

曲巧娜, 李栋梁, 熊海星, 等. 2012. 冬季中东急流对中国西南地区覆冰形成的影响 [J]. 大气科学, 36 (1): 195–203. Qu Qiaona, Li Dongliang, Xiong Haixing, et al. 2012. The impact of the Middle East jet stream to the freezing over Southwestern China in winter [J]. Chinese Journal of Atmospheric Sciences (in Chinese), 36 (1): 195–203.

冬季中东急流对中国西南地区覆冰形成的影响

曲巧娜¹ 李栋梁¹ 熊海星² 金西平²

¹ 南京信息工程大学大气科学学院/气象灾害省部共建教育部重点实验室, 南京 210044

² 中国电力工程顾问集团西南电力设计院, 成都 610021

摘 要 采用西南地区 (25°N~35°N, 95°E~110°E) 96 个常规气象观测站 1961 年 1 月 1 日~2009 年 12 月 31 日逐日气象要素资料, 利用同时满足地面日最低气温在 -10~1 °C、相对湿度大于 80%、日照时数小于等于 2 个小时这三个条件, 计算 1 月中国西南地区覆冰日数。利用 NCEP/NCAR 再分析格点资料, 分析大气环流特征。结果表明: 强覆冰年时欧亚地区 500 hPa 高度距平场为“北高南低”、中高纬地区“西高东低”、中低纬地区“西低东高”的形势, 乌拉尔山高压脊、里海东部低压槽、副热带高压均偏强, 有利于冷暖空气在西南地区强烈交汇, 是西南地区形成覆冰的基本条件; 冬季中东急流强, 则有利于西南地区覆冰的形成, 相关最好的区域位于四川—云南—贵州三省交界处、贵州省大部分地区、云南省北部与西藏东南部交界处、陕西省西南部以及川西二郎山附近, 这些均是最易发生严重覆冰的区域; 500 hPa 中亚低槽活动, 将中东急流变化与西南地区覆冰强弱紧密的联系了起来; 前期 12 月北大西洋百慕大群岛附近海表温度的异常偏低是 1 月中东急流异常偏强的重要影响因素。

关键词 西南地区 覆冰 大气环流 中东急流 中亚低槽活动指数

文章编号 1006-9895 (2012) 01-0195-09

中图分类号 P461

文献标识码 A

The Impact of the Middle East Jet Stream to the Freezing over Southwestern China in Winter

QU Qiaona¹, LI Dongliang¹, XIONG Haixing², and JIN Xiping²

¹ Key Laboratory of Meteorological Disaster of Ministry of Education, Nanjing University of Information Science and Technology, Nanjing 210044

² Southwest Electric Power Design Institute, China Power Engineering Construction Group Corporation, Chengdu 610021

Abstract Calculating the number of frozen days in January in southwestern China when satisfying the conditions with daily minimum temperature in the context of -10°C and 1 °C, relative humidity greater than 80%, and sunshine duration less than or equal to 2 hours at the same time, by using daily meteorological elements data for the period of 1961–2009 from 96 stations in southwestern China. Using NCEP/NCAR reanalysis grid data, the circulation features in the icing and no-icing years were analyzed. The results show that, in icing years in southwestern China, the 500-hPa height anomaly field are “north-higher and south-lower” in Eurasia, “west-higher and east-lower” in the high latitudes, and “west-lower and east-higher” in the low latitudes, indicating that the high pressure around the Ural Mountains, depression around the Caspian Sea, and the subtropical high are all strong, in favour of

收稿日期 2010-12-02, 2011-08-05 收修定稿

资助项目 国家重点基础研究发展计划项目 2007CB411506, 西南电力设计院委托科研项目“输电线路覆冰数学模型研究”

作者简介 曲巧娜, 女, 1984 年出生, 硕士研究生, 主要从事气候变化和预测的研究。E-mail: quqiaona@yahoo.cn

通讯作者 李栋梁, E-mail: lidl@nuist.edu.cn

cold and warm air confluence in southwestern China, which is the basic condition of icing there; the best related areas of the Middle East jet stream and the icing in southwestern China are the boundary of Sichuan - Yunnan - Guizhou provinces, most of Guizhou Province, the boundary between northern Yunnan Province and southeastern Tibet, the southwest of Shaanxi Province, and about Erlang Mountain, which are the most areas of strong icing on average. Further studies indicate that 500-hPa trough activity around Central Asia is the bond between the Middle East jet stream and the icing in southwestern China. If the sea surface temperature near Bermuda in the north Atlantic is colder in the prior December, the Middle East jet stream will be much stronger in January.

Key words southwestern China, freezing, atmospheric circulation, Middle East jet stream, index of Central Asia trough

1 引言

电线覆冰、道路结冰等冰冻灾害是我国冬半年常见的一种自然灾害,气象工作者对其成因极为关注,并开展了相应的研究。2008 年是典型的覆冰年,陶诗言和卫捷(2008)对 2008 年南方雨雪冰冻灾害 4 次过程进行了对比分析,指出其最突出的特点是“冬行夏令”。La Niña 事件、乌拉尔阻塞高压异常发展、东亚大槽位置的长时间稳定、西风带南支槽的维持、孟加拉湾和南海地区暖湿气流北上、准静止锋长期稳定维持于长江流域、沿高原东侧 100°E 附近南下的冷空气到达我国 30°N~20°N 地区与东亚沿海低纬的偏南风距平气流在我国南方地区形成气旋性环流,均是 2008 年低温雨雪冰冻灾害形成并持续在中国南方的必要条件(丁一汇等, 2008; 顾雷等, 2008; 赵思雄和孙建华, 2008; 王允等, 2008)。赤道中东太平洋的负海温异常和北大西洋的正海温异常均有利于亚洲中高纬地区阻塞高压的加强,从而使得东亚冬季风增强,有利于强冷空气入侵到我国南方地区(刘少锋等, 2008; 付建建等, 2008)。平流层环流异常开始于 2007 年 9 月,2008 年 1 月极涡位置偏向亚洲且达到最强,使得对流层 2008 年 1 月东亚大槽位置偏东,主体北部偏强(刘毅等, 2008; 谭桂容等, 2010)。吕胜辉等(2004)找出了冻雨发生时的天气特点,地面受低压控制,高空处在槽前,有明显的增温现象,槽前西南暖湿气流强盛,存在低空急流。

许丹和罗喜平(2003)从气候学的角度,通过对贵州省的资料进行合成分析发现,重凝冻年与无凝冻年差异最显著的地区在欧亚地区,重凝冻年呈“北高南低”型的距平分布,无凝冻年呈“北低南高”型的距平分布。曲巧娜等(2011)指出,西南地区有覆冰时,500 hPa 高度场距平合成图上呈

“北高南低”的形势,贝加尔湖和巴尔喀什湖之间有一大的温度负值中心,冷空气强盛且能延伸到西南地区;水汽源地主要是阿拉伯海、孟加拉湾的西南暖湿气流和南海的东南暖湿气流。分析指出西伯利亚高压、北极涛动、东亚冬季风强弱与中国冬季地表温度有紧密的关系(王遵娅和丁一汇, 2006; 李勇等, 2007)。另有一些学者通过研究指出,中东急流与中国冬季气候异常存在紧密联系,如张自银等(2008)通过分析发现,东亚大槽偏弱、200 hPa 上中东急流异常偏强、东亚从对流层低层到中层都有异常南风,均有利于南方降水偏多。中东急流偏强、位置偏东南时,500 hPa 上西欧脊加强且东欧大槽加深,有利于欧洲中东部冷空气频繁向东南方向活动,并一直影响到中国西南部,同时中东急流偏强、偏弱年的中国气温显著区域分别位于西南地区(最大差值达 3°C)(倪东鸿等, 2010a, 2010b)。中东急流与 AO 指数有紧密的联系,并且中东急流导致青藏高原南侧的南支槽活动频繁(Wen et al., 2009)。

目前,针对西南地区覆冰的成因研究较为缺乏且主要集中在贵州省,观冰站资料更是稀少,本文利用赵晓萌等(2011)应用模糊信息分配方法进行计算和分析得出的地面日最低气温在 -10~1°C、相对湿度大于 80%、日照时数小于等于 2 个小时三个条件,重建西南地区覆冰的累积日数序列。在此基础上对西南地区覆冰的大尺度环流背景进行分析,并研究中东急流与西南地区覆冰的关系,为覆冰的气候预测提供参考。

2 资料与方法

采用 NCEP 2.5°×2.5°再分析格点资料,垂直方向按照气压分成 17 层,本文主要用到的气象要素是逐日、月平均、气候平均的温度、湿度、风;资

料的水平范围是 ($0^{\circ}\sim 90^{\circ}\text{N}$, $0^{\circ}\sim 180^{\circ}\sim 120^{\circ}\text{W}$); 西南地区 ($25^{\circ}\text{N}\sim 35^{\circ}\text{N}$, $95^{\circ}\text{E}\sim 110^{\circ}\text{E}$) 96 个常规气象观测站 1961 年 1 月 1 日~2009 年 12 月 31 日逐日气象要素资料。

由于西南地区气象常规观测站点分布稀疏, 气象站点有限, 观冰资料尤为缺乏, 本文利用赵晓萌等 (2011) 提出的模糊信息分配方法进行计算和分析得出的地面日最低气温在 $-10\sim 1^{\circ}\text{C}$, 相对湿度大于 80%, 日照时数小于等于 2 个小时三个条件, 重建西南地区覆冰的累积日数序列。据二郎山观冰站统计资料可知, 2002 年~2008 年逐年 1 月的覆冰累积日数平均为 18 天, 重建序列略小于观测。利用西南地区覆冰的累积日数序列, 研究冬季中国西南地区覆冰的变化。继而从中东急流角度出发, 采用相关、合成等诊断方法, 分析其与中国西南地区覆冰的联系。

3 中国西南地区覆冰变化

为了从时空上对中国西南地区覆冰的变化及分布进行分析, 图 1a 给出多年平均覆冰的空间分布。覆冰最严重的区域集中在贵州省的大部分地区和贵州—云南—四川三省的交界处, 比较严重的区域还有陕西省的西南部、四川省中部呈东北—西南走向的带状区域、西藏—云南—四川三省交界处, 这些区域均是冰冻灾害易发生区。将我国西南地区近 50 年覆冰累积日数进行逐年区域平均, 从时间序列图 (图 1b) 上可以看到, 覆冰最严重的年份是 2008 年, 最弱或无覆冰是 1987 年, 1963~1974 年覆冰呈增长趋势, 1975~1987 年为下降趋势, 1988~

1996 年覆冰增长, 1997~2004 年覆冰减少, 2005 年至今覆冰增长且斜率很大, 说明中国西南地区覆冰有较明显的年代际变化, 并且自 2005 年以来有较大的增长幅度。

覆冰日数 (图 1b) 的标准差 σ 为 0.986, 通过计算偏态系数

$$C_s = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^3}{n\bar{x}^3 C_v}$$

其中,

$$C_v = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 / \bar{x}}$$

当 $C_s=0$ 为正态分布; $C_s>0$ 为正偏分布——集中位置偏向数值小的一侧; $C_s<0$ 为负偏分布——集中位置偏向数值大的一侧。得出 $C_s=0.511$, 为正偏分布, 集中位置偏向数值小的一侧。因此, 我们选取弱覆冰年为小于平均值 -1.5σ 的年份, 强覆冰年为大于平均值 $+\sigma$ 的年份。这样挑选的强覆冰年分别是: 2008、1977、1984、1989、1983 年; 弱覆冰年分别是: 1987、1982、1963、1986、2006 年。

由于大气环流对形成覆冰的温度、水汽等条件有直接影响, 下面, 我们首先通过分析强、弱覆冰年的环流异常, 探讨覆冰形成的原因。

4 中国西南地区覆冰的大气环流异常分析

主要从强、弱覆冰年高度场、温度场、对流层中下层水汽通量场三个方面进行对比, 分析西南地区覆冰的典型特征。

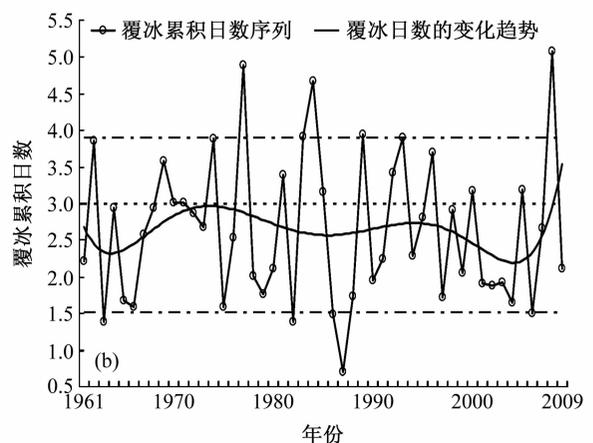
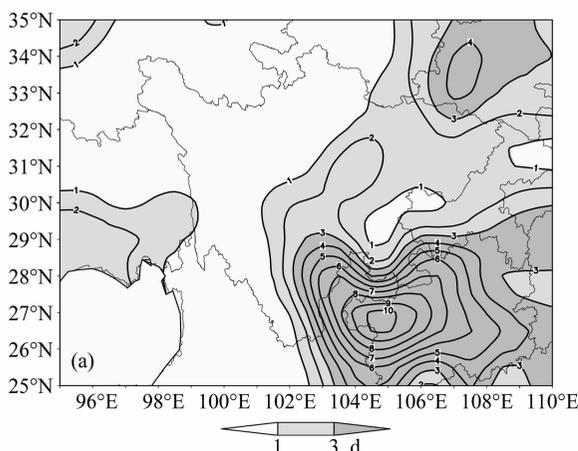


图 1 多年平均冬季 (1 月) 中国西南地区覆冰累积日数 (单位: d): (a) 空间分布; (b) 时间序列

Fig. 1 The cumulative days of icing in southwestern China in Jan (units: d): (a) Spatial distribution; (b) time series

从 5 个强覆冰年的 500 hPa 高度距平合成图(图 2a)可以看出,强覆冰年时北半球欧亚地区为“北高南低”的形势,乌拉尔山高压脊偏强,有利于自新地岛而来的冷空气南下,里海东部低压槽偏强,槽前西南气流从阿拉伯海、孟加拉湾携带大量的水汽,绕青藏高原的南侧输送到西南地区。中高纬地区“西高东低”形势表明,乌拉尔山高压脊与东亚大槽均偏强,使得北方南下的冷空气更强。中低纬地区为“西低东高”的形势,副热带高压偏强,于是北方南下的冷空气堆积在长江南部,冷暖空气在西南地区强烈交汇,是西南覆冰的基本条件。弱覆冰年(图 2b)的形势正好相反,不利于北方冷空气的南下以及暖湿气流向西南地区输送。强覆冰年减弱覆冰年的差值场(图 2c)最明显的特征是,欧

亚地区呈“北正南负”的形势,强覆冰时经向型环流加强并稳定维持,有利于冷暖空气大范围的南北交换,而弱覆冰年时纬向型环流的维持使得西风气流较为平直,不利于冷暖空气的南北交换。

由于我国西南地区位于地理第一阶梯与第二阶梯的交汇处,海拔相对较高,因此,我们通过分析 850 hPa 附近的温度场,探讨西南地区覆冰的近地面温度条件。从强覆冰年 1 月 850 hPa 温度距平场合成(图 3a)能够看出,北半球欧亚地区 50°N~20°N 为一大范围的负值区域,乌拉尔山高压脊前西北气流引导新地岛的冷空气南下,由于欧亚地区经向型环流的加强与稳定维持,冷空气频繁向南爆发,推进到我国西南地区,使得西南地区温度较常年偏低。副热带高压偏强,对冷空气有一定的阻挡作用,大量冷空气堆积在南岭北部。南支槽与副高活跃,西南与东南暖湿气流源源不断地往西南地区输送(图略),与堆积的冷空气对峙,冷暖空气频频

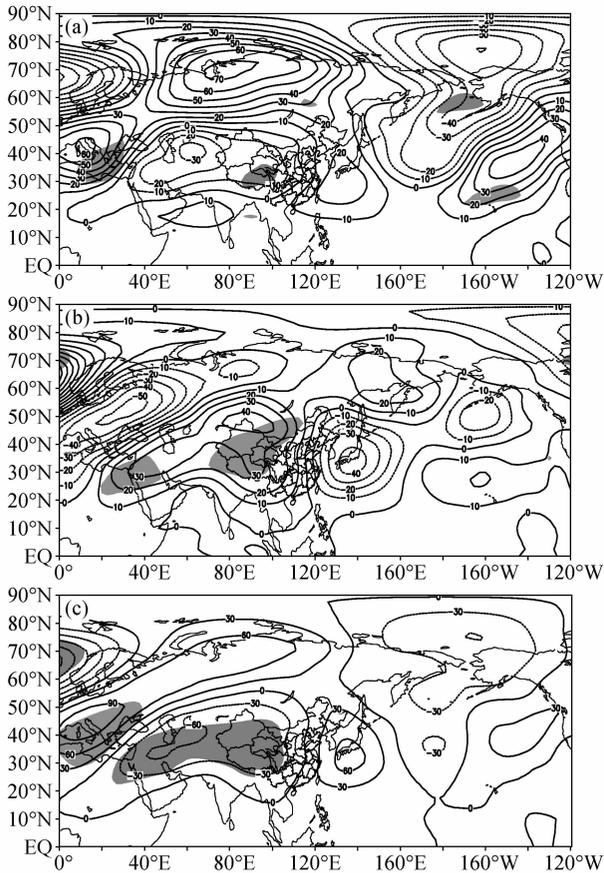


图 2 冬季(1月)500 hPa 高度距平场合成(单位: gpm): (a) 强覆冰年; (b) 弱覆冰年; (c) 强覆冰年减弱覆冰年的差值场。阴影: 通过 95% 信度检验

Fig. 2 Distribution of 500-hPa geopotential height anomaly (gpm) fields in Jan for (a) five strong icing years and (b) five weak icing years and (c) their difference field. Shaded areas denote the values passing the 95% confidence level

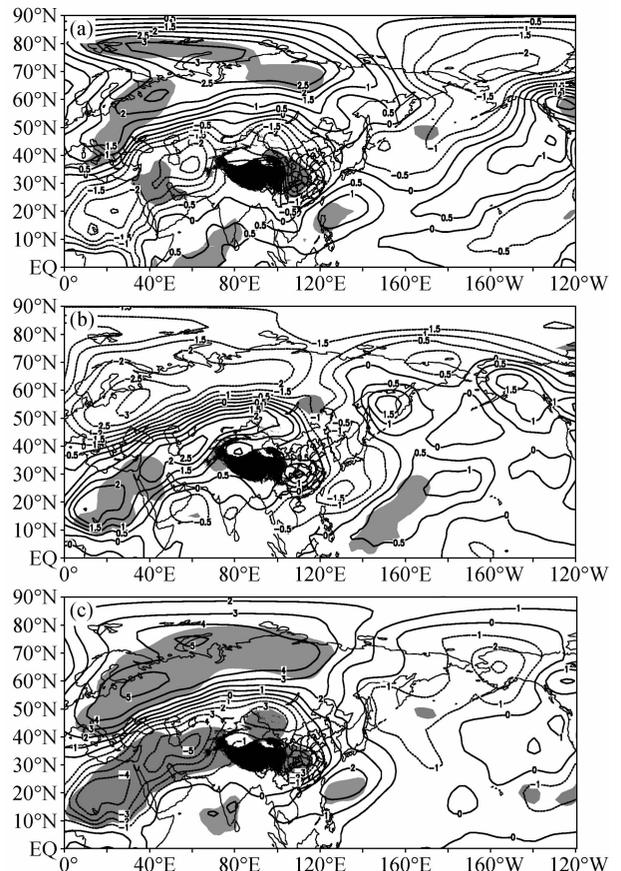


图 3 同图 2, 但为 850 hPa 温度距平场合成(单位: °C)
Fig. 3 The same as Fig. 2, but for 850-hPa temperature anomaly field in Jan (units: °C)

交汇, 极易形成准静止锋。无覆冰年时(图 3b) 则相反, 对应一正值区域, 西南地区暖空气较为强盛, 且西南方向水汽极少, 只有微弱的东南方向水汽(图略)。强覆冰年减弱覆冰年温度差值场(图 3c) 明显特征是, 中低纬地区为一负值区, 且大部分地区通过 95% 信度检验, 说明强、弱覆冰年我国西南地区温度差异是显著的。水汽输送的差异(图略) 较大, 强覆冰年远远大于弱覆冰年。

通过以上分析可知, 大气环流对西南地区形成覆冰的温度、水汽等条件有直接影响。强、弱覆冰年的环流特征与曲巧娜等(2011) 提出的西南地区有覆冰、无覆冰过程合成的结论基本一致, 说明同时满足地面日最低气温在 $-10 \sim 1^{\circ}\text{C}$ 、相对湿度大于 80%、日照时数小于等于 2 个小时这三个条件能够反映西南地区覆冰的强弱, 因此, 我们从同时满足这三个因子的角度出发, 进一步分析西南地区覆冰的成因。

5 冬季中东急流对我国西南地区覆冰的影响

北半球冬季有 3 个副热带西风急流, 分别为东亚急流、中东急流、北美急流。中东急流是北半球较重要的一支西风急流, 它位于埃及和沙特阿拉伯北部、中国西南地区的上游区域。研究表明冬季中东急流的位置和强度变化与中国冬季气候异常尤其中国西南地区温度有非常紧密的联系(张自银等, 2008; Wen et al., 2009; 倪东鸿等, 2010a, 2010b)。那么, 冬季中东急流与我国西南地区覆冰有无关

系, 发挥着什么样的作用, 本章就这些问题进行讨论。

5.1 中东急流指数与西南地区覆冰的相关

本文采用 Yang et al. (2004) 定义的冬季中东急流指数:

$$I_E = u_1 - u_2,$$

其中, I_E 为中东急流指数, u_1 为 ($20^{\circ}\text{N} \sim 30^{\circ}\text{N}$, $40^{\circ}\text{E} \sim 70^{\circ}\text{E}$) 区域的 200 hPa 纬向风场, u_2 为 ($30^{\circ}\text{N} \sim 40^{\circ}\text{N}$, $15^{\circ}\text{E} \sim 45^{\circ}\text{E}$) 区域的 200 hPa 纬向风场。当 I_E 为正值时, 中东急流偏强、位置偏东南; 当 I_E 为负值时, 中东急流偏弱、位置偏西北。

图 4a 给出了 1 月中东急流指数(虚线) 与同期中国西南地区区域平均覆冰日数(实线) 的时间序列, 发现两者在年际变化上具有很好的同步性, 其相关系数达到 0.488, 通过 99.9% 的显著性检验。继而分析 1 月中东急流指数与同期西南地区逐站覆冰日数的相关(图 4b), 可以看到相关最好的区域位于贵州省大部地区, 四川、云南、贵州三省交界处, 云南、西藏交界处, 陕西省西南部以及四川二郎山附近, 均为通过 95% 显著性检验的正相关。说明当 I_E 为正值、中东急流强度偏强、位置偏东南时, 中国西南地区覆冰日数偏多。与多年平均 1 月份的中国西南地区覆冰日数(图 1a) 对比发现, 覆冰严重的区域与相关最好的区域具有很好的一致性。由此看出, 中东急流是影响中国西南地区覆冰的关键因子。下面通过强、弱覆冰年 1 月份 200 hPa 纬向风场及距平场合成进行对比, 分析覆冰强、弱时中东急流强度、主体位置的显著性差异。

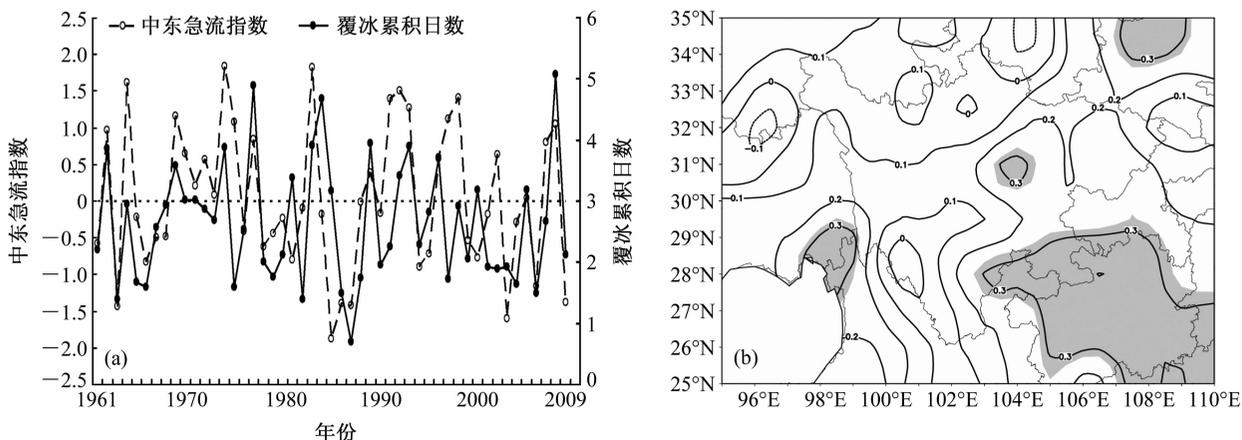


图 4 冬季(1月)中东急流指数与同期中国西南地区覆冰日数: (a) 时间序列; (b) 相关系数。阴影: 通过 95% 信度检验

Fig. 4 The index of the Middle East jet stream (dotted line) and the days of icing averaged over southwestern China in Jan (solid line): (a) Time series; (b) correlation coefficient. Shaded areas denote the values passing the 95% confidence level

5.2 西南地区覆冰强、弱年中中东急流的差异

从上面的分析可以看出,中东急流与中国西南地区覆冰日数有紧密的关系,我们进一步分析强、弱覆冰年时中东急流主体位置及强度的主要差异。为此,分别选取 5 个强覆冰年和 5 个弱覆冰年的 200 hPa 纬向风场及距平场进行合成,并分析其差值场。

对比图 5 可以看到,强覆冰年时(图 5a)中东急流中心位于阿拉伯半岛北部—伊朗高原(30°E~70°E),强度达到 55 m/s,而弱覆冰年时(图 5b)主体位置偏西,位于北非与阿拉伯半岛北部的交界处,并且中心范围小(15°E~40°E),强度为 50 m/s。从它们对应的距平图(图 5c、d)上可以看到,在阿拉伯半岛北部—伊朗高原附近分别对应一个强大的正值中心(中东急流偏强)和负值中心(中东急流偏弱),并且差值场(图 5e)最大中心区域通过 95% 的显著性检验。说明强、弱覆冰年时中东急流强度、主体位置差异很大。当中东急流主体位置偏东南、强度偏强时,西南地区覆冰严重;当中东急流主体位置偏西北、强度偏弱时,西南地区无覆冰或较弱。然而,冬季 1 月中东急流如何影响中国西南地区覆冰强度? 中间的纽带是什么? 下面就这个问题进一步讨论。

通过分析图 5a 上中东急流主体的位置,在出口区 65°E 取经向剖面,分析其垂直速度可知(图略),中东急流主体(大约 20°N~30°N)的北侧(30°N~45°N)为强烈的上升气流,而南侧为下沉气流。由运动方程(丁一汇, 2005):

$$\frac{du}{dt} = f(v - v_g) = f v_{ag},$$

可知,在急流出口区北侧辐散、南侧辐合,进而急流主体北侧出现上升气流,南侧出现下沉气流,低层大气质量调整会分别产生辐合、辐散。急流出口区北侧对应的低层辐合区正是 500 hPa 中亚低槽活动区域。

5.3 中亚低槽活动与中国西南地区覆冰的关系

由上节的分析可以得到,200 hPa 中东急流对 500 hPa 中亚低槽活动有引导作用。通过分析 1 月中东急流指数与同期 500 hPa 高度场的相关(图 6a) 可以看到,当中东急流指数偏强时,欧洲脊加强、中亚低槽活跃、东亚大槽减弱,且均通过了 99% 信度检验。与此同时,分析 1 月中国西南地区

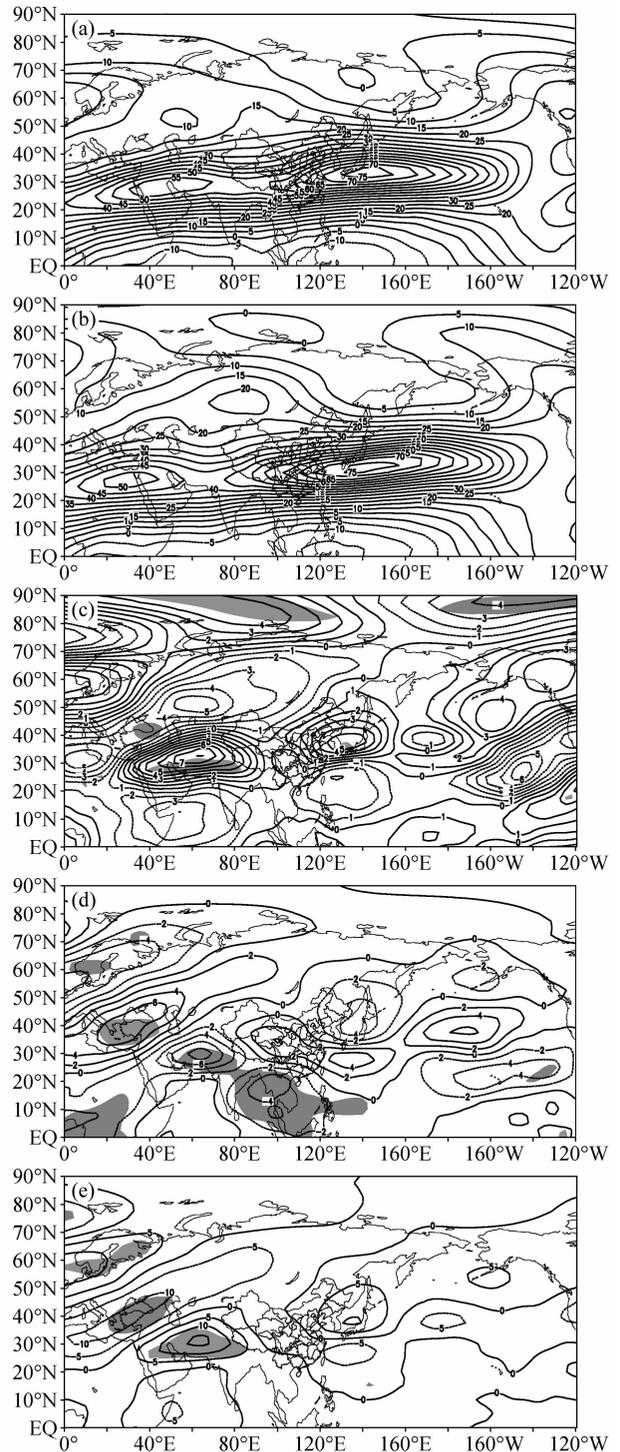


图 5 冬季(1月)200 hPa 纬向风场(a、b)及其距平场(c、d)合成(单位: m/s);(a、c)强覆冰年;(b、d)弱覆冰年;(e)强覆冰年减弱覆冰年的差值场。阴影:通过 95% 信度检验
Fig. 5 Distribution of (a, b) 200-hPa zonal wind and (c, d) its anomaly in Jan for (a, c) five strong icing years and (b, d) five weak icing yeas (units: m/s); (e) the difference of 200-hPa zonal wind between them. Shaded areas denote the values passing the 95% confidence level

区域平均覆冰日数与同期 500 hPa 高度场的相关 (图 6b) 能够发现, 当西南地区覆冰严重时, 500 hPa 乌拉尔山高压脊及中亚低槽均偏强 (通过 99% 信度检验)。这样, 500 hPa 中亚低槽就成了联系中东急流与中国西南地区覆冰的纽带。

通过图 6a、b 的比较, 我们选取两张图中均通过 99% 信度检验且大致重叠的区域, 认定这一区域为关键区域 (中亚低槽活动区)。为了进一步分析的方便, 定义了一个中亚低槽活动指数, 即挑选图 6a 中亚低槽频繁活动并且与中东急流指数的相关达到 99% 信度检验的区域, 求区域平均:

$$I = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i,$$

其中, x_i 是格点上的高度值, i 为区域中符合条件的格点数。I 值越小, 中亚低槽越强; I 值越大, 中亚低槽越弱。计算的中亚低槽指数如图 7a, 从图中

可以看到明显的年际变化及年代际趋势。总体来说, 近 50 年中亚低槽趋于减弱, 主要表现在 1961~1970 年代的异常偏强, I 值小; 1980 年代偏弱, I 值增大; 1990 年代及以后在波动中。

分析冬季 1 月中亚低槽活动指数与同期中国西南地区逐站覆冰日数的相关 (图 7b) 可以看到, 相关最好的区域 (通过 95% 信度检验) 位于贵州省大部地区, 四川、云南、贵州三省交界处, 陕西省的南部、云南省北部、四川省的西部, 这些与图 1a、图 4b 的大值区域几乎一致。说明建立的中亚低槽活动指数能够很好地反映我国西南地区覆冰的强弱。当指数偏小时, 中亚低槽偏强, 槽前西南气流能够携带阿拉伯海、孟加拉湾的西南暖湿气流越过青藏高原的南侧源源不断地输送到我国西南地区, 这与第 4 节分析的结论是一致的, 能够互相验证。

倪东鸿 (2010) 利用 CAM3 全球大气环流模式

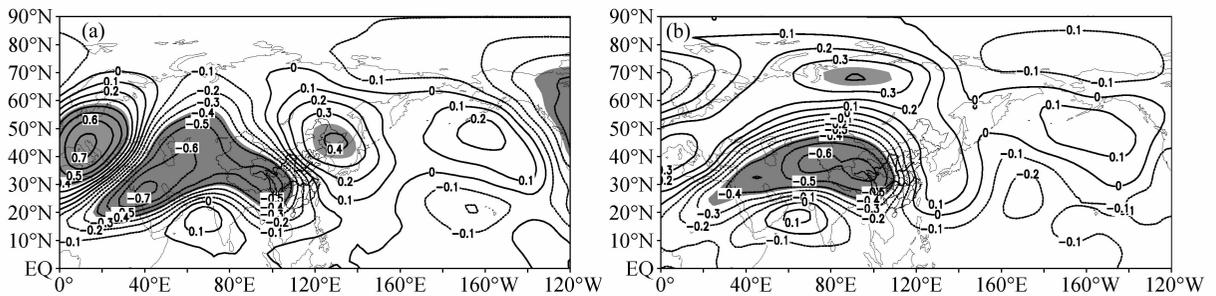


图 6 冬季 (1 月) 中东急流指数 (a) 和中国西南地区覆冰日数 (b) 分别与 500 hPa 高度场的相关。阴影: 通过 99% 信度检验
Fig. 6 The correlation between (a) the index of Middle East jet stream and (b) the icing days averaged over southwestern China in Jan with the 500-hPa geopotential height field. Shaded areas denote the values passing the 99% confidence level

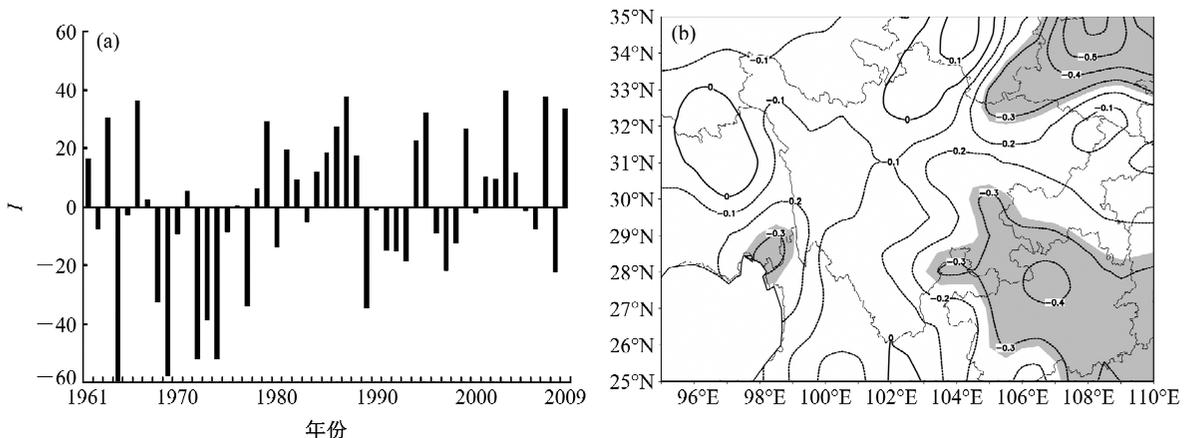


图 7 冬季 (1 月) 中亚低槽活动指数 I (a) 及其与中国西南地区覆冰日数的相关系数 (b)。阴影: 通过 95% 信度检验
Fig. 7 (a) The time series about the index of the Central Asia trough and (b) the correlation between the index and the icing days. Shaded areas denote the values passing the 95% confidence level

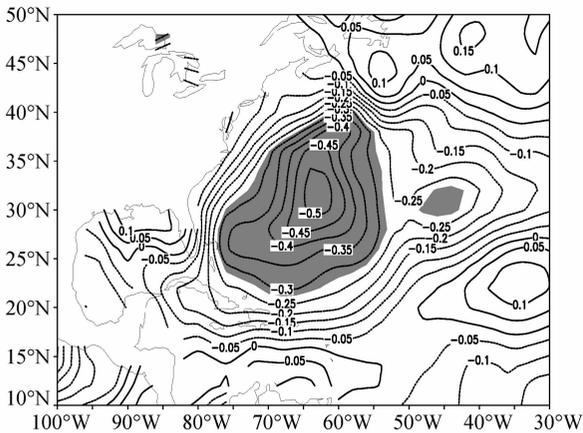


图 8 1 月中东急流指数与前期 12 月北大西洋海温的相关。阴影: 通过 95% 信度检验

Fig. 8 The correlation between the index of the Middle East jet stream in Jan and the SST in the previous month (Dec). Shaded areas denote the values passing the 95% confidence level

分析指出, 当前期 12 月北大西洋关键区 ($24^{\circ}\text{N}\sim 38^{\circ}\text{N}$, $75^{\circ}\text{W}\sim 40^{\circ}\text{W}$) 的海温偏低时, 次年 1 月中东急流指数偏强, 反之, 指数偏弱。通过分析可知 (图 8), 1 月中东急流指数与前期 12 月北大西洋百慕大群岛区域 ($22^{\circ}\text{N}\sim 40^{\circ}\text{N}$, $78^{\circ}\text{W}\sim 52^{\circ}\text{W}$) 海温的相关很好, 为负相关 (通过 95% 信度检验), 即当 12 月这一关键区域海温偏低时, 次月中东急流偏强。

综合以上分析可以得到以下结论, 当北大西洋百慕大群岛区域海温异常偏低时, 次月中东急流偏强, 在急流出口区北侧辐散运动加强, 进而急流主体北侧出现强烈的上升气流, 低层大气 500 hPa 中亚低槽活动区域辐合运动增强, 槽前西南气流能够携带大量的暖湿气流到我国西南地区, 与北方南下的冷空气交汇, 因此我国西南地区覆冰偏强。

6 结论与讨论

(1) 近 50 年来, 中国西南地区覆冰最严重的年份是 2008 年, 最弱或无覆冰年是 1987 年, 1963~1974 年覆冰呈增长趋势, 1975~1987 年为下降趋势, 1988~1996 年覆冰增多, 1997~2004 年覆冰减少, 2005 年至今覆冰增长且斜率很大, 说明中国西南地区覆冰有较好的年代际变化, 并且自 2005 年以来有较大的增长幅度。

(2) 强、弱覆冰年时, 北半球欧亚大陆 500 hPa 高度距平场分别对应“北高南低”和“北低南高”

的形势, 这是西南地区覆冰的大气环流最显著的差异。

(3) 冬季 1 月中东急流与中国西南地区覆冰有紧密的联系, 相关最好的区域位于贵州省大部地区, 四川、云南、贵州三省交界处, 云南省北部与西藏东南部交界处, 陕西省西南部以及川西二郎山附近, 这些均是最易发生覆冰严重的区域。

(4) 冬季 1 月中东急流与中国西南地区覆冰强度之间的纽带是北半球欧亚大陆大气环流的异常, 通过 500 hPa 中亚低槽活动, 能够很好地将中东急流的变化与西南地区覆冰强、弱联系起来。

(5) 建立起影响中国西南地区覆冰变化的概念模型: 前冬 (12 月) 北大西洋百慕大群岛区域海温异常偏低—隆冬 (1 月) 中东急流偏强—中亚低槽偏强—中国西南地区覆冰偏强。

参考文献 (References)

- 丁一汇. 2005. 高等天气学 [M]. 北京: 气象出版社, 138-149.
Ding Yihui. 2005. Advanced Synoptic Meteorology (in Chinese) [M]. Beijing: China Meteorological Press, 138-149.
- 丁一汇, 王遵娅, 宋亚芳, 等. 2008. 中国南方 2008 年 1 月罕见低温雨雪冰冻灾害发生的原因及其与气候变暖的关系 [J]. 气象学报, 66 (5): 808-825. Ding Yihui, Wang Zunya, Song Yafang, et al. 2008. Causes of the unprecedented freezing disaster in January 2008 and its possible association with the global warming [J]. Acta Meteorologica Sinica (in Chinese), 66 (5): 808-825.
- 付建建, 李双林, 王彦明. 2008. 前期海洋热状况异常影响 2008 年 1 月雪灾形成的初步研究 [J]. 气候与环境研究, 13 (4): 478-490. Fu Jianjian, Li Shuanglin, Wang Yanming. 2008. Influence of prior thermal state of global oceans on the formation of the disastrous snow storm in January 2008 [J]. Climatic and Environmental Research (in Chinese), 13 (4): 478-490.
- 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.
- 李勇, 陆日宇, 何金海. 2007. 影响我国冬季温度的若干气候因子 [J]. 大气科学, 31 (3): 505-514. Li Yong, Lu Riyu, He Jinhai. 2007. Several climate factors influencing the winter temperature over China [J]. Chinese Journal of Atmospheric Sciences (in Chinese), 31 (3): 505-514.
- 刘少锋, 陈红, 林朝晖. 2008. 海温异常对 2008 年 1 月中国气候异常影响的数值模拟 [J]. 气候与环境研究, 13 (4): 500-509. Liu Shaofeng, Chen Hong, Lin Zhaohui. 2008. Numerical simu-

- lation of the impact of sea surface temperature anomalies on the climate anomalies over China in January 2008 [J]. *Climatic and Environmental Research (in Chinese)*, 13 (4): 500–509.
- 刘毅, 赵燕华, 管兆勇. 2008. 平流层环流异常对 2008 年 1 月雪灾过程的影响 [J]. *气候与环境研究*, 13 (4): 548–555. Liu Yi, Zhao Yanhua, Guan Zhaoyong. 2008. Influences of stratospheric circulation anomalies on tropospheric weather of the heavy snowfall in January 2008 [J]. *Climatic and Environmental Research (in Chinese)*, 13 (4): 548–555.
- 吕胜辉, 王积国, 邱菊. 2004. 天津机场地区冻雨天气分析 [J]. *气象科技*, 32 (6): 456–460. Lü Shenghui, Wang Jiguo, Qiu Ju. 2004. Analysis of freezing rains at Tianjin airport [J]. *Meteorological Science and Technology (in Chinese)*, 32 (6): 456–460.
- 倪东鸿, 孙照渤, 李忠贤, 等. 2010a. 冬季中东急流与中国气候异常的联系 [J]. *气象科学*, 30 (3): 301–307. Ni Donghong, Sun Zhaobo, Li Zhongxian, et al. 2010a. Relation of Middle East jet stream and China climate anomaly in winter [J]. *Scientia Meteorologica Sinica (in Chinese)*, 30 (3): 301–307.
- 倪东鸿, 孙照渤, 李忠贤, 等. 2010b. 冬季中东急流时空变化特征及其与中国气候的关系 [J]. *解放军理工大学学报 (自然科学版)*, 11 (3): 354–359. Ni Donghong, Sun Zhaobo, Li Zhongxian, et al. 2010b. Spatiotemporal characteristics of the Middle East jet stream and its relationship with China climate in winter [J]. *Journal of PLA University of Science and Technology (Natural Science Edition) (in Chinese)*, 11 (3): 354–359.
- 倪东鸿. 2010. 中东急流 (MEJS) 的变化特征及其对中国冬季气候的影响 [D]. 南京信息工程大学博士论文, 97–117. Ni Donghong. 2010. Variation characteristics of the Middle East Jet Stream (MEJS) and its impact on China climate in winter [D]. Ph. D. dissertation (in Chinese), Nanjing University of Information Science & Technology, 97–117.
- 曲巧娜, 李栋梁, 杨绚, 等. 2011. 我国西南地区电线覆冰天气过程的大气环流异常分析 [J]. *高原气象*, 30 (3): 641–650. Qu Qiaona, Li Dongliang, Yang Xuan, et al. 2011. Circulation anomalies during weather process of electric wire freezing in southwestern China [J]. *Plateau Meteorology (in Chinese)*, 30 (3): 641–650.
- 陶诗言, 卫捷. 2008. 2008 年 1 月我国南方严重冰冻灾害过程分析 [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.
- 谭桂容, 陈海山, 孙照渤, 等. 2010. 2008 年 1 月中国低温与北大西洋涛动和平流层异常活动的联系 [J]. *大气科学*, 34 (1): 175–183. Tan Guirong, Chen Haishan, Sun Zhaobo, et al. 2010. Linkage of the cold event in January 2008 over China to the North Atlantic Oscillation and stratospheric circulation anomalies [J]. *Chinese Journal of Atmospheric Sciences (in Chinese)*, 34 (1): 175–183.
- 王允, 张庆云, 彭京备. 2008. 东亚冬季环流季节内振荡与 2008 年初南方大雪关系 [J]. *气候与环境研究*, 13 (4): 459–467. Wang Yun, Zhang Qingyun, Peng Jingbei. 2008. Relationship between the intraseasonal oscillation of East Asian monsoon circulation and the heavy snow over southern China in boreal winter of 2007/2008 [J]. *Climatic and Environmental Research (in Chinese)*, 13 (4): 459–467.
- 王遵娅, 丁一汇. 2006. 近 53 年中国寒潮的变化特征及其可能原因 [J]. *大气科学*, 30 (6): 1068–1076. Wang Zunya, Ding Yihui. 2006. Climate change of the cold wave frequency of China in the last 53 years and the possible reasons [J]. *Chinese Journal of Atmospheric Sciences (in Chinese)*, 30 (6): 1068–1076.
- Wen M, Yang S, Kumar A, et al. 2009. An analysis of the large-scale climate anomalies associated with the snowstorms affecting China in January 2008 [J]. *Mon. Wea. Rev.*, 137: 1111–1131, doi: 10.1175/2008MWR2638.1.
- 许丹, 罗喜平. 2003. 贵州凝冻的时空分布特征和环流成因分析 [J]. *高原气象*, 22 (4): 401–404. Xu Dan, Luo Xiping. 2003. Time and space characters of congeal in Guizhou and circulation features analyses [J]. *Plateau Meteorology (in Chinese)*, 22 (4): 401–404.
- Yang S, Lau K-M, Yoo S-H, et al. 2004. Upstream subtropical signals preceding the Asian summer monsoon circulation [J]. *J. Climate*, 17: 4213–4229.
- 张自银, 龚道溢, 郭栋, 等. 2008. 我国南方冬季异常低温和异常降水事件分析 [J]. *地理学报*, 63 (9): 899–912. Zhang Ziyin, Gong Daoyi, Guo Dong, et al. 2008. Anomalous winter temperature and precipitation events in Southern China [J]. *Acta Geographica Sinica (in Chinese)*, 63 (9): 899–912.
- 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.
- 赵晓萌, 李栋梁, 熊海星, 等. 2011. 西南地区覆冰气象要素的变化特征及综合评估 [J]. *自然资源学报*, 26 (5): 802–813. Zhao Xiaomeng, Li Dongliang, Xiong Haixing, et al. 2011. Variations of meteorological factors concerning icing and comprehensive assessment in Southwest China [J]. *Journal of Natural Resources (in Chinese)*, 26 (5): 802–813.