

关于中国重大气候灾害与东亚气候系统之间关系的研究^{*}

黄荣辉 陈际龙 周连童 张庆云

(中国科学院大气物理研究所, 北京 100080)

摘 要 在总结中国旱涝等重大气候灾害的种类、时空分布特征及其形成机理研究的基础上, 分析东亚气候系统对东亚地区水分循环和中国旱涝等重大气候灾害发生的影响; 并且, 从东亚气候系统各成员, 特别是从大气圈中的东亚季风、西太平洋副热带高压、中纬度扰动, 海洋圈中的 ENSO 循环、热带西太平洋暖池和印度洋的热力状态, 以及从青藏高原的动力、热力作用、高原积雪等来分析和讨论中国重大气候灾害的形成机理。此外, 还结合 1998 年夏季长江流域的特大洪涝以及从 20 世纪 70 年代末迄今华北地区的持续干旱所发生的具体实际, 进一步分析了东亚气候系统异常对东亚地区水分循环和我国重大气候灾害影响的过程。

关键词: 重大气候灾害; 干旱; 洪涝; 东亚气候系统; 水循环

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、冷害和沙尘暴等灾害。这些气候灾害对农业、工业、牧业、水利、交通等产生巨大影响, 从而造成巨大经济损失。一般, 气象灾害造成的损失可占到国民经济生产总值的 3%~6%, 在异常年份, 气象灾害造成的经济损失更加严重, 而气候灾害可占到气象灾害(包括气候和天气灾害)造成的经济损失的 70%~80%。近年来, 气候异常给我国带来了严重气候灾害, 尤其是旱涝等重大气候灾害每年约造成 200 亿公斤的粮食损失和 2000 亿元以上的经济损失, 因此, 气候灾害发生的特征、规律、成因及其预测已成为我国大气科学的前沿研究课题。

由于我国气候灾害的严重性, 我国大气科学界一直重视我国气候灾害的研究。在上世纪 80 年代和 90 年代就开展了我国长江、黄河流域旱涝规律、成因及其预测研究以及灾害性气候预测及其对农业年景和水资源调配影响的研究; 并且, 最近在“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”作为一个重点研究内容。此外, 为了提高对气候灾害的预测能力, “我国短期气候预测系统的研究”作为国家“九五”期间的重点科技攻关项目。这些项目的实施, 不仅大大加深了对我国气候灾害形成机理和过程的认识, 而且也提高了我国气候的预测水平。

2003-01-27 收到, 2003-03-25 收到修改稿

^{*} 国家重点基础研究发展规划项目 G1998040900 第一部分和国家自然科学基金资助项目 40231005 共同资助

本文主要综述近十多年来在上述这些项目研究中对我国重大气候灾害及其发生机理的认识。本论文在总结和分析了中国重大气候灾害的种类、时空分布特征的基础上，分析东亚气候系统变化对东亚地区水分循环的影响，进而分析它们对中国重大气候灾害发生的影响。此外，本论文还结合 1998 年夏季长江流域特大洪涝和从 20 世纪 70 年代末开始一直延续到现在华北地区所发生的持续干旱的具体实际，进一步分析了东亚气候系统通过对水分循环的影响，从而对中国旱涝等重大气候灾害的影响过程。

由于作者学识有限，文中只能综述作者所熟悉的研究，难免遗漏在此领域很重要的研究。

2 中国气候灾害的种类

我国由于地处东亚季风区，东亚夏季风的年际变异将导致我国旱涝等重大气候灾害的发生，而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，这些气候灾害已给我国带来了严重的经济损失。根据黄荣辉等^[1]的研究，对我国工农业和经济造成严重损失的重大气候灾害主要有以下几种。

(1) 干旱 干旱是我国最常见、影响最大的气候灾害，每年因干旱造成的粮食减产和经济损失约占气象灾害造成经济总损失的 50% 左右。根据黄荣辉等^[1]的统计结果，全国各地均可发生干旱，全国每年平均旱灾面积约 $2.0 \times 10^7 \sim 2.6 \times 10^7 \text{ hm}^2$ ，占我国耕地总面积的 1/5 左右。我国有些地区经常出现年降水量比常年少 30%~50%，个别季度能出现比常年平均少 60%~80%，致使发生严重干旱。如图 1 所示，由于气候变化，华北地区从 1977 年以后，降水连年减少，20 世纪 80 年代的年平均降水量约比 50 年代减少了 1/3，造成了严重干旱。降水的减少致使华北地区水资源严重缺乏，在 20 世纪 80 年代华北地区人均水资源占有量只有全国平均值的 1/6，耕地水资源占有量只有全国平均值的 1/10；并且，8 从 90 年代后半期，华北地区干旱更加严重，1997~2001 年

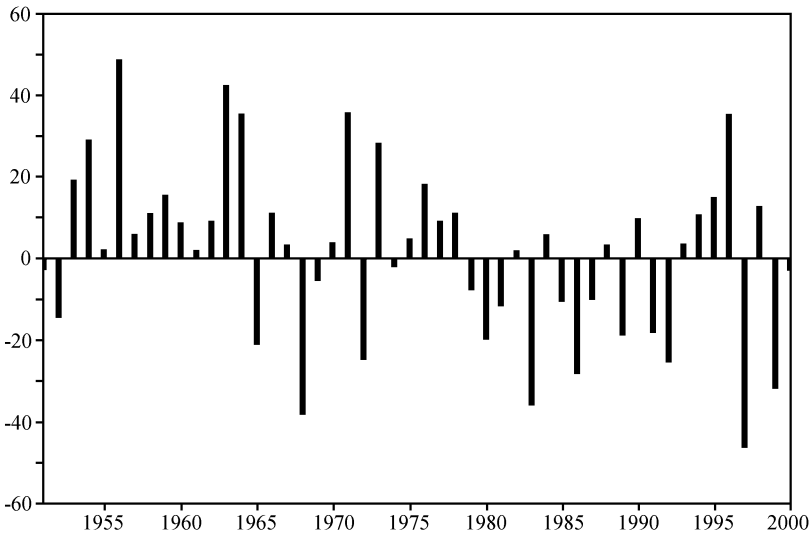


图 1 华北地区夏季（6~8 月）降水量距平百分率的年际变化

夏季华北地区平均降水量比气候平均约减少了 20%~30%。华北地区严重干旱不仅造成了农作物大幅度减产，水资源严重短缺，而且给华北地区的生态环境带来严重影响，环境恶化，沙尘暴增多。

(2) 雨涝 雨涝是我国仅次于干旱的气候灾害，雨涝每年造成的粮食和经济损失约占气象灾害造成经济总损失的 27.5%左右，个别严重雨涝年份损失更严重。1991 年夏季江淮地区发生洪涝，仅安徽、江苏两省粮食就减产了 120 亿公斤。全国年均雨涝受灾耕地约 $6.6 \times 10^6 \sim 1.0 \times 10^7 \text{ hm}^2$ 。如图 2 所示，1998 年夏季长江流域、嫩江和松花江流域汛期降水量将近常年的 2 倍，发生了特大洪涝，受灾耕地面积高达 $2 \times 10^7 \text{ hm}^2$ 。雨涝主要发生在夏季，但春、秋季甚至冬季也时有发生，例如 1982~1983 年冬季，华南就发生了几十年不遇的洪涝灾害；1998 年春江南降水是常年的 150%~200% 左右，造成了严重洪涝。

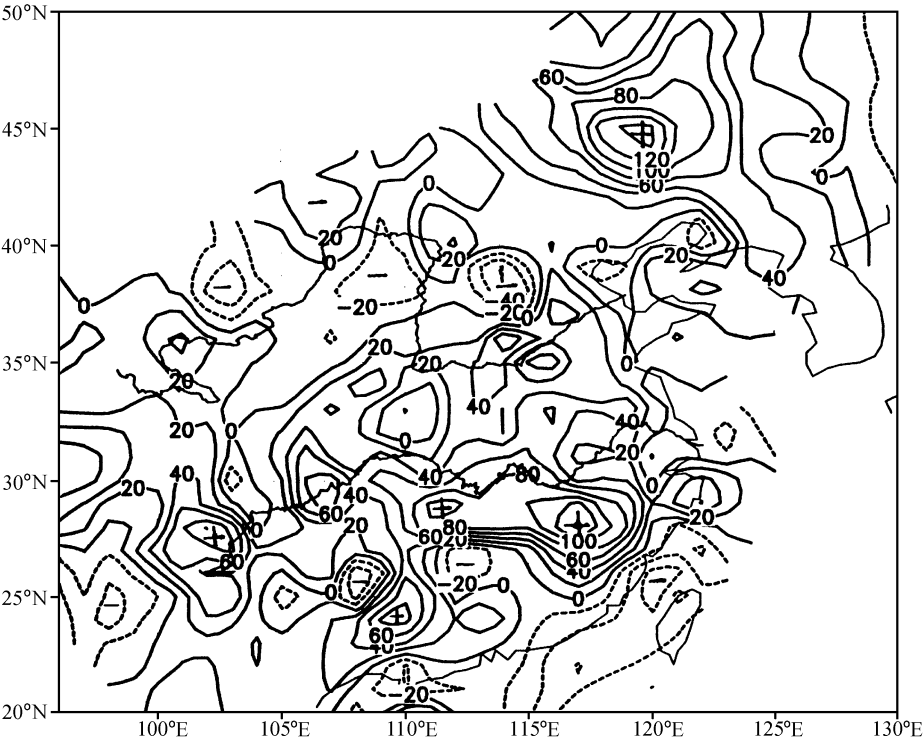


图 2 1998 年夏季我国降水距平百分率的分布
实线：正距平；虚线：负距平

(3) 沙尘暴 沙尘暴本身是一种天气灾害，但沙尘暴发生频次增多则成为气候灾害。近几年来由于北方春季干旱、气旋发生频率增高，大风天气明显增多，使得沙尘暴大幅度增多。2000 年内蒙古和华北地区发生了 13 次沙尘暴和扬沙天气，2001 年又发生 18 次沙尘暴和扬沙天气，2002 年春季沙尘暴也接连不断发生，特别是 2002 年 3 月 18~20 日在西北地区和内蒙古、华北地区发生十多年来最严重的沙尘暴。沙尘暴不仅影响工农业生产，危害人民身体健康和生命安全，而且由于沙尘暴影响大气能见度，因而影响交通，严重时高速公路和机场需关闭。特别是 1993 年 5 月 5 日发生在河西走

廊、内蒙古和宁夏一带的沙尘暴造成数十人伤亡和数亿元的经济损失。沙尘暴的增多已成为我国生态环境中一个严重问题。

(4) 夏季低温 气温长时间的偏低也能造成灾害。东北地区是我国重要的粮食基地, 一般说来, 这里夏季温度较高, 雨水丰沛, 对一年一熟的作物适宜, 但有的年份夏季出现低温就可能严重影响作物生长。因此, 夏季低温是造成我国东北地区粮食减产最重要的气候灾害, 例如 1972 年和 1976 年, 东北地区因夏季低温冷害粮食减产分别为 63 亿公斤和 47.5 亿公斤。

除上述主要气候灾害外, 还有霜冻、低温阴雨、寒害、雪灾、登陆台风的增多等, 因此, 中国气候灾害的种类是很多的。这些气候灾害从其发生机理看, 可以分为 3 种类型: 一是降水异常所造成, 如干旱、雨涝、雪灾; 二是气温异常所造成, 如夏季低温、霜冻、寒害、春季连阴雨等; 三是风异常所造成, 如沙尘暴。我国气候灾害中以干旱和雨涝两种气候灾害最为严重, 约占气象灾害造成的经济总损失的 78%。

3 中国重大气候灾害的时空分布特征

我国东部处于东亚季风区, 由于季风的影响, 我国降水和气温变化不仅在空间严重不均匀, 而且在时间也严重不均匀, 如降水主要集中在夏季, 这就使得各种气候灾害出现的频率随季节和地理位置而变化。黄荣辉等^[1]利用 1951~1990 年 40 年的气候资料统计和研究了我国主要气候灾害的时间与空间分布变化情况, 得出了我国主要气候灾害的时空分布特征如下:

(1) 干旱 干旱主要发生在我国西北和华北地区, 西北地区年降水量很小, 一年四季均有干旱发生, 属于干旱气候。华北降水量年际和季节变化很大, 在春、夏季很容易发生干旱, 特别是黄淮海地区干旱更是频繁发生。对每个季节来讲, 我国大部分地区干旱发生频率大约为三年一遇, 但华北和西南地区干旱发生频率随季节变化较大。如图 3 所示, 华北和西南地区春季干旱发生频率可达三年两遇; 其次是长江、淮河流域夏季干旱也时常发生。

(2) 雨涝 全国雨涝发生频率比干旱稍低, 一般约为五年一遇, 主要发生在长江中、下游地区和东南沿海。图 4 是长江、淮河流域夏季(6~8 月)降水距平百分率的年际变化, 可以看到长江、淮河流域降水异常的年际变化存在着 2~3 年周期的变化, 因此, 夏季在长江中、下游地区雨涝发生频率可达三年一遇, 且强度大、影响范围广, 如 1954、1980 和 1991 年夏季在长江流域发生了严重洪涝, 特别是 1998 年夏季长江流域、嫩江和松花江流域发生了特大洪涝。

(3) 沙尘暴 根据周自江等^[2]的研究, 我国沙尘暴主要发生在春季, 而沙尘暴发生的高频区主要在南疆塔里木盆地的周围、河西走廊、宁夏和内蒙古的西部。这些沙尘暴高发区大部分位于塔克拉玛干沙漠、巴丹吉林沙漠、腾格里沙漠和毛乌素沙漠及其周围的植被稀少地区。上述地区平均每年发生沙尘暴的日数可达 30~50 天, 沙尘暴和扬沙天气的日数可达 40~80 天之多。我国沙尘暴影响范围很广, 据统计, 淮河以北的绝大部分地区均可受到沙尘暴或扬沙天气的影响。

我国沙尘暴发生和扬沙天气有着很大的年代际变化, 从总的趋势看, 20 世纪 80~

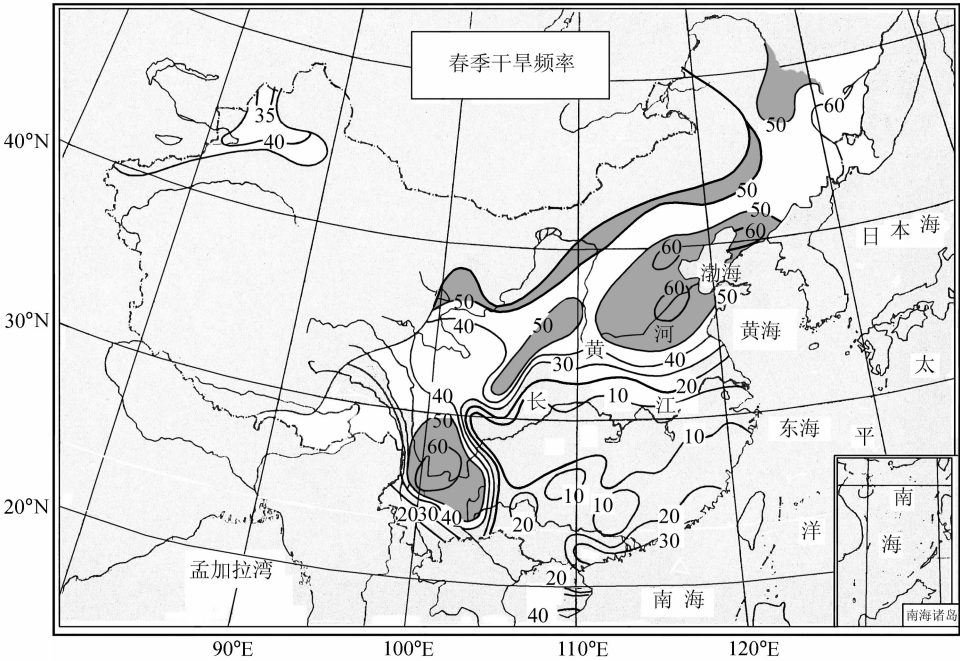


图 3 我国 1951~1990 年春季干旱发生频率分布图

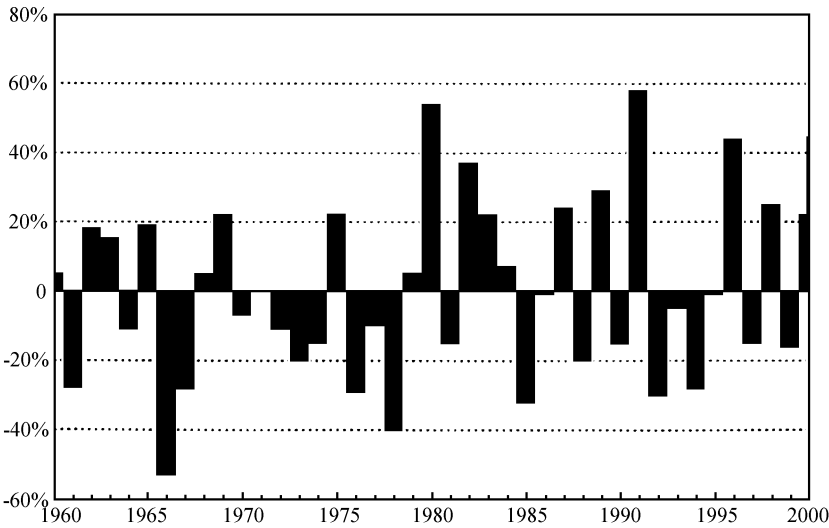


图 4 长江、淮河流域夏季（6~8 月）降水距平百分率的年际变化

90 年代沙尘暴的发生日数比 50~70 年代少，呈减少趋势。然而，在青海的柴达木盆地的西部和浑善达克沙漠的周围却有增加的趋势；并且，我国西北强沙尘暴发生的日数呈上升趋势。此外，从 2000 年之后我国内蒙中部和华北地区沙尘暴和扬沙天气剧增。

(4) 夏季低温 夏季低温一般发生在我国东北（包括内蒙古地区），它对农业生产危害很大。在这 40 年中，严重低温的年份就有 1954、1957、1964、1969、1972、1976 和 1985 年等，再加上一般低温冷害年，出现频率约达到四年一遇。我国其他地区

夏季低温较少见。从 20 世纪 80 年代以来，由于我国华北、东北和西北地区气温上升比较明显，因此，从 90 年代以后我国夏季低温很小发生。

(5) 雪灾 雪灾主要发生在冬春季，高发区位于内蒙古东部、青藏高原东部和新疆的北部，出现的频率可达到三年一遇。其他地区雪灾较少见。最近几年上述地区的雪灾有所上升。

此外，还有霜冻、寒害和登陆台风的偏多等。

从以上分析可以看到，我国气候灾害随季节变化很大。沙尘暴主要发生在春季；旱涝主要发生在春、夏季；登陆台风的增多与低温主要发生在夏季；而寒害和雪灾主要发生在冬季；霜冻灾害主要发生在春、秋季。并且，由于我国气候灾害有很大的年际变化，干旱发生频率可达到三年两遇，其他各种气候灾害发生的频率大部分均在三到四年一遇。因此，如果以季为单位，并且考虑到不同地区的气候灾害的发生，则全国每年可能发生重大气候灾害十几次之多，有些年份甚至更多。这样，有些年份气候异常大，各种气候灾害可同时发生，从而发生严重自然灾害，带来巨大经济损失；而有些年份则气候条件相对较好，气候灾害较少发生，全国风调雨顺，粮食丰收。

4 关于东亚气候系统及其对东亚水汽输送和中国重大气候灾害影响的研究

4.1 东亚气候系统

要预测这些灾害气候的发生，首先必须了解气候灾害是如何产生的。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。具体地说，是地球大气、海洋、冰雪、陆地等相互作用的结果，此外，还与生物圈及人类活动有很大关系。因此，要了解气候灾害的成因，不仅要知道控制气候灾害发生的大气内部过程，而且还要知道大气外部如海洋、陆面等的热力状况及其对大气的影

响。中国气候灾害的发生主要是由于东亚气候系统变化所引起^[3, 4]。如图 5 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、欧亚积雪以及陆面过程，特别是干旱和半干旱区的陆面过程。

上述东亚气候系统的变化与异常可以引起中国气候的季节内、年际和年代际变化与异常，从而引起中国重大气候灾害。

4.2 东亚气候系统各成员的年际变化与异常对东亚地区水汽输送和中国重大气候灾害的影响

从上所述，引起我国重大气候灾害发生的物理因子初步归纳如下。

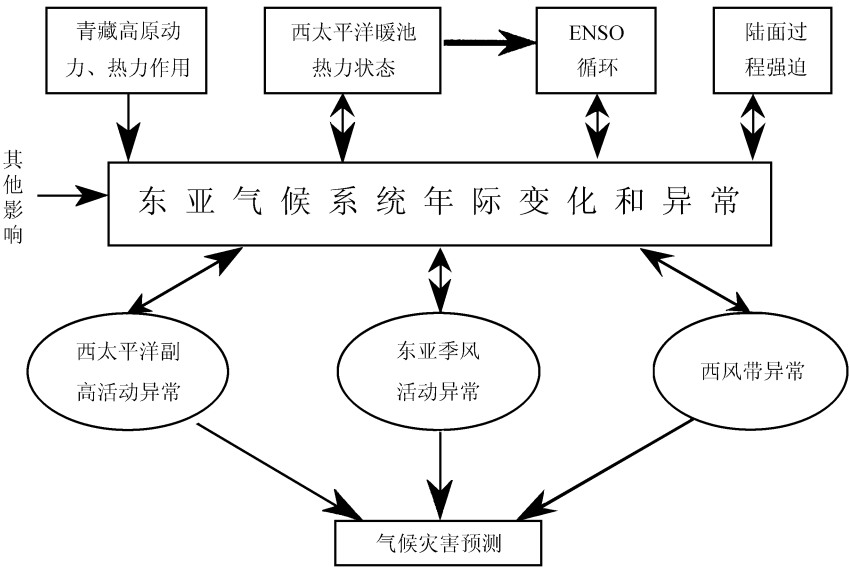


图 5 东亚气候系统示意图

4. 2. 1 厄尔尼诺和南方涛动 (ENSO)

热带太平洋海表热力异常是引起全球大气环流和水分循环异常的重要原因，也是引起东亚季风水汽输送异常和旱涝发生的重要原因。

黄荣辉和吴仪芳^[5]从观测资料分析指出，厄尔尼诺 (El Niño) —南方涛动 (ENSO) 循环的不同阶段对我国夏季风异常和旱涝分布有着不同影响。如图 6 所示，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，我国东北往往发生低温；相反，在厄尔尼诺—南方涛动 (ENSO) 事件处于衰减阶段或拉尼娜 (La Niña) 事件的发展阶段时，也就是赤道中、东太平洋海温处于下降阶段，我国发生旱涝的区域与在厄尔尼诺—南方涛动 (ENSO) 事件处于发展阶段的旱涝分布有明显的不同。在此阶段的夏季，我国淮河流域的降水往往偏少，并可能发生干旱；并且，由于在此阶段亚洲夏季风水汽输送在江南北部、洞庭湖和鄱阳湖流域辐合，因此，长江流域、江南地区的降水可能偏多，我国长江流域严重洪涝均发生在此阶段。

张人禾^[6]和 Zhang 等^[7]的研究表明：在 El Niño 盛期，弱印度夏季风减弱了与其相伴随的水汽输送，从而减弱了从孟加拉湾输向我国华北地区的水汽，使得华北地区上空大气中可降水汽含量显著减弱。

综上所述可以看到，厄尔尼诺—南方涛动 (ENSO) 事件的发生可以作为我国旱涝气候灾害预测的前期重要信号之一，这已在多年的旱涝气候灾害预测实践中得到验证。

4. 2. 2 西太平洋暖池海水热力异常

热带西太平洋是全球海洋温度最高的海域，全球大约 90% 暖海水集中在这里，因此，此海域称为暖池 (warm pool)。西太平洋暖池的海温和热容量变化将对全球水分循环和气候异常有很大的影响，特别是对东亚夏季风水汽输送和旱涝等气候异常会产

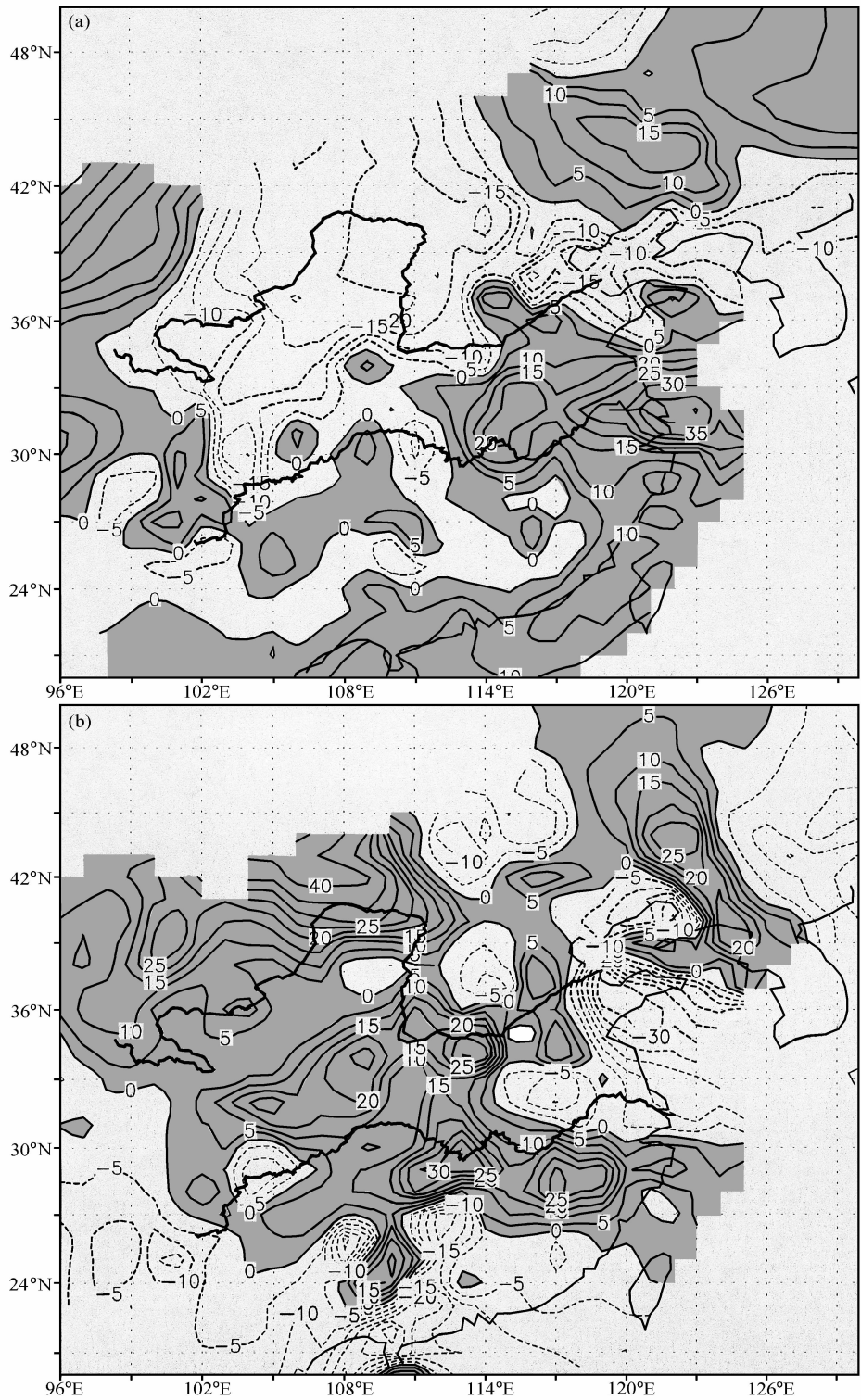


图6 厄尔尼诺—南方涛动(ENSO)循环不同阶段我国夏季降水水平百分率分布
(a) ENSO 事件发展阶段; (b) ENSO 事件衰减阶段
阴影区: 正距平, 虚线: 负距平

生严重影响。一些学者^[8~15]的研究结果都表明：当西太平洋暖池的海温高时，从菲律宾周围经南海到中印半岛的对流活动强，长江中、下游地区和淮河流域的降水往往偏少（图 7a）；相反，当西太平洋暖池的海温偏低时，菲律宾周围的对流活动较弱，在这种状态下，从孟加拉湾、南海和热带西太平洋输送来的水汽在江淮流域和长江中下游地区辐合，长江中、下游地区和淮河流域的降水往往偏多（图 7b）。经过多年汛期旱涝灾害预测的实践，证明暖池的热状态与菲律宾周围对流活动的强弱可以作为我国夏季旱涝预测的前期重要信号之一。

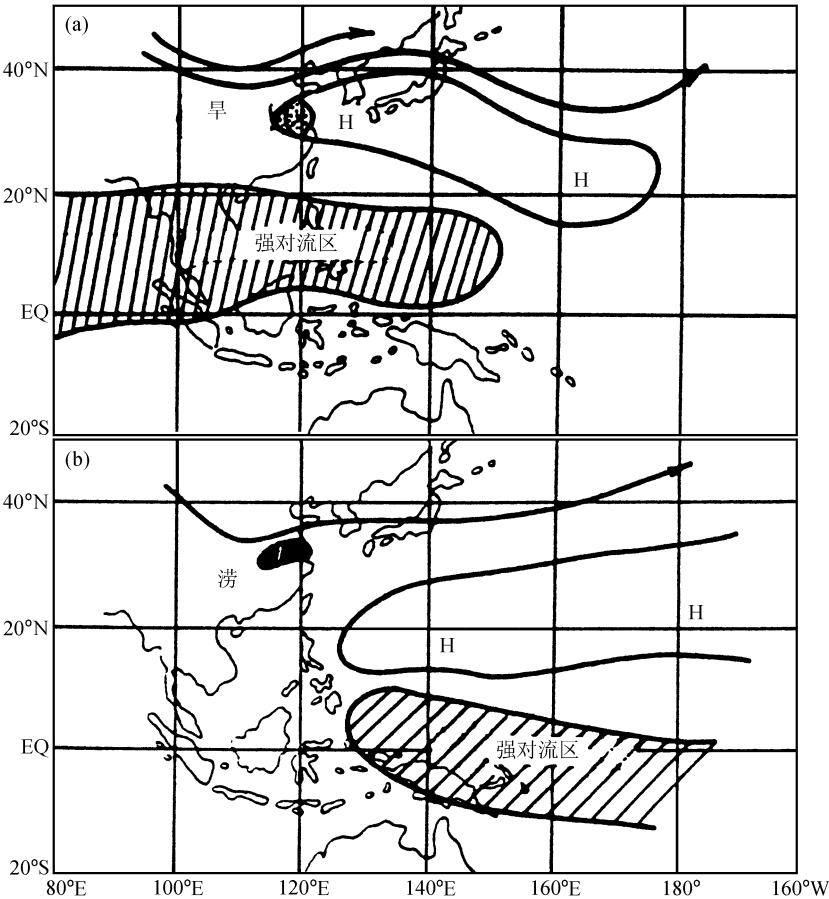


图 7 夏季西太平洋暖池的热力、菲律宾周围的对流活动、西太平洋副热带高压与旱涝分布的关系示意图
(a) 暖池处于暖状态；(b) 暖池处于冷状态

4. 2. 3 青藏高原上空的热源异常

叶笃正和高由禧^[16]指出：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。观测资料分析和数值模拟的结果都表明了青藏高原冬、春雪盖与我国长江流域南部的汛期降水有明显的正相关，即青藏高原冬、春雪盖面积大，夏季洞庭湖、鄱阳湖和江南地区的梅雨强^[17,18]，黄荣辉^[19]从物理机制和数值模拟说明了青藏高原陆面状况对东亚夏季气候异常影响的机理。

4.2.4 亚洲季风环流异常

我国地处东亚，南亚和东亚同处于亚洲季风系统所控制的区域，亚洲季风环流的变化与异常直接影响到我国的气候的变化与异常，因此，季风气候是东亚气候系统最突出的特征。然而，根据陶诗言和陈隆勋^[20]的研究，东亚夏季风系统是一个与印度季风环流系统既有联系又是相对独立的环流系统。黄荣辉、张振洲和黄刚^[21]的研究表明：夏季东亚季风区的水汽输送特征与印度季风区有很大差别，在东亚季风区产生降水的水汽辐合辐散主要是由于季风引起的湿度平流所造成，并且，东亚季风区夏季水汽经向输送分量很大。因此，季风从孟加拉湾、南海和热带西太平洋到东亚地区的水汽输送直接受季风气流的强弱所控制。

由于东亚季风的年际变率直接影响到我国东部、韩国和日本干旱和洪涝等气候灾害的发生，因此，早在 60 年前，东亚季风的特征与变化已成为东亚诸国重要的科学研究问题。我国著名气象学家竺可桢^[22]首先提出了东亚夏季风和中国降水的可能关系，之后，涂长望和黄仕松^[23]又研究了东亚夏季风的进退。这些研究开辟了关于东亚季风变化及其对东亚夏季气候影响的研究之路。继他们研究之后，中国气候研究者对于东亚气候系统及其对气候灾害的影响作了大量研究，取得很大进展^[20]。许多研究^[24, 25]表明了东亚夏季风降水有明显的准两年周期振荡，特别在江淮流域，这种周期的振荡更加明显。最近，我们利用更详细的资料分析了我国夏季降水的年际变化。图 8 是我国台站实测夏季 6~8 月份降水的 EOF 分析的第 1 主分量的时间系数与相应的空间函数分布，从图 8 同样可以看到我国夏季降水从 20 世纪 70 年代起有显著的准两年周期的振荡，这种振荡在长江、淮河流域尤其明显。

图 9 是利用 NCEP/NCAR 再分析的水汽资料所计算的东亚夏季纬向水汽输送通量 EOF1 的时间系数和相应的空间函数分布。把图 9 与图 8 相比较，可以看到我国东部降水的准两年周期振荡是受到东亚夏季风的水汽输送的准两年周期振荡的影响。黄荣辉等¹⁾研究表明夏季风经向水汽输送通量还存在着显著的年代际变化，这种变化已严重影响到我国华北地区的夏季降水，并引起华北地区的干旱。

陈文等^[26, 27]的研究表明了东亚冬季风不仅严重地影响我国的沙尘暴和雪灾、寒害等重大气候灾害的发生，而且还影响夏季我国的旱涝灾害。

4.2.5 西太平洋副热带高压异常

西太平洋副热带高压对东亚夏季季风雨带的变化与异常有很大影响。研究表明：我国夏季在夏季风环流背景下，在青藏高原的影响下，西南季风从孟加拉湾携带的大量水汽和东南季风从热带西太平洋携带的大量水汽在西太平洋副热带高压的西北侧汇合，因此，在副热带高压的西侧与北侧季风暴雨具有突发性与多发性，从而引起洪涝^[3]。叶笃正等^[28]首先发现东亚夏季风环流和西太平洋副热带高压在 6 月上、中旬存在着突变，并指出了正是这种行星尺度环流的突变才导致东亚夏季风的爆发。黄荣辉等^[14, 15, 29]的研究也表明：西太平洋副高异常北跳、东亚夏季风环流的突变是与菲律宾附近的对流活动密切相关。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

1) Huang Ronghui, Zhou Liantong and Chen Wen, The progresses of recent studies on the variabilities of East Asian monsoon and their causes, Adv. Atmos. Sci. (to be published).

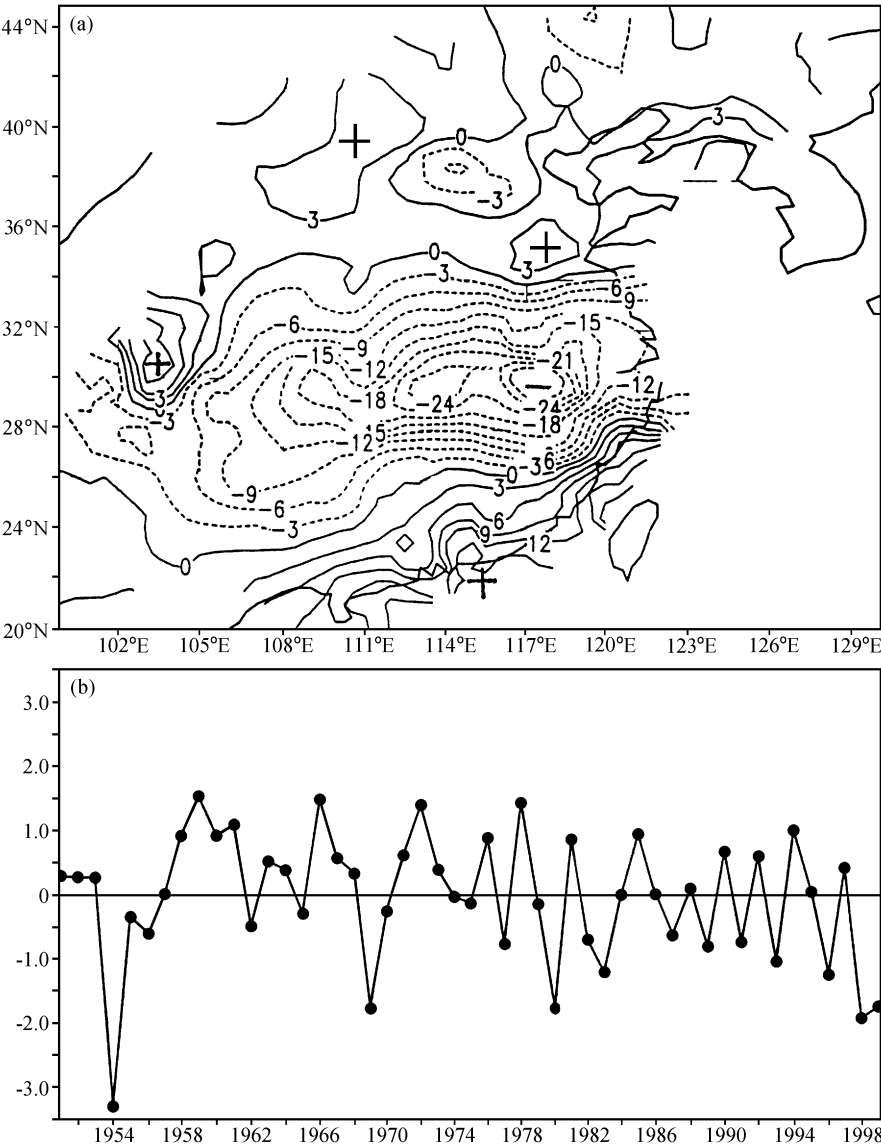


图 8 我国 1951~2000 年夏季 6~8 月份降水的 EOF1 的空间函数 (a) 与时间系数 (b) 分布

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突跳往往不明显。最近，陆日宇等^[30, 31]的研究表明了西太平洋副热带高压的西伸与变化也与西太平洋暖池的对流活动有直接关系。

由于东亚地区的夏季风水汽输送与西太平洋副热带高压密切相关，而如图 10 所示，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。新田^[8]、黄荣辉和李维京^[9]指出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旱涝发生。这个遥相关型已被广泛用于中国汛期旱涝的预测中。

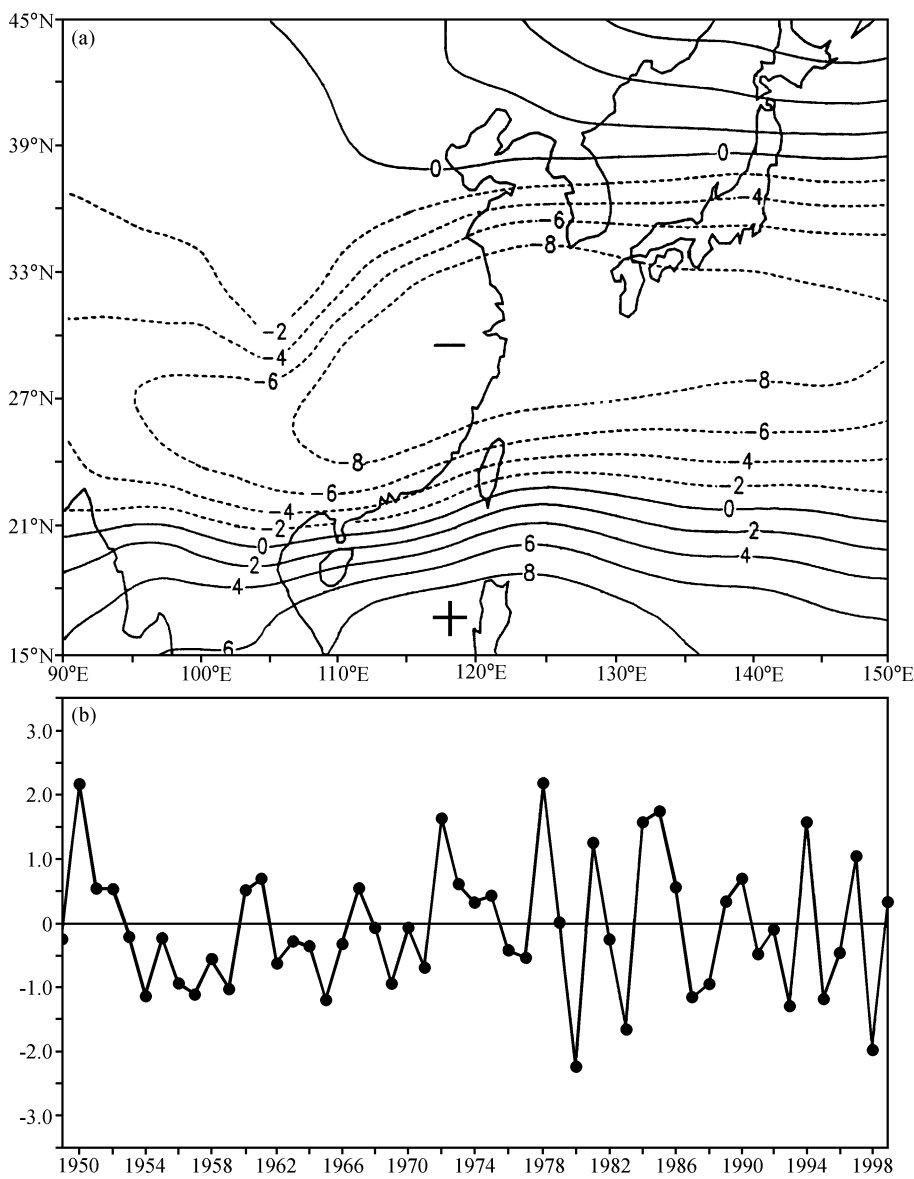


图9 东亚夏季6~8月份纬向水汽输送通量 EOF1 的空间函数 (a) 与时间系数 (b) 的分布

5 1998 年夏季长江流域特大洪涝与东亚气候系统水汽输送异常的关系

1998 年夏季，长江流域发生了 20 世纪仅次于 1954 年的全流域特大洪涝。如图 2 所示，长江流域在 1998 年夏季汛期降水距平达到 100%，即汛期降水比常年多了 1 倍，包括嫩江、松花江流域，全国洪涝面积达 $2.1 \times 10^7 \text{ hm}^2$ ，造成约 3000 人死亡和约 2600 亿元巨大经济损失。黄荣辉等^[32, 33]分析了 1998 年夏季长江流域特大洪涝的成因，指出 1998 年夏季长江流域的特大洪涝是由于上述东亚气候系统的异常所引起的（图 11）。

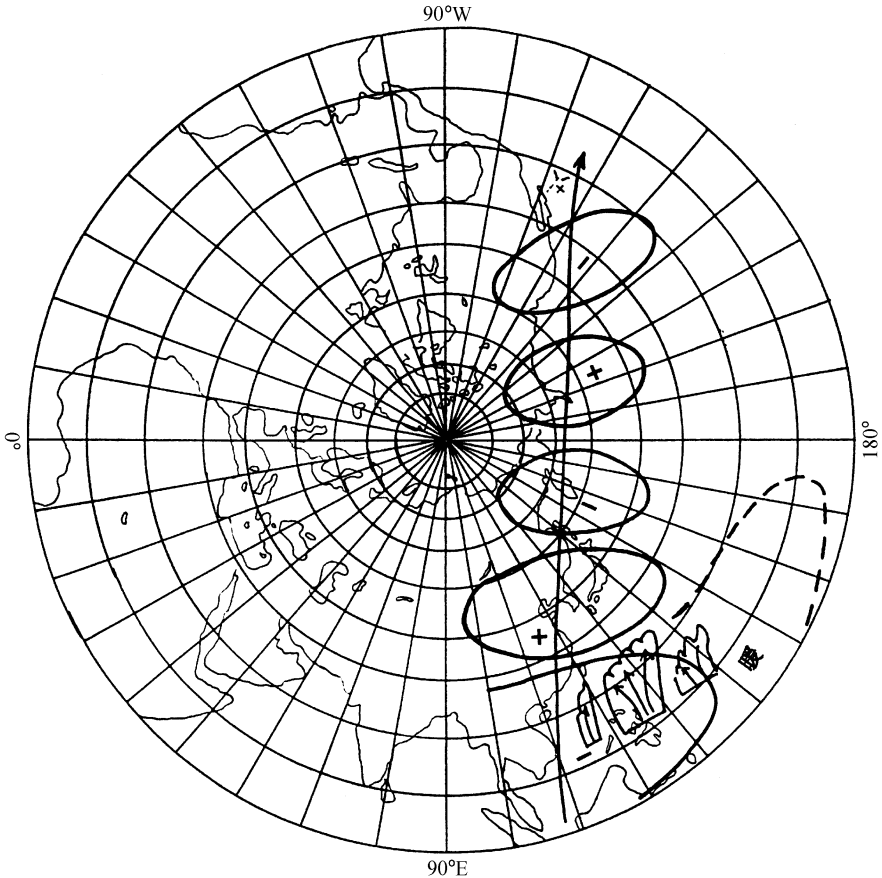


图 10 北半球夏季东亚/太平洋型大气环流异常遥相关

1997/1998 ENSO 事件对 1998 年夏季长江流域特大洪涝有直接影响。1997 年 5 月发生的厄尔尼诺—南方涛动 (ENSO) 事件从 1998 年初夏开始衰减, 因此, 1998 年夏季汛期正处于 ENSO 事件的衰减期。按照图 6 所示, 长江流域, 特别是洞庭湖、鄱阳湖以及湘江、资水、沅江、澧水流域降水应偏多, 因此, 在上述地区汛期降水比常年降水增加了近 100%, 发生了特大洪涝。这是由于在 1998 年夏 ENSO 事件正处于衰减期, 此时热带西太平洋次表层海温还没有开始增温, 而热带中、东太平洋的次表层海温已变冷, 这就使得 1998 年夏季整个热带西太平洋暖池海域的次表层海温处于偏低状态, 故菲律宾周围的对流活动很弱, 西太平洋副热带高压偏南, 从而造成雨带稳定在长江流域, 使得长江流域发生特大洪涝。1998 年亚洲夏季风偏弱, 亚洲季风从孟加拉湾以及从热带西太平洋携带了大量水汽在长江流域辐合, 这有利于夏季长江流域多雨, 发生严重洪涝。并且, 陶诗言等^[34]的研究表明: 在 1998 年夏季, 由于印度西南季风随着三次强的低频振荡把大量水汽从孟加拉湾输送到长江流域, 从而随着每次低频振荡的增强, 长江流域就发生了持续性暴雨。赵思雄等^[35]的研究也表明了 1998 年夏长江流域的特大洪涝是由于暴雨的多发性造成的。

此外, 1997 年冬和 1998 年春青藏高原降了历史上罕见的大雪也有利于夏季洞庭湖和鄱阳湖降水偏多, 发生洪涝。因此, 1998 年夏季由于处于 ENSO 事件的衰减期, 且

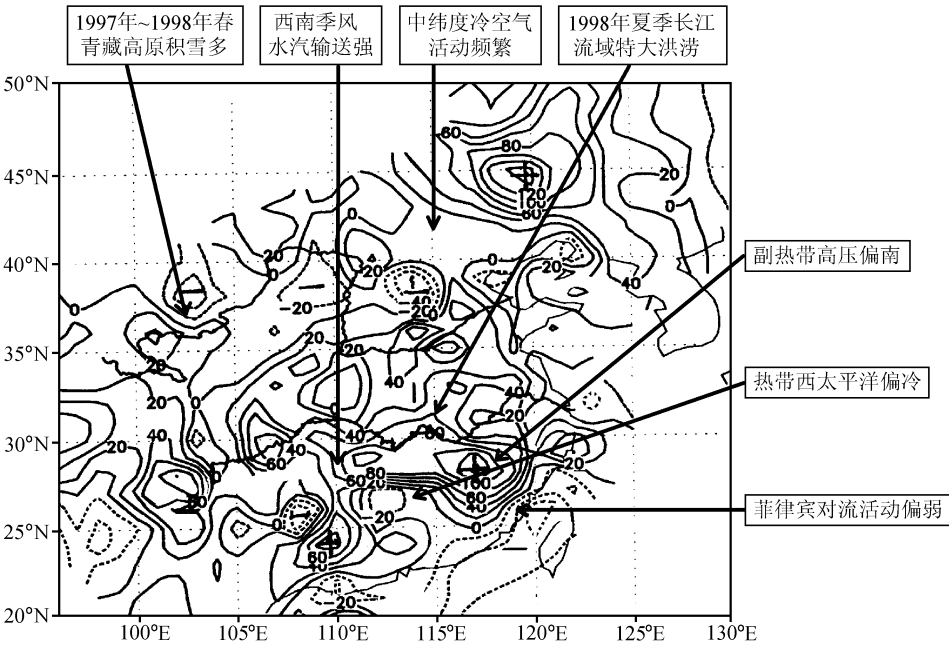


图 11 引起 1998 年夏季长江流域特大洪涝的因子示意图

西太平洋暖池海温处于冷状态，再加上 1997 年冬至 1998 年春高原的异常降雪，这些因子的叠加致使长江流域汛期降水异常偏多，如图 11 所示，引起 1998 年夏季长江流域特大洪涝的物理因子是多方面的。

6 关于华北地区持续干旱与东亚气候系统、水汽输送异常关系的研究

黄荣辉等^[36]和周连童等¹⁾分析了中国气候的年代际变化，华北地区在 20 世纪 70 年代末以后与 70 年代末以前无论降水和气温均发生了一个很明显的年代际变化，这个变化是华北地区夏季降水明显减少，特别从 20 世纪 90 年代末降水减少更加严重，而气温明显增加；相反在长江流域降水明显增加，在长江上游气温明显下降。与此同时，西北地区降水增加，但气温也上升，并且西北地区降水的振荡位相要早于华北地区 5~8 年左右。

黄荣辉等^[36]和周连童等¹⁾从东亚气候系统的年代际变化，分析了华北地区从 20 世纪 70 年代末开始一直延续到迄今的持续严重干旱的成因，指出：这不仅是由于全球增温在东亚季风区的反映，而且很可能是由于热带中、东太平洋从 70 年代后半期明显增温所致。从全球 SST 观测资料的分析表明了热带中、东太平洋海表温度存在着明显的年代际变化。从 70 年代后半期开始一直到现在，热带中、东太平洋海表温度比正常偏暖了 0.6~0.8℃，其海表温度异常分布似如 ENSO 事件成熟期海表温度距平分布。

1) 周连童、黄荣辉，关于中国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（即将发表）。

因此,这种现象可以看成是在 20 世纪 80~90 年代热带中、东太平洋发生了“年代际的 ENSO 现象”。这种“年代际的 ENSO 现象已对全球气候和水汽输送产生很大影响。周连童等¹⁾从 NCEP/NCAR 再分析资料分析了全球水汽输送的年代际变化,如图 12 所示,由于热带中、东太平洋海表温度发生了“年代际 ENSO 现象”使得热带太平洋中、东太平洋输向热带西太平洋的水汽减弱,因此,从孟加拉湾、南海和热带西太平洋输向华北的水汽减弱,并且,这些由季风所输送的水汽主要汇合在长江流域,从而引起华北地区发生了持续干旱,而长江流域频繁发生了洪涝。

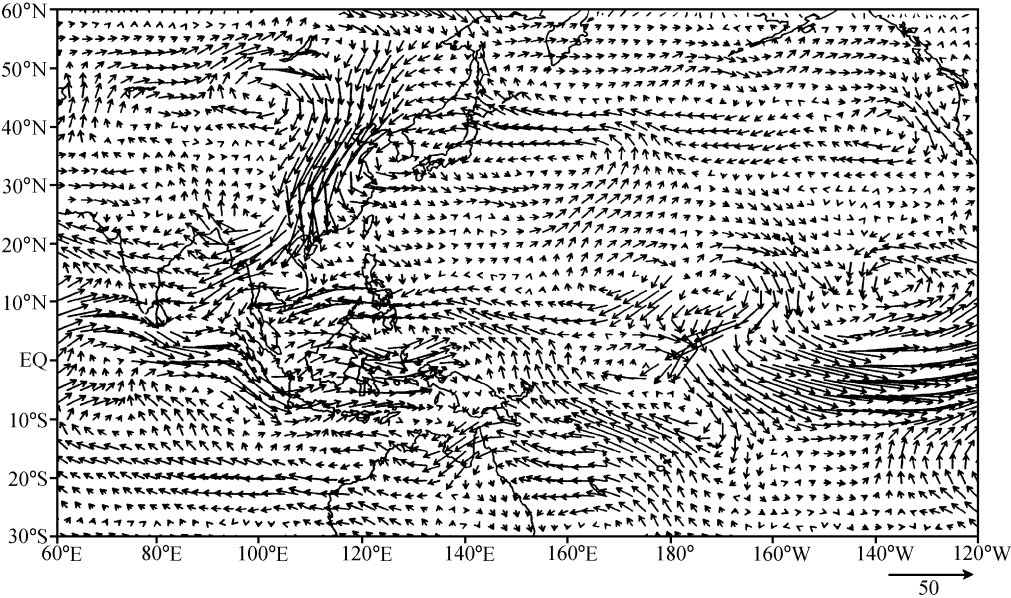


图 12 1997~1999 年夏季东亚东太平洋地区水汽输送距平通量分布图

由季风输向华北地区水汽的减弱是与西太平洋副热带高压位置和东亚夏季风的年代际变化与异常有关。张庆云等^{[37],1)}的研究表明:中国华北地区的持续干旱是由于 1980~1997 夏季 500 hPa 高度上中纬度的距平场为正距平,有利于反气旋性气压系统的活动,夏季欧亚大陆 35~45°N 中纬度带的正距平区上叠加着欧亚型(EU)遥相关波列,华北地区经常受高压中心控制;并且,她们的研究还表明了华北夏季降水的年代际变化与夏季西太平洋副热带高压脊线位置的年代际变化密切相关,20 世纪 70 年代中期到 90 年代,夏季西太平洋副热带高压脊线的位置偏南,热带季风环流偏弱,南方涛动指数以负距平为主,El Niño 事件频繁发生,华北降水处于偏少阶段。黄刚^[38]从观测资料分析了东亚季风年代际变化对华北地区持续干旱发生的作用,他指出从 1965 年,特别从 1977 年开始到 20 世纪 90 年代末,东亚夏季风在年代际时间尺度上偏弱,从而削弱输向华北地区的水汽。王会军^[39, 40]的研究也指出了从 20 世纪 70 年代末开始,亚洲季风变弱,并指出亚洲季风与 ENSO 的关系的不稳定性。

此外,韦志刚等^[41]分析了冬春季青藏高原积雪的年代际变化,指出 20 世纪 70 年代后半期开始,青藏高原积雪增厚、天数增加,由于高原冬春季积雪与夏季长江流域

1) 张庆云、卫捷、陶诗言,华北干旱的年代际和年际变化特征及成因,气候与环境研究(即将发表)。

的降水有正相关，因此青藏高原从 20 世纪 70 年代后半期开始积雪增厚，天数增加也有利于长江流域夏季降水的增多。

宋正山等^[42]指出华北地区持续干旱不仅与此地区夏季降水减少有直接关系，而且此地区的增温所引起的蒸发加大对此地区的持续干旱的发生有重大影响，这说明全球增温对华北地区的气候变化有重要影响。

从以上分析可以看到，华北地区持续干旱不仅与东亚气候系统的年代际变化有关，还与全球增暖有直接关系。

7 结论和讨论

本论文综述了近 10 多年来我国学者关于中国重大气候灾害与东亚气候系统、水汽输送之间关系的研究进展。本论文在总结了我国重大气候灾害的种类、时空分布特征及其形成机理研究的基础上，分析东亚气候系统对东亚地区水汽输送和中国重大气候灾害的影响，特别是从东亚气候系统各成员，大气圈中东亚季风、西太平洋副热带高压、中纬度扰动、海洋圈中的 ENSO 循环、热带西太平洋暖池和印度洋的热力状态，以及从青藏高原的动力、热力作用、高原积雪等来分析这些因子对东亚地区水汽输送和我国重大气候灾害的影响。此外，本研究还结合 1998 年夏季长江流域的特大洪涝和华北地区持续干旱发生的具体实际，进一步分析了东亚气候系统对东亚水汽输送和我国重大气候灾害发生的机理。

然而，必须指出，发生在我国的气候灾害的机理是很复杂的，可以说目前还没有清楚认识。要搞清这些气候灾害发生的规律与成因，就必须通过大量的观测事实把全球气候系统特别是东亚气候系统各子系统的相互作用搞清楚；并且，还应利用数学、物理学的最新成就，把气候系统的各圈层相互作用的物理、化学、水文和生物的过程用数值模式表示出来，再利用巨型计算机来模拟气候系统的季度、年际、年代际变化，以便能够利用这样的数值模式来模拟这种变化。因此，要搞清楚中国重大气候灾害的形成机理还需漫长而大量的研究。

参 考 文 献

- 1 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.
- 2 周自江、王锡稳等，近 47 年中国沙尘暴气候特征研究，应用气象学报，2002，**13**，193~200.
- 3 叶笃正、黄荣辉等，长江黄河流域旱涝规律和成因研究，济南：山东科技出版社，1996，387pp.
- 4 黄荣辉、张人禾、严邦良，关于东亚气候系统年际变化研究进展及其需进一步研究的问题，中国基础研究，1999，66~75.
- 5 Huang Ronghui, and Wu Yifang, The influence of ENSO on the summer climate change in China and its mechanisms, *Adv. Atmos. Sci.*, 1989, **6**, 21~32.
- 6 张人禾，El Niño 盛期印度夏季风水汽输送在我国华北地区夏季降水异常中的作用，高原气象，1999，**18**，567~574.
- 7 Zhang, H., and A. Sumi, Moisture circulation over East Asia during El Niño episode in Northern winter, spring and autumn, *J. Meteor. Soc. Japan*, 2002, **80**, 213~227.
- 8 Nitta, Ts., Convective activities in the tropical western Pacific and their impact on the Northern Hemisphere

summer circulation, *J. Meteor. Soc. Japan*, 1987, **64**, 373~390.

- 9 Huang Ronghui, and Li Weijing, Influence of the heat source anomaly over the tropical western Pacific on the subtropical high over East Asia, Proceedings of the International Conference on the General Circulation of East Asia (ICGC), Chengdu, 1987, 40~51.
- 10 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, 特刊, 95~107.
- 11 Huang Ronghui, and Lu Li, Numerical simulation of the relationship between the anomaly of the subtropical high over East Asia and the convective activities in the tropical western Pacific, *Adv. Atmos. Sci.*, 1989, **6**, 202~214.
- 12 Kurihara, K., A climatological study on the relationship between the Japanese summer weather and the subtropical high in the western northern Pacific, *Geophys. Mag.*, 1989, **43**, 45~104.
- 13 Huang Ronghui, and Sun Fengying, Impact of the tropical western Pacific on the East Asian summer monsoon, *J. Meteor. Soc. Japan*, 1992, **70** (1B), 243~256.
- 14 黄荣辉、孙凤英, 热带西太平洋暖池的热状态及其上空的对流活动对东亚夏季气候异常的影响, 大气科学, 1994, **18**, 141~151.
- 15 黄荣辉、孙凤英, 热带西太平洋暖池上空对流活动对东亚夏季风季节变化的影响, 大气科学, 1994, **18**, 456~465.
- 16 叶笃正、高由禧, 青藏高原气象学, 北京: 气象出版社, 1979, 279pp.
- 17 陈烈庭、阎志新, 青藏高原冬春积雪对大气环流和我国南方汛期降水的影响, 中长期水文气象预报文集 (I), 长江流域规划办公室编, 北京: 水利电力出版社, 1978, 185~195.
- 18 韦志刚、罗四维, 中国西部积雪对我国汛期降水的影响, 灾害性气候的过程及诊断论文集, 黄荣辉等编, 北京: 气象出版社, 1996, 137~140.
- 19 Huang Ronghui, Numerical simulation of the three-dimensional teleconnection in the summer circulation over the Northern Hemisphere, *Adv. Atmos. Sci.*, 1985, **2**, 81~92.
- 20 Tao Shiyun, and Chen Longxun, A review of recent research on the East Asian summer monsoon in China, *Monsoon Meteorology*, edited by C. P. Chang, and T. N. Krishnamurti, Oxford University Press, 1987, 60~92.
- 21 黄荣辉、张振洲、黄刚, 东亚季风区的水汽输送特征及其与印度季风区的差别, 大气科学, 1988, **22**, 460~469.
- 22 竺可桢, 东南季风与中国之雨量, 地理学报, 1934, **1**, 1~26.
- 23 涂长望、黄仕松, 夏季风进退, 气象杂志, 1944, **18**, 1~20.
- 24 Lau, K. M., and S. H. Shen, Biennial oscillation associated with the East Asian summer monsoon and tropical sea surface, *Climate Variability*, edited by Ye Duzheng et al., Beijing, China Meteorological Press, 302 pp.
- 25 殷宝玉、王连英、黄荣辉, 东亚夏季风降水的准两年振荡及其可能的物理机制. 灾害性气候的过程及诊断论文集, 黄荣辉等编, 北京: 气象出版社, 1996, 196~205.
- 26 Chen Wen, H. —F. Graf, and Huang Ronghui, Interannual variability of East Asian winter monsoon and its relation to the summer monsoon, *Adv. Atmos. Sci.*, 2000, **17**, 48~60.
- 27 陈文, El Niño 和 La Niña 事件对东亚冬、夏季风循环的影响, 大气科学, **26**, 595~610.
- 28 Yeh Tucheng (Ye Duzheng), Dao Shihye (Tao Shiyun), and Li Meitsun (Li Maicun), The abrupt change of circulation over the Northern Hemisphere during June and October, *Atmosphere and Sea in Motion*, edited by Charney, J. G., and B. Bolin, 1959, 249~267.
- 29 Huang Ronghui, Yin Baoyu, and Liu Aidi, Intraseasonal variability of the East Asian summer monsoon and its association with the convective activities in the tropical western Pacific, *Climate Variability*, edited by Ye Duzheng et al., Beijing: Chinese Meteorological Press, 1993, 134~155.
- 30 Lu Riyu, interannual variability of the summer time North Pacific subtropical high and its relation to atmospheric convection over the warm pool, *J. Meteor. Soc. Japan*, 2001, **79**, 771~783.
- 31 Lu Riyu, and B. W. Dong, Westward extension of North Pacific subtropical high in summer, *J. Meteor. Soc.*

Japan, 2001, **79**, 1229~1241.

32 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探讨, 气候与环境研究, 1998, **3**, 300~313.

33 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, **11**, 1~9.

34 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境条件, 气候与环境研究, 1998, **3**, 290~299.

35 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.

36 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.

37 张庆云, 1880 年以来华北降水及资源的变化, 高原气象, 1999, **18**, 486~495.

38 黄刚, 东亚夏季风环流异常指数与夏季气候变化关系的研究, 应用气象学报, 1999, **10**, 61~69.

39 Wang Huijun, The weakening of the Asian monsoon circulation after the end of 1970's, *Adv. Atmos. Sci.*, **18**, 376~386.

40 Wang Huijun, Instability of the East Asian summer monsoon—ENSO relations, *Adv. Atmos. Sci.*, **19**, 1~11.

41 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.

42 宋正山、杨辉、张庆云, 华北地区水资源各分量的时空变化特征, 高原气象, 1999, **18**, 552~566.

Studies on the Relationship between the Severe Climatic Disasters in China and the East Asia Climate System

Huang Ronghui, Chen Jilong, Zhou Liantong, and Zhang Qingyun
(Institute of Atmospheric Physics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100080)

Abstract In the base of summarizing the studies on the kinds, the characteristics of spatio-temporal distribution and the formation mechanism of the severe climatic disasters such as droughts and floods etc. in China, the impacts of the East Asian climate system on the water cycle in East Asia and the severe climatic disasters such as droughts and floods etc. occurred in China are analyzed in this study. Especially, the formation mechanism of severe climatic disasters in China are analyzed and discussed from the effects of various components of the East Asia climate system including the East Asian monsoon, the western Pacific subtropical high, and the disturbances in mid-latitudes in the atmosphere, the ENSO cycle, the thermal states of the West Pacific warm pool and the Indian Ocean in the Ocean, and the dynamical and thermal effects of the Tibetan Plateau and the snow cover in the Tibetan Plateau on the occurrence of climatic disasters in China. Moreover, the influencing processes of the East Asian climate system anomaly on water cycle in East Asia and severe climatic disasters in China are analyzed further combining with the actual facts of particularly severe flood occurred in the Yangtze River valley in the summer of 1998 and the prolonged droughts occurred in North China from the late 1970s.

Key words: severe climatic disaster; drought; flood; East Asian climate system; water cycle