

2006年川渝地区高温干旱特征及其成因分析

彭京备^{1,2} 张庆云^{1,3} 布和朝鲁^{1,3}

1 中国科学院大气物理研究所灾害性气候研究与预测中心, 北京 100029

2 中国科学院研究生院, 北京 100049

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

摘要 2006年夏季, 四川、重庆发生了50年一遇的高温大旱。利用中国730站中川渝地区58个测站2006年1月1日~9月8日的逐日降水、日最高气温和NCEP再分析资料, 探讨了这次高温干旱的特征及成因机理, 重点分析了西太平洋副热带高压和大陆副热带高压的异常活动以及西风带与热带环流的特征。研究指出, 东亚西风带扰动偏弱、偏北, 青藏高原低涡活动减弱, 使得川渝地区上空长时间受强大的副热带高压控制; 2006年夏季副热带高压的加强和维持与菲律宾以东洋面及南海地区的对流加强、孟加拉湾地区降水异常增多导致的加热场异常密切相关。

关键词 高温干旱 西太平洋副热带高压 青藏高原 潜热释放 中纬度西风

文章编号 1006-9585 (2007) 03-0464-11 **中图分类号** P434 **文献标识码** A

On the Characteristics and Possible Causes of A Severe Drought and Heat Wave in the Sichuan-Chongqing Region in 2006

PENG Jing-Bei^{1,2}, ZHANG Qing-Yun^{1,3}, and Bueh Cholaw^{1,3}

1 *Center for Disastrous Climate Research and Prediction, Institute of Atmospheric Physics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100029*

2 *Graduate University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049*

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

Abstract During July to September in 2006, the Sichuan-Chongqing region of southwestern China suffered from a severe drought and heat wave, which were record-breaking in the past 50 years. This study focuses on the related characteristics and possible causes of the severe drought and heat wave. The abnormal summer climate of the Sichuan-Chongqing region directly caused by the long-term maintenance of a subtropical high pressure belt aloft in the middle and upper troposphere, whose axis was situated along 30°N. The amplifications of western Pacific subtropical high (WPSH) and Tibetan high in a wide meridional extent both contributed to the formation of such a unified subtropical high pressure belt. Specifically, the Tibetan high extended eastward, with its center still located in the Iran Plateau, giving rise to the amplification and westward extension of the WPSH. As a result, both the Tibetan high in the upper troposphere and the WPSH in the middle troposphere merged into one subtropical high pressure belt. Meanwhile, the mid-latitude westerlies as well as the accompanying transient disturbances shifted poleward from their climatological position, which is favorable to the maintenance of subtropical high pressure system over the

收稿日期 2007-12-19 收到, 2007-03-11 收到修定稿

资助项目 中国科学院知识创新重要方向性项目 KZCX3-SW-226 和国家自然科学基金 40523001、40575024

作者简介 彭京备, 女, 1970 年出生, 博士研究生, 助理研究员, 主要从事天气气候诊断分析和短期气候预测。

E-mail, pengjingbei@mail.iap.ac.cn

Sichuan-Chongqing region. The lower tropospheric vortex originated from the eastern slope of the Tibetan Plateau, which is also called southwestern vortex and a major rain-producing weather system locally, was weaker in this summer than normal. In the tropics, the abnormal condensational latent heat releases over the western Pacific Intertropical Convergence Zone (ITCZ) and the Bay of Bengal possibly contributed to the maintenance of subtropical high pressure system over the Sichuan-Chongqing region.

Key words drought and heat wave, Tibetan high, western Pacific subtropical high, latent heat release, mid-latitude westerly

1 引言

四川、重庆地处亚热带, 位于青藏高原至长江中下游平原的过渡地带, 受地形、地貌的影响, 如重庆市北有大巴山, 东有巫山, 东南有武陵山, 南有大娄山, 地势由西向东逐步升高, 由南北向长江河谷倾斜, 起伏较大。由于重庆位于海拔较低的长江流域河谷中, 河谷的地形特点犹如锅底, 四周山地环抱, 地面散热困难, 气温不断升高, 使重庆成为全国有名的盛夏高温区。

正是由于地理位置的特殊性, 川渝地区的高温干旱天气有两个特点: 1) 发生高温干旱的频率比较高^[1]。在近 500 年中, 重庆市平均 10 年有 4 年干旱。建国以来, 四川、重庆干旱灾害几乎年年发生。除 1954、1956 两年基本无旱外, 其余年份均有不同程度的干旱发生^[2]。2) 川渝地区干旱类型多, 分为春旱、夏旱和伏旱。春旱发生于 3 月初至 5 月初, 夏旱发生于 4 月底至 7 月初, 伏旱发生于 6 月底至 9 月初。其中以伏旱缺雨程度最明显, 降水距平百分率可以达到 -75%。伏旱平均从 7 月 20 日到 8 月 18 日。最早从 7 月 7 日开始, 最晚至 8 月 31 日止^[3]。

2006 年入夏后, 重庆、四川盆地出现了近 50 年来最严重的高温伏旱。截至 8 月 16 日, 重庆 28 个区县最高气温超过 40℃, 綦江、万盛、江津等测站均突破建站以来最高气温极值。到 8 月 18 日为止, 重庆地区的高温天气超过了 40 天, 有些地方甚至超过了 50 天。

2006 年, 高温的同时, 川渝地区降水偏少。入夏后四川平均降水量仅有 309.9 mm, 重庆为 244.5 mm, 均为 1951 年以来历史同期最少。与常年同期相比, 四川和重庆降水分别偏少 136.2 和 228.2 mm, 折合水资源量偏少 661.3 亿 m³ 和

188.0 亿 m³, 分别较常年同期偏少 3 成和 5 成。今年四川、重庆的伏旱开始时间为 7 月上旬, 比常年提前 10~15 天, 并且持续时间长, 结束时间晚, 结束时间在 9 月上旬。四川东部、重庆无降水日数达 30~50 天, 重庆市无降水日数为 1951 年以来同期最大值。截止 9 月 10 日, 重庆市因旱直接经济损失达 82.55 亿元, 其中农业经济损失为 60.75 亿元^[4]。

2006 年夏季川东地区的高温干旱已经引起各级政府和气象工作者的关注。关于川东地区的高温成因已有一些初步的讨论, 认为 2006 年西太平洋副热带高压异常偏西、偏强。同时青藏高原高压偏强。青藏高原和副热带高压相互作用影响川渝地区, 造成了该地区的高温干旱。2006 年夏季副热带高压异常偏西、偏强的原因可能是西太平洋暖池地区海温偏高以及前冬青藏高原积雪偏少; 西太平洋暖池海温偏高引起副热带高压偏强。冬春季高原积雪偏少, 使高原在夏季成为异常热源, 青藏高原高压偏强。在青藏高原的配合下, 副热带高压容易维持偏西的位置上, 强度偏强。

然而, 有关副热带高压异常的原因特别是它与周边大气环流间的相互作用的研究并不多。本文探讨 2006 年夏季副热带高压异常活动与中高纬度环流、热带季风环流以及高层大尺度流场的关系及可能机理。

本文所使用的资料包括: 1) 中国气象局国家气象中心提供的全国 730 站中川渝地区 58 个测站自建站~2000 年的逐日降水和日最高气温资料, 2006 年 1 月 1 日~9 月 8 日的逐日降水和日最高气温资料。2) 美国 NCEP 再分析资料的高度、温度、风场、湿度场和 Outgoing Longwave Radiation (OLR) 资料。使用美国气候诊断中心 (Climate Diagnostics Center) 提供的上述要素的长期平均作为气候态。其中 OLR

资料为 1979~1996 年的平均, 其他资料为 1968~1996 年的平均。

2 2006 年川渝地区的高温、干旱特征

2006 年夏季川渝地区的高温干旱具有持续时间长且强度强的特点。以重庆沙坪坝站作为重庆站的代表, 图 1 给出该站自入夏以来的日最高气温随时间变化的曲线。从 7 月 10 日到 9 月 4 日, 重庆地区的日最高温度多在 35°C 以上。7 月 10 日~9 月 4 日, 重庆市的高温日数(即 $> 35^{\circ}\text{C}$ 的日数)为 52 天, 比气候平均多 28 天。超过 38°C 的日数为 37 天, 超过 40°C 的日数为 14 天, 分别比气候平均高 27 天和 14 天。这次高温的强度强不仅表现在高温日数比常年同期高出一倍多, 而且表现在极端最高气温创下历史新高。8 月 15 日, 重庆市突破最高气温的历史记录, 达到 43.0°C 。而历史上重庆的极端最高气温出现在 1953 年 8 月 19 日, 为 42.2°C 。

图 2 为 7 月 10 日~9 月 4 日四川、重庆地区 58 个测站的降水距平百分率分布。川渝降水偏少 50% 的地区几乎占到一半。绝大部分地区的同期降水偏少 20% 以上。正是这样的持续高温少雨, 导致了四川经历了 50 年一遇的大旱, 重庆地区的干旱则是从 1891 年有气象记录以来最强的一次。

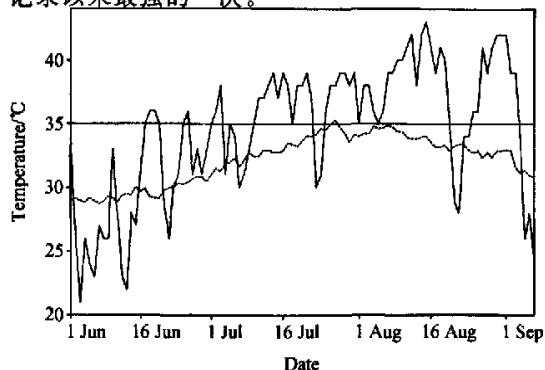


图 1 2006 年 6 月 1 日~9 月 7 日重庆单站日最高气温随时间的演变。虚线为同期气候平均状态, 细实线为 35°C 标尺

Fig. 1 Chongqing station: daily maximum temperature from 1 Jun to 7 Sep. Solid line for 2006, dashed line for long-term mean

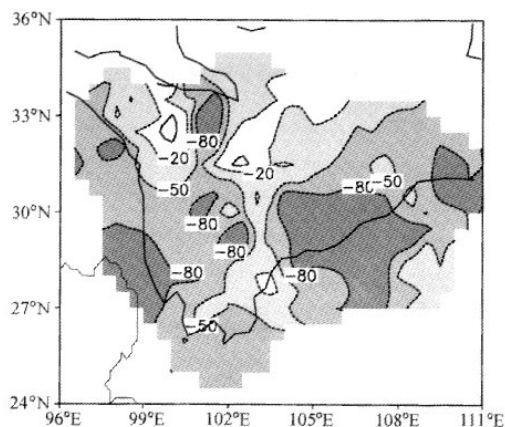


图 2 2006 年 7 月 10 日~9 月 4 日川渝地区 58 个测站的降水距平百分率。粗实线为长江、黄河

Fig. 2 Anomalous precipitation percentage based on the 58 stations in Sichuan Province and Chongqing Municipality from 10 Jul to 4 Sep in 2006 (thick solid lines stand for the Changjiang River and the Huanghe River)

3 高温干旱成因分析

3.1 副热带高压的异常特征

由于重庆地区的高温时段主要集中在 7 月 10 日~9 月 4 日, 因此以下的分析大多数针对该时段的平均场, 并与同期的气候平均作比较。图 3 为 7 月 10 日~9 月 4 日的 500 hPa 与 100 hPa 的平均高度场。可以看出, 虽然西太平洋副热带高压的脊线位于 30°N , 接近正常位置, 但它却伸展到异常偏西的位置上(图 3a)。其西伸脊点位于 119°E 附近(588 dagpm 线), 比气候平均位置偏西近 20 个经度。同时, 西太平洋副热带高压的经向度较大, 控制的范围较广。根据国家气候中心发布的《气候监测公报》^[5], 2006 年 7~8 月, 西太平洋副热带高压的平均面积指数比气候平均偏高 10 个格点, 强度指数偏高 10 dagpm, 西伸脊点偏西 14 个经度。即西太平洋副热带高压处于西伸加强的状态。这样的西太平洋副热带高压形势不利于川渝地区的降水^[6]。而这时, 大陆副热带高压位置偏东。在 $25^{\circ}\sim 35^{\circ}\text{N}$, 两者位置接近, 副热带地区的高度场偏高, 使西进的太平洋副热带高压维持更为稳定。

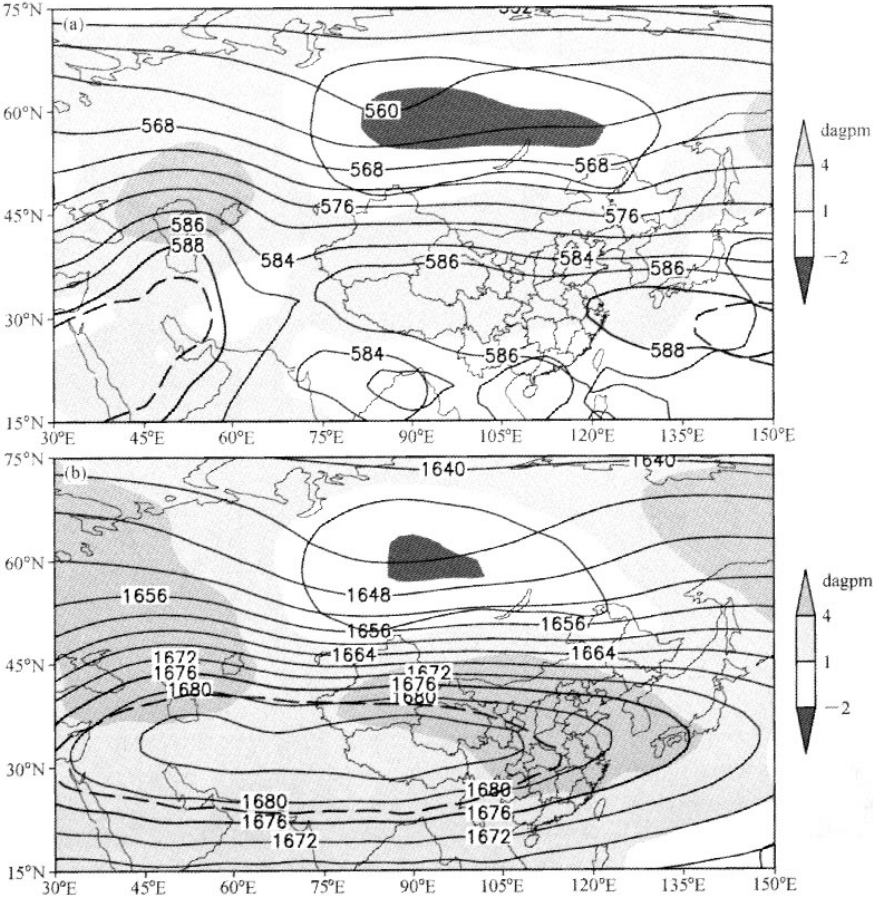


图3 2006年7月10日~9月4日 (a) 500 hPa 和 (b) 100 hPa 高度场。单位: dagpm, 阴影部分为同期的高度距平, 粗实线和虚线分别表示同期的 588 dagpm (a) 和 1 676 dagpm (b) 线和气候平均值

Fig. 3 The geopotential height over 500 hPa (a) and 100 hPa (b) in the same period, units, dagpm; the anomalies is shaded, and the color scale used for defining the shading in a given panel is shown beside that panel, thick solid lines and dashed lines represent the 588 dagpm (a) and 1 676 dagpm (b) in 2006 and for long-term mean, respectively

研究表明, 西太平洋副热带高压的西进东退与青藏高压的活动有十分密切的关系^[7,8]。南亚高压与对流层中低层西太平洋副高的活动存在“相向而行”和“相背而去”的关系, 当南亚高压向东扩展时, 西太平洋副高常西进。

考察这个时期的青藏高压活动, 可以发现, 100 hPa 上, 青藏高压的中心位于伊朗高原上空, 较气候平均的 100°E 附近要向西移动了 20 个经度。同时青藏高压东扩加强、脊线偏北 (图 3b)。1 676 dagpm 线比气候平均向东扩展了近 20 个经度。东亚地区上空为很强的正高度距平。青藏高

压中心的偏西导致大陆副热带高压的加强。青藏高压的向东伸展加强则有利于西太平洋副热带高压的加强和西进。这样的青藏高压异常有利于副热带高压的加强西伸。

青藏高压与西太平洋副热带高压的相向而行可以用时间剖面图来表示。对照重庆地区日最高气温随时间的变化 (图 4b) 以及副热带高压 (图 4c) 和青藏高压 (图 4a) 随时间的演变。从 2006 年 6 月 1 日~7 月 8 日, 青藏高压和西太平洋副热带高压分别处于偏西和偏东的位置。这时重庆地区的日最高气温基本处在 35℃ 以下。7 月 7 日,

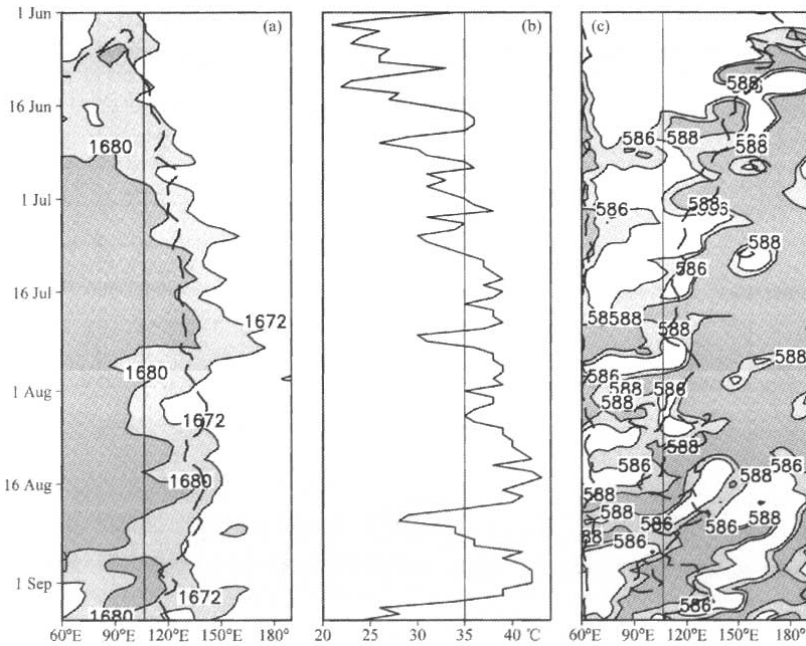


图4 2006年6月1日~9月7日27.5~32.5°N处100 hPa高度场(a, 单位: dagpm)、500 hPa高度场(c, 单位: dagpm)随时间-经度演变以及重庆测站日最高气温(b, 单位: °C)随时间的演变。(a)中虚线表示气候平均的1672 dagpm, (c)中虚线表示气候平均的586 dagpm, (a)、(c)中细实线表示重庆所在的经度106.3°E, (b)中细实线表示35°C的标尺

Fig. 4 Time-longitude section of geopotential height over 100 hPa (a, units: dagpm) and 500 hPa (c, units: dagpm) along 27.5~32.5°N, the daily maximum temperature of Chongqing (b, units: °C) from 1 Jun to 7 Sep. The dashed lines stand for the long-term mean positions of 1672 dagpm (a) and 588 dagpm (c). The thin solid lines in (a) and (c) stand for the longitude of Chongqing which is 106.3°E, and the one in (b) stands for 35 °C

青藏高压有一次向东伸展, 1672 dagpm线较气候平均偏东30个经度。7月10日, 西太平洋副热带高压向西伸展。7月11日, 586 dagpm线向西越过重庆所在的106.3°E, 重庆地区的日最高气温超过35°C。7月19日~7月21日, 青藏高压再次向东伸展。7月20日, 副热带高压再次西伸到重庆所在的经度, 并与大陆副热带高压打通。7月29日~8月1日, 重庆地区的气温持续在38~39°C。8月6日~8月21日, 青藏高压的1672 dagpm线一直维持在较气候平均偏东的位置上。8月8日~8月22日, 副热带高压则一直位于重庆地区上空, 较气候平均位置明显偏西。重庆地区的日最高气温则保持在39~41°C。8月28日, 青藏高压东伸。这次东伸过程一直持续到9月5日。8月27日~9月5日, 西太平洋副热带高压经历

一次西伸。重庆地区上空的500 hPa位势高度超过588 dagpm。重庆地区的日最高气温从前几天的34°C增至39~42°C。以上分析看出, 对应于青藏高压的一次次向东扩展加强, 副热带高压出现一次次西伸加强。产生这次川渝地区高温干旱的直接原因是这一地区上空一直为高压控制。

3.2 西风带环流系统的特征

中高纬度环流系统对中国夏季降水影响很大。西风带中一次次小股冷空气的南下会直接关系到长江流域梅雨锋的维持以及降水的产生。但是对2006年夏季环流的分析表明, 该时间段内, 东亚地区西风带位置偏北, 冷空气活动大多局限于黄河以北。从图3a中可以看出这段时间内, 中高纬环流比常年要平直, 冷空气活动较少。为了进一步说明这个特征, 我们做了200hPa纬向风(u)

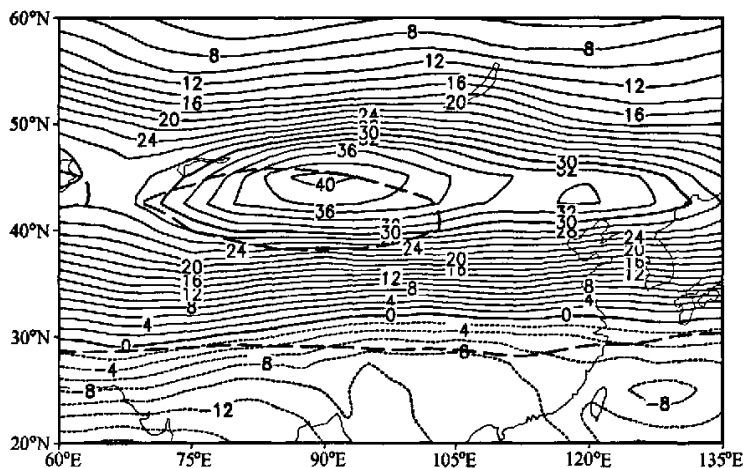


图 5 2006 年 7 月 10 日~9 月 4 日 200 hPa u 风场。单位: $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$, 细实(虚)线为正(负)值等风速线, 粗实线为同期的 $0 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 线, 闭合粗实线为 $u=30 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 的等值线, 粗虚线则为相应的气候平均值)

Fig. 5 The mean distribution of zonal wind over 200 hPa from 10 Jul to 4 Sep. (units: $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$, the thick solid lines stand for $0 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ and $30 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ in 2006, and the thick dashed lines stand for the ones of long-term mean)

的分布及其与气候平均状态的比较(图 5)。80°E 以东至日本南部, 2006 年的 $u=0$ 线偏北气候平均超过 2 个纬距。 $u>30 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 的范围也比气候平均的大而偏北。这充分说明 2006 年夏季(至少是在该特定时段内)西风带北缩, 纬向环流偏强。中高纬环流的这种配置无疑有利于副热带高压在 30°N 附近维持, 不利于它的东退。

根据研究^[6], 产生川东致洪暴雨的环流形势主要有两种: 一种是巴尔喀什湖地区为低槽, 贝加尔湖地区为高压脊; 另一种是乌拉尔山地区为高压脊, 贝加尔湖地区为低槽。这两种环流形势都要求西太平洋副热带高压脊线位于 20~25°N 附近。与这种致洪暴雨环流形势相比, 2006 年夏季的西风带扰动偏北, 40°N 附近亚洲大陆的气流平直, 西太平洋副热带高压偏北, 冷空气不易南下, 对川渝地区的降水不利。

3.3 青藏高原低涡活动减弱

由于青藏高原的地形作用^[9]和高原夏季中西部加热的不均匀性^[10], 夏季高原主体和高原东侧会频繁产生低涡系统。高原低涡是夏季青藏高原的主要降水系统, 一旦移出高原可以造成高原以东地区很强的降水^[11]。

2006 年夏季高原低涡活动与往年有较大的不同。我们计算了高原地区低层 600 hPa 的涡度场。图 6a、b 分别为 600 hPa 上这段时间内平均的涡

度距平和沿 30°N 的涡度距平随时间-经度的演变。可以看到 2006 年夏季 110°E 以西地区(包括高原上空)以负涡度距平为主, 即高原低涡较常年偏弱, 而且高原低涡的东移过程减弱。2006 年夏季青藏高压加强、中心偏西使得高原地区 500 hPa 出现正高度距平, 造成高原低涡活动减少。这和朱抱真等^[12]对高原观测数据的分析结果一致。而高原低涡活动减弱, 也可导致川渝地区降水偏少, 副热带高压稳定少动。

3.4 热带系统的活动

热带环流的强弱与副热带高压的位置及强度有很大的关系。为此, 我们考察了 2006 年夏热带地区环流的异常及其对副热带高压的影响。

图 7a 为热带地区向外长波辐射(OLR)距平的分布。从图中看出, 2006 年夏季, 从菲律宾以东洋面经南海、中南半岛到孟加拉湾地区的 OLR 较常年偏低。对照 850 hPa 的流场距平(图 7b), 可以看到, 这里为一气旋性环流距平, 即这里的对流活动偏强, 热带辐合带(ITCZ)偏强。根据蒋尚城等^[13]的研究, 当 ITCZ 偏强时, 西太平洋副热带高压强度偏强。

热带辐合带上对流活动的加强会引起加热场的变化。采用倒算法^[14]计算 2006 年夏季的非绝热加热和潜热加热。图 8 为 2006 年垂直积分的潜热加热及距平分布($\langle Q_2 \rangle$)。在 ITCZ 处, 潜热加热

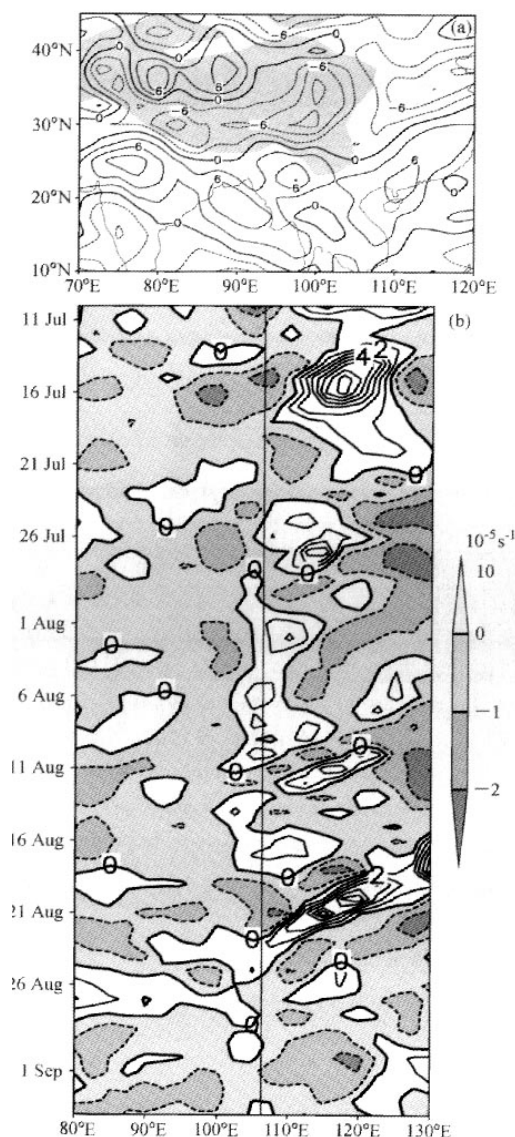


图6 2006年7月10日~9月4日 (a) 600 hPa 涡度场距平和 (b) 30°N 的涡度距平随时间-经度的演变。单位: s^{-1} , 粗实线表示0线, (a) 中阴影表示高原地形 (≥ 1500 m), (b) 中的阴影表示负涡度距平, 细实线表示重庆所在的经度 ($106.5^{\circ}E$)

Fig. 6 (a) The distribution of vorticity anomaly over 600 hPa from 10 Jul to 4 Sep, (b) the time-longitude section of the vorticity anomaly over 600 hPa along $30^{\circ}N$. Units: s^{-1} , the thick solid line stands for zero line. In (a), the grey shading is for the surface height above sea level ≥ 1500 m. In (b), negative vorticity anomalies are shaded, and the solid straight line stands for the longitude of Chongqing which is $106.5^{\circ}E$

偏强。对比非绝热加热 ($\langle Q_1 \rangle$) 的分布 (图略), 可以看到, 二者的分布相似。所以这一地区的 $\langle Q_1 \rangle$ 主要由降水产生的凝结潜热所致。根据数值实验的研究^[15], 当南海出现异常加热时, 将会造成西太平洋副热带高压的西进。

为进一步说明这两者之间的关系, 比较西太平洋副热带高压和热带地区 500 hPa 非绝热加热 (Q_1) 的随时间-经度演变 (图9)。在2006年7月10日之前, 西太平洋副热带高压位于一个较偏东的位置。南海地区的加热为负距平。7月9日, 对应台风“碧利斯”, 热带地区有一次较强的非绝热加热自菲律宾以东洋面向西传播。7月11日副热带高压西伸加强并断裂成陆上单体。7月29日, 当从菲律宾以东洋面上向西移动的异常加热进入南海后, 副热带高压出现一次西伸。之后, 8月16日~21日和8月26日~9月初的两次西太平洋副热带高压的西伸, 均有热带地区的异常加热场从菲律宾以东洋面或南海向西的传播。

热带系统对副热带高压的影响不仅表现在菲律宾以东洋面到中南半岛东部的 ITCZ 活跃上, 孟加拉湾地区的季风降水产生的异常热源也有作用。2006年7~8月, 孟加拉湾西部降水偏多^[16]。在加热场上这里表现为一个加热异常强地区 (图8)。80~120°E 存在一条加热异常带。即印度季风偏强, 南海对流偏强。取中南半岛西部到孟加拉湾地区的异常加热中心, 做环流的垂直-纬度剖面 (图10), 发现在加热中心有异常的上升运动, 30°N 附近有异常的下沉运动。这样的异常上升、下沉中心分别表示了孟加拉湾地区的对流加强和副热带高压的加强。

根据热力适应理论^[17], 从孟加拉湾到菲律宾以东洋面的非绝热加热异常可以在其西北侧的对流层高层强迫出负涡度距平, 有利于青藏高原的加强及脊线位置偏北。青藏高原的加强与脊线偏北和我们上面分析的副热带高压加强一致。

从图11可以看到, 川渝地区上空的高度距平具有相当的正压性。这表明除了异常非绝热加热的热力作用对副热带高压的加强有重要作用外, 内部动力学过程也起了很重要的作用。

4 总结和讨论

2006年西太平洋副热带高压西伸, 大陆副热

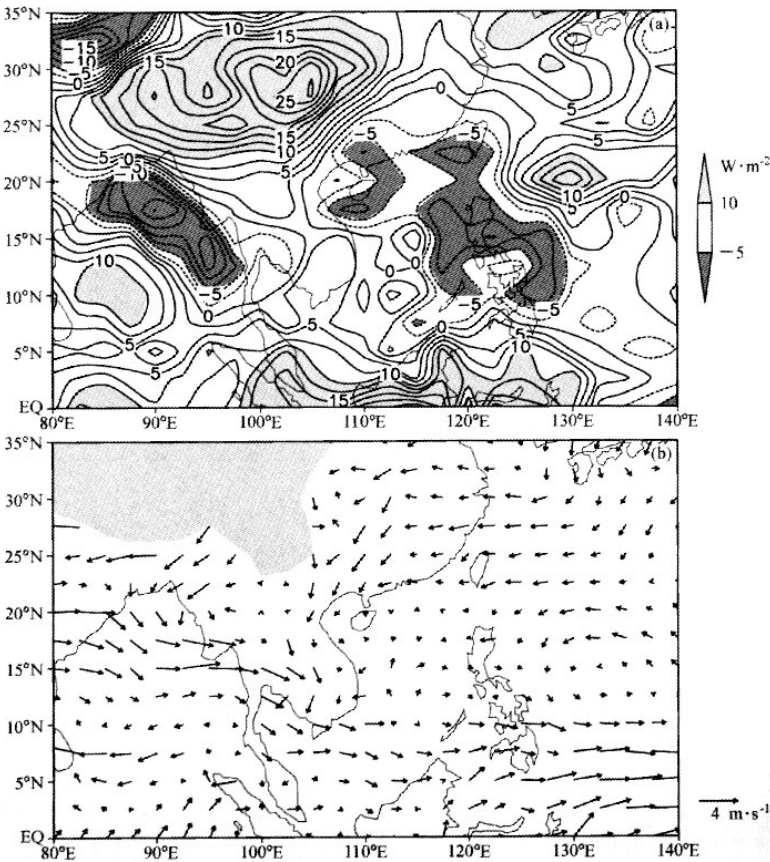


图 7 (a) 2006 年 7 月 10 日~9 月 4 日平均的 OLR 距平分布和 (b) 700 hPa 风场距平 (阴影区为高原地形 $\geq 3000 m$)
Fig. 7 (a) The mean distribution of OLR anomaly from 10 Jul to 4 Sep, and (b) the mean wind anomaly at 700 hPa in the same period (the grey shading is for the surface height above sea level $\geq 3000 m$)

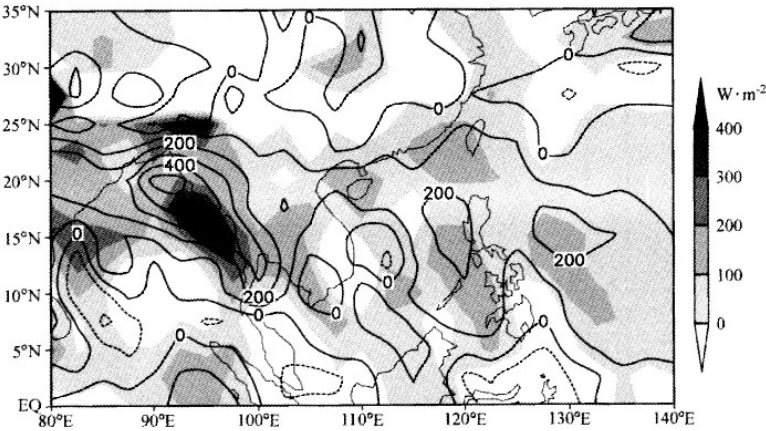


图 8 2006 年 7 月 10 日~9 月 4 日垂直积分的 Q_2 及距平分布 (阴影区表示正距平区)
Fig. 8 The distribution of vertically integrated apparent moisture sink (positive anomalies are shaded)

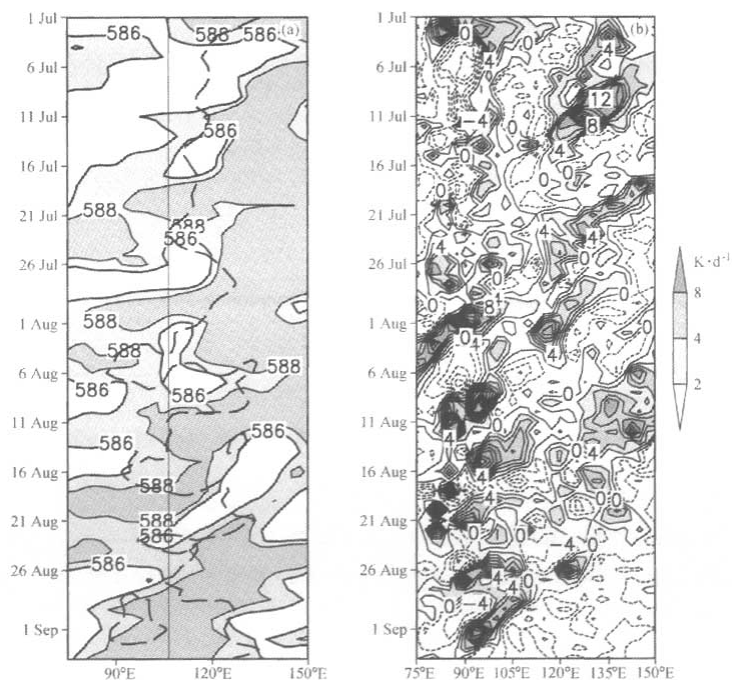


图9 2006年7月1日~9月4日 (a) 沿30°N 500 hPa 高度场随时间-经度的剖面 (单位: dagpm) 和 (b) 沿15°N 500 hPa Q_1 距平随时间-经度的剖面 (单位: $K \cdot d^{-1}$)。 (a) 中粗实线和虚线分别表示为2006年和气候平均的586线, 细实线表示重庆所在经度

Fig. 9 (a) The time-longitude section of geopotential height along 30°N from 1 Jul to 4 Sep in 2006 (unit: dagpm), and (b) the time-longitude section of apparent heat source over 500 hPa along 15°N during the same period (units: $K \cdot d^{-1}$). Thick solid line and dashed line in (a) indicate the 586 dagpm in 2006 and long-term mean 586 dagpm, and the thin solid line stands for the longitude of Chongqing

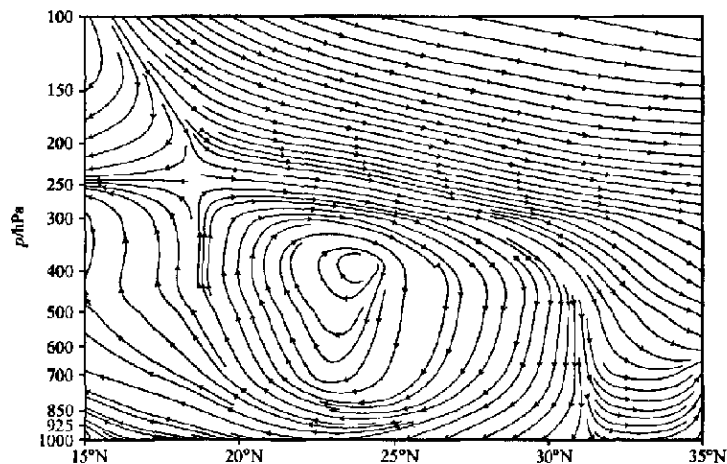


图10 2006年7月10日~9月4日平均的90~105°E垂直经圈环流距平 (单位: v 为 $m \cdot s^{-1}$, w 为 $hPa \cdot h^{-1}$)

Fig. 10 Vertical profile of mean anomalous meridional circulation along 90~105°E from 10 Jul to 4 Sep in 2006 (units: $m \cdot s^{-1}$ for meridional wind, $hPa \cdot h^{-1}$ for vertical velocity)

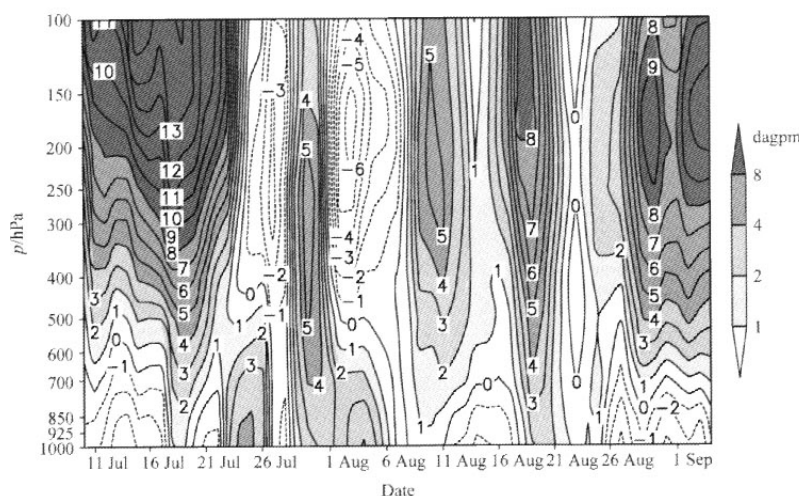


图 11 2006 年 7 月 10 日~9 月 4 日重庆地区 (30°N, 105°E) 高度场的垂直剖面演变 (单位: dagpm)

Fig. 11 The vertical-time profile of the geopotential height at Chongqing (30°N, 105°E) from 10 Jul to 4 Sep in 2006 (units: dagpm)

带高压东伸。同时,东亚中纬度西风带扰动偏北偏弱,热带地区对流活跃、孟加拉湾地区降水异常增多导致了热带加热场的异常。这些热带和中高纬度环流的配置有利青藏高压偏强与西太平洋副热带高压的西伸,也就使得四川、重庆处于高压控制之下,形成罕见的高温干旱。

从大气内部动力过程来说,中高纬度的槽脊活动把能量输送到副热带高压内,使得副热带高压维持。热带系统的活跃和热带地区的非绝热加热也可能加强副热带高压。研究表明,川渝地区历时近 2 个月的干旱由 5 次阶段性干旱天气过程组成^[18]。对某一段时间来说,各个因子所起的作用大小可能不同。有时可能是中高纬度因子占主导地位,有时副热带因子的作用更重要。因此有关高、中、低纬环流系统的相互作用的动力与热力作用的物理过程需要我们进一步深入研究。

参考文献 (References)

[1] 高阳华, 唐云辉, 冉荣生. 重庆市伏旱发生分布规律研究. 贵州气象, 2002, 26 (3): 6~11
Gao Yanghua, Tang Yunhui, Ran Rongsheng. The distribution of the drought in dog days in Chongqing. *Journal of Guizhou Meteorology* (in Chinese), 2002, 26 (3): 6~11
[2] 邓绍辉, 罗晓彬. 建国以来四川旱灾特点及其防治. 四川师范大学学报 (社会科学版), 2005, 32 (3): 125~132

Dend Shaohui, Luo Xiaobin. Features, Prevention and Remedy of Droughts in Sichuan Since 1949. *Journal of Sichuan Normal University* (Social Sciences Edition) (in Chinese). 2005, 32 (3): 125~132

[3] 潘建华, 钟晓平. 四川盆地春、夏、伏旱的总体特征及早期降水和温度之特点. 四川气象, 1998, 18 (2): 32~39
Pan Jianhua, Zhong Xiaoping. The characteristics of the droughts in spring, summer and dog days, and the rainfall and temperature during the same time in Sichuan Basin. *Journal of Sichuan Meteorology* (in Chinese), 1998, 18 (2): 32~39
[4] http://ncc.cma.gov.cn/upload/upload2/hljc/hljc_m06-0913.doc
[5] <http://ncc.cma.gov.cn/Monitoring/Bulletin/200609/historybulletine.htm>
[6] 刘德, 余惠雯. 川东洪水和致洪暴雨分析预报. 四川气象, 1995, 54 (4): 5~7
Liu De, Yu Huiwen. Analysis on the flood and the heavy rain forecast in the East part of Sichuan Province. *Journal of Sichuan Meteorology* (in Chinese), 1995, 54 (4): 5~7
[7] 陶诗言, 朱福康. 夏季亚洲南部 100 毫巴流型的变化及其与西太平洋副热带高压进退的关系. 气象学报, 1964, 34 (4): 385~396
Tao Shiyan, Zhu Fukang. The 100 mb flow patterns in Southern Asia in summer and its relation to the advance and retreat of the West-Pacific subtropical anticyclone over the Far East. *Acta Meteorologica Sinica* (in Chinese), 1964, 34 (4): 385~395
[8] 谭晶, 杨辉, 孙淑清, 等. 夏季南亚高压东西振荡特征研

- 究. 南京气象学院学报, 2005, 28 (4): 452~460
Tan Jing, Yang Hui, Sun Shuqing, et al. Characteristics of the Longitudinal Oscillation of South Asia High during Summer. *Journal of Nanjing Institute of Meteorology* (in Chinese), 2005, 28 (4): 452~460
- [9] 杨伟恩, 杨大升. 正压大气中青藏高原地形影响的数值试验. 高原气象, 1987, 6 (2): 117~129
Yang Weiyu, Yang Dasheng. Numerical experiment of the topographic influence of Qinghai-Xizang Plateau in the barotropic atmosphere. *Plateau Meteorology* (in Chinese), 1987, 6 (2): 117~129
- [10] 钱正安, 单扶民, 吕君宁, 等. 1979年夏季青藏高原低涡的统计及低涡产生的气候因子探讨. 见: 青藏高原气象科学实验文集 (二). 北京: 科学出版社, 1984. 182~194
Qian Zheng'an, Shan Fumin, Lü Junning, et al. A statistic study of the summer vortex over Tibetan Plateau in 1979 and the climate favoring the vortex. In: *Collections of the Qinghai-Xizang (Tibet) Plateau Meteorological Experiment* (Part two) (in Chinese). Beijing: Science Press, 1984. 182~194
- [11] 罗四维, 杨洋, 吕世华. 一次青藏高原夏季低涡的诊断分析研究. 高原气象, 1991, 10 (1): 1~12
Luo Siwei, Yang Yang, Lü Shihua. Diagnostic analyses of a summer vortex over Qinghai-Xizang Plateau for 29~30 June 1979. *Plateau Meteorology* (in Chinese), 1991, 10 (1): 1~12
- [12] 朱抱真, 宋正山. 青藏高压的形成过程和准周期振荡-观测事实的分析. 见: 青藏高原气象科学实验文集 (一). 北京: 科学出版社, 1984. 303~313
Zhu Baozhen, Song Zhengshan. A analysis of facts about quasi-periodic oscillation of Qinghai-Xizang high and its process of producing. In: *Collections of the Qinghai-Xizang (Tibet) Plateau Meteorological Experiment* (Part one) (in Chinese). Beijing: Science Press, 1984. 303~313
- [13] 蒋尚城, 戴志远. 卫星观测的西太平洋副热带高压的气候学特征. 科学通报, 1989, 34 (19): 1492~1493
Jiang Shangcheng, Dai Zhiyuan. Satellite derived climatological feature of subtropical high over West Pacific. *Chinese Science Bulletin* (in Chinese), 1989, 34 (19): 1492~1493
- [14] Li C F, Yanai M. The onset and interannual variability of the Asian summer monsoon in relation to land-sea thermal contrast. *Journal of Climate*, 1996, 9 (2): 358~375
- [15] 钟中. 东亚地区加热场对西太平洋副高东西进退影响的数值试验. 热带气象学报, 1991, 7 (4): 332~340
Zhong Zhong. Numerical experiments of effects of East Asia heating on east-west extension/retraction of west Pacific subtropical high. *Journal of Tropical Meteorology* (in Chinese), 1991, 7 (4): 332~340
- [16] <http://www.imd.ernet.in/section/nhac/dynamic/endof-monsoon.htm>
- [17] Liu Y M, Wu G X, Liu H, et al. Condensation heating of the Asian summer monsoon and the subtropical anticyclone in the Eastern Hemisphere. *Climate Dynamics*, 2001, 17: 327~338
- [18] 卫捷, 陈红, 孙建华, 等. 2006年夏季中国的异常气候-中国科学院大气物理研究所短期气候预测检验. 气候与环境研究, 2007, 12 (1): 1~7
Wei Jie, Chen Hong, Sun Jianhua, et al. The analysis of anomalous climate in eastern China in summer 2006-verification of seasonal climate predictions of Institute of Atmospheric Physics. *Climatic and Environmental Research* (in Chinese), 2007, 12: 1~7