

华北寒武、奥陶系灰岩潮汐韵律与地月轨道参数的演化

周瑶琪, 陈海云, 冀国盛

(石油大学地球化学与岩石圈动力学开放实验室, 山东东营 257061)

摘要: 通过对采自华北地区寒武、奥陶系灰岩样品进行磨光、涂漆等处理, 在放大镜下读取小层厚度数据, 进行傅立叶频谱分析, 识别出相对应于日、双周、月的潮汐周期的记录, 得到寒武、奥陶纪每个太阴月有 29.9, 29.8 d; 参考生物化石研究成果, 对寒武、奥陶纪地月轨道参数进行计算, 得到寒武、奥陶纪每年分别有 384.5, 381.7 d, 每天分别有 22.798, 22.963 h; 寒武、奥陶纪地月距离分别为 58.76, 58.96 个地球半径及月球后退速率分别为 4.25, 4.18 cm/a 等地月轨道参数. 研究结果表明从寒武纪到奥陶纪, 具有地球旋转速度变慢、地月距离增大、月球后退速率减小等变化趋势.

关键词: 寒武纪—奥陶纪; 灰岩; 地月轨道参数.

中图分类号: P53 **文献标识码:** A

文章编号: 1000-2383(2002)06-0671-05

作者简介: 周瑶琪(1963—), 男, 教授, 主要从事地球动力学和地球化学的研究与教学.

潮汐韵律旋回是旋回地层学研究的主要内容之一. 1980年, Visser^[1]对荷兰 Osterschelde 进潮口全新世潮道充填物进行研究, 发现由细砂、泥皮、拉长的泥砾、不规则透镜体和生物碎屑构成的交错层群由2组方向相反的交错层系(潮汐束)组成, 潮汐束的厚度呈现出周期性变化的规律, 相邻两次小潮期间的潮汐束的数目均落在26~30个之间, 正好与当地大、小潮周期的半日潮理论值相吻合. 他把无机沉积物与天体的运动有机地联系在一起, 使人们能够通过通过对沉积物的记录去了解古代天体的运动. 此后诸多研究者^[2~7]分别做了有关潮汐束及大、小潮旋回的报道, 其中 Williams^[8,9]对南澳大利亚 Pichi Richi Passion 地区元古界 Elatina 地层中的古潮汐韵律研究获得显著成绩. 他在 Elatina 地层中发现了厚约 10 m 的由暗红褐色潮汐韵律层, 韵律层由厚约 0.1~0.5 mm 的粉砂纹层和细砂纹层组成. Williams 对纹层厚度进行精细测量, 并对所得数据进行傅立叶频谱分析, 识别出相对应于日、双周、月和年周期的记录, 指出当时(距今 650 Ma 前)每年有

(13.1 ± 0.5) 个太阴月及 (400 ± 20) d, 每个太阴月有 (30.5 ± 1.5) d. 他通过计算得出当时太阴节点旋回周期约为 (19.5 ± 0.5) a, 地月距离是现在地月距离的 $96.7\% \pm 1.7\%$. 他所倡导的方法为研究古代地月系统的演化提供了一个很好的借鉴.

笔者较成功地应用 Williams 的方法研究华北寒武、奥陶系灰岩的潮汐韵律. 灰岩中的潮汐韵律是通过其中小层的厚度变化及小层中泥质含量的变化而显现的. 通过对样品的磨平、抛光、涂漆等处理, 在放大镜下读取样品小层的厚度数据, 并进行傅立叶频谱分析, 识别出相对应于日、双周、月的周期记录, 得到寒武、奥陶纪每个双周旋回分别包含 14.444 d, 每个太阴月分别包含 29.9, 29.8 d. 参考生物化石研究成果的基础, 对寒武、奥陶纪地月轨道参数进行了计算, 得到寒武、奥陶纪每年分别有 12.86, 12.81 个太阴月, 每年分别有 384.5, 381.7 d, 每天持续时间分别为 22.798, 22.963 h; 寒武、奥陶纪地月距离分别为 58.76, 59.96 个地球半径, 太阴节点周期分别为 18.92, 18.88 a 及月球后退速率分别为 4.25, 4.18 cm/a. 研究结果表明寒武纪、奥陶纪期间, 具有地球旋转速度变慢、地月距离变大、月球后退速率减慢等演化趋势.

1 华北寒武、奥陶系灰岩潮汐韵律

1.1 研究层位

本次研究层位为华北下寒武统馒头组灰岩和下奥陶统亮甲山组灰岩,其剖面位置分别位于山东省临朐县石家河和河北省抚宁县石门寨,其地理位置见图 1。

山东省临朐县石家河崔珊小村西山坡上部出露下寒武统馒头组下部地层,厚约 24 m。岩性以灰色中厚层状灰岩为主,夹灰色泥质条带灰岩,其底部以紫红色含硅质条带灰岩与黄绿色泥灰岩互层,而与下伏五山组灰色中薄层细晶白云岩相接触。区域上馒头组具明显的二分性特征,下部以发育于局限台相的碳酸盐岩沉积为主,上部以发育于潮坪相的砂页岩沉积为主^[10]。研究样品采自剖面顶部馒头组下部含纹层的中厚层灰岩。

河北省抚宁县石门寨亮甲山采石坑出露下奥陶统亮甲山组,其岩性以中厚层豹皮状灰岩为主,下部夹少量砾屑灰岩和钙质页岩,上部夹有中厚层云质条带灰岩,厚约 118 m,剖面图见图 2^[11]。区域上亮甲山组岩性较稳定,下部为正常海相沉积环境,上部为浅水、泻湖沉积^[12]。样品采自亮甲山组上部中厚层状云质、泥质条带灰岩。

1.2 样品测试

对采回的石灰岩样品进行磨平、抛光、上清漆等处理后,样品中的小层显示更加清楚。小层由暗色层和浅色层组成,前者泥质含量较多,后者泥质含量相对较少,单个小层厚度变化范围在 0.2~1.5 mm,比砂泥岩构成的潮汐韵律小层的厚度略大^[13]。暗色层中的泥质由潮流携带堆积而成,故其沉积于主水流阶段,即涨潮时期,而浅色层则沉淀于较为平静的滞

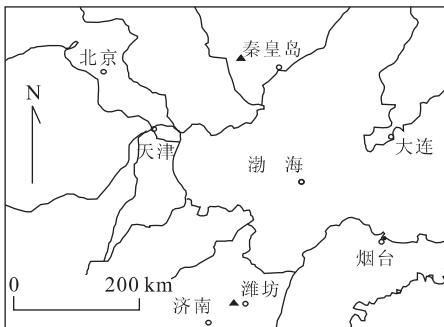


图 1 研究剖面位置

Fig. 1 Location of studied sections

表 1 临朐灰岩小层厚度

Table 1 Statistic layer scales in limestone samples of Mantou Formation, Linqu

纹层序号	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	0.2	0.2	0.2	0.1	0.3	0.2	0.2	0.1	0.1
2	0.2	0.2	0.3	0.2	0.2	0.3	0.3	0.1	0.2
3	0.2	0.3	0.4	0.3	0.4	0.4	0.4	0.2	0.2
4	0.3	0.4	0.5	0.3	0.5	0.6	0.4	0.3	0.2
5	0.4	0.4	0.7	0.2	0.6	0.7	0.4	0.4	0.3
6	0.5	0.6	0.6	0.5	0.7	0.6	0.5	0.6	0.4
7	0.9	0.8	0.4	0.4	0.7	0.8	0.5	0.5	0.5
8	0.8	0.6	0.4	0.7	0.5	0.6	0.3	0.7	0.5
9	0.6	0.5	0.3	0.6	0.4	0.8	0.3	0.5	0.4
10	0.5	0.4	0.4	0.5	0.3	0.4	0.2	0.4	0.4
11	0.4	0.3	0.3	0.5	0.2	0.4	0.2	0.3	0.3
12	0.4	0.2	0.2	0.3	0.2	0.3	0.3	0.2	0.2
13	0.3	0.4	0.2	0.2	0.1	0.2	0.2	0.2	0.2
14	0.2	0.2	0.1	0.2		0.2	0.1	0.1	0.1
15		0.2	0.2			0.1		0.2	0.2

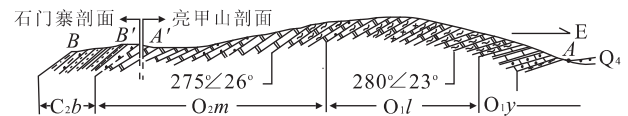


图 2 秦皇岛奥陶系亮甲山组剖面^[11]

Fig. 2 Geological section of Liangjiashan Formation, Qinhuangdao^[11]

潮阶段。灰岩中泥质沉积阶段与砂泥岩潮汐韵律中泥质沉积阶段是不同的,砂泥岩中泥质层沉积于滞潮阶段^[1]。灰岩中的潮汐韵律小层代表了一个日潮汐的沉积。

样品小层厚度测量结果见表 1。由小层的厚度变化构成的韵律旋回是比较清楚的。小层的厚度在韵律层的中部附近达到最大值,并向韵律层的边缘方向减薄,小层中的泥质含量也随之增多,最终构成韵律层的泥质层边界。每个韵律旋回由 13~15 个小层组成,其厚度变化范围为 2~20 mm。

1.3 古潮汐周期旋回

对灰岩样品小层厚度值进行傅立叶频谱分析可得到傅氏谱图(图 3, 4)。从灰岩小层厚度图可以看出,馒头组和亮甲山组灰岩小层显示出相当好的双周旋回的古潮汐记录。从亮甲山组灰岩小层傅立叶变换功率谱图可以清楚地看到一个明显的峰值,这一峰值对应于横坐标上 14.375 点,这表明每个双周旋回的天数有 14.375 d。此外在谱图 28.8 位置上,也存在一个较明显的峰值,28.8 正表示了 1 个朔望月旋回所包含的天数^[13]。这个数值与由每个朔

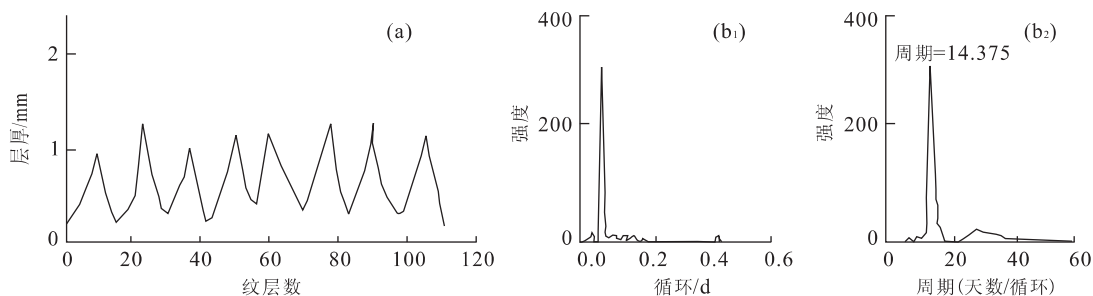


图 3 亮甲山组灰岩小层傅氏谱

Fig. 3 Fourier spectrum of little layers in limestone sample, Liangjiashan Formation

a. 灰岩小层厚度; b. 傅立叶变换功率谱

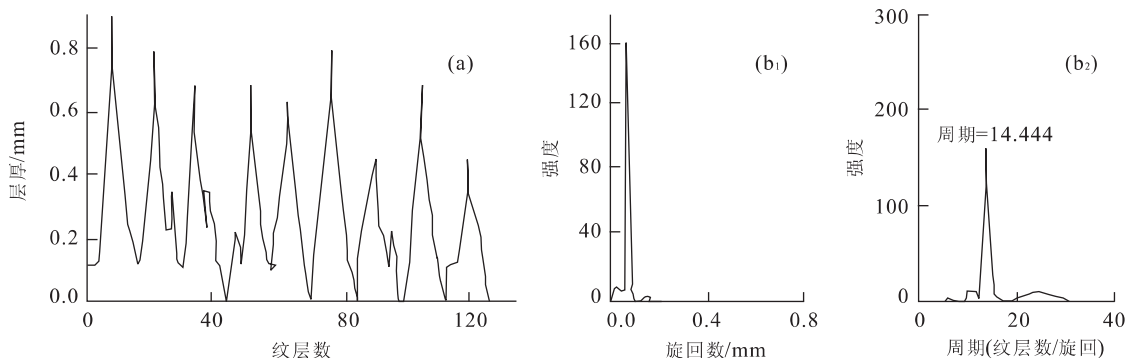


图 4 馒头组灰岩小层傅氏谱

Fig. 4 Fourier spectrum of little layers in limestone sample, Mantou Formation

a. 灰岩小层厚度; b. 傅立叶变换功率谱

望月有 2 个双周旋回,每个双周旋回 14.375 d 得到的天数相当吻合。从奥陶纪每个太阴月有 28.8 个太阳日,应用现在太阴时与太阳时所持续的时间之比值 1.03^[14],可以计算出奥陶纪每个太阴月有 29.8 个太阳日,这要比现代每个太阴月只有 29.53 个太阳日略长一点。同样地,从馒头组灰岩小层傅立叶变换功率谱图也可看到位于 14.444 上的一个明显的峰值,由此推知寒武纪每个双周旋回包含有 14.444 个太阳日,每个太阳月有 28.9 个太阳日。从寒武纪到奥陶纪每个太阴月包含的太阳日从 28.9 个减小为 28.8 个。

2 寒武、奥陶纪地月轨道参数计算

2.1 寒武、奥陶纪每年太阴月数、日数以及日长度

由于野外露头的限制,笔者无法直接获知寒武、奥陶纪每年拥有的太阴月数,只能根据一些已知的数据做出绝对地质年代与每年太阴月数的关系图,从中推知寒武、奥陶纪每年的太阴月数(图 5)。已知

的数据包括现今每年的 12.3 个太阴月,老第三纪每年的 12.5 个太阴月,中三叠世每年的 12.6 个太阴月,石炭纪每年的 12.7 个太阴月等,从图中可以看到每年太阴月数随地质年代的演变呈下降的趋势。从上图估计早古生代早寒武世(约距今 540 Ma^[15])每年有 12.86 个太阴月,而早奥陶世(约距今 475 Ma)每年有 12.81 个太阴月。

已知寒武、奥陶纪每个太阴月分别有 29.9, 29.8 个太阳日,将太阴月数乘太阴月的太阳日数,便可得到每年的太阳日数。寒武纪每年的太阳日数为 384.5 d,奥陶纪每年的太阳日数为 381.7 d。

将现今每年的太阳日数乘以 24 h,再除以古代每年的太阳日数,可得到古代每个太阳日所持续的时间。

寒武纪每个太阳日持续的时间为 $365.24 \text{ d} \times 24 \text{ h} / 384.5 \text{ d} = 22.798 \text{ h}$,奥陶纪每个太阳日持续的时间为 $365.24 \text{ d} \times 24 \text{ h} / 381.7 \text{ d} = 22.963 \text{ h}$ 。

寒武纪每天有 22.798 h,奥陶纪每天有 22.963 h,这说明从寒武纪到奥陶纪地球旋转速度变慢,旋转周期变长,日长度增加。这一结论与 Williams^[9]的认识相一致。其他有关参数的计算结

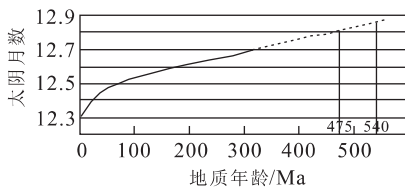


图 5 太阴月数随地质年代变化趋势

Fig. 5 Annual number of lunar month changed with geological age

表 2 寒武纪、奥陶纪、现代地月轨道参数

Table 2 Orbital parameters of the Earth-Moon system in Cambrian, Ordovician and modern times

参 数	寒武纪	奥陶纪	现代
太阳日/太阴月	29.90	29.80	29.53
太阳日/恒星月	27.70	27.64	27.32
太阴月/a	12.86	12.81	12.37
恒星月/a	13.86	13.81	13.37
太阳日/a	384.50	381.70	365.24
恒星日/a	385.50	382.70	366.24
太阳节点周期/a	18.92	18.88	18.61
太阳日长度/h	22.80	22.96	24.00
地一月之间距离*	58.76	58.96	60.27
月球后退速率/(cm·a ⁻¹)	4.25	4.18	3.7±0.2

*表中地月距离以地球半径为单位。

果见表 2。

2.2 寒武纪、奥陶纪地月距离和太阴节点周期

根据开普勒第三定律:

$$(t/t_0)^2 = (a/a_0)^3, \quad (1)$$

可计算出寒武、奥陶纪地月之间的距离。式(1)中 t_0 , t 分别为现代和古代恒星月长度, a_0 , a 分别为现代和古代地月之间的距离。将有关参数(表 2)分别代入式(1), 分别得到寒武纪地月距离为 58.76 个地球半径, 奥陶纪地月距离为 58.96 个地球半径。由此可以看出从寒武纪到奥陶纪地月距离呈变大趋势。

由上述 2 个数据, 参考 Williams^[9] 计算的距今 2 500, 650 Ma 前地月之间的距离(分别为 54.6, 58.28 个地球半径), 以及现今地月距离(60.27 个地球半径)等数据, 可以看出, 随着地质年代演变, 地月距离呈不断增加的趋势。

依据下面公式:

$$\rho = \rho_0 (\cos I_0 / \cos I) (a_0 / a), \quad (2)$$

可计算出地史时期太阴节点周期(ρ)。式(2)中 ρ_0 为现代太阴节点周期, a_0 和 a 的意义与式(1)相同, I_0 , I 分别为现代和古代白道面与黄道面的夹角。假设 $I = I_0$, 将有关参数(表 2)代入式(2)计算得到寒武、奥陶

纪太阴节点周期分别为 18.92 a 和 18.88 a。

2.3 寒武、奥陶纪月球角动量和后退速率的计算

月球角动量的相关变化由下式给出^[15]:

$$(L_0/L)^3 = (1/13.4)(W/S). \quad (3)$$

式中: L_0 , L 分别为现在、古代月球轨道角动量; S 和 W 分别为古代恒星月和年所包含的太阳日数。代入有关参数(表 2), 可求得现代与寒武纪、奥陶纪月球角动量之比(L_0/L)分别为 1.011, 1.01。说明从寒武纪到奥陶纪月球角动量呈增大的趋势。

忽略太阳引力产生潮汐的影响及月球轨道倾斜和扁率的影响, 由下面公式可以求得月球的后退速率 V ^[15]:

$$V = V_0 (a/a_0)^{-11/2}. \quad (4)$$

式中: V_0 为 $a = a_0$ 时月球的平均后退速率。代入有关参数(表 2), 可求得寒武纪、奥陶纪月球的后退速率分别为 4.25, 4.18 cm/a。说明寒武纪到奥陶纪月球的后退速率减慢。若将 Williams 求得的距今 2 500, 650 Ma 前的月地距离代入上式, 可以计算出当时的月球后退速率分别为 6.37, 4.45 cm/a。依据上述 4 个数据及现代月球后退平均速率值 3.7 cm/a, 可以看出月球后退速率随地质时代演变而呈减小的趋势。

参考文献:

- [1] Visser M J. Neap-spring cycles reflected in Holocene subtidal large-scale bedform deposits: a preliminary note [J]. *Geology*, 1980, 8: 945-950.
- [2] Allen J R L. Lower Cretaceous tides revealed by cross-bedding with mud drapes [J]. *Nature*, 1981, 284: 579-581.
- [3] Allen J R L. Palaeotidal speed and ranges estimated from cross-bedding sets with mud drapes [J]. *Nature*, 1981, 293: 63-81.
- [4] Yang C S. The estimation of palaeo-hydrodynamic processes from subtidal deposits using time series analysis methods [J]. *Sedimentology*, 1985, 32: 41-57.
- [5] Kreisa R D, Moiola R J. Sigmodal tidal bundle and other tidal-generated sedimentary structures of the Curtis Formation [J]. *Utah Vull Geol Soc Am*, 1986, 97: 381-387.
- [6] Smith D G. Tidal bundles and mud couplets in the McMurray Formation, Northeastern Alberta, Canada [J]. *Bull of Canadian Petroleum Geology*, 1988, 36: 216-219.
- [7] Kuecher G J, Woodland B G, Broasthust F M. Evidence

- of deposition from individual tides and of tides and of tidal cycles from the Grancis Creek shale (host rock to the Mazon Creek Biota) [J]. *Sedimentary Geology*, 1990, 71: 213—230.
- [8] Williams G E. Sunspot periods in the late Precambrian glacial climate and solar-planetary relation [J]. *Nature*, 1981, 291: 624—628.
- [9] Williams G E. Precambrian tidal sedimentary cycles and Earth's paleorotation [M]. [s. l.]: EOS Trans Am Geophys, 1989.
- [10] 刘群. 华北早寒武世岩相古地理与膏盐沉积[M]. 北京:地质出版社,1994.
LIU Q. Lithofacies paleogeography and gypsum sedimentation in Early Cambrian era, North China [M]. Beijing: Geological Publishing House, 1994.
- [11] 西北大学地质学系. 秦皇岛地区地质实习指导书[M]. 西安:西北大学出版社,1999.
Geology Department of Northwest University. Geolog-
- ical instructor of Qinhuangdao [M]. Xi'an: Northwest University Press, 1999.
- [12] 河北省地质矿产局. 河北省岩石地层[M]. 武汉:中国地质大学出版社,1996.
Geological Mineral Resources Bureau of Hebei Province. Rock and stratum of Hebei Province [M]. Wuhan: China University of Geosciences Press, 1996.
- [13] Williams G E. Late Precambrian tidal rhythmites in South Australia and the history of the Earth's rotation [J]. *Journal of the Geological Society*, 1989, 146: 91—111.
- [14] Thurman H V. Introductory oceanography [M]. New York: Macmillian Publishing Company, 1991. 242—268.
- [15] James C G, Zahnle W K J. Lunar nodal tide and distance to the moon during the Precambrian [J]. *Nature*, 1986, 320: 600—602.

Tidal Rhythmites in Cambrian-Ordovician, North China and Evolution of Orbit Parameters

ZHOU Yao-qi, CHEN Hai-yun, JI Guo-sheng

(Laboratory of Geochemistry & Lithosphere Dynamics, University of Petroleum, Dongying 257061, China)

Abstract: When the limestone of Cambrian-Ordovician from North China is polished and painted, the thickness of its little layers is read with the help of the magnifier. Then Fast Fourier transform and spectrum analysis is made and the tide period records in day, fortnight and month is identified from the laminae in the limestone. It was found that there were 29.9 d for a lunar month in Cambrian and in Ordovician 29.8 d; that there were 384.5 d for a year in Cambrian and in Ordovician 381.7 d and that there were 22.798 h for a day in Cambrian and in Ordovician 22.963 h. It has also been learned that Earth-Moon distances in Cambrian was 58.76 Earth's radius, in Ordovician 58.96 Earth's radius and that the lunar retreat rates in Cambrian was $4.25 \text{ cm} \cdot \text{a}^{-1}$ year and in Ordovician $4.18 \text{ cm} \cdot \text{a}^{-1}$. The result shows that the velocity of the Earth rotation had been slowed down from Cambrian to Ordovician, and that the Earth-Moon distance had been increasing while the rate of lunar retreat had been decreasing.

Key words: Cambrian-Ordovician; limestone; orbital parameter of the Earth-Moon system.