

10 kV 配电网架空地线防雷应用研究

陈惠敏, 黄培锋, 吴超杭, 黄培新, 庄颖璇, 唐力则

(广东电网潮州供电局, 广东 潮州 521000)

摘要: 通过有限元分析软件仿真计算安装架空地线前后电场强度分布, 分析安装架空地线降低雷电直接雷原因以及从最大强度角度出发分析降低直接雷雷击概率, 结合不同地形地貌分析安装架空地线前后感应电压变化得出安装架空地线的整体防雷效果, 同时提出安装架空地线应采取的接地方式、防护措施和避雷器典型型式建议。

关键词: 配电网; 架空地线; ANSYS; 防雷

中图分类号: TM863

Research on Lightning Protection Application of Overhead Ground Wire in 10 kV Distribution Network

CHEN Huimin, HUANG Peifeng, WU Chaohang, HUANG Peixin, ZHUANG Yingxuan, TANG Lize
(Chaozhou Power Supply Bureau, Guangdong Chaozhou 521000, China)

Abstract: The distribution of electric field strength before and after the installation of overhead ground wire is simulated and calculated by finite element analysis software, and the reason for reducing direct lightning strike of overhead ground wire is analyzed. At the same time, the probability of direct lightning stroke is reduced from the maximum intensity analysis. The change of induced voltage before and after the installation of overhead ground wire is analyzed from different landforms, and the lightning protection effect of the installation of overhead ground wire is obtained. At the same time, the grounding mode, protective measures and typical type of lightning arrester should be adopted for the installation of overhead ground wire are proposed.

Keywords: distribution network; overhead ground wire; ANSYS; lightning protection

随着社会经济的稳步发展, 配网建设发展非常迅速, 配网线路分布密度大, 但是供电可靠性要求也越来越高。配电线路电压等级决定配网绝缘水平相对较低, 在多雷或者强雷地区雷电灾害发生频繁, 雷击容易导致配电线路发生断线或者跳闸, 对电网稳定运行影响较大。

相比输电线路, 配电线路自身绝缘水平导致对雷击过电压敏感程度更高, 包括直击雷和感应雷电。全面分析安装架空地线对配电网防雷效果以及存在问题, 对 10 kV 配电线路防雷设计及配网运维具有重大意义。

1 架空配电线路模型

选取南方电网 10 kV 架空线路典型排列方式单回三角形排列和双回垂直排列建立模型, 如图 1 和图 2 所示。10 kV 架空线路采用钢芯铝绞线 JL/LB1A-240/30、避雷线采用 JL/LB1A-35/6, 标准档距 50 m, 导线与地面的最小距离统一为 10 m, 避雷线保护角

收稿日期: 2022-04-01

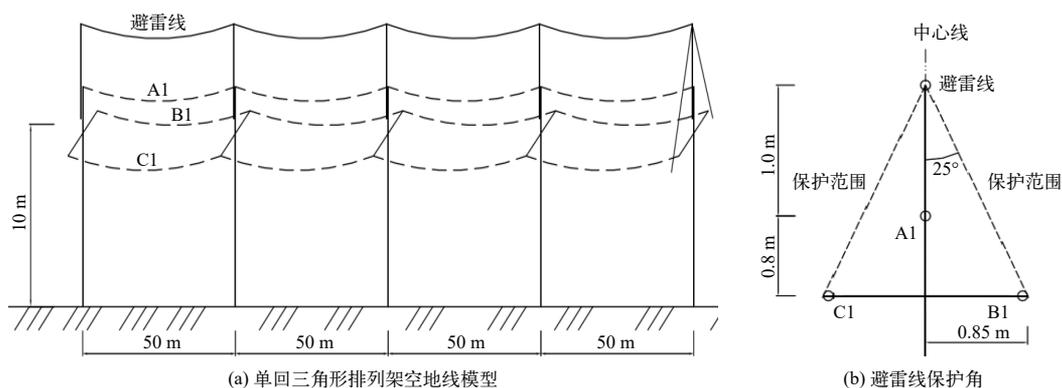
按照文献 [1] 采用 25°, 避雷线每基杆塔接地, 接地电阻取 10 Ω。

2 架空配电线路电场计算分析

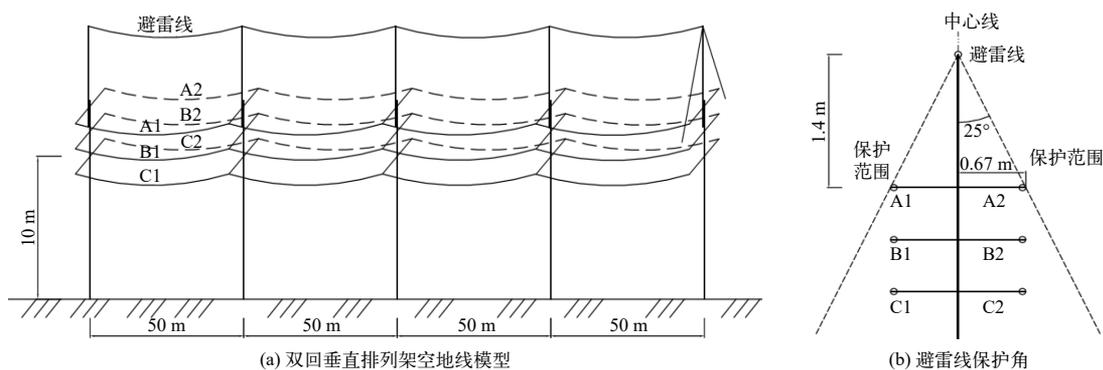
利用 ANSYS 有限元分析软件中的电磁场分析功能, 建立二维交变电场计算有限元模型^[2], A 相导线电压幅值 5.774 kV, 相角为 0°, 作为参考角度, B 相和 C 相电压幅值同样取 5.774 kV, 相角依次滞后 120°, 双回排列不考虑换相, 计算结果如表 1 和表 2 所示。

根据表 1 和表 2 对比计算结果分析, 加装架空避雷线三相导线表面电场强度均有不同程度下降, 三角形排列 A1 相下降幅度最大为 8.8%, 三双回排列 A1 相下降幅度最大为 7.7%。

取导线表面最大场强计算导线上场强分布, 根据表 1 和表 2 可知, 相角分别为 0°、120°和 240°时三相导线表面场强最大, 以导线为起点向上方延伸, 分别计算单回三角形和双回垂直排列时加装避雷线前后场强分布, 如图 1 和图 2 所示。



(a) 单回三角形排列架空地线模型 (b) 避雷线保护角
图1 单回三角形排列架空地线模型图及避雷线保护角



(a) 双回垂直排列架空地线模型 (b) 避雷线保护角
图2 双回垂直排列架空地线模型图及避雷线保护角

表1 单回及双回排列方式下各相导线表面最大电场及对应相角

| 三角排列 | | | 双回垂直排列 | | | | | |
|------|------------------------------|-------------------|--------|------------------------------|-------------------|-----|------------------------------|-------------------|
| 相导线 | $E_{max}/(kV \cdot cm^{-1})$ | $\theta/(^\circ)$ | 相导线 | $E_{max}/(kV \cdot cm^{-1})$ | $\theta/(^\circ)$ | 相导线 | $E_{max}/(kV \cdot cm^{-1})$ | $\theta/(^\circ)$ |
| A1 | 1.60 | 0/180 | A1 | 1.78 | 0/180 | A2 | 1.78 | 0/180 |
| B1 | 1.69 | 120/300 | B1 | 1.80 | 120/300 | B2 | 1.80 | 120/300 |
| C1 | 1.59 | 60/240 | C1 | 1.86 | 60/240 | C2 | 1.78 | 60/240 |

表2 计及架空地线单回及双回排列方式下各相导线表面最大电场及对应相角

| 三角排列 | | | 双回垂直排列 | | | | | |
|------|------------------------------|-------------------|--------|------------------------------|-------------------|-----|------------------------------|-------------------|
| 相导线 | $E_{max}/(kV \cdot cm^{-1})$ | $\theta/(^\circ)$ | 相导线 | $E_{max}/(kV \cdot cm^{-1})$ | $\theta/(^\circ)$ | 相导线 | $E_{max}/(kV \cdot cm^{-1})$ | $\theta/(^\circ)$ |
| A1 | 1.46 | 0/180 | A1 | 1.65 | 0/180 | A2 | 1.65 | 0/180 |
| B1 | 1.58 | 120/300 | B1 | 1.69 | 120/300 | B2 | 1.69 | 120/300 |
| C1 | 1.48 | 60/240 | C1 | 1.77 | 60/240 | C2 | 1.77 | 60/240 |

如图3所示加装地线后,三角形排列最大值由35.36 V/m下降为30.77 V/m,最大场强由导线上方3.6 m处缩短为3.1 m处,场强衰减为0由原来17.6 m处缩短为14.49 m处。

如图4所示加装地线后,双回垂直排列最大值由38.19 V/m下降为34.02 V/m,双回排列电场分布相对均匀,位于双回导线A1和A2中间位置处,场

强衰减为0由原来18.4 m处缩短为16.74 m处。

相比不加装地线的导线,加装地线后2种导线典型排列方式下导线上空电场强度均有不同程度的衰减,三角形排列最大减少14%,双回垂直排列最大减少10.9%。根据文件[3]雷击先导放电理论,通过架设架空地线,改善配网架空线路上方电场分布及削弱最大场强,能够有效降低雷电直击导线,按

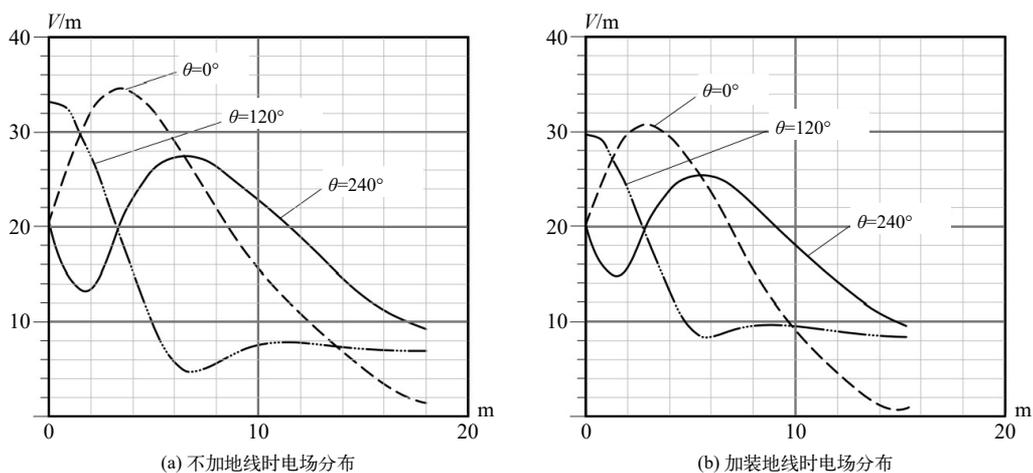


图3 三角形排列最大场强相位角时电场强度分布曲线

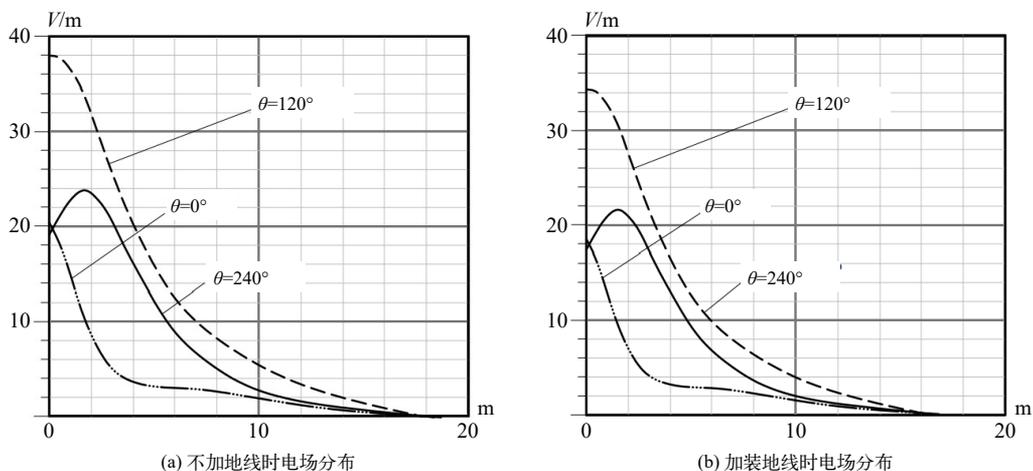


图4 双回垂直排列最大场强相位角时电场强度分布曲线

电场分布及最大场强分析, 能够降低 10.9%~14% 的直击雷。

配网架空绝缘水平较低, 根据文献 [4] 雷电冲击绝缘试验, 雷电直击在配网架空地线上极大概率发生反击, 造成单相接地或者相间闪络, 因此加装架空地线进行防雷建议同步加装避雷器。

3 加装地线的线路感应电压分析

根据文献 [5] 研究, 通过搭建仿真模型, 采用不同大地相对介电常数和电导率及不同雷击点感应电流计算结果分析, 以距离雷击点 100 m 为例, 10 kV 线路绝缘子型号 SC-185, 加装架空地线后线路耐雷水平由 27.14 kA 提升至 52.5 kA, 雷击闪络概率从 53% 降为 13%, 即雷击跳闸率能够降低 40%。

加装避雷线能够有效减低直击雷和感应雷对配电网的影响, 特别是能够削弱感应电流的幅值, 但

是原本能够通过绝缘子闪络或者线路避雷器动作泄放的感应电流将传导至配电变压器二次侧。感应雷造成的线路电磁干扰在线路的末端, 通过变压器二次侧以及负载端, 会造成近 5 kV 的脉冲电压干扰^[5], 因此频繁雷击区域建议低压侧加装浪涌保护器, 减少对用户电磁污染。

不同地形地貌架空线路上产生感应电压各不相同, 文献 [6] 采用电导率为 0.001 S/m、大地相对介电常数 ε 分别为 1 和 10 进行耐雷水平计算, 以文献 [6] 感应电压计算公式进行折算, 计算结果如表 3 所示。

根据表 3 数据分析, 不管是否装设架空地线, 感应电压随大地相对介电常数增加而减少。以为雷击点距离为 100 m 为例, 大地相对介电常数增加 10 倍, 线路感应电压下降 43.27%, 加装地线后感应电压下降 35.86%。因此, 不考虑线路损耗从提高

表3 不同距离雷击附近地面形式下 10 kV 线路感应电压

| 雷击点相对距离/m | $\varepsilon=10$ 时感应电压 | | $\varepsilon=1$ 时感应电压 | |
|-----------|------------------------|----------|-----------------------|----------|
| | 无架空地线/kV | 有架空地线/kV | 无架空地线/kV | 有架空地线/kV |
| 50 | 106.50 | 164.50 | 168.00 | 275.50 |
| 100 | 68.50 | 131.00 | 120.75 | 204.25 |
| 200 | 62.75 | 104.13 | 91.00 | 167.13 |

避雷线防雷效果分析, 安装架空地线应每基杆塔基地。

根据文献 [6] 对复杂地形架空线雷电感应过电压研究结论, 架空线路感应电压相对于平坦地形, 雷击直圆锥山顶时感应电压随山体坡度的升高明显增大; 雷击斜锥形山体时感应过电压幅值除受到线路所处位置影响, 其他地形坡度越陡峭过电压幅值越大, 因此在此类山区采用架设避雷线进行防雷, 应同步考虑增加线路绝缘水平。

4 架空线路雷击防护措施

根据前文分析, 采用架空地线能有效降低直击雷雷击概率以及降低感应雷电压幅值, 但是存在反

击风险, 因此应同步加装避雷器进行防雷, 考虑提高配网运维水平, 根据文献 [7] 应采用带脱离器避雷器如图 5 所示, 或者带间隙避雷器如图 6 所示。

根据现场运行经验分析, 耐张段区域为雷电易击段, 在雷电频繁区域每基耐张杆应加装避雷器, 参考安装示意图如图 7 所示。

5 总结

本文从架空线路电场强度分布角度出发, 通过仿真配电路单回三角形和双回垂直排列方式下安装架空地线前后电场强度分布对比, 分析架空地线能够减少直击雷原因, 按照最大电场强度分析能够降低 10.9%~14% 的直击雷; 通过分析配网绝缘水平、不同地形地貌以及安装架空地线前后感应电压变化, 总体上安装架空地线能够降低雷击闪络概率 50% 左右, 并且建议在雷击频繁区域安装架空地线应考虑地线有效接地以及用户电磁污染, 山区丘陵地带安装架空地线同时应考虑加强绝缘水平; 同时, 从提高配网运维水平降低运维成本角度, 避雷器建议选择带串联间隙, 耐张段建议配置避雷器。

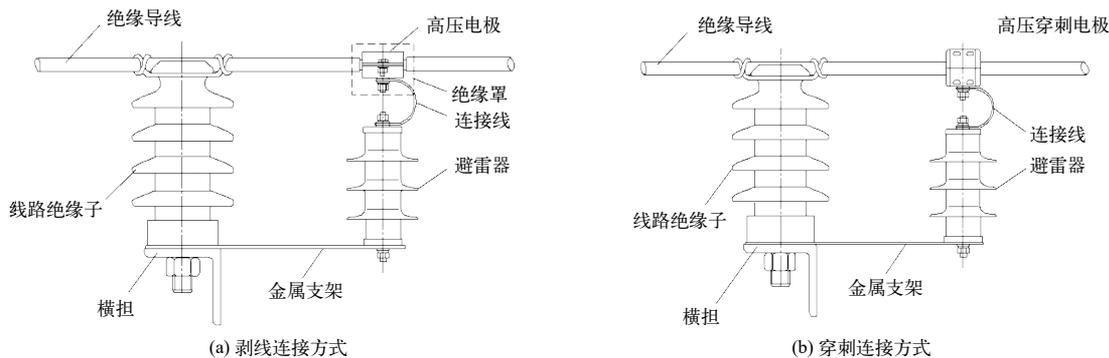


图5 配电路无间隙避雷器安装示意图^[5]

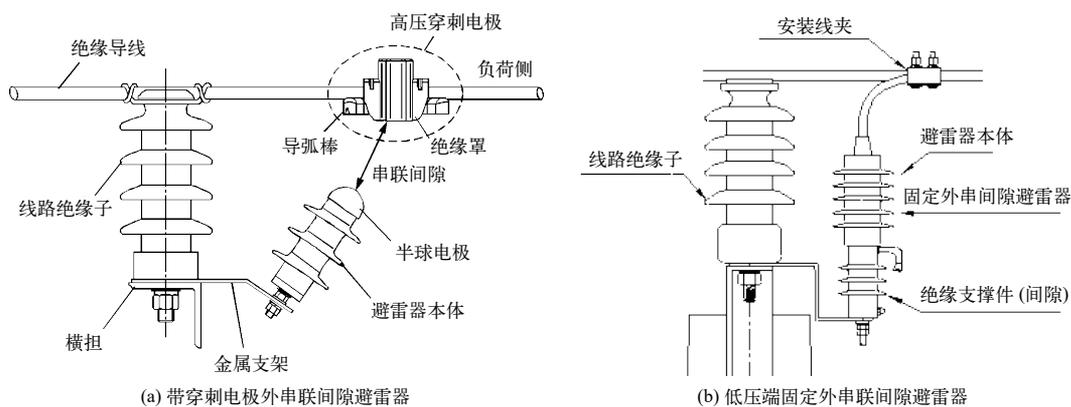


图6 配电路带串联间隙避雷器典型安装示意图^[5]

(下转第 49 页)

测试人员戴着运动手环分别对转移工具、安装工具、拆除工具过程所消耗的热量进行了测量，测量及统计结果如表3所示。

由表3可知，检修人员使用新型更换耐张合成绝缘子辅助工具在各条线路上均能完成转移工具、安装工具、拆除工具工作，且能够实现单人搬运，满足重量小于10 kg的要求，符合预期。

表3 新研制更换支架测试统计表

| 线路名称 | 消耗时间/s | 转移扁担消耗热量/J | 安装扁担消耗热量/J | 拆除扁担消耗热量/J | 消耗总热量/J |
|------------|--------|------------|------------|------------|-----------|
| 110 kV 五杨线 | 253 | 9012.14 | 19 100.00 | 26 475.51 | 54 587.65 |
| 110 kV 王虹线 | 223 | 8982.84 | 18 639.60 | 28 107.99 | 55 730.43 |
| 110 kV 王通线 | 210 | 8899.12 | 18 970.28 | 27 731.27 | 13 283.00 |
| 110 kV 贾友线 | 222 | 8216.83 | 18 572.62 | 28 036.84 | 54 826.29 |
| 110 kV 双太线 | 198 | 8593.55 | 18 258.59 | 27 773.13 | 54 625.37 |
| 110 kV 五志线 | 186 | 9213.06 | 18 819.59 | 27 919.63 | 55 952.28 |
| 平均值 | 215 | 8819.59 | 18 726.80 | 27 674.06 | 48 167.50 |

(上接第23页)

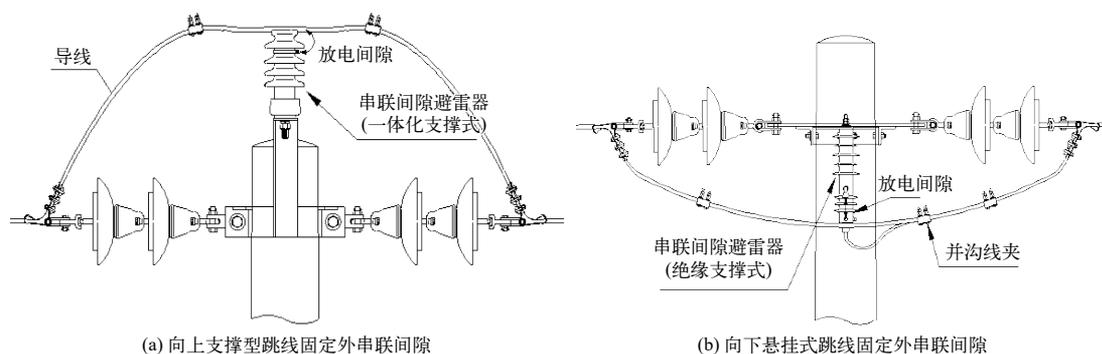


图7 配电线路带串联间隙避雷器典型安装示意图

参考文献

- [1] 电力规划设计总院. DL/T5220-2021. 10 kV及以下架空配电线路设计技术规程[S]. 北京: 中国计划出版社, 2021.
- [2] 阎照文. ANSYS 10.0工程电磁分析技术与实例详解[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2006.
- [3] 解广润. 电力系统过电压(第二版)[M]. 北京: 中国电力出版社, 2018.
- [4] 韩晋平, 王晓丰, 马心良, 等. 10 kV架空绝缘导线雷击过电压与防雷综合措施研究[J]. 高电压技术, 2009, 34(11): 2395-2399.

3 结束语

本文提出了一种通用型更换耐张合成绝缘子辅助工具，辅助工具应用后，工作效率提高的同时还大大提升了更换耐张合成绝缘子的质量，避免了耐张合成绝缘子不达标，重新更换造成二次浪费的环节。

该辅助工具的使用让高空作业人员作业更省力，大大降低了高空作业的劳动强度。作业人员可以将更多的精力放到安全保障，减小了高空坠落的几率，从而有助于现场安全的把控。

参考文献

- [1] 林泽楠, 项贞. 一种更换220 kV耐张绝缘子专用工具的研制[J]. 电力安全技术, 2015, (11): 15.
- [2] 董小录, 王夏洋. 影响耐张绝缘子性能的因素分析[J]. 电力工业, 2018, 32(011): 43-46.
- [3] 米凯, 张永金, 吕新东, 等. 复合耐张绝缘子在750 kV输电线路的研究和设计[J]. 电力建设, 2013, 34(02): 96-99.
- [4] 冯振波, 张世炼. 便携式合成绝缘子出导线工具的研制与应用[J]. 电力安全技术, 2013, (05): 18.

作者简介

王志浩(1991—), 男, 中级职称, 所从事专业方向: 输电专业。
(责任编辑: 刘艳玲)

- [5] 祁纳哈, 蔡汉生, 等. 计及架空地线的配电线路雷电感应过电压模型及应用[J]. 电网技术, 2022, 45(6): 2413-2419.
- [6] 张金波, 彭晓宇, 王磊, 等. 复杂地形下架空线路雷电感应过电压特性仿真研究[J]. 高电压技术, 2019, 45(11): 3708-3714.
- [7] 王晓丰, 周文俊, 喻剑辉. 配网架空绝缘导线雷击断线防护措施[J]. 农村电气化, 2011, 6: 27-28.

作者简介

陈惠敏(1975—), 女, 中级工程师, 从事配电运行、配电自动化管理。

(责任编辑: 刘艳玲)