

文章编号: 1001-6112(2007)04-0405-06

吐哈盆地胜北凹陷浅层油气源与成藏研究

李延钧¹, 陈义才², 张艳云¹, 郭秀英¹, 杨 军¹

(1. 西南石油大学, 成都 610500; 2. 成都理工大学, 成都 610059)

摘要:通过原油碳同位素、轻烃和油岩生标物综合对比证实,吐哈盆地胜北凹陷浅层上侏罗统喀拉扎组一下白垩统火焰山群油气主要为中下侏罗统水西沟群煤系烃源岩所生,同时一些地区混有中侏罗统七克台组湖相泥岩所形成的烃类。研究表明穿越中侏罗统七克台组—上侏罗统齐古组区域盖层的断裂是浅层油气运聚成藏的关键。不同地区浅层油气运聚时期和来源方式不同,具有“分段捕获”的成藏特征。其中红南—连木沁构造带浅层油气运聚较晚,主要来源于中侏罗统已聚集油气的再分配,为次生油气藏;而胜北构造带浅层上侏罗统喀拉扎组油气运聚较早,主要捕获了中下侏罗统水西沟群煤系早期低熟生烃产物。

关键词:油气源对比;油气分段捕获;煤系地层;浅层油气藏;吐哈盆地

中图分类号: TE122

文献标识码: A

RESEARCH OF THE OIL-GAS SOURCE AND FORMATION OF THE POOLS IN THE SHALLOW BED OF THE SHENGBEI SAG, THE TUHA BASIN

Li Yanjun¹, Chen Yicai², Zhang Yanyun¹, Guo Xiuying¹, Yangjun¹

(1. South-west Petroleum Institute, Chengdu, Sichuan, 610500, China;

2. Chengdu Science and Engineering University, Chengdu, Sichuan 610059, China)

Abstract: By the comprehension correlation of the crude oil carbon isotope, light hydrocarbon, oil-rock biomarker, the paper indicates that the oil-gas in the shallow bed are mainly provided by the Shuixigou Group coal seam of Middle-Lower Jurassic series, and some areas are mixed with the hydrocarbons generated from lake facie shale of the Middle Jurassic Qiketai Formation in the Shengbei Sag, Tuha Basin. In the meantime, it shows that the fault passed through the regional cover (J_2q-J_3q) is a key to migration and collection of the oil-gas in the shallow bed. Furthermore, the author thinks that the time and way of the oil-gas migration and collection are different in the different areas, which is the characteristic of capturing oil-gas in stages to form pool, example for, Hongnan structure belt, which is later for the shallow oil-gas to migrate, and mainly redistributed that the oil-gas has collected in middle Jurassic, and is secondary oil-gas pool. But, as for Shengbei structure belt, which is earlier for the shallow oil-gas to migrate, and is mainly the low-mature hydrocarbons of the Shuixigou Group coal seam to be captured.

Key words: oil-gas source correlation; capturing oil-gas in stages; coal seam; shallow bed oil-gas pool; the Tuha Basin

20 世纪 90 年代初吐哈盆地侏罗系煤成烃的勘探取得了巨大的成功,在中侏罗统发现大量煤成油气聚集。20 世纪 90 年代中叶以来在吐哈盆地胜北凹陷浅层油气勘探取得重大突破,即在七克台组(J_2q)—齐古组(J_3q)区域盖层之上的上侏罗统喀拉扎组(J_3k)和下白垩统火焰山群(K_1h)发现一批浅层油气藏(图 1)。在胜北构造带胜北 2 号构造所钻探的台参 2 井,首次在上侏罗统喀拉扎组

2 856.0~2 977.0 m 发现荧光显示共 50.0 m,气测异常 16.0 m/12 层;胜北 3 号构造胜北 3 井在相应层段测试 2 953.0~2 973.0 m(16.5 m/5 层),天然气 24 759.0 m³/d,凝析油 283.0 m³/d;胜深 3 井也于 2 978.5~2 987.1 m(J_3k)试油获 7.6 m³/d 凝析油,45 803.0 m³/d 天然气,都为凝析油气层。连木沁构造连 2 井在 1 525.0~1 540.0 m(K_1h)获高产油气, J_3k 见油气显示并产少量油流;红南 1 号

收稿日期:2007-04-23;修订日期:2007-06-01。

作者简介:李延钧(1966—),男(汉族),河南社旗人,博士,副教授,主要从事油气成藏地球化学和油气地质学教学与科研。

基金项目:四川省重点学科建设项目(SZD0414)。

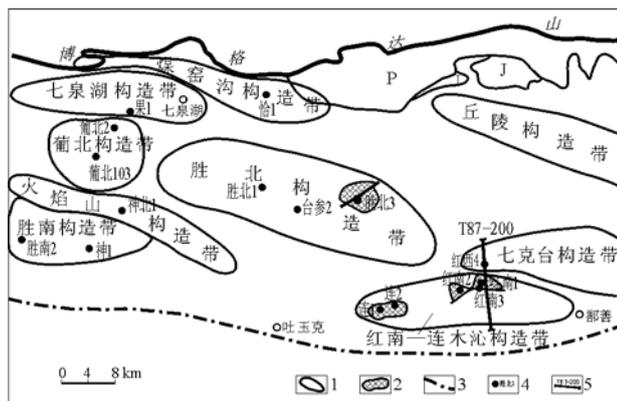


图1 吐哈盆地胜北凹陷浅层油气分布示意
1. 构造带边界; 2. 浅层油气藏; 3. 盆地边界; 4. 井号; 5. 测线
Fig. 1 Shallow layer oil-gas distribution sketch map in the Shengbei Sag, the Tuha Basin

和2号构造也在 K_1h 分别于 1 393.0~1 400.0 m 和 1 245.0~1 322.0 m 获高产油气, 所产原油均属轻质油。由此, 展示了吐哈盆地胜北凹陷浅层油气勘探的良好前景。浅层油气源及成藏规律的研究对扩大浅层油气勘探具有重要的现实意义。

1 浅层油气基本性质

浅层原油物性与中侏罗统煤成油相比十分类似, 仅胜北构造带浅层油 (J_3k) 密度 (0.74~0.76 mg/L)、粘度 (0.48~0.56 mPa·s)、凝固点 (-20~-30 °C)、含蜡量 (1.0%~1.4%) 等相对要低一些, 具凝析油特点。其它原油物性, 包括红南一连木沁构造带浅层油 (K_1h) 均具有轻质油的特点, 密度分布在 0.78~0.83 mg/L 之间, 粘度多分布在 1.6~3.0 mPa·s 之间, 凝固点分布在 2~20 °C, 含蜡量相对较高, 一般分布在 8%~22% 之间。此外, 胜北构造带浅层 (J_3k) 天然气组成中甲烷含量相对较高, 多大于 80%, 而乙烷含量相对较低, 多小于 10%, 干燥系数 (C_1/C_{1-5}) 相对较大, 但不属于干气, 在 0.83~0.86 之间, 属于凝析气。而其它地区各层位天然气均属溶解气性质, 甲烷含量一般分布在 55%~75% 之间, 乙烷含量多分布在 10%~20% 之间, 而干燥系数一般分布在 0.58~0.78 之间, 相对较湿。其中红南一连木沁构造带浅层溶解气甲烷含量更低, 一般不大于 50%, 干燥系数也十分低, 多小于 0.58, 与相应地区的中侏罗统有所差异, 主要是由于浅层油气保存条件相对差, 而轻烃易于扩散所致^[1]。

总之, 浅层油气与中侏罗统相比, 在物性上既相似又存在差异。而且胜北构造带与红南一连木

沁构造带浅层油气所产层位不同, 油气物性也不相同, 除了与所处的温压环境不同有关外, 可能与各自成藏条件和成藏时期的不同也有关系。

2 烃源岩生烃条件

吐哈盆地同我国西北其它盆地一样, 地质构造具有多旋回性^[2], 相应地发育多套烃源岩, 这些主力烃源岩具有生烃层系多, 沉积厚度大, 生油母质好, 有机质丰度高, 演化程度适中, 资源潜力大的特点^[3,4]。经研究整个盆地共发育上二叠统、中上三叠统湖相暗色泥岩及中下侏罗统煤系地层与湖相泥岩, 目前已钻探的托参1井(托克逊坳陷)及哈1井(哈密坳陷)油气被证实与二叠—三叠系湖相泥岩有关外, 其它地区还没有发现有这一来源的油气, 胜北凹陷尤其如此。因此, 对于胜北凹陷浅层油气而言, 离得最近而且最为现实的烃源岩可能为中下侏罗统。

中下侏罗统已查清的烃源岩有两套, 一套为煤系地层, 包括八道湾组 (J_1b)、三工河组 (J_1s) 和西山窑组 (J_2x), 合称为水西沟群; 另一套为七克台组湖相泥岩。而齐古组、喀拉扎组及白垩系等泥质岩类因有机质贫乏, 热演化程度低而均属非烃源岩^[3]。

胜北凹陷水西沟群煤系有机碳含量在 1.0%~2.0% 之间, 属好生油岩级别, 台参2井西山窑组顶 R₀ 可达 0.80%, 在凹陷中心计算最高可达 1.10% 左右, 说明煤系烃源岩多处于生油高峰期, 而且煤系地层具有特殊的生烃母质(壳质组、基质镜质组等含量较高)赋有早生早排的特点^[5,6], 此外煤系地层中部分暗色泥岩属于湖相成因, 具偏腐泥型有机质的性质。

吐哈盆地中侏罗统七克台组是在气候温暖潮湿环境中的湖相为主的沉积, 生物种类多, 有大量底栖生物和浮游生物, 沉积中心在胜北凹陷, 沉积了一套浅—深湖相暗色泥岩。有机碳含量 1.0%~1.5%, 也属良好烃源岩级别; 有机质类型较煤系地层好, 多属混合偏腐泥型 (II_1 型为主)。台参2井七克台组顶底 R₀ 分别为 0.67% 和 0.70%, 即已进入生烃门限, 并多处于低熟阶段。它的有效烃源岩厚度和规模虽然不如水西沟群煤系烃源岩, 但在局部地区对油气的贡献也是不容忽视的。

3 浅层油气源识别

从胜北凹陷烃源岩研究结果和实际地质条件来看, 最可能的油气源为中下侏罗统水西沟群煤系及七克台组湖相泥岩^[7]。从原油碳同位素、轻烃和

油岩生物标志化合物 3 个方面的综合油源对比,证实胜北凹陷浅层油气主要来源为水西沟群煤系烃源岩,即为煤成油气。同时在局部地区,特别是连木沁构造(连 2 井区)存在明显的七克台组湖相泥岩生烃的贡献。而且不同地区浅层油气演化程度不同。

3.1 原油碳同位素组成

原油碳同位素组成分布在 $-25.28\% \sim -27.12\%$ (PDB),浅层与中侏罗统七克台组、三间房组(J_2s)和西山窑组原油碳同位素十分接近(表 1)。与吐哈盆地其它地区煤成油碳同位素组成的分布区间($-23.00\% \sim -26.00\%$)^[3]也基本一致,说明这些油样主体上属于煤成烃,仅连 2 井(J_3k)原油碳同位素组成(-27.12%)偏轻一些,可能为一定量七克台组湖相烃源混入所致。

3.2 轻烃化合物

原油轻烃化合物在油源对比中发挥着很大的作用,特别是对于含大部分轻烃化合物的轻质油和凝析油的油源判别十分有效^[8~10]。选用 8 对轻烃化合物比值,构成轻烃指纹对比图进行油—油对比(图 2)。图 2 展示了胜北凹陷浅层与中侏罗统原油具有基本类似的指纹特征,表明它们主体油气源相

同。同时也可见正己烷/环己烷和正己烷/甲基环戊烷值存在一定的差异,它们实际上为烷基化程度指标,这种差异与各个油样本身演化程度不同有关。其中红南地区的浅层(红南 1 井 K_1h)和中侏罗统(红南 3 井 J_2q)油样轻烃指纹更为接近,而且正己烷/环己烷和正己烷/甲基环戊烷的烷基化指标高于其它油样,表明红南地区浅层与中侏罗统原油存在着密切的关系,即属同一来源,而且演化程度相对较高。

轻烃庚烷值与异庚烷值不仅有有机质类型有关,与成熟度的关系也十分密切^[7]。胜北凹陷浅层与中侏罗统油样多处于成熟的演化阶段,而红南地区油样成熟度要高一些,基本上为成熟晚期或高成熟早期产物(图 3)。

3.3 生物标志化合物

3.3.1 姥鲨烷和植烷

姥鲨烷(Pr)和植烷(Ph)是指相标志化合物,由叶绿素的侧链植醇在成岩过程演化而来。植醇在弱氧化条件下生成植酸,脱羧后生成姥鲨烷,在还原条件下则加氢形成植烷。煤系及其煤成油中姥鲨烷特别丰富。典型煤成油一般 $Pr/Ph > 4.0$ 以上,如澳大利亚吉普斯兰煤成油陆地部分为 4.7,海上部分为 4.1~8.8;印度尼西亚马哈坎三角洲煤成原油 Pr/Ph 可高达 10.0~14.0^[3]。

胜北凹陷浅层与中侏罗统原油 Pr/Ph 多在 3.0 以上(表 2),显然主要以煤成油为主。 Pr/Ph 不如典型煤成油那么高的原因可能与水西沟群局部层段发育的湖相泥岩及七克台组大段湖相泥岩生烃的贡献有关。同时,可见连木沁地区连 2 井 K_1h 与

表 1 吐哈盆地胜北凹陷原油碳同位素组成
Table 1 Crude oil carbon isotope constitutions in the Shengbei Sag, the Tuha Basin

编号	地区	井号	层位	井段/m	$\delta^{13}C_{PDB}, \%$
1	红南	红南 1	K_1h	1 393.0~1 400.0	-26.18
2	红南	红南 3	J_2q	3 023.0~3 030.0	-25.28
3	红西	红西 4	J_2s	2 819.0~2 836.0	-26.26
4	连木沁	连 2	J_3k	1 865.0~1 915.0	-27.12
5	胜北	胜北 3	J_3k	2 953.0~2 973.0	-25.51
6	胜北	台参 2	J_2x	4 747.0~4 772.0	-26.07
7	葡北	葡北 103	J_2s	3 510.5~3 521.0	-25.28

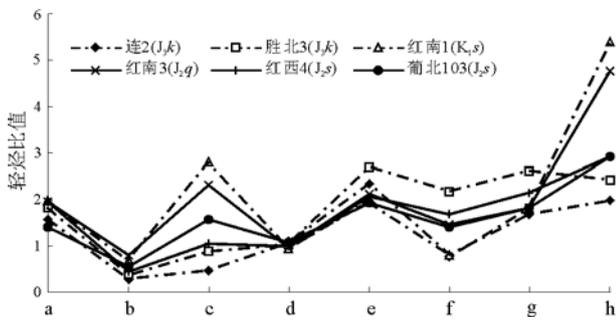


图 2 吐哈盆地胜北凹陷原油轻烃指纹对比

a. 2-甲基戊烷/萘甲基戊烷; b. 正庚烷/(甲基环己烷+1-甲基环戊烷); c. 正己烷/环己烷; d. 3-甲基戊烷/2-甲基戊烷; e. 4-甲基庚烷/3,4-二甲苯基戊烷; f. 乙基环戊烷/2,4-二甲苯基戊烷; g. 1,1,2-三甲苯基环己烷/1-甲基,顺 3 乙基环戊烷; h. 正己烷/甲基环戊烷

Fig. 2 Crude oil light hydrocarbon fingerprints correlation diagram in the Shengbei Sag, the Tuha Basin

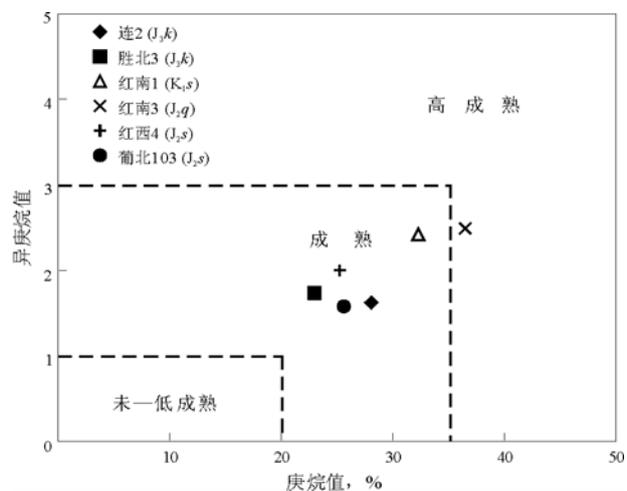


图 3 吐哈盆地胜北凹陷浅层油庚烷值与异庚烷值演化分区

Fig. 3 Classification diagram of oil with heptane value and isoheptane value in the shallow bed of the Shengbei Sag, the Tuha Basin

表 2 吐哈盆地胜北凹陷原油姥植比值

Table 2 Pr/Ph of crude oil in the Shengbei Sag, the Tuha Basin

编号	井号	层位	井段/m	Pr / Ph
1	红南 1	K ₁ s	1 393.0~1 400.0	4.3
2	红南 3	J ₂ q	3 023.0~3 030.0	3.6
3	红南 1	J ₂ s	2 855.5~2 859.0	5.6
4	红西 4	J ₂ s	2 819.0~2 836.0	3.7
5	连 2	K ₁ h	1 525.0~1 540.0	2.5
6	连 2	J ₃ k	1 865.0~1 915.0	2.8
7	连 2	J ₂ q	2 434.4~2 448.5	2.7
8	胜北 3	J ₃ k	2 953.0~2 973.0	3.8
9	台参 2	J ₂ x	4 747.0~4 772.0	4.9
10	葡北 103	J ₂ x	3 510.5~3 521.0	3.5

J₃k 原油 Pr/Ph < 3.0, 显然存在着大量七克台组湖相泥岩生烃的贡献, 与原油碳同位素组成偏轻是一致的。

3.3.2 甾烷 C₂₇、C₂₈ 及 C₂₉ 相对组成

在 *m/z* 217 甾类化合物分布图谱上煤系烃源岩常表现为 C₂₉ > C₂₈ ≥ C₂₇ 的反“L”型甾烷组成特征。而湖相泥岩则表现为 C₂₇ ≥ C₂₉ > C₂₈ 的“V”字型甾烷组成特征, 这主要为环境不同所致。陆源有机质中更富含 C₂₉ 甾烷前身物, 而湖相浮游生物, 多数的藻类则富含 C₂₇ 甾烷前身物。胜北凹陷胜北构造带(J₃k)、红南—连木沁构造带红南地区浅层(K₁h)原油与大部分中侏罗统原油及水西沟群煤岩具有相似的正常甾烷组成特征, 即呈现反“L”型分布, 其中胜北构造带浅层(J₃k)原油 C₂₇ 甾烷含量略偏高(图 4), 可能与其凝析油性质有关, 即反凝析作用导致生标物富集轻碳化合物^[11]。

红南—连木沁构造带连木沁地区连 2 井浅层原油正常甾烷都表现出 C₂₇ ≥ C₂₉ > C₂₈ 的“V”字型特征, 显然, 更进一步说明该地区浅层油的确存在低成熟七克台组湖相泥岩生烃的贡献。Dzou 等^[12] 研究报道, 不同成熟阶段的油的生标物含量不同, 低成熟和高成熟油的生物标志化合物含量相差几倍至几十倍, 最高可相差 2 个数量级; 少量的低熟油气的混入即可掩盖高演化的主体烃类的生标物, 使原油的生物标志化合物分布失真, 误导油气源判识^[13], 这种实例国内外均存在。而且远源高成熟生物标志化合物含量低的油向低—成熟地区(或新构造)运移时, 少量成熟度较低的油即可造成生物标志化合物的污染, 使高熟油表现出低熟—较低熟油的特征。因此, 连木沁构造浅层构造捕获的主体油气与红南构造浅层油气应该相似, 只不过前者在成藏过程中存在低成熟七克台组湖相烃类的“污染”。

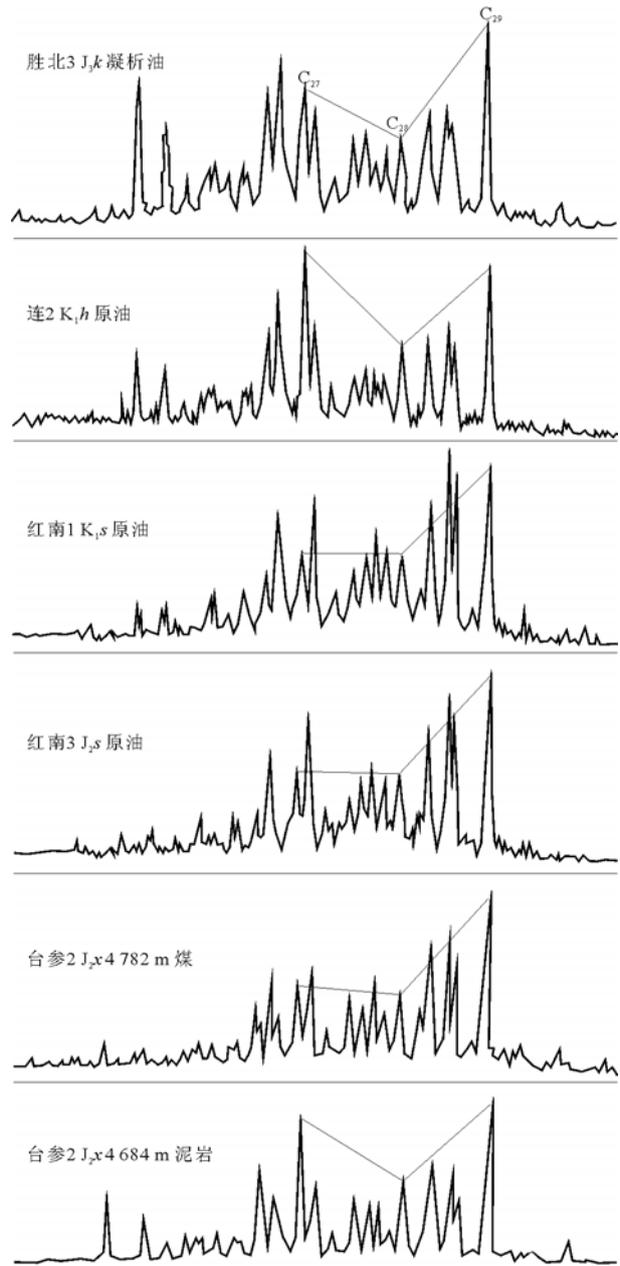


图 4 吐哈盆地胜北凹陷油岩甾类化合物分布

Fig. 4 Steroids distribution characteristics of oil and rock in the Shengbei Sag, the Tuha Basin

3.3.3 甾烷成熟度参数

甾烷 $\alpha\alpha C_{29} S / (S + R)$ 和 $C_{29} \beta\beta / (\alpha\alpha + \beta\beta)$ 可以反映油岩的演化程度, 后者因为易受运移作用的影响而不常用。由表 3 可见, 胜北构造带和连木沁地区浅层油成熟度参数 $\alpha\alpha C_{29} S / (S + R)$ 分布在 0.29~0.34, 相对较低。而红南地区这一成熟度参数分布在 0.40~0.42 之间, 与台参 2 井 J₂x 原油及煤岩接近。表明红南浅层油气与胜北凹陷中心水西沟群煤系后期演化的烃类有关, 即成藏期较晚, 捕获的烃类成熟度较高。而凹中隆起胜北构造带浅层油气成熟度低, 可能与其成藏较早有关, 即

表3 吐哈盆地胜北凹陷油岩甾烷成熟度参数

Table 3 Steroids mature parameters of oil and rock in the Shengbei Sag, the Tuha Basin

编号	井号	层位	井段/m	样品	$\frac{aaaC_{29}}{S/(S+R)}$	$\frac{C_{29}\beta\beta}{(aa+\beta\beta)}$
1	红南1	K ₁ h	1 393.0~1 400.0	原油	0.40	0.49
2	红南3	J ₂ q	3 023.0~3 030.0	原油	0.42	0.48
3	红南1	J ₂ s	2 855.5~2 859.0	原油	0.41	0.49
4	连2	K ₁ h	1 525.0~1 540.0	原油	0.31	0.41
5	连2	K ₁ h	1 719.0~1 727.0	原油	0.31	0.41
6	连2	J ₃ k	1 865.0~1 915.0	原油	0.29	0.42
7	胜北3	J ₃ k	2 434.4~2 448.5	原油	0.34	0.38
8	台参2	J ₂ x	4 747.0~4 772.0	原油	0.43	0.47
9	台参2	J ₂ x	4 726.0	煤	0.40	0.44
10	红南1	J ₂ q	2 575.0	泥岩	0.28	0.34
11	红南1	J ₂ x	3 200.0	泥岩	0.38	0.48
12	红南1	J ₂ x	3 280.0	煤	0.36	0.38
13	连2	J ₂ q	2 600.0	泥岩	0.29	0.35

主要为水西沟群早期形成的低成熟凝析油气向上沿断裂运移并聚集,后期成熟度相对较高的油气因断裂的闭合及区域盖层的有效封挡而不能上运,并聚集于中侏罗统储集层。连木沁地区浅层油气成熟度低主要与就近低熟七克台组湖相泥岩烃类贡献有关,其成藏时期与红南地区类似,即也为后(近)期成藏,与红南一连木沁构造带断裂活动有关。

4 浅层油气成藏分析

胜北凹陷浅层油气源研究结果表明,中下侏罗统(水西沟群)煤系地层为主力烃源岩,局部如连木沁地区(连2井)浅层存在中侏罗统七克台组湖相泥岩的贡献。中下侏罗统烃源岩十分发育,有机质丰度高,演化适中,具有巨大的资源潜力,因此油源条件显然比较充足,在吐哈盆地中侏罗统大规模的油气勘探实践和成藏研究中也证实了这一点^[14,15]。

在浅层,由于成岩作用相对较弱,因此岩石孔渗物性好,储集层条件好。下白垩统火焰山群及上侏罗统喀拉扎组顶部均发育一套相对稳定的泥岩、粉砂质泥岩,可作为浅层油气的封盖层。当然红南一连木沁构造带由于埋深十分浅(1 500 m左右),存在一定量的轻烃扩散,使浅层油气藏部分轻烃遭到损失^[1],但由于成藏较晚,损失量有限。运移条件显然是油气成藏的关键,由于浅层油气主要来源于区域盖层七克台组—齐古组之下的中下侏罗统煤系地层或中侏罗统中已聚集的油气,因此断裂的沟通作用是不可缺少的,是浅层圈闭能否聚集油气的最关键条件。

胜北构造带浅层(J₃k)油气成熟度低,为中下

侏罗统早期形成的低熟油气,并较早地运移聚集于浅层。该构造带为凹中低幅度隆起,侏罗统沉积末期的构造运动使断层活动而沟通油气源,尔后喜山期的构造挤压,断层封闭,停止了油气的输入。所以该构造带浅层捕获的是早期低熟煤成烃类,而未能捕获到目前演化程度较高的油气。

红南一连木沁构造带位于胜北凹陷南斜坡,受南侧的七克台大断层控制(图5),相应伴生一系列穿越七克台组—齐古组区域盖层的断层。这些断层在第三系地层沉积之前,一直处于挤压作用而闭合,不具通道作用;在葡萄沟组沉积期,喜山运动第三幕加剧了盆地的演化,也是断层具备油气运移通道的关键时期,这一时期与红南一连木沁构造带浅层油气演化程度相对较高、运聚成藏较晚是一致的。由于该构造带浅层所捕获到的烃类与侏罗系聚集的油气性质和成熟度上十分接近,浅层油气主要为中侏罗统已聚集油气的上运再分配,所以红南一连木沁构造带浅层主要属于次生油气藏。

5 结论与建议

1)吐哈盆地胜北凹陷浅层(J₃k—K₁h)油气主要来源于中下侏罗统水西沟群煤系地层,即以煤成烃为主,同时局部如连木沁地区存在中侏罗统七克台组湖相泥岩所形成的低熟烃类的混入。

2)研究表明穿越区域盖层(J₂q—J₃q)的断裂是浅层油气运聚成藏的关键。不同地区浅层油气运聚时期和来源方式不同,具有“分段捕获”的成藏特征,即不同浅层构造捕获不同演化阶段的煤成烃。其中红南一连木沁构造带浅层油气运聚较晚,主要来源于中侏罗统已聚集油气的再分配,为次生油气藏;而胜北构造带浅层(J₃k)油气运聚较早,捕

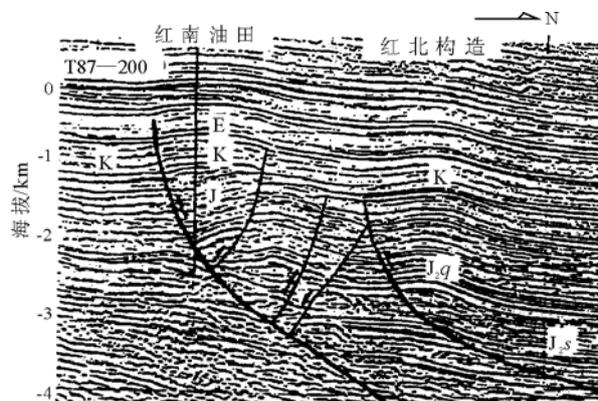


图5 吐哈盆地红南地区 T87—200 地震剖面测线位置见图1。

Fig. 5 Earth physics section structure diagram of T87—200 in the Hongnan area, the Tuha Basin

获了中下侏罗统煤系早期低熟生烃产物。

3)浅层油气藏埋深浅、开发效益好。鉴于其不同于中侏罗统油气成藏的特点,应深入开展浅层油气成藏与分布规律的研究,以获得更大的勘探效益。

4)建议在胜北凹陷断层发育区,特别是南北两侧边界断裂附近积极寻找浅层油气藏,并对已有的钻井进行“老井复查”,从而扩大浅层油气勘探规模。

参考文献:

1 李延钧,陈义才. 吐哈盆地红南红西地区油气负压系统成因[J]. 西南石油学院学报,1999,21(1):6~9

2 何治亮,顾 忆,高山林. 中国西部多旋回演化与油气聚集 [J]. 石油实验地质,2005,27(5): 433~438

3 程克明. 吐哈盆地油气生成[M]. 北京:石油工业出版社, 1994. 11~20,40~50

4 左胜杰,贾瑞忠,庞雄奇. 应用成藏门限理论评价吐哈盆地前侏罗系油气资源潜力[J]. 石油实验地质,2005,27(4):321~326

5 王昌桂,路锡良. 吐哈盆地石油地质论文集[M]. 北京:石油工业出版社,1995. 23~31

6 徐论勋,李建民,李景义. 吐哈盆地台北凹陷侏罗系烃源岩特征[J]. 江汉石油学院学报,2004,26(12):13~17

7 卫延召,戴金星,赵长毅. 吐哈盆地台北凹陷西部油源浅析[J]. 石油实验地质,2001,23(2): 191~194

8 Erdman J G, Morris D A. Geochemical correlation of petroleum[J]. AAPG Bull, 1974,58(11):2326~2337

9 Thompson K F M. Classification and thermal history of petroleum based on light hydrocarbons[J]. Geochim et Cosmochim Acta, 1983,47(2):303~316

10 Thompson K F M. Gas condensate migration and oil fractionation in deltaic system[J]. Mar Pet Geol, 1988, 5:237~246

11 Stephen L, Nigel M. Phase-controlled molecular fractionations in migrating petroleum charges[A]. In: England W A, Fleet A J, eds. Petroleum migration[M]. London:Geological Society, 1991, 59. 137~147

12 Dzou L I P, Noble R A, Senftle J T. Maturation effects on absolute biomarker concentration in a suite of coals and associated Utrinite Concentrates[J]. Org Geochem, 1995, 23(7): 681~691

13 Curial J A, Bromley B W. Migration induced compositional changes in oils and condensates of a sigle field[J]. Org Geochem, 1996, 24(12):1097~1113

14 冯 乔,周 立,柳益群. 多期次油气成藏与油气藏成因类型:以吐哈盆地为例[J]. 西北大学学报(自然科学版),2004, 34(6):703~707

15 杨占龙,陈启林. 关于吐哈盆地台北凹陷岩性油气藏勘探的几点思考[J]. 天然气地球科学, 2006, 17(3):323~329



(上接第 404 页)

致谢:中国石油西南油气田分公司勘探开发研究院王兰生高工对样品的采集和资料的收集提供了帮助,在此表示感谢。

参考文献:

1 Waples D W. The kinetics of in-reservoir oil destruction and gas formation: Constraints from experimental and empirical data, and from thermodynamics [J]. Organic Geochemistry, 2000,31:553~575

2 Rogers M A, Mcalary J D, Bailey J L. Significance of reservoir bitumens to thermal maturation studies, western Canada Basin [J]. AAPG Bull, 1974, 58(9):1806~1824

3 张 林,魏国齐. 四川盆地震旦系一下古生界沥青产烃潜力及分布特征[J]. 石油实验地质, 2005, 27(3): 276~280

4 刘德汉,周中毅. 碳酸盐生油岩中沥青变质程度和沥青热变质实验[J]. 地球化学,1982,(3):237~243

5 Jacob H. Classification, structure, genesis and practical impor-

ance of natural solid bitumen ("migrabitumen") [J]. International Journal of Coal Geology, 1989, 11:65~79

6 陈晋阳,张 红,郑海飞等. 高温高压下水中有机质降解过程的原位观测:以干酪根和沥青质为例[J]. 石油实验地质, 2006, 28(1): 73~77

7 Stasiuk L D. The origin of probitumens in Upper Devonian Laduc Formation gas reservoir, Alberta, Canada: an optical and EDS study of oil to gas transformation[J]. Marine and Petroleum Geology, 1997;14(7/8):915~929

8 Prinzhofer A A, Huc A Y. Genetic and post-genetic molecularand isotopic fractionation in natural gases[J]. Chem Geol, 1995,126(3/4): 281~290

9 张文正. 有机质碳同位素的成熟分馏作用及地质意义[J]. 石油实验地质,1989,11(2):177~184

10 戴金星. 四川盆地天然气的碳同位素特征[J]. 石油实验地质, 2001, 23(2):115~120

11 王涵云,杨天宇. 原油热解成气模拟实验[J]. 天然气工业, 1982,(3):28~33