

文章编号: 0253-2697(2013)04-0638-09 DOI:10.7623/syxb201304003

# 塔里木盆地玉北地区奥陶系储层类型及主控因素

刘忠宝<sup>1</sup> 吴仕强<sup>1</sup> 刘士林<sup>1</sup> 高山林<sup>1</sup> 岳勇<sup>2</sup> 张仲培<sup>1</sup> 黄秀仁<sup>3</sup>

(1. 中国石化勘探开发研究院 北京 100083; 2. 中国石化西北油田分公司勘探开发研究院 新疆乌鲁木齐 830011;  
3. 中国石油大学地球科学学院 北京 102249)

**摘要:**对塔里木盆地玉北地区奥陶系钻井岩心、岩石薄片、铸体薄片及测井资料的详细分析,认为该地区奥陶系碳酸盐岩储集空间以孔洞、裂缝为主,主要发育4种储层类型:孔洞-裂缝型、裂缝型、孔隙-孔洞-裂缝型和孔隙-孔洞型。鹰山组上部储层受多期暴露不整合面和中高角度裂缝控制,而鹰山组下部及蓬莱坝组储层与白云石化作用及层间低角度缝发育关系密切。综合分析认为断褶翼部是下奥陶统鹰山组上部缝洞型储层发育有利区;过胜和2井EW向断裂带及东部的NE向断裂带附近是鹰山组下部—蓬莱坝组孔隙-孔洞型白云岩储层分布有利区。

**关键词:**碳酸盐岩;岩溶作用;储层类型;奥陶系;塔里木盆地  
**中图分类号:**TE112.2 **文献标识码:**A

## Types and main controlling factors of Ordovician reservoirs in Yubei area, Tarim Basin

LIU Zhongbao<sup>1</sup> WU Shiqiang<sup>1</sup> LIU Shilin<sup>1</sup>  
GAO Shanlin<sup>1</sup> YUE Yong<sup>2</sup> ZHANG Zhongpei<sup>1</sup> HUANG Xiuren<sup>3</sup>

(1. Sinopec Research Institute of Petroleum Exploration & Production, Beijing 100083, China; 2. Exploration & Development Research Institute, Sinopec Northwest Oil Field Company, Urumqi 830011, China;  
3. College of Earth Science, China University of Petroleum, Beijing 102249, China)

**Abstract:** Based on observations of cores, rock sections, casting sections, logging data of Ordovician carbonate reservoirs in the Yubei area, Tarim Basin, reservoir space is dominated by cavities and fractures, and can be classified into four types, i. e. cavity-fracture type, fracture type, pore-cavity-fracture type and pore-cavity type. Specifically, reservoirs in the upper part of the Lower Ordovician Yingshan Formation are controlled by multi-period unconformities and mid- to high-angle fractures, while reservoirs in the lower Yingshan Formation and the Penglaiba Formation are closely related to dolomitization and development of interlayer low-angle fractures. Integrated analyses indicate that flank province of fault folded structures are favourable to development of cavity-fracture reservoirs in the lower part of the Lower Ordovician Yingshan Formation, while the east-west oriented fault zone through Well shenghe 2 and the vicinity of the north-east oriented fault zone in the east part of Yubei area are favorable areas to prospect for pore-cavity dolostone reservoirs in the lower Yingshan Formation and the Penglaiba Formation.

**Key words:** carbonate; karstification; reservoir type; Ordovician; Tarim Basin

对于塔里木盆地奥陶系碳酸盐岩储层的研究,前人已开展了大量工作<sup>[1-3]</sup>,但多集中在塔河<sup>[4-5]</sup>、塔中<sup>[6-8]</sup>及巴楚地区<sup>[9]</sup>,对西南部麦盖提斜坡区尚未开展实质性的研究工作。为此,笔者以麦盖提斜坡东部玉北地区奥陶系碳酸盐岩为研究对象,通过钻井、测井及分析测试等资料的分析,划分储层类型,探讨储层发育的主控因素,并在此基础上预测了

有利储层的分布地区。这对塔里木盆地西南地区奥陶系储层的评价与预测具有重要的指导意义,同时也为加快麦盖提斜坡区碳酸盐岩油气勘探步伐提供依据。

### 1 概况

玉北地区位于塔里木盆地西南部麦盖提斜坡

**基金项目:**国家重大科技专项(2011ZX05005)、国土资源部全国油气资源战略选区调查与评价项目(2012GYXQ02)和中国石油化工股份有限公司科技开发部项目(P11083)资助。

**第一作者及通信作者:**刘忠宝,男,1978年12月生,2001年获中国地质大学(北京)学士学位,2006年获中国地质大学(北京)博士学位,现为中石化勘探开发研究院高级工程师,主要从事沉积储层研究工作。Email:liuzb.syky@pepris.com

区东部,主要包括麦盖提1、2、3共3个区块,总面积12957.9 km<sup>2</sup>(图1)。2009年以前,该地区勘探程度极低,仅有1口完钻井(胜和2井)<sup>[10]</sup>。2010年,中石化部署的玉北1井在奥陶系获得工业油流,首次在麦盖提斜坡区奥陶系获得重大油气突破,从此拉开了

该地区油气勘探序幕。截至目前为止,已完钻各类探评井12口,其中玉北1构造带已获得工业油气流(玉北1井、玉北1-2井),中西部平台区、东部断褶区高部位及断洼区均获得良好油气显示,展现了该地区良好的油气勘探前景。

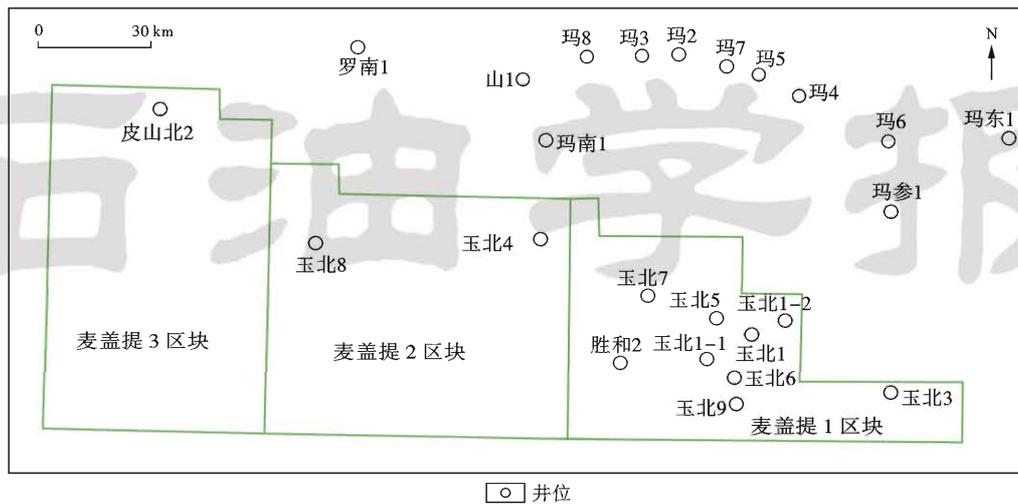


图1 玉北地区平面位置

Fig. 1 Location of Yubei area

## 2 岩石学特征及储层类型

### 2.1 岩石学特征

通过岩心观察、薄片鉴定和录井资料的综合分析,玉北地区奥陶系存在3大类10种岩石类型,即灰岩(亮晶砂屑灰岩、含砾屑砂屑灰岩、砾屑灰岩、亮晶含鲕粒砂屑灰岩、亮晶藻团块灰岩、泥晶灰岩)、过渡岩性(白云质灰岩、灰质白云岩)和白云岩(粉晶—细晶白云岩、中晶—粗晶白云岩)(图2)。其中灰岩主要发育在下奥陶统鹰山组上部,过渡岩性及白云岩主要发育在鹰山组下部到蓬莱坝组。

### 2.2 储集空间特征

勘探实践已证实,碳酸盐岩储集空间主要包括3种类型:孔隙、孔洞和裂缝。镜下研究表明,颗粒灰岩早期海底胶结作用强烈,晶间孔不发育;而白云岩及过渡岩性中也只见有少量的晶间孔及晶间溶孔(图3)。因此,玉北地区奥陶系储集空间主要以孔洞、裂缝为主。主要发育4种孔洞类型(蜂窝状孔洞、沿缝扩溶孔洞、顺层孔洞及孤立孔洞)和3种裂缝类型(构造缝、成岩缝和缝合线)。其中对储层贡献最大的构造缝,依据产状可进一步划分为中高角度缝、低角度及水平缝、不规则网状缝(图3)。

### 2.3 储层类型

在上述储集空间识别与分析的基础上,依据碳酸盐岩储层类型分类方案,结合研究区碳酸盐岩储层发

育的实际特点,将奥陶系储层类型分为4类:孔洞-裂缝型、裂缝型、孔隙-孔洞-裂缝型、孔隙-孔洞型。其中孔洞-裂缝型储层主要分布在鹰山组上段灰岩段,裂缝型储层在鹰山组灰岩段和白云岩段均有分布,孔隙-孔洞-裂缝型和孔隙-孔洞型储层主要分布于鹰山组下段和蓬莱坝组灰质白云岩或白云岩段中。从储层纵向分布看,孔洞-裂缝型和孔隙-孔洞-裂缝型储层发育于 $T_7^4$ 不整合面(鹰山组顶面)之下;孔隙-孔洞型储层发育于下奥陶统内部,远离 $T_7^4$ 不整合面;而裂缝型储层广泛发育。

(1) 孔洞-裂缝型储层。主要分布于鹰山组灰岩段,其储集空间以中高角度裂缝为主,其次为中小型弱溶蚀孔洞及局部大溶洞,基本无晶间孔、粒内孔,以玉北1井鹰山组5600~5620 m层段最为典型。在鹰山组顶面 $T_7^4$ 不整合面(5593 m)之下,5600~5615 m层段发育大量高角度缝;5612~5620 m层段发育弱溶蚀孔洞;5600~5604 m层段发生井漏,漏失量445.6 m<sup>3</sup>,测井解释该段为大型溶洞(图4)。

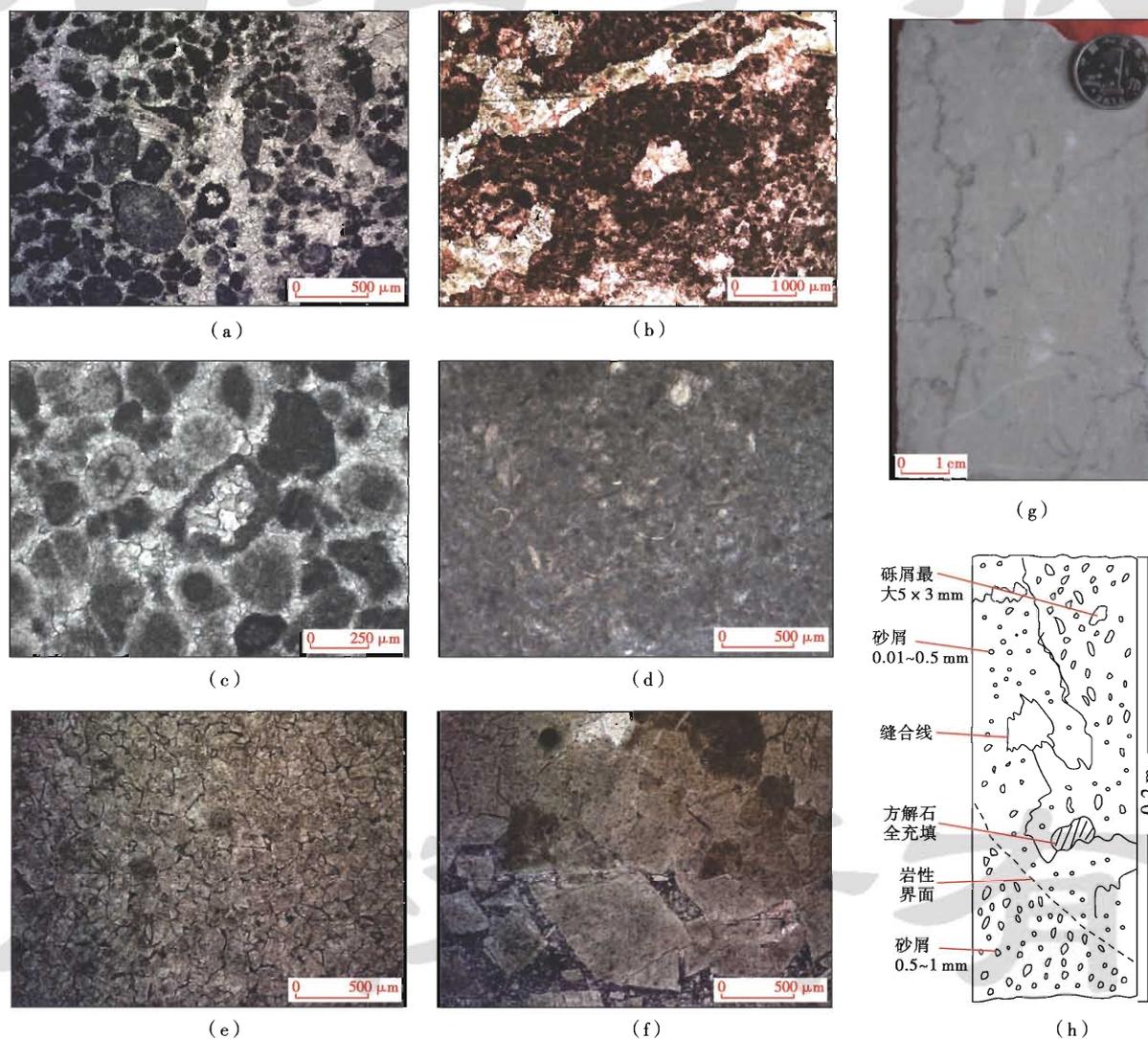
(2) 裂缝型储层。该类型储层是麦盖提斜坡区主要储集类型之一,裂缝既是主要的渗滤通道,又是主要的储集空间。成像测井解释及岩心观察表明玉北地区裂缝发育程度好,以中高角度缝为主。在玉北1井鹰山组5688~5750 m层段,中高角度裂缝与不规则网状裂缝较发育,而孔洞、晶间孔及粒内孔不发育,测井综合解释为II类裂缝型储层(图4)。从该井取心层段

(第8~9回次)分析,存在4期裂缝。第I期为近平行或树枝状裂缝,被细粉晶方解石全充填;第II期为呈网状或弯曲状扩溶裂缝,与缝合线类似,被细粉晶方解石、沥青、黏土、黄铁矿充填;第III期为扩溶裂缝+溶洞,被细粉晶方解石全充填后再溶蚀成粒间孔隙;第IV期为较平直、平行的开启裂缝(图4)。

(3) 孔隙-孔洞-裂缝型储层。该类型储层主要发育于  $T_7^4$  不整合面之下白云岩段,以玉北1-2x井鹰山组5125~5190 m层段最为典型。其特点为除发育中高角度裂缝外,还发育弱溶蚀孔洞(5140~5162 m)和白云石晶间孔(5133.42~5137.26 m),测井解释

该层段为II类储层,是目前玉北地区最好的产油层段(图5)。

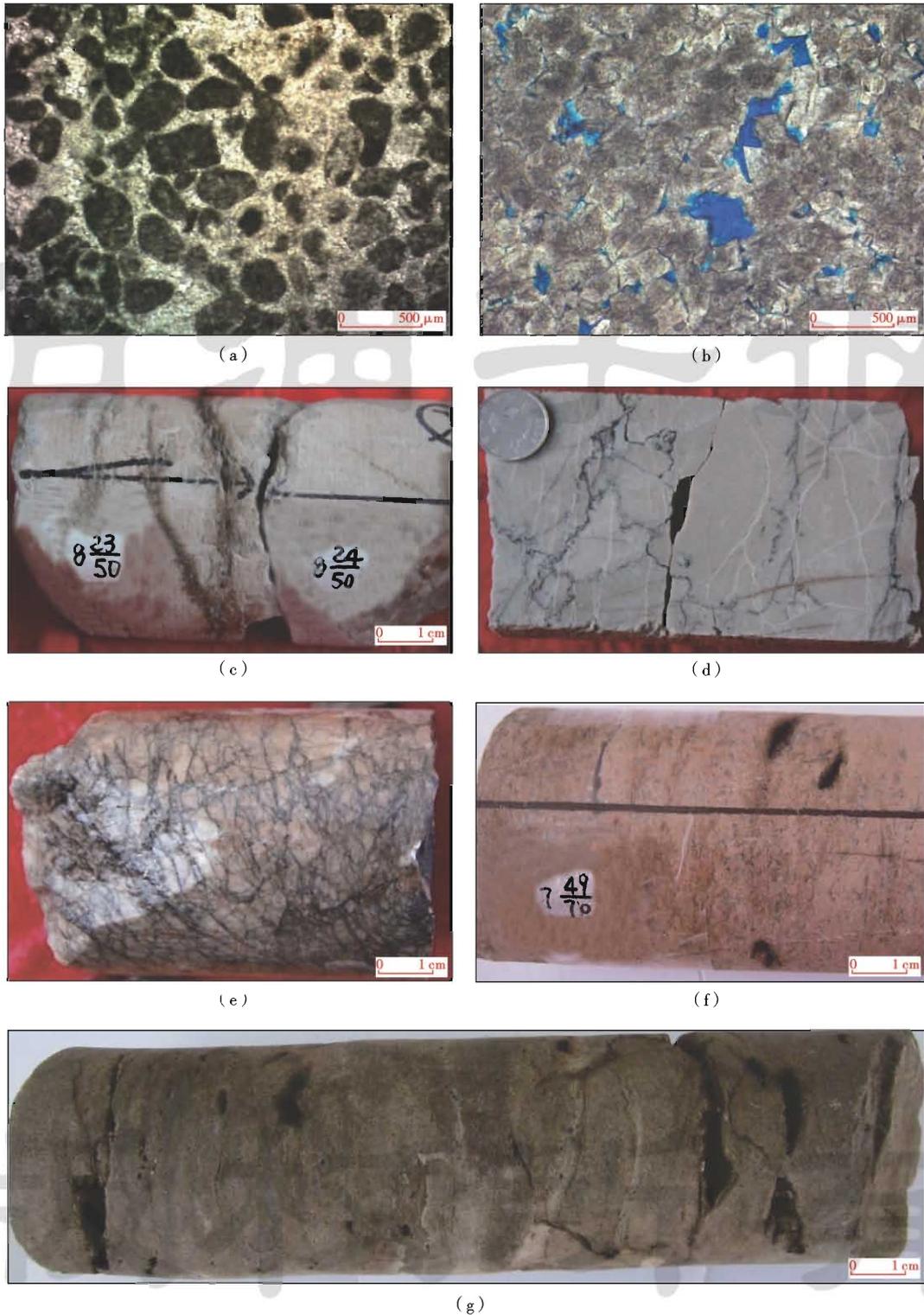
(4) 孔隙-孔洞型。该类型储层主要分布于鹰山组下段和蓬莱坝组白云岩段,以溶蚀孔洞为主,局部发育中低角度及水平裂缝,如玉北1-2x井鹰山组5410~5440 m和蓬莱坝组5640~5670 m灰质白云岩段以及玉北5井6450~6500 m、6600~6670 m、6700~6750 m白云岩及灰质白云岩段(图5、图6)。在玉北5井6741.48~6742.01 m层段,孔洞约125个,孔径1~50 mm不等,多为大洞,其中大约有10个孔洞被硅质及白云石全充填(图6)。



(a)亮晶砂屑灰岩,单偏光,玉北3井5451.4 m;(b)亮晶藻团块灰岩,单偏光,玉北3井5369.93 m;(c)亮晶含藻鲕粒砂屑灰岩,单偏光,玉北1井5618.92 m;(d)含生屑泥晶灰岩,单偏光,玉北3井5227 m;(e)粉细晶白云岩,单偏光,玉北1-2x井5447.87 m;(f)中粗晶白云岩,单偏光,玉北3井5358.17 m;(g)亮晶砾屑灰岩,玉北1井5722 m;(h)含砾屑砂屑灰岩(岩心素描),玉北1井5608.5 m。

图2 玉北地区奥陶系碳酸盐岩石学特征

Fig. 2 Petrologic features of Ordovician carbonate in Yubei area



(a)砂屑灰岩,被亮晶方解石强烈胶结,无储集空间,铸体薄片,单偏光,玉北 1 井 5596 m;(b)细中晶白云岩,白云石显示砂屑幻影,晶间孔及晶间溶孔发育,铸体薄片,单偏光,玉北 1-2x 井 5130.42 m;(c)亮晶砂屑灰岩,低角度构造缝发育,缝内含油,玉北 1 井 5715.7 m;(d)亮晶砂屑灰岩,早期低角度斜交缝,充填干胶青,晚期网状缝切割早期缝,充填方解石,缝合线切割晚期缝,充填泥质,玉北 1 井 5616.2 m;(e)灰色泥晶灰岩,不规则网状微裂缝发育,玉北 3 井 5367.3 m;(f)亮晶含砾屑砂屑灰岩,见孤立溶蚀孔洞,含油,玉北 1 井 5618.2 m;(g)中细晶白云岩,顺层溶蚀孔洞发育,玉北 5 井 6741.7 m。

图 3 玉北地区奥陶系碳酸盐岩储集空间特征

Fig. 3 Reservoir space of Ordovician carbonate in Yubei area

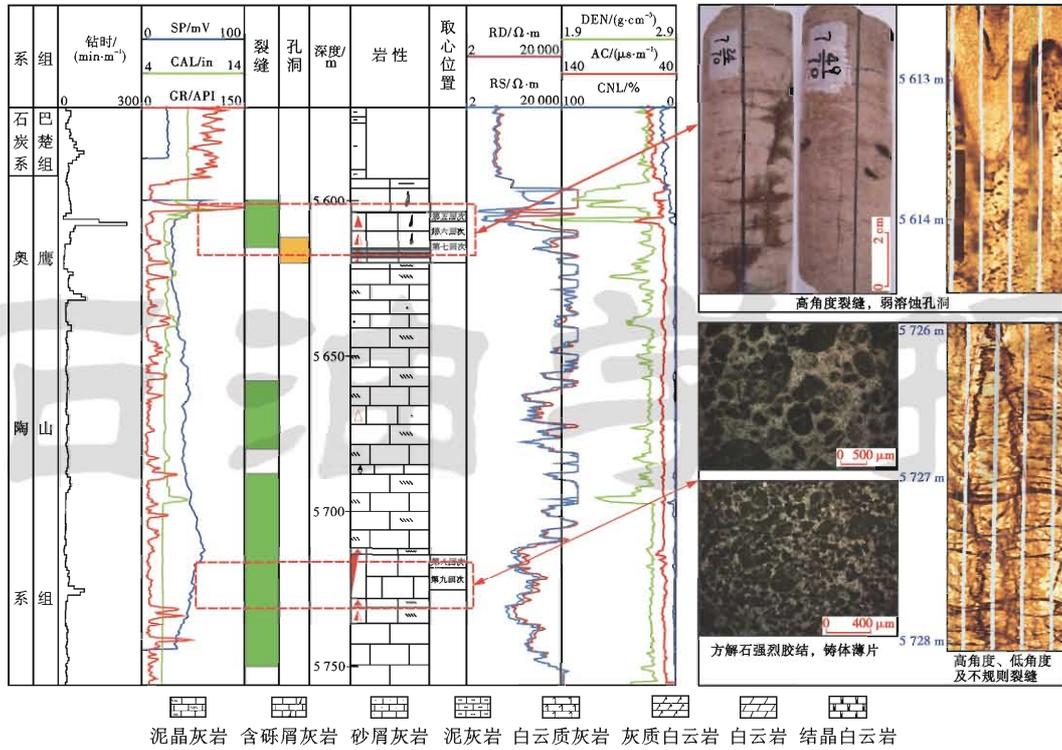


图4 玉北1井奥陶系鹰山组灰岩段储层特征

Fig. 4 Reservoir characteristics of Ordovician Yingshan limestone in Well Yubei 1

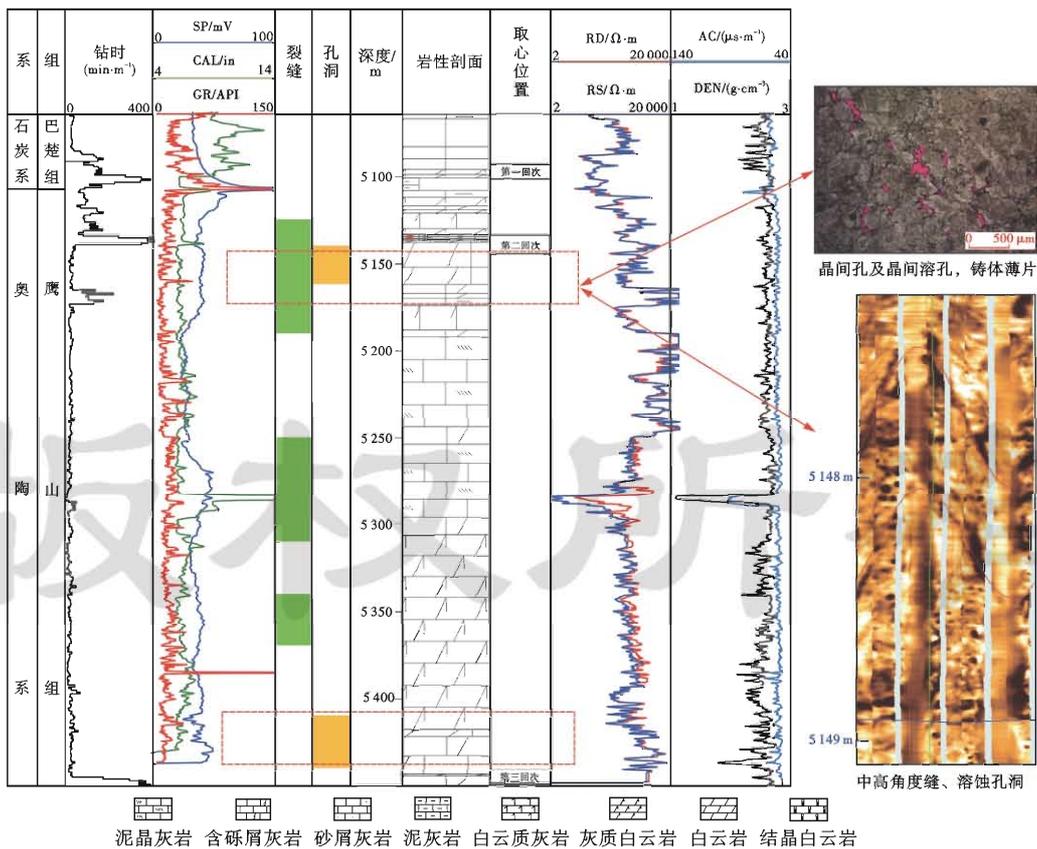


图5 玉北1-2x井奥陶系白云岩段储层特征

Fig. 5 Reservoir characteristics of Ordovician Yingshan dolostones in Well Yubei 1-2x

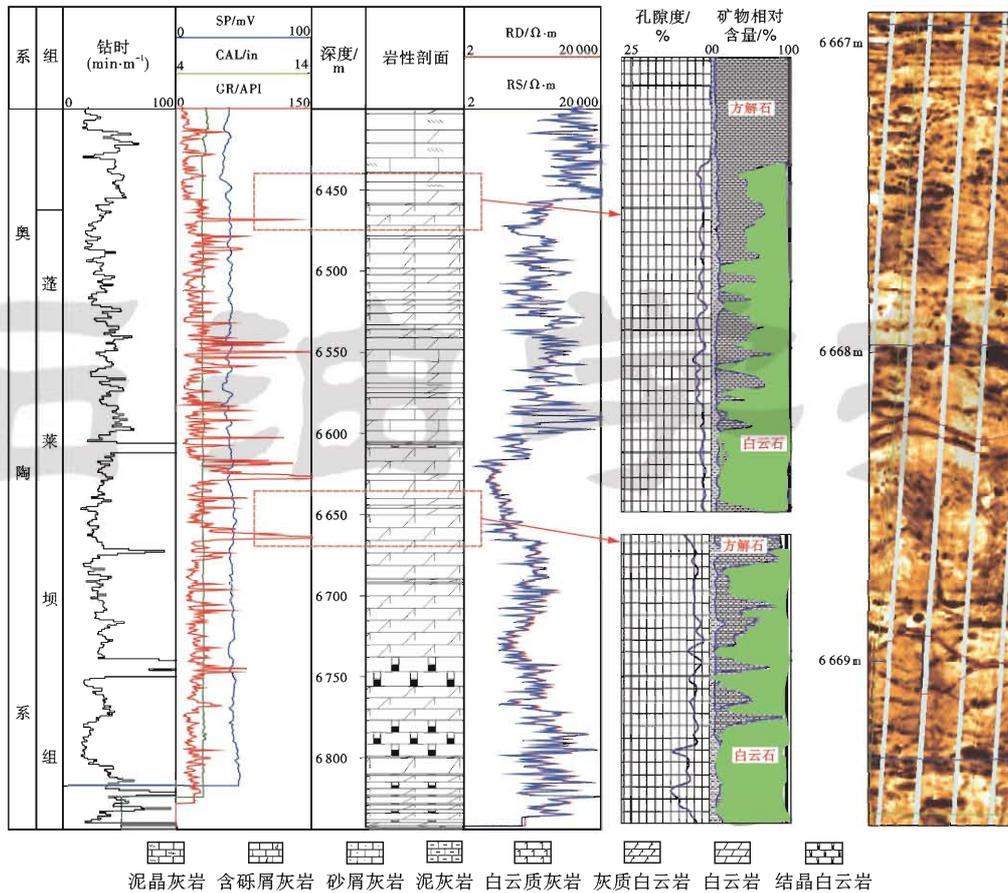


图 6 玉北 5 井奥陶系蓬莱坝组碳酸盐岩储层特征

Fig. 6 Reservoir characteristics of Ordovician Penglaiba carbonate in Well Yubei 5

### 3 储层主控因素

#### 3.1 储层分布特征

应用岩心、薄片和测井资料对已钻井储层纵向发育特征进行了精细刻画与分析,显示玉北地区下奥陶统储层具有以下特征:①裂缝型储层在各个层段均有分布,只是分布强度、充填程度有所差异;②孔洞-裂缝型、孔隙-孔洞-裂缝型储层主要分布于  $T_7^4$  不整合面之下,为主要出油气层段;③孔隙-孔洞型储层主要分布在鹰山组下段和蓬莱坝组灰质白云岩或白云岩段。根据纵向上距离  $T_7^4$  不整合面的位置,大致可分为 2 套优质储层:第 1 套优质储层位于  $T_7^4$  不整合面之下 150 m 范围之内,主要分布于鹰山组上部,其主要特点为裂缝与孔洞伴生;第 2 套优质储层远离  $T_7^4$  不整合面,主要分布在鹰山组下段—蓬莱坝组,其特征为溶蚀孔洞较发育,厚度大,且局部与裂缝段叠加伴生。相对而言,位于这 2 套优质储层之间层段,其裂缝、孔洞发育程度相对较差,且裂缝与孔洞不匹配,即裂缝发育段,溶蚀孔洞欠发育,孔洞发育段,裂缝欠发育(图 7)。

#### 3.2 储层主控因素

在上述研究的基础上,结合地层接触关系、沉积与成岩作用、构造断裂解析(裂缝程度、期次、产状等)、古地貌恢复等研究成果,分别对这 2 套优质储层形成的主控因素进行了探讨。

##### 3.2.1 鹰山组上部储层

多年勘探研究与实践已证实,盆地发育演化过程中所形成的不同级别不整合面可为岩溶作用的发生提供良好的条件,尤其是大型不整合面(一级、二级层序界面)对表生岩溶带的发育具有较好的控制作用<sup>[11-13]</sup>。随着塔里木盆地碳酸盐岩油气勘探的不断深入,已认识到不整合面对岩溶储层的控制远比想象的要复杂。在中下奥陶统  $T_7^4$  不整合面之下,甚至是多期叠加复合不整合面( $T_6^0 + T_7^0 + T_7^4$ )之下,并不都发育好的溶蚀孔洞带。玉北地区实钻缝洞统计结果显示除玉北 1 井、玉北 1-2x 井在  $T_7^4$  不整合面之下溶蚀孔洞较发育外,其余 6 口井孔洞欠发育(图 7),其主要原因是玉北 1、玉北 1-2x 井区除存在复合不整合面,具备多期暴露接受大气淡水淋滤溶蚀的有利条件外,还发育大量岩溶期前(加里东中晚期—海西早期)形成的中高角

度裂缝,可为大气淡水下渗提供通道,从而进一步促进溶蚀作用的发生。因此下奥陶统鹰山组上部缝洞型优质储层的形成主要受多期暴露不整合面和中高角度裂缝共同控制。

目前实钻结果显示在不同地区之间、古地貌高部位与低部位之间、断裂带与断裂带之间以及同一个断裂带不同部位,其储层发育均存在明显差异。归其原因主要就是由于不同区带在地层剥蚀、裂缝发育程度上存在差异。

(1) 不同地区之间储层发育的差异。麦盖提斜坡东部玉北地区的储层要好于西部巴什托地区。虽然两地区下奥陶统鹰山组碳酸盐岩都具备发生多期暴露溶蚀的条件,且均有裂缝发育,但断裂-裂缝发育的期次存在明显不同。玉北地区以加里东中晚期—海西早期裂缝为主,而巴什托地区主要为岩溶期后的海西晚期断裂-裂缝系统,对岩溶作用无贡献。

(2) 古地貌高部位与低部位之间储层发育的差异。玉北东部地区岩溶古地貌受加里东中期—海西早期断裂控制,以隆洼相间为特点,古地貌高部位地层剥蚀作用强烈,遭受大气淡水淋滤时间长,有利于溶蚀作用的发生。另外古地貌高部位多与断裂带叠加复合,岩溶期前形成的裂缝本身提供储集空间的同时,可沟

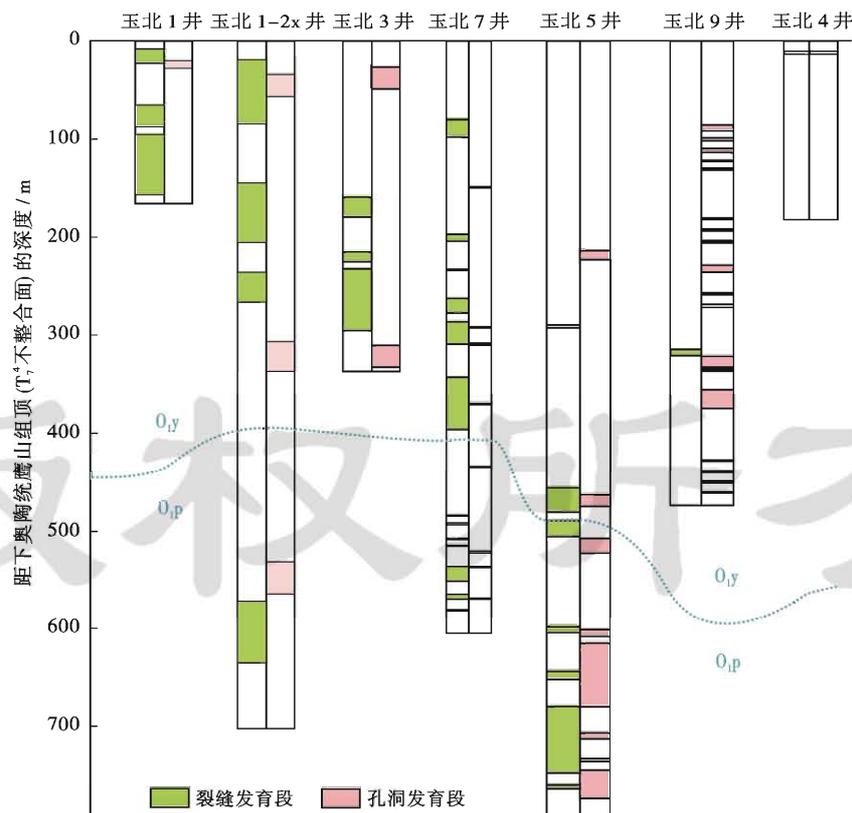
通流体进一步促进溶蚀作用的发生。

(3) 不同断裂带之间储层发育的差异。玉北1构造带缝洞储层明显要好于玉北3和玉北7构造带,这3个构造带地层剥蚀程度基本相当,同为构造高部位,且裂缝均较发育,但从钻井岩心裂缝统计结果看,玉北3井、玉北7井裂缝充填严重,如玉北3井鹰山组483条裂缝中,312条裂缝被全部充填,21条裂缝被半充填,充填物主要为方解石和沥青质,从而阻碍了流体的渗流,故其孔洞发育相对较差。在玉北1井中所观察到的351条裂缝中,高角度缝与中低角度缝均有,其中充填原油的裂缝占多数,充填程度较低,在本身为油气提供储集空间的同时,可沟通流体促进溶蚀作用的发生。

(4) 同一断裂带不同部位储层发育的差异。玉北1构造带上储层发育程度自南向北从玉北1-1井、玉北1井到玉北1-2x井依次变好。这主要是受地层剥蚀程度的控制,地层剥蚀越多储层越发育,而在剥蚀程度相近的情况下,裂缝发育规模越大,储层发育也就越好。

3.2.2 鹰山组下部—蓬莱坝组储层

长期以来,深层白云岩储层研究一直是倍受关注的热点和难点<sup>[14-17]</sup>。勘探实践证实,塔里木盆地寒武系—奥陶系深层白云岩层系存在优质储层,塔深1井、巴探5井深部白云岩中均发育有良好的孔洞型储层。



注: O<sub>1y</sub>—下奥陶统鹰山组; O<sub>1p</sub>—下奥陶统蓬莱坝组。

图7 玉北地区奥陶系储层纵向分布特征

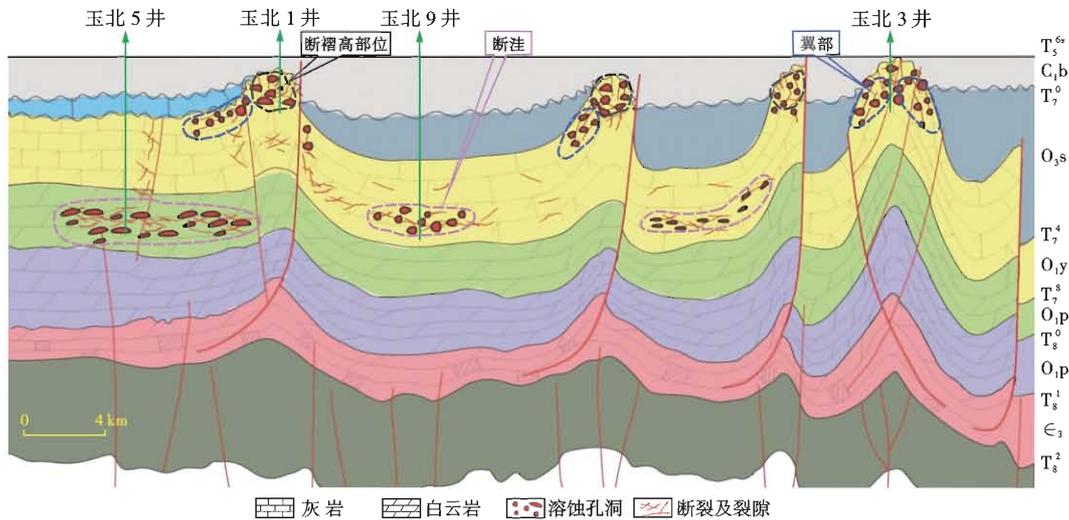
Fig. 7 Distribution characteristics of Ordovician reservoir in Yubei area

研究区玉北5井、玉北7井钻遇下奥陶统蓬莱坝组白云岩段。钻探结果表明蓬莱坝组白云岩层段发育优质孔隙型储层,以玉北5井最为典型。蓬莱坝组孔隙型储层厚度达80 m以上,且在蓬莱坝组6700 m之下的灰色砾屑白云岩仍见大量溶蚀孔洞[图3(g)],其距下奥陶统鹰山组顶 $T_7^4$ 大型不整合面近600 m,综合分析认为其应属孔隙-孔洞型储层,其形成主要与白云石化作用及层间低角度裂缝密切相关。玉北5井白云石化储层段,其孔隙度明显高于纯灰岩段,且局部层段随着白云石化程度的增强,其孔隙度有变大的趋势;从岩心及成像测井上看,顺层溶蚀孔洞与低角度及水平裂缝相伴生,这种低角度微细裂缝可以在横向上沟通流体进而促进溶蚀作用的发生(图6)。此外,在部分孔洞中见多期玛瑙纹状硅质胶结物和典型热液矿物

(马鞍状白云石)<sup>[18]</sup>,说明其局部明显受到热液改造。

### 3.3 有利储层发育区

对于下奥陶统鹰山组上部储层,不整合面和中高角度裂缝的存在为溶蚀作用发生提供了有利条件,特别是岩溶期前所形成的断裂-裂缝系统对优质储层的形成具有重要控制作用<sup>[19]</sup>,从而在断褶高部位形成缝洞型优质储层,目前实钻结果显示断洼区也具备良好储层发育条件(图8)。但需要指出的是,从储层保存角度上看,由于断褶高部构造位置高,容易遭受后期强烈剥蚀,从而使得岩溶期前形成的裂缝及溶蚀孔洞层段遭受破坏,因此,在地层剥蚀程度较大的情况下,断褶翼部对于岩溶期前裂缝及孔洞发育带保存更为有利,玉北东部断褶翼部应是优质储层发育的有利地区。



注: C<sub>1</sub>b—下石炭统巴楚组; O<sub>3</sub>s—上奥陶统桑塔木组; O<sub>1</sub>y—下奥陶统鹰山组; O<sub>1</sub>p—下奥陶统蓬莱坝组。

图8 玉北地区奥陶系碳酸盐岩储层分布特征

Fig. 8 Distribution of Ordovician carbonate reservoir in Yubei area

对于鹰山组下部—蓬莱坝组储层,白云石化作用使得白云石晶间孔及晶间溶孔较发育,提高了储层的孔渗性能,加之层间低角度裂缝在横向上可起到沟通流体的作用,进一步促进了溶蚀作用的发生,最终在白云岩段形成优质的孔隙-孔洞型储层。由于玉北5井白云岩储层具有典型的热液特征,而热液活动一般与深大断裂紧密联系<sup>[20]</sup>,因此,过胜和2井EW向断裂带及东部的NE向断裂带附近是深层优质白云岩储层发育的有利地区。

## 4 结论及建议

(1) 玉北地区奥陶系碳酸盐岩储集空间主要以孔洞、裂缝为主,发育4种储层类型:孔洞-裂缝型、裂缝型、孔隙-孔洞-裂缝型、孔隙-孔洞型。

(2) 下奥陶统鹰山组上部储层主要受多期暴露不

整合面和中高角度裂缝控制;鹰山组下部—蓬莱坝组储层与白云石化作用及层间低角度缝关系密切。

(3) 断褶翼部是下奥陶统鹰山组上部缝洞型储层发育的有利地区;过胜和2井EW向断裂带及东部的NE向断裂带附近是鹰山组下部—蓬莱坝组孔隙-孔洞型白云岩储层分布的有利地区。

**致谢** 研究过程中得到中国石化无锡石油地质研究所钱一雄教授的指导与帮助,西北局勘探院地勘二所领导及同事在资料上给予了大力支持,一并感谢。

### 参 考 文 献

- [1] 于炳松,林畅松,樊太亮,等.塔里木盆地寒武纪—奥陶纪区域地球动力学转换的沉积作用响应及其储层地质意义[J].地学前缘,2011,18(3):221-232.  
Yu Bingsong, Lin Changsong, Fan Tailiang, et al. Sedimentary response to geodynamic reversion in Tarim Basin during Cambri-

- an and Ordovician and its significance to reservoir development [J]. *Earth Science Frontiers*, 2011, 18(3): 221-232.
- [2] 何治亮, 魏修成, 钱一雄, 等. 海相碳酸盐岩优质储层形成机理与分布预测[J]. *石油与天然气地质*, 2011, 32(4): 489-498.  
He Zhiliang, Wei Xiucheng, Qian Yixiong, et al. Forming mechanism and distribution prediction of quality marine carbonate reservoirs [J]. *Oil & Gas Geology*, 2011, 32(4): 489-498.
- [3] 郑和荣, 吴茂炳, 邬兴威, 等. 塔里木盆地地下古生界白云岩储层油气勘探前景[J]. *石油学报*, 2007, 28(2): 1-8.  
Zheng Herong, Wu Maobing, Wu Xingwei, et al. Oil-gas exploration prospect of dolomite reservoir in the lower Paleozoic of Tarim Basin [J]. *Acta Petrologica Sinica*, 2007, 28(2): 1-8.
- [4] 肖玉茹, 王敦则, 沈杉平. 新疆塔里木盆地塔河油田奥陶系古洞穴型碳酸盐岩储层特征及其受控因素[J]. *现代地质*, 2003, 17(1): 92-98.  
Xiao Yuru, Wang Dunze, Shen Shanping. The characteristics of Paleocave carbonate reservoir and its control factors in Ordovician of the Tahe oil field in the Tarim Basin [J]. *Geoscience*, 2003, 17(1): 92-98.
- [5] 张朝军, 贾承造, 李本亮, 等. 塔北隆起中西部地区古岩溶与油气聚集[J]. *石油勘探与开发*, 2010, 37(3): 263-269.  
Zhang Chaojun, Jia Chengzao, Li Benliang, et al. Ancient karsts and hydrocarbon accumulation in the middle and western parts of the North Tarim uplift, NW China [J]. *Petroleum Exploration and Development*, 2010, 37(3): 263-269.
- [6] 杨海军, 李开开, 潘文庆, 等. 塔中地区奥陶系埋藏热液溶蚀流体活动及其对深部储层的改造作用[J]. *岩石学报*, 2012, 28(3): 783-792.  
Yang Haijun, Li Kaikai, Pan Wenqing, et al. Burial hydrothermal dissolution fluid activity and its transforming effect on the reservoirs in Ordovician in Central Tarim [J]. *Acta Petrologica Sinica*, 2012, 28(3): 783-792.
- [7] 杨海军, 韩剑发, 孙崇浩, 等. 塔中北斜坡奥陶系鹰山组岩溶型储层发育模式与油气勘探[J]. *石油学报*, 2011, 32(2): 199-205.  
Yang Haijun, Han Jianfa, Sun Chonghao, et al. A development model and petroleum exploration of karst reservoirs of Ordovician Yingshan Formation in the northern slope of Tazhong palaeouplift [J]. *Acta Petrologica Sinica*, 2011, 32(2): 199-205.
- [8] 邬光辉, 杨海军, 屈泰来, 等. 塔里木盆地塔中隆起断裂系统特征及其对海相碳酸盐岩油气的控制作用[J]. *岩石学报*, 2012, 28(3): 793-805.  
Wu Guanghui, Yang Haijun, Qu Tailai, et al. The fault system characteristics and its controlling roles on marine carbonate hydrocarbon in the Central uplift, Tarim basin [J]. *Acta Petrologica Sinica*, 2012, 28(3): 793-805.
- [9] 杨威, 魏国齐, 王清华, 等. 和田河气田奥陶系碳酸盐岩储层特征及建设性成岩作用[J]. *天然气地球科学*, 2003, 14(3): 191-195.  
Yang Wei, Wei Guoqi, Wang Qinghua, et al. Carbonate rock reservoir and constructive diagenesis of Ordovician in Hetianhe gas field, Tarim Basin [J]. *Natural Gas Geoscience*, 2003, 14(3): 191-195.
- [10] 赵文智, 沈安江, 胡素云, 等. 塔里木盆地寒武—奥陶系白云岩储层类型与分布特征[J]. *岩石学报*, 2012, 28(3): 758-768.  
Zhao Wenzhi, Shen Anjiang, Hu Suyun, et al. Types and distributional features of Cambrian-Ordovician dolomite reservoirs in Tarim Basin, northwestern China [J]. *Acta Petrologica Sinica*, 2012, 28(3): 758-768.
- [11] 何莹, 鲍志东, 沈安江, 等. 塔里木盆地牙哈—英买力地区寒武系—下奥陶统白云岩形成机理[J]. *沉积学报*, 2006, 24(6): 806-818.  
He Ying, Bao Zhidong, Shen Anjiang, et al. The genetic mechanism of dolostones of the Cambrian-Lower Ordovician in Yaha-Yingmaili region, Tarim Basin: dolomitization through deep buried hydrothermal fluid [J]. *Acta Sedimentologica Sinica*, 2006, 24(6): 806-818.
- [12] 吴仕强, 朱井泉, 王国学, 等. 塔里木盆地寒武—奥陶系白云岩结构构造类型及其形成机理[J]. *岩石学报*, 2008, 24(6): 1390-1400.  
Wu Shiqiang, Zhu Jingquan, Wang Guoxue, et al. Types and origin of Cambrian-Ordovician dolomites in Tarim basin [J]. *Acta Petrologica Sinica*, 2008, 24(6): 1390-1400.
- [13] 邵龙义, 韩俊, 马锋, 等. 塔里木盆地东部寒武系白云岩储层及相控特征[J]. *沉积学报*, 2010, 28(5): 953-961.  
Shao Longyi, Han Jun, Ma Feng, et al. Characteristics of the Cambrian dolomite reservoirs and their facies-controlling in eastern Tarim Basin [J]. *Acta Sedimentologica Sinica*, 2010, 28(5): 953-961.
- [14] 郑显华. 塔里木盆地西部巴楚—麦盖提地区石油地质特征及勘探建议[J]. *石油实验地质*, 1995, 17(2): 114-120.  
Zheng Xianhua. Petroleum geological characteristics of and exploration proposals to Bachu-Maigaiti area of the west Tarim Basin [J]. *Experimental Petroleum Geology*, 1995, 17(2): 114-120.
- [15] 马红强, 王恕一, 简军. 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, 28(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.
- [16] 吕海涛, 张仲培, 邵志兵, 等. 塔里木盆地巴楚—麦盖提地区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.  
Lv Haitao, Zhang Zhongpei, Shao Zhibing, et al. Structural evolution and exploration significance of the Early Paleozoic palaeouplifts in Bachu-Maigaiti area, the Tarim Basin [J]. *Oil & Gas Geology*, 2010, 31(1): 76-83.
- [17] 邬光辉, 李洪辉, 张立平, 等. 塔里木盆地麦盖提斜坡奥陶系风化壳成藏条件[J]. *石油勘探与开发*, 2012, 39(2): 144-153.  
Wu Guanghui, Li Honghui, Zhang Liping, et al. Reservoir-forming conditions of the Ordovician weathering crust in the Maigaiti slope, Tarim Basin, NW China [J]. *Petroleum Exploration and Development*, 2012, 39(2): 144-153.
- [18] 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.
- [19] 杨瑞东, 盛学庸, 魏晓, 等. 基于 Google Earth 影像分析区域性大型“X”共轭节理系统对宏观岩溶作用的控制[J]. *地质论评*, 2009, 55(2): 173-180.  
Yang Ruidong, Sheng Xueyong, Wei Xiao, et al. The control of regional large “X” conjugate joint system on karstification from Google Earth Image [J]. *Geological Review*, 2009, 55(2): 173-180.
- [20] 郑剑锋, 沈安江, 潘文庆, 等. 塔里木盆地地下古生界热液白云岩储层的主控因素及识别特征[J]. *海相油气地质*, 2011, 16(4): 47-56.  
Zheng Jianfeng, Shen Anjiang, Pan Wenqing, et al. Key controlling factors and identification characteristics of Lower Paleozoic hydrothermal dolomite reservoirs in Tarim Basin [J]. *Marine Origin Petroleum Geology*, 2011, 16(4): 47-56.