

Lightning Accidents Distribution Characteristics of Transmission Lines in Anhui

Xuefang Tong¹, Shiling Zhen², Shanqiang Gu, Xiaolan Li, Li Ding

¹State grid electric power research institut, Wuhan, China

²Anhui electric power research institute, Hefei, China

Email: tongxuefang@sgepri.sgcc.com.cn, aeprizsl@163.com, gushanqiang@sgepri.sgcc.com.cn, lixiaolan@sgepri.sgcc.com.cn, dingli@sgepri.sgcc.com.cn

Abstract: In order to master actual distribution characteristics of lightning accidents in Anhui power grid and summarize the operation experience for lightning protection engineering, the main lightning distribution characteristics and the lightning faults of transmission lines in Anhui in 1999~2008 are surveyed and analyzed. Based on lightning data detected by lightning location system in 2005~2009, cloud-to-ground lightning density map of Anhui province is plotted, and the lightning zones distribution characteristics are proposed. Based on the collected 87 lightning faults data, this paper gets the lightning faults distribution characteristics of high voltage transmission line on strike style, accident loss, accident time, accident position, pole style, reclosing success rate and so on. It also gives the result that the flash density and terrain factor play great roles on the happening of lightning faults of Anhui power grid.

Keywords: lightning accidents; statistic; distribution, lightning density; influence

安徽电网雷害分布特征

童雪芳¹, 郑世玲², 谷山强¹, 李晓岚¹, 丁黎¹

¹国网电力科学研究院, 武汉, 中国, 430074

²安徽省电力科学研究院, 合肥, 中国, 230022

Email: tongxuefang@sgepri.sgcc.com.cn, aeprizsl@163.com, gushanqiang@sgepri.sgcc.com.cn, lixiaolan@sgepri.sgcc.com.cn, dingli@sgepri.sgcc.com.cn

摘 要: 为掌握安徽电网实际雷害分布规律, 总结运行经验, 对安徽地区雷电活动主要特征和安徽输电线路 1999~2008 年雷击跳闸故障进行了调研、统计、分析。基于安徽电网雷电定位系统 2005~2009 年监测数据, 绘制了安徽电网地闪密度分布图, 提出了安徽电网雷区分布特征; 基于收集到的 87 次雷击故障信息, 统计得到了安徽 220kV 及以上输电线路雷击故障在雷击型式、事故损失、时间、地理位置、塔型、重合闸成功率等方面的分布特点, 确定了地闪密度、地形地貌因素对安徽电网雷击跳闸有较大的影响。

关键词: 雷害; 统计; 分布; 地闪密度; 影响

1 引言

雷击一直是国内外电力系统十分关注的危害因素, 在国内, 雷击是造成线路跳闸的首要环境因素, 也是引起线路停运的第二大因素^[1]。安徽地处中纬度地带, 属暖温带向亚热带的过渡型气候, 南北冷暖气团交绥频繁, 雷电活动多发。安徽电网铺设范

围广泛, 到 2008 年, 500kV 线路全长 412.3km, 220kV 线路全长 694.0km, 电网雷击事故频发。据国家电网公司统计, 2008 年安徽 220kV 及以上输电线路雷击跳闸 24 次, 500kV 线路雷击跳闸率为 0.168 次/100km·a, 220kV 线路雷击跳闸率为 0.203 次/100km·a, 前者超过了国家电网公司规定的运行指标^[2-3]。

雷电灾害受多方面因素影响,其科学评估是防雷设计和改造的导向,掌握雷电灾害分布规律是进行科学评估的重要基础和前提。系统梳理历史雷害分布规律,总结经验教训,掌握雷害水平,可为输电线路雷电防护提供重要的实践依据,对防雷减灾工作具有重要意义。

国内外各地对雷击故障的研究众多,从雷击故障的监测到雷击故障性质、相别等的仿真模拟,从防雷计算理论模型,到雷击概率的试验研究^[4-8],为了获取雷击故障的真实原因,挖掘雷击故障发生特性,研究针对性的防护措施进行了大量工作。

雷击故障的发生与许多因素有关,归纳起来有两大类:一是雷电活动,包括雷电活动频度和强度,这是事故的风险源;二是线路绝缘水平,包括线路结构、防雷配置、地形地貌等特征,体现的是线路的耐雷性能。本文从影响雷击故障发生的雷电风险源及线路结构及环境特征等方面对安徽电网历史雷害分布特征进行调研、统计、分析。基于安徽电网 2005~2009 年雷电自动监测数据、安徽输电线路 1999~2008 年雷击跳闸故障调研资料,研究了安徽电网雷区分布特征,统计了安徽电网雷击故障在雷击型式、事故损失、时间、地理位置、塔型、重合闸成功率等方面的分布规律,总结了安徽电网雷害现状,为安徽电网雷电防护提供了重要的基础资料。

1 雷击故障资料收集

对安徽电网 18 个供电公司进行调研,共收集到安徽电网 1999~2008 年 220kV 及以上电压等级雷击跳闸故障 87 次,其中 500kV 电网雷击故障 17 次,占 19.5%; 220kV 电网雷击故障 70 次,占 80.5%。各供电公司下属线路雷击故障次数分配见图 1。

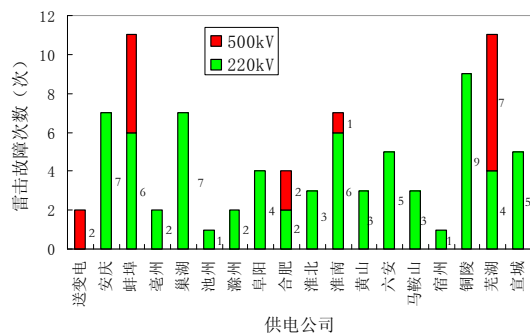


Figure 1. Lightning faults numbers of high voltage transmission lines in 1999-2008 in Anhui

图 1 1999-2008 年安徽输电线路雷击跳闸次数统计

2 安徽地区雷电活动主要特征

我国电力行业规程 DL/T620-1997 制定的防雷等级划分以气象部门提供的雷暴日为依据,平均年雷暴日在 15~40 天范围内时为中雷区,平均雷暴日在 40~90 天范围内时为多雷区。安徽省气象资料表明安徽省境内平均年雷暴日在 40 天左右,跨越了中雷区和多雷区。

随着雷电定位监测系统的出现,基于雷电定位系统监测的雷电数据获取地闪密度分布作为当地雷区分布已成为当前的发展趋势^[9]。安徽电网雷电定位系统始建于上世纪 90 年代,本文基于其雷电监测数据,绘制了安徽电网 2005~2009 年地闪密度分布图,见图 2。

从区域分布来看,在 2005~2009 年五年中,宣城、芜湖、铜陵、池州东部、安庆东南部、滁州东部是安徽省雷电活动相对剧烈的地区。从全省来看,这五年落雷密度较大,平均年地闪密度达到 5.6 次/(km²·a)。若依据国际大电网会议推荐地闪密度与雷电日的关系式 $N_g=0.023T_d^{1.3}$ 简单换算,其对应的雷电日约为 68 天,此值高于气象部门给出的值。这主要是因为从全国来看,自 2005 年后,各地区雷电活动均显著增强,为多雷年,其平均值相比有几十年数据、囊括了少雷年的气象资料平均值要偏大;另一方面,此公式在安徽的适用性也有待进一步验证。

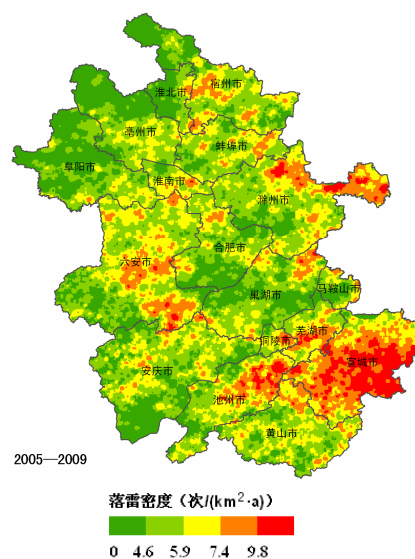


Figure 2. Lightning density distribution in Anhui province

图 2 安徽省 2005-2009 年平均年地闪密度分布图

从时间上来看, 安徽地区雷电活动主要出现在每年的3~9月, 在7、8月达到高峰。

从电流幅值分布来看, 安徽省2005~2009年雷电流幅值累积概率分布曲线拟合表达式为 $P(>I) = 1/(1+(I/23.0)^{2.1})$, 中值电流为23.0kA, 雷电流幅值主要集中在较小的幅值段内, 小于60kA的雷电达到了89.6%。

3 安徽电网雷击故障分布特征统计分析

3.1 雷击跳闸总体特点

1999~2008年, 安徽输电线路雷击跳闸主要为绕击, 500kV线路绕击故障15次, 占87.1%, 220kV线路绕击故障52次, 占74.3%。500kV线路因其杆塔高度更高, 绝缘水平更强, 相比低电压等级线路更容易发生绕击事故, 绕击所占比率更大。

事故损失情况以绝缘子闪络和金具烧伤为主, 这两类占到57.5%, 其他为导线烧伤、绝缘子损坏、绝缘子掉串。各种损失详细分布情况见图3。

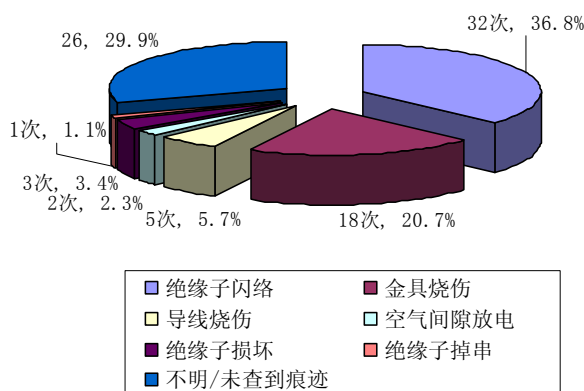


Figure 3. Lightning faults loss distribution
图3 雷击跳闸故障损失情况

3.2 雷击跳闸时间分布特点

不计线路总长度的变化时, 安徽220kV及以上电网87次雷击故障按年分布情况见图4所示。自2003年后安徽220kV及以上电网雷击故障次数显著增加, 2008年雷击故障次数最多, 达21次, 占总次数的24.1%; 2003年和2006年次之。

安徽输电线路87次雷击故障按月分布情况见

图5所示。可见, 雷击故障主要出现在夏季的7、8月, 占总次数的77.0%, 与雷电活动频度的分布特征一致; 6月相比夏季另两个月显著较少, 雷击故障次数约为7、8月的1/6; 其余雷击故障大致均匀出现在春季和秋季的9月, 10月~2月无雷击故障出现。

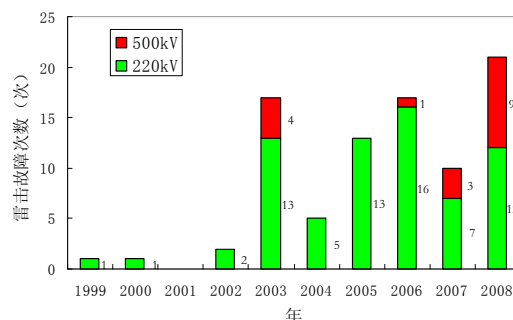


Figure 4. Lightning faults per annum
图4 雷击跳闸故障随年份的变化

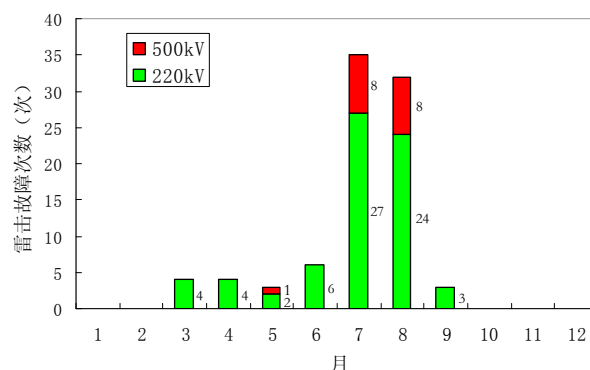


Figure 5. Lightning faults changing as month
图5 雷击跳闸故障随月份的变化

安徽输电线路雷击故障按时刻变化情况见图6所示。可见, 随着时刻的变化, 雷击故障主要出现在午后至上半夜的14:00~21:00, 上午至中午出现雷击故障概率相对较少。

3.3 雷击跳闸空间分布特点

(1) 雷击故障点空间分布

收集到的雷击故障资料中有70次雷击故障有坐标信息, 其空间分布特征见图7所示。可见雷击故障点在芜湖、铜陵处略有所集中外, 在经度、纬度上未表现出明显的堆积特性。

(2) 地闪密度对雷击跳闸的影响

为分析地闪密度分布与雷击故障点空间分布之间的关联性,将安徽电网 2005~2009 年出现的雷击故障点(有坐标信息的共 52 次)分布与相应年份的地闪密度空间分布进行位置比较,分析各密度等级中故障杆塔率(即该等级中发生的故障次数/该等级中所有杆塔总数),结果见表 1 所示。

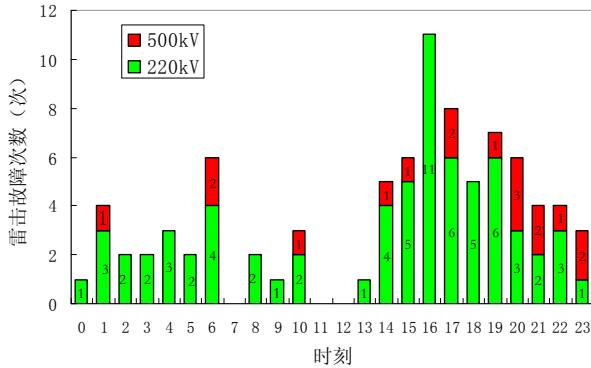


Figure 6. Lightning faults changing as time

图 6 雷击跳闸故障随时刻的变化

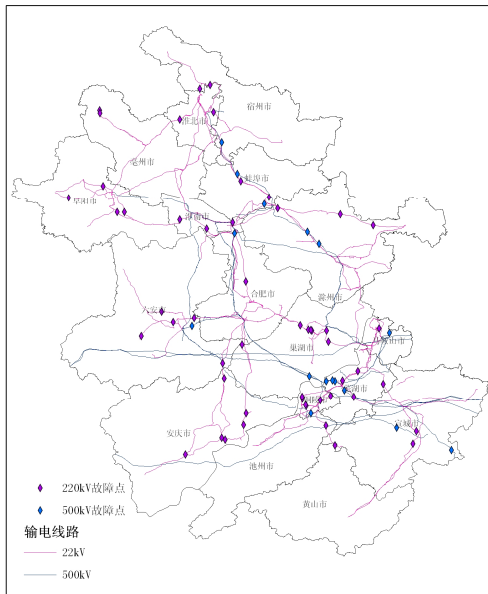


Figure 7. Spatial distribution of the lightning faults

图 7 雷击故障点空间分布

从表中可见,随着密度等级的提高,故障杆塔率大致增大,表明其中的杆塔出现雷击故障的概率逐渐增大,在高密度等级中的线路相对更容易出现雷击故障。地闪密度因素对雷击故障的发生有较大影响。

Table 1. Fault pole rate in every density grade

表 1 各密度等级中的故障杆塔率

等级	地闪密度 N_g (次/(km ² ·a))	故障次数	杆塔总数	故障杆塔率
1	$N_g \leq 4.2$	12	6729	0.12%
2	$4.2 < N_g \leq 5.3$	20	11979	0.13%
3	$5.3 < N_g \leq 6.7$	23	8343	0.20%
4	$6.7 < N_g \leq 8.8$	9	4094	0.20%
5	$N_g > 8.8$	6	1065	0.38%
合计		52	32210	

3.4 地形地貌对雷击跳闸的影响

在平地、沿坡、爬坡、山顶、山谷、跨山谷各种地貌中,雷击故障的分布情况见图 8 所示。对各电压等级输电线路,雷击故障主要均出现在平地中,这主要是由于绝大部分输电线路均处在这一地貌中(可见图 7,安徽地形以平原为主,山区主要出现在皖南和中西部的大别山地,其余地区有一小部分丘陵,而这些地区 220kV 及以上输电线路较少)。

其次雷击故障主要出现在沿坡和山顶,220kV 及以上输电线路在这两种地貌上的比率分别为 13.8%和 14.9%。结合运行输电线路长度来看,在山顶和沿坡的雷击跳闸率要高于平地。这主要是由于:①一般山区土壤电阻率较高,接地电阻较大;②山顶、沿坡杆塔受到地面倾角的影响,地面的屏蔽效果减弱;③海拔高度相对平地更大,从而使线路遭受雷击故障的概率更高。

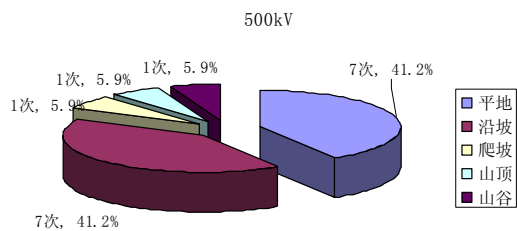
3.5 塔型对雷击跳闸的影响

从发生故障的线路杆塔回数来看,发生雷击故障的 500kV 线路中同塔双回线有 8 次,占该电压等级总故障次数的 47.1%;220kV 线路中同塔双回线有 19 次,占该电压等级总故障次数的 27.1%。出现双回同时跳闸的仅 1 次,为 220kV 电压等级,占 1.4%。说明安徽输电线路出现雷击故障的杆塔主要是单回塔,同塔双回同时跳闸的概率较小。500kV 线路出现同塔双回线故障的比率大于 220kV,与其同塔双回线的杆塔高度显著较大有关。

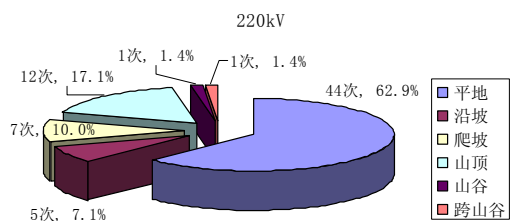
从故障杆塔塔型来看,有 13 次为转角塔,占 14.9%,65 次为直线塔,占 74.7%,9 次不明。

在直线塔中,各种塔型分配比例见图 9 所示。

猫头型、田字型、鼓型、干字型杆塔出现雷击故障的比例相对较大。



(a) 500kV 线路



(b) 220kV 线路

Figure 8. Lightning faults distribution on different physiognomy
图 8 不同地貌雷击故障情况

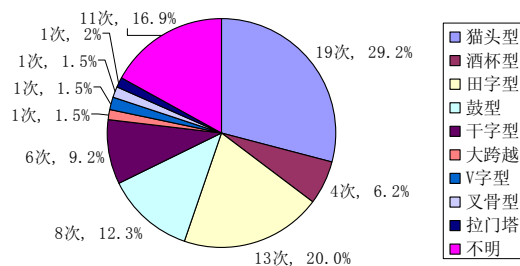


Figure 9. Lightning faults distribution on different pole style
图 9 雷击故障直线塔塔型统计图

3.6 重合闸成功率统计

安徽电网 87 次雷击故障中, 220kV 输电线路重合闸成功率为 87.1%, 500kV 输电线路重合闸成功率为 76.5%。220kV 输电线路各年的重合闸成功率主要在 80% 以上。500kV 输电线路重合闸成功率相对较低, 除 2006 年达到 100% 外, 其余出现了雷击故障的年份重合闸成功率在 65%~80% 范围内, 雷击跳闸各年重合闸成功率见详见图 10。总体上来看,

安徽电网重合闸成功率水平一般, 有待进一步提高。

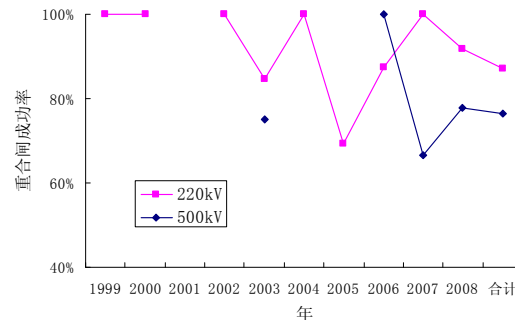


Figure 10. Reclosing success rate changing as year
图 10 雷击跳闸重合闸成功率年变化

4 结语

安徽不同地区雷电活动频度存在差异性, 各区域主要出现在少雷区和中雷区内, 雷击故障与雷电活动具有正相关性, 强雷电活动区域应作为相对重点雷电防护对象。从雷击性质看, 安徽 220kV 及以上电网雷击故障主要是绕击, 各次雷击故障的接地电阻普遍满足设计要求, 5.7% 的雷击故障杆塔接地电阻在 15 Ω 以上, 绕击防护应是重点, 兼顾反击防护。沿坡和山顶出现雷击故障的概率相对较大, 同塔双回同时跳闸现象不多。为减少输电线路非停次数, 重合闸成功率有待进一步提高。

对雷害分布进行归纳总结, 研究雷击特性, 是指导当地防雷措施的重要基础工作。由于调研资料不充分, 统计主要针对雷击故障次数, 而未考虑相应整体配置情况, 从而未得出相对容易发生的概率。随着资料的进一步积累, 对安徽电网雷害分布图特性的研究有待进一步跟踪和细致完善。

References (参考文献)

- [1] Jinliang HE, Rong ZENG, Shuiming Chen, Lightning Protection Study of Transmission Line, Part III: Protection Measures.[J], High Voltage Engineering, 2009,35(12), P2917-2923 何金良, 曾嵘, 陈水明, 输电线路雷电防护技术研究 (三): 防护措施[J], 高电压技术, 2009,35(12), P2917-2923
- [2] State Grid, 2008 State Grid Corporation Transmission Line Professional Summary[R], 2009.4 国家电网公司. 2008 年国家电网公司架空输电线路专业工作总结[R], 2009.4
- [3] State Grid. 110 (66) kV ~ 500kV overhead transmission lines management practices[S], 2005 国家电网公司. 110(66)kV~500kV 架空输电线路管理规范[S], 2005

- [4] J.G.Kappenman, T.W.Guttormson, High-Precision Location of Lightning-Caused Distribution Faults.[C]. 2001 IEEE/PES Transmission and Distribution Conference, Atlanta, Georgia, 2001,
- [5] Andre Luiz Pereira de Oliveira, Analysis of Lightning Fault Detection, Location and Protection on Short and Long Transmission Lines Using Real Time Digital Simulation.[C], IX International Symposium on Lightning Protection, 2007.12, Foz do Iguacu, Brazil, 26-30
- [6] John G. Kappenman, Distribution Lightning Fault Correlation & Advanced Applications of Lightning Data.[C], IEEE T&D Conference, 1999.4, New Orleans.
- [7] Wenwu HUANG, Jianwu JIANG, Jianling ZHONG, Bo YU, Jiale ZHANG, Calculation and Analysis of Several Lightning Shielding Models.[J], High Voltage Engineering, 2006,32(11), P119-122
- [8] Xiaoyu WANG, Huamao ZHAN, Yan WANG, Guanjin QIAN, Experimental Study on Factors Affecting the Probability Distribution of Discharge Striking Points.[C], High Voltage Engineering Symposium, 1999.8, Conference Publication No.467, IEE,1999, P2361P1-2364P1
- [9] Chen Jia-hong, Feng Wan-xing, Wang Hai-tao, Tong Xue-fang, Li Xiao-lan, Statistical Method of Lightning Parameters [J], High Voltage Engineering, 2007, 33 (10): 6-10
陈家宏, 冯万兴, 王海涛, 童雪芳, 李晓岚. 雷电参数统计方法[J], 高电压技术, 2007, 33 (10): 6-10