

# CO<sub>2</sub>浓度和太阳活动对 北半球夏季平流层中部气温异常变化的影响<sup>\*</sup>

曲维政<sup>\*\*</sup> 刘应辰 黄菲 赵进平 秦婷 白燕

中国海洋大学海洋环境学院, 青岛 266100

**摘要** 通过逐次滤波法和对比分析可知, 北半球夏季7月高空10hPa持续增暖过程是以CO<sub>2</sub>为主的温室气体增加、火山活动和太阳活动共同引起的, 具体表现为: (1) CO<sub>2</sub>浓度增加趋势与北半球7月平流层10hPa升温趋势基本一致, 但是北半球7月10hPa升温过程不像CO<sub>2</sub>浓度一样线性增加, 其中还伴随几次降温波动, 最显著的一次是20世纪60年代末至70年代末, 90年代中期以前的降温过程也比较清楚. 分析认为, 这是火山活动和太阳活动引起的. (2) 太阳磁场磁性指数曲线与滤除CO<sub>2</sub>影响的北半球10hPa大气温度距平曲线变化趋势也基本一致, 波峰波谷基本对应并且超前一些, 就是说太阳北半球黑子群N极前导时期, 即太阳磁场南向时期与北半球平流层增温时期对应. 太阳北半球黑子群S极前导时期, 即太阳磁场北向时期与北半球平流层降温时期对应, 显示出太阳磁场方向变化对北半球平流层气温变化的重要影响. (3) 谱分析结果表明, 滤除趋势变化和准22年周期的7月北半球平流层中层10hPa大气温度具有显著的准11年周期, 其方差贡献率15%. (4) 分析表明CO<sub>2</sub>浓度变化与太阳磁场强度和磁场方向变化对于平流层中层10hPa温度变化的影响方差贡献率达到58%, 是10hPa温度变化的决定性因素. 其中CO<sub>2</sub>影响方差贡献率37%, 太阳磁场强度和磁场方向变化方差贡献率21%.

**关键词** 气候变化 太阳活动 太阳磁场 CO<sub>2</sub>浓度 温室效应 火山活动

人们热烈讨论的现代气候变暖, 多指地面层大气温度异常. 那么高空大气温度是否也在不断增暖呢? 研究表明<sup>[1]</sup>, 从海平面到高空大尺度大气温度异常变化, 在不同高度呈现不同符号, 并且随高度增加正异常和负异常相间分布, 分布规律十分清楚. 多数情况海平面层与对流层温度异常符号一致, 平流层下部100hPa附近有一个与对流层符号相反的异常中心与之对应, 再往上, 至平流层中部温度异常符号又反了过来……所以本文讨论的平流层中部10hPa附近大气温度异常, 与地面层具有相同的异常符号. 但是, 这并不等于说平流层中部温度异常与地面层温度异常起源于相同的驱动因子.

地面层影响因素复杂, 至平流层中上层经过了对流层顶和平流层下部70hPa附近的火山气溶胶层两次重要过滤, 影响因素趋于单一, 下垫面影响减弱, 太阳活动影响成分增大.

CO<sub>2</sub>浓度增加的温室效应还不足以解析100多年来地球温度升高趋势中的几次程度不同的降温过程, 就是说CO<sub>2</sub>浓度在工业革命以来呈持续增加的趋势, 如果说地球气候变暖完全由CO<sub>2</sub>等温室气体浓度增加的温室效应引起的, 那么, 地球气候也应该是个持续变暖的过程, 而实际上100多年来地球平均温度升高趋势中经历了20世纪初期和20世纪50—70年代明显的降温过程. 这是温室气体决定全

2008-02-03 收稿, 2008-06-11 收修改稿

<sup>\*</sup> 国家自然科学基金资助项目(批准号: 40631006)

<sup>\*\*</sup> E-mail: quweizhe@ouc.edu.cn

©1994-2016 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. <http://www.cnki.net>

球气候增暖观点遇到的最严重质疑, 人们期望得到合理解析. 此现象引导我们进一步分析引起这种波动的物理因子, 从而确定  $\text{CO}_2$  浓度增加的实际气候效应和目前还不十分明了的确实存在的与  $\text{CO}_2$  浓度增加气候效应可以相提并论的地球气候异常变化大尺度强迫源. 本文分析结果表明, 太阳活动水平持续增强或者持续减弱, 所造成的地球磁层俘获并蓄积的太阳带电粒子即太阳能量持续增强或者持续减弱, 构成了平流层高空气候异常变化的另一个十分重要的强迫源.

关于太阳活动(solar activity)对于地球气候和大气环流的影响, 人们从不同角度进行了探索<sup>[2-10]</sup>. 近期研究结果表明<sup>[11-13]</sup>, 太阳磁场方向变化是太阳活动影响地球气候十分关键因素, 这是由于太阳磁场方向变化能够对地球磁层形态施加影响, 即当太阳磁场南向, 行星际磁场磁力线与地磁场磁力线相连接, 地球磁层成为开磁层, 太阳风携带大量等离子体沿磁力线涌入磁层. 进入地球磁场的带电粒子在 Lorentz 力作用下绕磁力线巡回于南北极之间, 析放能量, 加热大气; 反之当太阳磁场北向, 地球磁层闭合, 太阳风携带的大量等离子体从地球磁层外围滑过, 难以进入地球磁层. 所以太阳磁场南向时期与北向时期, 对应着地球磁层获得太阳辐射能量异常偏多时期和异常偏少时期. 显然, 这种情况对于地球气候来说至关重要. 特别是对于远离下垫面影响的高空大气尤其如此.

太阳磁场磁性指数(magnetic index, MI)时间序列建立<sup>[11]</sup>, 为具体考察太阳黑子极性循环和磁场强度变化对于地球物理事件的影响提供了一份很好的参考资料, 使我们得以从太阳磁场变化角度研究和理解太阳活动及其对地球环境和地球物理事件的影响方式和影响途径. 本文就是从太阳磁场变化和太阳辐射变化两个方面考察太阳活动对北半球平流层气温的影响.

方法和资料 本文利用美国国家大气研究中心和国家环境预报中心 NCEP/NCAR 大气温度的再分析资料采用逐次滤波法逐次提取北半球平流层 10 hPa 气候资料序列中蕴涵的太阳活动影响信息并加以分析, 这些因素的影响从被掩盖状态分离之后, 显示出其对气候的影响效果和相互关系, 使本文得以探讨发生在北半球的气候年代际变化的可能

成因.

资料 NCAR/NCEP 为再分析的全球垂直 17 个层次的月平均温度场的格点资料. 时间从 1948—2000 年共 53 a, 水平分辨率为  $2.5^\circ \times 2.5^\circ$ . 本文根据各层次温度场格点资料建立了北半球从对流层中部到平流层中部月平均温度时间序列和月平均温度距平时间序列.

$\text{CO}_2$  浓度资料取自文献[16] 和 IPCC 及世界气象组织(the World Meteorological Organization)公布的至 2005 年大气中温室气体含量资料, 求得 1740—2005 年 1 月、7 月和年平均值和距平值, 以及 5 a 滑动平均值. 为了与 NCAR/NCEP 温度资料序列对应, 截取 1950—2005 年计算建立  $\text{CO}_2$  浓度月距平序列, 并且除以 20, 以与气温单位匹配便于对比分析.

## 1 $\text{CO}_2$ 浓度变化与北半球平流层 10 hPa 气候增暖趋势

以 7 月份代表夏季, 对北半球平流层中部夏季温度年代际变化特征进行分析, 期望揭示北半球平流层中部夏季气温年代际变化特征及其与  $\text{CO}_2$  浓度变化的联系. 由北半球 ( $0-90^\circ \text{N}$ ) 平流层中部 1950—2000 年 10 hPa 7 月月平均温度距平连续 5 a 滑动平均直方图可以看到(图 1), 北半球平流层中部 10 hPa 气温自 1950 年以来经历了持续波状升温过程, 大气温度 51 a 升高了  $6.0^\circ \text{C}$ , 年升温率为  $0.1132^\circ \text{C/a}$ , 比北半球地面层平均年升温率大得多<sup>[16]</sup>. 由图 1 可以看到, 平流层中部 10 hPa 大气温度增暖趋势十分明显. 按照文献[17] 完成的谱分析结果也显示, 0 波对应的趋势项谱值 0.1411 显著大于信度为 0.10 检验谱 0.0161, 并且是所有频域功率谱最大项, 低频部分序列周期性受到掩盖, 形不成独立谱峰. 只有首先滤除趋势变化, 序列的周期成分才会清楚.

图 1 中斜线是 1950—2000 年  $\text{CO}_2$  浓度 ( $10^{-6}$ ) 月距平序列 5 a 滑动平均, 并且除以 20, 以与气温单位匹配. 由图 1 还可以看到, 20 世纪 50 年代以来,  $\text{CO}_2$  浓度和北半球 7 月 10 hPa 气温具有大致类似的升高趋势. 多数人认为, 工业革命以来人类活动造成大气中温室气体浓度明显增加, 特别是  $\text{CO}_2$  浓度增加的温室效应导致全球气温持续上升. 可以认为

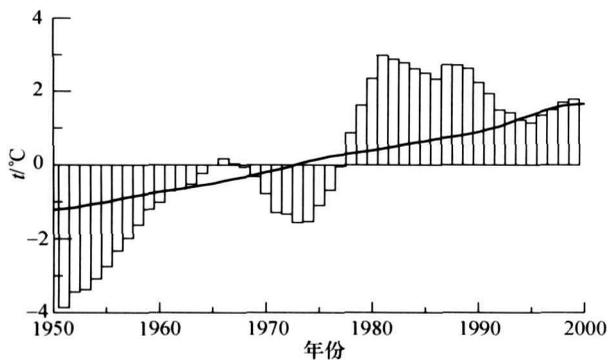


图 1 北半球 7 月 10 hPa 气温距平 5 a 滑动平均(直方图)与 7 月 CO<sub>2</sub> 浓度(除 20)曲线

图 1 中所显示的平流层升温趋势主要是由 CO<sub>2</sub> 浓度增加引起的。

这样我们可以将图 1 中的 CO<sub>2</sub> 浓度线作为北半球 7 月 10 hPa 升温趋势线, 从 10 hPa 气温距平序列中滤除, 即从原始温度序列  $t(i)$  中减去以 CO<sub>2</sub> 浓度线表征的气候趋势  $l(i)$ 。表 1 是滤除 CO<sub>2</sub> 浓度影响以后的 7 月平流层 10 hPa 大气温度距平序列谱分析结果, 从表 1 可以看到, 0 波对应的趋势项功率谱远小于红噪声检验谱, 说明滤除 CO<sub>2</sub> 浓度影响以后的 7 月 10 hPa 气温距平序列已经不含气候趋势了。从后面的图 3 也可以看到, 滤除 CO<sub>2</sub> 浓度影响以后的气温距平曲线总是在 0 线上下震荡, 总体上看不出明显的上升或者下降趋势。不含趋势项的温度序列  $t_1(i)$  为:

$$t_1(i) = t(i) - l(i) \quad (i = 1, 2, \dots, n) \quad (1)$$

求得原始温度序列  $t_1(i)$  的方差

$$s^2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (t(i) - \bar{t})^2 = 4.923 \quad (2)$$

式中  $\bar{t}$  为 1948—2000 年 7 月北半球平流层 10 hPa 温度平均值。

滤除 CO<sub>2</sub> 浓度线表征的气候趋势变化以后温度序列的方差  $S_1^2 = 1.28$ , 则趋势项即 CO<sub>2</sub> 浓度对于温度场的方差贡献率  $SS$  为

$$SS = ((S^2 - S_1^2) / S^2) \times 100\% = ((4.923 - 1.28) / 4.923) \times 100\% = 74\%$$

(3)

就是说, 趋势变化即 CO<sub>2</sub> 浓度增加对于 7 月平流层 10 hPa 温度场的方差贡献率达到 74%。

讨论: 位于平流层下部 70 hPa 附近的火山气溶胶层吸收了来自下面的地气系统长波辐射, 导致平流层中上层大气温度下降, 与温室气体增温效应相反。最新研究表明, 自 20 世纪 50 年代末至 70 年代是火山活动多发期, 到 80 年代和 90 年代进入火山活动沉寂期, 火山活动这种明显的减弱趋势有利于平流层中上层气温回升, 与北半球平流层中上层气温持续增暖趋势不谋而合, 与 CO<sub>2</sub> 浓度增加产生相同的增温效应。求得 1950—2000 年全球 3 月份 4 级以上火山活动指数时间序列  $VEI(i)$  与北半球 7 月平流层 10 hPa 大气温度距平时间序列  $t(i)$  最大相关函数为  $r(2) = -0.80$ , 即显著负相关, 最大值落后火山活动 2 a。按照文献[18] 回归方程建立方法, 据此建立的气温一元回归预报  $t_3(i)$  方程为

$$t_3(i+2) = -0.03642VEI(i) \quad (4)$$

根据此一元回归预报方程(4)求出的北半球 7 月平流层 10 hPa 大气温度距平时间序列  $t_3(i)$ , 用虚线绘于图 2。由图 2 可以看到, 以火山活动为因子的回归方程计算结果(虚线)基本反映了 7 月 10 hPa 气温变化趋势, 同时升温过程中 70 年代的下降波动也有所反映。仿照(1)—(3)方法, 求得火山活动对于北半球平流层 10 hPa 气温变化的方差贡献率为 84.91%。

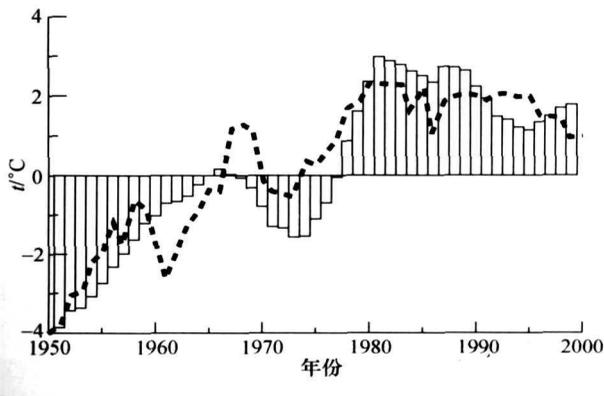


图 2 1950—2000 年 7 月北半球平流层 10 hPa 气温距平直方图和 3 月 4 级以上火山爆发气溶胶指数 17 a 滑动平均为因子回归预报曲线(虚线)

显然, 温室气体浓度增加和火山活动频率下降都能解析半个多世纪以来北半球平流层 10 hPa 的增暖趋势, 那么如何确定二者方差贡献的比例呢? 为此我们求得 1950—2000 年 3 月份 4 级以上火山活动指数距平 17 a 滑动平均时间序列  $VEI(i)$  与  $CO_2$  浓度时间序列同期相关函数为  $-0.7296$ , 即显著负相关. 就是说, 火山活动与  $CO_2$  浓度变化虽然没有因果关系, 二者变化趋势却是显著相反的, 它们对于气温的影响是交叉的、叠加的, 有共同的部分. 其中  $84.91\% - 74.0\% = 10.91\%$  是火山活动独有的,  $74.0\%$  是火山活动与  $CO_2$  浓度共同的. 就是说  $CO_2$  浓度对于 10 hPa 气温异常变化的方差贡献率应该是  $74.0\%$  的一半, 为  $37.0\%$ , 火山活动占  $37.0\%$ . 由此可知, 火山活动除了对趋势项有  $37.0\%$  的贡献, 还有  $10.91\%$  是对叠加于趋势之上的波动的贡献.

## 2 太阳磁场方向变化对北半球平流层 10 hPa 7 月气温变化的影响

由滤除  $CO_2$  影响以后的北半球 7 月平流层 10 hPa 大气温度距平序列  $t_1(i)$  谱分析(见表 1)可知, 0 波对应的趋势项谱值显著小于信度为 0.10 检验谱, 就是说序列已经滤除了趋势项影响. 低频频域 2 波处对应的准 22 a 周期谱值显著大于信度为 0.10 检验谱, 并且是全频域功率谱最大项, 在谱图上则孤峰突起(图略). 所以, 7 月 10 hPa 大气温度具有显著的准 22 a 周期, 求得 22 年周期振幅  $A = 1.49^\circ C$ , 初相角  $\varphi = 3.89642$  rad, 则 22 a 周期分量方程为

$$BO_{22}(i) = \sum_{l=1}^m A_l \sin \left[ \frac{2\pi}{T_l} i + \varphi_l \right] = 1.49 \times \sin \left[ \frac{2\pi}{22} i + 3.89642 \right] \quad (i = 1, 2, \dots, n) \quad (5)$$

将 1950—2000 年 7 月滤除  $CO_2$  影响以后的气温直方图与 22 a 周期分量曲线绘于图 3, 虚线是 22 a 周期分量曲线, 比较 7 月 10 hPa 北半球大气温度距平值柱线与准 22 a 周期分量曲线(虚线), 可以看到二者变化趋势十分一致, 波峰波谷基本吻合, 说明 22 a 周期确实是北半球平流层 10 hPa 大气温度年代

际变中所蕴涵的显著周期, 乃北半球平流层 10 hPa 大气温度年代际变化的重要特征.

表 1 滤除  $CO_2$  影响以后 7 月平流层 10 hPa 气温距平序列谱分析结果

波数	功率谱	检验谱	振幅/ $^\circ C$	周期/a	初相角/rad
0	0.039574	0.287922	0.000000	0.000	0.00000
1	0.126077	0.236182	0.636389	44.000	0.86269
2	0.612202	0.153820	1.486285	22.000	3.89642
3	0.012853	0.097769	0.112196	14.000	-0.04103
4	0.031774	0.065191	0.492756	11.000	1.27363
5	0.017533	0.046018	0.146461	8.000	1.46322
6	0.020301	0.034162	0.170734	7.000	0.06894
7	0.028699	0.026448	0.100528	6.000	0.78670
8	0.027954	0.021200	0.058967	5.000	0.06297
9	0.028378	0.017494	0.093595	4.000	1.18867
10	0.027283	0.014797	0.093595	4.000	1.18867
11	0.030054	0.012784	0.093595	4.000	1.18867
12	0.028986	0.011254	0.035581	3.000	-0.15773
13	0.030063	0.010073	0.035581	3.000	-0.15773
14	0.028208	0.009152	0.035581	3.000	-0.15773
15	0.029456	0.008430	0.058431	2.000	-0.00211
16	0.028392	0.007864	0.058431	2.000	-0.00211

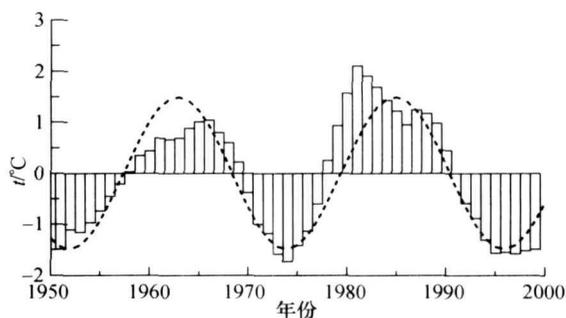


图 3 北半球 7 月 10 hPa 气温距平 5 a 滑动平均(直方图, 滤除  $CO_2$ )与准 22 a 周期分量

滤除  $CO_2$  影响和 22 a 周期以后温度序列的方差  $S_1^2 = 0.23$ , 则  $CO_2$  影响和 22 a 周期对于温度场的方差贡献率  $SS$  为

$$SS = ((S^2 - S_1^2) / S^2) \times 100\% = ((4.923 - 0.23) / 4.923) \times 100\% = 95\%$$

就是说, 减去  $CO_2$  影响, 准 22 a 周期变化的方差贡献率是  $95\% - 74\% = 21\%$ .

为了分析北半球平流层气温的这种 22 a 变化周期与太阳活动的联系, 将滤除 CO<sub>2</sub> 影响的北半球 7 月 10 hPa 气温距平序列(直方图)和太阳磁场磁性指数<sup>[11, 19]</sup>曲线绘于图 4. 由图 4 可以看到, 太阳磁场磁性指数曲线(粗)与 7 月气温距平直方图变化趋势基本一致, 波峰波谷基本吻合并且超前一些, 就是说太阳磁场磁性指数曲线由极小值升至极大值之后不久气温距平也由极小值升至极大值; 太阳磁场磁性指数曲线由极大值下降至极小值之后不久气温距平也由极大值下降至极小值; 太阳磁场磁性指数曲线波峰波谷与气温距平直方图波峰波谷一一对应. 太阳物理学和日地空间物理学研究证明<sup>[20-30]</sup>, 在太阳南北两半球极区, 大尺度磁场极性是相反的, 类似偶极子场, 但随太阳活动 11 a 周期改变极性, 因此有 22 a 左右周期变化. 在黑子周的前半周里, 高纬度偶极群的后随部分磁场逐渐向极区扩散, 因与所在半球极区的磁场极性相反, 就不断与极区磁场中和而使极区磁场减弱. 在黑子周的黑子数达到极大时, 极区磁场会全部中和, 开始了极区的极性反转. 以图 4 为例说明这个过程及其气候效应: 太阳北半球黑子群 N 极前导时期, 黑子数达到极大之前(即图 4 中的 a 点之前), 太阳北极区为磁 N 极, 太阳磁场南向. 太阳磁场南向, 与地球磁层顶处地磁场反向, 在太阳风压力作用下, 行星际磁场磁力线与地磁场磁力线相连接, 即造成磁场吞并和重联. 此时磁层为开磁层, 磁层磁力线的两端分别与地球和太阳相遇. 重联发生后, 太阳风将携带大量等离子体从向阳面进入地球磁层, 从而使输入的动量、能量、磁通量和质量大幅度增加, 加热地球大气层, 与北半球平流层增温时期对应(图 4, 气温距平曲线也由极小值升至极大值), 磁暴和磁亚暴大多也发生在这一条件下<sup>[23]</sup>. 黑子周的黑子数达到极大时, 即图 4 中的 a 点, 极区磁场全部中和, 开始由磁 N 极转为磁 S 极, 此时太阳南半球极区磁场由磁 S 极转为磁 N 极, 磁力线由太阳南半球极区发出北半球极区进入, 就是说太阳磁场开始转为北向. 太阳磁场北向, 与磁层顶地磁场同向, 太阳磁场或者说行星际磁场不会与地磁场发生重联, 此时磁层为闭磁层, 磁层磁力线的两端与地球相遇. 这种情况下, 只有少数带电粒子能够穿越磁层进入地球磁层. 由于前一段时期进入地球磁层太阳等离子体所

携带的大量动量、能量和质量, 仍滞留于磁层之中并加热大气, 导致平流层气温距平曲线由极大值转为下降的时间也相应滞后, 即温度曲线波峰落后于太阳黑子磁性指数 MI 曲线波峰; 黑子群由 N 极前导转为 S 极前导之后, 太阳黑子磁性指数 MI 曲线由正值转为负值, 图 4 中的 b 点为转折点(MI 0 值点), 曲线继续下降, 太阳磁场方向不变, 仍为北向. 此时滞留于磁层之中的能量已经释放完毕, 北半球平流层气温距平曲线进入持续下降时期. 黑子群 S 极前导时期黑子数绝对值达到极大(图 4 中的 C 点, MI 为极小值)之前, 太阳北极区仍为磁 S 极, 太阳磁场仍为北向, 与北半球平流层降温时期对应(图 4, 气温距平曲线由极大值下降至极小值). 黑子周的黑子数绝对值达到极大时, MI 曲线下降到极小值, 即图 4 中的 C 点, 极区磁场全部中和, 开始由磁 S 极转为磁 N 极, 此时太阳南半球极区磁场由磁 N 极转为磁 S 极, 磁力线由太阳北半球极区发出南半球极区进入, 就是说太阳磁场开始转为南向, 磁层再度变为开磁层, 太阳风携带大量等离子体从向阳面进入地球磁层. 由于动量、能量和质量积累需要一个过程, 所以北半球平流层开始增温的时期也相应滞后一些(图 4 C 点附近温度曲线波谷落后于 MI 曲线波谷); 黑子群由 S 极前导转为 N 极前导之后, 太阳黑子磁性指数曲线由负值转为正值, 图 4 中的 d 点为转折点(MI 0 值点), 曲线继续上升, 太阳磁场方向不变. 黑子群 N 极前导时期黑子数达到极大(图 4 中的 e 点)之前, 太阳北极区仍为磁 N 极, 太阳磁场仍为南向, 与北半球平流层增

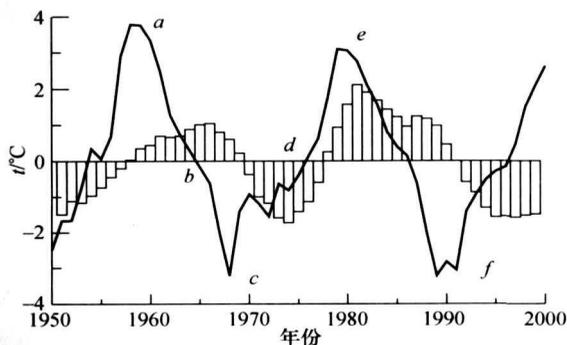


图 4 北半球 7 月 10 hPa 气温距平 5 a 滑动平均(直方图, 滤除 CO<sub>2</sub>)、太阳磁场磁性指数距平曲线(除 50)

温时期对应(图 4 气温距平曲线也由极小值升至极大值)。

地球磁场分布为南北两极强, 赤道附近弱, 是一个天然磁捕集器. 它能使进入地球磁场的带电粒子在南北极之间环绕地磁场磁力线往返作螺旋运动而辐射电磁波, 加热高层大气. 这一区域叫 Van Allen 辐射带, 它有两层, 内层在距离地面高为 1—2 个地球半径处, 外层在 3—4 个地球半径处. 这是在 1958 年人造地球卫星进入太空后的第一个重大发现, 为纪念发现者 (J. A. Van Allen) 而命名为 Van Allen 辐射带<sup>[31—33]</sup>. 部分粒子沿磁力线沉降到极区电离层和高层大气, 产生极光, 形成亚暴集电流, 并引起地磁场剧烈扰动. 所以激发地球物理事件的两个重要条件是: 携带足够能量的高速太阳风和行星际磁场 (IMF) 即太阳磁场的南向分量. 上述对比分析显示出太阳磁场方向对北半球平流层气温变化的重要影响, 说明北半球平流层气温中所蕴涵的显著的 22 a 周期乃太阳活动所激发, 是北半球平流层气温对太阳磁场强度变化和磁场磁性变化的响应.

将 CO<sub>2</sub> 浓度线表征的气候趋势  $I(i)$  和太阳活动引起的准 22 a 周期分量合成

$$I(i) + BO_{22}(i) = 10 \times CO_2(i) + 1.49 \sin \left[ \frac{2\pi}{22}i + 3.89642 \right] \quad (i = 1, 2, \dots, n) \quad (6)$$

把包含 CO<sub>2</sub> 影响和太阳活动影响的方程 (6) 绘于图 5 (虚线), 可以看到方程 (6) 所确定的变化曲线与北

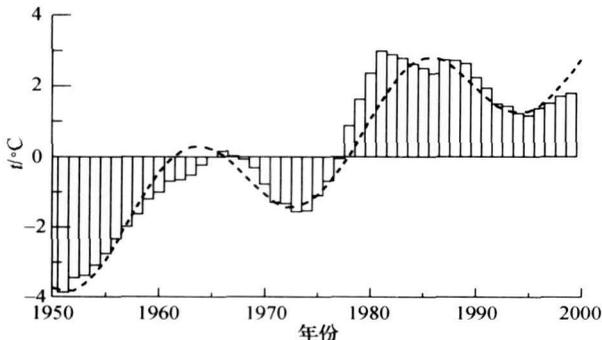


图 5 北半球 7 月 10 hPa 气温距平 5 a 滑动平均 (直方图) 与 CO<sub>2</sub> 影响和准 22 a 周期分量合成曲线 (虚线)

半球 7 月 10 hPa 气温距平实况曲线十分一致, 它解析了北半球 7 月 10 hPa 气温异常变化总方差的 95%. 与图 1 相比, 由于考虑了太阳活动影响, 20 世纪 50 年代以来叠加于平流层升温趋势上的两次主要降温过程 (60 年代末至 70 年代末和 90 年代前期) 都做出了明确解析, 就是说 50 年代以来北半球 7 月平流层 10 hPa 持续增暖过程是以 CO<sub>2</sub> 为主的温室气体增加和太阳活动共同引起的.

### 3 太阳活动准 11 a 周期变化对北半球平流层 10 hPa 7 月气温变化的影响

滤除准 22 a 周期以后, 谱分析显示 7 月气温距平序列还具有显著的 11 a 周期, 11 a 周期波振幅  $A=0.315$ , 初相角  $\varphi=-2.5809$  rad, 则 11 a 周期分量方程为

$$BO_{11}(i) = 0.315 \sin \left[ \frac{2\pi}{11}i - 2.5809 \right] \quad i = 1, 2, \dots, 53$$

为了分析北半球平流层气温的这种 11 a 变化周期与太阳活动的联系, 将太阳黑子相对数曲线与 7 月滤除趋势和 22 a 周期以后的气温 5 a 滑动平均曲线绘于图 6. 由图 6 可以看到, 太阳黑子相对数曲线 (实线) 与 7 月气温距平 11 a 周期曲线 (虚线) 变化趋势基本一致, 波峰波谷基本吻合并且略有超前, 就是说太阳黑子相对数曲线由极小值升至极大值之后气温距平曲线也由极小值升至极大值; 太阳黑子相对数曲线由极大值下降至极小值之后气温距平曲线也由极大值下降至极小值; 太阳黑子相对数曲线

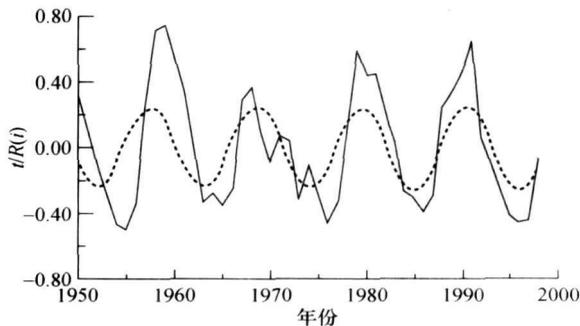


图 6 北半球 7 月 10 hPa 温度距平滤除趋势和 22 a 周期之后的 11 a 周期曲线 (虚线) 与太阳黑子相对数曲线 (实线)

波峰波谷与气温距平曲线波峰波谷一一对应, 说明北半球平流层气温中所蕴涵的显著的 11 a 周期乃太阳活动所激发, 是北半球平流层气温对太阳活动的响应.

在色球层爆发期间产生相当数量的额外紫外辐射和 X 辐射即伦琴辐射. 当太阳活动由最低向最高过渡时, 紫外辐射和 X 辐射的能通量增加数 10 倍. 这种增加了的太阳短波辐射落到被太阳照射的那部分地球上首先在高层大气中离解氧分子电离氧原子, 通过光化学反应生成臭氧, 然后被全部吸收, 导致高层大气升温. 高层大气热状态的改变必然引起高层大气环流作相应变化. 这是太阳活动通过改变太阳辐射影响地球高层温度的另一方面<sup>[34-38]</sup>.

将气候趋势项与 22 a 周期分量、11 a 周期分量合成, 即

$$I(i) + BO_{22}(i) + BO_{11}(i) = (0.1132 \times i - 3.0) + 1.36 \sin \left[ \frac{2\pi}{22}i + 3.456 \right] + 0.2117 \sin \left[ \frac{2\pi}{11}i + 0.2684 \right] (i = 1, 2, \dots, 53)$$

将 7 月北半球平流层中部 10 hPa 温度距平 5 a 滑动平均曲线(实线)与趋势项、22 a 周期分量和 11 a 周期分量合成曲线绘于图(图略), 由图可以看到, 三项合成曲线与实况曲线变化趋势基本吻合, 其方差贡献率达到 96.5%, 说明趋势项与 22 a 周期分量、11 a 周期分量构成了北半球平流层中部 10 hPa 7 月温度变化的主要成分. 减去 CO<sub>2</sub> 影响和准 22 a 周期变化的方差贡献率, 则 11 a 周期分量的方差贡献率是 96.5% - 95% = 1.5%.

#### 4 小结

通过逐次滤波法和对比分析可知, 北半球夏季 7 月高空平流层 10 hPa 持续增暖过程是以火山活动、CO<sub>2</sub> 为主的温室气体增加和太阳活动共同引起的, 具体表现为

(1) CO<sub>2</sub> 浓度增加趋势与北半球 7 月平流层 10 hPa 升温趋势基本一致. 但是北半球 7 月 10 hPa 升温过程不像 CO<sub>2</sub> 浓度一样线性增加, 其中还伴随

几次降温波动, 最显著的一次是 60 年代末至 70 年代末, 90 年代中期以前的降温过程也比较清楚, 分析认为, 这是火山活动和太阳活动引起的.

(2) 太阳磁场磁性指数曲线与滤除 CO<sub>2</sub> 影响的北半球 10 hPa 大气温度距平曲线变化趋势也基本一致, 波峰波谷基本对应并且超前一些, 就是说太阳北半球黑子群 N 极前导时期, 即太阳磁场南向时期与北半球平流层增温时期对应; 太阳北半球黑子群 S 极前导时期, 即太阳磁场北向时期与北半球平流层降温时期对应, 显示出太阳磁场方向变化对北半球平流层气温变化的重要影响.

(3) 谱分析结果表明, 滤除趋势变化和准 22 a 周期的 7 月北半球平流层中层 10 hPa 大气温度具有显著的准 11 a 周期, 其方差贡献率为 1.5%.

(4) 分析表明 CO<sub>2</sub> 浓度变化与太阳磁场强度和磁场方向变化对于平流层中层 10 hPa 温度变化的影响方差贡献率达到 58%, 是 10 hPa 温度变化的决定性因素. 其中 CO<sub>2</sub> 影响方差贡献率 37%, 太阳磁场强度和磁场方向变化方差贡献率约为 21%.

#### 参 考 文 献

- 1 Qu WZ, Xu XH, Huang F, et al. Effect of abnormal temperature variation in the tropical Pacific on high level air temperature. The Proceedings Of China Association For Science And Technology. 2005, 2(2): 474-502
- 2 Shut WR. Prospect of space physics. Advance in Earth Sciences. 2001, 16(5): 664-672
- 3 Lean J, Walsh JE, Chapin FS, et al. Reconstruction of solar irradiance since 1610: implications for climate change. Geophys Res Lett. 1995, 22: 3195-3200
- 4 Friis Christensen E, Lassen K. Length of The solar cycle: An indicator of solar activity closely associated with climate. Science. 1991, 254: 698-711
- 5 Christensen EF. The solar activity and air temperature fluctuation. Energy, 1993, 18(1): 1273-1281
- 6 Kodera K. Solar cycle modulation of the North Atlantic Oscillation: Implication in the spatial structure of the NAO. Geophysical Research Letters, 2002, 29, 8(10): 1057-1061
- 7 Bond G. Persistent solar influence on North Atlantic climate during the Holocene. J of Geophysical Research, 2002, 107, D14: 1029-1035
- 8 Ruzmaikin A. Solar influence on a major mode of atmospheric variability. J of Geophysical Research, 2003, 108, D15(10): 1032-1041

- 9 Agnihtri R. Evidence for solar forcing on the Indian monsoon during the last millennium. *Earth and Planetary Science Letters*, 2002, 198: 521
- 10 Min JZ. Rapid mate change and high resolution deep-sea sedimentary records. *Advance in Earth Sciences*, 2003, 18(5): 674—681
- 11 Zheng QW, Qu WZ, Deng SG, Huang F, et al. The influence of magnetic index abnormal change in solar magnetic field on climate at middle latitude of North Hemisphere. *Chinese Journal of Geophysics*, 2004, 47(3): 448—456
- 12 曲维政, 邓声贵, 黄菲, 等. 深海温度变化对太阳活动的响应. *第四纪研究*, 2004, 24(3): 1—7
- 13 曲维政, 赵进平, 赵雪, 等. 火山活动对南半球平流层大气温度异常变化的影响. *地学前缘*, 2004, 11(2): 579—587
- 14 曲维政, 王丽楠, 黄菲, 等. 北半球平流层气候异常变化探索. *青岛海洋大学学报*, 2003, 33(3): 229—336
- 15 曲维政, 陈璐, 黄菲, 等. 南半球对流层气候年代际变化及其与太阳活动的联系. *地球科学进展*, 2005, 20(7): 794—803
- 16 王绍武, 等. *现代气候学概论*. 北京: 气象出版社, 2006, 214—216
- 17 曲维政, 赵进平, 黄菲, 等. 火山活动对北半球平流层气候异常变化的影响. *地球物理学进展*, 2006, 21(2): 65—73
- 18 Qu WZ, Huang F, Zhao JP, et al. Effect of volcanic activity on the temperature in the tropical upper atmosphere. *Chinese Journal of Geophysics*, 2006, 49(3): 408—415
- 19 Qu WZ, Huang F, Zhao JP, et al. The significance of solar magnetic field direction variation on anomalous variability of the atmosphere temperature on the earth. *Chinese Journal of Geophysics*, 2007, 50(5): 1123—1129
- 20 张东和. 利用 GPS 方法对 1998-11-22 太阳耀斑引起的电离层 TEC 变化的观测研究. *北京大学学报*, 2000, 36(3): 416—421
- 21 章振大. 日冕物质抛射的理想 MHD 模型研究. *天文学进展*, 1998, 16(3): 196—197
- 22 史忠先, 汪景琇. 22 太阳活动周的  $\delta$  黑子群与 X 级 X 射线耀斑. *空间科学学报*, 1994, 14(1): 22—31
- 23 刘煜. 太阳磁场观测研究. *天文学进展*, 2001, 19(1): 34—45
- 24 刘振兴. *太空物理学*. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学出版社, 2005, 326—401
- 25 张元东, 王家龙. 太阳风暴. 见: 秦大河主编, 北京: 气象出版社, 2003, 47—65
- 26 徐文耀. *地磁学*. 北京: 地震出版社, 2003, 410—413
- 27 Cao JB, Ma ZW, Lu L, et al. Influence of interplanetary magnetic field by on tile field aligned current in the magnetopause. *Chinese J Gephys* (in chinese), 2003, 46(2): 156—161
- 28 Dong SH. A cause of evolution of solar magnetic field—solar gyromagnetic effect. *Acta Astrophysica Sinica*, 1997, 17(1): 86—89 [in Chinese]
- 29 Wei FY. An integrative estimation model of summer rainfall-band pattern in china. *Progress In Natural Science*, 2007, 17(3): 280—288
- 30 Li XX. *Boundless outer space*. Editor in chief: Li XY, Hunan Normal University Press, 2001, 23—24 [in Chinese].
- 31 Davis TL, Terrell MJ, Benson RD, et al. Multicomponent seismic characterization and monitoring of the CO<sub>2</sub> flood at weyburn field, Saskatchewan. *Progress In Natural Science*, 2003, 13(6): 696—671
- 32 Wu BY, Wang J. Possible impacts of winter arctic oscillation on siberian high, The East Asian winter. *Progress In Natural Science*, 2002, 12(2): 297—341
- 33 郑向东, 李维亮, 周秀骥, 等. 臭氧垂直分布个例观测中次峰现象的诊断分析. *自然科学进展*, 2001, 11(11): 1181—1185
- 34 陆龙骅, 卞林根, 逯昌贵, 等. 75°N—70°S UV-B 辐射经向变化特征的观测研究. *自然科学进展*, 2001, 11(8): 835—839
- 35 魏凤英. 气候变暖背景下我国寒潮灾害的变化特征. *自然科学进展*, 2008, 18(3): 289—295
- 36 魏鼎文, 等. 中国北京和昆明地区大气臭氧层的异常变化. *科学通报*, 1994, 16: 019
- 37 徐国强, 等. 极区大气臭氧变化对中国气候影响的数值模拟. *高原气象*, 2001, 21(3): 7