

四川电网输电线路覆冰分析及防御措施

陈向宜, 何 朴, 刘明忠

(四川电力科学研究院, 四川 成都 610072)

摘 要:在介绍输电线路覆冰现象形成机理的基础上,通过对近期四川电网典型的输电线路覆冰事故的分析,总结出四川电网输电线路覆冰特点,并结合当今国内外防治冰灾的先进技术及四川电网现状,提出了四川电网输电线路覆冰事故的防御措施及建议。

关键词:四川电网;输电线路;覆冰;融冰;在线监测;应急机制

Abstract: Based on the formation mechanism of ice accretion in transmission lines the typical ice-coating accidents in Sichuan power grid are analyzed the characteristics of the ice-covered transmission lines are introduced then the protective measures and suggestions are proposed by considering the advanced technology and the actuality of Sichuan power grid

Key words: Sichuan power grid; transmission lines; ice accretion; sleet melting; online monitoring; emergency system

中图分类号: TM732 **文献标志码:** B **文章编号:** 1003-6954(2111)02-0041-03

0 引 言

四川水电资源丰富,随着西部大开发、西电东送电力发展战略的实施,±800 kV 向家坝—上海直流输电工程等的建设投产,丰富的水电资源需长距离输送到成都平原或华中以及华东地区,而水电主要集中在甘、阿、凉三州地区,水电送出通道条件相当恶劣,水电送出输电线路将经过峡谷、河流、微气象及雨凇多发地区,输电线路覆冰现象频繁发生^[1]。输电线路覆冰会导致线路冰闪跳闸、导线舞动和倒塔断线事故,严重威胁着电力系统的安全稳定运行^[2-4]。

1 输电线路覆冰形成机理

覆冰是一种受温度、湿度、冷暖空气对流、环流以及风等因素影响的综合物理现象。覆冰往往因为导线截面形状改变以及线路冰、风荷载增加而导致高压输电线路舞动、断线、倒塔,引起重大事故。迄今架空导线表面覆冰机理与防冰措施仍是未得到有效解决的科学技术难题,受到国内外研究者和工程技术人员的广泛关注^[5-7]。

(1)气候和气象条件的不同会导致线路覆冰以雾凇、积雪、雨凇和结霜等不同形式出现,其中雨凇(光滑透明的覆冰)因密度大、附着力强而危害最大,

处理最困难。不同覆冰形式具有不同物性,其中密度是造成架空导线不同程度附加荷载和危害的重要因素。覆冰本身物性的差异还会对覆冰形成过程的结冰速率、冰形以及融冰所需能量等产生重要影响。

(2)自然条件下,自然风除了会造成覆冰线路的舞动和驰振外,对覆冰形成过程以及最终的冰形也存在重要影响。较小风会使水汽随风吹到电线上,致使迎风面形成积冰迅速增长的态势而更有利于结冰的增长,而较大风则会因电线摆动而容易造成积冰边产生脱落现象。

(3)对于高压输电线路而言,除了电流产生的焦耳热效应对导线热平衡的影响外,不同电场强度对极性过冷水滴在导线附近的运动轨迹存在复杂的影响,进而影响到导线覆冰的结构和冰形^[9]。

目前对架空导线的覆冰过程和预测模型研究仍基本采用基于平衡热力学的能量分析方法,通过建立导线覆冰热力学能量平衡关系,获得导线表面结冰的判据、冰厚计算式和冰重增长率等参数。这种零维模型并不能揭示覆冰过程的特性和细节,不能体现相关作用因素的影响^[5]。对架空导线覆冰过程机理的深入分析和导线在一定气候环境下表面冰形的准确描述是进行预防、监测和事故处理的重要前提。同时,作为融冰的逆过程,深入揭示导线覆冰过程的机理,也是采取有效融冰措施的重要基础^[7]。面对日益严重的架空导线覆冰灾害,迫切需要在以往研究的基础

表 1 近期四川电网典型的输电线路覆冰事故

地区	时间	线路名称	电压等级 /kV)	气象条件	温度 /℃)	事故描述
泸州地区	2011 年 1 月	叙古线	110	雨雪、雨淞	-5~1	冰闪、倒塔
		西摩线	110	雨雪、雨淞	-5~1	冰闪、倒塔
	2008 年 1 月	东冲 I 线	220	雨雪、雨淞	-5~0	冰闪、跳闸
		东冲 II 线	220	雨雪、雨淞	-5~0	冰闪、跳闸
	2002 年 1 月	二普三线	500	雨淞	-3~1	冰闪、跳闸
凉山地区	2004 年 2 月	普洪一线	500	雨淞	-3~2	冰闪、跳闸
	2007 年 1 月	喜乐线	110	雨淞	-3~0	冰闪断线
		普天线	500	雨雪、雨淞	-5~1	跳闸
		普洪一线	500	雨雪、雨淞	-3~0	跳闸
	2008 年 1 月	普洪二线	500	雨雪、雨淞	-3~0	跳闸
乐山地区	2011 年 1 月	普叙线	500	雨雪、雨淞	-3~1	跳闸
		布坡三、四线	500	雨淞	-4~2	跳闸
		布坡一、二线	500	雨淞	-4~2	倒塔

上,对导线覆冰机理进行更加深入系统的探索,以期
为覆冰灾害的可靠预防和有效处理奠定科学基础。

2 四川电网近期输电线路覆冰事故分析

四川电网盆地周边水电送出线路有较大部分穿
越高海拔、重覆冰地区,运行条件恶劣,极易受天气变
化而发生覆冰故障,严重影响了电力系统的安全运
行,表 1 列出了近年来四川电网典型的输电线路覆冰
事故^[1-3,8,9]。

(1)2008 年 1 月 14 日起,冷空气进入四川省境
内,四川盆地普降大雪,尤其是大凉山、小凉山、小相
岭、岷山、夹金山、大雪山、马边、峨边、沐川等边远山
区,雨夹雪天气持续 20 余天,最低气温达 -7℃。大
范围、长时间降雪,使四川电网输电线路发生大面积
覆冰、舞动,覆冰厚度普遍超过 30 mm,局部地区最大
覆冰厚度达到 80 mm,远远超过设计值,导致多条输
电线路因覆冰倒塔、断线,被迫停运。

宜宾和泸州等地部分电网因覆冰导致 220 kV 和
110 kV 线路发生倒塔断线事故而停运,特别是 110
kV 叙古线和西摩线在冰灾中多处受损,共发生倒杆
3 基,导线和避雷线断线 30 余处,多处杆塔及绝缘
子、金具损坏等严重现象,导致泸州的古蔺、叙永地区
曾一度停电长达 10 日以上,对当地人民的生产生活
造成了较大的影响^[2]。

特别是从 2008 年 1 月 21 日到 27 日,短短一周
时间内包括跨区电网在内的 500 kV 普天线、普洪一
线、普洪二线、普叙线因覆冰严重,线路相继故障跳
闸,致使装机容量达 3 300 MW 的二滩电站电力外送
4 个通道全部中断。这是二滩送出工程自 1998 年 7

月投入运行以来最为严重的受损事件^[3]。

(2) 2011 年 1 月 5 日,四川省内部分地区发生
雨雪冰冻灾害天气,乐山、泸州、宜宾、广元、达州等地
出现降雪,四川电网部分输电线路出现覆冰情况。

1 月 5 日雨雪冰冻灾害造成 500 kV 布坡四回线
路相继全部跳闸,瀑布沟、深溪沟电厂停运,影响送出
电力 2 500 MW。事故造成布坡一线 141、142 号塔
(布坡二线 140、141 号同塔双回架设)倾倒,布坡二
线 143 号塔倾斜,布坡三线 144~145 号塔右侧架空
地线断线,布坡四线 149~150 号塔左侧架空地线断
线。四川正处于用电高峰,国家电网公司对此高度重
视,从华中、华东、西北电网紧急调配 2 070 MW 负
荷,解决四川电网的燃眉之急。

频繁的低温雨雪天气,对四川古蔺县高海拔重冰
区段电力线路安全运行造成不利影响。自 1 月 8 日
以来,古蔺县电力主动脉 220 kV 东冲一、二线相继出
现跳闸现象,输电线路覆冰达 40 mm,严重威胁着古
蔺电网的安全。

3 输电线路覆冰事故特点

通常,输电线路覆冰事故主要包括 4 种形式^[10]:
①严重覆冰引起过荷载;②不均匀覆冰或不同期脱冰
引起的张力差;③绝缘子覆冰之后绝缘强度下降引起
的闪络事故;④不均匀覆冰使导线舞动。

由于冰灾导致的覆冰线路故障已成为四川电网
历年来一季度的主要故障类型,对四川电网的安全运
行威胁较大。通过对近年来四川电网典型的输电线路
覆冰事故分析,可总结出四川电网输电线路覆冰事
故具有以下特点:

(1) 输电线路覆冰事故分布区域广、事故危害严重。统计资料显示, 凉山、阿坝、甘孜、雅安、乐山、泸州、宜宾等地区均有覆冰事故发生。四川电网输电线路覆冰故障主要集中在泸州古蔺地区及石雅崇、二滩、瀑布沟水电送出通道。

(2) 输电线路覆冰事故大多发生在雨淞气候条件下, 且温度稍低于 0°C , 主要原因是在各种覆冰类型中, 湿增长环境下形成的雨淞危害最大。

(3) 输电线路覆冰一般发生在每年冬季的 11 月到次年春季 3 月份期间, 主要集中在 1 月份。

(4) 同一地区、同一线路覆冰事故发生频繁, 如 500 kV 二滩送出线路运行十多年来在 2002、2004、2008 年多次发生覆冰事故。泸州古蔺地区 2008 年、2011 年多次发生线路跳闸事故。

(5) 在覆冰事故类型中, 绝缘子冰闪是发生最频繁的事故之一。对绝缘子覆冰引起的闪络事故应给予足够的重视。

4 输电线路覆冰事故防御措施及建议

(1) 合理提高输电线路防覆冰设防标准

在输变电工程设计阶段, 线路路径选择尽量避开重冰区, 并按差异化规划设计原则合理提高输电线路防覆冰设防标准, 加强输变电设备的防冰闪外绝缘配置, 提高输电线路抗冰能力, 以期对四川电网输电线路的覆冰事故进行预防。

(2) 加强对易发冰灾区域的监控, 建立四川电网输电线路覆冰在线监测系统

加强对甘、阿、凉地区水电送出通道及泸州、宜宾地区重冰区线路的运行维护, 认真分析线路沿线情况, 建立四川电网输电线路覆冰在线监测系统, 实现实时监测冰雪气候变化, 为恶劣气候下冰灾事故应急预案的即时启动提供可靠数据和信息。

(3) 制定适应四川电网特点的融冰方案

深入分析现有除冰、融冰技术, 对甘孜、阿坝、凉山、泸州、宜宾地区易覆冰线路进行重点分析, 根据四川电网特点, 研究制定合理有效的融冰方案, 为恶劣气候下冰灾事故应急预案的即时启动提供有效的控制手段。

(4) 建立四川电网抗冰减灾应急机制

在恶劣天气中加强输变电设备的特殊巡视, 及时消除设备安全隐患; 及时启动电网抗冰减灾应急预案, 积极应对恶劣天气; 健全事故抢修机制, 以保证在

最短时间内, 将事故造成的危害控制在最小范围内。

(5) 开展覆冰相关技术研究, 提高电网抗冰能力。结合覆冰试验、事故调研、现场监测、系统分析和仿真, 全面系统的开展输电线路覆冰机理、输变电设备覆冰闪络特性等方面的研究, 为输电线路的覆冰事故预防及电力系统的稳定运行提供理论依据。

5 结 论

在介绍近期四川电网典型的输电线路覆冰事故的基础上, 分析了四川电网输电线路覆冰特点。建议合理提高输电线路防覆冰设防标准、建立四川电网输电线路覆冰在线监测系统及电网抗冰减灾应急机制, 并开展覆冰相关技术研究, 提高四川电网抗冰减灾能力。

参考文献

- [1] 李龙江. 四川电网输电线路近年一季度故障原因分析及防治措施 [J]. 四川电力技术, 2010, 33(3): 87—91.
- [2] 陈松. 泸州地区输电线路覆冰的防范与处理措施 [J]. 四川电力技术, 2008, 31(增刊): 47—54.
- [3] 宁妍, 黄琦, 张昌华, 等. 架空输电导线覆冰及舞动在线监测技术综述 [J]. 四川电力技术, 2009, 32(6): 67—70, 94.
- [4] 李成榕, 吕玉珍, 崔翔, 等. 冰雪灾害条件下我国电网安全运行面临的问题 [J]. 电网技术, 2008, 32(4): 14—22.
- [5] 黄新波, 刘家兵, 蔡伟, 等. 电力架空线路覆冰雪的国内外研究现状 [J]. 电网技术, 2008, 32(4): 23—28.
- [6] 李庆峰, 范峥, 吴穹, 等. 全国输电线路覆冰情况调研及事故分析 [J]. 电网技术, 2008, 32(9): 33—36.
- [7] 许树楷, 赵杰. 电网冰灾案例及抗冰融冰技术综述 [J]. 南方电网技术, 2008, 2(2): 1—6.
- [8] 黎湘康, 魏长喜. 500 kV 重冰线路间隔棒运行中的损坏情况及治理 [J]. 四川电力技术, 2010, 30(4): 19—21, 72.
- [9] 魏长喜. 110 kV 线路覆冰防范措施及对策 [J]. 四川电力技术, 2010, 33(3): 30—32.
- [10] 李再华, 白晓民, 周子冠, 等. 电网覆冰防治方法和研究进展 [J]. 电网技术, 2008, 32(4): 7—13, 22.

作者简介:

陈向宜 (1976), 男, 工学博士, 长期从事电力系统稳定分析及直流输电技术研究。

何朴 (1956), 男, 教授级高工, 长期从事继电保护及直流输电技术研究。

刘明忠 (1962), 男, 高工, 长期从事继电保护及直流输电技术研究。

(收稿日期: 2011-01-30)