

马新涛, 丁修建, 阿布力米提·依明, 等. 陆相湖盆海侵事件对烃源岩发育影响机制[J]. 海洋地质前沿, 2023, 39(2): 28-37.

MA Xintao, DING Xiujian, YIMING Abilimit, et al. Influence mechanism of transgressive events on source rock development in continental lacustrine basin[J]. Marine Geology Frontiers, 2023, 39(2): 28-37.

陆相湖盆海侵事件对烃源岩发育影响机制

马新涛¹, 丁修建^{1*}, 阿布力米提·依明², 刘海磊², 赵龙梅³

(1 中国石油大学(华东)地球科学与技术学院, 青岛 266580; 2 中国石油新疆油田公司勘探开发研究院, 新疆克拉玛依 834000;

3 中联煤层气国家工程研究中心有限责任公司, 北京 100095)

摘要:海侵是影响湖盆烃源岩发育的重要事件之一, 通过调研国内外相关文献, 述评了这一领域的研究现状。海侵事件广泛分布于中国的松辽盆地、渤海湾盆地和苏北盆地以及国外多个盆地, 海侵可通过古遗迹标志、矿物岩石学标志以及地球化学特征等识别。其次海侵烃源岩一般具有有机质丰度较高、有机质类型较好的特征, 主要归因于海侵事件明显促进烃源岩发育, 海侵作用一方面可能为湖水带来了大量的营养物质, 显著提高了古湖泊生产力, 另外一方面, 盐度可能有利于形成稳定的水体分层, 在水底形成强还原环境, 促进有机质保存。以西非裂谷盆地 (Termit 盆地) 为例, 总结了海侵影响湖相烃源岩发育的模式。

关键词:海侵; 烃源岩; 有机质丰度; 古生产力; 沉积环境

中图分类号: TE122

文献标识码: A

DOI: 10.16028/j.1009-2722.2021.261

0 引言

湖相烃源岩是含油气盆地广泛发育的富含大量有机质的一类细粒沉积岩。湖相烃源岩研究工作已经进行了将近一个世纪, 在中国近海地区, 湖相烃源岩的生烃量占比约为总石油资源的 95%, 其往往与大油气田相伴生, 是大油气田形成的物质基础, 湖相烃源岩发育是中国大油气田形成和分布的主控因素^[1-3]。

湖相烃源岩与海相烃源岩相比, 更容易受到事件作用的影响, 如火山活动、热液作用和海侵事件等^[4-6]。自第三纪到中生代, 从东部渤海湾到西部地区以及东亚、中亚、中欧、非洲、大洋洲等都曾遭受过全球性的海侵作用, 致使海侵层位富含海相藻类及各种优质成烃母质^[7]。

“海侵”是由于海平面相对上升, 引起海水通过

某一通道入侵到陆地^[8]。古生界、中生界和新生界都存有海侵痕迹, 海侵是陆相湖盆中较普遍事件, 对烃源岩发育有明显影响。国内外已取得许多该方面研究进展, 例如中国松辽盆地、渤海湾盆地、苏北盆地、东海陆架盆地和南黄海盆地, 澳大利亚 Otway 盆地、尼日尔东南部东尼日尔盆地、中欧盆地以及印度尼西亚南、中苏门答腊盆地等^[9-25]。海侵对烃源岩发育影响明显, 往往有利于有机质富集和保存, 相关研究对烃源岩预测有重要意义。

1 海侵烃源岩分布

早在 20 世纪 70 年代, 国内外许多学者陆续发表了关于松辽、三江、渤海湾等盆地富有海相化石的观点, 随着研究深入, 前人发现大量盆地都曾遭受过海侵(表 1)。

1.1 主要分布的坳陷(凹陷和层位)

以东半球海侵盆地为例(图 1), 中欧盆地海侵层位以三叠系为主, 是典型的海陆过渡相沉积的陆表盆地, 该盆地覆盖区域包括不列颠岛、北海、波兰、德国南部等。澳大利亚 Otway 盆地以白垩系为主。东尼日尔盆地位于尼日尔东部, 在其 Termit 坳陷上白垩统被证实发生过海侵(表 1)。中国大部分含油

收稿日期: 2021-12-21

资助项目: 国家自然科学基金(41702143); 国家科技重大专项(2017ZX05001-001-006)

作者简介: 马新涛(1996—), 男, 硕士, 主要从事烃源岩发育机理方面的研究工作. E-mail: z20010045@s.upc.edu.cn

* 通讯作者: 丁修建(1986—), 男, 博士, 副教授, 主要从事石油地质学方面的研究工作. E-mail: dingxj@upc.edu.cn

表 1 全球海侵盆地分布

Table 1 Distribution of global transgressive basins

盆地	拗陷/凹陷	层位	岩性特征	文献来源
中欧盆地		中三叠统上三叠统	暗色泥岩、白云岩	[19]
澳大利亚 Otway		下白垩统	碳质黏土岩、浅灰色粉砂岩	[12]
东尼日尔盆地	Termit、Tenere	上白垩统	泥页岩、少量砂岩	[14]
南薇西盆地		始新统	泥岩、砂岩	[21]
南苏门答腊盆地	占碑、中巨港、南巨港	渐新统—中新统	泥灰岩、含煤页岩	[22]
中苏门答腊盆地	Barumuh、中央拗陷	中新统	泥岩、页岩、煤层	[24]
松辽盆地		青山口一段、嫩江组一、二段	深灰色页岩、砂岩、油页岩	[29]
三江盆地		城子河组-穆棱组	暗色泥岩、煤层	[26]
渤海湾盆地	济阳、辽河、东濮	沙河街组一、三、四段	油页岩、灰质泥页岩	[10]
南黄海盆地	北部拗陷	白垩系—古近系	泥岩、灰岩、粉砂岩	[27]
东海陆架盆地	台北、台西拗陷	古新统—始新统	深灰色白云质砂质岩、页岩	[28]
苏北盆地	盐阜涟、东台拗陷	上白垩统—古新统	暗色泥岩、油页岩	[11]



图 1 国外主要海侵盆地分布

Fig.1 Distribution of main transgressive basins in the world

气盆地都曾遭受过海侵(图 2),如松辽、三江、渤海湾、南黄海、东海、苏北等盆地。其中松辽盆地海侵层位为青山口组一段、嫩江组一、二段,三江盆地为城子河组-穆棱组,渤海湾盆地为沙河街组四、三、一段^[26],南黄海盆地为上白垩统-古新统^[27],东海盆地为古新统—始新统^[28],苏北盆地为上白垩统—古新统等(表 1)。

1.2 海侵烃源岩分布特征

海侵盆地多分布于沿海地区,中国东部沿海凡有平原发育区域,几乎都遭受过海侵。海侵盆地由于自身环带状构造特性,使其具有良好封闭性。海侵层位多介于白垩系与古近系之间,沉积较为连续,该时期正好处于全球海平面上升期,由于海洋生物和营养物质大量涌入,致使其发育富有机质的深色泥页岩,部分烃源岩还伴有与多毛类虫管、藻叠层

石共生的生物灰岩。总而言之,海侵烃源岩具有颜色深、厚度大、分布广泛等特征。

2 海侵事件的识别及特征

证实海侵事件是否发生,是研究该事件对烃源岩发育影响的前提工作。目前对于海侵事件的识别主要通过生物学特征、矿物岩石学特征和地球化学特征等,其中生物学特征主要包括古生物、古遗迹标志,矿物岩石学特征主要包括原生海绿石和白云岩等,地球化学特征主要包括生物标志化合物、微量元素和常量元素等。

2.1 生物学特征

2.1.1 古生物

古生物标志通常指一些原本生活在海相中的

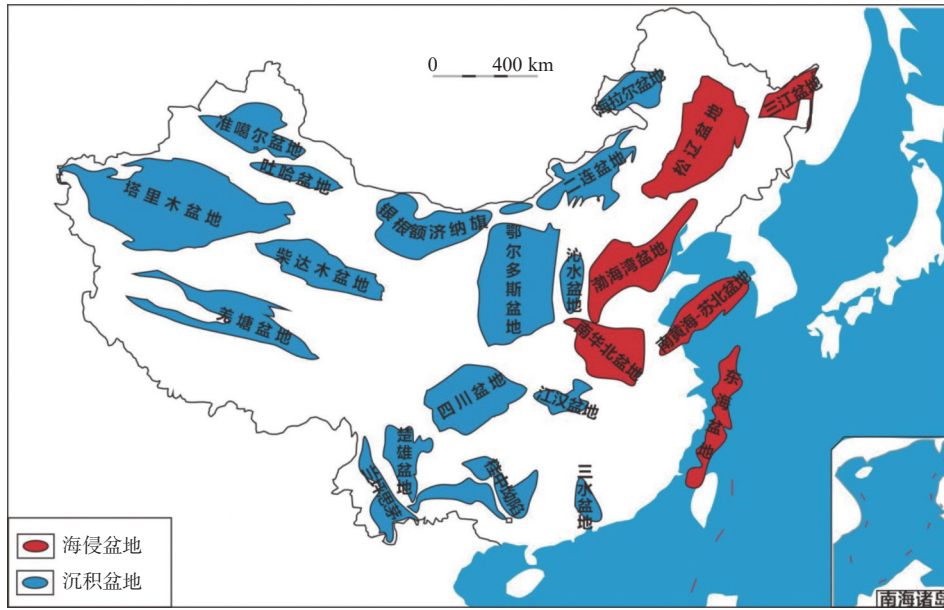


图2 国内主要海侵盆地分布

Fig.2 Distribution of main transgressive basins in China

生物,当它们出现在陆相环境时,该地区极有可能受海侵事件影响。如澳大利亚 Otway 盆地白垩系和苏北盆地白垩系、古近系发现介形类化石,松辽盆地嫩江组发现钙质超微化石^[29],北京延庆盆地、江苏武进漕桥地区第四系早期发现有孔虫化石^[30-31],渤海湾盆地古近系发现沟鞭藻化石(甲藻)^[32],济阳坳陷古近系发现有孔虫、多毛类栖管、钙质超微化石、沟鞭藻、枝管藻等^[33-34]。

2.1.2 古遗迹标志

古遗迹化石以原地堆积埋藏为特点,与实体化石相比,更能反映生物原始状况及其生活习性。东营凹陷和牛庄洼陷沙河街组发现的 *Paleodictyon* 遗迹化石,其一般发育在半深海-深海环境,分布于海相地层之中^[35]。东濮洼陷古近系发现居住迹 *Taenidim Dougpuensis* 和觅食迹 *Iniorusichnus Dongpuensis* 等遗迹化石^[36];西湖凹陷古近系发现存活于咸水-半咸水环境下的遗迹化石,其主要类型为 U 型迹 (*Arenicolites*)、蛇形迹 (*Ophiomorpha*)、漫游迹 (*planolites*) 及针管迹 (*Skolithos*)^[37];豫西北焦作地区奥陶系 4 种遗迹组构 *Psilonichnus*、*Thalassinoides*、*Helminthopsis*、*Helminthopsis-Chondrites*, 重庆秀山志留系大型虫管遗迹化石等,这些地区都发现大量代表海相沉积环境的遗迹化石^[38-39]。

2.2 矿物岩石学特征

2.2.1 矿物学

一些比较特殊的矿物也可做为海侵识别标志,

如济阳坳陷沾车凹陷沙河街组的原生海绿石^[40],为典型的海相沉积自生矿物,指向“慢速、弱还原、较深水”环境^[41-42];东濮凹陷沙四段、济阳坳陷沙三段、沙一段发现磷灰石等潮下浅海指相矿物^[43]。

2.2.2 岩石学

于歧口凹陷沙河街组发现的藻纹层白云岩表明其受过潮汐作用的影响,海侵不仅为白云岩的形成提供所需的部分 Mg^{2+} 离子,而且还使其处于重盐度的咸水环境,所以推测可能遭受过海侵^[44-45]。辽河西部凹陷雷家地区沙四段发现碳酸盐岩如泥质白云岩、鲕粒灰岩、泥质灰岩以及碎屑岩类砂岩等都曾产于海侵层位^[46]。济阳沾一车凹陷沙四段形成的小规模藻礁灰岩和礁白云岩也可作为海侵岩石学证据及特征^[47]。

2.3 地球化学特征

2.3.1 生物标志化合物

海水的侵入,会使烃源岩中某些生物标志化合物发生特殊变化,从而作为识别海侵地质事件有利证据。通过调研松科 1 井饱和烃气相色谱分析数据,青山口组一段、嫩江组一段、二段相比非海侵层位,其 Pr/Ph 大多 < 1.0 ,且主峰碳数较低,代表其以藻类低等水生生物输入为主,反映咸水还原环境。甾、萜烷也是良好的指向性参数,如规则甾烷、重排甾烷、三环萜烷,以及伽马蜡烷、甲藻甾烷、24-正丙基胆甾烷和 24-异丙基胆甾烷等在海侵层段均为高值(图 3)^[48-49]。

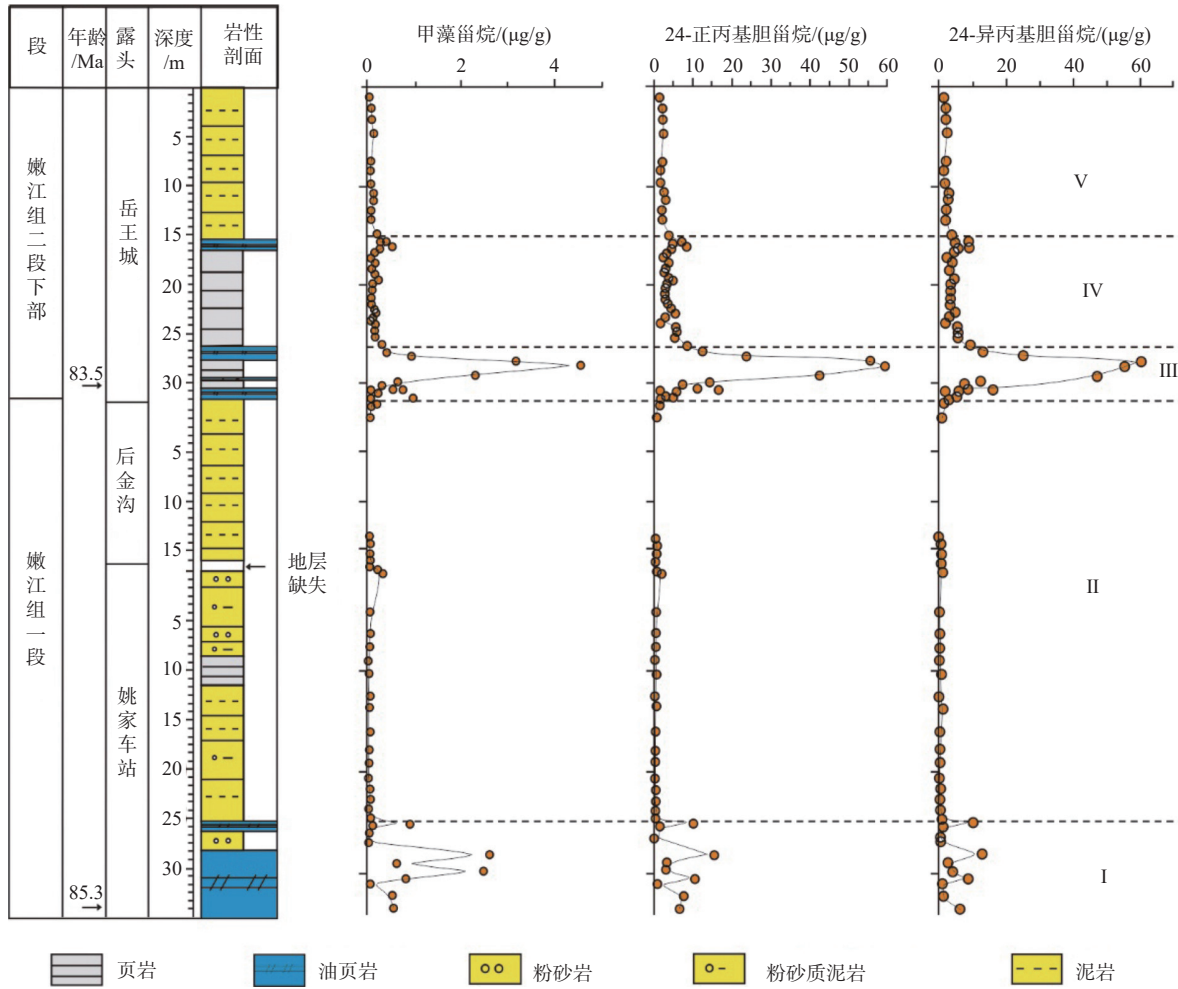


图 3 嫩江组一段和二段甲藻甾烷、24-正丙基胆甾烷和 24-异丙基胆甾烷的含量变化^[49]

Fig.3 Changes in content of dinosterane, 24-n-propyl cholestane, and 24-isopropyl cholestane in the first and second members of Nenjiang Formation^[49]

2.3.2 微、常量元素

沉积成岩条件往往控制泥岩中常、微量元素组成, 通过测定其含量, 可判断烃源岩形成时沉积环境。分析微量元素 Sr/Ba 值, 当其数值较低时, 反映沉积时期湖水低盐度特点, 为淡水湖相沉积环境。数值较高时, 则反映海水高盐度特点。常量元素 Ca 和 Mg 在海水中明显富集, 而 Si 和 Al 明显贫化。Fe²⁺/Fe³⁺、(Zn+Ni)/Ga 都可作为指示氧化还原环境的指标^[50]。

3 海侵对烃源岩发育的影响

海侵事件对烃源岩发育的影响主要通过影响古生产力和沉积环境, 其中古生产力决定了有机质的原始总量, 而沉积环境影响有机质的保存条件。海侵地质事件通过携带大量的海相低等生物、营养物质以及高盐度的海水, 从而为湖相烃源岩的发育

提供了良好的条件。

3.1 对古生产力的影响

湖相烃源岩有机质富集主要通过有机质大量输入以及自身原始有机质供给, 从而造成该烃源岩具有丰厚物质基础。藻类、浮游生物是湖泊有机质主要生产供给者, 初级生产力主要为浮游植物(藻类)和一些边缘水生生物, 次级生产力则主要为一些微体动物如介形虫、腹足类等。海水的侵入不仅带来丰富的海相生物, 还为湖盆提供大量的营养元素^[51]。松辽盆地朝长地区海侵层位发现大量的低熟原油, 其含有较为丰富的甲藻甾烷和 C₃₁ 甾烷, 通过分析其很有可能与遭受海侵后所形成的半咸水藻类有机质输入有关^[9]。对长岭地区海侵层段进行调研分析, 青山口组暗色泥岩为好生油岩, 嫩江组一段、二段、三段为较好生油岩, 以海相低等生物为主, 干酪根类型为 I、II 型。非海侵层段烃源岩大

多为较差—非生油岩,以陆生高等植物为主,干酪根类型为Ⅱ₂、Ⅲ型(表2)^[52]。金钩剖面海侵层段烃源岩 TOC 值偏高,部分介于 1.9%~5.8%^[53]。济阳坳陷海侵层位藻类化石均为高值^[54],古近系发育了沙四上亚段、沙三下亚段及沙一段三套优质烃源岩,大多为暗色泥岩并伴有少量油页岩,与目前发现的海侵层位相呼应。根据有机碳和岩石热解分析表明,海侵层位沙河街组有机碳含量最高,品质最好,干酪根类型主要为Ⅰ型,非海侵层位孔店组烃源岩较差,干酪根类型主要为Ⅲ型(图4)^[55-56]。苏北盆地海侵的方式为指状海湾或构造裂缝式,其断谷隘

口及港汊狭湾为海水侵入提供天然通道,从而形成“近海湖泊”。在此环境下,海侵层段泰州组二段、阜宁组二段、四段发育暗色烃源岩。通过对海安凹陷泰州组二段底部泥灰岩进行分析,其有机碳平均含量为 2.32%,干酪根主要为腐泥型和腐泥-腐殖型,为一套优质烃源岩。阜二段烃源岩丰度较高,属于中等—好烃源岩,有机质类型属于Ⅱ型,具有低等水生生物和高等植物双重生源特征^[57-58]。通过对大量地球化学数据以及其他证据进行综合分析,海侵层位烃源岩的生油母质丰度高、类型好,海侵整体提高了陆相湖盆的古生产力。

表2 长岭地区不同层位有机质丰度评价^[52]

Table 2 Evaluation of organic matter abundance in different horizons in Changling area^[52]

层位	有机碳含量/%			氯仿沥青A/%			总烃含量/%			综合评价
	样品数	平均值	评价	样品数	平均值	评价	样品数	平均值	评价	
K ₂ m	5	0.48	较差	5	0.017	较差	5	0.010	较差	较差
K ₂ s	7	0.29	非	7	0.008	非	3	0.006	非	非
K ₂ n ¹⁻³	39	1.20	好	37	0.079	较好	19	0.059	好	较好—好
K ₂ n ⁴⁻⁵	10	0.45	较差	10	0.009	非	6	0.007	非	非
K ₂ y ³⁺²	1	0.36	非	1	0.012	较差	1	0.009	非	非
K ₂ qn	16	1.36	好	22	0.385	好	19	0.332	好	好

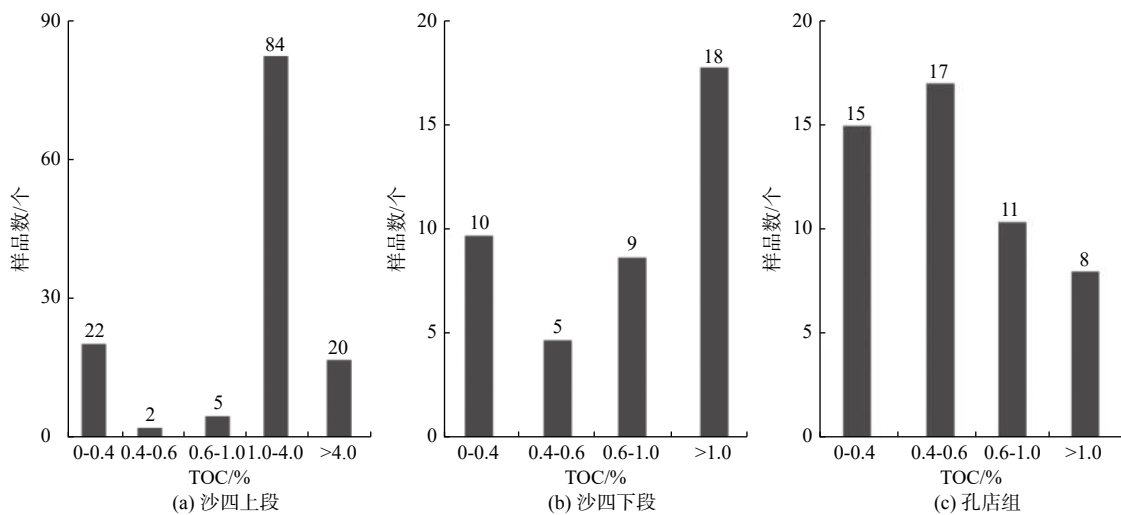


图4 东营凹陷有机碳分布频率^[56]

Fig.4 Organic carbon frequency in Dongying Sag^[56]

3.2 对沉积环境与保存条件的影响

高盐度海水的侵入导致湖泊水体盐度分层,上层水体富氧有利于水生藻类生长,下层水体缺氧有利于有机质保存。当海侵结束、海水退却,干旱气候条件蒸发作用远远大于海水补给,逐渐使之形成膏盐,从而形成高质量的盖层,有利于封盖,使有机

质得到良好保存,朝烃类转化。其上述变化主要体现在常量、微量元素、同位素及生物标志化合物等方面。通过调研姚家车站剖面的野外描述及白云岩结构构造特征,再结合实验数据推测,其嫩江组沉积期伴随着海侵事件的发生^[59],对其海侵层段进行分析(图5),Pr/Ph、A-i/P、伽马蜡烷指数、MTTCI等参数的变化范围正好反映其处于缺氧、

高盐、水体分层的沉积环境^[60]。分析苏北金湖凹陷阜二段、阜四段微量元素 B/Ga、Sr/Ba 和 B、Ga、Rb3 种元素含量相对关系以及运用沉积磷酸盐法等判断阜宁群的沉积环境, 从而得出海侵时期, 该层段处于高盐度、还原的沉积环境, 高质量烃源岩的

形成离不开良好的保存条件, 沉积有机质只有在缺氧条件下才能保存下来^[61]。海侵不仅会导致湖水盐度分层, 并且在海侵结束后一段时间, 随着湖底氧气的消耗, 逐渐形成底部缺氧环境, 进而促进有机质的保存^[62]。

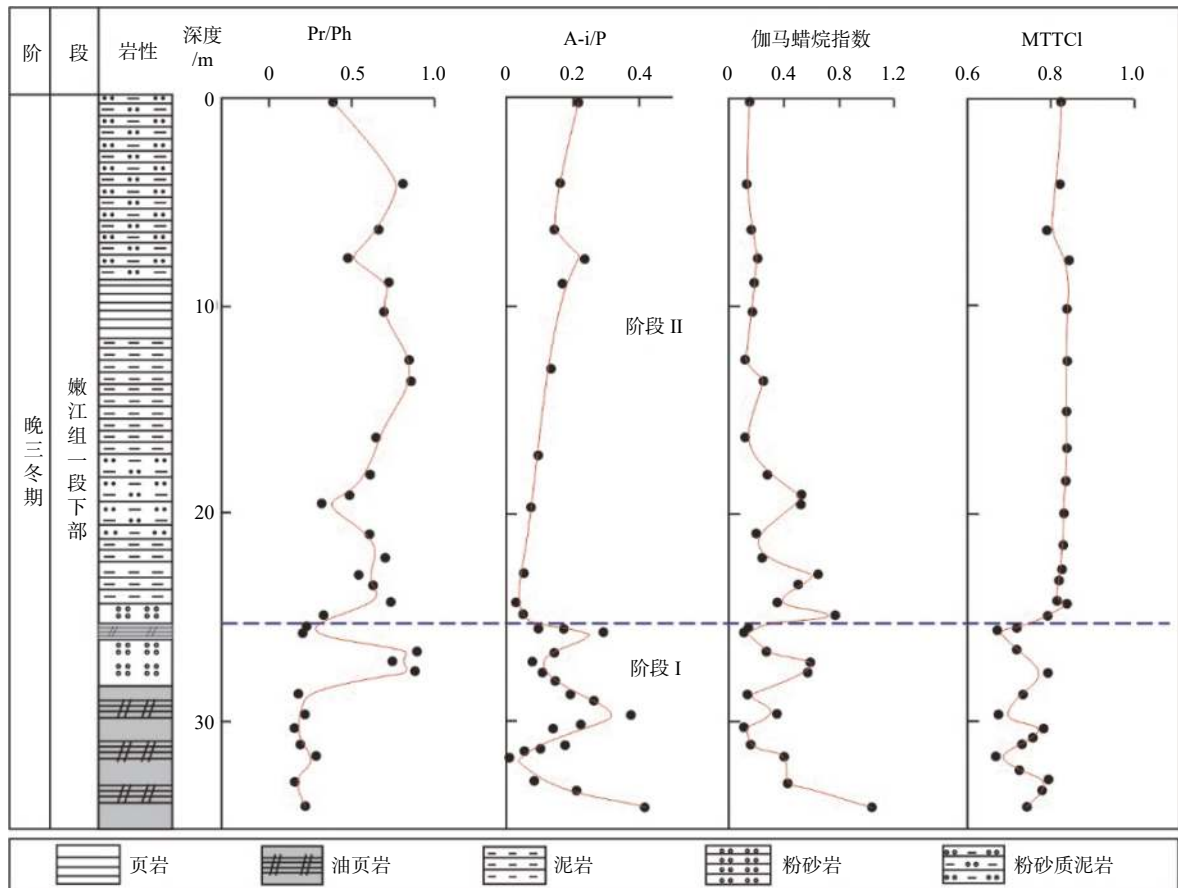


图 5 姚家车站剖面姥植比 (Pr/Ph)、芳基类异戊二烯/菲比值 (A-i/P) 等变化曲线^[60]

Fig.5 Pristane/phytane ratio (Pr/Ph), aryl isoprene / phenanthrene ratio (A-I/P), and other change curves in the section of Yaojia station^[60]

4 海侵影响烃源岩发育的模式

湖相烃源岩发育受控于多种因素, 宏观上以构造和气候为主, 微观上进一步受控于陆源有机质输入、古生产力和有机质保存等因素。海侵作为一种事件作用, 它的出现直接或间接影响有机质供给和保存, 由于各个盆地构造史、沉降史和烃源岩发育史各有不同, 以及海侵期海水性质和古气候等条件的差异, 以致全球部分盆地受海侵影响后可能会形成具有地方特色的烃源岩发育模式。下文主要介绍西非裂谷盆地 (Termit 盆地) 受海侵作用后所形成的生产力和保存条件双重因素控制的烃源岩发育模式。

以 Termit 盆地 Yogou 组为例, 海侵的水源主要以特提斯洋寒冷海水和大西洋温暖海水为主, 它们分别来自盆地的西南部和北部。经证实海侵通道为西非裂谷系, 海水沿该通道进入湖盆, Yogou 组烃源岩的发育受海侵作用影响, 强烈的海侵对其具有明显的控制作用。据此, 程顶胜等^[63]建立了海侵烃源岩发育模式图, 稳定沉降—深水 (海侵) 广盆模式图 (图 6)。Yogou 组沉积期古气候条件比较特殊, 以炎热温暖、潮湿居多, 较利于烃源岩发育。全球海平面上升, 致 Termit 盆地遭受大规模海侵, 在 Yogou 组沉积早期, 海侵作用强烈, 海相沉积范围相对广泛, 海水和陆相河流淡水注入带来有机质及营养物质的共同作用, 使陆生植物繁盛发育, 直接提高了湖盆的古生产力; 在盆地的主凹陷区即盆

地中央部位,底层较深水体由于受大量高密度海水注入,导致其盐度快速升高,致使上下水体出现盐度分层,水体相对闭塞,形成半咸水-弱还原沉积环

境;适度的有机质供给,加上良好的保存条件,形成以陆生植物为主要生烃母质的优质烃源岩发育区^[63-65]。

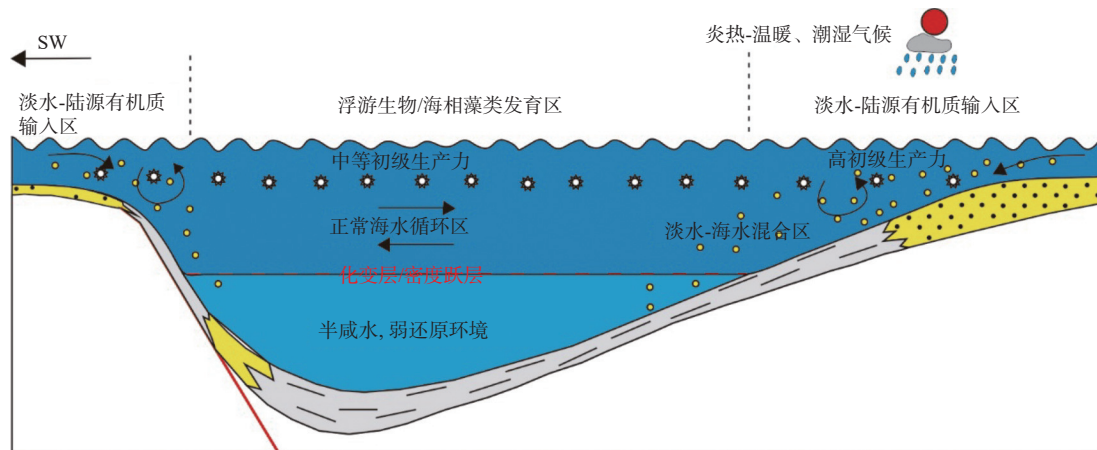


图6 Termit盆地优质烃源岩发育模式^[63]

Fig.6 Development model of high-quality source rocks in the Termit Basin^[63]

5 认识与展望

从志留纪开始,随着全球海平面升高沿海多数盆地都相继遭受过海侵,但大规模海侵作用主要集中在中生代和新生代。国外的东尼日尔盆地以及中国东部松辽盆地等大部分陆相盆地都发现过海侵痕迹:如介形类、钙质超微化石和沟鞭藻等各种古生物、古遗迹化石。根据矿物岩石以及地球化学方面的特征也可推断海侵作用年代,比较常用的如原生海绿石、白云岩以及各种生物标志化合物和微量元素等。证实海侵发生的年代后,结合一些前人实验数据,可以深入了解海侵对烃源岩发育造成的影响机制。如海水的大量输入,携带大量海相生物以及营养元素,大大提高了湖盆生产力,并且随高盐度海水的渗入,湖盆中央中浅层部位发现大量伽马蜡烷,盆地逐渐出现盐度分层,致底层水体不能参与水循环作用,随着水底氧气的消耗,从而形成弱氧化-还原环境,有利于有机质保存。海侵层位相比非海侵层位,其有机质丰度相对较高,类型也较好,但受限于现今技术,并且海水入侵时间很短暂,在地质记录中很难保存,所以关于海侵事件的期次和持续时间以及海侵程度相对大小的研究,目前还严重缺乏,只能定性判断。海侵的发生不仅仅只有海侵古生物标志,更重要的则是海侵通道,只有将两者结合起来才能更好判断海侵是否发生。然而,海侵通道的判断需要结合埋藏史、构造演化

史等资料进行综合分析,由于海侵发生时间过于久远,而且构造演化识别难度较大,所以目前海侵通道的识别也是一大难点。石盐沉积在地质历史中可以记录极为短暂的地质事件,值得注意的是目前以孟凡巍、倪培等^[32]通过分析石盐流体包裹体的成分,然后与同时期海水成分进行对比,支持了中国东部存在海侵的观点,所以该方法或许可成为海侵判别新理论依据。而且近年来部分学者发现海侵作用也有消极一面,当海水入侵时携带大量硫酸根离子,水体中硫酸盐浓度增大,进而加强了硫酸盐还原作用,消耗了大量有机质,从而不利于优质烃源岩形成^[66]。

6 结论

湖相烃源岩的发育对大油气田的形成具有重要意义,为阐明海侵地质事件对烃源岩发育所造成的影响,本文从多个方面进行剖析,得出以下认识。

(1)全球海侵盆地大多分布于沿海地区,海侵层位主要介于白垩系与古近系之间,岩性以富含有机质深色泥页岩为主。

(2)海侵地质事件识别主要从生物学、矿物岩石学、地球化学证据等方面进行研究,如有孔虫、沟鞭藻、钙质超微化石、原生海绿石、白云岩以及各种生物标志化合物和常量元素及微量元素,再结合海侵通道证实海侵。

(3)海侵过程中,海水携带营养元素提升湖盆

古生产力,随着盐度的增加引起湖水分层,形成还原环境有利于有机质保存,对烃源岩发育有明显的促进作用,海侵段烃源岩一般有机质丰度较高、类型较好。

综上所述,海侵事件明显促进烃源岩发育,高有机质丰度和较好的有机质类型为海侵层段烃源岩所具有的特征,分析海侵事件与烃源岩发育的内在联系,为优质烃源岩层的预测提供了一定理论依据,进一步丰富了烃源岩发育机制理论,指导油气的勘探。

参考文献:

- [1] 陈笑夜,曹剑,施春华,等. 陆相湖盆海侵地质事件识别及其对烃源岩形成影响[J]. *地质论评*, 2012, 58(5): 901-910.
- [2] 康安,杨磊. 中国近海及东南亚地区古近纪断陷盆地湖相烃源岩及油气藏分布[J]. *新疆石油地质*, 2010, 31(4): 337-340.
- [3] 张林晔. 湖相烃源岩研究进展[J]. *石油实验地质*, 2008, 30(6): 591-595.
- [4] 焦鑫,柳益群,周鼎武,等. 湖相烃源岩中的火山—热液深源物质与油气生成耦合关系研究进展[J]. *古地理学报*, 2021, 23(4): 789-809.
- [5] OHMOTO H. A seawater-sulfate origin for early Earth's volcanic sulfur[J]. *Nature Geoscience*, 2020, 13(8): 576-583.
- [6] 胡修棉. 白垩纪中期异常地质事件与全球变化[J]. *地质前缘*, 2005, 12(2): 222-230.
- [7] 张玉宾. 事件性海侵与烃源岩的形成[J]. *石油勘探与开发*, 1998, 25(6): 78-80.
- [8] 赵锡文. 关于海侵与海浸[J]. *地质论评*, 1980, 26(5): 456-457.
- [9] 侯杰谈,黄清华,孔庆云,等. 松辽盆地白垩纪海侵事件与油气的早期生成[J]. *江汉石油学院学报*, 1999, 21(1): 26-28.
- [10] 袁文芳,陈世悦,曾昌民. 渤海湾盆地古近纪海侵问题研究进展及展望[J]. *沉积学报*, 2005, 23(4): 604-612.
- [11] 傅强,李益,张国栋,等. 苏北盆地晚白垩世—古新世海侵湖泊的证据及其地质意义[J]. *沉积学报*, 2007, 25(3): 380-385.
- [12] 包金松. 澳大利亚Otway盆地白垩纪介形类化石的发现及其意义[J]. *微体古生物学报*, 2002, 19(1): 1-14.
- [13] PIOVESAN E K, BERGUE C T, FAUTH G. New ostracode species from the Upper Cretaceous of the Santos Basin, Brazil[J]. *Revista Brasileira de Paleontologia*, 2010, 13(3): 175-180.
- [14] 刘邦,潘校华,万仑坤,等. 东尼日尔盆地海侵的微体古生物和地球化学证据[J]. *现代地质*, 2011, 25(5): 995-1006.
- [15] MOODY R T J, SUTCLIFFE P J C. The Cretaceous deposits of the Iullemmenden Basin of Niger, central West Africa[J]. *Cretaceous Research*, 1991, 12(2): 137-157.
- [16] DOU L R, XIAO K Y, CHENG D S. Petroleum geology of the Melut Basin and the Great Palogue Field, Sudan[J]. *Marine and Petroleum Geology*, 2007, 24(3): 129-144.
- [17] EI-BEIALY S Y, HEAD M J, EI-ATFY H S. Palynology of the mid Cretaceous Malha and Galala Formations, Gebel EI Minshera, Northern Sinai, Egypt[J]. *Palaios*, 2010, 25(8): 517-526.
- [18] 夏在连,刘树根,王国芝,等. 中伊朗盆地卡山地区Aran构造带油气成藏[J]. *油气地质与采收率*, 2008, 15(2): 24-26.
- [19] FRANZ M, KAISER S I, FISCHE J, et al. Eustatic and climatic control on the Upper Muschelkalk Sea (late Anisian/Ladinian) in the Central European Basin[J]. *Global and Planetary Change*, 2015, 135: 1-27.
- [20] HAQ B U, HARDENBOL J A N, VAIL P R. Chronology of fluctuating sea levels since the Triassic[J]. *Science*, 1987, 235(4793): 1156-1167.
- [21] 徐行,姚永坚,王立非. 南海南部海域南薇西盆地新生代沉积特征[J]. *中国海上油气地质*, 2003, 17(3): 170-175.
- [22] 张琴,朱筱敏,董国栋,等. 南苏门答腊盆地构造演化对沉积演化及成藏条件的控制[J]. *油气地质与采收率*, 2013, 20(1): 16-19.
- [23] SOSROWIDJOJO I B, SAGHAFI A. Development of the first coal seam gas exploration program in Indonesia; Reservoir properties of the Muaraenim Formation, south Sumatra[J]. *International Journal of Coal Geology*, 2009, 79(4): 145-156.
- [24] 董国栋,张琴,朱筱敏,等. 中苏门答腊盆地新生代沉积演化及其油气意义[J]. *重庆科技学院学报(自然科学版)*, 2013, 15(3): 5-8.
- [25] WILLIAMS H H, EVBANK R T. Hydrocarbon Habitat in the Rift Graben of the Central Sumatra Basin, Indonesia[J]. *Geological Society Special Publication*, 1995, 80(1): 331-371.
- [26] 陈秀艳,刘招君,何玉平,等. 三江盆地群城子河组—穆棱组层序地层对比[J]. *科技导报*, 2010, 28(22): 55-59.
- [27] 王明健,张训华,王安国,等. 南黄海盆地南部坳陷下三叠统沉积相[J]. *海洋地质前沿*, 2014, 30(10): 51-56.
- [28] 彭世福. 浅析中国近海第三纪海侵及其与油气关系[J]. *海洋地质与第四纪地质*, 1986, 6(4): 67-78.
- [29] 曹文心,席党鹏,黄清华,等. 松辽盆地海侵事件—松科1井钙质超微化石新证据[J]. *地质通报*, 2016, 35(6): 866-871.
- [30] 庞其清,黄兴根. 北京延庆盆地第四纪早期有孔虫化石的发现及海侵的探讨[J]. *海洋地质与第四纪地质*, 1984, 4(2): 91-102.
- [31] 邹松梅. 江苏武进漕桥地区第四纪更新世海侵初步研究[J]. *江苏地质*, 1998, 22(4): 3-5.
- [32] 孟凡巍,欧志吉,高红灿. 渤海湾盆地海侵的证据:来自沟鞭藻化石的证据[C]//全国微体古生物学分会第九届会员代表大会暨第十四次学术年会、全国化石藻类专业委员会第七届会员代表大会暨第十五次学术讨论会论文摘要集,腾冲:中国古生物学会微体古生物学分会, 2012: 32.
- [33] 姚益民,徐金鲤,单怀广,等. 山东济阳坳陷早第三纪海侵的讨论[J]. *石油学报*, 1992, 13(2): 29-34.
- [34] 任来义,林桂芳,谈玉明,等. 从古生物和地球化学标志看东濮凹陷早第三纪的海侵事件[J]. *西安石油学院学报(自然科学版)*, 2002, 17(1): 20-23.
- [35] 袁文芳,陈世悦,曾昌民,等. 牛庄洼陷古近纪浊流沉积中*Pa-leodictyon*遗迹化石的发现[J]. *煤田地质与勘探*, 2006, 34(1): 8-11.
- [36] 李浩鸣. 华北地洼区东濮洼陷早第三纪含油建造的古生代分

- 析[J]. *大地构造与成矿学*, 1986, 10(2): 159-168.
- [37] 于兴河, 李顺利, 曹冰, 等. 西湖凹陷渐新世层序地层格架与沉积充填响应[J]. *沉积学报*, 2017, 35(2): 299-314.
- [38] 牛永斌, 胡亚洲, 高文秀, 等. 豫西北奥陶系马家沟组三段遗迹组构及沉积演化规律[J]. *地质学报*, 2018, 92(1): 15-27.
- [39] 王怿, 张小乐, 徐洪河, 等. 重庆秀山志留系小溪组的发现与廻星哨组的厘定[J]. *地层学杂志*, 2011, 35(2): 113-121.
- [40] 葛瑞全. 济阳拗陷新生界海绿石的存在及其地质意义[J]. *沉积学报*, 2004, 22(2): 276-280.
- [41] 陈淑慧, 李云, 胡作维, 等. 海绿石的成因—指相作用及其年龄意义[J]. *岩石矿物学杂志*, 2014, 33(5): 971-979.
- [42] 徐勇航, 赵太平, 陈伟. 华北克拉通南部古元古界熊耳群中海绿石的发现及其地质意义[J]. *沉积学报*, 2010, 28(4): 671-675.
- [43] 吴贤涛, 任来义. 渤海湾盆地古近纪海水通道与储层探新[J]. *古生物学报*, 2004, 43(1): 147-154.
- [44] 杨扬. 白云岩地球化学特征与古气候和海侵事件的关系[D]. 长春: 吉林大学, 2014.
- [45] 陈世悦, 李聪, 杨勇强, 等. 黄骅拗陷歧口凹陷沙一下亚段湖相白云岩形成环境[J]. *地质学报*, 2012, 86(10): 1679-1687.
- [46] 刘雪松, 贾海燕, 韩亚杰, 等. 雷家地区古近系沙四段湖相白云岩成因[J]. *世界地质*, 2019, 38(3): 767-773.
- [47] 葛瑞全, 宋传春, 淳萍, 等. 济阳沾车凹陷古近系沙河街组海侵的再认识[J]. *高校地质学报*, 2003, 9(3): 450-457.
- [48] 冯子辉, 霍秋立, 王雪, 等. 松辽盆地松科1井晚白垩世沉积地层有机地球化学研究[J]. *地学前缘*, 2009, 16(5): 181-191.
- [49] 童晓宁. 松辽盆地及邻区晚白垩世四醚类脂物GDGTs揭示的古气候/环境意义[D]. 广州: 中国科学院大学(中国科学院广州地球化学研究所), 2018.
- [50] 樊馥, 蔡进功, 高福红. 孙吴-嘉荫盆地太平林场组烃源岩海侵特征研究[J]. *沉积学报*, 2009, 27(4): 650-656.
- [51] 权永彬. 珠江口盆地珠三坳陷湖相烃源岩发育机理及其成藏贡献[D]. 武汉: 中国地质大学, 2018.
- [52] 张枝焕, 吴聿元, 俞凯, 等. 松辽盆地长岭地区烃源岩地球化学特征[J]. *新疆石油地质*, 2002, 23(6): 501.
- [53] 曹怀仁, 胡建芳, 席党鹏, 等. 松辽盆地后金沟剖面烃源岩地球化学特征及其古环境重建[J]. *沉积学报*, 2015, 33(5): 1043-1052.
- [54] 宫红波, 孙耀庭, 刘静, 等. 济阳拗陷沾化凹陷沙一下亚段优质烃源岩成因分析[J]. *地质论评*, 2019, 65(3): 632-644.
- [55] 陈婷, 罗睿, 王君泽. 济阳拗陷沙河街组和孔店组烃源岩地球化学特征[J]. *重庆科技学院学报(自然科学版)*, 2011, 13(6): 23-25.
- [56] 夏成龙. 东营、沾化凹陷深层烃源岩特征分析[D]. 焦作: 河南理工大学, 2014.
- [57] 刘平兰. 苏北盆地高邮凹陷泰州组烃源岩评价[J]. *天然气地球科学*, 2009, 20(4): 598-602.
- [58] 胡维强, 马立涛, 刘玉明, 等. 苏北盆地海安凹陷曲塘次凹阜宁组二段烃源岩地球化学特征[J]. *东北石油大学学报*, 2018, 42(5): 73-81.
- [59] 李权衡, 和成忠, 孟晓荣, 等. 松辽盆地嫩江组白云岩地球化学特征[J]. *四川地质学报*, 2015, 35(z2): 62-66.
- [60] 童晓宁, 胡建芳, 祝孟博, 等. 松辽盆地姚家车站剖面嫩江组一段下部湖相有机质组成及其沉积环境特征[J]. *地球化学*, 2019, 48(2): 149-160.
- [61] 严钦尚, 张国栋, 项立嵩, 等. 苏北金湖凹陷阜宁群的海侵和沉积环境[J]. *地质学报*, 1979(1): 77-99.
- [62] 商斐, 周海燕, 刘勇, 等. 松辽盆地嫩江组泥页岩有机质富集模式探讨——以嫩江组一、二段油页岩为例[J]. *中国地质*, 2020, 47(1): 236-248.
- [63] 程顶胜, 窦立荣, 张光亚, 等. 中西非裂谷盆地白垩系两类优质烃源岩发育模式[J]. *地质学报*, 2020, 94(11): 3449-3460.
- [64] 程顶胜, 窦立荣, 王景春, 等. 乍得Bongor盆地天然气地球化学特征及成因[J]. *地学前缘*, 2018, 25(2): 112-120.
- [65] ZHANG G Y, TONG X G T, X I N R C, et al. Evolution of lithofacies and paleogeography and hydrocarbon distribution worldwide (II) [J]. *Petroleum Exploration and Development*, 2019, 46(5): 896-918.
- [66] 李鹏, 刘全有, 毕赫, 等. 火山活动与海侵影响下的典型湖相页岩有机质保存差异分析[J]. *地质学报*, 2021, 95(3): 632-642.

Influence mechanism of transgressive events on source rock development in continental lacustrine basin

MA Xintao¹, DING Xiujian^{1*}, YIMING Abilimit², LIU Hailei², ZHAO Longmei³

(1 School of Geosciences, China University of Petroleum, Qingdao 266580, China;

2 Research Institute of Exploration and Development, PetroChina Xinjiang Oilfield Company, Karamay 834000, Xinjiang, China;

3 National Engineering Research Center, China United Coalbed Methane Corporation Ltd., Beijing 100095, China)

Abstract: Transgression is one of the important events affecting the development of source rocks in lacustrine basin, and the status quo of this issue was reviewed upon summarizing relevant literature in China and the world. Transgressive events are widely distributed in the Songliao Basin, Bohai Bay Basin, Subei Basin in China, and many other in other countries. Transgression can be identified by paleorelic markers, mineral petrological markers, and geochemical imprints. Generally, transgressive source rocks are characteristic of high abundance and good type of organic matter, which is mainly due to the obvious promotion by transgressive events to the development of source rocks. On the one hand, transgression may bring abundant nutrients to lake water and significantly improve the productivity of ancient lakes. On the other hand, salinity may be conducive to the formation of stable water stratification and a strong reducing environment at the water bottom, which could promote the preservation of organic matter. Taking the Termit Basin in the West African rift type as an example, the model of marine transgression affecting the development of lacustrine source rocks is summarized.

Key words: transgression; source rocks; richness of organic matter; paleoproductivity; sedimentary environment