

文章编号: 1000-0550(2002)04-0687-08

准噶尔盆地侏罗系层序地层格架中的烃源岩评价^①

刘洛夫¹ 康永尚¹ 齐雪峰² 唐勇² 熊正祥³

1(石油大学 石油天然气成藏机理教育部重点实验室 北京 102249)

2(新疆石油管理局勘探开发研究院 新疆克拉玛依 834000) 3(大港石油局地质录井公司 天津 300280)

摘要 对准噶尔盆地侏罗系层序地层格架中的烃源岩进行了详细的评价。侏罗系大多数属差一中等的烃源岩,八道湾组比三工河组的生烃条件要好些。在一个层序中,凝缩段的有机碳丰度明显高于湖进体系域段和高位体系域段,即凝缩段有利于烃类的生成。侏罗系的干酪根类型主要为III和II₂,少数为II₁。侏罗纪并非是典型的成煤沼泽环境,而主要是淡水的滨浅湖—半深湖—深湖环境,主要形成于弱还原—强氧化的地球化学环境中,具有明显的姥鲛烷优势。侏罗系成熟度很低,且不同地区也有所差异,大多数样品处于低成熟阶段($R_o = 0.50\% \sim 0.80\%$),意味着盆地的侏罗系没有大量生成常规的液态烃类,寻找由侏罗系生成的未熟—低熟油和天然气可能更为现实。

关键词 准噶尔盆地 侏罗系 层序地层 烃源岩 评价

第一作者简介 刘洛夫 男 1958年出生 教授 博士生导师 沉积学 地球化学

中图分类号 TE122.1⁺13 P539.2 文献标识码 A

1 引言

层序地层学已广泛应用于油气储盖层沉积学的研究中,特别是在储层的分布预测和评价方面取得了丰硕的成果。然而,在我国,层序地层学方法应用于烃源岩的分布预测和质量评价则相对较少,这方面的理论研究也相对薄弱。其实,就湖平面升降控制沉积环境、沉积相的特征和分布而言,与控制储层的分布一样,层序地层也对烃源岩的沉积起着极其重要的控制作用。换句话说,高质量的源岩应有规律地分布于层序地层格架中的一些部位。因此,开展这方面的研究,探讨烃源岩分布与层序地层学特征的关系,将有助于直接通过地震资料来确定源岩的分布规律,对大范围高效地研究盆地的油气生成有重要的意义。在此次研究工作中,我们在详细划分准噶尔盆地侏罗系层序地层的基础上,从沉积学角度确定了有利烃源岩的分布层段(图1)。然后,针对这些层段分别在野外剖面和井下岩心采集相关样品,对其进行地球化学和有机岩石学分析研究,对该盆地侏罗系的生油气潜力进行评价。

2 样品采集

本次研究在准噶尔盆地南缘天山地区观察侏罗系地质剖面5条,即郝家沟、三工河、红沟、四棵树和石场剖面(图2),共采侏罗系露头岩样30块,全属下侏罗统八道湾组(J_1b)和三工河组(J_1s),其中 J_1b17 块, J_1s13 块。另外,在伦6、艾参1和三参1井(图2)采到岩心样8块,其中伦6井2块(均为 J_1b)、艾参1井3块(均为 J_1b)、三参1井3块(J_1b2 块, J_1s1 块)。

3 实验

本次研究共作有机碳(CR12碳测定仪)、氯仿沥青“A”(电子天平平衡重)、族组份(AEL-40SM型电子天平平衡重)、饱和烃气相色谱(5890II气相色谱仪)、干酪根显微组分鉴定(德国Leica公司产的DIAPLAN生物显微镜)、镜质组反射率测定(德国OPTON公司产的SMP-03显微光度计)等项分析,对侏罗系岩样进行生油特征评价。

4 结果与讨论

(1) 有机质丰度

①有机碳(TOC)含量

(A)露头样品:准噶尔盆地南缘的侏罗系露头岩样的有机碳含量变化较大,从0.26%到2.66%,多在0.4%~1.0%之间(占分析样品总数的60.0%)。TOC大于1.0%的样品占总数的23.3%。TOC小于0.4%的样品较少,占16.7%,且这5块含量小于0.4%的样品中有3块的含量较接近0.4%。据我国陆相泥质岩烃源岩的TOC评价标准(好烃源岩 $TOC > 1.0\%$;中等烃源岩的为0.1%~0.6%;差烃源岩的为0.6%~0.4%;非烃源岩的 $< 0.4\%$),就TOC丰度一项指标来看,这些侏罗系露头样品大多数应为差一中等的烃源岩,而且还有相当数量的好烃源岩,而非烃源岩的数量较少。5条野外剖面的TOC丰度相差较大,石场、三工河和郝家沟剖面的较高,平均分别为1.06%、0.98%和0.89%;四棵树剖面的居中,平均0.68%;红沟剖面的较低,只有0.54%,表明盆地南缘不同地区的侏罗系

① 新疆油田公司与石油大学的合作项目“准噶尔盆地侏罗系层序地层学和油气成藏规律研究”的部分成果

地层	层序	关键界面及凝缩段特征	体系域	沉积环境
喀拉扎组	VII	VII底界为冲积扇砾岩层		干旱型冲积扇
齐古组	VI	VI底界为大型河流砂体		干旱河流、泛滥平原
头屯河组 (J _{2t})	V	CS含双壳, 叶肢介及含生物遗迹的深灰色泥岩; V底界为区域性不整合, 以紫红色粉砂岩出现为标志	HST	河流-泛滥盆地
			TST	浅湖
			LST	辫状河平原 辫状河
西山窑组 (J _{2x})	IV	CS为灰绿色泥岩; IV底界为曲流河道砂体与泛滥盆地泥炭沼泽相间形成的大型侵蚀面, 砂体呈透镜状, 具有侧向加积、迁移特征	HST	曲流河-泛滥盆地 滨浅湖
			TST	河道-泛滥盆地
三工河组 (J _{1s})	上段 J _{1s1}	CS为灰绿色、灰色页、泥岩, 初次湖泛滥为界面开始	HST	三角洲平原-沼泽 滨浅湖-三角洲前缘
	中段 J _{1s2}		S ₂ ¹	半深湖-深湖
			S ₂ ²	三角洲前缘
	下段 J _{1s3}		II顶界为泛滥平原相紫色、杂色砂泥岩等浅水暴露沉积相。 CS为小型双壳等化石的生物介壳滩层。 本层序以含"Mytilus"动物化石带为标志。 II底界为大型河道砂体与泛滥盆地泥炭沼泽相间形成的大型冲刷和侵蚀面。	HST
八道湾组 (J _{1b})	上段 J _{1b1}	CS在深水环境为钙片页岩或叠锥灰岩, 浅水背景为粘土质泥岩, 其中含有大个体双壳等动植物化石。 I底界为区域性不整合, 发育典型的深切谷, 充填有冲积扇或辫状河砂体	TST	滨浅湖
	中段 J _{1b2}		TST	曲流河和河道间及泛滥盆地
	下段 J _{1b3}		HST	三角洲前缘亚相
			LST	半深湖-深湖 辫状河-沼泽 滨浅湖 冲积扇-辫状河

图1 准噶尔盆地侏罗系野外层序地层划分图

Fig. 1 Division of the Jurassic sequence in Junggar basin

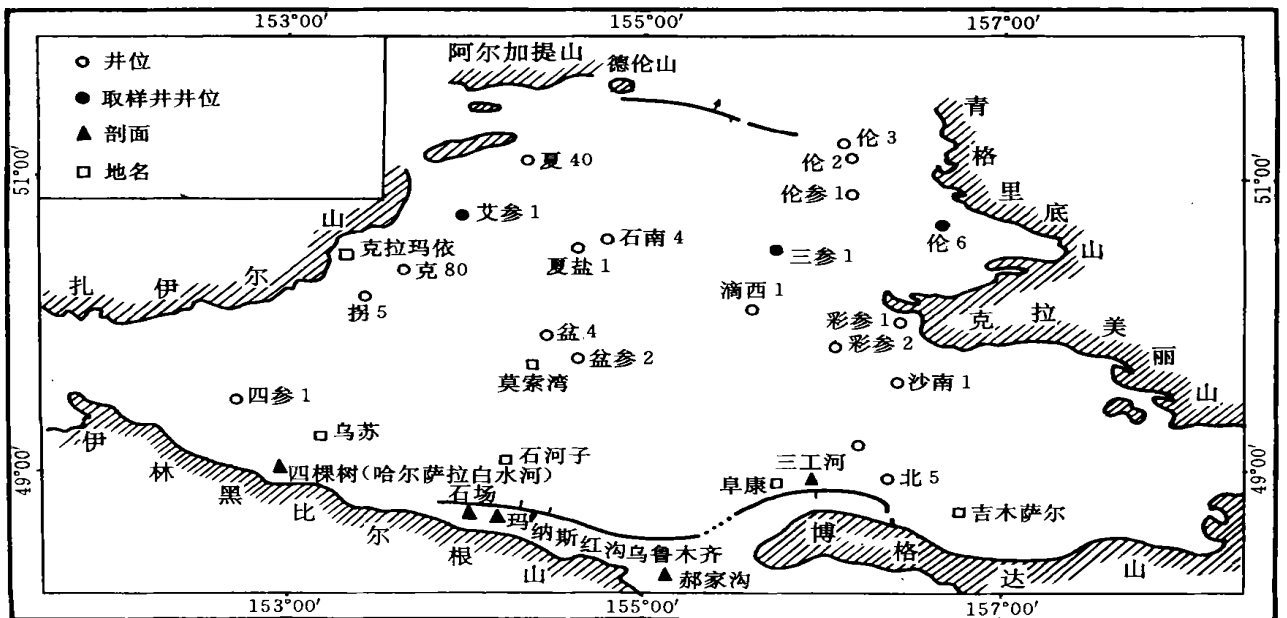


图2 本次研究的采样位置图

Fig. 2 Sampling locations of this study

有机碳含量变化较大。

八道湾组的 TOC 平均含量较高, 17 块样的均值为 0.91%, 三工河组 13 块样的均值为 0.85%。值得指出的是, 八道湾组和三工河组的 TOC 在平均为中等含量的背景上, 均存在有高 TOC 的层段, 如三工河组在郝家沟剖面有 2 块样的 TOC 分别为 2.26% 和 1.04%, 三工河剖面有 1 块样其值为 2.66%; 八道湾组在四棵树剖面有 1 块样 TOC 为 1.26%, 在石场剖面有 3 块样的分别为 1.36%、1.43% 和 1.54%。从野外观察看, 这些样品所在的层厚一般由数米到十多米, 特别是石场和郝家沟剖面, 暗色泥岩累计厚度分别达十多米和几十米。因此, 盆地南缘地区的下侏罗统存在有机质丰度较高的烃源岩层段。

在划分的准噶尔盆地侏罗系露头层序地层图(图 1)上, 本次采集的 30 块露头岩样, 除 3 块外, 均位于三个最大湖泛期形成的凝缩段内, 即八道湾组中部(J_1b^2)的 I-CS 凝缩段、三工河组下部(J_1s_3)的 II-CS 凝缩段和三工河组上部($J_1s_2^1-J_1s_1$)的 III-CS 凝缩段。其余 3 块则位于八道湾组上段(J_1b^1)的顶部, 即 II 的湖进体系域(T-TST)中。其实, 本次的层序地层划分在侏罗系中共划分出 5 个凝缩段, 除前述的三个外, 还有 IV-CS [西山窑组(J_2x)的中部] 和 V-CS [头屯河组(J_2t)的上部]。不过, 从沉积学和石油地质学的角度分析, 后两个凝缩段的生烃条件较差, 故没有采样研究。根据层序地层学原理, 凝缩段(CS)应是烃源岩最发育的层段(沉积水体最深, 沉积速率最低, 分布最广, 有丰富的生物发育), 故成为这次采样的重点。

在 I-CS 凝缩段中, 14 块样的平均 TOC 值比较高, 为 0.98%, 接近好烃源岩的标准。II-CS 凝缩段的 6 块样的 TOC 平均值中等, 为 0.64%, 属中等程度的烃源岩。III-CS 凝缩段的 7 块岩样的 TOC 平均值在所有采样层段中最高, 为 1.03%, 应属好的烃源岩。II-TST 湖进体系域段的 3 块样的 TOC 平均值最低, 为 0.58%, 应属差的烃源岩之列。从这些数据可看出, 所研究的三个凝缩段的平均 TOC 值与各段的沉积环境紧密相关, I-CS 和 III-CS 凝缩段为半深湖—深湖环境沉积(图 1), 平均 TOC 含量较高, 而滨浅湖环境下沉积的 II-CS 凝缩段的 TOC 平均值较低, 曲流河和河道间及泛滥盆地环境下形成的 II-TST 段的平均值则更低。很明显, 较深水的湖泊环境更有利于优质烃源岩的形成。同时也反映出, 凝缩段的 TOC 值比湖进体系域沉积段的确要高, 即是说, 本文用层序地层学方法划分出的凝缩段是符合实际的, 有机质丰度较高, 应是烃源岩发育的层段。

(B) 井下样品: 总体上看, 被分析的 3 口井(伦 6、艾参 1、三参 1 井)的井下侏罗系 8 块样的 TOC 值的变化也很大, 从 0.11% 至 1.01%。TOC 含量大于 1.0% 的样仅 1 块, 占总分析样数的 12.5%; TOC 为 0.4%~1.0% 的 4 块, 占 50%; 而有 3 块样的 TOC 值小于 0.4%, 占 37.5%。从这些数据来看, 与露头侏罗系样品相对比, 井下侏罗系样品的有机碳丰度要偏低。究其原因, 可能是因为这些井下样品不是采自凝缩段, 而是 4 块采自湖进体系域层段, 另外 4 块则采自高位体系域层段, 即它们并非是最大湖泛期形成的沉积物。这再一次证明, 凝缩段确实是有机碳丰度最高、最有利于烃源岩发育的层段。在分析的 3 口井中, 伦 6 和艾参 1 井岩心的 TOC 平均值稍高, 均为

0.66%, 三参 1 井的稍低些, 为 0.45%, 即横向上不同地区的有机碳含量有变化, 可能为陆相地层横向变化较大所致。这 8 块岩心有 7 块采自八道湾组, 1 块采自三工河组。八道湾组的 TOC 平均值为 0.65%, 三工河组的 TOC 仅 0.11% (没达到生油岩的标准)。八道湾组的 TOC 比三工河组的要高, 与露头岩样的情况一致。

井下 8 块样分别采自湖进体系域层段和高位体系域层段。湖进体系域段 4 块样的 TOC 均值为 0.65%, 稍高于高位体系域层段的数值(0.51%), 可能表明水进沉积比最大湖泛面以后的水退沉积更有利于有机碳的聚集。分层序来考虑, I-TST 湖进体系域沉积的 2 块样的 TOC 均值为 1.0%, I-HST 高位体系域的 3 块样的均值为 0.65%; II-TST 湖进体系域的 2 块样的平均值较低, 为 0.30%, 而 II-HST 高位体系域 1 块样的 TOC 值最低, 仅 0.11%。因此, 这些井下岩心也证明了 I 层的 TOC 含量比 II 层的要高, 与露头样品所得的结论相一致。即是说, I 层序不仅其凝缩段的 TOC 比 II 层序凝缩段高, 而且 I 层序的湖进体系域段、高位体系域段的 TOC 值也同样比 II 层序的湖进体系域段、高位体系域段的要高。同时, 也表明了同一层序中湖进体系域段确比高位体系域段的有机碳含量高。

与露头剖面上的 II-TST 湖进体系域段的 3 块样品相比, 井下该段的 TOC 平均值较低, 前者为 0.58%, 后者仅 0.30%。露头样品的 TOC 值较高的原因是因为这 3 块样品均来自 J_1b^1 的顶部, 比较接近 II-CS 凝缩段, 沉积环境较适合于有机质的发育和保存。而井下的 2 块样则离 II-CS 凝缩段较远些, 沉积水体较浅, 故 TOC 值偏低。这进一步说明, 沉积环境及水体深度是控制有机碳含量的重要因素, 凝缩段及其相邻部位比其它层段更有利于有机质的形成和保存, 有利于烃源岩的发育, 越靠近凝缩段可能越好。

② 氯仿沥青“A”(以下简称“A”)含量

(A) 露头样品: 盆地南缘侏罗系露头岩样的“A”含量较小, 且变化较大, 在 0.022%~0.036% 范围内变化。没有样品的“A”值达到 0.06% (即好的烃源岩标准), 达到中等烃源岩标准(0.06%~0.03%) 的样品只有 1 块(为 0.036%), 达到差的烃源岩标准(0.03%~0.015%) 的也只有 1 块(为 0.026%), 而绝大多数样(28 块)的“A”含量均落在非烃源岩的范围, 即小于 0.015%, 占总样品的 93.3%, 与 TOC 值的评价结果相差很远。这些露头样品“A”含量低的原因显然是由于地表样品长期处于风化淋滤状态, 可溶有机质大量散失而造成的。不同剖面的“A”值有差异, 各层组的可溶有机质的散失程度也不相同。

露头样品的“A”值在被研究的三个凝缩段和 II-TST 湖进体系域段中的分布特点与这些样品的 TOC 值在这些层段的分布特点相同, 即 III-CS 凝缩段的“A”平均值最高, 为 0.0131%; I-CS 凝缩段的次之, 为 0.0073%; 然后是 II-CS 凝缩段, 为 0.0060%; 最后就是 II-TST 湖进体系域段的, 仅 0.0029%。TOC 平均值高的层段其“A”平均值也高。

(B) 井下样品: 虽然侏罗系井下样品不是采自凝缩段, 而是来自湖进体系域和高位体系域段, 但是, 由于它们不象露头样品那样经过漫长地质年代的露头风化淋滤, 故“A”保存得较好, 总的来说, 其“A”值比露头样品的要高, 且变化范围没有露头样

品的大。本次分析的8块样中,有4块的“A”值大于0.015%,另有1块的也较接近0.015%,为0.0118%。所分析的3口井中,艾参1和三参1井的岩心的“A”均值相对较高,分别为0.0179%和0.0144%,而伦6井的2块样的均值相对较低,仅0.0087%。7块八道湾组岩心的“A”均值为0.0154%,远高于三工河组的1块样的值(0.0065%),与这些岩心样的TOC平均值在上述二个层组中的分布情况相一致。

4块高位体系域段的岩心样的“A”平均值为0.0168%,高于4块湖进体系域段样品的相应值(0.0118%)。4个体系域段的“A”平均值分别为: I-TST段为0.0135%; I-HST段0.0202%; II-TST段0.0101%; II-HST段0.0065%。可以看到I层序中的岩心样的“A”平均含量高于II层序中的该数值,与这两个层序中的TOC平均值的变化情况相一致,也与这二个层序中的野外露头样品的“A”平均值的变化情况相一致。因此,从“A”含量的角度,也暗示着I层序的生油气条件要比II层序的要好。

与露头的II-TST段样品的“A”平均值(0.0029%)相比,井下II-TST段的2块岩心样的“A”平均值(0.0101%)要高得多,这是井下样品保存条件较好的结果(尽管井下样品不是采自凝缩段)。由此可看出,烃源岩“A”值的高低受后期保存条件影响甚大。

③ 总烃含量

(A) 露头样品: 盆地南缘露头样品的总烃含量变化很大,在10.3~165.3 $\mu\text{g/g}$ 范围内变化。总烃含量大于120 $\mu\text{g/g}$ (中等烃源岩标准)的样品只有1块,在50~120 $\mu\text{g/g}$ 范围内(差烃源岩标准)的8块,占总数的26.7%。其余的21块样(占70%)的总烃含量均在50 $\mu\text{g/g}$ 以下,没有达到烃源岩标准。和“A”的含量一样,露头样品的总烃含量很低,是长期风化使轻组分大量损失的结果,但总体来说又比“A”指标要好些。不同剖面之间的总烃含量相差也较大。

露头样品的总烃含量在被研究的三个凝缩段以及II-TST湖进体系域段中的分布特征与这些样品的TOC平均值和“A”平均值在相应层段的分布特征完全一致,即总烃含量在III-CS凝缩段中最高,平均61.8 $\mu\text{g/g}$; 在I-CS段上次之,平均37.2 $\mu\text{g/g}$; II-CS段的含量居第三,平均28.3 $\mu\text{g/g}$; 总烃含量最低的是II-TST段,平均仅12.7 $\mu\text{g/g}$ 。这些资料从总烃含量的角度也给这些层段的生烃潜力的大小作了排序,最好的是III-CS段,然后是I-CS和II-CS凝缩段;而三套凝缩段均比II-TST湖进体系域段好,与用这些露头样品的TOC均值和“A”均值所得的评价结果相一致。

(B) 井下样品: 井下侏罗系岩心样的总烃含量明显高于露头侏罗系样品的总烃含量,且变化范围没有那么大,为35.4~129.8 $\mu\text{g/g}$ 。总烃含量大于120 $\mu\text{g/g}$ 的样有1块(J_1b , 为129.8 $\mu\text{g/g}$); 在50~120 $\mu\text{g/g}$ 范围内的有4块,占分析样品总数的50%; 其余3块样的则小于50 $\mu\text{g/g}$ (占37.5%)。虽然井下样品的TOC值偏低,但和“A”的含量一样,井下样品的总烃含量比露头样品的要高,这主要是得益于后期的保存条件。在氯仿沥青族组成中,饱和烃+芳烃的含量很高,为46.59%~63.57%,平均55.02%; 在总烃中,饱和烃又远高于芳烃的含量

(饱/芳比均大于2.66,高达13.91); 沥青质的含量较低,0.11%~32.37%,平均11.00%。这种族组份的分布特征与露头样品的一致。不同井的下侏罗统总烃含量有所差异。八道湾组7块样的总烃平均含量为86.2 $\mu\text{g/g}$, 远高于三工河组的1块样的含量(35.4 $\mu\text{g/g}$)。这些特点与井下样品的“A”的分布相一致。

高位体系域的4块样的总烃平均含量为92.65 $\mu\text{g/g}$, 高于湖进体系域4块样的相应值(67.1 $\mu\text{g/g}$)。4个体系域的总烃平均含量分别为: I-TST段为80.3 $\mu\text{g/g}$; I-HST段91.27 $\mu\text{g/g}$; II-TST段为53.9 $\mu\text{g/g}$; II-HST段为35.4 $\mu\text{g/g}$ 。I层序中的岩心样品的总烃平均含量高于II层序中的该数值。从烃含量这一指标,可知I层序的生油条件比II层序的好,与前面所列资料所得的认识相吻合。

与露头的II-TST段的总烃平均值(12.7 $\mu\text{g/g}$)相比,井下的II-TST段岩心样的总烃平均值要高得多,为53.9 $\mu\text{g/g}$ 。样品总烃含量也受后期保存条件的控制。

④ 有机质丰度的综合评价:

(A) 所分析的侏罗系样品大多数落在差、差一中、中的烃源岩范围内(66.7%的露头样品,62.5%的井下样)。也有一些非一差的源岩(13.3%的露头样,12.5%的井下样品)。属中一好烃源岩的样则很少,露头样中有1块,井下样中则没有。除了达到烃源岩标准的样品外,在露头样品中尚有5块属非烃源岩(占总数的16.7%),在井下样中有2块(占25%)。

(B) 不同地质剖面其源岩的评价结果有所不同。石场和郝家沟剖面总的来说相对较好,大多数样品属差、差一中甚至中等的烃源岩,只有极少数样为非烃源岩; 三工河和红沟剖面次之,多数样为差、非一差或非烃源岩,但个别样则较好; 四棵树剖面相对较差,6块样中有一半为非烃源岩。从分析数据得到的这些认识与野外岩性观察所得的认识相符。井下样中艾参1井的相对好些,三参1和伦6井样相对差些,表明侏罗系烃源岩特征横向上变化较大。

(C) 总体上看,八道湾组样品的生烃条件比三工河组的好些。无论是露头样品还是井下岩心样品,八道湾组的TOC均高于三工河组的。对于井下样品,八道湾组的“A”和总烃含量远高于三工河组的,八道湾组这两项数值均为三工河组的2.4倍左右。当然,露头样的三工河组的“A”和总烃含量稍高于八道湾组的,三工河组的这两项参数均为八道湾组的1.5倍左右,可能是由于露头样品的保存条件差异造成的。八道湾组达到生油岩标准的共15块,占总分析样品的88.2%,而三工河组达到生油岩标准的只有6块,占总数的46.2%。

(D) 层序地层中的凝缩段的有机碳丰度明显高于湖进体系域段和高位体系域段,一方面证实了凝缩段有利的生油条件,同时也证实了此次的层序划分符合客观实际。在被研究的三个凝缩段中,露头样品证实,III-CS凝缩段有机质丰度最高,生油条件最好, I-CS段次之, II-CS段较差。井下样品也证实,被研究的三个层序的生烃潜力从大到小的顺序为: III层序→I层序→II层序, I层序的湖进体系域段和高位体系域段的有机碳丰度高于II层序的相应段。这是受沉积环境即水体深浅的控制,深水的半深湖—深湖沉积比浅水的滨浅湖沉积要好。氯仿沥青“A”和总烃含量受后期的保存条件影响。

(2) 有机质类型、生源与沉积环境

由显微组份含量计算出的类型指数 TI 确定的干酪根类型结果表明,被分析的样品的干酪根绝大部分为 II_2 和 III 型(即 TI 小于 40),仅少数为 I 和 II_1 型(表 1)。 III 型的样品有 17 块,占分析样品总数的 44.7%, II_2 型的样品 15 块,占 39.5%, II_1 型的 4 块,占 10.5%, I 型的 1 块,占 2.6%。虽然露头样和井下样都是以 II_2 型和 III 型为主(井下样全为 II_2 型和 III 型),但露头样中有较多 II_2 型甚至有 II_1 型和 I 型。不过,这并不意味着作为边缘相的南缘露头样的有机质类型比盆地内部的井下样品的类型好,露头样类型显示较好的原因可能是由于地表样品遭受细菌作用的结果。不管怎样,从盆地侏罗系含有 II 型干酪根的事实看来,侏罗系煤系地层在总体有利于生气的基础上,也有一定的生成液态烃类的能力,其沉积环境并不是典型的成煤环境(八道湾组、三工河组含大量煤层),而是深湖—半深湖—滨浅湖。

在 5 条剖面中,石场剖面有较多的 II 型样,占 83.3%。郝家沟剖面的有机质类型也较好, II 型样品占 76.9%。而四棵树、三工河和红沟剖面的有机质类型则较差, III 型样品占多数,分别为 66.7%、75.0% 和 100.0%。可以看出,侏罗系的有机质类型在不同地区有差别。井下样品的有机质类型在不同井位也有差别,也反映了有机相的差异,伦 6 井的 2 块样均为 II_2 型,而艾参 1 和三参 1 井的样品均为 III 型。

露头样品中, II -CS 凝缩段有 66.7% 的属 II 型, II -TST 湖进体系域段也有 66.7% 的样属 II 型,而 I -CS 凝缩段和 III -CS 凝缩段的样品中 II 型以上的样品则相对少些,分别为 64.3% 和 42.9%。可以发现,有机质丰度较高的层段(III -CS、 I -CS)其类型比丰度较低的层段(II -CS、 II -TST)稍差,而且凝缩段的有机质类型不一定比湖进体系域段的好。井下岩心中, I 和 II 层序的湖进体系域段均有 50% 的样品的干酪根为 II_2 型,而它们的高位体系域段的则全为 III 型,即从有机质的质量来说,与有机质的数量一样,湖进体系域比高位体系域的要好些。

饱和烃气相色谱图显示,所分析的露头侏罗系样品以后高单峰型为主,占分析样品总数的 66.7%。此外,还有后高双峰型、前高单峰型和前高双峰型的,分别占总样数的 26.7%、3.3% 和 3.3%。后高峰型的共占样品总数的 93.4%,主峰碳为 nC_{23} 、 nC_{25} 和 nC_{27} (以 nC_{25} 为多),反映了侏罗系以高等植物为主要生源。然而,后高双峰型(尽管有些样品的前峰不很明显,可能是由于地表样的细菌作用造成的,即高等植物的木质素或纤维素由细菌改造而成贫氢无定形组分,出现在过渡型母质中)、前高双峰型特别是前高单峰型样品的存在(共占总样数的 33.3%,前峰型的主峰碳为 nC_{17} 、 nC_{18} 或 nC_{19} ,以 nC_{17} 、 nC_{19} 为多),揭示出盆地南缘侏罗系除高等植物生源外,尚有相当数量的低等水生生物有机质的混入,致使该区有一半以上的样品是 II 型干酪根。换句话说,盆地的侏罗系并非典型的成煤沼泽环境的沉积,而是水体相对较深的滨浅湖相甚至是半深—深湖相沉积,可以认为这些地层具有相当的生烃甚至是生成液态烃的潜力。井下样品的色谱峰型特征所显示的侏罗系有机质生源更好。8 块样品多数(6 块)为前高单峰型(主峰碳数为 nC_{15} 或 nC_{16}),有 1 块为前高双峰型(主峰碳数为 nC_{15} 和 nC_{27}),另有 1

块为后高双峰型(主峰碳为 nC_{16} 和 nC_{25})。不难看出,盆地内部的侏罗系的有机质生源比盆地南缘的含有更多的低等水生生物组份。

被分析的露头 and 井下样品的 Pr/Ph 比值变化较大,从 0.554 到 2.828,反映出这些源岩的沉积环境氧化—还原性变化较大,即从还原到强氧化的沉积环境都有。其中 Pr/Ph 比值接近或大于 1.000 的样品有 29 块,占总样品的 76.3%,说明绝大多数样品具有姥鲛烷优势,形成于弱还原—强氧化的地球化学环境中。另外,这些样品的正构烷烃具有极明显的奇数碳优势。相对氧化的环境造成蜡中的正构脂肪酸类、醇类以及植烷酸或植醇的脱羧作用的程度超过了还原作用的程度,从而形成了正构烷烃的奇数碳优势和姥鲛烷对植烷的优势。当然,也有部分样品的 Pr/Ph 值较小(如四棵树剖面大部分样,郝家沟、三工河和石场剖面的少部分样),小于 0.900,有时甚至接近 0.500,具植烷优势,表明这部分样品形成在还原的环境中。

图 3 的底图是根据我国不同沉积环境下形成的烃源岩的 Pr/nC_{17} 和 Ph/nC_{18} 关系划分出的 4 个明显区域, I 区为滨海沼泽相; II 区为淡水湖相; III 区为半咸水—咸水湖相; IV 区为超咸水湖相^①。我们将所分析的 38 块样品的 Pr/nC_{17} 和 Ph/nC_{18} 值点到图上,结果是大部分样品(26 块,占 68.4%)落在 II 区,属淡水湖相沉积。有 10 块样(占 26.3%)落在 I 区,属滨海沼泽相。另有 2 块(5.3%)落在 III 区,且非常靠近 II 区,应为半咸水湖相沉积。由此可看出,盆地侏罗系并非典型的成煤沼泽环境的产物,而主要为淡水湖相沉积物,另有相当一部分为滨海沼泽相产物,沉积水体的盐度不高,主要为淡水,很少半咸水沉积。这

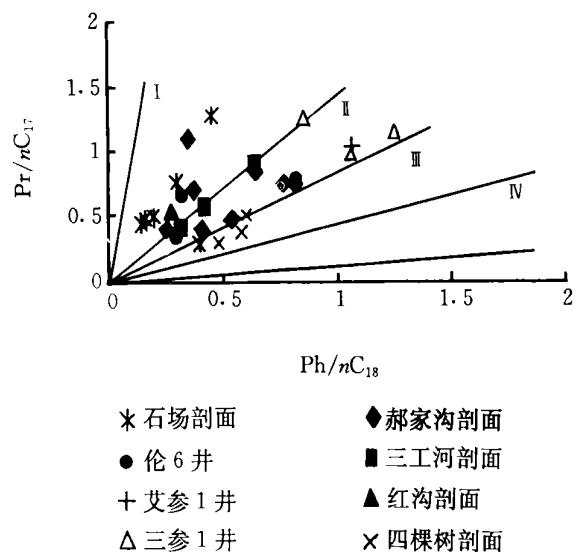


图 3 准噶尔盆地侏罗系不同沉积

环境中烃源岩 Pr/nC_{17} 、 Ph/nC_{18} 关系图

Fig. 3 The correlation diagram of Pr/nC_{17}

and Ph/nC_{18} of the Jurassic source rocks deposited in different environments in the Junggar Basin

① 刘洛夫等.柴达木盆地烃源岩地球化学特征及生烃潜力评价.石油大学(北京).1997

表1 准噶尔盆地南缘露头区和盆内井下的侏罗系岩样干酪根显微组分

Table 1 Macerals of kerogens in the Jurassic outcrop samples along the south Junggar margins and core samples in Junggar Basin

剖面名称或井号	样号	层位	腐泥组 / %	壳质组 / %								镜质组 / %	惰质组 / %	类型指数 TI^*
				树脂体	孢粉体	木栓质体	角质体	菌胞体	腐殖无定形体	壳质碎屑体	总计			
郝家沟	HJ-A	J_1b	40	1	3	1	1	0	0	14	20	38	2	20
郝家沟	HJ-B	J_1b	25	1	1	0	1	0	0	3	6	67	2	-24
郝家沟	HJ-C	J_1s	26	1	2	1	1	0	3	5	13	58	3	-14
郝家沟	HJ-D	J_1s	40	0	1	1	1	0	1	8	12	46	2	10
郝家沟	H-1	J_1s	60	1	2	0	2	0	0	10	15	22	3	48
郝家沟	H-2	J_1b^2	49	1	3	0	1	0	0	13	18	30	3	33
郝家沟	H-3	J_1b^2	50	1	3	0	1	0	0	10	15	32	3	31
郝家沟	H-4	J_1b^2	20	1	1	0	15	0	0	31	48	30	2	20
郝家沟	H-5	J_1b^1	20	1	1	1	1	0	0	31	35	42	3	3
郝家沟	H-6	J_1b^1	33	1	2	0	2	0	0	30	35	30	2	26
郝家沟	H-7	J_1s	60	1	1	0	1	0	0	12	15	23	2	59
郝家沟	H-8	J_1s	10	1	1	0	1	0	0	34	37	50	3	-12
郝家沟	H-9	J_1s	35	1	1	0	1	0	0	24	27	35	3	20
三工河	SG-A	J_1s	25	0	2	0	1	0	2	3	8	65	2	-22
三工河	S-1	J_1b^1	6	1	1	0	1	0	1	2	6	84	4	-58
三工河	S-2	J_1s	35	1	1	0	1	0	0	5	8	54	3	-4
三工河	S-3	J_1s	80	1	2	0	1	0	0	8	12	7	1	80
红沟	HG-A	J_1s	20	0	1	0	0	0	0	1	2	76	2	-38
四棵树	SK-A	J_1b	18	1	4	1	2	0	3	20	31	48	3	-5
四棵树	SK-B	J_1b	15	1	4	0	1	0	2	23	31	52	2	-10
四棵树	SK-C	J_1b	12	0	1	0	1	0	1	10	13	73	2	-38
四棵树	SK-D	J_1b	28	0	4	0	1	0	1	16	22	48	2	1
四棵树	SK-E	J_1s	58	0	2	0	1	0	1	6	10	30	2	38
四棵树	SK-F	J_1s	8	1	2	0	1	0	1	7	12	75	5	-47
石场	Sh-1	J_1b^2	60	1	1	0	1	0	0	10	13	25	2	46
石场	Sh-2	J_1b^2	62	1	1	0	1	0	0	9	12	24	2	48
石场	Sh-3	J_1b^2	7	1	1	0	1	0	1	3	7	82	4	-55
石场	Sh-4	J_1b^2	51	1	1	0	1	0	0	14	17	30	2	35
石场	Sh-5	J_1b^2	52	1	1	0	1	0	0	3	6	40	2	23
石场	Sh-6	J_1s	49	1	1	0	1	0	0	3	6	43	2	18
伦6	L6-1	J_1b	50	0	0	0	0	0	0	2	2	42	6	14
伦6	L6-2	J_1b	50	0	2	0	2	0	0	2	6	42	2	20
艾参1	AC1-1	J_1b^1	20	0	0	0	0	0	0	0	0	76	4	-41
艾参1	AC1-2	J_1b	20	0	0	0	2	0	0	4	6	70	4	-34
艾参1	AC1-3	J_1b	30	0	0	0	2	0	0	2	4	64	2	-18
三参1	SC1-1	J_1s	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
三参1	SC1-2	J_1b	10	3	1	0	2	0	0	3	9	76	5	-47
三参1	SC1-3	J_1b	15	2	1	0	4	0	0	3	10	70	5	-37

* $TI = [腐泥组份百分含量 \times 100 + 壳质组份百分含量 \times 50 + 镜质组份百分含量 \times (-75) + 惰质组份百分含量 \times (-100)] / 100$

些认识与前面的由干酪根类型、饱和烃色谱曲线的峰型特征等得到的结论是一致的。井下多数样品、三工河剖面的样品、郝家沟剖面的多数样品、四棵树剖面的多数样品落在II区,沉积水体应较深;而石场剖面的多数样品和红沟剖面的样品落在I区,沉积水体应较浅(图3)。

侏罗系样品的有机显微组分以镜质组和腐泥组含量高,而壳质组和惰质组较低。在露头样品中,镜质组的含量为7%~84%,平均45%;腐泥组为6%~80%,平均35%;壳质组为2%~48%,平均17%;而惰质组的含量很低,1%~5%,平均仅2.5%(表1)。井下岩心各组份间的分布特征与露头样相似,镜质组含量最高,42%~76%,平均63%;腐泥组次之,10%~50%,平均28%;壳质组为0~10%,平均5%;而惰质组含量也很低,2%~6%,平均4%(表1)。镜质组源于高等植物的木质体或纤维素,含氢很少,对生油贡献不大,能生成部分天然气,是腐殖型干酪根的重要组成部分。腐泥组的原始母质主要为低等水生生物,包括藻类,富含氢,一般H/C原子比大于1.5,是优质母源的重要组成部分。壳质组主要来源于陆生植物的某些组织器官,相对富氢,类脂组的相对含量较高,是混合型母质的重要组成部分,对成烃贡献较大。惰质组是由高等植物木质体以丝碳化作用缓慢氧化而形成,以及森林焚烧遗留下来的碳质体,对生油几乎无贡献,是III型干酪根的重要组成部分^[1]。由此可知,对湖相源岩来说,主要生烃组分应是腐泥组和壳质组,镜质组中的富氢镜质组也具有一定生烃能力。在我们分析的样品中,镜质组的含量很高,与西北地区的柴达木盆地^[2,3]和吐哈盆地的侏罗系有相类似的情况。腐泥组有相当的含量,但不是特别高,且不同样品的差别较大。壳质组的含量很低。因此,准噶尔盆地侏罗系的产烃能力可能受到一定的限制,不能算是优质的烃源岩。而且,惰质组的含量极低,对源岩排烃可能是不利因素,因为惰性组较镜质组具有较低的吸附性和较大的孔隙直径,为烃类运移提供较好的条件^[2]。

(3) 有机质成熟度

所分析的样品的成熟度不高,很少样品的 R_o 值大于0.80%(4块,占总样数的10.8%)。也仅少数样的 R_o 值小于0.50%(10块,占27.01%)。而多数样的 R_o 值在0.50%~0.80%之间(23块,占62.2%)。也就是说,大多数样处于低成熟阶段,仍有少数处于未成熟阶段。虽然有10.8%的样品进入成熟阶段,但最高的 R_o 只有0.88%,并没有达到生烃高峰期,意味着准噶尔盆地侏罗系没有大量生成常规的液态烃类,在此盆地内寻找由侏罗系生成的未熟—低熟油和天然气可能更为现实。

露头剖面样品的 R_o 值(平均0.61%)与井下样品的 R_o (平均为0.63%)总体上相近。但是四棵树、红沟剖面的成熟度相对较高, R_o 均值分别为0.83%和0.77%,而石场、三工河和郝家沟剖面的成熟度则相对低些, R_o 均值分别为0.60%、0.59%和0.50%。侏罗系在盆地中的不同地区的成熟度是有差别的。

本次研究的38块样的正烷烃均有明显的奇数碳优势,主峰碳主要为 nC_{15} 、 nC_{17} 、 nC_{19} 、 nC_{23} 、 nC_{25} 和 nC_{27} 。CPI和OEP值基本上都大于1.20,平均分别为1.75和1.59。如此高的CPI和OEP值,充分说明了侏罗系有机质成熟度很低。正烷烃的

轻重比 $\sum C_{21-}/\sum C_{22+}$ 在露头样与井下样间存在很大的差异。露头样除1块外其余样品的 $\sum C_{21-}/\sum C_{22+}$ 比值均小于1.000,均值0.529。如此低的轻重比,说明有机质成熟度很低。而井下样品的 $\sum C_{21-}/\sum C_{22+}$ 值则很高,且各样品间相差也很大,在0.765~39.821间变化,均值11.366,远高于露头样的该比值。从前述的由 R_o 反映的侏罗系成熟度来看,露头样与井下样的成熟度总体上相近。而且,在每一口井的岩心中,深度较大的样品的轻重比反而较小,而且小很多。因此,井下样品的较大的轻重比并非是成熟作用造成的,而可能是盆地内部的侏罗系的有机生源中有较多的低等水生生物输入的结果,这与饱和烃色谱曲线的峰型特征所反映的情况相一致。

5 几点认识

(1) 准噶尔盆地侏罗系样品大多属差—中等的烃源岩,也有一部分属非烃源岩,好的烃源岩则很少。不同地质剖面及不同井的侏罗系烃源岩的质量有差别,横向变化大,是陆相湖盆有机质分布的特征之一。总体上看,八道湾组比三工河组的生烃条件要好些。

(2) 在一个层序中,凝缩段的有机碳丰度明显高于湖进体系域段和高位体系域段,即凝缩段有利于烃类的生成。在被研究的三个凝缩段中,III-CS凝缩段有机质丰度最高,生油条件最好;I-CS段次之;II-CS段较差。井下样品资料证实,I层序的湖进体系域段和高位体系域段的丰度也高于II层序的相应段的丰度。因此,被研究的三个层序的生烃潜力的大小顺序应为:III层序→I层序→II层序。烃源岩的生烃条件的好坏受控于沉积环境的水深,水深较大的半深湖—深湖相沉积(III-CS、I-CS)比水体较浅的滨浅湖相沉积(II-CS)要好,而滨浅湖相沉积又比河流相、泛滥盆地、三角洲、沼泽等的沉积(如湖进体系域段和高位体系域段)要好。被分析样品的“A”和总烃含量明显受后期保存条件的控制。

(3) 侏罗系干酪根主要为III和II₂型,少数为II₁型,很少有I型的。八道湾组与三工河组的类型相似。盆地内不同地区侏罗系的有机相有差异。有机质丰度高的层段其类型比丰度低的层段稍差;凝缩段的类型不一定比湖进体系域段的好。准噶尔盆地侏罗纪并非典型的成煤沼泽环境,而主要是淡水的滨浅湖—半深湖—深湖环境,横向上环境的变化较大。侏罗系除以高等植物为主要生源外,还有相当数量的低等水生生物有机质输入。尽管盆地边缘的样品可能遭受过较强的细菌作用,但总体来说盆地内部的有机质生源要好些,有更多的低等湖生生物。侏罗系总体上应有利于生气,但也有相当的生成未—低熟液体烃的能力。不过,就有机显微组分来看,侏罗系不能算是优质的烃源岩。而且,惰质组含量特别低,未—低熟烃类从这些源岩中排出也可能比较困难。

(4) 侏罗系的沉积环境的氧化—还原程度变化较大,绝大多数样品应形成于弱还原—强氧化的地球化学环境中,有明显的姥鲛烷优势。只有少部分样品形成于还原环境中,具植烷优势。即是说,侏罗系沉积的地化环境对成烃来说不是最佳的。

(5) 侏罗系成熟度很低,且不同地区有所差异。大多数

样品处于低成熟阶段($R_o = 0.50\% \sim 0.80\%$), 还有一些处于未成熟阶段($R_o < 0.50\%$)。虽然少数样品进入了成熟阶段, 但 R_o 值最高不超过 0.88% , 并没有达到生烃高峰期, 意味着盆地的侏罗系没有大量生成常规的液态烃, 在准噶尔盆地寻找由侏罗系生成的未熟—低熟油和天然气可能更为现实。

参考文献(References)

- 1 陈丽华, 许怀先, 万玉金. 生储盖层评价[M]. 北京: 石油工业出版社, 1999[Chen Lihua, Xu Huaixian, Wan Yujin. Evaluation of Source Rock, Reservoir Bed and Cap Rock[M]. Beijing (in Chinese): Petroleum Industry Press, 1999]
- 2 刘洛夫, 妥进才, 于会娟, 陈践发, 赵磊. 柴达木盆地北部地区侏罗系

烃源岩的地球化学特征[J]. 石油大学学报(自然科学版), 2000, 24(1): 64~68[Liu Luofu, Tuo Jincan, Yu Huijuan, Chen Jianfa, Zhao Lei. Geochemistry of the Jurassic Source Rocks in the Northern Areas of Qaidam Basin in China, Journal of the University of Petroleum[J]. China (Edition of Natural Science), 2000, 24(1) (Sum. No. 117): 64~68]

- 3 于会娟, 妥进才, 刘洛夫, 陈践发, 赵磊. 柴达木盆地东部地区侏罗系烃源岩地球化学特征及生烃潜力评价[J]. 沉积学报, 2000, 18(1): 132~138[Yu Huijuan, Tuo Jincan, Liu Luofu, Chen Jianfa, Zhao Lei. Geochemical Characteristics and Evaluation on Hydrocarbon Generation Potentials of Source Rocks in Jurassic, Eastern Qaidam Basin[J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2000, 18(1): 132~138]

Evaluation on Source Rocks in the Jurassic Sequence Stratigraphic Frameworks of the Junggar Basin, China

LIU Luo-fu¹ KANG Yong-shang¹ QI Xue-feng² TANG Yong² XIONG Zheng-xiang³

¹(Key Laboratory for Hydrocarbon Accumulation in Petroleum University, Ministry of Education, Changping, Beijing 102249)

²(Institute of Exploration and Development, Xinjiang Petroleum

Administrative Bureau, Karamay, Xinjiang 834000)

³(Company of Well-logging, Dagang Bureau of Petroleum, Tianjin 300280)

Abstract The source rocks in the Jurassic sequence stratigraphic frameworks of the Junggar basin were evaluated in detail in this paper. The results showed that the most Jurassic samples belong to poor-medium source rocks and the hydrocarbon generation conditions of Badaowan Formation are better than those of Sangonghe Formation. In a sequence the organic carbon abundance of condensed section is obviously higher than those of lacustrine transgressive system tract interval and high stand system tract interval, i. e., the condensed section is more favorable for hydrocarbon generation. The kerogen of Jurassic is mainly of type III and II₂, with small amount of II₁. The Jurassic was not deposited in a typical coal-forming marsh environment, but mainly in fresh-water lacustrine shore-shallow lacustrine-semi-deep lacustrine-deep lacustrine ones with weakly reducing-strongly oxidizing geochemical conditions and evident pristane predominance. The thermal maturity of the Jurassic is low and a little different in different areas, and most samples are at lower-mature stage presently ($R_o = 0.50\% \sim 0.80\%$), indicating that there is no large amount of normal liquid hydrocarbon generated from the Jurassic in the Basin. It is more realistic to seek for immature to lower-mature oil and gas generated from the Jurassic in the Basin.

Key words Junggar Basin, Jurassic, sequence stratigraphy, source rock, evaluation