



刘复刚 姚允龙 鲍昆山, 等. 2018. 对太阳轨道运动不绕过太阳系质心这一周期性特征的再分析. 地球物理学进展, 33(2): 0489-0497, doi: 10.6038/pg2018BB0409.

LIU Fu-gang, YAO Yun-long, BAO Kun-shan, et al. 2018. Reanalysis of the cyclical characteristics of the sun orbital motion without bypassing the center of mass in the solar system. *Progress in Geophysics* (in Chinese), 33(2): 0489-0497, doi: 10.6038/pg2018BB0409.

对太阳轨道运动不绕过太阳系质心这一周期性特征的再分析 Reanalysis of the cyclical characteristics of the sun orbital motion without bypassing the center of mass in the solar system

刘复刚¹ 姚允龙² 鲍昆山³ 侯建秋¹ 陈凯¹ 马丽伟¹ 罗金明¹

LIU Fu-gang¹, YAO Yun-long², BAO Kun-shan³, HOU Jian-qiu¹, CHEN Kai¹, MA Li-wei¹, LUO Jin-ming¹

1. 齐齐哈尔大学理学院地理系 黑龙江齐齐哈尔 161006

2. 东北林业大学野生动物资源学院湿地科学系 哈尔滨 150040

3. 中科院南京地理与湖泊研究所湖泊与环境国家重点实验室 南京 210008

1. College of Science, Qiqihar University, Heilongjiang Qiqihar 161006, China

2. College of Wildlife Resource, Northeast Forestry University, Harbin 150040, China

3. State Key Laboratory of Lake Sedimentology and Environment, Nanjing Institute of Geography and Limnology, Chinese Academy of Sciences, Nanjing 210008, China

摘 要 基于行星会合指数和行星系日心经度分别获得行星系质心到太阳的距离和日心经度的变化特征,发现杨学祥等(1999)指出的在1990—1994年太阳轨道运动并没有绕过太阳系质心这一特征具有准179年周期.根据对会合指数 K 极小值的分析表明,当会合指数向量 $K_{sp} > 0$ 时,行星系质心和木星在太阳一侧,保持与太阳同步绕太阳系质心运动;当 $K_{sp} < 0$ 时,则出现行星系质心和木星分别处在太阳质心的两侧,此时行星系质心没有绕过太阳质心,致使太阳质心没能绕过太阳系质心.行星会合指数与行星系质心日心经度两个时间序列的功率谱检测出不同的周期,表明二者指代的物理特征不同.分别对行星会合指数和行星系质心日心经度最强功率谱所标定的19.86年和11.86年周期的物理意义进行澄清,前者是行星会合指数 K 在极大值附近具有相等 K 值的频率所表现出的周期,它不是方向周期;后者主要指相对于太阳质心,行星系质心轨迹的封闭曲线旋进和旋出所对应的相同日心经度的频率明显增大所表现出来的周期,它不是理论上 K 指数相等条件下的周期.这为探索太阳轨道运动与太阳活动的关系研究具有参考价值.

关键词 行星会合指数;行星系质心;日心经度;太阳轨道运动

Abstract Based on the planetary synodic index and the heliocentric longitude of the planetary system, the distance from the mass center of the planets to the sun and the changes of heliocentric longitude of the sun are obtained. It is found that the solar orbital movement did not bypass the solar system mass center in 1990—1994. This feature has a quasi-179 year cycle. According to the analysis of the K minimum of the synodic index, when the covariate vector $K_{sp} > 0$, the mass center of planetary system and Jupiter are on the same side, and keep moving along with sun around the mass center of solar system, while $K_{sp} < 0$, Jupiter and the mass center of the planetary are on two sides, this time the mass center of the planets did not bypass the center of the sun, resulting in the center of the sun did not bypass the mass center of the solar system. Different periods of the power spectrum of the two time series of planetary synodic index and heliocentric longitude of the mass center P detected, indicating that the physical characteristics of the two are different. The physical meanings of the 19.86 and 11.88 cycles which calibrated from the power spectrum of the planetary synodic index and the mass center P was clarified. The former is the frequency at which the planetary synodic index K has an equal K value in the vicinity of the maximum value, it is not the direction cycle; the latter mainly refers to the relative centripetal meridian relative to the sun centroid, the mass center of planetary system trajectory of the closed curve of the spin-off and spin out of the corresponding day meridian frequency significantly increased the performance of the cycle, it is not K Exponential conditions. This research has important scientific value for exploring the relationship between solar orbit and solar activity.

Keywords the planetary synodic index; the mass center of the planetary system; heliocentric longitude; sun orbital motion

中图分类号 P184, P353

文献标识码 A

doi: 10.6038/pg2018BB0409

收稿日期 2017-09-04; 修回日期 2018-02-11.

投稿网址 <http://www.progeophysics.cn>

基金项目 2017年黑龙江省教育厅基本业务专项理工面上项目(135209254)资助.

第一作者简介 刘复刚,男,1964年生,教授,博士,从事太阳轨道运动与全球气候变化研究.(E-mail: lfg012345@126.com)

0 引言

Jose(1965)及后来的天文学家和天体物理学家(杨志根和赵铭,1988;杨志根,1991;Charvátová,2000,2009;Charvátová and Střešník,2007;Tlatov,2007;Charvátová and Hejda,2014;McCracken *et al.*,2014;Scafetta,2014)在探讨太阳(S)绕太阳系质心(C)运动与太阳活动的关系时,都对太阳轨道运动的179a-Jose cycle周期与太阳活动的准双世纪周期关系进行过探讨,基本认为二者具有一定的同步性,但都没有关注到太阳轨道运动有时并不绕过太阳系质心这一现象,更没有对这一特征的周期性规律进行探讨.杨学祥等(1999)发现太阳轨道运动在1990—1994年没能绕过太阳系质心,并认为这时太阳绕太阳系质心呈顺时针方向运动.刘复刚等(2015)基于创建的行星会合指数指代意义,认为这一现象是行星会合指数 K 处于矢量 $K_{sp} < 0$ 状态下造成的,根据行星会合指数 K 值的变化推断这种现象平均每隔179年出现一次.最近孙威等(2017)基于行星轨道根数进行N体数值积分重新获得行星会合指数,并建立了行星系质心日心经度指数,依此获得的日心经度变化图像呈现出清晰的准179年周期,致使刘复刚等(2015)所做的预测部分得到了证实.研究发现,太阳轨道运动不绕过太阳系质心的运动周期虽然与 K 指数标定的太阳轨道运动极大值周期相同,但二者周期的相位相差 $\pm 10 \sim \pm 30$ 年不等,而且这一特殊现象刚好与Charvátová(Charvátová,2000;Charvátová and Hejda,2014)和McCracken等(2014)所阐述的太阳轨道处于无序(disordered)状态时段的中间点对应.这一规律的发现客观上是对这种“无序状态”的否定,因为这种“无序状态”并不是随机的,而且也呈现出准179年周期,说明这种现象背后必有机理性的规律在发挥作用.通过对行星系质心这一具有特殊意义的特征周期的成因进行深入分析,这对太阳轨道运动特征与全球百年和千年尺度气候变化周期的关系探索又向前推进了一步.

1 太阳质心相对太阳系质心的运动轨迹

图1是Jose(1965)给出的太阳质心S相对太阳系质心C的运动轨迹.其中1945—1955年和1965—1975年是太阳质心S绕过太阳系质心C的正常情况,然而1985—1995年质心S却没能绕过质心C.以往对太阳轨道运动特征的认识都是基于质心C坐标系获得的结果,并不是通过行星会合指数 K 指代太阳的轨道运动特征.针对行星系质心P没能绕过质心S这种特殊现象仅从图像特征上分析是无法解释其成因的.从太阳系整体运动特征看,质心S和质心P是相对质心C同步运动的(戴文赛,1979),这使得通过行星会合指数指代太阳轨道运动特征成为可能.刘复刚和王建(2013)基于创建的行星会合指数 K 运动学方程,科学标定了质心P相对质心S的运动规律.因为质心P、质心S和质心C三者共线,这使得质心S到质心C距离的变化和质心P到质心C的距离变化是同步变大或变小的.太阳是一个独立的中心天体,而行星系统则是由8个大行星构成,行星系统中各行星不同的位置组合预设了质心P到质心S或质心C不同的位置关系.

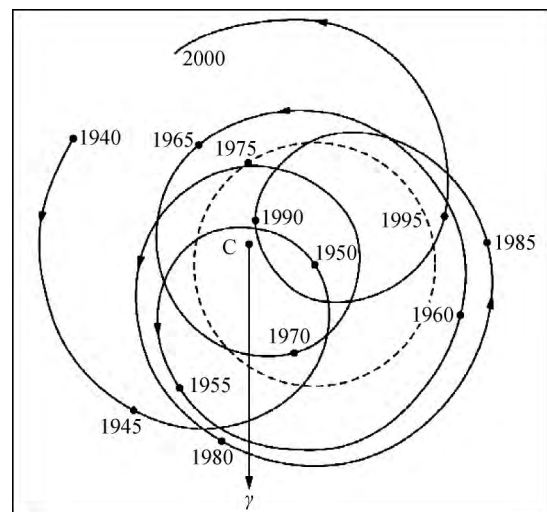


图1 1940—2000年太阳中心相对于太阳系质心的运动轨迹
其中 γ 为春分点方向,虚线为1950年太阳位置(Jose,1965).

Fig. 1 Trajectory of the Sun center relative to the mass center of the solar system

The γ is the direction of the vernal equinox. Dashed line is the position of the sun in 1950(Jose,1965).

2 行星会合指数与行星系质心日心经度指数

刘复刚和王建(2013)创建了质心P相对质心S运动的 K 指数方程,并把太阳系八大行星绕日运动轨道的权重半径矢量和的模定义为行星系质心P的会合指数,简称为行星会合指数,公式为

$$K = |K_{sp}| = \sqrt{\left[\sum_{i=1}^8 r_i \sin(\varphi_i + \omega_i t) \right]^2 + \left[\sum_{i=1}^8 r_i \cos(\varphi_i + \omega_i t) \right]^2}, \quad (1)$$

通过行星会合指数 K 振幅的差异性揭示了质心P相对质心S运动具有准20年、179年和2400年3个显著周期的成因.

2.1 行星会合指数的指代意义

首先 K 指数具有指代行星系质心P相对质心S的运动规律.其次,它标定了行星系统会合与分离的程度,由(1)式可知 $K \geq 0$, K 值越大行星系统在太阳一侧会合近似呈直线排列的程度越强;反之, K 值越小,行星系统分离程度越强,其中当木星和其他行星分别处在太阳两侧近似呈直线排列状态时, K 指数达到极小值.这个极小值可以是 K 的最小值0,这表明三个质心P、S、C可能出现重合.因为质心S和质心P到质心C的距离之比是1/746(刘复刚和王建,2013),所以二者趋近质心C的程度不同.理论上,八大行星在太阳一侧排成直列时行星会合指数最大值 $K_{\max} = 7.5105$ (AU)(刘复刚和王建,2014).然而,即使将图像放大到更长的时间尺度也没能发现同样的 K_{\max} 最大值,这表明行星系统八大行星在太阳一侧排成理论上直列的概率是非常小.再者, K 指数可以近似标定质心S相对质心C的运动规律.因为它们必须满足质心S和质心P相对质心C同步运动的动态平衡,而且发现根据 K 指数方程给出的图像和Jose(1965)给出的质心S

相对质心 C 运动图像不但形态特征一样,而且对应的相位也完全一致(刘复刚等,2013)。

本文主要关注 K 指数的第 4 个指代意义,它隐含在 K 指数中不易被发现。因为在 K 表达式中, K 指数是向量 K_{sp} 的模,所以 $K \geq 0$,它只反映质心 P 到质心 S 距离的变化,却没能反映出质心 P、质心 S 和最大行星——木星的位置关系,然而 K 指数的向量 K_{sp} 具有这样的作用。因为水星、金星、地球、火星的质量权重半径太小,这里可以忽略不计,仅考虑木星、土星、天王星和海王星的质量权重半径(这四颗行星的质量权重半径分别是 3.69860、2.02917、0.62386、1.15494 AU),当木星和其他 3 颗行星处在质心 S 两侧排成直列时(见图 4),则向量 $K_{sp} = -0.1104 < 0$ (AU) $[3.69860 - 2.2917 - 0.62386 - 1.15494]$ $0.1104 \text{ AU} = 1.6516 \times 10^{10} \text{ m}$ 。太阳半径是 $6.9599 \times 10^8 \text{ (m)}$,这时质心 P 到太阳本体边缘的距离是 $1.5820 \times 10^{10} (1.6516 \times 10^{10} - 6.9599 \times 10^8) \text{ m}$,所以质心 P 肯定没能绕过质心 S,而且也没能绕过质心 C(见附录的证明)。因为即使 K 达到理论最大值 $K_{\max} = 7.5105$ (AU) 时,质心 S 到质心 C 的最大距离才是 $1.5057 \times 10^9 \text{ m}$ (刘复刚和王建,2013),这时质心 P 到质心 C 的距离为 $1.5010 \times 10^{10} (1.6516 \times 10^{10} - 1.5057 \times 10^9) \text{ m}$,何况此时质心 S 和质心 C 是接近最小值。当 $K_{sp} = 0$ 时,质心 P、质心 S 和质心 C 三者重合。 $K_{sp} > 0$ 时质心 P 和木星同在质心 S 一侧,这时质心 P 绕过了质心 S,从而导致质心 S 绕质心 C 运动。然而,由 K 指数构筑的图像没能揭示出 $K_{sp} < 0$ 时行星系质心 P 没绕过质心 S 的这一运动特性,这一指代意义的缺失由行星系质心 P 的日心经度指数进行了弥补。

2.2 行星系日心经度指数的指代意义

孙威等(2017)在利用行星轨道根数采用 N 体数值积分方式获得的行星会合指数 K 基础上建立了行星系质心 P 的日心经度指数“行星系质心的日心经度为行星系质心在不变平面上的投影和太阳质心之间的连线与基准轴(横轴)的夹角”。通过日心经度图像更清晰地发现质心 P 日心经度变化具有明显的准 11.86 和 179 年周期。该文试图通过“行星系日心经度表征所处太阳质心的准确方位的变化规律,进而表征太阳系质心所处太阳质心的准确方位的变化规律”。孙威等(2017)文中公式(3)的表述不够准确,根据其定义,公式(3)中分母 $\sum r_i(t)$ 就应该是 K 指数。然而, $\sum r_i(t)$ 表示的却是 8 个行星质量权重的位矢和,这相当(1)式中的 K_{sp} ,因为它是矢量而不是标量,这与其定义不符。孙威等(2017)文中指出“日心经度的周期性变化在一定程度上表征行星系质心绕太阳运动的周期性变化,也可以表征太阳绕太阳系质心运动的周期性变化”,但没能将质心 P 不过质心 S 的运动特征概括进去,这是该文的一大缺憾。因为这两种指数是质心 P 相对质心 S 运动的两种不同物理意义的指标, K 指数是标定质心 P 到质心 S 距离的变化规律,而质心 P 日心经度是标定质心 P 相对质心 S 的方位变化。如果 K 指数所标定的质心 P 没有绕过质心 S,则质心 P 日心经度指数所指代的方位在理论上一定会出现两个拐点(如图 3c 中 M 点和 N 点),在这两个拐点间日心经度会发生不连续跳跃,这在孙威等(2017)文中给出的图 3 d) (见本文图 2 中的下图)中表现的十分突出。其实,这正是杨学祥等(1999)年提出的,在

1990—1994 年太阳轨道运动并没有绕过太阳系质心的情况。刘复刚等(2015)曾推断太阳轨道运动的这一特征具有准 179 年周期,如图 4(上) U、V、W、X、Y、Z 处对应的 K 极小值,但与日心经度指数相位存在差异,上图 U、V、W 和下图 A、B、C 的相位对应一致,但上图 X、Y、Z 与下图 D、E、F 的相位相差近 40 年,但在 X 和 Y 处 K 极小值所对应的质心 P 日心经度也存在较明显变化。研究发现,太阳轨道运动不绕过太阳系质心的运动周期虽然与 K 指数标定的太阳轨道运动极大值周期相同,但二者周期的相位相差 $\pm 10 \sim \pm 30$ 年不等,而且这一特殊现象刚好与 Charvátová(Charvátová, 2000; Charvátová and Hejda, 2014) 和 McCracken 等(2014) 所阐述的太阳轨道处于无序(disordered)状态时段的中间点对应。当时时间跨度进一步放大后上述对应关系又会重复出现。

3 行星系质心与太阳质心三种位置关系

研究表明,若只有一种极大值曲率的曲线和定点的位置关系都可以概括为三种情况:1) 绕过定点;2) 通过定点;3) 不绕过定点。其实,质心 P 相对质心 S 运动的关系也有这三种情况,如图 3 中的(a)、(b)、(c)三幅图是以质心 P 处在 1979—2000 年轨道运动的基本形态特征为例的示意图。这间接表明质心 S 相对质心 C 的运动关系也同样存在这样的情况。

3.1 质心 P 绕过质心 S(如图 3a)

这种情况如同圆半径绕原点的方位角变化一样,其质心 P 日心经度的角值变化范围在 $0 \leq \varphi(t) \leq 2\pi$ (孙威等, 2017)。因为质心 P 的运动轨迹不是圆,而是近似的旋进和旋出的螺旋曲线,从一个完整的准 20 年行星系质心平均会合周期看,从基准方向 SA 绕转一周又回到起始方向 SB 用时平均为 11 年左右。研究发现质心 P 运动轨迹有一个非常重要特征:在一个以 Z 为起点和终点(质心 P 旋进和旋出轨迹的交点)的闭合曲线的平均方向周期为准 11 年,这 11 年周期具有十分精确的指代意义,即 K 指数相同,日心经度也相同。这里把质心 S 处在一个闭合的质心 P 轨迹曲线内的情况视为常态。除 SZ 方向线外,发现在一个平均准 20 年会合周期内,出现同样的日心经度对应质心 P 的位置不同,如 SC-SE、SD-SF 方向线所示,它们的日心经度方位周期也都接近准 11 年。这就是图 2 中下图出现的频率最多的角值变化范围 $0 \sim 3.14 \sim 6.28 \sim 0$ 弧度所对应的准 11.5 年周期(孙威等, 2017)。这区间质心 P 日心经度是由小到大依次变化构成一个完整的方向周期。

3.2 质心 P 通过质心 S(图 3b)

质心 P 日心经度方位角的角值变化范围仍然是 $0 \leq \varphi(t) \leq 2\pi$,而且最显著的周期仍然是准 11 年,但是当质心 P 从 E 点到 F 点阶段角值却从 $\pi/2$ 直接跳跃到 $3\pi/2$,二者的角差为 π 。分析发现,只要质心 P 轨迹是通过质心 S 的,质心 P 的日心经度就会有 180° 的跳跃。这个临界值变化在图 2 中下图表现的十分明显,而且具有准 179 年周期。质心 P 日心经度虽然也是由小到大变化,但出现 180° 跳跃的不连续现象。

3.3 质心 P 不过质心 S(如图 3c)

通过质心 S 向质心 P 运动轨迹曲线作两条切线,SR 和

ST 分别与曲线相切于 M、N 两点. 发现沿质心 P 逆时针运动,从 SA 方向到 SM 方向和 SN 方向到 SB 方向的日心经度方位角是逐渐增大的;然而,从 SM-SE-SF-SN 这阶段质心 P 日心经度方位角的角值变化是由大到小急速变化的,但这种角值没有出现质心 P 通过质心 S 时的 180°急剧跳跃(这也跟选取的单位时间步长有一定关系),但在 M 点和 N 点处成了日心经度变化的拐点,SA-SM 日心经度方位角由小到大;SM-SE-SA 方向的方位角由大到小再到 0°,这里由 SE-SF 阶段出现了由 0°~360°的跳跃,然后由 SA-SF-SN 日心经度方位角是由大到小变化,方位 SN-SB 期间又出现由小到大的变化特点. 研究发现,在 $\angle RST$ 范围内(肯定没有超出准 20 年平均行星会合周期)出现相同的日心经度方向线对应质心 P 三个不同位置的情况,如 SE-SC-SG 方向线和 SF-SD-SH 方向线所示. 显然由 H 到 F、由 H 到 D、由 F 到 D 的日心经度方向周期是准 7.5 年、10.5 年、3.5 年左右,由 H 到 F 和由 F 到 D 显然不是质心 P 轨迹的完整周期,它们只是日心经度相同而已,从 C 到 E 和 E 到 G 的情况也是如此. 因此需要区分出由

功率谱获得的周期究竟那些是完整意义的日心经度变化周期,那些不是.

研究表明,只要质心 P 日心经度方向线与闭合轨迹和闭合轨迹之外同向运动的质心 P 轨迹出现相交时,再次获得的相同日心经度周期才是一个完整意义的质心 P 运动的方向周期,如 SH-SD; SA-SB; SC-SG 方向线(很显然,SH \neq SD; SA \neq SB; SC \neq SG,所以日心经度周期肯定不是 K 指数相同条件下的周期). 同时得到判断质心 P 没绕过质心 C 的判据:凡是质心 P 日心经度值由大到小变化(由 2π 到 0 除外,因为这是下一个日心经度周期的起点),就会出现质心 P 不绕过质心 S 的情况.

另外,在上述三种情况交点为 Z 的质心 P 轨迹封闭曲线构成的周期中,同时保证 K 指数相等、日心经度也相等的完整意义上的周期只有一个 SZ 指代的准 11 年周期. 由此推论,不可能存在比准 11 年周期小的真正完整意义上的 K 指数和日心经度都相等的周期. 可以认为功率谱对这两种时间序列所检测出来的小于准 11 年的短周期只是一种赝像.

表 1 木星、土星、天王星和海王星的质量权重半径
Table 1 The mass radius of Jupiter , Saturn , Uranus and Neptune

Times		Jupiter	Saturn	Uranus	Neptune	$\sum \rho_i$
1994		-1.9769	-0.80525	-0.59491	-1.07255	-2.47271
1993		-3.69639	1.649895	0.142853	0.387201	-3.69639
1992		1.75842	-1.50375	-0.61626	-1.10207	-3.22208
1991		3.161492	-1.75807	-0.62179	-1.11444	-3.4943
1990		3.698086	-1.93272	-0.62385	-1.12519	-3.68176
1989	Y 轴分量 Sin	3.221136	-2.01978	-0.62241	-1.1343	-3.77649
1988		1.861362	-2.01529	-0.6175	-1.14176	-3.77455
1987		-0.00856	-1.91947	-0.60914	-1.14756	-3.67617
1986		3.698547	-0.65816	-0.13474	0.130353	3.698547
1985		3.187386	-1.04956	-0.17988	0.086514	3.187386
1984		1.802651	-1.39339	-0.22401	0.042549	1.802651
1983		-3.15257	-0.7664	-0.54237	-1.15405	-2.46282
1994		-3.12589	1.862557	0.187829	0.428397	2.478783
1993		-0.12659	-1.18126	-0.60729	-1.0881	-0.12659
1992		-3.25381	1.362457	0.097079	0.345442	1.804979
1991		-1.91945	1.013271	0.050762	0.303181	1.367214
1990		-0.05902	0.618161	0.004161	0.260479	0.882801
1989	X 轴分量 Cos	1.817582	0.195035	-0.04246	0.217399	0.369971
1988		3.196038	-0.23693	-0.08885	0.174002	-0.15178
1987		3.698547	-0.65816	-0.13474	0.130353	-0.66254
1986		-0.00856	-1.91947	-0.60914	-1.14756	-0.00856
1985		-1.87614	-1.73666	-0.59737	-1.1517	-1.87614
1984		-3.22952	-1.47513	-0.58226	-1.15416	-3.22952
1983		-1.93407	-1.87888	-0.30827	-0.0455	-2.23265

4 行星系质心 P 不绕过太阳质心 S 的成因分析

将4颗大质量行星分解成两部分,一部分是木星本身,另一部分是由土星、天王星和海王星组成.通过行星会合指数 K 获得的1983—1994年这11年数据(见表1),通过图解法分析质心 P 没能绕过质心 S 的过程.图4中的大圆半径是木星的质量权重半径.根据木星轨道半径在 X 轴和 Y 轴的投影坐标获得其向量的方位变化(相当于以1年为时间单位的木星角速度 $30.35^\circ/\text{年}$ 的变化图像),如图4中的绿色箭头矢量.黑色箭头矢量是其他三颗大行星的矢量和的日心经度变化.将黑色箭头矢量与绿箭头矢量相加就得到行星系统质心 P 的矢量和方向,即得到质心 P 的矢量变化,如黑色点线的运动轨迹就是棕色矢量箭头所指向的质心 P 矢量的 K 指数和方位的变化.在1990—1991年间木星和其他三颗大行星的位置关系几乎达到直线排列,呈现近 180° 的夹角,且分居在太阳两侧.其中在1990.5年处,如从坐标原点出发的红色箭头指向的二者矢量和.这说明3颗大行星的矢量和的模这时期已经超过了木星的矢量模,即表明质心 P 和木星是分布在太阳的两侧,这跟常态情况(图3a)质心 P 处在木星同侧不同,这时为遵从质心 P 和质心 S 相对质心 C 同步运动规律,质心 P 肯定不能绕过质心 S.

通过图4发现,在木星运行轨道大圆处在1990—1991年这一年中与质心 S 构成的夹角,与同一时间段内,其他3颗大行星矢量和与质心 S 构成的向量夹角中一定能够找到一个方向线呈直线排列的时刻,因为在木星1990—1991年与质心 S 所构成的向量夹角和三颗行星同样在1990—1991年与质心 S 所构成的向量夹角中,可以找到一条穿越这两个角且通过其共同顶点的直线,如图中 AB 红色虚线所示.在这种情形下,一个方向线对应两个时期质心 P 的相同日心经度.而且从理论上讲,图4中具有相同日心经度的时间间隔,从大于0到10年间的日心经度周期都会出现.例如从1989.9年到1990.1年就会有相同的日心经度方位角出现,它们的时间间隔是0.2年.就质心 P 不绕过质心 S 情况,准11周期在图3c中除 MN 弧段对应的日心经度外,在图4中就相当在1990—1991时段之外所有质心 P 轨迹中再次出现相同方位角的时间间隔一般都小于11年.这是因为质心 P 没能绕过质心 S,从而使得重新出现相同日心经度的时间间隔相对缩短的缘故.这一点从 K 指数具有极大值的1983年和1984年看,1983年质心 P 的日心经度,在质心 P 运行到1992—1993年之间就出现与1983年相同的日心经度;1984年质心 P 的日心经度,在质心 P 运行到1993—1994年之间又出现与1984年相同的日心经度,这两个出现相同日心经度的时间间隔都没有超过10年.

既然是分析太阳 S 的轨道运动,就不能不涉及质心 C.现将质心 P 和质心 S 放到质心 C 坐标系中,如图5.将所有的权重半径都近似看成以质心 C 为原点的矢量,其中大圆的半径是木星的质量权重半径, CB 和 CG 分别是1990和1991年其他3颗大行星质量权重半径的矢量和.黑色粗断线和红色粗断线分别代表质心 P 和质心 S 相对质心 C 的同步运动轨迹.向量 CA 和 CF 分别加上向量 CB 和 CG 就分别获得由质心 C 指向1990年和1991年质心 P 所在位置,如图5中心

处的两个棕色矢量.由此可以看到质心 P 不绕过质心 C,但仍然保持与质心 S 分别处在质心 C 的两侧同步运动的位置关系.因为所有行星的相关物理参数都是相对质心 S 获得的,这说明以质心 P 绕质心 S 的运动特征近似指代质心 S 绕质心 C 的运动特征一定存在系统误差.如何将质心 S 坐标系获得的质心 P 运动特征和规律有效地转换到质心 C 坐标系中,进而使得通过质心 P 指代质心 S 的运动特征进一步逼近客观实际,这是值得深入探讨的问题.

5 对功率谱标定的主要周期的解释

通过功率谱强度分析获得行星会合指数最强周期是19.86年,次强周期是12.78年(刘复刚等,2013);日心经度最强周期是11.86年,3个次强周期分别是29.446、8.457、5.936年(孙威等,2017).

质心 P 具有图6形态的封闭轨迹,在准180年的周期中会出现9个,在1000年时间跨度内就会出现50个之多.从质心 P 轨迹出现的封闭形态特征看,它们都具有很好的对称性,但这个对称轴不一定是 SZ.通过周德帅等(2015)文中的图4分析发现,多数情况下质心 S 是处在对称轴的两侧.通过图6发现 SA-SH 和 SB-SJ 是具有相同日心经度的方向线,其周期都是准11年左右.同理, SF-SK 和 SL-SE 也具有相同日心经度方向线所对应的大于准11年的周期,这些日心经度周期就是孙威等(2017)检测出来的11.86年周期对应的物理意义.因为交点 Z 所在位置也是质心 P 所在位置,根据前面的分析,在质心 P 绕过质心 S 时,质心 P 和最大的木星在太阳的同侧,所以此时木星一定在 SZ(或对称轴)方向线的附近.这就进一步强化了检测出来的11.86年作为方向周期的物理意义,因为木星的方向周期就是11.86年.研究发现,指代 SZ 的 K 指数和日心经度相对质心 S 的两种完整意义的周期,即这样的封闭曲线每隔10~12年出现一次,其周期长度是10~12年不等.

就图6而言,如果质心 S 在对称轴上,则相同 K 指数对称分布在对称轴的两侧,一定会出现 $SA = SB$ 情况.如果质心 S 不在封闭曲线图形的对称轴上,则有 $S_1D = S_1E$ 、 $S_2F = S_2G$ 等,但不是对称分布在 S_1Z 和 S_2Z 的两侧.作为质心 P 具有相等的日心经度的方向线都出现在对称轴的 SZ 的一侧,如图3所示.正因为相等的 K 指数出现在 SZ 的两侧,所以检测出了大于11.86年的12.78年次强会合指数 K 周期和13.81年、9.9年会合指数 K 周期(刘复刚等,2013).为什么在图6中它们都是出现过两次 K 指数相等的时间间隔周期,而12.807年次强周期的功率谱却要强于其他周期?而且这个周期不是11.86年?这是因为在连续出现的超过准20年会合周期中一般会出现两个封闭的质心 P 轨迹曲线,在每一个闭合曲线内 SZ 一定会出现两次 K 指数相等的情况,但在每一个封闭曲线内 SZ 则是不等的,然而,在各个封闭轨迹曲线中在 SZ 两侧的出现 K 值相等的频率要比各个封闭曲线中指代 SZ 相等的 K 指数出现的频率大得多.因为在每一个这样的封闭轨迹曲线中 SZ 的方向和长度都是唯一的,而在 SZ 两侧其方向不固定,所以在各个封闭轨迹曲线中存在比 SZ 方向 K 指数值大的频率就大,因此在更长时间尺度上检测出现 K 指数相等的次强周期是12.78年,而不是

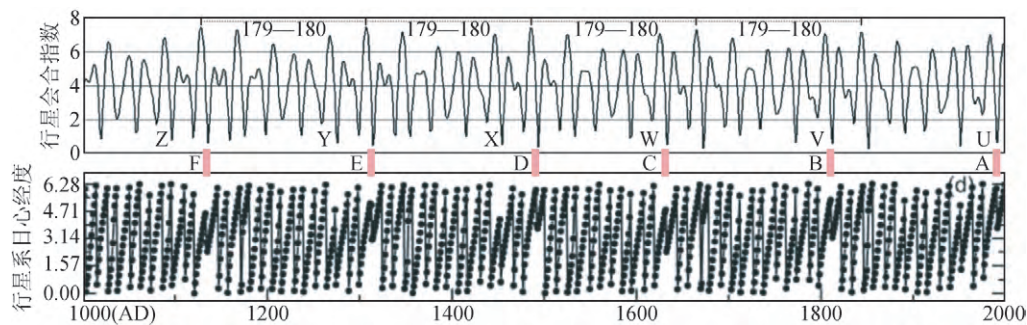


图2 K 指数所标定的质心 P 没绕过质心 S 与日心经度指数相位的对应关系图

注: (b) 图是孙威等(2017)文中给出的图3.

Fig. 2 The Mass center P based on K index was not able to bypass the mass center S and the corresponding phase position to the heliocentric longitude index

Note: the (b) figure redraw according to Sun *et al.* (2017).

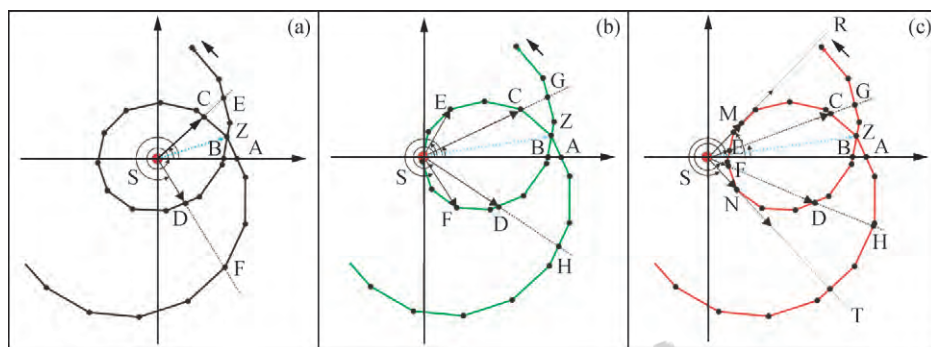


图3 行星系质心 P 相对质心 S 三种位置关系日心经度变化特征示意图(折线轨迹每一段为1年)

Fig. 3 The heliocentric longitude variation in three different conditions of P , the mass center of planetary system compared to the mass center of S (Every section of line means one year)

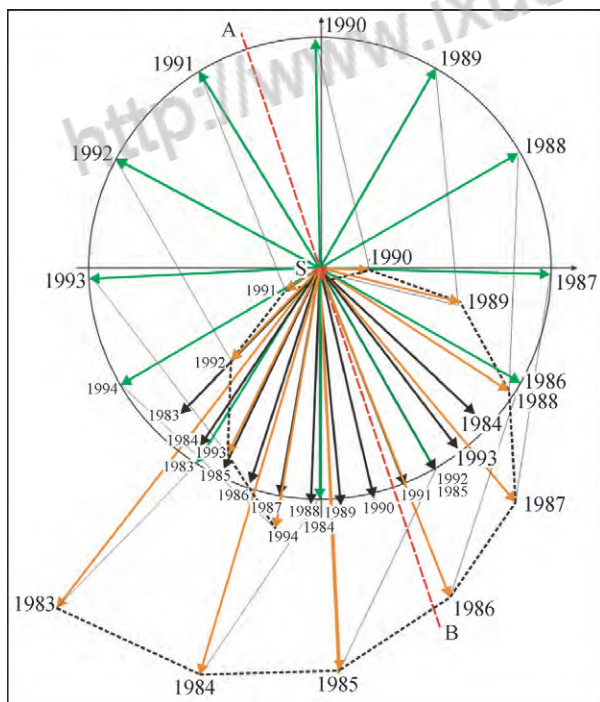


图4 质心 S 坐标系下对质心 P 不绕过质心 S 的图式分析(1983—1994年)

Fig. 4 Schema analysis of the mass center P without passing the mass center S in the mass center of S coordinates (1983—1994)

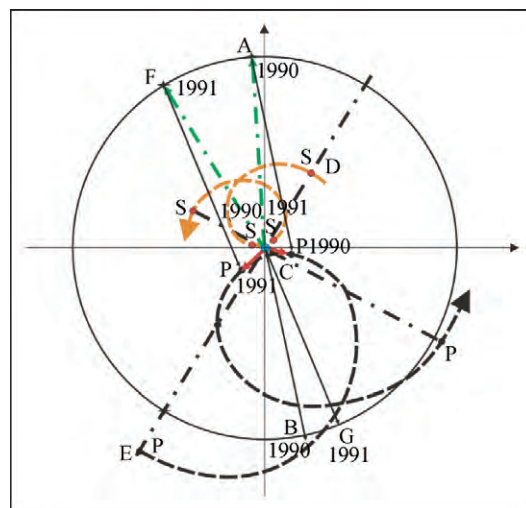


图5 质心 S 和质心 P 相对质心 C 同步运动示意图 (太阳轨道相对木星的权重半径放大近120倍)

Fig. 5 Schematic diagram of mass center S and mass center P relative to mass center C (The sun orbit was magnified nearly 120 times compared to Jupiter's weight radius)

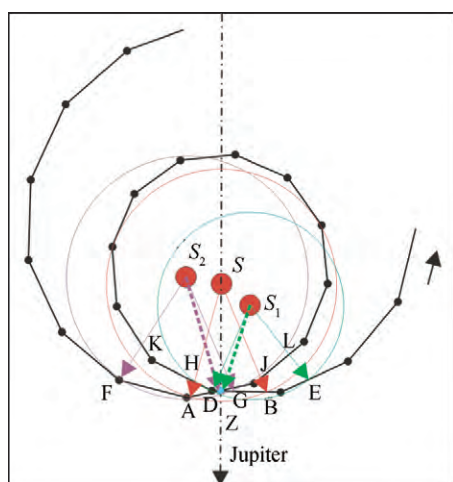
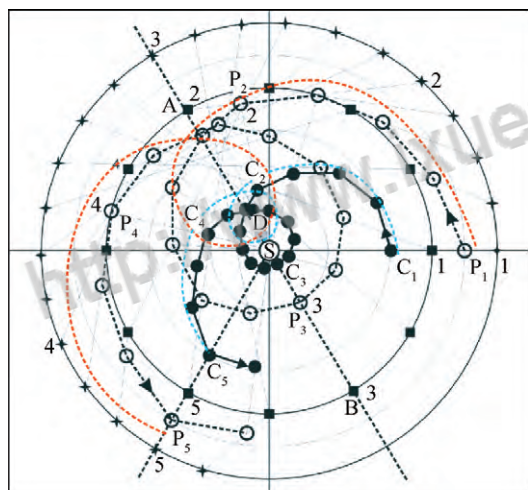


图6 行星会合指数和日心经度时间序列最强频谱所标定的物理意义图解(参照质心P 1959—1980年绕日轨道运动特征绘制)

Fig. 6 The physical meaning of strongest spectrum of the planetary synodic index and heliocentric longitude time series (Cf. mass center P 1959—1980)



○太阳,●太阳系质心,○行星系质心,■木星,✦土星

图7 行星系质心(P)和太阳系质心(C)绕太阳(S)运动轨迹示意图

Fig. 7 Planetary system center of mass (P) and the SSCM (C) around the sun's centre of mass trajectory diagram (S)

11.86年。

同样的道理,虽然都是以质心S为原点,因为Z点在每隔10~12年左右有很大变化,正如上述的论证,每隔179年就出现质心P不绕过质心S的情况。而在K指数极大值附近,K值出现相等的几率不随Z点位置的变化而变化,因此要比K指数的12.78年周期更稳定,所以在K极大值附近出现K值相等的频率明显增大,这样就出现了具有相同K指数的最强功率谱所指代的19.86年周期。

6 结论与探讨

6.1 本文分析和揭示了质心P日心经度变化具有准179年周期的成因,进而推断太阳轨道运动不绕过太阳系质心C的原因是由于土星、天王星和海王星三者与木星分处在太阳两侧日心经度相差近 180° 时,即 $K_{sp} < 0$,这导致质心P和木星分居在太阳两侧,从而造成太阳不绕过太阳系质心C。

6.2 太阳质心S和行星系质心P相对太阳系质心C同步运动,质心P相对质心S运动可分为绕过、通过和不绕过三种情况。当质心P绕过质心S时,日心经度是由小到大依此变化构成一个完整的方向周期;当质心P通过质心S时,日心经度虽然也是由小到大变化,但出现 180° 跳跃的不连续现象;当质心P不绕过质心S时,这时虽然质心P日心经度没有发生像通过质心C时出现 180° 急剧跳跃,但日心经度变化出现两个拐点,而且出现相同的日心经度方向线对应质心P三个不同位置的情况,其中出现小于准11年周期的不是完整意义上的日心经度周期假象。本文给出判断质心P不过质心C的判据:凡是质心P日心经度值由大到小变化(由 2π 到0除外)就会出现质心P没能绕过质心S的情况。根据这一判据推断,质心P不绕质心S的同时,质心S也不绕过质心C。

6.3 通过行星会合指数K和对应的质心P日心经度可以对质心P相对质心S的位置关系进行准确的定位,这也间接标定了质心S与质心C间的位置关系。日心经度指数弥补了行星会合指数无法表达出质心P不绕过质心S的特殊情况。这两种指数所指代的周期意义不同,认为“行星日心经度弥补了行星会合指数在表征行星系统运动的过程中所缺失的某些短周期性规律研究的不足”(孙威等,2017)的观点是不准确的。因为通过功率谱强度所检测出来的日心经度变化短周期与行星会合指数所指代的短周期一般情况不具有同时性,也不具有同方向性。质心P相对质心S旋进和旋出的交点(图3中的SZ方向的Z点)构成了一个闭合的轨迹曲线,它非常值得关注。质心P轨迹闭合曲线从Z出发又回到Z点的平均周期就是准11年,而且SZ方向不但是一个完整的日心经度周期,同时也是行星会合指数相等的周期,这时这两个周期既同时又同向。研究表明,行星会合指数K所指代的行星系质心P会合的平均状态(既不是行星系统极大会合状态,也不是极大分离状态)的周期与其自身的日心经度方向周期具有同一性特点。基于这个特殊规律,本文对通过功率谱检测出来的最强行星会合指数19.86年周期和最强日心经度11.86年周期给出了合理解释。研究发现,不可能存在比准11年周期小的完整意义上的K指数周期和日心经度周期。这也表明太阳相对太阳系质心运动的具有完整意义的相同K指数的最小方向周期也是准11年,这与太阳黑子活动的准11年周期如此吻合。本文通过研究日心经度不连续现象具有179年周期的成因和对应功率谱检测出来的强周期所指代的物理意义的澄清,这是对行星会合指数指和行星系质心日心经度指代意义的进一步完善。

6.4 因为太阳轨道运动每隔准179年就出现不绕过质心C的情况,所以再采用“太阳质心S绕太阳系质心运动”这样表述就不准确了,更科学的表述应该是质心S相对质心C运

动.就整个太阳系而言,质心C的稳定性远超过质心S,而且质心S和质心P又相对质心C同步运动,所以在质心C坐标系下分析质心P和质心S的运动特征更具合理性.然而,质心C是不可见的,行星的一些物理参数又是相对质心S获得的,所以怎样将质心S坐标系的运动规律有效地转换到质心C坐标系下,这是值得进一步深入探索的科学问题.

致 谢 感谢匿名审稿专家提出的宝贵意见和建议!

附录 行星系质心与太阳位置关系决定太阳轨道运动特征(刘复刚等 2015)

已知行星系质心(P)绕太阳(S)不动点的平均会合周期(即K极大值或极小值的变化周期)与木星和土星的会合周期(19.86年)相同.因为木星和土星二者质量之和占有行星和卫星的质量总和的92.5%(戴文赛,1979),因此采用木星和土星的质量权重半径和角速度(木星角速度 $30.35^\circ/\text{a}$,土星角速度 $12.22^\circ/\text{a}$)分析整个行星系统与太阳的位置关系具有合理性,见图7以太阳为原点的参照系.

图7中以木星和土星为例,在1时刻的对应关系从中心向外是:太阳S—太阳系质心C—木星J—行星系质心P—土星在一条直线上.由于木星公转速度大于土星公转速度,当木星运动到2时刻(与1时刻成 120° 方向),土星2位置显然落后了.这时行星系质心(P_2)位于木星2和土星2连线上(根据动态平衡原理, P_2 位置应处在同一时刻木星和土星连线上,且距木星距离约为木星和土星距离长度的1/4).在2时刻太阳系质心 C_2 处在 P_2 位置和原点(S)的连线上.这时太阳系质心和太阳与木星的位置不在一条直线上,说明太阳系质心运动角速度和木星角速度(以此为标准)不同步.木星运行到3时刻时,木星和土星分居在太阳的两侧,且三者不在一条直线上,这时行星系质心位于 P_3 ,此时 C_3 与S二质心近似重合.如果是4颗大质量行星就可能会出现近似重合或质心P不绕过质心S的情况,如图7红虚线所示,当质心P由2到3时刻,恰好出现土星、天王星和海王星位于木星的另一侧,且保持直列的极大值,这时行星会合指数K处于矢量 $K_{sp} < 0$ 状态,就造成行星系质心 P_3 对应的太阳系质心 C_3 在木星另一侧的D位置.这与P和木星位于同侧相比,太阳系质心C转过的角度竟相差了 180° .即太阳系质心C的日心经度发生了急剧跳跃性的变化,如蓝色虚线所示.

因为太阳质心S和行星系质心P是同步相对太阳系质心C运动的,因为太阳系质心C总是位于太阳质心S和行星系质心P之间,所以相对而言,在以太阳系质心C为原点的参照系中,质心S和质心P的运动轨迹如图5所示的形态.

References

- Charvátová I. 2000. Can origin of the 2400-year cycle of solar activity be caused by solar inertial motion? [J]. *Annales Geophysicae*, 18 (4): 399-405.
- Charvátová I. 2009. Long-term predictive assessments of solar and geomagnetic activities made on the basis of the close similarity between the solar inertial motions in the intervals 1840-1905 and 1980-2045 [J]. *New Astronomy*, 14(1): 25-30.

- Charvátová I, Hejda P. 2014. Responses of the basic cycles of 178.7 and 2402 yr in solar-terrestrial phenomena during the Holocene [J]. *Pattern Recognit. Phys.* 2(1): 21-26 doi: 10.5194/prp-2-21-2014.
- Charvátová I, Štřeščík J. 2007. Relations between the solar inertial motion, solar activity and geomagnetic index aa since the year 1844 [J]. *Adv. Space Res.*, 40(7): 1026-1031.
- DAI Wen-Sai. 1979. The Development of Solar System (the First Volume) (in Chinese) [M]. Shanghai: Shanghai Scientific & Technical Publishers, 10-28.
- Jose D P. 1965. Sun's motion and sunspots [J]. *Astron. J.*, 70(3): 193-200.
- LIU Fu-Gang, BAO Kun-Shan, ZHOU De-Shuai, et al. 2015. Analyzing the characterization of orbital motion of the Sun through the planetary synodic index [J]. *Progress in Geophysics (in Chinese)*, 30(2): 482-487, doi: 10.6038/pg20150202.
- LIU Fu-Gang, WANG Jian. 2013. Changes of the planet juncture index and solar revolution cycle around the mass center of the solar system [J]. *Chinese Journal of Geophysics (in Chinese)*, 56(5): 1457-1466, doi: 10.6038/cjg2013a0504.
- LIU Fu-Gang, WANG Jian. 2014. The 22-year cycle of solar revolution round the solar mass center and its relation with the solar activity [J]. *Chinese Journal of Geophysics (in Chinese)*, 57(11): 3834-3840, doi: 10.6038/cjg20141137.
- LIU Fu-Gang, WANG Jian, SHANG Zhi-Yuan, et al. 2013. Study on long-term cyclical rhythm of solar activity [J]. *Progress in Geophysics (in Chinese)*, 28(2): 570-578, doi: 10.6038/pg20130205.
- McCracken K G, Beer J, Steinhilber F. 2014. Evidence for planetary forcing of the cosmic ray intensity and solar activity throughout the past 9400 years [J]. *Solar Phys.*, 289(8): 3207-3229, doi: 10.1007/s11207-014-0510-1.
- Scafetta N. 2014. The complex planetary synchronization structure of the solar system [J]. *Pattern Recognit. Phys.*, 2(1): 1-9.
- SUN Wei, WANG Jian, CHEN Jin-Ru, et al. 2017. Variations of the planet juncture index and heliocentric longitude with spectral analysis for approximately 2000 years [J]. *Chin. Sci. Bull.*, 62(5): 407-419, doi: 10.1360/N972016-00447.
- Tlatov A G. 2007. 22-year variations of the solar rotation and solar activity cycles [J]. *Astronomy Letters*, 33(11): 771-779.
- YANG Xue-Xiang, CHEN Dian-You, SONG Xiu-Huan, et al. 1999. The changes of the planets revolution velocity in solar system and the low temperature disaster [J]. *Journal of Changchun University of Science and Technology (in Chinese)*, 29(4): 344-348.
- YANG Zhi-Gen. 1991. The possible influence of the orbital motion of the major planets on sunspot activities [J]. *Chinese Journal of Astronomy and Astrophysics (in Chinese)*, 11(4): 370-377.
- YANG Zhi-Gen, ZHAO Ming. 1988. An investigation for the cause of formation of the major period of the relative sunspot numbers with bipolarity [J]. *Acta Astronomica Sinica (in Chinese)*, 29(3): 297-304.
- ZHOU De-Shuai, LIU Fu-Gang, WANG Jian, et al. 2015. Verification for the sidereal period of Sun's motion and its corresponding relationship with solar cycles [J]. *Progress in Geophysics (in Chinese)*, 30(5): 2003-2119, doi: 10.6038/pg20150515.

附中文参考文献

- 戴文赛. 1979. 太阳系演化学(上册) [M]. 上海: 上海科学技术出版社, 10-28.
- 刘复刚, 王建. 2013. 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*, 56(5): 1457-1466, doi: 10.6038/cjg20130504.
- 刘复刚, 王建. 2014. 太阳绕太阳系质心运动22年周期及其与太阳活动的联系 [J]. *地球物理学报*, 57(11): 3834-3840, doi: 10.6038/cjg20141137.
- 刘复刚, 鲍银山, 周德帅, 等. 2015. 基于行星会合指数对太阳轨道

- 运动特征的分析[J]. 地球物理学进展, 30(2): 482-487, doi: 10.6038/pg20150202.
- 孙威, 王建, 陈金如, 等. 2017. 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, 62(5): 407-419.
- 刘复刚, 王建, 商志远, 等. 2013. 太阳轨道运动长周期性韵律的成因[J]. 地球物理学进展, 28(2): 570-578, doi: 10.6038/pg20130205.
- 杨学祥, 陈殿友, 宋秀环, 等. 1999. 太阳系行星公转速度变化与低温灾害[J]. 长春科技大学学报, 29(4): 344-348.
- 杨志根. 1991. 大行星运动对太阳黑子活动的可能影响[J]. 天体物理学报, 11(4): 370-377.
- 杨志根, 赵铭. 1988. 太阳极性黑子相对数主周期的成因探讨[J]. 天文学报, 29(3): 297-304.
- 周德帅, 刘复刚, 王建, 等. 2015. 太阳轨道运动恒星周期的证明及其与太阳活动周的对应关系[J]. 地球物理学进展, 30(5): 2003-2119, doi: 10.6038/pg20150515.



知网查重限时 7折 最高可优惠 120元

本科定稿，硕博定稿，查重结果与学校一致

立即检测

免费论文查重: <http://www.paperyy.com>

3亿免费文献下载: <http://www.ixueshu.com>

超值论文自动降重: http://www.paperyy.com/reduce_repetition

PPT免费模版下载: <http://ppt.ixueshu.com>
