另一端夹在夹件与绝缘纸板之间。接地片一般放在低压引出线侧。

2. 绕组

绕组也是变压器的重要组成部分之一,变压器有两个或两个以上的绕组,绕组是用绝缘铜线(俗称漆包线)绕制而成的。

小型变压器一般采用圆铜线,电力变压器多采用方形或长方形扁铜线。变压器的绕组一般在模型上绕制而成,然后套入铁芯。

电力变压器绕组有筒形和盘形两种。图 2-12(a) 为筒形绕组放置在变压器中的示意图,圆筒形的低压绕组靠近铁芯,高压绕组则套在低压绕组的外边,以利于绝缘。在高、低压绕组之间,以及低压绕组与铁芯之间需要用绝缘套筒隔开。有的绕组匝数比较多,需绕好几层,在每层间用 $0.06 \sim 0.2 \text{ mm}$ 厚的绝缘纸隔开。为了便于绕制,在小容量变压器中,高压绕组靠近铁芯位置,而低压绕组则套在高压绕组的外边,这样也利于散热。

盘形绕组如图 2-12(b) 所示。高压绕组与低压绕组相互交替地放置,并把高压绕组、低压绕组分别连接起来。绕组和铁芯之间用绝

缘套筒隔开，高压绕组和低压绕组之间用绝缘板隔开。

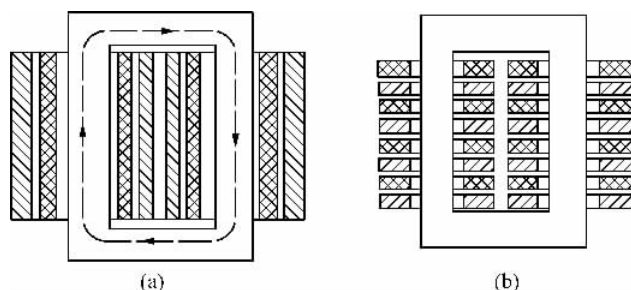


图 2-12 电力变压器绕组结构

(a) 筒形绕组；(b) 盘形绕组

3. 绝缘套管

绝缘套管的作用是作为变压器引出线的绝缘支架。从变压器的一、二次绕组接到高压和低压电路的引出线，须用瓷制的绝缘套筒固定。绝缘套筒的大小和形状根据电压高、低或室内还是室外而定。

4. 分接开关

电网中各点电压有高有低，为使处于不同地点的变压器输出电压符合电压质量标准，6~10 kV 配电变压器在其三相高压绕组末端的额定匝数和它的 $\pm 5\%$ 位置处引出三个端头，分别接到分接开关上。当三个动触头接通三个“Ⅰ”号静触头时，接入绕组的匝数时额定匝数的1.05倍，适用于网压偏高的地方；活动接点接通三个“Ⅲ”号静触头时，接入绕组的匝数为额定匝数的95%，适用于网压偏低的地方。

5. 变压器的冷却装置

电力变压器除了包括铁芯、绕组及绝缘套管外，还有用以保证变压器安全而可靠地运行的油箱、冷却装置和保护装置等，如图 2-13 所示。

变压器在运行时，电流通过绕组，由于导线存在一定电阻，要消耗一部分能量，这部分能量叫做铜消耗，简称铜损；同时由于磁路中磁阻的存在和涡流的作用，在铁芯中也要损耗一部分能量，这部分损耗叫做铁损耗，简称铁损。铜损和铁损所产生的热能必须散发出去，

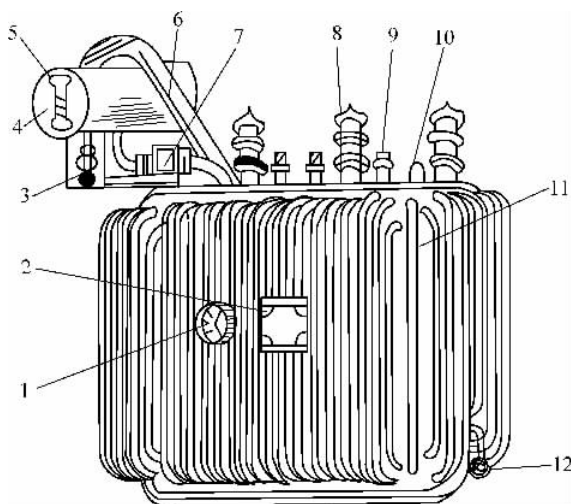


图 2-13 三相油浸自冷式电力变压器外形图

- 1—温度计；2—铭牌；3—吸湿器；4—储油柜；5—油位计；6—防爆管；7—气体继电器；
8—高压套管；9—低压套管；10—分接开关；11—油箱；12—放油阀门

否则温度升高，为使变压器的温度限制在一定的允许范围内，就必须对变压器进行冷却。小型变压器一般利用空气的流动进行冷却，叫做空气自冷式；电力变压器则把整个铁芯和绕组一起放在一个铁制的油箱内进行冷却。油箱中盛满变压器油，油箱做成瓦楞形或者安装许多和油箱上下连通的油管，靠近变压器铁芯和绕组的油，在变压器工作时随着铁芯和绕组一起升高温度，因而体积膨胀，密度变小向上浮起，这就促成变压器油在油箱内的循环，把热量带走，传给油箱散发到空气中去，这种冷却方法叫做油浸自冷式。变压器油除了冷却变压器外，还是良好的绝缘材料。

6. 储油柜

储油柜是一个圆筒，用钢板做成，装在变压器顶盖上，通过铁管与变压器的顶盖连接。储油柜里充以适量的油，储油柜是与油箱连通的，油膨胀时油箱里的油充入储油柜，油收缩时储油柜里的油又流入油箱（图 2-13），使油箱里的油始终是满的。储油柜里的油不能灌得

太满，需为油膨胀留出余地。

7. 吸湿器

吸湿器内装有氯化钴浸渍过的硅胶，它有很强的吸潮能力。吸湿管直接插在储油柜上部，高出油面很多。随空气进入储油柜的水分，经吸湿器时会被硅胶吸收。

用氯化钴浸渍过的硅胶，除吸湿外，主要是起指示剂的作用。因其吸湿饱和后，由蓝变红。一般白色硅胶的吸湿作用与蓝色的相同。

8. 气体继电器

在储油柜与油箱盖的连管上装有气体继电器，当变压器内部发生故障而产生大量的气体通过气体继电器时，气体继电器动作时，接通变压器各侧开关跳闸回路，使各侧开关跳开，避免故障扩大。同时发出信号，使值班人员及时处理。

二、互感器的修理

互感器的工作原理与变压器相同，都是利用电磁感应的原理。

1. 电流互感器的修理

电流互感器又称为仪用变流器，其英文代号为 TA。它用来将大的电流变换为小电流，以给各种仪表和继电保护装置的绕组提供电流，并可使其二次侧额定电流一律为 5 A。

(1) 电流互感器的接线。用单只电流互感器测量单相电流时，只需将一次绕组串入主电路，二次绕组接电流表及其他电器组成测量或电气控制电路，如图 2-14 (a) 所示。

在三相四线制供电线路中，常用三台电流互感器作为 Y 形连接，用于电流测量、功率测量以及组成控制和保护电路。其电路接线如图 2-14 (b) 所示。

(2) 电流互感器的选择：

- ① 电流互感器一次额定电流应在运行电流的 20%~120% 范围内。
- ② 电流互感器一次额定电压和运行电压相同。
- ③ 保证二次负载（如仪表及继电器等）所消耗的功率不超过电流

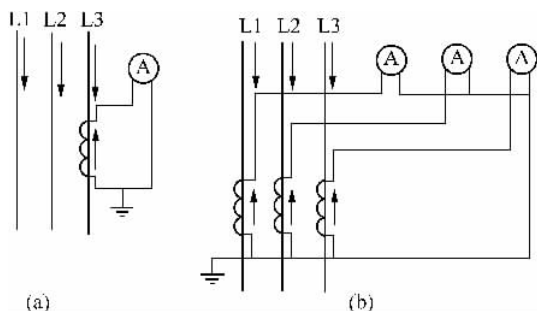


图 2-14 电流互感器的连接

(a) 单相测量电路；(b) 三相测量电路

互感器的额定容量。

④按不同的要求，选择合适的接线方式。

⑤根据测量目的和保护方式，选择电流互感器的准确度等级。

(3) 电流互感器的运行和维护。对于运行中的电流互感器，周期性的检查、保养时必不可少的，其主要内容和方法如下：

①检查接头是否松动、过热。

②用试温蜡检查电流互感器是否过热，检查有无烧焦痕迹或异味。

③耳听电流互感器的声音，如果“嗡嗡”的声音异常大，说明电流互感器有二次开路现象，应立即检查并排除之。

④在检查电流表的变化，如果指示零或比正常电流小得多，则说明有开路现象。

⑤定期检查绝缘，对于 $10\text{ kV} \cdot \text{A}$ 及 $10\text{ kV} \cdot \text{A}$ 以上的电流互感器，一次侧用 $2\ 500\text{ V}$ 兆欧表，二次侧用 $1\ 000\text{ V}$ 兆欧表。

⑥观测电流互感器的负荷情况，长期过负荷的，应及时更换。

⑦检查磁套管或者其他绝缘介质有无裂纹、破损，若有则应及时更换。

⑧外壳及二次回路的一点接地应完好。

⑨充油电流互感器的油量应充足，无漏油现象。

(4) 电流互感器二次侧开路故障的判断及处理。

①二次侧故障现象的判断:

- a. 电流表指示发生变化, 指示值比正常值小或指示为零。
- b. 松动端子和螺钉, 会引起打火现象, 并伴随着仪表指针摆动。
- c. 电流继电器不动作或误动作。
- d. 电流互感器运行噪声比正常声音要大得多。

②二次侧故障现象的处理:

- a. 将负荷减小或将负荷降到零, 切换电源后, 停电处理。
- b. 检查螺栓是否松动或断线。如有可站在绝缘垫上, 戴好绝缘手套, 拧紧螺栓, 连接断线, 动作要果断迅速。
- c. 电流互感器如有烧焦的痕迹和异味以及冒烟等现象, 则应停用电流互感器, 更换处理。

(5) 电流互感器的更换:

①互感器的外观检查。对于要更换的互感器, 应选用同样型号和规格的电流互感器, 并检查外观是否清洁、完好, 油量是否合格, 有无渗漏现象。

②电流互感器的实验。对将要启用的新电流互感器, 投入运行之前, 必须进行实验, 其内容和操作方法如下:

a. 绝缘电阻试验。一次侧用 2 500 V 兆欧表, 二次侧用 1 000 V 兆欧表, 其接线方法同变压器绝缘电阻的测试方法一样。5 kV 以上的电流互感器绕组对地绝缘电压不低于 10 M Ω 。

b. 变比实验。在被测电流互感器一次侧接入标准电流表, 二次侧接入电流表, 以标准表与被测表的测量值作比较。变比试验接线如图 2-15 所示。

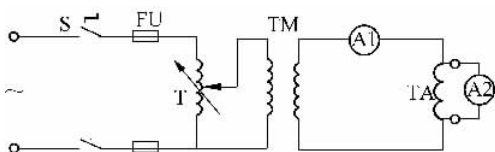


图 2-15 电流互感器变化试验接线图

此外, 还有一次绕组对外壳的交流耐压试验及二次绕组的伏安特性试验等。

③ 电流互感器安装注意事项。

- a. 电流互感器连接的母线必须牢固且不能使互感器受到拉力。
- b. 电流互感器二次绕组不应开路。当拆除二次回路仪表时, 应通过接线板将二次绕组接线端短路并直接接地。
- c. 电流互感器二次绕组绝缘电阻低于 $10\text{ M}\Omega$ 时, 必须干燥, 使绝缘恢复。
- d. 安装时, 应保证其中心的每相在同一平面上, 再与支持绝缘等设备装在同一中心线上, 各互感器间隔应一致, 其法兰盘应接地, 并用裸铜线及螺栓紧固。
- e. 安装完毕, 必须经过交接试验后, 方可投入运行。

2. 电压互感器的修理

在电力系统中, 不可能直接用仪表去测量高电压, 而是采用电压互感器 (英文代号 TV) 将高电压变换成低电压后, 再进行测量。

(1) 电压互感器的接线。用一只单相电压互感器, 一次侧接高压电, 二次侧接单相电压表、频率表和电压继电器等, 构成测量或控制回路。

用三只单相电压互感器或三相三柱式电压互感器作 Y_{yn} 连接, 用于连接线电压和相电压的仪表或继电器保护装置, 如图 2-16 所示。

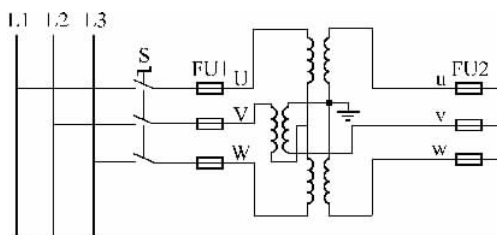


图 2-16 三相电压互感器接线图

(2) 电压互感器的保护:

- ① 选择电压互感器容量时, 要准确测算负载, 保证不能大于选定

电压互感器的最大容量。

②电压互感器二次回路必须接地。

③电压互感器一次侧装设保护用充填石英砂的瓷管熔断器，熔体的额定电流 0.5 A ，熔断电流应大于最大负载电流，但不应超过 1.5 倍。

(3) 电压互感器的运行和维护。对于运行中的电压互感器，要经常保持清洁，每两年进行一次预防性实验，平时应有定期的巡视检查。

①检查环氧树脂套筒状态，应清洁、完整无损，没有放电痕迹和声音。

②注意检查内部有无放电声和剧烈振动声。当线路接地时，应注意接地检视装置的电压互感器声音是否正常，有无异味。

③一次侧导线接头应不过热，二次侧导线部不应有腐蚀和损伤，一次和二次侧熔断器应完好，无短路现象存在。

④检查电压表的三相指示是否正常，检查电压互感器负荷是否正常（负荷应不超过电压互感器的最大容量）。

⑤检查二次侧接地是否良好。

⑥充油电压互感器油量应充足，无渗漏油现象。

(4) 电压互感器的故障诊断及处理：

①电压互感器一、二次回路短路故障。当绝缘监视装置电压表的指示有变化时，首先应切换一下绝缘监视装置电压表的相、线电压。对于一次侧一相熔体熔断的情况，熔断相的相电压将降低很多。

处理的方法：首先断开电压互感器的隔离开关，并取下二次侧熔体，检查二次侧熔体是否熔断，检查二次回路是否正常，核对二次侧熔体是否合乎规格，检查互感器回路是否有断路。排除电压互感器故障，电路恢复正常后，更换熔体。

对于二次侧一相熔断或断线的情况，有同样的现象发生。检查和处理方法是：切断隔离开关，取下熔体检查；同时，检查互感器回路接头或连接处是否松动、断开；检查电压切换回路接触是否良好。使电路恢复正常后，更换熔体（确认一次侧正常后，更换二次侧熔体，

使电路恢复正常)。

②二次回路短路故障。故障现象：运行时，电压互感器内部有异常声音，仪表指示不准确引起保护误动作。

检查及处理方法：断开隔离开关，切除自动装置并取下二次回路熔体，使电压互感器退出运行。检查二次回路是否短路，找出回路上的短路点；检查熔断器是否合乎要求；检查电压互感器二次绕组是否短路，如互感器二次绕组短路，修复电路正常后，更换互感器。

③电压互感器单相接地故障。故障现象：电压互感器单相接地时，故障相的相电压为零，非故障相两相的相电压升高至线电压。在这种情况下，首先确定故障相，然后将互感器退出运行，查找接地点进行修复。

处理方法：对电压互感器进行检查，取下一、二次熔体，检测绕组（对地）绝缘情况，检查是否短路。确认电压互感器良好，修复故障电路以后，将互感器投入运行。

（5）电压互感器的更换：

①互感器的外观检查。对于要更换的电压互感器，应选用同样型号和规格的电压互感器，并检查瓷套管有无裂缝，边缘是否损坏，瓷套管固定是否牢固，油浸式电压互感器油位是否正常；互感器外壳应无渗、漏油现象，油箱上阀门应灵活。

②电压互感器的实验：

a. 变比实验。从被测电压互感器（TV1）的低压侧输入额定电压100 V，高压侧用标准电压互感器 TV2 测量。通过 TV1、TV2 的读数可求得变比参数。

b. 空载电流实验。按图 2-17 所示接线，将电压互感器的一次侧开路，二次侧施加额定电压，测空载电流。

c. 耐压实验。其目的是为了考核绕组匝间绝缘强度。接线方法与空载实验相同，如图 2-17 所示。其操作是在空载实验完毕之后，再将电压升高到 1.3 倍额定电压，持续 3 min，如绕组绝缘良好，励磁电

流应无变化。

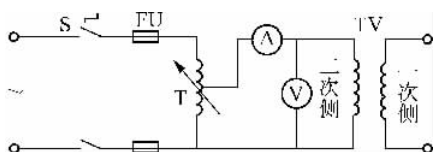


图 2-17 电压互感器空载试验接线图

课题 3

常用低压电器

- ◎第一节 熔断器
- ◎第二节 开关（刀开关，空气断路器）
- ◎第三节 热继电器
- ◎第四节 交流接触器
- ◎第五节 中间继电器
- ◎第六节 时间继电器
- ◎第七节 速度继电器
- ◎第八节 常用低压电器的检修工艺和质量标准

凡是根据外界特定的信号或要求，自动或手动接通和断开电路，断续或连续地改变电路参数，实现对电路或非电现象的切换、控制、保护、检测和调节的电气设备均称为电器。根据工作电压的高低，电器可分为高压电器和低压电器。工作在交流额定电压 1 200 V 及以下、直流额定电压 1 500 V 及以下的电器称为低压电器。低压电器作为基本器件，广泛应用于输配电系统和电力拖动系统中，在工农业生产、交通运输和国防工业中起着极其重要的作用。

随着科学技术的迅猛发展，工业自动化程度不断提高，供电系统的容量不断扩大，低压电器的使用范围也日益扩大，其品种规格不断增加，产品的更新换代速度加快。同时，低压电器的额定电压等级有相应提高的趋势，电子技术也广泛应用于低压电器中，无触点电器的

应用逐步推广。

低压电器的种类很多，本课题主要介绍低压开关、熔断器、主令电器、接触器、继电器及电磁铁等在电力拖动和自动控制系统中常用的低压电器。

一、低压电器的分类、产品标准和常用术语

1. 低压电器的分类

按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。低压配电电器包括刀开关、组合开关、熔断器和断路器等，主要用于低压配电系统及动力设备中。

(2) 低压控制电器。低压控制电器包括接触器、继电器、电磁铁等，主要用于电力拖动与自动控制系统中。

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。

(1) 自动切换电器。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。

(2) 非自动切换电器。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。

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。

(1) 有触点电器。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。

(2) 无触点电器。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。

2. 低压电器的产品标准

低压电器产品标准的内容通常包括产品的用途、适用范围、环境条件、技术性能要求、试验项目和方法、包装运输的要求等，它是厂家和用户制造和验收的依据。

低压电器标准按内容性质可分为基础标准、专业标准和产品标准

三大类。按批准的级别则分为国家标准（GB）、专业（部）标准（JB）和局批企业标准（JB/DQ）三级。

3. 常用术语

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

（2）**燃弧时间** 电器分断过程中，从触头断开（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分断电流值。

（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电流值。

（6）**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。

（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）**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。

（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，机械开关电器不需要修理或更换零件的负载操作循环次数。

二、低压电器型号组成形式

我国编制的低压电器产品型号适用于下列 12 大类产品：刀开关和转换开关、熔断器、断路器、控制器、接触器、启动器、控制继电器、主令电器、电阻器、变阻器、调整器和电磁铁。

低压电器产品型号类组代号见表 3-1。

表 3-1 低压电器产品型号类别代号表

代号	名称	A	B	C	D	G	H	J	K	L	M	P	Q	R	S	T	U	W	X	Y	Z
H	刀开关和 转换开关				刀开 关		封闭 式负 荷开 关		开启 式负 荷开 关					熔断 器式 刀开 关	刀形 转换 开关					其他	组合 开关
R	熔断器			插入 式			汇流 排式			螺旋 式	密闭 管式				快速	有填 料管 式			限流	其他	
D	断路器									照明	灭磁				快速			框架 式①	限流	其他	塑料外 壳式②
K	控制器					鼓形						平面				凸轮				其他	
C	接触器					高压		交流				中频			时间					其他	直流
Q	启动器	按钮 式		磁力				减压							手动		油浸		星三 角	其他	综合
J	控制 继电器									电流				热	时间	通用		温度		其他	中间
L	主令 电器	按钮							主令 控制 器						主令 开关	足踏 开关	旋钮	万能 转换 开关	行程 开关	其他	
Z	电阻器		板形 元件	冲片 元件		管形 元件									烧结 元件	铸铁 元件			电阻 器	其他	
B	变阻器			旋臂 式						励磁		频敏	启动		石墨	启动 调速	油浸 启动	液体 启动	滑线 式	其他	
T	调整器				电压																
M	电磁铁												牵引					起重			制动
A	其他		保护 器	插销 式	灯		接线 合			铃											

注：①原称万能式；②原称装置式。

低压电器产品型号通用派生代号见表 3-2。

表 3-2 通用派生代号

派生字母	代表意义
A、B、C、D、…	结构设计稍有改进或变化
J	交流、防溅式
Z	直流、自动复位、防振、重任务
W	无灭弧装置
N	可逆
S	有锁住机构、手动复位、防水式、三相、三个电源、双线圈
P	电磁复位、防滴式、单相、两个电源、电压
K	开启式
H	保护式、带缓冲装置
M	密封式、灭磁
Q	防尘式、手牵式
L	电流的
F	高返回、带分励脱扣

特殊环境条件派生代号见表 3-3。

表 3-3 特殊环境条件派生代号

派生字母	说 明	备 注
T	按湿热带临时措施制造	此项派生代号加注在产品全型号后
TH	湿热带	
TA	干热带	
G	高原	
H	船用	
Y	化工防腐用	

对于从国外引进的产品，则仍按其原型号并参考有关说明进行理解。

第一节 熔断器

熔断器是低压配电网络和电力拖动系统中主要用作短路保护的电器。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。它具有结构简单、价格便宜、动作可靠、使用维护方便等优点，因此得到广泛应用。

一、熔断器的结构与主要技术参数

1. 熔断器的结构

熔断器主要由熔体、安装熔体的熔管和熔座三部分组成。

熔体是熔断器的主要组成部分，常做成丝状、片状或栅状。熔体的材料通常有两种，一种是由铅、铅锡合金或锌等低熔点材料制成，多用于小电流电路；另一种是由银、铜等较高熔点的金属制成，多用于大电流电路。

熔管是熔体的保护外壳，用耐热绝缘材料制成，在熔体熔断时兼有灭弧作用。

熔座是熔断器的底座，作用是固定熔管和外接引线。

2. 熔断器的主要技术参数

(1) 额定电压。熔断器的额定电压是指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额定电压，熔体熔断时可能会发生电弧不能熄灭的危险。

(2) 额定电流。熔断器的额定电流是指保证熔断器能长期正常工作的电流，是由熔断器各部分长期工作时的允许温升决定的。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的条件下，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。在规定的使用和性能条件下,熔断器在规定电压下能分断的预期分断电流值。常用极限分断电流值来表示。

(4) 时间-电流特性。在规定工作条件下,表征流过熔体的电流与熔体熔断时间关系的函数曲线,也称保护特性或熔断特性,如图3-1所示。

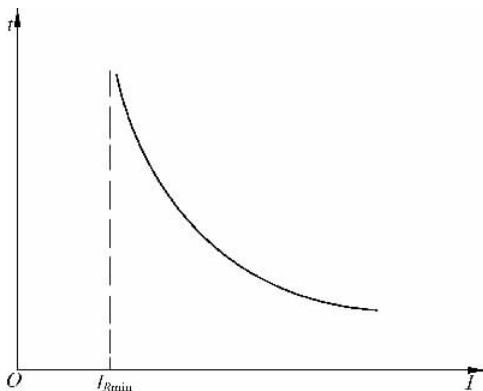


图 3-1 熔断器的时间-电流特性曲线

从特性曲线上可看出,熔断器的熔断时间随着电流的增大而减小,即熔断器通过的电流越大,熔断时间越短。

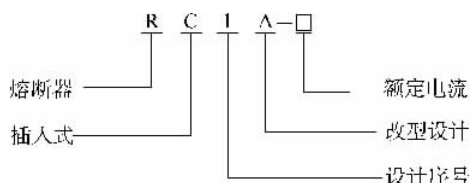
可见,熔断器对过载反应是很不灵敏的,当电气设备发生轻度过载时,熔断器将持续很长时间才熔断,有时甚至不熔断。因此,除在照明电路中外,熔断器一般不宜用作过载保护,主要用作短路保护。

二、常用的低压熔断器

熔断器按结构形式分为半封闭插入式、无填料封闭管式、有填料封闭管式和自复式四类。

1. RC1A 系列插入式熔断器(瓷插式熔断器)

(1) 型号及含义。



(2) 结构。RC1A 系列插入式熔断器是在 RC1 系列的基础上改进设计的, 可取代 RC1 系列老产品, 属半封闭插入式。它由瓷座、瓷盖、动触头、静触头及熔丝五部分组成, 其结构如图 3-2 所示。

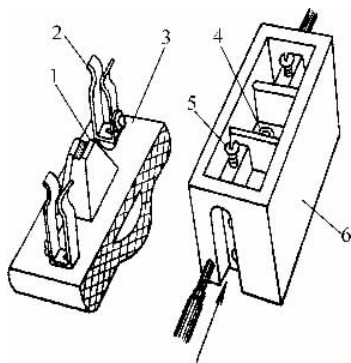


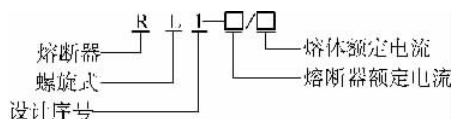
图 3-2 RC1A 系列插入式熔断器

- 1—熔丝; 2—动触头; 3—瓷盖;
4—空腔; 5—静触头; 6—瓷座

(3) 用途。RC1A 系列插入式熔断器结构简单, 更换方便, 价格低廉, 一般在交流 50 Hz、额定电压 380 V 及以下、额定电流 200 A 及以下的低压线路末端或分支电路中, 作为电气设备的短路保护及一定程度的过载保护。

2. RL1 系列螺旋式熔断器

(1) 型号及含义。



(2) 结构。RL1 系列螺旋式熔断器属于有填料封闭管式, 其外形和结构如图 3-3 所示。它主要由瓷帽、熔断管、瓷套、上接线座、下接线座及瓷座等部分组成。

该系列熔断器的熔断管内, 在熔丝的周围填充着石英砂以增强灭弧性能。熔丝焊在瓷管两端的金属盖上, 其中一端有一个标有不同颜色的熔断指示器, 当熔丝熔断时, 熔断指示器自动脱落, 此时只需更

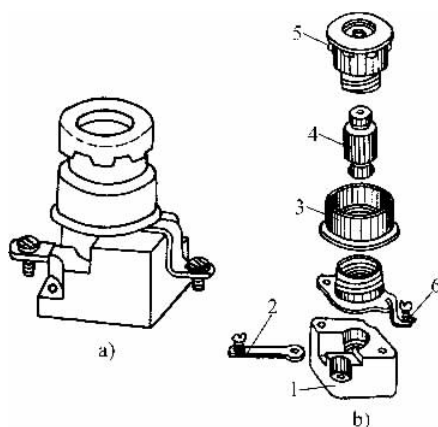


图 3-3 RL1 系列螺旋式熔断器

(a) 外形; (b) 结构

1—瓷座; 2—下接线座; 3—瓷套; 4—熔断管; 5—瓷帽; 6—上接线座

换同规格的熔断管即可。

(3) 用途。RL1 系列螺旋式熔断器的分断能力较强, 结构紧凑, 体积小, 安装面积小, 更换熔体方便, 工作安全可靠, 并且熔丝熔断后有明显指示, 因此广泛应用于控制箱、配电屏、机床设备及振动较大的场合, 在交流额定电压 500 V、额定电流 200 A 及以下的电路中, 作为短路保护器件。

3. RM10 系列无填料封闭管式熔断器

(1) 型号及含义。



(2) 结构。RM10 系列无填料封闭管式熔断器主要由熔断管、熔体、夹头及夹座等部分组成。RM10-100 型熔断器的外形与结构如图 3-4 所示。

这种结构的熔断器具有以下两个特点: 一是采用钢纸管作熔管,

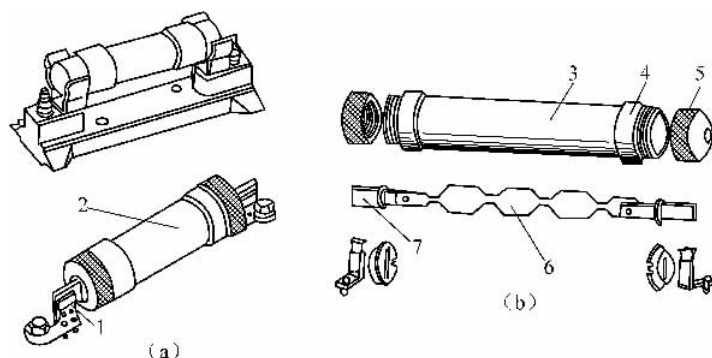


图 3-4 RM10 系列无填料封闭管式熔断器

(a) 外形；(b) 结构

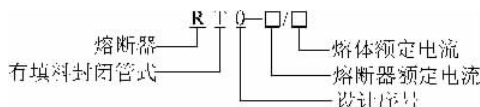
1—夹座；2—熔断管；3—钢纸管；4—黄铜套管；5—黄铜帽；6—熔体；7—刀型夹头

当熔体熔断时，钢纸管内壁在电弧热量的作用下产生高压气体，使电弧迅速熄灭。二是采用变截面锌片作熔体，当电路发生短路故障时，锌片几处狭窄部位同时熔断，形成较大空隙，因此灭弧容易。

(3) 用途。RM10 系列无填料封闭管式熔断器适用于交流 50 Hz、额定电压 380 V 或直流额定电压 440 V 及以下电压等级的动力网络和成套配电设备中，作为导线、电缆及较大容量电气设备的短路和连续过载保护。

4. RT0 系列有填料封闭管式熔断器

(1) 型号及含义。



(2) 结构。RT0 系列有填料封闭管式熔断器主要由熔管、底座、夹头、夹座等部分组成，其外形与结构如图 3-5 所示。

它的熔管用高频电工瓷制成。熔体是两片网状紫铜片，中间用锡桥连接。熔体周围填满石英砂，在熔体熔断时起灭弧作用。该系列熔断器配有熔断指示装置，熔体熔断后，显示出醒目的红色熔断信号。

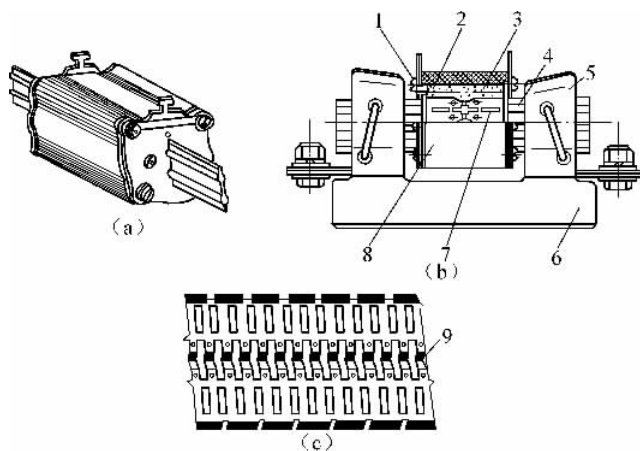


图 3-5 RT0 系列有填料封闭管式熔断器

(a) 外形；(b) 结构；(c) 锡桥

1—熔断指示器；2—石英砂填料；3—指示器熔丝；4—夹头；

5—夹座；6—底座；7—熔体；8—熔管；9—锡桥

当熔体熔断后，可使用配备的专用绝缘手柄在带电的情况下更换熔管，装取方便，安全可靠。

(3) 用途。RT0 系列有填料封闭管式熔断器是一种大分断能力的熔断器，广泛用于短路电流较大的电力输配电系统中，作为电缆、导线和电气设备的短路保护及导线、电缆的过载保护。

5. 快速熔断器

快速熔断器又叫半导体器件保护用熔断器，主要用于半导体功率元件的过电流保护。由于半导体元件承受过电流的能力很差，只允许在较短的时间内承受一定的过载电流（如 70 A 的晶闸管能承受 6 倍额定电流的时间仅为 10 ms），因此要求短路保护元件应具有快速动作的特征。快速熔断器能满足这一要求，且结构简单，使用方便，动作灵敏可靠，因而得到了广泛应用。

目前常用的快速熔断器有 RS0、RS3、RLS2 等系列，RLS2 系列的结构与 RL1 系列相似，适用于小容量硅元件及其成套装置的短路和

过载保护；RS0 和 RS3 系列适用于半导体整流元件和晶闸管的短路和过载保护，它们的结构相同，但 RS3 系列的动作更快，分断能力更高。

6. 自复式熔断器

常用熔断器的熔体一旦熔断，必须更换新的熔体，这就给使用带来一些不方便，而且延缓了供电时间。近年来，可重复使用一定次数的自复式熔断器开始在电力网络的输配电线路中得到应用。

自复式熔断器的基本工作原理是：其熔体是用非线性电阻元件（如金属钠等）制成，在特大短路电流产生的高温下，熔体气化，阻值剧增，即瞬间呈现高阻状态，从而能将故障电流限制在较小的数值范围内。

可见，与其说自复式熔断器是一种熔断器，还不如说它是一个非线性电阻，因为它熔而不断，不能真正分断电路，但由于它具有有限流作用显著、动作时间短、动作后不需更换熔体等优点，在生产中的应用范围不断扩大，常与断路器配合使用，以提高组合分断性能。目前自复式熔断器的工业产品有 RZ1 系列熔断器，它

适用于交流 380 V 的电路中与断路器配合使用。熔断器的额定电流有 100 A、200 A、400 A 和 600 A 四个等级，在功率因数 $\lambda \leq 0.3$ 时的分断能力为 100 kA。

熔断器在电路图中的符号如图 3-6 所示。



图 3-6 熔断器的符号

三、熔断器的选择

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。

1. 熔断器类型的选择

根据使用环境和负载性质选择适当类型的熔断器。例如，用于容量较小的照明线路，可选用 RC1A 系列插入式熔断器；在开关柜或配电屏中可选用 RM10 系列无填料封闭管式熔断器；对于短路电

流相当大或有易燃气体的地方，应选用 RT0 系列填料封闭管式熔断器；在机床控制线路中，多选用 RL1 系列螺旋式熔断器；用于半导体功率元件及晶闸管保护时，则应选用 RLS 或 RS 系列快速熔断器等。

2. 熔体额定电流的选择

(1) 对照明、电热等电流较平稳、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。

(2) 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 。

(3) 对多台电动机的短路保护，熔体的额定电流 I_{RN} 应大于或等于其中最大容量电动机额定电流 I_{Nmax} 的 1.5~2.5 倍加上其余电动机额定电流的总和。

在电动机的功率较大而实际负载较小时，熔体额定电流可适当小些，小到电动机启动时熔体不熔断为准。

3. 熔断器额定电压和额定电流的选择

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

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

四、熔断器的安装与使用

(1) 熔断器应完整无损，安装时应保证熔体和夹头以及夹头和夹座接触良好，并具有额定电压、额定电流值标志。

(2) 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，负载线应接在螺纹壳的上接线座上。这样在更换熔断管时，旋出螺帽后螺纹壳上不带电，保证了操作者的安全。

(3) 熔断器内要安装合格的熔体，不能用多根小规格熔体并联代替一根大规格熔体。

(4) 安装熔断器时，各级熔体应相互配合，并做到下一级熔体规格比上一级规格小。