

# 麦盖提斜坡奥陶系热液溶蚀流体 对内幕白云岩储层的改造作用

田雷<sup>1</sup>,崔海峰<sup>1</sup>,冯晓军<sup>2</sup>,张年春<sup>1</sup>,刘军<sup>1</sup>

(1. 中国石油勘探开发研究院西北分院,甘肃兰州 730020; 2. 中国石油  
塔里木油田分公司石油勘探开发研究院,新疆库尔勒 841000)

**摘要:**塔里木盆地麦盖提斜坡奥陶系深部白云岩发育优质热液溶蚀储层,主要特征有:①岩溶孔洞、缝充填鞍状白云石以及石英、黄铁矿、天青石、硅质充填等热液矿物;②热液溶蚀作用形成的溶蚀孔洞明显改善了白云岩储层物性。通过研究区断裂性质分析,结合钻井热液溶蚀特征,对与深部热流体相匹配的断裂活动特征及对白云岩储层的改造作用进行研究,探讨了热液流体在剖面上的活动特征。研究认为,多期活动的深大断裂带有利于埋藏热液流体活动,研究区群苦恰克断裂带、玛扎塔格断裂带以及玛东冲断裂带均是热液白云岩储层发育有利区;远离断裂带的广大区域,二叠纪小型张性走滑断裂同样可以作为热液流体活动的运移通道,形成的白云岩储层在地震剖面上表现为“串珠”状,平面上呈星点状大面积分布。结合研究区油气成藏条件分析,认为群苦恰克断裂带的热液白云岩储层是斜坡区较为现实的勘探领域;受控于小型张扭断裂的白云岩储层分布面积广,资源潜力大,具有较好的勘探前景。

**关键词:**内幕白云岩储层;奥陶系;热液流体;麦盖提斜坡;塔里木盆地

**中图分类号:**TE122.2 **文献标识码:**A

## Reconstruction effect of the Ordovician hydrothermal dissolution fluid on interior dolomite reservoirs in Maigaiti slope, Tarim Basin

Tian Lei<sup>1</sup>, Cui Haifeng<sup>1</sup>, Feng Xiaojun<sup>2</sup>, Zhang Nianchun<sup>1</sup>, Liu Jun<sup>1</sup>

(1. Northwest Branch of Research Institute of Petroleum Exploration & Development, PetroChina, Lanzhou, Gansu 730020, China;

2. Research Institute of Petroleum Exploration & Development of China Tarim Oilfield Company, PetroChina, Korla, Xinjiang 841000, China)

**Abstract:** High-quality hydrothermal karst reservoirs are well developed in the Ordovician dolomite of Maigaiti slope in Tarim Basin. The reservoirs feature in karst fractures and cavities filled with saddle dolomite and hydrothermal minerals such as quartz, pyrite, celestine and siliceous and etc., and their physical properties were greatly improved by inter-crystal pores and dissolved pores formed during hydrothermal karst activities. Analyses of faults in the research area were combined with drilling data to study faulting activities associated with deep hydrothermal fluids and their effect on the transformation of dolomite reservoirs and characterize hydrothermal fluid on profiles. The results show that multi-staged deep and giant fault zones like Qunkuqi fault zone, Mazatage fault zone and Madong thrust belt in the research area, were perfect places for hydrothermal fluid activities. Areas far from the fault zones and small extensional strike-slip faults may serve as the pathways for the fluids to flow by, and dolomite reservoirs presented themselves as a string of beads on seismic profiles and widely-distributed dots on the plane. Based on the above observation and reservoiring conditions of the area, we suggest that the dolomite reservoirs in Qunkuqi fault zone have the potential to be practical exploration targets and widely-distributed dolomite reservoirs controlled by tensional-shear faults in the area shall also be future exploration targets.

**Key words:** interior dolomite reservoir, Ordovician, hydrothermal fluid, Maigaiti slope, Tarim Basin

热液流体对碳酸盐岩储层的溶蚀改造作用是目前塔里木盆地油气勘探研究的热点问题<sup>[1-2]</sup>,特别是对

热液白云岩化作用和相关储层的研究开展了大量工作<sup>[3]</sup>。随着勘探的深入,塔里木盆地奥陶系深部热液

收稿日期:2014-12-10;修订日期:2015-05-15。

第一作者简介:田雷(1982—),男,工程师、硕士,沉积储层与石油地质。E-mail: tianlei\_xds@petrochina.com.cn。

基金项目:中国石油天然气股份有限公司科学研究与技术开发项目(090106-4)。

白云岩储层发育的普遍性也越来越被人们所认识<sup>[2-4]</sup>。近年来,塔中、古城地区奥陶系热液白云岩储层分别获得了油气发现,不仅证实深部热液白云岩储层具备形成大型油气藏的地质条件,同时展示了热液白云岩储层良好的勘探前景。本文通过麦盖提斜坡奥陶系大量白云岩钻井岩心薄片观察,认为储层的形成主要为热液成因,在断裂活动与岩心热液溶蚀特征分析的基础上,探讨了热液流体在剖面上的活动特征,指出了白云岩的勘探前景和方向。

## 1 区域地质背景

麦盖提斜坡是塔里木盆地西南坳陷的一个二级构造单元(图1)<sup>[5]</sup>,西北端与柯坪断隆相邻,东北以色力布亚-玛扎塔格断裂与巴楚隆起相连,南接喀什凹陷和叶城-和田凹陷,往东以玛东五排构造带向塘古孜巴斯凹陷过渡<sup>[6]</sup>,总面积 $2.5 \times 10^4 \text{ km}^2$ 。该斜坡呈北西-南东向弧形带状分布,为向西南倾的区域性斜坡。依据钻井及地震资料,斜坡区奥陶系厚度较大,为900~1300 m。自下而上,奥陶系划分为下奥陶统蓬莱坝组、中-下奥陶统鹰山组 and 上奥陶统良里塔格组,其中蓬莱坝组和鹰山组下段以白云岩为主,鹰山组上段和良里塔格组主要为灰岩。

斜坡区是岩浆活跃区域,发育在多个层系中,其中既有喷出岩也有侵入岩。喷出岩主要产于二叠系阿

恰群中段,岩性以巨厚-厚层状玄武岩、凝灰岩为主,这套火山岩在区域上稳定分布,厚度200~600 m。同时还有侵入岩形成,依据钻井资料,侵入岩主要分布在西段,在群古1井、伽1井、巴开2井、巴探5井、巴探7井、罗南1井和康2井均钻遇到侵入岩,岩性主要为灰黑色辉绿岩、辉长岩,厚度普遍较薄,为2~50 m,产出层位主要在奥陶系。斜坡区广泛发育的岩浆活动,带来了地层深部热流体上涌,为奥陶系白云岩地层提供了热液来源。

## 2 热液白云岩储层特征

### 2.1 热液白云岩岩石学特征及识别标志

研究区奥陶系鹰山组下段和蓬莱坝组白云岩表现为层状特征,区域上稳定分布。白云岩的岩石结构以粉-细晶白云岩为主,残余结构十分少见,反映了该区白云石化作用主要发生在中-浅埋藏成因环境中。在稳定分布的埋藏白云岩中常见热液白云岩化及热液溶蚀现象,相对于埋藏白云岩在宏观和微观上都有许多独特的识别标志:①岩性主要为中-粗晶白云岩,与粉-细晶白云岩在岩心上区别十分明显(图2a);②在裂缝及溶蚀孔洞中常见晶粒粗大、晶形完整的白云石自形晶体(图2b),同时大量自形晶簇状的石英、方解石(图2b)生长在裂缝及孔洞壁,晶体颗粒大小不一,有的甚至达到2 cm以上;③岩心薄片可见大量鞍形白云石(图2c),

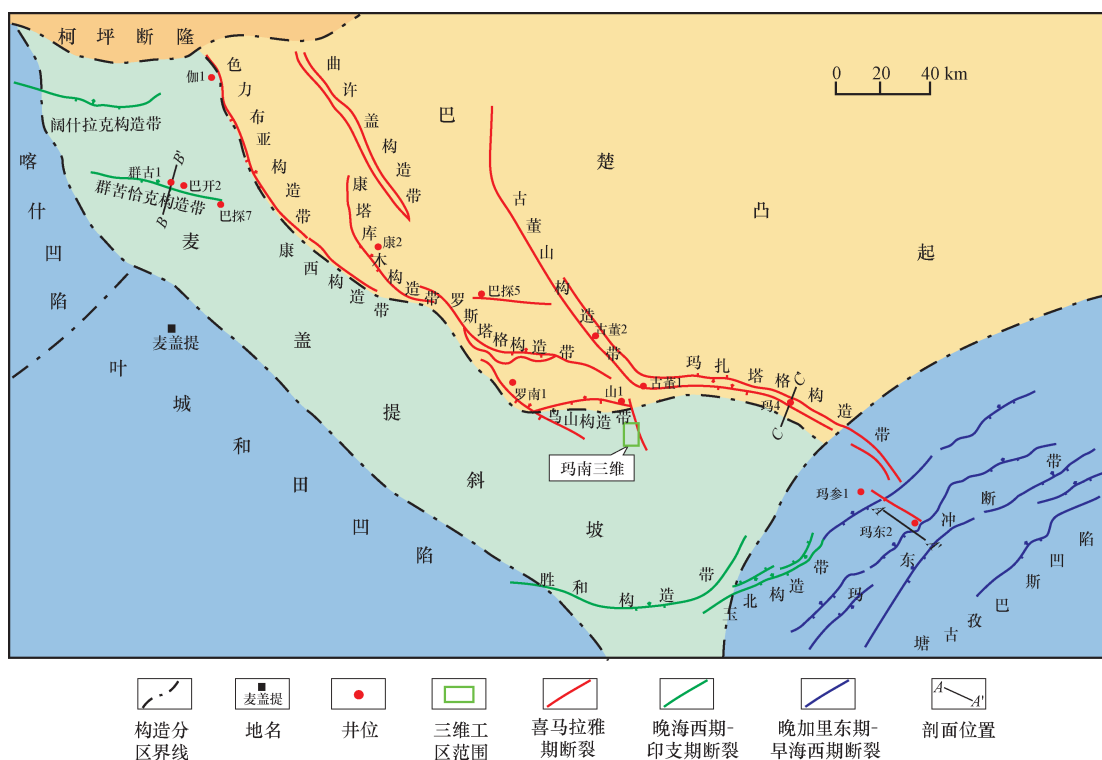


图1 塔里木盆地麦盖提斜坡构造位置

Fig. 1 Location of Maigaiti slope in Tarim Basin

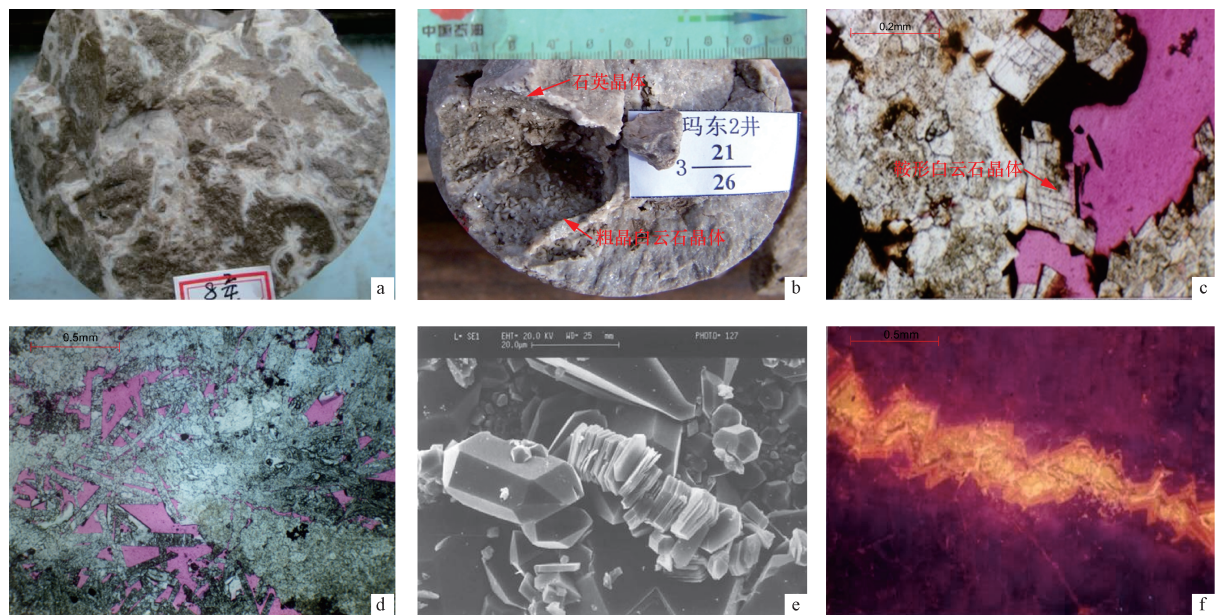


图 2 塔里木盆地麦盖提斜坡奥陶系热液白云岩岩石学特征

Fig. 2 Lithological features of Ordovician hydrothermal dolomite in Maigaiti slope of Tarim Basin

a. 山 1 井,  $O_1P$ , 埋深 3 397.8 m, 杂色粉晶白云岩, 灰白色中粗晶白云岩呈斑豹状分布于深色粉晶云岩中; b. 玛东 2 井,  $O_{1-2}Y$ , 埋深 4 431.3 m, 细晶白云岩, 石英和粗晶白云石晶体沿孔洞壁生长; c. 古董 1 井,  $O_1P$ , 埋深 3 549.96 m, 粉晶云岩, 溶蚀缝白云石自生石英半充填; d. 山 1 井,  $O_{1-2}Y$ , 埋深 3 891.93 m, 残余藻云岩, 晶间溶孔被天青石充填后的剩余孔隙; e. 山 1 井,  $O_1P$ , 埋深 4 166.18 m, 白云岩, 溶孔中高岭石及石英晶体, 扫描电镜; f. 玛 4 井,  $O_{1-2}Y$ , 埋深 2 375.38, 中晶白云岩, 构造缝内白云石为桔黄色, 具环带, 方解石为更明亮的桔黄色

常发育在溶蚀孔洞边缘,其晶体粗大,大小为 0.5 mm 左右,晶面常表现为马鞍状、阶梯状,波状消光,解理明显,其形成可能与构造热液活动相关<sup>[7-8]</sup>;④中粗晶白云石常与石英、天青石、黄铁矿等热液矿物伴生(图 2d,e);⑤由于热液成因白云岩 Fe、Mn 元素含量较高,在阴极发光中常表现为明亮的桔黄色,而基质白云岩常为暗红色(图 2f)。

2.2 热液溶蚀对白云岩储层的影响

铸体薄片分析结果显示,白云岩的储集空间包括裂缝、溶蚀孔洞和晶间孔。其中晶间孔主要发育在自形程度较高的白云岩晶体间未被胶结物充填的部分,孔径普遍较小,在 0.01 ~ 0.05 mm,常呈孤立状分布,因此晶间孔对储集性能贡献较小。溶蚀孔洞普遍发育,在铸体薄片视域内的孔径达到 0.1 ~ 0.7 mm,且大

多与热液白云石及其他热液矿物相伴生,其岩石结构常表现为以溶蚀孔洞为中心由外向内依次为粉细晶白云石—中粗晶白云石—鞍状白云石、石英等热液矿物—溶蚀孔洞储集空间(图 2c,d)。这些特殊的岩石结构表明,热液流体在对早期形成的埋藏白云岩进行改造的过程中,发生了强烈的溶蚀作用并形成大量溶蚀孔洞,同时沉淀中粗晶和鞍状白云石、石英、天青石、黄铁矿等热液矿物。

为了反映溶蚀孔洞的充填特征,对研究区 5 口钻井 71 个岩石薄片溶蚀孔洞的充填物、充填程度进行了统计(表 1)。结果表明,未充填、半充填和全充填孔洞分别占到了 12%,51%和 37%,溶蚀孔洞以半充填为主,剩余孔隙普遍在 30%以上,可见热液溶蚀作用在沉淀热液矿物的过程中,充填了部分裂缝—孔洞,但仍然保留了相当一部分的储集空间。

表 1 塔里木盆地麦盖提斜坡奥陶系白云岩溶蚀孔洞充填物

Table 1 Filling in fractures and cavities of Ordovician dolomite reservoirs in Maigaiti slope of Tarim Basin

| 井号   | 薄片数量/<br>个 | 溶蚀孔洞数量/个 |     |     |     | 孔洞充填物含量/% |       |           |      |      |           |            |
|------|------------|----------|-----|-----|-----|-----------|-------|-----------|------|------|-----------|------------|
|      |            | 总数       | 未充填 | 半充填 | 全充填 | 鞍状白云石     | 自形白云石 | 方解石<br>含量 | 石英含量 | 硅质含量 | 天青石<br>含量 | 剩余孔隙<br>含量 |
| 玛 4  | 15         | 14       | 3   | 11  | 7   | 7         | 32    | 12        | 9    | 10   | 0         | 30         |
| 玛 2  | 5          | 8        | 2   | 6   | 4   | 11        | 28    | 22        | 8    | 0    | 0         | 31         |
| 古董 1 | 13         | 28       | 6   | 22  | 15  | 11.5      | 20    | 10        | 6    | 3    | 1.5       | 48         |
| 古董 2 | 4          | 12       | 3   | 9   | 6   | 8         | 16    | 8         | 0    | 0    | 0         | 68         |
| 山 1  | 34         | 47       | 8   | 39  | 34  | 9         | 21    | 12        | 9    | 8    | 4         | 37         |

通过大量岩心观察,溶蚀孔洞在研究区奥陶系白云岩中广泛发育,大小一般从几毫米到几厘米,针状孔一般小于1 mm,在岩心上常呈麻点状密集分布<sup>[9]</sup>。在古董1井奥陶系白云岩的取心中发现,1 631.47~1 636.5, 2 098.8~2 100, 2 100~2 102.2和2 657~2 663 m岩心中都发现大量鞍形白云岩和热液矿物,孔洞、缝的形成与热液溶蚀密切相关。对29个样品实测物性进行统计,结果显示孔隙度为1.92%~8.71%,平均为3.40%,渗透率为 $(0.8\sim33.3)\times10^{-3}\mu\text{m}^2$ ,平均为 $16.3\times10^{-3}\mu\text{m}^2$ ,与整段白云岩的孔隙度和渗透率相比都有明显的增加。山1井蓬莱坝组3 872.2~3 885 m的取心证实同样为热液溶蚀白云岩储层,14个样品的实测孔隙度为0.49%~8.70%,平均为2.76%,该段试油为高产气段。由此可见,热液溶蚀作用形成的溶蚀孔洞对白云岩储集物性的改善具有重要意义,可形成大量优质储层。

### 3 热液流体剖面活动特征

断裂作为岩浆热液活动最重要的运移通道是热液溶蚀作用发生的关键因素。麦盖提斜坡及周缘发育多期断裂,后期断裂构造对早期断裂有强烈的改造作用是该区断裂的一个显著特征。通过研究区断裂性质分析,结合钻井热液溶蚀特征,对与热流体活动相匹配的断裂活动特征及对储层的改造作用进行研究,为预测热液改造白云岩储层提供依据。

#### 3.1 加里东晚期—海西早期断裂

该类断裂集中发育在斜坡东缘玛东冲断带,在加里东中晚期—海西期受挤压应力作用,发育于中寒武统一奥陶系的盖层滑脱冲断带,单个冲断层向下断入寒武系膏盐层主滑脱面,向上断至上奥陶统、泥盆系,说明该类断裂基本定型于加里东晚期—海西早期。该期断裂早于岩浆—火山活动期,显然不能成为热液运移的有效通道,但大量地震剖面提供冲断带存在海西晚期局部活动的证据,如过玛东2井的地震剖面可见向下切穿基底(图3),向上切穿石炭系、断至二叠系的海西晚期断裂。断裂产状近于直立,断距小,宽度窄,具有典型的走滑性质,该类断裂可作为热流体活动的有效通道。玛东2井奥陶系钻井岩心观察结果显示(图4),顶部第一筒岩心有0.23 m的硅质充填,且大量构造裂缝被硅质全充填,第二、第三、第四筒岩心揭示大量有效缝洞,统计7.65 m的岩心中大洞(>10 mm)23个、中洞(2~10 mm)36个、小洞(<2 mm)156个;裂缝321条,其中直立缝有139条,斜交缝有182条,缝洞内壁普遍发育石英、方解石、白云石晶簇。玛东2井测井解释

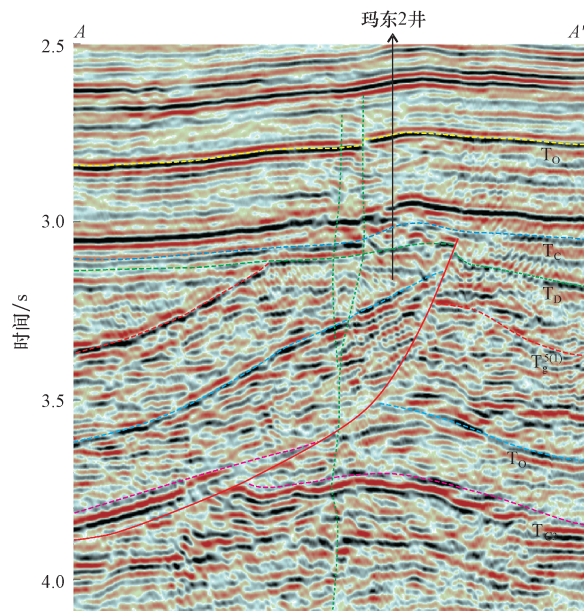


图3 塔里木盆地麦盖提斜坡过玛东2井地震剖面

Fig. 3 Seismic profile across well Madong-2 of Mazatage slope in Tarim Basin

结果显示,顶部4 284~4 593 m井段储层孔隙度平均为1.5%,综合解释7个三类储层,中下部4 617~4 680 m井段孔隙度平均为5.3%,多段发生井漏,累计漏失钻井液177 m<sup>3</sup>,综合解释为一类—二类储层,可见深部热液溶蚀改造成为玛东2井白云岩储层发育的关键因素。显然海西晚期断裂为热流体向上运移提供通道,大量构造裂缝和埋藏白云岩形成的晶间孔可以作为热液流体在岩石中的渗滤通道,有利于溶蚀作用的发生。在热流体向上运移的过程中,随着温度、压力等条件的变化,热液矿物逐渐沉淀,因此玛东2井奥陶系白云岩由深到浅热液溶蚀孔洞充填程度逐渐变高。

#### 3.2 海西晚期—印支期断裂

海西晚期—印支期断裂主要有群苦恰克断裂、阔什拉克断裂、胜和—玉北断裂。这些断裂均显示两期断裂活动:加里东晚期—海西早期形成的断层转折褶皱被海西晚期形成的冲断层改造,晚期断裂断距很小,向上切穿石炭系,断至二叠系。另外,通过对群古1和伽1井钻遇的辉绿岩标定,结果显示辉绿岩在地震剖面上引起“片状强反射”特征,同时隐约可见辉绿岩“片状”反射沿着断层面分布(图5)。可见,群苦恰克断裂与岩浆侵入的时间相匹配,在断裂的沟通下,岩浆向上侵位形成大规模的裂隙式辉绿岩墙。参照前人对巴楚及塔中地区对侵入体与热液储层的分析结果<sup>[10]</sup>,有理由相信在侵入体附近一定距离有断裂、裂缝系统存在的地方,由于岩浆活动带来的热源可形成大量热液活动,促进热液溶蚀作用发生,形成溶蚀孔洞。

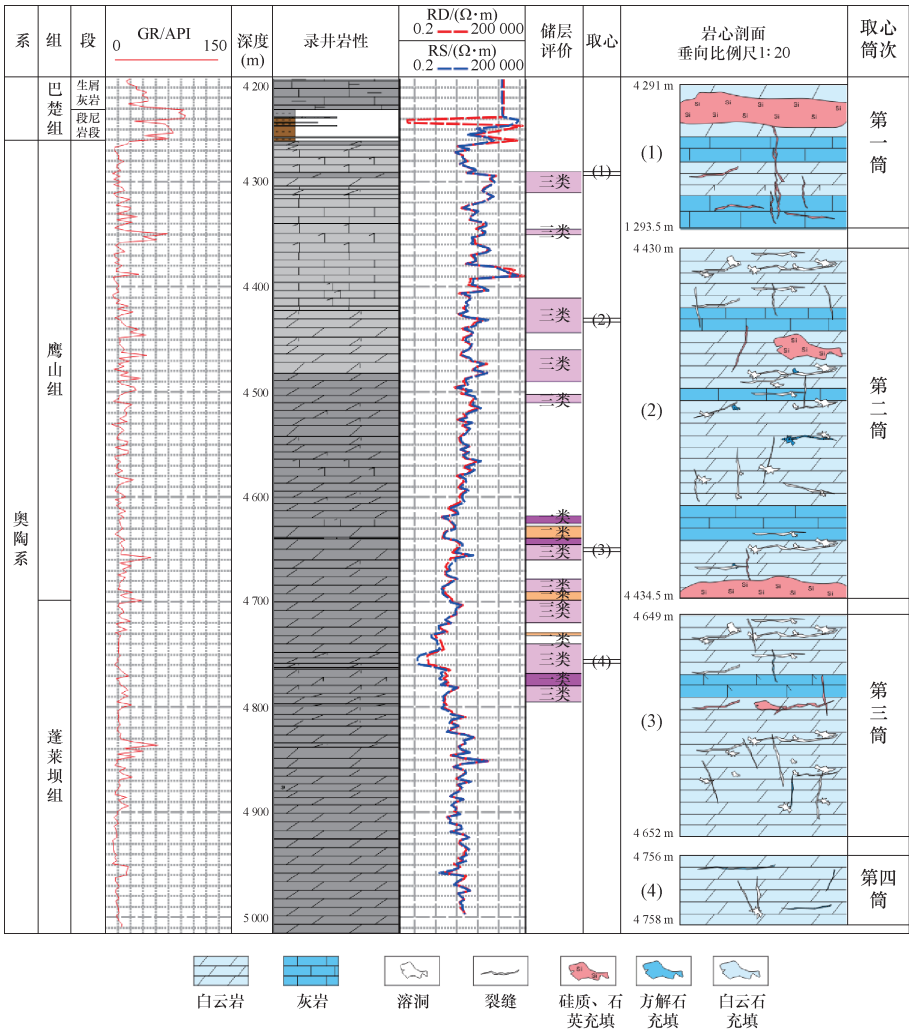


图 4 塔里木盆地麦盖提斜坡玛东 2 井奥陶系综合柱状图

Fig. 4 Comprehensive column of the Ordovician in well Madong-2 in Maigaiti slope of Tarim Basin

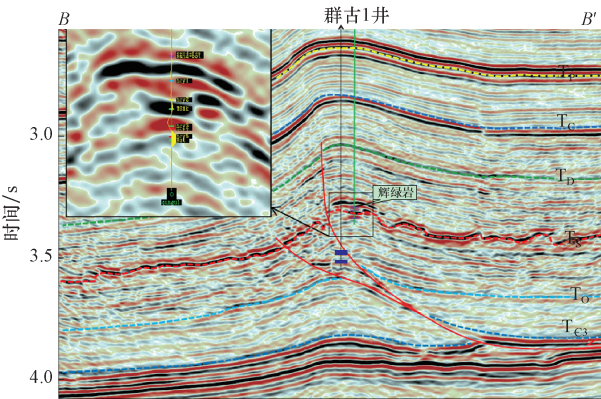


图 5 塔里木盆地麦盖提斜坡  
群古恰克构造带过群古 1 井地震剖面

Fig. 5 Seismic profile across well Qungu-1 in Qunkuqiake  
tectonic belt in Maigaiti slope of Tarim Basin

3.3 喜马拉雅期断裂

喜马拉雅期断裂主要有色力布亚-玛扎塔格断裂系,由色力布亚、康塔库木、海米罗斯塔格、鸟山及玛扎塔格断裂组成的一个环绕巴楚断隆西南边界的弧形基

底断裂系<sup>[11]</sup>。这些断裂的共同特征是喜马拉雅期强烈的构造运动形成的基底卷入型断裂对早期构造断裂进行了改造破坏,导致早期构造特征不易识别。以玛扎塔格断裂为例(图 6),该断裂带要由玛南和玛北两条近于平行的基底卷入型断裂组成(图中红色线),从断裂带内二叠系剥蚀减薄的现象可以判断古近纪前发生了构造活动,在垒带内隐约可见数条断裂组成的晚海西期走滑断裂系(图中绿色线),主干断裂直立,分支断裂向深部合并,为典型正花状构造。另外,玛扎塔格东段有地震剖面揭示,沿断裂带深层发育岩浆侵入体<sup>[11]</sup>,可见玛扎塔格断裂带在晚海西期存在活动,可以作为热流体活动的有效断裂。在深部热液溶蚀作用下,玛 4 井位于潜山面以下 400~800 m 的白云岩仍然发育优质缝洞型储层。

3.4 二叠纪小型张扭断裂

在深大断裂带以外的广大区域仍然发育奥陶系内幕白云岩储层。从玛南斜坡的三维资料(图 7)可以看出,内幕白云岩储层表现为“串珠状”强振幅反

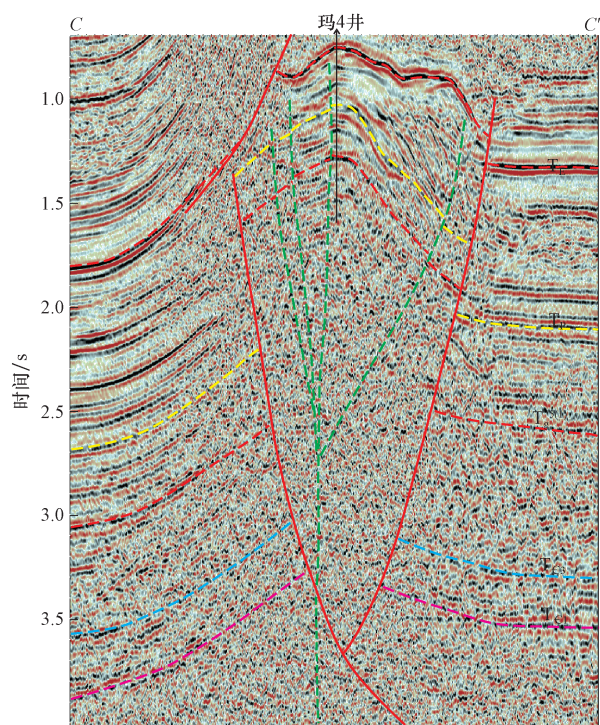


图6 塔里木盆地麦盖提斜坡玛扎塔格构造带过玛4井地震剖面

Fig. 6 Seismic profile across well Ma-4 in Mazatage tectonic belt in Maigaiti slope of Tarim Basin

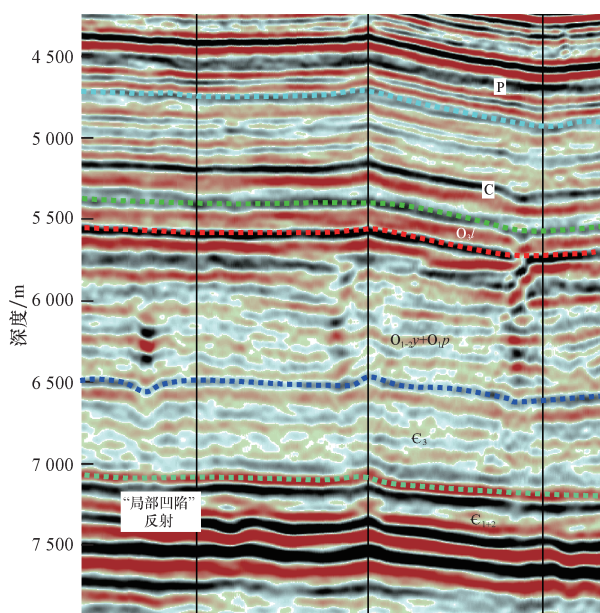


图7 塔里木盆地麦盖提斜坡玛南三维地震解释剖面

Fig. 7 3D interpreted seismic profiles of Manan area in Maigaiti slope of Tarim Basin

射(图3)，“串珠”以两峰一谷三相位为主，纵向上远离风化壳，“串珠”顶部大多分布在鹰山组上段灰岩与鹰山组下段白云岩的岩性界面上。“串珠”白云岩储层主要发育在近直立的微小张性走滑断裂附近，这些微小断裂在地震剖面上的主要特点有：①断面陡直，向下直插基底，向上断穿石炭系，断至下二叠统；②断裂在中寒武统膏岩层中表现为微小的地层挠曲；③在上寒

武统及奥陶系表现为微小的地层错断，断距一般小于50 m，断裂由于微小的断块下掉而形成“局部构造凹陷”<sup>[12]</sup>，可以解释为在扭动断裂上留下的扭张负花状构造，在加拿大的多佛油田和美国纽约北部的特伦顿—布莱克油田，该类构造被认为与热液白云岩的存在具有明显的相关性<sup>[12]</sup>；④在石炭系和二叠系中小断裂断距很小，断面在地震剖面上表现为弱振幅反射，该类断裂主要形成于早二叠世伸展作用下大陆裂谷型的构造环境中，与区域上二叠纪岩浆火山活动事件密切相关，是有效的热液流体作用的运移通道，而且在众多国外关于受构造控制的热液白云岩实例文献报告中，这种张性走滑断裂通常被认为是热液流体运移的优势通道<sup>[12]</sup>。

## 4 油气勘探前景

前人研究成果表明，麦盖提斜坡发育寒武系烃源岩<sup>[13-14]</sup>，斜坡区已经发现的巴什托普（即群苦恰克）油田、亚松迪气田、和田河气田均证实油气主要来自寒武系<sup>[13-16]</sup>，表明该区奥陶系内幕白云岩具有良好的油气源条件。

研究区多期活动的深大断裂带有利于埋藏热液流体活动，具备形成优质内幕白云岩储层的条件。斜坡西段群苦恰克断裂带的奥陶系内幕白云岩储层是该区较为现实的勘探领域，有利因素主要有：①群苦恰克断裂带浅层泥盆系东河砂岩、石炭系生屑灰岩、小海子灰岩已经发现工业油气，油气主要来自深层寒武系烃源岩；②构造带内两口奥陶系钻井群古1和巴开2井揭示鹰山组上段灰岩岩性致密，储层欠发育，深部热液白云岩储层与上覆致密灰岩可构成良好的储盖组合；③多期活动的群苦恰克断裂构成油气垂向运移的良好通道，储层发育是成藏的关键。

在深大断裂带以外的广大区域，受控于小型张扭断裂的白云岩储层在玛南、群古、玉北等地区均有发育，呈现区域性分布的特点。有理由相信，随着地震资料的改善，将有更多的内幕白云岩储层能够清楚地被识别出来。该类储层主要发育在小型张扭断裂附近，在平面上以星点状孤立方式出现，其横向上分布的连续性可能较差，但分布面积广（斜坡区奥陶系白云岩埋深小于7 000 m的有利面积可达 $1.1 \times 10^4 \text{ km}^2$ ），储层规模大，勘探潜力大，仍具有较好的勘探前景。

## 5 结论

1) 斜坡区奥陶系白云岩地层内存在大规模热液流体活动，热液溶蚀作用形成的溶蚀孔洞明显改善了白云岩储集性能。

2) 斜坡区多期活动的深大断裂带有利于埋藏热液流体活动,具备形成优质热液白云岩储层的条件;断裂带以外的广大区域,二叠纪小型张扭断裂同样可以作为热液流体活动的运移通道,形成的白云岩储层在地震剖面上表现为“串珠”状,平面上呈星点状大面积分布。

3) 群苦恰克断裂带的奥陶系内幕白云岩储层是斜坡区较为现实的勘探领域;受控于小型张扭断裂的白云岩储层分布面积广,储层规模大,具有较好的勘探前景。

### 参 考 文 献

- [1] 张静,胡见义,罗平,等. 深埋优质白云岩储集层发育的主控因素与勘探意义[J]. 石油勘探与开发,2010,32(2):203-210.  
Zhang Jing, Hu Jianyi, Luo Pin, et al. Master control factors of deep high-quality dolomite reservoirs and the exploration significance[J]. Petroleum Exploration and Development, 2010, 32(2): 203-210.
- [2] 邢凤存,张文淮,李思田. 热流体对深埋白云岩储集性影响及其油气勘探意义—塔里木盆地柯坪露头区研究[J]. 岩石学报, 2011, 27(1): 266-276.  
Xing Fengcun, Zhang Wenhui, Li Sitian. Influence of hot fluids on reservoir property of deep buried dolomite strata and its significance for petroleum exploration: A case study of Keping outcrop in Tarim basin[J]. Acta Petrologica Sinica, 2011, 27(1): 266-276.
- [3] 陈代钊,构造—热液白云岩化作用与白云岩储层[J]. 石油与天然气地质, 2008, 29(5): 614-622.  
Chen Daizhao. Structure-controlled hydrothermal dolomitization and hydrothermal dolomite reservoirs[J]. Oil & Gas Geology, 2008, 29(5): 614-622.
- [4] 朱东亚,金之钧,胡文瑛. 塔北地区下奥陶统白云岩热液重结晶作用及其油气储集意义[J]. 中国科学(地球科学), 2010, 40(2): 156-170.  
Zhu Dongya, Jin Zhijun, Hu Wenxuan. Hydrothermal recrystallization of the Lower Ordovician dolomite and its significance to reservoir in northern Tarim Basin[J]. Science China (Earth Science), 2010, 40(2): 156-170.
- [5] 崔海峰,卫平生,张年春,等. 麦盖提斜坡西段奥陶系岩溶储层分布特征及勘探意义[J]. 石油地质, 2010(6): 34-39.  
Cui Haifeng, Wei Pingsheng, Zhang Nianchun, et al. Distribution characteristics and exploration significance of Ordovician karst reservoir in western Maigaiti slope[J]. China Petroleum Exploration, 2010(6): 34-39.
- [6] 张年春,黄思静,崔海峰,等. 塔里木盆地麦盖提斜坡西段奥陶系古潜山储层研究[J]. 成都理工大学学报(自然科学版), 2011, 38(2): 169-174.  
Zhang Nianchun, Huang Sijing, Cui Haifeng, et al. Research on seismic features of Ordovician Paleo-buried hill of the west section of Maigaiti slope, Tarim basin[J]. Journal of Chengdu University of Science & Technology (Natural Edition)[J]. 2011, 38(2): 169-174.
- [7] Radke B M, Mathis R L. On the formation and occurrence of saddle dolomite[J]. Journal of Sedimentary Petrology, 1980, 50(4): 1149-1168.
- [8] Gregg J M. On the formation and occurrence of saddle dolomite-discussion[J]. Journal of Sedimentary Petrology, 1983, 53: 1025-1033.
- [9] 田雷,崔海峰,刘本明,等. 塔里木盆地麦盖提斜坡奥陶系储集层类型与分布[J]. 新疆石油地质, 2013, 34(4): 412-416.  
Tian Lei, Cui Haifeng, Liu Benming, et al. Types and distribution of Ordovician reservoirs in Maigaiti slope, Tarim basin[J]. Xinjiang petroleum geology, 2013, 34(4): 412-416.
- [10] 徐康,于炳松. 塔里木盆地巴楚一间房地区二叠系侵入岩特征及其对储层的影响[J]. 油气地质与采收率, 2013, (5): 48-51.  
Xu Kang, Yu Bingsong. Permian intrusive rock characteristics and their effect on oil and gas reservoir in Bachu-Yijianfang area, Tarim basin[J]. Petroleum Geology and Recovery Efficiency, 2013, 20(5): 48-51.
- [11] 胡望水,陈毓遂,肖安成,等. 塔里木色力布亚—玛扎塔格断裂系与油气[J]. 新疆地质, 1996, 14(1): 61-68.  
Hu Wangshui, Chen Yusu, Xiao Ancheng, et al. Deformation of serikbuya-mazartag fault system in Tarim and its relation with oil-gas[J]. Xinjiang Geology, 1996, 14(1): 61-68.
- [12] 焦存礼,何治亮,邢秀娟,等. 塔里木盆地构造热液白云岩及其储层意义[J]. 岩石学报, 2011, 27(1): 277-284.  
Jiao Cunli, He Zhiliang, Xing Xiujuan, et al. Tectonic hydrothermal dolomite and its significance of reservoirs in Tarim basin[J]. Acta Petrologica Sinica, 2011, 27(1): 277-284.
- [13] Graham R Davies, Langhorne B Smith Jr. Structurally controlled hydrothermal dolomite reservoir facies: An Overview[J]. AAPG Bulletin, 2006, 90(11): 1641-1690.
- [14] 张仲培,刘士林,杨子玉,等. 塔里木盆地麦盖提斜坡构造演化及油气地质意义[J]. 石油与天然气地质, 2011, 32(54): 909-919.  
Zhang Zhongpei, Liu Shilin, Yang Ziyu, et al. Tectonic evolution and its petroleum geological significances of the Maigaiti Slope, Tarim Basin[J]. Oil & Gas Geology, 2011, 32(54): 909-919.
- [15] 吕海涛,张仲培,邵志兵,等. 塔里木盆地巴楚—麦盖提早古生代古隆起的演化及其勘探意义[J]. 石油与天然气地质, 2010, 31(1): 76-83.  
Lü Haitao, Zhang Zhongpei, Shao Zhibing, et al. Structural evolution and exploration significance of the Early Paleozoic palaeopliffs in Bachu-Maigaiti area, the Tarim Basin[J]. Oil & Gas Geology, 2010, 31(1): 76-83.
- [16] 马红强,王恕一,蔺军. 塔里木盆地巴楚—麦盖提地区油气运聚与成藏[J]. 石油实验地质, 2006, 328(3): 243-248.  
Ma Hongqiang, Wang Shuyi, Lin Jun. Hydrocarbon migration and accumulation characteristics in the bachu-maigaiti area of the tarim basin[J]. Petroleum Geology & Experiment, 2006, 28(3): 243-248.

(编辑 董立)