

行星会合指数与行星系质心的日心经度数据集

孙 威^{1,3,4}, 王 建^{2,3*}, 刘福窑^{1*}, 王 颖¹, 陈金如^{2,3}

1. 上海工程技术大学数理与统计学院, 上海 201620; 2. 江苏第二师范学院, 南京 210013;

3. 南京师范大学地理科学学院&数学科学学院, 南京 210023;

4. 安庆师范大学资源环境学院, 安庆 246133

摘 要: 行星会合指数和行星系日心经度是表征行星系统运动特征的两个重要指标, 在研究行星系统运动的周期性变化规律和分析行星系质心绕日运动特征方面发挥了重要作用。本研究整理了1000 A. D.至2000 A. D.期间的行星会合指数和行星系日心经度基础数据, 给出了1900 A. D.至2000 A. D.期间行星系质心绕日运动轨迹数据和太阳质心绕太阳系质心运动轨迹数据, 确定了1000 A. D.至2000 A. D.期间太阳系质心与太阳本体之间的位置关系。数据表明, 行星会合指数具有明显的19.85年和180年的周期性变化规律, 行星系日心经度具有明显的11.5年和180年的周期性变化规律, 行星系质心绕日运动和太阳绕太阳系质心运动都具有明显的11.5年的周期性规律; 通过对一千年来太阳系质心与太阳本体位置关系的统计发现, 太阳围绕太阳系质心运动过程中太阳系质心位于太阳本体内部的概率为34.5%。该数据集包括4个表格: 表1为行星会合指数与行星系日心经度数据; 表2为(1900 A. D.-2000 A. D.)行星系质心绕日运动轨迹数据; 表3为(1900 A. D.-2000 A. D.)太阳质心绕太阳系质心运动轨迹数据; 表4为(1000 A. D.-2000 A. D.)太阳系质心与太阳本体的位置关系数据。数据集存储为一个文件, .xlsx格式, 数据量为172 KB。该数据集的研究成果发表在《地球物理学进展》2017年第32卷第2期。

关键词: 行星会合指数; 行星系日心经度; 太阳本体; 周期性规律

DOI: 10.3974/geodp.2018.04.03

1 前言

米兰科维奇理论^[1]是从全球尺度上研究日射量与地球气候之间关系的天文理论; 米氏理论认为地球轨道偏心率、黄赤交角和岁差三个要素的变化引起北半球高纬夏季太阳辐射变化是驱动第四纪冰期旋回的主要因素, 从单一敏感区的触发作用引出驱动全球气候变化机制的天文因子^[2-3]。伴随行星运动对全球气候变化驱动新理论的崛起, 全球气候变化的天文驱动机制的研究成为热点^[4-6]; 通过对太阳系大行星运动规律的研究开辟探索全球气候变化的新途径和新思路。

收稿日期: 2018-10-08; 修订日期: 2018-12-10; 出版日期: 2018-12-24

基金项目: 国家自然科学基金(41807437, 11803020, 11533004); 安徽省自然科学基金(1808085QD99, KJ2017A371); 江苏省(164320H116)

*通讯作者: 王建 S-8853-2018, 江苏第二师范学院/南京师范大学地理科学学院, jwang169@vip.sina.com

刘福窑 S-7189-2018, 上海工程技术大学数理与统计学院, liufuyao2017@163.com

数据引用方式: [1] 孙威, 王建, 刘福窑等. 行星会合指数与行星系质心的日心经度数据集[J]. 全球变化数据学报, 2018, 2(4): 382-388. DOI: 10.3974/geodp.2018.04.03.

[2] 孙威, 刘福窑, 王建等. 行星会合指数与行星系质心的日心经度数据集[DB/OL]. 全球变化科学研究数据出版系统, 2018. DOI: 10.3974/geodb.2018.05.09.V1.

行星会合指数与行星系质心的日心经度作为表征行星系统运动特征的两个重要指标，为研究行星系统运动的周期性规律和探索全球气候变化的行星驱动因子方面发挥了重要作用^[7]。行星会合指数^[8]表征行星系统的会合与分离程度，亦可表征行星系统质心与太阳质心之间距离的大小；行星系日心经度^[9]表征行星系统质心位于太阳质心的准确方位。行星会合指数和行星系日心经度随行星间的相互运动而改变，具有复杂的周期性变化规律和特征，这些周期性韵律与太阳活动、全球气候变化的一些指标具有一致性；因此，深入研究行星系统运动指标不仅有助于分析行星系统运动的规律和特征，而且有助于研究太阳活动和全球气候变化。数据集包含了千年来的行星会合指数和行星系日心经度数据，百年来的行星系质心绕日运动轨迹数据和太阳质心绕太阳系质心运动轨迹数据，千年来的太阳系质心与太阳本体两者位置关系数据；通过对这些基础数据周期性规律的分析，可以为研究太阳活动的周期性规律提供研究基础，为揭示全球气候变化的天文驱动机制提供参考依据。

2 数据集元数据简介

行星会合指数与行星系质心的日心经度数据集^[10]的名称、作者、地理区域、行星运动指标、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 行星会合指数与行星系质心的日心经度数据集元数据简表

条 目	描 述
数据集名称	行星会合指数与行星系质心的日心经度数据集
数据集短名	PlanetJunctureIndexPlanetarySystemHeliocentricLongitude
作者信息	孙威 I-4578-2016, 上海工程技术大学数理与统计学院, sunweiy@163.com 刘福窑 S-7189-2018, 上海工程技术大学数理与统计学院, liufuyao2017@163.com 王建 S-8853-2018, 江苏第二师范学院, 南京师范大学地理科学学院, jwang169@vip.sina.com 王颖 S-7237-2018, 上海工程技术大学数理与统计学院, wangying424524@163.com 陈金如, 江苏第二师范学院, 南京师范大学数学科学学院, jrchen@njnu.edu.cn
地理区域	太阳系
数据年代	1000 A. D.-2000 A. D.
数据格式	.xlsx
数据量	172 KB
数据集组成	行星会合指数与行星系日心经度数据；行星系质心绕日运动轨迹数据；太阳质心绕太阳系质心运动轨迹数据；太阳系质心与太阳本体位置关系数据
基金项目	国家自然科学基金(41807437, 11803020, 11533004); 安徽省自然科学基金(1808085QD99, KJ2017A371, AQKJ2015B021); 江苏省(164320H116)
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 数据源

太阳系各大行星的相关天文参数源于美国航天航空局（NASA）。美国宇航局是美国联邦政府的一个行政性科研机构，负责开展航空科学暨太空科学的研究，NASA 是目前世界上最权威的航空航天科研机构，与国际上众多科研机构分享其研究数据。表 2 提供了太阳系八大行星的基础天文参数及行星运行轨道参数和 2000 年 1 月 1 日各大行星的初始日心经度；通过对部分天文数据进行重新组织、归一化处理等并经过精准核对后得到科学、合理的行星天文参数。

表 2 太阳系行星轨道有关天文参数（2000 年 1 月，世界时）

名称	周期（d）	日心经度（°）	轨道平均半径（km）	天文单位（1 AU）	权重半径（km）	角速度（rad/a）
水星	87.969	252.250,84	56,672,443.84	0.387,098,93	4.690,91 E-05	26.088,407,62
金星	224.701	181.979,73	108,207,517.8	0.723,331,99	0.001,320,004	10.213,444,22
地球	365.256	100.464,35	149,579,112	1.000,000,11	0.002,238,882	6.283,185,3
火星	686.98	355.453,32	226,923,421.8	1.523,662,31	0.000,363,432	3.340,666,584
木星	4,332.587	34.404,038	777,657,818.7	5.203,363,01	3.699,505,551	0.529,699,953
土星	10,759.22	49.944,32	1,431,426,696	9.537,070,32	2.038,821,640	0.213,302,742
天王星	30,685.4	313.232,18	2,869,262,907	19.191,239,30	0.624,274,378	0.074,790,328
海王星	60,189.0	304.880,3	4,494,894,315	30.481,686,77	1.153,633,570	0.038,129,411

注：基础数据引自 NASA（National Aeronautics and Space Administration）。

3.2 数据处理

行星会合指数和行星系日心经度作为行星系统的两个重要运动指标，可用于分析行星系统的运动特征及其周期性变化规律。刘复刚和王建^[8]把太阳系所有行星绕日运动轨道的权重半径矢量和的模定义为行星系统的会合指数，由此给出行星会合指数（ K ）的表达式：

$$K = \sqrt{\left[\sum_{i=1}^n r_i \sin(\varphi_i + \omega_i t) \right]^2 + \left[\sum_{i=1}^n r_i \cos(\varphi_i + \omega_i t) \right]^2} \tag{1}$$

式中， K 为行星会合指数（无量纲）； r_i ，行星轨道权重半径（km）； φ_i ，行星日心经度（°）； ω_i ，角速度（rad/a）； t ，年份（a）。

孙威等^[12]和孙威^[13]把行星系统质心相对于太阳质心的准确方位定义为行星系日心经度，即行星系质心在不变平面上的投影和太阳质心之间连线与基准轴的夹角；由此，行星系日心经度（ φ ）的表达式为：

$$\varphi(t) = k\pi \pm \arcsin \left[\frac{\sum_{i=1}^n r_{iy}(t)}{\sum_{i=1}^n r_i(t)} \right], (k=0, 1, 2) \tag{2}$$

式中， φ 表示行星系质心的日心经度（ $0 \leq \varphi < 2\pi$ ）； k ，常数； r_{iy} ，行星质量权重分位矢； r_i ，行星质量权重位矢； t ，年份。利用表 2 中相关行星天文参数代入行星会合指数与行星系日心经度的表达式，利用计算机编程进行数值模拟获得行星系统运动指标的基础数据。

4 数据结果与验证

4.1 数据集组成

行星会合指数与行星系质心的日心经度数据集^[10]共包括四个部分：

（1）（1000 A. D.-2000 A. D.）行星会合指数与行星系日心经度数据为.xlsx 文件（图 1）

4.2 数据结果

4.2.1 行星会合指数

行星会合指数表征太阳系所有行星会合与分离的程度,当行星系统高度会合时行星会合指数达到最大值 $K_{\max}=7.520,204$; 各行星具有相同日心经度的概率较小, 因此行星会合指数的极大值通常小于最大值。图 5(A1)是 1900 A. D.-2000 A. D.的行星会合指数变化图, 行星会合指数从 2000 A. D.向过去推演 100 年(至 1900 A. D.), 行星会合指数在 100 年期间大约跨越了 5 个极大值或极小值周期, 其平均周期约为 19.85 年。图 5(A2)是 1000 A. D.-2000 A. D.的行星会合指数变化图, 行星会合指数从 2000 A. D.向前推演 1000 年(至 1000 A. D.), 在 1,000 年期间其极大值中的相对最大值约发生 5.5 次变化, 具有大约 180 年的双世纪周期。表明行星会合指数具有较明显 19.85 年和准 180 年的周期性变化规律, 这些显著的周期性规律对研究太阳活动和全球气候变化都具有重要的科学意义。

4.2.2 行星系日心经度

行星系日心经度表征行星系统质心相对于太阳质心的准确方位,其取值在 0 到 2π 范围内, 单位为弧度。图 6(B1)是 1900 A. D.-2000 A. D.的行星系日心经度变化图, 行星系日心经度从 2000 A. D.向过去推演至 1900 A. D., 在 1900 A. D.至 2000 A. D.期间进行约 8.5 次的周期性变化(即行星系质心绕太阳质心运动约 8.5 圈); 因此行星系日心经度具有明显的准 11.5 年的周期, 此周期正好与太阳活动中的太阳黑子周期相似。图 6(B2)是 1000 A. D.-2000 A. D.的行星系日心经度变化图, 行星系日心经度从 2000 A. D.向过去推演至 1000 A. D., 在 1000 年期间行星系日心经度极小值的变化率具有明显 5.5 次的周期性变化, 其周期为准 180 年; 此周期与行星会合指数所表现出的 180 年周期一致, 同时与全球气候变化的双世纪周期一致。因此, 行星系日心经度具有较明显的 11.5 年和准 180 年的周期性变化规律。行星系日心经度变化图直接反映了行星系质心位于太阳质心的方位变化特征, 其变化规律在一定程度上可以反映行星系质心绕太阳运动的周期性变化特征。

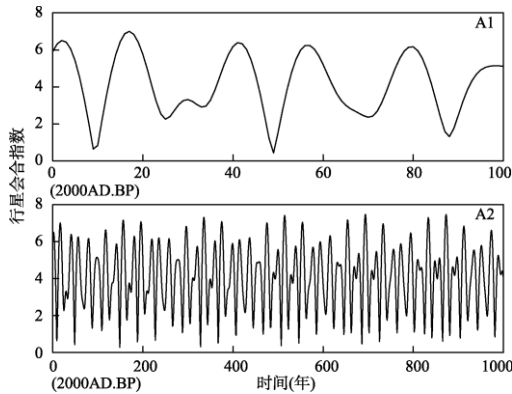


图5 行星会合指数变化图^[12]

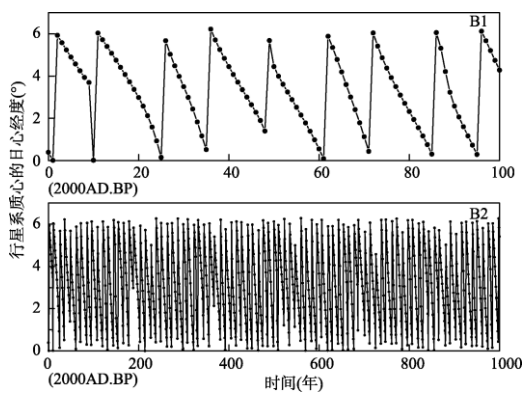


图6 行星系统质心日心经度变化图^[12]

4.2.3 行星会合指数和行星系日心经度综合分析

若研究行星系质心绕太阳质心或者太阳质心绕太阳系质心运动轨迹的变化规律及特征, 需结合行星会合指数和行星系日心经度两大行星系统运动指标。图 7 为 2000 A. D.推演至 1900 A. D.期间的行星系质心绕太阳质心的运动轨迹三维图和平面图, 太阳质心位于两图中 XY 平面上的坐标轴原点 (0, 0); 图 7(C1)中垂直坐标为时间轴, 垂直坐标的零点时间为 2000 A. D., 时间点 100 为 1900 A. D.。图 7 中行星系质心运动轨迹曲线上的点距坐标

轴原点（即太阳质心）的距离即为行星会合指数，行星系质心位于坐标原点的具体方位即为行星系质心的日心经度。由此不难发现，行星系日心经度和行星会合指数随时间变化都呈周期性变化；在 1900 A. D.至 2000 A. D.期间，行星系日心经度共经历了约 8.5 个周期，平均每个周期约 11.5 年，此周期与太阳黑子的周期相一致。为了方便研究行星系质心绕太阳质心运动轨迹特征，把 1900 A. D.-2000 A. D.期间的行星系质心绕日运动轨迹均匀分为四个相等的时间段进行分析，发现在行星系质心运动的 25 年期间行星系质心绕太阳质心运动轨迹约两个周期，且总有一个相对较小周期和另外一个相对较大的周期组成；去除行星系质心运动的重叠部分，其中较小周期约 10 年，大周期约 13 年，此行星系质心绕太阳质心运动轨迹具有平均约 11.5 年的周期，这与行星系质心日心经度的周期性规律一致。

图 8 是 2000 A. D.推演至 1900 A. D.期间的太阳质心绕太阳系质心的运动轨迹三维图和平面图，太阳系质心位于 XY 平面上的坐标轴原点(0, 0)，黑色圆点代表太阳质心；图 8(D1)中垂直坐标为推演时间轴，垂直坐标的零点时间为 2000 A. D.，时间点 100 为 1900 A. D.，图中曲线为太阳质心绕太阳系质心的运动轨迹。图 8 显示太阳质心绕太阳系质心做周期性运动，其周期性与行星质心绕太阳质心运动轨迹的周期性一致，在 1900 A. D.至 2000 A. D.的 100 年期间太阳质心绕太阳系质心运动约 8.5 个周期，平均周期也为 11.5 年；表明了行星系质心绕日运动与太阳质心绕太阳系质心运动的周期性规律一致，验证了太阳质心和行星系质心共同绕太阳系质心做二体运动这一结论。

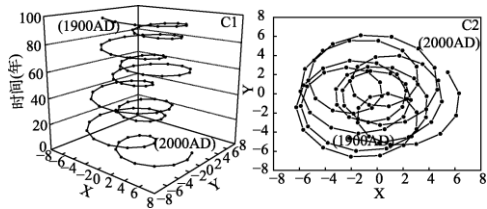


图 7 行星系质心绕日运动轨迹图^[12]

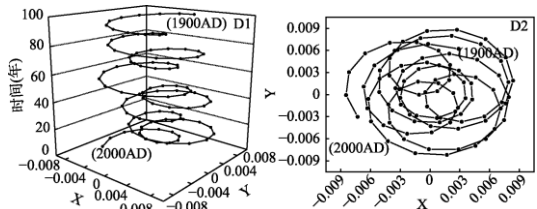


图 8 太阳质心绕太阳系质心运动轨迹图^[12].

太阳在围绕太阳系质心旋转运动过程中，太阳系质心周期性地旋入和旋出太阳本体；即太阳与太阳系质心相对运动过程中，太阳系质心一部分时间位于太阳本体内，其余时间位于太阳本体外；为了准确分析太阳系质心与太阳本体位置之间的关系，计算并统计 1001 A. D.至 2000 A. D.的 1000 年期间太阳系质心与太阳本体位置关系数据。表 3 是太阳系质心与太阳本体位置关系统计表；显示了 1001 A. D.至 1200 A. D.的 200 年期间，太阳系质心位于太阳本体内 64 年；1201 A. D.至 1400 A. D.的 200 年期间，太阳系质心位于太阳本体内 69 年；1401 A. D.至 1600 A. D.的 200 年期间，太阳系质心位于太阳本体内 63 年；1601 A. D.至 1800 A. D.的 200 年期间，太阳系质心位于太阳本体内 76 年；1801 A. D.至 2000 A. D.的 200 年期间，太阳系质心位于太阳本体内 73 年；合计 1001 A. D.至 2000 A. D.的 1000 年期间，太阳系质心位于太阳本体内 345 年、太阳本体外 655 年；经过统计太阳本体与太阳系质心在相互运动过程的位置关系，太阳系质心位于太阳本体内的时间约占总时间的三分之一，即太阳系质心在与太阳本体相互运动过程中，位于太阳本体内的概率约 34.5%。

表 3 太阳系质心与太阳本体位置关系的统计表

年代 (A. D.)	1001-1200	1201-1400	1401-1600	1601-1800	1801-2000	合计
太阳本体内	64	69	63	76	73	345
太阳本体外	136	131	137	124	127	655

5 讨论和总结

行星会合指数和行星系日心经度是行星系统的两大运动指标。行星会合指数适合于表征行星系统的会合与分离程度和行星系质心与太阳质心两者间的距离；行星系日心经度适合于表征行星系质心位于太阳质心的准确方位。通过对行星系统运动指标数据的分析表明，行星会合指数具有明显的 19.85 年和 180 年的周期性规律，行星系质心日心经度具有明显的 11.5 年和 180 年的周期性规律。行星系质心和太阳质心的运动轨迹数据表明，无论行星系质心绕日运动轨迹还是太阳质心绕太阳系质心运动轨迹都具有明显的 11.5 年的周期性规律；太阳相对于太阳系质心的运动过程中，太阳系质心位于太阳本体内的概率约 34.5%。

数据集给出了千年以来的行星会合指数与行星系日心经度，为深入研究行星系统的运动特征、规律和周期性规律奠定基础保证，为进一步讨论行星运动与太阳活动、全球气候变化的关系提供基础数据，为揭示全球气候变化的驱动机制开辟新的研究思路和途径。

作者分工：王建、孙威对数据集的开发做了总体设计；王颖处理了行星系统运动指标数据；刘福窑、陈金如设计了模型和算法；孙威、王建撰写了数据论文等。

参考文献

- [1] 施广成, 姚进生, 杨本有等. 米兰科维奇的气候变化天文理论与温度变化预测[J]. 紫金山天文台台刊, 1992, 11(2): 97-110.
- [2] 石广玉, 刘玉芝. 地球气候变化的米兰科维奇理论研究进展[J]. 地球科学进展, 2006, 21(3): 278-285.
- [3] 丁仲礼. 米兰科维奇冰期旋回理论: 挑战与机遇[J]. 第四纪研究, 2006, 26(5): 710-717.
- [4] Sharp, G. J. Are Uranus & Neptune responsible for solar grand minima and solar cycle modulation? [J]. *International Journal of Astronomy Astrophysics*, 2013, 3(3): 260-273.
- [5] McCracken, K. G., Beer, J., Steinhilber, F. Evidence for planetary forcing of the cosmic ray intensity and solar activity throughout the past 9400 years [J]. *Solar Physics*, 2014, 286(2): 609-627.
- [6] Scafetta, N., Milani, F., Bianchini, A., *et al.* On the astronomical origin of the Hallstatt oscillation found in radiocarbon and climate records throughout the Holocene [J]. *Earth Science Reviews*, 2016, 162: 24-43.
- [7] Sun, W., Wang, J., Chen, J. R., *et al.* Contrast analysis between the trajectory of planetary system and the periodicity of solar activity [J]. *Annales Geophysicae*, 2017, 35: 659-669.
- [8] 刘复刚, 王建. 行星会合指数变化与太阳绕太阳系质心运转的周期[J]. 地球物理学报, 2013, 56(5): 1457-1466.
- [9] 孙威, 王建, 陈金如等. 近两千年以来行星会合指数与行星系日心经度变化及频谱分析[J]. 科学通报, 2017, 62(5): 407-419.
- [10] 孙威, 刘福窑, 王建等. 行星会合指数与行星系质心的日心经度数据集[DB/OL]. 全球变化科学研究数据出版系统, 2018. DOI: 10.3974/geodb.2018.05.09.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] 孙威, 王建, 陈金如等. 行星会合指数与行星系质心的日心经度模型构建及数值模拟[J]. 地球物理学进展, 2017, 32(2): 0506-0515.
- [13] 孙威. 行星系日心经度的构建和行星系统运动轨迹与太阳活动的对比分析——行星运动对全球气候变化的驱动[D]. 南京: 南京师范大学, 2017.