

济阳坳陷桩海地区下古生界潜山埋藏岩溶作用发育模式

崔殿¹, 许淑梅²

1. 中国石油大学(华东)地球资源与信息学院, 山东东营 257061
2. 中国海洋大学海洋地球科学学院, 山东青岛 266100

摘要 桩海地区潜山下古生界地层和储层分布具有明显的差异性,随着潜山油气田勘探的深入,这种潜山复杂储集空间的成因成为亟需解决的问题。以往对其储层及孔隙形成的解释,如风化壳成因和大气淡水成因,无法较合理地解释这一现象。研究发现,研究区具有埋藏岩溶作用发生的条件,包裹体均一温度和同位素方面的证据表明研究区存在埋藏岩溶作用且主要为压释水岩溶作用。本文对桩海地区下古生界潜山埋藏岩溶作用模式进行分析研究,归纳出3种模式:倾没端断面补给岩溶模式、翘倾端断面补给岩溶模式和背斜凸起两侧双向入渗岩溶模式。发现研究区下古生界潜山有利储层的分布受埋藏岩溶作用发育模式的控制。压释水首先进入潜山地层的良好储层,而压释水释出地层常形成淀积带,不具备储集条件或成为封堵层。结果表明,很多以前令人困惑的复杂储集空间的成因和下古生界储层和油藏的分布模式可用埋藏岩溶模式进行解释。

关键词 埋藏岩溶作用;发育模式;下古生界潜山;桩海地区

中图分类号 TE122.2

文献标识码 A

文章编号 1000-7857(2010)18-0027-05

The Developmental Modes of Buried Modifications in Lower Paleozoic Buried Hill in Zhuanghai Area of Jiyang Depression

CUI Dian¹, XU Shumei²

1. College of Geo-resources and Information, China University of Petroleum, Dongying 257061, Shandong Province, China
2. College of Marine Geosciences, Ocean University of China, Qingdao 266100, Shandong Province, China

Abstract The distribution of strata and reservoirs in the lower Paleozoic buried hill in Zhuanghai area is different in different well fields. The additional explorations of the buried hill are very important to identify the contributing factors of the complex reservoir space. The previous explanations of the reservoir formation, such as by the weathering crust, or those for fresh water of air, can not be applied here properly. The evidences of uniform temperature of inclusions and that of isotopes indicate that there are buried modifications in the studied area, and the main cause of the formation is the press-released water from the Tertiary. Modes of buried modifications are analyzed, and the three kinds of developmental modes of buried modifications are identified: the mode of supplying open-flow in the downward side; the mode of supplying contra-flow in the upward side; and the mode of directed influent supplying contra-flow in the bilateral bulge of anticline. The distribution of favorable reservoirs in the lower Paleozoic buried hill is controlled by the developmental modes of buried modifications. The stratum of the buried hill where the press-released water enters first of all usually is a favorable reservoir. On the other hand, the stratum of the buried hill where the press-released water passes out finally usually becomes a non-reservoir or a plugged zone. The results show that buried modifications can explain the formation of the complex reservoir space and the lower Paleozoic reservoirs and oil distribution models.

Keywords buried modification; development modes; lower Paleozoic buried hill; Zhuanghai area

收稿日期: 2010-04-28; 修回日期: 2010-08-31

作者简介: 崔殿, 博士研究生, 研究方向为地质资源与地质工程, 电子信箱: cuidian1982@hotmail.com; 许淑梅(通信作者), 副教授, 研究方向为储层沉积学, 电子信箱: xsm@ouc.edu.cn

0 引言

埋藏岩溶作用主要发生在碳酸盐岩中—深埋藏阶段,与地表或近地表水流循环系统没有直接联系,为相对封闭的地下水岩溶系统产生的岩溶作用^[1]。在埋藏岩溶作用研究过程中,一些学者称之为深部岩溶或埋藏期岩溶、中成岩期溶蚀作用、深部溶蚀作用、热水岩溶、构造期岩溶。现今学者认为埋藏岩溶又包括压释水岩溶和热水岩溶,前者与成藏过程中油气运移伴生,后者与特定地质历史时期的构造热事件有关。不同地区埋藏岩溶作用的发育程度存在差异,这取决于各地区的成藏地质条件及构造演化条件。前人对埋藏岩溶作用的特征、形成机制及其对储层影响等方面进行了深入研究,尤其是潜山油气田勘探中的应用,使以前大气淡水或风化完成因很难说明的潜山储层成因得到较好的解释。随着潜山油气田勘探开发的深入,同一潜山系统内复杂储集空间样式的成因成为亟需解决的问题。本文通过对桩海地区埋藏岩溶作用发育模式的研究探讨潜山不同储集空间发育样式的形成机制。

桩海地区位于东营市河口区北部、渤海湾南部的浅海海域,是埕宁隆起、济阳拗陷和渤中拗陷的交汇区。该区下古生界古潜山(包括埕岛潜山、埕北 30 潜山和桩西潜山)四周被埕北、沙南、桩东、渤中等生油凹陷环绕。

1 研究区潜山下古生界地层和储层差异性分布特征

由于多期复杂的构造运动,研究区下古生界地层厚度和潜山埋藏深度之间的关系复杂多变。埕岛潜山主体下古生界埋藏深度约为 2000m。埕岛潜山主体东部,即埕北 30 潜山,下古生界埋藏深度约为 2500m。埕岛潜山和桩西潜山过渡区,即桩海 10 潜山和桩西潜山北部区块,下古生界埋深最大,最浅埋藏深度约为 2900m,一般在 3000~3300m。桩西潜山南部下古生界埋藏深度介于埕岛潜山与桩海 10 潜山之间,约为 2500~3000m(图 1)。

研究区潜山下古生界地层分布具有差异性,且潜山发育和定型期的构造活动及由此形成的断裂系统对研究区下古生界潜山的岩溶发育和储层分布有明显的制约作用,导致研究区潜山下古生界储层分布也具有差异性。

研究区地震、录井资料和测井解释结果表明,在埕岛潜山西南部,尽管边界断层倾向与潜山下古生界地层相反,不利于埕北凹陷的流体向潜山的运移,且下古生界残留厚度在研究区最薄;靠近断层的下古生界地层普遍遭受强烈的溶蚀作用,形成厚层硅化溶蚀段,储层的储集性能在研究区最好;向北方方向越远离断层,下古生界地层溶蚀程度越弱,储集性能变差,如埕北古 1 井、埕北古 100 井、埕北古 5 井下古生界顶面埋深约 2500m,残余厚度不超过 100m。埕北古 1 井、埕北古 100 井由于距离断层较近,下古生界储地比高,随着远离断层至埕北古 5 井,下古生界储地比降低,岩石的储集性变差。一般情况下潜山高部位为有利储集带,但对于埕北

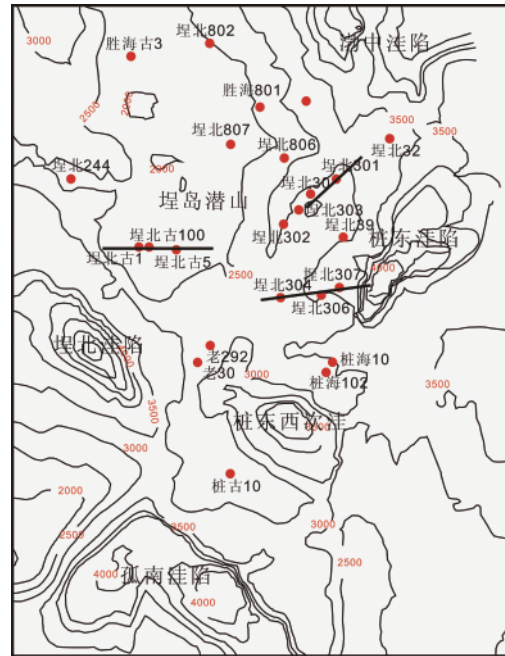


图 1 研究区 Tg 界面等深线和埋藏岩溶作用发育模式研究剖面位置示意图

Fig. 1 Bathymetric chart of Tg interface and location of the studied section

307—埕北 306—埕北 304 斜坡型潜山来说,潜山低部位靠近油源断层的埕北 307 井,其下古生界储集性好,发育多套油层。潜山斜坡区埕北 306 井下古生界储集性略差于埕北 307 井,潜山高部位远离油源断层的埕北 304 井储集性最差;而埕北 30 潜山的埕北 302 井—埕北 303 井—埕北 30 井—埕北 301 井区块是深埋藏的背斜凸起构造,位于潜山斜坡区的埕北 302 井下部储层岩溶作用发育,储集空间以溶蚀孔隙为主,其顶部也为良好的储集层,但储集空间以裂缝为主,不见岩溶作用特征;位于对侧潜山斜坡区的埕北 301 井下古生界残留厚度在本井区最薄,但储层发育,岩溶作用特征典型(主要标志包括压溶缝合线发育、沿压溶缝合线有机质充填、顺高角度裂缝的后期溶蚀等)^[2]。背斜轴部埕北 30 井为该潜山断块下古生界出露的制高点,顶部发育裂缝型储层,下部裂缝溶洞型储层也较发育,形成一定规模的岩溶化储层,但地层的总储地比低于埕北 301 井和埕北 302 井^[3]。

2 研究区下古生界潜山埋藏岩溶作用特征

在对本区下古生界储层孔隙特征及成岩作用研究过程中发现了许多特殊现象:① 存在萤石、重晶石、天青石、石英、铁方解石、铁白云石等次生矿物,且遭受后期溶蚀,次生矿物出现层段均为厚层溶蚀段;② 岩石和孔隙度资料与标准喀斯特模型不匹配,许多井出现深于离风化壳 150m 甚至 250m 钻具放空和泥浆漏失现象,一些钻井在远离风化壳 400~1000m 仍出现钻具放空和大量泥浆漏失现象。上述现象如果用传统

的风化壳或者大气淡水成因解释,显得十分困难,用埋藏岩溶作用解释则比较合理。研究区存在埋藏溶蚀作用的地球化学证据主要有包裹体均一温度特征、同位素特征等。

2.1 包裹体均一温度特征

研究区 267 个下古生界方解石脉体中的包裹体均一温度统计表明,包裹体均一温度主要集中在 90~150℃,具有双峰分布特征,在 90~110℃和 120~140℃区间出现峰值(图 2),可能反映了地下热水流体的 2 次溶蚀过程。岩石裂缝中有机气液两相包体和无机气液两相包体共生现象十分普遍,并与全烃包体伴生,发黄绿色荧光,沿方解石脉体呈条带状分布(图 3),表明深部流体运移与油气运移有密切伴生关系^[4-8]。

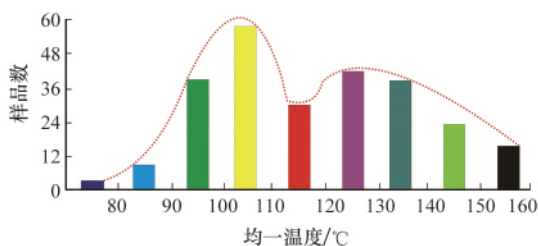


图 2 研究区下古生界储层包裹体均一温度分布图
Fig. 2 Homogenization temperature of inclusion in lower Palaeozoic reservoir

2.2 同位素特征

埋藏岩溶作用过程中,地下水使碳酸盐矿物中 $\delta^{13}\text{C}$ 值变化范围增大,早、中阶段产生的沉淀物中有机质来源的 CO_2

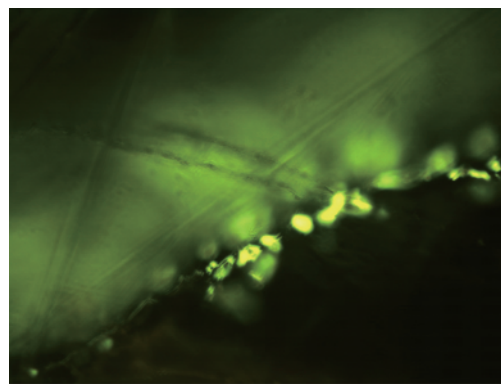


图 3 埕北 302 井 4002m 结晶灰岩中有机和无机气液两相包体共生,呈条带状沿裂缝分布

Fig. 3 Organic and inorganic inclusion syngenes in 4002m crystalline limestone of Chengbei 302 well

含量较高, $\delta^{13}\text{C}$ 偏负;晚期阶段,有机质分解、甲烷化及矿物来源的重同位素富集,产生的沉淀物 $\delta^{13}\text{C}$ 较高,部分接近正值。原生岩浆水的氧同位素与原始地幔岩浆相似, $\delta^{18}\text{O}$ 为 0.5%~2.5%,雨水的氧同位素 $\delta^{18}\text{O}$ 为 -0.7%~-0.5%,而油田第三系沉积物压释水的氧同位素更加偏负值^[9-10]。

图 4 为桩古 10 井、桩古 21 井、桩古 22 井和桩古 24 井下古生界碳酸盐岩埋藏期溶洞充填粗晶方解石的碳氧稳定同位素测试数据, $\delta^{13}\text{C}$ 值为 -0.22%~-0.35%; $\delta^{18}\text{O}$ 值为 -1.74%~-1.32%。与加里东期破裂缝和印支期裂缝充填物的同位素值^[11]相比,埋藏期溶洞充填物碳同位素值具有明显向高值迁移、氧同位素向低值迁移的特征。

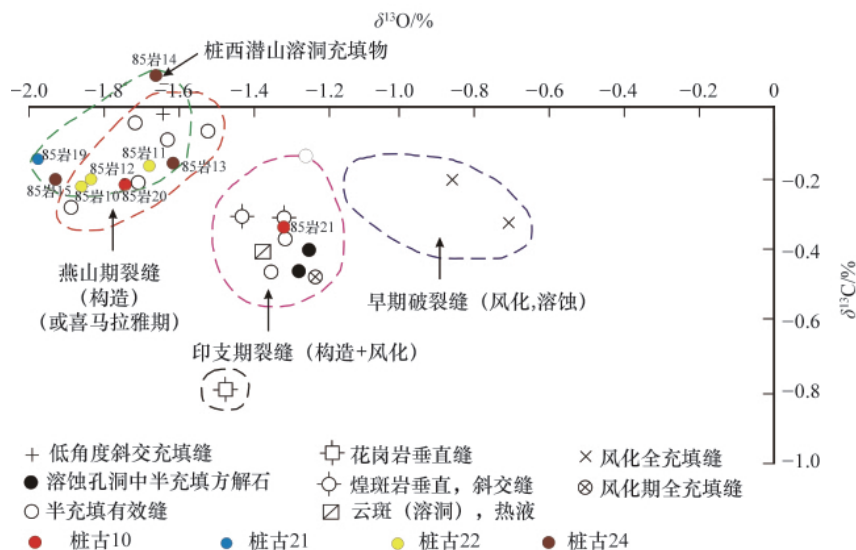


图 4 研究区下古生界溶洞充填方解石稳定同位素特征 (彩色点数据为本研究新加入)
Fig. 4 Stable isotope feature of calcite filled in lower Palaeozoic Karst pore (colored points are new added in research)

上述碳、氧同位素特征表明,研究区下古生界潜山遭受了埋藏岩溶作用的改造,导致埋藏溶蚀作用形成的深部热水

的主要来源是第三系沉积物的压释水,使研究区下古生界潜山溶洞充填物碳、氧同位素值也明显带有油田有机压释酸性

水的碳、氧同位素特征。

3 研究区下古生界潜山埋藏岩溶作用发育模式

研究区潜山下古生界储层分布出现的差异性应该归因于不同的埋藏岩溶作用模式对下古生界储层的改造产生的不同结果^[12-15]。研究发现,受分割潜山与次级凹陷边界断层的产状、下古生界地层产状和岩溶水动力条件及盖层性质的影响,研究区存在3种埋藏岩溶作用模式。

3.1 翘倾端断面补给岩溶模式

埕北古1—埕北古100—埕北古5井区位于埕岛潜山主体的西南角,其西南方向通过埕北断层与生油凹陷—埕北凹陷连通。埕北凹陷的第三系沉积物压释水可沿埕北断层从埕北古1—埕北古100—埕北古5井区的倾翘端进入下古生界地层,对下古生界地层产生溶蚀作用。压释水通过埕北断层西段断面入渗,优先进入倾翘端埕北古1、埕北古100井。埕北古1、埕北古100井岩溶作用特征十分明显,埕北古1井75m厚的下古生界地层全为埋藏岩溶作用发育段,岩溶角砾岩发育,储集空间以溶蚀孔隙为主。压释水继续沿断层向前运移,从埕北古5井释出,埕北古5井岩溶特征也很典型,出现大量次生热水矿物,如石英、重晶石和萤石等,并形成良好的储集空间^[16]。随着深部热水向断块倾没端的运移,其溶蚀能力逐渐减弱,形成淀积充填带,不具备有效的储集空间。

因此,在具有翘倾端断面补给岩溶模式的潜山断块中,压释水来源于倾翘端的油源断层,顺地层下倾运移,导致断块潜山的倾翘端出现明显的埋藏岩溶作用发育储层,形成较好的储集空间;在断块潜山的倾没端,即压释水释出断面处产生淀积充填带,不具备储集条件(图5)。

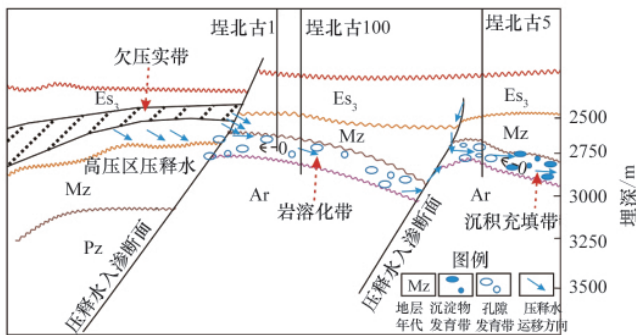


图5 翘倾端断面补给岩溶模式示意图

Fig. 5 Mode of supplying and contra-flow in upward side

3.2 倾没端断面补给岩溶模式

埕北307井—埕北306井—埕北304井潜山断块呈北西西走向,北北东倾向的大型垒块,地层产状较为高陡,地层产状与其油源断层的产状基本一致。该大型垒块东部为桩东凹陷。第三系沉积物压释水可通过油源断层侧向进入奥陶系地

层,沿潜山油源断层向上倾方向运移,最终通过渗水断面排出,形成地下水循环系统,且运移指向与地层倾向一致,这种情况有利于压释水向上顺层运移。压释水通过入渗断面,优先进入埕北307井区,该井区下古生界相对陡倾。埋藏岩溶作用导致该井区的深部溶蚀现象明显,出现典型的岩溶作用发育段,形成良好的储集空间。随着压释水继续沿断层向上运移,同时由于潜山内幕小断层的阻隔,埕北306井区的有效储集空间靠近潜山顶部。至埕北304井区,地层相对平缓,压释水运移动力和溶蚀能力进一步减弱,形成淀积充填带,不具备有效储集空间。

倾没端断面补给岩溶模式导致顺压释水来源的方向,即顺潜山地层的下倾方向出现明显的岩溶化储层,形成较好的储集空间;在断块潜山的高点,即压释水释出断面处产生淀积充填带,可作为油气的封堵层。由此可知,断块的高点并非油气有利的储集区带,相反,断块潜山的低部位或斜坡处储集条件相对较好(图6)。

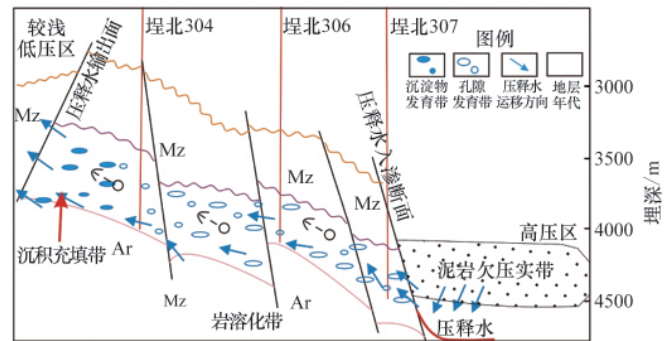


图6 倾没端断面补给岩溶模式示意图

Fig. 6 Mode of supplying open-flow in downward side

3.3 背斜凸起两侧双向入渗岩溶模式

埕北30井区背斜凸起断块夹持在埕北30北断层和南断层之间。两断层为埕北30潜山与其两侧凹陷(渤中凹陷和桩东凹陷)沟通的油源断层,实际上也可作为压释水入渗运移的输导断层。该区块下古生界地层高陡,断层发育,易形成渗流断面。两侧的次级凹陷,包括渤中凹陷和桩东凹陷第三系沉积物压释水沿背斜翼部通过渗水断面和断层破碎带进入,顺层运移,形成层状岩溶化段。该背斜断块周缘低部位,如埕北302井和埕北301井区,为压释水通过边界断层即埕北30北断层和南断层优先进入的层段。因此,这些井区储层的埋藏岩溶作用发育。

地震资料分析发现,埕北301凸起断块两侧均有第三系凹陷,凹陷内沉积物压释水沿断块两侧边界断层向凸起断块运移,导致凸起断块内下古生界发生不同程度的溶蚀。紧邻断块边界断层的溶蚀作用明显,随着压释水的持续相向运移,在凸起断块的相对高点形成对流循环。随其溶蚀能力逐

渐减弱,形成淀积充填带。因此,在背斜凸起两侧双向入渗岩溶模式中,凸起断块的高点不一定是最有利的储集位置,凸起断块两侧或周边的次高点或斜坡位置在埋藏岩溶下可形成良好的储集空间,发育比较有利的油气储层(图7)。

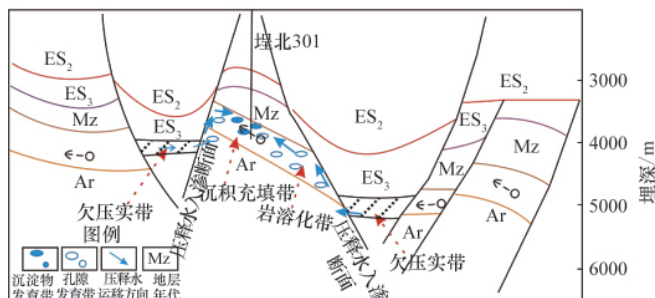


图7 背斜凸起两侧入渗岩溶模式示意图

Fig. 7 Mode of directed influent supplying contra-flow in bilateral bulge of anticline

4 结论

1) 研究区下古生界潜山有利储层的分布受埋藏岩溶作用发育模式的控制。本区埋藏岩溶主要是压释水岩溶,并存在3种发育模式,翘倾端断面补给岩溶模式导致潜山断块的倾翘端出现明显的岩溶化储层,形成较好的储集空间,而在潜山断块的倾没端,即压释水释出断面处产生淀积充填带,不具备储集条件;倾没端断面补给岩溶模式导致压释水的来源方向,即顺潜山地层的下倾方向出现明显的岩溶化储层,形成较好的储集空间,而在断块潜山的高点,即压释水释出断面处产生淀积充填带,可作为油气的封堵层;在背斜凸起两侧双向入渗岩溶模式中,凸起断块的高点不一定是最有利的储集位置,凸起断块两侧或周边的次高点或斜坡位置在埋藏岩溶下可形成良好的储集空间。

2) 3种埋藏岩溶作用模式是研究区埋藏岩溶作用的典型反映。由于埋藏岩溶作用的复杂性,同一潜山系统可能存在2种甚至3种埋藏岩溶作用模式,导致同一潜山系统中复杂储集空间样式的形成,或在相邻的潜山断块中具有完全不同的储集空间发育特征和样式。

3) 对本区埋藏岩溶作用发育模式研究发现,压释水首先进入的潜山地层往往是良好储层,而压释水释出地层常形成淀积带,不具备储集条件或成为封堵层。因此,在潜山油气田的勘探中不能仅着眼于传统的构造高点等有利区域,还应充分考虑压释水岩溶作用等埋藏岩溶作用对储层的后期改造。

参考文献 (References)

- [1] 兰光志, 江同文. 古岩溶与油气储层[M]. 北京: 石油工业出版社, 1995.
Lan Guangzhi, Jiang Tongwen. Ancient karst and hydrocarbon reservoir [M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 1995.
- [2] 林会喜, 秦永霞, 徐国盛, 等. 桩海地区下古生界潜山储层发育规律与

- 发育模式[J]. 矿物岩石, 2005, 12(4): 91-97.
Lin Huixi, Qin Yongxia, Xu Guosheng, et al. Journal of Mineralogy and Petrology, 2005, 12(4): 91-97.
- [3] 谭明友, 刘富贵, 董臣强, 等. 埕北30潜山构造演化与油气富集规律研究[J]. 石油地球物理勘探, 2002, 37(2): 134-137.
Tan Mingyou, Liu Fugui, Dong Chenqiang, et al. Oil Geophysical Prospecting, 2002, 37(2): 134-137.
- [4] 岳伏生, 张景廉, 杜乐天. 济阳拗陷深部热液活动与成岩成矿[J]. 石油勘探与开发, 2003, 30(4): 29-31.
Yue Fusheng, Zhang Jinglian, Du Letian. Petroleum Exploration and Development, 2003, 30(4): 29-31.
- [5] 许淑梅, 王金铎, 于建国, 等. 济阳拗陷桩海地区下古生界深埋藏溶蚀特征及储集意义[J]. 石油地球物理勘探, 2007, 42(5): 591-596.
Xu Shumei, Wang Jinduo, Yu Jianguo, et al. Oil Geophysical Prospecting, 2007, 42(5): 591-596.
- [6] 夏日元, 唐健生. 黄骅拗陷奥陶系古岩溶发育演化模式 [J]. 石油勘探与开发, 2004, 31(1): 51-53.
Xia Riyuan, Tang Jiansheng. Petroleum Exploration and Development, 2004, 31(1): 51-53.
- [7] 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.
Qian Yixiong, Chen Yue, Chen Qianglu, et al. Acta Petrolei Sinica, 2006, 27(3): 47-52.
- [8] 李振宏, 郑聪斌. 古岩溶演化过程及对油气储集空间的影响 [J]. 天然气地球科学, 2004, 15(3): 247-252.
Li Zhenhong, Zheng Congbin. Natural Gas Geoscience, 2004, 15 (3): 247-252.
- [9] 席胜利, 郑聪斌, 夏日元. 鄂尔多斯盆地奥陶系压释水岩溶地球化学模拟[J]. 沉积学报, 2005, 23(2): 354-360.
Xi Shengli, Zheng Congbin, Xia Riyuan. Acta Sedimentologica Sinica, 2005, 23(2): 354-360.
- [10] 章贵松, 郑聪斌. 压释水岩溶与天然气的运聚成藏 [J]. 中国岩溶, 2000, 19(3): 199-265.
Zhang Guisong, Zheng Congbin. Carsologica Sinica, 2000, 19 (3): 199-265.
- [11] 李丕龙, 张善文, 王永诗, 等. 多样性潜山成因、成藏与勘探: 以济阳拗陷为例[M]. 北京: 石油工业出版社, 2003.
Li Pilong, Zhang Shanwen, Wang Yongshi, et al. Multiplex buried-hill genesis and pool-forming in rifted basin[M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 2003.
- [12] 刘家铎, 孟万斌, 周文. 埕岛一胜海潜山带的古岩溶作用 [J]. 古地理学报, 1999, 1(4): 79-85.
Liu Jiaduo, Meng Wanbin, Zhou Wen. Journal of Palaeogeography, 1999, 1(4): 79-85.
- [13] 秦永霞, 黄思静, 武文慧, 等. 济阳拗陷桩海地区下古生界潜山储层成因机制研究[J]. 物探化探计算技术, 2005, 27(2): 141-146.
Qin Yongxia, Huang Sijing, Wu Wenhui, et al. Computing Techniques for Geophysical and Geochemical Exploration, 2005, 27(2): 141-146.
- [14] Locks R G. Paleocave carbonate reservoir: Origins, burial -depth modifications, spatial complexity, and reservoir implications [J]. AAPG Bulletin, 1999, 83(11): 1795-1834.
- [15] 王恕一, 陈强路, 马红强. 塔里木盆地塔河油田下奥陶统碳酸盐岩的深埋溶蚀作用及其对储集体的影响 [J]. 石油实验地质, 2003, 25 (增刊): 557-561.
Wang Shuyi, Cheng Qianglu, Ma Hongqiang. Petroleum Geology & Experiment, 2003, 25(S1): 557-561.
- [16] 肖荣阁, 张汉城, 陈卉泉, 等. 热水沉积岩及矿物岩石标志[J]. 地学前缘, 2001, 8(4): 379-385.
Xiao Rongge, Zhang Hancheng, Chen Huiquan, et al. Earth Science Frontiers, 2001, 8(4): 379-385.

(责任编辑 刘志远)