

# 输电线路覆冰影响及除冰技术综述

Overview :Technology on Ice coating Prevention  
and Deicing of Transmission Line

曹 岚

(浙江省电力试验研究院, 杭州 310014)

**摘要:** 对线路覆冰及其危害作一简要介绍, 对近年来电力行业中有关覆冰区的监测和划分、高压输电线路直流融冰技术及装置、绝缘子防冰闪措施、防冰涂料研发防冰除冰新技术、新成果等进行综述。

**关键词:** 输电; 线路; 覆冰; 除冰; 综述

**中图分类号:** TM726 .1

**文献标识码:** B

**文章编号:** 1007 -1881(2008)04 -0029 -04

2008 年春节期间, 长江中下游地区连续多日普降中到大雪, 浙江省也经受了一次历史罕见的持续低温、雨雪、冰冻灾害, 大量输电线路因此断线、倒塔而跳闸停运, 电网结构遭到重大破坏, 特别是500 kV 主网损失尤为严重。灾害造成浙江电网1 座220 kV、6 座110 kV、15 座35 kV 变电所全停, 23 条500 kV、21 条220 kV、14 条110 kV、90 条35 kV、747 条10 kV 线路跳闸停运; 500 kV 线路倒塔167 基、受损28 基, 220 kV 倒塔45 基、受损17 基, 110 kV 倒塔23 基、受损14 基。累计倒(断)塔(杆)15 157 基、线路损坏10 814 km。直接经济损失达27 .48 亿元<sup>[1]</sup>。

本文对线路覆冰及其危害作一简要介绍, 对防冰除冰方面的新技术、新成果进行综述, 供专业技术人员参考。

## 1 导线覆冰的种类

导线覆冰是一个复杂的过程, 覆冰量与导线半径、过冷水滴直径、风量、风速、风向、气温及覆冰时间等因素有关。一般可分为白霜、雾凇、混合凇、雨凇和积雪几类<sup>[2]</sup>, 其中, 混合凇和雨凇对架空线危害最大。

混合凇是由导线捕获空气中过冷却水滴并冻结而发展起来的一种覆冰形式, 以硬冰块的

形式出现。其结构为层状或板块形式, 透明和不透明层交替出现。混合凇粘结力相当强, 密度在0 .6 ~0 .8 g /cm<sup>3</sup> 之间; 当温度较低、风速较强时, 混合凇会迅速增长。

雨凇多数是由过冷却雨滴或毛毛雨滴发展起来的, 即冻雨覆冰。雨凇覆冰形成过程中, 冰面温度为0 , 从而使覆冰表面完全由一层薄薄的水膜覆盖。雨凇边降边冻, 能立即粘附在裸露物的外表而不流失, 形成越来越厚的、浓密而坚实的冰层。雨凇冰是透明的, 密度接近理论上纯冰的密度。在工程实际中, 常将密度大于0 .9 g /cm<sup>3</sup> 的冰称为雨凇。

影响导线覆冰的因素很多, 主要有气象条件、地形及地理条件、海拔高程、凝结高度、导线悬挂高度、导线直径、导线扭转性能、风速风向、水滴直径、电场强度及负荷电流等。

## 2 导线覆冰的危害

严重的覆冰会导致输电线路机械和电气性能急剧下降, 从而导致覆冰事故的发生。根据对我国输电线路覆冰事故的分析, 覆冰对线路造成的危害一般分4 类<sup>[3]</sup>。

### 2 .1 线路过荷载事故

当覆冰积累到一定体积和重量之后, 输电导线的重量倍增, 弧垂增大, 导线对地间距减

小,从而导致闪络事故的发生。同时,在风的作用下,两根导线或导线与地之间可能相碰,会造成短路跳闸、烧伤甚至烧断导线的事故。如果覆冰的重量进一步增大,则可能超过导线、金具、绝缘子及杆塔的机械强度,使导线从压接管内抽出,或外层铝股全断、钢芯抽出;当导线覆冰超过杆塔的额定荷载一定限度时,可能导致杆塔基础下沉、倾斜或爆裂,杆塔折断甚至倒塌。

有资料显示,以400 mm 导线为例,当覆冰厚度由10 mm 增加至15 mm、20 mm、30 mm 和50 mm 时,杆塔承受的垂直、水平和纵向荷载对应关系如表1 所示。

表1 覆冰厚度与杆塔载荷的关系

覆冰厚度/mm	垂直荷载/%	水平荷载/%	纵向荷载/%
10	100	100	100
15	130	120	120
20	160	480	180
30	240	620	320
50	450	900	660

## 2.2 相邻档不均匀覆冰或不同期脱冰造成的事故

输电线路相邻档不均匀覆冰或不同期脱冰都会产生张力差,使导线在线夹内滑动,严重时导线外层铝股在线夹出口处全部断裂、钢芯抽动,造成线夹另一侧的铝股拥挤在线夹附近。邻档张力的不同,还会导致直线杆塔承受张力的能力变差,悬垂绝缘子串偏移很大,碰撞横担,造成绝缘子损坏或破裂;也可使横担转动,导线碰撞拉线,烧伤或烧断拉线,杆塔在失去拉线的支持后倒塌。不同期脱冰使横担折断或向上翘起,地线支架破坏,因覆冰不均匀使横担扭转。

## 2.3 绝缘子串覆冰造成频繁冰闪事故

冰闪是污闪的一种特殊形式,绝缘子在严重覆冰的情况下,大量伞形冰凌桥接,绝缘强度降低,泄漏距离缩短。融冰过程中,冰体或者冰晶体表面水膜很快溶解污秽中的电解质,提高了融冰水或冰面水膜的导电率,引起绝缘子串电压分布及单片绝缘子表面电压分布的畸变,从而降低了覆冰绝缘子串的闪络电压。融

冰时期通常伴有的大雾,使大气中的污秽微粒进一步增加融化冰水的导电率,形成冰闪。

## 2.4 输电线舞动损坏电力设备

输电线覆冰后形成非圆截面,在风力作用下发生低频驰振,振动频率通常在0.1~3 Hz,振幅约为导线直径的5~300倍。导线舞动引起杆塔、导线、金具及部件的损坏,造成频繁跳闸甚至停电事故。

## 3 防冰除冰技术

目前,国内外的除冰方法有30余种,从原理上大致可分为3类。

### 3.1 热力融冰法

利用附加热源或导线自身发热,使冰雪在导线上无法积覆,或是使已经积覆的冰雪融化。如采用增大导线的传输电流融冰,短路电流融冰,低居里温度磁环,低居里温度磁力线,使导线自身发热,温度升高。典型的热力除冰方法有1987年日本研制的电阻性铁磁线和1988年由武汉高压研究所研制的低居里磁热线。目前加拿大采用的方式有负荷转移融冰法、低电压或全电压短路法、隔离发电融冰法、直流电流融冰法等。湖南电网多年来都采取三相短路电流融冰,取得了不错的效果<sup>[4]</sup>。

### 3.2 机械除冰法

最早的机械外力除冰法有“ad hoc”法、滑轮铲刮法和强力振动法,其中滑轮刮铲法于1993年由加拿大提出,通过地面工作人员拉动可以在线路上行走的滑轮来达到铲除覆冰的目的<sup>[4]</sup>。近年来,加拿大在短距离线路或线路的重要交叉跨越档,主要使用智能机器等设备,借助直升飞机等先进工具,敲除输电线路导线上的覆冰<sup>[5]</sup>。

此外,采用电磁力或电脉冲使导线产生强烈而又在控制范围内的振动来除冰,对雾凇有一定效果,对雨凇效果有限<sup>[6]</sup>。

### 3.3 被动除冰法

利用风、地球引力、随机散射能和温度变化等大自然的外力脱冰的方法称为被动除冰法。一般来说,在工程上首先考虑这种方法。现已得到应用的有用平衡重量、线夹、除冰环、阻雪环、憎水憎冰涂料、风力锤等来减少

输电线路的覆冰，用安装防震锤等来减少导线的舞动<sup>[4]</sup>。

除了上述几种方法外，还有利用电磁脉冲、气动脉冲、电晕放电等防冰除冰方法，但很多还处于研究试验阶段。

## 4 电网防覆冰研究取得的主要成果

### 4.1 绘制输电线路覆冰分布图

2004 年，云南省电力设计院和云南省气象科学研究所合作完成的“滇东及滇东北地区输电线路覆冰区划研究”项目，以先进的理论和技术研究了滇东及滇东北地区输电线路覆冰天气气候条件及发生规律，研究在气候年际、年代际变化和全球气候异常条件下电线覆冰的区划分布和覆冰灾害风险概率。项目研究了覆冰区划的依据和标准，根据滇东及滇东北地区 22 个气象台(站)历年的观测资料和电力部门 73 条主要输电线路的设计运行经验及电信部门通信线路覆冰情况、电线覆冰观测资料及该地区冻结灾害史料，对电线覆冰的气候规律、形成原因及地形地貌对覆冰的影响进行系统的分析研究，并通过现场实地考察，提出较为切合实际的输电线路覆冰区划，为输电线路的设计和线路安全运行提供科学的气象依据。项目建立了电线覆冰模型和相关数据库，用气象数值模拟方法研究地形、地貌对电线覆冰的影响；用 GIS 地理信息系统二次开发技术和计算机可视化技术得到滇东及滇东北地区输电线路覆冰气候的信息化分布；绘制出该地区输电线路覆冰区划彩色电子图。

### 4.2 输电线路导线覆冰在线监测系统

西安交通大学电气工程学院提出的“基于全球移动通信系统(GSM)短信业务(SMS)的输电线路导线覆冰在线监测系统”，集成了气象条件监测(温度、湿度、风速、风向等)，进行覆冰载荷计算、覆冰生长机理、导线舞动、杆塔和金具强度校验以及绝缘子冰闪方面的理论研究，并借助现有的中国移动和中国联通强大的通信网络进行实时数据传输，结合专家知识库和各种理论模型给出冰情预报，以有效预防冰害事故。该系统于 2006 年 2 月在山西省忻州供电公司的重覆冰区安装试运行<sup>[7]</sup>。

由华中电网有限公司、湖北超高压输变电公司等单位共同研制完成的“输电线路覆冰在线监测系统”，集成了计算机技术、新能源技术、远程通讯技术及传感器技术，能及时有效地监测输电线路实时状况及各类数据，定性分析覆冰状况，定量计算导线荷载及覆冰厚度，指导专业管理人员快速掌握现场情况，获得的数据可为生产运行维护、事故分析及设计提供参考<sup>[8]</sup>。

### 4.3 输电线路直流融冰技术

2006 年，重庆电力科学研究院的技术人员从理论上验证了覆冰厚度、融冰时间和融冰电流之间的关系。并在重庆大学多功能人工气候室对输电导线进行了融冰模拟试验，对设计方案中涉及的直流融冰装置、谐波影响、铁塔受力及线路舞动等方面进行了细致的理论分析和仿真计算，并研制出了移动式“高压输电线路直流融冰装置”<sup>[9]</sup>。

此外，文献<sup>[10]</sup>提出了基于静止无功补偿器的交流输电线路融冰方法和策略。其工作原理是通过整流使输电导线流过一个很大的直流电流，该直流电流超过导线正常的工作电流，引起导线发热，从而使附着在导线上的冰、雪、雾凇等融化脱落，达到除冰的目的。不除冰时，装置也可作为 SVC 起到抑制暂态过电压、电压波动、改善电能质量的作用。

### 4.4 输电线路绝缘子冰闪防治措施的研究

2006 年底，湖南省电力试验研究院和重庆大学合作，从几个方面对绝缘子的覆冰及冰闪机理进行了研究，内容包括：

(1) 研究长串绝缘子冰闪的机理；泄漏电流的增大、局部电弧的产生、电场的分布不均等因素在长串绝缘子冰闪中的表现；结冰闪和熔冰闪的冰闪特性的差别。

(2) 绝缘子冰闪与绝缘子污秽的关联，绝缘子表面的污秽对冰层的渗透以及对冰闪的影响，冰水电导率是应该考虑冰表面还是整个绝缘子等问题。

(3) 绝缘子串长对覆冰后绝缘子串的电压分布和影响绝缘子冰闪电压的程度，绝缘子串长与冰闪电压的关系。

(4) 倒 V、大盘径绝缘子插花方式，防冰

涂料(PRTV)等防治冰闪措施的优劣及现场应用的局限性。

宝鸡供电局和陕西省电力科学研究院曾针对330 kV 输电线路绝缘子防冰闪措施进行试验和研究。以FC-100 A46型玻璃悬式绝缘子串(21片)为研究对象,在装设(4~5片)防冰罩或空气动力型绝缘子后,分别进行覆冰闪络特性试验,研究不同直径防冰罩对覆冰绝缘子串工频闪络电压的影响,并提出了具体的线路绝缘子串防冰闪措施。

中国电力科学研究院则用人工覆冰的方法模拟输电线路绝缘子串的覆冰生成和形态以及在工频闪络下的规律,研究了闪络电压和串长、冰层厚度、冰水电导率、污秽度的关系,以及憎水性涂料、有机合成绝缘子、混合绝缘子构成的悬垂串和V型悬挂方式对冰闪电压的影响等。否定了憎水性涂料、合成绝缘子的防冰闪作用,指出V型串有较高的冰闪电压,可以作为覆冰区防冰闪的措施之一。

## 5 结语

综上所述,我国对输电线路覆冰及相关抗冰技术的研究已取得不少成果,涉及覆冰区的监测和划分、高压输电线路直流融冰技术及装置、绝缘子防冰闪措施、防导线舞动治理、有机硅防冰涂料研发等。但仍有不少方面还需要进一步深入研究和落实,如:

(1)开展覆冰机理的研究,尤其是完善的覆冰预测模型,从而建设实用的覆冰在线监测预警系统。

(2)加强线路覆冰观测和微地形微气象数据的收集和分析,及时建立冰区数据库。

(3)研究先进实用的防冰、除冰新技术,如激光除冰、高频高压激励融冰、机器人除冰、防覆冰涂料、防覆冰特种导线等技术。

据悉,雪灾之后国家电网公司和南方电网公司已分别布署,展开了抗覆冰关键技术重大科技专项攻关。相信在不久的将来,我国的输电线路抗覆冰技术会再上一个新台阶。

## 参考文献:

- [1] 赵义亮. 连续作战 攻坚克难 夺取抗灾救灾全面胜利[J]. 浙江电业, 2008(1): 12-16.
- [2] 陈斌, 郑德库. 架空送电线路导线覆冰破坏问题分析[J]. 吉林电力, 2005(6): 25-27.
- [3] 李政敏, 庾振平等. 输电线路覆冰的危害及防治[J]. 电磁避雷器, 2006(2): 12-14.
- [4] 蒋兴良, 马俊等. 输电线路冰害事故及原因分析[J]. 中国电力, 2005(11): 27-30.
- [5] 输电线路除冰、防舞动技术考察报告[R]. 2005, 10.
- [6] 苑吉河, 蒋兴良等. 输电线路导线覆冰的国内外研究现状[J]. 高电压技术, 2003(1): 6-9.
- [7] 黄新波, 孙钦东. 导线覆冰的力学分析与覆冰在线监测系统[J]. 电力系统自动化, 2007(14): 98-101.
- [8] 杨又华, 覃绍先. 输电线路覆冰在线监测系统通过湖北省科学技术厅技术鉴定[J]. 高电压技术, 2007(2): 58.
- [9] 吉祥, 李杨. 覆冰融冰——重庆公司科技防覆冰攻关小记[N]. 国家电网报, 2007-12-7(3).
- [10] 常浩, 石岩, 等. 交直流线路融冰技术研究[J]. 电网技术, 2008(5): 4-6.
- [11] 蒋兴良, 杜轶, 林峰, 等. 持久性就地成型防污闪复合涂料对绝缘子覆冰及交流冰闪电压的影响[J]. 电网技术, 200832(1): 71-75.
- [12] 唐海军, 雷冬云. 短线路融冰方法及分析[J]. 湖南电力, 2006(6): 26-28, 33.
- [13] 徐青松, 侯炜, 王孟龙. 架空输电线路覆冰实时监测方案探讨[J]. 浙江电力, 2007, 26(3): 9-12, 45.
- [14] 胡毅. 输电线路大范围冰害事故分析及对策[J]. 高电压技术, 2005(4): 14-15.
- [15] 刘扩军. 凤滩水电厂防冻融冰工作实践[J]. 湖南电力, 2006, 26(6): 23-25.

收稿日期: 2008-05-26

作者简介: 曹岚(1969-), 女, 浙江嘉兴人, 高级工程师, 主要从事电力科技信息服务及管理工作。

(本文编辑: 龚皓)

# 欢迎刊登广告