

文章编号 1001-8166(2006)12-1273-10

夏季青藏高原加热和环流场的日变化

刘新^{1,2} 吴国雄² 李伟平³

(1. 中国科学院青藏高原研究所, 北京 100085; 2. 中国科学院大气物理研究所 IASG, 北京 100029; 3. 中国气象局国家气候中心, 北京 100082)

摘要 通过使用 NCEP/NCAR 再分析资料, 分析了夏季青藏高原地区非绝热加热场的日变化特征以及高原上空环流场的日变化特点。分析发现青藏高原及其邻近地区上空环流的日变化在欧亚地区大气环流系统中表现最为显著。环流日变化是被非绝热加热的日变化所驱动的, 特别是被太阳辐射日变化所驱动。由于高原上空大气柱质量远小于低海拔的平原地区, 故太阳辐射日变化引起的加热日变化可在高原地区产生更为显著的环流日变化。通过位涡方程的诊断证实, 白天高原加热增强, 可在大气上层制造大量负位涡并向周边地区辐散, 使高原地区大气高层成为负涡源。而低层则是加热制造正位涡, 并使周边地区向高原的辐合增强, 摩擦耗散是低层抑制正位涡增长的主要因素。而夜间加热减弱使高原对局地环流的影响作用大为减弱。故而高原及其周边地区的局地环流也具有明显的日变化特征。

关键词 青藏高原; 非绝热加热; 日变化; 位涡度

中图分类号 P434 **文献标识码** A

1 引言

大地形对大气运动施加热力和机械运动作用, 影响着大气环流和天气及气候过程^[1]。Flohn^[2] 研究了高原天气系统的发展变化趋势, 估计夏季在 70% 的情况下高原上会出现日、夜相反的日变化环流。但限于资料他未能给出明确结论和动力学机理的合理解释。青藏高原地区是全球大气日变化最明显的地区之一。沈志宝^[3] 在分析了高原上空的气温演变之后, 指出高原地区地面气温日变化剧烈, 较高原外地区要大 1~2 倍。而冬季高原地面温度的日变化最大, 高原上部分地区的日变温甚至可大于沙漠地区的温度日较差, 最大可超过 18°。

汤懋荅^[4] 利用 1961—1970 年 10 年的资料, 在分析了高原区域风场和气压场的演变后指出高原低

层气压场有明显的日变化, 往上则日变化减弱。另外, 他还指出高原低层低压系统与高原北部的南疆高压在日变化中有同时发展的倾向, 认为是相同的局地环流造成的结果。沈志宝^[5] 在分析高原湿度场时认为高原上的湿度分布也有明显的日变化特征。尹道声^[6]、马鹤年等^[7] 在分析青藏高原气旋波和切变线的成因与发展时指出它们往往是高原边界层日、夜热力差异的产物。杨伟愚^[8] 全面总结了前人的工作, 且利用 1979 年 5~8 月的 FGGE 资料分析了高原环流日变化特征并利用涡度方程进行了讨论。认为太阳辐射的日变化引起高原加热的日变化, 促进了高原的对流活动, 进而影响垂直环流和局地大气环流。

Kuo 等^[8] 利用一个五层模式研究了夏季高原对天气和气候日变化的影响, 认为地形加强了高原的

收稿日期: 2006-10-11; 修回日期: 2006-11-02.

* 基金项目: 中国科学院知识创新工程重要方向项目“喜马拉雅山北坡地区地面大气与对流层大气变化研究”(编号: KZCX3-SW-231); 国家重点基础研究发展计划项目“青藏高原环境变化及其对全球变化的响应与适应对策”(编号: 2005CB42200); 国家自然科学基金项目“青藏高原及亚洲南部海陆分布对亚洲季风爆发进程的影响”(编号: 40475027)资助。

作者简介: 刘新(1955-), 男, 博士, 副研究员, 主要从事大气动力学及大气边界层研究. E-mail: lx@itpcas.ac.cn

对流活动。Chen 等^[10]指出大气环流的日变化是由于太阳辐射的日变化而引起的。综上所述,可以初步看到关于高原地区大气日变化研究的现状。以上大部分对于青藏高原地区日变化的研究工作是基于环流场和其它物理量场的日较差分析的观测研究,而对高原加热的日变化在环流演变过程中所起作用的动力学分析在已有的文献中尚不多见。在杨伟愚^[8]的讨论中使用涡度方程进行机理分析虽有一定结果,但由于涡度方程的限制无法明确讨论加热的作用故只能得到一些定性的推论。本文中我们将着重分析和讨论高原加热的日变化特征,并利用位涡方程探讨高原加热日变化对环流场日变化影响的动力学机理,以期获得加热日变化对环流场影响的

基本物理概念模型。

2 青藏高原加热场的日变化特征

高原加热场夏季的日变化异常剧烈,图 1 给出了多年平均 7 月高原及邻近地区非绝热加热日变化的对比。由于资料的限制我们未能在图中给出加热的日较差,只是给出 12UTC(当地时间 18 时)代表加热最强的时间,和 00UTC(当地时间 06 时)代表加热最弱的时间。所有加热资料均来自 NCAR / NCEP 再分析数据集,其中潜热加热率是由降水率资料通过(1)式计算所得。

$$LH = c_w \times RRR \tag{1}$$

其中 LH 表示潜热加热率, c_w 是水的凝结潜热

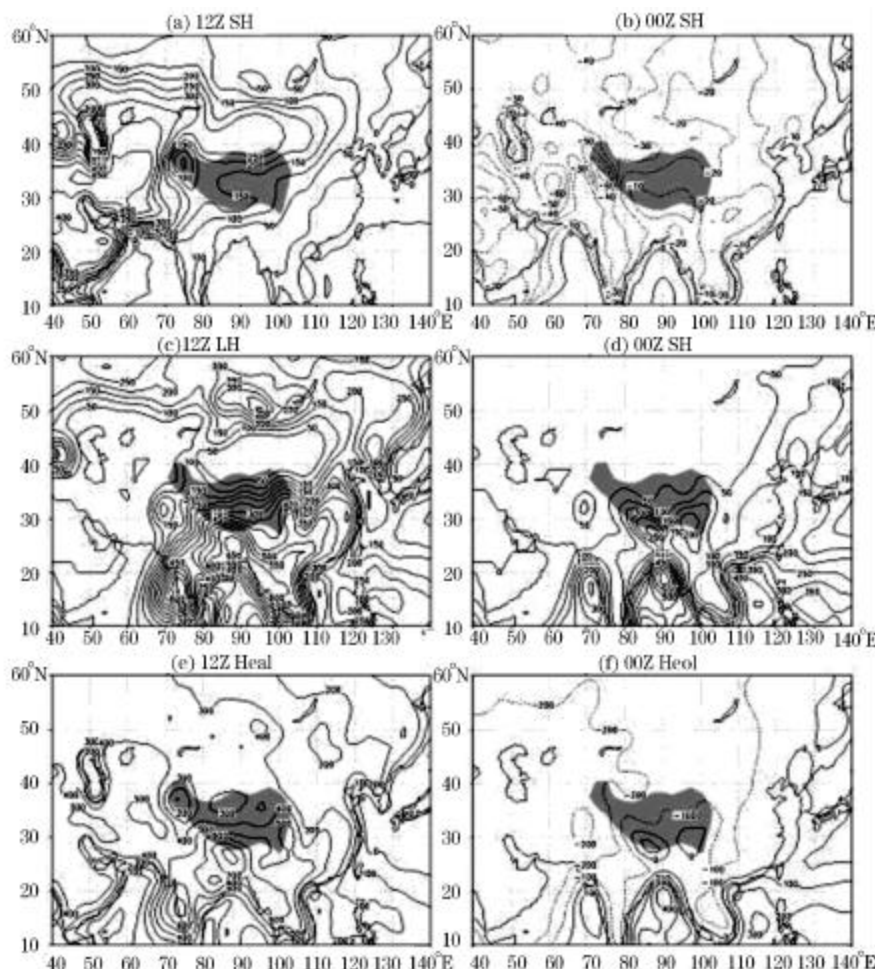


图 1 10 年平均(1986—1995)非绝热加热比较 (a)12UTC 感热 (b)00UTC 感热; (c)12UTC 潜热 (d)00UTC 潜热 (e)12UTC 总加热 (f)00UTC 总加热

Fig.1 10 years mean (1986-1995) July 12UTC diabatic heating compare with 00UTC

RR 代表降水率。图 1 中 a 和 b 分别是 1986—1995 年 7 月份 12UTC 时和 00UTC 时的时次平均感热通量分布,可以看到下午高原感热加热很大,分布特点是由南往北递增。高原大部分地区白天感热加热超过 150 W/m^2 ,高原最北部地区可达 250 W/m^2 ,但不及高原北边和西亚沙漠与干旱地区的感热加热强。与白天相反,夜间高原感热加热则成为负值,约为 -20 W/m^2 。从图中可见仅感热加热的日变化高原上就接近 200 W/m^2 。图 1c 和 d 分别是 12Z 和 00Z 的潜热加热率,图中可见白天高原的潜热加热也远大于夜间,分布特点与感热相反是由南向北递减。白天高原上潜热加热最大地区加热率可达 500 W/m^2 ,但北部加热最小地区仅为 50 W/m^2 。夜间潜热加热率高原各地约为白天一半,分布形式与白天相似。高原上大气净辐射加热白天较小,且分布比较均匀(图略),故从白天总的非绝热加热分布中(图 1e),可以看出其值基本等于感热加潜热之和。而夜间辐射冷却很强,但感热加热较小,从总非绝热加热图(图 1f)中可以看出其约为潜热和辐射两者之和。根据以上对感热、潜热、辐射和总非绝热加热的分析,可以看出高原地区它们的日变化都是非常显著的,但各自有不同的变化特点。从总加热日变化的比较(图 1e 和 f)中可见白天高原各地加热最强时均在 $200 \sim 600 \text{ W/m}^2$ 之间。夜间高原大部分地方的总加热率是负值约在 $-150 \sim -50 \text{ W/m}^2$ 之间。比较图 1e 和 f 可以看到高原大部分地区总加热率的日较差在 350 W/m^2 以上。

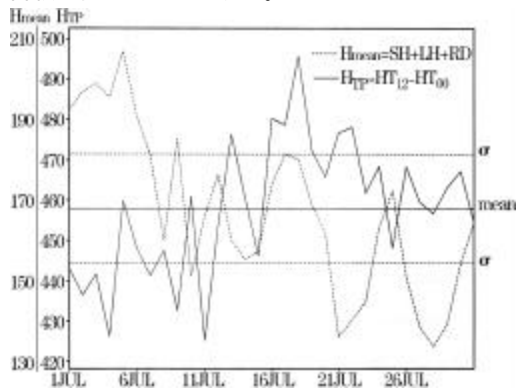


图 2 10 年平均(1986—1995 年)7 月非绝热加热日变化 (单位 W/m^2)

Fig.2 10 years mean (1986-1995) July diurnal variation of diabatic heating over the Tibetan plateau (Unit: W/m^2)

为了更清楚的看到高原加热日变化的演变,我

们取高原海拔超过 3000 m 的区域上 12UTC 总加热率与 00UTC 总加热率之差的面积平均值,和日平均总加热的面积平均值,做成高原总加热日变化的指数 H_{TP} 和高原日总加热的指数 H_{mean} ,它们分别由以下两式求得:

$$\overline{H_{TP}} = \overline{H_{12}} - \overline{H_{00}} \quad (2)$$

$$\overline{H_{mean}} = (\overline{H_{12}} + \overline{H_{00}}) / 2 \quad (3)$$

其中 $\overline{H_{12}}$ 是高原海拔超过 3000 m 的区域上面积平均的 12UTC 总加热率, $\overline{H_{00}}$ 是 00UTC 面积平均的总加热率。将以上两指数 10 年平均的 7 月逐日演变绘制在图 2 中。由高原加热日变化指数演变曲线可以看到它与日平均总加热的演变趋势是不同的。且其值远大于日平均加热率,约是日平均加热值的两倍。这主要是由于夜间高原上总加热率为负值,它是由于辐射加热夜间有超过 -100 W/m^2 的热量损失所致。使得高原加热的平均日变化值大于其多年日平均值。由图 2 还可看到在 7 月的第 1 候平均高原加热达到最大值,但加热的日较差在第 4 候达到最大。且加热的日较差与加热平均值的演变有近乎相反的趋势,但并不明显。这可能由于高原加热的日较差很大程度上取决于夜间的热量丧失量。晴天的夜间辐射损失热量大,有利于加热日较差变大,但晴天白天由于降水少影响潜热加热,不利于总加热的增加,因而又会不利于增加日较差。总之它们之间并非简单的线性关系。

3 青藏高原环流场的日变化

图 3 给出了 200 hPa 的流场和涡度场的比较。图 3a 是 10 年 7 月平均的流场和相对涡度分布,图中可见 7 月份北半球东部对流层高层被一完整的反气旋环流控制,反气旋中心分成东、西两个,其中较大且较强的一个位于高原南部。涡度场中相应有较强的负涡度中心与之对应。主要的正涡度带处于较高纬度的西风急流带中。图 3b 是 10 年平均的 12UTC 减去 00UTC 的偏差风场和相对涡度场的分布。图中可见偏差风场在高原形成较强烈的辐散,与之对应高原上是一个负偏差涡度中心。它表明当白天高原加热增强时相应的高原上空也会出现较强的负涡度和辐散风。在高原大气的低层则与高层相反, 600 hPa 高度平均流场和涡度场(图 4a)中可见高原区域为辐合气流,高原主体上有一个正涡度中心。在平均日偏差风场图上(图 4b)可看到白天大气低层向高原的辐合气流随加热的增强而增强,相应的偏差涡度场中正涡度也随之增强。

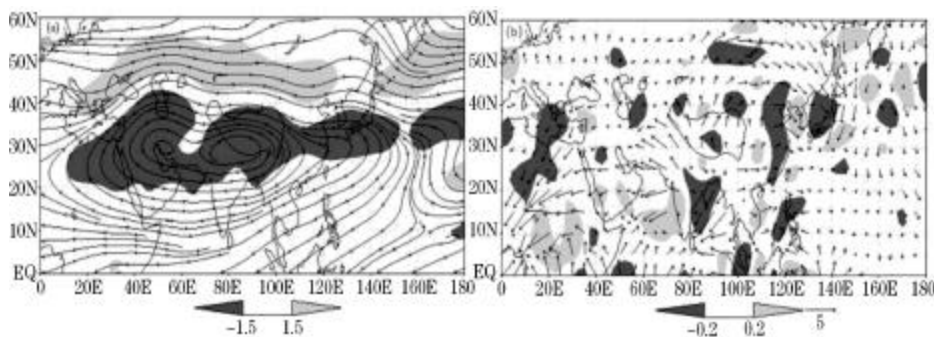


图3 7月200 hPa 流场和相对涡度($10^{-5}/s$) (a.十年平均(1986—1995) b.平均12UTC与00UTC的差值)
 Fig.3 200 hPa July stream line and vorticity ($10^{-5}/s$)
 (a. 10 years mean (1986-1995) ; b. the difference of 12UTC and 00 UTC)

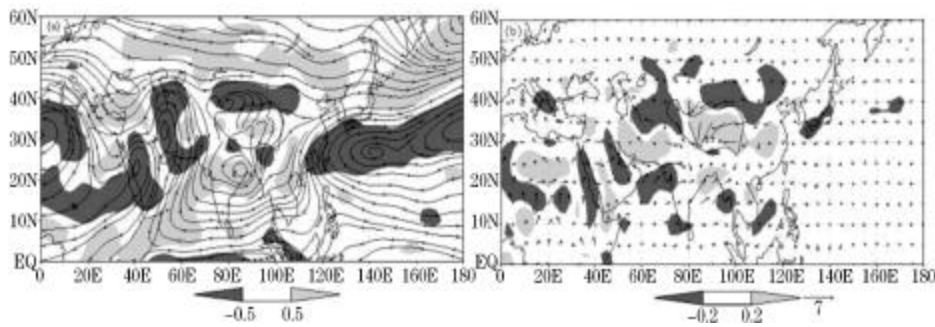


图4 7月600 hPa 流场和相对涡度($10^{-5}/s$) (a.十年平均(1986—1995) b.平均12UTC与00UTC的差值)
 Fig.4 As fig. 3 but for 600 hPa

分析高度场和垂直运动场变化,也可以看到显著的日变化特征。图5a是10年平均的7月份200 hPa高度场和平均垂直运动的分布。与流场对应北半球东部是强大的南亚高压。高原北侧是高空急流位置。平均垂直运动的分布,在高原西侧的高压带控制范围里基本都是下沉运动区,但位于高压中心带里的高原东南部地区却有明显的上升运动。其它主要上升运动区分布在印度、孟加拉湾、中南半岛及南海等季风对流降水强盛区域。在高度场和上升运动场的日变差图中(图5b),高原及其邻近地区基本是正变高区域,正变高中心位于高原及其西北部,变高中心的最大值超过35位势米。这说明白天随高原加热增强,高度值升高,同时亚洲季风区大部分地区的上升运动也随之增强。有意思的是青藏高原上空基本以 $35^{\circ}N$ 为界明显的分为两部分,高原南部的上升运动日变差增强,与亚洲季风区的上升运动日变差增强区域合成一片;而高原北部则与其北侧的南疆到青海、甘肃一带的干旱及沙漠地区下沉运

动增强区合成一片,形成一个较强的下沉运动的日变差中心。这主要是由于7月份高原南北部分加热的性质有很大不同所致,高原南部多降水有很大潜热加热(图1e)而北部以感热加热为主(图1a)。

南部潜热加热可以达到对流层的高层而与其相伴随的上升运动也可以达到较高高度。而北部加热强度远逊于南部,且以感热加热为主,加热的高度较为浅薄,故其垂直运动的日变差场到对流层高层已转为下沉运动。这在风矢量场的垂直剖面图中可反映的更加清晰图6与图5相同,但为低层600 hPa高度的变高和垂直运动的平均日变差分布。与高层环流有很大不同,在低层平均高度场(图6a)中高原处于低压区中,且高原主体区域均为上升运动区。

平均日变差图中明显表现出高原大气低层白天高度降低,就是说随加热增强高原低层低压环流加深。平均日变高在高原上形成了一个很强的减压中心。由此可见夏季高原大气低层的浅薄低压环流表现出很强的被高原热力作用驱动的性质。与之相

伴 高原大气低层也是强上升运动日变差中心, 整个 高原大气低层白天的上升运动都显著增强, 而在夜 间减弱与感热加热的日变化一致, 带有被感热加热 影响的性质。图中可与之对照的是孟加拉湾与我国

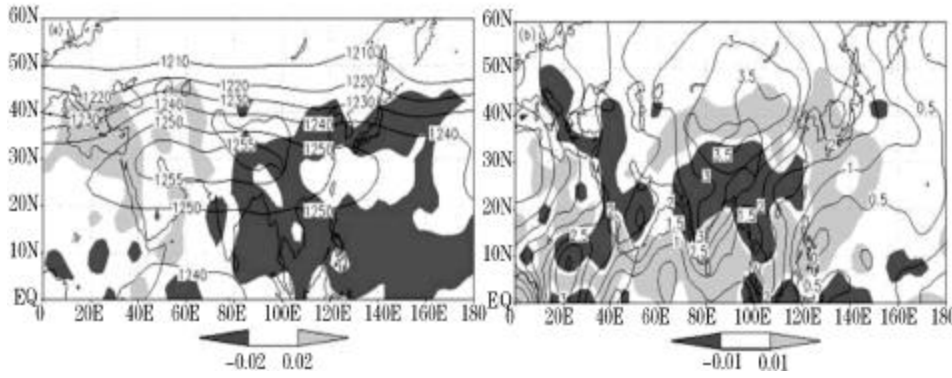


图 5 7 月 200 hPa 位势高度场(10 gpm)和垂直运动速度(Pa/s) (a. 十年平均(1986—1995) ; b. 平均 12UTC 与 00UTC 的差值)

Fig.5 200 hPa July geopotential height (10 gpm) and vertical velocity (Pa/s) (a. 10 years mean (1986-1995) ; b. the difference of 12UTC and 00UTC)

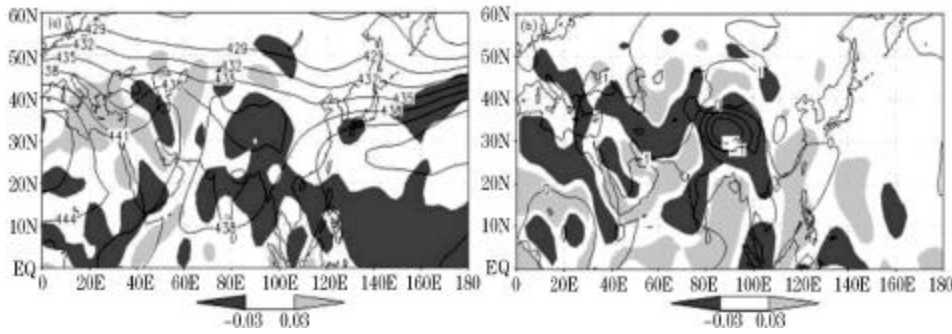


图 6 7 月 600 hPa 位势高度场(10 gpm)和垂直运动速度(Pa/s) (a. 十年平均(1986—1995) ; b. 平均 12UTC 与 00UTC 的差值)

Fig.6 As fig. 5 but for 600 hPa

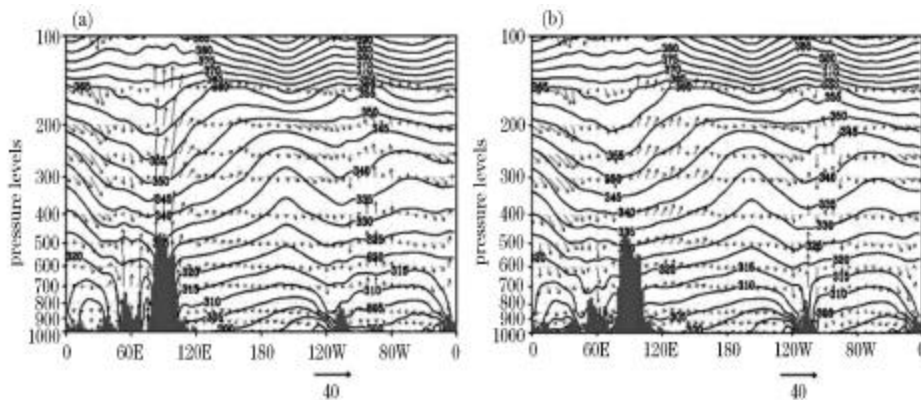


图 7 十年平均(1986—1995)7 月位势温度(K)和风矢量沿 30 N 剖面图 (a.12UTC ; b.00UTC)

Fig.7 The cross section of 10 years mean (1986-1995) July potential temperature (K) and wind vector along 30 N (a. 12UTC ; b. 00UTC)

东南部到南海一带降水潜热释放大的地区,白天上升运动是减弱的,这与上述地区夜间降水增强的日变化特征有关。

图 7 和图 8 是沿 30°N 和 90°E 的风场和位温场日变化对比的垂直剖面图。沿 30°N 纬向剖面图 7a 中可见高原上空 10 年平均 12UTC (当地时间为 18 时) 上升运动十分强盛(图中上升运动乘了 10³) 强度甚至大于其东侧的东亚季风区,是同纬度上升运动最强的地区。分析位温的平均日变化,通过与 00UTC 的平均位温分布(图 7b) 比较,可以看到

12UTC 高原上空较低层等 面的下凹非常明显,远大于 00UTC。这表明高原大气低层白天增温很强使得其位温显著大于高原外邻近地区。它与前面高原白天有很强的感热加热的分析结果是一致的。而在 00UTC (图 7b; 当地时间为 6 时) 的平均风场和位温的分布中可以看到高原上空环流和位温的日变化非常明显。夜间高原上空上升运动变得很弱,而其东侧的东亚季风区上升运动却增强了。同纬度带上最大上升运动中心东移到高原东部到太平洋西部近岸地区,这是由于以上地区夜间降水增加而产生的。

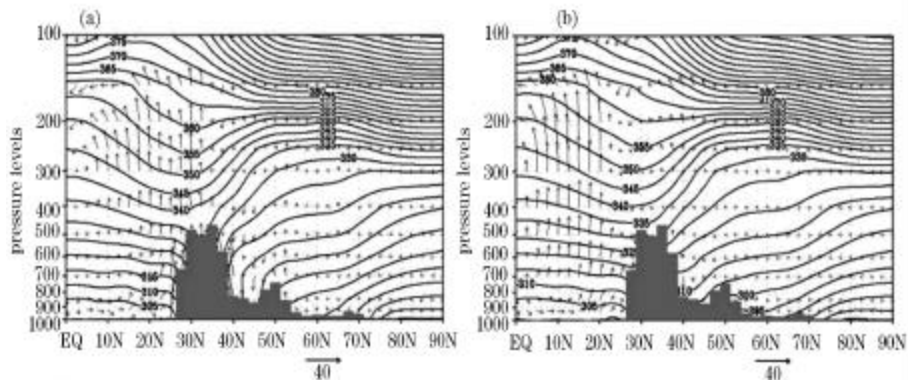


图 8 十年平均(1986—1995)7 月位势温度(K) 和风矢量沿 90°E 剖面图 (a.12UTC, b.00UTC)
Fig. 8 As fig. 7 but along 90°E

图 8a 给出了 12UTC 沿 90°E 的径向剖面图,从图中可见高原上空白天强烈的上升运动,仅次于孟加拉湾对流强盛区。图中大气低层在高原的南北两侧可以清晰看到有强烈的辐合气流向高原上空,通过与图 8b 比较可以看出白天高原的强烈加热明显增强了周边地区向高原的辐合气流。另外图中还可见到高原南部地区上升运动大于北部,这在高原大气的高层表现尤为突出。与图 8b 比较,图中还可看到白天随高原加热增强,使高原上上升在高原北侧(45°N 左右)下沉的局地环流也大为增强。另外在径向剖面图中仍然可以看到与纬向剖面图中类似的位温日变化结果。分析图 8b 可以看到夜间随着高原加热变弱,高原上空的上升运动变得很弱,相应的高原邻近地区向高原的辐合也变得很弱。这进一步说明由于高原加热场的剧烈日变化,随之带来局地环流场剧烈的日变化。相比之下位于高原南方的孟加拉湾地区上空则上升运动仍然强盛,甚至还强于白天的上升运动,这与该地区夜间对流降水大于白天有关。但显然其日变化远小于高原上空。

4 位涡方程对高原环流日变化的诊断分析

通过以上对青藏高原加热日变化和环流场日变化的综合分析,可以看到高原加热的强烈日变化对大气环流场变化的影响。以下我们将利用位涡方程诊断研究其影响的动力学机理^[11]。由于高原地形复杂,为了计算和讨论问题的方便起见,以下采用了坐标系。

通量形式的位涡方程如下

$$\frac{f^w}{f_t} + \dot{e} \cdot \nabla = \nabla_a \cdot \dot{e} + \nabla \cdot \dot{e} \quad (4)$$

其中 $\frac{d}{dt}$ 代表非绝热加热率, ∇ 表示涡度耗散

$\nabla = \rho \nabla \cdot \dot{e}$, ∇ 为单位体积的总涡度, ∇ 为三维绝对涡度, ρ 是密度。而通量形式的全微分算子 $\frac{D}{Dt} = \left(\frac{f}{f_t} + \dot{e} \cdot \nabla \right)$ 。

该方程左端表述了位涡的变化,右端则表述了空间非均匀非绝热加热和摩擦耗散对位涡制造的贡

献。对(4)式求月平均,由于局地变化项很小,可以略去,用“-”和“'”分别表示月平均量和对月平均的偏差,可得到:

$$\overline{\dot{\epsilon}} \cdot \overline{\tau_w} = \overline{\dot{\epsilon}} \cdot \overline{\tau_w} + R \quad (5)$$

$$R = \overline{\dot{\epsilon}} \cdot \overline{\tau_w} + \overline{\dot{\epsilon}} \cdot \overline{\tau_w} + \overline{\dot{\epsilon}} \cdot \overline{\tau_w} \quad (6)$$

为(5)式的余差项,代表摩擦及时间尺度小于 12 小时的瞬变过程的贡献。然后我们利用 12UTC 和 00UTC 的资料分别计算位涡方程中各项的 12UTC 和 00UTC 的月平均值。对方程(5)的两边求差分,用“”表示 12UTC 与 00UTC 方程中各项平均量之差异,则有

$$\dot{\epsilon} \cdot \tau_w = \frac{a}{b} \cdot \dot{\epsilon} + R \quad (7)$$

图 9 是根据(7)式计算的 ≈ 0.4357 层上方程

各项的分布(图中各项单位均为 10^{-6} TUs; $1 \text{ TU} = 10^{-6} \text{ K} / (\text{m} \cdot \text{s}^2)$)。因此这一层在高原上接近 250 hPa 高度,处于自由大气中,摩擦可略,故我们仅计算了 a、b 两项。图 9e 是 12UTC 与 00UTC 位涡通量散度的差值(方程(7)中 a 项),可以看出在对流层上层高原大部分地方的 a 项为负值,表明 12UTC 高原上空较 00UTC 有比较大的负位涡通量辐散。图 9f 是 12UTC 与 00UTC 加热制造位涡项之差(方程(7)中 b 项),可以看到高原附近其值分布和量级与 a 项大致相当。从方程 7 平衡的角度来看,在大气高层 a 与 b 项可大致平衡。图中可以看到白天随高原加热增强高空的负位涡增加,并增加向周边地区辐散输出负位涡。而其辐散输出损失的负位涡由高原上空加热制造的负位涡来补偿。图中还可见到高原向周边地区输出负位涡和加热制造负位涡项有很

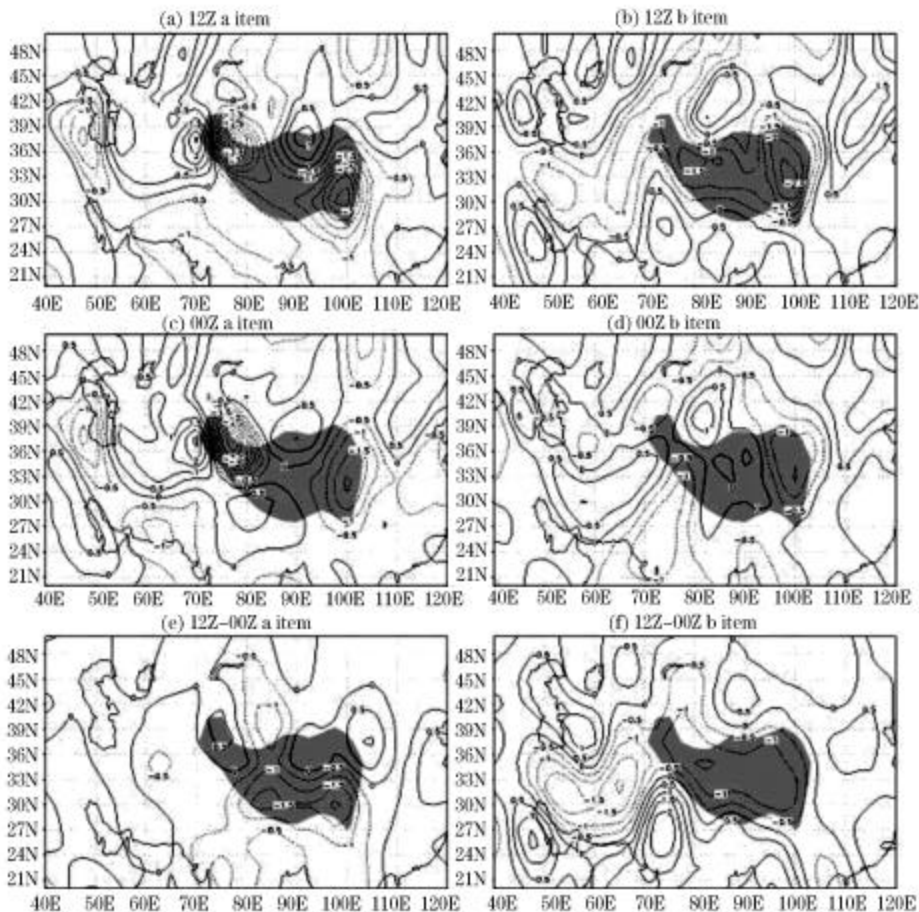


图 9 十年平均(1986—1995)7月 ≈ 0.4357 高度层上方程(7)式的 a、b 两项

Fig.9 The 10 years mean (1986-1995) calculated the item a and b of the equation 7 on ≈ 0.4357 level

大的日变化。从计算的各时次结果分析,高原上空白天(图 9a,b)的负位涡通量辐散和加热对负位涡的制造均远大于夜间(图 9c,d)。其中的主要原因就是高原上白天加热很强,远大于夜间的加热强度,使得在上层大气中有较强的负位涡制造,它又进一步引起高原上空向周边地区的负位涡辐散的增强,从而影响高原及其邻近地区大气上层的环流。造成高原及邻近地区局地环流场强烈的日变化。

图 10 是近地面层 $\sigma=0.995$ 层上计算的(7)式各项的分布(图中各项单位均为 10^{-4} TUs)。图 10a 是近地面层位涡通量散度 12UTC 与 00UTC 的差值分布(方程 7 中 a 项)与其它项相比它要小一个量级以上,可见低层大气中保持涡度平衡的主要项是加热的位涡制造和摩擦耗散的平衡。从图 10b 中可以看到高原大气低层加热的位涡制造日较差很大,这主要是由于高原上空白天加热强烈而下层的加热梯度又很大,故而造成白天高原大气低层有很大的正位涡制造。而在夜间高原加热变得很弱,且其下层的加热梯度更是远小于白天,故其正位涡的制造也远小于白天。这一点从分时次计算的各项分布中可以看得很清楚(图略)。由于白天加热在低层制造了正涡度,引起气旋性环流的发展,并使得高原邻近地区向高原低压的辐合气流增强,加强了“高原感热气泵”的功率^[12],从而引起高原及邻近地区大气低层强烈的日变化。由此看来高原加热的日变化是环流场日变化的动力源泉。从计算结果中可以看到低层的摩擦耗散和很短时间尺度(时间尺度小于 12 h)的扰动作用(方程中的 c 项)是平衡加热制造正位涡的主要项。它在高原及其邻近地区低层大气环流场的建立和维持中具有不可或缺的作用。

5 结论与讨论

以上我们以青藏高原加热场的日变化为纲,讨论了高原及邻近地区环流场和部分物理量场的日变化特征。分析结果表明夏季高原大气的非绝热加热有强烈的日变化,其面积平均的总非绝热加热的日较差 7 月份在 400 W/m^2 到 500 W/m^2 之间。青藏高原地区是世界上加热日变化最强的地区之一。从感热、潜热及辐射加热的日变化中,我们可以看到它们各自的日变化都非常强烈,但其地域分布的特点各有不同。感热的日变化是由南往北递增,而潜热的日变化却是有南往北递减。综合来看高原各地加热的日变化强度比较接近,在 350 W/m^2 到 550 W/m^2 之间。

由于夏季青藏高原加热场的日变化而引起高原及周边地区上空大气高、低层涡度场的剧烈日变化,进而引起高原地区环流场及其它物理量场明显的日变化。概言之其影响作用主要有:

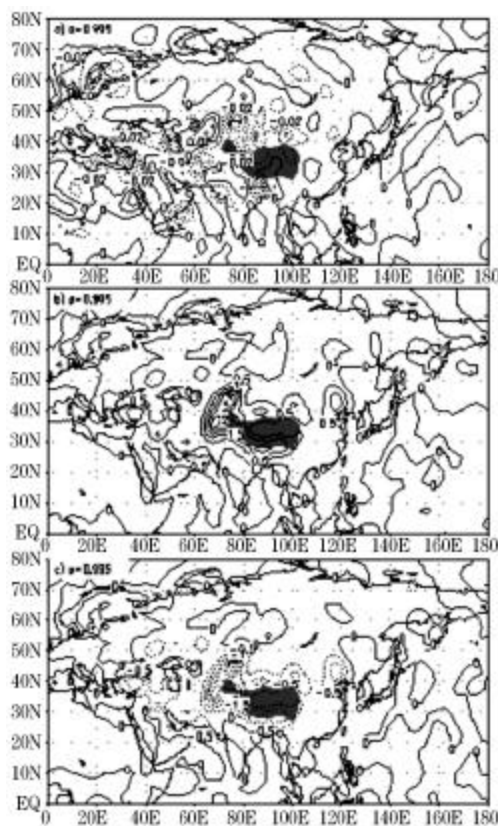


图 10 十年平均(1986—1995)7月 $\sigma=0.995$ 高度层上方程(7)式的 a、b、c 三项

Fig.10 As fig. 9 but on the $\sigma=0.995$ level

(1) 加热的日变化引起高原大气高层白天高度增加夜间降低,其日变化是与加热场的日变化同步的。高原大气高层位势高度的日变差可达 35 位势米以上,而低层降低的幅度也超过 20 位势米。

(2) 白天强烈的高原加热引起高层负涡度增加,低层正涡度增加同时使高原上空的上升运动增强。夜间加热减弱明显抑制了高原上空的上升运动和高原大气高、低层之间的涡度差异。白天高原加热增强了高原地区上升,高原北侧地区(45°N 左右)下沉的局地环流。而夜间加热减弱则使此局地环流明显减弱或消失。

(3) 由于青藏高原独特的高大地形,高原地区

上空大气柱平均质量大约仅为沿海地区的 60% 左右 因此造成高原地区大气对加热场的变化最为敏感 相同的加热改变可能造成高原地区大气环流较平原地区有较强的变化。因此太阳辐射的日变化对高原大气造成较平原地区更为强烈的日变化。

(4) 由计算位涡方程中各项 诊断分析的结果证实 白天高原加热增强 可在大气上层制造大量负位涡并向周边地区辐散 使高原地区大气高层成为负涡源。而低层则是加热制造正位涡 并使周边地区向高原的辐合增强 摩擦耗散是低层抑制正位涡增长的主要因素。而夜间加热减弱使高原对局地环流的影响作用大为减弱。故而高原周边的局地环流也具有明显的日变化特征 可以认为高原与周边地区之间的局地环流日变化是被高原加热日变化所驱动的。

参考文献(References) :

- [1] Ye Duzheng, Gao Youxi. Meteorology of the Qinghai-Xizang Plateau[M]. Beijing: Science Press, 1979. [叶笃正, 高由禧. 青藏高原气象学[M]. 北京: 科学出版社, 1979.]
- [2] Flohn H. Contributions to a Meteorology of the Tibetan Highlands [M]. Atmospheric Science Paper, No. 130, Colorado State University, Ft. Collins, 1968.
- [3] Shen Zhibao. The temperature over Tibetan plateau and its surrounding areas[C]. Ye Duzheng, ed. Meteorology of the Qinghai-Xizang Plateau. Beijing: Science Press, 1979, 10-22. [沈志宝. 青藏高原及其邻近地区的温度场[C]. //叶笃正等编. 青藏高原气象学. 北京: 科学出版社, 1979, 10-22.]
- [4] Tang Maocang. Air pressure and wind[C]. Ye Duzheng, ed. Meteorology of the Qinghai-Xizang Plateau. Beijing: Science Press, 1979, 23-38. [汤懋苍. 气压和风[C]. 叶笃正等编. 青藏高原气象学. 北京: 科学出版社, 1979, 23-38.]
- [5] Shen Zhibao. The humidity over Tibetan Plateau and its surrounding areas[C]. Ye Duzheng, ed. Meteorology of the Qinghai-Xizang Plateau. Beijing: Science Press, 1979, 39-48. [沈志宝. 青藏高原及其邻近地区的湿度场[C]. 叶笃正等编. 青藏高原气象学. 北京: 科学出版社, 1979, 39-48.]
- [6] Yin Dacheng. The local diabatic frontogenesis in the central of the Tibetan Plateau[J]. Acta Meteorologica Sinica, 1979, 37, 16-25. [尹道声. 论青藏高原中部的非绝热局地锋生[J]. 气象学报, 1979, 37, 16-25.]
- [7] Ma Henian, Liu Zichen, Qin Ying et al. Study on the transformation process of the thermal low in Qinghai province[C]. The Collected Papers of the Meteorological Sciences Examination over the Qinghai-Xizang Plateau. Beijing: Science Press, 1984, 262-272. [马鹤年, 刘子臣, 秦莹, 等. 青海热低压变性过程的研究[C]. 青藏高原气象科学实验文集. 北京: 科学出版社, 1984, 262-272.]
- [8] Yang Weiyu. The Diagnosis of the Heating and Circulation over Tibetan Plateau in Summer[D]. Beijing: The Institute of Atmospheric Physics, Chinese Academy of Sciences, 1988, 163-207. [杨伟愚. 夏季青藏高原热力场和环流场的诊断分析[D]. 北京: 中国科学院大气物理研究所, 1988, 163-207.]
- [9] Kuo H L, Qian Y F. Influence of the Tibetan plateau on cumulative and diurnal changes of weather and climate in summer[J]. Monthly Weather Review, 1981, 109, 2, 337-2 356.
- [10] Shuyi S Chen, Houze R A. Diurnal variation and life-cycle of deep convective systems over the tropical Pacific warm pool[J]. Quarterly Journal of Royal Meteorological Society, 1997, 123, 357-388.
- [11] Wu Guoxiong, Liu Yimin. Thermal adaptation, overshooting, dispersion and subtropical anticyclone, I: Thermal adaptation and overshooting[J]. Chinese Journal of Atmospheric, 2000, 24(4), 433-446. [吴国雄, 刘屹岷. 热力适应、过流、频散和副高 I: 热力适应和过流[J]. 大气科学, 2000, 24(4), 433-446.]
- [12] Guoxiong Wu, Yimin Liu, Jangyu Mao, et al. Adaptation of the Atmospheric Circulation to Thermal Forcing over the Tibetan Plateau[M]. Observation, Theory and Modeling of Atmospheric Variability. Singapore: World Scientific Publishing Company, 2004, 92-114.

The Diurnal Variation of the Atmospheric Circulation and Diabatic Heating over the Tibetan Plateau

LIU Xin^{1, 2}, WU Guo-xiong², LIW ei-ping³

(1. Institute of Tibetan Plateau Research, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100085, China;

2. State Key Laboratory of Numerical Modeling for Atmospheric Sciences and Geophysical Fluid

Dynamics, Institute of Atmospheric Physics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100029, China;

3. National Climate Center, Beijing 100081, China)

Abstract: The NCEP/NCAR reanalysis data are employed to analyze the diurnal variation of the diabatic heating and atmospheric circulation over the Tibetan Plateau and its surrounding areas. The atmosphere over the TP is

most sensitive to the diurnal change of heating, and it results in the vivid diurnal change feature over the TP and its surrounding areas. Its diurnal change is consistent with that of the heating fields, especially with diurnal change of the solar heating. Because the mass of the atmospheric column over the TP is much lighter than other regions, the diurnal change of solar radiation heating causes more significant circulation variation over the TP. The equation of the potential vorticity is employed to diagnose the dynamics of diurnal circulation variation in the paper. The result shows while the solar radiation gradually enhanced in the daytime, the positive vorticity of lower level atmosphere and negative vorticity of high level atmosphere over the TP is increase. All these lead to the most significant circulation and weather diurnal changes over the TP and its surrounding areas. The features of the diurnal change of the atmospheric circulation are in accordance with both theory and data analysis results in their phase and circulation patterns.

Key words: Tibetan Plateau (TP); Diabatic heating; Diurnal change; Potential vorticity.

欄

《地球科学进展》“973 项目研究进展”专栏公告

1997 年 6 月 4 日, 国家科技领导小组第三次会议决定要制定和实施“国家重点基础研究发展规划”随后由科技部组织实施了国家重点基础研究发展计划(亦称“973”)。其战略目标是加强原始性创新, 在更深的层面和更广泛的领域解决国家经济与社会发展中的重大科学问题, 以提高我国自主创新能力和解决重大问题的能力, 为国家未来发展提供科学支撑。

自 1998 年起至 2006 年 围绕农业、能源、信息、资源环境、人口与健康、材料、综合交叉和重要科学前沿等领域, 已先后批准了 297 个项目, 其中资源环境领域有 44 项, 此外, 其他方面含有资源环境和全球变化范畴的项目约有 28 项, 合计达 72 项, 占总项目的 24.2%。

为了更好地宣传、交流我国“973”原创性项目的研究成果, 提升这些项目的科学价值, 《地球科学进展》编辑部自 2005 年第 11 期开辟“973 项目研究进展”专栏以来, 到 2006 年第 12 期已刊登了 13 项的 15 篇综述论文, 得到了广大读者的好评和积极关注, 普遍认为增进了对“973”项目的了解, 有利于项目之间的交流。为此, 我们希望继续不断得到广大 973 项目首席科学家的大力支持和踊跃投稿, 扩大刊登“973”项目中有关资源环境和全球变化方面的项目介绍、最新研究成果和进展。该专栏文章可包括以下几方面内容:

(1) 对已结题的项目, 主要围绕该项目取得的研究成果及其应用价值、发展前景、与国际水平的差距等内容。

(2) 对正在进行的项目, 主要就项目研究的现状、进展、新成果及发展前景等内容。

(3) 对刚申请批准的项目, 围绕该项目研究的目的、意义、关键科学问题及其要达到的目标等内容。

凡是无项目首席科学家署名的来稿, 最好经首席科学家的同意和认可, 并签署意见。撰写的文章要求客观、公正、实事求是, 内容完整, 数据翔实, 应有必要的文献、英文文摘等内容。具体格式要求参阅《地球科学进展》的投稿须知。

专栏负责人: 林海教授 联系方式: linhai@mail.nsf.gov.cn linh@igs.mrr.ac.cn

编辑部地址: 兰州市天水中路 8 号 730000 adearth@lzb.ac.cn

投稿时请注明“973 项目研究进展”栏目, 栏目稿件经审核达到发表要求的将尽快刊出, 免收审稿费, 酌收一定的版面费并致稿酬, 同时免费赠送全年期刊一套(1~12 期)。

欢迎从事“973”项目研究的科学家、学者赐稿。谢谢对我们工作的支持和帮助。

《地球科学进展》编辑部

2006 年 12 月