

引用格式:高玉巧,刘娜娜,张培先,等.重庆市綦江区页岩地质特征及其对页岩气勘探的启示[J].油气藏评价与开发,2022,12(1):119-129.

GAO Yuqiao, LIU Nana, ZHANG Peixian, et al. Geological characteristic and its implications of shale exploration in Qijiang, Chongqing, China[J]. Petroleum Reservoir Evaluation and Development, 2022, 12(1): 119-129.

DOI:10.13809/j.cnki.cn32-1825/te.2022.01.010

重庆市綦江区页岩地质特征及其对页岩气勘探的启示

高玉巧,刘娜娜,张培先,何贵松,高全芳
(中国石化华东油气分公司,江苏南京 210019)

摘要:通过野外剖面观察和实测,对重庆市綦江区安稳镇上奥陶统五峰组一下志留统龙马溪组页岩剖面进行了详细野外描述与实验分析等综合研究,安稳镇页岩剖面自下而上出露五峰组下部黑色硅质页岩、五峰组上部观音桥段深灰色介壳泥质灰岩、龙马溪组黑色页岩等岩性地层。主要有以下3点结论:①出露页岩段为当前勘探开发的主要层段,各项表征成藏条件的评价指标优越,TOC(总有机碳)含量为1.10%~8.10%,平均为3.40%,有机质成熟度(R_o)平均为2.70%,石英含量为33.90%~56.60%,平均为42.36%,黏土含量为18.00%~57.20%,平均为42.62%;②储集空间类型主要为微裂缝、有机质孔与无机质孔;③结合勘探开发实践,剖面五峰组—龙马溪组下部①—③小层黑色页岩为甜点段,是水平井轨迹有利穿行层段。

关键词:地质特征;五峰组—龙马溪组;甜点段;安稳镇;重庆市

中图分类号:TE132

文献标识码:A

Geological characteristic and its implications of shale exploration in Qijiang, Chongqing, China

GAO Yuqiao, LIU Nana, ZHANG Peixian, HE Guisong, GAO Quanfang

(Sinopec East China Oil & Gas Company, Nanjing, Jiangsu 210019, China)

Abstract: Detailed field description and experimental analysis have been carried out for Wufeng-Longmaxi Formation shale profile in Anwen Town, Qijiang, Chongqing, by field profile observations and field measurements. Three kinds of lithology formation, namely black siliceous shale of Wufeng Formation, dark gray shell argillaceous limestone of Guanyinqiao and black shale of Longmaxi Formation, are exposed from bottom to top in shale section of Anwen Town. There are three main conclusions. First, the exposed shale is the main formation of current exploration and development, the indicators of reservoir forming conditions are superior, TOC ranges from 1.10% to 8.10%, with an average of 3.40%. The average R_o is 2.70%; Quartz content ranges from 33.90% to 56.60%, with an average of 42.36%, and clay content ranges from 18.00% to 57.20%, with an average of 42.62%. Second, the main reservoir space types are microfracture, organic pore and inorganic pore. Third, combined with the exploration and development practice, the ①~③ subzone of black shale at the lower part of Wufeng-Longmaxi Formation is the sweet spot section, which is a favorable target of horizontal well.

Keywords: geological characteristic; Wufeng-Longmaxi Formation; sweet spot section; Anwen Town; Chongqing

野外露头剖面为中国页岩气的早期研究提供了大量实物资料。国内学者通过采集露头样品,开展了大量室内实验分析,明确了多套海相页岩展布规

律及基础地质条件,诸多专家学者针对页岩气成藏条件、富集高产主控因素、有利目标优选等方面进行深入研究^[1-5],并初步优选了有利区,实现了勘探突

收稿日期:2021-11-12。

第一作者简介:高玉巧(1978—),女,博士,高级工程师,本刊第二届编委会委员,主要从事页岩气勘探开发研究。地址:江苏省南京市建邺区江东中路375号金融城9号楼,邮政编码:210019。E-mail:gaoyq.hdsj@sinopec.com

基金项目:中国石化科技项目“南川复杂构造带页岩气勘探开发关键技术”(P19017-3);中国石化科技项目“南川—武隆地区常压页岩气富集高产机理与目标评价”(P21087-6);中国石化科技项目“华东探区天然气富集规律与目标评价”(P20059-6);国家科技重大专项“彭水地区常压页岩气勘探开发示范工程”(2016ZX05061)。

破。“十二五”“十三五”以来,通过持续研究与实践攻关,明确四川盆地及其周缘上奥陶统五峰组一下志留统龙马溪组黑色页岩因其静态指标优越、埋藏深度适中、富集条件有利和大型水力压裂等工程工艺技术适应性好^[6-10],相继发现了涪陵、威远、长宁、威荣、南川等奥陶系五峰组—志留系龙马溪组页岩气田,规模正逐渐扩大,为中国天然气供给提供了有利支撑^[11-14]。通过对重庆市綦江区安穩镇野外剖面的观察和实测,结合剖面连续取样,进行了包括薄片、地球化学、矿物组分、孔隙微观特征等综合性分析,对安穩镇五峰组—龙马溪组页岩剖面地质特征进行了详细研究,为渝东南地区五峰组—龙马溪组页岩气勘探开发提供了详实的资料依据。

1 安穩镇剖面概况

安穩镇剖面位于重庆市綦江区安穩镇崇河村卫生站北侧(210国道旁, N 28° 37'51.83", E 106° 47'11.14"),为上奥陶统五峰组一下志留统龙马溪组①—⑤小层黑色页岩典型露头剖面(图1),构造上位于四川盆地东南缘(渝东南)酒店垭背斜的西北翼,处于齐岳山断裂以东,为常压页岩气区。由于綦江安穩镇剖面五峰组—龙马溪组下部地层发育完整且出露良好,在2000年页岩气研究早期阶段,该剖面即被作为五峰组—龙马溪页岩气的典型剖面而受到广泛关注^[15],为页岩气勘探开发提供了实物资料,一直

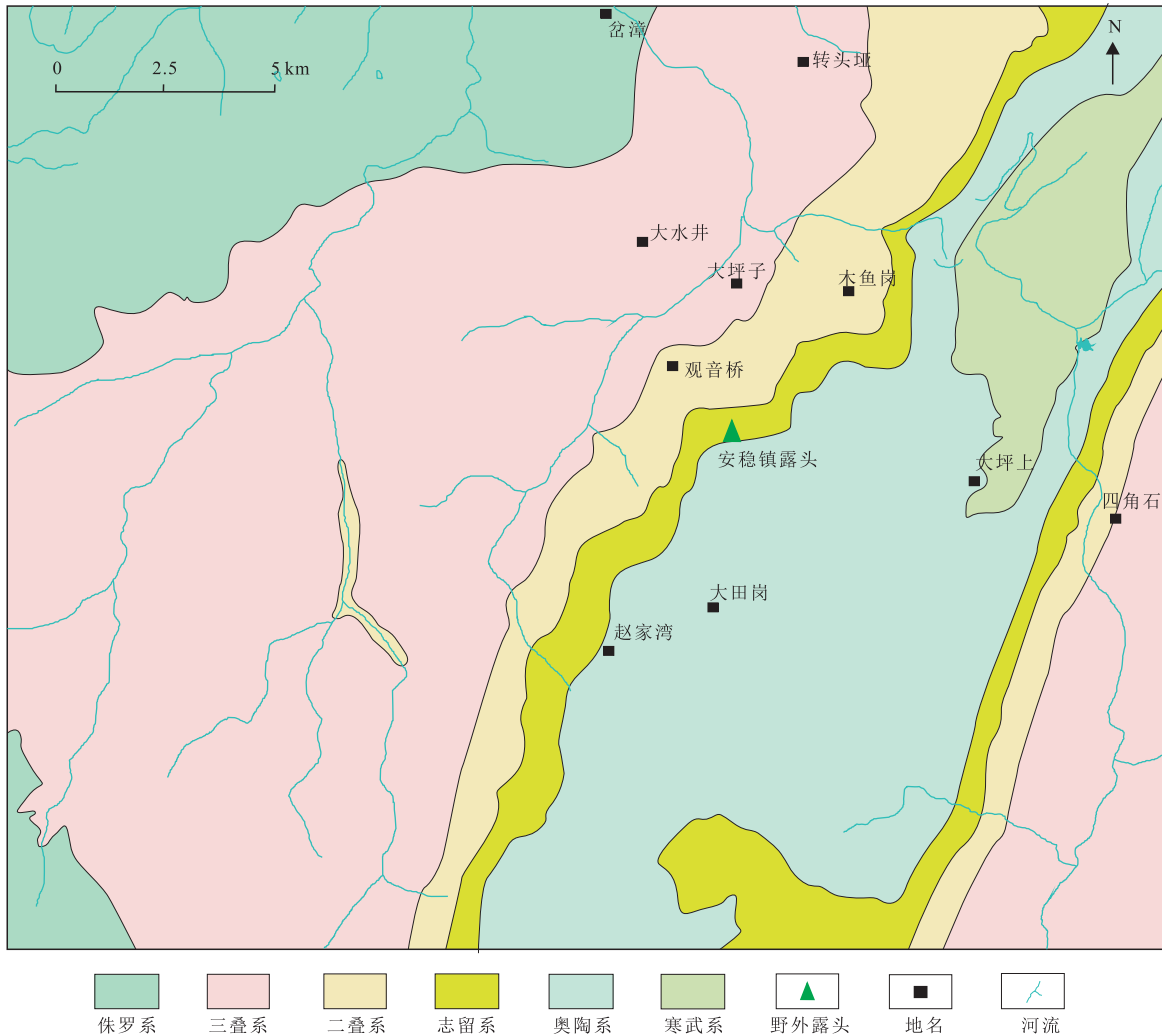


图1 重庆市綦江区安穩镇上奥陶统五峰组一下志留统龙马溪组剖面位置及地质简图

Fig. 1 Profile location and geological sketch of Upper Ordovician Wufeng Formation–Lower Silurian Longmaxi Formation in Anwen Town, Qijiang District, Chongqing

是渝东南地区本时期地层研究的标准剖面。通过对该剖面进行观察描述、实测和系统采样,完成采样55件,通过有机碳含量、全岩X衍射分析、氩离子抛光+扫描电镜、薄片鉴定等分析测试,开展了富有机质页岩厚度、地球化学、储层类型及特征等研究,此剖面的研究对当前常压页岩气的目标评价及成藏条件具有重要意义。

2 地层发育特征

綦江区安稳镇出露地层自下而上依次为寒武系娄山关群,奥陶系桐梓组、红花园组、湄潭组、风洞岗组、宝塔组、临湘组、五峰组,奥陶系之上连续沉积了志留系龙马溪组、石牛栏组和韩家店组,缺失了上志留统、泥盆系和石炭系地层,直接为二叠系栖霞组所覆盖。五峰组与临湘组(图2)、五峰组与龙马溪组等分界线明显,具有明显的岩性变化。根据勘探开发实践,结合剖面手持GR(伽马射线)扫描特征,五峰组—龙马溪组下部页岩纵向上可划分5个小层(图3)。

2.1 岩石地层特征

一般将TOC大于2%的页岩称为优质页岩^[16],安稳镇剖面五峰组—龙马溪组优质页岩厚度为41.16 m。下伏临湘组灰色灰岩地层产状为 $330^{\circ}\angle 23^{\circ}$ (图4),五峰组—龙马溪组页岩地层产状为 320° 至 $330^{\circ}\angle 23^{\circ}$ ~



图2 重庆市綦江区安稳镇上奥陶统五峰组—下志留统龙马溪组页岩与临湘组灰岩界面

Fig. 2 Interface between shale of Upper Ordovician Wufeng-Lower Silurian Longmaxi Formation and limestone of Linxiang Formation in Anwen Town, Qijiang District, Chongqing

24° ,以黑色硅质页岩、碳质页岩为主,五峰组顶部发育观音桥段泥质介壳灰岩。安稳镇剖面构造简单,断层不发育,层理、高角度裂缝发育。

①小层为五峰组,产状为 $330^{\circ}\angle 23^{\circ}$ (图3),垂直厚度为5.14 m,中下部为凯迪阶—赫南特阶深水陆棚亚相沉积^[18],新鲜面为黑色、灰黑色,风化面呈现灰白色,岩性为黑色碳质页岩、硅质页岩,层理发育,顶部观音桥段介壳灰岩垂直厚度为0.25 m。TOC含量较高,平均为7.48%,页岩断面可见清晰雕笔石、直笔石,笔石含量较高,一般为10%~30%,中上部增多。裂缝发育,距底1.5 m可见低角度缝被方解石充填,距底3.5 m可见多条大型高角度裂缝(长1.5~2 m)下切至底部页岩,裂缝均被方解石充填(图5)。可见透镜状、层状(2 mm)黄铁矿,指示水体较深的强还原环境。

②小层位于龙马溪组底部,垂直厚度为1.85 m,产状为 $330^{\circ}\angle 23^{\circ}$ (图3),岩性为黑色硅质页岩,风化面呈灰色,部分见锈色,见少量笔石碎片及生物印痕,该剖面观察到的笔石含量较少,TOC含量平均为5.95%,微裂缝发育,被方解石充填(图6)。

③小层垂直厚度为12.34 m,产状为 $330^{\circ}\angle 24^{\circ}$ (图3)。岩性为灰黑色页岩,风化面呈现灰—灰黑色,TOC含量平均为4.3%。可见直笔石、雕笔石,笔石含量较少,一般为2%~5%,层理发育,单层厚度为1 cm,顶部见2 cm厚黏土层,黏土层下部地层风化面呈锈色,推测黏土层富含铁,发育高角度缝(图7)。

④小层垂直厚度为11.55 m,产状为 $325^{\circ}\angle 24^{\circ}$ (图3)。岩性为灰黑色页岩,风化面呈灰色,TOC含量平均为3.38%,可见三角半笔石、耙笔石碎片、直笔石、尖笔石,直笔石个体较大,笔石含量较少,一般为2%~5%,见层理结构,发育多条高角度缝及X形节理,可见小型断层,断距较小,未切穿④小层底界,距顶4 m可见多条高角度缝,距顶2 m见多组高角度缝(图8)。

⑤小层为鲁丹阶高位期—海退早期沉积物,海平面下降,水体变浅,处于深水陆棚亚相向半深水陆棚亚相过渡,优质页岩向非优质页岩过渡,垂直厚度为12.28 m,产状为 $320^{\circ}\angle 23^{\circ}$ (图3),岩性为灰—灰黑色页岩,风化面呈灰白色,TOC含量平均为2.80%,发育直笔石,笔石含量为2%,为LM4笔石带,底部可见X形节理以及多条高角度缝,裂缝密度8~10条/m。可见黄铁矿纹层,单层厚约5 mm(图9)。

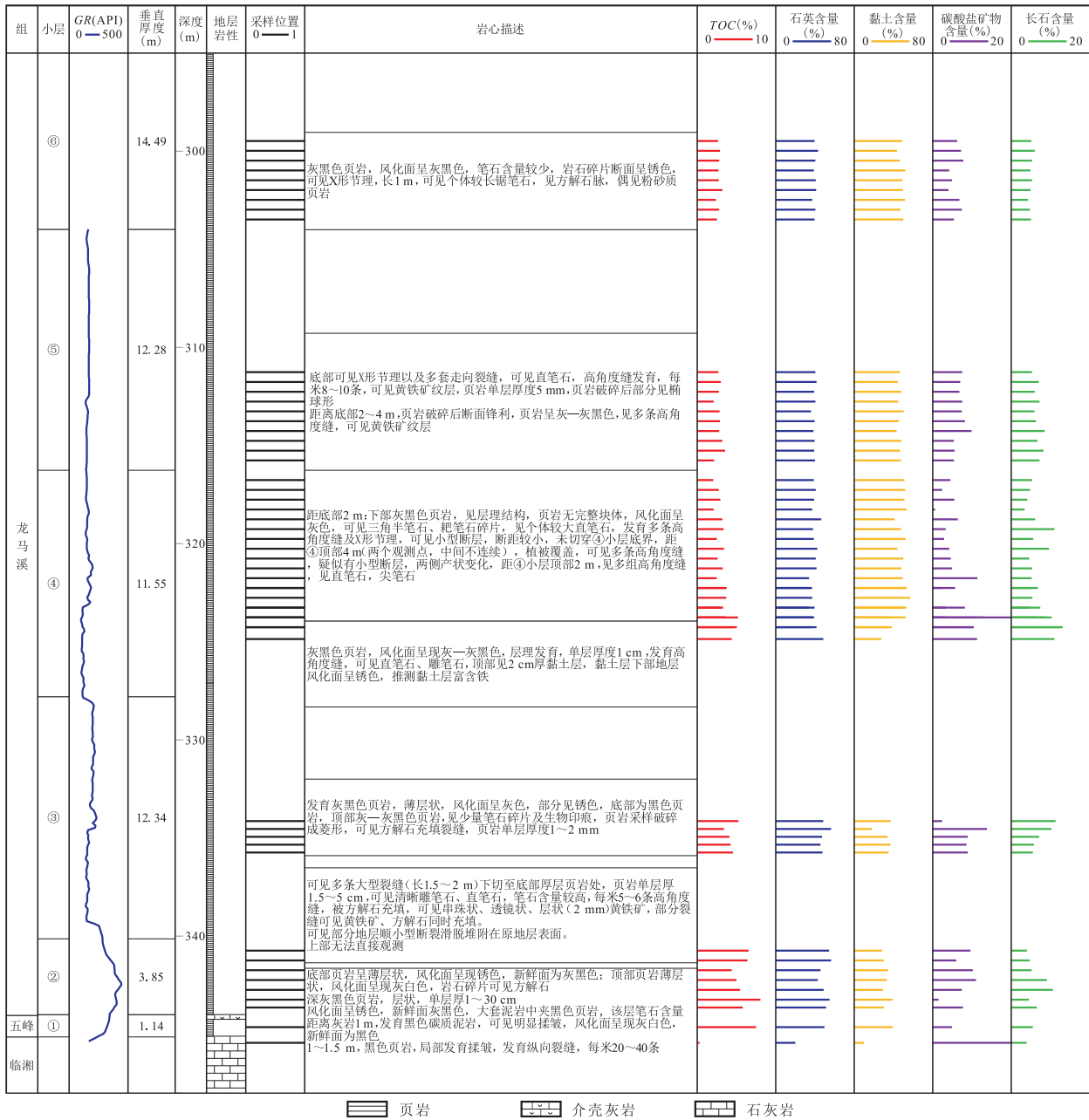


图3 重庆市綦江区安稳镇上奥陶统五峰组一下志留统龙马溪组实测地层柱状图

Fig. 3 Measured stratigraphic histogram of Upper Ordovician Wufeng Formation-Lower Silurian Longmaxi Formation in Anwen Town, Qijiang District, Chongqing

2.2 生物地层特征

五峰组与龙马溪组均为黑色页岩, 部分地区甚至缺失观音桥段介壳灰岩, 标志层相对较少。不论是野外露头剖面还是钻井岩心, 通过直接观察岩石, 很难进行小层划分, 通常利用测井GR曲线进行小层划分与区域对比分析。陈旭等^[7]根据五峰组—龙马溪组页岩笔石种属与沉积年代关系, 明确了笔石带

的划分方案。聂海宽等^[17]将笔石带划分方案与勘探开发生产中利用测井曲线划分的小层方案建立了联系, 为甜点段的快速识别提供了较好的方法。五峰组至龙马溪组下段的笔石带自下而上包括13个笔石带, 其中五峰组页岩发育4个笔石带, 为凯迪阶 *Dicellograptus complanatus* 带, *Dicellograptus complexus* 带, *Paraorthograptus pacificus* 带, 赫南特阶 *Metabolograptus extraordinarius* 带, 简称为WF1—WF4。

龙马溪组下部页岩发育9个笔石带,龙马溪组赫南特阶 *Metabolograptus persculptus* 带,志留系兰多维列统鲁丹阶 *Akidograptus ascensus* 带, *Parakidograptus acuminatus* 带, *Cystograptus vesiculosus* 带, *Coronograptus cyphus* 带, *Demiastrites triangulatus* 带, *Lituigraptus convolutus*

带, *Stimulograptus sedgwickii* 带和 *Spirograptus guerichi* 带,简称为LM1—LM9。

不同学者对笔石带划分存有一定差异,但核心笔石带种属基本一致。陈旭等^[7]将綦江安稳地区置于其川黔地区黑色页岩分布和发育第四廊带的最南

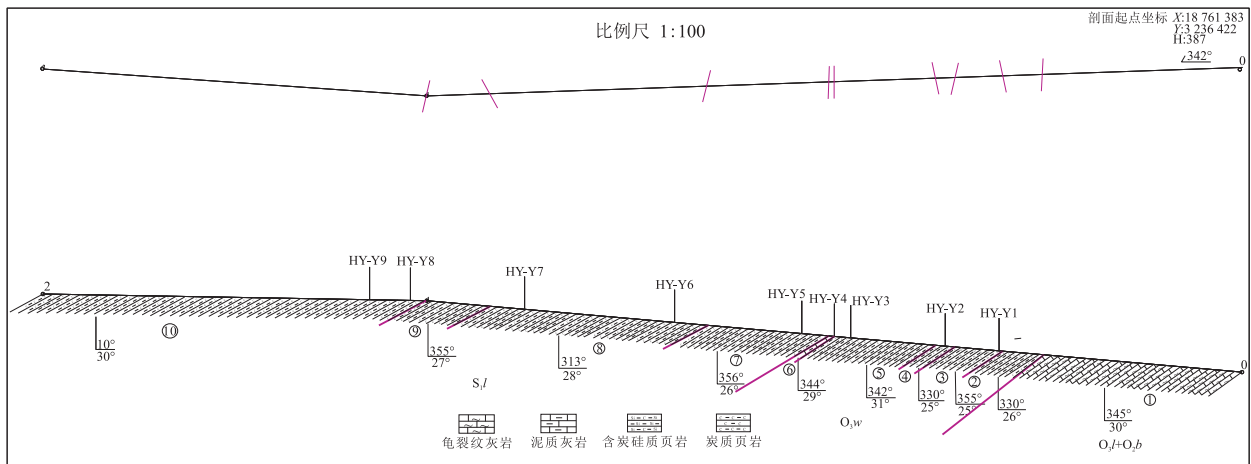
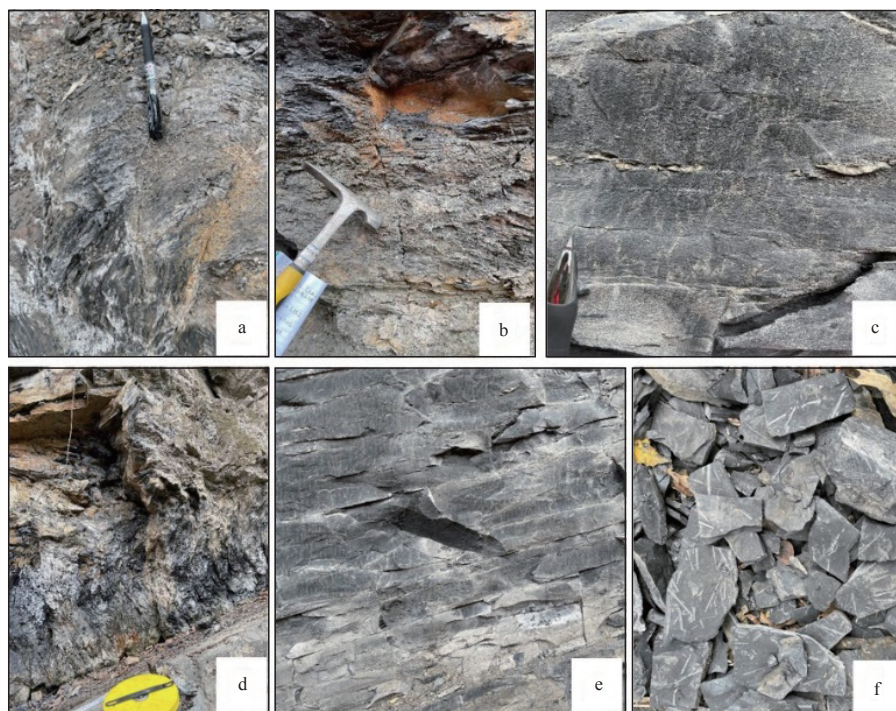


图4 重庆市綦江区安稳镇上奥陶统五峰组一下志留统龙马溪组实测地质剖面

Fig. 4 Measured geological profile of Upper Ordovician Wufeng Formation–Lower Silurian Longmaxi Formation in Anwen Town, Qijiang District, Chongqing



注:a.纵向裂缝;b.高角度缝;c.透镜状及串珠状黄铁矿;d.揉皱;e.层状黄铁矿;f.笔石。

图5 重庆市綦江区安稳镇上奥陶统五峰组一下志留统龙马溪组剖面①小层特征

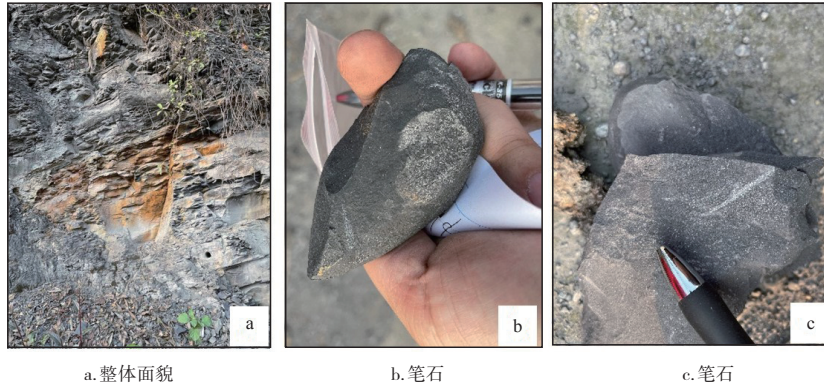
Fig. 5 Characteristics of sub-layer ① in Upper Ordovician Wufeng Formation–Lower Silurian Longmaxi Formation section in Anwen Town, Qijiang District, Chongqing



a. 整体面貌 b. 小层厚度 c. 笔石

图6 重庆市綦江区安稳镇上奥陶统五峰组一下志留统龙马溪组剖面②小层特征

Fig. 6 Characteristics of sub-layer ② in Upper Ordovician Wufeng Formation–Lower Silurian Longmaxi Formation section in Anwen Town, Qijiang District, Chongqing



a. 整体面貌 b. 笔石 c. 笔石

图7 重庆市綦江区安稳镇上奥陶统五峰组一下志留统龙马溪组剖面③小层特征

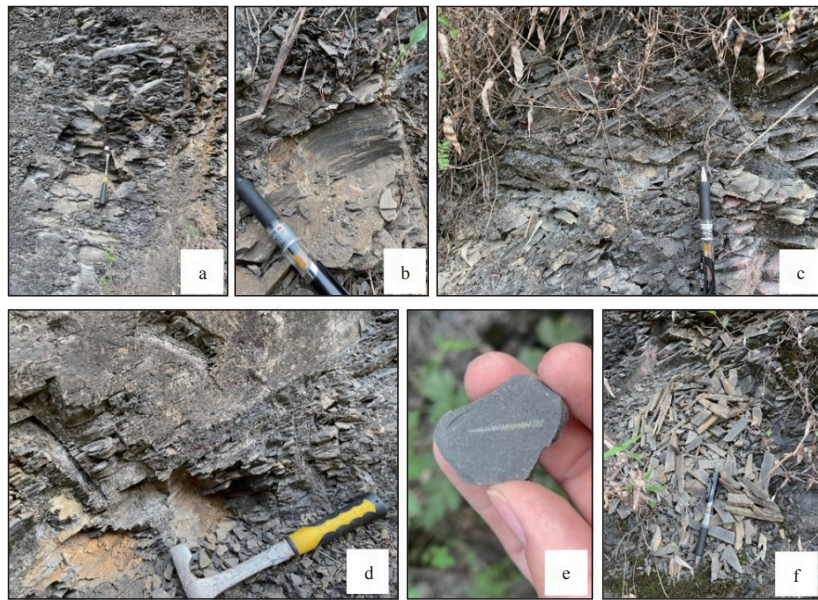
Fig. 7 Characteristics of sub-layer ③ in Upper Ordovician Wufeng Formation–Lower Silurian Longmaxi Formation section in Anwen Town, Qijiang District, Chongqing



注:a. 整体面貌;b. 页理发育;c. 小型断层;d. 高角度缝;e. X型节理;f. 笔石;g. 笔石。

图8 重庆市綦江区安稳镇上奥陶统五峰组一下志留统龙马溪组剖面④小层特征

Fig. 8 Characteristics of sub-layer ④ in Upper Ordovician Wufeng Formation–Lower Silurian Longmaxi Formation section in Anwen Town, Qijiang District, Chongqing



注:a.X型节理;b.层状黄铁矿;c.高角度缝;d.高角度缝;e.笔石;f.页岩破碎形态。

图9 重庆市綦江区安稳镇上奥陶统五峰组一下志留统龙马溪组剖面⑤小层特征

Fig. 9 Characteristics of sub-layer ⑤ in Upper Ordovician Wufeng Formation–Lower Silurian Longmaxi Formation section in Anwen Town, Qijiang District, Chongqing

部,其五峰组观音桥段—龙马溪组完整连续,整合接触,龙马溪组最高笔石带为LM6顶部。金淳泰等^[18]对綦江安稳镇剖面志留系的地层及古生物开展了详细的研究工作,其在龙马溪组由底至顶划分出 *Glyptograptus persculptus* 带、*Akidograptus acuminatus* 带、*Orthograptus vesiculosus* 带、*Pristiograptus cyphus* 带、*Pristiograptus leei* 带、*Demirastrites triangulates* 带、*Oktavites communis* 带和 *Monograptus sedgwickii* 带,并对其中重要笔石标本进行了系统描述(表1)。

3 有机地球化学特征

页岩有机质丰度和成熟度作为评价页岩气的两个重要地球化学特征指标,是页岩气成藏的物质基础^[19]。

3.1 有机质丰度

TOC 是衡量岩石有机质丰度的重要指标, *TOC* 越大,页岩生烃能力越强,一般页岩含气量与有机碳含量呈正比。因部分地势陡峭无法采样,只对安稳镇剖面五峰组—龙马溪组露头可采层段进行连续取样,取样间隔为0.5 m,共采集样品54件,所有样品均为通过剥离地表风化层后采集的新鲜岩石。

测试结果揭示,安稳镇五峰组—龙马溪组页岩

表1 重庆市綦江区安稳镇下志留统龙马溪组下部页岩化石带划分

Table 1 Classification of bottom of lower Silurian Longmaxi Formation shale fossil zone in Anwen Town, Qijiang District, Chongqing

生物带	陈旭等,2015	金淳泰等,1982
LM9	<i>Spirograptus turriculatus</i> 带	
LM8	<i>Stimulograptus sedgwickii</i> 带	<i>Monograptus sedgwickii</i> 带
LM7	<i>Lituigraptus convolutus</i> 带	<i>Oktavites communis</i> 带
LM6	<i>Demirastrites triangulatus</i> 带	<i>Demirastrites triangulates</i> 带
LM5	<i>Coronograptus cyphus</i> 带	<i>Pristiograptus leei</i> 带
LM4	<i>Cystograptus vesiculosus</i> 带	<i>Pristiograptus cyphus</i> 带
LM3	<i>Parakidogr acuminatus</i> 带	<i>Orthograptus vesiculosus</i> 带
LM2	<i>Akidograptus acuminatus</i> 带	<i>Akidograptus acuminatus</i> 带
LM1	<i>Persculptogr persculptus</i> 带	<i>Glyptograptus persculptus</i> 带

①—⑤小层 *TOC* 为2.04%~8.07%,平均为3.85%,其中,①—③小层黑色页岩段的 *TOC* 为3.40%~8.07%,平均为5.40%,④—⑤小层 *TOC* 为2.04%~5.20%,平均为3.20%。纵向上,具有自上而下页岩 *TOC* 成增大趋势(图9), *TOC* 高值主要集中在①—③小层,为最优甜点段。平面上,据聂海宽等^[20]所绘四川盆地及邻区下志留统龙马溪组底部页岩沉积相及厚度分布图,安稳镇剖面位于四川盆地深水陆棚亚相近生烃中心。

3.2 有机质成熟度

页岩的热演化程度是评价页岩气含量的关键因素,有机质成熟度是确定有机质生油、生气或者有机质向烃类转化程度的关键指标,通常用镜质体反射率 R_o 来评价。有机质热演化程度不仅影响页岩的生气量,也影响页岩储集空间类型和页岩气的赋存状态等。五峰组—龙马溪组处于海相沉积环境,缺乏高等植物的输入,无法直接测量镜质体反射率来表征热演化程度,因此,采用沥青质反射率 R_b ,通过经验公式 $R_o=0.656 9R_b+0.336 4$ 进行换算。安稳镇五峰组—龙马溪组页岩 R_b 为2.39%~2.97%,换算后 R_o 为1.91%~2.29%,处于过成熟演化阶段,以生干气为主,有利于页岩气的生成和有机质孔的形成。

4 储层特征

通过镜下薄片、X全岩衍射、氩离子抛光扫描电镜等综合实验分析,开展了剖面五峰组—龙马溪组下部页岩岩石学、储集空间类型及可压性分析,为甜点层的优选提供依据。

4.1 岩石矿物学特征

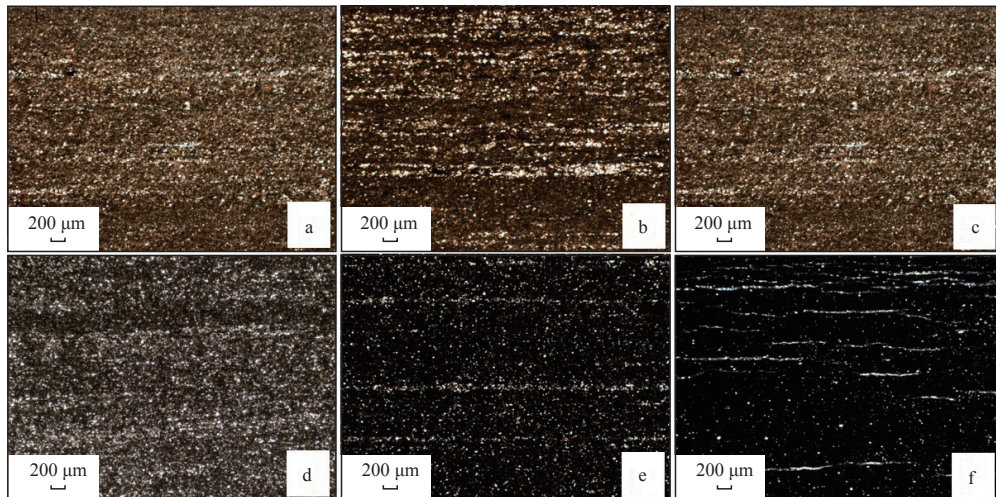
薄片鉴定结果显示奥陶系五峰组—志留系龙马

溪组剖面①—⑤小层岩性为黑色富有机质硅质页岩(表2、图10),微裂缝顺层发育,底部暗色有机质发育,透光性差,硅质含量大于70%,自下而上,硅质含量降低,透光性变好,反映有机质含量降低,⑤小层硅质含量仅35%~40%,顶部具细密的粉砂条带纹层,自下而上,纹层发育逐渐增多,纹层中矿物颗粒粒度变大,主要组成矿物为石英、长石类,见分散状方解石,石英粒径为50 μm ,石英颗粒边缘不清晰,且具有尘状包裹体,这与X射线衍射分析结果一致(表3)。五峰组—龙马溪组黑色页岩矿物成分主要为石英和黏土,含少量碳酸盐矿物、长石和黄铁矿,自下而上黏土矿物含量增加,石英含量减少,碳酸盐

表2 重庆市綦江区安稳镇上奥陶统五峰组—下志留统龙马溪组样品薄片鉴定主要组成矿物统计

Table 2 Mineral statistics of main components of Upper Ordovician Wufeng Formation—Lower Silurian Longmaxi Formation samples from Anwen Town, Qijiang District, Chongqing

小层	硅质含量	黏土矿物含量	碳酸盐矿物含量	有机质及黄铁矿含量
①	> 70 %	15 % ~ 20 %	0 ~ 5 %	5 % ~ 10 %
②	55 % ~ 60 %	20 % ~ 25 %	5 % ~ 10 %	10 % ~ 15 %
③	50 % ~ 60 %	25 % ~ 30 %	5 % ~ 10 %	10 % ~ 15 %
④	40 % ~ 50 %	30 % ~ 40 %	5 % ~ 10 %	5 % ~ 10 %
⑤	35 % ~ 40 %	55 % ~ 60 %	5 % ~ 10 %	0 ~ 5 %



注:a.⑤小层,灰色硅质泥岩;b.④小层,深灰色富纹层泥岩;c.④小层,深灰色泥岩;d.③小层,黑色富有机质含泥硅质页岩;e.②小层,黑色富有机质含泥硅质页岩;f.①小层,黑色富有机质硅质页岩。

图10 重庆市綦江区安稳镇剖面上奥陶统五峰组—下志留统龙马溪组薄片照片

Fig. 10 Thin section photo of Upper Ordovician Wufeng Formation—Lower Silurian Longmaxi Formation in Anwen Town section, Qijiang District, Chongqing

矿物含量变化较小,脆性矿物含量呈逐渐降低趋势。

①—③小层脆性矿物含量相对较高,可压裂性更好。

一般而言,脆性矿物抗压性较高,在压实作用过程中可以支撑原始孔隙,有利于有机质孔的保存。*TOC*与石英含量呈正相关,与黏土矿物含量呈负相关关系(图11)。

4.2 储集空间类型

通过对安稳镇五峰组—龙马溪组黑色页岩进行氩离子抛光扫描电镜分析,页岩主要储集空间类型为微裂缝、无机孔(矿物溶蚀孔、矿物晶间孔)和有机质孔(图12)。与渝东南南川、武隆等地区相比,本剖面页岩的矿物溶蚀孔较发育,可能与抬升至地表过程中流体频繁进入页岩或有机酸溶蚀有关^[20-21]。

安稳镇剖面页岩发育大量的微裂缝,发育在颗粒周缘,为页岩气赋存提供了有效的储集空间和运移通道^[22]。溶蚀孔为成岩过程中碎屑颗粒内部发生溶蚀作用所形成的孔隙,孔径变化范围较大,是无机孔中最主要的孔隙类型。矿物晶间缝主要为黏土矿物在成岩演化过程中矿物晶体体积缩小而在晶体间生成的晶间孔缝,孔隙体积较大,连通性较强。发育在有机质内的孔隙,在热演化过程中,由未成熟干酪

根向烃类流体转化过程所产生,不同压力体系下有机质孔隙形态差异较大,有近圆形、椭圆形、多边形、不规则形等,安稳镇剖面在地层抬升过程中页岩孔隙形态仍保持了相对较好的孔隙形态。

安稳镇五峰组—龙马溪组页岩有机质类型以I型为主,II型为辅。不同小层有机质孔隙发育程度有一定差异,*TOC*越高,有机质孔隙越发育。氩离子抛光扫描电镜表明优质页岩①—④小层有机质孔隙较发育(图13)。⑤小层发育相对较少,纵向上自上而下有机质孔隙发育程度逐渐增加,有机质孔隙占比超过50%;④小层有机质多呈细小的不规则颗粒,分布较广泛,有机孔径变化范围较大,从数十至数百纳米不等,最大可达600 nm,圆度较好;③小层有机质分布广泛、孔隙极发育,孔径主要集中在几十至一百纳米,较均匀,密集分布;②小层块状有机孔隙密集发育,孔径100 nm左右,分布广泛;①小层有机质分布广泛、但孔隙发育数量较少,呈棱角状零星分布。

5 甜点层探讨

渝东南地区受黔中隆起及雪峰隆起双重推覆作用的影响,丁山发育水下隆起,对安稳镇地区深水陆

表3 重庆市綦江区安稳镇剖面上奥陶统五峰组—下志留统龙马溪组①—⑥小层页岩矿物含量统计

Table 3 Mineral content statistics of small shale of Upper Ordovician Wufeng Formation to Lower Silurian Longmaxi Formation in Anwen Town section, Qijiang District, Chongqing

层位	石英含量	黏土矿物含量	碳酸盐矿物含量
①—③	(42.7% ~ 56.6%)/49.9%	(18.0% ~ 39.1%)/32.7%	(1.5% ~ 13.8%)/7.8%
④—⑤	(33.9% ~ 48.5%)/39.3%	(27.7% ~ 57.2%)/46.7%	(1.0% ~ 20.4%)/6.6%

注:表中数据意义为(最小值~最大值)/平均值。

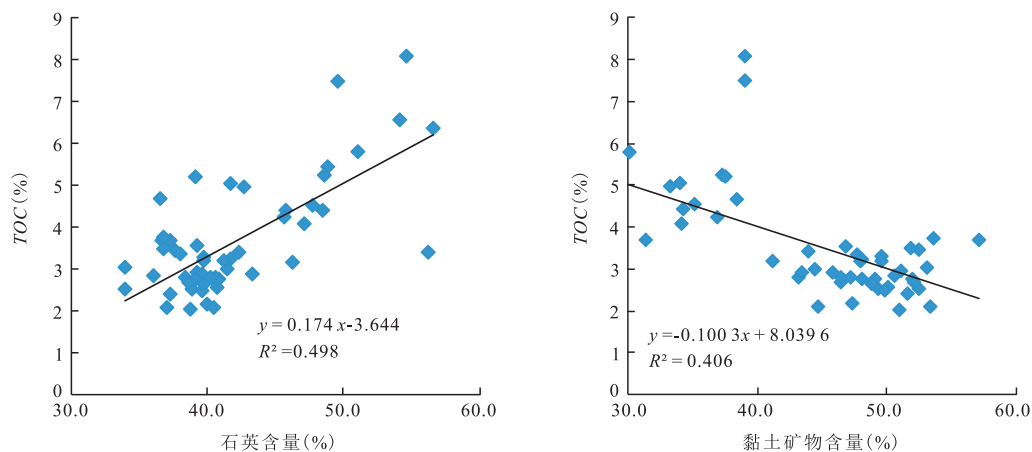
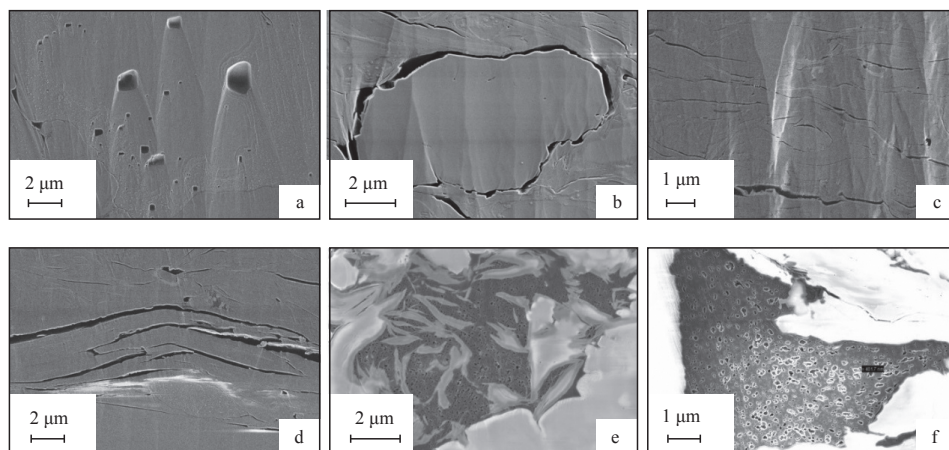


图11 *TOC*与石英含量、黏土矿物含量关系

Fig. 11 Relation between *TOC* and quartz content, clay mineral content, respectively



注:a.溶蚀孔;b.粒缘缝;c.微裂缝;d.矿物晶间孔;e.黏土矿物伴生有机孔;f.有机孔。

图12 重庆市綦江区安稳镇剖面上奥陶统五峰组—下志留统龙马溪组①—⑤小层黑色页岩亚离子抛光扫描电镜照片
Fig.12 Sub-ion polishing scanning electron microscope images of black shale in sub-layer ①—⑤ from Upper Ordovician Wufeng Formation to Lower Silurian Longmaxi Formation in Anwen Town section, Qijiang District, Chongqing

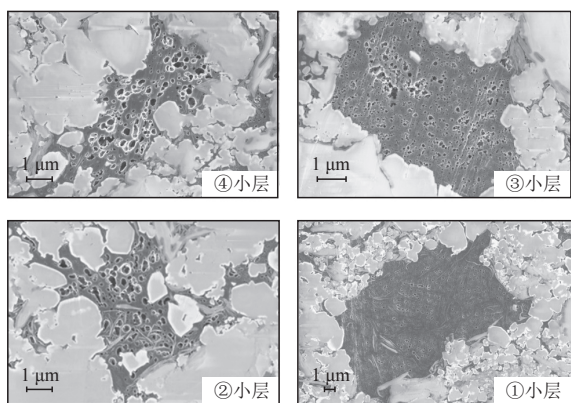


图13 重庆市綦江区安稳镇剖面上奥陶统五峰组—下志留统龙马溪组小层黑色页岩段有机质孔隙扫描电镜
Fig.13 Sem of organic pores in black shale in sub-layer ①—③ of Upper Ordovician Wufeng Formation to Lower Silurian Longmaxi Formation in Anwen Town section, Qijiang District, Chongqing

棚亚相沉积下的页岩厚度有所影响。构造上,安稳镇处于四川盆地东南缘的齐岳山断裂以东的常压页岩气区,地层压力系数0.9~1.3,单井产量和EUR(估算最终可采储量)相对较低。

通过野外剖面实测、样品实验分析,结合邻区勘探开发实践,安稳镇剖面五峰组—龙马溪组下部页岩①—③小层具有高TOC、 R_o 适中、高脆性矿物、低黏土矿物特征。与渝东南地区同层段对比,①—③小层页岩含气量为3~6 m³/t,孔隙度较大,一般为3%~6%,微裂缝和有机质孔隙发育(图14),综合评

价①—③小层物质基础和富集条件好,是页岩气的地质甜点与工程甜点。页岩气勘探开发初期水平井轨迹主要在①—⑤小层内穿行,通过压裂缝实现沟通,实践证明单井产量相对较低,彭水常压区的PYHF-1井水平段基本未在最优靶窗内穿行,最高日产气仅为2.52×10⁴ m³。通过岩石相和“双甜点”研究,①—③小层为有利岩石相,水平井轨迹在①—③小层穿行时单井测试日产量较高,高压区普遍超过10×10⁴ m³,常压区普遍大于3×10⁴ m³。

6 结论

1) 重庆市綦江区安稳镇五峰组—龙马溪组页岩剖面可作为该区标准剖面,地层出露齐全,主要以碳质页岩、硅质页岩、介壳灰岩为主,根据露头岩性及笔石发育特征可划分出5个小层,可与渝东南地区钻井小层进行划分对比。

2) 综合分析表明,安稳镇剖面页岩①—③小层具有高TOC、高脆性矿物、低黏土矿物、微裂缝、有机质孔、无机孔发育的特点,页岩气物质基础和富集条件良好,是该区勘探开发甜点段。

参考文献

- [1] 何希鹏,何贵松,高玉巧,等.渝东南盆缘转换带常压页岩气地质特征及富集高产规律[J].天然气工业,2018,38(12):1-14.
HE Xipeng, HE Guisong, GAO Yuqiao, et al. Geological characteristics and enrichment laws of normal-pressure shale gas in the basin-margin transition zone of SE Chongqing[J]. Natural Gas Industry, 2018, 38(12): 1-14.

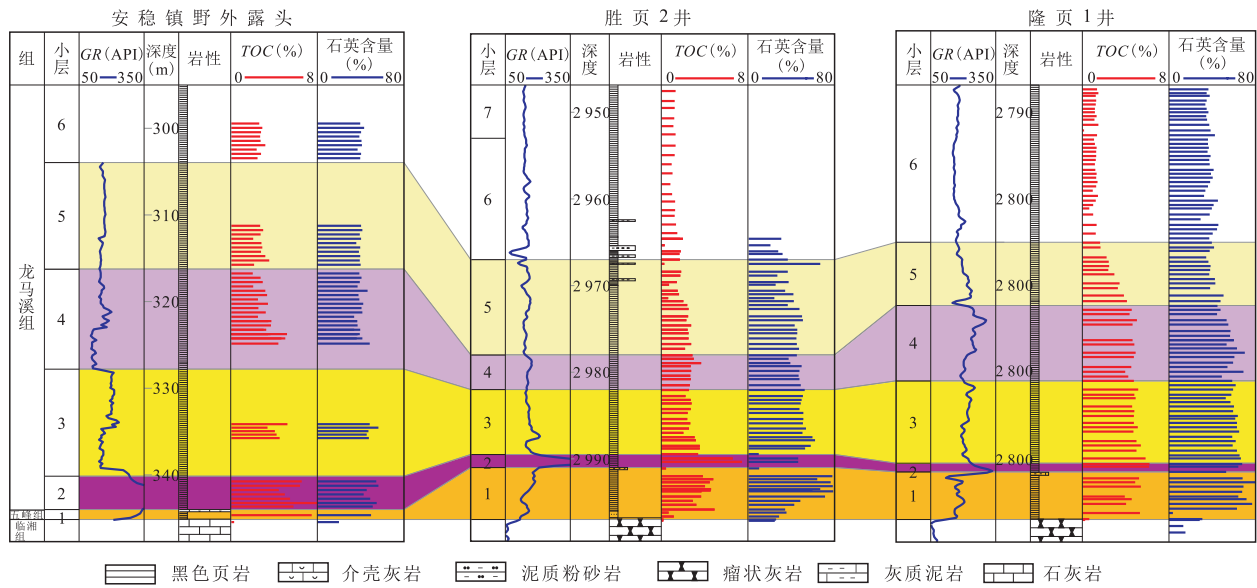


图14 重庆市綦江区安稳镇露头—胜页2井—隆页1井连井对比

Fig. 14 Comparison between outcrop of Anwen Town to Well-Shengye-2 to Well-Longye-1 in Qijiang District, Chongqing

- [2] 何贵松,何希鹏,高玉巧,等.中国南方3套海相页岩气成藏条件分析[J].岩性油气藏,2019,31(1):57-68.
HE Guisong, HE Xipeng, GAO Yuqiao, et al. Analysis of accumulation conditions of three sets of marine shale gas in southern China[J]. Lithologic Reservoirs, 2019, 31(1): 57-68.
- [3] 郭彤楼,蒋恕,张培先,等.四川盆地外围常压页岩气勘探开发进展与攻关方向[J].石油实验地质,2020,42(5):837-845.
GUO Tonglou, JIANG Shu, ZHANG Peixian, et al. Progress and direction of exploration and development of normally-pressured shale gas from the periphery of Sichuan Basin[J]. Petroleum Geology & Experiment, 2020, 42(5): 837-845.
- [4] 陈旭,樊隽轩,王文卉,等.黔渝地区志留系龙马溪组黑色笔石页岩的阶段性渐进展布模式[J].中国科学:地球科学,2017,47(6):720-732.
CHEN Xu, FAN Junxuan, WANG Wenhui, et al. Stage-progressive distribution pattern of the Lungmachi black graptolitic shales from Guizhou to Chongqing, Central China[J]. Scientia Sinica(Terrae), 2017, 47(6): 720-732.
- [5] 聂海宽,张柏桥,刘光祥,等.四川盆地五峰组-龙马溪组页岩气高产地质原因及启示—以涪陵页岩气田JY6-2HF为例[J].石油与天然气地质,2020,41(3):464-473.
NIE Haikuan, ZHANG Baiqiao, LIU Guangxiang, et al. Geological factors contributing to high shale gas yield in the Wufeng-Longmaxi Formation of Sichuan Basin: A case study of Well JY6-2HF in Fuling shale gas field[J]. Oil & Gas Geology, 2020, 41(3): 464-473.
- [6] 解德录.川东南龙马溪下段页岩储层储集空间特征及地质控制—以綦江和涪陵为例[D].徐州:中国矿业大学,2016.
XIE Delu. Characteristics and geological control on the development of shale reservoir space at the lower segment of Longmaxi Formation in southeast Sichuan, China[D]. Xuzhou: China University of Mining and Technology, 2016.
- [7] 王超,张柏桥,舒志国,等.四川盆地涪陵地区五峰组-龙马溪组海相页岩岩相类型及储层特征[J].石油与天然气地质,2018,39(3):485-497.
WANG Chao, ZHANG Boqiao, SHU Zhiguo, et al. Lithofacies types and reservoir characteristics of marine shales of the Wufeng Formation-Longmaxi Formation in Fuling area, the Sichuan Basin[J]. Oil & Gas Geology, 2018, 39(3): 485-497.
- [8] 魏祥峰,赵正宝,王庆波,等.川东南綦江丁山地区上奥陶统五峰组一下志留统龙马溪组页岩气地质条件综合评价[J].地质评论,2017,463(1):153-164.
WEI Xiangfeng, ZHAO Zhengbao, WANG Qingbo, et al. Comprehensive evaluation on geological conditions of the shale gas in Upper Ordovician Wufeng Formation-Lower Silurian Longmaxi Formation in Dingshan Area, Qijiang, Southeastern Sichuan[J]. Geological Review, 2017, 463(1): 153-164.
- [9] 何希鹏.四川盆地东部页岩气甜点评价体系与富集高产影响因素[J].天然气工业,2021,41(1):59-71.
HE Xipeng. Sweet spot evaluation system and enrichment and high yield influential factors of shale gas in Nanchuan area of eastern Sichuan Basin[J]. Natural Gas Industry, 2021, 41(1): 59-71.
- [10] 何贵松,何希鹏,高玉巧,等.渝东南盆缘转换带金佛斜坡常压页岩气富集模式[J].天然气工业,2020,40(6):50-60.
HE Guisong, HE Xipeng, GAO Yuqiao, et al. Enrichment model of normal-pressure shale gas in the Jinfo slope of the basin-margin transition zone in Southeast Chongqing[J]. Natural Gas Industry, 2020, 40(6): 50-60.
- [11] 何希鹏,高玉巧,唐显春,等.渝东南地区常压页岩气富集主控因素分析[J].非常规天然气,2017,28(5):654-664.
HE Xipeng, GAO Yuqiao, TANG Xianchun, et al. Analysis of major factors controlling the accumulation in normal pressure shale gas in the southeast of Chongqing[J]. Natural Gas Geoscience, 2017, 28(5): 654-664.

(下转第138页)