

2013年夏季中国北涝南旱环境场及异常成因分析

赵俊虎^{1, 2} 周杰³ 叶天舒² 杨柳³ 封国林¹

(1 国家气候中心, 北京 100081; 2 兰州大学大气科学学院, 兰州 730000;

3 扬州大学物理科学与技术学院, 扬州 225002)

摘要: 2013年夏季中国降水总体呈北涝南旱的分布特征, 华北地区、东北地区 and 西北大部降水异常偏多, 而淮河流域、云贵高原至江南地区降水异常偏少。2013年夏季降水异常有其特定的环境场和物理机制, 首先从东亚大气环流系统相互配置的角度分析了2013年夏季北涝南旱对应环境场的异常, 结果表明: 2013年夏季东亚夏季风偏强, 西太平洋副热带高压(以下简称副高)偏强, 位置偏西偏北, 加强了水汽向北输送; 同时欧亚中高纬地区为冷性低压控制, 阻塞高压活动偏少, 不利于冷空气南下; 冷暖空气在我国北方地区长时间对峙, 导致北方降水偏多。其次, 探讨了前冬海洋和积雪等外强迫异常对东亚大气环流的可能影响, 发现2013年前冬至夏季, 赤道太平洋中东部海温偏冷, 而北印度洋和西北太平洋海温偏暖, 夏季热带沃克(Walker)环流和西太平洋哈得来(Hadley)环流异常, 西太平洋南部尤其是菲律宾海附近热带辐合带对流活动偏强, 使得副高偏北, 东亚夏季风偏强; 前冬欧亚积雪异常偏多, 有利于夏季贝加尔湖以东盛行深厚的冷性低压, 东亚副热带西风急流增强, 也有利于副高加强、西伸和北扩。东亚夏季风环流系统既受海温和积雪等外强迫的影响, 同时系统之间也存在相互作用, 环流系统之间的不同配置是造成区域旱涝异常分布的直接原因。

关键词: 北涝南旱, 东亚夏季风环流系统, 海温和积雪

DOI: 10.3969/j.issn.2095-1973.2015.05.002

Preliminary Studies on the Environment Field and Cause of Northern Flood and Southern Drought During the Summer of 2013 in China

Zhao Junhu^{1,2}, Zhou Jie³, Ye Tianshu², Yang Liu³, Feng Guolin¹

(1 National Climate Centre, Beijing 100081 2 Department of Atmospheric Sciences, Lanzhou University, Lanzhou 730000

3 Department of Physical Science and Technology, Yangzhou University, Yangzhou 225002)

Abstract: On the whole, the distribution of summer precipitation over China in 2013 is flood in the north and drought in the south. The precipitation anomaly is more than usual in North China, the Northeast and Northwest, while that in the Huaihe River, Yungui Plateau and the south of Yangtze River is less than usual. The summer precipitation anomaly in 2013 has its particular background and physical mechanism. In this paper, we have analyzed the reason of the summer precipitation anomaly in two main aspects: firstly, the East Asian atmospheric circulation systems anomaly, which is corresponding with the summer rainfall anomaly, is analyzed. Results show that in 2013 the East Asian summer monsoon (EASM) is stronger, the Western Pacific Subtropical High (WPSH) is also stronger with the anomalous westward and northward movements of the WPSH, all of which strengthen the water vapor transport northward movements. At the same time, Eurasia mid-high latitude area is controlled by the cold low pressure, blocking high resistance less activity, which is adverse for the cold air moving southward. Cold and warm air masses confront each other in north China for a long time, leading to more precipitation in this area. Secondly, the prophase anomalies, such as previous winter sea surface temperature (SST) anomaly and the snow anomaly, which has a major impact on the atmospheric circulation in East Asia, have been discussed. Results show that from the previous winter to the summer in 2013, the east-central equatorial Pacific Ocean SST is lower while the north Indian Ocean and the northwest Pacific SST is higher. The summer tropical Walker circulation and Hadley circulation of West Pacific ocean is abnormal. In the south of West Pacific ocean especially near the sea of the Philippines, the convection of the tropical convergence zone is stronger, resulting in the northward of the WPSH and the strengthening of the EASM. The previous winter Eurasian snow anomaly is more than usual, which benefits for the cold deep low pressure in the south of the Lake Baikal, the enhancement of the East Asian subtropical westerly jet, and the northward and westward movements of the subtropical high. Not only the EASM circulation systems are affected by both SST and snow cover, but also there exists interaction between different systems, which is the direct reason for the regional precipitation anomaly distribution.

收稿日期: 2013年12月26日; 修回日期: 2014年3月18日

第一作者: 赵俊虎(1985—), E-mail: zhaojh@cma.gov.cn

资助信息: 国家自然科学基金项目(41505061和41375069);

国家重点基础研究发展计划(2012CB955902)

Keywords: flood in the north and drought in the south, the East Asian summer monsoon circulation systems, sea surface temperature and snow cover

0 引言

全球气候变暖背景下,气象灾害的时空分布特征发生了明显的变化,大范围旱涝、高温热浪及冰冻雨雪等极端天气气候事件发生更为频繁,造成的损失越来越严重^[1-2]。其中发生在夏季的大范围干旱和洪涝灾害造成的损失尤为严重,夏季旱涝也是我国短期气候预测的核心内容^[3-4],因此,对旱涝异常的气候成因分析^[5-8]及其趋势的预测研究^[9-12]备受关注。20世纪80年代之后,中国夏季降水由50和60年代的北涝南旱转变为南涝北旱^[13],进入21世纪之后,夏季雨带推进到淮河流域^[14]。陶诗言等^[15]研究了1998年夏季长江流域洪涝灾害的气候背景和大尺度环流条件;陈桂英等^[16]探讨了1999年夏季中国南涝北旱的成因;毕宝贵等^[17]分析了2003年淮河洪涝与西太平洋副热带高压(以下简称副高)异常及成因的关系等。对异常年份旱涝形成机制的研究有助于对降水影响机制的认识和预测水平的提高。

2013年夏季(6—8月),中国旱涝并存、区域高温和强台风等异常气候突出。降水整体略偏多,但时空分布极不均匀,空间上大体呈北涝南旱的分布特征,逐月旱涝分布也有明显差异。6月,全国平均降水量接近常年同期,北方地区降水以偏多为主,其中西藏西部、西北、华北和内蒙古大部等地降水偏多5成至1倍,局部地区偏多1倍以上;青藏高原东部、西南、华南、江南及黄淮等地降水偏少5~8成,局部偏少8成以上。7月,全国平均降水量较常年同期偏多,其中华北、东北及四川盆地东部异常偏多5成以上,成都等局地暴雨洪涝灾害频繁,华南北部至长江流域降水偏少5成以上。8月,全国降水异常偏少,东北大部和华南降水偏多2成以上,部分地区偏多5成以上,局部区域发生严重的暴雨洪涝灾害,其余大部分地区降水偏少。此外,7月下旬至8月中旬,江南出现了罕见的大范围持续高温天气;整个夏季仅有三个台风登

陆且均在华南沿海登陆^[18]。

随着全球显著变暖,20世纪80年代后多年中国夏季出现南涝北旱,而北涝南旱几乎没有出现,2012^[19]和2013年却连续出现了典型的北涝南旱,在这种全球变暖的背景下出现的北涝南旱与20世纪50和60年代的北涝南旱环境场不同。造成2013年夏季中国旱涝等气候异常事件有其特定的气候环境场,对其成因及其物理机制的研究,有助于进一步提高气候预测水平。本文首先从2013年夏季东亚大气环流系统关键成员的配置及其相互作用分析降水异常的直接成因,然后探讨了海温和积雪等外强迫对东亚夏季风系统的可能影响。

1 资料和方法

采用中国气象局国家气候中心常规业务中使用的1951—2013年中国160站月降水资料,中国气象局信息中心提供的753个测站逐日降水量资料;NCEP/NCAR全球经纬网格(2.5°×2.5°)再分析月平均位势高度场、风场、海平面气压和比湿等资料,美国国家海洋和大气管理局(NOAA)的全球2°×2°月平均海温重建资料,时段均为1948年1月—2013年8月。资料均取1981—2010年为气候态。

利用丁一汇^[20]提出的水汽输送和收支计算方法,进行水汽特征分析,其中,大气中水汽输送向量场 \vec{F} 为:

$$\vec{F}(\lambda, \varphi, p, t) = \frac{1}{g} q \vec{V} \quad (1)$$

对单位面积空气柱,总的水汽水平通量为:

$$\vec{Q}(\lambda, \varphi, t) = \int_{p_i}^{p_s} \vec{F} dp = \int_{p_i}^{p_s} q \vec{V} \frac{dp}{g} \quad (2)$$

式中, q 为比湿; $\vec{V} = (u, v)$, u 和 v 分别为纬向和经向风速; g 为重力加速度; P_s 为表面气压; P_i 为顶部气压,这里取300hPa。

2 2013年夏季降水实况

图1给出了2013年夏季中国降水量(图1a)和降

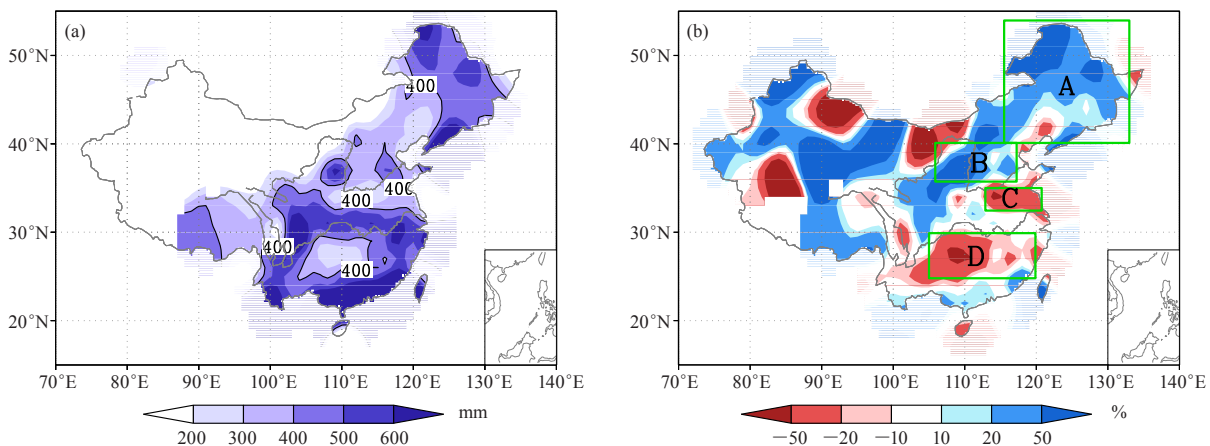


图1 2013年夏季降水量(a)和降水距平百分率(b)分布

水距平百分率分布图(图1b)。由图1a可见,2013年夏季我国东北、长江流域、江南、华南、西南及华北部分地区降水量超过了400mm,西北地区降水量低于200mm。由降水距平百分率分布图(图1b)可见,2013年夏季中国降水呈典型的北涝南旱异常分布,降水异常偏多的区域主要位于东北、华北、华西及西北大部,偏多20%以上,部分地区偏多50%以上;降水异常偏少的区域主要位于淮河流域(图1b中C区域)和长江以南的云贵高原至江南一带地区(图1b中D区域,以下统称江南地区),偏少20%以上,青藏高原东部、河套西北部和北疆东部降水也偏少(图1)。

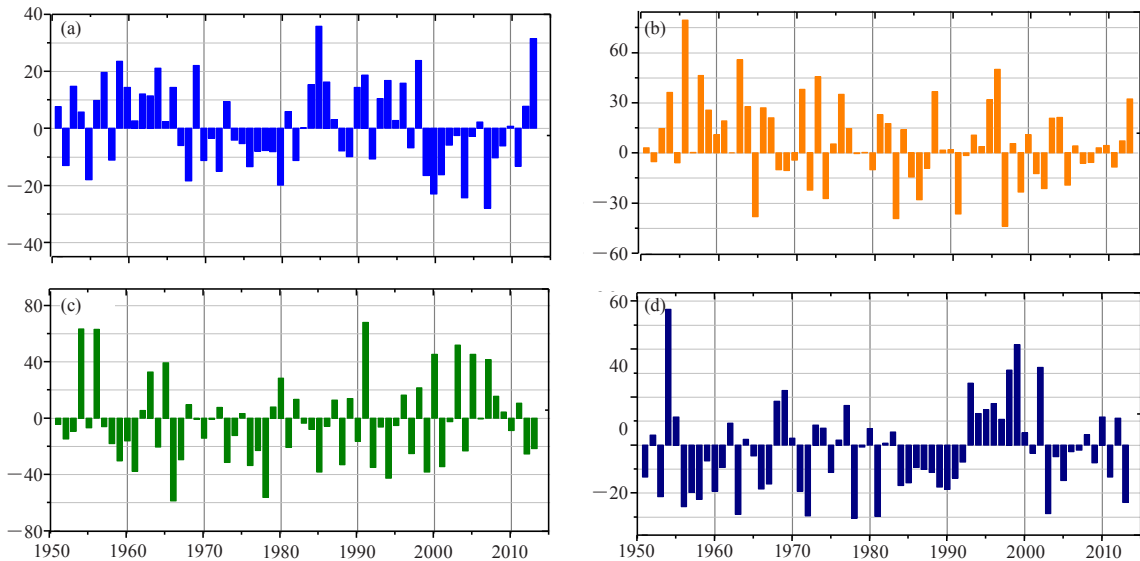


图2 1951—2013年全国代表区域降水距平百分率(单位:%)年际变化
(a)东北;(b)华北;(c)淮河;(d)江南

3 2013年夏季大气环流概况及中国夏季降水异常成因

3.1 2013年夏季大气环流概况

大气环流尤其是东亚夏季风(EASM)的异常是引起中国夏季旱涝异常分布的直接原因。图3给出了2013年夏季海平面气压(SLP)、低层850hPa风场、中层500hPa位势高度场及高层200hPa纬向风和位势高度场的异常。从图3a可见,中国东北至日本岛以东的海洋一带和孟加拉湾至中国南海群岛一带为SLP负异常,而中国东海及其以东一带为SLP正异常,热带西太平洋和日本岛以东洋面的SLP偏低不利于海陆气压差的增加;中国东海以东SLP正异常,而中国东部地区SLP负异常,有利于海陆气压差增大,即有利于EASM增强。从850hPa风场距平(图3b)也可见,中国大陆东南部为南风距平,长江下游至东海为一反气旋距平环流,而东北为一气旋距平环流,导致长江流

域降水偏少而东北降水偏多。在对流层中层500hPa高度场上(图3c),副高偏强,且显著西伸北翘,而欧亚40°—55°N为宽广的负距平控制,不利于阻塞高压(以下简称阻高)发生和发展,中高纬以纬向环流为主。在高层环流场上(图3d),副热带西风急流中心位于45°N左右,较常年异常偏北偏强,南亚高压偏北偏东,均有利于副高的西伸和北抬。

3.2 2013年夏季水汽输送异常情况

大气中水汽输送和收支是研究全球大气环流持续和变化的一个重要方面,因为水汽是形成降水的必要条件之一^[21]。Simmonds等^[22]指出中国东南部的水汽主要来自南海和孟加拉湾,对于东北和华北的大部分地区,中纬度的西风带水汽输送起主导作用。王可丽等^[23]分析了西风带与季风对中国西北地区的水汽输送,发现西北大部分地区的水汽来源于西风带,南亚夏季风的水汽输送主要影响西北地区南部和东部。

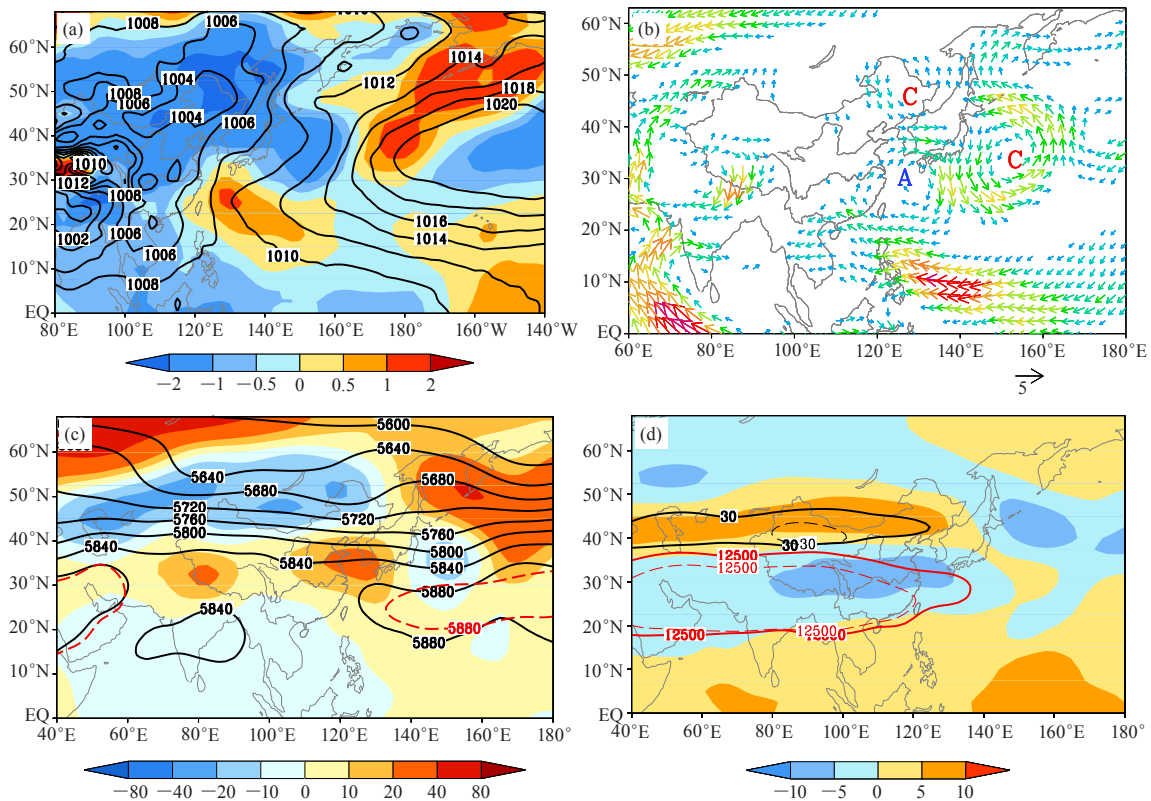


图3 2013年夏季东亚大气环流

(a) 海平面气压场 (等值线: 气压场, 阴影: 距平); (b) 850hPa风场距平场;
 (c) 500hPa高度 (黑色实线: 2013年, 虚线: 气候态5880gpm等值线) 和距平场 (阴影); (d) 200hPa纬向风
 (黑色实线: 2013年30m/s等值线, 黑色虚线: 气候态30m/s等值线) 及距平场 (阴影) 和高度场 (红色实线: 2013年
 12500gpm等值线, 红色虚线: 气候态12500gpm等值线)

2013年夏季 (图4a) 与多年平均的整层水汽输送通量矢量场一样, 中国不同地区水汽来源不同, 东部地区的水汽主要来源于孟加拉湾的西南风水汽输送、南海的越赤道气流水汽输送及副高东南侧转向的西南水汽输送, 而华北和东北地区除了上述水汽输送以外, 还有西风带的水汽输送, 西北地区主要是西风带的水汽输送, 青藏高原的水汽主要来源于孟加拉湾的西南水汽输送和西风带的水汽输送。在2013年夏季整层水汽输送的矢量距平图上 (图4b), 中国东南部地区为东南风水汽输送异常, 华北和东北地区主要为西南风水汽输送和西风带的水汽输送。从图4c可见, 中国地区的水汽辐合辐散与夏季降水异常有较好的对应, 华北东部和东北地区为水汽辐合区, 降水偏多; 江南为水汽辐散区, 降水偏少; 而华北西部和淮河流域分别为水汽辐散和辐合, 与降水不一致, 这可能与冷空气的强弱有关。以东北地区为例, 分析了区域整层水汽收支情况 (图4d): 2013年夏季东北地区水汽主要从西、南边界流入, 水汽从北、东边界流出; 通过西边界面和南边界面的整层积分水汽通量的比例约为3:2,

表明来自西风带的水汽输入较强, 来自季风的水汽输入次之; 水汽净收入较常年偏多60%。2013年夏季东北地区水汽来源充沛, 是降水偏多的重要原因。

3.3 东亚夏季风系统关键成员季节内变化与配置

极端干旱和洪涝这些重大的气候异常事件均受东亚夏季风的影响而产生^[4], 但东亚夏季风各子系统自身的异常差异、各子系统间的不同配置、东亚夏季风与中高纬系统的配置形势等又会造成相同气候背景下不同区域的旱涝分布^[24]。因而, 详细分析各年夏季的气候异常特征和可能成因对于监测和预测很有必要。国内外诸多研究^[25-29]表明中国气候系统的关键成员: 阻高、东北冷涡、东亚夏季风及副高, 这四个天气气候系统均对我国夏季气候有着重要影响。阻高的形成、维持以及崩溃, 增强了中高纬的经向环流, 有利于冷空气的南下; 东北冷涡活动一方面导致东北地区降水偏多气温偏低, 另一方面也有利于冷空气频繁南下影响我国南方地区; 东亚夏季风把大量的暖湿空气从海洋输送到我国大陆地区, 为持续性强降水提供了

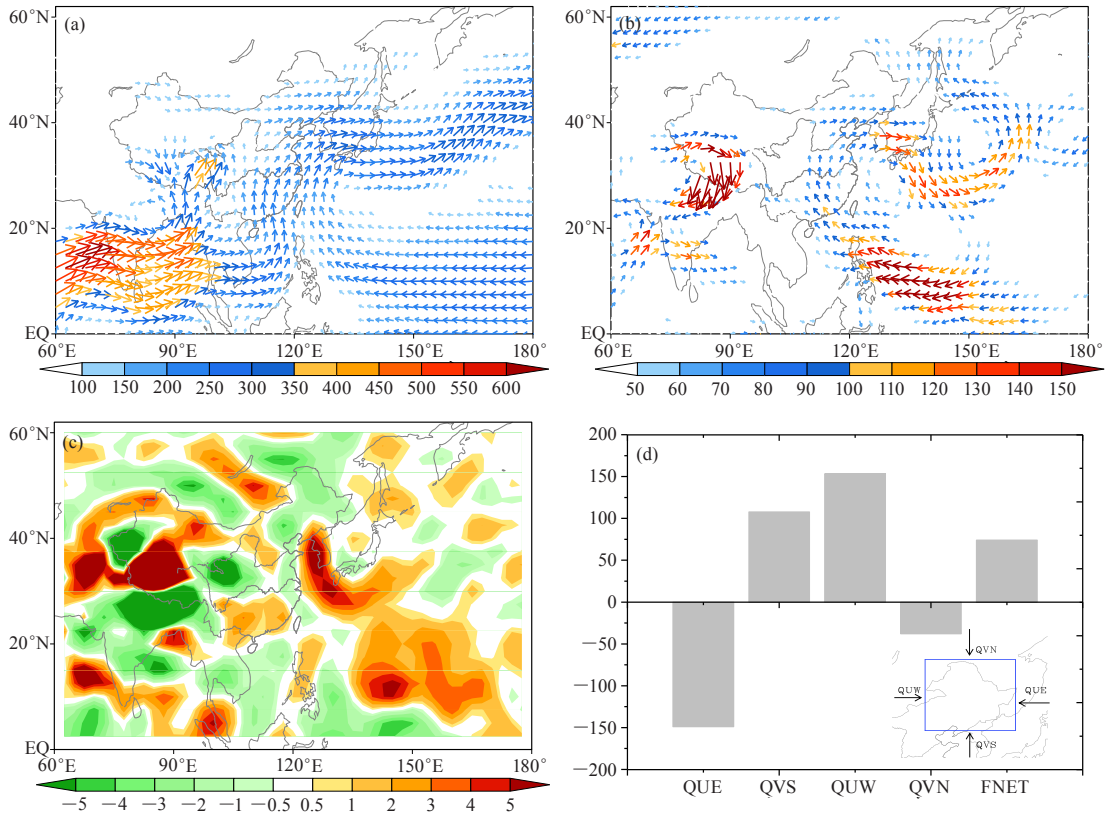


图4 2013年夏季整层水汽异常情况

(a) 水汽输送矢量场[单位: $\text{kg}/(\text{m}\cdot\text{s})$]; (b) 水汽输送距平场[单位: $\text{kg}/(\text{m}\cdot\text{s})$]; (c) 辐合辐散异常场[单位: $10^5\text{kg}/(\text{m}^2\cdot\text{s})$]; (d) 通过东北地区东南西北四个边界 (QUE, QVS, QUW, QVN) 的总水汽通量 (单位: $10^6\text{kg}/\text{s}$) 和区域水汽收支 (FNET, 单位: $10^6\text{kg}/\text{s}$)

充足的水汽供应; 副高的东西进退及南北向摆动对降水量的多寡和雨带位置有重要影响。主雨带的形成是阻塞、东北冷涡、东亚夏季风和副高的最佳配置(或锁定), 四个系统的不同配置影响着夏季冷暖气流的对峙位置, 进而导致夏季主雨带位置发生差异。基于以上原因, 图5给出了2013年夏季这四个系统的季节内配置特征和北方洪涝的天气学模型。

对500hPa位势高度场做 $50^{\circ}\text{--}60^{\circ}\text{N}$ 平均的经度-时间剖面来分析阻塞形势在2013年夏季随时间的演变过程(图5a)。2013年夏季欧亚中高纬阻塞活动稀少: 6月中旬后期及8月中旬, 乌拉尔山地区出现了两次阻塞过程, 但仅持续数日; 整个夏季贝加尔湖地区几乎没有出现阻塞过程; 7月中旬, 鄂霍次克海地区出现了一次弱的阻塞。国家气候中心(National Climate Center, NCC)检测表明, 东北冷涡活动频繁, 其中6月, 发生一次持续冷涡活动, 从6月11—18日, 活动日数达8d; 7月东北冷涡活动更为频繁, 共发生四次冷涡活动, 分别是7月1—4, 9—12, 16—19和24—26日, 活动日数达16d; 8月共有两次冷涡过程, 分别是7—9和22—29日(图5b)。结合图5h可见, 东北冷涡

活动期间, 东北地区便出现强降水过程。东亚夏季风整体偏强, 阶段性变化显著。从东亚夏季风指数逐日演变图(图5c)可见, 整个夏季除6月第2和3候及8月第6候外, 其余时间东亚夏季风都异常偏强。6月上旬至中旬, 季风涌稳定在 $20^{\circ}\text{--}30^{\circ}\text{N}$, 并有两次北进过程; 7月上旬至8月中旬, 季风涌向北推进并维持在 $35^{\circ}\text{--}45^{\circ}\text{N}$, 最北影响达 50°N (图5d)。从图5e可见, 6月第5候副高主体加强并第一次北跳, 稳定在 20°N 以北, 7月第2候副高主体加强并第二次北跳, 稳定在 26°N 以北, 副高主体位置较气候态持续偏北达 3°N 以上, 副高第一、二次北跳多年平均为6月第2候和7月第4候^[30], 副高第一次北跳偏晚而第二次北跳偏早, 直接导致长江入梅晚出梅早, 而华北雨季开始偏早。整个夏季, 副高有五次西伸过程, 西伸程度强于多年平均, 尤其是7月中下旬至8月底(图5f)。副高偏北阶段, 我国北方降水也偏多, 降水量还与副高西伸密切相关(图5h)。副高持续的稳定偏北, 季风涌北进的几个阶段中一次次的脉动把大量的水汽输送至我国北方地区, 与中高纬南下的冷空气相遇对峙(图5g), 造成北方地区持续性强降水(图5h)。

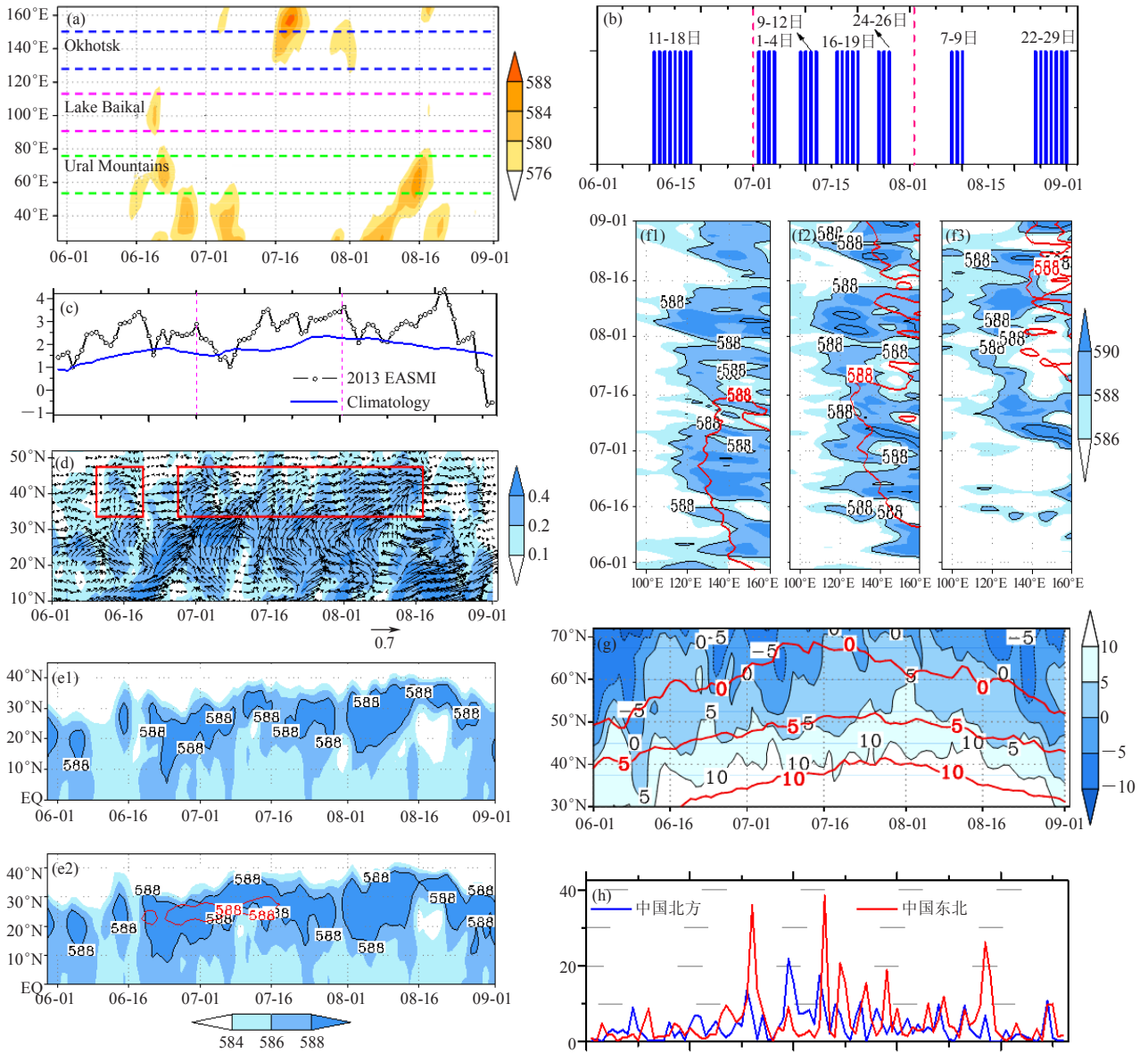


图5 2013年北方洪涝的天气学模型

(a) 500hPa位势高度 40°—60°N 平均的6—8 月经度—时间剖面；(b) 东北冷涡活动日（直方图表示存在东北冷涡，根据 NCC 监测绘制）；(c) 东亚季风逐日指数（点线为逐日指数，蓝色曲线为气候态，数据源自 NCC）；(d) 105°—125°E 平均季风涌随时间的演变 [箭头表示整层（1000~300hPa）季风的水汽通量（单位： $\text{kg}/(\text{m}\cdot\text{s})$ ），阴影区表示水汽通量 $>0.1 \text{ kg}/(\text{m}\cdot\text{s})$]；(e1~e2) 分别为6—8 月500hPa位势高度（单位： dagpm ）110°—130°E 和120°—140°E 平均的纬度—时间剖面；(f1~f3) 分别为6—8 月500hPa位势高度（单位： dagpm ）20°—25°N，25°—30°N 和30°—35°N 平均的经度—时间剖面（红色曲线为气候态）；(g) 105°—125°E 平均的700hPa温度的时间—纬度剖面（阴影区温度 $\leq 10^\circ\text{C}$ ，红色曲线为气候态，等值线间隔 5°C ）；(h) 北方平均逐日降水演变（单位： mm ）

综上所述，2013年夏季欧亚中高纬度阻塞形势较弱，东北冷涡活跃，中高纬度以纬向环流为主，冷空气路径偏北，同时东亚夏季风偏强和副高偏强偏北，在这四个系统的稳定配置（锁相）下，中高纬的冷空气与低纬季风和副高带来的水汽在我国北方地区长时间对峙，造成我国北方大范围长时间的降水，导致整个夏季北方降水异常偏多。

4 外强迫对大气环流的影响

东亚地区大气环流的异常受大气外部强迫因子，如太平洋、印度洋海温及欧亚积雪和青藏高原积雪等因子影响，同时还受大气内部动力过程影响，即受海—陆—气系统相互作用的影响和制约^[31]。其中，海温是大气的最主要外强迫因子，其异常将改变海洋向大气输送的水汽和潜热通量等，导致局地对流活动和

大气高层与低层的辐合、辐散场的异常，并通过大气遥相关、沃克环流和哈得来环流等的改变影响全球大气环流，进而导致气候异常。在夏季，印度洋和太平洋等不同下垫面热力状况将会导致副高、季风等发生改变，直接影响到我国的旱涝分布^[32]。

4.1 2013年前冬至夏季海温的演变

图6给出了2012/2013年冬季、2013年春季和夏季的海表温度异常（sea surface temperature abnormality, SSTa）分布及Niño区各指数的演变。2012/2013年冬季北太平洋SSTa呈西北正东南负分布，其中西风漂流区SSTa大于0.5℃，北印度洋呈一致偏暖状态，南印

度洋呈西负东正的偶极子模态（图6a）；春季北太平洋SSTa仍呈西北正东南负分布，但赤道中东太平洋冷海温强度减弱，北印度洋仍呈一致偏暖状态，南印度洋也仍维持西负东正的偶极子模态（图6b）；夏季赤道东太平洋SSTa小于-0.5℃，中高纬正距平加强，北印度洋偏冷，加大了海陆热力差异，有利于夏季风加强（图6c）。海温从前冬到春季有较好的持续性，从夏季开始有所改变。从各区指数随时间的演变可见（图6d），2013年1月，Niño各区指数均低于0℃，之后至9月Niño1+2区指数持续低于-0.5℃，而其他区指数基本在-0.5~0℃，表明2013年1月以后赤道东太平洋发生了La Niña事件。

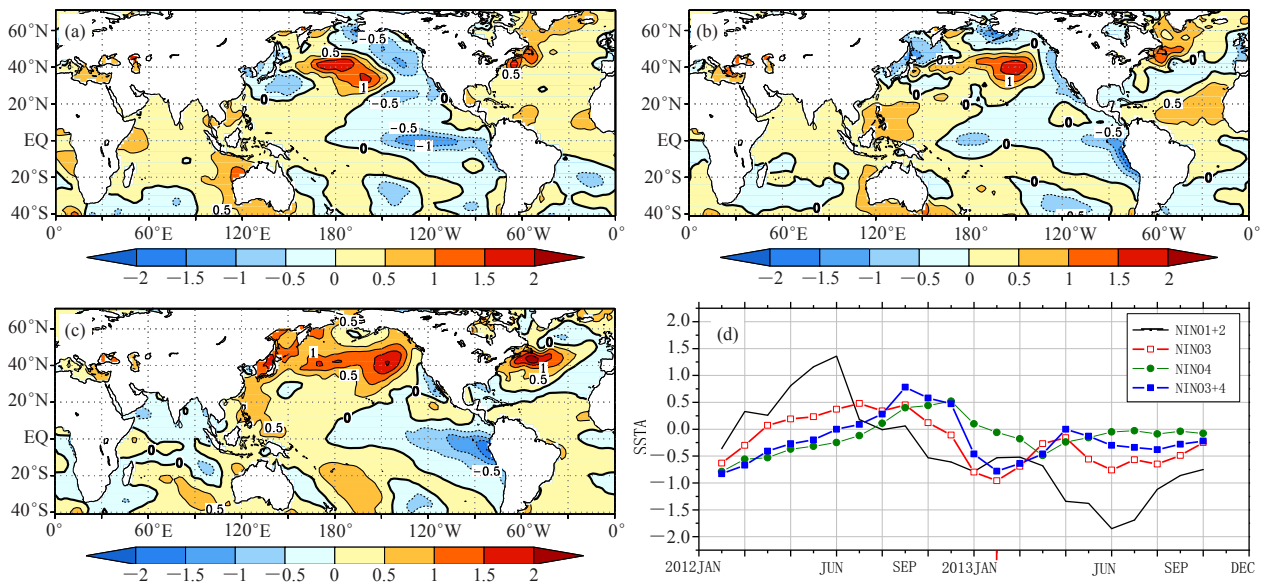


图6 2013年前冬 (a)、春季 (b)、夏季 (c) 海表温度距平 (单位: ℃) 分布和Niño指数 (d)

4.2 海洋和积雪对2013年夏季东亚大气环流的可能影响

副高是东亚夏季风系统主要成员之一，它的南北强度和位置对我国夏季旱涝有着决定性的影响。2013年夏季副高整体偏强，略偏北和异常偏西，具体表现为：6月强度和位置接近常年；7月副高断裂为东西两个高压，西部偏西偏北；8月副高异常偏西偏强，西伸脊点达115°E，较气候态偏西20个经度，且西部主体异常偏北（图略）。研究表明，副高对赤道中东太平洋海温的响应落后4~6个月^[33]，在La Niña事件发生后次年夏季副高明显偏弱偏北^[34]；冬、春季北印度洋海区海温偏暖，有利于夏季副高偏强与偏西^[35]。图7和8分别给出了2013年夏季逐月5°—25°N纬向平均的经向垂直距平环流图和125°—140°E经向平均的纬向垂直距平环流图，分别表示沃克环流和西太平洋地区哈德

利环流对副高强弱和位置的影响。

由图7a可见，6月印度洋和西太平洋上空分别为两支顺时针的沃克环流，印度洋的上升支和下沉支中心分别位于70°E和105°E，这可能是受到了前期该地区暖洋面的影响，西太平洋的上升支和下沉支中心分别位于130°E和170°E，则可能受到了太平洋东冷西暖海温的影响；即赤道地区大气响应出现两支顺时针的沃克环流，表现为印度洋偏暖和东部型La Niña事件的特征。西太平洋海区的哈得来环流上升支位于0°—15°N，下沉支位于20°—25°N（图8a），副高位置接近常年，位置略偏北。7月，印度洋至西太平洋地区大气响应出现一支异常强的沃克环流，60°—120°E地区以上升距平气流为主，而西太平洋120°—180°E的海区下沉距平气流偏强（图7b），这与春季印度洋暖海温的维持和赤道中东太平洋冷海

温的减弱有关。西太平洋海区的哈德利环流上升支仍位于 0° — 15° N, 但下沉支向北扩展到 15° — 30° N附近(图8b), 沃克环流和哈得来环流的调整导致7月副高西伸北抬。随着夏季印度洋海温的变冷, 8月印度洋至西太平洋上空出现了异常偏强的下沉距平气流(图7c), 哈得来环流下沉支进一步向北扩展到 25° — 30° N附近(图8c), 使得副高进一步西伸北抬。从2013年夏季西太平洋(110° — 120° E)射

出长波辐射距平的时间—纬度剖面图(图略)也可发现, 6月中上旬、7月中旬至8月底西太平洋南部(0° — 25° N), 尤其是菲律宾海和暖池附近, 热带辐合带对流活动异常偏强。由此可见, 2013年前冬至夏季热带太平洋和印度洋海温的异常及演变, 通过影响沃克环流、西太平洋哈得来环流及热带辐合带对流活动的调整, 很大程度上决定了副高季节内强度及位置的变化。

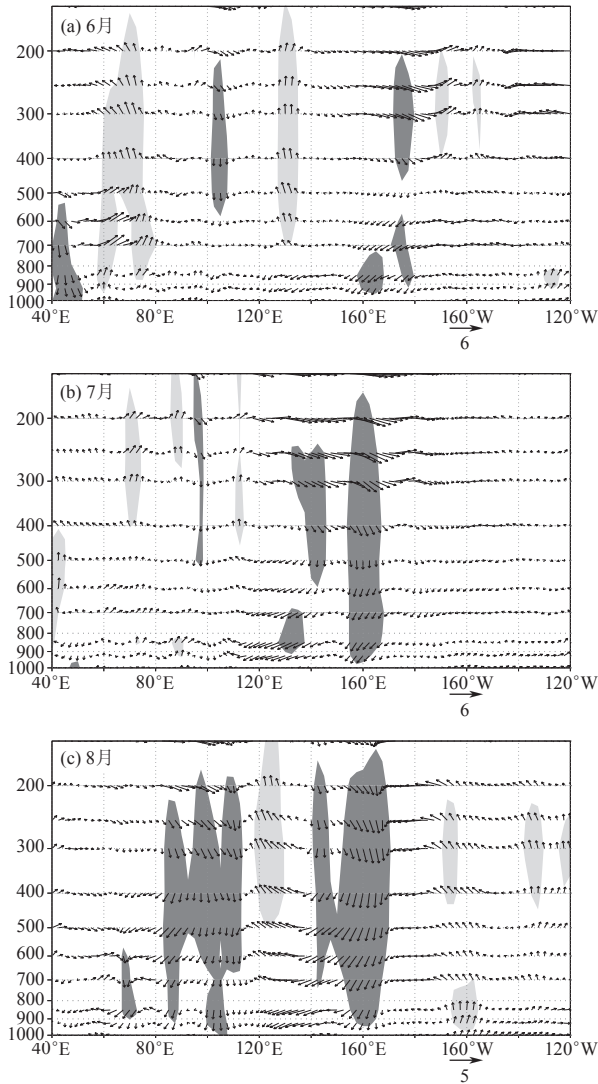


图7 2013年夏季 5° — 25° N纬向平均的经向垂直距平环流(垂直速度扩大至100倍, 单位: 10^{-2} hPa/s; 浅、深阴影区分别表示垂直速度距平小于 -1.5×10^{-2} hPa/s和大于 1.5×10^{-2} hPa/s; 经向风速单位:m/s)

副高作为东亚大气环流系统中重要的一员, 其变化除了受海温下垫面异常的影响外, 同时还受到东亚西风急流、南亚高压以及中高纬环流的异常和调整的影响。由图3d可见, 2013年夏季南亚高压偏东, 东

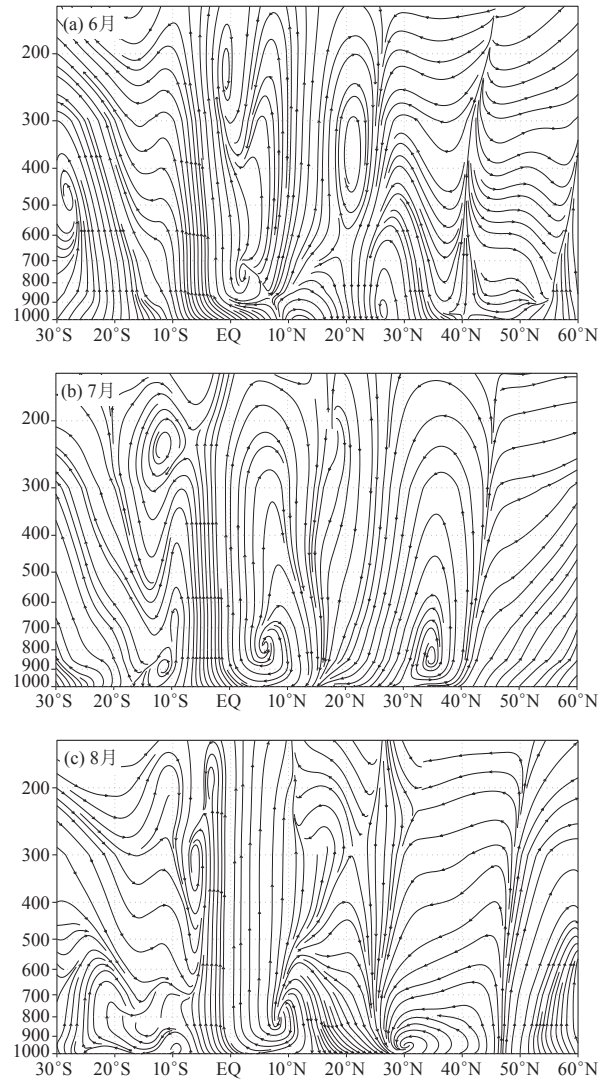


图8 2013年夏季 125° — 140° E经向平均的纬向垂直距平环流(垂直速度扩大至100倍, 单位为 10^{-2} hPa/s; 纬向风速单位:m/s)

亚西风急流偏强偏北, 欧亚中高纬地区以纬向环流为主, 均有利于副高加强、偏西和北抬。然而, 2013年夏季副高偏强偏西, 但脊线仅偏北0.5个纬度, 副高的这种特征有利于江淮地区降水偏多, 实况却是华北

和东北降水异常偏多，而江淮降水偏少，这可能是由于中高纬度高度场偏低，以纬向环流为主，不利于冷空气南下。毛恒青等^[36]研究表明，东北亚阻塞的强盛年基本上与El Niño相对应，太平洋海温异常会激发东亚地区的遥相关波列，致使东北亚地区500hPa高度场异常，从而使东北亚阻塞高压异常。2013年前冬至夏季，赤道中东太平洋海温维持偏冷状态，不利于夏季东北亚阻塞高压的形成和维持。

此外，图9给出了1974—2013年前冬欧亚大陆和青藏高原积雪面积距平序列。由图可见，2013年前冬欧亚积雪面积异常偏大（位列近40年来的第四位），而高原积雪略偏少。研究表明，前冬欧亚大陆北部积雪增多年的夏季，贝加尔湖以东易盛行异常冷低压，东亚副热带西风急流增强，副高加强、西伸和北扩，江南地区在副高的控制下易干热^[37]；而冬季高原积雪偏少会导致从冬至夏高原地面感热加热增强，造成从冬至夏高原上升运动加强，有利于南亚高压的增强，另一方面增强了东亚季风的强度，副高偏北，使得长江流域降水偏少^[38]。由此可见，2013年前冬欧亚积雪异常偏多和高原积雪偏少，可能是夏季中高纬环流、副高及东亚夏季风异常的另一主要原因。

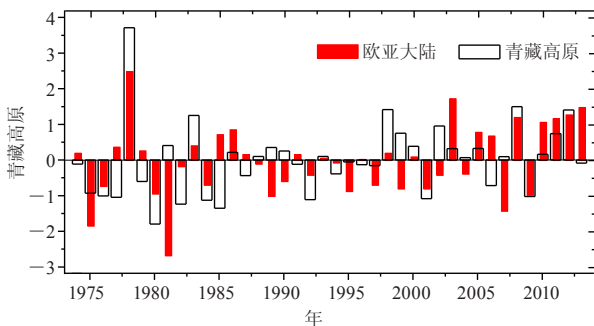


图9 1974—2013年前冬欧亚大陆和青藏高原积雪面积距平 (单位: 10^6km^2)

综上所述，在前冬太平洋和印度洋海温、欧亚积雪等外强迫异常的影响下，2013年夏季东亚大气环流发生异常，即中高纬阻塞高压活动偏弱，副高偏北，东亚夏季风偏强，东北冷涡活跃，导致我国夏季北方降水异常偏多，南方降水偏少。此外，华南南部受西太平洋强台风的影响，降水偏多。

5 结论和讨论

对2013年中国夏季降水实况进行回顾，分析导致降水异常的东亚大气环流系统的配置特征，以及海温和积雪等外强迫对东亚大气环流的影响，具体结论如下：

(1) 2013年我国夏季降水整体略偏多，大体呈北涝南旱的分布特征，夏季主雨带位于华北和东北地区，西北大部降水也异常偏多，其中东北等地发生洪

涝，而淮河流域和云贵至江南等地降水异常偏少，气象干旱严重。

(2) 从东亚夏季风环流系统季节内配置特征可见，2013年夏季东亚夏季风总体偏强，阶段性变化显著，副高第一次北跳偏晚第二次北跳偏早，季节内多次加强西伸，加强了水汽向北输送；同时欧亚中高纬地区为冷性低压控制，季节内东北冷涡活动频繁，欧亚阻塞高压活动偏少，不利于冷空气南下；在东亚夏季风系统关键成员的这种配置下，冷暖空气于我国北方地区辐合，导致了夏季北方地区发生多次强降水过程。

(3) 图10给出了前冬海温和积雪等外强迫异常对东亚夏季风系统关键成员的影响、东亚夏季风系统成员的相互作用和配置，及其对2013年中国夏季降水异常的影响机理。前冬至春季印度洋偏暖、太平洋东冷西暖，通过沃克环流和哈得来环流等，使副高偏强、偏西偏北，东亚夏季风加强；冬、春季高原积雪偏少，通过感热加热使夏季南亚高压增强东扩，进而促使副高加强西伸；冬、春季欧亚积雪异常偏多，导致贝加尔湖以东盛行异常冷低压，东北冷涡活跃，东亚副热带西风急流增强，副高加强、西伸和北扩。中高纬以纬向环流为主，不利于冷空气南下，而副高偏西偏北，东亚夏季风偏强，加强了水汽向北输送，冷暖空气在我国北方地区长时间对峙，导致北方降水偏多。

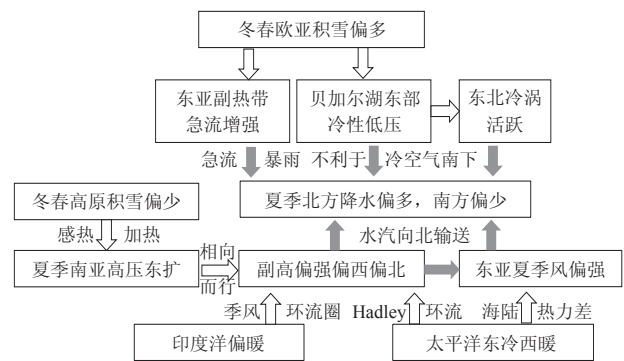


图10 2013年中国夏季降水异常机理分析——气候模型

本文从东亚夏季风环流系统季节内异常的配置分析了2013年夏季中国北涝南旱的直接成因，并进一步探讨了海温和积雪等外强迫异常对东亚夏季风环流系统的可能影响，以期为中国夏季旱涝检测、归因和预测提供一定参考。此外，进入21世纪以来，中国夏季主雨带逐渐北移，淮河流域连续几年出现了严重的洪涝灾害，例如2000，2003，2005和2007年^[17,39-41]，而2012年^[19]和2013年夏季主雨带进一步北移至黄河流域及其以北地区，呈现出北涝南旱的态势，是否意味着一次新的旱涝趋势的年代际转折？这是一个值得关注和探讨的问题，将另文分析。

参考文献

- [1] 第二次气候变化国家评估委员会. 第二次气候变化国家评估报告. 北京: 科学出版社, 2011.
- [2] 吴国雄, 李建平, 周天军, 等. 影响我国短期气候异常的关键区: 亚印太交汇区. 地球科学进展, 2006, 21(11): 1109-1118.
- [3] 丑纪范, 徐明. 短期气候数值预测的进展和前景. 科学通报, 2001, 46(11): 890-894.
- [4] 黄荣辉, 蔡榕硕, 陈际龙, 等. 我国旱涝气候灾害的年代际变化及其与东亚气候系统变化的关系. 大气科学, 2006, 30(5): 730-742.
- [5] 李维京. 1998年大气环流异常及其对中国气候异常的影响. 气象, 1999, 25(4): 20-25.
- [6] 封国林, 杨涵涌, 张世轩, 等. 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, 2012, 36(5): 1009-1026.
- [7] 封国林, 孙树鹏, 赵俊虎, 等. 基于2009年初长江中下游地区持续阴雨过程的10-30天延伸期稳定分量的提取及配置分析. 中国科学 地球科学, 2013, 43(5): 836-847.
- [8] 赵俊虎, 封国林, 王启光, 等. 2010年我国夏季降水异常气候成因分析及预测. 大气科学, 2011, 35(6): 1069-1078.
- [9] 丁一汇. 季节气候预测的进展和前景. 气象科技进展, 2011, 1(3): 14-27.
- [10] 丑纪范, 徐明. 短期气候数值预测的进展和前景. 科学通报, 2001, 46(11): 890-894.
- [11] 李维京. 现代气候业务. 北京: 气象出版社, 2012.
- [12] 宋连春, 肖风劲, 李威. 我国现代气候业务现状及未来发展趋势. 应用气象学报, 2013, 24(5): 513-520.
- [13] 顾薇, 李崇银, 杨辉. 中国东部夏季主要将水型的年代际变化及趋势分析. 气象学报, 2005, 63(5): 728-739.
- [14] 黄荣辉, 陈际龙, 刘永. 我国东部夏季降水异常主模态的年代际变化及其与东亚水汽输送的关系. 大气科学, 2011, 35(4): 589-606.
- [15] 陶诗言, 张庆云, 张顺利. 1998年长江流域洪涝灾害的气候背景和大尺度环流条件. 气候与环境研究, 1998, 3(4): 290-298.
- [16] 陈桂英, 张培群, 许力. 1999年夏季中国降水南多北少成因初探. 气候与环境研究, 2001, 6(3): 312-320.
- [17] 毕宝贵, 章国材, 李泽椿. 2003年淮河洪涝与西太副高异常及成因的关系. 热带气象学报, 2004, 20(5): 505-514.
- [18] 龚志强, 王艳娇, 王遵娅, 等. 2013年夏季气候异常特征及成因简析. 气象, 2014, 40(1): 119-125.
- [19] 赵俊虎, 支蓉, 申茜, 等. 2012年我国夏季降水预测与异常成因分析. 大气科学, 2014, 38(2): 237-250.
- [20] 丁一汇. 高等天气学. 北京: 气象出版社, 2005.
- [21] 丁一汇, 胡国权. 1998年中国大洪水时期的水汽收支研究. 气象学报, 2003, 61(2): 129-145.
- [22] Simmonds I, Bi D, Hope P. Atmospheric water vapor flux and its association with rainfall over China in summer. J Climate, 1999, 12(5): 1353-1367.
- [23] 王可丽, 江灏, 赵红岩. 西风带与季风对中国西北地区的水汽输送. 水科学进展, 2005, 16(3): 432-438.
- [24] 贾小龙, 陈丽娟, 龚振淦, 等. 2010年海洋和大气环流异常及对中国气候的影响. 气象, 2011, 37(4): 446-453.
- [25] 施能, 朱乾根, 吴彬贵. 近40年东亚夏季风及我国夏季大尺度天气气候异常. 大气科学, 1996, 20(5): 575-583.
- [26] 张庆云, 陶诗言. 亚洲中高纬度环流对东亚夏季降水的影响. 气象学报, 1998, 56(2): 199-211.
- [27] 吴国雄, 丑纪范, 刘屹岷, 等. 副热带高压研究进展及展望. 大气科学, 2003, 27(4): 503-517.
- [28] 何金海, 吴志伟, 江志红, 等. 东北冷涡的“气候效应”及其对梅雨的影响. 科学通报, 2006, 51(23): 2803-2809.
- [29] 杨涵涌, 封国林, 沈柏竹, 等. 中国夏季东北冷涡强度的定量分析. 大气科学, 2012, 36(3): 487-494.
- [30] 张庆云, 陶诗言. 夏季西太平洋副热带高压的北跳及异常的研究. 气象学报, 1999, 57(5): 539-548.
- [31] 张庆云, 陶诗言, 陈烈庭. 东亚夏季风指数的年际变化与东亚大气环流. 气象学报, 2003, 61(4): 559-568.
- [32] 肖子牛, 孙绩华, 李崇银. El Niño期间印度洋海温异常对亚洲气候的影响. 大气科学, 2000, 24(4): 461-469.
- [33] 赵振国. 厄尔尼诺现象对北半球大气环流和中国降水的影响. 大气科学, 1996, 20(4): 422-428.
- [34] 应明, 孙淑清. 西太平洋副热带高压对热带海温异常响应的研究. 大气科学, 2000, 24(2): 193-206.
- [35] 蒋国荣, 沙之钰, 蔡剑平. 印度洋和北太平洋海温与夏季西太平洋副热带高压长期变动的关系. 海洋预报, 1991, 8(1): 16-24.
- [36] 毛恒青, 李月安, 姚学祥, 等. 1998年夏季东北亚阻塞高压异常的大尺度环流特征及成因初探. 南京气象学院学报, 2011, 24(2): 221-227.
- [37] 穆松宁, 周广庆. 冬季欧亚大陆北部新增雪盖面积变化与中国夏季气候异常的关系. 大气科学, 2010, 34(1): 213-226.
- [38] 韦志刚, 陈文, 黄荣辉. 青藏高原冬春积雪异常影响中国夏季降水的数值模拟. 高原山地气象研究, 2008, 28(1): 1-7.
- [39] 谭桂容, 孙照渤, 朱伟军, 等. 2007年夏季降水异常的成因及预测. 大气科学学报, 2009, 32(3): 436-442.
- [40] 司东, 丁一汇, 柳艳菊. 中国梅雨雨带年代际尺度上的北移及其成因. 科学通报, 2010, 55(1): 68-73.
- [41] 龚志强, 赵俊虎, 封国林. 中国东部2012年夏季降水及年代际转型的可能信号分析. 物理学报, 2013, 62(9): 099205.