

引用格式:杜伟,彭勇民,龙胜祥,等.黔北道真巴渔剖面五峰组—龙马溪组页岩地质特征[J].油气藏评价与开发,2022,12(1):130-138.

DU Wei, PENG Yongmin, LONG Shengxiang, et al. Geological characteristics of shale in Wufeng-Longmaxi Formation of Bayu outcrop in Daozhen, northern Guizhou[J]. Petroleum Reservoir Evaluation and Development, 2022, 12(1): 130-138.

DOI:10.13809/j.cnki.cn32-1825/te.2022.01.011

## 黔北道真巴渔剖面五峰组—龙马溪组页岩地质特征

杜伟<sup>1,2,3</sup>, 彭勇民<sup>1,2,3</sup>, 龙胜祥<sup>1,2,3</sup>, 聂海宽<sup>1,2,3</sup>, 孙川翔<sup>1,2,3</sup>, 塔力哈尔·叶尔哈孜<sup>4</sup>

(1. 页岩油气富集机理与有效开发国家重点实验室, 北京 100083; 2. 中国石化页岩油气勘探开发重点实验室, 北京 100083; 3. 中国石化石油勘探开发研究院, 北京 100083; 4. 中国地质大学, 北京 100083)

**摘要:**黔北地区道真巴渔剖面上奥陶统五峰组—下志留统龙马溪组一段地层出露较好,地层界限清晰完整。受全球海平面变化的控制,该剖面五峰组—龙马溪组一段自下而上发育含黏土硅质页岩、硅质页岩、含黏土硅质页岩、黏土质页岩和粉砂质页岩,与盆缘彭水地区和盆内焦石坝具有相似的纵向叠置特征。巴渔剖面五峰组—龙马溪组一段优质页岩岩性主要是含黏土硅质页岩、硅质页岩,具有与盆缘彭水地区和盆内焦石坝地区较为一致的有机质富集规律,TOC(总有机碳含量)与石英矿物含量呈正相关关系,与黏土矿物含量呈负相关关系。巴渔剖面五峰组—龙马溪组一段优质页岩总厚度26.1 m,低于盆缘彭水地区和盆内焦石坝地区,反映道真地区在上奥陶统五峰组—下志留统龙马溪组沉积时期沉积水体深度相对较浅。

**关键词:**道真巴渔; 优质页岩; 硅质页岩; 页岩气; 五峰组—龙马溪组

中图分类号:TE112

文献标识码:A

### Geological characteristics of shale in Wufeng-Longmaxi Formation of Bayu outcrop in Daozhen, northern Guizhou

DU Wei<sup>1,2,3</sup>, PENG Yongmin<sup>1,2,3</sup>, LONG Shengxiang<sup>1,2,3</sup>, NIE Haikuan<sup>1,2,3</sup>, SUN Chuanxiang<sup>1,2,3</sup>, YEERHAZI Talihaer<sup>4</sup>

(1. State Key Laboratory of Shale Oil and Gas Enrichment Mechanisms and Effective Development, Beijing 100083, China; 2. Sinopec Key Laboratory of Shale Oil/Gas Exploration and Production Technology, Beijing 100083, China; 3. Sinopec Petroleum Exploration and Production Research Institute, Beijing 100083, China; 4. China University of Geosciences, Beijing 100083, China)

**Abstract:** The upper Ordovician Wufeng Formation and the first member of the lower Silurian Longmaxi Formation are well exposed in Bayu outcrop Daozhen, northern Guizhou, with clear and complete stratigraphic boundaries. Under the control of global sea level changes, the Wufeng Formation and the first member of the Longmaxi Formation develop clay-bearing siliceous shale, siliceous shale, clay-bearing siliceous shale, argillaceous shale and silty shale from bottom to top, which display similar longitudinal superimposition characteristics to the Pengshui area on the edge of the Sichuan Basin and Jiaoshiha area in the basin. Lithology of the organic-rich shale in Wufeng Formation and the first member of the Longmaxi Formation in Bayu outcrop of Daozhen is dominated by clay-bearing siliceous shale and siliceous shale, which have the same organic matter enrichment features as that in the Pengshui and Jiaoshiha area. Specifically, TOC is positively correlated with the content of quartz, and negatively correlated with the content of clay minerals. The total thickness of organic-rich shale in the Wufeng Formation and the first member of the Longmaxi Formation at this profile is 26.1 m, which is lower than that in the Pengshui and the Jiaoshiha area, reflecting a relatively shallow-water depositional environment in the Daozhen area.

**Keywords:** Bayu village in Daozhen; organic-rich shale; siliceous shale; shale gas; Wufeng-Longmaxi Formation

收稿日期:2021-07-13。

第一作者简介:杜伟(1984—),男,高级工程师,主要从事页岩气地质研究,地址:北京市昌平区沙河地区中国石化科学技术研究中心818室,邮政编码:102206。E-mail:duwei.syky@sinopec.com.com

基金项目:国家自然科学基金“四川盆地五峰组—龙马溪组页岩气储层演化机理及评价方法”(41872124)。

页岩气是指主要以吸附态、游离态赋存于富有机质页岩层中的天然气,是“自生自储”的天然气资源<sup>[1-2]</sup>。目前四川盆地及其周缘上奥陶统五峰组—下志留统龙马溪组页岩气勘探开发取得一系列突破,发现了涪陵、长宁以及威荣页岩气田<sup>[3-5]</sup>。近年来,针对这套页岩的岩性组合、区域分布以及沉积环境变化等方面开展了深入的研究,多数学者也关注到了川东南地区、川南地区以及黔北地区的页岩品质和厚度的差异<sup>[6-7]</sup>。

四川盆地东南缘龙马溪组自下而上可分为龙一段、龙二段和龙三段。其中龙一段为富有机质页岩段,龙二段为浊流成因的粉砂岩段,龙三段为贫有机质层段。目前川东南地区页岩气钻井多集中于涪陵、彭水、武隆、南川和丁山等保存条件相对较好的区域,水平井靶窗主要在龙一段底部硅质页岩层段或者五峰组硅质页岩层段,涪陵页岩气田在龙一段(89 m)也开始探索多层立体开发。勘探开发实践表明页岩品质、岩性类型及其组合特征影响了页岩储层甜点分布和水平井靶窗的优选,在页岩气田产能

建设过程中至关重要<sup>[8-10]</sup>。

目前,研究表明自四川盆地内部到盆缘地区以及盆外地区,五峰组—龙马溪组富有机质页岩存在明显减薄的趋势<sup>[11]</sup>,但是针对四川盆地外部特别是在黔北地区还没有较为完整连续的钻井取心或者野外露头剖面证实这种减薄变差的趋势。黔北道真地区地处四川盆地川东高陡构造带和武陵褶皱带西北缘,位于武陵—湘鄂西褶皱带上(图1)<sup>[12]</sup>,紧邻四川盆地东南缘页岩气产能建设主体区域。该次研究选取黔北道真巴渔地区一条完整的五峰组—龙马溪组露头剖面开展研究。该剖面因道路施工影响,五峰组以及龙马溪组龙一段顶底界限清晰,对于研究川东南地区盆内—盆外五峰组—龙马溪组富有机质页岩沉积环境的差异有重要指示意义。

该次研究基于全岩矿物组分分析、薄片鉴定、氩离子抛光扫描电镜分析、能谱分析等实验手段,对该剖面岩性组合、矿物组分、古生物、沉积构造开展精细解剖,并与盆缘的典型页岩气钻井进行对比,从而明确川东南地区五峰组—龙马溪组富有机质页岩发

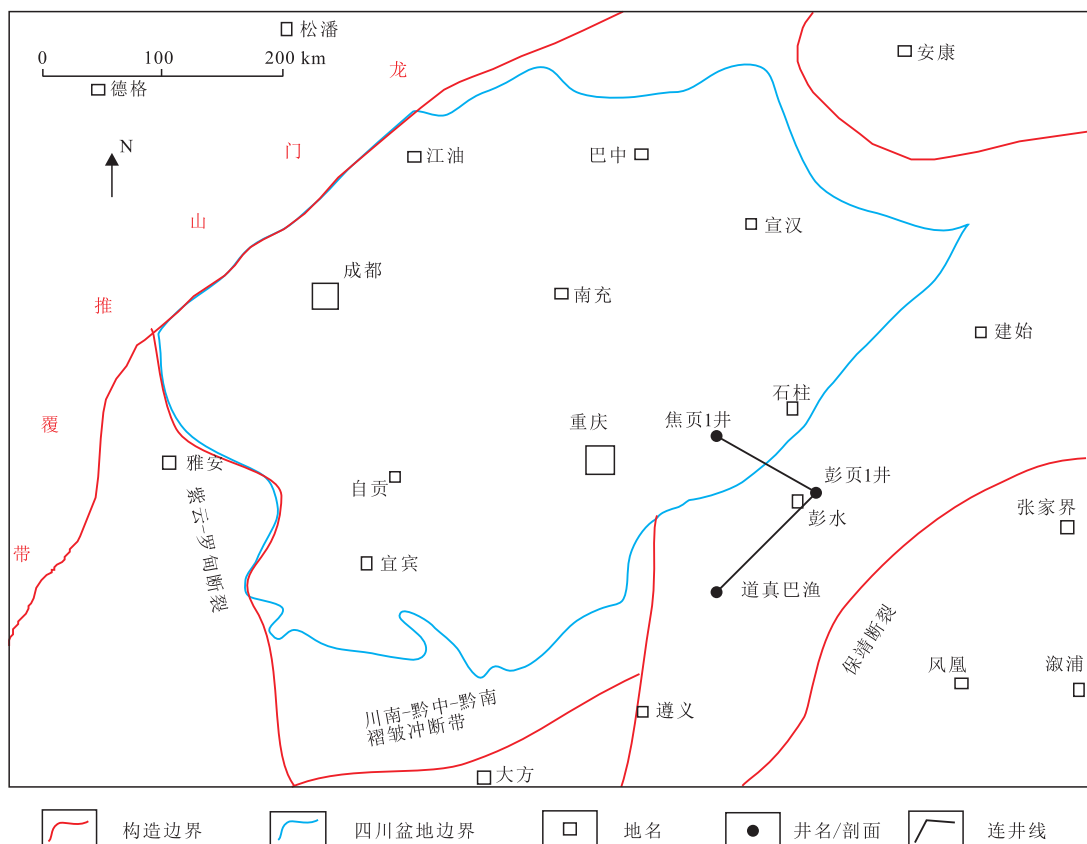


图1 道真巴渔地区区域构造及地理位置

Fig. 1 Regional structure and geographic location of Bayu village, Daozhen

育特征及其纵向演化规律。

### 1 小层划分

道真巴渔剖面位于贵州省道真县玉溪镇S207路边的沙坝村水库旁;长度约400 m。剖面出露上奥陶统涧草沟组( $O_{3j}$ )、五峰组( $O_{3w}$ )、下志留统龙马溪组( $S_1l$ )龙一段和龙二段,根据岩性特征、构造特征、风化特征以及古生物发育特征,共划分了48个地质分层(图2)。

该剖面五峰组页岩段厚7.23 m,以黑色含黏土硅质页岩和硅质页岩为主。龙马溪组一段厚99.85 m,岩性为黑色—灰黑色硅质页岩、灰黑色含黏土硅质页岩、灰色粉砂质页岩和灰黑色黏土质页岩。龙二段厚16.39 m,岩性为深灰色—灰色泥质粉砂岩(图3)。其中,上奥陶统五峰组与下伏涧草沟组界限基于岩性特征区分,五峰组与上覆下志留统龙马溪组界限基于古生物特征区分,龙马溪组一段与上覆龙二段浊流沉积粉砂岩基于岩性特征区分。

该剖面1—6号地质分层,总厚度7.23 m。1号地

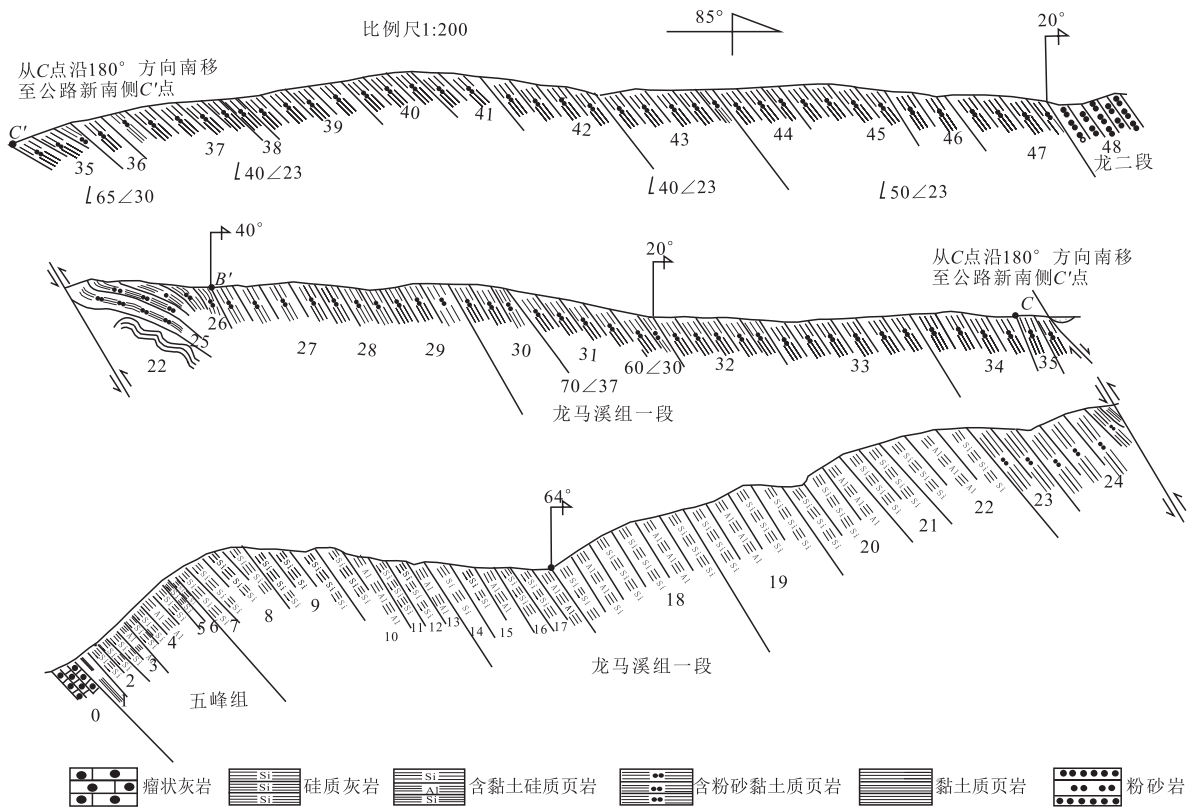


图2 道真巴渔剖面五峰组—龙马溪组实测剖面

Fig. 2 Measured profile of Wufeng-Longmaxi Formation in Bayu outcrop, Daozhen



a. 五峰组与涧草沟组界限

b. 龙马溪组与五峰组界限

c. 龙马溪组二段与龙一段界限

图3 道真巴渔剖面地层界限特征

Fig. 3 Stratigraphic boundary characteristics of Bayu outcrop, Daozhen

质分层岩性为灰黑色含黏土硅质页岩,与下伏涧草沟组瘤状灰岩整合接触(图3a)。2号分层为灰黑色含黏土硅质页岩。2号地质分层页岩样品发育奥陶系环绕叉笔石(图4a),3—6号分层发育硅质页岩,局部风化为棕色块状特征,单层厚度1~2 cm,4号分层出现太平洋拟直笔石(图4b)。

7号地质分层与下伏6号整合接触,岩性为灰黑色硅质页岩,风化为棕色砖块状特征,单层厚度3 cm,页岩断面见雕刻笔石(图4c),为LM1(*Normalograptus persculptus*)笔石带,是志留系笔石带的典型标志(图3b)。该小层与下伏6号分层为志留系与下伏奥陶系的界线。8—13号分层为灰黑色硅质页岩,见少量的不连续粉砂质纹层,少量方解石纹层状。9号分层断面见尖削尖笔石(图4d),为LM2笔石带。

14号地质分层岩性为灰黑色含黏土硅质页岩,单层厚度1~2 cm,颜色相对较浅,局部发育陆源碎屑纹层,见少量方解石纹层,发育网状方解石脉,断面见内曲赫氏笔石(图4e)、娇细钩笔石(图4f),属于LM4(*Cystograptus vesiculosus*)—LM5(*Coronograptus cyphus*)笔石带。15—18号地质分层岩性为含黏土硅质页岩,风化后呈深灰色,自下而上颜色逐渐变浅。

19号分层岩性为厚层状深灰色含粉砂黏土质页岩,与下伏18号分层相比,粉砂质含量增多,风化后呈灰黄色。20—24号分层自下而上粉砂质逐渐增多,沉积构造发育少量毫米级粉砂质层,少量球状风

化;断面笔石主要发育曲背冠笔石(图4g),属于LM5笔石带。

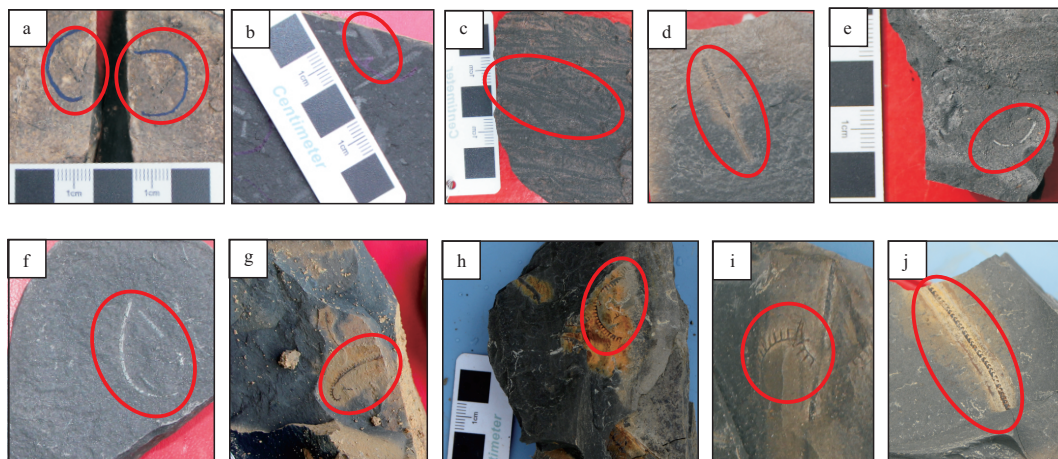
25号分层岩性为灰色纹层状粉砂质页岩,与下伏24号分层整合接触,该层页岩风化后颜色灰黄色(图3)。沉积构造主要发育由粉砂质、黄铁矿、方解石构成的密集毫米级纹层,纹层厚1~2 mm,纹层间距1~5 mm。断面见三角半耙笔石(图4h),对应于LM6(*Demirastrites trianglatus*)笔石带。

剖面30号分层岩性为深灰色粉砂质页岩,与下伏29号分层整合接触。30—32号分层陆源碎屑矿物层厚度增大,单层厚度2~3 mm,风化后颜色呈黄色。沉积构造主要发育由粉砂质、黄铁矿、方解石构成的稀疏纹层,局部发育方解石纹层,顺层结核状黄铁矿。

剖面33号分层岩性为灰黑色黏土质页岩,与下伏32号分层相比,该层颜色更深。沉积构造见少量顺层的结核状黄铁矿,断面见林奈耙笔石,对应于LM8—9笔石带(图4i)。34—38号分层主要为灰黑色黏土质页岩,新鲜面为灰黑色,风化面为灰黄色。

40号分层岩性为深灰色粉砂质页岩,下伏39号分层相比,其粉砂质含量增多,发育薄层粉砂岩。41—47号分层顺层发育2 cm厚的方解石剪切缝。45号分层断面见赛氏具刺笔石(图4j),对应于LM8笔石带。

48号分层岩性为灰色粉砂岩,局部夹粉砂质页岩,与下伏47号深灰色粉砂质页岩整合接触,局部风



注:a.环绕叉笔石,WF2;b.太平洋拟直笔石,WF3;c.雕刻笔石,LM1;d.尖削尖笔石,LM2;e.内曲赫氏笔石,LM4-5;f.娇细钩笔石,LM4-6;g.曲背冠笔石,LM5;h.三角半耙笔石,LM6;i.林奈耙笔石,LM8-9;j.赛氏具刺笔石,LM8。

图4 道真巴渔剖面典型笔石带发育特征

Fig. 4 Characteristics of typical graptolite zones in Bayu outcrop, Daozhen

化为灰黄色,沉积构造见风化球体 1.5 m×0.9 m,球体顺层分布。该地质分层是龙马溪组二段与龙一段界限(图 3c)。

## 2 岩性类型及其发育特征

道真巴渔剖面五峰组—龙马溪组龙一段自下而上主要发育灰黑色含黏土硅质页岩、黑色硅质页岩、灰黑色黏土质页岩、深灰色含粉砂黏土质页岩以及灰色粉砂质页岩。

含黏土硅质页岩主要发育在五峰组底部和龙马溪组一段中部,风化后呈薄层状(图 5a),其石英含量介于 45%~50%,生物成因石英含量相对较高,粒径均小于 20 μm,见少量陆源碎屑石英颗粒(粒径大于 20 μm),黏土矿物含量超过 30%(图 6a)。该类页岩中有机质含量(*TOC*)相对较高,2%~4%(表 1),

硅质页岩主要发育在五峰组上部和龙马溪组底部,风化后主要为厚层砖块状特征(图 5b)。硅质页岩中石英矿物含量均大于 50%,局部硅质生物条带富集,*TOC* 较高,均大于 4%。该类岩性黏土矿物含量较低,均低于 30%<sup>[13-14]</sup>(图 6b)。

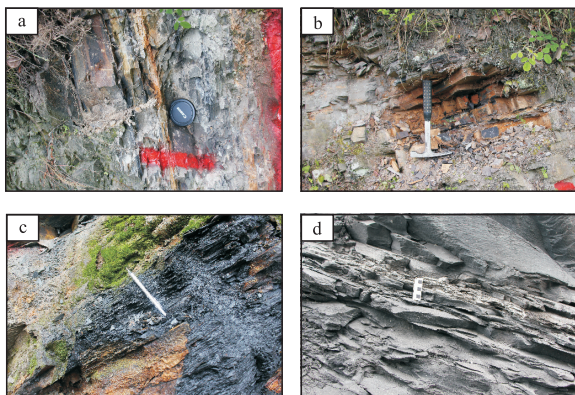
黏土质页岩主要发育在龙马溪组一段中下部,新鲜面呈灰黑色(图 5c),风化面呈深灰色,其黏土矿物含量超过 50%,陆源碎屑石英和碳酸盐矿物是主要的碎屑颗粒,其 *TOC* 相对较高,普遍介于 2%~3%(图 6c)。

粉砂质页岩主要发育在龙马溪组一段中部,新

表 1 道真巴渔剖面样品分析测试统计

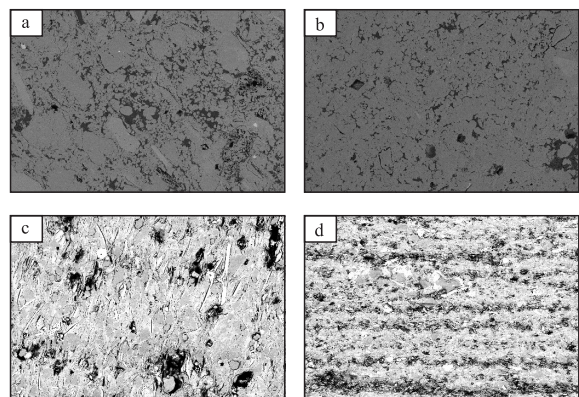
Table 1 Sample analysis and test statistics of Bayu outcrop, Daozhen

样品位置	样品位置(m)	<i>TOC</i> (%)	黏土矿物(%)	石英矿物(%)	碳酸盐矿物(%)	其他矿物(%)
DZBY33	17.980	0.620 0	47	26	18	9
DZBY32	18.740	0.723 0	46	27	20	7
DZBY31	20.580	0.678 4	48	31	11	10
DZBY30	24.600	0.673 8	45	41	3	11
DZBY29	28.285	0.755 9	46	31	7	16
DZBY28	35.400	0.735 7	46	35	6	13
DZBY27	39.600	0.744 5	45	34	8	13
DZBY26	46.100	0.733 8	41	32	8	19
DZBY25	46.810	0.664 8	39	33	8	20
DZBY24	52.700	0.650 5	44	38	9	9
DZBY23	54.055	0.693 5	45	35	7	13
DZBY22	56.600	0.785 6	48	34	7	11
DZBY21	59.000	0.779 8	48	34	6	12
DZBY20	61.000	0.785 5	45	35	7	13
DZBY19	63.170	0.676 5	41	39	8	12
DZBY18	63.730	0.686 3	46	38	6	10
DZBY17	66.050	0.456 1	41	41	6	12
DZBY16	66.755	0.574 5	45	38	6	11
DZBY15	69.800	0.759 4	43	39	7	11
DZBY14	70.100	0.536 0	54	32	4	10
DZBY13	71.290	0.687 4	50	36	6	8
DZBY12	72.300	0.636 5	53	29	7	11
DZBY11	76.840	1.146 0	44	39	2	15
DZBY10	82.400	0.436 1	53	41	1	5
DZBY9	88.920	0.521 7	55	39	0	6
DZBY8	92.250	2.377 0	46	38	2	14
DZBY7	96.970	2.557 0	39	42	5	14
DZBY6	99.510	3.028 0	40	53	0	7
DZBY6	100.890	2.750 0	45	44	1	10
DZBY5	102.870	2.797 0	34	57	0	9
DZBY4	108.270	6.028 0	32	63	0	5
DZBY3	108.520	6.050 0	28	67	1	4
DZBY2	111.130	3.187 0	18	79	0	3
DZBY1	113.080	2.556 0	25	73	1	1



注:a.含黏土硅质页岩,1号分层;b.硅质页岩,8号分层;c.黏土质页岩,19号分层;d.粉砂质页岩,36号分层。

图 5 道真巴渔剖面五峰组—龙马溪组一段典型页岩特征  
Fig. 5 Typical shale characteristics of Wufeng-Longmaxi Formation in Bayu outcrop, Daozhen



注:a.含黏土硅质页岩,DZBY1;b.硅质页岩,DZBY5;c.黏土质页岩,DZBY15;d.粉砂质页岩,DZBY18。

图 6 道真巴渔剖面五峰组—龙马溪组页岩类型及其特征  
Fig. 6 Characteristics of shale in Wufeng-Longmaxi Formation in Bayu outcrop, Daozhen

鲜面呈深灰色,可见明显的纹层状特征(图5d),其全岩矿物组分中石英矿物含量、黏土矿物含量均大于30%,碳酸盐矿物含量大于10%,受到风化作用影响,方解石和白云石颗粒内可见溶蚀孔隙。该类页岩中陆源碎屑颗粒顺层分布,在露头 and 镜下均发育纹层状特征(图6d),*TOC*相对较低,普遍小于2%。

该剖面五峰组—龙马溪组一段自下而上岩性主要为含黏土硅质页岩、硅质页岩、含黏土硅质页岩、

黏土质页岩和粉砂质页岩,这种岩性组合反映了该地区沉积环境的变化过程(图7)。上奥陶统五峰组经历持续海侵和快速海退,全球海平面快速上升过程研究区沉积薄层含黏土硅质页岩和厚层硅质页岩,全球海平面快速下降过程,川东南地区沉积观音桥段含介壳泥灰岩<sup>[15-17]</sup>。川东南地区的观音桥段属于浊流沉积,厚度和发育区域变化较大。研究区未见观音桥段含介壳泥灰岩。下志留统龙马溪组沉积

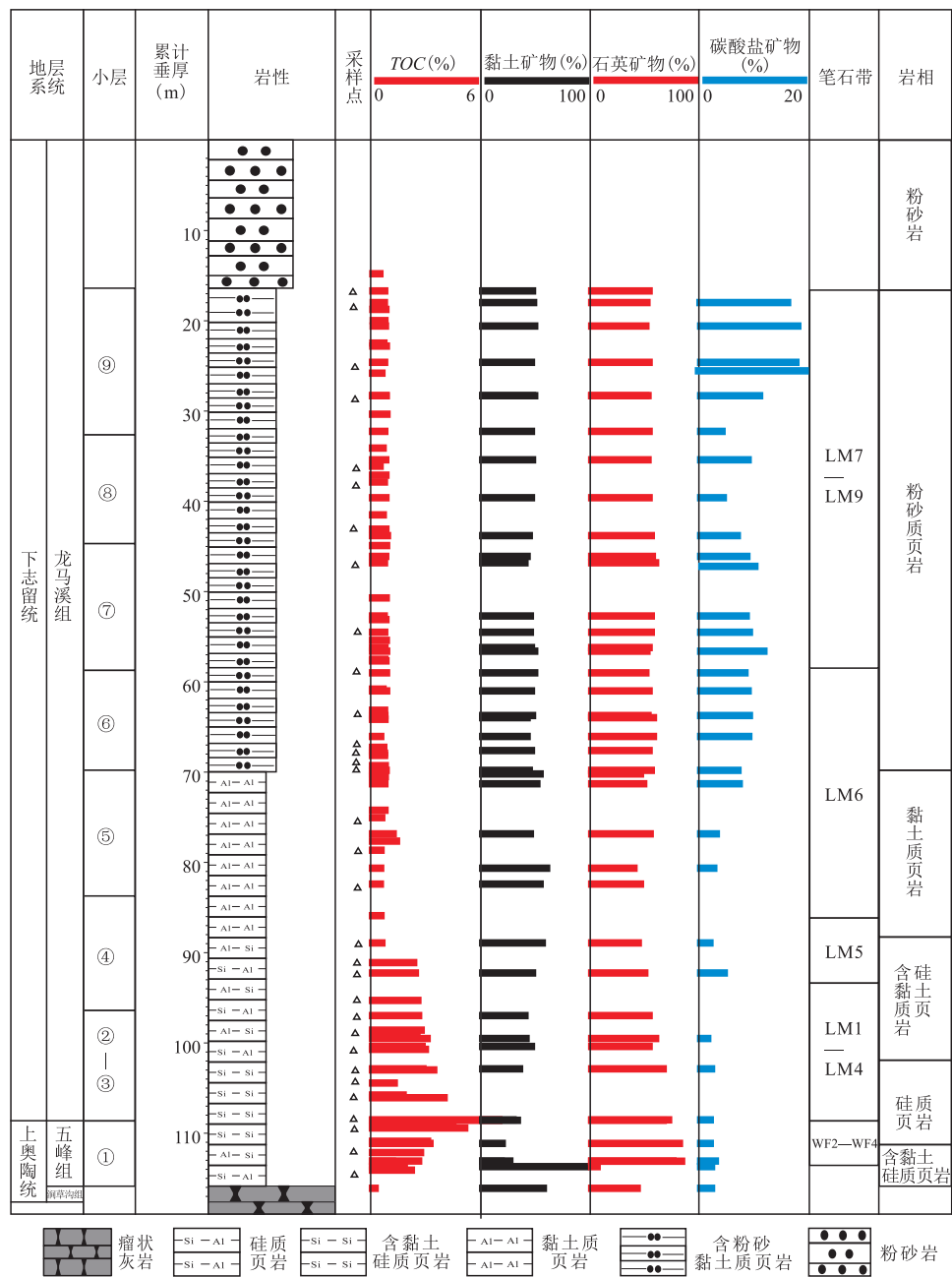


图7 道真巴渔五峰组—龙马溪组龙一段页岩综合柱状图

Fig. 7 Comprehensive histogram of Wufeng Formation and Long-1 Member of Longmaxi Formation in Bayu outcrop, Daozhen

时期,全球海平面快速上升,四川盆地及周缘发育厚层硅质页岩,伴随着全球海平面的缓慢下降,沉积水体逐渐变浅,陆源碎屑物质供给逐渐增多,研究区沉积物逐渐过渡为含黏土硅质页岩、含粉砂黏土质页岩以及粉砂岩(图8)。道真地区五峰组—龙一段岩性组合特征与盆缘彭水地区和盆内焦石坝地区具有一定的相似性,均反映了沉积水体变化过程,但是在典型岩性发育规模上与盆缘和盆内地区具有明显的

差异性(图9)。

从道真巴渔剖面样品统计来看,硅质页岩 TOC 均大于4%,含黏土硅质页岩 TOC 介于3%~4%,黏土质页岩 TOC 介于2%~3%,粉砂质页岩 TOC 小于2%。该剖面优质页岩(TOC 大于2%)的岩性类型主要是含黏土硅质页岩和硅质页岩,总厚度26 m,低于盆缘彭水地区和盆内焦石坝地区。统计发现该剖面具有与川东南地区五峰组—龙马溪组富有机质页岩

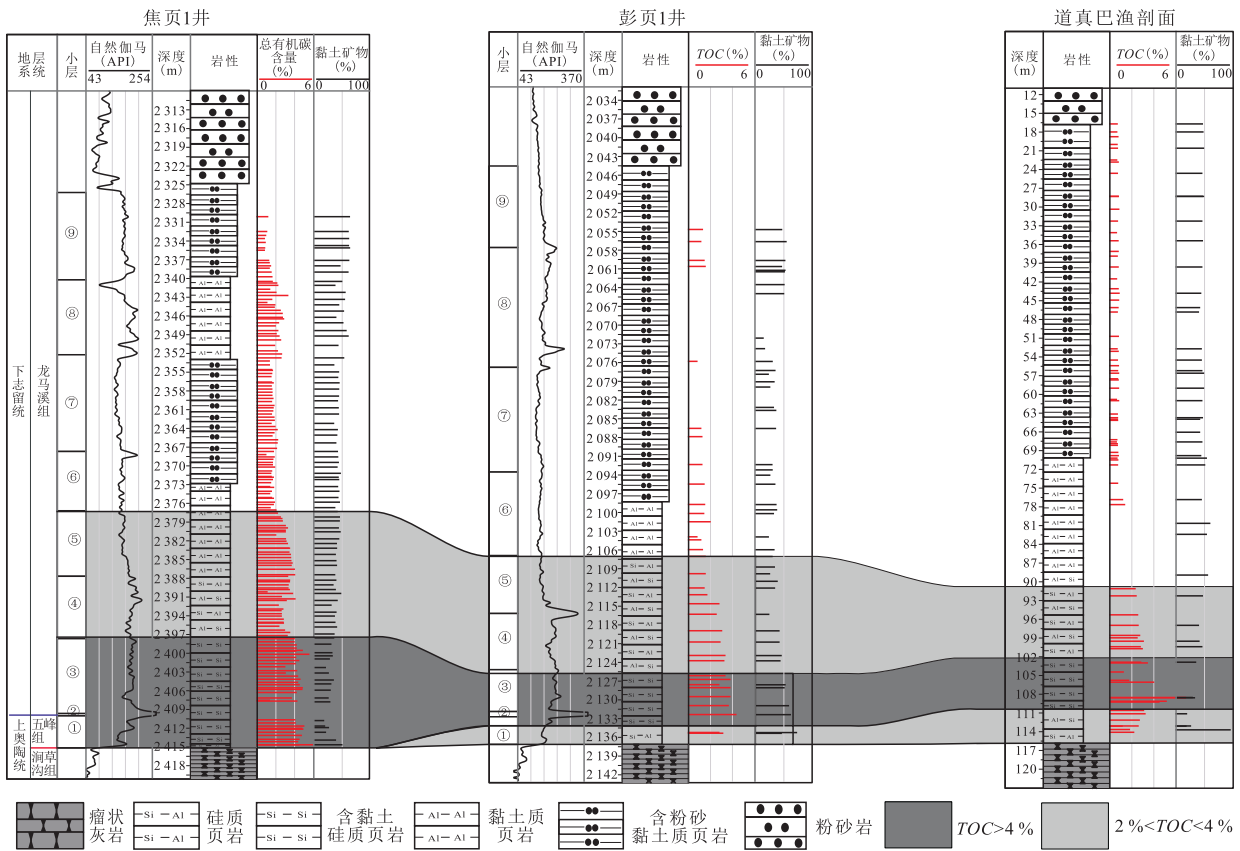


图8 川东南—黔北地区优质页岩分布特征对比剖面

Fig. 8 Profile comparison of development characteristics of organic rich shale in southeastern Sichuan and Northern Guizhou

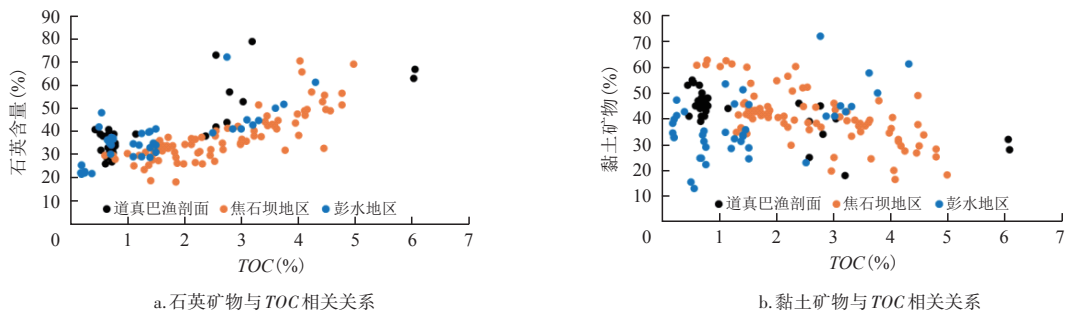


图9 道真巴渔剖面有机质富集与矿物分布特征

Fig. 9 Characteristics of organic matter enrichment and mineral distribution in Bayu outcrop, Daozhen

相似的有机质富集规律,TOC与石英矿物含量呈正相关关系,与黏土矿物含量呈负相关关系,表明该地区硅质页岩中石英矿物也是以生物成因石英为主<sup>[2,4,7]</sup>。

道真地区五峰组下部发育较厚的含黏土硅质页岩,向盆缘彭水地区和盆内焦石坝地区延伸,该套含黏土硅质页岩逐渐减薄。剖面中龙马溪组硅质页岩厚度也小于盆缘彭水地区和盆内焦石坝地区。从五峰组底部含黏土硅质页岩分布特征以及龙马溪组硅质页岩分布特征来看,道真地区沉积环境与盆缘彭水地区和盆内焦石坝地区相比整体较浅。

### 3 结论

黔北地区道真巴渔剖面上奥陶统五峰组一下志留统龙马溪组一段地层出露较好,地层界限清晰完整。受全球海平面变化的控制,该剖面五峰组—龙马溪组一段自下而上发育含黏土硅质页岩、硅质页岩、含黏土硅质页岩、黏土质页岩和粉砂质页岩,与盆缘彭水地区和盆内焦石坝具有相似的纵向叠置特征。

巴渔剖面五峰组—龙马溪组一段优质页岩岩性主要是含黏土硅质页岩、硅质页岩,具有与盆缘彭水地区和盆内焦石坝地区较为一致的有机质富集规律,TOC与石英矿物含量呈正相关关系,与黏土矿物含量呈负相关关系。

巴渔剖面五峰组—龙马溪组一段优质页岩总厚度26.1 m,低于盆缘彭水地区和盆内焦石坝地区,反映道真地区在上奥陶统五峰组一下志留统龙马溪组沉积时期沉积水体深度相对较浅。

#### 参考文献

- [1] 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.  
ZHANG Jinchuan, JIN Zhijun, YUAN Mingsheng. Reservoiring mechanism of shale gas and its distribution[J]. Natural Gas Industry, 2004, 24(7): 15-18.
- [2] CURTIS J B. Fractured shale-gas systems[J]. AAPG Bulletin, 2002, 86(11): 1921-1938.
- [3] 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.  
GUO Xusheng. Rules of Two-Factor enrichment for marine shale gas in southern China——Understanding from the Longmaxi Formation Shale Gas in Sichuan Basin and its surrounding area[J]. Acta Geologica Sinica, 2014, 88(7): 1209-1218.
- [4] 聂海宽,金之钧,边瑞康,等.四川盆地及其周缘上奥陶统五峰组一下志留统龙马溪组页岩气“源-盖控藏”富集[J].石油学报,2016,37(5):557-571.  
NIE Haikuan, JIN Zhijun, BIAN Ruikang, et al. The “source-cap hydrocarbon-controlling” enrichment of shale gas in Upper Ordovician Wufeng Formation-Lower Silurian Longmaxi Formation of Sichuan Basin and its periphery[J]. Acta Petrolei Sinica, 2016, 37(5): 557-571.
- [5] 易积正,王超.四川盆地焦石坝地区龙马溪组海相页岩储层非均质性特征[J].石油实验地质,2018,40(1):13-19.  
YI Jizheng, WANG Chao. Differential pore development characteristics in various shale lithofacies of Longmaxi Formation in Jiaoshiba area, Sichuan Basin[J]. Petroleum Geology & Experiment, 2018, 40(1): 13-19.
- [6] HU Z Q, DU W, SUN C X, et al. Evolution and migration of shale facies and their control on shale gas: A case study from the Wufeng-Longmaxi Formations in the Sichuan Basin and its surroundings[J]. Interpretation, 2018, 6(4): 57-70.
- [7] 杜伟,胡宗全,朱彤,等.四川盆地及周缘上奥陶统五峰组岩相特征[J].石油实验地质,2020,42(3):398-404.  
DU Wei, HU Zongquan, ZHU Tong, et al. Lithofacies of Upper Ordovician Wufeng Formation in Sichuan Basin and its periphery[J]. Petroleum Geology & Experiment, 2020, 42(3): 398-404.
- [8] 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 Baiqiao, 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 and Gas Geology, 2018, 39(3): 485-497.
- [9] 熊亮.川南威荣页岩气田五峰组—龙马溪组页岩沉积相特征及其意义[J].石油实验地质,2019,41(3):326-332.  
XIONG Liang. Characteristics and significance of sedimentary facies of Wufeng-Longmaxi formation shale in Weirong Shale Gas Field, southern Sichuan Basin[J]. Petroleum Geology & Experiment, 2019, 41(3): 326-332.
- [10] 洪亚飞,王建忠,孙强.焦石坝页岩气储层产能影响因素分析[J].常规油气,2016,3(5):73-78.  
HONG Yafei, WANG Jianzhong, SUN Qiang. Analysis of the influence factors for shale gas reservoir in Jiaoshiba area[J]. Unconventional Oil and Gas, 2016, 3(5): 73-78.
- [11] 戴传固,胡明扬,陈建书,等.贵州重要地质事件及其地质意义[J].贵州地质,2015,32(1):1-9.  
DAI Chuangu, HU Mingyang, CHEN Jianshu, et al. The important geologic events of Guizhou Province and its geologic significance[J]. Guizhou Geology, 2015, 32(1): 1-9.
- [12] 陈旭,戎嘉余,周志毅,等.上扬子区奥陶—志留纪之交的黔中隆起和宜昌上升[J].科学通报,2001,46(12):1052-1056.  
CHEN Xu, RONG Jiayu, ZHOU Zhiyi, et al. The central Guizhou uplift and Yichang uplift at the turn of Ordovician Silurian in the upper Yangtze Region[J]. Chinese Science Bulletin, 2001, 46(12): 1052-1056.
- [13] 卢飞龙,秦建中,申宝剑,等.中上扬子地区五峰组—龙马溪组硅质页岩的生物成因证据及其与页岩气富集的关系[J].地学前缘,2018,25(4):226-236.

- LU Longfei, QIN Jianzhong, SHEN Baojian, et al. The origin of biogenic silica in siliceous shale from Wufeng-Longmaxi Formation in the Middle and Upper Yangtze region and its relationship with shale gas enrichment[J]. *Earth Science Frontiers*, 2018, 25(4): 226-236.
- [14] 卢龙飞,刘伟新,俞凌杰,等.生物蛋白石早期成岩相变特征及对硅质页岩孔隙发育与孔径分布的影响[J].*石油实验地质*, 2020, 42(3): 45-52.
- LU Longfei, LIU Weixin, YU Lingjie, et al. Early diagenesis characteristics of biogenic opal and its influence on porosity and pore network evolution of siliceous shale[J]. *Petroleum Geology & Experiment*, 2020, 42(3): 45-52.
- [15] 梁狄刚,郭彤楼,陈建平,等.中国海相生烃成藏研究的若干新进展(一):南方四套区域性海相烃源岩的分布[J].*海相油气地质*, 2009, 13(2): 1-16.
- LIANG Digang, GUO Tonglou, CHEN Jianping, et al. Some progresses on studies of hydrocarbon generation and accumulation in marine sedimentary regions, southern China (Part 1): Distribution of four suits of regional marine source rocks[J]. *Marine Origin Petroleum Geology*, 2009, 13(2): 1-16.
- [16] 郑和荣,胡宗全.中国前古生代构造—岩相古地理图集[M].北京:地质出版社,2010.
- ZHENG Herong, HU Zongquan. Tectonic-Lithofacies Paleogeographic atlas of former Paleozoic of China[M]. Beijing: Geological Publishing House, 2010.
- [17] 郑和荣,高波,彭勇民,等.中上扬子地区下志留统沉积演化与页岩气勘探方向[J].*古地理学报*, 2013, 15(5): 645-656.
- ZHENG Herong, GAO Bo, PENG Yongmin, et al. Sedimentary evolution and shale gas exploration direction of the Lower Silurian in Middle-Upper Yangtze area[J]. *Journal of Palaeogeography*, 2013, 15(5): 645-656.
- (编辑 常燕)
- 
- (上接第129页)
- [12] 吴聿元,张培先,何希鹏,等.渝东南地区五峰组—龙马溪组页岩岩相及与页岩气富集关系[J].*海相油气地质*, 2021, 25(4): 335-343.
- WU Yuyuan, ZHANG Peixian, HE Xipeng, et al. Lithofacies and shale gas enrichment of Wufeng Formation-Longmaxi Formation in Southeastern Chongqing[J]. *Marine Origin Petroleum Geology*, 2021, 25(4): 335-343.
- [13] 方栋梁,孟志勇.页岩气富集高产主控因素分析——以四川盆地涪陵地区五峰组—龙马溪组一段页岩为例[J].*石油实验地质*, 2020, 42(1): 37-41.
- FANG Dongliang, MENG Zhiyong. Main controlling factors of shale gas enrichment and high yield: A case study of Wufeng-Longmaxi formations in Fuling area, Sichuan Basin[J]. *Petroleum Geology & Experiment*, 2020, 42(1): 37-41.
- [14] 方志雄,何希鹏.渝东南武陵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.
- FANG Zhixiong, HE Xipeng. Formation and evolution of normal pressure shale gas reservoir in Wulong Syncline, Southeast Chongqing, China[J]. *Oil & Gas Geology*, 2016, 37(6): 819-827.
- [15] 陈旭,樊隽轩,张元动,等.五峰组及龙马溪组黑色页岩在扬子覆盖区内的划分与圈定[J].*地层学杂志*, 2015, 39(4): 351-358.
- CHEN Xu, FAN Junxuan, ZHANG Yuandong, et al. Subdivision and delineation of the Wufeng and Lungmachi black shales in the subsurface areas of the Yangtze platform[J]. *Journal of Stratigraphy*, 2015, 39(4): 351-358.
- [16] 邹才能,等.非常规油气地质[M].北京:地质出版社,2013.
- ZOU Caineng, et al. Unconventional petroleum geology[M]. Beijing: Geological Publishing House, 2013.
- [17] 聂海宽,金之钧,马鑫,等.四川盆地及邻区上奥陶统五峰组—下志留统龙马溪组底部笔石带及沉积特征[J].*石油学报*, 2017, 38(2): 160-174.
- NIE Haikuan, JIN Zhijun, MA Xin, et al. Graptolites zone sedimentary characteristics of Upper Ordovician Wufeng Formation-Lower Silurian Longmaxi Formation in Sichuan Basin and its adjacent areas[J]. *Acta Petrolei Sinica*, 2017, 38(2): 160-174.
- [18] 金淳泰,叶少华,何原相,等.四川綦江观音桥志留纪地层及古生物[M].成都:四川人民出版社,1982.
- JIN Chuntai, YE Saohua, HE Yuanxiang, et al. Silurian Stratigraphy and paleontology of Guanyinqiao qijiang, Sichuan [M]. Chengdu: Sichuan People's Publishing House, 1982.
- [19] 高玉巧,蔡潇,张培先,等.渝东南盆缘转换带五峰组—龙马溪组页岩气储层孔隙特征与演化[J].*天然气工业*, 2018, 28(12): 15-25.
- GAO Yuqiao, CAI Xiao, ZHANG Peixian, et al. Pore characteristics and evolution of Wufeng-Longmaxi Fms shale gas reservoirs in the basin-margin transition zone of SE Chongqing[J]. *Natural Gas Industry*, 2018, 28(12): 15-25.
- [20] 舒志国,王进.四川盆地涪陵气田焦石坝区块上部气层地质特征分析及有利区优选[J].*石油实验地质*, 2021, 43(1): 34-44.
- SHU Zhiguo, WANG Jin. Geological characteristics and optimization of favorable areas in the upper gas reservoir of Jiaoshiha block in the Fuling Shale Gas Field, Sichuan Basin[J]. *Petroleum Geology & Experiment*, 2021, 43(1): 34-44.
- [21] 刘树根,王世玉,孙玮,等.四川盆地及其周缘五峰组—龙马溪组黑色页岩特征[J].*成都理工大学学报(自然科学版)*, 2013, 40(6): 621-639.
- LIU Sugeng, WANG Shiyu, SUN Wei, et al. Characteristics of black shale in Wufeng Formation and Longmaxi Formation in Sichuan Basin and its peripheral areas[J]. *Journal of Chengdu University of Technology (Science & Technology Edition)*, 2013, 40(6): 621-639.
- [22] 康玉柱,张大伟,赵先良,等.中国非常规油气地质学[M].北京:地质出版社,2015.
- KANG Yuzhu, ZHANG Dawei, ZHAO Xianliang, et al. Unconventional petroleum geology in China[M]. Beijing: Geological Publishing House, 2015.
- (编辑 柳超超)