

塔北草湖凹陷的油气勘探方向*

傅强, 王家林, 周祖翼

(同济大学海洋地质与地球物理系, 上海 200092)

摘要: 草湖凹陷属塔北下古生界满加尔坳陷北延部分, 主力生油岩为腐泥型的寒武-奥陶系碳酸盐岩。寒武系主生油期为加里东中期-海西晚期, 奥陶系为海西期-燕山期。这两套生油岩曾生成并排出过大量油气, 主运移期分别为晚古代晚期-早侏罗世和早中新世-第四纪, 主要沿寒武-奥陶系由南向西、北、东侧向运移。凹陷北部及东部晚海西期强烈抬升, 剥蚀作用长达 40 Ma, 不仅将二叠系剥蚀殆尽, 而且已生成的油气沿断裂全部逸散, 这是近年来十余口钻井全部落空的原因, 但是在草湖凹陷与阿克库勒凸起之间的斜坡上的石炭系和三叠系圈闭形成早, 后期破坏小, 油气逸散少, 成藏条件好, 应是下一步勘探布井的有利场所。

关键词: 草湖凹陷; 含油气系统; 烃源岩; 油气运移; 勘探方向

第一作者简介: 傅强, 男, 36岁, 副教授(博士), 石油地质与储层地质

中图分类号: P622

文献标识码: A

草湖凹陷是位于塔里木盆地北部沙雅隆起上的一个三级构造单元, 属于塔北下古生界满加尔坳陷的北延部分。自 1987 年以来, 石油和地矿两部门针对草湖凹陷不同类型圈闭钻井十余口, 除在西部斜坡小干湖构造上见油气显示外, 其它各井全部落空, 这种结果使得石油地质工作者十分困惑。笔者从油气充载、运移系统及圈闭类型等方面对草湖凹陷的含油气系统进行了研究, 以期指出该凹陷的油气勘探方向。

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^[1], 它决定了油气区域充注量。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足程度, 它必须具有相当强的为圈闭子系统提供足够油气的充足能力。

1.1 寒武-奥陶系烃源岩特征

本套烃源岩是满加尔坳陷的主力生油岩^[2]。据地震资料解释, 草湖凹陷寒武系厚度 1 200~2 000 m 左右, 生油岩厚度 300~700 m; 奥陶系厚度 1 100 m 左右, 烃源岩厚度 0~700 m 左右。烃源岩

有机质类型为腐泥型, 干酪根类型以 I 型为主, 少量 II 型。

草湖凹陷库南 1 井钻遇寒武系, 据 23 个暗色岩样分析, 有机碳质量分数为 0.33%~3.73%, 平均为 1.05%; 氯仿沥青“A”质量分数为 21×10^{-6} ~ 159×10^{-6} , 平均 89×10^{-6} , 烃质量分数为 5.9×10^{-6} ~ 63×10^{-6} , 平均 36×10^{-6} , 属有机质丰度较差的生油岩类型。奥陶系在草湖凹陷其它各井均有钻遇, 库南 1 井 34 个泥晶灰岩样的有机碳质量分数为 0.06%~0.25%, 平均 0.18%; 氯仿沥青“A”为 21×10^{-6} ~ 146×10^{-6} , 平均为 100×10^{-6} ; 烃质量分数为 7.9×10^{-6} ~ 134.6×10^{-6} , 平均 56.5×10^{-6} , 属有机质丰度中等的生油岩。总体而言, 奥陶系有机质丰度高于寒武系。

草湖凹陷寒武系生油岩在加里东期 R_o 值就达 0.5%, 表明其在奥陶纪末开始生油, 在海西晚期(二叠系末) R_o 值为 0.7%~1.0% 之间处于生油高峰, 目前 R_o 值已超过 4%, 属生气消亡阶段。因此, 寒武系生油岩主生油期为加里东中期-海西晚期。奥陶系生油岩在海西早期 R_o 值达 0.6% 处于成熟阶段; 燕山末期 R_o 值达 1.2% 左右, 达到成熟到高成熟阶段。目前奥陶系生油岩的镜质反射率为 1.75%~1.9% (库南 1 井), 尚具备生成干气的能力。因此, 奥陶系生油岩主生油期为海西期-燕山晚期。

* 国家“九五”重点科技攻关项目(96-111-03-01-05)部分研究成果

收稿日期: 1999-04-25

据草湖凹陷烃源岩成烃史分析,奥陶系生油岩在 410 Ma(志留系末)即成熟,在 268 Ma(晚三叠世早期)达到成油高峰,在 50 Ma(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 240 Ma 的海西运动末期。

1.2 油气充注

在一个含油气系统里,油气充足程度由潜力指数(SPI)衡量,即单位面积内烃源岩柱能生成的油气最大量,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(t/m^2), h 为烃源岩净厚度(m), $S_1 + S_2$ 为平均生油潜力(g/kg), ρ 为烃源岩密度(kg/cm^3)。

鉴于草湖凹陷是满加尔生油坳陷的北延部分,在计算 SPI 值时均采用井下岩芯的实测数据。草湖凹陷仅库南 1 井钻遇 676.3 m 厚的寒武系,其中暗色泥岩厚度 155 m,而根据地震资料预测烃源岩厚 300~700 m,由此估算寒武系烃源岩厚 506 m;草 1 井、草 4 井、草 2 井及库南 1 井均钻遇奥陶系,其中烃源岩厚占钻遇地层厚度的 87%~50.5%。由此确定奥陶系烃源岩平均厚度为 536.8 m。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 1 042.8 m 为草湖凹陷烃源岩的总厚度。经计算凹陷内奥陶系烃源岩 SPI 值仅 0.16,凹陷边缘的群克 1 井泥岩为 0.39,轮南 10 井灰岩为 0.46,无论烃源岩是泥岩还是灰岩, SPI 值都很低(< 0.5)。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 2.84~1.2 g/kg 之间,计算 SPI 值为 3.375~7.83。根据 Demaison^[1]提出的在有广大面积的成熟烃源岩面积凹陷内, SPI 值 < 2 ,属低充注;2~7 为中等充注, $SPI > 7$ 为高等充注的分类,依凹陷内岩芯所反映的寒武-奥陶系烃源岩油气,处于欠充注状态;而地表岩样计算的 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 运移系统

草湖凹陷中既有广布且连续稳定的石炭系碎屑岩储层,又有 C/O, T/C, K/J₁ 区域分布的不整合面,因此,本凹陷具有良好的油气运移通道。东部斜坡上的草 1 井在录井过程中的微量气显示和荧

光显示表明凹陷中的古生代、中生代地层曾有过油气的运移^[2],阿克库勒凸起沙 9 井奥陶系不整合面上的软沥青则又是油气横向运移的证据,而邻区的沿轮台断裂分布的雅克拉油气田纵向上多层含有同源的油气则显示出油气沿断层垂向运移的特征。因此,作为处于同一隆起上的草湖凹陷也应具有横向和垂向运移两种特征。

草湖凹陷生成的油气应该主要沿寒武-奥陶系由南向西、向北、向东的侧向压实运移,根据烃源岩生烃时期测算,运移时期为二叠纪-早侏罗世以及早中新世-第四纪。横向运移的油气从深凹陷处运移至凹陷北部,以及东部巴里英断裂和普西 1 号断裂所伴生的圈闭处,油气将受到断层的阻挡而变成垂向排油系统;而横向运移至西部斜坡的油气将被岩性尖灭或砂岩透镜体所圈闭,成为岩性或地层油气藏。

3 构造及圈闭特征

草湖凹陷内部发育的圈闭类型数量少且单一,主要有小干湖背斜(草 2 井),库南断凸,此外还有普惠 I 号、II 号、III 号潜山-披覆背斜构造,普惠西 I 号、II 号背冲断裂牵引背斜构造。在凹陷的东、西、北侧还具有形成地层岩性圈闭的地质条件,如凹陷的西侧与阿克库勒凸起过渡的斜坡带上,可能发育形成石炭系砂岩上倾尖灭型岩性圈闭。

草湖凹陷北部与巴里英断裂及普惠断裂带相伴生的逆冲断凸潜山-披覆或被断层复杂化的背斜,由于构造变形幅度大,上覆白垩系卡普沙良群和下第三系苏维依组巨厚区域泥岩盖层稳定分布,为高阻抗圈闭;而在凹陷西侧与阿克库勒凸起过渡的斜坡区,褶皱构造不发育,石炭系、三叠系及志留系在上覆区域盖层封闭下,形成岩性或地层的低阻抗圈闭(图 1)。

既然草湖凹陷内有丰富的油源,也生成并排出过丰富的油气,奥陶系与中生界之间存在区域不整合面;石炭系、侏罗系、三叠系碎屑岩储层又区域分布横向连续,且北部和东部又有伴生断裂的圈闭发育,为什么针对这些构造的十余口钻井全部落空而没有发现油气? 根据地震剖面解释结果,轮台断裂、巴里英断裂、普惠断裂作为凹陷东部和北部边界发育的主要断裂均具延伸长、断距大、多期活动且形成时间早的特点。除轮台断裂外,其它断裂均具有东边断距大,向西断距逐渐减小至消失的特

点。这些断裂多形成于早海西期,个别形成于加里东期或晚海西期,多数持续活动到白垩纪。因此,尽管草湖凹陷北部及东部断层及与断层相伴生的圈闭活动期与油气生成-运移期相匹配,但是由于晚海西期的强烈抬升,剥蚀作用长达40 Ma,不仅将二叠系剥蚀殆尽,而且断裂活动也将寒武-奥陶系生油岩生成并沿断层运移来的油气逸散殆尽,所

以,草湖凹陷北部及东部长期活动的断层成了油气逸散的“窗口”,使得油气不可能在这些位置的圈闭中保存下来成为油气藏。从另一角度讲在草湖凹陷要找寻海西晚期(240 Ma)以前形成,并在印支期定型,且在以后的燕山、喜马拉雅构造运动中没有被破坏的圈闭才有效。而这种类型的圈闭仅可能存在于草湖凹陷向阿克库勒凸起的斜坡地区。

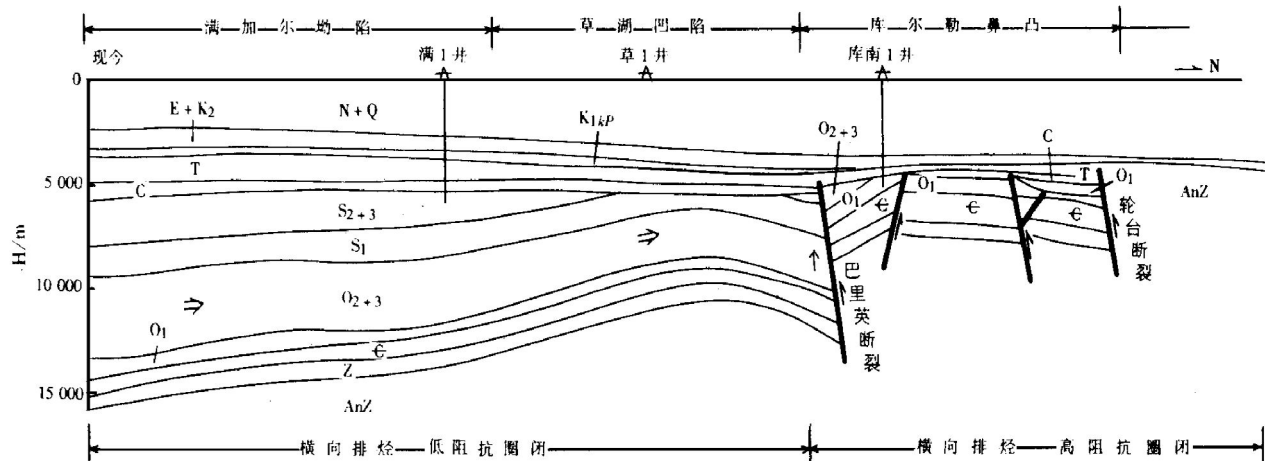


图1 草湖凹陷排烃及圈闭含油气系统剖面图

Fig1. Cross section showing hydrocarbon expulsion and trap petroleum system in Caohu Sag

4 结论

(1) 草湖凹陷发育寒武-奥陶系烃源岩和石炭系、三叠系、侏罗系碎屑岩储集层组成的含油气系统,烃类具有横向和垂向排烃两种运移方式,凹陷边界断层附近发育高阻抗圈闭,西部斜坡则发育低阻抗圈闭。

(2) 草湖凹陷寒武-奥陶系烃源岩曾经生成并排出过大量的烃,但油气形成时间早,烃源岩演化程度高,目前已达过成熟阶段。

(3) 巴里英断裂、普惠I号、II号断裂所伴生的高阻抗圈闭,由于断裂活动强烈且时间长,油气保存条件差,油气已全部逸散,伴随这些断裂的圈闭

已没有勘探价值。

(4) 草湖凹陷与阿克库勒凸起之间斜坡上石炭系和三叠系中发育的岩性或地层的低阻抗圈闭形成时间早,后期构造运动没有使其遭到破坏,油气横向运移逸散少,烃源岩生、运、储、聚等成藏因素相互匹配,这个地区的圈闭应该成为下一步勘探布井的重点。

参考文献

- 1 Demaison G. Genetic classification of petroleum system [J]. AAPG. Bull, 1991, 75 (10): 1626~ 1643
- 2 康玉柱, 黄有元, 黎邦荣, 等. 塔里木古生代海相油气田[M]. 武汉: 中国地质大学出版社, 1992. 76~ 85

EXPLORING DIRECTION OF PETROLEUM IN CAO HU SAG, NORTHERN TARIM

Fu Qiang Wang Jialing Zhou Zuyi

(Marine Geology and Geophysics Department, Tongji University, Shanghai)

Abstract: Caohu Sag is located in the northern extensional part of Maniir Depression, North Tarim. The main source rock is the Cambrian-Ordovician carbonate rock, and the major period of oil generation in Cambrian was in Middle Caledonian-Late Hercynian period; that of Ordovician was Hercynian-Yenshan period. The source rock of the above

(下转第259页)

率达 78%~88%, 是切实有效的。

参 考 文 献

- 1 王硕儒, 刘仲衡, 葛颀林. 模糊综合评判法及其对海相碳酸盐岩相的识别[J]. 石油学报, 1992, 13(1): 44~51
- 2 冉启全, 李仕伦. 用神经网络模式识别沉积微相[J]. 石油勘探与开发, 1995, 22(2): 59~63
- 3 张兴全, 徐景祯. 沉积相的模糊模式识别方法及其应用[J]. 石油学报, 1994, 15(2): 32~38
- 4 雍世和, 文政. 用 Bayes 判别法定量识别沉积微相[J]. 测井技术, 1995, 19(1): 22~27
- 5 毛志强, 金振武. DENIS——一个用于识别沉积环境的专家系统. 见: 金振武, 刘瑞林. 人工智能在勘探开发中的应用译文集[C]. 北京: 石油工业出版社, 1994. 16~23
- 6 张春生. 最大赋权树模糊聚类分析在沉积相划分中的应用[J]. 江汉石油学院学报, 1992, 14(2): 15~20
- 7 蔺景龙, 张淑梅. 测井相分析方法的研究[J]. 大庆石油学院学报, 1993, 17(1): 16~22
- 8 牟中海, 蒋裕强. 沉积环境与多元统计综合分析方法[J]. 西南石油学院学报, 1996, 18(1): 21~26
- 9 王莲芬, 许树柏. 层次分析法引论[M]. 北京: 中国人民大学出版社, 1990. 5~18
- 10 裘亦楠, 薛叔浩. 油气储层评价技术[M]. 北京: 石油工业出版社, 1994. 5~18

HIERARCHIC ANALYSIS METHOD USED IN SEDIMENTARY FACIES QUANTITATIVE RECOGNITION

Ou Chenghua Chen Jingshan

(Southwest Petroleum Institute, Nanchong, Sichuan)

Abstract: Hierarchic analysis method used in sedimentary facies quantitative recognition can improve the analytic accuracy and correction of sedimentary facies. The facies markers that are used in determining facies types are characterized by typical hierarchic properties. These properties could be used as important quantitative indexes(weight). Combining with Fuzzy comprehensive evaluation, hierarchic analysis method could be used to recognize facies types. A quantitative recognition example of Permian marine carbonate facies in Jingshan section of Central Hubei Depression suggests that this method is effective and the correct ratio is up to 78%~88%.

Key Words: Hierarchic analysis; sedimentary facies; quantitative recognition; fuzzy evaluation; Central Hubei

(上接第 254 页)

mentioned periods used to generate and expel large amount of oil and gas. The oil and gas migrated respectively in Late Paleozoic-Early Jurassic and Early Miocene-Quaternary along Cambrian and Ordovician sediments to the west, north and east sides. The northern and eastern parts of the sag uplifted intensively during late Hercynian, the erosion lasted for 40 Ma. As a result, not only the Permian sediments there were eroded completely, but also the oil and gas that had generated before escaped along faults. That is why more than ten wells drilled there are all dry. As for the Carboniferous and Triassic traps formed on the slope between Caohu sag and Ackule uplift, they should be taken as targets of oil and gas exploration since they formed earlier, underwent small damage, oil and gas there have seldom escaped.

Key Words: Caohu Sag; petroleum system; source rock; oil-gas migration; exploring direction