

平流层下层温度长周期振动的全球特征研究

高心海 余文碧

(兰州大学物理系)

朱抱真

(中国科学院大气物理研究所)

提 要

本文用近年来全球网格点每日卫星微波测量数据,研究了平流层下层亮度温度场的长周期振动。对温度的两年振动、年振动及半年振动的振幅和位相分布进行了全球性的比较分析。发现长周期振动的振幅在高纬区有着显著的超长波纬向非对称的特征;在热带地区具有明显的纬向对称的特征,振幅一般在极区的大洋区最大,在副热带最小。长周期振动的位相分布在中高纬区具有由西向东和由中纬向极区传播的趋势。文中指出,对流层下层的大型涡旋热量输送向上传播的动力强迫作用可能是平流层温度长周期振动的重要机制。

一、前 言

六十年代以来,由于平流层大气探测技术的进展,火箭和卫星观测逐渐提供了愈来愈多的平流层大气资料。从对这些观测资料的分析,人们发现平流层大气中存在着显著的长周期振动——准两年振动、半年振动和年振动。

最著名的是热带地区平流层纬向风和温度的准两年振动。Angell 和 Korshover^[1]利用从 8°S — 64°N 的五个北半球测站和一个南半球测站的观测资料,指出平流层和中层低空大气中存在着纬向风和温度的准两年、年及半年的振动。McGregor 和 Chapman^[2]利用探空卫星资料得出 80°S — 80°N 的经向剖面上年振动和半年振动的振幅和位相的分布。还有其他作者的剖面研究也证实了这些长周期振动的存在。但这些研究只是经向剖面上的特征,我们需要进一步了解平流层大气长周期振动的水平分布特征。在这方面, Van Loon 和 Jenne^[3]在 1970 年发表了 100 hPa 上全球温度年振动的振幅和位相分布, Van Loon、Labitzke 和 Jenne^[4]在 1972 年发表了 10 hPa 上北半球半年振动的观测分析。

上述的观测研究中,由于所用数据时、空覆盖面的局限性,很难对平流层长周期振动

给出普遍的全球性估计。本文利用八十年代的最新卫星探测资料——1980—1984 年从 80°N 到 80°S , $5^{\circ} \times 5^{\circ}$ 经纬网格点上的全球数据, 对平流层下层的长周期振动给出更可靠的统计估计, 重点分析了全球的水平分布和南北半球差异的特性。

二、观测数据和分析方法

1. 数据

本文所用的是极地轨道卫星 NOAA-6, 7, 8 上的微波测量系统第 4 通道 (Microwave sounder unit channel 4) 的辐射测量数据 (以下简称 MSU ch 4)。NOAA 卫星每天绕地球旋转约 14 圈, 故形成约 14 个轨道, 而 MSU 的斜扫描 (Side Scan) 装置又使得每次测量包含 11 个扫描点, 于是每一个轨道包含有 11 个扫描轨迹 (Scan-track)。这种测量密度足以建立 $2^{\circ} \times 2^{\circ}$ 的经纬网格点系统。本文所用的 $5^{\circ} \times 5^{\circ}$ 经纬网格点数据是由英国气象局提供的。每个网格点上的每日数据由综合 24 小时的观测值得到。本文所用数据的时期是 1980 年 4 月 1 日—1984 年 4 月 3 日, 共计 1464 天。

亮度温度 T_B (K) 是垂直方向上温度的加权平均值, 其定义为:

$$T_B(\phi, \lambda) = \int T(\phi, \lambda, p) W(p) d(\ln p)$$

其中 ϕ, λ, p 分别为经度, 纬度和气压, $W(p)$ 是测量系统的权函数。MSU ch 4 权函数的中心处于 90 hPa 附近, 其敏感范围是 150—30 hPa, 这正处于平流层下层。亮度温度 T_B 和微波辐射测量值 E 之间的关系可由普朗克辐射定律求出:

$$T_B = \frac{c_2 \nu}{\ln \left(1 + \frac{c_1 \nu^3}{E} \right)}$$

其中 ν 是 MSU ch 4 的中心波数 (对应的频率为 57.95 GHz), 常数 $c_1 = 1.1910659 \times 10^{-5} \text{ mwm}^{-2} \text{ sr}^{-1} \text{ cm}^4$, $c_2 = 1.438833 \text{ cmK}$ 。

有关卫星观测方式, 权函数等问题请参看有关的卫星用户手册及文献 [5, 6]。

2. 分析处理

首先普查全部数据, 找出其明显的不合理数据和空缺数据, 舍去不合理数据 (共有 7 天) 代之以线性内插数据。相当分散的空缺数据 (共 140 天) 由线性内插数据填补。同时, 为了滤去我们所不感兴趣的高频噪声和减少频谱分析的计算量, 采用了三点平均滤波法, 即以每三天的平均值来代替该三天的真实数据, 然后以每三天一个点的取样办法, 将数据的时间序列由原来的 1464 个点缩短为 488 个点 (其时间间隔 $\Delta t = 3$ 天)。这样的处理, 使我们能够更清楚地分析我们所感兴趣的长周期慢变过程。

数据的空间处理, 同样采取了低通滤波法。按 5° 的经度间隔, 亮度温度 T_B 沿纬圈的富里哀变换可以分析到纬向波数 $K = 36$, 但由于卫星测量系统的扫描角效应 (Scan angle effect), 使得 T_B 的纬向波谱在 $K = 14$ 附近有一假谱峰^[6], 为了消除这种效应, 我们滤去 $K = 10$ 以上的成份, 即令:

$$T_B(\phi, \lambda, t) = \sum_{K=0}^{10} \{C_K(\phi, t) \cos K\lambda + S_K(\phi, t) \sin K\lambda\}$$

这相当于进行了一次空间平滑, 过滤了短波扰动, 使我们能更好地分析我们所感兴趣的大尺度范围的分布特征。由于滤去了纬圈上的小尺度变化, 将纬圈上原 5° 经度的取样间隔, 改为每 10° 取样, 以减少计算量。

此外, 在时间序列长度的选取上还作了如下考虑: 本来现有数据的时间覆盖是四年半, 但若直接用来做富氏分析, 则难以得到准确的年及半年周期振动, 也难以防止这些振动的渗漏 (leakage) 现象。因此在时间长度的选取上应尽可能接近四个天文年。但四年的总天数 (1461) 为奇数, 取样后仍为奇数。为了富氏分析方便起见, 又多选了 3 天, 这就是为什么我们的数据是从 1980 年 4 月 1 日到 1984 年 4 月 3 日。这样处理后, 年振动的最大渗漏也不超过 1%。

经过上述处理后, 我们得到了有关 T_B 的三维数组 $T_B(\phi, \lambda, t)$, 其中纬度 ϕ 是 $80^\circ\text{N}—80^\circ\text{S}$, 间隔为 5° ; 经度 λ 是 $180^\circ\text{W}—180^\circ\text{E}$, 间隔为 10° ; 时间 t 是 1980.4.1—1984.4.3, 间隔为 3 天。这样 T_B 数组共含 $33 \times 36 \times 488$ 个数据。

各网格点上的亮度温度 T_B 的时间富氏展开为:

$$T_B(\phi, \lambda, t) = \sum_{n=0}^{244} A_n(\phi, \lambda) \cos[\omega_n t + \phi_n(\phi, \lambda)]$$

其中 $A_n(\phi, \lambda)$ 、 $\phi_n(\phi, \lambda)$ 分别为振幅和位相, 均由快速富氏分析得到。且 $\phi_n(\phi, \lambda) = \phi_{244}(\phi, \lambda) = 0$, 角频率 $\omega_n = n \cdot \frac{2\pi}{488} (3 \text{ 天})^{-1}$, $n = 0, 1, 2, \dots, 244$ 。

三、三种长周期振动的全球分布特征

利用上节观测数据的分析结果, 我们绘制了平流层下层温度的准两年、年和半年三种长周期振动的振幅和位相的全球分布图, 下面分别给出它们的分布特征。

1. 两年振动

在我们的分析中, 以周期为两年 ($n = 2$) 的谐振动作为准两年振动的近似。由于我们所用数据仅有四年, 谱分析的渗漏现象难以避免。过去观测到热带纬向风的准两年振动周期约为 26 个月。因此这里所给出的结果只是从新的全球卫星资料对全球准两年振动的一个初步分析, 有待使用更多的资料进行研究。

图 1a 是温度准两年振动的振幅分布, 从图可以看到:

(1) 振幅的最大值是在北太平洋的极区, 中心 ($>1.8 \text{ K}$) 位于白令海峡 (75°N 、 180°W) 附近, 高纬度的次最大区位于大西洋北部到北欧;

(2) 在南北半球以中纬度和副热带地区振幅最小 ($<1 \text{ K}$);

(3) 在赤道地区南北 10° 的纬度带上振幅较大, 在热带太平洋和热带大西洋上空可达 1 K 以上。

由振幅分布的这些特点,我们可以看到两点更有意义的现象:一是准两年振动在热带是以赤道为对称的,而在高纬区是不对称的,北半球的振幅比南半球强大得多;又是一是两年振动的振幅,从大范围说,在海洋上空的振幅比陆地上空要大得多。

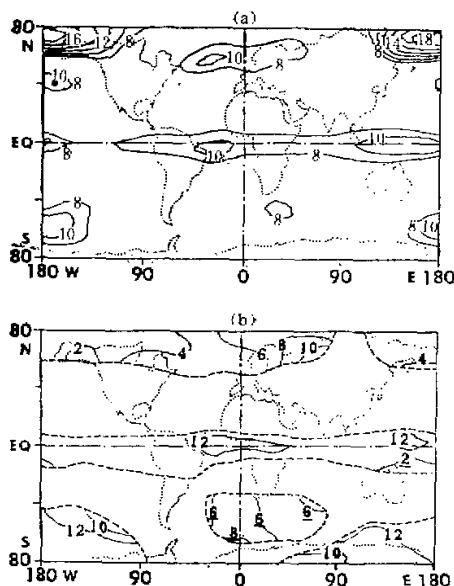


图 1 准两年振动的振幅和位相分布

(a) 振幅: 单位为 0.1K, 等值线间隔为 0.2K. (b) 位相(振动达最大的日期): 图中数字表示该月的第 2 天(如 4, 表示 1980 和 1982 年的 4 月 2 日; 6 代表 1981 和 1983 年的 6 月 2 日; 如此类推). 等值线间隔为 2 个月.

图 1b 是准两年振动的位相分布, 对振幅较小的区域, 由于难以给出可信的位相, 在图中没有标出, 图中的虚线即为这些区域与可给出位相的区域之间的分界线. 图中给出的数字是振动达到最大的时间, 由 $\omega_n t + \phi_n = 2\pi m$ (m 为整数) 得到. 从图 1b 可以看出, 在北半球高纬从阿拉斯加向东一直到北欧地区, 两年振动具有明显的由西向东传播的趋势. 其振动达最大值的时间由西经 150° 附近的 2 月初, 向东逐渐推迟到东经 90° 附近的 10 月初; 热带区域的振动在 12 月初达最大值; 南半球的东半球高纬区准两年振动也有自西向东传播的趋势.

对平流层准两年振动动力学解释的研究还不够多. 从大尺度行星波在对流层和平流层之间传播的理论, 一般认为平流层的准两年振动来自低层大气波动向上传播的强迫作用. 利用这种观点 Holton 和 Lindzen^[7] 曾对热带纬向风的

准两年振动给予了动力学解释. 他们指出, 由赤道地区 Kelvin 波和混合型 Rossby 重力波所造成的动量通量在向上传播过程中, 受牛顿型冷却率的阻尼, 使得波动逐渐衰减, 而将其动量传递给纬向基本流, 从而激发了准两年振动. 这个理论的计算结果也模拟了热带地区实际观测的准两年振动.

图 1a 所给出的高纬地区实际观测到的准两年振动要比热带地区更强. 它们的形成更可能是来自对流层低层大气 Rossby 波所造成的动量通量和热量通量在向上传播中的强迫作用. 从 Blackmon 和 Lau^[8] 所计算的对流层低层 (850 hPa) 北半球冬季大型瞬变波所造成的热量输送和动量输送图 (图 2, 可参看原文图 14—17), 可以发现: 一般地讲两个大洋区的输送显然大于陆地. 从 Lau^[9] 最近对 FGGE 资料的计算, 这些输送在北半球要比南半球大得多. 这些似乎可以解释本文所得出的高纬地区准两年振动的振幅在海洋上空比陆地上空、北半球比南半球大得多的事实. 但两个大洋的输送值在北大西洋要大于北太平洋, 这还不能解释本文所得出的高纬区准两年振动振幅的极大值在北太平洋大于北大西洋的事实.

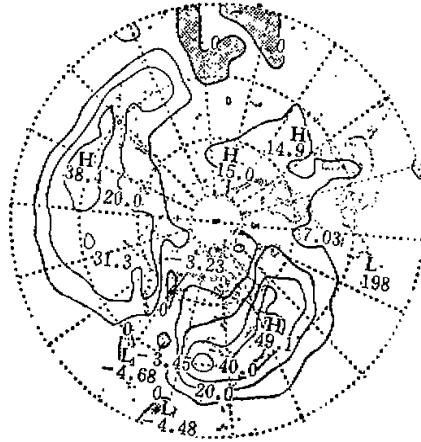


图 2 北半球 700 hPa 大型涡旋热量的垂直输送^[2]

2. 年振动

图 3a 和 3b 为年振动的振幅和位相分布。年振动振幅分布的最大特点是纬向对称性。振幅随纬度的变化在不同经度虽然不尽相同,但从整体上看,从赤道向南北方向的 10° 纬度范围内,振幅变化很小,然后开始下降,在纬度为 30°N 的北半球副热带达到极小 ($<1\text{ K}$);在进入高纬区 ($50^\circ\text{--}60^\circ\text{N}$) 之后,振幅持续上升,最后在 80°N 附近达到最大值 (17 K)。南半球在热带和副热带的年振幅几乎完全是均匀的,到 45°S 向南极急剧地增加,到 75°S ,达到极大值 (23 K)。

南半球的纬向均匀性要比北半球更为显著。在北半球的振幅分布显示了明显的纬向波数 1 的结构,高区在北大西洋、低区在北大太平洋上空。有趣的是在 25°N 附近有一个振幅很小 ($<1\text{ K}$) 的狭长地带,从 25°W 延伸到 145°E ,差不多占半个纬圈。相应的小振幅地带在南半球也可以找到,但范围要小得多,位于 40°S 南美洲上空。

将 Van Loon 等^[2] 1970 年所发表的 100 hPa 温度年振动的全球振幅分布图和本文的图 3a 比较,主要的差别是 Van Loon 的图上,在北半球 40°N 和南半球 30°S 的环极纬圈上出现显著的次极大区,但在本文的图 3a 上则很小。因此 Van Loon 的纬向平均结果将会得到第一个最小区在 $10^\circ\text{--}20^\circ$,而高纬度和副热带之间有第二个最小区,这和 Angell 等 1970 年所发表的平流层低层温度年振幅的剖面图一致。但 McGregor 和 Chapman^[2] 1978 年所发表的年振幅剖面图上,在 30°N — 40°S 之间是一个 $>2\text{ K}$ 的均匀区,只在 30°N 和 40°S 的向极一侧有一个窄狭的最小区,并无第二个最小区。本文资料是 1980—1984 年的观测,看来与 McGregor 等的结果相似。因此上述差别可能和资料的年代有关,需要进一步核实。

图 3b 是年振动的位相分布。从图上可以看到,在北半球年振动振幅梯度最大的南侧,也出现位相的急剧变化,值得注意的是北太平洋区成为一个源区,年振动的最大值从这里向各方向传播。年振动在整个南半球都有从中纬度向极区传播的趋向,高纬区在 1

月中旬最大,7月中旬最小。南半球年振动从中纬向极区传播的特点,在 McGregor 等的剖面图上也可发现。

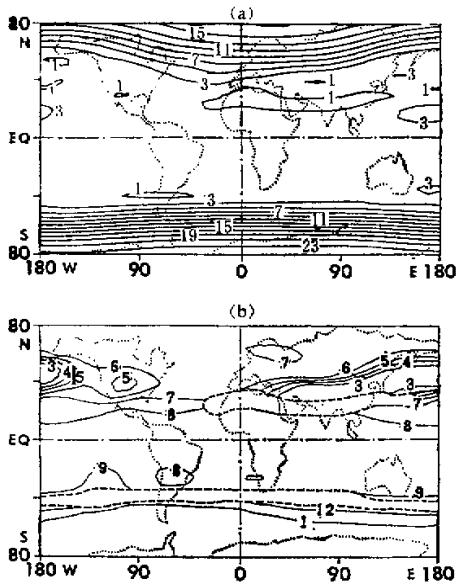


图3 年振动的振幅和位相分布

(a) 振幅: 单位为1K, 等值线间隔为2K。(b) 位相: 等值线间隔为一个月, 其余同图1b

总之, 平流层下层温度年振动振幅分布的特征是纬向均匀性、中纬度南北两侧的不均匀性和南北半球的差异性。年振动的纬向均匀性自然是和太阳位移所造成的辐射作用有关; 在南北两半球上, 年振动振幅以中纬区为界向赤道方向的均匀性和向两极方向的强大变化可能和高纬度大气与热带副热带大气环流的动力学体系有一定的关联; 南半球的纬向均匀性很强, 而北半球有以波数1为特征的纬向不对称性。后者可能来自对流层的纬向非对称的强迫作用。例如, 从 Blackman 和 Lau 的研究^[8], 850 hPa 大型波动的热量经向输送和垂直输送都在北大西洋最大, 具有明显的波数1的特性。

3. 半年振动

半年周期振动全球分布的主要特征

是纬向不对称性。由图4a可以看到两个突出的特点:

第一个特点是高纬地区所表现的超长波特征。在北半球高纬区, 波数1—3是主导的, 三个峰值脊线位于西太平洋、美洲东岸和西亚大陆的上空。最强的中心在北大西洋, 极大振幅为3K。在南半球高纬度区, 波数1是主导的, 波峰的脊线位于南太平洋, 最大振幅为4K。

第二个特点是南北半球的副热带有振幅最小的环球纬圈带, 它们分开了赤道的振幅次大区 and 两个高纬度的振幅最大区, 赤道南北的振幅次大区是纬向均匀的, 大致对赤道是对称的。

Van Loon 和 Labitzke 等过去分析了北半球10 hPa 温度半年振动的振幅分布, 也得出在高纬度有以3波为主导的形态, 在副热带有一个振幅极小的环球纬圈带的特征。

比较图1a、3a和4a可见, 北太平洋的两年和半年振动的振幅较同纬度的其他地区要强, 而年振动的振幅则较同纬度的其他地区弱。南太平洋的两年和半年振动的振幅较同纬度的其他区域都强。

从图4b可见, 热带地区的半年振动在8月和2月初达到极大(注意此地区的年振动也是8月初极大)。高纬地区的位相随经度不同变化较大, 北半球高纬地区振动达到极大的时间从1月下旬(及7月下旬)到4月初(及10月初)各不相同。南半球高纬区达极大的时间则从4月底(及10月初)到6月中旬(及12月中旬)各不相同, 但总的看来有从赤

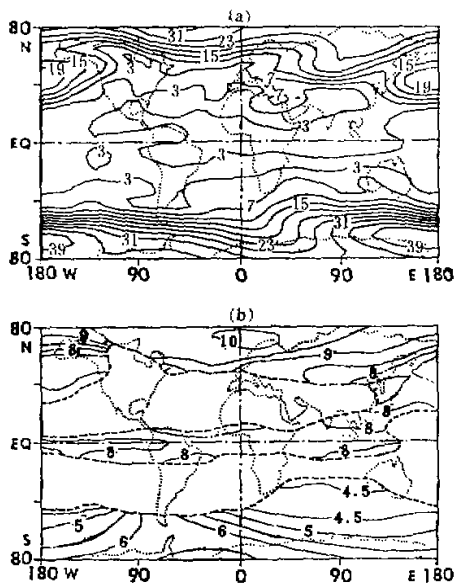


图 4 半年振动的振幅和位相分布

(a) 振幅: 单位为 0.1K, 等值线间隔为 0.4K. (b) 位相: 等值线间隔为半个月, 其余同图 1b

道区向两极传播的趋势。

平流层大气半年振动的现象在热带纬向风的长周期变化中也是很显著的。关于它的形成机制已有一些解释,最初有人将这种变化与太阳辐射吸收的变化联系起来,后来的研究着眼于涡旋动量输送的散度。Meyer^[40]曾以这种观点利用轴对称的数值模式研究平流层的半年振动。证明太阳天顶角季节性位移所造成的辐射通量散度不足以产生所观测到的半年振动的强度,以半年为周期变化的动量源是纬向风和温度半年振动的主要因素,然而半年周期变化的动量源又是如何产生的呢?还有待进一步研究。

高纬度半年振动的超长波纬向非对称特征是如何形成的,也需要从动力学上解释。有趣的是半年振动振幅在北半球的三波分布可能和冬季北半球的对流平均槽脊分布有关。从 Blackman 和 Lau 的对流层大型涡旋热量输送的分布也可得到三波特征,两个最强区位于两大洋,次强区位于西亚,这和图 4a 的三个振幅大值区一致。看来,对流层低层大型涡旋热量输送的向上传播很可能是平流层下层温度半年振动的重要因素。

四、结 语

本文利用八十年代最新的卫星探测资料,首次给出平流层下层温度三种长周期振动的全球分布特征。主要结果如下:

(1) 平流层下层温度在全球尺度上存在着两年振动、年振动和半年振动三种长周期

振动。

(2) 长周期振动振幅的全球分布除南半球年振动以外, 在高纬区都有明显的纬向不对称性: 两年振动的振幅在高纬度海洋比大陆大得多, 有波数 2 的特征; 年振动(北半球)有波数 1 的特征; 半年振动在北半球以波数 3、南半球以波数 1 为主导。

(3) 长周期振动振幅的两年振动和半年振动在赤道都是次大区, 并且是对赤道对称的。

(4) 长周期振动振幅中其年振动和半年振动在副热带都出现极小值的环球纬圈带, 在半年振动中特别显著。

(5) 由平流层下层温度的长周期振动的全球分布与对流层低层大型涡旋的热量输送分布的一致性, 可以表示对流层低层的大型涡旋热量输送所造成的动力强迫可能是平流层温度长周期振动的重要机制。

(6) 长周期振动的位相在中高纬度存在着由东向西和由中纬度向极地传播的趋势。它的动力机制有待进一步研究。

致谢: 美国依阿华州立大学物理系教授 John L. Stanford 与本文作者作了有益的讨论, 特此致谢。

参 考 文 献

- [1] Angell, J. K., and J. Korshover, 1970, Quasi-biennial, annual, and semiannual zonal wind and temperature harmonic amplitudes and phases in the stratosphere and low mesosphere of the Northern Hemisphere, *J. Geophys. Res.*, Vol. 75, p. 543—550.
- [2] McGregor, J., and Chapman W. A., 1978, Observations of the annual and semiannual waves in the stratosphere using Nimbus 5 SCR data, *J. Atmos. Terr. Phys.*, Vol. 40, p. 677—684.
- [3] Van Loon, H., and R. H. Jenne, 1970, The annual wave in the temperature of the low stratosphere, *J. Atmos. Sci.*, Vol. 27, p. 701—705.
- [4] Van Loon, H., K. Labitzke and R. L. Jenne, 1972, Half-yearly wave in the stratosphere, *J. Geophys. Res.*, Vol. 77, p. 3846—3855.
- [5] Yu, W.-B., R. L. Martin and J. L. Stanford, 1983, Long and medium scale waves in the lower stratosphere from satellite-derived microwave measurements, *J. Geophys. Res.*, Vol. 88, p. 8505—8511.
- [6] Yu, W.-B., and J. L. Stanford, 1984, Stratospheric circulation in the southern summer/northern winter 1980—81: behavior of zonal waves 1—10, *J. Atmos. Sci.*, Vol. 41, p. 2179—2188.
- [7] Holton, J. R., and R. S. Lindzen, 1972, An updated theory for the quasi-biennial cycle of the tropical stratosphere, *J. Atmos. Sci.*, Vol. 29, p. 1076—1080.
- [8] Blackmon, M. L., and N. C. Lau, 1980, Regional characteristics of the Northern Hemisphere circulation: A comparison of the simulation of a GFDL GCM with observation, *J. Atmos. Sci.*, Vol. 37, p. 497—514.
- [9] Lau, N. C., 1984, Circulation statistics based on FGGE LEVEL III-B analysis produced by GFDL, NOAA Data Rep., ERL GFDL-5.
- [10] Meyer, W. D., 1970, A diagnostic numerical study of the semiannual variation of the zonal wind in the tropical stratosphere and mesosphere. *J. Atmos. Sci.*, Vol. 27, p. 820—830.

THE GLOBAL CHARACTERISTICS OF THE LONG PERIODIC TEMPERATURE OSCILLATIONS IN THE LOWER STRATOSPHERE

Gao Xinhai Yu Wenbi

(Department of Physics, Lanzhou University)

Zhu Baozhen

(Institute of Atmospheric Physics, Academia Sinica)

Abstract

The temporal variations in the lower stratosphere temperature have been investigated by analyzing daily global grids of high quality, satellite-borne microwave measurements. The quasi-biennial, the annual and the semiannual oscillations are studied in all global grids.

The amplitudes of these oscillations present a strong zonal ultra-long wave asymmetry at high latitudes and an obvious zonal symmetric behavior in the tropics. The amplitude maxima are generally over the oceans in the polar region and the minima are in the subtropics. The phase distributions show that the oscillations generally tend to move eastwards and polewards at middle and high latitudes.

We suggest that the vertical propagating forcing of the large-scale eddy heat transport is a possible mechanism for producing the long periodic oscillations of temperature in the lower stratosphere.