

文章编号:0253-9985(2010)01-0069-07

塔里木盆地卡塔克隆起西北倾没端良里塔格组 碳酸盐岩储层发育特征与影响因素

李慧莉^{1,2}, 钱一雄^{2,3}, 沙旭光², 马红强^{2,3}

(1. 中国石油化工股份有限公司 石油勘探开发研究院, 北京 100083;

2. 中国石油化工股份有限公司 西北油田分公司 石油勘探开发研究院, 新疆 乌鲁木齐 830011;

3. 中国石油化工股份有限公司 石油勘探开发研究院 无锡石油地质研究所, 江苏 无锡 214151)

摘要: 钻探揭示塔里木盆地卡塔克隆起西北倾没端上奥陶统良里塔格组发育碳酸盐岩缝洞型储层。综合岩心、薄片以及测井资料, 分析了储层发育特征及影响因素, 研究认为加里东中期Ⅱ幕风化壳岩溶作用、准同生岩溶作用、埋藏溶蚀作用及构造破裂作用对储层发育有影响。准同生期岩溶作用及与热液有关的埋藏溶蚀作用对现存储集空间的贡献有限, 研究区储层发育主控因素的研究尚需进一步深入。

关键词: 碳酸盐岩储层; 良里塔格组; 上奥陶统; 卡塔克隆起; 塔里木盆地

中图分类号: TE122.2

文献标识码: A

Development characteristics and influencing factors of carbonate reservoirs in the Ordovician Lianglitage Formation at the northwest pitching end of the Katake Uplift, the Tarim Basin

Li Huili^{1,2}, Qian Yixiong^{2,3}, Sha Xuguang², and Ma Hongqiang^{2,3}

(1. SINOPEC Petroleum Exploration & Production Research Institute, Beijing 100083, China; 2. Petroleum Exploration & Production Research Institute, SINOPEC Northwest Company, Urumqi, Xinjiang 830011, China; 3. Wuxi Research Institute of Petroleum Geology, SINOPEC Petroleum Exploration & Production Research Institute, Wuxi, Jiangsu 214151, China)

Abstract: Drilling results have revealed that fractured-vuggy carbonate reservoirs are developed in the Upper Ordovician Lianglitage Formation at the northwest pitching end of the Katake Uplift in the Tarim Basin. Based on analyses of core, thin section and logging data, this paper discusses reservoir development characteristics and influencing factors in the study area. The study shows that several factors have put effects on the development of reservoirs, such as karstification of the Middle Caledonian phase-II weathering crust, penecontemporaneous karstification, burial dissolution and tectonic disruption. The penecontemporaneous karstification and hydrothermal fluid-related burial dissolution made limited contribution to the existing reservoir space. Further study is needed to identify the controlling factors for reservoir development in the study area.

Keywords: carbonate reservoir, Lianglitage Formation, Upper Ordovician, Katake Uplift, Tarim Basin

塔里木盆地卡塔克隆起位于中央隆起带中段, 是加里东中晚期发育形成、海西早期基本定型的继承性古隆起, 现今下构造层(寒武-奥陶系)

的形态为一向东抬升而收敛、向西倾没而撒开的背斜^[1]。勘探实践揭示塔中地区上奥陶统良里塔格组发育碳酸盐岩缝洞型储层, 勘探潜力巨大。

收稿日期: 2009-09-16。

第一作者简介: 李慧莉(1972—), 女, 高级工程师, 石油地质。

前期围绕塔中 I 号断裂带中石油探区上奥陶统良里塔格组储层发育特征与影响因素的研究揭示,准同生期岩溶作用^[2,3]、埋藏溶蚀作用^[4~7]以及断裂裂缝^[8,9]的改造对储层发育有积极影响作用;储层空间展布主要受控于沉积相,塔中 I 号断裂坡折带良里塔格组沉积期为台地边缘相展布^[10~15]。中石化探区顺托果勒西(顺西)区块位于塔中 I 号断裂西部倾没端(图 1),已钻探井 4 口,在台地边缘与台地内均揭示上奥陶统良里塔格组发育碳酸盐岩储层,见不同级别的油气显示。文中从已钻井的实际资料入手,讨论了塔中 I 号断裂坡折带西部倾没端上奥陶统良里塔格组碳酸盐岩储层发育的基本特征,分析了储层展布的主控因素,并对存在的问题进行了讨论;这不仅对进一步明确研究区储层分布规律有重要作用,并对丰富塔中地区上奥陶统良里塔格组储层的整体认识也有积极意义。

1 储层发育基本特征

顺西区块 S2 井与 S6 井位于塔中 I 号断裂坡折带良里塔格组沉积期台地边缘相区,S3 井与 S4

井位于良里塔格组沉积期台地相区,4 口井均揭示上奥陶统良里塔格组发育碳酸盐岩储层;从钻探情况看,良里塔格组泥质条带灰岩段、颗粒灰岩段与含泥灰岩段 3 个岩性段均有储层发育(图 2)。

岩心与铸体薄片观察以及成像测井资料揭示,研究区良里塔格组储集空间以次生溶蚀孔洞与裂缝为主(图 3,图 4)。溶蚀孔洞孔径小,呈分散状、顺层或沿裂缝分布,溶蚀孔洞发育段层数多,单层厚度小。裂缝较为发育,呈未充填-半充填状,主要为产状高陡的晚期构造缝。S2 井、S6 井及 S4 井的成像测井统计表明缝洞发育段主要分布在颗粒灰岩段与含泥灰岩段。

对 S2 井与 S6 井良里塔格组储层 117 个小柱样物性资料统计表明(表 1),其孔隙度为 0.20%~5.40%,平均孔隙度为 0.98%;渗透率为 $0.014 \times 10^{-3} \sim 12.500 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$,平均渗透率为 $0.360 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$;表明良里塔格组储层物性一般至较差,非均质性强。对 S4 井全直径样品物性统计表明,良里塔格组颗粒灰岩段物性最好,含泥灰岩段次之,泥质条带灰岩段最差(表 2)。对比而言,位于台地相区的 S4 井与位于台地边缘相区的 S2 井与 S6 井并无显著差异。



图 1 研究区位置示意图

Fig. 1 Location of the study area

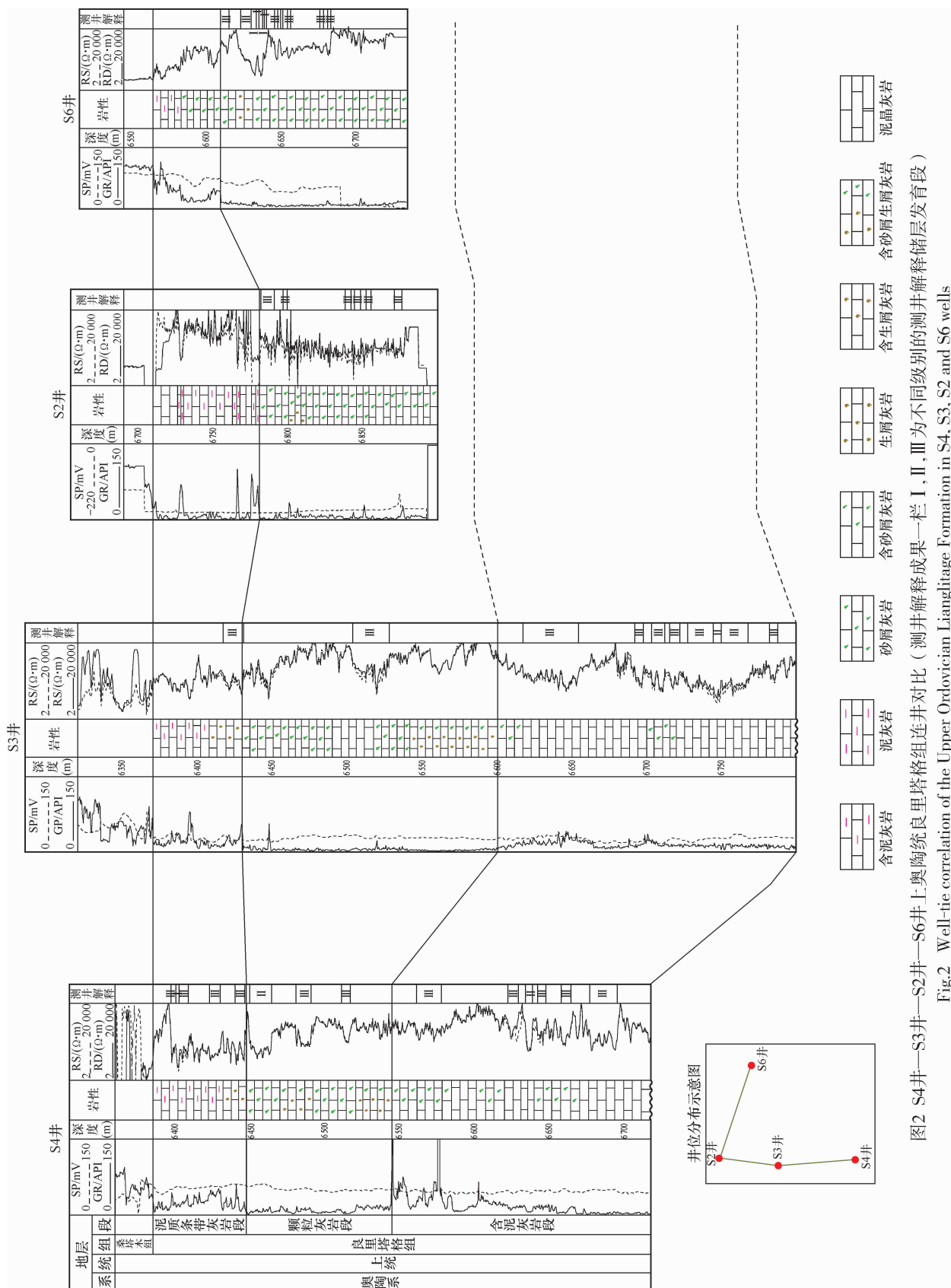


图2 S4井—S3井—S2井—S6井—上奥陶统良里塔格组连井对比 (测井解释成果—栏 I, II, III 为不同级别的测井解释储层发育段)

Fig.2 Well-tie correlation of the Upper Ordovician Lianglitage Formation in S4, S3, S2 and S6 wells

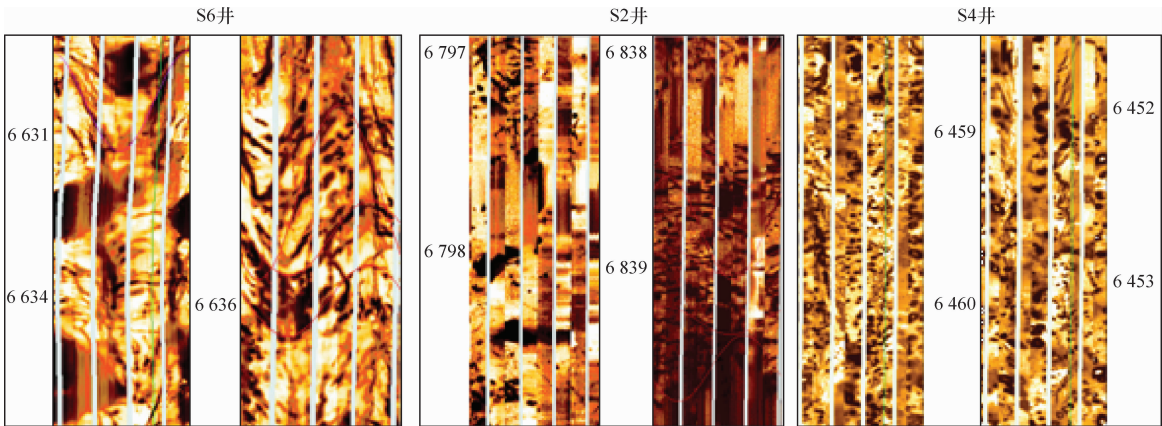


图 3 顺西区良里塔格组碳酸盐岩储层溶蚀孔洞与裂缝成像测井响应特征

Fig. 3 Image log response characteristics of dissolved vugs and fractures in the carbonate reservoirs of the Lianglitage Formation in west Shuntuguole block

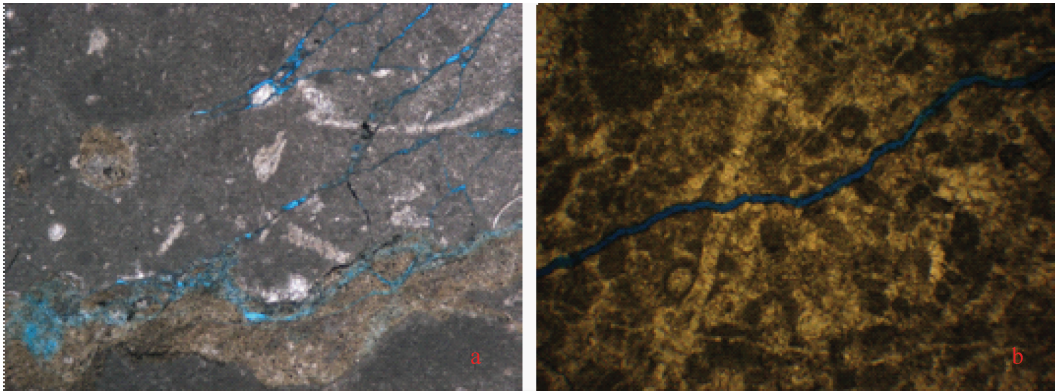


图 4 S3 井与 S4 井裂缝发育特征(铸体薄片,单偏光)

Fig. 4 Development features of fractures in S3 and S4 wells (casting thin sections, single polarized)

(a. S3 井,6 630.70 m, O_3l ,微裂缝呈网状展布;b. S4 井,6 491.83 m, O_3l ,晚期张裂缝和早期已充填方解石的裂缝)

表 1 S2 井与 S6 井良里塔格组物性统计(小柱样)

Table 1 Statistics on physical properties of the Upper Ordovician Lianglitage Formation in S2 and S6 wells

井号	样品数/个	孔隙度, %			样品数/个	渗透率/($10^{-3} \mu\text{m}^2$)		
		最大值	最小值	平均值		最大值	最小值	平均值
S2	17	5.4	0.6	1.810	16	0.24	0.020	0.070
S6	100	2.8	0.2	0.834	100	12.50	0.014	0.405

表 2 S4 井良里塔格组物性统计(全直径)

Table 2 Statistics on physical properties of the Upper Ordovician Lianglitage Formation in S4 well

层位	取样井段/m	孔隙度, %	垂直渗透率/($10^{-3} \mu\text{m}^2$)	水平渗透率/($10^{-3} \mu\text{m}^2$)
O_3l^1	6 423.8 ~ 6 427.3	$\frac{0.50 \sim 1.40}{1.00(3)}$	$\frac{0.000\ 987 \sim 0.006\ 900}{0.003\ 600(3)}$	$\frac{0.001\ 0 \sim 0.047\ 4}{0.017\ 1(3)}$
O_3l^2	6 488.63 ~ 6 493.7	$\frac{1.00 \sim 3.30}{2.03(6)}$	$\frac{0.017\ 766 \sim 0.253\ 700}{0.100\ 500(6)}$	$\frac{0.057\ 2 \sim 3.053\ 8}{0.979\ 6(6)}$
O_3l^2	6 532.5 ~ 6 539.7	$\frac{1.10 \sim 3.60}{1.73(7)}$	$\frac{0.000\ 987 \sim 0.210\ 200}{0.063\ 700(7)}$	$\frac{0.097\ 7 \sim 0.826\ 1}{0.030\ 6(7)}$
O_3l^3	6 562.3 ~ 6 567.1	$\frac{1.00 \sim 1.20}{1.13(4)}$	$\frac{0.001\ 974 \sim 0.070\ 100}{0.024\ 400(4)}$	$\frac{0.003\ 0 \sim 1.535\ 8}{0.511\ 5(4)}$

注: O_3l^1 为泥质条带灰岩段; O_3l^2 为颗粒灰岩段; O_3l^3 为含泥灰岩段。表中部分数据为 $\frac{\text{最小值} \sim \text{最大值}}{\text{平均值}(\text{样品数})}$ 。

2 储层发育影响因素

加里东中期Ⅱ幕岩溶作用、准同生岩溶作用、埋藏溶蚀作用对研究区良里塔格组储层发育有影响。断裂裂缝的改造对储层物性的改善也有重要作用。

加里东中期Ⅱ幕岩溶作用造成桑塔木组沉积前良里塔格组的暴露,为风化壳岩溶作用的发生提供了条件。前人对TZ16井区、TZ451井区及TZ12井区的研究表明,加里东中期Ⅱ幕岩溶作用对良里塔格组储层发育有一定影响^[16]。研究区虽然也有桑塔木组地层分布,但通过对S2井与S4井岩心观察可见溶蚀孔洞及裂缝发育,且溶蚀孔洞及裂缝被灰绿色泥质充填,此为加里东中期Ⅱ幕岩溶作用的产物(图5)。通过对S2井充填物矿物组成、常量元素、微量元素及同位素分析证明,泥质充填物来自相对稳定的风化剥蚀区^[17]。同时S4井全直径样物性统计表明,溶蚀孔缝较为发育的颗粒灰岩段物性较好(表2)。

前人研究认为沿塔中Ⅰ号断裂良里塔格组台地边缘相受次级沉积旋回和海平面变化的控制,普遍存在准同生岩溶作用^[2,3]。研究区S2井位于塔中Ⅰ号断裂带良里塔格组台地边缘相区内,良

里塔格组灰岩镜下薄片鉴定可见第一期海底纤状环边方解石被溶蚀,并与随后的刃状、细晶粒状方解石呈胶结不整合接触,发育铸模孔、粒内溶孔及渗流粉砂充填物等^[17,18]。S3井位于台地相区内,良里塔格组也钻揭灰白色鲕粒灰岩,镜下观察鲕膜孔发育,但均被充填,未能形成现今有效的储集空间(图6)。

目前TZ45井良里塔格组钻揭与热液埋藏溶蚀作用有关的储层,已经引起了普遍关注^[4~6];并且有研究认为埋藏溶蚀作用是形成良里塔格组有效储层的主要原因之一^[12]。而研究区S2井的研究表明井区经历过热液作用的改造^[19,20],但未见其对现存有效储集空间有显著贡献。同时S4井薄片观察中也见方解石-重晶石脉,推测与热液活动有关,并未形成与之有关的有效储集空间(图7)。

构造破裂作用在上奥陶统良里塔格组储层发育中也起着重要作用^[8,9]。一方面,构造破裂作用可能形成各种构造裂缝,成为有效储集空间(图4),使储层孔渗性显著提高;另一方面构造破裂作用形成的断裂、裂缝是地层流体运移的主要通道,对各类岩溶作用的发生起着重要的促进作用。研究区4口井测井资料揭示,裂缝发育段与溶蚀孔洞发育段伴生发育,构造破裂作用对储层物性的影响十分显著。

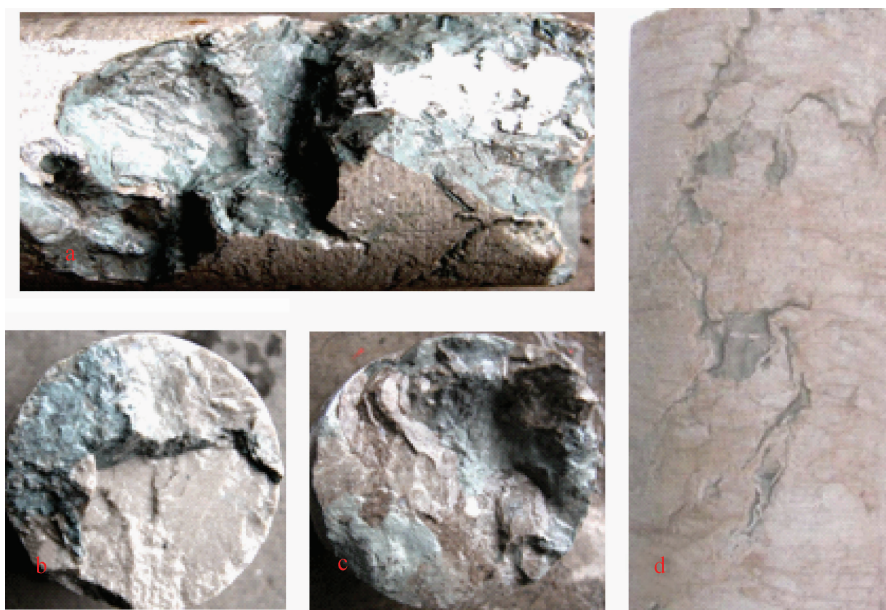


图5 S2井和S4井灰绿色泥质充填上奥陶统良里塔格组溶蚀孔洞

Fig. 5 Dissolved vugs filled by grayish green mud in the Upper Ordovician Lianglitage Formation of S2 and S4 wells
(a. S2井,9回次,O₃I; b. S2井,10回次,O₃I; c. S2井,11回次,O₃I; d. S4井,2回次,O₃I)

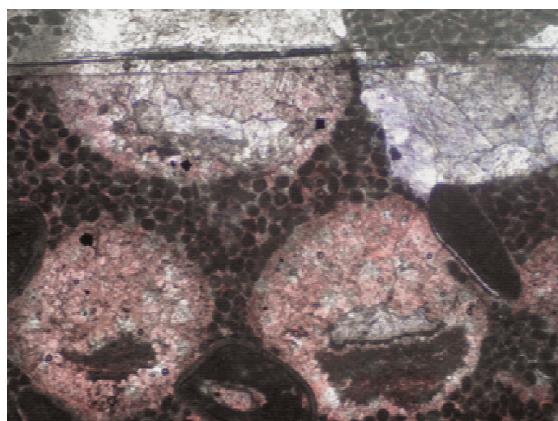


图6 S3井上奥陶统良里塔格组鲕膜孔充填
渗流粉砂(单偏光)

Fig. 6 Oomoldic pores filled by silts in the Upper Ordovician
Lianglitage Formation of Well S3 (single polarized)

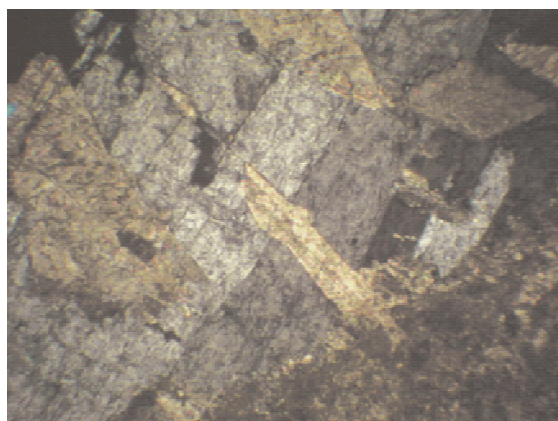


图7 S4井上奥陶统良里塔格组方解石-
重晶石脉(正交光)

Fig. 7 Calcite and barite veins in the Upper Ordovician
Lianglitage Formation of Well S3 (orthogonal optical)

3 储层分布主控因素

碳酸盐岩储层的发育演化主要受沉积、成岩(主要为多种岩溶作用)和构造三大地质因素的控制;但不同地区不同层位碳酸盐岩储层发育过程中关键控制因素不相同。研究区上奥陶统良里塔格组储层发育的主控因素尚存在诸多值得进一步探讨的问题。

塔中I号断裂构造带上奥陶统良里塔格组普遍存在准同生期岩溶作用,但对有效储集空间而言,其贡献可能较为有限。对S2等10口井良里塔格组343件铸体薄片及普通薄片的微观统计,

作为准同生岩溶主要标志的粒内溶孔和铸模孔在孔隙类型中所占比例不高,仅占总孔隙的15.9%;而粒间溶孔及非构造选择性溶孔分别占总孔隙的31.2%和21.6%,晶间溶孔也占总孔隙的19.8%。研究区S2井与S3井成岩作用的研究也表明,虽然早期台缘或台内高能相带准同生期岩溶作用普遍发生,可能形成与之有关的储集空间,但其后浅埋藏及深埋藏成岩阶段的胶结作用将导致该类储集空间的大量消失。对TZ12等16口井成岩演化序列的研究^[21]也表明,早期海底阶段的碳酸盐胶结物在所有成岩阶段胶结物中所占比例最低,而近地表-浅埋藏成岩阶段的碳酸盐胶结物最为丰富;这种现象一方面可能说明准同生期大气淡水溶蚀作用比较强烈,大量破坏了早期的海底胶结物;另一方面也说明在埋深较浅的环境中碳酸盐快速胶结成岩,导致胶结作用比溶解作用更强烈,总效应是孔隙的减少而不是增多,现存的储集空间与晚期成岩事件关系更为密切。

埋藏溶蚀作用无疑对塔中地区奥陶系储层的发育有一定影响,但是否能成为研究区良里塔格组储层发育的关键控制因素还值得进一步探讨。埋藏溶蚀作用一般沿原有的孔缝系统进行,主要表现为原有孔、洞、缝的扩溶;对于缺少孔缝的致密碳酸盐岩,由于缺乏成岩流体运移通道,埋藏溶蚀作用并不发育。另一方面,埋藏成岩发生在一个近封闭的系统中,胶结物物质总量基本不变。成岩作用的研究揭示埋藏胶结物具有局部富集的特征,方解石胶结物的“沉淀区”和“溶解区”相隔并不远^[21]。在没有溶解物质远距离迁移的条件下,仅靠埋藏溶蚀作用,形成规模发育的储集体十分困难。研究区S2井与S4井虽然存在热液活动的证据,但热液活动并未对现存储集空间的形成起到明显的积极作用。

4 结论

研究区良里塔格组储层发育主控因素与中段中石油探区有所不同。对研究区良里塔格组现存储集空间而言,准同生期岩溶作用对储集空间贡献有限;与热液有关的埋藏溶蚀作用对储集空间并无显著的积极作用;而加里东中期II幕风化壳岩溶作用与构造破裂作用对储集空间更为重要。研究区储层展布并不完全受控于沉积相,可

能与加里东中期古地貌及该时期活动的断裂关系密切。

参 考 文 献

- 贾承造. 中国塔里木盆地构造特征与油气[M]. 北京: 石油工业出版社, 1997. 183 ~ 204
- 王振宇, 李宇平, 陈景山, 等. 塔中地区中-晚奥陶世碳酸盐岩陆棚边缘大气成岩透镜体的发育特征[J]. 地质科学, 2002, 37 (增刊): 132 ~ 160
- 刘忠宝, 于炳松, 李廷艳, 等. 塔里木盆地塔中地区中上奥陶统碳酸盐岩层序发育对同生期岩溶作用的控制[J]. 沉积学报, 2004, 22(1): 103 ~ 109
- 张兴阳, 顾家裕, 罗平, 等. 塔里木盆地奥陶系萤石成因及其油气地质意义[J]. 岩石学报, 2006, 22(8): 2 220 ~ 2 228
- 朱东亚, 胡文宣, 宋玉才, 等. 塔里木盆地塔中 45 井油藏萤石化特征及其对储层的影响[J]. 岩石矿物学杂志, 2005, 24 (3): 205 ~ 215
- 王嗣敏, 金之钧, 解启来. 塔里木盆地塔中 45 井区碳酸盐岩储层的深部流体改造作用[J]. 地质论评, 2004, 50(5): 543 ~ 547
- 李开开, 蔡春芳, 蔡缪璐, 等. 塔中地区上奥陶统热液流体与热化学硫酸盐还原作用[J]. 石油与天然气地质, 2008, 29(2): 217 ~ 222
- 魏国齐, 贾承造, 宋惠珍, 等. 塔里木盆地塔中地区奥陶系构造-沉积模式与碳酸盐岩裂缝储层预测[J]. 沉积学报, 2000, 18(3): 408 ~ 413
- 刘忠宝, 孙华, 于炳松, 等. 裂缝对塔中奥陶系碳酸盐岩储集层岩溶发育控制[J]. 新疆石油地质, 2007, 28(3): 289 ~ 291
- 王嗣敏, 吕修祥. 塔中地区奥陶系碳酸盐岩储层特征及其油气意义[J]. 西安石油大学学报(自然科学版), 2004, 19(4):

72 ~ 76

- 黎平, 陈景山, 王振宇. 塔中地区奥陶系碳酸盐岩储层形成控制因素及储层类型研究[J]. 天然气勘探与开发, 2003, 26 (1): 37 ~ 42
- 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
- 赵宗举, 周新源, 王招明, 等. 塔里木盆地奥陶系边缘相分布及储层主控因素[J]. 石油与天然气地质, 2007, 28(6): 738 ~ 744
- 张涛, 闫相宾. 塔里木盆地深层碳酸盐岩储层主控因素探讨[J]. 石油与天然气地质, 2007, 28(6): 745 ~ 754
- 王招明, 赵宽志, 邹光辉, 等. 塔中 I 号坡折带上奥陶统礁滩型储层发育特征及其主控因素[J]. 石油与天然气地质, 2007, 28 (6): 797 ~ 801
- 楼雄英. T₂ 界面与塔中隆起上奥陶统碳酸盐岩古岩溶储层[J]. 沉积与特提斯地质, 2005, 25(3): 24 ~ 32
- 钱一雄, 何治亮, 邹远荣, 等. 塔里木盆地塔中 I 号带西北部上奥陶统碳酸盐岩同生期岩溶——以顺 2 井为例[J]. 地学前缘, 2008, 15(2): 59 ~ 66
- 陈景山, 李忠, 王振宇, 等. 塔里木盆地奥陶系碳酸盐岩古岩溶作用与储层分布[J]. 沉积学报, 2007, 25(6): 858 ~ 868
- 吴茂炳, 王毅, 郑孟林, 等. 塔中地区奥陶纪碳酸盐岩热液岩溶及其对储层的影响[J]. 中国科学(D 辑): 地球科学, 2007, 37 (增刊): 83 ~ 92
- 钱一雄, 陈跃, 陈强路, 等. 塔中西北部奥陶系碳酸盐岩埋藏溶蚀作用[J]. 石油学报, 2006, 27(3): 47 ~ 52
- 周波, 贾承造, 顾家裕, 等. 塔中台缘带上奥陶统碳酸盐岩成岩演化序列[J]. 新疆石油地质, 2008, 29(2): 166 ~ 169

(编辑 张亚雄)

(上接第 68 页)

- 刘金有, 戴金星, 刘文江, 等. 塔里木盆地天然气中氮地球化学特征与成因[J]. 石油与天然气地质, 2007, 28(1): 12 ~ 17
- Liu Keyu, Eadington P, Middleton H. Applying quantitative fluorescence techniques to investigate petroleum charge history of sedimentary basins in Australia and Papuan New Guinea[J]. Journal of Petroleum Science and Engineering, 2007, 57: 139 ~ 151
- Liu K, Kurusingal J, Coghlan D, et al. Quantitative grain fluorescence (QGF), a technique to detect (palaeo-oil zones by measuring trace fluorescence from reservoir grains [R]. Csiro Petroleum Unrestricted Report, 2001. 1 ~ 10
- Liu K, Coghlan D, Cable T, et al. Quantitative grain fluorescence (QGF) procedure's manual and explanatory notes [R]. Csiro Confidential Report, 2002. 2 ~ 60
- Liu K, Eadington P J, Coghlan D. Fluorescence evidence of polar

hydrocarbon interaction on mineral surface and implications to alteration of reservoir wettability [J]. Journal of Petroleum Science and Engineering, 2003, 39(3): 275 ~ 285

- Liu K, Eadington P J. A new method for identifying secondary oil migration pathways [J]. Journal of Geochemical Exploration, 2003, 78: 389 ~ 394
- Liu Keyu, Eadington P. Quantitative fluorescence techniques for detecting residual oils and reconstructing hydrocarbon charge history [J]. Organic Geochemistry, 2005 (36): 1 023 ~ 1 036
- Liu K, Georges S C, Li S, et al. PMN1-9: Total Scanning Fluorescence (TSF) as an effective screening tool for delineating oil families [J]. Organic Geochemistry, 2005, 21(2): 1 128 ~ 1 129

(编辑 董立)