

220 kV带串联间隙线路避雷器保护性能研究

邹建章, 张宇, 胡京, 李阳林

(国网江西省电力科学研究院, 南昌 330096)

摘要: 鹰潭供电公司220 kV月铜线发生的两起雷击跳闸故障,故障相均安装了线路避雷器,因此,供电公司对线路避雷器的保护效果产生了疑虑。为深入验证线路避雷器的保护效果,避免类似事件的再次发生,国网江西省某电力科学研究院通过开展线路避雷器雷电冲击50%放电电压试验和工频湿耐受电压试验对避雷器间隙距离进行了深入研究,得到了不同间隙距离线路避雷器与不同绝缘子串的配合裕度,在此基础上给出220 kV线路避雷器间隙距离推荐值(840±10) mm,可以同时满足保护可靠性与运行安全性的要求。

关键词: 线路避雷器保护失效; 间隙距离; 雷电冲击50%放电电压; 工频湿耐受电压

Protection Performance Investigation of 220 kV Line MOA with External Series Gap

ZOU Jianzhang, ZHANG Yu, HU Jing, LI Yanglin

(Jiangxi Electric Power Research Institute, Nanchang 330096, China)

Abstract: There were twice lightning trip-out breakdowns occurred on 220 kV Yuetong line in Yingtan Electric Power Company in Jiangxi although the metal oxide surge arrester (MOA) is mounted on the fault phase. In order to verify the protection effects of the line MOA and to avoid similar incidents, the investigations are made which include the 50% discharge voltage test under lightning impulse and the power frequency withstand voltage test under wet condition are carried out to the series gap of the MOA. The co-ordination margin between the different gap clearances and the line MOA is obtained. Based on the above research, the gap distance of (840±10) mm for 220 kV line MOA is recommended, which can satisfy the requirements both reliability of protection and safety of operation.

Key words: line MOA; protection failure; gap distance; 50% discharge voltage of lightning impulse; power-frequency withstand voltage under wet condition

0 引言

鹰潭供电公司220 kV月铜线接连发生了两起雷击跳闸故障,故障相均安装了线路避雷器,使笔者对线路避雷器的保护效果产生了疑虑^[1-2]。经江西省电力科学研究院和鹰潭供电公司共同开展现场踏勘和故障分析,仍未能对保护失效的原因提出合理的解释,因此也难以制定有针对性的防范措施。由于装设时间很短,基本可排除线路避雷器本身故障,怀疑保护失效有可能是由于线路避雷器与绝缘子串的雷电冲击放电电压配合不当或裕度不够而引起的。

目前,线路避雷器设计及选型标准并不统一^[3-4],

导致避雷器保护效果参差不齐,实际使用效果难以有效保证。在线路避雷器本体参数基本一致的前提下,避雷器间隙距离成为影响其防雷性能的决定性因素^[5-7],为保证线路避雷器的保护效果,避免类似事件的再次发生,使输电线路防雷改造所投入的巨大人力、物力和财力真正起到应有的作用,很有必要对线路避雷器的保护性能进行深入研究,对避雷器选型特别是间隙距离进行规范。

1 研究思路

研究的重点在于确定合适的避雷器间隙,从线路避雷器保护的可靠性出发,为得到较高的保护裕度,避雷器间隙越小越好,然而过小的间隙距离一方面会导致线路避雷器频繁动作,加速阀片老化,

增加避雷器故障概率;另一方面会导致避雷器在操作过电压、工频过电压及恶劣环境条件下发生放电。因此,线路避雷器间隙距离应在合适的区间范围内,其上限值由雷电冲击50%放电电压确定,下限值由工频湿耐受电压确定^[9-11]。

1.1 雷电冲击50%放电电压试验

按《交流输电线线路用复合外套金属氧化物避雷器》(DL/T 815—2012)的要求,220 kV线路避雷器的雷电冲击50%放电电压(正极性)应不大于900 kV,而对负极性雷电冲击放电电压无具体要求,也未考虑线路不同绝缘配置下的情况,避雷器的保护可能存在疏漏和保护裕度不足的问题。

制定了完整的线路避雷器保护性能测试方案,分别施加正极性和负极性雷电冲击电压,从雷电冲击50%放电电压和伏秒特性两个方面分析线路避雷器和绝缘子串的雷电冲击电压配合裕度。为保证试验研究的代表性,采用YH10CX-204/592型线路避雷器本体,间隙距离设置840、910、970 mm 3个等级,分别与13、14、15片绝缘子串相配合开展试验。

绝缘子串和避雷器按现场实际安装方式布置,接地端在上,高压端即加压端在下。线路避雷器和绝缘子串用试验大厅行车悬挂,冲击电压发生器输出施加于避雷器和绝缘子串的下端,避雷器和绝缘子串的上端接地,接地引线通过电葫芦挂起,避雷器冲击放电电压试验现场布置见图1。

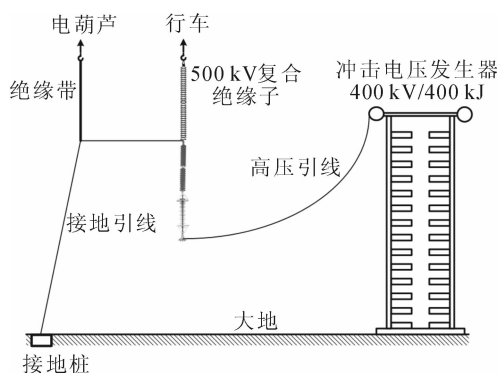


图1 避雷器冲击放电电压试验现场布置图

Fig. 1 Sitelayoutplan of lightning impulse experiment of MOA

1.2 工频湿耐受电压试验

依据相关试验标准开展工频湿耐受电压试验^[12],标准要求220 kV线路避雷器工频湿耐受电压不小于340 kV。避雷器间隙距离初始值选择840 mm,若耐压试验通过则降低间隙距离,反之则增加间隙距离,重复试验,最终确定满足标准要求的线路避雷器最小间隙距离,满足此要求的线路避雷器在操作

及工频过电压下不会发生放电。

2 雷电冲击电压试验

2.1 雷电冲击50%放电电压 $U_{50\%}$ 配合

根据《高压输变电设备的绝缘配合》(GB 311.1—1997)规定,绝缘子串和避雷器的雷电冲击放电电压分布的最大相对标准偏差 σ_1 和 σ_2 均取0.03^[13-14]。

若取 $(1-3\sigma_1)U_{j50\%}$ 和 $(1+3\sigma_2)U_{h50\%}$ 相配合,则配合时

$$U_{j50\%} > \frac{1+3\sigma_2}{1-3\sigma_1} U_{h50\%} = A U_{h50\%} \quad (1)$$

式(1)中: $U_{j50\%}$ 为绝缘子串雷电冲击50%放电电压; $U_{h50\%}$ 为避雷器雷电冲击50%放电电压; A 为绝缘子串和线路避雷器的配合系数,当 σ_1 和 σ_2 均取0.03时, $A=1.20$ 。

通过测量,得到不同片数绝缘子串和不同间隙避雷器的雷电冲击50%放电电压值,在此基础上得到各种绝缘子串和避雷器组合下的 $U_{50\%}$ 配合系数见表1。

表1 不同片数绝缘子串和不同间隙避雷器 $U_{50\%}$ 配合系数

Table 1 $U_{50\%}$ coordination coefficient between different insulator string and different gap distance MOA

项目		避雷器间隙距离/mm		
		840	910	970
配合系数 (正极性)	13片	1.54	1.48	1.35
	14片	1.61	1.56	1.41
	15片	1.75	1.69	1.53
配合系数 (负极性)	13片	1.28	1.05	0.97
	14片	1.36	1.12	1.03
	15片	1.45	1.19	1.10

表1加粗部分即为不满足标准要求的避雷器和绝缘子串组合,正极性雷电冲击下13、14、15片绝缘子串和840、910、970 mm间隙避雷器的配合系数都满足标准要求;负极性雷电冲击下的配合比较紧张,13、14、15片绝缘子串和840 mm避雷器的配合都满足要求,但是和910、970 mm避雷器的配合不满足要求,在这些情况下,线路避雷器的保护失败率会比较高。

2.2 伏秒特性配合

按《交流输电线线路用复合外套金属氧化物避雷器》(DL/T 815—2012)的要求,避雷器雷电冲击(放电时间在1~10 μ s)伏秒特性曲线应比被保护线路绝缘子串的雷电冲击伏秒特性曲线至少低15%。

该次试验重点对短波头放电(放电时间1~6 μ s)进行测量^[15],测量得到正极性雷电冲击下绝缘子串及不同间隙线路避雷器的伏秒特性曲线,见图2。

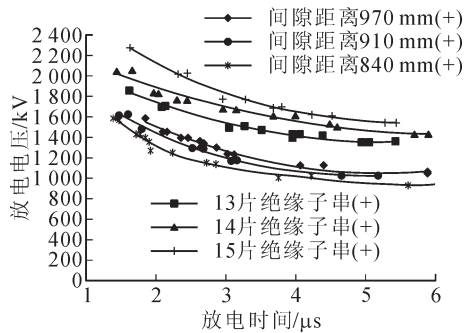


图2 正极性,不同片数绝缘子串和不同间隙避雷器1~6 μs伏秒特性曲线

Fig. 2 Positive, 1~6 μs voltage-time characteristic curve of different insulator string and different gap distance MOA

对各条伏秒特性曲线的配合裕度进行分析,得到图3所示波形,配合裕度低于15%的区段不满足要求。

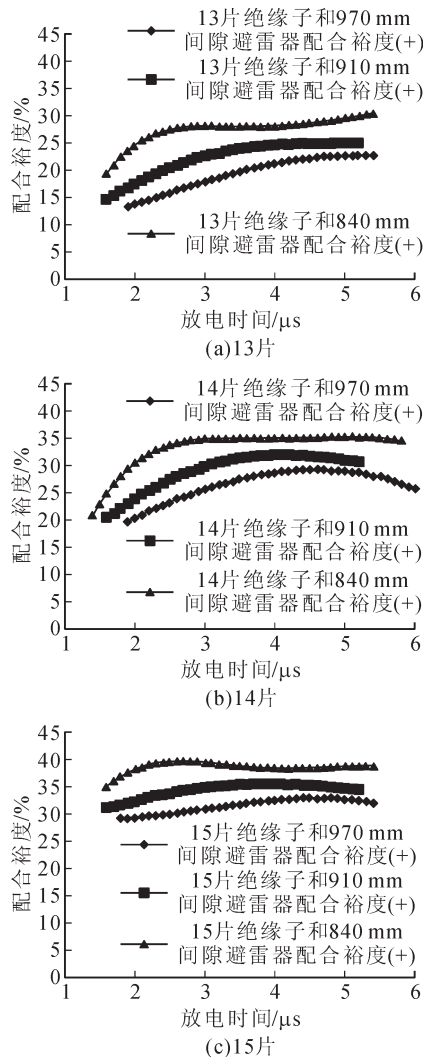


图3 正极性,绝缘子串和避雷器伏秒特性曲线配合裕度
Fig. 3 Positive, voltage-time characteristic curve coordination margin between insulator string and MOA

从图3可以看出,在试验的有效数值区间内

(1~6 μs),正极性雷电冲击电压下避雷器与绝缘子串配合情况基本良好,14、15片绝缘子串与840、910、970 mm间隙避雷器的配合裕度都显著高于标准规定15%的要求,13片绝缘子串与避雷器的配合裕度与标准要求比较接近,当间隙距离为910和970 mm时甚至有一些不满足标准要求的区段存在,说明此时避雷器与绝缘子串的放电电压的配合非常紧张,当遇上高陡度的雷电冲击波时存在一定的保护失败率。

负极性雷电冲击下绝缘子串及不同间隙线路避雷器的伏秒特性曲线见图4。

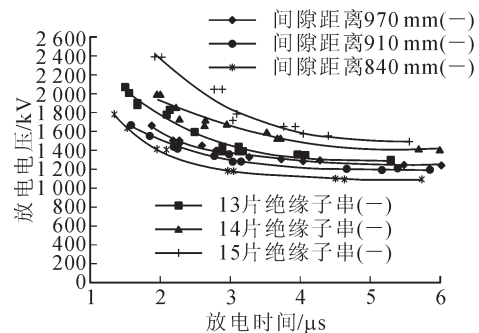


图4 负极性,不同片数绝缘子串和不同间隙避雷器1~6 μs伏秒特性曲线

Fig. 4 Negative, 1~6 μs voltage-time characteristic curve of different insulator string and different gap distance MOA

对各条伏秒特性曲线的配合裕度进行分析,得到波形,见图5。配合裕度低于15%的区段不满足要求。

从图5可以看出,在试验的有效数值区间内(1~6 μs),负极性雷电冲击电压下避雷器与绝缘子串配合存在较大问题,15片绝缘子串与970、910、840 mm间隙避雷器的配合不存在问题,都可满足标准规定大于15%的要求;14片绝缘子串与840 mm间隙避雷器配合满足要求,但是与910、970 mm避雷器的配合存在一些低于15%的区段;13片绝缘子串与避雷器的配合除了840 mm间隙避雷器基本满足要求外,910、970 mm间隙都明显低于标准要求,部分区段甚至已基本不存在裕度,保护失败率将会比较高。

3 湿耐受电压试验

根据《交流输电线路用复合外套金属氧化物避雷器》(DL/T 815—2012),220 kV线路带间隙避雷器需满足工频湿耐受电压有效值不小于340 kV,为此专门开展了研究性试验,试验情况如下:由于条件所限,试验雨水电阻率无法调节,取自来水,电阻率实测值(换算到20 ℃时)为45.2 Ω·m,不是标准淋雨状态,但是比标准更加严苛(GB/T 16927.1—1997规定的标准湿试验中,雨水电阻率为100 Ω·m),避雷

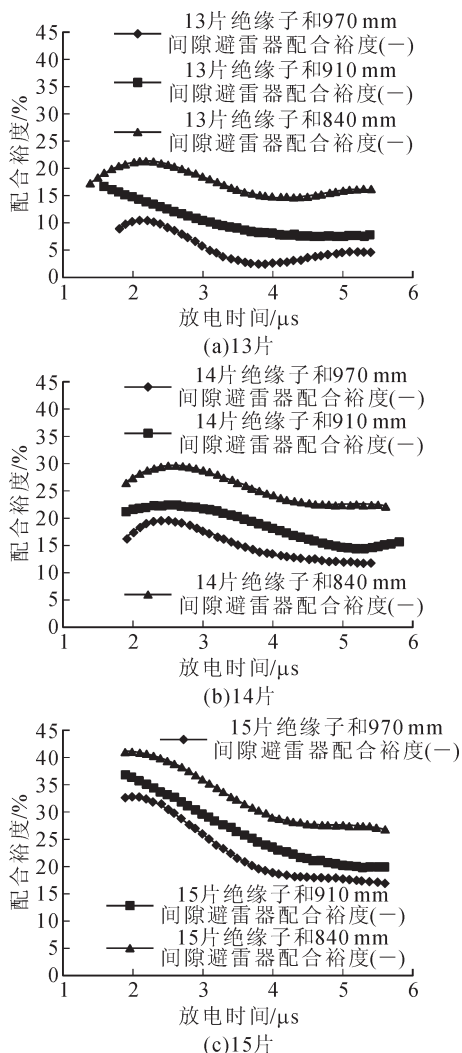


图5 负极性, 绝缘子串和避雷器伏秒特性曲线配合裕度

Fig. 5 Positive, voltage-time characteristic curve coordination margin between insulator string and MOA

器间隙距离为840 mm。试验现场照片见图6。



图6 线路避雷器湿耐压试验现场照片

Fig. 6 Scene photo of power-frequency withstand voltage test on moist environment of the MOA

试验结果表明: 间隙为840 mm的线路避雷器在淋雨状态下耐受工频电压340 kV 1 min未发生闪

络, 试验合格; 继续升高试验电压至355 kV则试品开始出现放电现象。

4 结论

通过对试验结果进行分析, 可以得到以下几个结论:

1) 不同极性雷电冲击电压下绝缘子和避雷器的放电电压配合裕度存在较大差异, 正极性下配合裕度明显大于负极性。

2) 在实际的产品选型时, 为确保线路避雷器的保护效果, 必须全面考虑避雷器正负极性雷电冲击50%放电电压和伏秒特性两个方面的性能, 确保其与线路绝缘子串都能实现良好的配合。依据试验结果, 220 kV线路带串联间隙避雷器的间隙距离推荐采用 (840 ± 10) mm。

3) 根据试验研究结论进一步分析某公司220 kV月铜线两次雷击跳闸故障, 故障杆塔所采用的避雷器为复合绝缘子支撑间隙, 其间隙长度为970 mm, 绝缘子片数为14片。查雷电定位系统, 两次故障时间故障杆塔附近分别有幅值为-21 kA和-18.8 kA的负极性雷, 分析为负级性雷绕击导线, 线路避雷器 $U_{50\%}$ 和伏秒特性配合均不满足标准要求, 存在很大的保护失败概率, 属线路避雷器设计不良导致保护失败事件。

参考文献:

- [1] TARASIEWICX E J, RIMMER F, MORCHED A S. Transmission line arrester energy, cost, and risk of failure analysis for partially shielded transmission lines[J]. IEEE Transactions on Power Delivery, 2000, 15(3): 919-924.
- [2] KOBAYASHI M, SASAKI H, SAWADA A, et al. Energy absorption characteristics of gapless arresters for overhead transmission line[C]//Institution of Electrical Engineers. London: High Voltage Engineering Symposium, 1999: 2365-2368.
- [3] DL/T 815—2012 交流输电线路用复合外套金属氧化物避雷器[S]. 北京: 国家能源局, 2012.
DL/T 815—2012 Polymer-housed metal oxide surge arresters for AC power transmission lines[S]. Beijing: National Energy Administration, 2012.
- [4] JB/T 10497—2005 交流输电线路用复合外套有串联间隙金属氧化物避雷器[S]. 北京: 中华人民共和国国家发展和改革委员会, 2005.
JB/T 10497—2005 Polymetric housed metal oxide surge arresters with series gap for AC electric power transmission line[S]. Beijing: National Development and Reform Commission, 2005.

- [5] FURUKAWA S, USUDA O, ISOZAKI T, et al. Development and application of lightning arrester for transmission lines[J]. IEEE Trans. on Power Delivery, 1989, 4(4): 967-969.
- [6] 胡大明, 弥 璞. 线路避雷器应用情况分析和新型线路避雷器的设想[J]. 高压电器, 2005, 41(1): 59-61.
HU Daming, MI Pu. Present situation of application of line type surge arrester and its further improvement[J]. High Voltage Apparatus, 2005, 41(1): 59-61.
- [7] 李 凡, 施 围. 线路避雷器的绝缘配合[J]. 高电压技术, 2005, 31(8): 18-20.
LI Fan, SHI Wei. Insulation coordination for line surge arrester[J]. High Voltage Engineering, 2005, 31(8): 18-20.
- [8] 马春华. 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.
MA Chunhua. Study on voltage-time characteristic coordination between line arrester and insulator string[J]. High Voltage Apparatus, 2007, 43(1): 68-73.
- [9] 李 凡, 施 围. 线路避雷器的设计及试验[J]. 电网技术, 2004, 28(4): 38-42.
LI Fan, SHI Wei. Design and test of silicon rubber line lightning arrester[J]. Power System Technology, 2004, 28(4): 38-42.
- [10] 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.
SIMA Wenxia, TAN Wei, YUAN Tao, et al. Lightning impulse voltage-time characteristics of extra-high voltage insulator strings in high altitude area[J]. High Voltage Engineering, 2012, 38(1): 29-34.
- [11] 何计谋, 洪 波, 李亚东, 等. 输电线路保护用有串联间隙避雷器间隙特性的研究[J]. 电瓷避雷器, 2006, 4(4): 25-29.
HE Jimou, HONG Bo, LI Yadong, et al. Study on gap performance of line surge arrester with series gap[J]. Insulators and Surge Arresters, 2006, 4(4): 25-29.
- [12] GB/T 16927.1—1997 高电压试验技术 第一部分: 一般试验要求[S]. 北京: 国家质量技术监督局, 1997.
GB/T 16927.1—1997 High-voltage test techniques Part 1: general test requirements[S]. Beijing: General Administration of Quality Supervision of the People's Republic of China, 1997.
- [13] DL/T 620—1997 交流电气装置的过电压保护和绝缘配合[S]. 北京: 中华人民共和国电力工业部, 1997.
DL/T 620—1997 Over-voltage protection and insulation coordination for AC electrical installation[S]. Beijing: Electric Power Industry Ministry of the People's Republic of China, 1997.
- [14] 解广润. 电力系统过电压[M]. 北京: 水利电力出版社, 1985.
XIE Guangrun. Over-voltage of power system[M]. Beijing: Water Power Press, 1985.
- [15] 李 信. 高压输电线路氧化锌避雷器技术原理和应用方案的研究[D]. 北京: 华北电力大学, 2001.
LI Xin. Study on application principle of ZnO arrester with air gap in transmission lines[D]. Beijing: North China Electric Power University, 2001.

邹建章(1985—), 男, 硕士研究生, 工程师, 从事电力系统高电压与绝缘技术研究工作。

张 宇(1979—), 男, 博士, 高级工程师, 从事电力系统高电压与绝缘技术研究工作。

(上接第 147 页)

- based on wave voltage distribution features[J]. Automation of Electric Power Systems, 2013, 37(15): 83-88.
- [19] 徐 敏, 蔡泽祥, 刘永浩, 等. 基于宽频信息的高压直流输电线路行波故障测距方法[J]. 电工技术学报, 2013, 28(1): 259-265.
XU Min, CAI Zexiang, LIU Yonghao, et al. A novel fault location method for HVDC transmission line based on the broadband travelling wave information[J]. Transactions of China Electrotechnical Society, 2013, 28(1): 259-265.
- [20] 于 然, 付周兴, 王清亮, 等. 基于 MATLAB 的电弧建模仿真及故障分析[J]. 高压电器, 2011, 47(9): 95-99.
YU Ran, FU Zhouxing, WANG Qingliang, et al. Modeling simulation and fault analysis of arc based on MATLAB[J]. High Voltage Apparatus, 2011, 47(9): 95-99.
- [21] 谢 东, 张 兴, 曹仁贤. 基于小波变换与神经网络的孤岛检测技术[J]. 中国电机工程学报, 2014, 34(4): 537-544.
XIE Dong, ZHANG Xing, CAO Renxian. Islanding detection based on wavelet transform and neural network[J]. Proceedings of the CSEE, 2014, 34(4): 537-544.
- 邓超平(1971—), 男, 博士, 高级工程师, 研究方向为柔性直流及其继电保护。