

南亚高压在时域和频域上的特征*

章基嘉 彭永清 王鼎良

(国家气象局) (南京气象学院)

北半球夏季各月, 在亚洲南部上空对流层上部出现的南亚高压是一个直接影响北半球大气环流的重要系统。对于它, 人们已从某些角度, 比如说, 它的流场特征、振荡特性^[1], 及其与我国天气的关系^[2]等方面做了研究。在这些研究中多着眼于温压场和流场的空间结构。然而, 实际温度场和高度场(或流场)是随时间变化的。因此, 我们采用研究随机物理系统动态特性的方法, 把温度场作为系统的输入, 高度场作为输出, 来揭露南亚高压系统内高度场对温度场的响应, 以及在时域和频域上的特征。

1. 高度场在时域上的特征

首先, 我们来讨论南亚高压高度场自身的动态特征。文献[3]指出, 南亚高压具有整体性的特点, 即同时加强或同时减弱。鉴于此种特点的存在, 同时又考虑到南亚高压的巨大水平尺度, 我们选择 30°N 上的拉萨、成都、武汉、杭州四个测站 500 毫巴和 100 毫巴上, 5 月 1 日到 8 月 31 日逐日高度代表南亚高压的高度场随时间的变化。假定各高度场序列具有平稳的各态历经的特性, 由随机过程理论得知, 当随机物理现象为平稳的各态历经过程时, 则其动态特性可以用观察到的单个时间历程记录加以描述。

我们计算了各高度场序列的自相关函数 $\hat{R}(\tau)$, 和单边谱密度函数 $\tilde{G}(k)$, 且使用哈宁窗作泄漏处理, 具体计算公式为:

自相关函数:

$$\hat{R}(\tau) = \frac{1}{N-\tau} \sum_{t=1}^{N-\tau} x_t x_{t+\tau} \quad \tau=0, 1, 2, \dots, m \quad (1)$$

m 为最大滞后

功率谱密度函数:

$$\tilde{G}(k) = 2 \left[\hat{R}_0 + 2 \sum_{\tau=1}^{m-1} \hat{R}_\tau \cos\left(\frac{\pi k \tau}{m}\right) + (-1)^k \hat{R}_m \right] \quad (2)$$

泄漏处理是用哈宁窗作频率平滑:

$$\begin{cases} \hat{G}_0 = 0.5 \tilde{G}_0 + 0.5 \tilde{G}_1 \\ \hat{G}_k = 0.25 \tilde{G}_{k-1} + 0.5 \tilde{G}_k + 0.25 \tilde{G}_{k+1}, \quad k=1, 2, \dots, m-1. \\ \hat{G}_m = 0.5 \tilde{G}_{m-1} + 0.5 \tilde{G}_m \end{cases} \quad (3)$$

* 本文于 1980 年 4 月 11 日收到, 1982 年 1 月 28 日收到修改稿。

计算结果绘于图 1。对图 1 的谱密度函数作信度检验, 得到置信水平为 90% 的周期(天), 列于表 1。

表 1 高度场的时变周期(天)

	500 毫巴				100 毫巴			
拉 萨	20.5	13.7	6.8	2.7		17.6	3.4	2.1
成 都	20.5	12.3	—	2.2	41.0	17.6	—	2.3
汉 口		13.7	—	—	41.0	13.7	3.0	2.1
杭 州		12.3	6.8	2.1	41.0	13.7	—	2.0

由表 1 可知, 南亚高压作为整体来说, 它的低层和上层, 它的东部和西部, 高度场都存在一个准两周的变化周期, 这个特征的重要性已有人讨论过^[3]。其次, 有一个 2—3 天的短周期, 在后面我们将看到, 这个短周期变化是高度场对温度场的一种快速响应。我们知道, 在对流层低层大气中温度存在着日变化, 但这不是高层的特点, 高层温度场所具有的短周期变化是 2—3 天。此外, 500 毫巴因受长波系统影响还存在着 6.8 天的周期变化; 而 100 毫巴上则存在着 41 天的长周期变化。

为了比较, 我们计算了高压以外四个测站同期 500 毫巴高度场功率谱, 求得显著周期如表 2 所列。

表 2 500 毫巴高度场时变周期 (天)

乌 鲁 木 齐	7.0	3.9
沈 阳	7.7	2.0
乌 兰 巴 托	8.7	5.0
伯 力	8.7	5.1

由表 2 可知, 不在南亚高压环流控制之内的测站, 500 毫巴高度场主要受长波系统控制, 其变化周期为 7—8 天, 与南亚高压的时变周期的区别是明显的。

2. 高度场对温度场响应的时频特征

其次, 我们来讨论南亚高压的高度场对高原及其邻近地区上空温度场的响应特征。

假定输入与输出之间为常系数线性系统。设此系统受到一个有明确定义的单输入(比如说温度 $x(t)$)作用, 而 $x(t)$ 来自平稳随机过程 $\{x(t)\}$, 则系统的输出(这里是高度场 $y(t)$)也属于一个平稳随机过程 $\{y(t)\}$, 在这种条件下, 系统的输出 $y(t)$ 可由下式确定^[4]:

$$y(t) = \int_0^{\infty} h(\tau)x(t-\tau)d\tau \quad (4)$$

即输出值是由输入在整个时间历程上的加权线性来确定的。其中 $h(\tau)$ 为权函数。如果一个常系数线性系统是物理上可以实现的稳定系统, 则此系统的动态特性可以由频率响应函数 $H(f)$ 来描述。 $H(f)$ 定义为权函数的富里叶变换。即

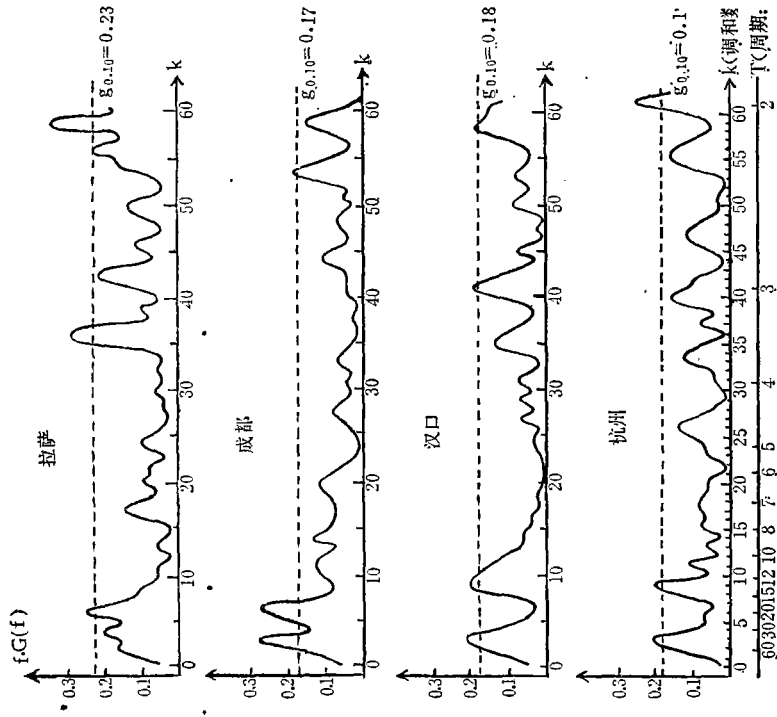


图 1b 100 毫巴高度场功率谱密度函数

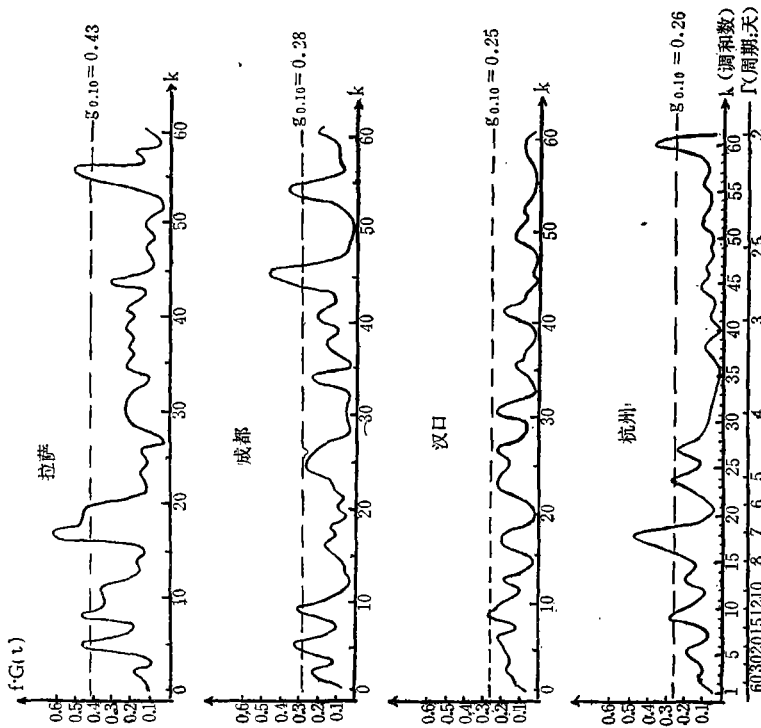


图 1a 500 毫巴高度场功率谱密度函数

$$H(f) = \int_0^{\infty} h(\tau) e^{-i2\pi f\tau} d\tau \quad (5)$$

令 $X(f)$ 为输入 $x(t)$ 的富氏变换, $Y(f)$ 为输出 $y(t)$ 的富氏变换, 对(4)式作富氏变换后可得:

$$Y(f) = H(f)X(f) \quad (6)$$

式中频率响应函数 $H(f)$ 为复值, 可用模和相角表示为:

$$H(f) = |H(f)| e^{-i\phi(f)} \quad (7)$$

模 $|H(f)|$ 称为系统的增益因子, 相角 $\phi(f)$ 为系统的相位因子。常系数线性系统的一个重要性质是频率的保守性, 其频率响应函数 $H(f)$ 仅是频率的函数。

实际计算频率响应函数 $H(f)$ 采用下式进行估计:

$$\hat{H}(f) = \frac{\hat{G}_{xy}(f)}{\hat{G}_x(f)} \quad (8)$$

式中 $\hat{G}_x(f)$ 为自谱密度函数, $\hat{G}_{xy}(f)$ 为互谱密度函数, 它是复变量, 可表示为

$$\hat{G}_{xy}(f) = \hat{C}_{xy}(f) - i\hat{Q}_{xy}(f) = |\hat{G}_{xy}(f)| e^{-i\hat{\theta}_{xy}(f)} \quad (9)$$

其中 $\hat{C}_{xy}(f)$ 为共谱, $\hat{Q}_{xy}(f)$ 为重谱。由(7)–(9)三式可得:

$$|H(f)| = \frac{|\hat{G}_{xy}(f)|}{\hat{G}_x(f)}, \quad \hat{\phi}(f) = \hat{\theta}_{xy}(f) \quad (10)$$

实际上, 计算是在离散频率 $f = \frac{1}{2\Delta t} \left(\frac{k}{m} \right)$ 上进行的, $k=0, 1, 2, \dots, m$, k 为调和数, m 为最大滞后时间。 Δt 为采样时间间隔。于是, 增益因子和相位因子的数值估计为:

$$|\hat{H}_k| = \frac{(\hat{C}_k^2 + \hat{Q}_k^2)^{\frac{1}{2}}}{\hat{G}_{xk}}, \quad \hat{\phi}_k = \tan^{-1} \left(\frac{\hat{Q}_k}{\hat{C}_k} \right) \quad (11)$$

我们仍选择 30°N 上的拉萨、成都、汉口、杭州四个测站为代表, 将 1979 年 5 月 1 日到 8 月 31 日 100 毫巴和 500 毫巴逐日温度、高度值作为平稳样本记录, 根据以上考虑, 按公式(8)–(11)计算频率响应函数, 结果绘于图 2。

由图 2 可见, 就南亚高压的整体性来看, 无论是 100 毫巴或 500 毫巴, 四个测站的高度场对温度场的响应, 在频域上是一致的, 各等压面上增益因子的峰值所在处的频率是吻合的, 甚至就是 100 毫巴和 500 毫巴两个不同的层次上低频部分的峰值所在频率也相同。这大体反映了南亚高压作为一个整体, 其高度场对温度场的响应特征。表 3 列出增益因子峰值所在的频率及相应的周期。

上述增益因子峰值频率的相位因子表示系统输出——输入之间在频率 f 处的相位差, 因此, 可以由相位因子求出任一频率上通过此系统的滞后时间, 也就是说, 可以算出高度场对温度场响应的滞后时间, 其公式为:

$$\tau = \hat{\theta}_{xy}(f) / 2\pi f \quad (12)$$

根据表 3 和(12)式, 我们计算了 100 毫巴和 500 毫巴对应于增益因子峰值频率(或周期)

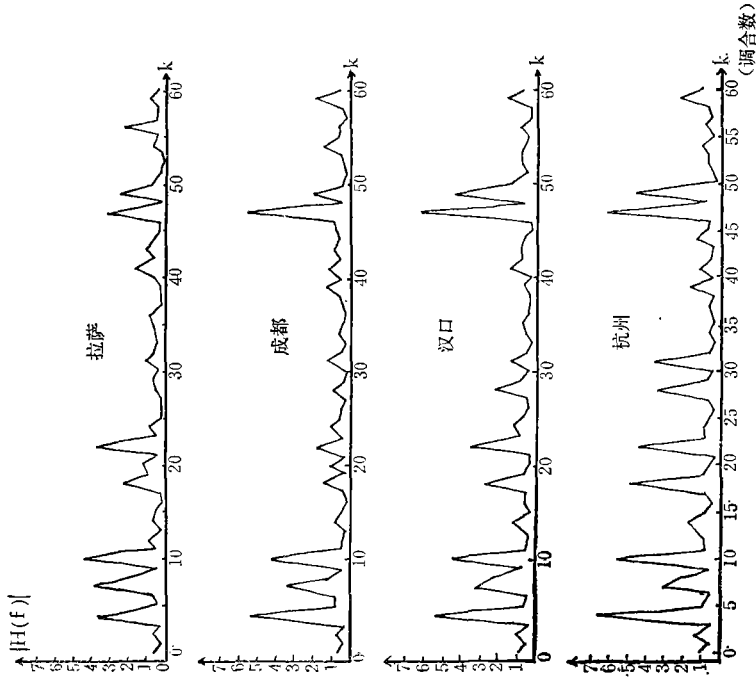


图 2a 500 毫巴高度场对温度场的响应函数
(图中曲线为增益因子值)

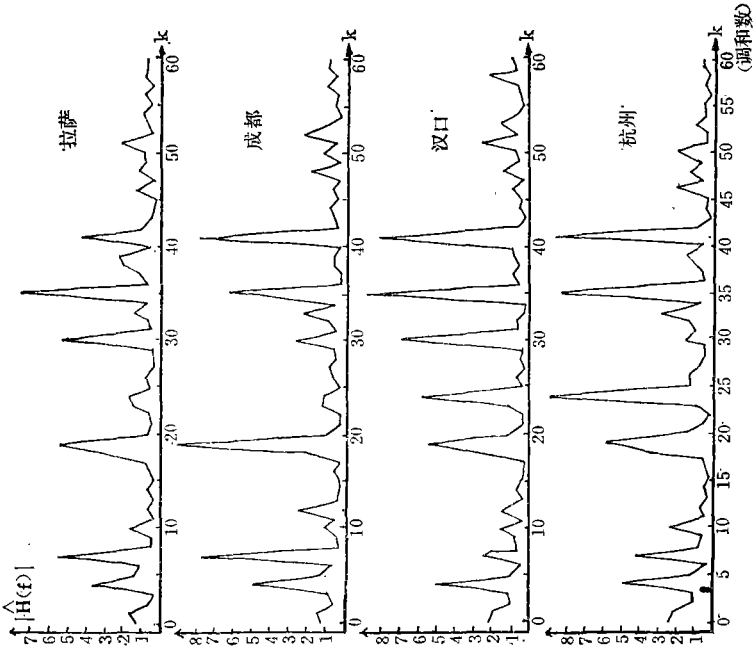


图 2b 100 毫巴高度场对温度场的响应函数
(说明同图 2a)

表 3 增益因子峰值所在的频率和周期 (天)

	500 毫巴							100 毫巴				
调和数 k	4	7	10	18	22	47	49	4	7	19	35	41
频率 f	0.03	0.06	0.05	0.15	0.17	0.39	0.41	0.03	0.06	0.16	0.29	0.34
周期 T	32	16	12	6.8	5.6	2.6	2.5	32	16	6.5	3.5	3.0

表 4 高度场对温度场响应的滞后时间

	500 毫巴							100 毫巴				
周期(天)	32	16	12	6.8	5.6	2.6	2.5	32	16	6.5	3.5	3.0
滞后时间(天)	9	4	3	1—2	0.5—1	<0.5		9	4	2	0.5—1	<0.5

的滞后时间，并将计算结果列于表 4。

由表 4 可知，对于周期为 2—3 天的温度波，高度场几乎是及时加以响应；对周期为 6—7 天的温度波，高度场滞后 1—2 天才作出响应；对周期为 12—16 天的温度波（它对应着前面所讲的高度场准两周周期变化），要在 3—4 天之后高度场才作出响应；对周期更长的 32 天的温度波，其响应要滞后一句左右。从这个结果看出，南亚高压作为整体来说，它对温度场的响应，具有短周期、中周期和长周期三种情形。显然，高度场对温度短周期波的及时响应，只能改变高压的强度，而不致造成南亚高压的迁移；高度场对中周期波的响应则形成了准两周的东西振荡，而对长周期温度波的响应才造成了南亚高压的季节性变化。

参 考 文 献

- [1] 陶诗言、朱福康，夏季亚洲南部 100 毫巴流型的变化及其与西太平洋副热带高压进退的关系，气象学报，34，No. 4，385—396 1964。
- [2] 兰州中心气象台预报科等，甘肃大—暴雨的分析，气象，3，4—6 1975。
- [3] 高蓉兰，南亚高压，气象，10，14—17，1979。
- [4] Bendat. J. S. & A. G. Piersol. Random Data: Analysis and Measurement Procedures, 1971.