



鲁西南晚古生代泥页岩地球化学特征与沉积环境分析

曾秋楠¹, 张交东², 周新桂¹, 刘旭锋¹

(1. 中国地质调查局油气资源调查中心非常规油气地质实验室, 北京 100029; 2. 中国地质科学院, 北京 100029)

摘要:鲁西南地区是重要的煤炭生产基地, 但油气资源调查工作及相关的沉积环境分析开展较少。鲁页参 1 井的实施证实山西组下部和太原组上部及中下部发育的暗色泥页岩具有生油岩特征。通过 XRF 高精度元素扫描方式对鲁页参 1 井晚古生代泥页岩层段进行连续扫描, 获得以主、微量元素含量为主的配套数据 300 个, 结合岩石学、沉积地球化学方法对鲁西隆起晚古生代地层特征及沉积环境演化进行研究。结果表明: 以鲁页参 1 井为代表的晚古生代泥页岩有机碳含量较高, 大部分烃源岩达到中等级以上, 干酪根以利于生气的 III 型为主; 热演化程度处于成熟演化阶段, 具有较好的生烃潜力; 晚古生代沉积环境整体呈现由海相向陆相转变的趋势, 属海陆过渡相沉积, 地化指标和粘土矿物特征对沉积环境及其变化趋势指示明显。

关键词:晚古生代; 元素地球化学; 沉积环境; 环境意义; 鲁西南

中图分类号: P618.13

文献标识码: A

引文格式:曾秋楠, 张交东, 周新桂, 等. 鲁西南晚古生代泥页岩地球化学特征与沉积环境分析[J]. 山东国土资源, 2016, 32(8): 22-26. ZENG Qiunan, ZHANG Jiaodong, ZHOU Xigui, etc. Geochemical Characteristics of Mud Shale and Sedimentary Microfacies Research of Late Paleozoic in Southwestern Shandong Province[J]. Shandong Land and Resources, 2016, 32(8): 22-26.

0 引言

页岩气赋存在低孔、低渗的富有机质暗色泥页岩中, 具有典型的“自生自储”特点, 储层低孔、低渗特征明显, 除赋存在裂缝中的游离相天然气外, 吸附于岩石颗粒表面的吸附气也占有较大的比重^[1]。近年来, 页岩气及煤层气作为新兴的非常规能源, 中国、加拿大、澳大利亚及印度等国都开始评估页岩气储量^[2]。中国华北地区晚古生代油气资源基础丰厚, 页岩气资源量约为 $5.4 \times 10^{12} \text{m}^3$, 占全国资源总量的 1/6, 是我国重要的油气远景区之一。其中, 鲁西南地区现今晚古生代地层残留厚度大、分布面积广, 泥页岩较为发育、埋藏适中、构造相对简单, 具备页岩气形成的基础条件^[3], 但受多种主、客观因素制约, 多年来地质调查工作主要局限于煤炭资源^[4],

油气资源调查工作几乎没有开展。

鲁页参 1 井是中国地质调查局油气资源调查中心针对鲁西南地区晚古生代暗色泥页岩部署实施的第一口页岩气参调查数井, 全井段开展综合测录井及现场解吸, 自晚古生代石盒子组下部开始连续取芯 290 m, 至奥陶纪灰岩结束, 为鲁西南地区晚古生代地层对比、沉积相精细划分及页岩气评价提供了完善可靠的化学剖面。该文通过地化测试、岩心扫描及综合对比等方法, 从鲁页参 1 井上古生界页岩储层的矿物组成、微量元素特征等方面入手, 研究了鲁西南地区晚古生代海陆过渡相页岩储层的基本特征, 并探讨了微量元素比值对沉积环境的指示意义, 进而为该区页岩气的储层评价提供基础。

收稿日期: 2016-04-05; 修订日期: 2016-07-01; 编辑: 曹丽丽

基金项目: 全国油气资源战略选区调查与评价项目“南华北盆地油气资源战略调查”(1211302108023-2)

作者简介: 曾秋楠(1988—), 女, 湖南邵阳人, 实习研究员, 主要从事油气储层评价工作; E-mail: zqn1001@foxmail.com

1 鲁页参 1 井概况及区域地质情况

鲁页参 1 井位于菏泽市单县张集镇,构造上处于鲁西隆起菏泽-兖州潜断隆青岗集凸起(潜)北缘中的张小楼背斜 NW 翼,西临单县煤田。该区地层区划属华北地层区,具双层结构,由太古代结晶基底

及上覆沉积盖层组成。钻井井深 1 700 m,自上而下分别钻遇第四系、新近纪黄骅群、古近纪官庄群、二叠纪石盒子群、山西组、石炭-二叠纪太原组、石炭纪本溪组、奥陶纪马家沟群(未穿),地层层序正常(图 1),与邻井地层对比性好。

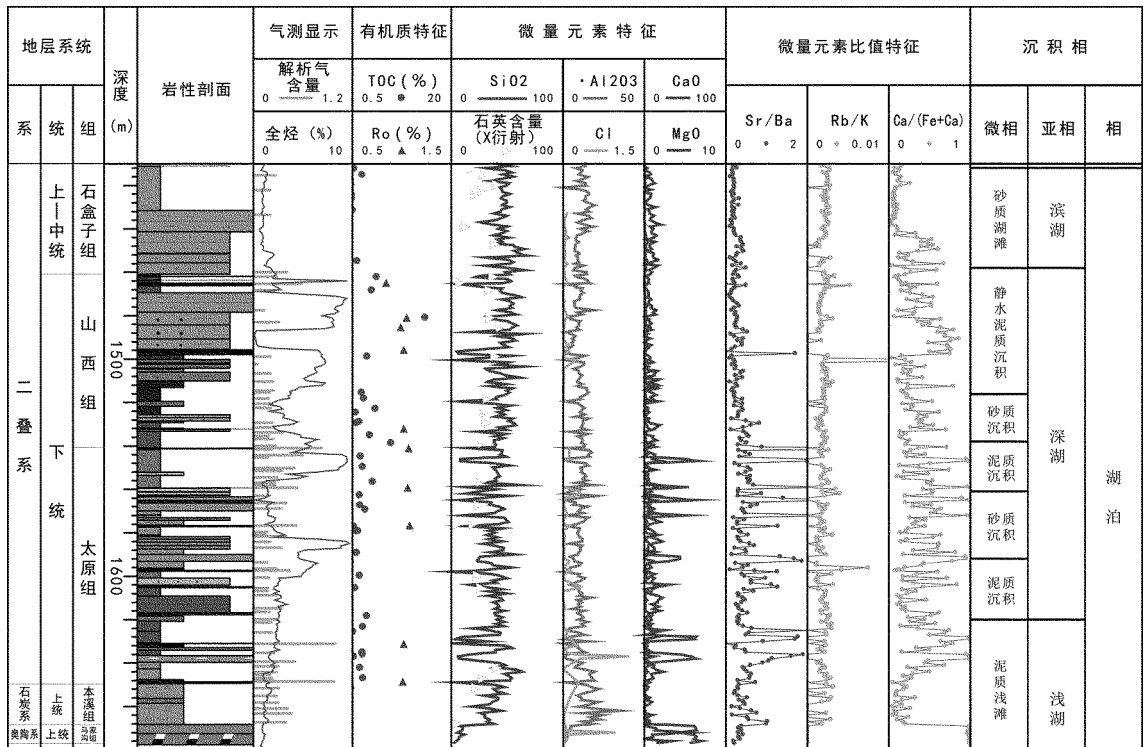


图 1 鲁页参 1 井气测显示及微量元素特征综合剖面图

2 样品采集及分析测试

该文以晚古生代石炭-二叠纪暗色泥页岩为目标层位,对鲁页参 1 井进行岩心观察和精细描述,并对暗色泥页岩层段及其他代表性岩性重点取样 82 件。取样层位以晚古生代地层为主,包括石盒子群 17 块,山西组 16 块,太原组 44 块,另对本溪组取样 3 块,马家沟群取样 2 块;样品岩性以泥页岩为主,共计 59 块,另对砂岩、灰岩、铝土岩及煤分别少量取样(表 1)。

样品分别送至中国矿业大学和河南油田分公司石油勘探开发研究院实验中心进行 TOC、成熟度分析、岩石热解、氯仿沥青“A”、X 射线衍射粘土矿物及全岩分析、扫描电镜等共计 234 项次;并使用 Niton XL3 元素分析仪,以 0.5 m 或 1.0 m 间隔为标准,对全岩心进行元素测试分析扫描,共采集 300 个测

试点的主、微量元素的配套数据。

表 1 测试实验明细

检测项目	检测依据	使用仪器
沉积岩中总有机碳的测定	GB/T19145-2003《中华人民共和国国家标准》	红外碳硫仪 LECOCS-2304898/电子天平赛多利斯 BSA224S 26990493
岩石热解分析	GB/T18602-2012	油气评价工作站 OGE II 012 电子天平沙多里斯 BS210S
沉积岩粘土矿物和常见非粘土矿物 X 射线衍射分析	SY/T5163-2010	X 射线衍射仪 D/max2500pc
岩石样品扫描电子显微镜分析	SY/T1562-1997 (2005)	扫描电子显微镜/蔡司 SUPRA55

3 测试结果及分析

3.1 有机质特征

3.1.1 有机质丰度

有机质丰度是决定烃源岩品质的关键地化指标之一。该文采用海陆交互相煤系烃源岩有机质丰度

评价标准对鲁页参 1 井的烃源岩进行评价^[5],共选取 53 个样品进行分析,其中 32 个泥页岩样品 TOC 达到烃源岩级别。

山西组 9 个烃源岩样品中,有机碳含量在 0.09%~14.91%之间,平均值为 3.95%,生油潜量 S_1+S_2 范围值为 0.07~40.88 mg/g,平均值为 8.94 mg/g,65%以上的烃源岩达到中等级别以上。太原组 26 个烃源岩样品中,有机碳含量在 0.22%~8.10%之间,平均值为 2.22%,生油潜量 S_1+S_2 范围值为 0.44~9.74 mg/g,平均值为 1.91 mg/g,65%以上达到中等级别以上(表 2)。

3.1.2 有机质类型

岩石热解分析结果表明,山西组 5 个烃源岩样品的氢指数 IH 为 44.21~98.62 mgHC/gTOC,平均值

为 70.15 HC/gTOC,以 III 型干酪根为主;太原组 8 个烃源岩样品的氢指数 IH 为 43.89~101.73 mgHC/gTOC,平均值为 59.58 HC/gTOC,主要为 III 型干酪根,占样品数的 87.5%。2 个层位的烃源岩干酪根元素组成总体上 H/C 原子比均较低,平均值约为 0.5。O/C 原子也较低,平均值约为 0.04,多数样品属于 III 型干酪根(表 2)。

3.1.3 有机质热演化程度

山西组烃源岩 R_o 值为 0.84%~1.05%,最高热解峰温 T_{max} 多在 387~567℃之间,平均值为 468℃,属于成熟演化阶段。太原组检测样品均为煤样,烃源岩 R_o 值为 1.01%~1.08%,最高热解峰温 T_{max} 在 450~475℃之间,平均值为 462℃(表 2),属于成熟演化阶段。

表 2 鲁页参 1 井晚古生代烃源岩有机质特征统计

层位	有机质丰度			有机质类型		有机质热演化程度		
	TOC (%)	氯仿沥青“A” (%)	生油潜量 S_1+S_2 (mg/g)	岩石热解参数 IH (mg/g)	干酪根元素		R_o (%)	T_{max} (°C)
					H/C	O/C		
山西组	0.09~14.91	0.1677~2.7614	0.07~40.88	44.21~98.62	0.40~0.66	0.04~0.05	0.84~1.05	387~567
	3.95(9)	1.4646(2)	8.94(8)	70.15(5)	0.56(3)	0.04(3)	0.94(5)	468(8)
太原组	0.22~8.10	0.0103~0.1941	0.44~9.75	43.89~101.73	0.41~0.63	0.04~0.05	1.08~1.01	450~475.2
	2(26)	0.06721(6)	1.91(12)	59.5(8)	0.48(5)	0.04(5)	1.05(5)	462(12)

注:表中数据格式为“最小值—最大值/平均值(样品数)”,下同。

3.2 矿物特征

鲁页参 1 井晚古生代泥页岩矿物组成以粘土矿物和石英为主,还含有少量长石和碳酸盐矿物,部分样品含少量黄铁矿或其他矿物。其中长石包括斜长石和钾长石,碳酸盐矿物包括方解石、白云石和菱铁矿,其他矿物包括方沸石、重晶石赤铁矿和硬石膏。

山西组和太原组泥页岩均以粘土矿物和石英为主,本溪组泥页岩测试样品数量较少,但整体表现为较太原组和山西组粘土矿物和黄铁矿含量高、石英含量低的特征(表 3)。

表 3 鲁页参 1 井上古生界泥页岩矿物含量统计

层位	粘土矿物	石英	长石	黄铁矿	碳酸盐矿物
山西组	32~81	8~44.6	0~21.2	1~6.7	0~13
	56.81(14)	31.52(14)	6.71(14)	3.23(14)	2.79(14)
太原组	25.9~56.6	4~41	0~19.9	2~26.3	2~25.5
	43.83(9)	25.27(9)	7.12(9)	7.41(9)	12.54(9)
本溪组	54.9~71.1	3.39~28.7	5~7.2	2~18.2	0~6.7
	63.65(4)	15.15(4)	6.48(4)	9.35(4)	3.28(4)

3.3 粘土矿物特征

山西组和太原组泥页岩粘土矿物特征整体相

似,均以伊蒙混层矿物为主,其次为高岭石,绿泥石和伊利石含量较少,不含蒙脱石和绿蒙混层矿物。本溪组泥页岩测试样品数量较少,但整体表现为较太原组和山西组高岭石含量高、伊蒙混层矿物和伊利石含量低的特征(表 4)。

表 4 鲁页参 1 井晚古生代泥页岩粘土矿物含量统计

层位	伊蒙混层矿物	伊蒙混层比	伊利石	高岭石	绿泥石
山西组	25~88	10~30	1~36	2~49	1~25
	49.64(14)	18.21(14)	12.64(14)	26.64(14)	13.08(14)
太原组	34~80	15~30	3~20	8~44	4~42
	57.0(9)	21.11(9)	11.33(9)	20.89(9)	12.0(9)
本溪组	23~36	10~15	6~14	35~50	15~22
	27.0(4)	12.5(4)	9.25(4)	45.25(4)	19.0(4)

注:表中数据格式为“最小值—最大值/平均值(样品数)”

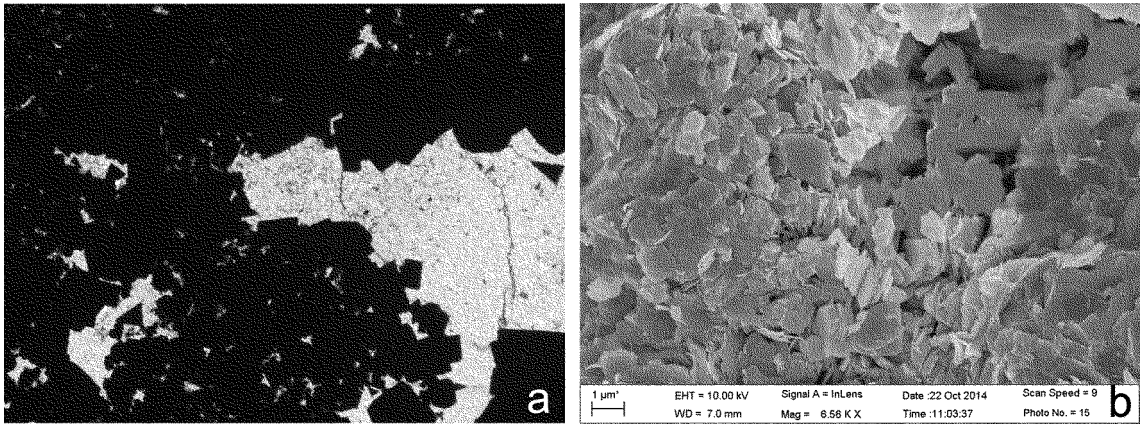
4 讨论

4.1 粘土矿物特征对沉积环境的指示意义

陆相、海陆过渡相泥页岩以低碳酸盐含量区别于北美 Barnett 等海相页岩^[6]。该区样品的矿物学特征与沉积环境对应良好,X 射线衍射测试结果表明,鲁页参 1 井泥页岩中碎屑状石英含量平均约为

28%,还含有方解石和方沸石等自生矿物,以及黄铁矿等多种金属硫化物;显微镜下也观察到陆源伊利石粘土大量存在,以及自生黄铁矿、自生石膏和泥灰质等现象;本溪组黑色泥页岩中发育自生黄铁矿填充裂隙,镜下自生自形较好(图 2a)。一般认为伊利石是粘土矿物中最稳定的物相,属于典型的风化产物,主要来自陆地,形成于物理风化较强的气候环

境,主要输送方式为风的吹扬^[7]。鲁页参 1 井晚古生代泥页岩中伊利石在扫描电镜下多呈碎屑板片状或弯曲片状,晶形不完整,轮廓圆滑清晰,略具定向性(图 2b)。结合伊利石含量并未随地层变老而增加的特征,认为该区晚古生代泥页岩中粘土矿物的形成主要为陆源碎屑成因,而非成岩作用。



a—本溪组自生黄铁矿镜下特征(5+);b—山西组(1518.19 m)陆源伊利石粘土和自生高岭石特征

图 2 鲁页参 1 井晚古生代泥页岩矿物发育特征

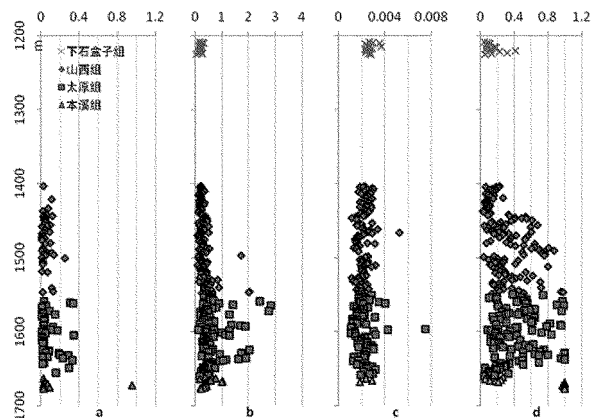
氯化盐含量的变化也体现出相应的气候和环境变化特征。一般认为,地层岩石中氯化盐含量的变化直接与地下水及其水体性质有关,Cl⁻几乎存在于所有地下水中,因此常常是水中含盐量多寡的标志^[8]。鲁页参 1 井本溪组、太原组 Cl 含量高,最高可达 1%以上,随地层变新 Cl 含量明显降低,山西组 Cl 含量基本在 0.2%以下,指示环境水体含盐量降低(图 3a)。

4.2 微量元素比值特征及沉积环境分析

前人研究认为,微量元素比值对古盐度及沉积环境具有指示意义。该文采用 Sr/Ba, Rb/K 和 Ca/(Fe+Ca) 3 个比值进行沉积环境分析。一般认为, Rb/K 比值随盐度而变,正常海相页岩中 Rb/K 比大于 0.006,而微咸水的页岩中 Rb/K 比大于 0.004^[9]。Sr/Ba 比值大于 1 为海相沉积, Sr/Ba 比值小于 1 为陆相沉积,该方法辨别海陆相地层有效^[10]。磷酸铁的含磷量在海相沉积物中偏低,而磷酸钙中的含磷量在海相和过渡相中偏高,在陆相环境中偏低。磷酸钙组分,即 Ca/(Fe+Ca) 大于 0.80 者,显示为海相标志;而数值小于 0.60 者,则显示为陆相特征^[11]。

鲁页参 1 井元素扫描分析结果可知,该区太原组和山西组的古盐度相当于微咸水或半咸水沉积,

具有过渡相沉积特征(图 3b);太原组更偏向海相特征,向上山西组 Sr/Ba 比稳定降低至小于 1,转变为陆相特征(图 3c)。Ca/(Fe+Ca) 比值随地层变化特征明显,本溪组和太原组均大于 0.8,为海相特征;山西组随地层变新,比值稳定减小,由 1 减小至 0.6 以下,显示海相向陆相转变的海陆过渡相特征;下石盒子群比值均小于 0.6,为陆相特征(图 3d)。



a—Cl 含量;b—Sr/Ba;c—Rb/K;d—Ca/(Fe+Ca)

图 3 鲁页参 1 井微量元素比值图

5 结论

(1) 鲁西南鲁页参 1 井泥页岩有机碳含量较高, 山西组平均值为 3.95%, 太原组平均值为 2.22%, 大部分烃源岩达到中等级以上; 干酪根以利于生气的 III 型为主; R_o 在 1% 左右, 热演化程度处于成熟演化阶段。

(2) 根据 Rb/K , Sr/Ba 和 $Ca/(Fe+Ca)$ 等元素比值, 结合岩心观察和粘土矿物特征, 揭示本溪组和太原组沉积环境为海相富氧的浅水环境, 山西组各项比值随深度变化特征明显, 为海相向陆相转变的海陆过渡相特征, 下石盒子群具有明显的陆相特征。

(3) 鲁西南地区潜在页岩气勘探开发层位位于石炭-二叠系下部, 主要为在海陆过渡环境下形成的本溪组、太原组和山西组, 其中山西组下部和太原组上部及中下部暗色泥岩具有良好的生油岩特征, 具有较好的生烃潜力。

参考文献:

[1] Curtis J B. Fractured shale - gas systems [J]. AAPG Bulletin,

2002, 86(11):1921 - 1938.

- [2] 张抗, 谭云冬. 世界页岩气资源潜力和开采现状及中国页岩气发展[J]. 当代石油石化, 2009, 17(3): 9 - 18.
- [3] 吴鲜, 窦莲, 龙胜祥, 等. 东濮凹陷沙三上盐间段湖相页岩油气成藏条件[J]. 特种油气藏, 2013, 20(4): 36 - 40.
- [4] 汤立成. 鲁西石炭二叠系沉积矿床成矿系列[J]. 山东地质, 1992, 8(2): 60 - 69.
- [5] 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.
- [6] 曾秋楠, 于炳松, 李昱霏. 鄂尔多斯盆地东南部延长组页岩储层特征及控制因素[J]. 特种油气藏, 2013, 20(1): 23 - 26.
- [7] 靳宁, 李安春, 刘海志, 等. 帕里西维拉海盆西北部表层沉积物中粘土矿物的分布特征及物源分析[J]. 海洋与湖沼, 2007, 38(6): 504 - 511.
- [8] 王大纯, 张人权, 史毅虹, 等. 水文地质学基础[M]. 北京: 地质出版社, 1995: 53 - 58.
- [9] Campbell F. A. and Williams G. D., Chemical Composition of shales of Mannville group (lower Cretaceous) of Central Alberta, Canada. Bull. Am. Assoc. petr. Geol. Vol.49, No.1.
- [10] 王益友, 郭文莹, 张国栋. 几种地球化学标志在金湖凹陷阜宁群沉积环境中的应用[J]. 同济大学学报, 1979, (2): 51 - 60.
- [11] B.Nelson; Sedimentary Phosphate Method for Estimating Paleosolinity Science, Vol.168, No.3803, 1967.

Geochemical Characteristics of Mud Shale and Sedimentary Microfacies Research of Late Paleozoic in Southwestern Shandong Province

ZENG Qiunan¹, ZHANG Jiaodong², ZHOU Xigui¹, LIU Xufeng¹

(1. Geological Laboratory of Unconventional Oil and Gas of Oil and Gas Resources Surveying Center of China Geological Survey Bureau, Beijing 100029, China; 2. Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100029, China)

Abstract: As to study the sedimentary characteristics and environments of southwestern Shandong province could provide a basis for the assessment of source rocks, geochemical elements of LYC1 well sediment core is tested by high - resolution XRF scanning method. 300 set of data of geochemical elements have been gained. By using petrology and sedimentary geochemical methods, characteristics and sedimentary environment evolution of Luxi uplift in late Paleozoic period have been studied. It is showed that organic carbon contents of late Paleozoic shale which LYC1 well is the representative is high. Most of the hydrocarbon source rocks reached medium level and above, and kerogen is mainly III type which is favorable for producing gases. Thermal evolution degree is in mature stage and has good potentiality of hydrocarbon generation. Late Paleozoic sedimentary environment presents an overall trend from marine facies to continental facies. It belongs to continental transitional facies. Geochemical index and characteristics of clay minerals have an apparent of sedimentary environment change trend

Key words: Upper Paleozoic; element geochemistry; sedimentary environment; environmental significance; southwestern Shandong province