

## 渝东南地区五峰组—龙马溪组页岩岩石相 及与页岩气富集关系

吴聿元, 张培先, 何希鹏, 高玉巧,  
何贵松, 孙斌, 万静雅, 高全芳, 周頔娜

中国石化华东油气分公司

**摘要** 渝东南地区五峰组—龙马溪组一段发育了一套滞留盆地半深水—深水陆棚相暗色细粒页岩。通过岩石相精细研究,五峰组—龙一段纵向上划分出9种岩石相:富碳富硅富笔石页岩相、高碳高硅富笔石页岩相、中碳高硅高含笔石页岩相、低碳中硅含笔石纹层状页岩相、中碳中硅中含笔石页岩相、低碳低硅含笔石页岩相为6种主要岩石相,低碳低硅介壳灰岩相、低碳低硅白云质页岩相、低碳含灰泥质粉砂岩相为3种次要岩石相。富碳富硅富笔石页岩相和高碳高硅富笔石页岩相具有高有机碳含量、高孔隙度、高脆性、高含气性、微裂缝发育的特点,为最优岩石相,页岩气水平井在最优岩石相穿行时单井试气产量高。明确了不同区带水平井穿行最优靶窗,从而为更好地指导水平井穿行轨迹奠定基础。

**关键词** 岩石相;页岩气富集;靶窗;五峰组—龙马溪组;渝东南地区

**中图分类号**: TE122.1

**文献标识码**: A

### 0 前言

近年来,四川盆地及周缘地区志留系页岩气勘探开发效果显著,高压—超高压型、常压型页岩气勘探开发均取得重大进展<sup>[1-5]</sup>。四川盆地内高压—超高压型页岩气井压裂后测试日产气量介于 $(30\sim 137)\times 10^4\text{ m}^3$ ,渝东南南川—武隆地区常压型页岩气井压裂后测试日产气量介于 $(4.6\sim 32.8)\times 10^4\text{ m}^3$ ,后者的单井日产气量明显低于前者。截至2020年底,四川盆地及周缘累计提交页岩气探明储量将超过 $2.0\times 10^{12}\text{ m}^3$ ;2020年中国页岩气产量预计可达到 $200\times 10^8\text{ m}^3$ 。这些储量和产量主要来自焦石坝、威远、长宁、太阳等高压—超高压型页岩气田,南川、武隆等常压型页岩气田的贡献占比不足10%。渝东南地区处于四川盆地盆缘转换带的高压—常压过渡带,具有鲜明的页岩气地质特点<sup>[3-6]</sup>。页岩气富集程度的差异除了受保存条件的控制外,近几年的勘探研究发现,水平井轨迹在五峰组—龙一段不同岩石相穿行时单井产量

差异明显,表明页岩岩石相与页岩气富集之间的关系十分紧密。

前期众多学者总结了一系列关于页岩气成藏富集规律与主控因素的地质认识<sup>[4-11]</sup>,极大地丰富了页岩气地质理论。不同学者根据不同地区的地质特点,提出了针对性的岩石相划分方案;Hammes等<sup>[12]</sup>根据页岩的矿物学、生物群及结构特征,将墨西哥湾盆地西北部的海内斯维尔页岩划分出无纹层的球粒状页岩相、纹层状钙质或硅质页岩相、生物扰动钙质或硅质页岩相等3种岩石相类型;梁超等<sup>[13]</sup>根据泥页岩成分将四川盆地五峰组—龙马溪组划分出碳质页岩相、硅质页岩相、粉砂质页岩相、钙质页岩相和普通页岩相等5种岩石相,并分析了储集空间特征;董春梅等<sup>[14]</sup>根据陆相泥页岩的地质特点,提出了“四组分三端元”的划分原则,划分出18种陆相岩石相类型。但是,关于岩石相与页岩气富集关系的研究鲜有报道。

本文从渝东南地区页岩气勘探开发的需求出

收稿日期: 2020-01-07; 改回日期: 2020-08-24

本文受国家科技重大专项课题“彭水地区常压页岩气勘探开发示范工程”(编号: 2016ZX05061)和中国石化科技部项目“南川复杂构造带页岩气勘探开发关键技术”(编号: P19017-3)共同资助

**第一作者**: 吴聿元,博士,教授级高级工程师,主要从事油气地质研究。通信地址: 210011 江苏省南京市建邺区江东中路375号金融城9号楼; E-mail: wuyy.hdsj@sinopec.com

**通信作者**: 张培先,硕士,主要从事页岩气勘探研究。通信地址: 210011 江苏省南京市建邺区江东中路375号金融城9号楼; E-mail: zhangpx.hdsj@sinopec.com

发,本着科学、简单、实用的原则,以五峰组—龙一段页岩为研究对象,通过扫描电镜、有机碳含量(TOC)、矿物组分等实验分析,结合野外露头、钻井岩心、笔石种属、测井特征等研究,将最能表征五峰组—龙一段特征的有机碳含量、硅质含量、笔石含量作为岩石相的主要划分依据,同时结合部分特殊岩性和沉积特征,厘定了研究区五峰组—龙一段页岩岩石相纵向分布特征,明确了不同岩石相与页岩气的富集关系。本次研究对指导水平井轨迹设计,提高单井产量,促进研究区页岩气勘探开发具有重要意义。

## 1 地质背景

渝东南地区位于四川盆地东南缘的武陵褶皱带内,介于雪峰推覆带与齐岳山断裂带之间。震旦纪以来,经历了多期构造运动,其中燕山中晚期构造作用对研究区的影响最为显著。多期构造运动叠加形成了一系列北东向、近南北向的向斜与背斜相间的构造样式,呈现“隔槽式”构造变形特征<sup>[15]</sup>(图1)。

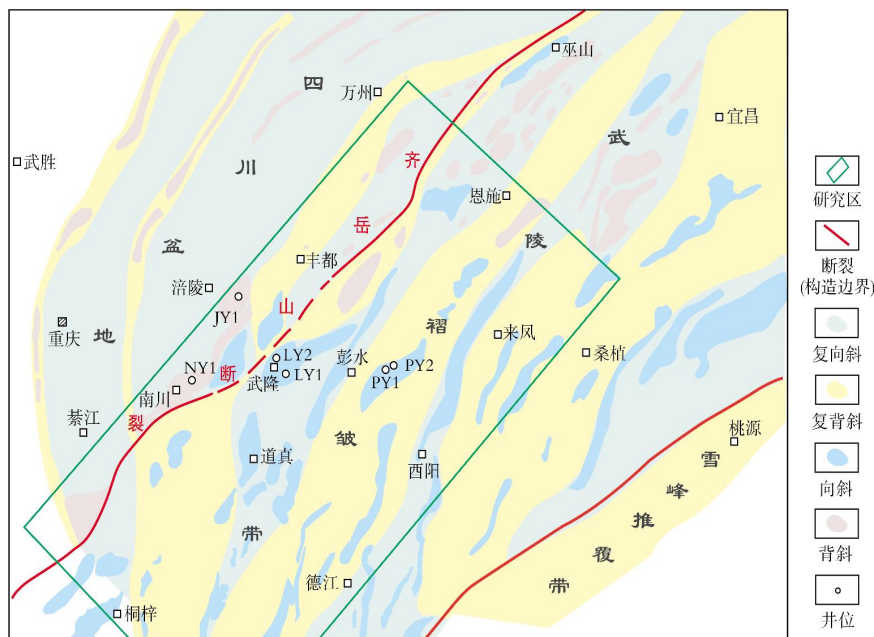


图1 渝东南地区构造区划图

Fig. 1 Regional tectonic division in Southeastern Chongqing

晚奥陶世—早志留世,渝东南地区处于川中古陆、黔中隆起与雪峰隆起所围限的滞留盆地深水陆棚相。受全球性海侵事件影响,沉积了五峰组—龙一段黑色笔石页岩,发育水平层理,局部发育微裂缝。该套页岩具有分布广、厚度大、有机碳含量高、含气性较好等特点。五峰组—龙一段暗色页岩(TOC>0.5%)在渝东南地区呈北东向展布,中东部彭水—武隆地区暗色页岩厚89~110 m, JY1井厚89 m, LY1井厚96 m, PY1井厚103 m<sup>[5]</sup>;南部以南川—綦江为沉积中心,厚度大于100 m,最厚可达160 m, NY1井厚135 m;往北、往南厚度逐渐减薄。优质页岩(TOC>2%)厚24~38 m,从盆地内的焦石坝到盆地外的武隆、彭水地区,优质页岩厚度自西向东逐渐减薄(由38 m逐渐减薄为32 m、24 m),展布规律与半

深水—深水陆棚相带分布一致。

## 2 页岩岩石相划分及特征

### 2.1 页岩岩石相划分

五峰组—龙一段岩性以硅质页岩、粉砂质页岩为主,局部发育介壳灰岩、白云质页岩、泥质粉砂岩等。在TOC、矿物组分(硅质、黏土、方解石、白云石等)含量、笔石含量等定量实验分析的基础上,结合岩性、纹层发育情况、笔石种属及分布、测井特征等定性因素<sup>[12-14,16-18]</sup>,进行了岩石相识别与划分。提出了以TOC、硅质含量、笔石含量三端元为主的岩石相划分方案,该方案可反映地质评价参数和可压性评价参数。通过系统整理渝东南地区NY1井、LY1井、

PY1井等3口井的志留系页岩气实验分析数据,根据定量因素不同区间分布规律,结合页岩气勘探实践认识<sup>[3-11]</sup>,建立了岩石相划分的定量评价标准(表1)。

表1 五峰组—龙一段岩石相定量评价标准  
Table 1 Quantitative evaluation criteria for lithofacies of Wufeng Formation-Longmaxi Member 1

TOC/%		硅质含量/%		笔石含量/%	
≥4	富碳	≥50	富硅	≥50	富笔石
3~4	高碳	40~50	高硅	30~50	高含笔石
1~3	中碳	30~40	中硅	10~30	中含笔石
<1	低碳	20~30	低硅	0~10	含笔石

页岩岩石相命名以简单、实用为原则,采取定量、定性相结合的方法。根据五峰组—龙一段沉积特征、岩性组合、TOC、矿物组分特征、笔石含量及分布特征等,在渝东南地区五峰组—龙一段识别出9种岩石相(图2,表2)。其中,区域性分布的6种页岩相为主要岩石相,包括富碳富硅富笔石页岩相、高碳高硅富笔石页岩相、中碳高硅高含笔石页岩相、低碳中硅含笔石纹层状页岩相、中碳中硅中含笔石页岩相及低碳低硅含笔石页岩相;局部分布的3种岩石相为次要岩石相,主要包括低碳低硅介壳灰岩相、低碳低硅白云质页岩相、低碳含灰泥质粉砂岩相。

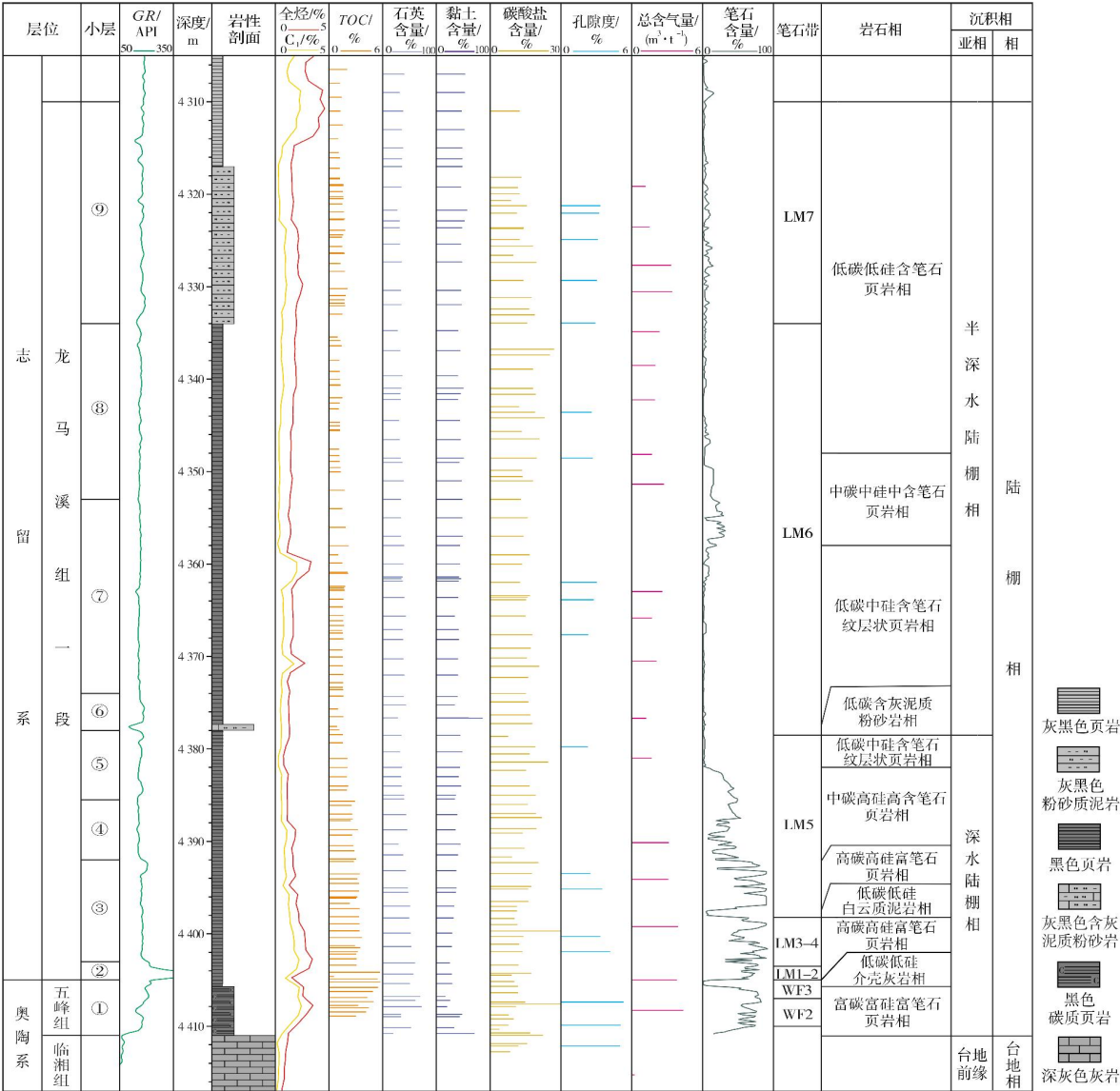


图2 渝东南地区 NY1 井五峰组—龙一段岩石相划分  
Fig. 2 Lithofacies division of Wufeng Formation-Longmaxi Member 1 of Well NY1 in Southeastern Chongqing

表 2 渝东南地区五峰组—龙一段 9 种岩石相参数统计  
Table 2 Parameters statistics of 9 types of lithofacies of Wufeng Formation-Longmaxi Member 1 in Southeastern Chongqing

岩石相	岩性	厚度/m	有机碳含量/%	硅质含量/%	孔隙度/%	总含气量/ (m <sup>3</sup> ·t <sup>-1</sup> )	笔石含量/%	GR/ API
低碳低硅含笔石页岩相	粉砂质页岩	25~35	0.04~2.09/1.40	22~37/31	2.5~3.3/3.0	1.2~2.0	<10	170~205
中碳中硅中含笔石页岩相	含灰页岩	10~15	1.00~4.74/2.47	34~40/36	2.3~3.7/3.0	1.5~3.0	10~30	160~200
低碳含灰泥质粉砂岩相	泥质粉砂岩	1~2	0.98	>50	1.1~2.0/1.8	0.4~0.7	<5	50~100
低碳中硅含笔石纹层状页岩相	黏土质页岩	18~25	1.01~1.82/1.58	29~44/37	2.3~2.7/2.5	1.5~2.5	<10	150~190
中碳高硅高含笔石页岩相	含粉砂页岩	10~15	1.98~3.47/2.71	30~52/41	3.3~4.1/3.7	2.3~3.0	33~50	150~239
低碳低硅白云质页岩相	白云质页岩	0.1~0.2	0.80	<20			0	40~60
高碳高硅富笔石页岩相	硅质页岩	8~12	2.93~3.68/3.29	40~60/49	3.0~4.0/3.6	2.5~4.0	40~80	187~254
低碳低硅介壳灰岩相	介壳灰岩	0.2~0.5	0.30	<20	1.0	0.5	0	<50
富碳富硅富笔石页岩相	硅质页岩	4~10.9	4.06~7.73/4.60	34~77/55	5.02	3.0~6.0	50~90	163~350

\* 单个样品值之外,其余为“范围值/平均值”。

## 2.2 页岩岩石相特征

对五峰组—龙一段6种主要岩石相及3种次要岩石相进行综合评价,富碳富硅富笔石页岩相、高碳高硅富笔石页岩相为最优岩石相,具有生烃能力强、储集性能优的特点,是五峰组—龙一段页岩气富集的物质基础。以自下而上首次出现的顺序依次展开描述:

**富碳富硅富笔石页岩相(“三富”页岩相)** 岩性为黑色硅质页岩(图3,A1),染手,具有高TOC、高硅质、低黏土、高孔隙、高含气的特征。该类岩石相的有机碳含量最高,TOC介于4.06%~7.73%,平均为4.6%(表2)。页岩笔石含量高,笔石带为WF2—WF3(图2),以太平洋拟直笔石、雕刻正常笔石和尖笔石为主,岩心断面上笔石覆盖率最高可达90%(图3,A2),笔石对页岩生烃及成孔具有重要的贡献<sup>[19-21]</sup>,是该类岩石相高TOC的主要原因。该类页岩相黄铁矿含量较低,局部富集,呈结核状;硅质含量介于34%~77%,平均为55%,纵向上为硅质富集段;黏土矿物含量在16.7%~48%之间,平均为31%。富硅低黏土有利于后期压裂改造提高单井产量。页岩颗粒磨圆中等(图3,A3—A4),硅质主要为燧石及蛋白石。有机质孔隙发育,镜下多见50~200nm孔径的有机质孔隙(图3,A5)。页岩裂缝较发育,中下部发育小型揉皱、高角度裂缝、层理缝,被方解石半充填—全充填,孔隙度超过4%,为页岩气赋存(游离+吸附)提供了良好的储集空间。“三富”页岩相页岩含气性好,实验分析得到的总含气量为3.0~6.0 m<sup>3</sup>/t(表2)。测井GR表现为中

高值(163~300 API)、局部极高值(300~350 API)的典型电性特征。该类岩石相厚4.0~10.9 m,在南川地区主要发育于五峰组,在武隆地区主要发育于五峰组—龙一段底部,平面展布较稳定,是五峰组—龙一段的主要岩石相类型之一,为页岩气勘探甜点段。

**低碳低硅介壳灰岩相** 岩性为泥质灰岩,岩心断面可见到个体较小的腕足类化石,具有低TOC、高灰质含量特征。该类岩石相有机碳含量低,小于0.5%;矿物组分以方解石、白云石为主,碳酸盐岩含量介于30%~70%,硅质含量少。测井表现为低GR特征(小于50 API),是典型标志层之一。介壳灰岩岩性致密,对页岩气压裂纵向裂缝的延伸具有一定的抑制作用。该类岩石相位于五峰组顶部的观音桥段,厚0.2~0.5 m,受沉积相控制,平面分布具有一定规律性,主要在渝东南武隆—南川—綦江—仁怀一带发育,彭水、涪陵及其以北地区则不发育。

**高碳高硅富笔石页岩相(“两高一富”页岩相)** 岩性为黑色硅质页岩(图3,B1),笔石含量丰富(图3,B2),处于LM1—LM3笔石带,部分在LM4笔石带(图2),以轴囊笔石、尖笔石为主,见少量叉笔石、栅笔石;TOC较高,平均为3.29%(表2)。该类页岩相黄铁矿含量开始增加,平均可达3.7%,岩心观察可见黄铁矿呈草莓状、结核状分布,部分与方解石脉相伴生;硅质含量平均为49%;黏土含量平均为34%,镜下黏土多呈无定形(图3,B3—B4),以伊利石、伊蒙混层为主。有机质孔隙发育,孔径以10~50 nm为主



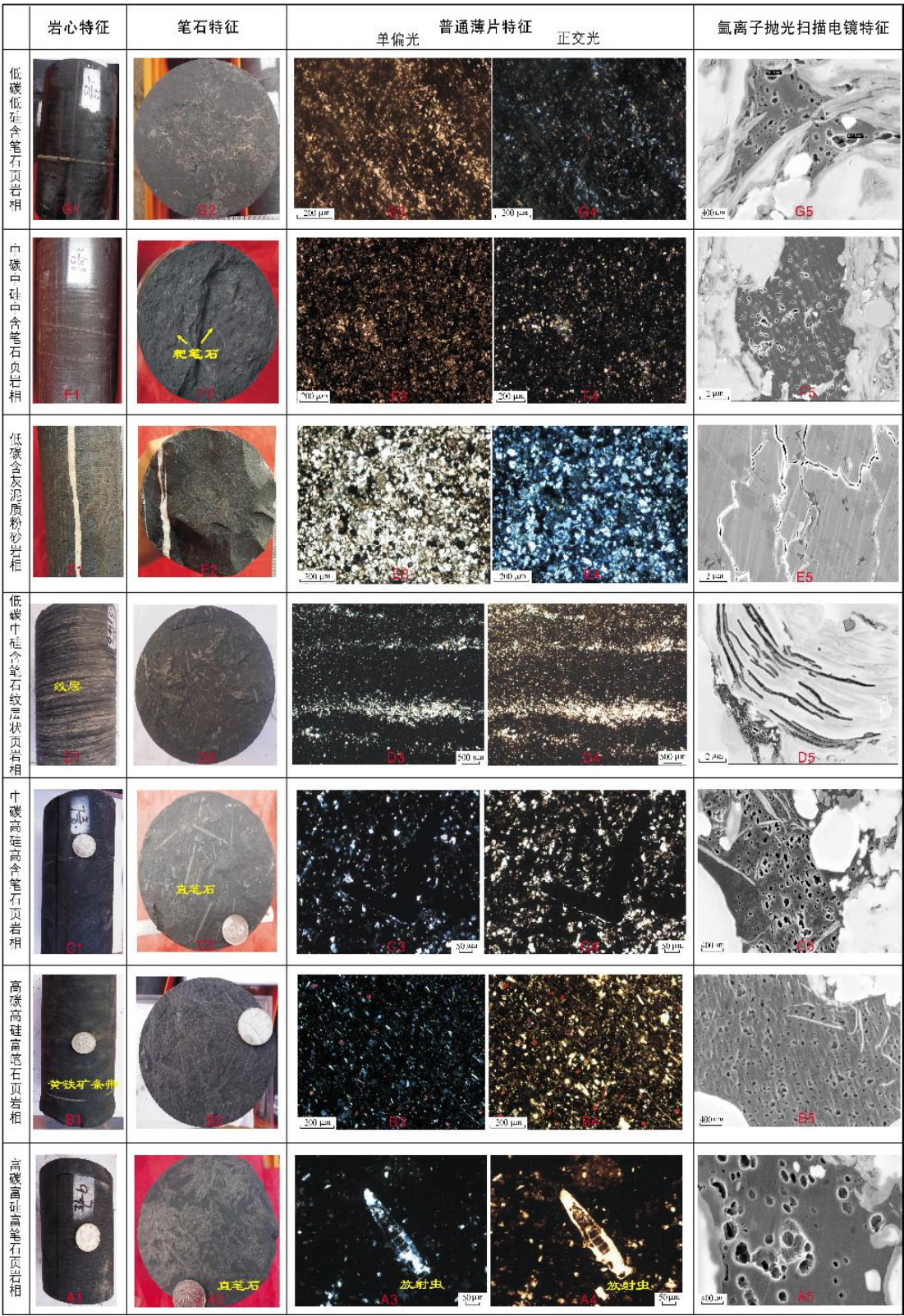


图 3 渝东南地区五峰组—龙一段岩石相特征

Fig. 3 Lithofacies characteristics of Wufeng Formation-Longmaxi Member 1 in Southeastern Chongqing

(图3,B5);发育水平缝、层理缝,局部发育高角度裂缝。孔隙度为3%~4%,总含气量为2.5~4.0 m<sup>3</sup>/t,测井上表现为中高GR特征(187~254 API)。该类岩石相主要发育在龙一段下部,厚8~12 m,位于低碳低硅介壳灰岩相或“三富”页岩相之上,全区分布稳定,为主要岩石相类型之一。受沉积微相控制,“两高一富”页岩相在焦石坝—武隆地区相变为“三富”页岩相。“两高一富”和“三富”页岩相为最优岩石相,是页岩气勘探甜点段,水平井轨迹在这两类岩石相中穿行时单井产量高。

**低碳低硅白云质页岩相** 岩性为灰色白云质页岩,TOC小于1%,白云石含量较高,为25%~66.8%。该类岩石相发育在龙一段下部,厚0.1~0.2 m,主要在南川地区发育,武隆—彭水等地区不发育,分布具有局限性,为次要岩石相之一。

**中碳高硅高含笔石页岩相** 岩性为灰黑色含粉砂页岩(图3,C1),笔石含量有所减少,以直笔石、轴囊笔石、曲背冠笔石为主(图3,C2),处于LM5笔石带,TOC平均为2.71%(表2)。陆源碎屑含量增加,但颗粒分选较差,呈次棱角—次圆状,局部石英颗粒聚集,含粉砂条带(图3,C3—C4)。硅质含量中等,平均为41%;黏土含量较高,平均为39.4%。该类岩石相裂缝发育较少,局部发育高角度裂缝;页岩有机质孔隙较发育,以10~20 nm的小孔径为主(图3,C5)。孔隙度为3.3%~4.1%,总含气量为2.3~3.0 m<sup>3</sup>/t。测井曲线表现为中高GR(150~239 API)特征,局部高GR尖子可作为标志层。该类岩石相发育于“两高一富”页岩相之上,厚10~15 m,为主要岩石相类型之一。

**低碳中硅含笔石纹层状页岩相** 岩性为深灰色黏土质页岩(图3,D1),笔石含量较少,以细小直笔石、栅笔石为主,处于LM6笔石带。页岩TOC较低,平均为1.58%(表2);硅质含量中等,平均为37%;黏土含量较高,平均为42.8%。页岩纹层发育为该类岩石相最典型特征(图3,D1),纹层密度可达40~70条/m,厚0.1~0.5 mm不等;镜下石英、碳酸盐矿物聚集,呈条带状,亮纹层为粉砂层,暗纹层为泥质/黏土层(图3,D3—D4)。扫描电镜下可观察到有机质呈分散状,纳米级有机质孔隙较少(图3,D5),孔隙度为2.3%~2.7%,含气量为1.5~2.5 m<sup>3</sup>/t。测井表现为中GR(150~190 API)特征。该类岩石相厚18~25 m,位于龙一段中部,全区分布稳定。

**低碳含灰泥质粉砂岩相** 岩性为灰色—深灰

色含灰泥质粉砂岩,岩性致密,滴酸起泡。页岩TOC平均为0.98%(表2),笔石、有机质孔隙均不发育(图3,E1—E5),测井表现为低GR(50~100 API)特征,是典型标志层之一。该类岩石相处于中碳高硅高含笔石页岩相与低碳中硅含笔石纹层状页岩相之间,是优质页岩(TOC≥2%)与非优质页岩(TOC<2%)的分界线。该类岩石相厚1~2 m,主要分布在渝东南南川—东胜及其以西地区,焦石坝—武隆—彭水等地区不发育。

**中碳中硅中含笔石页岩相** 岩性为灰黑色含灰页岩(图3,F1),灰质含量升高,方解石含量为4.9%~10%,平均为7%,明显高于其他岩石相。页岩笔石含量较少(图3,F2),可见丝笔石、三角半耙笔石、贵州耙笔石,处于LM6笔石带。页岩TOC中等,平均为2.47%(表2);硅质含量中等,平均为36%;黏土含量高,平均为47%。局部发育高角度裂缝,有机质孔隙较发育,但孔径较小,以2~10 nm为主(图3,F5)。孔隙度平均为3%,含气量介于1.5~3.0 m<sup>3</sup>/t。测井表现为中GR值(160~200 API)特征。该类岩石相位于龙一段中上部,厚10~15 m,全区分布稳定,是五峰组—龙一段上部气层的甜点段,为立体开发层系上部轨迹穿行的重要岩石相类型。

**低碳低硅含笔石页岩相** 岩性为灰黑色粉砂质页岩(图3,G1),主体位于LM7笔石带,发育角石,表明水体变浅,陆源碎屑颗粒增加。页岩TOC低,平均为1.40%(表2);硅质含量低,平均为31%;黏土含量高,平均为51%。页岩局部有机质孔隙发育(图4,G2—G5),孔隙度为2.5%~3.3%,含气量在1.2~2.0 m<sup>3</sup>/t。测井表现为中GR(170~205 API)特征。该类岩石相厚25~35 m,位于龙一段上部,全区稳定分布,为主要岩石相类型之一。

五峰组—龙一段自下而上可划分9个小层(图2),①~⑤小层为优质页岩段,上述“三富”页岩相与“两高一富”页岩相主要发育在①~③小层。焦石坝、武隆、彭水地区此两类岩石相差异较小,但焦石坝地区优质页岩厚度较武隆、彭水地区厚,造成差异的原因在于④~⑤小层的岩石相发生相变(图4):由于焦石坝地区处于深水陆棚沉积中心,④~⑤小层岩石相以中碳高硅高含笔石页岩相为主(TOC≥2%),武隆—彭水地区处于深水陆棚相斜坡较高部位,岩石相发生变化,已相变为低碳中硅含笔石纹层状页岩相(TOC<2%)。



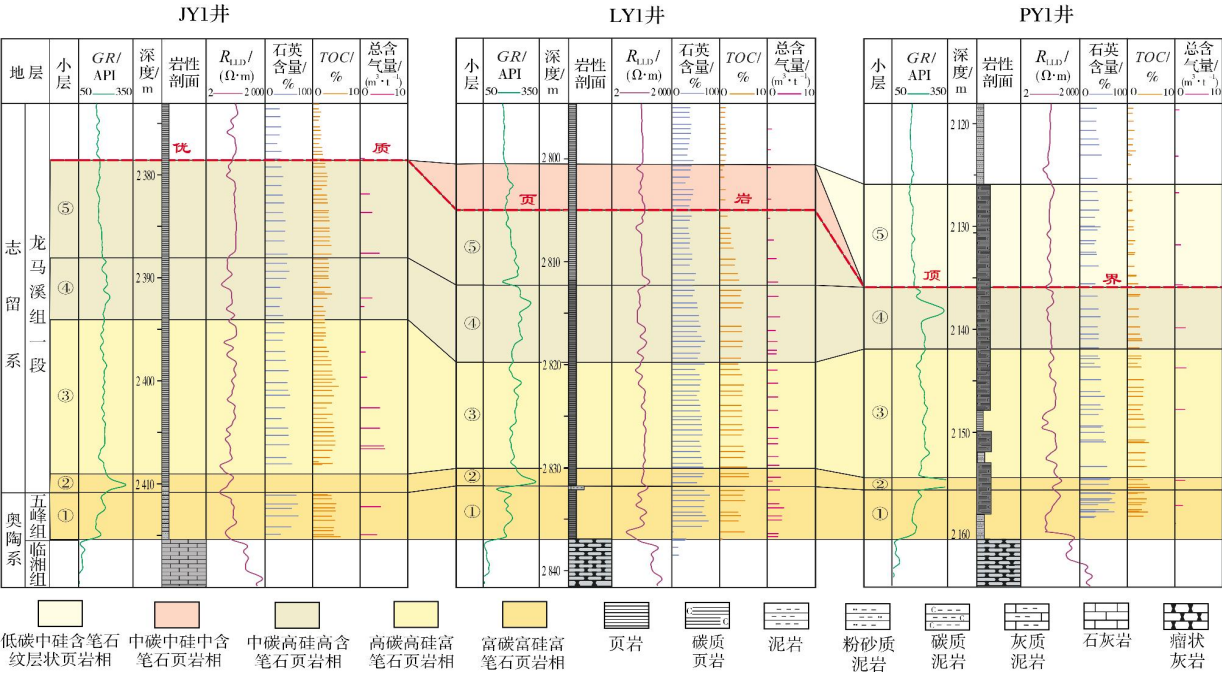


图 4 焦石坝—武隆—彭水地区五峰组—龙一段优质页岩段岩石相对比图

Fig. 4 Lithofacies comparison of high quality shale of Wufeng Formation-Longmaxi Member 1 in Jiaoshiba-Wulong-Penghsui area

### 3 岩石相与页岩气富集关系

岩石相控制着TOC、页岩基质组成等,是页岩气富集成藏的基础。综合对比分析五峰组—龙一段9种岩石相的地化指标、储层物性、脆性及含气性等(表2),评价认为富碳富硅富笔石页岩相、高碳高硅富笔石页岩相具有高TOC、高孔隙度、高含气量、微裂缝发育、笔石发育等地质特点,为最优岩石相和地质工程甜点段。最优岩石相越发育(厚度越大),页岩气富集程度越高,在保存条件相近的情况下,水平井轨迹在最优岩石相穿行率越高,单井产量越高(图5)。

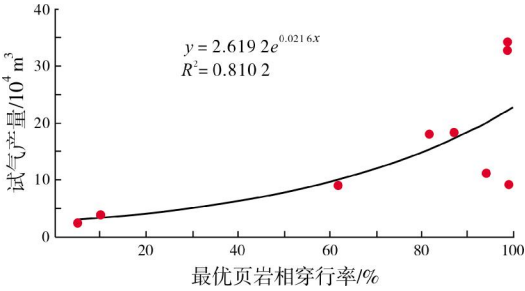


图 5 最优岩石相穿行率与试气产量关系图

Fig. 5 Relationship between passing rate across the optimal shale facies and gas test yield

五峰组—龙一段的“三富”页岩相和“两高一富”页岩相为最优岩石相,生烃能力强、储集物性好,有利于页岩气的富集,纵向上表现为下部富集的特征,是主要产气层段。无论是高压还是常压页岩气藏,均表现出这一特征和规律。

彭水—武隆地区早期实施的PY1井、PY2井(地层压力系数0.96~1.05,水平段长1 200~1 500 m,分15~20段压裂)轨迹主要以五峰组—龙一段的中碳高硅高含笔石页岩相和低碳中硅含笔石纹层状页岩相为靶窗,最优的“三富”页岩相和“两高一富”页岩相钻遇率较低(<5%),压裂后单井测试产量为(1.5~2.5)×10<sup>4</sup> m<sup>3</sup>/d。通过岩石相精细划分及其与页岩气富集关系研究,明确了彭水—武隆地区水平井轨迹的最优穿行靶窗为两种最优岩石相,近期实施的LY1井、LY2井(地层压力系数1.06,水平段长1 317~1 500 m,分17~20段压裂)在“三富”与“两高一富”页岩相的穿行率达到100%,测试产量为(4.6~9.2)×10<sup>4</sup> m<sup>3</sup>/d,单井累产超过3 800×10<sup>4</sup> m<sup>3</sup>,进一步证实最优岩石相为页岩气有利富集段,水平井轨迹在最优岩石相穿行可有效提高单井产量。

在岩石相精细研究的基础上,结合渝东南地区五峰组—龙一段页岩有机地球化学、物性、含气性、

可压性等评价要素,明确了不同区带最优穿行靶窗;彭水—武隆、平桥等地区以“两高一富”页岩相下部为最优穿行靶窗,东胜地区以“三富”页岩相中上部为最优穿行靶窗(图6)。“十三五”以来,相继实施的页岩气水平井轨迹在最优岩石相的穿行率达100%,

常压区压裂后单井产量为 $(4.6-9.2) \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ ,产量增加明显,实现了常压页岩气勘探的重要突破;高压区压裂后单井产量超过 $20 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 。目前所有开发井均在上述最优岩石相靶窗内穿行,实现了渝东南地区页岩气的勘探突破和开发建产。

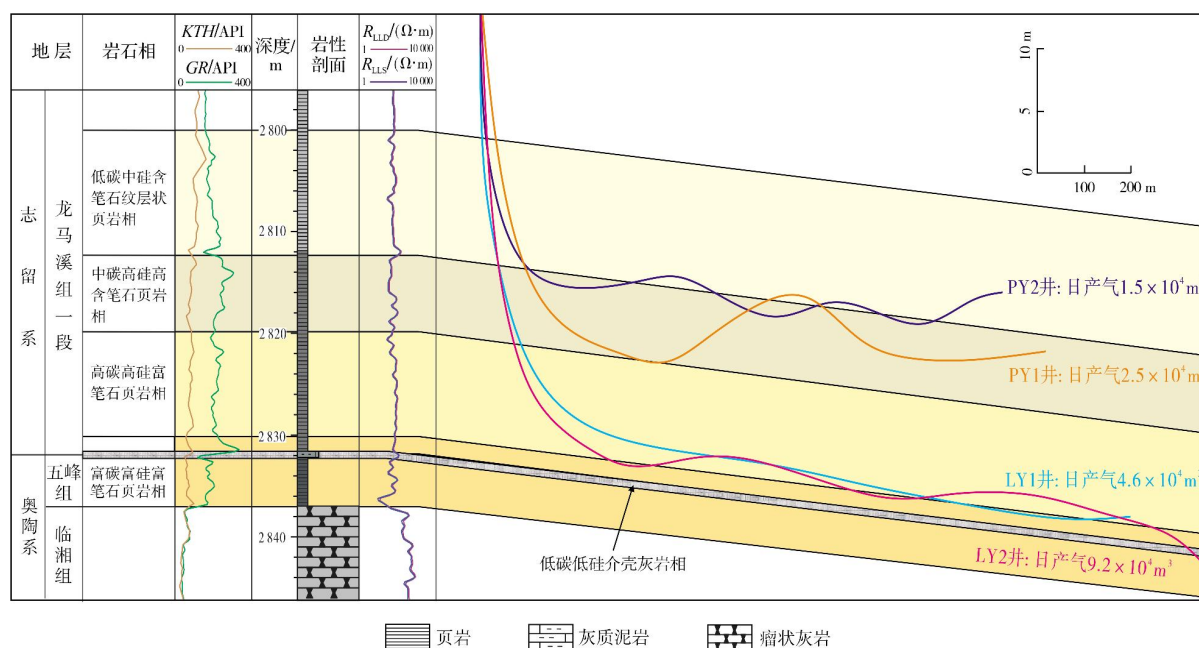


图6 渝东南地区页岩气水平井穿行轨迹及试气产量示意图

Fig. 6 Schematic diagram showing crossing trajectory and gas test production of shale gas horizontal wells in Southeastern Chongqing

## 4 结 论

(1)根据渝东南地区五峰组—龙一段页岩 TOC、硅质含量、笔石含量,结合岩性、纹层发育情况、笔石种属、测井特征等,建立了岩石相划分标准,划分出 6 种主要岩石相、3 种次要岩石相:富碳富硅富笔石页岩相、高碳高硅富笔石页岩相、中碳高硅高含笔石页岩相、低碳中硅含笔石纹层状页岩相、中碳中硅中含笔石页岩相、低碳低硅含笔石页岩相为 6 种主要岩石相,低碳低硅介壳灰岩相、低碳低硅白云质页岩相、低碳含灰泥质粉砂岩相为 3 种次要岩石相。

(2)综合分析五峰组—龙一段 9 种岩石相有机地球化学、储层物性、脆性、含气性等特征,评价出富碳富硅富笔石页岩相、高碳高硅富笔石页岩相为最优岩石相,具有有机质丰度高、储层物性好、含气性好、单井测试产量高等特征,是页岩气勘探的甜点段。

## 参 考 文 献

- [1] 马永生,蔡勋育,赵培荣. 中国页岩气勘探开发理论认识与实践[J]. 石油勘探与开发,2018,45(4): 561-574.
- [2] 马新华,谢军. 川南地区页岩气勘探开发进展及发展前景[J]. 石油勘探与开发,2018,45(1): 161-169.
- [3] 方志雄,何希鹏. 渝东南武隆向斜常压页岩气形成与演化[J]. 石油与天然气地质,2016,37(6): 819-827.
- [4] 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.
- [5] 何希鹏,张培先,房大志,等. 渝东南彭水—武隆地区常压页岩气生产特征[J]. 油气地质与采收率,2018,25(5): 72-79.
- [6] 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]. 天然气地球科学,2017,28(4): 654-664.
- [7] 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.
- [8] 聂海宽,唐玄,边瑞康. 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,2009,30(4): 484-491.
- [9] 郭旭升. 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,2014,88(7): 1209-1218.



- [10] 王志刚. 涪陵页岩气勘探开发重大突破与启示[J]. 石油与天然气地质, 2015, 36(1): 1-6.
- [11] 郭彤楼, 张汉荣. 四川盆地焦石坝页岩气田形成与富集高产模式[J]. 石油勘探与开发, 2014, 41(1): 28-36.
- [12] HAMMES U, FRÉBOURG G. Haynesville and Bossier mudrocks: a facies and sequence stratigraphic investigation, East Texas and Louisiana, USA[J]. Marine and petroleum geology, 2012, 31(1): 8-26.
- [13] 梁超, 姜在兴, 杨懿婷, 等. 四川盆地五峰组—龙马溪组页岩岩相及储集空间特征[J]. 石油勘探与开发, 2012, 39(6): 691-698.
- [14] 董春梅, 马存飞, 林承焰, 等. 一种泥页岩层系岩相划分方法[J]. 中国石油大学学报(自然科学版), 2015, 39(3): 1-7.
- [15] 马力, 陈焕疆, 甘克文, 等. 中国南方大地构造和海相油气地质[M]. 北京: 地质出版社, 2004.
- [16] ABOUELRESH M O, SLATT R M. Lithofacies and sequence stratigraphy of the Barnett Shale in east-central Fort Worth Basin, Texas[J]. AAPG bulletin, 2012, 96(1): 1-22.
- [17] HICKEY J J, HENK B. Lithofacies summary of the Mississippian Barnett Shale, Mitchell 2 T. P. Sims well, Wise County, Texas[J]. AAPG bulletin, 2007, 91(4): 437-443.
- [18] 何利, 宋春彦, 谭钦银, 等. 川东南武隆地区五峰组—龙马溪组页岩气形成条件及富集区分析[J]. 海相油气地质, 2017, 22(3): 47-56.
- [19] 邱振, 董大忠, 卢斌, 等. 中国南方五峰组—龙马溪组页岩中笔石与有机质富集关系探讨[J]. 沉积学报, 2016, 34(6): 1011-1020.
- [20] 王勤, 钱门辉, 蒋启贵, 等. 中国南方海相烃源岩中笔石生烃能力研究[J]. 岩矿测试, 2017, 36(3): 258-264.
- [21] 王子轶, 高志前, 石文睿, 等. 四川盆地五峰组—龙马溪组笔石与页岩气关系探讨[J]. 现代地质, 2019, 33(2): 379-388.
- [22] 王玉满, 董大忠, 黄金亮, 等. 四川盆地及周缘上奥陶统五峰组观音桥段岩相特征及对页岩气选区意义[J]. 石油勘探与开发, 2016, 43(1): 42-50.

编辑:刘江丽 张润合

## Lithofacies and shale gas enrichment of Wufeng Formation-Longmaxi Formation in Southeastern Chongqing

WU Yuyuan, ZHANG Peixian, HE Xipeng, GAO Yuqiao, HE Guisong, SUN Bin, WAN Jingya, GAO Quanfang, ZHOU Dina

**Abstract:** A set of dark fine-grained shale of semi-deep water-deep water shelf developed in the Wufeng Formation-Longmaxi Formation in Southeastern Chongqing. Based on the fine study of lithofacies, nine types of lithofacies are divided from Wufeng Formation to Longmaxi Member 1: carbon-rich & silicon-rich & graptolite-rich shale facies, high-carbon & high-silicon & graptolite-rich shale facies, medium-carbon & high-silicon & high-graptolite shale facies, low-carbon & medium-silicon & graptolite-containing laminated shale facies, medium-carbon & medium-silicon & graptolite-containing shale facies, low-carbon & low-silicon & graptolite-containing shale facies are six major lithofacies; low-carbon & low-silicon shell limestone facies, low-carbon & low-silicon dolomitic shale facies, and low-carbon lime argillaceous siltstone facies are three secondary lithofacies. Carbon-rich & silicon-rich & graptolite-rich shale facies and high-carbon & high-silicon & graptolite-rich shale facies are the optimal lithofacies, which have the characteristics of high organic carbon content, high porosity, high brittleness, high gas content, and development of micro fractures. When horizontal well pass through the optimal lithofacies, the gas production of single well is high. The optimal target window for horizontal well in different zones is clarified, which lays a foundation for better guiding the trajectory of horizontal wells.

**Key words:** lithofacies; shale gas enrichment; target window; Wufeng Formation-Longmaxi Formation; Southeastern Chongqing

WU Yuyuan, First author: Professorate Engineer, engaged in petroleum geology. Add: No. 375 Jiangdongzhonglu Rd., Jianye District, Nanjing, Jiangsu 210011, China

ZHANG Peixian, Corresponding author: MSc, engaged in research of shale gas exploration. Add: No. 375 Jiangdongzhonglu Rd., Jianye District, Nanjing, Jiangsu 210011, China