

ZHONG HUA REN MIN GONG HE GUO DIAN LI HANG YE BIAO ZHUN DIAN QI ZHUANG ZHI AN  
ZHUNAG GONG CHENG ZHI LIANG JIAN YAN JI PING DING GUI CHENG SHI SHI SHOU CE

中华人民共和国电力行业标准

# 《电气装置安装工程质量检验及评定规程》

## 实施手册



当代中国音像出版社

# 《电气装置安装工程质量检验及 评定规程》实施手册

王思东 于 群 主编

第三册

当代中国音像出版社

TM05-62  
W872 V3

## 中华人民共和国电力行业标准

DL/T 812—2002

eqv IEC 61467:1997

标称电压高于 1000V 架空线路绝缘子串工频电弧试验方法

Insulators string for over head lines with  
a nominal voltage above 1000v - AC power  
arctests method

中华人民共和国国家经济贸易委员会 发布

2002 - 04 - 27 发布

2002 - 09 - 01 实施

### 前 言

本标准根据国家经贸委电力司《关于确认 1999 年度电力行业标准制、修订计划项目的通知》(电力[2000]22 号文)的安排制定的。

本标准等效采用 IEC61467:1997 中的内容,其主要内容和技术要求基本上一致,但存在某些差异,包括原附录 A 的内容作为标准中正文的内容,原附录 B 为附录 A,原附录 F 为附录 D。本标准附录 B 是新增内容,理由是至目前止我国尚无绝缘子长串工频电弧试验装置,故暂规定可按附录 B 对绝缘子短串进行工频电弧试验。

本标准规定了交流系统中高于 1000V 架空线路绝缘子工频电弧试验的一般要求,并对试品布置、试验电流、电路条件、试验程序和判定准则作了规定。

本标准附录 A、附录 B 是标准的附录,附录 C、附录 D 是提示的附录。

本标准由电力行业绝缘子标准化委员会提出并归口。

本标准由武汉高压研究所负责起草,中国电力科学研究院、NGK 唐山电瓷有限公司、中法合资塞迪维尔钢化玻璃绝缘子有限公司和大连电瓷总厂参加起草。

本标准主要起草人:吴光亚、蔡炜、王来、董刚、何勇、王镜。

本标准由电力行业绝缘子标准化技术委员会负责解释。

## 目 次

### 前言

- 1 适用范围
  - 2 引用标准
  - 3 名词术语
  - 4 符号说明
  - 5 试品布置
  - 6 试验电流
  - 7 电源电路和返回电路条件
  - 8 起弧
  - 9 环境
  - 10 试验系列和电弧特性
  - 11 结果评价
- 附录 A(标准的附录) 电弧电流有效值的确定
- 附录 B(标准的附录) 绝缘子串元件工频电弧试验方法
- 附录 C(提示的附录) 电源的空载电压
- 附录 D(提示的附录) 故障电流大小变化及选择规定的试验参数的理由

## 1 适用范围

本标准规定了标称电压高于 1000V 交流架空线路用瓷、玻璃和复合绝缘子(以下简称绝缘子)工频电弧试验的一般要求,并对试品布置、试验电流、电路条件、试验程序和判定准则作了明确规定。

本标准适用于标称电压高于 1000V、频率为(50~60)Hz 的交流架空电力线路和牵引线路用瓷、玻璃和复合绝缘子(以下简称绝缘子串)。本标准也适用于绝缘子串组成的绝缘子组和架空线路用刚性绝缘子及变电站用类似结构的绝缘子。直流架空电力线路用绝缘子试验方法可参照执行。

## 2 引用标准

下列标准所包含的条文,通过在本标准中引用而构成为本标准的条文。本标准出版



时,所示版本均为有效。所有标准都会被修订,使用本标准的各方应探讨使用下列标准最新版本的可行性。

GB/T 2900.8—1995 电工术语 绝缘子

JB/T 5896—1991 常用绝缘子术语

### 3 名词术语

名词术语除符合本标准外,还应符合 GB/T 2900.8 及 JB/T 5896。

#### 3.1 试验 Test

对绝缘子串施加一次具有规定大小和持续时间的试验电流。

#### 3.2 试验程序 Test Sequence

对规定的同一绝缘子串进行连续三次的试验。

#### 3.3 试验系列 Test Series

用来表征绝缘子串工频电弧性能的三个试验序的集合。

#### 3.4 电流初始不对称百分率 Percent initial asymmetry of current

电弧第一周波中电流与对称波形的偏差,表示为第一周波电流峰值绝对值除以该电流有效值的函数。

即:

$$\left[ \frac{|I_m|}{I \times \sqrt{2}} - 1 \right] \times 100$$

#### 3.5 电源电路 Supply circuit

使电弧电流从电源流向试品线路侧的电气连接。

#### 3.6 返回电路 Return circuit

使电弧电流从试品接地侧流向电源的电气连接。

#### 3.7 平衡电路 Balanced circuit

电弧电流在两个完全相反方向流动电源电路或返回电路。

#### 3.8 非平衡电路 Unbalanced circuit

电弧电流主要在一个方向流动的电源电路或返回电路。

### 4 符号说明

4.1 I:电弧电流,有效值。

4.2  $I_n$ :规定的电弧电流,有效值。

4.3 t:电弧时间。

4.4  $t_n$ :规定的电弧时间。

4.5  $I_m$ :电弧电流,峰值。

- 4.6  $I_{R1.2}$ :返回电路电流
- 4.7  $I_{s1.2}$ :电源电路电流。
- 4.8  $I_{sys}$ :系统额定短路电流。
- 4.9  $L_A$ :绝缘子串串长。
- 4.10  $L_B$ :绝缘子试验装置的长度。
- 4.11  $L_R$ :返回电路的模拟长度。
- 4.12  $L_S$ :电源电路的模拟长度。
- 4.13  $D$ :被试绝缘子串中点到周围模拟塔的距离。
- 4.14  $M_L$ :被试绝缘子串上的机械负荷。
- 4.15  $L$ :耐张绝缘子串偏离水平面成的角度。
- 4.16 SFL:最小额定机械(电)破坏负荷。
- 4.17 SML:额定机械负荷。

### 5 试品布置

- 5.1 尽可能在模拟运行状态的条件下进行工频电弧试验。
- 5.2 绝缘子串对地和模拟杆塔的间隙距离与运行状态相同。
- 5.3 对超高压和特高压输电线路用绝缘子串以及在特殊杆塔中用的绝缘子串,可以使绝缘子串对地和模拟杆塔的间隙距离与实际运行状态不同,但应满足  $L_B$  大于 6m 和  $D$  约为 6m 的要求。
- 5.4 导体对地的距离至少为  $L_B/2$ , 或  $L_B > 6m$  时不小于 3m。
- 5.5 试验用导线应可能地模拟实际运行状态。
- 5.6 绝缘子串两侧导线长度至少等于该绝缘子串的长度,但其最小长度不小于 2.5m。若  $L_B$  大于 6m,导线长度约为 6m。
- 5.7 杆塔模拟返回电路和试品布置按图 1 的规定进行。
- 5.8 对悬垂绝缘子串施加至少 5kN 机械拉伸负荷。对于耐张绝缘子串,可按需要施加大于 5kN 的机械拉伸负荷。

### 6 试验电流

- 6.1 本试验在单相交流电源下进行,初始不对称(直流分量)百分率不超过 30%。
- 6.2 试验电路的频率为 45Hz ~ 65Hz。对于其他频率的系统,试验电源的频率偏差原则上不超过规定值的 10%。经用户同意试验,可以在比预期运行频率高或低的频率下进行。每次试验其频率可以在以上限度内变化。

6.3 试验电路应足以提供规定的电弧电流值(有效值)和持续时间。除非另有协议,规定的电弧电流有效值的容许偏差为  $\pm 10\%$ 。为了获得规定的电流,附录 C 给出了有关空载电压的推荐数据。

6.4 试验中实际电弧电流应近似为正弦波,其有效值可以从试验持续时间内各峰值的算术平均值得得(附录 A)。若测量设备允许,该有效值可以用电流函数计算。

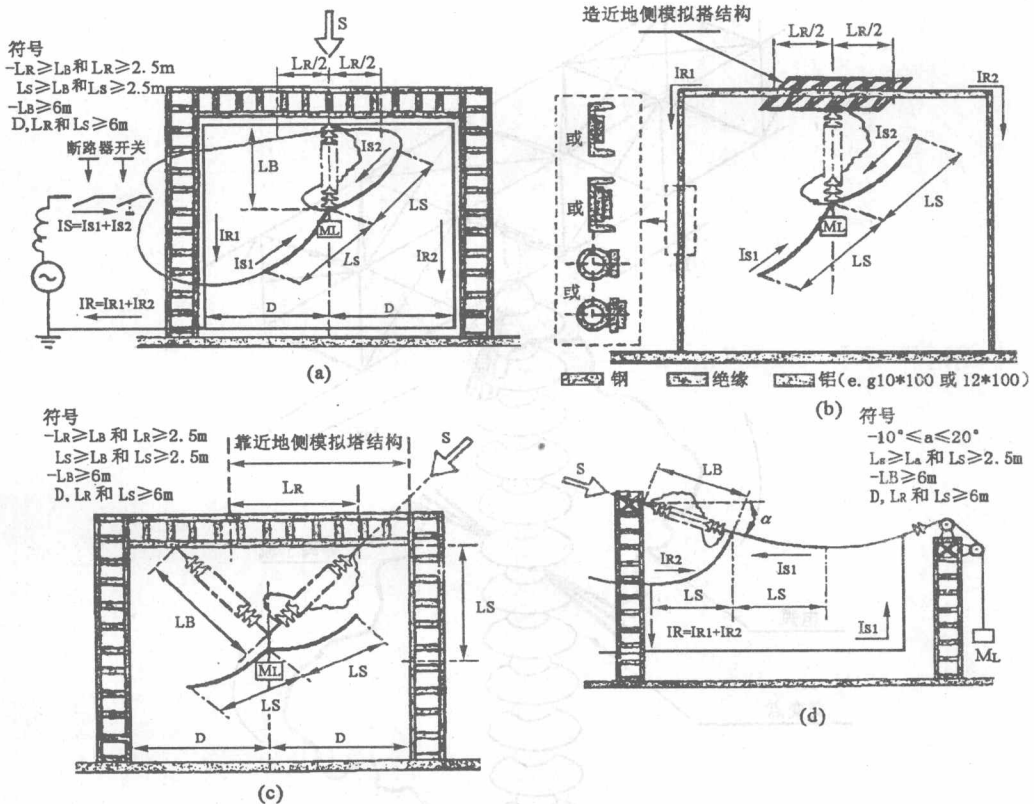


图 1 返回电路试品布置图

- (a)垂直串试品布置;
- (b)使用特定钢结构塔的垂直串试品布置;
- (c)V型串试品布置图;
- (d)耐张串试品布置图

试验电流在燃弧期内应基本保持恒定,并允许与规定值有如下偏差:

- 电弧电流峰值不应偏离规定( $I_n \sqrt{2}$ )  $\pm 20\%$ 以上;
- 对燃弧时间大于 0.2s 的情况,在总燃弧时间不超过 20%期间,可以超出上述偏差。

任何情况下实际电弧电流和持续时间乘积( $I \cdot t$ )均应小于规定电弧电流和持续时间乘积( $I_n \cdot t_n$ )的 10%。

在弧根向杆塔或沿线路导线移动的情况下可能超出这些偏差。

### 7 电源电路和返回电路条件

电源电路和返回电路条件取决于运行条件,特别是取决于绝缘子串沿线路的位置和杆塔的几何结构。试验中模拟特性的情况列于表 1 并示于图 2。

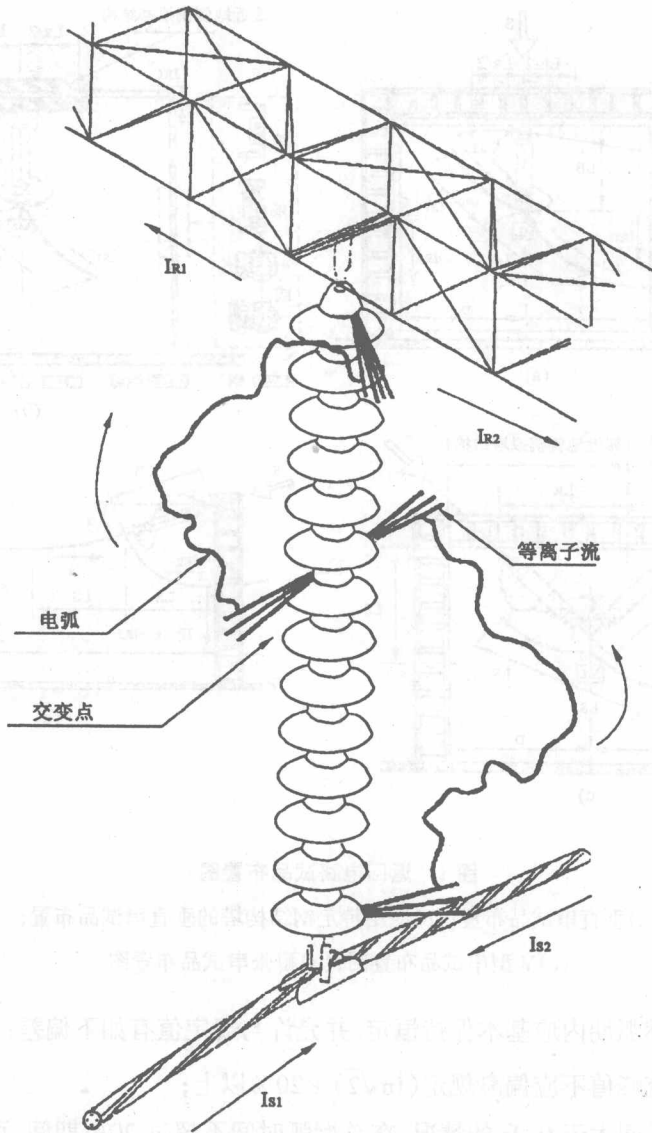


图 2 电源电流和返回电流图



表 1 电源电路和返回电路条件

分 类	平衡电源电路	非平衡电源电路
平衡返回电路	A 电路 $I_{R1} = I_n/2$ $I_{R2} = I_n/2$ $I_{S1} = I_n/2$ $I_{S2} = I_n/2$	B 电路 $I_{R1} = I_n/2$ $I_{R2} = I_n/2$ $I_{S1} = I_n$ $I_{S2} = 0$
非平衡返回电路	C 电路 $I_{R1} = I_n$ $I_{R2} = 0$ $I_{S1} = I_n/2$ $I_{S2} = I_n/2$	D 电路 $I_{R1} = I_n$ $I_{R2} = 0$ $I_{S1} = I_n$ $I_{S2} = 0$

电流  $I_{R1}$  及  $I_{R2}$ 、 $I_{S1}$  和  $I_{S2}$  与各自规定值的允许偏差不应超过  $\pm 20\%$ 。偏差可以用电路校准试验来校验。

## 8 起弧

8.1 电弧可由一根总截面积不大于  $1\text{mm}^2$  的低电阻材料(如银、铝、铜)导线构成的熔丝引燃。熔丝截面若小于  $1\text{mm}^2$ ,也可由多股导线并联绞合而成。

8.2 可熔导线以图 3 所示方式一点接触到金属部件上。

### 8.2.1 盘形悬式绝缘子串

将第一根导线连接到接地侧绝缘子的钢帽上,并隔 3~5 片绝缘子连接到某一中间绝缘子的钢脚上。接着,在绝缘子串与第一根导线相对方向侧以同样方式放置第二根导线。重复这种做法直到绝缘子串的末端。图 3(a)示出了导线的布置以及导线分别与钢帽、伞裙结合点和钢脚的连接方式。当将可熔导线连接到钢脚上存在困难时(如由于绝缘子伞裙的原因),允许将其连接到与该钢脚相连的下一片绝缘子的钢帽处。

如果绝缘子串片数少于 6 片,可以选择熔丝缠绕在中间或靠近中间绝缘子钢脚处。

### 8.2.2 长棒形绝缘子和复合绝缘子

可熔导线应连接在金属部件之间,工在绝缘子的中间部位缠绕在芯杆上,缠绕后导线位于前面的相对侧方向延伸。不同元件应有分开的可熔导线,如图 3(b)所示。

对于较长的绝缘子串(例如绝缘子单元长度大于 1.5m),应按图 3(c)所示将可熔导线连接在绝缘子的金属部件之间,并每隔 0.6m~0.8m 在绝缘子芯杆上缠绕一次,每次缠绕后可熔导线均沿绝缘子的相对侧延伸。

8.3 所有情况下(盘形悬式、长棒形、复合绝缘子串,悬垂、V 型和水平安装绝缘子串),可熔导线所在平面均应与线路导线呈  $45^\circ$ [如图 3(d)和图 3(e)]。图 3(d)表示图 1(a)、(b)、(c)中从剖面方向看,水平和垂直串熔丝剖面;图 3(e)表示图 1(d)从 S 剖面方向看,水平串中熔丝剖面图。

8.4 按顺序进行的每次试验,可熔导线的连接点均应转动 90°。

8.5 对于组合绝缘子串(V型串、双垂串等),在一个试验序列中电弧应总在同一绝缘子串上引燃。该串的选择方法是:由电力造成的电弧方向偏移应朝向该组合绝缘子串的其他串。

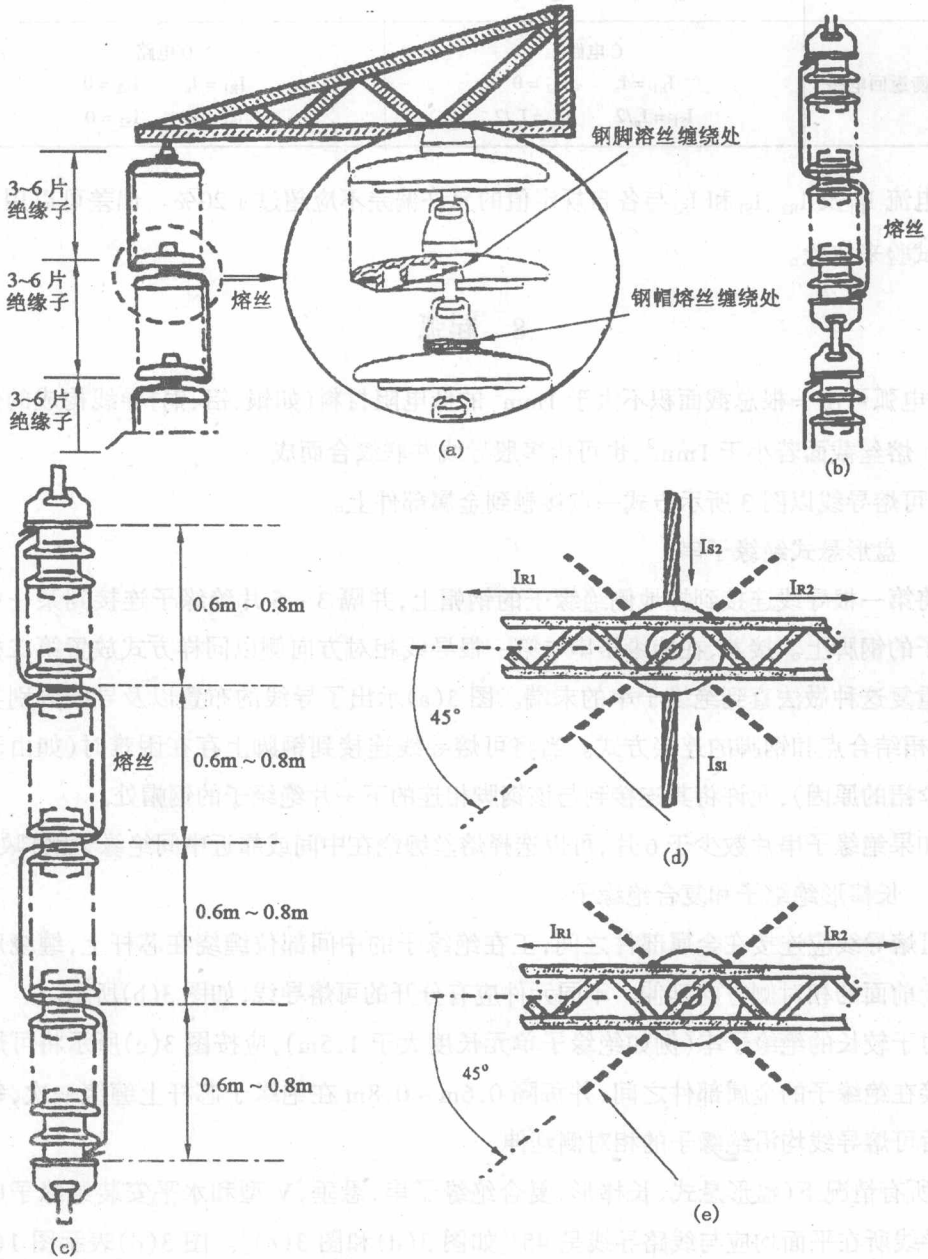


图3 熔丝的布置

## 9 环境

- 9.1 任何情况下均记录风速和所有其他环境条件(大气压力、降雨情况、湿度和温度)。
- 9.2 由于风对电弧过程有影响,试验可在试验室内进行。当在户外试验时,尽可能在无风气候下进行。为了能够对较小电流的电弧试验(小于 10kA)进行有效的试验,最大允许风速为 5m/s。
- 9.3 可以认为包括降雨情况在内的其他大气条件对试验结果没有显著影响。

## 10 试验系列和电弧特性

- 10.1 按照表 1 和图 2,根据杆塔类型从表 2 中选取 X 或 Y 试验系列。仅当返回电路总是不平衡时,例如杆塔没有中相窗,选取 Y 试验系列才是合理的。实际上,杆塔几何结构不同且通常需要 X 和 Y 两个试验系列时,应优先选取 X 试验系列。
- 10.2 连续进行的两次试验之间的最小时间间隔为 20min。每三次相同电流试验后,允许更换损坏的元件或整个绝缘子串。
- 10.3 选取的试验次数和持续时间代表出现在大部分系统上的情况。如果要求用不同的值代表特殊的电网特性时,应事先协商解决。
- 10.4 附录 D 给出了上述取值的说明。

表 2 试验系列

试验系列	试验电路	短路电流	试验次数和持续时间(试验程序)
X	A	$I_n = 0.2I_{sys}$	$t_n = 0.2s, 2$ 次; $t_n = 1s, 1$ 次
	A	$I_n = 0.5I_{sys}$	$t_n = 0.2s, 2$ 次; $t_n = 1s, 1$ 次
	B	$I_n = I_{sys}$	$t_n = 0.2s, 2$ 次; $t_n = 0.5s, 1$ 次
Y	C	$I_n = 0.2I_{sys}$	$t_n = 0.2s, 2$ 次; $t_n = 1s, 1$ 次
	C	$I_n = 0.5I_{sys}$	$t_n = 0.2s, 2$ 次; $t_n = 1s, 1$ 次
	D	$I_n = I_{sys}$	$t_n = 0.2s, 2$ 次; $t_n = 0.5s, 1$ 次

## 11 结果评价

结果评价由两部分组成。首先进行外观检查,随后进行一系列分析试验,以确定绝缘子是否适宜于继续运行。

### 11.1 外观检查

——绝缘子的金属部件和所有承载附件均应检查,并对影响其机械强度的电弧损伤

进行的拍照。拍照包括局部熔化、弧坑和金属蒸发。

——所有镀锌金属部件上可能导致镀层腐蚀的损坏均应检查。

——所有承受显著表面电气作用的金属部件均应检查其是否有局部外形变化,这种变化会引起电晕和无线电干扰增大。

### 11.2 瓷或玻璃绝缘子

除了对绝缘子金属部件损坏的外观检查外,瓷或玻璃绝缘子还应检查对其绝缘件的损坏,包括:

——玻璃或瓷伞裙部分或全部破裂;

——瓷绝缘子釉灼伤。

### 11.3 复合绝缘子

除了对金属部件进行外观检查外,复合绝缘子还应检查其绝缘件的损坏,包括:

——表面变化,如变色、蚀损或电弧等离子体沉积;

——个别伞裙开裂击穿;

——芯棒护套损坏(使玻璃纤维裸露)、端头附件或连接处密封丧失或密封油脂渗漏(如有使用)。

### 11.4 判定准则

判定准则是试验系列完成之后绝缘子串应能安全运行。按照表 3 所定义的准则,应对绝缘子的机械和电气性能进行运行安全性条件验证。

表 3 判定准则

序号	试验项目	评价准则
1	绝缘子掉串	不允许
2	伞裙表面烧伤、开裂、脱釉、镀锌表面熔化	允许
3	玻璃纤维棒裸露(仅对复合绝缘子)	不允许
4	干工频闪络试验(仅对 B 型绝缘子)	对所有绝缘子试验,应出现外绝缘闪络
5	机械破坏负荷试验	所有损坏的绝缘子均应耐受 80% 规定破坏负荷(SFL)或规定机械负荷(SML)

注:对于盘形悬式绝缘子串,被试绝缘子至少应包括线路侧的头三个,接地侧的头三个和燃弧部分的三个中间绝缘子。

## 电弧电流有效值的确定

### A1 试验电流实际持续期内交流分量有效值的确定

为了避免电流和(或)频率变化可能造成的影响,该电流有效值由有交值非加权平均值(三峰法)得到。每一有效值均由一个峰向前一个峰滑移的方法取得。为了免除边界影响,第一个波和最后一个波(如果可能)应予省略,最后一个波会因保护用主断路器而衰减。

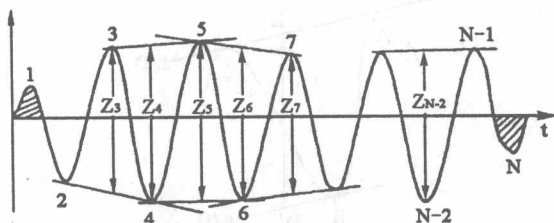


图 A1 三峰值方法确定电弧电流有效值

A1.1 具有  $N[1, \dots, N]$  个峰值的信号的有效值用下式表示:

$$I = \frac{1}{N-4} \sum_{i=3}^{N-2} (x_i) \quad (1)$$

或

$$I = \frac{1}{\sqrt{8}(N-4)} \sum_{i=3}^{N-2} (z_i) \quad (2)$$

式中  $x_i$ ——第  $i$  个峰值时电流的有效值;

$z_i$ ——第  $i$  个峰值时电流的峰—峰值。

用解析式表示,具有  $N[1, \dots, N]$  个峰值的信号的有效值用下式表示:

$$I = \frac{1}{\sqrt{8}(N-4)} \sum_{i=3}^{N-2} (a_i \times t_i + b_i - y_i) \quad (3)$$

式中  $t_i$ ——第  $i$  个峰值时电流的瞬态时间;

$y_i$ ——第  $i$  个峰值电流的峰值电流;

$a_i$ ——直线  $f_i(t)$  的斜率;

$b_i$ —— $t=0$  时  $f_i(t)$  的计算值。

### A1.2 三峰法

本方法用于从三个连续的波峰  $A(t_{i-1}, y_{i-1}), B(t_i, y_i), C(t_{i+1}, y_{i+1})$  估算一个信号交流分量的有效值。该有效值确定为

$$\frac{|DD'|}{\sqrt{8}} \quad (4)$$

$f_i(t)$  是图 A2 中 A、C 两点间直线

$$f_i(t) = a_i t + b_i \quad (5)$$



其中:  $a_i = \frac{(y_{i+1} - y_{i-1})}{(t_{i+1} - t_{i-1})}$

$b_i = y_{i+1} - a_i t_{i+1}$  或  $b_i = y_{i-1} - a_i t_{i-1}$

$g_i(t)$  是通过 B 点与  $f_i(t)$  平行的直线。

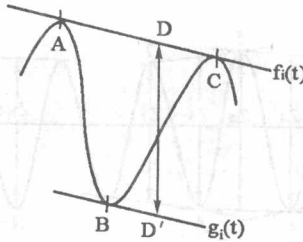


图 A2 三峰值法计算峰值电流有效值

### 绝缘子串元件工频电弧试验方法

至目前止我国尚无绝缘子长串工频电弧试验装置,故暂规定可按本附录 B 的方法对短串的盘形悬式绝缘子、长棒形绝缘子和复合绝缘子元件进行工频电弧试验。

#### B1 试验条件

##### B1.1 试验电流

B1.1.1 电流(有效值):  $20 \pm 2_0$  kA;

B1.1.2 持续时间: 6 个周波  $\pm 0.5$  个周波;

B1.1.3 其他参数应符合 6 条的规定。

#### B2 熔丝的布置

如图 B1 所示,按 8.1 条选择熔丝。熔丝的首端连接在绝缘子串(或元件)靠近地侧的钢帽处,另一端连接在绝缘子串(或元件)靠近高压侧的钢脚处。

#### B3 试品的布置

B3.1 盘形悬式绝缘子: 每 6 片绝缘子组成一短串。

B3.2 长棒形绝缘子: 取 1 个元件,两端加装运行时使用的招弧角。

B3.3 复合绝缘子元件的工频电弧试验可在 110kV 产品上进行,试验方法正在考虑中。绝缘子金属附件的设计应考虑电弧的影响。短路电流的大小及电流持续时间可能会引起端部附件、芯棒及伞裙损坏,应当设计有恰当的电弧保护器件。

B3.4 对绝缘子短串在试验期间施加 40% 额定机械破坏拉伸负荷(SEL 或 SML)。

B3.5 试品布置如图 B1 示。

B3.6 试验中连接到绝缘子底部的垂直导体长度不小于 0.5m,且包敷绝缘层(不可燃)

直至最下部的绝缘子钢脚,如图 B1。

#### B4 试验方法

B4.1 按 B2 条和 B3 条的规定将绝缘子短串安装在图 B1 所示试验装置上。

B4.2 对盘形悬式绝缘子,每串绝缘子起弧一次,然后更换最底部的绝缘子;连续起弧三次,每次试验完毕,静置 5min 后卸载负荷。

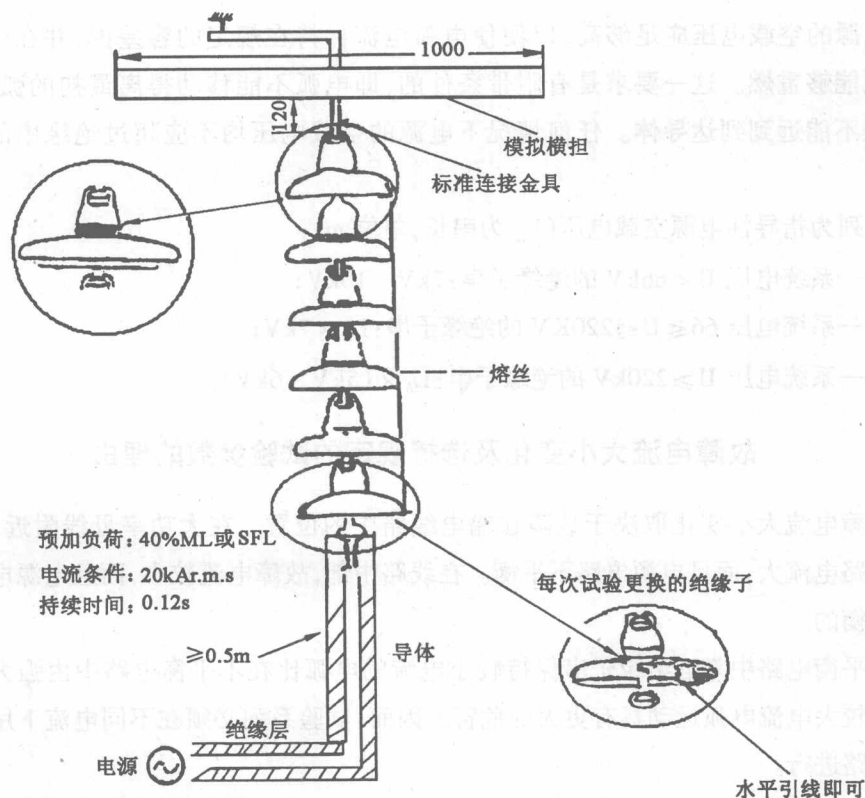


图 B1 试品布置

B4.3 对长棒形绝缘子和复合绝缘子,每串绝缘子起弧一次,共对三串绝缘子进行试验,每次试验完毕,静置 5min 后卸载负荷。

B4.4 两次连续试验间隔时间 20min。

#### B5 判定准则

绝缘子元件若在工频电弧试验后满足下列条件,则工频电弧试验合格:

a) 机械破坏负荷不低于 80% 的额定机械(机电)破坏负荷(SFL)或额定机械负荷(SML);

b) 工频干耐受电压试验通过。电压值为绝缘子元件工频湿耐受电压。

### B6 等效性和有效期

B6.1 当有证据说明同吨位的某种绝缘子的试验更严格时,可仅对此种绝缘子进行试验。如同吨位的大盘径、大爬距产品的试验可覆盖小盘径、小爬距产品的试验。

B6.2 在工艺不变条件下同厂家同型式产品的试验有效期为5年。

### 电源的空载电压

电源的空载电压应足够高,以便使电弧电流保持在规定的容差内,并在电流过零时电弧能够重燃。这一要求是有附带条件的,即电弧不能移动得离最初的弧根太远,特别是不能远到到达导体。任何情况下电源的空载电压均不应超过绝缘串的额定电压。

下列为指导性电源空载电压( $L_A$ 为串长,单位m):

——系统电压  $U < 66\text{kV}$  的绝缘子串:  $7\text{kV} \sim 10\text{kV}$ ;

——系统电压  $66 \leq U \leq 220\text{kV}$  的绝缘子串:  $L_A \times 7\text{kV}$ ;

——系统电压  $U \geq 220\text{kV}$  的绝缘子串:  $L_A \times (5\text{kV} \sim 6\text{kV})$ 。

### 故障电流大小变化及选择规定的试验参数的理由

故障电流大小变化取决于故障在输电线路中的位置。在大功率母线附近(线路端头),短路电流大,而且电源电路不平衡。在线路中部,故障电流较小,而且电源电路事实上是平衡的。

在平衡电路中靠近绝缘子串保持较小电流的电弧比在不平衡电路中由强大的电动力迫使较大电流电弧运动具有更大的危害。因而,试验系列必须在不同电流下用适当的试验电路进行。

图 D1 表示电弧电流及其有 100km 长 145kV 线路电源电路分量的分布情况,该线路与 28kA 短路电流母线相连。可以看出,该线路的特点是电弧电流较小,且为平衡电源电路。

试验程序规定的短路电流  $0.2I_{\text{sys}}$ 、 $0.5I_{\text{sys}}$  和  $I_{\text{sys}}$  满足输电线路沿线特定故障电流的水平。每试验程序三次试验是根据线路断路器规定的操作顺序确定的。电弧持续时间和断路器常规操作时间相适应。第三次试验电弧持续时间较长是按照后备保护动作时间确定的。

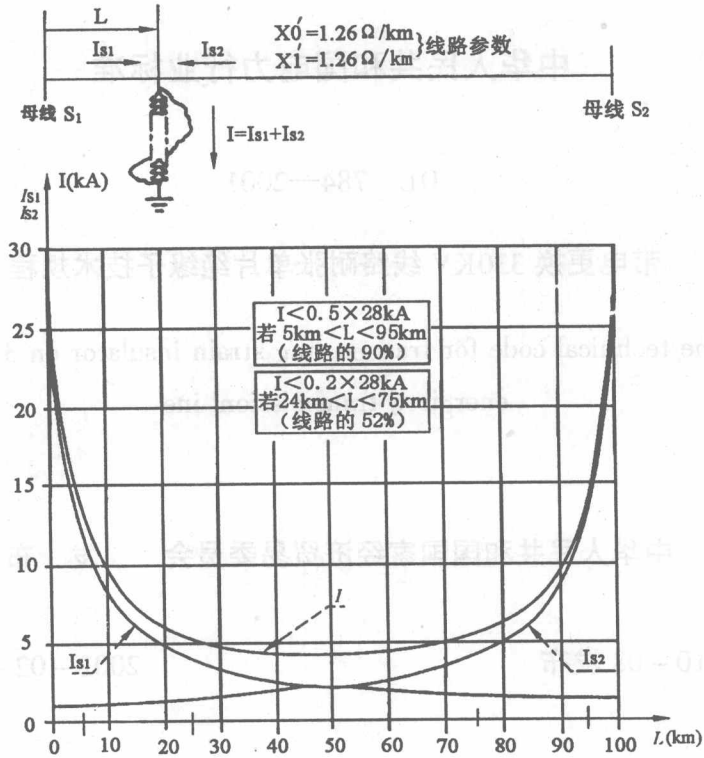


图 D1 电弧电流 ( $I$ ) 及其在 100km 电源电路上  
 分量 ( $I_{s1}$ 、 $I_{s2}$ ) 的分布情况  
 (连接 28kA 短路电流母线的 145kV 线路)