

川东地区侏罗系自流井组大安寨段页岩气(油)储层评价

卢炳雄¹,郑荣才²,梁西文³,徐文礼²

(1. 钦州学院 资源与环境学院,广西 钦州 535000; 2. 成都理工大学 油气藏地质及开发工程 国家重点实验室,四川 成都 610059; 3. 中国石化 江汉油田分公司 勘探开发研究院,湖北 武汉 530000)

摘要:以野外剖面观测和室内薄片鉴定为基础,结合沉积相、薄片鉴定、X-衍射、物性、孔隙结构和岩石力学分析,确定川东地区大安寨段有利储层为各类介壳灰岩与碳质页岩的不等厚互层组合体,以发育于大安寨段第二亚段(简称大二亚段)上部湖坡亚相的湖退型灰岩与页岩互层组合为相对优质的储集体,其脆性矿物含量明显高于下部,更易产生天然裂缝和进行储层的压裂改造。有机碳含量平均值为1.07%,明显大于下部的0.38%,对应的实测总含气量平均值为0.71 m³/t,明显大于下部的0.41 m³/t。运用岩石薄片、压汞资料、物性资料等多种常规技术分析大安寨段页岩储层储集物性特征,分析结果表明大安寨段储层均具有特低孔-特低渗性质。场发射扫描电镜分析结果证明了储集体纳米级孔隙的发育和分布规律。粒间孔隙中的粘土矿物层间孔在大二亚段最为发育,且连通性最好,与有机质有关的孔缝及刚性矿物边缘缝在大二亚段上部较为发育,颗粒内孔仅在大二亚段上部零星发育。综合分析确定大二亚段上部相对大安寨其他层位更具页岩气(油)勘探开发潜力,应给予足够重视。

关键词:孔隙结构;有机碳含量;页岩气;大安寨段;侏罗系;川东地区

中图分类号:TE122.2

文献标识码:A

Evaluation of reservoirs in the Da'anzhai Member of the Jurassic Ziliujing Formation in eastern Sichuan Basin

Lu Bingxiong¹, Zheng Rongcai², Liang Xiwen³, Xu Wenli²

(1. College of Resources and Environment, Qinzhou University, Qinzhou, Guangxi 535000, China; 2. State Key Laboratory of Oil and Gas Reservoir Geology and Exploration, Chengdu University of Technology, Chengdu, Sichuan 610059, China; 3. Exploration and Development Research Institute of Jiangnan Oil Company, SINOPEC, Wuhan, Hubei 530000, China)

Abstract: Reservoirs of interest in the Da'anzhai Member of the Ziliujing Formation in eastern Sichuan Basin were determined to be interbeds of shell limestone and carbonaceous shale of various thickness based on outcrop observation and thin section authentication with analyses of sedimentary facies, X-diffraction, physical properties, pore structure, and rock mechanics. The assemblage of lake regression limestone interbedded with shale of the sub-lacustrine-slope facies at the upper part of the second sub-member of the Da'anzhai was considered to be the relative good reservoirs as their content of brittle minerals were obviously higher than that of the lower part and were easily cracked and stimulated. Average TOC of the upper part was 1.07% contrasting with a 0.38% at the lower part. Measured total gas concentration of the upper was averaged at 0.71 m³/t, higher than 0.41 m³/t taken from the lower part. Thin section analyses, mercury injection test data as well as physical properties of the samples from the sub-member showed that the reservoirs were extra-low porosity and extra-low permeability. FESEM (field emission scanning electron microscopy) results confirmed the suspect of nano-scale pore structure. Interbedded pores of clay minerals among intergranular pores were considered to have the best connectivity in the sub-member and pores and cracks associated with organic matter as well as perimetral joints of rigid minerals were proved to be well developed at the upper part of the sub-member. The upper part of the sub-member also found to contain some sporadically distributed intragranular pores. It is therefore suggested that the upper part of the sub-member is more promising in terms of exploration potential than any other layers of the Da'anzhai Member.

Key words: pore structure, TOC, shale gas, Da'anzhai Member, Jurassic, eastern Sichuan Basin

收稿日期:2015-02-05;修订日期:2015-04-03。

第一作者简介:卢炳雄(1987—),男,博士研究生,矿物学、岩石学、矿床学专业。E-mail:10158258@qq.com。

通讯作者简介:郑荣才(1950—),男,教授、博士生导师,沉积学和石油地质学。E-mail:zhengrc@cdut.edu.cn。

基金项目:中国石油天然气总公司攻关项目(06-01A-02-01)。

1 地质概况

研究区位于四川盆地东部,隶属川东高陡构造带^[1],发育有一系列北东-南西向延伸和隔档式分布的大型复背斜和复向斜(图1),背斜核部主要出露下三叠统嘉陵江组,背斜两翼至向斜核部依次出露中三叠统雷口坡组、上三叠统须家河组、下侏罗统自流井组、中侏罗统新田沟组与沙溪庙组及上侏罗统遂宁组 and 蓬莱镇组等^[2-4]。川中地区侏罗系具备十分有利的油气成藏条件,王世谦等人指出川东地区侏罗系也具有相似的成藏条件和资源量^[5]。但前人的这些研究成果却未在实际勘探中得到重视,直至近几年中国石化集团在涪陵地区加大页岩(油)气勘探力度,并在梁平、忠县一带获得高产油气流,而主力产层正是侏罗系大安寨段。

2 大安寨段特征

从野外观测的结果看,川东地区下侏罗统自流井组大安寨段分布面积较大、厚度也较为稳定,岩性特征也具有一定的规律性(图2)。其底与本组马鞍山段为连续沉积关系,顶与中侏罗统新田沟组之间由暴露侵蚀冲刷面分隔。自上而下被划分为过渡层、大一段、大二段和大三段4个亚段^[6-7],沉积演化经历滨湖、浅湖、湖坡、深-半深湖后,又折回湖坡、浅湖、滨湖和暴露状态,形成了完整湖侵-湖退旋回^[6-9]。大三亚段

岩性主要为介壳灰岩与暗色页岩互层组合;大二亚段为反映深水还原环境的大套暗色泥质岩夹薄层或纹层状介壳灰岩组合,以该亚段中、上部的暗色页岩颜色最深,连续沉积厚度较大以及有机质含量最高;大一下段以灰色-深灰色介壳灰岩为主,部分含少量泥质,暗色页岩呈条带状分布;过渡层为泥岩与砂岩的互层组合,由于暴露风化的原因呈灰绿色和紫红色。从页岩气成藏条件的角度看,泥页岩是物质基础,大二亚段主要为一套深色页岩夹薄层状介壳灰岩的岩性组合,泥页岩厚度大,有机质含量高,无疑是有利勘探目标层,而大一大三段的页岩厚度要小的多,难以作为页岩气勘探理想目标,因此本文将以大二亚段为研究重点。

3 大安寨段页岩气(油)储层评选

结合野外观测和实验测试数据,可以看出川东地区大安寨段大二亚段页岩沉积厚度大、分布面积较广、埋藏深度适中、有机碳含量 TOC 中等偏高、有机质类型较好、热演化程度适中、脆性矿物含量较高等特点,理论上具备优越的页岩气(油)成藏条件,而近期在川东地区大安寨段非常规油气藏勘探取得的重大进展也充分的证明了这点^[10-14]。本文根据研究区大安寨段纵向上储层岩石类型、物质组分、有机质碳含量、微观孔隙特征、物性特征、含气量分析等指标,对大安寨段页岩气(油)储层进行评价和优选,为明确勘探目标,提高勘探效率提供参考。

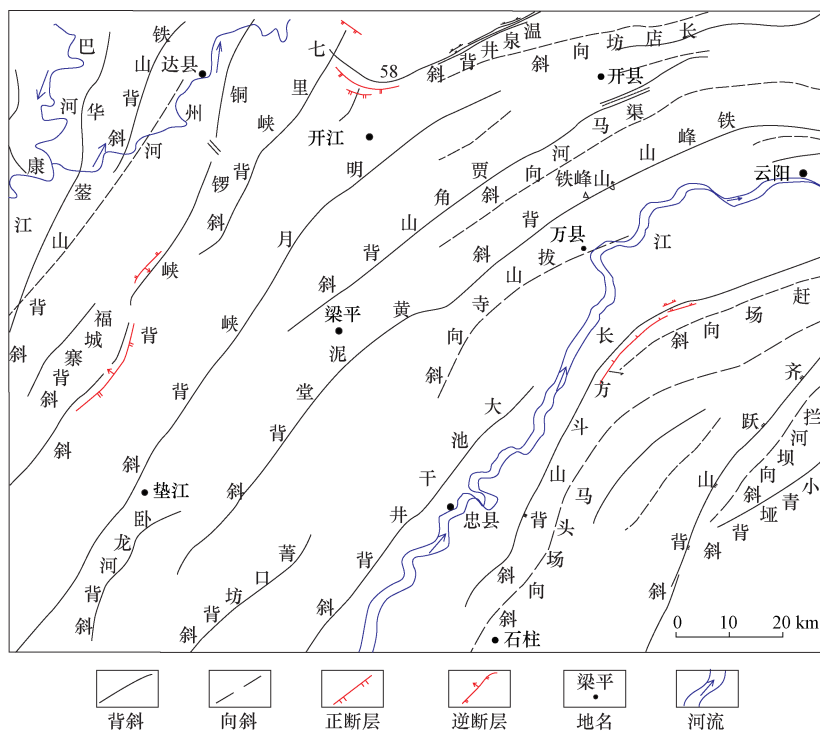


图1 四川盆地东部区域构造特征

Fig. 1 Diagram showing the regional structural features of eastern Sichuan Basin

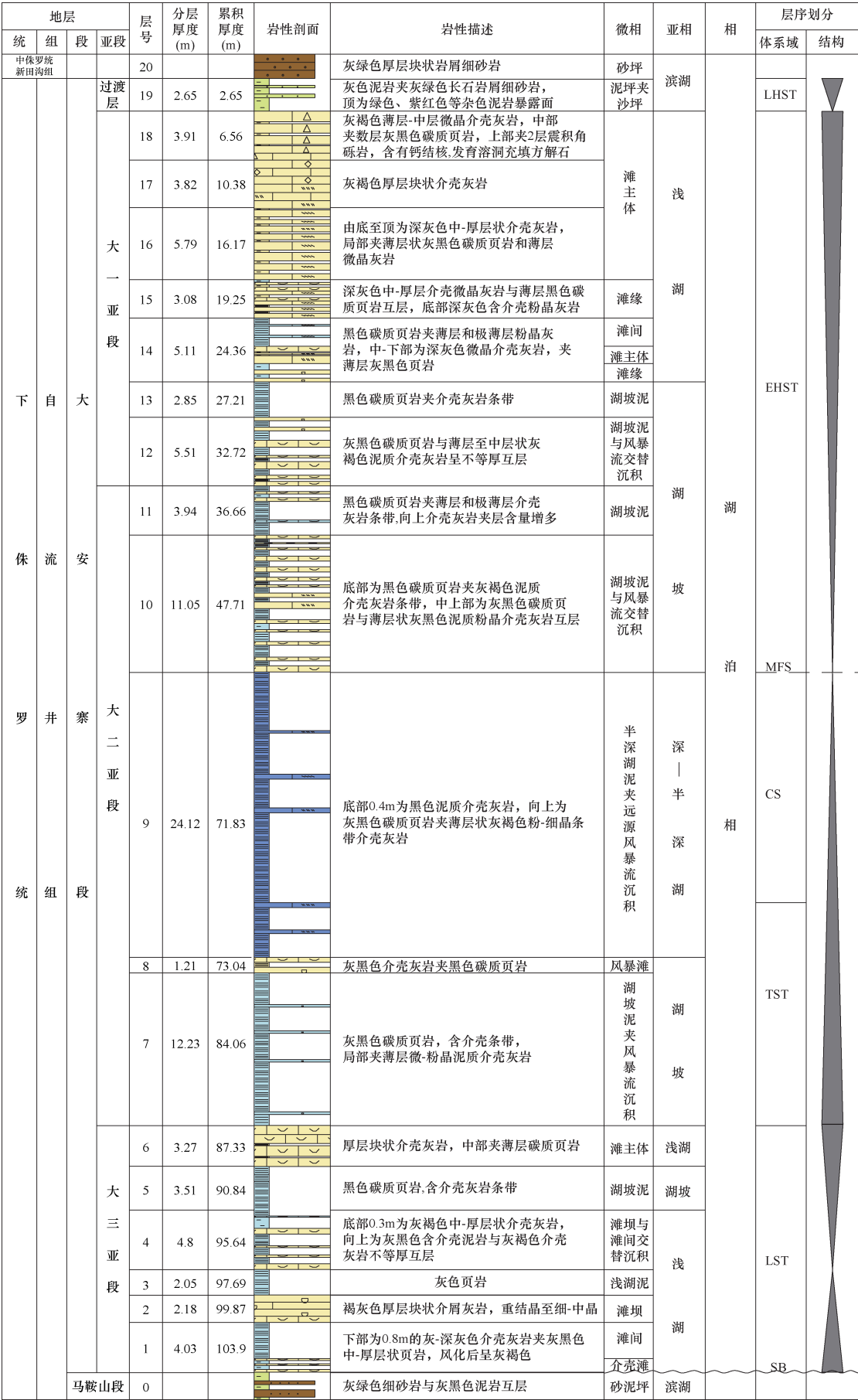


图 2 梁平县福禄镇下侏罗统自流井组大安寨段沉积 - 层序综合柱状图

Fig. 2 Comprehensive column of sedimentary facies and sequence stratigraphy of the Da'anzhai Member of the Ziliujing Formation at the Lower Jurassic in Fulu of Liangping County

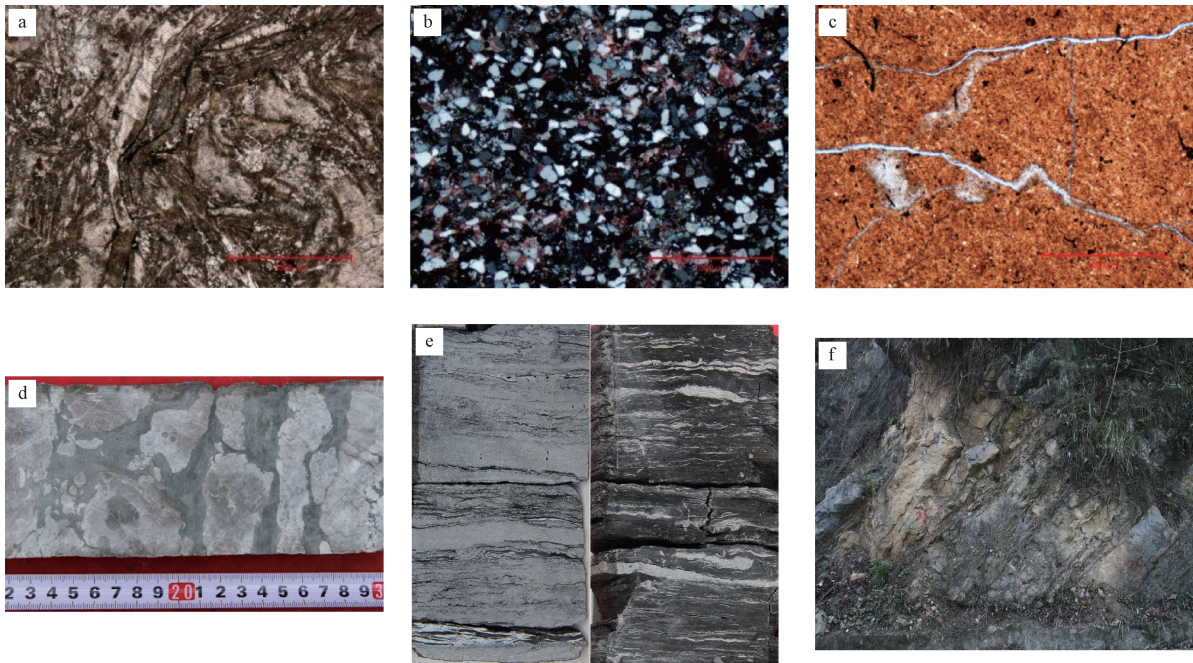


图3 大安寨段野外照片及岩石类型图版

Fig. 3 Field photos and rock type chart in Da'anzhai Member

a. 泥质介壳灰岩,介壳体被强烈压实变形和破裂,发育不规则成岩压裂缝,缝中充填有沥青,FY3-2井,大二亚段;b. 钙质细粒岩屑砂岩,金鸡场剖面,FY3-2井,大一亚段;c. 泥岩,发育不规则的成岩压裂缝,裂缝周围发生溶蚀形成溶孔,FY3-2井,大二亚段;d. 震积角砾状灰岩,角砾不规则的塑性变形,砾间被灰绿色泥质物充填胶结,FY3-2井,大一亚段;e. 左侧为介壳灰岩夹条带状黑色页岩,右侧为黑色页岩夹条带状和纹层状介壳灰岩,风暴流沉积,FY3-2井,大二亚段;f. 自下而上浅湖生物滩微相块状介壳灰岩增多加厚,暗色泥页岩减薄,梁平福祿镇剖面,大二亚段

表 1 大安寨段各类岩石孔隙度与渗透率数据

Table 1 Statistics of porosity and permeability of various types of rocks from the Da'anzhai Member

岩性	样品数/件	孔隙度/%			渗透率/(10 ⁻³ μm ²)		
		最大值	最小值	平均值	最大值	最小值	平均值
灰岩	98	3.22	0.13	1.14	3.102	0.057	0.352
页岩	57	5.92	0.02	1.90	9.790	0.084	1.760
砂岩	4	0.36	4.80	2.47	0.775	0.190	0.327

3.1 储层岩石类型及物质组分

3.1.1 储层岩石学特征

大安寨段的岩石类型主要包括灰岩(图 3a)、砂岩(图 3b)、泥页岩(图 3c)、震积角砾岩(图 3d),主体以灰岩、泥页岩及灰泥互层为主,砂岩和震积角砾岩仅少量发育。在以往的研究中认为储集性较好的岩石类型主要为石灰岩类,其实不然,从表 1 中可看出大安寨段泥页岩的平均孔隙度为 1.9%,平均渗透率则为最高可达 1.76×10⁻³ μm²。从物性数据上看,页岩的储集性要好于灰岩和砂岩。对大安寨段页岩气储层的 24 个样品采用低温液氮吸附法,并通过 BET 方程计算其比表面积,测试结果中有 6 个灰岩样品的比表面积平均值为 2.7 m²/g,18 个页岩样品的比表面积平均值为 6.8 m²/g,远高于灰岩,说明泥页岩中的微孔隙较灰岩更为发育。

大二亚段中的页岩抗压性较差,属塑性较强的岩石类型,而灰岩的抗压性则较强,属于刚性较强的岩石类型(表 2),含泥质介壳灰岩的抗压性介于两者之间,但更接近于页岩。相比单一岩性的灰岩或者页岩,发育于湖坡亚相中的页岩与灰岩条带组成的岩性组合体(图 3e,f)的抗压性降低,刚性也有相应的增强,这也使得这种组合体更加容易发育成岩裂缝和构造裂缝,这些裂缝对于像大安寨这样的致密储层而言意义重大,它们既提

表 2 大安寨段各类岩石力学分析结果

Table 2 Statistics of mechanics analyses of various types of rock from the Da'anzhai Member

岩性	样品数/件	单轴抗压强度/MPa		弹性模量/GPa	
		范围	平均值	范围	平均值
泥页岩	7	11.32~52.59	29.57	0.35~3.18	1.24
泥质介壳灰岩	6	30.32~51.41	39.97	0.93~5.93	1.57
介壳灰岩	2	102.12~103	102.56	5.29~5.93	5.61

表 3 大安寨段页岩矿物含量
Table 3 Mineral content in shale samples from the Da'anzhai Member

深度/m	岩性	粘土 总量/%	粘土矿物含量/%				伊/蒙比 (I/S)	脆性矿物含量/%					
			伊/蒙混 层(I/S)	伊利石 (I)	高岭石 (K)	绿泥石 (C)		石英	斜长石	方解石	白云石	菱铁矿	黄铁矿
2 209.30	深灰黑色页岩	27.40	30.00	36.00	16.00	18.00	15	15.60	2.60	2.80	44.70	—	6.90
2 227.92	灰黑色含灰页岩	50.60	49.00	30.00	10.00	11.00	20	26.40	5.10	11.40	—	1.90	4.60
2 227.92	灰黑色灰质页岩	37.60	36.00	31.00	13.00	20.00	20	27.00	2.80	28.30	—	2.20	2.10
2 227.92	深灰色灰质页岩	38.10	29.00	39.00	19.00	13.00	25	43.00	5.50	8.90	—	2.70	1.80
2 227.92	灰黑色灰质页岩	35.70	37.00	28.00	20.00	15.00	25	35.30	1.80	20.10	3.10	1.60	2.40
2 227.92	黑灰色灰质页岩	50.00	31.00	30.00	21.00	18.00	20	24.50	2.70	19.00	2.40	—	1.40
2 236.83	深灰色泥页岩	48.30	35.00	24.00	24.00	17.00	25	25.80	6.70	19.20	—	—	—
2 236.83	灰黑色页岩	46.80	40.00	26.00	20.00	14.00	25	34.60	2.60	9.40	4.80	1.80	—
2 236.83	灰质泥岩	27.30	32.00	21.00	26.00	21.00	25	56.00	1.80	10.30	4.60	—	—
2 255.26	深灰色含灰页岩	51.10	40.00	31.00	19.00	10.00	20	31.20	—	17.70	—	—	—
2 255.26	黑灰色页岩	46.30	42.00	33.00	15.00	10.00	20	40.50	2.90	7.50	2.80	—	—
2 255.26	灰黑色灰质页岩	44.70	43.00	30.00	15.00	12.00	20	42.60	2.20	8.20	2.30	—	—
2 255.26	灰黑色含灰页岩	45.30	43.00	36.00	12.00	9.00	15	32.20	2.10	17.30	1.30	—	1.80
2 255.26	深灰色灰质泥岩	48.30	39.00	31.00	20.00	10.00	25	31.40	1.70	10.20	8.40	—	—
2 255.26	深灰色页岩	62.40	35.00	40.00	17.00	8.00	25	23.70	2.20	8.80	—	1.30	1.60

供了重要的储集空间又可成为油气的运移通道^[15]。构造期前后所发生的溶蚀作用往往也是受这些不规则的裂缝所控制,为其提供通道,从而形成以裂缝和微孔隙为主的非均质性较强的非常规致密储层。

近期的勘探实践也证明了大安寨段储层并非纯介壳灰岩,而是各类灰岩、特别是泥质介壳灰岩与碳质页岩的不等厚互层组合体。在这样的组合体中,渗透率随着页岩夹层增多加厚而趋于降低,说明组合体中页岩夹层过多不利储层发育。无论是在剖面上还是平面上,有效储集体大都位于介壳滩与湖坡的过渡带,有较稳定的发育层位和较大的分布范围。大二亚段中部发育深—半深湖亚相,岩性主要为大套暗色泥页岩。在大二亚段下部和上部均属于湖泊亚相,从层序地层的角度来看,下部属于湖进湖泊,上部为湖退型湖泊,湖退型湖泊中沉积的灰岩所占比例要大于湖进型湖泊,纵向上更多地表现为泥质介壳灰岩向上略趋增多且加厚的泥岩与灰岩的薄互层组合,属于相对较为优质储层的岩性组合。

3.1.2 矿物组分

页岩储层的矿物组成为粘土矿物和脆性矿物(表 3),粘土矿物含量为 27.4%~62.4%,平均值为 43.99%,其成分及含量分别为:伊利石(31.06%)、伊/蒙混层(37.4%)、高岭石(17.8%)、绿泥石(13.73%);脆性矿物含量为 37.6%~72.6%,平均值为 56.01%,其成分及含量分别为:石英(32.65%)、斜长石(2.85%)、方解石(13.27%)、白云石(4.96%)、黄铁矿(1.51%)、菱铁矿(0.77%)。脆性矿物总体来说含量较高,这也使得页岩易于压裂,进而利于页岩气(油)储层的发育。然而从纵向上看,大二亚段脆性矿物含量随着深度的增加呈递减的趋势(图 4a),大二亚段上部的脆性矿物含量明显要大于下部,更有利于天然裂缝的

发育和储层压裂改造。

3.2 储层物性及储层空间特征

3.2.1 储层物性特征

运用岩石薄片分析、压汞资料、物性资料等多种常规技术分析大安寨段页岩储层储集物性特征,159 个样品的实测孔隙度统计分析结果表明,大安寨段岩性十分致密,且在纵向上变化不大(图 5),储层孔隙度最大值为 5.92%,最小值为 0.02%,平均值为 1.47%。其中 46% 的样品孔隙度小于 1%,26% 的样品孔隙度为 1%~2%,28% 的样品孔隙度大于 2%。储层渗透率最大值为 $12.3 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$,最小值为 $0.057 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$,平均值为 $0.67 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$,90% 的样品渗透率小于 $1 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$,其中 30% 的样品渗透率小于 $0.1 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 。上述孔、渗特征表明大安寨段储层具有特低孔—特低

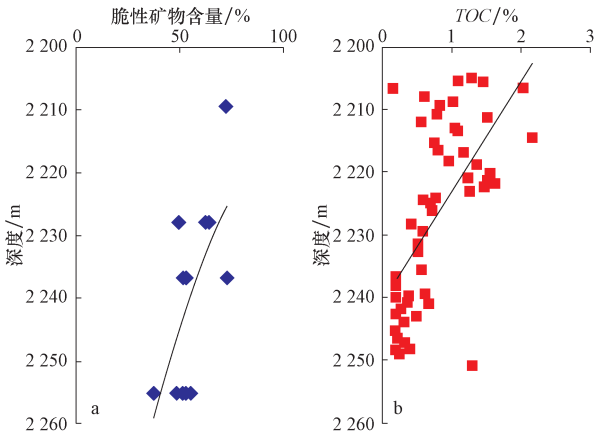


图 4 大二亚段脆性矿物含量(a)及有机碳含量(b)随深度变化特征

Fig. 4 Content of brittle minerals(a) and TOC(b) changing with depth of the sub-member of the Da'anzhai Member

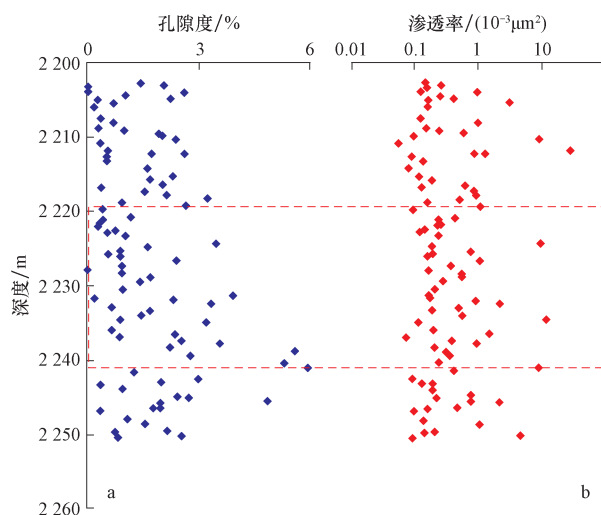


图5 大二亚段孔隙度 a)、渗透率 b) 随深度变化特征

Fig. 5 Porosity a) and permeability b) changing with depth of the sub-member of the Da'anzhai Member

渗性质。结合岩心观察、铸体薄片及利用场发射电镜扫描资料,可确定大安寨段储层属于典型的、非均质性较强和以超微孔隙与超微裂缝共生为显著特点的非常规致密储层,利用常规的薄片鉴定手段,几乎看不到有效孔隙,仅见极少量的成岩压裂缝(图6a)和溶蚀孔隙(图6b)。从常规物性数据上看很难选出优势储层段,因此采用场发射扫描电镜的手段,研究大二亚段纳米级孔隙特征及其分布规律。

3.2.2 储层微观孔隙类型

应用场发射电镜扫描技术,大安寨段页岩储层中可观察到的纳米-微米级孔隙类型较多,主要有如下几类。

1) 有机质孔

此类孔隙的形成与有机质含量和热演化程度有关^[16-18],孔隙连通性好坏与该类型孔隙的发育程度成正相关关系。研究区大安寨段页岩的有机质丰度中等、热演化程度不高,造成有机质孔(图6c)总体上不发育,大安寨段页岩中此类孔隙仅在大二亚段上部较为发育,连通性一般,大二亚段下部仅零星可见该类空隙。

2) 颗粒内孔

页岩气储层中的石英颗粒可形成溶蚀内孔,黄铁矿颗粒由于晶体形态及排列分布可产生内部微孔隙(图6d),生物化石碎片形成后也具有内部孔隙。从表3中可以看出,大二亚段上部黄铁矿含量明显大于下部,且随着深度的增加,黄铁矿含量呈递减趋势,该孔隙在大二段上部零星发育,连通性较差。

3) 粒间孔隙

含气页岩在形成过程中存在大量的微沉积构造,这是沉积物在古沉积环境中运移产生的各种颗粒间的不完全胶结或后期成岩改造产生的粒间孔隙^[19]。粘

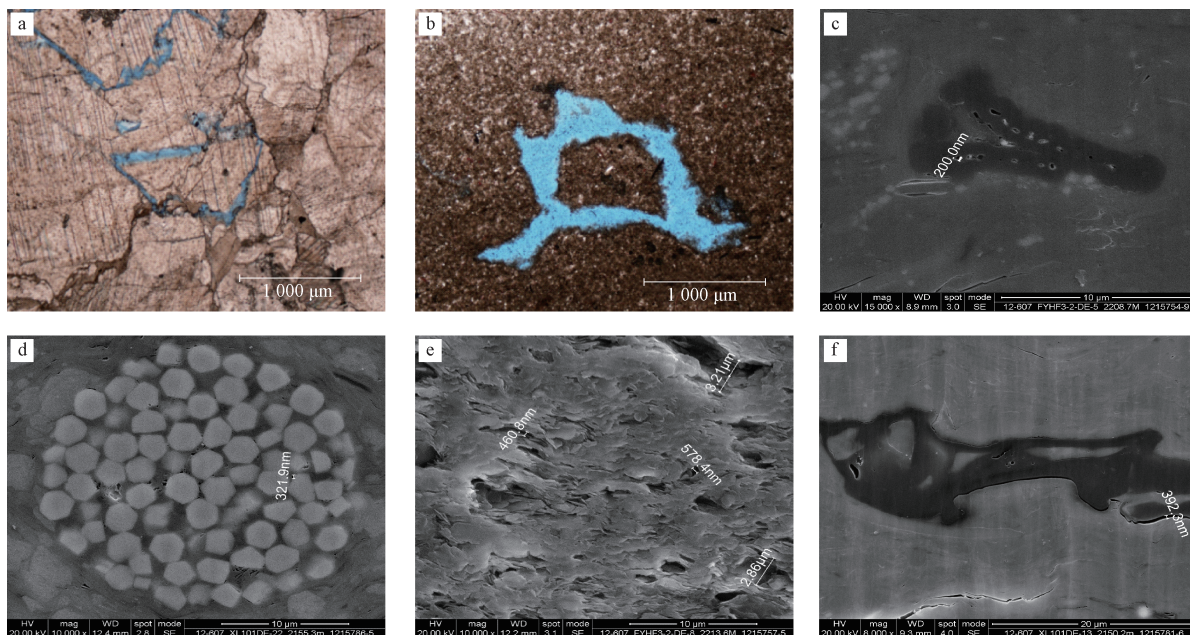


图6 大安寨段孔隙类型图版

Fig. 6 Chart showing various porosity of shale samples from the Da'anzhai Member

a. 粗晶灰岩,发育不规则的成岩压裂缝,裂缝及其周围有被溶蚀扩大和发育有溶孔的现象,FY2-2井,大一亚段;b. 泥质岩,由强烈溶蚀形成的较大溶孔,FY3-2井,大二亚段;c. FY3-2井,埋深2 205.2 m,大二亚段,黑色页岩中纳米级的有机质孔;d. 兴隆101井,埋深2 155.3 m,大二亚段,灰黑色页岩,莓球状黄铁矿集合体中小晶体之间的纳米-微米级晶间孔;e. 涪页3-2HF井,埋深2 212.1 m,大二亚段,灰黑色页岩,粘土矿物层间很发育的微米级层间溶孔;f. 兴隆101井,埋深2 150.2 m,大二亚段,有机质边缘缝

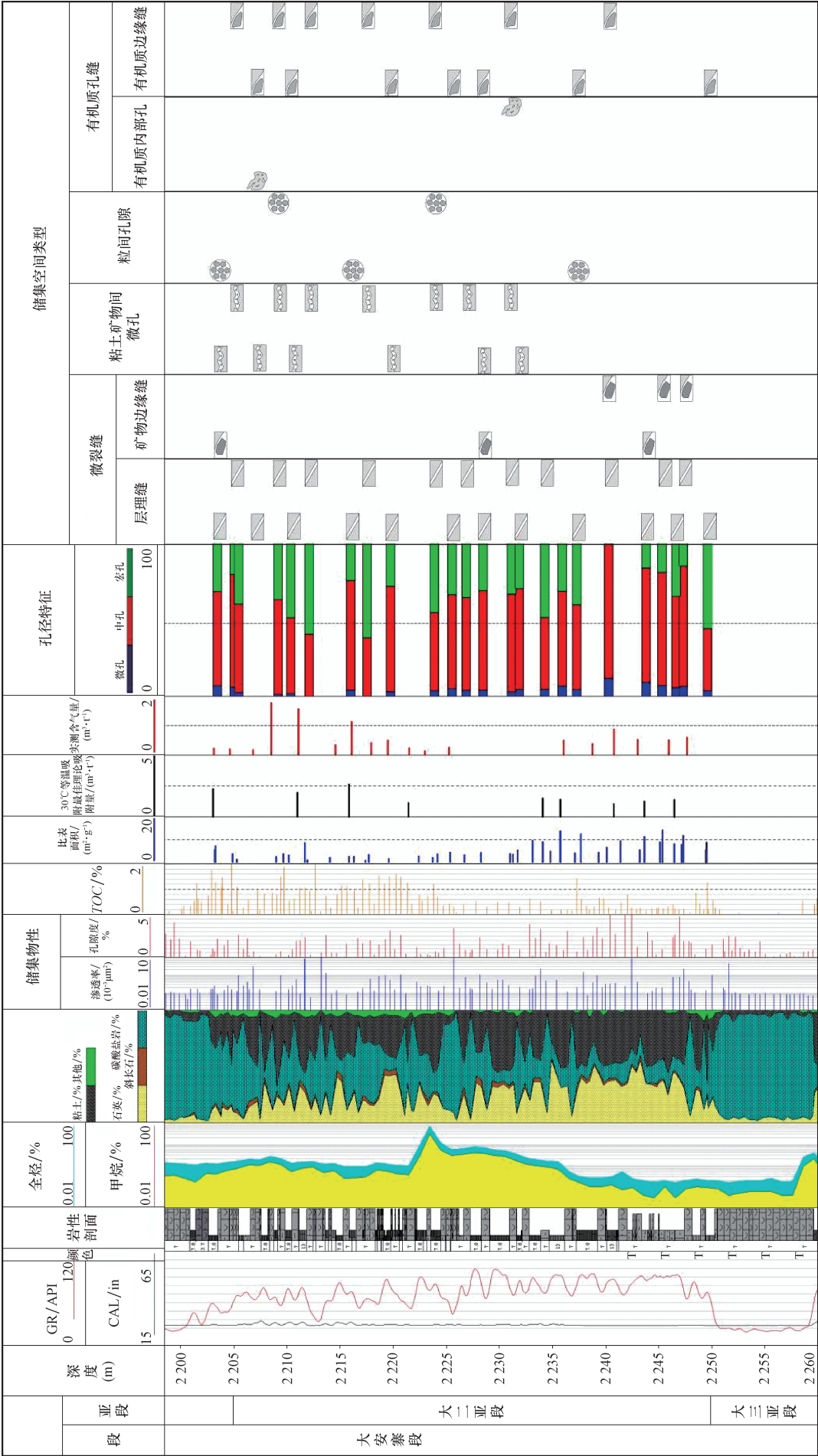


图7 大安寨段FY3-2HF井纵向微孔、缝分布特征
Fig.7 Vertical distribution of micro-pores and fractures in well FY 3-2HF in the Da'anzhai Member

土矿物层间孔就属于此种孔隙类型,且在大安寨段页岩中也较为发育。泥质岩中发育的大量水平微层理是形成粘土矿物层间孔隙的物质基础,成为粘土矿物、尤其是片状伊利石在沉积-成岩过程中可形成带静电的微纹层集合体,纹层中的粘土之间通过同电性的相互排斥力支撑而形成众多顺微层理分布的超微孔隙,多为微米级,连通性好,具备形成页岩气渗流通道的条件^[20]。

4) 微裂缝

微裂缝在页岩气研究中具有重要的价值,是钻井、压裂及改造处理的重要参考因素^[21]。大安寨段页岩中,此类裂缝多为纳米-微米级,断面呈粗糙的波状,偏向于张性,无充填物,对改善储层的孔渗性有重要意义。同时在氩离子抛光-扫描电镜观察中,可见粉砂颗粒(石英、长石)、碳酸盐等刚性矿物颗粒,其边缘常发育几十纳米至几微米的微裂缝,在大二段上部,有机质边缘缝发育(图6f)。

通过对兴隆101井和FY3-2HF井薄片、扫描电镜、氩离子抛光-扫描电镜综合分析可知,大二亚段储层中粘土矿物层间溶孔和粘土矿物层间孔隙最为发育,连通性最好,在整个大二亚段中发育较为均匀,但与有机质有关的孔缝和脆性矿物边缘缝在大二亚段上部发育较多,在大二亚段下部相对发育较少(图7),这跟大二亚段上部有机碳含量和脆性矿物含量明显大于下部有关,颗粒内孔仅在大二亚段上部零星发育,因此在储集空间上看大二亚段上部要优于下部。

3.3 有机碳含量及含气量

有机碳含量是评价页岩气藏储量的一个重要指标,大安寨段页岩的有机碳含量(TOC)相对于美国5大页岩气盆地要低,平均值为0.78%,最大值为2.16%,最小值为0.16%,大二亚段有机质成熟度(R_o)介于1.11%~1.23%,处于“凝析油气”阶段^[22-25]。通过对大二亚段有机数据统计分析,随着深度的增加,大二亚段泥页岩中有机质含量呈下降的趋势(图4b)。以2230 m为界,上部的TOC范围为0.16%~2.16%,平均值为1.07%;下部TOC范围为0.19%~1.29%,平均值为0.38%。大二亚段上部TOC明显高于下部,这可能与大二亚段上部属湖退型湖坡的沉积环境有关,其沉积环境的还原性大于湖进型湖坡,更利于有机质的保存。因此,大二亚段上部的生油潜力要大于下部,实测含气量分析也验证了此特点。

FY3-2井随深度变化的含气量测试分析结果表明(图8),大二亚段上部(2203.5~2221.4 m)有机碳含量较高,对应的实测总气量较大,其范围介于0.18~1.8 m³/t,平均值为0.71 m³/t;其中有

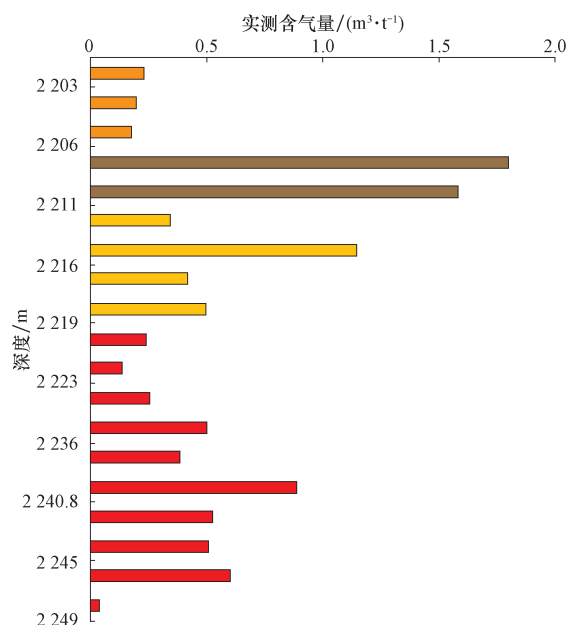


图8 大安寨段页岩随深度变化实测含气量

Fig. 8 Measured gas content of shale samples changing with depth of the Da'anzhai Member

2208.47~2208.75, 2211.04~2211.31及2217.54~2217.82三段大于1 m³/t,最高可达1.8 m³/t;而大二亚段下部解吸气量较低,下部实测总气量为0.04~0.89 m³/t,平均值仅为0.41 m³/t。FY3-2HF井大二亚段泥页岩在早白垩世达到主生烃阶段,其后经历燕山运动与喜马拉雅运动,遭受抬升剥蚀,使得现今泥页岩以中孔为主,部分吸附的气态烃发生解吸转变为游离气,赋存于微裂缝中,甚至运移至上覆大一亚段中。这就解释了大二亚段页岩虽以吸附气为主,但实测含气量整体不高。而大二亚段上部(2203.5~2221.4 m)有机含量相对较高,生烃强度较大,有机质边缘缝发育,吸附能力较强,虽然损失一部分气态烃,但实测含气量仍然较高,最高可达1.8 m³/t;大二亚段下部有机碳含量低,生烃能力不足,加之抬升解吸,实测含气量较低,其勘探潜力不如上部。

4 结论

1) 大安寨段的岩石类型主要包括灰岩、砂岩、泥页岩、震积角砾岩,主体以灰岩、泥页岩及灰泥互层为主,储层并非为单一岩石类型,而是各类灰岩、特别是泥质介壳灰岩与暗色泥页岩的不等厚互层组合体。

2) 大安寨段主要宏观孔隙类型主要为成岩压裂缝和溶蚀孔隙;微观孔隙(纳米级孔隙)类型主要包括有机质孔、颗粒内孔、粒间孔隙和微裂缝,其中最为发育的是粘土矿物层间孔,连通性最好。

3) 大二亚段上部的岩石类型组合更利于储层的

发育;其脆性矿物含量、有机碳含量、实测含气量更高;有机质孔缝、颗粒内孔和脆性矿物边缘缝更发育。因此,大二亚段上部应当视为研究区大安寨段页岩气(油)勘探目标的重点层位。

参 考 文 献

- [1] 李忠权,冉隆辉,陈更生,等. 川东高陡构造成因地质模式与含气性分析[J]. 成都理工学院学报,2002,29(6):605-609.
Li Zhongquan, Ran Longhui, Chen Gengsheng, et al. Genetic geologic model and gas-bearing analysis of high and steep structures in East Sichuan[J]. Journal of Chengdu University of Technology, 2002, 29(6):605-609.
- [2] 张金川,聂海宽,徐波,等. 四川盆地页岩气成藏地质条件[J]. 天然气工业,2008,28(2):151-156.
Zhang Jinchuan, Nie Haikuan, Xu Bo, et al. Geological condition of shale gas accumulation in Sichuan basin[J]. Natural Gas Industry, 2008, 28(2):151-156.
- [3] 郑荣才,何龙. 四川盆地东部地区大安寨段页岩气(油)成藏条件分析[J]. 天然气工业,2013,33(12):30-40.
Zheng Rongcai, He Long. The Accumulation conditions of Da'anzhai shale gas(oil) in eastern Sichuan basin[J]. Natural Gas Industry, 2013, 33(12):30-40.
- [4] 顾忠安,郑荣才,王亮,等. 渝东涪陵地区大安寨段页岩储层特征研究[J]. 岩性油气藏,2014(2):67-73.
Gu Zhongan, Zheng Rongcai, Wang Liang, et al. Characteristics of shale reservoir of Da'anzhai segment in fuling area, eastern Chongqing[J]. Lithologic Reservoirs, 2014(2):67-73.
- [5] 王世谦,胡素云,董大忠. 川东侏罗系——四川盆地亟待重视的一个致密油气新领域[J]. 天然气工业,2012,32(12):22-29.
Wang Shiqian, Hu Suyun, Dong Dazhong. Jurassic tight oil & gas resources in East Sichuan Basin: A new exploration target[J]. Natural Gas Industry, 2012, 32(12):22-29.
- [6] 梁西文,徐文礼,顾忠安,等. 渝东地区大安寨段沉积相特征及有利区预测[J]. 岩性油气藏,2014(2):1-8.
Liang Xiwen, Xu Wenli, Gu Zhongan, et al. Sedimentary facies and favourable area prediction of Da'anzhai segment in eastern Chongqing[J]. Lithologic Reservoirs, 2014(2):1-8.
- [7] 郑荣才. 四川盆地地下侏罗统大安寨段高分辨率层序地层学[J]. 沉积学报,1998,16(2):42-49.
Zheng Rongcai. High resolution sequence stratigraphy of Daanzhai Formation, Lower Jurassic in Sichuan basin[J]. Acta Sedimentologica Sinica, 1998, 16(2):42-49.
- [8] 胡宗全,郑荣才,熊应明. 四川盆地地下侏罗统大安寨组层序分析[J]. 天然气工业,2000,20(3):34-37,8.
Hu Zongquan, Zheng Rongcai, Xiong Yingming. Sequence analysis of Da'anzhai Formation of lower Jurassic In Sichuan basin[J]. Natural Gas Industry, 2000, 20(3):34-37,8.
- [9] 马如辉. 利用层序地层学方法预测川东北大安寨段介屑滩分布[J]. 天然气工业,2005,25(2):58-60,206-207.
Ma Ruhui. Predicting the distribution of bio-fragmental beaches in Da'anzhai member in Northeast Sichuan by sequence stratigraphic method[J]. Natural Gas Industry, 2005, 25(2):58-60,206-207.
- [10] Howard J J. Porosimetry measurement of shale fabric and its relationship to illite/smectite diagenesis[J]. Clays and Clay Minerals, 1991, 39(4):355-361.
- [11] Sondergeld C H, Ambrose R J, Rai C S. Microstructural studies of gas shales [C]//SPE Unconventional Gas Conference, Pennsylvania, USA. New York: SPE, 2010.
- [12] Milner M, Melin R, Petriello J, et al. Imaging texture and porosity in mudstones and shales: Comparison of secondary and ion-milled backscatter SEM methods [C]//Canada: Canadian Unconventional Resources & International Petroleum Conference, October 19-21, Alberta, 2010.
- [13] Elgmati M, Zhang H, Bai B, et al. Submicron-pore characterization of shale gas plays [C]//North American Unconventional Gas Conference and Exhibition, 2011.
- [14] Curtis M, Ambrose R, Sondergeld C, et al. Structural characterization of gas shales on the micro-and nano-scales [C]//Canadian Unconventional Resources and International Petroleum Conference, 2010.
- [15] 郑荣才. 四川盆地大安寨段储层裂缝的声发射实验[J]. 成都理工学院学报,1997,24(4):3-10.
Zheng Rongcai. Acoustic emission experiment of reservoir fracture of the Da'anzhai formation, lower Jurassic in Sichuan basin[J]. Journal of Chengdu University of Technology, 1997, 24(4):3-10.
- [16] Jarvie D M, Hill R J, Ruble T E, et al. Unconventional shale-gas systems: The Mississippian Barnett Shale of north-central Texas as one model for thermogenic shale-gas assessment [J]. AAPG Bulletin, 2007, 91(4):475-499.
- [17] Loucks R G, Reed R M, Ruppel S C, et al. Morphology, genesis, and distribution of nanometer-scale pores in siliceous mudstones of the mississippian barnett shale [J]. Journal of Sedimentary Research, 2009, 79:848-861.
- [18] Behar F, Vandenbroucke M. Chemical modelling of kerogens [J]. Organic Geochemistry, 1987, 11(1):15-24.
- [19] 陈尚斌,朱炎铭,王红岩,等. 川南龙马溪组页岩气储层纳米孔隙结构特征及其成藏意义[J]. 煤炭学报,2012,37(3):438-444.
Chen Shangbin, Zhu Yanming, Wang Hongyan, et al. Structure characteristics and accumulation significance of nanopores in Longmaxi shale gas reservoir in the southern Sichuan Basin [J]. Journal of China Coal Society, 2012, 37(3):438-444.
- [20] 陈萍,唐修义. 低温氮吸附法与煤中微孔隙特征的研究[J]. 煤炭学报,2001,37(5):552-556.
Chen Ping, Tang Xiuyi [J]. Journal of China Coal Society, 2001, 37(5):552-556.
- [21] Kang S M, Fathi E, Ambrose R J, et al. Carbon dioxide storage capacity of Organic-Rich shales [J]. SPE Journal, 2011, 16(4):842-855.
- [22] Ross D K, Bustin R M. Characterizing the shale gas resource potential of devonian mississippian strata in the Western Canada sedimentary Basin: application of an integrated formation evaluation [J]. AAPG Bulletin, 2008, 92(1):87-125.
- [23] Kennedy M J, Pevear D R, Hill R J. Mineral surface control of organic Carbon in black shale [J]. Science (New York, N. Y.), 2002, 295(5555):657-660.
- [24] 张大伟. 加速我国页岩气资源调查和勘探开发战略构想[J]. 石油与天然气地质, 2010, 31(2):135-139, 150.
Zhang Dawei. Strategic concepts of accelerating the survey, exploration and exploitation of shale gas resources in China [J]. Oil & Gas Geology, 2010, 31(2):135-139, 150.
- [25] 涂乙,邹海燕,孟海平,等. 页岩气评价标准与储层分类[J]. 石油与天然气地质, 2014, 35(1):153-158.
Tu Yi, Zou Haiyan, Meng Haiping, et al. [J]. Oil & Gas Geology, 2014, 35(1):153-158.

(编辑 董立)