

地层记录中的天文事件及其研究意义

吴智勇 姜衍文

(江汉石油学院学报编辑部)

[内容提要] 在地球岩石和其他地质样品中,记录了许多可以反映出地质历史时期的天文过程的信息,其中最显著、研究最多的有米兰柯维奇旋回、潮汐韵律层和天体陨击事件层等。由于天文事件具有全球等时性和瞬时性,且通常具有明显的地化特征和生物特征,是年代地层对比中最为有效的标志层。本文简要介绍了地层记录中这三类天文事件的确认过程以及它们的研究意义。

关键词:天文地质学 米兰柯维奇旋回 潮汐韵律层 天体陨击 事件地层学

1 引言

地球是宇宙间亿万个天体中的一个普通行星,地球的形成与演变,是在与其他天体相互影响、相互制约的宇宙环境中进行的。天体的运动和演化,以及地球本身乃至太阳系在宇宙中的运动等,必然会对地球上的生物、沉积、构造演化等产生影响,并在地层记录中留下痕迹。越来越多的地质研究结果表明,在地球岩石和其他地质样品中,记录了许多可以反映出地质历史时期的天文过程的信息,包括地球在宇宙中运动状态的记录以及太阳、太阳系和银河系等天体和天体体系的本身演变对地球影响的历史过程等。天体对地球的影响主要反映在以下两个方面。

1. 周期性影响 天体的运动大多具有一定的周期性,包括周期性圆周运动和周期性往复运动。天文学告诉我们,宇宙中任何稳定的天体都有其自转和公转,甚至可观测的宇宙本身也在转动。天体的周期性运动是造成地质作用和地质现象出现旋回、韵律和周期变化的原因之一。目前较为确定的、与天文周期性运动有关的地质记录有:(1)大地构造旋回与大冰期(与280—300Ma的银河年有关);(2)米兰柯维奇旋回(与地球轨道周期有关);(3)潮汐韵律层(与日—地—月运动有关)。

2. 灾变性影响 天体的灾变作用是地球演化的动力原因。常见的对地质作用影响较大的天体灾变作用有:太阳超级耀斑活动(能量为 10^{28} 焦耳)、超新星爆发(能量可达 10^{43} 焦耳)和小天体(包括小行星、彗星和陨石等)陨击事件等。

在这些周期性和事件性的天体影响中,米兰柯维奇旋回、潮汐韵律层和小天体陨击事件层在地质记录中最为引人注目。由于天文事件对地球的影响具有全球性、近同时性和瞬时性的特点,其沉积记录是极为理想的事件地层学标志层,具有极好的年代地层学对比意义。本文将简要介绍这三种天文事件的地质记录以及它们的研究意义。

2 米兰柯维奇旋回与旋回沉积作用

本世纪初,南斯拉夫学者米兰柯维奇(Milankovitch)为解释第四纪大冰期的成因,提出了一个天文学假说。他认为夏半年日照量的减少是冰期形成的主要原因,而对于地球上任一纬度而言,日照量主要取决于地球公转轨道的偏心率(e)、地轴倾斜角或称黄赤交角(ϵ)和岁差(ρ)的变化,它们被合称为地球轨道三要素。目前,这三个参数的变化周期分别为:岁差约为21ka(千年);黄赤交角为41ka;偏心率短周期为100ka,长周期为400ka;轨道要素的周期性变化导致了地球气候的周期性变化。目前,该假说已为深海沉积物中浮游有孔虫介壳的氧同位素比值(以 $\delta^{18}\text{O}$ 表示)以及深海钻探岩心氧同位素研究结果所证实^[1]并得到了地质学界的广泛认同。

2.1 地质记录中的米氏韵律层

米氏理论是针对全球气候变化而提出的,但它可以由沉积记录的周期性来验证,因为周期性的气候变化必将在沉积物的结构、构造及沉积层的厚度变化上反映出来。

Gilbert(1805)最早认识到天文参数(主要是岁差)对气候波动及其沉积记录的影响。基于此,他估测了科罗拉多州上白垩统深海沉积层序的延续时间,这一数值与现代放射性测龄结果极为吻合^[2]。

Arthur等(1984)的研究^[3]表明,几乎所有的白垩纪和新生代远洋碳酸盐岩层序,不论是浅水环境还是深水环境下沉积的,都具有明显的韵律性特征。在具有丰富的粘土供给的环境沉积的数十厘米厚的岩层中,富碳酸盐层与贫碳酸盐层的互层现象十分常见。在缺氧的沉积环境中,氧枯竭层也呈周期性出现,造成有机碳丰富的层段产出于粘土相对富集层段中。在压实程度高的纯白垩层中,韵律性表现为分米级的厚灰岩层为薄的缝合线层所分隔。在白垩纪至新生代远洋沉积中所有最明显的韵律的周期平均值通常是约20ka或40ka。这些韵律层常聚集成群(层束),构成不甚清楚的100ka周期。

意大利中部亚平宁地区的Umbrian剖面发育有引人注目的中侏罗世至中第三纪的远洋韵律层序,是测试晚侏罗世至中新世的天文学假说的适宜对象,关于这条剖面已有许多学者进行过研究。在研究位于意大利Piobbico地区枝状泥灰岩层上部典型的黑色页岩层(即Umbrian-Marche沉积层序中的阿尔必阶上部及森诺曼阶部分)时,de Bore和Wonders发现^[2],泥灰岩-灰岩对偶层对应着岁差周期,约5个对偶层构成的层束记录了100ka偏心率周期,而由4个层束构成的超层束则记录了400ka周期;Fisher和Schwarzacher(1984)用时间序列分析了Maiolica和森诺曼期的Bianca钙质页岩(上白垩统底部)层理厚度的变化,亦得出了类似的结论^[4]。

Hart(1987)在对联合王国的白垩系远洋沉积的白垩层韵律进行研究后指出^[5],这一碳酸盐-泥灰岩序列的韵律是轨道变化的结果。对韵律层的厚度系列的分析得到了不同的厚度峰值,经放射性年表数据校正后得到了23ka和41.5ka两个周期,这两个数值分别对应着岁差及黄赤交角周期。

北美东部 Newark 超群的沉积物主要由湖泊的水面升降产生的沉积旋回构成,这些沉积旋回对应着由地球轨道变化控制的周期性气候变化。Van Houten 第一个认识到北美东部 Newark 超群的旋回性,并将其与轨道变化联系起来^[6]。近来,拉蒙特-多赫蒂地质观测所的 Olsen 又重新对 Newark 盆地中的上侏罗统 Lockatong 组和 Passaic 组剖面进行了研究^[7],他将各旋回的峰值层厚与最短层厚相比,其比值与轨道周期与最短周期的比值非常接近。对层理厚度的富里埃分析得到的层厚峰值进行沉积速率校正后,得到 25, 44, 100, 133 和 400ka 的周期,它们与由放射性年龄和纹层计数法校正的沉积速率所推断的一样,与天文周期大致对应。对深水沉积的黑色页岩与淡褐色—红色沉积物的交互层用纹层厚度外推法得到了一个 21ka 的周期,用同样的方法得出富碎屑层与化学岩层的更替显示出 100ka 的周期,而与红层的交替显示出 400ka 的周期。

气候变化对湖泊水深变化的影响是紧密而直接的。Anderson(1984)在对多个沉积盆地的周期性蒸发岩进行研究后也得出了这一相同的结论^[8]。他认为,轨道气候营力引发并终止了过去的部分蒸发岩沉积。在对二叠纪 Castile 盆地的纹层状蒸发岩进行研究后,他发现蒸发岩的年厚度变化趋势受到 100ka 偏心率周期的控制,硫酸钙沉积速率的对称变化则记录着约为 20ka 的岁差周期。

众多的实际资料表明,米兰柯维奇轨道三要素的变化的确已被记录在古代及现代沉积物之中。

2.2 米兰柯维奇韵律层的年代地层意义

2.2.1 精确的年代地层对比

尽管轨道变化如何诱发全球气候波动的具体机制目前还不甚明了,但由于气候变化的全球性所产生的周期性沉积层在大区域甚至全球范围内具有较好的等时性和侧向连续性,这使我们有可能用它进行盆内及盆际间的地层对比。

亚利桑那州东南部的 Horquilla 灰岩中发育有较好的韵律层,这些沉积层是由冰川性海平面波动引起的,其平均周期为 352ka,与偏心率长周期值相近,表明这些沉积层很可能是受轨道周期控制的;对中部大陆晚古生代旋回层的研究已经证实,100m 级的海平面波动极有可能是轨道作用下的气候变化引起的。在此基础上,Connolly 和 Stanton^[9]对亚利桑那州东南部的 Pedregosa 盆地中具有米氏周期的韵律层进行了研究。他们选取了该盆地中相距 50km 的两条剖面(Dry Canyon 剖面和 Gunnison Hill 剖面)进行盆内对比,取得了相当精确的对比结果。

随后,他们将这两条剖面与相距 1500km 的中部大陆(堪萨斯州)上的另一条剖面进行盆际对比^[9]。尽管两个盆地的构造背景、沉积条件、沉积物供给等均有所不同,例如中部大陆剖面主要发育海侵的及非海相的碎屑组分,而 Pedregosa 盆地中的 Horquilla 灰岩段主要由海退的海相碳酸盐岩构成,但利用旋回层的对比使三条剖面上各主要界线以及特定的岩性标志层均得到很好的对比,而且其精度要高于现行的生物地层学对比精度。此外,通过旋回层的对比还较为精确地确定了 Pedregosa 盆地的 Desmoinesian 阶和 Missourian 阶的界线,在此之前,该界线由于该区在界线附近缺乏特征的有孔虫资料而未能准确确定。

2.2.2 精确确定地层延续时间

气候体系在频率及时间范畴上能感受到轨道影响,这喻示着,天文学理论也许能提供一座比目前精确数倍的用于测定古老沉积物年龄的时钟。1992 年, Berger 等根据现代及古代

沉积资料对几个主要的天文周期进行了研究^[10],结果表明,这些主要周期在地质历史时期的变化极小,可以认为是稳定的。因此,一旦确定地层中的旋回是米氏周期造成的,那么旋回层及其构成的地层单元的延续时间就能得到精确确定。据此,de Bore 和 Wonders 甚至提出了一个气候地层学单位,称之为 gilbert 单元^[2],用以代表 21ka 的时间段进行计时。

Kate 和 Sprenger 及 Sprenger 和 Kate 先后报道了他们对西班牙南部 Caravaca 地区下白垩统贝利阿斯阶的深海一半深海韵律层的研究结果^[11,12]。他们在 Miravetes 组 77.5m 厚的 360 个灰岩/泥灰岩韵律层中采集了 1275 个样品,进行了碳酸盐酸不溶物含量测定及韵律层单层厚度测定,并对测量结果进行时间序列分析及频谱分析,结果表明,这一灰岩/泥灰岩韵律序列是受米氏周期控制产生的,各个频率峰分别对应着岁差周期和长、短偏心率周期。据此,他们得出了所研究的该段地层的时间跨度在 1.1—1.5Ma 之间,甚至可以更进一步缩小至 1.1—1.2Ma 之间,这比用现行地质年代表估测的延续时间(1.1—2.9Ma 之间)要精确得多。他们还由此而推断出整个贝利阿斯阶的延续时间为 2.9—3.1Ma。这一数值要比现行地质年代表上该阶的延续时间短,但与 Haq 等(1987)的估计值相吻合^[12]。

3 潮汐韵律层及其研究意义

潮汐是海水在日、月等天体的引力和地球的自转离心力的共同作用下的规则运动,在周期性引潮力作用下,水体产生周期性运动,从而不断地冲蚀着海岸及海底,并搬运沉积物到适当的地点沉积保存下来,最终形成潮积岩。由于水流的方向及强弱周期性变化,潮积岩具有一些独特的沉积构造,包括羽状交错层、韵律层、潮汐层理(脉状层理、波状层理及透镜层理)、再作用面(停顿面)等,这些特有的沉积构造可能记录下了上述潮汐周期,并进而记录着日、地、月的运动状态。

3.1 潮汐束与月相变化

1980年,Visser 对荷兰 Oosterschelde 进潮口的全新世潮道充填物进行了研究^[13]。他发现潮汐束的厚度呈现出一定规律的变化,薄的潮汐束对应着小潮前后小的潮差,而在大潮期间,潮差较大,潮汐束也往往较厚;而且在相邻的两次小潮期间的潮汐束的数目均落在 26—30 之间,其平均值为 28.5,正好与当地大小潮周期的半日潮理论值(即每一大小潮周期中包含 28.3 个潮汐旋回)相吻合。由此,他认为这种潮汐交错层厚度的变化反映了月相的变化,并且认为可以用测量交错层厚度的方法来揭示月球相对地球的轨道运动。

3.2 潮汐韵律层及其周期性

1981年,Williams 报道了南澳洲前寒武纪地层中发现的周期性纹层,这组纹层是由暗红褐色、厚 0.1—0.5mm 的泥质条带及较浅的、厚 2—16mm 的细砂至粉砂纹层的重叠所构成,其侧向延伸可达数百米^[14],其中碎屑纹层是粒度递变层,常由下部的细砂向上过渡为粉砂及粘土层。Williams^[15-17]用滨海海相环境中混浊的退潮流沉积作用解释了这些周期性纹层的成因,并从中识别出全日潮、半日潮、混合潮、大小潮、太阴月潮和长周期潮等一系列周期不等的潮汐韵律层。

与此同时,Kvale 等^[18]也报道了美国印第安纳州石炭系煤层中的韵律纹层状潮汐沉积物,并识别出了 4 级潮汐周期;Tessier 和 Gigot^[19]在法国 Digne 地区的中新世沉积物中也发现了类似的潮汐沉积。

此后,有关潮汐沉积与潮汐周期的研究不断见诸各类刊物^[20],众多的研究结果表明,记

录着日、地、月相互运动关系的潮汐韵律层在各个地区及各个地质历史时期均有分布。

3.3 潮汐韵律层的研究意义

1. 测定地月距离

根据天文学观察得出的目前月球平均后退速率推算,大约在 1500Ma 前,月球即处于地球的洛希极限之内,应当会在地球的引力下崩解。然而没有任何地质证据及天文现象表明这一推测;相反,叠层石的生长构造表明,在 3000Ma 前即存在有月球潮汐^[16]。Williams^[16,17]根据 Elatina 组和 Reynella 粉砂岩测得的约 650Ma 以前晚前寒武纪的古潮汐及古自转数据,推测出前寒武纪的月相滞后角(指地-月轴与潮峰之间的夹角)平均为 3°而不是现今的 6°,并进而得出古地一月距离为 58.4 ± 1.0 倍地球半径[相当于目前地月距离的 $96.9 (\pm 1.7)\%$]。根据以上计算结果,Williams^[16,17]认为在 650Ma 前,月球的平均后退速率远比目前要小,加上较小的月球滞后角(3°),因此,至少在过去 3000Ma 之内,地一月距离未曾进入到洛希极限的范围之内。

2. 推算古日长

天文学的研究肯定了地球自转角速度的长期减慢,并认为地球自转减慢(换算成日长延长)大致为 1—2 毫秒/世纪,由此推断出古生代初期的地球自转角速度要比现在大得多,那时的一天只有 21 小时。然而地球物理学家无法验证天文学上这一结论是否正确。1963 年, Wells 通过对珊瑚化石表壁的研究,得出中泥盆世每年有 385—410 天,石炭纪每年有 385—390 天,与天文学的推测结果极为吻合。Wells 的文章发表后,得到了天文学、地球物理学、地质学和古生物学等方面学者的同声赞扬,之后又有不少学者对不同的生物化石进行研究,涉及的生物门类包括瓣鳃类、叠层石、头足类、箭石等。然而,由于对这些生物骨骼的日增量解释上的不确定性,加之生物生长的影响因素太多,使这类数据的可靠性难以保证,因而近十年来,这一领域的研究几乎没有任何进展^[20]。潮汐韵律层的发现给这一领域注入了新的活力,这种周期性沉积物记录了地质时期的天体动力演化历史,而且其延续时间长(目前所发现的最长的韵律层段的延续时间为 60 年^[16,17]),远远超过单个生物体及潮汐交错层群的延续时间,另外其精度高,偶然性小,分布广泛,目前在潮间、潮下的浅水地带及滨外的深水区均有报道,在台地碳酸盐岩中亦有发现,因而引起人们的普通关注。Williams^[16,17]的研究表明,在 650Ma 以前的一年中有 13.1 ± 0.1 个太阴月及 400 ± 7 天,而每个太阴月有 30.5 ± 0.5 天,这样可以得出那时的一天只有 21.9 ± 0.4 个小时,证实了天文学的计算结果。

3. 计算短期沉积速率

长期以来,我们对地史事件,诸如生物的起源、绝灭以及构造演化等的研究是建立在在地层记录基本连续的认识上的。然而近期的研究表明,持续的沉积是不可能的,即使是在深海环境中也可能存在有侵蚀破坏和无沉积导致的沉积间断,这就需要对地质记录的完整性有一个客观的估计。目前估算地层完整性较常用的是短期沉积速率与长期沉积速率的比值,但这一方法需要对短期沉积速率作精确的测量。通常采用同位素测龄结果来计算沉积速率,众所周知,这种测龄方法存在着较大的误差,特别对短期沉积速率的计算影响较大。

潮汐韵律层具有其他沉积物所没有的极高的时间精度,可以得出精确的短期沉积速率。文献[20]归纳了国外几位作者根据潮汐沉积的研究结果计算得到的长、短期沉积速率。结果表明,短期潮汐沉积速率通常要比由地层厚度和地层延续时间计算得出的长期沉积速率大 4—6 个数量级,这种短期和长期沉积速率之间的巨大差异表明,目前保存下来的岩层是由

短期的快速沉积作用形成的,而这种短期的灾难性快速沉积经常受到长期的无沉积段和侵蚀时期的中断^[20]。半日潮或全日潮纹层能够持续数月或数年^[16-20]的连续沉积,必将对地层记录完整性的概念产生重大影响。以前讨论地层完整性主要集中在数百或数千年的时间范围内^[21],而这种几乎连续的延续数年的潮汐纹层沉积不仅能被完好地保存,而且是以极高的速率沉积的。这使我们难以对长期(10000—100000年)的米级沉积进行描述和对比,因为数米厚的沉积很可能在几十年或数百年即可形成^[20]。

4. 用于跨相地层对比

长期以来,由于缺少跨越海相与非海相的生物化石,而且等时性沉积(如火山灰层)的保存通常不好,地下剖面及不连续剖面中海相与非海相地层间难以进行精确的年代地层对比。尽管在近滨地层中建立的层序地层学模式可用于年代地层对比,且其精度远高于目前的放射性测龄和生物地层方法,但由于这种模式在冲积层中的应用尚处于初期阶段,并且在涉及到冲积层中的最大洪泛面及层序界面的特征时仍存有许多争议,因而亦无法普遍使用。

Shanley等^[22]对犹他州南部 Kaiparowits 高原的研究表明,受潮汐影响的河流沉积物是高分辨率层序地层学对比的关键因素。他们在受潮汐影响的冲积层中发现了包括“S”形层理、砂泥岩对、波状及透镜状层理、多期再作用面在内的多种潮汐作用所特有的沉积构造,而且这些潮汐沉积物最远可分布于距同期岸线 65km 的内陆冲积层中。Shanley等^[22]认为,潮汐作用在内陆的最大影响范围在短时期内相当于海相地层中最大海泛面的范围。由此,我们可以通过识别受潮汐影响的冲积物而在非海相沉积物中建筑起高分辨率的年代地层框架,从而进行广泛的年代地层对比。

4 天体陨击事件

4.1 天文地质事件的地质证据

1979年,Alvarez父子在意大利和丹麦的白垩—第三系界线粘土层中发现铱异常,并据此提出了轰动世界的“小行星撞击假说”。按照这一假说,铱异常是由于一个直径达 10km 的小行星或彗星核与地球相撞而产生的。从巨大撞击坑中溅射出来的尘团弥漫于大气中,遮天蔽日,历时良久,于是光合作用中断,食物链瓦解,最终导致白垩纪末期的大绝灭事件。当初的尘团下落、沉淀下来,便形成了当今的界限粘土岩。

“小行星撞击假说”的提出,使地质学中已沉寂了一百多年的灾变论又重新兴起,这一领域成了当今地质学界最热门的研究方向之一,人们纷纷撰文,或赞同,或反对,因而展开了热烈讨论。迄今为止,在世界各地的近百个海相或陆相界线剖面处发现了类似的地化异常和其他地质证据,除白垩—第三系界线外,目前已在加勒比海地区的始新统一渐新统、欧洲的中侏罗统一上侏罗统、中国和欧洲的二叠—三叠系、中国的泥盆—石炭系、澳大利亚和中国的上泥盆统弗拉斯—法门阶、中国的奥陶—志留系、中国的震旦—寒武系等界线层中发现了与白垩—第三系界线上相似的一些证据^[1]。概括起来包括:

1. 生物大量绝灭:目前,地质学家们普遍认为,地质历史时期几次重大生物绝灭事件,如白垩—第三纪之交、二叠—三叠纪之交和震旦纪末的生物绝灭事件,是由天文事件所引起的,至少也与天文事件有关。

2. 稳定同位素事件:碳、氧稳定同位素分析最近才开始应用于天文地质事件的研究中,其中又以碳同位素的变化($\delta^{13}\text{C}$)因其反映了海洋中生物总量的变化趋势,而与天文事件关

系更为密切。通过对 $\delta^{13}\text{C}$ 值在显生宙 8 条重要界线附近变化的研究表明, $\delta^{13}\text{C}$ 值在正常时期的变化相当稳定, 抗随机干扰能力较强, 但在一些可能有天文地质事件存在的层位, 则常在很短距离内发生负向突变, 表明水体中生物总量剧烈变少, 其负异常幅度与生物大量绝灭的程度大体上成正比例关系。

3. 地球化学异常: 铱等铂族元素在小天体(陨石等)中含量较高, 而在正常沉积物中含量极低。目前, 地史时期几个重要的界线沉积中均发现了高于背景值的铂族元素, 尽管其成因解释上还存在其他一些不同的观点, 如火山成因、生物富集等, 大多数地质人员还是趋向于天体撞击观点。

4. 大量微球粒: 在岩层中早已发现存在一些宇宙成因的微球粒。近年来, 在可能发生过天文地质事件的界线层中先后发现了大量微球粒, 其中有能反映天文地质事件当时环境的一些微球粒, 因此是确定灾变事件的一个重要依据。

5. 冲击石英: 在几个被认为可能发生过天文事件的层位中已发现由冲击压力产生的石英颗粒。一般认为, 这种冲击石英不同于变质作用形成的石英, 火山作用也不可能形成这类石英。它的形成只能用天体撞击来解释。

4.2 天体陨击事件的地质意义

1. 提供一个精确的等时面

在地质学发展早期, 地层界线一般位于有构造间断、岩性岩相突变或大的古生物更替的层位处, 这种自然界线标志明显, 野外易于追踪, 尤其受到野外地质人员的支持。但后来的地质学发展证实, 这种界面大多是穿时的, 不利于年代地层学研究。因而从达尔文进化论的理论基础出发, 提出了年代地层界线要在没有任何构造破坏的单相连续的沉积岩系中寻找生物有较大变化的层位, 强调层型和金钉子在国际地层划分对比中的作用, 亦即其人为性、规定性和权威性。这一方案以《国际地层指南》的发表为标志, 以达尔文进化论为其理论依据, 以均变论为其哲学基础, 是当代地层学的主流。

然而从另一方面来看, 这种“单相连续”的层型选择标准, 在理论上是苛刻的, 实践上也存在许多困难。此外, 各国地层学家竞相在自己国家建立国际地层层型剖面, 并以此为荣, 以致于层型的确定掺入了浓重的政治和民族色彩, 客观上妨碍和延误了实质性进展。而且, 近年来的古生物研究告诉我们, 作为这一方案基石的达尔文进化论存在着严重缺陷: “失落的链环”始终未能发现; 地史时期频繁出现的“群集绝灭”无法解释。所有这些, 均对“单相连续”的层型选择标准提出了严重挑战。

天体陨击假说为地层学研究开辟了一条崭新的思路。这种突发的灾变性事件沉积层在很短的地质时期内在全球或大区域范围内形成, 具有全球等时性和瞬变性, 且具有鲜明的生物及地化标志, 是地层划分对比中极好的标志层。因此, 在那些存在界线粘土层的地区和层位, 似乎没有必要再拘泥于所谓“单相连续”剖面, 如白垩—第三系分界, 鉴于其确凿的界线粘土层, 可望突破传统观念而出现一个以事件地层学为基础的“界线层型”。

2. 引发了地学思维的变革

现代地质学的哲学思想是赫屯和莱伊尔提出的均变论。均变论认为, 地史时期的地质作用在能量级别上与现代地质作用从来没有不同, 许多变化可以由一系列微小而突然的变动构成, 但这些变动的强度必须是“合乎理性”的, 即不能超出人类历史记录到的强度范围。均变论强调漫长地质时间的意义, 这个漫长时间足以使微小渐变产生惊人效果, 而无需

借助于灾变。

均变论是对神创论的直接批判,它改变了当时的地质学思维方式,并得到了地质学和古生物学界的广泛一致的赞同。它的提出,对现代地质学思潮产生了无与伦比的影响。两百多年来,它的精髓已深深植根于现代地质人员的脑海里,成为当代地质学的基石。

天体的陨击以其突发性、灾害性和瞬时性而与均变论的要义严重抵触。在有序、稳定而规律的均变论世界里,所有的变迁都被认为是在漫长的地质年代里点滴积累而形成的,怎么可能容忍这种迅捷的天外来客在一瞬间即撞击形成一个陨石坑,使坑底物质熔化产生震裂变质作用,并在很短的时间内使抛出物质覆盖在全球范围内。只要内生成因说还能自圆其说,就不可能考虑这种突发的、随机的、不可预测的过程^[23]。然而,越来越多的地质证据表明,天体的陨击及其对地球生物及地球本身的演化的重大影响,是客观存在的,在众多的事实面前,绝大多数地质学者扬弃了长期以来根深蒂固的均变论思想,转而接受了新灾变论及生物点断平衡演化论观点,由此地学思维方式发生了飞跃式的变革。因此,小行星撞击假说及其后的新灾变论的提出,对于地质学界的冲击,要比60年代的板块构造学说引发的全球构造革命更为猛烈、更为彻底,其意义与其说是地质科学上的,不如说是地学思想上的。唯其如此,它所产生的影响才是根本性的。

主要参考文献

- 1 徐道一. 地层的天文对比方法. 见: 吴瑞棠、张守信编著. 现代地层学. 武汉, 中国地质大学出版社, 1989. 148—169
- 2 de Boer, P. L. and Wonders, A. A. H. Astronomically induced rhythmic bedding in Cretaceous pelagic sediments near Moria (Italy). In: Milankovitch and Climate (Ed. by Berger et al.), part 1, 1984, 177—190
- 3 Arthur, M. A., Dean, W. E., Bottjer, D. et al. Rhythmic bedding in Mesozoic—Cenozoic pelagic carbonate sequence, the primary and diagenetic origin of Milankovitch—like cycles. In: Milankovitch and Climate (Ed. by Berger et al.), part 1, 1984, 191—222
- 4 Fisher, A. G. and Schwarzacher, W. Cretaceous bedding rhythms under orbital control. In: Milankovitch and Climate (Ed. by Berger et al.), part 1, 1984, 163—175
- 5 Hart, M. B. Orbitally induced cycles in the Chalk facies of the United Kingdom. *Cretaceous Research*, 1987, 8, 335—348
- 6 Olsen, P. E. Periodicity of lake-level cycles in the late Triassic Lockatong Formation of the Newark Basin. In: Milankovitch and Climate (Ed. by Berger et al.), part 1, 1984, 129—146
- 7 Olsen, P. E. A 40-million-year lake record of Early Mesozoic orbital climatic forcing. *Science*, 1986, 234, 842—848
- 8 Anderson, R. Y. Orbital forcing of evaporite sedimentation. In: Milankovitch and Climate (Ed. by Berger et al.), part 1, 1984, 147—162
- 9 Connolly, W. M. and Stanton, R. J. Interbasinal cyclostratigraphic correlation of Milankovitch band transgressive-regressive cycles, correlation of Desmoinesian—Missourian strata between southeastern Arizona and the mid-continent of North America. *Geology*, 1992, 20(11), 999—1002
- 10 Berger, A., Loutter, M. F. and Laskar, J. Stability of the astronomical frequencies over the Earth's history for paleoclimatic studies. *Science*, 1992, 255, 560—565
- 11 Kate, W. G. and Sprenger, A. On the periodicity in a calcilitite-marl succession (SE Spain). *Cretaceous Research*, 1989, 10, 1—31
- 12 Sprenger, A. and Kate, W. G. Orbital forcing of calcilitite-marl cycles in southeast Spain and an estimate for the duration of the Berriasian stage. *Geol. Soc. Amer. Bull.*, 1993, 105(6), 807—818
- 13 Visser, M. J. Neap-spring cycles reflected in Holocene subtidal large-scale bedform deposits, a preliminary note. *Ge-*

- ology, 1980, 8, 543—546
- 14 Williams, G. E. Sunspot periods in the Late Precambrian glacial climate and solar-planetary relations. *Nature*, 1981, 291, 624—628
- 15 Williams, G. E. Cosmic signals laid down in stone. *New Scientist*, 1987, 114, 63—66
- 16 Williams, G. E. Late Precambrian tidal rhythmites in South Australia and the history of the Earth's rotation. *Jour. of the Geological Society, London*, 1989, 146, 97—111
- 17 Williams, G. E. Tidal rhythmites, geochronometers for the ancient Earth-moon system. *Eposides*, 1989, 12(3), 162—171
- 18 Kvale, E. P., Archer, A. W. and Johnson, H. R. Daily, monthly, and yearly tidal cycles within laminated siltstones of the Mansfield Formation (Pennsylvanian) of Indiana. *Geology*, 1989, 17, 365—368
- 19 Tessier, B. and Gigot, P. A. Vertical record of different tidal cyclicities, an example from the Miocene marine molasse of Digne (Haute Provence, France). *Sedimentology*, 1989, 36, 767—776
- 20 吴智勇. 周期性潮积岩及其研究意义. *地质科技情报*, 1994, 13(3), 57—62
- 21 Anders, M. H., Krueger, S. W. and Sadler, P. M. A new look at sedimentation rates and the completeness of the stratigraphic record. *Jour. of Geology*, 1987, 95, 1—14
- 22 Shanley, K. W., McCabe, P. T. and Hettlinger, R. D. Tidal influence in Cretaceous fluvial strata from Utah, USA, a key to sequence stratigraphic interpretation. *Sedimentology*, 1992, 39, 905—930
- 23 Marvin, U. B. Impact and its revolutionary implications for geology. *Geological Society of America Special Paper 247*. 1990, 147—154

ASTRONOMICAL EVENTS IN THE STRATIGRAPHIC RECORDS AND THEIR IMPLICATIONS

Wu Zhiyong Jiang Yanwen
Jiangnan College of Petroleum

ABSTRACT

Sedimentary rocks record many astronomical events that occur during geological past. Among them, Milankovitch cycles, tidal rhythmites and astronomical impact have been paid much attention. The layers, resulted from these events and usually accompanied with geochemical and biological changes, are worldwidely synchronous and instantaneous, and can act as effective marker beds in chronostratigraphic correlation. A brief introduction for the three astronomical events laid down in rocks and their implications is presented in this paper.

Key words: astrogeology, Milankovitch cycle, tidal rhythmite, astronomical impact, event stratigraphy