

文章编号:0253-9985(2012)01-0001-09

塔里木盆地塔中地区奥陶系碳酸盐岩封盖性能

钱一雄¹,何治亮²,陈强路¹,李慧莉²,路清华¹,蔡习尧²,尤东华¹

(1. 中国石化 石油勘探开发研究院 无锡石油地质研究所,江苏 无锡 214151;

2. 中国石化 石油勘探开发研究院,北京 100083)

摘要:利用5口区探井碳酸盐岩的矿物组成、微孔特征和测井资料等对塔里木盆地塔中地区奥陶系碳酸盐岩封盖性能进行了研究。结果表明,塔中奥陶系良里塔格组和鹰山组位于中成岩A-B亚段和晚成岩A亚段。良里塔格组中颗粒灰岩的突破压力为1.81~29.76 MPa,突破半径为13.89~77.35 nm,变化较大;泥灰岩的突破压力为14.33 MPa,突破半径为9.77 nm;含泥质条带泥晶灰岩的突破压力为3.15~5.41 MPa,突破半径为25.90~44.51 nm。鹰山组灰云岩的突破压力为0.98~10.35 MPa,突破半径为13.52~142.60 nm。因此,良里塔格组泥灰岩、部分颗粒灰岩及鹰山组云灰岩均有一定的封盖能力,其连续厚度大于5 m,突破压力大于5 MPa,突破半径介于10~20 nm,孔喉半径小于0.1 μm 。塔中鹰山组内分布稳定、厚4~10 m的高电阻层含云灰岩构成的致密层段可作为局部封盖层,是中1井奥陶系鹰山组上油、下气油气分布的主要原因之一。

关键词:成岩阶段;微孔结构;高阻层;局部封盖;储盖组合;碳酸盐岩;塔里木盆地

中图分类号:TE122.2 **文献标识码:**A

Sealing capacity of the Ordovician carbonate rocks in Tazhong area, the Tarim Basin

Qian Yixiong¹, He ZhiLiang², Chen Qianglu¹, Li Huili², Lu Qinghua¹, Cai Xierao² and You Donghua¹

(1. Research Institute of Experimental Geology, SINOPEC Petroleum Exploration and Production Research Institute,

Wuxi, Jiangsu 214151, China;

2. SINOPEC Petroleum Exploration and Production Research Institute, Beijing 100083, China)

Abstract: Mineral composition, micro-pore characteristics and well-logs from five wells were used to study the sealing capacity of the Ordovician carbonate rocks in Tazhong area, Tarim Basin. The Ordovician Lianglitage and Yingshan formations are at substage A-B of the middle diagenetic stage and substage A of the late diagenetic stage. For the Lianglitage Formation grainstone, the breakthrough pressure (BP) is 1.81–29.76 MPa, and the threshold radius (TR) is 13.89–77.35 nm. For the marlstones, the BP is 14.33 MPa and TR is 25.9–44.51 nm. For the micritic limestone with band of argillite, the BP is 0.98–10.35 MPa and the TR is 13.52–142.60 nm. The BP and the TR of the Yingshan Formation limy dolomites are 0.98–10.35 MPa and 13.52–142.60 nm. Thus, the marlstone and partial grainstone of the Lianglitage Formation and the Yingshan Formation dolomite limestone have certain sealing capacity, with thickness over 5 m, BP over 5 MPa, TR between 10–20 nm, pore throat radius less than 0.1 μm . In addition, the tight interval consisted of dolomite limestone with high resistivity of 4–10 m thick in the Yingshan Formation is thought to be local caprocks in Tazhong area. Its existence is one of the main factors resulting in the oil/gas distribution pattern in the Ordovician Yingshan Formation in Zhong-1 well, i. e. oil in its upper part and gas in its lower part.

Key words: diagenetic stage, micro-pore structure, high resistance strata, local sealing, reservoir-cap assem-

收稿日期:2011-05-02;修订日期:2011-12-21。

第一作者简介:钱一雄(1962—),男,博士、教授级高级工程师,碳酸盐岩沉积与储层研究。

blage, carbonate rock, Tarim Basin

油气勘探与研究表明^[1-6],塔里木盆地塔中地区上奥陶统良里塔格组以凝析气藏为主,少数为油藏;下奥陶统鹰山组油气藏类型以油藏(中1井、塔中722井和塔中1井)和凝析气藏(中1井、塔中162井、塔中168井、塔中83井、塔中721井和古隆1井等)为主(图1)。有关碳酸盐岩局部盖层能否成为大中型油气藏(田)的有效封隔层(体)的研究较少。本文借鉴碎屑岩中的盖层分析与评价方法^[7],强调碳酸盐岩层系的沉积-成岩作用和微孔(裂隙)发育对局部盖层发育条件与特征影响的重要性,通过对塔中西北部(中13井和中16井)及东(南)部(中3井、中4井和古隆1井)奥陶系碳酸盐岩矿物组成的分析、成岩阶段的划分、微孔结构参数的测定以及对塔中西北部奥陶系碳酸盐岩高电阻隔层的分析,认为塔中上奥陶统良里塔格组泥灰岩及下奥陶统致密的云灰岩可作为局部盖层。

前人研究表明^[8],进积体系域(TST)上部及凝缩层段(CS)页岩(或泥页岩)往往形成好的封盖层,而颗粒相对粗的高位体系域(HST)和低位体系域(LST)则反之。构造抬升区或盐穿刺构造易发生的水力破裂是形成“烟囱效应”泄露的最主要原因之一^[9]。盖层的有效性及其持续时间与盖层厚度的平方成正比,而与其渗透率成反比^[10]。吕延防、付广、郝石生等^[10-18]总结了碎屑岩盖层的定性评价标准,主要包括宏观地质条件,如盖层的岩性、厚度、成岩程度和沉积环境等。其中,I类盖

层由膏岩、泥岩、钙质泥岩及含膏(盐)泥岩组成,直接盖层厚度超过20 m,累厚为300 m,处于晚成岩A亚期;较好的II类盖层由含泥致密灰岩、含砂泥岩及含粉砂泥岩等构成,直接盖层厚度为10~20 m,累厚为150~300 m,处于早成岩B亚期。而盖层定量评价^[11,13-19]则侧重于盖层微观封堵能力的分析,利用实测的排替压力、渗透率、孔隙度、比表面积及微孔隙结构等微观封闭性参数,来评价盖层封堵油气的能力。按盖层微观地质条件划分^[15,18],无论是毛细管封闭(排替压力)还是压力封闭(异常孔隙流体压力),好、较好、中等的标准分别均为>5,3~5,1~3 MPa。泥质岩的塑性、膨胀性评价主要与其矿物组成及化学成分有关,如粘土矿物组成(蒙脱石、伊利石、伊/蒙混层、伊/蒙混层中的蒙脱石、高岭石、绿泥石以及绿/蒙混层等矿物的百分比);突破压力增高,封盖性能增强;而成岩演化程度增高则降低了塑性和膨胀性。

1 奥陶系主要储盖组合

研究发现,塔中奥陶系碳酸盐岩发育多种储盖组合(图2),主要有以下3种。

1.1 上奥陶统礁滩相复合体储盖组合

上奥陶统良里塔格组灰岩孔、洞、缝储层与其上部发育的泥岩、泥灰岩和桑塔木组巨厚的泥岩盖层组成良好的储盖组合,分布于卡塔克隆起东部和西北部。沿塔中I号带的良里塔格组礁滩复合体油气藏属于此类组合。

1.2 寒武系一下奥陶统白云岩内幕组合

该类储盖组合储层为中、下奥陶统一上寒武统白云岩晶间孔和晶间溶孔及裂缝,盖层为中、下奥陶统中、下部致密的云岩夹泥质云岩、灰质云岩及云质灰岩,分布于卡塔克隆起东部、东南部和西北部,如中1井区、古隆1井及塔中162井揭示的下奥陶统一寒武系白云岩内幕组合。

1.3 下奥陶统储层与上奥陶统盖层组合

该类储盖组合储层为中、下奥陶统灰岩、云灰

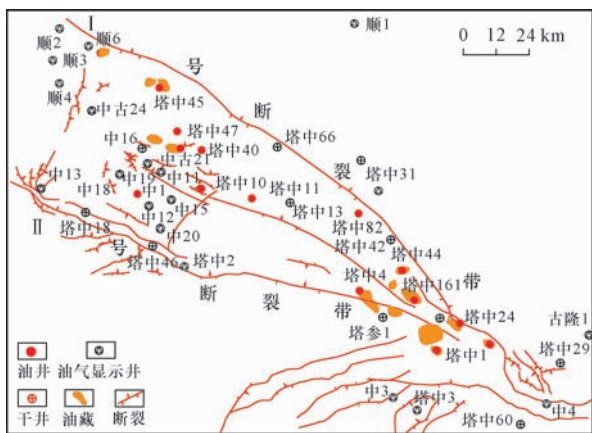


图1 塔中地区探井及采样位置

Fig. 1 Map showing locations of exploration wells and sampling sites in Tazhong area

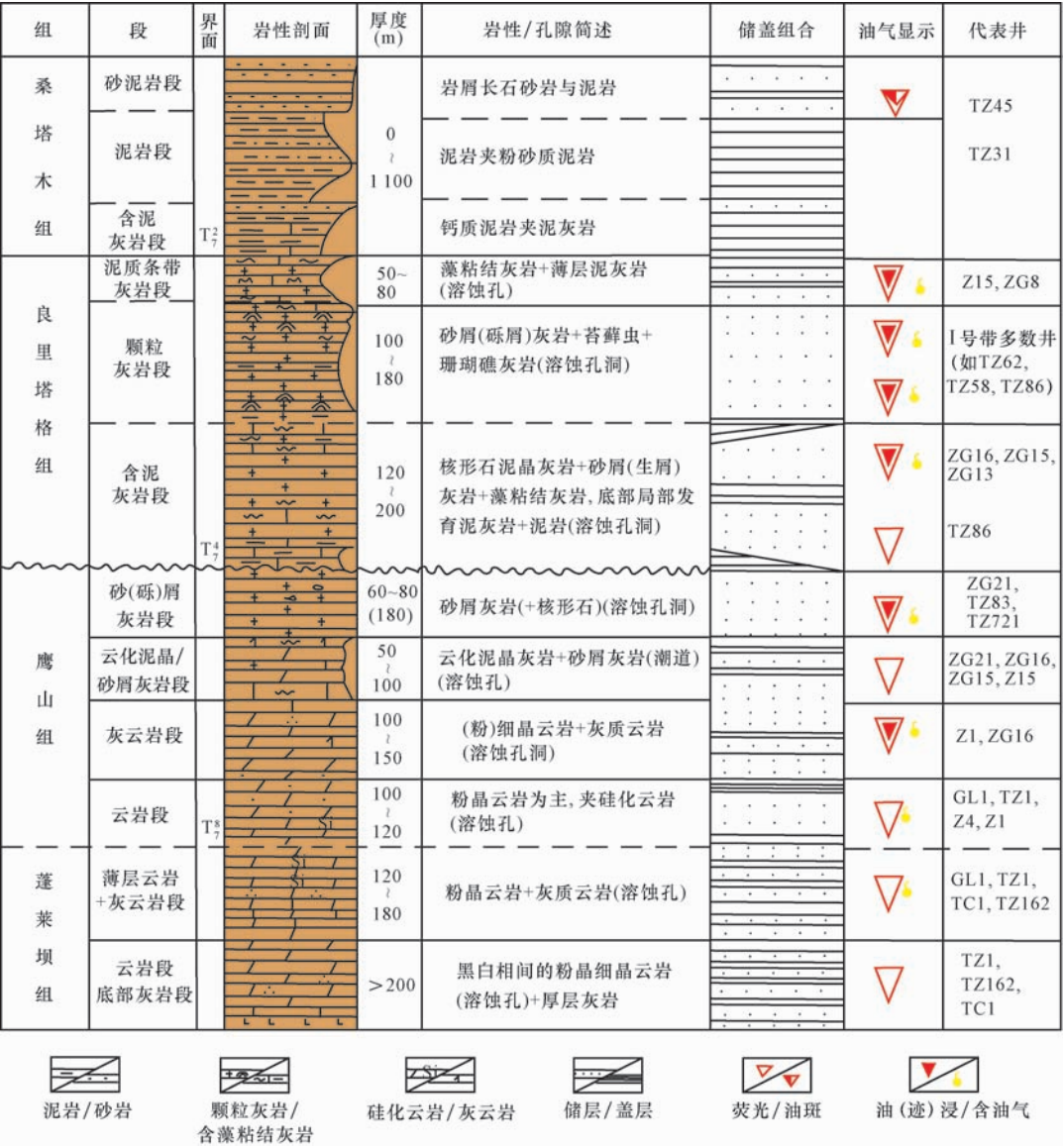


图2 塔中地区奥陶系储盖组合与含油气层位

Fig. 2 Ordovician reservoir-cap assemblage and hydrocarbon-bearing strata in Tazhong area

岩及云岩的溶蚀孔隙、溶洞、裂缝-孔洞和高角度裂缝,盖层为良里塔格组下部含泥灰岩段,以卡塔克隆起西北部中1井区、塔中I号带塔中83—塔中721井区等为代表。

2 碳酸盐岩成岩阶段与封盖性能

2.1 岩石成分与成岩阶段

中13、中3井的奥陶系良里塔格组与鹰山组碳酸盐岩主要为泥晶灰岩、颗粒灰岩以及云质灰岩、灰质云岩和云岩等类型。其中,灰质云岩常为晶粒结构和嵌晶式胶结,由方解石、白云石、泥质

(粘土含量小于2.5%)及少许陆源碎屑等组成(以石英为主,含量为1%~7%;中3-2样品灰云岩中含较高含量的硬石膏(35%),可能反映了下奥陶统为局限台地-潟湖相沉积环境(表1)。

大量新生粘土对封盖性、孔隙、喉道分选等影响较大,粘土矿物的成岩作用对沉积物压实过程中孔隙及流体运移影响较大,而蒙脱石向伊/蒙混层和伊利石的转变可导致孔隙喉道阻塞^[18,20]。利用X-衍射方法,得到了碳酸盐岩及泥岩中的粘土矿物相对含量(表2)。粘土相对含量为1%~12%,其中云岩中为1%,泥灰岩及泥岩为9%~12%,含量相对稳定。在粘土矿物种类中,鹰山组

表1塔中地区中13、中3井奥陶系碳酸盐岩矿物组成

Table 1 Mineral composition of the Ordovician carbonate rocks in Well Zhong-13 and Well Zhong-3 in Tazhong area

样号	时代	岩性	矿物含量,%					
			粘土	石英	方解石	白云石	硬石膏	无水芒硝
中3-6	O ₃ l	灰色泥晶灰岩	2.5		93.5			3
中3-2	O ₁₋₂ yj—O ₁ p	灰暗色灰云岩	0.5	1	21.5	42	35	
中3-17	O ₁₋₂ yj	灰白色细-粉晶云岩	0.5	7	7.5	85		
中3-30	O ₁₋₂ yj	灰色砾屑灰质云岩	1	4	18	75.5		1.5
中13-54	O ₁₋₂ yj	灰质云岩	1		22	77		

表2塔中地区奥陶系碳酸盐岩与泥岩中粘土矿物相对含量

Table 2 Relative contents of clay minerals of the Ordovician mud rocks and carbonate rocks in Tazhong area

样号	岩性	埋深/m	时代	主要矿物种类含量,%					粘土矿物含量,%		
				石英	长石	方解石	白云石	粘土	伊利石	高岭石	绿泥石
中13-54	灰质云岩	5 845.20	O ₁ g	0	0	22	77	1	94	3	3
顺2-15	灰绿色泥灰岩	6 795.70	O ₃ l	13	4	72	0	9	97	0	2
顺2-10	泥岩	6 729.90	O ₃ s	57	8	18	3	12	97	0	2
顺2-11	灰色泥岩	6 729.90	O ₃ s	65	5	11	8	10	96	0	3
顺2-12	黑色泥岩	6 729.95	O ₃ s	65	6	12	9	12	97	0	2

云岩中含伊利石94%、绿泥石3%、高岭石3%;良里塔格组灰岩中含伊利石97%、绿泥石2%、高岭石1%;桑塔木组泥岩中含伊利石94%~97%、绿泥石2%~3%、高岭石1%~3%。

扫描电镜下,灰岩为致密块状,颗粒以泥、微晶方解石为主,少量亮晶方解石,粒间(晶间)微孔隙呈不规则状孤立分布,伊利石呈片状分布,孔隙不发育,连通性差。除中13井的中13-23样品外,粘土矿物中不存在伊/蒙混层或蒙脱石(表2)。因此,塔中地区奥陶系总体上处于中成岩A-B及晚成岩A亚段,碳酸盐岩层系具有一定的封闭性能。

2.2 碳酸盐岩微孔结构与封盖性能

排替压力是指岩石中最大连通孔隙的润湿相流体被非润湿相流体排替所需要的最低压力,它是反映盖层微观封闭能力的最直接、最根本的参数^[12,20-21]。本次样品的微孔结构与封盖性能测试是由无锡石油地质研究所实验测试中心完成的。中2井奥陶系碳酸盐岩的测试结果表明,排替压力在0.010~7.166 MPa(表3)。其中,良里塔格组的10件灰岩样品中,有8件样品饱和度中值压力大于6 MPa,最大喉道半径为0.104 6~75 μm,饱和度中值半径范围在0.048 0~0.248 8 μm。良

里塔格组含泥质条带灰岩(第一、第二次取心样,5 518.00~5 526.18 m)喉道分选较好-差,喉道分布相对较均匀,中-细歪度;而良里塔格组下部的含泥灰岩段(6 190.56~6 199.56 m)和一间房组样品(6 314.12~6 322.92 m)的毛细管压力曲线特征为细歪度、紧靠右侧,分选较差,孔隙度小于1.5%,渗透率为(0.01~0.05)×10⁻³ μm²,表明岩石孔隙结构为微孔、微裂隙型,排替压力一般为1~3 MPa,为致密岩层,均具有一定的封盖性。

中16井良里塔格组取心段的核形石灰岩厚度大于10 m,其突破压力为1.81~10.08 MPa(样品数n=6,平均为6.15 MPa),突破半径为13.89~77.35 nm(n=6,平均为31.40 nm),优势孔隙的范围为2.5~16.0 nm,气柱高度为23.41~130.31 MPa(175.60~977.44 mHg)(n=6,平均为79.59 MPa,或597 mHg);泥灰岩的突破压力为14.33 MPa,突破半径为9.77 nm,优势孔隙范围为1.0~6.3 nm,气柱高度为185.24 MPa(1 389.43 mHg);含泥质条带微晶灰岩的突破压力为3.15~5.41 MPa,突破半径为25.90~44.51 nm,优势孔隙范围为2.5~6.3 nm和16~100 nm,气柱高度为40.68~69.91 MPa(305.10~524.40 mHg);鹰山组灰云岩的突破压力为2.15~6.90 MPa,突破半

径为 16.30 ~ 65.03 nm,优势孔隙范围为 4.0 ~ 25.0 nm,气柱高度为 27.84 ~ 89.20 MPa (208.84 ~ 669.05 mHg) (表 4;图 3—图 5)。从微孔结构特征来看,均达到—好较好的盖层微孔与封盖标准。

表 3 塔中地区中 2 井奥陶系碳酸盐岩孔隙结构参数

Table 3 Micro-pore structure parameters of the Ordovician carbonate rocks in Well Zhong-2 in Tazhong area

层位	取心层段/m	压力参数/MPa		孔喉分布特征参数/ μm		喉道分选程度参数		
		排替压力	饱和度 中值压力	最大 喉道半径	饱和度 中值半径	分选系数	均质系数	歪度
O_3l	5 518.00 ~ 5 526.18 (I)	1.156	3.113	0.648 9	0.248 8	0.130 7	0.299 4	1.335
O_3l	5 518.00 ~ 5 526.18 (I)	3.527		0.212 6		0.039 2	0.140 6	2.491
O_3l	5 518.00 ~ 5 526.18 (I)	1.700	15.600	0.441 1	0.048 0	0.083 0	0.182 2	1.930
O_3l	5 518.00 ~ 5 526.18 (I)	1.165	10.240	0.643 9	0.073 2	0.122 1	0.168 1	2.154
O_3l	5 527.50 ~ 5 536.20 (II)	1.849	6.951	0.405 5	0.107 8	0.071 0	0.225 7	1.719
O_3l	5 527.50 ~ 5 536.20 (II)	1.378	8.902	0.544 1	0.084 2	0.100 8	0.186 7	2.001
O_3l	5 527.50 ~ 5 536.20 (II)	1.797	6.154	0.417 3	0.121 8	0.074 3	0.241 6	1.577
O_3l	5 527.50 ~ 5 536.20 (II)	3.324	8.484	0.225 6	0.088 4	0.043 5	0.263 4	1.883
O_3l	5 749.65 ~ 5 756.30 (III)	0.010	10.250	75	0.073 1	5.762 0	0.049 8	2.226
O_3l	6 190.56 ~ 6 199.56 (IV)	7.166		0.104 6		0.015 7	0.081 8	2.763
$\text{O}_2\gamma$	6 314.12 ~ 6 322.92 (V)	5.805		0.129 2		0.019 7	0.076 6	2.987

表 4 塔中地区中 16 井奥陶系碳酸盐岩微孔隙结构参数

Table 4 Micro-pore structure parameters of the Ordovician carbonate rocks in Well Zhong-16 in Tazhong area

样号	井深/m	岩性	时代	比表面积/ ($\text{m}^2 \cdot \text{g}^{-1}$)	孔隙流体能/ ($\text{J} \cdot \text{g}^{-1}$)	突破压力/ MPa	突破半径/ nm	突破时间/ ($\text{a} \cdot \text{m}^{-1}$)
Z16-19	5 356.5	灰黑色核形石灰岩	O_3l	0.71	0.05	1.81	77.35	0.57
Z16-23	5 359.0	灰黑色核形石灰岩	O_3l	1.28	0.09	3.80	36.83	2.52
Z16-25	5 360.0	灰黑色核形石灰岩	O_3l	0.55	0.04	7.90	17.73	10.87
Z16-33	5 363.5	灰黑色核形石灰岩	O_3l	0.51	0.04	5.86	23.88	5.99
Z16-35	5 364.5	灰黑色核形石灰岩	O_3l	0.66	0.05	10.08	13.89	17.70
Z16-36	5 365.1	灰黑色核形石灰岩	O_3l	0.75	0.05	7.48	18.71	9.75
Z16-57	5 553.7	灰色泥灰岩	O_3l	0.64	0.04	14.33	9.77	35.78
Z16-63	5 555.0	泥质条带微晶灰岩	O_3l	0.40	0.03	3.15	44.51	1.72
Z16-69	5 560.5	泥质条带微晶灰岩	O_3l	1.20	0.08	5.41	25.90	5.09
Z16-102	5 632.9	灰色灰质云岩	$\text{O}_1\gamma$	0.25	0.02	2.15	65.03	0.81
Z16-106	5 847.8	浅灰色灰质云岩	$\text{O}_1\gamma$	0.12	0.01	6.90	20.30	8.29
样号	井深/m	岩性	中值半径/ nm	中值压力/ MPa	孔隙集中 范围/nm	孔隙集中 含量,%	气柱高度/ mHg	遮盖系数, %
Z16-19	5356.5	灰黑色核形石灰岩	22.283	6.28	40.0 ~ 100.0	36.04	175.57	351.14
Z16-23	5 359.0	灰黑色核形石灰岩	19.298	7.25	2.5 ~ 63.0	95.12	368.77	737.54
Z16-25	5 360.0	灰黑色核形石灰岩	12.806	10.93	2.5 ~ 63.0	90.97	766.05	1 532.10
Z16-33	5 363.5	灰黑色核形石灰岩	17.472	8.01	4.0 ~ 63.0	93.86	568.73	1 137.46
Z16-35	5 364.5	灰黑色核形石灰岩	7.852	17.83	1.6 ~ 40.0	90.93	977.44	1 954.88
Z16-36	5 365.1	灰黑色核形石灰岩	10.668	13.12	1.6 ~ 40.0	94.00	725.67	1 451.33
Z16-57	5 553.7	灰色泥灰岩	6.082	23.02	1.0 ~ 63.0	91.67	1 389.83	2 779.65
Z16-63	5 555.0	泥质条带微晶灰岩	19.549	7.16	6.3 ~ 100.0	95.28	305.10	610.20
Z16-69	5 560.5	泥质条带微晶灰岩	9.889	14.16	1.6 ~ 160.0	97.10	524.36	1 048.71
Z16-102	5 632.9	灰色灰质云岩	41.682	3.36	10.0 ~ 100.0	91.49	208.84	417.68
Z16-106	5 847.8	浅灰色灰质云岩	16.383	8.55	6.3 ~ 40.0	93.31	669.05	1 338.10

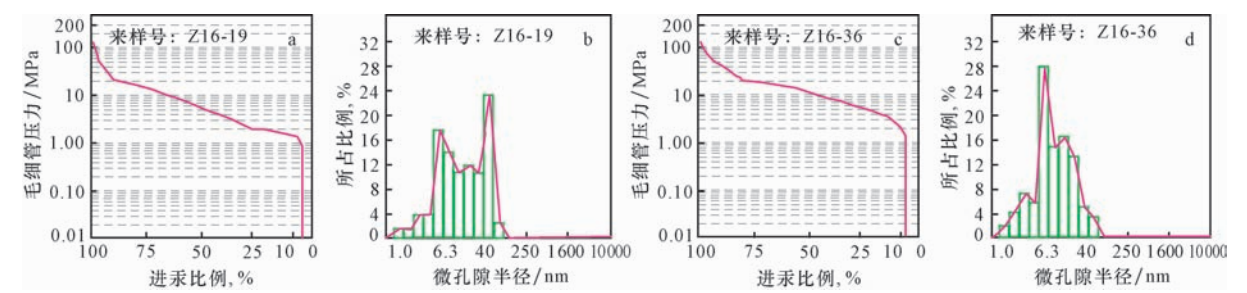


图 3 塔中地区中 16 井上奥陶统良里塔格组核形石灰岩、颗粒灰岩微孔隙结构参数

Fig. 3 Micro-pore structure parameters of the Upper Ordovician Lianglitage Formation oncolite limestone and grainstone in Well Zhong-16 in Tazhong area

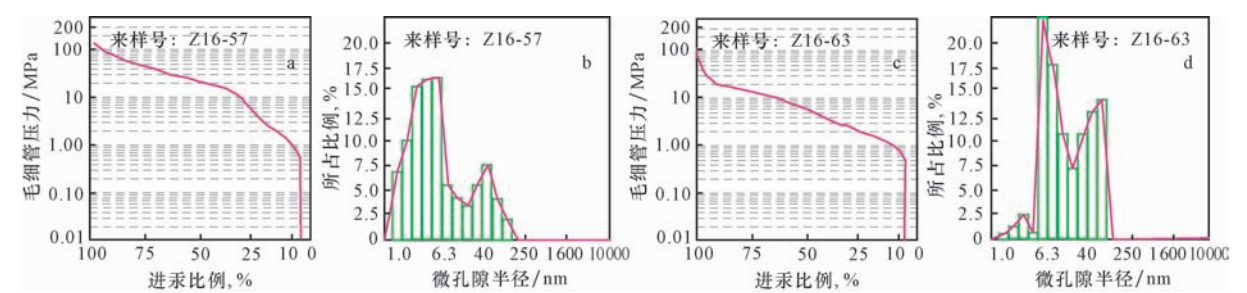


图 4 塔中地区中 16 井上奥陶统良里塔格组泥灰岩、泥质条带微晶灰岩微孔隙结构参数

Fig. 4 Micro-pore structure parameters of the Upper Ordovician Lianglitage Formation argillaceous limestone and micritic limestone with band of argillite in Well Zhong-16 in Tazhong area

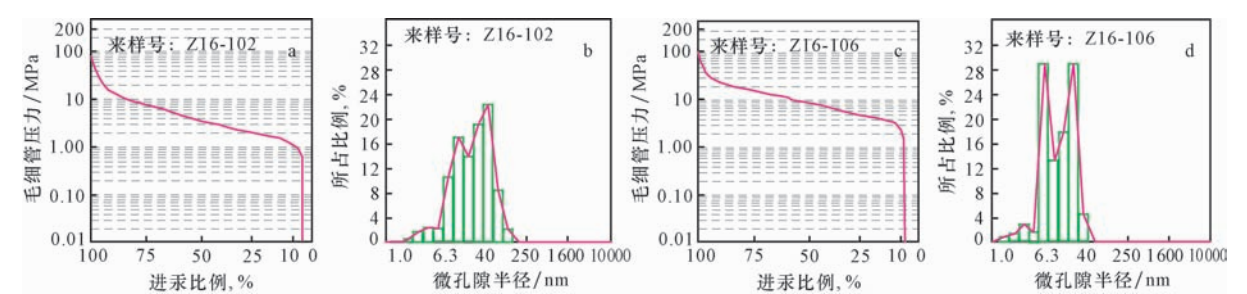


图 5 塔中地区中 16 井鹰山组灰质云岩微孔隙结构参数

Fig. 5 Micro-pore structure parameters of the Ordovician carbonate rocks in Well Zhong-4 in Tazhong area

表 5 塔中地区中 4 井奥陶系碳酸盐岩微孔隙结构参数

Table 5 The parameters of structure of Micro-pore of Ordovician carbonate rock of Well Zhong-4

岩性	时代	井深/m	孔隙度, %	突破压力/ MPa	突破半径/ nm	中值压力/ MPa	中值半径/ nm	孔喉集中 区域/nm
亮晶鲕粒灰岩	O ₃ l	4 894.34	0.23	23.97	5.84	28.74	4.87	2.5 ~ 16
粉-细晶云岩	O ₁	3 610.19	1.48	10.35	13.52	27.80	5.04	1 ~ 63
云质灰岩	O ₁	5 157.28	0.78	5.39	25.95	7.33	19.11	2.5 ~ 40
白云岩	O ₁	5 970.46	0.93	0.98	142.60	1.28	109.30	1 ~ 100

中 4 井奥陶系碳酸盐岩的突破压力分布范围
为 0.98 ~ 29.76 MPa, 平均为 14.48 MPa; 突破半
径为 4.70 ~ 142.60 nm, 平均为 33.52 nm; 中值压
力为 1.28 ~ 49.51 MPa, 平均为 23.51 MPa; 中值
半径为 2.83 ~ 109.3 nm, 平均为 24.41 nm; 孔喉集
中范围为 1 ~ 63 nm (表 5)。

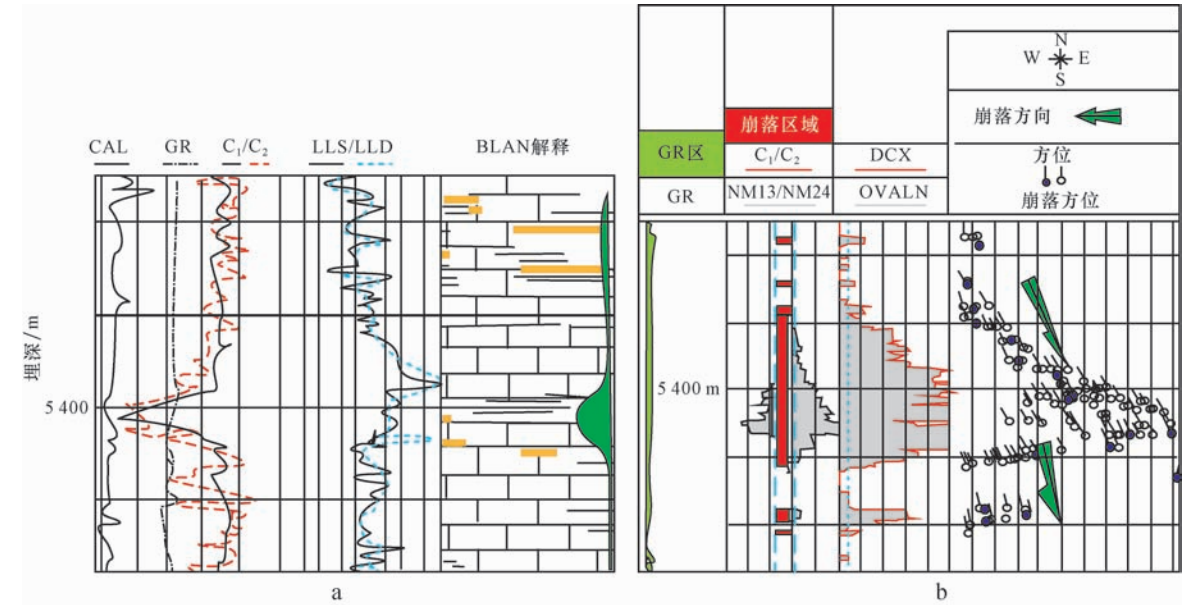


图6 塔中地区中1井鹰山组内(埋深5 400 m上下)测井曲线及钻井诱导缝和井壁崩落示意图

Fig. 6 Well-log and sketch map showing induced-fracture and borehole collapse in the Yingshan Formation of Well Zhong-1 in Tazhong area
[引自“斯仑贝谢中国西部数据与咨询服务(2003)”.]

中4井奥陶系碳酸盐岩储集层毛管压力曲线类型主要分Ⅰ—Ⅳ类。Ⅰ类为良里塔格组亮晶鲕粒灰岩,具高突破压力,曲线具平台,微孔隙分布具单峰、细歪度,孔喉集中区域在1.5~6.3 nm,亮晶胶结物内发育微溶孔;Ⅱ类为鹰山组云质灰岩,具较低突破压力,曲线无明显平台,微孔隙分布具多峰,孔喉集中范围在1.5~40 nm,孔隙主要为晶间孔;Ⅲ类为蓬莱坝组粉-细晶白云岩,曲线具低突破压力、多阶梯,微孔隙分布具多峰、细歪度,孔喉集中区域在1~63 nm;Ⅳ类为丘里塔格下亚群云岩样,曲线具低突破压力、多阶梯,微孔隙分布具多峰,孔喉分布从1.5~10 000 nm不等,孔隙类型为晶间溶孔和晶间孔。

3 鹰山组灰云岩致密层段及其分隔“上油下气”作用

3.1 致密层段

测、录井表明,塔中奥陶系鹰山组碳酸盐岩中普遍存在一个致密层段,它位于 T_4^1 界面以下,埋深不一,视厚为4~10 m,为一明显扩径的高电阻率致密层,电阻率一般为1 000~10 000 $\Omega \cdot m$,RD(深侧向电阻率)/RS(浅侧向电阻率)正差异明显。以塔中西北部的中1井为例,良里塔格组埋

深为5 260~5 270 m,井径CAL为7~9 in(177.8~228.6 mm),自然伽马GR为10~25 API, RD和RS约为100~1 000 $\Omega \cdot m$;鹰山组埋深为5 396~5 406 m, CAL大于14 in(355.6 mm), GR为12~15 API, RD和RS大于1 000 $\Omega \cdot m$ 。在埋深5 364~5 370 m成像图及5 400 m上下测井图上,隐约可见近南北方向的钻井诱导缝,由此判断该区域现今最大水平主应力方向为北北东-南南西方向(图6),反映出上述两段为地应力集中段,岩石沿井壁南北向——最小主应力方向崩落,与云灰岩段(5 396~5 406 m)高阻致密层段(RD和RS大于10 000 $\Omega \cdot m$)基本相对应。中11井奥陶系鹰山组致密层段位于埋深5 522~5 526 m处,中12井为5 568~5 572 m处,中13井为5 680~5 690 m处。

3.2 对“上油下气”分隔作用

奥陶系鹰山组碳酸盐岩内致密层段的存在不仅反映了其内幕上、下储盖性能的差异,同时致密层段对油气具有分隔性。以中1井奥陶系鹰山组碳酸盐岩地层的削截-缝孔(洞)型油气藏为例,中1井埋深5 349.5~5 373.5 m中的取心段(5 363.0~5 372.0 m)为细、粉晶白云岩,白云石呈菱形粒状,自形-半自形,平均大小为75 μm ,

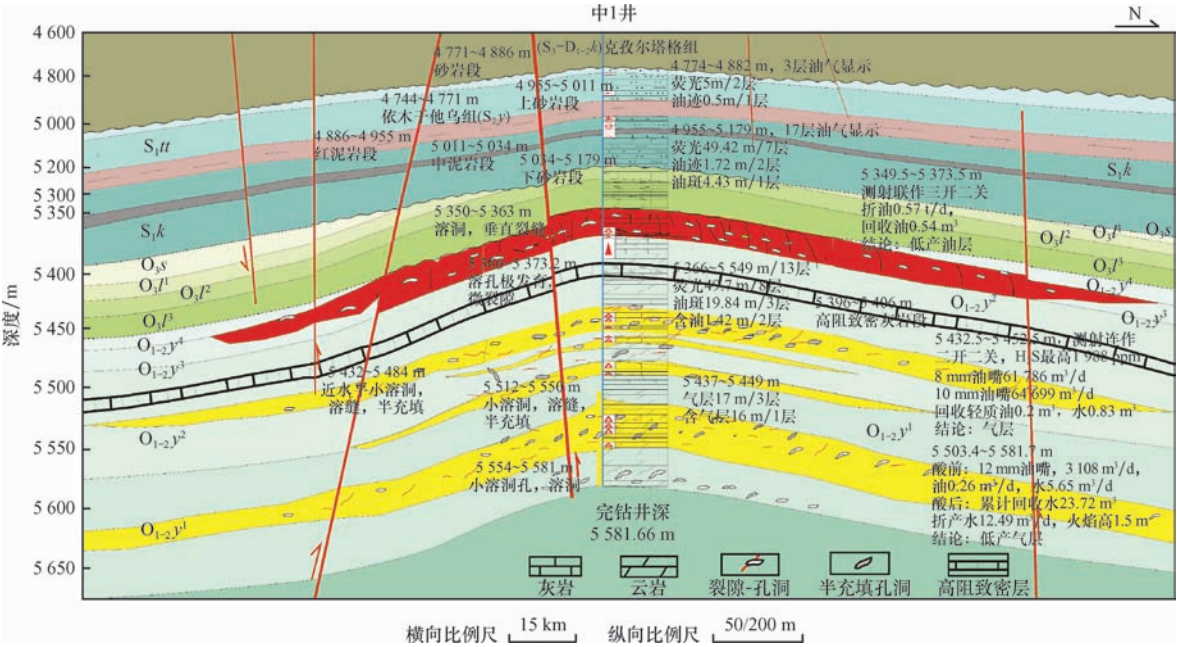


图 7 塔中地区中 1 井奥陶系鹰山组碳酸盐岩地层削截-缝孔(洞)型油气藏剖面示意图

Fig. 7 Schematic profile of the stratigraphy-truncation and fractured-vuggy reservoirs in the Ordovician Yingshan Formation carbonate rocks of Well Zhong-1, Tazhong area

镶嵌状结构;晶间孔隙、残留晶间孔隙和溶蚀孔隙为主要孔隙,晶间孔隙最大孔径为 852 μm 、一般介于 10 ~ 30 μm ,上部(5 362.0 ~ 5 371.0 m)晶间孔隙不发育、下部(5 371.0 ~ 5 371.6 m)似层状晶间孔隙(洞)较为发育,孔洞直径为 0.3 ~ 0.5 cm、局部可达 0.5 ~ 2.0 cm;孔隙未充填,该井 6 个样品的实测平均面孔率为 6.83% (1.00% ~ 10.65%)^[22];在成像测井图上发育近直角角度裂隙,属于裂缝-溶洞(孔)型储集体,呈似层状分布(图 7),层内连通性一般-较好;产少量油和水,原油密度为 0.842 5 g/cm³。而埋深 5 432.5 ~ 5 452.5 m 段,二开 8 mm 油嘴求产,井口压力 7.567 MPa,井底稳定流压 14.97 MPa,折合日产气 61 786 m³ 及少量油,气体干燥系数为 0.98,演化程度高,属于干气,油密度为 0.8 029 g/cm³。这反映上、下储盖为不同的成藏组合。而鹰山组云灰岩段(5 396 ~ 5 406 m)的高阻致密层段,对中 1 井奥陶系鹰山组碳酸盐岩“上油下气”的油气分布起最主要封隔作用(图 7)。

4 结论与讨论

根据塔中奥陶系碳酸盐岩矿物组成、成岩阶

段划分、微孔特征(突破压力、突破半径、气柱高度、优势孔隙范围等)、高电阻致密层段的识别以及在中 1 井奥陶系碳酸盐岩“上油下气”的油气分布中的封隔性等判断,可得出以下认识。

- 1) 良里塔格组致密泥质条带灰岩与颗粒灰岩段、良里塔格组泥灰岩段与鹰山组灰云岩段储盖组合及鹰山组灰云岩致密段与鹰山组-蓬莱坝组-寒武系云岩段储盖组合构成了塔中奥陶系碳酸盐岩油气藏的主要储盖组合。
- 2) 奥陶系碳酸盐岩由方解石、白云石、泥质(粘土含量小于 2.5%)及少许陆源碎屑等组成(以石英为主,含量为 1% ~ 7%)。鹰山组云岩中含伊利石 94%、绿泥石 3%、高岭石 3%,良里塔格组灰岩中含伊利石 97%、绿泥石 2%、高岭石 1%,均为中成岩 A-B 和晚成岩 A 亚段。
- 3) 良里塔格组中泥灰岩的突破压力为 14.33 MPa、突破半径为 9.77 nm,核形石灰岩的突破压力为 1.81 ~ 29.76 MPa、突破半径为 13.89 ~ 77.35 nm,同一种岩性封盖性变化较大;碳酸盐岩的封盖性能不但与沉积微相的岩性有关,而且与成岩作用过程密切相关;含泥质条带微晶灰岩的突破压力为 3.15 ~ 5.41 MPa,突破半径为 25.90 ~ 44.51 nm;鹰山组灰云岩的突破压力为 0.98 ~ 10.35

MPa,突破半径为13.52~142.60 nm。因而,良里塔格组泥灰岩、核形石灰岩及鹰山组灰云岩均具有一定的封盖能力,可作为有效的局部封挡层。其连续厚度一般大于5 m,突破压力一般大于5 MPa,突破半径为10~20 nm,孔喉半径小于0.1 μm 。

4) 鹰山组内中普遍存在一个明显的扩径、高电阻的致密层段(RD和RS大于10 000 $\Omega \cdot \text{m}$),厚度为4~10m,RT/RS正差异明显,对上油、下气的油气分布起主要分隔作用。

但需指出的是,相对于膏泥岩,碳酸盐岩突破压力小,突破半径最大,封闭系数最低,封闭性一般较弱。仅在包括如能量较低的含泥质的潟湖、局限台地的沉积微相、后期成岩改造较弱(海底胶结-埋藏为主)、遭受大气水风化后的再沉淀(胶结)-充填作用等致密化成岩作用以及构造微裂隙不发育等特定条件下,才可形成局部性的油气封闭层。

致谢:参加此项工作的还有李洪铎、李保华、陈跃等,无锡石油地质研究所实验中心的杨琦、范明分别完成了X-衍射粘土和微孔隙封盖性能测试工作,在此特表谢意!

参 考 文 献

- [1] 程光明,何文渊.塔里木盆地石油勘探实现突破的重要方向[J].石油学报,2004,25(1):1-7.
Zhai Guangming, He Wenyuan. An important petroleum exploration region in Tarim Basin[J]. Acta Petrolei Sinica, 2004, 25(1):1-7.
- [2] 何治亮,陈强路,钱一雄,等.塔里木盆地中央隆起区油气勘探方向[J].石油与天然气地质,2006,27(6):769-778.
He Zhiliang, Chen Qianglu, Qian Yixiong, et al. Hydrocarbon exploration targets in central uplift area of Tarim basin[J]. Oil & Gas Geology, 2006, 27(6):769-778.
- [3] 赵宗举,贾承造,周新源,等.塔里木盆地塔中地区奥陶系油气成藏主控因素及勘探选区[J].中国石油勘探,2006,(4):6-15.
Zhao Zongju, Jia Chengzao, Zhou Xinyuan, et al. Key factors of oil-gas reservoir-forming and exploration targets in Ordovician in Tazhong area, Tarim Basin[J]. China Petroleum Exploration, 2006, (4):6-15.
- [4] 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 Petrolei Sinica, 2007, 28(2):1-8.
- [5] 孙龙德,李曰俊,江同文,等.塔里木盆地塔中低凸起:一个典

型的复式油气聚集区[J].地质科学,2007,42(3):602-620.
Sun Longde, Li Yuejun, Jiang Tongwen, et al. The central Tarim lower uplift: a composite hydrocarbon accumulation play in the Tarim basin, NW China[J]. Chinese Journal of Geology 2007, 42(3):602-620.

- [6] 杨海军,邬光辉,韩剑发,等.塔里木盆地中央隆起带奥陶系碳酸盐岩台缘带油气富集特征[J].石油学报,2007,28(4):26-30.
Yang Haijun, Wu Guanghui, Han Jianfa, et al. Characteristics of hydrocarbon enrichment along the Ordovician carbonate platform margin in the central uplift of Tarim Basin[J]. Acta Petrolei Sinica, 2007, 28(4):26-30.
- [7] 金之钧,周雁,云金表,等.我国海相地层膏盐岩盖层分布与近期油气勘探方向[J].石油与天然气地质,2010,31(6):715-724.
Jin Zhijun, Zhou Yan, Yun Jinbiao, et al. Distribution of gypsum salt cap rocks and near-term hydrocarbon exploration targets in the marine sequences of China[J]. Oil & Gas Geology, 2010, 31(6):715-724.
- [8] Sutton S J, Ethridge F G, Almon W B, et al. Textual and sequence-stratigraphic controls of Lower and Upper Cretaceous shales, Denver basin, Colorado[J]. AAPG Bulletin, 2004, 88: 1185-1206.
- [9] Gray G L. Top seal development in the shale-dominated upper Devonian cat-skill delta complex, Western New York state[J]. Marine and Petroleum Geology, 2006, 23(3):317-335.
- [10] 郝石生,黄志龙,高耀斌.轻烃扩散系数研究及天然气运聚动平衡原理[J].石油学报,1991,12(3):17-24.
Hao Shisheng, Huang Zhilong, Gao Yaobin. A study of the diffusion of light hydrocarbon and the dynamic equilibrium principle in the migration and accumulation of natural gas[J]. Acta Petrolei Sinica, 1991, 12(3):17-24.
- [11] 吕延防,付广,高大岭,等.油气藏封盖研究[M].北京:石油工业出版社,1996:4-30.
Lü Yanfang, Fu Guang, Gao Daling, et al. Research on seal of oil-gas reservoirs [M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 1996:4-30.
- [12] 蒋有录.渤海湾盆地盖层对天然气富集的影响初探[J].地质论评,1999,45(1):26-31.
Jiang Youlu. The influence of cap rocks on accumulation and distribution of natural gas in the Bohai bay basin[J]. Geological Review, 1999, 45(1):26-31.
- [13] 谈玉明,任来义,张洪安,等.深层气泥岩盖层封闭能力的综合评价——以东濮凹陷杜桥白地区沙河街组三段泥岩盖层为例[J].石油与天然气地质,2003,24(2):191-196.
Tan Yuming, Ren Laiyi, Zhang Hong'an, et al. Comprehensive evaluation of sealing capacity of claystone in deep gas reservoir—an example of E_3 claystone cap rock in Duqiaobai area in Dongpu depression[J]. Oil & Gas Geology, 2003, 24(2): 191-196.

- 评价研究[J]. 中国科学 D 辑, 1996, 26(6): 537-543.
- Cheng Keming, Wang Zhaoyun. An evaluation method of hydrocarbon generating potential of highly mature and over-mature marine carbonate[J]. Science in China (Series D), 1997, 26(6): 537-543.
- [23] 秦建中, 刘宝全, 国建英, 等. 关于碳酸盐岩的评价标准[J]. 石油实验地质, 2004, 26(3): 281-286.
- Qin Jianzhong, Liu Baoquan, Guo Jianying, et al. Discussion on the evaluation standards of carbonate source rocks[J]. Petroleum Geology & Experiment, 2004, 26(3): 281-286.
- [24] 陈安定. 海相“有效烃源岩”定义及丰度下限问题讨论[J]. 石油勘探与开发, 2005, 32(2): 23-25.
- Chen An Ding. Definition and abundance threshold of marine source rocks developed in South China[J]. Petroleum Exploration And Development, 2005, 32(2): 23-25.
- [25] 梁狄刚. 从塔里木盆地看中国海相地层生油问题[J]. 海相油气地质, 2000, 5(2): 83.
- Liang Digang. Review of oil generation from marine source rocks by Tarim Basin as a case[J]. Marine Origin Petroleum Geology, 2000, 5(2): 83.
- [26] 梁狄刚. 塔里木盆地油气勘探若干地质问题[J]. 新疆石油地质, 1999, 20(3): 184-189.
- Liang Digang. Several geologic problems of oil and gas exploration in Tarim Basin[J]. Xinjiang Petroleum Geology, 1999, 20(3): 184-188.
- [27] 张水昌, 梁狄刚, 张大江. 关于古生界烃源岩有机质丰度的评价标准[J]. 石油勘探与开发, 2002, 29(2): 8-12.
- Zhang Shuichang, Liang Digang, Zhang Dajiang. Evaluation criteria for Paleozoic effective hydrocarbon source rocks[J]. Petroleum Exploration And Development, 2002, 29(2): 8-12.
- [28] 钟宁宁, 卢双舫, 黄志龙, 等. 烃源岩生烃演化过程 TOC 值的演变及其控制因素[J]. 中国科学 D 辑, 2004, 34(增刊): 120-126.
- Zhong Ningning, Lu Shuangfang, Huang Zhilong, et al. TOC changes in the process of thermal evolution of source rock and its controls[J]. Science China Earth Sciences (Science in China Series D), 2004, 47(S2): 120-126.
- [29] Peters K E, Cossa M R. Applied source rock geochemistry[J]. AAPG Memoir, 1994, 60: 93-117.
- [30] 梁狄刚, 郭彤楼, 陈建平, 等. 南方四套区域性海相烃源岩的分布[J]. 海相油气地质, 2008, 13(2): 1-16.
- Liang Digang, Guo Tonglou, Chen Jianping, et al. Distribution of four suits of regional marine source rocks[J]. Marine Origin Petroleum Geology, 2008, 13(2): 1-16.

(编辑 张亚雄)

(上接第9页)

- [14] 付广, 许凤鸣. 盖层厚度对封闭能力控制作用分析[J]. 天然气地球科学, 2003, 14(3): 186-190.
- Fu Guang, Xu Fengming. Quantitative research on controlling of thickness to seal abilities of cap rock [J]. Natural Gas Geoscience, 2003, 14(3): 186-190.
- [15] 吕延防, 付广, 于丹. 中国大中型气田盖层封盖能力综合评价及其对成藏的贡献[J]. 石油与天然气地质, 2005, 26(6): 742-745.
- Lu Yanfang, Fu Guang, Yu Dan. Comprehensive evaluation of sealing ability of cap rock in China large and medium gas fields and their contribution to gas accumulation[J]. Oil & Gas Geology, 2005, 26(6): 742-745.
- [16] 黄志龙, 赵宝顺, 肖中尧, 等. 盖层微渗漏散失机理与定量模型[J]. 天然气地球科学, 2007, 18(1): 37-40.
- Huang Zhilong, Zhao Baoshun, Xiao Zhongyao, et al. Diffusion mechanism and quantitative model of micro-leak in cap rocks [J]. Natural Gas Geoscience, 2007, 18(1): 37-40.
- [17] 张蕾. 盖层物性封闭力学机制新认识[J]. 天然气地球科学, 2010, 21(1): 112-116.
- Zhang Lei. Re-evaluation of cap rock physical sealing mechanic [J]. Natural Gas Geoscience, 2010, 21(1): 112-116.
- [18] 胡国艺, 汪晓波, 王义凤. 中国大中型气田盖层特征[J]. 天然气地球科学, 2009, 20(2): 162-166.
- Hu Guoyi, Wang Xiaobo, Wang Yifeng. Cap rock characteristics of medium and large gas fields in China[J]. Natural Gas Geoscience, 2009, 20(2): 162-166.
- [19] Selley R C. Elements of petroleum Geology[M]. Second ed. New York: Academic Press, 1998: 470.
- [20] Deming D. Factors necessary to define a pressure seal[J]. AAPG Bulletin, 1994, 78: 1005-1009.
- [21] Surdam R C. Seals, traps, and the petroleum system[J]. AAPG Memoir, 1997, 67: 31-48, 57-84.
- [22] 钱一雄, 邹远荣, 陈跃, 等. 塔里木盆地塔中西北部多期、多成因岩溶作用地质-地球化学表征——以中1井为例[J]. 沉积学报, 2005, 23(4): 596-603.
- Qian Yixiong, Zou Yuanrong, Chen Yue, et al. Geological and geochemical implications for multi-period and origin of carbonate Karstification in the Northwestern Tazhong—taking well Zhong-1 as an exemple, Northwestern Tazhong, Xinjiang[J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2005, 23(4): 596-603.

(编辑 李 军)