南半球对流层上层纬向风与东亚夏季风环流

王会军① 范 可②

(① 中国科学院大气物理研究所, 北京 100029; ② 云南大学大气科学系, 昆明 650091. E-mail: wanghj@mail.iap.ac.cn)

摘要 研究了南半球对流层上层纬向风和东亚夏季风在年际变化尺度上的关系, 用 150 百帕 60°S 和 30°S 之间的纬向平均的纬向风差值(ISH)可以很好地代表南半球纬向风的年际变化. 结果发现: ISH 和东亚夏季风环流在年际变化尺度上有非常显著的负相关关系. 研究揭示: 从南半球到热带区域的纬向风的径向遥相关型(主体在东半球)可能是这种关系的主要内在原因. 通过这种遥相关型使得风场和气压场发生改变从而影响东亚夏季风环流; 另外, 与 ISH 相关连的欧亚大陆区的异常遥相关波列也是一个重要的机制. 而且 ISH 和东亚夏季风环流的关系有同时性, 也有非同时性. 因此这种关系的存在一定意义上也具有预测价值.

关键词 南半球 对流层上层 纬向平均风 东亚夏季风

过去的一系列工作从ENSO、冰雪覆盖、高原的热力异常以及土壤的温度湿度异常等方面研究了对东亚夏季风(EASM)年际变化的影响. 特别是, 人们发现: EASM和ENSO的关系非常复杂, 尽管两者确实有一定的联系[1~6].

Wang 等[2]指出, 在对流层低层存在着中部太平洋和东亚之间的遥相关型, 而西北太平洋区域的反气旋(气旋)正是弱(强)的东亚夏季风和暖(冷)ENSO事件之间联系的一个桥梁. Yang和Liu[7]的研究揭示, 陆地表面土壤湿度异常也可能是东亚夏季风和海温(SST)之间关系的一个纽带. 所以, SST对东亚夏季风具有直接的和间接的两种可能影响途径.

研究影响EASM的其他因子一直是近年来一个非常受关注的课题, 也是非常重要的前沿问题. 薛峰等[8,9]研究了南半球副热带高压(马斯克林高压和澳大利亚高压)在春季的变化对长江流域夏季降水的影响, 发现了显著的正相关关系, 并且揭示: 这种影响是通过改变西太平洋副热带高压等来实现的. Wang和Xue[10]研究了索马里急流的年际变化对东亚季风的影响. Fan和Wang[11]还研究了南极涛动(AAO)对东亚冬春季气候和我国北方沙尘天气发生频次的影响.

但是, 南极涛动主要反映的是南半球中高纬大气低层的变化, 尽管它具有准正压结构, 但在对流层上层的大气变化还是有许多不同的特征. 例如, 本文揭示的对流层上层中纬和高纬之间纬向平均风之间的涛动关系等等. 另外一方面, 对流层上层的大气环流变化与东亚夏季风环流是否有关系? 这种关系的机制是什么? 到目前为止, 这些问题还不是十分清楚.

本文正是从南半球对流层上层纬向风的变化来研究它和东亚夏季风环流的关系. 关于南半球纬向模(SAM)或南极涛动(AAO)的研究已经有很多[12~17], 是从海平面气压场或者低层的等压面高度场来定义的. 而Marshall[15]的研究指出: SAM可能受自然变化和人类的共同影响.

本文所使用的资料是: 美国国家大气研究中心(NCAR)和国家环境预报中心(NCEP)的大气再分析资料.

1 结果

首先, 在图 1 上我们给出了夏季(六、七、八月平均, 简称 JJA)60°S 和 30°S 平均纬向风的时间演变, 图中显示出两者的反相关很明显. 计算表明: 其扣除线性趋势后的年际变化相关系数为–0.52, 超过了99%的显著性水平. 作者对 JJA 平均纬向风场作了经验正交函数分解(EOF), 区域为(40°N~90°S, 110°W~180°E), 图 2 给出了前两个主分量的空间分布, 其解释的方差分别占总方差的 29%和 17%. 第一模态 EOF1 清楚地显示出纬向风场变率的纬向均匀特征, 其主体在东半球. 而且 30°S 和 60°S 附近纬向风场的反向变化关系非常清楚. 这也是我们定义 ISH 的的原因所在, ISH 反映的实际上是对流层上层纬向风场的基本变化特征. 第二模态 EOF2 也有类似于 EOF1 的某些特征, 但主体在太平洋区域, 而且其径向结构从南半球一直到北半球.

关于南半球的纬向风场的年际变化和季节内变化以及长期变化已经有一些工作触及[18~20], 他们的

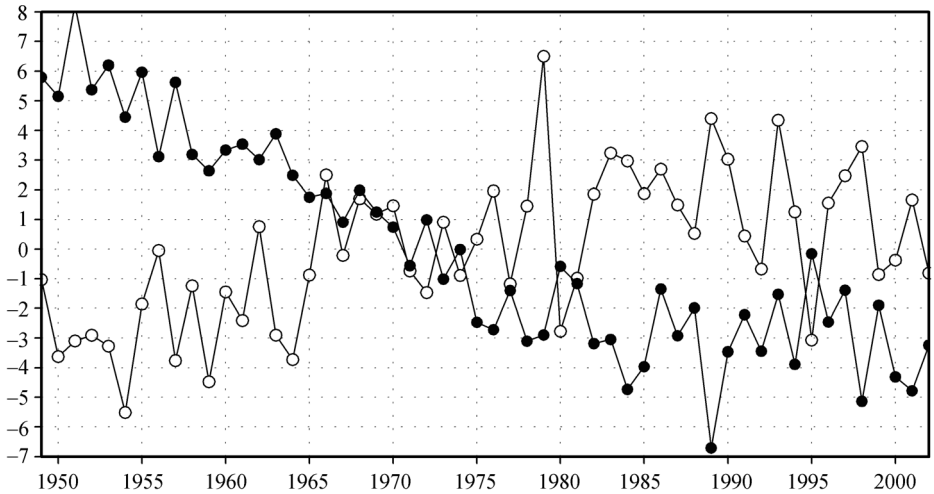

图 1 夏季 JJA 平均的 150 百帕上 60°S (圆圈点线) 和 30°S (实心点线)纬向风距平的时间序列(1949~2002 年)

研究还揭示了南半球纬向风变化的正压特征. 然而, 南半球纬向风和东亚夏季风环流的关系问题还没有得到认识, 这也正是本文的研究主题.

图 3 我们给出了夏季ISH指数和东亚夏季风指数(EASMI)的时间演变(1949~2002 年), 其中EASMI按照文献[4]的定义(即, 850 百帕 20°N~40°N, 110°E~125°E范围内平均风速度的距平)来计算, 图中显示出两者的反相关很明显. 表 1 给出了ISH和EASMI的同期和非同期相关系数的计算结果, 夏季两者同期变化的相关系数最大, 扣除线性趋势前后的数值分别为−0.78 和−0.40, 都超过 99%的显著性水平. 同时, 我们注意到, 非同期的相关也十分显著, 夏季ISH-春季EASMI和春季ISH-夏季EASMI相关也都可以达到90%以上的显著性水平. 所以, 相关系数的计算结果显示两者可能是相互影响的关系, 并且同期的相关最大. 同时, 我们还计算了ISH和我国江淮流域中下游夏季降水的相关系数, 同样发现了一定的正相关关系(图略).

为了进一步说明南半球纬向风和东亚夏季风环流的关系以及这种关系背后的大气环流背景, 我们分析了和 ISH 相联系的全球纬向风场的沿经圈的剖面分布. 图 4 清楚地显示出了在东半球和全球对流层都存在着清楚的从南半球到北半球的径向遥相关型. 说明, 与 ISH 相连的纬向风变化具有全球尺度, 两个半球之间具有密切的关系. 特别是在东半球的相关型上, 对流层中上层热带区域是显著正相关区域, 而对流层低层 20°N~40°N 的纬向风变化与 ISH 相反, 正好显示出 ISH 和东亚夏季风环流的负相关.

下面我们来分析 ISH 引起的东亚夏季风环流在高层和低层的变化. 我们来分析 1971~2000 年这 30 年中 ISH 正位相(即, 距平值为正)和负位相(即, 距平值为负)的年份组合的差异. 图 5 给出了 100 百帕全球风场的差异分布. 我们再次清楚地看到了与 ISH 关连的纬向风的径向遥相关结构, ISH 正位相对应着热带区域是显著的纬向风正异常, 图中大箭头(表示的是该区域特征风的方向, 下同)清楚地显示出这个正异常在对流层上层可以延续到南亚季风区和东亚季风区, 从而在对流层上层形成减弱季风环流的形势, 尤其是在东亚季风区. 在 ISH 负位相时正好相反.

然而, 需要指出的是, 在对流层低层 ISH 影响季风环流的机制和对流层高层可能是不同的. 在对流层高层, 主要的结构是纬向风场的径向遥相关型, 造成了热带和季风区纬向风场的异常变化(在图 5 上是异常西风)从而在对流层上层影响季风环流. 另外, ISH 的变化还与北半球欧亚大陆区的纬向异常遥相关波列有关(见图 5 上欧亚区的异常气旋“C”和反气旋“A”分布)这个异常遥相关波列的存在使得东亚季风区的径向风发生改变, 在 ISH 正位相的年份, 径向风加强, 同样会造成对流层上层季风环流的减弱.

但是在对流层低层则不同. 首先, 其纬向均匀的特征在南半球中高纬以外的区域不复存在(图 6). 另外, 纬向风变化的关键区是在热带太平洋区域, 在 ISH 正位相年份纬向风异常为正, 即异常西风, 这就有利于减弱东亚夏季风环流. 菲律宾以东区域低层异常辐合, 这样就有利于该区域对流活动的加强, 从而通过东亚遥相关波列(太平洋-日本波列)进一步减弱东亚夏

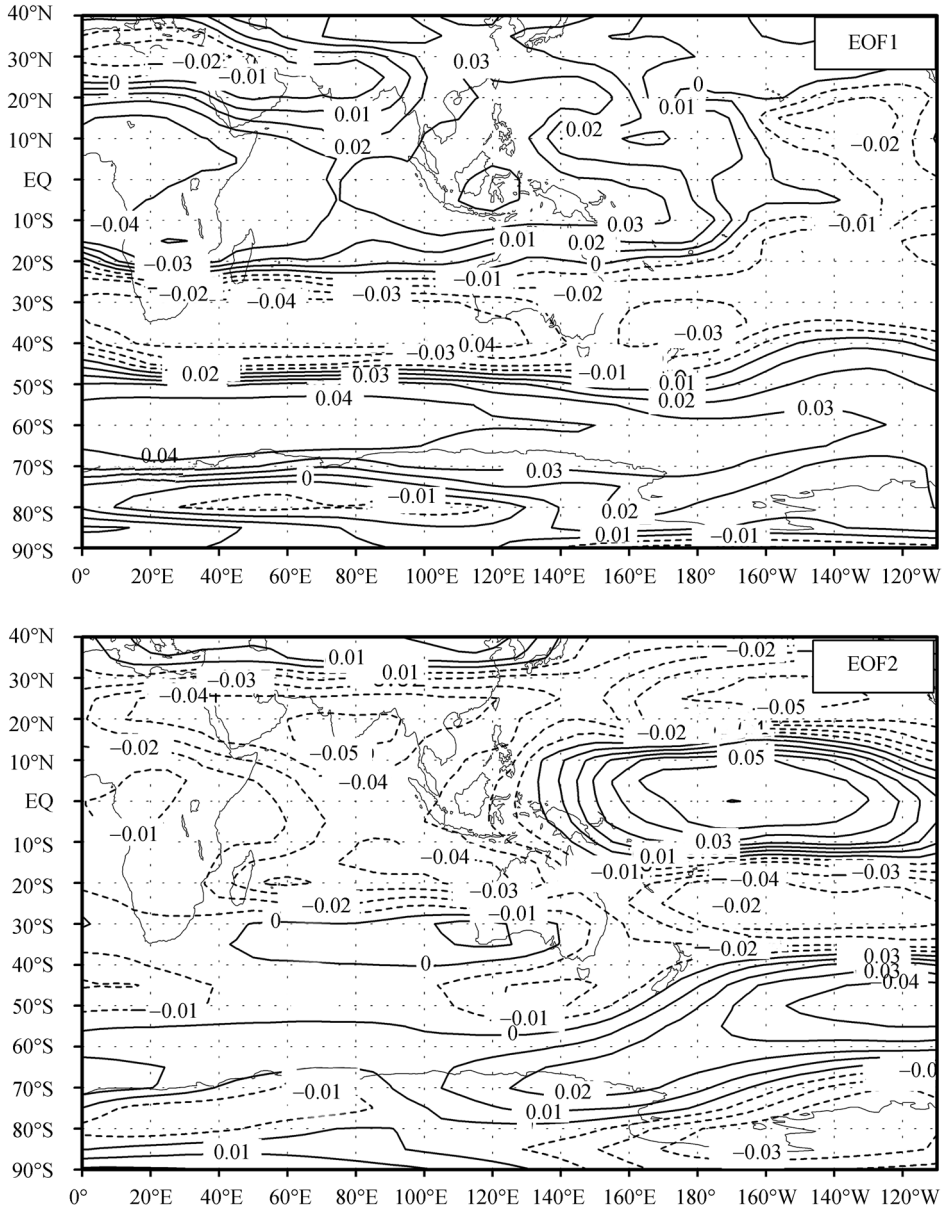

图 2　夏季 150 百帕纬向风的经验正交函数分解的前 2 个特征向量，他们解释的方差分别为 29%和 17%. EOF 分解的范围是 40°N~90°S, 110°W~180°E

表 1　ISH 和 EASMI 的同期和非同期相关系数分析

	相关系数 (未扣除线性趋势)	相关系数(扣除了线性趋势)
ISH-JJA 和 EASMI-JJA	−0.78 (置信度 99%)	−0.40 (置信度 99%)
ISH-MAM 和 EASMI-JJA	−0.71 (置信度 99%)	−0.24 (置信度 90%)
ISH-JJA 和 EASMI-MAM	−0.69 (置信度 99%)	−0.23 (置信度 90%)

季风. 而且，在欧亚区，存在于对流层上层的异常波列也不复存在，但在欧洲地区仍然维持一个异常气旋，在亚洲区源于极区的冷空气异常加强影响东亚季风区，从而减弱季风环流.

还需要指出的是，ISH 变化引起东亚季风环流特别是高层环流的改变的同时，也引起夏季降水的变化. 计算的夏季ISH和夏季降水的相关系数分布(图略) 说明在江淮下游区域为正相关区，但显著性没有达

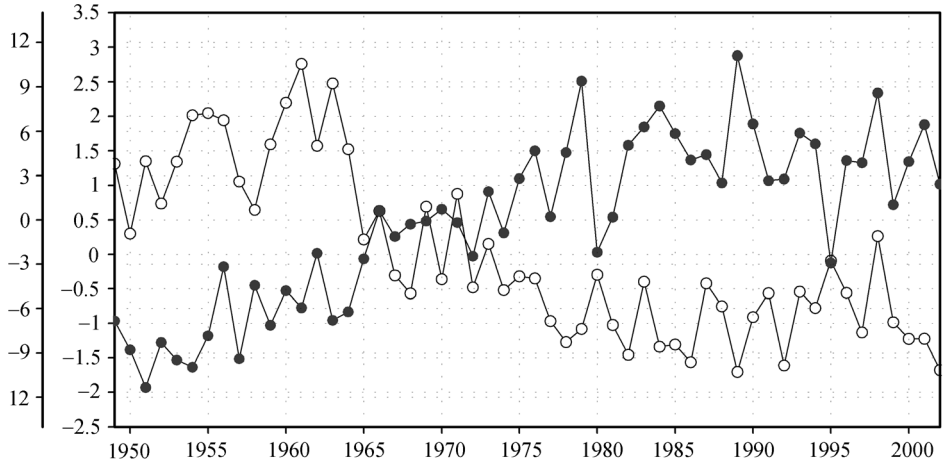

图 3 夏季 JJA 平均的 ISH(圆圈点线)和 EAMSI(实心点线)的时间序列

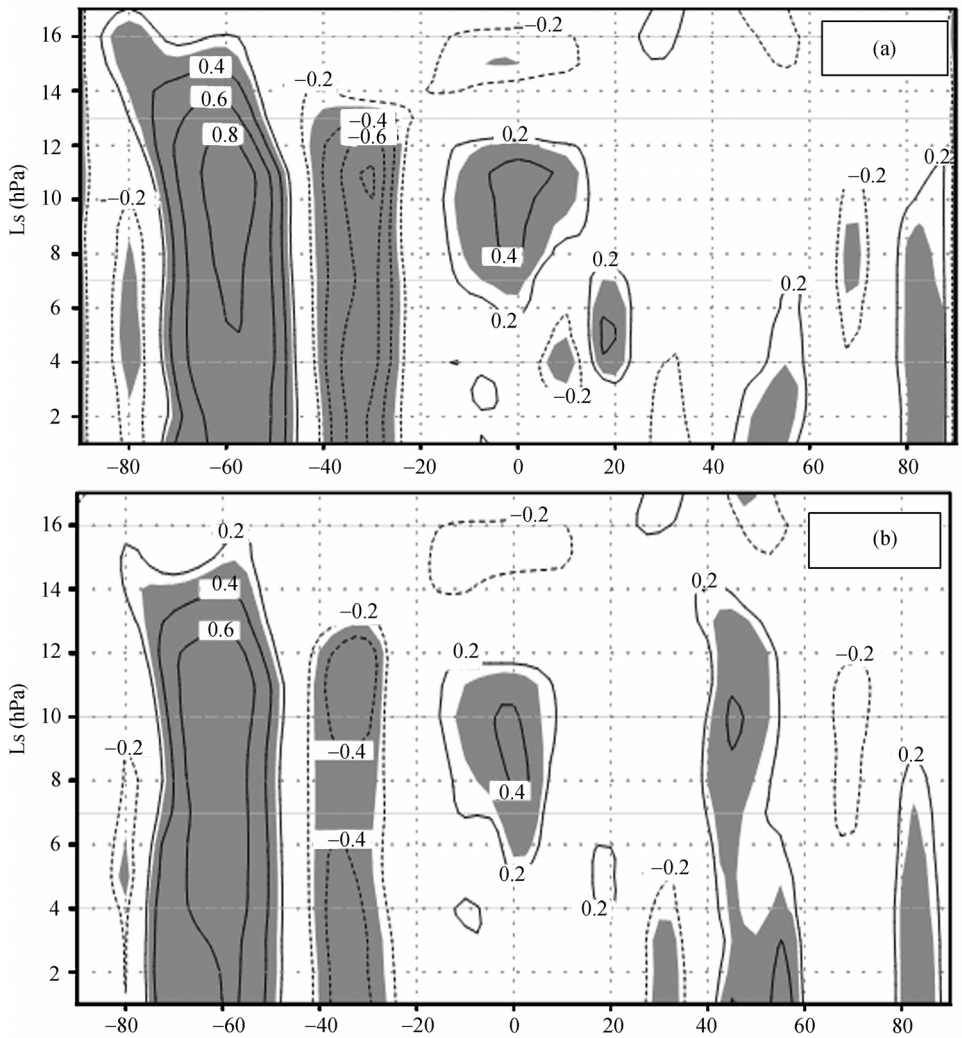

图 4 夏季 ISH 和平均纬向风的相关系数的纬度-高度分布图

时间是 1949~2002 年. (a)图是整个纬带平均的纬向风的结果; (b)图是东半球区纬带平均的纬向风的结果. 垂直坐标显示的层次代表大气再分析资料的标准等压面, 即自下而上: 1000, 925, 850, 700, 600, 500, 400, 300, 200, 250, 200, 150, 100, 70, 50, 30, 20, 10 hPa. 阴影区是相关信度超过 95%的区域

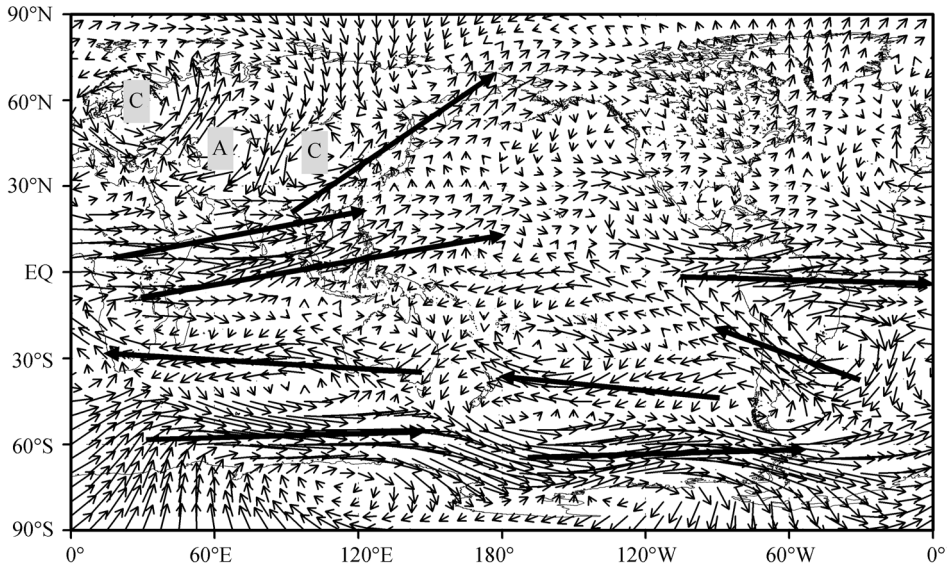

图 5　夏季 ISH 强弱年份 100 百帕风场的平均差异(1971~2000 年) 单位为 m/s

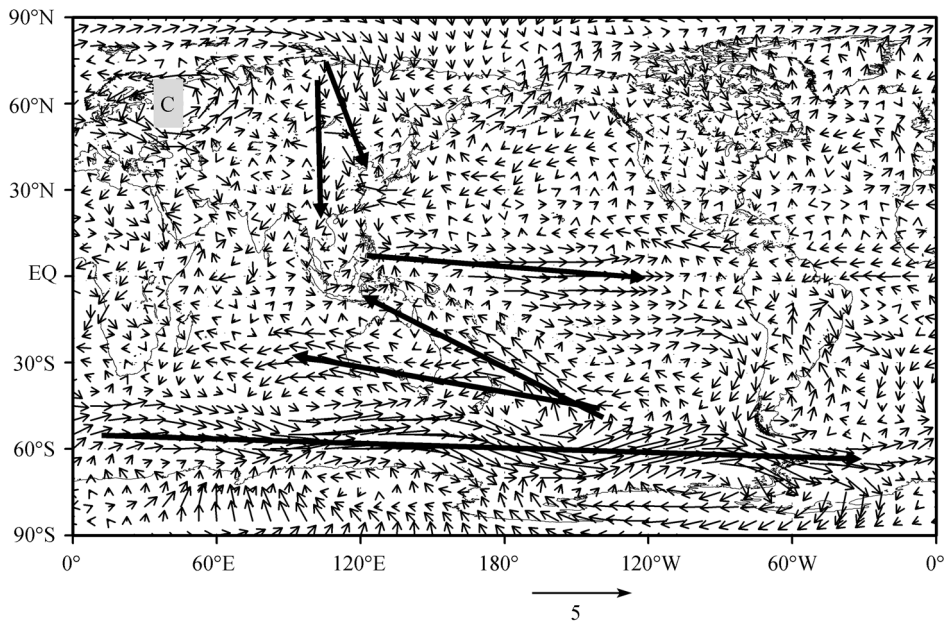

图 6　显示的对流层低层 850 百帕的变化同样说明了东亚夏季风环流在 ISH 正位相的年份减弱的事实，在东亚季风区，异常的风场由北向南，形成减弱夏季风低层环流的形势

同图 4，但为 850 百帕风场的平均差异

到 95%的信度水平. 这说明，虽然 ISH 和东亚夏季风环流关系显著，但是，东亚夏季降水的变化影响因素众多，季风环流只是一个因素. 这也是为什么东亚夏季降水预测非常困难的原因所在. 另外，南极涛动尽管具有准正压结构，但它定义上就是反映大气质量在中-高纬之间的翘翘板式变化. 因而，南极涛动和本文定义的 ISH 有联系，但并不相同，ISH 反映的对流层高层的南半球中-高纬之间纬向风的翘翘板式变化特征(纬向风切变特征). 因此，在与东亚夏季降水的关连上也不同，南极涛动与东亚夏季降水的关连更为紧密；而ISH和东亚夏季风环流的关连特别是对流层上层季风环流的关连更加紧密.

2 结语与讨论

本文揭示了南半球对流层上层纬向风变率与东亚夏季风环流的反相关关系，用 150 百帕 60°S 和 30°S 纬向平均风之差 ISH 来表征南半球对流层上层纬向风变率是恰当的. ISH 同全球纬向风具有密切的关系，特别是南半球.

夏季ISH和东亚季风环流关系密切. 在年际变化尺度上当 ISH 为正位相(负位相)时，东亚季风区对流层上层和低层的季风环流均为减弱(加强)；同时，在 70 年代末两者均发生了年代际转变，但转变的趋势相反，说明两者在年代际变化上也有着较好的对应关系.

ISH和东亚季风系统对流层上层环流关联的可能的物理机制是跨越两半球之间的遥相关型，当ISH加强(减弱)时，在 150 百帕，30°S附近纬带的西风减弱(加强)，从而引起赤道及其两侧的西风加强(减弱)；同时，欧亚大陆的异常遥相关波列也使得东亚季风区的径向风减弱(加强). 因而，亚洲季风上层环流减弱(加强). 这种径向遥相关型在图 4 上反映得极其明显. 这种径向遥相关型在Fan和Wang[11]的文章中已经有过初步的讨论，最近他们通过数值模拟试验进一步证实了对流层上层径向遥相关型的存在[1)]

在对流层低层，比如在 850 百帕，相应的南半球风场变化类似，当 ISH 加强(减弱)时，在西太平洋热带区域西风加强(减弱)，菲律宾以东区域低层异常辐合(辐散)，而有利于低层东亚夏季风环流减弱(加强). 同时，菲律宾以东区域低层异常辐合(辐散)有利于该区域对流活动的加强(减弱)，从而通过东亚遥相关波列(太平洋-日本波列)进一步减弱(加强)东亚夏季风. 另外，北半球极区的冷空气的加强(减弱)，也减弱(加强)了东亚季风区的径向风，从而也减弱(加强)了东亚季风环流.

致谢 本研究受中国科学院知识创新工程主要方向性项目(批准号: KZCX3-SW-221)、国家自然科学基金项目(批准号: 40620130113)和中国科学院优秀团队计划资助.

参 考 文 献

1 Ju J, Slingo J M. The Asian summer monsoon and ENSO. Q J R Meteorol Soc, 1995, 121(525): 1133—1168 [DOI]
2 Wang B, Wu R, Fu X H. Pacific–East Asian teleconnection: How does ENSO affect East Asian climate? J Clim, 2000, 13(9): 1517—1536[DOI]
3 Wang H J. The Weakening of the Asian Monsoon Circulation after the End of 1970's. Adv Atmos Sci, 2001, 18(3): 376—386
4 Wang H J. Instibility of the East Asian Summer monsoon-ENSO Relations. Adv Atmos Sci, 2002, 19(1): 1—11
5 Huang R H, Lu L. Numerical simulation of the relationship between the anomaly of the subtropical high in East Asia and the convective activities in the tropical western Pacific. Adv Atmos Sci, 1989, 6(2): 202—214
6 Shen X S, Kimoto M, Sumi A, et al. Matsumoto J, Simulation of the 1998 East Asian summermonsoon by the CCSR/NIES AGCM. J Meteorol Soc Jpn, 2001, 79(3): 741—757[DOI]
7 Yang S, Liu, K M. Influences of Sea Surface Temperature and Ground Wetness on Asian Summer Monsoon. J Clim, 1998, 11(12): 3230—3246[DOI]
8 Xue F, Jiang D B, Lang X M, et al. Influence of Mascarene high and Australian high on the summer monsoon in East Asia: Ensemble simulation. Adv Atmos Sci, 2003, 20(5): 799—809
9 薛峰, 王会军, 何金海. 马斯克林高压和澳大利亚高压的年际变化及其对东亚夏季风降水的影响. 科学通报, 2003, 48(3): 287—291
10 Wang H J, Xue F. The interannual variability of Somali jet and its influences on the inter-hemispheric water vapor transport and the East Asian summer rainfall. Chin J Geophys, 2003, 46(1): 11—20
11 Fan K, Wang H J. Antarctic oscillation and the dust weather frequency in North China. Geophys Res Lett, 2004, 31, L10201, doi:10.1029/2004GL019465
12 Gong, D Y, Wang S W. Definition of Antarctic Oscillation index. Geophys Res Lett, 1999, 26: 459—462[DOI]
13 Thompson D W J, Wallace J W, Hegerl G C. Annular modes in the extropical circulation. Part Ⅱ. Trends, J Clim, 2000, 13(5): 1018—1036[DOI]
14 Thompson D W J, Solomom S. Interpreation of recent Southern Hemisphere climate change. Science, 2002, 296(5569): 895—899[DOI]
15 Marshall G J. Trends in the southern annular mode from observations and reanalysis. J Clim, 2003, 16(24): 4134—4143[DOI]
16 Marshall G J, Stott P A, Turner J, et al. Causes of exceptional atmospheric circulation changes in the Southern Hemisphere. Geophys Res Lett, 2004, 31, L14205, doi:10.1029/2004GL019952
17 Wang, H J, Fan K. Central-north China precipitation as reconstructed from the Qing dynasty: Signal of the Antarctic Atmospheric Oscillation. Geophys Res Lett, 2005, 32, L24705, doi:10.1029/2005GL024562
18 Kiladis G N, Mo K. Interannual and intraseasonal variability in the Southern Hemisphere. In: D J Karoly, Vincent D G, eds. Meteorology of the Southern Hemisphere, Am Meteor Soc, 1998. 307—336
19 Nigam S. On the structure of variability of the observed tropospheric and stratospheric zonal-Mean zonal wind. J Atmos Sci, 1990, 47(14): 1799—1813[DOI]
20 Watterson I G. Southern Mid-latitude zonal wind vacillation and its interaction with the ocean in GCM simulations. J Clim, 2000, 13(3): 562—578[DOI]

(2006-03-15 收稿, 2006-04-27 接受)

1) 范可, 王会军. 南极涛动异常及其对北半球环流影响的数值实验, 地球物理学报, 2006, 待刊