

淮南煤田泥页岩地球化学特征分析及生烃潜力评价

高德燧, 胡宝林, 刘会虎, 徐宏杰

(安徽理工大学 地球与环境学院, 安徽 淮南 232001)

摘要: 为了对淮南地区煤系烃源岩特征作出评价, 在采集相关样品的基础上对淮南煤田下石盒子组泥页岩样品的矿物特征和有机质的含量、显微组成以及成熟度进行了测试。结果表明: 下石盒子组泥页岩中石英含量在 35% 左右; 黏土矿物含量均值为 56.28%。有机碳平均含量 1.21%; 干酪根以 III 型和近于 III 的 II₂ 型为主, 利于生气; 样品的镜质组反射率均大于 0.7%; 生烃峰温基本高于 445 °C, 有机质已进入成熟阶段。此外, 多层煤层或煤线也为生烃提供了物质基础。综合评价认为, 下石盒子组的烃源岩具有良好的生烃潜力, 但较高的黏土矿物含量可能对后期的开采带来不利影响。

关键词: 淮南煤田; 地球化学特征; 泥页岩; 有机碳; 成熟度; 生烃潜力

中图分类号: TE122 文献标志码: A 文章编号: 0253-2336(2017)05-0198-07

Analysis on geochemical characteristics of mud shale and potential evaluation of hydrocarbon generation in Huainan Coalfield

Gao Deyi, Hu Baolin, Liu Huihu, Xu Hongjie

(School of Earth and Environment Anhui University of Science & Technology, Huainan 232001, China)

Abstract: In order to evaluate the coal-measure source rock in Huainan Coalfield, on the basis of collecting relevant samples, the mineral characteristics, organic matter content, macerals composition and maturity in mud shale of the Lower Shihezi Formation in this coalfield were tested. The results showed that in mud shale of lower Shihezi Formation, the content of quartz was about 35%, clay mineral is about 56.28%; the average content of organic carbon is 1.21%; type of kerogen was III mainly, or II₂ which was near III mainly, these factors are beneficial to hydrocarbon generation. Vitrinite reflectance of samples was greater than 0.7%, hydrocarbon generation peak temperature was higher than 445 °C; organic matter had entered the mature stage. In addition, the seams of coal or coal lines also provide material basis for hydrocarbon generation. The comprehensive research shows that source rocks in the lower Shihezi Formation has good potential of hydrocarbon generation, but the content of clay mineral is high, it may take some adverse effects for later exploit.

Key words: Huainan Coalfield; geochemical characteristics; mud shale; organic carbon; maturity; potential of hydrocarbon generation

0 引 言

美国页岩气的成功开发, 让世界看到了这一非常规气体资源带来的巨大利益。张金川等^[1]将页岩气定义为: 主体位于暗色泥岩或高碳泥页岩中, 以吸附或者游离状态为主要存在方式的天然气。近年来, 我国在页岩气的勘探与开发方面也做了大量的工作^[2-4], 但是目前仍然处在较为初级的阶段。

长期以来, 页岩气领域的研究对象主要是海相泥页岩, 对煤系地层中的泥页岩的关注相对较少^[5-7]。煤系页岩气是指富有机质的煤系泥页岩经过生、排烃作用后残留在泥页岩层段内的天然气^[8]。随着页岩气研究工作逐步深入, 逐渐认识到煤系泥页岩中有着较高的有机质含量, 利于生气的干酪根类型以及较高的含气性^[9]。这些因素都为煤系地层页岩气的勘探与开发提供了有利条件。在对煤系地层

收稿日期: 2016-10-10; 责任编辑: 曾康生 DOI: 10.13199/j.cnki.cst.2017.05.033

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(41302129, 41402140); 中国博士后基金资助项目(2016M601992); 安徽省自然科学基金资助项目(1408085QE88)

作者简介: 高德燧(1991—), 男, 安徽阜阳人, 硕士研究生。通讯作者: 胡宝林, 男, 博士, 教授, Tel: 13855428952, E-mail: 1394294086@qq.com

引用格式: 高德燧, 胡宝林. 淮南煤田泥页岩地球化学特征分析及生烃潜力评价[J]. 煤炭科学技术, 2017, 45(5): 198-204.

Gao Deyi, Hu Baolin, Liu Huihu, et al. Analysis on geochemical characteristics of mud shale and potential evaluation of hydrocarbon generation in Huainan Coalfield[J]. Coal Science and Technology, 2017, 45(5): 198-204.

的烃源岩进行评价时,前人建立了一套采用有机地球化学参数和有机岩石学参数来衡量烃源岩生烃潜力的评价标准^[10-13]。

在我国,已发现的大-中型气田中有超过60%的气田的生烃母质均与煤系烃源岩有关^[14],石炭-二叠系是淮南煤田主要含煤地层,其中广泛发育泥页岩,为页岩气的生成提供了良好的物质基础。虽然前人在淮南煤田煤系的生烃潜力以及气体资源的资源总量方面做过一些研究^[15],但在有机质丰度以及生烃潜力评价方面的工作仍有待进一步研究。为此,笔者以淮南地区石炭-二叠系中下石盒子组为例,选取代表性样品,对其矿物学特征和有机地球化学特征进行研究和分析,以期对淮南煤田页岩气资源预测及勘探开发提供参考。

1 泥页岩的分布、发育特征

研究范围内二叠系以三角洲沉积为主,下石盒

子组沉积时期经历了频繁的海水进退的过程,分流河道相的泥页岩广泛发育,为烃源岩的形成提供了条件。区域内的钻探结果表明,下石盒子组底部发育砂岩和一层铝质泥岩,有机碳含量相对较低;第二旋回内泥岩与煤层较为邻近,有机碳含量也相对较高,并且从第二旋回有机碳含量向上逐渐减小。组内烃源岩为暗色泥岩和暗色的砂质泥岩,颜色向上逐渐变浅。其中暗色泥岩性脆、断口细腻含植物化石,机碳平均含量1.14%高于砂质泥岩,是组内最主要的烃源岩。

2 样品采集与测试

在收集区域内的钻孔资料的基础上,绘制了研究区域内下石盒子组泥页岩厚度累积等值线图(图1)和下石盒子组地层综合柱状图(图2),结果显示泥页岩累积厚度为40~105 m,整体表现出东薄西厚、南薄北厚的特征。

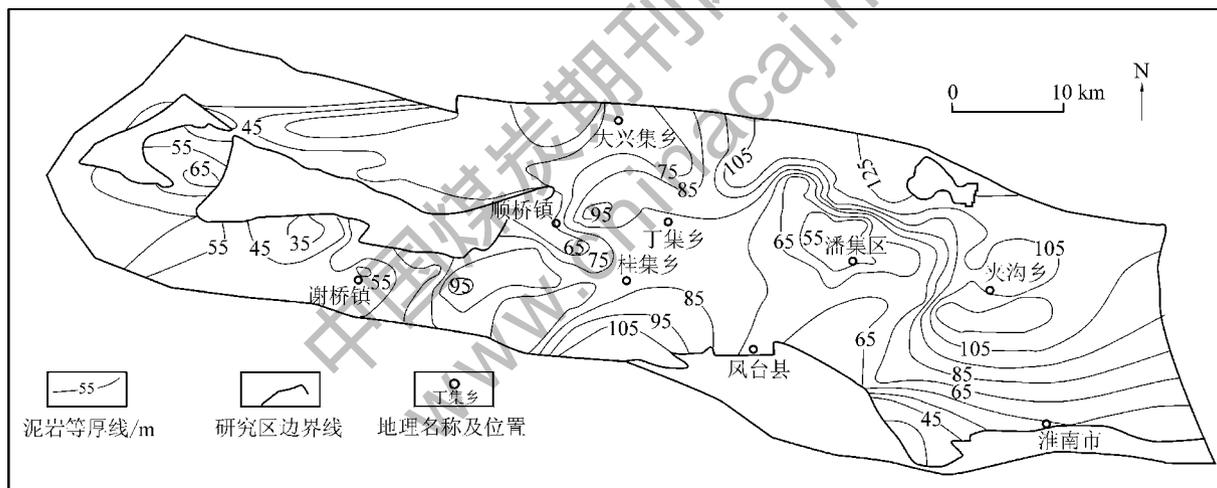


图1 淮南地区下石盒子组泥页岩累积厚度等值线

Fig. 1 Shale accumulation thickness contour map of Xiashihezi Formation in Huainan area

本次试验共采集潘集矿区外围的泥岩样品13块。样品送至中国石油勘探开发研究院进行了有机碳含量和显微组分的测试。试验对样品矿物成分的测定采用的X-射线衍射仪器型号为D/max-2500、TTR,按照SY/T 5163—2010《沉积岩中黏土和常见非黏土矿物X-射线衍射分析方法》进行测试。泥页岩中有机碳含量测定执行国标GB/T 19145—2003,测试仪器为Leco碳硫测定仪。岩石热解依据GB/T 18602—2001执行,测试仪器为油气显示评价仪。泥页岩中干酪根有机显微组分及有机质类型鉴定测试执行石油天然气行业标准SY/T 5125—1996《透射光—荧光干酪根显微组分

鉴定及类型划分方法》,测试仪器为Axiopot型透光—荧光高级生物显微镜。干酪根的镜质组反射率测定执行石油天然气行业标准SY/T 5124—1995《沉积岩中镜质体反射率测定方法》,测试仪器为MPV-SP显微光度计。

2.1 矿物学特征

测试结果显示,泥页岩中以黏土矿物和石英含量最高,其中黏土矿物平均含量为56.28%,最高可达66.4%;石英含量为31%~43%,平均含量为35.08%;钠长石的含量一般低于5%,黄铁矿和菱铁矿含量之和低于10%;试验未检测到钾长石、方解石和白云石,也未见碳酸盐矿物(图3)。在黏土矿

物中高岭石和伊/蒙混层含量所占比例最高,高岭石的平均含量为 48.5%,伊/蒙混层的平均含量为 29.25%;伊利石和绿泥石则含量则低于 10%。与本地区山西组相比^[16]下石盒子组泥页岩中石英含量较高,黏土矿物含量则低于山西组(平均 60.3%)。

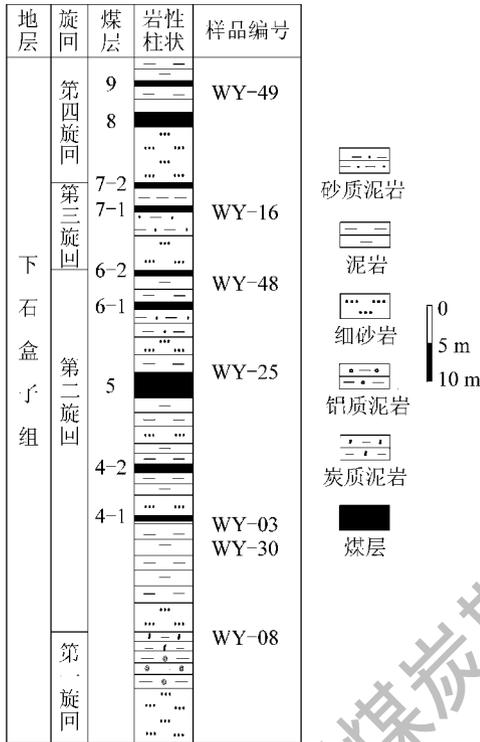


图2 下石盒子组综合柱状
Fig. 2 Integrated histogram of Xiashihezi Formation

美国 Barnett 盆地的烃源岩中黏土矿物含量一般小于 1/3,脆性矿物含量往往高于 60%^[17],在我国较为成功开发的西南地区龙马溪组泥页岩中,石英含量则普遍高于 50%、黏土矿物含量低于 25%^[18-20]。与之相比,该区下石盒子组泥页岩中石英含量偏低,而黏土矿物含量则明显较高。这就导

致淮南煤田下石盒子组泥页岩储层的塑性较强,压裂改造的性质差,可能给后期的抽采带来不便。

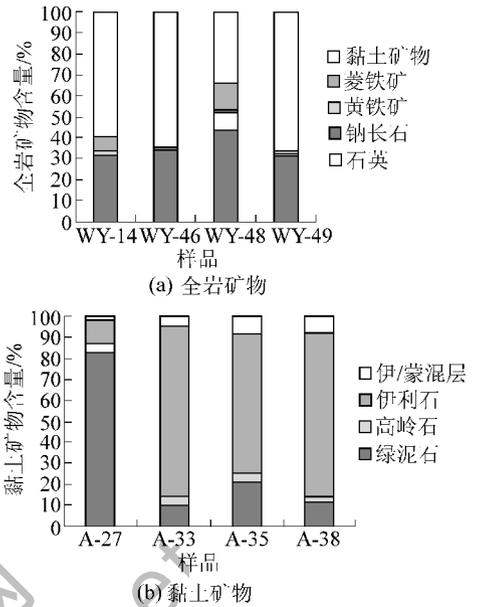


图3 下石盒子组泥页岩全岩矿物与黏土矿物组成
Fig. 3 Mineral composition of lower Shihezi Formation mudstone and clay mineral composition

2.2 有机地球化学特征

2.2.1 有机显微组分特征与干酪根类型

下石盒子组泥页岩有机质中以腐植无定形体和正常镜质体为主,其次是腐泥无定形体和惰质组,木栓质体、孢粉体、壳质碎屑体含量极低,基本不含富氢镜质体。腐植无定形体含量所占比例变化较大,为 32%~90%,平均为 60%;煤样 WY-8、WY-3、WY-16 不含腐泥组,其余样品腐泥组含量为 10%~30%;除个别样品含有极低的木栓质体、富氢镜质体和孢粉体外,大部分样品不含这 3 种显微组分;惰质组含量比例均低于 10%,最低为 2%(表 1)。

表 1 下石盒子组泥页岩有机质显微组分统计结果

Table 1 Statistics of organic macerals of mud shale in Xiashihezi Formation

样品编号	腐泥组含量/%			壳质组含量/%		镜质组含量/%		惰质组含量/%	类型系数	类型指数
	腐泥无定形体	木栓质体	孢粉体	壳质碎屑体	腐植无定形体	正常镜质体	富氢镜质体			
WY-8	0	0	0	1	83	11	0	5	29	28.75
WY-48	10	0	0	1	71	14	0	4	32	31.50
WY-49	10	0	0	1	54	28	0	7	10	9.50
WY-30	10	0	0	1	50	33	0	6	5	4.75
WY-25	30	0	0	1	39	24	0	6	26	26.00
WY-03	0	1	1	1	32	55	0	10	-34	-33.75
WY-16	0	0	2	0	90	6	0	2	40	39.50

干酪根类型是衡量有机质产烃能力的参数,是评价富有机质泥页岩地球化学特征的重要指标。在 I_H-T_{max} 图中投点是确定干酪根类型的一种常用方法。首先,使用烃源岩的热解分析结果和 TOC 含量 C 计算出氢指数 $I_H(I_H=100 \times S_2/C)$ 来划分干酪根类型。再结合干酪根最高峰温,在 I_H-T_{max} 图版中投点(图 4)。本次试验的投点结果表明,WY-16 和 WY-8 为 III 型干酪根,其余样品为 II₂ 型干酪根。

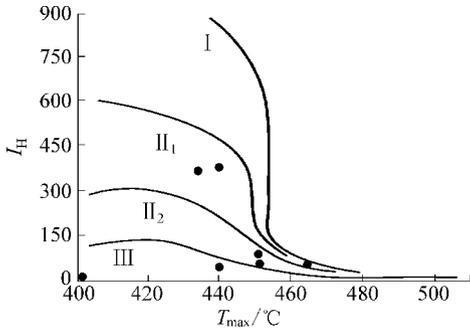


图 4 I_H-T_{max} 图版确定有机质类型

Fig. 4 Organic matter determination based on I_H-T_{max}

当烃源岩处在高成熟和过成熟阶段时,随着热演化程度的加深干酪根的有机组成会朝着富碳方向转化,仅使用图板来确定有机质的类型可能会产生较大的误差^[21]。因此为了进一步确定泥页岩中干酪根的类型,选取我国目前普遍使用类型指数 T_1 进行划分^[22]。根据试验单位的划分标准,计算得出采集的样品除了 WY-03 ($T_1 = -33.75$) 有机质干酪根类型是 III 型(腐植型干酪根)外,其余样品的 T_1 值均为 0~40,属于近似与 III 型的 II₂ 型干酪根(腐泥—腐植型干酪根)。若依据煤炭系统的划分标准(煤炭系统将“腐植无定形体”划归镜质组),则下石盒子

组泥页岩中有机质干酪根类型均为 III 型。所以,下石盒子组泥页岩中的有机质是利于生气的。

2.2.2 有机质丰度

有机质丰度是代表着岩石中有机质的含量,是评价烃源岩优劣的重要指标。通常用来评价烃源岩有机质丰度的指标主要有有机碳(TOC)总量、氯仿沥青“A”含量、总烃(HC)含量和岩石热解生烃潜量(S_1+S_2)等。本次试验也依据上述指标对烃源岩的有机质丰度进行评价。

有机碳含量多少是有机物产率高低的直接表征,现在测试分析手段能得到的有机碳含量数据,均为烃源岩生排烃后的残余有机碳含量(TOC),但其含量的多少仍能间接反映其原始烃源岩有机碳的相对含量,有机碳含量的多少是有机物产率高低的直接表现^[23],目前测试手段能得到有机碳的数据。样品测试结果表明,下石盒子组泥页岩样品的有机碳含量 0.42%~2.74%,均值 1.14%,有机碳含量总体上为中等水平。从图 4 中的等值线可知:4 号煤层以下的泥页岩中有机碳含量相对较高,向上有逐渐递减的趋势,并且同一旋回内距离煤层越近的泥页岩有机碳的含量越高。

(S_1+S_2)是烃源岩的生烃潜量,它指的是岩石中的残留烃(S_1)与热解烃(S_2)之和,其为对烃源岩进行评价的重要指标^[24]。下石盒子组样品残余生烃量 S_2 为 0.20~1.54 mg/g, $S_1+S_2 = 0.33 \sim 1.88$ mg/g,全区平均为 1.14 mg/g。氯仿沥青“A”的含量为 0.03%~0.11%,平均含量为 0.07%;总烃含量分布在 15.96%~34.29%,平均为 28.7%,低于 40%(表 2)。

表 2 泥页岩地球化学参数测定结果

Table 2 Results of geochemical parameters of the shale determination

样品编号	采样深度/m	TOC 含量/%	$S_1/(mg \cdot g^{-1})$	$S_2/(mg \cdot g^{-1})$	总烃 HC 含量/%	IH 指数/ $(mg \cdot g^{-1})$	$T_{max}/^{\circ}C$	$R_o/\%$	氯仿沥青“A”含量/%
WY-08	1 163.5	0.42	0.34	1.54	34.29	366.66	450.00	1.02	0.08
WY-03	1 454.3	2.22	0.24	1.29	31.73	58.11	465.00	0.82	0.09
WY-16	1 307.7	1.39	0.13	0.20	15.96	14.39	392.00	0.90	0.04
WY-25	1 325.4	2.74	0.15	1.22	32.84	44.53	447.00	1.02	0.08
WY-30	1 374.1	0.42	0.32	1.35	33.61	321.43	446.00	—	0.11
WY-48	1 092.2	0.75	0.19	0.65	24.79	86.67	455.00	0.81	0.07
WY-49	1 040.1	0.5	0.07	0.28	17.58	56.00	455.00	0.82	0.03

2.2.3 有机质成熟度特征

有机质成熟度也是烃源岩评价的重要指标,目

前使用较多且为大家普遍接受的热演化指标有镜质组反射率 R_o 、热解峰温 T_{max} ^[25]。本次试验也主要测

试了样品的这2组指标来评价下石盒子组泥岩的有机质成熟度。

测试结果显示样品 $R_o = 0.80\% \sim 1.10\%$, 平均值 0.88% 。烃源岩内有机质的生油窗 $R_o = 0.5\% \sim 1.3\%$, 当 R_o 达到 0.9% 左右时为生油高峰, 之后有机质的生油能力减弱, 生气能力开始逐渐增强。下石盒子组样品测试结果 R_o 全部大于 0.5% , 样品 WY-08、WY-16、WY-25 的 R_o 均大于 0.9% 。说明下石盒子组泥页岩中的有机质均已成熟, 且开始由利于生油向着利于生气演化。

在以 T_{max} 值对有机质成熟度进行划分时有以下4个阶段: $T_{max} < 435\text{ }^\circ\text{C}$ 时, 烃源岩处在未成熟阶段; $435\text{ }^\circ\text{C} < T_{max} < 455\text{ }^\circ\text{C}$, 烃源岩为低成熟阶段; $T_{max} > 455\text{ }^\circ\text{C}$ 烃源岩为高成熟阶段; $T_{max} > 465\text{ }^\circ\text{C}$ 烃源岩为过成熟阶段^[26]。下石盒子组泥页岩热解峰温 T_{max} 为 $392 \sim 465\text{ }^\circ\text{C}$, 均值 $445\text{ }^\circ\text{C}$, 其中低于 $435\text{ }^\circ\text{C}$ 和高于 $455\text{ }^\circ\text{C}$ 的样品分别只有一块, 这说明下石盒子组的源岩基本上处在成熟阶段(图5), 与使用 R_o 进行评价时得出的结果相同。

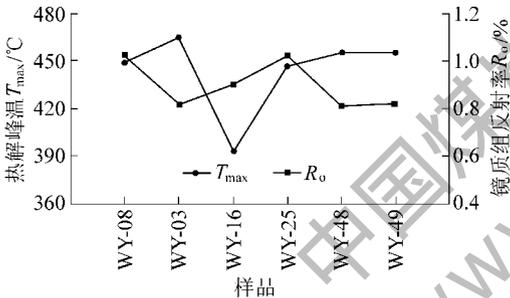


图5 样品的 R_o 和 T_{max} 分析结果

Fig. 5 The R_o and T_{max} analysis results of the samples

表3 煤系泥岩生烃潜力评价标准

Table 3 Ehydrocarbon potential evaluation criteria of coal-bearing mudstones

级别	评价指标 ^①				级别	评价指标 ^②			
	TOC 含量/%	$S_1+S_2/$ ($\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$)	氯仿沥青“ A ” 含量/%	总烃 含量/%		TOC 含量/%	$S_1+S_2/$ ($\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$)	IH 指数/ ($\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$)	氯仿沥青“ A ” 含量/%
非常差	<0.50	<0.5	<0.02	<10	非常差	<0.75	<0.1	<5	<0.002
较差	0.50~1.00	0.5~2	0.02~0.05	10~15	较差	0.75~1.5	0.1~0.2	5~15	0.002~0.005
中等	1.00~2.00	2.00~6.00	0.05~0.1	15~20	较好	1.5~3	0.2~0.4	15~30	0.005~0.015
好	2.00~4.00	6.0~20.00	0.1~0.5	20~40	好	>3	>0.4	>30	>0.015
很好	>4.00	>20.00	>0.5	>40					

注:①陈建平的评价标准^[13];②董泽亮的评价标准^[27] ($R_o = 1.2\% \sim 2.5\%$)

4 结 论

1) 泥页岩脆性矿物含量相对较低, 黏土矿物含

3 生烃潜力评价

对烃源岩的生烃潜力进行准确的评价是非常规气体资源勘探与开发的过程中的重要工作。前人对此做过大量的试验与研究^[10,13], 建立了以烃源岩的有机碳含量、生烃潜量、干酪根类型、镜质体反射率以及热解参数等有机地球化学参数为依据的评价体系。

随着研究工作的逐渐深入, 针对烃源岩中有机质的不同变质程度建立了不同的评价标准^[27-28]。有学者在研究沁水盆地的煤系地层生烃潜力时, 建立了一套用于评价中-高阶演化阶段烃源岩生烃潜力的评价标准^[27]。本次试验测得, 下石盒子组泥页岩中有机质的镜质组反射率 R_o 在 1.00% 左右, 已达到或接近中等变质程度。因此笔者分别选取陈建平^[13]和董泽亮^[27]的评价标准(表3)对目标层位进行综合评价。与上述的标准进行比较时发现, 下石盒子组泥页岩中有机碳的含量均较低, 氯仿沥青“ A ”含量等参数在中等-好的水平; 在对 (S_1+S_2) 进行评价时则产生了较大的偏差。考虑到下石盒子组的有机质已达到(接近)中变质程度, 所以在对 (S_1+S_2) 进行评价时, 笔者更倾向于使用董泽亮的评价标准。在所测的样品中 WY-08、WY-03、WY-25、WY-30 表现出了好-很好的生烃潜力, WY-16、WY-48 生烃潜力为中等-较好水平, WY-49 的生烃潜力则为中等-较差。

上述研究表明, 淮南地区下石盒子组地层中, 泥页岩具有较好的生烃潜力。考虑到下石盒子组发育有多层煤层也可以作为有效的生气源岩, 故综合认为下石盒子组源岩的生烃潜力较好, 可以作为有利的勘探区。

量高, 不利于储层裂隙的发育, 可能对后期的采排产生不利的影响。

2) 泥页岩中有机碳的含量为 $0.42\% \sim 2.74\%$, 旋

回内越靠近煤层泥页岩的有机碳含量越高。泥页岩中干酪根类型以Ⅲ型或近于Ⅲ的Ⅱ₂型为主,利于生气。

3)有机质演化已进入成熟阶段,TOC、HC、氯仿沥青以及生烃潜量等参数表明下石盒子组泥页岩具有较好的生烃潜力,可以作为有利的勘探层位。

参考文献 (References) :

- [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. Reservoir mechanism of shale gas and its distribution[J]. Natural Gas Industry, 2004, 24(7):15-18.
- [2] 王丽波,久凯,曾维特,等.上扬子黔北地区下寒武统海相黑色泥页岩特征及页岩气远景区评价[J].岩石学报,2013,29(9):3263-3278.
Wang Libo, Jiu Kai, Zeng Weite, et al. Characteristics of lower Cambrian marine black shales and evaluation of shale gas prospective area in Qianbei Area, Upper Yangtze Region[J]. Acta Petrologica Sinica, 2013, 29(9):3263-3278
- [3] 胡琳,朱炎铭,陈尚斌,等.中上扬子地区下寒武统筇竹寺组页岩气资源潜力分析[J].煤炭学报,2012,37(11):1871-1877.
Hu Lin, Zhu Yanming, Chen Shangbin, et al. Resource potential analysis of shale gas of lower Cambrian Qiongzhusi Formation in Middle & Upper Yangtze Region[J]. Journal of China Coal Society, 2012, 37(11):1871-1877.
- [4] 闫德宇,黄文辉,李昂,等.鄂尔多斯盆地上古生界海陆过渡相页岩气聚集条件及有利区预测[J].东北石油大学学报,2013,37(5):1-9.
Yan Deyu, Huang Wenhui, Li Ang, et al. Preliminary analysis of marine-continental transitional shale gas accumulation conditions and favorable areas of the Upper Paleozoic in Ordos Basin[J]. Journal of Northeast Petroleum University, 2013, 37(5):1-9.
- [5] 许圣传,刘招君,董清水,等.抚顺盆地始新统烃源岩有机地球化学特征及成因[J].中国矿业大学学报,2013,42(5):790-800.
Xu Shengchuan, Liu Zhaojun, Dong Qingshui, et al. Characteristics and origin of organic geochemistry from the Eocene source rocks, Fushun Basin[J]. Journal of China University of Mining & Technology, 2013, 42(5):790-800.
- [6] 曹代勇,王崇敬,李靖,等.煤系页岩气的基本特点与聚集规律[J].煤田地质与勘探,2014,42(4):25-30.
Cao Daiyong, Wang Chongjing, Li Jing, et al. Basic characteristics and accumulation rules of shale gas in coal measures[J]. Coal Geology & Exploration, 2014, 42(4):25-30.
- [7] 李苗春,姚素平,丁海,等.湘西牛蹄塘组黑色岩系的地球化学特征及其油气地质意义[J].煤炭学报,2013,38(5):857-863.

- Li Miaochun, Yao Suping, Ding Hai, et al. Geochemistry, Paleontology and sedimentary environment significance of Niutitang Formation in Western Hunan Province [J]. Journal of China Coal Society, 2013, 38(5):857-863.
- [8] 张丽霞,姜呈馥,郭超.鄂尔多斯盆地东部上古生界页岩气勘探潜力分析[J].西安石油大学学报:自然科学版,2012,27(1):23-33.
Zhang Lixia, Jiang Chengfu, Guo Chao. Exploration potential of upper Paleozoic shale gas in eastern Ordos Basin [J]. Journal of Xi'an Shiyu University: Natural Science Edition, 2012, 27(1):23-33.
- [9] 王庭斌.中国含煤-含气(油)盆地的地质条件[J].中国科学D辑:地球科学,2004,34(2):117-124.
Wang Tingbin. Chinese coal-bearing and gas (oil) basin geological conditions [J]. Science in China Series D: Earth Sciences, 2004, 34(2):117-124.
- [10] 黄第藩,熊传武.含煤地层中石油的生成-运移和生油潜力评价[J].勘探家,1996,1(2):6-11.
Huang Difan, Xiong Chuanwu. Generation, migration and evaluation of hydrocarbon generation potential of oil formed in coal-bearing strata [J]. Petroleum Exploration, 1996, 1(2):6-11.
- [11] 肖贤明,刘德汉,傅家谟.我国聚煤盆地煤系烃源岩生烃评价与成烃模式[J].沉积学报,1996,14(S1):10-17.
Xiao Xianming, Liu Dehan, Fu Jiamo. The Evaluation of coal-measures resource rocks of coal-bearing Basins in China and their hydrocarbon-generating models [J]. Acta Sedimentologica Sinica, 1996, 14(S1):10-17.
- [12] 谢英刚,孟尚志,万欢,等.临兴地区煤系地层多类型天然气储层地质条件分析[J].煤炭科学技术,2015,43(9):71-75,143.
Xie Yinggang, Meng Shangzhi, Wan Huan, et al. Analysis on geological conditions of multi type natural gas reservoir incoale measure strata of Linxing Area [J]. Coal Science and Technology, 2015, 43(9):71-75,143.
- [13] 陈建平,赵长毅,何忠华.煤系有机质生烃潜力评价标准探讨[J].石油勘探与开发,1997,24(1):1-5.
Chen Jianping, Zhao Changyi, He Zhonghua. Criteria for evaluating the hydrocarbon generating potential of organic matter in measures [J]. Petroleum Exploration and Development, 1997, 24(1):1-5.
- [14] 王红岩,张建博,刘洪林.中国煤层气可利用经济储量预测与发展前景[J].石油勘探与开发,2003,30(1):15-17.
Wang Hongyan, Zhang Jianbo, Liu Honglin. The prediction of proved economic reserves and development prospect of coal-bed methane in China [J]. Petroleum Exploration and Development, 2003, 30(1):15-17.
- [15] 赵师庆,李平华,叶诗忠,等.两淮煤田石炭二叠煤系气源岩评价及其煤成气资源量估算[J].淮南矿业学院学报,1989(3):52-58.
Zhao shiqing, Li pinghua, Ye shiyong, et al. A estimation of coal-formed gas source rock and its resources quantity of Permo-Carboniferous coal measures in Huainna and Huaibei Coal Fields

- [J]. Journal of Huainan Mining Institute, 1989(3): 52-58.
- [16] 徐宏杰, 胡宝林, 刘会虎, 等. 淮南煤田下二叠统山西组煤系页岩气储层特征及物性成因[J]. 天然气地球科学, 2015, 26(6): 1200-1210.
- Xu Hongjie, Hu Baolin, Liu Huihu, *et al.* Reservoir characteristics and its physical origin of shale gas in coal measure in the lower permian shanxi formation in Huainan Coalfield [J]. Natural Gas Geoscience, 2015, 26(6): 1200-1210.
- [17] 李贵红. 筠连煤田晚二叠世煤系页岩储层初步评价[J]. 煤炭科学技术, 2015, 43(10): 127-132.
- Li Guihong. Preliminary assessment for shale reservoir of late Permian coal measures in Junlian Coalfield [J]. Coal Science and Technology, 2015, 43(10): 127-132.
- [18] 陈文玲, 周文, 罗平, 等. 四川盆地长芯1井下志留统龙马溪组页岩气储层特征研究[J]. 岩石学报, 2013, 29(3): 1073-1086.
- Chen Wenling, Zhou Wen, Luo Ping, *et al.* Analysis of the shale gas reservoir in the lower Silurian Longmaxi Formation, Changxin 1 well, Southeast Sichuan Basin [J]. China Acta Petrologica Sinica, 2013, 29(3): 1073-1086.
- [19] 邱小松, 杨波, 胡明毅, 等. 中扬子地区五峰组—龙马溪组页岩气储层及含气性特征[J]. 天然气地球科学, 2013, 24(6): 1274-1283.
- Qiu Xiaosong, Yang Bo, Hu Mingyi, *et al.* Characteristics of shale reservoirs and gas content of Wufeng-Longmaxi Formation in the middle Yangtze Region. [J]. Natural Gas Geoscience, 2013, 24(6): 1274-1283.
- [20] 陈吉, 肖贤明. 南方古生界3套富有机质页岩矿物组成与脆性分析[J]. 煤炭学报, 2013, 38(5): 822-826.
- Chen Ji, Xiao Xianming. Mineral composition and brittleness of three sets of Paleozoic organic-rich shales in South China [J]. Journal of China Coal Society, 2013, 38(5): 822-826.
- [21] 谢其峰, 周立发, 马国福, 等. 南祁连盆地三叠系烃源岩有机地球化学特征[J]. 北京大学学报: 自然科学版, 2011, 47(6): 1034-1040.
- Xie Qifeng, Zhou Lifa, Ma Guofu, *et al.* Organic geochemistry of triassic source rocks in the southern Qilian Basin [J]. Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Pekinensis, 2011, 47(6): 1034-1040.
- [22] 曹庆英. 透射光下干酪根显微组分鉴定及类型划分[J]. 石油勘探与开发, 1985(5): 14-23.
- Cao Qingying. Identification of microcomponents and types of kerogen under transmitted light [J]. Petroleum Exploration and Development, 1985(5): 14-23.
- [23] 林家善, 谢渊, 刘建清, 等. 黔北上奥陶统五峰组烃源岩有机地球化学特征及古环境意义[J]. 地质通报, 2012, 31(11): 1922-1927.
- Lin Jiashan, Xie Yuan, Liu Jianqing, *et al.* Organic geochemical characteristics of hydrocarbon source rocks in upper Ordovician Wufeng Formation of northern Guizhou and their paleo-environmental significance [J]. Geological Bulletin of China, 2012, 31(11): 1922-1927.
- [24] 高苑, 王永莉, 何大祥, 等. 准噶尔盆地东南缘油页岩有机地球化学特征及含气潜力[J]. 天然气地球科学, 2013, 24(6): 1196-1204.
- Gao Yuan, Wang Yongli, He Daxiang, *et al.* Shale gas potential and organic geochemical characteristics of oil shale in the Southeast of Junggar Basin. [J]. Natural Gas Geoscience, 2013, 24(6): 1196-1204.
- [25] 龚大兴, 林金辉, 唐云凤, 等. 上扬子地台北缘古生界海相烃源岩有机地球化学特征[J]. 岩性油气藏, 2010, 22(3): 31-37.
- Gong Daxing, Lin Jinhui, Tang Yunfeng, *et al.* Organic geochemical characteristics of Paleozoic marine source rocks in northern margin of Upper Yangtze Platform [J]. Lithologic Reservoirs, 2010, 22(3): 31-37.
- [26] 郭立言, 顾信章, 盛志纬, 等. 生油岩热解快速定量评价[M]. 北京: 科学出版社, 1986.
- [27] 董泽亮, 李贤庆, 张明扬, 等. 中-高热演化阶段煤系烃源岩生气潜力评价[J]. 煤炭科学技术, 2015, 43(12): 129-136.
- Dong Zeliang, Li Xianqing, Zhang Mingyang, *et al.* Gas potential evaluation of coal measures source rock with medium-high thermal evolution stage [J]. Coal Science and Technology, 2015, 43(12): 129-136.
- [28] 王东良, 李欣, 李书琴, 等. 未成熟-低成熟煤系烃源岩生烃潜力的评价: 以塔东北地区为例[J]. 中国矿业大学学报, 2001, 30(3): 317-322.
- Wang Dongliang, Li Xin, Li Shuqin, *et al.* Assessment standards for hydrocarbon-generating potential of hydrocarbon source rock in immature to low-matured coal measures in Northeastern Tarim Basin [J]. Journal of China University of Mining & Technology, 2001, 30(3): 317-322.