

文章编号: 1001-6112(2008)06-0547-05

塔里木盆地塔河油田 奥陶系油气成藏演化过程研究

吕海涛¹, 张卫彪², 张达景², 林忠民¹, 赵锡奎³, 李坤³

(1. 中国石油化工股份有限公司西北油田分公司勘探开发研究院, 乌鲁木齐 830011; 2. 中国石油化工股份有限公司石油勘探开发研究院, 北京 100083; 3. 成都理工大学油气藏地质及开发工程国家重点实验室, 成都 610059)

摘要:塔河油田奥陶系油气藏主产层为中下奥陶统灰岩, 储层类型为岩溶缝洞型, 岩溶形成期与演化对油气成藏演化起着重要影响。通过奥陶系岩溶储层特征、油气分布特征、油气成藏期等研究, 结合构造、圈闭等成果, 认为塔河油田奥陶系油气藏具有多期充注成藏特征, 其演化过程可概括为“加里东晚期—海西早期油气聚集与改造—海西晚期油气充注与调整改造—喜马拉雅晚期油气充注及再调整”; 加里东晚期—海西早期大规模油气成藏遭受破坏后残存的古油藏, 是现今塔河油田奥陶系稠油藏的基础, 经历后期的油气充注与调整改造, 造就现今奥陶系油气分布的复杂面貌。

关键词:岩溶储层; 油气成藏期; 成藏演化过程; 奥陶系; 塔河油田; 塔里木盆地

中图分类号: TE122.3

文献标识码: A

STUDY OF THE EVOLUTION PROCESS OF THE ORDOVICIAN OIL RESERVOIR IN THE TAHE OILFIELD, THE TARIM BASIN

Lü Haitao¹, Zhang Weibiao², Zhang Dajing², Lin Zhongming¹, Zhao Xikui³, Li Kun³

(1. Exploration and Production Research Institute of Northwest Oilfield Branch, SINOPEC, Urumqi, Xinjiang 830011, China; 2. Research Institute of Exploration and Production, SINOPEC, Beijing 100083, China; 3. State Key Lab of Oil and Gas Reservoir Geology and Exploitation, Chengdu University of Technology, Chengdu, Sichuan 610059, China)

Abstract: The Ordovician oil reservoir in Tahe Oilfield, the northern Tarim Basin is so far the largest marine carbonate reservoir in China. Its main output layer is the karstic Lower-Middle Ordovician limestone. Based on the study of the Ordovician karstic reservoir rock, oil distribution, oil charge epoch, and considering the related study of structure and trap, it is concluded that the oil reservoir has been thrice charged, its evolution process can be summarized as “late Caledonian-early Hercynian oil accumulation and alteration-late Hercynian oil filling and adjustment-late Himalayan oil filling and readjustment”. The large-scale palaeo-reservoir accumulated and altered in the late Caledonian-early Hercynian period is the basis of nowadays Ordovician heavy oil reservoir in the Tahe Oilfield. As a result of multiple oil charge and adjustment, the distribution of the Tahe Ordovician oils is complex enough.

Key words: karstic reservoir rock, oil charge epoch, evolution process of oil reservoir, Ordovician, Tahe Oilfield, the Tarim Basin

塔河油田位于塔里木盆地北部地区沙雅隆起阿克库勒凸起的西南部, 其奥陶系油气藏是我国目前发现的储量规模最大的海相碳酸盐岩油气藏, 主产层为中下奥陶统灰岩, 储层类型为岩溶缝洞型。前人对塔河油田奥陶系油气成藏问题已进行了较为广泛的研究^[1~11], 但随着勘探(尤

其是艾丁地区)和研究的进展, 有必要对某些问题进行重新审视。本文从奥陶系岩溶储层特征、油气分布特征、油气成藏期等研究出发, 结合构造、圈闭等研究成果, 对塔河油田奥陶系油气成藏过程进行综合分析, 以期对该区油气勘探具有参考价值。

收稿日期: 2008-03-25; 修订日期: 2008-11-05。

作者简介: 吕海涛(1977—), 男, 工程师, 从事油气地质综合研究。E-mail: xj.lht@126.com。

基金项目: 中国石化科技部项目(P04026)。

1 奥陶系岩溶储层特征

1.1 岩溶缝洞发育特征

据统计,在塔河油田 303 口钻井中发现大小不等的岩溶洞穴(包括已充填洞穴),出现频率达 77.3%;其中,发育有效洞穴(放空、漏失、钻时加快)的 167 口,绝大多数位于中上奥陶统剥蚀区。已发现的最大未充填溶洞达 29.49 m (T808K 井 5 763.51 ~ 5 793.00 m),岩心上发现的最大全充填溶洞达 20.0 m (T615 井 5 535~5 555 m),根据测井资料判断的最大全充填溶洞达 73 m (TK409 井 5 586~5 659 m);井深最大的有效洞穴为 TS1 井 6 237~6 277 m 井段(T_7^0 面下 771 m, T_7^4 面下 665 m),而井深最浅的有效洞穴为 S9 井 5 171.50~5 178.50 m 井段(T_7^0 和 T_7^4 复合面下 170 m),二者相差近 1 100 m。

中下奥陶统岩溶主发育深度为 T_7^4 面下 100 m 以内,但在上奥陶统桑塔木组缺失区,发育深度达 200 m 以上的钻井数相对较多。在砂泥岩覆盖区, T_7^4 面下岩溶缝洞发育深度最大的为 S106 井 6 244~6 245 m 漏失段,距 T_7^4 面 516 m;其次为 6 178.82~6 189 m 漏失段,达 450.82 m。而无砂泥岩覆盖区, T_7^4 面下发育深度最大的为 S62 井 5 748~5 752 m 全充填井段,为 373m;其次为 TK462H 井 5 752.7~5 758 m (垂深)放空漏失段,为 282.1m。砂泥岩覆盖区 S106 井 T_7^4 面下岩溶发育深度大,可能是由于其处于南北深大断裂带,从而海西早期断裂岩溶作用发育的结果。

1.2 岩溶作用期次与不同期次储层分布

综合地层层序 构造演化以及具体地质剖面的沉积构造分析,塔河地区中下奥陶统沉积后先后经历了加里东中期 I, II, III 幕和加里东晚期、海西早期等构造运动,使得中下奥陶统厚层灰岩暴露地表或近地表,相应地发生加里东中期、晚期和海西早期岩溶作用。不同期次构造运动的强度差异导致不同期次岩溶作用的强度和范围不尽相同,后期岩溶作用对前期岩溶储层进行了叠加改造^[8-16]。

加里东中期 I 幕构造运动以整体性抬升为主,中奥陶统一间房组顶部发生沉积间断,缺失 2~3 个牙形刺化石带^[16]。该期岩溶作用可能在塔河油田全区发育,但由于没有明显的古地貌差异,主要沿不整合面呈面状溶蚀及沿断裂垂向溶蚀。

加里东中期 II 幕主要表现为上奥陶统桑塔木组楔形体上超于良里塔格组之上,良里塔格组遭受不均匀抬升剥蚀。尽管中下奥陶统之上覆盖有良里塔格组与恰尔巴克组,但由于其厚度较小,断裂

作用仍可使大气水向下渗滤而发生断裂岩溶作用,桑塔木组第一上超点以北地区是该期岩溶作用主要发育区(图 1A)。

加里东中期 III 幕主要表现为志留系呈楔形体自南向北、自东西两侧向阿克库勒凸起南倾端上超沉积,但其超覆的地层仅为上奥陶统桑塔木组。托甫台北部见有志留系柯坪塔格组下段向西北方向超覆沉积的尖灭线,说明该尖灭线的西北地区奥陶系被剥蚀。因此该期岩溶作用主要发生于塔河地区西北部(图 1B)。

加里东晚期志留系、奥陶系普遍遭受剥蚀,上泥盆统东河塘组的自西向东海侵填平补齐式沉积表明,塔河地区北部和东部中下奥陶统暴露或隆升至近地表,岩溶作用发育。

海西早期,阿克库勒向西南倾伏的鼻状凸起形成,泥盆系以下地层广泛剥蚀,在阿克库勒凸起中北部的凸起轴部,中下奥陶统暴露地表遭受强烈的岩溶作用改造,多次海平面升降形成多套岩溶储层。而中下奥陶统没有暴露地表的地区,海西早期岩溶不发育,仅局部发生岩溶作用。

海西晚期,塔河地区奥陶系没有隆升地表遭受剥蚀,加里东期—海西早期暴露地表的中下奥陶统

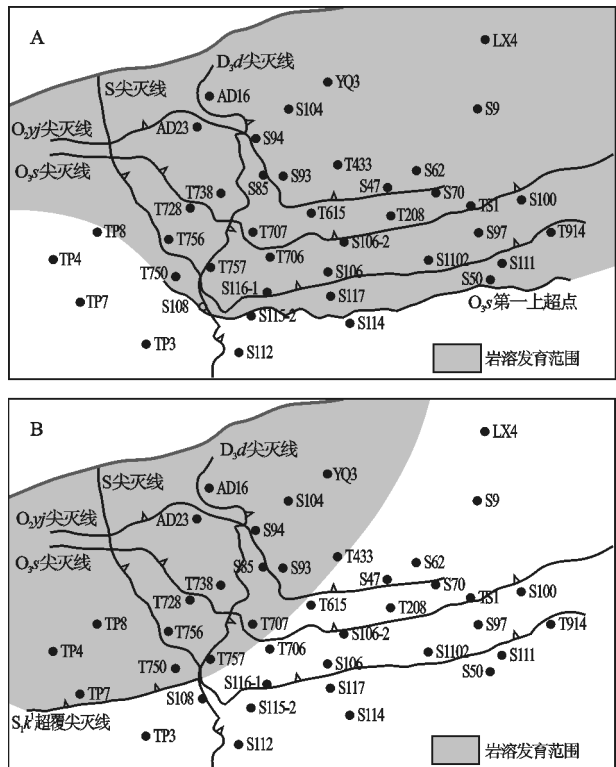


图 1 塔河地区加里东中期岩溶可能发育范围示意
A. II 幕; B. III 幕

Fig.1 Potential growth area of the middle Caledonian karstification in the Tahe Oilfield

灰岩被覆于下石炭统巴楚组泥岩、膏盐岩层之下,除有断裂沟通之外,不发生岩溶作用。但是,塔河地区北部下石炭统遭受严重剥蚀,中下奥陶统暴露地表。

综上所述,塔河地区西北部受加里东期多期岩溶作用的叠加改造,北部受加里东期、海西早期多期岩溶作用的叠加改造,南部、西南部主要受加里东中期岩溶作用改造。因此,塔河地区北部岩溶作用最为发育,其次是西北部;南部、西南部岩溶储层发育相对较差,主要沿断裂带呈带状分布,受断裂的控制。

2 油气分布特征

2.1 油气纵横向分布特征

塔河地区奥陶系油气性质具有西北重、东南轻、西油东气的平面特征(图2),具体表现为:1)超重质油广泛分布于阿克库勒凸起西北部;2)重质油主要沿超重质油区呈裙边状分布于凸起的中西部;3)中质油主要呈狭长条带状、指状分布于凸起的中东部及西南部托甫台的中部;4)轻质油主要分布于凸起的东部、南部及西南部,与中质油区、凝析气区缺乏明显的分界,其油水、气油关系复杂;5)凝析气区主要分布于东部—阿克库木断垒带东段及东部斜坡区,该区以产气为主,但局部见轻质

油、甚至中质油。

纵向上表现为:1)无统一的油水、气油、气水界面,总体上具有北高南低、西高东低的特征;2)稠油区中,自上而下由凝析气到重质油也均有分布,部分井(如S47,T301等井)在生产过程中原油性质有很大变化;3)原油密度统计结果表明,距中下奥陶统顶面越近,原油密度就相对较低,原油分布范围也较广,不同密度的原油呈指状相间分布。

2.2 油气成熟度特征

根据 C_{29} 甾烷 ($\alpha\beta\beta/\alpha\alpha\alpha+\alpha\beta\beta$)、 $T_s/(T_s+T_m)$ 等分子标志物参数厘定的原油成熟度,塔河油田主体区奥陶系重稠油和大部分原油属成熟油,南部、东部地区的奥陶系凝析油、轻质油(如S112,S106,S107,S96,T904,S14,S17等井)为高一过成熟油。

3 油气成藏期

3.1 流体包裹体分析

对塔河主体区S47,T401,S67,S76等井奥陶系储层岩样的岩石学观察表明,其中的石油包裹体主要可划分为2期,反映塔河油田奥陶系油气藏至少经历了2期主要的充注成藏事件。当然2期石油包裹体不代表只有2期成藏事件,据王飞宇等^[17]的报道,石油包裹体并不能记录油气成藏的全过程,快速成藏事件也可能无包裹体记录。

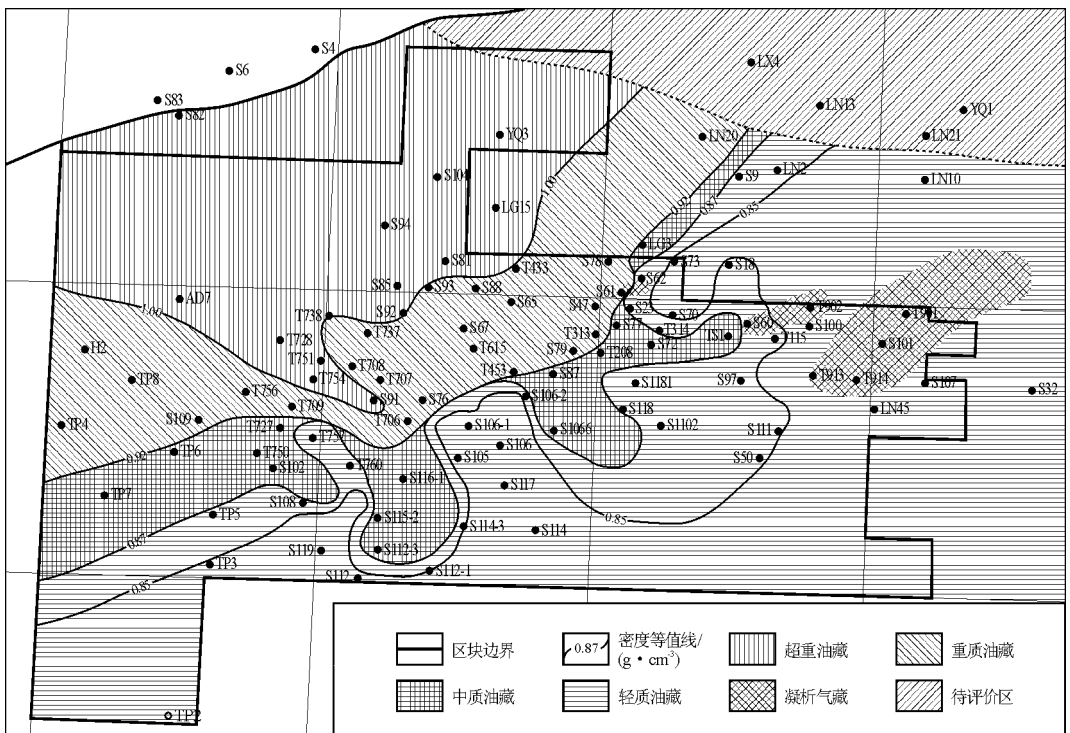


图2 塔河油田中下奥陶统原油性质分布示意

Fig.2 Distribution of the Lower-Middle Ordovician oils in the Tahe Oilfield

经测定,与这2期石油包裹体共生的盐水包裹体的均一温度和冰点存在明显差异:第1期主要为80~100℃和-20~-13℃,第2期115~135℃和-10~-3℃,反映2期包裹体形成时的流体性质大不相同。通过 BasinMod 数值模拟,重建单井地层剖面的埋藏—热演化史,确定2期成藏事件所对应的地质时间为加里东晚期—海西早期和喜马拉雅晚期(图3)。这表明,加里东晚期—海西早期和喜马拉雅晚期是塔河油田奥陶系油藏的2期重要成藏期。

不同地区的成藏事件表现不同,西北部艾丁地区(AD4,S99,TK1022井)流体包裹体主要仅可识别出加里东晚期—海西早期的一期成藏,而东南部、南部(如T904井)主要表现为喜马拉雅晚期成藏。

3.2 多期成藏的其它地球化学佐证

塔河油田奥陶系原油普遍存在 C₂₈—C₂₉ 25-降藿烷系列与完整的正构烷烃系列相伴生的现象,加之色谱图中的基线“鼓包”标志,表明存在多期(至少2期)充注过程^[4,5,18,19]。但西北部 AD4,S99 等井奥陶系原油的色谱图主要为“鼓包”,表现为前期成藏为主;而东南部、南部地区正构烷烃完整、基线“鼓包”小,主要表现为晚期成藏。

此外,塔河油田奥陶系油藏中可见储层固体沥青与黑油共生或相伴生,实测的固体沥青反射率值为0.53%~0.78%,依据 Jacob (1985)^[20] 建立、并由国际煤及有机岩石学会推荐使用的换算关系,其等效镜质体反射率值为0.73%~0.88%,应属早期充注原油的降解、改造产物。

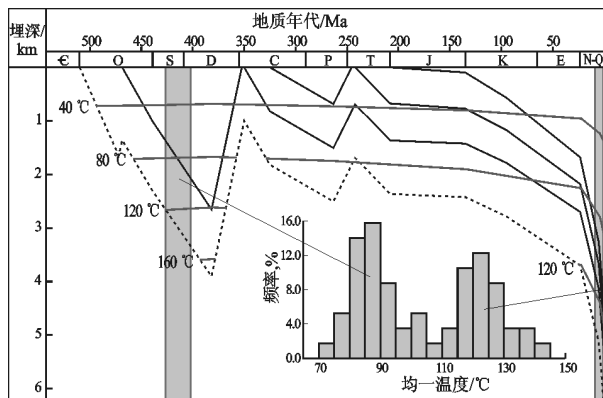


图3 塔河油田主体区奥陶系埋藏—热演化史与油藏成藏期以S47井为例。

Fig.3 Burial and thermal history and oil charge epoch of the Ordovician reservoir in the major part of Tahe Oilfield

3.3 油气成藏期综合分析

储层流体包裹体分析仅可识别塔河油田奥陶系的2期主要成藏期(加里东晚期—海西早期和喜马拉雅晚期),但海西晚期也属诸多地质分析“公认”的重要成藏期。S114-1等井二叠系英安岩裂缝中见干沥青,可能暗示了海西晚期的成藏事件。

据金之钧等(2005,科研报告)研究,塔里木盆地台盆区寒武系—奥陶系发育中下寒武统、中下奥陶统、上奥陶统3套烃源岩,存在3期主要生油期(表1)。烃源岩的3期主要生油期决定油气藏形成的3个主要时期,而据毛小平等(2007,科研报告)模拟,加里东晚期的供烃量最大,因而当时的成藏规模最大。

对塔河油田而言,加里东期生成的油气可在奥陶系、志留系等层系中形成油气藏,但由于海西早期构造运动的影响,该期油气藏大部分遭受严重破坏或剥蚀殆尽;海西晚期充注的油气可与前期残存的油气相混合而成藏,但受海西晚期构造运动的影响,封盖条件变差,因而油气藏再次遭受降解、破坏;喜马拉雅期油气的充注,并与前期残存油气相混合,不同地区、不同层系前、后期油气的混合比例不一,造就塔河地区现今油气分布的复杂面貌。

4 成藏演化过程分析

塔河油田奥陶系油气藏具有加里东晚期—海西早期、海西晚期、喜马拉雅晚期多期充注成藏特征,其演化过程可概括为“早期油气聚集与改造—中期油气充注与调整改造—晚期油气充注及再调整”(图4)。

4.1 早期油气聚集与改造

主要发生于加里东晚期—海西早期(图4A),与塔里木盆地台盆区中下寒武统、中下奥陶统烃源岩的第1期大规模生排烃相对应,加里东中晚期—海西早期岩溶缝洞型储层等作为储集空间,志留系

表1 塔里木盆地台盆区寒武—奥陶系烃源岩的3期生油有效区

Table 1 The three epoch oil-generation region of the Cambrian and Ordovician source rocks in the Paleozoic craton area of the Tarim Basin

主要生油期	有效烃源区
加里东期	台盆区西部(中下寒武统烃源岩)、满加尔坳陷(中下寒武统和中下奥陶统烃源岩)
海西晚期	阿瓦提断陷、顺托果勒隆起,中下奥陶统为主力油源岩
喜马拉雅期	卡塔克隆起、顺托果勒隆起,上奥陶统为主力油源岩,中下寒武统、中下奥陶统以生气为主

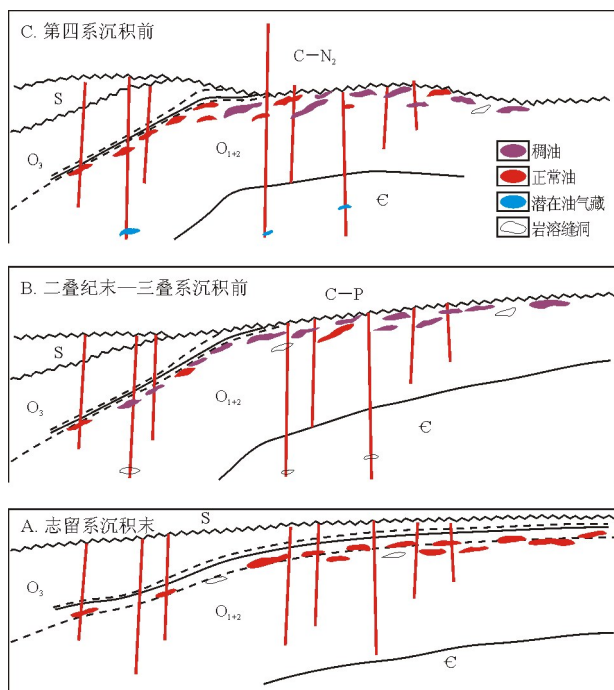


图4 塔河油田奥陶系油气成藏演化过程

Fig.4 Evolution process of the Ordovician oil reservoir in the Tahe Oilfield

及奥陶系的泥质层和致密碳酸盐岩层段等提供封盖条件,其生储盖配置关系良好。

据生烃动力学模拟,该期是聚集规模最大的一期油气成藏。盐下地区 S1102 井在生产过程中有稠油产出,表明早期油气向北部构造高部位运聚的成藏范围至少可达该井区附近。但海西早期构造运动对该期油气藏的破坏非常严重,阿克库勒凸起高部位(也是海西早期岩溶发育区)的油气藏被剥蚀,而凸起翼部的破坏程度相对较低,部分遭受降解成为稠油,部分则可能保存较好。

4.2 中期油气充注与调整改造

主要发生于海西晚期(图4B),原生油气充注与台盆区寒武—奥陶系烃源岩的第2期大规模生排烃相对应,遭受破坏的前期圈闭和海西期岩溶作用新生的缝洞型储层等作为储集空间,上覆石炭系巴楚组泥岩、膏盐岩等提供封盖条件;而凸起翼部的前期残存油藏中,流动性较好的相对轻质部分也可向凸起高部位(海西早期岩溶发育区)的圈闭中调整运聚,形成油气藏。

据生烃动力学模拟,该期油气聚集规模远比加里东晚期—海西早期的要小。海西晚期构造运动对该期油气藏亦存在破坏作用,凸起高部位的塔河北部部分地区石炭—二叠系被剥蚀殆尽,中下奥陶统暴露地表而油气藏遭受严重破坏;并且,该“天窗”区作为大气淡水的补给区,可以使大气淡水向

处于构造低部位的塔河油田运动,奥陶系油藏进一步遭受淋滤,形成塔河主体区的稠油藏。

4.3 晚期油气充注及再调整

主要发生于喜马拉雅晚期(图4C),原生油气充注与台盆区寒武—奥陶系烃源岩的第3期大规模生排烃相对应,但顺托果勒隆起和满加尔坳陷斜坡区中下奥陶统和中下寒武统烃源岩主要生成凝析油、湿气和干气,而顺托果勒隆起上奥陶统烃源岩提供以正常原油为主的油气构成。成熟度明显不同的晚期油气自南东向北西、由南而北向塔河地区充注运移,形成东部的凝析油气藏和南部的轻质油藏,并且对主体区的前期稠油藏等进行混合改造。

多次的油气聚集调整、不同期次的相态差异和充注范围不一、不同部位混合改造程度的差异,导致塔河油田奥陶系油气物性及分布的差异明显,重质油区的多个井区存在轻质油和凝析油气、轻质油区见有重质油。

5 结论

1)塔河油田奥陶系油气藏具有多期充注成藏特征。加里东晚期—海西早期油气藏大规模形成与遭受破坏,形成稠油藏;海西晚期油气充注与调整改造,形成主体区的稠油藏;喜马拉雅晚期油气充注及再调整,形成轻质、凝析油气藏,并对前期稠油藏进行混合改造。

2)加里东晚期—海西早期大规模油气成藏遭受破坏后残存的古油藏,是现今塔河油田奥陶系稠油藏的基础。经历海西晚期和喜马拉雅晚期的原生油气充注和调整改造过程,造就现今奥陶系油气分布的复杂面貌。

3)在海西早期构造运动影响较小、志留系—奥陶系保存条件好的地区,可能存在加里东晚期—海西早期大规模油气运聚所形成的油藏。塔河油田西北部艾丁地区奥陶系稠油藏即为明证。因此塔里木盆地油气勘探对其应予以重视。

致谢:本文研究和成文过程中,参阅、引用了中国石化西北油田分公司、中国石化石油勘探开发研究院等单位的资料和科研报告,在此一并表示感谢!

参考文献:

- 1 顾 忆. 塔里木盆地北部塔河油田油气藏成藏机制[J]. 石油实验地质, 2000, 22(4): 307~312
- 2 丁 勇, 晏银华, 顾 忆等. 塔里木盆地塔河油田成藏史与成藏机制[J]. 新疆石油地质, 2001, 22(6): 478~479

岩性圈闭难落实的困难,2006 年新发现圈闭 11 个(层圈闭 16 个),重新落实圈闭 16 个,落实圈闭层位 35 个。储量大幅增长(图 4),发现并落实了以 T903 为代表的低幅度构造圈闭和以 YT2 三叠系中油组河道砂典型岩性复合圈闭群,在三叠系低幅度和岩性复合圈闭勘探上均取得了较好的效果。

4 结论

塔河油田三叠系圈闭类型多样,构造圈闭幅度低、闭合面积小;岩性圈闭砂体薄,岩性变化大。针对三叠系圈闭类型多、埋深大、圈闭面积小、构造幅度低、岩性圈闭砂体薄、识别难度大等油气勘探现状及勘探的难点,通过层序格架的建立、以地震精细处理为手段,通过地震振幅属性的深入研究为低幅度圈闭识别、非构造圈闭识别、砂体追踪与对比提供了好的思路和方法。实践表明该对策在塔河油田三叠系低幅度构造与岩性圈闭勘探中取得了显著效果。

参考文献:

- 1 顾 忆. 塔里木盆地北部塔河油田油气藏成藏机制[J]. 石油实验地质,2000,22(4):307~312
- 2 王洪辉,李德发,刘文碧. 塔东北阿克库勒三叠系油气藏特征及流体性质研究[J]. 成都理工学院学报,1995,22(3):30~35
- 3 吴因业,顾家裕,施和生等. 从层序地层学到地震沉积学[J]. 石油实验地质,2008,30(3):217~220
- 4 王晓东,王 玲,张星海. 塔河 1 号三叠系油气藏特征及成藏机理[J]. 新疆地质,2003,21(2):240~242
- 5 杨 飞,张宏艳,陈俊生. 岩性油藏勘探方法研究[J]. 石油实验地质,2007,29(1):95~98
- 6 李桂荣,巢 阳. 塔河油田三叠系油藏特征分析[J]. 石油物探,2004,43(4):407~409
- 7 赵迎月,顾汉明,蔡成国. 塔河油田三叠系砂岩储层地震正响应特征[J]. 天然气工业,2008,28(6):52~55
- 8 王者顺,樊佳芳,高 鸿等. 塔河油田叠后地震资料高保真处理技术[J]. 物探与化探,2004,28(5):436~438
- 9 蒲仁海,翟晓先,严 华等. 塔河油田典型地震相[J]. 石油地球物理勘探,2007,42(3):308~314
- 10 王汝珍,袁联生,李 鹏等. 三维叠前时间偏移技术在塔河地区的应用[J]. 勘探地球物理进展,2006,29(5):360~369

(编辑 叶德燎)



(上接第 551 页)

- 3 陈红汉,李纯泉,张希明等. 运用流体包裹体确定塔河油田油气成藏期次及主成藏期[J]. 地学前缘,2003,10(1):190
- 4 王铁冠,王春江,何发岐等. 塔河油田奥陶系油藏两期成藏原油充注比率测算方法[J]. 石油实验地质,2004,26(1):74~79
- 5 Wang T G, He Faqi, Wang Chunjiang, et al. Oil filling history of the Ordovician oil reservoir in the major part of the Tahe Oil-field, Tarim Basin, NW China [J]. Organic Geochemistry, 2008, 39(11): 1637~1646
- 6 王传刚,王铁冠,张卫彪等. 塔里木盆地北部塔河油田原油分子地球化学特征及成因类型划分[J]. 沉积学报,2006,24(6):901~908
- 7 赵宗举,王招明,吴兴宁等. 塔里木盆地塔中地区奥陶系储层成因类型及分布预测[J]. 石油实验地质,2007,29(1):40~46
- 8 林忠民. 塔河油田奥陶系碳酸盐岩储层特征及成藏条件[J]. 石油学报,2002,23(3):23~26
- 9 林忠民. 塔里木盆地塔河油田奥陶系大型油气藏形成条件[J]. 地质论评,2002,48(4):372~376
- 10 闫相宾,张 涛. 塔河油田碳酸盐岩大型隐蔽油藏成藏机理探讨[J]. 地质论评,2004,50(4):370~375
- 11 翟晓先. 塔河大油田新领域的勘探实践[J]. 石油与天然气地质,2006,27(6):751~761
- 12 张达景,吕海涛,张 涛等. 塔河油田加里东期岩溶储层特征及分布预测[J]. 沉积学报,2007,25(2):55~64
- 13 刘小平,孙冬胜,吴欣松. 古岩溶地貌及其对岩溶储层的控制:以塔里木盆地轮古西地区奥陶系为例[J]. 石油实验地质,2007,29(3):265~268
- 14 张达景. 塔里木盆地塔河地区奥陶系古岩溶储层形成机理及分布规律[D]: [学位论文]. 北京:石油大学,2007
- 15 鲁新便,高博禹,陈姝媚. 塔河油田下奥陶统碳酸盐岩古岩溶储层研究:以塔河油田 6 区为例[J]. 矿物岩石,2003,23(1):87~92
- 16 叶德胜,王根长,林忠民等. 塔里木盆地北部寒武—奥陶系碳酸盐岩储层特征及油气前景[M]. 成都:四川大学出版社,2000
- 17 王飞宇,金之钧,吕修祥等. 含油气盆地成藏期分析理论和新方法[J]. 地球科学进展,2002,17(5):754~762
- 18 高 波,刘文汇,范 明等. 塔河油田成藏期次的地球化学示踪研究[J]. 石油实验地质,2006,28(3):276~280
- 19 高 波,范 明,刘文汇等. 塔河油田天然气的碳同位素特征及其成因类型[J]. 石油与天然气地质,2005,26(5):618~622
- 20 Jacob H. Disperse solid bitumens as an indicator for migration and maturity in prospecting for oil and gas [J]. Erdol und Kohle, 1985, 38: 365

(编辑 徐文明)