

文章编号: 1001-6112(2001)02-0160-05

塔里木盆地草湖凹陷含油气系统与油气勘探目标

傅 强¹, 洪学海²

(1. 同济大学 海洋地质教育部重点实验室, 上海 200092; 2. 成都理工学院 计算机系, 四川 成都 610059)

摘要: 草湖凹陷位于塔里木盆地满加尔坳陷北部, 烃源岩为下古生界寒武系、奥陶系暗色灰岩, 储集岩为古生界奥陶系灰岩和石炭系东河砂岩以及中生界三叠系、侏罗系、白垩系砂岩。本凹陷是被石油地质学家一致认为极具油气勘探远景的区域。该文以含油气系统理论为主线, 划分出深部 O₂₊₃-C₁ 油气系统和上部 T-E₁ 复合油气系统, 探讨了烃源岩生排烃与圈闭发育期的匹配关系以及油气运移的方式及通道, 深化了对该凹陷油气富集规律的认识, 指出了该凹陷油气的勘探方向和目标。

关键词: 勘探方向; 油气运移; 烃源岩; 含油气系统; 草湖凹陷

中图分类号: TE121·1

文献标识码: A

草湖凹陷位于塔里木盆地北部沙雅隆起上的一个三级构造单元, 它位于沙雅隆起的东部, 北部以轮台断裂为界与库车凹陷相邻, 西至阿克库勒凸起, 南接满加尔坳陷, 从构造及沉积发育特征上讲具有良好的油气勘探远景。自 1988 年至 1994 年石油天然气总公司展开对该凹陷的勘探以来, 地震测网密度达到 2×2km, 并针对草湖凹陷不同类型的圈闭以石炭系“东河砂岩”为钻探层位钻井 11 口, 除在草 2 井、草 3 井、草 4 井中见油气显示外, 其它各井均以失败告终。为了搞清楚本凹陷油气分布及控制的规律, 探讨草湖凹陷油气藏的成藏机理, 正确认识该凹陷油气藏形成和分布的规律, 以提出下一步勘探的靶区, 达到降低勘探风险、提高油气勘探成功率的目的, 笔者在研究过程中以含油气系统理论为主线, 从草湖凹陷的烃源岩演化、油气运移和圈闭分布发育等方面对草湖凹陷的含油气系统进行了研究。

1 生烃系统

生烃系统是指在给定的时间段提供一定石油的供给系统, 它决定了油气区域充注量 (regional charge)。在每个含油气系统中, 石油富集的主要条件是生烃系统的充注程度, 它必须具有相当强的为圈闭子系统提供足够油气的充注能力^[1-5]。

1.1 烃源岩

草湖凹陷存在下古生界两套烃源岩, 即寒武系和奥陶系深灰色灰岩、泥灰岩及深灰色泥岩, 沉积相为边缘斜坡-盆地相(康玉柱, 1992)。据地震资料解释, 草湖凹陷寒武系地层厚度在 1 200~2 000m 左右, 但烃源岩厚度据钻井岩心分析仅 300~700m; 而奥陶系地层在草湖凹陷厚度在 1 100m 左右, 烃源岩厚度在 0~700m 左右。据研究, 塔北下古生界寒武-奥陶系烃源岩有机质类型为腐泥型, 干酪根类型以 iv 型为主, 少量 Ⅲ型(陈正辅, 1995)。

草湖凹陷中仅在库南凸起的库南 1 井钻遇有寒武系沉积岩层。据 23 个暗色岩样分析, 有机碳含量在 0.33%~3.73%, 平均为 1.05%; 样品氯仿沥青“A”含量范围在 21×10^{-6} ~ 159×10^{-6} , 平均为 89×10^{-6} , 烃含量范围值为 5.9×10^{-6} ~ 63×10^{-6} , 平均为 36×10^{-6} 。综合分析可知, 寒武系烃源岩有机质丰度较差, 而奥陶系地层在草湖凹陷其它各井均有钻遇。对库南 1 井 34 个泥晶灰岩样进行分析, 有机碳含量范围值为 0.06%~0.25%, 平均为 0.18%; 氯仿沥青“A”含量范围值在 21×10^{-6} ~ 146×10^{-6} , 平均为 100×10^{-6} ; 烃含量为 7.9×10^{-6} ~ 134.6×10^{-6} , 平均为 56.5×10^{-6} , 有机质丰度中等。总体而言, 奥陶系烃源岩有机质丰度高于寒武系。

收稿日期: 2000-06-19; 修订日期: 2001-02-22.

基金项目: 国家“九五”重点科技攻关项目(96-111-03-01-05).

作者简介: 傅强(1964-), 男(汉族), 河北唐山人, 博士、副教授, 主要从事石油与天然气储层地质、油藏描述等的教学与科研工作。

草湖凹陷寒武系烃源岩在加里东期 R_o 值就达 0.5%, 这表明寒武系烃源岩在奥陶系末就已达成熟并开始生油, 在海西晚期(二叠系末)仍处于生油高峰, R_o 值为 0.7% ~ 1.0%。目前寒武系烃源岩实测 R_o 值已超过 4%, 达到生气消亡的过成熟阶段。因此, 寒武系烃源岩主生油期为加里东中期-海西晚期。

奥陶系烃源岩在海西早期 R_o 值已达 0.6%, 处于成熟阶段; 燕山末期 R_o 值就达 1.2% 左右, 达到成熟到高成熟阶段。对库南 1 井实测样品的分析显示, 目前奥陶系烃源岩 R_o 值在 1.75~ 1.9%, T_{max} 高达 539 °C, 显示有机质成熟度高, 尚具备产生干气的的能力。因此, 奥陶系烃源岩主生油期为海西期-燕山晚期。

石炭系烃源岩的实测 R_o 值为 0.68%, 显示烃源岩业已成熟供烃。但该套地层经地震资料解释在本凹陷分布面积局限、厚度小、含 C_{10} 型干酪根, 因此供烃潜力较小, 生烃史分析其主力生烃期为喜马拉雅晚期。

三叠系暗色烃源岩发育, 但实测满 1 井烃源岩 R_o 值为 0.4% ~ 0.57%, 刚刚达到成熟, 因此供烃的能力不大。

据草湖凹陷烃源岩的成烃史分析, 奥陶系烃源岩在 410Ma(志留纪末)即成熟, 在 268Ma(晚三叠世早期)达到成油高峰, 在 50Ma(始新世早期)进入过成熟。因此, 草湖凹陷的圈闭中若能聚集油气, 则关键时刻是距今 240Ma 的海西运动末期。从埋藏深度和烃源岩类型来讲, 寒武-奥陶系烃源岩是本凹陷中的主力供排烃烃源岩

1.2 油气充注

在每一个含油气系统里, 对于每一个勘探靶区油气富集的主要约束是作为充载因素的充注程度^[6-10]。烃源岩潜力指数(SPI)是指在 1m^2 面积下烃源岩柱内能生成的油气的最大量, 用公式表示为:

$$SPI = h(S_1 + S_2) \rho / 1000$$

式中: SPI 值为烃源岩潜力指数(按每平方米吨油气计算), h 为烃源岩净厚度(m), $S_1 + S_2$ 为平均生烃潜力(kg 烃/t 岩石), ρ 为烃源岩密度(t/m^3)。

鉴于草湖凹陷是满加尔生油拗陷的北延部分, 在计算 SPI 值时均采用井下岩心的实测分析化验数据。由于在草湖凹陷仅库南 1 井钻遇 676.3m 厚

表 1 草湖凹陷烃源岩生烃潜力表

Table 1 Hydrocarbon generating potential of source rocks in the Caohu Sag

烃源岩	寒武系(C)-奥陶系(O)	石炭系(C)
平均厚度/m	1 042.8	117
$S_1 + S_2$ (kg 烃/t 岩石)	0.06	0.35
SPI 值	0.163	0.106

的寒武系地层, 其中暗色泥岩厚度为 155m, 而根据地震资料预测寒武系烃源岩厚 300~ 700m, 由此计算寒武系烃源岩厚 506m; 而草 1 井、草 4 井、草 2 井及库南 1 井均钻遇奥陶系地层, 其中暗色烃源岩厚度按钻井地层剖面计算, 占钻遇地层厚度的百分比在 87% ~ 50.5% 之间。由此计算奥陶系烃源岩平均厚度为 536.8m。由于寒武系、奥陶系烃源岩演化程度相似, 故采用烃源岩累计厚度 1 042.8m 为草湖凹陷烃源岩的总厚度。经计算得凹陷内奥陶系烃源岩 SPI 值仅 0.16(表 1), 这是很低的。而我们采用柯坪剖面奥陶系大湾沟组地表岩样实验数据, $S_1 + S_2$ 值在 2.84~ 1.2kg/t 之间, 计算 SPI 值为 3.375 ~ 7.83, 表明寒武-奥陶系烃源岩确实能够提供充足的烃。计算石炭系烃源岩的 SPI 值仅为 0.106。

根据 Demaison(1991)提出的在有广大面积的成熟烃源岩面积凹陷内 $SPI < 2$ 属低充注、 $2 < SPI < 7$ 为中等充注、 $SPI > 7$ 为高等充注的分类, 我们可以得出: 依目前凹陷内岩心所反映的寒武-奥陶系烃源岩及石炭系烃源岩能够提供油气充注的可能性是极低的, 处于欠充注状态; 而根据未降解奥陶系地表岩样分析计算的 SPI 值则达到正常充注至过充注状态, 反映凹陷中寒武-奥陶系烃源岩确实生成并且排出过大量的油气。这正是人们特别关注草湖凹陷乃至整个塔里木盆地油气远景的一个重要因素。

2 草湖凹陷含油气系统类型的划分

按照 Magoon(1994)油气系统是包括一个有效源岩体和所有有关油气的天然系统的定义, 一个油气系统应包括一个有效的烃源岩体, 即盆地有几套成熟烃源岩就有几个油气系统。而当各个单元内及不同构造单元之间存在多套烃源岩彼此复合和叠置, 从而造成不同源岩生成的油气彼此混合时, 划分为复合油气系统。同一复合油气系统含有多套有效的烃源岩体, 其中的油气藏多为多油气源混合的结

层中油气富集的可能性较小。

4 结论

通过上述分析可以得出:草湖凹陷含油气系统可以分成C-C油气系统和T-E复合油气系统;主力烃源岩对于油气系统的充注属于中等;油气横向运移距离较短,主要依靠断层垂向运移。由含油气系统成藏条件分析可以得出,草湖凹陷油气勘探应该主要针对凹陷中有效烃源岩分布范围内及向西的斜坡带上的背斜、岩性及下古生界的岩溶成岩圈闭,勘探层位以石炭系以下储集层为主要勘探目标,兼探三叠系中的圈闭。

致谢:在工作中得到中国石化集团西北石油地质局勘探设计研究院罗宏高级工程师、陈惠超高级工程师以及新疆石油学院凌支虎教授等的帮助与支持,在此一并感谢!

参考文献:

- [1] Demaison Gerard. Cenetic classification of petroleum systems[J]. AAPG Bulletin, 1991, 75(10): 1 626- 1 643.
- [2] Dow W G. Application of oil correlation and source rock data to exploration in Willision Basin[J]. AAPG Bulletin, 1974, 58(7):

1 253- 1 262.

- [3] Perrodon A. Petroleum systems: models and applications[J]. Journal of Petroleum Geology, 1992, 15(3): 319- 326.
- [4] Perrodon A, Masse P. Subsidence, sedimentation and petroleum systems[J]. Journal of Petroleum Geology, 1984, 7(1): 5- 26.
- [5] Magoon L B. The petroleum system- a classification scheme for research, exploration and resource assessment[A]. Magoon L B, et al. Petroleum system of the United States[C]. USGS Bulletin, 1988, 1870: 2- 5.
- [6] Magoon L B. Identified petroleum systems within the United States[A]. Magoon L B, et al. The petroleum system- status of research and methods[C]. USGS Bulletin, 1989, 1912: 2- 9.
- [7] Magoon L B. Identified petroleum systems within the United States[A]. Magoon L B, et al. The petroleum system- status of research and methods[C]. USGS Bulletin, 1992, 2007: 2- 11.
- [8] Magoon L B, Sanchez R M O. Beyond the petroleum system[J]. AAPG Bulletin, 1995, 79: 1 731- 1 736.
- [9] Magoon L B, Dow W G. The petroleum system: from source to trap[J]. AAPG Memoir 60, 1994.
- [10] 陈正辅. 塔里木盆地北部常规原油形成机制[J]. 石油实验地质. 1997, 19(1): 52- 59.
- [11] 康玉柱. 塔里木盆地油气田(藏)特征[J]. 石油实验地质, 2000, 22(2): 115- 120.
- [12] 傅强, 周祖翼, 王家林. 塔北草湖凹陷的油气勘探方向[J]. 石油与天然气地质, 1999, 20(3): 252- 255.

PETROLIFEROUS SYSTEMS AND HYDROCARBON EXPLORATION TARGETS IN THE CAOHU SAG OF THE TARIM BASIN

FU Qiang¹, HONG Xue-hai²

(1. Key Laboratory of Marine Geology, Tongji University, Shanghai 200092, China;

2. Department of Computer Sciences, Chengdu College of Technology, Chengdu, Sichuan 610059, China)

Abstract: The Caohu Sag is located in the North Manjiaer Depression of the Tarim Basin. Its source rocks are the Cambrian and Ordovician melalimestone of the Lower Paleozoic, and its reservoir rocks are the Ordovician limestone and Carboniferous Donghe sandstone of the Paleozoic as well as the Triassic, Jurassic and Cretaceous sandstone of the Mesozoic. The sag, petroleum geologists be of the same view, is a very prospecting region for hydrocarbon exploration. Based on the theory of petroliferous systems, the deep O₂₊₃-C₁ petroliferous system and the upper T-E composite petroliferous system are divided, and the matching relationship between the hydrocarbon generation and expulsion of source rocks and the developing periods of traps as well as the patterns and pathways of hydrocarbon migration is discussed. Furthermore, the understanding of hydrocarbon enrichment regularities for the sag is strengthened, and the direction and targets of hydrocarbon exploration in the sag are suggested.

Key words: exploration direction; hydrocarbon migration; hydrocarbon source rocks; petroliferous systems; the Caohu Sag