

塔里木盆地沙雅隆起北部三道桥 潜山结构与储层特征

韩 强¹, 杨子川¹, 李弘艳¹, 蒲仁海², 闫 亮¹, 焦存礼³

(1. 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; 2. 西北大学 地质学系, 陕西 西安 710069; 3. 中国石化石油勘探开发研究院, 北京 100083)

摘 要:综合钻井、测井、地震及分析化验等资料,对塔里木盆地沙雅隆起北部新发现的三道桥潜山气藏的潜山结构和储层进行研究。结果表明:三道桥潜山为晚古生代末期—中生代早期由断层控制形成的断块潜山,发育多组断层和断片结构,长轴为 NE—SW 向,上覆中生界侏罗系—白垩系。三道桥潜山是由下部古元古界花岗岩结晶基底和上部的一套滨海—浅海相陆源碎屑岩—碳酸盐岩混合沉积地层、以及之上的新元古界阿克苏群共同组成,其中滨海—浅海相陆源碎屑岩—碳酸盐岩混合沉积地层经历过埋藏成岩改造;三道桥潜山气藏的储层岩性主要为粉晶白云岩、泥晶白云岩,储层基质物性较差,储集空间为裂缝和溶蚀孔洞;优质储层主要受后期断裂和岩溶作用控制。三道桥潜山气藏的发现进一步证实塔里木盆地沙雅隆起北部潜山构造裂缝和岩溶作用发育,具备形成优质储层和油气藏的条件,因此,该区带类似的潜山具有较大的油气勘探潜力。

关键词:潜山;白云岩储层;断块结构;岩溶作用;裂缝;沙雅隆起;塔里木盆地

中图分类号:P618.130.2;TE122.2 **文献标志码:**A

Characteristics of Sandaoqiao Buried Hill Structure and Reservoir in the Northern Shaya Uplift of Tarim Basin, China

HAN Qiang¹, YANG Zi-chuan¹, LI Hong-yan¹, PU Ren-hai², YAN Liang¹, JIAO Cun-li³

(1. Institute of Exploration and Development, Northwest Oilfield, SINOPEC, Urumqi 830011, Xinjiang, China;
2. Department of Geology, Northwest University, Xi'an 710069, Shaanxi, China; 3. SINOPEC Petroleum
Exploration and Production Research Institute, Beijing 100083, China)

Abstract: Based on the drilling, logging, seismic and chemical analysis data, the characteristics of the new Sandaoqiao buried hill structure and reservoir in the northern Shaya uplift of Tarim Basin were discussed. The results show that Sandaoqiao buried hill is a fault block controlled by Late Paleozoic-Early Mesozoic faults; multi faults and fragment structures develop with the NE-SW long axis in Sandaoqiao buried hill, and the overlaying layer is Mesozoic Jurassic-Cretaceous; Sandaoqiao buried hill is made from the bottom crystalline basement of Paleoproterozoic granites, the middle mixed sediment strata of littoral-neritic facies terrigenous clastic-carbonate rocks, and the upper Neoproterozoic Akesu Group; the mixed sediment strata of littoral-neritic facies terrigenous clastic-carbonate rocks experience burial diagenetic transformation, and the thickness is 700-800 m; the gas reservoir lithology of Sandaoqiao buried hill is crystal powder dolomite and putty crystal dolomite with the poor physical property of matrix, and the reservoir space is

收稿日期:2016-09-12

基金项目:国家科技重大专项项目(2011ZX05005-002)

作者简介:韩 强(1980-),男,陕西蓝田人,高级工程师,E-mail:hanqiang105289562@qq.com。

fracture and dissolution pore; the high quality reservoir is mainly controlled by the late fracture and karst process. It is further proved that the fracture and karst process of buried hill develop in the northern Shaya uplift of Tarim Basin, and have the advantage on forming high quality reservoir and hydrocarbon accumulation. Therefore, the zone like Sandaoqiao buried hill has great petroleum exploration potential.

Key words: buried hill; dolomite reservoir; block structure; karst process; fracture; Shaya uplift; Tarim Basin

0 引言

塔里木盆地沙雅隆起北部雅克拉断凸潜山带是该区重要的油气勘探领域。1984 年 SC2 井在奥陶系潜山获得重大油气突破,发现了雅克拉潜山凝析气藏,揭开了塔里木盆地海相油气大发现的序幕^[1]。随着该区勘探的不断深入,前人对该区潜山成藏研究取得了一系列成果^[2-4]。雅克拉断凸地区是库车陆相、南部海相油气运移的有利指向区,海、陆油气分异受控于前中生界构造形态,南部雅克拉气藏表现为海相特征,北部的 YH、YM32、YM33 井等油气藏表现为陆相特征^[5]。雅克拉地区潜山储层除发育风化壳型储层外,还同时存在暴露浅滩、层间古岩溶及白云岩型等多种类型的碳酸盐岩储层^[6]。但该区潜山的油气富集控制因素复杂,钻探成功率低。在雅克拉潜山气藏的外围地区,仅 YH5、YH7X-1、YM32、YM33 井等少数钻井在寒武系潜山领域钻获油气。2010 年,中国石化西北油田分公司在雅克拉断凸西段的三道桥地区部署了 QG1 井,在潜山获得突破进展,发现了三道桥潜山气藏。该井用 6 mm 油嘴试油,日产气 39 175 m³,日产油 10.39 m³。此后,该地区 QG101 井和 QG102 井等也均获得工业油气,显示了良好的勘探潜力。本文综合钻井、测井、地震和分析化验等资料对塔里木盆地沙雅隆起北部三道桥潜山气藏的潜山地质结构和储层进行研究,以期为该区的潜山勘探开发提供技术支持。

1 潜山结构与地层

1.1 地震-地质结构

雅克拉断凸是一个受断裂夹持的继承性断块凸起,在侏罗系一下白垩统泥岩沉积之后才全面形成披覆潜山构造圈闭^[7-8]。钻井和地震资料综合解释表明,三道桥地区前中生界潜山现今构造面貌是一个古生界—元古界古隆起,整体上表现为近 NE 向抬升的不对称背斜,高部位为由 S53 井和 QG3 井等

揭示的古元古代花岗岩体。前人对 S53 井花岗岩进行锆石 U-Pb 定年,获得花岗岩的变质年龄约为 1.8 Ga,为古元古代古老的基底^[9-10]。花岗岩向两侧地层依次变新:SW—SE 向为震旦系—奥陶系环基底分布;NE 向主要残留震旦系—寒武系;NW 向为二叠系岩浆岩(图 1)。其中,SW 向 XH1 井揭示下寒武统、震旦系、前震旦系等地层,该井前震旦系基底岩性为黑云母斜长片麻岩、千枚岩等。XH1 井黑云母斜长片麻岩的锆石年龄不早于 776 Ma,相当于青白口系阿克苏群^[11-12]。阿克苏群在地震上被标定为一套空白弱反射,朝 NE 向抬升尖灭[图 1(b)、图 2(b)]。SE 向雅克拉—东河塘等地区钻井揭示震旦系—石炭系,井-震关系清楚。NW 向 S84 井揭示寒武系肖尔布拉克组。

从过三道桥潜山的地震剖面来看,三道桥潜山是一个受逆冲断层控制的潜山断块^[13-20]。断层上盘之上直接覆盖白垩系,其顶面被前中生界侵蚀面削蚀,地层由东南向西北尖灭。断层下盘地层南倾,向东南延伸至 DH21 井区,分布稳定[图 2(a)、(c)]。断层下盘地层处于震旦系之下,震旦系之下基岩在地震上表现为杂乱弱反射特征,阿克苏群黑云母斜长片麻岩覆盖于核部元古界地层之上,形成复杂的潜山结构。

1.2 地层沉积特征

1.2.1 地层垂向序列

QG102、QG1、QG101、QG1-2 及 YH20 等 5 口钻井不同程度揭示潜山内幕地层。通过井-震标定,潜山高部位地层从老到新依次发育浅变质二长花岗岩、下浅变质碎屑岩段、碳酸盐岩段及上浅变质碎屑岩段[图 2(c)、图 3]。

从地层垂向序列来看,潜山是由下部古元古界花岗岩结晶基底和上部的一套滨海—浅海相陆源碎屑岩—碳酸盐岩混合沉积地层组成,其中上部沉积地层可识别出两次海进→海退的沉积旋回^[21]。根据岩性组合,下浅变质碎屑岩段可进一步划分为变质石英砂岩夹砾岩亚段和浅变质粉砂岩亚段。根据

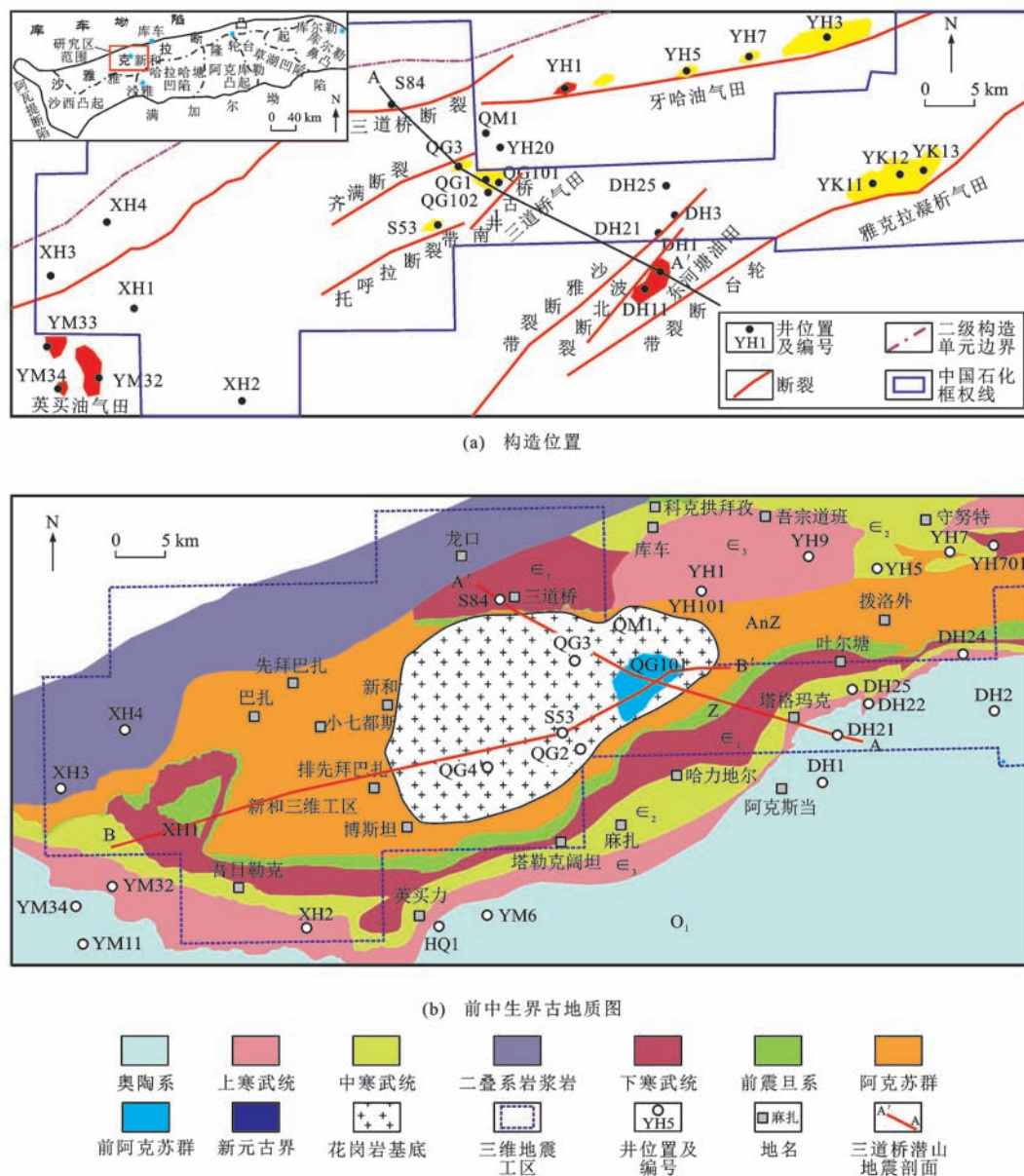


图 1 塔里木盆地三道桥构造位置和前中生界古地质图

Fig. 1 Location and Pre-Mesozoic Paleogeological Maps of Sandaoqiao Structure in Tarim Basin

石英砂岩夹层、碳酸钙、碳酸镁含量的变化,厚层碳酸盐岩段分为白云岩亚段、灰质白云岩与砂岩互层亚段、白云岩与砂岩互层亚层(图 3)。钻井揭示的油气层及油气显示主要集中在碳酸盐岩段顶部的白云岩亚段及上浅变质碎屑岩段内部的碳酸盐岩夹层中(图 3)。

1.2.2 微量元素分析

微量元素特征反映了岩石在沉积时期或者经历的后生改造过程中流体的性质以及沉积物所经历的改造过程^[22]。QG1 井 3 个白云岩和 1 个白云石胶结物的微量元素(表 1)分析表明:白云岩具有富 Al、K 的特征,Al 含量(质量分数,下同)为(1 550.34~12 287.10)×10⁻⁶,K 为(681.57~8 347.38)×

10⁻⁶,说明白云岩形成过程中有陆源碎屑黏土混入^[23];同时,白云岩具有相对富 Fe、Mn 的特点,Fe 含量为(3 548.9~7 715.2)×10⁻⁶,Mn 为(181.67~368.04)×10⁻⁶。一般认为氧化条件下不利于铁、锰离子进入白云石晶格,只有在还原条件下这些元素才能以低价的形式进入白云石晶格中,也就是说埋藏成岩环境有利于 Fe、Mn 在白云岩中富集,而近地表成岩环境则反之。巴西 Sao Francisco 盆地前寒武系地层中埋藏白云岩,其 Fe、Mn 含量分别为 22 009×10⁻⁶和 2 094×10⁻⁶^[24]。相比之下,QG1 井样品中 Fe、Mn 含量相对较低,可能说明本区埋藏白云岩的发育程度要低一些。此外,白云石胶结物中 Fe、Mn 元素具有进一步富集的特点。

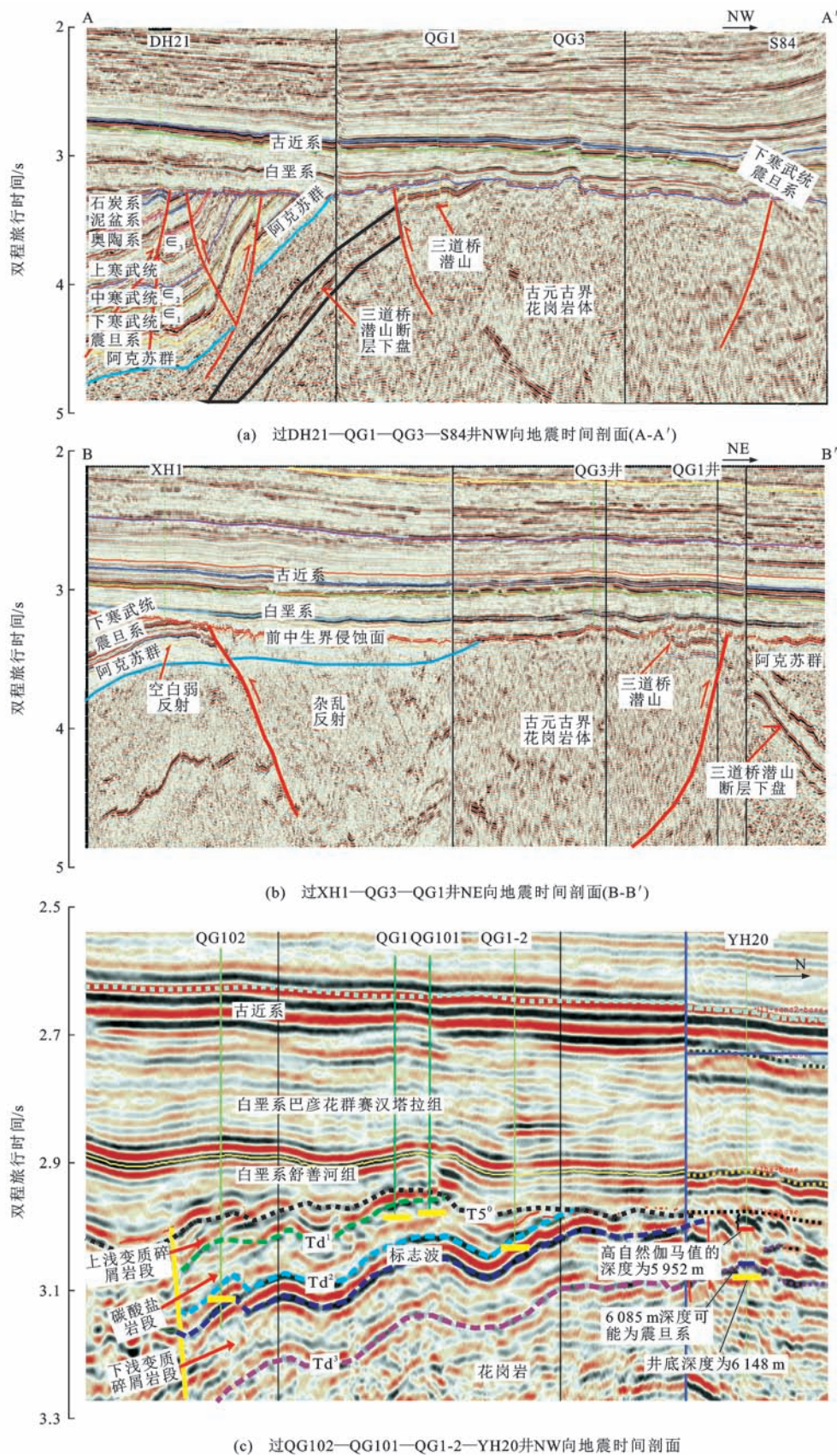


图 2 关键井地震解释剖面

Fig. 2 Interpretation Seismic Profiles of Key Wells

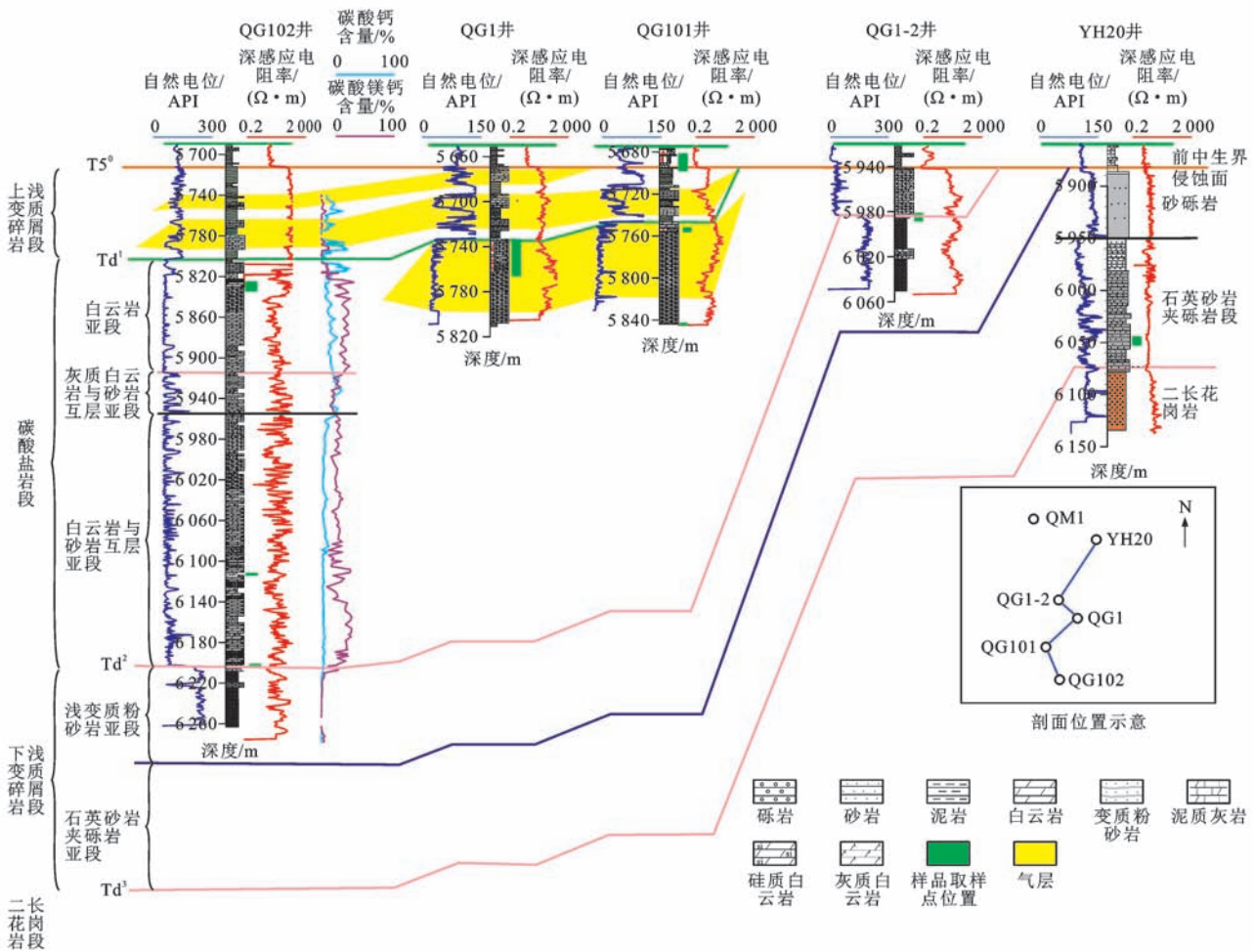


图 3 钻井地层剖面对比

Fig. 3 Comparison of Stratigraphic Sections of Wells

表 1 QG1 井区白云岩微量元素分析结果

Tab. 1 Analysis Results of Trace Elements of Dolomite from Well QG1

井深/m	5 749.31	5 740.34	5 755.05	5 755.05
岩性	粉晶白云岩	粉晶白云岩	粉晶白云岩	白云石胶结物
w(Li)/10 ⁻⁶	13.44	41.48	13.37	15.97
w(Na)/10 ⁻⁶	252.51	2 249.30	98.00	313.70
w(K)/10 ⁻⁶	3 206.12	8 347.38	681.57	132.42
w(Sr)/10 ⁻⁶	40.22	41.48	43.50	73.52
w(Ba)/10 ⁻⁶	67.41	219.34	16.62	33.52
w(Ti)/10 ⁻⁶	210.24	309.67	47.17	0.96
w(Gr)/10 ⁻⁶	10.30	39.00	4.40	2.39
w(Mn)/10 ⁻⁶	181.67	266.42	368.04	685.58
w(Fe)/10 ⁻⁶	3 548.9	7 715.2	5 332.4	9 983.2
w(Co)/10 ⁻⁶	1.6	2.7	2.2	
w(Ni)/10 ⁻⁶	4.80	15.30		0.48
w(Zn)/10 ⁻⁶	23.10	22.30	2.69	
w(Cd)/10 ⁻⁶		0.22	0.24	0.24
w(Al)/10 ⁻⁶	5 173.67	12 287.10	1 550.34	326.39
w(Zr)/10 ⁻⁶	7.08		0.73	
w(Mo)/10 ⁻⁶	4.57		14.50	9.10
w(Pb)/10 ⁻⁶			10	6

注:w(·)为元素含量。

微量元素分析表明,QG1 井区白云岩亚段形成于水体较浅的近源局限台地环境,沉积过程中有陆源碎屑物质的影响。同时,该区白云岩经历了一定程度的埋藏成岩环境改造。

1.3 小 结

综合地震、钻井及微量元素分析资料认为,三道桥潜山地层是位于早元古代花岗岩之上、新元古代阿克苏群之下的一套滨海—浅海相陆源碎屑岩-碳酸盐岩混合沉积地层,沉积岩经历过一定程度的埋藏成岩环境改造。

2 储层特征

2.1 储层岩石学特征及物性分析

上浅变质碎屑岩段和白云岩亚段是塔里木盆地沙雅隆起北部三道桥潜山的主要含油气层段,其中白云岩储层是主要的油气储层。白云岩储层裂缝发育,基质普遍硅化。

2.1.1 岩石学特征

通过岩芯观察、薄片鉴定等综合分析发现,QG1

井区白云岩储层岩性为灰色和棕红色泥晶白云岩、灰色粉晶白云岩[图 4(a)~(e)]。白云石体积分数为 90%~100%，方解石为 1%~2%，硅质为 1%~

10%；自生矿物石英体积分数为 2%，黄铁矿为 1%。QG1 井区白云岩储层见白云石、硅质、方解石充填的裂缝[图 4(g)~(i)]。

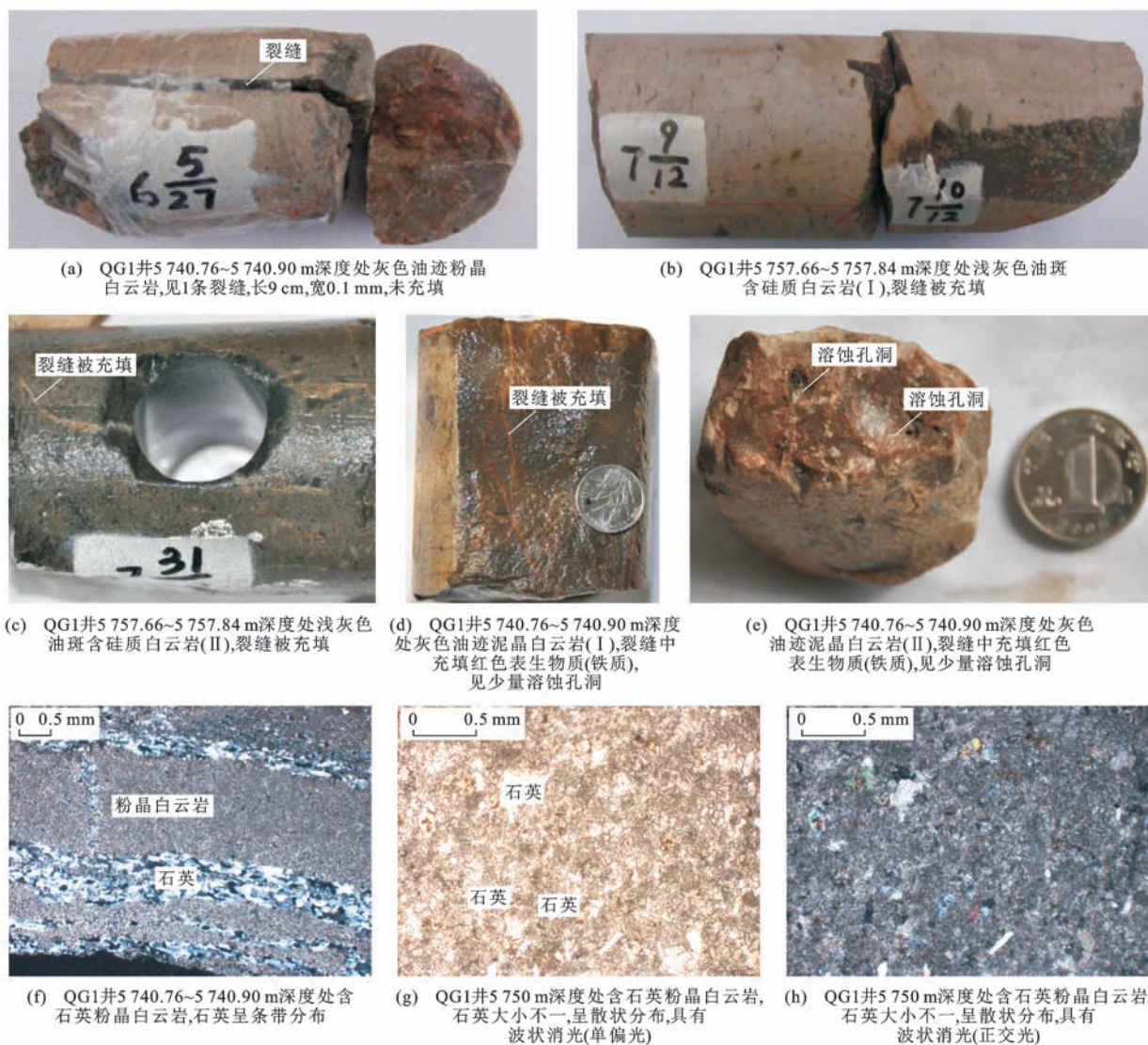


图 4 QG1 井区白云岩储层典型岩芯、岩石薄片照片

Fig. 4 Photographs of Typical Cores and Rock Slices of Dolomite Reservoir from Well QG1

2.1.2 物性分析

全直径和小柱样等多种试验分析结果表明,三道桥气藏的产油气段中,白云岩储层基质(白云岩)具有致密、孔渗低、物性差的特点^[25]。据 27 个常规岩芯样品储层物性分析, QG1 井区白云岩岩芯孔隙度分布在 0.1%~1.6%之间,以 0.5%~1.5%为主,平均为 0.8%,渗透率主要为 $(0.025 \sim 0.600) \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$,平均为 $0.042 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ (图 5)。QG1 井区白云岩储层属于低孔低渗致密储层^[26]。

2.2 白云岩储层类型

扫描电镜下,白云岩岩石致密,晶间孔不发育

[图 6(a)、(b)],其储集空间主要为裂缝和溶蚀孔洞。QG1 井在油层段顶面 5 737.50 m 附近发生井漏,累计漏失 90.97 m³。该井区 5 740.34~5 747.80 m 取芯段的取芯率仅为 58.3%。在 5 740.34~5 747.80 m 取芯段共发现裂缝 32 条,平均密度为每米 5.19 条,裂缝延伸长度为 1~24 cm,缝宽小于 0.1 mm 的裂缝占 68.8%,缝宽为 0.1~2.0 mm 的裂缝占 31.2%,产状以高角度裂缝为主,占裂缝总数的 84.4%。在白云岩铸体薄片上可见溶蚀缝[图 6(c)~(f)]。

地层成像测井提供了井下碳酸盐岩储层的裂缝、孔洞和沉积构造图像(图 7),可以有效描述连通

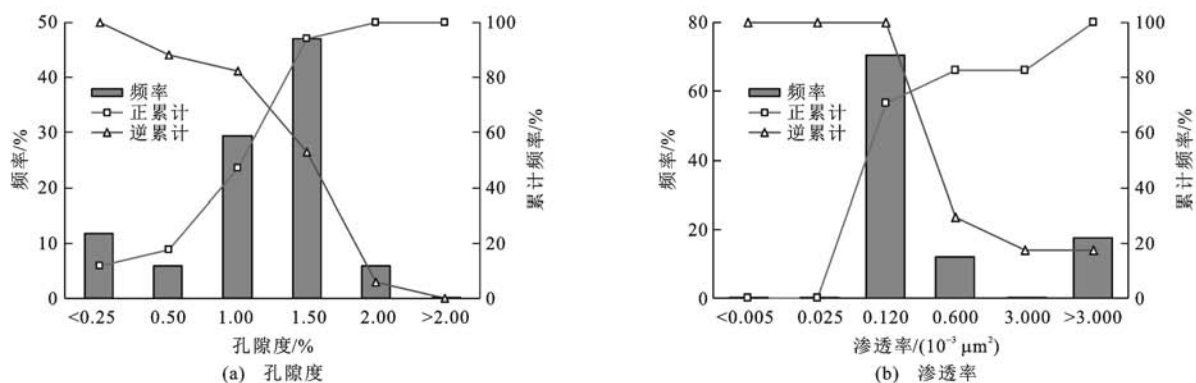


图 5 QG1 井区白云岩储层孔隙度、渗透率统计直方图

Fig. 5 Statistical Histograms of Porosity and Permeability of Dolomite Reservoir from Well QG1

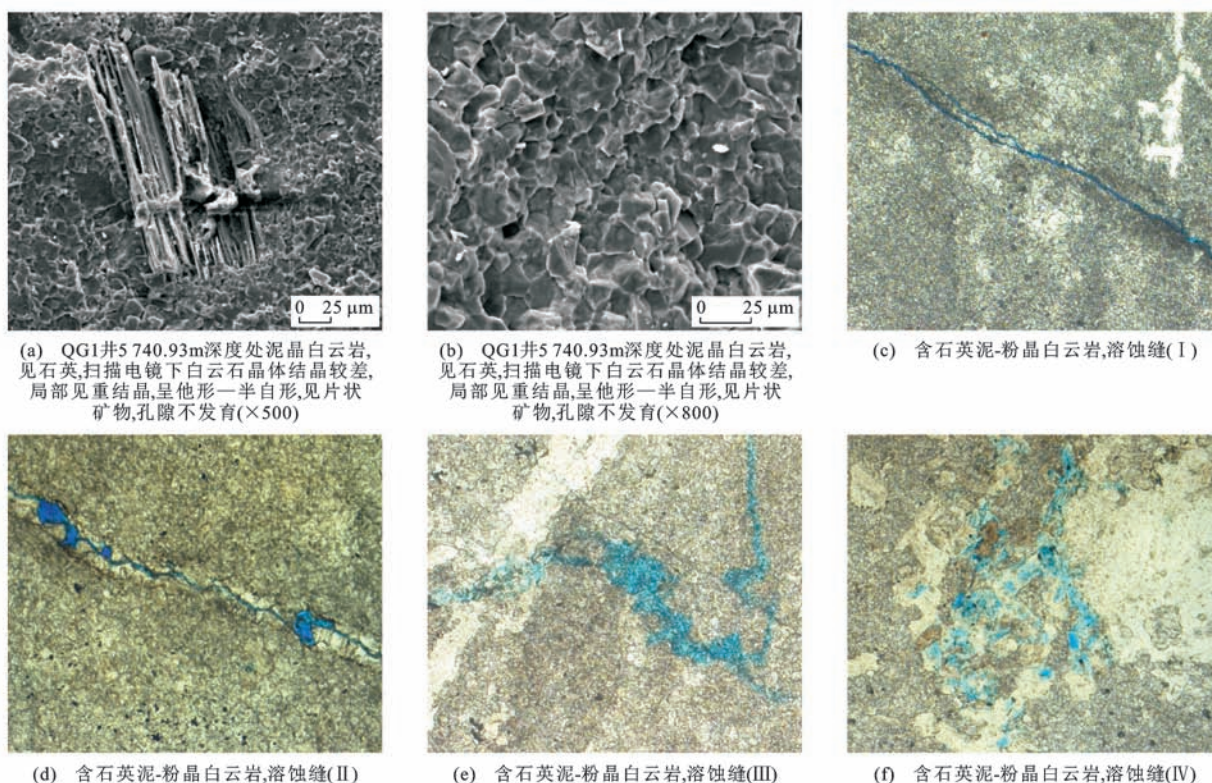


图 6 QG1 井区白云岩储层扫描电镜和铸体薄片照片

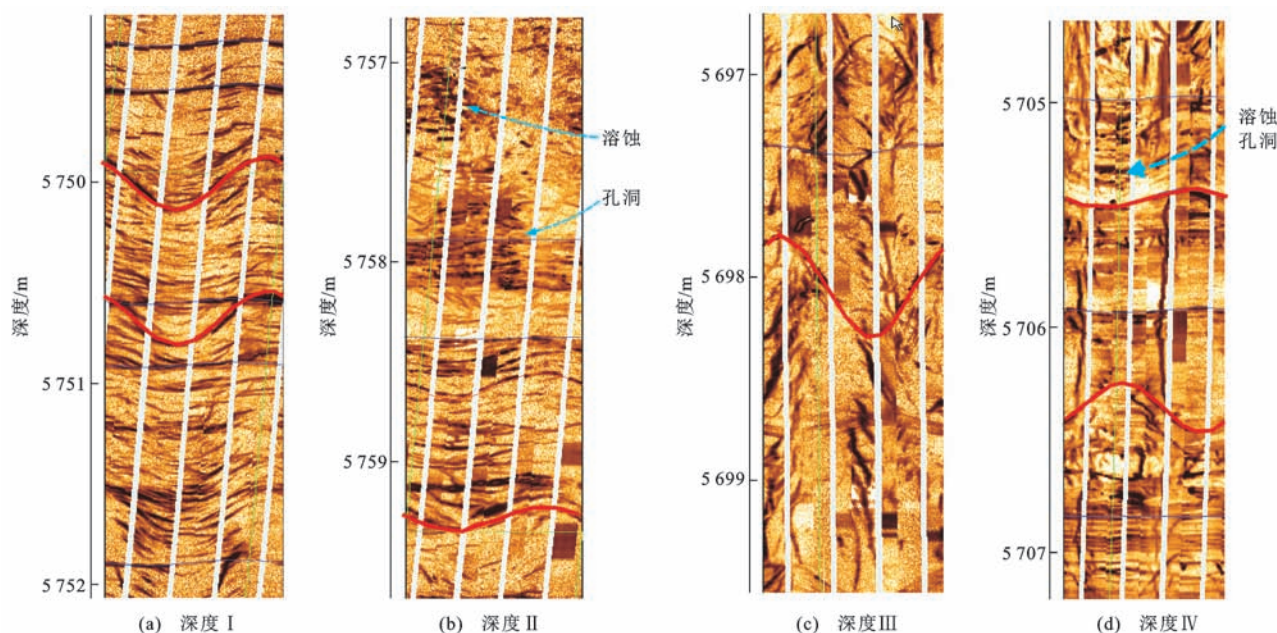
Fig. 6 Photographs of Scanning Electron Microscopes and Casting Thin-sections of Dolomite Reservoir from Well QG1

孔洞孔隙体系的特征^[27]。QG1 井地层成像测井表明白云岩中发育低角度裂缝和少量溶蚀孔洞。在白云岩亚段成像测井资料共拾取到裂缝 36 条,裂缝平均角度为 76° ,平均倾向为 127° 。

QG1 井潜山储层段在地震上以杂乱弱反射为主,不同于塔河奥陶系灰岩“串珠”状岩溶缝洞储层^[28-29]。在地震剖面上,该储层段能够识别出多条高角度断裂;断裂从基底一直断至前中生界不整合面,平面上呈 NW 向,被晚期的 NE 向逆断层所切割(图 8)。同时,根据曲率属性,断裂带附近的小断裂、裂缝系统较为发育(图 8)。

2.3 储层发育模式

构造演化研究表明,三道桥地区自海西运动末期已明显隆升成陆地,直至白垩纪才再次接受沉积,暴露时间超过 100 Ma ^[30]。该区潜山存在花岗岩、变质岩、碎屑岩、白云岩等多种岩性地层。长期的风化淋滤改善了岩石的储集性能。图 9(a)是该潜山白垩系巴西盖组沉积前古地貌图。该区存在一个 NE 向鼻状隆起, QG1 井区位于东南斜坡部位,具备形成风化溶蚀条件[图 9(b)]。同时,断裂的发育为地表水提供了向下溶蚀的通道,沿断裂或裂隙产生次生溶蚀孔。不同岩性地层受后期地质作用改造差



暗色高导正弦曲线为裂缝,暗色斑点为溶蚀孔洞

图 7 QG1 井区碳酸盐储层地层成像测井

Fig. 7 Formation Imaging Logging of Carbonate Reservoir from Well QG1

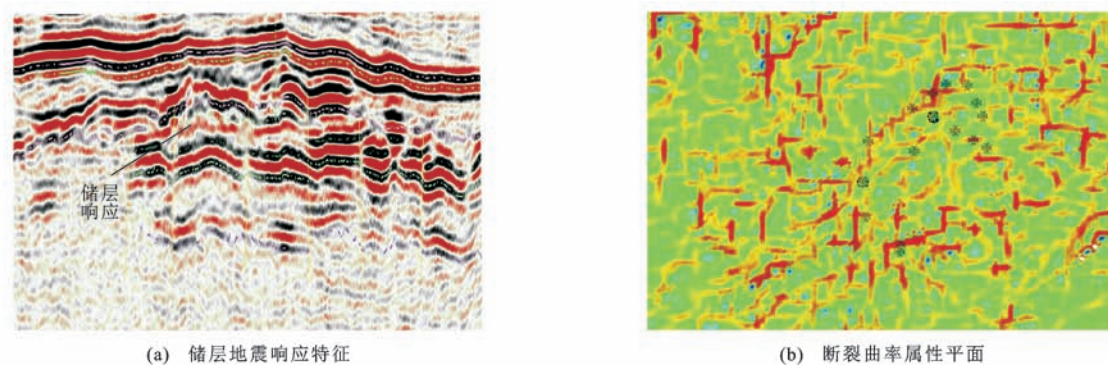


图 8 QG1 井区储层地震响应特征及断裂曲率属性平面

Fig. 8 Seismic Response Characteristics and Discontinuity Attribute Planar Graph of Reservoir from Well QG1

异较大;变质岩、碎屑岩储层由于地层时代老、成岩演化程度高、抗风化溶蚀作用强,仅发育少量裂缝型储层;潜山内幕存在硅质岩、泥质岩等致密隔层;白云岩及灰质白云岩等碳酸盐岩发育溶缝、溶洞和溶孔等类型储层。QG1、QG101 井的产层均为白云岩亚段,而 QG1-2、YH20 井等揭示的碎屑岩均很致密,储集条件差。

3 结 语

(1)塔里木盆地沙雅隆起北部三道桥潜山是由下部古元古界花岗岩结晶基底和上部的一套滨海—浅海相陆源碎屑岩-碳酸盐岩混合沉积地层、以及之上的新元古界阿克苏群共同组成。其中,发育一套浅变质的滨海—浅海相陆源碎屑岩-碳酸盐岩混合沉积地层经历过一定程度的埋藏成岩环境改造。

(2)三道桥潜山白云岩亚段形成于水体较浅的局限台地环境,沉积过程中有陆源碎屑物质的影响,具有富 Al、K 的特征,同时该区白云岩经历过埋藏成岩环境改造,地层相对富集 Fe、Mn。

(3)三道桥潜山油气层段位于中上部的白云岩层段,白云岩是主要储层。白云岩岩性主要为泥晶白云岩、粉晶白云岩,基质孔隙差,为低孔低渗致密储层;储集空间主要为裂缝和溶蚀孔洞。储层发育主要受控于岩性、断裂发育及风化溶蚀作用,不同岩性潜山抗风化溶蚀差异明显。花岗岩、变质岩、碎屑岩等储层较差,仅发育少量裂缝型储层;碳酸盐岩发育有溶缝、溶洞和溶孔等类型储层,是主力储层类型。

(4)三道桥潜山气藏的发现证实了塔里木盆地北部古老的海相碳酸盐岩地层具备形成良好的缝洞

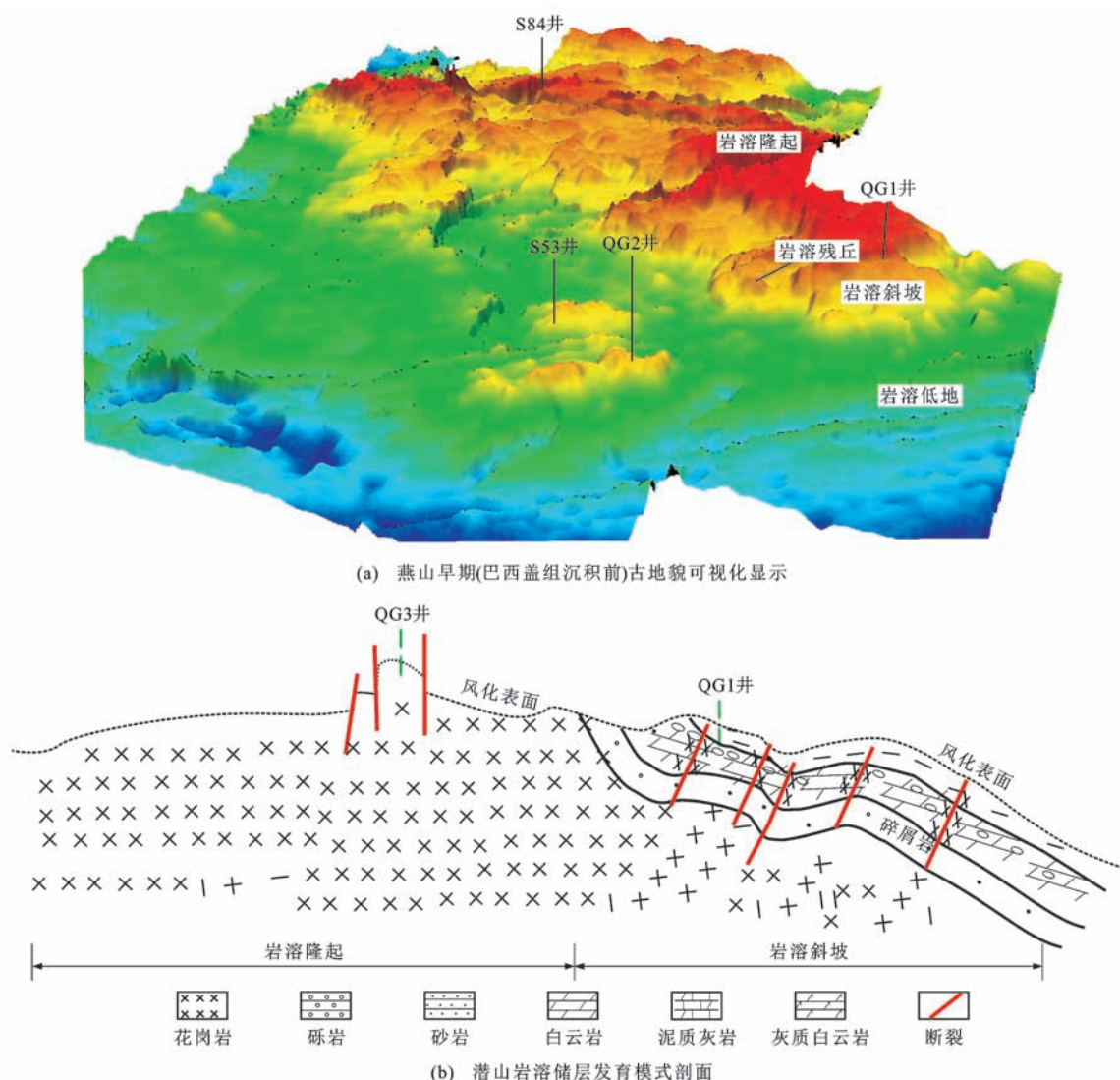


图9 三道桥地区燕山早期古地貌及潜山岩溶储层发育模式

Fig. 9 Early Yanshanian Paleogeomorphology and Karst Reservoir Development Model of Buried Hill in Sandaoqiao Area

型储层条件。雅克拉断凸地区前期发现的二八台构造、拉依苏构造及轮台构造等均位于下震旦统变质岩区,但这些构造内幕也存在层状地震异常反射,这些异常体可能为碳酸盐岩,具有较好的勘探潜力。

参考文献:

References:

- [1] 云露,蒋华山.塔河油田成藏条件与富集规律[J].石油与天然气地质,2007,28(6):768-775.
YUN Lu,JIANG Hua-shan. Hydrocarbon Accumulation Conditions and Enrichment Rules in Tahe Oilfield [J]. Oil and Gas Geology,2007,28(6):768-775.
- [2] 崔海峰,滕团余,郑多明,等.英买力一牙哈地区碳酸盐岩潜山的油气成藏模式[J].高校地质学报,2009,15(1):100-107.
CUI Hai-feng,TENG Tuan-yu,ZHENG Duo-ming,et al.

Hydrocarbon Accumulation Pattern of Carbonate Buried Hills in the Yingmaili-Yaha Area[J]. Geological Journal of China Universities,2009,15(1):100-107.

- [3] 韩强,李宗杰,王超,等.塔里木盆地沙雅隆起北部一元古宙潜山气藏地震解析、地层特征与时代研究[J].中国地质,2016,43(2):486-499.
HAN Qiang,LI Zong-jie,WANG Chao,et al. Characteristics and Age of a Proterozoic Buried Hill Reservoir in the Northern Shaya Uplift of the Tarim Basin [J]. Geology in China,2016,43(2):486-499.
- [4] 刘存革,李国蓉,罗明霞,等.塔里木盆地沙雅隆起与柯坪露头中上奥陶统地层对比及烃源岩分布[J].石油实验地质,2016,38(2):170-177.
LIU Cun-ge,LI Guo-rong,LUO Ming-xia,et al. Stratigraphic Correlation and Source Rock Distribution of the Middle-Upper Ordovician in the Shaya Uplift and

- Kalpin Outcrop, Tarim Basin[J]. *Petroleum Geology and Experiment*, 2016, 38(2): 170-177.
- [5] 梁狄刚, 顾乔元, 皮学军. 塔里木盆地塔北隆起凝析气藏的分布规律[J]. *天然气工业*, 1998, 18(3): 5-9.
LIANG Di-gang, GU Qiao-yuan, PI Xue-jun. Distribution Law of the Condensate Gas Reservoirs in Tabei Uplift of Train Basin[J]. *Natural Gas Industry*, 1998, 18(3): 5-9.
- [6] 何发岐, 梅廉夫, 费琪, 等. 前陆盆地前缘隆起带圈闭的形成及其含油气性: 以塔里木盆地沙雅隆起为例[J]. *石油实验地质*, 2006, 28(5): 418-423.
HE Fa-qi, MEI Lian-fu, FEI Qi, et al. The Formation and Petroleum-bearing Capacity of Traps in the Frontal Uplift of the Foreland Basin: Taking the Shaya Uplift of the Tarim Basin as an Example[J]. *Petroleum Geology and Experiment*, 2006, 28(5): 418-423.
- [7] 汤良杰, 李萌, 杨勇, 等. 塔里木盆地主要前陆冲断带差异构造变形[J]. *地球科学与环境学报*, 2015, 37(1): 46-56.
TANG Liang-jie, LI Meng, YANG Yong, et al. Differential Structural Deformation of Main Foreland Thrust Belts in Tarim Basin[J]. *Journal of Earth Sciences and Environment*, 2015, 37(1): 46-56.
- [8] 费剑伟, 杨红彩, 周芳芳, 等. 塔里木盆地雅克拉断凸及周缘前中生界白云岩储层成因与勘探潜力[J]. *石油实验地质*, 2015, 37(3): 286-292.
FEI Jian-wei, YANG Hong-cai, ZHOU Fang-fang, et al. Genetic Types and Exploration Potential of Pre-Mesozoic Dolomite Reservoirs in Yakela Fault Arch and Its Surrounding Areas, Tarim Basin[J]. *Petroleum Geology and Experiment*, 2015, 37(3): 286-292.
- [9] 许志琴, 杨经绥, 梁风华, 等. 喜马拉雅地体的泛非-早古生带造山事件年龄记录[J]. *岩石学报*, 2005, 21(1): 1-12.
XU Zhi-qin, YANG Jing-sui, LIANG Feng-hua, et al. Pan-African and Early Paleozoic Orogenic Events in the Himalaya Terrane: Inference from SHRIMP U-Pb Zircon Ages[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 2005, 21(1): 1-12.
- [10] 韩强, 朱允辉, 朱传玲, 等. 塔里木盆地沙雅隆起北部三道桥地区前震旦纪基底岩浆岩特征与锆石 U-Pb 年龄研究[J]. *岩石学报*, 2016, 32(5): 1493-1504.
HAN Qiang, ZHU Yun-hui, ZHU Chuan-ling, et al. Petrological Characteristics and Zircon U-Pb Age for Magmatic Rocks from Pre-Sinian Basement of the Sandaoqiao Area of Shaya Rise in Tarim Basin, NW China[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 2016, 32(5): 1493-1504.
- [11] 张师本, 倪寓南, 龚福华, 等. 塔里木盆地周缘地层考察指南[M]. 北京: 石油工业出版社, 2003.
ZHANG Shi-ben, NI Yu-nan, GONG Fu-hua, et al. A Guide to the Stratigraphic Investigation on the Periphery of the Tarim Basin[M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 2003.
- [12] 何景文, 朱文斌, 郑碧海, 等. 塔里木西北缘阿克苏地区震旦系苏盖特布拉克组沉积物源分析: 碎屑锆石年代学证据[J]. *地质学报*, 2015, 89(1): 149-162.
HE Jing-wen, ZHU Wen-bin, ZHENG Bi-hai, et al. Provenance of Sinian Sugetbrak Sedimentary Rocks in the Aksu Area, NW Tarim: Evidence from Detrital Zircon Geochronology[J]. *Acta Geologica Sinica*, 2015, 89(1): 149-162.
- [13] 罗小龙, 汤良杰, 谢大庆, 等. 塔里木盆地雅克拉断凸构造样式与油气成藏[J]. *油气地质与采收率*, 2012, 19(3): 38-41, 52.
LUO Xiao-long, TANG Liang-jie, XIE Da-qing, et al. Structural Styles and Hydrocarbon Accumulation in Yakela Fault-convex, Tarim Basin[J]. *Petroleum Geology and Recovery Efficiency*, 2012, 19(3): 38-41, 52.
- [14] 韩强, 李宗杰, 杨子川, 等. 塔里木盆地三道桥地区油气成藏特征[J]. *油气地质与采收率*, 2015, 22(6): 14-20.
HAN Qiang, LI Zong-jie, YANG Zi-chuan, et al. Characteristics of Hydrocarbon Accumulation in the Sandaoqiao Area of Tarim Basin[J]. *Petroleum Geology and Recovery Efficiency*, 2015, 22(6): 14-20.
- [15] 洪才均, 康仁东, 周芳芳, 等. 新和—三道桥地区白垩系巴西盖组沉积特征[J]. *新疆地质*, 2016, 34(2): 230-234.
HONG Cai-jun, KANG Ren-dong, ZHOU Fang-fang, et al. Sedimentary Characteristics of Cretaceous Baxigai Formation in Xinhe-Sandaoqiao Area[J]. *Xinjiang Geology*, 2016, 34(2): 230-234.
- [16] 宁松华, 曹森, 刘雷颂, 等. 地质统计学反演在三道桥工区储层预测中的应用[J]. *石油天然气学报*, 2014, 36(7): 52-54.
NING Song-hua, CAO Miao, LIU Lei-song, et al. Application of Geostatistical Inversion Method in Reservoir Prediction of Sandaoqiao Area[J]. *Journal of Oil and Gas Technology*, 2014, 36(7): 52-54.
- [17] 宁松华, 马聪, 曹森, 等. 利用正演模拟优选地震属性预测三道桥地区储层[J]. *石油天然气学报*, 2014, 36(5): 55-58.
NING Song-hua, MA Cong, CAO Miao, et al. Optimization of Seismic Attributes and Reservoir Prediction in Sandaoqiao Region Based on Forward Modeling

- [J]. Journal of Oil and Gas Technology, 2014, 36(5): 55-58.
- [18] 作永强, 郑伟东. 塔里木盆地三道桥地区潜山储层预测[J]. 断块油气田, 2013, 20(4): 439-442.
WU Yong-qiang, ZHENG Wei-dong. Buried Hill Reservoir Prediction in Sandaoqiao Area of Tarim Basin [J]. Fault-block Oil and Gas Field, 2013, 20(4): 439-442.
- [19] 李宗杰. 三道桥白垩系储层正演模拟分析[J]. 特种油气藏, 2013, 20(5): 32-35.
LI Zong-jie. Forward Modeling Analysis of the Cretaceous Reservoirs in Sandaoqiao Area [J]. Special Oil and Gas Reservoirs, 2013, 20(5): 32-35.
- [20] 宁松华, 漆立新. 低幅构造分析方法研究: 以塔里木盆地三道桥构造为例[J]. 石油天然气学报, 2005, 27(3): 341-344.
NING Song-hua, QI Li-xin. Method for Analyzing a Low Amplitude Structure: Taking Sandaoqiao Structure in Train Basin as an Example [J]. Journal of Oil and Gas Technology, 2005, 27(3): 341-344.
- [21] 陈洪德, 钟怡江, 许效松, 等. 中国西部三大盆地海相碳酸盐岩台地边缘类型及特征[J]. 岩石学报, 2014, 30(3): 609-621.
CHEN Hong-de, ZHONG Yi-jiang, XU Xiao-song, et al. Types and Characteristics of Carbonate Platform Margins of Marine Carbonate Rock in Three Major Basins in Western China [J]. Acta Petrologica Sinica, 2014, 30(3): 609-621.
- [22] 李双应, 金福全, 王道轩. 碳酸盐岩成岩作用的微量元素地球化学特征[J]. 石油实验地质, 1995, 17(1): 55-61.
LI Shuang-ying, JIN Fu-quan, WANG Dao-xuan. Geochemical Characteristics of Carbonate Rock Diagenesis [J]. Experimental Petroleum Geology, 1995, 17(1): 55-61.
- [23] 黄思静, QING Hai-ruo, 胡作维, 等. 封闭系统中的白云石化作用及其石油地质学和矿床学意义: 以四川盆地东北部三叠系飞仙关组碳酸盐岩为例[J]. 岩石学报, 2007, 23(11): 2955-2962.
HUANG Si-jing, QING Hai-ruo, HU Zuo-wei, et al. Closed-system Dolomitization and Significance for Petroleum and Economic Geology: An Example from Feixianguan Carbonates, Triassic, NE Sichuan Basin of China [J]. Acta Petrologica Sinica, 2007, 23(11): 2955-2962.
- [24] AZMY K, VEIZER J, MISI A, et al. Dolomitization and Isotope Stratigraphy of the Vazante Formation, Sao Francisco Basin, Brazil [J]. Precambrian Research, 2001, 112(3): 303-329.
- [25] 叶德胜. 塔里木盆地东北地区震旦—奥陶系白云岩的储集性[J]. 石油实验地质, 1992, 14(2): 125-139.
YE De-sheng. Reservoir Property of the Sinian-Ordovician Dolomites in the Northeast Tarim Basin [J]. Experimental Petroleum Geology, 1992, 14(2): 125-139.
- [26] 王珂, 张荣虎, 戴俊生, 等. 低渗透储层裂缝研究进展[J]. 地球科学与环境学报, 2015, 37(2): 44-58.
WANG Ke, ZHANG Rong-hu, DAI Jun-sheng, et al. Review on Low-permeability Reservoir Fracture [J]. Journal of Earth Sciences and Environment, 2015, 37(2): 44-58.
- [27] 柳建华, 蔺学旻, 张卫峰, 等. 塔河油田碳酸盐岩储层有效性测井评价实践与思考[J]. 石油与天然气地质, 2014, 35(6): 950-958.
LIU Jian-hua, LIN Xue-min, ZHANG Wei-feng, et al. Logging Evaluation of Carbonate Reservoir Effectiveness in Tahe Oilfield, Tarim Basin [J]. Oil and Gas Geology, 2014, 35(6): 950-958.
- [28] 杨子川, 李宗杰, 窦慧媛. 储层的地震识别模式分析及定量预测技术初探: 以塔河油田碳酸盐岩储层为例[J]. 石油物探, 2007, 46(4): 370-377.
YANG Zi-chuan, LI Zong-jie, DOU Hui-yuan. Seismic Recognition Model Analysis and Probe of Quantitative Reservoir Prediction Technology: Case Study of Carbonate Reservoirs in Tahe Oil-field [J]. Geophysical Prospecting for Petroleum, 2007, 46(4): 370-377.
- [29] 狄贵东, 彭更新, 庞雄奇, 等. 深层碳酸盐岩地震储层预测: 以塔里木盆地哈得逊区块一间房组为例[J]. 地球科学与环境学报, 2016, 38(5): 715-726.
DI Gui-dong, PENG Geng-xin, PANG Xiong-qi, et al. Seismic Reservoir Prediction of Deep Carbonate: A Case Study of Yijianfang Formation in Hadexun Zone of Tarim Basin [J]. Journal of Earth Sciences and Environment, 2016, 38(5): 715-726.
- [30] 谢大庆, 郑孟林, 蒋华山, 等. 塔里木盆地沙雅隆起形成演化与油气分布规律[J]. 大地构造与成矿学, 2013, 37(3): 398-409.
XIE Da-qing, ZHENG Meng-lin, JIANG Hua-shan, et al. Formation and Evolution of the Shaya Uplift and Constraints on Oil and Gas Distribution in the Tarim Basin [J]. Geotectonica et Metallogenia, 2013, 37(3): 398-409.