

doi:10.3969/j.issn.2097-0013.2022.03.006

湖南省安化地区寒武系小烟溪组页岩气成藏条件分析

李海, 张保民, 陈孝红, 苗凤彬, 陈林

LI Hai, ZHANG Bao-Min, CHEN Xiao-Hong, MIAO Feng-Bin, CHEN Lin

中国地质调查局武汉地质调查中心(中南地质科技创新中心), 湖北武汉 430205

Wuhan Center of China geological Survey (Central South China Innovation Center for Geosciences), Wuhan 430205, Hubei, China

摘要:为查明湖南省安化地区寒武系小烟溪组(ϵ_1x)页岩气勘探潜力,在对页岩气钻井资料分析基础上,结合野外地质调查、大地电磁测量及样品测试结果,研究了该组页岩分布特征、有机地化指标、岩矿组分、储集空间、含气性及保存条件。结果表明:安化地区寒武系小烟溪组暗色泥页岩的厚度普遍都在100 m以上;页岩有机碳含量高、有机质为I型、热演化程度高;页岩中的脆性矿物含量较高,均为硅质页岩岩相类型,具有溶蚀孔、粒间孔、铸模孔和微裂缝四种微观孔隙类型;钻井页岩岩芯现场解吸气含量较低,但实验条件下吸附气含量明显较高,表明发生过页岩气逸散;区内构造以开阔型褶皱为主,断裂相对不发育,页岩层顶板的封闭性较好,但底板的硅质岩中高角度裂缝较发育,易成为页岩气逸散通道。综合分析认为,研究区寒武系小烟溪组具有较好的页岩气成藏物质条件,但钻井所在位置目的层埋深较浅,底板封堵性较差,不利于页岩气保存;往南靠近向斜核部区域页岩气保存条件会更好,具备一定的勘探潜力。

关键词:页岩气;小烟溪组;寒武系;成藏条件;湖南安化

中图分类号:P618.13

文献标识码:A

文章编号:2097-0013(2022)03-0431-10

Li H, Zhang B M, Chen X H, Miao F B, Chen L. 2022. Shale Gas Accumulation Conditions Analysis of Cambrian Xiaoyanxi Formation in Anhua Area of Hunan Province. *South China Geology*, 38(3):431-440.

Abstract: In order to find out the shale gas exploration potential of Cambrian Xiaoyanxi Formation in the Anhua area, Hunan Province, based on the analysis of published shale gas drilling data, combined with field geological survey, magnetotelluric survey and analysis data, research on the shale development characteristics, organic geochemical index, rock and mineral composition, reservoir space, gas-bearing property and preservation conditions of Cambrian Xiaoyanxi Formation have been carried out in this study. The results show that the dark shale of Cambrian Xiaoyanxi Formation in the Anhua area is generally more than 100 m in thickness, developed with high organic carbon content, Type I organic matter and a high degree of thermal evolution; The content of brittle minerals in shale is high, and the lithofacies types are siliceous shale, including four micro pore types: dissolution pore, intergranular pore, mold pore and microfracture; The desorption gas content of drilling shale core was low, but the content of adsorbed gas was significantly higher under experimental conditions, indicating that the shale gas had escaped; The structures in the area are mainly open folds, and the faults are relatively undeveloped. The sealing ability of the shale roof is acceptable, but the siliceous

收稿日期:2021-10-20;修回日期:2021-11-25

基金项目:中国地质调查局项目(DD20221659)

第一作者:李海(1988—),男,硕士,高级工程师,主要从事页岩气资源调查评价研究,E-mail:529506444@qq.com

rock in the floor develops high-angle fractures, which would easily become the escape channel for shale gas. The comprehensive analysis shows that the Cambrian Xiaoyanxi Formation in the Anhua area of Hunan Province has ideal material conditions for shale gas accumulation. However, the buried depth of the target layer at the drilling location is shallow and the floor sealing ability is inadequate, which is not preferable for the preservation of shale gas. The area close to the syncline core to the south provides better preservation conditions for shale gas and therefore should lead to certain exploration potential.

Key words: shale gas; Xiaoyanxi Formation; Cambrian; reservoir forming conditions; Anhua area, Hunan province

2011年,由国土资源部油气资源战略研究中心组织实施的“全国页岩气资源潜力调查评价及有利区优选”项目成果显示,湖南省页岩气资源量达9.2万亿 m^3 左右,主要分布在震旦-寒武系和奥陶-志留系界限之上沉积的两套黑色页岩层系中,并优选出桑植、龙山、永顺、花垣和保靖五个页岩气勘查区块(李玉喜等,2009,2012)。自此之后,多家勘探企业和科研单位在湘西地区开展了大量研究工作,尤其是对上述区块及周缘地区的岩相古地理、页岩品质、保存条件、成藏规律和资源潜力进行了系统评价,进一步圈定了页岩气有利区范围(李国亮等,2014;冷济高等,2014;高莉等,2019;张中尧,2020)。但因埋藏深度、热演化程度和勘探成本等条件所限,前期的调查研究工作多偏重于志留系龙马溪组(S_1l)。近年来,随着寒武系页岩气勘探的突破,越来越多的学者开始关注湘西北地区寒武系页岩气勘探潜力,尤其是对沅麻盆地及周缘地区的成藏条件进行了区域性评价(彭中勤等,2019;邓翼等,2020;赵子升等,2020;刘雯等,2022),但针对安化地区所代表的古隆起内部残留向斜这一类特殊构造单元的页岩气勘探潜力认识还存在一定不足。因此,本文在收集整理已有资料的基础上,结合近两年的野外调查工作,通过对寒武系黑色页岩分布特征、有机地化指标、岩矿组分、储集空间、含气性及保存条件分析,查明研究区页岩气的成藏地质条件,并对下一阶段页岩气勘探部署提出建议。

1 地质概况

安化页岩气调查区大地构造位置上处于江南-雪峰隆起弧形构造由北北东转为北东-北东东的地

段,主体属于雪峰山基底褶皱-冲断带(图1)。区内褶皱、断裂十分发育,北东-北北东构造带内与褶皱大致平行的断层较多,其性质多属斜冲逆断层(柏道远等,2015)。研究区地处雪峰山隆起东南缘,其南部以安化-溆浦断裂与湘中坳陷分隔,区内构造主体以北东东向展布的锯木岭复向斜为主,横向延伸长达40 km,核部为志留系,两端翼部依次出露奥陶系、震旦系。区内地表寒武系分布广泛,中下部是以泥页岩为主的碎屑岩,上部由碳酸盐岩和碎屑岩组成,碳酸盐岩占比较多,地层厚度大于600 m;奥陶系发育齐全,岩性相对稳定,主要由碎屑岩和碳酸盐岩组成,以碎屑岩为主,地层厚度约1000 m;志留系发育不全,大多数地区剥蚀明显,岩性以碎屑岩为主,厚度约1900 m。

随着早震旦世晚期区域性冰川的消融,扬子板块与华夏板块拉张加剧,研究区晚震旦世早期海平面显著升高,发生海侵。进入晚震旦世晚期,受大庸-慈利同沉积断裂带的影响,断裂以南的地区水体加深。早寒武世,由于持续的拉张裂陷作用,区内海平面快速上升,为最大海侵时期(汪建国等,2007),形成了水体较深的深水陆棚-盆地相环境,沉积形成了小烟溪组(C_{1x})厚层暗色富有机质页岩,为区内有利的页岩气勘探目标层位。

2 页岩发育特征

据湖南省益阳市安化县存粮村钻探的湘安地1井揭示,研究区内寒武系小烟溪组上覆地层为污泥塘组(C_{2w})灰色中-厚层状含泥灰岩、泥质灰岩夹深灰色-灰黑色中-薄层状泥岩、钙质泥岩,下伏地层为震旦系留茶坡组(Z_2l)青灰色中-薄层状硅质

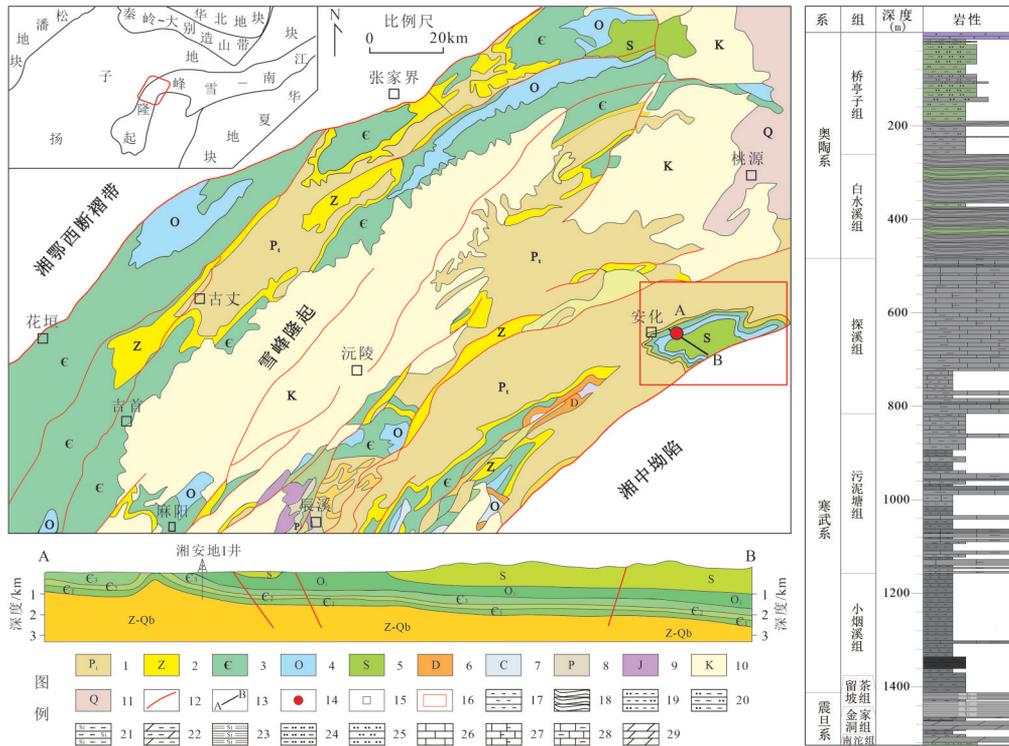


图1 研究区地质特征及湘安地1井钻井地层柱状图

Fig. 1 Geological characteristics of the study area and stratigraphic column of well XAD1

- 1. 元古界; 2. 震旦系; 3. 寒武系; 4. 奥陶系; 5. 志留系; 6. 泥盆系; 7. 石炭系; 8. 二叠系; 9. 侏罗系; 10. 白垩系; 11. 第四系; 12. 主要断裂;
- 13. MT测线; 14. 湘安地1井; 15. 地名; 16. 研究区; 17. 泥岩; 18. 板岩; 19. 含粉砂质泥岩; 20. 粉砂质泥岩; 21. 硅质泥岩;
- 22. 白云质泥岩; 23. 硅质泥岩; 24. 含泥粉砂岩; 25. 粉砂岩; 26. 石灰岩; 27. 含泥灰岩; 28. 泥质灰岩; 29. 白云岩

岩,未见明显的沉积间断,均为整合接触(图1)。岩芯资料显示小烟溪组埋深分布在1156.8~1412.5 m, 钻探厚度为255.7 m,真厚度为218.3 m,暗色页岩厚度累计为205 m,岩性整体以灰黑色-黑色板状页岩、泥岩、硅质泥岩为主,下部地层中见少量的深灰色薄层状灰岩夹层。根据地层中硅质成分含量,小烟溪组在纵向上可以大致划分为两个岩性段:上段(1156.8~1335.9 m)岩性为黑色中-薄层状碳质页岩夹灰色-深灰色中-薄层状含泥灰岩,页岩颜色较深、质地较硬、污手严重,层面或断面多处见黄铁矿似层状分布或呈结核状顺层延伸,局部可见10 cm厚的黄铁矿层,部分层段页岩中发育较多的节理和高角度裂缝;下段(1335.9~1412.5 m)岩性为黑色中-薄层状的硅质泥岩夹薄板状页岩,偶见深灰色薄层状泥质灰岩,硅质泥岩中节理和高角度裂缝发育,多被方解石脉或硅磷质不完全充填,靠顶部位置的硅质泥岩中发育菱铁矿脉体

或结核。

通过在研究区小烟溪组未出露并稳定延伸的锯木岭向斜地区实施大地电磁测深(MT),并根据页岩气地质调查井的实测数据对大地电磁解释的目的层厚度进行修正,查明了区内页岩厚度变化及空间展布特征。结果显示,区内小烟溪组页岩厚度由锯木岭向斜周缘向中部逐渐增厚,在小淹镇附近由于地层褶皱严重,页岩厚度在100 m左右;在东南边由于侵入岩体的隆升作用页岩厚度减薄明显(汪建国等,2007),为100~150 m;向斜中部到西南一带的位置属于地层厚度的高值区,为200~250 m(图2)。此外,在西北部靠近向斜边缘的剥蚀区域小烟溪组顶板埋深仅为1000~1200 m,向东南逐渐加深,在向斜的中南部小烟溪组顶板埋深最大,普遍在1800 m以上;向斜东南部由于侵入岩体对地层的挤压抬升作用,该区域小烟溪组顶板埋深略微减小,为1500~1600 m(图3)。

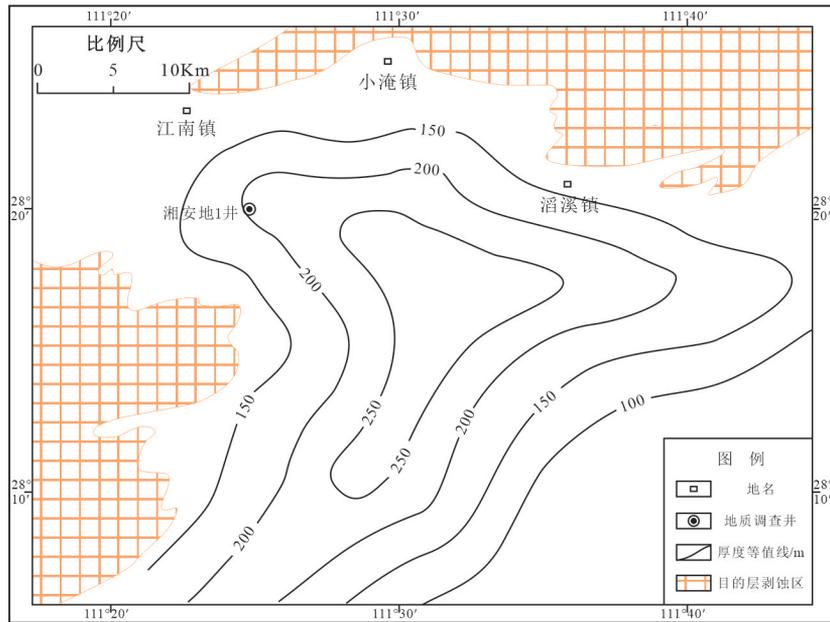


图2 安化地区寒武系小烟溪组页岩厚度等值线图

Fig. 2 Thickness distribution of Cambrian Xiaoyanxi Formation shale in the Anhua area

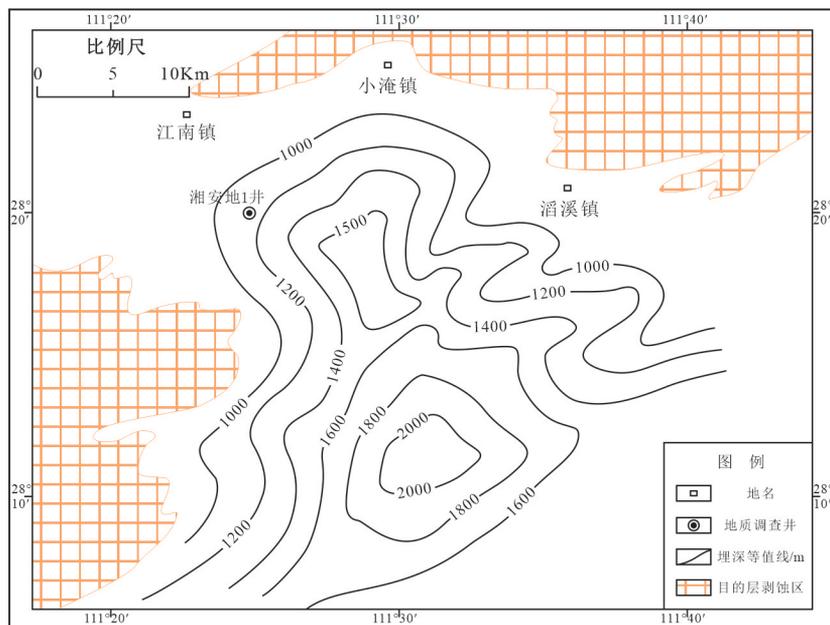


图3 安化地区寒武系小烟溪组顶板埋深等值线图

Fig. 3 Roof buried depth of Cambrian Xiaoyanxi Formation in the Anhua area

3 页岩气成藏条件分析

3.1 页岩生烃条件

页岩成为烃源岩需要具备一定的生烃物质条件,勘探实践证明页岩的有机碳含量、有机质类型及热演化程度是评价其生烃潜力的关键参数(聂海宽

等,2009;童迎世和童琼,2012)。湘安地1井寒武系小烟溪组泥页岩有机碳含量测试结果表明,除了1个样品的有机碳含量(TOC)仅2.87%,其余样品的TOC都在3.0%以上,分布在3.17%~14.80%,主要集中于4.16%~12.10%,平均值为7.6%。从纵向上来看,TOC由浅至深呈现逐渐增大的趋势,尤其是小烟溪组下段(1280~1410 m)的泥页岩TOC明显较

高,总体上具有较好的生烃物质基础(图4)。由于小烟溪组泥页岩样品中TOC大于10%的个数较少,为了确保数据的代表性,将一些个别高值剔除,选取有机碳分布集中的区域来求取平均值,以此来代表个别点上的有机碳含量。结合区域采样数据,从平面上来看研究区锯木岭向斜区域有机碳含量普遍都大于4%,最高值为5.5%,平均值为4.62%,泥页岩的有机碳含量由西北向东南方向呈现出逐渐增大的趋势(图5)。

研究区小烟溪组黑色页岩露头样品的干酪根组分鉴定结果(表1)显示,有机质显微组分以腐泥组为主,其含量为88%~96%,壳质组次之,含量为4%~12%,仅含有微量的镜质组组分,干酪根类型指数(TI)为94~98,指示有机质类型为腐泥型(I型)。此外,湘安地1井寒武系小烟溪组5个黑色页岩样品的有机碳同位素分布在-32.80‰~-31.1‰,按照干酪根碳同位素小于-28‰的为腐泥型(I型)的标准(黄籍中,1988),有机质类型均属腐泥型(I型)。综上所述,研究区小烟溪组页岩有机质以海洋菌藻类为主,其原始组分属富氢、富脂质,具有较好的生烃潜力。

根据有机质热解生烃理论和国内外页岩气勘探经验,对于热成因的页岩气藏而言,页岩的热演

化程度(R_o)在1.5%~3.0%比较适中,过高的热演化程度不利于页岩气的生成(Jarvie et al., 2007; Cur-

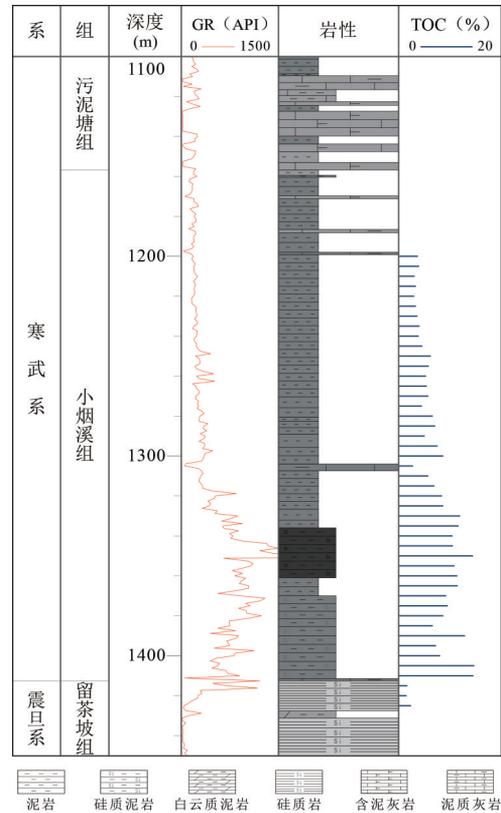


图4 湘安地1井寒武系小烟溪组地层综合柱状图

Fig. 4 Comprehensive histogram of Cambrian Xiaoyanxi Formation in well XAD1

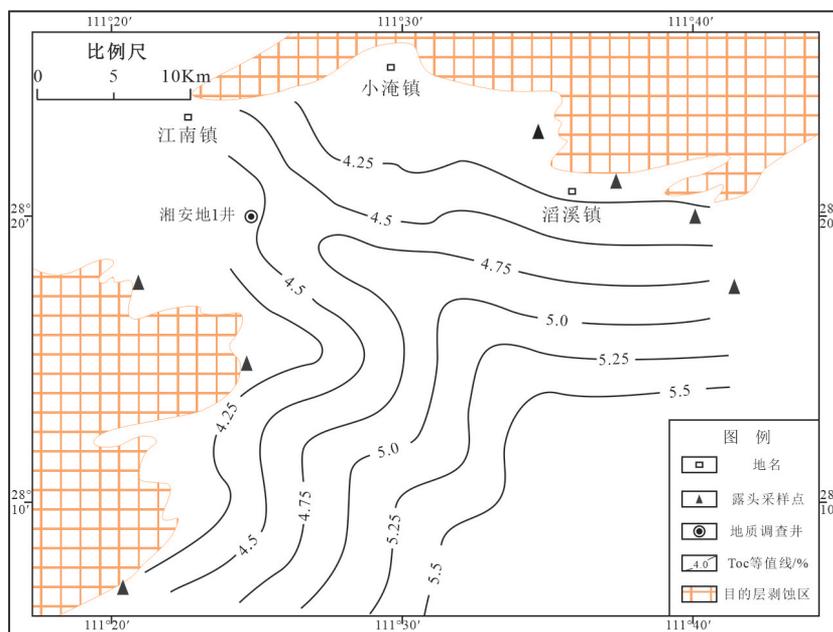


图5 安化地区寒武系小烟溪组页岩有机碳含量等值线图

Fig. 5 Organic carbon contour map of Cambrian Xiaoyanxi Formation shale in the Anhua area

表1 安化地区寒武系小烟溪组页岩干酪根组分及类型

Table 1 Composition and types of kerogen in shale of Cambrian Xiaoyanxi Formation in the Anhua area

序号	样品编号	显微组分含量/%						干酪根类型指数(TI)	干酪根类型
		腐泥组	壳质组	树脂体	镜质组		惰性组		
					富氢镜质体	正常镜质体			
1	AH-1	88	12	/	/	/	/	94	I
2	AH-4	92	8	/	/	/	/	96	I
3	AH-5	95	5	/	/	/	/	97.5	I
4	AH-6	96	4	/	/	/	/	98	I
5	AH-7	90	10	/	/	/	/	95	I

备注：“/”表示未检出。

tis et al., 2009; 肖贤明等, 2013)。据资料显示, 研究区桑坪溪剖面中实测小烟溪组的Ro为2.74%~3.14%, 平均为2.95%。湘安地1井中实测小烟溪组的Ro为2.81%~3.05%, 平均为2.87%。由此可知, 研究区小烟溪页岩热演化程度虽然较高, 经历了页岩生气高峰, 但未超过页岩气勘探的成熟度上限, 仍然具备形成页岩气藏的成熟度条件。

3.2 页岩储集条件

页岩气藏具有自生自储特性, 页岩层作为储集层, 其矿物组成、物性特征和孔隙空间不仅在一定程度上影响页岩气富集, 也是后期压裂开采阶段的重点考虑因素(Nelson, 1985; 唐颖等, 2012)。湘安地1井小烟溪组22个泥页岩样品的X衍射实验结果显示, 岩石矿物组分以石英、黏土和长石为主, 碳酸盐矿物含量较低(图6a)。其中, 石英矿物占比都在55%以上, 含量在56.0%~88.4%, 平均值为71.2%; 黏土矿物占比7.9%~37.7%, 平均值为

21.7%; 长石矿物含量在5.0%~15.1%, 平均值为9.1%, 以钾长石和斜长石为主; 碳酸盐矿物含量基本都在3.0%以下, 以方解石为主。在矿物组分及含量统计基础上, 依据硅质矿物(石英+长石)-碳酸盐矿物-黏土矿物三端元图解(吴蓝宇等, 2016)划分了泥页岩的岩相类型, 研究区内小烟溪组页岩均为硅质类页岩(图6b), 与已经成功进行商业开发的北美Barnett页岩(Jarvie et al., 2007)和重庆涪陵五峰组-龙马溪组页岩(吴蓝宇等, 2016)主力产层类型相同, 属于页岩气勘探开发中的优势岩相类型。

此外, 依据石油行业标准《SY/T 5336-2006 岩心分析方法》(国家发展和改革委员会, 2006)对泥页岩样品进行了处理, 采用氦气法和脉冲衰减法分别测定了页岩的孔隙度和渗透率。结果显示, 15个样品的孔隙度为0.78%~5.05%, 平均值为2.30%; 渗透率为0.00028~0.024 mD, 平均值为0.0024 mD。总体而言, 小烟溪组泥页岩的物性参数满足有效页

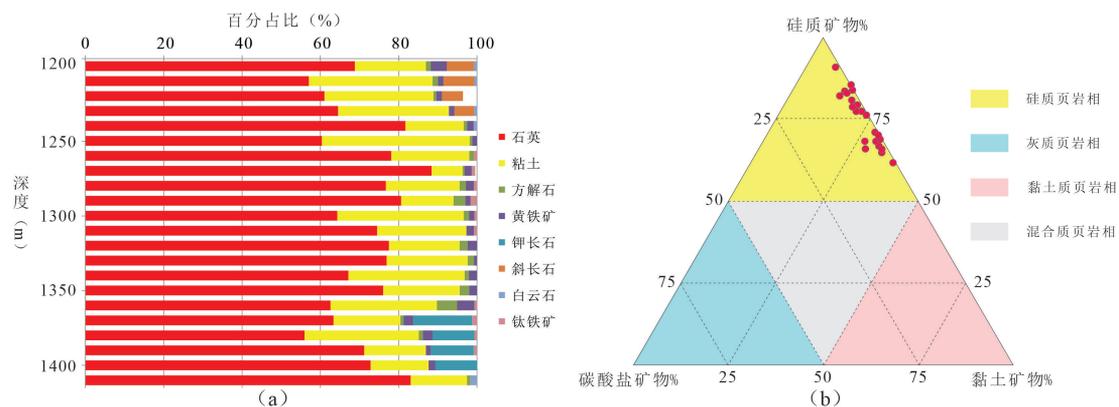


图6 安化地区寒武系小烟溪组页岩矿物组分(a)及岩相类型(b)

Fig. 6 Mineral composition (a) and lithofacies type (b) of Cambrian Xiaoyanxi Formation shale in the Anhua area

岩评价和规模开发的指标下限。

扫描电镜结果表明,页岩中的微观孔隙类型主要为溶蚀孔、粒间孔、铸模孔和微裂缝。其中,溶蚀孔多见于颗粒内部,以椭球状和不规则状为主,在镜下多呈零散状分布,连通性较差(图 7a);粒间孔

形成于矿物颗粒之间或沿颗粒边缘分布,孔隙形状以多边形、线性以及不规则状为主,连通性一般较好,尤其在黏土矿物中的粒间孔较发育(图 7b,c,d);铸模孔是在强烈的选择性溶解作用下,颗粒或晶粒被完全溶解,但仍保留原来颗粒或晶粒外形的一类

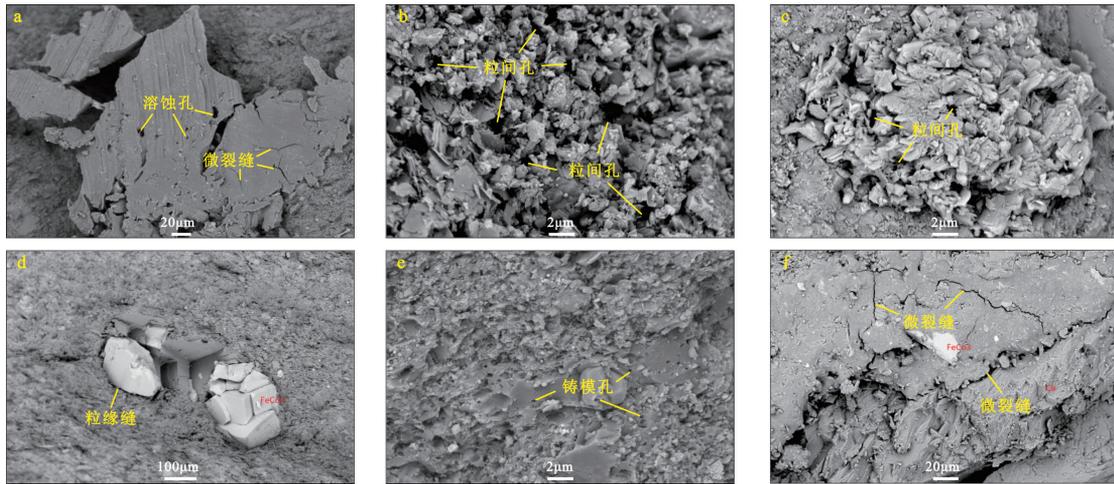


图7 安化地区寒武系小烟溪组页岩微观孔隙类型

Fig. 7 Micropore types in shale of Cambrian Xiaoyanxi Formation in the Anhua area

孔隙,具有相对规则的形态(图 7e);微裂缝的发育可以是构造应力影响的,也可以是矿物成岩作用产生,一般多具有较好延伸性及连通性,样品中的微裂缝主要出现在矿物内部以及黏土矿物的边缘(图 7a,f)。

3.3 页岩含气性

为获取及时可靠的现场含气量数据,在湘安地 1 井钻探过程中参考气测录井仪全烃数据对小烟溪组 1165.0~1412.5 m 段共采集泥页岩样品 23 个,并在取样后 5 分钟内放入现场解吸仪(燃烧法)内测定。结果显示,除 1344.28 (0.4 m³/t) 和 1348.7 m (1.06 m³/t) 处岩心的含气量较高外,其它样品的含气量都在 0.3 m³/t 以下,分布在 0.0023 ~ 0.25 m³/t,表明地层中页岩气含量较低。但在温度 30℃、压力 10 Mpa 的等温吸附实验条件下,页岩的吸附气含量明显高于现场测试的含气量,分布在 0.69 ~ 1.17 m³/t(图 8),表明小烟溪组中的页岩气可能存在较大程度的逸散。

3.4 页岩保存条件

与美国页岩气商业开发核心区相比,中国南方

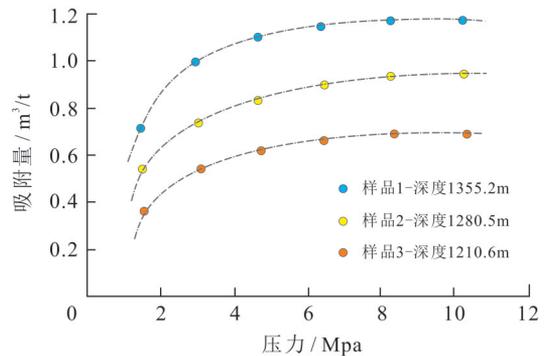


图8 安化地区寒武系小烟溪组页岩等温吸附曲线

Fig. 8 The adsorption isotherm of Cambrian Xiaoyanxi Formation shale in the Anhua area

大陆自古生代以来经历了加里东期、海西-印支期、早燕山期和晚燕山-喜山期四个构造演化阶段,多旋回、多期性的构造叠加使得区内原生气藏大都遭受改造和破坏,这也决定了保存条件成为页岩气能否富集的关键所在(郭彤楼等,2020;卢志远等,2021)。因此,本次研究以区域地质演化为主线,分析安化地区下寒武统小烟溪组页岩气保存条件。

3.4.1 抬升剥蚀强度

富有机质页岩由于发育的微型孔裂隙系统具有较强的吸附特性,在一定程度上能够抵抗构造运动的影响,但是在构造变形强烈、剥蚀严重的地区,页岩气藏还是遭受巨大的影响,甚至被完全破坏掉。这主要表现在两个方面:(1)含气页岩层的上覆地层减薄或完全被剥离,纵向上的封堵条件变差;(2)由于地层相对开启,流体(包括地层水和游离气)发生迁移,含气页岩层压力降低,吸附气逐渐解吸甚至散失。

研究区位于扬子地块与湘中南地块拼贴带北侧,处于扬子被动大陆东南缘雪峰山加里东期逆冲山链带上,经历了武陵、雪峰、加里东、印支、燕山等五次较大的构造运动。由于每次构造作用并非均等,构造应力场的变化及构造层次的不同等原因,以致最终的剥蚀量在平面上显示出明显的非均一性:研究区北部大面积出露中元古代冷家溪群、新元古代板溪群和震旦系,表明区内经历了较强的构造抬升运动,且长期处于暴露环境下,不利于页岩气的保存;研究区南部的江南镇以南区域,剥蚀强度相对较小,小烟溪组仅仅在向斜区域边缘出露,

在向斜大部分区域埋藏较好,在一定程度上有利于页岩气的后期保存。

3.4.2 断层和裂缝组合

美国页岩气商业开发核心区的勘探开发实践证明,页岩气富集高产区内断裂体系发育较少,并且高产井多远离断层分布(Jarvie et al., 2007)。但这并不意味着断裂体系的发育不利于页岩气的保存,近年来的研究就表明适当规模断裂体系的存在可以有效改造页岩的储渗条件,有利于页岩气的富集保存和产出(Gale et al., 2007; Gale and Holder, 2010; 李建青等, 2014)。因此,断层和裂缝对于页岩气保存往往具有二重性,具体取决于二者的性质、发育期次、规模及其与富有机质页岩之间的配置关系。

安化地区北部受构造影响较大,区内变形特征以断裂构造为主,褶皱构造为辅。据不完全统计,区内已查明断层共计18条(图9),这些断裂的活动对地层造成了明显的截切破坏,页岩气多会沿着断裂活动形成的通道逸散,不利于保存富集。安化地区南部受构造影响较小,区内变形以发育北东东-北东向褶皱为特征,并且褶皱以开阔型为主,而断裂

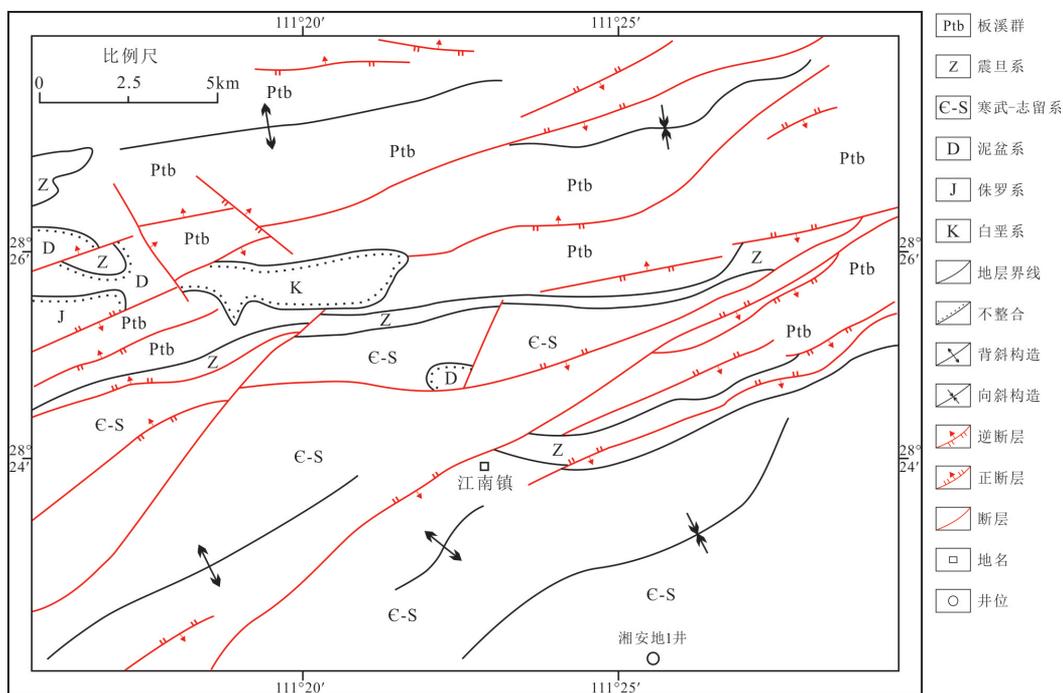


图9 安化地区构造纲要图

Fig. 9 The structure outline map of the Anhua area

构造不甚发育。据不完全统计,区内已查明断层共计8条,这些断裂规模较小,对地层破坏程度较小;湘安地1井小烟溪组现场解吸显示较好的页岩层段中发育未充填的低角度裂缝,这与邻区常页1井同一层位页岩含气性规律相似,并且在页岩有机碳含量相当情况下,常页1井高含气页岩储层中的裂缝发育密度更大,现场测定的含气量更高(周庆华等,2015),表明裂缝的存在对页岩含气性具有一定的改善作用。

3.4.3 顶底板发育特征

页岩气藏集生、储、盖“三位一体”,从理论上而言页岩层本身就构成了一个相对封闭的保存系统,并且由于页岩气吸附机理的存在,即使受到一定程度地质作用的影响和破坏,也能保留一定量的天然气(贾承造等,2021;石学文等,2021;李爱芬等,2021)。但是,对于构造运动期次多、强度大、变形复杂的中扬子地区来说,顶底板条件对页岩气的富集保存显得尤为重要,因此对其研究不容忽视。

从地层的分布特征可以看出,研究区北部受构造影响较大,多出露年代较老地层,小烟溪组埋深较浅,上覆盖层残留厚度较小,且分布区域有限,顶板条件较差,不利于页岩气保存。研究区中南部大面积分布志留系,小烟溪组埋深较好,其仅在向斜周缘出露,整体具有较好的区域封盖条件(图1和图3)。此外,小烟溪组顶板为污泥塘组的泥灰岩和泥质灰岩,厚度都在100 m以上,具有较好的封盖性,有利于页岩气保存。

研究区小烟溪组下伏地层多出露于锯木岭复向斜边缘,其底板为震旦系留茶坡组硅质岩,其硬度大,但脆性较强,易受区域应力作用发生破裂或形成滑脱构造层,封堵性一般。据湘安地1井实钻资料,小烟溪组直接下伏层为一套15 m厚的内部节理、裂隙极其发育的硅质岩,易成为页岩气运移散失通道,这与小烟溪组下部页岩层含气量整体较低的情况相符;此外,邻区常地1井同一页岩层的底板也为硅质岩,其内部裂缝虽不发育,但靠近底板的页岩含气性也出现明显降低的趋势。

综上所述,安化地区小烟溪组页岩具备一定的生烃和储集条件,但保存条件是页岩气富集的关键,

并且页岩储层内部适当发育的微裂缝有利于页岩气的富集。湘安地1井钻探位置处于锯木岭向斜翼部,目的层上倾方向靠近地层出露区,底板受构造影响裂缝较发育,页岩含气性较差。据区域调查研究发现,由湘安地1井往东南方向延伸,向斜核部构造稳定,断层不发育,页岩埋深适中,具有更好的页岩气勘探潜力。

4 结论

(1)安化地区寒武系小烟溪组在纵向上普遍连续发育碳质页岩、硅质页岩等暗色泥页岩,累计厚度普遍都在100 m以上;页岩埋深基本都大于1000 m,分布在1000~2000 m,平面上呈现出由锯木岭向斜周缘向核部逐渐增大的趋势。

(2)安化地区寒武系小烟溪组页岩有机碳含量高(3.17%~14.80%)、有机质生烃潜力大(I型干酪根)、热演化程度适中(2.81%~3.05%),具备页岩气生成的物质基础;页岩中的脆性矿物含量较高,发育硅质页岩岩相,具有溶蚀孔、粒间孔、铸模孔和微裂缝四种微观孔隙类型,具有较好的页岩气储集条件。

(3)安化地区南部的锯木岭向斜地层剥蚀强度较小,页岩埋深适中,断裂构造相对不发育,顶底板厚度大、封堵性强,页岩气保存条件更好,具有一定的勘探潜力,值得进一步开展调查工作。

参考文献:

- 柏道远,钟响,贾朋远,王先辉,彭云益. 2015. 雪峰造山带北段地质构造特征——以慈利-安化走廊剖面为例[J]. 地质力学学报, 21(3):402-407.
- 邓翼,杨荣丰,肖正辉,王朝晖. 2020. 张家界地区下寒武统牛蹄塘组页岩气成藏潜力研究[J]. 华南地质与矿产, 36(2):177-185.
- 高莉,王宗秀,梁明亮,张林炎,李会军,李春麟,高万里. 2019. 湘西北地区五峰-龙马溪组页岩物质组成特征与页岩气潜力分析[J]. 中国地质, 46(2):407-418.
- 郭彤楼,何希鹏,曾萍,高玉巧,张培先,何贵松. 2020. 复杂构造区页岩气藏地质特征与效益开发建议——以四川盆地及其周缘五峰组—龙马溪组为例[J]. 石油学报, 41(12):1495-1497.
- 郭旭升. 2014. 南方海相页岩气“二元富集”规律——四川盆地

- 及周缘龙马溪组页岩气勘探实践认识 [J]. 地质学报, 88(7):1211-1213.
- 国家发展改革委. 2006. 中华人民共和国石油天然气行业标准 SY/T 5336-2006 岩心分析方法 [S]. 北京: 中国标准出版社, 1-215.
- 黄籍中. 1988. 干酪根的稳定碳同位素分类依据 [J]. 地质地球化学, 30(3):66-68.
- 贾承造, 庞雄奇, 宋岩. 2021. 论非常规油气成藏机理: 油气自封闭作用与分子间作用力 [J]. 石油勘探与开发, 48(3):437-452.
- 冷济高, 韩建辉, 李飞, 李鹏, 孟兰. 2014. 湘西北地区花垣页岩气区块勘探潜力 [J]. 天然气地球科学, 25(4):624-631.
- 李爱芬, 韩文成, 孙海, Asadullah M. 2021. 考虑多因素的页岩气吸附模型——以川东南五峰组—龙马溪组页岩为例 [J]. 煤炭学报, 46(3):1003-1013.
- 李国亮, 王先辉, 杨俊, 刘天一, 罗鹏. 2014. 湖南扬子地区志留系龙马溪组页岩气成藏条件及前景评价 [J]. 华南地质与矿产, 30(3):285-292.
- 李建青, 高玉巧, 花彩霞, 夏在连. 2014. 北美页岩气勘探经验对建立中国南方海相页岩气选区评价体系的启示 [J]. 油气地质与采收率, 21(4):23-27.
- 李玉喜, 聂海宽, 龙鹏宇. 2009. 我国富含有机质泥页岩发育特点与页岩气战略选区 [J]. 天然气工业, 29(12):117-118.
- 李玉喜, 乔德武, 姜文利. 2012. 全国页岩气资源潜力调查评价及有利区优选 [R]. 北京: 国土资源部油气资源战略研究中心.
- 刘雯, 张凯逊, 马寅生, 徐秋晨. 2022. 雪峰山隆起北缘热历史及其对牛蹄塘组生烃作用的影响 [J]. 地质学报, 96(6):2144-2152.
- 卢志远, 何治亮, 余川, 叶欣, 李东晖, 杜伟, 聂海宽. 2021. 复杂构造区页岩气富集特征——以四川盆地东南部丁山地区下古生界五峰组—龙马溪组为例 [J]. 石油与天然气地质, 40(1):91-93.
- 聂海宽, 唐玄, 边瑞康. 2009. 页岩气成藏控制因素及中国南方页岩气发育有利区预测 [J]. 石油学报, 30(4):488-490.
- 彭中勤, 田巍, 苗凤彬, 王保忠, 王传尚. 2019. 雪峰古隆起边缘下寒武统牛蹄塘组页岩气成藏地质特征及有利区预测 [J]. 地球科学, 44(10):1-14.
- 石学文, 周尚文, 田冲, 李度, 黎丁源, 李怡, 吴伟, 蔡长宏, 陈玉龙. 2021. 川南地区海相深层页岩气吸附特征及控制因素 [J]. 天然气地球科学, 32(11):1735-1747.
- 唐颖, 邢云, 李乐忠, 张滨海, 蒋时馨. 2012. 页岩储层可压裂性影响因素及评价方法 [J]. 地学前缘, 38(5):723-724.
- 童迎世, 童琼. 2012. 湖南深部地球物理场特征与地震的关系 [J]. 高原地震, 24(1):2-4.
- 汪建国, 陈代钊, 王清晨, 严德天, 王卓卓. 2007. 中扬子地区晚震旦世—早寒武世转折期台—盆演化及烃源岩形成机理 [J]. 地质学报, 81(8):1104-1105.
- 吴蓝宇, 胡东风, 陆永潮, 刘若冰, 刘晓峰. 2016. 四川盆地涪陵气田五峰组—龙马溪组页岩优势岩相 [J]. 石油勘探与开发, 43(2):189-197.
- 肖贤明, 宋之光, 朱炎铭, 田辉, 尹宏伟. 2013. 北美页岩气研究及对我国下古生界页岩气开发的启示 [J]. 煤炭学报, 38(5):723-724.
- 张中尧. 2020. 湘西北桑植区块五峰—龙马溪组页岩气保存条件研究 [D]. 中国地质大学(北京)硕士学位论文.
- 赵子升. 2020. 湘西下寒武统黑色页岩地球化学特征及含气性分析 [D]. 中国石油大学(北京)硕士学位论文.
- 周庆华, 宋宁, 王成章, 李博, 车建伟, 彭传圣, 许江桥. 2015. 湖南常德地区牛蹄塘组页岩特征及含气性 [J]. 天然气地球科学, 26(2):308-309.
- Curtis J B, Jarvie D M, Ferworm K A. 2009. Applied geology and geochemistry of gas shales [A]. AAPG Conference [C]. Denver Colorado.
- Gale J F W, Holder J. 2010. Natural fractures in some U. S. shales and their importance for gas production [J]. Petroleum Geology Conference Series 7, 1131-1140.
- Gale J F W, Reed R M, Holder J. 2007. Natural fractures in the Barnett Shale and their importance for hydraulic fracture treatments [J]. AAPG Bulletin, 91:603-622.
- Jarvie D M, Hill R J, Rubile T E, Pollastro R M. 2007. Unconventional shale-gas systems: the Mississippian Barnett shale of north central Texas as one model for thermogenic shale-gas assessment [J]. AAPG Bulletin, 91(4):475-499.
- Nelson R A. 1985. Geologic Analysis of Naturally Fractured Reservoirs: Contribution in Petroleum Geology and Engineering [M]. Houston: Gulf Publishing Company.