

# 全息地层学——新的挑战

姜衍文 朱忠德 肖传桃 吴智勇

(江汉石油学院, 湖北荆沙 434102)

地层学的传统研究方法, 已经逼近其分辨率的理论极限并陷入困境。全息地层学——全球旋回地层学的兴起, 标志着地层学发展的新的里程碑, 它以崭新的思路, 全方位地开发和提取出沉积记录中所蕴涵的各类地层学信息。文章对全息地层学的理论内涵、研究思路、内容和方法作了概要性的介绍。

**关键词** 旋回 事件 分辨率 全球旋回地层学

**第一作者简介** 姜衍文 男 55岁 副教授 古生物学 现代地层学

从60年代末期以来, 地球科学领域内新说迭出, 突破接踵<sup>[1,2]</sup>。新事实的不断发现和新资料的迅速积累, 正在从根本上更新着地质学的基本概念和理论模式。以强调“全球观”为特色的崭新的地学思想, 成为当代地学革命的鲜明旗帜, 给地球科学的各个分支注入了新的活力。地层学, 这门作为近代地质学三大支柱之一的古老学科, 正经历着前所未有的深刻变革。新的地层学分支不断涌现; 新的研究方法和成果相继问世。进入80年代以来, 更新之快, 令人产生目不暇接之感<sup>[1]</sup>。然而, 从总体上看, 传统地层学的低分辨率和过于狭窄的理论外壳, 已经成为学科进一步发展的严重障碍。地学革命的浪潮, 相邻学科的迅速进展以及人类经济活动, 特别是油气勘探的实际需要, 都呼唤着新的地层学理论的诞生。全息地层学(holostratigraphy), 即全球旋回地层学(global cyclostratigraphy)横空出世, 标志着当代地层学发展的新的里程碑<sup>[3]</sup>。它以崭新的理论模式和研究思路, 全方位地开发和提取出沉积记录中所蕴涵的各类地层学信息; 它集当代地层学各个分支之大成, 建立数据库式的全息年代地层学矩阵, 从而可望把地层研究的分辨率提高10~50倍; 它开辟了将地层学研究成果, 直接应用于盆地分析和重建地球的动力学演化过程的广阔前景。

本文旨在对全息地层学的理论内涵和基本概念作一概括性的论述。

## 1 地层学发展的简要历史性回顾

近代地质学和地质思维, 是始于人类对天然出露的层状岩石的直接观察而揭开序幕的。本世纪50年代以前, 地层学的主要研究内容和方法是生物地层学, 它以自然界生物演化的阶段性和不可逆性为立论依据。生物化石带是地层划分和对比的基础。迄今, 生物地层学仍然是最基本, 最有效的方法之一。然而, 鉴于天然物种的成种作用(speciation)速率所限, 生物

地层单位的分辨率已经逼近了它的理论极限。这种情形已经导致了生物地层学相对于其相邻学科的滞后发展。

本世纪70年代,美国普林斯顿大学的Hedberg教授<sup>[4]</sup>主持的法典性著作《国际地层学指南》(以下简称《指南》)问世,从而在地层的分类原则方面促进了国际的一致性。《指南》创立了国际地层学界所共同接受的地层学术语系统和程序规范,从而增强了地层学实践的有效性。Hedberg发展和完善了多重地层划分的概念,特别强调层型和金钉子(the golden spike)在国际地层对比中的作用,亦即其人为性、规定性和权威性。《指南》以均变论的传统思想作为其哲学内涵,强调在单相连续的地层序列中,以投票的方式决定年代地层学意义上的界线层型点,亦即所谓委员会界线(commission boundary),并据以建立“时间流”概念上的全球地质年表。毫无疑问,《指南》在促进地层学研究的国际化、增进各国地层学家们的共同语言,扩展国际交流等方面起了积极的、历史性的重要作用;但是,从另一方面来看,《指南》所提出并强调的“单相连续”的层型选择标准,在理论上是苛刻的,实践上也是困难重重的。《指南》问世以来,各国地层学家竞相在自己的国土上建立国际层型剖面引为殊荣和奋斗目标,以致于层型剖面的选择、认同和表决,往往陷入长期争论,客观上延误和妨碍了实质性的进展。这不能不说是地层学研究中的一种始料不及的遗憾。

最近三十年进入了地层学全方位大发展的时期。60年代早期,美国斯坦福大学的A. Cox教授和澳大利亚的I. McDougall博士,基于对火山岩序列所作的古地磁学和年代学的综合研究,率先创立了新的地层学分支——磁性地层学。地史时期中频繁发生的磁极倒转现象是一种全球同步的有序事件,据此建立起来的全球磁极年表为全球地层学研究提供了一个精确的年代框架<sup>[1,5]</sup>。同一时期,同位素年代学在方法上也取得了长足进步。70年代,以Vail为首的EXXON石油公司的地质学家们创立了地震地层学,它将地质学理论、地震勘探技术与现代计算机技术相结合,成功地应用于油气勘探,因而被誉为当代地层学在理论和实践上的一项重大突破。80年代中后期,Vail和Haq等<sup>[6]</sup>在地震地层学的基础上进一步发展创立了层序地层学,有人称之为新一代地震地层学。层序地层学熔现代沉积学理论、全球海平面升降旋回和年代地层学的时间框架于一炉。在理论上独辟蹊径,在方法上推陈出新,不仅更新了地层学和沉积学的理论,应用于沉积盆地分析;而且在油气勘探领域,特别是在预测和寻找储集砂体和进行油藏描述方面都取得成功。

地层学是一门国际性很强的地学分支,其研究对象是全球地层。提高地层研究的分辨率和实现全球范围的地层对比,一直是各国地层学家们所追逐的共同目标。然而,迄今为止的各种地层学研究方法,或者由于其分辨率失之过粗,或者囿于其有限的对比范围和方法的不尽完善而举步维艰。生物地层学方法的分辨率最终因受到天然物种成种速率的客观限制,同时也受到生态学因素、居群迁移以及化石保存状况等诸多制约。磁性地层学方法为全球地层研究提供了一个等时的年代框架,但往往由于磁极倒转事件之间的间隔无法达到期望的高分辨率;同位素年代学是唯一不依赖于其它任何地层学属性的独立的测年方法,但必须严格地满足于样品自始至终处于封闭系统这样一个前提,而且,试样的选取以及种种技术因素的干扰会带来相当可观的测试数据误差<sup>[1]</sup>。鉴此种种,寻求一种全新的、数据库式的地层学研究方法,以期建立一个高分辨率的全球年代矩阵已势在必行。1989年Perlmutter和Matthews<sup>[7]</sup>首次提出了全球旋回地层学的概念。1991年,来自不同国家的62位学者联手撰写的《地层学中的旋回和事件》一书问世<sup>[3]</sup>,标志着地层学研究中一个新时代的到来。全息地层学,这门崭新

的地层学学科已经破土而出。正如 A. G. Fischer 教授在该书序言中所说的：“我们正站在新的地层学的门槛上”。

## 2 全息地层学的理论内涵：基本概念、内容和方法

### 2.1 概念

全球动力地层学的概念是全息地层学的思维模式和哲学内涵。全息地层学把系统论的思想引入地层学的研究之中。它把地球的动力学演化过程视为开放的大系统中的一个子系统。宏观地说，大系统的摄动可能诱发子系统的突变或灾变事件<sup>[7]</sup>。由岩石圈-大气圈-水圈-生物圈所构成的全球环境体系，是被精确地安置在一系列敏感的阈值之中的，因而具有高度的动态的属性<sup>[3]</sup>。子系统对于极短期（日级、年级）到长期（ka 级—Ma 级）的周期性现象作出反应，并且可能被一系列规模不等的随机性事件所点断，这些过程均可能被记录并且被保存在沉积物序列之中。留下大量的、近等时的年代地层学信号。地层记录中保存着大量的短期（数小时至 100ka）的旋回式事件和幕式事件，前者代表可预见过程的产物，后者则代表随机性的干扰事件。在均变论思想束缚下，传统地层学视为“罕见事件”的诸多地层学现象，如果用新的观点重新审视的话，也许应当正名为常见事件。不难看出，与以均变论为指导思想的传统地层学相比，新的地层学理论更强调“全球观”。毋宁说，这是地层学研究中的软科学——思维模式的重大变革。

### 2.2 米兰科维奇旋回及旋回沉积

天文学的观测结果表明，地球轨道要素在其漫长的历史中，呈现出明显的周期性的变化，其周期分别为：（1）黄赤交角（ $\epsilon$ ），约为 41ka，（2）岁差（ $p$ ）：21ka；和（3）偏心率（ $e$ ），约 100ka。地球轨道要素控制着地球上所接受的太阳辐射量，轨道要素的周期性变化引发了地球气候的周期性变化。早在本世纪 20 年代，南斯拉夫学者 M. Milankovitch 据此提出了解释第四纪冰期成因的天文学假说，即米兰科维奇旋回理论。米氏理论诞生后的最初三十年，由于缺乏支持证据以及假说自身的某些原因，未能得到广泛的承认。1955 年，C. Emiliani 首次根据浮游有孔虫壳体中的氧同位素（ $\delta^{18}\text{O}$ ）值，估算表层海水的年均温度并以此来划分深海沉积物岩芯段。她发现，深海沉积物剖面中的  $\delta^{18}\text{O}$  值与日照值密切相关<sup>[8]</sup>。古温度的旋回式变化趋势与冰川信号呈现同向同步的变化。至此，米氏理论首次获得了支持性的论据。从地层学的意义上，深海沉积物岩芯中的最大（和最小）冰川信号可以被视为等时面鉴别出来。1976 年，J. D. Hays 等精心选择了深海岩芯剖面密集取样进行氧同位素研究，结果证实，气候旋回变化的周期分别接近于 42ka，23ka 和 100ka。这组数据无异于向世人宣告：米氏理论已经获得证实<sup>[9]</sup>。1982 年 12 月，米兰科维奇与气候国际学术讨论会在纽约召开，100 多位不同国籍的地质学家、天文学家、气象学家和古生物学家与会。两年后，两卷集专著《米兰科维奇与气候》出版。该书对米氏理论作了系统总结。此后 10 年间，众多的研究结果表明，白垩纪、晚侏罗世以及第三纪的远洋沉积层序中的旋回式沉积的平均周期通常是 20ka，40ka，和 100ka（层束）<sup>[10~12]</sup>。对湖盆蒸发岩沉积速率所作的研究，也反映出大致相同的规律<sup>[13]</sup>。这类旋回式沉积物具有全球等时性，可被用于高分辨率地层对比。de Boer 和 Wonders<sup>[14]</sup>甚至提出了一个气候地层学单位，称为 Gilbert 单元，代表 21ka 的时间段，这一分辨率与大多数生物地层带

的平均延续时限相比, 精度提高 50 倍以上。此外, 旋回式沉积模式还可以用来描述不同气候条件下碳酸盐沉积物的生长方式。Li 等<sup>[15]</sup>提出了描述碳酸盐生长方式的全球定量旋回地层学模型, 他采用 20ka 作为气候周期, 考虑了海平面波动等 7 个因子, 对得克萨斯州上宾夕法尼亚统进行了二维计算机模拟, 成功地再现了实际观察到的碳酸盐滩的生长过程。

### 2.3 幕式沉积与高分辨率事件地层单位

幕式沉积或事件沉积与旋回式沉积的区别, 在于其明显的随机性、瞬时性和突发性。幕式(事件)沉积物同样可以形成广泛分布的近等时的地层学信号被保存在地层记录之中, 构成高分辨率事件地层学(High Resolution Event Stratigraphy, 以下简称为 HIRES)对比的基础。Kauffman<sup>[3]</sup>按照事件的自然属性将事件地层单位归纳成为以下几种类型:

#### 2.3.1 物理学事件单位

陨击事件: 突发的巨大能量可以产生巨型陨击坑, 并抛射出巨量的尘埃云弥漫于太空, 尘埃云随后缓慢沉降形成具有独特的物理、化学特征的、等时的陨击事件沉积物。这类沉积物的指征成分为冲击矿物颗粒、微玻陨石及尘降物。迄今在世界各地发现的白垩—第三纪之交的界线粘土层, 便是这类陨击事件沉积物的著名实例<sup>[16~19]</sup>。

磁极倒转事件: 磁极倒转事件是地史时期频繁发生的全球同步事件, 其时域均值为 4~5ka<sup>[20]</sup>, 它是磁性地层学的立论依据。

火山灰事件: 可以形成区域性的等时的 HIRES 标志层。单层火山灰的覆盖范围可达数千公里。每次喷发的产物往往含有指征性的特有成分, 即所谓“地球化学指纹”以资鉴别<sup>[21]</sup>。裂变径迹法是火山灰测年的常用方法。在对火山灰层及单层斑脱岩的鉴别和对比研究中, 元素化学分析、结晶化学、斑晶形态学以及薄片分析等各种方法都已取得成功。

风暴沉积以及其它类似的突发沉积事件: 风暴是一类较高频度的突发性事件, 它形成的事件沉积物——风暴岩, 可以作为等时的区域性标志层用于 HIRES 对比。与风暴岩类似的其它类型的突发事件沉积物还有: 浊积扇, 洪积岩, 地震岩及海啸岩等等, 这些类型的事件沉积物都具有区域性的 HIRES 对比潜力。

季纹泥沉积物: 海洋季纹泥被称作大洋的年轮。在现代黑海, 单个季纹泥纹层的对比追踪距离可远达 1400km。季纹泥纹层为解释大洋剖面的气候变化提供了丰富的信息。季纹泥统计计数法与放射性同位素<sup>14</sup>C 测年方法可以相互校准。1978 年, N. Pisias<sup>[22]</sup>据纹泥研究重建了加利福尼亚州 Santa Barbara 盆地最近 7ka 以来的古气候变迁史, 可作为这类研究的著名实例。

不整合事件及沉积物漫流面事件: 由于海平面升降所造成的不整合以及相关的沉积物漫流面(bypassing surface)事件, 实底(firmground), 以及硬底(hardground)等均代表了年代缺失面以及点断加积旋回界面(punctuated aggradational cycle boundaries), 这些类型的事件面均已被作为区域性的对比标志成功地应用于层序地层学。

#### 2.3.2 化学事件单位——化学地层学

地层记录中的痕量元素、有机碳、碳酸盐碳, 以及轻稳定同位素<sup>18</sup>O、<sup>13</sup>C 等, 其含量变化敏感地反映出并记录下各类幕式事件所引起的环境变化。各类事件所产生的含量峰值与背景值形成鲜明的对照, 并易于从背景中识别出来, 这类峰值事件具有良好的 HIRES 对比潜力<sup>[23~26]</sup>。

痕量元素峰值事件：陨击事件、深位火山喷发、深部地幔喷气、非补偿沉积引起的浓缩作用、生物的富集作用、海洋化学或者沉积物的再循环等各类过程，都可能导致沉积物中的元素铍以及其它痕量元素的异常丰度<sup>[17,27,28]</sup>。海水柱中氧的衰竭过程也可能导致磷、锰、铀等元素的相对富集。这类痕量元素含量曲线所呈现的明显高出于背景值的峰，均可被视为事件产物用来进行区域性 HIRES 对比。

轻稳定同位素峰值事件：碳酸盐沉积物，尤其是海洋生物壳体中的轻稳定同位素  $\delta^{18}\text{O}$  和  $\delta^{13}\text{C}$ ，其含量变化准确地记录了短期的古海洋学事件和古气候事件。Shackleton 和 Opdyke<sup>[29,30]</sup> 基于对加勒比海海域及赤道大西洋更新统岩芯中的  $\delta^{18}\text{O}$  值的分析对比，建立了 22 个受冰期-海平面升降控制的全球等时的阶，反映了 21~100ka 的 Milankovitch 旋回特征，具有极大的 HIRES 价值。对美国中西部盆地与 Senonian - Turonian 之交的缺氧事件相关的  $\delta^{13}\text{C}$  和  $\delta^{18}\text{O}$  所作的详细分析，其结果也表明了类似的结论<sup>[24,25]</sup>

有机碳和碳酸盐碳峰值事件：沉积物中有机碳和碳酸盐碳的含量变化，可以看作反映海洋学事件、古气候事件和构造事件的短期信号。诸如：CCD 深度的改变、上涌流事件、浮游生物产率事件、大洋缺氧事件等等，均可能导致碳峰值的出现。

团块及结核带：具有区域性连续展布的碳酸盐及二氧化硅团块、透镜体和结核带，通常被看作短期加氧事件的产物，因而也可以作为事件沉积物标志层用来进行区域性 HIRES 对比；连续分布的燧石层可能部分地反映了异常高浓度生物成因（海绵、放射虫等）的二氧化硅富集事件。

### 2.3.3 生物事件单位

Walliser<sup>[31]</sup> 将全球性生物事件概括为四类：革新事件 (innovation event)、辐射事件 (radiation event)、播散事件 (spreading event) 和绝灭事件 (extinction event)。这些事件代表了全球环境体系的改变在生物界所产生的反映。

演化事件的基础是隔离成种作用 (allopatric speciation)、点断成种作用 (punctuated speciation)、宏观突变 (macromutation) 和宏观演化 (macroevolution)，这些是新物种快速形成的一般机制。如果成种事件之后紧随着浮游（或自游）成体的播散事件，或者浮游营养幼体漂流事件 (planktotrophic larval drift event)，则可能导致区域性的乃至全球规模的快速 (<100ka) 播散事件。由于生态系中不同的谱系对同一个广谱生态压力所产生的反应时间上的差异，有可能出现连续的点断演化事件，从而形成较密集的生物事件界线，蕴涵着极大的 HIRES 对比潜力。

绝灭事件指的是一个物种或一组物种在极短 (<100ka) 的时间内全地理范围的绝灭。它与背景绝灭 (background extinction) 的区别在于后者（背景绝灭）的末现面 (LOD) 通常表现为穿时面。显生宙时期，曾发生过多次区域的乃至全球规模的突发性绝灭事件，Frasnian - Famenian 之交的以及白垩—第三纪之交的群集绝灭便是这类全球绝灭事件的著名实例。

生态地层学事件包括群落结构突变事件、居群扩张事件、居群爆发（顶峰带）事件，物种的移入 (immigration event) 和移出 (emigration event) 事件、海底拓殖事件、产率事件以及群集死亡事件，等等。环境因素的突变（例如缺氧事件、火山灰事件、环境污染事件）可能诱发群集死亡事件；也可能诱发浮游生物产率事件，或二者同时发生，例如，与大部分物种的群集死亡事件同时，可能伴随着某一类灾变种 (disaster species) 的爆发，从而形成所谓单种组合 (monospecific assemblage)，这类事件面常具有区域性的 HIRES 对比潜力。我国渤

海湾含油气盆地地下第三系沙河街组非海相层序中出现的不寻常的颗石藻(*Reticulofenestra*)纹层,可以看作这类事件的典型一例。

#### 2.3.4 复合事件

从更普遍意义上说,地层序列中所保存的诸多事件,就其性质来说更多的属于复合事件。最富有戏剧性的实例之一便是白垩—第三纪之交的界线粘土层所代表的陨击事件。界线粘土层自身是导源于陨击尘降物所形成的物理事件沉积物;粘土岩中高出背景值达 $10^4$ 倍的痕量元素铱,以及其它贵金属元素的异常丰度峰,无疑又是元素化学事件的鲜明标志;陨击事件的直接后果——海洋生物群尤其是有孔虫和超微浮游植物群的群集绝灭,则是典型的生物群集绝灭事件。如本文2.1节所述,大系统的摄动(perturbation),Milankovitch气候旋回效应,都是诱发地球子系统旋回式或幕式事件的机制。复合事件通常具有全球规模,因此,它构成全球性HIRES对比的基础,从而具有更普遍的HIRES意义。

### 2.4 全息地层对比——建立全球年代地层学矩阵

全息地层对比的目标,是建立高分辨率的全球年代地层学矩阵。HIRES年代框架的建立应当从最详尽的剖面描述开始。所选择的各剖面应跨越不同的相域和不同生物地理带,以保障最大限度地开发出全部可能存在的各类——包括生物地层学、磁性地层学、化学地层学、层序地层学、生态地层学以及气候地层学等等——地层单位,并对它们空间上的展布范围和时间上的相对等时性加以充分验证。Kauffman<sup>[26,32]</sup>曾详细地描述过HIRES的数据采集和研究方法,概括起来包括:将被选择研究的剖面清理到新鲜基岩并进行厘米级的详尽描述;以10~50cm的间距进行古生物样品和岩石地球化学样品的采集;对全部样品进行实验室分析,包括生物地层事件的分析和化学地层学分析(有机碳、 $\delta^{13}\text{C}$ 、 $\delta^{18}\text{O}$ 、 $\text{CaCO}_3$ 、痕量元素丰度等);将全部分析数据标绘到详细的地层剖面图上,编制区域性的复合事件地层综合剖面;对从剖面中提取出来的全部事件面或事件段进行交叉验证,以便确认其空间展布范围和时间上的相对等时性;建立HIRES地层信息数据库,编制盆地范围的等时年代线矩阵。

## 3 全息地层学研究实例

尽管轨道变化诱发全球气候波动的具体机制还有待更深入的研究,但气候变化的全球性,以及由此所产生的周期性沉积物所具有的等时性(区域甚至全球范围)和侧向连续性则是毋庸置疑的,因而可以用来进行盆内和盆际以至全球范围的HIRES对比。

### 3.1 精确的年代地层对比

亚利桑那州东南部的Horquilla灰岩中发育有较好的韵律层,它们是冰川性海平面波动的产物,平均周期约为352ka。对中部大陆晚古生代旋回层的研究已经证实,100m级的海平面波动极可能是轨道作用下的气候变化引起的。据此,Connolly和Stanton<sup>[33]</sup>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,他们将上述两剖面与相距1500km的中部大陆(Kansas州)的另一条剖面进行盆际对比。尽管两个盆地的构造背景、沉积环境、沉积物供给等均不相同,中部大陆剖面主

要发育海侵的及非海相的碎屑沉积;而 Pedregosa 盆地中的 Horquilla 灰岩段则主要由海退的海相碳酸盐岩构成,但利用旋回对比使三条剖面上的各主要界线,以及特定的岩性标志层均得到很好的对比,而且其精度高于现行的生物地层学的对比。此外,通过旋回层的对比还较为精确地确定了 Pedregosa 盆地内 Desmoinesian 阶与 Missourian 阶的界线<sup>[33]</sup>,在此之前,这一界线由于缺乏特征的有孔虫资料一直未能准确的研究。

### 3.2 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的影响,这喻示着天文学理论也许能提供用来测定古老沉积物年龄的更精确的时钟。1992年, Berger<sup>[34]</sup>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,结果表明,这几个主要周期在地史时期变化甚微,可以认为是稳定的。据此, de Boer & Wonders<sup>[14]</sup>提出了一个称为“Gilbert 单元”的地层学单位,代表 21ka 的时间段进行计时。

Kate 和 Sprenger 及 Sprenger 和 Kate<sup>[35]</sup>先后报道了他们对西班牙东南部 Caravaca 地区下白垩统贝利阿斯阶深海一半深海韵律层的研究结果。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,并对测试结果进行时间序列分析及频谱分析,分析结果表明,这一灰岩/泥灰岩韵律层是受米氏周期控制产生的,各个频率峰分别与岁差周期及长、短偏心率周期相对应。据此,他们得出结论:这段地层的时间跨度在 1.1 至 1.5Ma 之间,甚至可以进一步缩小至 1.1~1.2Ma 之间<sup>[35]</sup>,这一结论比现行的地质年表所估测的延续时间(1.1~2.9Ma 之间)要精确得多。他们还由此推断,整个贝利阿斯阶的延续时间为 2.9~3.1Ma。这一数据比现行地质年表上该阶的延续时间短,但与 Haq 等的估算值相吻合。

## 4 结语

(1)全息地层学(本文所介绍的全球旋回地层学)集当代地层学各个分支——生物地层学、磁性地层学、生态地层学、事件地层学、化学地层学、层序地层学、气候地层学,以及现代沉积学——理论和最新进展之大成,以全新的思路和视角重新审视地层记录中所保存的全部信息,全方位地开发和提取出蕴含于沉积序列中的全部地层学信息,据以建立一个数据库式的 HIRES 年代矩阵;全息地层学扬弃并冲破了传统地层学狭窄的理论外壳,把地层研究的分辨率提高到传统方法无法比拟的水平,其分辨率可望达到比生物地层带平均延限精确 10~50 倍的水准。全息地层学的出现给地层学这门古老学科带来了新的生机和希望。

(2)以全球动力地层学的思维模式为特色的全息地层学,开辟了将地层学研究成果直接服务于盆地分析和油气资源勘探的广阔前景。全息地层学为盆地分析和重建三维动力学演化过程提供了一个真实的时间矩阵。全息地层学具有学术起点高、应用范围广的时代特征。

(3)我国地域辽阔,地层发育齐全。几十年来,我国几代地层学家已经在地层学的传统领域中取得了举世公认的大量成果;然而,与当今发达国家相比,我国地层学研究还存在着明显的差距。鉴此,密切跟踪当代地层学研究的前沿领域,冲破传统思想的束缚,启动学术起点高的研究课题,是我国地层学界所面临的新的挑战和使命。

## 参 考 文 献

- 1 姜衍文, 吴智勇. 第三纪年代地层学进展. 石油与天然气地质, 1992, 13 (2): 182~190
- 2 姜衍文, 吴智勇, 王泽中. 深海等深流沉积研究进展. 西安. 西北大学出版社, 1993. 1~4
- 3 Kauffman E G, Elder W P, Sageman B B. High-resolution correlation: a new tool in chronostratigraphy. In: Einsele G *et al.*, ed. Cycles and events in stratigraphy. Berlin Heidelberg: Springer-Verlag, 1991. 795~819
- 4 Hedberg H D, ed. International stratigraphic guide. New York: Wiley, 1976. 200
- 5 Snelling N J, ed. The chronology of the geological record. Blackwell Scientific Publications, 1985. 261~265
- 6 Haq B U, Hardenbol J, Vail P R. Chronology of fluctuating sea level since the Triassic. *Science*, 1987, 235: 1156~1167
- 7 Perlmutter M A, Matthews M D. Global cyclostratigraphy—a model. In: Cross T A, ed. Quantitative dynamic stratigraphy. Englewood: Prentice-Hall, 1989. 233~260
- 8 徐道一. 地层的天文对比方法. 见: 吴瑞棠, 张守信等. 现代地层学. 武汉: 中国地质大学出版社, 1989. 148~169
- 9 吴智勇, 姜衍文. 米兰科维奇旋回及旋回沉积作用. 国外油气科技, 1994, 38 (1): 1~5
- 10 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: Berger A *et al.*, eds. Milankovitch and climate, part I. Riedel: Hingham, 1984. 191~222
- 11 Fisher A G, Schwarzacher W. Cretaceous bedding rhythms under orbital control?. In: Berger A *et al.*, eds. Milankovitch and climate, part I. Riedel: Hingham, 1984. 163~176
- 12 Hart M B. Orbitally induced cycles in the chalk facies of the United Kingdom. *Cretaceous Research*, 1987, (8): 335~348
- 13 Anderson R Y. Orbital forcing of evaporite sedimentation. In: Berger A *et al.*, eds. Milankovitch and climate, part I. Riedel: Hingham, 1984. 147~162
- 14 de Boer P L, Wonders A A H. Astronomically induced rhythmic bedding in Cretaceous pelagic sediments near Moria (Italy). In: Berger A *et al.*, eds. Milankovitch and climate, part I. Riedel: Hingham, 1984. 177~190
- 15 Li Y Y, Lerche I, Perlmutter M A. Global cyclostratigraphy: a model of carbonate growth patterns. *Marine and Petroleum Geology*, 1993, (10): 620~631
- 16 Alvarez L W, Alvarez W, Asaro F *et al.* Extraterrestrial cause of Cretaceous-Tertiary extinction. *Science*, 1980, 208: 1095~1108
- 17 Alvarez W, Kauffman E G, Surlyk F *et al.* Impact theory of mass extinction and the invertebrate fossil record. *Science*, 1984, 223: 1138~1141
- 18 Izett G A. The Cretaceous-Tertiary (K-T) boundary interval, Raton Basin, Colorado and New Mexico, and its content of shock-metamorphosed minerals: implications concerning the K-T boundary impact theory. USGS Fed. Center, Denver, Openfile Rep., 1987. 125
- 19 Bohor B F, Triplehorn D M, Nichols D J, *et al.* Dinosaurs, spherules and the “magic” layer: a new K-T boundary clay site in Wyoming. *Geology*, 1987, 15: 896~899
- 20 Tarling D H. Paleomagnetism. London: Chapman & Hall, 1983. 379
- 21 Kolata D R, Frost J K, Huff W D. K-bentonites of the Ordovician Decorah Subgroup, Upper Mississippi Valley: correlation by fingerprinting. *Illinois Geol. Surv. Circ.*, 1986, 537: 30
- 22 Pisias N G. Paleoceanography of the Santa Barbara Basin during the last 8000 years. *Quaternary Research*, 1978, 10: 366~384
- 23 Scholle P A, Arthur M A. Carbon-isotopic fluctuations in Cretaceous pelagic limestones: Potential stratigraphic and petroleum exploration tool. *AAPG Bull.*, 1980, 64: 67~87
- 24 Pratt L M, Threlkeld C N. Stratigraphic significance of  $C^{13}/C^{12}$  ratios in mid-Cretaceous strata of the western Interior Basin. In: Scott D F *et al.*, eds. Mesozoic of middle North America. *Can. Soc. Petrol. Geol. Mem.*, 1984, 9: 305~312

- 25 Pratt L M. Isotopic studies of organic matter and carbonate in rocks of the greenhorn marine cycle. In: Pratt L M *et al.*, eds. Fine-grained deposits and biofacies of the Cretaceous Western Interior Seaway; evidence for cyclic sedimentary processes. *SEPM fieldtrip guidebook*, 1985, 4: 38~48
- 26 Kauffman E G. Concepts and methods of high-resolution event stratigraphy. *Annu. Rev. earth Planet Sci.*, 1988, 16: 605~654
- 27 Walters L J, Jr, Owen D E, Henley A L, *et al.* Depositional environments of the Dakota Sandstone and adjacent units in the San Juan Basin utilizing discriminant analysis of trace elements in shales. *J. Sed. Petrol.*, 1987, 57 (2): 265~277
- 28 Orth C J, Attrep M, Jr, Mao X Y, *et al.* Iridium abundance maxima in the Upper Cenomanian extinction interval. *Geophys. Res. Lett.*, 1988, 15: 346~349
- 29 Shackleton N J, Opdyke N D. Oxygen isotope and paleomagnetic stratigraphy of equatorial Pacific core V28-238; oxygen isotope temperatures and ice volumes on a  $10^5$  years and  $10^6$  years scale. *Quaternary Research*, 1973, 3: 39~55
- 30 Shackleton N J, Opdyke N D. Oxygen isotope and paleomagnetic stratigraphy of equatorial Pacific core V28-239, Late Pliocene to Latest Pleistocene. *Geol. Soc. Am. Memoir*, 1976, 145: 449~464
- 31 Walliser O H. Towards a more critical approach to bio-events. In: Walliser O H, ed. Lecture notes in earth science, 8, global bio-event. Berlin, New York: Springer, 1986. 5~21
- 32 Kauffman E G. High-resolution event stratigraphy: regional and global Cretaceous bioevents. In: Walliser O H, ed. Lecture notes in earth science, 8, global bio-events. Berlin, New York: Springer, 1986: 279~335
- 33 Connolly W M, Stanton R J, Jr. Interbasinal cyclostratigraphic correlation of Milankovitch band transgressive-regressive cycles; correlation of Desmoinesian-Missourian strata between southeastern Arizona and the midcontinent of North America. *Geology*, 1992, 20 (1): 900~1002
- 34 Berger A, Loutre M F, Laskar J. Stability of the astronomical frequencies over the earth's history for paleoclimate studies. *Science*, 1992, 255: 560~565
- 35 Sprenger A, Kate W G T. Orbital forcing of calcilutite-marl cycles in southeast Spain and an estimate for the duration of the Berriasian Stage. *Geol. Soc. Amer. Bull.*, 1993, 105: 807~818

## HOLOSTRATIGRAPHY: A NEW CHALLENGE

Jiang Yanwen   Zhu Zhongde

Xiao Chuantao   Wu Zhiyong

(Jiangnan Petroleum Institute, Jingsha, Hubei)

### Abstract

It is believed that the traditional methods of stratigraphy are getting approach to their effective limits of resolution theoretically. Holostratigraphy, a newly emerged global cyclic stratigraphy, marks a new milestone for the development of stratigraphy. With its completely new thoughts, it extracts and develops in all aspects all sorts of stratigraphic information contained in sedimentary records. The present paper briefly introduces the theoretical contents, study thoughts, actual substance and methods of the holostratigraphy.