第 26 卷第 4 期　　南 京 气 象 学 院 学 报　　Vol. 26 No. 4
2003 年 8 月　　Journal of Nanjing Institute of Meteorology　　Aug. 2003

文章编号: 1000-2022(2003) 04-0566-07

大气角动量平衡的研究进展

周春华,　王盘兴
(南京气象学院 大气科学系, 江苏 南京　210044)

摘　要: 重点分析了 20 世纪 80 年代以来国内外关于大气角动量平衡研究的一些代表性工作。总结了地气系统角动量交换、角动量输送及其与山脉和摩擦力矩异常、地转异常、ENSO 等关系的研究结果。指出了一些应当深入研究的方向。

关键词: 角动量平衡和输送; 大气角动量变化; 山脉力矩和摩擦力矩; 日长; ENSO
中图分类号: P434.5　　文献标识码: A

在经典的大气环流研究中, 大气角动量平衡的主要研究目的在于阐明大气环流中纬圈平均西风环流(记为[u]) 的维持与变化。到 20 世纪 50 年代, 对地气系统角动量交换、平衡、输送及其物理机制等问题已经有了大量研究[1-5]。这些工作为气候纬向环流的维持及季节变化提供了一个合理的说明。

大气角动量平衡涉及到山脉力矩(由山脉纬向压力差引起的轴向力矩) 、摩擦力矩(由地气或海气) 界面上纬向摩擦应力引起的轴向力矩) 及大气环流自身对大气角动量的垂直和向极输送。而固体地球、大气和海洋作为封闭的系统, 其总的角动量是守恒的。据此, 当维持角动量平衡的三要素(山脉力矩、摩擦力矩和角动量输送) 之一发生异常时, 将伴随有纬向风带的异常和地转异常, 进而影响大气和海洋活动。大气角动量平衡及变化反映了大气活动与固体地球、海洋在各种空间和时间尺度上的耦合过程[1-5]。正因如此, 80 年代以来, 科学工作者更注重研究大气角动量的变化问题, 包括山脉和摩擦力矩、角动量及其输送的季节变化、年际变化和多年变化等, 并将其与日长(LOD: length of day) 变化、厄尔尼诺和南方涛动(ENSO) 等地球、海洋和大气现象相联系。

本文回顾了关于角动量平衡的一些具有代表性的研究, 着重综述近期国内外大气角动量平衡、变化及其与大气和海洋活动、地球自转等方面关系的研究进展, 以期从中获得启示并发现一些问题, 从而更好地服务于今后的理论研究。

1　地气系统角动量交换及角动量输送

固体地球、大气和海洋作为封闭的系统, 总的角动量守恒[6]。但是由于海洋资料的局限性及海洋洋流运动的复杂性, 对海洋角动量的计算存在一定困难, 因此, 过去许多研究工作主要

收稿日期: 2002-05-17; 改回日期: 2003-03-24
基金项目: 国家自然科学基金项目(49975025)
作者简介: 周春华(1974-) , 女, 湖北罗田人, 硕士生.

着重于地气系统角动量交换, 即将地球和大气视为角动量守恒的封闭系统进行讨论。

地球和大气之间角动量的交换通过两种方式进行: 通过山脉东西两侧气压差的作用(山脉力矩); 通过地面摩擦应力(摩擦力矩)。叶笃正等[1]、White[3]计算指出, 山脉作用在地气系统角动量交换中非常重要, 与摩擦作用量级相同。在中纬度, 山脉作用将大气的角动量输送给地球; 在副热带和高纬度, 山脉作用将地球的角动量输送给大气。叶笃正等[1]还间接求出了摩擦作用。

西风带大气失去角动量, 东风带大气得到角动量。为维持东、西风带, 在大气内部必须有角动量的输送, 包括水平输送和垂直输送。第一个指出角动量水平输送的必要性并正确地找出输送机制的是杰弗里斯。叶笃正等[1-2]、Mintz[4]进行了一系列研究, 指出了大型涡旋和平均经圈环流(Hadley 环流)在角动量输送中的重要作用。吴国雄等[7]于 1988 年再次指出平均经圈环流在角动量平衡中起着重要作用。

由于不同风带、不同纬度带间角动量辐合辐散的差异, 角动量的南北输送非常重要。Newton[8]指出, Hadley 环流上升支所在半球的越赤道角动量通量在北半球夏季相当大, 几乎等于越过 30°N 的向极通量; 在北半球越过 60°N 向南的通量是过 30°N 向极通量的 10 %。Feldstein[9]指出, 相对角动量异常的向极传播在各纬度都有, 其中副热带和高纬的传播速度大于中纬度的传播速度。他还指出, 在副热带和中纬度, 相对角动量异常的向极传播主要是由于高频(<10 d)瞬变涡旋角动量通量辐合; 在高纬则主要是由于低频(>10 d)涡旋角动量通量辐合的作用。北半球冬季, 由于常定涡旋和瞬变涡旋相互作用而产生的涡旋角动量通量辐合对相对角动量的向极传播也有一定作用。

2　山脉和摩擦力矩的变化及其对大气角动量变化的作用

大气角动量有各种时间尺度的变化, 如季节变化、半年变化、年变化、年际变化和年代际变化等[10-13]。作为地气系统角动量交换的重要方式、角动量平衡重要因素的山脉和摩擦力矩, 也具有自己的变化规律。

Newton[8]指出, 北半球热带和温带地区的摩擦力矩的季节变化比南半球大, 且冬季最强; 山脉力矩也有季节变化。在北半球温带, 山脉力矩在春、夏季节相对最重要; 在两个半球的热带地区, 山脉力矩的季节变化超过摩擦力矩。Oort 等[14]对 10°S～80°N 区域 1958—1963 年 5 a 间大尺度山脉力矩逐月进行计算, 发现其气候平均值在 30°N 以南表现为较强的年循环, 在中纬度则表现为半年循环。山脉力矩年平均值的年际变化并不大, 月平均值的年际变化则相对较大。北半球的山脉力矩在夏季减缓西风环流, 冬季加速西风环流。还计算了摩擦力矩, 发现与山脉力矩作用相同, 且量级相当, 因而, 在北半球两个力矩在夏季都是作为大气角动量的汇, 冬季为源。Feldstein[15]研究澳大利亚冬季日长变化时指出, 摩擦(山脉)力矩异常主要来自澳大利亚及周围海域(安第斯山脉)。

山脉力矩和摩擦力矩作为地气系统角动量交换的两种方式, 对大气角动量变化的作用到底如何? Swinbank[16]应用第一次 GARP 试验期间所得的分析资料对大气角动量收支进行研究, 发现山脉力矩对全球大气角动量的短期变化起主要作用。Wolf 等[17]对洛基山脉、安第斯山脉和青藏高原的山脉力矩进行计算以衡量它们对 1983 年 1 月底至 2 月中旬的日长和大气角动量异常的贡献, 发现与大气角动量和日长的快速增长一致, 洛基山脉的力矩异常大。但随后的大气角动量减少与上述 3 个山脉的力矩并不相关。Iskenderian 等[18]研究发现, 中纬度山脉(洛基山、喜马拉雅山、安第斯山)力矩对大气角动量的高频(≤ 14 d)变化起主要作用, 而热

带地区和极区的山脉力矩及摩擦力矩对其作用小得多。

Ponte 等[19]应用 NCEP 的 29 a 资料分析山脉力矩和摩擦力矩的时间演变,探讨 1982—1983 年 El Nino 事件期间角动量的异常机制。1982 年上半年及此前的角动量基本上都是正异常,但在 1983 年初的两个星期里角动量异常增加了一倍。这次急剧增加主要与欧亚及美洲的山脉力矩异常有关。角动量异常于 1 月达到峰值,在随后的 3 个月里缓慢恢复正常。摩擦力矩异常在这次角动量减小中起了主要作用,尤其是在副热带北非。

3 大气角动量与 ENSO 等热带活动的关系

3.1 大气角动量与 ENSO 事件的相关联系

20 世纪 80 年代,人们开始逐渐注意到大气角动量异常与 ENSO 事件间密切的联系。Rosen 等[20]发现,1983 年 1 月底,即 1982—1983 年 ENSO 事件即将达到最强时,赤道东风角动量范围最小,北半球西风角动量形成大值中心,从而导致角动量出现从未有过的高值,且日长变化出现异常。Abarca 等[21]也发现在 1982—1983 年及 1997—1998 年的强厄尔尼诺事件期间,大气角动量和日长均出现了极大峰值。Eubanks[22]研究了日长变化和南方涛动及厄尔尼诺间的关系,发现 1962—1985 年间日长的年际变化与南方涛动指数间存在显著的统计相关,厄尔尼诺事件与日长的 40～60 d 振荡间也有弱相关。Chen 等[23]对 1979—1992 年间共 14 a 的全球相对角动量进行滤波处理,去掉年以下尺度的变化,发现相对角动量与南方涛动指数、Nino3 区海温相关很好。周永宏等[24]指出, L_{LOD}和大气角动量的年际变化与 ENSO 具有相似的时变谱结构,从日长和大气角动量资料中可以检测到 1997—1998 厄尔尼诺和 1998—1999 拉尼娜事件的信号。Rosen 等[25]也指出 ENSO 和大气角动量的低频信号紧密相关。

3.2 大气角动量与 ENSO 事件关系的物理机制

Stefanick[26]分析 1963—1973 年相对角动量振荡与热带气温(或海温)振荡,发现 10 a 间大气角动量呈现出明显的 2.5～4 a 周期变化,同期的热带气(海)温也呈类似变化。分析认为,由准地转近似及静力学关系得

$$[\bar{u}] = \frac{1\ \mathrm{m/s}}{1\ ℃}[\bar{T}]。\tag{1}$$

其中$[\bar{u}]$($[\bar{T}]$)为垂直平均且纬向平均的月平均风(温度)。因而,热带温度变化足以使角动量产生相应变化。

Rosen 等[20]对此提出了自己的想法。他们认为,ENSO 事件引起热带太平洋大气质量重新分布,表现为南方涛动指数在 1983 年 1 月达到极小值,即达尔文岛气压偏高,而塔希题岛气压偏低。亚洲东部比正常偏高的气压和美洲西部比正常偏低的气压似乎形成某种意义上的“山脉”力矩,在加速大气运动的同时减缓地球运动。异常的角动量由地球传给了大气,其动力机制在于力矩。宋国玄等[27]认为,在 El Nino 事件期间,中太平洋低纬地区的低层大气由向西流动转为向东运动,大气得到了与地球自转同向的角动量。同时,由于信风减弱,海洋上表面层洋流的自东向西运动也减弱,并且,随着时间的推移,洋流开始向东流动,太平洋中的洋流也得到了一个与地球自转方向一致的角动量。这样,大气和洋流获得角动量,固体地球则失去角动量,从而也导致了日长的增加。钱维宏等[28]对地气角动量交换与ENSO 循环进行了研究,认为地气系统中的角动量交换是通过地气(海气)界面上的摩擦力矩和山脉力矩与 ENSO 相联系的,实际出现的ENSO 循环是固海气相互作用反映在太平洋洋盆上的一种现象。

3.3 大气角动量年际变化的向极传播与 ENSO 事件

Dickey 等[29]对 1976—1991 年间大气角动量随纬度分布特征进行分析,揭示了全球性向

极传播的大气角动量年际振荡, 并且指出这种纬向平均相对角动量的向极传播与 ENSO 循环相关联。在拉尼娜事件中, 西风异常出现在热带和高纬地区, 全球相对角动量异常达到极小值; 在厄尔尼诺事件中, 西风异常出现在两个半球的副热带, 全球相对角动量异常达到极大值。因此认为拉尼娜、厄尔尼诺事件过渡期间异常环流的突变导致了相对角动量异常的向极传播。Dickey 等[30] 在分析 1997—1998 年 ENSO 事件时再次揭示了全球一致的大气角动量向极传播, 并且指出这种向极传播的结构源于赤道地区, 向高纬传播。

与 ENSO 事件相关联的异常环流通常用水平流函数来描述。Kang 等[31] 应用经验正交函数分析方法探讨全球相对角动量(RAM) 的年际变化与大气流函数间的关系, 并且发现滤波后的全球相对角动量时间序列与 200 hPa 流函数异常的第一模态所对应的时间系数相关很好。但 Kang 等[31] 的工作不能解释 Dickey 等[29]所揭示的相对角动量的向极传播。

在此基础上, Chen 等[23] 运用遥相关理论做出了自己的解释。拉尼娜、厄尔尼诺事件期间热带太平洋上出现的负、正海表温度异常使太平洋—北美地区相反的两种遥相关波列交替产生响应, 进而使角动量分布产生相应改变。因此得出结论, 相对角动量的向极传播起源于拉尼娜、厄尔尼诺事件之间角动量的变化。

3.4　其他热带活动与角动量变化间的关系

热带大气活动对大气角动量的变化有非常重要的作用, 包括热带温度、热带风场、热带对流等。Stefanick[26] 揭示了热带温度变化的重要性。Benedict 等[32] 指出地球角动量和日长的 50～100 d 振荡主要由热带风场的改变引起。Naito 等[33] 分析了相对角动量和日长中间歇出现的准 7 个月振荡(QSO), 认为主要源自赤道对流层的纬向风, 特别是在 0°～15°S 间。Satoh 等[34] 利用一个简单的水星模式研究大气角动量与地球表面温度的关系时指出, 表面温度的一致升高会导致对流层顶和急流的抬升, 从而使大气角动量增大。如果表面升温在赤道附近区域, 则赤道地区上层风速加大, 大气角动量增加; 如果表面升温发生在远离赤道地区(即 20°N 以北, 20°S 以南), 则大气角动量减少。

角动量与热带对流间关系显著, Reid 等[35] 在 1984 年就曾得出这一结论。Lau 等[36] 应用 5 d 平均的风场和长波辐射(OLR) 资料研究角动量的季节变化和季节内变化及其与热带对流间的关系。在热带, 平均纬向风和长波辐射都明显表现出 30～60 d 的周期; 250 hPa 全球平均纬向风场有着明显的季节变化和季节内变化, 在 50 d 时表现为非常明显的峰值。在 30～60 d 时间尺度上, 角动量有 3 个基本的经向模态。热带、副热带部分的大气角动量变化对大气角动量季节内变化和年际变化起主要作用。

钱维宏[37] 研究季风异常和大气角动量认为, 季风异常是海温年际异常形成的热力环流(Walker 环流和 Hadley 环流) 异常和山脉气压力及异常地气摩擦力作用形成的异常流型对季风正常流型的偏离。

4　大气角动量与日长变化间的关系

不考虑海洋角动量, 视固体地球和大气为一个封闭的系统, 其角动量是守恒的。大气得到角动量, 地球必然失去角动量; 反之, 地球得到角动量意味着大气失去角动量。因此, 大气角动量与地球自转速度的变化间有着密切关系。通常, 人们研究大气角动量与日长变化间的关系, 并且发现, 在几十天、一年、几年等各种时间尺度上, 二者相关都很好[24, 38-41]。Langley[42] 给出了大气角动量变化(M) 和日长变化(L_{LOD}) 间的关系

$$L_{LOD} = 1.68 \times 10^{-26} M。 \tag{2}$$

其中,日长变化的单位是 ms,角动量变化的单位是 $kg \cdot m^2 \cdot s^{-1}$。Langley[42]为大气角动量与日长变化间的关系提供了定量描述。Stefanick[26]对 1963 年 5 月—1973 年 4 月 10 a 间 120 个月 75～1 000 hPa 整层大气总相对角动量进行分析计算指出,滤掉平均状况、半年和年变化后,大气角动量呈现出 3～4 a 周期振荡,日长的年际变化与其密切相关。相应产生的日长变化在 $\pm 0.2\times10^{-8}$ ms,证实了日长变化与角动量变化间的紧密相关。钟敏等[40]认为日长近 120 d 周期变化及近 50 d 周期变化的激发机制主要是同频段的大气环流变化所致。廖德春等[43-44]也指出大气动力学过程是季节性和年际时间尺度日长变化的重要激发源。Eubanks[22]、Wahr 等[45]认为日长的季节性变化及更高频变化主要是因为作用于固体地球表面的摩擦力矩和山脉力矩引起大气和固体地球之间轴向角动量的交换。周永宏等[46]得出,日长年际速率变化与东太平洋赤道带海温变化以及用全球带风资料归算的大气角动量年际变化之间都存在着很好的一致性,其中大气的年际变化超前 1 至 3 个月。由此,通过动力学定量的初步分析后,他们认为地球自转的年际变化和 ENSO 事件分别是固体地球和海洋各自对大气环流异常的响应。

宋国玄[27]、周永宏等[46]、郑大伟等[47-48]还由大气角动量与日长间关系,提出了由日长变化预测 El Nino 事件的原理及可能,并且通过归算和监视日长年际变化极小值,成功地预测了 1991—1992 年的 El Nino 事件[49]。

5 小结和讨论

从这些工作可以看出,角动量及其平衡、输送和异常等现象已被广泛讨论,取得了一些成果。但是由于资料所限或其他原因,这些工作还存在一些不足,主要表现在: 1) 由于海洋洋流运动的复杂性、海洋资料及海洋模式方面存在的局限性,对海洋角动量的分析计算还不成熟,因而影响了对固体地球、大气和海洋间角动量交换的全面认识。2) 某些理论尚停留在假设阶段,结果仍不确定,有待于运用新的观测资料验证。如地气系统的角动量交换、角动量的变化及传播与 ENSO 事件关系的机制等。3) 山脉和摩擦力矩的定量精确计算还存在一定困难。4) 关于热带活动对大气角动量的影响讨论较多,而对其他纬带的则相对较少。5) 对南半球研究较少,导致对两个半球差异的分析不够充分,结论比较模糊。6) 许多作者选用的资料年代短、覆盖时段不同,结果可比较性较差。

由此可见,关于大气角动量平衡尚有许多问题亟待解决。在各项技术都有较快发展的今天,使用质量较高的资料对大气角动量平衡及其异常的各个方面进行详细完整的研究,是很有必要的。

参考文献:

[1] 叶笃正,朱抱真. 大气环流的若干基本问题[M]. 北京: 科学出版社, 1958: 89–104.

[2] 叶笃正,杨大升. 北半球大气中角动量的年变化和它的输送机构[J]. 气象学报, 1955, 26(4): 281–294.

[3] White R M. The role of mountains in the angular momentum balance of the atmosphere[J]. J Meteo, 1949, 6(5): 353–355.

[4] Mintz Y. The geostrophic poleward flux of angular momentum in the month of Jan 1949[J]. Tellus, 1951, 3(3): 195–200.

[5] 洛伦茨 E N. 大气环流的性质和理论[M]. 北京大学地球物理系气象专业译. 北京: 科学出版社, 1976.

[6] Ponte R M, Rosen R D. Atmospheric torques on land and ocean and implications for Earth´s angular momentum budget [J]. J Geophys Res, 2001, 106(D11): 11 793–11 799.

[7] Wu Guoxiong, Tibaldi S. Roles of the mean meridional circulation in atmospheric budgets of angular momentum and

sensible heat[J]. Chinese Journal of Atmospheric Sciences, 1988, 12(1): 11–24.

[8] Newton C W. Global angular momentum balance: Earth Torque and atmospheric fluxes[J]. J Atmos Sci, 1971, 28(8): 1 329–1 341.

[9] Feldstein S B. An observational study of the intraseasonal poleward propagation of zonal mean flow anomalies[J]. J Atmos Sci, 1998, 55(15): 2 516–2 529.

[10] Anderson J R, Rosen R D. The latitude-height structure of 40～50 day Variations in atmospheric angular momentum [J]. J Atmos Sci, 1983, 40(6): 1 584–1 591.

[11] Rosen R D, Salstein D A. Contribution of stratospheric winds to annual and semiannual fluctuations in atmospheric angular momentum and the length of day[J]. J Geophys Res, 1985, 90(D5): 8 033–8 041.

[12] Madden R A. Large intraseasonal variations in wind stress over the tropical pacific[J]. J Geophys Res, 1988, 93(D5): 5 333–5 340.

[13] Black R X, Salstein D A, Rosen R D. Interannual modes of variability in atmospheric angular momentum[J]. J Climate, 1996, 9(11): 2 834–2 849.

[14] Oort A H, Bowman H D. Study of the mountain torque and its interannual variations in the Northern Hemisphere[J]. J Atmos Sci, 1974, 31(8): 1 974–1 982.

[15] Feldstein, Steven B. The atmospheric dynamics of intraseasonal length-of-day fluctuations during the austral winter [J]. J Atmos Sci, 1999, 56(17): 3 043–3 058.

[16] Swinbank R. Global atmospheric angular momentum balance inferred from analyses made during the FGGE[J]. R Meteo Soc, 1985, 111(470): 977–992.

[17] Wolf W L, Smith R B. Length-of-day changes and mountain torque during El Nino[J]. J Atmos Sci, 1987, 44(24): 3 656–3 660.

[18] Iskenderian H, Salstein D A. Regional sources of mountain torque variability and high-frequency fluctuations in atmospheric angular momentum[J]. Mon Wea Rev, 1998, 126(6): 1 681–1 694.

[19] Ponte R M, Rosen R D. Torques responsible for evolution of atmospheric angular momentum during the 1982—1983 El Nino[J]. J Atmos Sci, 1999, 56(19): 3 457–3 462.

[20] Rosen R D, Salstein D A. An El Nino signal in atmospheric angular momentum and Earth rotation[J]. Science, 1984, 225(4660): 411–414.

[21] Abarcadel R R, Gambis D, Salstein D A. Interannual signals in length of day and atmospheric angular momentum[J]. Annales Geophysicae, 2000, 18(3): 347–364.

[22] Eubanks T M. Interactions between the atmosphere, oceans and crust: possible oceanic signals in Earth rotation[J]. Advances in Space Research, 1993, 13(11): 291–300.

[23] Chen, T C, Tribbia J J, Yen M C. Interannual variation of global atmospheric angular momentum[J]. J Atmos Sci, 1996, 53(19): 2 852–2 857.

[24] 周永宏, 郑大伟, 廖新浩. 日长变化, 大气角动量和 ENSO: 1997—1998 厄尔尼诺和 1998—1999 拉尼娜信号[J]. 测绘学报, 2001, 30(4): 288–292.

[25] Rosen R D, Salstein D A. Multidecadal signals in the interannual variability of atmospheric angular momentum[J]. Climate Dynamics, 2000, 16(9): 693–700.

[26] Stefanick M. Interannual atmospheric angular momentum variability 1963—1973 and the Southern Oscillation[J]. J Geophys Res, 1982, 87(C1): 428–432.

[27] 宋国玄, 郑大伟, 罗时芳. 地球自转与 ENSO 事件的动力学分析[J]. 天文学报, 1989, 30(3): 310–314.

[28] 钱维宏, 丑纪范. 地气角动量交换和 ENSO 循环[J]. 中国科学(D 辑), 1996, 26(1): 80–86.

[29] Dickey J O, Marcus S L, Hide R. Global propagation of interannual fluctuations in atmospheric angular momentum [J]. Nature, 1992, 357(6378): 484–488.

[30] Dickey J O, Gegout P, Marcus S L. Earth-atmosphere angular momentum exchange and ENSO: The rotational signature of the 1997—1998 event[J]. Geo Res Let, 1999, 26(16): 2 477–2 480.

[31] Kang I S, Lau K M. Principle modes of atmospheric circulation anomalies associated with global angular momentum fluctuations[J]. J Atmos Sci, 1994, 51(9): 1 194–1 205.

[32] Benedict W L, Haney R L. Contribution of tropical winds to subseasonal fluctuations in atmospheric angular momentum and length of day[J]. J Geophys Res, 1988, 93(D12): 15 973–15 978.

[33] Naito I, Kikuchi N. The intermittent quasi-seven-month oscillations in the atmospheric angular momentums and the length of day[J]. J Meteo Soc of Japan, 1995, 73(2): 213–219.

[34] Satoh M, Yoshida S. Response of the atmospheric angular momentum and the length of the day to the surface temperature increase for an aqua planet model[J]. Geo Res Let, 1996, 23(18): 2 569–2 572.

[35] Reid GC, Gage K S. A relationship between the height of the tropical tropopause and the global angular momentum of the atmosphere[J]. Geophys Res Let, 1984, 11(9): 840–842.

[36] Lau K M, Sheu P J. Principal modes of intraseasonal variations in atmospheric angular momentum and tropical convection[J]. J Geophys Res, 1989, 94(D5): 6 319–6 332.

[37] 钱维宏. 季风异常、ENSO 事件和地气角动量交换[J]. 气象科技, 1996(2): 21–29.

[38] 刘式达, 刘式适, 陈 炯. 地球自转日长变化(LOD)和大气角动量(AAM)所对应的动力系统[J]. 天文学报, 2000, 41(1): 62–67.

[39] 钟 敏, 朱耀仲, 高布锡. 日长亚季节变化的振幅调制与厄尔尼诺现象[J]. 天文学报, 1999, 40(1): 101–106.

[40] 钟 敏, 高布锡. 同ENSO 现象相关联的日长亚季节变化[J]. 天文学报, 1998, 39(1): 52–60.

[41] 丁月蓉, 王小亚. 地球自转中的 120 天波动存在吗[J]. 南京大学学报, 1994, 30(2): 217–224.

[42] Langley R G, King R W, Shapiro I I, et al. Atmospheric angular momentum and the length of day: A common fluctuation with a period near 50 days[J]. Nature, 1981, 294(5843): 730–732.

[43] 廖德春. 日长年际变化的主要激发源[J]. 天文学报, 2000, 41(2): 139–147.

[44] 廖德春, 黄乘利, 金文敬. 不同频段上极移, 日长变化与大气角动量变化激发结果的比较[J]. 天文学报, 1996, 37(3): 303–312.

[45] Wahr J M, Oort A H. Friction and mountain-torque estimates from global atmospheric data[J]. J Atm Sci, 1984, 41(2): 190–204.

[46] 周永宏, 郑大伟, 虞南华, 等. 地球自转运动与大气、海洋活动[J]. 科学通报, 2000, 45(24): 2 588–2 597.

[47] 郑大伟, 罗时芳, 宋国玄. 地球自转年际变化、El Nino 事件和大气角动量[J]. 中国科学(B 辑), 1988(3): 332–337.

[48] 郑大伟, 陈 刚. 赤道带海洋活动与日长变化的关系[J]. 中国科学(A 辑), 1994, 24(3): 298–302.

[49] Zheng D W, Song G X, Luo S F. El Nino prediction[J]. Nature, 1990, 348(6297): 119.

Progresses in Atmospheric Angular Momentum Study

ZHOU Chun-hua, WANG Pan-xing

(Department of Atmospheric Sciences, NIM, Nanjing 210044, China)

Abstract: The representative works at home and abroad on atmospheric angular momentum (AAM) balance since the 1980s are emphatically analyzed in this papar, and angular momentum exchanges between the earth and the atmosphere, angular momentum transfer, and their relationships with mountain torque anomaly, friction torque anomaly, Earth´s rotation anomaly and El Nino and Southern Oscillation (ENSO) etc are summarized. A few aspects that should further be studied are also given.

Key words: atmospheric angular momentum balance and transportation; atmospheric angular momentum variation; mountain torque and friction torque; length of day; ENSO