

中华人民共和国国家标准

交流高压断路器

Alternating current high-voltage circuit-breakers

GB 1984—89

代替 GB 1984—80

本标准参照采用国际电工标准 IEC 56《高压交流断路器》(1987 年版)。

1 主题内容与适用范围

本标准规定了户内、户外交流三极或单极断路器及其操动机构和辅助设备的使用环境条件、术语、额定参数、设计和结构、型式试验、出厂试验、与询问单、投标书和订货单一起提供的资料、运输、储存、安装和维护规则以及运行的选用导则等内容。

本标准适用于额定电压 3~500 kV, 频率 50 Hz 的户内、户外三极或单极断路器及其操动机构和辅助器件。但是, 本标准不允许使用人力直接操动机构(人力储能操动机构除外)合闸的断路器, 人力直接操动机构不能保证人身和设备的安全。

注: 超出本标准的某些具体要求由相应的专业标准规定; 超出本标准的特殊要求由用户与制造厂协商。

2. 引用标准

- GB 11022 高压开关设备通用技术条件
- GB 2900.1 电工名词术语 基本名词术语
- GB 2900.19 电工名词术语 高电压试验技术和绝缘配合
- GB 2900.20 电工名词术语 高压开关设备
- GB 311.1~311.6 高压输变电设备的绝缘配合 高电压试验技术
- GB 4474 交流高压断路器的近区故障试验
- GB 4876 交流高压断路器的线路充电电流开合试验
- GB 7675 交流高压断路器的开合电容器组试验
- GB 5273 变压器、高压电器和套管的接线端子
- GB 763 交流高压电器在长期工作时的发热
- GB 2706 交流高压电器动、热稳定试验方法
- GB 3309 高压开关设备常温下的机械试验
- GB 7354 局部放电测量
- GB 11604 高压电器设备无线电干扰测试方法
- GB 4473 交流高压断路器的合成试验
- GB 11023 高压开关设备六氟化硫气体密封试验导则
- GB 1985 交流高压隔离开关和接地开关
- GB 4585.2 交流系统用高压绝缘子人工污秽试验方法 固体层法
- GB 7674 六氟化硫封闭式组合电器

3 使用环境条件

按 GB 11022 的规定。

中华人民共和国机械电子工业部 1989-03-21 批准

1990-01-01 实施

4 术语

本标准所采用的术语除按有关标准规定之外,根据需要,对以下的各条予以引用,有的条款则作了必要的补充或修订,并对其中的时间参量加图解予以说明。

4.1 瞬态恢复电压(TRV)

断路器电弧熄灭后,在断路器触头上出现的具有显著瞬变特性的恢复电压。

该电压取决于回路和断路器的特性,由工频分量和瞬态分量(可以是非周期性的、单频的或多频的振荡)叠加而成。

三相系统中的瞬态恢复电压,系指首先开断相而言。

4.2 起始瞬态恢复电压(ITRV)

瞬态恢复电压刚起始部分。此时由于波从母线沿线第一个主要不连续点反射而引起小幅值的起始振荡,其振荡幅值与母线波阻抗和短路电流成正比。

注:起始瞬态恢复电压是一个与近区故障极相似的物理现象,且主要由变电站的母线和线路布置结构所决定。

4.3 预期瞬态恢复电压的规定值

在规定的短路电流及试验方式下,断路器所应能开断的各种回路固有瞬态恢复电压的极限值。

4.4 工频恢复电压

断路器各极的电弧均熄灭后,在其触头间瞬态恢复电压消失后的恢复电压有效值。

工频恢复电压数值,是根据所有各极的电弧最终熄灭后的 $1/2f$ 到 $1/f$ 的时间间隔内,由示波图中恢复电压波形的第二半波波峰至第一和第三个半波波峰联接线的垂直距离确定的。

对于三极断路器的工频恢复电压,由各极工频恢复电压的算术平均值确定。

三极断路器的工频恢复相电压有效值 $U_m/\sqrt{3}$ 按下式规定:

$$\frac{U_m}{\sqrt{3}} = \frac{(V_1 + V_2 + V_3)}{3 \times 2 \times \sqrt{2} \times \sqrt{3}}$$

三极断路器作三相试验时,也可以用工频恢复线电压有效值表示,其值为 U_m 。

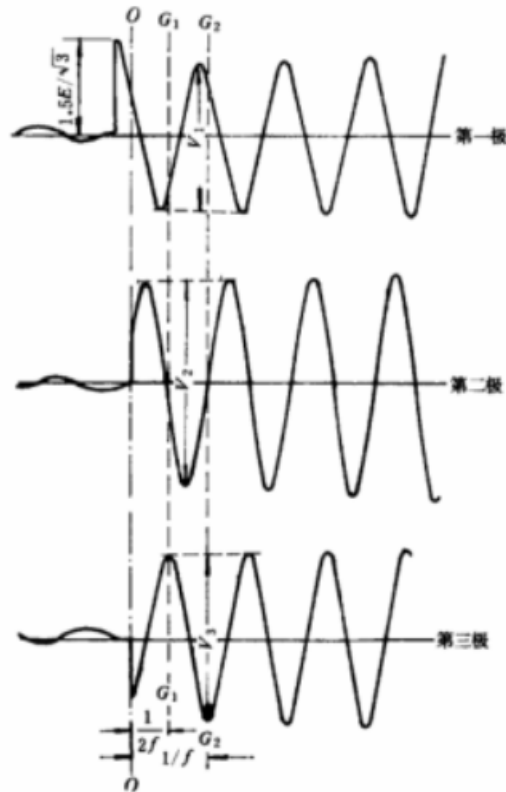


图1 三极断路器工频恢复电压的确定

OO 线—电弧在各极中最终熄灭的瞬间； G_1G_1 线—OO 瞬间后 $1/2f$ 瞬间； G_2G_2 线—OO 瞬间后 $1/f$ 瞬间； V_1, V_2, V_3 —各极工频恢复电压峰值的两倍； f —试验回路电流的频率

注：图中第一极的电弧最先熄灭。

4.5 分闸时间

处于合闸位置的断路器，从分闸回路带电（即接到分闸指令）瞬间起到所有极的弧触头均分离瞬间为止的时间间隔。

断路器的分闸时间根据下述的脱扣方法分别定义（与断路器构成一个整体的任何时延装置，则调整到最小整定值）：

a. 对用任何形式辅助动力脱扣的断路器，分闸时间是指处于合闸位置的断路器，从分闸脱扣器带电瞬间起到所有各极的弧触头均分离瞬间为止的时间间隔；

b. 对用主回路电流而不借助任何形式的辅助动力脱扣的断路器，分闸时间是指处于合闸位置的断路器，从主回路电流达到过电流脱扣器动作电流的瞬间起到所有各极的弧触头均分离瞬间为止的时间间隔。

注：① 对装有并联电阻的断路器，应将直到弧触头均分离瞬间的分闸时间和直到带并联电阻的串联触头均分离瞬间的分闸时间作出区别。除非另有说明，分闸时间就是指直到主弧触头分离瞬间的时间。

② 分闸时间可以随开断电流而显著变化。

③ 对于每极装有多于一个灭弧单元的断路器，所有各极弧触头均分离的瞬间是以最后分的一极的首先开断单元触头分离的瞬间确定的。

④ 分闸时间包括断路器分闸必需的并与断路器构成一个整体的任何辅助设备的动作时间。

4.6 燃弧时间

从首先分离极主回路触头刚脱离电接触起，到各极中的电弧最终熄灭瞬间为止的时间间隔。

4.7 开断时间

从断路器接到分闸指令瞬间起到各极中的电弧最终熄灭瞬间为止的时间间隔。

注：一般等于分闸时间与燃弧时间之和。

4.8 合闸时间

按 GB 2900.20 的 6.42 条规定。

4.9 关合时间

按 GB 2900.20 的 6.43 条规定。

4.10 预击穿时间

按 GB 2900.20 的 6.38 条规定。

4.11 自动重合闸操作

按 GB 2900.20 的 5.7 条规定。

4.12 分-合时间(自动重合闸时)

按 GB 2900.20 的 6.44 条规定。

4.13 无电流时间(自动重合闸时)

按 GB 2900.20 的 6.45 条规定。

4.14 重合闸时间

按 GB 2900.20 的 6.47 条规定。

4.15 重关合时间(重关合时)

按 GB 2900.20 的 6.46 条规定。

4.16 合-分时间

按 GB 2900.20 的 6.48 条规定。

4.17 关合-开断时间

按 GB 2900.20 的 6.49 条规定。

注：时间参量的图解见图 2~图 7。

4.18 背对背电容器组(多个并联电容器组)

一组并联的电容器或电容器组合，其各单元可独立地投入或退出电源系统，已经接入电源的电容器会显著地增加该单元的涌流和电动力。

4.19 联络断路器

用于连接两个独立的电源系统，除具有一般特性的断路器外，还应具有规定的失步开断、关合及绝缘性能的断路器。

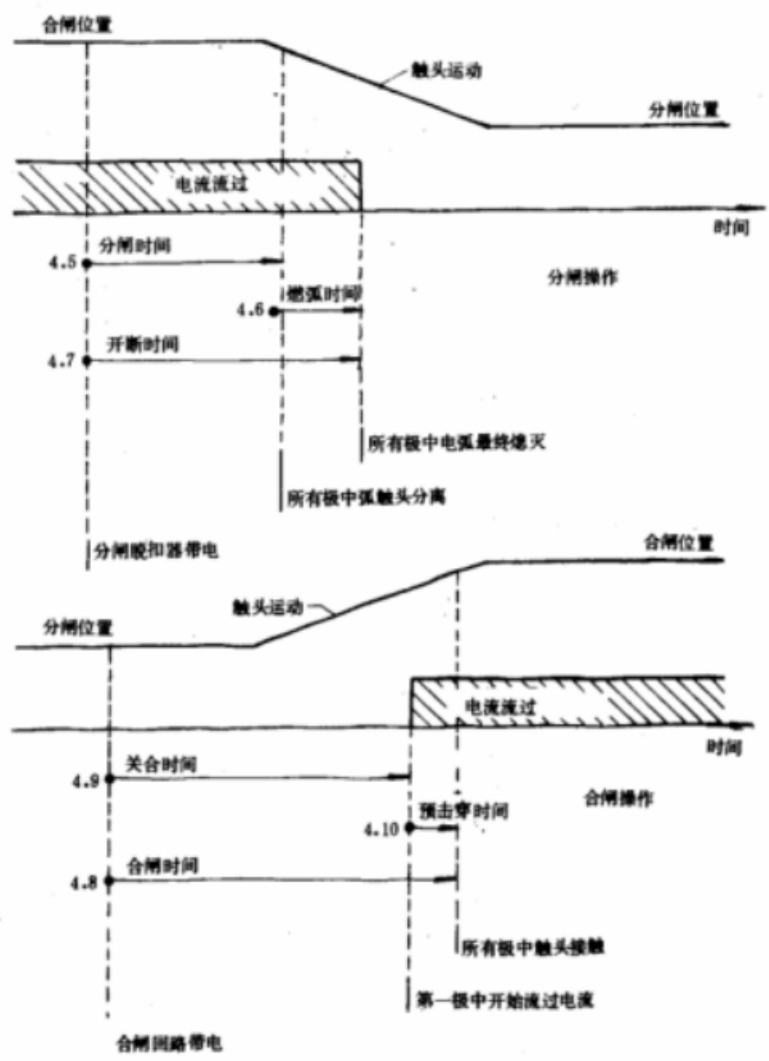


图 2 不带分、合电阻的断路器 分闸和合闸操作

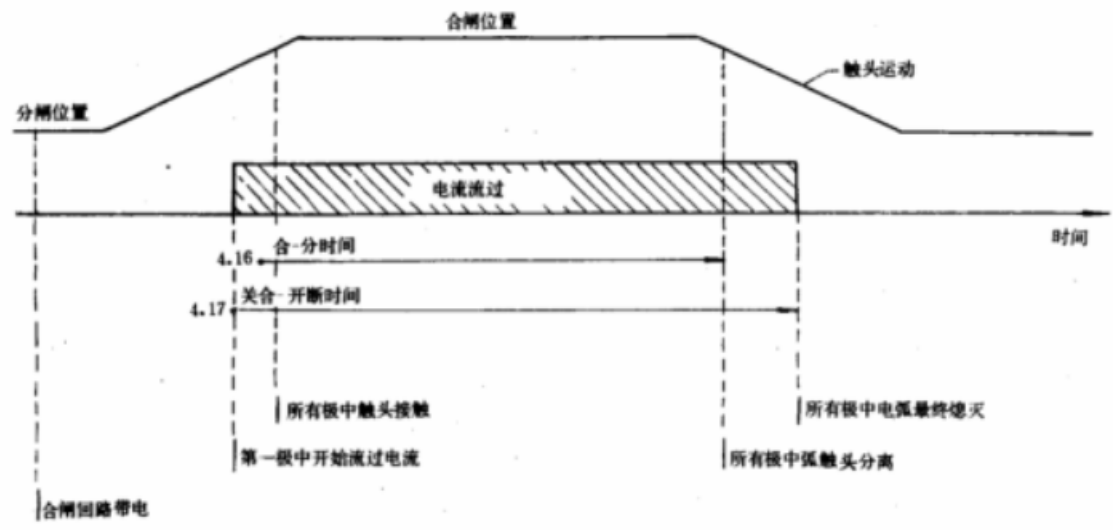


图 3 不带分、合电阻的断路器 合-分循环

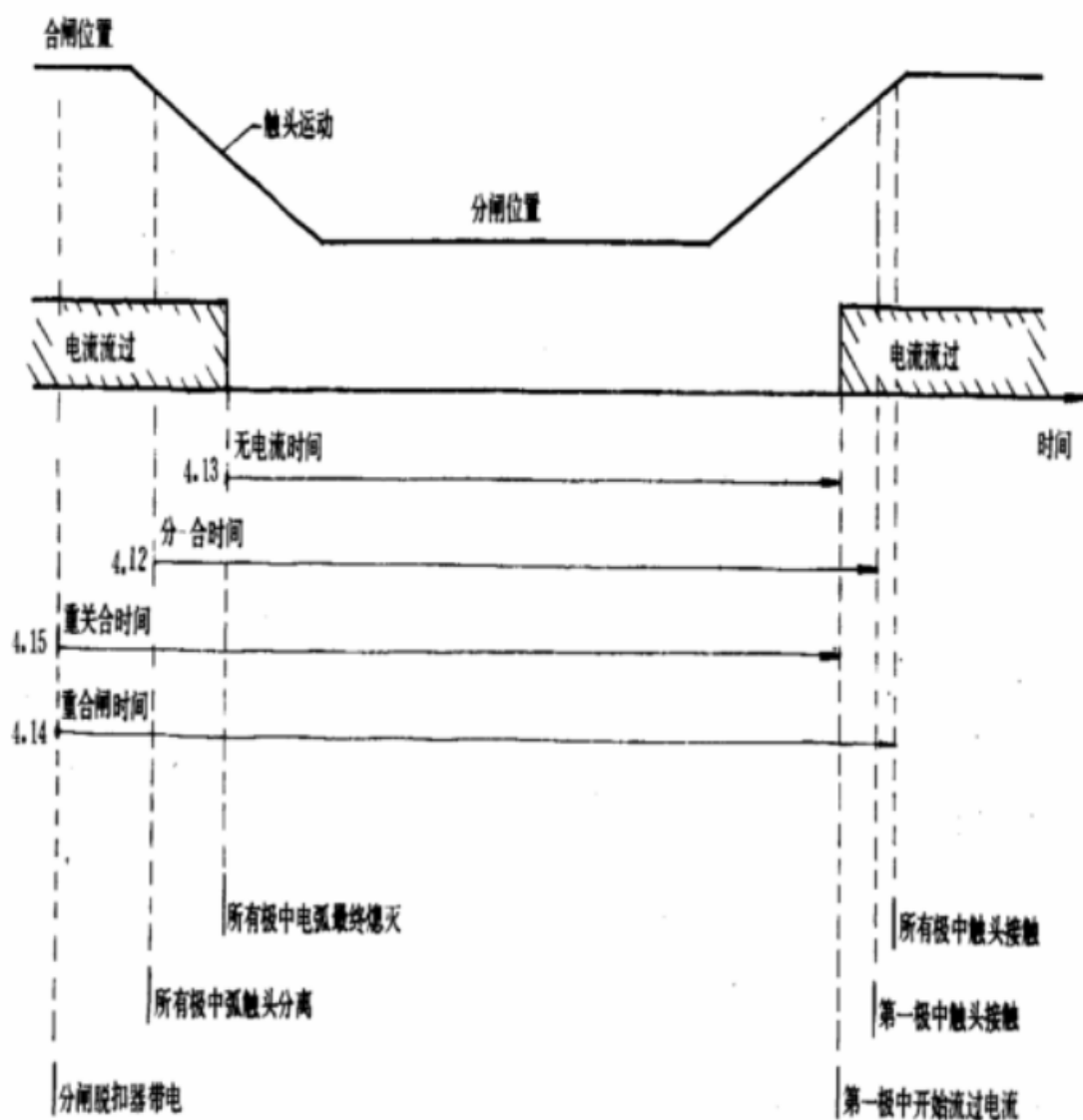


图 4 不带分、合闸电阻的断路器 重合闸(自动重合闸)

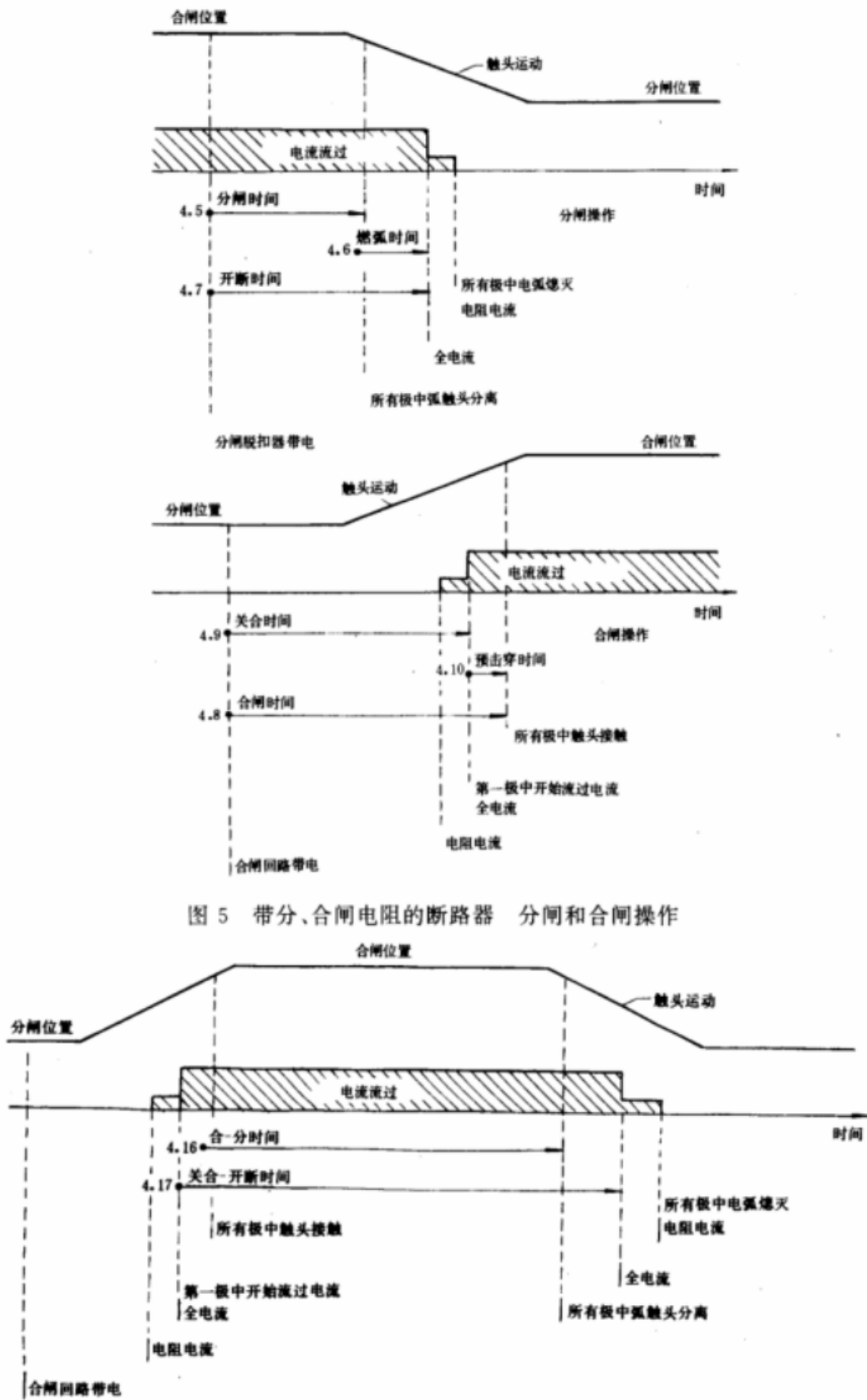


图 5 带分、合闸电阻的断路器 分闸和合闸操作

图 6 带分、合闸电阻的断路器 合-分循环

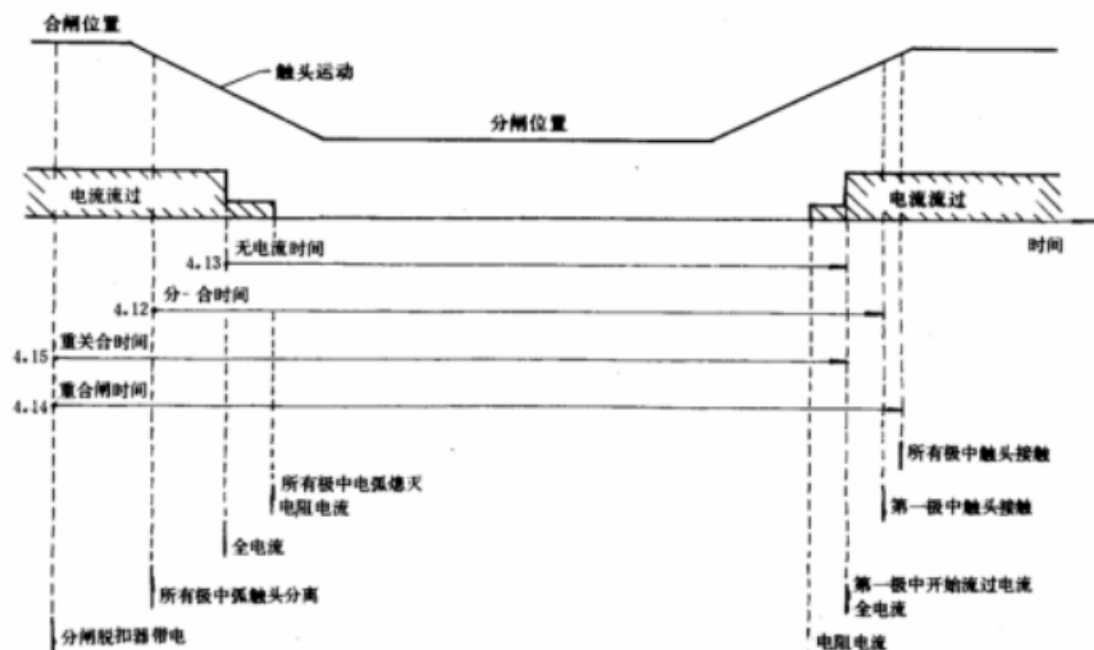


图 7 带分、合闸电阻的断路器 重合闸(自动重合闸)

5 额定参数

所有断路器均应给出的额定参数:

- 额定电压及最高电压;
- 额定绝缘水平;
- 额定频率;
- 额定电流;
- 额定短时耐受电流(额定热稳定电流);
- 额定峰值耐受电流(额定动稳定电流);
- 额定短路持续时间(额定热稳定时间),装有直接过流脱扣器的断路器除外;
- 合、分闸操动机构的额定操作电压及辅助回路的额定电压、频率;
- 操作及灭弧用气体的额定压力(如适用时);
- 额定短路开断电流;
- 额定短路关合电流;
- 预期瞬态恢复电压的规定值;
- 额定操作顺序;
- 额定时间参量。

下列特殊场合下使用的断路器应给出的额定参数:

- 近区故障的额定参数,仅对额定电压 63 kV 及以上且额定短路开断电流超过 12.5 kA,并与架空线直接相连的三极断路器;
- 额定线路充电开断电流,仅对额定电压 110 kV 及以上且用于开合架空线的三极断路器,必要时可延伸至 35 kV、63 kV 断路器;
- 额定失步开断电流,仅适用于联络断路器;
- 额定电缆充电开断电流;
- 额定单个电容器组开断电流;
- 额定背对背电容器组开断电流;
- 额定电容器组关合涌流;

- v. 额定感应电动机开断电流;
- w. 额定空载变压器开断电流;
- x. 额定电抗器开断电流。

5.1 额定电压及最高电压

额定电压及最高电压按 GB 11022 第 5.1 条选取。

5.2 额定绝缘水平

按 GB 11022 第 5.4 条规定。

5.3 额定频率

额定频率为 50 Hz。

5.4 额定电流

200, 400, 630, 1 000¹⁾, 1 250, 1 600(1 500), 2 000, 2 500, 3 150(3 000), 4 000, 5 000, 6 300, 8 000, 10 000, 12 500, 16 000, 20 000 A。

注: ① 括号内数值仅限于老产品使用。

1) 尽量少用。

如果断路器串装有直接过流脱扣器, 则额定电流应是在额定频率下过流脱扣器能长期通过而无损坏的电流有效值, 且温升不超过规定值。

5.5 额定短时耐受电流(额定热稳定电流)

额定短时耐受电流等于额定短路开断电流(见本标准 5.11 条)。

5.6 额定峰值耐受电流(额定动稳定电流)

额定峰值耐受电流等于额定短路关合电流(见本标准 5.12 条)。

5.7 额定短路持续时间(额定热稳定时间)

按 GB 11022 第 5.6 条规定。

对装有直接过流脱扣器的断路器, 无需规定额定短路持续时间。但当断路器按照其额定操作顺序操作而过流脱扣器整定在最大时延时, 在开断时间内, 断路器应能通过额定短路开断电流。

5.8 合闸与分闸操动机构的额定操作电压及辅助回路的额定电压

按 GB 11022 第 5.8 条规定。

5.9 合闸与分闸操动机构及辅助回路的额定电源频率

额定电源频率为 50 Hz。

5.10 操作及灭弧用压缩气体的额定气压(表压)

压缩空气断路器和气动机构的额定气压按 GB 11022 第 5.9 条规定。

六氟化硫断路器中六氟化硫气体额定压力(相应于 20℃ 时六氟化硫额定密度)为: 0.15, 0.25, 0.30, 0.35, 0.40, 0.45, 0.50, 0.55, 0.60, 0.65, 0.70 MPa。

5.11 额定短路开断电流

额定短路开断电流是断路器在本标准规定的相应的工频及瞬态恢复电压下, 能够开断的最大短路电流, 由两个特征值表示:

- a. 交流分量有效值, 简称“额定短路电流”;
- b. 直接分量百分数。

注: 若直流分量不超过 20%, 则额定短路开断电流仅以交流分量有效值来表征。

交流及直流分量的确定参见图 8。

5.11.1 额定短路开断电流的交流分量有效值

额定短路开断电流的交流分量有效值从下列数值中选取:

1.6, 3.15, 6.3, 8, 10, 12.5, 16, 20, 25, 31.5, 40, 50, 63, 80, 100 kA。

注: 超过 100 kA 按 R10 系列延伸。

5.11.2 额定短路开断电流的直流分量百分数

直流分量百分数一般由图 9 取值。图中“ τ ”值的确定如下：

- 对于由短路电流直接脱扣的断路器，“ τ ”值等于规定的分闸时间；
- 对于仅由辅助能源脱扣的断路器，“ τ ”值等于规定的分闸时间加 0.01 s。

注：在某些情况下，例如接近于发电机的断路器，可能要求比图中给出的直流分量百分数更大，其值由供需双方商定。

5.12 额定短路关合电流

断路器的额定短路关合电流(峰值)为其额定短路开断电流交流分量有效值的 2.5 倍。参见图 8。

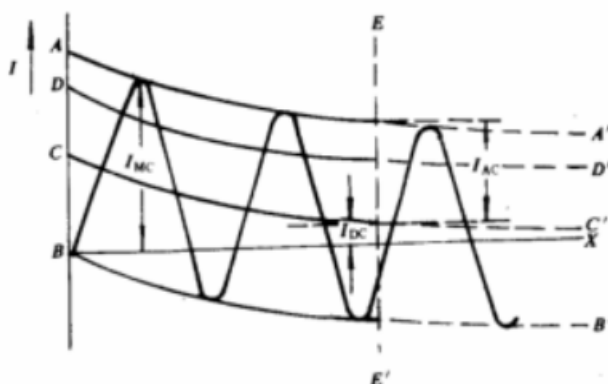


图 8 短路关合、开断电流及直流分量百分数的确定

AA' 、 BB' —电流波形包络线； BX —正常零线； CC' —任何瞬间电流波形零线的偏移； EE' —触头分离瞬间(电弧起始瞬间)；

DD' —从 CC' 测得的任何瞬间电流交流分量有效值； I_{MC} —关合电流； I_{AC} — EE' 瞬间电流交流分量峰值； $I_{AC}\sqrt{2}$ — EE' 瞬间

电流交流分量有效值； I_{DC} — EE' 瞬间电流直流分量； $\frac{I_{DC} \times 100}{I_{AC}}$ —直流分量的百分数

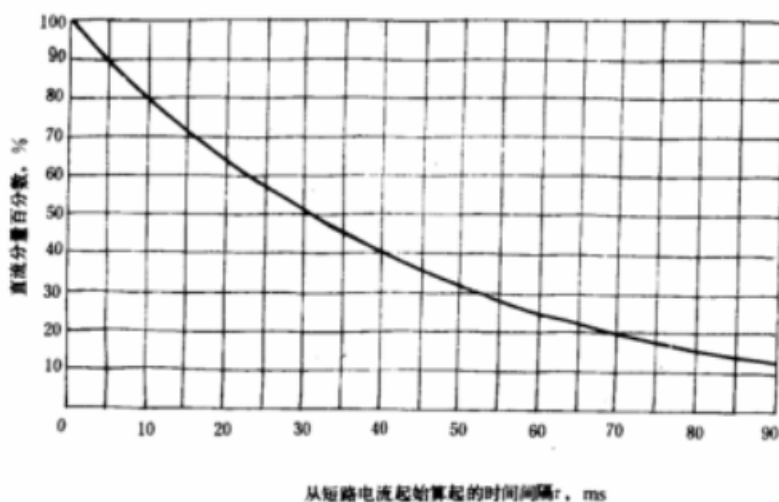


图 9 直流分量百分数与时间间隔 τ 的关系

5.13 预期瞬态恢复电压(出线端短路时)

出线端短路时的预期瞬态恢复电压，是断路器在出线端短路的条件下，所应能开断的回路瞬态恢复电压极限值。

5.13.1 瞬态恢复电压波形的表示

当电力系统电压等于及高于 110 kV，且短路电流比较大时，瞬态恢复电压适用于四参数法确定的三条线段所组成的包络线来表示。

当电力系统电压低于 110 kV，或电压虽高于 110 kV 而短路电流比较小，且经变压器供电的条件

下,瞬态恢复电压接近于一种阻尼的单频振荡波,瞬态恢复电压适于用两参数法确定的两条线段所组成的包络线来表示。

由于断路器电源侧局部电容的影响,在瞬态恢复电压最初几微秒内产生了一个较低电压上升率,引入一个时延来考虑这个影响。

在某些情况下,由于沿着母线第一个主要不连续点的反射波,引起低幅值的起始振荡,故引入起始瞬态恢复电压(ITRV)来考虑这个影响。ITRV 主要是由变电站的母线和母线间隔结构决定的,是一种相似于近区故障的物理现象。

如果断路器有近区故障试验要求,只要近区故障试验是用无时延的线路进行,则认为已满足 ITRV 的要求。

由于 ITRV 正比于母线波阻抗和电流,因此对于波阻抗较小的金属封闭开关设备和额定短路开断电流小于 25 kA 的所有开关设备,则可忽略 ITRV 的要求。

5.13.2 表示瞬态恢复电压的特征参量

瞬态恢复电压用下列参量表示:

a. 四参数法(见图 10)

u_1 ——第一参考电压, kV;

t_1 ——到达 u_1 的时间, μs ;

u_c ——第二参考电压(TRV 峰值), kV;

t_2 ——到达 u_c 的时间, μs ;

b. 两参数法(见图 11)

u_c ——参考电压(TRV 峰值), kV;

t_3 ——到达 u_c 的时间, μs ;

c. 瞬态恢复电压时延线(见图 10 和图 11)

t_d ——时延, μs ;

u' ——参考电压, kV;

t' ——到达 u' 的时间, μs 。

d. 起始瞬态恢复电压(ITRV)(见图 12)

u_i ——参考电压(ITRV 峰值), kV;

t_i ——到达 u_i 的时间, μs 。

ITRV 的上升率决定于被开断的短路电流,而其幅值决定于沿母线到第一个不连续点的距离。用两条直线表示额定的 ITRV,第一条是从坐标原点到 (u_i, t_i) 的直线,第二条是从点 (u_i, t_i) 作水平线与 TRV 的时延线交于 A 点。

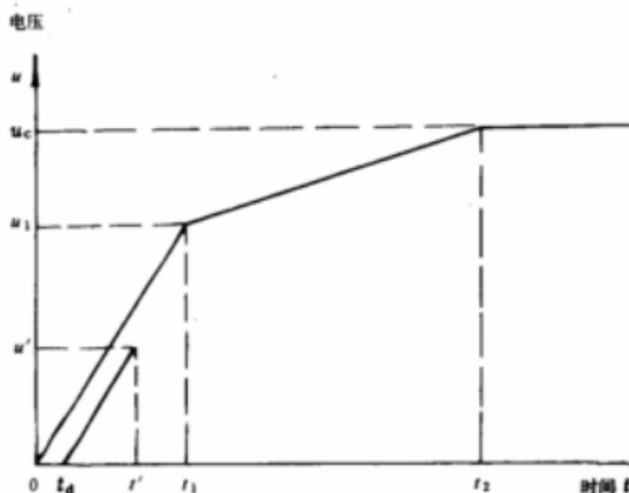


图 10 由四参数参考线和时延线表示规定的瞬态恢复电压(TRV)

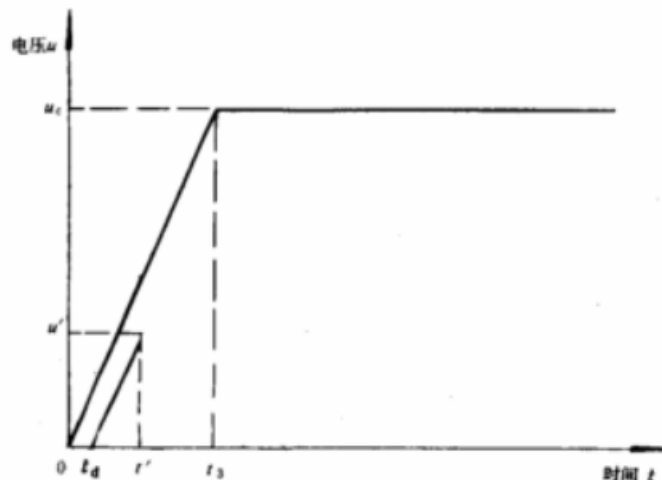


图 11 由两参数参考线和时延表示规定的瞬态恢复电压(TRV)

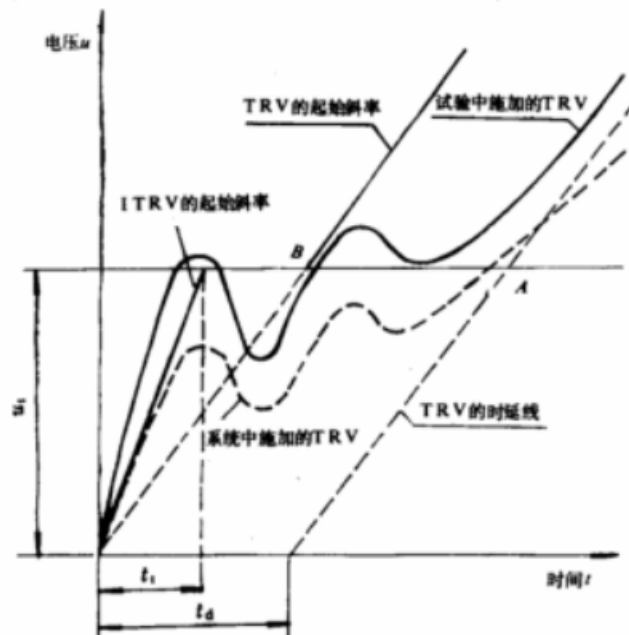


图 12 ITRV 的表示及其与 TRV 的关系

A—ITRV 包络线与 TRV 时延线的相交点;

B—ITRV 包络线与 TRV 包络线的相交点

注: 忽略了在 $t=0$ 时 TRV 的微小位移。

5.13.3 预期瞬态恢复电压规定值

110 kV 以下的瞬态恢复电压均以两参数法表示, 见表 1。

110 kV 及以上的瞬态恢复电压, 除 10% 额定短路开断电流的 TRV 用两参数法表示外, 其余均用四参数法表示, 见表 2。

如果试验室不能满足四参数法的要求, 也可用两参数法来代替, 见表 3。

对于额定短路开断电流超过 50 kA 且额定电压为 110 kV 及以上, 或断路器电源侧直接连接大型电缆网络等情况, 采用较低的 TRV 上升率试验断路器可能更经济合理; 但 TRV 上升率数值应由制造厂同用户协商确定。

对于单相系统或在其他更严酷条件下使用的断路器, TRV 值应由制造厂同用户协商确定, 特别是下列情况:

- 靠近发电机回路的断路器;
- 断路器直接与变压器连接, 断路器和变压器之间无明显附加电容, 且由变压器提供的短路电流

大于断路器额定短路开断电流的 50%；

c. 靠近串联电抗器的断路器。

表 1 额定电压 63 kV 及以下用两参数表示的预期瞬态恢复电压规定值

额定电压 kV 最高电压 kV	试验方式	开断电流 百分比 %	首开极 系数 K_T	u_c kV	t_3 μs	t_d μs	u' kV	t' μs	u_c/t_3 kV/ μs	备用参数	
										k_0	f_0 kHz
3/3.5	4	100	1.5	6.0	40	6	2.0	19	0.15	1.4	8.4
	3	60	1.5	6.5	16	3	2.1	9	0.39	1.5	22
	1,2	10,30	1.5	6.5	9	2	2.1	5	0.77	1.5	41.6
6/6.9	4	100	1.5	11.8	49	7	3.9	24	0.24	1.4	6.8
	3	60	1.5	12.7	21	4	4.2	11	0.60	1.5	17.7
	1,2	10,30	1.5	12.7	11	2	4.2	5.6	1.20	1.5	35.4
10/11.5	4	100	1.5	19.7	58	9	6.6	28	0.34	1.4	5.8
	3	60	1.5	21.1	25	5	7.0	13	0.35	1.5	15.1
	1,2	10,30	1.5	21.1	12	3	7.0	7	1.70	1.5	30.2
20/23	4	100	1.5	39.4	84	13	13	41	0.47	1.4	3.8
	3	60	1.5	42	36	7	14	19	1.16	1.5	9.8
	1,2	10,30	1.5	42	18	4	14	10	2.32	1.5	19.7
35/40.5	4	100	1.5	69.5	114	17	23.2	55	0.61	1.4	2.9
	3	60	1.5	74.5	49	10	24.8	26	1.53	1.5	7.6
	1,2	10,30	1.5	74.5	24	5	24.8	13	3.06	1.5	15.6
63/69	4	100	1.5	124	165	8(25)	41	64(80)	0.75	1.4	2.0
	3	60	1.5	133	72	14	44	38	1.85	1.5	5.2
	1,2	10,30	1.5	133	36	7	44	19	3.70	1.5	10.4

注： $u_c = k_0 \times K_T \frac{\sqrt{2}}{\sqrt{3}} U_m$ ；

U_m ——最高电压；

k_0 ——振幅系数；

f_0 ——等值频率。

表 2 额定电压 110 kV 及以上用四参数及两参数法表示的预期瞬态恢复电压规定值

额定电压 kV	最高电压 kV	试验方式	开断电流 百分比 %	首开极 系数 K_T	u_1 kV	t_1 μs	u_c kV	t_2 μs	t_3 μs	t_4 μs	u' kV	t' μs	u_1/t_1 或 u_c/t_2 kV/ μs	备用参数	
														k_0	f_0 kHz
110/126		4	100	1.3 1.5	134 154	67 77	188 216	201 231	— —	2(10) 2(12)	67 77	35(43) 40(48)	2.0	1.4	10.0
		3	60	1.3 1.5	134 154	45 51	201 231	202 229	— —	2(11) 2(13)	67 77	24(33) 28(39)	3.0	1.5	
		2	30	1.5	154	31	231	229	—	5(8)	77	20(23)	5.0	1.5	
		1	10	1.5	—	—	236	—	41	5	79	18	5.8	1.7	
220/252		4	100	1.3	268	134	875	402	—	2(20)	134	69(87)	2.0	1.4	
		3	60	1.3	268	89	402	402	—	2(22)	134	47(67)	3.0	1.5	
		2	30	1.5	309	62	463	463	—	5(15)	154	36(46)	5.0	1.5	
		1	10	1.5	—	—	472	—	67	8	157	30	7.0	1.7	6.1
330/363		4	100	1.3	384	192	538	576	—	2(29)	192	98(125)	2.0	1.4	
		3	60	1.3	384	128	576	576	—	2(32)	192	66(96)	3.0	1.5	
		2	30	1.3	384	77	576	578	—	5(19)	192	43(58)	5.0	1.5	
		1	10	1.5	—	—	680	—	82	10	226	37	8.3	1.7	5.0
500/550		4	100	1.3	584	292	818	876	—	2(44)	292	148(190)	2.0	1.4	
		3	60	1.3	584	195	876	877	—	2(49)	292	99(146)	3.0	1.5	
		2	30	1.3	584	117	876	877	—	5(29)	292	63(87)	5.0	1.5	
		1	10	1.5	—	—	1 030	—	103	13	343	47	10	1.7	4.0

注: $u_1 = K_T \sqrt{2/3} U_m$;

$u_c = k_0 u_1$; U_m ——最高电压。

对于 10% 的开断电流: $u_c = 1.7 \times 1.5 \sqrt{2/3} U_m \times 0.9$; 这里, 对于额定电压 110 kV 及以上, 试验方式 i 中的 u_c 引入一系数 0.9, 认为跨接在变压器上的电压仅为回路电压的 90%, 这时假定变压器供给全部短路电流。

表 3 额定电压 110 kV 及以上用两参数表示的预期瞬态恢复电压代用值

额定电压 kV	最高电压 kV	试验方式	开断电流 百分比 %	首开极 系数 K_T	u_c kV	t_3 μs	t_d μs	u' kV	t' μs	u_c/t_3 kV/ μs	备用参数	
											k_0	f_0 kHz
110/126		4	100	1.3 1.5	188 216	94 108	2(10) 2(12)	67 77	35(43) 40(48)	2.0	1.4	3.6 3.1
		3	60	1.3 1.5	201 231	67 77	2(11) 2(13)	67 77	24(33) 28(39)	3.0	1.5	5.6 4.9
		2	30	1.5	231	46	5(8)	77	20(23)	5.0	1.5	8.1
220/252		4	100	1.3	375	188	2(20)	134	69(87)	2.0	1.4	1.8
		3	60	1.3	402	134	2(22)	134	47(67)	3.0	1.5	2.8
		2	30	1.5	463	93	5(15)	154	36(46)	5.0	1.5	4.0
330/363		4	100	1.3	538	269	2(29)	192	98(125)	2.0	1.4	1.2
		3	60	1.3	576	192	2(32)	192	66(96)	3.0	1.5	1.9
		2	30	1.3	576	115	5(19)	192	43(58)	5.0	1.5	3.3
500/550		4	100	1.3	818	409	2(44)	292	148(190)	2.0	1.4	0.8
		3	60	1.3	876	292	2(49)	292	99(146)	3.0	1.5	1.3
		2	30	1.3	876	175	5(29)	292	63(87)	5.0	1.5	2.1

注：① $u_c = k_0 \times K_T \sqrt{2/3} U_m$ ；
 U_m ——最高电压。

- ② 额定电压 110 kV 及以上等级的断路器的试验，应按表 2 的规定值进行；当试验条件不具备时，且征得制造厂的同意，才允许采用表 3 规定的两参数代用值。
- ③ 作试验方式 4 和 5 时，由于试验设备的限制，其时延不满足时延栏中不带括号的数值，如果该断路器还要作近区故障试验，则其时延允许不大于该栏中带括号数值。当试验方式 3 和 2 时，凡带括号的数值均为 t_d 和 t' 的上限值，在试验时不得超过，不带括号的对应数值为其下限。
- ④ 试验方式 1 和 2 中 TRV 的 t_3 值，若受试验设备的限制难于满足时，应获得尽可能短的 t_3 值，但不得小于表 1、2 中的规定值，并在试验报告中说明。
- ⑤ 额定电压 63 kV 的断路器按最高电压为 72.5 kV 确定其瞬态恢复电压参数。
- ⑥ 等值频率 f_0 的确定按照以发电机为电源的串联阻尼调频方式：

当 $k_0 = 1.4$ 时， $f_0 = 0.6 \times \frac{1}{2t_3}$ ； $k_0 = 1.5$ 时， $f_0 = 0.75 \times \frac{1}{2t_3}$ ； $k_0 = 1.7$ 时， $f_0 = 0.82 \times \frac{1}{2t_3}$ 。

⑦ 220 kV 及以上的断路器，当进行试验方式 2、3、4 和 5 时，首开极系数如需 1.5，由用户同制造厂协商处理。

表 4 四参数法中的 t_2 及有关时延参数的确定

试验方式	开断电流百分数 %	额定电压等级 kV	t_2 μs	t_d μs	u' kV
4,5	100	≤ 35	—	$0.15t_3$	$u_c/3$
		63	—	$(0.05\sim 0.15)t_3$	$u_c/3$
		≥ 110	$3t_1$	$2\mu\text{s}$ 或 $0.15t_1$	$u_1/2$
3	60	≤ 63	—	$0.2t_3$	$u_c/3$
		≥ 110	$4.5t_1$	$2\mu\text{s}$ 或 $0.25t_1$	$u_1/2$
2	30	≤ 63	—	$0.2t_3$	$u_c/3$
		≥ 110	$7.5t_1$	$2\mu\text{s}$ 或 $0.25t_1$	$u_1/2$
1	10	≤ 63	—	$0.2t_3$	$u_c/3$
		≥ 110	—	$0.123t_3$	$u_c/3$

5.13.4 额定起始瞬态恢复电压(ITRV)规定值

额定起始瞬态恢复电压的规定值见表 5。

表 5 额定电压 110 kV 及以上 ITRV 规定值

额定电压, kV 最高电压, kV	决定起始峰值 $u_1^{(1)}$ 的系数 f_1 kV/kA	时间 t_1 μs
110/126	0.046	0.4
220/252	0.069	0.6
330/363	0.092	0.8
500/550	0.116	1.0

注：① 表中的值概括了三相及单相故障，且假定粗略地用大约 260 Ω 表示母线及与其相连元件（支柱绝缘子、电流和电压互感器、隔离开关等）的综合波阻抗 Z_i 、 f_1 和 t_1 的关系为：

$$f_1 = t_1 \cdot Z_i \omega \times \sqrt{2}$$

式中： ω 为断路器的额定角频率。

② 对于气体绝缘的金属封闭开关设备及额定开断电流小于 25 kA 的情况，可不考虑 ITRV。

1) 起始峰值 u_1 等于 f_1 乘以短路开断电流有效值。

5.14 额定操作顺序

- a. 自动重合闸操作顺序：
分— θ —合分— t —合分。
- b. 非自动重合闸操作顺序：

分—t—合分—t—合分。

其中： θ 为无电流时间，其值为 0.3 s 或 0.5 s， t 为 180 s。如有必要，断路器可分别标出不同操作顺序相对应的开断能力。

5.15 额定失步开断、关合参数

- a. 除非另有要求，额定失步开断电流为 25% 的额定短路开断电流。
 - b. 除非另有要求，工频恢复电压对于接地系统为 $2.0/\sqrt{3}$ 倍最高电压；对于不接地系统为 $2.5/\sqrt{3}$ 倍最高电压。
 - c. 瞬态恢复电压
- 瞬态恢复电压标准值按表 6 及表 7 规定。

表 6 3~63 kV 的瞬态恢复电压(两参数法)

额定电压 kV 最 高 电 压 kV	u_c kV	t_3 μs	u_c/t_3 kV/ μs	备用参数	
				k_0	f_0 kHz
3/3.5	9.2/10.7	80/89	0.12	1.25	2.9/2.6
6/6.9	18.4/21.1	104/117	0.18	1.25	2.3/2.0
10/11.5	30.6/35.2	120/136	0.26	1.25	2.0/1.7
15/17.5	45/53.6	144/173	0.31	1.25	1.6/1.4
20/23	61/70.5	175/201	0.35	1.25	1.3/1.2
35/40.5	103.4/124	225/270	0.46	1.25	1.0/0.9
63/69	185/211.5	336/385	0.55	1.25	0.7/0.6

注：① 表中斜线左侧值相应于： $u_c=1.25\times2.5\times\sqrt{2/3}U_m$ ；
表中斜线右侧值相应于： $u_c=1.25\times3.0\times\sqrt{2/3}U_m$ (系备用参数)。
 U_m ——最高电压；
 $k_0=1.25, f_0=0.47\times\frac{1}{2t_3}$ 。

② 额定电压 63 kV 的断路器按最高电压 72.5 kV 确定其瞬态恢复电压参数。

表 7 110~500 kV 的瞬态恢复电压(四参数法)

额定电压 kV 最 高 电 压 kV	u_1 kV	t_1 μs	u_c kV	t_2 μs	u_1/t_1 kV/ μs
110/126	206/257	134/154	257/321	402/462	1.54/1.67
220/252	412/515	267/308	515/644	801/925	1.54/1.67
330/363	593/742	384/444	742/927.5	1 152/1 332	1.54/1.67
500/550	899/1 124	584/673	1 124/1 405	1 752/2 019	1.54/1.67

注：表中斜线左侧值相应于： $u_1=2.0\sqrt{2/3}U_m$ ；
表中斜线右侧值相应于： $u_1=2.5\sqrt{2/3}U_m$ (系备用参数)。
 U_m ——最高电压；
 $t_2=3t_1, u_c=1.25u_1$ 。

5.16 近区故障的额定参数

按 GB 4474 的规定。

5.17 额定线路充电开断电流

按 GB 4876 的规定。

5.18 额定电缆充电开断电流

正在考虑中。

5.19 额定单个电容器组开断电流

按 GB 7675 的规定。

5.20 额定背对背电容器组开断电流

按 GB 7675 的规定。

5.21 额定电容器组关合涌流

按 GB 7675 的规定。

5.22 额定感应电动机开断电流

正在考虑中。

5.23 额定空载变压器开断电流

正在考虑中。

5.24 额定电抗器开断电流

正在考虑中。

5.25 额定时间参量

额定时间参量包括：

- a. 分闸时间；
- b. 合闸时间；
- c. 分-合时间；
- d. 重合闸时间；
- e. 合-分时间。

额定时间参量是基于下列条件确定的：

- a. 给合、分闸操动机构及其辅助回路施加额定电压及额定频率；
- b. 给灭弧室及气动操动机构提供额定气压；
- c. 给液动操动机构提供额定液压。

5.26 额定参数配合

推荐采用的断路器额定电压、额定短路开断电流及额定电流的配合列于表 8。

6 设计和结构

6.1 对断路器中液体的要求

按 GB 11022 第 6.1 条规定。

6.2 对断路器中气体的要求

按 GB 11022 第 6.2 条规定。

6.3 断路器的接地

按 GB 11022 第 6.3 条规定。

6.4 接线端子

断路器的接线端子的型式和尺寸应符合 GB 5273 的规定。

6.5 分合闸位置指示

除了借助辅助开关指示分合闸位置之外，操动机构或断路器应有易于观察的表示断路器分、合闸的

机械指示器。

表 8 推荐的额定参数配合

额定电压 kV	额定短路 开断电流 kA	额 定 电 流, A								
3.6, 10	(1.6)	200	400							
	3.15	200	400	(630)						
	6.3		400	(630)	(1 250)					
	8		400	(630)	(1 250)					
	12.5		400	630	1 250					
	16			630	1 250	1 600				
	(20)			630	1 250	1 600				
	25			630	1 250	1 600	(2 000)	2 500		
	31.5				1 250	1 600	(2 000)	2 500	3 150	
	40				1 250	1 600	(2 000)	2 500	3 150	4 000
	50				1 250	1 600	(2 000)	2 500	3 150	4 000
35, 63	4	200	400							
	(6.3)		400	630						
	8			630						
	12.5			630	1 250					
	16			630	1 250	1 600				
	25				1 250	1 600	2 000	2 500		
	31.5				1 250	1 600	2 000	2 500	(3 150)	
	40				1 250	1 600	2 000	2 500	(3 150)	4 000
110, 220	(16)			630	1 250					
	20			630	1 250	1 600	2 000			
	25			630	1 250	1 600	2 000			
	31.5				1 250	1 600	2 000	2 500	3 150	
	40				(1 250)	1 600	2 000	2 500	3 150	
	50					(1 600)	2 000	2 500	3 150	
330	20				1 250	1 600	2 000			
	25				1 250	1 600	2 000			
	31.5				1 250	1 600	2 000	2 500	(3 150)	
	40					1 600	2 000	2 500	3 150	
	50					(1 600)	2 000	2 500	3 150	

续表 8

额定电压 kV	额定短路 开断电流 kA	额 定 电 流, A							
500	31.5						2 000	2 500	3 150 (4 000)
	40						2 000	2 500	3 150 (4 000)
	50						2 000	2 500	3 150 4 000
	63						2 000	2 500	3 150 4 000

注: 括号内数值为备用参数配合。

6.6 辅助设备

辅助设备用于断路器的控制和辅助回路。

辅助设备按 GB 11022 第 6.6 条规定,并作如下补充:

- a. 连接件应能承受断路器施加的应力,尤其是由于操作时的机械力而产生的应力;
- b. 户外断路器及其辅助设备包括连接线均应防雨、防潮及防止异物侵入;
- c. 辅助开关用作位置指示器时,应指示断路器分闸或合闸终了的位置;
- d. 采用专用控制设备元件时,这些元件应在辅助和控制回路电源电压及灭弧和操作介质的规定范围内动作,并能切换由断路器制造厂规定的负载;
- e. 辅助设备的专用元件诸如液体指示器、压力指示器、释放阀、充放设备、加热器和联锁的触点应在辅助和控制回路电源电压的规定范围内及/或灭弧和操作介质的使用范围内动作;
- f. 加热器在额定电压下的能耗应在制造厂规定值的±10%范围内。

6.7 合闸操作

6.7.1 动力合闸

按 GB 11022 第 6.8.1 条规定,并作以下补充:

动力合闸的断路器,应能在关合额定短路关合电流的操作后立即开断。

6.7.2 贮能合闸

按 GB 11022 第 6.8.2 条规定,并作以下补充:

贮能合闸的断路器亦应能在关合额定短路关合电流的操作后立即分闸。

6.8 脱扣器操作

按 GB 11022 第 6.9 条规定,并作以下补充。

6.8.1 过电流脱扣器

6.8.1.1 动作电流

过电流脱扣器应标有其额定电流和电流整定范围。

在电流整定范围内,过电流脱扣器应在电流为整定值的 110%及以上时必须动作;而在电流为整定值的 90%及以下时不能动作。

6.8.1.2 动作时间

对反时限过电流脱扣器,动作时间应测量从产生过电流的瞬间起,到脱扣器启动断路器的脱扣机构的瞬间为止的这段时间。

制造厂应提供带有合适公差表格或曲线来表示动作时间与两倍至六倍动作电流之间的关系。这些表格或曲线应提供极限电流整定值与时延的极限整定值。

6.8.1.3 复位电流

在过电流脱扣器时延终了以前,如果主回路电流降低到低于某一值,则脱扣器应不得完成其动作,且应复位到起始位置。制造厂应提供有关资料。

6.8.2 经电流互感器供电的附装过电流脱扣电磁铁,当其电路依靠分装的过电流继电器触头的动作关合时,其脱扣电流应不小于 2.5 A。

6.9 低气压和高气压闭锁装置

按 GB 11022 第 6.10 条规定。

6.10 铭牌

按 GB 11022 第 6.13 条规定,并作以下补充:

在正常工作位置和储存安放位置铭牌均应明显可见。

断路器及其操动机构的铭牌应按表 9 内容标注。

操动机构的线圈应有参考标牌,以便能从制造厂获得全部数据;脱扣器应带有适当的数据;制造年份应能辨明。

充六氟化硫气体的断路器,应有六氟化硫气体压力随温度变化的曲线标牌。

6.11 各极的同期性要求

当各极的同步操作未作特殊要求时,合闸时各触头接触瞬间的最大差异应不超过 10 ms;分闸时各触头分离瞬间的最大差异应不超过 5 ms。

注:① 在开合容性电流的情况下,应符合相应的标准。

② 对于分极操作的断路器,当各极在相同条件下操作时适用本条要求。在单极重合闸操作后,三个机构的操作条件可能不同于上述规定。在单极操作的情况下,这一要求不适用。

表 9 铭牌内容

项 目	简写 符号	单位	断路器	操动 机构	仅当以下情况时标注
制造厂			X	X	
产品型号和名称			X	X	
额定电压	U	kV	X		
额定电流	I_n	A	X		
额定雷电冲击耐压	U_w	kV	Y		仅对额定电压 63,110,220 kV
额定操作冲击耐压	U_s	kV	Y		仅对额定电压 330 kV 及以上
额定短路开断电流	I_b	kA	X		
额定线路充电开断电流	I_L	A	Y		仅对具备此性能要求的断路器
额定电缆充电开断电流	I_c	A	(X)		
额定电容器组开断电流	I_{cb}	A	(X)		
额定操作压力	p_{op}	MPa		X	
灭弧室额定气压	p_{ab}	MPa	X		
合闸和分闸操动机构额定电源电压 (交流或直流)		V		X	
重量(油断路器包括油)	m	kg	Y	Y	大于 300 kg 时
额定操作顺序			X		
制造年月			X	X	

续表 9

项 目	简写 符号	单位	断路器	操动 机构	仅当以下情况时标注
温度等级			Y		不同于： —10℃户内； —30℃户外时
出厂编号			X	X	

注：① X——强制性标注数据；空格表示此值为零。

(X)——非强制性标注数据。

Y——对于第 6 栏情况才标注。

② 第 2 栏的简写符号可用来代替第 1 栏术语。采用第 1 栏术语时，不需要出现“额定”字样。

6.12 压缩空气断路器灭弧用压缩气体的压力极限

制造厂应规定灭弧用压缩气体的是大和最小压力，断路器在此极限压力下能按其额定值工作，并且应在此极限压力下整定合适的低气压和高气压闭锁装置（见 6.9 条）。

制造厂可规定断路器能够进行下述每一种操作的压力极限：

- 开断其额定短路开断电流，即一个“分”操作；
- 在关合其额定短路关合电流之后立即开断其额定短路开断电流，即一个“合分”操作循环；
- 对于快速自动重合闸断路器，开断其额定短路开断电流后，经一额定操作顺序的时间间隔 θ ，接着关合其额定短路关合电流，并立即再次开断其额定短路开断电流，即一个“分— θ —合分”操作顺序。

断路器应备有足够容量的能量贮存器，使之在所指定的相应量低气压下能满意地进行上述操作。

对于具有单独的泵或压缩机的断路器，泵或压缩机的出力和贮气筒的容量应足以供给断路器在额定短路关合和开断电流及以下的所有电流下进行额定操作顺序的操作。操作顺序开始时的压力应等于制造厂按照上述要求及泵或压缩机得以正常操作所规定的适当的最低气压。如果需要，制造厂可规定泵或压缩机操作的压力极限。

6.13 排逸孔

断路器排逸孔的设置，应使排出物不致引起电击穿，而且不朝向任何可能出现人员的地方。

在断路器或辅助设备操作中或操作后，其结构应使气体不会聚在由于正常操作时产生的火花引起点燃的任何地方。

6.14 断路器承受静拉力的要求

断路器及其接线端子应能承受表 11 所规定的静拉力，而不损伤其可靠性或通流能力。

6.15 安全标志

断路器工作时处于高电压的各外露部分（绝缘子及导电接触面除外）应标以“高压危险”的字样、符号或涂以红色。

6.16 互换性

同一型号的断路器及其操动机构的安装尺寸应统一，各相同部件、易损件和备品、备件应具有互换性。

6.17 对检修和吊装的要求

断路器应便于检修；当断路器的本体不能方便和可靠起吊时，断路器应具备供起重用吊钩或吊环。

6.18 对断路器的结构要求

6.18.1 油断路器应有：

- 注油、放油和/或取油样的装置；

- b. 易于观察的油位指示器;
 - c. 当单极油箱和油的重量超过 30 kg 时,应有升降装置。
- 6.18.2 压缩气体断路器及用压缩气体作动力源的气动机构应有:
- a. 监视气压变化的装置;当压缩气体的压力低于或高于允许值时,应能发出警报信号,并根据需要切换控制线路的接点;气动机构的气压超过规定值时应进行闭锁;
 - b. 压缩气体过滤器;
 - c. 断路器储气筒的进气端总导气管上应有控制阀;三极断路器的分极管路亦应设有控制阀,以便于按极充气;
 - d. 断路器和气动机构的进气管(孔)应装逆止阀;
 - e. 通风指示器(若需通风时);
 - f. 断路器应有手启气动按钮;
 - g. 用户需要时,断路器及操动机构应有消音装置,使其噪音降低到允许的范围内;
 - h. 储气罐必须采取防锈措施,导气管应采用防锈材料制成。
- 6.18.3 断路器应考虑与其他电器设备的联锁。
- 6.18.4 充气断路器的金属外壳,应能承受运行中出现的正常和瞬时压力,其技术要求应符合 GB 7674 的规定。
- 6.18.5 断路器的并联电容器应能耐受两倍相电压作用,其绝缘水平与断路器的断口相同。
- 并联电阻的热容量应满足用户与制造厂双方商定的操作顺序要求。并联电阻的阻值应在热容量试验后确定,其误差不大于 $\pm 5\%$ 。
- 6.19 润滑
- 断路器及其操动机构的摩擦部分应根据需要通过所设置的润滑孔或润滑装置,经常给予润滑。用于高寒地区的产品,应采用防冻润滑脂。
- 6.20 对绝缘子的要求
- 断路器所用的各种绝缘子,除应符合其各自有关的标准外,尚应满足断路器的各项电气和机械性能的有关要求。
- 6.21 操动机构
- 6.21.1 人力储能操动机构的手柄或单臂杠杆的长度应不大于 350 mm,转动角度应不大于 150° ;手轮直径或双臂杠杆的长度应不大于 750 mm,且转动角度应不大于 180° 。
- 6.21.2 操动机构操作的运行方向应符合 GB 11022 第 6.11 条规定。
- 6.21.3 电磁操动机构在断路器合闸到底后,在分闸脉冲作用下应能立即正常分闸。
- 6.21.4 动力式操动机构应有供检修及调整用的手力合闸装置和手力分闸装置或就地分、合闸操作按钮;除结构受限制之外,一般应有防跳跃装置。
- 6.21.5 液压操动机构应具有以下装置:
- a. 当液压高于或低于规定值时,监视液压变化的装置应发出信号并切换相应控制回路的接点;
 - b. 防止断路器在运行中慢分的装置;
 - c. 保证传动管路充满传动液体的装置和排气装置;
 - d. 安全阀(或排逸孔)和过滤装置。
- 液压机构应提供保压时间。
- 6.21.6 户外操动机构的箱壳内应能装设闸刀、合闸熔丝和照明装置。
- 6.21.7 操动机构应能装设足够对数供控制、信号及联锁回路用的辅助接点(一般不少于 10 对)。
- 6.21.8 弹簧操动机构不允许空合,但应具备一定的空合能力。其试验考核的次数,由具体产品技术条件规定。

注:“空合”系指未带动断路器的情况下,操动机构进行合闸的操作。

6.21.9 对分极操作的断路器,应有防止非全极合闸的装置。

7 型式试验

型式试验是指为鉴定某种产品是否符合本标准,能否定型生产而进行的试验。进行型式试验的试品应与产品技术条件和图样相符。在下列情况下断路器应进行型式试验:

- a. 新产品;
- b. 转厂试制的产品;
- c. 当断路器所配操动机构型号或规格改变时,作相应的试验;
- d. 当产品在设计、工艺或所使用的材料作重要改变时,作相应的试验。

批量生产的产品,每隔 8~10 年应进行一次温升、机械寿命及 100% 额定短路电流开断、关合试验,其他项目必要时也可进行。

型式试验项目必试项目:

- a. 绝缘试验(包括耐压试验、局部放电试验、辅助回路和控制回路的耐压试验);
 - b. 温升试验;
 - c. 主回路电阻测量;
 - d. 机械试验;
 - e. 短时耐受电流试验;
 - f. 短路开断、关合能力试验;
 - g. 近区故障开断试验——仅适用于 63 kV 及以上、额定短路开断电流大于 12.5 kA 且直接与架空线相连的三极断路器;
 - h. 失步开断、关合试验——仅适用于联络断路器;
 - i. 额定线路充电电流开合试验——仅适用 110 kV 及以上的断路器,必要时可延伸至 35 和 63 kV 级断路器;
 - j. 额定电缆充电电流开合试验——仅适用于要求具有此性能的断路器;
 - k. 额定单个电容器组及背对背电容器组电流开合试验——仅适用 10~63 kV 且要求具有此性能的断路器;
 - l. 感应电动机开合试验——仅适用于 10 kV 及以下且对此性能需进行专门考核的断路器;
 - m. 空载变压器开合试验——仅适用于对此性能需进行专门考核的断路器;
 - n. 电抗器开合试验——仅适用于开合电抗器的断路器;
 - o. 端子静拉力试验——仅适用于 63 kV 及以上的户外断路器;
 - p. 无线电干扰电压试验——仅适用于 110 kV 及以上的断路器;
 - q. 临界电流开断试验——仅适用于具有临界电流的断路器;
 - r. 防雨试验——仅适用于户外断路器及其操动机构;
 - s. 密封试验;
 - t. 湿度试验——仅适用于有凝露且影响绝缘的户内断路器。
- 型式试验项目按供需双方协议进行的项目:
- a. 污秽条件下的绝缘试验;
 - b. 高低温试验;
 - c. 严重冰冻条件下操作的验证试验——仅适用于有外部运动部件的户外断路器;
 - d. 地震试验;
 - e. 并联开断试验;
 - f. 异相接地条件下的短路开断试验。

7.1 绝缘试验

7.1.1 耐压试验

断路器的耐压试验按 GB 11022 第 7.1 条的规定进行。

7.1.1.1 加压部位

除按照 GB 11022 第 7.1.4 条的规定外,还补充以下说明:

3~220 kV 级冲击和工频耐压试验的加压部位见 GB 11022 表 7;

330~500 kV 级工频耐压的加压部位见 GB 11022 表 8;

330~500 kV 级冲击耐压的加压部位见 GB 11022 表 9。

7.1.1.2 耐压试验方式

7.1.1.2.1 雷电和操作冲击电压试验

除按照 GB 11022 第 7.1.6 条的规定外,并作以下补充:

7.1.1.2.1.1 雷电冲击电压试验

对于额定电压 220 kV 及以下的断路器,当按照 GB 11022 第 5.4 条选择较低额定雷电冲击耐受电压时,则在试验断路器分闸状态的断口绝缘时,可能需要较高的试验电压,并按以下情况分别处理:

a. 对额定电压 110 kV 及 220 kV,制造厂应同用户协商,试验电压应是相应的额定雷电冲击电压之一;

b. 对额定电压 63 kV 及以下,试验电压应由制造厂同用户协商确定;

c. 对额定电压 330 kV 及以上的断路器,征得制造厂同意,可以不采用工频电压源在分闸的断路器上进行试验,这种情况将分成两个试验系列进行:

第一试验系列:依次对每一个端子连续进行 15 次冲击试验,其电压等于额定雷电冲击电压和 $0.7 U_m \sqrt{2} / \sqrt{3}$ (峰值)(U_m 为最高电压)之和,而对面的端子接地。其他端子、被施加电压的端子及底座可以用绝缘的方法,以防止对地发生破坏性放电。

第二试验系列:依次对每一个端子连续施加 15 次额定雷电冲击电压,其他端子和底座接地。

注:对于 500 kV 断路器,这种试验程序可能不合适,其试验方法正在考虑中。

7.1.1.2.1.2 操作冲击电压试验

对户外断路器,干试只用正极性电压进行。

断路器处于合闸位置,对于 GB 11022 表 9 中规定的每个试验方式,应施加额定对地耐受电压。

断路器处于分闸位置,应进行两个试验系列:

a. 第一试验系列,对 GB 11022 表 9 中规定的每个试验方式,应施加额定对地耐受电压;

b. 第二试验系列,试验程序由断路器的使用条件确定,参见 GB 11022 表 3。

对在标准条件下使用的断路器,第二试验系列应是对断路器断口施加 GB 11022 表 3 中断口间操作冲击耐受电压栏中斜线上方的数值。允许被施加电压的端子、其他极的端子及底座予以绝缘,以防止对地发生破坏性放电。

对于特殊使用的断路器(例如开合充电线路的断路器),第二试验系列的试验电压应采用 GB 11022 表 3 中断口间操作冲击耐受电压栏中斜线下方的数值。对于 GB 11022 表 9 中规定的每一试验方式,一个端子施加操作冲击电压,而对面的端子施加工频电压。在制造厂的同意下,这个试验也可不用工频电压源,依次对每个端子施加等于操作冲击电压和 $U_m \sqrt{2} / \sqrt{3}$ 值(峰值)之和的冲击试验电压,电压值采用表 3 中断口间操作冲击耐受电压栏中斜线下方的数值。试验时,对面的端子应接地,其他端子、被施加电压的端子及底座应绝缘,以防止对地发生破坏性放电。

注:对于 500 kV 断路器的试验方法正在考虑中。

7.1.1.2.2 工频耐压试验

除按照 GB 11022 第 7.1.7 条的规定外,并作以下补充:

a. 对额定电压 220 kV 及以下的断路器

如果在湿耐压试验时,在外部自恢复绝缘上发生破坏性放电,试验应在相同条件下重复,如果不再

发生破坏性放电,则认为断路器已成功地通过了试验;

b. 对额定电压 330 kV 及以上的断路器

在经过操作冲击电压试验后,一般可不进行工频电压试验。

注:对于 220 kV 及以下的接地金属壳式断路器,当其套管按有关的标准已作过工频湿耐压试验时,则可不作工频湿耐压试验。对于 330 kV 及以上的接地金属壳式断路器,当其套管在等价的安装方式下作过操作冲击湿耐压试验时,则可不作操作冲击湿耐压试验。

7.1.2 局部放电试验

当断路器有应进行局部放电试验的部件时,这些部件应进行该项试验。试验方法按 GB 7354 进行,合格判据由产品技术条件规定。

7.1.3 操动机构和辅助回路的耐压试验

操动机构和辅助回路的绝缘应能承受工频电压 2 000 V(有效值)1 min,按照 GB 11022 第 7.1.10 条的规定进行试验。所有电子器件的绝缘性能可由供需双方商定。

7.1.4 污秽条件下的绝缘试验

该项试验为用户同制造厂协商项目,试验方法按 GB 11022 第 7.1.8 条及 GB 4585.2 的规定进行。

7.2 无线电干扰电压试验

对于额定电压 110 kV 及以上产品,当供需协议有此要求时,才进行此项试验。试验按 GB 11022 第 7.2 条及 GB 11604 的规定进行。

7.3 温升试验

断路器温升试验应按 GB 763 以及 GB 11022 第 7.3 条的规定进行。

7.3.1 操动机构和辅助回路的温升试验

按照 GB 11022 第 7.3.2 条的规定进行。

7.3.2 断路器温升试验的补充规定

对于没有装串联辅助装置的断路器,应该以断路器的额定电流进行试验。

对于装有各种规格(不同额定电流)串联辅助装置的断路器应进行下列试验:

- a. 配装额定电流等于断路器额定电流的辅助装置,以断路器额定电流进行试验;
- b. 配装各种规格辅助装置的断路器,以每种辅助装置的额定电流进行一系列试验。

注:如果辅助装置可以从断路器上移出,而且有证据证明断路器与辅助装置的温升相互间没有明显的影响,则上述 b 项试验可以用辅助装置单独进行一系列试验来代替。

7.4 主回路电阻测量

在机械寿命试验前进行发热试验后,待试品冷却至周围空气温度时,所测得的主回路电阻与发热试验前所测值相比,相差不得大于 20%。其余按 GB 763 进行。

7.5 短时耐受电流试验

试验按 GB 2706 的规定进行。

7.6 机械试验

机械试验方法应符合 GB 3309 的规定。

7.6.1 机械试验的各项规定

7.6.1.1 机械试验前后应记录的特性参数

除按照 GB 3309 第 3 章的规定外,还应记录同极各单元之间的同期性、主回路电阻及产品技术条件规定的其他需要测量的机械特性及参数。

7.6.1.2 断路器在机械试验中及试验后的要求

应符合 GB 3309 第 7 章的规定。

7.6.2 机械操作试验

除按照 GB 3309 第 4 章的规定进行试验外,还补充下列规定。

7.6.2.1 断路器及其操动机构应在规定的操作电压、操作压力下能连续正确、可靠分、合各 50 次,其操作程序如下:

- a. 在最低操作电压(对于液、气操动机构配最高操作压力)下分、合各 5 次;
- b. 在最高操作电压(对于液、气操动机构配最低操作压力)下分、合 5 次;
- c. 在额定操作电压(对于液、气操动机构配额定操作压力)下,具有自动重合闸操作功能的断路器进行 5 次“分— θ —合分”操作;不具有自动重合闸操作功能的断路器进行 5 次“合分”操作;
- d. 其余的“合分”操作次数,均应在额定操作电压及压力下进行。

7.6.3 机械寿命试验

除按照 GB 3309 第 5 章的规定进行试验外,还补充下列规定。

7.6.3.1 机械寿命试验前对断路器的要求

被试断路器应装在其自身的支架上,其操动机构应按照规定的方式进行操作。

共用一个操动机构或所有极均装在一个公用构架上的三极断路器应该以三极为一整体进行试验。

对于每极或甚至每柱各自用单独的操动机构操作的三极断路器,宜以三极为一整体进行试验。为了试验方便或由于受到试验场地的限制,允许以单极进行试验,但是下列条件须同整体试验等价或不比整体试验偏轻:

- a. 合闸速度;
- b. 分闸速度;
- c. 分、合闸功率和机构强度;
- d. 结构刚度。

7.6.3.2 机械寿命试验次数

在常温下连续进行 2 000 次操作,试验中不允许进行任何机械调整及修理,但允许按照制造厂的规定进行润滑,试验后按照 7.6.1 及 7.6.2 条进行检查,均应符合 GB 3309 及产品技术条件的规定。

对用于频繁操作场所或有特殊要求的真空断路器、六氟化硫断路器及其他断路器,其试验次数及试验程序由有关专业标准或用户同制造厂协商确定。

7.6.3.3 机械寿命试验操作顺序

断路器及其操动机构按照表 10 的规定进行试验。

表 10

操 作 顺 序	操作电压及操作压力	操 作 次 数	
		自动重合闸断路器	非自动重合闸断路器
合— t_s —分— t_s	最高值	500	500
	额定值	500	500
	最低值	500	500
分— θ —合分— t_s —合— t_s	额定值	250	—
合分— t_s	额定值	—	500

注:① 表中 t_s 为两次操作之间的间隔时间,由产品技术条件规定。

② 表中 θ 为 0.3 s 或 0.5 s,除非另有规定。

③ 合分操作时,合闸操作完成后立即分闸,而不应有故意的时延。

④ 弹簧机构的储能电机可按额定电压进行储能。

7.7 高、低温试验

本项试验是用户同制造厂协商的项目。7.6.1 条的各项规定适用于高、低温试验。

7.7.1 高、低温试验的各项规定

高、低温试验可不连续进行,两项试验的顺序亦可颠倒。对用于不低于 -10°C 的户内断路器不要求进行低温试验。

共用一个操动机构的共箱式或分箱式断路器应该作三相试验;每极具有独立操动机构的分箱式断路器允许作单相试验。

由于受试验设备的限制,分箱式断路器可以采用下列一个或一个以上的代替方法进行试验,但是其试验布置应该不使得机械操作比正常条件有利:

- a. 减短极对地的绝缘高度;
- b. 缩小极间距离;
- c. 减少试验单元数。

如果要求有热源,则热源应处于运行状态。

提供断路器操作用的液、气体应处于常温(试验时的周围空气温度),除非断路器设计要求给液、气体提供热源。

试验过程中不允许检修、更换部件及润滑。

试验后应按照 7.6.1 条的规定进行检查。

当高、低温试验条件不具备时,经制造厂同用户协商,在现场进行考核。

7.7.2 周围空气温度的测量

试验时周围空气温度应该在断路器高度的一半及距离断路器 1 m 处进行测量。

断路器顶上的温度偏差不应超过 5 K。

7.7.3 低温试验

试验按图 13 所示的程序进行。

- a. 按照制造厂的说明书,对被试断路器进行调整。
- b. 在周围空气温度 $20\pm 5^{\circ}\text{C}$ (T_A) 下按照本标准 7.6.1.1 条记录断路器的调整尺寸及其特性,使断路器处于合闸位置进行密封试验(如果适用的话)。
- c. 断路器处于合闸位置,根据断路器的分类,将空气温度降低到相应的最低周围空气温度(T_L), T_L 的值是 -30°C 或 -40°C ,断路器在空气温度稳定在 T_L 后,保持合闸位置 24 h。
- d. 断路器处于合闸位置在温度为 T_L 保持 24 h 期间,应进行密封试验(如果适用的话)。如果周围空气温度恢复到 T_A 且热稳定时的泄漏率恢复到原始值,则允许低温时的短时泄漏率高于规定值,但不得超过其 3 倍。
- e. 保持低温 T_L 24 h 后,断路器在额定操作电压及额定操作压力下分、合闸,记录下分闸时间和合闸时间,以建立断路器的低温操作特性。如有可能,还要记录触头的运动速度。
- f. 切断供热设备 2 h 以检验断路器的低温性能及其警报和闭锁系统,记录下切断热源瞬间与警报、闭锁或无令分闸出现瞬间之间的时间间隔(如果适用的话)。2 h 终止时刻,应在额定操作电压及操作压力下给出分闸命令,如果断路器不分闸,应重新联结上供热设备并记下直到断路器按分闸命令分闸的时间间隔。
- g. 断路器在低温 T_L 下保持分闸位置 24 h。
- h. 断路器处于分闸位置,在温度 T_L 保持 24 h 期间,应进行密封试验(如果适用的话)。如果周围空气温度恢复到 T_A 且热稳定时的泄漏率恢复到原始值,则允许低温时的短时泄漏率高于规定值,但不得超过其 3 倍。
- i. 24 h 终止时,在低温 T_L 下,断路器应以其额定操作电压及额定操作压力进行 50 次合闸和 50 次分闸操作。对于每个循环或顺序允许至少有 3 min 时间间隔,应该记录第一次分、合闸操作以建立低温操作特性。如有可能,还应记录触头速度。接着第一次分、合闸操作后,应进行 3 次无故意延时的“合分”操作循环。其余操作按“合— t_s —分— t_s ”操作顺序进行(t_s 的定义见 7.6.3.3 条)。

j. 完成 50 次分闸和 50 次合闸操作后,空气温度应以每小时 10 K 的变化率增加到周围空气温度 T_A 。在温度变化的过渡期间,断路器应以额定操作电压和额定操作压力交替地进行“合— t_s —分— t_s —合”及“分— t_s —合— t_s —分”操作顺序。交替操作顺序之间的时间间隔为 30 min,以便断路器在操作顺序之间的 30 min 间隔期间处于分闸位置和合闸位置。

k. 断路器稳定在周围空气温度 T_A 后,按照 a 项和 b 项重新检查断路器的调整尺寸、操作特性及密封,以便同起始特性比较。

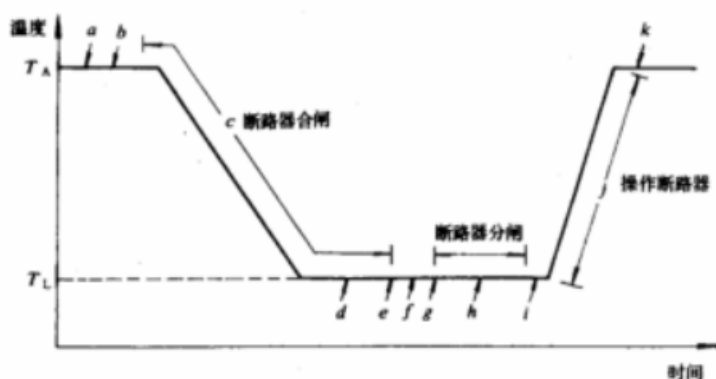


图 13 低温试验

7.7.4 高温试验

试验按图 14 所示的程序进行。

l. 按照制造厂的说明书,对被试断路器进行调整。

m. 在周围空气温度 $20 \pm 5^\circ\text{C}$ (T_A) 下按照 7.6.1.1 条记录断路器的调整尺寸及其特性,使断路器处于合闸位置进行密封试验(如果适用的话)。

n. 断路器处于合闸位置,将空气温度升高到 40°C ,断路器在空气温度稳定在 40°C 后,保持合闸位置 24 h。

o. 在温度 40°C 下,断路器处于合闸位置保持 24 h 期间,应进行密封试验(如果适用的话)。如果周围空气温度恢复到 T_A 且热稳定时的泄漏率恢复到原始值,则允许高温时的短时泄漏率高于规定值,但不得超过其 3 倍。

p. 在温度 40°C 下保持 24 h 后,断路器应在额定操作电压和额定操作压力下进行分、合闸操作,应记录下分闸时间和合闸时间以建立断路器的高温操作特性。如果可能,还应记录触头速度。

q. 在温度 40°C 下,断路器分闸并保持 24 h。

r. 在温度 40°C 下,断路器处于分闸位置保持 24 h 期间,应进行密封试验(如果适用的话)。如果周围空气温度恢复到 T_A 且热稳定时的泄漏率恢复到原始值,则允许高温时的短时泄漏率高于规定值,但不得超过其 3 倍。

s. 24 h 终止时,在温度 40°C 下,断路器应以额定操作电压及额定操作压力进行 50 次合闸和 50 次分闸操作。对于每个循环或顺序,允许至少有 3 min 时间间隔。应记录第一次合、分闸操作以建立高温操作特性。如有可能,还应记录触头速度。接着第一次合、分闸操作后,应进行 3 次无故意时延的“合分”操作循环。其余操作按“合— t_s —分— t_s ”操作顺序进行(t_s 的定义见 7.6.3.3 条)。

t. 完成 50 次分闸和 50 次合闸操作后,空气温度应以每小时 10 K 的变化率降低到周围空气温度 T_A ,在温度降低的过渡期间,断路器应以额定操作电压和额定操作压力交替地进行“合— t_s —分— t_s —合”及“分— t_s —合— t_s —分”操作顺序。交替操作顺序之间的时间间隔为 30 min,以便断路器在操作顺序之间的 30 min 期间处于分闸和合闸位置。

u. 断路器稳定在周围空气温度 T_A 后,按照 l 项和 m 项重新检查断路器的调整尺寸、操作特性及密封,以便同起始特性比较。

注:如果高温试验紧接着低温试验后进行,则 l 项和 m 项可以不作;或低温试验紧接着高温试验后进行,则 a 项和 b

项可以不作。

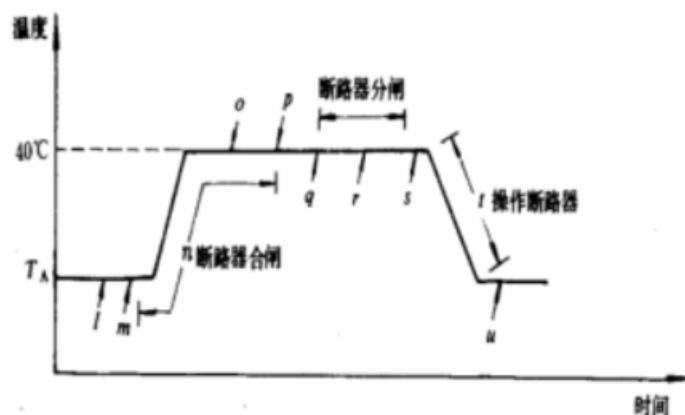


图 14 高温试验

7.8 湿度试验

湿度试验是用户同制造厂协商的项目,仅限于受湿度影响的断路器部件。本标准 7.8.1 条中叙述的试验程序仅适用于具有热时间常数约 10 min 的部件。

注:具有较大热时间常数的部件的试验正在考虑中。

7.8.1 试验程序

断路器部件应装在具有空气循环的试验室中,此试验室的温度及湿度条件应满足下列要求:

室内温度要按照图 15 由 $25 \pm 3^\circ\text{C}$ 到 $40 \pm 2^\circ\text{C}$ 进行周期性变化。

当温度上升及保持在 40°C 期间,室内相对湿度要稳定在 95% 以上。

注:为了获得这些条件,可以向室内直接注入蒸汽或将热水以雾状喷入室内。温度由 25°C 上升到 40°C ,也可以从蒸汽或雾状热水中得到所需的热量,必要时可以采用附加的加热器。

在温度下降时,不规定相对湿度值,然而,当温度维持在 25°C 期间,湿度应在 80% 以上。

为了在室内得到均匀分布的湿度,空气应循环。建立湿度所用水的电阻率应不小于 $100 \Omega\text{m}$ (在室内收集后测量),而且不应含盐(氯化钠)及腐蚀性元素。

试验循环次数应为 350 次。

试验后,断路器部件的主要特性应不受影响,辅助和控制回路应承受 1 min 工频电压 1 500 V,腐蚀的程度(如果有的话)应在试验报告中指明。

注:如果试验室内的设备允许时间 t_1 和 t_3 缩短,那么时间 t_2 及 t_4 应增长,以便 $t_1 + t_2 + t_3 + t_4$ 保持不变。

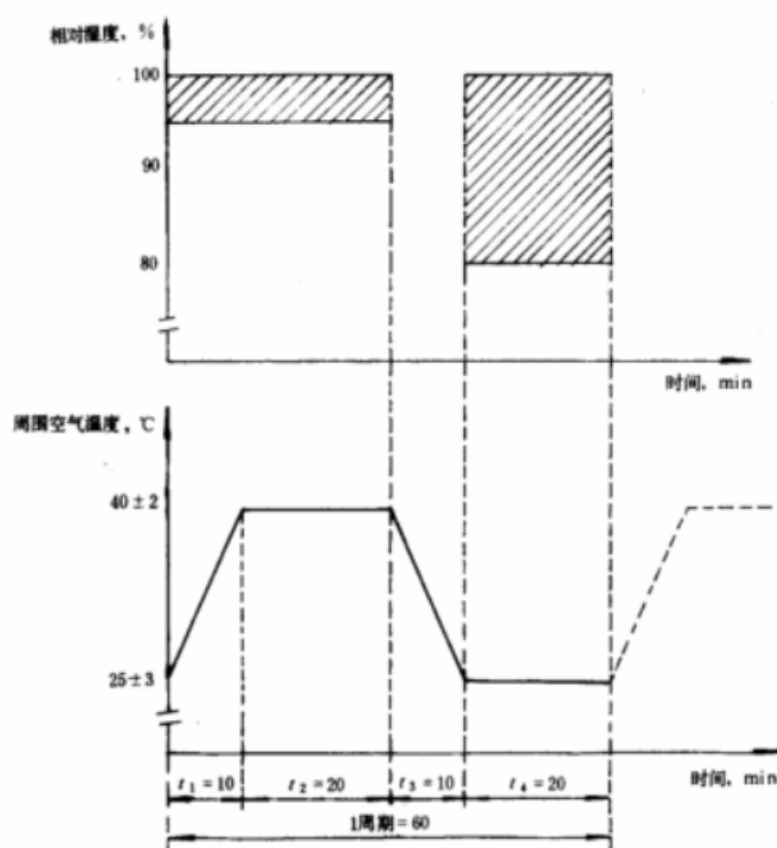


图 15 湿度试验

7.9 严重冰冻条件下操作的验证试验

本试验是用户同制造厂协商的项目,仅用于具有外部可动部件的断路器,结冰厚度规定为 10 mm 或 20 mm,试验方法及程序见 GB 1985。

7.10 端子静拉力试验

本试验仅适用于额定电压 63 kV 及以上的户外断路器,试验目的是验证断路器在冰载、风压及引线拉力同时作用下能否正确操作。

7.10.1 端子静拉力试验的各项规定

7.10.1.1 试品

试验应至少在一个完整极上进行,如果同极各柱间无相互作用,可以在一个柱上进行试验,如果被试极(柱)的两端端子相对于垂直中心线是对称的,则只需在一个端子上进行试验;如果不对称,一般应对每个端子进行试验;如果能够确定受力最严重的端子,则允许只在一个受力最大的端子上进行试验。

7.10.1.2 试验负荷

断路器本体所承受的风压及冰载折算到端子处的等效作用力,其值由制造厂根据标准规定的风压及覆冰厚度计算确定。

冰载、风压及引线拉力同时作用的合成端子负荷,分别以 F_{shA} 、 F_{shB} 和 F_{sv} 定义为额定静端子负荷(参见图 16)。

$$F_{shA} = F_{thA} + F_{wh}$$

$$F_{shB} = F_{thB} + F_{wh}$$

$$F_{sv} = F_{tv}$$

式中: F_{thA} 、 F_{thB} ——引线 A 向及 B 向的水平拉力(参见图 17),其值由表 11 规定;

F_{tv} ——引线 C 向的垂直拉力(参见图 17),其值由表 11 规定;

• F_{wh} ——断路器本身所承受风压及冰载折算到端子处的等效水平作用力。

表 11 引线静拉力(包括作用在断路器本体上的风压及冰载)

额定电压 kV	额定电流 A	水 平 拉 力,N		垂直力,N (向上及向下) F_{iv}
		纵 向 F_{thA}	横 向 F_{thB}	
63	$\leq 1\,250$	500	400	500
	$\geq 1\,600$	750	500	750
110	$\leq 2\,000$	1\,000	750	750
	$\geq 2\,500$	1\,250	750	1\,000
220 330	1\,250 ~3\,150	1\,250	1\,000	1\,250
500	2\,000 ~3\,150	2\,000	1\,500	1\,000

7.10.2 端子静拉力试验程序

试验应分别进行,首先以水平力 F_{shA} 加在端子的纵向轴上(图 17 中的 A 向),第 2 步以水平力 F_{shB} 依次地加在与端子的纵向轴相垂直的两个方向上(图 17 中的 B_1 及 B_2 方向),第 3 步以垂直力 F_{sv} 依次加在两个方向上(图 17 中的 C_1 及 C_2 方向)。

在上述规定的 5 种端子负荷试验的每一项试验中,都应进行两次合、分操作,操作应正常,试品应无不良现象。

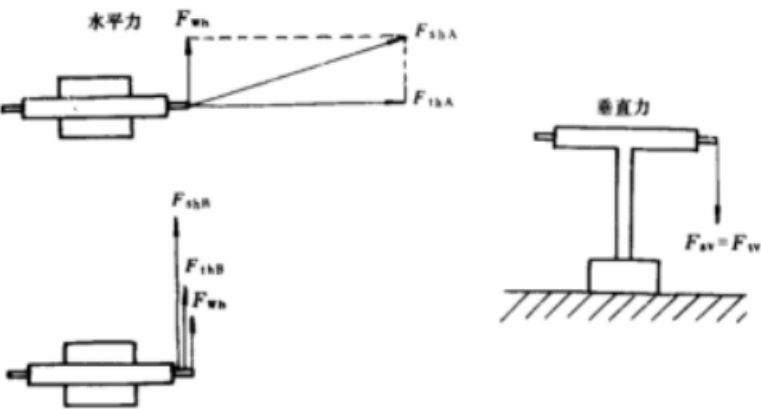


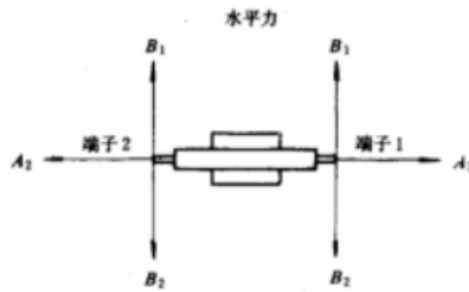
图 16 静端子负荷

表 12 图 16 中静端子负荷说明

	水 平	垂 直	附 注
由于风及冰载作用在连接导线以及导线本身的重量所导致的力	F_{thA}, F_{thB}	F_{iv}	按照表 11 的规定
由于风及冰载作用在断路器本体上所导致的力 ¹⁾	F_{sh}	0	由制造厂计算
合 力	F_{shA}, F_{shB}	F_{sv}	

注：① 如果制造厂经过计算可以证明断路器能够承受上述静端子拉力负荷,则不需进行此项试验。

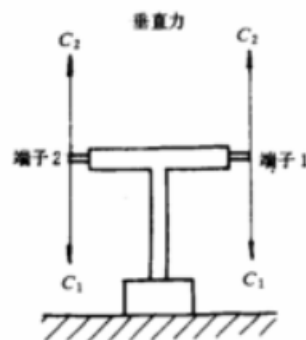
1) 风作用在断路器上的水平力可以由受压中心移至端子上,力的幅值根据杠杆臂的长度按比例降低(断路器最低部分的弯矩应该是相同的)。



力的方向：端子1为 A_1, B_1, B_2

端子2为 A_2, B_1, B_2

水平试验力： F_{shA} 和 F_{shB} (参见图 16)



力的方向：端子1为 C_1, C_2

端子2为 C_1, C_2

垂直试验力(两个方向)： F_m (参见图 16)

图 17 静端子负荷试验方向

7.11 关合、开断试验中的各项规定

下列条款适用于所有的关合、开断试验，除非另有规定。

7.11.1 总则

三极断路器应能关合、开断所有的短路电流，包括对称的及非对称的，直至额定短路开断电流。如果断路器在最高电压下关合、开断所规定的 10%、30%、60% 和 100% 额定三相对称及非对称短路开断电流，则证明断路器已具备开断所有短路电流的能力（具有临界电流的断路器，应按 7.16 条的规定进行临界电流开断试验）。

此外，用于中性点接地系统或单极操作的断路器，应能在最高相电压 ($U_m/\sqrt{3}$) 下关合、开断 10%、30%、60% 和 100% 额定单相短路开断电流（具有临界电流的断路器，应按 7.16 条的规定进行临界电流开断试验）。

对于三极断路器，所有的短路关合和开断要求（三相的或单相的）以三极断路器进行三极操作试验。

三相关合、开断要求应最好在三相回路中进行验证。

如果在试验室中进行试验，可以进行直接试验或合成试验。直接试验是指外施电压、电流、瞬态及工频恢复电压全部从一个单一的电源获得；合成试验是指上述参数从几个电源获得（电流的全部或其大部分从一个电源、瞬态恢复电压全部或部分地从一个电源或多个分隔的电源获得）。

如果受试验设备的限制，不能按上述原则对断路器的短路关合、开断性能进行验证时，可根据断路器的型式采用以下几种方法进行直接的或合成的试验：

- a. 单相试验；
- b. 单元试验；
- c. 多部试验。

7.11.2 被试断路器的准备

被试断路器应与所配用的操动机构完整地装在其自身的支架或等价的支架上。作为封闭单元中的组件的断路器应装配在其自身的支架上及外壳内,外壳应完整,即应具有隔离器件,具有作为封闭单元部件的排气孔及主要的联结母线(如果实际有的话)。油断路器应注入质量符合规定的油,油面高度处于油表的合格位置。气体断路器的气体质量应符合产品技术条件规定。断路器的液体缓冲器中液体应注到规定高度。除非有关试验标准另有规定,试验时的操作电(液、气)压及气体断路器中充气压力皆应为规定的最低值,但自配充压装置者可接通电源。

对于成套配电装置内的断路器,尽可能通过试验提供成套配电装置内的最小安全距离。

断路器应根据其所属型式按下述要求进行试验:

a. 共箱式结构

三极断路器的所有灭弧触头均装在一个箱体内时,则应在三相回路中进行三极整体试验。

b. 各极分装式结构

各极完全独立的三极断路器,只要满足极间同期性的要求,可以进行单相试验。

各相不完全独立的三极断路器最好进行三极整体试验。由于受试验设备的限制,允许以单极进行试验,但以下各方面应尽可能与三极试验时等价或处于较不利的条件:

- a. 关合速度;
- b. 开断速度;
- c. 灭弧介质的供应;
- d. 合闸和分闸机构的动力与强度;
- e. 结构的刚度。

7.11.2.1 带直接过流脱扣器的断路器

带直接过流脱扣器的断路器应按 7.12.4 条的规定进行试验方式 1 至 5 的试验,过流脱扣器线圈应接到试验回路的带电侧。

在试验方式 1、2、3 和 4 中,最大额定动作电流的线圈应整定在最大电流和最大时延下动作。在试验方式 5 中整定在最小电流和最小时延下动作。

注:当时延太大不便于记录时,允许采用较小的时延整定值,或者使时延装置仅在试验方式 1 和 2 不动作。

7.11.3 关于试验方法的一般原则

7.11.3.1 三极断路器的单相试验

三极共用一个操动机构的断路器进行单相试验时,必须提供一个装配完整的三极断路器进行试验,施加三相试验所要求的电流及最苛刻相上所出现的电压,应事先记录断路器在试验站可能提供的最高试验电压和额定短路开断电流下的三相试验时的触头行程——时间特性(速度、触头开距)。

以额定短路开断电流进行单相试验时,与最大燃弧时间对应的分闸行程内任一时刻的触头开距、速度与上述三相模拟试验相比,其变化不得超过 $\pm 10\%$,必要时可以调整操作能源及运动质量来得到正确的行程特性。在较小电流时,触头速度可以不同。

要特别注意电弧分解物的喷射,如果试验时喷射出来的电弧分解物可能损害相邻极间绝缘距离时,应利用接地金属屏蔽进行检查。

7.11.3.2 单元试验

如受试验设备的限制,不能对由相同单元组成的断路器作整体或整极试验时,可以在断路器的一个单元或几个单元上进行试验。7.11.2 及 7.11.3.1 条的要求对单元试验也是适用的。

7.11.3.2.1 单元的同源性

组成断路器的各单元的形状、尺寸及操作条件要同一,仅允许均压装置可以不同。特别要满足下列条件:

a. 触头的操作

在额定操作压力及电压下,同极触头之间的分、合闸同期性应不大于 2.5 ms。

b. 灭弧介质的供应

对于从外界供应灭弧介质给各单元的断路器,其各单元灭弧介质的供应是独立的,互不影响,供应管道的布置应保证所有单元灭弧介质的供应是同时的,方式也是相同的。

c. 灭弧介质的状态

在开断或关合操作中,被试各单元中的灭弧介质的状态(温度、压力、流速等)应不受其他单元操作的影响,特别是不要由于与被试单元相串联的其他无电弧的单元的影响,而使得被试单元灭弧介质的供应增加,或使灭弧的分解物的排除变得容易。

排出的电离气体或蒸汽应不损害同极或其他极的相邻单元,或通过排出气体引起部分或整体闪络而导致断路器工作失效。

7.11.3.2.2 电压分布

电压分布系数应根据各类故障开断、关合相关的试验条件及试验回路来确定。对于端子短路故障按 7.12.3 条中的 c 项及图 21a 和 21b;对于失步故障按 7.18.2 条及图 26、27 和 28;对于近区故障按 GB 4474。如果各单元是非对称布置,电压分布还应按方向相反的接线来确定。

如果断路器装有并联电阻时,电压分布应按瞬态恢复电压(TRV)的等值频率进行计算或静态测定。TRV 用四参数表示时的等值频率是 $1/(3t_1)$,用两参数表示时的等值频率是 $1/(2t_3)$ 。

近区故障单元试验的电压分布应以线路侧电压和电源侧电压为基础进行计算或静态测定,线路侧电压的频率等于线路振荡的基波值,电源侧电压频率等于端子短路故障时 TRV 的等值频率,此两电压的公共点为地电位。

若仅用电容器均压,则电压分布可在工频下进行计算或测定。

应考虑电阻和电容器在制造中的容差,制造厂应规定这些容差值。

注:失步开断试验及中性点接地系统中非接地故障的试验的电压分布比端子故障或近区故障试验较为有利。

7.11.3.2.3 单元试验的要求

被试单元数量的选取应与试验室的试验能力相适应,应尽可能串联较多的单元以规定的关合和开断电流进行试验。

当以一个单元进行试验时,试验电压应是断路器整极中承受电压最高的单元的电压。对于近区故障的单元试验,试验电压是指断路器整极中在规定时间内承受线路侧瞬态电压第一峰值最多的单元的电压。

当以一组单元进行试验时,该组中承受电压最高的单元的电压应等于断路器整极中承受电压最高的单元的电压。

上述最高单元电压均按照 7.11.3.2.2 条确定。

单元试验中,整体断路器开断操作时所产生的全电压并不作用于对地绝缘。因此,对某些类型的断路器,例如金属封闭断路器,验证所有单元在最长燃弧时间下开断额定短路电流后,其对地绝缘是否能承受全电压是必要的。还应考虑排出气体的影响。

注:① 可以采用以全电流通过一极中的全部单元,同时从另一独立电源给外壳施加电压的方法进行验证试验。

② 通以低于额定开断电流值的电流,施加较高的恢复电压检验断路器的性能也是必要的。

7.11.3.3 多步试验

第一步试验,瞬态恢复电压的起始部分应符合规定的电压 u_1 及时间 t_1 的参考线,但不得越过时延限定的直线(见图 18)。

第二步试验,应获得电压 u_c ,时间为 t_2 的瞬态恢复电压波形。

如果上述两步试验所获得的组合波形低于规定参考线的面积不能足够被补偿,则需要作第三步试验,其瞬态恢复电压波形的峰值应介于 u_1 和 u_c 之间,达到峰值的时间应介于 t_1 和 t_2 之间。

如果组成多部试验的各个分开的试验在触头分开相位相同的条件下燃弧时间有明显的差别,则延

长较短的燃弧时间至全部试验中所得到的最长燃弧时间来验证试验的有效性是必要的。

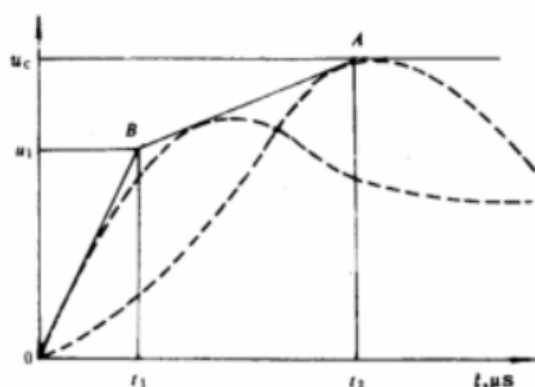


图 18 在两部试验中两个预期试验瞬态恢复电压波形及其组合后的包络线的例子

7.11.4 合成试验

当直接试验设备的容量不足,或其恢复电压特性不满足试验要求时,允许使用合成回路,试验要求和试验方法按照 GB 4473 规定。

7.11.5 试验前的空载操作

进行关合、开断试验前,应按照本标准 7.6.1.1 条的规定进行空载操作,并详细记录断路器相应的机械特性。

7.11.6 断路器在试验中的要求

在关合、开断试验中,断路器的油或气应从断路器的专设排逸孔逸出,不应引起外闪。油断路器不允许喷火。对其他型式的断路器,如有明显的火焰或金属颗粒喷出,可在带电部件附近设置金属屏障,屏障与带电部件之间应有由制造厂规定的安全距离。

试验中,断路器接地的构架或金属屏障应无明显泄漏电流通过,如有怀疑,接地部分应通过直径为 0.1 mm、长为 5 cm 的铜丝接地,若铜丝在试验后完整无损,则认为无明显泄漏电流。

在某些情况下,保持断路器框架和地之间永久性的电气联结是必要的,允许断路器的框架通过一个变比为 1:1 的相适应的变压器的一次线圈接地,变压器二次线圈上跨接有熔丝并用火花间隙保护。

断路器进行线路充电电流、电缆充电电流、电容器组开断试验中的现象见 GB 4876、GB 7675 等相关标准;进行小电感电流开断试验中所产生的过电压不应超过相应标准规定的允许操作过电压,不应出现外闪。

7.11.7 断路器试验后的要求

7.11.7.1 总则

试验方式完成后,可对断路器进行检查。断路器的机械传动部件、非易损件和绝缘瓷瓶不得损坏,实际上应与试验前的状况相同。

7.11.7.2 断路器完成每个短路试验方式后的要求

断路器完成每个短路试验方式后,在未经检修的情况下,应能承受最高电压,在最高电压下应能关合和开断其额定电流(若有怀疑时才进行)。断路器的主触头不能有严重的烧伤,应能承载断路器的额定电流,若有怀疑,可补作温升试验或耐压试验。温升允许比标准值超出 10 K,耐压值应符合有关标准的规定。

油断路器在经过一个短路试验方式后,油面应可见。

镀银触头在经过任何一个短路试验方式后,在接触面上仍应保留有银层,否则,触头应按“未镀银”处理。

7.11.7.3 断路器完成全部短路试验方式后的要求

断路器完成全部短路试验方式后,应按照第 7.11.5 条的要求进行空载分、合闸操作,机械特性与试验前相比不应有显著变化。

油断路器箱壳中非主绝缘的衬里的局部烧伤、极间的非金属屏障和箱体衬里的轻微变形是允许的,只要不使其功能失效及不妨碍断路器的正常分、合闸。

断路器的主绝缘不应受到损坏。

7.11.7.4 断路器完成其他试验系列(非短路试验系列)后的要求

断路器在完成所规定的线路充电、电缆充电、电容器组和小电感电流的开断试验系列后,不经检修,仍应满意地关合、开断直至额定短路关合、开断电流的任何电流,仍应保持其通过额定电流的载流能力,而温升不超过标准值,有怀疑时可作验证。

不允许断路器的绝缘材料有内部击穿、闪络或放电的痕迹。但暴露于电弧中灭弧装置的零部件的适度烧损是允许的。

7.11.7.5 断路器经过一个短路试验方式或其他试验系列后的修整。

断路器经过一个短路试验方式或其他试验系列后,允许进行以下修整,以使其恢复到制造厂规定的原来状况:

- a. 修理或更换灭弧触头、触指,更换制造厂规定的可更换的其他易损件;
- b. 补充、过滤或更换灭弧介质;
- c. 清除灭弧室或其他绝缘体上的电弧分解物和金属质点。

7.11.8 短燃弧时间断路器

首先开断极的燃弧时间(对于带并联电阻的断路器为主电弧熄灭时间)不大于一周波的断路器,按下列规定的程序进行试验。

本标准 7.11.8.1 和 7.11.8.2 中的 b 项试验包含三个与额定操作顺序无关的有效操作。做了额定操作顺序规定的操作次数后,断路器可以按照本标准 7.11.7.5 的规定进行修整。

7.11.8.1 三相试验

- a. 试验方式 1,2,3,4,4b(见本标准 7.15.1 至 7.15.4 条)

对于这些试验方式,在规定的操作顺序中,分闸指令的施加应依次比前次提前相位角 40° 。

- b. 试验方式 5(见本标准 7.15.5 条)

三次试验的程序如下:

第一次操作应满足以下要求才能有效:

在触头分离瞬间符合规定的直流分量已在一极中获得。

如果获得规定直流分量的极是首开极,则电弧应是在一个完整的大半波(或尽可能完整的大半波)熄灭;或者,如果获得规定直流分量的极是一后开断极,则电弧应是在延长的大半波(或尽可能完整的延长的大半波)熄灭。

第二次操作,短路起始相位角应提前 60° 。如果第一次有效开断试验是首开极在大半波灭弧,则分闸指令应比第一次的分闸指令提前相位角约 130° ;或者,如果第一次有效开断试验是一后开极在延长的大半波灭弧,则分闸指令应提前相位角约 25° 。

第三次操作,短路起始相角应比第二次试验提前相位角 60° 。如果第二次有效开断试验是首开极在大半波灭弧,则分闸指令比第二次的分闸指令提前相位角约 130° ;或者,如果第二次有效开断试验是一后开极在延长的大半波灭弧,则分闸指令应提前相位角约 25° 。

由于某些断路器具有规定直流分量的极不在燃弧的大半波开断,电弧延至相继的小半波后开断,则试验仍然有效。如果断路器的具有规定直流分量的极是在小半波或缩短的大半波开断,而相继的前一个大半波(或尽可能完整的大半波)没有燃弧,则试验无效。

三次有效开断试验中,至少有一次首开极的直流分量应符合规定。

7.11.8.2 单相试验

a. 试验方式 1, 2, 3, 4, 4b 及近区故障试验(见本标准 7.15.1 至 7.15.4 条及 GB 4474)

为了使第一次开断操作有效,触头分离应尽量提前于电流零点,但不能使电弧在此电流零点熄灭,为了达到此要求,可能要作多次试验。

对于第二次开断操作,应将分闸指令比第一次有效开断操作的分闸指令提前相位角约 60° 。

如果第二次开断操作是在第一个电流零点灭弧,则第三次开断操作的分闸指令的控制同第一次有效开断操作。如果第二次开断操作不是在第一个电流零点灭弧,则第三次开断操作的分闸指令应比第二次开断操作的分闸指令提前相位角约 60° 。

b. 试验方式 5(见 7.15.5 条)

第一次有效操作应在大半波后灭弧,且触头应在前一个小半波之内或之前分离。

第二次开断操作的分闸指令应比第一次的分闸指令提前相位角约 60° ,如果电弧是在小半波后熄灭,则第二次操作有效。否则,第一次操作无效。

第三次操作的分闸指令应比第一次有效操作的分闸指令滞后相位角约 60° 。

c. 失步试验方式(见 7.18.4 条)

对于试验方式 1,第二次开断操作的分闸指令应比第一次操作的分闸指令滞后相位角 60° ,如果第二次是在与第一次同一电流零点灭弧,则应作第三次试验,其分闸指令应再滞后相位角 60° 。

对于试验方式 2,两次开断操作的分闸指令应相差相位角 60° 。

7.12 短路关合和开断试验回路

7.12.1 功率因数

三相回路的功率因数应取为各相功率因数的平均值。试验时,这个平均值应不超过 0.15;任一相的功率因数与功率因数平均值之差不应超过平均值的 25%。

各相功率因数的确定见附录 B 的规定。

7.12.2 频率

断路器应以额定频率进行试验,频率偏差为 $\pm 10\%$ 。

7.12.3 试验回路接地

短路关合和开断试验回路的接地应符合下述要求,并应在试验报告中指明试验回路。

a. 当三极断路器进行三相试验,首先开断极系数为 1.5

试验回路电源侧的中性点应绝缘(不接地),或者通过一个高阻值电阻接地(阻值绝不能小于 $U_m/10$,以 Ω 为单位, U_m 为最高电压,以 V 为单位),短路点应接地。如果受试验设备的限制,也可在电源侧中性点接地而短路点不接地的回路中进行试验,见图 19a 和图 19b。

用后一种回路试验时,如果在断路器的一个端子上发生接地故障,可能产生一个危及试验设备的接地电流,因此允许电源中性点通过一个适当的阻抗接地。

无论采用何种试验回路,断路器的构架、箱体等都应接地。

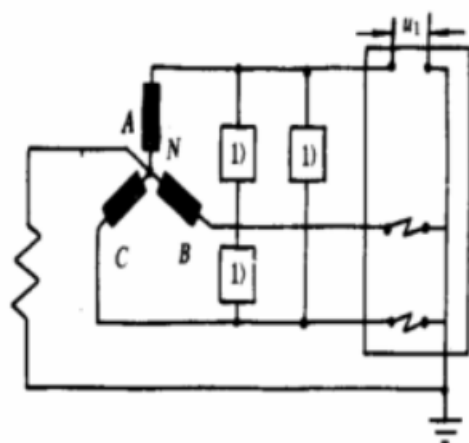
b. 三极断路器进行三相试验,首先开断极系数为 1.3

试验回路电源侧的中性点通过一个适当的阻抗接地,而短路点直接接地。如果受试验设备的限制,也可以采用电源侧的中性点接地,而短路点通过一适当的阻抗接地的试验回路进行试验,见图 20a、20b。阻抗值应选择适当,以使首开极系数等于 1.3。

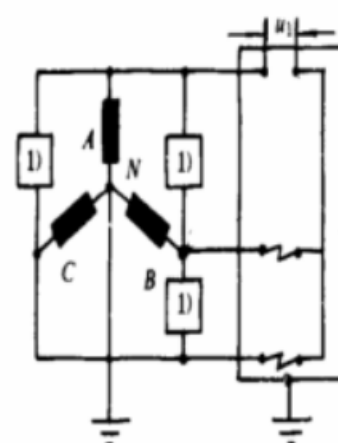
c. 三极断路器进行单相试验,允许断路器线路侧或电源的一个中间点接地,用直接调节电压的方式满足首开极系数为 1.3 或 1.5 的要求,见图 21a、21b。

d. 单极断路器进行单相试验

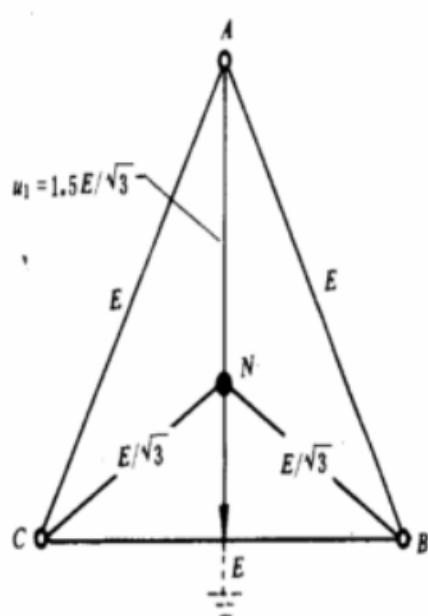
试验回路同断路器的连接应该使得断路器在电弧熄灭后的带电部分和地之间的电压条件如同运行电压条件,所采用的连接方式应在试验报告中指明。



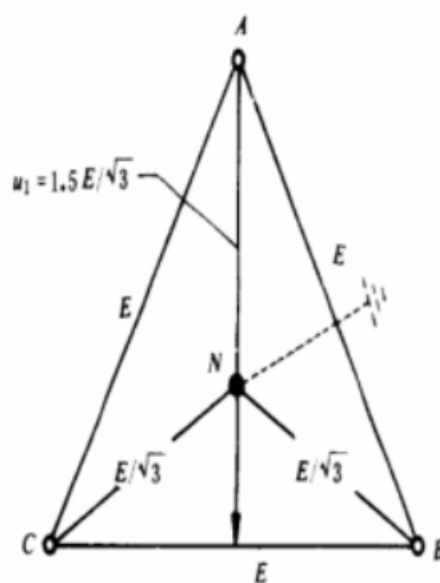
优先采用的回路



可选用的回路



a



b

图 19 三相短路试验的试验回路接地, 首开极系数 1.5

1) — 电容和电阻的组合

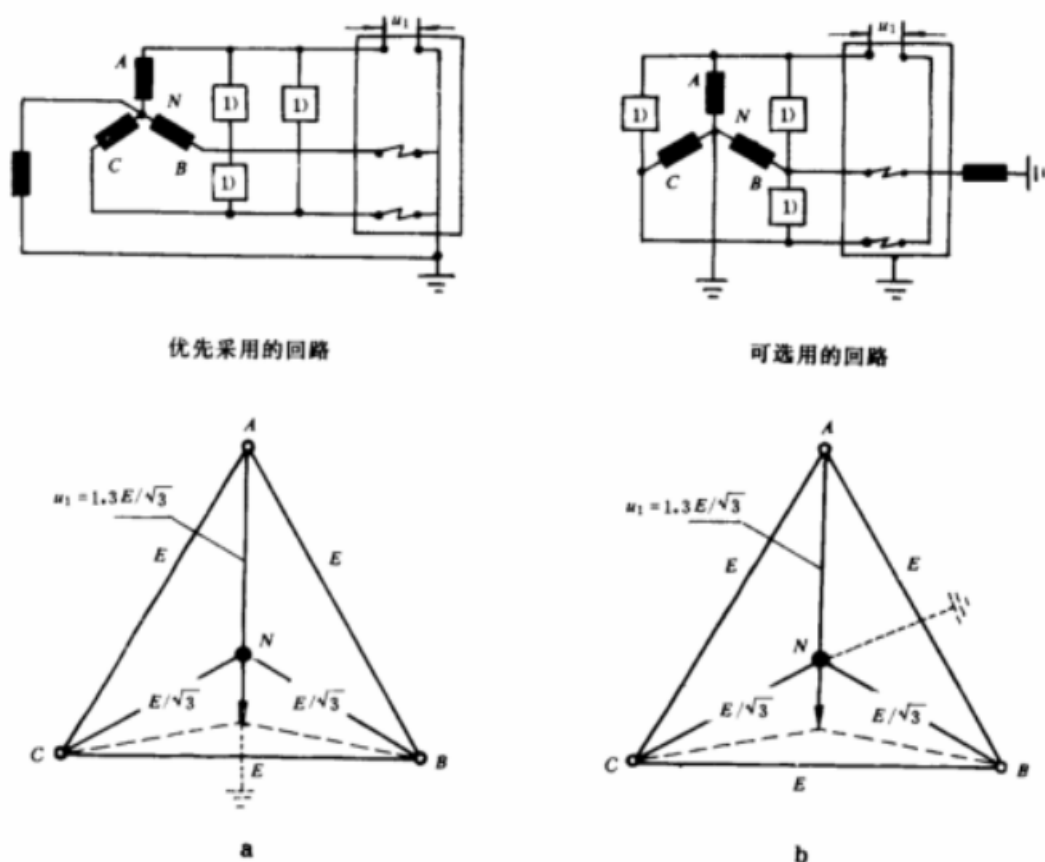


图 20 三相短路试验的试验回路接地, 首开极系数 1.3

1) 电容和电阻的组合

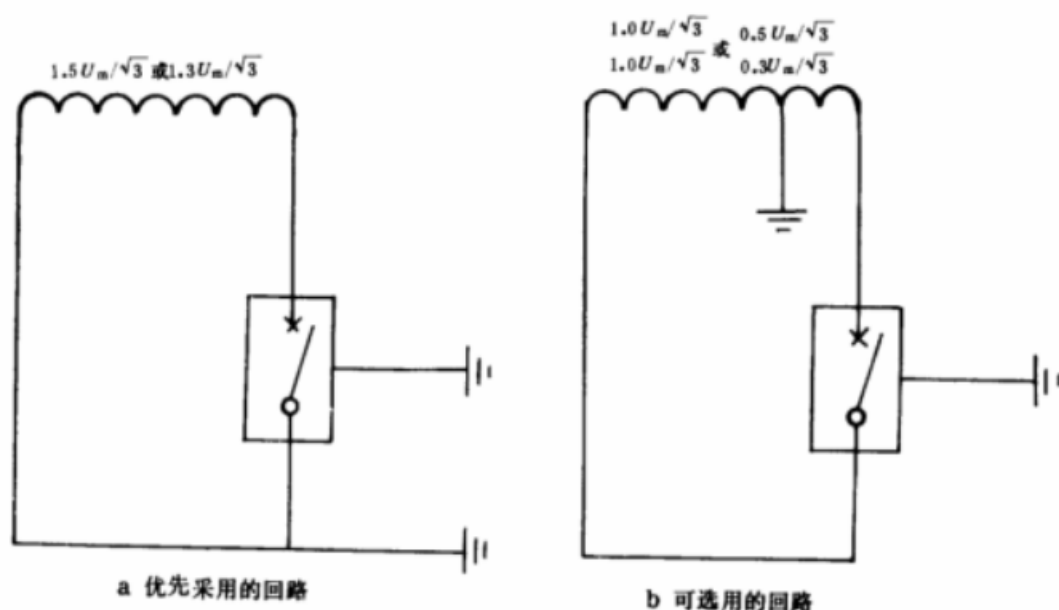


图 21 单相短路试验的试验回路接地, 首开极系数 1.3 或 1.5

7.12.4 试验回路和断路器的连接

当断路器两侧的布置不对称时, 试验时试验回路的带电侧应连接到使对地电压能获得更严酷条件的一侧, 除非断路器系仅用于单边供电的特殊设计。

如有怀疑, 试验方式 1 和 2, 试验方式 4 和 5 应按两个相反方向连接的接线方式进行试验。如果试

验方式 5 被省略,则试验方式 4 应按此两种接线方式进行。

7.13 短路试验参量

若短路试验中有关参数的偏差未作规定,则型式试验时所取值皆应不低于规定值,其上限值应与制造厂协商。

7.13.1 短路关合试验前的外加电压

短路关合试验前的外加电压应符合以下规定:

a. 三极断路器三相试验时,以线电压或相电压有效值表示,三相外加电压为各相间外加电压的平均值,且应不低于断路器最高电压或最高相电压,而各相的外加电压与平均值之差不得大于 5%,未经制造厂同意不得超出规定值的 10%;

b. 三极断路器单相试验时,外加电压应不低于最高电压除以 $\sqrt{3}$,未经制造厂同意不得超出规定值的 10%;

注:为了试验方便,并征得制造厂同意,允许外加电压等于相对地电压与断路器首开极系数(1.3 或 1.5)的乘积。

可供单相重合闸操作的三极断路器及在随后的三极合闸操作中,若触头之间不同期性大于 10 ms,外加电压不得低于最高电压乘以首开极系数;

c. 单极断路器单相试验的外加电压应不低于断路器最高电压,未经制造厂同意不得超出规定值的 10%。

7.13.2 短路(峰值)关合电流

短路关合电流以第一周波的最大值表示,三相试验时,则为三相中最大一相值。两次试验中至少要有一次关合电流不低于额定值,另一次不低于 90%额定值,试验才能有效。

若在短路试验方式 4 的两次“合分”中,由于预击穿可能较显著均无法得到额定短路关合电流时,则应考虑以下两种情况:

a. 证明最大可能的短路关合电流已经获得;

b. 预击穿在外加电压峰值处开始时,证明断路器能够合分对称短路电流。

由于上述两种情况的验证难以区分,特别订出“合分—180 s—合分”的专门附加试验程序,断路器必须在完成试验方式 4 或 4a 后并经过检修才进行此附加试验程序。附加试验仅适用于单相试验。三相试验无必要进行。附加试验程序的第一个“合”旨在得到尽可能大的关合电流,而第二个“合分”旨在保证电压峰值下预击穿的断路器也能顺利关合、开断对称短路电流。但若此点已在试验方式 4 或 4a 中满足,则第二个“合分”试验可省略。

上述试验中回路预期短路关合电流皆不得低于额定短路关合电流,而开断电流应尽可能接近额定短路开断电流。对三极共用一个操动机构的断路器,只允许进行三相关合试验以验证其关合能力。

7.13.3 短路开断电流

断路器所开断的短路电流,应在触头分离瞬间进行测量(按图 8)。开断电流由各相开断电流中交流分量有效值的平均值及各相中直流分量最大一相的直流分量百分数表示。三相试验中任一相电流的交流分量有效值与平均值之差不得大于平均值的 10%,且对应于最后开断极主电弧最终熄灭瞬间,预期电流交流分量不得小于该试验方式规定值的 90%。

如果断路器的特性使短路电流值低于预期开断电流,或者如果示波图不能成功地把电流波的包络线画下来,则可以认为所有极预期开断电流平均值就等于开断电流,且从预期电流的示波图上在相应于触头分离瞬间进行测量。

7.13.4 短路开断电流的直流分量

试验方式 1,2,3 和 4 中,短路开断电流中直流分量皆不得大于交流分量的 20%。

装有直接过流脱扣器的断路器,如果按 7.11.2.1 条的规定条件进行试验时,直流分量可能超出交流分量的 20%。

试验方式 5 中,即使在某一分闸操作中的直流分量百分数小于规定值,只要在试验方式的各分闸操

作中,直流分量百分数的平均值超过规定值时,则应认为断路器已满足了试验方式 5 关于直流分量的要求。

7.13.5 瞬态恢复电压

7.13.5.1 对预期瞬态恢复电压的要求

断路器进行出线端短路开断能力试验时,预期瞬态恢复电压应符合表 1、表 2 及图 22~25 的规定。

试验回路预期瞬态恢复电压的测定,应采用既能产生瞬态恢复电压波形又对其无影响的方法进行测定,且应满足以下两点要求:

a. 其包络线决不能低于规定的参考线。

注:包络线超出规定参考线的程度应取得制造厂同意。

b. 其起始部分应在 t_1 时间内达到规定的起始瞬态恢复电压峰值 u_1 ,随后应不与规定的时延线相交。

对上述要求的说明见附录 C。

对于三相回路,瞬态恢复电压应是首开极的瞬态恢复电压,应在试验报告中注明所采用的调频回路型式。

进行试验方式 4 和 5 时,由于受试验站的限制,可能难于满足项 b 关于时延的要求,则可以在进行近区故障试验时,用提高线路侧电压第一波峰幅值进行补偿。为了试验方便,采用无时延的线路侧振荡电压进行近区故障试验,可以同时满足起始瞬态恢复电压的要求。

7.13.5.2 瞬态恢复电压的测量

短路试验时,电弧电压、弧后电导等断路器特性和分、合闸并联电阻都会影响瞬态恢复电压。而且,试验时的瞬态恢复电压将不同于试验回路的预期瞬态恢复电压,其差异的程度与断路器的特性有关。因此,试验记录的瞬态恢复电压,仅用来检验试验回路的预期特性,而不能作为预期瞬态恢复电压的参数。

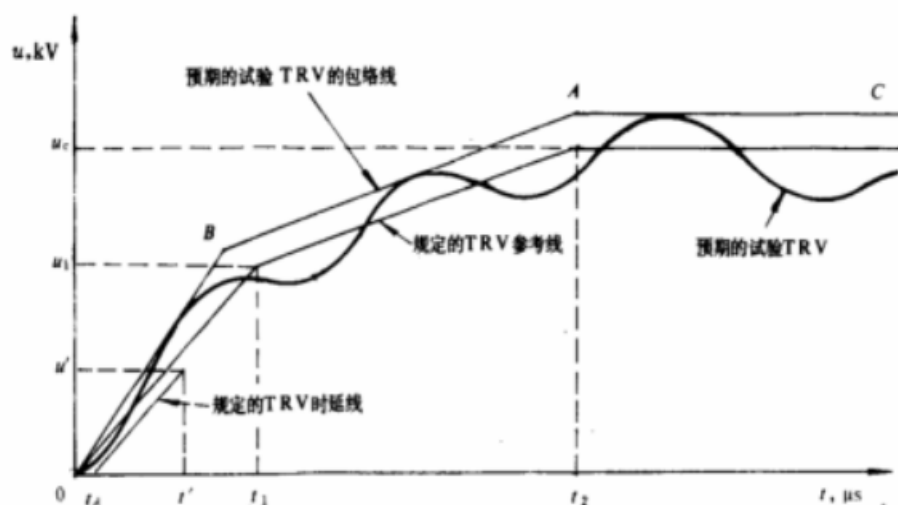


图 22¹⁾ 用四参数参考线规定瞬态恢复电压

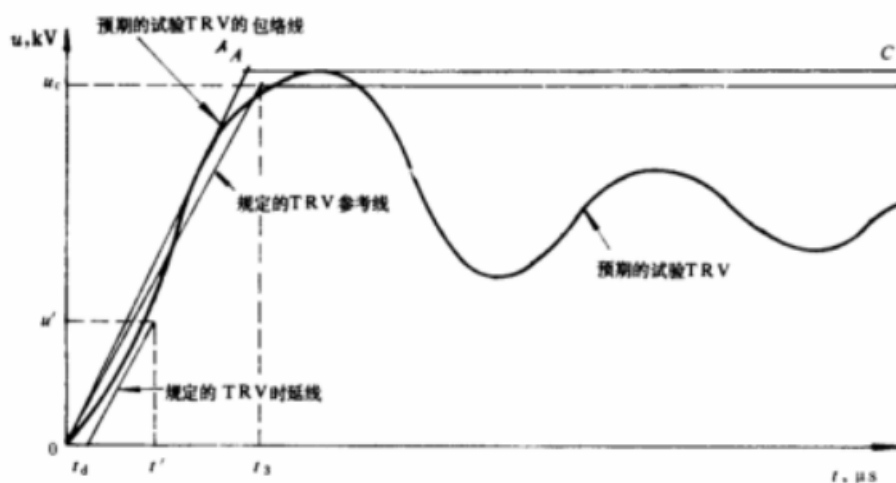
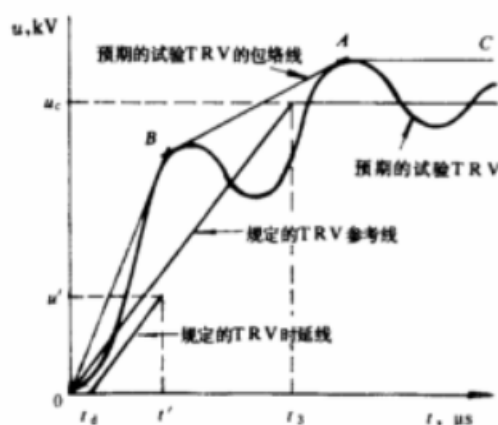
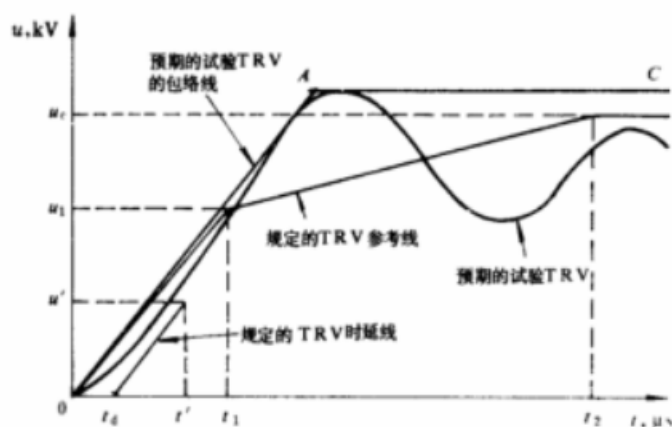


图 23 用两参数参考线规定瞬态恢复电压

图 24¹⁾ 用两参数参考线规定瞬态恢复电压图 25¹⁾ 用四参数参考线规定瞬态恢复电压

注：1) 图 22 和图 24 为预期试验瞬态恢复电压的四参数包络线满足型式试验中条件的例子。

2) 图 23 和图 25 为预期试验瞬态恢复电压的两参数包络线满足型式试验中条件的例子。

7.13.6 工频恢复电压

试验回路的工频恢复电压不得小于 95% 最高电压。持续时间至少应为 0.1 s。对于各种基本短路试验方式，工频恢复电压应符合下列规定：

a. 对三极断路器进行三相试验时，工频恢复电压以各极触头间的工频相电压的有效值表示，也可以用工频线电压表示，其三相平均值不得小于最高相(线)电压的 95%。在灭弧后 0.1 s 内，任一相工频

恢复电压与平均值之差皆不得大于 20%。

b. 对三极断路器进行单相试验时,工频恢复电压应不小于最高相电压与首开极系数(1.3 或 1.5)乘积的 95%。在经过额定频率一周波后,工频恢复电压允许降至最高相电压。

c. 对单相系统用的单极断路器进行单相试验时,工频恢复电压不得小于最高电压的 95%。

工频恢复电压的具体测量和确定见 4.4 条。

7.14 短路试验程序

7.14.1 试验之间的时间间隔

一个试验顺序中的各个操作之间的时间间隔应是断路器额定操作顺序的时间间隔。如果用规定的时间间隔进行试验有困难时,则试验的时间间隔应由制造厂同用户协商。

在某些情况下,不是出于被试断路器本身的原因,需要超过规定的时间间隔,例如,合成试验的较复杂操作程序;有时需要对控制和测量装置进行稍许调整;需要对大型试验站的发电机进行励磁或同步。在这些情况下,如果规定的额定时间间隔为 3 min,则允许延至 10 min。在一个系列的试验中,由于试验设备的故障,时间间隔允许超过 10 min,只要这种延时不影响断路器的试验条件和操作。

另一方面,额定时间间隔为 3 min 时,试验时的时间间隔应不小于 2 min。实测的时间间隔应准确至 0.5 min,且应记入试验报告。

7.14.2 开断试验中对分闸脱扣器施加的辅助动力

开断试验中,辅助动力(或分闸指令)应在短路开始后施加到分闸脱扣器上,当不得不提前施加时,应保证触头在短路起始前不得移动,应该证明没有预脱扣时断路器在规定的短路电流下能满意地分闸,这可用降低电压验证。

7.14.3 关合、开断试验中对分闸脱扣器施加的辅助动力

除试验方式 5 外,在关合、开断试验中,辅助动力(或分闸指令)不应在断路器达到合闸位置之前施加到分闸脱扣器上。在试验方式 4 的“合分”操作中,辅助动力仅当触头合上至少半个周波后才能施加。为了限制直流分量不超过规定值,允许断路器延时分闸。

7.14.4 短路扣锁

除装有关合电流脱扣器或类似装置的断路器外,应证明断路器在关合交流分量衰减很小的短路电流时,能毫无迟滞地满意扣锁,如果对此不能用试验方式 4 或允许的选用试验方式予以证明时,可在降低电压条件下,用一个能产生额定短路关合电流而交流分量衰减可忽略不计的回路上进行验证。应在试验报告中说明断路器可靠扣锁的验证方法。

7.14.5 无效试验

有时可能需要进行较多的超过本标准规定的短路试验次数。如果在一个方式循环中出现无效试验,则可以在断路器未经调整、检修的情况下,重复进行方式循环中的无效部分。若断路器未成功通过重复的附加试验,则可以对断路器进行检修、调整,再重复进行整个的试验方式循环。

注:在快速自动重合闸方式循环中“分—0—合分”可以作为无效试验的一个部分,随后的“合分”也可以作为无效试验的一个部分。

7.15 基本的短路试验方式

基本的短路试验系列应包括试验方式 1~5。开断电流的允许偏差规定如下:试验方式 1 和 2 为 $\pm 20\%$,试验方式 3 为 $\pm 10\%$,试验方式 4 和 5 仅为 $+10\%$,试验方式 1~4 中,开断电流的直流分量不得超过 20%。

进行试验方式 4、4b 和 5 时,其峰值短路电流应不超过 110%断路器额定短路关合电流。

7.15.1 试验方式 1

以 10%额定短路开断电流,瞬态和工频恢复电压符合本标准 7.13.5 和 7.13.6 条及表 1 和表 2 的规定,按照仅限于分闸操作的额定操作顺序进行的试验。

7.15.2 试验方式 2

以 30% 的额定短路开断电流,瞬态和工频恢复电压符合本标准 7.13.5 和 7.13.6 条及表 1 和表 2 的规定,按照仅限于分闸操作的额定操作顺序进行的试验。

7.15.3 试验方式 3

以 60% 的额定短路开断电流,瞬态和工频恢复电压符合本标准 7.13.5 和 7.13.6 条及表 1 和表 2 的规定,按照仅限于分闸操作的额定操作顺序进行的试验。

7.15.4 试验方式 4

以符合本标准 7.13.3 条规定的 100% 的额定短路开断电流,符合本标准 7.13.5 和 7.13.6 条及表 1 和表 2 规定的瞬态和工频恢复电压,符合本标准 7.13.2 条规定的 100% 额定短路关合电流及符合本标准 7.13.1 条规定的外施电压,按照额定操作顺序进行的试验。

当对三极断路器进行单相试验时,或由于受试验设备的限制不能同时满足上述试验方式 4 的各项规定时,允许将试验方式 4 分解成 4a 和 4b 进行。

7.15.4.1 试验方式 4a,关合试验

合— t' —合,关合电流应为 100% 额定短路关合电流,外施加电压应符合 7.13.1 条的规定。

7.15.4.2 试验方式 4b,开断试验

对于自动重合闸断路器:分— θ —分— t' —分

对于非自动重合闸断路器:分— t' —分— t' —分

开断电流应为 100% 额定短路开断电流,瞬态和工频恢复电压应符合本标准 7.13.5 和 7.13.6 条的规定。

但此时在 4a 或 4b 中应有一种按完整的额定操作顺序进行的试验,或在 4a 中,除必须满足关合参数外,其开断参数也尽可能接近规定值;或在 4b 中,除必须满足开断参数外,其关合参数也尽可能接近规定值。若在其他试验中(如试验方式 5),关合能力已得到验证,则可只进行 4b 试验。

7.15.5 试验方式 5

试验方式 5 仅适用于具有时间间隔 τ 不大于 70 ms 的断路器, τ 值按照本标准 5.11.2 条确定。

试验方式 5 应以 100% 的额定短路开断电流、直流分量等于 τ 值所对应的规定值(见本标准 5.11.2 条图 9),瞬态和工频恢复电压应符合本标准 7.13.5 和 7.13.6 条及表 1 和表 2 的规定。按照仅限于分闸操作的额定操作顺序进行试验。对设计上在关合短路电流时可能达不到其合闸位置的断路器,试验方式 5 应按额定操作顺序进行。

对于用在直流分量可能大于图 9 中相应规定值的场合(如发电站中心附近)的断路器,试验应由制造厂同用户协商。

7.16 临界电流试验

7.16.1 适用范围

仅适用于临界电流小于额定短路开断电流 10% 的断路器,当 10% 额定短路开断电流试验的燃弧时间平均值很显著地大于 30% 额定短路开断电流试验时的值,则认为属于此种情况。

7.16.2 试验电流

试验电流为额定短路开断电流的 4%~6% 和 2%~3%。

7.16.3 试验方式

操作顺序、瞬态恢复电压与本标准 7.15.1 条规定的短路试验方式 1 相同,而表 1~2 中规定的时间 t_3 应乘以系数 $\sqrt{10/X}$,其中 X 为试验电流相对于额定短路开断电流的百分数。

注:临界电流试验过程中不允许检修。

7.17 单相短路试验

7.17.1 适用范围

仅适用于中性点接地系统中的三极共箱式断路器或者各极分装而在机械上相互联结且装有一个共用的分闸脱扣器的三极断路器,试验的目的是要证明试验中所产生的不平衡力对断路器的操作无不利

的影响。

7.17.2 试验电流和恢复电压

额定短路开断电流仅加在三极断路器的一极上,直流分量不应超过 20%,瞬态恢复电压要满足本标准 7.13.5.1a 和 b 条的要求,表 1 和表 2 中的电压规定值应除以相应的首开极系数,但时间坐标仍保持不变,工频恢复电压是断路器最高相电压($U_m/\sqrt{3}$)。

7.17.3 试验方式

仅作一个单分,按照以下方式施加电流:

- 对三极共箱式断路器,电流通过外边的一极;
- 对三极分装而在机械上相互联结的断路器,电流所通过的极将对极间耦合机构产生最大的作用力。

7.18 失步关合和开断试验

7.18.1 适用范围

仅适用于要求具有额定失步开断电流的断路器。

7.18.2 试验回路

试验回路的功率因数不超过 0.15。

对于单相试验,试验回路的布置应是使断路器的两端各被施加试验电压及恢复电压的一半(参见图 26)。如果受试验设备的限制,征得制造厂的同意,可用以下两种代用回路:

- 对于单相试验,按相位角 120° 施加两个相同的电压于断路器的两个端子上,只要断路器上的总电压符合规定值(本标准 7.18.3 条并参见图 27);

- 对于单相或三相试验,允许对断路器的一端施加电压,而另一端接地(单相试验参见图 28)。

特别对于用在中性点不接地系统中的断路器,三相试验时,征得制造厂同意,断路器一端接地或电源中性点接地都是允许的(参见图 19)。

7.18.3 试验电压

对于单相试验,外施电压及工频恢复电压应等于下列值:

- 有效接地系统为 $2.0 U_m/\sqrt{3}$,必要时 $2.5 U_m/\sqrt{3}$;
- 非有效接地系统为 $2.5 U_m/\sqrt{3}$,必要时 $3.0 U_m/\sqrt{3}$ 。

其中: U_m ——最高电压。

对于三相试验,首先开断极的工频恢复电压应为上述单相试验时的相应规定值。

瞬态恢复电压应符合本标准 5.15 条的规定。

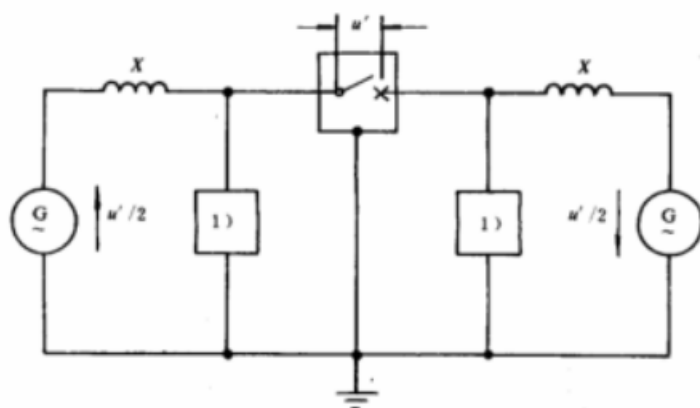


图 26 单相失步试验回路

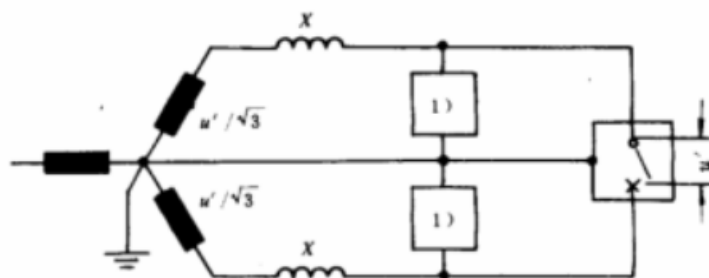


图 27 采用相角差为 120°的两个电压的失步试验回路

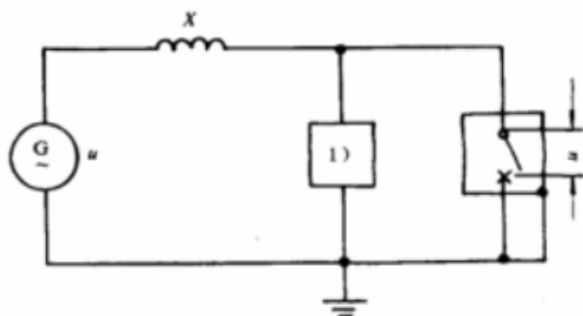


图 28 断路器一端接地的失步试验回路

注：图 26~28 中方框 1)代表电容和电阻的组合。

7.18.4 试验方式

按照表 13 的规定方式进行。

表 13 失步开合试验方式

试 验 方 式	操 作 循 环	开断电流与额定失步开断电流百分比，%
1	分：分	20~40
2	分：合分	100~110

在工频恢复电压为 $2.5 U_m / \sqrt{3}$ 的情况下，试验方式 2 也可采用如下的替代方式，即在 $2.5 U_m / \sqrt{3}$ 下进行两个“分”操作以及在 $2.0 U_m / \sqrt{3}$ 下进行一个“合分”操作。

每个试验方式中各次操作的时间间隔不作规定，允许断路器有足够时间恢复到起始状态。

所用单分试验时，非周期分量皆应小于 20%；合分试验时，对开断电流中的非周期分量及关合电流均不作规定。

注：① 对于装有合闸电阻的断路器，在制造厂同用户协商的条件下，可以将合闸电阻与断路器本体分开进行试验。

② 无临界电流试验要求的断路器可不进行试验方式 1。

③ 超出本标准规定值的特殊要求，由用户同制造厂协商，作为特殊断路器处理。

7.19 近区故障试验

按 GB 4474 规定执行。

7.20 容性电流开合试验

7.20.1 适用范围

容性电流开合试验包括下列内容：

- a. 额定线路充电电流开合试验；
- b. 额定电缆充电电流开合试验；

- c. 额定单个电容器组电流开合试验;
- d. 额定背对背电容器组电流开合试验;
- e. 额定电容器组涌流关合试验。

7.20.2 额定线路充电电流开合试验

按 GB 4876 规定进行。

7.20.3 额定电缆充电电流开合试验

电缆充电电流开合试验标准正在考虑中。

7.20.4 额定单个电容器组电流开合试验

适用于额定电压 10~63 kV 断路器,关于正常条件下开合电容器组的试验参数、试验方法、试验要求、试验判据,按照 GB 7675 规定进行。

7.20.5 额定背对背电容器组电流开合试验

按照 GB 7675 规定进行。

7.20.6 额定电容器组涌流关合试验

按照 GB 7675 规定进行。

7.21 小电感电流开合试验

7.21.1 适用范围

小电感电流开合试验包括下列内容:

- a. 感应电动机开合试验;
- b. 空载变压器开合试验;
- c. 电抗器开合试验。

7.21.2 感应电动机开合试验

试验线路、试验参数及试验条件正在考虑中。

7.21.3 空载变压器开合试验

试验线路、试验参数及试验条件正在考虑中。

7.21.4 电抗器开合试验

试验线路、试验参数及试验条件正在考虑中。

7.22 并联开断试验

对于用在具有并联开断运行方式系统中的断路器,在用户同制造厂协商的条件下进行此项试验。试验条件和试验方法正在考虑中。

7.23 异相接地故障开断试验

本试验系用户同制造厂协商项目,其适用范围、试验条件和试验方法正在考虑中。

7.24 密封与防雨试验

7.24.1 防雨试验

户外断路器及其操动机构的防雨试验,从断路器最不利方向淋雨,雨滴与水平面成 45°,雨量每分钟 3~10 mm,淋雨 24 h 后断路器及其操动机构内部不应有进水的痕迹,断路器(绝缘介质、绝缘件)的绝缘性能不应低于制造厂规定的水平,试验方法按有关专业标准的规定执行。

7.24.2 密封试验

按照附录 E 的规定进行试验。

对于油断路器,在机械寿命试验中及机械寿命试验后放置 24 h,均不应有渗漏油。

7.25 地震试验

试验条件及试验方法正在考虑中。

8 出厂试验

8.1 出厂试验项目

每台产品必须经制造厂技术检验部门检查合格后才能出厂,并附有证明产品质量合格的测试数据和/或文件,检验项目包括有:

- a. 结构检查;
- b. 机械操作和机械特性试验;
- c. 主回路电阻测量;
- d. 操动机构和辅助回路工频耐压试验;
- e. 主回路工频耐压试验;
- f. 密封试验;
- g. 产品技术条件规定的其他出厂试验项目。

注:机械操作和机械特性试验最好以整台断路器试验。

8.2 结构检查

产品及其全部零件应符合正式产品图样和技术要求。

8.3 机械操作及机械特性试验

机械特性按照本标准 7.6.1 条的规定仅在额定操作电压及操作压力下进行试验。机械操作按照本标准 7.6.2 条的规定进行试验,并应符合产品技术条件规定。应向用户提供必要的调试数据。

对于装有过流脱扣器的断路器,脱扣器应整定在最小动作电流,在主回路通过的电流不超过 110% 电流整定值下,脱扣器应准确地使断路器分闸。通过过流脱扣器的电流可以从一个合适的低压电源施加。

对于装有欠压分闸脱扣器的断路器,应验证在施加于脱扣器规定的电压范围内,断路器能正确地分闸和合闸(见 GB 11022 第 6.8.2 条)。

如果在机械操作和机械特性试验中要求调整,则在调整后应重复整个的试验顺序。

8.4 主回路电阻测量

测量应在机械操作试验后进行,其方法按 GB 763 的有关规定。

8.5 操动机构和辅助回路工频干耐压试验

按照本标准 7.1.3 条的规定进行。

8.6 主回路工频干耐压试验

试验方法按 GB 311.2~311.3 的规定,试验电压按 GB 11022 表 2 和表 3 规定。对发运中不安装的大型断路器,允许以发运件分别试验,其试验电压应按供、需双方协议,但单元组合式断路器其单元断口耐压应以整极断路器处于分闸状态且一端接地时电压分配最不利的条件确定。

加压部位按表 14 及图 29 的规定。

表 14

试 验 序 号	断 路 器 状 态	电 压 施 加 于	接 地 于
1	合 闸	AaCc	BbF
2	合 闸	Bb	AaCcF
3	分 闸	ABC	abcF
4	分 闸	abc	ABCF

注:① 若相间绝缘纯为大气,则表 14 中序号 1、2 试验可合并进行。

② 压缩气体绝缘的断路器,应以制造厂规定的相应于 20℃ 时的最低气体压力下进行试验。

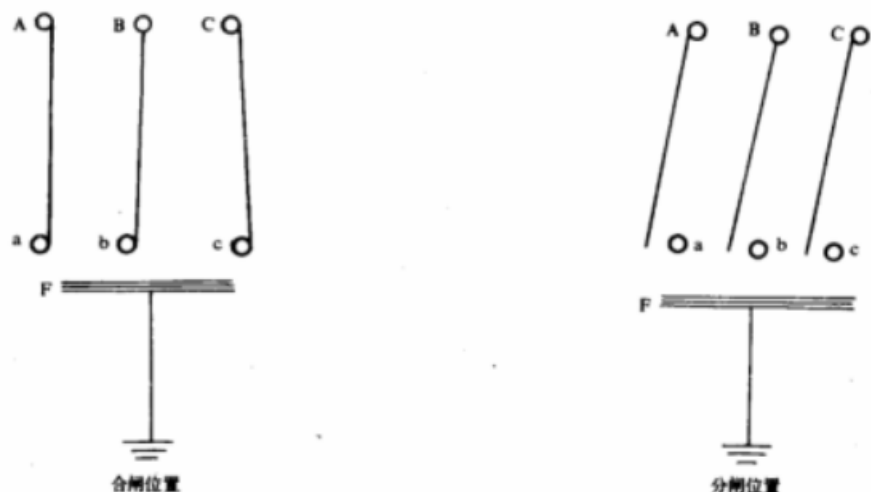


图 29

8.7 密封试验

按照附录 E 及产品技术条件规定进行试验。

9 与询问单、投标书和订货单一起提供的资料

9.1 与询问单和订货单一起提供的资料

当询问或订购断路器时,询问者应提供下述细节。

9.1.1 电力系统的细节,即额定电压和最高电压、频率、相数和中性点接地的详情。

9.1.2 运行条件包括最低和最高周围空气温度,最高周围空气温度是否高于额定值;海拔是否超过 1 000 m(或 2 000, 3 000 m);以及可能存在或出现的特殊条件,例如,过度暴露在水蒸气、湿气、烟雾、爆炸性气体、过量的灰尘或含盐的空气中的运行条件等(见 G 2.5 和 G 2.6 条)。

9.1.3 断路器的特性

- a. 极数;
- b. 类别:户内或户外;
- c. 额定电压;
- d. 对应于某一给定的额定电压,当存在几个不同的绝缘水平时,应选择一个额定绝缘水平;或者,如果是非标准的,则应是所要求的绝缘水平;
- e. 额定频率;
- f. 额定电流;
- g. 额定线路充电开断电流(如果适用);
- h. 额定电缆充电开断电流(如果适用);
- i. 额定单个电容器组开断电流(如果适用);
- j. 额定背对背电容器组开断电流(如果适用);
- k. 额定电容器组关合涌流(如果适用);
- l. 额定小感性开断电流(如果适用);
- m. 额定短路开断电流;
- n. 首开极系数;
- o. 如果是非标准的,所要求的出线端故障瞬态恢复电压;
- p. 如果是非标准的,所要求的近区故障特性;
- q. 如果是非标准的,所要求的短路关合电流;

- r. 额定操作顺序;
- s. 如果是非标准的,所要求的短路持续时间;
- t. 额定失步开断电流(如果适用);
- u. 开断时间;
- v. 特殊要求所规定的型式试验(例如人工污秽和无线电干扰电压试验);
- w. 操作频率。

9.1.4 断路器的操动机构及附属设备的细节

- a. 操作方式、人力的或动力的;
- b. 备用辅助开关的数量和型式;
- c. 额定电源电压和频率。

9.1.5 有关压缩空气的使用要求和压力容器的设计与试验要求。

注:除上述内容外,询问者应提供可能影响投标或订货的特殊条件的资料。

9.2 与投标书一起提供的资料

当询问者查询断路器的技术细节时,制造厂应附有说明和图样。并提供下列资料。

9.2.1 额定值和特性

- a. 极数;
- b. 类别:户内或户外、温度、覆冰;
- c. 额定电压;
- d. 额定绝缘水平;
- e. 额定频率;
- f. 额定电流;
- g. 额定线路充电开断电流;
- h. 额定电缆充电开断电流;
- i. 额定单个电容器组开断电流;
- j. 额定背对背电容器组开断电流;
- k. 额定电容器组关合涌流;
- l. 额定小感性开断电流;
- m. 额定短路开断电流;
- n. 首开极系数;
- o. 出线端故障额定瞬态恢复电压;
- p. 额定近区故障特性;
- q. 额定短路关合电流;
- r. 额定操作顺序;
- s. 额定短路持续时间;
- t. 额定失步开断电流;
- u. 额定分闸时间,额定开断时间和额定合闸时间;
- v. 特殊要求所规定的型式试验(例如人工污秽和无线电干扰)。

9.2.2 型式试验

根据要求提供的证书或报告。

9.2.3 结构特点

- a. 对油断路器:断路器不带油时的重量;油重;关于油质的推荐;油箱数量。
- b. 对压缩空气断路器:断路器总重量;开断用空气的额定压力和断路器能正确工作的空气压力范围;附加的储气罐的容量;进行一次分闸操作的耗气量和进行一次合闸操作紧接着进行一次分闸操作的

耗气量。对于快速自动重合闸的断路器,还应给出进行一次分闸操作,随即进行一次合闸操作,紧接着再进行一次分闸操作的耗气量。

对其他气体断路器:整个断路器的重量;开断用气体源的额定压力和断路器能正确工作的气体压力范围;在 0.1 MPa 的压力下,每极气体的总容量;断路器的密封特性。

c. 每极串联单元的数量。

d. 最小空气间隙:极间;对地。

对于向外喷射游离气体和火焰的断路器,开断操作时的安全边界。

e. 在所要求的极端周围空气温度下,为了保持断路器的额定特性而采取的任何特别措施(例如加热和冷却)。

9.2.4 断路器的操动机构和附属设备

a. 合闸机构的型式;

b. 断路器是适用于何种脱扣操作型式,断路器是否有防止误合闸的闭锁装置;

c. 如果合闸机构的额定电源电压或额定压力与标准值不同,允许的压力范围;

d. 在额定电源电压下供断路器合闸所需要的电流;

e. 在额定气压下供断路器合闸所需要消耗的气体量;

f. 并联分闸脱扣器的额定电源电压;

g. 在额定电源电压下并联分闸脱扣器所需要的电流;

h. 备用辅助开关的数量和型式;

i. 在额定电源电压下其他辅助装置所需要的电流;

j. 高、低压力闭锁装置的整定。

9.2.5 外形尺寸和其他资料

制造厂应提供关于断路器外形尺寸的必要资料和安装设计所必需的细则。

应提供关于断路器维护和连接方式的一般资料。

10 运输、储存、安装和维护规则

本章的有关规定应符合 GB 11022 第 9 章的规定。

10.1 运输、储存和安装时的条件

按 GB 11022 第 9.1~9.4 条规定。

10.2 安装

10.2.1 说明书提供的资料

a. 对每台断路器,制造厂提供的安装说明书应包括为开箱和安全吊装所需的资料,如专用提升装置和定位装置的说明(如果有的话);

b. 产品说明书中应尽可能提供断路器开合短路电流时施加于基础的力(向上的及向下的);

c. 220 kV 及以上产品尽可能提供自振频率及基座设计的技术资料。

10.2.2 投运试验导则

完成断路器的安装和全部连接线之后,应进行投运试验。试验的目的在于检查没有因运输和储存损坏断路器。此外,当安装和/或调整的大部分工作是在现场进行时,允许在投运试验中检查这些工作的质量和与装配有关的性能。

应避免重复工厂里已进行过的试验。

根据就地装配的工作量以及制造厂与用户的协议,投运试验:

a. 可由制造厂进行;

b. 可根据制造厂的说明书(试验的型式和对试验结果的接受限值)由用户进行。

试验结果应记录在试验报告中。

制造厂和用户应依照断路器的型式、控制装置的型式、运行条件、所要求的资料数量和技术经济状况,选择所要完成的试验。

附录 F 给出了投运试验大纲的一个例子。

注:无论什么原因,当全部或部分出厂试验未在工厂完成时,则试验应在安装地点完成,并且出厂试验大纲应与投运试验大纲结合起来。

10.3 维修

10.3.1 制造厂应尽可能提供绝缘件的介质损失角或泄漏电流值。

10.3.2 装置并联电阻或并联电容器的断路器,制造厂应给出电容器和电阻的有关数值及其允许偏差。

10.3.3 对 35 kV 及以上的油断路器,制造厂应给出运行中最低的油耐压值。

10.3.4 制造厂应尽量提供断路器以下项目的操作次数,作为断路器大修的参考资料:

- a. 满容量下的连续开断次数;
- b. 正常运行时的操作次数;
- c. 额定电流下的连续开断次数。

附录 A

开断、关合能力及短时耐受电流试验报告的要求

(补充件)

A1 概述

有关关合、开断能力以及短时耐受电流和峰值耐受电流的试验情况和结果均应全部包括在型式试验报告中,应按要求完整地记录有关参数、试验数据。试验参量的测量准确度应在 $\pm 5\%$ 以内。应特别记录断路器在试验过程中的情况、每一试验方式后和系列试验最终结束后的断路器状态,例如,断路器易损件的更换、调整情况;瓷瓶及非易损件遭到破坏的细节;试验过程中喷油、喷气、喷焰的情况等等,应包括的主要内容如下。

A2 一般情况

应注明试验目的、日期、试品型号、制造单位、图样编号、示波图编号等等。

A3 试品主要技术数据

- a. 额定电压,kV;
- b. 最高电压,kV;
- c. 额定电流,A;
- d. 额定频率,Hz;
- e. 额定短路开断电流:
交流分量有效值,kA;
直流分量百分数;
- f. 额定短路关合电流,kA(峰值);
- g. 额定失步开断电流,kA;
- h. 额定线路充电开断电流,A;
- i. 额定电缆充电开断电流,A;
- j. 额定单个电容器组开断(关合)电流,A;
- k. 额定小电感开断电流,A;
- l. 近区故障波阻抗(Ω),及峰值系数;
- m. 额定峰值耐受电流(动稳定电流),kA;
- n. 短时耐受电流(热稳定电流),kA;
- o. 分合闸操作电压,V;
- p. 操作气压范围,MPa;
- q. 刚分速度,m/s;
- r. 刚合速度,m/s;
- s. 总行程,mm;
- t. 超行程,mm;
- u. 分闸时间,s;
- v. 合闸时间,s;
- w. 自动重合闸无电流时间,s;
- x. 相间分、合闸同期性,ms。

A4 试验条件

应说明试验方式、被试极数、被试断口数、功率因数、频率、试验参数的选择、试验回路(包括发电机、变压器中性点接地与否、负荷侧中性点或短路点接地与否)及其他条件。

A5 空载操作

试品机械特性应符合产品技术条件的规定,并应记录实际所测的数据,例如,行程、超程、刚分速度、刚合速度、分闸时间、合闸时间、分、合闸同期性等。

A6 试品结构简介

根据需要填写,如每极断口数,有无并联电阻或电容,配用的机构等。

A7 短路开断和关合试验记录

- a. 操作顺序及时间间隔;
- b. 外加电压,kV;
- c. 关合电流,kA 峰值;
- d. 开断电流:
每相及平均交流分量有效值,kA;
直流分量百分数;
- e. 工频恢复电压,kV;
- f. 预期瞬态恢复电压;
- g. 燃弧时间,ms;
- h. 分闸时间,ms;
- i. 开断时间,ms;
- j. 试品在试验过程中及试验后的状态。

A8 峰值耐受电流和短时耐受电流(动热稳定)试验记录

- a. 峰值耐受电流(动稳定电流),kA(峰值);
- b. 短路耐受电流(热稳定电流),kA;
- c. 短路持续时间,s;
- d. 试品状况。

A9 失步开断、关合试验记录

- a. 每相开断电流,kA;
- b. 试验电压,kV;
- c. 试验前的气压,MPa;
- d. 开断时间,ms;
- e. 每相中的电阻电流(如果有的话),A;
- f. 试验回路;
- g. 试验顺序;
- h. 试品在试验过程中及试验后的状态。

A10 容性电流开断试验记录

- a. 试验电压,kV;

- b. 每相开断电流, A;
- c. 各相对地电压峰值, kV;
断路器电源侧;
断路器负荷侧;
- d. 重击穿次数;
- e. 试验操作次数;
- f. 相位控制整定情况;
- g. 所用试验回路情况;
- h. 试品在试验过程中及试验后的状况。

A11 示波图和其他记录

示波图应记录以下参量:

- a. 外加电压;
- b. 每相电流;
- c. 恢复电压(对于充电电流开断试验应记录断路器电源侧和负荷侧的电压);
- d. 合闸线圈电流;
- e. 分闸线圈电流;
- f. 时标;
- g. 动触头行程(如果适用)。

所有不符合本标准要求的情况及所有偏差应在试验报告中清楚地说明。

A12 分析和结论

附录 B 短路功率因数的确定 (补充件)

没有精确的方法可用来确定短路功率因数。但为了满足本规程的需要,使用下列三种方法中任一较为合适的方法,可以足够精确地确定试验回路每一相的功率因数。如对所确定功率因数有异议时,则以 B1 章的方法 I 作为仲裁方法。

B1 方法 I —— 由回路常数计算

功率因数可计算为某一角度 ϕ 的余弦,其中 $\phi = \arctan X/R$, X 和 R 分别是试验回路在短路时的电抗和电阻。

由于现象的瞬态性质,无法精确确定 X 和 R ,但为了符合这些规则,可用下面的方法确定。

R 是在试验回路用直流测出的。如果回路含有变压器,则分别测出其原边电阻 R_1 和副边电阻 R_2 ,然后由式(B2)求出所需的 R 值:

$$R = R_2 + R_1 N^2 \quad \text{..... (B1)}$$

式中: N ——变压器的变比。

由式 B2 求得 X 值:

$$X = \sqrt{(E/I)^2 - R^2} \quad \text{..... (B2)}$$

比值 E/I (回路阻抗)由图 B1 所示的示波图求得。

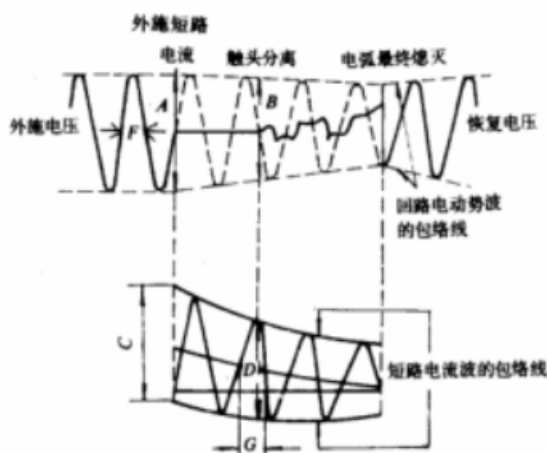


图 B1 按照方法 I 计算功率因数所需的回路阻抗的确定

$$\text{回路阻抗} = \frac{E}{I} = \frac{B}{D} = \frac{A}{C} \times \frac{F}{G} \quad \dots\dots\dots (\text{B3})$$

式中: E ——触头分离瞬间回路电动势 $= B/2 \sqrt{2}$;
 I ——开断电流 $= D/2 \sqrt{2}$;
 A ——2 倍的外施电压峰值;
 C ——短路开始时电流波交流分量峰值的 2 倍;
 F ——外施电压半个周波的持续时间, s;
 G ——触头分离瞬间电流半个周波的持续时间, s。

B2 方法 II —— 由直流分量确定

角度 ϕ 可由短路发生到触头分离瞬间之间的不对称电流的直流分量曲线确定, 方法如下。

B2.1 直流分量的计算公式

$$i_d = I_{d0} e^{-Rt/L} \quad \dots\dots\dots (\text{B4})$$

式中: i_d ——任意瞬间的直流分量值;
 I_{d0} ——直流分量的初始值;
 L/R ——回路的时间常数, s;
 t —— i_d 和 I_{d0} 之间的时间间隔, s;
 e ——自然对数的底。

时间常数 L/R 可由上述公式确定如下:

- 测量短路瞬间的 I_{d0} 值和触头分离之前任一其他时间 t 的 i_d 值;
- 用 I_{d0} 除 i_d 确定 $e^{-Rt/L}$ 的值;
- 由 e^{-X} 值确定与比值 i_d/I_{d0} 对应的一 X 值;
- X 表示 Rt/L , 由此可以确定 L/R 。

B2.2 角度 ϕ 由式(B5)确定:

$$\phi = \arctan \omega L/R \quad \dots\dots\dots (\text{B5})$$

其中 ω 是实际频率的 2π 倍。

B3 方法 III —— 由控制发电机确定

当试验发电机轴上装有控制发电机时, 在示波图上可以将控制发电机电压先与试验发电机电压的

相位进行比较,然后与试验发电机电流的相位进行比较。

控制发电机电压和试验发电机电压之间的相角与控制发电机电压和试验发电机电流之间的相角之差,即为试验发电机电压和电流之间的相角,由此可以确定功率因数。

附 录 C

绘制回路预期瞬态恢复电压包络线 和确定表征其特性参数的方法 (补充件)

C1 引言

瞬态恢复电压波形可能具有不同的形状,振荡的和非振荡的两种都有。

该波形可由三条连续的线段构成的包络线规定。当波形接近单频阻尼振荡时,其包络线变成两条连续的线段。在所有的情况下,包络线都应尽可能准确地反映瞬态恢复电压的实际形状。这里所述的方法在大多数实际情况下可以足够近似地达到此目的。然而会出现这种情况,即所建议的作图方法得出的参数所表示的电压负荷,较之瞬态恢复电压曲线所表明的参数更苛刻。这些情况应作为例外处理,并应由制造厂和用户或实验室之间协商解决。

C2 画包络线

下述方法用于绘制组成预期瞬态恢复电压曲线包络线的各线段。

C2.1 第一条线段通过原点 O ,与曲线相切但不相交(见图 C1 至图 C3 的线段 OB 和图 C4 的线段 OA)。

若曲线的初始部分向右凸,则切点常在第一峰值附近(见图 C1 和图 C2 的线段 OB)。

若向左凸,例如指数曲线的情况,则切点在原点附近(见图 C3 的线段 OB)。

C2.2 第二条线段是在曲线最高峰值处与曲线相切的水平线(见图 C1 至图 C4 的线段 AC)。

C2.3 第三条线段在前两个切点之间与曲线的一点或多点相切,但不与曲线相交。

这一线段有以下三种可能的画法。

C2.3.1 可以画一条线段与曲线切于两点(或多于两点)。

在这种情况下,它就构成包络线的一部分(见图 C1 的线段 BA),从而可得四参数包络线 $OBAC$ 。

C2.3.2 与曲线的两点(或多点)相切而不相交的线段可能画出多条。

在这种情况下,用作包络线的线段与曲线只在适当的一点相切,使得在切点两旁曲线和包络线之间的面积近似相等(见图 C2 的线段 BA),从而可得四参数包络线 $OBAC$ 。

C2.3.3 不能画出与曲线相切于一点以上而不与之相交的线段。

在此情况下应区别:

a. 第一线段的切点远离最高峰值点。这是指数曲线或近似指数曲线的典型情况。

在这种情况下,线段与曲线应在这样的点相切,使得在该点两旁的曲线和包络线之间的面积近似相等,如 C2.3.2 条的情况(见图 C3 的线段 BA),从而可得四参数包络线 $OBAC$ 。

b. 第一线段的切点和最高峰值点相距较近,这是属于单频阻尼振荡曲线或与之相似的曲线的情况。

在这种情况下,不画第三条线段,而用与前两条线段对应的两参数表示(见图 C4),从而可得两参数的包络线 OAC 。

C3 参数的确定

根据定义,构成包络线的各线段交点坐标就是表征其特性的参数。

当包络线由三条线段组成时,如图 C1、C2 和 C3 所示的四个参数 u_1 、 t_1 、 u_c 和 t_2 就是交点 B 和 A 的坐标。

当包络线仅由两条线段组成时,如图 C4 所示的两个参数 u_c 和 t_3 就是交点 A 的坐标。

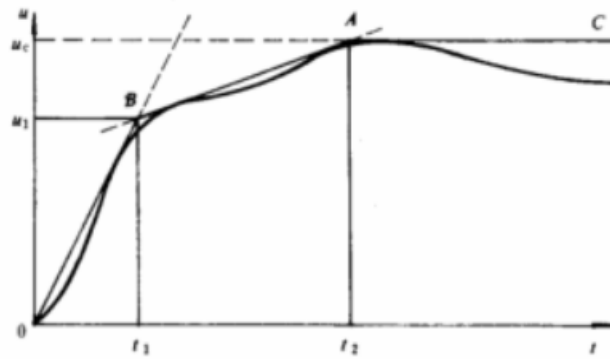


图 C1 用四参数表示的回路预期瞬态恢复电压
(C2.3.1 条的情况)

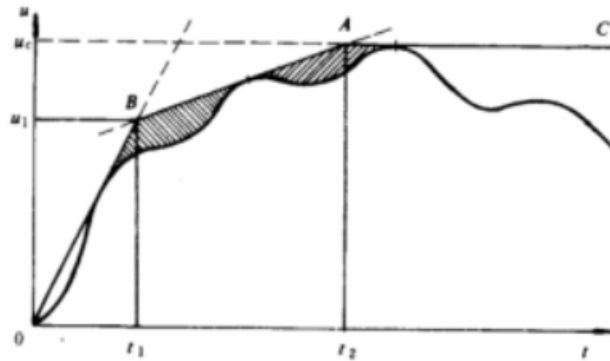


图 C2 用四参数表示的回路预期瞬态恢复电压
(C2.3.2 条的情况)

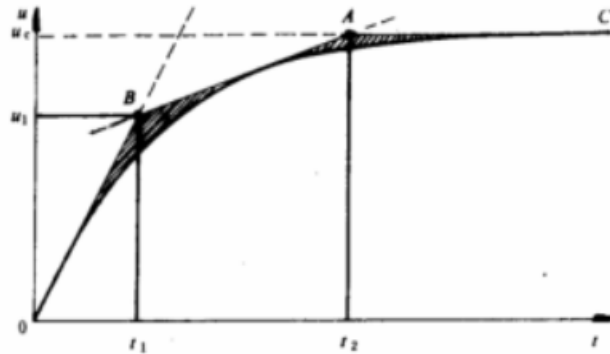


图 C3 用四参数表示的回路预期瞬态恢复电压
(C2.3.3a 条的情况)

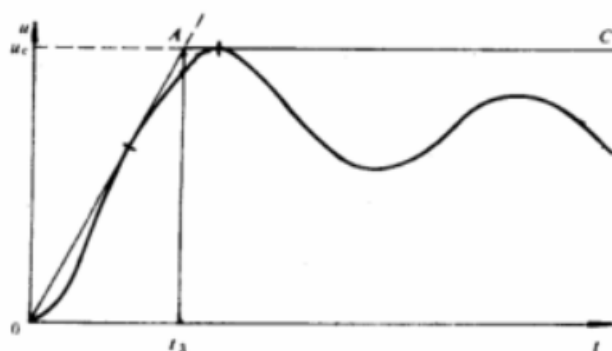


图 C4 用两参数表示的回路预期瞬态恢复电压
(C2.3.3b 条的情况)

附录 D

确定预期瞬态恢复电压波形的方法 (补充件)

D1 引言

开断短路电流产生的瞬态恢复电压(TRV)的波形取决于两个主要因素,即由回路特性(电感、电容、电阻、波阻抗等)决定的因素和由断路器特性(电弧电压、弧后电导、并联电容和并联电阻等)决定的因素。

推荐的方法用于确定仅由回路特性产生的 TRV,即“预期 TRV”。

因为任何测量装置都会对预期 TRV 波形产生某些影响,所以需要采取一些适当的预防措施和可能的修正。

已有很多方法用于估计短路试验站和电力系统的预期 TRV。这里列举并简述所推荐的各种方法,同时考虑了目前为额定值和试验规定的 TRV 特性。

试验站和电力系统的经验表明,短路电流开断之后,叠加在工频电压波上的不仅有单频的或多频的振荡,而且还有数值相当大和持续时间相当长的指数分量。后者的时间常数取决于回路元件(如发电机、变压器、线路等)的特性。这些指数分量具有抑制 TRV 上升率和峰值的作用,使之低于假若只有振荡分量叠加在工频电压上的值。这一点示于图 D1。任何测量方法都应考虑这种影响。

测量表明,由于在导体、大地和磁路内部的涡流的屏蔽作用,各种回路元件的电感都随频率变化。再加上其他降低瞬时电压的因素,为此引入了一个时间常数。从某些发电机的几百微秒变至某些变压器的几十微秒,确切的值取决于具体设备的设计和 TRV 各分量的频率,这会使 TRV 的峰值产生降落,在某些情况下可达到 25%之多。

因此,无论在确定试验站还是系统的预期 TRV 时,考虑这些因素都是重要的。因而,在给出推荐方法的同时给出了相应的使用导则。

不论采用哪一种方法,试验站预期 TRV 的实测值,都应符合本标准的规定值。

当 TRV 峰值的时间坐标 t_2 超过例如 $1\,250\,\mu\text{s}$ 时,则除了考虑上述影响之外,在任何情况下,工频电压瞬时值都要降低 6%以上(50 Hz 时)。因此,当所使用的确定预期 TRV 的方法中用到工频恢复电压时,或者使用回路参数计算时,还应考虑这种影响。

电流零点过后的恢复电压工频分量瞬时值还与短路功率因数和最后半波电流直流分量的百分数有关,因而可能低于全峰值。对于对称电流并且短路功率因素等于 0.15 或者更小时,降低量不超过 1.5%,因而在试验站回路上并不重要;对于在运行中可能出现的高功率因数,其降低量可能显著。

对于端子故障的额定 TRV(见 5.13 条)引进了一个时延,以计及断路器电源侧局部电容的影响。对各种有关的试验回路(见 7.13.5 条)也已规定了相应的时延,并且测量 TRV 的方法应能够分辨出这些时延。

对于某些断路器已规定了在近区故障条件下的额定特性(见第 5.16 条),并且规定了在近区故障试验时相应的 TRV。断路器和线路之间的局部电容在线路侧的 TRV 分量上也产生一时延。在试验中,希望测量和记录线路侧时延,使用的方法应当适于求出这一数值。

D2 推荐方法综述

确定预期 TRV 波形的基本方法分类如下:

- 第 1 组——直接短路开断;
 - 第 2 组——工频电流注入;
 - 第 3 组——电容电流注入;
 - 第 4 组——模型网络;
 - 第 5 组——根据回路参数计算;
 - 第 6 组——空载时接通带有变压器的试验回路。
- 第 1 组至第 6 组适用于短路试验站;
- 第 1,4 和 5 组推荐用于电力系统;
- 第 2,3 组可用于电力系统的某些部分。

当使用第 1,2,3,4 或 6 组时,应仔细检查电压测量线路,以保证在被测量的 TRV 频率范围内,定标是常数,并且时间的偏转是线性的。示波器和任何分压器都应该用已知的电压定标,使用具有扫描时基的阴极射线示波器时,应准确地知道偏转/时间刻度,并且最好是线性的,以免为了比较等目的而另行作图。

D3 推荐方法细节

D3.1 第 1 组——直接短路开断

这种方法包括在所研究的系统中开断金属短路的短路电流,并用示波器记录 TRV。在理想的情况下,被开断电流应是对称的,否则,如果有明显的不对称,则应考虑 di/dt 的变化。使用这种方法,主要应计及断路器的影响。在这方面最重要的特性是电弧电压和弧后电导。

在电流开断瞬间,由于电弧电压,断路器触头两端电压可能不是零,因而 TRV 不是从零而是从电流零点的电弧电压值开始上升。因而,TRV 从零电压轴线下开始上升,然后穿过该轴线(见图 D3)。

结果,电压峰值高于理想断路器(电弧电压为零)时的值(见图 D2)。当电流小时,有时能在显著提前电流零点处开断(电流截断),这将产生与上述相似的但是更明显的影响(见图 D4),并且,如果 TRV 包含几个振荡分量时,电流截断产生的 TRV 波形可能与由理想断路器开断产生的 TRV 波形有很大差别。

因此,电流零点前的电弧电压低,并且不会截断电流的断路器最适于用作直接短路开断。

如果电弧电压的峰值不超过 TRV 峰值的 10%,则电弧电压的影响可以被补偿,如图 D6。

原则上,电弧电压的补偿只适用于具有单频瞬态成分的 TRV,但尽管如此,如果 TRV 的主要振荡分量所具有的幅值占优势的话,它也可以作为一种好的近似法用于多频瞬态过程的 TRV。

弧后电流,即在 TRV 上升时通过电弧间隙的电流,由于其阻尼作用,可能影响 TRV 的波形,从而降低了 TRV 的上升速度和峰值(见图 D5),使用与断路器灭弧室并联的电阻也产生类似的影响。

因此可以得出,用于直接短路开断法的任何断路器,除了要求电弧电压低和没有电流截断外,还不得装设并联电阻,也不应呈现显著的弧后电导。

尤其在试验站允许适当降低励磁电压运行的情况下,常可将真空断路器用作近于“理想”的断路器。

但是,应当查明,用于所研究的具体回路中的任何装置,都不应存在显著的电流截断。

用作直接短路开断的断路器,其特性常可作适当改进,例如,调整触头分离的时间以产生短的电弧持续时间和低的电弧电压。

用这种方法,在所研究的回路中被开断的是真实的短路电流,且所记录的 TRV 将或多或少地考虑了导致恢复电压降低的各种效应。基于这一理由,直接短路开断法可以是获得评价预期 TRV 的最合适的方法(这取决于断路器的特性),并且常被用作校验其他方法的基础。但是,直接短路开断法不大适用于测量时延,特别是近区故障的线路侧 TRV 的时延。

D3.2 第2组——工频电流注入

尽管回路带电时进行测量的方案正在发展中,但通常这种方法只用于不带电的线路。因此,这种方法主要用于试验站,或用于可从系统分离出来的不带电的部分。因而这种方法不考虑电晕和磁饱和现象。

这种方法的基础是把一较小的电流注入到回路中,并记录当电流被一理想开关装置(即电弧电压和弧后电流都可以忽略的装置)开断时回路的响应。

注入电流的合适的电源是用当地低压干线供电的单相变压器,其次级输出电压和电流范围为:例如从 200 V 时 2 A 到 25 V 时 300 A。这个范围可以覆盖所需测量的大多数回路的阻抗。作为使用这种方法的一个例子,图 D7 出示了原理图及元件的详细说明。图 D8 出示了操作顺序。

应当注意,要保证电源和测量装置的固有电容不影响测量结果。

应在回路的输入端测量电压响应。如果可行,回路的一端应接地。如果回路的任一端都不接地,则测量和注入装置应完全对地绝缘。利用对地绝缘并且对地电容可以忽略的辅助发电机可以达到这一点。

对这种线路最方便的开关装置是半导体二极管。通常,反向恢复时间不超过 100 ns 的半导体二极管被认为是合适的。当 TRV 具有低的等效自然频率时,可允许较长的反向恢复时间。为了得到合适的载流能力,可用几个二极管并联运行。

注:二极管的特性取决于许多因素。例如,正向电流值、反向电压值和波形以及制造厂提供的数据,后者取决于测定其特性所使用的方法。

为了得到对称电流波,可能需要使电流通过的时间长过 20 个周波。在这一时间的大部分,二极管被一开关旁路,此开关在这一时间的末尾打开,从而使电流通过二极管,并在紧接着的电流零点将电流切断。

注入电流和所研究回路两端的电压应使用适当速度的时基来记录,此外,应高速记录电流零点时的电流和电压,使用灵敏度合适的示波器记录 TRV,使电压峰值的偏转不小于 30 mm,从 TRV 零点到峰值的时间标度不小于 30 mm。

为了精确测定时延,需要将 TRV 波形起始部分的电压和时间标度放大。

电流的低速记录将表明开断时的电流是否对称,而其高速记录将给出电流开断零点前的变化速度 di/dt ,并将表明,是否存在显著的弧后电流导致 TRV 的阻尼,或者是否存在可能影响 TRV 幅值的明显的电流强制过零现象。

TRV 的记录将表示被研究回路的自然瞬态振荡,且包含了引起电压降落的大部分因素。

各个参数值可按线路满容量的电压标度确定。其细节见 D3.4 条。

D3.3 第3组——电容电流注入

这种方法与第2组的方法相似,但通过被研究回路的是来自电容器的放电电流。因此,注入电流的频率取决于电容和回路电感值。

由于放电电流的频率应等于或低于回路等效自然频率的 1/8,这表明,这种方法适于测量含有高自然频率分量的回路 TRV,特别适用于测量近区故障试验回路的线路侧 TRV 各分量的特性,它们的自然频率高,且时延小。

电容电流注入的原理线路的例子及元件的详细说明示于图 D9。图 D10 表示线路的操作顺序。

注意事项和标度方法与第2组相同,详见D3.4条。

D3.4 第2和第3组——标度方法

由注入电流零点前的变化率 di/dt 实测值,计算注入电流的等效有效值 I_i :

$$I_i = \frac{di_i/dt}{2\pi f_i \sqrt{2}} \quad \dots\dots\dots (D1)$$

式中: f_i ——注入电流的频率。

在计算中假定:

$$i_i = \sqrt{2} I_i \sin 2\pi f_i t \approx \sqrt{2} I_i \times 2\pi f_i t \quad \dots\dots\dots (D2)$$

当 $t_2 < 1\,250\,\mu\text{s}$ 时,这一假定大致正确。

根据上述近似,可得出下列规则:

注入电流的频率应等于或低于被测回路等效自然频率的1/8。当预期 TRV 的时间坐标 t_2 大于 $1\,250\,\mu\text{s}$ 时,注入电流的频率应等于额定工频。

如果回路的最大短路电流有效值是 $I_{sc}(\text{A})$,则对应于 I_{sc} 的 TRV 电压标度 V_{sc}/mm 应是:

$$V_{sc}/\text{mm} = V_i/\text{mm} \frac{I_{sc}}{I_i} \frac{f_{sc}}{f_i} \quad \dots\dots\dots (D3)$$

式中: f_{sc} ——短路电流的频率。

根据上述关于 t_2 较长时的预期 TRV 的规定,当注入电流曲线偏离正弦对称波形过大而不可忽略时,应使用下述基本公式:

$$V_{sc}/\text{mm} = V_i/\text{mm} \times \frac{\left(\frac{di_{sc}}{dt}\right)_{i_{sc} \rightarrow 0}}{\left(\frac{di_i}{dt}\right)_{i_i \rightarrow 0}} \quad \dots\dots\dots (D4)$$

式中: $(di_{sc}/dt)_{i_{sc} \rightarrow 0}$ ——在电流零点时的工频短路电流的变化率,短路电流的函数是:

$$i_{sc} = \sqrt{2} I_{sc} \sin 2\pi f_{sc} t \approx \sqrt{2} I_{sc} 2\pi f_{sc} t \quad \dots\dots\dots (D5)$$

这个公式特别适用于电流呈轻微阻尼振荡形式的电容电流注入法。

采用下面的方法确定近区故障试验的标度:

从高速示波图中测量出:

du_i/dt ——在注入电流零点时 TRV 的上升速度(RRRV);

u_i ——注入电流零点后的第一个电压峰值;

di_i/dt ——注入电流零点时的变化率。

由此可计算出波阻抗 Z 的值:

$$Z = \frac{du_i/dt}{di_i/dt} \quad \dots\dots\dots (D6)$$

D3.5 第4组——模型网络

在这种方法中,由许多元件组成模型网络,这些元件应能真实地代表实际回路的元件。通常需要使用具有集中参数的元件模拟实际回路的具有分布参数的元件。此外,重要的是,在频率高到至少相当于与被考虑的 TRV 相当的频率下,网络模型的阻抗(特别是电抗和电阻)特性应当尽可能真实地模拟实际回路元件的阻抗特性。

这种方法的精确度取决于我们掌握的被模拟回路的确切数据,这些数据常常难以得到,也难以用小的模型元件来模拟。

这种方法特别适用于随频率变化的那些参数。因而这种方法一般不直接考虑 TRV 的降落,并且,与在实际系统上直接短路时得到的值相比,这种方法给出的值稍高。

这种方法主要用于研究电力系统,因为它不必使电力系统退出运行。只要认识到其局限性,这种方

法将给出有用的指导。

D3.6 第5组——根据回路参数计算

如第4组那样,当回路元件的参数已知时,便可方便地计算出 TRV 的波形,特别是当回路不太复杂的时候。

通常,这种方法不考虑电压降落的效应,不过在回路的有关参数已知时,可作一些修正;同样,对于 t_2 超过 1 250 μ s 的 TRV,可以考虑工频分量的降低。

除非在使用由第 1,2,3 或 6 组的方法,用试验得到的实际 TRV 来校验结果方面已经取得经验,否则,这种方法有第 4 组的局限性,还有计算中的固有误差。

D3.7 第6组——空载时接通含有变压器的试验回路

这种方法包括接通处在开路状态的试验变压器和用示波图记录变压器次级的开路间隙上的瞬态电压特性。

这种方法对由发电机提供短路电流的试验站非常有用,但是,接通用的断路器应无并联电阻,不得有明显的预击穿,并且应紧靠被试的断路器。这种方法只限于用在产生单频 TRV 的回路上,且不能再现与涡流有关的指数分量。

D4 各种方法的比较

各种方法的特点和优缺点列于表 D1。

表 D1 确定预期 TRV 的各种方法比较

方 法	理 论 上 的 限 制	实 践 上 的 限 制
1.1——用理想断路器在实际线路上试验(全电压、全电流)	无。所有现象都能得到正确的反映	不存在。可以在整个范围内满足各种要求的理想断路器
1.2——在全电压有限电流扰动下的工频试验(理想断路器试验或“合闸”试验均可)	不考虑试验回路中可能存在的非线性关系。非线性关系是指在某一特定频率下电流和电压之间不存在线性关系(不要和与时间有关的回路元件的影响相混淆)	不存在。可以在整个范围内满足各种要求的理想断路器,把 TRV 分离出来需要熟练的测量技术。否则在有大的工频电压分量的情况下,难以解释所得结果。对关合试验,最合适的限流装置是纯电感,现有的试验回路的元件(如电阻或电容)也可以使用,这些元件可能既贵又笨
1.3——在降低电压下的试验线路上用理想断路器作工频试验(即低励磁试验)	不考虑试验线路中可能存在的非线性关系。非线性关系是指在某一特定频率下电流和电压之间不存在线性关系(不要和与时间有关的回路元件的影响相混淆)	在尚无满足全部范围的理想断路器时,所用理想断路器的选择受到限制。当回路使用一台以上的发电机时,同步难以达到。为了避免波形畸变,励磁电压应足够高,一般不能用于网络试验站

续表 D1

方 法	理 论 上 的 限 制	实 践 上 的 限 制
1.4——用普通断路器在实际试验回路上试验(全电压全电流)	难以从试验时所记录的 TRV 特性中剔除断路器的影响	要选择一种断路器,它的电弧电压较低,使之电流零点产生的电流畸变可以忽略,它的弧后电流小到可以忽略并且没有并联阻抗 如果上述条件达不到,可能产生误差,并且由于使用了具有不同特性的断路器,各试验站之间有可能缺乏一致性
2——在“不带电”回路上使用工频电流注入的理想断路器试验	不考虑试验回路中可能存在的非线性关系,即某一特定频率下电流和电压不存在线性关系(不要和与时间有关的线路元件的影响相混淆)	在网络试验站中,只适用于“不带电”的回路元件(如近区故障回路元件),或者网络阻抗与回路阻抗的其余部分相比可以忽略的情况 电机必须静止,以避免残余电压 如果直轴与交轴电抗间有显著的差别,则转子的位置可能很重要 用以代替理想断路器,并能承载所需的注入工频电流的二极管,其反向恢复时间可能影响含有高频分量的 TRV,如在近区故障试验回路中的情况那样。当因试验回路阻抗很小,因而实测电压较低时(如近区故障情况下),外部电源在“不带电”试验回路中感应产生的干扰可能影响 TRV
3——在不带电的回路中,在频率高于工频时的电流注入的理想断路器试验	不考虑回路中可能存在的非线性 不直接给出工频阻抗 在注入频率高于工频而远低于 TRV 频率的条件下,也只能给出单频和多频回路的 TRV 从零到第一个最大值部分的正确波形和数值。不能正确估算幅值系数	在网络试验站中,只适用于“不带电”的回路元件(如近区故障回路元件),或者网络阻抗与线路阻抗的其余部分相比可以忽略的情况 发电机必须静止,以避免残余电压 如果直轴与交轴电抗间有显著的差别,则转子的位置可能很重要
4——模型网络试验(瞬态网络分析仪)	有关网络的非线性和与频率有关的特性的精确资料并非经常能得到。需要对回路元件及其杂散参数有确切的了解	在瞬态网络分析仪的元件中,要充分再现试验回路元件的特性(包括非线性和与时间有关的特性)

续表 D1

方 法	理 论 上 的 限 制	实 践 上 的 限 制
5——根据回路参数计算	有关网络的非线性和与频率有关的特性的精确资料并非经常能得到 需要对回路元件及其杂散参数有确切的了解	当网络阻抗与试验站阻抗相比不可忽视时,需要对有关的瞬态网络条件有完整的了解 需要精确地或充分地再现回路元件,包括其非线性和与时间有关的特性,特别是寄生参数
6——接通空载时的试验变压器	除非在或接近于电压波峰值处使变压器带电,否则需要对工频电压波前进行校正	需要实际的短路试验回路,只适用于单频回路

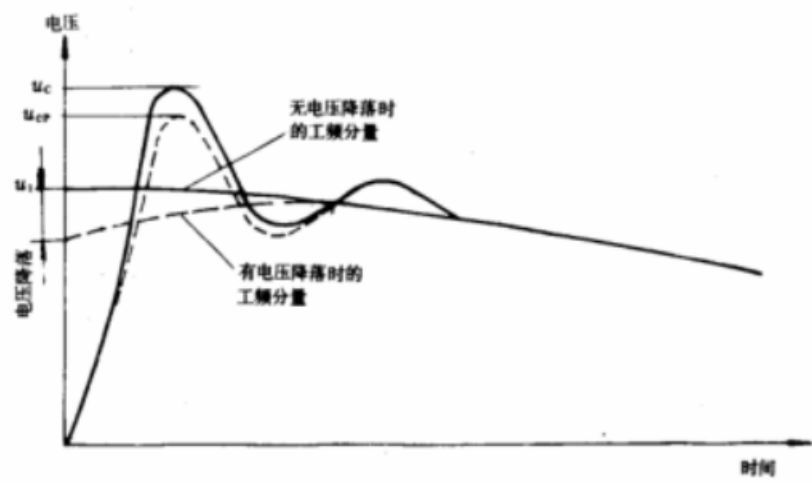


图 D1 电压降落对瞬态恢复电压峰值的影响

U_c —规定瞬态恢复电压峰值; U_{cr} —有电压降落时测量的瞬态恢复电压;
 U_1 —无电压降落时的工频电压峰值

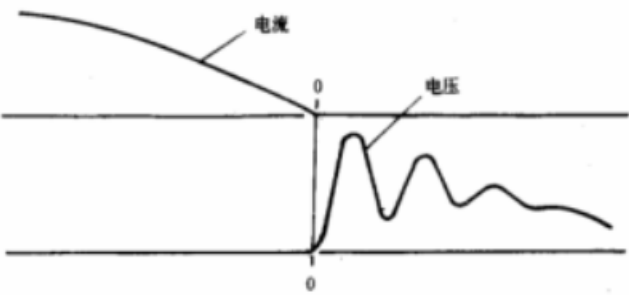


图 D2 理想开断情况中的瞬态恢复电压

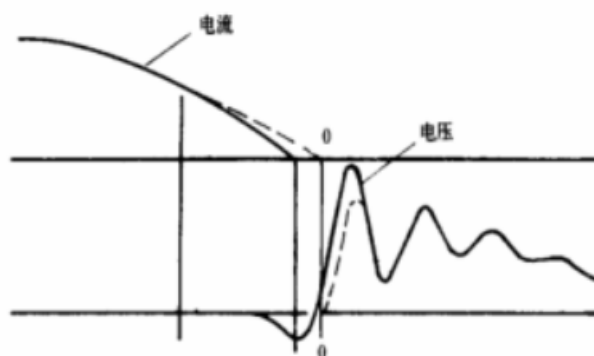


图 D3 有电弧电压的开断

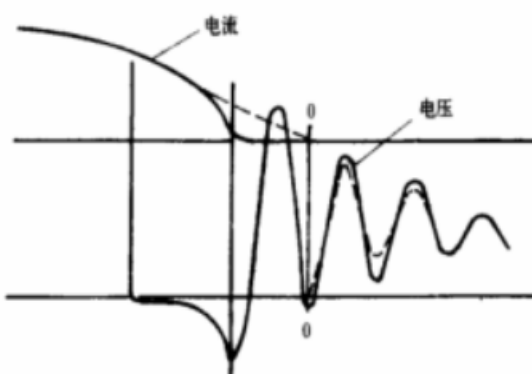


图 D4 显著提前的电流零点的开断

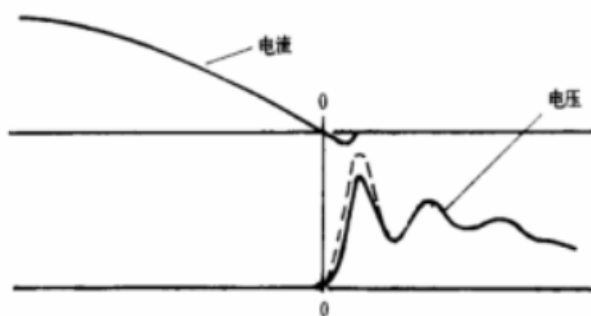


图 D5 有弧后电流的开断

注：图 D3 至图 D5 中，分别表示电弧、提前电流零点及弧后电流对瞬态恢复电压的影响，其中的虚线代表理想开断后的特性。

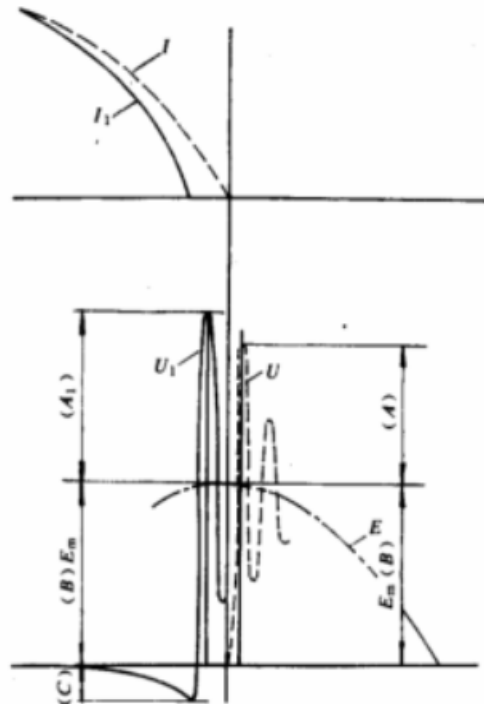


图 D6 试验中出现的和系统预期的电流值之间与瞬态恢复电压的关系
 I_1, U_1 —分别为试验中出现的电流和电压; I, U —分别为系统的预期电流和电压;

E —工频恢复电压; $A+B=A_1 \frac{B}{B+C}+B$ —瞬态恢复电压峰值

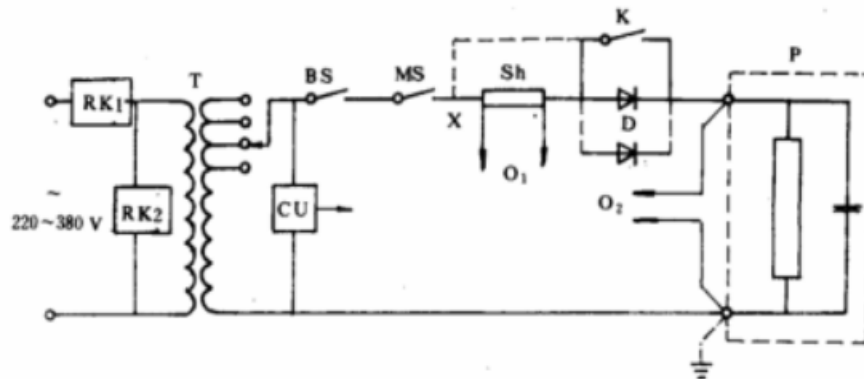


图 D7 工频电流注入装置的原理线路图

RK 1, RK2—必要时用以抑制谐波的串联和并联谐振回路; T—变压器, 用以将电流注入回路, 与电源隔离, 以及提供一可调的输出电压; BS—保护开关; MS—关合开关; K—二极管旁路开关; X—开关K的可替代的连接方式, 这样允许使用一较低时间-电流额定值的分流器; D—并联数可达五个的快速硅开关二极管; Sh—电流测量分流器; O₁—高速示波器或数据采集系统, 射线1用于记录电流的量值和线性, 以检查二极管的工作情况; O₂—高速示波器或数据采集系统, 射线2用于记录回路的响应; P—待测的预期瞬态恢复电压回路; CU—控制单元, 用以提供图 D8 规定的操作顺序

注: 注入电流也可在地电位处测量。

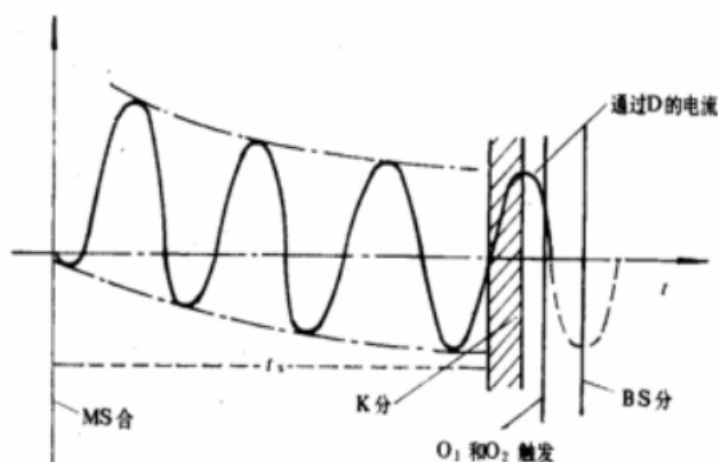


图 D8 工频电流注入装置的操作顺序

t_k —开关 K 操作前电流流通期的持续时间

静止状态为 BS 和 K 合, MS 分。

在注入电流的 10 至 20 周波之间的典型值。

主要准则是, 如果电流有直流分量, 则其值应衰减到交流分量的 20% 以下。

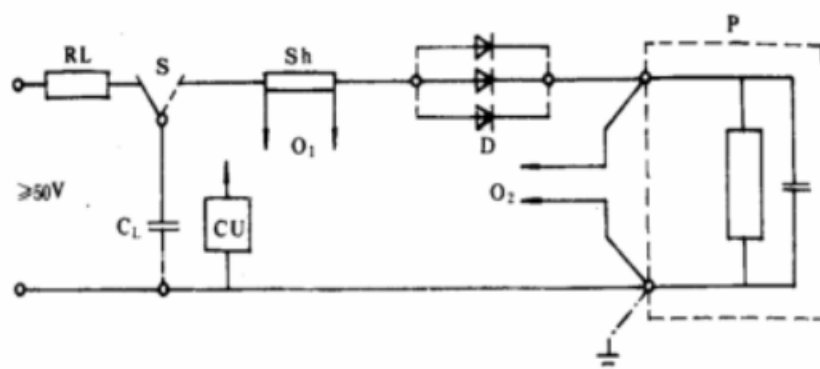


图 D9 电容注入装置的原理线路图

RL—充电电阻; S—切换用继电器; C_L —电源电容; Sh—电流测量分流器; O_1 —高速示波器或数据采集系统, 射线 1 用于记录电流的量值和线性, 以检查二极管的工作情况; O_2 —高速示波器或数据采集系统, 射线 2 用于记录回路的响应; D—并联数可达 100 的快速硅开关二极管; P—待测的预期瞬态恢复电压回路; CU—控制单元, 用以提供

图 D10 规定的操作顺序

注: ① 当已充电的电容 C_L 通过继电器 S 接到回路 P 时, 即有频率为 f_1 的振荡电流流通。 C_L 的值应调整到使得:

$$a. \quad f_1 < \frac{f_c}{8}; \quad f_c = \frac{1}{2T_c/2}$$

式中: f_c ——回路 P 的自然频率。

b. f_1 值应能使电流过零瞬间之前叠加的电流振荡已经消失。

② 注入电流也可在地电位处测量。

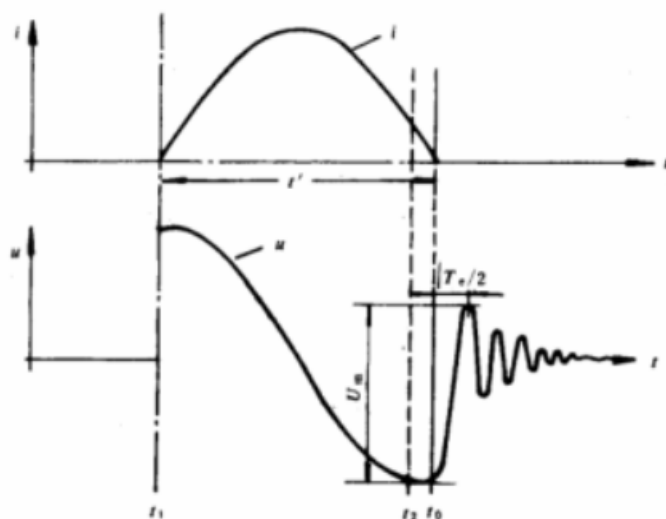


图 D10 电容注入装置的操作顺序

t_1 —S 开合; t_2 —高速示波器的触发; u —回路 P 的端子间的电压曲线; i —注入电流的波形;
 U_m —作用于二极管上的最大电压; t_0 —电流通过零点的时间(瞬态恢复电压振荡的开始);
 t' —电流通过二极管 D 的持续时间; $T_r/2$ —瞬态恢复电压的半周波持续时间

附录 E

密封的技术要求和试验

(补充件)

E1 气体密封

E1.1 范围和对象

适用于以气体(大气压下的空气除外)或真空作为灭弧绝缘或操作介质的高压户内或户外断路器。旨在明确与气体密封有关的特点及其试验方法。

注: IEC 出版物 68-2-17《正常环境下的试验程序 第二部分: 试验-试验 Q: 密封》中所述的检漏方法仅适用于小元件, 故不能用于高压设备的试验。

E1.2 定义

本条所采用的术语除按 GB 11023 规定之外, 并作以下补充。

E1.2.1 可控压力系统(用于气体)

从外部或内部气源自动补气的一种组件。

注: 可控压力系统如压缩空气断路器(内部密封)或气动操动机构。

E1.2.2 每天补气次数 N

每天补偿漏气率 F 的补气次数。

该参数适用于可控压力系统。

E1.2.3 累计泄漏测量法

考虑给定设备/隔室所有的泄漏, 以确定泄漏率的测量法。

E1.3 对气体密封度的要求

E1.3.1 可控压力系统

可控压力系统的密封度以每天补气次数 N 或每天的压力降 Δp 表示。

其允许值应由制造厂提供。

E1.3.2 封闭压力系统

封闭压力系统的密封度以两个量表示：

- 相对泄漏率，优选值为 1%/年和 3%/年；
- 补气间隔时间 T ，优选值为 3 年和 10 年。

E1.3.3 密封压力系统

密封压力系统的密封度以其预期工作寿命表示。优选值为 10、20 和 30 年。

E1.4 试验

密封度试验的目的是验证总的系统漏气率 F 不超过规定值 F_p 。

如有可能，应在充气压力为 p_r (或密度 D_r) 的整台断路器上进行试验。如果在整台断路器上试验有困难，可在部件或元件上进行。此时，试品的允许泄漏率与整台断路器的漏气率的关系见密封对应图 TC，还应考虑部件之间可能出现的泄漏 (见 GB 11023 中有关密封对应图)。

除非漏气率与断路器或试验的部件的状态无关，否则试验既要在断路器的合闸位置上，又要在断路器的分闸位置上进行。

一般仅允许以累积泄漏测量法来计算漏气率。

型式试验报告应包括下列内容：

- a. 试品说明，包括试品内腔的容积和充入气体的类别；
- b. 断路器是在合闸位置还是在分闸位置 (如果需要说明)；
- c. 试验开始和结束时记下的压力、温度及补气次数；
- d. 压力 (或密度) 控制或监视装置的投入和切除压力整定值；
- e. 仪表的校正读数；
- f. 测量结果；
- g. 如果使用的话，检验用的气体和用以确定检验结果的换算系数。

E1.4.1 可控或封闭压力系统的试验

E1.4.1.1 型式试验

在机械操作试验和高、低温试验期间均应进行密封试验 (见 7.7.3 和 7.7.4 条)。

在极端温度下和/或操作期间，泄漏率增加是允许的，只要温度恢复到正常周围空气温度并稳定和/或操作以后该泄漏率恢复到原有值。短时增加的泄漏率不应超过三倍规定的允许泄漏率 F_p 。

a. 可控压力系统

测量一段时间 t 内的压力降 Δp ，以检验相对泄漏率 F_{rel} (t 要长到足以确定 Δp)，并应考虑周围空气温度变化而加以校正。在该段时间内补气装置不工作。

$$F_{rel} = \frac{\Delta p}{p_r} \cdot \frac{24}{t} \times 100\%/d \quad \dots\dots\dots (E1)$$

$$N = \frac{\Delta p}{p_r - p_{min}} \cdot \frac{24}{t} \quad \dots\dots\dots (E2)$$

式中： t ——检验时间，h。

注：为了保持公式线性， Δp 与 $p_r - p_{min}$ 具有相同的数量级。

作为替代办法，也可直接测出每天的补气次数以确定泄漏率。

b. 封闭压力系统

可使用 GB 11023 中的任何可行的试验方法测量封闭压力系统的漏气率 F ，它和密封对应图一起用来计算相对泄漏率 F_{rel} 和补气间隔时间 T 。

由于封闭压力系统泄漏率较小，压力降测量法是不适用的。

如果试品充入的检验气体和压力与运行中使用时不同,则在计算时应使用制造厂提供的校正系数。由于高、低温试验时测量困难,可在高、低温试验前后,在周围空气温度下进行密封试验,以确定是否有变化。

注:实际上,漏气率的测量可能有 50% 的误差。

E1.4.1.2 出厂试验

在正常周围空气温度下进行出厂试验,断路器充气压力应与制造厂实际的试验压力相同,在可控的条件下进行检漏。

a. 可控压力系统

试验方法见本标准 E1.4.1.1a 条。

b. 封闭压力系统

按密封对应图 TC,在制造过程的几个阶段在元件或部件上按 E1.4.1.1b 条进行试验。

E1.4.2 密封压力系统的试验

E1.4.2.1 型式试验

a. 六氟化硫断路器

六氟化硫断路器应按 GB 11023 中的试验方法进行试验。

b. 真空断路器

真空断路器的灭弧室应采用电磁法进行试验。在灭弧室分开的触头间施加磁场,然后施加一个最长持续时间为 100 ms 的陡脉冲电压,由所流过电流的大小估算出灭弧室的真空度。

应采用下列程序:

——制造厂应提供维持断路器额定性能的最低真空度;

——对每种型号断路器的真空灭弧室应标定其真空度与电气参数之间的关系。在封装灭弧室的样品之前同时采用电磁法和常规的真空测量法测量即能得到这一关系。重复进行试验可得到精确的估算;

——真空断路器的灭弧室在运行前测量两次真空度,两次测量的时间间隔应足够长,使之能正确估计真空度的变化率。

在要求的工作寿命期间,该变化应当不使真空度达到最低允许值。测量两次真空度的最小时间间隔决定于真空断路器灭弧室的尺寸和试验方法的灵敏度。

注:一般认为四个星期的时间间隔是可以接受的。

E1.4.2.2 出厂试验

a. 六氟化硫断路器

密封的六氟化硫断路器应按 GB 11023 中的试验方法及本标准 E1.4.1.2b 条进行试验。

b. 真空断路器

每个真空灭弧室由其系列号来辨认,制造厂应按本标准 E1.4.2.1b 条进行试验,试验结果应列入试验报告,如提出要求应提供证书。

断路器装成后,在分开的触头上用出厂耐压试验的办法试验灭弧室的真空度。

机械出厂试验后也要进行耐压试验,其试验电压应由制造厂提供。

E2 液体密封

E2.1 范围和对象

本条适用于以恒压或非恒压的液体作为绝缘、灭弧或控制介质的高压户内或户外断路器。本标准旨在明确与液体密封有关的特性和试验方法。

E2.2 定义

E2.2.1 可控压力系统(用于液体)

自动补充液体的一种组件。

E2.2.2 封闭压力系统(用于液体)

人工定期补充液体的一种组件。

E2.3 液体密封的要求

E2.3.1 可控压力系统

可控压力系统的密封度由每天补充液体次数 N 或以不补充液体时的压力降 Δp 表示。

其允许值由制造厂提供。

E2.3.2 封闭压力系统

对液体加压或不加压的封闭压力系统的密封度由制造厂规定。

E2.3.3 密封水平

对于密封水平,应区分内部密封与外部密封。

E2.3.3.1 总的密封

不能检测液体的渗漏。

E2.3.3.2 相对密封度

在下列情况下有轻微的渗漏是允许的:

- a. 泄漏率应小于允许泄漏率;
- b. 泄漏率应不随时间或断路器的操作次数而增加;
- c. 液体的渗漏应既不引起断路器故障,又不对正在值班的运行人员造成任何损伤。

E2.4 试验

E2.4.1 型式试验

断路器应模拟实际运行情况,带上所有附件和规定的液体,尽可能接近运行时的安装方式(如底架、支柱)。

密封试验应在机械操作试验和高、低温试验期间进行(参见本标准 7.7.3 和 7.7.4 条)。

在极端温度下和/或操作期间,泄漏率增加是允许的,只要温度恢复到正常周围空气温度并稳定和/或完成操作后该泄漏率恢复到原有值。短时增加的泄漏率应不影响断路器的安全运行。

对断路器进行一段足够长时间的观察,以确定泄漏率或压力降 Δp ,此时,本标准 E1.4.1.1a 条的计算是有效的。

注:使用不同于运行时的液体进行试验是可以接受的,但制造厂必须说明。

试验报告应包括下列内容:

- a. 试品的一般描述;
- b. 完成的操作次数和最初充液到试验结束时的充液时间;
- c. 液体的性质和压力;
- d. 试验时的周围空气温度;
- e. 需要时,提供断路器在分闸和合闸位置的试验结果。

E2.4.2 出厂试验

出厂试验应在常温下整台断路器上进行,也允许在部件上进行。在某种情况下,最终的检验应在现场进行。

试验方法与型式试验方法相当(见本标准 E2.4.1 条)。

附录 F
投运试验项目示例
(补充件)

F1 安装后的检查**F1.1 一般检查**

- a. 按制造厂图样和说明书进行的装配检查;
- b. 断路器及其操动机构的密封度检查;
- c. 所有管件及连接件;
- d. 端子板连接紧固性;
- e. 油漆着色及防锈蚀;
- f. 清洁度。

F1.2 电路的检查

- a. 符合布线图;
- b. 信号装置(位置、报警装置、闭锁等等);
- c. 加热和照明装置。

F1.3 绝缘和/或灭弧液体的检查

- a. 油 型号,介电强度(GB 2583《变压器油》等标准的有关规定),油面高度;
- b. 六氟化硫品质和含水量(有关新六氟化硫的技术要求和验收的专业标准),充入压力或密度(密封式电器除外);
- c. 压缩空气品质(如有要求)和压力。

F2 机械试验和测量**F2.1 操作流体压力特性的测量(如有要求)****F2.1.1 通则**

应作下述测量(需要时可列成表格),以便将它们与出厂试验时记录的和制造厂保证的数据相对照。这些数据可作为日后检查(维修)的参考数据,并使操作特性的任何变动能够被检查出来。

测量应包括闭锁装置或报警装置(压力开关、继电器等等)的操作检查。

F2.1.2 测量项目

- a. 泵路装置(泵、压缩机、控制阀等)处于工作状态下,在压力升高的过程中:
 - 分闸闭锁的复位;
 - 合闸闭锁的复位;
 - 自动重合闸闭锁的复位(如有的话);
 - 低压力报警的消失;
 - 泵路装置的切断;
 - 安全阀的打开(如有的话)。

注:测量可与操动机构的储能时间测量装置结合进行(见本标准 F2.4.2 条)。

- b. 泵路不工作时在压力降低过程中:
 - 安全阀的关闭(如有的话);
 - 泵路的启动;
 - 低压力报警的出现;

- 自动重合闸的闭锁(如有的话);
- 合闸的闭锁;
- 分闸的闭锁。

在液压控制情况下,储压筒补压前的压力应在进行试验前与周围空气温度一起测量。

F2.2 操作压力消耗的测量(如有要求)

在泵路装置投入压力的情况下,对于被切除的泵路装置及独立储压的容器,应测量下列每一操作或操作顺序之后的压力消耗:

- a. 三极分;
- b. 三极合;
- c. 三极分—0.3 s(或 0.5 s)—合分(如有需要)。

应当记录每一操作或操作顺序之后的静态压力。

F2.3 额定操作顺序的核实

断路器进行规定的额定操作顺序的能力应当加以核实。试验应当在储能装置工作的情况下,在现场电源电压,以及如有必要,其操作起始压力为泵路装置的投入压力时进行,如同本标准 F2.2 条。

F2.4 时间参量的测量

F2.4.1 断路器的时间特性

F2.4.1.1 合闸和分闸时间、时间分散性

下列测量应在最大压力(泵或装置关闭)和现场电源电压下进行:

- a. 每极合闸时间、各极的时间分散性,如有可能,还有每极各开断单元或单元组的时间分散性;
- b. 每极分闸时间、各极的时间分散性,如有可能,还有每极各开断单元或单元组的时间分散性。

有多个脱扣线圈时,应试验和记录与每一线圈对应的动作时间。

如有三极控制继电器的话,则其通电瞬间应记录下来,以便计算三极操作的全部时间(中断时间加上合闸或分闸时间)。

当断路器装有并联分合闸电阻单元时,应记录电阻投入的时间。

F2.4.1.2 控制触头和辅助触头的操作

在断路器合闸和分闸操作时,应确定每一类(关合和开断)控制触头和辅助触头的操作相对于主触头操作的时序。

F2.4.2 操动机构的储能时间

F2.4.2.1 液压操动机构

应测量泵路装置(泵、压缩机、控制阀等等)的操作时间:

——在最小与最大压力之间(相当于泵路装置投入和切断);

在下列操作或操作顺序时,开始每次都在最低压力下(泵路装置投入):

- a. 三极合;
- b. 三极分;
- c. 三极分—0.3 s(或 0.5 s)—合分(如有需要)。

F2.4.2.2 弹簧操动机构

应在现场电源电压下,测量一次合闸操作后电动机的再储能时间。

F2.5 某些特殊操作的检查

F2.5.1 闭锁压力下的自动重合闸(如有要求)

在泵路装置退出工作时,控制压力应降低到自动重合闸的闭锁值,进行一次自动重合闸操作(在现场条件下,可能需要使用单独的定时装置来启动再次投入)。试验应在现场电源电压下进行。终压力应予以记录,并保证离分闸闭锁压力仍有足够的安全裕度,以防各压力开关接点偏差和出现压力瞬变过程。

如有怀疑时,作为上述方法的替代,可在比自动重合闸闭锁压力更低的压力下开始进行试验(短接

闭锁接点),随后应证实仍能进行一次分闸操作。

F2.5.2 闭锁压力下的合闸(如有需要)

在泵路装置退出工作的情况下,控制压力应一直降低到合闸闭锁值,进行一次合闸操作。试验应在现场电源电压下进行。终压力应予记录,并保证离分闸闭锁压力仍有足够的安全裕度。

如有怀疑时,作为上述方法的替代,可在比合闸闭锁压力更低的压力下开始进行试验(短路闭锁接点),随后应证实仍能进行一次分闸操作。

F2.5.3 闭锁压力下的分闸(如有需要)

在泵路装置退出工作的情况下,控制压力应一直降低到分闸闭锁值,进行一次分闸操作。试验应在现场电源电压下进行。终压力应予记录。

F2.5.4 事故关合操作的模拟和防跳装置的检查

在“合分”循环中,由辅助接点闭合使脱扣回路带电,测量断路器停留在合闸位置的时间。

试验也能检查防跳跃装置的工作,以及检查不会出现因分闸指令突然送入时,由于任何机械上、液动上或气动上的原因而导致失灵的情况。

合闸指令应维持1到2s,以检查防跳装置的有效工作。

注:简化的防跳试验,也可用就地控制来完成,此时合闸指令送入并保持一个持续的分闸指令。

F2.5.5 在已知有分闸指令的情况下断路器在合闸指令下的状态

当先前的分闸指令送入并保持时,应验证断路器在合闸指令的情况下能够满足技术要求。

F2.5.6 分闸指令同时加到两个脱扣器上(如有需要)

两个脱扣器(正常的和紧急的)同时(或实际上同时)通电是可能发生的。

应保证操作不受任何机械、液动或气动干扰的影响,特别是如果两个脱扣器的动作值不同时。

F2.5.7 防止非全极动作(如有需要的话)

防止非全极的动作应利用下面两试验之一加以检查:

- a. 断路器处于分闸,在一个极的合闸脱扣器上通电,进行检查,应观察到该极先合闸,然后分闸;
- b. 断路器处于合闸,在一个极的分闸脱扣器上通电,进行检查,应观察到其他两极也分闸。

F3 电气试验和测量

F3.1 绝缘试验

辅助回路的绝缘试验通常在降低电压下进行,施加1s时间,以避免解开回路中的元件。

在现场,主回路通常不作绝缘试验。

注:当主回路要作绝缘试验时,试验电压的波形和数值由制造厂和用户商定。

F3.2 主回路电阻测量

只有在现场装配开断单元时,才需测量主回路电阻。测量应使用直流,并尽可能符合GB 763的有关规定。

附录 G

断路器运行的选用导则

(参考件)

G1 概述

为使断路器适合于指定运行任务,应按负载条件和故障条件所要求的各个额定值进行选择。

断路器的额定参数推荐配合值列于表8中。希望按照电力系统的特性和预期发展情况,从表8中选择断路器的额定值。

在本标准的第 5 章中已列出了全部额定参数。以下就选用时着重进行叙述：

关于断路器在电力系统故障条件下承担的功能，首先应根据某些公认的计算方法验算电力系统中断路器安装地点的故障电流。

选用时应当充分考虑电力系统的发展规划，使断路器不仅可以满足当前的需要，而且可以满足未来的要求。

对于一种配合的额定值（如电压、电流、关合和/或开断电流）已圆满完成型式试验的断路器，适用于任何较低的额定值（额定频率除外），不必进一步试验。某些操作条件，如高压电动机的开合，还未规定试验条件，如断路器使用的额定电压低于试验时所用的电压，则可能需要慎重考虑操作过电压。必要时可由制造厂与用户协商解决。

G2 运行条件下额定值的选择

G2.1 额定电压的选择

断路器的最高电压至少应等于断路器安装处的系统最高电压。其额定电压应从 GB 11022 第 5.1 条所列的标准值中选用。

额定电压的选择，还应考虑 G2.2 条所规定的相应的绝缘水平，以及表 8 中所规定的额定电压、额定电流和额定短路开断电流的优先配合。

G2.2 绝缘配合

断路器的额定绝缘水平应按照本标准 5.2 条选取，其中的数值适用于户内和户外断路器。断路器是安装在户内或户外，均应在询问单中说明。

对中性点直接接地系统，有关断路器的有效最小爬电比距建议如下：

- a. I 级污秽地区的对地爬电比距 1.6 cm/kV；
- b. II 级污秽地区的对地爬电比距 2.0 cm/kV；
- c. III 级污秽地区的对地爬电比距 2.5 cm/kV。

G2.3 额定频率

如果断路器使用在额定频率以外的其他频率时，应与制造厂协商。

G2.4 额定电流的选择

断路器的额定电流应由本标准列出的标准值中选用。

本标准没有规定断路器的持续过电流能力，当选择断路器时，应使其额定电流适合于运行中可能发生的任何负载电流。当预期有经常的和严酷的间歇过电流时，应与制造厂协商。

注：额定电流为断路器可以连续承载的电流，它不包括非正常使用条件，这些条件可能在发电机断路器中遇到，即在很长时间里断路器处于合闸位置，运行电流接近于额定电流而没有操作，并且又处在高的周围空气温度中。

选用落地罐式气体断路器时，应充分注意日照的影响。

G2.5 产品使用环境条件

断路器的正常使用条件已在第 3 章中列出。

为适用于不同的最低周围空气温度，以等级“户内-10”、“户内-25”、“户外-30”和“户外-40”断路器予以区分。当要求低于这些等级的断路器，或者周围空气的最高温度常超过 40℃（或 24 h 的平均温度超过 35℃）时，应向制造厂咨询。

对于户外断路器，当已知某些地区存在烟尘、化学烟雾、盐雾等不利的大气条件下，对通常暴露在大气中的断路器零件（特别是绝缘子）的设计，应给予特殊考虑。

这些大气中绝缘子的性能还取决于清洗和清扫以及雨水的自然清洗的频率。由于绝缘子的性能取决于如此众多的因素，因而不可能对正常污秽和严重污秽的大气作出精确的定义。这种情况下，使用绝缘子地区的经验便是最好的指导。

当断路器安装处风速超过 35 m/s 时，应与制造厂协商。

对于户外断路器的覆冰厚度,GB 11022 中分为超过 1 mm、5 mm、10 mm 和 20 mm 四个等级。当断路器安装点的预期覆冰厚度超过 20 mm 时,要使断路器在此条件下能够正常运行,则需经制造厂和用户协商。

如果断路器安装点有地震,用户也应与制造厂协商。

户内设备的湿度条件,已列在第 3 章中。

对于户内断路器,当存在任何特殊运行条件,例如化学烟雾、腐蚀性大气、盐雾等,应与制造厂协商。

G2.6 使用于高海拔地区

当断路器安装于海拔 1 000 m 以上时,应向制造厂说明。

G3 故障条件下额定值的选择

G3.1 额定短路开断电流的选择

短路开断电流中的直流分量随短路的起始角而变化,当断路器满足额定短路开断电流的直流分量的规定要求时,对于只由辅助能源脱扣的断路器,在其最小可能的分闸时间加上额定频率半个周波的最小中继时间的时间间隔之末,断路器可能涉及的直流分量百分数不低于图 9 给出的值。图 9 是根据交流分量是常数,频率 50 Hz,短路功率因数为 0.07 时作出的。

当设备安装在电气上离发电机足够远时,则交流分量的衰减可以忽略,只需验证短路功率因数不小于 0.07 和保护设备的最小延时不小于额定频率的半个周波。在这种情况下,选择的断路器额定短路开断电流不小于断路器安装处的短路电流有效值就足够了。

基本的短路试验方式、临界电流试验和近区故障试验,可以用来验证断路器的额定短路开断电流及以下的各种电流值。所以,当预期的短路电流较低时,没有必要进行以较低的额定短路开断电流为基础的一系列短路试验。

在某些情况下,直流分量的百分数可能高于图 9 的标准值。例如,当断路器临近发电中心,交流分量可能比正常情况衰减得更快,短路电流甚至可以几个周波不过零。在这种情况下,断路器的负荷可以用下述方法予以减轻,例如,断路器延时分闸,或由其他的断路器接入附加的阻尼装置,并依次使断路器分闸。如果不能遵循直流分量百分数的标准值,则所要求的百分数应在询问单中说明,并应根据制造厂和用户之间的协议进行试验。有关这方面的注意事项见 G3.2b 条。

额定短路开断电流应由第 5 章给出的标准值中选取。额定短路开断电流、额定电压和额定电流的优先组合见表 8。

G3.2 出线端故障的额定瞬态恢复电压(TRV)、首开极系数和额定近区故障特性的选择

电力系统的预期瞬态恢复电压,不应超过对断路器所规定的表示预期瞬态恢复电压的参考线。瞬态恢复电压在接近于零电压时与规定的延时线相交,但以后不得与它相交。瞬态恢复电压标准值列于本标准 5.13.3 条的表 1~表 3 中。

注:当开断最大短路电流时,出现的瞬态恢复电压未必比其他情况下的更严酷,例如,当开断较小的短路电流时,可能有较高的瞬态恢复电压上升率。

对于额定电压低于 110 kV 时,各标准值适用的首开极系数为 1.5;对于额定电压 110 kV 时,首开极系数可选 1.3 或 1.5;对于额定电压 220 kV 及 330 kV 时,适用的首开极系数为 1.3,如需 1.5 时,由用户与制造厂协商解决;对于额定电压 500 kV 时,适用的首开极系数为 1.3。

系数 1.3 是基于中性点接地的电力系统,在这种系统中,三相不接地故障被认为几乎是不可能的。对于中性点绝缘系统和谐振接地系统,应采用首开极系数 1.5。对于中性点接地系统,如果其三相不接地故障的可能性不能忽略时,或对于中性点不接地系统,有必要采用首开极系数 1.5。

通常,不必考虑代替的瞬态恢复电压,因为规定的标准值已经概括了大多数的实际情况。

更严酷的条件可能在某些情况下发生,例如:

a. 如果短路发生在紧靠变压器之后,而变压器和断路器之间无任何显著的附加电容,则瞬态恢复

电压峰值和上升率都可能超过本标准的规定值；

注：应当注意，为变压器原边选择的断路器，可能必须开断变压器副边发生的短路。

b. 临近发电中心的断路器发生的短路，瞬态恢复电压的上升率可能超过本标准的规定值。

在这些情况下，有必要由制造厂和用户协商特殊的瞬态恢复电压特性。

对额定电压为 60 kV 及以上的断路器，在要求验证其开断近区故障特性时，断路器所在的架空线波阻抗和峰值系数不得大于给出的额定线路特性标准值，且时延不得小于上述值。但如果不是这种情况，则仍然可能采用标准断路器，尤其是电力系统的短路电流小于断路器的额定短路开断电流时。这可以从额定特性计算近区故障的预期瞬态恢复电压（参见 GB 4474），并与由系统的实际特性导出的预期瞬态恢复电压作比较来确定。

如果要求特殊的近区故障特性，则用户应与制造厂协商。

G3.3 失步特性的选择

本标准概括了在失步条件下操作的断路器的大多数使用条件。选用时必须考虑，具体要求见本标准 7.18 条。然而，由于在失步条件下的操作是少见的。因此按最极端的条件来设计断路器是不经济的。

当预期有经常性的失步操作或可能存在超负荷时，则应考虑实际系统的条件，例如，发电机断路器可能有此情况。

有时候，可能需要特殊的断路器或较高额定电压的断路器，作为替代办法，失步操作的苛刻度，可由配有阻敏元件的继电器以控制脱扣的时间来减少，以便使开断相位显著地领先或滞后于 180° 相角差。

当断路器的一端与变压器相连时，可能出现较高的瞬态恢复电压上升率，只要断路器满足了基本短路试验系列的试验方式 2，则可以认为按本标准试验的断路器已满足了这种较高的上升率要求。

G3.4 额定短路关合电流的选择

如第 5 章所述，额定短路关合电流应与额定电压相对应。除非另有说明，其值应为断路器额定短路开断电流交流分量的 2.5 倍（即接近于 $1.8\sqrt{2}$ 倍）。

被选择断路器具有的额定短路关合电流应不小于在使用地点预期的短路电流的最大峰值。

在某些情况下，例如起动感应电动机时，故障电流最大峰值可能大于短路电流交流分量的 2.5 倍。在这种情况下，应避免采用特殊设计，而应选择具有适当的额定短路关合电流的标准断路器。

G3.5 运行中的操作顺序

断路器的额定操作顺序应是第 5.14 条列出的操作顺序之一。除非另有说明，第 5.14 条所给出的时间间隔值是适用的。所提供的额定操作顺序为：

a. 分—3 min—合分—3 min—合分；

b. 分—0.3（或 0.5）s—合分—3 min—合分（用于快速自动重合闸的断路器）。

当运行的操作顺序比本标准的规定更苛刻时，应在用户询问或订货时予以说明，以使制造厂可以适当地修改断路器的额定值。用于特殊工作方式的断路器的例子有：用于控制电弧炉、电极锅炉和（在一定情况下）整流站的断路器。三极断路器的单相操作，例如用于单相关合和开断，也属于特殊工作方式。

G3.6 额定短路持续时间的选择（用于不装直接过流脱扣器的断路器）

额定短路持续时间的标准值为 2 s。如果需要更长的持续时间，则应选择 3 s 作为额定值。经用户与制造厂协商，也可选用 1 s 或 4 s。

当短路持续时间大于额定持续时间时，除非制造厂另有规定，否则，电流和时间的关系应按式（G1）计算：

$$I^2 t = \text{常数} \dots\dots\dots (G1)$$

G4 选用断路器时的其他要求

G4.1 有关断路器主接线端子上允许张力、断路器耐受风力与地震力的验算

选用时应按断路器装置地点的环境条件与配电装置的布置方式进行验算。

G4.2 应根据断路器在电力系统中担负的运行任务来选择其结构类型,配置合适的操动机构并配齐相应的附属设备及专用工具。提出分、合闸装置和辅助回路的额定电源电压与频率的要求。根据电力系统继电保护、远动与通讯各方面的要求,提出所要求的断路器辅助接点的对数。

选择结构类型时,应考虑电力系统的使用经验,对配电装置上的空间尺寸、断路器的基础要求、安装运输条件等均应验算。

附加说明:

本标准由全国高压开关设备标准化技术委员会提出。

本标准由西安高压电器研究所负责起草。

本标准主要起草人龙复为、柯自力。