

受限陆表海的海侵模式

何起祥 业冶铮 张明书 李浩

(地矿部海洋地质研究所, 青岛)

摘要 突发性海侵是受限陆表海的特征之一, 受海平面升降引起的峡口启闭控制, 多发生在板块的活动边缘。突发性海侵常有相序缺失, 常见海陆相交互层; 海相层在大范围内分布稳定, 无明显相变, 具有良好的等时性, 可以作为区域对比的标志层。受限陆表海的突发性海侵, 有利于油气的生成和聚集。

主题词 受限陆表海 突发性海侵 古海洋学门槛 海平面变化

第一作者简介 何起祥 男 53岁 研究员 沉积学

引言

海侵、海退是地质学的基本概念。自从莱伊尔的现实主义原理问世以来, 人们一直在坚持对现代海湾过程进行观察, 以期建立海侵、海退的基本模式。

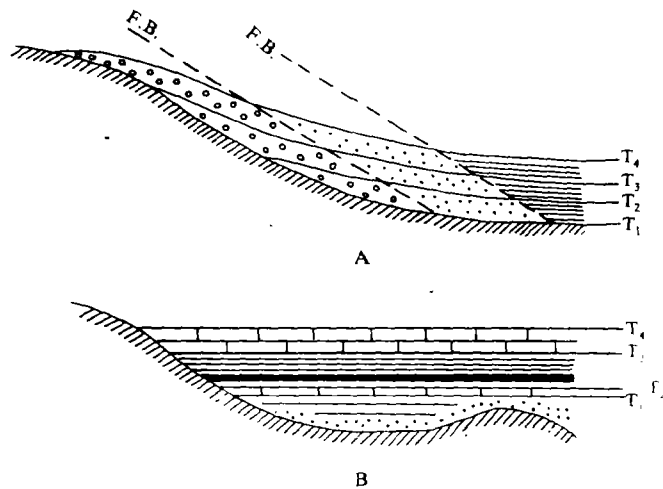
基于这些观察, 所谓海侵被定义为海水逐渐地, 一般来说也具缓慢地, 浸到陆地上的—种地质过程。反映在沉积物的分布规律上, 可以看到海相沉积物由海及陆的各相带依次向陆地方向超覆, 在纵向上则表现为由下而上, 由陆相而滨海相而浅海相这样的纵向序列。反之, 海退表现为海水的逐渐退却或陆地环境依序向海洋推进。在纵向序列上, 由下而上可以看到由浅海相变为滨海相再变为陆相的相变关系。

一般而言, 海侵、海退是区域性的地质现象, 与全球性的海平面变化有关 (Donovan and Jones, 1979)。根据一个点的局部纵向序列贸然作出海侵、海退的结论具非常危险的。局部岸线的变迁或沉积物供应量的变化, 都可以引起纵向序列的改变。因此, 沉积学家在讨论纵向序列时, 宁可应用进积 (Progradation) 和退积 (Retrogradation) 的概念, 而避免在资料不足的情况下妄谈海水的进退。所谓进积序列, 是指陆相沉积物向海域推进形成的序列, 一般由下而上由细变粗, 或由浅海相而滨海相而陆相。所谓退积序列是指陆相沉积物后撤形成的序列, 一般表现为由下而上沉积物由粗变细, 或由陆相而滨海相而浅海相。海退序列是一种进积序列, 但进积序列却并不一定反映海退, 甚至也可以形成于海侵过程中。退积序列与海侵的关系亦然。

莱伊尔的科学哲学统治地学界一百余年, 近一、二十年来受到了新灾变论或突变论的挑战, 于是有事件地质学的诞生或突发式演化理论 (Episodic evolution 或 Punctuated evolution) 的提出。地质事件是在短时间内以极高速度进行的地质过程, 往往要九万年、几十万年、几百万年乃至几千万年才能出现一次。在人类历史上大多没有记载, 也就超出了莱伊尔的均变论的认识范围。这种新的科学哲学弥补了莱伊尔的不足, 得到了大多数地质学家的承

认。地质历史上确实有一些当代无法见到、人类无缘经历的现象，难以用将今论古的方法去认识，而只能用基本的自然规律（包括物理的和化学的）来解释。

用事件演化的思想和方法去认识地质现象，要比承认它的合理性困难得多。在沉积学中，有一个长期使人困惑的问题，那就是在古代沉积物中看到的许多海侵序列，并不象教科书中描述的那样，是一种海相性逐渐增加的渐进序列（当然并非没有），而往往是浅海相突然大面积覆盖在陆相沉积物之上，与下伏沉积物之间有明显的相序缺失，海相层有极佳的等时性（图1），表现出突发事件的特点。这就是人们常说的快速海侵。用均变论的理论和方法是很难加以解释的。



A.理想的渐进型海侵序列，少见，往往分布不广；B.常见的突发型海侵序列

图1 地层纪录中的两种不同的海侵序列

A. Ideal progressively transgressive sequence, uncommon, not widely distributed;

B. Episodic transgressive sequence.

Fig. 1 Two types of transgressive sequence in geological records.

一、地中海干化模式的启示

许靖华（1972）提出的地中海干化模式，第一次用事件地质学的观点解释了这种快速海侵现象，为思考这一问题提供了重要的启示。

地中海周围，广泛发育中新世晚期米辛尼亚期的蒸发岩沉积，在西西里和亚平宁山东段均有出露。研究工作从一百多年前持续到二次大战以后（Meyer-Eymer, 1867, Mottura, 1871-2, Ogniben, 1975），都认为米辛尼亚期的蒸发岩只不过是一种盆地边缘沉积，在盆地内部并不连续。后来的地震调查证明，地中海底也有巨厚有连续的蒸发岩存在（Fahlquist and Hersey, 1969, Ryan, Hsu *et al.* 1973）。但是许多人认为，这些蒸发岩是中生代的。没有人敢于设想，中新世的蒸发岩会形成于几千米深的地中海盆地。

深海钻探（1970, 1975）证实，地中海底埋藏的蒸发岩确属米辛尼亚期，与西西里的蒸

发岩时代相同。其厚度从边缘的数米到盆地中心的 2000 米以上,由石膏和岩盐组成 (Ryan, Hsu *et al.*1973)。其中有叠层石、鸡纲硬石膏等浅水沉积标志。在空间上,呈牛眼状分布 (图 2),是典型的萨布哈沉积。

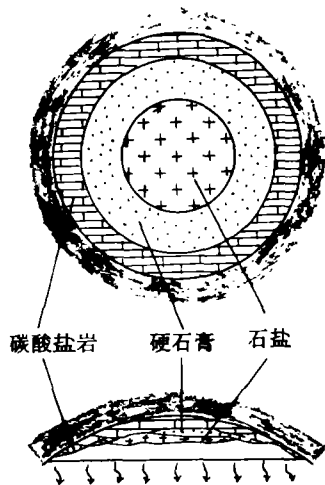


图 2 封闭盆地蒸发岩的牛眼状分布 (据 Sehmalz, 1970)

Fig.2 The bull's-eye pattern is typical of deposition in completely enclosed basins (from schmalz, 1970)

这些萨布哈沉积与深海相的泥灰岩、重力流沉积相间互。二者截然接触,中间并无过渡沉积物。

许靖华用直布罗陀海峡的启闭来解释这一套沉积组合,取得了巨大的成功。

中新世时,地中海是深度超过 2000m 的近乎封闭的深盆地,以直布罗陀海峡为门槛与大西洋相通。中新世晚期,南极开始形成大陆冰盖,导致海平面逐渐下降。一旦海面低于直布罗陀峡口,地中海就成了一个孤立的蒸发盆地,直至蒸干形成盐类沉积。

地中海蒸发出来的水量,又通过大气降水的形式返回大洋,并引起海平面的升高。据 Berger 和 Winterer (1974) 的估计,地中海的水量全部转至大洋,可以使全球海平面上升 10m。因此,海平面升降引起的峡口启闭,导致了海陆(蒸发岩)交互相沉积截然接触。峡口的启闭是快速的突发事件,由于这种机制形成的沉积序列,相界面就是等时面,见不到逐渐过渡的海侵序列,而只能见到海水逐步蒸干形成的海退序列。

以地中海为实例提出的干化深盆地模式,为我们提供了一个解释海侵过程的范例。这种快速的大面积海侵,大多数发生在以岛屿和峡口与世界大洋分开的受限陆表海。根据许靖华 (1981) 的意见,美国密西根盆地志留系蒸发岩、欧洲二叠系蔡希斯坦统和四川盆地三叠系的蒸发岩,均可用这一模式解释。

如果不是干旱气候又不是深盆地,那么由峡口控制的半封闭海域会出现什么样的情况呢?

二、实例分析

1. 黄渤海的新生代沉积

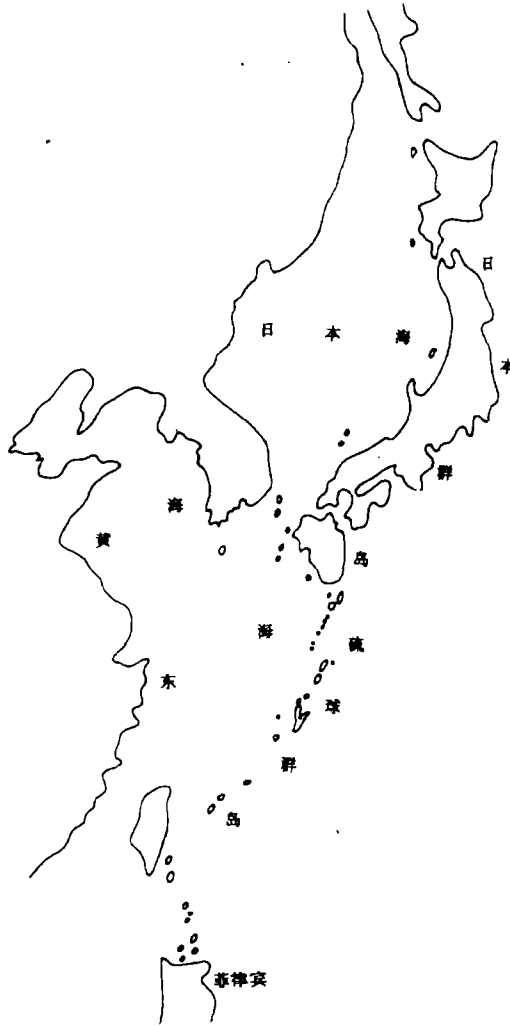


图3 中国东部海域的现代环境

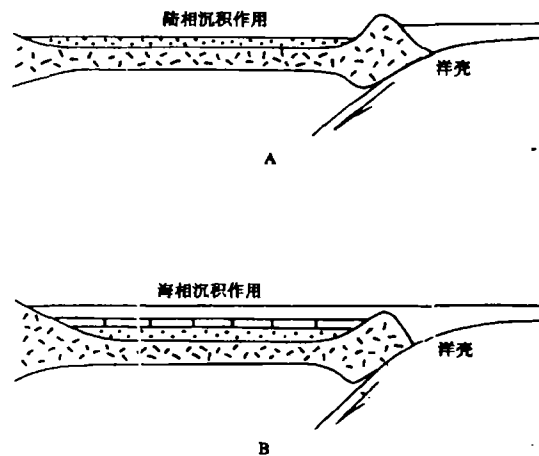
Fig.3 Present environments of the offshore area of the East China Sea

中国大陆以东的广大海域在新生代是一个受限的半封闭盆地（图3）。根据 Wageman *et al.* (1968) 和中科院海洋研究所的调查，中国东海陆架海在上新世末期以前，存在着一条福建-岭南隆起带，挡住了带外海水的入侵，使其内侧的黄海盆地和渤海盆地，长期处于陆相沉积阶段（秦蕴珊等，1985）。所谓福建-岭南隆起带实际上就是一个分隔黄渤海盆地与外海的古海洋学门槛。

更新世早期, 由于福建-岭南隆起带的持续下沉和世界洋面暂时性抬升的共同作用, 东海外陆架的海水呈“倒灌式”快速漫入黄海、渤海盆地。其前锋可能达到北京北部的山前平原区(秦蕴珊等, 1985)。这种“倒灌式”的海侵, 是短时期内发生的突发事件, 因此具有很好的等时性。在这种海侵层中, 往往看不到经典的海侵序列, 而是表现为浅海相直接覆盖在陆相沉积物之上。虽然在有些地方的海相层中也可以见到极浅水的沉积标志, 但并不代表滨海环境, 而是受盆底地形控制的浅水高能带的产物。

早更新世海侵以后, 黄渤海区并未保持海洋环境, 而是一部沧海桑田频繁交替的历史。例如里斯冰期最盛期曾形成广泛的河湖相沉积。说明由于海平面的下降, 海水曾退出本区。以后海水进退频繁, 冰期海退, 间冰期海侵。几乎所有的海侵, 如沧州海侵(108, 000-102, 000 年 B.P.)、渤海海侵(70, 000 年 B.P.)、献县海侵(32, 000-29, 000 年 B.P.) 及全新世海侵等, 都与间冰期或亚间冰期全球性海平面上升有关。它们在极短的时间内席卷广大地域, 表现了明显的突发性。

中国东部受限半封闭盆地的形成, 与太平洋板块的俯冲有关。在板块的活动边缘, 由于板块俯冲形成的岛弧, 是分开弧后盆地和大洋的天然古海洋学门槛。前者的沉积作用无疑将受到海平面变化引起的峡口启闭的制约(图 4)。



A. 低海面时期, 峡口关闭; B. 高海面时期, 峡口开放

图 4 板块活动边缘弧后盆地的沉积作用模式

A. In stage of low sea level, gateway closes; B. In stage of high sea level, gateway opens.

Fig. 4 Sedimentation model of the back-arc basin along the active margin of a plate.

2. 北方石炭纪海侵沉积

我国北方的中石炭统称为本溪统, 大体分布在北纬 36° — 41° 之间。主要为砂页岩沉积, 夹煤线。并夹灰岩多层。其标准剖面在辽宁省本溪市牛毛岭上, 共厚 145m。上段含灰岩 4 层, 由上而下分别为牛毛岭灰岩、本溪石灰岩、小峪石灰岩、蚂蚁石灰岩, 单层厚度均小于 1m, 但横向上极为稳定, 几乎在全区均可见及。如辽东半岛五湖嘴的三凌灰岩、河北唐山的唐山灰岩、山东章邱的徐家庄灰岩、山西阳泉的平定灰岩、太原西山的畔沟灰岩、大

同一带的口泉灰岩、保德盆地的张家沟灰岩、甘肃的羊虎沟灰岩、江苏贾汪的泉旺头灰岩等，均可与之对比。灰岩中会有大量窄盐性海相化石。在牛毛岭剖面上，已发现 科 17 属 60 种及 17 变种；腕足类 13 属 33 种；头足类 1 种；腹足类 9 属 16 种；珊瑚 6 属 9 种；瓣鳃类 7 属 7 种。生物分异度高，当为正常浅海环境无疑。灰岩在纵向上无相带分异。其岩性主要为含生物骨屑的泥晶灰岩。

华北上石炭统称太原统。其标准剖面在太原西山月明沟。为由黑色炭质页岩、煤层、石英砂岩组成的煤系地层。厚约 110m。其中夹有海相灰岩 4 层，由上而下分别称为东大窑灰岩、斜道灰岩、毛儿沟灰岩和庙口灰岩。并夹有 6 层主要煤层。灰岩中含有丰富的 科、腕足类、珊瑚、海百合、头足类、腹足类及瓣鳃类化石，其生物分异度不在本溪统灰岩之下。

过去都用滨岸成煤环境来解释我国北方中上石炭统的海陆交替沉积相。但是有许多现象难以用这一模式解释，如海相层在大区域内的稳定性和等时性；海相灰岩的典型的浅海相特征；与上下沉积物在相序上的不连续性等。

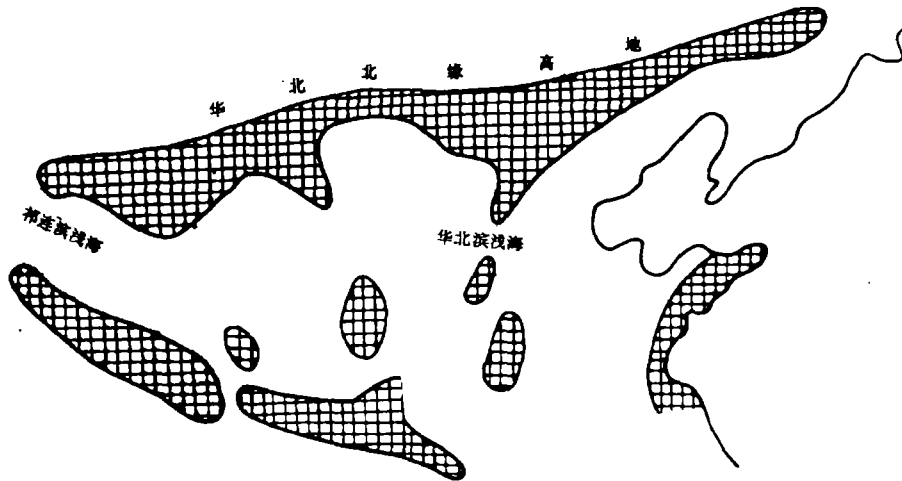


图 5 中晚古炭世华北古地理图 (据王鸿祯等, 1985)

Fig.5 Paleogeographicmap of North China in Middle-late Carboniferous.

中晚石炭世时，我国北方为一岛屿环绕的典型受限陆表海环境。北有华北北缘高地，南有秦淮古陆，东有胶辽古陆（图 5），中间是地势平坦的华北低地。海平面较低时，诸古陆围绕的华北低地与海隔绝，气候温湿，是良好的成煤环境。海平面升高时，海水冲过峡口淹没低地，形成浅海相灰岩沉积。中石炭世，东北峡口打开，海水由太子河流域向西南浸漫。淹没范围取决于海平面的高低和地形的起伏。因此沉积厚度由东北向西南减小，所夹灰岩层也逐渐减少。太子河流域，本溪统厚 200-300m 左右，含海相灰岩 4—6 层；至河北唐山、开平一带厚度减至 110—170m，含海相灰岩 2—3 层。至山西太原，厚度不及百米，夹灰岩 1—2 层，并缺失下部 *Eostaffella* 化石带，说明晚期海侵范围扩大或海平面相对上升幅度较大。至河北峰峰、武安、内丘、临城一样，本溪统仅厚 5—50m，应属地形较高的地区。太原统沉积时，南部峡口打开，海水由南向北倒灌，因此沉积厚度由南向北减少，海相灰岩夹

层亦相应减少。南部的山西沁水盆地以至淮南地区，沉积厚度最大，灰岩夹层多达 6—12 层，而北部的太子河流域，北京西山、山西大同等地，基本上为陆相沉积（王鸿祯等，1985）。海侵具有突发事件的性质。

3.四川盆地晚二叠世沉积

中国南方在晚二叠世时为一多岛海域（图 6），该海域的北方，是以华北地台为主体的陆地，地形夷平，广泛发育河湖相的陆屑沉积，是陆源物质的主要供给地。康滇古陆位于本区西部，分隔了甘孜—理塘边缘海与上扬子浅海，二者在若尔盖一带有峡口相通。该海域东部，由云开古陆、江南古陆和闽浙古陆构成的巨大岛屿群成为华南陆表海的东部屏障。本区南部与广海相通，但口门附近也有岛屿散布，成为分隔华南海域与外海的海洋学门槛。

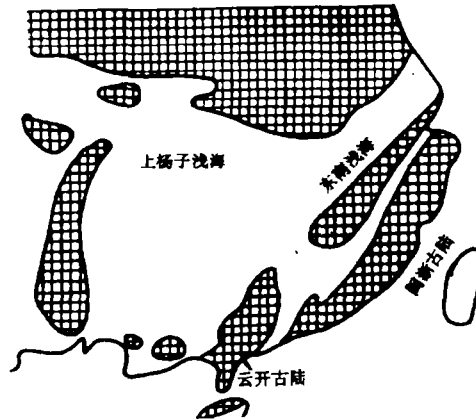


图 6 中国南方晚二叠世时的古地理格局（据王鸿祯等，1985，略有修改）

Fig.6 Sketch map showing the paleogeographic pattern of South China in Late Permian.

(modified from Wang Hongzheng *et al.*1985)

区内地形，以由深水凹陷分割的碳酸盐台地为特征。以四川盆地为例，晚二叠世早期，滇东、川西南、川中等地接近海平面；川东、川北为较深水洼地。晚二叠世晚期，川北、川西北等地出现较深水沉积；川中、川东及川西南部分地区成为浅海碳酸盐台地。

四川盆地的晚二叠世地层，可以根据沉积特征划分为若干同期异相的地层单位（表 1）。

表 1 四川上二迭统地质划分对比表

Table 1 The division and correlation of Permian strata in Sichuan Basin

分区组合 地层	滇东	黔西北	川中	川东	川西北	川北
	川西	川西南		鄂西		
	1		2	3		4
长兴阶	宣威组		长兴组			大隆组
吴家坪阶			龙潭组	吴家坪组		
	峨眉山玄武岩					

大体上可以分为四种组合类型。

(1) 陆相含煤碎屑沉积组合

主要分布在川西和川西南,以宣威组为代表。上二叠统不分,为一套以河流相和湖相为主的碎屑岩系,含煤。向东或向西远离古陆,上部出现海相夹层或过渡为海陆过渡相,厚度由数米至300m不等。

(2) 浅海台地相碎屑岩-碳酸盐岩组合

下部为海陆交互相的含煤沉积,上部为浅海碳酸盐岩系,构成海侵序列。主要分布在川中及川西南。下部称龙潭组,以湖沼相砂页岩为主,夹煤层,含 *Gigantopteris* sp.等植物化石。海相夹层为薄层灰岩或硅质岩,含腕足类、瓣鳃类、苔藓虫及三叶虫化石。有的地方如北碚含少量鹦鹉螺 *Lopingoceras*, *Foordiceras* 等。厚度4-370m。

上部碳酸盐地层称长兴组。岩石色暗,时含白云质,多燧石结核及燧石层,时夹黑色硅质粘土岩,厚度由数米至150m不等,一般在60-100m左右。生物化石以有孔虫、珊瑚、腕足类、苔藓虫、瓣鳃类等动物为主。

(3) 浅水台地相碳酸盐岩组合

主要分布在川东、鄂西及川西北部分地区。其下部称吴家坪组,上部称长兴组。长兴组的特征一如前述。吴家坪组一般可分为两段,下段为海陆交互相砂页岩,夹煤层或薄层硅质岩,厚度一般不超过20m,上段为灰岩、含燧石灰岩,时夹硅质层,厚10-380m不等,一般为30-70m。所含化石以腕足类为主,含珊瑚、瓣鳃类、苔藓虫、三叶虫等。在建始、黔江等地含菊石 *Anderssonoceras*, *Pseudogastriceras*, *Planodiscoceras*, *Foordiceras* 等。

(4) 较深水盆地相碳酸盐岩及硅质岩组合

主要分布在川北及川西北部分地区。下部称吴家坪组,其特征同前,唯含煤沉积减少,硅质沉积增多。上部称大隆组,厚度数十米至200m。多硅质岩及硅质灰岩,并夹瘤状灰岩(金若谷1989)。其生物面貌亦与长兴组有异。除珊瑚、腕足类、苔藓虫、瓣鳃类等浅水相化石外,常含大量菊石如 *Pseudotirolites*, *Pseudogastriceras*, *Altudoceras*, *Imitoceras*, *Strigoniatites* 等。硅质岩中含放射虫及海绵骨针。属非补偿的较深水沉积。

在上述沉积组合中,常见深水沉积与极浅水沉积间互。在吴家坪组中,有的地方见菊石灰岩或放射虫硅质岩与煤层共生。海相层无渐进海侵沉积序列。这些特征只能用海平面的变化及峡口的启闭来解释。所谓峡口,大多是高于同期海底的水下隆起,因而也就成为易于启闭的古海洋学门槛。海平面升高时,海水涌入,与外海交流通畅,其环境条件与开阔海无异;海平面降低时,峡口往往露出水面而使受限海盆变为与外海隔绝的封闭盆地,从而导致滞流还原环境,有利于有机质的聚集、保存和转化,因此这类盆地在许多地区都是很好的生油盆地。

讨 论

1. 海侵和海退是最基本的地质现象。地质纪录中看到的海侵现象, J.R. Curray (1964) 根据海平面相对上升的速度和沉积速率的高低分为两种基本类型,即普通的超覆和不连续的海侵。但他并没有结合地质背景对这两种类型进行深入的讨论。

在地质纪录中,确乎存在着两种不同的海侵序列,教科书上描述的往往只是其中的一

种, 即由下而上沉积物由粗变细或由滨岸沉积逐渐过渡为浅海相乃至较深海相这种渐进型序列。但更常见的却是突然侵漫式的海侵沉积, 相序上有明显的不连续现象, 看不到海水逐渐侵进的沉积纪录。后一种海侵现象标志着一种快速突发的海水侵漫事件, 因而可以称为事件型海侵 (event transgression) 或者突发型的海侵 (episodic transgression)

渐进型海侵 (progressive transgression) 是可以从现代过程观察和推论的, 符合莱伊尔的现实主义原理, 易于为人们所接受。而事件型海侵则一般不易观察到, 人们缺乏直接经验, 因而直至今日仍为人们所忽视。但是, 无论是在地质纪录中, 还是从逻辑学进行推理, 这种海侵的存在是不容置疑的, 其地质意义更是不容忽视的。

2. 两种不同的海侵发生于不同的地质环境。渐进型海侵一般发生在海平面缓慢上升的开阔海边缘, 这里没有讨论快速海侵造成的侵蚀现象, 因为后者造成的主要是侵蚀间或不整合, 一般没有沉积纪录。事件型海侵一般发生于岛屿环境的受限陆表海。由于海平面的升降导致峡口的启闭, 往往形成海陆交互沉积序列。

从板块构造的观点进行分析, 在活动边缘, 由于板块俯冲形成的岛弧构造是造成受限陆表海的天然屏障。因此, 事件型海侵多发生在古活动边缘, 而渐进型海侵则多发生于被动边缘。

3. 事件型海侵是快速倒灌式的, 因此其沉积物具有下列特点:

(1) 时间上的连续性和相序上的不连续性。经常见到海陆相频繁交替, 而其间并无侵蚀间断; 也常见形成深度不同的沉积物直接接触;

(2) 海相层一般为单一的同性相, 分布面积广, 横向稳定, 除底部地形起伏引起的相变外, 一般无明显相变。

(3) 海侵层在时间上具有极好的等时性, 既是同性相, 又是等时相, 因此可以作为地层对比的标志层。

4. 受限陆表海具很好的生油环境, 峡口启闭引起的事件性海侵海退, 必然引起生物群的突发性兴衰, 世界上的许多含油气盆地, 包括我国的一些陆相盆地在内, 都有多次事件性海侵的纪录, 这一现象值得进一步研究。

收稿日期 1990 年 1 月 13 日

参 考 文 献

- (1) 王鸿祯等, 1985, 中国古地理图集, 地图出版社。
- (2) 金若谷, 1989, 沉积学报, 7 卷, 2 期, 51-62 页。
- (3) 秦蕴珊等, 1985, 渤海地质, 科学出版社。
- (4) 许靖华, 1985, 代序—从地槽论到板块构造, 《大地构造与沉积作用》, 何起祥等, 地质出版社。
- (5) Berger and Winterer, 1974, Plate stratigraphy and the fluctuating carbonate line, In: Pelagic Sediments: On Land and Under the Sea (Ed. by K.J.Hsu and H.C.Jenkyns) .Spec.Publ.Int.Ass.Sediment.
- (6) Donovan and Jones, 1979, J. Geol. Soc., Vol.136, p.187-192.
- (7) Fahlquist and Hersey, 1969, Bull. Inst. Manaco.Vol.67, p.52.
- (8) Hsu, 1972, Earth Science Review Vol.8, p.371-396.
- (9) Curray, 1964, Transgression and regression. In: Papers in Marine Geology (Ed. by R.L.Miller) , Macomillan, New York.

- (10) Ogniben, 1957, Mem. Deser. Carta Geol., Italia, Vol.33, p.275.
- (11) Ryan and Hsu et al, 1973, Initial Report of the Deep Sea Drilling Project Vol.13, p.14447. U.S. Governmental Printing Office, Washington.
- (12) Schmalz 1970, Miner. Ind. Vol.35, p.1-7.
- (13) Wageman *et al.*, 1970, Bull. Am. Assoc. Petrol. Geol., Vol.54, No.9, p.1161-1643.

Transgression Model of Restricted Epicontinental Sea

He Qixiang Yi Zhizhen Zhang Mingshu Li Hao

(Institute of Marine Geology, Ministry of Geology and Mineral Resources)

Abstract

The restricted epicontinental sea lies on the edge of a continent and surrounded by islands as a sill. The sedimentation there is characterized by the episodic sea water invasion which takes place in short period and rapidly covers a wide area. As a consequence, there always occur discontinuous depositional sequence and frequently alternation of marine and nonmarine deposits. The transgression is controlled by the opening and closing of the gateway between islands due to the sea level fluctuation. It is the defined event transgression or episodic transgression by the authors. In view of the plate tectonics, the back-arc basins around active margin are typical epicontinental sea, so episodic transgression happens quite often.

The episodic transgressive beds are magnafacies as well as parvafacies (isochronous). Therefore they can be used as a marker of stratigraphic correlation.

The Mediterranean sea had repeatedly dried at the end of Miocene due to the opening and closing of the Strait of Gibraltar which caused the alternation of deep sea and Sabkha sedimentation. It provides a good example of episodic trasgression. The East China Sea was a typical epicontinental sea in Cenozoic. the sea level fluctuation resulted from climatic change caused many times of episodic transgression and interruption of marine sedimentation and resulted in a sequence consisting of interbedded marine and non-marine deposits.

We can go far back to the Carboniferous deposits in northern China where the marine beds of limestone can be traced in a wide area even though they are very thin. the fauna assemblage indicates that they are formed in a normal marine environment. No transitional sequence could be found. The boundaries between the limestone and the terrigenous deposits are always abrupt.

The Late Permian deposits in Sichuan Basin are characterized by the interbedding of pelagic carbonates and coal beds. They can only be interpreted by the model of episodic transgression.

The depositional characteristics of the restricted epicontinental sea depends mainly on their tectonic-topographic pattern. Such an environments is demonstrated benifit to the formation of coal and hydrocarbons. It can be expected that the depositional features would be useful oil and gas survey in both northern and southern China in different stages.