

# 北半球 50hPa 位势高度距平场的 EOF 分析及其与对流层的比较

顾润源

(山东省气象台)

刘晓东

(兰州高原大气物理研究所)

王玉玺

(兰州大学大气科学系)

## 提 要

本文以 EOF 方法为基础对北半球 50hPa 高度月平均距平场进行了分析,指出北半球 50hPa 场存在着几种定常的环流型,且它的距平场的 EOF 展开精度具有相当好的稳定性。另外,北半球 50hPa 高度月平均距平场高、中纬之间存在着远远超过  $\alpha=0.001$  信度检验的“跷跷板”式振荡。功率谱分析发现,北半球 50hPa 环流场有着显著的准 2—3 年及准 4 个月振荡周期,赤道平流层 QBO 现象在高度场上也有清楚的反映。通过与对流层的 EOF 分析比较得到,500hPa 与 50hPa 第一、第二特征向量场有相似的空间分布,但对于 EOF 展开无论是从拟合精度的稳定性还是收敛性看,平流层都远远优于对流层。

## 一、引 言

近年来,随着观测资料的增多,使得平流层大气环流的研究有了较大的进展<sup>[1-7]</sup>。但过去的工作主要讨论了冬、夏个别月份或冬、夏季各月的平流层大气环流场或温度场等的平均状况以及季节变化与不规则特征等。本文利用 EOF<sup>[8]</sup>分析方法对北半球 50hPa 环流场的时空分布特征做了更加全面的分析,发现了一些新的观测事实。并与对流层的分析进行了比较。

## 二、北半球 50hPa 环流场的时空分布特征

### 1. 资料和方法

北半球 50hPa 资料取自西德柏林自由大学整理的 1958—1987 年北半球平流层逐月 50hPa 高度月平均距平场资料;500hPa 资料取自北京气象中心整理的 1951 年 1 月至 1986 年 5 月逐月高度月平均距平场资料。在实际进行 EOF 分解计算时,各自都有 289 个格点( $10^\circ \times 10^\circ$ )。

2. 北半球 50hPa 环流场的空间分布特征

表 1 方差贡献(%)

特征向量	1	2	3	4
方差贡献	59.7	12.2	7.5	4.4
累积贡献	59.7	71.9	79.4	83.8

对 30 年逐月 50hPa 高度月平均距平场作 EOF 分解,取前四个特征向量作为北半球 50hPa 环流场的基本型。表 1 列出了前四个特征向量的方差贡献。累积贡献占了年际变化总方差的 83.8%,因而研究这几个特征向量的变化规律足以反映北半球 50hPa 高度月平均距平场的主要变化特征。

图 1a 是第一特征向量场(图中数值扩大了 1000 倍,下同),表示 50hPa 高度月平均距平场的第一分布型(方差贡献 59.7%)。极地附近振幅最大,说明该地区的距平场有最大的年际变率,并且其变化与中纬度地区基本相反。这种分布型环流特征与文献[4]结果相一致。表明北半球 50hPa 高度月平均距平场的第一特征向量场是 50hPa 高度场多年平均场的一个基本反映。

图 1b 是第二特征向量场(方差贡献 12.2%),表示 50hPa 高度月平均距平场的第二分布型。其特征是西半球中高纬地区为正振幅区,而东半球中高纬地区是负振幅区。振幅最大值分别出现在巴芬湾西部和叶尼塞河东部地区,距平场年际变化最大。因此,该特征

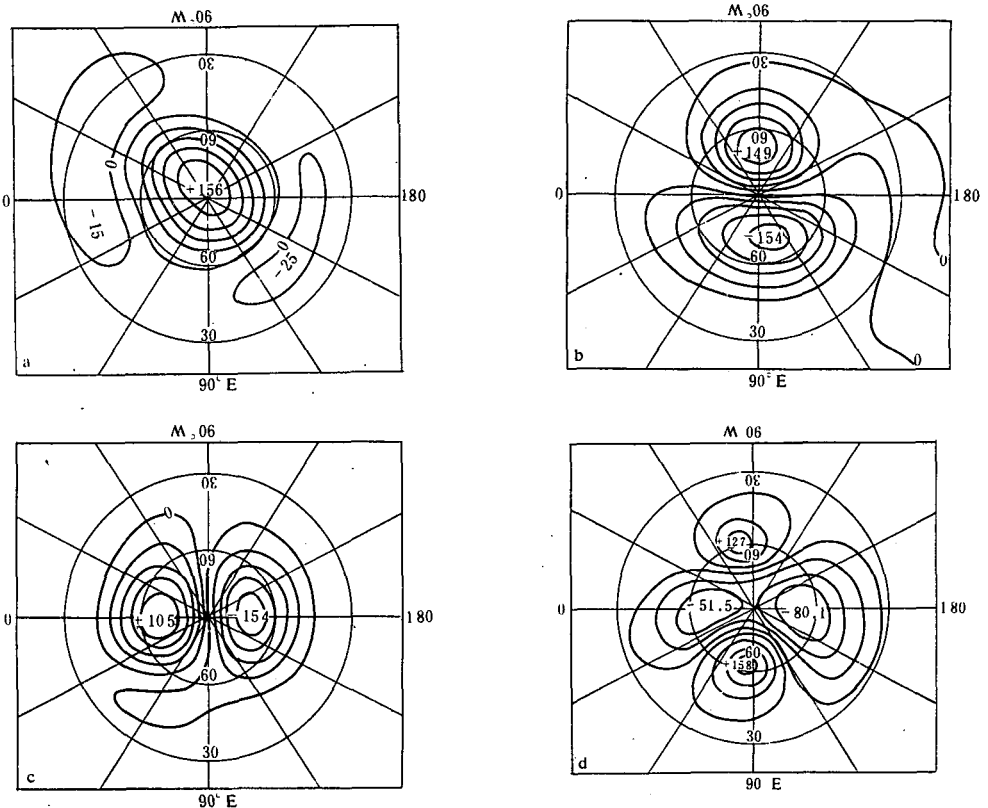


图 1 北半球全年 50hPa EOF 场空间分布(a)第一特征向量(b)第二特征向量(c)第三特征向量(d)第四特征向量(图中数值扩大  $10^3$  倍,间隔 30)

向量场的空间分布突出的反映了北半球 50hPa 环流场的两波变化特征,及其在东西两半球中高纬地区存在一种“跷跷板”式的振荡现象。

第三特征向量场由图 1c 给出,它的方差贡献为 7.5%,表示 50hPa 高度月平均距平场的第三分布型。图中以 90°W 和 90°E 为分界线,右边的中高纬度是负振幅区,左边中高纬度则是正振幅区。振幅最大中心分别出现在冰岛和白令海峡附近地区,距平场年际变化最大。这个特征向量的空间分布反映了北半球 50hPa 环流场的超长波变化特征,及其在冰岛和白令海峡两地区附近的“跷跷板”式振荡现象。

图 1d 是第四特征向量场,它的方差贡献仅占年际变化总方差的 4.4%,表示 50hPa 高度月平均距平场的第四分布型。它反映了 50hPa 环流场的长波变化特征。

上述的 50hPa 高度月平均距平场的第二到第四特征向量场所反映的 50hPa 环流场的空间分布型,在过去工作中尚未提到过。尽管它们的方差贡献相对较小,但在对整个 50hPa 环流场进行研究时仍不可忽略。

### 3. 北半球 50hPa 环流场冬、夏分布特征及年际变化

为了寻找 50hPa 环流场冬夏变化的季节差异,我们根据文献[4]选定 1 月份代表冬季,7 月份代表夏季,然后分别利用时空转换的 EOF 进行分解。

(1)冬季:图 2a 代表冬季第一特征向量场,这个特征向量的分布解释了北半球冬季 50hPa 高度场年际变化总方差的 70.7%。它反映了冬季北半球 50hPa 高度场极地附近高纬地区位势高度较常年偏高(偏低),中纬广大地区偏低(偏高),同时 30°N 以南的低纬偏高(偏低)的分布特征。与瞿章等[4]结果基本一致。图 3a 是第一特征向量场所对应时间系数的年际变化曲线,由图我们可以发现:近三十年来所发生的厄尔尼诺事件(1963,1965,1969,1972,1976,1982—1983,1986)大都发生在时间系数为负的年份,概率是 6/7,而反厄尔尼诺事件(1964,1967,1970,1973,1975)则大多发生在时间系数为正的年份,概率是 4/5。这就是说,厄尔尼诺年的前冬北半球 50hPa 位势高度场在极地及附近高纬地区较常年偏低,而中纬度地区偏高,30°N 以南的低纬地区则偏低。反厄尔尼诺正好相反。这个结论与我们最近的另一研究结果[9]完全一致。

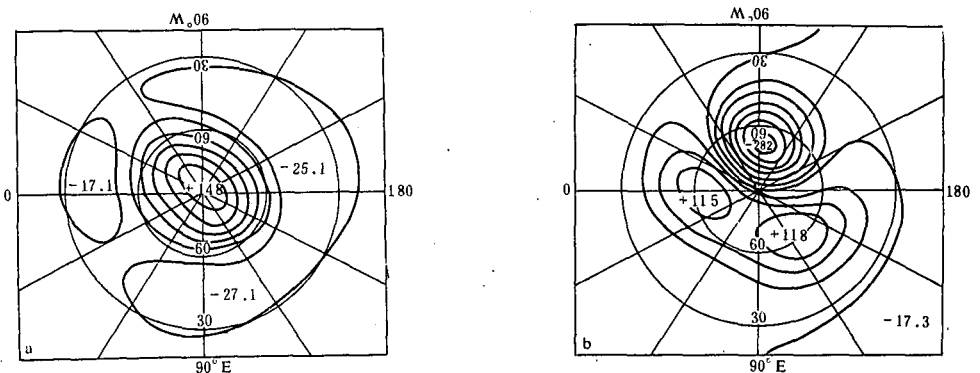


图 2 北半球冬季 50hPa EOF 场空间分布  
(a)第一特征向量 (b)第二特征向量(说明同图 1)

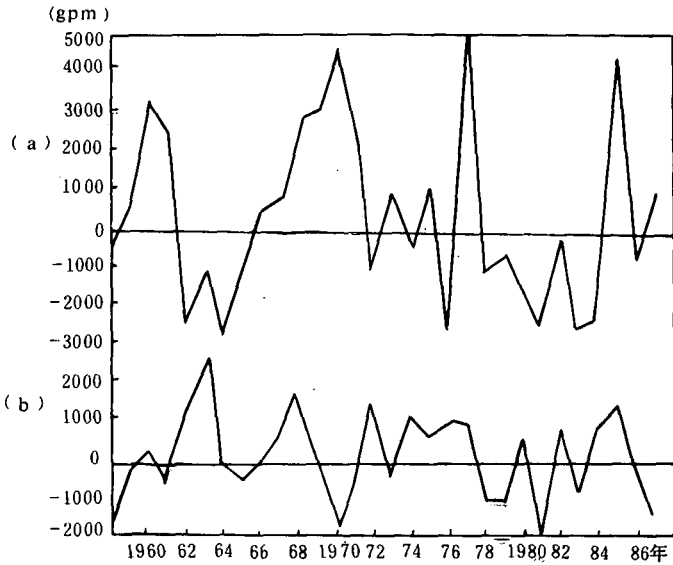


图3 北半球冬季 50hPa EOF 场对应时间系数变化曲线  
(a)第一特征向量 (b)第二特征向量

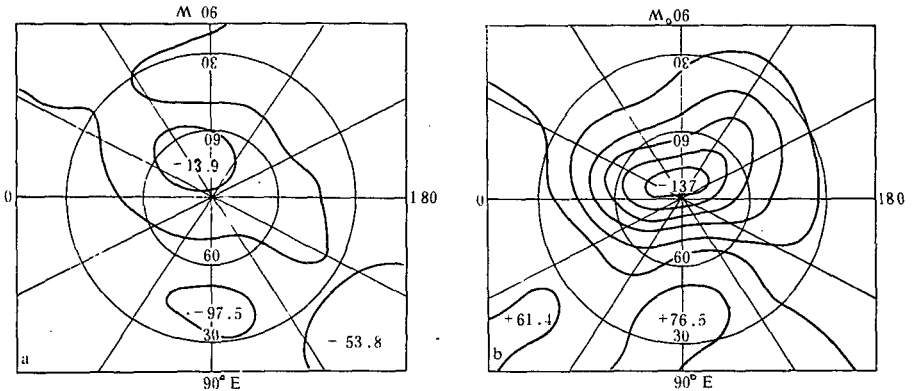


图4 北半球夏季 50hPa EOF 场空间分布

(a)第一特征向量 (b)第二特征向量(说明同图1)

图 2b 是冬季第二特征向量场,它表示了北半球冬季 50hPa 高度场年际变化总方差的 11.5%,比第一特征向量的贡献小得多。可以看出,它反映了北半球冬季 50hPa 高度场东、西两半球在中高纬地区存在的一种涛动关系,即西半球中高纬地区位势高度较常年偏高(偏低)时,东半球中高纬地区则偏低(偏高),但西半球的振幅要比东半球大。图 3b 是这个特征向量所对应时间系数的年际变化曲线。

由以上分析我们可以看到,冬季北半球 50hPa 高度场以超长波活动为主,前两个特征向量的累积方差贡献达 82.2%。

(2)夏季:图 4a 表示夏季第一特征向量场,它占总方差的 55.6%,图中可见,它与冬季有类似的分布形式,但振幅要弱得多。

图 4b 是夏季第二特征向量场,它占总方差的 12.7%。能够发现它与冬季第二特征向量场有较大不同,中高纬广大地区都是负振幅区,最大振幅出现在极地附近,而低纬大部分地区是正振幅区。这种分布说明了在北半球夏季 50hPa 上存在这样一种变化,当中高纬广大地区位势高度较常年偏低(偏高)时,低纬大部分地区则偏高(偏低)。

由图 2 与图 4 可以看出,无论冬季或夏季自低纬到高纬北半球 50hPa 环流场振幅变化都在增大,另外,从冬到夏 50hPa 环流场的振幅变化无论是低纬还是高纬都明显减弱。50hPa 环流场的这种随纬度和季节的变化与文献[4,7]的分析结果相一致。同时它还表明了北半球 50hPa 环流场各季均是超长波占优势<sup>[5]</sup>。

#### 4. 北半球 50hPa 高度月平均距平场在中高纬地区的遥相关

图 5 表示 1958—1987 年沿 80°N 纬圈和 40°N 纬圈 36 个格点平均的 50hPa 高度月平均距平的多年变化曲线,图中作了六个月的滑动平均处理。可以看出,这两条曲线的变化趋势几乎是完全相反的,特别是长周期的振荡表现更明显。有一点要指出的就是中纬地区的振幅比高纬地区的振幅要小得多。80°N 纬圈与 40°N 纬圈之间的平均距平相关系数高达 -0.5157。由于使用的是 30 年资料,样本长度  $n=360$  个月,故它远远超过了 0.001 信度水平的要求。所以,分析表明北半球 50hPa 高度月平均距平场在中高纬之间存在“跷跷板”式振荡<sup>[10,11]</sup>这一事实是可信的。

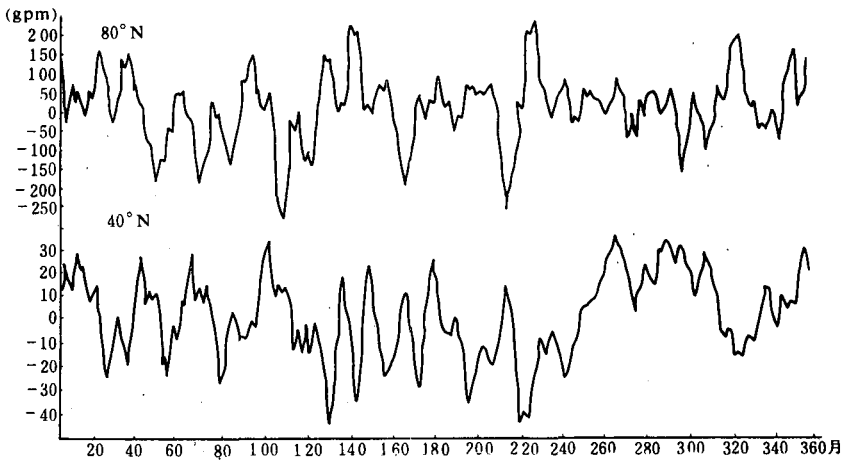


图 5 沿 80°N 和 40°N 纬圈平均的北半球 50hPa 高度月平均距平多年变化曲线

#### 5. 北半球 50hPa 主要环流型的周期分析

由于 50hPa 高度月平均距平场的 EOF 展开精度具有相对稳定性和前几个特征向量场的方差贡献较大,所以,我们对以上分解的 EOF 前四个特征向量场的时间系数进行功率谱分析就能得到 50hPa 高度月平均距平场的总体变化特征。由 1958—1987 年 360 个月 50hPa 高度月平均距平场 EOF 分解后第一特征向量的时间系数求功率谱作出的谱图(图略,最大落后长度  $m$  取 90 个月),可以看到:它存在着 26—36 个月,13 个月,7.8 个月,6.4 个月,4.7 个月和 4.2 个月的振荡周期,这些周期均超过 5% 的信度检验,它们是显著的。

同样对第二到第四特征向量的时间系数分析得到它们各自的功率谱图(图略),发现除第二特征向量场外,第三,第四特征向量场都存在着显著的26个月周期。另外,第二特征向量场还存在180个月,4.4个月,3.6个月,2.1个月的显著周期振荡。第三特征向量场还存在45个月及第四特征向量场存在着36个月和30个月的周期现象。

此外,我们又分别对冬季和夏季各特征向量的时间系数求了功率谱(图略),发现冬季第一到第四特征向量场都存在显著的2.3—2.7年周期;夏季第一,第二特征向量场也存在2.3—2.7年的周期变化。这与前面得到的26—36个月周期相一致。由此说明准两年到三年周期现象在50hPa高度场上各个季节都存在。

对30°N以南低纬地区的50hPa高度月平均距平场进行单独的周期分析发现,25.7—30个月的周期最为明显(图略)。表明赤道平流层的QBO现象在高度场上有着清楚的反映。

### 三、北半球500hPa高度月平均距平场的EOF分析及其与50hPa的比较

图6a—d是对1951—1984年北半球500hPa高度月平均距平场进行EOF分解得到的前四个场的空间分布特征。可以看到,第一经验正交函数场上,极区附近高纬地区的一大片正值区与中纬度的负值区相对应。在中纬度的负值区,极值中心位于大西洋东部沿岸,它和极区的正极值中心,使我们很容易把500hPa EOF这一型与Wallace等<sup>[1]</sup>的大西洋东部型(EA)的遥相关型相联系起来。与50hPa图1a比较可见,500hPa第一特征向量场的空间分布和50hPa第一特征向量场的空间分布形式非常相似,正负极值中心也有很好的对应关系,表明EOF分解的第一特征向量场在平流层与对流层之间具有相当正压结构。第二特征向量场500hPa的分布东、西两半球高纬地区分别是负值区和正值区,对应的中纬地区则分别是正值区与负值区。与50hPa图1b比较,它们仍有相似之处,只是500hPa东、西两半球的负、正极值位置偏西。500hPa第三,第四特征向量场是较为对称的波状结构距平分布型,与50hPa相比,正负中心明显增多,且也不如50hPa分布对称。第五经验正交函数场(图略)500hPa上则与著名的PNA遥相关型相一致。根据以上分析,我们看到利用全年的500hPa高度月平均距平场作EOF展开,获得的经验正交函数具有明确的天气学意义。并且500hPa第一,第二特征向量场与50hPa第一,第二特征向量场具有很好的空间分布一致性。它们的形式与外界的强迫作用,大气内部动力学等各种因子的综合作用有关。同样,我们还分别作了500hPa冬季1月及夏季7月的经验正交函数展开,得到的结果与全年基本相似(图略)。

另外,通过对500hPa与50hPa全年、冬季及夏季EOF展开特征向量场的方差拟合精度比较可以得出,对北半球50hPa EOF分解来说,仅取前6个场就能包括原场信息的90%以上,自由度大大减少。而对500hPa要取到前25个场方差拟合精度才能超过90%(全年90.5%,冬季95.5%,夏季91.3%)。换句话说,对平流层的EOF展开无论是拟合精度稳定性,还是拟合精度的收敛性都远远优于对流层。

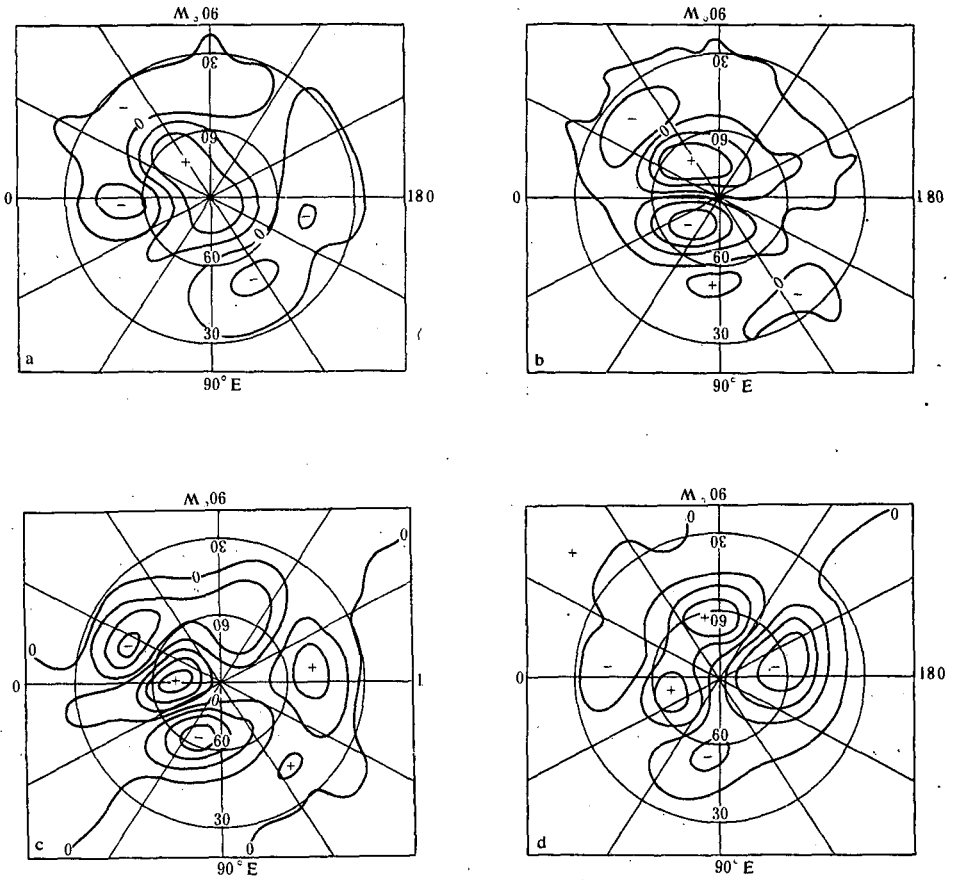


图 6 北半球全年 50hPa EOF 场空间分布

(a)第一特征向量(b)第二特征向量(c)第三特征向量(d)第四特征向量(说明同图 1)

### 四、结 论

通过以上讨论我们得到如下几点认识:

(1)50hPa 等压面上的长波和超长波系统的变化特征具有长期的相对稳定性,从而形成了几种定常的环流型。故在对北半球全年、冬季及夏季 50hPa 环流场进行研究时,可通过 EOF 分解将其自由度大大压缩。

(2)第一特征向量场的空间分布表示了北半球 50hPa 环流场,当高纬地区位势高度较常年偏高(低)时,对应中纬地区则偏低(高)的特征,它的方差拟合精度均在 55%以上。

(3)北半球 50hPa 高度月平均距平场中高纬地区之间存在着明显相反变化趋势,80°N 与 40°N 纬圈之间的相关系数高达-0.5157,远远超过信度  $\alpha=0.001$  的要求。

(4)北半球 50hPa 环流场有显著的准两年到 3 年及准 4 个月的振荡周期。对 30°N 以南低纬地区的分析得到了 25.7 个月和 30 个月的显著周期,表明赤道平流层 QBO 现象在高度场上也有清楚的反映。

(5)500hPa 与 50hPa 第一、第二特征向量场有相似的空间分布形式。

(6)平流层 EOF 展开无论是拟合精度的稳定性还是拟合精度的收敛性都远远优于对流层的 EOF 展开。

### 参 考 文 献

- [1] 王玉佩, 30(50)hPa 流型及其季节变化与我国旱涝的关系, 气象学报, 44, 227—234, 1986。
- [2] Fels, S. B. Mahlman, J. D., Schwarzkopf, M. D., Stratospheric Sensitivity to Perturbations in Ozone and Carbon dioxide, Radiative and dynamical response, *J. Atmos. Sci.*, 37, 2265—2297, 1980。
- [3] Labitzke K. On the interannual variability of the middle atmosphere during the northern winters, *J. Meteor. Soc. Japan*, 60, 124—138, 1982。
- [4] 翟章等, 北半球平流层月平均环流的若干基本事实, 高原气象, 7, 166—176, 1989。
- [5] 葛玲等, 北半球对流层至平流层中部平均环流的分波结构, 高原气象, 6, 306—316, 1987。
- [6] Holton, J. R. and Lindzen, R. S., An updated theory for the quasibiennial cycle of the tropical stratosphere, *J. Atmos. Sci.* 39, 791—799, 1982。
- [7] Rind, D., R. Suozzo, N. K. Balachandran, A. Lacis and G. Russell, The GISS global climate-middle atmosphere model. Part I, Model structure and climatology, *J. Atmos. Sci.*, 45, 329—370, 1988。
- [8] 黄嘉佑, 气象统计预报, 气象出版社, 1982 年。
- [9] 顾润源、刘晓东, 北半球 50hPa 环流异常与厄尔尼诺/反厄尔尼诺事件关系的分析, 热带气象, 第四期, 1990 年。
- [10] 陈烈庭, 北太平洋东西部气压距平的遥相关, 科学通报, 29, 481—483, 1984。
- [11] Wallace, J. M., and D. S. Gutzler, *Mon. Wea. Rev.*, 106, 296—310, 1981。

## THE EOF ANALYSIS OF 50hPa POTENTIAL HEIGHT ANOMALY FIELD IN THE NORTHERN HEMISPHERE AND ITS COMPARISON WITH THE TROPOSPHERIC FIELD

Gu Runyuan

(Meteorological Observatory of Shandong Province)

Liu Xiaodong

(Lanzhou Institute of Plateau Atmospheric Physics, Academia Sinica)

Wang Yuxi

(Atmospheric Science Department of Lanzhou University)

### Abstract

In this paper, we analysed the 50hPa potential height anomaly field in the Northern Hemisphere using the EOF method. It is indicated that (1) there are several stationary circulation patterns in 50hPa field of the Northern Hemisphere, and the stable fitting precision of EOF, (2) there is a obvious "see-saw" phenomenon between high latitude and middle latitude in the 50hPa potential height anomaly field of the Northern Hemisphere, (3) the quasi-biennial to quasi-triennial oscillation and quasi-four month oscillation of 50hPa circulation field in the Northern Hemisphere exist obviously, and the QBO phenomenon of equatorial stratosphere is also verified, and (4) as compared between the 500 hPa and 50 hPa field, the first and second characteristic vectors of potential height anomaly field have the similar spatial distribution, but EOF expansion in the stratosphere whether the stability of fitting precision or the convergence is better than that in the troposphere.