

doi: 10.3969/j.issn.1007-3701.2016.02.008

湘中涟源凹陷中二叠统小江边组页岩气勘探前景分析

白云山¹, 王强¹, 苗凤彬¹, 曾雄伟¹, 曾平², 路鹏²

BAI Yun-Shan¹, WANG Qiang¹, MIAO Feng-Bin¹, ZENG Xiong-Wei¹, ZENG Ping², LU Peng²

(1. 中国地质调查局武汉地质调查中心, 武汉 430205; 2. 湖南省煤田地质局第一勘探队, 耒阳 421800)

(1. Wuhan Center of China Geological Survey, Wuhan 430205, Hubei, China;

2. The First Prospecting Team of Hunan Coal Geology Bureau, Leiyang, 421800 Hunan, China)

摘要:对湘中涟源凹陷中二叠统小江边组页岩气有利层位进行了地球化学、物性特征分析,结合地质保存条件对小江边组含气页岩层进行综合解析。主要物化指数:TOC 介于 0.61%~3.98%之间,平均值为 1.64%;Ro 值范围为 1.61%~2.31%,均值为 1.88%;有机质类型为 I 型、II₁型,具有良好的生油生气潜力;脆性矿物含量 60%~86%,脆性矿物含量较高;其有效孔隙度为 2.81%~4.11%,渗透率为 0.00267~0.00299 mD;厚度主要范围为 40~130 m。小江边组具有一定的埋深,主要分布于中部构造带宽缓向斜中,具有较好的页岩气开发前景。

关键词:湘中;涟源凹陷;中二叠统;小江边组;页岩气

中图分类号:P534.46,P618.13

文献标识码:A

文章编号:1007-3701(2016)02-159-07

Bai Y S, Wang Q, Miao F B, Zeng X W, Zeng P and Lu P. Exploration Prospects Analysis of Shale Gas of Middle Permian Xiaojiangbian Formation in the Lianyuan Depression, Central Hunan Province. *Geology and Mineral Resources of South China*, 2016, 32(2):159-165.

Abstract: The analyses on characteristics of physical properties and geochemistry were taken on the favorable horizon of the shale gas of the Permian Xiaojiangbian Formation of the Lianyuan Depression in Central Hunan Province, and a comprehensive interpretation was made together with the geological conditions. The results show that the total organic content(TOC) is between 0.61%~3.98%, with the average of 1.64%; organic material maturity(Ro) varies between 1.61%~2.31%, with the average of 1.88%; the main organic type is I and II₁, with a good potential for oil and gas. Brittleness mineral accounts for 60%~86%, which could be considered high; The effective porosity is 2.81%~4.11%, and the permeability is 0.00267~0.00299 mD. The thickness varies between 40m~130m. The Xiaojiangbian Formation buried in depth, mainly distributes in the trapped syncline of the central structural belt, with bright prospects of shale gas development.

Key words: Shale gas; Xiaojiangbian Formation; Lianyuan Depression; Middle Permian; Central Hunan Province

页岩气作为一种新型在非常规天然气已受到国内各界的高度重视,近几年也加大了对页岩气的勘探开发力度。中国地质调查局武汉地质调查中心于 2014 年开展了湘中坳陷页岩气资源远景调查工作项目,在对涟源凹陷页岩气调查工作中新发现了二叠系中统小江边组黑色泥页岩层系,并对小江边

收稿日期:2016-03-22;修回日期:2016-05-19.

基金项目:中国地质调查局项目“湖南涟源地区 1:5 万页岩气地质调查(12120115100401)”资助。

第一作者:白云山(1964—),男,教授级高级工程师,主要从事油气地质调查工作,E-mail:380112697@qq.com.

组地层含气性进行了研究分析和探讨。

1 地质背景

1.1 区域概况

涟源凹陷位于湘中坳陷北端,新化—娄底一带,整体呈北西西向展布,沉积基底为前泥盆系,盖层从泥盆系到第四系均有发育,区域构造线呈NE-NNE向,面积约6770 km²。图1所示为涟源凹陷区域概况图,此凹陷外部西雪峰山隆起,东部与衡阳盆地西部隆起相邻,北部为沅山凸起,南部为龙山—白马山凸起。内部可分为三个构造带:西部紧闭线形叠瓦状逆冲推覆构造带,中部宽缓褶皱带和东部滑覆叠瓦冲断带^[1]。中部宽缓褶皱带从西向东是冷水江向斜、车田江向斜、字坪背斜、桥头河向斜,石山冲背斜和恩口—斗笠山向斜组成。全区中泥盆世至早三叠世基本连续沉积,从前泥盆系浅变质基底形成后,凹陷内上古生界和三叠系沉积时全区厚度变化不大,各个层位原始沉积厚度基本稳定;向斜内部各层系地层保存较完整,而背斜核部地层剥蚀较严重^[2]。

1.2 小江组地层特征

涟源凹陷二叠系中统小江组主要分布于中部构造带宽缓向斜中,东部构造带洪山殿向斜中亦有分布,其上覆盖有三叠系下统大冶组、二叠系上

统大隆组及龙潭组、中统茅口组,具有一定的埋深。湖南省岩石地层将小江边组定义为整合于栖霞组之上、茅口组之下的一套灰黑色钙质页岩、及炭质泥页岩夹大量灰岩凸镜体及少量薄层泥灰岩^[3]。研究区内小江边组为一套灰黑色炭质页岩、钙质页岩夹薄层状泥灰岩及少量硅质岩(图2)。页岩中见分散细小的黄铁矿颗粒,水平纹理发育,无高能及浅水标志,含个体较小的腕足与浮游菊石,属海水滞流还原条件下的台盆相—半局限台地相沉积。在涟源凹陷内沉积较为稳定,厚度变化不大,除斗笠山向斜西部转折端及西北翼较薄为20~30 m之外,其余地段厚度主要为40~60 m,斗笠山向斜南翼小江组厚度大于62 m,在桥头河向斜西南部转折端北西翼厚59 m(涟页3井),车田江向斜东北端南东翼厚130 m(涟页4井),最厚地段为车田江向斜东北端的安化龙坳本组,以炭泥质页岩为主,厚约200 m^[3]。

2 有机地化特征

2.1 有机质丰度

Gareth等^[4]提出页岩中的含气量(包括吸附气及游离气)与其有机碳质量分数w(TOC)呈正相关,其有机碳质量分数应是控制页岩对甲烷吸附能力的地质主控因素。对泥页岩的评价采用国内公认的有机碳质量分数等于0.5%为下限的划分标准,涟

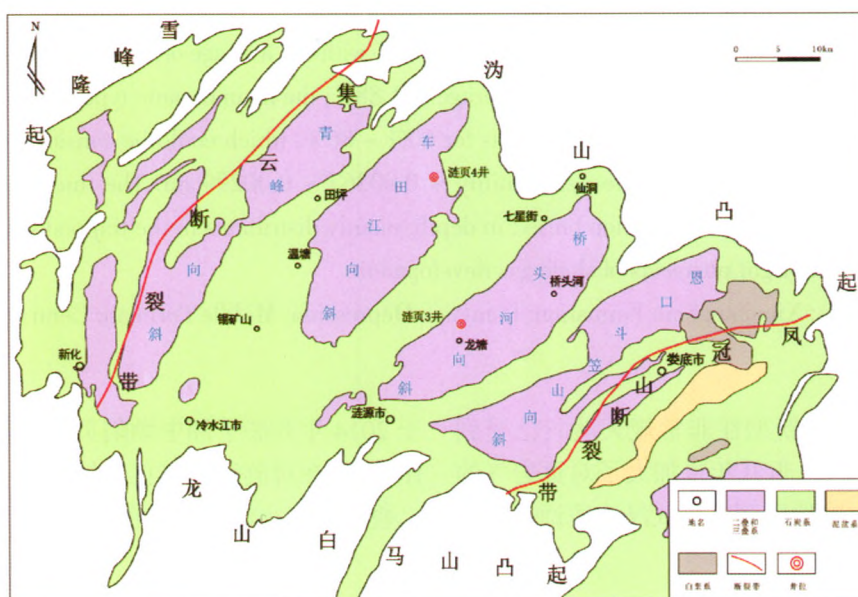


图1 涟源凹陷区域概况

Fig. 1 Tectonic framework of Lianyuan depression

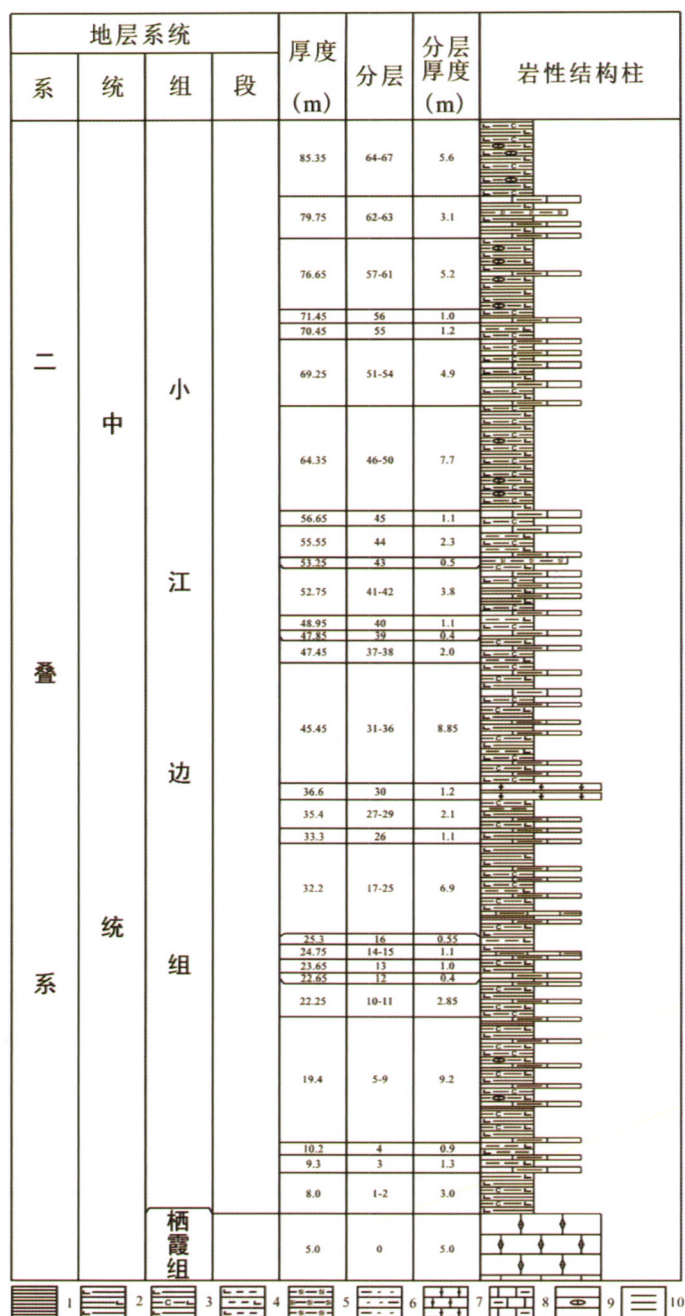


图2 小江边组地层柱状图

Fig. 2 Stratigraphic column of Xiaojiangbian Formation

1.页岩;2.钙质页岩;3.含碳质钙质页岩;4.钙质泥岩;5.硅质岩;6.泥质粉砂岩;7.泥晶灰岩;8.泥质灰岩;9.灰岩结核;10.水平层理。

源凹陷小江边组共取样 24 块,测试结果(表 1)显示整体有机碳含量中等,TOC 主要范围介于 0.61% ~ 3.98%之间,平均 1.64%,样品主要采于桥头河向斜和斗笠山向斜中。除个别样品外,TOC 多数大于 1%,少量样品大于 3%。有较好的含气性与产能,小江边组的泥页岩的含气量应该较大。

2.2 干酪根成熟度

研究认为:吸附含气量与成熟度呈正比关系,相关系数较低, R^2 约为 0.3。成熟度在 1.2% ~ 3.5% 之间,有利于页岩气在藏,成熟度 > 4%时页岩气的勘探风险极大^[5]。对本组干酪根成熟度有测试结果(表 1)显示,等效镜质体反射率 R_o 值范围为 1.61% ~ 2.31%, R_o 均值为 1.88%。主要范围在 1.6% ~ 2.5%之间,基本比较稳定,处于高成熟到过

表1 小江边组含气页岩有机质丰度及成熟度

Table 1 The results of the total organic content and organic material maturity of the Xiaojiangbian Formation

编号	采样地点	TOC (%)	Ro (%)
LYXJBA-1	涟页三井 (涟源市龙塘乡)	3.0	1.62
LYXJBA-2	涟页三井 (涟源市龙塘乡)	1.78	2.10
LYXJBA-7	涟页三井 (涟源市龙塘乡)	0.61	1.91
LYXJBA-9	涟页三井 (涟源市龙塘乡)	1.12	
LYXJBA-13	涟页三井 (涟源市龙塘乡)	1.14	
LYXJBA-15	涟页三井 (涟源市龙塘乡)	1.08	2.15
LYXJBA-16	涟页三井 (涟源市龙塘乡)	1.22	1.79
LYXJBA-17	涟页三井 (涟源市龙塘乡)	2.11	
LYXJBA-19	涟页三井 (涟源市龙塘乡)	1.49	1.61
LYXJBA-27	涟页三井 (涟源市龙塘乡)	1.74	
LYXJBA-29	涟页三井 (涟源市龙塘乡)	1.52	
LYXJBA-31	涟页三井 (涟源市龙塘乡)	2.64	
LYXJBA-32	涟页三井 (涟源市龙塘乡)	3.98	
LYXJBA-33	涟页三井 (涟源市龙塘乡)	2.14	
LYXJBA-39	涟页三井 (涟源市龙塘乡)	1.90	
XBX-P2x-3-1Y	涟源市小碧乡	1.59	1.68
XBX-P2x-12-1Y	涟源市小碧乡	1.12	1.62
XBX-P2x-29-1Y	涟源市小碧乡	2.28	2.31
XBX-P2x-44-1Y	涟源市小碧乡	1.55	1.66
XBX-P2x-50-1Y	涟源市小碧乡	1.12	2.07
XBX-P2x-55-1Y	涟源市小碧乡	1.16	2.06
STC-1A	娄底市茶园镇石塘村	1.00	
STC-3A	娄底市茶园镇石塘村	0.8	
STC-7A	娄底市茶园镇石塘村	1.2	

成熟阶段。

2.3 有机质类型

有机质类型是决定泥质岩产气效率、生产方式及烃源岩评价的重要因素。北美页岩气主要盆地的页岩干酪根类型主要为Ⅱ型或Ⅰ型^[4,6]。小江边组样品干酪根镜下鉴定结果(表2),主要成分为腐泥组和壳质组,有少量镜质组和惰性组,无树脂体。腐泥组在14%~92%,壳质组在5%~67%,惰性组很少,0~3%,其主要有机质类型为Ⅰ型,Ⅱ₁型,具有良好的生油生烃能力。

3 含气页岩储集性能

3.1 矿物成分

对本组进行全岩X衍射分析结果(表3)显示,

粘土矿物含量在12.10%~27.57%之间。石英含量在22.87%~77.38%之间,平均52.63%,多数样品大于35%,易于开成微裂缝;无长石;方解石含量较高,在3.24%~55.43%区间范围内,其余次要的有白云石,黄铁矿、黄铜矿、磁铁矿。根据脆性矿物的划分,主要包括石英、长石、方解石,白云石等,其总含量为:60%~86%,超过40%。整体上脆性矿物含量较高,适合页岩气的开采压裂等基本条件。

3.2 孔隙特征

与常规气藏的成藏规律不同,页岩既是源岩又是储集层,甚至可以充当圈闭和盖层。烃类气体在岩层中生成后,会在页岩自身储集成藏,属于“连续型”聚集,因此,页岩气具有典型的“自生自储”成藏特征^[7-9]。依据页岩气关键储层参数^[10]评价标准,优

表2 小江边组干酪根镜下鉴定结果

Table 2 microscopic identification Results of Xiaojiangbianzu formation kerogen

样号	显微组分含量 (%)				干酪根类型 指数	干酪根据类 型
	腐泥组	壳质组(不含 树脂体)	镜质组	惰性组		
LYXJBB-1	14	67	16	3	33	II ₁
LYXJBB-2	82	12	6		84	I
LYXJBB-7	66	31	3		79	II ₁
LYXJBB-14	85	12	3		89	I
LYXJBB-15	74	22	4		82	I
LYXJBB-16	84	10	5		84	I
LYXJBB-17	91	7	2		93	I
LYXJBB-19	54	41	5		71	II ₁
XBX-P2x-2-1Y	73	23	3	1	81	I
XBX-P2x-11-1Y	78	19	2	1	85	I
XBX-P2x-29-1Y	91	6	2	1	85	I
XBX-P2x-43-1Y	89	10	1		93	I
XBX-P2x-49-1Y	78	14	6	2	79	II ₁
XBX-P2x-54-1Y	92	5	3		92	I

质的含气页岩其孔隙度应至少达到 4.00%。北美主要产气页岩储层岩心分析总孔隙度为 2.00% ~ 14.00%，平均孔隙度为 4.22% ~ 6.51%；测井孔隙度为 4.00% ~ 12.00%，平均孔隙度为 5.20%；渗透率普遍低于 0.1 mD，平均喉道半径低于 0.005 $\mu\text{m}^{[1]}$ 。

对小江边组孔隙测试说明，其有效孔隙度为 2.81% ~ 4.11%，渗透率为 0.00267 ~ 0.00299 mD，其孔隙度、渗透率都属于较低值；如表 4 所示，吸附比表面积除一个样品很高达 396.31 m^2/g ，外，其余 4 个样品分布在 6.371 ~ 8.541 m^2/g 之间，平均 7.49 m^2/g 。以每个样品的吸附相对压力最大时的对应吸附量作为孔体积，吸附孔体积除一个样品较大为 1.56 mL/g 外，其余 4 个样品分布在 0.031 ~ 0.034 mL/g 之间，平均 0.033 mL 。吸附孔径分布在 16.85 ~ 19.04 nm 之间，平均 18.15 nm ，具有较强的吸附天然气和储存游离气的的能力。

利用超高分辨率场发射电子显微镜扫描仪对页岩气的储集特征进行分析，在超高精度电镜下可

以看到泥页岩内部的微小孔隙类型。本组识别出黑色泥页岩中的孔隙类型包括：格架孔、溶蚀孔、有机质孔、生物体腔孔和微裂缝等。其中格架孔主要由硅酸盐矿物和碳酸盐矿物格架支撑形成，孔隙相对较大，连通性好；溶蚀孔主要存在于碳酸盐岩和长石中，连通性相对较差；有机微孔一般相对较小，有机质主要赋存于颗粒堆砌形成的格架孔中。格架孔本身都具备一定的连通性，因此后期形成的有机孔并不是孤立的，而且具有一定的连通性，加上有机质的亲油性，表面可以吸附大量的天然气（图 3）。

4 结论

(1) 涟源凹陷二叠系中统小江边组烃源岩有机质类型以 I、II₁ 型为主，Ro 为 1.61% ~ 2.31%，处于高成熟到过成熟阶段。页岩物化分析显示其 TOC 均值为 1.64%，最大可达 3.98%，生油气潜力较

表3 小江边组全岩X衍射分析结果

Table 3 Whole rock X-ray diffraction analysis results of the Xiaojiangbianzu formation

样品编号	X衍射全岩分析成分含量 (%)							
	石英	方解石	白云石	铁白云石	黄铁矿	黄铜矿	磁铁矿	粘土矿物
LYXJBC-1	62.00	20.74	1.14	1.71				14.40
LYXJBC-2	68.07	14.53	1.42	1.42				14.55
LYXJBC-3	25.91	55.43	2.03	2.32			1.45	12.84
LYXJBC-4	63.68	15.31			1.91		1.09	18.01
LYXJBC-5	34.82	49.21	1.44	0.86				13.67
LYXJBC-6	53.84	12.31	0.96		1.45	0.96		27.57
LYXJBC-7	77.38				3.15		2.01	14.02
LYXJBC-8	72.11	7.33	0.84	0.84	2.54		0.84	15.49
LYXJBC-9	59.05	15.93			1.37	0.82	2.47	17.61
LYXJBC-10	39.86	42.19	2.05	2.05			2.05	12.10
LYXJBC-11	49.20	27.50		2.19	1.64	1.64		17.82
LYXJBC-12	39.17	32.00	1.28	2.30		2.05		23.19
LYXJBC-13	63.44	3.98		0.75	1.00		0.75	25.36
LYXJBC-14	61.08	6.30	1.21	0.73	2.18	1.21		27.29
LYXJBC-15	56.50	23.23	2.57			3.43		14.62
LYXJBC-16	22.87	47.17	4.58	8.29			3.15	14.23
LYXJBC-17	45.73	3.58	4.41	5.78	0.83			17.35
LYXJBC-18	36.82	26.61	8.87	4.57	0.81		3.22	19.37
LYXJBC-19	62.89	3.24	1.89	1.08	1.35		1.35	19.03

表4 小江边组比表面积、孔隙体积及孔径测试结果

Table 4 Specific surface area, Pore volume and pore size results of Xiaojiangbianzu formation

样号	比表面积 (m ² /g)			孔隙体积 (mL/g)		孔径 (nm)	
	吸附	解吸	综合	吸附	解吸	吸附	解吸
W-P2x-1	396.31	588.08	1523.15	1.56	1.62	16.88	18.95
W-P2x-2	7.73	9.78	19.76	0.034	0.034	19.02	18.85
W-P2x-3	6.37	9.08	14.48	0.031	0.032	19.04	18.86
W-P2x-4	7.31	10.01	13.26	0.034	0.034	16.85	18.86
W-P2x-5	8.54	13.15	22.21	0.034	0.035	18.96	18.99

大。石英含量在 22.87% ~ 77.38% 之间, 平均 52.63%, 脆性矿物含量较高, 易于形成微裂缝。

(2) 有效孔隙度为 2.81% ~ 4.11%, 渗透率为 0.00267 ~ 0.00299 mD, 吸附表面积在 6.371 ~ 396.31 m²/g 之间, 孔隙体积在 0.031 ~ 1.56 mL/g 之间, 吸附孔径平均 18.15 nm, 具有较强的吸附天然气和储存游离气的的能力。电镜扫描显示, 泥页岩孔

隙主要为粒间孔、粒内孔、有机孔和微裂隙, 连通性较好。

(3) 涟源凹陷二叠系中统小江边组为一套灰黑色炭质页岩、钙质页岩夹薄层状泥灰岩及少量硅质岩, 属海水滞流还原条件下的台盆相—半局限台地相沉积, 厚度主要为 40 ~ 60 m, 车田江向斜北端厚度大于 100 m, 其上有三叠系大冶组、上二叠统大

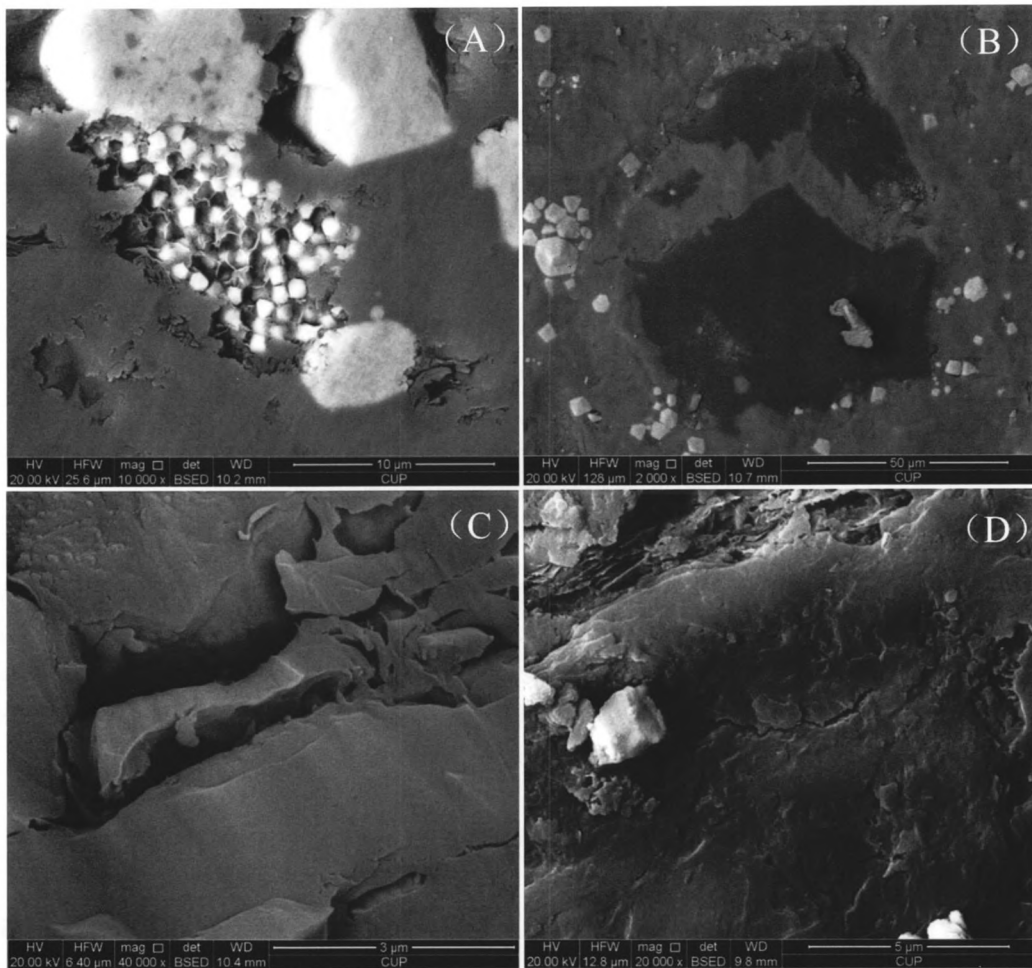


图3 小江组泥页岩微孔隙类型

Fig. 3 Micro-pore type of Xiaojiangbianzu formation

(A)粒内孔(黄铁矿间),(B)有机孔,(C)微裂缝,(D)粒间孔(粘土矿物间孔缝发育)。

隆组、龙潭组及中二叠统茅口组覆盖,小江组具有一定的埋深,主要分布于中部构造带宽缓向斜中,具有较好的页岩气开发前景。

参考文献:

- [1] 王明艳,郭建华,旷理雄,朱锐,周小康.涟源坳陷中部构造带勘探潜力分析[J].天然气地球科学,2005,16(5):581-586.
- [2] 朱锐,郭建华,旷理雄.湘中涟源凹陷镜质体反射率与地层剥蚀厚度恢复[J].地质调查与研究,2009,32(1):22-32.
- [3] 湖南省地质矿产局.湖南省岩石地层[M].武汉:中国地质大学出版社,1996,176-177.
- [4] Gareth R L, Marc Bustin R. Lower cretaceous gas shales in northeastern British Columbia, Part I: Geological controls on methane sorption capacity [J]. Bulletin of Canadian Petroleum Geology,2008,56(1):1-21.
- [5] 徐国盛,张震,罗小平,张武,步小峰.湘中和湘东南拗陷上古生界泥页岩含气性及其影响因素[J].成都理工大学学报,2013,40(5):1-21.
- [6] 朱彤,包书景,王烽.四川盆地陆相页岩气形成条件及勘探开发前景[J].天然气工业,2012,32(9):16-21.
- [7] 张金川,薛会,张德明,蒲军.页岩气及其成藏机理[J].现代地质,2003,17(4):466.
- [8] 张金川,聂海宽,徐波,姜生玲,张培先,汪宗余.四川盆地页岩气成藏地质条件[J].天然气工业,2008,28(2):151-156.
- [9] 张金川,金之钧,袁明生.页岩气成藏机理和分布[J].天然气工业,2004,24(7):15-18.
- [10] 《页岩气地质与勘探开发实践丛书》编委会.中国页岩气地质研究进展[M].北京:石油工业出版社,2011:59-79.
- [11] 蒋裕强,董大忠,漆麟,沈妍斐,蒋婵,何溥为.页岩气储层的基本特征及其评价[J].天然气工业,2010,30(10):7-12.