

武辉芹,张金满,赵增保. 河北省输电线路冰害的气象要素时空分布特征[J]. 干旱气象, 2017, 35(6): 991-997, [WU Huiqin, ZHANG Jinman, ZHAO Zengbao. Spatial-temporal Distribution Characteristics of Meteorological Elements Causing Ice Disaster on Transmission Wires in Hebei Province [J]. Journal of Arid Meteorology, 2017, 35(6): 991-997], DOI:10.11755/j.issn.1006-7639(2017)-06-0991

河北省输电线路冰害的气象要素 时空分布特征

武辉芹,张金满,赵增保

(河北省气象服务中心,河北 石家庄 050021)

摘要:冰害是电网的主要气象灾害之一,电线积冰与雾凇和雨凇密切相关。利用1980—2009年河北省142个气象观测站的雾凇、雨凇日数和20个气象站的电线积冰、相对湿度、气温、风速及站点海拔高度,以及近年来输电线路冰害事故和附近区域站同期气温、相对湿度、风速等资料,采用逐步回归等统计分析方法,对雾凇、雨凇和电线积冰的时空分布特征、冰害与气象要素的关系进行分析,并构建电线积冰的逐步回归预报模型。结果表明:1980—2009年,河北省雾凇和电线积冰日数均呈现先升后降的阶段性变化特征,1980年代末至1990年代中期为一高峰期,而雨凇日数年变化特征不明显;在空间上,雾凇、雨凇多出现在平原地区,雨凇中心比雾凇中心更偏东。电线积冰与雾凇、雨凇以及站点海拔高度密切相关,相关系数分别为0.988 5、0.760 6、-0.601 8,但仅雾凇日数和站点海拔高度被引入电线积冰日数预报方程。对河北省电线线路冰害事故分析发现,当气温低于3℃时,导线可能出现舞动;导线舞动或冰闪时的相对湿度都在60%以上,舞动时风速大于 $5\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 。

关键词:雾凇;雨凇;电线积冰;积冰标准厚度;热岛效应

文章编号:1006-7639(2017)06-0991-07 DOI:10.11755/j.issn.1006-7639(2017)-06-0991

中图分类号:S427

文献标志码:A

引言

随着电网建设的迅速发展以及规模的急剧扩大,需要输电线路覆盖的区域日益增多,气象因素对电网安全的影响越来越明显。由2012—2014年全国330 kV输电导线运行情况统计可知,影响河北地区电网安全运行的气象因素有冰害、风害、雷害,尤其是北部冰害的掉闸率位居全国第三。电线积冰是产生冰害的根本原因^[1-2],电线积冰是雾凇、雨凇凝附在导线上或湿雪冻结在输电线路上的现象^[1],它可造成断线、杆塔倒塌等,在一定风向风速条件下还可引发电线覆冰舞动,导致电线鞭击、断股、线路跳闸等故障发生。2015年5月10日河北康保和沽源出现冻雨,导致电网大面积电线结冰,造成输电线路短路,甚至个别220 kV输电线倒杆,无法正常送电,电力输送受阻。

电线积冰具有地域性,国内众多学者针对不同

区域电线积冰的特征及天气过程进行了分析。顾光芹等^[3]分析了河北省电线积冰的时空分布及不同方位积冰特征,指出当出现较大强度电线结冰时,东西向导线结冰比南北向强度大。周绍毅等^[4]利用覆冰模型和GIS技术,得到广西输电线路覆冰随地理位置和海拔高度的立体变化特征。张婷^[5]分析了吉林省电线积冰的时空分布特征,得出吉林省的电线结冰主要以雾凇结冰为主,且中部较多。庞文保等^[6]和吴素良等^[7]指出,陕西省电线积冰以雨凇为主,并根据电线积冰分布特征绘制了冰区图。龚强等^[8]指出导致辽宁省电网冰害的积冰多由雨凇引起。以上结论多是基于各县市气象站的电线积冰观测数据,而实际上输电线路大多在野外,受外界复杂环境影响较大。本文根据河北省电力部门提供的导线覆冰事故资料,利用事故点附近的区域站观测资料,分析电线积冰的时空分布特征及其与气象要素的关系,使得气象要素指标更接近于真实情

收稿日期:2017-06-28;改回日期:2017-09-15

基金项目:河北省科技厅项目“电力微气象灾害监测与预报预警技术及体系建设研究”(16275409D)资助

作者简介:武辉芹(1973—),女,高级工程师,主要从事电力、交通专项气象服务。E-mail:1532650350@qq.com。

况,从而提高电力气象服务的针对性,对输电线路的设计、线路故障的预防以及安全运行具有重要意义。

1 资料和方法

1.1 资料

所用资料包括 1980—2009 年河北省 142 个气象观测站的雨淞、雾淞日数资料和 20 站逐日电线积冰及温度、相对湿度、风速资料,以及河北省电力公司提供的近年来输电线路冰害事故资料和同期区域站温度、相对湿度、风、降水等资料。

输电线路在野外,缺乏持续的气象要素观测,为使分析资料具有连续性,选取河北省 20 个气象观测站的电线积冰资料来分析电线积冰时空分布情况。气象观测站的电线积冰架由两组支架组成,一组呈南北向,另一组呈东西向,两组之间距离约 150 ~ 200 cm,并采用直径约 4 mm(又称 8 号)、长 100 cm 铁钢丝作为导线^[9]。积冰直径为垂直于导线切面上冰层积结的最大数值线,导线直径也包括在内^[9],以毫米(mm)为单位取整。积冰厚度是指导线切面上垂直于积冰直径方向上冰层积结的最大数值线^[9],以毫米(mm)为单位取整。电线积冰观测高度分 160 mm 和 220 mm 两种。

1.2 雨淞日、雾淞日和电线积冰日的定义

雾淞俗称树挂,是在严寒季节里空气中过饱和和水汽遇冷凝华而成。当某测站某日观测到雾淞,则定义该站为 1 个雾淞日。雨淞是指超冷却的降水碰到温度等于或低于 0 °C 的物体表面时所形成玻璃状透明或无光泽表面粗糙的冰覆盖层。当某测站某日观测到雨淞,则定义该站为 1 个雨淞日。当某测站某日在东西或南北方向积冰架观测到电线积冰时,则定义该测站在该日为 1 个积冰日。

1.3 资料处理方法

通常电线积冰观测的要素包括积冰直径、积冰厚度、积冰重量。由于电线积冰的形状非常不规则,每次积冰的密度也不同,为了便于比较,在导线覆冰为柱体均匀增长(均匀覆冰)假设下^[10-11],根据积冰重量和标准积冰密度^[12](我国规定标准积冰密度为 $0.9 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$)换算得到标准积冰厚度。其公式为:

$$\text{TH}_{\text{ice}} = \sqrt{0.3537 M + 4} - 2 \quad (1)$$

其中: TH_{ice} 是标准积冰厚度(mm); M 是积冰重量(g)。

2 结果分析

2.1 雾淞日、雨淞日和电线积冰日的气候特征

2.1.1 雾淞、雨淞和电线积冰日年变化

河北省地处华北、漳河以北,东临渤海,西为太行山地,北有燕山,地势总体上西北高、东南低。河北省气象站点东南部较北部密集。1980—2009 年河北省 142 个站共出现雾淞日 16 592 站次,雨淞日 1 064 站次,其中雾淞和雨淞日共存 133 站次。由图 1(a)看出,近 30 a 河北省雾淞出现的站次表现为 2 个明显的阶段性变化特征,在 1980 年代呈波动上升趋势,1990 年代中前期保持较高水平,而后快速下降,1990 年代末以后下降有所减缓,其中 1989 年达到最高为 1 243 站次;雨淞发生站次相比雾淞显著偏少,且年变化特征不明显,在 1980 年代中期出现次数较多,最多的 1987 年为 320 站次。

1980—2009 年,河北省 20 个电线积冰观测站共出现积冰日 2 035 站次,电线积冰日的年变化特征与雾淞日极其相似,也表现出 2 个明显的阶段性变化特征,即在 1980 年代呈波动上升趋势,1990 年代中前期保持较高水平,而后呈缓慢波动下降趋势,在 1989 年达到最多为 138 站次[图 1(b)]。电线积冰最大重量出现在保定为 163 g(1994 年 12 月 21 日),换算为标准积冰厚度约为 5.9 mm。

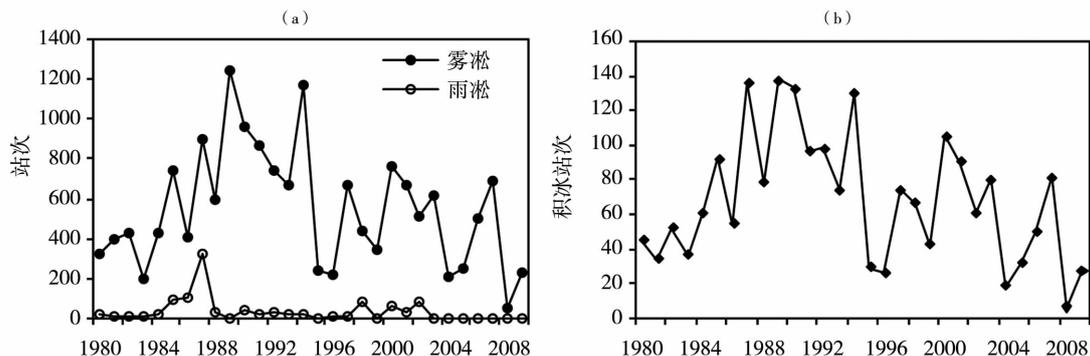


图 1 河北省 1980—2009 年雾淞、雨淞(a)和电线积冰(b)出现站次

Fig. 1 The station times of rime ice and glaze ice (a) and wire icing (b) in Hebei Province from 1980 to 2009

2.1.2 雾凇和雨凇日的空间分布

图2是1980—2009年河北省雾凇与雨凇日的空间分布。可以看出,河北省雾凇主要集中在东南部平原地带,其与大雾分布情况(图略)基本类似,秦皇岛、保定东部、石家庄东南部至邢台东北部为3个雾凇中心,张家口、承德出现雾凇的日数较少[图2(a)],其中唐山出现的雾凇日数小于秦皇岛,而大雾日数却大于秦皇岛。河北省雾凇日的空间分布特征与其地形密切相关,北部有燕山,西部有太行山,东南为平原,夜间在太行山东麓与平原交界处常有地形辐合线存在,导致来自东南沿海的水汽在其东南部聚集,有利于雾凇出现。雨凇日与雾凇日的

空间分布较相似,雨凇也是集中在东南部平原地区,分布区域较雾凇更偏东,也有3个中心,分别在邯郸东部、邢台东部和沧州西南部[图2(b)]。

2.1.3 称重电线积冰的空间分布

根据地面气象观测中电线积冰的观测要求,当所测单纯的雾凇直径达15 mm及雨凇、湿雪冻结物或包括雾凇在内的混合积冰直径达8 mm时,须测定积冰最大重量^[9]。利用公式(1)可得到电线标准积冰厚度。

根据电线积冰对电力的影响和河北省电线积冰的特点,以2 mm为界,分析其对应的气象要素特征。由表1可知,1980—2009年河北省20个电线

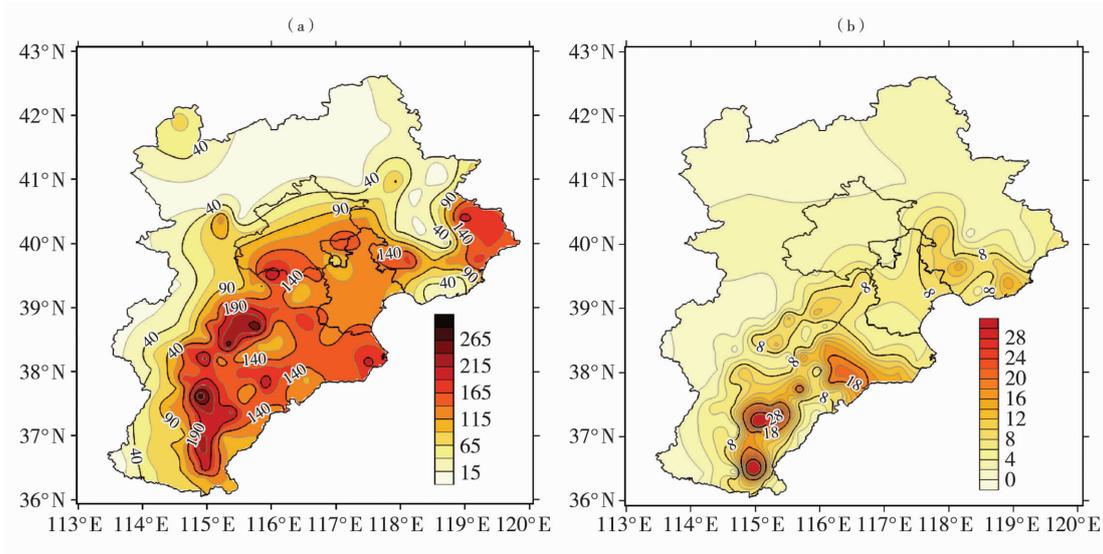


图2 河北省1980—2009年雾凇日(a)、雨凇日(b)的空间分布(单位:d)

Fig. 2 The spatial distribution of rime ice (a) and glaze ice (b) days in Hebei Province from 1980 to 2009 (Unit:d)

表1 1980—2009年河北省各站达到称重标准的电线积冰要素统计

Tab. 1 The element statistics of wire icing with weighed standard from 1980 to 2009 in Hebei Province

站点	电线积冰日数/ d	称重积冰日数/ d	最大标准 积冰厚度/ mm	称重积冰 所占比例 /%	站点	电线积冰日数/ d	称重积冰日数/ d	最大标准 积冰厚度/ mm	称重积冰 所占比例 /%
石家庄	84	5	3.1	6.0	泊头	50	1	3.0	2.0
邢台	67	5	1.5	7.5	黄骅	175	14	2.1	8.0
南宫	203	12	3.0	5.9	秦皇岛	8	0	0.0	0.0
邯郸	66	2	1.0	3.0	唐山	161	6	0.6	3.7
保定	146	6	5.9	4.1	乐亭	177	8	1.5	4.5
衡水	172	8	1.9	4.7	遵化	118	6	1.9	5.1
饶阳	223	12	2.3	5.4	张北	4	1	0.1	25.0
廊坊	119	6	1.3	5.0	蔚县	32	13	2.1	40.6
霸州	154	6	1.9	3.9	丰宁	1	0	0.0	0.0
沧州	68	2	1.3	2.9	承德	6	4	3.3	66.7

积冰观测站中共有 18 站出现称重积冰,合计 117 站次,其中南宫、饶阳、黄骅、蔚县出现称重积冰的日数在 10 d 以上,最多出现在黄骅为 14 d,最少出现在泊头,仅为 1 d;张北、蔚县、承德出现称重积冰的比例较大,承德最大为 66.7%。河北省称重积冰大部分由雾凇造成,但在石家庄、唐山、承德、张家口、沧州出现雨凇造成的电线积冰,尤其是承德、张家口的蔚县和唐山的遵化出现 3 次雨凇称重积冰,分别占总称重积冰次数的 75%、50% 和 23.1%。进一步分析发现,雾凇造成的 104 个称重电线积冰个例中,只有 7 个样本的标准厚度达到 2 mm 以上,且 2 mm 以上积冰日前一天均有降水出现,而雨凇造成的 13 个称重电线积冰样本中,有 6 个样本的标准厚度在 2 mm 以上,接近一半,由此可知雨凇造成的电线积冰对线路的影响远大于雾凇。

2.1.4 影响称重积冰的气象要素特征

选取达到称重积冰日的日平均相对湿度、日平均风速和日最高及最低气温,将相对湿度按照小于 80%、80%~90%、大于 90% 分为 3 个等级;将风速按照蒲福风力等级表^[13]分为 3 个等级,分别为:0 级(风速小于 0.3 m·s⁻¹),1 级(风速在 0.3~1.5 m·s⁻¹

之间),2 级及以上(风速大于 1.6 m·s⁻¹);将日最高气温按照小于 -5℃、-5~0℃、大于 0℃ 分为 3 个等级;将日最低气温按照小于 -15℃、-15~-10℃、大于 -10℃ 分为 3 个等级;将称重积冰按照标准厚度小于 1 mm、1~2 mm、大于 2 mm 分为 3 类,分别分析相对湿度、风速、日最高及最低气温与称重积冰标准厚度的关系。

图 3 是雾凇造成的称重积冰样本得到的气象要素与称重积冰标准厚度的关系。由图 3(a)可知,称重积冰标准厚度与日平均相对湿度关系密切,相对湿度小于 80% 的样本比例随积冰标准厚度的增加而减小,大于 90% 的相对湿度所占比例随着积冰标准厚度的增加逐渐增大,其中在小于 1 mm 的积冰样本中相对湿度大于 90% 以上的仅占 45.3%,而在 2 mm 以上积冰样本中相对湿度均在 90% 以上。经分析认为,同样温度条件下,气态水含量越大,气态水在凝结核上凝结或在冰核上凝华越多,从而增加了大气中的液态水含量^[14],有利于电线积冰。根据三类积冰厚度样本中不同等级风速所占比例[图 3(b)]可知,称重积冰出现时风速多为 1 级,风速过小或过大都不利于积冰出现。经统计,河北省电线积冰日

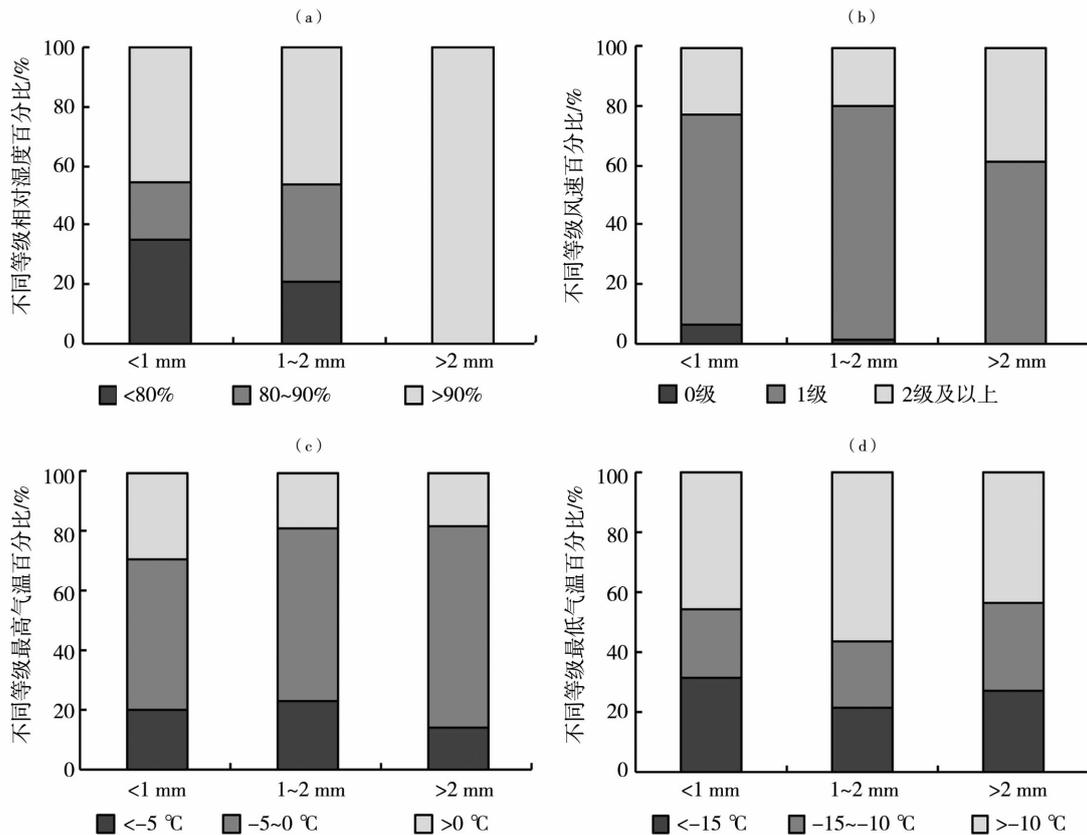


图 3 不同等级相对湿度(a)、风速(b)、最高气温(c)和最低气温(d)与称重积冰标准厚度的关系
 Fig.3 The relationship between relative humidity (a), wind speed (b), the maximum (c) and minimum (d) temperature with different levels and standard thickness of weighed wire icing

最高气温分布在 $-10.6 \sim 8 \text{ }^{\circ}\text{C}$ 之间,最低气温在 $-20.4 \sim -2.5 \text{ }^{\circ}\text{C}$ 之间。由图 3(c) 和图 3(d) 可知,气温变化与称重积冰厚度大小关系不明显,在三类称重积冰中,当日最高气温在 $0 \sim 5 \text{ }^{\circ}\text{C}$,日最低气温大于 $-10 \text{ }^{\circ}\text{C}$ 时有利于称重积冰出现^[15]。另外,对雨淞造成的称重积冰(图略)分析可知,雨淞出现积冰时,相对湿度多在 $50\% \sim 90\%$ 之间,比雾淞出现积冰时的相对湿度偏小,而平均风速雨淞比雾淞稍大,一般多在 $3 \sim 5 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 之间。

2.2 电线积冰日数回归模型

2.2.1 相关性分析

对 1980—2009 年河北省 20 站电线积冰日数与雾淞日数、雨淞日数及站点海拔高度进行相关性分析,发现电线积冰日数与雾淞日数、雨淞日数呈显著正相关,而与站点海拔高度呈显著负相关,相关系数分别为 0.9885 、 0.7606 、 -0.6018 ,均通过了 0.05 的显著性检验。

2.2.2 电线积冰日数回归模型

将雾淞日数(x_1)、雨淞日数(x_2)、站点海拔高度(x_3)作为自变量,采用逐步回归分析方法,确定电线积冰日数(y)的最优回归方程。其公式如下:

$$y = 3.4341 + 0.8745x_1 + 0.5968x_2 - 0.0158x_3 \quad (2)$$

经检验,各自变量的 t 检验值分别为 18.9761 、 1.4492 、 2.1437 。根据 t 检验临界值表可知, $F_{0.05} = 2.12$,故舍去雨淞日数自变量,重新构建回归方程:

$$y = 5.2170 + 0.9165x_1 - 0.0177x_3 \quad (3)$$

经检验,各自变量的 t 检验值分别为 24.81 、 2.37 ,此时 $F_{0.05} = 2.11$,自变量的 t 检验值均大于 2.11 ,说明剩余的自变量因子显著性水平高,均可入选回归方程。

2.2.3 电线积冰日数回归模型检验

根据公式(3),将有电线积冰站的雾淞日数和站点海拔高度代入方程,得到该站 1980—2009 年电线积冰日数的预报值。对比预报值与实况值(图 4)可知,二者相关性极强,线性拟合斜率为 1.000 ,相关系数达 0.9914 。因此,根据公式(3),利用雾淞日数和站点海拔高度,可得到 1980—2009 年河北省没有电线积冰观测站点的电线积冰情况。河北省电线积冰多出现在东部,即邢台东部、保定东部、衡水、沧州东部、廊坊、唐山等地,其中宁晋最多(图略)。

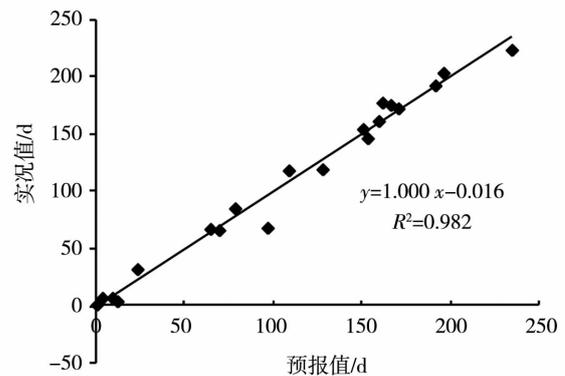


图 4 1980—2009 年电线积冰日数
预报值与实况值对比

Fig. 4 The comparison between the predicted and the observed days of wire icing from 1980 to 2009

2.3 实际导线覆冰分析

2.3.1 导线覆冰空间分布

冰害的表现形式有三类:一是覆冰;二是覆冰舞动,即覆冰导线在风的作用下产生低频、大幅度自激振荡;三是冰闪,即当覆冰融化时,绝缘子串表面易形成冰凌桥接,若此时绝缘子积污严重,易发生冰闪。根据电网冰害事故资料可知,冰害在张家口、承德、沧州东部以及太行山区出现较多,而平原地区较少,其中覆冰舞动集中在张家口中北部和沧州东部,线路类型是 200 kV 及以上,其他地区冰害类型为覆冰和冰闪,线路类型以 110 kV 居多。

2.3.2 导线冰害的气象条件

由表 2 可知,在沽源、张北、赤城发生的积冰导线舞动多出现在后半夜至早晨,舞动出现时站点的最低气温在 $0.5 \sim 2.8 \text{ }^{\circ}\text{C}$ 之间,并非在 $0 \text{ }^{\circ}\text{C}$ 以下。其原因是:一是输电导线在野外,而观测站位于县市或者乡镇,两地区存在热岛效应,热岛强度与人口密度大小、城市规模密切相关,同一地区冬季热岛效应比夏季明显^[16-17],且热岛强度在冬季 $03:00-08:00$ (北京时,下同)表现最为突出^[18-19],热岛强度一般在 $1 \text{ }^{\circ}\text{C}$ 左右,有的可达 $3 \text{ }^{\circ}\text{C}$;二是气象上的温度是指距离地面 1.5 m 高度的气温^[7],而野外输电导线的高度约为 40 m ,由于气温随高度升高而降低,因此输电导线处的气温比 1.5 m 处低 $0.3 \text{ }^{\circ}\text{C}$ 。因此,尽管测站观测的气温高于 $0 \text{ }^{\circ}\text{C}$,但由于两种原因的叠加使得在输电导线处的气温却低于 $0 \text{ }^{\circ}\text{C}$,出现导线结冰现象。另外,舞动时的相对湿度在 60% 以上,平均风速在 $5 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 以上。进一步分析舞动时的风速变化可知,在舞动出现前,风速对导线有一激励时段,如 2015 年 5 月 10 日 $00:00$ 至 11 日 $03:00$ 张北输电线路出现舞动,在 10 日 $18:00$ 以前风向为偏南

风,18:00开始转为偏西风,在19:00—23:00风速在 $5\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 以上,为风激励过程;23:00后出现舞动,舞动期间风速保持在 $4\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 以上(图5)。

冰闪多出现在中午至下午时段,气温在 -16.8

$\sim -3.1\text{ }^{\circ}\text{C}$ 之间,相对湿度也在60%以上,风速一般在 $3\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 以下(表2),为蒲福风力等级^[10]的1~2级。此外,导线发生冰闪和舞动时或前24 h内均有降水出现,降水形式有雪、雨夹雪或雨。

表2 舞动和冰闪出现时气温、相对湿度以及风速统计

Tab. 2 The temperature, relative humidity and wind speed under the dancing and ice flashing of wire icing in Hebei Province

时段	地点	气温/ $^{\circ}\text{C}$		相对湿度/%		风速/ $(\text{m}\cdot\text{s}^{-1})$			灾害类型
		最低	最高	最大	最小	最大	最小	平均	
2015年5月10日01:00—02:00	沽源	1.6	2.1	78	66	6.5	5.0	6.0	舞动
2015年5月10日06:00—16:00	沽源	0.5	2.8	93	89	12.2	6.8	9.4	舞动
2015年5月10日23:00至11日03:00	张北	0.7	1.8	78	72	7.6	5.0	5.8	舞动
2015年5月11日06:00—07:00	张北	1.1	2.6	72	69	5.9	5.3	5.6	舞动
2015年5月12日06:00—09:00	赤城	2.8	8.6	79	63	6.5	5.0	5.4	舞动
2015年11月20日10:00至25日11:00	涿鹿	-16.8	-0.5	94	67	3.6	0.3	1.6	冰闪
2012年3月4日14:00—16:00	涿鹿	-7.6	-6.9	86	85	2.9	2.4	2.6	冰闪
2015年2月20日12:00—15:00	赤城	-3.1	-1.6	81	79	2.0	1.0	1.6	冰闪

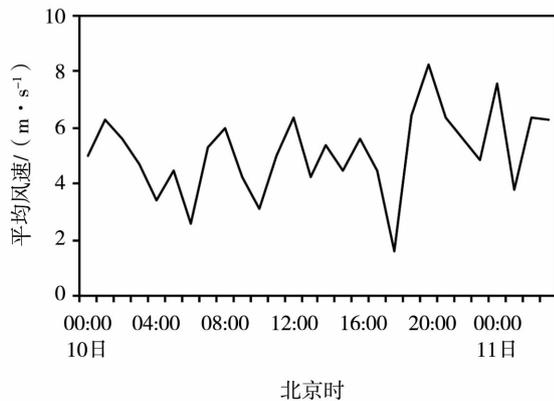


图5 2015年5月10日23:00至11日03:00导线舞动时风速变化

Fig. 5 The wind speed change during the dancing of wire from 00:00 BST on May 10 to 03:00 BST on May 11, 2015

3 小结

(1)河北省气象站导线积冰成因有雨淞、雾淞以及雨淞雾淞混合三种,其中以雾淞结冰为主。导线积冰的空间分布趋势与雾淞的基本相同,与测站海拔高度相关,在东南部平原地区较多,北部和山区较少。

(2)河北省北部达称重标准的导线积冰多由雨淞造成,尽管北部出现导线积冰的次数少,但一旦出现积冰,则达到称重标准的概率在25%以上,而其他地区仅有5%左右。一般说来,雨淞造成的导线

标准积冰厚度大于雾淞,说明雨淞积冰对导线的影响大于雾淞积冰;雨淞积冰出现时的风速略大于雾淞积冰出现时的风速,而前者的相对湿度略小于后者;日最高气温在 $0\sim 5\text{ }^{\circ}\text{C}$,日最低气温大于 $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时,有利于称重积冰出现。

(3)河北省电力冰害事故在张家口、承德、沧州东部以及太行山区出现较多,平原地区出现较少,其中覆冰舞动集中在张家口中北部和沧州东部,其线路类型是200 kV及以上,其他地区冰害类型为覆冰和冰闪,线路类型以110 kV居多。

(4)由于热岛效应和温度垂直变化的共同影响,当测站温度在 $0\sim 3\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时,输电线路也可能出现结冰现象。在导线舞动出现前,风速对导线有一激励时段,风激励时段和舞动时段的风速大多在 $5\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 以上,覆冰和冰闪时风速一般在 $3\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 以下。

参考文献:

- [1] 刘春城,李宏男,刘佼. 高压输电线路抗冰灾的研究现状与发展趋势[J]. 自然灾害学报,2012,21(1):155-162.
- [2] 王颖,王晓云,江志红,等. 中国电线积冰灾害危险性评估和区划[J]. 自然灾害学报,2012,21(3):110-118.
- [3] 顾光芹,田国强,周须文. 河北省电线积冰的气候特征及一次电线积冰天气过程分析[J]. 气象与环境科学,2012,35(1):8-13.
- [4] 周绍毅,苏志,秦军,等. 基于覆冰模型和GIS的广西输电线路

- 覆冰区划分研究[J]. 广西电力, 2010, 33(2): 11-13.
- [5] 张婷. 吉林省电线积冰的特征分析及气象条件初探[J]. 气象灾害防御, 2015, 35(3): 44-48.
- [6] 庞文保, 白光弼, 李建科, 等. 陕西省电线积冰区划[J]. 气象, 2012, 38(6): 733-739.
- [7] 吴素良, 蔡新玲, 何晓媛, 等. 陕西省电线积冰特征[J]. 应用气象学报, 2009, 20(2): 247-251.
- [8] 龚强, 汪宏宇, 蔺娜, 等. 辽宁省电线积冰特征与电网冰区划分研究[J]. 冰川冻土, 2010, 32(3): 549-556.
- [9] 中国气象局. 地面观测规范[M]. 北京: 气象出版社, 2003.
- [10] 谭冠日. 电线积冰若干小气候特征的探讨[J]. 气象学报, 1982, 40(1): 13-23.
- [11] 吴息, 孙朋杰, 刘渝, 等. 基于雾条件下能见度估算的导线覆冰气象模型[J]. 应用气象学报, 2012, 23(6): 755-763.
- [12] 中国气象局. 电线积冰气象风险等级(QX/T 355-2016)[S]. 北京: 气象出版社, 2016.
- [13] 中国气象局. 台风业务和服务规定[M]. 北京: 气象出版社, 2001.
- [14] 吴息, 胡欣欣, 王彬滨, 等. 贵州地区导线覆冰的混合淞覆冰模型[J]. 自然灾害学报, 2014, 23(3): 125-131.
- [15] 张翠花. 气象要素对电力污闪发生的影响[J]. 干旱气象, 2015, 33(1): 180-184.
- [16] 卞子浩, 马超群, 王迪, 等. 西安地区热岛效应与景观生态格局相关性研究[J]. 干旱气象, 2016, 34(2): 342-348.
- [17] 韩文堂, 陈学刚, 孙蓉花. 乌鲁木齐城市化进程对局地气候变化的影响研究[J]. 沙漠与绿洲气象, 2016, 10(6): 54-58.
- [18] 李润春, 崔建国, 牛俊玫, 等. 山西省阳泉市城市热岛效应特征分析[J]. 气象与环境学报, 2014, 30(2): 74-80.
- [19] 刘伟东, 尤焕苓, 孙丹. 1971-2010年京津冀大城市热岛效应多时间尺度分析[J]. 气象, 2016, 42(5): 598-606.

Spatial-temporal Distribution Characteristics of Meteorological Elements Causing Ice Disaster on Transmission Wires in Hebei Province

WU Huiqin, ZHANG Jinman, ZHAO Zengbao

(Public Meteorological Service Centre of Hebei Province, Shijiazhuang 050021, China)

Abstract: Ice disaster is one of the main meteorological disasters to the power grids, and the wire icing is closely related to rime and glaze. Based on the rime and glaze days at 142 meteorological stations, the observations of wire icing, relative humidity, temperature, wind speed and altitude at 20 meteorological stations during 1980-2009, and the ice disaster data of transmission wires and temperature, relative humidity, wind speed of nearby regional stations in the same period in recent years in Hebei Province, the spatial and temporal distribution characteristics of rime, glaze and wire icing days were analyzed by using statistical analysis method. And then the regression model of wire icing days was established by using stepwise regression analysis method. Finally, the relationships between ice disaster and meteorological elements were analyzed. The results show that rime and wire icing days existed obvious changes with rising first and then falling in Hebei Province during 1980-2009, and they reached a peak from the late 1980's to the middle 1990's, while glaze days didn't change obviously. In space, rime and glaze mainly occurred in the plain area of southeastern Hebei Province, and the center of glaze deviated eastward with respect to the central of rime. The wire icing days was significantly correlated with rime days, glaze days and station altitude, and correlation coefficients were 0.988 5, 0.760 6 and -0.601 8, respectively. However, rime days and station altitude were introduced to the regression model. The dancing of wire might appear when temperature was less than 3 °C. The relative humidity was more than 60% and above when wire was dancing or ice flashing, and wind speed was greater than 5 m · s⁻¹ in the former case. All of above provided some guidance to weather service of ice disaster on transmission wires.

Key words: rime; glaze; wire icing; standard thickness of wire icing; heat island effect