

中上扬子下寒武统牛蹄塘组 海相烃源岩评价

坛俊颖, 王文龙, 王延斌, 吴翔, 赵威, 王杰, 张默

(中国矿业大学地球科学与测绘工程学院, 北京 100083)

摘要: 中、上扬子地区下寒武统牛蹄塘组烃源岩分布广泛, 在川东—鄂西—黔北—黔中一带, 高有机质丰度的泥质烃源岩具有相当大的厚度。通过采集烃源岩样品分析, 并根据前人对海相烃源岩评价标准, 对该区牛蹄塘组海相烃源岩进行了综合评价。研究表明, 中上扬子地区烃源岩有机碳含量总体很高, 大部分烃源岩达到了好、很好的标准, 有机质类型主要为I型, 烃源岩Ro大部分都大于20%, 平均315%, 烃源岩已达过成熟阶段。通过以上分析, 此地区油气勘探应以找气为主。此地区黑色泥页岩发育较好, 为页岩气的研究提供了条件。

关键词: 中上扬子; 牛蹄塘组; 烃源岩; 有机质丰度; 有机质类型; 有机质成熟度

中图分类号: P586

文献标识码: A

中国海相地层分布的总面积为 455×10^4 km², 除去海域的新生代海相盆地面积, 陆上的海相沉积区面积达 330×10^4 km²。随着陆相源岩油气勘探突破性难度增大, 海相源岩今后将成为重点的勘探对象。中国南方海相地层分布广泛, 扬子台地在晚奥陶世—早志留世和二叠纪期间, 其沉降拗陷成为重要烃源岩区。中上扬子地区下寒武统泥质烃源岩具有相当大的厚度, 对其研究有利于油气资源评价与勘探, 并且对页岩气的研究具有一定的指导意义。

1 区域地质概况

扬子地块分为上、中、下扬子地块, 其界线为传统意义上的大别造山带和郯庐断裂带。在中上扬子地块中湘鄂西—黔中—滇东陆内造山带和

川东—滇东北陆内造山带之间的界线同时也是燕山晚期—喜山早期伸展断陷作用和拗陷作用的分界线。在该界线以东为南方伸展断陷区, 以西为拗陷作用区。

中国南方寒武系分布甚广, 岩性变化大, 相变迅速, 各地建立的岩石地层单位已逾百个, 但对南方寒武系来说, 除寒武系底界、筇竹寺组与相当地层的对比尚有分歧外, 中、晚寒武世的大套地层对比差异不大。寒武系地层从下到上可划分为牛蹄塘组、明心寺组、金顶山组、清虚洞组、高台组和娄山关群^[1] (表1), 寒武系烃源岩主要发育于下寒武统牛蹄塘组, 为沉积早期的黑色岩系。

2 烃源岩发育及分布特征

对油气勘探来说, 烃源岩的分布虽受沉积相控制, 其最终保存范围及厚度才具有实际勘探意义^[2]。牛蹄塘组地层在中上扬子区分布广泛, 仅成都、重庆、南充等少数地区未有沉积, 且厚度一

收稿日期: 2010-10-11

基金项目: 中石化总公司“十一五”科技攻关项目(P06087)

作者简介: 坛俊颖(1984—), 女, 在读硕士, 主要从事石油地质工作。E-mail: tianjanjing.1@163.com

表 1 中上扬子地区寒武系地层年代简表

Table 1 The Cambrian stratigraphy in Middle and Upper Yangtze Region

| 界 | 系 | 统 | 群(组) | 岩性特征 |
|-------------|-------------|------------------|------|--|
| 古 生 界 | 寒 武 系 | 上寒武统 | 娄山关群 | 灰、浅灰色白云岩, 夹角砾状白云岩及砂质白云岩 |
| | | 中寒武统 | 高台组 | 灰色薄层砂质白云岩、页岩夹钙质白云岩 |
| | | 下 寒 武 统 | 清虚洞组 | 底部为鲕状灰岩及海棉灰岩, 向上主要发育灰色泥质条带灰岩 |
| | | | 金顶山组 | 黄绿色砂岩及灰绿色页岩夹灰色灰岩 |
| | | | 明心寺组 | 主要为灰绿色页岩、泥岩、粉砂质泥岩及灰色泥质粉砂岩、粉砂岩 |
| | | | 牛蹄塘组 | 下部为黑色泥页岩, 与下伏灯影组白云岩呈假整合接触; 上部为灰、灰绿色粉砂质泥岩、粉砂岩及灰岩等 |

般大于 100 m。牛蹄塘组下部为黑色泥页岩, 与下伏灯影组白云岩呈假整合接触; 上部为灰、灰绿色粉砂质泥岩、粉砂岩及灰岩等。牛蹄塘组烃源岩为黑色岩系, 烃源岩主要发育于上扬子区川东北、川南和湘黔区和中扬子区湘鄂西。牛蹄塘组空间展布受灯影组沉积后的剥蚀古地形控制, 主要发育于隆起间洼地。牛蹄塘组黑色泥岩沉积厚度中心位于湘西吉首、贵州麻江、瓮安等地区, 最厚达 150 m 左右; 其次是川南、湘西, 为厚度较大地区; 而在贵州遵义、川北、鄂东等地区厚度变薄 (图 1)。

3 烃源岩有机地化特征

3.1 有机质丰度

有机质丰度大小是衡量烃源岩生烃能力最基本的依据。常用的评价指标是有机碳 (C_{org})、氯仿沥青“ A ”、生烃潜量 ($S_1 + S_2$)、总烃 (HC), 由于研究区下寒武统牛蹄塘组烃源岩基本都处于高成熟阶段, 后 3 项指标基本失去了原始的地质指示意义, 仅有机碳基本能反映原始生油层的

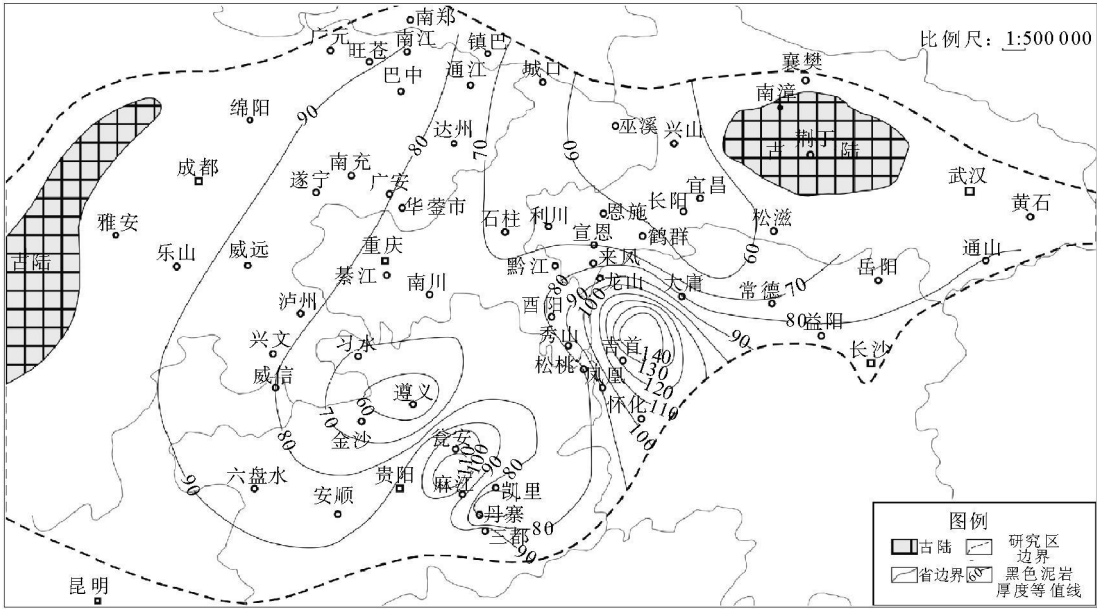


图 1 中上扬子地区牛蹄塘组黑色泥岩等厚图

Fig. 1 The isopach map of black mudstone in the Niutitang Formation in the middle and upper Yangtze region

面貌, 因此, 只用有机碳含量作为研究区牛蹄塘组烃源岩生烃能力的评价指标。研究区下寒武统牛蹄塘组烃源岩基本都处于高成熟阶段, 依据王顺玉等^[3]建立的烃源岩划分标准进行有机质丰度评价(表 2)。

表 2 高成熟地区海相烃源岩有机碳丰度评价标准(据文献[4])

Table 2 The criteria for marine source rock quality assessment upon organic carbon abundance in high matured area(from reference [4])

| 烃源岩级别 | 泥质岩有机碳丰度 | | 碳酸盐岩有机碳丰度 | |
|-------|----------|-----------|-----------|-----------|
| | 成熟阶段 | 高过成熟阶段 | 成熟阶段 | 高过成熟阶段 |
| 非烃源岩 | < 0.4 | < 0.16 | < 0.1 | < 0.04 |
| 差烃源岩 | 0.4~0.6 | 0.16~0.24 | 0.1~0.3 | 0.04~0.12 |
| 较好烃源岩 | 0.6~1.0 | 0.24~0.4 | 0.3~0.74 | 0.12~0.28 |
| 好烃源岩 | 1.0~2.0 | 0.4~0.8 | 0.74~1.7 | 0.28~0.68 |
| 最好烃源岩 | > 2.0 | > 0.8 | 1.7 | > 0.68 |

通过对研究区牛蹄塘组 15 条剖面及 3 口井(表 3) 140 余块源岩样品的有机碳测试, 有机碳含量总体很高, 平均 4.5%, 最高 22.15%, 最低 0.09%。从各剖面平均有机碳含量来看, 最高为麻江羊跳, 达 9.3%; 最低为宜昌泰山庙, 仅 0.12%。

表 3 剖面名称
Table 3 Cross sections

| 剖面名称 | | |
|-----------|---------|----------|
| 贵州凯里丹寨—南皋 | 湖北宜昌泰山庙 | 四川通江平溪碑坝 |
| 贵州翁安永和 | 湖北通山留咀桥 | 湖南吉首龙鼻嘴 |
| 贵州松桃盘石 | 湖北通山珍珠口 | 湖南吉首罗依溪 |
| 贵州三都县城东南 | 湖北鹤峰 | 湖南大庸军大坪 |
| 湖北长阳王子石 | 四川秀山溶溪 | 湖南龙山兴隆街 |

根据对所测源岩样品有机碳含量的统计、分析表明(图 2), 有机碳含量小于 0.4% 的样品占 16.7%, 0.4%~0.6% 的样品占 11.9%, 0.6%~1.0% 的样品占 2.4%, 1.0%~2.0% 的样品占 7.1%, 大于 2.0% 的样品占 61.9%。分析表明, 大多数源岩样品都已达到生烃下限, 成为有效烃源岩, 其中 69% 的烃源岩达到了好、很好烃源岩的标准。根据对所测剖面平均有机碳含量的统计、分析得出(图 3), 含量小于 0.4% 的剖面占 4.8%,

0.4%~0.6% 的剖面占 4.8%, 0.6%~1.0% 的剖面占 9.5%, 1.0%~2.0% 的剖面占 9.5%, 大于 2.0% 的剖面占 71.4%。以上分析还可看出, 所测 21 个剖面绝大多数有机碳含量已达生烃下限, 其中 80.9% 的剖面达好、很好烃源岩标准。

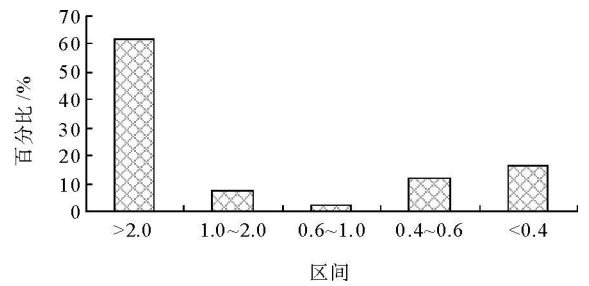


图 2 牛蹄塘组烃源岩有机碳含量直方图
Fig. 2 The organic carbon abundance histogram for the Niutitang source rocks

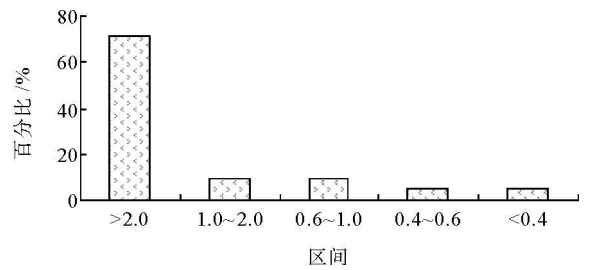


图 3 牛蹄塘组各剖面烃源岩平均有机碳含量直方图
Fig. 3 The average organic carbon abundance histogram for the Niutitang Formation source rock

3.2 有机质类型

有机质类型是决定烃源岩生烃潜力大小的因素之一, 是评价烃源岩的质量指标^[5]。通过研究区下寒武统牛蹄塘组烃源岩薄片的镜下观察, 发现的生烃生物主要包括褐藻、线叶植物、红藻、蓝藻等。通过部分烃源岩样品镜下观察表明, 烃源岩有机显微组分主要包括藻类体、动物碎屑、镜状体和沥青, 藻类体较多, 占总有机显微组分的 41%; 其次为动物碎屑, 占总有机显微组分的 34%; 镜状体相对较少, 占总有机显微组分的 20%; 沥青最少, 占总显微组分的 5%。有机质来源主要为藻类, 通过有机质类型分析, 下寒武统牛蹄塘组有机质类型为 I 型。

3.3 有机质成熟度

目前测定镜质组反射率是研究有机质成熟度最普遍的方法,但海相烃源岩缺乏陆源镜质组,海相镜状体反射率是评价下古生界海相烃源岩有机成熟度的有效指标^[6],本文研究主要依据海相镜状体反射率。刘祖发等^[7]根据对塔里木盆地寒武系和奥陶系源岩的研究,提出了海相镜状体与镜质组反射率的相关关系式:

$$R_o=1.26R_M+0.21$$

相关系数 $r^2=0.98$ ($R_M<0.75\%$)

（1）

$$R_o=0.28R_M+1.03$$

相关系数 $r^2=0.48$ ($0.75\%<R_M<1.5\%$)

（2）

$$R_o=0.81R_M+0.18$$

相关系数 $r^2=0.94$ ($R_M>1.5\%$)

（3）

式中: R_o 为镜质体反射率;

R_M 为镜状体反射率。

由于研究区下寒武统牛蹄塘组烃源岩成熟度很高,因此,本次采用公式(3)将所测的研究区烃源岩海相镜状体反射率转换为等效镜质体反射率,从而更为准确地评价研究区海相烃源岩成熟度。

根据研究区牛蹄塘组 10 个剖面、3 口井 81 块源岩样品的镜状体反射率(R_M)和由公式(3)计算的等效镜质体反射率(R_o)统计、分析表明(表 4): R_M 平均 3.73%,最高 5.67%,最低 2.21%; R_o 平均 3.20%,最高为 4.77%,最低 1.97%。从剖面等效镜质体反射率看,最高为麻江羊跳,达 4.27%,最低为凯里丹寨—南皋,为 2.64%,通过对等效镜质体反射率的统计、分析表明,大部分烃源岩样品成熟度都很高,基本已停止生烃,仅少量可能处于生气阶段。

根据等效镜质体反射率数据(R_o),绘制了牛蹄塘组烃源岩成熟度平面分布图(图 4)。从图中可以看出,研究区牛蹄塘组烃源岩成熟度很高,最高点仍在黔西南,以六盘水为中心,向盆地内部呈降低趋势;四川地区是以达州地区为中心,由盆内向四周递减,但达州地区成熟度要明显低于黔西南地区。成熟度低值区为贵州的凯里革东, R_o 值在 2.0%~3.0%左右。湘鄂西地区平面规律仍不明显, R_o 值在 2.8%~3.2%之间。但整个中扬子地区呈现出一定的规律,受上扬子区川东北、川东高热演化地区的影响,西部地区始终是热演

化的高值区;而江汉盆地南部一直处于江南古陆的北缘,受崇阳—通山冲断带和桑植—石门复向斜的控制,始终是热演化的低值区。

表 4 下寒武统牛蹄塘组烃源岩反射率统计
Table 4 The reflectance of the lower Cambrian
Niutitang Formation source rock

| 地区 | 剖面 | R_o | R_M |
|----|-----------|--------------------------------|---------------------------------|
| 黔 | 凯里丹寨—南皋 | $\frac{2.64(8)}{1.97\sim3.87}$ | $\frac{3.04(8)}{2.21\sim4.55}$ |
| | 麻江羊跳浅 6 井 | $\frac{3.34(7)}{3.11\sim4.77}$ | $\frac{3.90(7)}{3.66\sim5.67}$ |
| | 翁安永和 | $\frac{3.08(5)}{2.52\sim3.14}$ | $\frac{3.58(5)}{2.90\sim3.66}$ |
| | 松桃盘石 | $\frac{2.83(8)}{2.61\sim3.55}$ | $\frac{3.28(8)}{3.00\sim4.16}$ |
| | 三都县城东南 | $\frac{2.97(5)}{2.21\sim3.41}$ | $\frac{3.45(5)}{2.50\sim3.99}$ |
| | 金沙岩孔浅 4 井 | $\frac{4.33(8)}{3.86\sim4.68}$ | $\frac{5.12(3)}{4.54\sim5.55}$ |
| 鄂 | 宜昌泰山庙 | $\frac{2.80(3)}{2.63\sim2.97}$ | $\frac{3.24(3)}{3.03\sim3.44}$ |
| | 通江平溪—碑坝 | $\frac{3.16(5)}{2.81\sim3.52}$ | $\frac{3.68(5)}{3.25\sim4.12}$ |
| | 秀山溶溪 | $\frac{3.1(2)}{2.84\sim3.36}$ | $\frac{3.61(2)}{3.29\sim3.92}$ |
| 湘 | 綦江丁山 1 井 | $\frac{3.37(4)}{2.93\sim3.7}$ | $\frac{3.95(4)}{3.40\sim4.35}$ |
| | 吉首龙鼻嘴 | $\frac{3.36(10)}{2.8\sim3.74}$ | $\frac{3.92(10)}{3.24\sim4.40}$ |
| | 吉首罗依溪 | $\frac{3.33(2)}{3.27\sim3.39}$ | $\frac{3.89(2)}{3.82\sim3.96}$ |
| | 大庸军大坪 | $\frac{3.23(3)}{3.15\sim3.39}$ | $\frac{3.77(3)}{3.67\sim3.96}$ |

4 结论

(1) 中上扬子地区牛蹄塘组烃源岩为沉积早期的黑色岩系,多数源岩样品都已达到生烃下限,成为有效烃源岩,其中 69% 的烃源岩达到了好、很好烃源岩的标准,分析表明中上扬子地区牛蹄塘组烃源岩有机碳含量较高,大部分达到了好、很好烃源岩的标准。

(2) 中上扬子地区牛蹄塘组烃源岩生烃生物主要包括褐藻、线叶植物、红藻、蓝藻等,有机质来源主要为藻类,有机质类型为 I 型。

(3) 对于下古生界海相烃源岩由于缺乏来源于高等植物的标准镜质组,因此,无法测得其镜质体反射率。依据海相镜状体反射率,把烃源岩海

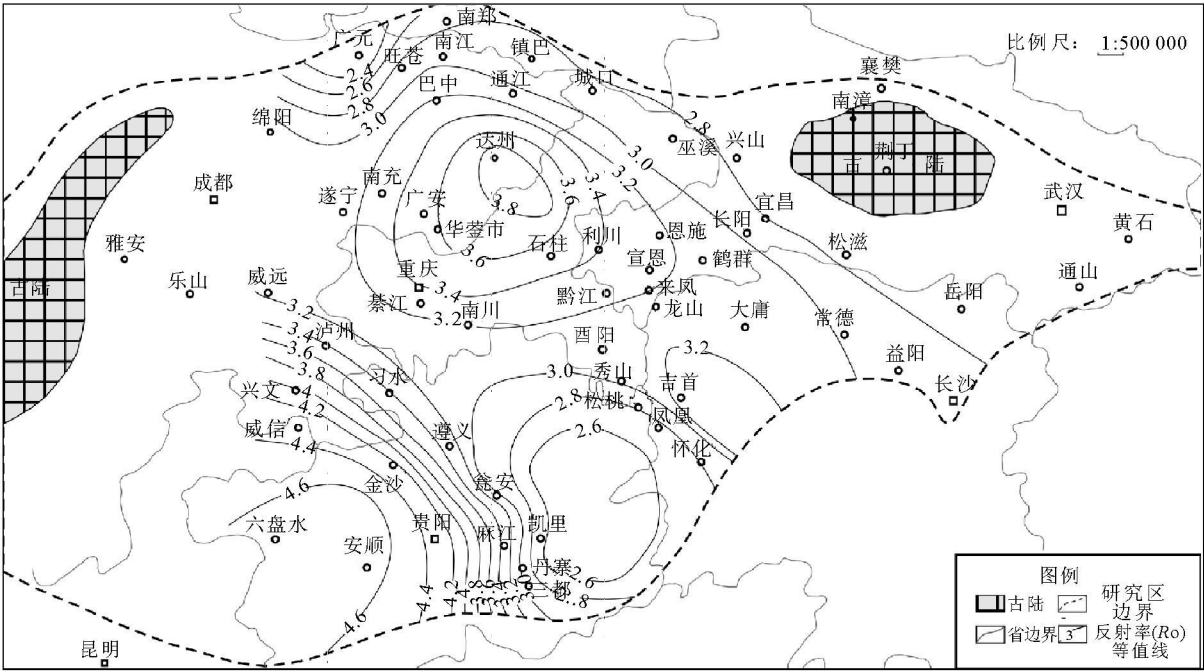


图 4 中上扬子地区牛蹄塘组烃源岩等效镜质体反射率平面分布图

Fig. 4 The map showing the equivalent vitrinite reflectance of the Niutitang source rock in the middle and upper Yangtze region

相镜状体反射率转换为等效镜质体反射率, 从而更为准确地评价研究区海相烃源岩成熟度。由于研究区大部分烃源岩样品成熟度都很高, 分析表明研究区烃源岩已达过成熟阶段, 油气勘探应以找气为主。

(4) 中上扬子地区黑色泥页岩发育较厚, 页岩气作为一种重要的非常规天然气资源, 越来越受到重视。黔东北—川南地区黑色碳质泥岩厚度大, 另外黑色泥岩夹粉砂岩地层也比较发育, 可作为页岩气良好的储集空间; 湘鄂西地区碳质页岩和泥岩都较发育, 是产生页岩气的主要源岩。

参考文献:

[1] 门玉澎, 许效松, 牟传龙, 等. 中上扬子寒武系蒸发岩岩相古地理[J]. 沉积与特提斯地质, 2010, 9(3): 58-64.

[2] 张义楷, 周立发, 刘志武, 等. 皖南沿江地区海相烃源岩特征研究[J]. 西北大学学报, 2006, 2(1): 129-132.

[3] 王顺玉, 戴鸿鸣, 王海清, 等. 大巴山、米仓山南缘烃源岩特征研究[J]. 天然气地球科学, 2000, 11(4/5): 4-16.

[4] 戴鸿鸣, 黄东, 刘旭宁, 等. 蜀南西南地区海相烃源岩特征与评价[J]. 天然气地球科学, 2008, 8(4): 503-508.

[5] 刘光祥. 中上扬子北缘中古生界海相烃源岩特征[J]. 石油实验地质, 2005, 10(5): 490-495.

[6] 王飞宇, 张水昌, 张宝民, 等. 塔里木盆地寒武系海相烃源岩有机成熟度及演化史[J]. 地球化学, 2003, 9(5): 461-468.

[7] 刘祖发, 肖贤明, 傅家漠, 等. 海相镜质体反射率用作早古生代烃源岩成熟度指标研究[J]. 地球化学, 1999, 11(6): 581-586.

(下转第 41 页)

FORAMINIFERA AS ECOLOGICAL INDICATORS OF POLLUTED ENVIRONMENTS

DU Xiaolei, LIU Dongsheng, LONG Haiyan

(College of Marine Geo-science, Ocean University of China, Qingdao 266100, China)

Abstract: Benthic foraminifera are sensitive to environmental pollution and have been used as environmental bio-indicators, especially in a polluted environment. In the past decades, the studies of environmental changes and their effects on benthic foraminifera have been undertaken in some areas polluted by industrious, agricultural, and various chemical pollutants as well as domestic sewages. Data suggest that the pollution of environments may cause strong responses from benthic foraminifera, such as decreasing in community structure and numbers, morphological deformities, and even extinction of some sensitive species. Although foraminifera may, to some extent, adapt to the polluted environment, but this adaptation is at the cost of genetic variability. Environmental pollution will effect foraminifera in many aspects, such as the Foraminiferal Abnormality Index (FAI), the Foraminiferal Monitoring Index (FMI), bio-diversity and abundance in an area. Pollution, on the other hand, will also lead to a high degree of pyritization of the tests of foraminifera, preferential reversion to asexual reproduction and so on. In this regard, foraminifera could be used as a powerful proxy for monitoring the quality of marine environments and ecosystems.

Key words: marine environmental pollution; foraminifera; morphological deformities; bio-indicators

(上接第 27 页)

MARINE SOURCE ROCK ASSESSMENT FOR LOWER CAMBRIAN NIUTITANG FORMATION IN MIDDLE AND UPPER YANGTZE REGION

TAN Junying, WANG Wenlong, WANG Yanbin, WU Xiang, ZHAO Wei, WANG Jie, ZHANG Mo

(College of Geoscience and Surveying Engineering, China University of Mining and Technology, Beijing 100083, China)

Abstract: In the Niutitang Formation of lower Cambrian in the middle and upper Yangtze region in east Sichuan, west Hubei, and north and middle Guizhou, there occurs a thick sequence of marine argillaceous source rocks with high organic matter. Based on the analysis data and in accordance with the existing criteria for assessment of marine source rock, a comprehensive study was carried out by the authors. The results indicate that the organic carbon is high in the deposits, above the standard of good or better quality of source rocks. Almost all the organic matter belongs to Type I. The Ro of the source rock is higher than 2.0% with an average of 3.15%, suggesting that the source rocks have reached an over-matured stage. In this regard, gas should be the first priority in hydrocarbon exploration in this region. The black argillaceous rocks widely distributed in the region should be selected as the exploration target for shale gas.

Key words: middle and upper Yangtze region; Niutitang Formation; source rock; organic abundance; organic type; organic maturity