

# 微气象条件对输电线路的影响及防御措施

李大勇<sup>1</sup>, 李颖慧<sup>2</sup>

(1. 四川省电力设计院, 四川 成都 610072; 2. 四川师范大学附属中学地理教研组, 四川 成都 610066)

**摘要:** 在大量工程实际经验的基础上, 结合地理、气象学科的基本知识, 分析了“电力微气象”的基本特点, 对输电线路覆冰、雷击和污闪的微气象条件进行了分析、归纳和总结, 并且结合实际线路运行故障, 提出了增强线路防冰、防雷和防污的措施建议。

**关键词:** 微气象; 覆冰; 雷击; 污闪; 输电线路

**Abstract:** Based on the practical experiences of many projects and combined with the knowledge of geography and meteorology, the basic features of microclimate in power system are analyzed. The conditions of microclimate for ice accretion, lightning stroke and pollution flashover in transmission lines are also analyzed and summarized. Finally, the measures and suggestions against icing, lightning and pollution in transmission lines are proposed according to the actual operational failure.

**Key words:** microclimate; ice accretion; lightning stroke; pollution flashover; transmission line

中图分类号: TM721 文献标志码: A 文章编号: 1003-6954(2013)05-0091-04

## 0 前言

输电线路架设在旷野, 时刻面临着自然界各种气象和环境条件的考验, 恶劣的气象条件造成的输电线路事故也屡见不鲜。2001年2月, 辽宁、华北和河南连降大雾, 出现大面积污闪事故<sup>[2]</sup>。其中仅豫西、豫北电网220 kV故障线路就有33条, 连续跳闸停电高达146次。2005年2月, 华中电网遭遇了50年不遇的严重覆冰袭击, 冰灾最严重时, 华中电网10条500 kV交流线路同时停运。2008年初, 华中、华东部分地区, 出现长时间持续的大强度、大范围低温雨雪冰冻天气, 导致湖南、江西、浙江、安徽、湖北等地数十条500 kV线路故障, 上百条线路电网发生倒塔、断线、舞动、覆冰闪络等多种灾害。2012年初, 四川瀑布沟由于微气象条件下覆冰导致500 kV线路倒塔断线。这些事故对电网稳定构成极大的威胁, 给经济生活造成了巨大的损失, 引起了国家部门、电网企业和科研单位的高度重视。

一直以来, 电力、气象和环境部门也在提高电力系统抵抗自然环境压力方面作了大量的工作, 取得了诸多成绩, 但同时也应看到电力系统仍然面对巨大的环境压力的考验。这其中, 微气象条件对线路的影响是最为直接和频繁的。无论是雷击, 还是线

路覆雪、覆冰、污闪甚至风偏等等事故都严重受到了微气象的影响。在输电线路设计中, 微气象也是一个不可避免的问题。如何有效防御微气象的危害是电力系统面临的一个极其复杂而艰巨的任务。在大量工程实际经验的基础上, 结合地理、气象学科的基本知识, 分析“微气象”的基本特点, 对影响输电线路的典型微气象条件进行了分析、归纳和总结, 对微气象条件下的输电线路建设提出了建议。

## 1 “微气象”及其基本特征

一般来说, 电力系统中所提及的“微气象”不同于气象学中提及的“微气象”。气象学中“微气象”是指发生在边界层(1~2 km以下)大气中的湍流、扩散以及热量传输等物理过程和动力过程的细微结构。微气象学就是专门研究这些细微结构的科学, 微气象学的研究更为注重在贴近地面的较低“高度”下的大气状况, 它对研究大气污染、行星的边界层参数化、地-气(海-气)相互作用等问题都是十分重要的<sup>[8]</sup>。而电力系统中提及的“微气象”是在工程经验的基础上提出的。

首先, 电力微气象针对的区域面积可大可小。就输电线路而言, 电力微气象可以是一基杆塔周围100 m、200 m以至1 km区域内的, 也可以是多基杆

塔形成的一个片区。

第二,电力微气象关注的是在固定区域中的短时气象情况,也就是在输电线路外绝缘故障发生时这个特定时间内。

第三,电力微气象是从工程角度提出的,往往是同地形地貌因素联系在一起的,甚至包括了地形地貌因素。因此,也常常将微地形和微气象联系在一起,工程上几乎没有对微气象、微地形加以区分。

固然,电力微气象研究有一定的困难。但经过长期的努力,电力工作者在电力微气象研究中还是得到了相当多有用的观测信息和经验。这些观测经验配合分析和总结可为输电线路建设提供有利的帮助。而电力微气象区域的划分则是其中非常重要的一部分。

通常电力系统按照线路故障的类型将输电线路走廊划分为不同区域,例如覆冰区、多雷区、污秽区等等。但是这些划分仅仅是从线路故障角度对故障区域的总结,没有深入分析这些区域的地理气象特征,没有将这些地区的地理气象特征归纳和总结出来。而事实上,故障区域的地理气象特征才是真正直接影响输电线路的因素。

## 2 典型电力微气象区域的划分

在长期工程经验的基础上,从气象和地理特性的角度,对输电线路多发的覆冰、雷击和污闪故障区域进行了归纳总结,指出了这些地区的气象地理特性。

### 2.1 覆冰微气象区域

从线路和绝缘子覆冰的条件来看,覆冰一般应该满足的气象条件是:①阴雨雪天气,浓雾且连续,水汽不断补充,湿度较大;②气温由0℃以上下降至-3℃~-6℃时,覆冰最为严重;③风速不大,约在3~5 m/s<sup>[6]</sup>。

这些条件可能会受到诸多因素的影响,包括季节因素、地形地理条件、水体因素等等,这些因素的综合可能就会构成适合覆冰的条件,从而导致覆冰故障。综合考虑这些因素,针对输电线路覆雪(冰)故障,这里将典型的线路覆冰地形特征做如下分类。

#### 2.1.1 山岭区域

属于这类地区的典型地形有:山顶、顺山腰(线路沿山腰)、山腰(线路爬山)、跨越山谷(大档距、对

谷底地面高度大)、山中条形盆地、垭口等。

#### 2.1.2 临水区域

属于这类地区的典型地形有:跨越(临近)河流(溪流、河床、低洼的河槽)、湖泊、水库、农田、湿地、植被茂密区。

#### 2.1.3 丘陵和平原地区

包括所谓的向阳坡、迎风坡、线路走向等方面的因素。

这些区域更为准确的确定应该通过工程经验,结合当地常年的气象条件(比如主导风向、降水等等)结合起来,才能对输电线路设计和防护提供有益的参考。

### 2.2 雷击微气象区域

无论雷云的形成还是雷云起电都需要有充足的水分条件。气象条件和地形地貌因素对雷云的形成起着决定性作用。气象研究表明雷电与对流性天气系统产生的降水量有很好的相关性。研究者在中国甘肃地区长期研究得到平均雨强 $R$ 与对应时间段内的地闪数 $F$ 的回归方程为<sup>[5]</sup>

$$R = 1.692 \ln F - 0.273$$

从现场运行的经验来看,输电线路雷击故障受地形气候的影响很大。微气象对输电线路的影响应该从雷电产生的影响因素和雷击故障的影响因素进行考虑,包括:雷电产生的要素、线路的地形和杆塔接地等多方面考虑。

经过对事故现场地形地貌的考察和对事故分析报告的总结,也可以将线路雷击故障多发区域进行划分。不过需要指出的是,尽管线路覆冰和雷击是不同的故障类型,但是在它们形成的气象地理条件上是有共性的,例如都需要有充足的水源。因此,雷击故障区域和覆冰区域的划分有相类似的地方。当然,雷击形成过程中也有其自身的特性。例如雷击具有选择性,地面导电良好之处和比较突出的地方要比附近各处密集更多的电荷,电场强度较大,易成为受雷主要目标;旷野间孤立的大树、高塔、单独房屋的屋顶或房檐易受雷击;一片导电不良的地带,中间局部有导电较好的地点也易落雷;大地电阻率发生突变的不连续地带,地形突变的边缘地方,容易形成边界效应,雷击密度较大。这些特点使得线路雷击区域的气象地理又有其不同于覆冰区域的地方。

基于这些分析,将典型的雷击地形区域分为:山

岭区域、临水区域、丘陵和平原地区、岩矿区、其他特殊区域。前3种区域和覆冰区域是类似的,在此不在累述。下面列出后两种区域进行分析。

#### (1) 岩矿因素

属于这种情况的包括各类矿区:煤矿区、金属矿区、石灰石矿区等等。

另外,还有地质特殊区:局部良好导电地区(一片导电不良的地带,中间局部有导电较好的地点也易落雷)、大地电阻率突变区(不连续地带,不同性质岩石分界区)、地质断层区。

#### (2) 其他因素

包括所谓的向阳坡、迎风坡、线路走向等方面的因素。

在对山西、四川等地电网运行情况调研时发现,气候和地质因素两者均具备的地方,雷击故障往往多发。归纳出这些区域主要是从雷电产生的要素、线路地形、杆塔接地等方面考虑。

### 2.3 污秽微气象区域

污闪故障必备的两个首要条件是污秽和潮湿。新版的GB/T 26218.1-2010《污秽条件下使用的高压绝缘子的选择和尺寸确定》在外绝缘选择方面提出了一系列新思路,例如将现场污秽度等级作为外绝缘选择的重要考虑因素,认识到了固体污秽有可溶和不可溶两部分,并对区域污秽等级重新进行了划分等等。新的标准对污区等级的划分产生不小的影响,根据这一标准,不少地区线路原来设计的爬电比距偏小,不得不陆续开展调爬工作。

运行经验表明:污闪几乎发生在绝缘子表面积污后,同时出现雾、露、毛毛雨、雨加雪等恶劣气象条件的情况下。从时间上来看,污闪往往出现在气温偏低的初冬季节,或者严冬之后的初春;或者是一天中气温较低的清晨。多数污闪发生时,气温都集中在0℃左右的低温环境中,且湿度较大。从气象条件来看,秋冬季,大气受到高气压带控制,大气中的污秽物质扩散困难,污染严重,外绝缘积污严重;在夜晚和凌晨地表温度较低,形成大气逆温层,空气中的污秽物质扩散同样困难,加之气温较低,局部地区容易出现低温凝露,污秽和潮湿的结合导致了污闪故障的发生。

有文献研究表明,在低温、污湿条件下外绝缘污闪电压比常温、污湿条件下更低,这种条件下对外绝缘的威胁更为严重,值得认真研究和高度关注。

## 3 典型防御措施

电力微气象对线路安全运行的威胁频繁,在充分考虑各种微气象形成的地理特征的基础上,总结工程设计经验。

对于覆冰区来讲:①落实抗冰差异化设计的要求,线路设计时,应对所有轻重冰区绝缘子串实施防冰闪的措施;②运行中对出现导线受损的区段应全部更换导线,并增强导线防扭、防振的措施;轻冰区及冰区分界段的地线可采用铝包钢地线;③科学布局安装覆冰应力监测装置、气象监测装置和风振监测装置,其安装点位由设计单位观冰组和运行单位根据观冰的情况来确定。

对于雷击区来讲:线路防雷措施应按照其在电网中的重要程度、线路走廊雷电活动强度、地形地貌以及线路的结构不同,进行差异化配置。对于重点线路,应采用综合防雷措施,综合采用减小地线保护角、改善接地装置、适当加强绝缘等措施;对于一般线路,应按照相关标准合理选择防雷措施,降低线路雷害风险。

对于污秽区来讲:在保证经济合理施工方便的条件下,线路路径设计应尽量避免避开污秽等级高的化工、冶金、煤窑等厂矿;重污区(d级及以上)绝缘子应采用复合绝缘子;低温、污湿区域的线路外绝缘可以适当增大绝缘子爬距。

## 4 结 论

“电力微气象”具有其自身特点,它不同于气象学中的“微气象”,故障区域的地理气象特征是真正直接影响输电线路的因素。前面将线路覆冰、雷击、防污区域进行了划分。这些区域的划分可以为线路设计和防护提供参考。低温、污湿条件下的污闪故障率高,值得认真研究,并在工程设计中引起重视。

#### 参考文献

- [1] 张仁豫主编. 绝缘污秽放电[M]. 北京: 水利水电出版社, 1994.
- [2] 高航. 2001年初河南电网发生污闪事故的原因与防范措施[J]. 电网技术, 2001, 25(10): 76-79.
- [3] 王守礼, 李家垣, 等. 微地形微气象对送电线路的影响

[M]. 北京: 中国电力出版社, 1999.

[4] 王守礼, 李家垣编著. 电力气候[M]. 北京: 气象出版社, 1994.

[5] 王道洪, 郗秀书, 郭昌明编著. 雷电于人工引雷[M]. 上海: 上海交通大学出版社, 2000.

[6] 蒋兴良, 易辉著. 输电线路覆冰及防护[M]. 北京: 中

国电力出版社 2001.

[7] 周淑贞著. 气象学与气候学[M]. 北京: 高等教育出版社, 1997.

[8] 豪根(美)主编, 季兴生等译. 微气象学[M]. 北京: 科学出版社, 1984.

(收稿日期: 2013-06-24)

(上接第68页)

融冰安全控制策略如图12所示。

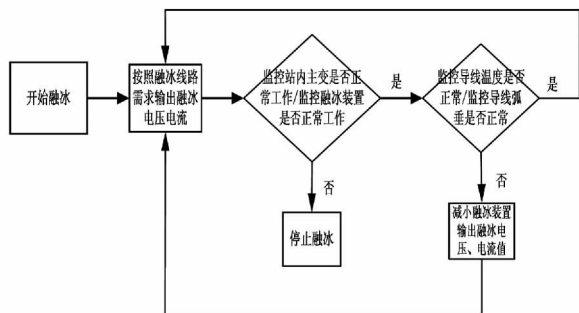


图12 融冰安全控制策略

### 3 结论

移动直流融冰装置的设计选型应充分调研电网融冰线路需求,选择合适的参数及尺寸,确保装置的可移动性及对融冰线路的全面覆盖。

可控硅移动直流融冰装置适宜于220 kV及以下、100 km以内输电线路的导线融冰,具有融冰方式灵活、适用范围广、经济性高的特点,经实际线路融冰,取得了良好的工程应用价值。实际融冰工程应视为一项系统工程,需要现场安全监控、通信、调度、后勤保障等诸多部门联合协作,才能确保融冰工作取得成功。

#### 参考文献

[1] 傅闯, 饶宏, 黎小林. 直流融冰装置的研制与应用[J]. 电力系统自动化, 2009, 33(11): 53-57.

[2] 彭向阳, 周华敏, 杨楚明. 广东电网直流融冰装置安装调试及实冰演练[J]. 高压电器, 2010, 46(3): 98-105.

[3] 孙棚, 王明新. 交流输电线路大容量固定式直流融冰装置的设计方案[J]. 电力自动化设备, 2010, 30(12): 102-105.

[4] 谢彬, 洪文国, 熊志荣. 500 kV 复兴变电站固定式直流融冰兼 SVC 试点工程的设计[J]. 电网技术, 2009, 33(18): 182-185.

[5] 申屠刚, 程极盛. 500 kV 直流融冰兼动态无功补偿系统研发与工程试点[J]. 电力系统自动化, 2009, 33(23): 75-79.

[6] 范瑞祥, 孙旻, 贺之渊. 江西电网移动式直流融冰装置设计及其系统试验[J]. 电力系统自动化, 2009, 33(15): 67-71.

[7] 陈亦平, 刘文涛, 和识之. 直流融冰装置在南方电网的应用分析[J]. 南方电网技术, 2011, 5(4): 74-77.

[8] 马晓红, 赵立进, 李巍. 直流融冰技术在贵州电网的应用[J]. 南方电网技术, 2009, 3(5): 107-110.

[9] 姚致清, 刘涛, 张爱玲. 直流融冰技术的研究及应用[J]. 电力系统保护与控制, 2010, 38(21): 57-62.

[10] 阮启运, 顾雪平, 陆佳政. 湖南电网220 kV线路直流融冰问题研究[J]. 电力系统保护与控制, 2011, 39(9): 131-136.

[11] 陈智. 江西省电网直流融冰计算研究[J]. 电力系统保护与控制, 2010, 38(2): 72-74.

[12] 卢志良, 刘涛, 赵青春. 直流融冰运行模式下直流故障对交流保护的影响[J]. 电力系统保护与控制, 2010, 38(2): 172-175.

[13] 张帆, 徐桂芝, 荆平. 直流融冰系统保护配置与操作策略[J]. 电网技术, 2010, 34(2): 169-173.

[14] 陆佳政, 李波, 张红先. 新型交直流融冰装置在湖南电网的应用[J]. 南方电网技术, 2009, 3(4): 77-79.

#### 作者简介:

杨琳(1983),男,博士,研究方向为线路与防雷、线路专业生产技术管理;

刘凡(1978),男,博士,高级工程师,研究方向为在线监测与故障诊断、线路专业生产技术管理;

马小敏(1988),男,硕士,工程师,研究方向为线路及过电压。

(收稿日期: 2013-06-10)