

基于 NCEP、ECMWF、MERRA 三套再分析数据的 全球山脉力矩数据集 (1979–2012)

巩 贺, 黄 玫*

中国科学院地理科学与资源研究所, 北京 100101

摘 要: 山脉力矩是大气与固体地球角动量交换的传输途径之一, 直接影响大气环流的状态。作者采用 Huang 等 (1999) 修正的山脉力矩计算方法, 利用目前较为广泛使用的 NCEP (National Centers for Environmental Prediction)、ECMWF (European Centre for Medium-Range Weather Forecasts) 和 MERRA (The Modern Era Retrospective analysis for Research and Applications) 三套再分析数据, 计算得到全球范围内 1979–2012 年平均的山脉力矩空间分布数据; 并计算了 1979–2012 历年欧亚大陆、北美洲和南美洲三个区域的山脉力矩距平, 得到基于三套再分析数据的全球山脉力矩数据集。本数据集包括两部分: (1) 1979–2012 年欧亚大陆、北美洲和南美洲三个区域每年的山脉力矩距平数据; (2) 1979–2012 年平均的全球山脉力矩空间分布数据。其中基于 NCEP 数据的结果空间分辨率为 T62 高斯格点 (192×94), 基于 ECMWF 数据的结果空间分辨率为 $0.75^\circ \times 0.75^\circ$ 的均匀格点 (480×241), 基于 MERRA 数据的结果空间格点为 $(2/3)^\circ$ 经度 $\times (1/2)^\circ$ 纬度 (540×361)。本数据集存储为 .xlsx、.grd 和 .nc 格式, 由 7 个数据文件组成, 数据量 2.53 MB (压缩为 1 个文件, 1.58 MB)。该数据集的研究成果已经发表在《气象学报》2017 年第 75 卷第 3 期。

关键词: 全球; 山脉力矩; 再分析数据; NCEP; ECMWF; MERRA; 气象学报

DOI: 10.3974/geodp.2019.01.07

1 前言

固体地球表面并不是平坦的, 存在大量的起伏丘陵和山脉。当山脉东西两侧气压不一致时, 大气就会通过气压差对山脉产生一个东西向的力矩, 并通过山脉作用在固体地球上, 形成山脉力矩。山脉力矩是地气角动量传输的重要途径之一^[1–2]。早在 80 年代, 气象学者就证实了在短时间尺度上山脉力矩变化对大气角动量平衡影响的重要性^[3]。Ponte 和 Rosen^[4]在研究 1982–1983 年 El Niño 事件时发现, 在这一时段内持续正的山脉力矩迫使大气角动量出现极端的峰值。山脉力矩的引入能有效地提高目前大气模型的模拟准确度^[5–7], 山脉力矩已经成为气候监测和模式偏差诊断的常用手段之一^[6,8–9]。

作为大气轴向角动量变化的主要贡献因子, 山脉力矩对大气角动量和地球自转速度变化

收稿日期: 2018-11-05; 修订日期: 2019-01-22; 出版日期: 2019-03-25

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 (61573193)

*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. 基于 NCEP、ECMWF、MERRA 三套再分析数据的全球山脉力矩数据集 (1979–2012) [J]. 全球变化数据学报, 2019, 3(1): 48–53. DOI: 10.3974/geodp.2019.01.07.
[2] 巩贺, 黄玫. 基于 NCEP、ECMWF、MERRA 三套再分析数据的全球山脉力矩数据集 (1979–2012) [DB/OL]. 全球变化科学研究数据出版系统, 2018. DOI: 10.3974/geodb.2018.06.03.V1.

的研究具有重要的意义。因此，高精度、长时间尺度的山脉力矩将有助于从机理上研究地气相互作用过程，从而更好地了解极端气候事件的发生和气候变化。本数据集包含了全球范围内山脉力矩的空间分布特征和长时间变化特征，能更好地体现出地气角动量传输特征。

2 数据集元数据简介

《基于 NCEP、ECMWF、MERRA 三套再分析数据的全球山脉力矩数据集（1979–2012）》^[10]的名称、作者、地理区域、数据年代、时间分辨率、空间分辨率、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 《基于 NCEP、ECMWF、MERRA 三套再分析数据的全球山脉力矩数据集（1979–2012）》^[10]元数据简表

条 目	描 述
数据集名称	基于 NCEP、ECMWF、MERRA 三套再分析数据的全球山脉力矩数据集（1979–2012）
数据集短名	MT_1979-2012
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	1979–2012
时间分辨率	年
空间分辨率	192×94; 480×241; 540×361
数据格式	.xlsx、.grd、.nc
数据量	2.53 MB（压缩为 1 个文件，1.58 MB）
数据集组成	全球山脉力矩的空间分布及欧亚大陆、北美洲和南美洲年平均距平
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（61573193）
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 ^[11]

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^[12]，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。通过如下公式，计算出了 1979–2012 年间的日平均山脉力矩，并对结果进行了初步分析。

$$T_m = a^2 \int_0^{2\pi} \int_{-\pi/2}^{\pi/2} h \frac{\partial P_s}{\partial \lambda} \cos \phi d\phi d\lambda \quad (1)$$

式中, T_m 为全球山脉力矩的总和 (Hadley), a 为地球半径 (取 6,371 km), P_s 为地表面气压 (Pa), h 为地表的地形高度 (m), λ 为经度 ($^\circ$), ϕ 为纬度 ($^\circ$)。在计算的过程中, 为了减少计算强度, 山脉力矩计算公式亦可写为

$$T_m = -a^2 \int_0^{2\pi} \int_{-\pi/2}^{\pi/2} P_s \frac{\partial h}{\partial \lambda} \cos \phi d\phi d\lambda \quad (2)$$

公式中将原来对气压的微分转换为对地形的微分, 由于地形高度数据基本不变, 在所有年份中只需做一次微分运行, 大大减少了电脑计算时间。为了方便分析, 本数据集中山脉力矩以 Hadley 为单位, $1 \text{ Hadley} = 1.0 \times 10^{18} \text{ kg} \cdot \text{m}^2 / \text{s}^2$ 。

在使用 NCEP/NCAR 第一套再分析网格数据计算山脉力矩的时候, 本文通过六阶差分法^[12]来计算公式中的偏微分项。将气象数据带入下式, 就可计算出在全球范围内的山脉力矩。

$$T_m = a^2 \int_{-\pi/2}^{\pi/2} Y_m \cos \phi d\phi = a^2 \sum_j Y_{m,j} \cos \phi_j \Delta \phi_j \quad (3)$$

$$Y_{m,j} = \int_0^{2\pi} P_s \frac{\partial h}{\partial \lambda} d\lambda = \sum_i \sum_{k=-K}^K p_{i,j} b_k h_{i+k,j}$$

式中, $Y_{m,j}$ 为计算山脉力矩第 j 列的中间变量, $\Delta \phi_j$ 为处在 j 列的网格纬度宽度, $p_{i,j}$ 为 (i, j) 处的地表气压, $h_{i+k,j}$ 为点 $(i+k, j)$ 位置上的地形高度; K 为 3; 六阶差分法中 k 值取 -3、-2、-1、0、1、2 和 3, 对应的 b_k 取 -1/60、3/20、-3/4、0、3/4、-3/20 和 1/60^[13]。

对于特殊区域的山脉力矩, 其范围选取分别为: 欧亚大陆 (1.5°N – 77°N , 169.5°W – 26°E), 北美洲 (7.5°N – 71.5°N , 168°W – 56°W), 南美洲 (12°N – 53.5°N , 81.5°W – 35°W)。将选取范围内的山脉力矩进行积分, 并求得年平均值, 得到在这些山脉集中区域内力矩随时间的变化特征。这三块区域包含了全球范围内大部分的山脉, 通过分析这三块区域内的山脉力矩变化, 有助于理解全球山脉总力矩变化的过程。

3.2 技术路线

利用 NCEP、ECMWF 和 MERRA 三种再分析数据中的地形和地表气压数据, 计算出了 1979–2012 年全球范围内的山脉力矩。将结果进行多年平均后, 就可得到山脉力矩在全球范围内的平均空间分布特征数据。截取三大山脉所在区域的山脉力矩进行积分, 得到特殊区域内山脉力矩变化的时间序列, 整理得到的山脉力矩空间分布数据和特殊区域的年平均时间序列, 最终生成数据集^[10], 具体过程如图 1 所示。

4 数据结果与验证

4.1 数据集组成

本数据集包括:

(1) 基于 NCEP 数据的山脉力矩全球空间分布数据; 欧亚大陆、北美洲和南美洲区域的山脉力矩时间序列;

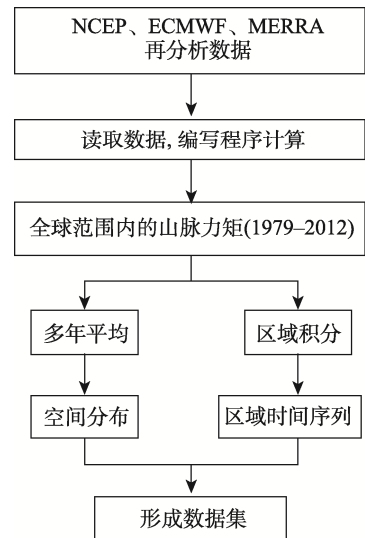


图1 基于 NCEP、ECMWF、MERRA 三套再分析数据的全局山脉力矩数据集 (1979–2012) 研发流程图

（2）基于 ECMWF 数据的山脉力矩全球空间分布数据；欧亚大陆、北美洲和南美洲区域的山脉力矩时间序列；

（3）基于 MERRA 数据的山脉力矩全球空间分布数据；欧亚大陆、北美洲和南美洲区域的山脉力矩时间序列；

（4）空间分布数据由两种文件格式存储，分别为.grd 和.nc 文件，区域时间序列数据存储为.xlsx 格式。

4.2 结果

为了方便介绍山脉力矩的变化特征，本文只选取了数据集中利用 MERRA 再分析数据计算出的山脉力矩进行简略分析。在全球范围内，山脉力矩主要分布在地形起伏较大的区域（图 2）^[14-15]，如安第斯山脉、落基山脉、青藏高原、非洲高原等区域。其中在南美、北美和亚洲中部地区山脉力矩数值变化最大。在山脉东侧或大陆东侧边缘地区，山脉力矩为正值，大气通过山脉力矩获得角动量，大气运动加剧，固体地球失去角动量，自转速度减缓；而在山脉西侧或大陆西侧边缘，山脉力矩为负值，大气通过山脉力矩将角动量传输给固体地球，大气运动减缓，固体地球自转速度加快。这两种现象会在不同的地区同时发生，因此要研究整个大气与固体地球的作用，需要全球积分后再进行分析。在海面或在平原地区，山脉力矩数值基本为 0，在 60°以上的高纬地区，山脉力矩数值也较小。

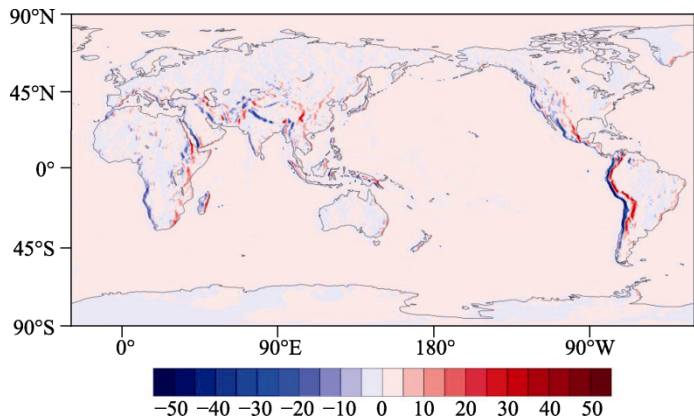


图 2 山脉力矩空间分布（MERRA，1979–2012 平均，单位：Hadley）

在本数据集中，由于数据来源和同化模型的差异，由三种数据计算得到的山脉力矩结果也存在细微的差异。在空间上，由 NCEP 数据计算的结果分辨率最低、空间差别最大，从-243 到 207 Hadley。由 MERRA 数据计算的结果分辨率最高，空间差别最小，从-69.3 到 54.85 Hadley。对全球力矩进行积分后，三种数据计算的结果也有一定的差异。NCEP、ECMWF 和 MERRA 数据结果在研究时间段内的平均值分别为 1.83、-0.25 和 5.17 Hadley。但三种数据结果都能够体现出力矩的变化特征，数据归一化后曲线基本重合。通过多种数据的对比分析，有利于去除数据误差，为接下来的研究工作打好基础。

从山脉力矩的空间分布可以发现在南美、北美和亚洲中部地区力矩变化最为显著，为了研究这些区域内的力矩变化特征和对总力矩的影响，本数据集将其单独提出并进行区域积分，来观察其随时间的变化特征。以 MERRA 数据结果为例（图 3），可以看出，三大区

域的山脉力矩在 2000 年以前主要呈上升趋势，而在 2000 年以后呈下降趋势，其中南美洲表现的最为明显。另外，在 80 年代后期山脉力矩具有较大的波动，其中欧亚地区的山脉力矩变化幅度最大。通过相关分析发现，欧亚、北美和南美地区山脉力矩与全球山脉力矩的相关系数分别为 0.53、0.37 和 0.52，说明青藏高原对总力矩变化的贡献最多，这与前人研究结论一致^[8,15]。

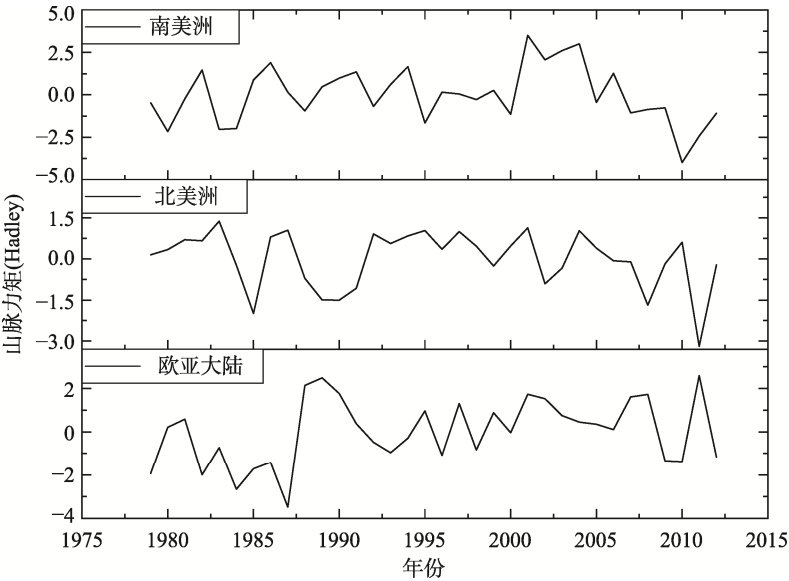


图 3 不同区域山脉力矩的年平均值（MERRA）

在不同的区域内，三种数据计算结果的差异也是不同的，在北美地区三种数据的一致性最好，在南美地区差距最大。这是由于观测数据在不同地区的精度差异导致的，精度越高，再分析数据所得到的结果一致性越好。

5 结论

本数据集利用 NCEP、ECMWF 和 MERRA 三种再分析数据计算出了 1979–2012 年间的全球山脉力矩。利用多年平均方法，给出了山脉力矩的全球空间分布，三种数据计算的空间分辨率格点分别为 192×94、480×241 和 540×361。从结果中可以看出，山脉力矩主要集中在地形起伏较大的地区，东侧为正值，西侧为负值，其中亚洲中部青藏高原地区山脉力矩变化最复杂，对全球力矩变化的影响最大。

在研究空间分布的基础上，本数据集对山脉力矩变化较大区域（包括亚洲区域、南美洲和北美洲区域）进行积分，着重分析了这些地区的山脉力矩变化特征及其对全球总力矩的贡献。本数据集提供了较高精度的山脉力矩空间分布和时间序列，为研究地气相互作用提供了有力的数据支持。

作者分工：黄玖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] 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.
- [2] Driscoll, S. The Earth's atmospheric angular momentum budget and its representation in reanalysis observation datasets and climate models [D]. Berkshire: University of Reading, 2010.
- [3] Swinbank, B. R. The global atmospheric angular momentum balance inferred from analyses made during the FGGE [J]. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 1985, 111(470): 977–992.
- [4] Ponte, R. M., Rosen, R. D. Torques responsible for evolution of atmospheric angular momentum during the 1982–83 El Niño [J]. *Journal of the Atmospheric Sciences*, 1999, 56(19): 3457–3462.
- [5] Cess, R. D., Potter, G., Blanchet, J., *et al.* Intercomparison and interpretation of climate feedback processes in 19 atmospheric general circulation models [J]. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 1990, 95(D10): 16601–16615.
- [6] Huang, H. P., Sardeshmukh, P. D., Weickmann, K. M. The balance of global angular momentum in a long-term atmospheric dataset [J]. *Journal of Geophysical Research*, 1999, 104(D2): 2031–2040.
- [7] Egger, J., Hoinka, K. P., Weickmann, K., *et al.* Angular momentum budgets based on NCEP and ECMWF reanalysis data: an intercomparison [J]. *Monthly weather review*, 2003, 131(11): 2577–2585.
- [8] 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.
- [9] Weickmann, K. M., Kiladis, G. N., Sardeshmukh, P. D. The dynamics of intraseasonal atmospheric angular momentum oscillations [J]. *Journal of the Atmospheric Sciences*, 1997, 54(11): 1445–1461.
- [10] 巩贺, 黄玫. 基于 NCEP、ECMWF、MERRA 三套再分析数据的全球山脉力矩数据集(1979–2012) [DB/OL]. 全球变化科学研究数据出版系统, 2018. DOI: 10.3974/geodb.2018.06.03.V1.
- [11] 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)
- [12] ESRL. Physical Sciences Division, NCEP/NCAR Reanalysis 1 [OL]. <https://www.esrl.noaa.gov/psd/data/gridded/data.ncep>.
- [13] Huang, H. P., Weickmann, K. M. On the computation of the mountain torque from gridded global datasets [J]. *Monthly Weather Review*, 2008, 136(10): 4005–4009.
- [14] 巩贺, 朱琳, 黄玫. 基于多套再分析数据的全球山脉力矩计算及比较分析[J]. *气象学报*, 2017, 75(3): 471–480.
- [15] 王亚非, 魏东, 李琰. 1998 年 5–6 月区域大气角动量收支与东亚天气尺度系统变化[J]. *高原气象*, 2011, 30(5): 1189–1194.