

文章编号: 1001- 6112 (2005) 06- 0612- 07

# 南华北盆地周口坳陷周参 10 井低产油流剖析

饶 丹<sup>1,2</sup>, 全书进<sup>3</sup>

(1. 成都理工大学 能源学院, 成都 610059; 2. 中国石化 石油勘探开发研究院  
无锡石油地质研究所, 江苏 无锡 214151; 3. 中国石化 河南油田 石油勘探开发研究院, 河南 南阳 473123)

摘要: 南华北盆地周口坳陷周参 10 井低产油流的发现, 无疑为周口坳陷油气勘探突破带来了希望。借助原油及岩石轻烃指纹气相色谱分析方法进行直接油/源对比, 研究结果证实该低产油流为混源, 主力油源来自下白垩统暗色泥岩和中下侏罗统煤、暗色泥岩及碳质泥岩, 其中轻质组分主要由中下侏罗统源岩贡献, 并就其成藏条件进行了全面综合分析。

关键词: 岩石轻烃; 原油轻烃; 油/源对比; 周口坳陷; 南华北盆地

中图分类号: TE122. 1

文献标识码: A

周参 10 井位于周口坳陷沈丘凹陷娄堤构造西部。在 T<sub>g</sub> (上古生界底) 构造图上, 娄堤构造为一东西向的穹窿背斜, T<sub>E</sub> (下第三系底) 构造图上为一断鼻, 上下构造不吻合。井深 2 179. 2~ 2 190. 0 m 试油日产 32 L, 目前原油仍从井口外溢。虽属低产油流, 但到目前为止它是周口坳陷显示级别相对最高的探井, 值得深入剖析, 这将有利于周口坳陷的进一步勘探突破。

## 1 原油成因类型及油源追溯

### 1. 1 原油物理性质及地球化学特征

周参 10 井原油高蜡 (14. 55%~ 17. 00%) 低硫 (0. 52%) 正常比重, 具有我国陆相原油含蜡量高的普遍特征 (表 1), 原油族组成呈正常分布结构, 饱和烃占 66. 64%、芳烃 14. 83%、非烃 9. 18%、沥青质 6. 09%, 饱和烃 > 芳烃 > 非烃 > 沥青质, 具正常原油特征。原油碳同位素值为 - 26. 3‰ 反映其陆源母质供源特征。原油正构烷烃分布呈前峰型, 主峰碳为 nC<sub>15</sub>,

低碳数系列分子化合物所占比例较大, 曲线光滑, 不具奇偶优势, 植烷优势明显, nC<sub>18</sub> < Ph, 石蜡指数 (异庚烷值) 为 1. 88, 庚烷值为 30%, 属成熟原油, 总体反映为遭受轻度降解的陆相正常原油 (图 1)。

### 1. 2 油源追溯

表 2 反映的是周口坳陷 E<sub>1</sub>, K<sub>1</sub>, C-P 等 3 套潜在烃源岩的生物标志化合物特征。

下第三系烃源岩富双环倍半萜, C<sub>16</sub> 升锥满烷 > C<sub>15</sub> 锥满烷。规则甾烷的组成特征表现为 C<sub>27</sub> > C<sub>28</sub> < C<sub>29</sub>, 呈“V”字型, C<sub>29</sub> 谷甾烷占绝对优势, C<sub>29</sub> 甾烷异构化指数低, C<sub>29</sub> 20S/ (20S+ 20R) = 0. 23, 贫 C<sub>21</sub> 孕甾烷。萜烷类生物标志物以藿烷类五环三萜烷为主, 三环萜烷类相对丰度极低, C<sub>21</sub>, C<sub>23</sub> 三环萜烷丰度低, 18α-三降藿烷 (T<sub>s</sub>) 丰度远远低于 17α-三降藿烷 (T<sub>m</sub>) 丰度, T<sub>s</sub>/T<sub>m</sub> 分布于 0. 05~ 0. 07 之间。T<sub>m</sub> 不稳定, 相对浓度受成熟度影响, 而 T<sub>s</sub> 是一个来源指标, 不受成熟度影响, 因而 T<sub>s</sub>/T<sub>m</sub> 比值愈小, 成熟度愈低; 比值愈大, 成熟度愈高。我们将本区下第三系样品所具有的 T<sub>m</sub> 优势解释为成熟度低

表 1 周参 10 井下白垩统原油物理性质

Table 1 Physical characteristics of K<sub>1</sub> crude oil in the Well ZC 10, the Zhoukou depression

埋藏深度/m	层位	密度/ (g·cm <sup>-3</sup> )	粘度 (70 °C) / (mPa·s)	胶质沥青质, %	凝固点/°C	含蜡量,%	含硫量,%
2 262. 6~ 2 266. 0	K <sub>1</sub>	0. 880 0	157. 90	17. 60		17. 00	0. 52
井口外溢	K <sub>1</sub>	0. 892 8	26. 33	19. 81	26	14. 55	

收稿日期: 2005- 01- 03; 修订日期: 2005- 09- 05。

作者简介: 饶 丹 (1966-), 女 (汉族), 四川乐至人, 高级工程师, 主要从事油气地质地球化学研究。

基金项目: 中国石化集团公司科技项目 (P00002)。

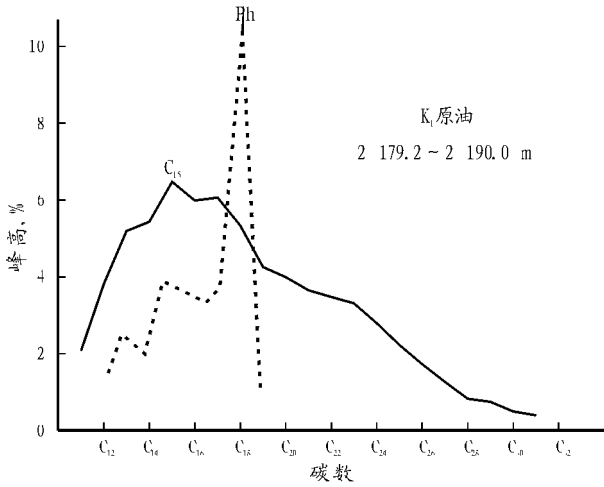


图 1 周参 10 井原油饱和烃结构组成

Fig. 1 Saturated hydrocarbon composition of crude oil in the Well ZC10, the Zhoukou depression

的结果。γ-蜡烷含量丰富，γ-蜡烷/C<sub>31</sub>(S) > 1，高丰度的 γ-蜡烷常作为盐湖相标志化合物。未检测出 C<sub>25</sub>降藿烷的存在，充分证明周口坳陷下第三系原油为低熟重质油而非降解重质油。

下白垩统烃源岩则贫双环倍半萜，规则甾烷的组成特征表现为 C<sub>27</sub> > C<sub>28</sub> < C<sub>29</sub>，呈“V”字型，富 C<sub>21</sub> 孕甾烷。C<sub>21</sub>—C<sub>22</sub> 孕甾烷及高孕甾系列的相对丰度与沉积环境密切相关，富含孕甾烷是高盐度环境的一个显著标志。五环 > 三环，T<sub>m</sub> > T<sub>s</sub>，γ-蜡烷含量中等，γ-蜡烷 < C<sub>31</sub>(S)，富 C<sub>21</sub>、C<sub>23</sub> 三环萜，且以 C<sub>21</sub> < C<sub>23</sub> 组合为特征。三环萜烷被认为来源于原核生物（藻类或微生物）的细胞膜，可产于各类沉积环境中，一般认为其丰度与水介质的含盐度有关，在咸

水或盐湖环境中形成的沉积物往往具有较高丰度的三环萜烷。

上古生界源岩贫双环倍半萜，甾烷 C<sub>27</sub> ≈ C<sub>28</sub> < C<sub>29</sub>，呈反“L”型，富 C<sub>21</sub> 孕甾烷。五环 > 三环，T<sub>m</sub> > T<sub>s</sub>，γ-蜡烷含量低，γ-蜡烷 < C<sub>31</sub>(S)，富含陆源三萜烷，藿烷类和 C<sub>29</sub> 甾烷优势明显。以往的研究表明，C<sub>27</sub>—C<sub>29</sub> 规则甾烷的相对含量被广泛用来指示母质来源。一般认为，C<sub>27</sub> 胆甾烷来自动物体中的胆固醇，C<sub>28</sub> 麦角甾烷多存在于菌类和硅藻中，而 C<sub>29</sub> 谷甾烷的先驱物——植物固醇存在于高等植物中，所以将富含 C<sub>29</sub> 谷甾烷作为陆源高等植物来源的重要标志。最新研究表明，C<sub>29</sub> 甾烷不仅仅与高等植物有关，而且与藻类有着密切的联系，上古生界甾烷组成反映出其具有混合母质类型的特征。

经对比（图 2），周参 10 井下白垩统正常原油生物标记化合物组成特征与下白垩统源岩具有很好的可比性，以富 C<sub>21</sub> 孕甾烷、富 C<sub>21</sub>、C<sub>23</sub> 三环萜烷和中等丰度的 γ-蜡烷而明显区别于下第三系及石炭—二叠系烃源岩，表明下白垩统原油油源来自下白垩统自身的生油岩，属自生自储<sup>[1]</sup>。

值得注意的是，采用岩石轻烃与原油轻烃<sup>[2,3]</sup> 直接对比以及油/岩全系列（正异构烷烃）碳同位素进行油/源精细对比时，其结果却差异极大。生物标记化合物对比结果显示，周参 10 井下白垩统原油，是下白垩统源岩自生的，而用上述 2 种新方法<sup>[4]</sup> 进行对比却发现下白垩统源岩与周参 10 井原油不具亲缘关系。由表 3 中油、岩 nC<sub>6</sub>—nC<sub>8</sub> 轻烃组成及其相应指标可以看出，周参 10 井原油与下白垩统源岩各类

表 2 周口坳陷 E<sub>1</sub>、K<sub>1</sub>、C—P 烃源岩生标特征对比表

Table 2 Comparison between E<sub>1</sub>, K<sub>1</sub>, C—P source rocks in the Zhoukou depression

层位	双环倍半萜特征 m/z = 123	甾烷组成特征 m/z = 217	萜烷组成特征 m/z = 191	特殊标志
E <sub>1</sub>	C <sub>16</sub> 升锥满烷 > C <sub>15</sub> 锥满烷，二者含量丰富	C <sub>27</sub> > C <sub>28</sub> < C <sub>29</sub> ，略富 C <sub>27</sub> 甾烷的“V”形指纹，贫 C <sub>21</sub> 孕甾烷	五环 > 三环，T <sub>m</sub> > T <sub>s</sub> ，富 γ-蜡烷，γ-蜡烷 > C <sub>31</sub> (S)，贫 C <sub>21</sub> 、C <sub>23</sub> 三环萜	富 γ-蜡烷，富倍半萜
K <sub>1</sub>	贫 C <sub>16</sub> 升锥满烷及 C <sub>15</sub> 锥满烷，且 C <sub>16</sub> 升锥满烷 > C <sub>15</sub> 锥满烷	C <sub>27</sub> > C <sub>28</sub> < C <sub>29</sub> ，富 C <sub>29</sub> 甾烷的不对称“V”形指纹，富 C <sub>21</sub> 孕甾烷	五环 > 三环，T <sub>m</sub> > T <sub>s</sub> ，γ-蜡烷丰度中等，γ-蜡烷 < C <sub>31</sub> (S)，富 C <sub>21</sub> 、C <sub>23</sub> 三环萜，且 C <sub>21</sub> < C <sub>23</sub>	富 C <sub>21</sub> 、C <sub>23</sub> 三环萜
C—P	贫 C <sub>16</sub> 升锥满烷及 C <sub>15</sub> 锥满烷，且 C <sub>16</sub> 升锥满烷 > C <sub>15</sub> 锥满烷	C <sub>27</sub> ≈ C <sub>28</sub> < C <sub>29</sub> ，贫 C <sub>27</sub> 甾烷的反“L”形指纹，富 C <sub>21</sub> 孕甾烷	五环 > 三环，T <sub>m</sub> > T <sub>s</sub> ，γ-蜡烷丰度低，γ-蜡烷 < C <sub>31</sub> (S)，贫 C <sub>21</sub> 、C <sub>23</sub> 三环萜	富含陆源三萜烷，明显的藿烷类和 C <sub>29</sub> 甾烷优势

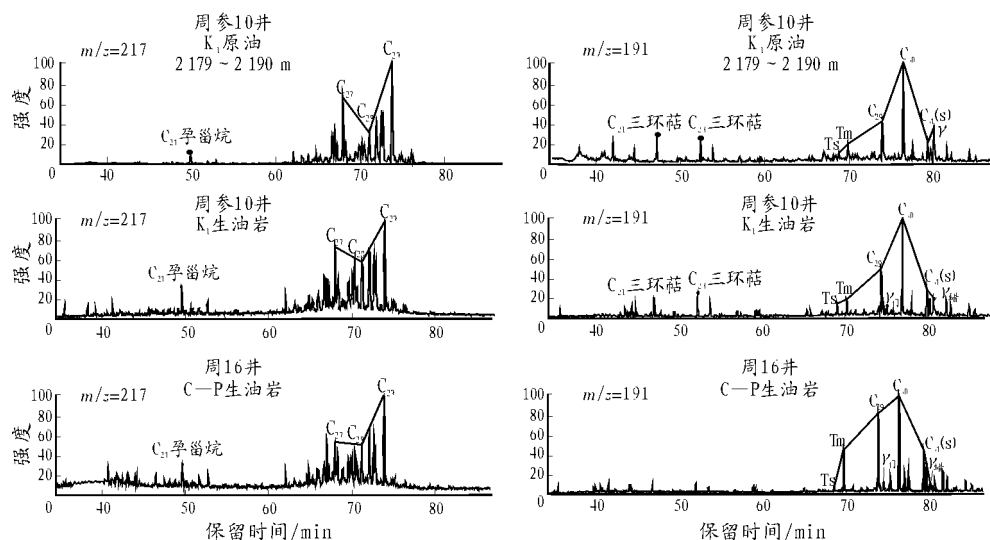


图 2 周参 10 井原油与可能烃源岩甾、萜烷分布特征对比

Fig. 2 Characteristics comparison between sterane and terpene in crude oil and possible hydrocarbon source rock in the Well ZC 10, the Zhoukou depression

表 3 周口坳陷沈丘凹陷下白垩统原油与源岩轻烃组成特征及油/岩对比

Table 3 Lighter hydrocarbon composition and oil/ source rock comparison in the Lower Cretaceous of Shenqiu sag, the Zhoukou depression

类 别	周参 10 井原油	沈 1 井 K1 源岩	
$nC_6-nC_8$ 组成, %	$nC_6$	19. 2	56. 8
	$nC_7$	36. 4	30. 6
	$nC_8$	44. 4	12. 6
苯/ $nC_6$	0. 007	1. 5	
苯/ $nC_7$	0. 040	1. 6	
苯/环己烷	0. 009	14. 0	
甲基环戊烷/ $nC_6$	0. 27	0. 25	
甲基环己烷/ $nC_7$	2. 15	0. 41	
甲基环己烷指数	52. 9	22. 0	
环己烷指数	39. 3	8. 1	
异庚烷值, %	1. 88	2. 85	
庚烷值, %	30. 4	47. 3	

比值之间相差较大, 甚者相差多个数量级。从油/岩轻烃色谱指纹对比图 (图 3) 上也可见明显分歧, 周参 10 井原油呈现了富芳烃系列化合物 (苯、甲苯), 芳烃/环烷烃 > 1, 而下白垩统源岩则表现为环烷烃优势, 芳烃/环烷烃 < 1。

一般认为, 同源的同一标志化合物碳同位素组成相同<sup>[5]</sup>。从已知东濮凹陷及苏北盆地油/岩对比结果 (表 4) 来看, 原油各组分单体碳同位素值均比其相应生油岩轻, 这是油气运移及同位素分馏效应的结果。而周参 10 井原油组分单体碳同位素值却比 K1 生油岩重, 反映二者之间不具成因联系, 这就出现了微观证据上的自相矛盾现象, 导致对周参 10 井油源问题的认识与前人存在分歧。

从轻烃各组构化合物形成的化学机制上解释, 轻烃中苯与甲苯化合物的相对富集, 除来源于腐殖型母质的原生因素外, 也可以在干酪根母质随成熟度不断增高的热演化进程中, 通过芳构化及热裂解

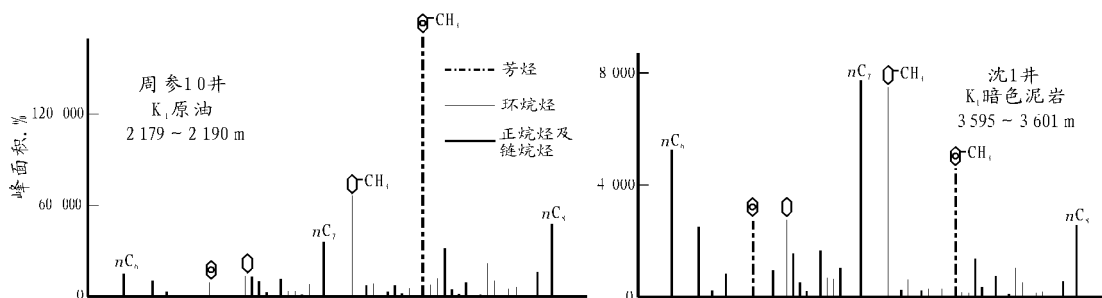


图 3 周参 10 井原油与 K1 源岩轻烃指纹对比

Fig. 3 Lighter hydrocarbon fingerprint comparison between crude oil in the Well ZC 10 and K1 source rock, the Zhoukou depression

表4 不同地区油/岩正构烷烃和类异戊二烯单体烃碳同位素值对比表

Table 4 Carbon isotope comparison between normal alkane and isoprene free hydrocarbon of oil or rock in different regions

类别	周口坳陷		东濮凹陷		苏北盆地	
	周19井	周参10井	马70井	马70井	盐参1井	盐参1井
层位	K <sub>1</sub>	K <sub>1</sub>	E <sub>s</sub> <sup>4</sup>	E <sub>s</sub> <sup>4</sup>	K <sub>2t</sub>	E <sub>f</sub> <sup>1</sup>
样品	泥岩	原油	泥岩	原油	泥岩	原油
nC <sub>14</sub>		- 34. 57	- 24. 31	- 26. 93	- 27. 35	- 28. 42
nC <sub>15</sub>	- 37. 56	- 31. 45	- 28. 06	- 29. 77	- 35. 88	- 29. 45
nC <sub>16</sub>	- 30. 36	- 29. 15	- 22. 58	- 30. 02	- 27. 29	- 29. 94
nC <sub>17</sub>	- 30. 20	- 29. 30	- 22. 25	- 28. 76	- 28. 64	- 29. 64
nC <sub>18</sub>	- 29. 75	- 30. 63	- 25. 71	- 28. 53	- 28. 00	- 30. 03
nC <sub>19</sub>	- 30. 41	- 29. 10	- 25. 20	- 27. 12	- 27. 60	- 30. 71
nC <sub>20</sub>	- 30. 17	- 29. 66	- 25. 01	- 27. 77	- 30. 08	- 30. 48
nC <sub>21</sub>	- 26. 64	- 29. 66	- 24. 31	- 28. 64	- 33. 19	- 31. 22
nC <sub>22</sub>	- 31. 83	- 30. 11	- 24. 12	- 29. 19	- 28. 90	- 30. 82
nC <sub>23</sub>		- 30. 88	- 24. 90	- 29. 06	- 29. 90	- 31. 77
nC <sub>24</sub>		- 30. 39	- 25. 92	- 30. 82	- 29. 82	- 31. 15
nC <sub>25</sub>		- 30. 23	- 24. 60	- 31. 69	- 28. 53	- 30. 61
nC <sub>26</sub>		- 31. 91	- 26. 57	- 30. 81	- 27. 60	- 30. 84
nC <sub>27</sub>		- 28. 74	- 27. 26	- 33. 97	- 29. 47	- 32. 46
nC <sub>28</sub>		- 30. 51	- 27. 75	- 30. 13	- 30. 06	- 32. 53
nC <sub>29</sub>		- 25. 94	- 34. 71	- 29. 01	- 29. 17	- 41. 06
nC <sub>30</sub>		- 28. 06		- 29. 36	- 31. 64	- 29. 64
nC <sub>31</sub>				- 28. 35	- 54. 20	
nPr	- 30. 99	- 26. 14	- 19. 13	- 28. 31	- 26. 37	- 28. 30
Pr	- 32. 07	- 24. 89	- 22. 32	- 29. 27	- 28. 64	- 29. 66
Ph	- 32. 83	- 28. 38	- 24. 62	- 28. 42	- 29. 65	- 30. 82

途径富集。结合周参10井地层综合分析, 此类不同于下白垩统源岩母质的轻组分极有可能来源于永丰组下伏演化程度相对较高的煤系地层生烃母质芳构化和热裂解作用次生成因, 将该套煤系地层单独划分为中下侏罗统(J<sub>1+2</sub>), 并重新采集样品进行分析对比。

油/岩对比(图4)进一步支持了周参10井原油中轻组分来自中下侏罗统煤系地层的认识。采自沈丘凹陷5个J<sub>1+2</sub>主力烃源岩(碳质泥岩、煤)的轻烃组成, 呈现了富芳烃系列化合物(苯、甲苯)和成熟度相吻合的特点; 与周参10井原油具很好的可比性, 与下白垩统源岩贫芳烃系列化合物、富环烷烃系列化合物差异明显, 充分反映出原油中轻组分由中下侏罗统煤系烃源岩提供。

综上所述, 通过新一轮原油成因类型及油源对比研究, 进一步证实周参10井原油成因类型属陆相正常原油, 遭受了轻微生物降解, 主力油源来自下

白垩统暗色泥岩和中下侏罗统煤、暗色泥岩及碳质泥岩, 其中轻质组分主要由中下侏罗统源岩贡献。

值得一提的是, 前人仍将这套煤系地层划为下白垩统地层, 认为该原油完全是白垩系自生自储的。我们通过进一步的油/源对比, 结合地震、钻井以及录井资料, 认为这套煤系地层与上覆白垩系完全是2套不同的地层, 应归属于中下侏罗统。该套煤系地层有效生烃供源在周口坳陷得到了证实, 其展布及规模对周口坳陷中生界油气资源评价、勘探战略部署有着重要影响和积极意义, 应当引起相关部门的高度重视。

## 2 封闭保存条件与直接盖层

周参10井录井资料表明, 下白垩统泥岩厚近400 m, 是较好的直接盖层, 而下第三系厚441.5 m, 泥岩厚206 m, 占岩层厚度的46.7%, 最大单层厚度

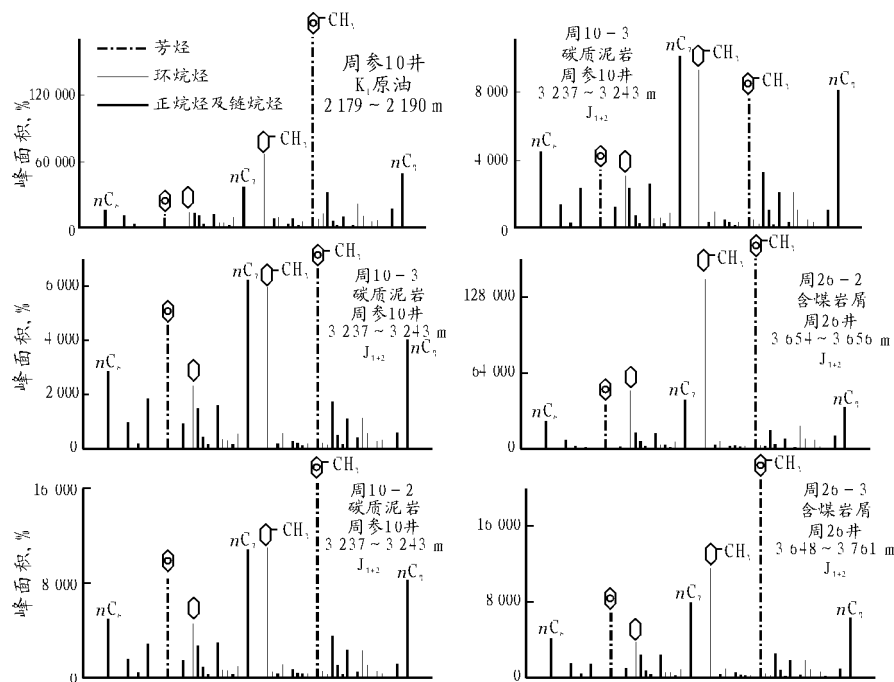


图 4 周参 10 井油/ J<sub>1+2</sub> 源岩轻烃指纹对比图

Fig. 4 Lighter hydrocarbons fingerprint comparison between oil and J<sub>1+2</sub> source rock in the Well ZC 1, the Zhoukou depression

18 m, 是良好的区域性盖层。

为数有限的地层水样水化学分析成果表明, 该地区保存条件较好。从采集到的沈 1 井 2 370. 9~2 389. 8 m 地层水常规分析来看, 其变质系数  $rNa^+ / rCl^-$  为 0. 76, 脱硫系数  $rSO_4^{2-} \times 100 / rCl^-$  为 4. 20, 总体反映为具好—中等程度封闭性的陆相沉积变质水。

### 3 储层及有效储集空间

周参 10 井全井砂岩发育, 仅下白垩统砂岩厚达 513 m, 占该段地层总厚度的 57. 4%。在录井过程中, 下白垩统见荧光砂岩 25 层, 厚 55. 5 m; 油迹砂岩 10 层, 厚 17 m; 油斑砂岩 1 层, 厚 5 m, 由此可见储集层主要为砂岩。下白垩统的砂岩以含砾砂岩为主, 其次为细砂岩及泥质砂岩, 单层最大厚度为 10 m, 一般厚度为 1~ 3 m。矿物成熟度低, 主要为岩屑长石砂岩、长石岩屑砂岩及长石砂岩、岩屑砂岩, 结构成熟度也低, 分选程度中—差, 具有低孔隙度、低渗透率的特点。孔隙度多介于 5%~ 10%, 渗透率  $< 1 \times 10^{-3} \mu m^2$ , 为低渗透砂岩储集层, 横向连通性差, 部分相互连通, 喉道一般都  $< 0. 01 \text{ mm}$ , 总体物性差。据薄片及岩心观察, 砂岩原生孔隙多数已在碎屑岩后生变化序列演化过程中被堵塞改造, 后来又未能再形成较多的溶蚀孔隙, 现今未被堵塞的

有效储集空间多为组分内微孔隙、极少量粒间孔以及不规则微细裂缝, 面孔率低。

### 4 有效圈闭类型

周参 10 井钻探的姜堤构造, T<sub>g</sub> 为背斜圈闭, T<sub>E</sub> 为断鼻, 上下构造不吻合。根据区域资料和该井所钻遇地层的缺失情况来看, 该构造至少于印支末期已隆起, 使寒武—奥陶系广海碳酸盐岩、石炭—二叠系煤系甚至三叠系被剥蚀殆尽。燕山运动早期, 受断裂控制曾一度沉降, 沉积了侏罗系煤系, 继而抬升剥蚀了部分侏罗系, 这一点可由中下侏罗统与下白垩统相带的突变证明。早白垩世, 断陷活动加剧, 该区有所沉降, 沉积了河流相、滨—浅湖相碎屑岩, 但沉降幅度远较周参 11 井一带小, 表现为没有较深湖相沉积。因此, 早白垩世末期姜堤构造带已初具规模。而老第三纪时期, 南部的东岳凹陷下第三系向该构造呈区域性减薄, 北部的沈丘凹陷厚度比构造顶部大 1 000~ 2 000 m, 表明该构造隆起具有继承性。这一继承性隆起一直持续到喜山期晚期, 成为与成藏适时的有效圈闭。

### 5 有效供油气及运聚方式、时间

5. 1 下白垩统一—中下侏罗统烃源岩生烃史  
周口坳陷中生代经历了 5 次成盆, 剖面上 5

套原型盆地叠加<sup>6)</sup>, 组成前陆 (J<sub>1+2</sub>) —走滑 (J<sub>3</sub>—K<sub>1</sub>) —坳陷 (K<sub>2</sub>—E<sub>1</sub>) —断陷 (E<sub>2-3</sub>) —坳陷 (N—Q) 的结构, 因此也形成 4 个大的不整合面。由于燕山—喜山期构造的改造、各成盆阶段的沉积风格差异、沉积中心变化迁移、各时期沉积速率差异、同一断陷湖盆东西和南北向上沉积充填结束时间的不一致、凹陷内不同部位的抬升剥蚀幅度都存在极其明显的差异, 导致同一凹陷内不同钻井的埋藏史存在较大差异。首先对典型井进行埋藏史分析, 进而对本区中生界生油岩的埋藏、热史和现今热演化状态有一较明确的判断。

从图 5 中可以看出, 沈丘凹陷南部区块 (以周参 11 井为例) 下白垩统经历了 4 次沉降和 3 次抬升。第一次抬升发生在 130~ 97 Ma, 抬升幅度 1 300 m; 第二次发生在 86~ 73 Ma, 抬升幅度 520 m; 第三次发生在 48~ 23. 3 Ma, 抬升幅度 2 540 m。按目前每百米平均地温梯度 3 °C 计算, 大仓房组沉积以前的 2 次埋藏作用并未使下白垩统源岩进入生油高峰, 第一、二次抬升还使进入生油门限的部分源岩 (下永丰组中部以上层位) 停止生烃长达 40 Ma, 对油气的晚期成藏非常有利; 大仓房组沉积时的第三次沉降作用, 使下白垩统源岩深埋达 5 500 m, 源岩普遍达到生油高峰并向过成熟演化, 之后的第三次抬升和晚第三纪第四次沉降对油气的演化影响都较弱。

沈丘凹陷北部区块 (以周 19 井为例) 下白垩统经历了 3 次沉降和 2 次抬升 (图 6)。第一次沉降发生在早白垩世, 沉降速率最大, 达 332 m/Ma, 下白垩统普遍埋深在 2 000 m 左右, 之后从 133. 197 Ma 经历了长时间的缓慢抬升; 进入 K<sub>2</sub>—E 后重新沉降埋深, 永丰组源岩在大仓房组沉积前普遍未被深埋, 大仓房组沉积末是其最大深埋阶段, 一般达 4 500 m, 源岩普遍达到生油高峰, 其后又发生较大的抬升, 进入晚第三纪, 保持与其他井一致的沉降过程, 沉降速率约 74 m/Ma。

谭庄凹陷 (以周参 12 井为例) 下白垩统埋藏史较为简单 (图 7)。第一次沉降发生在早白垩世, 平均沉降速率最大, 达 341 m/Ma, 下白垩统源岩普遍埋深在 1 500~ 3 000 m 左右, 之后从 130 Ma 开始, 在长达 100 Ma 的时间里由于上覆地层的沉积间断, 保持埋藏基本不变的状态。进入新第三纪, 由于 N+Q 地层的沉积, 埋藏深度超过其地史最大埋深而进入二次生烃。

纵观凹陷内不同部位 3 口井的埋藏史分析, 对本区中生界烃源岩的受热历史有一个总体认识: 侏罗—白垩纪时期古地温梯度较低, 为每百米 2. 6 °C,

距今 135 Ma 时, 沈丘凹陷南部范集、新桥之间, 周参 10, 11, 南 9 井一带近 200 km<sup>2</sup> 已经进入成熟, R<sub>o</sub> = 0. 5%~ 1. 0%, 其中周参 11 井附近 R<sub>o</sub> = 1. 0%~ 1. 2%, 已达生油高峰, 谭庄凹陷周参 12 井附近 R<sub>o</sub> = 0. 50%~ 0. 55%, 刚进入生油门限, 其余地区尚未成熟。因此, 周参 11 井区块初次生烃的门限深度应 > 2 300 m, 于燕山中期开始生烃, 并达到生油高峰。后地壳抬升, 停止生烃, 其间经历多次较小幅度的间断埋藏, 直到第三纪断陷盆地叠覆, 喜山期才又进入

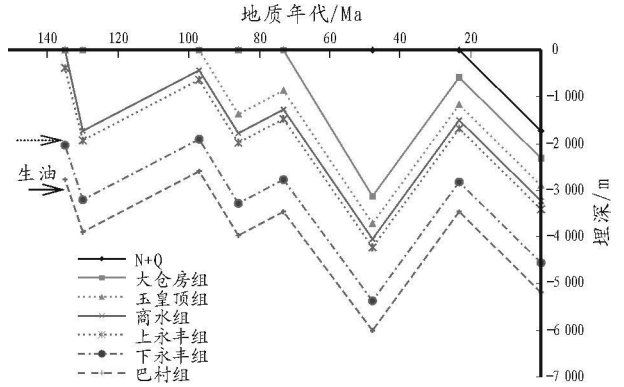


图 5 周参 11 井沉积埋藏史

Fig. 5 Sedimentation and bury history of the Well ZC 11

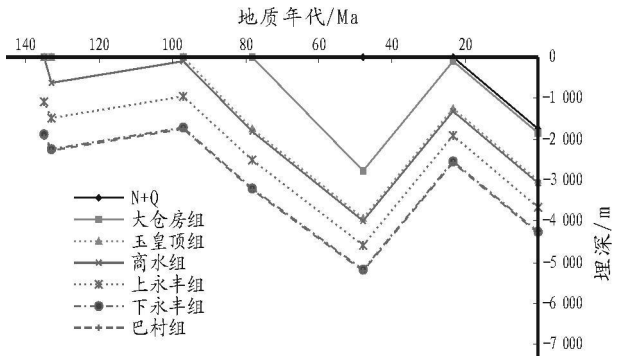


图 6 周 19 井沉积埋藏史

Fig. 6 Sedimentation and bury history of the Well Z 19

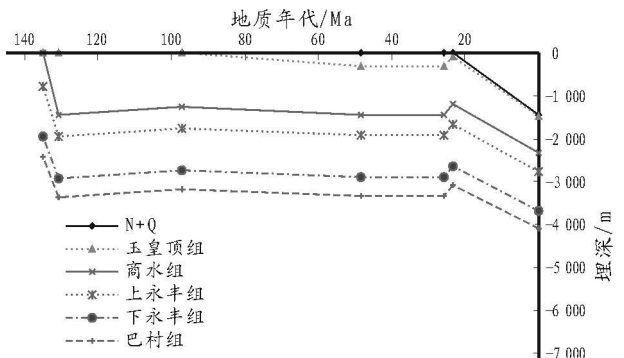


图 7 周参 12 井沉积埋藏史

Fig. 7 Sedimentation and bury history of the Well ZC 12

二次生烃, 至 60~40 Ma 时, 沈丘南部区块大面积生烃。而周 19 井区块则基本属于一次连续生烃, 期间虽有小幅抬升, 但影响不大, 生烃高峰位于喜山晚期。

中下侏罗统一白垩统烃源岩现今热演化程度平面分布明显不均, 演化程度最低的是沈丘凹陷北部斜坡区, 其中周 19 井井深 3 500 m 泥岩干酪根的镜质体反射率才达到 0.40%~0.55%, 至今还未成熟; 谭庄凹陷中生界生油岩处于成熟阶段, 周参 12 井、周 14 井  $R_o = 0.5\% \sim 1.0\%$ , 周 23 井 3 500 m 深度  $R_o = 0.57\%$ , 亦在生油窗范围内; 沈丘凹陷娄堤构造带中生界生油岩成熟度相对最高, 周参 10 井、11 井及南 9 井一带存在一个高值区,  $R_o$  均  $> 1.5\%$ , 处于过成熟阶段, 以生湿气—干气为主, 尤其是周参 11 井, 演化程度最高,  $R_o = 2.287\% \sim 3.852\%$ , 以生干气为主。就其局部热异常原因, 经研究认为主要缘于早白垩世埋藏差异, 与深成变质作用有关。一方面沈丘凹陷南部(周参 11 井一带)沉积速率大、沉积时间长; 北部(周 19 井)沉积速率小、且充填消亡时间较早。谭庄凹陷永丰组源岩的埋藏情况基本介于两者过渡, 导致永丰组源岩埋藏差异可达 1 000 m 以上。另一方面  $K_2$ —E 地层的叠加厚度和范围在沈丘凹陷要远大于谭庄凹陷, 造成东部沈丘凹陷源岩的埋藏幅度远高于谭庄凹陷, 尤其是在其当时的沉积中心范围, 促使源岩大面积进入生烃高峰并向过成熟演化, 这也许是造成目前沈丘凹陷局部区块源岩演化程度异常高的主要原

因。在同一沉积盆地不太大的范围内, 同时代地层的热演化程度出现如此明显的差异, 这与周口坳陷所处的大地构造位置及其构造演化历史有关。

## 5. 2 成藏条件综合分析

综上所述, 谭庄—沈丘凹陷双楼田、周庄主洼陷第一次生油高峰供油事件出现在燕山中期, 之后  $K_1$  遭受一定程度的剥蚀, 生烃一度停止, 而大量生油、供油事件是在喜山期, 相应的二次生烃供烃中心则主要分布在埋深  $\geq 3\ 000 \sim 4\ 000$  m 的深洼区。下第三系泥岩是其良好的区域盖层, 最大单层厚度 18 m。下白垩统自身的泥岩是其直接盖层, 具较好的油气封盖条件, 但由于储层物性较差, 单层厚度薄, 使油气的储集空间和条件受到一定限制, 是制约周参 10 井低产的主要因素。

### 参考文献:

- 袁政文, 何明喜, 宋建华等. 周口残留盆地油气前景分析 [J]. 石油实验地质, 2003, 25 (6): 679~683
- 蒋启贵, 陈伟钧, 金聚畅等. 岩石低沸点轻烃指纹分析方法研究 [J]. 石油实验地质, 2004, 26 (5): 492~495
- 胡惕麟. 源岩吸附烃和天然气轻烃指纹参数的开发应用 [J]. 石油实验地质, 1990, 12 (4): 375~379
- 刘伟新, 把立强, 张美珍等. 石油地质分析测试技术新进展 [J]. 石油实验地质, 2003, 25 (6): 777~782
- 赵孟军, 黄第藩, 张水昌等. 原油单体烃类的碳同位素组成研究 [J]. 石油勘探与开发, 1994, 21 (3): 52~59
- 吕俊祥, 黄泽光. 南华北地区中生代盆地成盆环境分析 [J]. 石油实验地质, 2005, 27 (2): 118~123

## UNDERPRODUCTIVE OIL FLOW IN THE WELL ZC 10 OF THE ZHOUKOU DEPRESSION IN THE SOUTHERN NORTH CHINA BASIN

Rao Dan<sup>1,2</sup>, Quan Shujin<sup>3</sup>

- (1. School of Energy Resources, Chengdu University of Science and Engineering, Chengdu, Sichuan 610059, China; 2. Wuxi Research Institute of Petroleum Geology, SINOPEC, Wuxi, Jiangsu 214151, China; 3. Research Institute of Petroleum Exploration and Production, He'nan Oil Field, SINOPEC, Nanyang, He'nan 473123, China)

**Abstract:** Discovery of underproductive oil flow in the Well ZC 10 of Zhoukou depression in the Southern North China basin has brought hope for hydrocarbon exploration success. Direct hydrocarbon/source comparison is conducted with lighter hydrocarbon fingerprint, proving that, this oil flow is of mixed source, primarily the Lower Cretaceous dark mudstone and the Middle and Lower Jurassic coal, dark mudstone and carbargillite. Lighter hydrocarbon comes from the Middle and Lower Jurassic. Accumulation condition is analyzed.

**Key words:** lighter hydrocarbon in rock; lighter hydrocarbon in cruid oil; oil/source comparison; the Zhoukou depression; the southern north China basin