

图 2 东濮凹陷文留盐下研究区沙四段气藏平面图

Fig. 2 A schematic plan view of Es⁴ gas reservoir below the salt sequence

层, 北侧是落差达 500m 的文北断层(图 2), 南侧为文 216- 219 断层(落差 200~ 400m)。这些断层的下降盘分别是沙三段四、二亚段的滑塌盐块, 形成侧向封堵。在沙三段四亚段盐岩的严密封盖下, 唯有煤系烃源岩成熟并向圈闭中供烃, 形成以石炭一二叠煤系为烃源岩、以沙四段砂岩为储集层的独立的生运聚单元。由于文留地区勘探程度已很高, 不但天然气资源量清楚, 而且可以有依据的划定有效供烃的气源岩范围, 计算生烃量, 以该生运聚单元为刻度区求取天然气聚集系数, 可为区域性的天然气资

源评价提供类比参数。

2 研究区的地质特征

2.1 气藏特征

2.1.1 天然气地球化学特征

不同成因的天然气, 其地球化学特征不同。文留气藏属典型的煤成气成因^[1], 天然气的组分、甲烷的碳同位素等特征与东濮凹陷第三系油成气藏有明显的差异(表 1)。

表 1 东濮凹陷天然气组分及甲烷碳同位素分析对比表

Table 1 Natural gas components and methane carbon isotope in Dongpu depression

气藏	层位	天然气组分/%							$\delta^{13}C_1/(PDB, \text{‰})$
		CH ₄	C ₂ H ₆	C ₃ H ₈	C ₄ H ₁₀	C ₅ H ₁₂	N ₂	CO ₂ +H ₂ S	
煤成气	文留 E _s ⁴	96.75	1.82	0.35	0.33		0.08	0.75	-28.53
	濮深 1 C-P								-29.9
油成气	濮城 E _s ²	83.59	10.11	3.08	1.49		0.44	1.3	-38.88
	文东 E _s ³	84.98	10.11	2.39	1.32			0.95	-41.63

天然气组分特征: 文留煤成气藏天然气组分以甲烷(CH₄)为主, 含量大于 95%, 重烃含量低于 5%, 属干气藏。东濮凹陷其他油气藏甲烷含量一般小于 95%, 重烃含量超过 5%, 为湿气藏。造成这种差异的主要原因是煤及暗色泥岩腐殖型分散有机质, 除在中等变质阶段生成稍高比例的重烃和轻质油烃外, 低和高变质阶段所产生的天然气均是以甲烷为主的干气^[2]。

甲烷的碳同位素特征: 表 1 中文留煤成气与濮深 1 井石炭—二叠系气样(煤层吸附气)的甲烷碳同位素($\delta^{13}C_1$)接近, 较东濮凹陷其他地区油气藏甲烷碳同位素明显高; 在 W. 斯塔尔煤成气与油成气成因对比图上(图 3), 文留气藏样品(包括文 23、文 31、濮深 1 井)位于煤成气区, 而濮城(濮 61 井)和文东(文 13)气藏位于油成气区, 反映了文留气田煤成气成因。与东濮凹陷其他气藏源自不同的气源。

2.1.2 生储盖组合特征

文留地区沙四段地层自上而下依次划分为 8 个砂层组, 其中上部 6 个砂层组含气, 下部两个砂层组含水。储集层以粉砂岩为主。砂岩成分以石英为主(72%~90%), 次为长石(3%~20%), 岩屑少量(3%~17%), 砂岩的颗粒园度中等, 胶结类型以孔隙式为主, 次为接触式。沙四段中下部的五、六砂组为红色的湖坪亚相, 四砂组为滨浅湖亚相, 一一三砂

组为湖底扇亚相。该段三、四砂层组物性最好, 孔隙度 10.55%~13.86%, 渗透率(2.94~17.12) × 10⁻³μm², 五、六砂层组物性次之, 孔隙度 11.03%~12.41%, 渗透率(1.94~3.79) × 10⁻³μm²; 一、二砂层组物性最差, 孔隙度 7.6%~10.32%, 渗透率(0.27~1.77) × 10⁻³μm²。

刻度区内除沙四段砂岩外, 中生界和石盒子组也有较发育的砂层。但中生界和古生界砂岩致密, 孔隙度 < 6%, 渗透率 < 0.1 × 10⁻³μm², 皆为无效储集层, 且缺乏有效的盖层, 加之该研究区在发育过程中构造活动剧烈, 断裂发育, 使上部储(沙四段)、盖(沙三段四亚段盐岩)组合成为研究区内最有效的成藏单元。

刻度区内石炭—二叠纪煤系烃源岩厚 200m 左右, 其中含煤 13 层, 厚 18~20m; 暗色泥岩与炭质泥岩累计厚 113.5~164.5m。

煤岩有机碳含量 30.38%~99.02%, 一般 50%~80%; 生烃潜力为 19.64~162.54mg/g, 氯仿沥青“A”含量 1.45%~1.74%, 氢指数为 28.26~238.24mg/g。

炭质泥岩有机碳含量平均 10.75% (13 个样品), 生烃潜力平均 15.74mg/g, 氢指数平均 99.04 mg/g, 氯仿沥青“A”含量平均 0.249 1%。

暗色泥岩有机碳含量 1.7%~2.3%, 生烃潜力 1.09~1.38mg/g, 氢指数 39.7~50.7mg/g。

按照不同类型烃源岩有机质丰度评价标准, 该区烃源岩均属中等—差的生油岩, 但属较好的气源岩。

文留气藏以沙四段为储层, 上覆以厚 600~800m 的沙三段四亚段岩盐作为盖层, 向上形成严密的封隔, 侧向上有文东、文西、文北及文 216—219 断层遮挡, 形成良好的生储盖组合和优越的圈闭条件, 有利于下伏石炭—二叠系煤成气的聚集。

2.2 成藏条件分析

2.2.1 文留构造的形成、演化

文留构造位于中央隆起带北部, 是一个在基岩隆起背景上继承性发育的向南倾没的鼻状构造。渐

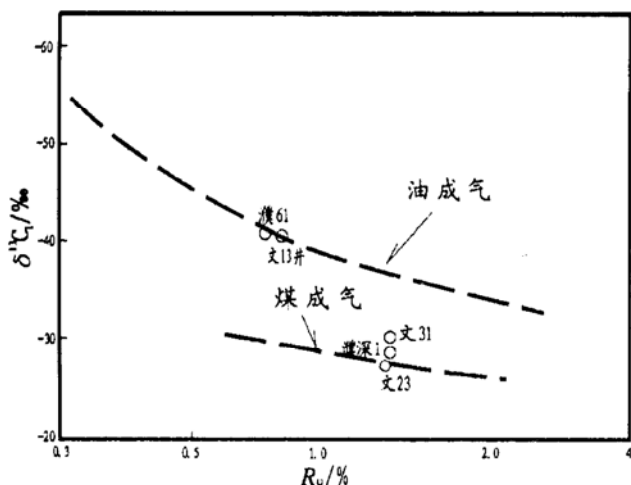


图 3 煤成气与油成气对比图

Fig. 3 Comparison of coal-formed gas and oil-formed gas

新世早期, 由于兰聊断层的持续活动, 在沙四段沉积背景上, 沉积了沙三段四亚段以含盐为主的半深湖-深湖相地层。以文留地区为盐岩沉积中心, 向四周盐层厚度减薄, 层数变少^[3]。沙三段三亚段在文留地区沉积了稳定砂泥岩韵律层, 地层厚度大致相当, 岩性也基本相同, 邻井之间容易对比。沙三段二亚段沉积时期构造活动剧烈, 由于文留地区基底的强烈隆升, 文东、文西断层相继产生, 造成文留中央地垒与其两侧洼陷带的地形高差, 导致文留地垒与两侧完全不同的地层压力, 使沙三段四亚段盐岩层发生塑性体的顺层流动, 造成文留地垒区盐的局部集中, 形成底平顶凸的透镜状盐核。沙二段时期, 由于基底继续隆起和盐丘的拱张, 一方面产生对上覆地层的刺穿应力, 导致盐核顶部缺失沙三段三、二、一亚段和沙二段, 使沙三段四亚段盐岩与沙一段地层直接接触; 另一方面使垒块与两侧洼陷带水平高差变大, 同时产生向两侧洼陷的掀斜应力, 加之沙三段四亚段塑性地层的存在, 为沿断层面发生重力滑塌提供了有利条件, 从而形成顶部为盐盖, 侧翼为盐堵的文留盐背斜。后期随着沙一段、东营组 and 上第三系的沉积覆盖, 成为现今的深埋盐丘。

2.2.2 生烃史及运聚史

三叠纪末的印支运动使东濮凹陷上隆沉积间断后, 从第三纪开始大幅度下沉, 当石炭-二叠系煤系埋深大于沉积间断之前的埋藏深度时, 煤系在一次煤化程度的基础上发生深度煤化作用, 并开始二次生气。

根据凹陷周边钻井(龙古1井、范古1、2、3井和东1井) R_o 值达 0.8% 推算, 印支运动前研究区石炭-二叠系煤系演化已达到肥气煤阶段($R_o=0.8\%$), 按该区濮深1井平均地温梯度 $3.18\text{ }^\circ\text{C}/100\text{m}$ 计算, 并参考东濮凹陷石炭-二叠系煤镜质体反射率(R_o)与深度关系图(图4), 石炭-二叠系煤系在埋深大于 3500m ($R_o=0.8\%$) 进入二次成烃阶段。

随着煤系埋深加大, 煤系有机质逐渐成熟, 在沙一至东营组时期开始二次生烃。文留刻度区煤系现今埋深 4400~6000m, R_o 为 1.3%~2.8%, 已进入高峰生气阶段。由于文留盐背斜在沙三段二亚段-沙二段沉积时期已经形成, 因此圈闭与煤系地层二次成烃形成良好的配套关系, 从而使文留背斜富集煤成气。

2.3 勘探进程及勘探程度

1977年4月文4井井喷发现文留气田, 至1984年累计探明含气面积 12.2 km^2 , 天然气地质储量 $149.4 \times 10^8\text{ m}^3$ 。可采地质储量 $110.42 \times 10^8\text{ m}^3$ 。

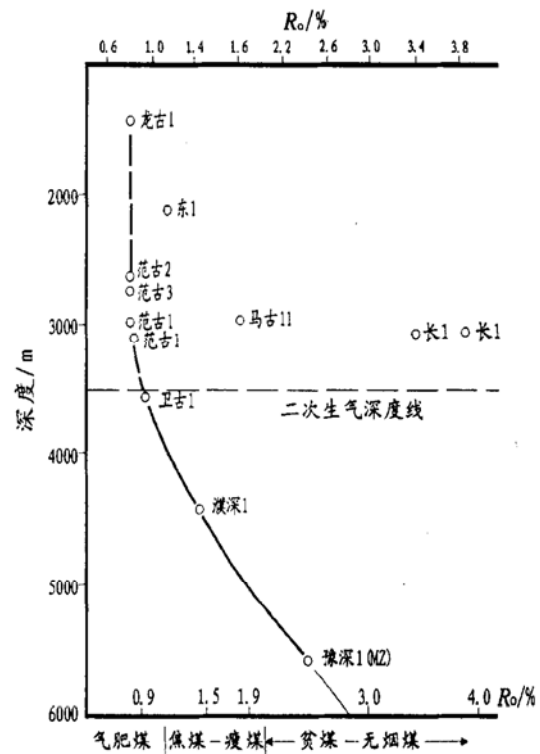


图4 东濮凹陷石炭-二叠系煤镜质体反射率

Fig. 4 A relationship between the vitrinite reflectance (R_o) and the depth in the Carboniferous-Permian coal-bearing sequence in Dongpu depression

1984年以后在刻度区内甩开钻探, 并将勘探层位扩展至下古生界, 共完成7口煤成气探井, 均无大的发现, 因此, 认为该研究区内煤成气资源已基本探明。

文留地区目前二维地震测网密度已达 0.5~0.8km, 全三维覆盖, 已完成探井 67 口, 累计进尺 $22.43 \times 10^4\text{ m}$, 探井密度达 0.8 口/ km^2 , 属高成熟勘探地区。

3 聚集系数研究

文留盐下研究区勘探程度高, 天然气资源分布清楚, 油气生成、运移、聚集的三维地质单元认识深刻, 为煤成气聚集系数的研究提供了条件。

a) 首先根据文留地区沙四段顶、山西组顶构造图, 以断层为边界求出石炭-二叠系天然气生成单元的面积 (86 km^2)。

b) 以龙古1井肥气煤、开35井暗色泥岩为实验对象, 通过热模拟求出本区煤和暗色泥岩各变质阶段煤成气发生率(表2)。

c) 石炭-二叠系煤系属克拉通盆地沉积, 岩性横向分布稳定, 刻度区内仅有濮深1、文古1、文古2共3口井钻穿, 共发现煤层13层 19.5m, 暗色泥岩和炭质泥岩累计厚 163.4m(表3)。

d) 根据成烃演化史研究成果, 煤系二次生气深

表 2 东濮凹陷石炭—二叠系煤和暗色泥岩各变质阶段煤气发生率表

Table 2 Gas generating rate of the Carboniferous-Permian coal and the dark mudstone in different metamorphic stages in Dongpu depression

演化阶段 R_o %	肥煤 (0.8~ 1.15)	焦煤 (1.15~ 1.60)	瘦煤 (1.6~ 2.0)	贫煤 (2.0~ 2.5)	无烟煤 (> 2.5)	
煤	烃类气体发生率/ (m^3/t)	8.46	26.23	66.25	138.08	216.75
	煤阶生气率/ (m^3/t)		17.77	40.02	71.83	78.67
泥岩	烃类气体发生率/ (m^3/t)	8.78	31.8	51.97	101.33	143.57
	煤阶生气率 (m^3/t)		23.02	20.17	49.6	42.24

表 3 文留刻度区石炭—二叠纪煤系烃源岩厚度及有机质丰度表

Table 3 Thickness and organic matter abundance of the hydrocarbon source rocks in the Carboniferous-Permian coal-bearing sequence in the reference section of Wenliu area

岩性	厚度/ m	有机碳/ %	生烃潜力/ (mg/g)	氢指数/ (mg/g)	氯仿“A”/ %	总烃/ 10^{-6}
暗色泥岩	129.4	0.3~ 3.66 1.7	0.07~ 4.26 1.38	20~ 107 50.73	0.0047~ 0.0079 0.0063	19.57
炭质泥岩	34	6.58~ 19.57 10.75	1.02~ 54.21 15.74	10~ 26.5 99.04	0.0463~ 0.626 0.249	184.18~ 1791.6 866
煤	19.5	31.6~ 74.03 59.96	19.64~ 161.3 152.16	28.26~ 224 152.16	1.45~ 3.85 2.15	4292~ 8045 4669

表 4 文留盐下刻度区天然气聚集系数参数表

Table 4 A natural gas accumulation coefficient in the reference section below the salt sequence in Wenliu area

面积/ km^2	生气量/ $10^8 m^3$	生气强度/ ($10^8 m^3/km^2$)	探明储量/ $10^8 m^3$	预测最终可探明储量/ $10^8 m^3$	聚集系数/ %
86	2107	13.5~ 32.5	149.4	翁氏旋回 油藏规模序列法	154~ 160 153 7.3~ 7.6 7.26

度为 3500m, R_o 为 0.8%。

e) 利用翁氏旋回法及气藏规模序列法计算刻度区沙四段油气最终可探明储量分别是 $154 \times 10^8 m^3$ 和 $153 \times 10^8 m^3$ 。

f) 利用盆地模拟法计算刻度区石炭—二叠纪煤系生气量为 $2107 \times 10^8 m^3$ 。

g) 求得该运聚单元的天然气聚集系数为 7.3%~ 7.6% 和 7.26% (表 4)。

4 结语

a) 聚集系数是天然气资源评价中最重要的参数, 以往的评价中因无成熟地区可参考, 选择聚集系数时盲目性较大, 从而影响评价的质量。刻度区的选择及天然气聚集系数的求取是个复杂的工作, 必须依托于对气藏、气源、成藏史的深入研究, 以及很高的勘探程度才能进行。

b) 文留气藏属典型的煤成气藏, 根据构造条件, 确定石炭—二叠纪煤系有效供烃面积为 $86 km^2$ 。

c) 根据濮深 1 等井实钻煤层、炭质泥岩、暗色泥岩厚度、有机质丰度、演化程度等, 以及煤系烃源岩模拟实验成果, 利用二维盆地模拟软件, 计算出刻度区煤系生烃量为 $2107 \times 10^8 m^3$ 。

d) 根据勘探成果和油藏规模序列法求刻度区的最终可探明储量为 $(154~ 160) \times 10^8 m^3$, 进而求出该刻度区煤成气的聚集系数为 7.3%~ 7.6%。

e) 文留地区因其特殊的地质条件, 煤成气聚集系数高, 但对类似地区及不同地区天然气资源评价仍有参考意义。

参考文献:

[1] 朱家蔚, 等. 文留煤成气藏的发现及其对华北盆地找气的意义 [J]. 石油勘探与开发, 1983, (1): 4.

THE PATTERNS AND ITS EFFECT FACTORS OF SECONDARY HYDROCARBON MIGRATION

ZHANG Fa-qiang^{1,3}, LUO Xiao-rong¹, MIAO Sheng²,
WANG Wei-min², ZHOU Bo¹, HUANG Yan-zhang²

(1. *Key Laboratory of Mineral Resource, Institute of Geology and Geophysics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100029, China*; 2. *Institute of Fluid Flow in Porous Media, PetroChina, Langfang 102800, China*;
3. *Research Institute of Petroleum Exploration and Production, SINOPEC, Beijing 100083, China*)

Abstract: Using porous media model in columns packed with glass beads under hydrostatic condition, the principles of hydrocarbon migration in porous media saturated with water were observed. Different geological factors associating with displacement forces have been tested. Migration front presented three patterns. The relationship among various parameters and its effect on migration pattern were analyzed according to capillary number and Bond number. The patterns include stable advancement, capillary finger and preferable migration pattern. Given the properties of carried beds, the preferable pathway of hydrocarbon migration depend on the single buoyancy or lesser displacement forces.

Key words: effect factors; migration patterns; secondary migration; simulation experiment

(上接第 68 页)

- | | |
|--|--|
| <p>[2] 黄景城. 东明凹陷煤成气地质条件及其地球化学标志的探讨[J]. 石油实验地质, 1981, 3(4): 285.</p> <p>[3] 许化政. 文留盐背斜的形成与油气富集[J]. 石油与天然气地质, 1988, 9(3): 288.</p> <p>[4] 戴金星. 关于冀中拗陷煤成气的探讨——与王雪平等同志的商榷[J]. 石油实验地质, 1988, 10(2): 189.</p> <p>[5] 刘泽英. 我国煤成气勘探开发的科学技术问题[J]. 石油实验地质, 1998, 20(1): 6.</p> <p>[6] 蔡乾忠. 勘探地堑构造是发现煤成气的重要途径[J]. 石油实</p> | <p>验地质, 1982, 4(4): 294.</p> <p>[7] 何海泉. 开平向斜王家河煤成气藏形成条件[J]. 石油实验地质, 1987, 9(2): 164.</p> <p>[8] 焦希颖. 三矿井田煤成气影响因素及赋存特征[J]. 石油实验地质, 1998, 20(4): 382.</p> <p>[9] 胡朝元. 对我国天然气类型与资源潜力的初步分析[J]. 石油勘探与开发, 1983, (2): 8.</p> <p>[10] 杨天宇. 褐煤干酪根煤化作用成气的模拟实验及其地质意义[J]. 石油勘探与开发, 1983, (6): 29.</p> |
|--|--|

STUDY OF ACCUMULATION COEFFICIENT OF COAL-FORMED GAS BELOW THE SALT SEQUENCE IN WENLIU AREA OF DONGPU DEPRESSION

XIONG Li-ping^{1,2}, WANG Yun-suo², XU Hua-zheng², WANG Ru-xia²

(1. *Geology Department of Northwest University, Xi'an, Shaanxi 710029, China*;
2. *Zhongyuan Oil Field, SINOPEC, Puyang, Henan 457001, China*)

Abstract: The gas in Es³⁽⁴⁾ below the salt sequence has single source in Wenliu area of Dongpu depression, and the boundary condition is clear for the source rocks in the Carboniferous-Permian coal-bearing sequence. Exploration degree is high in this area. Final proven reserves can be calculated accordingly by profound understand of natural gas reservoir formation condition, reservoir formation history and gas reservoir features. The quantity of gas generated from coal measure in the reference section can be calculated by the method of basin modeling, and natural gas accumulation coefficient is calculated as 7.3% - 7.6%.

Key words: accumulation coefficient; coal-formed gas; Wenliu area; Dongpu depression