

# 上海郊区 10kV 配电线路防雷分析

## Lightning Protection Analysis of 10kV Distribution Lines in Shanghai Suburb

王伟

Wei Wang

国网上海市北供电公司 中国·上海 200000

State Grid Shanghai North Power Supply Company, Shanghai, 200000, China

**摘要:** 由于国家电网对郊区的电网改造越来越重视, 所以郊区现存的电网供电不足, 电压水平不足和频率过大等现象都得到根本的解决, 相比 10 年前, 农网的供电质量有了显著的提升。除此之外, 能够对农网配电网络的电能质量造成影响的因素还包含雷击故障, 对于 10kV 的配电线路而言, 有着较大的威胁。基于此, 本次研究的主要对象是上海市北部市郊一地区 10kV 农网配电线路, 并结合其实际的情况对所存在的雷击故障进行深入的分析 and 研究, 并给出相对应的解决方案。

**Abstract:** As the State Grid pays more and more attention to the transformation of the suburban power grid, so the existing suburban power grid power supply shortage, voltage level shortage and frequency is too large phenomenon have been fundamentally solved, compared with 10 years ago, the quality of rural power supply has been significantly improved. In addition, the factors that can affect the power quality of the rural power distribution network also include lightning failure, which is a greater threat to 10kV distribution lines. Based on this, the main object of this study is a 10kV rural power distribution line in the northern suburbs of Shanghai, and combined with its actual situation, the existing lightning fault is deeply analyzed and studied, and the corresponding solution is given.

**关键词:** 10kV 配电线路; 防雷保护; 供电质量

**Keywords:** 10 kV distribution line; lightning protection; power supply quality

**DOI:** 10.12346/peti.v6i1.9091

## 1 概述

### 1.1 研究的目的和意义

由于经济和社会的快速进步和发展, 对于电能需求量也越来越大, 要求随之越来越高。通常来说, 配电网指的是向广大电力用户直接分配的电能网络, 所以其安全性和可靠性得到越来越多人的重视与关注。10kV 配电网络通常具有网状网络结构较为复杂和绝缘水平过低等特点, 直击雷和感应雷都能带来较为严重的危害性。从相关的数据可以了解到, 在所有的电压电网等级中, 6~35kV 发生雷击跳闸的频率是最高的, 同时还会对柱上刀闸、开关、变压器、避雷器和套管等造成不同程度的损坏, 在发生较为强烈的变电雷电活动时, 全部的 10kV 线路都会不可避免地出现跳光现象<sup>[1]</sup>。虽然有的农网或是城网经过改造以后, 情况出现一定程度的好

转, 但是并没有从根本上使之得到解决。对于雷电活动频发的区域而言, 雷害事故还是会时常发生, 对中压电网的功能性和可靠性造成较大的影响, 并严重影响了其正常的运行<sup>[2]</sup>。值得一提的是, 于郊区的低压配网来说, 配电线路的绝缘水平也会对用户端用电的可靠和安全造成一定程度的影响, 所以, 为了使农网配电网络的电能质量得到全面的提升, 一定要以 10kV 配网为前提进行分析和探究, 并通过适合的方式来达到此目标。唯有如此, 才能使广大郊区的用户电需求得到全面的保障, 对于雷击故障的避免与降低是非常有益处的。

### 1.2 避雷器的发展

一直以来, 为了使雷害事故的发生概率越来越小, 同时提升供电的可靠和安全, 人们会通过各种各样的不同的方式

【作者简介】王伟 (1989-), 男, 中国上海人, 本科, 工程师, 从事电力线路防雷技术研究。

来保护配电线路。由于配电网绝缘的水平过低,所以会产生较多的雷害事故,因而严重影响配电网的正常运行。因为人们对于电力系统在供电上的可靠性和安全性需求越来越大,对电力系统的防雷保护关注度也随之增加,所以越来越多的新技术和新材料被广泛地应用在电力系统之中。

根据避雷器的发展历程和对避雷器的改善,将其划分为放电间隙型避雷器、管型避雷器、一般阀型避雷器、磁型避雷器和金属氧化物型避雷器。早期的避雷器主要采用的是放电间隙,到目前为止,仍有部分地区采用,但其结构也在不断改良中,其缺点是无法对工作频率下的电弧进行自动灭弧,近百年来,我们一直致力于减少过压及对电弧的自动灭弧<sup>[3]</sup>。管式避雷器是一种防弧装置,其防弧效果很好,主要包括两个串联的避雷区,其中一个避雷区位于大气环境中,叫做外部避雷区,工作原理就是将工作电压与外界绝缘,以防止产生的漏电将产生的气体管道烧毁;另一种是安装在管道内部,叫做内部空隙或电弧熄灭空隙,管式避雷器的电弧熄灭性能取决于工作频率的持续时间。阀式避雷器是一种以火花间隙与非线性电阻串联构成的避雷器,该避雷器的火花间隙与电阻的阀片可读写被置于密封完好的陶瓷套管中,以防止外部因素的影响,在电网运行时,该间隙将电阻的阀片与工作汇流条隔开,在汇流条上产生过电压并大于该间隙的放电电压时,该间隙发生破裂,使冲击电流从该阀片向地面流动<sup>[4]</sup>。一般的阀门型避雷器依赖于空隙的天然消弧功能,所以它的消弧功能并不十分强大;阀门的通容量受到限制,所以一般的阀门型避雷器仅适用于对闪电的保护,而不适用于对内部电流的保护,因为这种保护的作用时间相对较长。为了降低阀式避雷器的截断率和保护率,也就是提高其防护性能,已研制出一种新型的磁吹管,其基本结构和工作方式与一般的阀式避雷器相类似,不同之处是其具有更大的灭弧容量和更大的通容量,这就是磁吹管<sup>[5]</sup>。自1967年日本学者发现ZnO压敏性质后,VAV性能优良的ZnO电阻器和ZnO避雷器得到了快速的发展。

中国专家对ZnO的压敏性能的重视源于20世纪六七十年代,在70年代开展了一系列的研究工作。海南儋州10kV线路上首次采用了ZnO金属避雷器,这是一个潮湿、高温、多雷的区域。经过20世纪80年代末的综合考察,ZnO已经成为替代SiC避雷器的必然选择。20世纪80年代中期,ZnO金属避雷器被两个部门认定为国际领先的避雷器,随后中国的ZnO金属避雷器生产得到了飞速的发展,已经完全占领了国内的市场。其中的佼佼者更是在20世纪90年代中后期进入了国际市场<sup>[6]</sup>。1995年,淄博电力公司与中能公司共同研制的一种新型避雷器,取得了良好的应用效果。

### 1.3 接地材料的发展

关于接地电阻,已经使用了许多减小电阻的方法,并且使用了许多不同的材料来用作接地件,这些材料包括铜、钢、

热镀锌(Thermal Welding)材料等,其主要意图在于减小接地电阻并且防止接地件腐蚀以增加接地提升寿命,与钢和热镀锌(Thermal Welding Welding)材料相比,铜可以更好地克服接地件腐蚀,但从成本角度来看,铜明显高于钢材,这与技术-经济比率原理不符,并且不能高效地提高环境中的土壤电阻<sup>[7]</sup>。为了解决这一问题,已研制出接地模块,离子接地棒,接地降阻剂等多种接地元件,这些接地元件已被许多实际工程所采用。然而,以上所描述的新材料中的每一种都有其自身的优点和缺点。接地模块一般都是用低电阻材料制作,然后埋在地下,其目的是增加接地体与泥土之间的有效接触面,有些模块在加入一些防水、吸水材料之后,也能达到更好的防水、吸水效果,但由于它没有扩散、渗水等功能,所以不能提高泥土的阻抗,其减阻效果有限,仅能起到辅助减阻的效果。离子接地杆是一种具有许多排出孔洞的铜制管子,管子里所装的结晶其实是一种无机盐,它的减阻原理基本上就是通过这种无机盐的析出、溶解、电离,形成一种可以传导的金属,再通过这种金属的渗入,来提高土壤的传导能力。它其实是一种无机的化学减阻剂。仅使用具有抗腐蚀性的铜管作为载体来提供抗腐蚀性。然而,由于在该方法中,只有一个电极被按固定的间距埋置,因此在该方法中,无机盐的渗出是不均衡的,这些无机盐从铜管中析出,溶解并渗透到周围的土壤中,从而导致在该土壤中的金属离子的浓度不均衡,从而导致在该土壤中的腐蚀电势改变,并且容易导致与该电极相连的接地元件的电化学腐蚀。例如,在与该变电所的钢接地元件接触之后,该接地元件处的钢接地元件会受到侵蚀。降阻剂是一种广泛应用于接地工程中的减阻剂,不仅能有效地保护接地体不受侵蚀,而且还能提高周边土层的电阻。然而,在实际工程中使用减阻剂时,减阻剂的腐蚀、减阻效果、减阻稳定性、地下水的污染等问题也比较严重。这导致某些用户对降低电阻的应用持抵制态度,并且某些单元在下面甚至禁止降低电阻的应用<sup>[8]</sup>。在此,大部分原因是由减阻剂的产物的质量所致,但也有部分原因是由错误的应用所致。但有些降阻剂具有较好的减阻和防腐蚀作用,并具有较好的稳定性和较长的使用寿命,在实际工作中已被广泛采用。

## 2 郊区10kV配电线存在的路雷击问题

论文以位于上海北部市郊10kV配电网为研究对象,该区地处上海的北部,地势和气候条件比较复杂,架空10kV配电网也比较集中,导致10kV配电网经常出现故障。据有关部门统计,截至2022年全市共有130多起跳闸事故,其中76起是雷电引发的,占全年的58.46%,41.54%是其他原因造成的。其中,38.46%的断路原因是导线绝缘子串弧,15.38%的断路原因是避雷器故障。经统计分析,10kV市郊配电网雷击事故因其气候条件的复杂性和动态性,在一定范围内呈现出“随机”和“不确定”两种特征,因此10kV市

郊配电线的雷击事故地点是难以预料的, 电力系统在雷击事故发生之前很难对其进行精确的预报, 只有在出现雷击跳闸事故后, 才能对其所处的配电网进行及时的故障检修<sup>[9]</sup>。

另外, 资料显示, 2022年5月至10月份是一段高雷季节, 这段时间内闪电和地闪出现的次数比较多, 10kV配电网出现跳闸的可能性也比较大。10kV配电网在7月份多雨的天气条件下, 防雷装置的绝缘性能下降, 在雷击的情况下, 容易发生较大的事故。建议在七月份以前, 对雷电容易发生的地区进行雷电防护设施的改装和替换。

### 3 针对 10kV 配电线路雷击问题的分析

#### 3.1 雷击点分析

上海市郊区 10kV 架空输电线路的布线形式为三角布线, 由于布线间距大等原因, 10kV 线路布线多为 15m 长的电杆, 杆塔高度有所提高。10kV 架空输电线路的塔高为 15m, 其所在的线路相对于地面的平均高度为 11m, 按照现有的方法, 直接雷击通常是在 22m 左右的直径范围内进行的, 这时, 将雷击点相对于线路的横方向的距离设为  $S$ , 将与塔的中心部相对的位置的距离设为  $x$  时, 与图 1 的示意性雷击点相同。

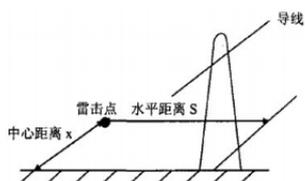


图 1 雷击点示意图

另外, 在将横向间隔  $S$  设为一定的情况下, 若使中央间隔  $x$  大, 则在相应的布线的闪络发生时的雷击电流振幅也大, 在该情况下, 提高了布线的抗雷强度, 在中央间隔  $x$  每增大 20m 的情况下, 雷击电流振幅提高 40% 左右。在高架线的中央距离  $x$  一定的情况下, 闪电发生时的雷击电流振幅随横向距离  $S$  的增加而增加。在  $S$  是固定的情况下, 因为在电路的最小短路电流的计算式中, 在横向上的距离  $S$  和中央上的距离  $x$  所表现出的对称特性, 所以在电路的短路时, 电路的最小短路电流只与高架电路的塔的中心部的相对距离有关, 也就是与闪电的位置有关, 在这种情况下, 电路的最小短路电流的量不与闪电的位置的特定方向有关。

#### 3.2 输电杆塔高度分析

当雷击点距离相同的时候, 因为杆塔高度的不断增加, 架空配电网所产生的雷击感应也会增强, 这种情况下, 线路闪络需要的雷电流就会偏小, 造成耐雷水平过低的现象。

#### 3.3 线路绝缘水平分析

针对雷击距离相同且线路不同的情况来看, 线路的绝缘水平和对应线路最小的闪络电流幅值之间有着较为明显的正比关系。

### 4 10kV 配电线路防雷改造措施

为了使此区域内农网 10kV 配电线路的防雷能力得到全面的提升, 以各种不同的方式进行实验, 以期实现防雷的目的。在实施的时候, 必须遵循以下几方面的原则: 一是要对出现过雷击现象的 10kV 架空配电线路的杆塔进行分类, 查找发生雷击故障的根源, 到底是因为直击雷过电压或是感应雷过电压而造成的。并根据情况的不同, 采用不同的解决方案, 以减少此类事故发生的概率。二是要从经济的角度来选用避雷器, 所以要尽量控制其安装的数量。三是在降低接地电阻的前提下, 使 10kV 配电线路的防雷性得到明显的提升<sup>[10]</sup>。具体防雷方案可参考下面几点。

#### 4.1 加强线路绝缘水平

此地 10kV 架空线路的杆塔高度是 12m, 所以要把原来型号是 S-210/Z 的绝缘子进行更换, 更换的绝缘子型号是 S-280/Z, 并以仿真计算的方式进行精准的计算, 在水平距离  $S$  是 25m 的时候, 架空配电网所对应的耐雷强度从原来的 22.62kA 提高到 30.16kA。在水平距离  $S$  值是 100m 的时候, 架空配电网所对应的耐雷强度从原来的 88.55kA 提高到 118.07kA, 由此可见, 可以使架空配电网在整体上的耐雷水平提高 30%。详细可参考表 1。

表 1 农网 10kV 架空配电网绝缘子更换前后线路的耐雷水平明细表

雷击距离 /m	线路耐雷水平 /kA	
	S-210/Z	S-280/Z
25	22.62	30.16
30	26.96	35.94
40	35.70	47.59
50	44.47	59.30
60	53.27	71.03
70	62.08	82.79
80	70.90	94.54
90	79.73	106.30
100	68.55	118.07

#### 4.2 降低杆塔高度

为了使 10kV 配电网能够安全可靠的运行, 在选用架空线路杆塔的时候要尽量选择长度较小的, 在缩短垂直距离的同时使 10kV 配电线路的耐雷性得到增加。在架空配电网的高度从原来的 15m 换成现在的 12m 以后, 在仿真实验计算的前提下, 能够知道 10kV 架空配电网所出现的不同耐雷水平可具体参考表 2。

仔细分析表 2 可以知道, 在架空配电网的水平距离  $S$  值是 25m 的时候, 10kV 架空配电网所对应的耐雷水平从原来 15m 的 19.68kA 提高到现在 12m 的 22.62kA。在水平距离  $S$  值是 100m 的时候, 10kV 架空配电网所对应的耐雷水平从原来的 76.52kA 提到现在的 88.55kA。

表 2 农网 10kV 架空配电线路杆塔高度变化前后耐雷水平的变化数据

雷击距离 /m	线路耐雷水平 /kA	
	架空线路杆塔高度	架空线路杆塔高度
	15m	12m
25	19.68	22.62
30	23.41	29.96
40	30.93	35.70
50	38.49	44.47
60	46.08	53.27
70	53.69	62.08
80	61.29	70.90
90	68.90	79.73
100	75.52	68.55

### 4.3 降低杆塔接地电阻

通过仿真实验了解到,在 10kV 架空配电线路的接地电阻值是 30Ω 的时候,架空配电线路杆塔在直接接地和内置钢筋的情况下,其所对应的耐雷水平是 6.77kA,具体可参考表 3。当把其接地的方式从内置变成外接接地的以后,并将接地的电阻值降低成 10Ω 的时候,相应的耐雷水平从 1.05 变成 13.67kA。

表 3 农网 10 kV 架空配电线路耐雷水平与杆塔接地电阻关系数据表

接地电阻 /Ω	耐雷水平 /kA
5	18.39
10	13.67
20	9.17
30	6.77
40	5.39
50	4.52
60	3.93

### 4.4 安装线路避雷器

经过对此区域内的 10kV 架空配电线路在安装适合的避雷器以后,其所对应的耐雷水平可具体参考表 4。在安装避雷器以前,其电阻和耐雷水平分别是 30Ω、6.77kA,但是在安装三相避雷器以后,其电阻和耐雷水平分别是 10Ω、21.90kA。

表 4 农网 10kV 架空配电线路安装避雷器后线路耐雷水平比较

接地电阻 /Ω	耐雷水平 /kA	
	安装避雷器前	三相安装避雷器
5	18.39	26.15
10	13.67	21.90
20	9.17	11.73
30	6.77	8.34
40	5.39	6.64
50	4.52	5.63
60	3.93	4.94

## 5 结语

位于上海郊区的 10kV 配电网由于经常会出现雷击故障,所以停电的事故频发,在经过仔细的数据分析以后了解到,在出现雷击故障的时候,之所以会产生电路跳闸现象主要是因为感应雷过电压,基于此,在经过仿真实验以后,了解到 10kV 架空配电线路由于落雷点的不同,所产生的感应雷过电压,雷击电流和线路电流都是不一样的。为了使农网 10kV 架空配电线路能够安全可靠的运行,可通过以下方式来达到防雷的目标,如加大线路的绝缘性、缩短架空线路杆塔的高度、减小架空线路杆塔接地的电阻和加装避雷器等,对于 10 kV 配电网防雷性的提升有着非常重要的作用。

## 参考文献

- [1] 黄灯柱.浅谈10kV配电网线路的防雷措施[J].中国信息化,2019(4).
- [2] 陈炜豪.探讨10kV及以下配电网的防雷保护措施[J].科学与财富,2020(21).
- [3] 曹海龙.试论10kV配网线路防雷技术措施[J].大科技,2020(18).
- [4] 刘涛.关于10kV配电线路防雷措施研究[J].科技展望,2018(20).
- [5] 王丽莉.电力系统继电保护装置调试及安全管理体会[J].河南科技,2019(3).
- [6] 黄清社,徐奔,彭利强,等.10 kV架空绝缘导线防雷保护的措施研究[J].高压电器,2020(12).
- [7] 高新智,仇炜,韩爱芝,等.针对某35 kV配电线路防雷问题的探讨[J].高压电器,2020(4).
- [8] 康宽政.江门市区10 kV架空线路雷击分析和防治措施[J].广东电力,2018(5).
- [9] 陈维江,沈海滨,陈秀娟,等.10 kV配电网架空绝缘导线雷击断线防护[J].电网技术,2021(22).
- [10] 肖金华,李景禄.郊区电网防雷保护的分析和讨论[J].电瓷避雷器,2020(4).