

黄俊杰,周悦.湖北省地形因子对电线覆冰的影响研究[J].暴雨灾害,2015,34(3):254–259

HUANG Junjie, ZHOU Yue. The influence of topographic factors on wire icing in Hubei province [J]. Torrential Rain and Disasters, 2015, 34 (3): 254–259

湖北省地形因子对电线覆冰的影响研究

黄俊杰^{1,2}, 周悦³, 阮羚^{1,2}

(1. 国网湖北省电力公司电力科学研究院, 武汉 430077; 2. 国家电网公司高压电器设备
现场实验技术重点实验室, 武汉 430077; 3. 武汉区域气候中心, 武汉 430074)

摘 要: 利用1960—2011年湖北省81个气象站气象观测资料和湖北省2004—2012年220~500 kV高压输电线路覆冰事故资料以及海拔高度、坡度、坡向等9类地形数据信息资料, 给出风口、突出山体、迎风坡和背风坡4种特殊地形的判断指标, 分析特殊地形因子对电线覆冰的影响, 并对湖北省冰区分布图进行地形订正。结果表明: 风口判断指标为冬季(当年12月至翌年2月)日均风速大于 $8\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 的日数超过 $1.56\text{ d}\cdot\text{a}^{-1}$, 迎风坡判断指标为坡向 $0^\circ\sim 45^\circ$ 或 $315^\circ\sim 360^\circ$ 且坡度大于 10° , 背风坡判断指标为坡向 $135^\circ\sim 225^\circ$ 且坡度大于 10° , 突出山体判断指标为起伏度大于200 m且海拔高度大于起伏度; 4种特殊地形下冰厚订正系数分别为1.75、1.62、0.68和1.82; 风口处影响覆冰的主导气象因子为风速, 迎风坡处影响覆冰的主导气象因子为降水量, 突出山体处影响覆冰的主导气象因子为液水含量, 气温对3种特殊地形下的冰厚变化均有显著影响; 经过地形订正后的冰区图, 能更好地反映鄂西南山区、鄂北中部和西部等地受特殊地形影响而出现的较严重覆冰区。

关键词: 电线覆冰; 冰区图; 地形因子; 气象因子

中图法分类号: P426.3³ **文献标志码:** A doi:10.3969/j.issn.1004-9045.2015.03.008

The influence of topographic factors on wire icing in Hubei province

HUANG Junjie^{1,2}, ZHOU Yue³

(1. State Grid Hubei Electric Power Research Institute, Wuhan 430077; 2. State Grid Key Laboratory of On-site Test Technology on High Voltage Power Apparatus, Wuhan 430077; 3. Wuhan Regional Climate Center, Wuhan 430074)

Abstract: Based on the meteorological observations at 81 stations from 1960 to 2011, the icing accidents occurred along the 220–500 kV high voltage AC transmission lines from 2004 to 2012 and the 9 kinds of geographic data such as altitude, slope, aspect and so on over Hubei province, we have put forward the icing criteria for wind gap, prominent mountain, windward slope, and leeward slope, analyzed the influence of topographic factors to ice accretion, and made a topographic correction to division of wire icing area in Hubei. Results are as follows. The criteria for wind gap is that the day numbers of daily mean wind speed of greater than $8\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ exceed $1.56\text{ d}\cdot\text{a}^{-1}$ in winter (from December to February). For the aspect of windward slope it is $0^\circ\sim 45^\circ$ or $315^\circ\sim 360^\circ$ and with slope of larger than 10° , while for the aspect of leeward slope it is $135^\circ\sim 225^\circ$, with slope of larger than 10° , too. For prominent mountain it is that the topographic undulation is larger than 200 m and with an altitude of greater than undulation. Topographic-correction coefficients of wind gap, windward slope, leeward slope, and prominent mountain are 1.75, 1.62, 0.68, and 1.82, respectively. Leading meteorological factors of affecting icing process are wind speed at the meteorological stations located at wind gap, precipitation at the meteorological stations located at windward slope, and liquid water content at the meteorological stations located at prominent mountain. Air temperature is the most important meteorological factor in all of these three special topographies. The division map of wire icing area in Hubei after the topographic correction can better show the serious icing places in the southwest, central, and west areas of Hubei province affected greatly by special topographies.

Key words: wire icing; wire icing division map; topographic factor; meteorological factor

收稿日期: 2015-01-14; 定稿日期: 2015-06-16

资助项目: 湖北电力公司科技项目“基于卫星遥感和气象数据的输电系统典型风险分析及防灾关键技术研究”(15KJ029901C2011920140000)

第一作者: 黄俊杰, 主要从事电力信息系统研究及应用。E-mail: 153758781@qq.com

引言

随着我国社会经济快速发展,各行各业对电力的需求量越来越大;电力系统大电网、高电压建设发展趋势以及全球气候演变和我国气候变化现状对输电线路设计、建设、运行和维护提出了更高要求,使输电线路安全运行问题日显突出。近年来,我国以覆冰为代表的各类极端恶劣天气发生范围、频率和强度均呈显著增加趋势^[1-4],给电网运行造成的损失也呈快速上升趋势,其后果和影响更加严重^[5-6]。如2005年2月华中地区、2008年1月华中和华东地区发生的大面积雨雪冰冻天气,给电网系统造成的破坏范围之广、经济损失之大十分罕见^[7-9]。输变电设备覆冰已对电网安全稳定运行构成严重威胁,使线路的抗冰设计和防冰、除冰等方面的研究越来越重要^[10-12]。我国学者和科技人员针对导致电线覆冰出现的天气形势^[13-14]、气象要素^[15-16]和微物理特征^[17-18]进行了较多研究,而对影响覆冰的地形特征研究较少。

湖北省地表形态呈现西、北、东三面高凸,中南部低平,北有缺口、向南敞开的马蹄形环状不完整盆地,其西部主要为山地,而中部和东部为平原和丘陵,其中山地占全省国土面积的55.5%,丘陵占24.5%,平原占20%。同时,湖北电网是一个以500 kV电网为骨干、以220 kV电网为主体、辅以110 kV及以下电网覆盖全省城乡、供电人口达6 100多万的现代化大电网,且是三峡工程外送的起点、“西电东送”的通道、“南北互供”的枢纽、全国联网的中心,复杂的地形地貌特征使地形因子对该地区冰区分布的影响十分明显。因此,给出显著影响冰厚程度的特殊地形判断指标以及不同地形条件下冰厚修正系数和对覆冰的影响规律,将有助于给出准确的湖北省冰区分布特征,并为气象部门针对性地尝试覆冰预警、灾情评估以及为电力部门开展决策服务提供科学依据。

1 资料来源与研究方法

1.1 资料说明

本文用到的气象资料包括:全省81个国家气象观测站1960—2011年逐日气压、气温、水汽压、相对湿度、降水、蒸发、风向和风速等资料,1960—2011年武汉、利川、宜昌、十堰、丹江口、襄阳、荆州、黄石、钟祥、随州和仙桃等11个气象站以及2008—2011年湖北省其他70个气象站覆冰长短径和冰重观测资料,上述资料均取自湖北省气象局气象信息与技术保障中心。

高压输电线路覆冰事故资料源自湖北省电力公司年度统计报表,包括2004—2012年湖北省220~

500 kV高压输电线路倒塔、断线等分布在平原和山地等地形下的81次覆冰事故发生点及其经纬度。

另外,本文所用的地理信息资料包括海拔高程、河网信息、坡度、坡向、坡度变率、坡向变率、起伏度、粗糙度、表面照明度等9类地形数据信息(比例尺1:50 000),其范围仅限于湖北省。上述地理信息资料取自武汉区域气候中心。

1.2 研究方法

基于《中华人民共和国电力行业标准》^[19]中标准冰厚的换算公式,利用观测得到的覆冰长短径和冰重资料,对上述各站点冰厚作标准化处理;通过耿贝尔(Gumbel)极值I型分布函数,选用相对适中的重现期时间30 a,给出湖北省冰区分布特征。

(1) 标准冰厚换算。利用式(1)进行覆冰厚度标准化处理,即

$$B_0 = \left[\frac{\rho}{3.6} (ab - 4r^2) + r^2 \right]^{0.5} - r \quad (1)$$

式(1)中, B_0 为标准冰厚(mm); a 为覆冰长径(mm); b 为覆冰短径(mm); r 为导线半径(mm); ρ 为实测或调查的覆冰密度($\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$)。

(2) Gumbel极值I型分布。Gumbel极值I型分布函数^[20]为

$$F(x) = P(X_{\max} < x) = e^{-e^{-c(x-u)}} \quad (2)$$

由式(2)进而可得到超过保证率函数。Gumbel概率分布函数为

$$p(x) = 1 - e^{-e^{-c(x-u)}} \quad (3)$$

式(2)~(3)中, $F(x)$ 为极大值分布函数, $P(X_{\max} < x)$ 为极大值概率分布表达式, c 和 u 是极大值分布参数。进而,得到不同重现期覆冰厚度(b_T)的计算公式

$$b_T = \bar{b} - \frac{\sqrt{6}}{\pi} \left\{ 0.57722 + \ln \left[-\ln \left(1 - \frac{1}{T} \right) \right] \right\} \sigma_{n-1} \quad (4)$$

式(4)中, $\bar{b}$ 为冰厚平均值(mm), σ_{n-1} 为标准方差(mm), T 为计算的重现期。

2 结果与分析

2.1 特殊地形的判断指标

地形因子本身不能直接对覆冰的发生造成影响,但可通过有别于周围地形的特殊地形下的气象要素间接影响覆冰和覆冰量级。本文所指特殊地形,包括风口、突出山体、迎风坡和背风坡四种。对其判断指标分述如下。

2.1.1 风口的判断

统计上述湖北省各站冬季(当年12月至翌年2月)

出现大于不同风速阈值的日数,其结果见图1。从中可见,随风速增加,站日数呈指数规律递减,当风速阈值为 $8\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 时,站日数变化趋近于稳定。考虑到 $8\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 的风速对应蒲福风力等级(Beaufort scale)的4级与5级的分界上,因此取其为判断风口的风速阈值。进一步对统计时段内各台站达到 $8\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 风速阈值的年均日数进行排序(图略)发现,黄陂达到 $8\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 风速阈值的年均日数为1.56 d,比排在其后的公安(1.12 d)多出0.44 d,出现了“突发性”增长,因此,将 $1.56\text{ d}\cdot\text{a}^{-1}$ 作为风速阈值日数的判定标准。

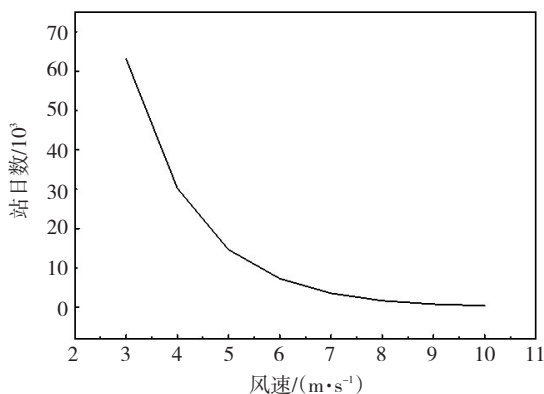


图1 1960—2011年冬季湖北省不同风速阈值下的站日数变化

Fig.1 Variation of station-day with different thresholds of winter wind speed in Hubei from 1960 to 2011

由统计结果可知,冬季日均风速超过 $8\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 的年均日数达到1.56 d的台站有荆门、大悟、应城、红安、云梦、钟祥和黄陂。结合这7个气象观测台站所在地理位置可知,其均出现在向北开口的峡谷状地形的出口。究其原因,当来自北方的冷空气过境时,两侧突出地形的挤压以及出口处风压能量的释放会使其风速明显增大,这符合维基百科对风口的定义^[21]:因地形关系,当空气流过此地,改变风压和风速,故使空气迅速通过此地而形成“风口”,相较于周围地区,风口内的风势较强。因此,认为荆门、大悟、应城、红安、云梦、钟祥和黄陂这7个站点具有“风口”地形特征。

2.1.2 迎风坡和背风坡的判断

对迎风坡和背风坡的判断,主要通过对覆冰发生期间气流主要来向的分析给出。观测资料显示,利川、钟祥和咸宁等地是湖北省的三个主要覆冰发生区域,这与电力部门统计的输电线覆冰倒塔、断线频发区域基本一致^[9, 22]。从文献[23]对利川、钟祥、咸宁和通山覆冰发生日气流来向的分析可知,来自北方的气团最易造成覆冰。因此,将朝向为 $0^\circ \sim 45^\circ$ 或 $315^\circ \sim 360^\circ$ 的坡面作为迎风坡的判断条件之一;同时,考虑到“迎风坡”出现在具有一定坡度的山地或丘陵地区,坡度

大小会影响站点受“迎风坡”地形影响的程度,其坡度越大,迎风坡对覆冰过程的促进作用越强,将坡度大于 10° 作为迎风坡的另一判断条件。据此统计,符合上述两个条件的具有“迎风坡”地形特征的站点有郧县、保康、五峰、通山和罗田。

与迎风坡相反,背风坡坡面朝向要求在 $135^\circ \sim 225^\circ$ 范围内,但其坡度越大,背风坡对覆冰过程的削弱越强;同时,要求其出现在山地或丘陵地区,且坡度大于 10° 。据此统计,符合上述两个条件的具有“背风坡”地形特征的站点有竹溪、兴山、神农架、三峡和长阳。

2.1.3 突出山体的判断

本文所谓突出山体的“突出”,是指观测站点位置海拔较高,受周围地形遮挡影响较小,且观测点附近气温较低,易于出现覆冰;“山体”是指观测站点位于山区,其地形在一定范围内起伏较大。因此,将海拔高度和地形起伏度作为突出山体的判断依据。

文献[24]中,根据起伏高度(H_f)对山地进行了分级命名并给出相应的划分指标,即:丘陵($H_f < 200\text{ m}$),小起伏山地($200\text{ m} \leq H_f < 500\text{ m}$),中起伏山地($500\text{ m} \leq H_f < 1\,000\text{ m}$),大起伏山地($1\,000\text{ m} \leq H_f < 2\,500\text{ m}$),极大起伏山地($H_f \geq 2\,500\text{ m}$);根据海拔高度(H),划分为低海拔($H < 1\,000\text{ m}$)、中海拔($1\,000\text{ m} \leq H < 2\,000\text{ m}$)、高中海拔($2\,000\text{ m} \leq H < 4\,000\text{ m}$)、高海拔($4\,000\text{ m} \leq H < 6\,000\text{ m}$)和极高海拔($H \geq 6\,000\text{ m}$),进而得到山地地形的基本判断条件为起伏度大于200 m。

综上所述,由于“突出山体”应高于周围环境地形,因此将其判断指标确定为起伏度大于200 m,且海拔高度大于起伏度,以避免将谷地误判为突出山体。据此统计,符合上述条件的具有“突出山体”地形特征的站点有五峰、绿葱坡、房县、神农架、保康、鹤峰、咸丰、宣恩和建始,其主要集中在鄂西北和鄂西南山区。

2.2 不同地形条件下覆冰订正系数

选取具有以上地形特征的站点的覆冰数据,结合文献[17, 25]中对湖北省冰区分布主要影响气象因子的相关研究,主要是通过将覆冰前两天到当天的主要影响气象因子分别与冰厚作相关分析,然后将通过显著性检验的因子挑选出来,进而得到用于建模的8个气象要素,即前2 d平均气温(x_1)、前1 d最高气温(x_2)、前2 d最低气温(x_3)、当天水汽压(x_4)、前1 d相对湿度(x_5)、前2 d最小相对湿度(x_6)、前2 d降水量(x_7)和前2 d平均风速(x_8);然后,将上述气象要素与标准冰厚(y)进行多元回归拟合,得到包含地形因子影响的覆冰模型

$$y = 0.540x_1 - 0.440x_2 - 0.040x_3 + 0.060x_4 - 0.027x_5 + 0.013x_6 + 0.030x_7 - 0.100x_8 \quad (5)$$

式(5)的复相关系数为0.60,通过0.01显著性水平

检验。可以认为,该模型计算得到的覆冰厚度受到了气象因子和地形因子的共同影响。

为了给出不包含地形因子影响的覆冰模型,基于式(5)中的8个气象要素,选取无地形特征站点的覆冰数据,将其与标准冰厚(y')进行多元回归拟合,得到不包含地形因子影响的覆冰模型

$$y' = -0.110x_1 - 0.490x_2 - 0.340x_3 - 0.335x_4 - 0.013x_6 + 0.270x_7 + 1.750x_8 \quad (6)$$

式(6)的复相关系数为0.49,通过0.01显著性水平检验。可以认为,该模型计算得到的覆冰厚度只受到气象因子影响。

分别利用式(5)、式(6)计算具有上述4种微地形站点的30 a重现期冰厚,认为由式(5)得到的计算结果是考虑了气象和地形因子的冰厚值,而由式(6)得到的计算结果则为仅考虑气象因子的冰厚值,将分别具有风口、迎风坡、背风坡和突出山体地形站点处的式(5)和式(6)计算冰厚进行对比分析,可得到这4种地形的冰厚修正系数分别为1.75、1.62、0.68、1.82。电力部门通过实际地形下覆冰勘测所得的风口、迎风坡、背风坡和突出山体地形的冰厚修正系数^[26]分别为2.0~3.5、1.2~2.0、0.5~0.8、1.5~2.0,计算得到的地形修正系数基本上与电力部门给出的范围相一致。

2.3 不同地形条件下主导气象因子

不同地形条件下各气象要素对覆冰过程的影响程度不同。为了进一步揭示风口、迎风坡和突出山体地形下不同气象因子的影响权重,从而得到地形因子组合特征对覆冰持续增长的影响,本文在基本覆冰模型所选取的8个气象要素($x_1, x_2, \dots, x_8$)的基础上,分别利用风口、迎风坡和突出山体代表站点钟祥、通山和绿葱坡的覆冰数据,以多元逐步回归拟合方法对建模参量进行筛选,分别得到风口(y_d)、迎风坡(y_w)和突出山体(y_p)地形的覆冰模型:

$$y_d = 0.250x_1 - 0.170x_2 - 0.110x_3 + 0.007x_5 + 0.100x_8 \quad (7)$$

$$y_w = -0.020x_2 + 0.420x_7 \quad (8)$$

$$y_p = 0.220x_1 - 0.640x_2 - 0.104x_4 + 0.108x_5 + 0.120x_7 \quad (9)$$

式(7)~(9)的复相关系数分别为0.73、0.95和0.71,均通过0.01显著性水平检验。

由式(7)~(9)三个覆冰模型可知,不同地形条件下各气象要素对覆冰过程的影响权重明显不同。对于风口地形,其覆冰过程主要受气温、相对湿度和风速影响,即前2 d平均气温(x_1)越高、前1 d最高气温(x_2)越低、前2 d最低气温越低(x_3)、前1 d相对湿度(x_5)越大和前2 d风速(x_8)越大,则覆冰厚度越大,风速和气温的影响权重处于同一量级,而水汽条件的影响明显偏小。

另外,从气温要素 x_1, x_2, x_3 的变化可知,风口处覆冰的发生受气温下降的影响显著,覆冰出现前2 d的平均气温和低温对覆冰厚度的作用相反,表明此时尽管仍以非覆冰天气为主,但夜晚已开始出现降温,且降温幅度越大,天气系统越强,进而导致越严重的覆冰;覆冰出现前1 d,低温进一步反映了导致覆冰的天气系统强度,低温越低,则覆冰日的冰厚越大。同时,尽管相对湿度的影响权重较小,但风口地形下大风天气频发,大风可为覆冰区补充其所需的水汽。

对于迎风坡地形,其覆冰过程主要受平均气温和降水量影响,即降水量增加和气温降低均有利于覆冰形成和增厚,但降水量的影响权重高气温的一个数量级,这明显反映出迎风坡地形的覆冰特征。迎风坡容易受到南下冷空气的直接作用,进而出现较低的气温和降水,尤其是冻毛毛雨和冻雨的出现,为覆冰天气和较厚覆冰形成提供了适宜条件。这与背风坡盛行下沉气流而增温、难以成云致雨且降水偏少的特征完全相反。其覆冰模型较好地反映出迎风坡降水充足、在适宜气温条件下即可出现覆冰的地形特征。

对于突出山体地形,其覆冰过程主要受温度条件和水汽条件影响,即前2 d平均气温、前1 d最高气温和前1 d相对湿度,其影响与风口地形类似。不同的是,最低气温和风速对突出山体地形覆冰过程无影响,取而代之的是水汽压和降水量,其覆冰模型中变量的这种变化正是突出山体地形中高海拔特征的显著体现,尤其是水汽压与相对湿度的作用相反,更加体现了突出山体的覆冰过程中云雨天气对覆冰增长的影响。处于突出山体地形下的气象站点发生电线覆冰时,往往受冷锋过境等天气形势的影响,冷暖气团交汇使其可为覆冰持续增长提供充足的过冷液水条件,这将明显减弱风速通过水汽输送而影响覆冰的程度,与风口地形相比,相对湿度的影响权重显著增加,而风速无影响;同时,高海拔站点较大的气温递减率和冷锋过境时的持续低温,使最低气温维持较低值,对覆冰厚度增长影响减弱,而最高气温则成为覆冰能否持续增长的重要因素,最高气温降低程度对覆冰增长影响急剧增加,一方面反映出导致覆冰出现的天气系统强弱,另一方面确保不出现某段时期气温高于或接近0℃而导致覆冰脱落。因此,最高气温影响权重明显增大,而最低气温影响权重为0。

值得注意的是,特殊地形下覆冰模型中各因子影响权重的改变不仅从宏观上反映了气象要素对覆冰过程的不同影响,而且对某些地形而言影响权重的变化也能反映微物理过程对覆冰增长的作用。其中,以“突出山体”地形最明显,由于其海拔高度较大,因此

造成覆冰形成的主要因素为过冷云雾天气及其带来的冻毛毛雨,而这种现象可用来更深入地诠释水汽压与覆冰厚度的负相关关系。覆冰当天的水汽条件通常会达到饱和,此时水汽压与气温呈正相关,而较低的气温能保证覆冰持续增厚,这从宏观上解释了水汽项权重的负影响;同时,水汽压变化可从另一方面反映导致覆冰形成气团中“冰晶效应”的强弱,水汽压较大时,气团中可能存在大量冰晶粒子,并导致过冷液滴不断蒸发消耗,进而减慢冰厚增长速度;反之,水汽压较小则表明气团中冰晶粒子较少,过冷液滴不会因“冰晶效应”而被消耗,还能为冰厚增长提供充足液态水,这从微观上解释了水汽项权重的负影响。

综上所述,不同地形的覆冰模型中影响冰厚变化的主要气象因子存在不同,且当影响权重不为0时,相同气象要素在不同覆冰模型中的作用一致,但其影响程度不同。其中,气温因子在3种地形的覆冰模型中均为重要影响因子之一,而其他因子在不同模型中则各不相同,风口地形下风速作用显著,“迎风坡”地形下降水量影响显著,而“突出山体”地形下液态水含量变化对覆冰持续增长影响显著。

2.4 冰区分布图的地形订正

使用基于气象因子建立的覆冰模型式(6),可得到湖北省30 a重现期的冰区分布,其结果详见图2。

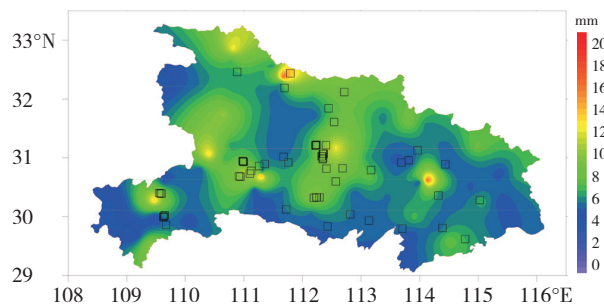


图2 基于气象建模的湖北省30 a重现期冰厚(色斑,单位:mm)与电力部门记录的电线覆冰事故发生地点(小黑框所示)分布

Fig.2 Distribution of ice thickness (color-filled, unit: mm) for the recurrence period of 30 years in Hubei based on meteorological model of ice accretion and wire-icing accidents (the black square frames denote the happening locations of wire-icing accidents recorded by electric power department)

从图2中看到,湖北省可能会出现较厚覆冰的区域主要位于鄂西南山区的恩施州、鄂西神农架林区和宜昌市、鄂西北老河口、鄂中荆门和钟祥一带以及武汉市。究其原因,一是高海拔山区气温较低,多植被覆盖使之水汽条件较好,极易出现电线覆冰;二是由于湖北省具有“马蹄状”地形特征,冷空气多会经过其

中部的荆门、钟祥一带影响湖北省,大风以及源源不断的水汽输送极易导致覆冰;三是这些地区周围存在着大量水体(如湖泊、水库、河流等)分布,受冷空气影响时也易出现覆冰天气。结合电力部门对高压输电线路覆冰事故(图2中小黑框所示)的统计结果可知,上述冰区图较好地反映了湖北省实际电线覆冰事故的分布特征,但图中无覆冰厚度在20 mm以上的重冰区,这与实际情况相比,冰厚估算明显偏小。

有研究^[18]指出,湖北省上述地区严重覆冰现象的出现,通常由局地微地形特征所致。因此,通过地形参数订正,能更便捷、准确地反映湖北省范围内可能出现的覆冰厚度分布。图3给出利用风口、迎风坡、背风坡和突出山体等4种微地形的冰厚订正系数,对湖北省30 a重现期冰厚分布进行地形订正后的结果。

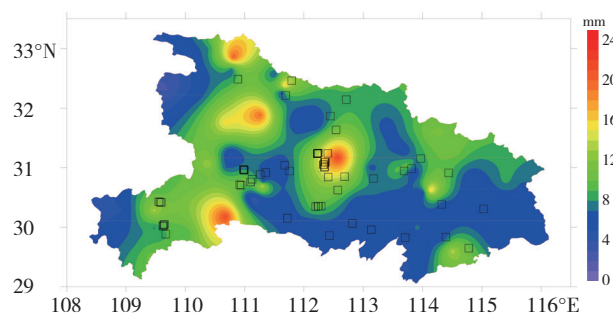


图3 经地形订正后的湖北省30 a重现期冰厚(色斑,单位:mm)与电力部门记录的电线覆冰事故发生地点(小黑框所示)分布

Fig.3 Distribution of ice thickness (color-filled, unit: mm) for the recurrence period of 30 years in Hubei after topographic correction and wire-icing accidents (the black square frames denote the happening locations of wire-icing accidents recorded by electric power department)

从图3中可见,相比图2中的结果,最大覆冰厚度明显增大;湖北省覆冰较重的区域主要分布于鄂西南山区、鄂北中部和西部,这些地区受突出山体、迎风坡和风口等特殊地形影响较大,鄂东大部覆冰较轻,但鄂东南受大量水体分布和山区的影响,出现了中冰区分布。

3 结论

本文利用1960—2011年湖北省81个气象站电线覆冰和气象观测资料与相关地形数据信息资料,给出了风口、突出山体、迎风坡和背风坡4种特殊地形的判断指标,分析了特殊地形因子对电线覆冰的影响,并对湖北省冰区分布图进行了地形订正。所得到的具体结论如下:

(1)“风口”地形判断指标为1960—2011年冬季日

均风速大于 $8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 的年均日数超过 1.56 d, 湖北省满足这一指标的具有“风口”地形特征的站点有荆门、大悟、应城、红安、云梦、钟祥和黄陂; “迎风坡”地形判断指标为坡向 $0^\circ \sim 45^\circ$ 或 $315^\circ \sim 360^\circ$ 且坡度大于 10° , 湖北省满足上述指标的具有“迎风坡”地形特征的站点有郧县、保康、五峰、通山和罗田; “背风坡”地形判断指标为坡向 $135^\circ \sim 225^\circ$ 且坡度大于 10° , 湖北省满足上述指标的具有“背风坡”地形特征的站点有竹溪、兴山、神农架、三峡和长阳; “突出山体”判断指标为起伏度大于 200 m 且海拔高度大于起伏度, 湖北省满足上述指标的具有“突出山体”地形特征的站点有五峰、绿葱坡、房县、神农架、保康、鹤峰、咸丰、宣恩和建始, 其主要集中在鄂西和鄂西南山区。

(2) 通过对比分析包含和不包含地形因子覆冰模型的冰厚估算结果, 得到风口、迎风坡、背风坡和突出山体的地形修正系数分别为 1.75、1.62、0.68、1.82, 其基本符合电力部门给出的外场修正系数经验值范围即 $2.0 \sim 3.5$ 、 $1.2 \sim 2.0$ 、 $0.5 \sim 0.8$ 、 $1.5 \sim 2.0$ 。

(3) 通过对比分析风口、迎风坡和突出山体地形下各气象因子影响权重的变化发现, 风口处影响覆冰的主导气象因子为风速, 迎风坡处影响覆冰的主导气象因子为降水量, 突出山体处影响覆冰的主导气象因子为液态水含量; 气温对 3 种特殊地形下的冰厚变化均影响显著。

(4) 对覆冰模型的地形订正能较好地突出鄂西山区和鄂中东部等受风口、迎风坡、背风坡和突出山体等地形影响显著地区的覆冰特征。

参考文献:

- [1] 胡毅. 输电线路大范围冰害事故分析及对策[J]. 高压电技术, 2005, 31(4): 14-15
- [2] 胡毅. 输电线路运行故障分析与防治[M]. 北京: 中国电力出版社, 2007
- [3] 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): 7-14
- [4] 龙立宏, 胡毅, 李景禄, 等. 输电线路冰害事故统计分析及防治措施研究[J]. 电力设备, 2006, 7(12): 26-28
- [5] 李崇银, 杨辉, 顾薇. 中国南方雨雪冰冻异常天气原因的分析[J]. 气候与环境研究, 2008, 13(2): 113-122
- [6] 蒋兴良, 易辉. 输电线路覆冰及防护[M]. 北京: 中国电力出版社, 2001
- [7] 杨靖波, 李正, 杨风利, 等. 2008 年电网冰灾覆冰及倒塔特征分析[J]. 电网与水力发电进展, 2008, 24(4): 4-8
- [8] 王遵娅. 中国冰冻日数的气候及变化特征分析[J]. 大气科学, 2011, 35(3): 411-421
- [9] 朱昌成, 阮羚, 汪涛, 等. 湖北电网输电线路冰害事故分析及应对措施[J]. 湖北电力, 2008, 32(增刊): 82-84
- [10] 黄新波, 孙钦东, 张冠军, 等. 线路覆冰与局部气象因素的关系[J]. 高压电器, 2008, 44(4): 289-294
- [11] 蒋兴良, 杜珍, 莫文强, 等. 重庆地区电网覆冰的海拔高度特征[J]. 高电压技术, 2011, 37(6): 1336-1342
- [12] 马俊, 蒋兴良, 张志劲, 等. 交流电场对绝缘子覆冰形成的影响机制[J]. 电网技术, 2008, 32(5): 7-11
- [13] 李灿, 张端禹, 冯明, 等. 南半球极端低温雨雪冰冻过程天气学特征分析[J]. 暴雨灾害, 2009, 28(4): 35-41
- [14] 李灿, 张礼平, 吴义城, 等. 南半球极端雨雪冰冻过程东亚冬季风环流特征及与 El Niño/La Niña 事件的关系[J]. 暴雨灾害, 2010, 29(2): 40-45
- [15] 谢运华. 三峡地区导线覆冰与气象要素的关系[J]. 中国电力, 2005, 38(3): 35-39
- [16] 阳林, 郝艳捧, 黎卫国, 等. 输电线路覆冰与导线温度和微气象参数关联分析[J]. 高电压技术, 2010, 36(3): 775-781
- [17] 朱坤, 刘华强, 丁守智, 等. 2008 年 1 月一次强降雪冰冻过程的数值模拟与分析[J]. 暴雨灾害, 2009, 28(2): 104-111
- [18] 贾然, 牛生杰, 李蕊. 鄂西电线积冰微物理特征的观测研究[J]. 气象科学, 2010, 30(4): 481-486
- [19] DL/T5462-2012 中华人民共和国电力行业标准[S]. 北京: 中华人民共和国电力工业部, 2012
- [20] 马开玉, 丁裕国, 屠其濮, 等. 气候统计原理与方法[M]. 北京: 气象出版社, 1993
- [21] 风口[EB/OL]. [2013-03-13]. <http://zh.wikipedia.org/wiki/>
- [22] 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
- [23] 周悦, 高正旭, 周月华, 等. 湖北省电线覆冰特征及其冰区划分[J]. 自然灾害学报, 2013, 22(6): 169-177
- [24] 李炳元, 潘保田, 韩嘉福. 中国陆地基本地貌类型及其划分指标探讨[J]. 第四纪研究, 2008, 28(4): 535-543
- [25] 夏智宏, 周月华, 刘敏, 等. 湖北省电线覆冰微地形因子影响识别研究[J]. 气象, 2012, 38(1): 103-108
- [26] 杨华. 输电线路冰区勘测方法[J]. 电力建设, 2011, 32(2): 13-18