

文章编号: 1000-0550 (2005) 04-0604-09

渤海湾盆地古近纪海侵问题研究进展及展望

袁文芳¹ 陈世悦¹ 曾昌民²

1 (中国石油大学地球资源与信息学院 山东东营 257061) 2 (中国石油塔里木油田分公司勘探开发研究院 新疆库尔勒 841000)

摘要 有关渤海湾盆地古近纪是否发生过海侵的问题争论了二十多年,至今尚无定论。尽管“海侵”论者提供了矿物学、岩石学、古生态学以及地球化学等多种标志,但是因为这些标志与标准海相标志比较,都有一定差别,而且至今没有发现确实可靠的海侵通道和明显的海相性递增现象,所以又出现了“海泛”论、“海啸”论和“陆相”论。几种观点长期并存,笔者认为要解决这一问题,可以从四方面入手:深入研究渤海湾盆地的构造背景,推断海侵通道存在的可能性;进一步厘定已有的海相标志的准确性;寻求新的、唯一的能区分海陆相成因的证据;搜集国外在相关层位有类似沉积的地区,进行对比研究,并探索其成因。

关键词 渤海湾盆地 古近纪 海侵 分子化石 同位素

第一作者简介 袁文芳 女 1976年出生 博士研究生 沉积学

中图分类号 P512.2 **文献标识码** A

1 引言

1979年,朱浩然认为东营凹陷滨县 P3-12井沙河街组四段(以下简称沙四段)上部构成平方王礁体主要骨架的中国枝管藻是海生管藻目绿藻^[1],几乎同时陈木、吴宝铃确认产自济阳拗陷同层位的碳酸盐岩储层中有海生龙介虫^[2],从而开始了济阳拗陷古近纪是否发生过海侵或受海侵影响问题的讨论。持“海侵”论观点的学者很快由古生物界扩展到沉积学界,20世纪80年代扩及到整个地质界,涉及到的海侵范围及层位也进一步扩大,认为古近纪的海侵范围达到整个渤海湾盆地,海侵的层位也由原来的沙四段扩及沙三段、沙一段甚至东营组^[3-17]。此外海侵问题的讨论还扩及到油气勘探的远景评价等重要领域^[6,9,18]。一些“海侵”论者认为渤海湾盆地古近系的主力油源层主要来源于少数几套与事件性海侵有关的优质烃源岩^[19],有人甚至认为渤海湾盆地发现油气田的多少与海侵作用的显著程度密切相关^[10]。即使是持“陆相”成因观点的学者也认为咸化湖泊沉积环境是烃源岩形成的最有利环境^[20,21]。因此对渤海湾盆地古近系是否发生过海侵问题的研究,对于正确认识中国东部第三纪的古地理格局,优质烃源岩的形成与海侵的关系以及拓宽油气勘探思路都具有重要意义。

2 “海侵”论者提供的海侵标志

“海侵”论者无论是早期单纯的古生物研究还是后来的沉积学、地球化学等方面的研究,都特别注重各种海相标志的作用,归纳起来主要包括以下四方面。

2.1 矿物、岩石标志

(1) 白云岩

田春春以东营凹陷沙河街组为例,在中国东部早第三纪海侵期次划分的基础上^[22,23],通过对白云岩分布层位(沙四段上部、沙三段上部和沙一段中下部)及其特征的研究,论证了白云岩形成与海侵的关系,由于海侵事件的发生使得环境内所具备的条件有利于白云石排除动力学和热力学的障碍而形成白云岩,所以他认为白云岩产出层位与海侵发生层位有一一对应的关系^[24]。

(2) 海绿石、磷灰石

在东濮凹陷的沙四段、沙一段^[25],黄骅拗陷的沙三段、沙一段^[5],沾化凹陷和车镇凹陷的沙一段底部、沙二段底部、沙三段中下部和沙四段上部^[16,17]都发现了原生海绿石。此外在东濮凹陷的沙四段,济阳拗陷的沙三段、沙一段见有磷灰石等潮下浅海指相矿物^[15]。

(3) 藻礁灰岩

20 世纪 70 年代以来,先后在东营凹陷平方王地区和沾化凹陷义东地区的沙四段发现了管状藻礁灰岩。礁灰岩格架呈枝丛状,形成于泻湖淡化阶段“清水”区域的浅水台地^[3]或台地边缘斜坡上。在这些礁灰岩中,与海相有密切关系的中国枝管藻^[1]、多毛类龙介虫^[2]和极度变态的小个体有孔虫,如卷转虫 (*Ammonia*)、圆盘虫 (*Discorbis*) 和小粟虫类 (*Miliolites*)^[26, 27]等生物化石与陆相广盐性介形类,如纯化金星介 (*Cypris chunhuaensis*)、肥实美星介 (*Cyprinotus altilis*)、南星介 (*Austrocypris*)、真星介 (*Eucypris*), 以及

轮藻、鲤科喉齿同层系出现。因此,这些管状藻礁灰岩指示了古近纪华北与海曾有某种联系。钱凯等^[3]预测,在同时代的邻近海相环境中,有可能存在着此类生物所形成的真正的海相礁灰岩高产油田。

2.2 古生物标志

近年来,在渤海湾盆地的古近系不仅发现了“海相起源”的生物组合(有孔虫、钙质超微化石、多毛类栖管化石等)和“与海有关”的生物组合(鲋形目鱼类、管状藻类、沟鞭藻、疑源藻等),而且还发现了面貌特殊的地方性化石组合(渤海藻、渤海螺等)以及

表 1 渤海湾盆地古近系海相古生物标志

Table 1 Paleontologic makers in Tertiary of Bohai bay basin

古生物	类型	地层	特征	产地
有孔虫	<i>Triloculina</i> (三虫)、 <i>Nonion</i> (诺宁虫)、 <i>Ammonia</i> (卷转虫)、 <i>Discorbis</i> (圆盘虫)	沙四段上亚段	属种单调,优势度高,分异度小;壳体小而薄,壳饰简单;种内变异大,畸形个体多;具特殊的共生组合,常和淡水—半咸水介形类共生,有时还可以和轮藻及其它门类化石共生	济阳凹陷 ^[27, 28]
钙质超微化石	<i>Reticulofenestra</i> sp. <i>Coronocyclus</i> sp. <i>Helicopontosphaera</i> sp. <i>Coccolithus</i> spp. <i>Sphenolithus</i> spp. <i>Ericsonia</i> sp.	沙四段上亚段、沙一中、下亚段	发育于钙质页岩和纹层状白云岩(油页岩)的部分浅色纹层中;低分异度、高丰度、个体微小(2.5~5μm)	临清、冀中、黄骅、下辽河和济阳凹陷 ^[4, 7, 9]
多毛类栖管化石	<i>Serpula shandongensis</i> <i>Gitonia jiyangensis</i> <i>Terebella wuhaozhuangensis</i> <i>Pectinaria</i>	沙四段上亚段	见于东营凹陷平方王地区的管状藻礁白云岩和沾化凹陷五号桩地区的生物白云岩中	济阳凹陷 ^[29]
鲋形目鱼类	<i>Diplanustus shengliensis</i> <i>Knighitia bohaisiensis</i>	沙四段上亚段、沙三段下亚段	产于油页岩中,属种极为单调	济阳凹陷 ^[8] 东濮凹陷 ^[30]
管状藻类	<i>Cladosiphonia sinensis</i> <i>C. Shandongensis</i>	沙四段上亚段、沙三段、沙一段	在东营凹陷平方王和沾化凹陷义东地区构成小型岩隆礁,在东濮凹陷沙三段一层约 20m 厚的藻灰岩中产有数量丰富的 <i>Cladosiphonia sinensis</i>	东营凹陷 ^[31] 沾化凹陷 ^[31, 16] 东濮凹陷 ^[13]
沟鞭藻和疑源藻	<i>Deflandrea-Lejeunia</i> 组合 <i>Bohaidina-Paraboahaidina</i> 组合 <i>Tenua-Rhomboidella</i> 组合 <i>Cannigia</i> , <i>Lejeunia</i> , <i>Pentagonum</i>	沙四段、沙三段、沙一段、东营组三段上亚段和二段	四种组合分别出现在沙四段、沙三段、沙一段、东营组三段上部 and 二段,其中 <i>Deflandrea</i> 属的一些种均出现于世界各地海相地层中,目前尚未在淡水沉积中发现	渤海湾盆地 ^[18, 32]
介形虫	<i>Aystrocypris levis</i> 组合 <i>Huabeinia chinensis</i> 组合 <i>Canarocypris elliptica</i> 组合 <i>Phacocypris huminensis</i> 组合 <i>Chinocythere unicuspidata</i> 组合 <i>Dongyingin inflexicostata</i> 组合	沙四段中、上亚段,沙三段,沙一段中下亚段以及东营组	一些属种的壳壁很厚,壳体很大,壳饰复杂,既非海相属种,也非典型的陆相属种,反映出浓厚地方性色彩;属种数量增减具有明显的变化规律,沙河街组四段沉积的中晚期—沙河街组三段沉积时期—沙河街组一段初期—东营组沉积的早、中期,介形类依次跃增,推测为海陆过渡相沉积。	渤海湾盆地 ^[18]
甲藻群	以 <i>Bohainia</i> (渤海藻) 为代表的甲藻群	古近系	既不见于一般的陆海盆地,也不见于海相地层,而其构造壳饰常与海相类型有所近似,相当于国外所称的“准海相”(quasi-marine)生物群 ^[33]	渤海湾盆地 ^[32]
腹足类	以 <i>Bohaispira</i> (渤海螺) 为代表的腹足类群	古近系		

海百合茎(车镇郭 7 井,沙三段^[14];辽河港 965 井,沙四段上亚段^[15])、海胆刺(辽河高升港 521 井,沙四段上亚段^[15])、硅藻^[15]等海相生物碎屑(表 1)。

2.3 古遗迹标志

李应暹等^[34]在下辽河坳陷沙三段发现了 *Teichichnus* sp. 海相痕迹化石,吴贤涛等^[35]系统地研究了东濮凹陷沙河街组各段的痕迹相及其环境演替,识别出属于边缘海相(marginal marine)的潮道、滨岸和临滨 3 类生物痕迹相,产有 *Arenicolites*, *Ophiomorpha nodosa*, *Thalassinoides* sp., *Teichichnus* sp. 等海相生物痕迹,以及羽状交错层理、压扁层理、丘状交错层理、鲕粒、磷灰石等属于海相的沉积构造和自生矿物,提出东濮凹陷古近系存在河口湾沉积环境。

2.4 地球化学标志

近年来,“海侵”论者引入了大量的地球化学标志进行论证,这其中包括相当硼含量、硼镓比(B/Ga)、锶钡比(Sr/Ba)、溴氯系数($Br^- \times 10^{-3}/Cl^-$)、钍铀比(Th/U)、碳酸盐岩中氧碳同位素值以及有机质的正烷烃的碳数等(表 2),这些标志为“海侵”的发生提供了又一佐证。

3 “海侵”论者面临的问题

“海侵”论者依据以上的标志认为渤海湾盆地古近系发生过海侵事件,并依据这些标志寻找海侵通道。到目前为止,“海侵”论者认为的海侵通道主要有两条:一条是根据苏北盆地阜宁组二段与海水有关

表 2 渤海湾盆地古近系地球化学标志

Table 2 Geochemical makers in Tertiary of Bohai bay basin

元素	标准	样品值	层位	采样地
相当硼含量	300~400 mg/kg 海相 200~300 mg/kg 过渡相 小于 200 mg/kg 陆相 ^[36,37]	360~400 $\times 10^{-6}$, 平均 390 $\times 10^{-6}$	沙四段 上亚段	东营凹陷 ^[37]
硼镓比(B/Ga)	大于 4.5 海相 小于 3.3 陆相 3.3~4.5 过渡环境 ^[18]	平均值为 6.1	沙四段 上亚段	东营凹陷 ^[37]
锶钡比(Sr/Ba)	大于 1 海相 小于 1 陆相 ^[38]	平均值为 2.0	沙四段 上亚段	东营凹陷 ^[37]
溴氯系数 ($Br^- \times 10^{-3}/Cl^-$)	大于 0.11 海相盐岩	6 个样品中有 3 个样品的溴氯系数分别为 0.16, 0.105 和 0.093	沙一段	东濮凹陷 ^[13]
	小于 0.11 陆相盐岩 ^[21]	7 个样品中,有 6 个样的溴氯系数在 0.013~0.080 之间,一个样品的溴氯系数为 0.150	沙三段	东濮凹陷 ^[13]
钍铀比(Th/U)	小于 2 海相黑色页岩和石灰岩的蒸发岩 2~6 之间 海相灰绿页岩 大于 6 陆相页岩 ^[39]	13 个泥岩样品有 5 个的钍/铀值大于 6(6.4~7.0), 2 个样品接近于 6(5.6~5.96), 3 个样品在 2~6 之间(2.23~4.10), 3 个样品小于 2(1.3~1.75)	沙三段	东濮凹陷 ^[13]
碳酸盐岩中氧、碳同位素值	海相碳酸盐 $^{13}C\%$ 为 -3~+3	9 块样品中有 7 个样品的 $^{13}C\%$ 值为 -2~+1.98, 其中又有 5 个样品为 +0.36~+1.98, 并且有 6 个样品 δ 值大于 120, 其余 3 个也较接近	沙一段 沙三段	东濮凹陷 ^[13]
	陆相碳酸盐 $^{13}C\%$ 为 -15~-5 蒸发盐相 $^{13}C\%$ 为 -2~+5 ^[40] $Z = 2.048 \times (^{13}C + 50) + 0.498 \times (^{18}O + 50)$ Z 值大于 120 为海相 Z 值小于 120 为淡水相 ^[40]	灰岩和生物灰岩样品 10 个, 钙质砂岩碳酸盐胶结物样品 1 个, 其中仅两个 δ 值小于 120, 属于淡水碳酸盐外, 其余样品的 δ 值均大于 120, 属于海相灰岩范畴	从东营组 到沙四段	济阳坳陷 ^[18]
有机质的正烷烃的碳数	海相有机质转化而来的石油以小于 C_{20} 的正烷烃占优势 陆相有机质转化来的石油以 C_{24} 到 C_{32} 的正烷烃占优势占优势	主峰碳数既有 C_{20} 以前的, 也有 C_{23} 以后的, 还有二者共存的, 其生油岩的正构烷烃碳数分布, 介于海、陆生油岩正构烷烃碳数分布之间	古近系	济阳坳陷 ^[22,41]

的沸石岩从西向东厚度变大,层数增多,层位变低特点,推断苏北始新世海侵从古东海经南海区而来;又据济阳拗陷平原王地区始新统生物礁,迎水面朝南、西南,盐类沉积位于东营凹陷,黄骅拗陷又缺失沙河街组四段碳酸盐岩沉积,以及此时苏北遭受广泛海侵现象,推测渤海湾盆地海侵是苏北海侵的延伸^[18,22]。另一条是吴贤涛等^[15]依据古生物化石和古遗迹资料推断辽河至长江间的“第二沉降带”这一南北向区间,在孔店组—沙河街组沉积期,存在一条海水通道,海水从西南向东北方向推进,即海水最早见于江汉盆地、南襄盆地(始新统)而后至渐新统时期溯北而上至东濮凹陷、济阳拗陷直至下辽河拗陷。

但这两条海侵通道都只是“推断”,“海侵论者”所提供的标志与标准海相比较,都有一定差别,而且没有发现明显的海相性递变现象,所以这两条海侵通道并不被大多数人承认。正是在这种情况下,许多学者又提出了“海泛论”^[11,33]、“海啸论”^[12]以及“陆相论”^[20,21,31,42,43,45~48],并用来解释此套沉积层的咸化成因。

3.1 “海泛论”

汪品先等^[33]从化石群出发,结合岩矿、地球化学等方面的特征,认为渤海湾盆地古近纪地层的沉积环境既不是单纯陆相,又不是真的海相,而是一种弱海陆过渡相沉积。这种过渡相不同于一般现代海陆过渡相沉积中的生物埋葬群,也区别于国外报导的过渡相化石群:不是以海相化石群为主,而是以陆相为主杂有海相分子,海相性程度弱得多,不表现为海水的大面积入侵,而只是沿某种指状海湾或河谷渠道内泛。

魏魁生等^[11]在冀中地区古近纪首次发现了颗石藻和非颗石藻类超微化石,首次在不同层位发现了海绿石,并结合其他古生物、矿物岩石和地球化学标志,认为冀中地区的海相化石种属单调并受层位的限制,指示海相环境的自生矿物含量少,达不到海侵的程度,加之冀中地区在古近纪受沧县隆起、燕山褶皱带等正向地貌单元的阻隔,海水由东进侵似乎不可能,因此推测只是发生了海泛。

3.2 “海啸论”

张玉宾^[12,19]指出遍布整个渤海湾盆地的沙二段上部冲积相是由能量强大而时间短暂的特大海啸形成,属于特殊的海侵事件,不需要通常情况下的海水通道或海平面的整体上升就可以越过屏障,进入内陆地区,加之福建—岭南褶皱带的存在又阻止了海水的

回流,造成沙一段时期大面积的内陆盐湖环境,而且他认为海啸是造成沙一段时期发生第三纪以来最大湖淹的主要原因,而海啸的成因可能与星体对地球的碰撞有关,属于地质时期的偶然事件。

3.3 “陆相论”

“陆相论者”主要征对“海侵论者”提供的“海侵标志”、“海侵通道”以及“海相化石”同最大水侵期的关系等几个方面进行反驳。

3.3.1 对“海侵标志”的质疑

(1) 缺海洋生物广布的特征

单怀广、张慧娟^[42]在微体古生物学术会议论文指出,济阳拗陷找到“海相”化石的面积,只有整个拗陷面积的百分之二、三,鉴定了几万块介形类标本,没有发现一个真正的海相种类,认为属于陆相沉积,不是海相沉积。渤海湾盆地古近系虽然存在个别以至少量可能与海水有关的化石,但与陆相化石相比,不论从属种或个体的数量看,都十分稀少^[32],这一特征意味着少数海洋生物的发育,不是由于海侵,而是由于海洋生物通过某种途径进入湖盆(鱼类迴游,龙卷风、鸟爪、鸟嘴等携带),以自身的变异适应湖盆的生活环境^[20]。

(2) “海侵标志”的误判

济阳拗陷古近系局部含有海相起源生物的属种(比如有孔虫),具低分异度、强形变的特征,与典型陆相生物共生,存在于水进初期的碳酸盐—石膏沉积系列中,又随水体加深而消失,它们的出现代表了大型封闭含盐湖生物群的特点,不能作为海侵的证据^[31,43]。蒋焱在辽河断陷古近系大民屯凹陷分析了32口井,其中27口井有海绿石分布于古近系的各组段,这些地层全部含有典型的陆相化石,所产原油均以陆相成因的高蜡原油为特征,因此她认为其为陆相成因;王云飞^[44]从抚仙湖现代沉积物中发现了自生的海绿石,表明海绿石能够在某些深水湖泊中形成;这些都说明海绿石不能全部作为海侵的指标。有人还提出沟鞭藻作为海相指示者的意义已经失去^[45]。

刘传联等^[46]利用锶同位素分析方法,以渤海湾盆地沙河街组钙质超微化石为材料,从地球化学的角度认为其生活的环境绝不是海相,与海也没有任何联

同济大学海洋地质系·苏北—南黄海盆地区域地质特征及其苏北地区的油气控制主要因素探讨·1975

蒋焱·辽河断陷下第三系陆相海绿石的初步研究·1980

系。此外孙镇城^[47]根据中国西北和东北 15 个地点新生代、现代陆相咸化湖泊沉积中已发现的原地沉积 8 属 10 种钙质超微化石和再沉积钙质超微化石等,也认为不宜笼统地把所有钙质超微化石当作海相或海侵的标志。

孙镇城^[21]通过对我国西部及内蒙古地区部分现代盐湖研究,认为 B/Ga, B/V, Sr/Ba, 化石壳体的 Ca/Mg 等比值和碳酸盐岩中碳、氧同位素等地球化学方法,只能在一定条件下说明水体的盐度,不能区分海相或陆相盐湖沉积。刘传联^[48]从“海源陆生化石”壳体 O、C 和 Sr 同位素等几个新的角度对东营凹陷古近纪古湖泊湖水化学性质进行讨论:通过与现生“海源陆生生物”的比较,得出原先认为是“海相”标志的有孔虫、钙质超微化石、沟鞭藻和疑源类、多毛类和鱼类等实际上是“海源陆生化石”,它们生活在以 Cl⁻ 和 Na⁺ 为主的咸水湖泊环境;超微化石 Sr 同位素分析表明,渐新世与始新世钙质超微化石的 ⁸⁷Sr/⁸⁶Sr 比值都明显高于同时期海水的比值,而与现代河、湖水的 ⁸⁷Sr/⁸⁶Sr 比值相近,进一步揭示它们生活的环境不是海,而是与海无关的湖;介形虫壳体 O、C 同位素分析则表明,古东营湖是一封闭型咸水湖泊,也否定了与海连通的可能性。

3.3.2 缺“海侵通道”上海相性递增特征,具有环带状分布的封闭陆相湖泊的沉积特点

在东海西部盆地西侧与苏北—南黄海盆地之间存在一个巨大的浙闽—岭南隆起区,苏北—南黄海盆地与西侧的渤海湾盆地之间又隔着巨大的胶辽隆起区。这两个隆起区都形成于燕山运动,所以在古近纪之前已经存在。如果海水侵入到苏北—南黄海盆地就必须穿越浙闽—岭南隆起区,如果海水侵入渤海湾盆地,就还要穿越胶辽隆起区,因此必须有横切隆起区的狭谷,成为海侵的通道,但根据现有的地质和地球物理资料,并没有发现这样的狭谷^[20]。此外如果存在海侵,必须有大陆内侧的湖盆向着古海方向沉积特征和化石特征的渐增现象,实际并不存在,例如济阳拗陷沙四段具有海相特点的化石最多,有孔虫就有 6 属 7 种,在十几口井中见到,而在它南侧的苏北盆地仅在 4 口井中发现几颗有孔虫化石,而南黄海盆地和长河盆地还没有发现有孔虫化石^[20]。

济阳拗陷含有孔虫最多,“海相性”化石最集中的沾化凹陷罗家—义东一带的沙四段上亚段的石膏—碳酸盐岩沉积,平面上为“牛眼”构造,从湖边向中心,碎屑岩—碳酸盐岩—硫酸盐岩依次呈环形分

布,显示了罗家—义东盐湖当时的不断干化、浓缩的过程,随着这一过程进展,碳酸盐岩和硫酸盐相继先后析出,所以并非是海侵而造成盐度增加所引起的咸化^[21]。有人认为东营凹陷平方王地区沙四段为滨海泻湖相礁灰岩,但该地区找不到礁前泻湖相沉积。相反,从东营凹陷沙四段岩相古地理图看,却是一个典型的四周封闭的湖盆,四周都是物源区,完全不同于泻湖或海侵湖区一侧高一侧低的古地形和单向物源区的特征^[20]。

3.3.3 “海相化石”的出现与最大水侵期无关,而与盐度密切相关

济阳拗陷“海相性”化石层段主要有两个:沙四段上亚段和沙二段上一沙一段中、下亚段,这两段地层全部是水进初期的白云质或含膏碳酸盐岩,有意义的是它们的下伏地层均属于水上红层或经过剥蚀的白云岩化地层。这些经过一定时间风化剥蚀的沉积断面,留下了大量碱和碱土金属元素,在水侵初期,溶于浅湖中,使湖水咸化,为“海相性”生物的存活与繁盛创造了环境条件。随之而来的水进高潮,半深湖、深湖环境的出现,水质淡化,“海相性”生物也跟着消失。因此,如设想本区的水进是因海水入侵而引起,则“海相性”生物应更多地出现在济阳拗陷的沙三段中、上和沙一段上亚段。实际情况正好相反,所以本区的“海相性”生物的形成,在于盐湖,而盐湖的成因则不一定与海有直接关系^[21]。整个渤海湾盆地都有此特征,这表明海相化石的出现与最大水侵期无关,而与水体的咸度有密切的关系^[20]。

4 初步认识

认为渤海湾盆地古近系的地层发生过海侵或与海有关(“海侵”论、“海泛”论、“海啸”论)的学者提供的海相标志与标准海相比较,有一定差别,一些标志还存在多解性(比如海绿石、沟鞭藻、钙质超微化石等),而且没有发现明显的海相性递变现象,因而其推断的海侵通道不具有说服力。“陆相”论者尽管认为前者提供的大部分证据只能作为水体咸度的标志而不能作为沉积环境划分的标志的同时,对某些标志也不能给出令人信服的解释,比如(1)童晓光^[20]认为渤海湾盆地古近系没有发生过海侵,但也承认在 64 属 232 种的沟鞭藻和疑源藻的陆相化石中, *D_{ef}*

landrea 一属可能与海水有关; (2) 孙镇城等^[21]认为在东濮凹陷沙四段发现的 *Ophiomorpha nodosa* 遗迹相不能作为区分海陆相的标志, 但吴贤涛^[15]为此提供了确凿的证据, 认为该遗迹相的确是海相生物痕迹; (3) 孙镇城等^[21]在对大部分地球化学标志作否定论述的同时, 也承认溴氯系数 ($\text{Br}^- \times 10^{-3} / \text{Cl}^-$) 在一定范围内可以区别海水蒸发的盐岩还是陆相蒸发盐岩, 而东濮凹陷沙一段和沙三段的溴氯系数都显示出海相特征或者与海相关^[15]; (4) “陆相”论对无法解释的海相门类的化石的来源途径推断为鱼类迴游, 或是因龙卷风或鸟爪鸟嘴携带而空运到内陆盐湖, 将海相生物遗体带至内陆, 而造成海侵假象^[20]。假如海相生物真能如此传播, 则在长期的历史发展过程中势必会使近海湖盆和内陆盐湖中普遍有海相生物繁盛, 然而我国湖泊沉积调查的结果却并非如此^[33]。

可见争论双方都遇到了难题, 要解决这个的问题, 笔者认为可以从四方面开展工作: (1) 深入研究渤海湾盆地的构造背景, 推断海侵通道存在的可能性。 (2) 进一步厘定已有的海相标志的准确性, 判别一些标志的多解性是因为认识的局限, 还是客观存在。 (3) 寻求新的、唯一的能区分海陆相成因的证据, 比如: 盐类矿物的演化序列。陆相富硫酸钠卤水形成的蒸发岩与海相蒸发岩最明显的区别表现在: A. 早期形成大量的钙芒硝, 石盐—无水芒硝—盐镁芒硝成为主要的矿物组合, 在海相盐类沉积中, 盐镁芒硝是很难见到的矿物; B. 钾芒硝作为主要的含钾矿物出现, 这也是海相蒸发岩中罕见的矿物^[49]。依据渤海湾盆地古近系盐类矿物的形成顺序与组合关系, 运用水—盐体系相图进行反演, 从而推断研究区在咸化环境演化至盐类矿物沉积时的卤水性质 (包括离子类型及百分含量) 及其演化路径, 为判别咸化环境成因 (主要是区别海陆相) 提供可靠依据。分子化石。目前国内外专家一直认为 C_{30} 甾烷 (4, 23, 24 三甲基胆甾烷 (又称为甲藻甾烷)) 和 C_{31} 甾烷 (4, 22, 23, 24 四甲基胆甾烷) 都是具有特殊链结构的甾烷标志物, 是海相沉积环境的标志, 出现在富含甲藻的海相沉积物中, 因而陆相沉积物和原油中检测到相对较高丰度的 C_{30} 和 C_{31} 甾烷, 可做为海侵作用的标志物, 指示海侵作用的发生, 同时 C_{31} 甾烷通常出现在水体盐度更高的环境中^[50~54]。S 稳定同位素分馏。现代环境研究和蒸发实验结果证明, 硫酸盐化学沉淀作用不产生明显的同位素分馏效应^[55], 所以沉积蒸发盐的硫同位素组成可代表沉积介质的同位素组成,

这一特点是古环境恢复的理论基础。根据海相蒸发盐 ^{34}S 的研究结果, 已知海洋硫酸盐的 ^{34}S 自显生宙以来变化范围 = +10‰ ~ +30‰; 现代海洋水的平均 ^{34}S = +20‰^[56]。虽然引起海洋硫同位素组成变化的原因尚不十分清楚, 但以此比较的标准, 对于研究蒸发盐的成因是很有价值的。 (4) 搜集国外在相关层位有类似沉积的地区, 进行对比研究, 并探索其成因。

参考文献 (References)

- 1 朱浩然. 山东滨县下第三系沙河街组的藻类化石. 古生物学报, 1979, 18(4): 324 ~ 341 [Zhu Haoran. Algae fossil from Shahejie formation of Early Tertiary in Binxian of Shandong. Acta Palaeontologica Sinica, 1979, 18(4): 324 ~ 341]
- 2 陈木, 吴宝铃. 山东济阳拗陷下第三系多毛类虫管的发现. 海洋学报, 1979, 1(2): 338 ~ 340 [Chen Mu, Wu Baoling. Discovery of polychaetan fossil tube of Early Tertiary in Jiyang Depression, Shandong. Acta Oceanologica Sinica, 1979, 1(2): 338 ~ 340]
- 3 钱凯, 王素民, 刘淑范, 等. 华东北部下第三系礁灰岩的发现及其石油地质意义. 科学通报, 1980, (24): 1140 ~ 1142 [Qian Kai, Wang Sunin, Liu Shufan, et al. Discovery and petroleum geologic significance of reef limestone from Early Tertiary in the north of East China. Chinese Science Bulletin, 1980, (24): 1140 ~ 1142]
- 4 于众. 我国辽河地区发现钙质超微化石. 石油勘探与开发, 1982, (3): 82 [Yu Zhong. Discovery of calcareous nanofossils in Liaohai area. Petroleum Exploration and Development, 1982, (3): 82]
- 5 何镜宇, 余素玉. 黄骅拗陷下第三系的海绿石. 地球科学, 1982, (16): 129 ~ 142 [He Jingyu, Yu Suyu. Early Tertiary glauconite in Huanghua Depression. Geoscience, 1982, (16): 129 ~ 142]
- 6 唐祥华. 渤海湾盆地沙河街组钙质超微化石古生态及沉积环境. 海洋地质与第四纪地质, 1993, 13(1): 48 ~ 55 [Tang Xianghua. Paleozoology and depositional environment of calcareous nanofossils from Shahejie formation in Bohai Basin, Marine Geology & Quaternary Geology, 1993, 13(1): 48 ~ 55]
- 7 郝诒纯, 李蕙生. 渤海沿岸及邻近地区早第三纪钙质超微化石的发现及其意义. 科学通报, 1984, 29(12): 741 ~ 745 [Hao Yichun, Li Huiheng. Discovery and significance of calcareous nanofossils from Early Tertiary in onshore Bohai Basin and its adjacent areas. Chinese Science Bulletin, 1984, 29(12): 741 ~ 745]
- 8 张弥曼. 渤海沿岸第三系化石. 中国科学院古脊椎和古人类研究所集刊, 1985, (17): 1 ~ 60 [Zhang Minan. Tertiary fossils in onshore Bohai Basin. Vertebrate Paleontology and Paleoanthropology, Academia Sinica, 1985, (17): 1 ~ 60]
- 9 钟筱春, 钟石兰, 费轩东, 等. 渤海湾盆地沙河街组一段颗石藻类化石及其沉积环境. 微体古生物学报, 1988, 5(2): 145 ~ 151 [Zhong Xiaochun, Zhong Shilan, Fei Xuandong, et al. Calcareous nanofossils from the oilocene Shahejie Member in the Bohai Basin and their sedimentary environment. Acta Micropalaeontologica Sinica, 1988, 5(2): 145 ~ 151]

- 10 彭世福, 许红, 温珍河. 试论渤海湾盆地沙河街组海侵作用与油气. 海洋地质与第四纪地质, 1989, 9(1): 17~28 [Peng Shifu, Xu Hong, Wen Zhenhe. A preliminary discussion about transgressions and hydrocarbons of Shahejie formation. *Marine Geology & Quaternary Geology*, 1989, 9(1): 17~28]
- 11 魏魁生, 徐怀大. 冀中地区早第三纪海泛特征及其层序地层学意义. 现代地质, 1993, 7(3): 274~284 [Wei Kuisheng, Xu Huaida. Marine inundation features and its significance of sequence stratigraphy of Eocene in central Hebei. *Geoscience*, 1993, 7(3): 274~284]
- 12 张玉宾. 济阳坳陷及其邻近地区早第三纪海侵问题之我见. 岩相古地理, 1997, 17(1): 45~49 [Zhang Yubin. Early Tertiary transgressions in the Jiyang Depression and its adjacent areas. *Sedimentary Facies and Paleogeography*, 1997, 17(1): 45~49]
- 13 任来义, 林桂芳, 赵志清, 等. 东濮凹陷早第三纪的海侵(泛)事件. 古生物学报, 2000, 39(4): 553~557 [Ren Laiyi, Lin Guifang, Zhao Zhiqing, et al. Early Tertiary marine transgression in Dongpu Depression. *Acta Palaeontologica Sinica*, 2000, 39(4): 553~557]
- 14 何伟钢, 金奎励, 郝多虎. 济阳坳陷郭 7 井沙河街组三段泥岩生、储油特性及其意义. 石油与天然气地质, 2003, 24(4): 375~379 [He Weigang, Jin Kuili, Hao Duohu. Characteristics and their significance of mudstone source and reservoir rocks in the 3rd member of Shahejie formation in Guo7 well, Jiyang Depression. *Oil & Gas Geology*, 2003, 24(4): 375~379]
- 15 吴贤涛, 任来义. 渤海湾盆地古近纪海水通道与储层探新. 古生物学报, 2004, 43(1): 147~154 [Wu Xiantao, Ren Laiyi. The tertiary sea way and new reservoir probe in Gongying Depression as well as its surrounding basins. *Acta Palaeontologica Sinica*, 2004, 43(1): 147~154]
- 16 葛瑞全, 宋传春, 淳萍. 济阳坳陷车凹陷古近系沙河街组海侵的再认识. 高校地质学报, 2003, 9(3): 450~457 [Ge Ruiquan, Song Chuanchun, Chun Ping, et al. Restudy on the Shahejie Formation Transgression of the Paleocene in Zhan-Che Sag (Jiyang Depression). *Geological Journal of China Universities*, 2003, 9(3): 450~457]
- 17 葛瑞全. 济阳坳陷新生界海绿石的存在及其地质意义. 沉积学报, 2004, 22(2): 276~280 [Ge Ruiquan. Occurrence and geological significance of glauconite in Cenozoic group of Jiyang Depression. *Acta Sedimentologica Sinica*, 2004, 22(2): 276~280]
- 18 张国栋, 王慧中. 中国东部早第三纪海侵和沉积环境. 北京: 地质出版社, 1987 [Zhang Guodong, Wang Huizhong. Transgression and Depositional Environment of Eocene in the Eastern China. Beijing: Geological Publishing House, 1987]
- 19 张玉宾. 事件性海侵与烃源岩的形成. 石油勘探与开发, 1998, 25(6): 78~80 [Zhang Yubin. Event transgression and the formation of oil source rocks. *Petroleum Exploration and Development*, 1998, 25(6): 78~80]
- 20 童晓光. 中国东部早第三纪海侵质疑. 地质论评, 1985, 31(3): 261~267 [Tong Xiaoguang. Doubts about the validity of paleogene transgression in the eastern China. *Geological Review*, 1985, 31(3): 261~267]
- 21 孙镇城, 杨藩, 张枝焕, 等. 中国新生代咸化湖泊沉积环境与油气生成. 北京: 石油工业出版社, 1997 [Sun Zhencheng, Yang Fan, Zhang Zhihuan, et al. Depositional Environment and Generation of Oil and Gas of Cenozoic Salinized Lakes. Beijing: Petroleum Industry Press, 1997]
- 22 陈绍周, 高兴辰, 丘东洲. 中国早第三纪海陆过渡相. 石油与天然气地质, 1982, 3(4): 343~349 [Chen Shaozhou, Gao Xingchen, Qiu Dongzhou. A preliminary study in China's Eocene transitional facies. *Oil & Gas Geology*, 1982, 3(4): 343~349]
- 23 梁名胜. 中国东部早第三纪海侵期的划分. 海洋地质研究, 1982, 2(2): 97~100 [Liang Mingsheng. The division of transgressive stages of Eocene in eastern China. *Marine Geological Research*, 1982, 2(2): 97~100]
- 24 田景春, 尹观, 覃健雄, 等. 中国东部早第三纪海侵与湖相白云岩成因之关系. 中国海上油气(地质), 1998, 12(4): 250~254 [Tian Jingchun, Ying Guan, Tan Jianxiong, et al. The relationship between the transgression of Eocene and the origin of lacustrine dolomite in eastern China: taking the Shahejie Formation of Dongying Sag as an example. *China offshore Oil and Gas (Geology)*, 1998, 12(4): 250~254]
- 25 赵澄林, 刘孟慧. 东濮凹陷下第三系砂体微相和成岩作用. 山东东营: 石油大学出版社, 1988. 15 [Zhao Chenglin, Liu Menghui. Early Tertiary Microfacies of Sandbody and Diagenesis in Dongpu Depression. Dongying Shandong: Petroleum University Publishing House, 1988. 15]
- 26 汪品先, 闵秋宝, 林景星, 等. 我国东部新生代几个盆地半咸水有孔虫化石群的发现及意义. 地层古生物论文集(3). 北京: 地质出版社, 1975 [Wang Pingxian, Min Qiubao, Lin Jingxing, et al. Discovery and Significance of Brackish Water Foraminifera from Several Cenozoic Basins in East China. The Symposium on Stratigraphy and Palaeontology(3). Beijing: Geological Publishing House, 1975]
- 27 汪品先. 海陆相地层辨认标志. 北京: 科学出版社, 1980 [Wang Pinxian. Identification Key of Marine and Terrestrial Facies. Beijing: Science Press, 1980]
- 28 裘松余. 我国第三纪有孔虫组合特征及其生态与古地理、油气关系. 石油地质文集(地层古生物 4). 北京: 地质出版社, 1982 [Qiu Songyu. Assembled Characteristic and Relation among Zoology, Palaeogeology, Oil & Gas of Tertiary foraminifer in China. *Petroleum Geology Compus (Stratigraphic Paleontology 4)*. Beijing: Petroleum Industry Publishing House, 1982]
- 29 吴宝铃. 石油和虫管化石. 海洋科学, 1980, (1): 19~22 [Wu Baoling. Petroleum and Fossil Tube. *Marine Sciences*, 1980, (1): 19~22]
- 30 赵志清, 吕红玉. 东濮凹陷盆地晚始新世生物群及其古环境的探讨. 微体古生物学报, 1988, 5(3): 315~322 [Zhao Zhiqing, Lü Hongyu. Late Eocene biota in the Dongpu Basin and its Palaeoenvironment. *Acta Micropalaeontologica Sinica*, 1988, 5(3): 315~322]
- 31 姚益民, 徐金鲤, 单怀广, 等. 山东济阳坳陷在第三纪海侵的讨论. 石油学报, 1992: 13(2): 29~34 [Yao yimin, Xu Jinli, Shan Huaiguang, et al. A discussion of the Paleogene transgression in the Jiyang Depression, Shandong province. *Acta Petrolei Sinica*, 1992: 13(2): 29~34]

- 32 石油化学工业部石油勘探开发规划研究院,中国科学院南京地质古生物研究所. 渤海沿岸地区新生代有孔虫、早第三纪介形类、早第三纪腹足类、早第三纪轮藻、早第三纪沟鞭藻类和疑源藻类. 北京:科学出版社, 1978 [Research Institute of Petroleum Exploration and Development, Nanjing Institute of Geology & Palaeontology in the Chinese Academy of Sciences Early Tertiary Foraminifera, Ostracode Fauna, Gasteropod, Stonewort, Dinoflagellate and Acritarchs from the Coastal Region of Bohai Beijing: Science Press, 1978]
- 33 汪品先, 闵秋宝, 卞云华. 关于我国东部含油盆地早第三纪地层的沉积环境. 地质论评, 1982, 28(5): 402~411 [Wang Pinxian, Min Qiubao, Bian Yunhua On the sedimentary environments of the Paleogene strata in oil-bearing basins in the eastern part of China Geological Review, 1982, 28(5): 402~411]
- 34 李应暹, 卢宗盛, 王丹, 等. 辽河盆地陆相遗迹化石与沉积环境研究. 北京:石油工业出版社, 1997 [Li Yingxian, Lu Zongsheng, Wang Dan, *et al* Terrestrial Trace Fossil and Depositional Environment in Liaohe Basin Beijing: Petroleum Industry Press, 1997]
- 35 吴贤涛, 林又玲, 潘结南. 东濮凹陷沙河街组痕迹相及其对应的测井图型. 古地理学报, 1999, 1(3): 50~64 [Wu Xiantao, Lin Youling, Pan Jienan Significance of ichnofaces and its corresponding well log patterns of Shahejie formation in Dongpu Depression Journal of Palaeogeography, 1999, 1(3): 50~64]
- 36 Walker C T, Price N B. Departure curves for computing paleosalinity from boron in illites and shales AAPG Bulletin, 1968, 47(5): 833~841
- 37 李成凤, 肖继风. 用微量元素研究胜利油田东营盆地沙河街组的古盐度. 沉积学报, 1988, 6(4): 100~106 [Li Chengfeng, Xiao Jifeng Study on Shahejie formation's paleosalinity in Dongying Basin of Shengli oilfield by trace element Acta Sedimentologica Sinica, 1988, 6(4): 100~106]
- 38 同济大学海洋地质系. 海陆相地层辨认标志. 北京:科学出版社, 1980 [The Department of Marine Geology in Tongji University. Identification Key of Sea and Continental Facies Beijing: Science Press, 1980]
- 39 Degens E F. Geochemistry of sediments: a brief survey. Prentice Hall, Inc, 1965, 5(3): 315~322
- 40 Keith M L, Weber F. Carbon and oxygen isotopic composition of selected limestone microfossils Geochim. Cosmochim. Acta, 1964, 28: 1786~1816
- 41 洪志华. 济阳坳陷下第三系生油岩地球化学特征. 地球化学, 1983, (1): 41~52 [Hong Zhihua, Geochemical characters of the Tertiary oil-generating strata in Jiyang Depression Geochemica, 1983, (1): 41~52]
- 42 单怀广, 张慧娟. 山东油气区早第三纪介形类. 中国油气区地层古生物论文集(2). 北京:石油工业出版社, 1981 [Shan Huaguang, Zhang Huijuan Palaeogene ostracoda in Shandong oil and gas province Stratigraphic Paleontology Symposium in China Oil and Gas Province(2). Beijing: Petroleum Industry Press, 1981]
- 43 李守军, 吴智平, 马在平. 中国东部早第三纪有孔虫的生活环境. 石油大学学报(自然科学版), 1997, 21(2): 1~7 [Li Shoujun, Wu Zhiping, Ma Zaiping Environment of foraminifera of Paleogene in East China Journal of University of Petroleum, China (Edition of Natural Science), 1997, 21(2): 1~7]
- 44 王云飞. 抚仙湖现代湖泊沉积物中海绿石的发现及其成因的初步研究. 科学通报. (22): 1388~1392 [Wang Yunfei Discovery and primary study on glauconite in sediments of today's Fuxianhu Chinese Science Bulletin, 28(22): 1388~1392]
- 45 茅绍智, 余静贤. 陆相沟鞭藻的起源和演化及其生油意义. 地球科学, 1990, 15(3): 281~290 [Mao Shaozhi, Yu Jingxian Origin and evolution of terrestrial dinoflagellates and their significance in source potential for petroleum Earth Science Journal of China University of Geoscience, 1990, 15(3): 281~290]
- 46 刘传联, 成鑫荣. 渤海湾盆地早第三纪非海相钙质超微化石的锶同位素证据. 科学通报, 1996, 41(10): 908~910 [Liu Chuanlian, Cheng Xinrong strontium isotope evidence of nonmarine calcareous nanofossils from Paleogene in Bohai Basin Chinese Science Bulletin, 1996, 41(10): 908~910]
- 47 孙镇城, 杨革联, 乔子真, 等. 我国咸化湖泊沉积中钙质超微化石特征及其地质意义. 古地理学报, 2002, 4(2): 56~63 [Sun Zhencheng, Yang Gelian, Qiao Zizhen, *et al* Characteristics and geologic significance of calcareous nanofossils in sediments of terrestrial salinized lakes Journal of Palaeogeography, 2002, 4(2): 56~63]
- 48 刘传联, 赵泉鸿, 汪品先. 从化石群及壳体同位素看古近纪东营湖湖水化学. 地球学报, 2002, 23(3): 237~242 [Liu Chuanlian, Zhao Quanhong, Wang Pinxian Water chemistry of the Paleogene Dongying Lake: evidence from fossil assemblages and shell isotopes Acta Geoscientia Sinica, 2002, 23(3): 237~242]
- 49 李文亚, 韩蔚田. 蒸发岩成因的物理化学研究. 地学前缘, 1994, 1(3~4): 211~215 [Li Yawen, Han Weitian A review of physico-chemical study on the origin of evaporite Earth Science Frontiers, 1994, 1(3~4): 211~215]
- 50 Summons R E, Volkman J K, Boreham C J. Dinosterane and other steroidal hydrocarbon of dinoflagellate origin in sediments and petroleum. Geochim. Cosmochim. Acta, 1987, 51: 3075~3082
- 51 Goodwin N S, Mann A L, Patience R L. Structure and significance of C₃₀ 4-methyl stanes in lacustrine shales and oils Organic Geochemistry, 1988, 12(5): 495~506
- 52 Thomas J B, Marshall J, Mann A L, Summons R E, Maxwell R. Dinosteranes and other biological marker in dinoflagellate-rich marine sediments of Rhaetianage. Organic Geochemistry, 1993, 20(1): 91~104.
- 53 侯读杰, 王铁冠. 陆相沉积物和原油中的甲藻甾烷. 科学通报, 1995, 40(4): 333~335 [Hou Dujie, Wang Tieguan Dinosterane in terrestrial sediment and crude oil Chinese Science Bulletin, 1995, 40(4): 333~335]
- 54 侯读杰, 黄清华, 黄福堂, 等. 松辽盆地海侵地层的分子地球化学特征. 石油学报, 1999, 20(2): 30~34 [Hou Dujie, Huang Qinghua, Huang Futang, *et al* The characteristics of molecular geochemistry of marine transgression strata in Songliao basin Acta Petroli Sinica, 1999, 20(2): 30~34]
- 55 Purvis K. Lower Permian rotliegendes sandstones, southern North Sea: a case study of diagenesis in evaporite-associated sequences Sedimenta-

ry Geology, 1992, (77): 155 ~ 171
56 王璞珺, 刘万洙. 事件沉积: 导论 · 实例 · 应用. 长春: 吉林科
学出版社, 2001 [Wang Pujun, Liu Wanzhu. Depositional Events:

Introduction · Example · Application. Changchun: Jilin Technology
and Science Press, 2001]

Research Development and Prospects on Paleogene Sea Transgression in Bohai Bay Basin

YUAN Wen-fang¹ CHEN Shi-yue¹ ZENG Chang-min²

1(Faculty of Geo-Resources and Information in China University of Petroleum, Dongying Shandong 257061)

2(Institute of Exploration and Development of Tarim Oil Field Division Company, CNPC, Korla Xinjiang 841000)

Abstract The question whether transgression happened in Paleogene of Bohai Bay Basin has been discussed for more than 20 years, yet it was not resolved. The scholars insisting on transgression provided many markers such as mineralogy, lithology, paleoecology and geochemistry, but these markers are not completely the same as normal marine markers, moreover, the passageway and obviously increased markers of transgression have not been discovered, so "marine flooding", "tsunami" and "terrestrial facies" appear, these viewpoints have coexisted for a long time. Penman considers that the question can be solved by 4 ways: The structural setting of Bohai Bay Basin should be studied thoroughly to conclude possibility of the transgression's passageway. Reliability of marine markers provided should be newly considered. New and exclusive evidences are required. Similar sediment traps in correlative strata abroad are collected to research contrastively.

Key words Bohai Bay Basin, Paleogene, transgression, elementary fossil, isotope