

1979年夏季青藏高原大气热量
水平输送的周期振荡事实

陈万隆 刘玉英

(气象研究所) (吉林省气象局)

摘要 应用谱分析方法分析了1979年夏季青藏高原气象科学实验期间高原大气通过高原四周“界壁”的热量水平输送(简称高原大气热量水平输送)的周期振荡,发现它有两个主要振荡周期,即准两周(13.3天)和准一周(6.7天)。本文对高原大气热量水平输送的准两周振荡提出某些物理解释。

关键词 青藏高原, 大气热量, 水平输送, 周期振荡, 谱分析

70年代初, Krishnamurti等在分析1967年200百帕西藏高原地区的流函数时发现,它的主振荡周期为10—13天,次周期为3天左右^[1]。近年来,人们通过对1979年夏季青藏高原气象科学实验资料的分析,发现青藏高原的天气系统和天气具有某些明显的准周期振荡特征。例如,朱抱真等用两层准地转模式研究得出,青藏高压具有准两周的东西振荡现象^[2]。陆龙骅等根据谱分析指出,高原100百帕等压面上的高度和温度的主要周期为8天左右^[3]。沈如金等所作的谱分析表明,青藏高原内部500百帕等压面上的纬向和经向风速分量主要存在两种周期扰动,即8—10天和5天左右^[4]。而章基嘉等对高原地面热源的谱分析得出,地面净辐射具有8—10天,4—5天,准3天,2.1—2.7天的振荡周期^[5]。最近孙国武等研究指出,在青藏高原所在的经度范围内,对流层中层(500百帕)和上层(200百帕),大气低频波存在明显的30—40天的周期振荡现象^[6]。

本文将着重揭露青藏高原大气与四周热量水平输送(H)的周期振荡现象及其与高原地面热源耦合振荡的一些事实,并试图探讨高原大气与四周热量水平输送的多时间尺度振荡同高原天气系统的物理联系。

1 资料和计算方法

青藏高原主体地区大气与其四周热量水平输送H按下式计算^[7]

$$H = \frac{1}{g} \oint ds \int_{P_h}^{P_0} (A\phi + c_p T + Lq) V_n dp \quad (1)$$

式中A表示热功当量, ϕ 表示位势高度, c_p 为空气定压比热, T表示气温, L为水汽潜热系数, q表示空气比湿, V_n 表示垂直高原边界的风速(向外为正, 向内为负)。而A ϕ 、

$c_p T$ 和 Lq 则分别代表单位空气质量的 $c_p T$ 重力位势能、感热和潜热。 g 为重力加速度。 $\oint ds$ 表示本文计算中的高原边界周长。高原的边界取为: [西—75°E, 东—105°E; 南—25°N, 北—40°N]。 p 表示气压。 p_0 在高原上取为700百帕,在我国东部平原地区取为1000百帕; p_h 固定为100百帕。在每一边界上,和每一等压面上,从国家气象局出版的每日08时高空图上每隔5个纬度或5个经度读取一组风、温、湿和位势高度值。计算日期是从1976年5月22日起,至8月31日为止,计102天。由高原大气通过四周界壁向外输送热量为正,流入为负。

青藏高原地表净辐射的区域平均日总量 \bar{B} 是以1979年青藏高原气象科学实验期间在拉萨、林芝、那曲、格尔木、双湖和狮泉河等6个地面热源站实测的净辐射日总量的平均值表示的,而青藏高原近地面层感热通量的区域平均日总量 \bar{S} 则取自文献[8]的计算结果。青藏高原范围内500百帕等压面上的区域平均位势高度 $\bar{\phi}$ 和平均气温 \bar{T} 取自该实验期间拉萨、那曲、昌都、格尔木、双湖、定日、改则和狮泉河等站的探空资料。

为了消除上述各物理量和气象要素的月际变化影响,将时间分为5月22日—6月30日,7月1日—31日和8月1日—31日等三个时段,分别对上述变量进行标准化处理。这些标准化变量可用Blackman—Tukey公式计算它们的谱密度估计值 G_k ,即

$$G_k = \frac{1}{m} \left[R_0 + 2 \sum_{\tau=1}^{m-1} R_\tau \cos \frac{k\pi\tau}{m} + R_m \cos k\pi \right] \quad (2)$$

然后用Hanning方法对 G_k 作平滑处理^[9]。上式中 k 表示频率序号,它与振动频率 $f = \omega/2\pi$ (ω 为圆频率)的关系是: $k = 2mf$,其中 m 表示最大时间后延(本文 m 取为 $N/5 \cong 20$, N 为样本数102); R_τ 表示第 τ 个时间间隔上的相关函数($\tau = 0, 1, 2, \dots, m$)。谱峰值显著性检验的信度 α 取为0.10。

凝聚谱 $R_{12}^2(k)$ 由下式求得^[10]

$$R_{12}^2(k) = \frac{P_{12}^2(k) + Q_{12}^2(k)}{P_{11}(k)P_{22}(k)} \quad (3)$$

式中 P_{12} 和 Q_{12} 分别表示两个时间序列 $x_1(t)$ 和 $x_2(t)$ 的协谱和正交谱, P_{11} 和 P_{22} 分别表示 $x_1(t)$ 和 $x_2(t)$ 的功率谱。至于 P_{12} 和 Q_{12} 的估计方法参见文献[10],本文不再赘述。

2 结果分析

2.1 高原大气与其周围热量水平输送的振荡特征

本文所规定的高原边界的東西跨度为30个经度,比文献[7]小20个经度。后者东边界取至120°E。这种取法不够合理,因为它包括了我国东部平原丘陵的大部分地区,其计算结果不能真正反映高原的热力强迫作用。为了比较青藏高原大气与其周围热量水平输送的振荡周期同我国东部地区大气与其周围热量水平输送的振荡周期之间的差异,我们对高原主体以东的区域(简称东部地区): [西—105°E, 东—120°E; 南—25°N, 北—

40°N], 作了同样的计算。

图1表示高原地区和东部地区的对流层大气与其周围热量水平输送的功率谱曲线。由图

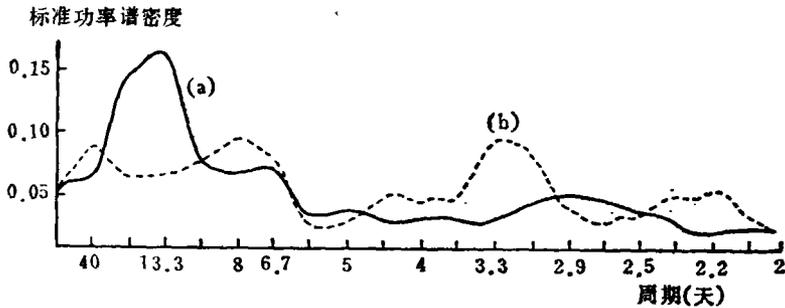


图1 青藏高原和东部地区对流层大气与其周围热量水平输送的功率谱曲线(1979年夏季)

a 青藏高原(700—100百帕); b 东部地区(1000—100百帕)

看出, 青藏高原对流层大气与其周围热量水平输送振荡的主峰周期围绕在13.3天(准2周), 次峰出现在6.7天(准一周)附近, 而东部地区对流层大气与其周围热量水平输送的振荡周期与青藏高原是有明显差异的, 主要表现在8天左右的中频振荡、3天左右的高频振荡和40天的低频振荡上。东部地区H的振荡特征反映了东亚夏季风季节内变化(intraseasonal variability)和中、高频振动。而青藏高原H的振荡特征反映了高原对季风的动力和热力的强迫作用的影响。这种影响与高原天气系统的周期性振荡及高原内热源和气象要素的周期性扰动是有一定联系的。青藏高原准两周的振荡特性可能对于青藏高原H准两周振荡的形成起了重要的作用。朱抱真等根据两层准地转模式的研究表明, 青藏高原准两周振荡周期的形成是由于青藏高原的存在, 其地形和热源造成波数 $K=1$ 的纬向不对称性, 这种行星波尺度与高空东风和低空西风的平均强度使得基本纬圈气流和平均经圈环流具有两周左右的周期^[2]。而这种经圈和纬圈的准两周振荡势必对青藏高原大气与其周围的热量平流输送在时频域上和强度上产生影响。

图2表示青藏高原和东部地区大气热量水平输送功率谱的空间结构。图中虚线表示各高度上谱密度峰值的连线。该图可说明大气热量水平输送的周期特征在垂直方向上的分布。青藏高原对流层(500百帕)上部主要表现为准两周(13.3天)的振荡特性, 而在对流层的下部则以准一周(6.7天)的振荡周期为主, 另外在500百帕以上存在准5天的次振荡周期, 而在500百帕以下具有2—3天的次振动现象(图2 a)。而在我国东部地区, 在对流层(500百帕)上部以8天和40天的中、低频周期振荡为主, 在对流层下部则有20—40天和8天左右的主要振荡周期以及5天和3天左右次周期(图2 (b))。

众所周知, 大气运动表现为由一种形式的能量向另一种形式的能量连续转化的过程。大气中各种天气系统的产生、移动、发展和消亡的过程, 也就是大气中各种形式能量的产生、转移、积累和释放的过程。青藏高原大气与其周围热量水平输送的强弱及其周期变化显然与青藏高原天气系统的活动是分不开的。根据朱抱真和宋正山对青藏高原的形成过程和准周期振荡的研究^[11], 我们可以得到青藏高原大气与其周围热量水平输送的准周期振荡同青藏高原准周期振荡之间的物理联系的图象(图3)。青藏高原是由于伊

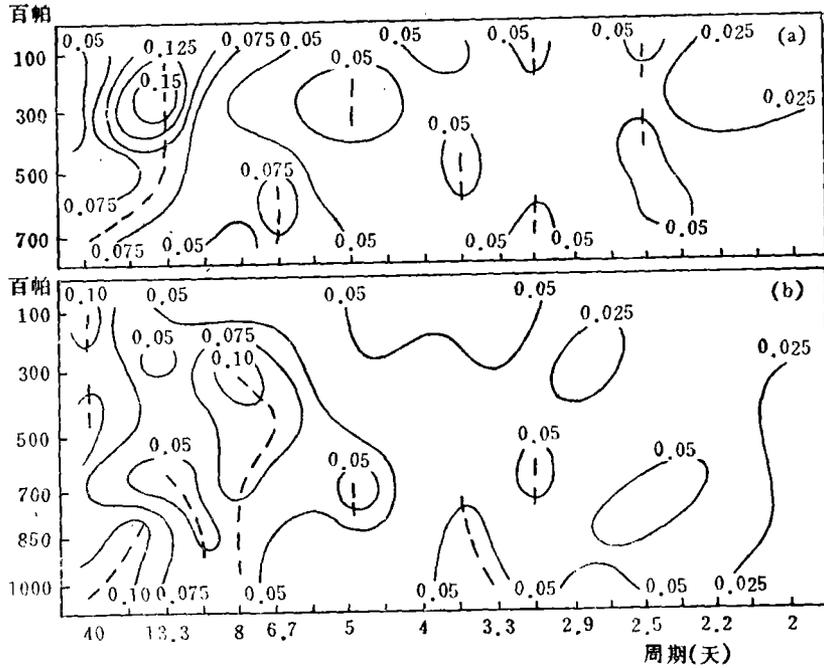


图2 青藏高原和东部地区大气与其周围热量水平输送功率谱的垂直结构(1979年夏季)
 a 青藏高原; b 东部地区. 图中数值为标准功率谱密度

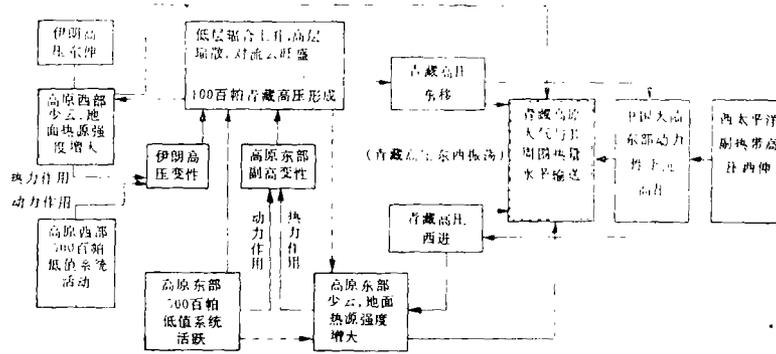


图3 青藏高原大气与其周围热量水平输送的准周期振荡同青藏高原高压准周期振荡的物理联系

朗高压或西太平洋副热带高压向高原移动、伸展过程中, 受到高原地区热力变性和“动力变性”作用而形成的热力性的反气旋^[11]。图3表示青藏高原高压的形成及其东西振荡过程对青藏高原大气热量水平输送H的准周期振荡影响, 图中实线箭头和虚线箭头分别表示高原天气系统的正和负贡献。至于青藏高原大气热量水平输送H以虚、实二线方框表示, 是因为计算的高原边界大到足以覆盖高原范围内的各种天气系统, 而这些系统对H的贡献有正, 有负。分析表明, 青藏高原高压流型常有两种平衡态, 即所谓的东型和西型。当青藏高原高压为西型时, 高原少雨, 西南季风活跃; 当其为东型时, 高原多雨, 西南季风中断。正是由于高原动力和热力作用对超长波的控制, 限制超长波在高原附近活动, 使波

动呈准定常性质；准定常波加上中高纬度行波的盛衰(演变系统)，才造成了青藏高压的准周期性振荡。与此同时，在上述两种平衡态下的平均经圈环流和纬向平均气流的时间演变也会同样地作周期性振荡^[11]。因此，青藏高原南北边界上的经向风速和东西边界上的纬向风速也产生同样的周期性振荡，结合(1)式可知，这种垂直于高原边界的风速 V_n 的周期振荡在一定程度上决定了青藏高原大气热量水平输送 H 的振荡特性。当然，高原边界各等压面上的位势高度、气温和比湿的周期性变化对高原大气热量水平输送 H 的周期性振荡也会起一定的作用，但是它们同样受到青藏高压周期性振荡和控制的影响。

2.2 高原大气热量水平输送 H 同高原地面热源、500百帕等压面高度等的耦合振荡特征

本文用凝聚谱表示两个平衡时间序列在某频率(周期)处耦合振荡的相关程度，即如若两个平稳时间序列在某频率(周期)处的凝聚函数数值达最大(或相当大)，则表示它们在该频率(周期)处的振荡相当耦合，否则表示它们在该处耦合振荡关系很小或无关。凝聚函数的显著性检验可用Rory和Thompson方法，即当 $R^2 > R_c^2(\alpha, \nu)$ 时，表示凝聚函数 R^2 在信度 α 水平上是显著的。其中临界凝聚函数 R_c^2 表示为^[10]

$$R_c^2 = 1 - \alpha^{1/(\nu-1)} \quad (4)$$

式中 $\nu = (2N - m/2)/m$ 表示自由度。本文取 $\nu = 10$ 及 $\alpha = 0.10$ ，因此 $R_c^2 = 0.224$ 。

图4给出青藏高原大气与其四周热量水平输送同高原地面净辐射凝聚谱的空间结构。图中横坐标表示耦合周期(以天为单位)，图中虚线表示通过信度为0.1的显著性检验的凝聚谱峰值连线(以下各图同)。由图看出，除500百帕一层以外，青藏高原大气热量

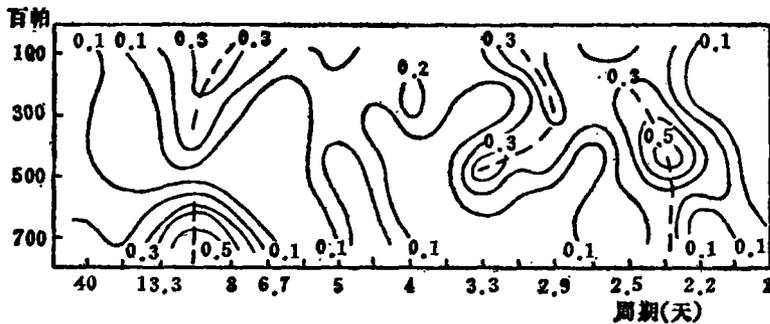


图4 青藏高原大气与其周围热量水平输送同地面净辐射之间的凝聚函数 R^2 的空间结构

水平输送 H 同地面净辐射在8—10天周期处出现耦合振荡，另外在500百帕等压面及以上存在2.4天和3天左右的耦合周期。这些耦合周期同高原地面净辐射的自振周期^[5]相当一致(除4—5天的周期外)的事实，可说明高原地面对大气的热力强迫作用是非常明显的。

高原近地面感热通量通过湍流输送至大气边界层顶，然后通过垂直运动输送并加热整个对流层大气而改变高原大气温度。因此它的周期性变化对高原大气热量水平输送 H 也有一定的影响。高原大气与其周围热量水平输送同高原地面感热通量的凝聚函数(R^2)

空间分布绘制成图 5。由图看出，在 500 百帕等压面高度以下两者的耦合周期主峰为 4.4 天左右，其次为 2.4—2.7 天和准一周，上层的耦合周期有 20—40 天，4—5 天和准 2 天。高原大气热量水平输送 H 的多频振动与诸多因素有关。联系图 5 与图 1 (a) 看出，地面感热通量的周期扰动主要影响高原大气热量水平输送 H 的高频振动 (2—3 天) 部分。

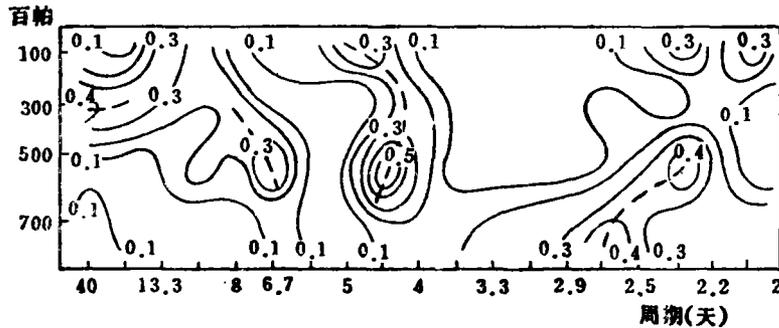


图 5 青藏高原大气与其周围热量水平输送同地面感热通量之间的凝聚函数 (R^2) 的空间结构

定性说来，高原地面对大气加热作用越强，各等压面的高度就越高，相应的高原大气与其周围热量水平输送也就越大。图 6 的高原 500 百帕等压面平均高度与各等压面高度上大气热量水平输送的耦合振荡现象可以说明这一点，即图中 10—13.3 天和准 3 天的耦合周期与图 1 (a) 高原大气热量水平输送 H 的自振周期 (13.3 天，准 3 天) 有比较一致的现象。而两者的差异正说明影响高原大气热量水平输送周期的因素是比较复杂的。

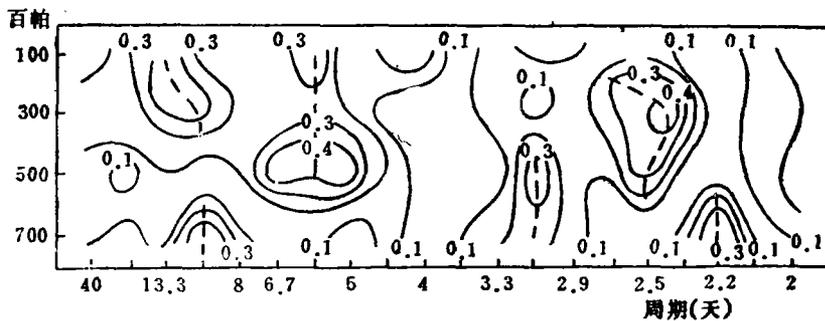


图 6 青藏高原 500 百帕等压面平均高度同高原大气与其周围热量水平输送之间的凝聚函数 (R^2) 的空间结构

3 小 结

由于青藏高原动力和热力作用的影响，高原大气与其周围热量水平输送的周期振荡特征同我国东部地区相比有所不同，前者主要表现为准两周 (13.3 天) 和准一周 (6.7 天) 的振荡，而后者有 8 天左右和准 3 天的周期，其次还有 40 天左右的低频振动周期。其中造成高原大气热量水平输送准两周振荡现象的重要原因乃是青藏高压 (东型与西型) 的准周期振荡。

影响高原大气热量水平输送 H 的多时间尺度振荡的因素很多,限于篇幅,本文仅计算了高原地面平均净辐射、平均感热通量和500百帕等压面平均高度同高原大气热量水平输送之间的凝聚函数(R^2)。由此得到它们之间耦合振荡周期并归纳成表1。此表说明,高原的一些热力因子在这些周期处对高原大气热量水平输送产生明显的影响。

表1 青藏高原大气与其周围热量水平输送同高原地面热源(\bar{B} , \bar{S})以及500百帕平均高度($\bar{\phi}$)之间的凝聚谱峰值对应的周期(天)

大气层 耦合因子	500—100百帕	700—500百帕
$H-\bar{B}$	8—10, 3	10
$H-\bar{S}$	20—40, 4—5, 2.4	6—8, 4.4, 2.4—2.7
$H-\bar{\phi}$	10—13.3, 5.7—6.7, 2.4—2.7	10, 5.7, 3.1, 2.2

参 考 文 献

- 1 Krisnamurti T N et al. Bull. Amer. Meteor. Soc., 1973; 54: 1234—1248
- 2 朱抱真, 骆美霞. 青藏高原气象科学实验文集(一). 科学出版社, 1984; 314—323
- 3 陆龙骅等. 青藏高原气象科学实验文集(二). 科学出版社, 1984; 140—151
- 4 沈如金, 黄福均. 青藏高原气象科学实验文集(三). 科学出版社, 1987; 123—134
- 5 章基嘉等. 同[2]. 科学出版社, 1984; 182—192
- 6 孙国武, 陈葆德. 大气科学, 1988; 12(3): 250—256
- 7 叶笃正, 高由禧等. 青藏高原气象学. 科学出版社, 1979; 227
- 8 孙卫国, 陈万隆. 南京气象学院学报, 1986; (1): 73—79
- 9 屠其璞等编. 气象应用概率统计学. 北京: 气象出版社, 1984; 402—404
- 10 黄嘉佑等. 气象中的谱分析. 北京: 气象出版社, 1984; 102—110
- 11 朱抱真, 宋正山. 同[2]. 科学出版社, 1984; 303—313

OSCILLATION FACTS ABOUT THE HORIZONTAL
TRANSFER OF THE ATMOSPHERIC HEAT OVER
THE QINGHAI-XIZANG PLATEAU DURING
THE SUMMER OF 1979

Chen Wanlong

(Meteorological Research Institute)

Liu Yuying

(Meteorological Bureau of Jilin Province)

Abstract Periodical oscillations of the horizontal transfer of the atmospheric heat through the "outside walls" of the Qinghai-Xizang Plateau during the Qinghai-Xizang Plateau Meteorological Experiment in the summer of 1979 are analyzed in detail by means of power spectrum. It is found that there are two major oscillation periods, i.e., quasi-two weeks (13.3 days) and quasi-one week (6.7 days). Some physical reasons are presented for the quasi-two-week period of the horizontal heat transfer.

Key words the Qinghai-Xizang Plateau, atmospheric heat, horizontal transfer, periodical oscillation, spectrum analysis