

大尺度涡动有效位能增长与初夏副热带高压北移的关系

李术华 朱福康 傅恒亮 孙国武

提 要

初夏副热带高压的北移，主要表现在第1波有效位能的不断增长，在此过程中，非绝热加热起了非常重要的作用，其中青藏高原地区的非绝热加热对初夏有效位能的增长特别重要。

一、引 言

在大气环流季节转换时期，各种物理量一般都发生剧烈的变化。伴随着这些季节转换过程的发生，产生了一系列天气现象。因此，我国气象工作者对大气环流季节转换早有研究。例如，1958年叶笃正等⁽¹⁾清楚地阐明了6月份东亚风系的突然北跳和10月份的急剧南撤。近年来，1979年全球大气研究计划第一期全球试验(FGGE)时期获得了大量的资料，为研究提供了良好的资料基础，大大地推动了这一课题的发展⁽²⁻³⁾。

为了了解大气中大尺度波动的机制，必须分析实际大气中的能量输送过程。Saltzman⁽⁴⁾。1957年提出波数域能量方程，并研究了大尺度能量输送和循环。Tsay和Kao⁽⁶⁻⁷⁾改进了Saltzman的波数域能量方程，并指出对有效位能的输送和转换的研究，实质上是对中纬度大气中波动生成的研究。

本文利用Saltzman的波数域能量方程，来研究1983年6月下旬大气环流季节性转换过程前后的能量演变过程，从而对初夏副热带高压季节性北跳的物理过程作出初步的分析研究。

二、方 程

本文计算所用的波数域能量方程⁽⁵⁾为：

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{\partial K(0)}{\partial t} = \sum_{n=1}^N M(n) + C(0) - (0) \\ \frac{\partial K(n)}{\partial t} = -M(n) + L(n) + C(n) \end{array} \right.$$

$$-D(n), \quad n \neq 0 \quad (2)$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{\partial P(0)}{\partial t} = \sum_{n=1}^N R(n) - C(0) + G(0) \\ \frac{\partial P(n)}{\partial t} = -R(n) + S(n) - C(n) \end{array} \right.$$

$$+ G(n), \quad n \neq 0 \quad (4)$$

其中(1)和(3)式为平均能量方程，(2)和(4)式为涡动能量方程。公式中各项的定义可参见文献[8]。

总的非绝热加热率 Q_1 由下式得到：

$$Q_1 = c_p \left[\frac{\partial T}{\partial t} + U \frac{\partial T}{a \cos \varphi \partial \lambda} + v \frac{\partial T}{a \partial \varphi} + \left(\frac{\partial T}{\partial P} - \frac{RT}{Pc_p} \right) \omega \right] \quad (5)$$

三、资 料

我们采用的资料是欧洲中期天气预报中心(ECMWF)的网格点资料，时间为1983年5月1日到7月31日20时，包括下面五个气象要素：Z, u, v, T, ω 。高度分为以

下7层：100, 200, 300, 500, 700, 850和1000hPa。计算范围为10—50°N，格距为 $5^{\circ} \times 5^{\circ}$ 经纬度。

四、1983年初夏大气环流的转变

众所周知，北半球每年由冬到夏的季节转换期间，大气环流都有一次跳跃性的变化。随之盛行的天气过程和所伴随的各种气象要素都会发生一次显著的变化^[9]。其中100hPa流型的变化也非常明显，当向初夏季节转变时，主要表现为亚非地区上空南亚高压的移动和加强，这时绕30°N纬圈1波占优势。南亚高压中心由5月份位于中南半岛上空移到青藏高原上空。因此，南亚高压初上青藏高原是初夏季节性转变的一个重要标志^[10]。图1给出了1983年5—6月逐候南亚高压平均中心位置。其中心5月初位于菲律宾附近，5月2候开始从海上移到大陆，中

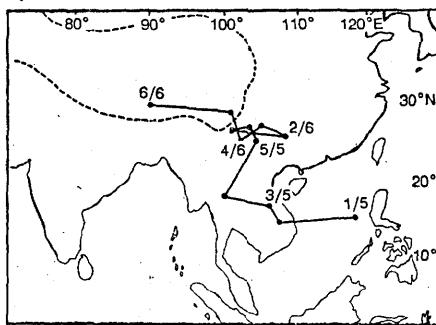


图1 1983年5—6月逐候南亚高压平均中心位置

图中数字表示：候/月，虚线为青藏高原地形线。心位于中南半岛上空。5月5候至6月4候，南亚高压中心位于青藏高原东侧，6月6候才正式移向青藏高原腹地，中心位于30°N、90°E附近。这是一条南亚高压从中南半岛向北然后向西北移上青藏高原上空的东路路径^[11]。南亚高压从海上移到大陆直至移上青藏高原腹地，正反映了大气环流季节性转变的进程。

五、1波有效位能P(1)的增长过程

众所皆知，大气中有效位能向动能的转

换，维持着天气尺度的大气运动。因此，大气中有效位能的输送和转换是天气尺度大气能量学中的基本问题之一。

根据我们对1983年5—7月逐候波数域能量分析的结果来看，这一年初夏大气环流季节性转换期间，总大气柱(1000—100hPa)的1波有效位能P(1)的增长过程最为突出。图2给出了1983年5—7月逐候P(1)的变化曲线。由图可见，从5月初到7月1候，P(1)的变化趋势基本上是增大的，特别是季节性转换期间，从6月4候至7月1候P(1)增长更为明显，然后逐渐稳定下来。陈彪^[12]曾利用1979年ECMWF的FGGE IIIb资料对全球中低纬度的大气超长波系统进行了能量波谱分析，也得出副热带地区1波有效位能P(1)在季节性转换期间突然急剧增长的类似结果。

由此可见，在初夏大气环流季节性转换期间，北半球中低纬度总大气柱的1波有效位能P(1)的增长过程是有普遍性的。

那末P(1)的增长过程反映了什么天气系统呢？首先看一看1983年5—7月前1—8个波P(n)的大小（表1）。由表可见，P(1)约比P(2)大一倍，约占前1—8个波的40%以上。因此在整个涡动有效位能P_E中以P(1)为主。

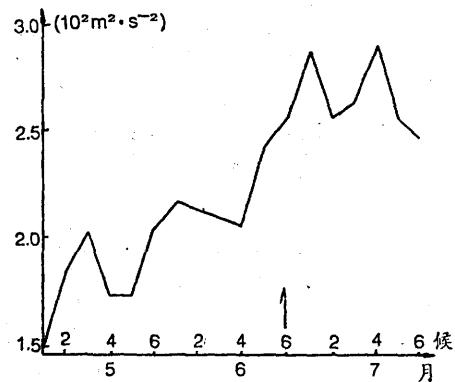


图2 1983年5—7月逐候P(1)的变化曲线

箭头表示季节性转换的日期，下同

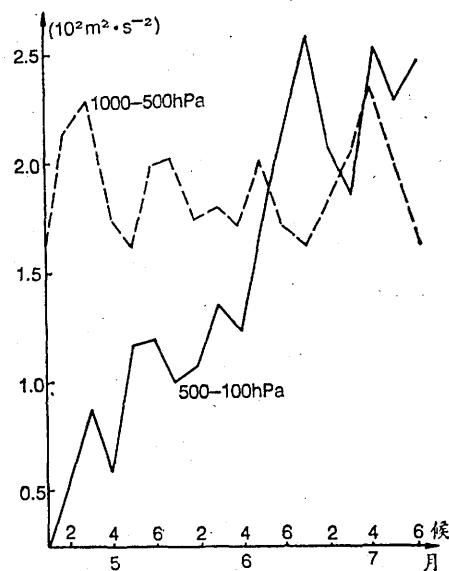
表1 1983年5—7月的P(n)($10^2 \text{m}^2/\text{s}^2$)

	5月	6月	7月
P (1)	1.81	2.23	2.64
P (2)	0.90	1.31	1.33
P (3)	0.54	0.41	0.59
P (4)	0.32	0.27	0.21
P (5)	0.28	0.18	0.22
P (6)	0.23	0.24	0.30
P (7)	0.20	0.23	0.34
P (8)	0.09	0.08	0.08

朱福康和陆龙骅等[13]曾计算过1979年5—8月100hPa高度的波谱，发现 30°N 上都是以1波为主，而且当南亚高压北跳上青藏高原时， 30°N 上的1波振幅是增幅过程。因此P(1)的增长过程反映了南亚高压季节性北移和加强的过程。为了更进一步阐明这一点，我们将大气垂直方向分成两层：1000—500hPa和500—100hPa，并分别计算了这两层大气柱内P(1)的时间变化，探讨P(1)的增长过程是在大气低层明显呢，还是在高层明显。由于我们重点放在南亚高压和青藏高原地区，所以我们计算的纬度只局限于 $25\text{--}40^\circ\text{N}$ 之间。

图3是1983年5—7月逐候 $25\text{--}40^\circ\text{N}$ 纬带内高、低层P(1)的变化曲线。由图可见，低层(1000—500 hPa) P(1)的变化基本上是一个振荡过程，而高层(500—100hPa) P(1)的变化基本上是一个上升过程，且与图2相似。从5月到7月1候是逐渐增长的，其中6月4候到7月1候增长得最明显。也就是说P(1)的增长过程主要表现在对流层高层。这进一步证实了P(1)的增长过程反映了南亚高压季节性北移和初上青藏高原的天气学事实。

另外，大气环流季节性转变前，对流层

图3 1983年5—7月逐候 $25\text{--}40^\circ\text{N}$ 纬带内P(1)的变化曲线

低层的P(1)大于对流层高层的P(1)，而季节性转变后高低层的P(1)基本上相当。

P(1)的变率主要由(4)式右边的四项确定：平均有效位能向P(1)的输送项[-R(1)]、波-波间的非线性相互作用项[S(1)]、斜压转换项[-C(1)]和非绝热加热产生的有效位能制造项[G(1)]。表2给出了1983年5—7月各月R(1), S(1),

表2 1983年5—7月的R、S、C和G($10^{-5} \text{m}^2/\text{s}^3$)

	5月	6月	7月
-R (1)	-2.29	-4.78	-4.32
S (1)	-0.05	5.85	-0.65
-C (1)	-17.21	-42.04	-40.50
G (1)	28.06	46.20	39.17

C(1)和G(1)的平均值。其主要特点如下：

(1) G(1)的贡献最大，6月份达到

最大值。所以初夏大气环流季节性转换时期， $P(1)$ 的增长过程主要是由于非绝热加热的作用。

(2) $S(1)$ 的变化也比较明显，5月份 $S(1)$ 接近零值，6月份出现正的极大值，7月份又变为负值。这说明了在初夏大气环流季节性转换时期，1波通过波-波相互作用获得能量而增长。又一次证实了南亚高压初上青藏高原是1波振幅的增幅过程。

此外，斜压转换项 $[-C(1)]$ 也于6月份达极大值，该项使得1波有效位能向1波动能转换。同时还有少量的 $P(1)$ 转换为平均有效位能 $[-R(1) < 0]$ 。

我们知道，南亚高压移上青藏高原以后还存在准周期性的东西振荡^[14]。1983年7月3—4候南亚高压为西部型(W)，而7月5—6候为东部型(E)。在南亚高压不同环流型下1波能量及其转换项有所不同(表3)。由表3可见，当南亚高压为西部型时

表3 南亚高压不同环流型下
R、S、C和G的变化($10^{-5} \text{m}^2/\text{s}^3$)

	1983年7月3—4候(W)	1983年7月5—9候(E)
$-R(1)$	-9.15	1.27
$S(1)$	6.54	-15.87
$-C(1)$	-36.25	-41.65
$G(1)$	56.25	28.75

$G(1)$ 的量值比东部型时大一倍，这说明青藏高原的非绝热加热对1波有效位能 $P(1)$ 的增长特别有效；当南亚高压移向青藏高原以东时，这种非绝热加热作用明显减弱。

此外，南亚高压为西部型时波-波间的非线性相互作用项 $[S(1)]$ 使得1波获得能量，而为东部型时使之失去能量。因此当南亚高压稳定在青藏高原上空时，1波通过非线性相互作用从其他波动获得有效位能。值得一提的是，当南亚高压从西部型转为东部型时， $[-R(1)]$ 由负变为正值，也就是说，

当南亚高压位于青藏高原以东时，有少量的平均有效位能转换为1波有效位能。尽管如此，在南亚高压为东部型时，1波有效位能是逐步减弱的(图2中的7月5—6候)；而为西部型时 $P(1)$ 是呈增长的趋势(7月3—4候)。

由此可见，当南亚高压为西部型时， $P(1)$ 呈增长趋势，其中非绝热加热引起的有效位能制造项起主导作用；而南亚高压为东部型时，该项的贡献抵不过斜压转换项 $[-C(1)]$ 和波-波相互作用项的负贡献，从而使得 $P(1)$ 呈减弱的趋势。

六、小结

通过以上初步分析，可得出以下几点：

1. 在初夏大气环流季节性转换时期，1波有效位能的增长最为突出，而且这种有效位能的增长主要在对流层中上层。

2. 1波有效位能的增长反映了南亚高压季节性北移和加强的过程。在此增长过程中，非绝热加热起了重要作用。其中青藏高原的非绝热加热对 $P(1)$ 的增长特别重要。

3. 南亚高压为西部型时，非绝热加热产生的有效位能制造项起主导作用， $P(1)$ 呈增长趋势；而为东部型时，该项的作用明显减弱，斜压转换项 $[-C(1) < 0]$ 的贡献跃居首位，从而使得 $P(1)$ 呈减弱的趋势。

参 考 文 献

- (1) 叶笃正、陶诗言、李麦村，在六月和十月大气环流的突变现象，气象学报，29，249—263，1958年。
- (2) 1979年青藏高原气象科学实验第二课题组，环流与季风，科学出版社，1—146，1988年。
- (3) The International MONEX Management Centre (Summer), Summer Monex field phase report, FGGE Operation Report, Vol. 8, 2-1-A2-49, 1981.
- (4) Saltzman, B., Equations governing the energetics of the large scale of atmospheric turbulence in the domain of wave number, J. Meteor., 14, 513—523, 1957.
- (5) Saltzman, B., Large-scale atmospheric energetics in the wave-number domain, Rev. Geophys. Space Phys., 8, 289—302, 1970.

- [6] Tsay, C. Y., and S. K. Kao, Linear and nonlinear contributions to the growth and decay of the large-scale atmospheric wave and jet stream, *Tellus*, 30, 1-14, 1978.
- [7] Tsay, C. Y., C. N. Che, and S. K. Kao, Contributions to the growth and decay of large-scale eddy available potential energy, *Tellus*, 30, 383-391, 1978.
- [8] Kung, E. C., Spectral energetics of the general circulation and time spectra of transient waves during the FGGE year, *J. Clim.*, 1, 5-19, 1988.
- [9] 章基嘉等, 1979年初夏大气环流季节转换的若干事实, 气象, 第6期, 2—4, 1984年。
- [10] 孙国武, 南亚高压季节性变化的研究, 青藏高原气象科学实验文集(二), 科学出版社, 152—158, 1984。
- [11] 孙国武, 周毅, 南亚高压在青藏高原的季节建立与台风活动的关系, 气象科学技术集刊(6), 气象出版社, 63—68, 1983年。
- [12] 陈彪, 一九七九年夏季季风建立过程的能量分析——波数域能量研究, 高原气象, 4, 318—327, 1985年。
- [13] 朱福康等, 南北半球环流“联锁”现象与1979年梅雨, 青藏高原气象科学实验文集(二), 科学出版社, 132—139, 1984年。
- [14] 朱福康等, 南亚高压, 科学出版社, 1980年。