7 Xu S. Formation and exhumation of the eclogite belt in the Dabie Mountains, Eastern China. Chin Sci Bull, 1995, 40(Suppl): 159~ 161
8 Selverstone J, Franz G, Thomas S, et al. Fluid variability in 2 GPa eclogites as an indicator of fluid behavior during subduction. Contrib Mineral Petro, 1992, 112: 341~ 357
9 Tolstikhin I N, Dokuckchaeva V S, Kamensky I L, et al. Juvenile helium in ancient rocks: U_He, K_Ar, Sm_Nd and Rb_Sr systematics in the Monche Pluton, $^3He/^4He$ ratios frozen in uranium_free ultramafic rocks. Geochim Cosmochim Acta, 1992, 56: 987~ 999
10 李曙光, 葛宁洁, 刘德良, 等. 大别山北翼大别群中 C 型榴辉岩的 Sm_Nd 同位素年龄及其构造意义. 科学通报, 1989, 34(7): 523~ 525
11 刘若新, 樊祺诚, 李会明, 等. 大别山碧溪岭榴辉岩 U_Pb 年龄及其地质意义. 见: 欧阳自远主编, 中国矿物岩石学地球化学研究进展(一). 兰州: 兰州大学出版社, 1994. 169~ 170
12 李曙光, 刘德良, 陈移文, 等. 大别山南麓含柯石英榴辉岩的 Sm_Nd 同位素年龄. 科学通报, 1992, 37(4): 346~ 348
13 Ames L. Tilton G R, Zhou G. Timing of collision of the Sino_Korean and Yangtse cratons: U_Pb zircon dating of coesite_bearing eclogites. Geol, 1993, 21: 339~ 342

(1997-04-28 收稿, 1997-08-04 收修改稿)

副热带高压带断裂的动力学分析
——地转作用

李建平 丑纪范
(兰州大学大气科学系, 兰州 730000)

摘要 通过直接利用实际资料进行计算比较获得了描述副热带高压的简单动力模型. 从该模型出发, 讨论了无海陆差异和无地形下副高带的断裂. 并对其断裂的动力学过程作了初步分析。

关键词 副热带高压带 断裂 动力 非均匀性

在热带和温带之间的副热带地区, 存在着副热带高压带(以下简称副高带). 它不是一条连续的带, 而是断裂成一些具有闭合高压中心的单体[1, 2]. 副高带为什么会断裂呢? 这个问题至今仍未完全解决[3]. 一些研究者[4, 5]将其归因于外部因素, 即海陆分布和地形的影响. 然而, 这并非圆满的解答, 如对于对流层中上层存在大洋中部槽而把副高分开的现象就无法解释. 因而, 除海陆和地形的外部因素外, 副高断裂是有其内部动力原因的. 但是, 迄今尚缺乏对副高断裂的动力理论的研究. 本文通过对观测资料的分析获得描述副高的简单动力模型, 从而对其断裂的动力学过程作了初步分析.

1 动力模型

对副高进行动力学研究, 重要的不是什么对它有影响, 而是什么是主要的[1)]. 副高是行星尺度的系统, 常年存在, 相对稳定, 具有准定常性. 因此, 本文采用球面坐标(λ, φ, p)中定常的水平运动方程来讨论, 且略去摩擦. 为进一步抓住该类系统的主要特征, 需要对方程中的惯

1) 丑纪范. 对研究季风异常的动力机制的方法的思考. 1995 年季风学术讨论会论文摘要, 1995. 5

性力、气压梯度力和柯氏力等项的量级进行比较. 这里不采用通常的尺度分析中的量级估计方法, 而是直接利用实际资料进行计算比较. 这种做法避免了一些臆测, 所得的结果更符合实际大气的情况. 本文所用资料是 ECMWF 7 层 10 年(1980~ 1989) 月平均资料.

图 1(a)、(b) 是北半球 7 月 500 hPa 上惯性力、气压梯度力与柯氏力之比(水平尺度 $L=10$ 个纬距 $\approx 1.1\times 10^6$ m) 的纬向平均分布(不考虑赤道带即 5°S~ 5°N 内的情况). 由图可知, 除赤道带外, 对于大尺度情形, 气压梯度力与柯氏力基本平衡, 惯性力较之至少小一个量级. 因此, 球面(λ, φ, p) 坐标中定常的大尺度水平运动方程组以较高精度表述成

$$f_v = \frac{1}{a\cos\varphi}\frac{\partial\phi}{\partial\lambda} \tag{1}$$

$$f_u = -\frac{1}{a}\frac{\partial\phi}{\partial\varphi} \tag{2}$$

这正是地转平衡关系. 这表明, 对于行星尺度运动, 风场的准地转性不仅在中高纬有效, 在低纬地区亦常有效[6]. 通过比较其他六层的结果知, u 分量均能较好满足方程(2); 而 v 分量在对流层中层可较好满足方程(1), 在对流层上层低纬地区虽然惯性力较柯氏力小(除赤道带外), 但未小到一个量级(如图 1(c)). 因此, 在对流层上层需要讨论如下的定常方程:

$$\frac{u}{a\cos\varphi}\frac{\partial u}{\partial\lambda}+\frac{v}{a}\frac{\partial u}{\partial\varphi}-f_v=-\frac{1}{a\cos\varphi}\frac{\partial\phi}{\partial\lambda} \tag{3}$$

$$f_u = -\frac{1}{a}\frac{\partial\phi}{\partial\varphi} \tag{4}$$

其实, 方程(3) 较方程(1) 更为一般. 这表明, 即使是同一尺度的运动, 在不同层次上起主要作用的因子也不尽相同.

另外, 计算结果还表明, 除赤道带外, 同一纬度上各层都有(见图 1(a)、(c) 中曲线 B)

$$f > \frac{1}{a}\frac{\partial u}{\partial\varphi} \tag{5}$$

这实际上是大尺度运动柯氏力大于惯性力的另一表述.

2 分析

首先引入均匀性和非均匀性两个概念. 物理量 A 若在一封闭曲线(或区域) 上被称为是均匀的, 是指其在该曲线(或区域) 上处处同号. 若这一封闭曲线(或区域) 为纬圈(或纬带), 则称为纬向均匀性. 相反, 非均匀性是指物理量 A 为一封闭曲线(或区域) 上的变号函数. 下面先讨论方程组(1)、(2).

大气环流观测表明, 对流层里低纬地区盛行偏东风, 中纬地区则是西风带. 副高脊线恰好位于东西风分量为零的联线上[1~5]. 因此, 我们只讨论 $u=0$ 线上的情况. 由(2) 知

$$\left.\frac{\partial\phi}{\partial\varphi}\right|_{u=0} = 0. \tag{6}$$

因此, 在 $u=0$ 线上, ϕ 在 φ 方向上取得极值. 极值的性质由二阶导数而定, 即

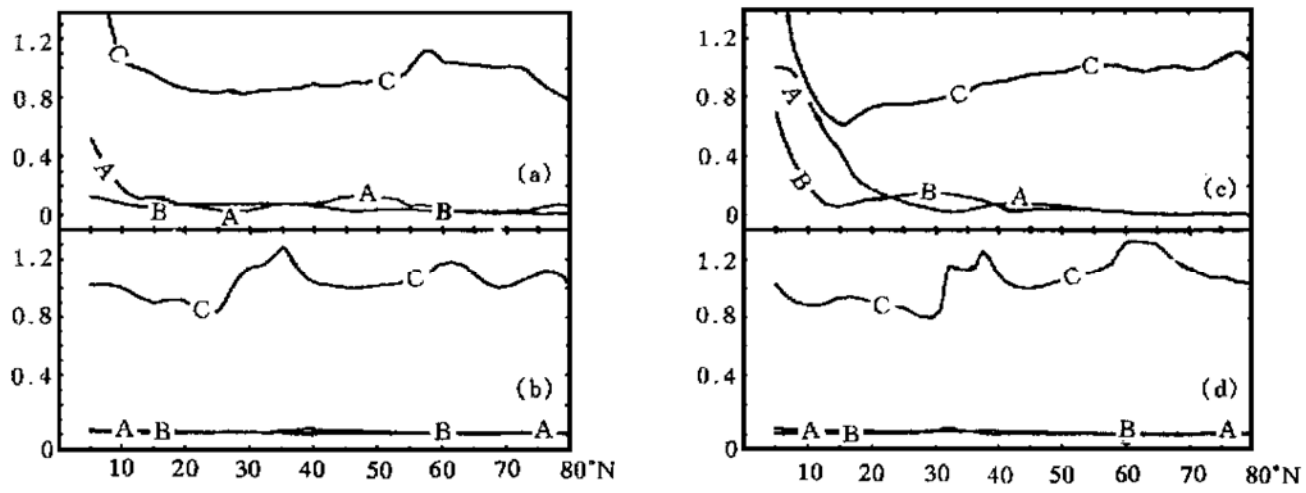

图 1 北半球 7 月 500 hPa((a)、(b)), 100 hPa((c)、(d)) 上惯性力、气压梯度力与柯氏力之比的纬向平均分布

水平尺度 $L=$ 10 个纬距 $\approx 1.1\times10^6$ m; (a)、(c) 曲线 A, B, C 分别为 $\left|\left|\frac{u}{a\cos\varphi}\frac{\partial u}{\partial\lambda}\Big/f_v\right|\right|$、$\left|\left|\frac{v}{a}\frac{\partial u}{\partial\varphi}\Big/f_v\right|\right|$、$\left|\left|\frac{1}{a\cos\varphi}\frac{\partial\phi}{\partial\lambda}\Big/f_v\right|\right|$; (b)、(d) 曲线 A、B、C 分别为 $\left|\left|\frac{u}{a\cos\varphi}\frac{\partial v}{\partial\lambda}\Big/f_u\right|\right|$、$\left|\left|\frac{v}{a}\frac{\partial v}{\partial\varphi}\Big/f_u\right|\right|$、$\left|\left|\frac{1}{a}\frac{\partial\phi}{\partial\varphi}\Big/f_u\right|\right|$

$$\left.\frac{\partial^2\phi}{\partial\varphi^2}\right|_{u=0}=-\left.a\left|\beta u+f\frac{\partial u}{\partial\varphi}\right|\right|_{u=0}=-\left.af\frac{\partial u}{\partial\varphi}\right|_{u=0}. \tag{7}$$

如果 $u=0$ 线上纬向风切变 $\frac{\partial u}{\partial\varphi}$ 是非均匀的, 则 φ 方向上 ϕ 在 $\left.\frac{\partial u}{\partial\varphi}\right|_{u=0}>0$ 外取极大值, 在 $\left.\frac{\partial u}{\partial\varphi}\right|_{u=0}<0$ 处取极小值. 于是高压带被低压(槽)割裂开来, 其槽脊分布必是图 2(a)、(b) 所示的型式, 这正是典型的洋中槽情况.

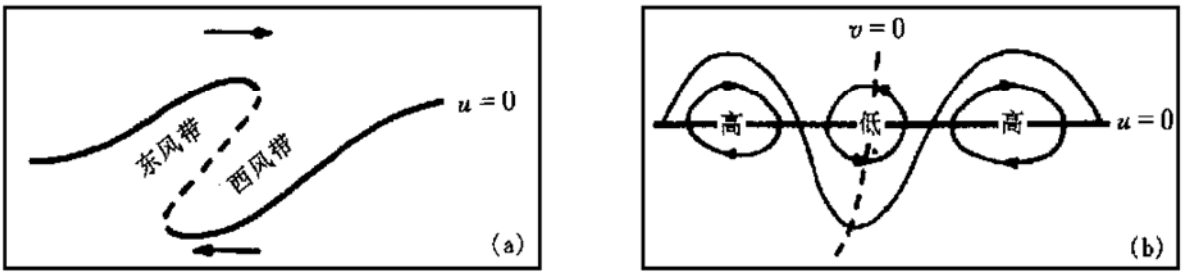

图 2 由于纬向风切变 $\frac{\partial u}{\partial\varphi}$ 的非均匀性引起副高断裂的槽脊分布

(a) 实虚线为 $u=0$ 线, 实线为脊线, 虚线为槽线, 箭头为纬向风方向; (b) 粗实线为 $u=0$ 线, 虚线为 $v=0$ 线, 细实线为等高线, 箭头为气流方向

对于 $u=0$ 线 $\frac{\partial u}{\partial\varphi}$ 是均匀的情况. 考虑低纬为东风, 中纬为西风, $u=0$ 线沿纬圈分布的情况. 此时 $\left.\frac{\partial^2 u}{\partial\varphi^2}\right|_{u=0}>0$. 于是 $u=0$ 线上 ϕ 在 φ 方向取极大值. 由(1)知, 在 $u=0$ 线上除了 $v=0$ 的情形外, v 是非均匀的, 否则沿纬圈积分有 $\int_0^{2\pi}\frac{1}{a\cos\varphi}\frac{\partial\phi}{\partial\varphi}a\cos\varphi\,\mathrm{d}\lambda=0$, 而 v 沿纬圈处处

同号有$\int_0^{2\pi} f_v a\cos\varphi \mathrm{d}\lambda \neq 0$矛盾. 于是 v 是 $u=0$ 线上的变号函数, 且至少有两个零点. 在 $v=0$ 时, $\left.\frac{\partial\phi}{\partial\lambda}\right|_{v=0}=0$, 即 ϕ 在 λ 方向取得极值. 因 $\left.\frac{\partial^2\phi}{\partial\lambda^2}\right|_{v=0}=af\cos\varphi\left.\frac{\partial v}{\partial\lambda}\right|_{v=0}$. 故 λ 方向上 ϕ 在 $\left.\frac{\partial v}{\partial\lambda}\right|_{v=0}<0$ 处取极大值, 在 $\left.\frac{\partial v}{\partial\lambda}\right|_{v=0}>0$ 处取极小值. 因此, $u=0$ 线上 ϕ 必会在 λ 方向有极小值存在, 从而将高压带分开 (见图 3). 对于 $u=0$ 线上 $v=0$ 的情形, 则需另作分析.

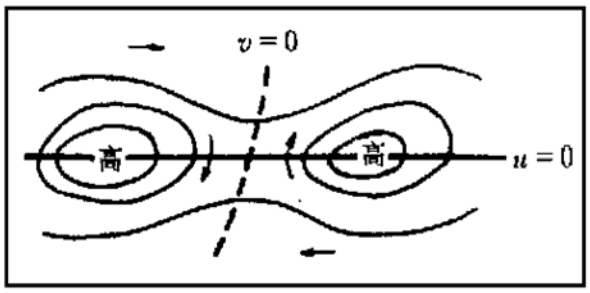

图 3　因经向风 v 的纬向非均匀性造成的副高带的断裂
——"猫眼"状分布, 符号同图 2(b)

方程组(3)、(4)仿上面的讨论可得同样的结论. 对方程(4)无需多言. 因此, 只讨论 $u=0$ 线上 $\frac{\partial u}{\partial\varphi}$ 均匀的情况. 仍考虑方程(1)时 u 的分布. 在 $u=0$ 线上 $v\left|\frac{1}{a}\frac{\partial u}{\partial\varphi}-f\right|=-\frac{1}{a\cos\varphi}\frac{\partial\phi}{\partial\lambda}$. 注意到(5)式, 则得到 $u=0$ 线上除了 $v=0$ 的情形外 v 必是非均匀的. 于是, 仿上面的分析可推得高压带被分开的结论.

3　结果与讨论

本文从简单的动力模型出发, 讨论了无海陆差异和无地形下副高带的断裂. 经向风 v 和纬向风切变 $\frac{\partial u}{\partial\varphi}$ 的非均匀性对应着副高带不是一条连续的带而是断裂成若干高压单体, 这是由副高内部动力约束所要求的. 因此, 副高带的断裂可能是地球旋转大气所固有的属性. 应当看到, 本文的分析是初步的, 且副高带的断裂与否也不唯一地由柯氏力决定, 需要与其他因素共同决定, 这有待于进一步研究. 此外, 要说明的是本文虽然没有讨论海陆和地形的作用, 但并不否定它们的影响会导致副高带断裂. 恰恰相反, 正是由于副高的内部动力过程和海陆分布及地形的外在因素, 才形成了实际大气中副高带断裂的复杂性和多样性.

致谢　本工作为国家自然科学基金(批准号: 49635170)资助项目.

参　考　文　献

1　陶诗言, 朱福康, 吴天棋. 夏季中国大陆及其邻近海面副热带高压活动的天气学研究. 见: 陶诗言主编. 中国夏季副热带天气系统若干问题的研究. 北京: 科学出版社, 1965. 106~ 123
2　黄士松, 余志豪. 副热带高压结构及其同大气环流有关若干问题的研究. 气象学报, 1961, 31(4): 339~ 359
3　吴国雄. 气候系统研究中的几个问题. 见: 国家自然科学基金委员会等主编, 现代大气科学前沿与展望. 北京: 气象出版社, 1996. 88
4　高由禧. 海陆分布和青藏高原对我国气候的影响. 见: 高由禧主编, 青藏高原气象论文集(1975~ 1976). 北京: 科学出版社, 1977. 34~ 46
5　喻世华, 陆胜元. 热带天气学概论. 北京: 气象出版社, 1986. 83
6　曾庆存. 数值天气预报的数学物理基础(第一卷). 北京: 科学出版社, 1979. 120, 276~ 283

(1997-05-14 收稿, 1997-07-15 收修改稿)