

# 塔里木盆地塔中北围斜 中下奥陶统顶部暴露剥蚀的证据探讨

马庆佑,沙旭光,李宗杰,曹自成

(中国石油化工股份有限公司西北油田分公司勘探开发研究院,乌鲁木齐 830011)

**摘要:**塔里木盆地塔中北围斜地区中下奥陶统顶部是否存在暴露剥蚀,对明确该地区的储层发育主控因素及下一步勘探方向至关重要。通过对新三维地震剖面反射特征、已钻井 $R_o$ 热演化剖面及裂缝充填方解石 $\delta^{13}C$ 、 $\delta^{18}O$ 同位素特征的分析,初步认为受加里东中期I幕构造运动的影响,塔中北围斜地区中下奥陶统顶部遭受了不同程度的暴露剥蚀,临近塔中I号断裂带的地区剥蚀程度增大,这将会提升该地区加里东中期I幕风化壳岩溶领域的油气勘探潜力。

**关键词:**中下奥陶统;暴露剥蚀;证据探讨;塔中北围斜;塔里木盆地

中图分类号:TE121.3

文献标识码:A

## Evidence of exposure erosion of Lower-Middle Ordovician top in Beiweixie region, middle Tarim Basin

Ma Qingyou, Sha Xuguang, Li Zongjie, Cao Zicheng

(Exploration and Production Research Institute of SINOPEC Northwest Company, Urumqi, Xinjiang 830011, China)

**Abstract:** Whether there was exposure erosion of the Lower-Middle Ordovician top in Beiweixie region of the middle Tarim Basin, it is critical to identify the controlling factors for reservoir development and exploration direction in the study area. Through the analyses of the reflection characteristics of new 3d seismic profile,  $R_o$  thermal evolution profile of drilled well, and  $\delta^{13}C$ ,  $\delta^{18}O$  isotopes of fracture-filling calcites, it is concluded that the Lower-Middle Ordovician top may have suffered various degrees of exposure erosion in Beiweixie region under the action of the episode I of the mid-Caledonian. Denudation degree increases approaching to the Tazhong No. I fault belt, which enhances the oil and gas exploration potential of weathering crust karst areas of the episode I of the mid-Caledonian in the study area.

**Key words:** Lower-Middle Ordovician; exposure erosion; evidence discussion; Beiweixie region in middle Tarim Basin; Tarim Basin

近年来,位于塔中I号断裂带上盘的卡塔克隆起区,在中下奥陶统鹰山组顶部碳酸盐岩中取得了丰富的油气勘探成果<sup>[1-8]</sup>。鹰山组顶部受加里东中期I幕构造运动影响形成 $T_7^4$ 不整合面,遭受较长时间的暴露剥蚀,发育以大型缝洞为主的风化壳岩溶储集体。位于塔中I号断裂带下盘的塔中北围斜地区针对中下奥陶统碳酸盐岩领域的勘探程度尚低,中国石化近期钻探的顺南1、古隆2井在中下奥陶统一间房组—鹰山组顶部均钻揭弱溶孔储层,顺南1井酸压折最高日产气 $38\ 714\ m^3$ (并见少量轻质原油),实现了塔中北围斜地区油气勘探的新发现。综合研究初步表明,这2口井主要发育

弱溶蚀孔、裂缝型储层,可能受控于加里东中期风化壳岩溶作用及构造破裂作用。为此,研究受加里东中期I幕构造运动影响,塔中北围斜地区是否遭受过暴露剥蚀与沉积间断,对进一步明确该地区的储层发育主控因素及下一步勘探方向至关重要。利用塔中北围斜顺南1井区新三维地震资料的解释,结合已钻井资料分析,初步探讨了塔中北围斜地区中下奥陶统顶部碳酸盐岩暴露剥蚀的证据,这对评价该地区的油气勘探前景具有重大现实意义。

### 1 区域地质概况

塔中北围斜位于塔里木盆地中央隆起带塔中

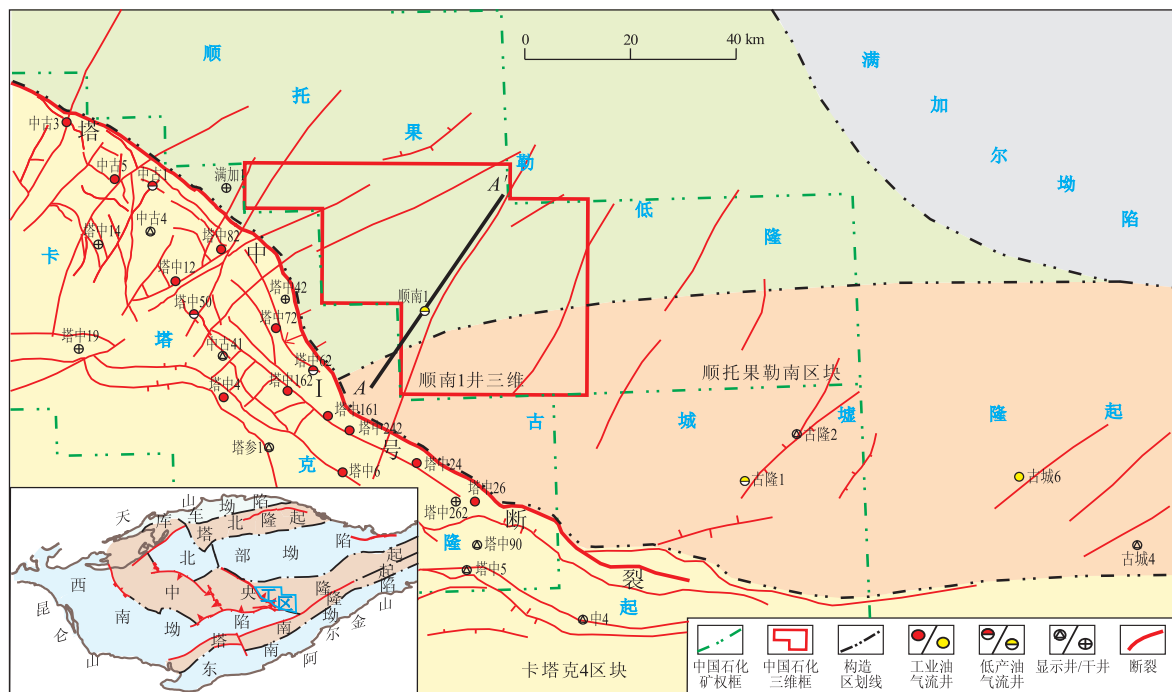


图1 塔中北围斜地区构造位置

Fig. 1 Tectonic location of Beiweixie region, middle Tarim Basin

隆起的北部,以塔中 I 号断裂带为界,上盘为卡塔克隆起区,下盘为塔中北围斜地区。塔中北围斜跨于顺托果勒低隆起与古城墟隆起西段之上(图 1),是在加里东中期形成,并在海西早期运动中加强改造的古隆起。现今的构造形态是一个向西北倾没的单斜,发育多组 NNE、NEE 向近直立的走滑断裂,向下断穿基底,可沟通深部油气源<sup>[9]</sup>。塔中北围斜与卡塔克隆起区在地层方面的主要差别在于中上奥陶统地层(表 1),塔中北围斜奥陶系地层发育齐全,自下而上为下统蓬莱坝组、中下统鹰山组、中统一间房组、上统恰尔巴克组与却尔却克组,奥陶系中下统一间房组—鹰山组顶部与上统巨厚的却尔却克组“黑被子”形成了一套良好的储盖组合<sup>[10]</sup>。中奥陶世末,受加里东中期 I 幕构造运动影响,塔中 I 号、塔中南缘等断裂带剧烈活动,塔中 I 号断裂带上盘的卡塔克地区整体抬升(卡塔克古隆起形成),致使中奥陶统一间房组全部以及中下奥陶统鹰山组顶部被剥蚀殆尽,接受较长时间的暴露和岩溶改造作用。在鹰山组顶部( $T_7^4$ 地震界面之下)广泛发育了一套风化壳岩溶缝洞型储集体,使得大部分井在钻进过程中出现低钻时、泥浆漏失、放空等现象。而塔中 I 号断裂带下盘的北围斜地区受该期构造运动影响较卡塔克隆起区弱,中奥陶统一间房组地层大部分被保存了下来,其上超覆沉积了上奥陶统恰尔巴克组,之后由开阔台地相碳酸盐岩转为混积陆棚相的上奥陶统却尔却克组

碎屑岩沉积。

## 2 中下奥陶统顶部暴露剥蚀的证据

### 2.1 地震剖面上的削蚀反射特征

中国石化2011年在塔中北围斜探区部署实施

表 1 塔中地区奥陶系地层划分对比

Table 1 Stratigraphic division of Ordovician in middle Tarim Basin

卡塔克隆起区			塔中北围斜			地震波组	构造运动
统	组	代号	统	组	代号		
上统	桑塔木组	$O_3s$	上统	却尔却克组	$O_3qq$	$T_7^2$	加里东中期 II 幕运动
	良里塔格组	$O_3l$		恰尔巴克组	$O_3q$	$T_7^4$	
中统	鹰山组	$O_{1-2}y$	中统	一间房组	$O_2yj$	$T_7^5$	加里东中期 I 幕运动
下统			下统	鹰山组	$O_{1-2}y$	$T_7^8$	
下统	蓬莱坝组	$O_p$	下统	蓬莱坝组	$O_p$		

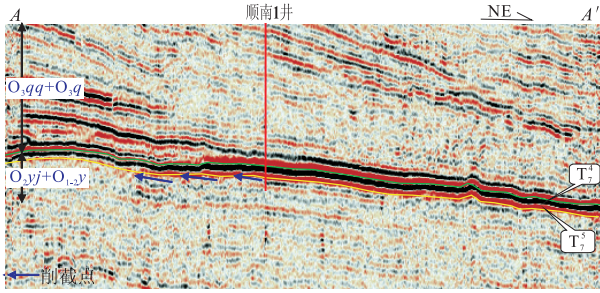


图2 塔中北围斜过顺南1井三维地震解释剖面  
剖面位置见图1。

Fig.2 Three-dimensional seismic interpretation profile crossing well Shunnan1 in Beiwexie region, middle Tarim Basin

了顺南1井区三维地震,通过与已钻的顺南1井VSP标定,奥陶系中统一间房组的顶界为一强反射波峰( $T_7^4$ 地震反射界面),中下统鹰山组顶界在零相位位置( $T_7^5$ 地震反射界面)。从三维地震剖面分析(图2),中下奥陶统鹰山组——间房组顶部(即 $T_7^4$ 地震反射界面之下)具有明显削截反射的特征,削截点清晰,削蚀程度由北围斜地区向塔中I号断裂带上盘的卡塔克隆起区(即由东北向西南方向)逐渐加大,推测在中下奥陶统碳酸盐岩沉积后,受加里东中期I幕构造运动影响,塔中北围斜地区发生了抬升与暴露剥蚀,同时由于塔中I号断裂带的强烈活动,造成临近塔中I号断裂带地区抬升幅度较高,暴露剥蚀也较严重。

### 2.2 $R_0$ 热演化剖面上的突变

镜质体反射率 $R_0$ 。可用来表征有机质的热演化

程度,并成为有机质成熟度指标之一。实践表明,由于有机质热演化的化学反应过程遵循阿伦尼乌斯(Arrhenius)方程的变化规律,因此在连续的地层剖面中,实测地层 $R_0$ 值应呈指数方式递增, $\ln R_0$ 与埋深之间呈线性正相关性,应表现为一条倾斜的直线,从而构成镜质体反射率 $R_0$ 热演化剖面<sup>[11-12]</sup>。由于塔里木盆地下古生界地层中不存在镜质体,但存在海相镜质体(或称镜状体)、固体沥青等显微组分,因此本文通过一些学者根据热模拟实验建立的经验公式<sup>[13-14]</sup>,把镜状体、沥青反射率换算成镜质体反射率来完成 $R_0$ 热演化剖面的建立。

王铁冠等<sup>[15]</sup>在卡塔克隆起区塔中1井所建立的 $R_0$ 热演化剖面中, $C_{1-2}/O_1$ 不整合面上下层位的 $R_0$ 剖面呈现错断,据此推算了下奥陶统上覆地层的剥蚀量。本文采集了顺南1井奥陶系共16块岩屑岩心样品,从建立的顺南1井奥陶系实测 $R_0$ 热演化剖面来看(表2、图3),在中下奥陶统顶部与上奥陶统底部之间呈现不连续性和突变,发生明显水平错断,形成上、下2段斜线,下段换算后的 $R_0$ 值(2.118%~2.341%)明显高于上段换算后的 $R_0$ 值(1.519%~1.765%)。这表明,塔中北围斜地区在加里东中期I幕构造运动中发生过抬升剥蚀,中下奥陶统顶部( $T_7^4$ 地震反射界面)存在沉积间断面,因而造成与上奥陶统热演化历史的差异。

### 2.3 碳、氧同位素分析

正常海相碳酸盐岩往往比受大气水影响的碳酸盐岩和方解石胶结物富集 $\delta^{13}C$ 和 $\delta^{18}O$ ,在大气

表2 塔中北围斜顺南1井奥陶系镜质组反射率 $R_0$ 测定

Table 2 Vitrinite reflectance from Ordovician in well Shunnan1, Beiwexie region, middle Tarim Basin

样品编号	层位	井深/m	样品类型	岩性	$LR_0$ 或 $R_b/\%$	测点数	标准 离差	备注	换算成 $R_0/\%$
$R_0-1$	$O_3qq$	4 594	岩屑	灰色泥岩	1.89	22		沥青	1.568
$R_0-2$	$O_3qq$	4 722	岩屑	灰色泥岩	1.97	19		沥青	1.617
$R_0-3$	$O_3qq$	5 234	岩屑	灰色泥岩	1.81	24		沥青	1.519
$R_0-4$	$O_3qq$	5 732	岩屑	灰色泥岩	1.86	15		沥青	1.549
$R_0-5$	$O_3qq$	6 150	岩屑	灰色泥岩	1.87	30		沥青	1.556
$R_0-6$	$O_3qq$	6 414.46	岩心	灰色含泥质灰岩	2.06	6	0.12	镜状体	1.765
$R_0-7$	$O_3qq$	6 415.1	岩心	浅灰色灰质泥岩	2.08	35		沥青	1.685
$R_0-8$	$O_3qq$	6 419	岩心	浅灰色泥岩	2.23	5		沥青	1.778
$R_0-9$	$O_2yj$	6 531.13	岩心	灰色泥晶灰岩	2.80	33	0.15	沥青	2.130
$R_0-10$	$O_2yj$	6 532.04	岩心	灰色泥晶灰岩	2.78	1	0.00	沥青	2.118
$R_0-11$	$O_2yj$	6 639.59	岩心	灰色砂屑泥晶灰岩	2.90	12	0.04	沥青	2.192
$R_0-12$	$O_2yj$	6 645.22	岩心	灰色砂屑泥晶灰岩	2.83	3	0.07	沥青	2.149
$R_0-13$	$O_{1-2y}$	6 670.14	岩心	灰色、深灰色泥晶灰岩	2.88	19	0.02	沥青	2.180
$R_0-14$	$O_{1-2y}$	6 672.9	岩心	灰色、深灰色泥晶灰岩	3.12	35	0.12	沥青	2.328
$R_0-15$	$O_{1-2y}$	6 964.59	岩心	深灰色含白云质灰岩	3.14	30	0.10	沥青	2.341
$R_0-16$	$O_{1-2y}$	6 967.67	岩心	深灰色含白云质灰岩	3.07	30	0.05	沥青	2.297

注: $R_0$ :镜质体反射率; $LR_0$ :镜状体反射率; $R_b$ :沥青反射率。换算公式: $R_0=0.533 LR_0+0.667^{[13]}$ ;  $R_0=0.618 R_b+0.4^{[14]}$ 。  
样品分别由中国石化无锡石油地质研究所实验研究中心、中原油田勘探开发研究院张同周完成。

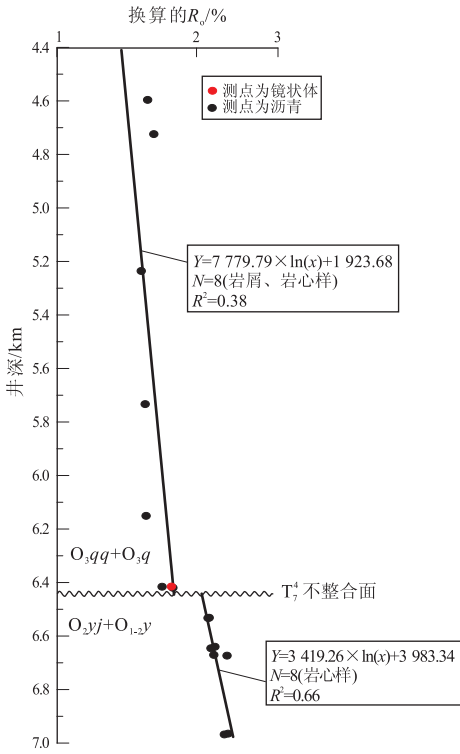


图3 塔中北围斜顺南1井奥陶系实测  $R_0$  热演化剖面

Fig. 3 Thermal evolution profile of  $R_0$  from Ordovician in well Shunnan1, Beiweixie region, middle Tarim Basin

水成岩环境中,当有来自风化壳上有机质氧化来源的  $\delta^{13}\text{C}$  时,会引起  $\delta^{13}\text{C}$  偏负,同时因为大气水严重贫  $\delta^{18}\text{O}$ ,受其影响的碳酸盐岩和方解石胶结物的  $\delta^{18}\text{O}$  也严重偏负<sup>[16-17]</sup>。本文对塔中北围斜地区古隆2、顺南1井中下奥陶统碳酸盐岩中的裂缝充填方解石和方解石周围泥晶灰岩分别采样,从所完成的碳、氧同位素分析表明(表3、图4):这2口井裂缝充填方解石的  $\delta^{13}\text{C}_{\text{PDB}} = -1.6\text{‰} \sim 0.5\text{‰}$ ,  $\delta^{18}\text{O}_{\text{PDB}} = -10.5\text{‰} \sim -7.7\text{‰}$ (样品编号 CO-1~5),均比古隆2井中下奥陶统泥晶灰岩全岩的背景值( $\delta^{13}\text{C}_{\text{PDB}} = 0.9\text{‰}$ ,  $\delta^{18}\text{O}_{\text{PDB}} = -7.5\text{‰}$ )偏负(样品编号 CO-6),且指相指数  $Z$  值均大于120,反映其形成环境为海相<sup>[18]</sup>,

代表了存在早期有大气水参与的同生期表生岩溶产物的特征。这从侧面反映了塔中北围斜地区中奥陶统顶部碳酸盐岩暴露剥蚀与岩溶作用的存在。

### 3 结论与讨论

1)塔中北围斜顺南1井区新三维地震剖面显示中下奥陶统顶部( $T_4^d$ 地震反射界面之下)具有明显削截反射特征,顺南1井奥陶系实测的  $R_0$  热演化剖面显示中下奥陶统顶部与上奥陶统底部之间发生了明显水平错断,表明塔中北围斜地区在加里东中期I幕构造运动中发生过抬升和暴露剥蚀,从而造成中下奥陶统顶部存在沉积间断面及与上奥陶统热演化历史的差异。

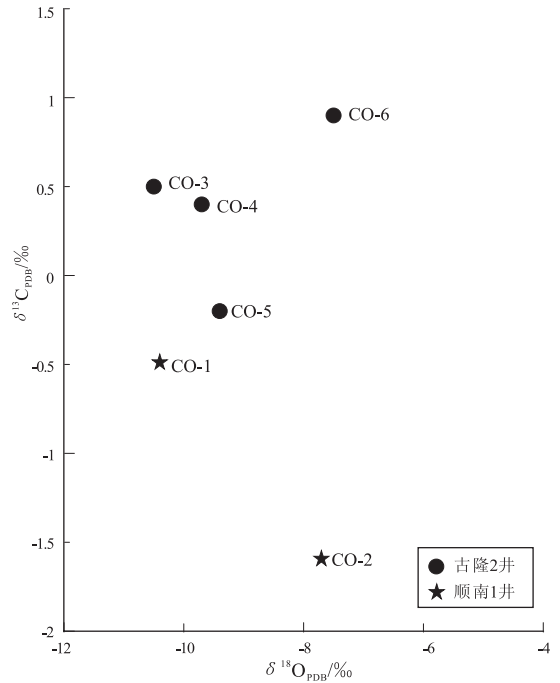


图4 塔中北围斜顺南1、古隆2井碳、氧同位素组成投点图

Fig. 4 Carbon, oxygen isotopic compositions of wells Shunnan1 and Gulong2, Beiweixie region, middle Tarim Basin

表3 塔中北围斜顺南1、古隆2井中下奥陶统裂缝充填方解石与泥晶灰岩碳、氧同位素组成

Table 3 Carbon, oxygen isotopic compositions of fracture-filling calcites and micritic limestones in Lower-Middle Ordovician reservoirs of wells Shunnan 1 and Gulong2, Beiweixie region, middle Tarim Basin

编号	井名	层位	井深/m	岩性	$\delta^{13}\text{C}_{\text{PDB}}/\text{‰}$	$\delta^{18}\text{O}_{\text{PDB}}/\text{‰}$	Z 值
CO-1	顺南1	$\text{O}_2\text{y}$	6 532.62	裂缝充填方解石	-0.5	-10.4	121.10
CO-2	顺南1	$\text{O}_{1-2}\text{y}$	6 967.44	裂缝充填方解石	-1.6	-7.7	120.19
CO-3	古隆2	$\text{O}_2\text{y}$	5 755.53	裂缝充填方解石	0.5	-10.5	123.10
CO-4	古隆2	$\text{O}_2\text{y}$	5 760.33	裂缝充填方解石	0.4	-9.7	123.29
CO-5	古隆2	$\text{O}_2\text{y}$	5 786.08	裂缝充填方解石	-0.2	-9.4	122.21
CO-6	古隆2	$\text{O}_2\text{y}$	5 760.38	泥晶灰岩	0.9	-7.5	125.41

注:  $Z$  值计算公式:  $Z = 2.048 \times (\delta^{13}\text{C} + 50) + 0.498 \times (\delta^{18}\text{O} + 50)$ <sup>[18]</sup>; 分析单位:核工业北京地质研究院; 分析人:刘汉斌; 质谱计型号:MAT 253; 采用的国际标准:PDB 分析精密度为  $\pm 0.2\text{‰}$ 。



2)塔中北围斜近期完钻的顺南 1、古隆 2 井发育弱溶蚀孔储层,并且 2 口井中下奥陶统碳酸盐岩裂缝充填方解石晶体的  $\delta^{13}\text{C}$ 、 $\delta^{18}\text{O}$  同位素值较泥晶灰岩全岩背景值明显偏负,反映了成岩环境中大气水的作用,加里东中期风化壳岩溶作用是该地区储层发育的主控因素之一。

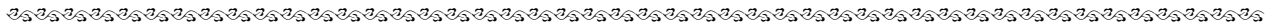
3)塔中北围斜地区是否遭受过暴露剥蚀与沉积间断,对明确该地区的储层发育主控因素及下一步勘探方向至关重要。通过上述资料分析,笔者认为在加里东中期 I 幕构造运动中,塔中 I 号断裂带下盘的塔中北围斜地区抬升幅度相对于上盘的卡塔克隆起区要低,但中下奥陶统碳酸盐岩顶部可能同样遭受了不同程度的暴露剥蚀,同时自东北向西南方向,越临近塔中 I 号断裂带的地区中下奥陶统顶部剥蚀程度越大,这将会提升塔中北围斜地区加里东中期 I 幕风化壳岩溶领域的油气勘探潜力。

参考文献:

[1] 刘克奇,金之钧,吕修祥,等.塔里木盆地塔中低凸起奥陶系碳酸盐岩油气成藏[J].石油实验地质,2004,26(6):531-536.  
 [2] 周新源,王招明,杨海军,等.塔中奥陶系大型凝析气田的勘探和发现[J].海相油气地质,2006,11(1):45-52.  
 [3] 陈强路,何治亮,李思田.塔中地区奥陶系碳酸盐岩储层与油气聚集带[J].石油实验地质,2007,29(4):367-372.  
 [4] 于红枫,白忠凯,邓力萍,等.塔中下奥陶统鹰山组不整合面的确定及其地质意义[J].新疆石油地质,2011,32(3):231-234.  
 [5] 李坤,沈忠民,肖宗林.卡塔克隆起油气运移体系演化特征[J].断块油气田,2011,18(3):317-320.  
 [6] 李坤.塔里木盆地卡塔克隆起古生界油气运移体系与成藏演

化[J].石油实验地质,2011,33(4):364-370.  
 [7] 钱一雄,何治亮,陈强路,等.塔里木盆地塔中地区奥陶系碳酸盐岩封盖性能[J].石油与天然气地质,2012,33(1):1-9.  
 [8] 汪伟光,喻莲.塔里木盆地塔中低凸起潜山区奥陶系油气成藏条件[J].特种油气藏,2011,18(4):30-34.  
 [9] 马庆佑,沙旭光,李玉兰,等.塔中顺托果勒区块走滑断裂特征及控油作用[J].石油实验地质,2012,34(2):120-124.  
 [10] 蔡习尧,钱一雄,陈强路,等.塔里木盆地古隆 1 井奥陶系恰尔巴克组与一间房组的发现及意义[J].石油实验地质,2011,33(4):348-358.  
 [11] 胡圣标,汪集旻,张容燕.利用镜质体反射率数据估算地层剥蚀厚度[J].石油勘探与开发,1999,26(4):42-45.  
 [12] 佟彦明,宋立军,曾少军,等.利用镜质体反射率恢复地层剥蚀厚度的新方法[J].古地理学报,2005,7(3):417-423.  
 [13] 王飞宇,何萍,程顶胜,等.下古生界高-过成熟烃源岩有机成熟度评价[J].天然气地球科学,1994,5(6):1-14.  
 [14] Jacob H. Classification, structure, genesis and practical importance of natural soil bitumen ("migrabitumen") [J]. International Journal of Coal Geology, 1989, 11(1): 65-79.  
 [15] 王铁冠,戴世峰,李美俊,等.塔里木盆地台盆区地层有机质热史及其对区域地质演化研究的启迪[J].中国科学: D 辑: 地球科学, 2010, 40(10): 1331-1341.  
 [16] 刘存革,李国蓉,朱传玲,等.塔河油田中下奥陶统岩溶缝洞方解石碳、氧、锶同位素地球化学特征[J].地球科学——中国地质大学学报,2008,33(3):377-384.  
 [17] 江茂生,朱井泉,陈代钊,等.塔里木盆地奥陶纪碳酸盐岩碳、锶同位素特征及其对海平面变化的响应[J].中国科学: D 辑:地球科学,2002,32(1):36-42.  
 [18] Keith M L, Anderson G M, Eichler R. Carbon and oxygen isotopic composition of mollusk shells from marine and fresh water environment [J]. Geochemica et Cosmochemica Acta, 1964, 28(17): 812-816.

(编辑 黄娟)



(上接第 499 页)

[14] 苏江玉,俞仁连.对塔河油田油气成藏地质研究若干问题的思考[J].石油实验地质,2011,33(2):105-112.  
 [15] 杨俊,姜振学,向才富,等.塔里木盆地塔中 83-塔中 16 井区碳酸盐岩油气特征及其成因机理[J].石油与天然气地质,2012,33(1):101-110.  
 [16] 王禹川,王怒涛,袁晓满,等.碳酸盐岩缝洞型油藏产能评价方法探讨[J].断块油气田,2011,18(5):637-640.  
 [17] 杨辉廷,江同文,彦其彬,等.缝洞型碳酸盐岩储层三维地质建模方法初探[J].大庆石油地质与开发,2004,23(4):11-16.  
 [18] 赵敏,康志宏,刘洁.缝洞型碳酸盐岩储集层建模与应用[J].新

疆石油地质,2008,39(3):318-320.  
 [19] 张淑品,陈福利,金勇.塔河油田奥陶系缝洞型碳酸盐岩储集层三维地质建模[J].石油勘探与开发,2007,34(2):175-180.  
 [20] 鲁新便,赵敏,胡向阳,等.碳酸盐岩缝洞型油藏三维建模方法技术研究:以塔河奥陶系缝洞型油藏为例[J].石油实验地质,2012,34(2):193-198.  
 [21] 张庆春,石广仁,米石云,等.油气系统动态数值模拟研究(二):塔里木盆地满加尔油气系统模拟分析[J].石油勘探与开发,2001,28(5):33-36.

(编辑 徐文明)