

四川 ±500 kV 德宝线雷击高风险杆塔 防雷改造设计

彭锦超¹, 何俊豪¹, 陈 坤²

(1. 四川安恒电力设计咨询有限公司, 四川 成都 610002;

2. 国网电力科学研究院武汉南瑞有限责任公司, 湖北 武汉 430074)

摘要: 随着直流输电线路的大规模建设, 输电距离和输送容量已有相当规模, 雷害防治是直流输电线路运维管理面临问题中的重点和难点。四川 ±500 kV 德宝直流输电线路沿线地形复杂, 雷击闪络尤为明显。对四川 ±500 kV 德宝线运行至今雷击跳闸数据统计, 结合线路走廊地闪密度, 采用输电线路差异化防雷评估技术, 筛选出 20 基雷击高风险杆塔, 并提出防雷改造方案, 为运维部门后期开展防雷工作提供一定的参考和依据。

关键词: ±500 kV; 直流输电线路; 雷击闪络; 雷害防治

Abstract: With the large-scale construction of HVDC transmission lines, the transmission distance and transmission capacity has a considerable size, and the lightning damage prevention is an important and difficult point facing by the operation and maintenance management of DC transmission lines. ±500 kV Sichuan Debao DC transmission line is along the terrain, so the lightning flashover is particularly evident. The data statistics of lightning trip-out in ±500 kV Sichuan Debao DC transmission line is carried out from it being put into operation till now. Based on the lightning density of line corridor, 20 towers and poles with high risk of lightning stroke are screened based on differential protection evaluation technique against lightning for transmission line, and the improvement for protection scheme against lightning is put forward, which can provide a reference for developing the lightning protection by the operation and maintenance departments.

Key words: ±500 kV; DC transmission line; lightning flashover; lightning damage prevention

中图分类号: TM726 文献标志码: A 文章编号: 1003-6954(2016)06-0084-04

DOI:10.16527/j.cnki.cn51-1315/tm.2017.02.019

0 引言

目前, 中国已经建成并投运了共计 14 条直流输电线路, 其中 ±500 kV 直流输电线路 8 条。依据多年对雷电活动的观测和国家电网公司运行数据统计, 雷击闪络是直流输电线路运行跳闸的主要原因。±500 kV 直流输电线路雷击闪络次数占总跳闸次数的 31.64%^[1]。据 2006 年至 2012 年四川电网雷击跳闸情况统计显示, 500 kV 线路中绕击跳闸占雷击跳闸总数的 94.6%, 因此防治线路绕击跳闸对于线路雷害治理具有重要意义^[2-4]。

±500 kV 德宝直流输电线路, 起于 ±500 kV 宝鸡换流站直流进线构架, 止于 ±500 kV 德阳换流站直流进线构架。四川境内线路全长 240.03 km(含涪江大跨越 2.748 km), 共使用铁塔 498 基, 其中直线塔 399 基、悬垂转角塔 5 基、耐张转角塔 94 基; 途

中跨越铁路 4 次、高速公路(隧道) 3 次、高等级公路 12 次、一般公路 72 次, 涪江、嘉陵江各 1 次, 通航河流 2 次, 220 kV 电力线路 5 次, 110 kV 电力线路 4 次, 35 kV 电力线路 16 次。全线山区多, 地下水丰富, 森林分布广, 其中沿线经过高大山岭 82.76 km, 占 34.48%; 山地 104.97 km, 占 43.73%; 丘陵 29.09 km, 占 12.12%; 平地 20.78 km, 占 8.66%; 河网 2.42 km, 占 1.01%。

德宝直流四川段自投运以来共发生 4 次雷击闪络故障, 雷击闪络率为 1.67 次/(百公里·年), 其中 2011 年 7 月 21 日发生的 1 次故障重启未成功。从闪络形式上看, 4 次故障初步分析均为绕击故障; 从塔型上看, 4 次故障中 3 次发生在 JTA1 型转角塔, 另有 1 次发生在 GA30 直线塔; 从档距上看, 4 次故障中 3 次发生在 700 m 以上的大档距, 另有 1 次发生在 500 m 左右的档距; 从地形上看, 4 次故障中 3 次发生在山坡, 另有 1 次发生在丘陵; 从极性上看, 4

次故障中2次发生在负极性的极Ⅱ 2次发生在极Ⅰ。

综合±500 kV 德宝线现有的防雷治理措施和历年跳闸记录,将采用输电线路差异化防雷评估技术,筛选出跳闸率最高的20基杆塔,提出防雷改造方案。

1 雷电特征参数统计研究

采用“线路走廊网格法”来获取德宝直流输电线路走廊雷电活动分布特征分析和典型雷电参数,以四

川省的雷电定位系统监测数据为基础,采用统计法提取出沿线地闪次数、地闪密度等雷电基础参数。

1.1 德宝线线路走廊地闪密度统计结果

通过“线路走廊网格法”,对4条线路走廊2005—2014年的雷电分布情况进行了统计,德宝线走廊地闪密度分布和线路走廊雷电流幅值概率累积曲线结果分别如图1和图2所示。

1.2 线路雷区等级划分

根据德宝直流四川段2010—2015年平均年地闪密度分布进行雷区划分,结果如表1所示。

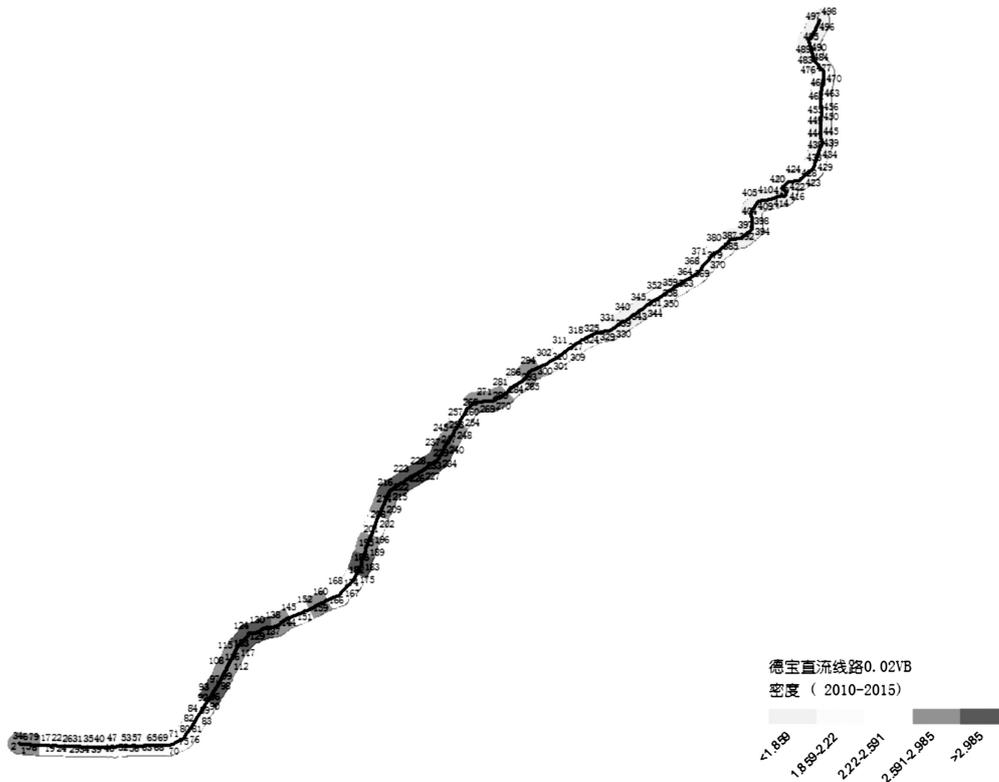


图1 德宝线走廊地闪密度分布

表1 四川±500 kV 德宝线雷区等级划分

地闪密度 (次/ $\text{km}^2 \cdot \text{a}$)	[0, 0.78)	[0.78, 2)	[2, 2.78)	[2.78, ∞)	
杆塔区段		420号~427号 428号~437号 438号~452号 453号~467号 468号~485号 485号~498号	16号~29号 45号~58号 71号~82号 363号~373号 386号~397号 411号~419号 428号~437号	30号~44号 59号~70号 352号~362号 374号~386号 398号~410号 420号~427号 438号~452号	1号~15号 16号~29号 30号 ~44号 45号~58号 59号~70号 71号~82号 83号~95号 96号~109号 10号~121号 122号~133号 134号~147号 148号~160号 161号~172号 173号~187号 188号~201号 201号~213号 214号~224号 225号~234号 235号~248号 249号~261号 262号~274号 275号~287号 288号~302号 303号~315号 316号~327号 328号~341号 342号~351号
区段数量	0	6	14	27	

表2 ±500 kV 德宝线雷击闪络风险评估等级划分指标

雷击跳闸率	$P_r < 0.075$	$0.075 \leq P_r < 0.15$	$0.15 \leq P_r < 0.23$	$P_r \geq 0.23$
风险等级	A	B	C	D

表3 各雷击闪络风险等级杆塔数量

雷击闪络风险等级	A	B	C	D
杆塔数量	239	138	88	32
百分比	48.09%	27.77%	17.71%	6.44%

2010-2015年德宝直流线路_02全部数据幅值概率分布曲线

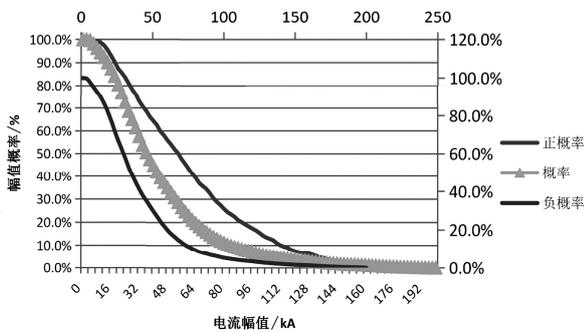


图2 线路走廊雷电流幅值概率累积曲线

1.3 线路特征参数分析

经过计算,保护角较大的均为耐张塔的悬垂串,其中最大的塔型为JTC26,保护角分别为23.38°和21.60°,共计4基铁塔。直路塔的保护角为8°~12°,其中最大的塔型为GC16、GC26,保护角为11.43°,共计34基。

2 仿真计算

2.1 雷击闪络风险评估标准

目前,直流输电线路相应的规范仍处于探讨期,因此此次风险评估标准仍以《110(66)kV~500kV架空输电线路管理规范》(以下简称“规范”)为依据,参考线路的实际运行经验等因素来确定。参照规范中绕击跳闸率、反击跳闸率的计算方式,结合德宝线走廊地闪密度平均值为2.95次/(km²·a)对线路的雷击跳闸率指标值进行换算,结果为0.15次/(百公里·年),其雷击闪络风险等级划分指标见表2。

2.2 雷击闪络风险评估结果

按照2.1节确定的雷击闪络风险评估标准并结合德宝线防雷计算分析结果,采用输电线路差异化评估方法^[4-6]对四川±500kV直流输电线路沿线杆塔进行了雷击闪络风险评估,各雷击闪络风险等级所占杆塔比例如表3所示。

从表3可以看到,在综合考虑线路结构特征、地形地貌特征、杆塔绝缘配置、线路走廊雷电活动特征等因素的条件下,确定线路整体雷击风险处于A、B、C、D等级的杆塔数量分别为239、138、88、32基,所占百分比为48.09%、27.77%、17.71%、6.44%,如图3和图4所示。因此,线路整体防雷效果较好的杆塔占总数的75.86%,相对防雷性能偏低的杆塔共计有120基,占到总数的24.14%。

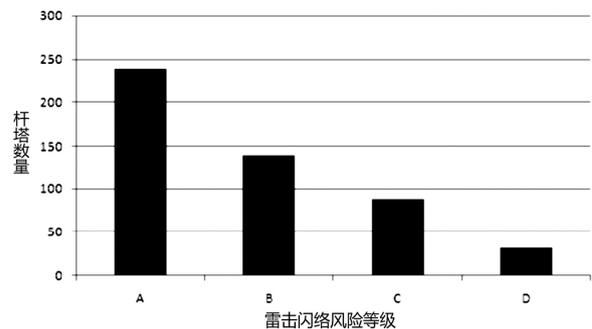


图3 四川±500 kV 德宝线不同雷击风险等级的杆塔数量分布

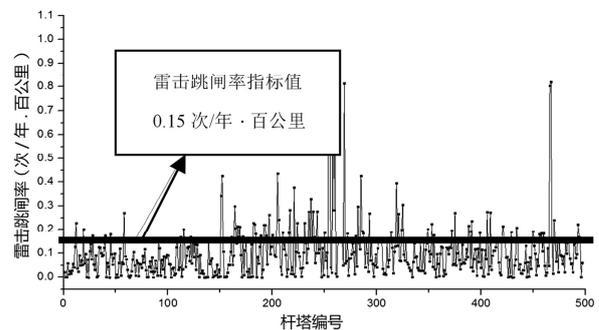


图4 四川±500 kV 德宝线各基杆塔雷击闪络风险分布

3 雷击高风险杆塔防雷方案制定

德宝直流自投运以来,共发生过雷击跳闸事故4次,分析结果表明,雷击故障均为绕击雷造成,因此,防雷改造治理方案主要以绕击雷防护为主。

3.1 防雷措施的选择

表4 高风险雷击杆塔防雷改造方案

改造顺序	改造杆塔号	改造措施	杆塔数
1	151号、152号、205号、221号、243号、319号、325号	直流线路避雷器	7
	254号、282号	可控放电避雷针	2
	375号、406号、409号	可控放电避雷针、降阻接地装置	3
2	115号、167号、168号、287号、304号	直流线路避雷器	5
	216号	可控放电避雷针	1
	429号、434号	可控放电避雷针、降阻接地装置	2

根据直流线路历年来的运行经验、线路结构特征以及各种防雷措施的优缺点和适用范围,在线路进行防雷改造时,建议主要采用可控放电避雷针、直流线路氧化锌避雷器及接地降阻装置3种措施进行防雷改造。

1) 可控放电避雷针

可控放电避雷针作为一种防绕击雷的措施之一,已经在全国各大电网得到了长时间投运。结果表明在接地电阻有保障的情况下,其防绕击效果比较客观,其经济造价较低,安装方便且不需要停电,但可控针的保护范围有限,因此比较适合于小档距、低电阻的杆塔。

2) ±500 kV 直流线路避雷器

统计现有防雷措施运行情况,装设避雷器是最有效的防雷手段。±500 kV 直流线路避雷器在全国部分地区已经得到了应用^[6-10],防雷效果比较显著。对于雷击跳闸率较高的杆塔,在对其进行防雷改造时,氧化锌避雷器应该作为主要的防护措施之一。

3) 降阻接地装置

根据实际测量各线路杆塔的接地电阻值,有部分杆塔的接地电阻比较大。对于安装可控针的杆塔,建议相关部门对其接地电阻进行核实,对阻值没达到要求的杆塔应及时采用适当的降阻措施。

3.2 防雷改造杆塔范围和次序

综合线路历年运行经验雷击杆塔的特点、线路已有防雷措施及线路总体的雷击闪络风险评估结果共筛选出高风险雷击闪络杆塔20基,改造措施和改造顺序见表4所示。

4 结 论

1) 四川 ±500 kV 德宝直流输电线路杆塔处于

地闪密度高于 2.78 次/(km²·a) 的区段占总线路的 87%。线路整体雷击风险处于 A、B、C、D 等级的杆塔数量分别为 239、138、88、32 基,所占百分比为 48.09%、27.77%、17.71%、6.44%,防雷性能偏低的杆塔共计有 120 基,占到总数的 24.14%。

2) 综合线路历年运行雷击杆塔的特点、线路已安装防雷措施及线路总体的雷击闪络风险评估结果,四川 ±500 kV 德宝直流输电线路主要以防雷电绕击为主。

3) 四川 ±500 kV 德宝直流输电线路筛选出高风险雷击闪络杆塔 20 基,主要采用直流线路避雷器、可控放电避雷针和降阻装置 3 种改造措施。

参考文献

[1] 吴焯军,赵淳,张伟忠,等. 直流输电线路雷害现状与分析[J]. 高压电器, 2014, 5(5): 134-139.

[2] 刘守豹,许安,崔涛,等. 避雷器在输电线路绕击雷害治理中的应用[J]. 电瓷避雷器, 2014(2): 92-96.

[3] 杜颖. 超(特)高压输电线路耐雷性能计算方法综述[J]. 广东电力, 2010, 23(9): 15-20.

[4] 刘守豹,李江陵,王红梅,等. 500 kV 交直流线路雷击特性比较研究[J]. 四川电力技术, 2013, 10(36): 13-16.

[5] 郝俊琦,李琳,王平. 基于蒙特卡罗法的超高压输电线路绕击跳闸率的计算[J]. 华北电力大学学报, 2012, 39(5): 35-41.

[6] 谷山强,陈家宏,陈维江,等. 输电线路防雷性能时空差异化评估方法[J]. 高电压技术, 2009, 35(2): 294-298.

[7] 陈家宏,吕军,钱之银,等. 输电线路差异化防雷技术与策略[J]. 高电压技术, 2009, 31(12): 2891-2902.

[8] 赵淳,陈家宏,王剑,等. 电网雷害风险评估技术研究[J]. 高电压技术, 2011, 37(12): 3012-3021.

(下转第94页)

[33] JABR R A , Pal B C. Intermittent Wind Generation in Optimal Power Flow Dispatching [J]. IET Generation , Transmission and Distribution , 2009 , 3(1) : 66 - 74.

[34] 孟祥星 , 王宏. 大规模风电并网条件下的电力系统调度[J]. 东北电力大学学报 2009 29(1) : 1 - 7.

[35] Siahkali , Vakilian , M. Stochastic Unit Commitment of Wind Farms Integrated in Power System [J]. Electric Power Systems Research , 2010 , 80 (9) : 1006 - 1017.

[36] 孙元章 , 吴俊 , 李国杰 , 等. 基于风速预测和随机规划的含风电场电力系统动态经济调度[J]. 中国电机工程学报 , 2009 , 29(4) : 41 - 47.

[37] 江岳文 , 陈冲 , 温步瀛. 基于随机模拟粒子群算法的含风电场电力系统经济调度[J]. 电工电能新技术 , 2007 26(3) : 37 - 43.

[38] 任建文 , 渠卫东. 基于机会约束规划的孤岛模式下微网动态经济调度[J]. 电力自动化设备 2016 36(3) : 73 - 80.

[39] 朱祥祥 , 黄崇鑫 , 岳东 , 等. 基于区间不确定性的微网有功 - 无功联合优化调度[J]. 电力系统自动化 , 2016 40(15) : 39 - 47.

[40] Liu Y , Jiang C , Shen J et al. Coordination of Hydro Units with Wind Power Generation Using Interval Optimization [J]. IEEE Transactions on Sustainable Energy , 2015 6(2) : 443 - 453.

[41] 王守相 , 王栋 , 韩亮. 考虑不确定的微网日前经济优化调度区间线性规划方法[J]. 电力系统自动化 , 2014 38(24) : 5 - 13.

[42] 马瑞 , 康仁 , 姜飞 , 等. 考虑风电随机模糊不确定性的电力系统多目标优化调度计划研究[J]. 电力系统保护与控制 2013 41 (1) : 150 - 156.

[43] 李武强 , 余涛 , 林建泉 , 等. 考虑随机性的微电网环保经济运行优化[J]. 电力系统及其自动化学报 2015 , 27(3) : 81 - 87.

[44] 戴仲覆 , 陈涛 , 于文俊. 一种在微网动态经济调度中考虑风电随机性的方法[J]. 发电与空调 2013 34 (5) : 1 - 5.

[45] 王群 , 董文略 , 杨莉. 基于 Wasserstein 距离和改进 K - medoids 聚类的风电/光伏经典场景集生成算法[J]. 中国电机工程学报 2015 35(11) : 2654 - 2662.

[46] 王蓓蓓 , 刘小聪 , 李扬. 面向大容量风电接入考虑用户侧互动的系统日前调度和运行模拟研究[J]. 中国电机工程学报 2013 33(22) : 35 - 44.

[47] Zhang Jianyong , Wang Cong. Application of ARMA Model in Ultra - short Term Prediction of Wind Power [C]//2013 International Conference on Computer Sciences and Applications (CSA) , Wuhan , China: Hubei University of Technology 2013: 361 - 364.

[48] Due hee L , Ross B. Future Wind Power Scenario Synthesis through Power Spectral Density Analysis [J]. IEEE Transactions on Smart Grid 2014 5(1) : 490 - 500.

[49] 黎静华 , 韦化 , 莫东. 含风电场最优潮流的 Wait - and - See 模型与最优渐近场景分析[J]. 中国电机工程学报 2012 32(22) : 15 - 23.

[50] 郭思琪 , 袁越 , 张新松 , 等. 多时间尺度协调控制的独立微网能量管理策略[J]. 电工技术学报 2014 29 (2) : 122 - 128.

[51] 肖浩 , 裴玮 , 孔力. 基于模型预测控制的微电网多时间尺度协调优化调度[J]. 电力系统自动化 2016 40 (18) : 7 - 16.

[52] 窦晓波 , 徐恣慧 , 董建达 , 等. 微电网改进多时间尺度能量管理模型[J]. 电力系统自动化 2016 40(9) : 48 - 56.

[53] 茆美琴 , 张永宁 , 王杨洋 , 等. 削峰填谷策略下微电网多时间尺度能量优化[J]. 南方电网技术 2016 , 10 (8) : 23 - 32.

作者简介:
燕振刚(1991) , 硕士研究生 , 研究方向为微电网经济调度。
(收稿日期: 2016 - 11 - 13)

(上接第87页)

[9] 张思寒. 避雷器配置方式对 220 kV 同塔多回输电线路防雷效果研究[J]. 电瓷避雷器 2015(2) : 82 - 86.

[10] 彭晓亮 , 陈坤 , 刘新 , 等. ±500 kV 直流线路避雷器在江城线的应用[J]. 电瓷避雷器 , 2014(4) : 111 - 115.

[11] 苏杰 , 曹炯 , 姜文东 , 等. 220 kV/110 kV 同塔四回输电线路双回同时闪络耐雷性能及防治[J]. 电瓷避雷器 2013(5) : 90 - 96.

[12] 詹花茂 , 李成榕 , 陈秀娟 , 等. 线路避雷器安装方案及效果分析[J]. 电瓷避雷器 2004(3) : 32 - 35.

作者简介:
彭锦超(1983) , 工程师 , 研究方向为电力工程设计。
(收稿日期: 2016 - 11 - 07)