

文章编号: 0253-9985(2011)03-0382-06

塔河油田 4 区古地貌对储层分布的影响

王 萍, 袁向春, 李江龙, 胡向阳, 谢丽慧

(中国石化石油勘探开发研究院, 北京 100083)

摘要: 碳酸盐岩储层预测一直为世界性难题。塔河油田 4 区奥陶系碳酸盐岩储层以岩溶、构造运动形成的溶蚀孔洞和裂缝系统为主, 具有埋藏深, 非均质性强的特点。基于三维地震资料, 通过构造的精细解剖, 认识到断层纵横向展布控制油气成藏, 断裂发育的地区溶蚀孔洞发育; 通过对中-下奥陶统顶部海西早期岩溶古地貌的恢复, 发现塔河 4 区奥陶系潜山储层分布主要受岩溶古地貌影响, 并明确了缝洞储层有利发育区。综合分析认为, 在后期开发方案调整中应该避开古地形低洼区; 而在储层精细描述中, 应根据古地貌特征调整属性预测参数。通过古地貌恢复, 为油藏精细方案调整和有效开发奠定了基础。该思路和方法对塔河油田其它相似区块的研究和寻找奥陶系油气高产区具有借鉴意义。

关键词: 古地貌; 储层; 碳酸盐岩; 奥陶系; 塔河油田

中图分类号: TE122.1 **文献标识码:** A

Control of paleogeomorphology on reservoir distribution in Block 4 of Tahe oilfield

Wang Ping, Yuan Xiangchun, Li Jianglong, Hu Xiangyang and Xie Lihui

(SINOPEC Petroleum Exploration & Production Research Institute, Beijing 100083, China)

Abstract Prediction of carbonate reservoirs is challenging all over the world. The reservoir spaces of the Ordovician carbonates in Block 4 of Tahe oilfield are dominated by dissolved vug and fracture systems developed from karstification and tectonic movement. These reservoirs feature in deep burial and high heterogeneity. Fine structural interpretation with 3D seismic data reveals that hydrocarbon accumulation is controlled by vertical and horizontal fault distribution, and the dissolved vugs are well associated with faults. Restoration of the Early Hercynian karst paleogeomorphology on the top of Middle-Lower Ordovician in Tahe oilfield indicates that the distribution of the Ordovician buried-hill reservoirs in Block 4 of Tahe oilfield is mainly controlled by the karst paleogeomorphology. The areas favorable for the development of fractured-vuggy reservoirs are delineated. Comprehensive analysis shows that the low-lying areas of the ancient terrain should be avoided in the latter development plan refinement, and parameters for fine reservoir description should be adjusted according to the paleogeomorphology characteristics. Paleogeomorphology restoration lays a basis for reservoir plan refinement and effective development. This method is helpful for the study of other similar blocks and the discovery of highly productive Ordovician reservoirs in Tahe oilfield.

Key words paleogeomorphology, reservoir, carbonate rock, Ordovician, Tahe oilfield

塔里木盆地塔河油田发现于 1997 年, 是我国古生界海相碳酸盐岩大型油田。塔河 4 区位于阿克库勒凸起南翼的构造斜坡, 是塔河油田主力油区之一 (图 1)。1997 年塔河 4 区部署的 S48 井,

在钻遇奥陶系下统碳酸盐岩风化壳时, 发生严重井漏, 经测试获得高产油气流, 并连续多年保持高产。随着时间的推移, 塔河 4 区目前已进入高含水期, 剩余油分布成为开发的难题, 有利储层分布

收稿日期: 2011-01-20

第一作者简介: 王萍 (1966-), 女, 博士、高级工程师, 地球物理勘查。

基金项目: 国家重点基础研究发展计划 (“973”计划) 项目 (2006CB20230)。

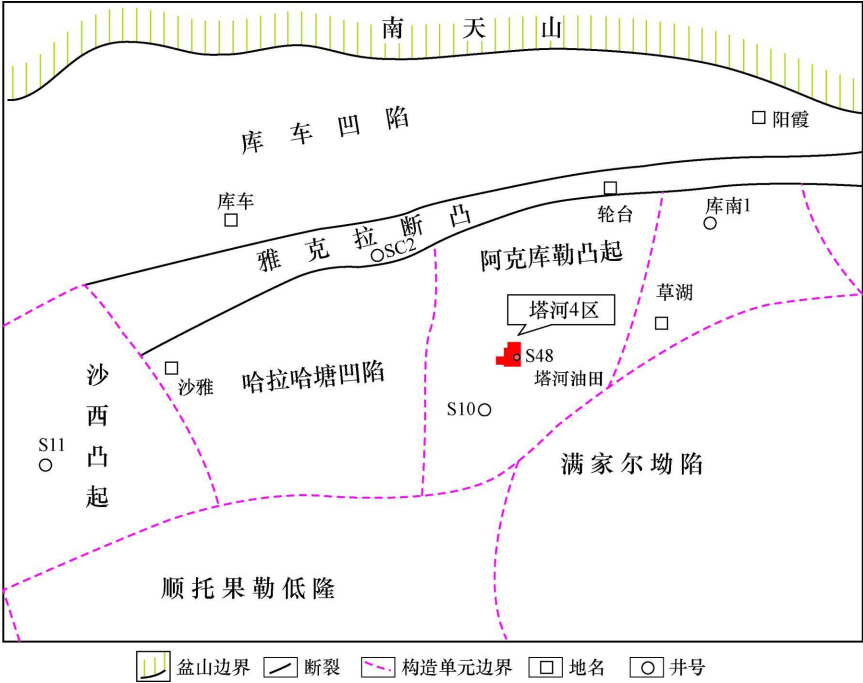


图 1 塔和油田构造位置

Fig 1 Regional location of Tahe oilfield

仍然是研究的主题。

研究区奥陶系经历了多期构造运动, 油气储积条件和保存条件极为复杂, 储集空间主要为奥陶系顶部受构造、岩溶作用形成的缝洞系统, 基岩基本不具备储、渗性能^[1-2]。缝洞发育具有分区性、分块性, 其尺度大小具有差异性, 介质具有非均质性。尽管应用了多种技术手段, 对于 5 300 m 以下的缝洞仍很难识别, 导致油水关系不清, 开发难度大。因此, 在开发阶段, 进一步研究有效储层分布至关重要。而古地貌是控制研究区奥陶系碳酸盐岩缝洞发育的重要因素。因此, 本文将通过古地貌恢复分析有利储层的分布, 结合断裂体系特征和水道展布规律, 分析油气的连通性, 为油气的有效开发奠定基础。

1 构造地质特征

阿克库勒凸起在加里东中晚期初具雏形, 在海西早期受区域性挤压抬升作用, 形成向西南倾伏的北东向大型鼻凸, 在海西晚期改造基本定型, 后经印支-燕山和喜马拉雅运动进一步改造成为大型古隆起^[2-5]。阿克库勒凸起面积约为 750 km², 包括 10 个油区, 其中塔河油田 4 区中部面积 54.2 km², 凸起上普遍缺失志留-泥盆系及

中-上奥陶统, 其上沉积有石炭系泥岩段和在测井曲线上具有双峰特征的灰岩, 是研究区奥陶系油气聚集的良好盖层。通过井震标定, T₇⁴ 在塔河 4 区为奥陶系顶面反射, 表现为强振幅的连续反射特征。T₅⁶ 为石炭系卡拉沙依组 (C₁k⁽¹⁾) 底面, 即石炭系巴楚组 (C₁b) 顶面双峰灰岩段顶面反射, 表现为强振幅连续反射特征, 分布稳定。

在研究区东西两条大型沟谷之间, T₇⁴ 和 T₅⁶ 为相邻反射同相轴 (图 2), 分布稳定, 在全区可以连续追踪。通过精细构造解释, T₇⁴ 和 T₅⁶ 现今构造起伏隆起特征相似, 在区域古隆起背景上形成一系列高点, 具有分区、分带的特征 (图 3)。从巴楚组顶面的构造特征可以看出, 巴楚组受上覆地层压实作用较强, 造成其顶面构造形态与奥陶系顶面具有非常相近的特征, 呈压实印模状^[6]。

海西期构造运动所形成的断裂在油区内比较发育, 根据钻井和地震解释, 研究区断裂具有多组系、高角度特征, 主要有北西、北东和近东西向 3 组。其中北西向和北东向数量较多, 主要分布在东西两条大型沟谷之间, 断距小, 纵向大多延伸至上覆巴楚组泥岩段。近东西向展布断层主要位于研究区西北部。依据目前生产井情况分析, 这些小断层往往对油气不起遮挡作用, 主要起到沟通油气的作用。而断距较大, 纵向发育时间长的断

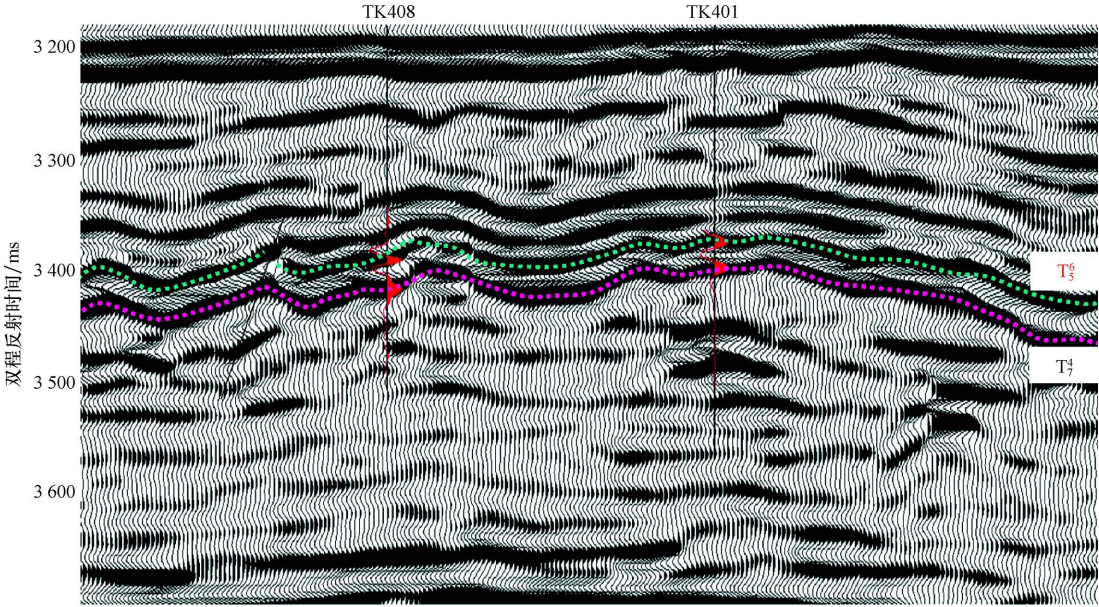


图 2 塔河 4 区过 TK408-TK401 井剖面

Fig. 2 Profile across Well TK408-T401 in Bck 4 of Tahe oilfield

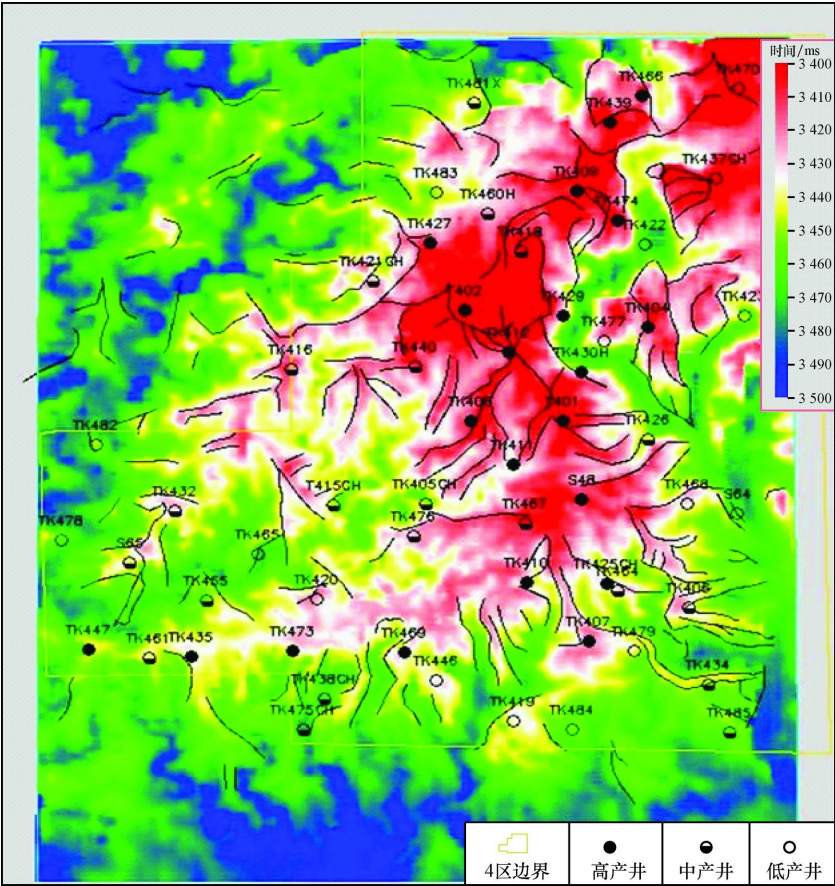


图 3 塔河 4 区奥陶顶面构造等时图

Fig. 3 Isochron chart showing top structure of the Ordovician in Bck 4 of Tahe

层,影响油气藏的有效保存^[6],造成油气的二次运移。由于受到海西早期古岩溶地貌残丘和晚期区域性挤压应力场的叠合作用影响,奥陶系顶面形成的高点被剥蚀,这些局部性残丘的相对高度比较小,通过精细落实构造,整个研究区相对高差10.0~195.5 m,远小于油气柱高度(实际钻井表明油气柱高度至少300 m),这说明本区油气分布并不完全受残丘控制。研究表明,研究区构造隆起区和斜坡区断裂最为发育,与构造格局保持一致,是现今构造格局形成的主控因素,对有效储层的形成和连通性具有重要的作用。储层缝洞的发育程度、油气的富集程度与不整合面发育相伴的岩溶作用的强度及其分带性密切相关,即古地貌控制了碳酸盐岩次生储集空间的形成与展布。

2 古地貌恢复

关于塔河油田奥陶系岩溶缝洞型储层的形成,前人普遍认为是加里东中期—海西早期多次构造运动引起的多期岩溶作用叠加改造的结果^[7-11]。塔河油田4区主体区的中—下奥陶统顶面直接被下石炭统巴楚组超覆,巴楚组自下而上为泥岩段和双峰灰岩段,其中双峰灰岩段厚度比较均一(15~25 m,平均20.1 m),分布稳定、范围广,是本区重要的标志层,而石炭系泥岩段沉积厚度差异大(2.5~86.5 m)。康志宏^[6]认为巴楚组泥岩段基本上为海西运动早期差异古地貌的填平补齐沉积,双峰灰岩段沉积时,已基本趋于水平。因此,巴楚组泥岩段的厚度能够间接反映海西早期岩溶古地貌的起伏状况。由于上覆地层与基底挠曲的一致性,使得在伸展构造区,利用层拉平处理技术恢复不整合上覆地层的原始沉积状态成为可能^[6,12]。本文利用覆盖研究区的高精度三维地震数据库,通过精细井—震标定,按照地层恢复原理进行古地貌恢复。

2.1 古地貌恢复原理及实用性

古构造图制作的理论基础是沉积补偿原理,即认为在沉降速度和沉积速度相对稳定的情况下,盆地的古地理环境是保持不变的,盆地内沉积物的堆积厚度与地壳沉降幅度大体是相当的。厚度法是最常用的古构造图制作方法。该方法在地质界被广为应用的是“宝塔图”编制法,而在物探

领域则被发展为“层拉平”技术,虽然在处理方式上有所不同,但其原理是一致的。

通过以上分析和前人研究成果,认为该方法对研究区进行古地貌恢复比较实用。目前研究区被高精度三维地震覆盖,三维资料信息丰富,此外研究区有104口井资料,可以对地震资料进行校正,因此具有一定的可靠性。本文主要应用以上原理,在地震解释的基础上,采用物探方法,即“层序界面拉平——古水平面恢复技术”进行相对古地貌恢复研究。

2.2 古地貌恢复及成果

“层序界面拉平——古水平面恢复技术”是以逐步回剥为前提,即通过“退变形”而获得不同地质演化阶段某埋藏地层的起伏变化,即古地貌。回剥可以视为剔除上覆地层,并将不同时期古水准面恢复到原位的过程。层拉平古地貌恢复法得到的是该地层的相对古地貌。

研究区断层纵向发育距离短,基本上在奥陶系顶部或者在上覆巴楚组泥岩段消失,岩溶高地和岩溶斜坡等有利储层发育区很少断开石炭系双峰灰岩段(T_5^6),再加上研究区奥陶系顶部的石炭系巴楚组泥岩沉积时,属开阔台地——局限台地相沉积,为层序的最大海泛面。因此选择对目的层上部稳定等时面(T_5^6)进行层拉平的方法实现下部奥陶系顶部(T_4^7)的古地貌恢复(图4)。

图中红色代表奥陶系顶部巴楚组泥岩沉积地层薄,即表明巴楚组泥岩沉积时期该区为古地形高点,蓝色为古地形低洼区。对比现今奥陶系顶面构造图(图3)和该层古地貌图(图4),可以明显看出,图3表现为东北高西南低的斜坡特征,目前完钻的井均位于现今构造的局部高点,但储层级别和含油性差别较大,缝洞发育与构造特征规律性不强。而图4中在古地形高点钻探的井,均为中到高产井,而在古构造低的地区,生产井基本上都是低产或无产能井,解决了在生产中埋深较大,产量却高的疑虑。因此,古地貌特征与实际钻探相吻合,整体表现为南北分块,东西分带的分区分带特征。

3 古地貌恢复技术的应用

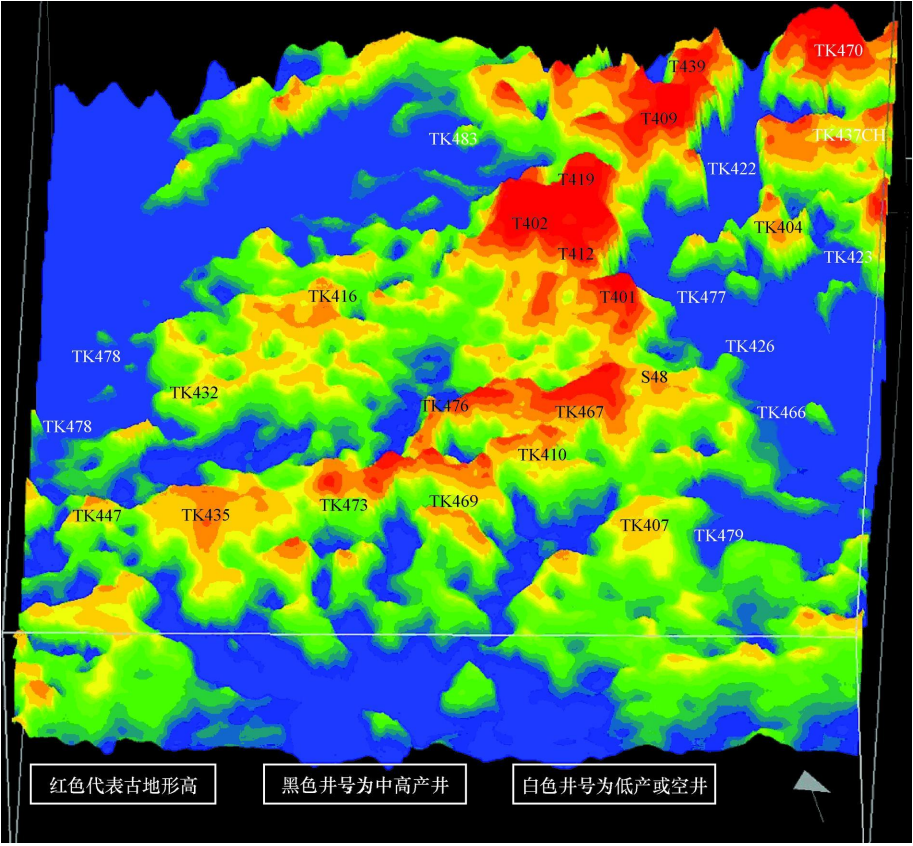


图 4 塔河 4 区奥陶系顶面古地貌

Fig 4 Palaeogeomorphology of the top Ordovician in Block 4 of Tahe oilfield

T402—Tk412—T401—S48—TK419 一带在现今构造图(图 3)和古地貌图(图 4)上,整体趋势均表现为 S 型分布特征,但图 3 表现为北高南低的斜坡特征,图 4 则表现为明显的分区、分带特征,形成不同的构造和有利储层分布单元,该条带钻井油气产量高,均属于高产井,但不同单元油水系统不同,连通性各异^[13-16]。比如位于研究区西南部 TK447 井、TK461 井、TK435 井在现今构造(图 3)的低部位,但古地貌图上位于相对高部位(图 4),钻探结果均表现为中、高产井。位于图 4 中低洼区的井分为两类,一类是现今构造和古构造均表现为低洼沟谷区(如东部沟谷的 TK422 井、TK477 井等,西部沟谷的 TK482 井、TK478 井等),这类井认识比较统一,产量低或无产量,属于储层不发育区;另一类是在古构造上位于低洼区,(主要位于沟谷边缘地区,如 TK477 井、TK468 井),经过长期构造演化成为现今构造局部高或斜坡区,钻井显示缝洞明显被后期沉积充填(如 TK465 井),储层不发育,这些井也为低产或者为无产井,这类井在没有进行古地貌恢复前曾引起研究人员的困惑。

4 结论

- 1) 塔河 4 区整体构造为北东高西南低的斜坡,断裂具有多组系、高角度特征。断裂系统对岩溶储层具有控制作用,断裂带也是裂缝与岩溶发育的地带,溶蚀作用与断裂走向具有一致性,缝洞的发育对储层发育和油气分布具有重要的影响作用。
- 2) 岩溶高地和岩溶斜坡是淋滤作用最强烈的地区,也是次生孔隙最发育的地带,而岩溶洼地为汇水区,次生孔隙发育程度不高。经钻探证实现今构造不能真实反映油气的聚集和有效储层的分布,只有准确地恢复古地貌,才能准确地预测次生孔隙发育带,进而指导方案的设计和有效开发。
- 3) 研究区通过层序界面拉平恢复古地貌,取得较好的效果,为油田的有效储层预测奠定了基础。塔河油田主力区块(如 2 区、3 区、6 区等)大都与 4 区相似,具有相似的沉积背景和构造特征,该方法的推广应用对邻区及具有类似特征的油藏精细开发具有一定的借鉴意义。

参 考 文 献

[1] 蔡忠贤,刘永立,段金宝. 岩溶流域的水系变迁——以塔河油田 6 区西北部奥陶系古岩溶为例 [J]. 中国岩溶, 2009, 28(1): 30– 34
Cai Zhongxian, Liu Yongli Duan Jinbao Transition of river system in karst basin—A case study on Ordovician paleo-karst in the northwest of Block 6, Tahe Oilfield [J]. Carsologica Sinica 2009, 28(1): 30– 34.

[2] 康玉柱. 中国古生代海相油气资源潜力巨大 [J]. 石油与天然气地质, 2010, 31(6): 699– 706 752
Kang Yuzhu. Great hydrocarbon potential in the Paleozoic marine sequences in China [J]. Oil & Gas Geology, 2010 31(6): 699– 706 752.

[3] 漆立新, 云露. 塔河油田奥陶系碳酸盐岩岩溶发育特征与主控因素 [J]. 石油与天然气地质, 2010 31(1): 1– 12
Qi Lixin, Yun Lu. Development characteristics and main controlling factors of the Ordovician carbonate karst in Tahe oilfield [J]. Oil & Gas Geology, 2010 31(1): 1– 12.

[4] 鲁新便, 蔡忠贤. 缝洞型碳酸盐岩油藏古溶洞系统与油气开发——以塔河碳酸盐岩溶洞型油藏为例 [J]. 石油与天然气地质, 2010 31(1): 22– 27.
Lu Xinbian Cai Zhongxian A study of the paleo-cave system in fractured-vuggy carbonate reservoirs and oil/gas development—taking the reservoirs in Tahe oilfield as an example [J]. Oil & Gas Geology, 2010 31(1): 22– 27.

[5] 汤良杰. 塔里木盆地构造演化与构造样式 [J]. 地球科学——中国地质大学学报, 1994 (06): 742– 753
Tang Liangjie Evolution and tectonic patterns of tarim basin [J]. Earth Science—journal of China University of Geosciences 1994, (06): 742– 753

[6] 康志宏. 塔河碳酸盐岩油藏岩溶古地貌研究 [J]. 新疆石油地质, 2006 (05): 522– 525
Kang Zhihong The Karst Paleogeomorphology of carbonate reservoir in Tahe Oilfield [J]. Xinjiang Petroleum Geology, 2006 (05): 522– 525.

[7] Grimm R E, Bates C R. Detection and analysis of naturally fractured gas reservoirs [J]. Geophysics 1999, 64 (4): 1277– 1292.

[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
Lin Zhongmin. Carbonate rock reservoir features and oil-gas accumulating conditions in the Ordovician of tahe oilfield in northern Tarim basin [J]. Acta Petroli Sinica 2002, 23(3): 23– 26

[9] 肖玉茹, 何峰煜, 孙义梅. 古洞穴型碳酸盐岩储层特征研究——以塔河油田奥陶系古洞穴为例 [J]. 石油与天然气地质, 2003 24(1): 75– 81.
Xiao Yuru He Fengyu, Sun Yimei Reservoir characteristics of Paleocave carbonates—a case study of Ordovician Paleocave in Tahe oilfield, Tarim basin [J]. Oil & Gas Geology 2003, 24(1): 75– 81.

[10] 张希明, 朱建国, 李宗宇, 等. 塔河油田碳酸盐岩缝洞型油气藏的特征及缝洞单元划分 [J]. 海相油气地质, 2007, 12(1): 21– 24.
Zhang Xinming Zhu Jianguo Li Zongyu, et al Ordovician carbonate fractured-vuggy reservoir in Tahe oilfield, Tarim basin characteristics and subdivision of fracture-vug units [J]. Marine origin Petroleum Geology, 2007, 12(1): 21– 24

[11] 何治亮, 彭守涛, 张涛. 塔里木盆地塔河地区奥陶系储层形成的控制因素与复合—联合成因机制 [J]. 石油与天然气地质, 2010 31(6): 743– 752
He Zhi liang Peng Shoutao Zhang Tao Controlling factors and genetic pattern of the Ordovician reservoirs in the Tahe area, Tarim Basin [J]. Oil & Gas Geology, 2010 31(6): 743– 752.

[12] 刘国臣, 金之钧, 李京昌. 沉积盆地沉积剥蚀过程定量研究的一种新方法——盆地波动过程分析应用之一 [J]. 沉积学报, 1995 13(3): 23– 30
Liu Guochen Jin Zhijun Li Jingchang A new method on the quantitative study of depositional and erosional processes of sedimentary basins—an application of wave process analysis during basin evolution [J]. Acta Sedimentologica Sinica 1995 13(3): 23– 30.

[13] Van Wagoner J C. Reservoir facies distribution as controlled by sea-level change [J]. Society of Economic Paleontologists and Mineralogists 1985: 91– 92.

[14] 杨玉芳, 钟建华, 陈志鹏, 等. 塔中地区寒武—奥陶系白云岩成因类型及空间分布 [J]. 石油与天然气地质, 2010 31(4): 455– 462
Yang Yufang Zhong Jianhua Chen Zhipeng et al Genesis types and distribution pattern of the Cambrian and Ordovician dolomites in Tazhong area, the Tarim Basin [J]. Oil & Gas Geology, 2010 31(4): 455– 462.

[15] 赵艳艳, 袁向春, 康志江. 缝洞型碳酸盐岩油藏油井产量及压力变化模型 [J]. 石油与天然气地质, 2010, 31(1): 54– 56, 62
Zhao Yanyan, Yuan Xiangchun, and Kang Zhijiang Flow rate and pressure variation modeling for production wells in fractured-vuggy carbonates reservoirs [J]. Oil & Gas Geology, 2010 31(1): 54– 56 62.

[16] 宁飞, 汤良杰, 张钰, 等. 塔中隆起早古生代反转构造及其石油地质意义 [J]. 石油与天然气地质, 2010, 31(1): 57– 62.
Ning Fei Tang Liangjie, Zhang Yu, et al Eopaleozoic inversion structures in the Tazhong Uplift and their significance to petroleum geology [J]. Oil & Gas Geology, 2010, 31(1): 57– 62

(编辑 董 立)