

地球自转参数全球摩擦力矩和日长的日-月-年 平均数据集 (1948–2015)

巩 贺, 黄 玫*

中国科学院地理科学与资源研究所, 北京 100101

摘 要: 地球自转变化用日长来表征。摩擦力矩是由于地球和大气摩擦产生的轴向力矩, 是组成大气角动量的重要部分。因此, 构建摩擦力矩和日长的数据集对地气角动量传输及气候变化研究具有重要意义。在本数据集中, 日长原始数据来自 IERS (<https://www.iers.org/>), 最高时间分辨率为 1 天。计算摩擦力矩所用的纬向动量通量数据来自 NCEP/NCAR (The National Centers for Environmental Prediction and National Center for Atmospheric Research) 第一套再分析数据 (<https://www.esrl.noaa.gov/psd/data/>), 利用前人总结的公式(Weickmann 和 Sardeshmukh, 1994) 计算出了 1948–2015 年较高时空分辨率 (分辨率是 1 天, 空间分辨率是 192×94 高斯格点) 的全球摩擦力矩 (本数据集中只提供全球积分结果)。本数据集包括: 全球摩擦力矩与日长的日平均值、月平均值和年平均值。数据存储为.xlsx 格式, 由 1 个文件组成, 文件大小为 860 KB。该数据集的分析研究成果已经发表在《地球物理学进展》2016 年第 31 卷第 4 期。

关键词: 摩擦力矩; 日长; 全球; 地球物理学进展

DOI: 10.3974/geodp.2018.04.02

1 前言

摩擦力矩是由于大气相对于固体地球运动而产生的地球轴向力矩, 是固体地球和大气之间角动量传输的途径之一, 时刻影响着固体地球和大气的运动状态。早在 20 世纪 50 年代, 就有气象学家开始利用力矩的概念将大气轴向角动量循环和地球转动联系起来^[1–2]。Weichmann 和 Sardeshmukh 对摩擦力矩进行了详细的推算^[3], 并给出了标准的计算公式。大量研究表明, 摩擦力矩在很大程度上能够解释大气角动量的长期变化^[4–6]。Weickmann 指出全球大气角动量的增加首先与正摩擦力矩的增加有关, Madden 和 Speth 利用 1987–1988 年间 13 个月的欧洲中心中尺度气象预报数据 (ECMWF) 计算表明^[5], 摩擦力矩与大气角动量准 50 天的振荡具有很高的相关性, 并且摩擦力矩的变化还影响着大气环流和局部天气系统^[7–8]。

收稿日期: 2018-10-16; 修订日期: 2018-12-22; 出版日期: 2018-12-24

基金项目: 中华人民共和国科学技术部 (2012CB957802); 国家自然科学基金 (41671101)

*通讯作者: 黄玫 W-6639-2018, 中国科学院地理科学与资源研究所, huangm@igsrr.ac.cn

数据引用方式: [1] 巩贺, 黄玫. 地球自转参数全球摩擦力矩和日长的日-月-年平均数据集(1948–2015)[J]. 全球变化数据学报, 2018, 2(4): 377–381. DOI: 10.3974/geodp.2018.04.02.

[2] 巩贺, 黄玫. 地球自转参数全球摩擦力矩和日长的日-月-年平均数据集(1948–2015) [DB/OL]. 全球变化科学研究数据出版系统, 2018. DOI: 10.3974/geodb.2018.05.15.V1.

在研究大气角动量变化及地气角动量传输的过程中，固体地球角动量的变化也应该进行深入的研究，而固体地球角动量和自转速度的变化可以用日长（Length of Day，LOD）来表征。在现有研究中发现，日长与大气角动量之间具有很高的相关性^[9-10]，并在短时间尺度上两者具有近似的线性关系^[11]，但并未解释其中的机制和相互作用过程。本文从解决这一问题的角度出发，整理计算出了长时间尺度、高时间分辨率的摩擦力矩（Frictional Torque，FT）和日长（LOD）时间序列数据，用于分析解释地气角动量的传输过程和相互作用机制问题。

2 数据集元数据简介

地球自转参数全球摩擦力矩和日长的日-月-年平均数据集^[12]的名称、作者、地理区域、数据年代、数据集组成、数据出版与共享服务平台、数据共享政策等信息见表 1。

表 1 地球自转参数全球摩擦力矩和日长的日-月-年平均数据集（1948-2015）元数据简表

条 目	描 述
数据集名称	地球自转参数全球摩擦力矩和日长的日-月-年平均数据集（1948-2015）
数据集短名	GlobalFrictionalTorqueLengthDay_1948-2015
作者信息	巩贺 F-8138-2015, 中国科学院地理科学与资源研究所, hh_1@sina.com 黄玫 W-6639-2018, 中国科学院地理科学与资源研究所, huangm@igsrr.ac.cn
地理区域	全球
数据年代	1948-2015 年
数据格式	.xlsx
数据量	860 KB
数据集组成	数据集由 1 个数据文件、4 个数据表组成。包括： （1）1948-2015 年全球摩擦力矩和日长的日平均值，数据表中包括了 1948-2015 年间 24,837 个日平均全球摩擦力矩数据记录和 1962 年至 2012 年间 18,623 个日平均日长数据记录 （2）1948-2015 年间全球摩擦力矩和日长年平均值，数据表中包括了 1948-2015 年间全球摩擦力矩 68 个数据记录和 1948-2013 年间 66 个日长年平均值数据记录 （3）1962-2010 年间全球摩擦力矩和日长的月平均值各 588 个数据记录 （4）1962-2010 年多年平均月摩擦力矩和日长数据
基金项目	中华人民共和国科学技术部（2012CB957802）；国家自然科学基金（41671101）
出版与共享服务平台	全球变化科学研究数据出版系统 http://www.geodoi.ac.cn
地址	北京市朝阳区大屯路甲 11 号 100101，中国科学院地理科学与资源研究所
数据共享政策	全球变化科学研究数据出版系统的“数据”包括元数据（中英文）、实体数据（中英文）和通过《全球变化数据学报》（中英文）发表的数据论文。其共享政策如下：（1）“数据”以最便利的方式通过互联网系统免费向全社会开放，用户免费浏览、免费下载；（2）最终用户使用“数据”需要按照引用格式在参考文献或适当的位置标注数据来源；（3）增值服务用户或以任何形式散发和传播（包括通过计算机服务器）“数据”的用户需要与《全球变化数据学报》（中英文）编辑部签署书面协议，获得许可；（4）摘取“数据”中的部分记录创作新数据的作者需要遵循 10% 引用原则，即从本数据集中摘取的数据记录少于新数据集总记录量的 10%，同时需要对摘取的数据记录标注数据来源 ^[13]

3 数据研发方法

3.1 算法原理

本研究利用 NCEP/NCAR 第一套大气再分析数据^[14]，所用数据时间分辨率为 6 小时，空间分辨率为 192×94 的高斯格点，时间跨度为 1948 至 2015 年。通过下面的公式^[3]，计算出日平均全球摩擦力矩。

$$T_f = a^3 \int_0^{2\pi} \int_{-\pi/2}^{\pi/2} \tau \cos^2 \varphi d\varphi d\lambda \quad (1)$$

对于 NCEP/NCAR 网格数据，上式可以近似的写为：

$$T_f = a^3 \sum_i \sum_j \tau_{i,j} \cos^2 \varphi_j \Delta \varphi_j \Delta \lambda_i \quad (2)$$

式中， a 为地球半径（6,371 km）， τ 为地表摩擦应力（N/m²）， λ 为经度（°）， φ 为纬度（°）。为了方便使用，数据集中全球摩擦力矩单位为 Hadley（1 Hadley=1.0 × 10¹⁸ kg m²/s²）。

日长能够反映地球自转速度的变化情况，一般用世界时（Universal Time, UT1）与协调世界时（Coordinated Universal Time, UTC）之差来表示，其计算方式为：

$$LOD = UT1 - UTC \quad (3)$$

随着观测技术的发展，特别是甚长基线干涉测量法（Very Long Baseline Interferometry, VLBI）的使用，对地球自转参数观测的精度有了很大的提高，计算出的日长精度可达到 0.01 ms^[14]。

3.2 技术路线

利用美国气象环境预报中心（NCEP）和美国国家大气研究中心（NCAR）^[15]大气再分析数据计算出全球摩擦力矩，利用国际地球自转与参考系统服务组织（International Earth Rotation and Reference Systems Service, IERS）^[16]提供的地球自转参数数据整理出日长（LOD）数据，并生成数据集的流程如图 1 所示。

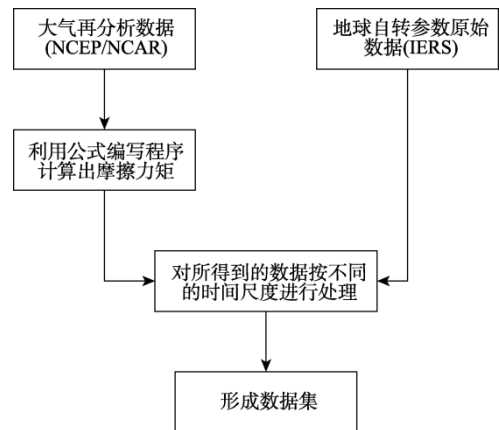


图 1 全球摩擦力矩和日长的日-月-年平均数据集（1948-2015）的研发流程图

4 数据结果与验证

4.1 数据集组成

本数据集包含 1948 至 2015 年的摩擦力矩日平均和年平均数据；1948-2015 年日长的年平均数据；1962-2010 年的日长日平均数据；1962-2010 年的摩擦力矩和日长月平均数据；1962-2010 年平均的摩擦力矩和日长月平均数据。

4.2 数据结果

在 1948 到 2015 年期间，摩擦力矩和日长整体呈下降趋势（图 2）^[12,17]。在研究时间段内，摩擦力矩最高值出现在 1954 年，约为 9.04 Hadley，最低值出现在 1993 年，约为 -11.64 Hadley。在 1998 年以前，摩擦力矩下降趋势最明显，而在 1998 年以后，下降趋势减缓，并具有上升的趋势，整体来看平均每年减少数值为 -0.18 Hadley。

在 70 年代以前,摩擦力矩以正值为主,在这一时间段内,固体地球通过摩擦力矩将角动量传输到大气中,固体地球失去轴向角动量,自转速度降低,日长将会增加,从日长时间序列图中也可看出这一变化。大气得到角动量后,大气运动和环流将会加强,将会导致极端天气事件发生概率的增加,影响全球气候的变化。而在 70 年代以后,全球摩擦力矩以负值为主,在这一时间段内,大气通过摩擦力矩将角动量传输到固体地球,大气运动将会减缓,固体地球自转速度增加,日长数值下降,这一变化在观测的日长时间序列中也可以清楚的看到。这一变化不仅体现在地球自转速度上,在气候方面,我国降水分布类型在 70 年代前后也存在明显的改变,东亚季风也在此时间点左右发生突变。

日长在 1972 年具有最大值,为 3.13 ms,最小值出现在 2003 年,为 0.27 ms^[12]。其中在 70 年代以前主要为上升趋势,在 70 年代以后为下降趋势^[17],在整个研究时段,日长线性拟合后趋势变化为-0.01 ms/年。在长期变化之中,与摩擦力矩具有紧密的联系,两者的年平均变化曲线能够部分的体现出年际尺度上的地-气相互作用,对研究固体地球运转和全球气候变化具有重要意义。

由图 3^[12,17]可以看出,摩擦力矩和日长都是在 7 月份左右数值最低,而在 4 月份数值都较大。在 6-10 月和 1 月份,摩擦力矩为负值,其余月份为正值,摩擦力矩的变化及其正负能够在一定程度上体现日长的变化。现有研究表明,在年以下的短时间尺度

上,固体地球运动的变化主要是大气导致的,大气角动量与日长具有很好的一致性,两者呈线性关系。摩擦力矩作为大气角动量的一部分,在这一时间尺度上不能完全的体现日长的变化,山脉力矩和重力波力矩的作用不可忽视。在三种力矩的共同作用下,大气与固体地球进行角动量交换,使得日长和大气运动发生变化。在本数据集中,并未包含山脉力矩和重力波力矩,在以后的研究中将会对这两种力矩进行深入分析,并建立相关数据集。

5 讨论和总结

本数据集基于大气再分析和地球定向参数数据,利用现有理论和公式,计算整理出了不

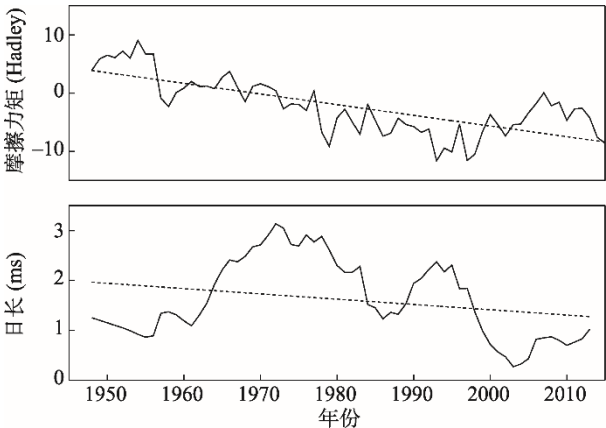


图 2 摩擦力矩和 LOD 的年平均值 (1948-2015) ^[12,17]

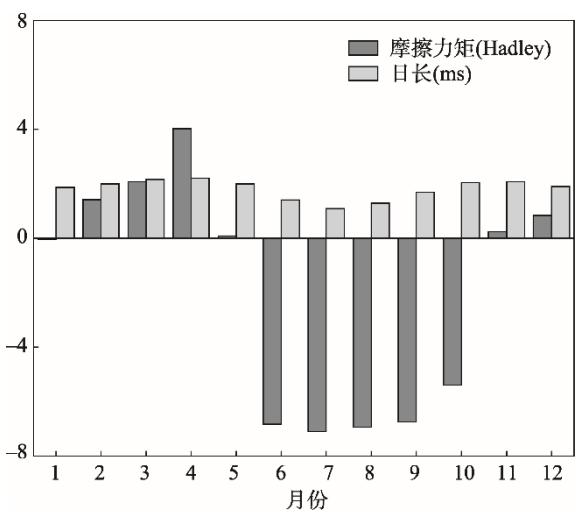


图 3 摩擦力矩和 LOD 的多年月平均值 (1962-2010) ^[12,17]

同时间尺度上的摩擦力矩和日长, 所得结果最高时间分辨率为1天, 时间范围为1948到2015年, 能较好的反应出摩擦力矩和日长的变化规律和特征, 已经被运用于研究年代纪、年纪和季节等时间尺度上摩擦力矩和日长之间的联系, 分析大气和固体地球之间的角动量传输过程。研究结果表明, 在研究时间段内, 摩擦力矩和日长都具有明显的下降趋势, 在70年代前后, 摩擦力矩正负发生转变, 日长也在这期间出现峰值, 趋势发生变化, 两者之间具有紧密的联系。在年以下的短时间尺度上, 摩擦力矩在一定程度上能体现出 LOD 的变化, 并且两者具有共同的周期和相似的变化曲线。摩擦力矩和日长都是在夏秋季时数值偏低, 在7月份左右达到谷值, 冬春季时数值偏高, 并在3月份左右出现峰值。这些变化特征也体现了地-气相互作用在不同季节上的差别, 对于理解大气运动和全球气候变化具有重要的意义。

本数据集旨在为地-气相互作用及动力传输的研究提供数据支持, 摩擦力矩数据为全球积分结果, 在空间上的高斯格点数据 (192 × 94 格点) 并未收录, 在后续研究中将会收录整理摩擦力矩的全球空间数据, 并进行特殊地区和需求范围内的精细研究, 分析在不同纬度和位置上地-气作用过程及其差异。

作者分工: 黄玫对数据集的开发做了总体设计并对论文撰写提出了修改意见及最后的审定; 巩贺完成了数据的采集和处理并设计了模型和算法, 撰写了数据论文。

参考文献

- [1] 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]. *Journal of Geophysical Research Atmospheres*, 1985, 90(D5): 8033–8041.
- [2] Zheng, D., Ding, X., Zhou, Y., *et al.* Earth rotation and ENSO events: combined excitation of interannual LOD variations by multiscale atmospheric oscillations [J]. *Global & Planetary Change*, 2003, 36(1): 89–97.
- [3] Weickmann, K. M., Sardeshmukh, P. D. The atmospheric angular momentum cycle associated with a Madden-Julian oscillation [J]. *Journal of the Atmospheric Sciences*, 1994, 51(21): 3194–3208.
- [4] Oort, A. H. Angular momentum cycle in the Atmosphere-Ocean-Solid Earth system [J]. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 1989, 70(10): 1231–1242.
- [5] Madden, R. A., Speth, P. Estimates of atmospheric angular momentum, friction, and mountain torques during 1987–1988 [J]. *Journal of the Atmospheric Sciences*. 1995, 52(21): 3681–3694.
- [6] Egger, J., Weickmann, K., Hoinka, K. P. Angular momentum in the global atmospheric circulation [J]. *Reviews of Geophysics*, 2007, 45(4): RG4007.
- [7] Rosen, R. D. The axial momentum balance of Earth and its fluid envelope [J]. *Surveys in Geophysics*, 1993, 14(1): 1–29.
- [8] 石文静, 杨萍, 肖子牛. 大气角动量的研究进展[J]. 气象科技进展, 2014, 4(3): 13–19.
- [9] 顾震年. 大气角动量和日长间季节性不平衡[J]. 中国科学院上海天文台年刊, 1996, 17: 73–79.
- [10] Yang, P., Shi, W., Xiao, Z., *et al.* Spatial and temporal variations of atmospheric angular momentum and its relation to the earth length of day [J]. *Acta Meteorologica Sinica*, 2014, 28(1): 150–161.
- [11] Langley, R. B., 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.
- [12] 巩贺, 黄玫. 地球自转参数全球摩擦力矩和日长的日-月-年平均数据集(1948–2015) [DB/OL]. 全球变化科学研究数据出版系统, 2018. DOI: 10.3974/geodb.2018.05.15.V1.
- [13] 全球变化科学研究数据出版系统. 全球变化科学研究数据共享政策 [OL]. DOI: 10.3974/dp.policy.2014.05 (2017 年更新).
- [14] 徐君毅. 地球定向参数预报理论与方法研究[D]. 郑州: 解放军信息工程大学, 2010.
- [15] ESRL. Physical Sciences Division, NCEP/NCAR Reanalysis 1 [OL]. <https://www.esrl.noaa.gov/psd/data/gridded/data.ncep>.
- [16] Reanalysis. html#plot International Earth Rotation and Reference Systems Service, IERS [OL]. https://www.iers.org/IERS/EN/Home/home_node.html.
- [17] 巩贺, 黄玫, 朱琳等. 全球摩擦力矩与日长变化三种时间尺度关系研究[J]. 地球物理学进展, 2016, 31(4): 1438–1443. DOI: 10.6038/pg20160404.