

# 第18篇 开关设备、继电保护 装置和控制装置

主 编 中 西 邦 雄 (横浜国立大学)  
执 笔 者 阿 部 研 一 (富士電機製造)  
安 藤 文 郎 (東京芝浦電気)  
岩 城 秀 夫 (日立製作所)  
魚 谷 敏 郎 (三菱電機)  
尾 崎 勇 造 (電力中央研究所)  
小 林 孝 之 (東京芝浦電気)  
西 條 喜 一 (富士電機製造)  
中 田 宏 (明 電 舎)  
中 西 邦 雄 (横浜国立大学)  
萩 森 英 一 (東京芝浦電気)  
広 瀬 淳 雄 (東京電機大学)  
山 崎 精 二 (日立製作所)

译 者 洪志成 (第1~3章) 许心传 (第4章)  
顾曼茜 (第5、6章)

校 者 张家元 (第1、5、6章) 张宏文 林希茂 (第2、3章)  
罗广能、张雨时、陈守诚 (第4章)

# 目 录

|                           |       |                              |       |
|---------------------------|-------|------------------------------|-------|
| <b>第1章 电力开关设备</b> .....   | 18-1  | <b>第4章 避雷装置</b> .....        | 18-49 |
| 1.1 开关设备的通用事项 .....       | 18-1  | 4.1 避雷装置的通用事项 .....          | 18-49 |
| 1.2 交流断路器 .....           | 18-10 | 4.2 避雷器的主要事项 .....           | 18-50 |
| 1.3 自动空气开关 .....          | 18-13 | 4.3 各种避雷装置 .....             | 18-57 |
| 1.4 接触器 .....             | 18-16 | 4.4 避雷器的设置、检查和试验 .....       | 18-60 |
| 1.5 高压开关 .....            | 18-18 | <b>第5章 电力配电装置和控制方式</b> ..... | 18-60 |
| 1.6 低压开关 .....            | 18-19 | 5.1 通用事项 .....               | 18-60 |
| 1.7 隔离开关 .....            | 18-20 | 5.2 电力用控制装置 .....            | 18-64 |
| 1.8 熔断器 .....             | 18-21 | 5.3 封闭式配电柜 .....             | 18-66 |
| <b>第2章 电力用保护继电器</b> ..... | 18-25 | 5.4 全封闭开关装置 .....            | 18-72 |
| 2.1 保护继电器的通用事项 .....      | 18-25 | 5.5 控制方式 .....               | 18-78 |
| 2.2 保护继电器的基本构成元件 .....    | 18-26 | 5.6 控制电源 .....               | 18-82 |
| 2.3 保护继电器的动作原理 .....      | 18-30 | <b>第6章 工业控制装置和控制方式</b> ..... | 18-82 |
| 2.4 各种继电器 .....           | 18-35 | 6.1 控制装置的通用事项 .....          | 18-82 |
| <b>第3章 继电保护方式</b> .....   | 18-39 | 6.2 控制电器 .....               | 18-83 |
| 3.1 继电保护方式概述 .....        | 18-39 | 6.3 控制设备 .....               | 18-85 |
| 3.2 小型电动机保护 .....         | 18-40 | 6.4 电子控制装置 .....             | 18-86 |
| 3.3 配电系统保护 .....          | 18-40 | 6.5 控制装置 .....               | 18-88 |
| 3.4 变压器保护 .....           | 18-41 | 6.6 电动机的起动装置 .....           | 18-89 |
| 3.5 母线保护 .....            | 18-42 | 6.7 电动机的调速装置 .....           | 18-92 |
| 3.6 输电线保护 .....           | 18-43 | 6.8 电动机的群控装置 .....           | 18-95 |
| 3.7 发电机保护 .....           | 18-46 | 6.9 过程检测控制装置 .....           | 18-96 |
| 3.8 系统保护 .....            | 18-47 | 6.10 系统综合控制 .....            | 18-97 |
| 3.9 提高继电保护装置的可靠性 .....    | 18-48 | <b>参考文献</b> .....            | 18-99 |

# 第1章 电力开关设备

## 1.1 开关设备的通用事项

1.1.1 定义和分类 用于接通和分断电路的器具或装置总称为电力开关设备。基本的开关设备按其通断能力,大致可分成如表1中所示的几种。此外,还可按交流和直流、灭弧介质(见图9)、用途、结构和外壳形状来区分。再有,按同时能接通和分断的线路数可分成单极和三极,或按一个极所能接通的触头组数可分成单投和双投。

表1 开关设备的分类

| 电器名称 | 工作电流 |    | 短路电流 |    |    |
|------|------|----|------|----|----|
|      | 长时通电 | 接通 | 分断   | 接通 | 分断 |
| 断路器  | ○    | ○  | ○    | ○  | ○  |
| 开关   | ○    | ○  | ○    | △  | ×  |
| 隔离开关 | ○    | △  | ×    | ×  | ×  |
| 接触器  | ○    | ○  | ○    | ×  | ×  |
| 熔断器  | ○    | ×  | ×    | ×  | ○  |
| 接地开关 | ×    | ×  | ×    | ○  | ×  |

注: ○: 可以; △: 有时可以; ×: 不可以。

### 1.1.2 触头和通电容量

(a) 触头 首先,要求触头在闭合电路中能长期通过工作电流而不产生过高的温升;其次,还要求触头具有接通非正常电流、合闸电流的能力。另一方面,触头的结构和材料应选用对触头通断时产生的电弧能耐腐蚀并能有效地灭弧。触头多数采用图1中的形式。图(a)、(b)中的对接接触虽然结构简单,但在触头闭合时易弹跳,一般操作机构或触头的固定侧做成能作少许随从运动的结构。图(a)的接触形式是面接触,在真空断路器、开关、磁吹断路器等开关设备中用得最多。图(b)是圆形线接触,在六氟化硫(SF<sub>6</sub>)断路器、空气断路器中用得最多。图(c)的结构少许复杂,但它是滑动面接触,适用于通过电流大、动作速度高的场合,在油、空气、SF<sub>6</sub>等断路器中用得最多,图(d)中的接触形式多用于隔离开关中,其特点是接触压力小面容易达到通过大电流的要求,是线接触的典型

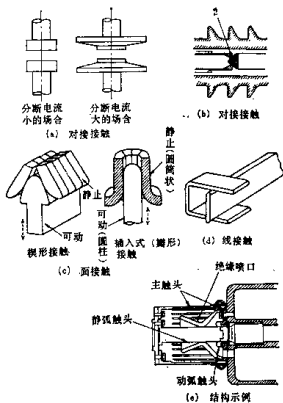


图1 接触形式

形式。图(e)是产生电弧的弧触头采用对接形式,通过大电流的主触头采用瓣形,额定电流为8000A、分断电流为60kA的SF<sub>6</sub>断路器的结构。

在触头材料方面,触头的母体多数采用铜,一般仅将接触部分镀银或镀银,称为银触头。这种触头即使用在100℃左右,也不会劣化,因此在标准中允许在空气(气体)中的温升为65℃,在液体(油)中为50℃。用铜材做的触头称为铜触头,在空气中的温升极限为35℃,在液体中温升极限为30℃。弧触头和产生电弧部位一般采用耐弧材料——银钨和铜钨烧结合金。

(b) 通电容量 接触部分的通电容量决定于接触电阻的焦耳损耗产生的发热和它的有效散热面积S。接触电阻可以认为是集中电阻(收缩电阻)和表面膜电阻之和,但大部分是后者。表面膜电阻是因为接触面上有触头材料的氧化物、硫化物、氟

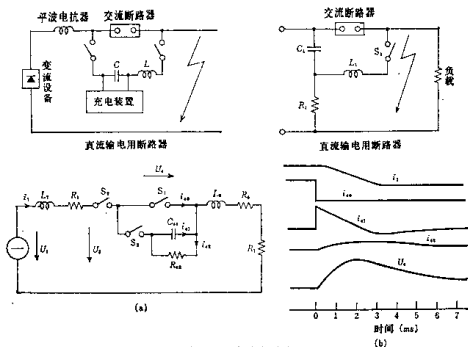


图2 直流断路器电路和示波图

化物等化合物膜和气体吸附膜而形成。

接触电阻  $R_c$  ( $\Omega$ ) 与接触压力  $P$  ( $\text{kg} \cdot \text{W}/\text{cm}^2$ ) 的关系为

$$R_c = kP^{-1/n} \quad (1)$$

式中  $k$  是常数, 由  $P$  以外的条件决定。  $n$  是一个大略的数值, 其变化范围为: 点接触时  $n = 2$ , 线接触和面接触时  $n = 1$ , 经过特别研磨加工的面接触  $n = 0.5$ 。

在触头的通电容量  $I$  (A) 与触头的散热面积  $S$  ( $\text{cm}^2$ ) 之间存在下面关系:

$$I = LS^{1/2}P^{1/2n} \quad (2)$$

式中  $L$  是决定于接触形式、材料和允许温升的系数。如果是银触头线接触, 温升为  $50^\circ\text{C}$ , 则  $L$  大约是 20。

在讨论灭弧断路器的过载能力时, 通过电流与温升  $\theta$  之间存在下面关系:

$$\theta \propto I^{1.7} \quad (3)$$

触头所能承受电力系统短路故障时的非正常电流的能力称为短时电流容量, 它是指触头在不产生熔焊和严重烧损情况下, 在一定的时间内所能通过的电流值。除了特殊情况外, 设计条件往往要比额定电流苛刻。关于熔焊极限可参考文献中的研究结果<sup>(1)~(5)</sup>。

### 1.1.3 分断现象和分断方式

(a) 直流分断现象 在电气化铁道、钢铁和

造纸等工业的大型电动机电路中使用直流, 而且  $\pm 500\text{kV}$  的直流输电也已出现。在线路电压小于  $3000\text{V}$  的情况下, 直流分断采用将电弧电压升高到接近线路电压从而减小电流进行分断的原理, 叫作直流快速开关的装置很早就得到使用。而且在直流输电用断路器中, 为了提高电弧电压, 正在研究用喷油<sup>(4)</sup>或者液氮和液化六氟化硫 ( $\text{SF}_6$ )<sup>(5)</sup> 等液化气体喷射和将分断速度提高到  $100\text{m/s}$  以上等方法。此外, 还有如图 2 所示, 使反向电流重合, 并利用交流断路器的方法和图 3 所示的逐次接入电阻减少电流的方法。更为特殊的是美国休斯 (Hughes) 研究所研制的一种利用金属蒸气放电, 称为茄米通 (Gamitron)<sup>(6)</sup> 的装置, 这个装置已在联系太平洋间 (Pacific Inter-tie) 的  $400\text{kV}$  直流输电系统中, 进行了

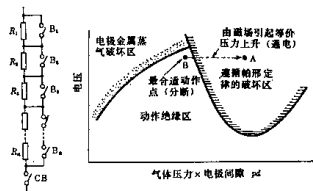


图3 电阻逐次接入式直流断路器

图4 茄米通(Gamitron)的动作特性区域

现场试验。其原理如图4所示,为了通电,在电弧上加一个横向磁场,先使它在遵循帕邢(Paschen)定律的低击穿电压区域A内工作,当根据分断指令将磁场去掉时,移至B点,就停止放电,完成分断。直流分断时,为了处理储存在电感中的电磁能量,使它不产生过电压,附加的电容器和电阻器成为很重要因素,还有许多问题有待于今后研究。

(b) 交流分断现象 在交流电路中,即使不强迫电弧电流为零,它也会每半周自然过零,所以有灭弧机会,至于此时电弧是否能熄灭,取决于电弧电流过零后电弧是否复燃。过零前直到几百微秒的情况大致可分为图5的四种波形。

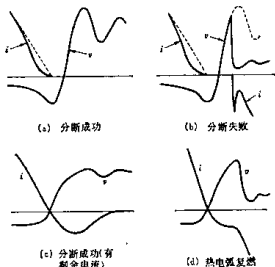


图5 分断与复燃的波形

图(a)往往是在电弧电流较小,灭弧能力较强的场合,或者触头间隙瞬态恢复电压的上升速度缓慢的场合,可以见到的现象。如果弧隙介质绝缘强度没有充分恢复,继续几个如图(b)所示的电流过零期间后,就产生飞弧。这个现象称为冷电弧复燃或者火花复燃。而图(c)、(d)则相反,是在电弧电流较大,特别是在瞬态恢复电压上升速度较高的场合才可以见到的现象。其特点是在电流过零后,仍有一个很小电流(剩余电流)向反方向流动。图(d)这种灭弧失败称为热电弧复燃。另外,我们称图5那样弧隙两端间产生的瞬态电压为瞬态恢复电压,称图6那样在过渡过程終了后出现的工频电压为恢复电压。瞬态恢复电压的波形,受到电弧的影响发生畸变,在没有电弧复燃且分断情况下,它决定于电路的固有特性,因此,称它为固有瞬态恢复电压,用于标准中。三相电路的恢复电压,根

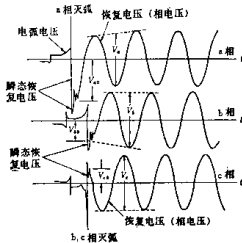
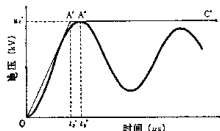
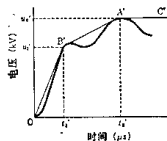


图6 分断三相短路时的瞬态恢复电压和恢复电压



(a) 单频波形

OA': 从原点引向第一个波的波峰部分的切线 A'C': 在波峰A'处引与时间轴平行的直线  $u_1'$ : A'点的电压坐标  $t_1'$ : A'点的时间坐标



(b) 多频波形

OB': 从原点引向第一个波的波峰部分的切线 B'A': 二个凸部的切线 A'C': 在波峰处引与时间轴平行的直线  $u_1'$ : B'点的电压坐标  $t_1'$ : B'点的时间坐标  $u_2'$ : A'点的电压坐标  $t_2'$ : A'点的时间坐标

图7 瞬态恢复电压波形的表示方法

据中性点的接地方式、故障种类和分断的相序的不同,在相电压的1~2.6倍范围内变化。但是具有代表性的三相短路故障的第一分断相,如果是直接接地系统,恢复电压是相电压的1~1.3倍;如果是高电阻接地或不接地系统,大约是相电压的1.5倍。瞬态恢复电压的波形如图7所示,有单频的和由两

个以上频率合成的多频的两种, 分别用规定的作图法得到的包络线  $OA'C'$  或  $OB'A'C'$  表示, 在数量上前者用峰值  $u_i$  和到达峰值的时间  $t_i$  表示, 后者用初始电压上升率  $u_i/t_i$ 、初始峰值  $u_i$ 、峰值  $u_i$  和到达峰值时间  $t_i$  等表示。这种表示法分别称为两参数法和四参数法。瞬态恢复电压的波形不仅随着电源侧电路条件的不同而变化, 而且根据到故障点的电路条件的不同有很大变化。特别是图 8 那样, 在到故障点的距离内有一段短距离的架空输电线, 这时瞬态恢复电压的波形变为初始上升率为  $\sqrt{2} \omega Z I$  ( $\omega$ : 电源角频率;  $Z$ : 线路的波动阻抗, 通常按  $450 \Omega$  计算;  $I$ : 故障电流有效值) 陡的三角波的振荡与电源侧的振荡重叠的波形。一般称此为近区线路故障 (SLF) 分断条件, 根据断路器的种类, 尽管分断电流比断路器端子故障时小, 但这个条件变为苛刻, 是前面所讲的热电弧复燃最容易产生的典型条件。

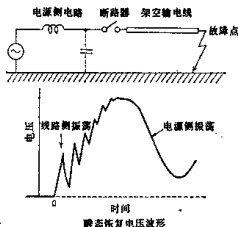


图 8 近区线路故障的分断

(c) 分断方式和灭弧介质 分断方式如图 9 所示, 根据不同灭弧介质, 采用具有不同特点的原理和结构。图 (a) 是使用绝缘油的油断路器, 电弧在灭弧室的绝缘筒中产生和熄灭。由油分解产生的氢气, 在  $3000 \sim 4000 \text{ K}$  温度下产生热分解, 导热系数增大, 产生了强烈的冷却作用, 同时产生在密封室中的气体使压力升高, 结果新鲜的油和气体通过侧孔吹袭电弧, 使电弧熄灭。图 (b) 是将  $15 \sim 30$  大气压的高压空气吹向触头间隙的空气断路器。对音速气流中的电弧来说, 热力学的冷却, 即所谓绝热膨胀起着很大作用。

图 (c) 是压气式六氟化硫 ( $\text{SF}_6$ ) 断路器的原理图, 利用压气缸和活塞的风箱作用, 压缩  $\text{SF}_6$  气体, 使电流吹袭电弧。  $\text{SF}_6$  本来就是一种绝缘性能良好的气体, 在  $2000 \text{ K}$  左右, 由于热分解导热系数增大, 冷却效果增强, 与使电导率增大的温度  $4000 \sim 5000 \text{ K}$  相比, 相差很大 (见图 10)。由于  $\text{SF}_6$  气体具有这种温度特性, 电弧在  $\text{SF}_6$  气体中变得特别细, 电弧的热时间常数变得非常小, 在电流过零时电弧就很容易熄灭。特别是  $\text{SF}_6$  气体是负电性气体, 分子或离解的原子吸附参与导电的电子, 变成负离子的电子亲和力特别强。因此, 弧隙就很快地失去导电性。

图 (d) 是真空断路器的情况, 在约  $10^{-8} \text{ mm Hg}$  的高真空中产生的电弧, 形成触头材料的金属蒸气的等离子体。等离子体中的电子、金属离子或金属粒子在高真空中的强烈扩散作用 (特别是双向扩散) 下向周围扩散, 高温金属粒子被屏蔽罩所吸附, 这时的扩散速度可达  $10^4 \text{ m/s}$ 。当电流过

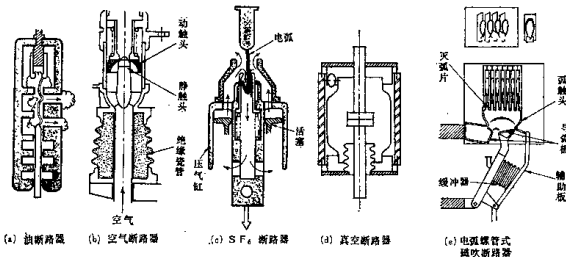
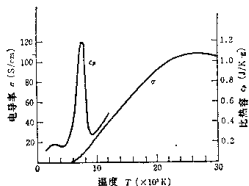


图 9 几种分断方式



(a) 1 个大气压的空气

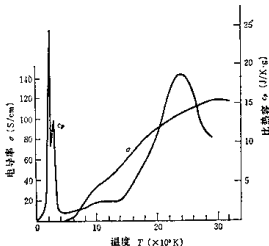
(b) 1 个大气压的 SF<sub>6</sub>

图10 电导率σ和比热容cp的温度特性

零时，触头间隙的介质绝缘强度已恢复到绝缘强度非常良好的高真空状态，最后使电弧熄灭。

图(c)是磁吹断路器的原理图，它是利用电磁铁或电弧螺管本身产生的电磁力，驱使电弧进入绝缘板中的狭缝内，通过电弧长度的增大和灭弧片对电弧的冷却作用，提高电弧电压。它同直流分断一样，是限流分断。

如上所述，灭弧方式是根据各种原理构成，所以还没有一个统一的理论。但是油、空气、SF<sub>6</sub>断路器都属于气体中电弧的形式，关于极限分断仍然要从热力学观点进行研究。

#### 1.1.4 断路器中的电弧特性和分断极限

(a) 电弧的能量平衡 真空断路器中的近极现象强烈，有时影响到电弧特性，但多数断路器的电弧特性，例如喷嘴中的电弧，整个电弧特性的特点决定于弧柱。如把弧柱看成是圆柱体，考虑单位长度的能量平衡，则有

$$dQ/dt = P - N \quad (4)$$

式中 Q：弧柱中积蓄的热量；P：输入的电功

率；N：从弧柱散发的热损失。

如将这些量用单位体积表示，则  $Q' = \int_0^T \rho c_p$

$dT$  ( $\rho$ ：密度； $c_p$ ：定压比热容； $T$ ：温度)， $P' = \sigma E^2$  ( $\sigma$ ：电导率； $E$ ：电场强度)。

$$N' = \rho q \text{grad} h - \left[ 1 - \rho \left( \frac{dh}{dp} \right)_r \right] q \text{grad} p - [\text{div}(K \text{grad} T) + \text{div}(\beta K \text{grad} T)] + W(T) \quad (5)$$

式中  $p$ ：压力； $q$ ：流速； $h$ ：焓； $K$ ：导热系数； $\beta$ ：紊流常数。

式(5)的第1项是对流损失；第2项是绝热膨胀损失；第3项是导热损失，由分子热扩散和紊流热扩散组成；第4项是辐射损失。

这些能量损失中，究竟哪一种损失起主要作用，它随电弧形状而异。例如，静止气体中的稳定电弧以对流损失为主；在气吹电弧或断路器灭弧室中的电弧以绝热膨胀损失为主；电流过零附近载而变小的电弧和灭弧片中的稳定电弧以导热损失为主。另外，大电流、空气中的电弧，辐射损失较大。

电导率 $\sigma$ 和定压比热容 $c_p$ 与温度 $T$ 的关系如图10所示。当温度 $T$ 大于某一数值时， $\sigma$ 由于热电离而激烈地增大， $c_p$ 在SF<sub>6</sub>、H<sub>2</sub>、N<sub>2</sub>等多原子气体中，由于热分解的吸热作用，视在比热容变大，产生峰值。导热系数 $K$ 由于伴有分解现象的热扩散作用，其温度特性的倾向与 $c_p$ 相同。

(b) 电弧的动特性公式 从上节的特性曲线求得弧柱的潜热能 $Q'$ 和电导率 $\sigma$ 的关系，如图11所示。如果利用这个关系近似地将单位长度弧柱的电导 $G$ 和潜热能 $Q$ 联系起来，公式(4)就变成下面的形式。

(1) 卡西(Cassie)公式 若单位体积的电导率 $\sigma$ 、潜热能 $Q'$ 、输入功率 $P'$ 、损失系数 $N'$ 皆为常数，假定电弧的截面积与电流成正比变化，也就是令电弧电导 $G$ 和 $P$ 、 $N$ 与电弧截面积成正比，则有：

$$\frac{1}{G} \frac{dG}{dt} = \frac{1}{\theta} \left[ \left( \frac{E}{E_0} \right)^2 - 1 \right] \quad (6)$$

式中  $E_0$ ：稳态电场强度； $\theta$ ：电弧时间常数，

$$\theta = \frac{Q'}{N'}.$$

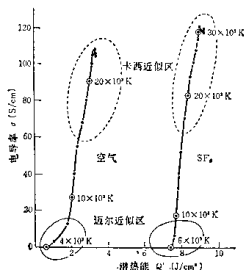


图11 电导率随潜热能的变化(1个大气压)

这个模型只在弧柱内部由对流所散失的热量一样时的大电流范围内才成立。

(2) 迈尔 (Mayr) 公式 设电弧半径在暂态时也是恒定的，损失也是一个恒定值  $N_0$ 。如果近似地使用电弧电导  $G = K \exp(Q/Q_0)$  ( $K$ : 常数;  $Q_0$ : 环境温度下的潜热能)，则得:

$$\frac{1}{G} \frac{dG}{dt} = \frac{1}{\theta} \left( \frac{P}{N_0} - 1 \right) \quad (7)$$

式中，电弧时间常数  $\theta = Q_0/N_0$ 。

这个模型，只在能量由电弧表面的导热散失时的零值附近的小电流范围内才成立。

在式 (6)、(7) 中，当输入电功率突然变零后， $G$  随时间的变化成为  $G = G_0 \exp(-t/\theta)$ ， $\theta$  是  $G$  随潜热能散失而减小过程的时间常数，称为电弧时间常数。

$\theta$  随气体而异，在 1 个大气压、1 A 的电弧中，如气体为  $SF_6$  时  $\theta$  为  $0.8 \mu s$ ； $O_2$  时为  $15 \mu s$ ；空气时为  $80 \mu s$ ； $N_2$  时为  $210 \mu s$  (均为实测值)<sup>(7)</sup>。但是，即使是同一种气体，它随着流体的增加而减小，喷嘴中的空气流大约是几个微秒；在小电流范围内， $\theta$  与电弧截面积成正比。因此，对于分断时弧心能维持到 1 A 以下的  $SF_6$  电弧来说，电弧熄灭时的  $\theta$  可减到  $0.1 \mu s$  左右<sup>(8)</sup>。

(c) 用电弧动态特性公式分析分断极限 将瞬态恢复电压的上升率为常数 ( $E = St$ ) 的条件代入迈尔公式，求解。如图 12<sup>(9)</sup> 所示，当参数  $\gamma = N_0/[G_0(S\theta)^2]$  (式中  $G_0$  是  $t=0$  时的电弧电导) 为 2 时出现分断极限； $\gamma < 2$  时电流发散，不能分断；

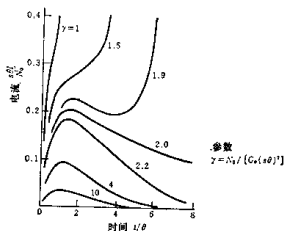


图12 电流随时间的变化

$\gamma > 2$  时有剩余电流，随着时间逐渐向零收敛，能可靠分断。由此可知， $N_0$  愈大或者  $\theta$  愈小，愈能够在高的瞬态恢复电压上升率  $S$  下分断。

再将迈尔公式与回路方程式结合起来，例如用朗格-卡达 (Runge-Katta) 法，分析当采用图 13 瞬态恢复电压串联阻尼电路时的断路器端子故障的分断极限，其结果<sup>(10)</sup>是：如分断电流峰值为  $I$ ，电源电压有效值为  $E$ ，则参数  $\gamma$  为 2.18 时是分断极限，当  $\gamma > 2.18$  时能可靠分断 (84 kV 第一相分断时)。

$$\gamma = N_0 \left[ \frac{2\sqrt{2}EB\alpha \left( 1 - \frac{1-A^2}{2A} \sqrt{2\beta\theta} \right) \times (1 - \sqrt{2\beta\theta\omega I\theta^2})}{\dots} \right]$$

式中  $\beta$ : 瞬态恢复电压角频率;  $\alpha$ : 衰减常数;  $\omega$ : 电源角频率;  $\alpha = R/2L$ ;  $\beta = \sqrt{(1/LC) - \alpha^2}$ ;  $A = \alpha/\beta = (-1/\pi) \log(K_s - 1)$ ;  $K_s$ : 谐振系数。

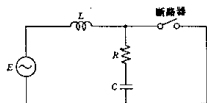


图13 瞬态恢复电压的串联阻尼电路

1.1.5 断路器的功能 断路器的功能首先是能承受平时的工作电压和预期过电压，能长期通过、分断和接通负载电流，另外，还特别要求能分断故障电流。其工作条件在 JEC-181 (1975) 中作为定额，对分断电流、电路条件、试验顺序等做了规定。

额定分断电流是在操作气压、电压等为额定值



时和在规定的电路条件下,根据规定的试验顺序和试验状态所能分断的滞后功率因数下的极限分断电流。它用交流分量表示,规定以12.5、16、20、25、31.5、40、50、63、80kA作为标准。

虽然也有采用取交流分量和直流分量的有效值之和,以非对称分断电流为基准的额定分断容量表示,但考虑到与实际的断路器的分断性能和便于与系统所要求的数值相比较,世界各国都用交流分量电流值来表示。

标准试验顺序如表2规定,额定分断时间规定以2、3、5、8个周波作为标准。特别是2个周波断路器,即使含有50%直流分量的情况下,也应能分断额定分断电流(见表6)。

对表2中的接通和重合闸工作的额定接通电流作了规定,大体上以额定分断电流的2.5倍为标准。接通电流以接通第一周波的最大值表示。

表2 标准试验顺序

| 种类     | 标记 | 试验顺序              |
|--------|----|-------------------|
| 一般用    | A  | O-(1分)-CO-(3分)-CO |
|        | B  | CO-(15秒)-CO       |
| 快速重合闸用 | R  | O-(θ)-CO-(1分)-CO  |

注 O: 分断; CO: 接通后立即分断; θ: 重合闸时间, 规定以0.35秒为标准。

在接通过程中应解决的问题是: (i) 由于电磁斥力的作用, 使接通缓慢或者不能接通; (ii) 电弧烧损触头; (iii) 甚至熔焊; (iv) 有时产生过电压等。

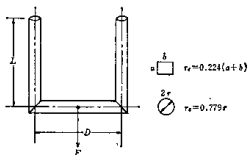


图14 作用于横架上的电磁力

如构成油断路器用图14那样的电流通路, 电流为*i*(A)时, 作用于横架上的力*F*(N)为

$$F = 4.61 \times 10^{-7} i^2 \log_{10} \frac{D(L + \sqrt{L^2 + r_e^2})}{r_e(L + \sqrt{L^2 + D^2})}$$

式中  $r_e$ : 导体的几何平均半径。

为了避免电磁斥力, 不采用图14的布置, 在大电流断路器中采用直线状电流通路。但这时仍需注意外部布线和其他相的影响。在接通时产生的弹跳, 很容易发生前面 (ii)、(iii) 项中所述的故障, 因此, 应留意接过程最终行程的缓冲装置。在真空断路器和负荷开关中, 解决 (iii) 项的措施是通常采取选用特殊触头材料的办法。(iv) 项的过电压, 在真空断路器中产生过, 一般采用接入电容的方法。关于高压断路器的接通时过电压可见下节所述。

快速自动重合闸时, 表2中的θ以0.35秒为标准。但在超高压以上的断路器中采用单相自动重合闸时, 由于故障点的剩余电弧的影响, 有时要将这个时间调长些。

### 1.1.6 绝缘和操作过电压

(a) 绝缘 关于对地绝缘的绝缘等级和标准已列于第10篇的8.3、8.5、8.6节及第24篇的2.5.5节中。在开关设备中, 对于箱形油断路器和箱形SF<sub>6</sub>断路器应设计成, 分断时产生的电弧不致造成对地闪络。

断口绝缘是开关设备的特有的问题, 比起对地绝缘更需加强, 所以在标准中规定: 在断路器中断口绝缘应比对地绝缘增加10~20%。在断路器中, 仅对550kV电压的断路器作了规定: 在触头断开状态, 一侧加相当于交流550kV的相电压, 另一侧加与绝缘等级相应的雷电冲击电压1550或1800kV时, 不应发生闪络等事故。如果在线路侧断路器处于断开状态时, 由于雷击, 在几个跨距以内的避雷线和铁塔处, 产生反向闪络, 就会遭受波形很陡的雷电冲击电压。断路器触头间的电压, 一般按均匀电场设计, 因此, 对于非常陡的波形, 有时会在外部空气间隙还未闪络前, 内部触头间已经闪络。作为完善的措施, 应在断路器的线路侧设置避雷器, 但考虑到经济性, 往往省去不装。最近研制了一种气体间隙<sup>(11)</sup>和简易避雷器<sup>(12)</sup>, 用以代替避雷器。

(b) 操作过电压 在断路器分断和接通时, 有时产生操作过电压。

切断空载输电线路时, 由电弧复燃引起的过电压, 和分断空载变压器的励磁电流时, 由截流现象产生的过电压, 曾一度成为问题, 现在一般对特定的断路器, 根据特殊电路条件, 采取特别措施。

在500kV以上特超高压中,降低绝缘得到进一步推进以来,在接通时,特别是在非故障相有残余电荷状态下,重合闸时的过电压问题就更突出。现在已经使用一种带有合闸电阻的断路器。在断路器关合时,先将300~1200Ω的电阻接入,然后隔8~10ms后,再完全关合。目前,多数规定为低于2倍正常对地电压的峰值,但在1000kV级输电中,一般认为应低于1.5倍。对于这种情况,可以考虑采用同步关合或将电阻分成两级的措施。

与线路有关的过电压可见第24篇2.3节。

### 1.1.7 合闸分闸的控制和操作

(a) 合闸分闸的控制和合闸分闸的操作 处理和传递直接使开关设备动触头运动的能量的机构,称为操作机构。接受外来信号以控制操作能量的装置称为控制装置。在一般油断路器中采用弹簧脱扣操作和电磁脱扣控制。

(b) 手动操作 是靠人力操作的方式,有直接手动操作和远距离手动操作两种。在断路器中,仅小容量使用手动操作,原则上具有自由脱扣机构。在采用其他操作方式的断路器中,也有可以用手动合闸和手动脱扣的。

(c) 电动操作 是指借助于电动机或螺管电磁铁等的电能进行分闸和合闸的操作。直流电源时,一般采用螺管电磁铁。采用电动机时有两种情况:

(i) 直接由齿轮装置产生运动的;(ii) 预先将操作弹簧储能,然后通过能量释放进行接通的(电动弹簧操作)。在小容量断路器中,有用交流电磁铁或带整流器的直流螺管电磁铁的。

额定操作电压用合闸操作最大电流时端电压表示。交直流的标准值都是100、200V。在直流75~110%额定值和交流85~110%额定值时,都应能可靠合闸。

(d) 气动操作 合闸和脱扣时的操作力决定于压缩空气。通常,直接装在开关设备上的贮气罐内贮有压缩空气。

额定操作压力用操作前的空气压力(表压)表示。在JEC-181(1975)中规定标准值为0.5、0.7、1、1.5、2、2.6、3MPa(5、7、10、15、20、26、30kgf/cm<sup>2</sup>)。在85(空气断路器时可以是90)~110%额定操作压力 $F$ ,应能可靠操作。压缩空气系统,从操作后的快速充气、操作空气的干燥、有效利用等考虑,采用比工作压力大(例如工

作压力为1.5MPa(15kgf/cm<sup>2</sup>)以下时,采用3MPa(30kgf/cm<sup>2</sup>)的压缩机和主贮气罐,经减压阀供给每个断路器贮气罐的方式。

(e) 液压操作 用油压代替压缩空气的操作方式具有以下优点:由于油没有压缩性,适合于快速控制,易使操作机构小型化并取得大的操作力;由于每台断路器多数都有液压发生装置,因此断路器装好后,只要接上电源立即就可使用;容易降低操作时的噪声,一般采用20~30MPa(200~300kgf/cm<sup>2</sup>)的油压进行操作。由于每台断路器一般都装有液压发生装置,其额定操作压力的标准值和操作压力的容许变动范围在JEC标准中未作特别规定。因此,生产厂应明确指出能可靠操作的压力容许变动范围。

(f) 电磁脱扣控制 虽然脱扣操作可以采用弹簧、压缩空气、液压等,但是作为脱扣控制,多数采用电磁脱扣控制,也可简单地称为电磁脱扣。

在低压开关或电动机用开关设备中,通常采用过电流、逆电流和欠电压脱扣等直接脱扣的方法或在电流互感器的二次侧串联脱扣的方法。但在大容量断路器或高压断路器中广泛采用与继电器组合的并联脱扣(电压脱扣)的方式。

电压脱扣器,直流采用50、100、200V;交流采用100、200V。在60~125%额定脱扣电压标准值范围内,应能可靠脱扣。

(g) 自由脱扣 是指在合闸操作机构动作过程中有脱扣命令时,只要主电路由于触头的接触或者触头间的电弧造成接通状态,至少通过脱扣机构的动作,能够使断路器脱扣,而且即使再继续给合闸命令,也应能保持原来的分闸状态。

在JEC-181(1975)中规定:自由脱扣应具有两种装置:一种是优先脱扣装置(即使在合闸命令中也能将断路器脱扣的机械装置,也包括利用液压的),另一种是防止重合闸装置(脱扣完了后,即使再继续给合闸命令,也不能重合闸,在没有解除这个合闸命令前,不能按下一个合闸命令进行合闸的装置)。

(h) 辅助开关等 辅助开关借助开关装置的可动部分或液压进行合上和开断,用来表示分闸和合闸。a触头是指主触头断开时断开,主触头关合时关合的触头,而b触头是指主触头断开时关合,主触头关合时断开的触头。

分合指示灯是表示开关设备的分闸和合闸状态的指示灯, 命令指示灯是表示断开和合闸命令的指示灯。

### 1.1.8 试验和试验设备

(a) 试验种类 试验分型式试验和验收试验两种。型式试验是为了考核这种型式产品是否能满足工作电压、工作电流、分断能力、接通能力和短时电流等额定值要求而进行, 型式试验包括短路试验在内, 验收时原则上不进行短路试验。而验收试验是为了在验收时发现材料和结构的缺陷而进行的, 主要是结构检查、操作性能试验、发热试验和耐压试验等。

断路器的一般特性用型式试验考核, 但根据断路器运行或维修方面的需要, 有时也验证型式试验项目以外的特性, 这种试验称为参考性试验。它包括电量放电试验、近区故障开断试验、异相接地开断试验、失步开断试验和 10000 次连续开断和合分试验等。这些试验从性质上来讲, 应在型式试验时进行。

(b) 短路试验和试验设备 为了考核开断和合分能力而进行的试验称为短路试验。短路试验有直接短路试验和合成短路试验两种。前者, 短路电流、瞬态恢复电压和工频恢复电压都由同一电源供给; 而后者, 短路电流电源和瞬态恢复电压、工频恢复电压电源分开, 将它们合成, 在实际使用上能得到与直接短路试验相同的试验结果。后者主要适用于直接短路试验设备容量不足的情况。

试验, 除了用每相全部断口的三相试验和单相试验之外, 还有用多断口断路器的单个断口或断口组合进行部分试验, 但适用于认为断口是相互独立的情况。

短路试验设备有采用冲击发电机和采用电网两种方法。采用冲击发电机的直接短路试验线路如图 15 所示, 由为短路试验专门制造的冲击发电机、合闸开关、保护断路器、电流调节用的电抗器等组成; 而合成短路试验线路, 如图 16 所示, 备有电压源用电容器、充电用变压器、整流器、电压源电流调节用

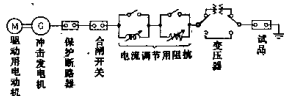


图15 直接短路试验的主要接线图

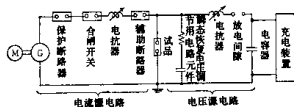


图16 合成短路试验典型线路图

电抗器及在短路电流适当相位时把电压源接到电源电路上用的放电间隙, 这两种试验线路都采用程序控制。

采用电网的方法, 可以用短路变压器作为主体, 组成与直接短路试验线路相同的线路。

不管哪种场合都应有试验室和计测、控制、观察室等。此外, 还有电容器组、大电流变压器、近区故障试验用输电线及电抗器和电容器组等。

表 3 是近年来各国的短路试验设备的概况。

表 3 有代表性的短路试验所

| 国名  | 试验所名称                | 短路容量 (MVA)     | 发电机台数 (单机容量 MVA)  |
|-----|----------------------|----------------|-------------------|
| 日本  | 超高压电力所               | 三相 3430        | 1 (150)           |
|     | 东芝                   | 三相 2000 + 4800 | 1 (150) + 1 (200) |
|     | 日立                   | 三相 2500 + 3600 | 1 (150) + 1 (200) |
|     | 三菱                   | 三相 1000 + 5500 | 1 (50) + 1 (180)  |
|     | 富士                   | 1680           | 1 (60)            |
|     | 明电                   | 1600           | 1 (80)            |
| 美国  | 通用电气公司 (GE)          | 三相 3200        | 2 (125)           |
| 加拿大 | 魁北克水电研究所 (IREQ)      | 单相 4200        | 使用电网              |
| 英国  | 雷列公司 (Reyrolle)      | 三相 2000 ~ 4800 | 2 (50) + 1 (50)   |
| 荷兰  | 荷兰电工材料研究所 (KEMA)     | 三相 3000 + 8400 | 2 + 4             |
| 西德  | 通用电气公司 (AEG)         | 三相 2000 + 3000 | 1 (100) + 1 (100) |
| 法国  | 雷诺研究中心 (Renardieres) | 单相 3600        | 2                 |
| 意大利 | 电气试验研究中心 (CFSI)      | 单相 6000        | 使用电网              |
|     |                      | 三相 3000        | 使用电网              |

注: 短路容量是指进行直接短路试验时的短路容量。

由于它与短路后的时间的取法, 对称和不对称电流的区别和有无短路变压器有关, 所以是一个不能够直接进行比较的数值。

(c) 机械寿命试验 考核机械耐磨能力而多次进行的试验, 通常在型式试验中进行 500 ~ 1000 次, 但为了取得断路器的可靠性和维修方面的参考资料, 有必要在进行适当维修后, 进行 10000 次的机械寿命试验, 以确定其耐用性能。在型式试验中,

考虑到试验的合理进行,规定采用上面的次数。

(d) 发热试验 它是检验长期通过额定电流时的温升试验,规定在常温下,用温度计法测定,在机械寿命试验后进行,但有时在动、热稳定试验后进行。

由于发热试验需要花费很长时间,在验收试验时考虑到试验的合理进行,按 IEC-196 (1975) 中规定,断路器时用电阻测量代替发热试验,电阻值应小于型式试验时测得的电阻值  $R$  的 1.2 倍。

## 1.2 交流断路器

1.2.1 种类和结构 目前广泛采用的交流断路器 (3 kV 以上) 的种类和每个断口容量示于表 4 中 (真空断路器见 1.5 节)。额定电压较高的断路器采用所需断口串联的多断口断路器。

表 4 交流断路器的分类

| 种 类                         | 分断部分<br>的 分 类          | 整 体 结 构<br>(一般的) | 一般最高性能         |                      |
|-----------------------------|------------------------|------------------|----------------|----------------------|
|                             |                        |                  | 一个断口的<br>断流容量① | 1个断口<br>上的电压<br>(kV) |
| 油断路器                        | 平开式                    | 接地罐式             | 50             | 7.2                  |
|                             | 灭弧室式                   | 绝缘子式<br>接地罐式     | 2500           | 100                  |
| 磁吹断路器                       | 灭弧栅式                   |                  | 400            | 15                   |
| 空气断路器                       | 分闸充气式                  | 绝缘子式             | 3000           | 100~120              |
|                             | 常时充气式                  | 分有串联隔离部分         |                |                      |
| 六氟化硫 (SF <sub>6</sub> ) 断路器 | 复压式 (双压式)<br>单压式 (压气式) | 绝缘子式<br>接地罐式     | 7000           | 240~300              |

① (每个断口的工频恢复电压 kV) × (分断电流 kA)

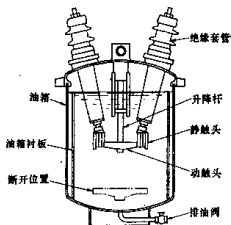


图17 箱形平开式油断路器

(a) 油断路器 平开式油断路器限于 100 MVA 以下小容量场合;分三相共箱式和各相分箱式两种。如图17所示,它在箱内油 (变压器油) 中开断和关合,类似楔形的简单触头。在断流容量大的断路器中,一般有一个灭弧室将触头围起来,它是利用触头间的电弧导致油气化,从而使电弧冷却熄灭,灭弧室有各种结构,图18是一个例子。由于灭弧室的作用,可以显著节约油量。所以除了油箱式以外,还有一种用绝缘子承受对地绝缘,只在灭弧室周围的瓷管内充油的瓷瓶式油断路器,这种油断路器在欧洲特别得到广泛采用。表5是这种断路器的外形<sup>(12)</sup>。油断路器的开断时间最快的只有3个周波 (50~60ms)。

(b) 磁吹断路器 图19是磁吹断路器的一个例子。它是利用磁场驱动电弧,将电弧吹入灭弧

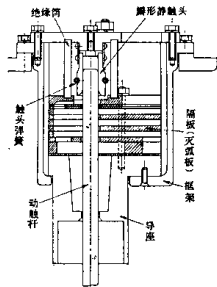


图18 灭弧室的示例

表 5 绝缘子式少油断路器<sup>(12)</sup>

| 外 形 | 断口数 | 额定电压<br>(kV) | 分断电流<br>(kA) |
|-----|-----|--------------|--------------|
|     | 1个  | 72.5~100     | 50~31.5      |
|     | 2个  | 100~170      | 50~31.5      |
|     | 4个  | 245~362      | 50~31.5      |

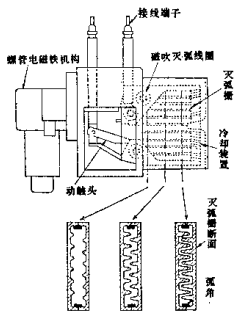


图19 磁吹断路器

片狭缝内进行冷却和断开，基本上与直流快速开关相同。在空气中灭弧，一般用在15kV以下。

(c) 空气断路器 空气断路器差不多都采用这样一种灭弧方式，先由断开部分使电弧产生在喷嘴状触头的轴线上，然后在断口内，以接近音速的速度将0.5MPa (5 kgf/cm<sup>2</sup>) 到3 MPa (30 kgf/cm<sup>2</sup>)，有时6 MPa的压缩空气吹袋电弧，使电弧熄灭。图20是户内10~20kV电压等级、带有串联隔离部分的空气断路器，断开部分仅在断开电流时断

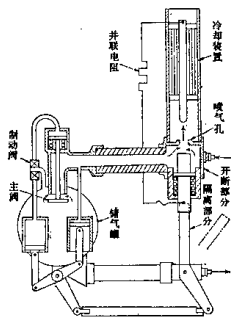
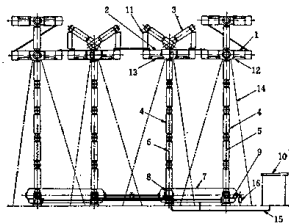


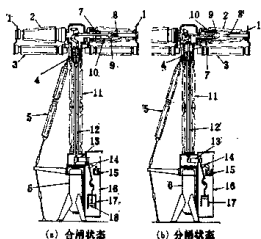
图20 户内空气断路器

开，以后由隔离部分断开，保持同相端间的绝缘。关合时把隔离部分关合。电压超过100kV时采用多断口。空气断路器的种类繁多，有串联隔离部分的和没有串联隔离部分的；有触头在瓷套管内的和在支持绝缘子上的金属壳内的；有压缩空气仅在断开时和分闸状态下向断开部分充气的（分闸充气式）和常时充气的（常时充气式），还有为了限制操作过电压和降低瞬态恢复电压，带有并联电阻的。另外，还生产在性能上能满足各种要求的产品。图21是550kV断路器的例子，它采用合闸时接入电阻的电阻合闸方式<sup>(14)</sup>。

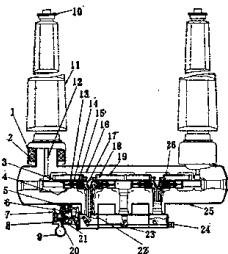
图21 550kV、50kA空气断路器<sup>(14)</sup>

- 1: 断开部分 2: 辅助断开部分 3: 电阻接入触头 4: 支持瓷套 5: 操作杆 6: 控制管 7: 机构部分 8: 合闸用控制部件 9: 分闸用控制部件 10: 控制箱 11: 合闸电阻 12: 并联电阻 13: 电容器 14: 拉条 (长杆绝缘子) 15: 配管和配线 16: 安全网

(d) 六氟化硫(SF<sub>6</sub>)断路器 是一种利用SF<sub>6</sub>气体的良好灭弧性能和绝缘性能的断路器，断开部分的结构形式和原理大致与空气断路器相似。但在电压高、断口多时，断口数只需空气断路器的1/2~1/3，因此它尺寸小；另外，它不象空气断路器将灭弧用过的气体向大气排出，而是反复使用，所以没有排气噪声等，这些都是它的优点。灭弧室有双压式（喷射式、双重压力式）和单压式两种。双压式是将预先用气体压缩机压缩到1.5MPa (15 kgf/cm<sup>2</sup>)左右的高压气体在断开时向触头间吹袋，然后回收到低压容器内；而单压式是由于与触头连动的气缸和活塞构成的压缩装置的作用，在断开时产生高压气体，向触头间吹袋。前者容易得到所需的断开特性，但为防止高压气体液化，特别是冬季

图22 300kV、40kA压气式绝缘子型SF<sub>6</sub>断路器

1: 接线柱 2: 开断部分 3: 电容器 4: 驱动弹簧 5: 增压绝缘子 6: 贮气罐 7: 缓冲缸 8: 静触头 9: 喷嘴 10: 动触头 11: 支持瓷套 12: 操作杆 13: 轴密封 14: 直角杆 15: 缓冲器 16: 操作箱 17: 合闸缸 18: 活塞

图23 550kV、50kA压气式接地罐型SF<sub>6</sub>断路器

1: 电流互感器外壳 2: 套管式电流互感器 3: 弧触头 4: 主触头 5: 合闸用电磁阀 6: 合闸用操作杆 7: 合闸用电磁阀 8: 导向阀 9: 贮气罐 10: 接线柱 11: 瓷套 12: 瓷套中心导体 13: 绝缘喷嘴 14: 缓冲缸 15: 集电器 16: 屏蔽 17: 托架 18: 合闸电阻 19: 分压电容器 20: 充气阀 21: 分闸操作杆 22: 绝缘操作杆 23: 操作杆 24: 油缓冲器 25: 接地罐 26: 绝缘支持瓷套

需要一个相当大容量的加热器。后者结构简单,不需要加热器,当初曾做到30kA电流等级。但是,后来由于研制了快速操作机构,大容量、2周波断路器也已采用。另一方面,罐式结构将套管式电流互感器装在里面,可减小变电所的占地面积,特别是

在我国和美国得到广泛采用。图22是绝缘子式<sup>(15)</sup>、图23是罐式<sup>(16)</sup>的例子。

### 1.2.2 选用、安装和维修

(a) 选用 选用时要按下述各点考虑:

(1) 额定电压 工作线路的最大电压应选得不过断断路器的额定电压。在我国,一般采用额定电压等于系统标称电压的1.2/1.1倍的断路器(例如66kV系统,采用72kV的断路器)。

(2) 额定电流 流过断路器的负载电流的最大值应选得不过断断路器的额定电流值。如果是短时,有时能够通过一定量过载电流而不发生故障。

(3) 额定开断电流 由于断流容量的额定值是用开断电流值表示,因此先计算工作线路的最大故障电流,然后采用额定开断电流大于这个数值的断路器。计算时,把电机的阻抗看成起始瞬态值。一般只需计算三相短路电流。但在零序阻抗小于正、负序阻抗的电路中,单相短路电流最大,所以需要按单相短路电流考虑。故障电流在过渡过程中含有衰减的直流分量。表6是保证断路器能开断的极限直流分量。一般情况下,都在这个范围内。但是,在衰减小的电路中,直流分量大于表中的数值;或者交流分量衰减很快,而直流分量衰减很慢,在每个周波不出现电流过零,在这些情况下需要另外考虑。

表6 断路器产生电弧瞬间的直流分量百分率

| 断 路 器 种 类 | 直流分量百分率(%) |
|-----------|------------|
| 2周波断路器    | 50         |
| 3周波断路器    | 40         |
| 5周波断路器    | 25         |
| 8周波断路器    | 10         |

(4) 瞬态恢复电压 当超过标准中规定的瞬态恢复电压时,条件变严。在下列情况下需要与生产厂协商:

(i) 断路器的一侧端子直接与变压器或发电机连接,而且同线路和电缆几乎没有并联电容;

(ii) 开断和合关限流电抗器和并联电抗器的电流;

(iii) 直接接在架空线路上的断路器应能开断近区故障,距离大容量变电所数公里外的架空线路终端的断路器,有时需开断大一个等级的电流。

(5) 开断时间 一般为2、3、5、8周波,

可从中选用。

(6) 试验循环 有表2中列举的A、B和R三类, R类中又分各相分别动作和三相一起动作的两种。快速自动重合闸架空线路采用R类, 而其他通常采用A类。

(7) 工作条件 用于频繁关合和开断(关合和开断并联电抗器和电容器等)、盐尘污染严重、安装场所的海拔高于1000m和振动严重等场合, 需要与生产厂协商。

(8) 噪声 采用噪声较大的空气断路器有问题的场合, 应装消声器或者采用其他种类的断路器。

(b) 安装和维修 因每一种类、每一制造厂的断路器, 其结构都不相同, 所以安装时, 需要遵照制造厂的说明书进行工作。特别是空气断路器和SF<sub>6</sub>断路器, 工作时应注意不要产生漏气。对配管配线, 在安装后要进行检查。此外, 作为安装后的试验, 还应进行通断试验、绝缘试验和主电路接触电阻测量等。

维修是为了更换使用期限已满的部分和由于早期发现故障需保持性能而进行, 分以下几种:

(1) 日常检修 是观察油断路器的油面, 空气断路器和SF<sub>6</sub>断路器的压力表的指示, 油、空气和气体的泄漏和外表是否有不正常等。

(2) 一般定期检修 一般利用可以停电的机会, 每三年左右进行一次, 主要检修操动机构, 测量主电路的绝缘、接触电阻和通断动作特性等。另外, 还检查螺钉的松动, 必要时还进行清扫和加油。

(3) 定期周密检查 每6~10年或者操作1000~3000次后进行, 除检查(2)项内容之外, 还进行全面的拆卸检修, 对寿命已到的部分进行更换, 至今主要的检修内容是检修和更换触头、涂润滑油、更换衬垫和垫圈, 如果是油断路器, 除了上述以外, 还要进行油的更换和过滤。但是空气断路器, 特别是SF<sub>6</sub>断路器, 由于触头材料、润滑脂、衬垫和垫圈用合成橡胶的改进, 使寿命延长, 检修周期也逐渐延长。

(4) 临时检修 在规定次数开断短路电流和负荷电流后, 主要检修触头, 需要时更换触头。每一种类和每一制造厂生产的断路器的检修标准都有规定。下面举一个单压式(压气式)的例子。

额定分断电流.....10次

50%额定分断电流.....30次

负载电流.....2000次

触头寿命, 双压式SF<sub>6</sub>断路器的稍为长些, 空气断路器和油断路器的稍为短些。

### 1.3 自动空气开关

1.3.1 概述 自动空气开关作为低压交流和直流电路的开关使用。在直流开关中, 分断短路电流时能迅速打开触头并具有限流作用的开关, 称为直流快速开关。将整个机构紧凑地装在塑料外壳内的, 称为塑料外壳式自动开关。还有结构相同, 但能检测出交流电路接地故障和自动分断电路的开关称为漏电保护开关。

框架式自动开关在分断规定次数的短路电流后, 对触头和灭弧室进行一些修理, 可以再使用。而塑料外壳式自动开关做成不能修补的结构, 所以在完成规定的通断后就不能再用。因此, 一般框架式自动开关, 作为电源端自动开关, 用于重要电路中; 而塑料外壳式自动开关, 从经济角度考虑作为负荷端开关使用。

1.3.2 框架式自动开关<sup>[17]</sup> 在JEC-160中规定框架式自动开关用于交流1000V(有效值)以下和直流3000V以下的电路中, 额定电流在200~6000A范围内, 额定分断电流最大可到125kA。

框架式自动开关一般装在封闭式配电柜(负荷中心)中使用, 多数做成抽屉式结构(见图24)。其结构布置如下: 上面是通断电路的触头部分和灭弧装置部分, 前面和下面是传动机构和脱扣装置, 这些部分通过绝缘件装在铁架上, 后面还装有端子

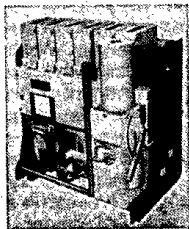


图24 大容量框架式自动开关

或隔离触头。容量大的开关，其主触头主要用银触头，弧触头主要用银钨合金。灭弧装置如图 25 所示，可按交流、直流和额定分断容量的大小进行选择。图 25(a) 是一种带有灭弧线圈的灭弧装置，它利用电弧电流通过灭弧线圈产生的磁通驱动电弧，在狭窄的灭弧室内将电弧拉长熄灭。这种结构的灭弧装置主要用在直流开关中。图(b) 灭弧装置，是将去离子栅的许多铁片排成与电弧成为直角，利用电弧电流产生的磁通通过去离子栅，在电弧上产生一个力，使电弧进入去离子栅，形成串联短弧而使电弧熄灭。这种灭弧装置在框架式自动开关和塑料外壳式自动开关中广泛采用。

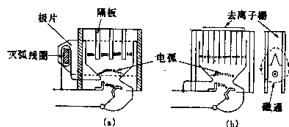


图25 框架式自动开关的灭弧装置

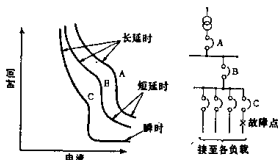


图26 框架式自动开关的动作特性(选择分断方式)

合闸方式也有手动的，但一般采用电动（螺管电磁铁、电动机）的较多。脱扣器，在开关中同时装有欠电压脱扣器和过电流脱扣器，这点与高压断路器不同，是低压开关的特点。过电流脱扣器除了电磁式、热动式外，还有晶体管式，它由电容、电阻和晶体管组成，其特性可在较范围内调节。脱扣器按动作时限分为瞬时的和延时的（短延时的和长延时的）。将这些特性组合在一只开关中使用，可以在串联连接的上一级和下一级开关之间构成选择分断的系统，当电路和设备中发生故障时，仅将发生事故的馈电线切断，而使非故障的馈电线继续供电（图 26）。瞬时过电流脱扣器的刻度定为整定值的百分数，在 100~1600% 之间，但通常具有最小

刻度和最大刻度之比为 1:2 左右的调节范围，与延时过电流脱扣器组合时，整定值的倍率取大些。短延时过电流脱扣器采用电磁铁上装有钟表机构的，其延时范围一般在 0.1~1 秒左右。长延时过电流脱扣器有电磁铁上装有阻尼器的电磁型和采用双金属片的热动型两种。其脱扣特性规定在整定值的 100% 电流时不动作，在 125% 电流时 2 小时内动作。

还有作为大容量电动机起动用，具有一定分断能力和电寿命，过电流脱扣器的保护特性适合于电动机保护用的自动开关。

**1.3.3 塑料外壳式自动开关<sup>(18)</sup>** 除了端子外，其他机构、装置和部件全都装在塑料外壳内。它是一种用于交流 600 V 以下或直流 250 V 以下的电路中、经济性好的开关。按标准规定，额定电流为 15~2500 A，额定分断电流可以到 200 kA。

塑料外壳式自动开关的脱扣器有热动电磁式（延时动作利用双金属片的弯曲作用，瞬时动作利用电磁铁）和电磁式（延时动作靠油阻尼器和电磁铁，瞬时动作只靠电磁铁）两种。脱扣器特性规定为：即使连续通以 100% 额定电流，脱扣器也不动作。125、200% 额定电流的动作时间如表 7。

表 7 塑料外壳式自动开关的脱扣器动作时间

| 开关的额定电流<br>(A) | 动作时间 (分)  |           |
|----------------|-----------|-----------|
|                | 200% 额定电流 | 125% 额定电流 |
| ≤30            | 2 以内      | 60 以内     |
| >30~≤50        | 4 以内      | 60 以内     |
| >50~≤100       | 6 以内      | 120 以内    |
| >100~≤225      | 8 以内      | 120 以内    |
| >225~≤400      | 10 以内     | 120 以内    |
| >400~≤600      | 12 以内     | 120 以内    |
| >600~≤800      | 14 以内     | 120 以内    |
| >800~≤1000     | 16 以内     | 120 以内    |
| >1000~≤1200    | 18 以内     | 120 以内    |
| >1200~≤1600    | 20 以内     | 120 以内    |
| >1600~≤2000    | 22 以内     | 120 以内    |
| >2000~≤2500    | 24 以内     | 120 以内    |

塑料外壳式自动开关不能保证通过对框架式自动开关所规定的额定短时电流（通过等于额定分断电流值的电流一秒钟而不发生异常），所以在上一级与下一级开关之间得不到选择分断，因此，这种开关一般用于负荷端，但在牺牲供电可靠性，着重考



虑设备的经济性时,也有在干线上采用大容量的塑料外壳式自动开关。以前在这种场合,原则上采用全容量分断方式,上一级和下级的开关都具有分断通过它的短路电流的能力。但现在也采用级联分断方式<sup>[19]</sup>,正在生产一种限流式自动开关,分断短路电流时,在脱扣器尚未动作前,通过在触头部分产生的电磁力进行快速分断,来后备保护下一级开关的分断容量的不足。另外,还生产具有几个周波短延时脱扣器的大容量塑料外壳式自动开关。

用于不频繁操作的交流电动机电路的塑料外壳式自动开关,在有电动机起动电流时,不脱扣。脱扣特性与起动机<sup>[20]</sup>的特性相一致的称为电动机用塑料外壳式自动开关,以与一般的相区别。

还有一种称为电流限制器(安全开关)的开关,它的结构与塑料外壳式自动开关相似,以执行电力公司和用户间签订的电力供应合同为目的,当负荷电流大于规定值时,能自动分断。

**1.3.4 漏电保护开关<sup>[21]</sup>** 它是作交流 600 V 以下电路接地保护用的电流动作型开关,标准产品额定电流为 15~225 A,额定动作电流为 5~1000 mA。额定动作电流 30 mA 及以下的高灵敏度型的漏电保护开关可作触电保护用。接地保护以外,还生产许多能兼作过载保护和短路保护用的漏电保护开关。

接地故障的检测采用零序电流互感器,从互感器的二次侧取出输出,然后由它使开关脱扣。这种方式,目前采用的有两种:图 27(a)是采用保持衔铁的电磁式,图(b)是由半导体放大器和脱扣电磁铁组成的半导体式。

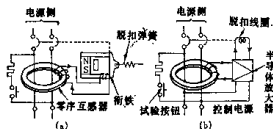


图 27 漏电保护开关的工作原理

电磁式不需要脱扣用控制电源,因此发生断相时,不会丧失保护能力。半导体式需要脱扣用控制电源,发生断相时,会丧失保护功能,但是半导体式容易做成超高灵敏度的。

**1.3.5 直流快速开关** 它是作直流电路和直流设备保护用的框架式自动开关。当线路出现过电流、短路电流和反向电流等异常电流时,能够快速断开触头和进行限流分断。

直流电路的短路电流,按图 28 曲线 A 上升到电流值  $I_m$ 。用普通的框架式自动开关分断,如图中曲线 B;而用快速自动开关分断时,如曲线 C 所示,将电流  $I_m$  (预期短路电流最大值)限制在  $I_b$  (分断电流)而分断。因此,可以减轻接在同一线路中的设备和导体所受故障电流的损害(限流作用)。

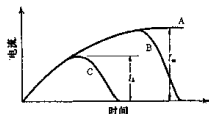


图 28 直流快速开关和普通自动开关的直流分断特性

电气化铁道变电所用的直流快速开关<sup>[22]</sup>,规定电压为直流 1500 V、 $I_m$  为 50 kA、电路上升率(见第 31 篇 5.5.2、6.4.1 节)为  $3 \times 10^6$  A/s 时,分断电流  $I_b$  为 25 kA。为了使触头能很快打开,开关的结构一般采用有保持电磁铁的电磁保持式,它的动作原理是:流过自动脱扣线圈的电流,将保持衔铁中的磁通移向磁分路,使吸力减弱而脱扣(图 29)。灭弧装置采用吹弧能力强的串联磁吹线圈和大型灭弧室。

图 29 的电感分路的作用是,当故障电路上升率较大时,给自动脱扣线圈的分流增加,加快到达脱扣点,使开关具有选择性。电气化铁道变电所用直流快速开关,按脱扣电流的方向特性可分成:正极性快速开关、反极性快速开关和无极性快速开关,

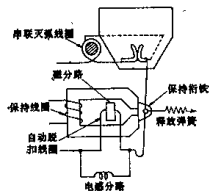


图 29 直流快速开关的结构原理图