

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

黄荣辉¹ 蔡榕硕² 陈际龙¹ 周连童¹

¹ 中国科学院大气物理研究所季风系统研究中心, 北京 100080

² 国家海洋局第三海洋研究所, 厦门 361005

摘 要 通过观测资料分析我国旱涝灾害的年代际变化特征, 表明从 1976 年之后迄今我国华北地区发生持续干旱, 严重影响了此地区的水资源和经济的可持续发展, 并且长江、淮河流域夏季季风降水明显增加, 洪涝灾害频繁发生。作者还从东亚气候系统的年代际变化系统地分析了发生在我国旱涝气候灾害年代际变化的机理。分析结果表明: 从 20 世纪 70 年代中后期迄今, 热带中、东太平洋海温上升, 并出现“类似于厄尔尼诺 (El Niño) 型”分布的年代际海温距平。这不仅引起了东亚和西太平洋上空 EAP 型遥相关环流异常分布的年代际变化, 使得从 1976 年之后迄今东亚夏季风变弱、西太平洋副热带高压偏南、偏西, 而且引起了热带 Walker 环流的变化; 并且, 由于热带 Walker 环流的年代际变化, 引起了从 20 世纪 70 年代中后期到现在北非上空下沉气流的加强, 从而使得萨赫勒及以东地区上空反气旋环流异常增强, 并由于遥相关波列的传播, 从而导致我国华南上空反气旋环流距平的增强; 此外, 中高纬度欧亚型遥相关环流异常分布也发生了年代际变化, 使得 1976 年之后我国华北地区上空出现反气旋环流异常。这些使得到达华北的偏南季风气流减弱和长江、淮河流域水汽输送的辐合, 从而导致了我国旱涝的年代际变化。分析结果还表明了从 20 世纪 70 年代后期迄今青藏高原冬、春积雪天数增多, 深度加深, 以及我国西北干旱、半干旱地区-气温差增大, 这些有利于长江和淮河流域夏季降水增多, 而不利于华北地区夏季降水。

关键词 旱涝气候灾害 年代际变化 东亚气候系统

文章编号 1006-9895 (2006) 05-0730-14

中图分类号 P461

文献标识码 A

Interdecadal Variations of Drought and Flooding Disasters in China and Their Association with the East Asian Climate System

HUANG Rong-Hui¹, CAI Rong-Shuo², CHEN Ji-Long¹, and ZHOU Lian-Tong¹,

¹ Center for Monsoon System Research, Institute of Atmospheric Physics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100080

² Third Institute of Oceanography, State Oceanic Administration of China, Xiamen 361005

Abstract The characteristics of the interdecadal variations of drought and flooding disasters in China are analyzed by using the observed data. The results show that the persistent droughts occurred in North China from 1976 to now, which seriously affected water resources and sustainable development of economy in this region. And the summer monsoon rainfall obviously increased and flooding disasters frequently occurred in the Yangtze River valley and the Huaihe River valley in this period. Moreover, the physical mechanism of the interdecadal variations of drought and flooding disasters occurring in China is analyzed from the interdecadal variability of the East Asian climate system. The analyzed results show that the SST increased and an interdecadal SST anomaly pattern which is similar to El Niño appeared in the tropical central and eastern Pacific from the late 1970s to now. This has caused not only the in-

收稿日期 2006-02-13, 2006-06-06 收修定稿

资助项目 国家自然科学基金资助项目 40575026, 国家重点基础研究发展规划项目 2004CB418303, 国家自然科学基金重点项目 40231005

作者简介 黄荣辉, 男, 1942 年出生, 中国科学院院士, 中国气象学会副理事长, 主要从事行星波动力学, 大气环流和气候动力学的研究。E-mail: hrh@lasg.iap.ac.cn

terdecadal variation of circulation anomaly distributions of the East Asia - Pacific (EAP) pattern teleconnection over East Asia and the the western Pacific, which has led to the weakening of the East Asian summer monsoon and the southward and westward shifts of the western Pacific subtropical high, but also the interdecadal variability of the Walker circulation over the tropics after 1976. And the results also show that the interdecadal variability of the Walker circulation from the late 1970s to now caused the intensification of descending flow in North Africa, which led to the intensification of the anticyclonic anomaly circulation in the Sahelian region and east of North Africa. And due to the propagation of quasi-stationary planetary waves, the intensification of anticyclonic anomaly circulation over the Sahelian region caused the appearance of an anticyclonic anomaly circulation over South China from the late 1970s. Besides, since an interdecadal variation for the circulation anomaly distributions of the Eurasian (EU) pattern teleconnection over middle and high latitudes also occurred in the late 1970s, an anticyclonic circulation anomaly distribution over North China was caused after 1976. These led to the weakening of the southerly monsoon flow reaching North China and the convergence of water vapor transport in the Yangtze River valley and the Huaihe River valley, thus, the interdecadal variation of droughts and floods was caused in China in the late 1970s. The analyzed results also indicate that the days and thickness of winter and spring snow cover in the Tibetan Plateau increased, and the difference between the ground surface temperature and surface air-temperature in spring in the arid and semi-arid areas of Northwest China became large from the late 1970s. These are helpful to the increase of summer monsoon rainfall in the Yangtze River valley and the Huaihe River valley and the decrease of summer rainfall in North China.

Key words drought and flooding disasters, interdecadal variation, the East Asian climate system

1 引言

气候灾害是指大范围、长时间的气候异常所造成的灾害,如长时间气温偏高、偏低,或降水量偏多、偏少,风力偏强等,这些气候异常会带来干旱、洪涝、低温、冷害和沙尘暴等气候灾害。气候灾害对农业、工业、牧业、水利、交通等会产生巨大影响,从而造成巨大经济损失,如 1998 年夏季长江流域汛期季风降水比常年偏多了 100%,造成了全流域严重洪涝,致使 3000 多人死亡,2600 亿元的经济损失。由于气候灾害经历时间长、受灾面积大,故造成的灾害也严重,特别是旱涝等重大气候灾害给我国带来的经济损失是非常严重的,如图 1 所示,旱涝气候灾害造成的农作物受灾面积可占到气象灾害造成的农作物总受灾面积的 80%左右。在 20 世纪 90 年代,气象灾害每年约造成 $200 \times 10^8 \text{ kg}$ 的粮食损失和 2000 亿元以上的经济损失,这在 90 年代中后期可占到国家 GDP 的 3%~6%,这其中 80%是气候灾害所造成的损失。

由于我国旱涝气候灾害的严重性,我国大气科学界一直重视我国旱涝气候灾害的研究,特别是在 1998~2003 年,“我国重点基础研究发展规划”中把“我国重大气候灾害的形成机理和预测理论研究”作为首批启动项目之一。通过此项目的研究,对于我国旱涝等重大气候灾害的发生规律、机理和

预测理论作了比较系统的研究^[1~3],特别是对于 1998 年夏季我国长江流域、嫩江和松花江流域作了比较系统的研究^[4~7],揭示了我国夏季旱涝气候灾害年际变化是与包括海-陆-气各子系统的东亚气候系统的年际变化有关^[8, 9]。然而,限于该项目的研究目标,该项目对旱涝气候灾害的年代际变化研究比较少。由于东亚季风有很大的年代际变化,致使我国夏季季风降水在 20 世纪中后期发生了一次明显的跃变,华北地区从 1976 年之后,夏季季风降水减少,发生了持续干旱,导致了此地区水资源缺乏,国家不得不花费巨资实施南水北调工程^[10, 11];并且,

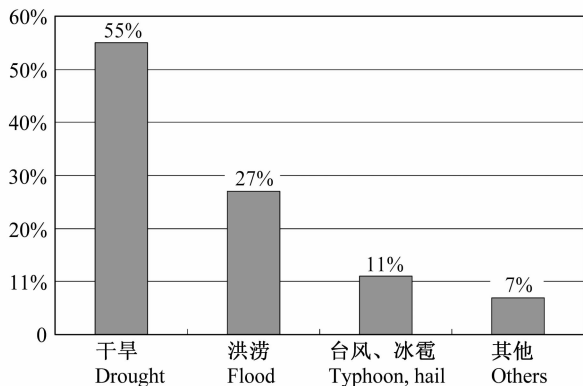


图 1 1989~2003 年平均各类气象灾害造成的农作物受灾面积占农作物总受灾面积的百分比 (资料来源于国家气候中心)

Fig. 1 Fraction of the area of damaged crops for various meteorological disasters averaged for 1989-2003. Data are from the National Climate Center, China

由于气候的年代际变化,长江流域夏季降水增加,致使此流域从 20 世纪 80~90 年代经常发生洪涝。为了分析我国夏季旱涝气候灾害的年代际变化,以便预测今后我国旱涝气候灾害的变化趋势,使得今后更有效实施南水北调工程,最佳发挥南水北调工程的效益,有必要进一步分析我国旱涝气候灾害的年代际变化特征及其可能成因。因此,最近在上述研究的基础上,我们进一步对我国旱涝重大气候灾害的年代际变化特征及其机理作了深入研究。

本文利用我国测站观测资料以及 NCEP/NCAR 和 ERA-40 的再分析资料分析了近 50 年来我国旱涝气候灾害的年代际变化特征及其发生机理,特别是分析了最近 20 多年来我国旱涝气候灾害的分布特征;并且,本文从包括海-陆-气各分量的东亚气候系统分析了这些重大气候灾害年代际变化的机理。

2 中国旱涝气候灾害的年代际变化特征

我国由于位于东亚季风区,东亚夏季风的年际变异将导致我国干旱和洪涝等重大气候灾害的发生,而东亚冬季风的变异将导致我国严重雪灾、寒害和沙尘暴的发生,因此,中国气候灾害的种类是很多的,有干旱、洪涝、沙尘暴、夏季低温、酷暑、寒害、雪灾、霜冻、春季连阴雨、登陆台风的增多等。这些气候灾害给我国带来了严重的经济损失,而其中给工农业生产和国民经济带来损失最严重是干旱和洪涝灾害。由于东亚季风有很大的年代际变化^[10, 11],使得我国旱涝气候灾害有很大的年代际变化。

2.1 干旱灾害

干旱灾害是指由于降水减少所造成的水资源的

收与支或供与求不平衡而形成的水分短缺现象。干旱灾害是我国最常见、影响最大的气候灾害。如图 1 所示,每年因旱灾造成的农作物受灾面积约占气象灾害造成的受灾农作物总面积的 55% 左右,全国每年平均旱灾面积 $2000 \times 10^4 \text{ hm}^2$ (约 3.0 亿亩),占我国耕地总面积的 1/6 左右。据统计,在黄河、淮河、海河地区旱灾发生的频率可达三年二遇,居全国干旱灾害发生频率之首^[12]。因此,旱灾列为我国气候灾害之首。

图 2 是我国华北地区平均的夏季降水距平的年际变化。从图 2 可以看到,从 20 世纪 70 年代中后期以来迄今,我国华北地区夏季降水处于年代际减少阶段。

为了更好地看到我国各地区夏季降水的年代际变化情况,我们分析了 1976 年前后全国夏季降水距平之差,图 3 是我国 1977~2000 年期间与 1967~1976 年期间平均的夏季降水距平百分率之差。从图 3 可以看到,从 20 世纪 70 年代中后期以来,由于我国华北和东北南部降水处于年代际降水偏少阶段,造成这个区域干旱灾害发生频繁。从 20 世纪 90 年代以来,我国年均农田受旱面积达 $2633.3 \times 10^4 \text{ hm}^2$ (4.0 亿亩),特别在 1999~2002 年华北和东北地区出现近 50 年来少有的持续严重干旱灾害,2000 年和 2001 年全国受旱面积超过和接近约 $4000 \times 10^4 \text{ hm}^2$ (6.0 亿亩),发生了近年来最严重的旱灾^[13]。这些干旱灾害不仅给华北地区的农业生产带来严重损失,而且造成此地区黄河断流,水资源严重缺乏。水资源的严重缺乏不仅严重地影响此地区的工农业生产和城乡人民生活用水,而且造

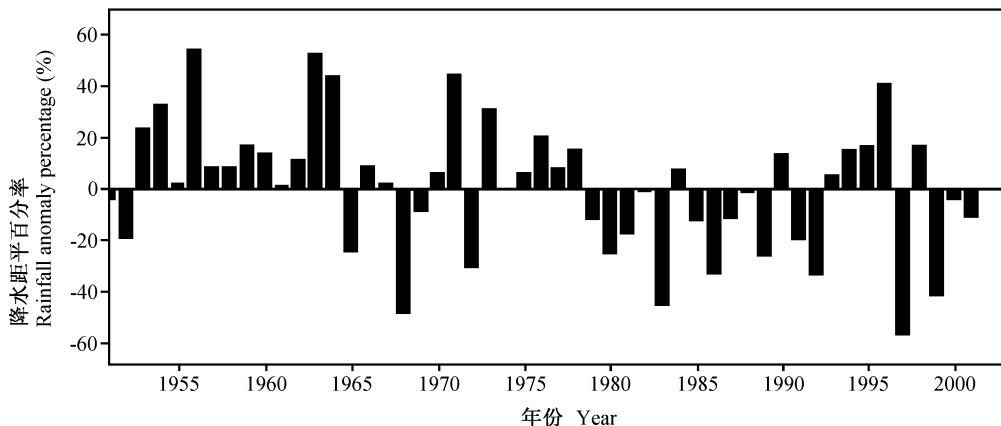


图 2 我国华北地区平均的夏季(6~8月)降水距平百分率的年际变化(取1961~1990年夏季各月降水平均值为正常值)

Fig. 2 Interannual variations of summer (Jun-Aug) monsoon rainfall anomaly percentage averaged for North China. The climatological mean of monthly rainfall for 1961–1990 is taken as the normal

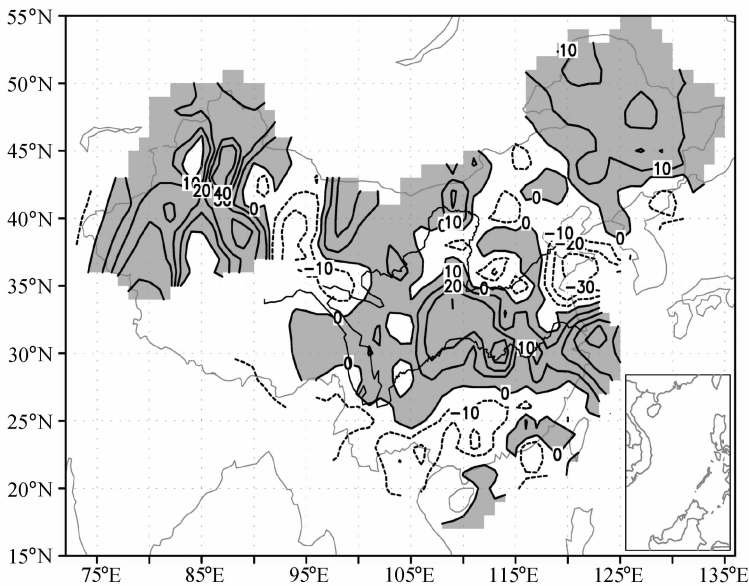


图3 我国 1977~2000 年期间与 1967~1976 年期间平均的夏季降水距平百分率之差(取 1961~1990 年各月降水的气候平值为正常值)。阴影区表示正距平区

Fig. 3 Difference between the summer (Jun - Aug) rainfall anomaly percentages averaged for 1977 - 2000 and those for 1967 - 1976. The climatological mean of monthly rainfall for 1961 - 1990 is taken as the normal, and the positive anomalies are shaded

成此地区生态环境严重恶化。因此,实施南水北调工程是完全有必要的,以便满足华北地区城乡人民生活用水以及工农业生产和维护生态环境用水。此外,在 2000~2003 年,江南和华南一带也发生了严重干旱,带来了严重的经济损失。

2.2 洪涝灾害

洪涝灾害通常是指由于大气降水偏强,致使江河洪水泛滥,淹没田地和城乡,或因长期降雨等产生积水或河流淹没低洼土地,造成农业或其他财产损失和人员伤亡的一种灾害。洪涝灾害也是我国的重大气候灾害之一(如图 1 所示),它所造成的农作物受灾面积占因气象灾害造成的受灾农作物总面积的 27%。根据 1950~2002 年资料统计,我国平均每年洪涝受灾农作物面积为 $937.6 \times 10^4 \text{ hm}^2$ (约 1.4 亿亩)。夏季连续暴雨是我国洪涝灾害产生的最主要原因。由于我国东部、南部受东亚夏季风的影响,因此,我国洪涝灾害分布特点是:东部多,西部少;沿海地区多,内陆地区少^[14]。

受东亚夏季风变化的影响,我国洪涝灾害有很大的年代际变化,我国洪涝受灾面积呈现出明显的年代际变化。从 20 世纪 70 年代中后期以来,我国长江和淮河流域处于季风降水的偏多期(见图 3),在此两流域暴雨发生的频率也增加,因此,洪涝灾

害发生频数明显增加。特别是 90 年代,在此两流域洪涝灾害频繁发生,如 1991 年淮河、太湖流域发生严重洪涝;1995 年鄱阳湖水系发生大水;1996 年洞庭湖水系、长江流域、海河流域发生洪涝;1998 年长江全流域、嫩江、松花江流域发生了特大洪水;1999 年长江下游及太湖流域又发生严重洪涝以及 2003 年淮河流域发生了严重洪涝等,这致使我国在此时期的洪涝面积远大于多年平均,达到每年 $1460 \times 10^4 \text{ hm}^2$ (约 2.0 亿亩)^[13]。这些洪涝灾害给此地区带来了工农业生产的严重损失,当然也给南水北调工程带来了水资源。

2.3 我国旱涝气候灾害的演变特征

由东亚夏季风的年代际变化很大,旱涝气候灾害有很大的年代际变化^[11, 15]。20 世纪 50~60 年代除雨涝灾害发生较多外,干旱灾害不多;70 年代旱涝气候灾害虽发生频繁,但面积相对小;80 年代干旱发生频率和面积都增加,特别在 90 年代我国华北地区的干旱和长江、淮河流域的洪涝不仅发生频率增加,而且面积增大;21 世纪初我国华北干旱灾害和淮河流域的洪涝灾害加剧。此外,由于华北地区干旱灾害加剧,华北地区沙尘暴和扬沙天气发生日数也呈增多趋势。

从上述可见,我国旱涝气候灾害是很严重的,

不仅分布广,而且发生频率高,造成经济损失严重。特别是由于气候的年代际变化,20世纪70年代中后期以来华北地区发生持续性干旱灾害,严重影响此地区的工农业生产和生态环境用水以及城乡人民的生活用水。

3 我国旱涝气候灾害与东亚气候系统

从20世纪70年代起,人们在认识气候方面有了一个突破性的飞跃,这就是认识到:气候变化与异常不仅仅是由于大气圈的内部热力、动力作用的结果,而且是由于大气圈、水圈、冰雪圈和岩石圈所构成的地球气候系统中各圈层相互作用的结果。研究表明:我国气候灾害的发生主要是由于东亚气候系统变化所引起^[8,9]。如图4所示,这个系统包括了以下几下成员:

(1) 在大气圈中有东亚季风(包括冬、夏季风)、西太平洋副热带高压、中纬度扰动;

(2) 在海洋圈中有热带太平洋的厄尔尼诺和南方涛动循环(ENSO循环)、热带西太平洋暖池热力状态和印度洋的热力状态;

(3) 在陆面与岩石圈有青藏高原的动力、热力作用、北冰洋海冰、欧亚积雪,特别是青藏高原的积雪以及我国干旱和半干旱区的地-气温差。

从上可见,我国气候灾害的成因是很复杂的,它是与东亚气候系统变化密切相关。我国旱涝气候灾害的年代际变化是包括了图4所示的海-陆-气各分量的东亚气候系统的年代际异常及其它们之间相互

作用造成的。为此,下面我们将分析东亚气候系统各分量的变化及其对我国旱涝气候灾害变化的影响。

4 热带太平洋海温的年代际变化与异常及其对东亚夏季风和我国旱涝灾害的影响

根据 Ramage^[16]的定义,季风是海陆热力差异所造成的带来雨型不同的盛行风向随季节的变化,因此,热带西太平洋的热力变化对东亚季风变化与异常有着重要影响。

4.1 热带太平洋海温的年代际变化

热带太平洋海表热力异常不仅是引起热带大气环流异常的重要原因,而且也是引起东亚夏季风异常和我国旱涝灾害发生的重要原因。

Zhang 等^[17]和 Chao 等^[18]分析了20世纪初到20世纪90年代初热带太平洋海表温度的变化,指出热带太平洋海表温度有很大的年代际变化。黄荣辉等^[15]也指出热带中、东太平洋海表温度存在着“类似于 ENSO 循环”的年代际变化现象。蔡榕硕等^[19]的研究结果表明了热带西太平洋及邻近海的海平面高度也有很大的年代际变化。图5是热带太平洋1977~2000年期间与1967~1976年期间夏季平均的海表温度(SST)距平之差。从图5可以看到,热带中、东太平洋从1976年以后SST明显增暖,出现了明显的“类似厄尔尼诺(El Niño)型”的SST距平年代际分布,即发生了“年代际的厄尔尼诺事件”。这种海温距平分布不仅减弱了东亚夏

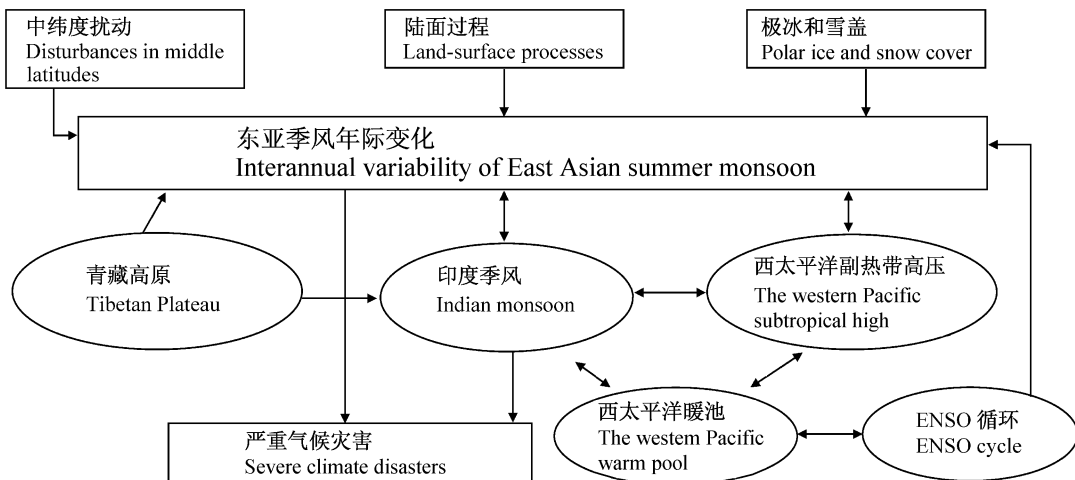


图4 东亚气候系统示意图

Fig. 4 Schematic diagram of the East Asian climate system

季风,而且对热带 Walker 环流也有重要影响。

Huang 等^[20, 21]从观测测资料分析指出,厄尔尼诺南方涛动(ENSO)循环的不同阶段对我国夏季季风异常和旱涝分布有着不同影响。当厄尔尼诺南方涛动(ENSO)事件处于发展阶段,即当赤道东太平洋海温处于上升阶段时,该年夏季我国江淮流域降水将会偏多,可能发生洪涝,而黄河流域、华北地区的降水往往偏少,易发生干旱。这也表明:热带中、东太平洋海温的年代际增温将会使我国华北和黄河中、下游流域易产生干旱。

4.2 热带太平洋海温的年代际变化对亚洲季风环流系统变化和我国旱涝气候灾害的影响

由于东亚气候受到东亚季风环流系统很大影响,并且,由于东亚季风的年代际变率很大,这使得我国东部、韩国和日本的夏季气候的年代际变化很大,从而带来严重的干旱和洪涝等气候灾害的年代际变化。

4.2.1 东亚夏季风环流的年代际变化及其对旱涝灾害的影响

正如图 3 所示,东亚夏季风降水有明显的年代际变化,特别在华北地区和江淮流域降水的年代际变动更加明显^[9]。这个变化是与东亚夏季风环流系统变化

有密切关系。为此,本研究利用 ERA-40 再分析资料^[22]系统地分析了欧亚非地区 700 hPa 流场的年代际变化。分析结果表明了由于受热带太平洋年代际海温异常的影响,东亚夏季风有很大的年代际变化。正如图 6a 所示,在 1976 年以前,东亚夏季偏南季风偏强,在我国东部和中部出现偏南距平气流,并在欧亚大陆上空呈现出一欧亚型遥相关,即在西北欧上空有一反气旋性环流异常,在乌拉尔山东侧上空有一气旋性环流异常,在贝加尔湖和蒙古高原上空有一反气旋性环流异常,而在日本海上空有一气旋性环流;并且,从图 6a 还可以看到,在中印半岛和我国南海上空有一反气旋性环流异常,在东海及以东海域上空呈现出一气旋性环流异常,而在日本以东上空有一反气旋性环流异常,这些环流异常呈现出似 EAP 型遥相关的分布。此外,从图 6a 还可以看到,在萨赫勒及以东地区上空有一气旋性环流异常,而在阿拉伯半岛、伊朗南部和阿拉伯海上空有一反气旋性环流异常,从印度半岛到我国华南上空有一气旋性环流异常,这似乎存在一季风环流异常遥相关分布。然而,正如图 6b 所示,从 1976 年之后东亚夏季风明显减弱,偏南气流到达纬度明显偏南,在我国东部和中部出现偏北距平气流,并在欧亚大陆上空出现与图 6a 所示相反的欧亚型遥相

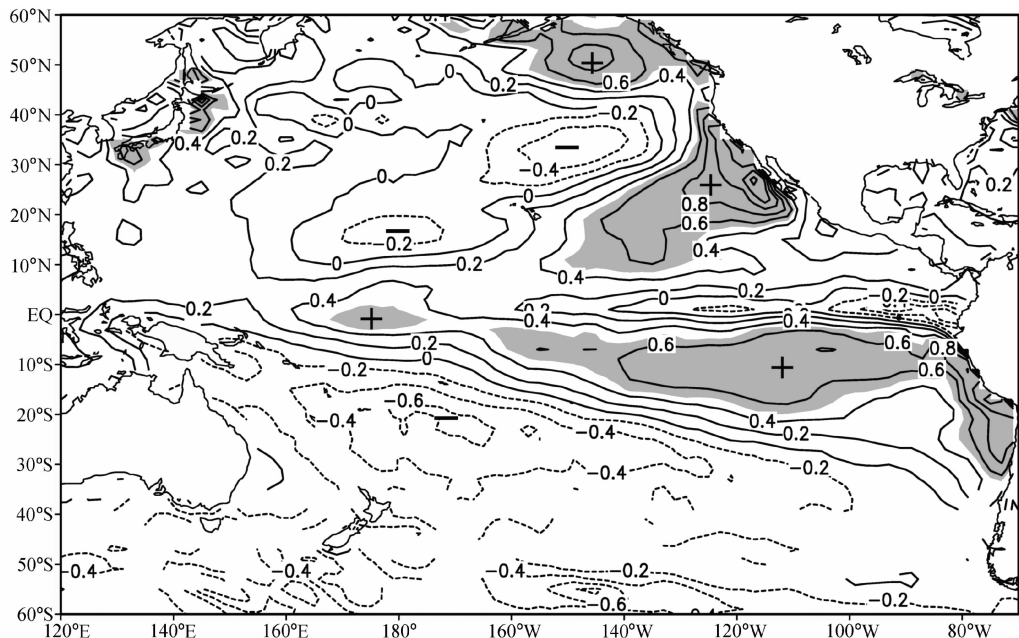


图 5 热带太平洋 1977~2000 年期间与 1967~1976 年期间夏季平均的海表温度(SST)距平之差(单位:℃)。实线、虚线表示正、负海温距平;阴影区表示正距平区大于 0.5℃区域

Fig. 5 Difference between the summer (Jun-Aug) SST anomalies in the tropical Pacific averaged for 1977-2000 and those for 1967-1976 (units: °C). The solid and dashed lines indicate the positive and negative anomalies, respectively, and the positive anomalies over +0.5°C are shaded

关环流异常分布,即在西北欧上空有一气旋性环流异常,在乌拉尔山东侧上空有一反气旋性环流异常,在贝加尔湖和蒙古高原上空有一气旋性环流异常,而在我国华北上空有一反气旋性环流异常;并且,从图 6b 还可以看到,在中印半岛和我国南海上空有一气旋性环流异常,在我国台湾和菲律宾以东的副热带西太平洋上空有一反气旋性环流异常,在日本及以东上空有一气旋性环流异常,这些呈现出与图 6a 所示环流异常

型相反分布的 EAP 遥相关。此外,从图 6b 还可以看到:在萨赫勒及以东地区上空有一强的反气旋性环流异常,而在阿拉伯半岛、伊朗南部和阿拉伯海以及印度半岛西北部上空有一气旋性环流异常,从孟加拉湾到我国西南、华南一带上空有一反气旋性环流异常。因此,图 6a 和 b 表明了亚非季风带上似乎还存在着年代际时间尺度的季风环流系统异常遥相关分布。

东亚夏季风的年代际变化,使得从热带西太平

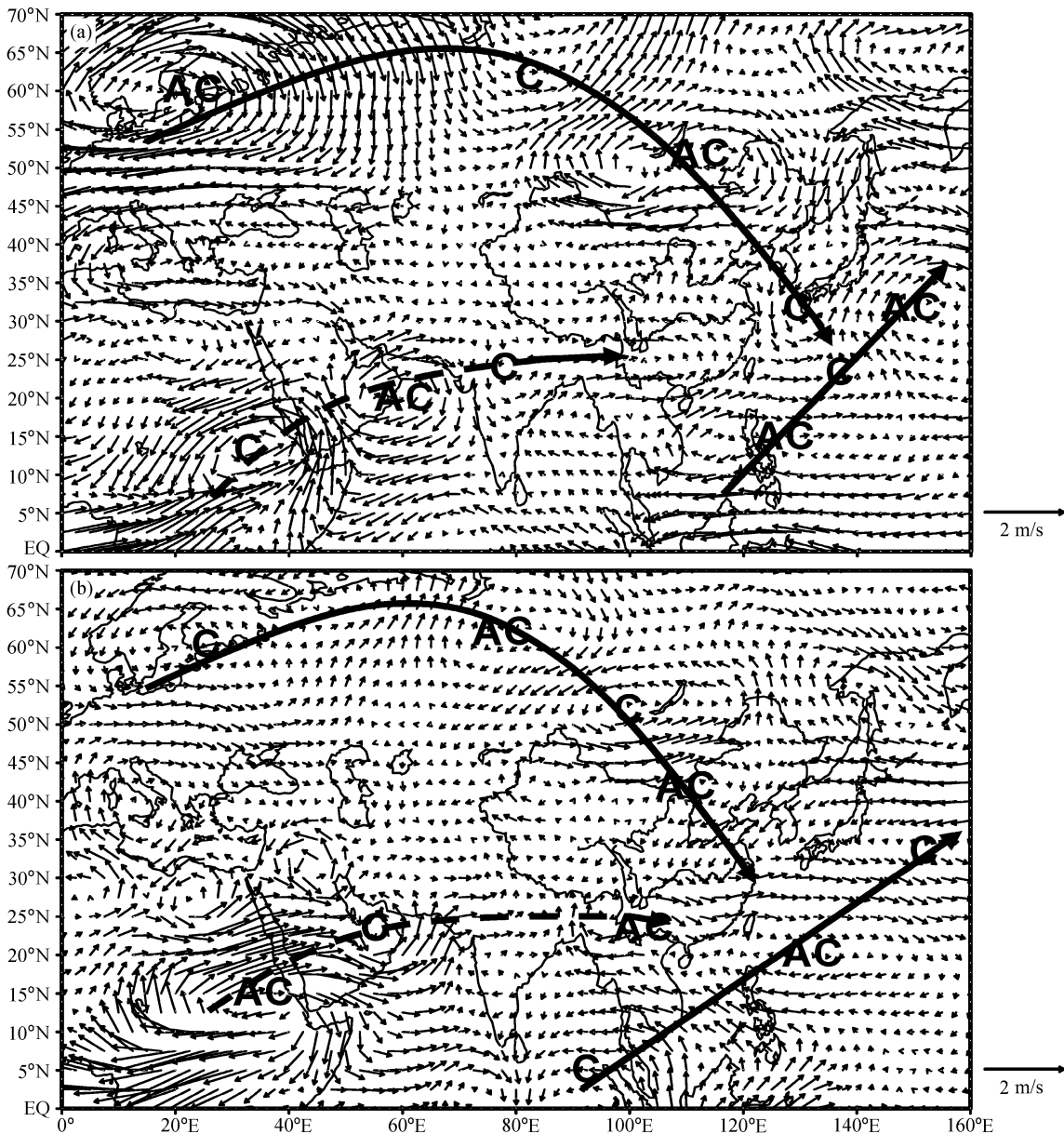


图 6 东亚夏季(6~8月)700 hPa 距平环流的年代际变化:(a) 1966~1976 年期间;(b) 1977~2000 年期间。取 1961~1990 年各月气候平均环流为正常值,资料取之于 ERA-40 再分析资料^[22]

Fig. 6 Interdecadal variations of summer (Jun-Aug) circulation anomalies at 700 hPa over East Asia; (a) 1966-1976; (b) 1977-2000. The climatological mean of monthly circulation for 1961-1990 is taken as the normal, and data are from the ERA-40 reanalysis data^[22]

洋、孟加拉湾和南海输送到东亚的水汽发生了很明显的年代际变化。从图 7b 与图 7a 的比较可以看到：由于东亚夏季风水汽输送的年代际变化，使得从 1976 年之后输入到华北地区的水汽大大减少，而输送到长江、淮河一带水汽大大增加，并在这个区域产生辐合，从而引起华北地区的持续严重干旱，而长江、淮河流域洪涝频繁发生。

4.2.2 西太平洋副热带高压的年代际变化及其对旱涝灾害的影响

东亚雨带的北移不仅与东亚夏季风的北进有关^[23]，而且与西太平洋副高的北跳有关^[24]。我国夏季

在夏季风环流背景下，在青藏高原的影响下，在副热带高压的西侧与北侧季风暴雨具有频发性，从而引起洪涝。由于东亚夏季风与西太平洋副热带高压密切相关。西太平洋副热带高压又与西太平洋暖池热状态及菲律宾周围对流活动紧密相关^[25]。黄荣辉和李维京^[26]的研究表明：在菲律宾附近对流活动强的夏季，西太平洋副热带高压在 6 月上、中旬突然北跳明显；相反，在菲律宾附近对流活动弱的夏季，西太平洋副热带高压向北突跳往往不明显；并且，研究还表明了北半球夏季环流异常存在着一遥相关型，即东亚/太平洋型遥相关型（也称 EAP 型）。这个遥相关型表明

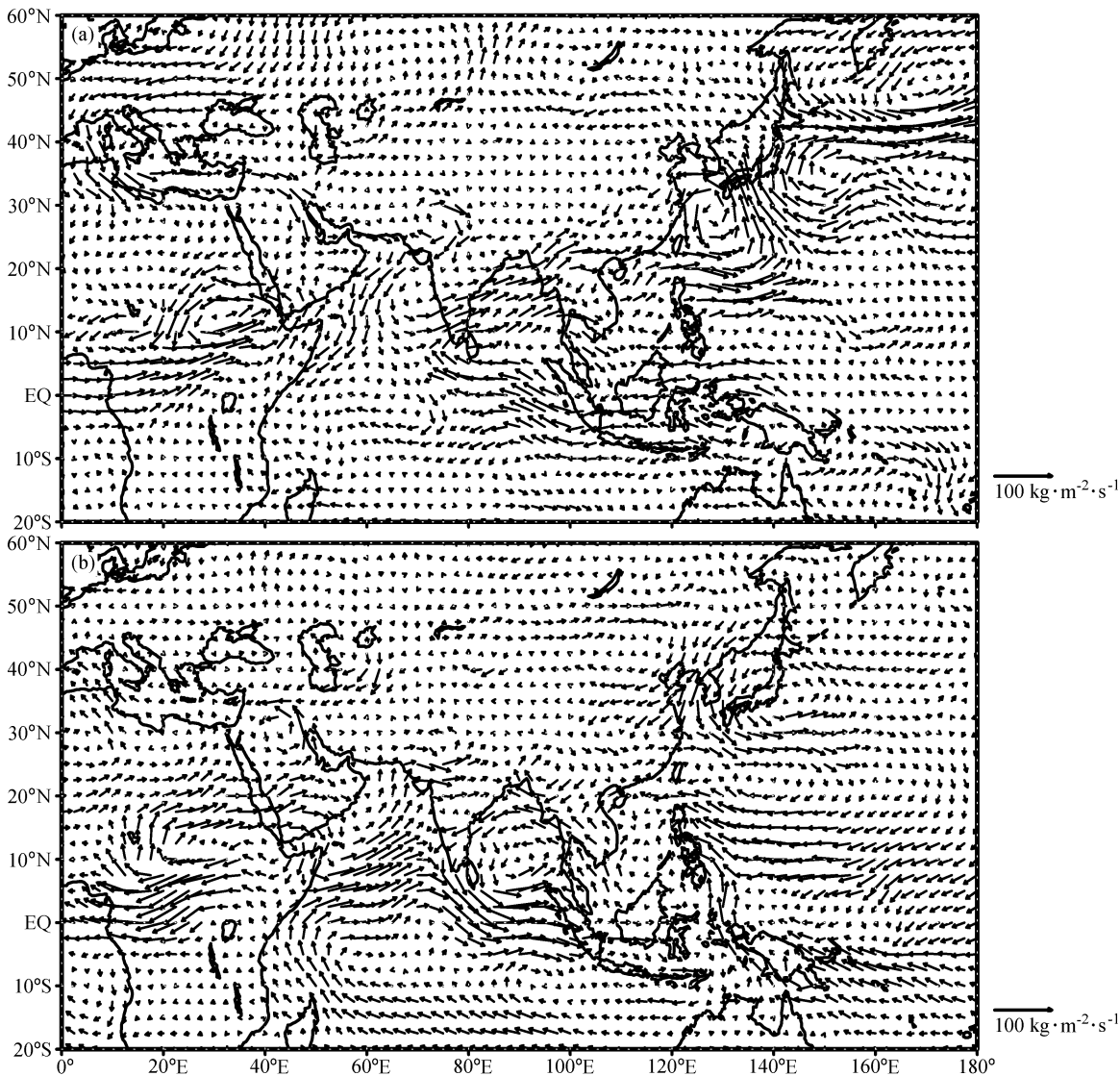


图 7 东亚和热带西太平洋夏季（6~8 月）水汽输送通量距平的年代际变化：(a) 1965~1976 年期间，(b) 1977~2000 年期间，资料取之于 ERA-40 再分析资料^[22]

Fig. 7 Interdecadal variations of summer (Jun - Aug) water vapor transport flux anomalies over East Asia and the tropical western Pacific: (a) 1966 - 1976; (b) 1977 - 2000. Data are from the ERA-40 reanalysis data^[22]

了行星尺度扰动波列在北半球夏季能够从东南亚通过东亚向北美西部沿岸传播,它严重地影响着西太平洋副热带高压与东亚夏季旱涝的发生^[25, 26]。

如图 8 所示,由于受热带太平洋热力的影响,西太平洋副热带高压从 20 世纪 70 年代后半期开始迄今偏南、偏西,这就导致东亚夏季雨带容易在长江和淮河流域停滞。

5 热带 Walker 环流的年代际变化及其对东亚上空夏季风环流变化的影响

赤道东太平洋所发生的“年代际 El Niño 现

象”等是导致东亚地区所发生的持续严重干旱的重要成因,它不仅可以直接通过热带西太平洋上空环流直接影响东亚夏季风环流,而且可以通过影响非洲季风进而影响东亚夏季风环流。为此,本研究利用 ERA-40 再分析资料^[22]分析了热带地区 Walker 环流的年代际变化(见图 9)。从图 9b 与图 9a 比较可以看到:从 20 世纪 70 年代后期迄今,由于赤道东太平洋海温升高,出现了年代际的“类似 El Niño 型”的 SST 距平分布,从而引起热带东太平洋上升气流的增强和非洲萨赫勒地区下沉气流的增强,此下沉气流的增强导致了非洲萨赫勒地区反气旋环流增

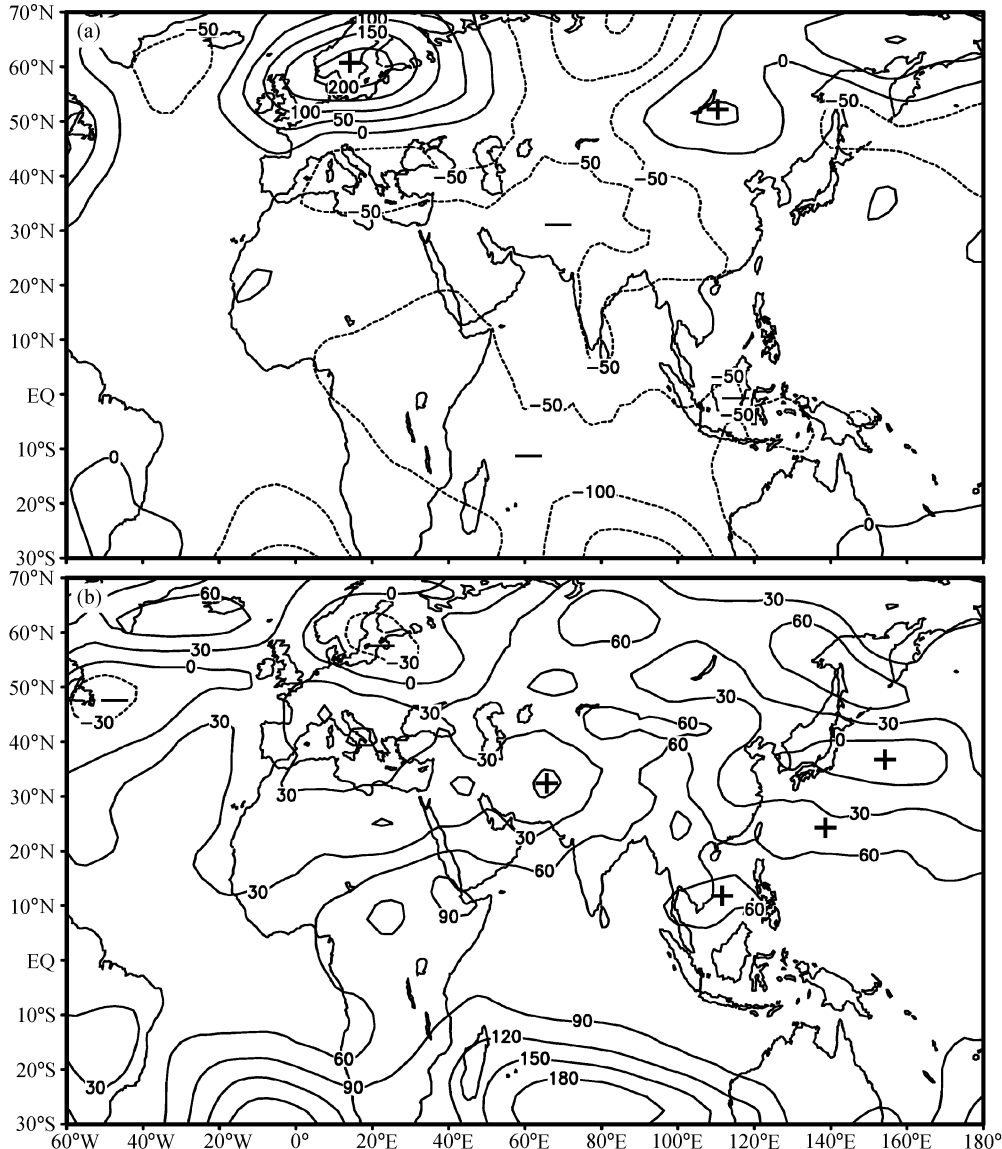


图 8 东亚上空 500 hPa 高空距平的年代际变化(单位: gpm): (a) 1966~1976 年期间; (b) 1977~2000 年期间。实线与虚线分别表示正和负高度距平, 资料取之于 ERA-40 再分析资料^[22]

Fig. 8 Interdecadal variations of the geopotential height anomaly (gpm) field at 500 hPa: (a) 1977 - 2000; (b) 1966 - 1976. The solid and dashed lines indicate the positive and negative geopotential height anomalies, respectively, and data are from the ERA-40 reanalysis data^[22]

强；并且，本研究通过相关分析，正如图 6 所示，在年代际时间尺度上，从非洲萨赫勒及以东地区经阿拉伯半岛、伊朗南部和阿拉伯海上空，以及印度半岛到我国华南地区的亚非季风带上的季风环流系统异常似乎还存在着一个遥相关波列的分布^[27]。因此，非洲萨赫勒地区上空的反气旋环流异常通过从非洲萨赫勒地区经阿拉伯海、印度半岛到我国华南地区上空对流层下层所存在的季风环流异常遥相关波列会引起我国华南和东部上空环流的异常，从而影响到

华北地区上空的环流。这表明热带 Walker 环流的变化所引起非洲季风的变化似乎也可以通过波列的传播来影响东亚季风的变化。

从上可以看到：热带太平洋在 20 世纪 70 年代中后期所发生的年代际增暖现象可以通过两个途径来影响我国夏季气候的年代际变化：一是通过热带西太平洋影响西太平洋副热带高压的变化，进而影响东亚季风环流和水汽输送；二是通过 Walker 环流影响非洲季风环流，再通过行星波波列的传播，进而影响我国华

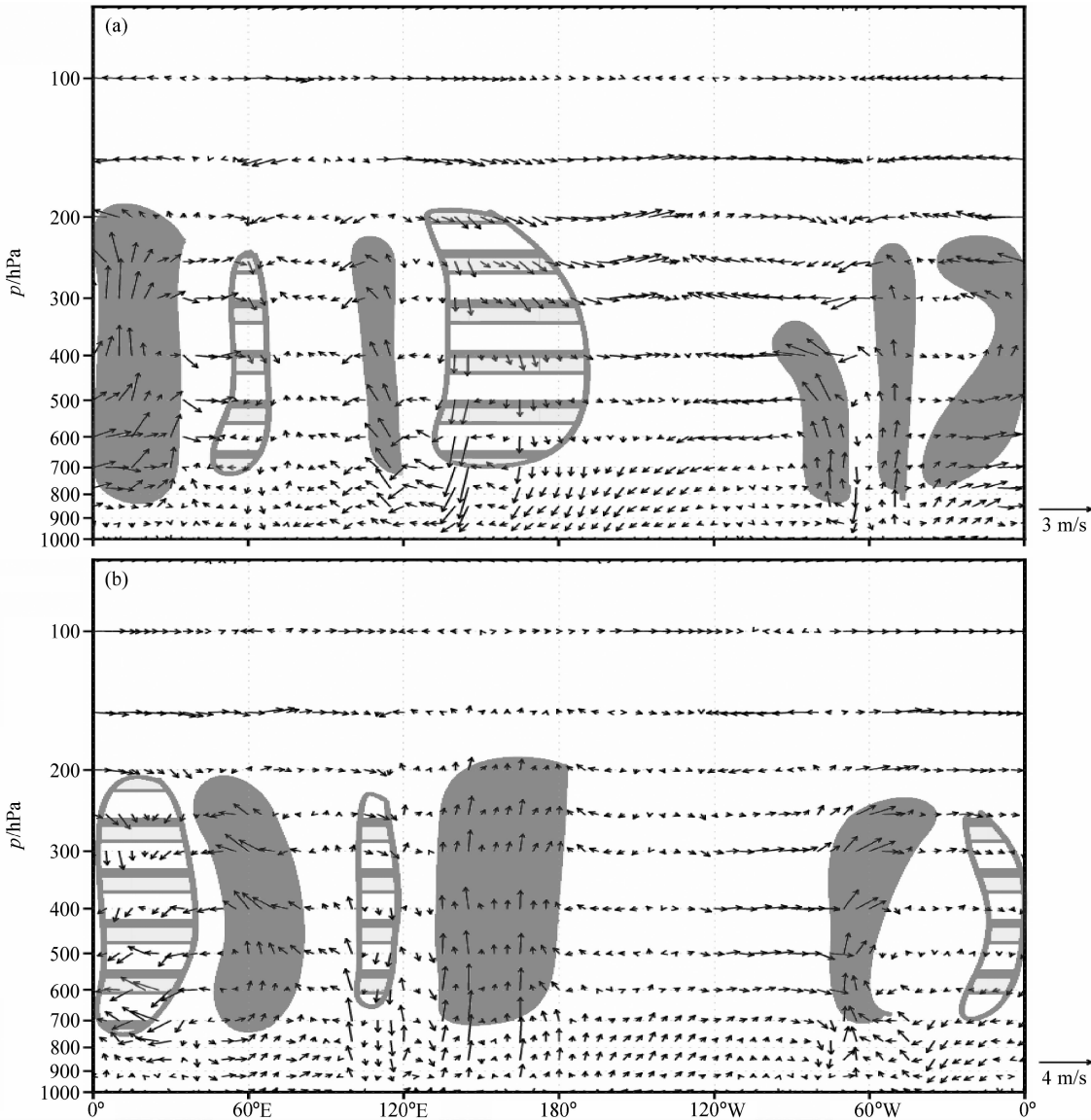


图 9 热带 Walker 环流距平的年代际变化：(a) 1966~1976 年期间；(b) 1977~2000 年期间。取 1961~1990 年各月气候平均为正常值，资料取之于 ERA-40 再分析资料^[22]

Fig. 9 Interdecadal variations of the Walker circulation anomalies over the tropics; (a) for 1966 - 1976; (b) for 1977 - 2000. The climatological mean of monthly Walker circulation is taken as the normal, and data are from the ERA-40 reanalysis data^[22]. The vertical motion is multiplied by 100

南和东部地区上空夏季风环流的年代际变化。

6 我国西部干旱、半干旱地区地-气温差和青藏高原雪盖的年代际变化及其对我国旱涝灾害的影响

正如在上一小节所述,季风是海陆热力差异所形成,不仅热带太平洋的热力变化对东亚季风的年代际变化有严重影响,而且我国西北干旱、半干旱区的地-气温差对东亚季风的年代际变化也有重要影响。

6.1 我国西部干旱、半干旱区地-气温差的年代际变化及其对我国旱涝气候灾害年代际变化的影响

周连童和黄荣辉^[28]分析了我国西北干旱、半干旱区春、夏季地-气温差变化及其与我国夏季降水的关系,指出了我国西北干旱、半干旱区春季地-气温差与我国江淮流域降水存在着正相关,而与我国华北地区夏季降水有负相关。本研究选取了西北干旱、半干旱区 55 个站的地表温度与地表附近气温的观测资料,分析了此地区地-气温差的年代际变化特征。图 10 是我国西北干旱、半干旱区春季地区-气温差的年际变化。从图 10 可以看到我国西北干旱、半干旱区的地-气温差存在着明显的年代际变化,从 1976 年之后我国西北干旱、半干旱区的地-气温差距平值从负值跃变为正值,并一直持续到现在,这表明此地区春季地-气温差从 20 世纪 70 年代中后期迄今明显增强。这个地区的地-气

温差的增强,使得位于我国西北干旱区的上升流增强,从而使得华北地区上空下沉气流也随之增强,导致了黄河流域和华北地区夏季降水减少,且发生了年代际的持续干旱现象(由于篇幅原因,图略)。

6.2 青藏高原雪盖的年代际变化及其对旱涝灾害的影响

青藏高原陆面热状况对东亚气候异常有着重要影响,特别是青藏高原的雪盖面积大,深度深,不仅本身是气候灾害之一,而且它对我国旱涝气候灾害的发生也有重要作用。韦志刚等^[29]从观测资料分析和数值模拟的结果指出了青藏高原冬、春雪盖与我国长江流域南部的汛期降水有明显的正相关,而与华北地区夏季降水有负相关。这表明:青藏高原冬、春雪盖天数多、深度大,夏季洞庭湖、鄱阳湖和江南地区的梅雨强,而华北地区夏季降水弱。

韦志刚等^[29]和 Huang 等^[30]分析了青藏高原冬、春季积雪天数和深度的年代际变化情况,指出了青藏高原冬、春季无论积雪天数或积雪深度都有很大的年代际变化,相对于 1976 年以前,从 1976 年起迄今,青藏高原冬、春季无论积雪天数或积雪深度都增加了。按照上述的研究结果,青藏高原冬、春季积雪的这种年代际变化也会使得华北地区夏季降水减少和长江和淮河流域降水增加。

7 结论和讨论

从上分析可以看到,我国旱涝气候灾害不仅发生

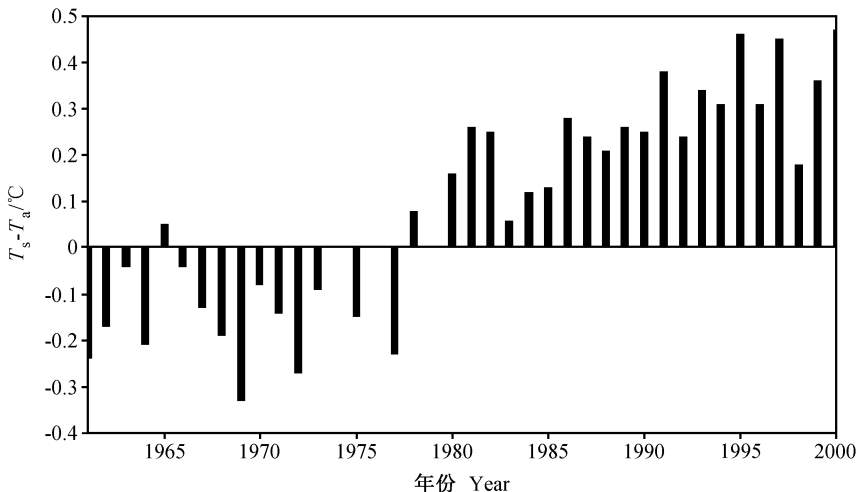


图 10 我国西北干旱、半干旱区平均的春季地-气温差 ($T_s - T_a$) 的年际变化。取 1961~1990 年气候平均值为正常值

Fig. 10 Interdecadal variations of spring (Mar - May) difference between ground surface temperature and surface air temperature ($T_s - T_a$) averaged for the arid and semi-arid areas of Northwest China. The climatological mean of monthly ($T_s - T_a$) for 1961 - 1990 is taken as the normal

频率大，分布广，而且造成经济损失巨大，且有很大的年代际变化。从 1976 年以后，由于华北地区夏季降水明显减少，导致了华北地区从 20 世纪 70 年代中后期开始迄今发生了持续严重干旱灾害；并且从 1976 年以后迄今由于长江流域和江淮流域夏季降水明显增多，从而造成了此两流域洪涝灾害频繁发生。由于从 70 年代后期开始迄今我国旱涝灾害的加剧，特别是华北地区发生了持续严重干旱，造成此地区水资源严重缺乏，从而带来了严重的经济损失。

本研究还利用观测资料从东亚气候系统各成员的年代际变化及其它们的互相作用系统地分析华北地区从 20 世纪 70 年代后期迄今所发生的持续干旱以及长江流域和江淮流域洪涝灾害的频繁发生的机理。分析结果表明：正如图 11 所示，从 20 世纪 70 年代中后期迄今，由于热带中、东太平洋海温上升

并出现“类似于厄尔尼诺 (El Niño) 型”分布的年代际海温距平。热带太平洋海温的这种年代际变化不仅引起了东亚和西太平洋上空 EAP 型环流异常遥相关的年代际变化，从而导致了东亚夏季风变弱、西太平洋副热带高压偏南、偏西，而且引起了热带 Walker 环流的变化；并且，热带 Walker 环流从 20 世纪 70 年代中后期到现在的变化引起了北非下沉气流的加强，使得北非萨赫勒及以东地区上空反气旋环流异常的增强，由于遥相关波列的传播，导致我国华南和西南地区上空反气旋环流距平的增强；此外，在中高纬度地区所存在的欧亚型 (EU 型) 遥相关波列^[31]，对于我国华北和东亚上空夏季大气环流的年代际异常也有重要影响，由于此遥相关年代际变化，使得从 20 世纪 70 年代中后期开始迄今华北上空出现反气旋环流。这些年代际变化使

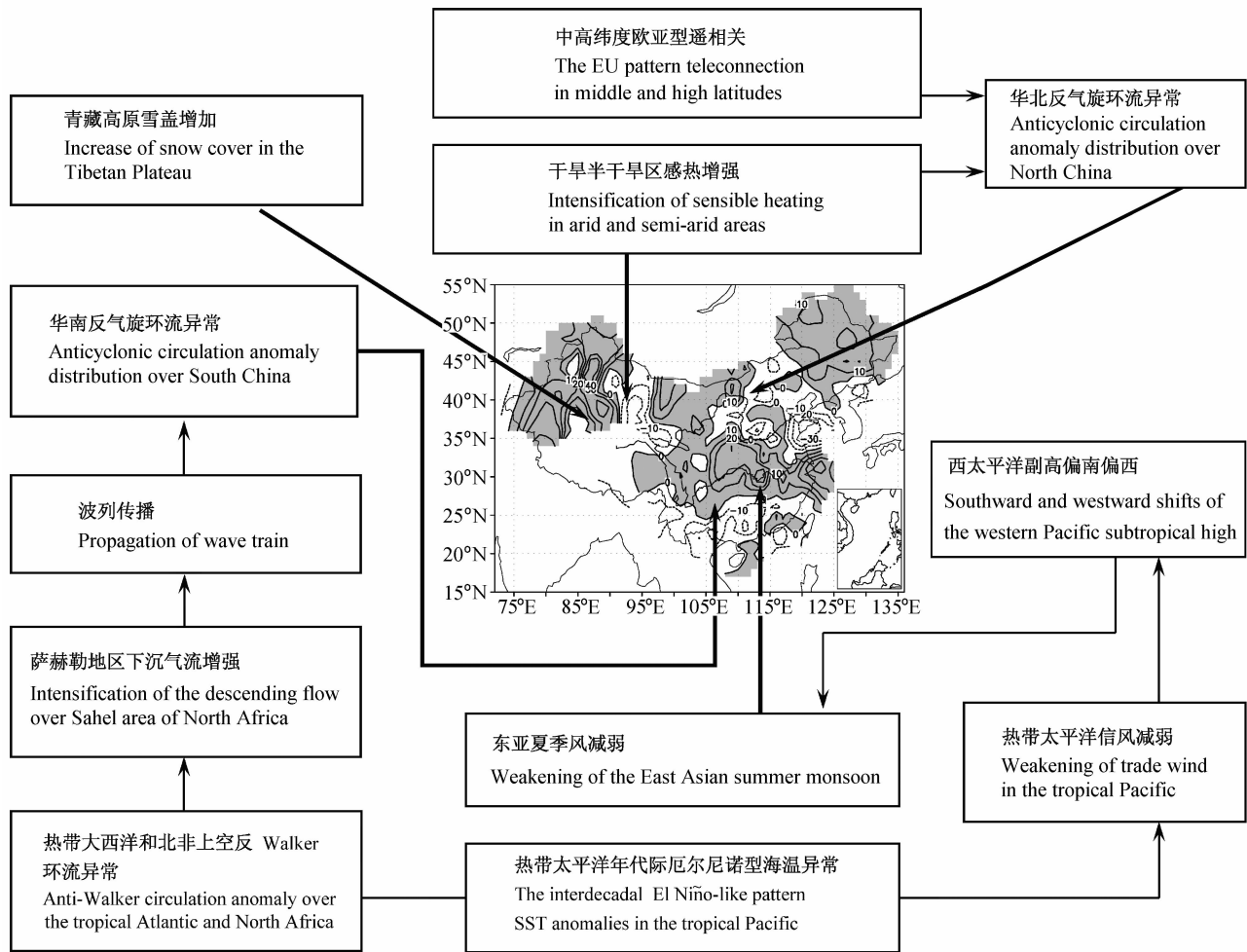


图 11 引起我国旱涝气候灾害年代际变化的东亚气候系统的年代际变化示意图。取 1961~1990 年气候平均值为正常值
Fig. 11 Schematic diagram of the interdecadal variations of East Asian climate system causing the interdecadal variations of drought and flooding disasters in China. The climatological mean for 1961~1990 is taken as the normal

得到达华北的偏南季风气流减弱和长江、淮河流域水汽输送的辐合。另外,分析结果还表明:从 20 世纪 70 年代后期迄今青藏高原冬、春积雪天数增多、深度加深,我国西北干旱、半干旱区地-气温差增大,这些有利于长江和淮河流域夏季降水增多,而不利华北地区夏季的降水。

从上分析结果可以看到,由于东亚气候系统的年代际变化,使得华北地区从 20 世纪 70 年代中后期开始迄今发生了持续严重干旱,而长江、淮河流域从 70 年代中后期开始迄今夏季降水增多,这严重影响这些地区工农业生产和经济的可持续发展,因此,实施南水北调工程是完全必要的和可行的;并且,分析结果还表明了我国旱涝的年代际变化是与东亚气候系统的年代际变化有关,因此,可以根据东亚气候系统各子系统的变化趋势来预测今后华北地区干旱的变化趋势,为南水北调的水资源的具体调度方案提供科学背景,从而发挥南水北调工程的最佳效益。

参考文献 (References)

- [1] 黄荣辉. 关于我国重大气候灾害的形成机理和预测理论研究进展. 中国基础研究, 2001, **1**: 4~8
Huang Ronghui. Advances in the studies on the formation mechanism and prediction theory of severe climatic disasters in China. *Basic Res. in China* (in Chinese), 2001, **1**: 4~8
- [2] 黄荣辉, 李崇银, 王绍武. 我国旱涝重大气候灾害及其形成机理研究. 北京: 气象出版社, 2003. 483pp
Huang Ronghui, Li Chongyin, Wang Shaowu. *Research on Severe Climate Disasters in China and the Mechanism of Formation* (in Chinese). Beijing: China Meteorological Press, 2003. 483pp
- [3] 黄荣辉. 我国重大气候灾害的形成机理研究综述. 中国基础研究, 2004, **4**: 6~13
Huang Ronghui. Review of the studies on the formation mechanism of severe climatic disasters in China. *Basic Res. in China* (in Chinese), 2004, **4**: 6~13
- [4] 黄荣辉, 徐予红, 王鹏飞, 等. 1998 年夏长江流域特大洪涝特征及其成因初探. 气候与环境研究, 1998, **3**: 300~313
Huang Ronghui, Xu Yuhong, Wang Pengfei, et al. The features of the particularly severe flooding disaster in the Yangtze River basin during the summer of 1998 and the expiration of its cause. *Clim. Environ. Res.* (in Chinese), 1998, **3**: 300~313
- [5] 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**: 290~299
- Tao Shiyan, Zhang Qingyun, Zhang Shunli. The great floods in the Changjiang River (Yangtze River) valley in 1998. *Clim. Environ. Res.* (in Chinese), 1998, **3**: 290~299
- [6] 赵思雄, 孙建华, 陈红, 等. 1998 年 7 月长江流域特大洪水期间暴雨特征的分析研究. 气候与环境研究, 1998, **3**: 368~381
Zhao Sixiong, Sun Jianhua, Chen Hong, et al. Study of heavy rainfall in the Changjiang River (Yangtze River) during July, 1998. *Clim. Environ. Res.* (in Chinese), 1998, **3**: 368~381
- [7] 黄荣辉, 周连童. 我国重大气候灾害特征、形成机理和预测研究. 自然灾害学报, 2002, **11**: 1~9
Huang Ronghui, Zhou Liantong. Research on the characteristics, formation mechanism and prediction of severe climatic disasters. *J. Natur. Disasters* (in Chinese), 2002, **11**: 1~9
- [8] 黄荣辉, 陈际龙, 周连童, 等. 关于我国重大气候灾害与东亚气候系统之间关系的研究. 大气科学, 2003, **27**: 770~787
Huang Ronghui, Chen Jilong, Zhou Liantong, et al. Studies on the relationship between the severe climatic disasters in China and the East Asian climate system. *Chinese J. Atmos. Sci.* (in Chinese), 2003, **27**: 770~787
- [9] Huang Ronghui, Zhou Liantong, Chen Wen. The progresses of recent studies on the variabilities of East Asian monsoon and their causes. *Adv. Atmos. Sci.*, 2003, **20**: 55~69
- [10] 黄荣辉, 徐予红, 周连童. 我国夏季降水的年代际变化及华北干旱化趋势. 高原气象, 1999, **18**: 465~476
Huang Ronghui, Xu Yuhong, Zhou Liantong. Interdecadal variations of summer precipitation in China and drought trend in North China. *Plateau Meteor.* (in Chinese), 1999, **18**: 465~476
- [11] 周连童, 黄荣辉. 关于我国夏季气候年代际变化特征及其可能成因的研究. 气候与环境研究, 2003, **8**: 274~290
Zhou Liantong, Huang Ronghui. Research on the characteristics of interdecadal variability of summer climate in China and its possible cause. *Clim. Environ. Res.* (in Chinese), 2003, **8**: 274~290
- [12] 黄荣辉, 郭其蕴, 孙安健, 等. 中国气候灾害图集. 北京: 海洋出版社, 1997. 190pp
Huang Ronghui, Guo Qiyun, Sun Anjiang et al. *Seasonal Charts of Climatic Disasters in China* (in Chinese). Beijing: China Ocean Press, 1997. 190pp
- [13] 王永光, 张强, 周自江, 等. 我国主要灾害的严重性及其对国家经济、社会发展的影响. 见: 黄荣辉, 张庆云, 阮水根等编. 我国气象灾害的预测预警与科学防灾减灾对策. 北京: 气象出版社, 2004. 53~60
Wang Yongguang, Zhang Qiang, Zhou Zijiang, et al. Severity of main meteorological disasters in China and their impact on the national economic and social developments. *Prediction and Warning of Meteorological Disasters in China and Scientific Decision for the Prevention and Mitigation of These*

- Disasters* (in Chinese), Huang Ronghui et al., Eds. Beijing: China Meteorological Press, 2004. 53~60
- [14] 叶笃正, 黄荣辉, 等. 长江黄河流域旱涝规律和成因研究. 济南: 山东科学技术出版社, 1996. 387pp
Ye Duzheng, Huang Ronghui, et al. *Research on the Regularity and Cause of Droughts and Floodings in the Yangtze River Valley and the Yellow River Valley* (in Chinese). Jinan: Shandong Science and Technology Press, 1996. 387pp
- [15] 黄荣辉, 陈际龙, 周连童. 中国重大气候灾害种类、特征和成因. 见: 黄荣辉, 张庆云, 阮水根等编. 我国气象灾害的预测预警与科学防灾减灾对策. 北京: 气象出版社, 2004. 23~43
Huang Ronghui, Chen Jilong, Zhou Liantong. Kinds, characteristics and causes of severe climatic disasters in China. *Prediction and Warning of Meteorological Disasters in China and Scientific Decision for the Prevention and Mitigation of These Disasters* (in Chinese). Huang Ronghui et al., Eds. Beijing: China Meteorological Press, 2004. 23~43
- [16] Ramage C. *Monsoon Meteorology. International Geophysics Series* 15. San Diego. Calif. Academic Press, 1971. 296pp
- [17] Zhang Y, Wallace J M, Battisti D S. ENSO like interdecadal variability: 1900–1993. *J. Climate*, 1997, **10**: 1004~1020
- [18] Chao Y, Ghil M, McWilliams J C. Pacific interdecadal variability in the century's sea surface temperature. *Geophys. Res. Lett.*, 2002, **27**: 2261~2264
- [19] 蔡榕硕, 李立, 吴培木, 等. 热带太平洋及邻近海平面年际及年代际变化得研究. 见: 巢纪平等编. 我国重大气候灾害的形成机理和预测理论研究项目论文集 (二)——ENSO 循环机理和预测研究. 北京: 气象出版社, 2003. 266~276
Cai Rongshuo, Li Li, Wu Peimu, et al. Study on the interannual and interdecadal variabilities of sea level of the tropical Pacific and its adjacent oceans. *Papers of Disasters in China II, Studies on the Mechanism and Prediction of ENSO Cycle* (in Chinese). Chao Jiping et al., Eds. Beijing: China Meteorological Press, 2003. 266~276
- [20] Huang Ronghui, Chen Wen, Yan Bangliang, et al. Recent advances in studies of the interaction between the East Asian winter and summer monsoons and ENSO cycle. *Adv. Atmos. Sci.*, 2004, **21**: 407~424
- [21] Huang Ronghui, Wu Yifang. The influence of ENSO on the summer climate change in China and its mechanism. *Adv. Atmos. Sci.*, 1989, **6**: 21~32
- [22] Uppala S M, Kallberg P W, Simmons A J, et al. The ERA-40 reanalysis. *Quart. J. Roy. Meteor. Soc.*, 2005, **131**: 1~10
- [23] 涂长望, 黄仕松. 夏季风进退. 气象杂志, 1944, **18**: 1~20
Tu Changwang, Huang Shisong. The advance and retreat of the summer monsoon. *Meteor. Mag.* (in Chinese), 1944, **18**: 1~20
- [24] 黄荣辉, 顾雷, 徐予红, 等. 东亚夏季风爆发和北进的年际变化特征及其与热带西太平洋热状态的关系. 大气科学, 2005, **29**: 20~36
Huang Ronghui, Gu Lei, Xu Yuhong, et al. Characteristics of the interannual variations of onset and advance of the East Asian summer monsoon and their associations with thermal states of the tropical western Pacific. *Chinese J. Atmos. Sci.* (in Chinese), 2005, **29**: 20~36
- [25] Nitta Ts. Convective activities in the tropical western Pacific and their impact on the Northern Hemisphere circulation. *J. Meteor. Soc. Japan*, 1987, **64**: 373~390
- [26] 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. 大气科学, 1988, **12** (特刊): 95~107
Huang Ronghui, Li Weijing. Influence of the heat source anomaly over the tropical western Pacific on the subtropical high over East Asia and its physical mechanism. *Chinese J. Atmos. Sci.* (*Scientia Atmospherica Sinica*) (in Chinese), 1988, **12** (Special Issue): 95~107
- [27] Huang Ronghui, Zhou Liantong. The persistent droughts in North China from the late 1970s and its association with the interdecadal variability of the Walker circulation over the tropics. Proceedings of the International symposium on Extreme Weather and Climate Events, Their Dynamics and Prediction. CAS-TWAS-WMO Forum. Oct. 12~16, 2004, Beijing, China
- [28] 周连童, 黄荣辉. 中国西北干旱、半干旱区春季地气温差的年代际变化特征及其对华北夏季降水年代际变化的影响. 气候与环境研究, 2006, **11**: 1~13
Zhou Liantong, Huang Ronghui. Characteristics of the interdecadal variability of difference between surface temperature and surface air temperature in spring in arid and semi-arid region of Northwest China and its impact on summer precipitation in North China. *Clim. Environ. Res.* (in Chinese), 2006, **11**: 1~13
- [29] 韦志刚, 黄荣辉, 陈文, 等. 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, 2002, **26**: 496~508
Wei Zhigang, Huang Ronghui, Chen Wen, et al. Characteristics of the special distribution and interdecadal variability of snow cover in the Tibetan Plateau. *Chinese J. Atmos. Sci.* (in Chinese), 2002, **26**: 496~508
- [30] Huang Ronghui, Huang Gang, Wei Zhigang. Climate variations of the summer monsoon over China. *East Asian Monsoon*. C. P. Chang, Ed. World Scientific Publishing Co. Pte. Ltd., 2004. 213~270
- [31] Wallace J M, Gutzler D S. Teleconnection in the geopotential height field during the Northern Hemisphere winter. *Mon. Wea. Rev.*, 1981, **109**: 784~812