

# 陕西省电线积冰特征

吴素良<sup>1)2)</sup> 蔡新玲<sup>1)</sup> 何晓媛<sup>1)</sup> 毛明策<sup>1)</sup>

<sup>1)</sup>(陕西省气候中心,西安 710015)

<sup>2)</sup>(陕西省气象科学研究所,西安 710015)

## 摘 要

选用陕西省宝鸡、华山、洛川、吴旗、榆林 5 站 1980—2005 年电线积冰观测资料,分析了陕西省雨淞、雾淞及混合淞的分布特征与物理特性。结果表明:陕西省华山电线积冰最多、最大、最重。电线积冰以雨淞最多,雾淞次之,混合淞最少,分别占 55.2%,27.9%和 16.9%。各地积冰日多出现在 11 月至次年 3 月。雨淞、雾淞、混合淞的平均等效直径为 10~25 mm,极大值为 78 mm;平均质量为 86~236 g/m;华山积冰质量极值最大,为 1290 g/m;积冰平均密度为 0.22~0.34 g/cm<sup>3</sup>,混合淞最大,雾淞最小。南北向等效直径的平均值、积冰质量、密度均大于东西向。近 26 年,年最大积冰质量有增加的趋势。

**关键词:** 电线积冰;雨淞;雾淞;积冰日

## 引 言

雨淞、雾淞是一种分布广泛的自然现象。当气温在-3~0℃时,凝固过程较为缓慢,天空降下的雨滴或过冷却水滴可以在电线或其他附着物上展开,从而冻结密实且透明,成为雨淞。雨淞密度较大,在 0.6~0.9 g/cm<sup>3</sup> 之间。气温在-8~-3℃时,毛毛雨或冷雾滴冻结迅速,虽能附着,但来不及展开便已形成颗粒冰。这使得积冰由细小的冰粒组成,因冰粒之间的间隙充满空气而使冻结的冰层呈白色,这就是粒状雾淞。粒状雾淞密度较小,一般在 0.3~0.6 g/cm<sup>3</sup> 之间。当温度在-20~-10℃时,雾或轻雾的雾滴遇强冷的附着物而凝华,形成晶状雾淞,其密度最小,只有 0.01~0.08 g/cm<sup>3</sup>。雪降落时,当遇到近地面气温略高于 0℃的有利条件时,先是表层融化得以粘附着电线或地物,又因平衡能量使表层水再度凝结,从而在电线上不断增长,这就是所谓湿雪积冰,其密度为 0.1~0.7 g/cm<sup>3</sup><sup>[1]</sup>。

雨淞、雾淞的研究有多个方面,有的对其现象、观测进行研究<sup>[2-4]</sup>,有的对积冰的成因与规律进行研究<sup>[5-9]</sup>,应用研究则主要集中在电力<sup>[10-15]</sup>和航空<sup>[16-18]</sup>

等部门。本文对陕西省电线积冰的分布特征与物理特性进行了统计分析,并给出了不同地区电线积冰的极端质量,为架空输电线路的设计提供参考。

## 1 资料与方法

气象站积冰观测通常在电线积冰架上进行。电线积冰架一般由两组支架组成,一组呈南北向,一组呈东西向,两组之间距离以互不影响、方便操作为宜。每一组支架,包括两根支柱和两根导线。采用直径约 4 mm(又称 8 号)、长 100 cm 铁(钢)丝作为导线。有电线积冰观测任务的气象站,须视机测定每一次积冰过程的最大直径和厚度,取整数。当所测的直径达到以下数值时,尚须测定一次积冰最大重量,取整数:单纯的雾淞 15 mm,雨淞、湿雪冻结物或包括雾淞在内的混合积冰 8 mm<sup>[19]</sup>。气象站观测的电线积冰现象有雨淞、雾淞,本文将同时记有雨淞和雾淞的记录归为混合淞。

陕西省具有 5 年以上电线积冰观测记录的气象站共有 10 个,但观测年代差别很大,为了统一起见,本文选用 1980—2005 年宝鸡、华山、洛川、吴旗、榆林 5 站(图 1)连续电线积冰观测资料进行计算分析。

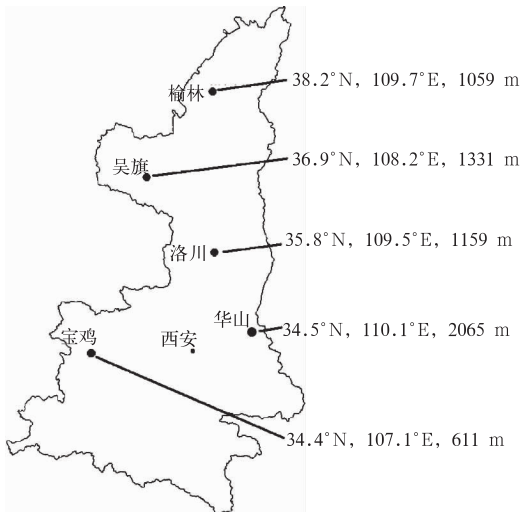


图1 陕西省5个电线积冰测站位置及海拔  
fig. 1 The location and altitude of 5 observatories with wire icing item in Shaanxi

假定电线积冰的截面为椭圆形<sup>[19]</sup>,其长径为 $a$ ,短径为 $b$ ,其等效直径为 $D$ ,积冰的质量为 $M$ 、导线的直径为 $\Phi$ 时,密度 $\rho$ 可表示为

$$\rho = \frac{4M}{\pi(D^2 - \Phi^2)} \quad (1)$$

由于实际观测中,电线积冰的形状是近似椭圆,计算会有一些误差。

## 2 陕西省电线积冰随时间变化特性

积冰日是指出现电线积冰的天数;连续积冰日是指连续出现电线积冰的天数。

表1是陕西省5测站1980—2005年积冰日统计。表1表明,华山各年积冰日最多,平均为40.3 d,年最长达56 d;其他地区年积冰日较少,平均为0.5~4.2 d,年最多积冰日为4~12 d。最长连续积冰日为华山,达15 d。宝鸡最短,只有2 d。从陕西省积冰的类型来看,雨淞最多,雾淞次之,混合

表1 1980—2005年陕西省5测站积冰日统计(单位:d)

Table 1 The characteristic of icing days of 5 observatories in Shaanxi from 1980 to 2005 (unit:d)

地点	年最多积冰日	年最少积冰日	最长连续积冰日	合计	平均
宝鸡	4	0	2	13	0.5
华山	56	20	15	1047	40.3
洛川	12	0	3	108	4.2
吴旗	8	0	4	58	2.2
榆林	8	0	3	34	1.3

淞最少,所占比例分别为55.2%,27.9%和16.9%。陕西省年积冰日近26年有明显减少的趋势,平均每年约减少1 d。

表2是陕西省5测站各月平均积冰日。表2表明,陕西省积冰日出现在10月至次年5月,11月至次年3月较多。华山3月积冰日最多,平均有8.15 d,宝鸡、吴旗以12月最多,分别为0.27 d和0.63 d,洛川、榆林则以1月最多分别为1.19 d和0.62 d。

表2 陕西省5测站1980—2005年月平均积冰日(单位:d)

Table 2 The monthly average icing days of the 5 observatories in Shaanxi from 1980 to 2005 (unit:d)

月份	宝鸡	华山	洛川	吴旗	榆林
10月	0	1.88	0.08	0.06	0
11月	0.08	5.73	0.54	0.41	0.04
12月	0.27	6.27	0.73	0.63	0.42
1月	0.04	7.54	1.19	0.34	0.62
2月	0.08	7.96	0.77	0.22	0.15
3月	0.04	8.15	0.81	0.13	0.08
4月	0	2.42	0.04	0.03	0
5月	0	0.31	0	0	0

## 3 陕西省电线积冰物理特性

表3为陕西省雨淞、雾淞、混合淞等效直径谱。从表3可以看出,雨淞、雾淞、混合淞的等效直径多集中在10 mm及以下,其次集中在11~20 mm。南北向混合淞的平均等效直径最大,为25 mm,东西向雨淞的平均等效直径最小,为10 mm;南北向等效直径的平均值均大于东西向;东西向雾淞等效直径极值最大,为78 mm,东西向雨淞等效直径极值最小,为58 mm。除南北向混合淞等效直径的众数为6 mm,15 mm外,其余皆为5 mm。

陕西省雨淞、雾淞、混合淞质量谱见表4。从表4可知,雨淞、雾淞、混合淞的质量多集中在50 g/m以下,众数介于25~85 g/m之间,平均质量为86~236 g/m;南北向混合淞质量极值最大,为1290 g/m,平均值也最大,为236 g/m,南北向雨淞质量极值次之,为1150 g/m,南北向雾淞质量极值最小,为640 g/m;雨淞、雾淞、混合淞南北向的质量均值都大于东西向。

陕西省雨淞、雾淞、混合淞密度谱见表5。从表5可知,电线积冰密度的众数在0.10~0.27 g/cm<sup>3</sup>之间,平均密度在0.22~0.34 g/cm<sup>3</sup>之间,且以混合淞平均密度最大,雾淞最小;南北向密度比东西向

大。极端最小密度为雨凇,密度为  $0.02 \text{ g/cm}^3$ 。表 5 中有 3 个数据大于冰的密度,说明存在误差。与通常值相比,陕西省雨凇平均密度偏小。

陕西省宝鸡、华山、洛川、吴旗、榆林 1980—2005 年最大电线积冰质量分别为 13,1290,94,25,25 g/m。1982 年 5 月 12 日华山出现积冰质量极

值,该日日平均水汽压为 56 hPa,其温度适宜,为  $-0.8 \text{ }^\circ\text{C}$ ,风速大,为 6.5 m/s,湿度大,为 96%,降水量多达 29.6 mm,有利于积冰的增长。趋势分析还显示,近 26 年陕西省最大积冰质量有逐年增加的趋势。

表 3 1980—2005 年陕西省雨凇、雾凇、混合凇不同等效直径频数分布

Table 3 The distribution of equivalent diameters of glaze, rime and glime in Shaanxi from 1980 to 2005

等效直径 /mm	雨凇		雾凇		混合凇	
	南北向	东西向	南北向	东西向	南北向	东西向
$\leq 10$	372	380	152	174	28	39
11~20	91	92	57	45	26	28
21~30	41	41	22	15	12	19
31~40	20	16	9	12	19	13
41~50	8	6	6	4	16	8
51~60	2	2	5	0	6	1
61~70	3	0	1	0	2	1
71~80	0	0	0	2	0	0

表 4 陕西省 1980—2005 年雨凇、雾凇、混合凇不同质量频数分布

Table 4 The distribution of mass of glaze, rime and glime in Shaanxi from 1980 to 2005

质量/( $\text{g} \cdot \text{m}^{-1}$ )	雨凇		雾凇		混合凇	
	南北向	东西向	南北向	东西向	南北向	东西向
$\leq 50$	85	75	41	24	21	35
51~100	32	28	20	19	21	10
101~150	13	20	7	7	9	10
151~200	16	5	6	8	9	8
201~250	6	7	7	3	1	7
251~300	2	1	1	1	3	3
301~350	3	2	4	1	5	0
351~400	4	1	1	2	7	1
401~450	0	1	2	0	2	0
451~500	2	1	3	0	5	4
501~750	4	1	1	1	10	3
751~1300	4	0	0	0	3	0

表 5 陕西省 1980—2005 年雨凇、雾凇、混合凇不同密度频数分布

Table 5 The distribution of density of glaze, rime and glime in Shaanxi from 1980 to 2005

密度/( $\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$ )	雨凇		雾凇		混合凇	
	南北向	东西向	南北向	东西向	南北向	东西向
0.01~0.1	27	30	5	8	3	2
0.11~0.2	61	50	37	28	14	19
0.21~0.3	33	40	23	22	31	26
0.31~0.4	28	9	14	4	19	16
0.41~0.5	9	2	10	3	16	12
0.51~0.6	7	4	2	0	5	3
0.61~0.7	3	3	1	1	3	1
0.71~0.8	2	3	1	0	4	0
0.81~0.9	0	1	0	0	0	1
$>0.9$	1	0	0	0	1	1

## 4 小结

1) 对 1980—2005 年陕西省宝鸡、华山、洛川、吴旗、榆林 5 站的电线积冰资料分析表明:华山电线积冰日最多,年均 40.3 d,持续时间也最长,为 15 d。积冰日多出现在 11 月至次年 3 月。全省雨淞、雾淞、混合淞积冰日所占比例分别为 55.2%, 27.9% 和 16.9%。

2) 陕西省雨淞、雾淞、混合淞的平均等效直径介于 10~25 mm,最大等效直径为 78 mm;雨淞、雾淞、混合淞的平均质量为 86~236 g/m;平均密度为 0.22~0.34 g/cm<sup>3</sup>,混合淞最大,雾淞最小。雨淞、雾淞、混合淞的南北向等效直径、质量、密度的平均值均大于东西向。

3) 宝鸡、华山、洛川、吴旗、榆林近 26 年最大电线积冰质量分别为 13, 1290, 94, 25, 25 g/m, 以华山最大。

### 参考文献

- [1] 朱瑞兆, 孙立勇, 杨捷, 等. 应用气候手册. 北京: 气象出版社, 1991: 291-309.
- [2] 张国庆, 张加昆, 祁栋林, 等. 青海东部电线积冰的初步观测分析. 应用气象学报, 2006, 17(4): 508-510.
- [3] 丁国超. 固态降水及冬季冻结现象的观测. 气象, 2005, 31(1): 86.
- [4] 中国气象局. 地面气象观测数据文件和记录簿表格式. 北京: 气象出版社, 2006: 18-31.
- [5] 王守礼, 李家垣. 云南高海拔地区电线覆冰问题研究. 昆明: 云南科技出版社, 1993: 101-103.
- [6] 刘和云, 周迪, 付俊萍, 等. 导线雨淞覆冰预测简单模型研究. 中国电机工程学报, 2001, 4: 46.
- [7] 王守礼, 李家垣. 电力气候. 北京: 气象出版社, 1994: 48.
- [8] 马明亮, 张国庆. 青海东部一次电线积冰过程的模拟研究. 青海气象, 2007, 1: 16-19.
- [9] 罗宁, 文继芬, 赵彩, 等. 导线积冰的云雾特征观测研究. 应用气象学报, 2008, 19(1): 91-95.
- [10] 廖祥林. 导线覆冰性质分类和密度浅析. 电力建设, 1994, 15(9): 17-25.
- [11] 谢运华. 导线覆冰密度的研究. 中国电力, 1998, 31(1): 46-51.
- [12] 苑吉河, 蒋兴良, 易辉, 等. 输电线路导线覆冰的国内外研究现状. 高压电技术, 2003, 30(1): 6-9.
- [13] 蒋兴良. 带电导线覆冰及电场对导线覆冰的影响. 高电压技术, 1999, 25(2): 58-60.
- [14] 杨树林. 四川西部及西南部导线覆冰问题分析. 电力勘测, 1997, (12): 47-51.
- [15] 蒋兴良. 输电线路导线覆冰机理和三峡地区覆冰规律及影响因素研究. 重庆: 重庆大学, 1997.
- [16] 李子良, 潘徽多. 飞机积冰预报应用软件. 气象, 1996, 22(12): 17-19.
- [17] 迟竹萍. 飞机空中积冰的气象条件分析及数值预报试验. 气象科技, 35(5): 714-717.
- [18] 陈静, 吕环宇. 一次对流不稳定条件下飞机积冰的天气动力诊断分析. 气象, 2006, 32(12): 66-71.
- [19] 中国气象局. 地面气象观测规范. 北京: 气象出版社, 2003: 96-100.

## The Characteristic of Wire Icing in Shaanxi Province

Wu Suliang<sup>1)2)</sup> Cai Xinling<sup>1)</sup> He Xiaoai<sup>1)</sup> Mao Mingce<sup>1)</sup>

<sup>1)</sup> (Climate Center of Shaanxi Province, Xi'an 710015)

<sup>2)</sup> (Meteorological Institute of Shaanxi Province, Xi'an 710015)

### Abstract

Wire icing data at Baoji, Huashan, Luochuan, Wuqi and Yulin in Shaanxi observatories from 1980 to 2005 are analyzed to study the characteristics. When glaze and rime happen at the same time, it is taken as glime. Analyzing results shows Huashan has the most icing days annually, 40.3 days on average, while other observatories have 0.5 to 4.2 icing days on average. In Shaanxi, glaze is the most, rime is the second and glime is the least, taking the ratio of 55.2%, 27.9% and 16.9%, respectively. The icing days mainly concentrate from November to March. Huashan has the most icing days in March. Baoji and Wuqi have the most icing days in December. Luochuan and Yulin have the most icing days in January. The average equiv-

alent diameters of glaze, rime and glime of Shaanxi are between 10 to 25 mm. The maximum equivalent diameter is 78 mm. The average masses are between 86 to 236  $\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$ . The average densities are among 0.22 to 0.34  $\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$ , with glime being the biggest, rime the smallest. The meridional average equivalent diameters, average masses and average densities of are bigger than those zonal ones. The maximum mass of Baoji, Huashan, Luochuan, Wuqi and Yulin are 13, 1290, 94, 25  $\text{g} \cdot \text{m}^{-1}$  and 25  $\text{g} \cdot \text{m}^{-1}$ , respectively.

**Key words:** wire icing; glaze; rime; icing day

## 国家 973“我国南方致洪暴雨”项目 2008 年度工作取得重要进展

2008 年是国家重点基础研究发展计划项目“我国南方致洪暴雨监测与预测的理论和方法研究”实施的第 4 年,也是项目研究工作取得重要进展的一年。2008 年,在国家科技部和中国气象局的大力支持下,在项目首席科学家张人禾研究员和项目专家组领导下,经过 7 个课题负责人的精心组织和合理安排及项目组 80 多名研究人员的共同努力,我国南方暴雨研究在一些关键科学问题上取得了重要进展,这些进展的取得为本项目圆满完成国家规定的研究任务并实现预期目标奠定了坚实的基础。

2008 年成功地实施了我国南方暴雨野外科学试验(SChEX),获取了具有  $\beta$ -中尺度分辨能力的观测资料和中尺度再分析资料,其中包括 47 部业务雷达、48 个加密业务探空和大别山地区 5 个新增探空站资料以及近万个地面自动站资料,利用中尺度分析系统融合、同化上述雷达、探空和自动站观测资料,生成华南观测区、华中观测区、江淮观测区和长三角观测区的 5 km, 3 h 时空分辨率和大别山地区的 3 km, 1 h 分辨率的中尺度再分析场,为该项目要研究的一个最为困难的科学问题,即  $\beta$ -中尺度暴雨系统结构和机理提供了翔实的观测资料和中尺度再分析资料。利用上述资料对 2008 年发生在我国南方的 8 个典型过程以及近几年发生在我国南方的其他暴雨过程开展了研究,初步给出引发我国南方暴雨的  $\beta$ -中尺度强对流系统的三维结构与演变过程,并提出了一些我国南方暴雨的  $\beta$ -中尺度暴雨系统的结构概念模型和多尺度模型。这些完全基于观测资料和中尺度再分析资料得到的  $\beta$ -中尺度系统的三维结构,标志着我国在南方暴雨的中尺度强对流系统结构和机理研究上有望取得突破性进展。在持续性暴雨形成的气候背景和低频变化对持续性暴雨影响方面也开展了大量研究,提出持续性暴雨形成的异常气候背景和物理模型及低频变化影响持续性暴雨产生的物理机制。进一步深入研究暴雨的可预报性,对模式初值、边值与物理过程的不确定性对预报精度的影响以及暴雨日变化对模式预报的影响进行了深入分析,为进一步研究暴雨的可预报性打下良好的科学基础。

暴雨卫星遥感反演理论和方法研究也取得新进展,利用卫星资料对暴雨云团热力和云雨结构的分析有了进一步发展,提出了淮河夏季降水卫星系统配置概念模型。并将 FY3-VASS 模拟观测数据应用于 GRAPES 数值模式,改进了预报精度。暴雨的雷达反演已从单、双雷达反演发展到多部雷达的组网观测与反演,双偏振雷达与毫米波云雾雷达的反演理论和方法应用研究中也取得明显进展。

完成非静力、高分辨中尺度暴雨模式系统的实时预报与回报试验,实现了 GRAPES-meso 中尺度模式与三维变分同化系统的连结,建立非静力、高分辨中尺度暴雨数值预报模式系统,并进行了 2007 年淮河暴雨预报试验和 2008 年奥运降水预报试验。改进该项目发展的 GRAPES-Swift 临近预报平台,并进行了预报检验。快速循环分析与预报系统(CHAR)也进行了批量检验与准业务运行,取得了良好的结果。同时还改进了三维动力雷电模式,初步实现了与 GRAPES-meso 的嵌套连结。

该项目在 2008 年度共发表论文 162 篇,其中 SCI 收录 45 篇, EI 收录 5 篇;培养博士后 5 名,博士研究生 44 名,硕士研究生 55 名。

(中国气象科学研究院 王德英)