

Analysis of Abnormal Spring Current in the Key Area of North Pacific and the Relationship with Summer Precipitation in North China*

Xu Lu^{1#}, Peng Wang², Jia Ma¹, Xin Wang¹

¹61741 Troops of PLA, Beijing

²General Staff Department of Meteorology and Hydrology, Beijing

Email: #xlu2006918@163.com

Received: Oct. 26th, 2012; revised: Nov. 22nd, 2012; accepted: Dec. 3rd, 2012

Abstract: In this paper, using CEOF analysis, the dynamic statistic diagnosis of abnormal upper current of springtime in the key area of North Pacific is done to discuss the inter-decadal and decadal variations of upper current and discover the relationship of summer precipitation in North China. The results are: In the first mode of CEOF, the abnormal upper current represents as a pair of vortices in the trend of EN to WS; there is obvious inter-decadal and decadal variation of time series, which is similar with the summer precipitation in North China; When decadal scale is identified, amplitudes' two states are corresponding to the abnormal summer precipitation in North China; The abnormal of space field is caused by wind stress anomalies driving seawater off west coast, whose nature is ocean Rossby wave anomalies.

Keywords: CEOF Analysis; North Pacific; North China

春季北太平洋关键海域流场异常分析及其与夏季华北降水关系初探*

卢 焄^{1#}, 汪 鹏², 马 佳¹, 王 鑫¹

¹61741 部队, 北京

²总参气象水文局, 北京

Email: #xlu2006918@163.com

收稿日期: 2012 年 10 月 26 日; 修回日期: 2012 年 11 月 22 日; 录用日期: 2012 年 12 月 3 日

摘 要: 本文采用复 EOF 法, 对春季北太平洋关键海域的上层洋流异常做了统计动力诊断, 用以考察上层流场的年际和年代际变化, 并简单讨论了其与夏季华北降水异常的关系。主要结论有: 复 EOF 第一模态中, 上层洋流异常表现为东北至西南走向的涡旋偶; 时间系数有明显的年际和年代际变化, 且与华北夏季降水的年际和年代际变化周期相似; 在年代际尺度确定时, 辐角的状态较好地对应于华北夏季降水的多寡; 海洋西边界附近海水流动的异常是风应力异常所致, 其性质属海洋 Rossby 波。

关键词: 复 EOF 分析; 北太平洋; 华北地区

1. 引言

华北地区夏季 6~8 月份的降水量占全年降水的

*基金项目: 国家“973”项目(2007CB411805)。

#通讯作者。

63%, 可见其多少程度将直接影响着华北地区全年的旱涝趋势, 因此对夏季降水量异常进行分析具有现实的意义。近年来关于华北地区夏季旱涝变化这方面的研究工作已有不少的成果。孙淑清^[1]和张庆云^[2]等研

究了华北地区干旱的年代际变化及与东亚环流和海温异常的关系；郭其蕴^[3]从遥相关的角度分析了华北旱涝与印度夏季风的联系；朱平盛等^[4]研究了前期环流和热带对流活动与华北夏季旱涝的关系。这些工作从不同角度研究了造成华北地区夏季降水异常的原因，得到许多有意义的结果。然而，通过研究海洋流场异常寻找华北夏季出现降水异常的前兆强信号，这方面的研究工作还不多见。

近年来，关于北太平洋海温与我国天气气候有着密切联系的研究较多^[5]。翁学传等^[6]、张启龙等^[7]的研究表明，前冬黑潮热输送与黄淮平原区、华北地区汛期(6~8月)降水有密切联系。李跃凤等^[8]分析了夏季海表温度与同期中国降水的关系，发现黑潮海温与长江流域的降水存在较好正相关。祁丽燕等^[9]研究了北太平洋冬季热状况的变化特征，在此基础上研究我国东部地区夏季气候与前期冬季北太平洋热容量之间的耦合关系。以上研究说明西北太平洋海温对我国降水的影响很大，且主要集中在冬季和夏季，对春季流场的研究相对较少，春季处于大气环流由冬季型转为夏季型的关键阶段，在跨季度短期气候预测中存在春季预报障碍问题^[10]，故需对春季的流场异常多加关注，为此本文将研究春季北太平洋流场异常与我国华北地区夏季降水的关系。

我们曾对全年赤道外北太平洋(19.5~50.8°N, 120°E~180°E~80°W)上层洋流异常做了复 EOF 分析^[11]，发现明显的异常区域仅占整个北太平洋范围的很小部分，即(27.5~39.6°N, 134.5~154.5°E)，并称该区域为关键海域，故本文选取该关键海域进行分析。

2. 资料和方法

本文所用的资料有：美国 UMD 的 Carton(beta 7) 洋流资料，该资料提供了海洋上层从 1950~2001 年共 52 年在深度 112.5、97.5、82.5、67.5、52.5、37.5、22.5、7.5 米上的各月平均洋流，其为高斯网格，网格距约为 1°，并取以上关键海域(27.5~39.6°N, 134.5~154.5°E)的数据做分析。

本文选取 4 月份作为海洋中春季的代表，6~8 月份华北月降水量的平均值作为夏季华北的降水量。本文主要讨论上述关键海域深度为 7.5 米和 112.5 米的两层流场，两层分别作为表层和次表层的代表，为简单下文直接称呼其为表层和次表层。

本文采用的方法：复 EOF 分析，其原理可参见文献^[12,13]。将 4 月份上述 8 个深度上的偏差流场作为一个整体进行复 EOF 分析。因偏差流场是一个二维向量，可用复数表示，这样得到的空间场和时间系数场则均为复数；空间场的模表示各模态偏差流场的流速大小，辐角表示流向，而时间系数则表示 1950~2001 年这 52 年中流速、流向随时间的变化。因将该 8 层上的偏差流场作为一个整体作复 EOF 分析，故各层有相同的时间系数。

因篇幅所限和第一模态方差贡献最大，本文仅讨论第一模态。

3. 诊断结果分析

复 EOF 分析的结果表明，得到的偏差流场前 3 个模态都通过了显著性检验^[14]。第一模态的方差贡献为 21.8%，前 3 个模态的累积方差贡献达到 45.0%。

在北太平洋关键海域上层，从诊断得到的第一模态空间场的分布可知：在上述 8 层上，明显的偏差流场均出现在日本本州岛以东以南海域，在该海域有两个旋转方向相反的涡旋，其组成了涡旋偶；该涡旋偶的轴心呈东北西南走向，且大致与海岸线平行(见图 1)。需注意的是，图 1 出现的涡旋偶是复 EOF 分析的结果，反映了该处的流场异常；而日常在该处也可分析出涡旋，但那是观测场。如王东晓等^[15]观测到在北太平洋黑潮和黑潮延伸体区域存在着一条涡带，中心位于 35°N，涡带上其涡旋数目向东减少；40°N 以南，西边界的反气旋涡和气旋涡的数目相当。故这两者不可混淆。除上述涡旋偶外，在日本以东的黑潮延伸体海域，也存在有较明显的异常。在这 8 层上该空间场的差异很小，这表明海洋上层流场具有正压性(表层图略)。

图 2(a)、(b)分别给出了第一模态偏差流场时间系数的模和辐角，从图 2(a)可见，各年其模的年代际变化很明显(1979 年有一个突变，其前后变化很明显)，1963 年以前，模值大，1964 年到 70 年代末，模值小，1980~1990 年，模值较大，1991 年以后，模值又较小。刘海文等^[16]和戴新刚等^[17]发现华北汛期降水具有明显的年际和年代际变化特征，其在 1978 年前后发生了年代际突变。杨修群等^[18]在研究华北降水的年代际变化特征时发现，华北夏季降水累计距平指数具有明显的年代际变化特征，1964 年以前，华北夏季降水偏

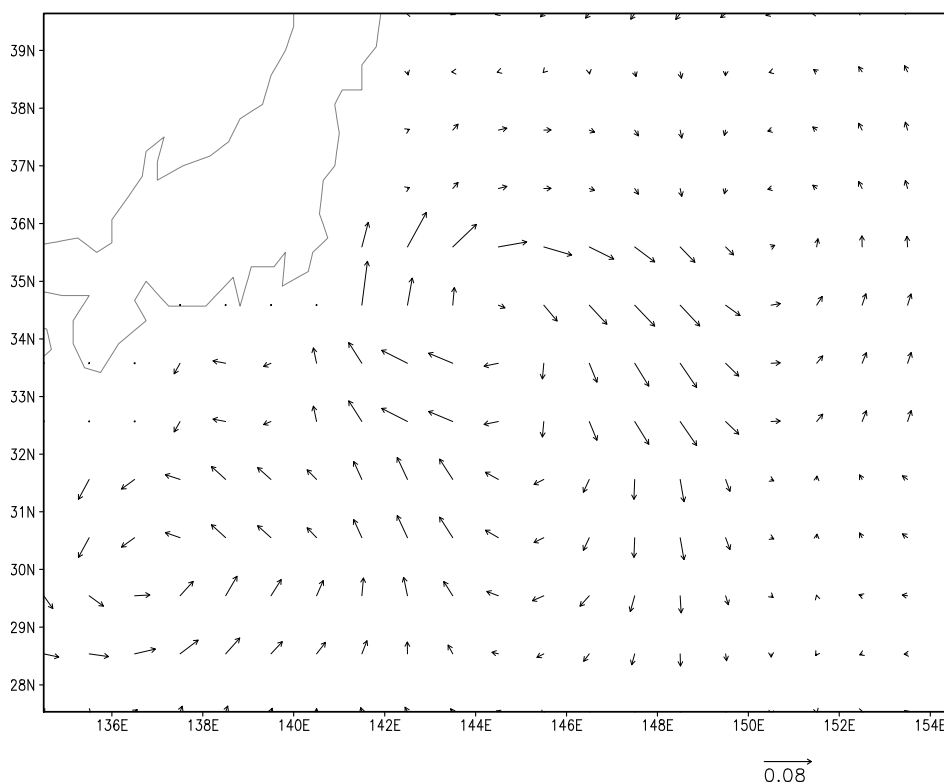


Figure 1. The first eigenvector pattern of complex EOF (units: ms^{-1})

图 1. 复 EOF 第一模态次表层空间场的分布(单位: ms^{-1})

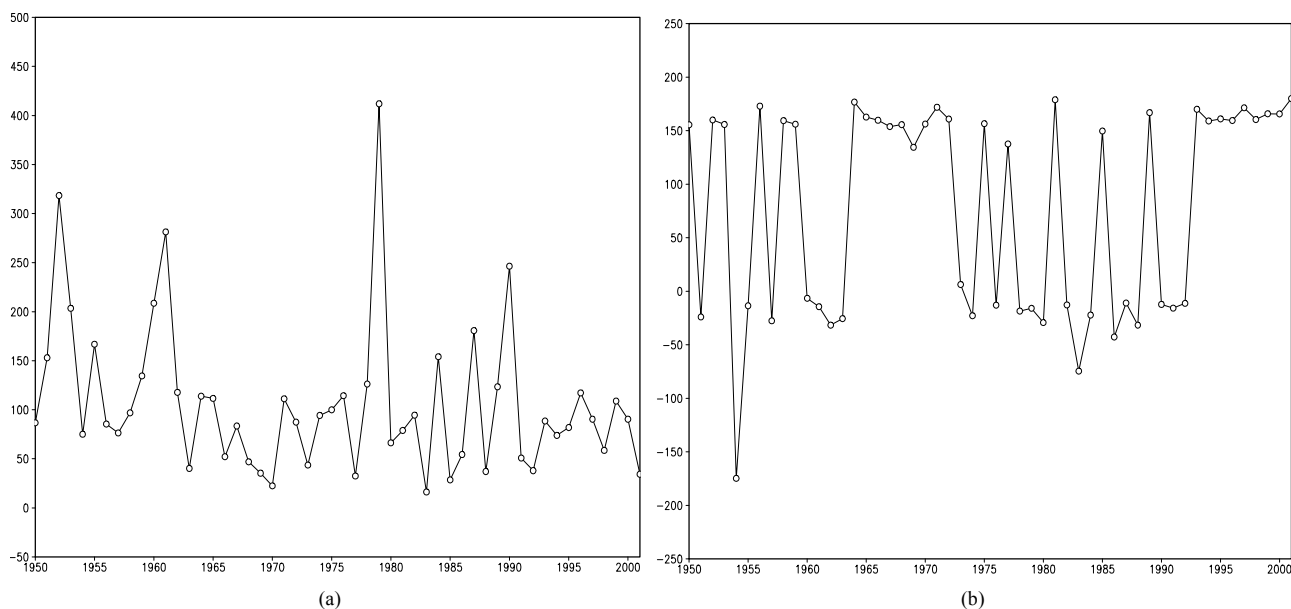


Figure 2. Principal component time series corresponding to the first eigenvector ((a) Modulus; (b) Argument)

图 2. 第一模态时间系数的模和辐角((a) 模; (b) 辐角)

多, 1965 年到 70 年代末, 华北夏季降水偏少、偏多相间, 1980~1992 年, 华北夏季降水明显偏少, 1994~1996 年, 夏季降水偏多, 1997 年夏季降水明显偏少(资料年限为 1951~1998 年)。这些研究表明华北地区夏季

降水的年代际变化与本文复 EOF 第一模态模的年代际变化相似。

从图 2(b)可见, 该第一模态辐角值的分布明显集中于 0° 、 $\pm 180^\circ$ 附近, 这表明辐角值的分布有两个状

态, 可称态 A、B。前者其余弦值约为+1, 这表明其偏差流场的分布形势与该模态空间场大体相同, 而后者约为-1, 其分布形势则相反。

为了揭示第一模态偏差流场的变化周期, 分别对时间系数的模和辐角作了小波分析, 图 3(a)、(b)给出了第一模态时间系数模和辐角的小波全谱。由图可见, 其模有 3 年和 8~9 年的年际变化周期, 15 年和 21 年的年代际变化周期; 其辐角有 4~5 年的年际变化周期, 15~16 年的年代际变化周期, 且年代际变化明显。由上可知, 北太平洋年代际涛动(PDO)在关键海域春季的年代际(15~16 年、21 年)变化上有所反映, 而 ENSO 则在年际(3 年、4~5 年)变化上有所反映。这表明太平洋海洋环流年际变化参与了 ENSO 循环, 太平洋年代际变化参与了 PDO 循环, 副热带太平洋经圈环流与热带太平洋纬向环流系统之间的相互作用可能是沟通 ENSO 循环和 PDO 循环的内在环节^[19]。杨辉等^[20]的研究表明, 华北地区降水存在 2~3 年和 5~6 年的年际变化周期, 主要年代际变化周期为 15 年。孙燕等^[21]发现, 华北夏季降水存在准 3 年、准 6 年、准 8 年的年际变化周期和 17~19 年的年代际振荡周期。由上可知, 前期春季海洋流场复 EOF 的第一模态与后期夏季华北地区降水的年际及年代际变化周期相近。

根据有关均质海洋的风生海洋环流的理论^[22,23], 作为北太平洋副热带环流中的西边界流的黑潮, 其流量气候平均由北太平洋副热带海面风应力旋度决定。

研究表明^[24], 年代际振荡的时间尺度取决于副热带海洋环流的调整时间, 而该环流的缓慢调整涉及两个可能的物理过程: 一个是大气风应力旋度变化强迫产生 Rossby 波向西传播, 在若干年后到达西边界, 从而影响副热带环流西边界流向极地输送及向黑潮及其续流区的热量输送; 另一个是副热带涡旋环流对温度的平流输送过程^[25]。第一模态的异常流场因其空间尺度在 1000 km(约 10 个纬距, 图 1 涡旋偶的尺度), 为海洋中的大尺度系统, 故其是副热带海洋 Rossby 波的异常, 并表现为涡旋形式, 其形成原因是异常风应力造成海洋西边界附近海水流动的异常所致。

为进一步研究春季北太平洋关键海域流场异常与华北夏季降水的关系, 表 1 给出了华北 1951~2000 年夏季降水的旱年和涝年^[18](夏季 6~8 月累计降水距平为正负 50 mm 来定义旱涝年)。

由表 1 和图 2(b), 统计得到各年代华北地区夏季降水的辐角态: 1950~1964 年, 华北夏季降水偏多, 涝年的时间系数辐角处于态 B(比例为 5/6, 即 6 年涝年中有 5 年位于 $\pm 180^\circ$ 附近), 此时其流型与第一模态空间分布相反; 1980~1992 年, 华北夏季降水明显偏少, 旱年的时间系数辐角处于态 A(比例为 6/8, 即 8 年的旱年中有 6 年位于 0° 附近), 此时其流型与第一模态空间分布相同; 1994~1996 年, 华北夏季降水偏多, 涝年的时间系数辐角处于态 B(比例为 3/3, 即 3 年涝年全位于 $\pm 180^\circ$ 附近), 此时其流型与第一模态空间分布

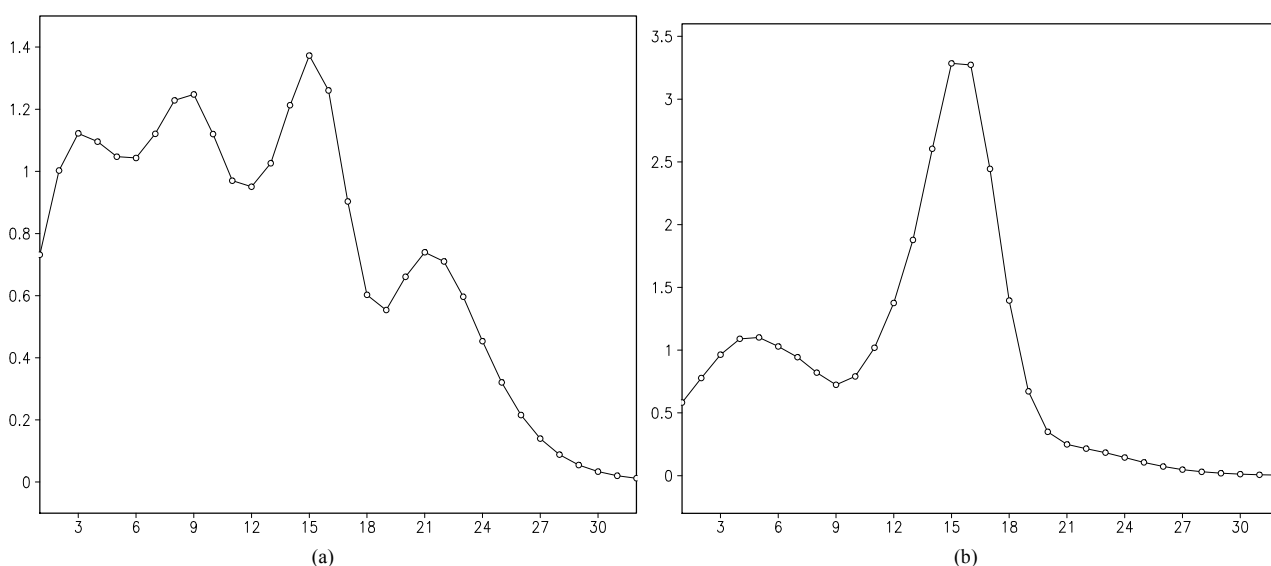


Figure 3. The wavelet spectrum of principal component time series corresponding to the first eigenvector ((a) Modulus; (b) Argument)
图 3. 第一模态时间系数模和辐角的小波全谱((a) 模; (b) 辐角)

Table 1. The years of abnormal precipitation of summer in North China
表 1. 华北夏季降水的旱涝年

涝年	53	54	56	59	63	64	71	73	76	90	94	95	96	98
旱年	52	65	68	72	80	81	83	86	87	89	91	92	97	99

相反。由此可知，在年代际尺度内确定了华北地区降水偏多时，前期春季流场的时间系数辐角位于 B 态则在该年夏季华北地区为涝的概率很大；而在年代际尺度内确定了华北地区降水偏少时，前期春季流场的时间系数辐角位于 A 态则在该年夏季华北地区为旱的概率很大。

综上，当时间系数辐角配置为 A(B)时，春季在日本本州岛以南海域存在一个气旋(反气旋)涡旋，以东海域存在一个反气旋(气旋)涡旋，轴心呈东北西南走向时，如果该时期处于华北地区降水偏少(多)的年代际尺度内，则当年夏季华北地区为旱(涝)的概率很大。即在年代际尺度确定的前提下，上述两个辐角的状态则较好地对应于华北夏季降水的多寡。

4. 结论

本文采用复 EOF 分析方法，对春季北太平洋关键海域的上层洋流异常做了诊断分析，并初步探讨了其与夏季华北地区降水的关系，得到以下主要结论：

1) 复 EOF 第一模态中，北太平洋关键海域的上层洋流异常表现为东北至西南走向的涡旋偶，即一个反气旋涡和一个气旋涡的组合；

2) 复 EOF 第一模态中，辐角的时间系数有两个状态，其余弦值分别明显集中于+1 与-1 附近，前者其偏差流场的分布形势大体与其空间场相同，而后者则相反；

3) 复 EOF 第一模态中，模和辐角的时间系数有明显的年际变化和年代际变化，且与华北夏季降水的年际和年代际变化周期相似；

4) 复 EOF 第一模态中，在年代际尺度确定时，辐角的两个状态较好地对应于华北夏季降水的多寡；

5) 复 EOF 第一模态中，空间场的异常是异常风应力造成海洋西边界附近海水流动的异常所致，其性质是海洋 Rossby 波的异常。

最后要说明的是，本文主要工作是进行诊断分析，对造成异常的动力学原因涉及不多，这是本文的局限所在。此外对于关键海域流场异常影响华北地区旱涝的机制也是我们今后要做的工作。

参考文献 (References)

- [1] 孙淑清. 近五十年来华北地区旱涝特征与全球变化的研究及对未来趋势的探讨[J]. 高原气象, 1999, 18(4): 541-551.
- [2] 张庆云. 1880 年以来华北降水及水资源的变化[J]. 高原气象, 1999, 18(4): 486-495.
- [3] 郭其蕴. 中国华北旱涝与印度夏季风降水的遥相关分析[J]. 地理学报, 1992, 47(5): 394-402.
- [4] 朱平盛, 张苏平. 华北夏季旱涝的前期环流异常及其与北太平洋海温的关系[J]. 应用气象学报, 1997, 8(4): 437-443.
- [5] 金建德, 严小冬, 雷云等. 西北太平洋海温变化对贵州夏季降水的影响[J]. 热带气象学报, 2006, 22(2): 192-197.
- [6] 翁学传, 张启龙, 杨玉玲等. 东海黑潮热输送及其与黄淮平原汛期降水的关系[J]. 海洋与湖沼, 1996, 27(3): 237-245.
- [7] 张启龙, 翁学传, 程明华. 华北地区汛期降水与热带西太平洋暖池和黑潮的关系[J]. 高原气象, 1999, 18(4): 575-583.
- [8] 李跃凤, 丁一汇. 海表温度和地表温度与中国东部夏季异常降水[J]. 气候与环境研究, 2002, 7(1): 87-101.
- [9] 祁丽燕, 孙照渤, 李忠贤. 北太平洋冬季次表层热状况及其与中国东部夏季气候的关系[J]. 南京气象学院学报, 2007, 30(2): 153-161.
- [10] M. Mu, W. S. Duan. A new approach to studying ENSO predictability: Conditional nonlinear optimal perturbation. Chinese Science Bulletin, 2003, 48(10): 1045-1047.
- [11] 路凯程, 卢炯, 张铭. 赤道外北太平洋上层洋流异常分析[J]. 海洋通报, 2011, 30(1): 741-748.
- [12] 曾庆存. 大气红外遥感原理[M]. 北京: 科学出版社, 1974: 160-166.
- [13] 黄嘉佑. 气象统计分析与预报方法[M]. 北京: 气象出版社, 2000: 135-139.
- [14] T. Nitta. Convective activities in the tropical western Pacific and their impact on the northern hemisphere summer circulation. Meteorological Society of Japan, 1987, 65: 373-390.
- [15] 王东晓, 方国洪, 王启等. 热带太平洋环流变异与海气相互作用[M]. 北京: 海洋出版社, 2009: 310-313.
- [16] 刘海文, 丁一汇. 华北汛期的起讫及其气候学分析[J]. 应用气象学报, 2008, 19(6): 688-696.
- [17] 戴新刚, 汪萍, 丑纪范. 华北汛期降水多尺度特征与夏季风年代际衰变[J]. 科学通报, 2003, 48(23): 2483-2487.
- [18] 杨修群, 谢倩, 朱益民等. 华北降水年代际变化特征及相关的海气异常型[J]. 地球物理学报, 2005, 48(4): 789-797.
- [19] 王东晓, 谢强, 刘赞等. 太平洋年代际海洋变率研究进展[J]. 热带海洋学报, 2003, 22(1): 76-83.
- [20] 杨辉, 宋正山. 华北地区水资源的多尺度分析[J]. 高原气象, 1999, 18(4): 496-508.
- [21] 孙燕, 朱伟军, 王谦谦等. 华北夏季降水异常的变化及其与大气环流的联系[J]. 大气科学学报, 2010, 33(1): 67-73.
- [22] H. U. Sverdrup, M. W. Johnson and R. H. Fleming. The oceans: Their physics, chemistry and general biology. Englewood Cliffs: Prentice-Hall, 1942.
- [23] W. H. Munk. On the wind-driven ocean circulation. Journal of Meteorology, 1950, 7(2): 79-93.
- [24] M. Latif, T. P. Barnett. Decadal climate variability over the North Pacific and North America: Dynamics and predictability. Journal of Climate, 1996, 9(10): 2407-2423.
- [25] A. W. Robertson. Interdecadal variability over the North Pacific in a multi-century climate simulation. Climate Dynamics, 1996, 12(4): 227-241.