

青藏高原气温的年际变率与大气环状波动模^{* 1}

段安民 吴国雄

(中国科学院大气物理研究所, LASG, 北京, 100029)

摘 要

基于 1961 年 3 月至 2002 年 2 月间青藏高原地区 64 个台站的地面气温观测资料和 ERA40 再分析数据集, 研究了青藏高原上空气温的年际变率及其与大尺度环流的关系。结果表明除夏季外, 高原地面气温与整个北半球副热带、极地对流层的温度和位势高度有显著的同位相变化关系, 而与中高纬度对流层有显著的反位相变化关系。其中北半球副热带还有 5 个分别位于青藏高原、西太平洋、北美西部、大西洋中部、北非到阿拉伯半岛的活动中心。这 3 条环状活动带和 5 个副热带活动中心共同组成了一种北半球大气环状波动模, 其纬向特征为异常偏强的中纬度西风气流以及热带和高纬度东风气流, 并伴有中纬度大气长波槽脊的减弱; 经向基本特征为异常偏强的 Hadley 和 Ferrel 环流以及副热带下沉气流和中纬度上升气流, 垂直方向呈相当正压结构。当这种环状波动模处于正位相时, 异常增强的绝热下沉增温效应和减弱的冷空气活动共同使得高原上空对流层中、低层气温异常偏暖。

关键词: 青藏高原, 气温, 年际变率, 环状波动模, 经圈环流。

1 引 言

青藏高原(以下简称高原)机械和热力强迫对大气环流和天气气候的影响历来受到人们的重视。早期的研究发现高原机械强迫导致冬季西风过高原时绕流分盆形成南北两支急流^[1]; 夏季高原上空为强大热源并且多对流性天气系统, 冬季高原上空则为冷源^[2~4]。1979 和 1998 年两次高原科学考察又进一步促进了人们对高原天气系统、陆面过程以及能量收支的认识^[5~10]。近年来高原气象学取得不少新进展, 对高原机械和热力强迫影响东亚气候格局^[11]以及亚洲季风进程等^[12]的机制有了更深入的认识, 这方面的介绍可见诸于吴国雄等的系列回顾性文章^[13~15]。

以往有关高原的研究大多将高原视为外源强迫来分析其影响大气环流和东亚天气气候异常的事实和机理, 而涉及高原地区大范围天气气候异常原因的工作较少。本文拟通过对台站观测资料和 ERA40 再分析数据集的研究, 揭示高原上空气温年际变率与大尺度大气环流的关系, 并探讨影响高原

上空气温年际变率的主要因素。

2 资 料

台站观测资料来源于中国气象局提供的中国 744 个测站 1951 年 1 月至 2003 年 12 月逐日百叶箱(距地面 1.5 m)气温资料。从中选取了高原中东部地区 64 个 1961 年以前与 1961 年建站并且连续缺测不超过 3 个月的测站。对缺测资料用前、后两年观测的平均值代替, 由于缺测值不足全部数据的千分之五, 因此这种插补方案不会影响分析结果。本文分析时已将逐日资料处理成了月平均资料。图 1 给出了这 64 个测站的地理位置和海拔高度, 由于它们的空间分布比较均匀, 可以较好地代表整个高原中东部的情况。然而, 由于 85°E 以西测站稀少, 只有狮泉河(A, 32°30'N, 80°05'E, 海拔高度 4278 m)和塔什库尔干(B, 37°47'N, 75°14'E, 海拔高度 3091 m)早于 1961 年建站, 因此我们粗略地用这两个站的记录近似代表高原西部的观测值。

欧洲中期天气预报中心(ECMWF)的 ERA40 再分析数据集^[16]起止时间为 1957 年 9 月~2002 年

* 初稿时间: 2005 年 8 月 26 日; 修改稿时间: 2005 年 9 月 7 日。

资助课题: 国家自然科学基金项目(40405016, 40475027, 40221503)。

作者简介: 段安民, 男, 1973 年生, 博士, 主要从事青藏高原和气候动力学的研究。

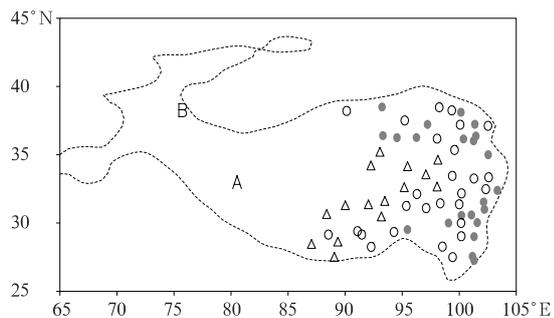


图1 高原中东部64个测站的空间分布和地形高度(三角形、空心圆和实心圆分别代表海拔高度大于4000, 000, 2000 m的测站; A, B是狮泉河和塔什库尔干的位置)
Fig. 1 The location and height above sea level of 64 stations in the mid-eastern Tibetan Plateau (Triangles, open circles, and solid circles denote stations equal to or higher than 4000, 3000, and 2000 m, respectively; A and B represent the locations of Shiquanhe and Tashikulan)

8月,空间分辨率为 $1.125^{\circ} \times 1.125^{\circ}$,所用资料为距地面2.0 m的气温资料以及垂直方向23层的大气环流资料,包括温度,位势高度,水平风速和垂直速度。为便于与台站观测资料比较,本文将分析时段统一选取为1961年3月~2001年2月。

3 高原地面气温的年际变率

分别定义 $(27.5^{\circ} \sim 37.5^{\circ} \text{N}, 75^{\circ} \sim 105^{\circ} \text{E})$ 和 $(27.5^{\circ} \sim 37.5^{\circ} \text{N}, 85^{\circ} \sim 105^{\circ} \text{E})$ 范围内格点平均的地面气温为ERA40中高原以及高原中东部地面气温指数,高原中东部台站气温指数则用64个站点平均的地面气温表示。图2给出了1961~2001年不同季节标准化的这3个气温指数的时间序列。其中春季取3~5月的平均,夏季取6~8月的平均、秋季取

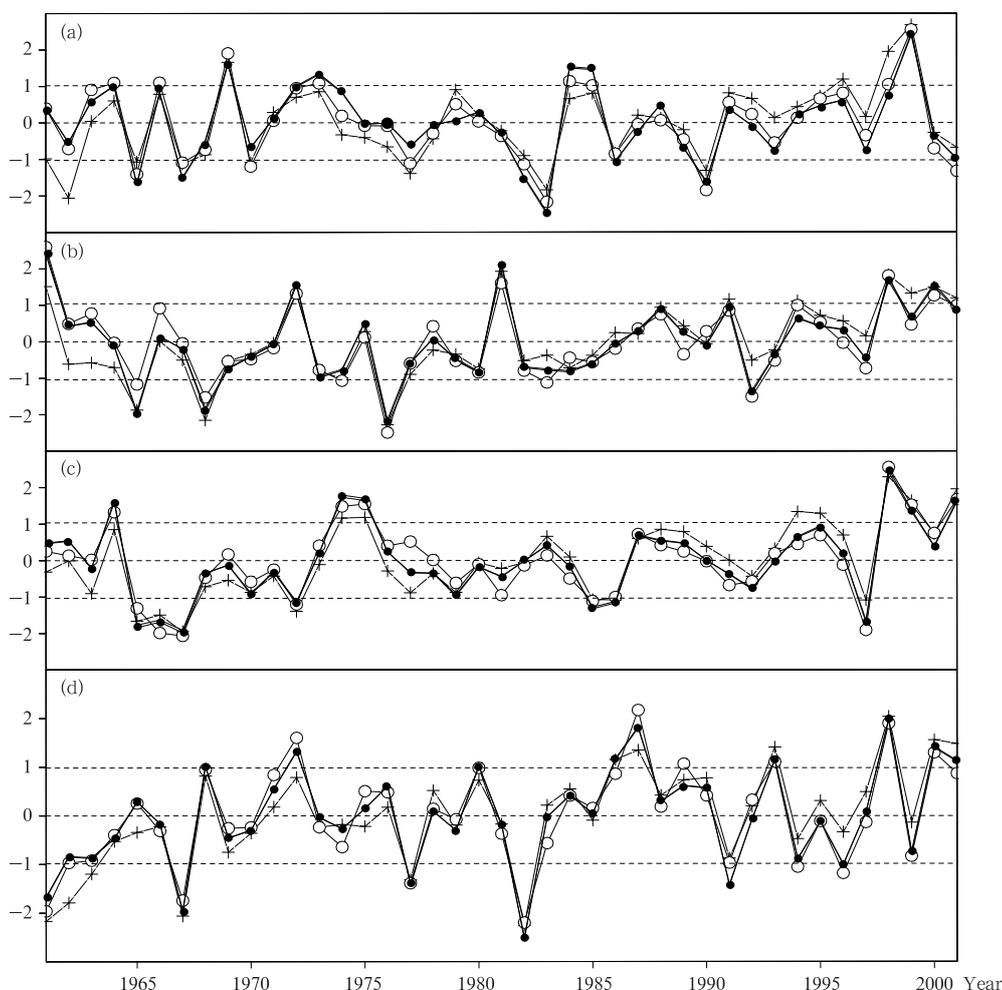


图2 1961~2001年标准化的高原地面气温指数变化曲线
(a. 春季, b. 夏季, c. 秋季, d. 冬季; 叉号和空心圆分别为高原中东部64个测站的平均值以及 $(27.5^{\circ} \sim 37.5^{\circ} \text{N}, 85^{\circ} \sim 105^{\circ} \text{E})$ 范围内ERA40的格点平均值, 实心圆为整个高原 $(27.5^{\circ} \sim 37.5^{\circ} \text{N}, 75^{\circ} \sim 105^{\circ} \text{E})$ 范围内ERA40的格点平均值)
Fig. 2 The standardized surface air temperature index time series over the Tibetan Plateau (a. spring, b. summer, c. autumn, d. winter; cross and open circle curves denote the 64-station-averaged and ERA40-grid-averaged surface air temperature indices of the mid and eastern plateau, and the solid circle curve is ERA40-grid-averaged index of the whole plateau)

9~11 的平均,冬季取当年 12 月到次年 2 月的平均。从图中可见尽管资料时段内 ERA40 的增温趋势在所有季节比观测资料弱,但在各个季节 3 条曲线都有着非常一致的年际变率,相互之间的相关系数的显著性均在 99% 信度水平之上。这说明 ERA40 资料能很好地反映高原中东部地面气温的年际变率,同时也说明高原中东部与整个高原的地面气温的年际变率基本一致,可用其近似代表整个高原的平均状况。需要指出的是,虽然高原不同季节的年际变率差异明显,但都以 20 世纪 90 年代最强,反映了这一时段内极端气候,特别是暖异常事件的频率明显增加的事实。另外,通过对这些时间序列分别进行小波分析,还发现各个季节里高原地表气温均无显著

的年际和年代际平均周期,但部分时段内(如 1960~1970 年代的春季)的 2~4 年周期还是存在的(图略)。

在高原西部地区,狮泉河(A)和塔什库尔干(B)的年平均观测气温与各自邻近格点上 ERA40 地面气温的相关系数为 0.26 和 0.56,分别超过 90% 和 99% 的信度水平,说明 ERA40 地面气温资料也能够较好地反映高原西部地区观测的地面气温年际变率。因此,本文用 ERA40 再分析资料研究高原地面气温年际变率及其与大气环流的关系所得到的结果是可信的。

为了解高原与北半球其他地区地面气温年际变率的关系,图 3 给出了分析时段内各个季节高原气温指数与北半球地面气温的相关图。注意到各个季

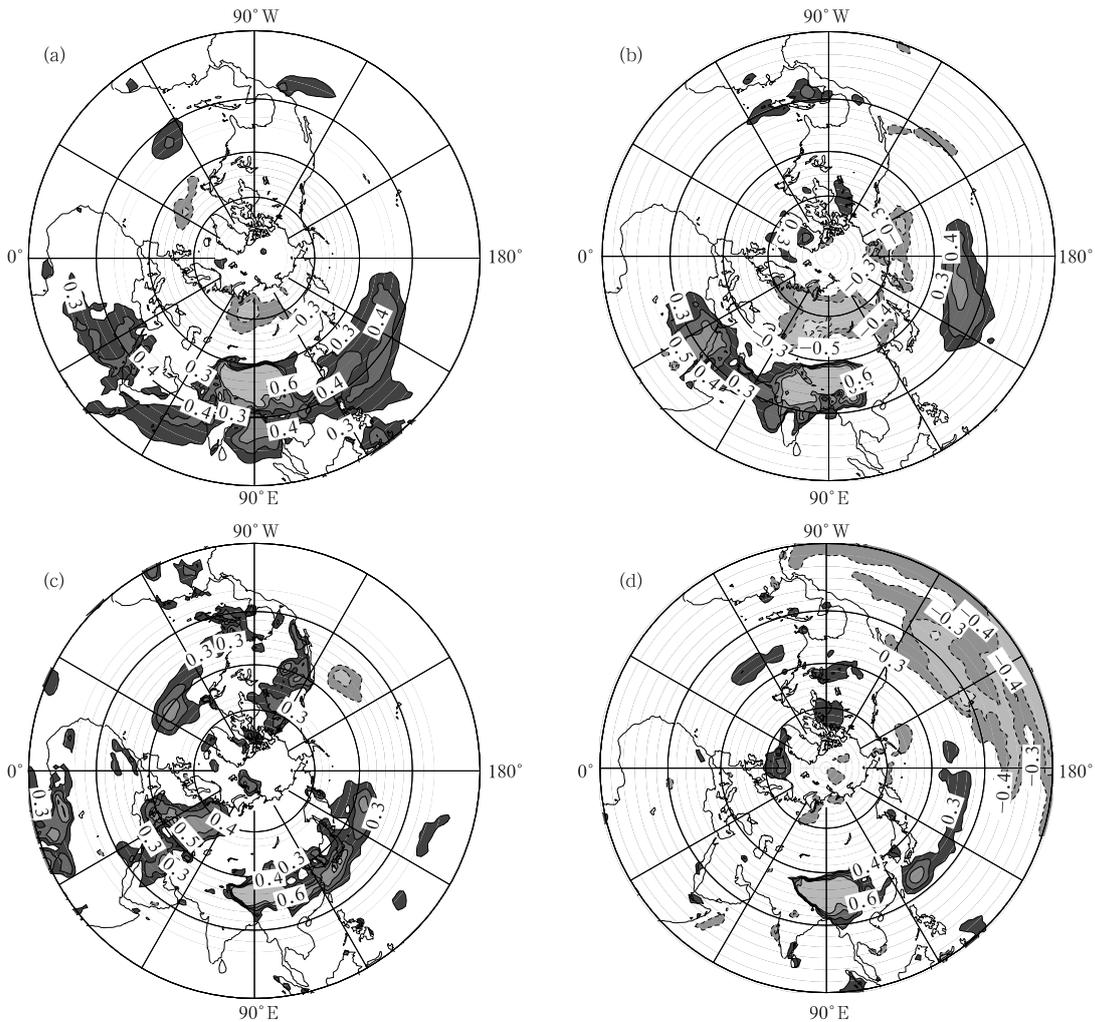


图 3 ERA40 高原地表气温指数与北半球地表气温的同时相关场

(a. 冬季, b. 春季, c. 夏季, d. 秋季; 图中阴影区表示相关通过 95% 信度检验的区域)

Fig. 3 The simultaneous correlation coefficient fields between the ERA40 TP temperature index and the Northern Hemispheric surface air temperature

(a. spring, b. summer, c. autumn, d. winter; shading areas means confidence level above 95%)

节最大相关系数所在的区域都与高原地形轮廓(2500 m 地形等高线)基本一致。而且除夏季外,高原气温指数与同纬度的亚洲腹地以及中国东部地区地面气温并无显著相关,说明地形造成高原气温具有独特的年际变率,有必要予以专门研究。在北半球副热带地区,西太平洋、大西洋中部,以及北非到阿拉伯半岛的地表气温与高原气温在一年中的大部分时间里都有显著的正相关,意味着这些地方的天气气候异常可能存在某种内在联系。而经向方向的显著特征是冬季和春季高原与亚洲中高纬地区的地面气温明显的负相关。

4 高原气温年际变率与大尺度环流

4.1 冬季的异常环流

大范围地面气温的异常必然与高层大气环流的异常有直接联系。图 4 给出了冬季 ERA40 高原地表气温指数与同期北半球对流层中层 500 hPa 各物理量的相关场。纬向方向上,当冬季高原地面温度偏高时,几乎整个北半球副热带地区($20^{\circ}\sim 40^{\circ}\text{N}$)对流层中层的气压和温度显著偏高。叶笃正等^[4]曾经指出夏季的青藏高压与中心位于墨西哥(80°W 附近)和北非(30°E 附近)高层大气的高压系统有同位

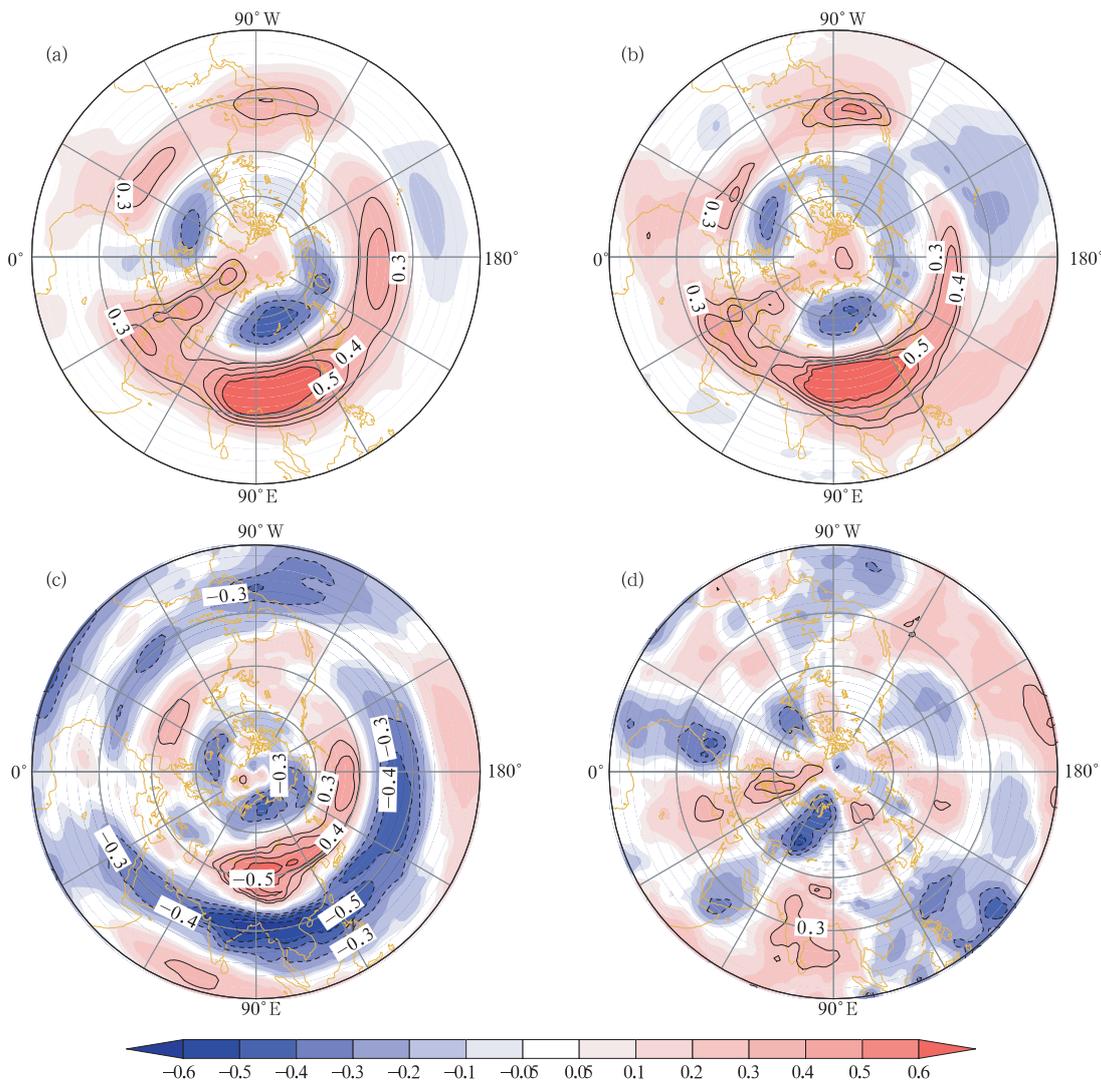


图 4 冬季高原地表气温指数与同期北半球对流层中层 500 hPa 的同时相关场
(a. 位势高度, b. 温度, c. 纬向风, d. 经向风;图中等值线区域的相关信度超过 95%)

Fig. 4 The simultaneous correlation fields between the winter Tibetan Plateau surface air temperature index and variables at 500 hPa

(a. geopotential height, b. air temperature, c. zonal wind speed, d. meridional wind speed; contour areas means confidence level above 95%)

相的演变关系。图 4 的结果则进一步表明在冬季它们还与另外 2 个中心分别位于夏威夷群岛(180°附近)和大西洋(30°W 附近)上空的气压和温度有明显的同时增强或减弱现象,这样就形成了冬季北半球副热带地区 5 个几乎等距分布的同位相变化中心。经向方向上,特别是高原所在的经度范围内,北半球中高纬(50°~70°N)与副热带的位势高度场和温度场呈明显的反位相变化关系,同时北极(80°N 以北)则与高原同位相变化。但在中高纬和极地,这种显著的相关在纬向方向不均匀。极区的相关中心偏向东半球一侧,在 30°E 附近与副热带的高值中心连为一体。纬向风场上,中纬度地区为异常西风气流,高纬(不含北极)和热带为异常东风气流,这种关系在高原所在的经度范围内尤为显著。经向相关风场的结构略为复杂,南风 and 北风相关中心间隔分布,但可以清楚地看到高原和北非等地上空的南风异常。

为进一步分析与高原温度异常相联系的大气环流垂直结构和经圈环流。从图 2 所示冬季地面气温指数时间序列中分别选取 5 个最暖的高原冬季(按

时间顺序依次为 1972/1973, 1987/1988, 1989/1990, 1998/1999, 2000/2001 年)和 5 个最冷的高原冬季(按时间顺序依次为 1961/1962, 1967/1968, 1977/1978, 1982/1983, 1996/1997 年)。用异常偏暖和偏冷冬季的平均经向风速和垂直速度的差值场构造了高原所在经度(75°~105°E)的平均合成经圈环流,用 75°~105°E 平均的纬向风速和温度的差值分别构造了它们的气压-经向合成差值场(图 5)。不难看出,前面相关分析的结果与这里合成分析的结果是一致的。通过对这些物理量场的合成分析,可将高原冬季气温异常偏暖时的大尺度环流特征概括为:(1)异常偏强的中纬度和极地对流层西风气流以及热带和高纬地区高空东风气流;(2)异常偏暖的副热带对流层、极地对流层和平流层低层,以及位于它们之间异常偏冷的中高纬对流层;(3)局地经圈环流最为显著的特征是异常偏强的 Hadley 和 Ferrel 环流,对应于 20°~40°N 副热带对流层为异常偏强的下沉气流,45°~60°N 中纬度对流层自由大气则为异常偏强的上升气流。

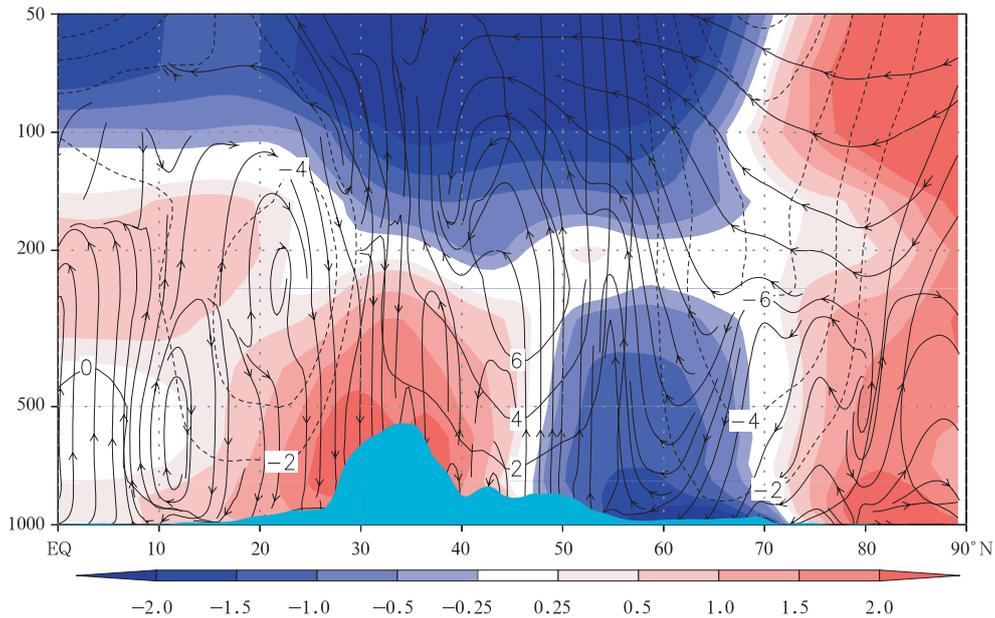


图 5 5 个高原地面气温异常偏高的冬季和 5 个高原地面气温异常偏低的冬季对应的 75°~105°E 平均的大尺度环流合成差值场

(流线代表局地经圈环流场(经向风和垂直速度单位分别取 m/s 和 -150 Pa/s),等值线表示纬向风(单位:m/s),阴影表示温度(单位:°C),图底部藏青色的区域表示地形)

Fig. 5 The 75°-105°E averaged composite difference patterns in anomalous zonal wind (contours, in unit of m/s), meridional circulation (streamline, in unit of -150 Pa/s), and air temperature (shaded, in unit of °C) between 5 anomalous warm and cold winters over the plateau (Cyan area in the bottom denotes topography)

上述分析表明,与高原冬季气温年际变率密切相关的大气环流型存在着以副热带、中高纬和极圈 3 条环状活动带以及 5 个分别位于高原、西太平洋、北美西部、大西洋中部和北非到阿拉伯半岛的副热带活动中心,它们共同组成了一种北半球环状波动模。其基本特征如纬向对称,经向反号,垂直方向相当正压结构等都与 Thompson 和 Wallace^[17] 定义的北半球环状模一致,不同之处在于通常意义的环状模是以北大西洋为最大变率中心,主要描述极地和中高纬的负相关关系。而与高原气温年际变率相联系的这种环状波动模则突出了以高原为中心的副热带暖高压带与中高纬冷低压带之间的同时增强或减弱的关系。与纬向指数一样^[18,19],环状模反映的主要是热带外地区相邻两条纬带之间质量和能量的交换。

4.2 冬季的热力学平衡关系

高原地处欧亚大陆东部的副热带地区,中高纬大气长波槽脊活动和热带天气系统都可能对这里的环流和天气有影响。通过对热力学方程进行诊断,可以定量分析不同季节影响高原上空温度的主要因素。

等压面上时间平均的热力学方程可以表示为

$$\frac{\partial \bar{T}}{\partial t} = \frac{\bar{Q}}{c_p} - \left(\frac{p}{p_0}\right)^{\kappa} \bar{\omega} \frac{\partial \bar{\theta}}{\partial p} - \bar{v} \cdot \nabla_p \bar{T} - \left(\frac{p}{p_0}\right) \frac{\partial}{\partial p} (\overline{\omega \theta'}) - \nabla_p \cdot (\overline{v T'}) \quad (1)$$

其中 Q 为非绝热加热或冷却, $\kappa = R/c_p$, “ $\bar{\quad}$ ”表示时间平均, “ $'$ ”表示对平均值的偏差。对季节平均而言,时间变化项可忽略。间距较大的资料,尤其是中纬度风暴轴以外的副热带地区,瞬变项相对不重要,因此主要的平衡过程发生在非绝热强迫项,位温的平均垂直平流项,以及平均的水平平流项之间。

利用 ERA40 再分析资料分别计算了 5 个高原地面气温异常偏高的冬季和 5 个异常偏低的冬季式 (1) 中时间平均的水平和垂直平流项,非绝热项由平均的水平和垂直平流项倒算得到。图 6a~d 分别为 500 hPa 上非绝热项、平均纬向平流项、平均经向平流项以及平均垂直平流项的合成差值场。注意副热带地区水平和垂直平流项平衡的地方意味着气块沿等熵面的绝热运动。从图中可见在高原异常偏暖的冬季,高原平均状况,特别是高原南部 500 hPa 上冷源作用比异常偏冷冬季明显偏强,而高原东北部局

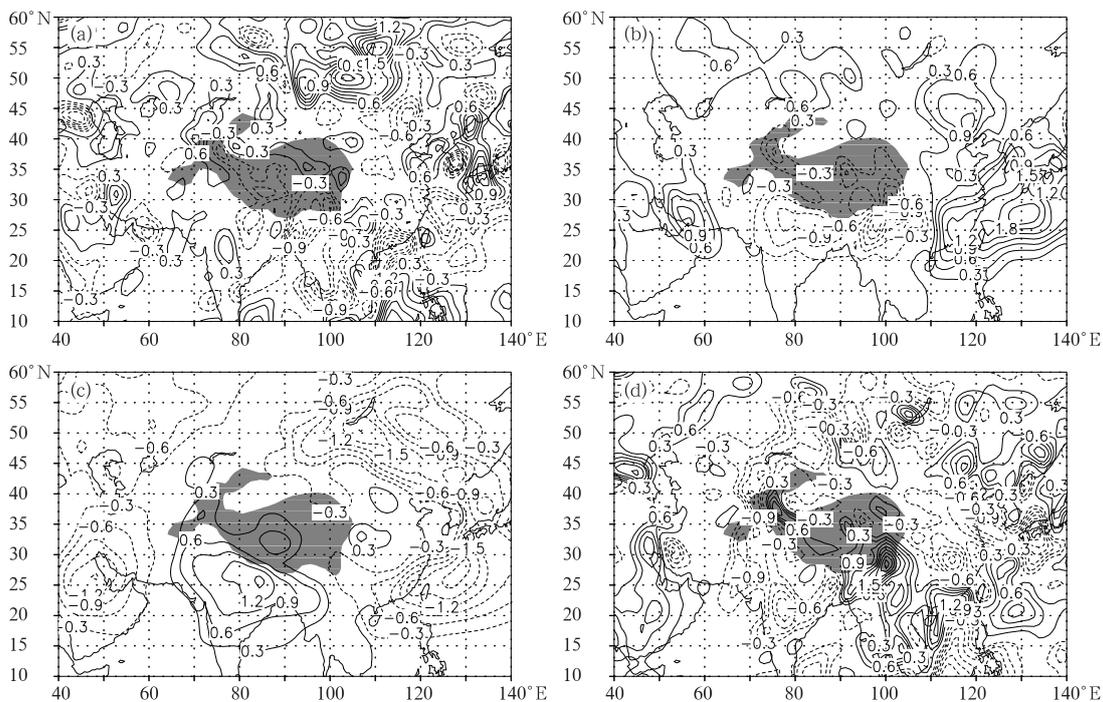


图 6 5 个高原地面气温异常偏高的冬季和 5 个高原地面气温异常偏低的冬季对应的 500 hPa 热力学方程诊断的合成差值场

(a. 非绝热项 $\frac{\bar{Q}}{c_p}$, b. 纬向平流项 $-\bar{u} \frac{\partial \bar{T}}{\partial x}$, c. 经向平流项 $-\bar{v} \frac{\partial \bar{T}}{\partial y}$, d. 垂直平流项 $-\left(\frac{p}{p_0}\right)^{\kappa} \bar{\omega} \frac{\partial \bar{\theta}}{\partial p}$; 单位: K/d)

Fig. 6 The composite difference of mean thermodynamic balance at 500 hPa between 5 anomalous warm and cold winters over the plateau (a. diabatic heating or cooling $\frac{\bar{Q}}{c_p}$, b. zonal advection $-\bar{u} \frac{\partial \bar{T}}{\partial x}$,

c. meridional advection $-\bar{v} \frac{\partial \bar{T}}{\partial y}$, d. vertical advection $-\left(\frac{p}{p_0}\right)^{\kappa} \bar{\omega} \frac{\partial \bar{\theta}}{\partial p}$; unit: K/d)

地的冷源作用比异常偏冷冬季弱；由于地形的阻挡作用，高原上空的水平平流项明显比周边平原地区小。在异常偏暖年，高原上空纬向冷平流和经向暖平流都比异常偏冷年强。异常纬向冷平流中心在高原东南部，异常经向暖平流中心在高原中部。总体而言经向平流的作用是与纬向平流的作用抵消；在异常偏暖年高原上空绝热下沉增温效应异常偏强，中心分别在高原东南部和西北部的昆仑山脉。通过比较热力学方程中各项的大小，可进一步判断垂直平流对高原上空气温异常的影响最重要，它几乎平衡了其他 3 项之和。异常偏暖与异常偏冷的冬季相比较，垂直平流项的差值在高原东南部可达 2.7 K/d，纬向平流的差值接近 -1 K/d，而经向平流的差值则在 0.6 K/d 以上。因此，尽管中高纬冷空气活动的强度和频率，副热带西风气流的强弱以

及局地经圈环流等都对高原低层大气温异常都有影响，但热力学方程诊断的合成分析表明导致冬季高原低层大气温异常的最重要因子是垂直平流作用，即大范围的绝热下沉或上升运动。

4.3 季节变化特征

与高原气温变化相联系的北半球环状波动模在春季和秋季也十分明显，结构和特征与冬季相似，受篇幅所限这里不一一列出。夏季由于西风带减弱北撤，气流经向活动明显比冬季偏强，此时副热带大气环流的纬向对称性大为减弱，高原大尺度天气主要受季风环流控制。但对流层自由大气中，高原、西太平洋、北美西岸，东大西洋，以及北非到阿拉伯半岛地区的位势高度场和温度场同位相变化关系依然存在(图 7)，说明北半球副热带地区这 5 个相互关联的活动中心是定常的。热力学方程的诊断结果则表

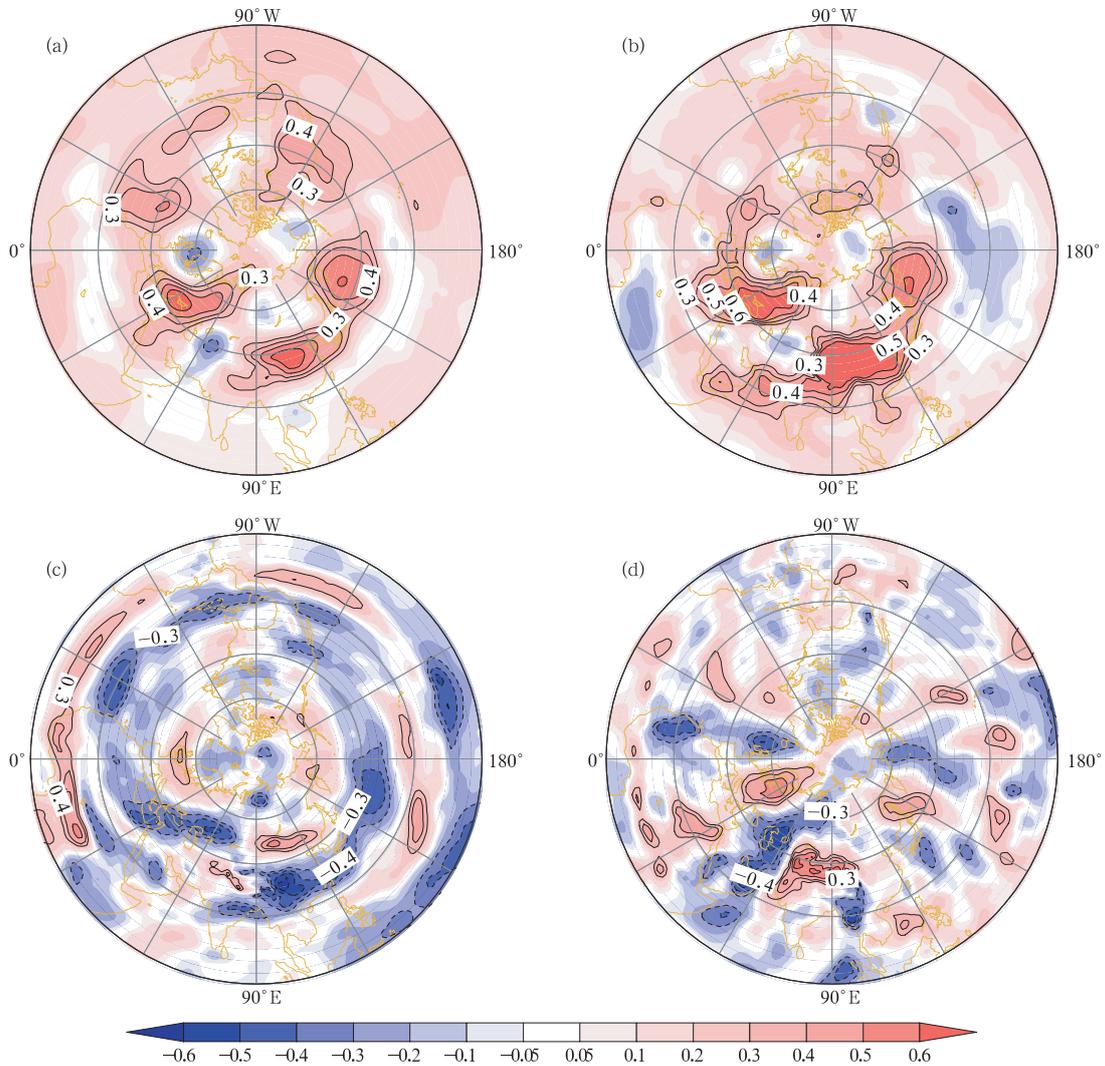


图 7 同图 4，但为夏季的情形
Fig. 7 As in Fig. 4 but for summer

明,夏季高原上空整个对流层都是以垂直平流项最为重要,水平平流作用十分微弱(图略)。

5 结论和讨论

本文分析结果表明,高原上空气温的年际变率通过一种北半球环状波动模与整个北半球的大尺度环流联系在一起。这种环状波动模在夏季以外的其他季节普遍存在,它由同位相的副热带和极地环状活动带以及反位相的中高纬环状活动带组成。其中副热带环状活动带有 5 个中心,分别位于高原、西太平洋、北美西部、大西洋中部和北非到阿拉伯半岛上空。垂直方向呈相当正压结构,并且通过大气内部动力过程与经圈环流,特别是 Hadley 和 Ferrel 环流密切相关。当这种波动环状模处于正位相时,即副热带高压带和中高纬低压带同时增强时,异常偏强的中纬度西风气流使得中高纬大气长波槽、脊减弱,不利于冷空气向南伸展;另一方面,局地 Hadley 和 Ferrel 环流也异常增强,导致对流层自由大气中副热带下沉运动和中高纬上升运动也异常偏强,减弱的冷空气活动和增强的绝热下沉增温效应共同造成高原对流层气温异常偏高。热力学方程诊断结果则表明绝热下沉增温效应对高原低层大气温度异常的影响最为重要。

大气环流的基本成员如经圈环流、东西风带和平均槽脊等都是相互制约的内在统一体。本文分析结果虽然给出了与高原地面气温年际变率相联系的大尺度环流特征。但是,导致这种大尺度环流异常的物理机制还有待于进一步研究。

参考文献

- [1] Yeh Tucheng. The circulation of the high troposphere over China in the winter of 1945-1946. *Tellus*, 1950, 2 (3): 173-183
- [2] 叶笃正, 罗四维, 朱抱真. 青藏高原及其附近的流场结构和对流层的热量平衡. *气象学报*, 1957, 28(2): 108-121
Ye Duzheng, Lo Siwei, Chu Paochen. On the heat balance and circulation structure in troposphere over Tibetan Plateau. *Acta Meteor Sinica (in Chinese)*, 1957, 28(2): 108-121
- [3] Flohn H. Contributions to a meteorology of the Tibetan Highlands. *Atm Sci Paper 130*, Fort Collins, Colorado State University, 1957. 120pp
- [4] 叶笃正, 高由禧. 青藏高原气象学. 北京: 科学出版社, 1979. 279pp
Ye Duzheng, Gao Youxi. *Meteorology of the Qinghai-Xizang (Tibet) Plateau*. Beijing: Science Press, 1979. 279pp
- [5] 《青藏高原气象科学实验文集》编辑组. 青藏高原气象科学实验文集(一). 北京: 科学出版社, 1984. 343pp
Staff members. *Collections of the Qinghai-Xizang (Tibet) Plateau Meteorological Experiment (Part one)*. Beijing: Science Press, 1984. 343pp
- [6] 《青藏高原气象科学实验文集》编辑组. 青藏高原气象科学实验文集(二). 北京: 科学出版社, 1984. 280pp
Staff members. *Collections of the Qinghai-Xizang (Tibet) Plateau Meteorological Experiment (Part two)*. Beijing: Science Press, 1984. 280pp
- [7] 《青藏高原气象科学实验文集》编辑组. 青藏高原气象科学实验文集(三). 北京: 科学出版社, 1987. 215pp
Staff members. *Collections of the Qinghai-Xizang (Tibet) Plateau Meteorological Experiment (Part three)*. Beijing: Science Press, 1987. 215pp
- [8] 陶诗言, 陈联寿, 徐祥德等. 第二次青藏高原大气科学试验研究进展(一). 北京: 气象出版社, 1998. 348pp
Tao Shiyang, Chen Lianshou, Xu Xiangde, et al. *Progress in the second Tibetan Plateau Atmospheric Experiment (TIPEX) (Part one)*. Beijing: China Meteorological Press, 1998. 343pp
- [9] 陶诗言, 陈联寿, 徐祥德等. 第二次青藏高原大气科学试验研究进展(二). 北京: 气象出版社, 1998. 396pp
Tao Shiyang, Chen Lianshou, Xu Xiangde, et al. *Progress in the second Tibetan Plateau Atmospheric Experiment (TIPEX) (Part two)*. Beijing: China Meteorological Press, 1998. 396pp
- [10] 陶诗言, 陈联寿, 徐祥德等. 第二次青藏高原大气科学试验研究进展(三). 北京: 气象出版社, 1998. 203pp
Tao Shiyang, Chen Lianshou, Xu Xiangde, et al. *Progress in the Second Tibetan Plateau Atmospheric Experiment (TIPEX) (Part three)*. Beijing: China Meteorological Press, 1998. 203pp
- [11] Duan Anmin, Wu Guoxiong. Role of the Tibetan Plateau thermal forcing in the summer climate patterns over subtropical Asia. *Climate Dynamics*, 2005, 24: 793-807
- [12] Liang Xiaoyun, Liu Yimin, Wu Guoxiong. The role of land-sea distribution in the formation of the Asian summer monsoon. *Geophys Res Lett* 2005, 32: L03708, doi:10.1029/2004GL021587
- [13] 吴国雄. 我国青藏高原气候动力学研究的近期进展. 第四纪研究, 2004, 24(1): 1-9
Wu Guoxiong. Recent progress in the study of the Qinghai-Xizang plateau climate dynamics in China. *Quaternary Sci (in Chinese)*, 2004, 24(1): 1-9
- [14] 吴国雄, 毛江玉, 段安民等. 青藏高原影响亚洲夏季气候研究的最新进展. *气象学报*, 2004, 62(5): 528-540.
Wu Guoxiong, Mao Jiangyu, Duan Anmin, et al. Recent progress in the study on the impacts of Tibetan Plateau on Asian summer climate. *Acta Meteor Sinica (in Chinese)*, 2004,

- 62(5): 528—540
- [15] 吴国雄, 刘屹岷, 刘新等. 青藏高原加热如何影响亚洲夏季的气候格局. 大气科学, 2005, 29(1): 49~56
Wu Guoxiong, Liu Yimin, Liu Xing, et al. How the heating over the Tibetan Plateau affects the Asian climate in summer. Chinese J Atmospheric Sci (in Chinese), 2005, 29(1): 49—56
- [16] Simmons A J, Gibson J K. The ERA40 Project Report Series, No. 1, ECMWF: Reading, 2000. 145pp
- [17] Thompson D W J, Wallace J M. Annular modes in the extratropical circulation. Part I: Month-to-month variability. J Climate, 2000, 13: 1000—1016
- [18] Rossby C G, et al. Relations between variations in the intensity of the zonal circulation of the atmosphere and displacement of the semipermanent centers of action. J Mar Res, 1939, 2: 38—55
- [19] Li Jiangping, Wang Julian. A modified zonal index and its physical sense. Geophys Res Lett, 2003, 30: 1632, doi: 10.1029/2003GL017441

THE RELATIONSHIP BETWEEN THE INTERANNUAL VARIABILITY OF AIR TEMPERATURE OVER THE TIBETAN PLATEAU AND THE NORTHERN HEMISPHERIC ANNULAR-WAVE PATTERN

Duan Anmin Wu Guoxiong

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

Abstract

By using 64-station-based surface air temperature over the mid-eastern Tibetan Plateau and the ERA40 Reanalysis data in the period Jan 1961—Feb 2002, the anomalous large-scale circulation pattern related to the interannual variability of air temperature over the Tibetan Plateau has been investigated. Results show that, except in summer, there is a significant positive correlation between the surface air temperature over the plateau and the Northern Hemispheric subtropical and polar tropospheric air temperature and geopotential height fields. Among the subtropical annular belt, five correlation centers exist over the Tibetan Plateau, west Pacific, northern North America, mid Atlantic, as well as the area from north Africa to Arabia. However, an inversed negative correlation belt can be detected in the mid-high latitudes. Therefore, these three annular activity belts together with the five subtropical activity centers form a kind of Northern Hemispheric annular-wave mode. In zonal direction, it is characterized by abnormally strong tropospheric westerlies in mid-latitudes and easterlies in tropical and high-latitudes, which is accompanied by the weakened long wave troughs and ridges over mid-latitudes. In meridional direction, it is characterized by abnormally strong Hadley and Ferrel cells, which is accompanied by intensified subtropical descent and mid-latitudes ascent. And this annular-wave mode is also featured by the equivalent-barotropic structure in vertical. When this annular-wave mode in its positive phase, the integrated effect of the weakened cold air intrusion and enhanced adiabatic descent leads to the anomalous warm in the mid- and lower-troposphere over the plateau.

Key words: Tibetan Plateau, Air temperature, Interannual variability, Annular-wave pattern, Meridional circulation.