

2004 年中国长江以南地区严重秋旱特征及其 同期大气环流异常

牛宁^{1,2} 李建平²

1 兰州大学大气科学学院, 兰州 730000

2 中国科学院大气物理研究所大气科学与地球流体力学数值模拟国家重点实验室, 北京 100029

摘 要 利用 2004 年 8~10 月的中国 160 台站降水资料以及 NCEP/NCAR 再分析资料, 分析了 2004 年秋季发生在中国长江以南地区的严重干旱 (简称 2004 年长江以南秋旱) 前兆和发展特征以及秋旱持续期间的东亚大气环流异常。结果表明: 2004 年长江以南秋旱是以 8 月在广西境内出现小范围干旱为前兆, 9 月扩展到长江以南中部地区, 10 月遍及整个长江以南地区而达到鼎盛的一个发展过程。2004 年长江以南秋旱事件的发生、发展和鼎盛期都受到了同期东亚大气环流异常的很大影响: 2004 年秋季东南亚上空的整层经向水汽输送出现了显著的负异常, 说明 2004 年秋季长江以南地区上空的整层水汽在经向上由南向北的输送减弱而从北向南的输送加强; 850 hPa 水汽输送的异常加强了从北向南的水汽输送, 从而影响了秋旱的发展。结合 2004 年秋旱持续期间 850 hPa 流场异常分析, 2004 年秋季 850 hPa 的流场在台湾海峡附近上空出现了一个气旋性的异常环流, 它导致了西南水汽及其与越赤道气流和东南水汽的混合气流 (10°N~20°N, 135°E~150°E) 在向北的输送路径上发生改变, 并且此混合气流进入内陆从而加强了大陆上空由北向南的干冷气流, 进一步影响了秋旱的发展。通过分析 850 hPa 等压面上的垂直速度场发现: 秋旱同期长江以南地区下沉气流异常, 这种天气形势不利于降水的产生。2004 年秋季长江以南地区受到了闭合高压——西太平洋副热带高压 (简称西太副高) 的长期控制, 形成少雨的天气。除此之外, 中高纬地区脊区前方和槽区的后方易于冷空气的南下输送, 这在很大程度上也促使了秋旱的发展。

关键词 中国长江以南 秋旱 大气环流

文章编号 1006-9895 (2007) 02-0254-11

中图分类号 P426

文献标识码 A

The Features of the Heavy Drought Occurring to the South of the Yangtze River in China as well as the Anomalies of Atmospheric Circulation in Autumn 2004

NIU Ning^{1,2} and LI Jian-Ping²

1 College of Atmospheric Sciences, Lanzhou University, Lanzhou 730000

2 State Key Laboratory of Numerical Modeling for Atmospheric Sciences and Geophysical Fluid Dynamics, Institute of Atmospheric Physics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100029

Abstract In order to study the features and the causes of the drought disaster, the drought occurring in the area to the south of the Yangtze River from August to October 2004 is examined by employing the monthly precipitation dataset of 160 stations in China and NCEP/NCAR reanalysis data. At the same time the atmospheric circulation anomaly over East Asia is analyzed to investigate the causes of the drought. The results show that the drought takes place in Guangxi Province as a sign of the heavy drought in August, later it spreads eastward and northward in Sep-

收稿日期 2005-07-22, 2006-04-26 收修定稿

资助项目 国家自然科学基金资助项目 40523001、40325015

作者简介 牛宁, 女, 1980 年出生, 在读博士生, 主要从事中国降水、气候诊断方面的研究。E-mail: niuning1980@126.com

tember, and in October the drought area enlarges and is over the whole Yangtze River valley. With time, the ravage of the drought is aggravative. The drought occurring in the area to the south of the Yangtze River from August to October 2004 is the most severe drought disaster of all from 1951. The interannual change of the precipitation to the south of the Yangtze River is periodic. Besides this, the occurrence and continuance of the drought connect remarkably with the anomalies of the atmospheric circulation over East Asia. The negative anomaly of the meridional water vapor transport appears. The phenomena indicate the meridional transport is weaker from south to north but stronger from north to south than normal. At 850 hPa, the water vapor transport anomaly is strengthened and this kind of situation also urges the development of drought. The analysis of stream field at 850 hPa indicates that a cyclone anomaly lies over the Taiwan Strait. The cyclone anomaly results in a change of the direction of the mixed flow which is made up of three flows (the southeast flow, the cross-equatorial flow and the southeast flow), and the mixed flow that lies over the mainland strengthens the transport of dry cold flow from north to south, which speeds the development of drought. The analysis of vertical velocity at 850 hPa indicates the anomaly of the sinking flow during the drought which is not in favor of rain. The subtropical anticyclone controlling the area to south of the Yangtze River in autumn 2004 influences the development of drought. Especially, there is a closed isoline of 588 dagpm controlling the area to the south of the Yangtze River in September and October 2004, it is not inclined to raining. And in the middle and high latitude area, the positions of the trough and the ridge is favorable for the southward motion of the cold air, which will be propitious to the development of the drought.

Key words drought, south of Yangtze River, atmospheric circulation anomaly

1 引言

2004 年 8 ~ 10 月, 中国长江以南的大部分地区遭遇了 1951 年以来最为严重的干旱事件 (简称 2004 年长江以南秋旱)。这次发生在长江以南地区的秋旱事件持续时间长、范围大、旱情严重, 因此造成了很大的经济损失。干旱作为最严重的自然灾害之一, 它对于人民生活及其经济活动有着很大的影响。因此, 认识干旱事件的特征以及研究干旱的成因有着十分重要的意义。

长江中下游是旱涝发生频率较高的地区之一, 近年来对其旱涝的研究倍受关注。许多学者针对夏季长江中下游的异常降水做了很多研究分析和预测。赵振国^[1]对夏季旱涝特征及其环境场做了系统分析, 综述了各种天气系统与旱涝的关系。魏凤英^[2]对长江中下游夏季降水异常以及强迫因子作了深入探讨。据建华等^[3]则通过定义一个东亚季风指数来描述长江中下游夏季降水和气温的变化。张琼等^[4]主要研究了夏季长江中下游旱涝和印度洋海温以及南海海温的关系, 指出前春赤道印度洋海温异常偏暖, 则夏季南海海温偏暖, 那么长江中下游易涝, 反之, 长江中下游易旱。张庆云等^[5]则针对夏季长江流域暴雨洪涝灾害的天气气候条件作了系统的研究, 指出夏季长江流域暴雨洪涝灾害发生时的

天气尺度环流的特征。陈乾金等^[6]研究了青藏高原冬季积雪异常和长江中下游主汛期旱涝的相关关系。李永康和马开玉^[7]描述了长江中下游夏季特大旱涝前期下垫面的特征以及汛期旱涝时 500 hPa 流场特征, 并分析了长江中下游汛期降水的旱涝影响因素。除此之外, 杨辉等^[8]对 2003 年夏季中国长江以南异常高温进行过研究。这些研究工作主要集中在对于长江流域旱涝以及夏季旱涝场的分析上, 而对长江以南地区秋季旱涝的研究则是比较少的, 针对长江以南的秋季干旱极端事件的个个分析则是少之又少的。因此, 本文选择 2004 年秋季发生在长江以南地区的干旱事件进行分析研究。

很多研究表明: 干旱过程常常是某种状态的异常环流型持续发展和长期维持的结果^[9~11]。因此, 深入认识旱涝事件的时空发展特征及其气候背景, 对了解影响旱涝的因子以及提高旱涝事件的预测水平有很大的帮助。本文在第 2 节介绍所用的资料, 第 3 节主要分析 2004 年长江以南秋旱事件的时空分布特征以及长江以南秋季降水年际变化特征, 第 4 节主要分析 2004 年长江以南秋旱期间东亚大气环流异常特征, 主要结论和讨论在第 5 节给出。

2 资料

本文使用了 1971 ~ 2000 年以及 2004 年 8 ~ 10

月的 NCEP/NCAR 全球逐月的 $2.5^\circ \times 2.5^\circ$ 的风场和比湿场(垂直方向为 8 层)、500 hPa 高度场,以及中国 160 台站的月降水资料。其中用 1971 ~ 2000 年的要素平均值作为各场的气候平均态。

3 2004 年长江以南秋旱降水特征分析

3.1 早期地域特征

2004 年的长江以南秋旱从 8 月就已经开始出现征兆,9、10 月逐步发展。图 1 是 2004 年长江以南秋旱发展示意图,从中可以看出此次长江以南秋旱空间发展的基本特征是:2004 年 8 月在中国广西地区最先出现降水距平百分率小于 -30% 的站点群(图 1a);9 月干旱范围扩大,向东向北扩展到广东、湖南、江西、贵州等省(图 1b);至 10 月,旱区又向东继续扩展到浙江、福建一带,向西则到达云南一带(图 1c),几乎覆盖了中国长江以南的绝大部分,秋旱达到极盛(此部分 -30% 的引入仅仅是为了直观地表述 2004 年长江以南秋旱事件空间发展基本特征的

需要,并非表征此次秋旱旱情程度,用其他降水距平百分率数值,如 -40%、-50% 等,所得结果也大致相同)。为了更加直观地叙述 2004 年 8~10 月秋旱发展的过程,我们将各月新增的降水距平百分率小于 -30% 的站点群分别成区:8 月降水距平百分率小于 -30% 的站点所覆盖的区域为 A 区,主要包括广西全省和广东省西南地区;9 月新增的降水距平百分率小于 -30% 的站点所覆盖的区域为 B 区,主要包括贵州、湖南和江西三省的南部以及广东省;10 月新增的降水距平百分率小于 -30% 的站点覆盖的区域为 C 区,根据地域的不同又分为 C1 区和 C2 区,其中 C1 区包括福建全省和浙江省南部,C2 区是指云南省(如图 1d 所示)。为了本文后面叙述的方便,将图 1d 中站点所覆盖的区域(即 A、B、C1、C2 四个分区的和)定义为长江以南区。由图 1d 可以直观地看出 2004 年秋旱发展的地域特征是:8 月以广西地区为初始的发展中心,之后向东、向北扩展至长江以南的中部地区,最后继续向西、向东发展到

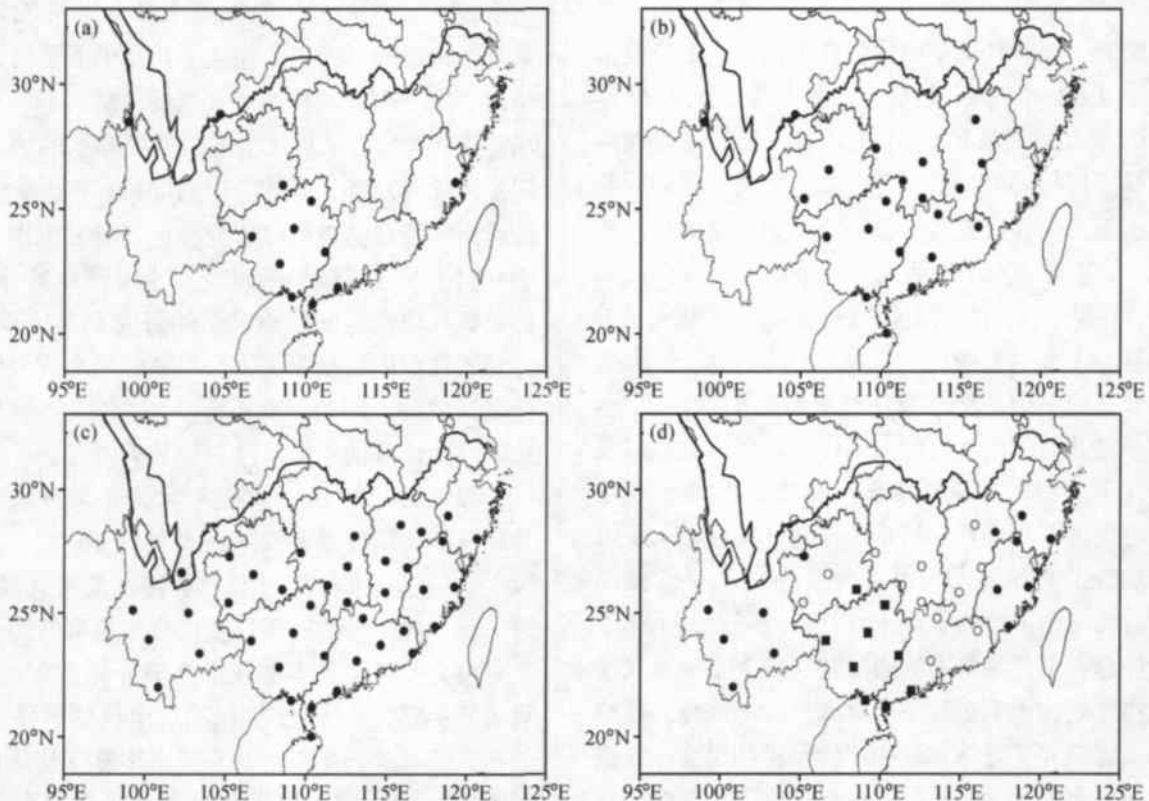


图 1 2004 年 8~10 月长江以南地区降水距平百分率 < -30% 的站点分布: (a) 8 月; (b) 9 月; (c) 10 月; (d) 8~10 月, 方块表示 8 月新增站点, 空心圆表示 9 月新增的站点, 实心圆表示 10 月新增的站点

Fig. 1 Distribution of the stations with the precipitation anomaly percentage less than -30 percent in (a) Aug., (b) Sep., and (c) Oct 2004. And (d) is the general figure from Aug to Oct 2004 (The solid squares represent the stations added in Aug; the hollow circles represent the ones added in Sep; the solid circles represent the ones added in Oct)

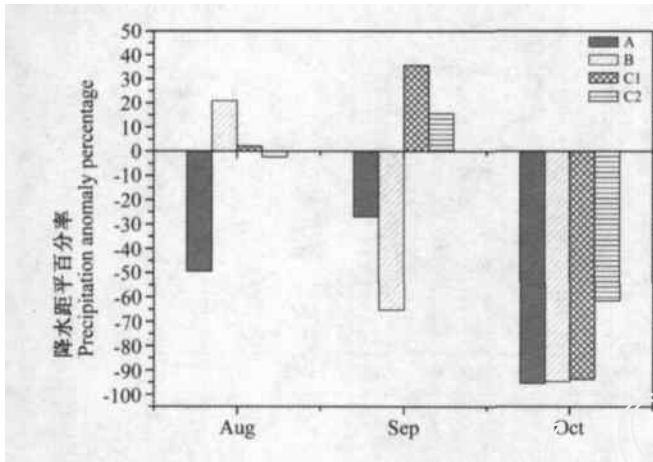


图2 2004 年长江以南秋旱四个分区 8~10 月降水距平百分率

Fig. 2 The precipitation anomaly percentage in the four drought areas to the south of the Yangtze River from Aug to Oct 2004

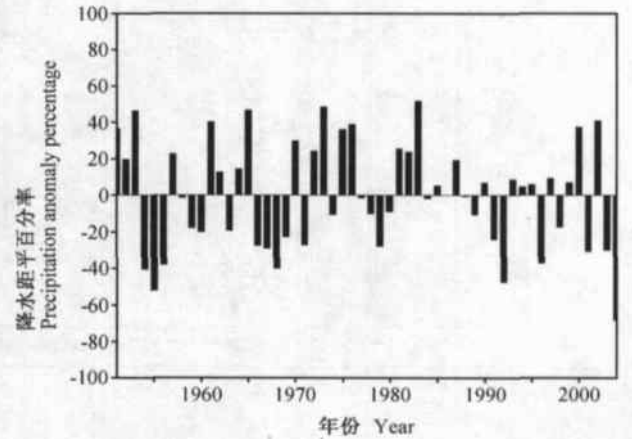


图3 1951~2004 年秋季(9~10 月)长江以南地区(图 1d 所示站点分布)平均降水距平百分率年际变化

Fig. 3 The interannual change of the precipitation anomaly percentage in the areas to the south of the Yangtze River (the stations shown in Fig. 1d) in autumn (Sep~Oct) from 1951 to 2004

整个长江以南地区,从而达到高峰。

3.2 早期时域特征

图 2 给出了四个分区 2004 年 8~10 月降水距平百分率的逐月对比,定量说明了随着时间发展,2004 年长江以南秋旱事件的发展特征是:8 月,A 区降水距平百分率为 -50%左右,其他三个区的降水距平百分率都接近正常,这很好地说明 2004 年长江以南秋旱在广西及广东西南地区最先出现征兆;9 月,A 区降水距平百分率有所增加达到 -30%,而 B 区降水距平百分率却达到 -60%以上,秋旱程度明显加剧,说明 9 月秋旱的重心转移到 B 区,即贵州、湖南和江西三省的南部以及广东省;10 月,A、B、C1 和 C2 四个区的降水距平百分率全部为显著的负值,并且除了 C2 区(即云南省)降水距平百分率为 -60%之外,其余三区的降水距平百分率均达到了 -90%以上,这表明在 10 月长江以南秋旱已经发展到鼎盛,遍及整个长江以南地区。

3.3 长江以南区秋季(9~10 月)降水年际变化

为了显示中国长江以南地区秋季降水的年际变化特征,图 3 给出了 1951~2004 年秋季(9~10 月)长江以南地区降水距平百分率的年际变化,从中可以看出:长江以南地区秋季降水有很大的年际变率,1953 年、1961 年、1965 年、1973 年、1983 年和 2002 年是 6 个比较偏涝的年份(降水距平百分率均高于 40%),1954 年、1955 年、1968 年、1992 年以及 2004 年是 5 个比较偏旱的年份(降水距平百分率均低于 -40%),并且 2004 年秋季降水

距平百分率达到 54 年来的最大负值,接近 -70%,说明 2004 年秋季是 50 多年来长江以南地区干旱程度最为严重的一年。此外,长江以南秋季降水还呈现出一定的周期性。关于中国长江以南地区秋季降水年际变化特征,我们将在另文中详细讨论。

4 2004 年长江以南秋旱期间东亚大气环流持续异常的分析

2004 年 8~10 月,在长江以南地区出现异常秋旱的天气可能与同期的大气环流形势持续异常有关,下面从几个方面对此次秋旱期间东亚大气环流异常进行讨论。

4.1 水汽场的特征分析

4.1.1 整层纬向水汽输送通量与经向水汽输送通量的分析

全球纬向、经向水汽输送距平图(图略)表明,2004 年 8~10 月的纬向水汽输送与历年比较没有太大的差异,而经向水汽输送则表现了显著异常。图 4 给出了多年平均的整层经向水汽输送与 2004 年 8~10 月整层经向水汽输送距平。由图 4a 可知:8 月,中国长江以南地区上空为从南向北的水汽输送,在南海上空存在着一个正的水汽输送中心。由图 4d 可知,在南海上空出现了大的负异常中心,并且中国长江以南的大部分地区也在负的异常值的控制之下,由南向北的水汽输送强度大大减弱。9

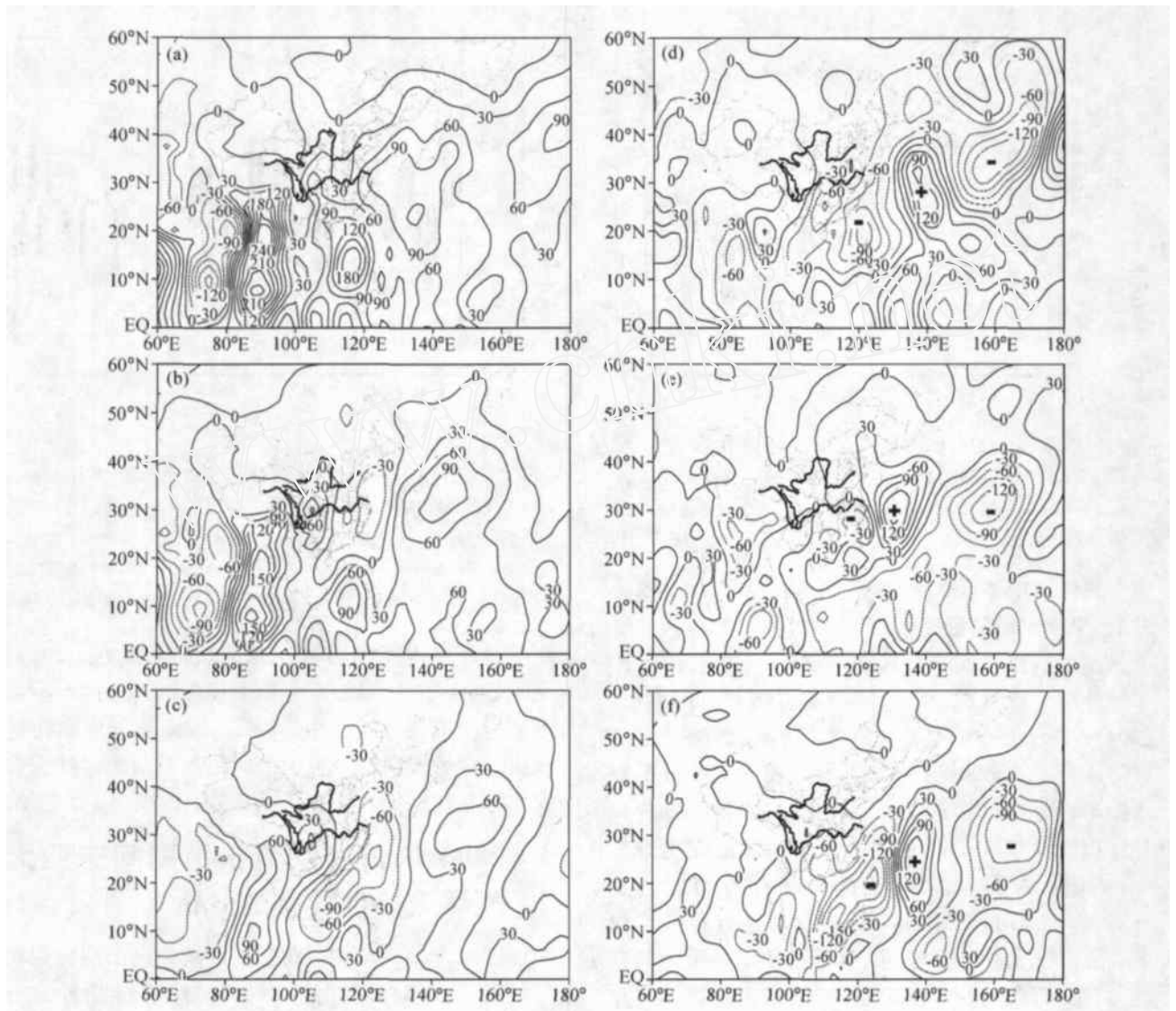


图4 多年平均整层经向水汽输送 (a~c) 与2004年整层经向水汽输送异常分布 (d~f): (a, d) 8月; (b, e) 9月; (c, f) 10月。单位: $10^{-6} \text{kg} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{m}^{-1}$, 等值线间隔为 $30 \times 10^{-6} \text{kg} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{m}^{-1}$

Fig. 4 The averaged meridional moisture transport (a, b, c) and the anomaly of meridional moisture transport in 2004 (d, e, f): (a, d) Aug; (b, e) Sep; (c, f) Oct. Units: $10^{-6} \text{kg} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{m}^{-1}$, the contour interval is $30 \times 10^{-6} \text{kg} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{m}^{-1}$

月(图4b),除了福建省和浙江的部分地区上空为从北向南的水汽输送之外,长江以南的大部分地区上空都是从南向北的水汽输送,由距平图(图4e)可知,2004年9月长江以南大部分地区由南向北的经向水汽输送继续减弱,并且在长江以南的东部地区出现负的异常中心。10月(图4c),长江以南地区上空的水汽输送大约以 110°E 为界分成两个部分:东南地区(包括广东、江西、福建和浙江省以及湖南东部地区)上空的水汽输送为从南向北,而西南地区(包括广西、贵州云南和湖南西部地区)上空的水汽输送为从北向南。由2004年10月整层

经向水汽输送图(图略)可知:长江以南地区上空都为从北向南的经向水汽输送,并且在南海上空的负值中心强度变大,东南亚大部分地区上空都为由北向南的经向水汽输送。从距平图(图4f)看出:整个长江以南地区上空都在负的异常值的控制之下,说明东南地区上空由北向南的水汽输送加强而西南地区上空由南向北的水汽输送减弱,异常范围较前向南有所扩展,并且在 $(20^{\circ} \text{N}, 125^{\circ} \text{E})$ 附近出现一个负的异常中心。总的来说,2004年8~10月长江以南 110°E 以西地区上空从南向北经向水汽输送有所减弱,其以东地区上空从北向南的水汽输

送有所加强, 这种水汽输送形势对于中国 2004 年长江以南秋旱事件具有一定的影响。由图 4d~f 看出: 2004 年 8~10 月在台湾海峡南部上空、东海上空以及北太平洋中部上空附近分别出现一个负、正、负的整层经向水汽输送异常中心, 这种在东亚地区上空一直维持着“- + -”的模式将中国长江以南地区与太平洋地区联系起来, 除了 9 月强度稍微减弱之外, 3 个月来一直稳定维持, 这种型态的维持与中国长江以南地区降水异常是否存在着联系有待于进一步的研究。

4.1.2 850 hPa 等压面的水汽输送分析

图 5 是 2004 年 8~10 月 850 hPa 等压面上的水汽输送通量矢量及其距平图, 由图可见: 2004 年

8 月(图 5a), 西南气流与南面过来的越赤道气流汇合沿着 10°N~20°N 的纬度带平行向东前进, 少量水汽由广西、广东上空进入我国, 大部分在太平洋上空与东南气流汇合北上在中国长江下游一带登陆进入到中国长江以南地区, 并且在内陆转向南下, 最后出境与纬向平行的西南气流汇合, 在中国台湾海峡上空形成了一个没有闭合的气旋性水汽输送。气候背景中(图略), 8 月长江以南地区上空为由南向北的西南水汽输送, 而 8 月距平图(图 5d)表明: 在长江以南上空为由东北向西南的异常水汽, 说明气候态中长江以南地区上空由南向北的水汽输送减弱。9 月(图 5b), 水汽输送形势在 8 月的基础上继续发展: 三个水汽输送(西南水汽、越赤

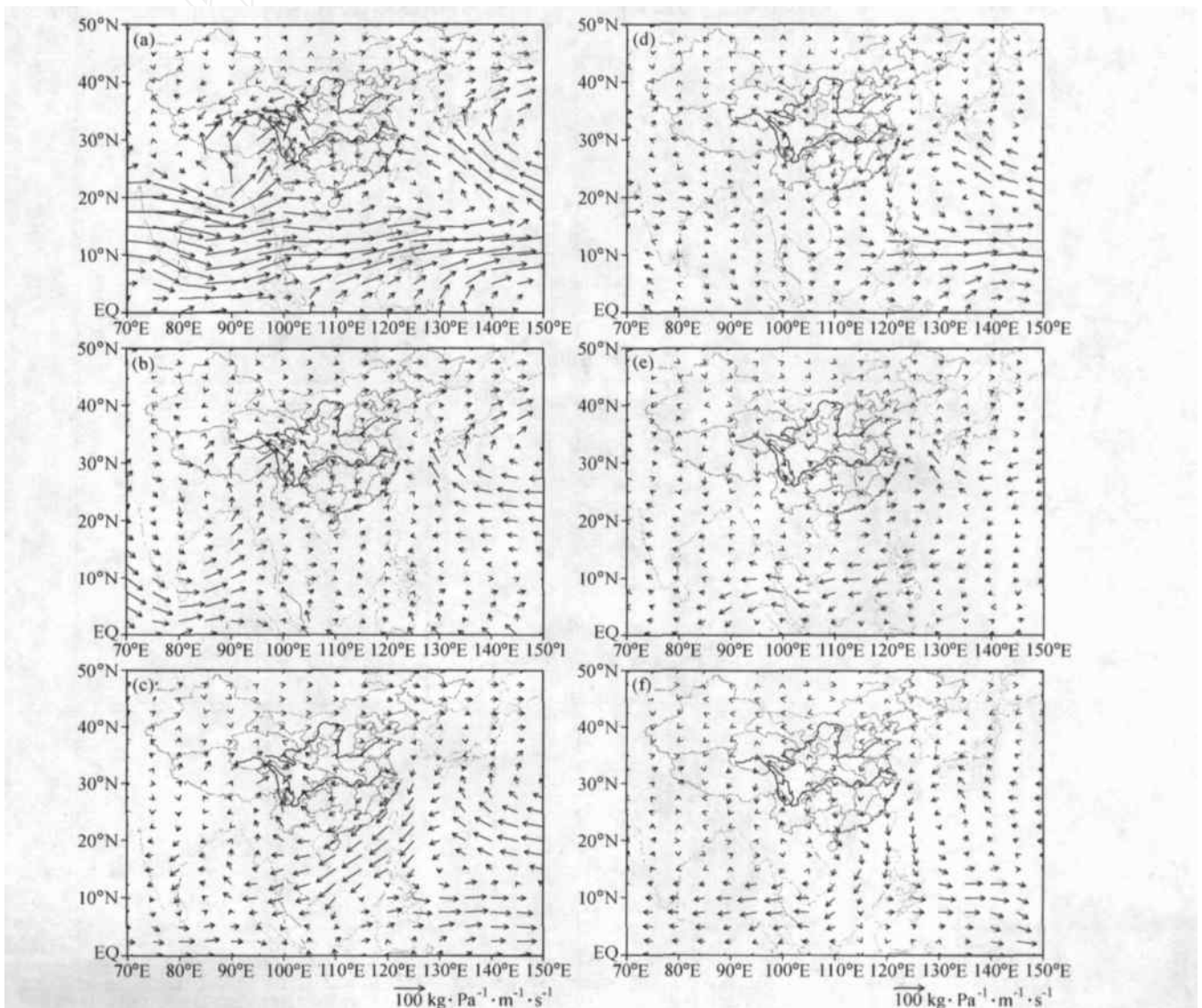


图 5 2004 年 850 hPa 等压面上水汽输送通量矢量 (a~c) 与距平 (d~f) 图: (a, d) 8 月; (b, e) 9 月; (c, f) 10 月
Fig. 5 The monthly moisture fluxes (a, b, c) and their anomalies (d, e, f) at 850 hPa in 2004: (a, d) Aug; (b, e) Sep; (c, f) Oct

道气流以及东南水汽输送) 在南海上空汇合后北上, 在东海上方形成了一个闭合的气旋性环流, 而东南方向的水汽从长江下游进入内陆之后南下控制了长江以南地区, 并且 9 月水汽输送通量矢量大小比 8 月有所减小。由图 5e 可知: 9 月整个长江以南地区上空都为由北向南的异常水汽, 这使气候背景中由北向南的水汽输送加强。10 月 (图 5c), 影响中国内陆的水汽输送主要是在 $40^{\circ}\text{N} \sim 50^{\circ}\text{N}$ 之间向东的水汽输送带, 这条水汽输送主要是从西面进入中国高纬地区, 在东北地区转向南下穿过中国内陆地区, 整个长江以南地区都是由北向南的水汽输送, 而由北向南的异常输送 (图 5f) 使其加强。概括而言, 2004 年 8~10 月的 850 hPa 高度场上由

北向南的水汽输送加强, 这种水汽输送形势推进了秋旱的发展。

下面, 进一步结合 850 hPa 流场分析影响 2004 年长江以南秋旱发展的大气环流异常。

4.2 850 hPa 流场异常特征分析

图 6 是 2004 年 8~10 月 850 hPa 流场距平图与流场图, 从中可以看出: 8 月 (图 6a), 在东亚上空 850 hPa 流场上存在三个气旋性环流异常, 其中在台湾海峡附近上空的气旋性异常最强, 并且在其以南的太平洋上空有异常的东南风, 它们在很大程度上影响了中国长江以南地区秋季的天气。从 2004 年 8 月的流场图 (图 6d) 来看, $130^{\circ}\text{E} \sim 150^{\circ}\text{E}$ 越赤道气流和东南季风以及西南季风汇合之后, 并没有按

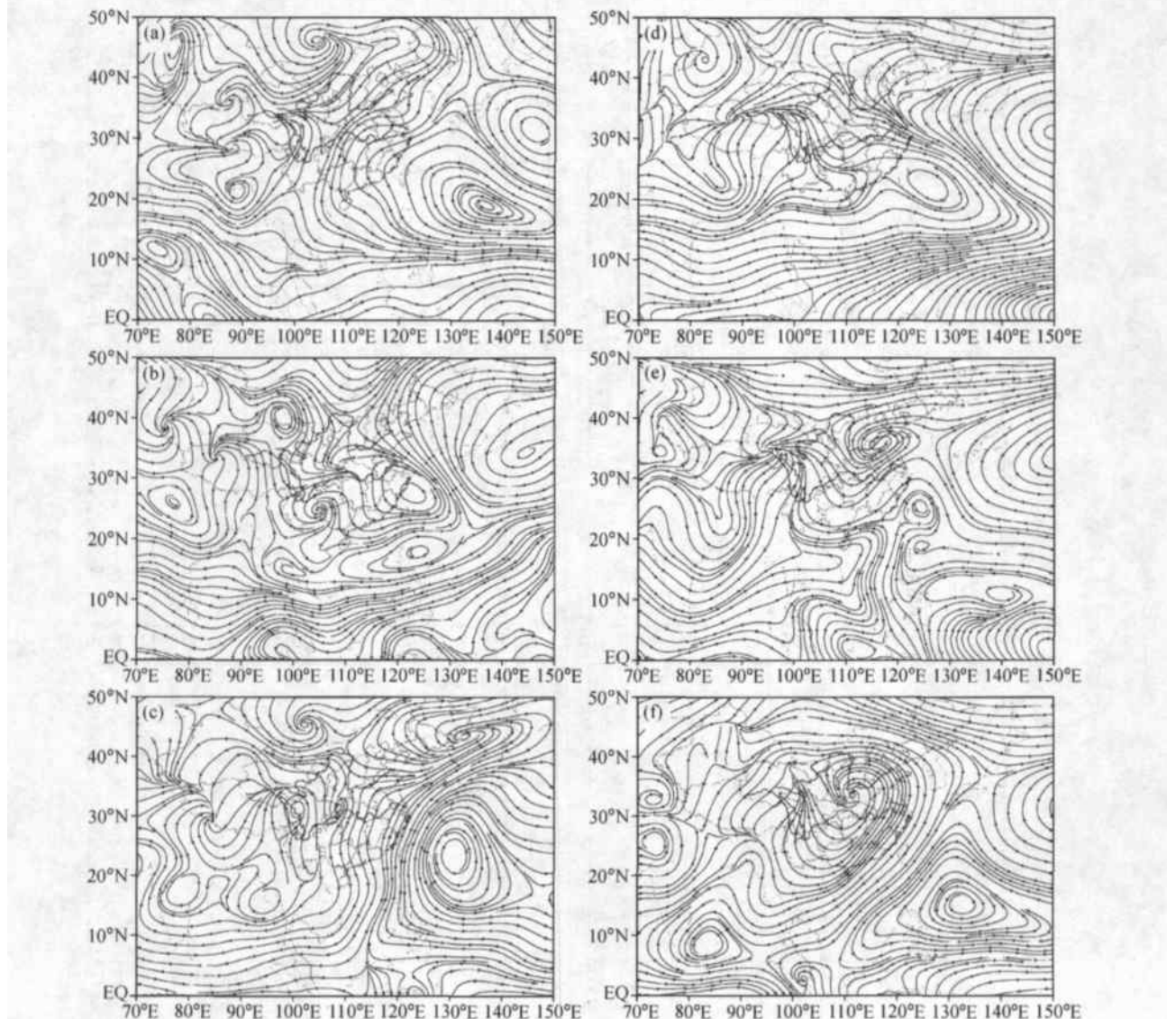


图 6 2004 年 850 hPa 流场距平 (a~c) 与流场 (d~f) 图: (a, d) 8 月; (b, e) 9 月; (c, f) 10 月

Fig. 6 The anomalies of stream field (a, b, c) and the stream field (d, e, f) at 850 hPa in 2004: (a, d) Aug; (b, e) Sep; (c, f) Oct

照历年路径沿太平洋北上, 而是使其偏西并沿西北方向前进, 大部分气流在长江流域地区以东南风的形式进入中国内陆, 截断了从北部而来的气流, 并且由此进入中国内陆的气流分量加强了由北向南的气流, 同时在华中一带形成“倒脊”, 其势力范围影响到了长江以南地区。进入中国的西南季风明显减弱, 只有少部分在广东一带登陆。

9 月 (图 6b), 台湾海峡上空的气旋性异常明显加强并朝西北方向移动, 中心已经接近中国长江中下游上空。从气候背景场来看 (图略), 9 月影响中国长江以南地区的已经不单单是西南气流, 而是它与 130°E 附近的越赤道气流在太平洋上空的汇合流, 这支气流在太平洋上空汇合, 然后沿东南方向西上在中国东南部进入大陆。2004 年 9 月 (图 6e), 台湾海峡上空的气旋性环流与 8 月对比沿东南方向进一步前进。由于这个气旋性环流的存在, 使得太平洋上空的东南气流并没有按照历年的方向在太平洋北上, 而是绕过这支气旋性环流在长江流域地区侵入中国并且在内陆沿着纬向前进。正是由于东南气流的入侵, 使得历年影响中国大陆的西南气流在南海上空绕道。2004 年 9 月控制中国南方大陆的气流是改变了方向的东南气流, 由距平图可知, 长江以南的大部分地区都处于由北向南的异常气流的控制之下, 它加强了长江以南地区由北向南的气流分量的输送, 这种流场形势影响了 9 月长江以南地区的秋旱。

由 2004 年 10 月距平图 (图 6c) 可知, 长江以南的大部分地区上空都为由北向南的异常气流, 流场图 (图 6f) 表明: 在华北地区上空存在一个强大的反气旋, 整个长江以南地区都处于这个反气旋的控制之下。2004 年 10 月, 长江以南地区上空由北向南的气流得到加强, 促进了秋旱的进一步的发展。

4.3 850 hPa 垂直运动异常特征分析

图 7 给出了 850 hPa 等压面多年平均垂直速度场及 2004 年 8~10 月垂直速度场异常场。如图 7a 所示, 8 月, 整个长江以南地区上空都为上升气流, 由距平图 (图 7d) 可知, 除了在广西、广东的部分地区为垂直速度正距平, 此处上升气流有所减弱, 不利于降水。9 月 (图 7b) 在长江以南地区的中部地区 (广东和江西及湖南的部分地区) 上空为下沉气流, 而由距平图 7e 可知, 除了云南和浙江及福建的东部地区之外长江以南绝大部分地区出现正异

常, 长江以南中部地区上空下沉气流加强, 这与 9 月秋旱的发展具有一定的联系。10 月 (图 7c), 大约以 110°E 附近为界将长江以南地区上空垂直速度场分为两部分, 其以东地区上空盛行下沉气流, 以西地区上空盛行上升气流, 距平图 (图 7f) 表明: 除了云南省的部分地区之外, 长江以南地区垂直速度都为正距平, 110°E 以东地区上空下沉气流有所加强而以西地区上空上升气流有所减弱, 这种天气不利于降水的产生影响了秋旱的进一步的发展。

4.4 500 hPa 高度场异常特征分析

我国长江流域的降水与西太平洋副高 (简称西太副高) 的活动有着很大的关系, 这部分通过分析 2004 年长江以南地区秋旱期间 500 hPa 高度场和异常场来分析对流层中层的天气系统对此次秋旱事件的影响。图 8 给出了 2004 年 8~10 月 500 hPa 高度场及其距平图。如图 8a 所示, 2004 年 8 月 500 hPa 高度场分布比较平直, 乌拉尔山附近的脊以及欧洲浅槽比较弱, 西太副高脊线在东亚地区位于 30°N 附近, 588 线并没有到达中国大陆, 西太副高的中心位于西太平洋上空, 而在高纬地区槽脊并不是非常明显。从异常场 (图 8d) 看出, 除了广东、福建以及江西和云南的部分地区之外, 长江以南地区都处于正异常的控制之下。9 月 (图 8b), 等高线更加平直, 中国大陆上空的西太副高脊线南撤到 25°N 附近, 原来存在的西太平洋上空的 588 线所围绕的面积减小, 与 8 月比较, 最明显的变化是在中国长江以南地区上空出现了一个闭合高压中心, 即西太副高出现了分裂, 这个闭合的高压中心控制了整个长江以南地区, 整个地区一直处于闭合的副热带高压的长期控制之下, 这与 2004 年 9 月长江以南地区大范围的秋旱有着很大的关系。而在中高纬地区, 东亚大槽的雏形微弱可见, 槽后有利于北方冷空气的南下, 有利于秋旱的进一步发展。从 9 月的距平图 (图 8e) 看出: 所有长江以南地区都处于正的异常值的控制之下, 说明下沉气流加强, 不利于降水的产生。10 月 (图 8c), 西太副高脊线整体进一步南撤到 20°N 附近, 长江以南地区上空闭合的 588 线仍然维持, 只是比较 9 月有所南撤, 但对于东南亚晴朗干旱的天气仍有一定的影响。并且在菲律宾附近的太平洋上空出现一个弱的槽, 西太副高的脊线被其截断, 弱槽改变了其西部上空的气流方向, 使其变成一个反气旋性质的绕

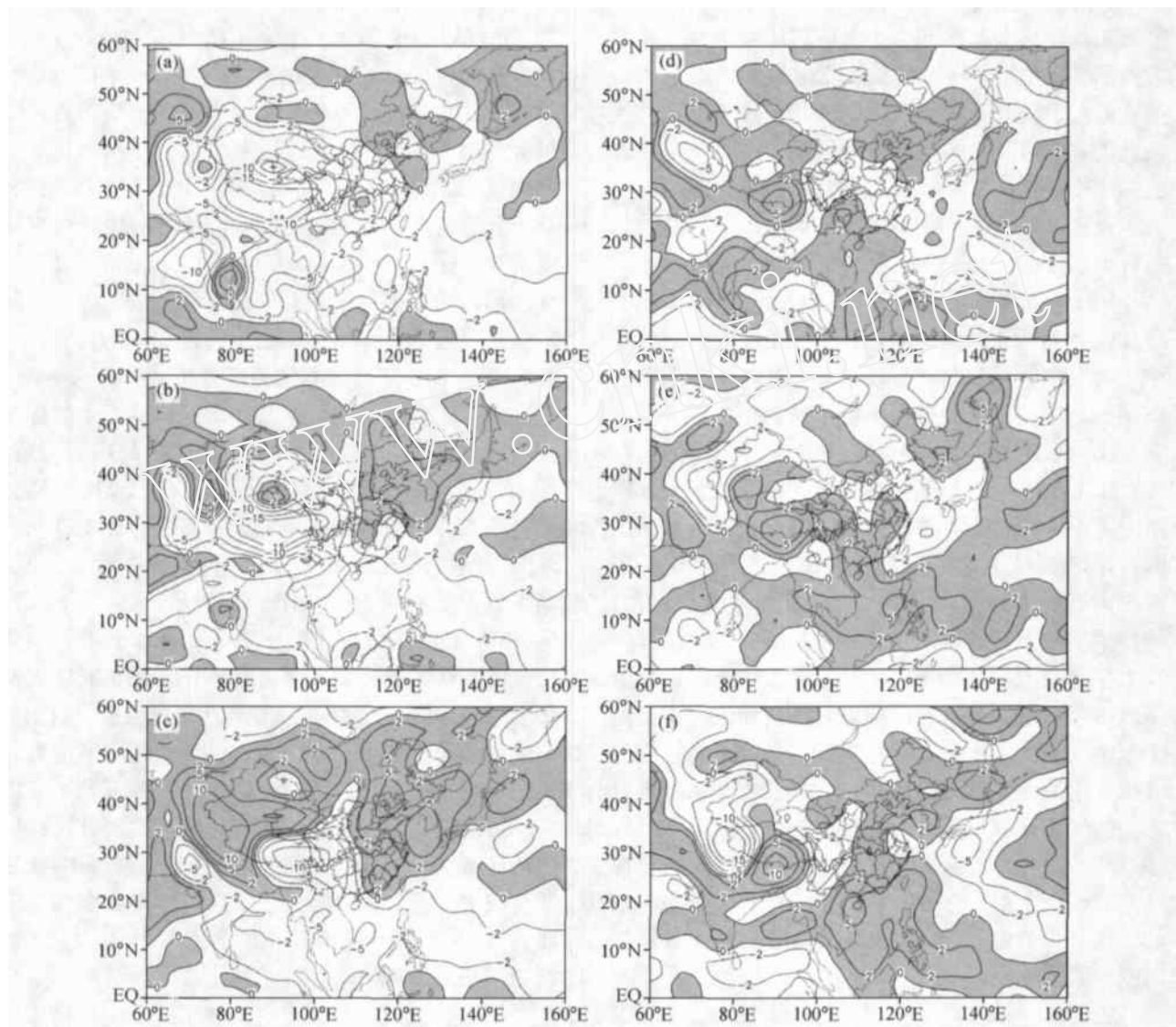


图7 850 hPa 多年平均垂直速度场 (a~c, 阴影表示下沉运动) 与 2004 年 850 hPa 垂直速度场距平 (d~f, 阴影表示正异常) 图 (单位: 10^{-2}Pa/s): (a, d) 8 月; (b, e) 9 月; (c, f) 10 月

Fig. 7 The mean vertical velocity (a, b, c) and the anomalies of vertical velocity in 2004 (d, e, f) at 850 hPa: (a, d) Aug; (b, e) Sep; (c, f) Oct. The shaded areas represent sinking flow in (a, b, c), and positive anomalies in (d, e, f). Units: 10^{-2}Pa/s

流, 从北向南的异常气流加强, 南向输送的干冷空气加强, 这对于秋旱的发展有一定的作用。除此之外, 东亚大槽已经形成, 经向环流加强, 青藏高原北部伸向贝加尔湖的脊线微弱可见, 脊区前方和槽区后方的区域易于冷空气从高纬地区南下, 过厚的冷空气不利于降水的产生。概括而言, 2004 年 8~10 月西太副高脊线逐步南撤, 9 月在中国长江以南地区上空出现了一个闭合的副高中心, 10 月除了西太副高的异常影响中国长江以南的秋旱天气, 中高纬地区脊前槽后的区域也有冷空气南下, 这些都对长江以南秋旱的发生具有很大的作用。

5 结论和讨论

本文对 2004 年秋季发生在长江以南地区的干旱事件进行分析, 并指出 2004 年 8~10 月发生在中国长江以南地区的秋旱事件从空间上看是以广西地区为初始的发展中心, 之后向东、向北发展至长江以南的中部, 最后继续分别向西、向东发展到整个长江以南地区的一个过程。从时间上看各分区的旱情是随着时间的发展而逐步加剧的。并且 2004 年是秋季长江以南地区降水自 1951 年以来最干旱的一年。

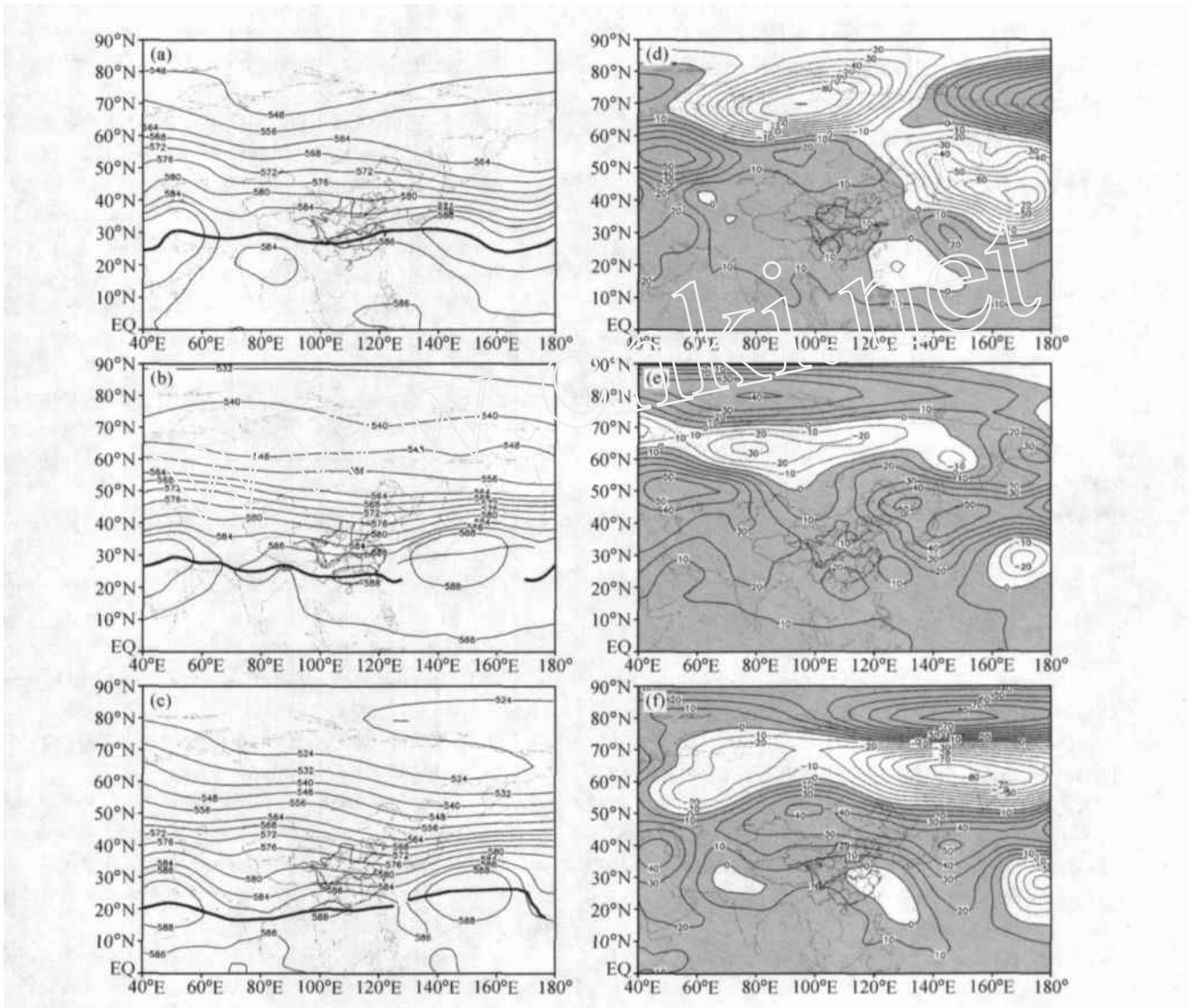


图 8 2004 年 500 hPa 高度场 (a~c, 单位: dagpm, 粗实线表示副高脊线) 及其距平 (d~f, 单位: gpm, 阴影表示正异常): (a、d) 8 月; (b、e) 9 月; (c、f) 10 月

Fig. 8 The monthly geopotential height fields (dagpm) (a, b, c) and their anomalies (gpm) (d, e, f) at 500 hPa in 2004: (a, d) Aug; (b, e) Sep; (c, f) Oct. The thick solid lines is the subtropical high ridge lines in (a, b, c), and the shaded areas represent positive anomalies in (d, e, f)

2004 年秋季长江以南地区发生的秋旱与同期的东亚大气环流持续异常都有着很大的关系。(1) 2004 年 8~10 月长江以南大部分地区上空由南向北的整层经向水汽输送减弱, 其他小部分地区上空由北向南的整层经向水汽输送加强。850 hPa 等压面上由北向南的水汽输送得到加强, 这种水汽输送形势有利于秋旱的发展。(2) 秋旱同期的 850 hPa 流场可以看出: 台湾海峡上方出现的气旋性环流异常的维持和发展影响了中国长江以南地区的三条水汽输送 (西南水汽输送、130°E~150°E 跨赤道气流

水汽输送以及西太平洋上的东南气流水汽输送) 的路径改变, 部分转向进入中国内陆并加强了从北向南的气流, 对 2004 年秋季中国长江以南地区的秋旱具有一定的影响。(3) 秋旱同期 850 hPa 垂直速度场表明: 秋旱同期长江以南地区上空下沉气流异常, 这种天气形势不利于降水的产生。(4) 500 hPa 高度场的异常表现为 2004 年 9~10 月在长江以南地区上空出现一个闭合的 588 线, 即西太副高出现分裂, 整个长江以南地地区都在副热带高压中心的控制之下, 所以造成了高温少雨的天气, 长江以南

秋旱发展。另外, 10 月在菲律宾附近的西太平洋上空出现的槽改变了其以西气流的方向, 加强了南向的冷空气的输送, 维持长江以南秋旱的发展。此外, 中高纬地区脊区前方和槽区的后方易于冷空气的南下输送, 进一步增强了冷空气, 这在很大程度上也促使了秋旱的发展。

本文得到的结果只是初步的, 对于长江以南地区秋旱的年际变化特征和旱、涝年的气候学特征, 以及其他异常环流因子与长江以南秋旱的可能联系都是值得进一步的深入研究。这些将在另文中加以分析。

致谢 本文所用的部分资料是由中国气象局气象信息中心提供, 同时得到中国气象局国家气候中心的任福民老师以及中国科学院大气物理研究所的占瑞芬、南素兰、丁瑞强博士等的帮助, 特此致谢!

参考文献 (References)

- [1] 赵振国. 中国夏季旱涝环境场. 北京: 气象出版社, 1999. 10 ~ 13
Zhao Zhenguo. *The Background of Drought and Flood over China during Summer* (in Chinese). Beijing: China Meteorological Press, 2000. 10 ~ 13
- [2] 魏凤英. 长江中下游夏季降水异常变化与若干强迫因子的关系. 大气科学, 2006, **30** (2): 202 ~ 211
Wei Fengying. Relationships between precipitation anomaly over the middle and lower reaches of the Changjiang River in Summer and forcing factors. *Chinese Journal of Atmospheric Sciences* (in Chinese), 2006, **30** (2): 202 ~ 211
- [3] 琚建华, 钱诚, 曹杰. 东亚季风的季节内振荡研究. 大气科学, 2005, **29** (2): 187 ~ 194
Ju Jianhua, Qian Cheng, Cao Jie. The intraseasonal oscillation of East Asia summer monsoon. *Chinese Journal of Atmospheric Sciences* (in Chinese), 2005, **29** (2): 187 ~ 194
- [4] 张琼, 刘平, 吴国雄. 印度洋和南海海温与长江中下游旱涝. 大气科学, 2003, **27** (6): 992 ~ 1006
Zhang Qiong, Liu Ping, Wu Guoxiong. The relationship between the flood and drought over the lower reaches of the Yangtze River valley and the SST over the Indian Ocean and the South China Sea. *Chinese Journal of Atmospheric Sciences* (in Chinese), 2003, **27** (6): 992 ~ 1006
- [5] 张庆云, 陶诗言, 张顺利. 夏季长江流域暴雨洪涝灾害的天气气候条件. 大气科学, 2003, **27** (6): 1018 ~ 1030
Zhang Qingyun, Tao Shiyan, Zhang Shunli. The persistent heavy rainfall over the Yangtze River valley and its associations with the circulations over East Asia during summer. *Chinese Journal of Atmospheric Sciences* (in Chinese), 2003, **27** (6): 1018 ~ 1030
- [6] 陈乾金, 高波, 李维京, 等. 青藏高原冬季积雪异常和长江中下游主汛期旱涝及其与大气和海洋环境场关系的研究. 气象学报, 2000, **58** (5): 582 ~ 595
Chen Qianjin, Gao Bo, Li Weijing, et al. Studies on relationships among winter snow cover anomaly over the Tibetan Plateau and droughts/floods during Meiyu season in the middle and lower reaches of the Yangtze River as well as atmosphere/ocean. *Acta Meteorologica Sinica* (in Chinese), 2000, **58** (5): 582 ~ 595
- [7] 马开玉, 李永康. 长江中下游汛期降水和旱涝的影响因子与预测方法. 见: 孙安健, 吴国雄, 李安康编. 严重旱涝与低温的诊断分析和预测方法研究. 北京: 气象出版社, 2000. 188 ~ 192
Ma Kaiyu, Li Yongkang. Influence factors and prediction method of summer precipitation and drought/flood in the middle and lower reaches of Yangtze River valley. *The Analysis of Serious Flood/Drought and Low Temperature and the Study of Prediction Method* (in Chinese). Sun Anjian, WU Guoxiong, Li Yongkang, Eds. Beijing: China Meteorological Press, 2000. 188 ~ 192
- [8] 杨辉, 李崇银. 2003 年夏季中国长江以南异常高温的分析研究. 气候与环境研究, 2005, **10** (1): 80 ~ 85
Yang Hui, Li Chongyin. Diagnostic study of serious high temperature over South China in 2003 summer. *Climatic and Environmental Research* (in Chinese), 2005, **10** (1): 80 ~ 85
- [9] 陶诗言, 徐淑英. 夏季江淮流域持久性旱涝现象的环流特征. 气象学报, 1962, **32** (1): 1 ~ 10
Tao Shiyan, Xu Shuying. Some aspects of the circulation during the period of the persistent drought and flood in Yangtze and Huaihe valleys in summer. *Acta Meteorologica Sinica* (in Chinese), 1962, **32** (1): 1 ~ 10
- [10] 毕慕莹. 近四十年来华北干旱的特点及其成因. 旱涝气候研究进展. 北京: 气象出版社, 1990. 23 ~ 321
Bi Muying. The features and causes of drought in North China for recent forty years. *The Advance of Study about the Drought and Flood* (in Chinese). Beijing: China Meteorological Press, 1990. 23 ~ 321
- [11] 卫捷, 张庆云, 陶诗言. 1999 年及 2000 年夏季华北严重干旱的物理成因分析. 大气科学, 2004, **28** (1): 125 ~ 137
Wei Jie, Zhang Qingyun, Tao Shiyan. Physical causes of the 1999 and 2000 summer severe drought in North China. *Chinese Journal of Atmospheric Sciences* (in Chinese), 2004, **28** (1): 126 ~ 136