

doi:10.3969/j.issn.2097-0013.2021.02.006

湖北京山地区孤峰组页岩气地质条件及远景区划分

王 登^{1,2}, 冷双梁^{1,2*}, 陈 威¹, 刘红亮³, 吴 龙¹, 周向辉¹,
余江浩¹, 居宇龙¹

WANG Deng^{1,2}, LENG Shuang-Liang^{1,2*}, CHEN Wei¹, LIU HONG-Liang³,
WU Long¹, ZHOU Xiang-Hui¹, YU Jiang-Hao¹, JU Zi-Long¹

(1. 湖北省地质调查院, 武汉 430034; 2. 湖北省地质勘查工程技术研究中心, 武汉 430022;

3. 湖北省地勘基金管理中心, 武汉 430071)

(1. Hubei Geological Survey, Wuhan 430034, Hubei, China; 2. Hubei Geological Exploration Engineering Technology Research Center, Wuhan 430022, Hubei, China; 3. Hubei Geological Exploration Fund Management Center, Wuhan 430071, Hubei, China)

摘要:为研究湖北省京山地区孤峰组页岩气地质条件及资源潜力,从岩石组合、有机地化、储层特征等方面对孤峰组样品进行了测试分析。研究区孤峰组泥页岩厚度为 55.2 ~ 58.3 m;有机碳含量(TOC)为 1.75% ~ 6.39%;干酪根类型为 I 型,镜质体反射率(Ro)为 1.23% ~ 1.72%;平均值为 1.58%,处于过成熟生气阶段;多种孔裂隙发育,孔隙度平均为 4.29%;矿物组成以石英和碳酸盐矿物为主,少量粘土矿物;孤峰组拟合含气量平均为 2.21 m³/t。研究结果表明:(1)京山地区孤峰组泥页岩厚度大,生烃能力良好,具备形成页岩气藏的物质基础;(2)孤峰组脆性矿物含量高,有利于压裂改造;(3)采用叠合法预测,研究区存在永隆-长滩地区和钱场-渔薪地区两个远景区。

关键词:资源潜力;页岩气;孤峰组;二叠系;湖北省京山地区

中图分类号:P534.46;P618.13

文献标识码:A

文章编号:2097-0013(2021)02-000193-12

Wang D, Leng S L, Chen W, Liu H L, Wu L, Zhou X H, Yu J H and Ju Z L. Geological Conditions and Prospecting Area Delineation of Gufeng Formation Shale Gas in the Jingshan Area, Hubei Province. *South China Geology*, 2021, 37(2): 193-204.

Abstract: The rock samples of the Gufeng Formation are tested in their rock assemblage, organic geochemistry, and reservoir characteristics to evaluate the geological conditions and resource potential of shale gas in the Jingshan area, Hubei Province. The thickness and organic carbon contents (TOC) of the Gufeng Formation shales in the study area are between 55.2 ~ 58.3 m and 1.75% ~ 6.39% respectively. Their kerogen is type I, and the vitrinite reflectance (Ro) is 1.23% ~ 1.72% with the average value of 1.58%, which indicates that the shales are in the stage of over-mature gas generation. They develop a variety of pores and fissures with the average porosity of 4.29%. The samples consist of mainly quartz and carbonate and minor clay minerals. The average fitted gas content of the Gufeng Formation is 2.21 m³/t. The research results show that: (1) the mud

收稿日期:2020-9-1;修回日期:2020-9-23

基金项目:湖北省地勘基金项目“湖北省页岩气资源潜力评价(编号:DKC2014-03-04)”资助

第一作者:王登(1987—),男,硕士,工程师,从事页岩气地质与矿产地质勘查工作, E-mail:w362311767@126.com

通讯作者:冷双梁(1986—),男,硕士,工程师,从事矿产地质勘查工作, E-mail:527368011@qq.com

shale of the Gufeng Formation in the study area is thick, and has potential for shale gas reservoir with good hydrocarbon generation ability; (2) The Gufeng Formation has high content of brittle minerals, which is conducive to fracturing reformation; (3) According to the superposition method to predict, the study area can be subdivided into two prospective, such as the Yonglong-Long Beach area and Qianchang-Yuxin area.

Key words: resource potential; shale gas; the Gufeng Formation; Permian; the Jingshan area of Hubei Province

非常规油气藏的勘探开发改变了全球能源格局,近年来页岩气、天然气水合物行业迅猛发展,特别是页岩气的研究与勘查已成为国内热点^[1-3]。截至 2019 年,陆续在扬子陆块陡山沱组(Z_1d)、牛蹄塘组(C_1n)、龙马溪组(O_3S_1l)等多套地层中发现页岩气,并在重庆涪陵、四川长宁-威远等地获得工业性突破^[4-6],证实了我国南方地区具有良好的页岩气资源潜力。迄今为止,由于中二叠世孤峰组(P_2g)在中扬子地区分布局限,在过去并没有引起相应的重视,也没有被认为是中扬子地区的区域性烃源岩,因而关于孤峰组页岩气方面的相关研究较少,以往的研究主要集中于古生物化石和岩石学特征等^[7-13]。近年来,孤峰组页岩气研究开始引起关注,并在鄂西五峰地区五地 2 井和鄂西建始地区建业 1 井相继钻遇页岩气^[14-15]。研究表明,孤峰组为一套富含有机质的黑色岩系,生烃能力良好,也是扬子地区页岩气勘探潜在目的层^[16-19]。目前孤峰组研究程度较低,尚未见到涉及湖北京山地区孤峰组页岩气地质条件的研究成果。鉴于此,本文对京山地区孤峰组黑色岩系开展了岩石组合、有机地球化学、储层特征等研究,分析其页岩气地质条件,探讨其资源潜力,以期为该地区下一步页岩气勘探提供参考。

1 区域地质背景

研究区主要位于湖北省京山县境内,西部和南部分别跨及钟祥市和天门市,面积约为 3020.5 km²,在大地构造上属于中上扬子地块^[20-21]沉湖-土地堂复向斜,东接巴洪冲断背斜带,西靠乐关乡-潜江复背斜(图 1)。区内遭受多期构造运动,构造变形强烈,构造形态总体上以北西-北北西向为主,局部

为北东-北北东向^[20]。由于强烈的构造活动,研究区地层遭受不同程度剥蚀,志留纪到三叠纪地层均有出露;孤峰组在背斜区均已被剥蚀殆尽,主要分布于普济山向斜、柳门口向斜、七宝山向斜、义和向斜、宜家岭向斜和钱场向斜^[20],分布面积约 1515.3 km²。

本次研究涉及的京地 2 井位于京山县雁门口镇,构造上位于沉湖-土地堂复向斜带宜家岭向斜南东翼,是 2017 年完钻的一口页岩气调查井,完钻井深 400.20 m,依次钻遇层位为三叠纪大冶组-二叠纪栖霞组,整井岩芯完整,未见明显破碎现象。

2 页岩气地质条件

2.1 泥页岩特征及沉积环境

研究区孤峰组不整合于茅口组(P_2m)含燧石结核生屑灰岩之上,而与上覆武穴组(P_2w)呈整合接触,为一套黑色富有机质层系。通过野外及薄片观察,结合岩石矿物组成、沉积结构、构造和古生物化石等特征,可识别多种岩石类型,主要为薄层状硅质页岩、硅质泥岩和硅质灰岩;岩石呈灰黑色-黑色,互层状分布,单层厚度多介于 0.35 ~ 0.65 m,发育水平层理,见顺层分布黄铁矿(图 2),并在显微镜下观察到黄铁矿主要为草莓状;这些均表明沉积环境为还原缺氧环境。其中,京地 2 井的孤峰组泥页岩厚度为 58.3 m,京山钱场的孤峰组泥页岩厚度为 55.2 m。

根据露头及京地 2 井资料,结合区域沉积特征可知,孤峰组含丰富生物化石^[11-18],普遍含菊石类 *Altudoceras* cf. *zitteli*, *Paragastrioceras hubeiense*, *Shouchangoceras* sp., *Kufengoceras* sp., *Paraceltites* cf. *multicastatus*; 腕足类 *Crurithyris* sp., *Spinomarginifera* sp., *Reticuchonetes leei* 等;其他如放射虫、海绵骨针

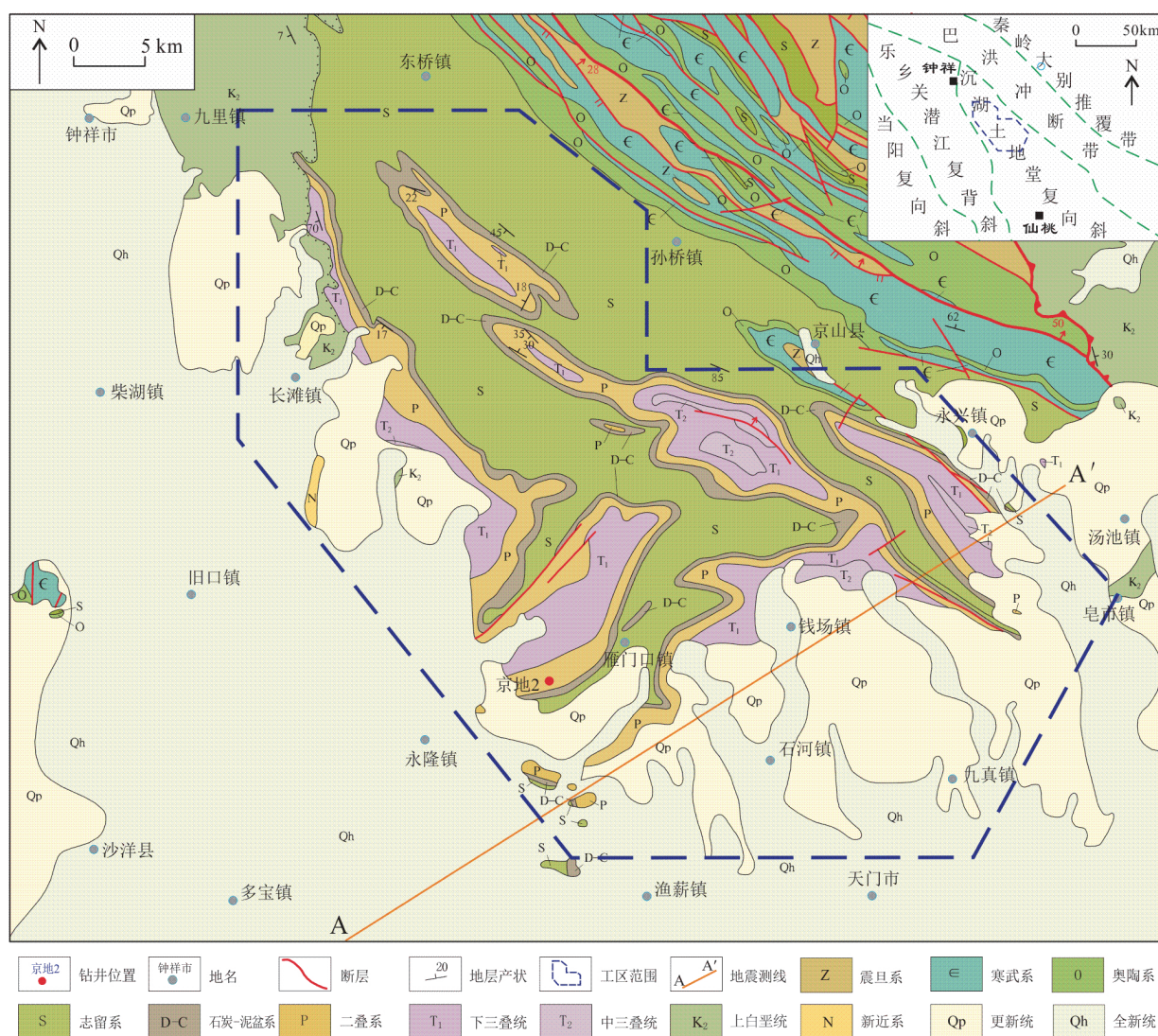


图 1 研究区地质简图(据文献[22]修改)

Fig. 1 Simplified geological map of the study area

等亦常见(图 2)。综合分析认为,研究区孤峰组为深水还原环境,下伏茅口组沉积时为浅水台地相,至孤峰组沉积时水体变深,为深水台盆相,这种还原环境有利于有机质富集和保存。

2.2 有机地化特征

2.2.1 有机碳含量

无论是生物成因还是热成因页岩气,拥有足够数量的有机质是形成气藏的物质基础^[23-25]。京山地区孤峰组泥页岩有机碳(TOC)含量整体较高,具有较好的生烃物质基础。以京地 2 井为例,孤峰组 TOC 含量介于 1.75% ~ 6.39%,均值 4.48%(图 3),TOC 大于 2.0% 和 4.0% 的样品占比分别达到 97.06% 和 58.82%(图 4a)。其中,泥页岩 TOC 含量

介于 1.75% ~ 5.00%,均值 3.29%;硅质灰岩 TOC 含量介于 3.19% ~ 6.21%,均值 4.69%;硅质岩 TOC 含量介于 2.49% ~ 6.39%,均值 4.96%。总体上,泥页岩-硅质灰岩-硅质岩有机碳含量呈现增加的趋势(图 4b)。

纵向上(图 3),京地 2 井岩心的 TOC 含量呈现两端高、中间略低的“三段式”分布,下段(井深 250 ~ 265 m)TOC 介于 2.49 ~ 6.02%,平均值为 4.02%;中段(井深 240 ~ 250m)TOC 介于 1.75 ~ 3.92%,平均值为 3.08%;上段(井深 216 ~ 240 m)TOC 介于 3.22 ~ 6.39%,平均值为 5.24%。总体上,纵向上孤峰组有机碳分布有一定差别,但均属于高-特高级别的泥页岩。

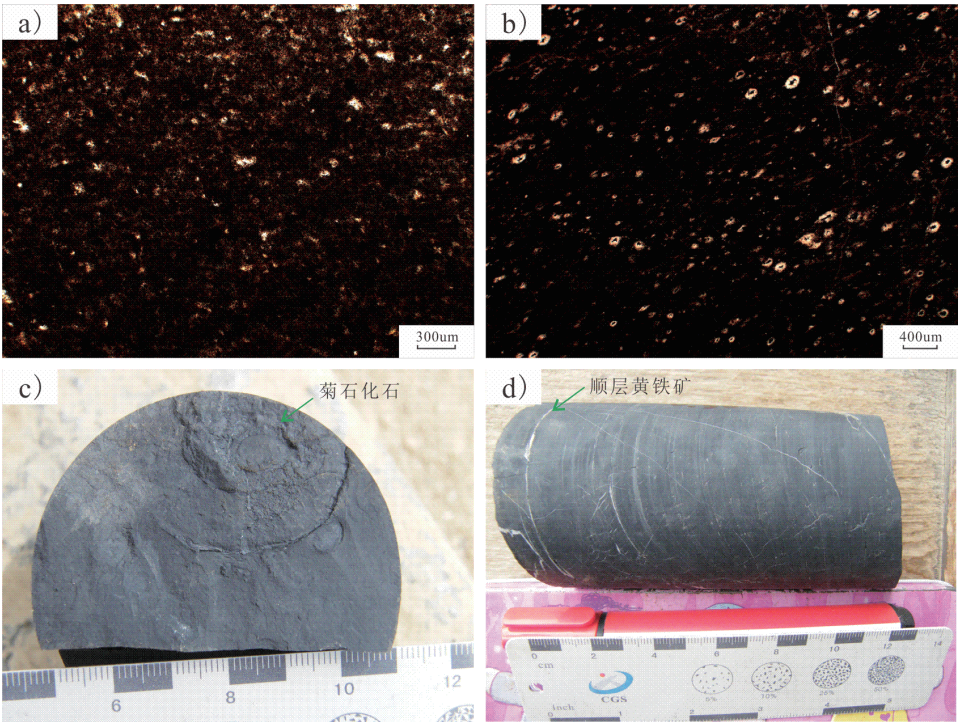


图 2 京山地区孤峰组岩石镜下及手标本照片

Fig. 2 Hand specimens and microscopic photos of the Gufeng Formation in the Jingshan area

- a) 硅质泥岩, 单偏光, 钱场剖面; b) 硅质页岩, 见放射虫, 单偏光, 钱场剖面; c) 硅质灰岩, 见菊石化石, 京地 2 井, 井深 241.4 m; d) 硅质灰岩, 见黄铁矿及高角度裂缝, 京地 2 井, 井深 249.11 ~ 249.23 m.

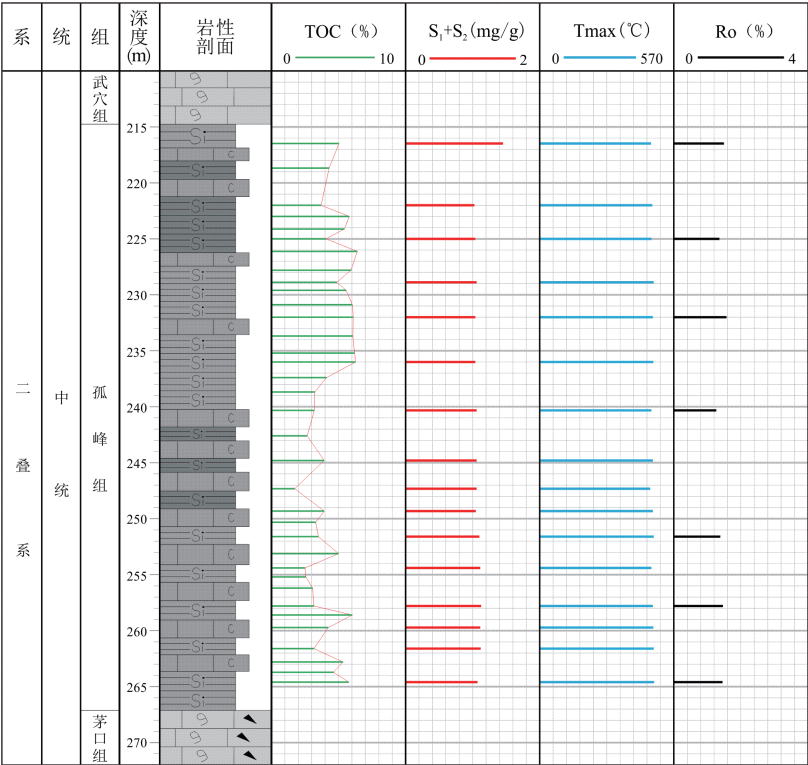


图 3 京地 2 井孤峰组地球化学剖面

Fig. 3 Geochemical profile of the Gufeng Formation in JD2 well

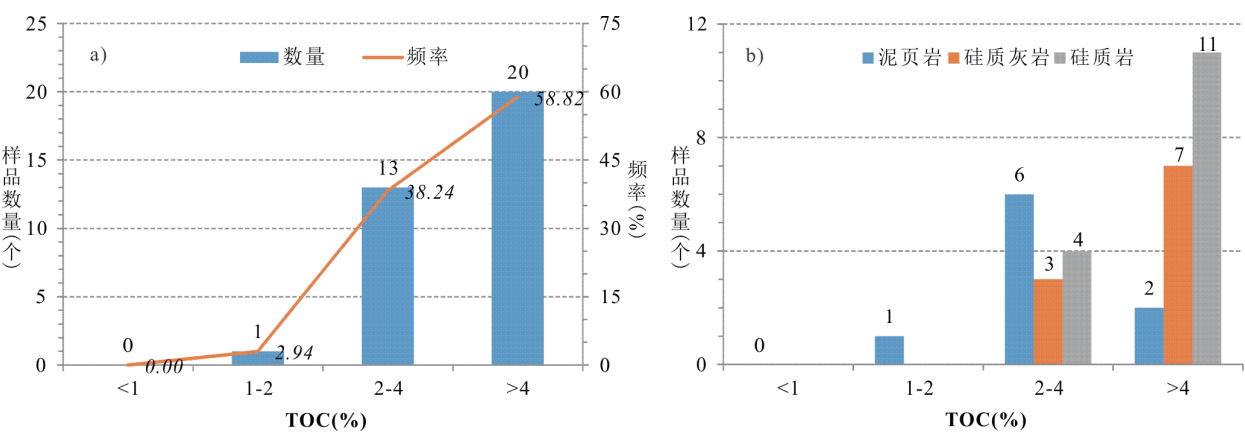


图 4 京地 2 井孤峰组 TOC 分布图

Fig. 4 Total organic carbon content distribution of the Gufeng Formation in JD2 well

2.2.2 有机质类型

有机质类型决定了烃源岩的生烃能力和烃类性质^[26-27]。镜检结果分析表明,孤峰组泥页岩有机质类型主要以腐泥组为主,少量惰质组(表 1)。以京地 2 井为例,腐泥组含量为 90.0% ~ 96.0%,均值为 93.4%;其次为镜质组和惰质组,含量分别为

3.0% ~ 6.0% 和 1.0% ~ 5.0%,均值分别为 4.3% 和 2.3%;未检测到壳质组。孤峰组泥页岩有机质干酪根类型指数介于 81.3 ~ 92.8,均值 87.8,全部为 I 型有机质,为有利的生油型有机质。这与京山地区孤峰组沉积于受围限的台盆沉积环境是相符的,具备发育生油型有机质的条件。

表 1 京地 2 井孤峰组泥页岩显微组分

Table 1 Macerals of mud shale in the Gufeng Formation of JD2 well

编号	采样深度	显微组成 (%)				类型指数	类型
		腐泥组	壳质组	镜质组	惰质组		
JD2-Y01	225.1	90	0	5	5	81.3	I
JD2-Y02	230.1	95	0	3	2	90.8	I
JD2-Y03	235.1	94	0	4	2	89.0	I
JD2-Y04	240.1	93	0	5	2	87.3	I
JD2-Y05	245.2	93	0	6	1	87.5	I
JD2-Y06	250.2	96	0	3	1	92.8	I
JD2-Y07	255.1	94	0	3	3	88.8	I
JD2-Y08	260.2	92	0	5	3	85.3	I

2.2.3 有机质成熟度

成熟度是烃源岩能否生成油气的关键因素,烃源岩只有达到一定成熟度才能大量生烃,不同的热演化阶段有机质的产烃能力和产物性质不同^[25-27]。成熟度分析表明(表 2),京地 2 井孤峰组 Ro 值介于 1.23% ~ 1.57%,均值 1.43%;Tmax 值介于 470 ~ 486℃,均值 479.4℃;京山钱场剖面孤峰组 Ro

值介于 1.56% ~ 1.72%,均值 1.64%。总体上来看,孤峰组 Ro 值较高,处于成熟 - 高成熟阶段。

区域上,京山地区孤峰组热演化程度差别不大,Ro 值多在 1.40 ~ 1.70% 之间,但明显低于恩施 - 鹤峰 - 五峰地区的二叠系热演化程度(Ro 均值 2.50%)^[14,28-29],而与建始 - 巴东地区相当(Ro 均值 1.70%)^[15]。

表 2 京山地区京地 2 井孤峰组有机质成熟度参数

Table 2 Maturity parameters of the Gufeng Formation in JD2 well

序号	剖面号 / 井号	Ro (%)	Tmax (°C)
1	京地 2 井	1.23–1.57/1.43(7)	470–486/479.4(16)
2	京山钱场	1.56–1.72/1.64 (3)	

2.3 储层特征

2.3.1 矿物组成

页岩储层的形成,不仅需要高的有机碳含量,而且还要有一定的石英等脆性矿物。脆性矿物含量控制页岩的造缝能力,高含量的脆性矿物有利于后期的压裂改造;粘土矿物的含量影响着页岩的吸附能力;同时,碳酸盐矿物含量高有利于产生溶孔^[30-31]。

以京地 2 井为例(表 3),孤峰组样品矿物成分中石英含量为 25.0% ~ 65.0%,平均为 42.4%;碳

酸盐矿物含量为 32.0% ~ 69.0%,平均为 51.0%,且主要为方解石(含量为 32.0% ~ 69.0%,平均为 49.2%);粘土矿物含量为 2.0% ~ 11.0%,平均为 4.4%;黄铁矿含量为 2.0% ~ 7.0%,平均为 4.4%;此外,还有少量菱铁矿和长石。

总体上来看,孤峰组泥页岩以石英和碳酸盐矿物为主,其次为粘土矿物,脆性矿物含量较高(占比 84.0% ~ 98.0%,平均为 93.5%),利于储层压裂改造。

表 3 京地 2 井孤峰组矿物组分组成

Table 3 Mineral composition of the Gufeng Formation in JD2 well

编号	采样深度 (m)	矿物含量 (%)							
		粘土矿物	石英	钾长石	斜长石	方解石	白云石	菱铁矿	黄铁矿
JD2-05	218.70–219.90	6	40	0	0	42	11	0	1
JD2-07	223.00–223.20	2	37	0	0	55	6	0	0
JD2-09	225.00–225.20	2	65	0	0	32	1	0	0
JD2-11	227.80–228.00	9	52	2	1	32	0	0	4
JD2-13	229.60–229.80	11	51	1	0	35	0	0	2
JD2-15	232.00–232.20	3	53	0	0	42	0	0	2
JD2-17	235.20–235.40	5	34	0	0	60	0	0	1
JD2-19	237.40–237.60	4	37	0	0	57	1	0	1
JD2-21	240.30–240.50	2	36	0	0	60	1	0	1
JD2-23	244.80–245.00	2	29	0	0	69	0	0	0
JD2-25	249.30–249.50	3	30	0	0	66	0	0	1
JD2-27	251.60–251.80	7	48	0	0	34	10	0	1
JD2-29	254.40–254.60	2	52	0	0	46	0	0	0
JD2-31	256.20–256.40	2	50	0	0	47	0	0	1
JD2-33	258.60–258.80	3	31	2	0	59	0	1	4
JD2-35	261.60–261.80	6	51	0	0	42	0	0	1
JD2-37	263.70–263.90	7	25	0	0	59	0	3	6

2.3.2 物性

物性分析结果表明,京山地区京地 2 井孤峰组岩心孔隙度介于 1.51% ~ 7.29%,平均为 4.29%;渗透率介于 0.00011 ~ 0.00738 mD,平均为 0.00159 mD;岩石密度介于 2.48 ~ 2.64 g/cm³,平均为 2.56 g/cm³。总体上,孤峰组泥页岩孔隙度和渗透率相对较低,纵向上变化不大,属于低孔 - 特低孔、特低渗型储层(图 5)。此外,京地 2 井揭示孤峰组脆性矿物含量高(均值 93.5%),易产生高角度裂缝(图 2d),局部未被完全充填,可有效改善页岩物性。

2.3.3 孔隙结构

扫描电镜观察表明,京山地区孤峰组主要发育有机质孔隙、次生溶蚀孔隙及微裂隙(图 6)。其中,次生溶蚀孔隙发育很多,主要为方解石、白云石颗粒间溶蚀孔和颗粒内溶蚀孔等,孔隙大小主要为 μm 级,一般为 1 ~ 150 μm 。其次为有机质孔隙,形态主要为团状、条带状;其中,条带状孔隙大小一般为 10 ~ 50 nm,团状有机质孔隙大小一般为 0.1 ~ 1 μm 。含炭白云岩或灰岩中粘土、石英和钠长石中可见微裂隙发育,宽度一般较小,为 0.5 ~ 3 μm 。

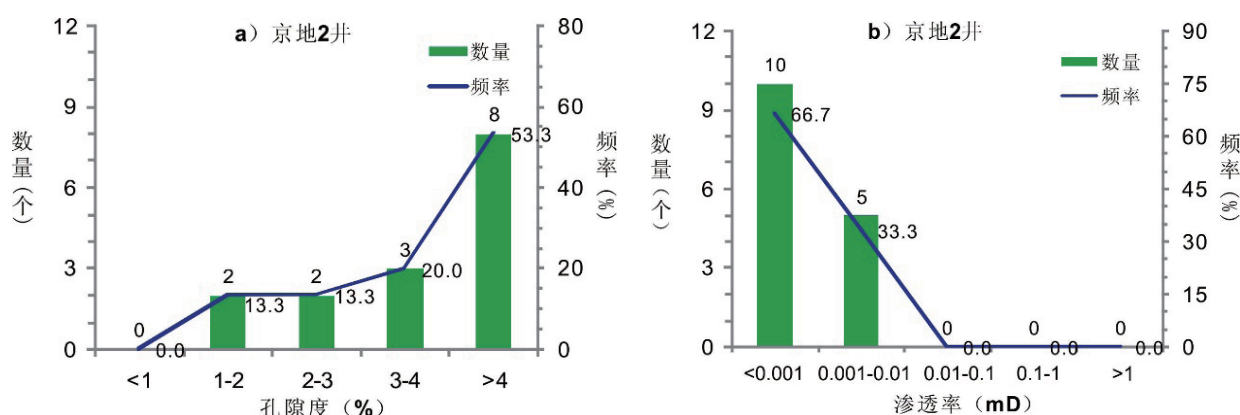


图 5 京地 2 井孤峰组岩心孔隙度和渗透率分布图

Fig. 5 Core porosity and permeability distribution of the Gufeng Formation in JD2 well

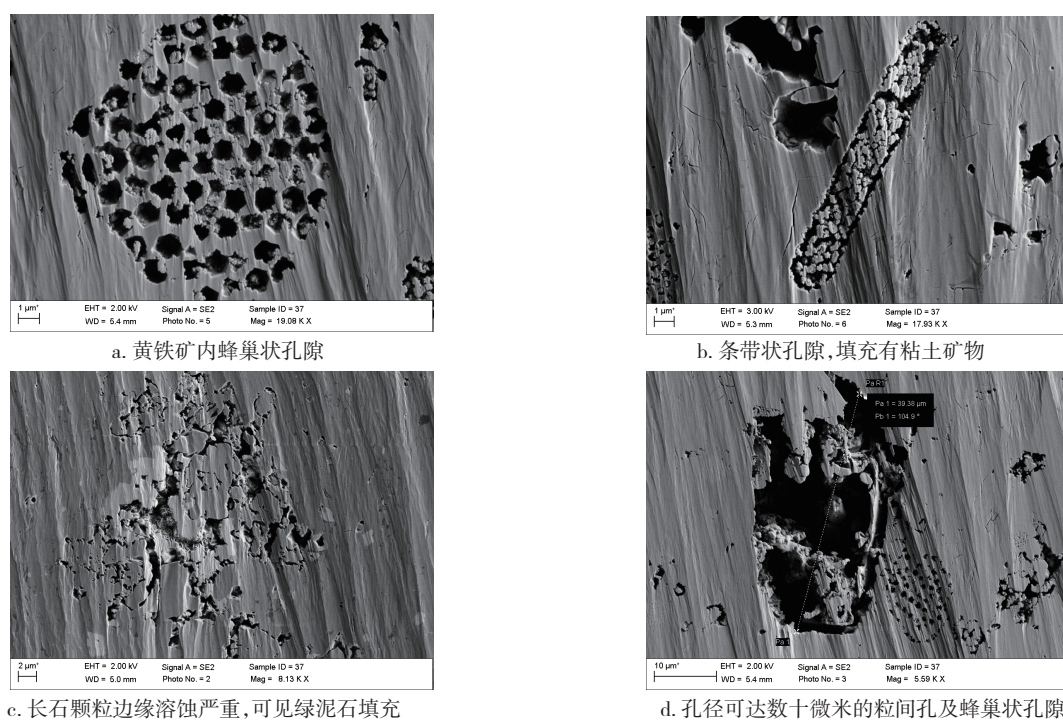


图 6 京山钱场剖面孤峰组样品孔隙结构特征

Fig. 6 Pore structure of the Gufeng Formation from the Qianchang section in the Jingshan area

2.4 含气量特征

页岩含气性直接决定页岩气资源潜力^[25]。由于京地2井孤峰组埋深较浅,埋深介于207.10~267.10 m,构造上位于向斜翼部,紧邻露头出露区,保存条件较差,钻井过程中未见明显气测显示异常,水浸试验也未见气体显示,未获得有效的解析含气量数据,因此,本次采用等温吸附实验数据表征其含气性特征。等温吸附结果表明,在14.0 MPa时,京山地区孤峰组模拟吸附气量介于1.91~2.52 m³/t(图7),平均值2.21 m³/t,显示出孤峰组吸附气含量较高,且具有较强的页岩气吸附能力。

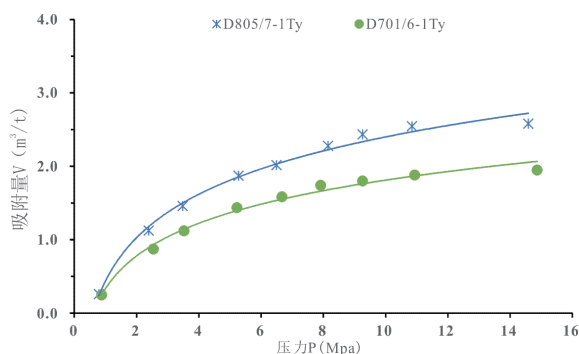


图7 京山地区孤峰组泥页岩等温吸附模拟

Fig. 7 Isothermal adsorption test of mud shale from the Gufeng Formation in Jingshan area

2.5 保存条件

2.5.1 顶底板条件

顶底板条件是阻碍页岩气垂向运移散失的关键因素,也影响着压裂改造效果^[30-31]。京山地区孤峰组顶板为中二叠世武穴组含生物碎屑灰岩和含燧石结核灰岩,厚度150~160 m,同时还覆盖了上千米厚的晚二叠世灰岩至白垩纪碎屑岩;底板为茅口组灰色含生物碎屑泥晶灰岩,厚度20.5~42.5 m,一般为27.2 m;两者均为致密性岩石,具有良好的封堵性,顶底板条件均较好。需要指出的是,区域上茅口组与孤峰组之间存在一个大的不整合面,古岩溶、岩溶角砾岩非常发育^[20],但在研究区内露头和京地2井为平行不整合接触,并没有见到古岩溶、岩溶角砾岩(图8),这可能是局部地下水淋滤作用较弱,不能排除其它地区可能发育溶洞和地下暗河

的情况,而溶洞和地下暗河不利于页岩气的保存,这些还需要进一步研究。

2.5.2 埋深条件

由于强烈的构造活动^[20],孤峰组在背斜区均已剥蚀殆尽,仅分布于向斜核部。其中,柳门口向斜和七宝山向斜内孤峰组分布面积小,埋深浅(多小于300 m),整体岩层较陡,两翼地层倾角介于50°~80°,核部地层倾角介于35°~45°,在七宝山向斜内尖山凹一带发育一正断层,断层面倾角60°,切割了二叠纪栖霞组到三叠纪嘉陵江组,页岩气保存条件较差。义和向斜由志留系-三叠系组成,孤峰组埋深介于300~1000 m,西段倾向SW,东段近直立,为一倒转向斜,页岩气保存条件较差。

普济山向斜主要由志留纪罗惹坪组-三叠纪嘉陵江组组成,靠近南西翼,侏罗系不整合于三叠系之上。普济山向斜的中新生代地层厚度1200~1800 m,结合各套地层厚度计算出孤峰组最大埋深约3100 m,埋深主要介于600~2500 m之间,总面积约为410.5 km²,核部地层平缓(倾角多为15°~20°)。钱场向斜主要也由罗惹坪组-嘉陵江组组成,往南多被第四系覆盖,经过钱场向斜的地震剖面解释成果显示(图9),钱场向斜核部不发育中新生代地层,结合二叠系-三叠系各套地层厚度,计算出孤峰组最大埋深约1100 m,埋深主要分布在600~1000 m之间,总面积约为505.6 km²(图1)。宜家岭向斜由志留纪罗惹坪组-三叠纪大冶组组成,轴向约为北东向30°,向斜宽约4~5 km,核部地层平缓(倾角多介于13°~20°),埋深最大为800 m。

2.5.3 断裂及裂缝条件

断裂和裂缝对页岩气保存具有双重作用^[31-32]。京山地区受多期构造运动影响,整体抬升,持续叠加改造,断层特别是通天断层发育,以逆冲、反冲及对冲为主^[20],绝大部分地区页岩气已散失殆尽。区域地质资料显示,普济山向斜内发育多条叠瓦状断裂,断层走向NW,倾向NE,主要切穿三叠系及之前地层;中新生代再次沉积了厚达上千米的地层,可以有效充填并封闭早期形成的断裂,阻止页岩气的散失。地震资料显示,钱场向斜翼部发育多条通天断裂,切穿志留系,而在向斜核部通天断裂不发

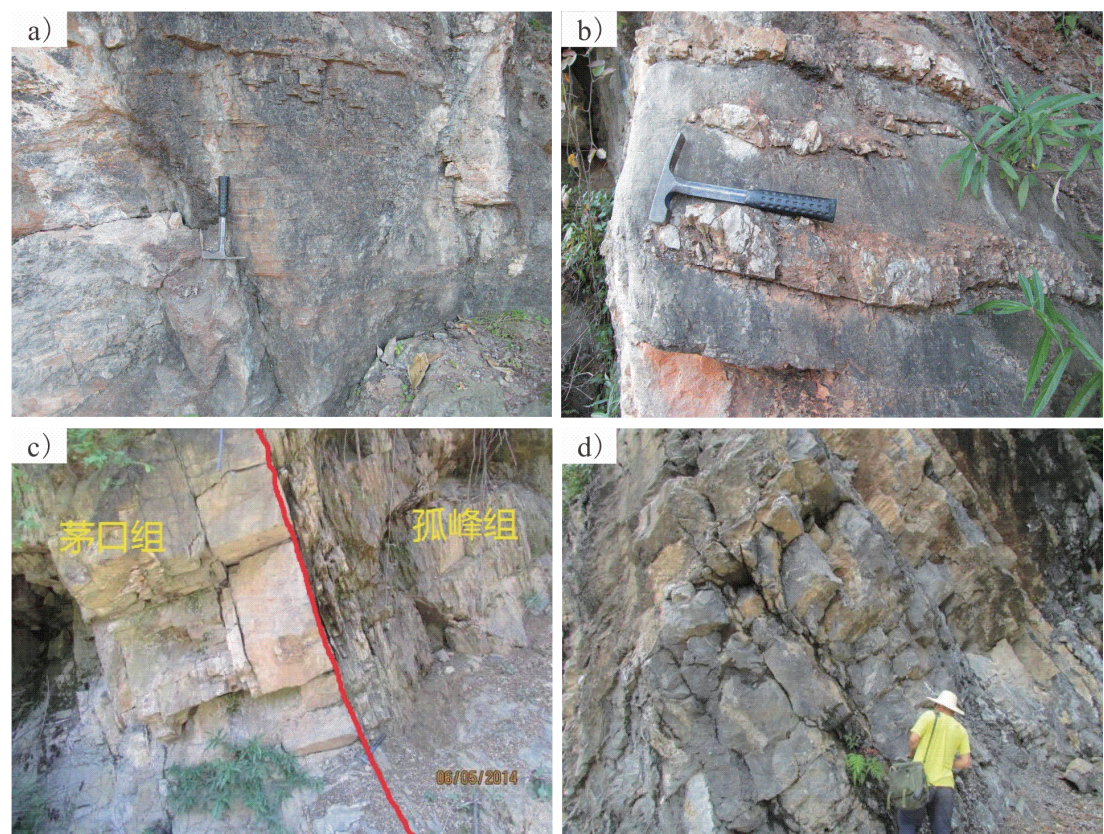


图 8 京山地区茅口组野外典型照片

Fig. 8 Outcrops of the Maokou Formation in the Jingshan area

a) 茅口组生物屑细晶灰岩;b) 茅口组含燧石结核微晶灰岩;c) 孤峰组与茅口组呈平行不整合接触;d) 茅口组中厚层状生物屑微晶灰岩 .

育(图 9)。同时,区域资料显示宜家岭向斜核部通天断裂不发育。此外,孤峰组内发育大量的页岩夹层,这些夹层容易产生滑脱破碎构造,但在京地 2 井岩心中并未见到大规模的滑脱现象,这也预示着

研究区滑脱构造对页岩气保存条件影响有限。

综上所述,普济山向斜、钱场向斜和宜家岭向斜保存条件好于其它向斜,是下一步页岩气勘探的潜在区域。

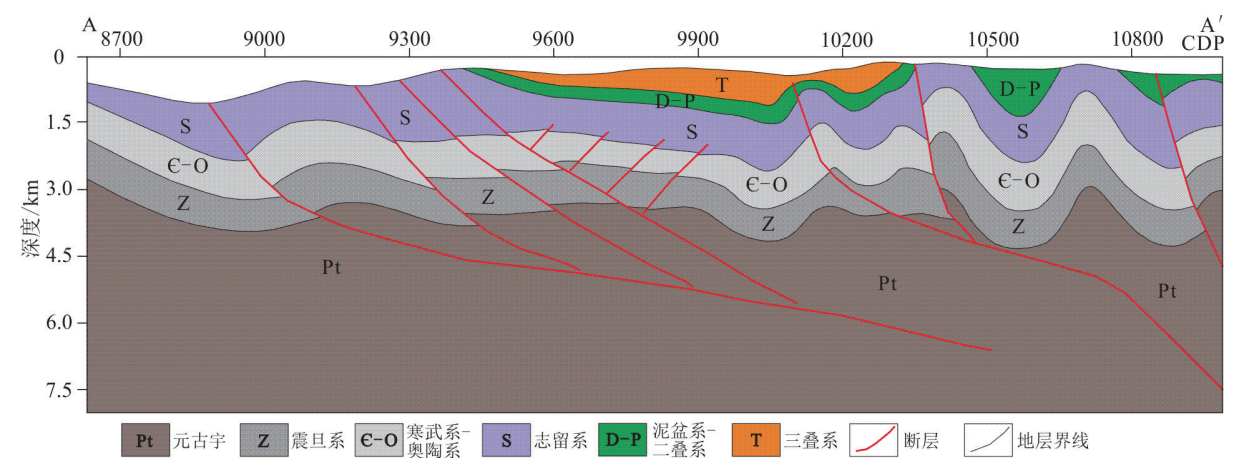


图 9 京山地区经过钱场向斜的二维地震解释剖面

Fig. 9 2-D seismic interpretation section through the Qianchang Syncline in the Jingshan area

3 资源潜力

与鄂西孤峰组页岩^[14-15]相比较(表4),京山地区孤峰组页岩的 TOC 低于鄂西建始地区和五峰地区孤峰组,但其连续厚度明显大于鄂西地区,且 TOC 大于 2.0% 的连续厚度较大,达到 50 多米,具有形成页岩气藏的物质基础;干酪根类型略好于鄂西地区孤峰组,全部为 I 型,表明其具有更好的生

气能力。京山地区孤峰组热演化程度明显低于五峰地区,而与建始地区孤峰组相差不大。建始地区建页 1 井现场解吸气最大超过 1.50 m³/t,表明京山地区孤峰组与建始地区一样均达到生成页岩气的阶段。京山地区孤峰组石英含量与鄂西孤峰组类似,较高含量的脆性矿物有利于压裂改造。总体上,京山地区孤峰组泥页岩厚度大,生烃能力良好,具备形成页岩气藏的物质基础。

表 4 京山地区与鄂西地区孤峰组页岩主要地质参数对比

Table 4 Comparisons of main parameters of the Gufeng Formation in the Jingshan area and western Hubei Province

页岩层位	时代	埋深 /m	净厚度 /m	TOC/%	干酪根类型	Ro/%	石英含量 /%	总孔隙度 /%
京山地区孤峰组	P ₂	300 ~ 3 100	50.2 ~ 55.3	1.75 ~ 6.39	I	1.23 ~ 1.72	25 ~ 65(42)	1.51 ~ 7.29
鄂西建始地区孤峰组	P ₂	300 ~ 1 200	24.7	1.46 ~ 14.64	I - II ₁	1.51 ~ 1.88	18 ~ 60(44)	2.32 ~ 5.32
鄂西五峰地区孤峰组	P ₂	300 ~ 1 100	18.7	8.77~27.40	I - II ₁	2.23~2.41	9 ~ 66(53)	1.95 ~ 6.22

在参考页岩气相关技术规范^[33-34]基础上,选取泥页岩埋深、厚度、TOC、Ro 等参数,以埋深大于 300 m 为界,采取叠合法预测京山地区页岩气远景区,共优选出 2 个远景区(图 10),分别为永隆 - 长滩远景区和钱场 - 渔薪远景区。

永隆 - 长滩远景区位于京山县永隆镇北西和长滩镇东南一带,构造上处于沉湖 - 土地堂复向斜之普济山向斜和宜家岭向斜,面积 701.4 km²,构造变形相对较弱(图 10)。该区西南部小面积地形为平原,其余大部为丘陵 - 岗地,海拔高度一般 100 ~ 300 m。富有机质泥页岩厚度主要介于 40 ~ 60 m 之间,自南西向北东递增;有机碳含量较高,大多在 2.0% 之上;页岩成熟度介于 1.5% ~ 1.7% 之间;孤峰组埋深适中,主要介于 600 ~ 2500 m。总体表明该地区具有页岩气勘探潜力。

钱场 - 渔薪远景区位于京山县钱场镇南东一带,构造上处于沉湖 - 土地堂复向斜之钱场向斜,面积 613.5 km²,构造变形相对较弱(图 10)。该区东南部小面积地形为平原,其余大部为丘陵 - 岗地,海拔高度一般 100 ~ 300 m。富有机质泥页岩厚度主要介于 40 ~ 60 m 之间,自南西向北东递增;有机碳含量较高,大多在 2.0% 之上;页岩

成熟度介于 1.5% ~ 1.7% 之间;孤峰组埋深浅,主要介于 600 ~ 1000 m。总体表明该地区具有页岩气勘探潜力。

4 结论

(1)京山地区发育孤峰组富有机质泥页岩,具有有机碳含量高(TOC 含量介于 1.75% ~ 6.39%,均值 4.48%)、有机质类型好(I 型)、热演化程度高(Ro 平均值为 1.43%)的特征,具备良好的页岩气成藏物质基础。

(2)京山地区孤峰组泥页岩为特低孔、特低渗储层;孔隙结构类型多样,脆性矿物含量高,达 84.0% ~ 98.0%,平均含量为 93.5%,利于储层压裂改造;拟含气量介于 1.91 ~ 2.52 m³/t 之间,平均值 2.21 m³/t,具有较好的页岩气吸附能力。

(3)采用叠合法在京山地区共优选出永隆 - 长滩远景区(I₁)和钱场 - 渔薪远景区(I₂)2 个远景区。

论文在撰写过程中得到湖北省地质调查院许露露博士、温雅茹博士的指导和帮助,同时审稿人给本文也提出了十分宝贵的修改意见,在此深表谢意。

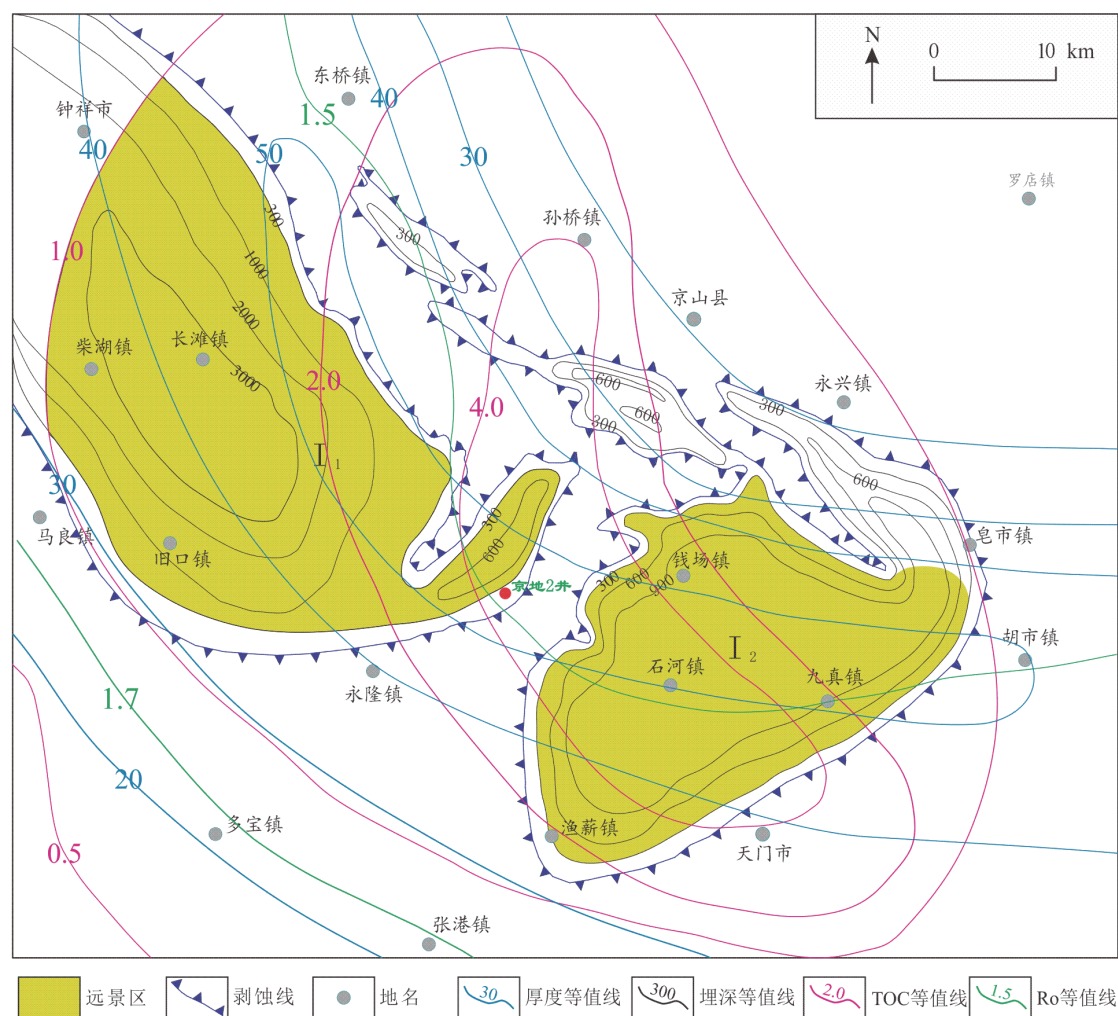


图 10 京山地区孤峰组页岩气远景区综合评价图

Fig. 10 Comprehensive evaluation map of shale gas prospective area of the Gufeng Formation in the Jingshan area

参考文献:

- [1] 赵靖舟. 非常规油气有关概念、分类及资源潜力 [J]. 天然气地球科学, 2012, 23(3):393-406.
- [2] 梁狄刚, 郭彤楼, 边立曾, 陈建平, 赵 喆. 中国南方海相生烃成藏研究的若干新进展 (三): 南方四套区域性海相烃源岩的沉积相及发育的控制因素 [J]. 海相油气地质, 2009, 14(2): 1-19.
- [3] 邹才能, 董大忠, 王社教, 李建忠, 李新景, 王玉满, 李登华, 程克明. 中国页岩气形成机理、地质特征及资源潜力 [J]. 石油勘探与开发, 2010, 37(6): 641-653.
- [4] 张焱林, 段 轲, 刘早学, 金春爽, 陈 科, 罗 凡. 鄂西下寒武统牛蹄塘组页岩特征及页岩气富集主控因素 [J]. 石油实验地质, 2019, 41(5):691-698.
- [5] 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.
- [6] 刘江涛, 李永杰, 张元春, 刘双莲, 蔡英杰. 焦石坝五峰组龙马溪组页岩硅质生物成因的证据及其地质意义 [J]. 中国石油大学学报 (自然科学版), 2017, 41(1): 34-41.
- [7] 王汝建. 安徽巢湖孤峰组的放射虫化石 [J]. 古生物学报, 1993, 32(4): 452-457.
- [8] 王汝建. 南京湖山地区下二叠统孤峰组放射虫动物群 [J]. 地质科学, 1995, 30(2): 139-146.
- [9] 王汝建, 沈高平, Katsuo Sashida. 苏皖地区孤峰组放射虫动物群及其古环境意义 [J]. 同济大学学报, 1997, 25(5): 559-564.
- [10] 何卫红, 吴顺宝, 张克信, 卜建军. 下扬子区孤峰组放射虫化石带划分及环境分析 [J]. 江苏地质, 1999, 23(1):17-23.
- [11] 王玉净, 齐敦伦. 苏皖南部孤峰组放射虫动物群 [J]. 微

- 体古生物学报, 1995, 12(4): 374-387.
- [12] 马强分, 冯庆来. 湖北建始罗家坝剖面孤峰组放射虫分类及地层研究 [J]. 微体古生物学报, 2012, 29(4): 402-415.
- [13] 李朋, 胡正祥, 宗维, 周峰, 杜小锋, 吴龙. 鄂西恩施地区孤峰组岩石地球化学特征及含矿性分析 [J]. 地层学杂志, 2017, 41(3): 344-350.
- [14] 周志, 包书景, 陈科, 徐秋枫, 张守松, 王超, 王鹏. 湖北建始地区二叠系鄂建 1 井钻获页岩气 [J]. 中国地质, 2018, 45(6): 1304-1305.
- [15] 李浩涵, 杜江, 陈科, 李飞, 宋腾, 王鹏. 湖北五峰地区发现二叠系页岩气 [J]. 中国地质, 2020, 47(6): 1932-1933.
- [16] 吴勘, 马强分, 冯庆来. 鄂西建始中二叠世孤峰组孔隙特征及页岩气勘探意义 [J]. 地球科学, 2012, 37(增刊 2): 175-183.
- [17] 徐菲菲, 张训华, 黄正清, 李建青, 吴通. 下扬子地区宁国凹陷大隆组—孤峰组泥页岩储层特征 [J]. 成都理工大学学报(自然科学版), 2019, 46(2): 180-190.
- [18] 耿梓傲, 韦恒叶. 下扬子巢湖地区中二叠统孤峰组富有机质硅质岩有机地球化学特征 [J]. 高校地质学报, 2019, 25(6): 823-837.
- [19] 葛海霞, 张枝焕. 下扬子黄桥—句容地区二叠系—三叠统油源分析 [J]. 科学技术与工程, 2015, 15(26): 140-151.
- [20] 陈公信, 金经炜, 熊家枝, 吴细松, 刘贵兴, 王义明, 盛必信. 全国地层多重划分对比研究(42): 湖北省岩石地层 [M]. 武汉: 中国地质大学出版社, 1996: 104-106.
- [21] 张大伟, 李玉喜, 张金川, 乔德武. 全国页岩气资源潜力调查评价 [M]. 北京: 地质出版社, 2012: 110-118.
- [22] 黄建勋, 金经炜, 张淦权, 陈公信, 余林青, 王义明, 周高志, 李美美, 江世俊. 中华人民共和国地质矿产部地质专报(20): 湖北省区域地质志 [M]. 北京: 地质出版社, 1990: 100-101.
- [23] Mavor M. Barnett Shale gas-in-place volume including sorbed and free gas volume: AAPG Southwest Section Meeting, Texas, March 1-4, 2003[C]. Fort Worth: Texas, 2003.
- [24] Montgomery S L, Jarvie D M, Bowker K A, Pollastro R M. Mississippian Barnett Shale, Fort Worth Basin, north-central Texas: Gas shale play with multitrillion cubic foot potential [J]. AAPG Bulletin, 2005, 89(2): 155-175.
- [25] 蒋裕强, 董大忠, 漆麟, 沈妍斐, 蒋婵, 何溥为. 页岩气储层的基本特征及其评价 [J]. 天然气工业, 2010, 30(10): 7-12.
- [26] 卢双舫, 张敏. 油气地球化学 [M]. 北京: 石油工业出版社, 2008: 201-204.
- [27] 邹才能, 陶士振, 侯连华, 朱如凯, 袁选俊, 张国生, 宋岩, 董大忠. 非常规油气地质 [M]. 北京: 地质出版社, 2011: 1-310.
- [28] 余江浩, 王登, 王亿, 谢通, 石先滨, 陈威. 湖北西部上二叠统大隆组页岩气资源潜力评价 [J]. 岩性油气藏, 2019, 30(4): 84-90.
- [29] 王登, 余江浩, 陈威, 周向辉, 张焱林, 许露露, 周豹, 冷双梁, 黄佳琪. 鄂西鹤峰地区上二叠统大隆组页岩储层特征及资源潜力 [J]. 华南地质与矿产, 2020, 36(1): 9-18.
- [30] 李海, 刘安, 危凯, 李继涛. 鄂西地区寒武系黑色页岩地质特征及页岩气远景预测 [J]. 华南地质与矿产, 2016, 32(2): 117-125.
- [31] 王登, 余江浩, 赵雪松, 陈威, 黄佳琪, 徐聪. 四川盆地石柱地区自流井组页岩气成藏条件与勘探前景 [J]. 岩性油气藏, 2019, 32(1): 27-35.
- [32] 涂乙, 邹海燕, 孟海平, 夏志远, 李楠. 页岩气评价标准与储层分类 [J]. 石油与天然气地质, 2014, 35(1): 153-158.
- [33] 张金川, 林腊梅, 李玉喜, 姜生玲, 刘锦霞, 姜文利, 唐玄, 韩双彪. 页岩气资源评价方法与技术: 概率体积分法 [J]. 地学前缘, 2012, 19(2): 185-191.
- [34] 国土资源部. DZ/T0254-2014 页岩气资源/储量计算与评价技术规范 [S]. 北京: 中国标准出版社.