

张剑明, 李兴宇, 叶成志, 等. 2015. 南岳电线积冰标准冰厚气候特征 [J]. 气候与环境研究, 20 (2): 209-219, doi: 10.3878/j.issn.1006-9585.2015.13233.
Zhang Jianming, Li Xingyu, Ye Chengzhi, et al. 2015. Climatological features of the standard ice thickness at Nanyue Mountain Observatory [J]. Climatic and Environmental Research (in Chinese), 20 (2): 209-219.

南岳电线积冰标准冰厚气候特征

张剑明^{1,2} 李兴宇³ 叶成志¹ 杨加伦⁴ 刘彬⁴ 丁知明⁵

1 湖南省气象台, 长沙 410118

2 湖南省气候中心, 长沙 410118

3 中国科学院大气物理研究所, 北京 100029

4 中国电力科学研究院, 北京 100192

5 衡阳市南岳区气象局, 衡阳 421900

摘 要 利用 1957~2012 年南岳高山观测站逐日覆冰资料, 对南岳覆冰标准厚度和覆冰日数的时间演变、突变和周期变化进行分析, 并推算出南岳各重现期的标准冰厚, 结果表明: 1) 南岳南北向和东西向标准冰厚年代际变化非常相似, 呈现偏大一偏小—偏大一偏小—偏大的年代际变化; 冰冻日数在 20 世纪 60 年代中后期之前, 90 年代中后期之后冰冻日数偏少, 60 年代中后期到 90 年代中后期冰冻日数偏多。2) 冰冻在 1~4 月、10~12 月均有发生, 其中 1 月出现天数最多, 占全年的 31.8%。3) 滑动 t 检验分析发现, 南岳东西向和南北向标准冰厚在 20 世纪 60 年代末有减小的突变, 冰冻日数在近 56 年没有出现明显突变。4) Morlet 小波和小波功率谱分析发现, 南北向和东西向标准冰厚存在显著的 2~3 年、4~6 年振荡周期; 冰冻日数存在显著的 2~4 年、5~7 年振荡周期。5) 基于 Pearson III 型概率分布统计发现, 各重现期东西向标准冰厚均较南北向标准冰厚要大, 其中 20 年一遇南北向和东西向标准冰厚分别为 76.33、85.22 mm, 10 年一遇南北向和东西向标准冰厚分别为 60.86、69.57 mm。6) 分析气象要素对覆冰的影响发现, 覆冰期气温较无覆冰期要低, 相对湿度要大, 能见度要小, 覆冰期风向以偏北风为准, 无覆冰期风向以偏南风为主, 覆冰期平均风速较无覆冰期风速要小。

关键词 南岳高山站 标准冰厚 Pearson III 分布

文章编号 1006-9585 (2015) 02-0209-11

中图分类号 P412.1

文献标识码 A

doi: 10.3878/j.issn.1006-9585.2015.13233

Climatological Features of the Standard Ice Thickness at Nanyue Mountain Observatory

ZHANG Jianming^{1,2}, LI Xingyu³, YE Chengzhi¹, YANG Jialun⁴, LIU Bin⁴, and DING Zhiming⁵

1 Hunan Meteorological Observatory, Changsha 410118

2 Hunan Climate Center, Changsha 410118

3 Institute of Atmospheric Physics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100029

4 China Electric Power Research Institute, Beijing 100192

5 Nanyue District Meteorological Office of Hengyang, Hengyang 421900

Abstract Using the icing data measured at Nanyue Mountain Observatory from 1957 to 2012, the temporal variations,

收稿日期 2014-05-19; 网络预出版日期 2015-01-28

资助项目 国家电网公司科技项目 GC71-13-007, 国家电网公司科技项目 GCB17201400162、GCB51201402942, 公益性行业(气象)科研专项 GYHY201306016

作者简介 张剑明, 男, 1982 年出生, 硕士研究生, 主要从事天气与气候研究。E-mail: zhangjm1123@sina.com

通讯作者 李兴宇, E-mail: lxy@mail.iap.ac.cn

abrupt changes, and period variations of standard ice thicknesses and icing days are analyzed. The standard ice thicknesses of different recurrence periods are also calculated. The results showed that the interdecadal variability of standard ice thicknesses in east–west (EW) and north–south (NS) directions were similar and presented a pattern of large–small–large–small–large. Icing days before the late 1960s and after the late 1990s are less than annual mean icing days and icing days larger than the annual mean icing days were found between the late 1960s and the late 1990s. Icing usually happened from October to April of the next year and the icing days in January accounted for the largest portion of icing days in the whole year with the percentage of 31.8%. The abrupt changes of standard ice thicknesses in NS and EW directions were found in the late 1960s and no abrupt change of icing days was found in recent 56 years. Morlet wavelet and Morlet wavelet power spectrum analyses showed that standard ice thicknesses in EW and NS directions both had significant periods of quasi 2–3 years and 4–6 years and the icing days had significant periods of quasi 2–4 years and 5–7 years. Using Pearson III type extreme value distributions, the calculated standard ice thicknesses for the 10-year recurrence period in NS and EW directions were 60.86 mm and 69.57 mm, respectively. For 20-year recurrence period, calculated standard ice thicknesses increased to 69.57 mm (EW) and 72.33 mm (NS). The authors analyzed meteorological differences between the icing days and non icing days from 1 December 2012 to 4 March 2013. The mean air temperature of non icing days had a reduction of 7.8 °C in comparison to icing days. The mean relative humidity of icing days was larger than that of non-icing days. Both the mean visibility and wind speed of icing days were smaller than those of non-icing days. The dominant wind direction was north when icing happened, and the south wind usually happened in the non icing days. The average wind speed of icing days was less than that of non-icing days.

Keywords Nanyue Mountain Observatory, Standard ice thickness, Pearson III distribution

1 引言

电线覆冰现象在国内外均很普遍,我国是世界上电线覆冰最为严重的国家之一(黄浩辉等, 2010; 江志红等, 2013)。电线覆冰极大地增加电线重量,可致压断电线、电杆,给电力输送和通信带来危害。2008年,我国南方多个省份出现大范围低温、雨雪、冰冻灾害(顾雷等, 2008; 陶诗言和卫捷, 2008; 赵思雄和孙建华, 2008; 辜旭赞, 2011),造成大量电力、通讯线路中断,交通受阻,城乡居民断电断水,对社会生产生活构成了严重影响,其中仅湖南就有 3927.7 万人受灾,农作物受灾面积 253.29 万公顷,因灾直接经济损失 680 多亿元(廖玉芳和段丽洁, 2010)。国内外很多科研工作者对电线覆冰做了相关研究,赵珊珊等(2010)利用我国气象站点冰冻和电线覆冰资料,研究了中国冰冻天气的空间分布和变化规律发现,冰冻日数随海拔升高而增加,我国大部分地区冰冻天气发生频次减少,但强度增加。王遵娅(2011)分析我国冰冻日数的气候及变化特征发现,冰冻主要出现在新疆、西北东部、内蒙古东部、东北、华北、淮河流域及江南一带,雨淞主要出现在我国南方地区,发生在 11 月至次年 3 月,我国冰冻、雨淞日数呈显著减小的变化趋势。王海军等(2010)分析我国南方地区冰冻天气时空分布规律发现,2008 年为南方地区最严重

的区域持续性冰冻灾害天气,冰冻日数见效明显,海拔越高冰冻越严重,湖南南部以冻雨为主。还有气象工作者对雨淞、雾淞、雪形成覆冰的物理过程(贾然等, 2010; 汪玲玲等, 2011)和电线覆冰厚度估算(廖玉芳和段丽洁, 2010; 任永建等, 2011)等做了比较深入细致的研究。

湖南南岳地处湖南中部偏东南地区、湘江中游,地形以山地为主,是寒潮南下的必经之路,由于南岭山脉对气流的阻滞和抬升作用,每年冬半年冷暖空气常在此交汇形成“华南静止锋”,造成长时间的湿冷天气,从而产生覆冰现象,本文利用 1957~2012 年南岳高山观测站逐日覆冰资料,对南岳覆冰标准厚度和覆冰日数的时间演变、突变和周期变化进行分析,另外延展南岳覆冰标准冰厚的年极值序列,对电线覆冰标准冰厚进行客观推算,不仅对输电线路规划、设计有一定意义,而且能提高电线覆冰监测预警能力。

2 资料及方法

2.1 资料

南岳高山气象站位于湖南省中部偏东南地区(27.30°N, 112.70°E),为湖南省唯一的高山站,海拔高度为 1265.9 m(图 1)。该站 1952 年建站,同年 11 月开始有观测记录,一天 4 个时次观测降水、风速和风向、能见度、云量、气压等气象要素。

从 2005 年开始, 实行一天 24 个时次的自动逐时观测, 近 60 年记录齐全。

雨淞、雾凇凝附在导线上或湿雪冻结在导线上的现象, 称为电线覆冰。从覆冰架上的导线开始形成覆冰起, 至覆冰消失止, 称为一次覆冰过程, 须视机测定每一次覆冰过程的最大直径、厚度, 以 mm 为单位, 取整数。电线覆冰架按照《地面气象观测规范》架设在南岳高山站的观测场内, 一组覆冰架呈南北向, 另一组呈东西向, 在距地面 1.6 m 高度处安装长度 1 m、直径 4 mm 的导线, 2009 年 12 月至 2010 年 12 月改用直径 24 mm 的导线, 2011 年 1 月起改用直径 26.8 mm 的导线观测。由于东西向导线与偏北风几乎垂直, 导致导线接触面(迎风面)更大而覆冰冰厚大, 南北向导线与偏北风几乎平行, 导致导线接触面小而覆冰冰厚小, 本文采用资料有 1957~2012 年南岳逐日电线覆冰资料, 分析东西向和南北向标准冰厚的变化特征。

据覆冰冰重计算覆冰标准冰厚 b_0 (单位: mm) 的公式(西南电力设计院, 2002)为

$$b_0 = \sqrt{\frac{G}{0.9\pi L} + r^2} - r, \quad (1)$$

其中, r 为导线半径(单位: mm), L 为覆冰体长度(单位: m), G 为冰重(单位: g)。

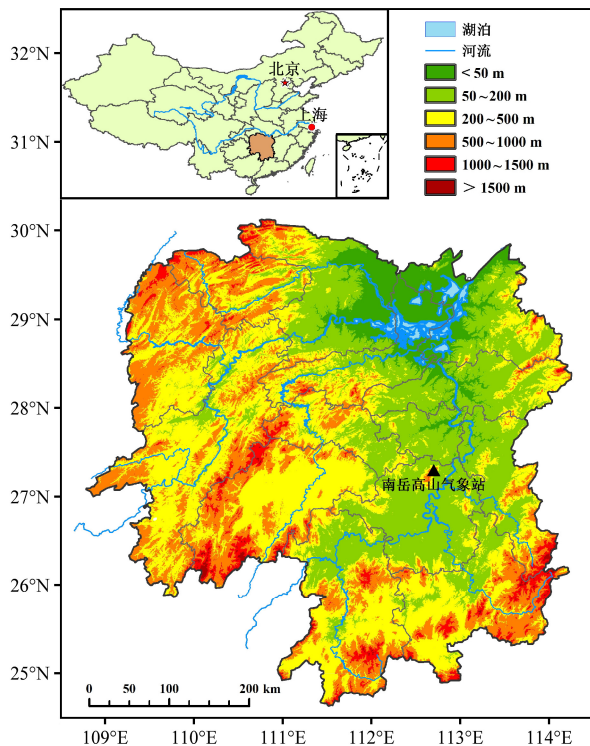


图1 南岳高山气象站地理位置

Fig. 1 Location of the Nanyue Mountain Observatory

2.2 方法

本文采用了滑动 t 检验(魏凤英, 1999)和 Morlet 小波分析(Torrence and Compo, 1998; 韩荣青等, 2009)等方法分析了标准冰厚的突变性和周期性。另外据历史覆冰数据基于 Pearson III 型概率分布分析了标准冰厚的重现期。

Pearson III 分布(王萃萃, 2008)具有广泛的概括和模拟能力, 在气象上常用来拟合年、月的最大风速和最大日降水量、最大标准冰厚等极值分布。其概率密度函数和保证率分布函数分别为

$$f(x) = \frac{\beta^\alpha}{\Gamma(\alpha)} (x - x_0)^{\alpha-1} e^{-\beta(x-x_0)}, \quad \alpha > 0, x \geq x_0 \quad (2)$$

$$P(x \geq x_p) = \frac{\beta^\alpha}{\Gamma(\alpha)} \int_{x_p}^{\infty} (x - x_0)^{\alpha-1} e^{-\beta(x-x_0)} dx, \quad (3)$$

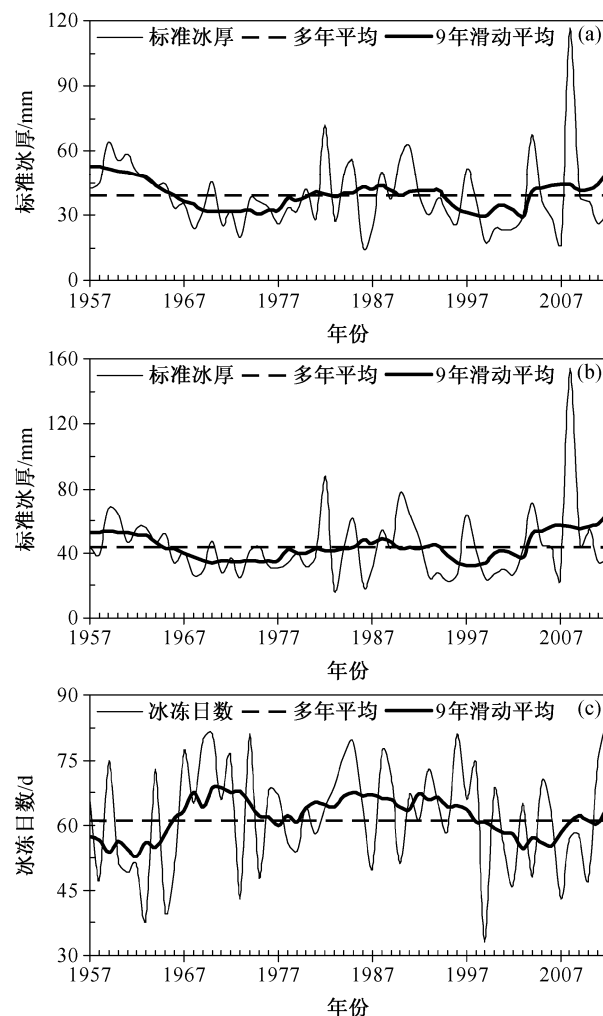


图2 1957~2012 年南岳高山站 (a) 南北向、(b) 东西向标准冰厚和 (c) 冰冻日数的时间变化

Fig. 2 Temporal variations of standard ice thickness in (a) north-south direction and (b) east-west direction and (c) ice-freezing days at Nanyue Mountain Observatory during 1957-2012

其中, x_0 为随机变量 x 所能取得最小值, x_p 为重现期值; α 称为形状参数, β 为尺度参数, $\Gamma(\alpha)$ 是 α 的伽马函数。

3 覆冰冰厚的气候变化特征

3.1 时间变化特征

南岳南北向标准冰厚的逐年变化(图 2a)表明, 南北向标准冰厚在 15.55 (1986 年)~116.74 (2008 年) mm 之间, 南北向标准冰厚的高值年主要有 1982 年 (72.13 mm)、2004 年 (67.3 mm) 和 2008 年 (116.74 mm), 低值年主要有 1986 年 (15.55 mm)、1999 年 (17.28 mm) 和 2007 年 (16.72 mm)。11 年滑动平均曲线表明, 南北向标准冰厚分别在 20 世纪 60 年代初、80 年代后期和 2008 年前后存在 3 个波峰。统计时段内南北向标准冰厚经历了 2 降 2 升, 20 世

纪 70 年代中期以前、80 年代后期到 90 年代后期呈减小趋势, 70 年代初到 80 年代后期、90 年代后期到 2012 年呈增大趋势。将南北向标准冰厚每 10 年平均, 得到各年代际南北向标准冰厚(表 1), 可以看出南北向标准冰厚在 32.06 (20 世纪 70 年代)~42.15 (20 世纪 60 年代) mm 之间, 多年平均为 38.99 mm, 呈现偏大—偏小—偏大—偏小—偏大的年代际变化。东西向标准冰厚的逐年变化(图 2b)表明, 东西向标准冰厚在 17.32 (1983 年)~154.03 (2008 年) mm 之间, 东西向标准冰厚的高值年主要有 1982 年 (88.25 mm)、1990 年 (77.18 mm) 和 2008 年 (154.03 mm), 低值年主要有 1983 年 (17.32 mm)、1986 年 (19.7 mm) 和 1995 年 (22.72 mm)。11 年滑动平均曲线表明, 东西向标准冰厚的变化与南北向标准冰厚变化相似, 分别在 20 世纪 60 年代初、80 年代后期和 2008 年前后存在 3 个波峰。统计时段内

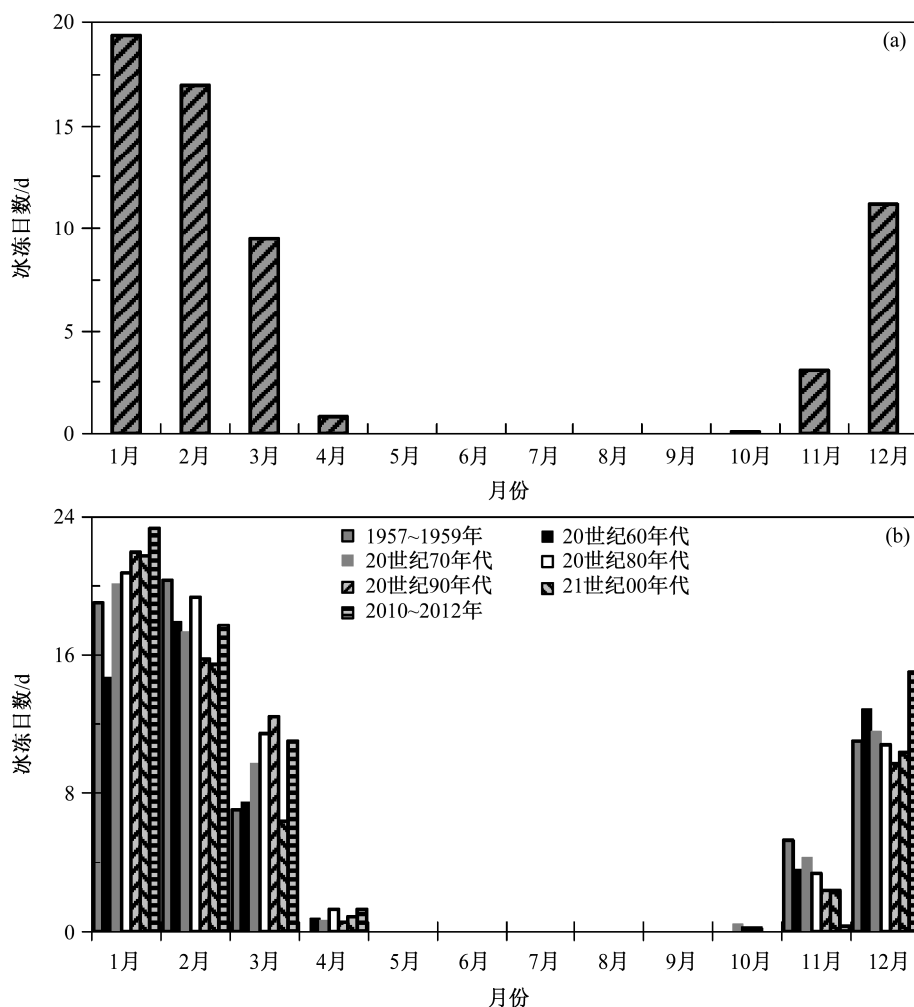


图3 1957~2012 年南岳高山站月 (a) 冰冻日数和 (b) 不同年代际冰冻日数分布

Fig. 3 Monthly distributions of (a) ice-freezing days and (b) ice-freezing days in different decades at Nanyue Mountain Observatory during 1957–2012

东西向标准冰厚经历了 2 降 2 升，20 世纪 70 年代中期以前、80 年代后期到 90 年代后期呈减小趋势，70 年代初到 80 年代后期、90 年代后期到 2012 年呈增大趋势。各年代际东西向标准冰厚（表 1），可以看出东西向标准冰厚在 35.82(20 世纪 70 年代)~50.97(21 世纪初)mm 之间，多年平均为 43.61 mm，呈现偏大一偏小—偏大一偏小—偏大的年代际变化。

表 1 南岳高山站南北向、东西向标准冰厚和冰冻日数的年代际变化

Table 1 Interdecadal variations of standard ice thickness in north-south direction and east-west direction and icing days at Nanyue Mountain Observatory

年代	标准冰厚/mm		冰冻日数/d
	南北向	东西向	
1957~1959 年	50.23	50.12	62.7
20 世纪 60 年代	42.15	45.09	57.4
20 世纪 70 年代	32.06	35.82	64.0
20 世纪 80 年代	40.14	42.68	67.2
20 世纪 90 年代	39.03	42.06	63.0
21 世纪初	40.49	50.97	57.3
2010~2012 年	31.29	42.00	68.7
多年平均	38.99	43.61	62.2

冰冻日数的逐年变化（图 2c）表明，冰冻日数在 33（1999 年）~84（2012 年）d 之间，冰冻日数的高值年主要有 1970 年（81 d）、1974 年（81 d）、1996 年（81 d）和 2012 年（84 d），低值年主要有 1963 年（38 d）、1965 年（40 d）和 1999 年（33 d）。11 年滑动平均曲线表明，冰冻日数分别在 20 世纪 70 年代初和 90 年代后期存在 2 个波峰。统计时段内冰冻日数经历了 3 升 2 降，20 世纪 70 年代初期以前、70 年代末到 90 年代初、2004 年以后呈上升趋势，70 年代初到 70 年代末、90 年代初期到 2004 年呈下降趋势。各年代际冰冻日数（表 1）可以看出，冰冻日数在 57.3（21 世纪初）~67.2（20 世纪 80 年代）d 之间，多年平均为 62.2 d，呈现先增多后减少的年代际变化。

对比发现，东西向标准冰厚较南北向标准冰厚要大，二者的差值在 2.94（20 世纪 60 年代）~10.48（21 世纪初）mm 之间，20 世纪 90 年代以前东西向与南北向标准冰厚的差值变化不大，在 2.54~3.76 mm 之间，之后差值明显增大。南北向、东西向标准冰厚的年代际变化非常相似，20 世纪 60 年代中期之前、80 年代初到 90 年代中期、21 世纪初以后标准冰厚偏大，60 年代中期到 80 年代初、90

年代中期到 21 世纪初标准冰厚偏小。

3.2 月际变化

南岳冰冻日数的月际变化（图 3a）表明，冰冻日数主要出现在 1~4 月、10~12 月，但冬季出现率最高，占全年冰冻日数的 77.9%，其中 1 月出现天数最多，占全年的 31.8%，2 月、12 月次之，分别占全年的 27.7%和 18.4%。冰冻日数在 0.1（10 月）~19.4（1 月）d 之间（只统计有发生冰冻日数的月份，下同），统计时段内 5~9 月没有出现冰冻。

将月冰冻日数每 10 年平均，得到各年代际冰冻日数的月际变化（图 3b）。可以看出冰冻日数在

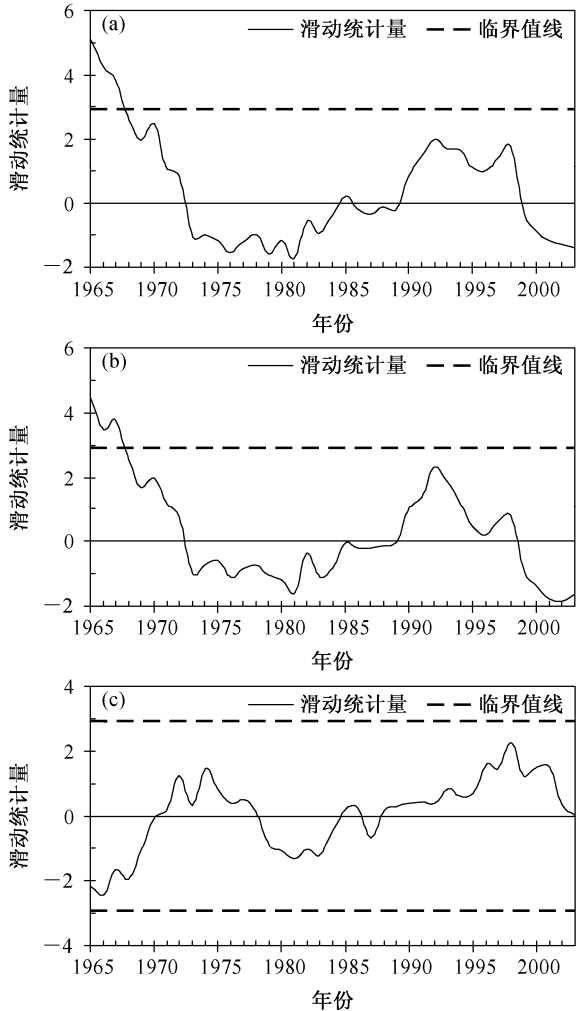


图 4 南岳高山站 (a) 南北向、(b) 东西向标准冰厚和 (c) 冰冻日数的 Mann-Kendall 检验（虚线为通过 0.01 水平显著性检验临界值）
Fig. 4 Mann-Kendall abrupt curve of standard ice thickness in (a) north-south direction and (b) east-west direction and (c) ice-freezing days at Nanyue Mountain Observatory (dashed lines denote the threshold values at 0.05 significance level)

0.2 (2 月, 20 世纪 80、90 年代) ~22.0 (1 月, 20 世纪 90 年代) d 之间。1 月冰冻日数逐年代增加; 2 月冰冻日数逐年代先增加后减小; 3 月冰冻日数 20 世纪 90 年代以前逐年代增加, 21 世纪初为统计时段内最少; 4 月冰冻日数先增加后减少; 10 月冰冻日数只有 20 世纪 70 年代~90 年代有出现; 11 月冰冻日数逐年代减少; 12 月冰冻日数 20 世纪 90 年代以前逐年代减小, 之后逐年代增加。

3.3 滑动 t 检验分析

为了研究南岳覆冰标准冰厚和冰冻日数的突变现象, 对南岳覆冰标准冰厚和冰冻日数的时间序列进行 9 年滑动 t 检验分析, 给定显著性水平

0.01 时的 $t_{0.01}=\pm 2.92$, 将计算出的滑动统计量序列和 $t_{0.01}=\pm 2.92$ 临界值线绘制成图 4。由图 4 可以看出, 南岳东西向和南北向标准冰厚滑动统计量均在 20 世纪 60 年代末超过 0.01 显著性水平, 说明南岳东西向和南北向标准冰厚在 60 年代末出现过一次由减小转为增大的明显突变。冰冻日数在近 56 年滑动统计量均未超过 0.01 显著性水平, 说明南岳冰冻日数在近 56 年没有出现明显突变。

3.4 冰冻的周期变化

3.4.1 冰冻的 Morlet 小波分析

对南北向标准冰厚进行 Morlet 小波方差分析

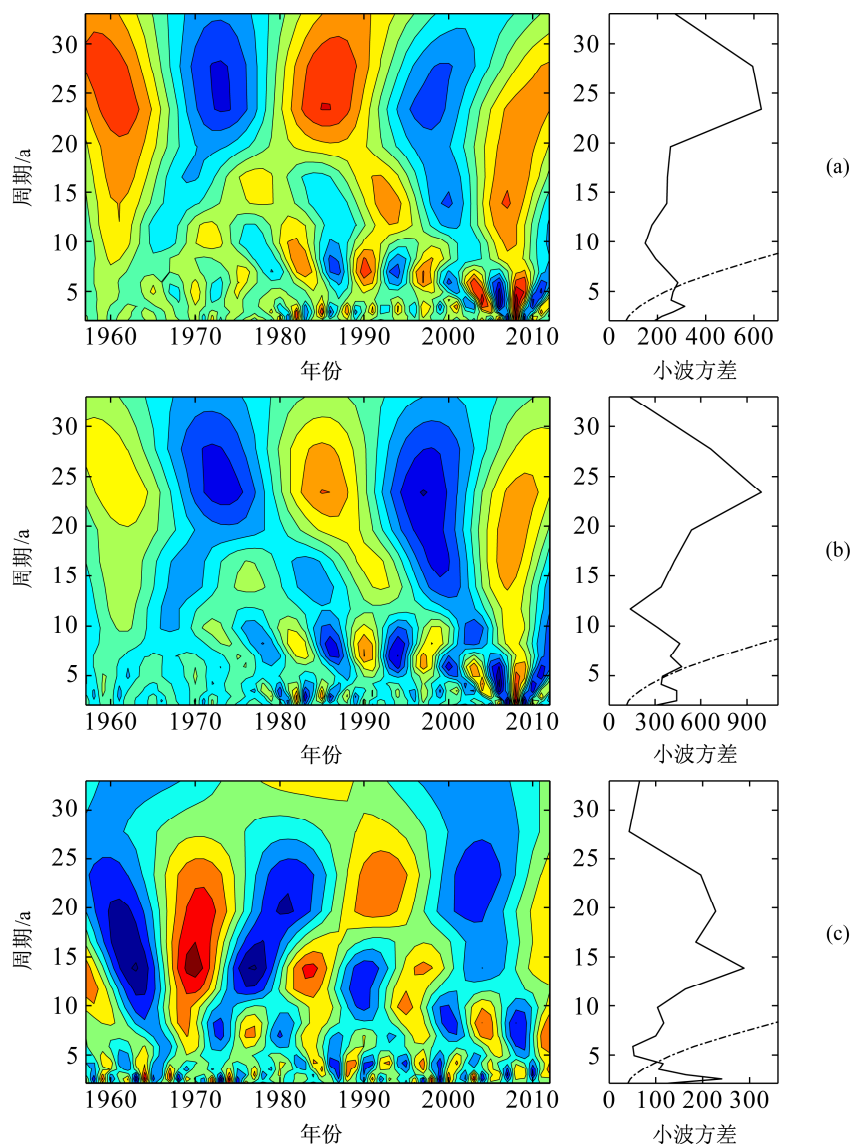


图5 南岳高山站 (a) 南北向、(b) 东西向标准冰厚和 (c) 冰冻日数的 Morlet 小波图 (左边为 Morlet 小波系数实部, 右边为 Morlet 小波方差)

Fig. 5 Morlet wavelet of standard ice thickness in (a) north-south direction and (b) east-west direction and (c) ice-freezing days at Nanyue Mountain Observatory (The left is real part of Morlet wavelet coefficient and the right is Morlet wavelet variance)

得出, 南北向标准冰厚存在 4 个特征时间尺度, 分别是 2~3 年、4~6 年、11~13 年和 23~25 年左右的准周期 (图 5a)。2~3 年时间尺度上, 在 56 年中始终存在, 且振荡周期稳定。4~6 年时间尺度上, 在 20 世纪 70 年代中期以前和 90 年代初以后表现为 4 年左右的振荡周期, 70 年代中期到 90 年代初表现为 5~7 年左右的振荡周期。在 13~15 年时间尺度上, 在 20 世纪 80 年代中期以后比较明显, 之前较弱。23~25 年左右的振荡周期经历了 4 次标准冰厚偏大和偏小的交替, 20 世纪 60 年代中期以前、70 年代末到 90 年代初、2005 年以后南北向标准冰厚偏大, 60 年代中期到 70 年代末, 90 年代初到 2005 年南北向标准冰厚偏小 (图 5a)。

东西向标准冰厚存在 4 个特征时间尺度, 分别是 2~3 年、6~8 年、10~13 年和 23~25 年左右的准周期 (图 5b)。3 年时间尺度上, 在 56 年中始终存在, 且振荡周期稳定。8 年时间尺度上, 在 20 世纪 70 年代中期以后比较明显。在 10~13 年时间尺度上, 由 20 世纪 50 年代末的 10 年左右的振荡周期逐渐过渡到 21 世纪初的 13 年左右的振荡周期。23~25 年左右的振荡周期经历了 4 次标准冰厚偏大和偏小的交替, 20 世纪 60 年代中期以前、70 年代后期到 90 年代初、2005 年以后东西向标准冰厚偏大, 60 年代中期到 70 年代后期, 90 年代初到 2005 年东西向标准冰厚偏小 (图 5b)。

冰冻日数小波方差图 (图 5c) 表明, 冰冻日数存在 4 个特征时间尺度, 分别是 2~4 年、5~7 年、13~15 年和 19~21 年左右的准周期。2~4 年时间尺度上, 在 56 年中始终存在, 且振荡周期稳定。5~7 年时间尺度上, 在 20 世纪 70 年代初期到 90 年代中期, 2000 年以后比较明显。在 13~15 年时间尺度上, 在 2000 年以前较为明显。19~21 年左右的振荡周期经历了 5 次偏多和偏少的交替, 20 世纪 60 年代中期以前、70 年代中期到 80 年代后期、90 年代后期到 2007 年冰冻日数偏多, 60 年代中期到 70 年代中期, 80 年代后期到 90 年代后期、2007 年以后冰冻日数偏少 (图 5c)。

3.4.2 Morlet 小波功率谱分析

图 6 为 1957~2012 年南岳南北标准冰厚、东西向标准冰厚和冰冻日数的 Morlet 小波功率谱图, 图中黑线为功率谱红噪声检验的 95% 置信线, 虚线以下区域表示去除边界效应后的周期尺度。图中可见, 标准冰厚和冰冻日数在不同的时期

具有不同的显著的年际和年代际的振荡周期。平均而言, 标准冰厚和冰冻日数具有显著的 2~3 年周期。

南北向标准冰厚 Morlet 小波功率谱 (图 6a) 分析发现, 南北向标准冰厚在 20 世纪 70 年代后期到 21 世纪初存在显著的 2~3 年振荡周期, 90 年代末之后同时存在显著的 2~3 年和 4~6 年振荡周期。此外, 小波功率谱分析还检测出南北向标准冰厚存在 6~8 年、13~15 年、23~25 年左右振

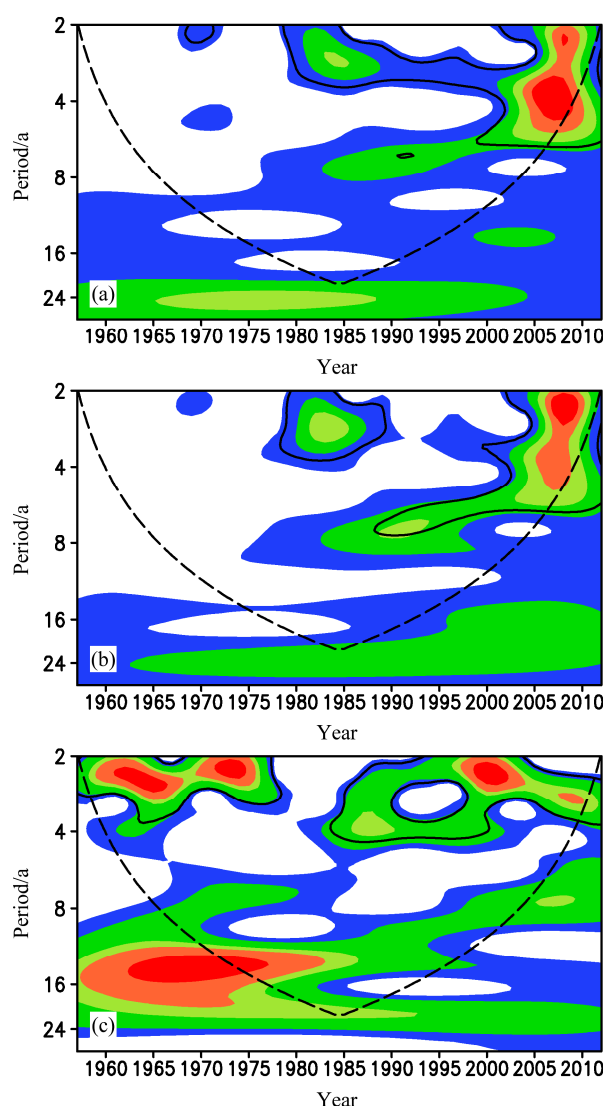


图 6 南岳高山站 (a) 南北向、(b) 东西向标准冰厚和 (c) 冰冻日数的 Morlet 小波功率谱分析 (黑实线表示通过 0.05 水平显著性检验, 虚线以下区域表示去除边界效应后的周期尺度)

Fig. 6 Morlet power spectrum analysis of standard ice thickness in (a) north-south direction and (b) east-west direction and (c) ice-freezing days at Nanyue Mountain Observatory (solid lines denote power spectrum at 0.05 significance level and regions below the dashed line denote the period scale after the boundary effect removal)

荡周期, 图中可以看出 13~15 年、23~25 年左右振荡周期受边界效应影响故不能确定该周期是否存在。

东西向标准冰厚 Morlet 小波功率谱(图 6b)分析发现, 东西向标准冰厚在 20 世纪 70 年代中期到 80 年代末期存在显著的 2~3 年振荡周期, 80 年代中后期到 21 世纪初存在显著的 6~8 年振荡周期, 90 年代末之后同时存在显著的 2~4 年和 5~7 年振荡周期。此外, 小波功率谱分析还检测出东西向标准冰厚存在 23~25 年左右振荡周期, 图中可以看出 23~25 年左右振荡周期受边界效应影响故不能确定该周期是否存在。

冰冻日数 Morlet 小波功率谱(图 6c)分析发现, 冰冻日数在 20 世纪 70 年代中后期以前、2003 年以后存在显著的 2~3 年振荡周期, 80 年代中期到 2003 年同时存在 2~4 年、5~7 年振荡周期。小波功率谱分析还检测出冰冻日数存在 6~8 年、13~15 年振荡周期。

3.5 基于 Pearson III 型概率分布的标准冰厚重现期

根据 Pearson III 型函数分别计算南北向和东西向年最大标准冰厚 Pearson III 型分布曲线(图 7), 利用公式求出 α 、 β 、 x_0 和各种概率对应 Pearson III 分布的南北向和东西向年最大标准冰厚的理论值。可以发现, 各重现期东西向标准冰厚均较南北向标准冰厚要大, 其中 50 年一遇南北向和东西向标准冰厚分别为 87.43、109.07 mm; 30 年一遇南北向和东西向标准冰厚分别为 79.04、96.26 mm; 20 年一遇南北向和东西向标准冰厚分别为 72.33、86.22 mm; 15 年一遇南北向和东西向标准冰厚分别为 67.57、79.21 mm; 10 年一遇南北向和东西向标准冰厚分别为 60.86、69.57 mm; 5 年一遇南北向和东西向标准冰厚分别为 49.35、53.81 mm(表 2)。

4 气象要素对覆冰的影响

图 8 显示 2012 年 12 月至 2013 年 3 月南岳高

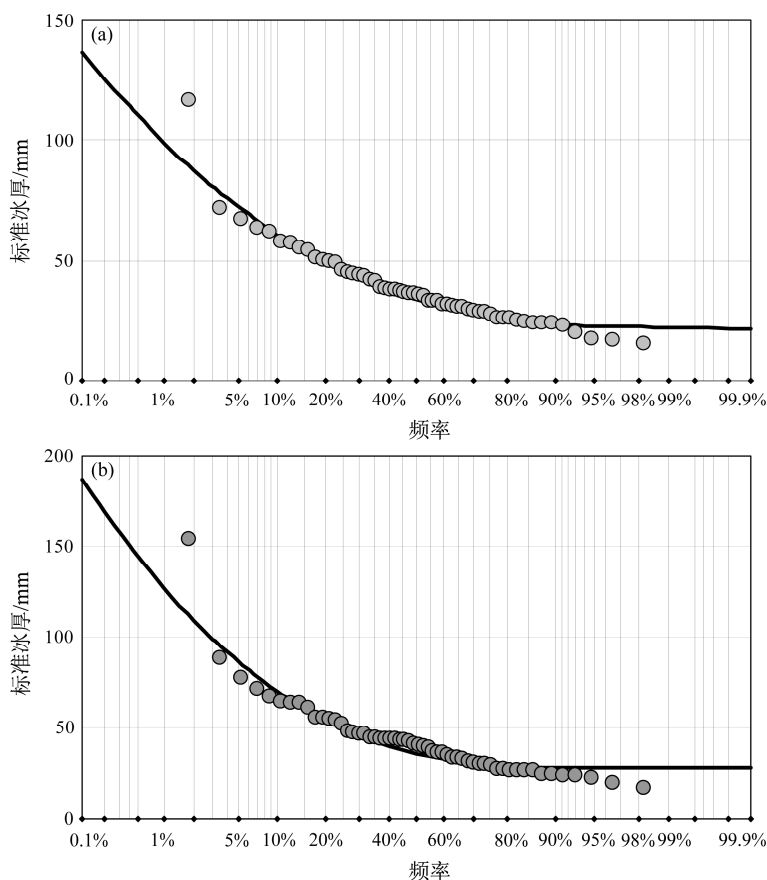


图 7 南岳高山站基于 Pearson III 型分布 (a) 南北向和 (b) 东西向标准冰厚频率曲线

Fig. 7 Frequency curve of standard ice thickness in (a) north-south direction and (b) east-west direction based on Pearson III distribution at Nanyue Mountain Observatory

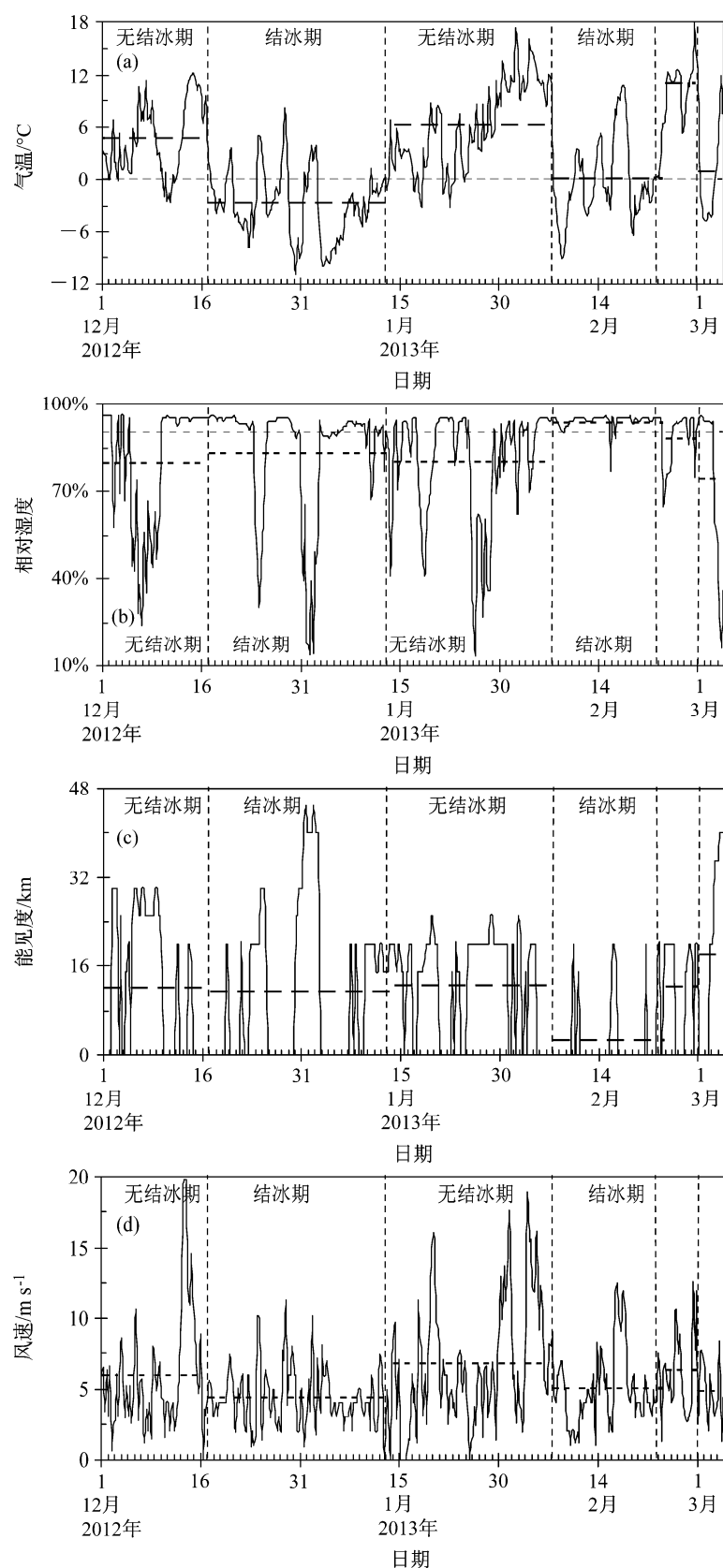


图 8 2012 年 12 月至 2013 年 3 月 (a) 气温、(b) 相对湿度、(c) 能见度和 (d) 风速的变化

Fig. 8 Temporal variations of average (a) temperature, (b) relative humidity, (c) visibility, and (d) wind speed from 1 Dec 2012 to 31 Mar 2013

表 2 南岳高山站基于 Pearson III 型分布不同重现期下的标准冰厚

Table 2 Standard ice thicknesses during different return periods based on Pearson III distribution at Nanyue Mountain Observatory

重现期/a	设计标准冰厚/mm	
	南北向	东西向
5	49.35	53.81
10	60.86	69.57
15	67.57	79.21
20	72.33	86.22
30	79.04	96.26
50	87.43	109.07
100	98.84	126.79

山站气温、相对湿度、能见度、风速随时间（北京时间 02:00、08:00、14:00 和 20:00）的变化。统计得到无覆冰期的气温变化范围为 $-3.0 \sim 17.9\text{ }^{\circ}\text{C}$ 之间，平均气温为 $6.6\text{ }^{\circ}\text{C}$ ；覆冰期的气温变化范围为 $-10.7 \sim 12.0\text{ }^{\circ}\text{C}$ ，平均为 $-1.2\text{ }^{\circ}\text{C}$ （图 8a）。无覆冰期的相对湿度在 $14\% \sim 96\%$ 之间，平均相对湿度为 79.9% ；覆冰期的相对湿度大多数维持在 80% 以上，平均相对湿度为 87.5% ，比无覆冰期要高（图 8b）。图 8c 表明覆冰期能见度较无覆冰期能见度要小，无覆冰期能见度为 13.1 km ，覆冰期平均能见度为 8.3 km 。

覆冰期风速较无覆冰期风速要小，无覆冰期的风速变化范围为 $0 \sim 19.8\text{ m/s}$ ，平均为 6.6 m/s ；覆冰期的风速变化范围为 $0 \sim 12.5\text{ m/s}$ ，平均为 4.6 m/s （图 8d）。对覆冰期和无覆冰期风向进行统计（图 9）发现，覆冰期风向以偏北风为主，占 71.8% 。其中主导风为北风，频数为 67 次，占 30.5% ，平均主导风速为 4.3 m/s ；北东北风（NNE）为次主导风，

频数为 35 次，占 15.9% ，平均次主导风速为 4.8 m/s 。无覆冰期风向以偏南风为主，占 62.2% ，其中主导风为南西南风（SSW），频数为 38 次，占 24.4% ，平均主导风速为 10.5 m/s ；西南风（SW）为次主导风，频数为 21.8 次，占 21.8% ，平均次主导风速为 9.1 m/s 。对比发现覆冰期平均风速较无覆冰期风速要小，其中覆冰期平均风速为 4.2 m/s ，无覆冰期风速为 5.3 m/s 。

5 结论

本文采用了滑动 t 检验和 Morlet 小波分析等方法分析了南岳标准冰厚和冰冻日数气候变化特征，另外据历史覆冰数据基于 Pearson III 型概率分布分析了标准冰厚的重现期。

（1）冰冻日数主要发生在 1~4 月、10~12 月，其中 1 月出现天数最多，占全年的 31.8% 。各年代际冰冻日数月季变化表明，1 月冰冻日数逐年代增加，2~4 月、12 月冰冻日数先增加后减小，11 月冰冻日数逐年代减小。

（2）南岳南北向和东西向标准冰厚年代际变化非常相似：经历了 2 降 2 升过程，20 世纪 60 年代中期之前、80 年代初到 90 年代中期、21 世纪初以后标准冰厚偏大，20 世纪 60 年代中期到 80 年代初、90 年代中期到 21 世纪初标准冰厚偏小，呈现多—少—多—少—多的年代际变化。冰冻日数经历了 3 升 2 降过程，20 世纪 60 年代中后期之前，90 年代中后期之后冰冻日数偏少，60 年代中后期到 90 年代中后期冰冻日数偏多。

（3）滑动 t 检验分析发现，南岳东西向和南北向标准冰厚在 60 年代末出现过一次由减小转为增

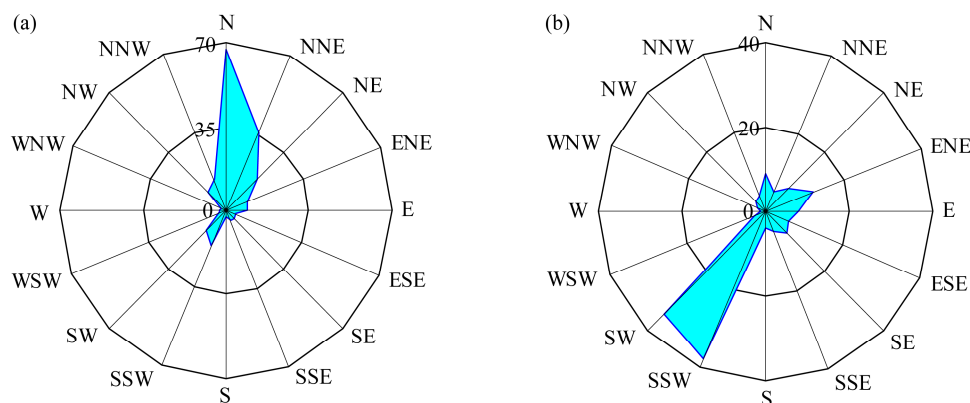


图 9 2012 年 12 月至 2013 年 3 月 (a) 覆冰期和 (b) 无覆冰期风向频数玫瑰图

Fig. 9 Rose diagrams of the frequencies of wind directions in (a) the ice-freezing period and (b) the non-ice-freezing period from 1 Dec 2012 to 31 Mar 2013

大的明显突变, 冰冻日数在近 56 年没有出现明显突变。

(4) Morlet 小波和小波功率谱分析发现, 南北向和东西向标准冰厚存在 2~3 年、4~6 年、11~13 年和 23~25 年振荡周期, 其中 2~3 年、4~6 年振荡周期较显著; 冰冻日数存在 2~4 年、6~8 年、13~15 年和 19~21 年左右振荡周期, 其中 2~4 年、5~7 年振荡周期较显著。

(5) 基于 Pearson III 型概率分布统计发现, 各重现期东西向标准冰厚均较南北向标准冰厚要大, 20 年一遇南北向和东西向标准冰厚分别为 72.33、86.22 mm, 10 年一遇南北向和东西向标准冰厚分别为 60.86、69.57 mm。

(6) 分析气象要素对覆冰的影响发现, 覆冰期气温较无覆冰期要低, 相对湿地要大, 能见度要小, 覆冰期风向以偏北风为准, 无覆冰期风向以偏南风为主, 覆冰期平均风速较无覆冰期风速要小。

参考文献 (References)

- 顾雷, 魏科, 黄荣辉. 2008. 2008 年 1 月我国严重低温雨雪冰冻灾害与东亚季风系统异常的关系 [J]. 气候与环境研究, 13 (4): 405–418. Gu Lei, Wei Ke, Huang Ronghui. 2008. Severe disaster of blizzard, freezing rain and low temperature in January 2008 in China and its association with the anomalies of East Asian monsoon system [J]. Climatic and Environmental Research (in Chinese), 13 (4): 405–418.
- 辜旭赞. 2011. 2008 年 1 月我国南方持续雨雪过程的诊断分析 [J]. 高原气象, 30 (1): 150–157. Gu Xuzan. 2011. Diagnostic analysis on severe cold surge, rain and ice-snow in south China in January 2008 [J]. Plateau Meteorology (in Chinese), 30(1): 150–157.
- 韩荣青, 陈丽娟, 李维京, 等. 2009. 2–5 月我国低温连阴雨和南方冷害的时空分布特征 [J]. 应用气象学报, 20 (3): 312–320. Han Rongqing, Chen Lijuan, Li Weijin, et al. 2009. The spatial and temporal characteristics of China continuous cold rainy weather and south cold damage from February to May [J]. Journal of Applied Meteorological Science (in Chinese), 20 (3): 312–320.
- 黄浩辉, 宋丽莉, 秦鹏, 等. 2010. 粤北地区导线覆冰气象特征与标准厚度推算 [J]. 热带气象学报, 26 (1): 7–12. Huang Haohui, Song Lili, Qin Peng, et al. 2010. Meteorological characteristics and standard thickness calculations of wire icing over the north region of Guangdong Province [J]. Journal of Tropical Meteorology (in Chinese), 26 (1): 7–12.
- 贾然, 牛生杰, 李蕊. 2010. 鄂西电线积冰微物理观测研究 [J]. 气象科学, 30(4): 481–486. Jia Ran, Niu Shengjie, Li Rui. 2010. Observational study on microphysical characteristics of wire icing in west Hubei [J]. Scientia Meteorologica Sinica (in Chinese), 30 (4): 481–486.
- 江志红, 杭月荷, 刘冬, 等. 2013. 我国南方输电线路覆冰极值序列重建试验 [J]. 气候与环境研究, 18 (3): 407–413. Jiang Zhihong, Hang Yuehe, Liu Dong, et al. 2013. Reconstruction of an extreme wire icing series in southern China [J]. Climatic and Environmental Research (in Chinese), 18 (3): 407–413.
- 廖玉芳, 段丽洁. 2010. 湖南电线覆冰厚度估算模型研究 [J]. 大气科学学报, 33 (4): 395–400. Liao Yufang, Duan Lijie. 2010. Study on estimation model of wire icing thickness in Hunan Province [J]. Transactions of Atmospheric Sciences (in Chinese), 33 (4): 395–400.
- 任永建, 周月华, 肖莺, 等. 2011. 无气象观测地区的电线覆冰厚度推算 [J]. 气象科学, 31 (3): 313–317. Ren Yongjian, Zhou Yuehua, Xiao Ying, et al. 2011. The method of calculating the ice thickness on wire in the areas without meteorological observation [J]. Journal of the Meteorological Sciences (in Chinese), 31 (3): 313–317.
- 陶诗言, 卫捷. 2008. 2008 年 1 月我国南方严重冰雪灾害过程分析 [J]. 气候与环境研究, 13 (4): 337–350. Tao Shiyan, Wei Jie. 2008. Severe snow and freezing-rain in January 2008 in the southern China [J]. Climatic and Environmental Research (in Chinese), 13 (4): 337–350.
- Torrence C, Compo G P. 1998. A practical guide to wavelet analysis [J]. Bull. Amer. Meteor. Soc., 79 (1): 61–78.
- 王海军, 覃军, 张骏. 2010. 中国南方 7 省冰冻天气时空分布规律研究 [J]. 长江流域资源与环境, 19 (7): 839–846. Wang Haijun, Qin Jun, Zhang Jun. 2010. On spatial-temporal distribution of the freezing weather in southern China [J]. Resources and Environment in the Yangtze Basin (in Chinese), 19 (7): 839–846.
- 汪玲玲, 牛生杰, 贾然, 等. 2011. 湖北省积雪时空特征分析 [J]. 大气科学学报, 34 (5): 592–596. Wang Lingling, Niu Shengjie, Jia Ran, et al. 2011. Spatial and temporal characteristics of snowcover in Hubei Province [J]. Transactions of Atmospheric Sciences (in Chinese), 34 (5): 592–596.
- 王萃萃. 2008. 中国大城市极端强降水事件变化的研究 [D]. 中国气象科学研究院硕士学位论文, 72pp. Wang Cuicui. 2008. Changes of precipitation extremes in China's large cities [D]. M. S. thesis (in Chinese), Chinese Academy of Meteorological Sciences, 72pp.
- 王遵娅. 2011. 中国冰冻日数的气候及变化特征分析 [J]. 大气科学, 35 (3): 411–421. Wang Zunya. 2011. Climatic characters and changes of ice-freezing days in China [J]. Chinese Journal of Atmospheric Sciences (in Chinese), 35 (3): 411–421.
- 魏凤英. 1999. 现代气候统计诊断与预测技术 [M]. 北京: 气象出版社, 63–65. Wei Fengying. 1999. Technology of Statistical Diagnosis and Prediction of Modern Climate (in Chinese) [M]. Beijing: China Meteorological Press, 63–65.
- 西南电力设计院. 2002. DL/T5158-2002 电力工程气象勘测技术规程 [S]. 北京: 中国电力出版社, 19–26. Electric Power Planning and Engineering Institute. 2002. DL/T5158-2002 Technical code of meteorological surveying for electrical power projects (in Chinese) [S]. Beijing: China Electric Power Press, 19–26.
- 赵珊珊, 高歌, 张强, 等. 2010. 中国冰冻天气的气候特征 [J]. 气象, 36(3): 34–38. Zhao Shanshan, Gao Ge, Zhang Qiang, et al. 2010. Climate characteristics of freezing weather in China [J]. Meteorological Monthly (in Chinese), 36 (3): 34–38.
- 赵思雄, 孙建华. 2008. 2008 年初南方雨雪冰冻天气的环流场与多尺度特征 [J]. 气候与环境研究, 13 (4): 351–367. Zhao Sixiong, Sun Jianhua. 2008. Multi-scale systems and conceptual model on freezing rain and snow storm over southern China during January–February 2008 [J]. Climatic and Environmental Research (in Chinese), 13 (4): 351–367.