

文章编号: 1001-1609(2006)05-0337-03

# 800 kV 隔离开关屏蔽环设计

徐光辉

(河南平高电气股份有限公司, 河南 平顶山 467001)

Design of the Shielding Ring of 800 kV Disconnecter

XU Guang-hui

(Henan Pingao Electric Co. Ltd., Pingdingshan 467001, China)

摘要: 800 kV 隔离开关是我国西北电网建设 750 kV 线路的重要开关设备之一。通过计算和试验研究找到了降低 800 kV 特高压交流隔离开关的无线电干扰水平的途径, 对屏蔽环的设计计算作了详细的阐述。

关键词: 800 kV; 隔离开关; 无线电干扰水平; 屏蔽环

中图分类号: TM564.1

文献标识码: A

Abstract: 800 kV disconnecter is one of the most important switchgears in 750 kV transmission line, built in Northwest of China. In order to reduce the radio interference level of 800 kV EHV AC disconnecter, calculations and experiments are carried out, and the measures are given out in this paper. The design of shielding ring of 800 kV disconnecter is introduced in detail.

Key words: 800 kV; disconnecter; radio interference level; shielding ring

## 0 引言

对于 800 kV 特高压隔离开关而言, 在探讨其结构时, 屏蔽环的研究也是至关重要的, 屏蔽环不仅是决定其绝缘强度的一个重要因素, 而且是限制其电晕放电的决定因素。探讨影响无线电干扰的一些因素, 使 800 kV 特高压隔离开关无线电干扰水平不超过 2 000  $\mu\text{V}$ , 达到 GB/T 11022-2000 的规定。

## 1 电晕放电和无线电干扰水平的限制

隔离开关在工作电压下, 在其高场强的窄小区域内, 会产生电晕放电。电晕放电不仅有能量的损失, 同时会对其周围通讯设备进行无线电干扰。通常, 隔离开关屏蔽的目的可以不考虑由于电晕放电形成的能量损失, 但是, 电晕放电所产生的无线电干扰和噪音干扰必须加以限制。

流注式电晕是噪音和无线电干扰的主要来源, 所以, 要求将隔离开关上无流注式电晕作为屏蔽设计标准。当高压元件的曲率半径相当大时, 流注式电晕的起始电压几乎与自持放电的起始电压相吻合。在交流电压下, 当有在前半周形成的沿导体方向运动的负离子存在时, 在电场强度约比起始场强度高 5% 时, 将出现正极性电压下的自持放电<sup>[1]</sup>。

文[2]表明: 电极上的电晕放电与电极上的电压高低无关, 而仅与电极上的电场强度有关。这一理论阐述, 为限制 800 kV 特高压隔离开关上无线电干扰水平奠定了理论基础。

文[3]研究指出: 对非稳态电压, 不产生预火花放电的条件是电极表面的最大场强  $E_{\text{max}}$  不得超过某一定值; 对雷电冲击电压, 要求  $E_{\text{max}} < 30 \sim 40 \text{ kV/cm}$ ; 对操作冲击电压, 要求  $E_{\text{max}} < 22 \sim 25 \text{ kV/cm}$ 。

800 kV 特高压隔离开关屏蔽环的设计, 应按照在最大工作电压下屏蔽环表面的最大场强不超过起始电晕放电场强来设计。隔离开关在线路中作为一个导体, 起始电晕放电场强与其最大电压处导体的半径、空气密度和导体表面的粗糙度有关, 起始电晕放电场强可由以下公式计算<sup>[4]</sup>:

$$E_{\text{kp}} = 16.5m_0 [1 + 0.62/(0.3r_0^{0.38})] \quad (1)$$

其中:  $E_{\text{kp}}$  为起始电晕放电场强  $\text{kV/cm}$ ;  $m_0$  为导体表面的粗糙系数;  $\rho$  为相对空气密度,  $\rho = P/P_0$ , 式中  $P$  和  $T$  为空气的压力和绝对温度,  $P_0 = 760 \text{ mmHg}$ ,  $T_0 = 293 \text{ K}$ ;  $r_0$  为导体半径  $\text{cm}$ 。

因此, 对于隔离开关电极的屏蔽可以采用下列不等式设计:

$$E_{\text{max}} \leq E_{\text{kp}} \quad (2)$$

式中:  $E_{\text{max}}$  为电极上的最大场强。考虑到气象条件的变化, 按式(1)对  $E_{\text{kp}}$  的影响(相应于空气密度年平

收稿日期: 2006-01-19

作者简介: 徐光辉(1971-), 男, 工程师, 硕士, 从事高压开关产品设计、研发工作。

均值的 5% 内变化), 条件式 (2) 可以改为更实际的形式:

$$E_{\max} = 0.90E_{kp} \quad (3)$$

或者:

$$U_{\max} = 0.90U_{kp} \quad (4)$$

式中:  $U_{\max}$  为电极上的最大电压;  $U_{kp}$  为起始电晕放电电压。

## 2 800 kV 特高压隔离开关屏蔽环设计

综上所述: 800 kV 特高压隔离开关位于高电压下, 在其上面不允许出现可见电晕, 利用屏蔽环屏蔽可以起到这一效果。屏蔽环可以调整绝缘结构的电气强度, 均衡绝缘结构电场及限制高压电极附近的电场强度。屏蔽环的结构应当以不产生流注式电晕进行设计, 因此, 屏蔽环表面上场强应根据式 (3), 式 (4) 的条件进行限制。

屏蔽环上的临界电晕放电电压决定于屏蔽环结构的几何尺寸。对于各种形状的屏蔽环, 其与电晕临界电压相对应的表面最大场强都可以作为表面曲率和空气相对密度的函数来确定。对于圆柱形表面, 其临界场由式 (1) 决定, 对于曲率半径为  $R$  的球形表面:

$$E_{kp} = 16.5m_0 [1 + 0.62 / (0.39R^{0.38})] \quad (5)$$

当表面形状不同于球形和圆柱形时, 等效圆柱的曲率半径可按下式计算:

$$1/r_0 = 1/r_{\min} + 1/r_{\max} \quad (6)$$

式中:  $r_{\min}$  和  $r_{\max}$  为表面的主(最大和最小)曲率半径。

### 2.1 超环屏蔽环设计

根据隔离开关的运动特征, 其一般采用超环屏蔽形式。单个超环屏蔽环(图 1)的对地电容<sup>[4]</sup>。

$$C_T = \frac{4 \pi \epsilon_0 R_0 (1 + \frac{r_T}{2R_0})}{\ln \frac{8R_0}{r_T} (1 + \frac{r_T}{2R_0}) - \frac{R_0}{2H}} \quad (7)$$

式中:  $R_0$  为环轴线的曲率半径;  $r_T$  为环管的半径;  $H$  为环的对称平面到地面的高度。

显然,  $C_T$  与半径  $R_0$  成正比例, 并随比值  $R_0/r_T$  的增大(即  $r_T$  减小)而减小。当  $R \ll H$  时, 离地距离对环的电容影响很小。当环的电容为已知时, 则有电荷  $q = C_T U$ 。另外, 单个超环屏蔽环表面的最大场强<sup>[4]</sup>:

$$E_{\max} = \frac{q}{4 \pi \epsilon_0 R_0 r_T} (1 + \frac{r_T}{2R_0} \ln \frac{8R_0}{r_T}) \quad (8)$$

根据式 (6), 在  $r_{\min} = r_T$  和  $r_{\max} = R_0$  的条件下决定的等效圆柱的曲率半径为  $r_0$  时, 最大场强与电晕临界场强相等, 则对于单个超环面屏蔽环的临界电晕电压可得公式:

$$U_{kp} = E_{kp} r_T \frac{\ln \frac{8R_0}{r_T} - \frac{R_0}{2H} (1 + \frac{r_T}{2R_0})}{1 + \frac{r_T}{2R_0} \ln \frac{8R_0}{r_T}} \quad (9)$$

由此可见, 临界电晕电压与环管的半径成比例, 并随  $R_0/r_T$  的增大而减小。经计算表明, 当比值  $R_0/r_T = 7$  时, 临界电晕最高, 但当比值  $R_0/r_T = 10$  时, 临界电晕电压将减少 5%, 当比值  $R_0/r_T = 15$  时, 临界电晕电压将减少 10%。因此, 该比值的最优范围可取 7  $R_0/r_T$  15。

在隔离开关设计中, 在其静触头部位常采用两个完全相同的超环面屏蔽环。当把两个超环面屏蔽环之间的距离设计为  $d = (0.5 \sim 1)R_0$  时, 其临界电晕电压最大, 此时要比在同一尺寸的单个环要高 25%<sup>[4]</sup>。地面上的单个超环面屏蔽环见图 1。

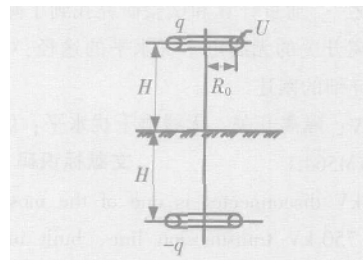


图 1 地面上的单个超环面屏蔽环

由于屏蔽环的半径  $R_0$  是决定 800 kV 特高压隔离开关的绝缘强度的重要因素之一, 管环的半径  $r_0$  是决定 800 kV 特高压隔离开关的临界电晕电压的重要因素。由试验可知, 屏蔽环的半径  $R_0 = 500$  mm 时可以满足 800 kV 特高压隔离开关的绝缘性能, 因此, 800 kV 特高压隔离开关的屏蔽系统若采用超环面屏蔽形式, 其屏蔽环的半径  $R_0 = 500 \sim 600$  mm。由以上计算可知, 在结构设计允许的范围内, 环管的半径可取  $r_0 = 50 \sim 85$  mm。在静触头上若采用双超环形式, 双环之间的高度应为 500 ~ 1 000 mm。

### 2.2 800 kV 特高压隔离开关无线电干扰试验

#### (1) 试验条件

根据以上分析计算, 制作了如图 2 所示的超环屏蔽环, 屏蔽环的半径  $R_0 = 500$  mm;  $r_0 = 50$  mm。将两环放置在隔离开关静触头上, 双环之间的高度为 600 mm。

将此屏蔽结构放置在双断口 800 kV 特高压交流隔离开关的一端, 另一端加接地静触头屏蔽环, 中间转动部位放置屏蔽罩, 见图 3。

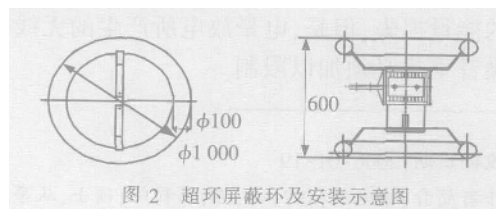


图 2 超环屏蔽环及安装示意图

然后对如图4所示的双断口800kV特高压交流

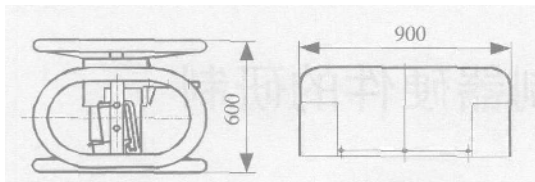


图3 带接地静触头的屏蔽环及中间屏蔽环

流隔离开关进行无线电干扰试验。

### (2) 试验线路图

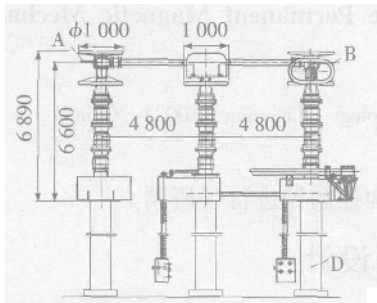
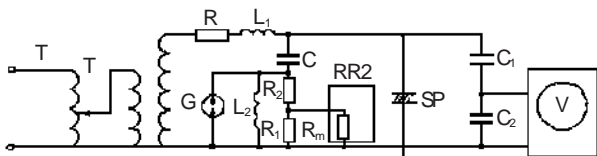


图4 800kV特高压双断口隔离开关示意图

无线电干扰试验示意图见图5。

### (3) 试验程序



C——耦合电容 C<sub>1</sub>——分压器高压臂 C<sub>2</sub>——分压器低压臂  
R——保护电阻 R<sub>1</sub>——匹配电阻 R<sub>2</sub>——串联电阻  
L<sub>1</sub>——阻塞阻抗 L<sub>2</sub>——工频分流电感 R<sub>m</sub>——干扰仪输入阻抗  
SP——试品 V——工频峰值电压表 RR2——无线电干扰场强仪

图5 无线电干扰试验示意图

在此隔离开关上首先施加  $1.1U_r/\sqrt{3}$  的试验电压并维持5min,  $U_r$  是隔离开关的额定电压, 然后把

电压逐级下降至  $0.3(1.1U_r/\sqrt{3})$ , 试验电压保持1min; 再逐级上升至  $1.1U_r/\sqrt{3}$  的试验电压并维持1min, 进行无线电干扰的测试。然后逐级下降至  $0.3(1.1U_r/\sqrt{3})$ , 以后试验电压每降低10%测量一次。

### (4) 试验结果

在每极电压上, 进行无线电干扰的测试, 测试结果见表1。

表1 试验结果

试品状态	加压部位	接线部位	实验电压/kV	试验数据		结果
				dB	μV	
合闸对地	A B	D	510	63	1500	合格
分闸	A	B	510	60	1000	合格
断口间	B	A	510	60	1000	合格

由表1测试结果知, 计算设计的屏蔽环可以满足要求。

## 3 结语

根据以上分析计算及试验可知: 对于电极而言, 影响其流注式电晕放电的因素是其表面的电场强度, 与施加其上的电压无关。根据这一机理设计的屏蔽环, 可以满足800kV特高压交流隔离开关无线电干扰试验。

## 参考文献:

- [1] 张纬铨, 何金良, 高玉明. 过电压防护及绝缘配合[M]. 北京: 清华大学出版社, 2002.
- [2] 刘 笙. 电气工程基础[M]. 北京: 科技出版社, 2002.
- [3] 马乃祥. 长间隙放电[M]. 北京: 中国电力出版社, 1998.
- [4] H 阿列克山德洛夫. 超高压设备及其周围环境保护[M]. 顾乐观, 孙才新, 赵文麒, 译. 四川: 重庆大学出版社, 1982.

(上接第336页)

距3cm时混合体伏安特性曲线与湿度饱和时的伏安特性曲线逐渐靠近, 但混合体23.5kV的击穿电压低于湿度饱和时的击穿电压。

## 3 结语

气液混合体电晕特性实验表明:

(1) 空气中电晕放电, 棒电极端部有扫帚状光芒。而在混合体中除了棒电极端部前方发生明显的光芒外, 在棒电极附近的水滴也会产生较强的电晕放电光芒。

(2) 相同电压下, 自来水混合体的放电电流最大, 纯净水混合体的次之, 空气的最小。液体的电导率对放电有重要的影响, 电导率越大, 电晕电流越高。

## 参考文献:

- [1] 叶齐政. 混合体混合体放电及其在水处理中应用的研究[D]. 武汉: 华中科技大学, 2001.
- [2] 黑田孝一, 稻川 敦, 北村岩雄, 等. 交流电压绝缘破坏实验[Z]. 富山: 富山大学工学部纪要, 1996.
- [3] 葛正谟, 董万胜, 雷暴云中闪电放电条件的雨滴增长[J]. 高原气象, 1996, 15(2): 212-215.
- [4] YE Qi-zheng, LI Jin. Effective Permittivity of Dielectric Mixture Based on the Electric-circuit Model [J]. Electromagnetics, 2001, 21(4): 341-350.
- [5] Kubuki M, Yoshimoto R, Tanoue K, et al. Breakdown Characteristic in Air Gaps with Artificial Floating Metals under DC Voltage[J]. IEEE Trans. on Dielectrics and Electric Insulation, 1995, 2(1): 155-166.