

济阳坳陷孤南洼陷低熟油成藏特征

陈建渝¹, 牛瑞卿¹, 李水福¹, 田波², 魏世平²

(1. 中国地质大学石油系, 湖北武汉 430074; 2. 胜利石油公司孤岛采油厂, 山东东营 257000)

摘要: 孤南洼陷具有丰富的低熟油资源. 低熟油中的生物标志物以高伽玛蜡烷含量、植烷优势、低成熟度为特征. 下第三系沙一段是低熟油的源岩, 其岩性为富含藻类有机质的油页岩、油泥岩. 低熟油在平面上环生烃洼陷分布, 剖面上层位集中在沙二—沙一段. 断层控制了低熟油的运移距离和聚集层位. 低熟油的成藏模式有3种, 即自源侧向运移聚集成藏、自源断层垂向运聚成藏和混合运聚成藏模式. 孤南洼陷低熟油在盆地内部以侧向运移、侧向充注入岩性一断块圈闭为主, 形成单源油藏. 在断裂带原油是以垂向运移及垂向充注断块圈闭为主, 形成混源油藏.

关键词: 低熟油; 成藏模式; 运移; 充注; 孤南洼陷.

中图分类号: P618.130

文献标识码: A

文章编号: 1000-2383(2002)04-0435-06

作者简介: 陈建渝(1944—), 女, 教授, 长期从事石油地质、有机地球化学和油藏工程领域的教学和科研工作. E-mail: jychen@cug.edu.cn

低熟油油气资源的研究具有重要的理论意义和勘探价值^[1]. 济阳坳陷是在我国陆相盆地中发现低熟油最早, 研究工作进行得最充分的含油气区. 1982年史继扬首先报道了济阳坳陷沾化凹陷义18井中的低熟油. 以后, 相继在济阳坳陷牛庄洼陷、沾化凹陷、惠民凹陷发现了低熟油, 并对其成因进行了深入地探讨^[2~4]. 然而, 大部分工作局限于理论研究, 涉及未熟—低熟油藏的形成规律并用于指导勘探的研究不多. 本研究在对孤南地区大量油样进行有机地化综合分析的基础上, 讨论了低熟油的运移、聚集和分布规律, 为评价低熟油的贡献提供了依据.

孤南洼陷位于济阳坳陷沾化凹陷东部, 是一个第三纪的沉积盆地. 构造上为北断南超的箕状断陷, 面积仅为 220 km². 其北—西北经孤南断裂带与孤岛凸起相接, 南部为垦利断裂带, 东部以垦东断裂与垦东—青坨子凸起毗连(图1). 地层包括下第三系的沙河街组和东营组, 上第三系的馆陶组和明化镇组及第四系. 下第三系经历了两次初始充填—湖扩展—湖萎缩的幕式发展过程. 在湖盆扩展期沉积的沙三段和沙一段是本区主要的生油层系. 沙二段为本区主要的含油层系.

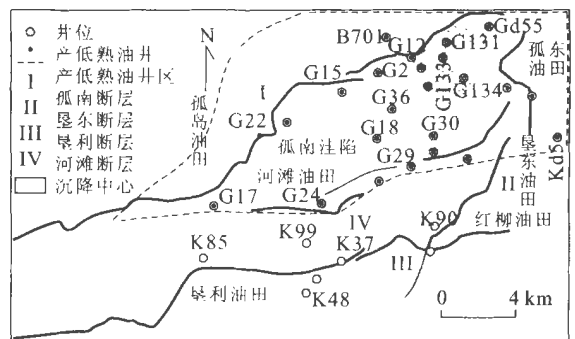


图1 孤南洼陷断裂及其低熟油分布

Fig.1 Distribution of faults and oil fields in Guna sag

1 孤南洼陷低熟油的性质

孤南洼陷低熟油原油密度中等为 0.870 7~0.880 8 g/cm³, 含蜡量高, 凝固点高, 达 34.50~38.70 °C; 含硫量低(0.31%~0.49%) (表1). 代表性的河滩油田各层组原油性质的差异见表2.

低熟油饱和烃含量为 40%~57%, 芳烃含量 7%~18%, 非烃为 19%~35%, 沥青质含量为 3%~18%. 与成熟油比较, 低熟油的饱和烃和芳烃含量低, 而非烃与沥青质含量高, 并具有高饱芳比和高非沥比的特征, 反映了成油的有机母质较低的转化程度. 低熟油的饱和烃气相色谱主峰碳数为 22, 23;

表 1 孤南洼陷各层组原油主要性质参数

Table 1 Main properties of crude oils from producing layers in Gunan sag

层组	东营组	沙一段	沙二段	沙三段	基岩
密度/(g·cm ⁻³)	0.870 7	0.880 8	0.876 5	0.854 8	0.854 9
粘度/(MPa·s)	29.60	43.60	26.00	9.15	7.38
凝固点/°C	34.50	38.70	35.90	29.70	29.50
含硫量/%	0.31	0.38	0.49	0.18	0.06
类型	低熟油	低熟油	低熟油	成熟油	成熟油

表 2 孤南洼陷河滩油田各层组原油主要性质参数

Table 2 Main properties of crude oils from layers in Hetan oil field in Gunan sag

层位	深度/m	油气比/%	密度/(g·cm ⁻³)	粘度/(MPa·s)
S ₂ ^f	2 080	9.17	0.868 8	19.90
S ₂ ^f	2 120	9.90	0.872 2	7.46
S ₃	2 200	20.00	0.856 6	6.31

层位	凝固点/°C	含硫量/%	含蜡量/%	类型
S ₂ ^f	42	0.60	34.22	低熟油
S ₂ ^f	41	0.64	32.00	
S ₃	28	0.08	24.12	成熟油

C₂₁-/C₂₂+比值为 0.5~0.8; OEP 值为 1.06~1.14; Pr/NC17 和 Ph/NC18 均低于 1, 分别为 0.4~0.6 和 0.4~0.8; 其 Pr/Ph 比值为 0.5~0.8, 具有明显的植烷优势.

2 低熟油的成因

孤南洼陷中沙一段油页岩和油泥岩形成于高矿化度的浅一半深水湖泊, 属于优质烃源岩. 其有机碳含量一般为 2%~10%, 大多数为 3%~5%; 氯仿沥青“A”为 0.2%~1.2%, 大多数为 0.2%~0.4%; 烃含量平均为 1 873×10⁻⁶, 烃转化率高 (HC/TOC) 40~80 mg/g. 岩石热解分析中 S₁+S₂ 值为 6~132 mg/g, 远大于优质烃源岩的标准值 6 mg/g, 具有很高的生油潜能. 氢指数 (HI) 为 345~1 495 mg/g, 有机质类型好, 为 I 型干酪根. 在镜下观察油页岩为颗石藻层与泥岩薄互层. 孤南 134 井沙一段源岩中富含颗石藻层的泥岩可厚达 130 m. 干酪根显微组分以藻类降解而成的无定形为主, 腐泥组分含量多在 90% 以上.

其中的生物标志物以植烷优势 Pr/Ph<0.5, 高伽马蜡烷指数 (0.3~0.8), 低甾烷异构化参数 C₂₉ 甾烷 S/(R+S) 低于 0.20, 甾烷 ββ/(ββ+αα) 低于

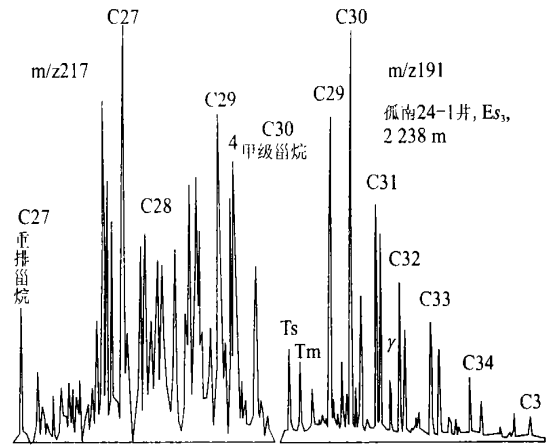
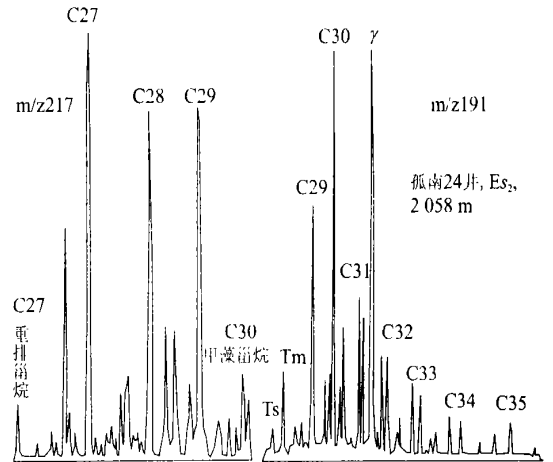
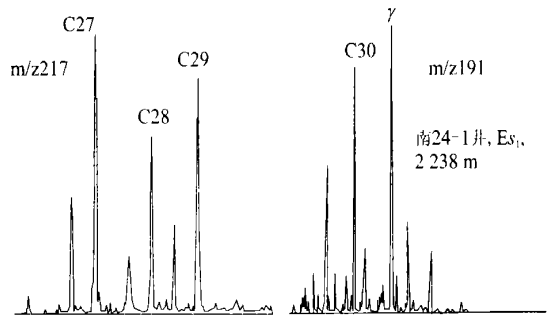


图 2 河滩油田两类原油的典型色谱图谱

Fig. 2 Representative GC-MS of two kinds of oils from Hetan oil field

0.25 为特征 (图 2) 区别于形成于淡水深湖中的沙三段生油岩. 两套烃源岩的差异反映了在不同沉积旋回中, 环境的差异是进行油源对比的重要依据.

孤南地区的低熟油的典型色谱图谱以孤南 24 井沙二段油样 (图 2) 为代表. 其 Pr/Ph 比值为 0.51, 伽马蜡烷指数为 0.69, C₂₇/C₂₉ 为 1.27; 成熟度指标 C₂₉ 甾烷 ββ/(ββ+αα) 值为 0.2, 20S/(20S+20R) 值仅为 0.14, Tm/Ts 为 1.94. 此外, 还含有较丰富的

甲藻甾烷.该特征与孤南 24-1 井,78 井的沙一段泥岩完全相同.这可以证明低熟油形成于咸水湖泊,强还原环境;原始有机质以水生低等生物藻类为主.其对应的沙一段烃源岩成熟度 $R_o = 0.4\% \sim 0.7\%$.

成熟油的典型色质图谱以孤南 24-1 井沙三段油样(图 2)为代表.其 Pr/Ph 比值为 1.82,伽玛蜡烷指数为 0.07;含有较丰富的 4-甲基甾烷.这可以证明成熟油形成于淡水湖泊,弱还原环境.原始有机质为高等植物与水生低等生物混合.

由此可以确定,沙一段是低熟油的源岩,沙三段是成熟油的源岩,并可总结出孤南洼陷形成低熟油的基本条件:(1)低熟油源岩必须是优质的烃源岩.孤南洼陷中的沙一段烃源岩正是优质烃源岩.有机质丰度高、类型好,生成的烃的浓度就高,这就能满足并超过岩石吸附烃的浓度,从而向运载层排出.同时,由于生烃量大,体积迅速膨胀,容易形成微裂缝促进排烃.(2)达到一定的热演化程度.即便是低熟油,也要求烃源岩具有一定的成熟度.孤南洼陷中的低熟油的甾烷中尽管保留了高含量的原始生物构型,但是萜烷中并未检出 17β 、 21β 及藿烯、甾烯等不稳定的生物构型.其他的成熟度参数适中,特别是奇偶优势微弱(OEP 1.03~1.1);Pr/NC17 及 Ph/NC18 均小于 1(0.5~0.8),反映了有机质经历过初级转化生烃过程.对应于这个过程就会有生烃的门限值.在孤南洼陷该门限值为 2 200 m.要形成具有工业价值的油藏烃源岩也需要约 2 600~3 000 m 的深度.(3)富含藻类的烃源岩是有效的低熟油源岩.与国内外其他一些低熟油源岩相比^[5],孤南洼陷沙一段烃源岩既不高含硫,也不高含树脂体,只是高含藻质体及其衍生的腐泥组分.沙一段烃源岩中生物标志物中除 C_{27} 甾烷占优势外,还含有 4-甲基甾烷和丰富的甲藻甾烷,这些化合物分别与湖泊中的沟鞭藻和颗石藻有关.藻类中不仅含有丰富的原生烃,其他的类脂体也易于转化为烃,所以,在较低的成熟度下即可成烃.

此外,沙一段烃源岩与其他地区的大部分低熟油源岩一样,形成于半咸水沉积环境,可以进一步证明这类环境最有利于有机质的富集及早期转化,也最有利于低熟油的形成^[6].

依据对邻近所有油田中不同层位的原油研究已追索到洼陷中低熟油运移途径及其分布.沙一段的生烃洼陷位于东北部孤南断裂与垦东断裂的交汇处,生成的油气沿着洼陷上倾方向,向四周运移.由于各个方向流体势的梯度不同,疏导层的物性不同及受到断层的影响,低熟油油藏的分布也不均匀(图 1).

孤南洼陷中低熟油的分布具有以下特点:(1)自成体系.河滩油田上部沙二段含低熟油,而下部的沙三段含成熟油为一典型实例.其间为厚层泥岩所分隔,形成两个独立的系统.位于洼陷中心的孤南 131 块也具有同样的双层结构.由此可见,在孤南洼陷内部石油的运移和聚集发生在二个彼此隔离的独立压力系统内(图 3).(2)环状分布,层位集中.低熟油围绕东北部的生烃洼陷呈不对称的环状分布.东部沿垦东大断层进入孤东油田和垦东油田;西部已有部分达到孤岛油田的东部边缘;北部沿孤南大断层垂向运移成为孤南油田一系列小断块的重要油源,并

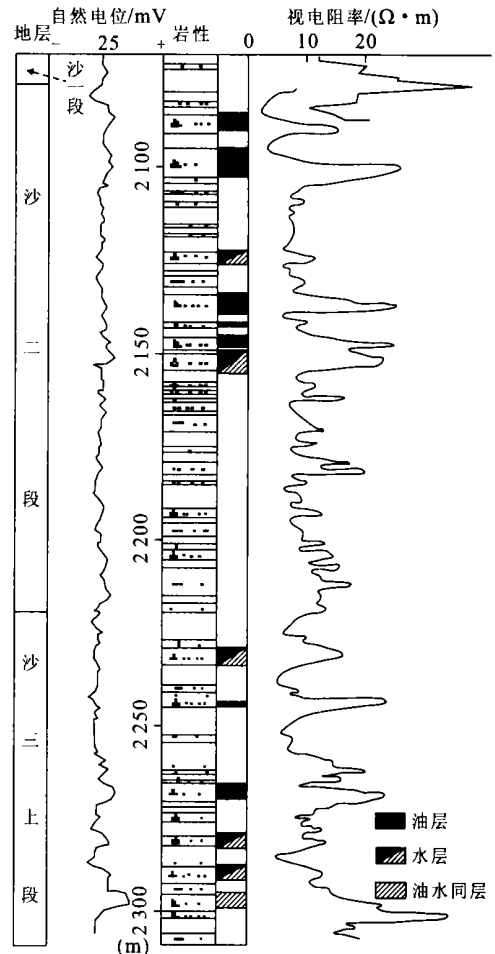


图 3 河滩油田孤南 24 井地层柱状图

Fig. 3 Stratigraphic profile of well GN²⁴ in Hetan oil field

3 孤南洼陷中低熟油的分布特点

6 结论

(1)孤南洼陷存在着低熟油,其性质为密度中等、高蜡、高凝和低硫。其组分特征是较高的饱芳比和高非烃和沥青质比。(2)生物标志物是判别低熟油的主要标志。孤南洼陷的低熟油以具有高伽玛蜡烷含量、植烷优势、低成熟指标为特征。(3)孤南洼陷的沙一段是低熟油的烃源岩。岩性为富含藻类有机质的油页岩、油泥岩。有机质丰度高、类型好、低成熟,为优质生油岩。(4)沙一段形成于半咸水沉积环境。类似的由沙一段和沙四段烃源岩形成的低熟油在渤海湾盆地普遍可见。因此,这种在半咸水环境由富含藻类的有机质早期生烃可能是最主要的低熟油形成机制。(5)低熟油在平面上环生烃洼陷分布,几乎遍布孤南洼陷;剖面上层位集中在沙二—沙一段,断层控制了低熟油的运移距离和层位。(6)在孤南洼陷低熟油的主要成藏组合是以沙一段为烃源岩及盖层,沙二段为主要储层。成藏模式有3种,即自源侧向运移聚集成藏、自源断层垂向运聚成藏和混合运聚成藏模式。(7)孤南洼陷低熟油油气系统在盆地中心以侧向运移、侧向充注、岩性—断块圈闭油藏为主,形成单源油藏。在断裂带原油是垂向运移及垂向充注,断块圈闭油藏为主,形成混源油藏。

参考文献:

- [1] 黄第藩,李晋超.陆相沉积中的未熟石油及意义[J].石油学报,1987,8(1):1-9.
HUANG D F, LI J C. Immature oil in the terrestrial deposits and its significance [J]. Acta Petrolei Sinica, 1987, 8(1):1-9.
- [2] 洪志华,陈致林,张春荣.济阳拗陷低熟原油特征及成因[J].沉积学报,1997,15(2):89-94.
HONG Z H, CHEN Z L, ZHANG C R. The character and origin of immature oil in the Jiyang depression [J]. Acta Sedimentologica Sinica, 1997, 15(2):89-94.
- [3] 周光甲.陆相块断盆地中的低熟油[A].见:中国科学院地球化学研究所.有机地球化学论文集[C].北京:地质出版社,1987.
ZHOU G J. Immature oil in the continental faulted basin [A]. In: The Institute of Geochemistry, Chinese Academy of Sciences. Thesis collection of organic geochemistry [C]. Beijing: Geological Publishing House, 1987.
- [4] 张林晔,张春荣.低熟油生成机理及成油体系[M].北京:地质出版社,1999.
ZHANG L Y, ZHANG C R. The generating mechanism of low-mature oil and petroleum system [M]. Beijing: Geological Publishing House, 1999.
- [5] 王铁冠,钟宁宁,侯读杰,等.中国低熟油的几种成因机制[J].沉积学报,1997,15(2):75-83.
WANG T G, ZHONG N N, HOU D J, et al. Generating mechanisms of low-mature oil in China [J]. Acta Sedimentologica Sinica, 1997, 15(2):75-83.
- [6] 王铁冠,钟宁宁,侯读杰,等.低熟油形成机理与分布[M].北京:石油工业出版社,1995.
WANG T G, ZHONG N N, HOU D J, et al. The generating mechanism and distribution of low-mature oil [M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 1995.
- [7] 田波,田世澄.孤南洼陷成藏动力学系统划分[J].复式油气田,2000,(4):11-14.
TIAN B, TIAN S C. The division of reservoir-forming dynamics of Gunan sag [J]. Compound Oil & Gas Field, 2000, (4):11-14.
- [8] 陈建渝,牛瑞卿.断陷盆地多次运移成藏的有机地球化学研究[J].地球科学——中国地质大学学报,2000,25(3):253-259.
CHEN J Y, NIU R Q. Organic geochemistry research into multi-phase petroleum migration and accumulation in rift-subsidence basin [J]. Earth Science — Journal of China University of Geosciences, 2000, 25(3):253-259.
- [9] 曾溅辉.东营凹陷热流体活动及其对水—岩相互作用的影响[J].地球科学——中国地质大学学报,2000,25(2):133-136.
ZENG J H. Thermal fluid activities and their effects on water-rock interaction in Dongying sag [J]. Earth Science — Journal of China University of Geosciences, 2000, 25(2):133-136.

Characteristics of Oil Reservoir of Low-Mature Oil in Gunan Sag, Jiyang Depression

CHEN Jian-yu¹, NIU Rui-qing¹, LI Shui-fu¹, TIAN Bo², WEI Shi-ping²

(1. Department of Petroleum Geology, China University of Geosciences, Wuhan 430074, China;
2. Gudao Oil Factory, Shengli Oilfield Limited Company, Dongying 257000, China)

Abstract: There is rich resources of low-mature oil in Gunan sag, Jiyang depression. The low-mature oil is characterized by high content of gammacerane, predominance of phytane and low maturity. The oil-shale and oil-mudstone with abundant algal matter in the first member of Shahejie Formation of Lower Tertiary is considered as the source rock of the low-mature oil. The oil is distributed around the source area and concentrated in the first and second members of Shahejie Formation. The fault controls the migration distance and reservoir beds. There are three reservoir models: self-sourced and lateral migration, self-sourced and vertical migration through fault, as well as hybrid migration. The lateral migration and charge into lithologic-faulted block trap led to the single-sourced accumulation inside Gunan basin, while vertical migration and charge into faulted trap caused hybrid-sourced accumulation in the marginal faulted zone of the basin.

Key words: low-mature oil; accumulation model; migration; charge; Gunan sag.

* * * * *

(上接 385 页)

层.如果按传统的“混杂岩”观点,其基质为早白垩世,二叠、三叠纪地层均为外来岩块.修康群时代为早白垩世,其原地层时代及代号应改变.此外,印度板块向北俯冲的确切时代应是早白垩世,而不是晚三叠世.(2)由于修康群各期地层均呈断片或断块,甚至呈极小的透镜体产出,发育极多的逆冲推覆构造.因而极有可能是由于萨迦北部地处雅鲁藏布江缝合带,二叠纪一早白垩世地层受南北向的强烈挤压发生逆冲推覆,并经多期活动而将地层强烈剪切为上述断片或断块的混杂体.这种成因方式和传统意义的“混杂岩”有本质上的差别.修康群应是多个地层(年代、生物及岩石地层单位等)单位的构造混杂体,图面上应以构造地层单位填出.

总之,不管是上述那种情况,时代原属晚三叠世的修康群中发现早白垩世箭石为修康群的成因提供了一个新的研究切入点.

参考文献:

[1] 西藏自治区地质矿产局. 西藏自治区岩石地层[M]. 武汉:中国地质大学出版社,1997.
Bureau of Geology And Mineral Resources of Tibet Autonomous region. Lithostratic Stratigraphy of Tibet autonomous region [M]. Wuhan: China University of Geosciences Press, 1997.

[2] 盛怀斌. 西藏拉孜县早二叠世晚期修康组菊石[M]. 北京:地质出版社,1984.
SHENG HB. Late Early Permian ammonites from Xiukang Formation, Lhaze district [M]. Beijing: Geological Publishing House, 1984.

[3] 吴顺宝. 西藏南部早侏罗世至早白垩世箭石的组合特征[A]. 青藏高原地质文集[C]. 北京:地质出版社,1982.
WU S B. Characteristics of Early Jurassic-Early Cretaceous belemnoid assemblages from southern Tibet [A]. Contribution to the geology of the Qinghai-Tibet Plateau [C]. Beijing: Geological Publishing House, 1982.