

# 2006年夏季川渝地区伏旱与低频大气热源的关系<sup>\* 1</sup>

岑思弦<sup>1</sup> 巩远发<sup>2</sup> 秦宁生<sup>1</sup> 赖欣<sup>2</sup> 王霄<sup>3</sup> 黄先伦<sup>4</sup>

CEN Sixian<sup>1</sup> GONG Yuanfa<sup>2</sup> QIN Ningsheng<sup>1</sup> LAI Xin<sup>2</sup> WANG Xiao<sup>3</sup> HUANG Xianlun<sup>4</sup>

1. 中国气象局成都高原气象研究所, 成都, 610072
2. 成都信息工程学院高原大气与环境研究中心, 成都, 610225
3. 河南省气象科技服务中心, 郑州, 450003
4. 阳江市气象局, 广东阳江, 529500

1. Chengdu Institute of Plateau Meteorology, China Meteorology Administration, Chengdu 610072, China
2. Center for Plateau Atmospheric and Environmental Research, Chengdu University of Information Technology, Chengdu 610225, China
3. Henan Service Center of Meteorological Sciences and Technology, Zhengzhou 450003, China
4. Yangjiang Meteorological Bureau, Yangjiang Guangdong 529500, China

2009-12-01 收稿, 2011-02-12 改回.

**Cen Sixian, Gong Yuanfa, Qin Ningsheng, Lai Xin, Wang Xiao, Huang Xianlun. 2011. The relationship between the low-frequency oscillation atmospheric heating source/sink and the drought in the Sichuan-Chongqing region in summer of 2006. Acta Meteorologica Sinica, 69(6):1009-1019**

**Abstract** In the summer of 2006, the severe drought occurred in the Sichuan-Chongqing region. In order to investigate the cause, using the NCEP/NCAR reanalysis data and the observed daily rainfall from the gauge stations, the relationship of the low-frequency oscillation (LFO) atmospheric heating source/sink with the severe drought in the Sichuan-Chongqing region in the summer of 2006 has been studied. The results show that the summer rainfall in 2006 over the Sichuan-Chongqing region was dominated by the about 60 day oscillation; during the period of the severe drought in the Sichuan-Chongqing region from late July to early August, longitudinally, due to the influences of the LFO heat sink over the Sichuan-Chongqing region and the LFO heat source over the Guangxi, Hainan and west of the region, there was a low-frequency meridional circulation cell formed over the region between the 15°N and 40°N, whose downward branch of the circulation cell is just located over the Sichuan-Chongqing region; latitudinally, under the joint influences of the LFO heat sink over the Taiwan and its surrounding areas and the LFO heat source west of the Taiwan and its surrounding areas, the low-frequency zonal circulation cell was formed over the region between 105°E and 130°E and another secondary low-frequency zonal circulation cell emerged over the region between 85°E and 105°E, which strengthened the low-frequency upward motion over the Guangxi and Hainan and west of the region, and thus further strengthened the low-frequency meridional circulation that was formed over the region between the 15°N and 40°N. As a result, on the one hand, it strengthened the low-frequency downward flow over the Sichuan-Chongqing region and, on the other hand, also strengthened the low-frequency divergence of the low-level flow over the Sichuan-Chongqing region. The difference of zonal distribution of the LFO further strengthened the downward flow over the Sichuan-Chongqing region, which might be the important cause why over the Sichuan-Chongqing region the severe drought occurred in the summer of 2006.

**Key words** Low-frequency oscillation (LFO), Atmospheric heating source/sink, Sichuan-Chongqing region, Summer drought

\* 资助课题: 国家自然科学基金资助项目(40675036, 40633018)、高原气象开放实验室基金课题(LPM2009019)、四川省气象局青年基金课题“亚洲季风区大气热源汇的变化与川渝旱涝的研究”。

作者简介: 岑思弦, 主要从事天气诊断。E-mail: csx128@163.com

**摘要** 利用 NCEP/NCAR 再分析资料和中国地面观测站的逐日降水资料,研究了 2006 年夏季中国川渝地区的伏旱与亚洲地区大气低频振荡的联系。结果表明,2006 年夏季中国川渝地区降水低频振荡的主要周期约为 60 d;在川渝严重干旱期的 7 月下旬至 8 月上旬,经向上由于川渝地区上空低频热汇、广西和海南及其以西地区上空低频热源的影响,在 15°—40°N 地区上空形成一个低频经圈环流,该环流圈的下沉支刚好位于川渝地区上空;纬向上在中国台湾及其附近地区上空低频热汇和其以西地区上空低频热源的共同影响下,在 105°—130°E 地区上空形成的低频纬圈环流以及 80°—105°E 地区上空出现的次级低频纬圈环流,加强了川渝以南地区上空的低频上升气流,这样进一步加强了经向上 15°—40°N 地区的低频经圈环流。在这个低频经圈环流的作用下,一方面加强了川渝地区上空的低频下沉气流,另一方面加强了川渝地区低层的低频辐散气流,结果导致中国川渝地区发生了严重的伏旱。

**关键词** 低频振荡, 大气热源(热汇), 川渝地区, 伏旱

**中图法分类号** P463.1

## 1 引言

近百年来,全球气候变暖是不争的事实,随之而来的是极端天气气候事件的频繁发生,引发的自然灾害给社会、经济和人们生活造成了严重的影响和损失。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区,受地形、地貌的影响,川渝地区的高温干旱具有自己独特的特征(潘建华等,1998;高阳华等,2002;邓绍辉等,2005)。2006 年夏季重庆遭遇百年一遇、四川遭受了 1951 年以来最严重的伏旱。邹旭恺等(2007)指出 2006 年夏季川渝地区的高温干旱是由于北方南下的冷空气较弱,南北气流交汇不明显,同时西北太平洋副热带高压脊线偏北,青藏高原积雪偏少也是重要原因。彭京备等(2007)分析也发现东亚西风带扰动偏弱、偏北,青藏高原低涡活动较弱,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。

低频振荡作为重要的环流系统之一,其对天气、气候异常的影响受到许多学者的重视。Sun 等(2008)研究发现,1999 年夏季由于受中纬度地区冷空气持续向南输送,来自低纬度地区的 30—60 d 水汽输送不能越过中国长江流域,同时西北太平洋上反气旋水汽系统西北侧的西南水汽通量以及水汽辐合只能到达大约 30°N 地区,导致中国北部严重干旱天气的发生。马晓青等(2008)也分析了 2004/2005 年冬季强寒潮事件与大气低频波动的关系。毛江玉等(2005)研究也发现,1991 年江淮梅雨期降水的低频振荡与 500 hPa 北太平洋副热带高压的低频变化及其传播有密切关系。

而热源作为大气环流的驱动力,其变化与旱涝密切相关。巩远发等(2007)分析了 2001 和 2003 年夏季低频大气热源(汇)的异常变化及其传播与中国江淮流域旱涝的联系。Yang(2001)指出,长江中下游的旱涝与西太平洋—南海以及青藏高原东南部—孟加拉湾的热源有关。Jian 等(2006)就青藏高原东部以及西太平洋热源对长江流域的影响做了进一步的研究。赵勇等(2008)也提出当北非大陆地区偏冷,其西北侧的海区偏暖时,江淮流域夏季的降水将整体偏多;反之,江淮流域夏季的降水整体偏少。

针对 2006 年夏季中国川渝地区发生的伏旱,本文将从热源角度,分析低频热源的垂直结构、垂直结构和垂直环流的变化与 2006 年夏季中国川渝地区伏旱发生的关系。

## 2 资料与方法

### 2.1 资料和大气热源(汇)计算

研究所用的资料是 2006 年中国川渝地区 48 个地面观测站的逐日降水资料和 NCEP/NCAR 的逐日再分析资料,其中的再分析资料包括地面气压和对流层中 12 个等压面上的温度  $T$ 、纬向风  $u$ 、经向风  $v$  和垂直速度  $\omega$ ,资料的水平分辨率为  $2.5^\circ \times 2.5^\circ$ 。

大气热源、热汇的计算采用最近较为常用的 Yanai 等(1973)提出的倒算法,由热力学方程可得

$$Q_1 = c_p \left[ \frac{\partial T}{\partial t} + \mathbf{V} \cdot \nabla T + \left( \frac{p}{p_0} \right)^k \omega \frac{\partial \theta}{\partial p} \right] \quad (1)$$

其中,  $Q_1$  是单位质量大气中的热量源汇,  $T$  为温度,  $\omega$  为  $p$  坐标下的垂直速度,  $p_0 = 1000$  hPa,  $k = R/c_p$ ,  $R$  为气体常数,  $\mathbf{V}$  为水平风矢。将式(1)用质量权重对整层大气积分,得

$$\langle Q_1 \rangle = \frac{1}{g} \int_{p_1}^{p_s} Q_1 dp = \frac{c_p}{g} \int_{p_1}^{p_s} \left[ \frac{\partial T}{\partial t} + \mathbf{v} \cdot \nabla T + \left( \frac{p}{p_0} \right)^k \omega \frac{\partial \theta}{\partial p} \right] dp \quad (2)$$

其中,  $p_s$  是地面气压,  $p_1$  是大气顶气压, 计算中取  $p_1 = 100 \text{ hPa}$ ,  $\langle Q_1 \rangle$  表示从地面到 100 hPa 的大气中单位面积气柱内  $Q_1$  的垂直积分。 $\langle Q_1 \rangle$  为正(负)时, 表示气柱中总的非绝热加热(冷却), 也称之为大气热源(热汇)。 $\langle Q_1 \rangle$  中包含了气柱中的净辐射加热(冷却)、潜热加热和地面扰动的感热输送。

### 2.2 带通滤波与小波分析方法

小波变换是一种信号的时间-频率分析方法, 其优于傅立叶变换的地方是它在时域和频域上同时具有良好的局部化性质。由于小波变换是采用逐步精细的时域和频域取样, 从而可以聚焦到变换对象的任意细节变化, 可以较准确地检测信号的突变, 因此, 小波变换被广泛应用于气候的诊断中(胡增臻等, 1997; 林振山等, 1999; 魏凤英, 1999)。文中在用小波变换进行研究时, 采用了 Marr 母小波(胡增臻等, 1997; 林振山等, 1999; 魏凤英, 1999)。而为了得到各要素场的低频分量, 选用 Butterworth 带通滤

波方法(Murakami, 1979)进行滤波。

### 3 2006年川渝地区夏季降水特征

图 1 的直方图给出了川渝地区 5—9 月 48 个站平均的日降水量。从图中可以看出, 7 月中旬至 8 月下旬, 川渝地区的降水普遍偏少, 大多数时期的日降水量都低于 4 mm, 尤其是 7 月下旬至 8 月上旬, 日降水量不足 2 mm, 使得该时段成为川渝地区伏旱最严重的时期, 这与青泉等(2007)的研究结果相同。为了进一步研究川渝地区夏季的伏旱, 尤其是 7 月下旬至 8 月上旬这段时间最为严重的伏旱, 对 48 个站平均的日降水量做了 30—70 d 的滤波(图 1 中的实线), 从图中可以看到, 低频降水的波动趋势与日降水量的多寡相对应, 在 7 月下旬至 8 月上旬, 低频降水的低值区正好与川渝地区最严重的伏旱期相对应。

再对 5—9 月 48 个站点平均的日降水量进行小波变换分析(图 2), 从小波变换图上(图 2a)可以看到, 这段时间的降水显著存在以  $T \approx 64 \text{ d}$  及  $T \approx 24 \text{ d}$  为主要振荡周期的低频振荡。7 月下旬至 8 月上旬, 降水主要是周期  $T \approx 64 \text{ d}$  的低频降水极少期, 正

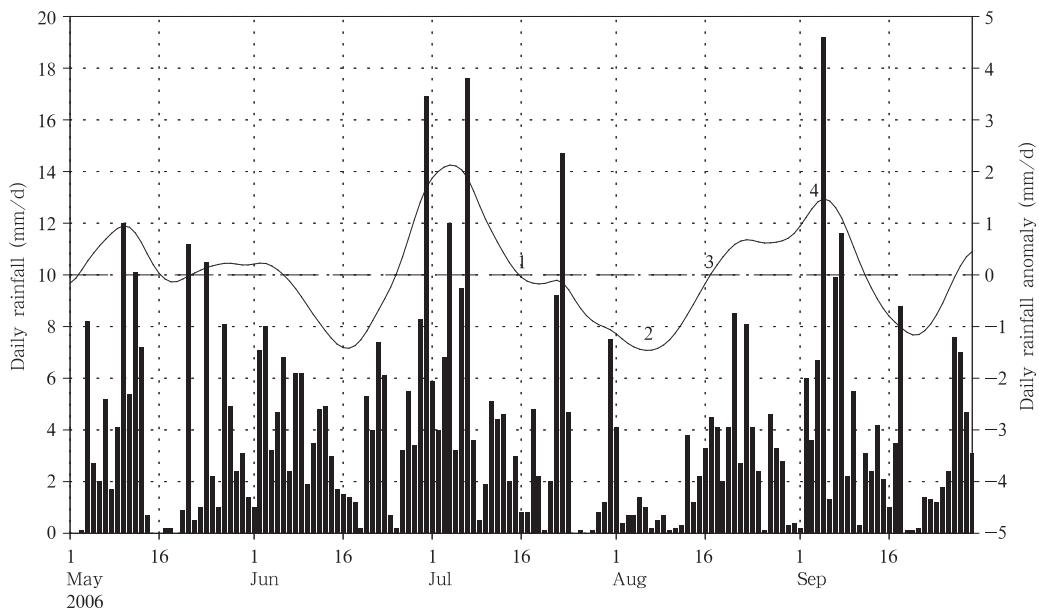


图 1 川渝地区 48 个站点 5—9 月平均日降水量的时间演变(直方图) 以及经 30—70 d 滤波的低频降水时间序列(实线) (单位: mm/d, 数字代表川渝严重干旱早期开始的低频降水变化的位相 1—4)

Fig. 1 Time series of the averaged daily rainfall over the 48 stations (Histogram) in the Sichuan-Chongqing region during 1 May – 30 September and the 30 – 70 day filtered daily rainfall series of low frequency (solid line) (unit: mm/d) with the number for its phase 1 – 4

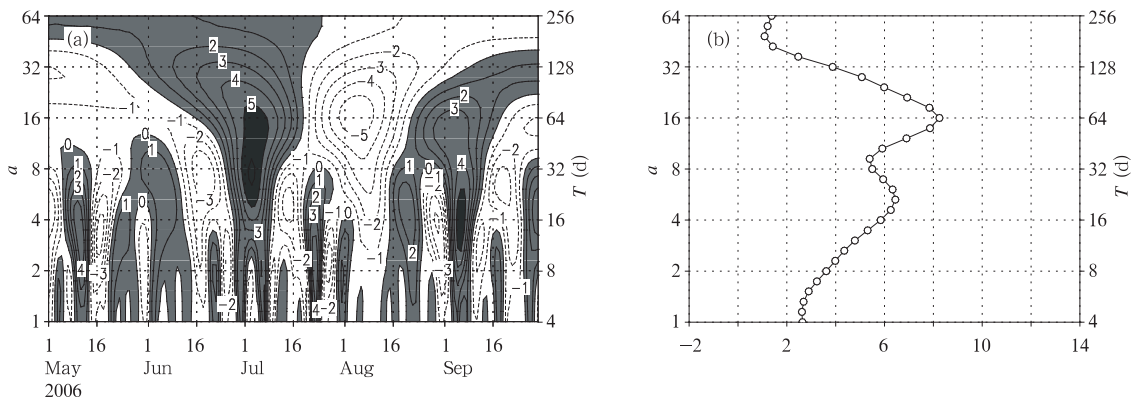


图2 2006年5—9月所选站点平均日降水量的(a)小波变换和(b)不同频域小波方差

(左边的纵坐标表示小波变换的尺度因子  $a$ , 右边的纵坐标表示  $a$  对应的近似周期  $T(d)$ )

Fig. 2 (a) Wavelet transformation of the averaged daily rainfall over the 48 stations for the period 1 May–30 September 2006 and (b) the variance on the frequency domain

(the left vertical-axis is the scale-factor  $a$  of the wavelet transformation and, the right-axis is the period  $T(d)$  of the scale  $a$ )

好对应该时段川渝地区严重的伏旱期;而8月下旬至9月上旬,降水主要是周期  $T \approx 24 d$  的低频振荡。在  $T \approx 16 d$  的频带上,8月下旬和9月上旬川渝地区有两个降水相对偏多期,这与汪丽等(2007)指出2006年8月20—23日及9月1—4日川渝地区有两次久旱转雨过程相对应。从各频域小波方差(图2b)也可以看出2006年夏季川渝地区5—9月降水的小波方差在尺度因子  $T = 64 d$  处有极大值。因此,2006年夏季降水的60 d左右的低频振荡是引起川渝地区严重伏旱的重要原因。

本文将图1中60 d低频降水时间序列中包括的7月下旬到8月上旬严重的伏旱以及8月下旬到9月上旬两次久旱转雨过程的7月10日至9月10日这个循环分为4个位相。其中位相2、4分别代表降水低频振荡的非活跃期与活跃期,位相1代表振荡由活跃期向非活跃期过度,位相3与1相反,代表由非活跃期向活跃期转变。通过对不同位相低频大气热源及环流的变化来探讨2006年川渝地区伏旱产生的可能原因。

#### 4 低频热源的 水平变化特征

大气热源作为大气环流的驱动力,与旱涝灾害的发生有密切的关系。Zhao等(2001)研究发现青藏高原春季4月的热源状况对后期中国江淮流域、华南地区和华北地区夏季降水有很好的指示意义。Jian等(2006)也指出高原东部地区的热源与长江中下游以北地区到淮河流域的降水有密切的关系,而

长江以南地区的降水则与西太平洋地区的热源异常有很大的关系。可见大气热源异常与旱涝灾害的发生确实有密切的关系。本节就对2006年夏季川渝地区低频降水4个位相  $\langle Q_1 \rangle$  低频分量的水平分布变化进行分析。

从位相1—4  $\langle Q_1 \rangle$  低频分量的分布(图3)可以看到,  $\langle Q_1 \rangle$  低频分量在位相1和2与位相3和4基本呈相反的分布形态。在低频降水由活跃期向非活跃期转变阶段(位相1,图3a),印度季风区伊朗高原经孟加拉湾南部到中南半岛附近地区是显著的  $\langle Q_1 \rangle$  低频分量热源区。而孟加拉湾北部向东北经青藏高原东部到四川西部地区则是显著的  $\langle Q_1 \rangle$  低频分量热源区,其中,孟加拉湾北部及高原东南部分别有高于  $50 W/m^2$  的热源中心。同时中国黄海向东到日本以东的洋面上是另一显著的  $\langle Q_1 \rangle$  低频分量热源区。此时,强的低频热源区则是位于中国南海东北部及华南向东到台湾以东地区,在中国台湾以东洋面上的热源中心强度甚至高于  $150 W/m^2$ 。到了川渝地区严重的伏旱期(位相2,图3b),中国华南向东到台湾以东地区的低频热源转变为低频热汇,向北与中国华东及黄海向东北到日本地区形成了巨大的低频热汇区,中国台湾以东及日本以西的洋面上还分别出现了强度低于  $-100 W/m^2$  的热汇中心;而在热汇区南部,中国四川地区东南部向下经南海向东到热带西太平洋地区成为显著的  $\langle Q_1 \rangle$  低频分量热源带,中国南海南部地区有强度高于  $150 W/m^2$  的热源中心形成。同时,伊朗高原经印度半岛到孟加拉

湾地区也成为强的 $\langle Q_1 \rangle$ 低频分量热源区,印度河平原及孟加拉湾地区分别有高于 $100 \text{ W/m}^2$ 的热源中心。此时,川渝地区也已由位相1的低频热源区转变为低频热汇区,与中国西北地区广大的低频热汇区连成一片,而川渝地区作为低频热汇中心,强度低于 $-50 \text{ W/m}^2$ 。

到了位相3(图3c),川渝地区及西北地区转变为 $\langle Q_1 \rangle$ 低频分量热源区。印度季风区,阿拉伯海经印度半岛到孟加拉湾中西部地区则由低频热源区转变为低频热汇区,而孟加拉湾东部与中南半岛则是低频热源区。此时,中国台湾附近地区的低频热汇进一步加强,而其南部中国南海向东南到菲律宾南部以东的洋面上也由低频热源区转变为低频热汇区,与台湾附近地区的低频热汇区连成一片。两个热汇区之间,菲律宾以东的洋面上是一很强的低频热源区,在关岛附近出现了高于 $200 \text{ W/m}^2$ 的热源中心。进入川渝地区低频降水活跃期(位相4,图3d),中国川渝地区还是 $\langle Q_1 \rangle$ 低频分量热源区,而中国台湾地区向北到中国华东以及日本地区也由低频

热汇区转变为低频热源区,并且在台湾以东的洋面上还有一强度高于 $50 \text{ W/m}^2$ 的热源中心出现;其南部,中国云南经南海向东到菲律宾以东地区的低频热汇区继续加强,并且与阿拉伯海北部经印度半岛、孟加拉湾到中南半岛加强的低频热汇区连成一片。这种形式下,中国川渝地区有降水发生,伏旱得到一定缓解。然后 $\langle Q_1 \rangle$ 低频分量大气热源分布开始进入下一循环。

由上面分析可以看出,在振荡的非活跃期与活跃期, $\langle Q_1 \rangle$ 低频分量在亚洲季风区的分布形式有着明显的不同:一是在振荡非活跃期,中国川渝地区主要受低频热汇的影响,在振荡活跃期,川渝地区则受低频热源的影响;二是在振荡非活跃期,阿拉伯海北部经孟加拉湾、中国南海到菲律宾以东洋面上主要表现为强的低频热源区,在活跃期,则为低频热汇区;三是中国台湾地区向北到华中、黄海及日本地区在非活跃期为低频热汇区,台湾地区以东洋面上为强的热汇中心,而在活跃期则相反。

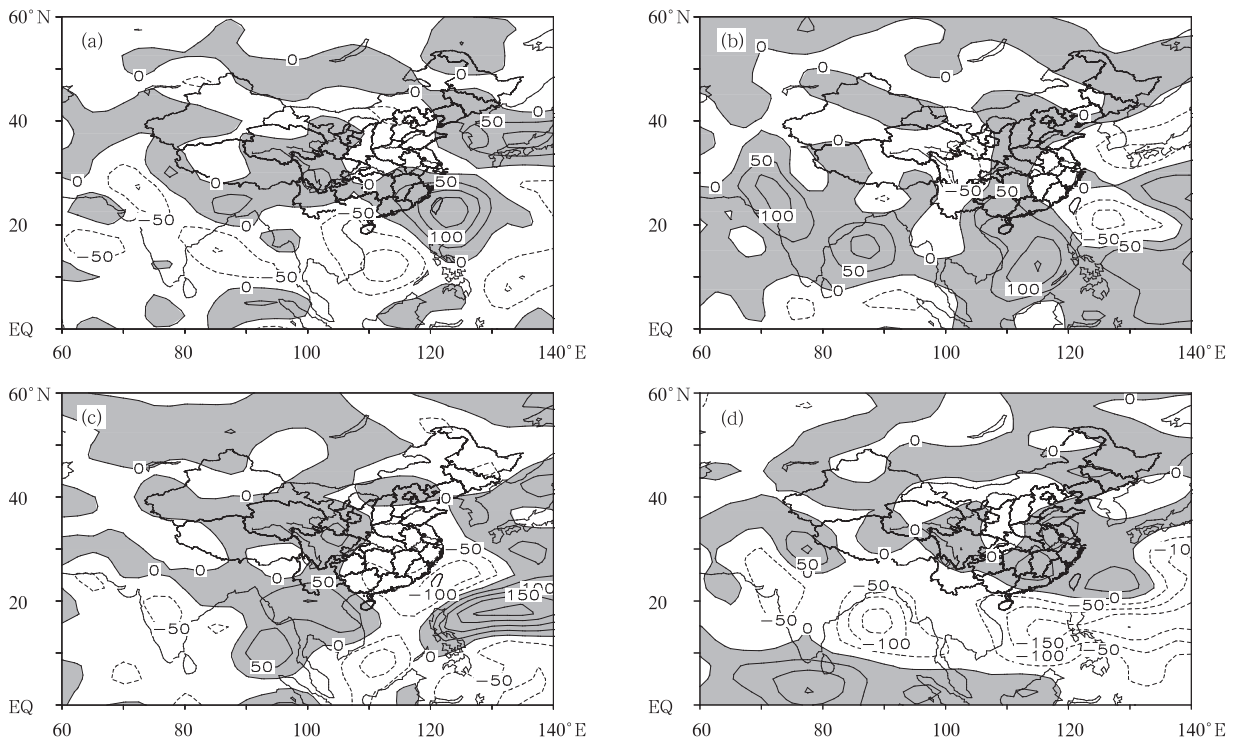


图3  $\langle Q_1 \rangle$ 低频分量在各位相的分布特征(单位: $\text{W/m}^2$ )  
 (a—d. 位相1—4, 等值线间距:50;阴影; $>0$ 表示低频热源区,反之则是低频热汇区)  
 Fig. 3 Distributions of the LFO component  $\langle Q_1 \rangle$  from phase 1 to 4  
 ((a) to (d), respectively)  
 The isotimic interval is  $50 \text{ W/m}^2$ ; shaded areas represent the LFO heating sources  $\langle Q_1 \rangle$

## 5 低频热源垂直变化特征

从第4节的分析可以看出,在低频降水非活跃期与活跃期,低频热源在热带地区阿拉伯海经孟加拉湾到菲律宾以东海洋上与川渝地区的水平分布都呈相反形式,这种低频热源的南北差异在垂直方向上的分布有何特点?同时中国台湾附近地区的低频热源也有显著的变化,与其西部的低频热源也呈相反分布,这种差异在垂直方向上的分布又有何特点?为了进一步研究各位相大气热源的垂直变化,本节对各位相低频大气加热率( $Q_1/c_p$ )的纬向及经向垂直变化进行了分析,限于篇幅,本节主要对降水非活跃期(位相2)与活跃期(位相4)进行分析。

### 5.1 低频热源的经向垂直变化特征

图4是位相2与位相4的沿 $98^\circ-110^\circ\text{E}$ 平均

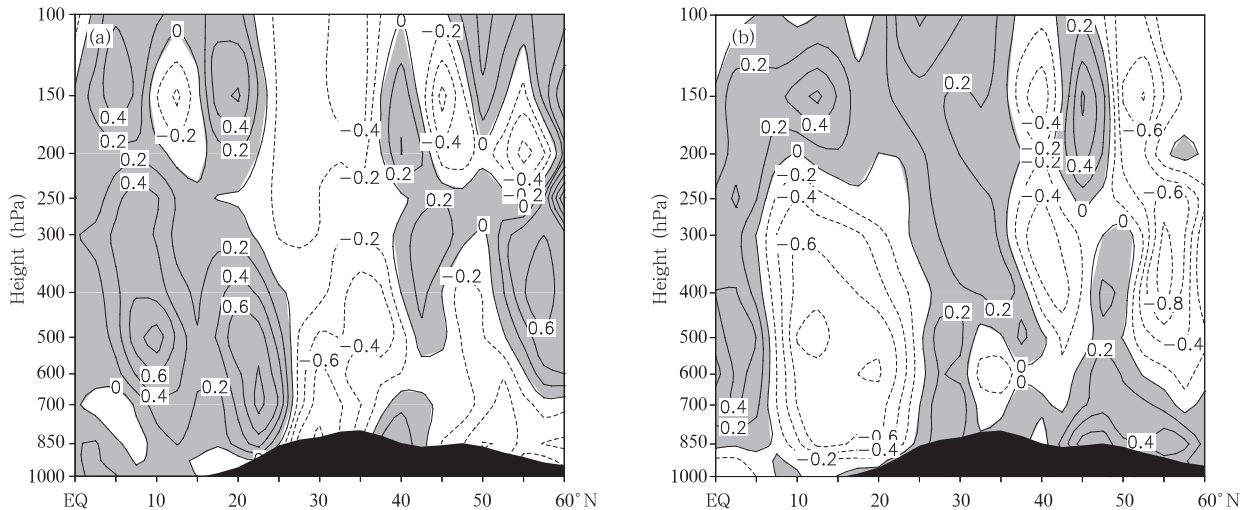


图4 沿 $98^\circ-110^\circ\text{E}$ 平均的低频大气加热率( $Q_1/c_p$ )在(a)位相2与(b)位相4的纬度-高度剖面分布

(单位:K/d,灰色阴影区表示热源,黑色阴影区表示地形)

Fig. 4 Latitude-pressure cross-sections of the LFO heating rate ( $Q_1/c_p$ ) averaged over  $98^\circ-110^\circ\text{E}$  for the phase 2 (a) and phase 4 (b)

(unit: K/d; the gray shaded areas are for the heat source, and the black shaded areas denote the topography)

到了降水活跃期(位相4,图4b),低频大气加热率( $Q_1/c_p$ )的垂直分布与位相2基本呈相反分布。此时,中国川渝地区上空已由低频热汇区转变为低频热源区,热源强度高于 $0.2\text{ K/d}$ 。川渝以南地区, $6^\circ-25^\circ\text{N}$ 上空 $250\text{ hPa}$ 以下是显著的低频热汇区,在中南半岛南部上空对流层中层 $500\text{ hPa}$ 附近、广西和海南及其以西地区上空 $600\text{ hPa}$ 附近分别有低于 $-0.8\text{ K/d}$ 的热汇中心出现;而 $250\text{ hPa}$ 以上的

的经向低频大气加热率( $Q_1/c_p$ )垂直分布。从图中可以看出,在 $25^\circ-40^\circ\text{N}$ ,位相2(图4a),其上空已经由位相1(图略)的低频热源区转变为低频热汇区,并且在川渝地区上空 $600\text{ hPa}$ 以下,热汇强度低于 $-0.6\text{ K/d}$ ,在近地层还有 $-0.8\text{ K/d}$ 的热汇中心。在约 $40^\circ\text{N}$ 以北地区上空, $500\text{ hPa}$ 以下主要为低频热汇区;而在 $500-250\text{ hPa}$ ,主要为弱的低频热源区;到了对流层高层( $250\text{ hPa}$ 以上),热源与热汇交替出现。同时,约 $25^\circ\text{N}$ 以南直至赤道地区上空,从地面到高层,除了在中南半岛南部上空对流层高层( $200\text{ hPa}$ 以上)有范围很小的低频热汇区之外,其余都主要表现为低频热源区,最强的热源区出现在中国川渝以南的广西和海南及其以西地区上空,在该地区上空的 $700-600\text{ hPa}$ 出现了强度高于 $0.8\text{ K/d}$ 的热源中心。

高空则转变为低频热源区,并与赤道直至 $6^\circ\text{N}$ 地区上空显著的低频热源区连成一片,在中南半岛南部地区上空高层 $150\text{ hPa}$ 附近以及 $2^\circ-4^\circ\text{N}$ 地区上空 $700-400\text{ hPa}$ 分别出现强度高于 $0.6$ 及 $0.4\text{ K/d}$ 的热源中心。同时,在约 $36^\circ\text{N}$ 以北地区上空,对流层低层( $600\text{ hPa}$ 以下)主要为低频热源区,而 $600-250\text{ hPa}$ 主要为低频热汇区, $250\text{ hPa}$ 以上则是低频热源与低频热汇交替变化。

5.2 低频热源的纬向垂直变化特征

韩荣青等(2006)指出,在东亚季风区涝年,太平洋同一纬度上大气季节内振荡向西传播都明显较强。据建华等(2008)进一步研究发现,起源于西太平洋海域的季节内振荡的西传对中国长江中下游地区夏季降水有一定的影响。由此可见热带地区大气热源的变化也能影响中国的降水。从上面低频大气热源的分布图上可以看出,中国台湾附近地区的热源,在不同位相变化趋势非常明显;尤其在降水非活跃期与活跃期,台湾附近地区与其以西地区的热源呈显著的反位相分布。为了进一步分析这种热源差异的垂直分布变化,本节主要对 20°—25°N 平均的纬向大气加热率( $Q_1/c_p$ )做了分析,同样也只给出位相 2 与 4 的结果。

从位相 2 与 4 纬向 20°—25°N 平均的低频大气加热率( $Q_1/c_p$ )的垂直分布(图 5)可以看出,在低频降水非活跃期(图 5a),约 120°E 以西地区上空,除 100°E 附近地区上空有范围很小的低频热汇区外,其余地区上空主要为低频热源区,并且,中国广西和海南及其以西地区上空以及印度半岛地区上空的热

源异常偏强,在印度半岛地区上空 850—400 hPa 和中国广西和海南及其以西地区上空 600—500 hPa 分别有高于 1.2 K/d 的热源中心。而中国台湾及其以东洋面上空,则是显著的低频热汇区,整个对流层热汇强度也偏强,在 500—300 hPa 以及 150 hPa 附近出现了两个强度低于 -1.2 K/d 的热汇中心。

到了位相 4(图 5b),中国台湾及其以东洋面上空已经由低频热汇区转变为低频热源区,并且热源强度也偏强,其中 500—200 hPa 以及 150 hPa 附近分别有高于 0.6 和 0.9 K/d 的热源中心出现。此时,100°—118°E 地区上空 300 hPa 以下是显著的低频热汇区,在 700—500 hPa 以及 850—700 hPa 分别有低于 -0.6 K/d 的热汇中心存在;300 hPa 以上则转变为弱的低频热源区。同时,在 100°E 以西地区上空,可以看到整个对流层主要是低频热汇区,而且印度半岛上空及孟加拉湾北部的热汇强度最强,在印度半岛上空 700—300 hPa、150 hPa 附近以及孟加拉湾北部上空的 600—400 hPa 分别有低于 -0.9 K/d 的热汇中心。

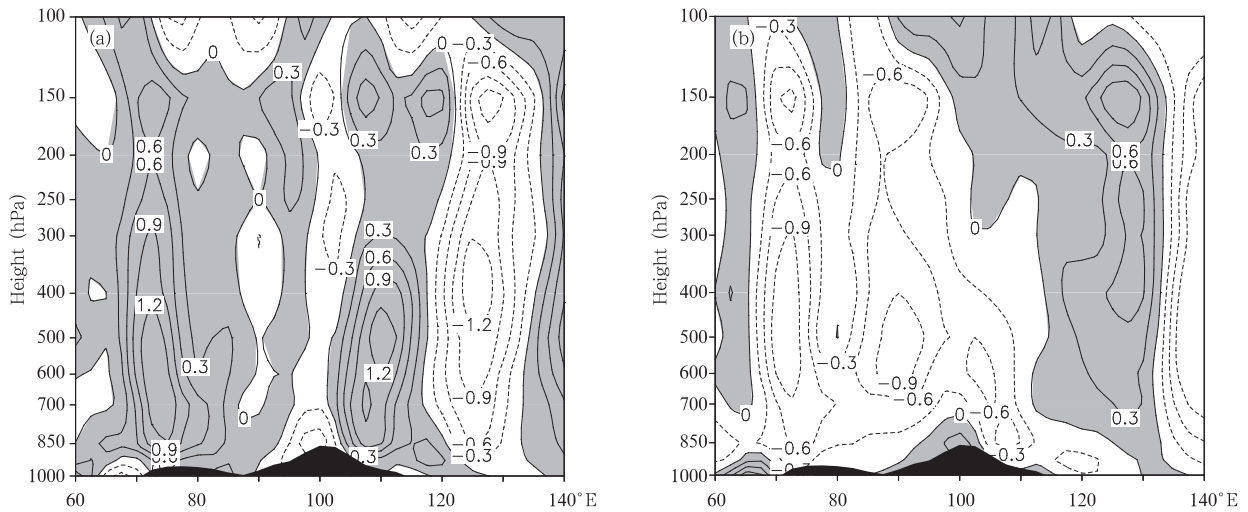


图 5 沿 20°—25°N 平均的低频大气加热率( $Q_1/c_p$ )在(a)位相 2 与(b)位相 4 的经度-高度剖面分布 (单位:K/d,灰色阴影区表示热源,黑色阴影区表示地形)

Fig. 5 Longitude-pressure cross-sections of the LFO heating rate ( $Q_1/c_p$ ) averaged over 20°—25°N for the phase 2 (a) and phase 4 (b)

(unit: K/d; the gray shaded areas are for the heat source, and the black shaded areas denote the topography)

从上面的分析可以发现,在不同位相,低频大气加热率( $Q_1/c_p$ )的垂直分布有很大的区别。在降水非活跃期(活跃期),低频大气加热率( $Q_1/c_p$ )在经向

垂直分布上表现为中国川渝地区上空主要为低频热汇(热源)区,川渝以南的广西和海南及其以西地区上空则主要为低频热源(热汇)区,并且在川渝地区

上空以及广西和海南附近地区上空分别存在强的热汇(热源)和热源(热汇)中心;在纬向垂直分布上,中国台湾地区及其以东洋面上空为低频热汇(热源)区,同时其以西的广西和海南及其以西地区上空则主要为低频热源(热汇)区,并且在台湾附近地区上空以及广西和海南附近地区上空也分别存在强的热汇(热源)和热源(热汇)中心。在这种大气热源分布形式下,势必对环流的变化有很大的影响。

## 6 低频环流垂直变化特征

### 6.1 低频环流的经向垂直变化特征

从位相 2 与位相 4 经向  $98^{\circ}-110^{\circ}\text{E}$  平均的低频环流垂直分布(图 6)可以看出,在位相 2(图 6a),由于受  $45^{\circ}\text{N}$  附近地区上空  $500-250\text{ hPa}$  低频热源的影响,该地区上空  $250\text{ hPa}$  以下的气流盛行上升运动,并且从地面到对流层顶,气流分为向南和向北

两支气流,其中向南的气流到达川渝地区上空后,受川渝地区上空低频热汇的影响,气流产生下沉运动,这样也使得  $30^{\circ}-45^{\circ}\text{N}$  地区上空  $300\text{ hPa}$  以下形成一低频经圈环流。同时,  $15^{\circ}-40^{\circ}\text{N}$  地区上空有另一巨大的低频经圈环流形成,并且该环流圈的下沉支也正好位于中国川渝地区,进一步加强了中国川渝地区上空气流的下沉运动,导致该地区严重干旱的发生;这一巨大经圈环流的形成,应当是由于  $25^{\circ}-40^{\circ}\text{N}$  上空气流受该地区上空低频热汇的影响产生低频下沉运动、以及其南部  $15^{\circ}-25^{\circ}\text{N}$  地区上空的气流因为强低频热源的影响而产生低频上升运动的共同影响下而形成的。因此,在这段时间,中国川渝地区上空的下沉气流一方面来自  $15^{\circ}-40^{\circ}\text{N}$  地区上空经圈环流的下沉支,另一方面来自  $30^{\circ}-45^{\circ}\text{N}$  地区上空经圈环流的下沉支,这样的环流形式,使得川渝地区发生严重的伏旱。

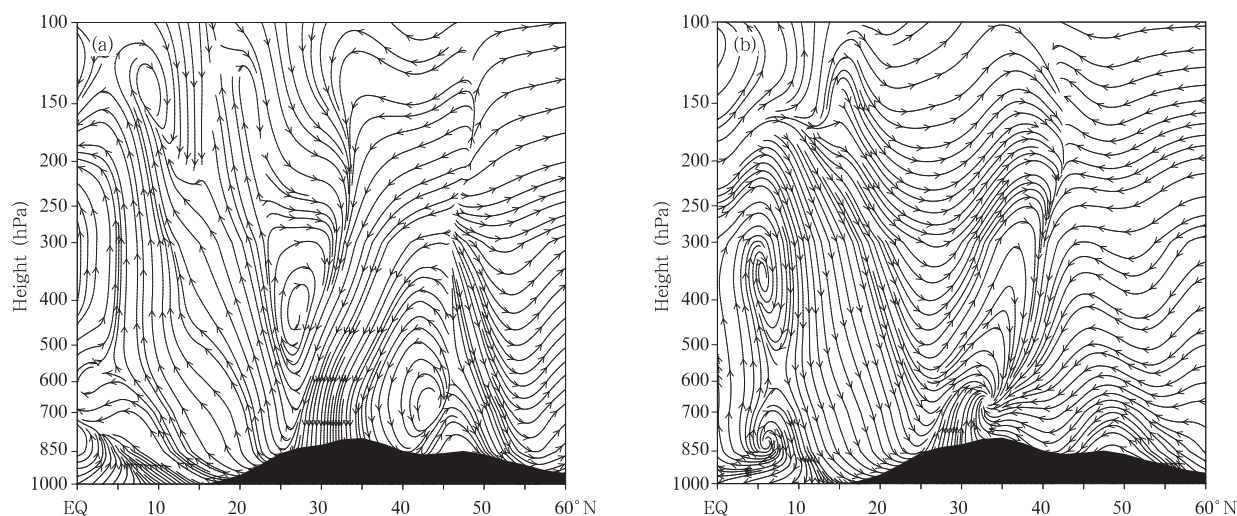


图 6 沿  $98^{\circ}-110^{\circ}\text{E}$  平均的低频垂直环流在(a)位相 2 与(b)位相 4 的纬度-高度剖面分布  
(黑色阴影区表示地形)

Fig. 6 Latitude-pressure cross-sections of the LFO meridional circulation averaged over  $98^{\circ}-110^{\circ}\text{E}$  for the phase 2 (a) and phase 4 (b)  
(the black shaded areas denote the topography)

而到了低频降水活跃期(位相 4,图 6b),由于  $6^{\circ}\text{N}$  以南地区上空强低频热源影响下气流产生上升运动、以及  $6^{\circ}-25^{\circ}\text{N}$  上空低频热汇影响下气流产生下沉运动的共同作用,在  $25^{\circ}\text{N}$  以南地区上空出现了巨大的低频经圈环流,并且在大约  $7^{\circ}\text{N}$  上空的  $850-700\text{ hPa}$  与  $400-300\text{ hPa}$  有两个环流中心出现,受此经圈环流的影响,  $10^{\circ}\text{N}$  向北到  $35^{\circ}\text{N}$  地区上

空主要盛行偏南气流,为中国川渝地区带来丰富的暖湿水汽。而中国川渝地区上空由于此时已经转变为低频热源区,因此,偏南气流在该地区产生上升运动,有利于降水的产生。

### 6.2 低频环流的纬向垂直变化特征

从位相 2 与位相 4 纬向  $20^{\circ}-25^{\circ}\text{N}$  平均的低频环流垂直分布(图 7)可以看出,在位相 2(图 7a),中



国台湾及其以东洋面上空强的低频热汇引起该地区气流产生低频下沉运动,而 118°E 以西中国华南沿海向西到云南地区上空强的低频热源也使得该地区上空的气流产生低频上升运动,在这两个地区上空热汇与热源对环流的影响作用下,105°—130°E 地区上空形成一低频纬圈环流,同时 80°—105°E 地区上空还出现了另一次级纬圈环流,在这两个纬圈环流的作用下,加强了川渝以南的广西和海南及

其以西地区上空的上升运动。

到了低频降水活跃期(位相 4,图 7b),在 70°—130°E 地区上空出现一巨大的低频纬圈环流,中国川渝以南的广西、海南及其以西地区正好处于其下沉支,并且下沉气流最强;而此纬圈环流的产生应该与中国台湾及其以东洋面上空热源影响产生的上升运动、以及 115°E 以西地区上空的热汇引起的下沉运动有关。

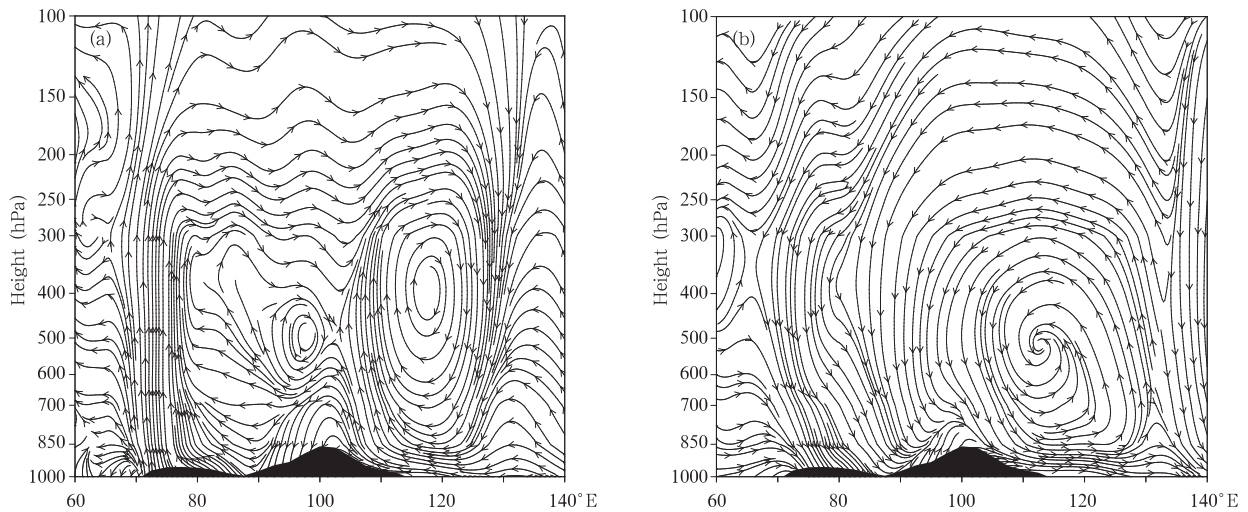


图 7 沿 20°—25°N 平均的低频垂直环流在(a)位相 2 与(b)位相 4 的经度-高度剖面分布  
(黑色阴影区表示地形)

Fig. 7 Longitude-pressure cross-sections of the LFO zonal circulation averaged over 20°—25°N for the phase 2 (a) and phase 4 (b)  
(The black shaded areas denote the topography)

由上面的分析可以看出,2006 年夏季中国川渝地区降水异常的发生与低频热源变化引起的纬向和经向环流变化共同作用有关:

在低频降水非活跃期,首先,在经向上中国川渝地区上空的下降气流一方面来自 15°—40°N 地区上空经圈环流的下沉支,另一方面来自 30°—45°N 地区上空经圈环流的下沉支,这样的环流不利于川渝地区降水的发生;其次,纬向上 105°—130°E 地区上空形成的低频纬圈环流以及 80°—105°E 地区上空出现的次级低频纬圈环流进一步加强了中国川渝以南的广西、海南及其以西地区上空的低频上升气流,这样可能通过进一步加强经向上 15°—40°N 地区上空的低频经圈环流,从而一方面加强中国川渝地区上空的低频下降气流,另一方面,也加强了川渝地区低层气流的低频辐散(图略),这样的环流形式进一

步加强了川渝地区气流的下降运动,使得川渝地区发生了严重的伏旱。

在降水活跃期,经向上 25°N 以南地区上空出现的巨大低频经圈环流带来的丰富水汽在川渝地区产生上升运动,有利于降水的发生;而纬向上 70°—130°E 地区上空出现的低频纬圈环流加强了中国川渝以南的广西和海南及其以西地区上空的上升气流,这样使得经向上 25°N 以南地区上空出现的低频经圈环流得到加强,其北侧向北的偏南气流也得到加强,有利于中国川渝地区低层低频辐合(图略)加强,从而更利于降水发生,川渝地区的干旱得到缓解。

综上所述,2006 年夏季,中国川渝地区干旱的发生不仅与其上空的低频大气热源变化有关,也与中国台湾及其以东洋面上空以及印度半岛到孟加拉

湾地区的低频大气热源变化有很大的关系。中国台湾及其以东洋面上空、以及印度半岛到孟加拉湾地区上空的低频大气热源,一方面可以通过与中国川渝地区低频大气热源的变化相互作用直接影响经圈环流的变化从而影响川渝地区的降水,另一方面还可以通过影响同一纬度的纬向低频环流变化,从而对经向低频环流产生影响,进而影响中国川渝地区伏旱的发生。

## 7 结 论

通过对2006年夏季川渝地区伏旱与大气低频振荡联系的研究,可得到以下结论:

(1) 2006年夏季降水60 d左右的低频振荡变化是引起川渝地区严重伏旱灾害的重要原因之一。

(2) 在降水振荡变化的川渝严重干旱(降水非活跃)期与降水偏多(降水活跃)期, $\langle Q_1 \rangle$ 低频分量在亚洲季风区的分布形式有着明显的不同:一是在降水非活跃期,中国川渝地区主要受低频热汇的影响;而在降水活跃期,川渝地区则受低频热源的影响;二是在降水非活跃期,阿拉伯海北部经孟加拉湾、中国南海到菲律宾以东洋面上主要表现为强的低频热源区,而在降水活跃期,则为低频热汇区;三是中国台湾地区向北到华中、黄海及日本地区在降水非活跃期为低频热汇区,并且台湾地区以东洋面上为强的热汇中心,而在降水活跃期则相反。

(3) 在川渝严重干旱期(降水偏多期),低频大气加热率( $Q_1/c_p$ )在经向垂直分布上表现为中国川渝地区上空主要为低频热汇(热源)区,川渝以南的广西和海南及其以西地区上空则主要为低频热源(热汇)区;在纬向垂直分布上,中国台湾地区及其以东洋面上空为低频热汇(热源)区,同时其以西的广西和海南及其以西地区上空则主要为低频热源(热汇)区。

(4) 川渝严重干旱期,首先,在经向上中国川渝地区上空的下沉气流一部分来自 $15^\circ-40^\circ\text{N}$ 地区上空经圈环流的下沉支,另一部分来自 $30^\circ-45^\circ\text{N}$ 地区上空经圈环流的下沉支,这样的环流不利于川渝地区的降水发生;其次,纬向上 $105^\circ-130^\circ\text{E}$ 地区上空形成的低频纬圈环流以及 $80^\circ-105^\circ\text{E}$ 地区上空出现的次级低频纬圈环流进一步加强了中国川渝以南的广西、海南及其以西地区上空的低频上升气流,这样可能通过进一步加强经向上 $15^\circ-40^\circ\text{N}$ 地区上

空的低频经圈环流,从而一方面加强中国川渝地区上空的低频下沉气流,另一方面也加强了川渝地区低层气流的低频辐散,这样的环流形式进一步加强了川渝地区气流的下沉运动,使得川渝地区发生了严重的伏旱。

(5) 川渝降水偏多期,经向上 $25^\circ\text{N}$ 以南地区上空出现的巨大低频经圈环流带来的丰富水汽在川渝地区产生上升运动,有利于降水的发生;而纬向上 $70^\circ-130^\circ\text{E}$ 地区上空出现的低频纬圈环流又加强了中国川渝以南的广西和海南及其以西地区上空的上升气流,这样使得经向上 $25^\circ\text{N}$ 以南地区上空出现的低频经圈环流得到加强,其北侧向北的偏南气流也得到加强,有利于中国川渝地区低层低频辐合加强,从而加强了偏南气流的上升运动,川渝地区的干旱得到缓解。

## 参考文献

- 邓绍辉, 罗晓彬. 2005. 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), 32(3): 125-132
- 高阳华, 唐云辉, 冉荣生. 2002. 重庆市伏旱发生分布规律研究. 贵州气象, 26(3): 6-11
- 巩远发, 段廷扬, 张菡. 2007. 夏季亚洲大气低频热源汇的变化特征及其与江淮流域旱涝的关系. 大气科学, 31(1): 89-98
- 韩荣青, 李维京, 董敏. 2006. 北半球副热带—中纬度太平洋大气季节内振荡的纬向传播与东亚夏季旱涝. 气象学报, 64(2): 149-163
- 胡增臻, 石伟. 1997. 子波变换在大气科学中的应用研究. 大气科学, 21(1): 58-72
- 琚建华, 孙丹, 吕俊梅. 2008. 东亚季风区大气季节内振荡经向与纬向传播特征分析. 大气科学, 32(3): 523-529
- 林振山, 邓自旺. 1999. 子波气候诊断技术的研究. 北京: 气象出版社, 174pp
- 马晓青, 丁一汇, 徐海明等. 2008. 2004/2005年冬季强寒潮事件与大气低频波动关系的研究. 大气科学, 32(2): 380-394
- 毛江玉, 吴国雄. 2005. 1991年江淮梅雨与副热带高压的低频振荡. 气象学报, 63(5): 762-770
- 潘建华, 钟晓平. 1998. 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, 18(2): 32-39
- 彭京备, 张庆云, 布和朝鲁. 2007. 2006年川渝地区高温干旱特征及其成因分析. 气候与环境研究, 12(3): 464-474
- 青泉, 汪丽, 谢娜等. 2007. 2006年川渝伏旱成因浅析. 四川气象, 27(2): 10-12
- 汪丽, 青泉, 谢娜等. 2007. 2006年川渝两次久旱转雨过程对比分析. 气象, 33(4): 53-57
- 魏凤英. 1999. 现代气候统计诊断预测技术. 北京: 气象出版社, 102-113
- 赵勇, 钱永甫. 2008. 北非地区海-陆热力差异与夏季江淮流域旱涝

的关系. 气象学报, 66(2):203-212  
 邹旭恺, 高辉. 2007. 2006年夏季川渝高温干旱分析. 气候变化研究进展, 3(3):149-153  
 Jian Maoqiu, Qiao Yunting, Yuan Zhuojian, et al. 2006. The impact of atmospheric heat sources over the eastern Tibetan Plateau and the tropical Western Pacific on the summer rainfall over the Yangtze-River Basin. Adv Atmos Sci, 23(1): 149-155  
 Murakami M. 1979. Large-scale aspects of deep convective activity over the Gate area. Mont Wea Rev, 107: 994-1013  
 Sun Ying, Ding Yihui. 2008. Effects of intraseasonal oscillation on the anomalous East Asian summer monsoon during 1999. Adv

Atmos Sci, 25(2): 279-296  
 Yanai M S Esbensen, Chu J-H. 1973. Determination of bulk properties of tropical cloud clusters from large-scale heat and moisture budgets. J Atmos Sci, 30: 611-627  
 Yang Hui. 2001. Anomalous atmospheric circulation, heat sources and moisture sinks in relation to great precipitation anomalies in the Yangtze River valley. Adv Atmos Sci, 18(5): 972-983  
 Zhao Ping, Chen Longxun. 2001. Climatic features of atmospheric heat source/sink over Qinghai-Xizang Plateau in 35 years and its relation to rainfall in China. Sci China, 44(9): 858-864

欢迎订阅 2012 年度《气象学报》

《气象学报》中文版创刊于 1925 年,是由中国气象局主管,中国气象学会主办的全国性大气科学学术期刊,主要刊载有关大气科学及其交叉科学研究的具有创造性的论文;国内外大气科学发展动态的综合评述;新观点、新理论、新技术、新方法的介绍;研究工作简报及重要学术活动报道;优秀大气科学专著的评介以及有关本刊论文的学术讨论等。

《气象学报》中文版 2003 年和 2005 年连续两次荣获中华人民共和国新闻出版总署颁发的第二届、第三届“国家期刊奖百种重点学术期刊”奖;2003—2007、2009 年被中国科学技术信息研究所评为“百种中国杰出学术期刊”;2007—2011 年获得中国科学技术协会精品科技期刊工程项目的资助,2008 年《气象学报》(中文版)被评选为“中国精品科技期刊”。

《气象学报》为大气科学研究提供了学术交流平台,一直致力于推动中国大气科学基础研究和理论研究的发展,服务于中国气象现代化建设事业。作者和读者对象主要为从事气象、海洋、地理、环境、地球物理、天文、空间及生态等学科的科研人员、高校师生。

《气象学报》中文版为双月刊,国内外发行。  
 2012 年全年共 6 期,定价 240 元/年。

邮发代号: 2-368(国内) BM329(国际)  
 通讯地址: 北京市中关村南大街 46 号 中国气象学会《气象学报》编辑部  
 邮政编码: 100081  
 联系电话: 010-68406942, 68408571 (传真)  
 邮 箱: cmsqxxb@263.net; qxxb@cms1924.org  
 期刊主页: http://www.cmsjournal.net/qxxb\_cn  
 开户银行: 北京建行白石桥支行  
 户 名: 中国气象学会  
 帐 号: 11001028600059261046

《气象学报》2012 年征订回执单

年 月 日

订户单位全称				经手人	
订户详细地址				邮政编码	
刊物名称	全年订价	订阅份数	总金额	(订户单位盖章)	
《气象学报》中文版	240.00 元				
总金额(大写)	仟 佰 拾 元 角 分				
说明:此联与汇款凭证一起报销有效。					