

北半球冬季准定常行星波传播的年代际变化*

陈文

中国科学院大气物理研究所季风系统研究中心, 北京 100080

摘要 通过利用 NCEP-NCAR 再分析资料对 1958—2004 年共 46 个冬季北半球大气准定常行星波传播的年代际变化进行分析, 发现气候态意义下的准定常行星波沿高纬度由对流层向平流层的传播和在对流层内向低纬度的传播之间存在显著的反相振荡关系. 进一步的研究还表明, 准定常行星波传播的年代际变化与北极涛动有密切的联系; 北极涛动的正位相对应于在对流层有异常强的从中高纬度向低纬度对流层顶附近的波动传播, 同时通过极地波导向平流层的传播明显减弱. 其结果不仅说明大气内部的准定常行星波与纬向平均流相互作用可以产生年代际尺度的变化; 而且提供了平流层变化影响对流层大气环流长期变化的一种动力学机制.

关键词 准定常行星波 波传播 年代际变化 北极涛动

从 20 世纪 90 年代起, 随着气候变化及可预测性研究计划(CLIVAR)的建立, 年代际气候变化的研究成为国际上气候研究的前沿课题^[1]. 事实上在此之前, 人们就注意到有比较长周期的气候变化, 早期关于年代际变化的研究主要集中在一些对人类重要的地面变量, 比如温度和降水上^[2]. 后来发现 20 世纪 70 年代北太平洋发生气候突变后, 大量的研究集中到海气相互作用引起的年代际气候变率上^[3,4]. 进而揭示出太平洋年代际振荡(PDO)现象及其与中国气候年代际变化的关系^[5,6]. 相对而言, 通过直接分析大气环流的异常来解释气候的长期变化的研究非常少^[7].

大气中的准定常行星波是一种波长与地球半径相当或大于地球半径的大尺度波动. 由于其空间尺度大, 演变周期长, 因而它的形成和演变对大气环流具有十分重要的影响. 准定常行星波的演变、传播和异常一直是大尺度大气动力学, 同时也是气候动力学中一个非常重要的科学问题. 20 世纪 80 年代初, 黄荣辉通过理论和数值模拟研究指出准定常行星波在北半球冬季通过两支波导分别传播到平流层及低纬度对流层上层, 即极地波导和低纬度波

导^[8]. 准定常行星波的传播实际上是波能的频散, 在 Eliassen 等^[9]引入波作用通量(EP 通量)的概念后, 黄荣辉^[8]证明了 EP 通量平行于子午面内行星波的群速度, 因而它可以用来很好地描述准定常行星波的传播. 最近陈文等^[10,11]将 Wallace 等^[12]所发现大气环流遥相关型的方法应用到经圈上的 EP 通量散度场上, 从而提出了行星波传播异常在经圈平面上引起的遥相关, 并定义了准定常行星波活动指数, 该指数可以很好的描述准定常行星波传播的变化. 研究表明, 北半球冬季准定常行星波传播的两支波导在其年际变化上存在着反相振荡关系, 当其中一支有异常增强时, 另外一支会有异常的减弱^[13]. 然而, 在年代际变化的时间尺度上北半球冬季两支波导有什么样的关系还不清楚.

1 资料及方法

本文利用 NCEP-NCAR 全球再分析资料^[14], 取 1958—2004 年共 47 年 12 月、1 月和 2 月的平均值作为冬季的季节平均, 这样共有 46 个冬季平均的资料. 对位势高度场作纬向谐波分析可以得到相应

2005-08-01 收稿, 2005-10-14 收修改稿

* 国家重点基础研究发展规划(批准号: 2004CB418303)和国家自然科学基金项目(批准号: 40375021, 40231005)资助项目

E-mail: chenw@lasg.iap.ac.cn

纬向平均场和任意波数的扰动振幅以及位相分布, 本文取纬向波数 1—3 来表征准定常行星波的活动. 而准定常行星波在经圈平面上的传播用球面对数压力坐标下准地转变换的 EP 通量矢量来描述.

2 结果

图 1 是利用 NCEP-NCAR 再分析资料计算得到的 46 个冬季平均的北半球准定常行星波 EP 通量的分布. 从图 1 可以清楚地看到, 行星波从中纬度附近的对流层低层向上传播, 并逐渐分成两支, 其中一支折向赤道传播到低纬度对流层顶附近; 另一支

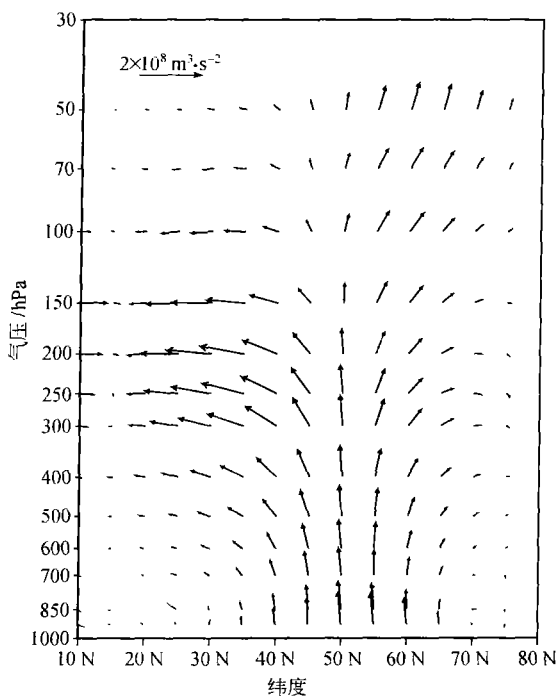


图 1 利用 NCEP/NCAR 再分析资料计算的从 1958—2004 年共 46 个冬季平均的准定常行星波 EP 通量分布

先折向高纬度地区, 并进而向上传播到平流层. 因而, 在北半球冬季准定常行星波的传播明显具有两条路径, 即两支波导. 这与理论研究^[8]和简单的描述行星波的机制模式的模拟均是一致的^[15].

上述的北半球冬季准定常行星波的传播形态只是气候态下对准定常行星波活动的描述. 为了研究准定常行星波活动的变化, 陈文等^[13]定义了准定常行星波活动指数, 并利用该指数研究了准定常行星波传播的年际变化. 图 2 是利用 NCEP-NCAR 再分析资料计算的 1958/1959 至 2003/2004 共 46 个冬季的准定常行星波活动异常的指数变化分布. 为了研究准定常行星波活动的年代际变化, 我们将该指数进行了 5 年滑动平均, 5 年滑动平均的结果也给在图 2 中. 由图 2 可见, 准定常行星波活动有明显的年代际变化, 在 20 世纪八、九十年代, 行星波活动处于正位相, 而六、七十年代除了 70 年代中前期外均为负位相, 有意义的是进入 21 世纪后, 行星波活动似乎又开始进入一个负位相阶段.

与准定常行星波活动的年代际变化相对应的行星波传播的异常可以用对该指数线性回归的 EP 通量散度和 EP 通量矢量来描述. 在回归之前, 我们同样对 EP 通量散度场和 EP 通量矢量的分量分别进行了 5 年滑动平均. 由图 3(a) 可见, EP 通量散度的异常在中纬度对流层呈现一个倾斜的偶极子形势, 其北偏下有异常的辐散, 而南偏上有异常的辐合; 同时极区平流层下层也出现异常的辐散. 这一分布形势与陈文等^[10]所得到的准定常行星波传播年际变化的对流层遥相关型非常一致; 并且, EP 通量散度与行星波活动指数在年代际变化上的相关 (见图 3(a)) 都至少超过了 0.6. 因此, 准定常行星波 EP 通量的散度在年代际变化上也存在遥相关现

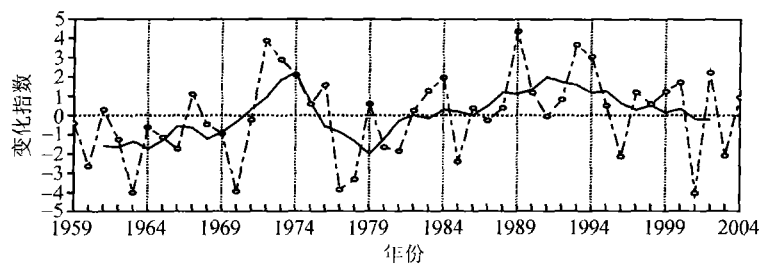


图 2 1958—2004 年共 46 个冬季标准化的准定常行星波活动异常的指数变化分布 (有空心圆的虚线)

黑实线表示 5 年滑动平均的结果. 图中 1959 代表 1958/1959 冬季, 其余类推

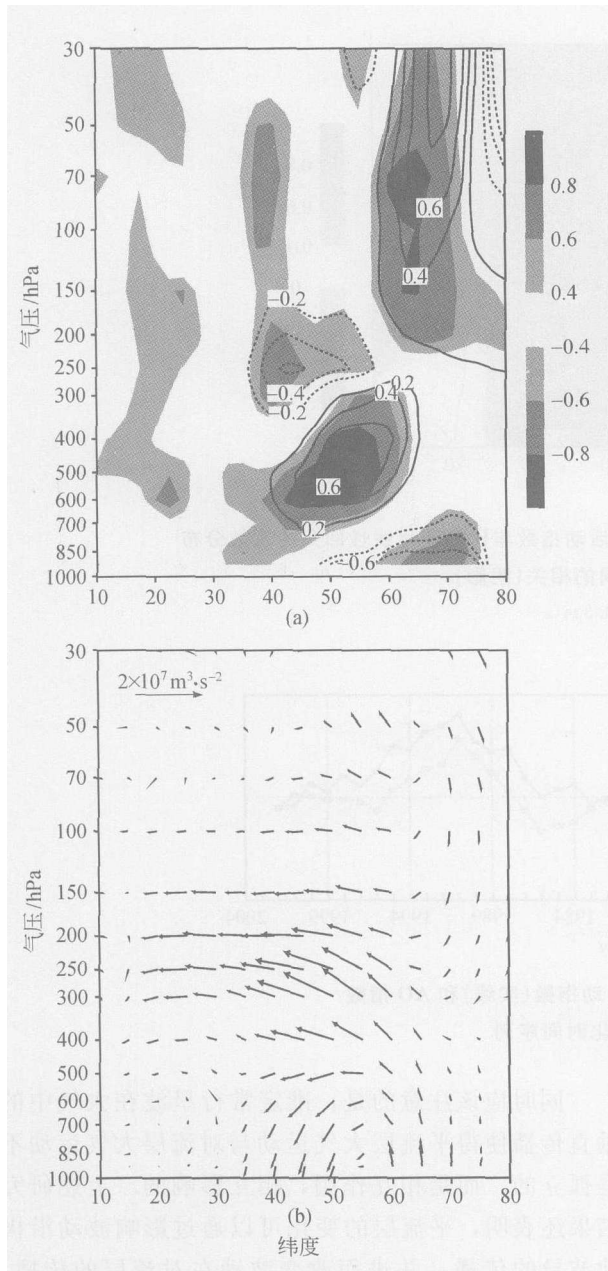


图 3 EP 通量散度和 EP 通量矢量变化对行星波活动指数年代际变化线性回归分布

(a) EP 通量散度的年代际变化对行星波活动指数年代际变化线性回归的系数分布(等值线)以及两者之间的相关(阴影), 等值线间隔为 $0.2 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{d}^{-1}$, 零等值线已被去掉。(b) EP 通量矢量的年代际变化对行星波活动指数年代际变化线性回归的系数矢量分布

象. 与此遥相关型对应的准定常行星波传播的异常分布(见图 3(b))表明, 当准定常行星波活动处于正位相时, 在对流层有异常强的从中高纬度向低纬度

对流层顶附近的行星波传播, 而通过极地波导向平流层的传播明显减弱. 结合气候态下的行星波传播路径可以认为, 气候态意义下的经极地波导穿过对流层顶向上传播进入平流层的行星波活动与对流层向中低纬度传播的行星波活动在年代际变化的时间尺度上并不是相互独立的, 两支波导在其年代际变化上存在着反相振荡关系, 即当其中一支有异常增强时, 另外一支会有异常的减弱.

准定常行星波在其传播过程中不但受纬向平均流的影响, 而且通过其辐合和辐散作用于纬向平均流, 因而有必要研究与准定常行星波活动的年代际变化相联系的纬向平均流的异常. 同样, 这里也先对纬向平均流场进行了 5 年滑动平均. 图 4 是纬向平均的纬向风在年代际变化的尺度上对准定常行星波活动指数的线性回归和相关系数的分布. 纬向风的异常是一个相当正压的偶极子, 从对流层低层一直延伸到平流层. 对应于准定常行星波活动的正位相, 在 55°N 附近的中高纬度带纬向西风增强, 而 35°N 附近的中低纬度带纬向西风则减弱. 并且这种异常与行星波活动指数在年代际变化上的相关系数很高, 都超过了 0.6. 事实上, 中纬度地区南北方向上西风强度的“跷跷板”现象是与北半球海平面气压在极地和中高纬度之间的反相振荡即北极涛动(AO)联系在一起的. 为了更清楚地表明准定常行星波活动与 AO 在年代际变化的尺度上的关系, 图 5 分别给出了行星波活动指数和 AO 指数的 5 年滑动平均后的年代际变化时间序列. 其中 AO 指数是利用 Thompson 给出的从 1958 年到 2004 年的月平均指数^[16], 对 12 月, 1 月, 2 月求平均, 构造了 46 个冬季 AO 指数. 由图 5 可见, 两个指数的变化在年代际时间尺度上有很好的 consistency, 它们之间的相关系数达到 0.87. 由于资料进行了 5 年滑动平均, 因此有必要采用有效自由度方法来检验其相关的显著性. 计算表明, 对图 5 中的两个时间序列其有效自由度为 15, 因而达到 99% 的信度检验的临界相关系数是 0.61. 准定常行星波活动的年代际变化与 AO 的相关为 0.87, 远远超过了 99% 的信度检验, 由此可见, 准定常行星波活动的年代际变化与 AO 紧密联系在一起.

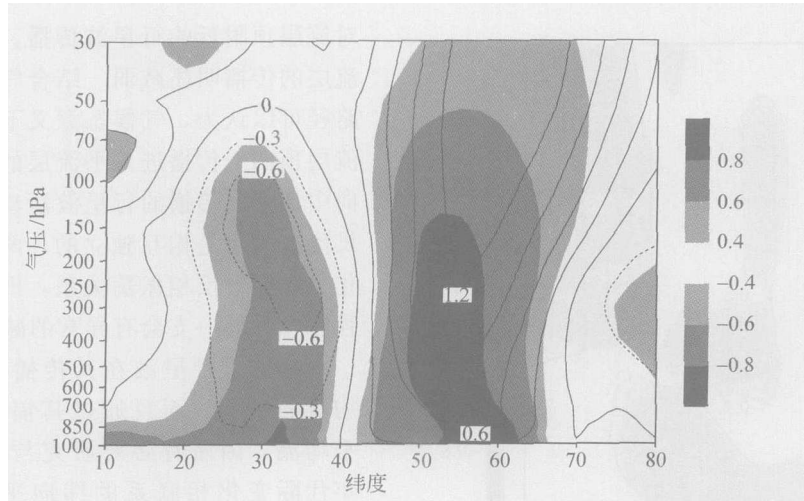


图4 纬向平均的纬向风的年代际变化对行星波活动指数年代际变化线性回归的系数分布(等值线)以及两者之间的相关(阴影)
等值线间隔为 0.3 m/s

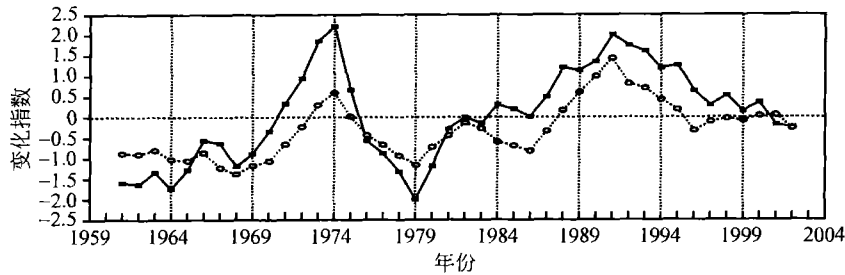


图5 5年滑动平均后的行星波活动指数(实线)和AO指数(虚线)的年代际变化时间序列

3 结论与讨论

本文利用 NCEP-NCAR 再分析资料分析了北半球冬季大气准定常行星波传播的年代际变化。结果表明,传播到低纬度对流层上层的低纬度波导和传播到平流层的极地波导之间在年代际变化的时间尺度上也存在着显著的反相振荡关系;当其中一支有异常的增强时,另外一支会有异常的减弱。进一步分析与准定常行星波的年代际变化相联系的纬向平均的纬向风的异常发现,北半球冬季大气准定常行星波传播的两支波导在年代际变化的时间尺度上的振荡现象与北极涛动紧密联系在一起。而有关北极涛动的研究表明它可以在没有外强迫的情况下由大气中的波流相互作用产生。因此,大气内部的动力学过程也可以产生气候的长期变化。

同时应该注意的是,准定常行星波在大气中的垂直传播使得平流层大气运动与对流层大气运动不是孤立的,而是相互作用,相互影响的。上述研究结果还表明,平流层的变化可以通过影响波动沿极地波导的传播,并进而改变波动在对流层的传播,从而对对流层大气环流状况产生重要的影响。因此,我们在分析对流层气候的长期变化时,不仅要研究来自下垫面的强迫作用,如海气相互作用和陆气相互作用等;还要关注那些来自平流层的信号,比如臭氧的长期变化的影响。

参 考 文 献

- 1 Li C Y, He J H, Zhu J H. A review of decadal/interdecadal climate variation studies in China. *Advances in Atmospheric Sciences*, 2004, 21: 425—436

- 2 王绍武, 赵宗慈. 我国旱涝 36 年周期及其产生的机制. 气象学报, 1979, 37(1): 64—73
- 3 Graham N E. Decadal-scale climate variability in the tropical and North Pacific during the 1970s and 1980s: Observations and model results. *Climate Dyn.* 1994, 10: 135—162
- 4 Li C Y, Xian P. Atmospheric anomalies related to interdecadal variability of SST in the North Pacific. *Advances in Atmospheric Sciences*, 2003, 20: 859—874
- 5 杨修群, 朱益民, 谢倩, 等. 太平洋年代际振荡的研究进展. 大气科学, 2004, 28(6): 979—992
- 6 李锋, 何金海. 北太平洋海温异常与东亚夏季风相互作用的年代际变化. 热带气象学报, 2000, 16(3): 260—271
- 7 李崇银, 李桂龙. 北大西洋涛动和北太平洋涛动的演变与 20 世纪 60 年代的气候突变. 科学通报, 1999, 44(16): 1765—1769
- 8 黄荣辉. 球面大气定常行星波的波作用守恒方程与用波作用通量所表征的定常行星波传播波导. 中国科学, B 辑, 1984, 8: 766—775
- 9 Eliassen A, Palm E. On the transfer of energy in stationary mountain waves. *Geophys Publ*, 1961, 22: 1—23
- 10 Chen W, Graf H F, Takahashi M. Observed interannual oscillations of planetary wave forcing in the Northern Hemisphere winter. *Geophys Res Lett*, 2002, 29(22): 2073
- 11 Chen W, Takahashi M, Graf H F. Interannual variations of stationary planetary wave activity in the northern winter troposphere and stratosphere and their relations to NAM and SST. *J Geophys Res*, 2003, 108(D24): 4797
- 12 Wallace J M, Gutzler D S. Teleconnections in the geopotential height field during the northern hemisphere winter. *Mon Wea Rev.* 1981, 109: 784—812
- 13 陈文, 黄荣辉. 北半球冬季准定常行星波的三维传播及其年代际变化. 大气科学, 2005, 29: 137—146
- 14 Kalnay E. The NCEP/NCAR 40-Year reanalysis project. *Bull Amer Meteor Soc*, 1996, 77: 437—471
- 15 Chen W, Huang R H. The propagation and transport effect of planetary waves in the Northern Hemisphere winter. *Advances in Atmospheric Sciences*, 2002, 19: 1113—1124
- 16 <http://horizon.atmos.colostate.edu/ao/Data/index.html>

第八届国际环境岩土工程大会将在尼日利亚召开

第八届国际环境岩土工程大会是由国际环境岩土工程协会(ISEG)每两年一次举行的系列会议。本次会议将于 2006 年 9 月 11—15 日在尼日利亚首都阿布佳的喜来顿大酒店会议中心举行。会议面向广大来自基础工程建设、土木工程、岩土工程、地质工程、环境工程、能源工程、环境政策等研究方面的专家学者,也欢迎所有来自政府部门、经济界、石油化工、农业、交通运输等各个领域的感兴趣人士参加。

本次会议的主题为“基础工程建设与环境”。相关议题:环境和自然资源法规;海岸及沿海环境;大气污染与气候变迁;地表水污染及治理;土壤污染/退化和修复;地下水污染与修复;环境监测系统;交通工程与环境;工业化与环境;能源开发与环境;人口、住房和城市基础设施建设与环境;农业、土地利用和发展与环境;土地政策和土地使用;环境、保健和发展;环境岩土工程教育。

会议还设有以下特别议题:西非和中非的沙漠化;发展中国家的环境与健康;拉丁美洲的采矿业与环境问题;亚洲水污染问题;尼日尔三角洲的环境问题;尼日利亚的人口、发展与环境。

会议摘要截止日期为 2006 年 3 月 30 日;会议全文截止日期为 2006 年 4 月 30 日。详细信息请参见会议网址: <http://www.iseg.giees.uncc.edu/abuja2006>

联系人及联系方式: Mr. Gustavo Borel Menezes (gbmeneze@uncc.edu; giees@email.uncc.edu)
Global Institute for Energy and Environmental Systems (GIEES), CARC 238
University of North Carolina at Charlotte, Charlotte, NC 28223, USA

(供稿:施斌 唐朝生 魏广庆)