

文章编号: 1000-0550(2003)02-0350-05

# 东濮凹陷杜桥白地区天然气气源岩分析

冯建辉<sup>1,3</sup> 任战利<sup>2</sup> 崔军平<sup>2</sup> 任来义<sup>3</sup> 马维民<sup>3</sup> 孙明良<sup>4</sup>

(中国科学院广州地球化学研究所 广州 510640) 2 (西北大学大陆动力学教育部重点实验室 西安 710069)

3 (中国石油化工股份公司中原油田分公司 河南濮阳 457001) 4 (中国科学院兰州地质研究所 兰州 730000)

**摘要** 应用多种方法确定了杜桥白地区深层天然气的来源,研究表明白庙地区天然气主要来源于前梨园洼陷第三系烃源岩和石炭—二叠系煤系地层,靠近兰聊断裂带构造高点,浅层  $E_{52}^3$ — $E_{53}^2$  气层具有较高的  $^{40}\text{Ar}/^{36}\text{Ar}$  比值,为煤型气及混合气,而远离兰聊断裂带,且处于构造低部位的  $E_{53}^3$ — $E_{53}^4$  气层具有较低的  $^{40}\text{Ar}/^{36}\text{Ar}$  比值,为油型气;桥口构造  $E_{53}^3$ — $E_{53}^4$  段气层主要为油型气;杜寨地区  $E_{53}^3$  段气层为油型气,来自于  $E_{53}^3$  段气源岩。天然气氦同位素分析表明杜寨、桥口地区深层天然气为壳源气,白庙地区气藏主要为煤型油型复合气藏,并有幔源气的混入。

**关键词** 东濮凹陷 杜桥白地区 气源岩 同位素 稀有气体 前梨园洼陷

**第一作者简介** 冯建辉 男 1961 年出生 教授级高级工程师 油气地质与勘探

**中图分类号** TE122.1 **文献标识码** A

杜桥白地区位于东濮凹陷内的河南省濮阳县和山东省东明县交界处,面积约 500km<sup>2</sup>。东达兰聊深断裂,西接中央隆起带,包括文东斜坡带、前梨园洼陷中南部及葛岗集北次洼的大部分。近年来,深层气的勘探取得了重大进展,已发现了一批工业气流井,含气范围进一步扩大。杜桥白地区油气关系复杂,为了搞清杜桥白地区的天然气来源,以指导油气勘探工作。我们在前人工作的基础上,采集了部分井气样进行了稀有气体同位素分析,系统的讨论了杜桥白地区深层天然气地球化学特征的差异,追踪其可能的来源,取得了一些新的结果。

## 1 区域地质背景

东濮凹陷为新生代裂陷盆地,属于渤海湾含油气盆地南缘临清拗陷东南部的一个凹陷,是中原油气区主要含油凹陷。东濮凹陷经历了早第三纪裂陷阶段和晚第三纪拗陷阶段,其油气主要产于下第三系沙河街组。杜桥白地区位于东濮凹陷中部,东侧为控制凹陷形成和发育的张扭性兰聊断裂,西侧为张性黄河断裂,东北、东南濒临前梨园和葛岗集洼陷。本区基底断裂发育,以北北东向为主,自东向西有兰聊断裂,乔良屯—杜寨断裂、黄河断裂及其分支—桥口断裂,这些断裂不仅延伸方向基本一致,而且具有断面均为西(西北)倾,西(西北)盘下掉的基本特征。这些基底断裂不仅对基底构造的形成,而且对第三纪沉积及构造形成起着重要的控制作用。下第三系内部断裂也十分发育,除兰聊

断裂、乔良屯—杜寨断裂、黄河断裂进一步发育外,白庙构造近东西向断裂发育,将白庙构造切割成一系列小断块。桥口—白庙地区发育了玉皇庙断裂及李屯断裂。受兰聊、黄河断裂的控制,杜桥白地区之间主要发育李屯和杜寨断层,这两条断层对该区的沉积和油气聚集、分布有明显的控制作用。本区地层层序较全,基底为古生代碳酸盐岩和中生代碎屑岩,盖层为上、下第三系呈薄互层状的粉、细砂岩和泥页岩,下第三系埋深 2 000~4 800 m,含油气层主要为下第三系沙河街组。

## 2 气源岩对比分析

### 2.1 杜桥白地区天然气成分分析

杜桥白地区不同层位均含一定量的天然气,产气层位为  $E_{52}^3$ — $E_{54}^3$ ,不同地区油气分布特点明显不同。杜寨地区位于前梨园洼陷中心,含气层位为  $E_{53}^3$ — $E_{53}^4$ ;桥口地区油气伴生,天然气以深层为主( $E_{53}^3$ — $E_{53}^4$ ),分布于桥口东南侧,临近葛岗集洼陷浅层油藏中含气,深部为纯气藏,具有上油下气的特点;白庙地区的浅层以气藏为主( $E_{53}^3$ — $E_{53}^2$ ),构造低部位深部为油藏,具有上气下油的特点。

杜寨地区天然气主要分布在  $E_{53}^3$ — $E_{53}^4$  段,在 4 200~5 000 m 井段气体甲烷含量在 51.4%~90% 之间,为湿气;在深度大于 5 000 m 井段,甲烷普遍大于 82%,为干气(表 1)。桥口地区天然气主要分布在桥口东南,临近葛岗集洼陷桥 14 桥 20 桥 23 桥 25 等

表 1 杜桥白地区天然气组成  
Table 1 Composition of natural gas in Duqiaobai area

| 构造                           | 井号   | 层位                           | 深度<br>/m                     | 天然气组份 %        |                |                |                 |                 |                |                |                 |       | C <sub>1</sub> /C <sub>2</sub> | C <sub>1</sub> /C <sub>2</sub><br>+ C <sub>3</sub> |
|------------------------------|------|------------------------------|------------------------------|----------------|----------------|----------------|-----------------|-----------------|----------------|----------------|-----------------|-------|--------------------------------|--|
|                              |      |                              |                              | C <sub>1</sub> | C <sub>2</sub> | C <sub>3</sub> | iC <sub>4</sub> | nC <sub>4</sub> | C <sub>5</sub> | N <sub>2</sub> | CO <sub>2</sub> |       |                                |  |
| 桥口                           | 桥 14 | Es <sub>3</sub> <sup>2</sup> | 3 759.2~ 3 769.4             | 77.59          | 10.47          | 5.18           | 1.08            | 1.45            | 0.90           | 1.12           | 1.91            | 4.07  | 4.96                           |  |
|                              | 桥 20 | Es <sub>3</sub> <sup>4</sup> | 4 580~ 4 649                 | 78.66          | 10.56          | 4.48           | 1.54            | 1.85            | 2.90           |                | 3.69            | 5.23  |                                |  |
|                              | 桥 3  | Es <sub>2</sub> <sup>2</sup> | 2 680                        | 89.25          | 8.18           | 0.74           | 0.04            | 0.04            |                | 1.42           | 0.25            |       |                                |  |
| 白                            | 白 3  | Es <sub>2</sub> <sup>2</sup> | 2 690.4~ 2 701.2             | 88.24          | 6.65           | 1.48           | 0.77            |                 |                | 2.32           | 0.54            | 9.91  | 10.85                          |  |
|                              |      | Es <sub>3</sub> <sup>1</sup> | 3 135.0~ 3 139.0             | 88.36          | 7.32           | 1.46           | 0.68            |                 | 1.38           | 0.80           | 9.34            | 10.05 |                                |  |
|                              | 白 8  | Es <sub>3</sub> <sup>1</sup> | 3 133.4~ 3 137.4             | 93.74          | 2.32           | 1.49           | 1.04            |                 | 微              | 0.77           | 0.63            | 19.33 | 24.60                          |  |
|                              |      | Es <sub>2</sub> <sup>3</sup> | 3 266.6~ 3 290               | 82.67          | 3.35           | 1.47           | 0.26            |                 | 0.09           | 1.62           | 0.31            | 13.45 | 46.67                          |  |
|                              | 白 9  | Es <sub>2</sub> <sup>3</sup> | 3 563.4~ 3 566.2             | 90.15          | 5.27           | 0.47           | 0.51            |                 | 0.26           |                |                 | 10.98 | 12.17                          |  |
|                              |      | Es <sub>3</sub> <sup>4</sup> | 3 906.2~ 3 913.4             | 88.74          | 4.45           | 2.17           | 1.22            |                 | 0.36           | 0.92           | 微               | 9.59  | 11.42                          |  |
| 白庙                           | 白 20 | Es <sub>2</sub> <sup>2</sup> | 2705.0~ 2706.8               | 90.68          | 4.11           | 3.32           | 0.51            |                 | 0.17           | 2.44           | 微               | 13.18 | 14.63                          |  |
|                              | 开 28 | Es <sub>3</sub> <sup>1</sup> | 3 062.0~ 3 065.5             | 90.12          | 3.99           | 2.35           | 1.04            |                 | 0.52           | 1.37           | 0.62            | 11.41 | 14.21                          |  |
|                              | 白 17 | Es <sub>3</sub> <sup>3</sup> | 3752.9~ 4089.9               | 88.61          | 8.55           | 0.43           | 0.07            | 0.10            | 0.02           | 1.17           | 0.95            | 9.66  | 9.86                           |  |
|                              | 白 11 | Es <sub>3</sub> <sup>3</sup> | 3990~ 4005                   | 88.15          | 9.05           | 0.50           | 0.07            | 0.098           | 0.02           | 0.91           | 1.09            | 9.05  | 9.23                           |  |
| 杜寨                           | 濮    | Es <sub>3</sub> <sup>3</sup> | 4 808.19~ 4 813.84           | 81.03          | 3.11           | 3.99           | 1.69            | 1.54            | 0.95           |                |                 |       |                                |  |
|                              |      | Es <sub>3</sub> <sup>3</sup> | 4 452                        | 89.8           | 6.3            | 3.9            |                 |                 |                |                |                 |       |                                |  |
|                              |      | Es <sub>3</sub> <sup>3</sup> | 4 477                        | 73.9           | 14.51          | 7.21           | 2.53            | 1.78            |                |                |                 |       |                                |  |
|                              | 深    | Es <sub>3</sub> <sup>3</sup> | 4 806                        | 81.5           | 8.47           | 3.49           | 2.69            | 3.81            |                |                |                 |       |                                |  |
|                              |      | Es <sub>3</sub> <sup>3</sup> | 4 495                        | 64.6           | 4.39           | 10.77          | 10.34           | 9.9             |                |                |                 |       |                                |  |
|                              |      | Es <sub>3</sub> <sup>3</sup> | 4 854                        | 51.4           | 6.14           | 3.94           | 1.47            | 1.0             |                |                | 36.1            |       |                                |  |
|                              | 12   | Es <sub>3</sub> <sup>3</sup> | 4 860                        | 84.3           | 17.84          | 3.27           | 3.27            | 1.31            |                |                |                 |       |                                |  |
|                              |      | Es <sub>3</sub> <sup>3</sup> | 4 230                        | 90             | 3.9            | 6.1            |                 |                 |                |                |                 |       |                                |  |
|                              |      | Es <sub>3</sub> <sup>3</sup> | 4 247                        | 71.1           | 11.8           | 16.5           |                 |                 |                |                |                 |       |                                |  |
|                              | 濮寨   | 深                            | Es <sub>3</sub> <sup>3</sup> | 4 464          | 72.7           | 7.4            | 7.6             |                 |                |                |                 |       |                                |  |
| Es <sub>3</sub> <sup>3</sup> |      |                              | 4 785                        | 45.8           | 3.0            | 4.6            | 10.8            | 2.2             |                |                | 33.6            |       |                                |  |
| 4                            |      | Es <sub>3</sub> <sup>3</sup> | 4 864                        | 62.1           | 10.7           | 10.9           | 10.2            | 6.1             |                |                |                 |       |                                |  |
|                              |      | Es <sub>3</sub> <sup>4</sup> | 4 911                        | 81.3           | 8.2            | 4.8            | 4.6             | 1.1             |                |                |                 |       |                                |  |
|                              |      |                              | 5 045                        | 92             | 3.5            | 4.2            | 8.0             | 2.4             |                |                |                 |       |                                |  |

井,主要层位为 Es<sub>3</sub><sup>3</sup> Es<sub>3</sub><sup>4</sup> 甲烷含量低普遍小于 80%,重烃含量高达 22%, C<sub>1</sub>/C<sub>2</sub> 一般小于 5,从天然气组成来看,表现为湿气阶段油型气的特征。

白庙地区天然气,主要分布在 Es<sub>3</sub> 段,在构造高部位浅层 Es<sub>2</sub> 也有分布。总体特征为具有较高的甲烷含量,一般近 90%。C<sub>1</sub>/C<sub>2</sub> 较大,一般大于 10%,白 8 井 (Es<sub>3</sub><sup>1</sup> Es<sub>3</sub><sup>2</sup>) 天然气中 C<sub>1</sub>/C<sub>2</sub> 大,可达 24.6%~46.6%; 临近葛岗集洼陷的白 16 井 Es<sub>3</sub><sup>3</sup> 天然气组份中甲烷含量低,为 81% 左右, C<sub>1</sub>/C<sub>2</sub> 为 5.69 为油型气的特征,白 16 井的油源主要来源于葛岗集洼陷下第三系烃源岩<sup>①</sup>。

杜寨地区热演化程度高,天然气湿气、干气都有,甲烷含量差异大。白庙、桥口天然气虽同属湿气,但两者的天然气组分有一定差别,桥口地区天然气中甲烷含量普遍小于 80%,甲烷、重烃为 5 左右,白庙地区天然气甲烷含量相近,普遍高于 88%,且甲烷、重烃 > 10,成份具有相似性。一般认为在成熟度相当条件下,煤型气比油型气 C<sub>1</sub>/C<sub>2</sub> 系数高,产生桥口、白庙天然气组份差异的主要原因除成熟度影响外,天然气的母源类型起决定因素。

① 罗小平等. 桥口—白庙地区油藏地球化学及成藏史研究. 1999. 12.

表 2 桥口—白庙天然气碳同位素数据表

Table 2 The carbon isotopic composition of natural gas in Duqiaobai area

| 构造 | 井号    | 层位              | 井深 /m            | $\delta^{13}\text{C}_1$<br>‰ | $\delta^{13}\text{C}_2$<br>‰ | $\delta^{13}\text{C}_3$<br>‰ | $I_{\text{左}}^-$<br>$R_{\text{右}}$ | $\delta^{13}\text{C}$ ‰<br>天然气 | $\delta\text{D}$ ‰<br>天然气 |
|----|-------|-----------------|------------------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|------------------------------------|--------------------------------|---------------------------|
| 桥口 | 桥 14  | $\text{Es}_3^3$ | 3 759.2~ 3 769.4 | - 45.10                      |                              |                              |                                    |                                |                           |
|    | 桥 20  | $\text{Es}_3^4$ | 4 530~ 4 649     | - 40.03                      | - 26.65                      | - 24.08                      | + 2.1                              |                                |                           |
| 白  | 白 3   | $\text{Es}_3^3$ | 2 690.4~ 2 701.2 | - 34.10                      | - 26.32                      | - 25.06                      | - 0.86                             |                                |                           |
|    |       | $\text{Es}_3^5$ | 3 135~ 3 139     | - 34.85                      | - 25.1                       | - 24.7                       | + 1.46                             | - 33.93                        | - 192                     |
| 白  | 白 7   | $\text{Es}_3^3$ | 3 736            | - 34.31                      |                              |                              |                                    |                                |                           |
|    |       | $\text{Es}_3^5$ | 2 690~ 2 701.4   | - 34.31*                     | - 24.4                       | - 22.5                       |                                    |                                | - 212                     |
| 白  | 白 8   | $\text{Es}_3^3$ | 3 401.4~ 3 372.8 | - 34.9*                      |                              |                              |                                    |                                |                           |
|    |       | $\text{Es}_3^4$ | 3 620.0~ 3 650.0 | - 34.8*                      |                              |                              |                                    |                                |                           |
| 白  | 白 9   | $\text{Es}_3^3$ | 3 434.0          | - 34.2*                      |                              |                              |                                    | - 35.75                        | - 198                     |
|    |       | $\text{Es}_3^3$ | 3 424            | - 34.12                      | - 25.5                       | - 23.8                       |                                    |                                |                           |
| 杜寨 | 濮深 12 | $\text{Es}_3^3$ |                  | - 40.52                      |                              |                              |                                    |                                |                           |

\* 泥浆脱全气

## 2.2 天然气稳定碳同位素分析提供的信息

天然气稳定碳同位素是判断天然气成因类型和进行气源对比的有效手段之一。甲烷碳同位素值一般受两种因素作用,其一为有机质类型,其二为有机质热演化程度。有机地球化学通常根据甲烷同位素值判别天然气成因和类型,并推测其可能烃源岩成熟度,进行气源对比<sup>[1,2,3,4]</sup>。乙烷、丙烷等重烃与甲烷同位素值之差可用来研究成熟度,进而判断气源岩时代和生成的主要时期。

杜寨、桥口天然气甲烷碳同位素为-40‰以下(表2),白庙天然气碳同位素较重为-34‰左右,偏重达6‰,不仅反映了杜寨、桥口天然气的母质类型较好,白庙天然气母质类型较差,偏腐殖型,成熟度亦能造成天然气甲烷同位素的差异,但比母质类型造成差异小。

根据 Jamea(1983)利用烷烃气体同位素分配理论, $\delta^{13}\text{C}$ 碳同位素与气源成熟关系,单一气源在成熟范围内,烷烃气的碳同位素系列具相对稳定的分配系数,即 $\delta^{13}\text{C}_1 < \delta^{13}\text{C}_2 < \delta^{13}\text{C}_3 < \delta^{13}\text{C}_4$ ,同时单一气源的天然气应具有 $(\delta^{13}\text{C}_2 - \delta^{13}\text{C}_1) = 1.33 \times (\delta^{13}\text{C}_3 - \delta^{13}\text{C}_2) + 7.76$ 。若由两种不同成熟度天然气混合,公式两侧数值差异甚大。从数据分析结果判断,桥口、白庙的桥14、桥20、白3井 $\text{Es}_3^5$ 天然气属单一来源的气体,应为下第三系生油岩的产物,为油型气,但两者存在一定的差别,除成熟度外(白庙天然气成熟更高为过成熟气),气源岩母质类型可能是造成甲烷同位素值明显不同,是产生差异根本原因。白庙地区存在由石炭—二叠系煤成气和沙河街组油型气的烷烃气形成的混合气。如白3井2 690.4~ 2 701.2 m的混合气 $\delta^{13}\text{C}_1$ 值为-34.10‰, $\delta^{13}\text{C}_2$ 值为-26.32‰和 $\delta^{13}\text{C}_3$ 值-25.06‰。利用该气

的烷烃气碳同位素系列连线对比图,表明白3井、白8井、白14井介于油型气与煤型气之间,为混合气。桥20井更接近于油型气。因为煤成烷烃气碳同位素系列连线最重,而油型烷烃气碳同位素系列连线最轻。

白庙气藏天然气碳同位素为-33.93‰~-35.75‰,氩同位素介于-192‰~-212‰之间, $\delta^{13}\text{C}_1$ 为-34.10‰~-34.90‰,具有混源气特征。杜寨地区天然气同位素为-40.52‰,为油型气特征,说明气源来自在于深层 $\text{Es}_3$ 段气源岩。从天然气成熟度( $R_{\text{右}}$ )与甲烷碳同位素( $\delta^{13}\text{C}_1$ )关系来看,白庙地区白3、白7、白9更接近于煤成气,而桥口地区桥14、桥20井及杜寨地区濮深12井为腐泥型母质生成的油型气。

## 2.3 天然气中稀有元素同位素特征提供的来源信息

据中国科学院兰州地质研究所对渤海湾盆地含油气区(辽河、东濮)的研究发现,沙河街组烃源岩形成的天然气应当具有较低的 $^{40}\text{Ar}/^{36}\text{Ar}$ 值,一般在350~450范围内,与古生界石炭—二叠系煤系地层有关的天然气 $^{40}\text{Ar}/^{36}\text{Ar}$ 值在950~1200范围<sup>[3]</sup>,由于 $^{40}\text{Ar}/^{36}\text{Ar}$ 值的丰度比主要与气源岩的年代有关,而不受成熟度的影响,所以常用该指标来判断天然气源岩的年代。不同学者先后对白庙地区天然气氩同位素进行过测定,认为白庙地区有煤型气和混源气<sup>[2,3,5,6,7]</sup>。徐永昌等测定了白庙气藏的氩、氩同位素,用幔—壳复合二元模式计算了白3井、白8井、白10井、白20井样品的氩气中幔源氩的份额可达 $n\% \sim 10\%$ ,认为白庙气藏为煤型油型复合气藏,并有幔源气体的影响。作者在前人测试及分析工作的基础上,测定了部分样品的氩、氩同位素,对杜桥白地区天然气来源问题进行进一步的讨论,测试结果如表所示(表3)。

从表中已有数据可以看出,白庙地区沿着兰聊断裂带构造高点的白 3 白 8 白 10 白 20 白 14 井区,浅层  $Es_2^{\text{下}}-Es_3^{\text{上}}$  气层具有较高  $^{40}Ar/^{36}Ar$  比值,均大于 700,为煤型气及混合气。而远离兰聊断裂带,且处于构造低部位的白 6 白 9 白 12 白 28 井区  $^{40}Ar/^{36}Ar$  比值较低,小于 563,以油型气为主。而桥口深层  $Es_3^{\text{上}}-Es_3^{\text{中}}$   $^{40}Ar/^{36}Ar$  同位素比值差异较大,桥 55-1 井比值低,反映其源岩为下第三系沙河街组碎屑岩,桥 20 井  $^{40}Ar/^{36}Ar$  比值为 608,比值较高,可能有煤成气混入,但仍为以油型气为主。

天然气中  $^3He/^4He$  值为,当  $R \geq 1. \times 10^{-5}$ ,表示氦来自于地幔;当  $R \approx 2 \times 10^{-8}$ ,表示氦是地壳的铀钍放射性氦<sup>[6,7,8]</sup>。根据氦同位素分析结果及幔源气及壳源气判定标准,桥 55-1 井及白庙白 13 井、白 15 井、白 11 井、白 17 井  $^3He/^4He$  的比值为  $10^{-8}$  量级,表明天然气为壳源性质。白庙地区白 28 井、白 23 井、白 3 井、白 8 井、白 10 井、白 20 井样品的  $^3He/^4He$  的比值处在  $10^{-6} \sim 10^{-7}$  的范围内,说明壳、幔挥发份之间产生了交换复合,可以用壳、幔的端元成分值按二元复合模

式计算各自所占比例。白 28 井  $Es_3^{\text{上}}$  天然气用幔-壳复合二元模式计算幔源氦的分额可达 6.2%;白 23 井  $Es_3^{\text{上}}-Es_3^{\text{中}}$  天然气用幔-壳复合二元模式计算幔源氦的分额可达 7.3%。计算结果表明桥口、白庙部分地区天然气为壳源性质,白庙大部分地区天然气的氦气中有幔源氦的混入,混入的分额可达 1%~10%。因此白庙地区气藏为煤型油型复合气藏,有少量幔源氦的混入。

### 3 杜桥白地区天然气来源及气源岩分布特点

综上所述,可以看出杜桥白地区不同区块、不同层位油气性质及分布特点明显不同,表明不同区块油气来源不同。杜寨地区  $Es_3^{\text{上}}$  气层及桥口构造  $Es_3^{\text{上}}-Es_3^{\text{中}}$  气层主要为油型气,其源岩为下第三系沙河街组碎屑岩;白庙地区天然气以混合气为主,主要来源于前梨园洼陷第三系烃源岩和石炭-二叠系煤系地层。并有幔源氦的混入。天然气样品氦同位素分析表明桥口地区、杜寨地区天然气为壳源性质;无地幔气的混入。白庙地区天然气主要为煤型油型复合气藏,并有幔源

表 3 桥口-白庙地区天然气稀有气体同位素数据

Table 3 Noble gases isotopic composition of natural gas in Duqiaobai area

| 井号     | 层位                                | 井段/m             | $^3He/^4He$                      | $R/Ra$ | $^{40}Ar/^{36}Ar$ | 备注    |
|--------|-----------------------------------|------------------|----------------------------------|--------|-------------------|-------|
| 桥 20 井 | $Es_4^{\text{上}}$                 | 4 530~ 4 690     |                                  |        | 608               | 据徐永昌等 |
| 桥 55-1 | $Es_3^{\text{上}}$                 | 3 592.0~ 3 615.0 | $3.56 \pm 0.18 \times 10^{-8}$   | 0.02   | 347.5             |       |
| 白 12 井 | $Es_3^{\text{上}}$                 | 3 871~ 3 880.8   |                                  |        | 554.8             |       |
| 白 6 井  | $Es_3^{\text{上}}$                 | 3 575~ 3 563.4   |                                  |        | 562.16            |       |
| 白 9 井  | $Es_3^{\text{上}}$                 | 3 575~ 3 563.4   |                                  |        | 562               |       |
| 白 28 井 | $Es_3^{\text{上}}$                 | 3 108.1~ 3 210.1 | $(7.0 \pm 0.18) \times 10^{-7}$  | 0.50   | 394.4             |       |
| 白 23 井 | $Es_3^{\text{上}}-Es_3^{\text{中}}$ | 3 125.4~ 3 429.2 | $(8.25 \pm 0.22) \times 10^{-7}$ | 0.59   |                   |       |
| 白 13   |                                   | 3 779.2~ 3 886.8 |                                  |        |                   |       |
| 白 15 井 | $Es_3^{\text{上}}$                 | 3 824.4~ 3 895.6 | $(8.07 \pm 0.30) \times 10^{-8}$ | 0.06   |                   |       |
| 白 11 井 | $Es_3^{\text{上}}$                 | 3 990~ 4 005.5   | $(8.65 \pm 0.24) \times 10^{-8}$ | 0.06   |                   |       |
| 白 17 井 | $Es_3^{\text{上}}$                 | 3 977.0~ 4 089.9 | $(9.15 \pm 0.30) \times 10^{-8}$ | 0.06   |                   |       |
| 白 3 井  | $Es_2^{\text{下}}$                 | 2 690~ 2 701.4   |                                  |        | 1192              | 据傅家谟等 |
| 白 3 井  | $Es_3^{\text{上}}$                 | 3 135~ 3 139     |                                  |        | 720               | 据傅家谟等 |
| 白 3 井  | $Es_2^{\text{下}}$                 | 2 690~ 2 701.4   | $1.10 \times 10^{-6}$            | 0.78   | 1369.18           | 据徐永昌等 |
| 白 8 井  | $Es_3^{\text{上}}$                 | 3 266~ 3 290     |                                  |        | 1 133.81          | 据傅家谟等 |
| 白 8 井  | $Es_2^{\text{下}}$                 | 2 690~ 2 701.4   |                                  |        | 1 162.35          | 据傅家谟等 |
| 白 8 井  | $Es_3^{\text{上}}$                 | 3 133.4~ 3 157.0 | $1.09 \times 10^{-6}$            | 0.78   | 1 270             | 据徐永昌等 |
| 白 20 井 | $Es_2^{\text{下}}$                 | 2 629.6~ 2 706.8 | $1.12 \times 10^{-6}$            | 0.80   | 1 140             | 据徐永昌等 |
| 白 10 井 | $Es_3^{\text{上}}$                 | 2 912.6~ 3 132.2 | $8.48 \times 10^{-7}$            | 0.61   | 803               | 据徐永昌等 |
| 白 14 井 | $Es_3^{\text{上}}$                 | 3 424            |                                  |        | 703.2             | 据徐永昌等 |

氩的混入<sup>①</sup>。

桥口构造大体以李屯断层为界,断层以西浅层以油为主;断层以东主要以深层油气为主,主要接受前梨园凹陷来的油气;桥口构造东南翼桥 20 桥 23 井以深层气为主,主要为葛岗集凹陷来的油气。桥口气藏中天然气样品的  $^{40}\text{Ar}/^{36}\text{Ar}$  比值较低,桥口地区桥 20 井  $^{40}\text{Ar}/^{36}\text{Ar}$  比值为 608,属油型气范围,气源岩为下第三系沙河街组烃源岩。

白庙地区的构造东翼白 6 白 12 以及白 9 井  $^{40}\text{Ar}/^{36}\text{Ar}$  值小于 600,与桥 20 井相近,为油型气成因,气源岩应为前梨园洼陷下第三系沙河街组烃源岩。白 14 白 20 白 3 白 8 白 10 等井位于构造较高部位,临近兰聊断层,该断层沟通了下部石炭、二叠系地层,因此,导致了煤型气的输入,白 14 井含气层位为  $\text{E}_{53}^2$ ,为混合气。白庙构造天然气分布特征为,构造冀部为油型气,含气层位较深,构造腰部为混合气,构造高部位为煤型气,含气层位较浅,煤型气输入与深大断裂沟通下部石炭、二叠系地层关系十分密切。

朱家蔚、徐永昌等利用氩同位素  $^{40}\text{Ar}/^{36}\text{Ar}$  比值估算了气源岩时代,估算白 3 井的气体气源岩年龄为 274Ma,该年龄值处于石炭—二叠纪的年龄值范围内,也进一步证明了白庙构造邻近兰聊断裂带构造高点气带有石炭—二叠系煤型气的混入<sup>[5]</sup>。

## 4 结论

(1) 杜桥白地区不同区块、不同层位油气性质及分布特点明显不同,表明不同区块油气来源不同。寨地区位于前梨园洼陷中心,含气层位为  $\text{E}_{53}^3$ — $\text{E}_{53}^4$ ;桥口地区油气伴生,天然气以深层为主 ( $\text{E}_{53}^3$ — $\text{E}_{53}^4$ ),分布于桥口东南侧,临近葛岗集洼陷浅层油藏中含气,深部为纯气藏,具有上油下气的特点;白庙地区的浅层以气藏为主 ( $\text{E}_{53}$ — $\text{E}_{53}^2$ ),构造低部位深部为油藏,具有上气下油的特点。白庙与桥口地区天然气虽同属湿气,但成分有一定差异,桥口地区天然气甲烷含量普遍小于 80%,甲烷/重烃为 5 左右;而白庙地区天然气甲烷含量相近,普遍高于 88%,甲烷/重烃 > 10。产生桥口、白庙天然气组份差异的主要原因除成熟度影响外,天然气的母源类型起决定作用。

(2) 白庙地区天然气主要来源于前梨园洼陷第三系烃源岩和石炭—二叠系煤系地层,靠近兰聊断裂带构造高点,浅层  $\text{E}_{53}^2$ — $\text{E}_{53}^3$  气层具有较高的  $^{40}\text{Ar}/^{36}\text{Ar}$  比值,为煤型气及混合气,有地幔气的混入,幔源氩混入的分额不超过 10%;而远离兰聊断裂带,且处于构造低部位的  $\text{E}_{53}^1$ — $\text{E}_{53}^4$  气层具有较低的  $^{40}\text{Ar}/^{36}\text{Ar}$  比值,为油型气。桥口构造东翼  $\text{E}_{53}^3$ — $\text{E}_{53}^4$  段气层主要为油型

气,主要接受前梨园凹陷及葛岗集凹陷来的油气;杜寨地区  $\text{E}_{53}^3$  段气层为油型气,来自前梨园凹陷  $\text{E}_{53}^3$  段气源岩。杜寨、桥口地区深层天然气为壳源气,无地幔气的混入。

## 参考文献 (References)

- 1 朱家蔚,辛茂安,许化政.东濮凹陷油气生成特征,东濮凹陷油气生成地球化学研究[M].中原石油勘探局编.北京:石油工业出版社,1991,1-48[Zhu J, Xu H. Feature of oil and Dongpu depression and geochemical research on oil and production in Dongpu depression, China[M]. Zhongyuan Oil Exploration Bureau. Beijing: Petroleum Industry Press, 1999. 1-48]
- 2 傅家谟,刘德汉,戴幢谟等.东濮凹陷煤成气的地球化学和同位素地球化学研究,东濮凹陷油气生成地球化学研究[M].中原石油勘探局编.北京:石油工业出版社,1991. 125-154[Fu J, Liu D, Dai Z, et al. Geochemistry of coal-related gas in Dongpu depression and isotope geochemistry, in geochemical research on oil and gas production in Dongpu depression, China[M]. Zhongyuan Oil Exploration Bureau ed. Beijing: Petroleum Industry Press, 1991. 125-154]
- 3 徐永昌,沈平,申建中等.东濮凹陷煤成气的地球化学特征,东濮凹陷油气生成地球化学研究[M].中原石油勘探局编.北京:石油工业出版社,1991. 155-174[Xu Y, Shen P, Shen J, et al. Geochemistry of coal-related gas in Dongpu depression and geochemical research on oil and gas production in Dongpu depression[M]. Zhongyuan Oil Exploration Bureau ed. Beijing: Petroleum Industry Press, 1991. 155-174]
- 4 许化政.利用稳定碳同位素研究混合气中的煤成气比例,煤成气地质研究[M].煤成气地质研究编委会.北京:石油工业出版社,1987[Xu H. Research on coal-related gas ration in mixed gas by stable carbon isotope, research on coal-related gas, in geologic research on coal-related gas[M]. Coal-related Gas Geologic Research Editorial Department, eds. Beijing: Petroleum Industry Press, 1987]
- 5 朱家蔚,徐永昌,申建中等.东濮凹陷天然气氩同位素特征及煤成气判识[J].科学通报,1984,1:41-44[Zhu J, Xu Y, Shen J, et al. Argon-isotope feature in Dongpu depression and discrimination of coal-related gas[J]. Chinese Science Bulletin, 1984, 1:41-44]
- 6 徐永昌,刘文汇,沈平.含油气盆地油气同位素地球化学研究概述[J].沉积学报,2001,19(2):161-168[Xu Y, Liu W, Shen P. A review of isotope geochemical research on oil and gas in oil and gas bearing basins[J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2001, 19(2): 161-168]
- 7 徐永昌,沈平.天然气形成新模式-I.多源复合,主源定型[J].中国科学,1993,23(6):632-636[Xu Y, Sheng P. Natural gas formation new pattern-I, compounded by many sources, decided by main sources[J]. Science in China, 1993, 23(6): 632-636]
- 8 戴金星,宋岩,戴春森等.中国东部无机成因气及其气藏形成条件[M].北京:科学出版社,1995[Dai J, Song Y, Dai C, et al. Chinese eastern abiogenic gas and formation condition of gas reservoirs[M]. Beijing: Science Press, 1995]

(Continued on page 359)

① 任战利等.东濮凹陷杜桥白地区深层油气藏形成机理及控制因素研究.2001

and features, main controlling factors and genetic types of carbon isotopic compositions for these crude oils were studied. The results show that differences in carbon isotopic compositions between the western Qaidam crude oils and the northern Qaidam crude oils are evident. The western Qaidam crude oils are enriched in  $^{13}\text{C}$ , while the northern Qaidam crude oils are enriched in  $^{12}\text{C}$ . One finding is that carbon isotopic compositions of the western Qaidam crude oils from saline-hypersaline lacustrine environment are controlled mainly by oil-formed environments (e. g. salinity and humidity) and carbon isotopic compositions of the northern Qaidam crude oils from freshwater swampy-lacustrine environment rely mainly on their source natures. On the basis of their carbon isotopic compositions and Pr/Ph ratios, these oils could be divided into five genetic groups.

**Key words** Qaidam Basin, crude oils, carbon isotopic compositions, main factors, genesis

(Continued from page 354)

## Analysis on Gas-Source Rock Correlation in Duqiaobai Area of Dongpu Depression

FENG Jian-hui<sup>1,3</sup> REN Zhan-li<sup>2</sup> CUI Jun-ping<sup>2</sup> REN Lai-yi<sup>3</sup>  
MA Wei-min<sup>3</sup> SUN Ming-liang<sup>4</sup>

1 (Institute of Geochemistry, Chinese Academy of Sciences, Guangzhou 510640)

2 (The Key Laboratory of Continental Dynamics, Ministry of Education, Northwest University, Xi'an 710069)

3 (Zhongyuan Oilfield Branch of China Petroleum & Chemical Corporation, Puyang Henan 457001)

4 (Lanzhou Institute of Geology, Chinese Academy of Sciences, Lanzhou 730000)

**Abstract** On the basis of many methods, the main origin of deep layer natural gases in Duqiaobai area, Dongpu depression has been identified. The natural gases in Baimiao area mainly stemmed from the Tertiary Hydrocarbon source rock and Permo-Carboniferous coal-bearing strata in Qianliyan depression. Shallow  $\text{Es}_2^T$ — $\text{Es}_3^2$  gas layer in structural high near to Lanliao fault zone possesses much high ratio  $^{40}\text{Ar}/^{36}\text{Ar}$ , which is coal formed gas and mixed gas. However,  $\text{Es}_1^1$ — $\text{Es}_3^4$  gas layer in structural low far from Lanliao fault zone has low ratio  $^{40}\text{Ar}/^{36}\text{Ar}$ , which is petroligenic natural gas.  $\text{Es}_3^3$ — $\text{Es}_4^4$  gas layer is mainly petroligenic natural gas in Qiaokou area.  $\text{Es}_3^3$  gas layer in Duzhai area is petroligenic natural gas, which originated from the gas  $\text{Es}_3^3$  source rock. And analysis on helium isotope of natural gas show that the deep-layer natural gases in Duzhai area and Qiaokou area is crust-derived gas and that it is mainly mixed gas of coal formed gas and petroligenic natural gas, with small portion of mantle-derived gas.

**Key words** Dongpu depression, Duqiaobai area, gas source rock, isotope, noble gases, Qianliyan depression