

柴拉直流输电线路防鸟害措施研究

唐 巍¹ 刘 琦¹ 周 军² 梁 明¹ 胡 全¹

(1. 中国电力工程顾问集团西南电力设计院有限公司, 四川 成都 610021;

2. 中国电力科学研究院, 北京 100192)

摘 要: 柴拉直流输电线路自投运以来, 多次发生鸟害引起的绝缘闪络故障, 已严重影响线路的安全稳定运行。通过对柴拉直流鸟害故障数据的综合分析, 以及现有防鸟害措施在柴拉直流线路上的实施效果; 并结合鸟粪闪络特性模拟试验研究成果, 对柴拉直流输电线路绝缘间隙进行优化研究。同时提出了柴拉直流防治鸟害措施的建议。

关键词: 直流线路; 鸟害; 鸟粪; 间隙击穿

Abstract: There are many insulation flashovers caused by bird hazard since DC transmission line from Qaidam to Lhas being put into operation, which has seriously affected the safe and stable operation of the line. Through a comprehensive analysis of the fault data caused by bird hazard and the implementation results of the existing anti-bird measures in DC line from Qaidam to Lhas, and combined with the simulation experiment analysis of flashovers initiated by bird excretion, increasing the conductors in live line end and the plane minimum distance under fittings and the cross arm can effectively reduce the flashover probability initiated by bird excretion. The optimization for insulating clearance of DC transmission line from Qaidam to Lhas is carried out, and the reasonable suggestions for bird hazard control measures are proposed.

Key words: DC transmission lines; bird hazard; bird excretion; air gap breakdown

中图分类号: TM726 文献标志码: A 文章编号: 1003-6954(2017)05-0030-04

DOI:10.16527/j.cnki.cn51-1315/tm.2017.05.008

0 引 言

柴拉直流输电线路自2011年11月11日投运以来, 多次发生因鸟害引起的绝缘闪络故障, 占总闪络故障的90%以上, 鸟害已严重影响柴拉直流输电线路的安全稳定运行。对柴拉直流输电线路发生的鸟害事故及防鸟害整治措施效果进行综合分析, 并结合目前输电线路防治鸟害领域取得的最新科研成果, 对柴拉直流输电线路防治鸟害措施进行研究是非常有必要的。

1 鸟害的分类

鸟害的分类一般分为鸟粪类、鸟巢类、鸟体短接类及鸟啄类等4大类^[1]。鸟粪类又可以分为2种: 一种是鸟粪附着在绝缘子表面引起绝缘子的污闪^[2]; 一种是鸟粪在绝缘子附近坠落, 鸟粪坠落通道与绝缘子串带电端金具的间隙电场瞬时严重畸变, 使得空气间隙被击穿^[3]。鸟巢类是筑巢用的树

枝、杂草、铁丝等物体下落或被吹落, 造成横担和导线之间间隙不足引起的闪络^[4]。鸟体短接类是指大型鸟类在飞行或扇动翅膀时造成线路相间或单相接地故障。鸟啄类主要形式为鸟啄食复合绝缘子, 主要发生在停电检修或等待投运期间。根据柴拉直流线路运行及故障分析数据, 绝大部分鸟害故障均为鸟粪坠落引起带电端金具空气电场畸变所引发间隙击穿造成的闪络事故。

2 已采用的防鸟害措施及实施效果

2.1 防鸟刺

防鸟刺作为一种基本的防鸟措施, 可防止鸟类在塔头长期、大范围停留。柴拉直流线路在基建及运行阶段针对鸟害故障情况安装了防鸟刺。通过运行经验表明防鸟刺是一种有效的、简单的防鸟害措施, 可一定程度降低鸟害闪络故障, 但效果不是非常明显。究其原因, 防鸟刺的安装工艺尚需改进, 虽然目前线路上的防鸟刺或防鸟针板基本上覆盖了3.6 m的范围, 但部分防鸟刺安装稀疏不够紧密, 散开不

够;另外由于防鸟刺过长,在长期大风作用下,部分防鸟刺出现了倾斜,导致相邻防鸟刺的间隙过大;同时鸟类具有很强的飞翔控制能力,仍然能够停留在鸟刺间隙,带来安全隐患。

2.2 防鸟针板

防鸟针板利用其防鸟针的锋利以及覆盖面积,迫使鸟类在杆塔危险位置无法停留达到驱鸟的目的。柴拉直流线路在运行阶段针对鸟害故障情况安装了防鸟针板,由于防鸟针板安装尺寸与横担上下平面塔材一致,避免了防鸟设施安装过程中重要防鸟部位漏装及缺失,有效降低了鸟类活动导致线路故障的风险,运行效果较好。

2.3 驱鸟器

驱鸟器主要分为智能超声波驱鸟器和感应引爆空气驱鸟器两种,柴拉直流线路在基建及运行阶段针对鸟害故障情况安装了这两种驱鸟装置。从实际运行情况分析,由于鸟类对各种超声波驱鸟器具有阶段适应性,加之同一地区鸟类较多,差异化适应性比较明显,因此,此类驱鸟器防鸟效果在安装运行之初效果较好,但经过一段时间后驱鸟效果不明显^[5]。

2.4 绝缘护套

绝缘护套作为一种阻断空气间隙放电的重要手段,但由于其造价较高,其功能定位于在鸟害集中多发区,采取其他防鸟害措施无法取得明显成效时,才考虑使用。柴拉直流线路在塔身或上横担上加装绝缘护套,存在加装面积大、结构复杂难以实现全覆盖等缺点,因此仅考虑将导线挂点处的导线和金具实现全覆盖,安装后的效果如下图1所示。



图1 ±400 kV 柴拉直流线路直线塔
安装绝缘护套后效果图

从运行情况分析,加装绝缘护套可在一定程度

上降低线路鸟害故障的风险,但不能完全根除;同时由于其成本较高,不适宜大面积推广应用。

2.5 人工鸟巢

根据“驱引结合,绿色防鸟”的理念^[6],选择鸟类活动频繁,特别是先前发生过鸟害故障区域的塔位,在地线支架上方安装适合鸟类站立、蹲卧、避风的平台,吸引鸟类尤其是大型鸟类在该平台上栖息、避风、筑巢,从而降低鸟类在杆塔带电区域活动的机率,达到疏导鸟类的作用。柴拉直流线路大部分位于高寒草原荒漠地区,无高大树木供鸟类栖息,在运行阶段根据鸟害故障情况安装人工鸟巢,做为驱鸟措施的辅助,对防治鸟害起到了一定作用。

3 鸟粪闪络特性研究

3.1 鸟粪闪络机理

鸟粪由于有一定的粘度和导电性,坠落时会拉长形成一段连续的近似一段导体的鸟粪通道^[7]。当鸟粪通道下端靠近带电导体或金具距离足够小时,它们之间的空间间隙被击穿,此时鸟粪通道被抬升为高电位;当鸟粪通道上端与杆塔横担的距离不足时,它们之间的空气间隙亦被击穿,从而造成输电线路的闪络跳闸故障^[8]。

3.2 鸟粪闪络特性模拟试验研究成果

中国电力科学研究院在西藏羊八井高海拔试验基地建立的柴拉直流直线塔1/2尺寸模型上,对鸟粪闪络特性进行了模拟试验研究。

试验表明当鸟粪下落位置距离导线和均压环距离越近,闪络概率越大。试验中鸟粪装置喷口距离导线中心不同距离时的闪络概率如图2所示。

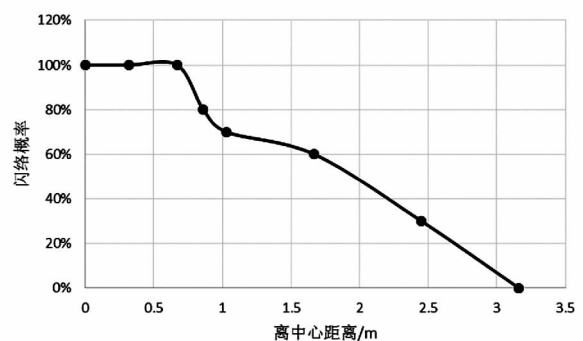


图2 鸟粪闪络概率与喷口离导线
中心距离的关系

由图2可以看出,当喷口离中心距离在0.67 m的范围以内,闪络概率为100%;随着喷口离中心点

的距离越远,其闪络概率逐步下降;当喷口离中心点的距离为3.16 m时,闪络概率为0%。根据试验结果,考虑现场风速的影响,建议柴拉直流线路鸟刺防护范围可取为3.6 m。

试验还结合柴拉直流线路运行情况在±280 kV、±400 kV电压等级下,对直线塔V型悬垂串带电端金具距横担下平面不同间隙距离下的鸟粪闪络概率进行了试验研究,鸟粪闪络概率与电压及间隙距离的关系见图3。

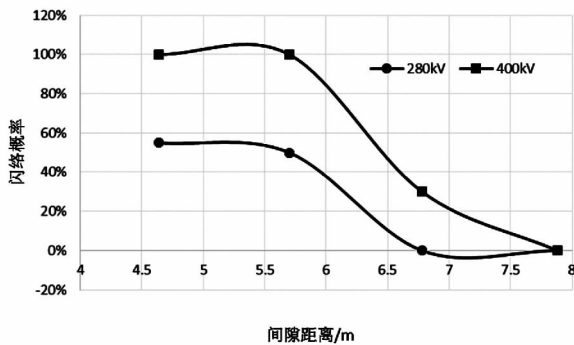


图3 不同电压和间隙距离下的闪络概率

由图3可以看出,在同一间隙距离下,电压从400 kV降低到280 kV后,鸟粪闪络概率明显降低。在同一电压水平下,只有当间隙距离超过某一临界值后,鸟粪的闪络概率才随间隙距离的增大而降低。对于±400 kV情况,当间隙距离超过5.8 m时,鸟粪的闪络概率开始明显下降,在6.78 m时的闪络概率降低为30%,在7.88 m时的闪络概率降低为0%。

4 绝缘间隙优化研究

4.1 柴拉直流线路绝缘配置情况

柴拉直流线路全线划分为轻、中、重污区,直线塔悬垂串及跳线串均采用V串型式,绝缘子采用8 m复合绝缘子。悬垂串夹角为90°~110°,跳线串夹角为90°。空气间隙取值见表1。

表1 空气间隙取值表

海拔 /m	空气间隙/m		
	工作电压	操作电压	带电作业
4 500	1.6	3.9	4.7
5 000	1.7	4.2	5.0
5 300	1.8	4.4	5.2

注:表中带电作业间隙已考虑人体活动范围0.5 m。

按上述绝缘配置原则规划的柴拉直流线路铁

塔,直线塔V型串对横担下平面最小距离约5.25 m,耐张塔跳线串对横担下平面最小距离约5.05 m,如图4所示。

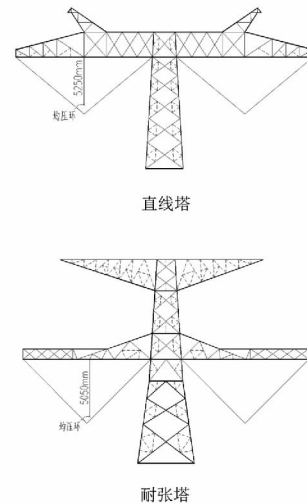


图4 均压环对横担下平面最小距离示意图

4.2 绝缘间隙优化技术方案

根据鸟粪闪络特性试验研究结论,增加带电侧均压环至横担下平面的距离可有效降低鸟粪闪络概率。在已建柴拉直流线路上要增加此距离可采用在低压端只增加金具零件和增加盘型绝缘子及配套连接金具两个方案。考虑到鸟粪也会污染绝缘子使绝缘子污闪电压降低,因此推荐采用在原绝缘子串低压端增加绝缘子及配套连接金具(U型挂环、碗头挂板、球头挂环)的方案,通过保证原挂点位置,改变V串夹角角度数,增大带电部分对横担下平面距离。“V”串加长改造示意图如图5所示。

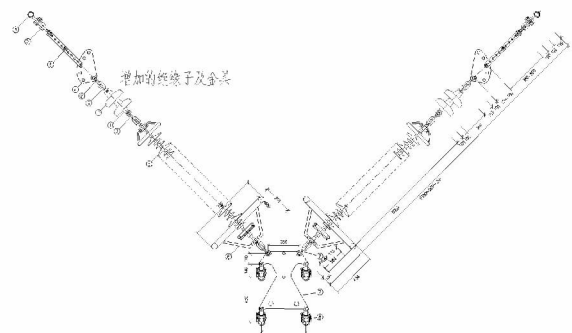


图5 “V”串改造方案示意图

柴拉直流直线塔采用160 kN、210 kN、300 kN单联及160 kN双联V型串。以210 kN单联V型串为例,按上述方案增加绝缘子片数及配套金具。增加绝缘子片数对均压环与横担下平面及塔身的距离的影响以及V型串等效串长增加值(竖直方向上)见表2。

表2 增加绝缘子片数悬垂串均压环
对塔材距离表

绝缘子增加数量/片	金具部分增加长度/m	绝缘子部分增加长度/m	悬垂串单侧肢长增加/m	均压环对横担下平面距离/m	均压环对塔身最近距离/m	等效串长增加值/m
0	0	0	0	5.31	5.99	0
1	0.355	0.17	0.525	6.09	5.96	0.788
2	0.355	0.34	0.695	6.31	5.95	1.010
3	0.355	0.51	0.865	6.57	5.94	1.270
4	0.355	0.68	1.035	6.80	5.93	1.510

耐张塔2×160 kN的V型跳线串按上述方案增加绝缘子及配套金具后,增加绝缘子片数对均压环与横担下平面及塔身的距离的影响以及跳线V型串等效串长增加值(竖直方向上)见表3。

表3 增加绝缘子片数跳线串均压环
对塔材距离表

绝缘子增加数量/片	金具部分增加长度/m	绝缘子部分增加长度/m	跳线串单侧肢长增加/m	均压环对横担下平面距离/m	均压环对塔身最近距离/m	等效串长增加值/m
0	0	0	0	5.050	5.762	0
1	0.34	0.17	0.51	5.773	5.638	0.768
2	0.34	0.34	0.68	6.017	5.600	1.019
3	0.34	0.51	0.85	6.293	5.600	1.264
4	0.34	0.68	1.02	6.537	5.568	1.509

考虑跳线增加绝缘子片数后,均压环对塔身距离小于5.7 m(跳线间隙较悬垂串间隙增大1.1倍),为保证增加均压环对横担下平面的距离且均压环对塔身距离不小于5.7 m,对V型跳线串两侧肢增加不同片数,示意图如图6所示。增加绝缘子片数对均压环与横担下平面及塔身的距离的影响以及跳线V型串等效串长增加值(竖直方向上)见表4。

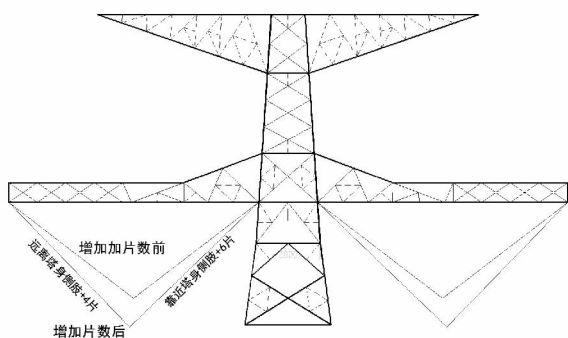


图6 跳线串两侧肢增加不同片数示意图

表4 两侧肢增加不同绝缘子片数的跳线串均压环
对塔材距离表

绝缘子增加数量/片	靠近塔身侧肢	远离塔身侧肢	均压环对横担下平面距离/m	均压环对塔身最近距离/m	等效串长增加值/m
0	0	0	5.050	5.762	0
5	4	4	6.651	5.677	1.623
5	3	3	6.531	5.812	1.509
6	4	4	6.859	5.85	1.737

4.3 绝缘间隙优化结论

一方面增加盘型绝缘子可以增加均压环对横担下平面的距离,进而降低鸟粪闪络概率;另一方面对于已建柴拉直流线路增加盘型绝缘子会引起V串夹角减小,等效串长增加,需注意复核大风工况下V型串迎风侧肢受压角度、V型串两侧肢均压环间距、线路对地距离及交叉跨越距离等是否满足要求。对全线进行梳理,依据柴拉直流输电工程设计原则,在满足±400 kV直流线路非居民区导线最小对地距离12 m、人烟稀少地区导线最小对地距离11 m的前提下,直线塔悬垂串可在原设计基础上增加1~4片盘型绝缘子,V型串单侧肢长增加0.51~1.18 m,均压环对横担下平面距离为6~7.1 m;耐张塔跳线串在原设计基础上靠近塔身侧肢增加6片绝缘子,远离塔身侧肢增加4片绝缘子,均压环对横担下平面距离为6.86 m,对塔身距离为5.85 m。

5 结论

经过对柴拉直流线路发生的鸟害事故及防鸟害整治措施效果进行综合分析,并结合鸟粪闪络特性模拟试验结果,建议柴拉直流线路防治鸟害治理采取以下措施:

1) 在导线正上方3.6 m范围安装防鸟针板;其余非导线正上方各3.6 m范围外区域的防鸟刺、防鸟针板均拆除,留下鸟类活动的区域。耐张串联接金具安装异型防鸟针板。

2) 根据疏治结合原则,在全线鸟害易发区域,每隔约10 km安装一处栖鸟架。

3) 在原绝缘子串低压端增加绝缘子及配套连接金具,增加带电端均压环与横担下平面的距离,从而降低鸟粪闪络率。推荐直线塔悬垂串可在原设计

(下转第62页)

2.6 小结

从本算例来看,与原工程所采用的钢芯耐热铝合金导线相比,拟选用的碳纤维复合芯导线 JLRX/F2B-560/65 的电气性能可满足工程需要,机械性能相对较优,同时经济性也相对较优,在本算例中推荐采用。

3 结语

通过比较分析,得出以下结论:

- 1) 在导线的最高允许温度情况下,碳纤维复合芯导线能满足过负荷电流的要求;
- 2) 碳纤维复合芯导线弧垂特性、覆冰过载能力较钢芯耐热铝合金绞线优;
- 3) 碳纤维复合芯导线和钢芯耐热铝合金绞线本体投资基本相当,碳纤维复合芯导线价格较高但对应的杆塔价格较低;
- 4) 碳纤维复合芯导线年费用较钢芯耐热铝合金绞线低。

碳纤维复合芯导线在国内外已得到大量应用^[4-5],并取得一定的运行经验,因此碳纤维复合芯导线在接地极线路中具有广阔的应用前景,大规模的应用也将进一步降低工程投资费用。

参考文献

[1] GB 50545-2010, 110 kV ~ 750 kV 架空输电线路设计规范[M]. 北京: 中国计划出版社, 2010: 12-55.

[2] 国家电力公司东北电力设计院. 电力工程高压送电线路设计手册(第二版)[M]. 北京: 中国电力出版社, 2002: 166-167.

[3] 机械工程手册电机工程手册编辑委员会. 电机工程手册: 输变电、配电设备卷(第二版)[M]. 北京: 机械工业出版社, 1997: 57-58.

[4] 何州文, 陈新, 王秋玲, 等. 国内碳纤维复合芯导线的研究和应用综述[J]. 电力建设, 2010, 31(4): 90-93.

[5] 梁栋, 邓蜀平, 蒋云峰, 等. 碳纤维复合芯电缆国内外技术研发现状及工程应用进展[J]. 化工新型材料, 2011, 39(2): 13-17.

作者简介:

林浩(1982), 硕士研究生、工程师, 长期从事输电线路设计工作;

梁明(1973), 教授级高级工程师, 长期从事输电线路设计工作;

魏德军(1964), 高级工程师, 长期从事输电线路设计工作;

刘从法(1979), 硕士研究生、工程师, 长期从事输电线路设计工作。

(收稿日期: 2017-08-09)

(上接第33页)

基础上增加1~4片盘型绝缘子, V型串单侧肢长增加0.51~1.18 m, 均压环对横担下平面距离为6~7.1 m; 耐张塔跳线串在原设计基础上靠近塔身侧肢增加6片绝缘子, 远离塔身侧肢增加4片绝缘子, 均压环对横担下平面距离为6.86 m, 对塔身距离为5.85 m。

参考文献

[1] 王少华, 叶自强. 架空输电线路鸟害故障及其防治技术措施原因分析及预防措施[J]. 高压电器, 2011, 47(2): 61-67.

[2] 王宝成, 祝永坤, 张悉正, 等. 高寒草原地区输电线路鸟害故障[J]. 内蒙古电力技术, 2013, 31(1): 96-98.

[3] 王峰, 黄福勇, 曾昊, 等. 湖南省输电线路鸟害障碍分析及防治[J]. 高压电器, 2011, 47(10): 97-101.

[4] 马兴龙, 陈伟东, 张育华, 等. 架空输电线路绿色防鸟害模式探讨[J]. 广东电力, 2011, 24(7): 37-40.

[5] 杨庆, 董岳, 司马文霞, 等. 鸟粪导致交流输电线路塔窗-导线空气间隙放电的特性研究[J]. 高压技术, 2014, 40(1): 55-60.

[6] 王德吉, 赵强, 屈明. 新型超高压输电线路鸟害防范措施研究[J]. 四川电力技术, 2015, 38(4): 33-36.

[7] 李隆基, 周文涛, 李学刚, 等. 架空输电线路防鸟害技术措施[J]. 陕西电力, 2016, 44(4): 95-98.

[8] 黄瑞莹, 黄道春, 周军, 等. ±400 kV 直流输电线路杆塔涉鸟故障风险区域研究[J]. 电工电能新技术, 2017, 36(2): 68-73.

作者简介:

唐巍(1979), 高级工程师, 从事输电线路电气设计;

刘琦(1984), 工程师, 从事输电线路电气设计;

周军(1973), 高级工程师, 从事高压外绝缘方面的研究;

梁明(1973), 教授级高工, 从事输电线路电气设计;

胡全(1980), 高级工程师, 从事输电线路电气设计。

(收稿日期: 2017-06-21)