

输电线路雷击风险降低的防雷设计

罗尚荣 杨李栋

嘉兴市恒光电力建设有限责任公司

DOI: 10.12238/ems.v5i2.6095

[摘要] 输电线路是电力系统的大动脉,它的安全运行直接影响到了电网的稳定和向用户的可靠供电。随着国民经济的快速发展,输电线路的发展也不断加快。然而雷电是威胁输电线路安全稳定运行的关键因素,开展新建输电线路雷击风险评估对线路投运后的可靠运行具有重要意义。雷击等自然灾害已经逐渐成为引发大面积停电的重要原因,因此降低雷害风险是保障输电线路安全输电的关键技术之一。

[关键词] 输电线路; 防雷; 改造策略; 跳闸率

Lightning protection design for reducing the risk of lightning strikes on transmission lines

Luo Shangrong, Yang Lidong

Jiaxing Hengguang Electric Power Construction Co., Ltd

[Abstract] The transmission line is the main artery of the power system, and its safe operation directly affects the stability of the power grid and the reliable power supply to users. With the rapid development of the national economy, the development of transmission lines is also accelerating. However, lightning is a key factor threatening the safe and stable operation of transmission lines, and conducting lightning risk assessment for newly built transmission lines is of great significance for the reliable operation of the lines after they are put into operation. Natural disasters such as lightning strikes have gradually become an important cause of large-scale power outages, so reducing the risk of lightning damage is one of the key technologies to ensure the safe transmission of transmission lines.

[Key words] transmission line; Lightning protection; Transformation strategy; Trip rate

引言

输电线路是电力系统的大动脉,它的安全运行直接影响到了电网的稳定和向用户的可靠供电。根据不完整的统计,2006年至2010年间,每年我国新增装机容量连续5年超过了90GW。电网通过输电线路将发电厂、变电站及电能用户各个点连接起来,承担着电能输送的任务。要想提高电网运行可靠性,确保供电可靠性,就必须提高输电线路的抗干扰能力,确保输电线路正常运行。

所以,输电线路的供电可靠率,也是各电业局年度考核的指标之一,充分体现了输电线路安全稳定运行的重要性。根据运行经验,电力系统事故中雷害事故一般占50%以上,从古至今防雷保护都是一个重要问题。雷击影响在输电线路故障跳闸次数中占70%~90%。在多雷、土壤电阻率高、地形复杂的地区,雷击输电线路引起的故障率尤其高。输电线路能否安全可靠的

输送电关系着众多行业的发展还有民生的安全。因此,输电线路雷击风险降低的防雷设计至关重要。

1、交流特高压防雷保护理论

特高压线路的雷电性能有两个特点:特高压线路的绝缘水平很高,雷击避雷线或塔顶而发生反击闪络的可能性较低;特高压线路杆塔较高,较易发生绕击。雷电的放电其基本原理为:由雷云向地面发展的先导放电通道头部到达距被击物体临界击穿距离(简称击距)的位置以前,击中点是不确定的,先到达哪个物体的击距之内,雷电即向该物体放电。击距同雷电流幅值有关。

我国雷电定向定位仪记录的数据也表明,我国500kV线路雷击跳闸的主要原因是绕击跳闸。在广东、福建和浙江等省,500kV线路雷击跳闸中有90%是因绕击而发生的。因此,本研究的重点也在绕击跳闸研究。随着线路额定电压的提高,线路绝缘水

平不断提高, 雷电反击跳闸的概率愈来愈小。

根据对国内雷电定向定位仪的测量结果的分析, 我国500kV线路雷击跳闸事故绝大部分是由雷电绕击导线引起的, 而不是反击。对于1000kV线路, 反击跳闸率会更小。

2、反击

雷击塔顶或其附近避雷线出现反击闪络的雷电流与杆塔高度关系很大。这主要是因为杆塔高度较高时, 雷电流流经杆塔时在悬挂绝缘子串的杆塔横担处形成的杆塔感应电压降分量变大。其次, 塔高后导线悬挂高度也必然提高。这自然加大了雷击时导线上感应过电压的分量。杆塔接地电阻自然也是影响反击耐雷水平一个因素。当杆塔接地电阻相同时, 杆塔高度越高则反击耐雷水平将越低。前苏联的特高压架空输电线路采用水平拉线V型杆塔, 杆塔高度约46m。而日本特高压架空输电线路则采用同塔双回路、三相导线垂直排列的自立式杆塔, 塔高88—148m。显然, 从防止雷电反击来说, 后者是不利的。

特高压架空输电线路由于采用避雷线且绝缘子串和空气间隙的雷电冲击放电电压很高, 当雷击塔顶或其附近避雷线反击时的雷电流(耐雷水平)幅值大、出现概率小, 一般无需采取其它措施加以防护。

此外, 上述已经提及杆塔接地电阻也是影响雷击杆塔反击耐雷水平的重要因素之一。但在考虑这一问题时, 要注意到特高压架空输电线路杆塔埋在地中的塔腿和基础尺寸较大的特点。因为它们这是一个散流很好的自然接地极。据估计即使在土壤电阻率为400Ω·m地区特高压架空输电线路杆塔的自然接地电阻也仅在15Ω以下。当土壤电阻率更高时, 则需再增装人工的水平接地极以降低杆塔接地电阻。

特高压架空输电线路杆塔的接地电阻

土壤电阻率 (Ω·m)	≤100	>100~500	>500~1000	>1000~2000	>2000
接地电阻 (Ω)	10	15	20	25	30

注: 土壤电阻率大于2000 Ω·m, 接地电阻仍不能降低到30 Ω时, 可采用6~8根总长不超过500m的水平放射形接地极或采用接地降阻模块。

3、绕击

特高压输电线路杆塔高度高, 导线上工作电压幅值大, 比较容易由导线上产生向上先导, 使得特高压线路避雷线屏蔽性能变差。这不但可从用以研究输电线路避雷线屏蔽性能的电气几何理论得到解释, 运行情况对此也提供了佐证。

雷电活动不太强烈的前苏联1150kV特高压架空输电线路在其不长的运行期间(其中在1150kV运行经验为3000km·a)内已发生雷击跳闸21次。这比我国500kV输电线路的运行统计值0.14/100km·a要高。这些跳闸的基本原因是在耐张转角塔处, 雷电绕击导线。提高特高压输电线路雷电性能的主要措施是采用更小的避雷线对导线的保护角。日本1000kV特高压架空输电线路的避雷线采用了负保护角, 且东西线所在地区年平均雷暴日dT为25日, 但在以500kV降压运行期间, 雷击跳闸率却高达0.9次/100km·a。据分析认为是由于线路杆塔高, 雷电从侧面绕击导线引起绝缘子闪络。

研究表明, 特高压输电线路导线上的工作电压对避雷线屏蔽性能的影响很大。这主要是对于绝大多数的负极性雷击而言, 虽然雷击时刻导线上的工作电压极性可能是正的或负的且是等可能性的, 但前者因强烈吸引雷击的作用而导致的相应的绕击闪络率与无工作电压时相比的增量部分要比等概率的负极性工作电压下的相应的绕击闪络率减少部分大得多, 这表明本研究中考虑工作电压是必要和正确的。

4、雷击档中跳闸

反击跳闸率计算考虑的是雷直击塔顶或雷击杆塔附近避雷线, 造成绝缘子串或杆塔间隙发生反击闪络的情况。还可能存在雷击档距中部, 使导线与避雷线间的间隙闪络的情况。雷直击档距中的避雷线时, 会产生雷电过电压。此雷电过电压波自雷击点沿避雷线向邻近两侧运动, 由于杆塔的接地作用, 在杆塔处将有一负反射波返回雷击点。当反射波到达雷击点时, 若雷电流尚未达到幅值, 则雷击点的电位自负反射波到达之时开始下降。当雷击点位于档距中央时, 雷击点的雷电过电压最大。

我国运行单位对220~500kV线路故障都进行了巡线寻找故障点的工作, 并有统计分析。特别是随着雷电定位系统的广泛使用, 使我们的雷击故障巡线以及分析雷击点和雷电闪络点更加便捷, 以下为浙江220~500kV线路2004~2007年雷击事故的分析统计结果:

浙江220~500kV线路2004~2007年雷击跳闸事故共计297次: 2004年59次、2005年41次、2006年105次和2007年92次。其中有275次找到了雷击闪络点, 均发生在杆塔处(在绝缘子、均压环或跳线和防震锤上有雷电放电烧灼痕迹), 占雷击跳闸事故的92%。未找到雷击闪络点的有25次, 占雷击跳闸事故的8%, 其中23次是220kV线路跳闸, 2次是500kV线路跳闸。未发现闪络点的因素较多, 没有充分的理由将其确定为雷击档距中央发生的

反击闪络。高压和超高压线路的雷击跳闸闪络基本上是发生在杆塔处的,雷击档中跳闸率极低。

5、新型接地型式应用

目前国内输电线路接地装置大多采用经热镀锌防腐的Φ12圆钢,在土壤腐蚀较严重的区域则采用抗腐蚀性强的铜覆钢。铜覆钢具有导电性能好、抗腐蚀性强、机械强度高以及电阻率小的特性,仅在土壤中含有高量的有机硫化物和高酸性时,铜才会产生点蚀,当铜层达到一定厚度时使用寿命可为60年。铜覆钢作为替代铜材料的一种新型接地材料为腐蚀严重地区线路、不易更换接地装置地区的接地型式设计提供了新的选择。

接地材料特性表

接地材料	镀锌圆钢	铜覆钢
价格	低	高
导电性 (IACS)	8.5	20-40
抗腐蚀性	一般	耐土壤腐蚀性好
机械强度	施工过程中镀锌层容易剥落	铜厚度大,与钢结合度好,不易脱落
电阻率	一般	小
连接方式	电弧焊接,可能会导致接头接触不良	利用化学反应放热熔接,结合性好
使用寿命	泥下区约为40年,大气区约为20-40年,水下区约为15年。	30-60年

接地装置经济比较表

接地材料	镀锌圆钢	铜覆钢
单价 (万元)	0.64	4
材料量 (吨/基)	0.20	0.22
材料总价 (万元/基)	0.128	0.880
价格差 (万元)	0	0.752

根据上表可以得出:虽然铜覆钢具有导电性能好、抗腐蚀性强、机械强度高及导电性能良好等优点,但由于其单价过高,约为镀锌钢的6.25倍,采用铜覆钢作为接地线的材料费比采用镀锌钢每基多0.752万元。

6、全寿命周期的比较

铜覆钢具有良好的耐腐蚀性,当覆层达到一定厚度时,其使用寿命可以达到60年。镀锌钢线根据规范规定,其单面平均腐蚀速度在泥下区为0.05mm/a;在大气区为0.05-0.1mm/a;水位变动及水下区为0.12mm/a。输电线路接地工程均埋于地下,从理论角度来说钢结构腐蚀速度为0.05mm/a,接地线最小直径为8mm,如采用Φ12的镀锌圆钢接地线的计算使用寿命为40年。

虽然设计要求山区线路接地线埋深为0.3-0.6米,敷设接地线以后需回填夯实,但实际回填的粉质粘土混碎石、块石仍会

留有较多缝隙,无法将接地线与空气有效隔离,并且沟体开挖后反而更容易积水,使接地线收到空气与水的双重影响。接地线腐蚀速度远高于在泥下的腐蚀速度。按空气及水下的腐蚀速度计算得出如采用Φ12的镀锌圆钢接地线的使用寿命为15~20年。这与运行单位多年实际运行经验也是相符合的。

通过全寿命周期理念,当接地线选用Φ12的镀锌圆钢,使用寿命分别按15年以及20年计算、铜覆钢使用寿命按60年计算时,接地工程初期投资净现值对比情况如下:

接地工程投资净现值比较

接地材料	镀锌圆钢		铜覆钢
使用寿命 (年)	15	20	60
资金折现率	8%		
接地工程总费用 (万元/基)	0.150	0.130	0.710
价格差 (万元/基)	0	-0.02	0.56

由上表可见,即便接地材料采用Φ12的镀锌圆钢,其使用寿命按照15年计算时,全寿命周期成本也优于采用铜覆钢,这主要是由铜覆钢单价远高于镀锌钢所造成的。

该工程线路大都位于山区,接地工程施工主要是初期建设的时候沟体开挖难度较大,而后期更换相对较为方便,同时更换时也不会影响到线路的运行,因此考虑采用镀锌圆钢接地;对于部分平地地区,特别是在开发区内走线,考虑到运行期间开挖更换接地体难度较大,因此推荐采用铜覆钢接地体,由于总量较少,工程投资增加较小,方便后期运行维护。

结语

从如今发展实际来看,仍会面临着自然因素和工程技术等方面的各种问题。特别是在地形复杂的地区,雷击输电线路引起的故障率尤其高,然而输电线路能否安全可靠的输送电关系着众多行业的发展还有民生的安全。降低输电线路雷击风险,同时降低跳闸率,可以节约工程专业项目中的人工成本、降低有关人员的工作总量,同时又可以减少不必要的损失,

[参考文献]

[1]随机参数对同塔双回输电线路雷击跳闸过程的影响[J]. 周远翔;关雪飞;吴方芳;张树林;梁前晟;高峰. 高电压技术, 2012(03)

[2]鄂西三峡地区220kV线路差异化防雷技术与策略[J]. 阮羚;谷山强;赵淳;姚尧;李晓岚. 高电压技术, 2012(01)

[3]电网雷击风险评估技术研究[J]. 赵淳;陈家宏;王剑;阮江军;谷山强;李晓岚. 高电压技术, 2011(12)