

# 河北省旱涝的变化特征及其相关的海气异常型分析

王宏<sup>1</sup> 余锦华<sup>2</sup> 王万筠<sup>3</sup> 高英杰<sup>4</sup>

## 摘要

利用河北省及邻近区域 73 个气象站 1961—2009 年逐年降水资料,同期 NCEP/NCAR 再分析资料,NOAA 太平洋海温等资料,分析了河北省干旱的时空变化特征,并应用奇异值分解、合成分析等方法,研究了河北省典型旱涝年份与同期太平洋海温和环流场的异常特征。结果表明:河北省旱涝异常的空间型分布主要有 2 种,这些空间型的时间变化除了具有明显的年际变化外,还存在显著的年代际变化。SVD(奇异值分解)分析揭示的河北省旱涝和海气异常的关系表明,当赤道东太平洋年平均海温异常偏低,北太平洋海盆中部年平均海温异常偏高的年份,河北省大部分地区容易偏涝,反之,易干旱。典型干旱年,500 hPa 平均高度场上贝加尔湖西南部以及极地 500 hPa 年平均高度场为正异常,阿留申地区南部为负异常;亚洲中高纬地区环流从西到东呈现 - + - 的环流异常纬向分布。而典型雨涝年 500 hPa 平均高度场上贝加尔湖西南部以及极地 500 hPa 年平均高度场为负异常,阿留申地区南部为正异常;亚洲中高纬地区环流从西到东呈现 - + 的环流异常纬向分布。

## 关键词

旱涝;太平洋海温;环流场;异常;河北省

中图分类号 TH71;TG803

文献标志码 A

收稿日期 2012-04-16

资助项目 公益性行业(气象)科研专项(GY-HY200906016)

作者简介

王宏,女,硕士,高级工程师,主要从事天气预报、短期气候预测。whlzqld@sina.com

1 河北承德市气象局,承德,067000

2 南京信息工程大学 大气科学学院,南京,210044

3 天津塘沽区气象局,天津,300457

4 河北乐亭县气象局,唐山,063600

## 0 引言

河北省地处华北平原的东北部,位于夏季风影响区域的边缘地带,是气候脆弱地区之一,降水量不仅年内分配不均,而且年际变化显著,旱涝频发。干旱和水灾是河北省最频繁、影响最大的气象灾害。

我国的不少专家学者对引起华北旱涝的环流异常特征进行了研究和探讨。黄荣辉等<sup>[1-2]</sup>对影响我国旱涝的夏季遥相关型及其形成机制进行了研究并提出高原热力异常及西太平洋暖池对流异常激发的异常遥相关是影响我国夏季旱涝的重要环流型;朱平等<sup>[3]</sup>研究了华北夏季旱涝的前期环流异常及其与北太平洋海温的关系,认为黑潮区 SSTA(海表温度变化)对北半球副热带及其以北的大气环流产生显著影响,正的 SSTA 是造成华北夏涝年的前期春季异常环流形势的重要因素;孙淑清<sup>[4]</sup>和张庆云<sup>[5]</sup>研究了华北地区干旱的年代际变化及与东亚环流和海温异常的关系;魏凤英等<sup>[6]</sup>研究认为,华北地区干旱和多雨期的大气环流和海温变化存在趋势性差异,干旱不仅与西风带环流有关,也与副热带高压的异常变化有关;孙安健等<sup>[7]</sup>分析了华北夏季严重旱涝年份 500 hPa 高度场距平及热带洋面各关键区海温的变化。以上成果为研究华北旱涝奠定了较好的理论基础,但是,在众多研究华北地区旱涝的文献中一般只选取河北省的几个站点,这不能准确代表河北旱涝的真实状况,因而有必要利用河北省较丰富的站点资料,就影响河北省旱涝的海洋及大气环流特征进行详细的研究,从而对华北地区的旱涝变化有进一步的认识。

## 1 资料和方法

本文利用观测时间长、连续性好的 73 个地面气象站(图 1)1961 年 1 月—2009 年 12 月逐年的降水作为研究对象,同期 NOAA 逐月太平洋海温资料,网格距  $2.0^{\circ} \times 2.0^{\circ}$ ,NCEP/NCAR 逐月的再分析资料中 500 hPa 高度场资料,网格距  $2.5^{\circ} \times 2.5^{\circ}$ 。本文采用经验正交函数(EOF)分解、SVD(奇异值分解)<sup>[8]</sup>及合成分析等统计方法。

## 2 河北区域旱涝评估方法

单站旱涝运用 Z 指数: $Z_i = \frac{6}{C_s} \left( \frac{C_s}{2} \varphi_i + 1 \right)^{\frac{1}{3}} - \frac{6}{C_s} + \frac{C_s}{6}$ ,其中, $\varphi_i =$

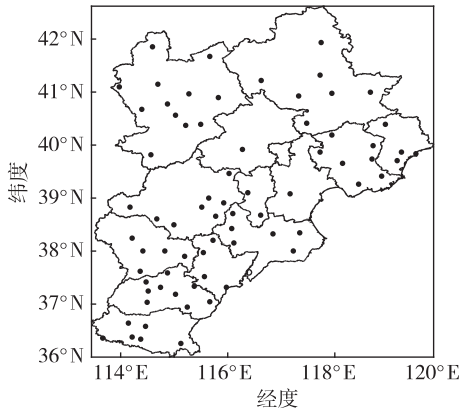


图1 研究区域73个站点分布

Fig. 1 Distribution of 73 meteorological stations in the research region

$\frac{x_i - \bar{x}}{\sigma}$  和  $C_s = \frac{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^3}{\sigma^3}$  分别为标准化变量和

偏度系数. 由此求得  $Z$  值, 根据  $Z$  值的正态分布曲线, 划分了7个等级, 作为旱涝情况的指标评估体系, 见表1. 区域旱涝运用公式:  $X_i = \frac{1}{m} \sum_{j=1}^m Z_{ij}$ , 其指标界限值同表1.

定义平均  $Z$  指数序列中重旱、大旱年份: 1965、1972、1997、1999 和 2002 年为典型干旱年; 重涝、大涝年份: 1964、1973、1977 和 1990 年为典型雨涝年.

表1  $Z$  指数旱涝等级标准Table 1 Drought and flood grade of  $Z$  index

等级	$Z$ 值	类型
1	>1.645	重涝
2	(1.037 1.645]	大涝
3	(0.524 1.037]	偏涝
4	0.524	正常
5	[-1.037 -0.524)	偏旱
6	[-1.645 -1.037)	大旱
7	<-1.645	重旱

### 3 河北旱涝的时空分布特征

为了了解河北省旱涝的主要分布特征, 应用 EOF 分析方法对 1961—2009 年 73 个站的年  $Z$  指数场作展开, 前 2 个特征向量的方差贡献率分别为 43.78% 和 14.38%. 图 2a 和图 2b 分别是河北省年  $Z$  指数 EOF 分析第 1 模态 (即 EOF1) 的空间分布和时间系数序列. 正如图 2a 所示, 该向量场年的空间分布在河北省区域内均为正值, 这表明河北省年干旱指数变化在空

间上具有很好的一致性, 呈现全省性的干旱或雨涝. 从图 2b 所示的河北省年  $Z$  指数 EOF 分析第 1 主分量时间序列的变化可以看到, 河北年干旱有明显的年代际变化. 从年时间系数变化看, 20 世纪 60 年代到 70 年代初为下降趋势, 70 年代初到 80 年代中期, 变化趋势较均匀, 80 年代中期到 21 世纪初为下降趋势, 21 世纪初以来处于上升过程中.

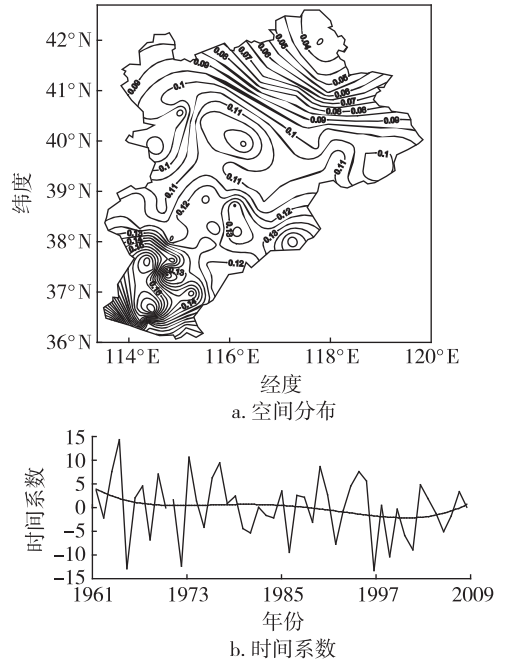
图2 1961—2009 年河北省年  $Z$  指数 EOF1 的空间分布和时间系数序列Fig. 2 The EOF1 of annual  $Z$  index for 1961—2009 in Hebei spatial pattern of EOF1, time coefficient series and its four polynomial curve

图 3a 和 3b 分别给出了河北省  $Z$  指数 EOF2 的空间分布和时间系数序列. 图 3a 显示, 年干旱指数 EOF 第 2 特征向量场分布表现为南北反位相变化的关系, 而且 EOF2 时间序列的变化表明 (图 3b), 20 世纪 60 年代初到 80 年代中期, 90 年代中期至今, 河北多呈南部干旱、北部湿润, 而 60 年代中后期到 90 年代中期则呈现相反变化.

### 4 河北旱涝与太平洋海温场异常特征分析

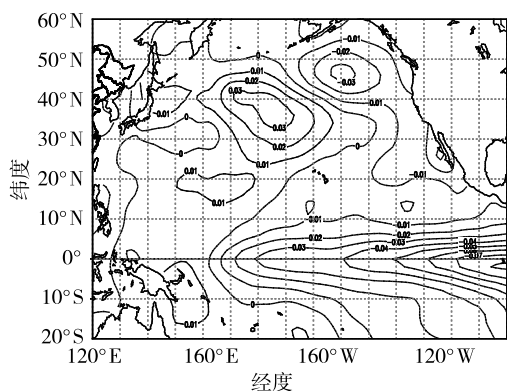
#### 4.1 河北旱涝与同期太平洋海温场的耦合关系

本文用 SVD 方法来分析河北旱涝和海表温度变化 (SSTA) 之间的耦合关系. 把 1961—2009 年 73 站的年  $Z$  指数作为左场, 同期的太平洋 (120°E ~ 90°W, 20°S ~ 60°N) SSTA 作为右场进行奇异值分解. 通过奇异值分解, 可以获得两者显著耦合的关键区及时

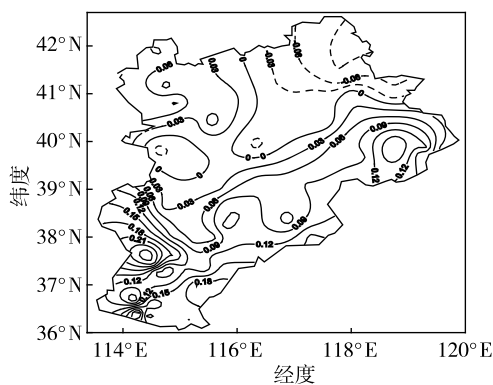
空变化特征. SVD 分解的第 1 模态解释了总方差的 60%, 海温场与年 Z 指数时间系数的相关系数为 0.38, 通过 0.01 显著性水平的显著性检验. 第 1 对模态表征了 2 个要素场耦合关系的绝大部分信息. 以下主要讨论 SVD 第 1 模态特征.

图 4 给出了海温场和年 Z 指数 SVD 分解的第 1 模态时空分布. 从图 4a 可以看出: 海温场第 1 奇异向量表现为除 160°E ~ 155°W 北太平洋海盆中南部为明显正值区外, 其他海域大部分为负值区; 正值中心位于北太平洋海盆中南部中途岛北部海域 (170°E ~ 170°W, 33 ~ 42°N), 负值中心则位于阿拉斯加湾以及赤道东太平洋, 特别是 Nino3 区东部负值中心最强. 从图 4b 年 Z 指数第 1 奇异向量分布可以看出, 全省除东北部的承德外, 均为正值区, 大值区出现在河北省南部的石家庄及邢台两地区的交界处. 由此看出, 赤道东太平洋、北太平洋海盆中南部 (170°E ~ 170°W, 33 ~ 42°N) 附近是太平洋海温场的关键区, 河北省南部的石家庄和邢台的交界处及东北部的承德易受关键区海温异常的影响.

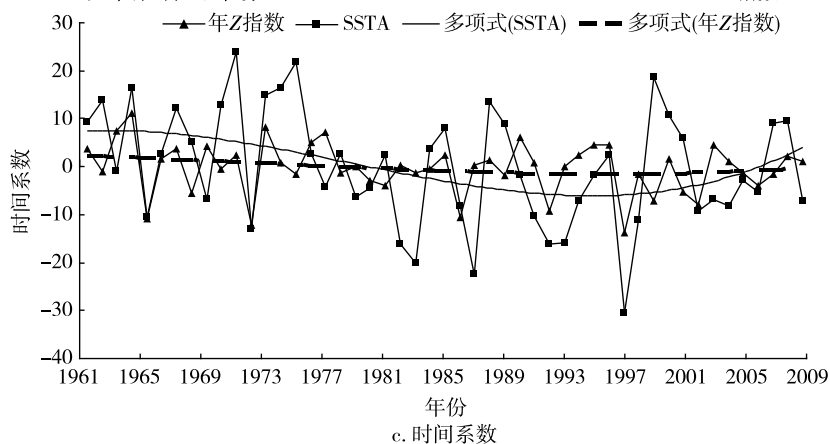
从相应的时间系数变化 (图 4c) 可知: 二者为正相关, 时间系数为正时, 赤道东太平洋年平均海温异



a. 太平洋海温距平场



b. Z 指数



c. 时间系数

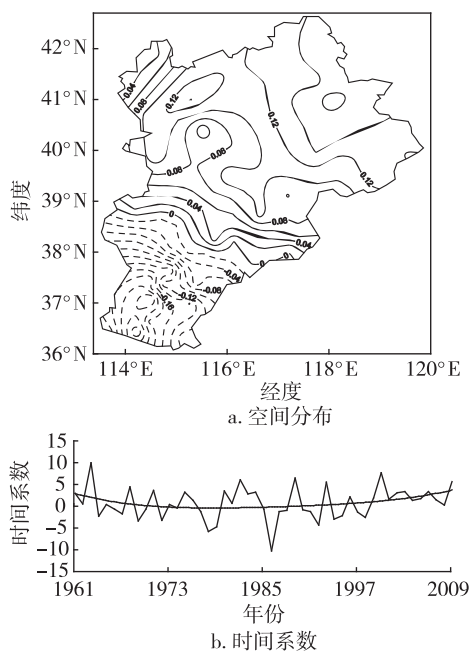


图 3 1961—2009 年河北省年 Z 指数 EOF2 的空间分布和时间系数序列

Fig. 3 The EOF1 of annual Z index for 1961—2009 in Hebei spatial pattern of EOF2, time coefficient series and its four polynomial curve

图 4 河北年 Z 指数与同期太平洋海温距平场 SVD 分解的第 1 模态空间分布

Fig. 4 Spatial and temporal patterns of SVD1 in Hebei, spatial SSTA of the Pacific Ocean pattern

常偏低,北太平洋海盆中部年平均海温异常偏高的年份,河北省东北部容易偏旱,中南部容易偏涝,特别是南部的石家庄及邢台的交界处表现得较明显;反之,河北省大部分地区容易出现干旱. 从两时间系数的三次多项式拟合看,存在明显的年代际变化,20世纪60—70年代中后期主要处于正值期,期间赤道东太平洋年平均海温偏低,北太平洋海盆东南部年平均海温偏高,河北总体偏涝,20世纪70年代末以来时间系数主要为负值,关键区的海温出现相反变化,河北转入干期.

#### 4.2 典型旱涝年 SSTA 合成分析

图5是1961—2009年河北省典型干旱年与典型雨涝年太平洋SSTA合成. 由图5a可知:典型干旱

年赤道中东太平洋年平均海温偏高,正距平的中心位于130~170°W赤道太平洋,达0.8℃,而典型雨涝年(图5b)赤道中东太平洋年平均海温异常偏低,距平中心在Nino3区东部,达-2.0℃以上;典型雨涝年西北太平洋海盆的年平均海温比典型干旱年偏高,正距平中心在西北太平洋140~150°E、40°N附近,达3.6℃以上. 可见赤道中东太平洋的海温异常对河北的旱涝有重大影响.

### 5 河北旱涝与500 hPa环流异常特征分析

#### 5.1 河北旱涝与同期500 hPa平均位势高度距平场的关系

500 hPa高度场的资料是我国气象台站制作降

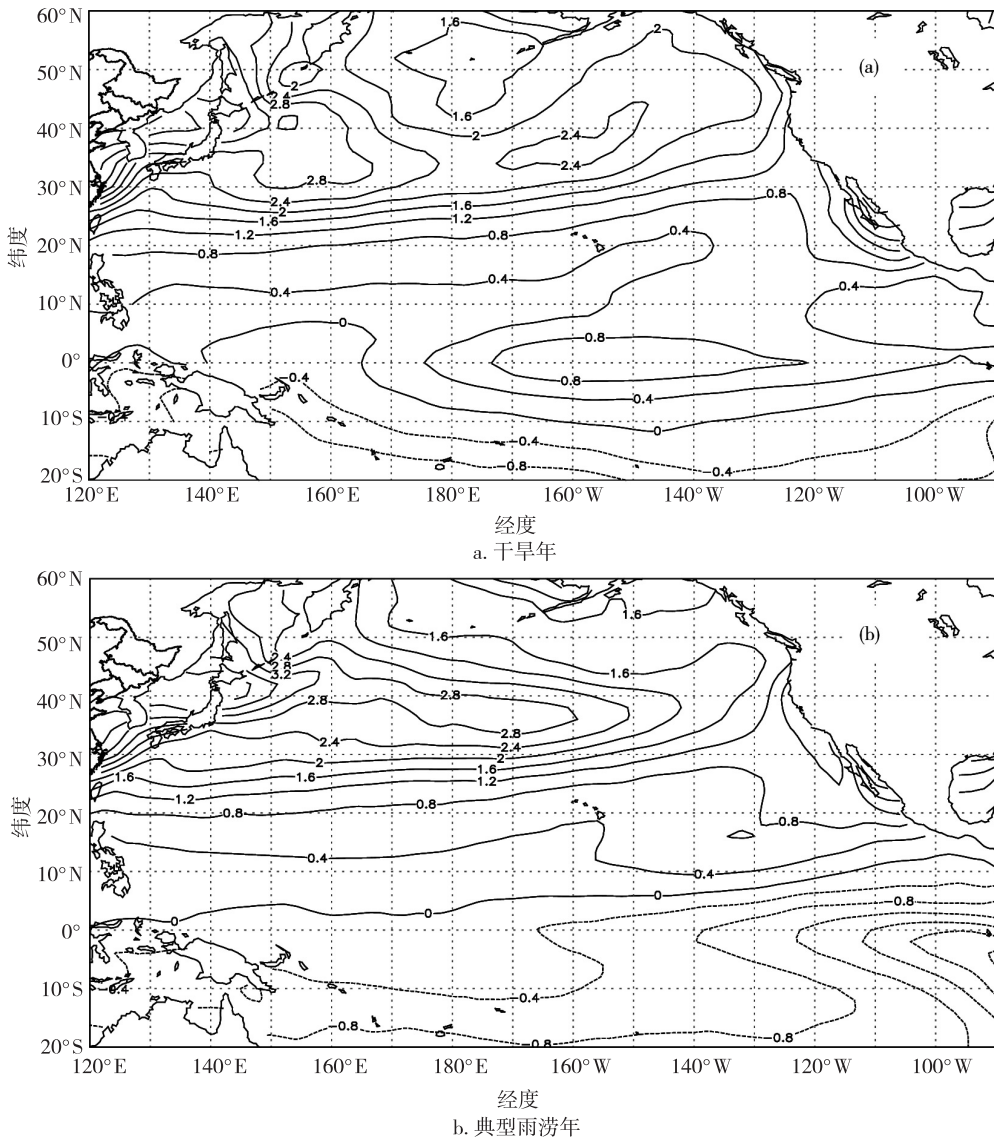


图5 典型干旱年和典型雨涝年太平洋海温距平场合成(单位:℃)

Fig. 5 Composition graphs of SSTA of the Pacific Ocean in typical drought and flood years



水短期气候预测中最为常用的环流形势场,是分析大气环流的主要工具. 本文用 SVD 方法对 73 个台站 1961—2009 年逐年 Z 指数(左场)与同期北半球 500 hPa 平均高度距平场(右场)的耦合关系作进一步的研究. SVD 分析结果表明第 1 对特征向量占总方差的 36%, 第 1 模态对应时间系数的相关系数为 0.30, 通过了显著性水平  $\alpha = 0.05$  的显著性检验. 以下主要讨论 SVD 第 1 模态特征.

图 6 给出了年 Z 指数与同期北半球 500 hPa 年平均高度距平场 SVD 分解的第 1 模态时空分布. 从图 6a 可以看出:500 hPa 年平均高度距平场第 1 奇异向量正值中心主要位于我国东部的日本、太平洋的阿留申地区南部、英国西部到其附近大西洋海域以及加拿大东部到戴维斯海峡;亚洲范围和极地基本为负值,中心区位于亚洲中纬度贝加尔湖西南部、极地及美国中部. 年 Z 指数第 1 奇异向量(图 6b)全省为一致的正值,最大值出现在石家庄和邯郸. 由此可知贝加尔湖西南部,以及极地、太平洋阿留申地区

南部是 500 hPa 年平均高度场的关键区,河北省南部的石家庄和邯郸受其异常的影响较明显.

从时间系数序列(图 6c)看,二者为正相关,时间系数为正时,贝加尔湖西南部以及极地 500 hPa 年平均高度场为负异常,阿留申地区南部为正异常年份,河北区域降水易偏多,特别是南部的石家庄和邯郸表现更明显,反之,河北区域易出现干旱. 从多项式拟合曲线看,20 世纪 80 年代末以来,时间系数主要处于负值期,在此期间贝加尔湖西南部以及极地 500 hPa 高度场主要为正异常,阿留申地区南部主要为负异常,河北区域整体偏旱,而 80 年代末以前与之相反.

### 5.2 典型旱涝年 500 hPa 平均位势高度距平场合成分析

图 7 是典型干旱与雨涝年北半球 500 hPa 平均位势高度距平场的合成. 由图 7 可以看出,典型旱涝年 500 hPa 高度距平场有显著区别. 典型干旱年(图 7a),负距平中心的绝对值大于正距平中心值,大的

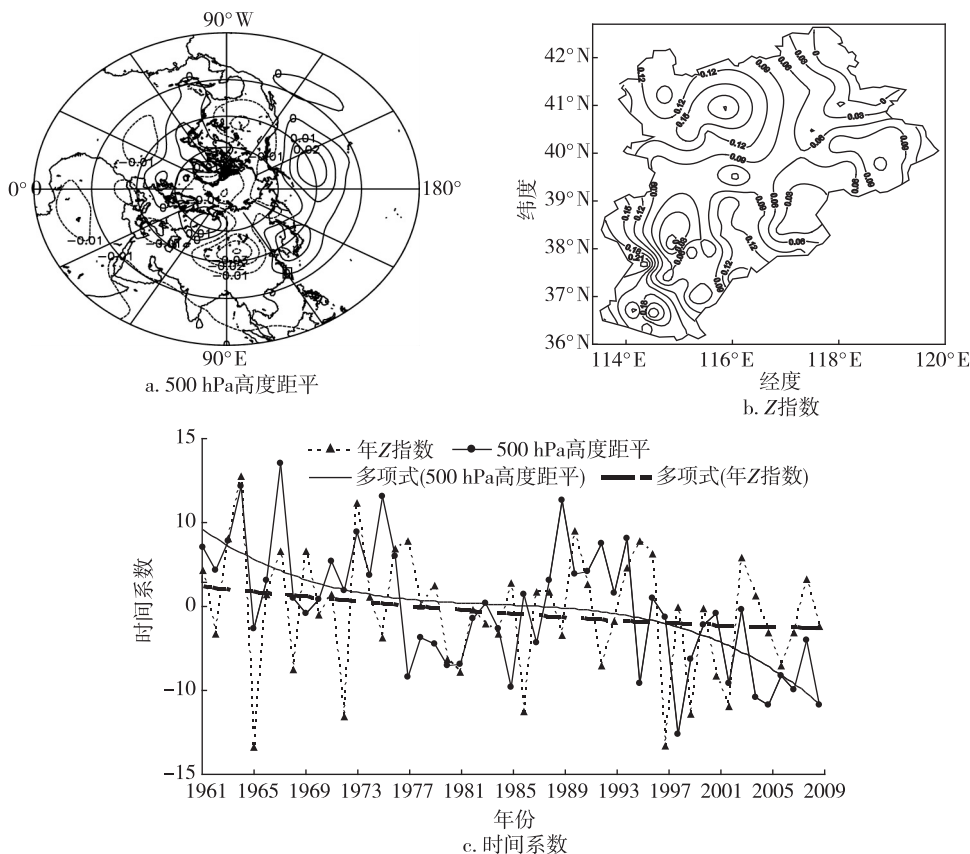


图 6 年 Z 指数与同期 500 hPa 年平均高度距平场 SVD 分解的第 1 模态空间分布, 500 hPa 高度距平(单位: gpm), Z 指数, 时间系数(高度场对应的时间系数缩小了 100 倍)

Fig. 6 Spatial and temporal patterns of SVD1 in Hebei, 500 hPa height anomaly pattern, annual Z index, time coefficient series of the SVD1 for annual Z index and 500 hPa height anomaly (Time coefficients of height field is reduced by 100 times)

负距平中心主要位于乌拉尔山、加拿大东部及其沿海附近,正距平中心主要位于亚洲中纬度贝加尔湖西南部以及极地附近.而典型雨涝年(图7b),正、负距平中心的强度与干旱年差不多,正距平的中心主要位于日本海、北太平洋阿留申地区南部及欧洲西部,负距平的中心主要位于东西伯利亚、亚洲北部到乌拉尔山的南部地区.典型干旱年亚洲中高纬地区环流从西到东呈现 $- + -$ 的环流异常纬向分布,乌拉尔山一带是强的负异常中心,蒙古附近上空为一强度很大的正异常中心,雅库次克为负异常区,两个异常槽和一个异常脊的分布加强,河北地区处于异常脊区的东南象限,受异常偏北气流控制,在下沉气流的影响下,使得河北干旱.而典型雨涝年亚洲中高纬地区环流从西到东呈现 $- +$ 的环流异常纬向分布,乌拉尔山到日本海一带为西低东高的距平配置,乌拉尔山南部一带是强的负异常中心,日本海上空为一强度很大的正异常中心,表明华北低槽明显,北方冷空气比较活跃.另外,西太平洋副热带高压位置偏西、偏北,有利于南方暖湿气流向北输送,冷暖气流的活动有利于河北多雨.

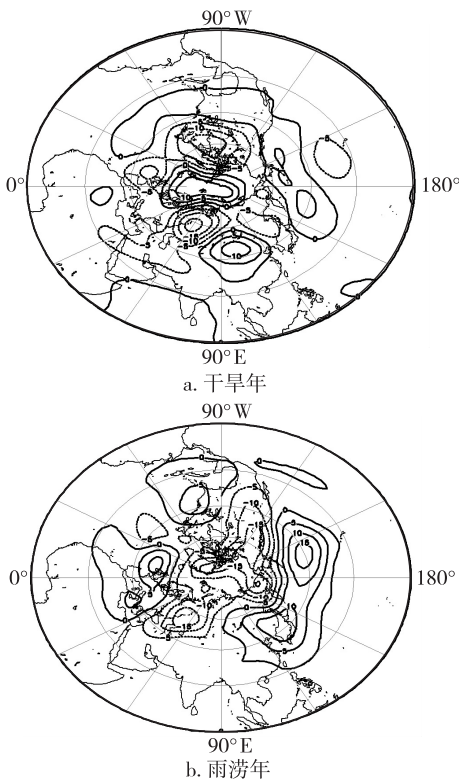


图7 典型干旱年、雨涝年500 hPa平均位势高度距平合成(单位:gpm)

Fig.7 Composition graphs of 500 hPa mean geopotential height anomaly in typical drought and flood years

## 6 结论

本文利用近49年来河北及邻近地区73个站逐年降水观测资料以及海洋、大气分析资料分析了河北省旱涝的时空变化特征,对河北典型旱涝年份的海气系统异常相关型进行了分析,得出以下结论:

1) EOF分析的结果表明,河北省旱涝异常的空间型分布主要有2种:其一是全省性的干旱或雨涝;其二是南涝(旱)北旱(涝)的南北相反分布型,这些异常变化除了有明显的年际变化外,还存在一定的年代际变化.

2) 赤道东太平洋、北太平洋海盆中南部( $170^{\circ}\text{E} \sim 170^{\circ}\text{W}$ 、 $33 \sim 42^{\circ}\text{N}$ )附近是影响河北典型旱涝年的太平洋海温场的关键区,河北省南部的石家庄及邢台及东北部的承德易受关键区海温异常的影响.当赤道东太平洋年平均海温异常偏低,北太平洋海盆中部年平均海温异常偏高的年份,河北省东北部容易偏旱,中南部容易偏涝,反之,河北省大部分地区容易出现干旱.

3) 贝加尔湖西南部,以及极地、太平洋阿留申地区南部是影响河北省典型旱涝年的同期500 hPa年平均高度场的关键区,河北省南部的石家庄和邯郸受其异常的影响较明显.当贝加尔湖西南部以及极地500 hPa年平均高度场为负异常,阿留申地区南部为正异常年份,河北区域降水易偏多,特别是南部的石家庄和邯郸表现更明显,反之,河北区域易出现干旱.

4) 河北典型干旱年亚洲中高纬地区环流从西到东呈现 $- + -$ 的环流异常纬向分布,河北受异常偏北气流控制,使得河北干旱.而典型雨涝年亚洲中高纬地区环流从西到东呈现 $- +$ 的环流异常纬向分布,北方冷空气比较活跃,加之西太平洋副热带高压位置偏西、偏北,冷暖空气的活动有利于河北多雨.

## 参考文献

### References

- [1] 黄荣辉,李维京.夏季热带西太平洋上空的热源异常对东亚上空副热带高压的影响及其物理机制[J].大气科学,1998,22(增刊1):107-116  
HUANG Ronghui, LI Weijing. Influence of heat source anomaly over the western tropical Pacific on the subtropical high over East Asia and its physical mechanism[J]. Chinese Journal of Atmospheric Sciences, 1998, 22 (sup1):107-116
- [2] 黄荣辉.引起我国夏季旱涝的东亚大气环流异常遥相关及其物理机制的研究[J].大气科学,1990,14(1):108-117  
HUANG Ronghui. Studies on the teleconnections of the

- general circulation anomalies of East Asia causing the summer drought and flood in China and their physical mechanism [J]. Chinese Journal of Atmospheric Sciences, 1990, 14(1): 108-117
- [ 3 ] 朱平盛, 张苏平. 华北夏季旱涝的前期环流异常及其与北太平洋海温的关系 [J]. 应用气象学报, 1997, 8(4): 438-444
- ZHU Pingsheng, ZHANG Suping. Atmospheric circulation anomaly prior to drought/flood of summer in North China and its relations to North Pacific SST [J]. Quarterly Journal of Applied Meteorology, 1997, 8(4): 438-444
- [ 4 ] 孙淑清. 近五十年来华北地区旱涝特征与全球变化的研究及对未来趋势的探讨 [J]. 高原气象, 1999, 18(4): 541-551
- SUN Shuqing. A study on the features of drought and flood in North China in recent 50 years and relations between them and global changes [J]. Plateau Meteorology, 1999, 18(4): 541-551
- [ 5 ] 张庆云. 1880 年以来华北降水及水资源的变化 [J]. 高原气象, 1999, 18(4): 486-495
- ZHANG Qingyun. The variations of the precipitation and water resources in North China since 1880 [J]. Plateau Meteorology, 1999, 18(4): 486-495
- [ 6 ] 魏凤英, 张京江. 华北地区干旱的气候背景及其前兆强信号 [J]. 气象学报, 2003, 61(3): 354-363
- WEI Fengying, ZHANG Jingjiang. Climatological background and previous stronger signal of anomaly drought over north China [J]. Acta Meteorologica Sinica, 2003, 61(3): 354-363
- [ 7 ] 孙安健, 高波. 华北平原地区夏季严重旱涝特征诊断分析 [J]. 大气科学, 2000, 24(3): 393-401
- SUN Anjian, GAO Bo. A diagnostic analyses of serious flood/drought during summer season in the north China plane [J]. Chinese Journal of Atmospheric Sciences, 2000, 24(3): 393-401
- [ 8 ] 魏凤英. 现代气候统计诊断与预测技术 [M]. 北京: 气象出版社, 2007: 160-169
- WEI Fengying. Statistic diagnose and foreshadow technology in modern climate study [M]. Beijing: China Meteorological Press, 2007: 160-169

## Variability of drought/flood in Hebei province and associated atmospheric and oceanic pattern analysis

WANG Hong<sup>1</sup> YU Jinhua<sup>2</sup> WANG Wanjun<sup>3</sup> GAO Yingjie<sup>4</sup>

1 Chengde Meteorological Bureau of Hebei Province, Chengde 067000

2 School of Atmospheric Science, Nanjing University of Information Science & Technology, Nanjing 210044

3 Tanggu Meteorological Bureau of Tianjin, Tianjin 300457

4 Laoting Meteorological Bureau of Hebei Province, Tangshan 063600

**Abstract** Based on 73 meteorological stations' annual precipitation data during 1961—2009 in Hebei province and its vicinity, NCEP/NCAR reanalysis data and NOAA Sea Surface Temperature (SST) data of the Pacific Ocean during the same period, the spatial and temporal distributions of drought/flood are analyzed. The relations between drought/flood in Hebei and contemporaneous anomalies of the SST field in the Pacific Ocean and the field of circulation are investigated by using Singular Value Decomposition (SVD) and composite analysis methods. The research shows that, there are mainly two patterns in the anomalous distributions of drought/flood in Hebei, with temporal variations in not only inter-annual but also inter-decadal time scale. The coupling relationship between drought/flood in Hebei and associated atmospheric and oceanic anomaly patterns with SVD analysis presents that, when the annual mean SST in equatorial eastern Pacific is abnormally low and the mean SST in the middle of the North Pacific Basin at the same time is abnormally high, it would always have flood in most regions of Hebei province, otherwise it would be a drought year. In drought years of Hebei province the positive anomalies over the southwestern of Lake Baikal and North Pole and the negative anomalies over the south of Aleutian region emerge at 500 hPa mean geopotential height fields. While the circulation anomalies display a latitudinal negative-positive-negative pattern at mid-and high-latitudes in Asia. Concurrent flood years pattern corresponded with the negative anomalies over the southwestern of Lake Baikal and North Pole and the positive anomalies over the south of Aleutian region emerge at 500 hPa mean geopotential height fields. At the same time, at mid-and high-latitudes there was latitudinal negative-positive anomalous circulation pattern in Asia.

**Key words** drought/flood; SST in the Pacific Ocean; circulation; anomaly; Hebei province