

江淮流域旱涝年夏季 $E-P$ 通量特征分析^①

姚文清¹ 徐祥德¹ 冉令坤²

(1. 中国气象科学研究院, 北京 100081; 2. 中国科学院大气物理研究所)

提 要

利用 1958~1997 年 NCAR/NCEP 全球再分析资料和 1951~1998 年全国 160 站月降水资料研究了江淮流域旱涝年夏季 $E-P$ 通量的分布状况, 早年 $E-P$ 通量在 40°N 附近呈强辐合特征, 涝年在 30°N 附近呈强辐合特征, 其分布形式与降水的对应关系显著。旱涝年 $E-P$ 通量不同的分布形式促使江淮流域早年 40°N 附近的高空西风急流得到加强, 涝年 30°N 附近的高空西风急流得到加强, 使得相应地区的风场高层辐散、低层辐合得到加强, 形成了有利于降水生成的动力条件, 是江淮流域及中国区域不同形式的降水分布形成的重要因素。

关键词: $E-P$ 通量 江淮流域 旱、涝年 夏季降水

引 言

大气中波与流的相互作用是大气动力学的重要课题之一。 $E-P$ 通量是近年来大气环流分析中常用的诊断工具。它最早由 Eliassen 和 Plam 提出用于诊断分析类波扰动对纬向平均流的加速^[1]。Andrews 和 McIntyre 将其推广到变形后的欧拉方程, 之后又扩展到有限振幅的扰动, 进而又推广到等熵坐标系有限振幅的 $E-P$ 通量矢^[2,4]。Edmon 利用箭头展示了诊断 $E-P$ 通量辐合、辐散的垂直剖面^[5]。黄荣辉把 $E-P$ 通量推广到球面并用此研究行星波上传的波导问题^[6]。吴国雄把 $E-P$ 通量推广到湿大气^[7]。Yang 等进行了全球性的等熵坐标系 $E-P$ 通量散度研究^[8]。高守亭从理论上探讨了高空波同高空急流的相互作用, 并应用斜压大气中的广义 $E-P$ 通量对高空急流的加速进行了诊断^[9,10], Pfeffer 再次分析了用 $E-P$ 通量对纬向平均流及径向平均流诊断的条件, 并诊断了 $E-P$ 通量散度对高空急流的加速^[11]。近年来人们发现波与流相互作用也与中尺度系统的发生、发展有关, 在中尺度的研究中, 波

与流相互作用也是重要的^[12]。本文的主要目的在于尝试将 $E-P$ 通量的研究成果应用到我国江淮流域旱涝年夏季降水中表现出的波与流之间的相互作用方面。

1 资料和方法

所用资料为 1958~1997 年 NCAR/NCEP 全球再分析资料, 其水平分辨率为 $2.5^{\circ} \times 2.5^{\circ}$, 垂直 17 层, 以及 1951~1998 年全国 160 站月降水资料。早年指江淮流域严重干旱年, 包括 1959、1961、1966、1967、1978、1981、1985 共 7 年, 涝年指江淮流域严重洪涝年, 包括 1969、1980、1983、1989、1991、1996 年共 6 年。

取定常、绝热、无摩擦的准静力、准地转运动, 并取 β 平面近似, 由扰动方程可得

$$E = E(y) + E(p) \quad (1)$$

其中
$$E(y) = -\overline{u'v'} \quad (2)$$

$$E(p) = \overline{\theta'v'} \left/ \frac{\partial \theta}{\partial p} \right. = f \overline{\theta'v'} / \bar{\theta}_p \quad (3)$$

u', v' 分别为纬向风和经向风扰动, θ, θ' 为位温及其扰动量, 平均表示沿纬圈平均, 则 E 既包括感热涡动通量又包括动量涡

① 由基础研究重大项目前期研究专项“东亚季风科学实验预研究”(NO2001CCB00400)资助。

动通量,称为 $E-P$ (Eliassen-Palm) 通量^[5]。其散度为

$$\nabla \cdot \mathbf{E} = \frac{\partial E(y)}{\partial y} + \frac{\partial E(p)}{\partial p} \quad (4)$$

研究表明 $E-P$ 通量的空间分布的散度可以影响平均基本气流的变化,特别是靠近急流带的 200hPa 层次^[12]。由 $E-P$ 通量辐散同纬向平均流的加速以及剩余环流的关系

$$\frac{\partial \bar{u}}{\partial t} - \bar{f}v^* = \frac{1}{\rho_0} \nabla \cdot \mathbf{E} \quad (5)$$

可知如果 $\nabla \cdot \mathbf{E} > 0$, 则 $\frac{\partial \bar{u}}{\partial t} > 0$, 即 $E-P$ 通量矢量是辐散时, 西风基本气流要加速; 反之, 若 $\nabla \cdot \mathbf{E} < 0$, 则 $\frac{\partial \bar{u}}{\partial t} < 0$, 即西风基本气流要减速, 而东风基本气流要加速^[13]。

本文选取以 110°E 为中心轴的带状区域计算夏季 $E-P$ 通量散度, 其它物理量的计算

区域与此相同。

2 结果与分析

分析 40 年气候平均夏季 $E-P$ 通量散度南北半球垂直剖面分布特征(图 1a)可见, 大气中存在行星尺度的经向波列, 自下边界南极经上传至赤道对流层顶部与平流层底部, 然后转为经向下传至北半球中纬度区域。选取文中江淮流域旱、涝年, 分别计算其夏季 $E-P$ 通量散度可见, 就全球而言, 旱、涝年夏季 $E-P$ 通量散度总的分布形式与 40 年平均类似, 但对比旱、涝年夏季 $E-P$ 通量垂直分布特征可见, 经向波列的强度和位置存在差异。就北半球而言, 波列在赤道地区对流层顶部与平流层底部折射后, 旱年在 40°N 附近呈强辐合特征(图 1b), 而涝年在 30°N 附近呈强辐合特征(图 1c)。

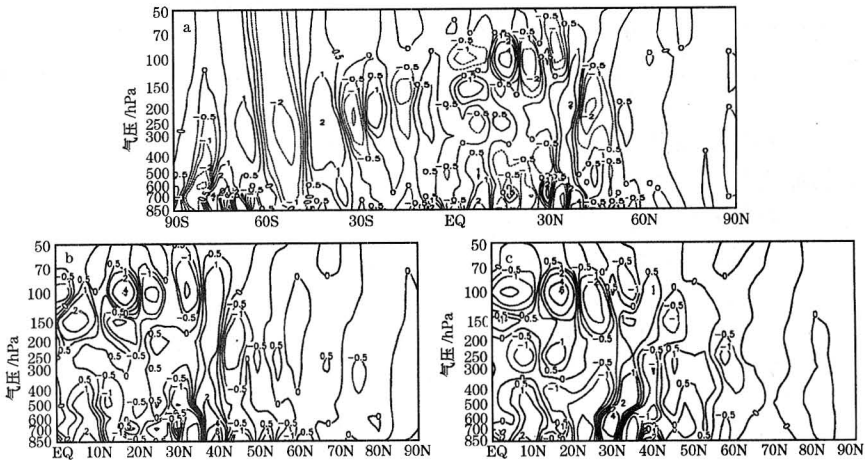


图 1 40 年气候平均(a)及江淮流域旱年平均(b)和涝年平均(c)夏季 $E-P$ 通量散度 (单位: $\times 10^{-6} \text{m} \cdot \text{s}^{-2}$)

图 2 给出了江淮流域旱年平均和涝年平均与 40 年气候平均夏季降水的偏差, 由图可见, 江淮流域旱年, 中国区域夏季降水在 40°N 附近偏多, 而江淮流域涝年, 中国区域夏季降水在 30°N 附近偏多。与图 1 对比可见, 降水的分布形式与 $E-P$ 通量散度的分布形式对应关系显著。

为进一步说明 $E-P$ 通量与降水的关系, 本文分析了江淮流域旱年平均和涝年平均与

40 年气候平均纬向风的偏差。结果表明, 在江淮流域旱年, 40°N 附近 200hPa 左右高空西风急流偏强(图 3a), 而江淮流域涝年, 30°N 附近 200hPa 左右高空西风急流偏强(图 3b), 也就是说 $E-P$ 通量在此处对高空西风急流起到了加速的作用。

另外, 分析江淮流域旱年平均和涝年平均与 40 年气候平均散度的偏差可见, 江淮流域旱年 40°N 附近高空急流的加强, 促进了

高层辐散、低层辐合的加强(图 4a),这样在 40°N 附近的垂直运动得到发展,有利于该地区降水的生成。与此对应,江淮流域涝年 30°N 附近的高空急流的加强,促进了该地区

高层辐散、低层辐合的发展(图 4b),使得这些地区的垂直运动得到发展,致使江淮流域降水偏多。

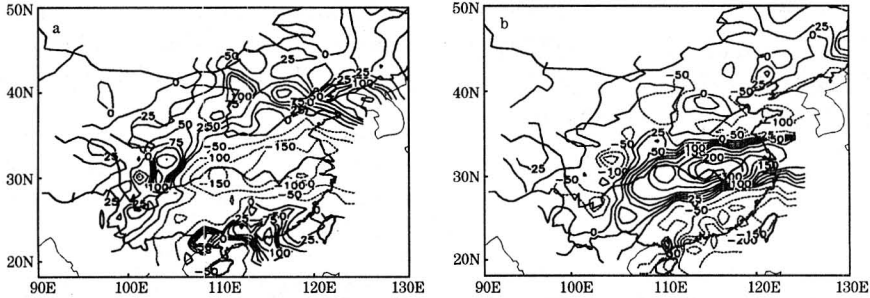


图2 江淮流域早年平均(a)和涝年平均(b)与40年气候平均夏季降水偏差(单位:mm)

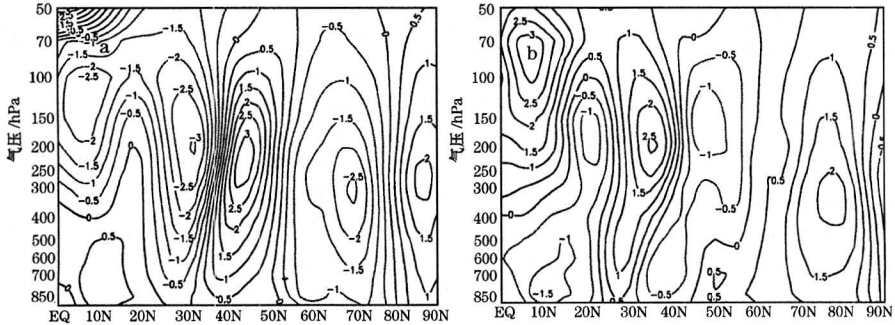


图3 江淮流域早年平均(a)和涝年平均(b)与40年气候平均纬向风偏差剖面(单位:m·s⁻¹)

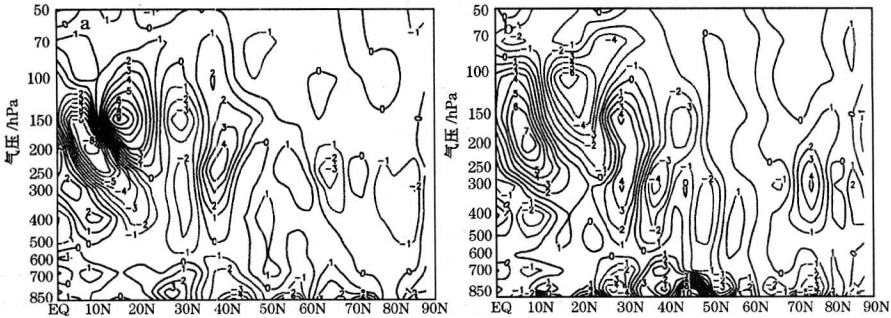


图4 江淮流域早年平均(a)和涝年平均(b)与40年气候平均散度偏差剖面(单位:×10⁻⁶·s⁻¹)

综合以上各类分析结果可见,江淮流域旱涝年夏季降水的生成可以追溯到由南极开始的大气行星波对江淮流域大气动力结构的影响,形成了有利于降水生成的动力条件,是江淮流域及中国区域不同降水分布形式形成的重要因素。

3 结 语

(1)大气中存在行星尺度的经向波列,自

下边界南极经向上传至赤道对流层顶部与平流层底部,之后转为经向下传至北半球中纬度区域。就北半球而言,江淮流域旱涝年夏季 E-P 通量的强度和位置分布存在差异,旱年在 40°N 附近呈强辐合特征,而涝年在 30°N 附近呈强辐合特征,且其分布形式与降水的对应关系显著。

(2)E-P 通量对高空急流起到加速的作

用,使得江淮流域早年 40°N 附近200hPa左右高空西风急流得到加强,江淮流域涝年 30°N 附近200hPa左右西风高空急流得到加强。

(3)江淮流域旱(涝)年, 40°N (30°N)附近加强了的高空急流促使该地区高层辐散、低层辐合的加强,有利于垂直运动的发展和相应地区降水的增多,是江淮流域及中国区域不同降水分布形式形成的重要因素。

参考文献

- 1 Eliassen, A. and Palm, E. On the transfer of energy in stationary mountain waves, Geofy. Publikasjoner, 1961, 22:1—23.
- 2 Andrews, D. G. and McIntyre, M. E. Planetary waves in horizontal and vertical shear: the generalized Eliassen-Palm relation and the mean zonal acceleration. J. Atmos. Sci., 1976, 33:2031—2048.
- 3 Andrews, D. G. and McIntyre, M. E. An exact theory of nonlinear waves on a Lagrangian-mean flow. J. Fluid Mech. 1978, 89:609—646.
- 4 Andrews, D. G. A finite-amplitude Eliassen-Palm theorem in isentropic coordinates. J. Atmos. Sci., 1983, 40:1877—1883.
- 5 Edmon, H. G. Hoskins, B. J. and McIntyre, M. E., Eliassen-Palm cross sections for the troposphere, J. Atmos. Sci., 1980, 37:2600—2615.
- 6 黄荣辉. 冬季格陵兰高原对北半球定常行星波形成的作用. 大气科学, 1983, 7:393—402.
- 7 Wu Guoxiong and Chen Biao. Non-acceleration theorem in a primitive equation system: I Acceleration of Zonal Mean Flow. Advances in Atmospheric Sciences, 1989, 6:1—20.
- 8 Yang, H., Tung, K. K. and Olague, E. Nongeostrophic theory of zonally averaged circulation, Part II: Eliassen-Palm flux divergence and isentropic mixing coefficient. J. Atmos. Sci. 1990, 47:215—241.
- 9 高守亭. 东亚寒潮期间波与流相互作用的研究. 博士学位论文, 中国科学院大气物理研究所, 1988, 172.
- 10 高守亭, 陶诗言, 丁一汇. 表征波与流相互作用的广义 $E-P$ 通量. 中国科学(B), 1989, 7:774—784.
- 11 Pfeffer, R. L. A study of eddy-induced fluctuations of the zonal-mean wind using conventional and transformed Eulerian diagnostics. J. Atmos. Sci. 1992, 49:1036—1050.
- 12 徐祥德, 高守亭. 外源强迫与波流作用动力学原理. 海洋出版社, 2002, 57—63.
- 13 丁一汇. 天气动力学中的诊断分析方法. 中国科技大学研究生院. 1993, 97—100.

Characteristics of Summer Eliassen-Palm Flux in Drought/Flood Years of the Changjiang and Huaihe Valley

Yao Wenqing¹ Xu Xiangde¹ Ran Lingkun²

(1. Chinese Academy of Meteorological Sciences, Beijing 100081;

2. Institute of Atmospheric Physics, Beijing 100029)

Abstract

Based on NCEP/NCAR reanalysis data(1958-1997) and monthly-mean rainfall data(1951—1998) at 160 stations, the characteristics of summer Eliassen-Palm ($E-P$) flux in drought/flood years of the Changjiang and Huaihe valley are analyzed. Results indicate that the $E-P$ flux show strong convergence at the regions of 40°N (30°N) in drought (flood) years, which is in well consistent with rainfall distributions. The different distributions of $E-P$ flux in drought/flood years lead to the enhanced upper level westerly jet in the vicinity of 40°N (30°N) in drought(flood) years and further to the enhanced wind field divergence in the upper level and convergence in the lower level at the corresponding region which is favorable to the formation of rainfall and is an important factor for the distributions of rainfall in the Changjiang and Huaihe valley and in China.

Key Words: $E-P$ flux the Changjiang and Huaihe valley drought/flood year summer rainfall