

DOI:10.13296/j.1001-1609.hva.2017.07.030

±500 kV 线路避雷器运行情况及其绝缘底座缺陷分析与建议

巢亚锋¹, 彭 详², 聂辉辉², 陈 平², 李雄杰²

(1. 国网湖南省电力公司电力科学研究院, 长沙 410007; 2. 国网湖南省电力公司永州供电分公司, 湖南 永州 425000)

摘要: 直流线路避雷器于 2013 年首次应用中国输电线路, 为了解其运行状况及运行过程中存在的问题, 笔者跟踪了某直流±500 kV 输电线路试运行线路避雷器的运行情况, 发现自安装直流避雷器后, 该线路雷击故障明显下降, 然而大多数避雷器计数器却并未动作。对该线路在运直流避雷器进行了现场抽样检测, 结果表明: 仅 1 个计数器存在缺陷, 现场抽测的 13 基避雷器底座绝缘电阻值下降明显。分析认为, 避雷器绝缘底座绝缘性能过低可能是计数器未正常动作的原因之一, 而绝缘部件老化、外部积污及绝缘瓷件损坏均可导致绝缘底座绝缘性能急剧下降。提出了将瓷质绝缘底座更换材质或在瓷套外加装柔性绝缘护套来减小外界对绝缘件本体的压强, 及统一避雷器底座绝缘电阻值判断标准的建议。

关键词: 直流; 线路避雷器; 运行情况; 绝缘底座; 缺陷

Analysis and Suggestion on the Running Condition and Insulation Base Defect of ±500 kV MOA of Transmission Line

CHAO Yafeng¹, PENG Xiang², NIE Huihui², CHENG Ping², LI Xiongjie²

(1. State Grid Hunan Electric Power Corporation Research Institute, Changsha, 410007, China;

2. State Grid Yongzhou Power Supply Company, Hunan Yongzhou, 425000, China)

Abstract: As a new technique, DC MOA of transmission line is first applied on the transmission line in 2013. In order to study the running conditions and the existential questions in the running process of the DC MOA, the running condition of the trial operation of DC MOA on DC ±500 kV transmission line is tracking studied, the running condition shown that the lightning faults of the DC ±500 kV transmission line decreased significantly after the DC MOA installed, but the majority of DC MOA counter has no action. The field sampling detection of the DC MOA is carried out by the authors, the test results shown that only one DC MOA counter existing defects, and the insulation resistance of the insulation base decreased significantly. The author holds that the low insulation of the insulation base maybe one of the reasons for the no action of the counters, insulating components aging and contamination accumulation and insulated porcelain damaged and other reasons all can result in insulation resistance decreased significantly. The suggestions of add a flexibility insulating sheath to the porcelain insulation base or changing the insulation base material are proposed, and the criterion of the insulation resistance for the MOA insulation base should unified is also proposed in the paper.

Key words: DC; MOA of transmission line; running condition; insulation base; defect

0 引言

氧化锌避雷器因其具有较好的伏安特性, 近年来已大量在中国 500 kV 及以下电压等级交流输变电设备上应用, 并积累了一定的运行经验^[1-14]。基于交流架空线路用氧化锌避雷器成功应用的经

验, 中国某研究单位于 2013 年研制了可应用于直流±500 kV 输电线路的避雷器, 并于同年在湖南某直流±500 kV 输电线路挂网试运行^[15-16]。3 年的试运行表明, 直流线路避雷器在一定程度上能够起到防雷击闪络的作用, 然而运行过程中也出现了计数器在线路走廊附近雷电活动频繁的情况下未动作的问题。

收稿日期: 2017-02-10; 修回日期: 2017-03-17

笔者跟踪了中国首批直流 ± 500 kV 输电线路避雷器的应用情况,对在运行过程中出现的绝缘底座缺陷问题进行了分析,并提出了改进建议。所发现的问题及试验结论不仅为直流 ± 500 kV 线路避雷器绝缘底座的优化提供了第一手数据,更为今后特高压直流 ± 800 kV 线路避雷器的设计提供了参考。

1 直流线路避雷器的应用情况

1.1 线路基本情况

某直流 ± 500 kV 线路起自湖北江陵,横穿湖南,止于广东惠州,全长 940.81 km,铁塔 2 334 基,输送容量为 3 000 MW,是国家电网连接南方电网的主动脉之一。沿线地形条件复杂,湘江以南以山地、高山大岭为主,多雷、多覆冰、多污源。截至 2015 年 6 月 30 日,湘南段共发生已判明的雷击故障 28 次,均为雷电绕击。该直流线路湘南段已安装防绕击避雷针、可控避雷针、防雷先导侧针等防雷辅助设施。

1.2 直流避雷器安装情况

为增强该直流输电线路的供电可靠性,2013 年该线路挂网试运行直流避雷器 6 套,2014 年 3 月安装直流避雷器 90 套(其中 2 套按要求,返厂试验,实际安装到线路上 88 套),2015 年 3 月结合年度停电检修,安装直流避雷器 51 套。

1.3 直流避雷器安装方式

直线塔采用在绝缘子串悬挂点附近安装外挑支架的方式将避雷器竖直悬挂,避雷器高压侧放电电极与正下方导线上的放电电极间为空气间隙;耐张塔采用在跳线下方组立支柱铁塔的方式将避雷器坐装在支柱顶端,避雷器高压侧放电电极与其正上方跳线上的放电电极间为空气间隙,见图 1,每支直流避雷器由上、中、下 3 个单元连接组成。



(a)直线塔安装方式 (b)耐张塔安装方式

图 1 避雷器的安装方式

Fig. 1 Installation method of DC MOA

2 直流避雷器的运行情况

目前该线路试运行的直流避雷器基本上都集中在广东境内,自挂网试运行以来,运维单位每年

都组织正常巡视 5 次,特殊巡视 3 次,巡视期间对线路避雷器外观及杆塔相关联接部件进行详细检查,未发现线路避雷器零部件变形、缺失等现象,同时也未发现避雷器在运行过程中有任何异常声响,并在巡视过程中对线路避雷器计数器动作次数进行了详细记录。

连续 3 年的运行情况表明,自安装直流避雷器后,该线路广东段内雷击跳闸次数下降较为明显,2013 年 4 次雷击,2014 年 2 次雷击,2015 年截止 6 月 30 日 1 次雷击。

然而,根据查询雷电定位系统探测数据显示,自 2013 年以来,该线路广东段走廊附近雷电活动并未明显减少,但是在广东地区的落雷密度较大的情况下,所安装的直流避雷器计数器基本上未动作,与雷电定位系统所反映的落雷情况并不相符,该线路 1031-2332 号区段走廊附近 3 km 内雷电活动情况见表 1,该区段避雷器动作情况见表 2。

表 1 2013-01—2015-06 某直流 ± 500 kV 线路
(1031-2332 号)段雷电活动情况

Table 1 Lighting activities of DC ± 500 kV transmission line(No.1031-No.2332) from 2013-01—2015-06

时间段	雷电数/次	雷电密度/(次 $\cdot$ km $^{-2}$)
2013-01—2013-12	1 855	0.452 810 46
2014-01—2014-07	3 455	0.843 374 74
2014-08—2015-03	1 298	0.316 845 27
2015-04—2015-06	4 336	1.058 429 19

表 2 避雷器统计数量及动作情况

Table 2 Action situation of DC MOA

统计时间	避雷器数/支	动作次数/次	备注
2013年底	6	33	2014-04 新增
2014-07	94	14	
2015-04	94	0	

3 现场检测发现的问题

1)避雷器计数器基本未动作。笔者对 2014 年和 2015 年连续两年该线路直流避雷器计数器动作情况进行统计,发现除 2013 年挂网运行的避雷器计数器有动作次数外,其他安装的避雷器计数器均未动作。

为排除计数器本体缺陷的原因,对 2015 年前安装的 94 套直流线路避雷器计数器进行了检测,仅发现 2185 号铁塔避雷器计数器检测为不合格(连续 3 次无动作,已进行更换)。

2)绝缘底座绝缘电阻降低。2015 年 4 月,该直流 ± 500 kV 输电线路年度停电检修,首次现场对安

装在该线路 1984、2029 号上的运行直流线路避雷器进行了抽检试验,在试验过程中发现两基杆位的绝缘底座电阻检测结果较低,打开检查发现避雷器绝缘底座破损,积污严重,绝缘瓷件内表面潮湿,见图 2、3。



图 2 1984 号避雷器绝缘底座破损、积污情况
Fig. 2 No. 1984 insulation base damaged and polluted conditions



图 3 2029 号避雷器绝缘底座瓷套破损情况
Fig. 3 No. 2029 insulation base damaged conditions

为进一步掌握避雷器绝缘底座的运行情况,笔者会同运行单位又进一步扩大范围,组织对 2014 年安装的直流线路避雷底座绝缘电阻进行了抽样检测。共抽取了 11 套避雷器底座,发现其中 6 套底座绝缘电阻偏低,特别是 2198 号(直线)避雷器底座绝缘电阻值只有 0.6 MΩ。随后检修人员对该套避雷器底座绝缘部分进行了更换,绝缘电阻超过了 1 000 MΩ。对更换下来的该批次绝缘部件进行了绝缘电阻测试,试验数据见表 3,该批次绝缘部件在投运前电阻测试结果均大于 1 000 MΩ。

3)不同批次瓷件绝缘电阻存在差异。经现场检测发现,不同批次瓷件绝缘电阻存在差异。2014 年批次安装时采用的白色瓷件绝缘电阻值基本都大于 2015 年批次采用的黄色瓷件,在直流避雷器交接试验过程中也发现 2015 年的绝缘底座检测数据较 2014 年相差较大。

4)连接螺栓锈蚀严重。现场检测时还发现,大多数避雷器本体节与节之间的连接螺栓螺帽已经锈蚀较为严重,现场拆装时很不方便。

表 3 底座绝缘电阻测试结果

Table 3 Insulation resistance test results of insulation base

序号	运行杆号	杆塔类型	基座瓷套绝缘电阻/MΩ	检测时间	投运时间/年
1	1818	耐张	26.4	2015-04	2014
2	1829	直线	391.0	2015-04	2014
3	1899	直线	11.2	2015-04	2014
4	1984	耐张	142.0	2015-04	2014
5	2029	耐张	640.0	2015-04	2014
6	2184	耐张	22.0	2015-04	2014
7	2198	直线	0.6	2015-04	2014
8	2236	耐张	3 470.0	2015-04	2014
9	2247	耐张	≥1 000.0	2015-04	2014
10	2303	直线	≤10.0	2015-04	2014
11	2305	直线	≤10.0	2015-04	2014
12	2306	耐张	610.0	2015-04	2014
13	2289	耐张	3 390.0	2015-04	2015

4 问题分析及建议

4.1 计数器动作情况分析

统计结果显示,该线路广东段直流避雷器计数器基本上未动作,这与雷电定位系统所反映的线路走廊附近落雷情况并不相符。而现场试验表明,所有挂网试运行直流线路避雷器的计数器仅有一个存在缺陷,其他均正常。

这可能存在 2 方面的原因:①近两年该线路走廊及周边的落雷均未落到线路上,避雷器确未动作,因此计数器没有动作记录;②线路走廊及周边可能有雷落到了安装有避雷器的杆塔临近档上,但由于避雷器绝缘底座绝缘性能过低,雷电流直接通过底座释放,没有电流流过计数器从而导致计数器未记录该次动作。

4.2 绝缘底座缺陷问题分析

现场抽测的 13 基避雷器底座绝缘电阻值比 2014 年安装前检测数据有明显下降,分析原因可能受 2 方面因素的影响:①绝缘部件老化及外部积污所致;②绝缘瓷件损坏所致。

因避雷器底座与避雷器本体连接绝缘完全靠绝缘瓷件进行绝缘,见图 4、5。在长时间运行过程中:①受风压作用避雷器产生振动,绝缘件瓷杆承受扭曲应力,极易损坏瓷件;②受外界震动的影响,避雷器震动的动能转化为对瓷件的冲力,瞬时压强的增大也易使瓷件损坏;③受施工质量的影响,避雷器的重心可能偏离其底部法兰中心垂线,导致瓷件长期承受避雷器本体自重分力的压迫,使得瓷件

受损。



图4 直线塔底座安装情况

Fig. 4 Installation method of straight tower

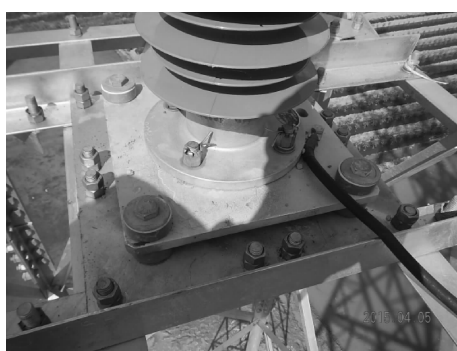


图5 耐张塔底座安装情况

Fig. 5 Installation method of strain tower

4.3 处理建议

1)尽管笔者通过试验检测发现大量避雷器绝缘底座绝缘电阻值偏低,然而现行相关标准对于底座的绝缘电阻值要求并不统一^[17-21],见表4,这使得物资部门难以对供应商进行规范。为提高设备整体的性能,建议对未提及避雷器底座绝缘电阻值的相关标准进行修订,并统一判断标准。

表4 相关标准中对避雷器底座绝缘电阻的要求

Table 4 Standard requirements of the insulation resistance of MOA insulation base in relevant standards

序号	参考标准	底座绝缘电阻要求值
1	Q/GDW 11007—2013	未提及
2	DL/T 815—2012	未提及
3	GB 50150—2006	不小于 5 MΩ
4	DL/T 393—2010	不小于 100 MΩ
5	Q/GDW 1168—2013	不小于 100 MΩ

2)建议重新修改避雷器底座绝缘设计方案,宜将瓷质绝缘底座更换为具有高强度抗压性能的高分子绝缘材料或在瓷套外加装柔性绝缘护套来减小外界对瓷件本体的压强,亦可更改底座绝缘的连接方式来避免绝缘件受侧向应力,确保底座绝缘的可靠性。

3)绝缘底座瓷件在配货前应进行绝缘电阻测试,宜优先采用机械和绝缘性能俱佳供应商的产品。

4)避雷器本体节与节之间的连接螺栓宜采用镀锌质量较高的螺栓或不锈钢螺栓,避免因螺栓锈蚀给现场拆装造成不便。

5 结论

1)直流避雷器在线路上应用后,在应用区段线路走廊附近雷电活动并未明显减少的情况下,线路雷击故障明显减少;

2)直流线路氧化锌避雷器底座绝缘电阻值可能影响计数器是否正常动作;

3)风压、外界震动、施工质量等因素均可能使避雷器底座绝缘瓷件受到过大压强作用而发生损坏;

4)建议将瓷质绝缘底座更换为具有高强度抗压性能的高分子绝缘材料或在瓷套外加装柔性绝缘护套来减小外界对瓷件本体的压强,亦可更改底座绝缘的连接方式来避免绝缘件受侧向应力;

5)建议对未提及避雷器底座绝缘电阻值的相关标准进行修订,并统一判断标准。

参考文献:

- [1] 熊 易,王保山,左中秋,等. 输电线路用带外串联间隙避雷器绝缘配合性能研究[J]. 高电压技术,2014,40(5): 1399-1406.
XIONG Yi, WANG Baoshan, ZUO Zhongqiu, et al. Insulation coordination performance of externally gapped line arresters for transmission lines[J]. High Voltage Engineering, 2014, 40(5): 1399-1406.
- [2] 彭向阳. 广东线路避雷器防雷效果及运行分析[J]. 电瓷避雷器,2010(2):21-25.
PENG Xiangyang. Analysis on lightning protection effects and operation of line arresters in Guangdong power grid[J]. Insulators and Surge Arresters, 2010(2): 21-25.
- [3] 李庆玲,程济兵. 输电线路氧化锌避雷器应用研究[J]. 高压电器,2010,46(4):77-80.
LI Qingling, CHENG Jibing. The research of MOA application in transmission line[J]. High Voltage Apparatus, 2010, 46(4): 77-80.
- [4] 肖国斌,虞 泽. 500 kV 线路避雷器的设计与应用[J]. 电瓷避雷器,2009(3):26-30.
XIAO Guobin, YU Ze. Design and application of surge arresters for 500 kV A C power transmission lines[J]. Insulators and Surge Arresters, 2009(3): 26-30.
- [5] 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.
- [6] 弥 璞. 目前线路避雷器存在问题的分析和一种新型线路避雷器的研究[J]. 电瓷避雷器, 2004(4): 21-24.
- MI Pu. Development of a new type line MOA based on reviewing prevalent ones[J]. Insulators and Surge Arresters, 2004(4): 21-24.
- [7] 詹花茂, 李成榕. 线路避雷器安装方案及效果分析[J]. 电瓷避雷器, 2004(3): 32-35.
- ZHAN Huamao, LI Chengrong. Analysis on installation and effect of transmission line surge arresters[J]. Insulators and Surge Arresters, 2004(3): 32-35.
- [8] 李壮和. 避雷器在输电线路防雷中的应用分析[J]. 高电压技术, 2004, 30(3): 63-64.
- LI Zhuanghe. Application and analysis of surge arrester in lightning protection of power transmission lines[J]. High Voltage Engineering, 2004, 30(3): 63-64.
- [9] 黎 汉. 降低 110 kV 避雷器底座绝缘子损耗率的方法[J]. 电工技术, 2008(10): 6-8.
- LI Han. Method of reducing the loss rate of 110 kV arrester base insulator[J]. Electric Engineering, 2008(10): 6-8.
- [10] 何满棠, 胡诗秒. 避雷器底座绝缘缺陷解决方案[J]. 电瓷避雷器, 2012(4): 10-13.
- HE Mantang, HU Shimiao. Solution for insulation defects of the base of surge arrester[J]. Insulators and Surge Arresters, 2012(4): 10-13.
- [11] 贾宏智, 田 野. 一起金属氧化物避雷器故障分析及应注意问题[J]. 吉林电力, 2011(6): 39-40.
- JIA Hongzhi, TIAN Ye. Analysis on a MOA fault and problems to be paid attention to[J]. Jilin Electric Power, 2011(6): 39-40.
- [12] 郝贵敏. 220 kV 变电站避雷器故障原因分析及处理措施[J]. 河北电力技术, 2012(s1): 15-17.
- HAO Guimin. Cause analysis and countermeasure of 220 kV transformer substation arrester failure[J]. Hebei Electric Power, 2012(s1): 15-17.
- [13] 赵勇军, 任 妮. 金属氧化物避雷器底座绝缘电阻试验判断标准探讨[J]. 电工技术, 2014(4): 1-2.
- ZHAO Yongjun, REN Ni. Discussion on judgment standard of insulation resistance test for metal oxide arrester[J]. Electric Engineering, 2014(4): 1-2.
- [14] 李 颀. 处理 Y10W1 型氧化锌避雷器底座支持小瓷瓶绝缘下降的简便方法[J]. 高压电器, 2002, 38(1): 64.
- LI Yi. A short-cut method for improving the insulation of ZnO arrester's base support[J]. High Voltage Apparatus, 2002, 38(1): 64.
- [15] 王 剑, 万 帅, 陈家宏, 等. 三峡—上海 ± 500 kV 同塔双回直流输电线路避雷器的雷电防护效果分析[J]. 高电压技术, 2013, 39(2): 450-456.
- WANG Jian, WAN Shuai, CHEN Jiahong, et al. Analysis of lightning protection with line surge arrester for the three Gorges-Shanghai ± 500 kV double-circuit DC transmission line on the same tower[J]. High Voltage Engineering, 2013, 39(2): 450-456.
- [16] 万 帅, 陈家宏, 谭 进, 等. ± 500 kV 直流输电线路用复合外套带串联间隙金属氧化物避雷器的研制[J]. 高电压技术, 2012, 38(10): 2714-2720.
- WAN Shuai, CHEN Jiahong, TAN Jin, et al. Development of polymeric MOA with no-supporting series gap for ± 500 kV DC transmission lines[J]. High Voltage Engineering, 2012, 38(10): 2714-2720.
- [17] Q/GDW 11007—2013 ± 500 kV 直流输电线路用复合外套带串联间隙金属氧化物避雷器技术规范[S]. 北京: 国家电网公司, 2013.
- Q/GDW 11007—2013 Specification of polymer-housed metal oxide surge arresters with series gap for ± 500 kV DC transmission line[S]. Beijing: SGCC, 2013.
- [18] 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: State Energy Bureau of China, 2012.
- [19] GB 50150—2006 电力装置安装工程电气设备交接试验标准[S]. 北京: 中国计划出版社, 2006.
- GB 50150—2006 Standard for hand-over test of electric equipment installation engineering[S]. Beijing: China Planning Press, 2006.
- [20] DL/T 393—2010 输变电设备状态检修试验规程[S]. 北京: 国家能源局, 2010.
- DL/T 393—2010 Regulations of condition-based maintenance & test for electric equipment[S]. Beijing: State Energy Bureau of China, 2010.
- [21] Q/GDW 168—2013 输变电设备状态检修试验规程[S]. 北京: 国家电网公司, 2013.
- Q/GDW 168—2013 Regulations of condition-based maintenance & test for electric equipment[S]. Beijing: SGCC, 2013.

巢亚锋(1982—), 男, 博士, 高级工程师, 主要从事输变电设备外绝缘、电网防灾减灾、输变电设备智能运检技术研究。