

10 kV 配电线路防雷措施研究与应用

黄兰英¹, 吴广宁², 曹晓斌², 马御棠²

(1. 四川电力职业技术学院, 四川 成都 610072; 2. 西南交通大学, 四川 成都 610031)

摘要:介绍了 10 kV 配电线路雷击过电压的形式及其危害, 对防雷措施进行分析研究, 并将研究结果应用到实际配电线路中, 给出了提高线路防雷水平的措施。

关键词:配电线路; 雷击过电压; 防雷措施; 防雷水平

Abstract: The form of lightning-stroke overvoltage of 10 kV distribution line and its harms are introduced. The protection measures against lightning are studied and analyzed, and the research results are applied to the actual distribution line. The measures to improve protection level against lightning are given.

Key words: distribution line; lightning-stroke overvoltage; protection measures against lightning; protection level against lightning

中图分类号: TM866 **文献标志码:** A **文章编号:** 1003-6954(2009)05-0039-03

据电网故障分类统计表明, 在配电线路运行的总跳闸次数中, 由于雷击引起的跳闸次数约占总跳闸次数的 70%~80%^[1], 尤其在多雷、土壤电阻率高、地形复杂、档距大的地区, 雷击配电线路引起的故障率更高。10 kV 配电线路是配电网的重要组成部分, 其分布广、绝缘水平低, 连接着变电站和众多用户, 在雷雨季节, 经常因雷害事故导致配电设备和用户设备的损坏, 造成大面积停电, 严重的情况下甚至造成人员伤亡, 给工农业生产带来损失。研究 10 kV 配电线路防雷措施, 提高线路耐雷水平, 降低雷击跳闸率, 减少配电设备雷击损坏率, 确保配电网的安全可靠运行。

1 10 kV 配电线路雷击过电压形式

1.1 直击雷过电压

直击雷过电压是雷云击中杆塔、电力装置等物体时, 强大的雷电流流过该物体泄入大地, 在该物体上产生的很高的电压降。

1.2 感应雷过电压

感应雷过电压是雷电击线路附近的大地时, 在导线上由于电磁感应产生的过电压。感应雷过电压由静电分量和电磁分量构成。静电分量是由先导通道中雷电荷所产生的静电场突然消失而引起的感应电压, 其值可以达到很高。电磁分量是由先导通道中雷电流所产生的磁场变化所引起的感应电压。由于主

放电通道是和导线相互垂直的, 所以两者间的互感不大, 即电磁感应不大, 因此电磁分量要比静电分量小得多。在感应雷过电压幅值的构成上, 静电分量起主要作用。

研究表明, 10 kV 架空配电线路由雷击引起线路闪络或故障的主要因素不是直击雷过电压而是感应雷过电压, 配电线路遭受直接雷过电压的概率很小, 约占雷害事故的 20%, 感应雷过电压导致的故障比例超过 80%。因此 10 kV 配电线路的防雷研究主要针对感应雷过电压。

2 感应雷过电压的危害

绝大多数 10 kV 线路为 1~2 片绝缘子, 由于绝缘水平低, 感应雷过电压易导致绝缘子闪络。感应雷过电压同时存在于三相导线, 相间不存在电位差, 故只能引起对地闪络。目前中国配电网大多采用中性点不直接接地方式, 其优点是发生单相接地故障后, 允许继续运行 0.5~2 h 不致于引起用户断电, 提高了供电可靠性, 但随着配电网的扩大, 电缆和架空线路的增多, 这种方式显示出弊端。当配电网发单相接地故障后, 接地电弧不能自行熄灭必然发展成相间短路, 造成用户停电和设备损坏事故; 当发生断续性弧光接地时, 会引起较高的弧光过电压, 一般为 3.5 倍相电压甚至更高, 波及到整个配电网致使绝缘薄弱的

设备放电击穿,引起设备损坏和停电事故,还可能引发火灾和爆炸事故。感应雷过电压沿配电线路侵入变电所(站)或配电室内,侵入波过电压易造成设备和人员遭受雷击,若窜入低压系统,将威胁广大的低压用电设备和人员。

3 感应雷过电压的计算

由于静电分量是架空线路感应雷过电压防护的主要影响因素,因此在感应雷过电压计算中,应以静电感应电压的计算为主。在过电压计算中可假设:(1)先导通道中的电荷均匀分布;(2)空间电场由先导电荷形成;(3)先导通道中的电荷在主放电时是全部瞬时被中和,主放电通道是垂直向上,不考虑分支。

图 1 是应用电磁场分析计算感应雷过电压示意图。设雷击点 O 距架空线正下方地 C 点的水平距离为 S 导线离地高度为 h_d 。

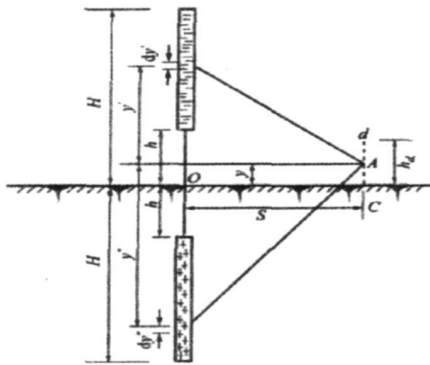


图 1 电磁场分析感应雷过电压示意图

通过电磁分析可得^[2],线路感应雷过电压为

$$U_g = 25 I h \ln \left[\frac{h_d}{S} + \sqrt{1 + \left[\frac{h_d}{S} \right]^2} \right] \quad (1)$$

上面计算的是杆塔正对雷击处导线上的感应雷过电压。导线上距离杆塔中心点为 x 处的过电压与中心点的感应雷过电压的计算方法相同,只需将式(1)中的 S 换为 $\sqrt{S^2 + x^2}$ ^[3],即

$$U_g = 25 I h \ln \left[\frac{h_d}{\sqrt{S^2 + x^2}} + \sqrt{1 + \left[\frac{h_d}{\sqrt{S^2 + x^2}} \right]^2} \right] \quad (2)$$

对于导线平均高度为 10 m 的配电架空线路,若雷击点距离此线路 50 m,雷电流幅值为 100 kA,无任何保护措施时,感应雷过电压的最大值约为 500 kV^[2]。由于 10 kV 配电线路的绝缘水平较低,在如此高的过电压下,极易发生绝缘击穿、闪络、断线等事

故。因此,必须采取有效措施来抑制感应雷过电压,确保配电网的安全运行。

4 引起线路闪络的雷电流与雷击点的关系

设线路杆塔高度为 15 m,线路对地平均高度 $h_d = 11$ m,根据规程,在 $2h_d = 22$ m 宽范围内的落雷均被视为直击雷。当感应雷过电压 U_g 超过线路绝缘子 50% 放电电压,即 $U_g \geq U_{50\%}$ 时,绝缘子将发生闪络,根据式(2),引起线路闪络的雷电流应满足

$$I \geq \frac{U_{50\%}}{25 h \ln \left[\frac{h_d}{\sqrt{S^2 + x^2}} + \sqrt{1 + \left[\frac{h_d}{\sqrt{S^2 + x^2}} \right]^2} \right]} \quad (3)$$

当线路采用 S-210/Z 瓷横担,其 50% 放电电压 $U_{50\%} = 210$ kV,则在导线高度一定的情况下,最小闪络电流 I_{in} (简称闪络电流) 为

$$I_{in} = \frac{8.4}{h \ln \left[\frac{11}{\sqrt{S^2 + x^2}} + \sqrt{1 + \left[\frac{11}{\sqrt{S^2 + x^2}} \right]^2} \right]} \quad (4)$$

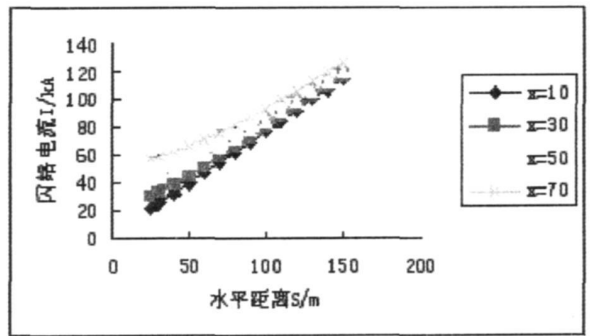


图 2 闪络电流与击距 S 的关系图

闪络电流与 S 及 x 的关系曲线如图 2 所示。可见,当 x 一定时,随着 S 的增大,引起线路闪络的雷电流幅值增大。当 S 一定时,随着 x 的增大,线路发生闪络的雷电流幅值增大。即雷击点越远,击距 $\sqrt{S^2 + x^2}$ 越大,引起线路闪络的雷电流幅值越大。

由于式(4)中 S 和 x 的对称性,闪络电流仅与雷击点与杆塔中心的相对距离有关,与雷击点的具体位置无关。

5 10 kV 配电线路防雷措施研究

5.1 线路防雷水平与电杆高度关系

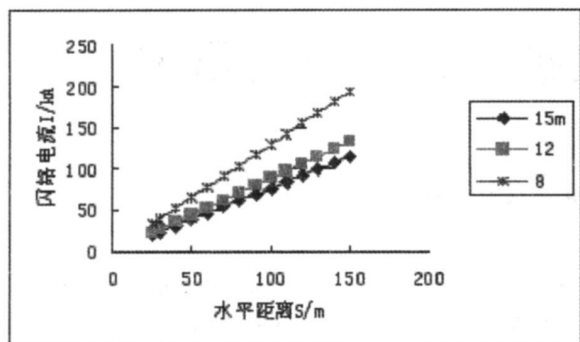


图 3 闪络电流与电杆高度关系图

当线路采用不同高度的电杆时,线路的防雷水平见图 3 所示。可见,电杆高度越高,同样的击距下,闪络电流将越小。因此要提高线路的防雷性能,在满足电网安全运行的条件下,应尽量选择高度小些的电杆。

5.2 线路防雷水平与线路绝缘水平的关系

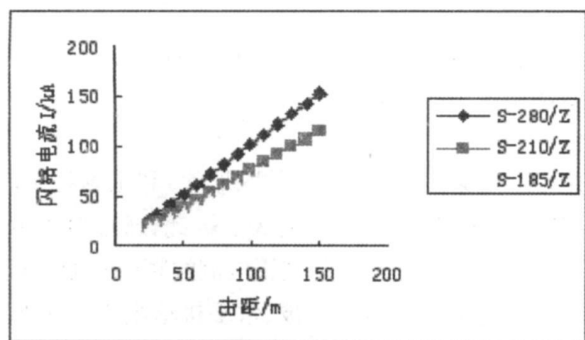


图 4 闪络电流与绝缘水平关系图

当线路分别采用不同等级的绝缘子 S-280/Z、S-210/Z、S-185/Z 时,线路的防雷水平见图 4 所示。可见,线路绝缘水平越低,同样的击距下,闪络电流越小。因此,要提高线路的防雷水平,应加强线路的绝缘水平。

5.3 避雷器的作用

在配电线路上安装避雷器来防护雷电过电压是世界各国广为采用的一种方法。线路安装避雷器后,当雷击杆塔,雷电流产生分流,一部分雷电流通过杆塔流入大地,当雷电流超过一定值后,避雷器加入分流,大部分雷电流通过避雷器流入导线,传播到相邻杆塔。若线路遭受感应雷过电压,雷电流沿线路向导线两侧传播,当雷电流超过一定值后,线路避雷器加入分流,大部分雷电流通过避雷器流入大地。线路避雷器与绝缘子并联,具有良好的钳位作用,避雷器的

残压低于绝缘子串 50% 放电电压,即使雷击电流增大,避雷器的残压仅稍有增加,绝缘子仍不致发生闪络。这也是线路避雷器防雷的重要特点。雷电流过后,流过避雷器的工频续流仅为微安级,流过避雷器的工频续流在第一次过零时熄灭,线路断路器不会跳闸,系统恢复到正常状态。

6 提高 10 kV 东城线防雷水平的措施

6.1 东城线基本参数

东城线为东广供电所的一条重要供电线路,接线方式为放射式。该线路从 957 号 110 kV 东管变电站出线,在第 1 基直线杆分为伏龙线和东城线,于 14 号杆处 T 接石夹支线,东城线采用 LJ-70 导线,总长 5.06 km,所经路段为平坝地区,共 48 基杆,其中转角杆和耐张杆 3 基,为 3 号、6 号和 16 号杆,直线杆 45 基,除 11 号杆因跨 106 公路而采用 15 m 杆外,其余杆均为 12 m,跨距较大,全线采用 S-210/Z 瓷横担。该线路 6 号杆上安装柱上油开关 1 组、线路氧化锌避雷器 6 只,23 号杆处 110 kV 线路跨越该线路,安装氧化锌避雷器 3 只,4 号杆和 7 号杆处该线路跨越 220 V 线路。

6.2 东城线遭受雷击情况

2007 年 8 月 22 日,东城线黄峰 8 组支线 10 kV 高压跌落式开关被雷击损坏,望苏 9 组支线配电室遭受雷击,空气开关损坏。2007 年 8 月 24 日,东城线 11 号杆和 12 号杆之间的线路被雷击断,东城线东馆 4 组支线 50 kVA 配电变压器被雷击坏。2008 年 8 月 11 日,石夹支线 4 号杆与 5 号杆之间导线被雷击断。

6.3 提高 10 kV 东城线防雷水平的措施

10 kV 配电线路一般采用 8 m 或 9 m 杆,东城线使用的电杆较高,能引起线路闪络的最小雷电流仅为 19 kA,该线路每 100 km 年闪络次数达到 18.18。因此需要提高线路的防雷水平,特别是 11 号杆处曾发生过雷击断线,更应加强防雷,以降低该线路的雷击跳闸率。

6.3.1 更换线路绝缘子

将现有线路绝缘子 S-210/Z 更换为高一级的绝缘子 S-280/Z 见表 1 所示。可见,更换以后,无论何种击距,线路防雷水平均可提高 33%。

(下转第 66 页)

行实时、优化控制,将 WAMS 系统应用于互联电网联络线控制,以实时控制、在线应用为目标,提出了合理的系统构架方案,并在后期继续深化研究、协调,典型系统对核心计算程序测试表明,算法具有较高的精度、方便快捷、有工程应用前景,具有以下特点。

(1)与常规控制算法相比,采用 GSDF 法作为联络线控制算法,原理简单,只需要本区域的网络和运行参数,此外,可随时修改联络线计划值,程序编制简单,收敛速度快,与 WAMS 系统结合,可在线计算。

(2)对所构建的系统进行了合理的功能划分,将其分解为子模块,各模块之间既独立又相互协调,提高实时性。

(3)线程分解和并行处理设计、参数数据库的建立,大大缩短了数据在程序中的等待时间,从总体上提高了计算应用程序的性能,使在线计算成为可能。

(4)改进了其他在线算法将“数据过滤与处理单元”置前常规做法,将其置于较后环节,使其仅对有效数据进行过滤和处理,提高了算法的实时性和效率。

(5)由于 WAMS 系统投资大,因此仅在网络中中枢节点、重要电厂布置了 PMU,在这些有限的 PMU 节点情况下,其算法该如何改进和所构建的系统模块之间如何有效协调,是今后进一步研究的重点。

所提出的思想在工程中有一定的应用价值。

参考文献

[1] 邱夕兆,于占勋,雷鸣,等.山东电网基于 WAMS 的低频振荡统计与评估[J].电力系统自动化,2008,32(6):1-2

[2] 陈树恒,李兴源.基于 WAMS 的低频振荡模式在线辨识算法[J].继电器,2007,35(20):1-5.

[3] 李大路,李蕊,孙元章,等.计及广域测量信息的状态估计错误参数识别与修正[J].电力系统自动化,2008,32(14):1-4.

[4] 薛禹胜,徐伟,等.关于广域测量系统及广域控制保护系统的评述[J].电力系统自动化,2007,31(15):1-5.

[5] 宋方方,毕天姝,杨奇逊.基于 WAMS 的电力系统受扰轨迹预测[J].电力系统自动化,2006,30(23):1-5.

[6] 刘道伟.基于广域测量系统(WAMS)的电压稳定在线监测[D].吉林:东北电力学院电力系统及其自动化系,2005.31-39.

[7] 徐慧明,毕天姝,黄少锋,等.基于 WAMS 的潮流转移识别算法[J].电力系统自动化,2006,30(14):1-5.

[8] 张伯明,陈寿孙.高等电力网络分析[M].北京:清华大学出版社,1996.204,216-219.

[9] 王祖佑.电力系统稳态运行计算机分析[M].北京:水利电力出版社,1987.58-60.

[10] 胡学浩,李汉香.潮流计算中区域联络线功率控制的模拟计算方法初探[J].电网技术,1989,(4):1-2.

[11] 孙莹,王葵.电力系统自动化[M].北京:中国电力出版社,2004.165-166.

[12] Prabha Kunder Power System Stability and Control[M]. McGraw-Hill Companies Inc 1994.525-529.

作者简介:

李强(1984-),男,硕士研究生,研究方向为电力系统运行与控制。

(收稿日期:2009-05-12)

(上接第 41 页)

表 1 更换绝缘子前后线路的防雷水平

击距 /m	线路防雷水平 /kA	
	S-210/Z	S-280/Z
30	27	36
50	44	59
70	62	83

6.3.2 11号杆更换为 12 m 杆

将原 15 m 的 11 号杆更换为 12 m 杆,更换前后线路的耐雷水平如表 2 所示。可见,更换以后,无论何种击距,11 号杆处防雷水平均可提高 15%。

表 2 11号杆高度更换前后防雷水平的变化

击距 /m	防雷水平 /kA	
	杆高 15 m	杆高 12 m
30	23	27
50	38	44
70	54	62

6.3.3 安装线路避雷器

东城线避雷器安装数量很少,每相隔 15~17 基安装一组 MOA,不能很好地对线路起到防雷保护作用。建议在原有安装避雷器的基础上,在特别高的杆塔 11 号杆、带拉线的杆塔 16 号杆及终端杆处各安装一组 MOA,在其余线路每隔 6~7 基杆增加一组线路避雷器,以提高该线路的防雷水平。

参考文献

[1] 曾海涛,郇嘉嘉,黄少先.高压配电网 10 kV 大企线路的防雷[J].机电工程技术,2008,37(6):110-112.

[2] 陈中明,郑楚韬.配电网架空线路感应雷过电压产生机理与防护[J].广东电力,2008,21(5):19-22.

[3] 赵莲清,李月乔,刘向军.传输线路感应雷防护计算方法的研究[J].现代电力,2004,21(6):51-55.

(收稿日期:2009-06-10)