

收稿日期: 2000- 09- 05

量在 1.0% 以上的样品占 78%。沙河街组 4 段 59 个样品的有机碳分布范围为 0.89%~16.2%，平均值为 2.37%，有机碳低于 1.0% 的样品很少。沙河街组 3、4 段生油岩氯仿沥青“A”的平均含量分别为 765×10^{-6} 和 $1\,335 \times 10^{-6}$ ，按湖相生油岩的评价标准均属于优质烃源岩。这些丰富优质的有机质是形成高蜡油的物质基础。

2.2 先体物质

传统观点认为原油中的蜡主要由植物中的角质体提供^[3]，近年来高蜡油源岩的有机岩石学研究以及海相原油中沉淀蜡的高温气相色谱分析证实低等水生生物和藻类也能提供丰富的蜡^[4~5]。

大民屯凹陷 43 块源岩的全岩光片鉴定结果显示沙河街组 3、4 段样品的显微组成并无很大差别(表 1)，类脂组含量分别为 25.1% 和 28.7%，壳质

组含量非常接近，分别为 27.2% 和 27.8%，沙河街组 3 段镜质组含量略高，平均为 42.5%，沙河街组 4 段的平均值为 36.5%。有机岩石学的分析结果并不能区分高蜡油的母岩是沙河街组 4 段还是沙河街组 3 段，两套地层都有形成高蜡油的母源物质。岩石抽提物的高温气相色谱分析结果表明，以高等植物为主的源岩和以低等水生生物为主的源岩都能形成蜡，但蜡的含量和组成不同，高等植物来源的源岩抽提物中蜡的含量较低，但高分子量化合物的相对含量较高，而低等水生生物来源的源岩抽提物中蜡的含量较高，但以中低分子量的蜡为主^[6]，这表明陆源植物和低等水生生物均是原油中蜡的先体物质。Wang 等^[5]通过对中国典型高蜡油盆地源岩的有机岩石学研究后，同样发现以无定形为主的 I 型干酪根也是形成高蜡油的重要母源。

表 1 大民屯凹陷源岩显微组成与元素分析结果

Table 1 Maceral composition and elemental analysis result of source rocks in Damintun Sag

井号	层位	显微组成及类型				元素组成及类型			
		类脂组/%	壳质组/%	镜质组/%	惰质组/%	类型指数	类型	H/C	类型
法 24	S3	23.4	35.0	40.2	1.4	9.4	IIb	1.29	IIa
沈 181	S3	23.2	21.8	54.6	0.5	-7.4	III	1.15	IIb
沈 147	S3	23.2	31.8	40.1	4.9	4.1	IIb	1.35	IIa
安 109	S3	43.0	16.4	38.2	2.4	20.2	IIb	1.51	I
静 52	S3	13.2	31.4	49.1	6.3	-14.2	III	1.06	IIb
哈 12	S3	33.3	21.9	40.2	4.7	9.3	IIb	1.21	IIa
沈 162	S3	32.8	26.2	38.8	2.2	14.5	IIb	0.97	III
安 94	S4	17.5	29.4	36.0	17.1	-11.9	III	1.15	IIb
胜 20	S4	38.5	16.8	43.3	1.5	12.9	IIb	1.56	I

2.3 沉积环境

大民屯凹陷高蜡油的 Pr/Ph 平均值为 1.93，最高达 3.95，而正常原油的 Pr/Ph 平均值为 1.60，最大值为 1.95，这表明高蜡油形成环境的氧化程度高于正常油。源岩分析结果显示，沙河街组 3 段 Pr/Ph 平均值为 1.84，沙河街组 4 段平均值为 2.99，沙河街组 3 段源岩以 Pr/Ph < 2.0 为主，沙河街组 4 段则以 Pr/Ph > 2.0 居多，表明沙河街组 4 段沉积环境比沙河街组 3 段的氧化程度略高，沙河街组 4 段更容易形成高蜡油*。

二苯并噻吩与菲的比值 (DBT/P) 是 Hughes 等^[7]最近提出的一个沉积环境参数，在强还原环境尤其是海相碳酸盐地层中，这一比值在 1.0 以上，而湖相沉积中这个比值在 1.0 以下。大民屯凹陷高蜡油除安 95 井该比值为 1.1 外，其余样品的比

值大都在 0.5 以下，正常原油则大都在 0.5 以上，并有两个样品的比值大于 1.2。源岩样品的 DBT/P 比值都在 1.0 以下，表明大民屯凹陷源岩整体上形成于淡水湖相的弱氧化环境，高蜡油母岩的氧化程度比正常原油略高，但这种差异在沙河街组 3 段和 4 段源岩中体现得并不明显(表 2)。

2.4 微生物改造

微生物改造能使腐殖型有机质中类脂化合物相对富集，有利于高蜡油的形成^[3]，但由于微生物活动主要发生在成岩作用阶段，留下的直接证据并不多，所以其成烃机理在很大程度上是一种推测，有机岩石学和有机地球化学的结合能为微生物改造提供佐证。

大民屯凹陷源岩显微组分的镜鉴结果表明其有机质类型以 II_b 型和 II 型为主，而干酪根元素分析的结果却说明有机质类型以 II_a 型居多，并有少量 I 型干酪根。两种分类存在系统性的差别(表

* 黄海平, 卢松年. 大民屯凹陷高蜡油的形成分布及运聚规律研究. 1997

1), 这可能是原始有机质遭受微生物改造的一个证据。显微组分的镜下鉴定主要根据其结构和形态, 而元素分析获得的信息是有机质富氢程度。研究表明微生物改造能使源岩中的氢相对富集, 从而改

善其成烃潜能^[3]。大民屯凹陷元素分析反映的有机质类型好于镜鉴结果, 表明源岩中含氢程度有所增加, 推测是微生物改造所起的作用。

微生物改造在高蜡油的分子组成上也有反映,

表 2 大民屯凹陷原油和生油岩生物标志物组成特征

Table 2 Biomarker composition of crude oils and source rocks in Damintun Sag

井号	深度/m	层位	样品类型	Pr/Ph	Ts/Tm	A	B	C	D	E
安 1	2 996~ 3 120	AmZ	高蜡油	2.63	0.79	12.50	0.46	0.35	0.22	0.32
安 95	2 678~ 2 724	S4	高蜡油	2.21	0.86	15.18	0.50	0.43	0.21	0.15
静 8	2 059~ 2 171.8	S3	高蜡油	3.60	2.07	33.33	0.38	0.35	0.21	0.56
前 8	1 828~ 1 880	S3	高蜡油	3.43	1.78	8.32	0.54	0.41	0.22	0.34
胜 10	2 774~ 3 080	AnZ	高蜡油	1.80	0.92	16.67	0.41	0.30	0.26	0.10
沈 119	2 886.0	S4	高蜡油	3.54	0.61	15.75	0.42	0.41	0.29	0.27
胜 15	1 650.6~ 1 661.4	S3	降解油	—	1.92	6.61	0.52	0.39	0.42	0.57
法 1	2 162~ 2 229.8	S3	正常油	1.50	1.34	5.56	0.56	0.42	0.43	0.52
岗 12	1 979~ 2 041	S3	正常油	1.56	1.17	5.56	0.51	0.45	0.39	0.32
沈 67	1 764.8~ 1 867.2	S3	正常油	1.72	1.07	4.35	0.49	0.43	0.37	0.65
沈 135	2 947.5	S3	泥岩	4.93	0.12	25.00	0.36	0.33	0.21	0.27
静 23	2 925.0	S3	泥岩	4.02	0.21	8.10	0.37	0.24	0.32	0.38
静 22	2 824.7	S4	泥岩	3.19	0.78	11.21	0.43	0.25	0.24	0.83

注: A—总藿烷/总甾烷; B—C₂₉甾 20S/20(S+R); C—C₂₉甾 ββ(αα+ββ); D—重排锥满烷/(锥满烷+重排满烷); E—二苯并噻吩

主要体现为含有大量来源于细菌先体的生物标志物。藿/甾比可以用来反映真核生物(主要是藻类和高等植物)和原核生物(细菌)对源岩的贡献。大多数湖相泥岩藿烷比甾烷丰度略高, 藿/甾比在 1~5 之间。高蜡油中甾烷的含量非常低, 藿/甾比多在 7 以上, 最高可达 33。正常原油的藿/甾比在 5~7 之间, 明显低于高蜡油(表 2)。高蜡油中的这些藿烷主要由细菌残体提供, 表明细菌在高蜡油的形成中确实发挥了重要作用。二环倍半萜中的锥满烷与藿烷有相同的成因, 高含量的锥满烷系列是微生物来源的一个标志^[8]。大民屯高蜡油中含有丰富的 C₁₄—C₁₆二环倍半萜, 主要来源于普遍存在的菌类的 8β(H) 锥满烷, 8β(H) 升锥满烷和它们的重排物(图 2), 表明微生物在大民屯高蜡油形成过程中确实发挥了重要作用。

2.5 热演化程度

渤海湾盆地有许多生油凹陷与大民屯凹陷存在相似生态和沉积环境, 为什么唯独大民屯凹陷富集高蜡油, 这是一个非常值得探讨的问题。Tegelaar 等^[9]对从现代植物中分离出的生物聚合物(角质蜡)进行了热模拟实验, 目的在于说明植物中不溶于水的生物聚合物可能是高蜡油中正烷烃的主要来源。模拟结果显示在较低的温度时热解产物与高蜡油的正烷烃分布相一致, 温度增高时, 模拟产物与高蜡油的差异增大, 表明高蜡油形成于较低

的热演化阶段。

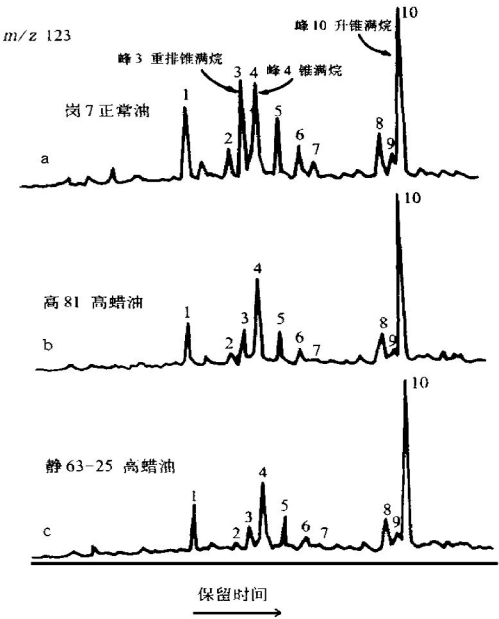


图 2 大民屯原油中倍半萜的分布特征

Fig. 2 Distribution pattern of sesquiterpane from crude oils of Damintun Sag

大民屯凹陷的沉积构造史表明, 高蜡油集中分布的凹陷北部长处于较低的热演化阶段, 沙河街组 4 段生油岩的最大埋深在 3 500 m 以上, 而主要为正常油分布的凹陷南部生油岩的热演化程度较高, 沙河街组 3 段生油岩的最大埋深已超过 4 000 m, 仅在凹陷边缘及靠近静安堡断裂构造带

的部位成熟度较低。凹陷北部的生油岩, 长期处于生油门限至生油高峰之前的较低演化阶段, 形成了大量的高蜡油, 而凹陷南部地区生油岩在生油门限与生油高峰之间持续时间较短, 源岩很快达到生油高峰, 早期生成的部分高蜡油受后期热力作用的影响, 裂解形成低分子量正烷烃, 这是造成凹陷中部高蜡油与正常油并存, 且高蜡油主要分布在凹陷边缘地区, 而凹陷北部全为高蜡油分布的根本原因。

大民屯凹陷高蜡油与正常原油的生物标志物成熟度参数同样显示出明显差异(表2), 8个高蜡油中除两个样品的Ts/Tm比值略高外, 其余样品的比值均在1.0以下, 而正常原油的Ts/Tm比值都在1.0以上, 这表明正常油的成熟度总体上高于高蜡油。高蜡油与正常原油的二环倍半萜分布有明显差异(图2), 主要表现在重排锥满烷(峰3)与锥满烷(峰4)的相对含量上, 重排锥满烷的稳定性较高, 随成熟增加锥满烷向重排锥满烷转化, 二者的比值是一个良好的成熟度参数[$RDI = \text{重排锥满烷} / (\text{锥满烷} + \text{重排锥满烷})$]^[8]。高蜡油的这一比值在0.20~0.35之间, 平均为0.25, 而正常油的比值在0.37~0.46之间, 平均为0.42, 表明正常原油的成熟度高于高蜡油。Huang等^[10]对大民屯凹陷高蜡油中二环倍半萜的分析获得了相同的结果。

低演化阶段有机质的演化除表现为脱官能团以外, 断链的几率较小, 容易形成高碳数烃类; 在高温条件下, 这些高分子量化合物容易裂解形成低分子量化合物, 可见有机质长期处于较低的热演化阶段是大民屯凹陷高蜡油得以保存的关键。

类似的情形在黄骅坳陷南部沧东、南皮凹陷同样存在, 裂谷发育初期的孔店组主要分布在这两个凹陷, 随后沉积中心向北转移, 导致黄骅南区孔店组生油岩长期处于较低的演化阶段。这两个凹陷原油的含蜡量为黄骅坳陷之最, 通常在25%以上, 最高达37%, 而这两个凹陷也是黄骅坳陷低成熟、

未成熟油的主要分布区。值得注意的是孔店组生油岩以I型干酪根为主, 再次证实陆源高等植物不是高蜡油形成的主要控制因素。

3 结论

高蜡油的形成有独特的地质地球化学背景, 陆源高等植物的影响不是高蜡油形成的主要控制因素, 陆源高等植物和低等水生生物都赋存有高蜡油的先体物质, 丰富的有机质含量是高蜡油形成的物质基础, 弱氧化沉积环境和微生物对沉积有机质的改造是高蜡油先体物质富集的原因, 而源岩长期处于生油门限至生油高峰之间较低的热演化阶段是高蜡油得以富集和保存的关键。

参 考 文 献

- 葛泰生, 陈义贤. 中国石油地质志, 卷三, 辽河油田[M]. 北京: 石油工业出版社, 1993
- 郑容植, 王桂珍. 大民屯凹陷高凝油低凝油特征及其分布规律[J]. 石油实验地质, 1988, 10(3): 256~267
- Tissot B P, Welte D H. Petroleum formation and occurrence (2nd ed) [M]. New York: Springer-Verlag, 1984
- Thanh N X, Hsieh M, Philp R P. Waxes and asphaltenes in crude oils [J]. Org Geochem, 1999, 30: 119~132
- Wang F Y, He P, Hao S S. Origin of Chinese lacustrine high-wax oils and organic petrology of its source rocks [J]. AAPG Bull, 1997, 81: 1567
- 黄海平. 用高温气相色谱分析原油和岩石抽提物中的高分子量烃类[J]. 石油实验地质, 2000, 22(3): 280~284
- Hughes W B, Holba A G, Dzou L I P. The ratios of dibenzothiophene to phenanthrene and pristane to phytane as indicators of depositional environment and lithology of petroleum source rocks [J]. Geochimica et Cosmochimica Acta, 1995, 59: 3581~3598
- Alexander R, Noble R A, Kagi R I. Fossil resin biomarkers and their application in oil to source rock correlation, Gippsland Basin, Australia [J]. APEA J, 1987, 27: 63~72
- Tegelaar E W, Mattheizing R M, Jansen J B H, et al. Possible origin of n-alkanes in high wax crude oils [J]. Nature, 1989, 342: 529~531
- Huang Y, Geng A, Fu J, et al. The investigation of characteristics of biomarker assemblages and their precursors in Damintun ultra-high wax oils and related source rocks [J]. Org Geochem, 1992, 19: 29~39

FORMATION CONDITION OF HIGH WAX OILS IN DAMINTUN SAG

Huang Haiping Li Hong Ma Kanchuang He Huiqiang

(Department of Energy Resource Geology, China University of Geosciences, Beijing)

Abstract: Damintun Sag is situated in the northeast corner of Bohai Bay Basin. The middle and lower parts of the Sha-3 member and buried hill of the Tertiary System in the north part of the sag preserve large amount of high wax crude oil;

(下转第71页)

条带状展布,具有低的宽厚比值及良好纵向延伸性和连通性;

(4) 三角洲前缘砂体相对不发育,以水下分流河道砂体为骨架,河口坝不发育,单层厚度薄,泥质含量高,泥质夹层较多,底冲刷强烈,纵向延伸较远,且水体浅,三角洲生长速度快,以平原相为主;

(5) 沉积物粒度普遍较粗,含砾粗中粒砂岩、中-细粒岩屑砂岩是分流河道、水下分流河道的主要岩石类型。

4 勘探建议

针对上述两类三角洲的不同沉积特征和砂体

展布规律,结合鄂尔多斯盆地具体的地质构造情况和岩石物性特征分析,其勘探目标和方向是,对于晚石炭世的海相三角洲,三角洲前缘水下分流河道砂体是有利的目标,而对于早二叠世的陆相湖泊浅水三角洲,三角洲平原相带中进积呈透镜状或带状分布的粗中粒分流河道砂体是有利勘探方向。可喜的是,近期的钻探结果充分证明这种提议是正确的,也间接证实了这两类三角洲确实存在着差异。

参 考 文 献

- 1 何治亮. 湖盆三角洲分类的初步探讨[J]. 石油与天然气地质, 1986, 7(4): 358~402

DISCUSSION ON SEDIMENTATION MECHANISM OF TWO KIND DELTAS FROM PERMIAN-CARBONIFEROUS OF CENTRAL ORDOS BASIN

He Yizhong Chen Hongde Zhang Jinqun

(State Key Laboratory of Oil and Gas Reservoir Geology and Exploitation, Chengdu College of Technology, Chengdu, Sichuan)

Abstract: Two Kinds of deltas— meandering stream-shallow sea delta and braided stream-shallow lake delta— developed in Permian-carboniferous Systems in Ordos Basin. The deltas differ from typical deltaic model. Deltaic front subaqueous distributary channel sand bodies and deltaic plain distributary channel sand bodies are the skeleton sand bodies of meandering stream-shallow sea delta and braided stream-shallow lake delta respectively but not traditional deltaic front river mouth sand bars. The two kinds of deltas are controlled by river types, ground slope, water depth, water density differentia, river sedimentation and lake dispersion. The first kind of delta mainly developed in meandering stream water system; the second kind of delta developed in braided river water system. Two depositional models were built according to their characteristics. It is pointed out that the subaqueous distributary channel sand bodies of the first type of delta and the lensing and zonal distributary channel sand bodies of the second type are favourable oil and gas exploration targets.

Key words: Ordos Basin; meandering stream-shallow sea delta; braided river-shallow lake delta; sedimental feature; mechanism; depositional model

(上接第67页)

the central part of the sag contains mixed oil and the south part contains normal oil. Sha-3~ Sha-4 members are fine source rocks with 2.16% average organic carbon contents. Abundant organic matter, including higher plant and lower hydrobionts in the source rocks, increased the wax contents. The ratio between dibenzothiophene and phenanthrene is less than 1.0, suggesting that the whole Shahejie Formation was formed in weak oxidation environment of fresh water. Besides, the north part had been long in the low maturation stage. This weak oxidation-low maturation environment is the key factor for the high wax oil to be preserved. The high contents of trimane in the oil indicate that microbial action made some contribution for the formation of the high wax oil.

Key words: high wax oil; terrestrial organic matter; microbial reworking; oxidation-reduction environment; maturation; Damintun sag