

文章编号: 0253-9985(2003)04-0375-05

# 济阳坳陷郭7井沙河街组三段 泥岩生、储油特性及其意义\*

何伟钢, 金奎励, 郝多虎

(中国矿业大学北京校区, 北京 100083)

**摘要:** 通过有机岩石学及有机地球化学等实验测试结果的分析, 济阳坳陷郭7井沙河街组三段泥岩裂缝段是在局部海侵湖滨环境中沉积形成的; 泥岩由硬组部和软组部两部分构成, 具有国外所报道的特殊储层的岩石组成与结构特性。沙河街组三段泥岩中有机质主要表现为两种赋存类型: 其一为赋存在软组部中的分散有机质(矿物沥青基质); 其二是赋存在硬组部、矿物微孔隙或颗粒微间隙的沥青质体及层间裂隙的游离烃。二者同源, 且残留在硬组部、裂隙和孔隙中的游离烃赋存量明显高于软组部的沥青含量, 是以自生、自储为主的非常规储层, 应引起重视。

**关键词:** 泥岩; 特殊储层; 有机质; 矿物; 生油岩

**第一作者简介:** 何伟钢, 男, 40岁, 副教授(博士生), 有机岩石学与有机地球化学

**中图分类号:** P618.11

**文献标识码:** A

泥岩成为储层是一种特殊的储层类型, 迄今为止, 世界上仅有屈指可数的报道<sup>[1,2]</sup>。美国加州 Santa Maria 盆地的中新世发育的特殊泥岩储层, 主要是“硅质-方解石-泥质”的类型, 属于泻湖相的沉积; 非洲大西洋海岸的加蓬在滨海盆地始新统“硅质-白云质”类型的泥岩储层, 是海相沉积; 另外, 在俄罗斯伏尔加乌拉尔泥盆系的海相“泥质-碳酸盐岩”中, 也见有泥岩储层。这类特殊的储层均形成于海相沉积中。

目前, 我国胜利油田在济阳坳陷东营凹陷郭7断鼻构造的东北倾末端, 钻探的郭7井于2 952.8~2 973.5 m 沙河街组三段(以下简称沙三段)底部高阻油泥岩裂缝段, 获得日产原油31.2 t, 有可能是此类特殊类型的储层。该泥岩裂缝段不仅是该井的主要储油层, 而且还是东营凹陷的区域生油层, 是一种自生自储的泥岩层。无疑, 加强郭7井沙三段泥岩生、储油特性的研究, 对丰富我国油气成藏的地质理论和指导油田勘探都有一定的现实意义。

济阳坳陷沙三段为湖相沉积的灰色及深灰色泥岩夹砂岩、油页岩及碳质泥岩, 假整合或不整合于沙河街组四段之上, 凹陷边缘常因超覆沉积而缺失部分底部地层, 厚度一般 700~1 000 m, 凹陷中心最厚可达 1 200 m 以上。可分为下、中、上 3

个部分: 下部岩性为深灰色泥岩与灰褐色油页岩不等厚互层, 夹少量灰色灰岩及白云岩, 厚度一般为 100~300 m; 中部岩性以灰色、深灰色巨厚泥岩为主, 或夹有多组浊积砂岩或薄层碳酸盐岩, 厚度一般 300~500 m, 全区较稳定; 上部岩性为灰色、深灰色泥岩与粉砂岩互层, 夹钙质砂岩、含砾砂岩、油页岩及薄层碳质泥岩, 厚 0~500 m<sup>[3]</sup>。

本文研究样品取自郭7井沙三段下部, 井深为 2 960~2 970 m, 这套泥岩裂缝发育, 且连通性好, 全区分布较为稳定。

## 1 研究方法

本文主要采用了有机岩石学、矿物学和有机地球化学方法, 对济阳坳陷郭7井沙三段的岩心样品进行了分析研究。

(1) 通过光学观测分析(透射光、普通反射光、反射荧光、激光共聚焦显微镜、扫描电镜图像等), 研究了源岩中矿物的组成、结构、构造、有机质的性质和分布, 以及岩石裂隙、孔隙分布等;

(2) 通过低温高压抽提、氯仿抽提、CS<sub>2</sub>+N-甲基-吡咯烷酮抽提和显微傅里叶红外光谱分析(Micro-FTIR)、气相色谱等实验分析, 研究了矿物的吸附性及其共生关系。进而就沙三段有机质与无机矿物的关系和岩石的物性等几个方面进行了研究和探讨(图1)。

\* 国家自然科学基金项目(49972054)资助

收稿日期: 2003-08-29

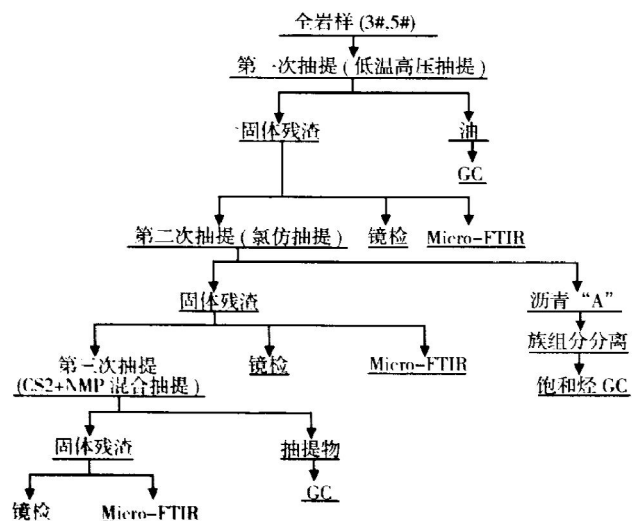


图1 胜利油田郭7井沙三段泥岩抽提分析流程图

Fig. 1 Flow chart of extraction analysis of Es<sub>3</sub> mudstone in Guo 7 well, Shengli oilfield

## 2 生储特征

### 2.1 显微组成

#### 2.1.1 有机组成

主要利用有机岩石学方法研究全岩中的有机组成及其分布状态。通过观察分析,沙三段泥岩中的有机组成主要是:层状藻类体、沥青质体、矿物沥青基质和动物碎屑。

**层状藻类体:**在源岩中含量丰富,呈层状或透镜状顺层分布,是该生油岩中的重要生烃母质。

**沥青质体:**大多呈细条带或透镜状,且多数分布在层间微裂隙、方解石矿物裂隙和颗粒间隙之中。

**矿物沥青基质:**在源岩中主要是粘土矿物吸附大量有机质而形成。较均质,其中,可见黄铁矿小粒。

**动物碎屑:**动物碎屑含量较多,多数已被钙化,但有部分富含有机质。可鉴别的有介壳、海百合茎等,多数顺层分布,局部发育虫孔。

#### 2.1.2 无机组成

无机物主要由方解石、粘土矿物(以高岭石为主)、石英和黄铁矿组成。

**方解石:**方解石是源岩中的最主要的矿物成分之一,其含量较高,尤其是在可作为储层的硬组部分,方解石含量更高,矿物颗粒更大。方解石均为顺层分布,山型构造明显,垂直层面的裂隙发

育,其中多被有机质所充填。

**粘土矿物:**粘土矿物是最主要的无机成分,从X射线衍射以及Micro-FTIR分析,粘土矿物主要是高岭石,含少量伊利石。一般呈致密状、基质状,吸附大量有机质,形成典型的矿物沥青基质。在空间上,多呈层状分布,与方解石矿物互层,或成为方解石矿物的胶结物。

**石英:**石英含量极少,主要呈零星状分布于粘土矿物中。透射光下,石英颗粒的轮廓清晰,表面光洁透明,具有一定的棱角。

**黄铁矿:**黄铁矿主要分布于比较致密的粘土中,多呈星状分布。结晶颗粒较小,有的呈球状出现,反光强。

### 2.2 岩相分析

从沉积相分析,郭7井沙三段是否属于纯陆相深水湖相的沉积?本文对此提出质疑。通过光学观测分析,郭7井沙三段泥岩一是方解石含量很高,其次,发现典型的海百合茎化石(图2a)和一些具有较复杂构造的动物化石碎屑。另外,从泥岩中所含石英颗粒的磨圆度较差,多具有棱角状,且岩层水平层理发育,又具不少透镜状构造。由此推测,郭7井沙三段泥岩的沉积岩相应是距物源区相对较近、总体水动力条件普遍较弱,且局部受到海侵影响的湖滨相的沉积环境中形成的。

### 2.3 生油性

经过生产勘探及大量的地化研究,人们对济阳坳陷沙三段是良好生油岩的认识已经不存争议<sup>[3]</sup>,一般认为沙三段是腐泥型低熟生油岩,形成于湖相沉积环境,有机质主要来源于藻类(图2b)和陆源植物。本次研究着重从镜下鉴定,并结合氯仿抽提物饱和烃气相色谱的分析结果(表1),同样认为郭7井沙三段泥岩中富含层状藻类体和较多的动物碎屑,其部分岩样的饱和烃气相色谱资料,正构烷烃碳数分布一般为C<sub>13</sub>~C<sub>37</sub>,主峰碳为C<sub>24</sub>,C<sub>21</sub><sup>-</sup>/C<sub>21</sub><sup>+</sup>比值较低(<0.5),姥植比(Pr/Ph)<0.57,以及奇数碳优势指数CPI, OEP值介于0.80~0.90等特征,进一步说明了沙三段泥岩良好的生油性能。

### 2.4 储集性

众所周知,作为储层,必须具有储集空间和运移通道,否则就不可能成为良好储层。从国外对泥岩储层的研究表明,泥岩储层中,除具有发育的

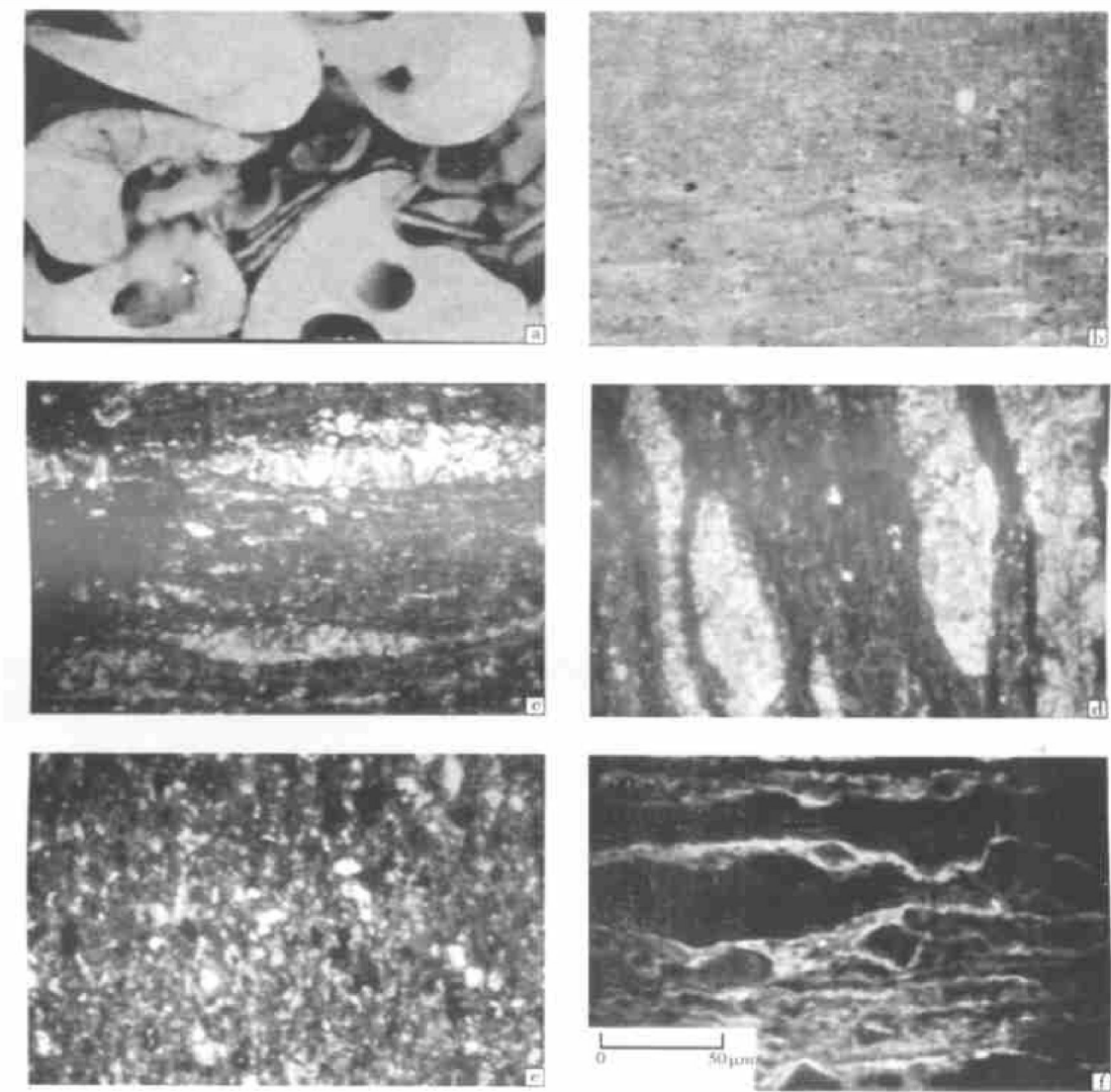


图 2 沙河街组三段泥岩显微组成特征

Fig. 2 Characteristics of microstructures in Es<sub>3</sub> mudstone

- a. 海百合茎(亮黄绿色), 发育硬组部孔隙, 2 962. 32 m, × 63, 荧光, 蓝光激发
- b. 软组部: 层状藻类体(黄色荧光). 矿物沥青基质, 2 961. 45 m. × 63. 荧光. 蓝光激发
- c. 硬组部: 沥青质体(黄绿色荧光, 沿方解石矿物间隙和裂隙分布), 2 963. 4 m, × 63, 荧光, 蓝光激发
- d. 硬组部: 方解石(灰白色), 沥青质体(褐红色, 沿方解石矿物裂隙分布), 2 963. 4 m, × 50, 透射, 单偏光
- e. 软组部: 粘土矿物(致密状), 层状藻类体(暗红色), 2 961. 45 m, × 50, 透射, 单偏光
- f. 矿物裂隙及微间隙(白色), 2962. 32 m, 激光共聚焦显微图像, 标尺为 50 μm

表 1 沙三段部分岩样氯仿抽提物的气相色谱分析资料

Table 1 Analysis results of gas chromatography chloroform extracts from some Es<sub>3</sub> mudstone samples

| 样号 | 起止碳数                              | 主峰碳             | $\frac{C_{21}^-}{C_{21}^+}$ | $\frac{C_{21+22}}{C_{28+29}}$ | $\frac{Pr}{Ph}$ | $\frac{Pr}{nC_{17}}$ | $\frac{Ph}{nC_{18}}$ | CPI   | OEP   |
|----|-----------------------------------|-----------------|-----------------------------|-------------------------------|-----------------|----------------------|----------------------|-------|-------|
| 3# | C <sub>13</sub> ~ C <sub>37</sub> | C <sub>24</sub> | 0. 45                       | 1. 76                         | 0. 43           | 0. 50                | 0. 77                | 0. 80 | 0. 89 |
| 5# | C <sub>13</sub> ~ C <sub>37</sub> | C <sub>24</sub> | 0. 42                       | 1. 24                         | 0. 57           | 0. 54                | 0. 71                | 0. 86 | 0. 91 |

泥岩裂隙外, 均有加硬部分存在, 且这种加硬部分  
多由方解石、白云石、硅质等矿物颗粒以及化石碎  
屑等构成。正是这种加硬部分, 以及发育的泥岩  
裂隙为油气的储集、运移提供了空间和通道, 从而

形成了特殊的储层类型——泥岩储层。  
郭 7 井沙三段泥岩基本由两部分组成。其中  
由方解石、石英和动物化石碎屑等组成的加硬部  
分, 称之为硬组部(图 2c、d); 而由粘土矿物和有机

质组成的软质部分,称之为软组部(图 2e)。

通过镜下观察、激光共聚焦显微图像扫描以及电镜图像分析,可以明显看到,硬组部内具有丰富的孔隙分布,其中多为层间裂隙和矿物颗粒间隙及溶蚀孔或动物虫孔等。而且从灌注玫瑰红荧光剂的结果看,孔隙的连通性比较好(图 2f)。此外,由方解石矿物形成的层状构造极为明显,介壳、海百合茎等化石碎屑顺层定向排列。以及软组部层间裂隙发育等特征,均说明郭 7 井底部泥岩具有国外所报道的特殊储层的岩石组成与结构特性。依据电测井解释资料,泥岩段孔隙度为 25.9%,渗透率为  $8\,305.74\times 10^{-3}\,\mu\text{m}^2$ ,也进一步阐明该泥岩段的良好储集性能。由此可见,对该泥岩层的储集性研究具有指导在泥岩中进行油气勘探的实际意义<sup>[5]</sup>。

3 有机质的赋存状态

为了了解有机质在岩层中的赋存情况,本文挑选了两个代表性岩样进行分步抽提的对比研究。第一个样是硬组部相对富集的 3# 样(深度为 2 962.32 m),另一个样是软组部相对富集的 5# 样(深度为 2 963.40 m)。抽提分析流程参见图 1。第一次抽提是在高压釜中进行,加水量比一般热模拟大,以增大压力。温度控制在 200℃左右,恒温时间 72 h。在此实验条件下,目的是抽提出赋存在层间裂隙和孔隙中的游离烃。实验结果表明,硬组部(3# 样)的游离烃赋存量明显高于软组部(5# 样)(表 2),说明残留在硬组部裂隙和孔隙中的烃类物质较多,硬组部具有良好的储集性能。另外,两个岩样抽提物的气相色谱图谱极为相似,充分说明了二者系同源的产物。

表 2 低温高压抽提实验结果  
Table 2 Extract experimental results made under low temperature and high pressure condition

| 样号 | 深度 /m    | 进样量 /g | 加水量 /ml | 温度 /℃ | 压力 /MPa | 出气量 /ml | 出油量 /g |
|----|----------|--------|---------|-------|---------|---------|--------|
| 3# | 2 962.32 | 173    | 70      | 200   | 14      | 600     | 22.5   |
| 5# | 2 963.40 | 200    | 80      | 200   | 18      | 600     | 15.6   |

第二次抽提是对第一次抽提的残渣各称样 100 克进行氯仿抽提。从表 3 的实验结果可见,3# 样沥青“A”的含量明显高于 5# 样,此结果说明了在硬组部中的微孔隙,尤其是方解石结晶微裂

隙和颗粒间隙中含有大量的烃类物质,沙三段中有机物质主要是赋存在矿物粒间的微细间隙和结晶微裂隙中。

表 3 氯仿沥青“A”及族组分分析结果  
Table 3 Results of chloroform bitumen “A” and group composition analyses

| 样号 | 深度 /m    | 岩性 | 沥青“A” /% | 饱和烃 /% | 芳烃 /% | 非烃 /% | 沥青质 /% |
|----|----------|----|----------|--------|-------|-------|--------|
| 3# | 2 962.32 | 泥岩 | 1.416 4  | 27.55  | 15.62 | 37.06 | 19.77  |
| 5# | 2 963.40 | 泥岩 | 0.846 5  | 44.26  | 12.89 | 29.74 | 13.09  |

另外,赋存在硬组部为主的微隙中的有机质,饱和烃含量明显较少,而芳烃和沥青质相对较高,非烃含量则明显较高。相反,由软组部为主的有机质中,饱和烃含量明显要高。这一结果主要是与有机质的赋存状态有关,在软组部中,有机质主要是以矿物沥青基质的形式存在于粘土矿物中,粘土矿物对吸附的有机质性质产生的影响<sup>[6~7]</sup>。

第三次抽提是在氯仿抽提后,利用其残渣进行的。抽提液是用 CS<sub>2</sub> 和 NMP(N-甲基-吡咯烷酮)按 1:1 的比例配制而成的混合液(需要注意的是 CS<sub>2</sub> 是一种有毒的溶剂)。这种抽提是一种尝试性的,其目的是抽提出化学吸附的有机物质,将赋存在矿物分子中或晶格中的有机物质分离出来。实验结果,3# 样和 5# 样抽提物的气相色谱检测峰均很弱,说明氯仿抽提后,源岩中的有机质已经基本被抽提干净,残留在粘土矿物中的有机质是有限的。

4 结论

根据以上的分析,可得出以下几点初步认识。

(1) 郭 7 井沙三段泥岩具备自生、自储的特点,是一种特殊的储层,应引起重视,加强泥岩储层的深入研究。

(2) 郭 7 井沙三段泥岩由硬组部和软组部两部分构成,具有国外所报道的特殊储层的岩石组成与结构特性。

(3) 郭 7 井沙三段泥岩可能是在局部海侵湖滨环境中沉积形成的。

(4) 沙三段泥岩中有机质主要表现为两种赋存类型:其一为赋存在粘土矿物中的分散有机质(矿物沥青基质);其二是赋存在硬组部、矿物微孔隙或颗粒微间隙的沥青质体及层间裂隙的游离沥

青,二者同源,且残留在硬组部、裂隙或孔隙中的游离烃赋存量明显高于软组部的沥青含量。

#### 参 考 文 献

- 1 Klubova T T. Pattern of interaction of clay mineral and organic matter [A]. In: Kenta J. Reports of 5th meeting of European Clay Group [C]. Prague: Vogel Publishing S R O, 1985. 253~ 257
- 2 Klubova T T. Clay reservoirs of oil and gas [M]. Moscow: A A Balkema, 1991. 1~ 29, 117~ 130
- 3 王秉海, 钱凯. 胜利油区地质研究与勘探实践 [M]. 山东东营: 石油大学出版社, 1992. 35~ 43
- 4 姜在兴, 杨伟利, 操应长. 东营凹陷沙河街组三段~ 二段下亚段沉积层序及成因 [J]. 石油与天然气地质, 2002, 23(2), 127~ 129
- 5 张金功, 袁政文. 泥质岩裂缝油气藏的成藏条件及资源潜力 [J]. 石油与天然气地质, 2002, 23(4), 336~ 338
- 6 赵杏媛, 张有瑜. 粘土矿物与粘土矿物分析 [M]. 北京: 海洋出版社, 1990. 56~ 89
- 7 刘钦甫, 张鹏飞. 华北晚古生代煤系高岭岩物质组成和成矿机理研究 [M]. 北京: 海洋出版社, 1997. 90~ 92

## CHARACTERISTICS AND THEIR SIGNIFICANCE OF MUDSTONE SOURCE AND RESERVOIR ROCKS IN THE 3rd MEMBER OF SHAHEJIE FORMATION IN GUO 7 WELL, JIYANG DEPRESSION

He Weigang Jin Kuili Hao Duohu

(China University of Mining & Technology, Beijing)

**Abstract:** The analyses of data from organic petrologic and organic geochemical experiments and testings indicate that the fissured mudstone in the 3rd member of Shahejie Formation encountered in Guo 7well drilled in Jiyang depression was deposited on the lakeshore environment during local transgression. The mudstone is composed of both the harder and the softer components. It has the lithologic composition and textural characteristics of rare reservoirs reported in Santa Maria basin in the U. S. There are two occurrence types of organic matters in the mudstone: one is the dispersed organic matters (mineral-bitumen matrix) that occur in the softer components of mudstone; another are those occur in the harder components of mudstone, including bitumenites in the micropores and microclearances of minerals and free hydrocarbons in the interfissures. Both of them might have come from the same source rock, but the amount of free hydrocarbons that mater occur in the harder components, fissures and pores would apparently be higher than the bitumen in the softer components of mudstone.

**Key words:** mudstone; rare reservoir; organic matter; mineral; source rock

(Continued from Page 366)

favorable to the formation of numerous lithologic traps on the upwarping sandbodies; 7) the reservoir with low and moderate porosity and permeability would be the most favorable to the formation of lithologic oil and gas reservoirs, because the reservoirs in the fan delta front have generally experienced relatively strong diagenesis and catagenesis, i. e. the thin siltstones and fine sandstones in the interdistributary bay would have seriously been tightened, which would block the further migration of oil and gas; 8) the timely matching of trap formation and hydrocarbon migration would be favorable to the formation of large and medium lithologic oil and gas fields.

**Key words:** continental petroliferous basins; slope area; large and medium lithologic oil/ gas fields; China