

文章编号: 0253-9985(2006)02-0233-06

## 盆地后期改造中油气运散的效应 ——鄂尔多斯盆地东北部中生界漂白砂岩的形成

马艳萍, 刘池洋, 王建强, 赵俊峰, 房建军, 桂小军, 喻林

(西北大学大陆动力学国家重点实验室, 含油气盆地研究所, 陕西 西安 710069)

**摘要:** 国内外不同时代砂岩漂白现象的研究表明, 漂白砂岩形成均与有机流体的参与有一定联系。因而, 可将其作为烃类曾经运移、聚散的线索, 预测在其附近可能有(古)油、气藏存在或遭改造破坏。鄂尔多斯盆地在后期改造过程中油气赋存状态发生了重新调整。通过对鄂尔多斯盆地东北部中生界漂白砂岩的主量元素、稀土元素分析和岩石学特征研究, 初步确定该区漂白砂岩形成于酸性还原环境。其岩石学特征主要表现为较高的高岭石含量及黄铁矿含量, 同时氧化铁边部颜色较中心浅; 主量分析结果证实漂白砂岩的  $\text{Al}_2\text{O}_3$  含量较高,  $\text{Fe}^{3+}/\text{Fe}^{2+}$  较低; 稀土元素分析结果显示, 无论是岩心样品还是露头样品, 都存在 Eu 负异常, 均指示了还原环境的特征。综合研究表明, 鄂尔多斯盆地东北部中生界砂岩漂白现象指示了天然气的逸散作用。

**关键词:** 漂白砂岩; 天然气逸散; 中生界; 鄂尔多斯盆地

中图分类号: TE112.1 文献标识码: A

## Effects of hydrocarbon migration and dissipation in later reformation of a basin formation of Mesozoic bleached sandstone in northeastern Ordos basin

Ma Yanping, Liu Chiyang, Wang Jianqiang, Zhao Junfeng, Fang Jianjun, Gui Xiaojun, Yu Lin

(Key Laboratory of Continental Dynamics, Northwest University, Xi'an, Shaanxi 710069)

**Abstract** Study on bleaching of sandstone of different ages in the world indicates that the formation of bleached sandstone is relevant to organic fluid flows. It can provide some clues to hydrocarbon migration, accumulation and dissipation, thus can be used as an evidence for predicting the existence or destruction of oil/gas reservoirs (or fossil oil/gas reservoirs) in nearby areas. The occurrence of oil and gas in Ordos basin would have been altered during the later reconstruction of the basin. Based on analysis of the major elements, rare-earth elements and petrologic characteristics of Mesozoic bleached sandstone in the northeastern Ordos basin, it is preliminarily believed that the bleached sandstone in the study area would have been formed in an acidic and reducing environment. The bleached sandstone is characterized by its relatively high content of kaolinite and pyrite, and the color of ferric oxide minerals on the edge is lighter than that in the center. The major element analysis of sandstone samples shows that they have relatively high  $\text{Al}_2\text{O}_3$  content and low  $\text{Fe}^{3+}/\text{Fe}^{2+}$  ratio; the REE analysis shows that the Eu contents in both core and outcrop samples are negative; all these indicate a reducing environment. At the same time, the geochemical characteristics of oil sand in the northern part of the basin indicate that the oil is exactly condensate as a result of the migration and dissipation of Permian-Carboniferous humic gas in the south to the surface. In a word, the comprehensive study suggests that the bleaching of Mesozoic sandstone

收稿日期: 2005-12-1

第一作者简介: 马艳萍 (1976-), 女, 博士生, 盆地动力学

基金项目: 国家重点基础研究发展规划 (973) 项目 (2003CB214607); 长江学者和创新团队发展计划资助项目 (IRT0559)

in the study area indicates dissipation of natural gas

**Key words** bleached sandstone; gas dissipation; Mesozoic; Ordos basin

世界多数含油气盆地都经历了不同程度的后期改造。Macgregor<sup>[1]</sup>通过对 350 个大油田的研究,发现它们都是短暂的动态变化实体,其中有三分之一的油田存在聚集成藏后又遭到破坏的证

色蚀变而变为“苍白色”和“浅色带”<sup>[16-17]</sup>,在盆地北部中生界延安组顶部和纸坊组顶部也发现砂岩漂白现象。

前人研究已证明,漂白现象出现的地区大多

类蚀变作用在土壤与沉积物中的主要表现形式有: 1) 微生物异常; 2) 矿物变异, 如形成方解石、黄铁矿、铀、硫、铁的氧化物和硫化物; 3) 红色岩层的漂白作用; 4) 粘土矿物的蚀变等。刘庆生等<sup>[6]</sup>对松辽盆地南部某油气田边缘一个油气显示井的磁性测量结果表明, 油气藏聚集过程可能同时伴随着烃类蚀变作用的发生。

红色砂岩层漂白现象在全球较为多见。早在 1922 年就已经发现了与烃类运移有关的红色砂岩层漂白现象<sup>[7-8]</sup>。此后, 诸多文献根据许多实例对红色砂岩层的漂白与岩石中烃类运移的空间关系进行了多方面的研究<sup>[9-14]</sup>。研究表明, 砂岩漂白是氧化铁的化学还原作用所致, 其形成与烃类流体活动密切相关, 最主要的还原剂是烃类流体<sup>[15]</sup>。砂岩漂白的发生与区域构造变动关系密切, 常发生在盆地后期改造过程中油气重新调整阶段。因此, 砂岩漂白现象似乎可作为油气曾经发生大规模逸散的标志, 它可提供烃类曾经运移、聚散的线索, 预示在其附近可能有(古)油、气藏存在或遭改造破坏。

## 1 砂岩漂白现象及其形成背景

砂岩漂白现象在鄂尔多斯盆地分布很广, 在盆地西缘下白垩统罗汉洞组的红色碎屑岩, 因褪

移过程中与所接触的砂岩层相互作用, 后者被不同程度的还原漂白了。

## 2 漂白砂岩的形成机理

红色砂岩中的红色素来自薄的赤铁矿颗粒包壳, 它是由铁镁质硅酸盐矿物如辉石和角闪石在成岩早期由于铁的淋滤和破坏而形成的<sup>[19]</sup>, 其中铁是  $\text{Fe}^{3+}$ 。在正常的孔隙流体条件下,  $\text{Fe}^{3+}$  流动性很差, 即使孔隙流体的 pH 值符合  $\text{Fe}^{3+}$  大规模运移的要求, 但这一数值太低 (pH 小于 4, 酸性太强), 在地质环境中是难以实现的。因此,  $\text{Fe}^{3+}$  必须被还原成  $\text{Fe}^{2+}$  才易于运移。当还原性流体进入红色砂岩层时, 初始流体的 Eh/pH 值控制  $\text{Fe}^{3+}$  的还原反应, 生成的可溶性  $\text{Fe}^{2+}$  被从红色砂岩层中迁移开而使其漂白。已有研究表明, 赤铁矿可以通过与烃类、有机酸、甲烷或硫化氢的化学反应而被还原成  $\text{Fe}^{2+}$ <sup>[20]</sup>。代表性的反应如下

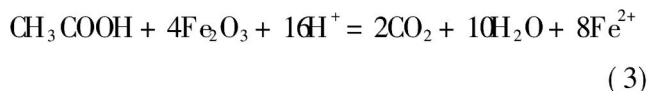
烃类



甲烷



有机酸



## 硫化氢



这一系列的还原反应使得铁以  $\text{Fe}^{2+}$  的形式迁移,从而砂岩被漂白。

Moulton<sup>[7]</sup>的试验证实,  $\text{Fe}^{3+}$  在表生温度和压力下能有效地被  $\text{H}_2\text{S}$  还原从而使红色岩层漂白。Shebl和 Surdan<sup>[21]</sup>的水-岩-烃类混合物高温分解试验结果显示,风成砂岩从原始的红色变成了浅粉红色、白色、灰色或深灰色。

在俄克拉荷马州中南部的许多油田,褪色蚀变的发生与石油和大量的天然气从晚石炭世及更老的地层沿主要背斜垂直运移到褶皱变形较弱的二叠系红色岩层密切相关<sup>[12]</sup>。在红色砂岩层中,厌氧细菌促进了原油中的甲烷和其他烷烃氧化为  $\text{CO}_2$ ,同时  $\text{SO}_4^{2-}$  还原成  $\text{H}_2\text{S}$  碳酸根与  $\text{Ca}^{2+}$  和  $\text{Mg}^{2+}$  的反应产生了胶结物,而  $\text{H}_2\text{S}$  与赤铁矿的反应导致了砂岩的漂白。

对犹他州东南部的侏罗系砂岩的研究表明,不但烃类可作为还原剂使红色砂岩层漂白,外来的有机酸和甲烷也能使铁还原从而改变砂岩的颜色<sup>[13]</sup>。Beitler<sup>[14]</sup>和 Chan等<sup>[13]</sup>认为,最可能的漂白剂是石油和天然气。因为油气比地壳中其他的流体更轻,易于通过砂岩孔隙向上运移,直到被非渗透岩层挡住。

据 King和 Austin<sup>[22]</sup>的意见,克鲁克斯峡谷和气山地区特征的“褪色”蚀变是由长石蚀变和暗色碎屑矿物蚀变和(或)溶蚀的结果,但它却无法解释蚀变砂岩中氧化铁缺失现象。但若用前面的理论将其解释为  $\text{Fe}^{3+}$  的还原迁移而引起“褪色”,则可同时合理地解释氧化铁缺失现象。然而,究竟是细菌成因的  $\text{H}_2\text{S}$  还是含硫天然气中产生的  $\text{H}_2\text{S}$  对  $\text{Fe}^{3+}$  的还原作用,目前还没有足够的证据具体判识。

鄂尔多斯盆地西缘下白垩统罗汉洞组碎屑岩的褪色蚀变,是由非  $\text{H}_2\text{S}$  的还原性流体(主要含烃类,  $\text{N}_2$ ,  $\text{CO}_2$  以及  $\text{H}_2$ )引起的<sup>[16 17]</sup>。

以上大量的事实和实验分析均表明,这些地区的砂岩漂白现象,是由于氧化铁的化学还原作用造成的,而其中最主要的还原剂与烃类和有机质关系密切。

## 3 砂岩漂白现象特征及形成机制探讨

鄂尔多斯盆地东北部中生界砂岩漂白现象主要发育在延安组顶部和纸坊组顶部两个地层不整合面附近;主要分布在准格尔旗神山沟地区以及敖包梁处的沟里,厚度不等,由不足 1 米至几十米。本研究主要采集了延安组顶部的漂白砂岩样品,包括钻孔岩心样品(WZ48 WZ157)和露头样品(ZL15);同时在盆地北部乌兰格尔基岩凸起上的马场壕基岩块断隆起南侧采集到下白垩统油砂样品。其中,对漂白砂岩样品进行了薄片鉴定、主量元素和微量元素地球化学分析,对下白垩统油砂样品进行了有机地球化学分析。

## 3.1 漂白砂岩的岩石地球化学特征

常规薄片镜下鉴定结果表明,研究区主要为岩屑长石砂岩,粒度中等,胶结物以高岭石为主,砂岩成岩程度不高,很少石英次生加大,含少量的方解石胶结物,含云母、黄铁矿,部分氧化铁矿物从中心向边部颜色逐渐变浅,代表了还原作用的结果。个别样品有机质呈线状分布于碎屑颗粒周围。扫描电镜结果也证实,胶结物以书页状的自生高岭石为主,含少量蒙皂石和伊/蒙混层。高岭石的形成与酸性环境有关,说明当时的流体很可能为酸性流体。

吴柏林<sup>①</sup>(通过对样品油气包裹体数量统计表明,绝大部分砂岩样品含油包裹体丰度(GO%)小于 1%,极少数 1%~5%。表明该目的层不存在大规模的石油充注史或石油直接参与作用的历史。从砂岩碳酸盐胶结物中含有较多气相包裹体(几乎全是有机包体,其中又以个体很小的天然气包体为主,少部分气-液烃包体和液烃包体)表明,研究区虽不存在大规模的石油充注作用,却发生过较大规模的天然气逸散作用历史。

漂白砂岩样品的主量分析结果(表 1)表明,钻孔岩心及露头样品各主量含量相当,其  $\text{Al}_2\text{O}_3$  含量较高,在 20%左右,而  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{CaO}$ ,  $\text{Na}_2\text{O}$  和  $\text{K}_2\text{O}$  含量偏低。并且,漂白砂岩具有低的  $\text{Fe}^{3+}/\text{Fe}^{2+}$  比值,为 0.43,说明它是在还原性环境下形成的。

① 吴柏林,中国西北地区中生代盆地砂岩型铀矿地质与成矿作用,西北大学博士论文,2005

表 1 研究区漂白砂岩主量元素含量表

| Table 1 Contents (W %) of major elements in bleached sandstones in the study area |          |                  |                  |                                |                                |       |       |       |                   |                  | 单位: %                         |
|-----------------------------------------------------------------------------------|----------|------------------|------------------|--------------------------------|--------------------------------|-------|-------|-------|-------------------|------------------|-------------------------------|
| 样品                                                                                | 岩性       | SiO <sub>2</sub> | TiO <sub>2</sub> | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | MnO   | MgO   | CaO   | Na <sub>2</sub> O | K <sub>2</sub> O | P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> |
| ZL- 15                                                                            | 漂白砂岩、神山沟 | 73. 84           | 0. 41            | 18. 00                         | 0. 44                          | 0. 01 | 0. 17 | 0. 11 | 0. 06             | 0. 45            | 0. 01                         |
| WZ- 157                                                                           | 漂白砂岩     | 71. 14           | 0. 63            | 19. 21                         | 0. 49                          | 0. 01 | 0. 26 | 0. 07 | 0. 19             | 1. 46            | 0. 02                         |
| WZ- 48                                                                            | 漂白细砂岩    | 67. 22           | 0. 84            | 21. 95                         | 0. 70                          | 0. 01 | 0. 27 | 0. 11 | 0. 14             | 0. 86            | 0. 02                         |

根据漂白砂岩钻孔岩心及露头样品的稀土元素分析结果(表 2)。采用目前常用的太古界后平均澳大利亚沉积岩<sup>[23]</sup>代替北美页岩作为研究区稀土丰度标准化数值并绘制其稀土配分曲线。漂白砂岩钻孔岩心和露头样品的稀土配分曲线,除样品 WZ157 曲线分布较平缓外,其余形态基本相似。岩心样品稀土元素分量、稀土元素总量(ΣREE)、轻稀土(LREE)含量和重稀土(HREE)含量略高于露头样品,但它们的轻、重稀土比值(LREE/HREE)相近,并且都显示

出 LREE 相对富集而 HREE 相对亏损。漂白砂岩样品的稀土元素分析结果表明(图 1),无论是钻孔岩心样品还是露头样品,都存在铕(Eu)负异常,指示具还原环境特征。还原环境相对不利于稀土元素迁移,沉积物中稀土元素含量有所降低。此外,在相对还原条件下,即在氧活度低的条件下,Eu 主要以 Eu<sup>2+</sup> 形式存在,相对其他稀土元素,Eu 出现负异常现象。从另一个侧面说明了砂岩的漂白可能与油气等还原性流体有关。

表 2 研究区漂白砂岩主要稀土元素含量及特征参数表

| Table 2 Contents (x10 <sup>-6</sup> ) of main REE and characteristic parameters of bleached sandstones in the study area |                      |                         |        |         |          | 单位: 10 <sup>-6</sup> |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------|-------------------------|--------|---------|----------|----------------------|
| 样号                                                                                                                       | 上部地壳                 | PAAS                    | WZ- 48 | WZ- 157 | ZL- 15   |                      |
| 岩性                                                                                                                       | 上部地壳 <sup>[24]</sup> | 澳大利亚沉积岩 <sup>[23]</sup> | 漂白细砂岩  | 漂白砂岩    | 漂白砂岩、神山沟 |                      |
| La                                                                                                                       | 30. 00               | 38. 20                  | 12. 18 | 13. 56  | 6. 16    |                      |
| Ce                                                                                                                       | 64. 00               | 79. 60                  | 25. 28 | 28. 44  | 15. 36   |                      |
| Pr                                                                                                                       | 7. 10                | 8. 83                   | 2. 41  | 2. 85   | 1. 11    |                      |
| Nd                                                                                                                       | 26. 00               | 33. 90                  | 9. 59  | 11. 35  | 4. 20    |                      |
| Sm                                                                                                                       | 4. 50                | 5. 55                   | 1. 59  | 1. 98   | 0. 65    |                      |
| Eu                                                                                                                       | 0. 88                | 1. 08                   | 0. 19  | 0. 43   | 0. 08    |                      |
| Gd                                                                                                                       | 3. 80                | 4. 66                   | 1. 39  | 1. 68   | 0. 58    |                      |
| Tb                                                                                                                       | 0. 64                | 0. 77                   | 0. 19  | 0. 23   | 0. 08    |                      |
| Dy                                                                                                                       | 3. 50                | 4. 68                   | 1. 07  | 1. 21   | 0. 46    |                      |
| Ho                                                                                                                       | 0. 80                | 0. 99                   | 0. 24  | 0. 24   | 0. 10    |                      |
| Er                                                                                                                       | 2. 30                | 2. 85                   | 0. 68  | 0. 65   | 0. 27    |                      |
| Tm                                                                                                                       | 0. 33                | 0. 40                   | 0. 10  | 0. 09   | 0. 04    |                      |
| Yb                                                                                                                       | 2. 20                | 2. 82                   | 0. 74  | 0. 66   | 0. 27    |                      |
| Lu                                                                                                                       | 0. 32                | 0. 43                   | 0. 13  | 0. 10   | 0. 04    |                      |
| ΣREE                                                                                                                     | 146. 37              | 184. 76                 | 55. 77 | 63. 47  | 29. 40   |                      |
| LREE                                                                                                                     | 132. 48              | 167. 16                 | 51. 23 | 58. 61  | 27. 56   |                      |
| HREE                                                                                                                     | 13. 89               | 17. 60                  | 4. 54  | 4. 86   | 1. 84    |                      |
| LREE/HREE                                                                                                                | 9. 54                | 9. 50                   | 11. 29 | 12. 06  | 14. 97   |                      |

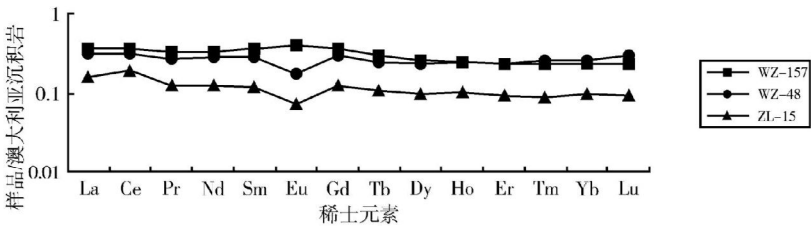


图 1 鄂尔多斯盆地东北部漂白砂岩样品稀土配分曲线图

Fig. 1 Diagram showing REE patterns of bleached sandstone samples in the study area

### 3.2 下白垩统油砂地球化学特征及油源

在距研究区漂白砂岩之北不远处的乌兰格尔凸起南斜坡东西长 100 km, 南北宽约 13 km 的范围内, 已发现油气显示 45 处, 其中地表油苗、手摇钻井及浅井显示分别有 22 处和 23 处, 集中分布在 4 个地区。油气显示层位绝大多数分布在白垩系底部 60 m 的层段内, 油层一般厚 2~14 m<sup>[25]</sup>。值得注意的是, 白垩系油苗分布处下伏地层均为二叠系石千峰组以下地层; 与侏罗系和三叠系接触处则无显示, 表明油苗的出现与后者无关。下白垩统油砂油质轻、易挥发; 与该区石油钻井于二叠系石盒子组和石千峰组下部见到的油砂对比, 二者的表观、物理性质、有机地化特征相似, 认为后者为地表油苗的母岩。

对下白垩统油砂的地球化学分析, 获得了以下主要认识: 1) 油砂样品中可溶有机质含量为 0.308 mg/g; 2) 油砂中高分子量烃类(藿烷类)出现为成熟原油, 显示为明显的高等植物有机质的贡献; 3) 原油经历了强烈生物降解, 同时有明显数量的  $nC_{11} \sim nC_{18}$ , 显示了多期次充注。这些地球化学特征表明, 油砂为源于煤系源岩的较高成熟度轻质油向上运移、经历生物降解和轻烃类再次充注的结果。

研究区煤系为石炭—二叠系和侏罗系, 侏罗系煤层、煤线测得的  $R_o$  值均小于 0.5%, 石炭—二叠系  $R_o$  值小于 0.8%<sup>[26]</sup>。这两套煤系地层热演化程度均较低, 表明烃源岩成熟度不高或未成熟。下白垩统油砂中源于煤系源岩的较高成熟度轻质油显然不是来自本地。在研究区之南, 分布有呈近南北向展布的上古生界苏里格、大牛地、乌审旗、榆林和镇川堡等气田。其中, 大牛地气田距北部油砂分布区约 150 km 左右。这些气田的天然气向北部长期处于较高部位的伊盟隆起乌兰格尔凸起运移, 为下白垩统油砂的形成提供了较高成熟度的轻质油源, 液化程度较高的是南部石炭—二叠系的煤层气逸散到此外地表形成的凝析油。

鄂尔多斯盆地为一向西南缓倾的大单斜, 盆地北部伊盟隆起为地质历史上多期发育的占隆起, 是油气运移的指向。贾承造等<sup>[27]</sup>对我国中西部盆地构造特征与油气关系研究指出, 早白垩世鄂尔多斯盆地呈现东、北高, 而西部低的格局, 天

然气运移趋势为由西向东、由南向北运移。盆地北部存在着断距约 40~240 m 的断层; 从天环向斜北部到苏里格庙、乌审召、东胜一带为北东向断裂多发带。这些断裂系统的发育和活动, 为油气的垂向运移和重新调整分布提供了动力和运移通道。因此, 盆地气田集中分布在中北部, 显示了受沉积环境和北高南低(古)地貌的影响。鄂尔多斯盆地的发育时限为中三叠世—早白垩世, 此后, 多种形式的强烈改造使盆地原始面貌大为改观<sup>[28]</sup>。盆地后期改造对油气的聚散、成藏和分布产生了重要影响。在中国已发现的大中型气田, 只有鄂尔多斯盆地的大气田属早期生烃成藏型, 该盆地虽然发现了一批储量超千亿方的大型气田, 但由于成藏期后持续保存时间太长, 在盆地后期改造中严重散失, 气田的储量丰度最低<sup>[29]</sup>。盆地北部乌兰格尔凸起上的油苗显示正是天然气逸散的佐证。

## 4 结束语

研究表明, 砂岩漂白现象形成均与有机流体的参与有一定联系。通过对鄂尔多斯盆地东北部中生界漂白砂岩的主量元素、稀土元素分析和岩石学特征研究, 初步确定了该区漂白砂岩形成于酸性还原环境。同时, 盆地北部油砂样品地球化学特征表明, 油砂为源于煤系源岩中较高成熟度轻质油的向上运移, 经历生物降解和轻烃类再次充注所形成, 区内白垩系油苗是南部石炭—二叠系的煤层气逸散到地表形成的凝析油。表明在盆地后期改造过程中, 由于构造等因素使油气发生了重新调整并有部分天然气逸散, 从而导致部分砂岩漂白现象的形成。砂岩漂白现象的研究, 不仅可以提供烃类曾经运移、聚散的线索, 预示在其附近可能有(古)油、气藏存在, 并且它也是资源评价中估算油气损失量应考虑的重要内容, 对油气原始资源潜量的估算和勘探决策有参考价值。

致谢: 本文研究工作得到了张复新教授、吴柏林高级工程师的热心帮助, 油砂样品的测试分析工作由中国石油大学王飞宇教授协助完成, 在此深表感谢。对河北工程大学的孙玉壮教授、秦鹏同学以及广州地球化学研究所的靳永斌同学在野外实际考察中给予的帮助一并表示感谢。

## 参 考 文 献

- 1 MacGregor D S. Factors controlling the destruction or preservation of giant light oilfields [ J ]. *Petroleum Geoscience*, 1996, 2: 197–217
- 2 刘池洋. 改造型盆地油气勘探理论、方法及关键技术研讨会开幕词 [ J ]. *石油与天然气地质*, 2000, 21(1): 序言  
Liu Chiyang. Opening speech on symposium of theory, method and key technology of oil and gas exploration in reformed basins [ J ]. *Oil & Gas Geology*, 2000, 21(1): preface
- 3 刘池洋, 赵重远, 杨兴科. 活动性强 深部作用活跃—中国沉积盆地的两个重要特点 [ J ]. *石油与天然气地质*, 2000, 21(1): 1–6  
Liu Chiyang, Zhao Zhongyuan, Yang Xingke. Strong activity and active deep action: two important features of Chinese sedimentary basins [ J ]. *Oil & Gas Geology*, 2000, 21(1): 1–6
- 4 Schumacher D. Hydrocarbon induced alteration of soil sand sediments [ A ]. In: Schumacher D, Abrams M A. Hydrocarbon migration and its near surface expression [ C ]. *AAPG Memoir*, 1996, 66: 71–89
- 5 Schumacher D. Surface geochemical exploration for oil and gas: new life for an old technology [ J ]. *The Leading Edge*, 2000, 3: 1281–1310
- 14 Beitler B, Chan M A, Parry W T. Bleaching of Jurassic Navajo sandstone on Colorado Plateau Laramide highs: Evidence of exhumed hydrocarbon supergiants? [ J ]. *Geology*, 2003, 31(12): 1041–1044
- 15 马艳萍, 刘池洋, 吴柏林, 等. 砂岩漂白现象的形成及其启示 [ A ]. 见: 刘池洋. 盆地多种能源矿产共存富集成藏 (矿) 研究进展 [ C ]. 北京: 科学出版社, 2005: 141–151  
Ma Yanping, Liu Chiyang, Wu Bolin, et al. Formation of bleaching of sandstone and its revelation [ A ]. In: Liu Chiyang. The study progress of accumulation and distribution patterns for multiple energy mineral deposits coexisting in the basin [ C ]. Beijing: Science Press, 2005: 141–151
- 16 王金平. 潜育型砂岩铀矿化的地球化学特征、成因机理及找矿模式探讨——以红井铀矿床为例 [ J ]. *铀矿地质*, 1998, 14(1): 20–25  
Wang Jinping. Discussion on geochemical characteristics, mechanism and prospecting model of gley type sandstone Uranium mineralization taking redwell Uranium deposit as an example [ J ]. *Uranium Geology*, 1998, 14(1): 20–25
- 17 王金平. 陕甘宁盆地北部下白垩统潜水氧化带型铀矿成矿远景评价 [ J ]. *核地质学报*, 2000, 22(1): 1–6
- 9 Levandowski D W, Kaley M E, Silverman S R, et al. Cementation in Lyons sandstone, Colorado [ J ]. *AAPG Bull*, 1973, 57: 2217–2244
- 10 Segal D B, Ruth M D, Merin I S. Remote detection of anomalous mineralogy associated with hydrocarbon production, Lisbon Valley, Utah [ J ]. *The Mountain Geologist*, 1986, 23: 51–62
- 11 Surdam R C, Jiao Z S, MacGowan D B. Redox reactions involving hydrocarbons and mineral oxidants: a mechanism for significant porosity enhancement in sandstones [ J ]. *AAPG Bull*, 1993, 77(9): 1509–1518
- 12 Kirkland D W, Denison R E, Rooney M A. Diagenetic alteration of Permian strata at oil fields of south central Oklahoma, USA [ J ]. *Marine and Petroleum Geology*, 1995, 12(6): 629–644
- 13 Chan M A, Parry W T, Bowman J R. Diagenetic hematite and manganese oxides and fault-related fluid flow in Jurassic sandstones, southeastern Utah [ J ]. *AAPG Bull*, 2000, 84(9): 1281–1310
- 20 Garden I R, Guscott S C, Foxford K A, et al. An exhumed fill and spill hydrocarbon fairway in the Entrada sandstone of the Moab anticline, Utah [ A ]. In: Hendry J, Carey P, Pamell J, et al. Migration and interaction in sedimentary basins and orogenic belts [ C ]. Second International Conference on Fluid Evolution, Belfast, Northern Ireland, 1997: 287–290
- 21 Shebl M A, Surdam R C. Redox reactions in hydrocarbon clastic reservoirs: Experimental validation of this mechanism for porosity enhancement [ J ]. *Chemical Geology*, 1996, 132: 103–117
- 22 King J W, Austin S R. Some characteristics of roll-type uranium deposits at Gas Hills, Wyoming, U. S. [ J ]. *Mining Engineers*, 1966, 18(5): 73–80
- 23 McLennan S M. Rare earth elements in sedimentary rocks: influence of provenance and sedimentary processes [ A ]. In: Lipin B R, McKay G A. Geochemistry and mineralogy of rare earth elements [ C ]. *Rev Mineral*, 1989, 21: 169–200

(下转第 243 页)

入高含水率阶段后,仍有较多的剩余油富集,采出程度相对较低,是进一步提高采出程度和挖潜的主要层系。

P类流动单元的平均孔隙度为 11.35%,平均渗透率为  $2.30 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ ,平均厚度为 2.53 m,孔隙小,吼道细,连通性很差(图 3D)。它属于水下分流河道微相与河道间微相的过渡部位以及堤泛微相(图 2),是渗流能力和储集动用能力均较差的类型。

### 参 考 文 献

- 1 兰朝利,吴峻,李继亮,等.靖安油田长 6 段层序地层分析[J]. 石油与天然气地质, 2001, 22(4): 362~ 367  
Lan Chaoli, Wu Jun, Li Jiliang et al Sequence stratigraphy of Chang-6 member in Jing'an oilfield[J]. Oil & Gas Geology, 2002, 22(4): 362~ 367
- 2 赵翰卿. 储层非均质体系、砂体内部建筑结构和流动单元研究思路探讨[J]. 大庆石油地质与开发, 2002, 21(6): 16~ 19  
Zhao Hanqing Approach to the study thinking about reservoir heterogeneous system, sand-body internal construction structure and flow unit[J]. Petroleum Geology & Oilfield Development in Daqing, 2002, 21(6): 16~ 19
- 3 尹太举,张昌民,陈程,等.建立储层流动单元模型的新方法[J]. 石油与天然气地质, 1999, 20(2): 170~ 175  
Yin Taiju, Zhang Changmin, Chen Cheng et al A new method for founding the model of flow unit in reservoirs[J]. Oil & Gas Geology, 1999, 20(2): 170~ 175
- 4 窦松江,于兴河,李才雄,等.流动单元研究在北大港油田中的应用[J]. 石油与天然气地质, 2004, 25(1): 26~ 30  
Dou Songjiang, Yu Xinghe, Li Caixiong et al Flow unit study at middle and late development stages in Northern Dagang oilfield[J]. Oil & Gas Geology, 2004, 25(1): 26~ 30
- 5 林波,张建良,刘辛,等.储层流动单元的划分在油田开发中的应用[J]. 江汉石油学院学报, 2003, 25(增刊): 94~ 95  
Lin Bo, Zhang Jianliang, Liu Xin et al Application of reservoir flow unit classification in oilfield development[J]. Journal of Jianghan Petroleum Institute, 2003, 25(S0): 94~ 95
- 6 郭燕华,熊琦华,吴胜和,等.陆相储层流动单元的研究方法[J]. 石油大学学报, 1999, 23(6): 13~ 16  
Guo Yanhua, Xiong Qihua, Wu Shenghe et al Study method for flow unit in continental reservoir[J]. Journal of the University of Petroleum, 1999, 23(6): 13~ 16
- 7 马立文,窦齐丰,彭仕宓,等.用 Q 型聚类分析与判断函数法进行储层评价——以冀东老爷庙油田 28X1 区块东一段为例[J]. 西北大学学报, 2003, 33(1): 83~ 86  
Ma Liwen, Dou Qifeng, Peng Shimeng et al Comprehensively applying Q-model gathering and discriminant function methods to reservoir classification and evaluation Taking Ed1 of Miao 28X1 block in Laoyemiao oilfield in Jidong as an example[J]. Journal of Northwest University(Natural Science Edition), 2003, 33(1): 83~ 86

(编辑 高 岩)

(上接第 238 页)

- 24 Taylor SR, McLennan SM. The composition and evolution of the continental crust: rare element evidence from sedimentary rocks[J]. Phil Trans R. Soc London, 1981, A301, 381~ 399
- 25 刘友民. 陕甘宁盆地北缘乌兰格勒地区白垩系油苗成因及意义[J]. 石油勘探与开发, 1982, 3: 39~ 42  
Liu Youmin Some notes about the oil seepage in Ulanqar area northern Shan-Gan-Ning[J]. Petroleum Exploration & Development, 1982, 3: 39~ 42
- 26 任战利,张盛,高胜利,等.鄂尔多斯盆地热演化史研究现状及进展[A]. 见:刘池洋.盆地多种能源矿产共存富集成藏(矿)研究进展[C]. 北京:科学出版社, 2005: 17~ 25  
Ren Zhanli, Zhang Sheng, Gao Shengli et al Present situation and progress on thermal history research in Ordos basin[A]. In: Liu Chiyang The study progress of accumulation and distribution patterns for multiple energy mineral deposits coexisting in the basin[C]. Beijing: Science Press, 2005: 17~ 25
- 27 贾承造,魏国齐,李本亮. 中国中西部燕山期构造特征及其油气地质意义[J]. 石油与天然气地质, 2005, 26(1): 9~ 15  
Jia Chengzao, Wei Guoqi, Li Benliang Yanshanian tectonic features in west-central China and their petroleum geological significance[J]. Oil & Gas Geology, 2005, 26(1): 9~ 15
- 28 刘池洋,赵红格,王锋,等.鄂尔多斯盆地西缘(部)中生代构造属性[J]. 地质学报, 2005, 79(6): 737~ 747  
Liu Chiyang, Zhao Hongge, Wang Feng et al Mesozoic structure attribute in the west (Margin) of Ordos basin[J]. Acta Geologica Sinica, 2005, 79(6): 737~ 747
- 29 王庭斌. 中国大中型气田成藏的主控因素及勘探领域[J]. 石油与天然气地质, 2005, 26(5): 572~ 583  
Wang Tingbin Main control factors of large and medium gas field and exploration domains in China[J]. Oil & Gas Geology, 2005, 26(5): 572~ 583

(编辑 高 岩)