

# 北半球副热带高压双脊线的统计特征

占瑞芬 李建平\* 何金海

(中国科学院大气物理研究所大气科学和地球流体力学数值模拟国家重点实验室, 北京 100029; 南京信息工程大学大气科学系, 南京 210044; 中国科学院研究生院, 北京 100039. \* 联系人, E-mail: ljp@lasg.iap.ac.cn)

**摘要** 利用 41 年 NCEP/NCAR 再分析资料对北半球副热带高压(简称副高)双脊线的普遍性和若干统计特征进行了系统探讨. 结果表明, 副高双脊线是北半球副热带高压的一种普遍现象, 其发生具有明显的季节锁相特征和地域性. 7 月中旬到 9 月中旬, 双脊线事件频繁出现在北印度洋中东部到北太平洋中部一带, 尤其是西太平洋副热带地区, 双脊线事件极其活跃. 基于这一点, 重点分析了西太平洋副热带高压(简称西太副高)双脊线的若干统计特征, 指出大部分副高双脊线的生命史都非常短暂, 但有些双脊线过程仍能持续较长时间; 夏秋季是双脊线事件最频繁的阶段, 而冬春季双脊线事件较少; 西太副高双脊线事件也有明显的年际变化, 并且呈现出一定的周期性, 而这种周期在 70 年代中期发生了明显的突变. 此外, 文中也探讨了西太副高双脊线事件与副高南北移动的关系.

**关键词** 副热带高压(副高) 双脊线 统计特征 南北移动

副热带高压(简称副高)是联结热带和温带天气和气候系统的纽带. 弄清副高的形态及活动规律, 是进一步认识大气环流及全球气候变化的关键. 从上世纪 20 年代至今, 气象学家对副高进行了广泛深入的研究, 取得了丰硕的成果<sup>[1]</sup>. 这些研究总体上可以分为两类<sup>[2]</sup>: 一类是研究副高自身结构, 活动规律及其对天气气候的作用<sup>[3-6]</sup>; 另一类是对影响副高活动因子的研究<sup>[7-11]</sup>. 然而我们发现, 这些研究大多集中在单脊线副高特征之上的. 事实上, 副高还存在双脊线现象. 文献<sup>[12]</sup>证实, 1998 年 7 月, 东亚-西太副热带地区 500 hPa 上清楚地呈现出南北两条高压脊线, 即出现副高双脊线现象. 此外, 在逐日流场图上我们也经常可以观测到这种现象.

东亚地区夏季风降水在中国称为梅雨, 在日本称为 Baiu<sup>[13,14]</sup>. 大量研究表明, 副高脊线的南北移动是决定梅雨(Baiu)位置和强度的重要因子<sup>[13,15,16]</sup>. 例如 1998 年夏季我国长江流域发生了历史上罕见的特大洪涝灾害, 而 7 月中下旬副高脊线突然停滞于南侧随即形成的“二度梅”是造成这次大洪水的重要原因之一<sup>[17]</sup>. 文献<sup>[12]</sup>进一步指出, 在这次副高脊线的不连续南撤中, 副高双脊线发挥了极其重要的作用, 不仅为 98 年长江流域“二度梅”提供了重要的前期征兆, 而且其维持又对中国东部雨型产生了一定的影响. 自然地, 我们会有如下一些问题: 副高双脊线现象是否具有普遍性? 其在空间分布和时间演变上表现出怎么样的特点和行为? 副高双脊线与副高南北进退

又有何种关系呢? 基于这些问题, 本文将主要利用 41 年(1958~1998)NCEP/NCAR 再分析数据<sup>[18]</sup>, 将副热带地区  $u=0$  且  $\partial u/\partial y > 0$  的特征线定义为副高脊线<sup>[19]</sup>, 对副高双脊线, 特别是西太副高双脊线的若干统计特征进行系统探讨, 以期为西太平洋副热带高压(以下简称西太副高)的研究提供新的线索.

## 1 北半球副高双脊线事件的分布特征

我们对 41 年 500 hPa 上逐日副高双脊线事件进行了统计, 某一天某个经度上副热带地区出现双脊线现象(称为副高双脊线事件)即在该天该点上计一次, 对所有年份的资料进行统计, 得出 41 年内副高双脊线事件频率随时间的分布(如图 1). 可以看出, 双脊线事件的发生具有极其鲜明的季节性和地域性. 3 月中旬, 北太平洋中部地区首先出现双脊线现象, 并随时间逐步向东西扩展; 4 月底到 5 月初, 北印度洋中西部(60~80 °E)开始出现双脊线现象, 随后也迅速向东西方向延伸, 5 月中旬到达 120 °E 附近; 7 月中旬到 9 月中旬是副高双脊线现象最为活跃的时期, 特别是在北印度洋中东部到北太平洋中部一带, 双脊线出现的频率可达 50% 以上; 此后到了 10 月底, 北半球副高双脊线现象在全球极大范围地区同时结束.

上述结果表明, 北太平洋中部和北印度洋中西部地区是副高双脊线事件两个主要的季节转换源, 后者可以迅速东扩, 从 90 °E 延伸至 120 °E 附近, 显然, 这是亚洲季风爆发的关键经度区<sup>[13,20]</sup>. 最近, 毛江玉等<sup>[21]</sup>也揭示出南海夏季风的爆发与亚洲副高的

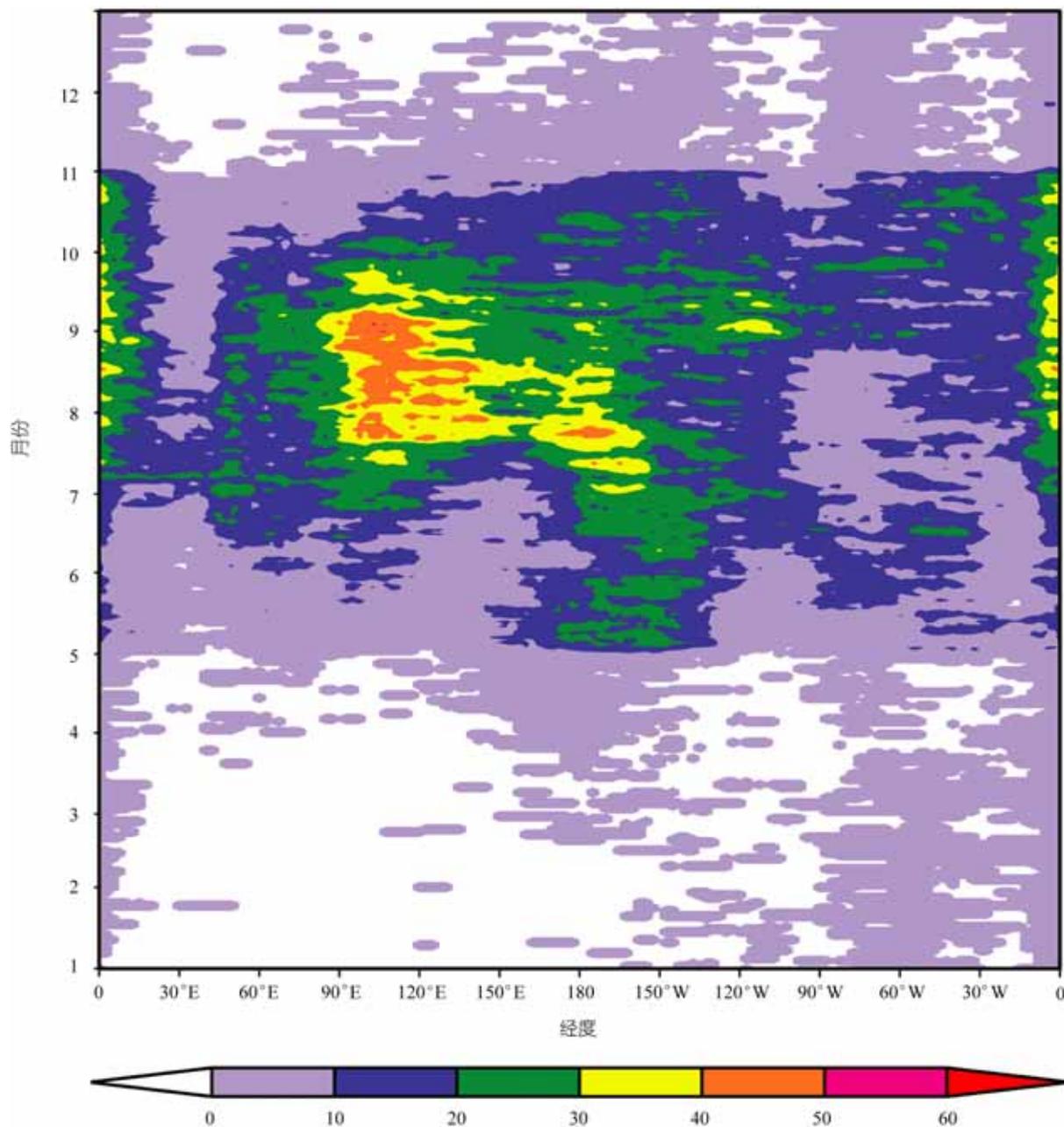


图 1 1958~1998 年北半球 500 hPa 副热带高压(副高)双脊线事件出现的频率分布 (单位: %)

结构存在密切的关系. 那么上述副高双脊线的季节转换特征与亚洲季风的爆发是否也有一定的联系? 这些还有待研究.

## 2 西太副高双脊线事件的若干特征

西太副高与中国天气和气候有着最为直接和密切的关系, 而且以上分析表明, 西太地区副高双脊线活动极其频繁. 因此, 下面我们将重点分析西太地区

副高双脊线现象的分布特征, 并简要探讨副高双脊线事件对副高南北进退的影响. 对于一次西太副高双脊线事件, 我们是这样定义的: 在  $110^{\circ}\sim 150^{\circ}\text{E}$  范围内, 某一天某一经度只要出现双脊线, 我们就认为双脊线事件发生; 而某一天任何经度均不出现双脊线, 则认为双脊线事件结束.

图 2 是 41 年西太地区副高双脊线事件的平均持

续时间分布. 很显然, 大部分副高双脊线事件生命期较短, 小部分双脊线过程生命期较长. 然而需要指出是, 某些双脊线事件能持续 16 天左右, 其中持续 3 天以上的双脊线事件大致占总事件的 32%.

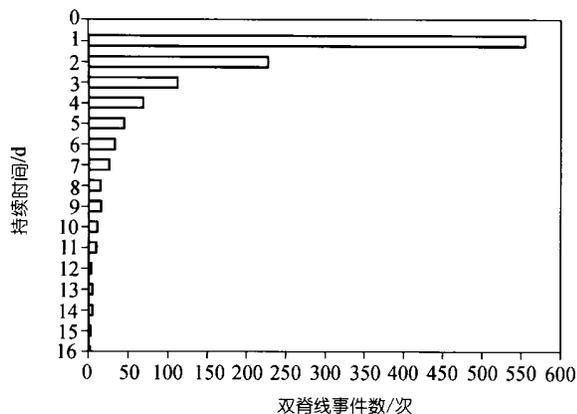


图2 1958~1998年西太平洋地区(110°~150°E)副高双脊线个例数的平均持续时间分布

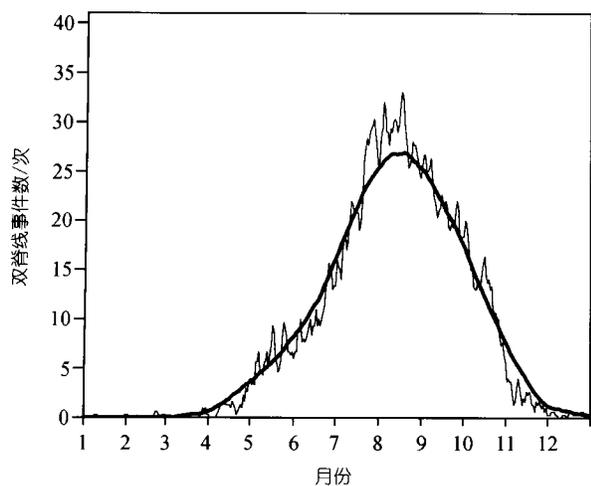


图3 1958~1998年西太平洋副热带高压(西太副高)双脊线个例数随季节的变化

图中细实线为原始资料结果, 粗实线为 61 天滑动平均值

图 3 给出了西太地区副高双脊线事件随季节变化的曲线. 不难看出, 西太副高双脊线事件的季节变化很明显, 表现在: 副高双脊线事件次数的极大值出现在 8 月份, 极小值出现在 1~2 月; 4 月初, 西太副高双脊线事件存在一次明显的陡增, 而 12 月又存在一个陡减. 总的来说, 夏秋季(7~9 月)是双脊线事件最频繁的阶段, 而冬春季双脊线事件较少, 尤其是 12~3 月, 双脊线事件接近于 0. 因此, 我们把 7~9 月发生的双脊线事件作为每年双脊线事件的代表, 进

而研究其年际变化特征.

图 4(a)是 7~9 月副高双脊线事件的时间序列. 可以发现, 双脊线事件表现出明显的年际变化特征: 有些年份, 双脊线事件频繁发生, 特别是 1970 年, 双脊线事件达 20 次之多, 但有些年份双脊线事件出现较少, 如 1985 年和 1997 年仅为 9 次. 为了进一步分析副高双脊线事件随时间的变化, 我们对 41 年双脊线事件数进行小波分析, 结果(如图 4(b))表明, 西太副高双脊线年际变化的周期主要集中在 4~9 年和 2~4 年, 前者主要发生在 70 年代中期以前, 并且通过了 5% 的显著性水平, 而后者主要出现在 70 年代中期以后, 但是仅有少数几年通过信度检验. 由此看来, 副高双脊线的周期在 70 年代中期发生了明显的突变.

引言中已指出, 副高脊线的经向移动对季风雨带的位置和强度有重要的影响, 而 1998 年副高双脊线个例分析表明, 副高双脊线现象对副高非季节性的南北进退(尤其是不连续进退)有重要的作用. 然而这种作用仅仅只是从个例上得到的, 不具备代表性. 那么从气候的角度上看, 副高双脊线事件与副高的经向移动有何统计关系呢? 图 5 给出了 41 年西太地区副高双脊线事件结束后副高脊线南北进退幅度的频率直方图. 可以看出, 虽然双脊线事件结束后, 副高既有偏南的情况(负值)也有偏北的情况(正值), 但是偏心结构是极其清晰的: 频率大值区主要偏向于南退一侧, 最大值位于南退 5° 的幅度上, 大约占 17%, 而同时南撤 10°, 7.5°, 2.5° 的频率也是较大的. 相比较而言, 北抬的频率较小, 并且随着幅度的增加频率值逐渐降低. 为了进一步说明这种作用, 我们以 |2.5°| 为阈值, 认为幅度大于 2.5° 是北抬, 小于 -2.5° 属于南撤, 而在 ±2.5 之间是停滞, 于是得到了副高双脊线事件结束后副高脊线南撤, 北抬, 停滞情况的百分比(图略). 其中南撤情况占 45%, 北抬情况占 27%, 停滞情况占 28%, 说明副高双脊线结束后, 大部分情况下副高脊线是偏南的.

### 3 结论和讨论

本文对副高双脊线的普遍性和若干气候统计特征进行了系统探讨, 结果表明: 副高双脊线是一种普遍现象, 其发生有一定的地域性, 并且还存在着明显的季节锁相特征. 对西太副高双脊线的着重分析表明, 西太副高双脊线事件能持续较长时间, 甚至可达 16 天之久; 夏秋季(7~9 月)是双脊线事件最频繁的阶

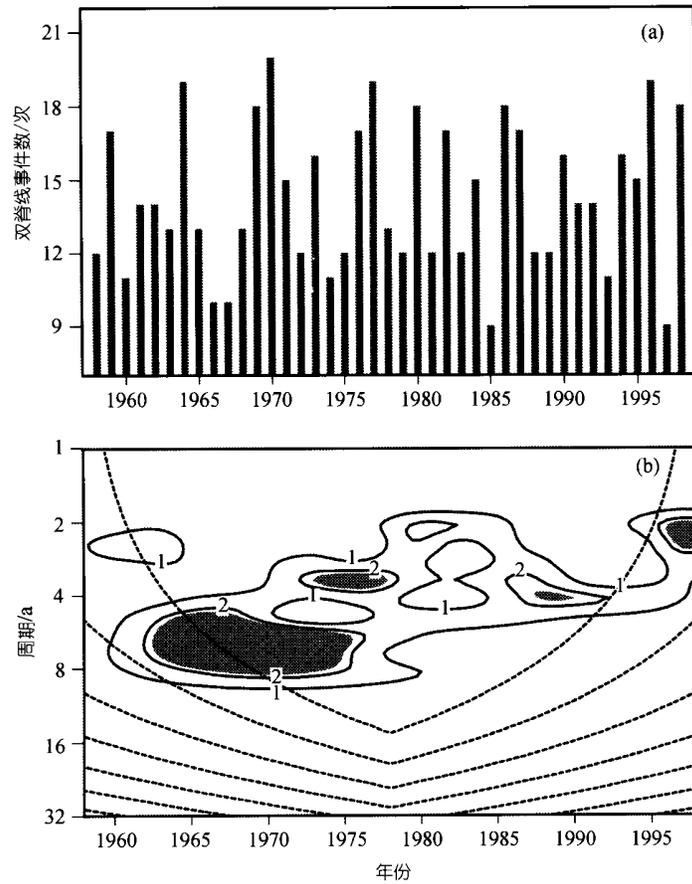


图 4

(a) 7~9 月西太副高双脊线个例数的年际变化; (b) 序列(a)的小波局地标准化功率谱, 阴影区表示通过 5% 的显著性水平, 虚线为边界影响区域

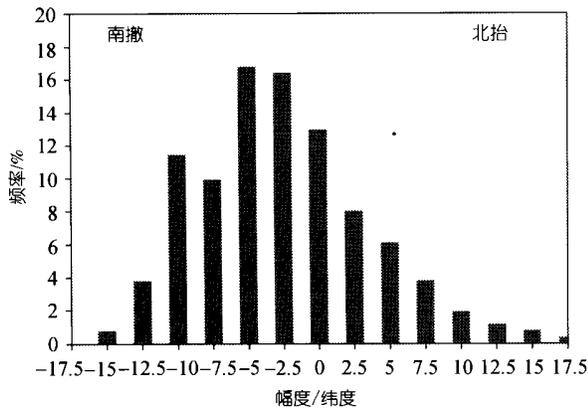


图 5 西太副高双脊线事件结束后副高脊线南北进退幅度的频率直方图

横坐标负值表示南撤幅度, 正值表示北抬幅度(单位: %)

段, 而冬春季双脊线事件较少. 此外, 西太副高双脊线事件也有明显的年际变化特征, 并且呈现出一定

的周期性, 而这种周期在 70 年代中期发生了明显的突变. 此前有工作表明<sup>[22,23]</sup>, 在 20 世纪后半期 ENSO 的周期是缩短的, Gershonov 和 Barnett<sup>[24]</sup>则进一步指出, ENSO 周期呈现这种变化与北太平洋年代际振荡 (PDO) 的位相变化有关. 显然, 图 4(b) 中所展示的特征在很大程度上与 Mokhov 等人的结论是一致的, 并且进一步分析也可以看出 ENSO 周期的缩短超前于副高双脊线周期的变化(图略). 那么副高双脊线周期的突变是否与 ENSO 信号的年代际变化有关? PDO 位相的变化是否会对副高双脊线事件的周期产生影响? 这些目前我们还无法解答, 但是却可以成为今后我们研究副高双脊线年际和年代际变化机制的重要线索.

本文也分析了副高双脊线与副高南北进退之间的关系, 发现大部分情况下, 西太副高双脊线使得副高南撤. 然而呈现这种关系的原因是什么, 动力机制

是怎样的, 以及期间的具体过程如何, 都有待于进一步研究. 特别地, 副高双脊线事件的季节转换特征与亚洲季风的爆发是否有一定的联系也是一个有趣的议题.

致谢 感谢温敏博士及两位审稿专家为本文提出了宝贵的意见. 本工作为国家自然科学基金(批准号: 40475021, 40135020, 40221503)资助项目.

### 参 考 文 献

- 1 吴国雄, 丑纪范, 刘屹岷, 等. 副热带高压形成和变异的动力学问题. 北京: 科学出版社, 2002
- 2 刘屹岷, 吴国雄. 副热带高压研究回顾及对几个基本问题的再认识. 气象学报, 2000, 58(4): 500~512
- 3 陶诗言, 徐淑英. 夏季江淮流域持久性旱涝现象的环流特征. 气象学报, 1962, 32(1): 1~8
- 4 黄土松, 余志豪. 副热带高压结构及其同大气环流有关若干问题的研究. 气象学报, 1962, 31(4): 339~359
- 5 Kurihara K, Tsuyuki T. Development of the barotropic high around Japan and its association with Rossby wave-like propagations over the North Pacific: Analysis of August 1984. J Meteor Soc Japan, 1987, 65: 237~246
- 6 Lu R Y, Dong B W. Westward extension of North Pacific subtropical high in summer. J Meteor Soc Japan, 2001, 79: 1229~1241
- 7 Sadler J C. Forecasting minimum cloudiness over the Red River Delta during the summer monsoon. In: Atkinson G D, ed. Forecaster's Guide to Tropical Meteorology. Scott: USAF Air Weather Service, 1971. 1~364
- 8 Hoskins B J. On the existence and strength of the summer subtropical anticyclones. Bull Am Meteor Soc, 1996, 77: 1287~1292
- 9 Liu Y M, Wu G X, Liu H, et al. Dynamical effects of condensation heating on the subtropical anticyclones in the Eastern Hemisphere. Climate Dyn, 2001, 17: 327~338
- 10 Rodwell M R, Hoskins B J. Subtropical anticyclones and monsoons. J Climate, 2001, 14: 3192~3211
- 11 Wu G X, Liu Y M. Summertime quadruplet heating pattern in the subtropics and the associated atmospheric circulation. Geophys Res Lett, 2003, 30: 1201, doi:10.1029/2002GL016209
- 12 占瑞芬, 李建平, 何金海. 西太平洋副热带高压双脊线及其对1998年夏季长江流域“二度梅”的影响. 气象学报, 2004, 62(3): 294~307
- 13 Tao S Y, Chen L X. A review of recent research on the East Asia summer monsoon over China. In: Chang C P, Krishnamurti T N, eds. Monsoon Meteorology. New York: Oxford Univ Press, 1987. 50~92
- 14 Ninomiya K. Large and mesoscale features of Baiu front associated with intense rainfalls. In: Chang C P, ed. East Asian Monsoon. Singapore: World Scientific Publishing, 2004. 404~435
- 15 Ninomiya K. Characteristics of Baiu front as a predominant subtropical front in the summer Northern Hemisphere. J Meteor Soc Japan, 1984, 62: 880~894
- 16 Wang B, Li T. East Asian monsoon-ENSO interactions. In: Chang C P, ed. East Asian Monsoon. Singapore: World Scientific Publishing, 2004. 177~212
- 17 陶诗言, 倪允琪, 赵思雄, 等. 1998年夏季中国暴雨的形成机理与预报研究. 北京: 气象出版社, 2001. 19~31
- 18 Kalnay E, Coauthors. The NCEP/NCAR 40-Year Reanalysis Project. Bull Amer Meteor Soc, 1996, 77: 437~471
- 19 李建平, 丑纪范. 副热带高压带断裂的动力学分析——地转作用. 科学通报, 1998, 43(4): 434~437
- 20 Ding Y H. Seasonal march of the East-Asian summer monsoon. In: Chang C P, ed. East Asian Monsoon. Singapore: World Scientific Publishing, 2004. 1~53
- 21 Mao J Y, Johnny Chan C L, Wu G X. Relationship between the onset of the South China Sea summer monsoon and the structure of the Asian subtropical anticyclone. J Meteor Soc Japan, 2004, 82: 845~859
- 22 Mokhov I I, Khvorostyanov D V, Eliseev A V. Decadal and Longer-term Changes in ENSO Characteristics. Int J Climatol, 2004, 24: 401~414
- 23 Gu D, Philander S G H. Secular changes of annual and interannual variability in the Tropics during the past century. J Climate, 1995, 8: 864~876
- 24 Gershunov A, Barnett T P. Interdecadal modulation of ENSO teleconnections. Bull Amer Meteor Soc, 1998, 79: 2715~2725

(2005-03-20 收稿, 2005-06-10 收修改稿)