

海相生烃碎屑岩的沉积环境及有机质的分布^①

谢泰俊

(中国海洋石油勘探开发研究中心,河北高碑店 074000)

提 要 湖相与海相生烃岩的沉积环境不完全相同。文章根据国内外有关海相生烃岩沉积环境的资料,探讨了富含有机质泥岩的沉积模式。古海洋学、地层层系及浮游有孔虫的研究成果表明环北大平洋地区生烃岩出现的层位及沉积时的古气候有相似性。笔者还应用层序地层学及有机地化资料,讨论了有机质的分布及其控制因素。

关键词 有机质 缺氧环境 沉积模式 黑色页岩条件

分类号 P 618.130.1

第一作者简介 谢泰俊 男 60岁 高级工程师 石油地质

1 前 言

我国海域中—新生代海相地层分布十分广泛,厚度巨大,如东海盆地,从古新统至第四系均有海相地层,珠江口盆地、台西南盆地和莺琼盆地新生代海相地层的厚度可达10 000 m以上,已证实其中有富含有机质的生烃岩,因此对海相生烃岩的研究有十分重要的意义。

我国对陆相生油理论的研究取得了举世公认的成就,在湖相生烃岩的沉积环境及生烃条件的研究中总结出许多有实用意义的理论和规律,这些理论和规律无疑对海相地层生油的研究有重要指导意义。但“海”和“湖”必竟是两种性质不同的水体,它们在生烃岩的沉积环境也有差别,而这种差别正是海相生烃岩的重要研究内容。

2 海相及湖相生烃岩的沉积环境及其差异

海相及湖相生烃岩的沉积环境有许多相同之处,归纳起来有以下几方面:①有相对稳定的水体;②水体中生物繁盛,能提供大量生油母质;③具较强还原环境(或缺氧环境),使有机质能保存下来。

“海”和“湖”环境上也有较大的差别,1988, Fleet等曾列出海洋及湖泊沉积环境,在地理、气候、古生物、沉积相及地球化学等诸方面的差异^[1],笔者认为,从生油条件分析其主要差别表现在以下几个方面:①湖泊水体范围有限变化较大,海洋则储水量

巨大,比较稳定,据世界现今湖泊调查,湖泊最大面积可达80 000 km²,一般为数千 km²,而海洋则可达数百万至数千万 km²;②沉积生烃岩的湖泊多为构造凹陷,受裂谷或断裂的控制,而海相生烃岩则与海平面升降及古海洋环境密切相关;③湖水和湖盆中滞留的时间短水位变化大,而海水在海盆中滞留的时间较长,水位变化缓慢;④湖泊的水体较为宁静,一般有较深的水体存在就具有缺氧环境,而海洋则不然,它的风浪较大,其影响的深度也较大,深部还受强大的底流的影响,因此缺氧环境,仅在较特殊条件下才能出现。

我国陆相盆地的研究成果表明断陷深水湖盆是有机质堆积和油气生成的主要场所^[2],边界断层的继承性活动及深水还原环境是控制生烃岩沉积的重要因素。近代海洋地质调查的结果则发现许多深水洋盆的海底有机质极为贫乏,如日本海水深>3 000 m的深海区,海水含氧量高达5 ml/l以上,有机质含量很低,说明海相与陆相生烃岩的沉积环境有较大的差别,因此,有必要对海相生烃岩的沉积环境进行专门的讨论。

3 海相生烃碎屑岩的沉积模式

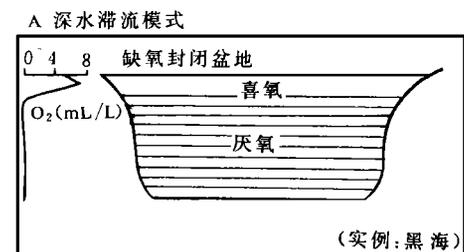
自大洋钻探及深海钻探计划(ODP及DSDP)实施以来,人们逐渐掌握了全球范围内富有机质分布的一些资料,提出了一些新的见解。Brum sack等1980提出了白垩纪大洋有机质页岩的广泛出现为该大洋全球性深水“滞流”事件。Thiede和 Van An-

① 国家自然科学基金支持重点项目(基金编号 4913206)的研究成果之一
收稿日期:1996-09-12

del, 1977; Demaison 及 Moore, 1980; Arthur 等 1984, 提出了深水滞流模式及生产率模式^[3]。笔者据国内外有关资料, 认为海相生烃岩可能有以下几种沉积模式:

3.1 滞流模式 分两个亚类

3.1.1 黑海模式 是一种近似于深水湖泊的沉积模式。现代的黑海, 一般被人们看作是在缺氧深水环境中沉积有机碳的典型实例, (见图 1-A)



见 Thunell 等(1984)据 Thiede 和 Vandel(1977)

B 近岸半封闭海模式

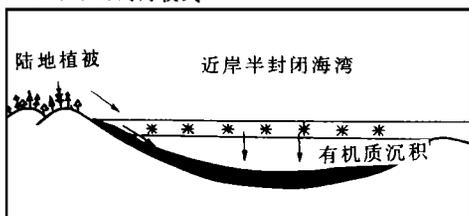


图 1 富有质机沉积滞流模式

Fig. 1 Stagnation model of organic-rich sediments

3.1.2 南海模式 南海及其周边地区, 在渐新世普遍存在一些封闭性良好的海湾和泻湖, 海水较浅, 但处于半封闭滞流状态, 沉积了大量以陆源有机质为主的含煤地层, 保存条件较好, 生成了大量石油和天然气, (图 1-B)

3.2 生产率模式

一般见于大陆边缘的陆坡地区, 特别是上升流发育区, 浮游生物及藻类繁殖迅速, 含量很高。由于生物大量死亡, 其遗体下沉过程中, 腐烂分解吸收大量溶解氧, 一般在水深 250~ 1 500 m 出现缺氧层 (水中溶解氧含量 $< 0.5 \text{ ml/l}$), 在缺氧层中大量营养物质又被上升流周期性地带到表层水中使生物大量繁殖, 生物生产率增加, 这些生物死亡后下沉至缺氧层与海底的接触带被保存下来。

最典型的实例是非洲西北部, 北纬 $10^{\circ} \sim 21^{\circ}$ 近岸海域^[4], 在上新世上升流极为发育, 其沉积物的有机碳含量达 $2\% \sim 3\%$, 有机碳堆积速率为 $0.2 \sim 0.5 \text{ gC/cm}^2 \cdot 1000\text{a}$, 氢指数为 $200 \sim 400 \text{ mg HC/gC}_{\text{org}}$,

生油母质以海源有机质为主, 故这种模式也可称为西北非模式, (见图 2)

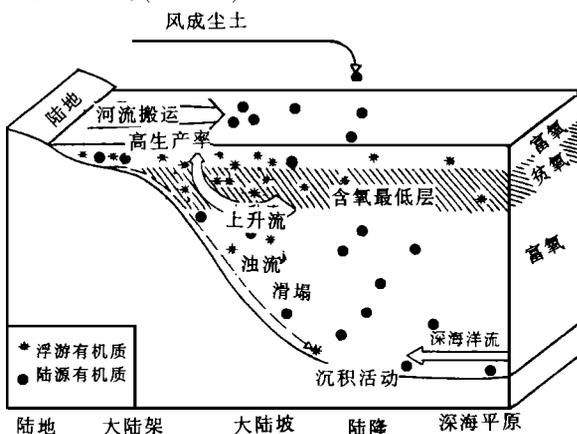


图 2 富有有机质沉积生产率模式

(据 corhford 1979 修改)

Fig. 2 Productivity model for organic-carbon-rich sediments

3.3 密度分层模式

这种模式也可称为北海模式。侏罗系的启莫里页岩是北海的主要生烃岩, 它就是在具有密度分层的水体中沉积的 (见图 3)。在晚侏罗系一早白垩世,

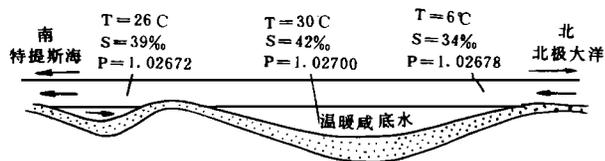


图 3 北海启莫里期海水分层模式示意图

(据 R. G. Miller)

Fig. 3 Schematic diagram of the salinity-stratification model for Kimmeridge in the North Sea

北海群岛林立, 造成了广阔的浅水海湾, 表层为缓慢流动的充氧洋流, 而底部则咸度较大温暖的底水 (W SW B), 后者比重较大, 处于相对停滞状态为缺氧水。表层水中繁衍着大量的藻类和浮游生物, 死亡后降至底层保存下来, 形成富含有机质页岩, 其厚度一般为 150 m, TOC 含量平均值达 $4\% \sim 5\%$, HI 为 $350 \sim 400 \text{ mg/gC}_{\text{org}}$, 分布区从挪威域延伸至加拿大和英吉利海峡^[5]。

3.4 三角洲模式

本文指海陆过渡的大型三角洲分布区, 由于大量的陆源有机质和营养物质的输入, 在前三角洲相区常沉积富含有机质的页岩, 如俄罗斯西西伯利亚盆地在晚侏罗世的前三角洲相区沉积了大量富含有机

机质泥岩,其有机碳含量可达 10% 以上。南海北部珠江三角洲,中新世沉积期,前三三角洲相区的泥岩有机碳的含量也较高(图 4)。

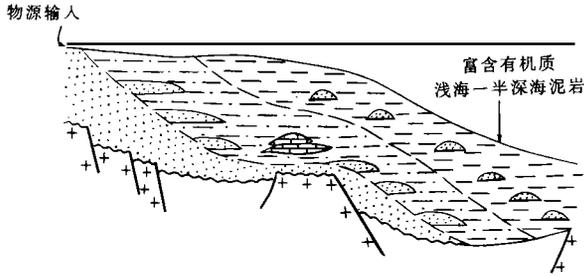


图 4 珠江口盆地东部三角洲模式

Fig. 4 Delta model in the eastern part of the Pearl River mouth basin

4 晚第三纪的“黑色页岩”事件

“黑色页岩”事件指一定地质时期在全球的大洋沉积中普遍(或在相当大的范围内)沉积富含有机质生烃岩的事件。迄今为止, DSDP/ODP 的钻探已证

实了白垩纪大洋富含有机质沉积在世界范围内广泛出现。其形成原因尚有争议,某些学者(如 Brum-sack, 1980; de Graciansky 等, 1984; Zimmerman 等, 1986)提出泛大洋全球深水“滞流”事件,即在滞流极端还原深水条件下沉积了黑色页岩^[5]。

晚第三纪的黑色页岩广泛出现在环北太平洋地区。中新世蒙特雷页岩(Monterey)是在该区发育的生烃岩,也是美国加利福尼亚州洛杉矶、圣华金及文吐拉等含油气盆地的主要生烃岩,岩性为灰黑色硅藻页岩。这套生烃岩沿加拿大的温哥华近海,白令海峡至日本海均可追踪,日本新泻盆地的女川组生油层也可与之对比^[6]。近年来在南海北部莺歌海盆地发现了大量天然气,其主要烃源岩是中新统黄流组至三亚组,与蒙特雷页岩的层位大致相当,台湾西部的主要生烃岩之一打鹿页岩也是中新世的海相页岩。综上所述,可得出一个初步认识,在环太平洋北区内有中新世的生烃岩广泛分布,存在一个生烃岩事件,由于它首先见于加利福尼亚州中新统的蒙特雷组,称之为“Monterey”事件(图 5)。

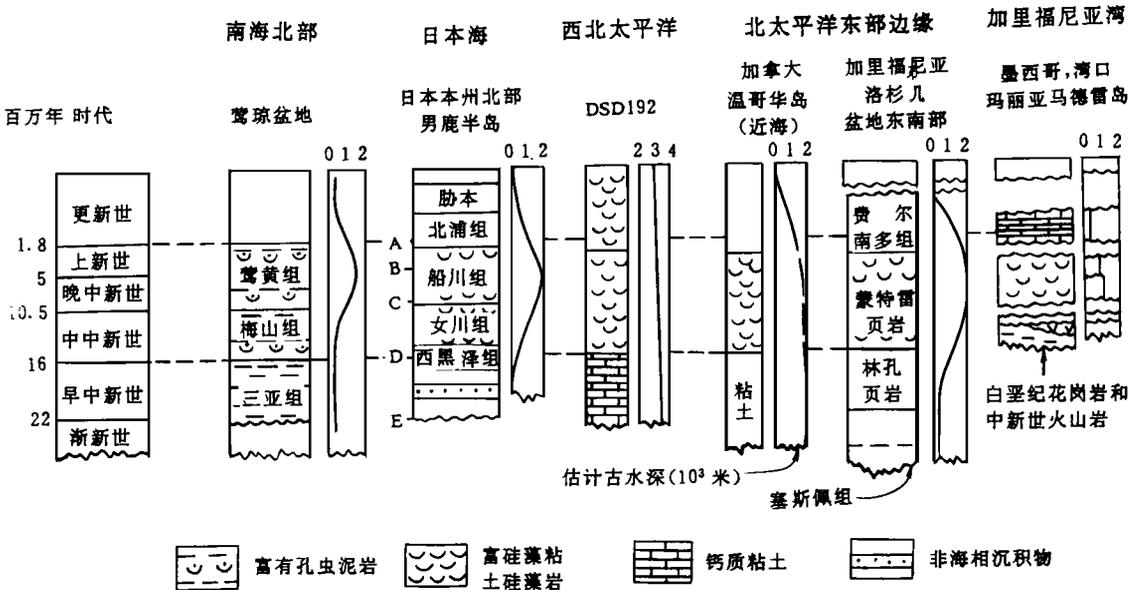


图 5 环北太平洋边缘中新世生烃层系对比(据 J. C. Ingle及南海北部资料改编)

Fig. 5 Correlation of Miocene marine source sequences along the North Pacific Coast

J. C. Ingle, 1981, 认为中新世初南极冰盖迅速形成,太平洋表面环流加强,伴随着加利福尼亚洋流体系中上升流同时加强和高硅生产率开始出现,还指出南北球高纬度地区,最显著的是南极大洋地区硅生产率增加是一种区域性现象^[6]。随着生产率的

增加,环北太平洋诸盆沉积了富含硅藻的粘土及硅藻岩,其东部边缘的一些封闭性良好盆地如洛杉矶、圣华金等盆地还沉积了富含有机质(TOC > 5%)的黑色硅藻页岩。

这种现象在南海北部也有明显的反映,各探井

的 $\delta^{18}\text{O}$ 同位素曲线与环北太平洋地区的综合曲线完全可以对比 (见图 6) 中新世开始, (相当浮游有孔虫 N₉带) $\delta^{18}\text{O}$ 值增加, 表明古水温迅速降低, 南极冰盖开始形成, 至中新世中晚期 (相当有孔虫

N₁₂带) $\delta^{18}\text{O}$ 值进一步增大, 全球进入冰期, 太平洋表面洋流强烈的活动也波及南海海域, 使有孔虫的生产率增大, 在中新世中晚期沉积了富含孔虫泥岩, 有机碳的含量也相应增加

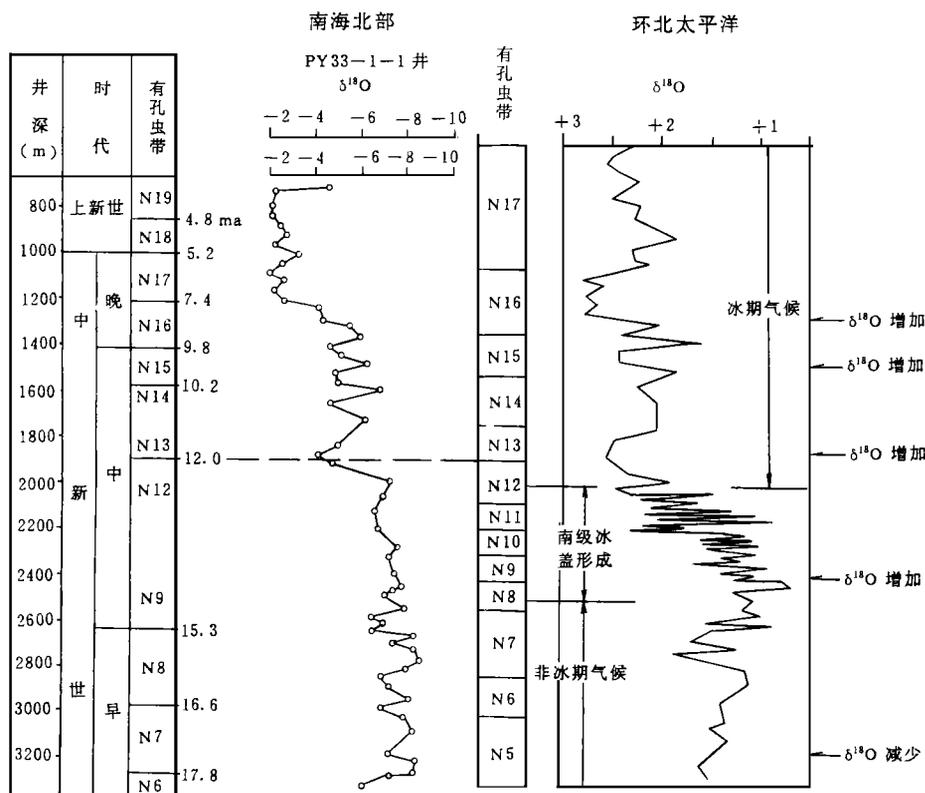


图 6 南海北部与环北太平洋 $\delta^{18}\text{O}$ 剖面对比 (据 J. C. Jngle 及南海北部资料编制)

Fig. 6 Correlation of Miocene $\delta^{18}\text{O}$ sections in the northern part of the South China Sea and North Pacific Coast

5 南海北部中新世海相生烃岩的沉积环境及其分布

南海北部大陆边缘区早在渐新世早期就开始发生海侵, 渐新世晚期海侵范围继续扩大, 由于盆地仍处于裂隙阶段, 古地貌起伏较大, 凹凸相间, 海盆具有半封闭海的特点, 沉积了一套浅水滞流环境下沉积的生烃岩, 有机质以陆源为主, 夹薄煤层, 泥岩的 TOC 达 1% ~ 2%, 干酪根以 III 型为主, 生烃岩中的富含双杜松烷 (W, T) 及奥利烷。这套生烃岩在东南亚地区也极为发育。

中新世早期, 盆地由断陷转化为坳陷阶段, 海盆由半封闭转为开放, 海水继续加深, 除莺歌海为半封闭海以外, 其余均为开放海, 有机质的保存较困难。中新世末, 发生大范围的海退并造成广泛的沉积间

断。中新世晚期又发生大范围的海侵, 这次海侵不仅范围大, 且海平面上升速度快, 这时正是南极冰盖迅速形成, 地球气候由非冰期转为冰期, 生物生产率普遍增大, 据实验分析结果每 20 克干样孔虫可达 1 000 枚以上^[7]。特别是莺琼盆地中新世晚期至上新世 (N₁₇-N₁₉带), 在中央凹陷北侧有一个古陆坡, 在陆坡带有上升流出现, 并发育一定厚度的缺氧层, 沉的泥岩有机质含量较高, TOC 平均值为 1% ~ 1.5%, II 型干酪根为主, 岩石抽提物主峰碳为 C₁₇ ~ C₉, 普遍较低 Pr/Ph, 色质分析结果还表现 C₂₉ 甾烷 > C₂₉ 豆甾烷及陆源奥利烷和 γ 羽烷稀少的特点, 反映有质来源为海源低等水生生物 (见图 7)

在珠江口盆地东部中新世时期有大型三角洲出现, 在前三角洲相区沉积了大量的有机质, TOC 达 1% 以上, 但以陆源有机质为主, 干酪根为 III 型

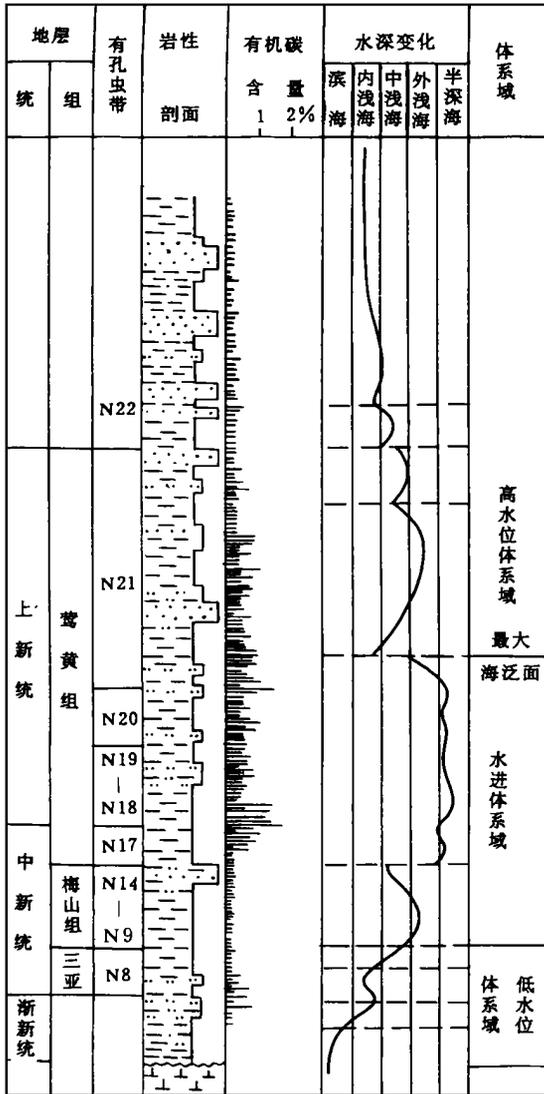


图 7 莺琼盆地海平面变化及有机质分布

Fig. 7 Change of the Tertiary sealevel and distribution of organic matter in the Ying-Qiong basin

6 结 论

(1)海相生烃岩与湖相生烃岩的沉积环境不完全相同,因此,对海相地层生烃条件评价时应充分考虑其沉积环境与湖泊的差异。

(2)笔者认为海相碎屑生烃岩的沉积模式有四种即滞流模式,生产率模式密度分层模式及三角洲模式。

(3)海相生烃岩的分布与某种区域性的地质事件有关,如白垩系黑色页岩的广泛分布与白垩纪大洋区域性缺氧事件有关,而晚第三纪全球气候的变化南极冰盖的形成对富含有机质泥岩的沉积也有重大影响。

(4)海平面升降,海底地貌的变化及上升流的出现与有机质的富集和保存相关。南海北部中新—上新统生烃岩出现在海平面迅速上升的时期,一般富含有机质的沉积堆积在古陆坡区与海进体系域及最大海泛面有密切联系。

参 考 文 献

- [1] 汪品先等. 古湖泊学译文集. 北京: 海洋出版社, 1991, 27- 34.
- [2] 胡见义, 黄第藩等. 中国陆相石油地质理论基础. 北京: 石油工业出版社, 1991, 164- 178.
- [3] Ruediger stien, et al. Accumulation of Organic carbon-Rich Sediments in the late Jurassic and Cretaceous Atlantic Ocean—A Synthesis. *Chemical Geology*. 1986, 56 1- 32.
- [4] Ruediger Stein. Organic-carbon-rich sediments and Paleoenvironment, Results from Baffin Bay (odp-Leg105) and the upwelling Area off Northwest Africa (ODP-Leg 108). *AAPG Studies in Geology* # , 1990, 30 41- 56.
- [5] Richard C. Miller. A Paleooceanographic Approach to the Kimmeridge clay Formation. *AAPG studies in Geology* # , 1990, 30 13- 26.
- [6] James C Ingle. Origin of Neogene Diatomites Around the North Pacific Rim. *Pacific section of SEPM*, 1981, 159- 179.
- [7] 潘祖荫, 万晓樵, 乐东. 30-1-1(A)井晚第三纪沉积环境与古生产率. *中国海上油气*, 1994, 8(2): 80- 90.

The Sedimentary Environment and Organic Matter Distribution of Marine Clastic Source Rocks

Xie Taijun

(China Offshore oil Exploration and Development Research Center, Gaobeidian, Hebei, 074000)

Abstract

There are some differences in sedimentary environments of continental and marine source rocks, the sedimentary model of organic-carbon-rich mudstones was investigated based on the data of marine source rocks at home and abroad. The research result of paleo-oceanography, stratigraphic sequences and oxygen isotopes of plankton Foraminifera indicated that the organic-carbon-rich sediments in the north Pacific coast are of similarity in age and paleoclimate, according to the data of stratigraphic sequences and geochemistry, the distribution and controlling factor of organic matter were discussed as well.

Key Words organic matter anoxic environment sedimentary model condition of black shale