

# 项目一

## 高压开关柜的安装与调试



### 学习目标

1. 掌握高压断路器的安装及运行维护的方法。
2. 掌握高压隔离开关的安装及运行维护的方法。
3. 掌握高压负荷开关的安装及运行维护的方法。
4. 掌握高压设备的安装与运行维护。

### 任务一 高压电气元件的选择

#### 1.1.1 任务要求

- (1) 认识电弧及其危害。
- (2) 了解电弧的灭弧方法。
- (3) 认识高压断路器、高压隔离开关、高压熔断器、电流互感器、电压互感器。
- (4) 了解高压断路器、高压隔离开关、高压熔断器、电流互感器、电压互感器的结构、工作原理和适用范围。

#### 1.1.2 相关知识

变配电站中承担输送和分配电能任务的电路，称为一次电路，或称主电路、主接线。一次电路中的电气设备，称为一次设备或一次元件，即高压电气元件。

##### 1.1.2.1 电弧的认识

##### 1. 电弧的产生与分类

电弧是一种气体放电现象，电流通过某些绝缘介质（例如空气）所产生的瞬间火花。

当用开关电器断开电流时，如果电路电压不低于 10~20 伏，电流不小于 80~100mA，电器的触头间便会产生电弧。因此，在了解开关电器的结构和工作情况之前，首先应清楚电弧是如何产生。

电弧的形成是触头间中性质子（分子和原子）被游离的过程。开关触头分离时，触头间距离很小，电场强度很高。当电场强度超过  $3 \times 10^6 \text{V/m}$  时，阴极表面的电子就会被电场力拉出而形成触头空间的自由电子。这种游离方式称为强电场发射。从阴极表面发射出来的自由电子和触头间原有的少数电子，在电场力的作用下向阳极作加速运动，途中不断地和中性质点相碰撞。只要电子的运动速度足够高，电子的动能足够大，就可能从中性质子中打出电子，形成自由电子和正离子。这种现象称为碰撞游离。新形成的自由电子也向阳极作加速运动，同样地会与中性质点碰撞而发生游离。碰撞游离连续进行的结果是触头间充满了电子和正离子，具有很大的电导；在外加电压下，介质被击穿而产生电弧，电路再次被导通。触头间电弧燃烧的间隙称为弧隙。电弧形成后，弧隙间的高温使阴极表面的电子获得足够的能量而向外发射，形成热电场发射。同时在高温的作用下，气体中性质点的不规则热运动速度增加。当具有足够动能的中性质点相互碰撞时，将被游离而形成电子和正离子，这种现象称为热游离。随着触头分开的距离增大，触头间的电场强度逐渐减小，这时电弧的燃烧主要是依靠热游离维持的。

## 2. 电弧的分类

(1) 按电流种类可分为：交流电弧、直流电弧和脉冲电弧。

(2) 按电弧的状态可分为：自由电弧和压缩电弧（如等离子弧）。

(3) 按电极材料可分为：熔化极电弧和不熔化极电弧。

## 3. 电弧的危害和灭弧方法

(1) 电弧的危害。

电弧产生的能量可高达  $8 \sim 60 \text{MW}$ ，它主要与电弧的燃烧时间以及短路电流的平方值成正比，其他因素则包括柜体几何尺寸以及所使用的材料等。电弧燃烧持续时间超过  $100 \text{ms}$ ，所释放的能量开始急剧增加，大约  $150 \text{ms}$  左右电缆开始燃烧， $200 \text{ms}$  左右铜排燃烧，到了  $250 \text{ms}$  左右钢材开始燃烧。造成严重的电气损坏，严重时可导致开关柜燃烧。

电弧故障是一种不可预测的偶发事故。发生电弧故障所产生的总能量，可能大于一场严重火灾产生的能量的三、四倍，并且它是在一个非常短的时间内高度集中释放的能量，因而可能对附近工作人员造成致命的危害。主要体现在以下几个方面：

① 电击致死。当工作者直接接触电，可能造成触电身亡或严重灼伤。事实上，即使具有防火性的防护衣也不能够使工作者免于触电身亡的危险。

② 衣服燃烧造成的严重灼伤。工人未必要被电弧接触到才会受伤。电弧产生的辐射热可以在很短的时间内熔化工具、使日常衣物起火燃烧，如棉衣及聚酯衣服在没有火焰的情况下也会起火燃烧。此种衣服一旦被点燃，便会继续燃烧从而对穿着者造成致命的伤害。

③ 衣服爆裂造成严重灼伤。电弧所产生的爆炸或震荡力会使日常衣服绷裂开，而使工作人员的身体直接暴露于高热、火焰或熔融的金属当中（如熔化的金属工具及设备）。

④ 合成纤维内衣滴熔造成严重灼伤。即使在外衣没有燃烧的情况之下，电弧所产生的高热足以熔化由合成纤维材料制成的内衣，由于内衣紧贴皮肤，而给穿着者造成非常严重的、甚至是致命的伤害。

⑤ 续发性火焰引起严重伤害。电弧的高热足以引起续发性火灾，并引起更多的爆炸，例如，电弧可以使变压器燃烧或使附近建筑物爆炸。

⑥ 此外，巨大而集中的辐射能量从开关设备中向外爆发，所产生的压力波可能损坏人的听力；高强度的闪光损坏人的视力；超高温的电弧火球可能严重烧伤工作人员的身体；压力波也可能使某

些松脱的材料（比如损坏设备的碎片、工具和其他物件等）抛出对人造成伤害，还有电弧燃烧所产生的有毒气体（一氧化碳、铝及铜蒸汽等）对人的呼吸系统也造成伤害。

#### （2）灭弧的方法。

灭弧的基本方法就是加强去游离，提高弧隙介质强度的恢复过程或改变电路参数降低弧隙电压的恢复过程，目前开关电器的主要灭弧方法有：

##### ①利用介质灭弧。

弧隙的去游离在很大程度上，取决于电弧周围灭弧介质的特性。六氟化硫气体是很好的灭弧介质，其电负性很强，能迅速吸附电子而形成稳定的负离子，有利于复合去游离，其灭弧能力比空气约强 100 倍；真空也是很好的灭弧介质，因真空中的中性质点很少，不易于发生碰撞游离，且真空有利于扩散去游离，其灭弧能力比空气约强 15 倍。

##### ②利用气体或油吹动电弧。

吹弧使弧隙带电质点扩散和冷却复合。在利用各种灭弧室结构形式，使气体或油产生巨大的压力并有力地吹向弧隙。吹弧方式主要有纵吹与横吹两种。纵吹是吹动方向与电弧平行，它促使电弧变细；横吹是吹动方向与电弧垂直，它把电弧拉长并切断。

##### ③采用特殊的金属材料作灭弧触头。

采用熔点高、导热系数和热容量大的耐高温金属作触头材料，可减少热电子发射和电弧中的金属蒸汽，得到抑制游离的作用；同时采用的触头材料还要求有较高的抗电弧、抗熔焊能力。常用触头材料有铜钨合金、银钨合金等。

##### ④电磁吹弧。

电弧在电磁力作用下产生运动的现象，叫电磁吹弧。由于电弧在周围介质中运动，它起着与气吹的同样效果，从而达到熄弧的目的。这种灭弧的方法在低压开关电器中应用得更为广泛。

##### ⑤使电弧在固体介质的狭缝中运动。

此种灭弧的方式又叫狭缝灭弧。由于电弧在介质的狭缝中运动，一方面受到冷却，加强了去游离作用；另一方面电弧被拉长，弧径被压小，弧电阻增大，促使电弧熄灭。

##### ⑥将长弧分隔成短弧。

当电弧经过与其垂直的一排金属栅片时，长电弧被分割成若干段短弧；而短电弧的电压降主要降落在阴、阳极区内，如果栅片的数目足够多，使各段维持电弧燃烧所需的最低电压降的总和大于外加电压时，电弧就自行熄灭。另外，在交流电流过零后，由于近阴极效应，每段弧隙介质强度骤增到 150~250V，采用多段弧隙串联，可获得较高的介质强度，使电弧在过零熄灭后不再重燃。

##### ⑦采用多断口灭弧。

高压断路器每相由两个或多个断口串联，使得每一断口承受的电压降低，相当于触头分断速度成倍地提高，使电弧迅速拉长，对灭弧有利。

##### ⑧提高断路器触头的分离速度。

提高了拉长电弧的速度，有利于电弧冷却复合和扩散。

#### 1.1.2.2 高压断路器的选择

##### 1. 高压断路器的功能

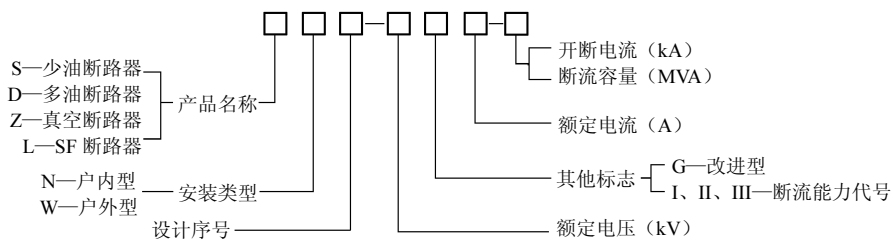
在电路正常的情况下用以接通或切断负荷电流；在电路发生故障时，用以切断短路电流或自动重合闸。断路器的灭弧装置具有很强的灭弧能力，现在常用的高压断路器有高压少油断路器、高压真空断路器、高压六氟化硫断路器及高压空气开关等。

高压断路器又称为高压开关，是高压供配电系统中最重要电器之一。

## 2. 高压断路器的类型及型号

高压断路器根据采用的灭弧介质的不同，分为少油断路器、空气断路器、SF<sub>6</sub>断路器和真空断路器等。多油断路器已不用，目前应用最多是真空断路器和 SF<sub>6</sub> 断路器，真空断路器一般用在 35kV 及以下的系统中，SF<sub>6</sub> 断路器一般用在 110kV 及以上系统中，目前 35kV 的 GIS 装置也采用 SF<sub>6</sub> 断路器。

高压断路器的型号及含义如下：

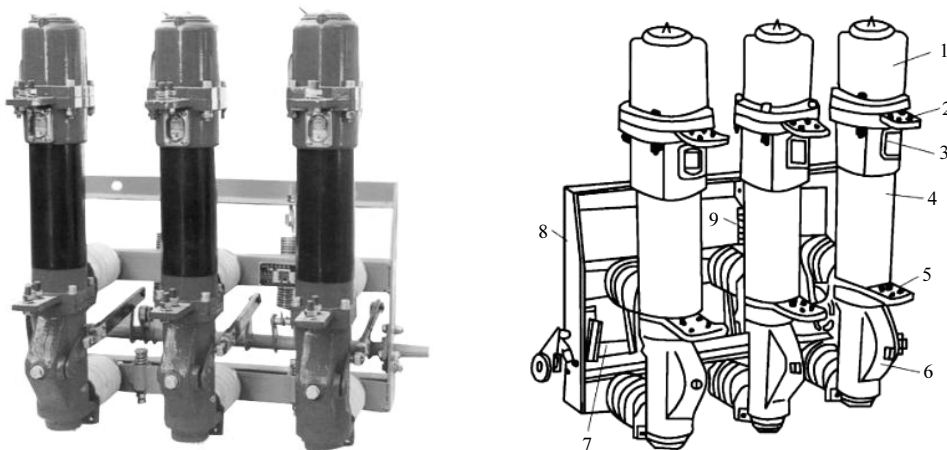


## 3. 少油断路器

少油断路器中的油仅作灭弧介质使用，不作为主要绝缘介质，而载流部分是依靠空气、陶瓷材料或有机绝缘材料来绝缘的，因而油量很少。

目前化工中应用的少油断路器已经很少了，不少已经改造为真空断路器，下面以工厂中仍在用的 SN10-10 型的少油断路器为例介绍少油断路器的结构、开断过程和灭弧原理。

如图 1-1 所示，SN10-10 系列少油断路器由框架、油箱及传动部分组成。框架上装有分闸限位器、合闸缓冲、分闸弹簧及 6 只支持绝缘子。传动部分有断路器主轴、绝缘拉杆等。油箱固定和支持绝缘子上。



(a) SN10-10 型少油断路器实物图

(b) SN10-10 型少油断路器结构图

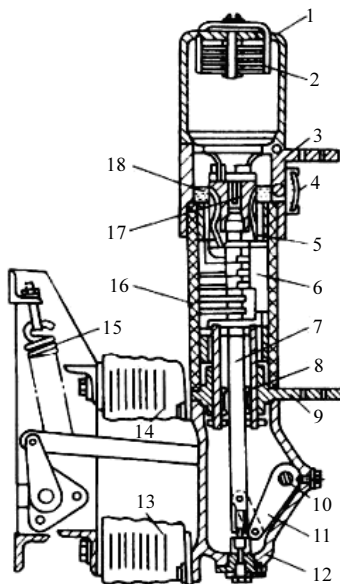
1—铝帽；2—上接线端；3—油标；4—绝缘箱（内装灭弧室及触头）；

5—下接线端；6—基座；7—主轴；8—框架；9—分闸弹簧

图 1-1 SN10-10 型少油断路器的外形结构

断路器的灭弧室设计为纵横吹和机械油吹联合作用灭弧，在短时间内可有效地灭大、中、小电

流。SN10-10 I 型、II 型及 SN10-10 III/1250-40 型为单筒结构，SN10-10/III/2000-40 型和 SN10-10/3000/40 型附加一副筒成为双筒结构，由于副筒不产生电弧，故其触头不用耐弧合金，亦不装灭弧室。SN10-10 少油断路器的一相剖面图如图 1-2 所示。



1—铅帽；2—油气分离器；3—上接线端子；4—油标；5—静触头；6—灭弧室；7—动触头；8—中间滚动触头；9—下接线端子；10—转轴；11—拐臂；12—基座；13—下支柱瓷瓶；14—上支柱瓷瓶；15—断路器簧；16—绝缘筒；17—逆止阀；18—绝缘油

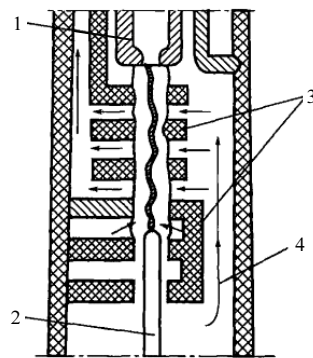
图 1-2 SN10-10 少油断路器的一相剖面图

上述导电回路是上接线端子→静触头→导电杆→滚动中间触头→下接线端子。

分闸时，在分闸弹簧的作用下，主轴转动，经四连杆机构传到断路器各相的转轴，将导电杆向下拉，动、静触对分开。触头间产生的电弧在灭弧室中熄灭。电弧分解的气体和油蒸气上升到空气室处膨胀，经过双层离心旋转式油气分离器冷却、分离，气体从顶部排气孔排出。导电杆分闸终了时，油缓冲器活塞插入导电杆下部钢管中进行分闸缓冲。

合闸时动作相反，导电杆向上运动，在接近合闸位置时，合闸缓冲弹簧被压缩，进行合闸缓冲。

SN10-10 少油断路器的灭弧室采用了横吹、纵吹及机械油吹三种作用，如图 1-3 所示。这种灭弧室的特点是：①采用逆流原理，使动力触头端部的电弧弧根不断与新鲜油相接触，有效地冷却电弧，增加熄弧能力；②开断大电流时，在电弧高温作用下，油被分解为气体，产生高压，当导电杆向下移动时，依次打开第一、第二、第三横吹弧道，油气混和物强烈吹动电弧，从而使电弧熄灭；③开断小电流时，电弧能量小，但由于动触头向下运动，使下面的一部分油通过灭弧室的附加油道而横向射入电弧。这样在两个纵吹油囊的纵吹作用之外，实际上又加了机械油吹作用，因此能使小电流电弧很快熄灭。



1—静触点；2—动触点；3—盘形绝缘板；4—附加油流通道

图 1-3 SN10-10 少油断路器灭弧室

目前少油断路器已逐渐被真空断路器取代,只是在一些小企业和老的工厂中使用,新建的工厂在中压系统中基本上都采用真空断路器,在超高压系统上,大部分采用六氟化硫断路器。少油断路器同真空断路器及六氟化硫断路器相比较,检修工作量大。

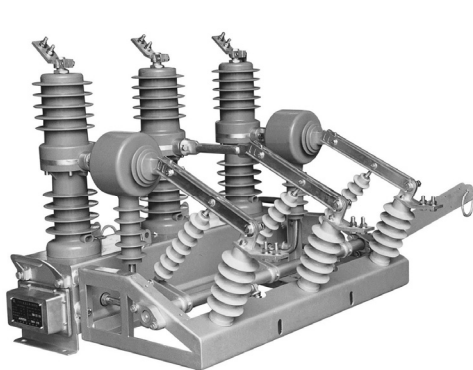
#### 4. 真空断路器

真空断路器是把触头安置在一个真空容器中,依靠真空作灭弧和绝缘介质。当容器内的真空度达到  $10^{-5}\text{mmHg}$  时,具有较高的绝缘强度 ( $E=10\sim 45\text{kV/mm}$ )。

所有真空断路器,不论是何种结构,断路器本体中均装设有分闸拉力弹簧。合闸过程中操动机构既要提供驱动开关运动的功,又要同时将分闸弹簧储能。当需要分闸时,操动机构只需完成脱扣解锁任务,由分闸弹簧释能完成分闸运动。

真空断路器的类型可从不同角度来划分,一般情况下主要从以下两个方面划分:

(1) 按使用场所可分为户内式和户外式,如图 1-4 所示,分别用 ZN 和 ZW 来表示。



(a) ZW32 型户外真空断路器



(b) ZN41 型户内真空断路器

图 1-4 真空断路器

(2) 按断路器主体与操动机构的相关位置可分为整体式和分体式。整体式真空断路器操动机构与开关本体安装在同一骨架上,体积小、重量轻、安装调整方便、机械性能稳定。分体式真空断路器操动机构与开关本体分别装于开关柜的不同位置上,断路器的各项机械特性参数必须安装在开关柜上调整试验才有实际意义,这种安装方式主要受我国少油断路器的安装方式的影响,比较适合于少油开关柜的无油化改造,优点是巡视和检修方便,缺点是安装调整稍麻烦,机械特性的稳定性和可靠性稍逊。

##### ① 真空断路器的传动与合、分闸操作。

真空断路器的传动链一般由机构传动连杆、拐臂、主轴、绝缘推杆、三角拐臂和触头弹簧装置等构成。设计时应尽量简化传动环节以提高传动的效率。

真空断路器的合、分闸操作过程:

合闸时,操动机构合闸线圈得电→合闸铁芯动作→机构及传动连杆动作→开关主轴转动→绝缘推杆前推→三角拐臂转动→下压触头弹簧装置→灭弧室导电杆向下运动使触头接触→触头弹簧压缩至接触行程终点。与此同时,机构的辅助开关切断合闸接触器线圈电源,分闸弹簧拉长储能,电磁机构的扣板由半轴扣住保持在合闸位置,合闸结束。

分闸时,机构中的分闸线圈得电→分闸铁芯动作→扣板与半轴脱扣→断路器在触头弹簧和分闸

弹簧的作用下迅速分断→机构的辅助开关切断分闸线圈电源→机构复原,并由分闸弹簧保持在分闸位置。

真空断路器在开断电流时,两触头间就要产生电弧,电弧的温度很高,能使触头材料蒸发,在两触头间形成很多金属蒸气。由于触头周围是“真空”的,只有很少气体分子,所以金属蒸气很快就跑向围在触头周围的屏蔽罩上,以致在电流过零后极短的时间内(几微秒)触头间隙就恢复了原有的高“真空”状态。因此真空断路器的灭弧能力要比少油断路器优越得多。

故真空断路器具有如下特点:

- a. 在真空中熄弧,电弧和炽热气体不外露,不飞溅到其他物体上;
- b. 由于真空中耐压强度高,触头之间距离大大缩短,相对的动作行程也短得多,动导杆的惯性小,适用于频繁操作;
- c. 由于真空断路器的结构特点使其具有熄弧时间短、弧压低、电弧能量小、触头损耗小、开断次数多等特点;
- d. 操作机构小且重量轻,控制功率小,没有火灾和爆炸危险,故安全可靠;
- e. 触头密封在真空中,不会因受潮气、灰尘及有害气体等影响而降低其技术性能;
- f. 真空断路器在遮断短路电流时,待故障排除后,无需检修真空断路器即可投入运行。

但是,真空断路器由于熄弧速度太快,容易产生操作过电压,直接威胁到电气设备的安全运行。必须采取相应的对策抑制真空断路器的操作过电压。抑制真空断路器的操作过电压问题,一是真空断路器的设计选型,应首选技术装备先进,检测手段完善的生产企业,选用的产品具有低的截流值,以减少操作中产生截流过电压;二是必须同步设计操作过电压吸收装置,我国目前广泛采用的过电压吸收装置可分为两类,即 RC(电阻、电容器组合式)和氧化锌压敏电阻两种形式。

氧化锌压敏电阻具有抑制过电压能力强、残压低、对浪涌响应快、伏安特性对称等特性,在任何波形的正负极性浪涌电压均能充分吸收,并具有通流容量大、放电后无续流等优点,且其体积小便于安装而得到广泛地用于抑制真空短路器的操作过电压。

## ②真空断路器的运行维护。

### a. 定期测量断路器的超行程。

真空断路器的超行程与少油断路器的超行程的概念有所不同,少油断路器的超行程为动触头插入静触头的深度,而真空断路器的超行程为分合闸绝缘拉杆一端触头弹簧被压缩的距离,这个距离要保持在要求的范围内,触头间有足够的压力,就可以保证触头接触良好。真空断路器的超行程一般为 4mm,触头允许磨损厚度一般为 2~3mm。真空断路器在分合负载电流或故障电流过程中,触头不断磨损,从而超行程不断减少,因此,必须定期对断路器的超行程进行测量,对不符合要求的要及时调整,以保证触头间有足够第二压力,以保证其接触良好。一般真空断路器每开断 2000 次或开断短路电流两次及新投入运行 3 个月,应进行一次超行程测量。

### b. 定期检测灭弧室的真空度。

真空断路器灭弧室的真空度直接影响到断路器的开断能力。一般灭弧室真空度应每开断 2000 次或每年进行一次检测。检测方法为在真空断路器动静触头在正常开距下(13mm),两触头间以不大于 12kV/s 的速率升加工频电压至 42kV,稳定一分钟应无异常现象。

### c. 灭弧室更换条件。

对使用寿命已到或有异常现象的灭弧室必须更换,其更换的条件一般为:真空断路器的触头磨损已达到或超出规定值;灭弧室真空度已达不到标准的要求值;其机械操作寿命已达到规定值,真

空断路器灭弧室的更换，应严格执行制造厂的具体技术标准和相关的技术要求。

### 1.1.2.3 高压隔离开关的选择

#### 1. 高压隔离开关的功能

高压隔离开关主要用于隔断高压电源，以保证其他设备和线路的安全检修。

在电路正常工作时，作为负荷电流的通路；检修电气设备时，在没有负荷电流情况下打开隔离开关，用以隔离电源电压，并造成明显的断路点。隔离开关没有灭弧装置，不能在其额定电流下开合电路，只能与高压断路器或高压熔断器配合使用。

在 6~10kV 网络中，符合下列情况可用隔离开关操作：开合电压互感器及避雷器回路；开合励磁电流不超过 2A 的空载变压器；开合电容电流不超过 5A 的空载线路；开合电压为 10kV 及以下，电流为 15A 以下的线路；开合电压为 10kV 及以下，均衡电流为 70A 及以下的环路。

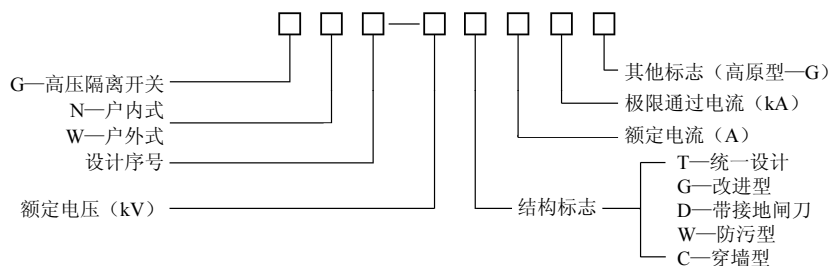
#### 2. 高压隔离开关的类型及型号

隔离开关按其装置种类可分为户内式和户外式，按级数可分为单极和三极，如图 1-5 所示。



图 1-5 高压隔离开关

高压隔离开关的型号及含义如下：



例如：GN8-10/600 表示 10kV 户内式，设计序号为 8，额定电流为 600A 的隔离开关。

### 1.1.2.4 高压负荷开关的选择

#### 1. 高压负荷开关的功能

高压负荷开关，主要用于 10kV 配电系统接通和分断正常的负荷电流。

在电路正常的情况下用以接通或切断负荷电流。负荷开关具有简单的灭弧装置，灭弧能力较小，只能在其额定电压和额定电流下开合电路，不能用以切断短路电流。负荷开关与熔断器配合代替断路器，只能用于不重要的供电网络。

#### 2. 高压负荷开关的类型及型号

高压负荷开关分为户内式和户外式两类，如图 1-6 所示。



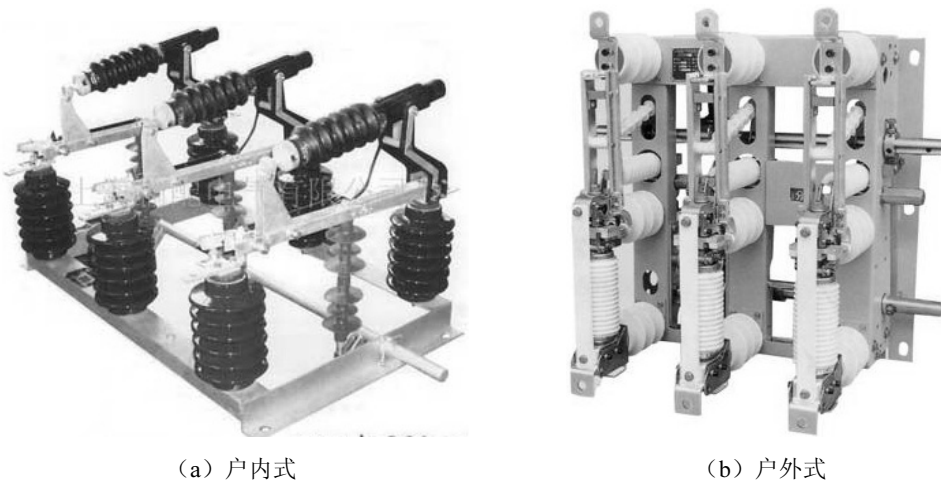
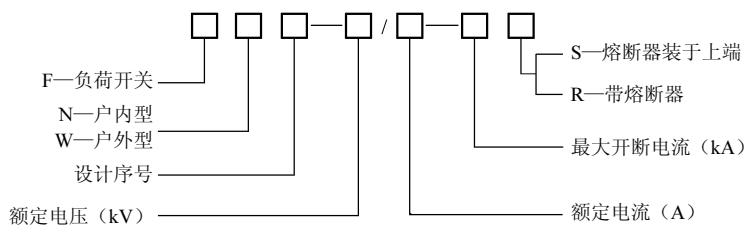


图 1-6 高压负荷开关

高压负荷开关的型号及含义如下：



例如：FN3-10RT 表示 10kV 户内式，设计序号为 3，带有熔断器和热脱扣器的高压负荷开关。

### 1.1.2.5 高压熔断器的选择

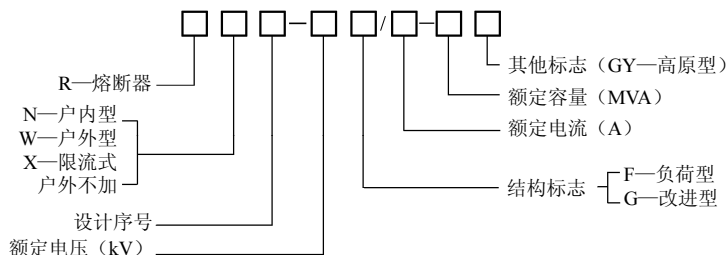
#### 1. 高压熔断器的功能

高压熔断器主要作为电气设备长期过载和短路的保护元件。电路过载或短路时，将熔断体熔断，切断故障电路。在正常情况下，不允许操作高压熔断器接通或切断负荷电流。

#### 2. 高压熔断器的类型及型号

目前国内生产的高压熔断器，用于户内的有 RN1、RN2 系列，用于户外的有 RW4 系列等。

高压熔断器的型号及含义如下：



例如：RW4-10/100 表示户外式、设计序号为 4，额定电压为 10kV，额定电流为 100A 的高压熔断器。

#### (1) RN1、RN2 型高压熔断器。

RN1 型充石英砂户内高压熔断器用于电力线路的过载及短路保护，有较大的开断能力，故亦

可用于保护电力系统分出的支路，如城市的供电线路、工矿企业、农业变电站的馈电线路。RN1型熔断器是由上下支柱绝缘子、触座、熔丝管和底板等四部分组成，支柱绝缘子安装在底板上，触座固定在支柱绝缘子上，熔丝管放在触座中固定，熔丝管管内熔丝缠在有棱的芯子上，然后充填石英砂，两端铜帽用端盖压紧，用锡焊牢，以保护密封。当通过过载电流或短路电流时，熔丝立即熔断，同时产生电弧，石英砂就立即把电弧熄灭。在熔丝熔断时，弹簧的拉线也同时熔断，并从弹管内弹出，这就指示熔断器完成了任务。如图 1-7 所示。

RN2 型户内高压限流熔断器，用于电压互感器的短路保护，其断流容量为  $100\text{MV}\cdot\text{A}$ 。在短路时以限制线路电流到最小值的方式进行瞬时开断，1 分钟内熔断电流应在  $0.6\sim 1.8\text{A}$  范围内。

RN1、RN2 型熔断器其灭弧能力很强，能在短路后不到半个周期（即短路电流未达冲击值前）就能完全熄灭电弧，切断电路。这种熔断器属于“限流”型熔断器。

### （2）RW4 型跌落式熔断器。

高压跌落式熔断器集短路保护、过载及隔离电路的功能为一体，广泛用于输配电线路及设备上，在功率较小和对保护性能要求不高的地方，它可以与隔离开关配合使用，代替自动空气开关；与负荷开关配合使用，代替价格高昂的断路器。熔断器结构简单，保护可靠，但如果使用不当，将会导致误动或不动作，造成不可避免的经济损失。因此，有必要正确地认识和使用熔断器。

户外高压跌落式熔断器的特点是：气体喷射式，熔丝熔断时产生的大量气体迅速通过熔管下部排出，同时迅速跌落，形成明显的分断间隙。当线路出现短路或过载将熔丝熔断，熔丝更换后可以多次使用。户外高压跌落式熔断器从小电流至额定电流亦可靠动作。如图 1-8 所示。



图 1-7 RN1 型高压熔断器



图 1-8 户外高压跌落式熔断器

熔断器运行时串联在电力线路中，在正常工作时，带纽扣的熔丝装在熔丝管的上触头，被装有压片的释压帽压紧，熔丝尾线通过熔丝管拉出，将弹出板扭反压进喷头，与下触头连接，在弹出板扭力的作用下熔丝一直处于拉紧状态，并锁紧活动关节。在熔断器处在合闸位置时，由于上静触头向下和弹片的向外推力，使整个熔断器的接触更为可靠。

当电力系统发生故障时，故障电流将熔丝迅速熔断，在熔管内产生电弧，熔丝管在电弧的作用下产生大量的气体，当气体超过给定的压力值时，释压片即随纽扣头打开，减轻了熔丝管内的压力，在电流过零时产生强烈的去游离作用，使电弧熄灭。而当气体未超过给定的压力值时，释压片不动作，电流过零时产生的强烈去游离气体从下喷口喷出，弹出板迅速将熔丝尾线拉出，使电弧熄灭。熔丝熔断后，活动关节释放，熔丝管在上静触头下弹片的压力下，加上本身自重的作用迅速跌落，

将电路切断，形成明显的分断间隙。

跌落式熔断器要经过几个周波才能灭弧，所以没有限流作用，属于“非限流”型熔断器。

#### 1.1.2.6 互感器的选择

电流互感器与电压互感器统称为互感器，互感器是一种特殊变压器。它是一次电路与二次电路之间的联络元件，用以分别向测量仪表、继电器的电流线圈和电压线圈供电。

##### 1. 互感器的作用

(1) 将一次回路的高电压和大电流变为二次回路标准的低电压和小电流，使测量仪表和保护装置标准化、小型化，并使其结构轻巧、价格便宜，并便于屏内安装。

(2) 隔离高压电路。互感器一次侧和二次侧没有电的联系，只有磁的联系，使二次设备与高电压部分隔离，且互感器二次侧均接地，从而保证了设备和人身的安全。

(3) 对二次设备进行维护、调试以及调整试验时，可以不中断一次系统的运行，而只需要改变二次接线即可。

(4) 当电路中发生短路时，测量仪表和继电器的电流线圈不会直接受到大电流的损坏。

##### 2. 电流互感器

(1) 电流互感器的类型及型号。

电流互感器是将一次侧的大电流，按比例变为适合通过仪表或继电器使用的，额定电流为 5A 或 1A 的变换设备。

①按安装地点可分为户内式和户外式。20kV 以下制成户内式；35kV 及以上多制成户外式。

②按安装方式可分为穿墙式、支持式和装入式。穿墙式装在墙壁或金属结构的孔中，可节约穿墙套管；支持式则安装在平面或支柱上；装入式是套在 35kV 及以上变压器或多油断路器油箱内的套管上，故也称为套管式。

③按绝缘可分为干式、浇注式、油浸式等。干式用绝缘胶浸渍，适用于低压户内的电流互感器；浇注式利用环氧树脂作绝缘，多用于 35kV 及以下的电流互感器；油浸式多为户外型。

④按一次绕组匝数可分为单匝式和多匝式。

⑤新型电流互感器按高、低压部分的耦合方式，可分为无线电电磁波耦合、电容耦合和光电耦合式，其中光电式电流互感器性能更佳。新型电流互感器的特点是高低压间没有直接的电磁联系，使绝缘结构大为简化；测量过程中不需要消耗很大能量；没有饱和现象，测量范围宽，暂态响应快，准确度高；重量轻、成本低。

电流互感器的外形如图 1-9 所示。



(a) 户外型电流互感器



(b) 户内型电流互感器

图 1-9 电流互感器

### (2) 电流互感器的工作原理。

电力系统中广泛采用的是电磁式电流互感器（以下简称电流互感器）。它的工作原理和变压器相似。

电流互感器一、二次电流之比称为电流互感器的变流比（额定互感比）。

$$K_i = \frac{I_{N1}}{I_{N2}} \quad (1-1)$$

式中： $I_{N1}$ ——一次线圈的额定电流，A； $I_{N2}$ ——二次线圈的额定电流，5A/1A。

### (3) 电流互感器的特点。

①一次绕组串联在电路中，并且匝数很少；故一次绕组中的电流完全取决于被测电路的负荷电流，而与二次电流大小无关；

②电流互感器二次绕组所接仪表的电流线圈阻抗很小，所以正常情况下，电流互感器在近于短路的状态下运行；

③电流互感器在工作中，二次侧不允许开路。

### (4) 电流互感器的接线方案。

电流互感器的接线方案指的是电流互感器与测量仪表或保护继电器之间的连接形式。

#### ①三相星形接线（三相完全星形）。

可以准确反映三相中每一相的真实电流。该接线方式广泛用于负荷不平衡的三相四线制系统中，作三相电流、电能测量及过电流保护之用。

#### ②两相 V 形接线（两相不完全星形）。

在三相三线制线路中，此接线中三个电流线圈正好反映三相电流，因此，此接线广泛用于三相三线制电路中，作测量三相电流、电能及过电流保护之用。

#### ③两相电流差接线。

反映两相差电流，对于三相对称电路，其量值为相电流的万倍。此接线用于中性点不接地的三相三线制电路中，作继电保护之用。

#### ④一相式接线（单相接线）。

在三相负荷平衡时，可以用单相电流反映三相电流值，主要用于测量电路和过负荷保护。

### (5) 电流互感器使用注意事项。

①电流互感器的二次侧在使用时绝对不可开路。使用过程中拆卸仪表或继电器时，应事先将二次侧短路。安装时，接线应可靠，不允许二次侧安装熔丝。

②二次侧必须有一端接地。防止一、二次侧绝缘损坏，高压窜入二次侧，危及人身和设备安全。

③接线时要注意极性。电流互感器一、二次侧的极性端子，都用字母表明极性。GB1208—1997《电流互感器》规定，一次绕组端子标 P1、P2，二次绕组端子标 S1、S2，其中，P1 与 S1、P2 与 S2 分别为对应的同名端。如果一次侧电流从 P1 流入，则二次侧电流从 S1 流出。

④一次侧串接在线路中，二次侧的继电器或测量仪表串接。

高压电流互感器多制成两个铁芯和两个副绕组的形式，分别接测量仪表和继电器，满足测量仪表和继电保护的不同要求。电流互感器供测量用的铁芯在一次侧短路时应该容易饱和，以限制二次侧电流增长的倍数；供继电保护用的铁芯，在一次侧短路时不应饱和，使二次侧的电流与一次侧的电流成正比例增加。

### (6) 电流互感器准确度等级和容量。

#### ① 电流互感器的准确度。

电流互感器根据测量时误差的大小而划分为不同的准确度级。准确度级是指在规定的二次负荷范围内，一次电流为额定值时的最大误差。按准确度等级分（国家标准 GB 1208—1997），测量用互感器有 0.1、0.2、0.5、1、3、5 等级，保护用互感器有 5P、10P 两级。

电流互感器的电流误差，会引起各种测量仪表和继电器产生误差，而角误差只对功率型测量仪表和继电器以及反映相位的继电保护装置有影响。

0.2 级的电流互感器只用于实验室的精密测量；0.5~1 级的电流互感器主要用于变电所中的电气测量仪表；3 级和 10 级的电流互感器用于一般的测量和某些继电保护。

#### ② 电流互感器的额定容量。

电流互感器的额定容量是指电流互感器在额定二次电流和额定二次阻抗下运行时，二次线圈输出的容量，由于电流互感器的二次电流为标准值（5A 或 1A），故其容量也常用额定二次阻抗来表示。因电流互感器的误差和二次负荷有关，故同一台电流互感器使用在不同准确度级时，会有不同的额定容量。

电流互感器对负载的要求就是负载阻抗之和不能超过互感器的额定二次阻抗值。

### 3. 电压互感器的选择

#### (1) 电压互感器的类型及型号。

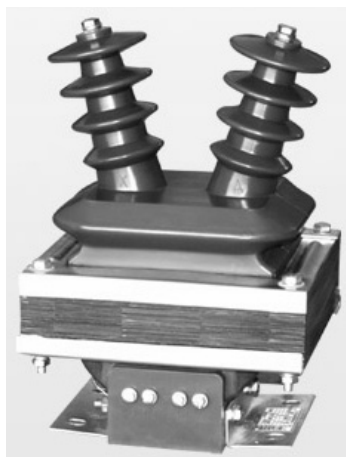
电压互感器是将一次侧的高电压按比例变为适合仪表或继电器使用的额定电压为 100V 或  $100/\sqrt{3}$  V 的变换设备。

- ① 按安装地点分户内和户外；
- ② 按相数分单相和三相式，只有 20kV 以下才有三相式；
- ③ 按绕组数分双绕组和三绕组；
- ④ 按绝缘分浇注式、油浸式、干式和电容式等。浇注式用于 3~35kV，油浸式主要用于 110kV 及以上的电压互感器。

电压互感器如图 1-10 所示。



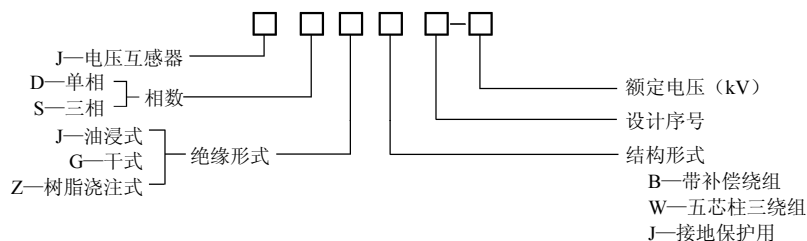
(a) 户外型电压互感器



(b) 户内型电压互感器

图 1-10 电压互感器

电压互感器型号的表示及含义如下:



#### (2) 电感式电压互感器的工作原理。

电压互感器的工作原理、构造和连接方法都与变压器很相似。电压互感器一、二次绕组电压之比称为电压互感器的电压比(额定互感比)。

$$K_u = \frac{U_{N1}}{U_{N2}} \quad (1-2)$$

式中:  $U_{N1}$ ——等于电网的额定电压, kV;  $U_{N2}$ ——额定电压为 100V。

电压互感器与电力变压器相比较, 由于其二次侧负荷阻抗很大, 电流很小, 具有下述特点:

- ①容量很小, 类似一台小容量变压器, 但结构上要求有较高的安全系数;
- ②电压互感器二次绕组所接仪表的电流线圈阻抗很大, 正常情况下, 电压互感器在近于空载的状态下运行;
- ③电压互感器的一次侧额定电压, 几乎不受二次侧负荷的影响, 并且在大多数的情况下, 其负荷是恒定的。

#### (3) 电容式电压互感器的工作原理。

随着电力系统输电电压的增高, 电磁式电压互感器的体积越来越大, 成本随之增高, 普遍采用电容式电压互感器。

电容式电压互感器实质上是一个电容分压器, 在被测装置的相和地之间接有电容  $C_1$  和  $C_2$ , 按反比分压,  $C_2$  上的电压为

$$U_{C2} = \frac{U_1 C_1}{C_1 + C_2} = K U_1 \quad (1-3)$$

#### (4) 电压互感器的接线方案。

电压互感器有单相和三相两种。单相可制成任何电压等级, 而三相一般只制成 10kV 及以下的电压等级。

电压互感器接线圈又可分为双线圈和三线圈两种。三线圈的除了具有供电测量仪表和继电器的基本线圈外, 还有一个辅助副线圈, 用来接入监察电网的绝缘状况的仪表和单相接地保护继电器。

常用的有以下几种接线方案:

- ①一个单相电压互感器的接线。此接线方式只能测量线电压或接压表、频率表、电压继电器等。
- ②两个单相电压互感器的 V/V 形接线。此接线又称不完全星形接线。此接线方式适用于中性点不接地系统或中性点经消弧线圈接地系统, 用于测量三相线电压, 供仪表、继电器接于三相三线制电路的各个线电压, 它广泛应用在 6~10kV 配电装置中。
- ③三个单相电压互感器  $Y_0/Y_0$  形接线。采用三个单相电压互感器、一次绕组中性点接地, 可以满足仪表和电压继电器取用相电压和线电压的要求, 因此, 此接线可供给要求线电压的仪表及继电

器，也可接绝缘监视的电压表。但应注意，由于小电流接地系统发生单相接地时，允许运行 2h，所以绝缘监视电压表应按线电压选择。

④三个单相三绕组电压互感器或一个三相五芯柱三绕组电压互感器  $Y_0/Y_0/\Delta$ （开口三角形）形接线。接成  $Y_0$  的二次绕组，供给需线电压的仪表、继电器及作为绝缘监视的电压表；接成开口三角形的二次绕组，用于供给绝缘监视的电压继电器。一次绕组正常工作时，开口三角形两端的电压接近于零，当某一相接地时，开口三角形两端出现近 100V 的电压，使继电器动作，发出报警信号。

（5）电压互感器使用注意事项。

①电压互感器的二次侧在工作时不能短路。在正常工作时，其二次侧的电流很小，近于开路状态，当二次侧短路时，其电流很大（二次侧阻抗很小）将烧毁设备。

②电压互感器的二次侧必须有一端接地，防止一、二次侧击穿时，高压窜入二次侧，危及人身和设备安全。

③电压互感器接线时，应注意一、二次侧接线端子的极性，以保证测量的准确性。

GB 1207—1997《电压互感器》规定，单相电压互感器的一次绕组端子标 A、N，二次绕组端子标 a、n，其中，A 与 a、N 与 n 分别为对应的同名端。而三相电压互感器一次绕组端子分别标 A、B、C、N，二次绕组端子分别标 a、b、c、n，其中，N 和 n 分别为一、二次侧三相绕组的中性点。

④电压互感器的一、二次侧通常都应装设熔丝作为短路保护，同时一次侧应装设隔离开关作为安全检修用。

（6）电压互感器准确度等级和容量。

电压互感器的准确级是指在规定的二次电压和二次负荷变化范围内，负荷功率因数为额定值时，电压误差的最大值。对于测量用电压互感器的标准准确度级有：0.1、0.2、0.5、1.0、3.0 五个等级，保护用电压互感器的标准准确度级有 3P 和 6P 两个等级。

由于电压互感器误差与负荷有关，所以同一台电压互感器对应于不同的准确级便有不同的容量。通常额定容量是指对应于最高准确级的容量。电压互感器按照在最高工作电压下长期工作允许的发热条件，还规定了最大容量。

电压互感器的负载要求就是负载容量之和不能超过互感器的额定二次容量值。

#### 4. 互感器的配置原则

互感器在主接线中的配置与测量仪表、同期点的选择、保护和自动装置的要求以及主接线的形式有关。

（1）电流互感器的配置。

①为了满足测量和保护装置的需要，在发电机、变压器、出线、母线分段及母联断路器、旁路断路器等回路中均设有电流互感器。对于大接地短路电流系统，一般按三相配置；对于小接地短路电流系统，依具体要求按两相或三相配置。

②对于保护用电流互感器应尽量消除主保护装置的不保护区。例如，若有两组电流互感器，且位置允许时应设在断路器两侧，使断路器处于交叉保护范围之内。

③为了减轻内部故障对发电机的损伤，用于自动调整励磁装置的电流互感器应配置在发电机定子绕组的出线侧。为便于分析和在发电机并入系统前发现内部故障，用于测量的电流互感器宜装设在发电机中性点侧。

（2）电压互感器的配置。

①母线除分路母线外，一般工作及备用母线都装有一组电压互感器，用于同期、测量仪表和保

护装置。

②线路 35kV 及以上输电线路，当两端有电源时，为了监视线路有无电压、进行同期和设置重合闸，装有一台单相电压互感器。

③发电机一般装两组电压互感器。一组（D，y 接线），用于自动调整励磁装置。另一组供测量仪表、同期和保护装置使用，该互感器采用三相五柱式或三只单相接地专用互感器，其开口三角形供发电机未并列之前检查接地之用。当互感器负荷太大时，可增设一组不完全星形连接的互感器，专供测量仪表使用。

④变压器低压侧有时为了满足同期或保护的要求，设有一组不完全星形接线的电压互感器。

### 1.1.3 任务分析与实施

#### 1.1.3.1 任务分析

##### 1. 高压断路器

- (1) 高压断路器的安装注意事项；
- (2) 高压断路器运行的一般要求；
- (3) 高压断路器的巡视检查任务；
- (4) 断路器的正常运行和维护；
- (5) 高压断路器的操作。

##### 2. 高压隔离开关

- (1) 高压隔离开关的安装注意事项；
- (2) 高压隔离开关的操作方法；
- (3) 运行中的故障及处理；
- (4) 高压隔离开关的检修。

教学重点及难点：高压断路器、高压负荷开关的安装、运行和维护。

#### 1.1.3.2 任务实施

##### 1. 实施地点

生产性实训基地。

##### 2. 器材需求

- (1) 多媒体设备；
- (2) 高压断路器、高压负荷开关。

##### 3. 实施内容与步骤

- (1) 高压断路器的安装及运行维护。

###### 1) 高压断路器的安装。

高压断路器安装时应注意以下事项：

①安装前应检查断路器的规格是否符合使用要求。

②安装前应用 500 V 绝缘电阻表检查断路器的绝缘电阻，以在周围介质温度为  $(20 \pm 5) ^\circ\text{C}$  和相对湿度为 50%~70%时不小于  $10\text{M}\Omega$  为合格，否则应先烘干处理才允许使用。

③应按照使用说明书规定的方式（如垂直）安装，不然，轻则影响脱扣动作的精度，重则影响通断能力。



④断路器应安装平整，不应有附加机械应力，否则对于塑料外壳式断路器，可能使绝缘基座因受应力而损坏，脱扣器的牵引杆（脱扣轴）因基座变形而卡死，影响脱扣动作，对于抽屉式产品，可能影响二次回路连接的可靠性。

⑤电源进线应接在断路器的上母线上，即灭弧室一侧的接线端上；而接负载的出线则应接在下母线上，即接在脱扣器一侧的接线端，否则影响断路器的分断能力。

⑥为防止发生飞弧，安装时应注意考虑一定的飞弧距离（产品样本或使用说明书中均提供此数据），即灭弧罩上部留右飞弧的空间。如果是塑料外壳式产品进线端的螺母线宜包上 200mm 长的绝缘物，有时还要求在进线端的相间加装隔弧板（将它插入绝缘外壳上的燕尾槽中）。

⑦如果有规定，自动开关出线端的连接线截面积应严格按规定选取，否则将影响过电流脱扣器的保护特性。

⑧安装塑料外壳式断路器时，有些产品需要将产品的盖子取下才能安装（如 DZ10 系列）。如果是带电动机操作机构的产品，必须注意操作机构在出厂时已分别调试过，不得互换，装卸装盖子时不应串换。如果是带插入式端子的产品（如 D212-60C 一类的产品），安装时应将插刀推到底，并把下方的安装压板旋紧，以免因碰撞而脱落。

⑨安装带电动机操作机构的塑料外壳式断路器时，应注意装上显示断路器所处工作状态的指示灯，因为这时已无法通过操作手柄的位置来判别断路器是闭合还是断开。

⑩带插入式端子的塑料外壳式断路器应安装在金属箱内（只有操作手柄外露），以免操作人员触及接线端，发生触电事故。

⑪凡设有接地螺钉的产品，均应可靠地接地。

⑫安装前应将自动开关操作数次，观察机构动作灵活与否及分合可靠与否。

⑬自动开关使用前应将脱扣器电磁铁工作面的防锈油脂抹去，以免影响电磁机构的动作灵敏性。

⑭过电流脱扣器的整定值一经调好就不允许随意改动，而且长期使用后要检查其弹簧是否生锈卡住，以免影响其动作。

⑮在断路器分断短路电流以后，应在切除上一级电源的情况下，及时检查其触头。若发现有弧烟痕迹，可用布抹净，若触头已烧毛，应细心修整。

⑯每使用一定次数（一般为 1/2 机械寿命）后，应给操作机构加润滑油。

⑰应定期清除断路器上的尘垢，以免影响操作和绝缘。

⑱定期检查各种脱扣器的动作值，有延时者还要检查其延时情况。

2) 高压断路器运行的一般要求。

①断路器应有制造厂铭牌，断路器应在铭牌规定的额定值内运行。

②断路器的分、合闸指示器应易于观察且指示正确，油断路器应有易于观察的油位指示器和上下限监视线；SF<sub>6</sub>断路器应装有密度继电器或压力表，液压机构应装有压力表。

③断路器的接地金属外壳应有明显的接地标志。

④每台断路器的机构箱上应有调度名称和运行编号。

⑤断路器外露的带电部分应有明显的相色漆。

⑥断路器允许的故障跳闸次数，应列入《变电站现场运行规程》。

⑦每台断路器的年动作次数、正常操作次数和短路故障开断次数应分别统计。

### 3) 高压断路器的巡视检查。

①运行和备用的断路器必须定期进行巡视检查。巡视检查的周期：有人值班的变电站每天当班巡视不少于三次，无人值班的变电站每周不少于一次。

②新投运断路器的巡视检查，周期应相对缩短，每天不少于四次。投运 72h 后转入正常巡视。

③夜间闭灯巡视，有人值班的变电站每周一次，无人值班的变电站每月二次。

④气象突变时，应增加巡视。

⑤雷雨季节雷击后应立即进行巡视检查。

⑥高温季节高峰负荷期间应加强巡视。

⑦油断路器巡视检查项目。

- a. 断路器的分、合闸位置指示正确，并与当时实际运行工况相符。
- b. 主触头接触良好。油断路器外壳温度与环境温度相比无较大差异，内部无异常声响。
- c. 油位正常，油色透明无炭黑悬浮物。
- d. 无渗、漏油痕迹，放油阀关闭紧密。
- e. 套管、瓷瓶无裂痕，无放电声和电晕。
- f. 引线的连接部位接触良好，无过热。
- g. 排气装置完好，隔栅完整。
- h. 接地完好。
- i. 防雨帽无鸟窝等杂物。
- j. 户外断路器栅栏完好，设备附近无杂草和杂物，配电室的门窗、通风及照明应良好。

⑧SF<sub>6</sub>断路器巡视检查项目。

a. 对于有 SF<sub>6</sub> 压力表的断路器，每日定时检查 SF<sub>6</sub> 气体压力，并和对应温度下的水平比较，判断是否正常；对于装 SF<sub>6</sub> 密度继电器的断路器，应监视密度继电器动作及闭锁情况，禁止在 SF<sub>6</sub> 气体不足时，分、合断路器。

- b. 断路器各部分及管道无异声（漏气声、振动声）及异味，管道夹头正常。
- c. 套管无裂痕，无放电声和电晕。
- d. 引线连接部位无过热，引线弛度适中。
- e. 断路器分、合闸位置指示正确，并和当时实际运行工况相符。
- f. 接地完好。
- g. 巡视环境条件，附近无杂物。
- h. 进入室内检查前，应先抽风 3min，使用监测仪器检查无异常后，方可进入开关室。

⑨真空断路器巡视检查项目。

- a. 分合闸位置指示正确，并与当时实际运行工况相符。
- b. 支持绝缘子无裂痕及放电异常。
- c. 真空灭弧室无异常。
- d. 接地完好。
- e. 引线接触部位无过热，引线弛度适中。

⑩电磁机构巡视检查项目。

- a. 机构箱门平整、开启灵活，关闭紧密。
- b. 检查分、合闸线圈及合闸接触器线圈无冒烟异味。

- c. 直流电源回路线端子无松脱、无铜绿或锈蚀。
- d. 定期测试合闸保险完好。

⑪ 液压操作机构巡视检查项目。

- a. 机构箱门平整，开启灵活，关闭紧密。
- b. 检查油箱油位正常，无渗漏油。
- c. 高压油的油压在允许范围内。
- d. 每天记录油泵启动次数。
- e. 机构箱内无异味。
- f. 记录巡视检查结果：在运行记录簿上记录检查时间、巡视人员姓名和设备状况。

4) 断路器的正常运行和维护。

① 断路器的正常运行维护项目。

- a. 不带电部分的定期清扫。
- b. 配合停电进行传动部位检查，清扫瓷瓶积存的污垢及处理缺陷。
- c. 按设备使用说明书规定对机构添加润滑油。
- d. 油断路器根据需要补充或放油，放油阀渗油处理。
- e. SF<sub>6</sub> 断路器根据需要补气，渗油处理。
- f. 检查合闸熔丝是否正常，核对容量是否相符。

② 执行了断路器正常维护工作后，应记入记录簿待查。

5) 高压断路器的操作。

① 高压断路器操作的一般要求。

a. 断路器经检修恢复运行，操作前应检查检修中的安全措施是否全部拆除，防误闭锁装置是否正常。

b. 长期停运的断路器在正式执行操作前应通过远方控制方式进行试操作 2~3 次，无异常后方可按操作票拟定的方式操作。

c. 操作前应检查控制回路、控制电源或液压回路均正常，储能机构已储能，继电保护和自动装置已按规定投入，即具备运行操作条件。

e. 操作中应同时监视有关电压、电流、功率等表计的指示及红绿灯的变化。操作把手不宜返回太快（一般等红、绿灯变化正常后再放手）。

f. 装有重合闸装置的断路器，正常操作分闸前，应先停用重合闸。

g. 当液压机构正在打压时，不得操作断路器。

h. 当断路器故障跳闸与规定允许次数只差 1 次时，应将重合闸装置停用，如已达到规定次数，应立即安排检修，不应再将其投入运行。

② 正常运行的断路器操作时应注意检查的项目。

- a. 油断路器的油位是否正常。
- b. SF<sub>6</sub> 断路器的气体压力在规定的范围内。

③ 操作断路器时操作机构应满足：

- a. 电磁机构在合闸操作前，检查合闸母线电压、控制母线电压均在合格范围。
- b. 操作机构箱门关好，栅栏门关好并上锁，脱扣部件均在复归位置。
- c. SF<sub>6</sub> 断路器压力正常。

d. 液压机构压力正常。

④运行中断路器几种异常操作的规定。

a. 电磁机构严禁用杠杆或千斤顶进行带电合闸操作。

b. 无自由脱扣的机构严禁就地操作。

c. 液压操作机构，如因压力异常导致断路器分、合闸闭锁时，不准擅自解除闭锁进行操作。

⑤高压断路器故障状态下的操作规定。

a. 高压断路器运行中，由于某种原因造成油断路器严重缺油， $\text{SF}_6$  断路器气体压力异常（如突然降至零等），严禁对断路器进行停、送电操作，应立即断开故障断路器的控制（操作）电源，及时采取措施，将故障断路器退出运行。

b. 分相操作的断路器操作时，发生非全相合闸，应立即将已合上相拉开，重新操作合闸一次，如仍不正常，则应拉开已合上相，切断该断路器的控制（操作）电源，查明原因。

c. 分相操作的断路器操作时，发生非全相分闸，应立即切断控制（操作）电源，手动将拒动相分闸，查明原因。

⑥高压断路器的异常运行和事故处理。

a. 运行中的不正常现象及处理：运行人员在断路器运行中发现任何不正常现象（如漏油、渗油、油位指示器油位过低、液压机构异常、 $\text{SF}_6$  气压下降或有异响、分合闸指示不正确等）时，应及时予以消除，不能及时消除的，报告上级领导并记入相应运行记录簿和设备缺陷记录簿内；运行人员若发现设备有威胁电网安全运行且不停电难以消除的缺陷时，应向值班调度员汇报，及时申请停电处理，并报告上级领导。

b. 高压断路器有下列情形之一者，应立即申请停电处理：套管有严重破损和严重放电现象；少油断路器灭弧室冒烟或内部有异常声响；油断路器严重漏油，油位看不见； $\text{SF}_6$  气室严重漏气发出操作闭锁信号（或气压低于下限）；真空断路器出现真空破坏的“滋滋”声；液压机构压力降低，操作闭锁。

c. 电磁操作机构常见的异常现象及可能的原因：拒绝合闸，操作电源及二次回路故障（直流电压低于允许值，熔丝熔断，辅助接点接触不良，二次回路断线，合闸线圈或合闸接触器线圈烧坏等），如将操作开关的手柄置于合闸位时信号灯不发生变化，可能是操作回路断线或熔断器熔断造成的；操作把手返回过早；机械部分故障（机构卡死，连接部分脱扣等）；如跳闸信号消失，合闸信号灯发光但随即熄灭而跳闸信号灯复亮。这可能是机械部分有故障而使锁住机构未能将操作机构锁在合闸位置造成的。应注意，当操作电压过高时也会发生这种现象，这是由于合闸时产生强烈的冲击，因此也会产生不能锁住的现象； $\text{SF}_6$  开关因气体压力降低而闭锁； $\text{SF}_6$  开关弹簧机构合闸弹簧未储能；液压机构压力降低至不许合闸。

e. 拒绝分闸：操作电源及二次回路故障（熔丝熔断，辅助接点接触不良，跳闸线圈断；机械部分故障； $\text{SF}_6$  开关因气体压力降低而闭锁；液压机构压力降低至不许分闸。

f. 电磁操作机构区别电气和机械故障，在操作时应检查直流合闸电流。如没有冲击，说明是电气故障；有冲击，则说明是机械故障。

⑦液压操作机构的异常现象及处理。

压力异常，压力表压力指示与贮氮筒行程杆位置不对应，与正常情况比较，压力表指示过高为液压油进入贮氮筒，压力表指示低为贮氮气泄漏；此时应申请调度，停用该开关；液压机构低压油路漏油，如果压力未降低至闭锁位置，可以短时维护运行；但要注意监视油压的变化并申请调度停

用重合闸装置，汇报上级主管部门安排处理。有旁路的应申请调度用旁路开关代替运行，无旁路开关的应由调度安排停电处理；液压机构压力降低至不允许分合闸时，不许用该开关进行解列、闭合环网操作；液压机构压力降低，但未降至不许油泵打压的压力时（液压机构无漏油现象），可以手动打压至正常；降低至不许打压位置时则不允许打压；压力降低至不许分合闸时，应立即对开关采取防慢分措施（用卡子卡住该开关传动机构并将该开关转为非自动），汇报调度用旁路开关代替其运行或直接停用；液压机构压力过高，若压力过高而电触点压力表的电触点可以断开油泵电源时，应适当放压至合格压力，汇报主管部门安排处理；若压力过高而压力表电触点未能断开油泵电源时，运行人员应立即拉开油泵电源隔离开关，放压至合格压力，通知上级主管部门立即处理。

#### ⑧高压断路器的事故处理。

断路器动作分闸后，运行人员应立即记录故障发生时间，停止音响信号，并立即进行事故巡视检查，判断断路器本身有无故障；断路器对故障分闸线路实行强送后，无论成功与否，均应对断路器外观进行仔细检查；断路器故障分闸时发生拒动，造成越级分闸，在恢复系统送电时，应将发生拒动的断路器脱离系统并保持原状，待查清拒动原因并消除缺陷后方可投入；SF<sub>6</sub>断路器发生意外爆炸或严重漏气等事故，运行人员接近设备要慎重，室外应选择从顺风向接近设备，室内必须要通风，戴防毒面具，穿防护服；油断路器着火原因及处理：断路器外部套管污秽或受潮而造成对地闪络或相间短路；油不清洁或受潮而引起的断路器内部闪络；断路器切断时动作缓慢或者切断容量不足；油面上缓冲空间不足；切断强大电流时，油箱内压力太大。油断路器着火时，首先切断电源，使用干式灭火器灭火，如不能扑灭，再用泡沫灭火器灭火。

#### (2) 高压隔离开关的安装及运行维护。

##### 1) 高压隔离开关的安装。

###### ①安装前的外观检查。

高压隔离开关的外观检查主要指：隔离开关应按照产品使用说明书规定，检查型号规格是否与设计相符；检查零件有无损坏，刀片及触头有无变形，如有变形，应进行校正；检查动刀片与触头接触情况，如有铜氧化层，应用细纱布擦净，涂上凡士林，用0.55mm×10mm塞尺检查接触情况。对于线接触塞尺应塞不进去。对面接触在接触表面宽度为50mm及以下时，应不超过4mm；在接触表面宽度为60mm及以上时，应不超过6mm；用1000V或2500V绝缘电阻表测量绝缘电阻，额定电压为10kV的隔离开关的绝缘电阻应在800~1000MΩ以上。

###### ②安装步骤及要求。

高压隔离开关应按照产品使用说明书规定的方式安装。用人力或滑轮吊装，把开关本体放于安装位置，使开关底座上的孔眼套在基础螺栓上，稍微拧紧螺母。用水平尺和线锤进行找正找平，校正位置，然后拧紧基础螺母。户外型的隔离开关在露天安装时，应水平安装，使带有瓷裙的支持绝缘子确实能起到防雨作用，如由于实际需要而以其他方式安装时，要注意使绝缘瓷裙不积水以及降低有雨淋时的绝缘水平。任何部件受力不超出其允许范围，同时操作力也不致明显增大，机械连锁不受到破坏。户内型的隔离开关在垂直安装时静触头在上方，带有套管的可以倾斜一定角度安装。一般情况下，静触头接电源，动触头负荷，但安装在电柜里的隔离开关，采用电缆进线时，则电源在动触头一侧，这种接法俗称“倒进火”；隔离开关两侧与母线及电缆的连接应牢固，遇有铜、铝导体接触时，应用铜、铝过渡接头，以防电化、腐蚀；安装操作机构，将操作机构固定在事先埋设好的支架上，并使其扇形板与隔离开关上的转动转杆在同一垂直平面上；连接操作拉杆，拉杆连接之前应将弯连接头连接在开关的传动转杆上（即转轴上）；直连接头连接在扇形板的舌头上，然后

把调节元件拧入直连接头。操作拉杆应在开关和操作机构处于合闸时的位置；隔离开关的底座和操作机构的外壳安装接地螺栓，安装时应将接地线一端接在接地螺栓上，另一端与接地网接通，使其妥善接地。

### ③安装后的调整。

在开关本体、操作机构、操作拉杆全部安装好后，进行调整。调整的步骤为：第一次操作开关时，应慢慢合闸和断开。合闸时，应观察可动刀片有无侧向撞击，如开关有旁击现象，可改变固定触头的位置，使可动刀片刚好进入插口。可动刀片进入插口的深度应不小于90%，但也不能过大，以免冲击绝缘子的端部。可动刀片的固定触头的底部应保持3mm的间隙，如达不到应进行调整。调整方法是将直连接头拧进或拧出而改变操作拉杆的长度，调节开关轴上的制动螺钉、改变轴的旋转角度等，都可以调整刀片插入的深度。合闸时，三相刀片应同时投入，35kV以下的隔离开关，各相前后相差不得大于3mm。当达不到要求时，可调整升降绝缘子连接螺钉的长度；开关断开时，其刀片的张开角度应符合制造厂的规定，如不符合要求应调整。其方法是：调整操作拉杆的长度和改变舌头扇形板上的位置；如隔离开关带有辅助触头时，应进行调整。合闸信号触头应在开关合闸行程的80%~90%时闭合，断开信号触头应在开关断开行程的75%时闭合，并用改变耦合盘的角度进行调整，必要时也可将其拆开重装；开关操作机构手柄的位置应正确，合闸时手柄应朝上，断开时手柄应朝下。合闸与断开操作完毕，其弹性机械销应自动地进入手柄末端的定位孔中；开关调整完毕后，应将操作机构的全部螺钉固定好，所有的开口销子必须分开，并进行数次断开、合闸操作，以观察开关的各部分是否有变形和失调现象。对于安装在成套配电箱内的隔离开关，只要进行调整后就可以投入运行。隔离开关在投入运行前不另做耐压试验，而与母线一起进行。

### 2) 高压隔离开关的操作方法。

①无远方操作回路的隔离开关，拉动隔离开关时保证操作动作正确，操作后应检查隔离开关位置是否正常。

②必须正确使用防误操作装置，运行人员无权解除防误操作装置（事故情况除外）。

③手动操作，合闸时应迅速果断，但不宜用力过猛，以防震碎瓷瓶，合上后检查三相接触情况。合闸时发生电弧应将隔离开关迅速合上，禁止将隔离开关再次拉开。拉隔离开关时应缓慢而谨慎，刚拉开时如发生异常电弧，应立即反向，重新将隔离开关合上。如已拉开，电弧已断，则禁止重新合上。拉、合隔离开关结束后，机构的定位闭锁销子必须正确就位。

④电动操作，必须确认操作按钮分、合标志，操作时看隔离开关是否动作，若不动作要查明原因，防止电动机烧坏。操作后，检查刀片分、合角度是否正常并拉开电动机电源隔离开关。倒闸操作完后，拉开电动操作总电源隔离开关。

⑤带有地刀的隔离开关，主、地隔离开关间装有机闭锁，不能同时合上，但都在断开位置时，相互间不能闭锁。这时应注意操作对象，不可错合隔离开关，防止事故发生。

### 3) 运行中的故障及处理。

①高压隔离开关拒分拒合或拉合困难：传动机构的杆件中断或松动、卡涩。如销孔配合不好、间隙过大、轴销脱落、铸铁件断裂、齿条啮合不好、卡死等，无法将操动机构的运动传递给主触头；分、合闸位置限位止钉调整不当。合闸止钉间隙太小甚至为负值，未合到后位被提前限位，至使合不上。间隙太大，当合闸力很大时易使四连杆杆件超过死点，致使拒分；主触头因冰冻、熔焊等特殊原因导致拒分或分闸困难；电动机电气回路或电动机故障造成拒分拒合。

在检修时要仔细观察，对症修理，切勿在超过几点的情况下强行操作。

②高压隔离开关接触部分过热。隔离开关及引线触头温度一般不得超过 70℃，极限温度为 110℃。接触部分过热由下列原因引起：接触表面脏污或氧化使接触电阻增大，应用汽油洗去脏污，铜表面氧化可用 00 号砂布打磨；镀银层氧化可用 25%浓氨水浸泡 20min 后用清水冲洗干净，再用硬尼龙刷除去表面硫化银层，复装后接触表面涂一层中性凡士林；触头调整不当，接触面积小，应重新调整触头接触面，使符合要求；触头压紧弹簧变形或压紧螺钉松动，应更换弹簧或重新压紧螺钉，调整弹簧压力；隔离开关选择不当，额定电流偏小，或负荷电流增加，应更换额定电流较大的隔离开关。

#### 4) 高压隔离开关的检修。

##### ①小修周期和项目。

隔离开关的小修一般每年进行一次，污秽严重的地区应适当缩短周期。小修的项目：绝缘子的清洁检查；传动系统和操动机构的清洁检查；导电部分的清洁检查、修理；接线端子及接地端的检查；分、合闸操作试验。

##### ②大修周期和项目。

隔离开关每 3~5 年或操作达 1000 次时应进行一次大修，大修的项目：支柱绝缘子及底座的检修；导电回路的检修；传动系统和操动机构的检修；除锈刷漆；机械调整与电气试验。

##### ③支柱绝缘子及底座的检修。

清除隔离开关绝缘子表面的灰尘、污垢，检查有无机械损伤，若有不影响机械和电气强度的小片破损。可用环氧树脂加石英砂调好后修补，损伤严重的应予更换；检查绝缘子与铁件间的胶合剂是否发生了膨胀、收缩、松动。若有不良情况，应更新胶合或更换；污秽地区的支柱绝缘子表面应涂防污涂料；检查并旋紧支持底座或构架的固定螺钉；接地端、接地线应完整无损，紧固良好。

##### ④导电回路的检修。

清洁并检查导电部分有无损坏变形，轻微变形应予以校正，严重的应更换。对工作电流接近于额定电流的隔离开关或因过热而更换新触头、导电系统拆动较大的隔离开关，应进行接触电阻试验；汽油清洗掉触头部分的脏污和油垢，用细砂布打磨掉触头接触表面的氧化膜，用锉刀修整烧斑，在接触表面涂上中性凡士林。检查所有的弹簧、螺钉、垫圈、开口销，屏蔽罩、软连接、轴承等应完整无缺陷，修整或更换损坏的元件，轴承上润滑油后装复；清洗打磨闸刀接线端子，涂二层电力复合脂后上好引线；合闸后用 0.05mm×10mm 塞尺检查触头的接触压力，对于线接触的应塞不进去。

##### ⑤传动部分的检修。

清扫掉外露部分的污垢与锈蚀，检查拉杆、拐臂、传动轴等部分应无机械变形或损伤，动作灵活，销钉齐全，配合适当；活动部分的轴承、蜗轮等处用汽油清洗掉油泥后加钙基脂或注入适量的润滑油；根据检查情况决定是否吊起传动支柱绝缘子，对下面的转动轴承进行清洗并加润滑脂；检查动作部分对带电部分的绝缘距离应符合要求。限位器、制动装置应安装牢固，动作准确。

##### ⑥操动机构的检修。

手动操动机构：检查手动操动机构紧固情况，特别是当操作机构装在开关柜中的钢板或夹紧在水泥构架上时，应检查有无受力变位的情况，发现异常应进行调整或加固；清洁并检查手动机构，对转动部分加润滑脂或润滑油，操作应灵活无卡涩；调节机构的机械闭锁达到：隔离开关在合闸位置时，闭锁接地开关不能合闸；接地开关在合闸位置时，闭锁隔离开关不能合闸。

电动操动机构：用手柄操动机构检查各转动部件是否灵活，辅助开关和行程开关能否正常切换；

检查所有连接件，紧固件有无松动现象；检查齿轮、丝杠、丝母、联板拐臂等主要部件应无损坏变形，清洁后在各转动部分加润滑脂。检查电动机完好无缺陷，转向正确，必要时给电机轴承加润滑脂；检查控制回路导线，二次电气元件有无损坏，接触是否良好，分合闸指示是否正确。

#### ⑦辅助开关的检修。

辅助开关除了保证其动作灵活，分、合接触可靠之外，对于常开触头应调整在隔离开关主刀闸与静触头接触后闭合；常闭触头则应在主刀闸完成全分闸过程的75%以后打开。

检修完毕，当确信机构各部件一切正常，并在转动摩擦部位都涂上工业用润滑油后，先用手动操作3~5次，然后接通电源，试用电动操作。

## 任务二 高压开关柜的安装与调试

### 1.2.1 任务要求

- (1) 认识高压开关柜。
- (2) 了解高压开关柜的结构、工作原理和适用范围。

### 1.2.2 相关知识

#### 1.2.2.1 高压开关柜的认识

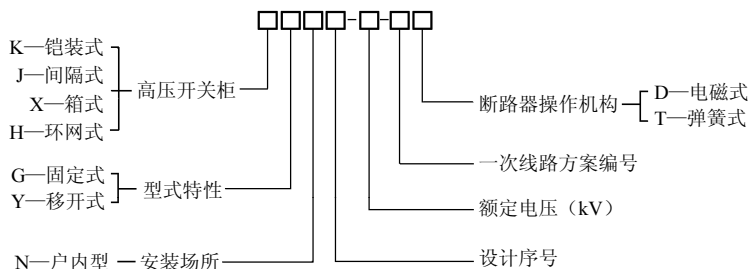
高压开关柜是指用于电力系统发电、输电、配电、电能转换和消耗中起通断、控制或保护等作用，电压等级在3.6kV~550kV的电器产品，高压隔离开关与接地开关、高压负荷开关、高压自动重合与分段器，高压操作机构、高压防爆配电装置和高压开关柜等几大类。

高压开关由柜体和断路器两大部分组成，柜体由壳体、电器元件（包括绝缘件）、各种机构、二次端子及连线等组成。

高压开关柜的分类：

- (1) 按断路器安装方式分为移开式（手车式）和固定式。
- (2) 按安装地点分为户内和户外。
- (3) 按柜体结构可分为金属封闭铠装式开关柜、金属封闭间隔式开关柜、金属封闭箱式开关柜和敞开式开关柜四大类。

高压开关柜型号的表示和含义如下：

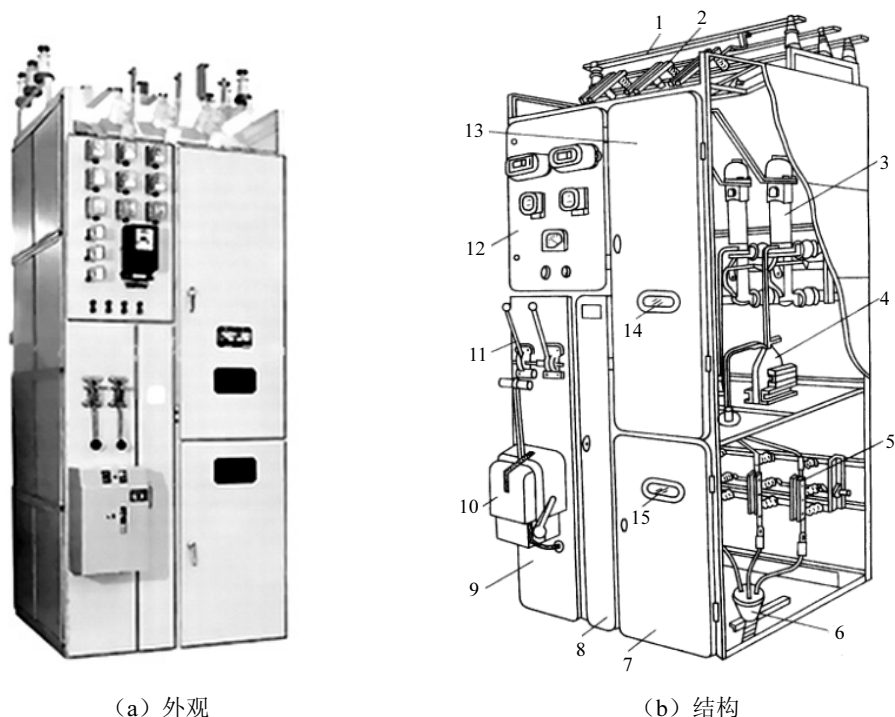




### 1.2.2.2 固定式高压开关柜

在一般中小型工厂中普遍采用较为经济的固定式高压开关柜。我国现在大量生产和广泛应用的固定式高压开关柜主要为 GG-1A(F)型。这种防误型开关柜装设了防止电气误操作和保障人身安全的闭锁装置，即所谓“五防”——①防止误分、误合断路器；②防止带负荷误拉、误合隔离开关；③防止带电误挂接地线；④防止带接地线误合隔离开关；⑤防止人员误入带电间隔。

GG-1A(F)-07S 型固定式高压开关柜的结构如图 1-11 所示。



1—母线；2—母线侧隔离开关（QS1，GN8-10 型）；3—少油断路器（QF，SN10-10 型）；4—电流互感器（TA，LQJ-10 型）；5—线路侧隔离开关（QS2，GN6-10 型）；6—电缆头；7—下检修门；8—端子箱门；9—操作板；10—断路器的手动操动机构（CS2 型）；11—隔离开关的操动机构手柄；12—仪表继电器屏；13—上检修门；14、15—观察窗口

图 1-11 GG-1A(F)-07S 型高压开关柜（断路器柜）

### 1.2.2.3 铠装式金属封闭开关柜

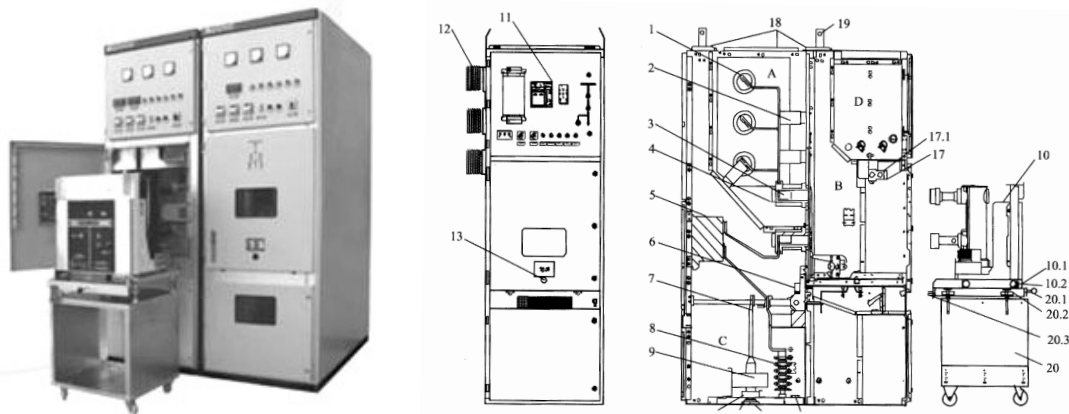
开关柜由固定的柜体和可抽出部件（简称手车）两大部分组成，柜体的外壳和各功能单元的金属隔板均采用螺栓连接。其内部安装的电气元件如图 1-12 (b) 所示。开关柜外壳防护等级是 IP4X，断路器室门打开时的防护等级为 IP2X。开关柜可配用真空断路器手车，也可配用固定式负荷开关。

#### 1. 开关设备按用途可分为若干功能单元

(1) 外壳与隔板：开关柜的外壳和隔板是由覆铝锌钢板经计算机数控（CNC）机床加工和多重折弯之后组装而成，因此装配好的开关柜能保持尺寸上的统一性。它具有很强的抗腐蚀与抗氧化作用，并具有比同等钢板更高的机械强度。开关柜被隔板分隔成手车隔室、母线隔室、电缆隔室、仪表隔室（低压室），每一隔室外壳均独立接地。开关柜的门采用喷塑工艺，使其表面抗冲击、耐腐蚀，保证了外形的美观。

(2) 手车：手车骨架采用钢板经 CNC 机床加工后铆接而成。

根据用途，手车可分为断路器手车、电压互感器手车、计量手车等。各类手车的高度、深度统一，相同规格的手车能互换。手车在柜内有隔离/试验位器和工作位置，每一位置均设有定位装置，以保证手车处于以上特定位置时不能随便移动，而移动手车时必须解除位置闭锁，断路器手车在移动之前须使断路器先分闸。



(a) 实物

(b) 结构剖面图

隔室：A—母线室；B—断路器室；C—电缆室；D—继电器仪表室

主要部件：1—母线；2—绝缘子；3—静触头；4—触头盒；5—电流互感器；6—接地开关；7—电缆终端；8—避雷器；9—零序电流互感；10—断路器手车；10.1—滑动把手；10.2—锁键（连到滑动把手）；11—控制和保护单元；12—穿墙套管

主要附件：13—丝杠机构操作孔；14—电缆夹；15.1—电缆密封圈；15.2—连接板；16—接地排；17—二次插头；17.1—联锁杆；18—压力释放板；19—起吊耳；20—运输小车；20.1—锁杆；20.2—调节轮；20.3—导向杆

图 1-12 手车式（又称移开式）高压开关柜

## 2. 开关柜内的隔室构成

(1) 断路器隔室：在断路器室 B 安装了供断路器手车滑行的导轨。手车能在工作位置、试验/隔离位置之间移动。活动帘板由金属板制成，安装在手车室的后壁上。手车从隔离/试验位置移动至工作位置过程中，装在静触头装置前的活动帘板自动地打开，反方向移动手车，活动帘板自动闭合，把静触头盒封闭起来，从而保障了操作人员不触及带电体。手车在开关柜的门关闭情况下被操作，通过观察窗可以看到手车在柜内所处的位置，同时也能看到手车上的 ON（断路器合闸）/OFF（断路器分闸）操作按钮和 ON/OFF 机械位置指示器以及储能/释能状况指示器。

(2) 可抽出式断路器手车：车架由钢板组装而成，手车上装有真空断路器和其他辅助设备。带有弹簧触指系统的一次动触头通过臂杆装在断路器的出线端子上，断路器操作机构的控制按钮和分合闸位置指示等均设在手车面板上，以方便操作。手车进入开关柜内到达隔离/试验位置时，手车外壳与开关相接地系统可靠接通，仪表保护和控制线路也通过二次插头与开关柜连通。

(3) 母线隔室：母线由绝缘套管支撑从一个开关柜引至另一个开关柜，通过分支母线和静触头盒相连接。主母线与联络母线为矩形截面的圆角铜排。用于大电流负荷时需要用根矩形母线。全部母线用热缩套管覆盖。全绝缘母线系统极大地减少母线室内部故障的发生概率。排列各柜体的母

线室互相隔离，万一柜内发生内部故障，游离气体不会导入相邻柜体，避免故障蔓延。

(4) 电缆隔室：电缆隔室的后壁可安装电流互感器、电压互感器、接地开关，电缆室内也能安装避雷器。手车和水平隔板移开后，施工人员就能从正面进入开关柜安装电缆，在电缆室内设有特定的电缆连接导体，可并接 1~6 根单芯电缆，同时在其下部还配制可拆卸的金属封板，以提供现场施工的方便。

(5) 仪表隔室：仪表隔室内可装继电保护元件、仪表、带电监察指示器以及特殊要求的二次设备。控制线路敷设在足够空间并有金属盖板的线槽内，左侧线槽是为控制小母线的引进和引出预留的。仪表隔室的侧板上还留有小母线穿越孔位以便施工。

### 3. 防止误操作连锁装置

开关柜具有可靠的连锁装置，为操作人员与设备提供可靠的安全保护，其作用如下：

(1) 手车从工作位置移至隔离/试验位置后，活动帘板将静触头盒隔开，防止误入带电隔室。检修时，可用挂锁将活动帘板锁定。

(2) 断路器处于闭合状态时，手车不能从工作位置拉出或从隔离/试验位避推至工作位置；断路器在手车已充分锁定在试验位置或工作位置时才能进行合分闸操作。

(3) 接地开关仪在手车处于隔离/试验位置及柜外时才能被允许操作，当接地开关处于合闸状态时，手车不能从隔离/试验位置推至工作位置。

(4) 手车在工作位置时，二次插头被锁定不能拨开。

### 4. 压力释放装置

在手车隔室、母线隔室和电缆隔室的上方均设有压力释放装置，当断路器或母线发生内部故障电弧时，伴随电弧的出现，开关柜内部气压升高，顶部装配的压力释放金属板将被自动打开，释放压力和排泄气体，以确保操作人员和开关柜的安全。

### 5. 二次插头与手车的位置连锁

开关柜上的二次线与手车的二次线的连接是通过二次插头来实现的。二次插头的动触头端导线外套一个尼龙波纹管与手车相连，二次静触头座装设在开关柜断路器隔室的右上方。手车只有在试验/隔离位置时，才能插上和解除二次插头，手车处于工作位置时由于机械连锁作用，二次插头被锁定，不能解除。

### 6. 带电显示装置

开关柜内设有带电显示装置。该装置由高压传感器和显示器两部分组成。传感器安装在母线或馈线侧，显示器安装在开关柜仪表室门上，当需检测 A、B、C 三相是否带电时，可按下显示器的按钮，如果显示器发出指示，则表示母线或馈线侧带电，反之，则说明不带电。

## 1.2.3 任务分析与实施

### 1.2.3.1 任务分析

高压配电装置安装：

#### 1. 元器件布置

- (1) 母线及隔离开关布置；
- (2) 断路器及其操作机构布置；
- (3) 互感器和避雷器布置；

- (4) 电抗器布置；
- (5) 配电装置的通道和出口布置；
- (6) 电缆隧道及电缆沟布置。

## 2. 高压开关柜的安装

- (1) 主体安装；
- (2) 母线的安装；
- (3) 电缆的安装；
- (4) 开关柜接地装置；
- (5) 开关设备安装后的检查。

## 3. 倒闸操作

教学重点及难点：高压开关柜的安装、运行维护、操作。

### 1.2.3.2 任务实施

#### 1. 实施地点

生产性实训基地。

#### 2. 器材需求

- (1) 多媒体设备；
- (2) 高压开关柜。

#### 3. 实施内容与步骤

- (1) 高压配电装置的布置原则。

##### 1) 总体布置。

同一回路的电器和导体应布置在一个间隔内，间隔之间及两段母线之间应分隔开，以保证检修安全和限制故障范围；尽量将电源布置在一段的中部，使母线截面通过较小的电流，但有时为了连接的方便，根据主厂房或变电站的布置而将发电机或变压器间隔设在一段母线的两端：较重的设备（如变压器、电抗器）布置在下层，以减轻楼板的荷重并便于安装；充分利用间隔的位置；布置对称，便于操作；有利于扩建。

##### 2) 母线及隔离开关。

母线通常装在配电装置的上部，一般呈水平、垂直和直角三角形布置，水平布置设备安装比较容易。垂直布置时，相间距离较大，无需增加间隔深度；支持绝缘子装在水平隔板上，绝缘子间的距离可取较小值，因此，母线结构可获得较高的机械强度。但垂直布置的结构复杂，并增加建筑高度，垂直布置可用于 20kV 以下、短路电流很大的装置中。直角三角形布置方式，其结构紧凑，可充分利用间隔高度和深度。

母线相间距离决定于相间电压，并考虑短路时的母线和绝缘子的电动力稳定与安装条件。在 6~10kV 小容量装置中，母线水平布置时，为 250~350mm；垂直布置时，为 700~800mm；35kV 母线水平布置时，为 500mm。

双母线布置中的两组母线应以垂直的隔板分开，这样，在一组母线运行时，可安全地检修另一组母线。

母线隔离开关通常设在母线的下方。为了防止带负荷误拉隔离开关造成电弧短路，并燃烧至母线，在双母线布置的屋内配电装置中，母线与母线隔离开关之间宜装设耐火隔板。为确保设备及工作人员的安全，屋内外配电装置应设置闭锁装置，以防止带负荷误拉隔离开关、带接地线合闸、误

入带电间隔等电气误操作事故。

### 3) 断路器及其操作机构。

断路器通常设在单独的小室内。屋内的单台断路器、电压互感器、电流互感器，总油量超过 600kg 时，应装在单独的防爆小室内；总油量为 60~600kg 时，应装在有防爆隔墙的小室内；总油量在 60kg 以下时，一般可装在两侧有隔板的敞开小室内。

为了防火安全，屋内的单台断路器、电流互感器、总油量在 60kg 以上及 10kV 以上的油浸式电压互感器，应设置贮油或挡油设施。

断路器的操动机构设在操动通道内。手动操动机构和轻型远距离控制操动机构均装在壁上，重型远距离控制操动机构（如 CD3 型等）则落地装在混凝土基础上。

### 4) 互感器和避雷器。

电流互感器无论是干式或油浸式，都可以和断路器放在同一个室内。穿墙式电流互感器应尽可能作为穿墙套管使用。

电压互感器经隔离开关和熔断器（60kV 及以下采用熔断器）接到母线上，它需占用专门的间隔，但在同一间隔内，可以装设几个不同用途的电压互感器。

当母线上接有架空线路时，母线上应装设阀型避雷器，由于其体积不大，通常与电压互感器共用一个间隔，但应以隔层隔开。

### 5) 电抗器。

电抗器比较重，多布置在第一层的封闭小室内。电抗器按其容量不同有三种不同的布置方式：三相垂直布置、品字形布置和三相水平布置。

### 6) 配电装置的通道和出口。

配电装置的布置应便于设备操作、检修和搬运，故须设置必要的通道（走廊）。凡用来维护和搬运配电装置中各种电气设备的通道，称为维护通道；如通道内设有断路器（或隔离开关）的操动机构、就地控制屏等，称为操作通道；仅和防爆小室相通的通道，称为防爆通道。配电装置室内各种通道的最小宽度，不应小于表 1-1 所示的数值。

表 1-1 配电装置室内各种通道的最小宽度（净距）

单位：m

通道分类 布置方式	维护通道	操作通道		防爆通道
		固定式	移动式	
一面有开关设备	0.8	1.5	单车长+1.2	1.2
两面有开关设备	1.0	2.0	双车长+0.9	1.2

为了保证配电装置中工作人员的安全及工作便利，不同长度的屋内配电装置，应有一定数目的出口。长度小于 7m 时，可设一个出口；长度大于 7m 时，应有两个出口（最好设在两端）；当长度大于 60m 时，在中部适当的地方再增加一个出口。配电装置出口的门应向外开，并应装弹簧锁，相邻配电装置室之间如有门时，应能向两个方向开启。

### 7) 电缆隧道及电缆沟。

电缆隧道及电缆沟是用来放置电缆的。电缆隧道为封闭狭长的构筑物，高 1.8m 以上，两侧设有数层敷设电缆的支架，可容纳较多的电缆，人在隧道内能方便地进行敷设和维修电缆工作。电缆隧道造价较高，一般用于大型电厂。电缆沟为有盖板的沟道，沟深与宽不足 1m，敷设和维修电缆

必须揭开水泥盖板，很不方便。沟内容易积灰，可容纳的电缆数量也较少；但土建工程简单，造价较低，常为变电站和中、小型电厂所采用。

为确保电缆运行的安全，电缆隧道（沟）应设有 0.5%~1.5%排水坡度和独立的排水系统。电缆隧道（沟）在进入建筑物处，应设带门的耐火隔墙（电缆沟只设隔墙），以防发生火灾时烟火向室内蔓延扩大事故，同时，也防止小动物进入室内。

为使电力电缆发生事故时不致影响控制电缆，一般将电力电缆与控制电缆分开排列在过道两侧。如布置在一侧时，控制电缆应尽量布置在下面，并用耐火隔板与电力电缆隔开。

8) 屋内配电装置的采光和通风配电装置室可以开窗采光和通风，但应采取防止雨雪和小动物进入室内的措施。

#### (2) 高压开关柜的安装。

##### 1) 主体安装。

①按工程需要与图样标示，将开关柜运至它们特定的位置，如果一排较长的开关柜排列（10台以上），拼柜工作应从中间部位开始。

②用特定的运输工具如吊车或叉车，严禁用滚筒撬棍。

③从开关柜内抽出断路器手车，另放别处妥善保管。

④在母线隔室前面松开固定螺栓，卸下垂直隔板。

⑤松开断路器隔室下面水平隔板的固定螺栓，并将水平隔板卸下。

⑥松开和移去底板。

⑦从开关柜左侧控制线槽移去盖板。右前方控制线槽板亦同时卸下。

⑧在基础上一个接一个安装开关柜，包括水平和垂直两个方面，开关柜安装不平度不得超过 2mm。

⑨当开关柜完全组合（拼接）好后，可用地脚螺栓将其与基础槽钢相连或用电焊与基础槽钢焊牢。

##### 2) 母线的安装。

开关设备中的母线采用矩形母线，且分段形式，当选用不同电流时所选用的母线只是数量规格不一，因而在安装时必须遵照下列的步骤：

①用清洁干燥的软布擦揩母线，检查绝缘套管有否损伤，在连接部位涂上导电膏或者中性凡士林。

②一个柜接一个柜的安装母线，将母线段和对应的分支小母线接在一起用螺栓连接时应插入合适的垫块，用螺栓拧紧。

##### 3) 电缆的安装。

①按开关柜的一次方案图和二次接线图，在规定的位上连接好电缆线。

②封堵好电缆孔。

##### 4) 开关柜接地装置。

①用预设的连接板将各柜的主接地母线连接在一起。

②在开关柜内部连接所有接地的引线。

③将接地闸刀的接地线与开关柜主接地母线连接。

④将开关柜主接地母线与接地网相连。

##### 5) 开关设备安装后的检查。

当开关设备安装就位后,清楚柜内设备上的灰尘杂物,然后检查全部紧固螺栓有无松动,接线有无脱落。将断路器在柜中推进、推出,并进行分合闸动作,观察有无异常,将仪表的指针调整到零位,根据线路图检查二次接线是否正确。对继电器进行调整,检查连锁是否有效。

### (3) 倒闸操作。

运行中的电气设备,系指全部带有电压或一部分带有电压以及一经操作即带有电压的电气设备。所谓一经操作即带有电压的电气设备,是指现场停用或备用的电气设备,它们的电气连接部分和带电部分之间只用断路器或隔离开关断开,并无拆除部分,一经合闸即带有电压。因此,运行中的电气设备具体指的是现场运行、备用和停用的设备。

#### 1) 电气设备的状态。

电气设备有运行、热备用、冷备用和检修四种不同的状态。

运行状态:电气设备的运行状态是指断路器及隔离开关都在合闸位置,电路处于接通状态。

热备用状态:电气设备的热备用状态是指断路器在断开位置,而隔离开关仍在合闸位置,其特点是断路器一经操作即可接通电源。

冷备用状态:电气设备的冷备用状态是指设备的断路器及隔离开关均在断开位置。其显著特点是该设备(如断路器)与其他带电部分之间有明显的断开点。设备冷备用根据工作性质分为断路器冷备用与线路冷备用等。

检修状态:电气设备的检修状态是指设备的断路器和隔离开关均已断开,并采取了必要的安全措施。电气设备检修根据工作性质可分为断路器检修和线路检修等。

①断路器检修是指设备的断路器与其两侧隔离开关均拉开,断路器的操作熔断器及合闸电源熔断器均已取下,在断路器两侧装设了保护接地线或合上接地隔离开关,并做好安全措施。检修的断路器若与两侧隔离开关之间接有电压互感器(或变压器),则应将该电压互感器的隔离开关应拉开或取下高低压熔丝,高压侧无法断开时则取下低压熔丝,如有母联差动保护,则母联差动电流互感器回路应拆开并短路接地(二次回路应作相应的调整)。

②线路检修是指线路断路器及其两侧隔离开关拉开,并在线路出线端挂好接地线(或合上线路接地隔离开关)。如有线路电压互感器(或变压器),应将其隔离开关拉开或取下高低压熔断器。

③主变压器检修亦可分为断路器或主变压器检修。挂接地线或合上接地隔离开关的地点应分别在断路器两侧或变压器各侧。

④母线检修状态是指该母线从冷备用转为检修,即在冷备用母线上挂好接地线(或合上母线接地隔离开关)。母线由检修转为冷备用,是指拆除该母线的接地线,应包括母线电压互感器转为冷备用。母线从冷备用转为运行,是指有任一路电源断路器处于热备用状态,一经合闸,该母线即可带电,包括母线电压互感器转为运行状态。

#### 2) 倒闸操作的概念。

在发电厂或变电所中,电气设备有四种不同的状态,即使在运行状态,也有多种运行方式。将电气设备由一种状态转变到另一种状态的过程称为倒闸,所进行的操作被称为倒闸操作。所谓改变电气设备的状态,就是拉开或合上某些断路器和隔离开关,包括断开或投入相应的直流回路;改变继电保护和自动装置的定值或运行状态;拆除或安装临时接地线等。

#### 3) 倒闸操作的组织措施和技术措施。

组织措施是指电气运行人员必须树立高度的责任感和牢固的安全思想,认真执行操作票制度、工作票制度、工作许可制度、工作监护制度以及工作间断、转移和终结制度等。

技术措施就是采用防误操作装置，即达到五防的要求：防止误拉合断路器，防止带负荷拉合隔离开关，防止带地线合闸，防止带电挂接地线，防止误入带电间隔。

常用的防误操作装置主要有：

- ①机械闭锁。
- ②电磁闭锁。
- ③电气闭锁。
- ④红绿牌闭锁。

⑤微机防误操作装置。微机防误操作装置又称电脑模拟盘，是专门为电力系统防止电气误操作事故而设计的，它由电脑模拟盘、电脑钥匙、电编码开锁、机械编码锁等部分组成。可以检验及打印操作票，同时能对所有的一次设备强制闭锁。

4) 保证安全的技术措施。

在全部停电或部分停电的电气设备上工作，必须完成下列措施：

- ①停电。
- ②验电。
- ③装设接地线。
- ④悬挂表示牌和装设遮拦。

5) 倒闸操作的实施。

倒闸操作时，现场必须具备以下几个条件：所有电气一次、二次设备必须标明编号和名称、字迹清楚、醒目，设备有传动方向指示、切换指示，以及区别相位的颜色；设备应达到防误要求，如不能达到，需经上级部门批准；控制室内要有和实际电路相符的电气一次模拟图和二次回路的原理图和展开图；要有合格的操作工具、安全用具和设施等；要有统一的、确切的调度术语、操作术语；值班人员必须经过安全教育、技术培训，熟悉业务和有关规章、规程规范制度，经评议、考试合格、主管领导批准、公布值班资格（正、副职）名单后方可承担一般操作和复杂操作，接受调度命令，进行实际操作或监护工作。

6) 倒闸操作的基本要求。

①倒闸操作前，必须了解系统的运行方式、继电保护及自动装置等情况，并应考虑电源及负荷的合理分布以及系统运行的情况。

②在电气设备服役前必须检查有关工作票、安全措施拆除情况。

③倒闸操作前应考虑继电保护及自动装置整定值的调整，以适应新的运行方式的需要，防止因继电保护及自动装置误动或拒动而造成事故。

二次部分调整内容如下：电压互感器二次负载的切换；厂用（所用）变压器电源的切换；直流电源的切换；交流电源、电压回路和直流回路的切换；根据一次接线，调整二次跳闸回路（例如母联差动保护跳闸回路的调整，继电保护及自动装置改接和连跳断路器的调整等）；根据一次接线，决定母联差动保护的运行方式；断路器停役，二次回路工作需将电流互感器短接退出，以及断路器停役时根据现场规程决定断路器失灵保护停用；有综合重合闸的线路，其综合重合闸与线路高频、距离、零序保护的连接方式，保护整定单上均有明确说明；现场规程规定的二次回路需作调整的其他有关内容。

④备用电源自动投入装置、重合闸装置、自动励磁装置必须在所属设备停运前退出运行，在所属主设备送电后投入运行。



⑤在进行电源切换或电源设备倒母线时，必须先将备用电源投入装置停用，操作结束后进行调整。

⑥在同期并列操作时，应注意防止非同期并列。

⑦在倒闸操作过程中应注意分析表计指示。

⑧在下列情况下，应将断路器的操作电源切断，即取下直流操作回路熔断器。

a. 检修断路器；

b. 在二次回路及保护装置上工作；

c. 在倒母线操作过程中拉合母线隔离开关，必须先取下母联断路器的操作回路熔断器，以防止在拉合隔离开关时母联断路器跳闸而造成带负荷拉、合隔离开关；

d. 操作隔离开关前应先检查断路器在分闸位置，以防止在操作隔离开关时断路器在合闸位置而造成带负荷拉、合隔离开关；

e. 在继电保护故障情况下，应取下直流操作回路熔断器，以防止因断路器误合、误跳而造成停电事故；

f. 当断路器严重缺油、看不到油位或大量漏油时，应取下直流操作回路熔断器并及时向调度员汇报，要求用旁路断路器代其供电，将该断路器退出运行。

g. 操作中应用合格的安全工具。

7) 断路器和隔离开关倒闸操作的规定。

断路器的操作：

①用控制开关拉合断路器时，不要用力过猛，以免损坏控制开关，操作时不要返回太快，以免断路器合不上或拉不开。

②设备停役操作前，对终端线路应先检查负荷是否为零。

③断路器操作后，应检查与其相关的信号，如红绿灯、光字牌的变化，测量表计的指示。装有三相电流表的设备，应检查三相表计，并到现场检查断路器的机械位置以判断断路器分合的正确性，避免由于断路器假分假合造成误操作事故。

④操作主变压器断路器退出运行时，应先拉开负荷侧，后拉开电源侧，恢复运行时，顺序相反。

⑤如装有母联差动保护时，当断路器检修或二次回路工作后，断路器投入运行前应先停用母联差动保护再合上断路器，充电正常后才能用上母联差动保护。

⑥断路器出现非全相合闸时，首先要恢复其全相运行。

⑦断路器出现非全相分闸时，应立即设法将未分闸相拉开，如仍拉不开，应利用母联或旁路进行倒换操作，之后通过隔离开关将故障断路器隔离。

⑧对于储能机构的断路器，检修前必须将能量释放，以免检修时引起人员伤亡。

⑨断路器累计分闸或切断故障电流次数（或规定切断故障电流累计值）达到规定，应停电检修。

隔离开关操作：

①拉合隔离开关前必须查明有关断路器和隔离开关的实际位置，隔离开关操作后应查明实际分合位置。

②手动合上隔离开关时，必须迅速果断。

③手动拉开隔离开关时，应慢而谨慎。

④装有电磁闭锁的隔离开关当闭锁失灵时，应严格遵守防误装置解锁规定，认真检查设锁的实际位置，并得到当班调度员同意后，方可解除闭锁进行操作。

⑤电动操作的隔离开关如遇电动失灵，应查明原因和与该隔离开关有闭锁关系的所有断路器、隔离开关、接地开关的实际位置，正确无误才可拉开隔离开关操作电源而进行手动操作。

⑥隔离开关操作机构的定位销操作后一定要销牢，以免滑脱发生事故。

⑦隔离开关操作后，检查操作应良好，合闸时三相同期且接触良好；分闸时判断断口张开角度或闸刀拉开距离应符合要求。