潍北凹陷孔店组二段上亚段页岩气储层 压裂可行性研究

彭文泉

山东省第一地质矿产勘查院,济南,250100

内容提要:始新统孔店组二段上亚段泥页岩是济阳坳陷潍北凹陷良好的页岩气储层,为了了解孔店组二段上 亚段页岩气储层压裂可行性,在岩芯观察、有机地化分析、测井、扫描电镜分析、X 衍射、岩石力学测试分析的基础 上,对孔店组二段上亚段岩性特征、有机地化特征、地应力特征、裂隙发育特征、矿物含量特征、岩石力学特征、脆性 指数等进行了研究。结果表明:潍北凹陷孔店组二段上亚段泥页岩发育厚度为 40~160m,泥地比大于 70%;有机 碳含量一般为 1%~3%,镜质体反射率为 0.78%~1.04%,干酪根类型以Ⅱ1型为主,现场解析含气量平均值为 1.2m³/t;现今最大水平主应力方向为近东西向;泥岩中裂缝发育,微裂缝沿矿物间隙延伸,连通性较好;脆性矿物 含量为 43.4%~65.2%,以脆性矿物计算的岩石脆性指数为 42.5%~64.7%,脆性很强,黏土矿物含量为 34.8% ~56.6%,不含水敏性较强的蒙脱石;岩石力学计算获取的岩石脆性指数在 6%左右,显示脆性较差;综合分析认为 潍北凹陷孔店组二段上亚段页岩气储层具有较好的可压性,利于人工压裂改造,但也存在一定风险。

关键词:压裂可行性;页岩气储层;孔店组二段;潍北凹陷

页岩气储层具有自生、自储、低孔隙度、超低渗 透率等特点,开采时一般需要对其进行压裂改造从 而实现商业化开发的目的,中国四川盆地等地区页 岩气已实现规模性商业开发(Dong Dazhong et al., 2014; Zhu Tong et al., 2016),页岩气储层的压裂 可行性与增产、稳产、提效密切相关。潍北凹陷是一 典型的陆相沉积盆地,以往工作主要以寻找常规油 气为主,随着页岩气资源勘查的开展,许多学者针对 潍北凹陷页岩气生储条件和含气性进行分析研究 (Qiu Nansheng et al., 2003; Sun Yaoting, 2013; Sun Yaoting et al., 2015, 2018; Wang Zhiyue et al., 2015; Peng Wenguan, 2016; Peng Wenguan et al., 2017),这些研究成果充分表明孔店组二段 上亚段为页岩气良好储层。为了进一步了解始新统 孔店组二段上亚段页岩气储层压裂的可行性,利用 cyc1 井获取的数据,从孔店组二段上亚段岩性特 征、裂缝发育特征、脆性矿物含量、脆性指数、弹性模 量、泊松比、抗拉强度与抗压强度比等方面对该页岩 气储层的可压性进行分析,为下一步该页岩气储层 压裂改造提供借鉴。

1 页岩气储层特征

1.1 地质特征

潍北凹陷位于沂沭断裂带内,为一北断南超型 箕状盆地,北侧边界为古城一潍河口断裂,东西两侧 分别以昌邑一大店断裂和鄌郚一葛沟断裂为界 (Shen Pu et al., 2010; Chen Shiyue et al., 2012)。 潍北凹陷内孔店组二段上亚段地层最大厚度超过 320m,从南向北逐渐增厚(图 1a);泥页岩发育厚度 一般为40~160m,从凹陷边缘至泥页岩沉积中心厚 度逐渐增加,最大厚度超过160m(图 1b)。孔店组 二段上亚段岩性主要为泥岩、页岩、炭质泥岩、粉砂 岩、油页岩夹砂岩、含砾砂岩等,泥地比一般大 于70%。

1.2 有机地化

有机碳是页岩气生成的物质基础(Tan Linyun

注:本文为山东省地质勘查项目(编号鲁勘字[2013]1号)、(编号鲁勘字[2013]2号)资助成果。

收稿日期:2019-07-23;改回日期:2019-8-13;责任编辑:李曼。

作者简介:彭文泉,男,1979年生,高级工程师,2002年毕业于山东农业大学水资源与水文专业,现主要从事水工环地质和页岩气勘查研究工作,Email:heshang7474@sina.com。

引用本文:彭文泉. 2019. 潍北凹陷孔店组二段上亚段页岩气储层压裂可行性研究. 地质学报, 93(s1):45~52, doi: 10.19762/j.cnki. dizhixuebao.2019209.
 Peng Wenquan. 2019. Feasibility study on shale gas reservoir fracturing in the upper member of the Second Member of Kongdian Formation in the Weibei sag. Acta Geologica Sinica, 93(s1):45~52.



图 1 潍北凹陷孔店组二段上亚段等值线图

 Fig. 1
 Contour map of the upper section of the 2nd member of the Kongdian Formation in the Weibei sag

 (a)—孔店组二段上亚段地层厚度等值线图;(b)—孔店组二段上亚段泥页岩厚度等值线图;

(c)一孔店组二段上亚段有机碳含量等值线图;(d)一孔店组二段上亚段镜质体反射率等值线图

(a)—Contour map of the thickness of the upper section of the 2nd Member of the Kongdian Formation; (b)—contour map of the thickness of the shale in the upper section of the 2nd Member of the Kongdian Formation; (c)—contour map of organic carbon content of the upper section of the 2nd Member of the Kongdian Formation; (d)—contour map of vitrinite reflectance in the upper section of the 2nd Member of Kongdian Formation

et al., 2015; Xiong Xiaohui et al., 2018),不同干 酪根类型生油、生气成能力相差较大,镜质体反射是 烃源岩热演化阶段的主要表征,含气量是页岩气储 层含气性能的重要指标。据以往和潍北凹陷 cycl 井化验资料分析,孔店组二段上亚段有机碳含量一 般为1%~3%,最高达9.46%,平均值为1.18%, 中心附近有机碳含量大于4.0%(图1c)。cycl 井镜 质体反射率为0.78%~1.04%,平均值为0.87%, 凹陷内该段镜质体反射率最大值超过1.9%(图 1d),进入大量生气阶段。干酪根类型以Ⅱ1型为主, 少量I型干酪根。现场解析含气量一般大于1m³/t,单 样品最大值为7.0m³/t,平均现场解析含气量为 1.2m³/t。孔店组二段上亚段为页岩气储集有利层 段,是进一步勘查开发的重点层段。

1.3 储层物性

页岩气储层具有低孔、低渗的特征(Zhang Chunchi et al., 2018),cyc1 井孔店组二段上亚段 5

件样品孔隙度值为 4.27% ~ 5.18%, 平均值为 4.78%,为低孔隙度储层; cyc1 井 6 件样品渗透率 值为 0.0138×10⁻³ μ m² ~ 0.0966×10⁻³ μ m²,平均 0.0322×10⁻³ μ m²,属特低渗透率储层。

2 地应力与岩石裂缝发育情况

2.1 地应力特征

页岩气储层进行压裂施工时,要求水平压裂井 垂直于地层主应力方向,易于形成体积诱导缝,利于 增加人工诱导缝延伸距离,以提高压裂效果。利用 cycl 井偶极阵列声波测井数据,进行横波分离得到 快、慢横波速度及方位,用快横波方位来确定各向异 性方向。导致横波各向异性的主要因素包括水平方 向地应力的不均衡、开口裂缝、断层以及椭圆井眼的 影响,快横波方位角分别对应于水平最大主应力的 方向或断层/裂缝的走向;地层各向异性往往与地应 力不均衡有关,横波分离后沿最大水平主应力方向 的横波传播速度快,而沿最小水平主应力方向的横 波传播速度慢,因此各向异性方向可以反映现今最 大水平主应力的方向。经统计各向异性方向获取 cyc1 井地层各向异性方向为近东西向,说明现今最 大水平主应力方向为近东西向(图 2)。





2.2 岩石裂缝发育特征

储层裂缝发育强弱直接影响泥页岩的含气量, 同时也反映了泥页岩改造的难易程度。微裂隙是游 离气的存储空间和运移通道(Liu Yi et al., 2017; Zhang Chunchi et al., 2019),裂缝发育程度与游离 气含量成正相关关系,一般游离气量随微裂缝的发 育密度和规模的增加而增大;发育微裂隙增大了甲 烷与有机质接触面积,利于有机质吸附更多的甲烷, 一定情况下泥页岩随微裂缝的增加吸附气量具有增 加的趋势(Long Pengyu et al., 2011; Cao Taotao et al., 2016),压裂沟通微裂缝,利于甲烷的解吸 附,提高压裂效果。

孔店组二段上亚段泥页岩裂缝从微观裂缝到大型裂缝均有发育,据 cycl 井现场编录发现,孔店组 二段上亚段泥岩中裂缝发育,规模和延展方向不一, 多数被方解石充填,部分为沥青质充填,发育的岩石 裂缝是后期压裂改造的有利因素,裂缝的闭合和充 填对压裂具有一定不利因素。

天然微裂缝发育程度对储层改造和后期产能具 有重要作用(Guo Xusheng et al., 2016; Tian Shubao et al., 2017),通过扫描电镜观察,天然微 裂缝在泥页岩中普遍发育,宽窄不一,从几微米到几 +微米不等,部分天然微裂缝发育长度超过 200μm (图 3a、3b、3c);此外一些裂缝沿矿物间发育(图 3d),且具有一定的联通性和相接性,压裂改造时易 于沿这些微裂缝形成人工改造缝。

3 矿物成分分析

3.1 脆性矿物成分

泥页岩中脆性矿物含量多少与页岩气储层改造、压裂难易程度具有正相关性,脆性矿物含量越多,越易于人工造缝(Wang Ruyue et al., 2016; Xiao Jialin et al., 2017; Chen Jing et al., 2017)。 脆性矿物含量不低于 30%,为页岩气储层优选的基本条件。

cyc1 井获取孔店组二段上亚段 10 件泥页岩样 品进行 X 全岩矿物衍射,泥页岩中脆性矿物以石英 和长石为主,其中石英含量为 27.0%~37.2%,平 均值为 31.7%;钾长石含量为 0~4.2%,平均值为 2.8%;斜长石为 5.1%~18.1%,平均值为 10.9%, 方解石为 0~15.1%,平均值为 2.5%;另外,白云 石、菱铁矿、黄铁矿、赤铁矿和铁白云石等仅部分样 品检出;脆性矿物总含量为 43.4%~65.2%,平均 值为 52.0%(表 1)。从脆性矿物含量分析,孔店组 二段上亚段页岩气储层脆性矿物含量较高利于压裂 改造。

泥页岩矿物含量受沉积环境影响,潍北凹陷孔 店组二段上亚段与北美石炭统 Bamett 组和四川盆 地志留统龙马溪组进行对比,北美石炭统 Bamett 组 石英含量要高于四川盆地志留统龙马溪组(Ren Yan et al., 2018),高于孔店组二段上亚段;从碳酸 盐矿物含量来看,孔店组二段上亚段含量最少,从图 4 来看孔店组二段上亚段数据点更靠近黏土矿物一 端,说明北美石炭统 Bamett 组脆性要好于四川盆地 志留统龙马溪组,好于孔店组二段上亚段。

3.2 黏土矿物成分

黏土矿物对甲烷具有一定的吸附作用(Peng Wenquan, 2016; Peng Wenquan et al., 2017),其 含量多少也是影响页岩含气量的一个因素,另外,部 分黏土矿物具有水敏性,是影响压裂的一重要因数。

cyc1 井孔店组二段上亚段泥页岩中黏土矿物 含量最大值为 56.6%,黏土矿物由伊/蒙混层、伊利 石、高岭石、绿泥石组成。黏土矿物中伊/蒙混层含 量最高,为 50%~73%,平均值为 58%;伊利石含量 为 21%~29%,平均值为 26%;高岭石含量为 2% ~15%,平均值为 9%;绿泥石含量为 4%~9%,平

表 1 X衍射全岩矿物成分分析表

Table 1	X-ray diffraction	full rock mineral	composition	analysis	table
---------	-------------------	-------------------	-------------	----------	-------

样品编号											
	石英	钾长石	斜长石	方解石	白云石	菱铁矿	黄铁矿	赤铁矿	铁白云石	脆性矿物	粘土矿物
y049	27.1	-	5.1	15.1	-	2.5	2.9	-	-	52.7	47.3
y055	28.8	1.9	9.9	5.4	1.1	-	-	-	-	47.1	52.9
y061	29.2	2.7	8.8	1.2	-	-	-	-	1.5	43.4	56.6
y063	29.4	3.1	8.9	0.8	-	-	-	-	1.6	43.8	56.2
y066	34.8	4.2	12.5	1.2	2.2	-	4.4	-	-	59.3	40.7
y070	30.3	2.4	10.1	0.8	1.9	-	1.8	-	-	47.3	52.7
y074	37.2	3.6	16	-	-	-	5.1	-	-	61.9	38.1
y076	36.1	5	18.1	-	-	-	4.7	-	1.3	65.2	34.8
y078	32.7	2.9	10.8	-	-	-	5.1	-	1.3	52.8	47.3
y081	31.1	1.9	8.4	-	-	-	-	5.1	-	46.5	53.5
平均值	31.7	2.8	10.9	2.5	0.5	0.3	2.4	0.5	0.6	52.0	48.0

注:"-"为"未检出"



图 3 扫描电镜下微裂缝发育情况

Fig. 3 Micro-crack development under scanning electron microscopy

(a)-1000 倍镜下微裂缝;(b)-3000 倍镜下微裂缝;(c)-8000 倍镜下微裂缝(d)-2000 倍镜下矿物间微裂缝

(a)-Micro crack in 1000 times scanning electron microscope; (b)-Micro crack in 3000 times scanning electron microscope;

(c)-Micro crack in 8000 times scanning electron microscope; (d)-Micro-crack between minerals under 2000 times scanning electron microscope



图 4 孔店组二段上亚段矿物含量三角图

Fig. 4 Triangle diagram of mineral contents in the upper section of the 2nd Member of Kongdian Formation

均值为 7%(表 2)。黏土矿物中不含水敏性强的蒙脱石(Gomis-Yagues et al., 2000; Han Zhiyong et al., 2008),从黏土矿物成分分析利于人工压裂改造。

样品 编号	X 衍射粘土矿物(%)							
	伊/蒙混层	伊利石	高岭石	绿泥石	混层比			
	I/S	It	K	С	I/S			
y049	73	21	2	4	15			
y061	55	29	8	8	15			
y066	55	25	11	9	15			
y074	50	28	15	7	15			
平均值	58	26	9	7	15			

表 2 X 衍射黏土矿物成分分析表 Table 2 Analysis result of X-ray clay mineral composition

3.3 矿物计脆性指数

利用矿物成分评价泥页岩脆性时,通常用脆性 指数来表征。传统的脆性指数计算中脆性矿物以石 英为主(Diao Haiyan, 2013; Wang Weiming et al., 2016),传统的计算方法不能全面反映岩石的脆性特 征,因此采用石英、长石、黄铁矿、碳酸盐矿物进行计 算,使其全面的体现泥页岩脆性,该方法已被诸多学 者认可(Ren Yan et al., 2018; Zhong Cheng et al., 2019)。

通过公式(1)计算, 脆性指数为 42.5%~ 64.7%, 平均 51.3%; 一般认为脆性指数大于 25% 为脆性很强, 15%~25%为脆性中等, 10%~15%为 脆性较弱,小于10%为塑性。说明孔店组二段上亚 段泥页岩脆性很强。

式中: $BI_{\mathfrak{k}\mathfrak{k}\mathfrak{t}\mathfrak{o}\mathfrak{o}\mathfrak{h}}$ 为岩石脆性指数(以石英+长石+黄 铁矿含量计)(%); $V_{\overline{a}\xi+\overline{k}\overline{a}+\overline{g}\xi\mathfrak{o}}$ 为石英+长石+ 黄铁矿(%); $V_{\mathfrak{k}\mathfrak{k}\mathfrak{k}\mathfrak{a}\mathfrak{o}\mathfrak{h}}$ 为碳酸盐矿物含量(%); $V_{\mathfrak{k}\mathfrak{k}\mathfrak{k}}$ 为黏土矿物含量(%)。

4 岩石力学分析

利用岩石力学测试数据判别岩石脆性常用方法 有两种,一是利用杨氏模型和泊松比来计算脆性指 数,二是利用抗拉强度与抗压强度之比来计算脆性 指数。

4.1 杨氏模量与泊松比

cyc1 井 2 组样品岩石力学测试数据显示,杨氏 模量一般在 0.64×10⁴ MPa~0.72×10⁴ MPa,平均 值为 0.68×10⁴ MPa;泊松比平均值为 0.35,压裂改 造过程中形成复杂裂缝系统的强脆性储层一般为高 杨氏模量,低泊松比,cyc1 井计算的脆性指数为 6.2%,远低于涪陵焦石坝地区焦页 1 井的脆性指数 54.1%(Wang Zhigang, 2014),从杨氏模量与泊松 比分析,潍北凹陷孔店组二段上亚段页岩气储层可 压性比涪陵焦石坝地区页岩气储层可压性差。

4.2 抗压强度与抗拉强度

除利用杨氏模量和泊松比来表征岩石脆性外, 还常利用抗拉强度与抗压强度之比来计算脆性指数,cycl 并孔店组二段上亚段储层力学测试获取抗 压强度平均值为 18.7MPa,抗拉强度平均值为 1.08MPa,通过岩石抗拉强度与抗压强度比获取的 脆性指数均值在 6.0%左右,脆性指数较小,说明岩 石脆性小,可压性较差。

5 可压性探讨

通过编录和扫描电镜观察,潍北凹陷孔店组二 段上亚段泥页岩裂缝发育,特别是微裂缝延伸长度 大,矿物间裂缝连通性好,压裂时易于形成网状体积 裂缝,是储层压裂的有利因素。

孔店组二段上亚段泥页岩脆性矿物含量较高, 均在43%以上,据脆性矿物含量计算的脆性指数大 于42%,泥页岩脆性很强,利于压裂改造。黏土矿 物含量小于67%,且不含水敏性强的蒙脱石,是储 层压裂改造的有利因素。从岩石力学测试数据分 析,利用杨氏模量与泊松比、抗拉强度和抗压强度计 算的脆性指数均显示储层脆性较差,是储层压裂的 不利因素,分析认为岩石力学测试样品数量较少,代 表性不足所致。

从裂缝和微裂缝发育特征、脆性矿物、黏土矿物 含量等分析,孔店组二段上亚段页岩气储层具有较 好的压裂条件和较强的脆性,利于人工改造,仅2组 岩石力学测试数据分析页岩气储层脆性较差,综合 分析认为潍北凹陷孔店组二段上亚段页岩气储层具 有较好的可压性,可能也伴有一定风险。

6 结论

潍北凹陷孔店组二段上亚段发育了较厚的泥页 岩,泥页岩有机碳含量、干酪根类型和镜质体反射率 综合反映了孔店组二段上亚段具备页岩气形成的物 质来源、基础和热演化条件,为页岩气形成的有利 层段。

潍北凹陷孔店组二段上亚段页岩气储层裂隙发 育,微裂隙具较好的连通性,脆性矿物含量较高,脆 性很好,黏土矿物含量低,不含水敏性强的黏土矿 物,是储层压裂的有利因素。岩石力学计算的脆性 指数较低,是储层压裂的不利因数。综合分析认为, 潍北凹陷孔店组二段上亚段页岩气储层具有较好的 可压性,压裂施工同时伴有一定风险,为该页岩气储 层进步一压裂改造提供借鉴。

References

- Cao Taotao, Song Zhiguang. 2016. Influence of organic matter characteristics of shale on pore development and reservoir. Special Oil & Gas, 23(4): 7 ~ 13(in Chinese with English abstract).
- Chen Shiyue, Wang Ling, Zhou Qingbo, Bai Jingbo, Li Wentao, Sun Tingbin, Han Min. 2012. Characteristics and sedimentary evolution of the Member 1 of Paleogene Kongdian Formation of Weibei Sag in Shandong Province. Journal of Palaeogeography, 14(5):553~564(in Chinese with English abstract).
- Chen Jing, Huang Wenhui, Chen Yanping, Lu Xiaoxia. 2017. Evaluation of shale reservoir and its influencing factors in coalbearing strata of Qinshui Basin. Journal of China Coal Society, 42(A1):215~224(in Chinese with English abstract).
- Dong Dazhong, Gao Shikui, Huang Jinliang, Guan Quanzhong, Wang Shufang, Wang Yuman. 2014. A discussion on the shale gas exploration and development prospect in the Sichuan Basin. Natural Gas Industry, 34(12):1~15(in Chinese with English abstract).
- Diao Haiyan. 2013. Rock mechanical properties and brittleness evaluatin of shale reservoir. Acta Petrologica Sinica, 29(9): 3300~3306(in Chinese with English abstract).
- Guo Xusheng, Hu Dongfeng, Wei Xiangfeng, Li Yuping. 2016. Main controlling factors on shale fractures and their influences on production capacity in Jiaoshiba area, the Sichuan Basin. Oil & Gas Geology, 37(6):799~808(in Chinese with English abstract).
- Gomis-Yagues V, Boluda-Botella N, Ruiz-Bevia F. 2000. Gypsum precipitation/dissolution as an explanation of the decrease of sulphate concentration during seawater intrusion. Journal of Hydrology, 28(1): 48~55.
- Han Zhiyong, Zheng Xilai, Chen Jihong. 2008. Water sensitivity characters of different clay minerals. Hydrogeology & Engineering Geology, (1): 80 ~ 82 (in Chinese with English abstract).
- Liu Yi, Lu Zhengyuan, Peng Mingshi, Wang Jun, Tian Tonghui, Chao Jing. 2017. Micro-pore Characteristics of Shale Oil Reservoirs of the Shahejie Formation in the Dongying sag, Bohai Basi. Acta Geologica Sinica, 91(3):629~644(in Chinese with English abstract).
- Long Pengyu, Zhang Jinchuan, Tang Xuan, Nie Haikuan, Liu Zhujiang, Han Shuangbiao, Zhu Liangliang. 2011. Feature of muddy shale fissure and its effect for shale gas exploration and development. Natural Gas Geoscience, 22(3): 525 ~ 532 (in Chinese with English abstract).
- Peng Wenquan. 2016. Analysis of shale gas resource potential for Kong-2 Member of Kongdian Formation in Weibei Sag. Shandong Land and Resources, 32(11):36~39(in Chinese with English abstract).
- Peng Wenquan, Lian Yongbiao. 2017. Discussion on influencing factors of gas content in mud shale of terrestrial sedimentary basin—taking the Weibei sag as an example. Shandong Land and Resources, 33 (7): 25 ~ 30 (in Chinese with English abstract).
- Qiu Nansheng, Cai Jingong, Li Shanpeng, Zeng Jianhui. 2003. Thermal evolution and hydrocarbon entrapment in the Weibei sag, Changwei depression. Chinese Journal of Geology, 38(3): 332~341(in Chinese with English abstract).
- Ren Yan, Cao Hong, Yao Fengchang, Lu Minghui, Yang Zhifang, Li Xiaoming. 2018. Review of rock brittleness evaluation method. Oil Geophysical Prospecting, 53 (4): 874 ~ 886 (in Chinese with English abstract).
- Shen Pu, Jin Qiang, Zhang Yuming, Zhang Shangwen, Wang Li, Cheng Fuqi. 2010. Cenetic type and distribution rule of natural gas of Kongdian Formation in Weibei sag. Journal of Earch Sciences and Environment . 32(3):252~256(in Chinese with English abstract).

- 增刊1
- Sun Yaoting. 2013. Recognition of effective hydrocarbon source rocks of kong-2 Member of Konidian Formation in Weibei Sag. Journal of Chengde Petroleum College, 15 (4): 13 ~ 16 (in Chinese with English abstract).
- Sun Yaoting, Xu Shouyu, Zhang Shiqi, Liu Jun, Xu Haoqing, Guo Lili. 2015. Characteristic and distrbution of high-quality source rocks of the second member of Kongdian Formation, Eocene, in Weibei sag, Changwei Depression. Geological Review, 61(3): 587~598(in Chinese with English abstract).
- Sun Yaoting, Xu Shouyu, Mmttuerxun. Kultulu, Guo Yuxin, Zhao Yuehan, Liu Jing. 2018. Cycles and stages division of volcanic effusive phase of the third member of Kongdian Formation in Weibei sag, Bohaiwan basin. Journal of China University of Petroleum(Edition of Natural Science), 42 (2): 29 ~ 40 (in Chinese with English abstract).
- Tan Linyun, Xu Yao, Li Dahua, Cheng Lijun, Zeng Chunlin. 2015. Geological condition of shale gas accumulation and favorable area prediction for the Wufeng-Longmaxi Formations in Southeastern Chongqing. Acta Geologica Sinica, 89(7):1308~ 1317(in Chinese with English abstract).
- Tian Shubao, Lei Gang, Yang Limin, Rao Peiyu. 2017. A novel method to interpret fracture parameters of multistage fractured horizontal well in reservoirs with micro-fractures. Oil & Gas Geology, 38(2):400~406(in Chinese with English abstract).
- Wang Zhiyue, Peng Wenquan, Song Zhaorui, Liang Yunhan, Han Lanzhen. 2015. Explore of the influence factors of shale gas scene analysis gas—take chang Ye Can 1 Well as an example. Shandong Land and Resources, 31(9):22~25(in Chinese with English abstract).
- Wang Ruyue, Gong Dajian, Ding Wenlong, Leng Jigao, Yin Shuai, Wang Xinghua, Sun Yaxiong. 2016. Brittleness evaluation of the Lower Cambrian Niutitang shale in the Upper Yangtze region:a case study in the Cengong Block, Guizhou Province. Earth Science Frontiers, 23 (1): 87 ~ 95 (in Chinese with English abstract).
- Wang Weiming, Li Yong, Wang Zhengjiang, Nie Zhou, Chen Bin, Yan Zhaokun, Yan Liang, Shao Chongjian, Lu Shengjie. 2016. Evaluation of rock brittleness and analysis of related factors for tight sandstone reservoirs. China Petroleum Exploration, 21 (6):50~57(in Chinese with English abstract).
- Wang Zhigang. 2014. Practice and cognition of shale gas horizontal well fracturing stimulation in Jiaoshiba of Fuling area. Oil & Gas Geology, 35 (3): 425 ~ 430 (in Chinese with English abstract).
- Xiao Jialin, Li Yuanzhao, Hou Zhenkun, Guo Yintong, Wang Lei. 2017. Evaluation method for shale reservoir brittleness. Fault-Block Oil & Gas Field, 24 (4): 486 ~ 489 (in Chinese with English abstract).
- Xiong Xiaohui, Wang Jian, Xiong Guoqing, Wang Zhengjiang, Men Yupeng, Zhou Xiaolin, Zhou Yexin, Yang Xiao, Deng Qi. 2018. Shale gas geological characteristics of Wufeng and Longmaxi Formations in Northeast Chongqing and its exploration direction. Acta Geologica Sinica, 92(9):1948~ 1958(in Chinese with English abstract).
- Zhang Chunchi, Peng Wenquan, Gong Gu, Zhang Hui, Wang Linlin, Zeng Aiping. 2018. Potential evaluation of shale gas resources in Upper Paleozoic in Shandong Province. Shandong Land and Resources, 34(8):40~45(in Chinese with English abstract).
- Zhang Chunchi, Peng Wenquan, Gao Bingyan, Yu Deming, Yang Changjiang. 2019. Favorable exploration strata and resource evaluation of shale gas in Shandong Province. Petroleum Geology and Recovery Efficiency, 26(2):7~13(in Chinese with English abstract).
- Zhong Cheng, Qin Qirong, Hu Dongfeng, Zhou Jiling, Huang Wei. 2019. Experimental study on "sixproperties" of shale gas reservoirs in the Wufeng-Longmaxi Formation in Dingshanarea, southeastern Sichuan Basin. Petroleum Geology and Recovery Efficiency, 26(2):7~13(in Chinese with English abstract)

Zhu Tong, Wang Feng, Yu Lingjie, Sun Runxuan. 2016. Controlling factors and types of shale gas enrichment in the Sichuan Basin. Oil & Gas Geology, 37(3): 399 ~ 407 (in Chinese with English abstract).

参考文献

- 曹涛涛,宋之光. 2016.页岩有机质特征对孔隙发育及储层的影响. 特种油气藏,2016,23(4):7~13.
- 陈世悦,王玲,周清波,白静波,李文涛,孙廷彬,韩静. 2012. 山东潍 北凹陷古近系孔店组一段特征及沉积演化. 古地理学报,14 (5):553~564.
- 陈晶,黄文辉,陈燕萍,陆小霞. 2017. 沁水盆地煤系地层页岩储层 评价及其影响因素.煤炭学报,42(A1):215~224.
- 董大忠,高世葵,黄金亮,管全中,王淑芳,王玉满. 2014. 论四川盆 地页岩气资源勘探开发前景.天然气工业,34(12):1~15.
- 刁海燕. 2013. 泥页岩储层岩石力学特征及脆性评价. 岩石学报,29 (9):3300~3306.
- 郭旭升,胡东风,魏祥峰,李宇平.2016.四川盆地焦石坝地区页岩 裂缝发育主控因素及对产能的影响.石油与天然气地质,37 (6):799~808.
- 韩志勇,郑西来,陈继红. 2008. 不同粘土矿物水敏性特征. 水文地 质工程地质,(1):80~82.
- 刘毅,陆正元,冯明石,王军,田同辉,晁静. 2017. 渤海湾盆地东营 凹陷沙河街组页岩油储层微观孔隙特征. 地质学报,91(3):629 ~644.
- 龙鹏宇,张金川,唐玄,聂海宽,刘珠江,韩双彪,朱亮亮. 2011. 泥 页岩裂缝发育特征及其对页岩气勘探和开发的影响. 天然气地 球科学,22(3):525~532.
- 彭文泉. 2016. 潍北凹陷孔店组二段页岩气资源潜力分析. 山东国 土资源,32(11):36~39.
- 彭文泉,廉永彪. 2017. 陆相沉积盆地泥页岩含气量影响因素探 讨——以潍北凹陷为例. 山东国土资源,33(7):25~30.
- 邱楠生,蔡进功,李善鹏,曾溅辉. 2003. 昌潍坳陷潍北坳陷热历史 和油气成藏期次. 地质科学,38(3):332~341.
- 任岩,曹宏,姚逢昌,卢明辉,杨志芳,李晓明. 2018. 岩石脆性评价 方法进展. 石油地球物理勘探,53(4):874~886.
- 沈朴,金强,张玉明,张善文,王力,程付启. 2010. 潍北凹陷孔店组 天然气成因类型及分布规律.地球科学与环境学报,32(3):252 ~256.
- 孙耀庭,2013,潍北凹陷孔二段有效烃源岩再认识.承德石油高等专 科学校学报,15(4):13~16.
- 孙耀庭,徐守余,张世奇,刘军,徐吴清,郭丽丽. 2015. 昌潍坳陷潍 北凹陷孔二段优质烃源岩成因与分布.地质评论,61(3):587 ~598.
- 孙耀庭,徐守余,买买提吐尔逊・库吐鲁,郭玉新,赵约翰,刘静. 2018. 渤海湾盆地潍北凹陷孔三段火山溢流相旋回与期次划 分. 中国石油大学学报(自然科学版),42(2):29~40.
- 谭淋耘,徐铫,李大华,程礼军,曾春林. 2015. 渝东南地区五峰组一 龙马溪组页岩气成藏地质条件与有利区预测. 地质学报,89 (7):1308~1317.
- 田树宝, 雷刚, 杨立敏, 饶培玉. 2017. 微裂缝发育储层分段压裂水 平井裂缝参数预测. 石油与天然气地质, 38(2): 400~406.
- 王之跃,彭文泉,宋昭睿,梁云汉,韩兰臻. 2015.页岩气现场解析 气量影响因素探讨一以潍北凹陷昌页参1井为例.山东国土资 源,31(9):22~25.
- 王濡岳,龚大建,丁文龙,冷济高,尹帅,王兴华,孙雅雄. 2016. 上扬 子地区下寒武统牛蹄塘组页岩储层脆性评价:以贵州岑巩区块 为例. 地学前缘,23(1):87~95.
- 王伟明,李勇,王正江,聂舟,陈斌,颜照坤,闫亮,邵崇建. 2016. 陆 胜杰.致密砂岩储层岩石脆性评价及相关因素分析. 中国石油 勘探,21(6):50~57.
- 王志刚. 2014. 涪陵焦石坝地区页岩气水平井压裂改造实践与认 识. 石油与天然气,35(3):425~430.
- 肖佳林,李远照,候振坤,郭印同,王磊. 2017. 一种页岩储层脆性评

价方法. 断块油气田,24(4):486~489.

熊小辉,王剑,熊国庆,汪正江,门玉澎,周小琳,周业鑫,杨潇,邓奇. 2018. 渝东北地区五峰组一龙马溪组页岩气地质特征及其勘探 方向探讨.地质学报,92(9):1948~1958.

张春池,彭文泉,巩固,张晖,王琳琳,曾爱平. 2018. 山东省上古生 界页岩气资源潜力评价. 山东国土资源,34(8):40~45.

张春池,彭文泉,高兵艳,于得明,杨长江. 2019. 山东省页岩气有利

勘探层系与资源评价.油气地质与采收率,26(2):7~13.

钟减,秦启荣,胡东风,周吉羚,黄为. 2019. 川东南丁山地区五峰 组一龙马溪组页岩气藏"六性"特征. 油气地质与采收率,26 (2):14~23.

朱彤,王烽,俞凌杰,孙润轩. 2016.四川盆地页岩气富集控制因素 及类型.石油与天然气地质,37(3):399~407.

Feasibility study on shale gas reservoir fracturing in the upper member of the Second Member of Kongdian Formation in the Weibei sag

PENG Wenquan*

No. 1 Institute of Geology and Mineral Resources of Shandong Province, Jinan, 250100 * Corresponding author: heshang7474@sina.com

Abstract

The upper shale in the Second Member of the Eocene Kongdian Formation is a good shale gas reservoir in the Weibei Sag, Jiyang Depression. In order to understand the feasibility of shale gas reservoir fracturing in the upper member of the Second Member of the Kongdian Formation, based on core observation, organic geochemical analysis, logging, scanning electron microscopy analysis, X-ray diffraction, rock mechanics test analysis, this article studied the lithologic characteristics and organic ground of the upper section of the second section, geostress characteristics, fracture development characteristics, mineral content characteristics, rock mechanics characteristics, brittleness index, etc. of the Kongdian Formation chemical characteristics. The results show that the thickness of the shale in the upper member of the Second Member of the Kongdian Formation in the Weibei Sag is 40~160 m, the mudto-earth ratio is greater than 70%, the organic carbon content is generally 1% to 3%, and the vitrinite reflectance is $0.78\% \sim 1.04\%$; the type of kerogen is mainly type II1, and the average desorption gas content on site is 1.2 m³/t; the maximum horizontal principal stress direction is near east-west direction; the crack develops in mudstone, the micro-crack extends along the mineral gap, and connectivity is good; brittle mineral content is 43.4 % \sim 65.2 %, rock brittleness index calculated from brittle minerals is 42.5 % $\sim 64.7\%$, brittleness is strong, clay mineral content is $34.8\% \sim 56.6\%$, and water sensitive montmorillonite is seldom; rock brittleness index obtained by rock mechanics calculation is about 6%, showing poor brittleness. In summary, the shale gas reservoir in the upper member of the second section of Kongdian Formation in the Weibei Sag has good compressibility, and is beneficial to fracture transformation, but there are also certain risks.

Key words: feasibility of fracturing; shale gas reservoir; Second Member of the Eocene Kongdian Formation; Weibei Sag; Jiyang Depression