

## 任务二：一次设备与电气主接线

教案头：

项目	电气一次设备的运行与维护		
任务	知识点 2 高低压断路器	学时	2
教学目标	知识目标	技能目标	素质目标
	①了解电弧的形成与熄灭过程。 ②了解常用的电弧熄灭的方法。 ③熟悉断路器在供电系统中的作用。 ④掌握断路器的类型及基本结构。 ⑤掌握断路器的基本参数。	①能识别断路器的铭牌。 ②掌握断路器的操作技术要领。 ③能进行断路器的运行与维护	①养成良好的安全意识，能够自觉按规章操作。 ②具有良好的团队协作精神，主动适应团队工作要求。 ③基本职业素养的培养。
工作任务	断路器的停送电操作		
教学重点	断路器的作用；		
教学难点	断路器的结构及操作方法。		
教学策略	“教、学、练、做”一体化		
教学条件	高低压成套电气装置生产性实训中心		
作业	识别断路器的铭牌标识		
备注			

教学内容：

### 一、任务概述

在供配电系统中，正常的停、送电操作是极为常见的。但由于供配电系统电压较高，极易产生强烈的电弧，如果不加以防护，将造成电气设备，运行人员的损伤。因此，必须由专门的开关设备进行操作并防护，这就是断路器。

### 二、知识准备

#### 1. 电弧及其危害

当开关通断时，只要动、静触点之间的电压不小于 10~20V，它们行将接触或者开始分断时就会在间隙内产生放电现象。如果电流小，就会发生火花放电；如果电流大于 80~100mA，就会发生弧光放电，即电弧。

开关断开过程中电弧是这样形成的。触头刚分离时突然解除接触压力，阴极表面立即出现高温炽热点，产生**热电子发射**；同时，由于触头的间隙很小，使得电压强度很高，产生**强电场发射**。从阴极表面逸出的电子在强电场作用下，加速向阳极运动，发生**碰撞游离**，导致触头间隙中带质点急剧增加，温度骤然升高，产生**热游离**并且成为游离的主要因素，此时，在外加电压作用下，间隙被击穿，形成电弧。

电弧是电气设备运行中经常发生的一种物理现象，其特点是光亮很强和温度很高，电弧对供电系统的威胁极大，主要表现在以下几个方面：

① 电弧延长了开关电器切断电路的时间，如果电弧是短路电流产生的，电弧的存在就意味着短路电流还存在，从而使短路电流危害的时间延长。

② 电弧的高温可烧坏触点，烧毁电气设备及导线、电缆，还可能引起弧光短路，甚至引起火灾和爆炸事故。

③ 强烈的弧光可能损伤人的视力。

因此，在供电系统中，各种开关电器采用了一定的灭弧措施，保证电弧能迅速熄灭。

## 2. 常用的灭弧方法

开关电器在分断电流时之所以会产生电弧，其根本原因是触点本身和触头周围的介质中含有大量可被游离的电子。要使电弧熄灭，就必须使触点中的去游离率大于游离率，即离子消失的速率大于离子产生的速率。

根据去游离理论，常用的灭弧方法有以下几种：

① **速拉灭弧法**：在切断电路时，迅速拉长电弧，使触点间电场强度骤降，使带电质子的复合速度加快，从而加速电弧的熄灭。这种灭弧方法是开关电器中普遍采用的最基本的灭弧方法，如高压开关中装的速断弹簧。

② **冷却灭弧法**：降低电弧的温度，可使电弧的电场减弱，导致带电质子的复合增强，有助于电弧的熄灭。这种灭弧方法在开关电器中应用比较普遍。

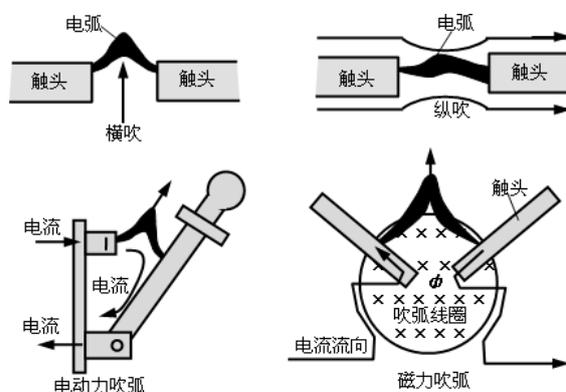


图 2-4 灭弧方式示意图

③ **吹弧灭弧法**：利用外力来吹动电弧，使电弧加速冷却，同时拉长电弧，迅速降低电弧中的电场强度，从而加速电弧熄灭。按吹弧的方向分有横吹和纵吹；按外力的性质分有气吹、油吹、电动力吹、磁吹等，如图 2-4 所示。

④ **短弧灭弧法**：利用金属栅片把电弧分割成若干个相互串联的短弧，以提高电弧电压，使触点间的电压不足以击穿所有栅片间的气隙而使电弧熄灭。

⑤ **狭沟灭弧法**：将电弧与固体介质所形成的狭沟接触，使电弧冷却而灭弧。由于电弧在固体中，其冷却条件加强，同时电弧在狭缝中燃烧产生气体，使内部压力增大，去游离作用加强，有利于电弧的熄灭。如在熔断器的熔管内充填石英砂和用绝缘栅的方法，都是利用此原理。

⑥ 真空灭弧法：由于真空具有较强的绝缘强度，不存在气体游离的问题，因此处于真空中的触点间的电弧在电流过零时就能立即熄灭而不致复燃。真空断路器就是利用真空灭弧法。

⑦ 六氟化硫灭弧法：六氟化硫具有优良的绝缘性能和灭弧性能，其绝缘强度为空气的 3 倍，介质恢复速度是空气的 100 倍，使灭弧能力大大提高。六氟化硫断路器就是利用六氟化硫灭弧法。

电气设备的灭弧装置可以采用一种灭弧方法，也可以综合采用几种灭弧方法，以达到提高灭弧能力的目的。

### 3. 高压断路器

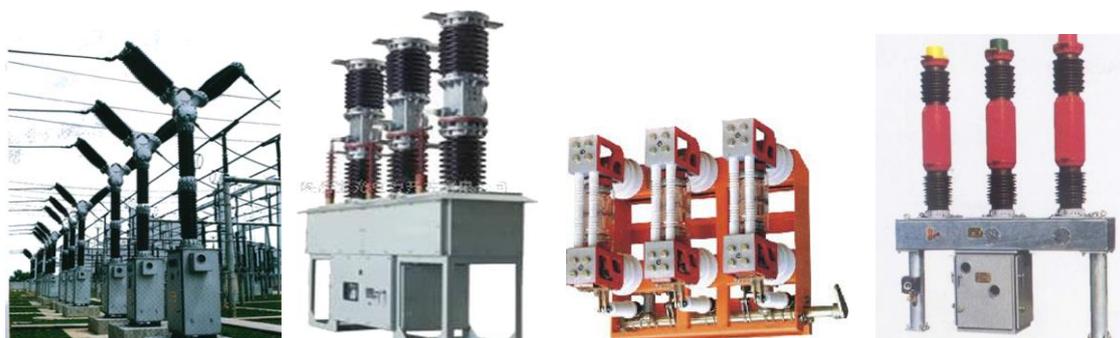
#### 3.1. 高压断路器的用途

高压断路器是电力系统最重要的控制和保护电器。无论被控电路处在何种工作状态，例如空载、负载或短路故障状态，断路器都应可靠地动作。高压断路器在电网中起的作用有两个方面：一是控制作用，根据电网运行的需要，将一部分电力设备或线路投入或退出运行；二是保护作用，即在电力设备或线路发生故障时，通过继电保护装置使断路器跳闸，将故障部分从电网中迅速切除，保证电网无故障部分的正常运行。

#### 3.2. 高压断路器的类型

高压断路器可分为户外和户内两种，根据断路器采用的灭弧介质不同，又可分为油断路器、压缩空气断路器、六氟化硫断路器、真空断路器等。

油断路器又有多油和少油之分，其区别是多油断路器的油既起灭弧作用又起绝缘作用，因而多油断路器用油量多得多，所以体积和重量都大，现已被淘汰；少油断路器用油少、体积小，爆炸时火灾小，曾经应用很广，但目前少油断路器基本上不再生产。



(a) 少油高压断路器

(b) 真空高压断路器

(c) 六氟化硫断路器

图 2-5 高压断路器产品实物图

目前供配电技术中应用最多的是 SF6 断路器和真空断路器，其高压断路器产品实物如图 2-5 所示。

#### 3.3. 高压断路器的主要参数

(1) 额定电压  $U_e$ 。额定电压是指高压断路器正常工作时所能承受的电压等级，它决定了断路器的绝缘水平，它表明的是断路器耐压能力。供配电系统中常用的高压断路器的额定电压等级为：10、35、110KV 等。

(2) 额定电流  $I_e$ 。额定电流指在规定的环境温度下，断路器长期允许通过的最大工作电流（有效值），反映了断路器的载流能力。常用断路器的额定电流等级为 200、400、630、1000、1250、1600、2000、3150、4000、5000、6300、8000、10000、12500A 等。

(3) 额定开断电流  $I_{ekd}$ 。额定开断电流是指在额定电压下断路器能够可靠开断的最大短路电流值，它是表明断路器灭弧能力的技术参数。

(4) 动稳定电流  $i_{dw}$ 。表示断路器在冲击短路电流作用下，承受电动力的能力。

(5) 热稳定电流  $I_r$ 。表明断路器承受短路电流热效应的能力。

(6) 开断时间  $t_{kd}$ 。从操作机构跳闸线圈接通跳闸脉冲起，到三相电弧完全熄灭时止的一段时间称为断路器开断时间。

### 3.4. 高压断路器的型号含义

高压断路器的型号含义如图 2-6 所示

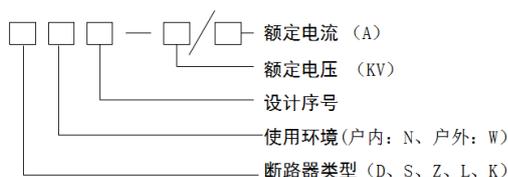


图 2-6 断路器的型号及含义

例如：ZN28-10/600 型断路器，表示该断路器为户内真空断路器，设计序号为 28，额定电压为 10KV，额定电流为 600A。

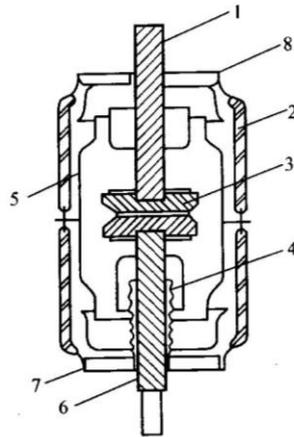
### 3.6. 真空断路器

高压真空断路器是利用“真空”灭弧的一种断路器，具有体积小、重量轻、噪声小、维护工作量小等突出的优点，目前已广泛应用 3~10KV 电压等级的屋内配电装置中。图 2-7 所示是真空断路器的外形图，它主要由真空灭弧室、操作机构、框架三部分组成。



图 2-7 真空断路器的外形

真空灭弧室是真空断路器的核心元件，是一个真空的密闭容器，具有开断、导电和绝缘的功能，主要由绝缘外壳，动静触头，波纹管，屏蔽罩等组成，如图 2-8 所示。其中，绝缘外壳主要由玻璃和陶瓷材料制作，它的作用是支持动静触头和屏蔽罩等金属部件，与端盖气密地焊接在一起，以确保灭弧室内的高真空度。



1-静导电杆；2-绝缘外壳；3-触头；4-波纹管；  
5-屏蔽罩；6-动导电杆；7-下端盖；8-上端盖

图 2-8 真空灭弧室

触头材料对真空断路器的灭弧性能影响很大，通常要求它具有导电好、耐弧性好、导热性好、机械强度高和加工方便等特点，常用的触头材料是铜铬合金、铜合金等。动静触头分别焊接在动、静导电杆上，用波纹管实现密封。动触头位于灭弧室的下部，在机构驱动力的作用下，能在灭弧室内沿轴向移动，完成分、合闸。

屏蔽罩是包围在触头周围用金属材料制成的圆筒，它的主要作用是吸附电弧燃烧时释放出的金属蒸汽，提高弧隙的击穿电压，并防止弧隙的金属喷溅动绝缘外壳内壁上，降低外壳的绝缘强度。

波纹管能保证动触头在一定行程范围内运动时，不破坏灭弧室的密封状态。波纹管通常采用不锈钢制成，有液压成型和膜片焊接两种。真空断路器触头每分合一次，波纹管便产生一次机械变形，长期频繁和剧烈的变形容易使波纹管因材料疲劳而损坏，导致灭弧室漏气而无法使用。波纹管是真空灭弧室中最容易损坏的部件，其金属的疲劳寿命，决定了真空灭弧室的机械寿命。

### 3.6. SF6 断路器

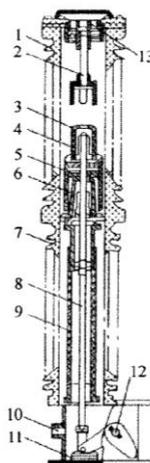
六氟化硫断路器是利用 SF6 作为灭弧和绝缘介质的一种断路器。SF6 气体是一种无色、无味、无毒、不可燃的惰性气体，具有极强的电负性（吸附自由电子的能力），是一种优良的灭弧介质和绝缘介质。这种断路器的外形尺寸小，占地面积少，开断能力强，运行期内基本无维修。

SF6 断路器在结构上可分为支柱式和罐式两种。支柱式在 6KV 及以上的高压电路中广泛使用，如图 2-9（a）所示。罐式的特点是设备重心低，结构稳固、抗展性能好，可以加装电流互感器，但它耗材量大，制造工艺要求高，系列化产品少，所以它的应用范围受到限制。

SF6 断路器的灭弧方式主要采用压气式灭弧，压气式灭弧装置中装有一定压力的 SF6 气体，断路器在开断过程中，压气缸 5 和动触头 4 同时运动，将压气缸内的 SF6 气体压缩而使压力升高。触头分离后，即喷口 3 被打开，高压气体由喷口处向外排出，实现纵吹而将电弧熄灭，如图 2-9（b）所示。目前在 110KV 及以上的电力系统中广泛使用这种灭弧装置。



(a) 支柱式 SF6 断路器外形



(b) 支柱式 SF6 断路器结构

1- 灭弧室瓷套；2-静触头；3-喷口；4-动触头；5-压气缸；6-压气活塞；7-支柱绝缘子；  
8-绝缘操作杆；9-绝缘套筒；10-充气气孔；11-缓冲定位装置；12-联动轴；13-过滤器

图 2-9 支持式 SF6 断路器

### 3.7. 高压断路器的操作机构

断路器的工作过程中分、合闸动作是由操作系统来完成的。操作系统由相互联系的操作机构和传动机构组成，后者常归入断路器的组成部分。操作机构的工作性能和质量对断路器的工作性能和工作可靠性起着重要作用。

#### ①操作机构的作用

操作机构的主要任务是将其他形式的能量转换成机械能，使断路器准确地进行分、合闸操作。因此，要求其具有合闸操作、保持合闸、分闸操作、防跳跃、复位、闭锁等功能。

#### ②操作机构的分类

高压断路器的操作机构种类很多，按其操作能源来分主要有：手动型（S）、电磁型（D）、液压型（Y）、气压型（Q）、弹簧型（T）五种类型。

#### ③操作机构的型号

一种操作机构可配用多种不同型号的断路器，同一种断路器也可选用不用型号的操作机构，由于操作机构与断路器之间的多配性，为方便起见，操动机构有自己独立的型号。

操作机构的型号及含义如图 2-10 所示。

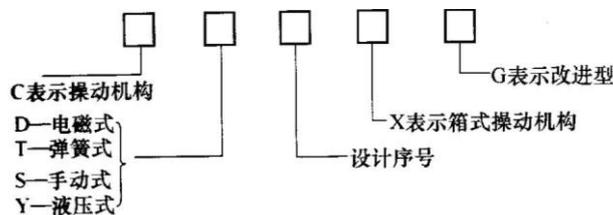


图 2-10 操动机构型号及含义

例如：CD2 为电磁式操作机构，设计序号为 2；CY3 为液压式操作机构，设计序号为 3。CT19 为弹簧式操作机构，设计序号为 19，通常与 10KV 真空断路器配套使用，见图 2-19。



图 2-11 CT19 弹簧操作机构

### 三、任务实施

#### (1) 工作准备

熟悉断路器操作的技术规范；将学生分组，发放试验用仪器、仪表和工具。

- 1) 做手动真空式断路器停送电操作
- 2) 做远动真空式断路器停送电操作

#### 四、检查评价

以提问的方式对学习内容进行检查，老师进行点评，学生进行自评，互评。

#### 五、总结

通过本节的学习，掌握断路器的作用，结构和工作原理，掌握断路器的操作方法，具备对于简单的断路器故障进行故障排查能力。