

孙建华, 卫捷, 赵思雄, 等. 2011. 2009年夏季异常天气及其环流分析 [J]. 气候与环境研究, 16 (2): 209-220. Sun Jianhua, Wei Jie, Zhao Sixiong, et al. 2011. The abnormal weather and its circulation in summer of 2009 [J]. Climatic and Environmental Research (in Chinese), 16 (2): 209-220.

2009年夏季异常天气及其环流分析

孙建华¹ 卫捷² 赵思雄² 陶诗言²

1 中国科学院大气物理研究所云降水物理与强风暴实验室, 北京 100029

2 中国科学院大气物理研究所国际气候与环境研究中心, 北京 100029

摘要 简要讨论了2009年夏季的异常天气过程和环流形势演变, 主要涉及南海夏季风、华南、江淮、东北降雨等情况。该年夏季未发生区域或流域性的洪涝, 而干旱的面积较大。2009年南海夏季风在5月第4候爆发, 爆发后季风的推进出现了异常, 同时, 印度季风的推进出现了异常。华南前汛期降雨时间长、降水范围广。江淮梅雨期典型梅雨形势没有建立, 为空梅年, 但西风槽和登陆台风带来了几次降雨过程。华北降水偏弱, 东北低涡活动频繁, 使东北北部地区降水偏多, 出现了低温冷害。此外, 7月8~24日和8月15日至9月14日两段时期长江中下游及其以南地区在副热带高压的控制下, 出现了大范围持续高温, 加剧了南方地区干旱。

关键词 华南前汛期 梅雨 东北低涡 季风

文章编号 1006-9585 (2011) 02-0209-12 **中图分类号** P448 **文献标识码** A

The Abnormal Weather and Its Circulation in Summer of 2009

SUN Jianhua¹, WEI Jie², ZHAO Sixiong², and TAO Shiyan²

1 *Laboratory of Cloud-Precipitation Physics and Severe Storms, Institute of Atmospheric Physics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100029*

2 *International Center for Climate and Environment Sciences, Institute of Atmospheric Physics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100029*

Abstract The main weather processes and their related circulations in summer 2009, including the South China Sea monsoon and the precipitation features over South China, the Yangtze-Huaihe River basin, and northeast China, are discussed. There were not wide-area floods, but serious heat wave and drought were reported over southern China. The South China Sea monsoon began at the fourth pentad of May. The Indian Monsoon was extremely abnormal than usual which may influenced the variation of rainband in China. The typical circulation and the related strong precipitation during the Meiyu period over the Yangtze River basin did not appeared, however, the westerlies troughs and landing typhoons brought several rainfall processes to the Yangtze-Huaihe River basin. The total precipitation over North China was below normal. The vortices over northeastern China were very active in the summer of 2009, which resulted in the more precipitation and low temperature in that area. In addition, the heat wave and drought occurred in southern China during 8 to 24 July and 15 August to 14 September, and both of the periods

收稿日期 2010-02-02 收到, 2010-04-28 收到修定稿

资助项目 中国科学院知识工程 KZCX2-YW-Q03-3, 国家重点基础研究发展规划项目 2010CB951804, 公益性行业 (气象) 科研专项经费 GYHY200906004

作者简介 孙建华, 女, 研究员, 主要从事中尺度天气分析和数值模拟。E-mail: sjh@mail.iap.ac.cn

were associated with the western Pacific subtropical high.

Key words pre-rainy season over South China, Meiyu, vortex in Northeast China, summer monsoon

1 引言

中国科学院大气物理研究所密切关注实时天气的分析和预测,特别是每年汛期(6~8月)都开展我国灾害天气机理分析及预测试验。采用有限区域数值天气预报模式对逐日雨区和天气形势进行实时预测,并定期举行天气会商,分析研究夏季的环流特征,重要灾害性天气系统的结构、演变。在汛期结束后,有针对性地对相关问进行科学总结(孙建华等,2004,2005,2006;陈红等,2007)。本文主要讨论2009年汛期中国主要的异常天气及其环流特征,分别讨论了该年的南海季风,华南、江淮、东北降雨,此外,由于2009年夏季的旱重于涝,本文还对造成5月东北北部地区的干旱和盛夏长江中游、江南干旱的环流形势进行简单分析。

总体来看,2009年的夏季暴雨洪涝影响的范围不大,但干旱区域的面积较大。长江中下游空梅,梅雨锋雨带不明显,华北雨季偏弱。降雨偏多地区为(见图1a):东北的北部地区降水偏多2~5成,局部偏多1倍以上;长江下游地区偏多2成(不是梅雨所致),东南沿海的福建和浙江偏多2~5成;西北的甘肃和宁夏等也偏多。从气温距平看(见图1b),全国大部分地区温度普遍比常年同期偏高,偏高 1°C 以上的区域主要出现在华

北、西北、长江中游;偏低的地区主要出现在新疆的北部和东北。

2 亚洲夏季风的推进和雨带分布

亚洲季风是全球大气环流中的一个重要环流系统,大多数研究学者将其分为印度季风和东亚季风两个子系统,两者既相互紧密联系,又有其相对独立性(Tao and Chen, 1987), Huang et al. (2003)对亚洲季风的研究做了总结。Tao and Chen (1987)指出,亚洲夏季风最早在南海爆发,平均于5月中旬爆发,然后分阶段向西北和北方逐渐推进。春末夏初南亚大陆上空的大气迅速加热,而其南方海洋上空的大气并无太多加热,这引起大陆与海洋之间大气温度梯度出现反相,即由“北冷南暖”变成“北暖南冷”。同时,低空出现西南风,而在对流层上部出现东北风,形成一个季风的直接环流圈。本文用上述3个指标作为南海夏季风爆发的判据。图2给出2009年南海夏季风爆发监测的3个指标的实况,图上显示看该年南海夏季风在5月第4候爆发。

2009年的印度季风为1946年以来最异常的一年,于5月25日爆发后,一度处于停滞状态,6月27日才推进到印度中部,印度降水偏少,6月28日印度季风突然北推大约500 km,到达印度的北部,同时降水也增强。6月,由于季风北进推

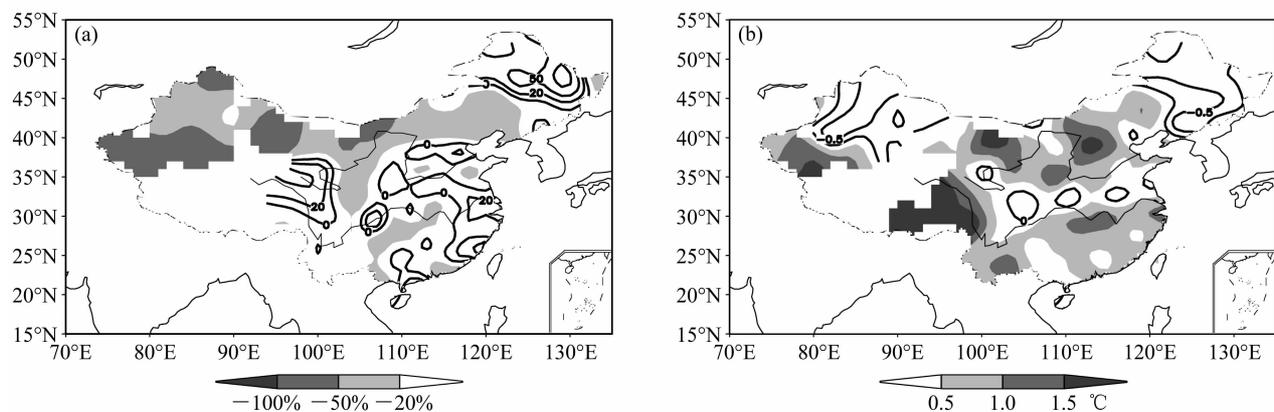


图1 2009年6~8月中国(a)降水距平百分率与(b)气温距平(单位: $^{\circ}\text{C}$)

Fig. 1 (a) The percentage anomalies of precipitation amount and (b) temperature departure ($^{\circ}\text{C}$) during the period from Jun to Aug 2009

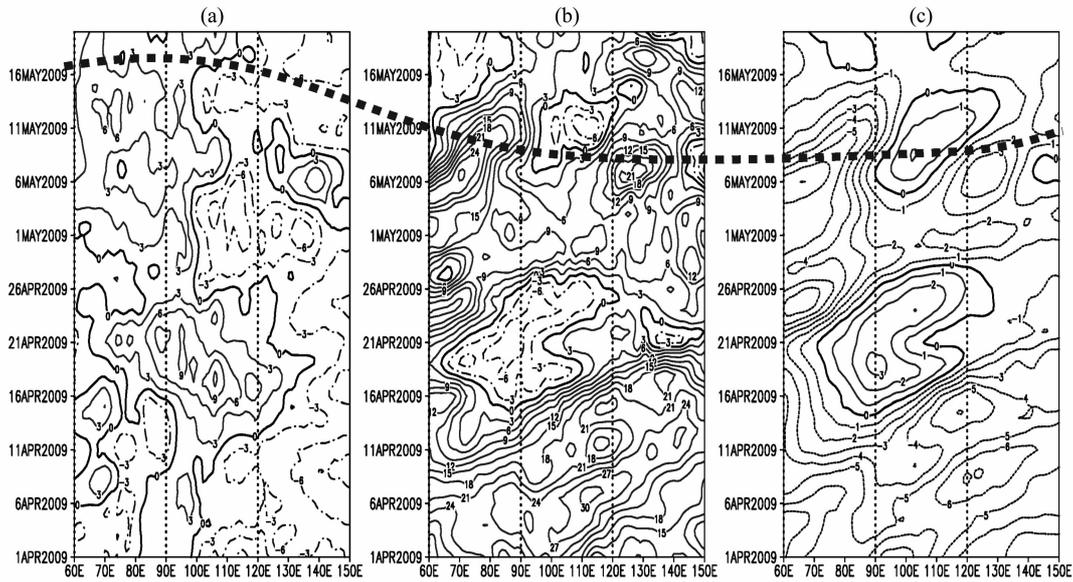


图 2 2009 年 4 月 1 日至 5 月 20 日南海夏季风爆发实况图：(a) 850 hPa、(b) 200 hPa 沿 15°N~20°N 平均的纬向风经度-时间剖面 (单位： $m \cdot s^{-1}$)，实线表示西风，点虚线表示东风；(c) 对流层中上部 (500~200 hPa) 平均温度在 22.5°N~27.5°N 和 2.5°N~7.5°N 两个纬度带差值的经度-时间剖面 (单位：°C)。粗点线表示南海夏季风爆发时间

Fig. 2 The outbreak monitoring of South China Sea monsoon from 1 Apr to 20 May 2009: The longitude-time cross section of u wind ($m \cdot s^{-1}$) averaged over 15°N~20°N at (a) 850 hPa and (b) 200 hPa, solid line indicates westerly wind, dashed line indicates easterly wind; (c) the longitude-time cross section of the difference of 500-200 hPa averaged temperature (°C) between 22.5°N-27.5°N and 2.5°N-7.5°N

迟，印度中部、北部和东部、尼泊尔、巴基斯坦和孟加拉等南亚地区出现罕见持续高温热浪天气，印度东部奥里萨邦部分地区出现近 50°C 的高温天气，巴基斯坦中部旁遮普也出现 48°C 高温。高温热浪造成土地干裂、水库干涸、河流枯竭。夏季我国东部地区雨带的推进与印度夏季风的推进有密切的关系。赵声蓉等 (2002) 的研究指出，印度半岛中北部地区以及菲律宾附近地区凝结潜热异常可以通过影响西太平洋副高和青藏高原，进而影响我国东部的降水。还有研究讨论了印度季风对中国东部夏季降水的影响，指出印度季风与东亚季风存在两种不同的遥相关关系 (刘芸芸和丁一汇, 2008)。印度西南部的克拉拉邦地区夏季风爆发后 2 周左右，中国长江流域梅雨开始。印度夏季风爆发后，形成从印度西海岸经孟加拉湾到达中国长江流域及日本南部地区的遥相关型 (Liu and Ding, 2008)。

由于印度季风的推进出现了异常，因而，我国的季风和雨带的推进也出现了异常。图 3 是 2009 年 5~8 月 110°E~120°E 的平均风速。从风速的演变看，6 月西南季风稳定在华南地区，6 月初出

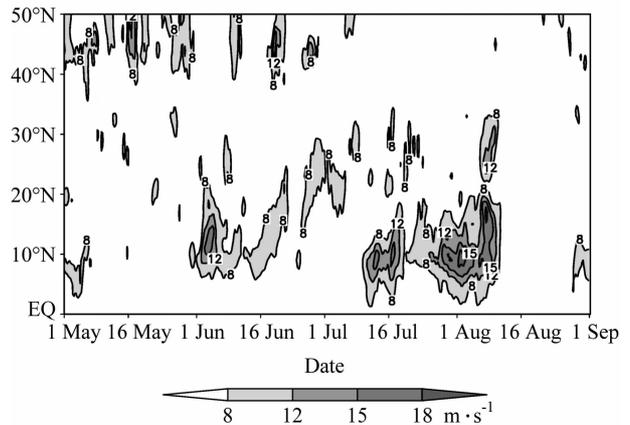


图 3 2009 年 5 月 1 日~8 月 31 日 110°E~120°E 的平均风速
Fig. 3 The mean wind speed of 110°E-120°E from 1 May to 31 Aug 2009

现了大于 $12 m \cdot s^{-1}$ 的急流中心，6 月底至 7 月初北跳到 30°N，江淮地区出现了一次降雨过程，但西南季风很快减弱，没有稳定在江淮地区，一直到 8 月中旬，都没有出现大于 $12 m \cdot s^{-1}$ 的急流中心。季风的这种特点造成了 2009 年的雨带不稳定，江淮流域降水偏少。7 月中旬至 8 月中旬，由

于西太平洋和南海地区台风活跃，在华南地区形成一支强东南风急流，在我国南方造成了强烈的台风降雨，2009年西太平洋出现了22个编号台风，9个在我国登陆，其中6~8月有6个台风登陆我国，莫拉克台风对我国的影响很大，特别是在台湾地区造成了严重灾害，在其影响期间阿里山的过程降水为3139 mm。

根据季风的演变，下面对5~8月的逐月降雨和环流形势作简单介绍。5月雨带位于江南和华南地区(图4a)，江西、广东和广西的大部分地区降雨量都在300 mm以上，其中在两广的沿海地区出现400 mm以上的降雨中心。5月除了华南的降雨过程外，还出现了2次较强降雨过程：5月9~10日华北南部、黄淮东部降大到暴雨，局部大暴雨，过程降水量一般在50~150 mm，其中河北邢台为177.6 mm；5月27~28日河南西部、湖北大部、江西西部、广西中南部出现大到暴雨，局部大暴雨，过程降水量一般也在50~150 mm，其中湖北天门降水量为149 mm。6月出现了少见的3条雨带(图4b)：华南、长江中下游和黑龙江，3条雨带的降雨量都在200~400 mm，东北

北部的总降水量与长江及以南地区基本相当。6月最显著的降水偏多地区出现在东北北部，局部地区偏多1倍以上，江南北部地区、西北大部分地区以及内蒙古中西部、西藏大部分地区偏少3~8成(图略)。7月雨带出现在东北北部、渤海湾地区、长江上游以及从长江下游到广西的东北-西南向雨带，总降雨量都在300 mm以上(图4c)，与气候平均比，大部分地区为负距平，只有长江下游到广西的雨带偏多3成以上，东北的北部有较小范围的偏多区，西北的青海等地降水偏多。8月从长江口到广西的沿海地区降雨较多，大多由登陆台风造成(图4d)，重庆、陕西、河南也有一个降雨带。8月降水偏多的地区明显比7月大。从以上分析表明，总体而言，2009年夏季我国没有出现大范围的洪涝，下面将简单分析一下2009年夏季华南前汛期和江淮梅雨期降雨的特点。

3 华南前汛期、江淮梅雨及江南干旱

图5给出了2009年6~8月华南、长江流域、淮河流域和华北的降水日变化，各区域都是代表

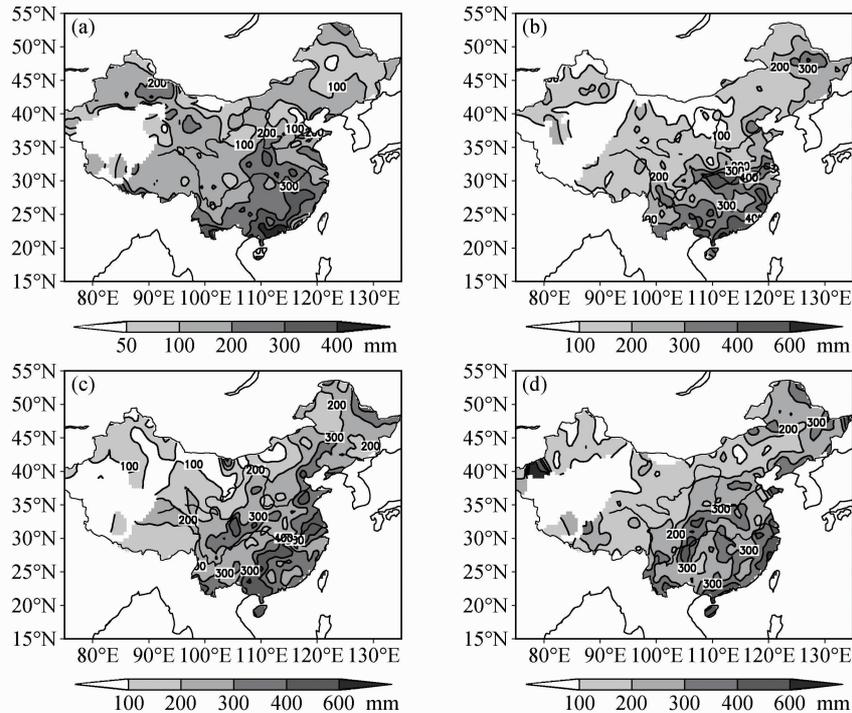


图4 2009年5~8月的月降雨量：(a) 5月；(b) 6月；(c) 7月；(d) 8月

Fig. 4 The monthly precipitation amount from May to Aug 2009: (a) May; (b) Jun; (c) Jul; (d) Aug

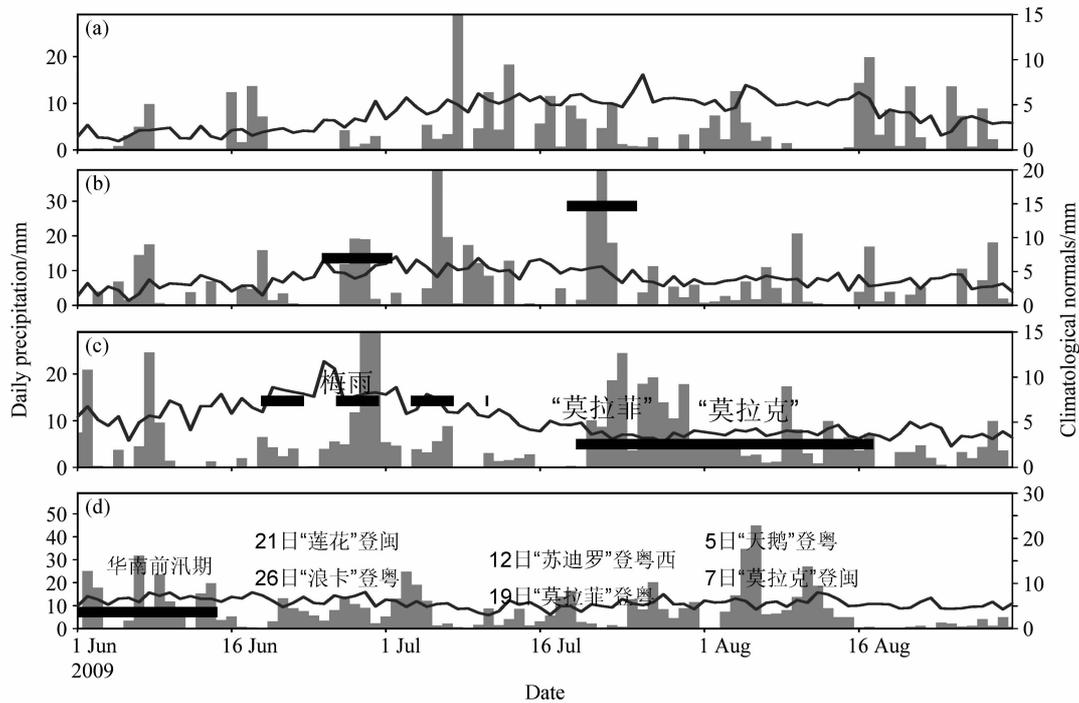


图5 2009年6~8月我国东部各区域的降水量日变化(柱)和1971~2000年的气候平均(曲线): (a) 华北地区; (b) 淮河流域; (c) 长江流域; (d) 华南地区
Fig. 5 The daily precipitation of eastern China from Jun to Aug 2009 (bar) and the climatology from 1971 to 2000 (curve): (a) North China; (b) the Huaihe River basin; (c) the Yangtze River basin; (d) South China

站的日平均值。华南、长江流域和华北代表站的选取是根据国家“九五”重中之重科技项目“我国短期气候预测系统的研究”项目规定。华北地区17个代表站为：承德、北京、天津、石家庄、德州、邢台、安阳、烟台、青岛、潍坊、济南、临沂、菏泽、郑州、长治、太原、临汾；长江中下游地区17个代表站为：南京、合肥、上海、杭州、安庆、九江、武汉、钟祥、岳阳、宜昌、常德、宁波、衢州、温州、贵溪、南昌、长沙；华南地区15个代表站为：厦门、梅县、汕头、韶关、河源、广州、阳江、湛江、海口、桂林、柳州、梧州、南宁、北海、百色。淮河流域代表站的选取是从中国气象局整编的160个基准站中选取10个代表站：连云港、淮阴、徐州、蚌埠、阜阳、南阳、信阳、东台、南京、合肥。

从图5上也可以看出，我国2009年没有出现流域性的洪涝，有关华南和江淮流域的情况在下面将详细介绍，华北的强降水并没有出现在“七下八上”，降水过程比较多，但总降雨量与气候平均相比，大部分地区的降水量为偏少，气温偏高

(见图1)。

3.1 华南前汛期

2009年华南前汛期为5月17日~6月15日(图5d)，具有“降水时间长、降水范围广、局地雨强大、面雨量较小”的特点。2009年南海夏季风于5月第4候爆发，在南海夏季风爆发的同时，5月16日一次冷空气南下到华南地区，并形成一条东西走向的静止锋，出现了持续5天的降水(5月16~20日)，这也标志着2009年华南前汛期降水的开始。图6为前汛期2009年5月17日~6月15日平均500 hPa位势高度及其距平和850 hPa环流及急流区，有一对高压脊和低压槽分别位于40°N附近的100°E和120°E地区，而孟加拉湾地区低压槽活跃，槽前的西南暖湿气流与中高纬度高空槽后脊前的冷空气汇合带主要位于长江以南地区(图6a)。受中纬度120°E地区低压槽影响，西太平洋副热带高压的西界略偏东、北界略偏南。850 hPa的环流也反映出孟加拉湾低压槽活跃(图6b)，850 hPa上的低涡切变线主要维持在江南和华南地区。

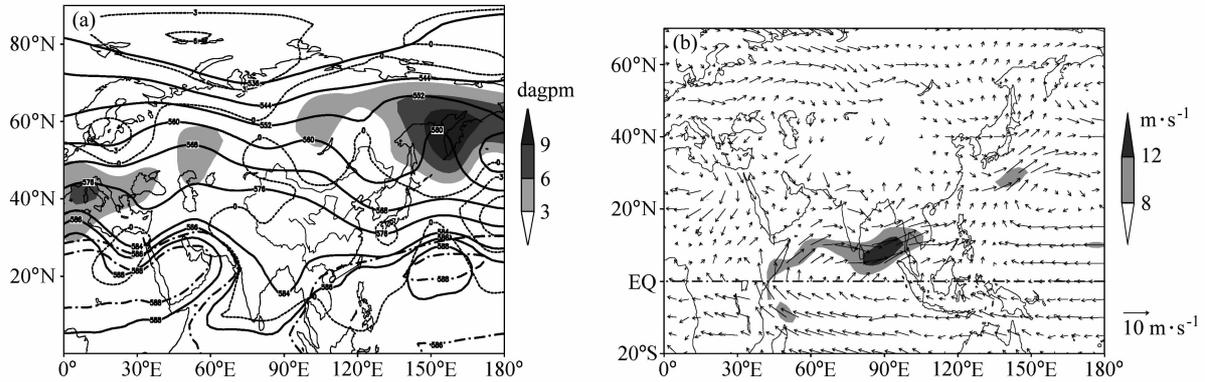


图6 2009年5月17日~6月15日平均环流:(a) 500 hPa位势高度(实线,单位: dagpm)及其距平(阴影区: 大于3 dagpm 正距平区; 虚线: 小于0 dagpm 负距平区; 点划线: 气候平均586和588线); (b) 850 hPa风场与强风速带(阴影区: 全风速 $>8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$)
Fig. 6 The averaged circulation from 17 May to 15 Jun 2009; (a) The geopotential height at 500 hPa (solid, units: dagpm) and its anomaly (shading areas are for positive anomalies greater than 3 dagpm, while dot lines are for negative anomalies less than 0 dagpm, dashed lines are climatologic 586 line and 588 line); (b) the wind field at 850 hPa and the low-level jet (shading: wind speed $>8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$)

华南前汛期共出现5次降雨过程,分别为5月16~20日、5月22~24日、6月1~4日、6月7~11日和6月12~15日(图5d,不包括5月过程)。这几次过程的环流特点和具体的影响系统都有差异。5月16~20日的降雨过程中,前期为华南准静止锋,19日有低涡生成东移,使低空急流增强,降雨增强。5月22~24日,广东南部、江西东北部、福建西北部、浙江东南部出现大到暴雨,最强降雨出现在5月23日的广东沿海地区,这次过程中孟加拉湾风暴使南海的西南气流加强,在沿海地区形成涡旋。6月1~4日降雨过程影响了江南和华南的大部分地区,出现了大范围的暴雨区,这次过程为切变线和涡旋影响。6月9~13日影响范围也比较大,但强降水的范围没有6月1~4日降雨过程大。下面以6月1~4日过程为例进行简单分析。

6月1~3日的总降雨量(图7a)显示这次降雨影响了长江以南的我国南方地区,最强的降水出现在福建和广东。逐日形势分析显示,6月1日在高原东侧有小槽东移,引导冷空气南下,同时,由于东北地区低涡的发展,低涡西侧的冷空气南下,切变线形成在江南地区,强降水发生在贵州、湖南、江西和湖北。6月2日雨带向东南移动,强降水发生在浙江、江西、湖南和广西等。6月2日东亚地区中纬度的贝加尔湖为高压脊,而我国的东北和俄罗斯的远东地区为低压控制,在这种形势下,高空急流处于长江流域,低空急流位于华

南和江南,雨带出现在低空急流的左侧,高空急流入口区的右侧(图7b),此外,6月2日在切变上有涡旋生成东移,6月3日随着涡旋的东移,雨带东移,强降水出现在福建和广东。

3.2 江淮梅雨期的主要降雨过程

国家气候中心根据我国长江中下游5个代表站梅雨的监测,认为2009年为空梅年。大气环流异常是长江中下游梅雨量偏少的原因之一。盛夏副高偏北,还有东北低涡活动频繁,欧亚地区没有出现典型的梅雨天气形势。尽管出现了空梅,但长江流域受西风槽和登陆台风的影响,也出现了一些降雨过程(图5c)。

在气候平均的梅雨期,2009年没有出现典型梅雨期环流,典型梅雨常见的中高纬度乌拉尔和鄂霍次克阻塞高压都没有建立(图8),中高纬度高压位于贝加尔湖以东,而不是在鄂霍次克海,我国东北地区为低槽控制,低纬度副高位置比气候平均略偏北(图略)。低空急流明显偏弱,比同样是空梅年的2005年还要偏弱(孙建华等,2006),以上的环流异常导致2009年夏季梅雨期冷暖空气难于在长江流域交汇,致使降雨偏少。

6月以来,我国西北和东北地区受低槽影响,华北地区为高压控制,造成我国东北和西北西部降水偏多,华北地区高温干旱。虽然中纬度冷空气较活跃,但东亚季风不活跃,水汽供应不足,我国南方的降雨强度偏弱。印度季风为1946年以来最异常的一年,它于5月25日爆发后,一度处

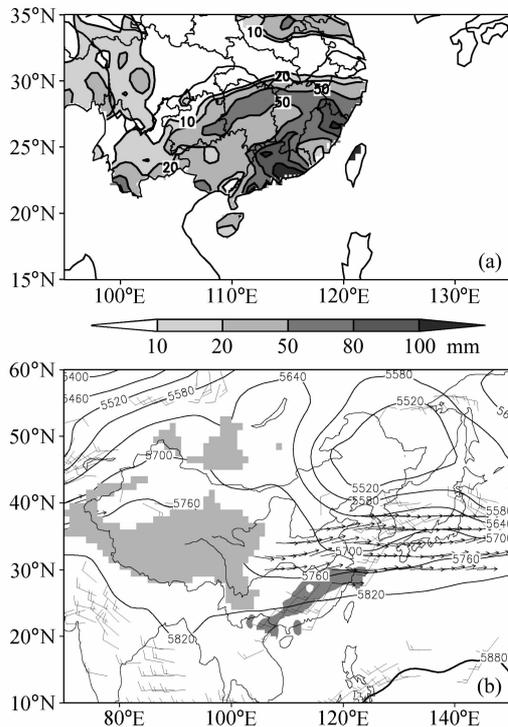


图7 (a) 2009年6月1日00时(协调世界时,下同)至4日00时的总降雨量;(b) 2009年6月2日天气形势合成图,浅色阴影区为地形>1500 m,深色阴影区表示24 h降雨量>25 mm的强降雨中心,箭矢线为200 hPa上风速>40 m·s⁻¹的高空急流,风向杆为850 hPa上风速>12 m·s⁻¹的低空急流,等值线为500 hPa等高线(单位:gpm)

Fig. 7 (a) Total precipitation of 0000 UTC 1 to 0000 UTC 4 Jun 2009. (b) The composite weather pattern on 2 Jun 2009: Light shading is topography greater than 1500 m and dark shading is 24-h precipitation amount more than 25 mm; the arrows are wind speed greater than 40 m·s⁻¹ at 200 hPa and barbs represents wind speed exceeding 12 m·s⁻¹ at 850 hPa; the iso-lines are geopotential height (gpm) at 500 hPa

于停滞状态,6月27日才推进到印度中部,印度降水偏少,6月28日印度季风才突然北推大约500 km,到达印度北部。与此同时,东亚季风也在6月28日增强,6月28日~7月5日,我国的长江流域至华南地区出现了强降雨过程。为什么印度季风增强推进后,我国的季风也有一次北跳的过程,值得深入研究。此次过程中,我国东部地区的冷空气来自东北低涡,而广西地区的冷空气来源于青藏高原北侧,广西地区的持续性强降雨与低涡的稳定维持有关。

2009年江淮流域除了台风影响外,最强一次梅雨降雨过程为6月28日~7月5日,这次过程

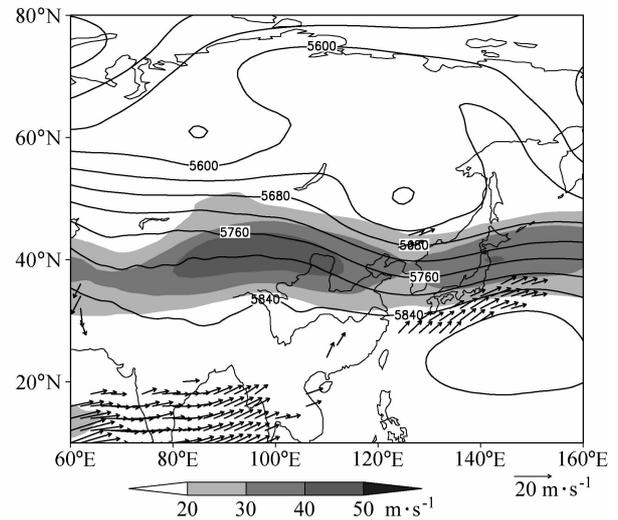


图8 2009年6月18日~7月10日(气候平均的梅雨期)的环流。阴影为200 hPa风速>20 m·s⁻¹,风矢量为850 hPa上风速>8 m·s⁻¹,等值线为500 hPa位势高度场(单位:gpm)
Fig. 8 The averaged circulation from 18 Jun to 10 Jul 2009. The shading is the wind speed more than 20 m·s⁻¹ at 200 hPa, vector shows wind speed more than 8 m·s⁻¹ at 850 hPa, solid line is geopotential height (gpm) at 500 hPa

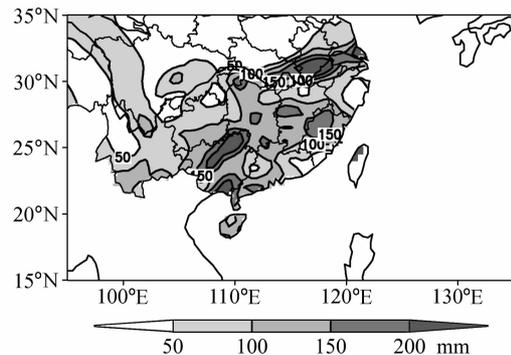


图9 2009年6月28日00时~7月5日00时的总降雨量(单位:mm)
Fig. 9 Total precipitation (mm) from 0000 UTC 28 Jun to 0000 UTC 5 Jul 2009

于6月29日影响江淮流域,逐渐南移,直到7月4日影响华南,其中6月30日的湖北武汉遭遇特大暴雨。这次降雨过程我国南方大范围地区的总降雨量在100 mm以上(图9),最强的降雨区在长江中下游地区,此外,广西的降雨也比较强。从逐日的形势场演变来看,6月28~29日东北低涡位于中蒙边界,高空急流在35°N以北,且强度较强,副高西伸到120°E,西南低空急流形成于副高的西侧,东西向切变线形成于长江流域,形

成了一个降雨带(图 10a)。6 月 30 日~7 月 1 日,随着贝加尔湖高压脊的发展,东北低涡东移,但仍控制东北地区,高空的急流带也向东南移动,东北地区后部和高压脊前的冷空气继续南下,使雨带南移到江南地区(图略)。7 月 2 日开始(图 10b),贝加尔湖的高压脊开始控制我国的东北和华北地区,东北低涡对我国东北地区的影响基本结束,高空急流南移到 30°N,由于西风带急流的南移和冷空气的活动使副高东退到太平洋上,雨带也南移,之后雨带继续南移影响华南地区。

3.3 江南干旱

前面提到的 6 月 28 日~7 月 5 日降雨过程结束后,7 月 8~24 日,长江中下游及其以南地区出

现大范围持续高温天气,极端最高气温一般为 37~39℃,局部地区超过 39℃,高温日数较常年同期偏多近 1 倍,部分地区高温日数及最高气温突破历史同期极值。此后,由于几个登陆台风的影响(图 5c),高温天气结束。8 月 15 日~9 月 14 日,南方再次出现长时间高温天气,长江中下游及华南地区平均高温日数达 9.8 天,较常年同期偏多 2 倍,为 1952 年以来历史同期最多。持续高温天气加剧了南方地区干旱发展。图 11 给出两段高温的平均环流形势,第 1 段高温期贝加尔湖到我国的西北、华北地区为高压控制,副高的位置也偏北偏西,使我国长江中下游及其以南地区在副热带高压的控制下,形成持续性的高温天气。

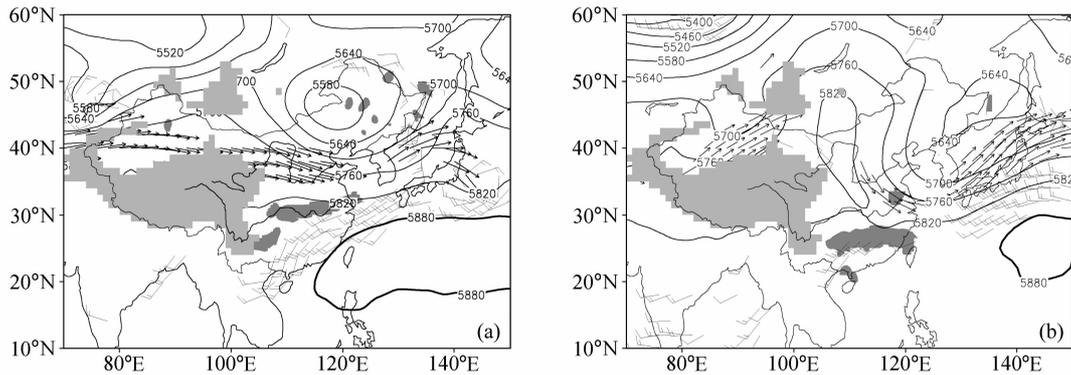


图 10 2009 年 (a) 6 月 29 日和 (b) 7 月 2 日天气形势合成图。浅色阴影区为地形 >1500 m; 深色阴影区表示 24 h 降雨量 >25 mm 的强降雨中心; 箭矢线为 200 hPa 上风速 >40 m · s⁻¹ 的高空急流, 风向杆为 850 hPa 上风速 >12 m · s⁻¹ 的低空急流; 等值线为 500 hPa 等高线 (单位: gpm)

Fig. 10 The composite weather pattern for (a) 29 Jun and (b) 2 Jul 2009. Light shading is topography greater than 1500 m and dark shading is 24-h precipitation amount more than 25 mm; the arrows are wind speed greater than 40 m · s⁻¹ at 200 hPa and barbs represents wind speed exceeding 12 m · s⁻¹ at 850 hPa; the isolines are geopotential height (gpm) at 500 hPa

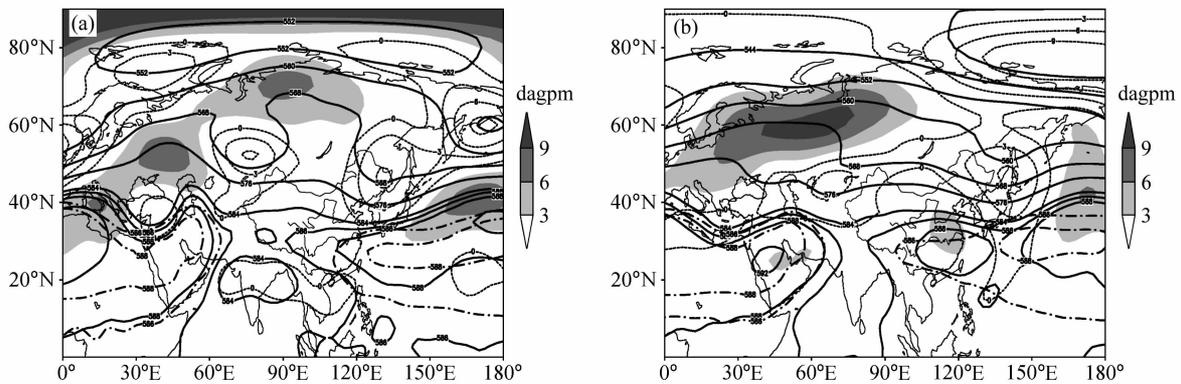


图 11 2009 年夏季江南两段高温期的 500 hPa 位势高度及其距平场 (图注说明同图 6a): (a) 7 月 8~24 日; (b) 8 月 15 日~9 月 14 日
Fig. 11 The geopotential height at 500 hPa and its anomaly (the illustrations are the same as Fig. 6a): (a) 8-24 Jul 2009; (b) 15 Aug to 14 Sep 2009

第2段高温在我国的西北、华北地区为弱脊控制, 其强度比第1段高温弱, 但西太平洋副热带高压的面积偏大、强度偏强, 并且持续时间达1个月之久, 造成了比较严重的干旱。从以上分析看, 南方高温的形成是因为西太平洋副热带高压的影响, 而西太平洋副热带高压形势的持续异常是多系统综合作用的结果, 需要开展深入研究。

4 东北地区的干旱和东北冷涡的活动

4.1 东北北部的严重干旱

2009年4月下旬内蒙古东北部开始出现干旱。5月, 黑龙江大部、内蒙古东北部降水量偏少5~8成, 局部地区偏少超过8成, 加上气温偏高2~4°C。温高雨少导致上述地区气象干旱迅速发展。到5月下旬, 黑龙江大部、内蒙古东北部出现中到重度气象干旱, 部分地区达到特旱等级。5月28日以后, 该区域出现连续的降雨过程, 干旱才得到一定程度缓解。

2009年5月是这次干旱过程的全盛期, 下面我们对5月对流层平均大气环流进行分析。200 hPa水平风距平场(图12a)显示, 50°N附近的东北亚地区有一个反气旋的距平中心, 这个反气旋距平中心与对流层中层500 hPa的正距平区基本对应(图12b), 而且在对流层下部的850 hPa水平风距平场上依然维持一个反气旋距平中心(图12c)。此外, 这一时期, 西风带天气系统虽然比较活跃, 但移动较快(图略), 且低槽和低涡的位置稍偏北, 导致我国这一地区主要处于槽后脊前西北气流控制下, 出现下沉增温, 降雨偏少, 温度偏高, 是干旱的形成重要原因。

4.2 东北冷涡的活动

如上所述, 2009年4月下旬至5月我国内蒙古东北部出现干旱, 但5月28日以后, 环流形势调整, 东北低涡的非常活跃, 东北大部频繁的降水不仅使前期干旱得以解除, 而且出现了“低温冷害”。东北冷涡一年四季都可出现, 集中在夏季, 常给东北地区带来低温多雨, 甚至洪涝(王东海等, 2007), 例如1998年6~8月切断低压和东北冷涡频繁发生引发了松花江和嫩江百年不遇的洪灾(孙力和安刚, 2001; 陶诗言等, 2001; Zhao and Sun, 2007)。陶诗言(1980)曾对影响

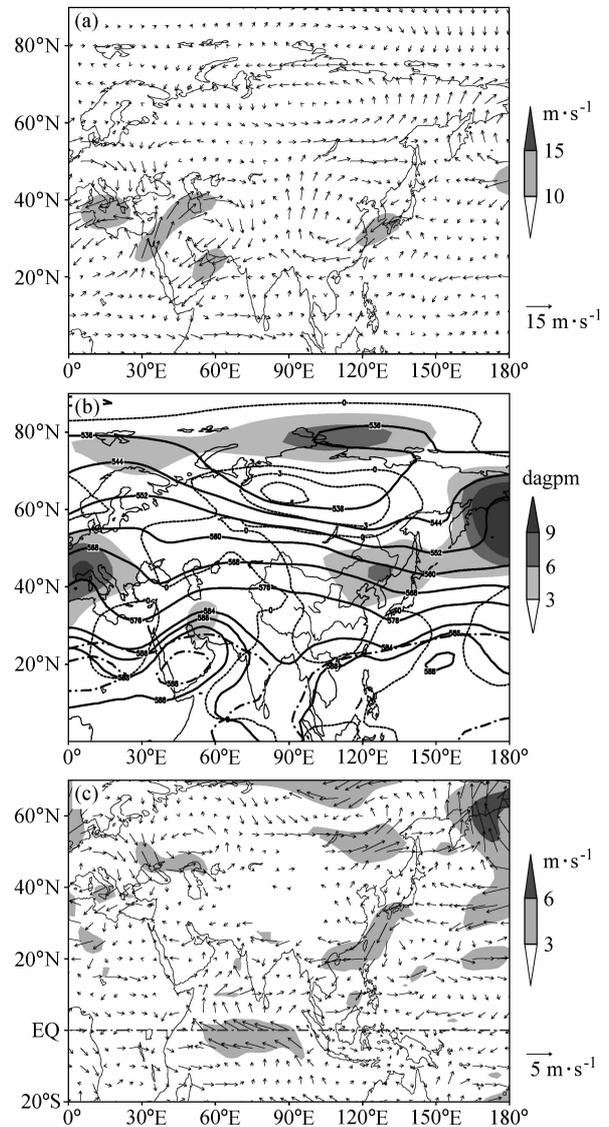


图12 2009年5月平均的大气环流: (a) 200 hPa水平风距平场(阴影区: 风速距平 $>10\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$); (b) 500 hPa位势高度场及其距平(图注说明同图6a); (c) 850 hPa水平风距平场(阴影区: 风速距平 $>3\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$)

Fig. 12 The averaged circulation in May 2009: (a) The anomaly of wind at 200 hPa (shading indicates the anomaly greater than $10\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$); (b) the geopotential height and its anomaly (the illustrations are the same as Fig. 6a); (c) the wind anomaly at 850 hPa (shading indicates the anomaly greater than $3\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$)

我国的东北低涡及其它们引发的暴雨进行过较系统的研究, 指出东北冷涡一般在贝加尔湖附近形成, 经过我国东北、俄罗斯远东地区, 向堪察加半岛方向移去。一般可维持3天以上, 有时可达6~7天。东北低压或冷涡给东北地区、华北北部造成暴雨或雷阵雨。

下面对 2009 年夏季东北低涡的活动进行简单分析。2009 年东北低涡活动频繁, 6~8 月均出现了较强的降雨 (图 4), 东北北部地区降雨偏多, 温度则出现了负距平 (图 1)。2009 年夏季东部低涡的活动情况见表 1, 共有 8 次过程, 东北低涡虽然能产生降雨, 但如无低纬度系统的配合, 一般为中到大雨, 暴雨只出现在局地。2009 年低涡的活动在 6~8 月都比较频繁, 8 月影响的天数相对 6、7 月要少, 但降水强度并不弱。低涡的源地有 2 个: 贝加尔湖和蒙古国。Zhao and Sun (2007) 的研究将低涡生成的源地分为 3 种: 贝加尔湖, 蒙古国和我国内蒙古地区, 以及江淮和黄河流域。孙建华等 (2006) 对 2005 年的分析还发现有我国东北生成的低涡, 而 2009 年夏季的东北低涡的源地主要为蒙古和贝加尔湖地区。

表 1 2009 年夏季东北低涡活动情况

Table 1 The activities of vortices over northeastern China in the summer 2009

序号	低涡影响 东北日期	低涡源地	500 hPa 最 低位势高度 /gpm	降雨强度
1	5 月 28 日 6 月 6 日~	蒙古国	5480	5 月 28 日~6 月 6 日东北 地区大部分出现小到 中雨
2	6 月 7~ 12 日	蒙古国	5480	6 月 9~10 日中到大雨
3	6 月 18 ~22 日	贝加尔湖 以西	5440	6 月 18~19 日有中到大 雨
4	6 月 27~ 7 月 1 日	蒙古国	5480	6 月 27~30 日较强降雨 出现东北的中部和北部
5	7 月 6 日~ 7 月 10 日	贝加尔湖 以东	5520	7 月 6~7 日较强降雨出 现东北的北部
6	7 月 15 ~24 日	贝加尔湖	5600	7 月 16、19、21 日出现 中到大雨
7	8 月 10 ~12 日	蒙古国	5600	8 月 9~10 日中到大雨 出现东北的北部
8	8 月 20 ~21 日	贝加尔湖	5560	8 月 20~21 日黑龙江和 吉林出现大范围暴雨

孟庆涛等 (2009) 对 1990~2005 年东北地区的大暴雨过程进行了分类研究, 考虑阻塞高压、热带、副热带系统和西风带之间的相互关系, 将暴雨过程的主要影响系统大致分为 6 类: 台风与西风带系统的远距离相互作用; 登陆台风 (或南

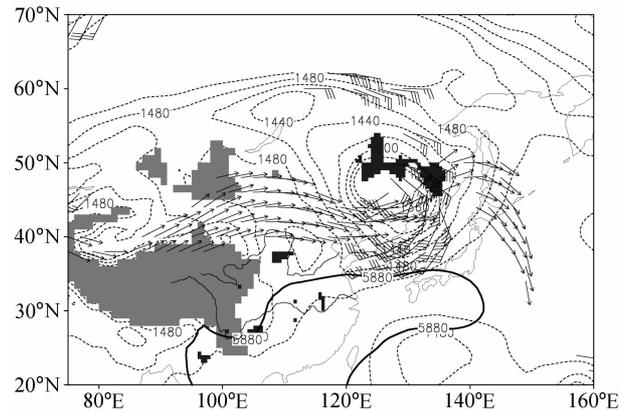


图 13 2009 年 8 月 20 日天气形势合成图。浅色阴影区为地形高于 1500 m; 深色阴影区表示 24 h 降雨量 > 25 mm 的强降雨中心; 箭矢线为 200 hPa 上风速 > 40 $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ 的高空急流, 风标为 850 hPa 上风速 > 12 $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ 的低空急流; 虚线为 850 hPa 等高线 (单位: gpm), 粗实线为 500 hPa 的 5880 gpm 线
Fig. 13 The composite weather pattern for 20 Aug 2009. The light shading is topography greater than 1500 m and dark shading is 24-h precipitation more than 25 mm; the arrows are wind speed greater than 40 $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ at 200 hPa and barbs represent wind speed larger than 12 $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ at 850 hPa; the dashed lines are geopotential height (gpm) at 850 hPa, and the thick solid line is 5880 gpm at 500 hpa

来低涡) 北上与西风带系统相互作用; 台风直接暴雨; 槽前暴雨; 低空切变型暴雨; 东北低涡暴雨。研究虽然发现很多东北低涡引发大范围暴雨的过程都是在低纬台风或是南来低涡的影响下共同产生的, 但是无低纬台风或南来低涡影响的东北低涡暴雨过程也不少。2009 年夏季的东北低涡发生时, 一般都没有低纬系统的配合相互作用, 水汽主要来源于东边的日本海。这里我们以 8 月 20~21 日为例进行分析, 这次过程 2 天都出现了暴雨, 8 月 20 日的天气形势合成图 (图 13) 表明, 此次过程降雨中心出现在低涡的北部, 在低涡的东部存在东南风与东风的切变, 主要的雨区位于切变线的附近, 且没有高空急流的配合。

5 结论和讨论

本文对 2009 夏季的主要天气过程和形势作了简单的总结和分析, 主要的结论如下: (1) 2009 年夏季未发生大范围的暴雨洪涝, 干旱面积较大; (2) 印度季风出现了异常, 南海夏季风在 5 月第 4

候爆发, 华南前汛期降雨为 5 月 17 日~6 月 15 日, 降水时间长、范围广, 但没有出现流域性洪涝。江淮梅雨期典型梅雨环流形势没有建立, 为空梅年, 但仍出现了几次由西风槽和登陆台风造成的降水过程; (3) 华北雨季降水偏弱, 东北低涡活动频繁, 使东北北部地区降水偏多, 并且温度偏低, 出现冷害; (4) 长江中下游及其以南地区出现两段大范围持续高温天气, 7 月 8~24 日和 8 月 15 日~9 月 14 日, 持续高温天气加剧了南方地区干旱发展。

根据中国气象局的统计结果(曲晓波, 2009), 2009 年干旱是最为严重的气象灾害, 其次是暴雨洪涝及其引发的次生灾害, 强对流天气导致的直接经济损失则超过台风, 是 2009 年气象灾害中第三大灾害。其中有两次影响范围较大, 强度较强的强对流过程: 6 月 3~4 日, 河南、安徽、山西、山东、江苏先后出现了雷暴大风等强对流天气, 出现了 8~10 级的大风, 商丘永城风速达到 $29 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 。6 月 14 日安徽大部、江苏、河南等地出现雷雨大风、冰雹等强对流天气。2009 年强对流天气为什么频发而且强度强? 此外, 这类系统尺度小, 其发生发展机理尚不够清楚, 需要开展深入研究。

根据本文的分析, 需要进一步分析的问题还有: (1) 2009 年 5 月 28 日东北地区的环流发生调整, 东北低涡在 6~8 月非常活跃, 从干旱转为降水偏多、低温冷害, 大尺度的环流为什么会发生这种突然调整, 造成东北北部地区“旱涝急转”, 环流调整的原因应开展深入研究; (2) 2009 年 6 月以后东北低涡为什么如此活跃? 其发生发展的机理尚待探讨; (3) 由于篇幅所限, 对于造成严重灾害的莫拉克台风, 未做更多的讨论, 应进行专门研究。

参考文献 (References)

陈红, 卫捷, 孙建华, 等. 2007. 2006 年夏季主要天气系统及环流特征分析 [J]. 气候与环境研究, 12 (1): 8-19. Chen Hong, Wei Jie, Sun Jianhua, et al. 2007. The weather and its circulation in summer of 2006 [J]. Climatic and Environmental Research (in Chinese), 12 (1): 8-19.

Huang R H, Zhou L T, Chen W. 2003. The progresses of recent studies on the variabilities of the East Asian monsoon and their

causes [J]. Advance Atmospheric Sciences, 20: 55-69.

刘芸芸, 丁一汇. 2008. 印度夏季风与中国华北地区降水的遥相关分析及数值模拟 [J]. 气象学报, 66 (5): 789-799. Liu Yunyun, Ding Yihui. 2008. Analysis and numerical simulation of the teleconnection between Indian summer monsoon and precipitation in North China [J]. Acta Meteorologica Sinica (in Chinese), 66 (5): 789-799.

Liu Y Y, Ding Y H. 2008. Teleconnection between the Indian summer monsoon onset and the Meiyu over the Yangtze River valley [J]. Science in China (Ser. D), 51: 1-15.

孟庆涛, 孙建华, 乔枫雪. 2009. 20 世纪 90 年代以来东北暴雨过程特征分析 [J]. 气候与环境研究, 14 (6): 596-612. Meng Qingtao, Sun Jianhua, Qiao Fengxue. 2009. The characteristics of the severe heavy rainfall in northeast China since 1990s [J]. Climatic and Environmental Research (in Chinese), 14 (6): 596-612.

曲晓波. 2009. 2009 年中国主要灾害性天气事件概述 [R]. 第六届全国灾害性天气预报技术研讨会, 2009 年 12 月 24 日. Qu Xiaobo. 2009. The briefly conclusion on the main catastrophic weather in China [R]. The sixth symposium on catastrophic weather prediction method in China, 24 Dec 2009.

孙建华, 卫捷, 张小玲, 等. 2004. 2003 年夏季的异常天气及预测试验 [J]. 气候与环境研究, 9 (1): 203-217. Sun Jianhua, Wei Jie, Zhang Xiaoling, et al. 2004. The abnormal weather in the summer 2003 and its real-time prediction [J]. Climatic and Environmental Research (in Chinese), 9 (1): 203-217.

孙建华, 卫捷, 张小玲, 等. 2005. 2004 年夏季的天气及预测试验 [J]. 气候与环境研究, 10 (1): 1-18. Sun Jianhua, Wei Jie, Zhang Xiaoling, et al. 2005. Weather system analysis and its real-time prediction in summer 2004 [J]. Climatic and Environmental Research (in Chinese), 10 (1): 1-18.

孙建华, 卫捷, 赵思雄, 等. 2006. 2005 年夏季的主要天气及其环流分析 [J]. 气候与环境研究, 11 (2): 138-154. Sun Jianhua, Wei Jie, Zhao Sixiong, et al. 2006. The weather and its circulation in summer of 2005 [J]. Climatic and Environmental Research (in Chinese), 11 (2): 138-154.

孙力, 安刚. 2001. 1998 年松嫩流域东北冷涡大暴雨过程的诊断分析 [J]. 大气科学, 25 (3): 342-354. Sun Li, An Gang. 2001. A diagnostic study of northeast cold vortex heavy rain over the Songhuajiang-Nenjiang River basin in the summer of 1998 [J]. Chinese Journal of Atmospheric Sciences (in Chinese), 25 (3): 342-354.

陶诗言. 1980. 中国之暴雨 [M]. 北京: 科学出版社, 225pp. Tao Shiyan. 1980. Heavy Rainfalls in China [M] (in Chinese). Beijing: Science Press, 225pp.

陶诗言, 倪允琪, 赵思雄, 等. 2001. 1998 年夏季中国暴雨的形成机理与预报研究 [M]. 北京: 气象出版社, 184pp. Tao Shiyan, Ni Yunqi, Zhao Sixiong, et al. 2001. The Study on Formation Mechanism and Forecasting of Heavy Rainfall in the Summer 1998 [M] (in Chinese). Beijing: China Meteorological Press,

- 184pp.
- Tao S Y, Chen L X. 1987. A review of recent research on the East Asian summer monsoon in China [M] //Chang C P, Krishnamurti T N. Monsoon Meteorology. Oxford: Oxford University Press, 60-92.
- 王东海, 钟水新, 刘英, 等. 2007. 东北暴雨的研究 [J]. 地球科学进展, 22 (6): 549-560. Wang Donghai, Zhong Shuixin, Liu Ying, et al. 2007. Advances in the study of rainstorm in Northeast China [J]. Advances in Earth Science (in Chinese), 22 (6): 549-560.
- 赵声蓉, 宋正山, 纪立人. 2002. 华北汛期降水与亚洲季风异常关系的研究 [J]. 气象学报, 60 (1): 68-75. Zhao Shengrong, Song Zhengshan, Ji Liren. 2002. Study on the relationship between the anomalies of rainfall over North China and the Asian monsoon anomalies [J]. Acta Meteorologica Sinica (in Chinese), 60 (1): 68-75.
- Zhao S X, Sun J H. 2007. Study on cut-off low-pressure systems with floods over Northeast Asia [J]. Meteorology and Atmospheric Physics, 96 (1-2): 159-180.