

架空输电线路设计冰区划分方法综述

郭新春

(中国电力工程顾问集团西南电力设计院有限公司,四川 成都 610021)

摘要: 冰区划分是架空输电线路设计的关键问题之一,对线路工程建设经济合理性及运行的安全可靠具有重要影响。针对目前国内输电线路设计冰区划分方法及应用进行了介绍,对其存在的问题和发展趋势分别进行了探讨和展望。

关键词: 输电线路;冰区划分;应用

Abstract: Zoning of icing area is one of the key issues for the design of overhead transmission lines, and has important impact on economic rationalization and operation reliability of power grid engineering. The zoning methods of icing area and its application are introduced aiming at the current transmission lines in China. The problems in engineering applications are discussed, and the development trend of icing survey is introduced.

Key words: transmission line; zoning of icing area; application

中图分类号: TM726 文献标志码: A 文章编号: 1003-6954(2017)05-0047-04

DOI:10.16527/j.cnki.cn51-1315/tm.2017.05.012

0 前言

导线覆冰指在一定的气象条件下,雨淞、雾淞、雨雾凇混合冻结物和湿雪凝附在导线上的现象。导线覆冰会导致导线和杆塔的荷载增加、迎风面积扩大,极易产生不稳定的弛振,常造成线路跳闸、闪络、扭转、断线、倒塔等事件,从而导致停电等事故。中国的电网建设从局部小区域发展到局部大区域,越来越多的输电线路开始穿越一些高山大岭的重冰区,电网冰灾开始大量出现,导线覆冰问题引起了国内学术界和工程设计人员的高度关注。随着全国电网的联网建设与西南水电建设的快速发展,高海拔山区输电线路覆冰问题将愈发突出,因此,架空输电线路设计冰区划分成为了线路抗冰安全设计的关键技术之一,对电网工程建设经济合理性及运行的安全可靠具有重要意义。

1 方法及应用

目前,国内电网工程规划设计中主要采用数理统计、历史覆冰调查等方法来确定线路设计冰厚,再结合其他参考资料确定冰区划分;尝试将数值模拟和数字冰区划分技术引入工程实践。

1.1 数理统计方法

数理统计方法是基于工程区域长系列实测覆冰数据,运用统计学的方法对覆冰量级进行分析,研究导出其概念规律性。在工程区域或邻近区域具有实测覆冰系列资料时,需搜集覆冰过程极值进行统计分析。首先按 DL/T 5509-2015《架空输电线路覆冰勘测规程》给出的公式计算标准冰厚,即将不同形状、不同密度的覆冰换算为标准状态下(覆冰横截面为圆形,密度为 0.9 g/cm^3)的冰体厚度。然后,根据标准冰厚数据系列进行频率计算,得到设计重现期下的标准冰厚成果。最后,按线路工程设计标准和布设条件进行设计冰厚计算,通过进行高度、线径、地形、走向等订正得到路径区段的设计冰厚成果。

在覆冰计算过程中,涉及到的覆冰密度、形状系数、高度换算、线径换算和地形换算等参数应由当地实测覆冰资料计算分析确定。无资料地区可按 DL/T 5509-2015《架空输电线路覆冰勘测规程》相关规定选用。

当工程区域内观冰站或高山气象站有10年以上的年最大覆冰观测资料时,观测站设计冰厚应采用频率计算方法确定。频率计算中概率分布模型应根据冰厚时间序列的分布特性选用,并应选择其中与观测数据拟合最佳的模型计算值作为测站设计冰厚采用值。覆冰概率分布模型应选用 P-III型、极

表1 峨眉山站标准冰厚超门限值出现次数泊松分布的 χ^2 检验

门限值/mm	统计年数	出现次数	年交叉率(λ)	统计量(U)	自由度(γ)	$\chi_{0.05}^2$	是否通过检验
9	39	168	4.307 7	14.409 3	8	16.507 0	否
10	39	122	3.128 2	14.392 4	6	12.592 0	否
11	39	94	2.410 3	7.084 6	3	7.815 0	是
14	39	39	1.000 0	5.471 9	2	5.991 0	是

值 I 型、GPD 型,也可选用威布尔、伽马及第一类贝塔等分布模型。

在观冰站或高山气象站覆冰观测年限仅有 5 ~ 10 年时,测站设计冰厚可采用广义帕雷托概率分布 (generalized pareto distribution, GPD) 模型计算^[1]。GPD 分布模型是一种极值概率分布模型, GPD 分布采用基于超门限值法 (peak-over-threshold, POT), 能充分利用有限样本信息, 增加极值样本量。其优越性为短序列覆冰设计冰厚的估计提供了理论基础。在 GPD 分布中, 通过超门限覆冰次数的泊松分布拟合检验, 结合 Hill 图解, 提出了 POT 抽样门限确定的方法。2008 年南方地区电网罕见冰灾后, 西南电力设计院有限公司采用 GPD 分布模型对导线覆冰冰厚极值概率分布模拟的适用性进行了专项研究, 结果表明, 中国导线覆冰冰厚极值的概率分布符合 GPD 模型, 其拟合精度高于以往常用的极值 I 型。

下面以峨眉山气象站为例, 采用 GPD 模型计算不同重现期的设计冰厚。利用峨眉山气象站积冰资料, 选取门限值, 得到相应超门限极值次数序列, 见表 1。再计算不同门限值下的 Hill 估计量, 考察 Hill 估计量随门限值的演变情况, 见图 1。

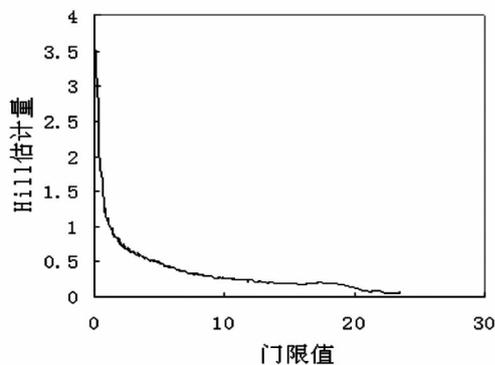


图1 峨眉山站标准冰厚的 Hill 图

结合图 1 中 Hill 估计量随门限值变化趋于稳定的点, 可以确定峨眉山的最佳门限值约为 11 mm。再利用峨眉山的超门限极值冰厚系列, 进行 GPD 模型重现期极值计算, 计算结果见表 2。

利用短期 1 ~ 5 年覆冰观测资料计算设计冰厚

表2 峨眉山站设计冰厚计算结果

重现期/年	设计冰厚/mm
15	23
30	25
50	27
100	29

的关键问题是确定短期实测最大覆冰的重现期。西南电力设计院有限公司应用覆冰相关气象要素与覆冰持续日数组成覆冰气象指数 (覆冰强度指数), 进行经验频率分析评估 2008 年罕见覆冰的重现期, 取得了较好的效果; 江苏省电力设计院基于覆冰强度概念, 提出了一种简单的适用于中、轻冰区的重现期分析模型^[2]。

覆冰气象指数频率分析方法中选择历年 (冬半年) 最大覆冰指数时, 基本资料处理及计算步骤如下:

1) 在每一个冬半年 (一般为 10 月至次年 3 月) 中, 选择日平均气温低于或等于 0℃ 的天气过程 (时段), 一个冬半年中的覆冰天气过程总个数记为 M 。选择的年数为 25 年。

2) 评定每一个覆冰天气过程中的主要覆冰气象要素对覆冰的贡献量。某日的覆冰气象指数等于各要素贡献量之和。覆冰主要气象要素对覆冰贡献量标准见表 3。

表3 覆冰主要气象要素对覆冰贡献量标准

气象要素	数值区间	贡献量
日平均气温 T /℃	$-4.0 \leq T \leq -0.5$	3
	$-6.0 \leq T < -4.0$	2
	$-10.0 \leq T < -6.0$	1
	其他	0
日平均相对湿度 H /%	$90 \leq H \leq 100$	4
	$70 \leq H < 90$	2
	$50 \leq H < 70$	1
	其他	0
日平均风速 V /($m \cdot s^{-1}$)	$0.3 \leq V < 3.0$	3
	$3.0 \leq V < 6.0$	2
	$6.0 \leq V < 15.0$	1
	其他	0

3) 一个覆冰过程的覆冰气象指数等于覆冰过程逐日覆冰气象指数之和除以覆冰过程总日数。在一个冬半年中可计算出 M 个覆冰气象指数。

4) 从一个冬半年的 M 个覆冰气象指数中选择最大者为该年最大覆冰过程相应的年最大覆冰气象指数。

5) 按照步骤 1) 至步骤 4) ,针对 25 个冬半年,逐一计算并选择年最大覆冰气象指数,可得到连续 25 年的最大覆冰气象指数统计样本。

6) 应用 25 年年最大覆冰气象指数样本进行频率计算,分析实测或调查覆冰值的重现期。

1.2 历史覆冰调查方法

历史覆冰调查方法是通过向工程区域有关部门和当地居民调查搜集历史覆冰情况、灾害记录和研究成果等来分析工程设计冰厚。当线路工程区域缺乏覆冰实测资料时,历史覆冰调查方法是解决输电线路冰区划分问题的重要手段。覆冰调查可以提供当地覆冰的定性情况和定量资料,并通过沿线地形、气候特征与当地气象资料综合分析,以及与邻近地区的实测覆冰资料进行地形、气候条件的类比分析,估算沿线标准冰厚。

覆冰调查资料包括:覆冰年份,调查覆冰点位置,覆冰点地形及海拔,覆冰附着物名称、直径、离地高度及与覆冰主导风向的夹角,覆冰后的长径,覆冰持续时间,覆冰形状及性质,覆冰时天气现象(雾天、雨天、雪天、阴天、晴天),覆冰灾害情况,资料可靠性评价等。

输电线路覆冰调查一般在沿线附近村镇居民点、厂矿、高山电视台、移动通信基站等进行,同时还要搜集相关省、市、县的低温、冰凌、降雪等有关资料。调查范围是规划线路的整个覆冰区段。调查点应选择能代表沿线地形特征的地点,如山间盆地、山脊、山腰、垭口等,此外,特别要注意布设不同高程的调查点,以了解不同高程的覆冰情况。对特殊地形点,如风口、迎风坡、山岭(山脊)、邻近湖泊等大水体的山地、盆地与山地的交汇地带等除进行覆冰调查外,还应作实地踏勘,绘制地形草图,辨明冬季主导风向,观察气候、植被情况,简测高程,初步估计该地的寒冷程度和降水量,以及覆冰的大小^[3]。

覆冰调查多为定性资料,定量资料也大部分为目测数据,误差较大,因此对覆冰调查资料要进行可靠性程度评价。可通过区域性的低温、冰凌、降雪天

气资料审查其发生时间是否一致;通过附近气象站实测资料和史料记载审查出现大覆冰的可能性;通过冰害情况审查其合理性。

1.3 数字冰区划分方法

数字冰区划分方法是基于覆冰、气象和地形数据,利用数字化和信息化技术手段获取工程区域覆冰空间区划。目前,架空输电线路的冰区划分主要是由人工整合相关信息完成。对于资料缺乏且不具备调查条件的偏远地区的重覆冰区域,通过传统方法解决资料短缺重冰区线路冰区划分问题较为困难。因此,采用新的技术手段来探索局部区域覆冰空间分布十分必要。

数字冰区划分主要有以下 3 种途径:1) 整合区域内覆冰实测、调查资料和地形数据,通过空间插值得到区域覆冰区划;2) 基于覆冰增长机理和观测实验数据,建立覆冰数学模型,模拟得到工程区域覆冰等级;3) 利用区域内大量覆冰和气象实测资料以及数字高程数据,建立覆冰量与气象或地形因子的数学关系,与地理信息平台相结合计算生产区域覆冰空间分布。

2008 年南方地区电网罕见冰灾后,国内科研和设计单位加强了导线覆冰观测与实验研究,提出了一些覆冰数学模型和数字化冰区成果。例如,西南电力设计院有限公司与高校合作,建立了二郎山区域覆冰数学模型以及基于地理信息系统(GIS)的数字冰区划分系统^[4],并在西南山区的重覆冰输电线路的勘测设计中进行了尝试性的应用,应用效果见图 2。

此外,气象部门基于大区域电线积冰和气象观测数据,建立覆冰与气象因子或地形因子的大、中尺度统计模型;电网企业与科研、设计单位合作,提出了所辖地区的大范围数字化冰区分布成果。

随着中国电网工程建设的快速发展,输电线路覆冰区划研究水平不断提高,但由于覆冰基础资料的缺乏,受尺度、精度和适用条件等限制,因此目前已建覆冰模型均存在一定局限性,难以大范围推广应用。

2 问题与展望

2.1 存在问题

尽管中国电网工程设计和建设历经高速发展,输电线路覆冰研究也取得了长足进步,但在导线覆

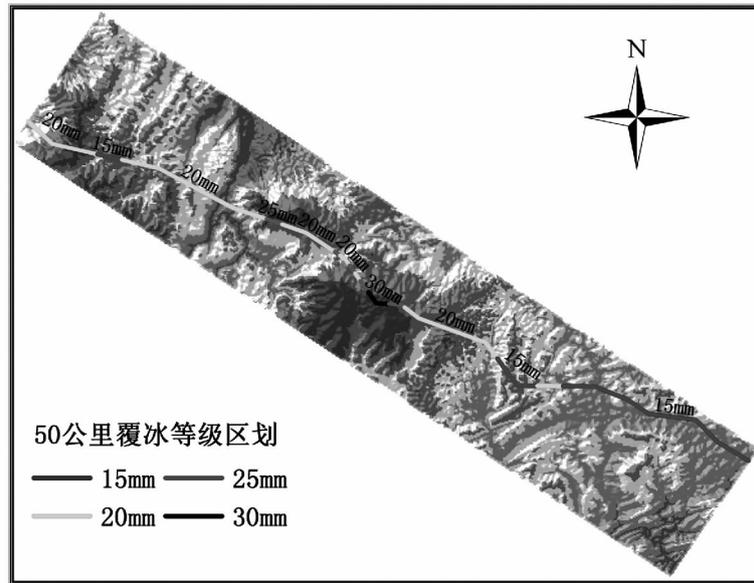


图2 西南山区某输电线路局部区段50年一遇冰区图

冰分布与区划研究中仍面临着一些问题,亟待解决:

1) 覆冰基础资料缺乏。目前中国具有电线积冰观测的气象台站相对较少,电力企业在电网易覆冰区域设立的观冰站点仍旧稀疏,而易覆冰地区输电线路一般位于山地,这些区域基本都是覆冰资料空白区,导致线路工程设计冰区划分缺少实测数据支撑。

2) 调查成果存在不确定性。对于无实测资料易覆冰区,输电线路设计冰区划分的传统方法是依据当地调查资料进行一系列换算得出。调查资料能准确地定性反映区域之间覆冰的严重程度,但要准确地定量反映区域覆冰分布、特别是地形复杂的山地覆冰分布,存在较大的不确定性。

3) 数字冰区划分技术存在局限性。目前覆冰数学模型与数字化冰区成果,受尺度、精度和适用条件等限制,难以直接应用于工程实践或进行大范围推广。

2.2 发展展望

覆冰对输电线路的经济可靠设计和安全稳定运行有着重要影响,随着西部大开发和“西电东送”的不断推进,高海拔山区输电线路覆冰问题将愈发突出,因此,输电线路设计冰区划分成为了电网设计的关键问题。归纳起来,输电线路覆冰分布与区划研究的发展趋势包括以下几个方面:1) 开展大范围覆冰观测与基础研究;2) 建立重点区域覆冰气象数据综合利用数据库;3) 加强新方法与新技术的研发与应用;4) 提高覆冰模型适用性与数字化冰区成果精

度。

3 结 语

随着中国西南水电开发以及长距离、大规模输电通道建设的持续推进,输电线路将不可避免地穿越西南山区的严重覆冰地带,线路覆冰问题将愈发突出,对设计冰区划分的准确性与可靠性寄予了更高要求。面对覆冰基础资料缺乏以及分析方法不确定性和局限性,亟须加大覆冰观测与基础研究的投入,推进新技术与新方法在输电线路冰区划分中的应用,为电网工程的经济合理建设与安全可靠运行提供强有力的技术支撑。

参考文献

- [1] 江志红,刘冬,刘渝,等. 导线覆冰极值的概率分布模拟及其应用试验[J]. 大气科学学报, 2010, 33(4): 385-394.
- [2] 潘晓春. 中、轻冰区输电线路设计冰厚分析计算[J]. 电力建设, 2008, 29(12): 31-33.
- [3] 金西平. 微地形微气候对电力线路覆冰的影响[J]. 供用电, 2008, 25(4): 17-20.
- [4] 熊海星,江志红,陈权亮,等. 输电线路覆冰研究及应用技术开发[R]. 成都:西南电力设计院, 2011.

作者简介:

郭新春(1983),高级工程师、博士,从事电力水文气象勘察和研究。

(收稿日期:2017-06-27)