

张灵,周月华. 2015. 湖北异常初雪日的成因分析及预测. 气象, 41(3): 346-352.

湖北异常初雪日的成因分析及预测^{* 1}

张 灵 周月华

武汉区域气候中心, 武汉 430070

提 要: 统计湖北省 76 站 1961/1962—2012/2013 共 52 年大范围初雪偏早/偏晚年份, 揭示初雪日异常早/晚年同期环流特征, 初雪偏晚当年 11 月至次年 2 月海温、高度场及低层风场的典型分布表现为: 中高纬的西北太平洋海温及新西兰东侧南太平洋海温异常偏高, 有利于乌拉尔山脊减弱、贝加尔湖低压及阿留申地区低压减弱, 东亚大槽偏强同时孟加拉湾槽偏弱, 对应 500 hPa 高度距平场上欧亚大陆自北至南呈“— + —”的波列分布, 中国大陆地区低层风场被北风距平控制; 反之, 初雪偏早。2013/2014 年关键区海温及环流分布符合典型的初雪偏晚对应特征。利用 1961—1992 年 11 月关键区海温首次建立湖北初雪日预测模型, 准确预测 2013 年冬季初雪偏晚, 同时针对 1993—2012 年初雪早晚的回报检验准确率达 75%, 为预测湖北初雪发生的早晚提供了新方法。

关键词: 湖北初雪日, 成因分析, 冬季初雪预测模型

中图分类号: P456

文献标志码: A

doi: 10. 7519/j. issn. 1000-0526. 2015. 03. 010

Cause Analysis and Prediction of Abnormal First Snow Date in Hubei

ZHANG Ling ZHOU Yuehua

Wuhan Regional Climate Centre, Wuhan 430070

Abstract: Based on the first snow date (FSD) data of Hubei from 1961/1962 to 2012/2013, we reveal the atmospheric circulation features in abnormal early/late FSD. For the late FSD years in Hubei Province, the circulation distribution of the sea surface temperature anomaly (SSTA), the height anomaly and low-level wind field from November to February that year can be illustrated as follow: SSTA in Northwest Pacific and in the Southern Pacific Ocean to the east of New Zealand is abnormally higher, which is good for the weakening of Ural Mountains Ridge, and the weakening of Lake Baikal low-pressure and Aleutian low. Meanwhile, East Asian trough is strengthened and Bengal Bay trough is weakened. The corresponding 500 hPa height field shows a “— + —” wave train distribution from north to south in Eurasia. In mainland China, the low-level wind field is controlled by abnormal north winds. Otherwise, the FSD comes early. Typical circulation distribution in 2013/2014 agrees with the late FSD in Hubei. In addition, prediction model for FSD is established by using SSTA in the key areas, which accurately predicts the late FSD in 2013/2014 and gives a good reforecasting test with the accuracy getting to 75%. So, this is a new method for the prediction of FSD in Hubei.

Key words: the first snow date (FSD) in Hubei, cause analysis, winter FSD prediction model

* 公益性行业(气象)科研专项(GYHY201306024 和 GYHY201306021)及湖北省气象局科技课题(2013Z03)共同资助
2014 年 2 月 20 日收稿; 2014 年 12 月 31 日收修定稿
第一作者: 张灵, 主要从事短期气候预测研究工作. Email: zhanglingwh2011@163. com
通信作者: 周月华, 主要从事气候分析预测和气象灾害评估的业务工作. Email: zyh_dmm@foxmail. com

引言

湖北省位于长江中游,地处东亚季风气候区,天气变化剧烈,夏季风异常时,可能出现严重的旱、涝灾害(李维京,1999;封国林等,2012;刘芸芸等,2009),而冬季风异常引发的低温雨雪冰冻天气(丁一汇等,2008;高辉等,2008;王凌等,2008;孙丞虎等,2012),则可对交通、电力、农业等国民经济和人民生活造成严重影响(周月华等,2010;万素琴等,2008)。现有对降雪的相关研究,多集中分析辽宁、新疆和青藏高原等降雪多发地(赵春雨等,2010;董安祥等,2004;韦志刚等,2002;刘玉莲等,2013;董文杰等,2001)的降雪日数时空变化规律,或者是单次降雪过程的天气诊断(王文等,2000;刁秀广等,2011;王亚非等,2008;杜小玲等,2014;李多等,2012),缺乏对初雪发生早/晚的气候背景细致的研究,对于初雪发生早晚的预测能力相对薄弱,同时与北方地区相比,南方地区虽然降雪频次较少,强度也偏弱,但南方降雪湿度大、年际差异明显且对异常冰冻天气应对能力偏弱,因此预测初雪开始的早晚具有重要的意义。2013/2014年冬季,湖北大范围的初雪异常偏迟,其中武汉站出现了自1951年以来的次晚初雪,仅早于1970/1971年(1971年2月24日)。从全国范围内来看,往年一些相对湖北初雪偏早的我国北方部分地区至1月中旬未出现降雪,四季如春的昆明却于12月15日普降大雪,这种异常现象的出现值得思索。本文从湖北省1961/1962—2012/2013年共52年初雪日偏早/晚年着眼,揭示同期环流特征,同时从环流大背景的角度解释湖北地区2013/2014年冬季初雪偏晚原因,此外通过诊断分析找出影响湖北初雪发生早/晚的海温外强迫和重要环流系统,尝试建立初雪日预测模型,并检验此预测模型20年的回报效果。

1 湖北省异常初雪日的特征

1.1 湖北初雪日的统计特征及异常年的挑选

研究湖北省平均初雪日统计特征。将湖北省1961—2012年逐年76站初雪日的平均值作为当年的全省初雪日。湖北省常年平均(1981—2010年)初雪日为12月19日,最早的初雪出现在2009年

11月16日,最晚在2012年1月10日。湖北初雪日集中出现在11月中旬至1月中旬,出现概率为95%,其中以12月出现的概率最高,达55%。

异常偏早/晚年份的选取。考虑两个指标,一是该年在全省初雪序列中的异常性指标。标准化处理全省平均初雪日序列(图1),将标准化后数值 >0.65 或 <-0.65 作为挑选异常年份须满足的标准;二是全省空间上的一致性指标。为了避免局地性的异常晚/早影响全省平均初雪时间序列的代表性,定义相对单站常年平均初雪日晚/早的年份为单站初雪偏晚/早年,计算出历年单站初雪晚/早的站数占总站数的百分率,将百分率达到75%作为异常年份挑选的另一个标准。依据以上指标最终得到7个初雪异常晚/早年。其中,初雪偏早的7年分别为1974、1976、1993、2009、1964、1987和2000年,这7年中前4年初雪偏早站数达75站;偏晚的7年分别为1977、2008、2007、1992、1990、1980和2005年,除2005和1980年外,其他5年超过60站初雪偏晚。

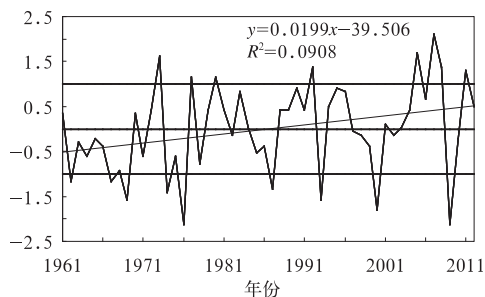


图1 1961—2012年湖北省平均初雪日的标准化时间序列

Fig. 1 Standardized time series of the average first snow date (FSD) in Hubei over 1961–2012

西伯利亚高压指数与东亚冬季风指数均是描述中国大陆冬季冷空气强弱的重要指标(朱艳锋,2008),将10月至次年2月各月及冬季的西伯利亚高压及冬季风指数分别与去趋势后的平均初雪日时间序列进行相关分析,发现仅11月的相关通过 $\alpha=0.05$ 显著性水平检验,分别为 -0.34 和 -0.29 ,而与整个冬季的指数相关程度较弱。在初雪异常早的7年中,至少5年的11月的西伯利亚高压指数偏强,但12月以及冬季偏强年份都仅有3年。

另外,通过初雪异常早/晚年份的各月温度偏高频次差值 t 检验发现,差异最显著的月份也为11月,其次为12月(图略),即初雪偏早,冬季风转变相对

早,反之亦然。

1.2 初雪异常年的环流特征

依据湖北省初雪偏早的 7 年和偏晚的 7 年进行 11 月至次年 2 月的 500 hPa 高度距平、850 hPa 风场距平场合成分析及湖北省温度偏高频次合成分析。
当初雪异常偏早,高度异常场(图 2a)在欧亚大

陆上呈现明显的北高南低,且自西北至东南为“+ + +”的遥相关波列分布,主要的正、负异常中心分别位于格陵兰岛—新地岛、贝加尔湖—蒙古大部、华南—日本群岛。这种分布在 30°N 以北是以经向环流为主,利于来自高纬度的冷空气南下,同期 11 月至次年 2 月在湖北除了西南局部外,其他大部平均温度相对历史同期偏低的可能性极大(图 3a)。

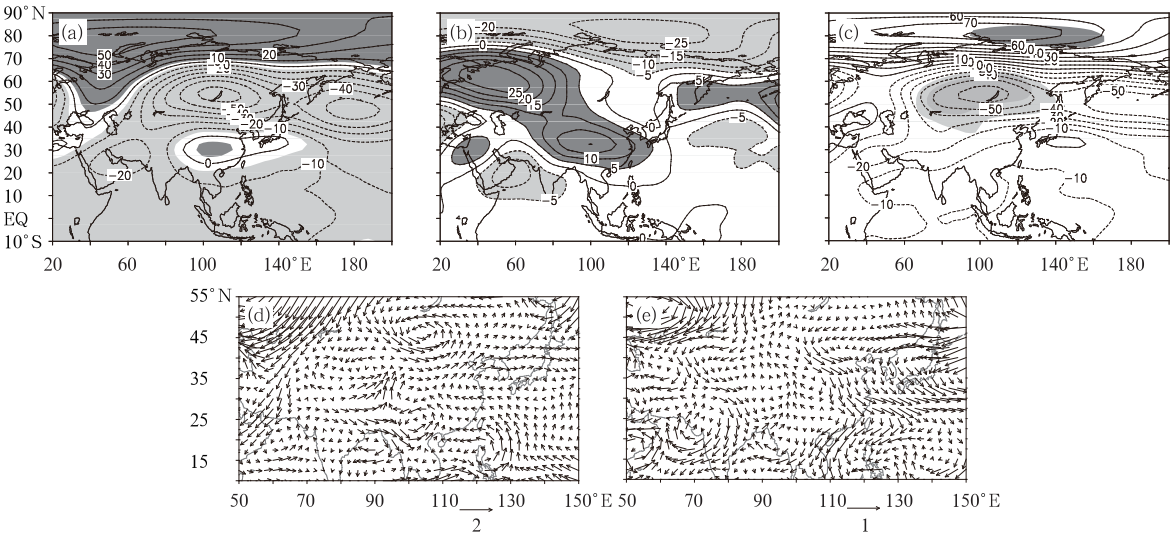


图 2 11 月至次年 2 月湖北省初雪偏早年(a)、偏晚年(b)、差值场(c)的 500 hPa 高度距平场(单位:gpm)及偏早年(d)、偏晚年(e)850 hPa 风场距平场(单位: $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$)
(图 2c 阴影区为通过 $\alpha=0.05$ 显著性水平检验区域)
Fig. 2 500 hPa height anomaly (a) in early FSD, (b) in late FSD, (c) difference field (unit: gpm) and 850 hPa wind (d) in early FSD, (e) in late FSD from November to February (unit: $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$)
(The shaded area in Fig. 2c has passed the significance level test of $\alpha=0.05$)

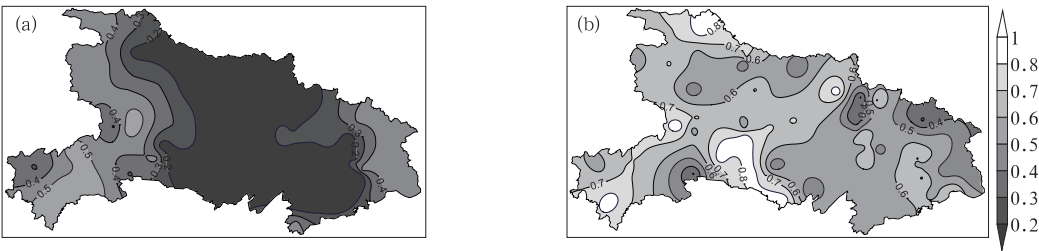


图 3 11 月至次年 2 月湖北省初雪偏早年(a)和偏晚年(b)温度偏高频次
(a) 1974、1976、1993、2009、1964、1987 和 2000 年,(b) 1977、2008、2007、1992、1990、1980 和 2005 年
Fig. 3 Frequency of warmer temperature from November to February
(a) in early FSD and (b) in late FSD years
(a) 1974、1976、1993、2009、1964、1987 和 2000 (b) 1977、2008、2007、1992、1990、1980 和 2005

而在低层 850 hPa 上,对应上述正、负异常中心存在着明显的反气旋式与气旋式风场距平环流(图 2d)。高纬度地区以新地岛为中心的反气旋式距平环流使得极地冷空气不断南侵,其东南侧的偏东

北气流加强了以蒙古为中心的气旋式距平环流。该气旋西侧的偏北气流南下,与来自以南海为中心的气旋东侧的东南气流及来自印缅地区的偏南气流交汇,冷暖空气汇合利于降水(雪)的发生。

初雪异常偏晚,高度异常场自北向南呈“一十”的分布(图 2b)。北冰洋至东亚大陆北部为负异常,整个欧亚大陆经鄂霍次克海至阿留申地区为正异常,中国大陆也为正异常中心,东亚地区以纬向环流为主,冷空气相对较弱,同期 11 月至次年 2 月湖北大部平均温度相对历史同期偏高的频次较高(图 3b),而低层 850 hPa 风场距平场上以日本群岛为中心的气旋西侧的偏北气流影响中国大陆;在中国大陆的南面以南海为中心存在着气旋式环流,其西北侧的偏东北气流加强了中国大陆盛行的北风,使得南边暖湿气流无法北上(图 2c)。

初雪异常偏早/晚年的高度差值场自西北向东南呈“十”分布(图 2c),其中正、负、正中心分别位于西伯利亚群岛至北极、贝加尔湖至阿留申地区、日本群岛,这些中心也是研究湖北地区初雪日早、晚应重点关注的区域。

2 影响湖北初雪日的重要系统

将湖北 76 站 52 年的初雪日时间序列标准化后进行 EOF 分解,第一主模态的空间特征向量表现出全省一致为正,意味着第一模态的空间分布为一致早或晚型(图 4a)。

EOF 分解第一模态对应的时间系数(简称 PC1,图略)与湖北 76 站平均初雪日的标准化时间序列都存在着显著的偏晚趋势,偏晚的速率相同,均为 $0.02\text{ d}\cdot\text{a}^{-1}$ (图 1)。鉴于 PC1 与湖北省初雪日序列相关大多通过 $\alpha=0.001$ 显著性水平检验(图 4b),为进一步了解初雪日异常对应的环流特征,将 PC1 去趋势后的序列作为自变量,500 hPa 高度距平场作为因变量,进行回归分析。回归场(图 5a)显示欧亚大陆自北向南呈现出“一十”的波列分布,

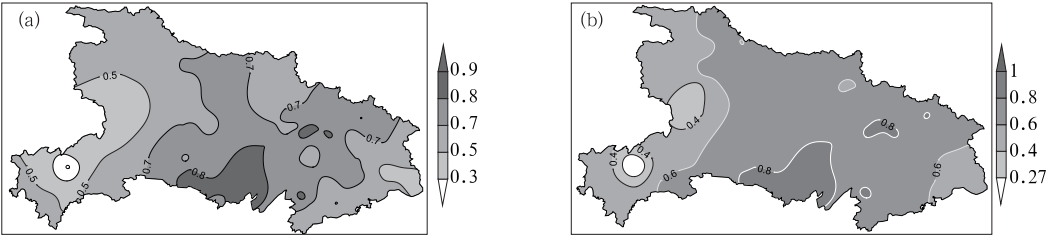


图 4 (a)湖北省 76 站标准化初雪日序列 EOF 分解第一主模态的空间分布, (b) EOF1 时间系数与湖北省 76 站初雪日序列的相关分布
(图 4b 阴影区为通过 $\alpha=0.001$ 显著性水平检验区域)

Fig. 4 (a) The first leading EOF mode of FSD, (b) the correlation coefficient between the first PC of EOF and FSD for 76 stations in Hubei
(The shaded area has passed the significance level test of $\alpha=0.001$)

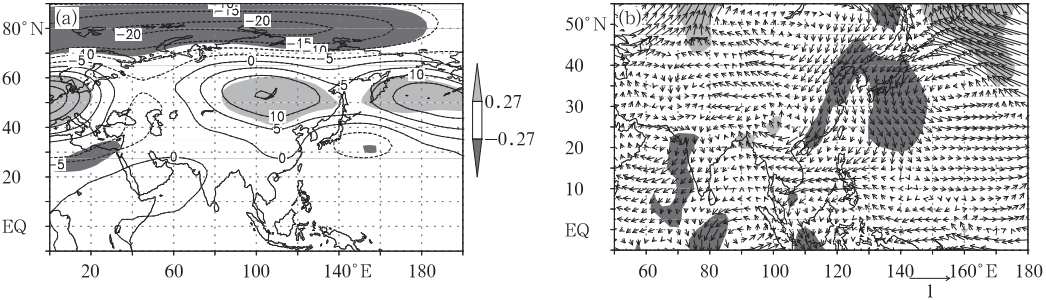


图 5 湖北省 76 站初雪日序列 EOF 分解第一模态对应的时间系数去趋势后回归的 11 月至次年 2 月
(a) 500 hPa 高度场(等值线,gpm)和相关场,(b) 850 hPa 风场距平场分布(矢量场, $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$)和相关场
(阴影区为通过 $\alpha=0.05$ 显著性水平检验区域)

Fig. 5 (a) Regression (contours) of 500 hPa height (unit: gpm) and correlation (shaded), (b)850 hPa wind field (unit: $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$) and correlation (shaded) on the first leading PC
(The shaded area has passed the significance level test of $\alpha=0.05$)

与初雪偏晚年的高度异常场分布较为一致,同时回归的850 hPa风场距平场在中国大陆地区盛行明显的偏北气流(图 5b),也类似于初雪偏晚年风场异常分布。

两者显著相关的区域与初雪异常早晚年的高度差值场的显著区域吻合。对应的环流系统分别是北极涛动、贝加尔湖低压、阿留申地区的低压、东亚大槽以及南支槽。它们分别反映了中高纬度冷空气、副热带暖湿气流及输送条件。这一结论与马林等(2001)分析影响青藏高原冬季雪灾天气的系统有部分相似之处。

3 湖北初雪日预测模型及其可能的物理机制

有研究证明海温异常通过影响以上提及的环流系统(陈少勇等,2009;伍红雨等,2014),尤其是东亚

大槽,使得中国东部冬季气温出现异常。鉴于海温对本研究中关注的环流系统有重要影响,将去趋势后的初雪日时间序列与同期 11 月至次年 2 月海温进行相关分析,两者在北太平洋地区、新西兰及其以东的区域为显著相关(图 6a)。鉴于(45°~55°N、150°E~160°W)、(28°~35°S、140°~110°W)、(45°~55°S、170°~150°W)3 个区域的相关通过 $\alpha=0.05$ 的显著性水平检验,将其作为预测湖北初雪日的关键区,分别称作关键 1~3 区,为建立湖北初雪日预测模型提供参考因子。

依次分析各关键区的海温序列与 500 hPa 高度距平场的相关性,以此寻找关键区海温对于环流的影响。从关键 1 区海温与高度场的相关(图 6b)看,显著正相关区位于贝加尔湖东侧至阿留申,显著负相关区位于日本群岛至西北太平洋,与初雪偏晚年回归的高度异常场分布较为类似,同时在贝加尔湖东北侧的乌拉尔山地区存在着弱的负相关中心,意味

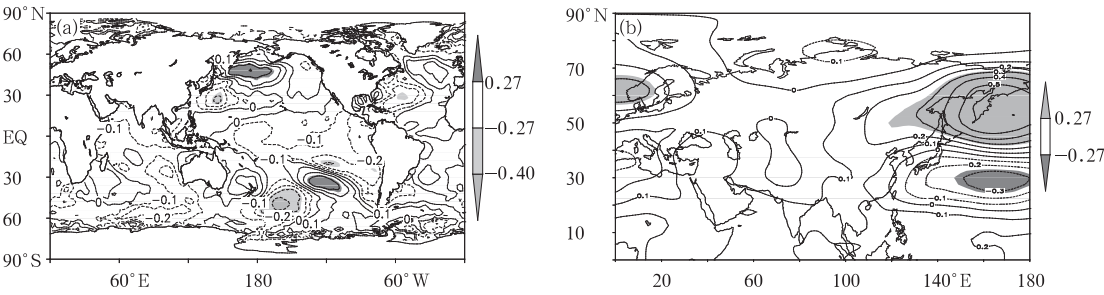


图 6 (a) 去趋势后的初雪时间序列与海温的相关分布图, (b) 关键 1 区海温与同期 500 hPa 高度距平场的相关分布图
(阴影区为通过 $\alpha=0.05$ 显著性水平检验区域)
Fig. 6 (a) Correlation (shaded) between FSD and SST, (b) correlation (shaded) between SSTa in key area and 500 hPa height anomaly
(The shaded area has passed the significance level test of $\alpha=0.05$)

着当中高纬的北太平洋海温偏高时,利于乌拉尔山脊偏弱,阿留申低压偏弱,同时东亚大槽偏强,南支槽偏弱。东亚大陆以纬向环流为主,不利于冷空气南下,外加水汽条件不好,最终不利于初雪偏早。这也是高纬度西北太平洋海温通过影响大气环流最终导致初雪日异常的物理机制。有研究表明冬季北太平洋的海-气相互作用中,大气对海洋的影响是主要的(蒲书箴等,2003;秦正坤等,2006),但不能简单地排除海洋对大气的作用,研究结论证实高纬度西北太平洋的海温与冬季东亚大气环流(西伯利亚高压、阿留申低压和东亚大槽等)存在着正反馈作用(赵永平等,1995;赵巧莲等,2013;朱小洁等,2006),最终

影响东亚冷空气强度(林玉英等,1999)。关键 2 区与 500 hPa 高度距平场的相关分布显著区域与关键 1 区的相关分布类似,但显著区域相对缩小,同时在孟加拉湾地区相关显著(图略)。高聪晖等(2012)有关海温影响以上系统的研究成果也印证了以上分析。关键 2 区(即澳大利亚东侧)前期海温与后期 11 月至次年 2 月的海温场及高度场显著相关区域也显示出,当前期澳大利亚东侧海温偏高时,后期 11 月至次年 2 月澳大利亚南侧(3 区)海温偏低(图略),同时南半球极地到负极地(60°~90°S)为负高度异常,而 30°~60°S 为正高度异常,南极涛动呈现出偏强的特征(图略),进一步可通过南北两半球高

纬度间的经向遥相关作用,最终通过引起北半球高纬度环流的异常以及欧亚西风异常(范可等,2006;2007)。由于海温持续性较好,且对于初雪发生早/晚具有良好的指示性,选以上 3 个关键区 11 月的海温作为自变量(依次为 $sst1$ 、 $sst2$ 和 $sst3$),初雪日(Da)作为因变量,利用 1961—1992 年实况资料建立预测模型,经检验最终确定预测模型为:

$$Da = -1.7 + 16.2sst1 + 10.3sst2$$

利用此预测模型回报 1993—2012 年武汉初雪日,并预测 2013/2014 年初雪发生早晚。在回报检验的 20 年中有 15 年报对,回报正确率达 75%,回报与实况的年际变化较为一致,对于 1993 和 2000

年异常偏早和 2005 年异常偏晚回报完全正确,20 年的回报与实况距平相关系数达 0.60,回报效果良好,也正确预测出 2013/2014 年初雪偏晚(图 7a,图中纵坐标 20~150 表示以 11 月 1 日为第 1 天,11 月 20 日为第 20 天,以此类推)。此模型回报湖北省 1993—2012 年共 20 年 76 站初雪日与实况的距平符号一致率(图 7b),全省除 2 站一致率未超过 50%外,其余 74 站中有 63 站符号一致率通过 60%,南部个别站点一致率甚至达 90%(表 1)。由此可见该模型在湖北省初雪日回报检验及预测中表现较好,具有一定的业务参考价值。

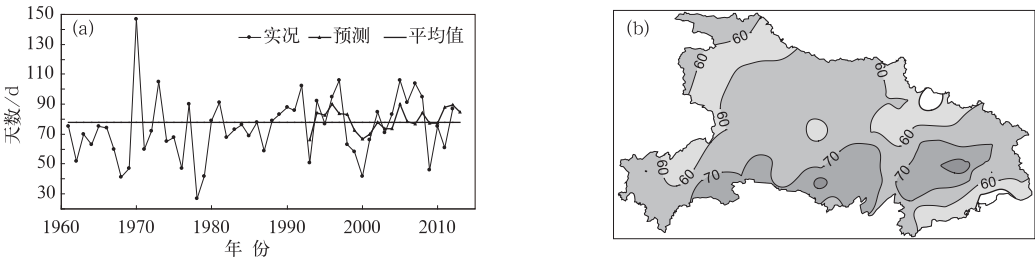


图 7 1993—2013 年,武汉预测模型回报与实况对比(a,单位:d)和湖北省回报与实况一致率(b,单位:%)

Fig. 7 (a) Reforecast of FSD prediction model and observation from 1993 to 2012 comparison in Wuhan, (b) consistency of reforecasts and observations in Hubei (unit: %)

表 1 1993—2012 年湖北初雪预测模型回报与实况符号一致率站数

Table 1 Stations with FSD prediction model forecasts and observations consistent in Hubei from 1993 to 2012						
距平符号 一致率/%	40~49	50~59	60~69	70~79	80~89	90~99
站数	2	11	38	17	7	1

对比 2013 年 11 月至今的海温场,在中高纬度的北太平洋、新西兰东侧太平洋及马达加斯加附近

海温为暖海温,中东太平洋为冷海温(图 8c),在重点关注区域与图 6a 初雪时间序列与海温的正、负相关呈现出较为一致的分布。对应的 500 hPa 高度异常场为典型的“— + —”分布(图 8a),关键的环流系统表现为北极涛动正位相、贝加尔湖低压和阿留申地区低压偏弱、东亚大槽偏强和孟加拉湾槽略弱,低层中国大陆地区盛行偏北气流(图 8b),属于典型的偏晚年对应环流型,这也是2013/2014年湖北初

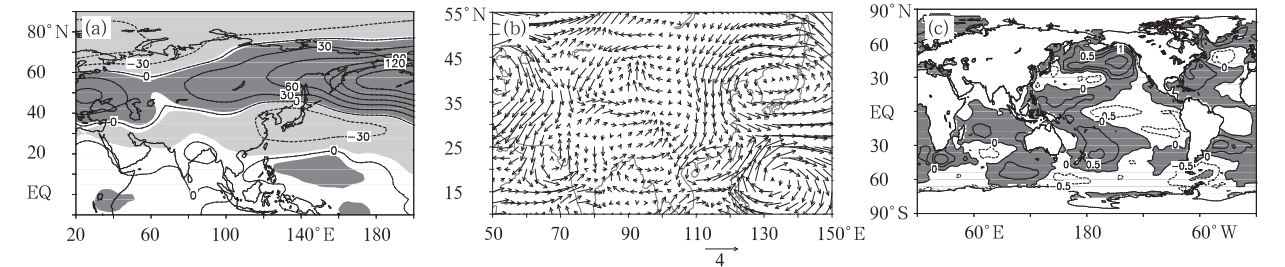


图 8 2013 年 11—12 月(a) 500 hPa 高度距平场(单位:gpm),(b) 850 hPa 风场距平分布(单位:m·s⁻¹)及(c) 2013 年 11 月至 2014 年 2 月海温距平实况(单位:℃)

Fig. 8 (a) 500 hPa height anomaly (unit: gpm), (b) 850 hPa wind anomaly (unit: m·s⁻¹) from November to December 2013, (c) SSTA from November 2013 to February 2014 (unit: °C)

雪异常偏迟的原因。

4 结论与讨论

湖北初雪发生偏早,对应着 11 月至次年 2 月欧亚大陆 500 hPa 高度场表现为“十一十”的遥相关分布,以经向环流为主,同期湖北省温度偏低的频次更高。同时在低层风场上表现为中国大陆盛行偏南气流;初雪偏晚,则相反。初步诊断分析发现,中高纬的北太平洋海温偏高时,利于 500 hPa 高度场自北向南呈“一十一”分布,主要的环流系统表现为北极涛动正位相,乌拉尔山脊偏弱,贝加尔湖低压及阿留申地区低压偏弱,东亚大槽偏强,总体以纬向环流为主,低层盛行偏北风,不利于湖北初雪偏早。通过选取 1961—1992 年两个关键区海温建立初雪日预测模型,回报近 20 年初雪与实况一致率超过 60% 的站点达 63 站。对于武汉站的回报,一些异常早和异常晚年都能在回报序列中有所体现,此外也预测出 2013/2014 年初雪偏晚。

本研究主要是针对湖北地区初雪发生异常早晚的海温外强迫和大环流背景进行分析并给出了相应的物理机制,首次建立湖北初雪日预测模型且回报效果较好,具有一定的业务参考价值。在今后具体初雪预报业务服务中,可结合中短期降雪形势分析,包括对形成降雪的天气系统及上升运动、水汽、适宜温度等天气尺度条件进行滚动订正,更好地为防灾减灾提供科学依据。

参考文献

陈少勇,张燕霞,夏权,等. 2009. 中国东部冬季气温异常与海表温度异常的关系分析. 高原气象,28(5):1181-1188.

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. 气象学报,66(5):808-825.

董安祥,郭慧,王丽萍,等. 2004. 近 40 年北疆年积雪日数变化的 EOF 分析. 高原气象,23(6):936-940.

董文杰,韦志刚,范丽军. 2001. 青藏高原东部牧区雪灾的气候特征分析. 高原气象,20(4):402-406.

杜小玲,高守亭,彭芳. 2014. 2011 年初贵州持续低温雨雪冰冻天气成因研究. 大气科学,38(1):61-72.

刁秀广,孙殿光,符长静,等. 2011. 山东半岛冷流暴雪雷达回波特征. 气象,37(6):677-686.

范可,王会军. 2006. 南极涛动的年际变化及其对东亚冬春季气候的影响. 中国科学 地球科学,36(4):385-391.

范可,王会军. 2007. 南极涛动异常及其对冬春季北半球大气环流影

响的数值模拟实验. 地球物理学报,50(2):397-403.

封国林,杨涵涓,张世轩,等. 2012. 2011 年春末夏初长江中下游地区旱涝急转成因初探. 大气科学,36(5):1009-1026.

高聪晖,黄菲. 2012. 东亚冬季气温的年际变化特征及其与海温和海冰异常的关系. 中国海洋大学学报(自然科学版),42(9):7-14.

高辉,陈丽娟,贾小龙,等. 2008. 2008 年 1 月我国大范围低温雨雪冰冻灾害分析. 气象,34(4):101-106.

李多,肖子牛,李泽椿. 2012. 中国东部北方地区冬季降雪的时空特征及其与全球异常海温的联系. 气象,38(4):411-418.

李维京. 1999. 1998 年大气环流异常及其对中国气候异常的影响. 气象,25(4):20-25.

林玉英,战淑芸,杨淑瑞. 1999. 西北太平洋海温与影响我国北部海区冷空气的关系. 海洋预报,16(2):27-34.

刘玉莲,任国玉,于宏敏,等. 2013. 我国强降雪气候特征及其变化. 应用气象学报,24(3):304-313.

刘芸芸,丁一汇. 2009. 西北太平洋夏季风对中国长江流域夏季降水的影响. 大气科学,33(6):1225-1237.

马林,李锡福,张青梅,等. 2001. 青藏高原东部牧区冬季雪灾天气的形成及其预报. 高原气象,20(3):325-331.

蒲书箴,赵进平,于卫东,等. 2003. 中国的海气相互作用研究(1998—2002). 海洋科学进展,21(1):107-121.

秦正坤,孙照渤. 2006. 冬季风异常对西伯利亚海温影响的区域性特征. 大气科学,30(2):257-267.

孙丞虎,任福民,周兵,等. 2012. 2011/2012 年冬季我国异常低温特征及可能成因分析. 气象,38(7):884-889.

万素琴,周月华,李兰,等. 2008. 低温雨雪冰冻极端气候事件的多指标综合评估技术. 气象,34(11):40-46.

王亚非,李琰,李萍云,等. 2008. 2008 年初中国南方雪灾大尺度环境背景分析. 气象学报,66(5):826-835.

王凌,高歌,张强,等. 2008. 2008 年 1 月我国大范围低温雨雪冰冻灾害分析 I. 气候特征与影响评估. 气象,34(4):95-100.

王文,程麟生. 2000. “9 6. 1”高原暴雪过程湿不稳定的数值研究. 高原气象,19(2):129-140.

韦志刚,黄荣辉,陈文,等. 2002. 青藏高原地面站积雪的空间分布和年代际变化特征. 大气科学,26(4):499-508.

伍红雨,潘蔚娟,王婷. 2014. 华南冬季气温异常与 ENSO 的关系. 气象,40(10):1230-1239.

赵春雨,王颖,李栋梁,等. 2010. 辽宁省冬半年降雪初终日的气候变化特征. 高原气象,29(3):755-762.

赵巧莲,李崇银,李琳. 2013. 东亚经向型气压异常偶极模与冬季北太平洋关键区域海温的关系及其数值模拟实验. 气候与环境研究,18(2):232-242.

赵永平,McBean G A. 1995. 黑潮海域海洋异常加热与北半球大气环流的相互作用. 海洋与沼泽,26(4):383-388.

周月华,郭广芬. 2010. 基于多指标综合指数的灾害性天气过程预估方案. 气象,36(9):87-93.

朱小洁,孙即霖. 2006. 冬季西北太平洋阿留申低压-南北向海温差-西风急流正反馈过程分析. 科学通报,51(9):1097-1102.

朱艳锋. 2008. 一个适用于描述中国大陆冬季气温变化的东亚冬季风指数. 气象学报,66(5):781-788.