

纬向平均副热带高压和 Hadley 环流 下沉支的关系*

吴国雄 刘屹岷 刘平 任荣彩

(中国科学院大气物理研究所, LASG, 北京, 100029)

气象学者传统地认为副热带高压带是 Hadley 环流的下沉支形成的。鉴于冬(夏)季 Hadley 环流最强(弱)时副热带高压反而最(弱)强的事实, Hoskins^[1]对经典理论提出质疑。吴国雄等^[2,3]指出副热带高压(下文中称副高)的形成主要是加热的垂直非均匀造成的。刘屹岷等^[4,5]发现夏季 500 hPa 月平均图上 165°E 以西的西太平洋副高以上升运动为特征。一般来说,受副高控制天气晴好,这与西太平洋副高以上升运动为特征是否有矛盾。为此,我们首先研究气候纬向平均副高的动力问题,结果表明 Hadley 环流和副高形成是两个不同的动力问题,不能用 Hadley 环流的下沉运动去解释副高形成;副高形成时的质量堆积是由于地球自转所致;行星边界层中的摩擦作用使副高脊在边界层顶出现下沉运动,因而多晴好天气。

图 1(见封四)给出了 1980~1997 年多年纬向平均的位势高度对等压面上赤道位势高度的偏差分布,正值表示质量堆积,最大值即为副高中心;粗断线表示纬向风速为零,它与副高脊轴的位置重合。这可由如下的经向动量方程的地转平衡予以解释,即由地球自转引起的南北向的“质量通量” $f\rho u$ 正比于气压梯度 $-\partial F/\partial y$:

$$f\rho u = -\partial F/\partial y \quad (1)$$

而地转引起的南北质量通量的辐合(堆积) $-\partial(f\rho u)/\partial y$ 必须为气压梯度引起的质量辐散所平衡

$$-\frac{\partial}{\partial y}(f\rho u) = \frac{\partial^2 p}{\partial y^2} \propto -p \quad (2)$$

式(1)表明,对纬向平均而言,副高所在纬度纬向风为零;式(2)则表明由于地球自转引起的质量堆积在副高处最大。还由于在 $u = 0$ 处它正比于

$-f\rho\partial u/\partial y$,因此对于相同的东风切变,质量的堆积正比于 ρ 和 f 。同理,在等压面坐标中质量堆积可用位势高度表示。图 1 表明副高在近地层最强, Φ 达 50 gpm。由于低纬暖,高纬冷,副高脊随高度向赤道倾斜,强度很快减弱,至 500 hPa 处副高在北半球约为 10 gpm,在南半球仅为 5 gpm。

在图 1 中的流线为平均经圈环流(MMC)。很显然, Hadley 圈的下沉支在南北半球均垂直地位于副热带,在自由大气中与副高脊完全分离。其实 MMC 的形成是由于大气的地转平衡被加热、摩擦或涡动输送过程所破坏而激发出来以使大气恢复新的地转平衡^[6~8]。与副高的质量堆积不同, MMC 在维持大气角动量平衡中的作用是由纬向动量方程来描述的^[9],由于 MMC 是一种质量无辐散环流($\partial v/\partial y + \partial\omega/\partial p = 0$),因此认为 Hadley 环流和 Ferrel 环流在高层的汇合会引起副热带质量堆积的观点是不正确的。其实 Hadley 环流的上部水平支在向极运动中在科氏力作用下制造西风动量($fv > 0$),被动量通量的向极辐散($-\partial(\overline{uv})/\partial y < 0$)所平衡,从而维持了副热带西风急流^[8]。从图中也可看到副热带地区在 700 hPa 以上的大气质量比赤道还少(0~ -500 gpm),并不存在高压。

有意思的是在 30° 近地面层,下沉运动与副高轴是重合的。这是因为在行星边界层(PBL)中存在摩擦,水平风跨越等压线由高压吹向低压,造成高压脊处的水平质量辐散。根据质量连续原理^[10],这里在 Ekman 层顶处必然出现下沉运动以补偿 PBL 中的辐散。于是 Hadley 环流的下沉中心与地面副高中心在 30° 附近重合。两副高脊之间的表面东风制造的角动量为 Hadley 环流下部水平支的惯性矩($fv < 0$)所平衡。但必须指出的是,这种下沉运动本身并

* 初稿时间: 2002 年 7 月 25 日; 修改稿时间: 2002 年 9 月 2 日。
资助课题: 国家自然科学基金委项目(40135020, 49905002 和 40023001)。

不对质量的堆积产生贡献。研究还表明这一结论也适用于三维空间中的问题。例如由于西太平洋副高的脊线在北方向随高度发生倾斜, 尽管夏季 165°E 以西对流层中层受上升运动控制, 但近地层的副高脊却为一致的下沉运动。导致那里的大气增暖变干, 抑制了水汽的辐合, 导致近地层副高控制区天气多晴好。

简言之, 是由于地球自转使大气质量沿 $u = 0$ 线在副热带堆积才形成副热带高压。它的形成与 Hadley 环流不同, 不能用 Hadley 环流的下沉去解释。不过在边界层中由于存在摩擦, 副高脊线与该下沉支重合, 使副高脊处天气多晴好干燥。其涉及的动力问题将另文发表。

参考文献

- 1 Hoskins B J. On the existence and strength of the summer subtropical anticyclones. *Bull Ame Meteor Soc*, 1996, 77(6): 1287~ 1292
- 2 吴国雄, 刘屹岷, 刘平. 空间非均匀加热对副热带高压带形成和变异的影响 I. 尺度分析. *气象学报*, 1999, 57(3): 257~ 263
- 3 吴国雄, 丑纪范, 刘屹岷, 等. 副热带高压形成和变异的动力学问题. 北京: 科学出版社, 2002. 314pp
- 4 刘屹岷, 吴国雄. 副热带高压研究回顾及对几个基本问题的再认识. *气象学报*, 2000, 58(4): 500~ 512
- 5 Y M Liu, G X Wu, H Li, et al. Condensation heating of the Asian summer monsoon and the subtropical anticyclone in the Eastern Hemisphere. *Clim Dyn*, 2001, 17: 327~ 338
- 6 Eady E. Long waves and cyclone waves. *Tellus*, 1949, 1: 33~ 52
- 7 Kuo H L. Forced and free meridional circulations in the atmosphere. *J Meteor*, 1956, 13: 561~ 568
- 8 叶笃正, 朱抱真. 大气环流的若干基本问题. 北京: 科学出版社, 1958. 159pp
- 9 吴国雄. 平均经圈环流在大气角动量和感热收支中的作用. *大气科学*, 1988, 12(1): 6~ 17
- 10 Holton J R. *An Introduction to Dynamic Meteorology*. 3rd edition, Academic Press (Elsevier Science), 1992. 511pp

RELATION BETWEEN THE ZONAL MEAN SUBTROPICAL ANTICYCLONE AND THE SINKING ARM OF THE HADLEY CELL

Wu Guoxiong Liu Yimin Liu Ping Ren Rongcai

(State Key Laboratory of Numerical Modelling for Atmospheric Sciences and Geophysical Fluid Dynamics (LASG)
Institute of Atmospheric Physics, Chinese Academy of Science, Beijing 100029)

本刊启事

大气科学领域内重要创新性和突破性的新现象、新理论、新方法或新技术等方面的科研成果日益增多, 为了满足尽快地向国内外报道的需求, 以推动学术交流, 并为作者及时争得成果的首发权, 经本刊常务编委会讨论决定, 《气象学报》自本期起开设“研究快讯”栏目, 以详细摘要形式提前刊出有关论文。欢迎广大科技工作者踊跃投稿。

《气象学报》编辑部

吴国雄等：纬向平均副热带高压和 Hadley 环流下沉支的关系

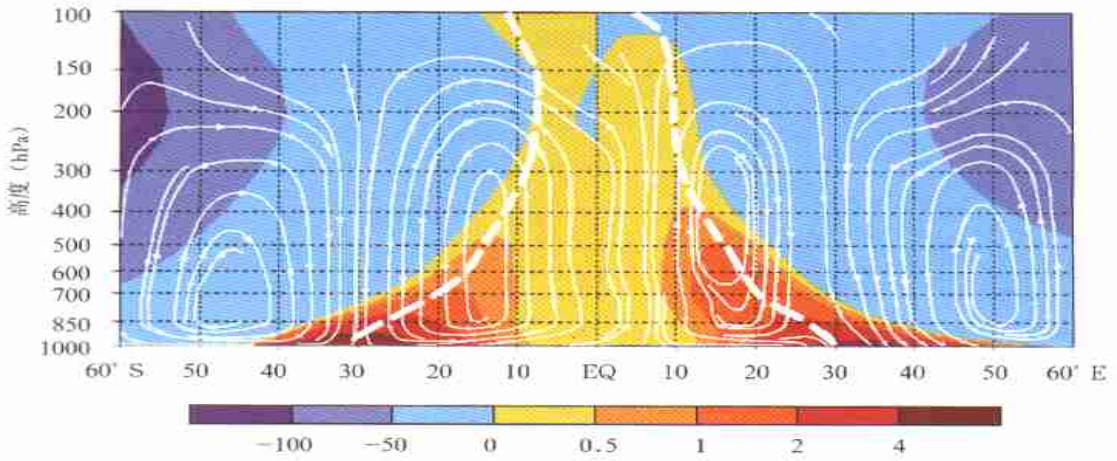


图 1 1980~1997 气候年平均经圈环流 (流线) 和位势高度场经向偏差的分布
(填色: 位势高度场经向偏差, 单位: 10 gpm; 粗虚线为纬向平均纬向风的零线)

气象学报

Qixiang Xuebao

双月刊 (1925 年创刊)

2002 年

第 60 卷

第 5 期

主办单位	中国气象学会
出版单位	《气象学报》期刊社 (北京市中关村南大街 46 号)
主 编	刘 宗 秀
发行范围	公 开 发 行
承 制	北京图腾博文印刷技术有限公司
国内总发行	北京市邮政局
国内订购处	全国各地邮电局
国外总发行	中国国际图书贸易公司 (北京 399 信箱)
	2002 年 10 月出版

国内代号: 2-368

国外代号: BM329

国内统一刊号: CN11-2006/P

定 价: 20.00 元