

文章编号:1672-9854(2009)-02-0020-04

海相烃源岩有机质丰度的影响因素

倪春华,周小进,王果寿,杨帆,刘运黎

(中国石化石油勘探开发研究院无锡石油地质研究所)



倪春华

摘要 影响海相烃源岩有机质丰度的因素主要为有机质来源、生物生产率以及沉积环境,其次是矿物岩石作用和沉积速率,其他因素还包括微量元素、物理化学作用、保存条件和演化程度等。以甲藻、颗石藻等浮游藻类为有机质来源的海相烃源岩有机质丰度往往很高,TOC一般大于1%。在高生物生产率海洋区域,海相有机质具有很高的富集程度。海相烃源岩大多形成于弱碱性水、咸水以及弱水动力的还原环境。

关键词 海相;烃源岩;有机质丰度;影响因素

中图分类号:TE112.113 **文献标识码**:A

倪春华 1981年生,硕士,2006年毕业于长江大学地球化学系油气地球化学专业。主要从事石油地质与有机地球化学的研究工作。通讯地址:214151 江苏省无锡市惠钱路210号;电话:(0510)83211916

据统计,我国海相沉积总面积大于 $455 \times 10^4 \text{ km}^2$,其中陆上海相盆地28个,面积 $330 \times 10^4 \text{ km}^2$,海域海相盆地22个,面积 $125 \times 10^4 \text{ km}^2$;我国海相油气资源为 $359 \times 10^8 \text{ t}$ (油当量),其中石油 $135 \times 10^8 \text{ t}$,天然气 $22.4 \times 10^{12} \text{ m}^3$ ^①。与国外海相含油气盆地相比,我国海相烃源岩有机质丰度低是显著差异之一。围绕海相烃源岩,特别是碳酸盐岩烃源岩的有机质丰度下限标准的讨论,到目前尚无统一论^[1-6],这直接影响了烃源岩评价的结果,影响了生产部门的勘探决策。弄清楚海相烃源岩有机质丰度的影响因素,可以更准确地确定其下限标准,有助于我们正确认识烃源岩的成因及分布,为评价有利烃源岩提供科学的依据,因而具有十分重要的理论意义和实际的勘探价值。

本文从有机质来源、生物生产率、沉积环境、沉积速率以及矿物岩石作用等多方面归纳分析了海相烃源岩有机质丰度的影响因素。

1 有机质来源

海相烃源岩有机质主要是海生浮游生物以及少

许搬运来的陆源高等植物,大多属于偏腐泥型,干酪根为I—II₁型,以II₁型为主。秦建中等^[1]研究表明,以甲藻、颗石藻等浮游藻类为有机质来源的海相烃源岩有机质丰度往往很高,TOC一般大于1%~2%;以红藻、褐藻等宏观藻类作为来源的烃源岩有机质丰度达到高—中等水平;海相水生生物和陆源高等植物混源的海相烃源岩有机质丰度只有中等—低的水平;而以陆源高等植物为有机质主要来源的烃源岩有机质丰度一般很低,但煤系烃源岩有机质含量很高。

2 生物生产率

Pedersen等^[7]和Calvert等^[8]认为海相沉积中水体的生物生产率是控制烃源岩中有机质丰度最重要的因素。Stein^[9]通过研究大西洋中生代黑色页岩的形成条件后认为,富有机质沉积岩形成的最主要因素是高生物生产率,在高生物生产率海洋区域海相有机质具有很高的富集程度。Calvert^[10]对现代海相沉积物研究表明,亚热带海岸由于高营养水体的上

收稿日期:2008-07-01

基金项目:本文受中石化海相油气勘探前瞻性项目“中国北方海相层系油气勘探前景与战略选区研究”下属专题(编号:G5800-07-ZS-HX046-1)资助

① 金之钧,等. 中国海相层系油气勘探进展与勘探方向. 中国石化石油勘探开发研究院,2008.

升洋流和充足的阳光导致水体中海洋生物大量繁盛,即具有高生物生产率,从而形成富有机碳的海相沉积,而不是还原环境控制了海洋富有机质沉积物的发育与分布。海相沉积岩中高有机质丰度是高生物生产力的结果,即使在非还原环境中,如果有足够丰富的有机质也可以形成高有机碳的海相沉积。

3 沉积环境

前人的一系列研究表明,沉积环境是影响烃源岩有机质丰度的主控因素之一。海相烃源岩的形成环境大多以还原、咸水、弱碱性和弱水动力条件为主要特征。张水昌等^[11]、陈践发等^[12]认为,欠补偿盆地、蒸发潟湖、台缘斜坡(灰泥丘)和半闭塞—闭塞欠补偿海湾,是高丰度烃源岩发育的有利环境。值得提出的是,不同学者对此认识存在分歧。宁正伟^[13]通过对华北地区 47 口钻井、268 个分析样品的资料统计,认为开阔海有机碳含量最高,次为局限海和蒸发坪(图 1);朱创业等^[14]研究鄂尔多斯盆地中奥陶统马家沟组烃源岩发现,蒸发台地有机碳含量最高,次为局限台地和开阔台地。

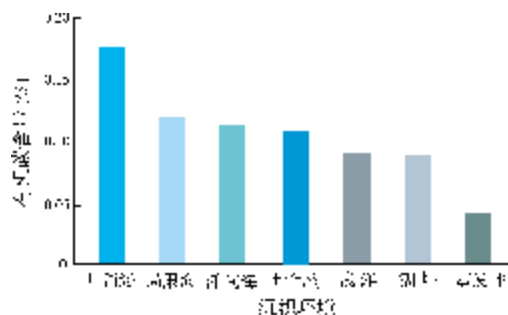


图 1 华北地区寒武系—奥陶系烃源岩有机碳含量与沉积环境的关系^[13]

笔者对鄂尔多斯西南缘中奥陶统平凉组烃源岩的研究结果如图 2 所示,位于深水盆地相的平凉太统山剖面烃源岩有机碳最高,均值为 0.38%,位于深水斜坡相的陇县段家峡剖面 and 岐山苜蓿河剖面烃源岩有机碳均值分别为 0.17% 和 0.13%,而位于碳酸盐岩台地相的耀县桃曲坡剖面的碳酸盐岩有机碳均值最低,仅为 0.04%。相对来说,深水盆地相的碳酸盐岩有机碳含量较高,但总的来看,这些碳酸盐岩的有机碳含量都较低,这可能与它们大多形成于气候相对干燥、大气降水少、陆源碎屑物补充不足或较长时间处于氧化程度较高的环境有关^[15]。

水体盐度对碳酸盐岩有机质丰度也会产生较大

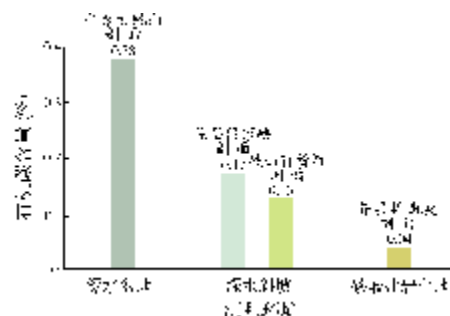


图 2 鄂尔多斯西南缘平凉组烃源岩有机碳含量与沉积环境的关系

影响。陈孟晋等^[16]对鄂尔多斯盆地西缘平凉组烃源岩进行了系统评价,认为水体盐度与有机质丰度之间具有正相关性,即水体盐度越大,有机质丰度越高。

4 沉积速率

烃源岩的有机质丰度与沉积时的地层沉积速率密切相关,通常在快速堆积的地层,有机质丰度都较低。陈孟晋等^[16]研究鄂尔多斯盆地西缘平凉组烃源岩时发现,沉积速率快,有机质丰度低;沉积速率慢,有机质丰度较高。据其对 20 个样品统计,属于较快速率沉积的岩石,有机碳平均含量为 0.20%;属于中等速率沉积的岩石,有机碳平均含量为 0.49%;属于较慢速率沉积的岩石,有机碳平均含量为 0.74%。在国际深海钻探计划(DSDP)的岩心研究中也发现,沉积速率的控制作用很明显,即沉积物的有机质含量与沉积速率存在一定的相关性^[17]。沉积速率快,表明同时沉积的矿物质也多,有机质容易被稀释,同时伴随的是淡水注入量多,水动力条件较强,水中含氧量相对多,结果是氧化程度高,有机质丰度低;但沉积速率太慢,进入盆地的矿物质相对较少,水体还原程度不高,结果是有机质被消耗的速度较快,因此有机质丰度一般也不高。那么沉积速率为多少才适中呢? 陈践发等^[18]为了探讨不同沉积速率对沉积物中有机质富集程度的影响,在实验室人工可控条件下通过不同频次、不同注入剂量的对比实验,研究沉积速率对有机质富集程度的影响,发现有机碳含量随沉积速率的变化是先增加后减少。这说明,沉积速率太慢,不能造成水体底部的缺氧,有机质逐渐被消耗,使得沉积岩中的有机质含量降低;沉积速率太快,会造成大量无机颗粒的稀释作用,也会使得沉积岩中的有机质含量降低。研究表明,沉积速率在 0.03~0.15mm/a 之间,烃源岩的有机质丰度相对最高^[1]。所

以,只有适宜的沉积速率才能形成有机质丰度高的烃源岩。

5 矿物岩石

沉积岩中不同的矿物岩石对有机质丰度起着一定的控制作用。泥晶矿物呈层状,矿物表面和层间都可以吸附大量的有机质,而碳酸盐矿物吸附能力则相对较弱。宁正伟^[13]对华北地区寒武系、奥陶系的53口钻井、286个分析样品统计发现,有机碳含量与泥晶岩石矿物含量的变化有着明显的正相关性(图3),即随着泥质含量的增加,有机碳含量升高。苗建宇等^[15]对鄂尔多斯盆地南部烃源岩的测试结果显示,泥岩有机碳含量最高7.29%,最低0.29%,平均1.91%;碳酸盐岩有机碳含量最大0.34%,最小0.05%,平均约0.14%。笔者在研究鄂尔多斯西南缘平凉组烃源岩时,也发现泥质页岩有机碳含量最高达1.02%,最低0.41%,平均0.77%;而石灰岩当中有机碳含量最大0.06%,最小0.02%,平均约0.03%。研究表明,海相烃源岩岩性主要是海相页(泥)岩、含钙页(泥)岩、钙质页(泥)岩、泥灰岩和石灰岩等,而海相页岩、含钙页岩及钙质页岩有机质丰度相对较高,是最重要的海相烃源岩,纯净的碳酸盐岩不能成为烃源岩^[1]。

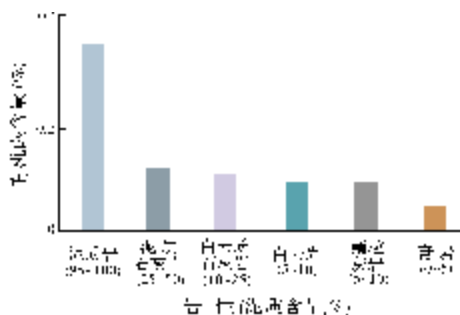


图3 华北地区寒武系—奥陶系烃源岩有机碳含量与岩性的关系^[13]

6 其他影响因素

除上述因素外,影响有机质丰度的因素还包括微量元素、物理化学作用、保存条件和演化程度等。

6.1 微量元素

何中发等^[19]研究十万大山盆地晚二叠世、早三叠世海相烃源岩时发现,发育于斜坡的陆棚泥岩中铁元素丰度与有机碳丰度存在正相关性;戴金星等^[20]发现华北盆地南缘寒武系烃源岩中镍的含量与有机碳

含量呈正相关关系;陈践发等^[18]研究华北北部中—上元古界烃源岩和塔里木盆地海相烃源岩后,得出磷元素含量与有机碳含量具有正相关关系的结论。微量元素是生物生长的重要因素之一,现代海洋学研究表明,可溶元素含量与海洋初级生产力之间有密切联系,一般而言,表层生产力的大小影响海底沉积物中有机碳富集程度。

6.2 物理化学作用

王杰等^[21]通过对华北北部中—上元古界海相碳酸盐岩有机质丰度与海底热流体富集元素相关性的探讨,表明海底热流体对有机质的富集具有较大的作用。

另外,胶结作用、交代作用、淋滤作用及蛋白质的水解等导致有机质被破坏或流失,从而降低有机质的丰度^[22]。

关于保存条件和演化程度等因素的影响,目前未见太多研究。

7 各因素的影响程度

综上所述不难看出,海相烃源岩有机质丰度的影响因素众多,这就需要对它们的影响程度进行比较,笔者在综合分析基础上给出了比较结果(表1)。有机质是形成烃源岩的物质基础,不同来源的有机质类型不同,丰度也就存在差异,这是烃源岩的固有属性所决定的。沉积环境的还原性、水动力条件等直接决定了有机质的富集和保存情况。生物生产率控制了烃源岩中有机碳的富集。因此,有机质来源、沉积环境以及生物生产率这三者对有机质丰度的影响是主要的。不同的矿物岩石在一定程度上影响了对有机质的吸附能力,不同的沉积速率影响了有机质的富集程度,所以这两者对有机质丰度也产生一定

表1 影响海相烃源岩有机质丰度诸因素的程度比较

序号	因素	影响程度
1	有机质来源	主要
2	沉积环境	
3	生物生产率	
4	矿物岩石作用	次要
5	沉积速率	
6	其他因素	微量元素
		物理化学作用
		保存条件
		演化程度

的影响,但相比于前述三者是次要的。微量元素和物理化学作用都有明显影响,保存条件及演化程度等因素的影响目前还不太清楚。

8 结 语

近年来,中石化在海相层系的油气勘探取得了一些可喜的突破,如川东北普光气田的发现和塔河大型油田滚动勘探成效显著等,在一定程度上促进了国内海相油气资源的勘探开发,同时也推动了海相油气地质理论的深入研究和创新发展。对海相烃源岩有机质丰度影响因素的研究就是其中之一。

影响海相烃源岩有机质丰度的诸多因素包括有机质来源、生物产率、沉积环境、沉积速率、矿物岩石作用等,不同地区的烃源岩有机质丰度影响因素不尽相同,分析时应抓住主要因素(参考表1),这样方能突出重点,分清主次。有机质丰度作为烃源岩评价的重要指标之一,使用时要综合考虑其它影响因素,这样才能够得出更符合实际地质情况的评价结果。对于影响程度尚不清楚的因素,如保存条件、演化程度等,仍有待进一步的深入研究。

参 考 文 献

- [1] 秦建中,刘宝泉,郭树芝,等. 中国烃源岩[M]. 北京:科学出版社,2005.
- [2] 张水昌,梁狄刚,张大江. 关于古生界烃源岩有机质丰度的评价标准[J]. 石油勘探与开发,2002,29(2): 8-12.
- [3] 饶丹,章平澜,邱蕴玉. 有效烃源岩下限指标初探[J]. 石油实验地质,2003,25(增刊):578-581.
- [4] 秦建中,刘宝泉,国建英,等. 关于碳酸盐烃源岩的评价标准[J]. 石油实验地质,2004,26(3):281-286.
- [5] 陈安定. 海相“有效烃源岩”定义及丰度下限问题讨论[J]. 石油勘探与开发,2005,32(2):23-25.
- [6] 薛海涛,石涵,卢双舫,等. 碳酸盐岩气源岩有机质丰度分级评价标准研究[J]. 天然气工业,2006,26(7): 25-29.
- [7] Pedersen T F, Calvert S E. Anoxia vs productivity: what controls the formation of organic-carbon-rich sediments and sedimentary rock? [J]. AAPG Bulletin,1990,74:454-466.
- [8] Calvert S E, Pedersen T F, Naidu P D, et al. On the organic carbon maximum on the continental slope of the eastern Arabian Sea [J]. Journal of Marine Research,1995,53:269-296.
- [9] Stein R. Organic carbon and sedimentation rate further evidence for anoxic deep-water conditions in the Cenomanian/Turonian Atlantic Ocean[J]. Marine Geology, 1986,72:199-209.
- [10] Calvert S E. Oceanographic controls on the accumulation of organic matter in marine sediments[C]// Brook J, Fleet A J. Marine petroleum source rock. London: Blackwell Scientific, 1987: 137-151.
- [11] 张水昌,张宝民,边立曾,等. 中国海相烃源岩发育控制因素[J]. 地质前缘,2005,12(3):39-48.
- [12] 陈践发,张水昌,鲍志东,等. 海相优质烃源岩发育的主要影响因素及沉积环境[J]. 海相油气地质,2006,11(3):49-54.
- [13] 宁正伟. 华北地区寒武、奥陶系碳酸盐岩有机质丰度及生油岩研究[J]. 石油实验地质,1992,14(4): 344-351.
- [14] 朱创业,张寿庭. 鄂尔多斯盆地马家沟组碳酸盐岩有机质特征及烃源岩研究[J]. 成都理工学院学报,1999,26(3): 217-220.
- [15] 苗建宇,赵建设,李文厚,等. 鄂尔多斯盆地南部烃源岩沉积环境研究[J]. 西北大学学报:自然科学版,2005,35(6): 771-776.
- [16] 陈孟晋,宁宁,胡国艺,等. 鄂尔多斯盆地西部平凉组烃源岩特征及其影响因素[J]. 科学通报,2007,52(增刊 I):78-85.
- [17] Ibach L E J. Relationship between sedimentation rate and total organic carbon content in ancient marine sediments[J]. AAPG Bulletin,1982,66:170-188.
- [18] 陈践发,张水昌,孙省利,等. 海相碳酸盐岩优质烃源岩发育的主要影响因素[J]. 地质学报,2006,80(3): 467-472.
- [19] 何中发,边立曾,陈建平,等. 十万大山盆地晚二叠世、早三叠世烃源岩中铁元素丰度与有机碳丰度相关关系[J]. 石油勘探与开发,2004,31(1):45-47.
- [20] 戴金星,刘德良,曹高社,等. 华北盆地南缘寒武系烃源岩[M]. 北京:石油工业出版社,2005.
- [21] 王杰,陈践发,鲍志东,等. 海底热水流体对海相碳酸盐岩有机质丰度影响初探:以华北北部中、上元古界为例[J]. 科学通报,2005,50(20):2289-2295.
- [22] 曾凡刚,程克明. 下古生界海相碳酸盐烃源岩地球化学的研究现状[J]. 地质地球化学,1998,26(3):1-8.

编辑:吴厚松

Factors Affecting Organic Matter Abundance of Marine Source Rocks

Ni Chunhua, Zhou Xiaojin, Wang Guoshou, Yang Fan, Liu Yunli

Abstract: The main factors that affect abundance of organic matter in marine source rocks include origin of organic matter, productivity of organism, sedimentary environment. The minor factors are sedimentary velocity and mineral effect of organic matter and other factors are microelement, physiochemistry, preservation condition, organic matter evolution etc.. Study result reveals that higher abundance of organic matter is from dinoflagellates and coccolithes, which usually have larger than 1%~2% of TOC. Marine organic matters have high enrichment degree in high-life-productivity areas. Most of marine source rocks are formed in such deoxidized environment as alkalescence salt water and weak water dynamics.

Key words: Marine facies; Source rock; Organic matter abundance; Affecting factor

Ni Chunhua; male, Assistant Engineer, Master. Add: Wuxi Research Institute of Petroleum Geology, SINOPEC, 210 Huiqian Rd., Wuxi, Jiangsu, 214151 China