

华蓥山区输电线路防雷综合措施研究及实施方案

王家祥

(广安电业局, 四川 广安 638000)

摘要:随着电网的不断发展,高海拔山区由于雷电造成的电网事故日益增多,通过对华蓥山区2008年至2010年事故原因统计分析表明,因雷击造成的事故占总比例的70%,因此采取有效措施遏止因雷害造成电网事故显得尤为重要。重点介绍了一些防止雷害的措施,通过对输电线路防雷综合措施的研究和实施,取得明显成效。

关键词:山区;输电线路;防雷措施

Abstract: With the continuous development of power system, the accidents of power grid caused by lightning have increased in high altitude mountainous area. From 2008 to 2010, the statistic analysis of accident reasons in Huaying mountainous area shows that the lightning stroke accidents are accounted for 70%. Therefore, it is very important to take the effective measures for lightning accidents. Some prevention measures against lightning are introduced, and the significant results are obtained through the research and implementation of comprehensive protection measures against lightning of transmission line.

Key words: mountainous area; transmission line; protection measures against lightning

中图分类号:TM863 文献标志码:A 文章编号:1003-6954(2011)06-0071-04

0 概述

雷击跳闸一直是困扰整个输电线路运行工作的难题,雷害事故几率占导致跳闸事故的2/3甚至更多。2008年至2010年邻水供电局辖区输电线路跳闸共23次,其中雷击跳闸就占了16次,比例高达近70%,因此寻求有效的防雷措施是提高线路安全、稳定运行的可靠保障。

邻水电网处于华蓥山脉,四川电网末端,由于线路大多处于高山峻岭,雷击活动频繁,邻水地区年均雷暴日达40~65之间是雷击跳闸的重点区段。主电源为两条220 kV线路黄范一线、黄范二线及两条110 kV线路分邻线、桂邻线,网络相对薄弱。雷击跳闸是整个邻水电网主网跳闸的主要原因,降低雷击跳闸率对于日常运行维护来讲将是大大降低劳动强度,提高线路安全、稳定运行的可靠保障。

1 雷击跳闸分析

送电线路遭受雷击的事故主要与4个因素有关:线路绝缘水平、有无架空地线(包括架空地线保护角大小)、雷电流强度、杆塔的接地电阻。感应雷一般电压低于线路的绝缘水平,不会导致线路发生闪络而

跳闸,危害线路的主要是直击雷。直击雷分为反击和绕击两种形式。送电线路的运行经验、现场实测和模拟试验均证明,雷电绕击率与避雷线对边导线的保护角、杆塔高度以及高压送电线路经过的地形、地貌和地质条件有关。雷击杆、塔顶部或避雷线时,雷电流流过塔体和接地体,使杆塔电位升高,同时在相导线上产生感应过电压。如果升高塔体电位和相导线感应过电压合成的电位差超过高压送电线路绝缘闪络电压值,即 $U_j > U50\%$ 时,导线与杆塔之间就会发生闪络,这种闪络就是反击闪络^[1,2]

绕击与反击的不同特征见表1。

表1 绕击与反击的特征

序号	比较项目	反击	绕击
1	雷电流幅值	雷电流较大	雷电流较小
2	杆塔接地电阻	大	小
3	闪络基数与相数	一基多相、或多基多相	单基单相或相邻两基同相
4	地形特点		山坡或山顶等易绕击处
5	闪络相别	耐雷水平较低相(如下相)	易绕击相(如顶相)

高压送电线路各种防雷措施都有其针对性,因此,在进行高压送电线路设计时,选择防雷方式首先要明确高压送电线路遭雷击跳闸原因。

表2 2008年至2010年线路雷击跳闸统计表

年度	电压等级 /kV	跳闸 次数	跳闸原因			杆塔 位置
			雷击		其他	
			绕击	反击		
2008年	220	1	0	1		山顶
	110	4	1	2	冰闪1次	山顶
	35	2	1	1	0	山区
2009年	220	0	0	0	0	—
	110	4	0	2	外力1次、冰闪1次	山区
	35	2	2	0	0	山区
2010年	220	0	0	0	0	—
	110	5	1	2	冰闪2次	山区
	35	4	3	0	外力1次	山区

根据记录,从2008年至2010年,邻水电网雷暴日年均超过40天,属典型多雷区。雷暴日主要集中在4、5、6、7、8月份,雷电活动强度也较大,输电线路主要集中在这段时间跳闸。

2008年至2010年,全局35kV及以上线路共发生雷击跳闸23次,具体情况表2。

总体看来,220kV线路运行较好,仅发生雷击跳闸1次且重合成功。110kV桂邻线发生5次跳闸,全部重合成功,主要集中在25号至49号杆塔范围内,损坏的都是同基两相或三相瓷瓶。110kV分邻线发生3次雷击跳闸,全部重合成功,经过实地勘察,3次都是多相瓷瓶损坏,证明确系雷电反击。桂邻线和分邻线都是高海拔线路,线路跳闸多为反击,这说明线路的接地电阻多处阻值较大。

35kV线路雷击跳闸次数为13次,主要集中在2条线路,除未启用重合闸的线路外,其余线路全部重合成功。合坛、邻合线线路多次发生雷击跳闸,说明这些线路走廊为雷电易击区。

35kV及以上线路在雷击跳闸后一般能重合成功,说明线路的绝缘配置已经能够满足需要。

2 高压送电线路防雷措施

清楚了送电线路雷击跳闸的发生原因,可以有针对性地对送电线路所经过的不同地段,不同地理位置的杆塔采取相应的防雷措施。加强高压送电线路的绝缘水平。高压送电线路的绝缘水平与耐雷水平成正比,加强零值绝缘子的检测,保证高压送电线路

有足够的绝缘强度是提高线路耐雷水平的重要因素。

2.1 架设避雷线,减小保护角

避雷线是线路中普遍采用的防雷装置。架设避雷线是送电线路最基本的防雷措施,其防雷保护作用有:降低线路绝缘所承受的过电压幅值。当雷电直击于线路时,线路避雷线将雷电流引入大地,由于接地电阻各地点大小不同,因而会在杆塔顶造成不同的电位。雷云放电将引起线路感应过电压 $U(g)$, $U(g)$ 与主放电流幅值 I 及挂线高 $h(d)$ 成正比,与雷击点的距离成反比。无避雷线的线路感应雷电压为 $U(g) = h(d)$,当有避雷线时,对导线就有屏蔽作用。雷电波在避雷线中传播时,与避雷线平行的导线在避雷线的电压波磁场中,由于耦合作用获得一定的电位 $U(2)$, $U(2) = KU$ 式中 K 是耦合系数由于避雷线的屏蔽作用,线路上的感应电压为 $U(g) = ah(d)(1 - K)$ 式中 a 为系数, K 为耦合系数。为了提高避雷线对导线的屏蔽效果,减小绕击率,避雷线对边导线的保护角应尽量小一些。

2.2 降低杆塔接地电阻

采取降阻措施须经过技术经济比较,在土壤电阻率较高的地段,可采用增加垂直接地体、加长接地带、改变接地形式、换土或采用接地新技术(如长效型降阻剂、接地模块)等措施,慎用化学降阻剂。在盐碱腐蚀较严重的地段,接地装置应选用耐腐蚀性材料或采用导电防腐漆防腐。

降低接地电阻的主要方法有如下措施。

(1) 采用外延接地体。如杆塔所处的位置受场

地限制,可在放射长度的1.5倍范围内有较低土壤电阻率的地方,采用外引深埋接地方式,其深埋接地体的间距宜大于20 m。

(2) 填充电阻率较低的物质: ①换土; ②采用接地模块进行降阻; ③在水平接地体周围施加长效防腐降阻剂。

杆塔接地电阻测量应采用三极法,测量方法应满足《杆塔工频接地电阻测量》DL/T887-2004的要求。

(3) 对于35 kV及110 kV水泥杆线路,有避雷线的应采用外接引线并T接金属横担接地,无避雷线的从金属横担上引下;接地引下线应采用GJ-25/35钢绞线,至地面适当位置与Φ12圆钢引下线以螺栓连接,并新增接地网装置。

2.3 安装线路避雷器

线路上装避雷器,当输电线路遭受雷击时,雷电流的分流将发生变化,一部分雷电流从避雷线传入相临杆塔,一部分经塔体入地,当雷电流超过一定值后,避雷器动作加入分流。雷电流在流经避雷线和导线时,由于导线间的电磁感应作用,将分别在导线和避雷线上产生耦合分量。因避雷器的分流远远大于从避雷线中分流的雷电流,这种分流的耦合作用将使导线电位提高,使导线和塔顶之间的电位差小于绝缘子串的闪络电压,绝缘子不会发生闪络^[2,3]。

2.4 采用避雷针

在易发生雷击段的重雷区架空地线或者杆塔上安装避雷针(侧向避雷针、防绕击避雷针、可控放电避雷针),达到雷电流先通过避雷针再到架空地线将雷电流泄入大地。扩大了架空地线的保护范围并降低了导线直击的概率。

2.5 加强线路绝缘

加强线路绝缘可提高耐雷水平和直接降低建弧率,这对于确保线路畅通,从而提高线路安全运行的可靠性,保证降低线路跳闸率是有利的。对于个别高杆塔,在充分降低接地电阻前提下,再考虑由于高杆塔本身电感增大而使雷击杆塔顶电位升高的因素,适当增加绝缘进行补偿。设计规程规定,对有避雷线保护的线路,标杆塔高度超过40 m,每超过10 m高度,应增加1片绝缘子;对无避雷线保护杆塔高度超过40 m,若采用保护间隙或管型避雷保护的也应增加1片绝缘子。

2.6 安装雷电接闪器

在易发生雷击段的重雷区的杆塔上安装雷电接闪器,易达到主动引雷的作用,并将雷电流迅速泄入大地,有效降低线路雷击跳闸率。

3 采取的防雷措施

根据邻水供电局输电线路特点特采取以下防雷措施方案。

对整个输电线路接地网进行普测,对于不合格的进行接地网改造;接地电阻测量值的确定:测得的接地电阻值应根据土壤干燥及潮湿情况乘以季节系数后作为最终的接地电阻值。

杆塔防雷接地装置的季节系数如表3所示。

表3 防雷接地装置季节系数

接地体埋深/m	水平埋设接地体	2~3 m垂直埋设接地体
0.5	1.4~1.8	1.2~1.4
0.8~1.0	1.25~1.45	1.15~1.3
2.5~3.0	1.0~1.1	1.0~1.1

注:测量接地电阻时,如土壤干燥,则取表中较小值,如土壤潮湿,则采用表中较大值。

不同土壤电阻率对输电线路杆塔接地电阻的要求见表4。

表4 不同电阻率对应的接地电阻

土壤电阻率/ $\Omega \cdot m$	≤ 100	100~500	500~1000	1000~2000	> 2000
接地电阻值/ Ω	10	15	20	25	30

对35 kV输电线路无架空地线段进行加设接地网并进行横担T接外引接地。对220 kV、110 kV重雷区安装防绕击避雷针和侧向避雷针。对35 kV重雷区安装线路避雷器和雷电接闪器。

对杆塔接地网进行改造时,35 kV的新埋设接地网采用Φ12号的圆钢进行敷设,敷设方式以风车状为主,110 kV、220 kV不合格接地网采用Φ12号的圆钢进行敷设,并将以前敷设的旧地网全部拆掉,以免旧地网对防雷起到屏蔽作用,影响防雷效果。水泥杆以风车状为主,铁塔将原有的两点接地变为四点接地,并从四条腿分别展开进行敷设。为了减少相邻接地体的屏蔽作用,水平接地体之间的接近距离不得小于5 m。在山区段土壤电阻率较高的地方采用垂直打入接地角钢的方法加以补充接地圆条埋设方式的不足。利用ZC-8接地电阻测试仪测量土壤电阻率:测量

表6 2011年邻水供电局防雷措施实施情况

项目	水泥杆塔 接地外引 (基础)	线路避 雷器 /组	地线绕击 避雷针 /组	侧向 避雷针	220kV 杆塔 接地电阻 整治 /基	110kV 杆塔 接地电阻 整治 /基	雷电接 闪器 /只
次数	40	4	62	13	42	48	6

表6 雷电计数器动作次数记录簿

检查 日期	安装地点		雷电接闪 器动作次数	线路避雷器 动作次数	情况分析
	线路名称	杆号			
20110808	35 kV 邻合线	34	5	—	动作正常、起到避雷作用
20110808	35 kV 邻合线	47	2	—	动作正常、起到避雷作用
20110808	35 kV 邻合线	54	8	—	动作正常、起到避雷作用
20110808	35 kV 邻合线	64	3	—	动作正常、起到避雷作用
20110808	35 kV 马坛线	21	7	—	动作正常、起到避雷作用
20110808	35 kV 马坛线	25	4	—	动作正常、起到避雷作用
20110808	35 kV 马坛线	09	—	L1 相 8 次 L2 相 6 次 L3 相 12 次	动作正常、起到避雷作用
20110808	35 kV 马坛线	16	—	L1 相 4 次 L2 相 7 次 L3 相 3 次	动作正常、起到避雷作用
20110808	35 kV 合坛线	14	—	L1 相 15 次 L2 相 9 次 L3 相 13 次	动作正常、起到避雷作用
20110808	35 kV 合坛线	32	—	L1 相 10 次 L2 相 7 次 L3 相 7 次	动作正常、起到避雷作用

时用三根棒呈一直线插入土壤中,它们之间的距离都相等,棒插入土壤的深度不应小于 $a/20$ 。把仪器放平、调零、使指针指在 0 的位置,用手以 120 r/min 的速度摇动手柄发电机,待指针稳定后读出 R 值,则土壤电阻率为: $\rho = 2\pi aR$ 的乘积。

式中 ρ 为土壤电阻率($\Omega \cdot m$); a 为棒与棒之间的距离(m); π : 圆周率,等于 3.1416; R 为接地电阻测试仪的读数(Ω)。

根据土壤电阻率、接地电阻测试数据、季节系数来确定接地电阻是否合格。通过实施接地外引、换土、采用垂直接地体等综合措施,经过改造后的线路地网接地电阻均在 10 Ω 以下。2011 年邻水供电局防雷措施情况见表 5。

通过 2011 年对整个邻水电网输电线路接地网进行综合整治、综合分析雷击情况和采取综合防雷措施后,2011 年 2 月至 9 月为止整个邻水电网还未发生任何跳闸事故,有效的降低雷害事故,提升电网安全运行水平。表 6 为雷电计数器动作次数。

4 结 语

线路防雷工作是线路工作的重中之重,生产运行单位应结合线路的重要程度、地形地貌的特点、雷电活动的强弱、土壤电阻率的高低、已有的运行经验等,综合分析并举行技术经济比较后,采取合适的防雷措施。通过采取相应的、合理的防雷措施后,可以减少雷击机会,提高线路耐雷水平,降低线路跳闸次数,确保线路通畅,从而提高线路安全运行的可靠性,保证线路连续供电。

参考文献

- [1] 李光辉,高虹亮. 架空输电线路运行与检修[M]. 北京: 中国三峡出版社, 2000.
- [2] 胡毅. 输电线路运行故障分析与防治[M]. 北京: 中国电力出版社, 2007.
- [3] 王清葵. 送电线路运行和检修[M]. 北京: 中国电力出版社, 2003.

(收稿日期:2011-09-15)