

10 kV配电网绝缘子雷电冲击伏秒特性研究

为研究10 kV配电网绝缘子干燥和湿润情况下的伏秒特性,在冲击电压实验室对10 kV XP-70盘形悬式瓷绝缘子、LXP-70盘形悬式玻璃绝缘子、SC-210瓷横担绝缘子、R5ET105L柱式瓷绝缘子、FPQ3-10/4T20针式复合绝缘子和P-15T针式瓷绝缘子进行了雷电冲击伏秒特性试验。试验表明,在干弧距离相同的情况下,配电网绝缘子的闪络电压与绝缘子干弧距离成正比,雨水对其影响不明显;配电网绝缘子在1~4 μs的截断时间范围内,击穿电压变化幅度很大,随截断时间的延长而显著降低。

张 弦/国网湖南省电力公司检修公司 刘 刚/华南理工大学电力学院
陈荣锋/国网福建省电力公司厦门供电局



张 弦/工程师

10 kV配电网在城市和农村电网中主要以架空线路形式居多,其分布广泛、结构复杂且直接面向用户,由于线路整体绝缘水平较低,没有避雷线,暴露在野外,受到雷击的几率较大。由运行部门提供数据显示,10 kV配电网雷击跳闸事故居高不下,绝缘子闪络造成跳闸事故比例超过所有跳闸事故的1/3,极大地影响了配电网的供电可靠性和安全稳定运行^[1-2]。因此有必要对10 kV配电网的不同杆塔绝缘子水平进行评估。

目前,输电线路的过电压研究多采用电磁暂态仿真方法,而绝缘子闪络判据极大地影响了线路防雷性能的计算结果^[3]。华南理工大学提出了先导发展法对复合绝缘子闪络判据进行研究^[4];武汉大学和东莞高能公司对110~500 kV复合绝缘子伏秒特性进行试验研究,验证了50%雷电冲击闪络电压与干弧距离呈线性关系^[5];国内专家和学者对220 kV、

500 kV瓷绝缘子和220 kV复合绝缘子进行试验,验证绝缘子串干弧距离长度相同时材质的不同对其伏秒特性没有影响,但与其干弧距离成正比关系^[6];国外学者Witzke和Bliss对绝缘子闪络进行研究,提出了电压积分法^[7-8]。但这些方法主要是针对主网绝缘子进行研究的,且分散性较大,适用范围有限。

目前,10 kV配电架空线路上使用的绝缘子主要为盘形悬式瓷绝缘子、长棒形瓷绝缘子、盘形悬式玻璃绝缘子和棒式复合绝缘子等,如果按照材料类型区分,主要可以分为瓷、玻璃和复合型绝缘子。本文针对几种不同类型的常用配电网绝缘子进行雷电冲击试验,对配电网绝缘子的干燥和湿润情况下伏秒特性进行试验研究。

试验装置、试品和方法

1. 试验装置

雷电冲击试验是在一个8 m×8 m×7 m的室内试验大厅进行的,试验设备布置如图1所示。

试验电压由800 kV的冲击电压发生

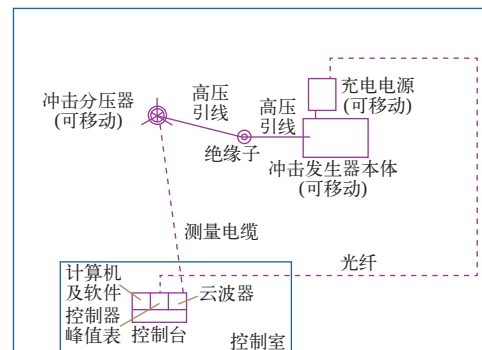


图1 绝缘子冲击试验系统布置示意图

关键词/Keywords

配电网·
绝缘子·
伏秒特性·
雷电冲击·
电弧·

广东省省级科技计划项目(2013B010405002)。

器产生，冲击电压发生器如图2所示。其中，电压发生器本体标称电压为800 kV，标称容量为20 kJ，每级电容量及电压为0.5 μF/100 kV，共8级，可产生±1.2/50 μs标准雷电冲击电压全波，效率大于90%。其冲击高压测量系统由低阻尼电容分压器、峰值电压表和示波器组成。低阻尼电容分压器规格为800 kV/500 pF，分压比为526.7，高度为3.5 m。试验时采用的雷电冲击波为正极性标准雷电波，波头时间为1.2±30% μs；半峰值时间或波长时间为50±20% μs。试验原理图如图3所示。



图2 冲击电压发生器实物图

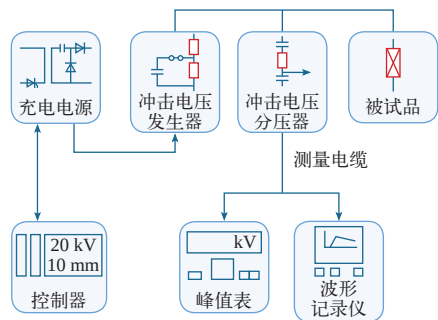


图3 试验原理图

2. 试验试品

试验中采用的10 kV绝缘子型号包括XP-70盘形悬式瓷绝缘子、LXP-70盘形悬式玻璃绝缘子、SC-210瓷横担绝缘子、R5ET105L柱式瓷绝缘子、FPQ3-10/4T20针式复合绝缘子和P-15T针式瓷绝缘子。以上几种绝缘子参数如下表所示，试品放置如图4所示。

3. 试验方法

绝缘子伏秒特性曲线是由冲击电压发生器产生波形固定幅值变化的雷电波形施加在被试绝缘子上，闪络放电可以发生在波前、波峰或波尾，

表 几种绝缘子参数

绝缘子	结构高度 /mm	最小公称爬 电距离/mm	雷电全波冲击 耐受电压/kV	工频湿闪 电压/kV
XP-70盘形悬式瓷 绝缘子(2片)	292	590	240	80
LXP-70盘形悬式 玻璃绝缘子(2片)	292	640	200	80
SC-210横担 悬式绝缘子	450	380	210	60
R5ET105L柱式 瓷绝缘子	283	360	105	40
FPQ3-10/4T20 针式复合绝缘子	247	460	90	40
P-15T针式 瓷绝缘子	185	280	118	45



图4 试品放置图

以闪络放电电压为纵坐标，放电时间为横坐标绘制伏秒特性曲线^[9-11]。

依据GB/T 16927—1997《高电压试验技术》进行试验，首先求得绝缘子50%闪络电压值，试验方法采用升降法。先估计大致的50%的放电电压 U_m ，并以 U_m 的3%作为各级电压间的电压增量 ΔU ，以 U_m 作为初始电压加于试品上，如果闪络，则下次试验应加 $U_m - \Delta U$ ；如果不闪络，则下次应加 $U_m + \Delta U$ ，即如果闪络，应降 ΔU 加压，如未闪络，应升 ΔU 加压^[12-14]。每个试验点的有效试验次数大于30次，两次试验时间间隔为3~5 min。

将加在试品电极间的雷电冲击电压以50%闪络电压值为基准逐渐升高，至少变更峰值5次以上，使试品闪络，并记录闪络前的时间和电压幅值。分别测取干燥和湿润情况下的伏秒特性。

试验结果与分析

根据上述试验方法,运用最小二乘法拟合试验数据得到XP-70盘形悬式瓷绝缘子、LXP-70盘形悬式玻璃绝缘子、SC-210瓷横担绝缘子、R5ET105L柱式瓷绝缘子、FPQ3-10/4T20针式复合绝缘子和P-15T针式瓷绝缘子在干燥和湿润情况下的伏秒曲线,如图5~图10所示。

通过试验和绘制伏秒特性曲线图可以得出以下几点结果。

1) 在干弧距离相同的情况下,2片LXP-70

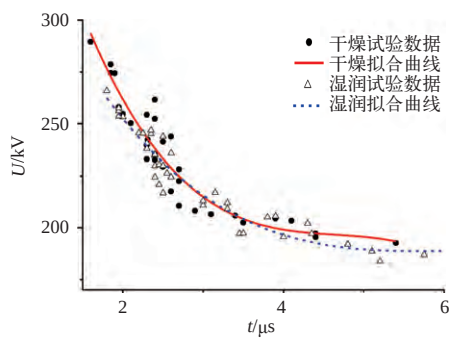


图5 LXP-70盘形悬式玻璃绝缘子(2片)伏秒特性曲线

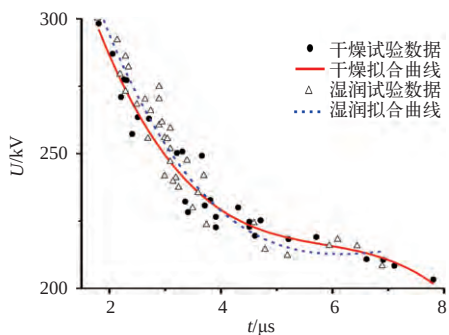


图6 XP-70盘形悬式瓷绝缘子(2片)伏秒特性曲线

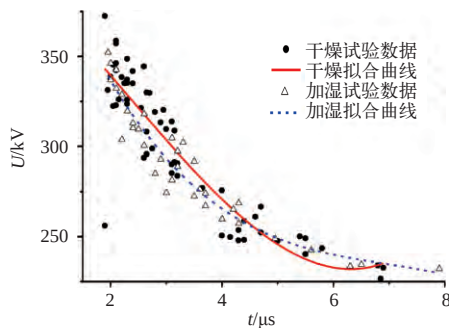


图7 SC-210瓷横担绝缘子伏秒特性曲线

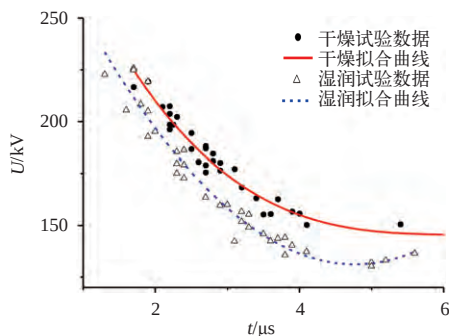


图8 R5ET105L柱式瓷绝缘子伏秒特性曲线

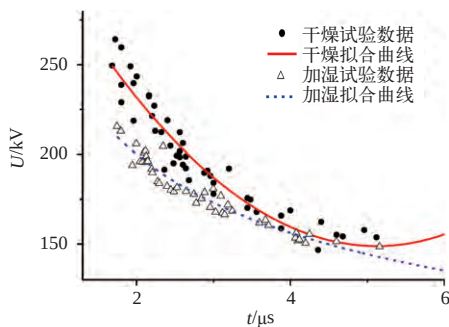


图9 FPQ3-10/4T20针式复合绝缘子伏秒特性曲线

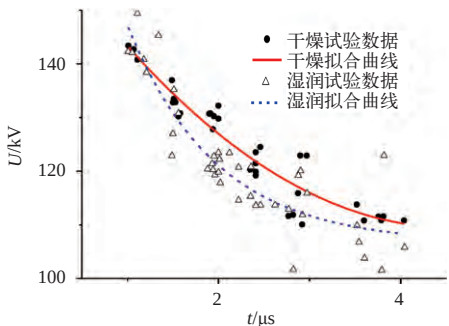


图10 P-15T针式瓷绝缘子伏秒特性曲线

玻璃绝缘子的雷电冲击闪络电压特性与2片XP-70玻璃绝缘子的特性接近,雨水对其影响不明显。可见配电网绝缘子的闪络电压与绝缘子干弧距离成正比。

2) 在1~4 μs的截断时间范围内,击穿电压变化幅度很大,随截断时间的延长而显著降低。要提高绝缘子的闪络电压,可以通过增加绝缘子的片数增大绝缘子爬电距离,如将玻璃绝缘子改为3片或采用瓷横担绝缘子。

3) 柱式和针式绝缘子伞裙直径较小,对于同一高度来说,其干弧距离总是略小于瓷和玻璃绝缘子,具有憎水性的硅橡胶复合绝缘子的雷电冲击湿闪络电压比其干闪络电压明显下降。

结束语

对XP-70盘形悬式瓷绝缘子、LXP-70盘形悬式玻璃绝缘子、SC-210瓷横担绝缘子、R5ET105L柱式瓷绝缘子、FPQ3-10/4T20针式复合绝缘子和P-15T针式瓷绝缘子伏秒特性曲线进行研究表明:

1) 在干弧距离相同的情况下, 配电网绝缘子的闪络电压与绝缘子干弧距离成正比, 雨水对其影响不明显。

2) 配电网绝缘子在 $1 \sim 4 \mu\text{s}$ 的截断时间范围内, 击穿电压变化幅度很大, 随截断时间的延长而显著降低。

3) 由于试验条件限制, 未采用高速摄像机拍摄闪络电弧发展过程, 下一步工作可以分析电弧发展的过程。

4) 伏秒特性法是根据在绝缘子两端施加标准雷电冲击波得到的, 但实际上雷击部位在塔头或者在线路附近感应到线路时, 由于雷电波的折反射作用, 在绝缘子两端的波形与标准雷电波是有差异的。下一步可以分析配电网避雷器伏秒特性, 研究避雷器与配电网绝缘子之间的绝缘配合, 以供运行部门改造配电网输电线路防雷措施提供参考。

参考文献

- [1] 唐军. 珠江三角洲某地区10 kV配电线路防雷性能评估及其策略研究 [D]. 广州: 华南理工大学, 2012.
- [2] 张力庭. 雷电对配电网安全运行的影响及防范研究 [D]. 杭州: 浙江大学, 2008.
- [3] 黄炜纲, 周东平. 对线路防雷计算中绝缘闪络判据的研讨 [J]. 中国电力, 1999, 32 (11): 59-63.
- [4] 郝艳棒, 毛长庚, 王国利, 等. 高海拔地区复合绝缘子先导发展法闪络判据 [J]. 中国电机工程学报, 2012, 32 (34): 158-164.
- [5] 孙振, 王建国, 谢从珍, 等. 110~500 kV 复合绝缘子的雷电闪络特性 [J]. 电网技术, 2008, 32 (16): 43-46.
- [6] 司马文霞, 谭威, 袁涛, 等. 高海拔超高压绝缘子串雷电冲击伏秒特性 [J]. 高电压技术, 2012, 38 (1): 29-34.
- [7] Ishii M, Kawamura T, et al. Multistory transmission tower mode for lightning surge analysis [J]. IEEE Transactions on Power Delivery, 1981, 6 (3): 1327-1335.
- [8] Darveniza M, Vlastos A E. The generalized integration method for predicting impulse voltage-time characteristics for non-standard wave shapes a theoretical basis [J]. IEEE Transaction on Electrical Insulation, 1988, 23 (3): 373-381.
- [9] 陈维江, 沈海滨, 陈秀娟, 等. 10 kV配电网架空绝缘导线雷击断线防护 [J]. 电网技术, 2007, 31 (22): 35-37.
- [10] 邱毓昌, 施围, 张文元. 高电压工程 [M]. 西安: 西安交通大学出版社, 1995.
- [11] DL/T 620—1997 交流电气装置的过电压保护和绝缘配合 [S]. 北京: 中国电力出版社, 1997.
- [12] GB/T 16927—1997 高电压试验技术 [S]. 北京: 中国标准出版社, 1997.
- [13] 马春花. 线路避雷器和绝缘子串的伏秒特性配合问题研究 [J]. 高压电器, 2007, 43 (1): 68-73.
- [14] IEC 60060-1—1989 High-voltage test techniques part 1: general definition and test requirements [S].

(收稿日期: 2014-11-27) EA

欢迎订阅 欢迎投稿 欢迎刊登广告