

深汕合作区 10 kV 架空线路 防雷保护措施研究

郑晓霞

(深圳新能电力开发设计院有限公司, 广东 深圳 518052)

摘要: 2020年初深汕合作区绝缘导线占架空导线总长的80%, 架空绝缘导线防雷措施尤为重要。安装避雷器、提高线路绝缘水平、安装防雷支柱绝缘子、安装避雷针等都是有效的防雷措施, 针对多雷地区采用一种重负载配网用复合外套串联间隙金属氧化物避雷器可以大大减少避雷器故障引起的停电事故。

关键词: 雷电危害; 防雷措施; 避雷器

中图分类号: TM726.3

1 深汕合作区简介

2011年2月28日, 广东省政府在汕尾市西部设立深汕特别合作区。合作区位于广东省东南部, 地处珠三角平原和潮汕平原之间, 规划总面积468.3 km², 海岸线长42.5 km。深汕合作区设立4个镇, 分别为: 鹅埠镇、赤石镇、小漠镇、鲘门镇, 区内常住人口为7.73万人。

深汕合作区依山面海, 属亚热带海洋性气候, 全年气温较高, 年平均温度为22.8℃, 夏天炎热且潮湿, 温度约在26~30℃之间; 冬天凉爽而干燥, 但很少会降至5℃以下。5—9月间多雨, 有时雨势颇大。夏秋之间, 时有台风吹袭, 7—9月是深汕特区的台风较多的季节。

广东每年80天雷暴日居全国之首, 深汕合作区属沿海, 落雷密度高于省内平均值, 属于多雷区。

2 深汕合作区 10 kV 架空线路现状情况分析

2.1 深汕合作区 10 kV 线路概况

2020年初, 共有3座变电站分别为: 110 kV 鹅埠站、110 kV 吉水门站、220 kV 鲘门站, 中压公用线路44回, 线路长度总长461.83 km, 其中电缆线路长度96.31 km, 占比21%, 架空线路长度365.52 km, 占比79%, 其中架空绝缘导线291.517 km, 占架空线路总长80%, 架空裸导线74.003 km, 占架空线路总长20%。

2020年规划, 深汕合作区中压公用线路58回, 规划新增线路全部采用电缆, 且将原有架空裸导线

逐步改造为绝缘导线。

2.2 架空线路分布情况

深汕合作区大部分属于丘陵和平原地带, 大部分架空线路架设在地势平坦的道路两侧或者田野间或者居民区, 也有小部分架空线路架设在山坡或者山头上。架空线路主要分布在110 kV 吉水门站10 kV 线路, 现状15回10 kV 出线, 其中11回为架空线路, 4回为架空电缆混合线路; 110 kV 鹅埠站现状27回10 kV 出线, 其中23回为纯电缆线路, 4回为架空电缆混合线路; 220 kV 鲘门站现状2回10 kV 线路, 均为架空电缆混合线路。

架空导线规格型号较多, 很多线路中既有裸导线也有绝缘导线, 架空线路主要分布在深汕合作区的东北侧, 居民区多为架空绝缘导线, 山上架设的线路多为裸导线。

2.3 现状 10 kV 架空线路的防雷措施

每个台区在跌落式熔断器与变压器之前设置10 kV 配电型避雷器1组。每个线路分段点断路器开关两侧分别设置10 kV 配电型避雷器1组。绝缘导线每个耐张段设置10 kV 配电型避雷器1组(2019年改造的项目新装, 只有少部分线路才有)。

2.4 10 kV 架空线路故障分析

2018年深汕合作区统计架空线路故障次数48次, 停电时长196.8 h; 2019年统计故障次数37次, 停电时长132.73 h。从统计数据得知: 每年的6—9月是配电线路故障多发期, 1—5月和10—12月相对较少。

配网线路故障跳闸原因分类。从2018、2019年

统计数据得知,引起线路跳闸最多的是自然灾害,占57%(其中雷击31%,台风26%),其次是外力破坏占20%,设备不良占23%。

配网线路故障跳闸原因分析。每年的6—9月是故障高发期,雷电造成的故障占全年故障的31%,占自然灾害的54%。

2020年初,深汕供电局实际10 kV线路联络率为53.13%,可转供电率为50%,供电可靠性较低,若发生故障,往往造成线路停电,造成严重的经济损失。深圳全面接管合作区后,电子信息、先进制造等高新技术企业纷至沓来,对电力需求表现为“三高一强”(对电力的依赖度高、对供电质量的要求高、对供电服务水平的期望值高、消费维权意识强),供电服务所面临的形势将更为严峻,所以提高供电可靠性迫在眉睫,改善配网线路的防雷措施至关重要。

3 防雷措施的应用

在电力供应可靠性不断提高的今天,传统的裸导线在城市电网中应用是不合适的。从空间角度看,采用裸导线的配电系统要求有较大的相间距离和较宽的走廊,在我国城市用地日益紧张的趋势下,其发展也将受到制约。

相比之下,配电线路绝缘化具有明显的优点:一是供电可靠性和安全性大幅提高;二是缩短相间距离,减少占用空间;三是与电缆线路比较,能够降低线路建设投资,避免道路开挖,施工简单和建设周期短。因此架空线路全部采用绝缘导线已是趋势。

2020年初深汕合作区绝缘导线占架空导线总长的80%,且规划将原有架空裸导线逐步改造为绝缘导线,但绝缘导线也有自身的弱点,即雷击断线问题,所以架空绝缘导线防雷措施尤为重要。

3.1 架设避雷器线

虽然可以拦截直击雷,但不能有效防感应雷,不能防雷击跳闸,防止绕击的效果较差,易使架空线遭受反击,需要在塔顶增高杆塔来布置架空地线,施工难度大,投资成本较高,不建议采用此方法。

3.2 安装避雷针

深汕合作区有个别杆塔位于山顶突出处、通信

塔附近等高落雷区,这些地方都极易招受直击雷,存在雷电流峰值大于90 kA的情况,此时过电压极大,采用线路型避雷器等其他措施都不能避免线路跳闸,在这些地区,建议使用独立避雷针,利用避雷针优先形成上迎先导的特性,建立放电通道,将雷电经避雷针直接引向大地,避免线路跳闸,引起断电事故。

3.3 安装避雷器

安装避雷器是可以有效地防雷击断线,能截断工频续流,限制雷电过电压和配电线路的感应过电压。但由日本某电力公司运行统计表明,虽然配电线路安装的避雷器每年都在增加,配电线路雷击事故不但没有降低,反而有增加的趋势。这主要取决于避雷器的安装密度,10 kV配电线路不同避雷器间距对应的感应过电压闪络次数(闪络电压为150 kV,杆塔高度为10 m,档距为75 m),如图1所示。

可以看出,增大避雷器的安装密度可显著降低感应过电压的闪络次数,且避雷器间档距个数为3比个数为4时,闪络次数降低约81%。对于避雷器的安装密度,各国学者推荐的安装间距不尽相同,结合经济性和可靠性,避雷器间的档距个数3为最佳。

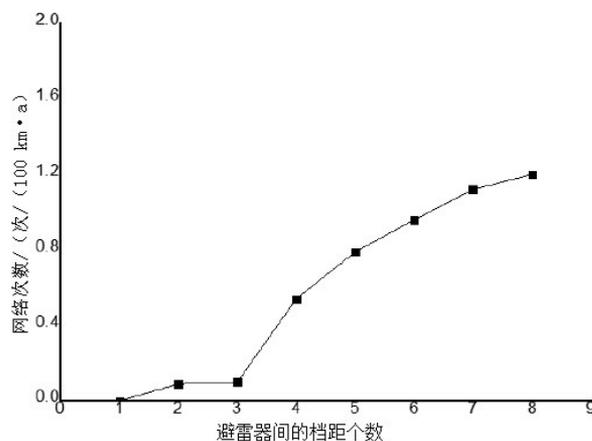


图1 不同避雷器间距对应的感应过电压闪络次数

深汕合作区属于多雷区,针对多雷地区,可以采用一种重负载配网用复合外套串联间隙金属氧化物避雷器,此新型避雷器优点如下:

一是通过提高标称放电电流及2 ms方波通流量来达到避雷器耐受多重雷击的能力,本新型避雷器内部采用直径48 mm重负载电阻片,2 ms方波能

力为 600 A，大电流冲击能力为 10 kA，当遇到多重雷击时，可连续动作释放大电流而不产生损坏，从而达到提高多雷地区使用的安全性及适用性的目的。

二是通过将避雷器伞形改为双斜面伞的结构，满足不同安装方式的要求，同时提高避雷器运行的安全性。

三是固定避雷器间隙距离，在多重雷击下，仍能保证间隙距离不变，放电电压稳定，确保避雷器可靠运行。

针对多雷地区采用一种重负载配网用复合外套串联间隙金属氧化物避雷器可以大大减少避雷器故障引起的停电事故。

3.4 提高线路绝缘水平

深汕合作区 10 kV 配网绝缘水平低下。实际绝缘导线的绝缘水平只比绝缘子的高一点，其原因之一一是组合绝缘体的绝缘强度低于二者绝缘强度之和，其二是绝缘层老化及破损导致绝缘导线配电线路总的绝缘水平的降低。

改进配电线路的绝缘性能：对于绝缘导线的配电线路，雷击时线路 50% 冲击放电电压可粗略地认为是绝缘子的 50% 放电电压与绝缘导线绝缘层的 50% 冲击放电电压之和。例如，10 kV 配电线路采用的 P15 绝缘子的正极性 50% 放电电压为 140 kV 以上，而绝缘导线绝缘层的 50% 放电电压在 200 kV 左右，因此绝缘导线配电线路的整体冲击耐受电压应在 340 kV 以上，每年出现断线的概率很小，但实际绝缘导线由于绝缘层的老化及过电压的雷击效应等导致其冲击耐压大大降低，老化的主要原因是绝缘层受到电、热、和大气等多种因素的作用。提高线路的绝缘水平即提高绝缘导线和绝缘子整体的 50% 放电电压，能大大降低线路的雷击闪络率，也能有效降低雷击跳闸率。

目前大部分地区采用的绝缘导线的绝缘层厚度为 3.4 mm，而山东淄博采用的绝缘导线的绝缘层厚度为 6 mm，该地区基本上没有发生过雷击断线的事故，如果以提高线路整体的 50% 放电电压来减少线路的感应雷引起的跳闸事故，则建议绝缘子和绝缘导线整体的 50% 放电电压至少选择 400 kV，该数值应考虑到绝缘导线的绝缘层在冲击电压作用下的累积破坏效应的长期老化性能，即绝缘层的 50% 放

电压应考虑一定的裕度。

提高绝缘导线和绝缘子的整体 50% 放电电压比较简单，无须维护，其关键是要选择抗长期老化性能好的绝缘导线。

改进绝缘子性能：深汕合作区 10 kV 配电线路直线塔绝缘子采用瓷横担，耐张串多为 2~3 片玻璃或瓷盘式绝缘子。从雷电冲击试验数据可知，LXP-70 型盘型玻璃绝缘子（2 片）的 $U_{50\%}$ 雷电全波冲击耐受电压高达 200 kV，而 SC-210 横担瓷绝缘子的 $U_{50\%}$ 雷电冲击耐受电压大约为 210 kV。而雷击到线路上或者地面过电压数值经常超过 500 kV，超过了线路的耐雷水平，进而导致线路发生跳闸事故。

针式和柱式绝缘子目前广泛地应用于深汕合作区配电线路，对于针式绝缘子，由于胶装处的水泥和针脚的热膨胀系数比瓷高，因而会产生温差，而引起绝缘子的老化。另外，在陡波电压作用下，当某一部分瓷被击穿时，也会引起温差而导致绝缘子老化。基于上述原因，有些地方采用柱式绝缘子，但柱式绝缘子表面容易积污，在旱季和雨季之分的地区，在雨季刚开始时，雨水冲洗柱式绝缘子表面在旱季期间沾染的杂质时，会使伞裙发生桥接而产生表面闪络，并且雷电和导电杂质所产生的放电电流也会导致瓷的破裂。另外也要考虑到普遍存在的由于泄漏电流引起的绝缘子表面爬电问题。

如表 1 所示，根据针式、柱式和针柱式绝缘子的结构和性能对比，针柱式绝缘子由于其主体形状为柱式，因此无老化、无击穿，而且防污性能和耐弧能力均很强。针柱式绝缘子目前广泛地应用在日本、澳大利亚，以及经济增长较快的亚洲东南部的绝缘导线线路上。

为了提高供电可靠性，10 kV 架空线路建议采用针柱式绝缘子。

3.5 安装防雷支柱绝缘子

雷击断线是由工频续流产生的，防雷支柱绝缘子并非组织电弧形成，而是把工频续流电弧由架空线移至防雷支柱绝缘子的引弧棒和横担之间，达到架空线不被电弧烧断的目的。

防雷支柱绝缘子结构如图 2 所示，它有穿刺式和非穿刺式两种，穿刺式用于绝缘导线不剥皮安装，非穿刺式用于裸导线或绝缘导线剥皮安装。穿刺式/

非穿刺式防雷绝缘子，主要由绝缘护罩、力矩螺母、夹线铝合金金具、复核绝缘子、引弧棒、引弧球和下钢脚组成。

表1 针式、柱式和针柱式绝缘子性能对比表

绝缘子		针式	柱式	针柱式
外部条件	性能要求			
冲击	无击穿	坏	好	好
温度变化和水泥膨胀	无老化	坏	好	好
污秽	受污条件下的湿耐受	好	坏	好
强弧电流	耐弧性能	坏	坏	好

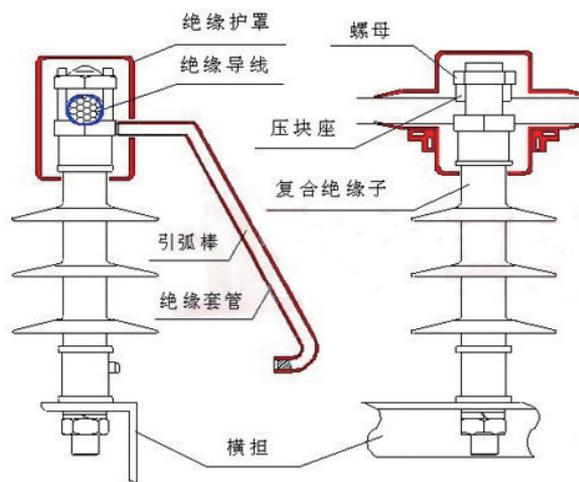


图2 防雷支柱绝缘子结构图

防雷支柱绝缘子安装示意图如图3所示，最适宜新建架空线路工程，省去了绝缘子的费用，安装方便。防雷支柱绝缘子安装必须做好以下几点：

防雷支柱绝缘子必须固定在角铁横担上；

采用穿刺式夹线金具时，穿刺必须穿透架空线的绝缘层，压紧螺母必须旋紧，达到规定的力矩。即使采用非穿刺式夹线金具时，压紧螺母也必须旋

紧，达到规定的力矩，防止电弧在夹线金具和导线间发生；

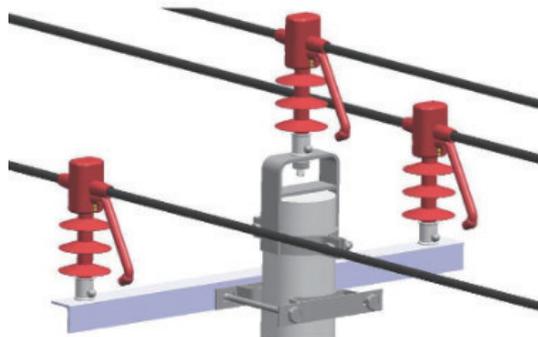


图3 防雷支柱绝缘子安装示意图

夹线金具必须采用节能的合金铝，但穿刺必须采用硬度高于铝线的铜质材料；

防雷支柱绝缘子的放电距离与架空线接地制式、环境污染等级有关，对不同情况必须作不同的调整。

防雷支柱绝缘子适用于交流电力系统额定电压10~20 kV、导线截面为50~240 mm²的架空线路，是用于支撑和固定架空导线、防止雷击断线，对雷击跳闸不起保护作用。对于架空线路中每3档线路安装一组避雷器的一种补充，能更全面地保护架空线路免受雷电危害，大大减少雷电引起的线路故障。

4 结束语

本文对深汕合作区的10 kV架空线路进行故障分析，雷电造成的故障占全年故障的31%，占自然灾害的54%。雷电配网安全稳定运行影响越来越凸显。故对深汕合作区配电网防雷方面的问题进行了研究，提出了针对性的解决方案，对减少架空线路故障有显著的效果，确保配网安全稳定运行，提高供电可靠性。

参考文献

- [1] 何金良, 曾嵘. 配电线路雷电防护[M]. 清华大学出版社, 2013.
- [2] 王明邦, 王常余, 王哲斐. 架空配电线路防雷设计与应用[M]. 中国电力出版社, 2012. 5.

作者简介

郑晓霞(1983—),女,广东大埔人,工程师,主要研究配电网建设。

(责任编辑:刘艳玲)