



山东鲁西地区上古生界泥页岩特征 及页岩气远景区预测

王丽娟

(山东省地质调查院, 山东 济南 250013)

摘要:基于区内石油、地矿、煤田勘查开发与页岩气有关地质矿产资料和基础地质勘查成果,以上古生界石炭-二叠系暗色泥页岩沉积环境与分布特征、有机地球化学特征为重点,对鲁西地区上古生界页岩气资源勘探远景进行初步预测。研究表明山东鲁西地区上古生界发育山西组、太原组和黑山组 3 套厚度较大的暗色泥页岩层系,形成于有机质丰富的沉积环境,总体表现为由克拉通盆地陆表海沉积演化为近海河流-三角洲-湖泊沉积;厚度 31~193 m,埋深 240~4 000 m;有机碳(TOC)含量 1.8%~2.6%;有机质类型主要为 II₂、III 型干酪根;且以 III 型干酪根为主;镜质体反射率(Ro)平均值为 0.7%~1.0%,处于成熟阶段。综合各种成藏条件,认为鲁西地区上古生界暗色泥页岩具有良好的页岩气形成条件。根据非常规能源(页岩气和油)远景区(带)划分主要技术指标,初步预测了曹县煤田、鱼台凹陷、黄河北煤田、阳谷-茌平煤田共 4 个远景区。

关键词:上古生界;页岩气;远景区;鲁西地区

中图分类号:P618.13

文献标识码:A

引文格式:王丽娟.山东鲁西地区上古生界泥页岩特征及页岩气远景区预测[J].山东国土资源,2016,32(1):21-25.WANG Lijuan. Characteristics of Upper Paleozoic Shales and Prediction of Shale Gas Prospective Area in Luxi Area of Shandong Province[J].Shandong Land and Resources, 2016,32(1):21-25.

页岩气属于非常规天然气资源,作为一种重要的能源矿产和战略性资源,已引起国内广泛关注^[1-2]。我国古生代地层分布范围广、地层厚度大、有机质含量普遍较高,可作为区域上页岩气勘查研究的重要层系之一^[3-4]。目前已在渤海湾盆地的冀中拗陷、黄骅拗陷南部、东濮拗陷文留、沁水盆地、淮南淮北等地区发现煤层气藏,暗色泥岩和碳质泥岩具有较好生烃条件,并且在多口钻井中泥页岩段见到气测异常,展示了页岩气良好的勘查前景。鲁西地区在煤炭资源划分上与山西、内蒙南部、河北、河南及安徽北部的煤炭资源同属华北赋煤区,成煤时代为晚古生代石炭-二叠纪,发育面积广泛且厚度较大的暗色泥页岩,泥页岩中含有大量有机质。该文广泛搜集了区内石油、地矿、煤田勘查开发及其他与页岩气有关地质矿产资料和基础地质勘查成果,查阅资源勘查钻孔 561 个,其中有测井地质报告的钻

孔 260 个,进行数据整理和重新分析,从泥页岩厚度、埋深、沉积环境、有机碳含量(TOC)、有机质类型、有机质成熟度等方面探讨鲁西地区上古生界页岩气成藏条件,初步划分出页岩气远景预测区,为该区下一步页岩气勘探提供依据。

1 区域地质背景

研究区位于华北(中朝)板块东部,华北板块-鲁西隆起区(II)中整个鲁西南潜隆起区(II₂)及鲁中隆起区(II₁)的一部分。脆性断裂是区内中生代以来最主要的构造变形方式,在区内分布极广,并经常构成断块的边界,控制了主要的构造面貌。区内地层发育比较齐全,根据地层总体发育情况,研究区以 NNE 向的聊城-兰考断裂为界,分别属于华北平原地层分区(V₄⁸)与鲁西地层分区(V₄¹⁰)。华北平原地层分区以发育巨厚的新生代地层,以含油、气等

收稿日期:2015-04-30;修订日期:2015-06-02;编辑:王敏

作者简介:王丽娟(1984—),女,山西运城人,工程师,主要从事区域地质调查及矿产普查工作;E-mail:215970241@qq.com

矿产为特征。鲁西地层分区以古生代地层发育为特征,各断代地层发育比较齐全,从新太古代至第四纪地层皆有分布^[5]。其中晚古生代石炭-二叠纪山西组、太原组和黑山组地层中发育有厚度较大的泥页岩层系,钻探揭露的泥页岩地层中存在大量的有机质,为可能含气层段,是该次研究主要层段(图 1)。

| 年代地层单位 | | | | 地质年龄 | | 岩石地层单位 | | | |
|--------|-----|-------|-----------------------|---------------------|-----------------------|---------------------|-----------------------|--|--|
| | | | | | | 华北地层区 | | | |
| 宇 | 界 | 系 | 统 | (Ma) | 华北平原地层分区 | | 鲁西地层分区 | | |
| 显生 | 中生界 | 三叠系 T | 上三叠统 T ₃ | 247.2 | 二马营组 T _{2e} | | | | |
| | | | 中三叠统 T ₂ | | 和尚沟组 T _{1h} | | | | |
| | | | 下三叠统 T ₁ | 252.17 | 刘家沟组 T _{1l} | | 刘家沟组 T _{1l} | | |
| | | | 石千峰群 P ₂₋₃ | | 孙家沟组 P _{3s} | | 孙家沟组 P _{3s} | | |
| | | | 石盒子群 P ₂₋₃ | | 孝妇河组 P _{3x} | | 孝妇河组 P _{3x} | | |
| | 古生界 | 二叠系 P | 上二叠统 P ₃ | 260.4 | 奎山组 P _{3k} | | 奎山组 P _{3k} | | |
| | | | 中二叠统 P ₂ | | 万山组 P _{3w} | | 万山组 P _{3w} | | |
| | | | 下二叠统 P ₁ | | 黑山组 P _{2h} | | 黑山组 P _{2h} | | |
| | | | 石炭系 C | 299.0 | 山西组 P _{2s} | | 山西组 P _{2s} | | |
| | | | 石炭系 C | 359.58 | 太原组 C _{2P1t} | | 太原组 C _{2P1t} | | |
| | | | | 本溪组 C _{2b} | | 本溪组 C _{2b} | | | |

图 1 晚古生代地层划分对比图

2 泥页岩沉积环境及分布特征

2.1 沉积环境

鲁西地区晚古生代是一个大型陆表海盆地,沉积体系类型主要包括潮坪沉积体系、障壁-泻湖沉积体系和大型河控浅水三角洲沉积体系。鲁西地区沉积环境演化总体表现为随着海平面下降,盆地由克拉通盆地陆表海沉积演化为近海河流-三角洲-湖泊沉积,其中晚石炭世本溪组主要发育滨外陆棚沉积体系,其次为障壁-潮坪-泻湖沉积体系;晚石炭世-早二叠世太原组主要发育障壁-潮坪-泻湖沉积体系,其次为滨外陆棚沉积体系;中二叠世山西组下部主要为浅水三角洲下三角洲平原沉积,上部为浅水三角洲上三角洲平原与曲流河沉积;黑山组为三角洲-湖泊沉积体系。

2.2 有效厚度

有效页岩厚度指泥页岩中富含有机质泥页岩的厚度。富含有机质泥页岩厚度越大,越有利于页岩气生气。自生自储式油气藏,烃源岩厚度必须超过有效排烃厚度。根据美国页岩气藏烃源岩厚度估计(美国 5 大页岩气藏的页岩层厚度为 30~600 m):厚度超过 30 m 的生烃页岩,若远离常规储层,其生

成的大量天然气可能在烃源岩内部原地成藏。由于鲁西各断块石炭-二叠纪地层被剥蚀程度差异较大,地层分布及各地层单元内的重要层位保存特征存在明显差异,因此,暗色泥岩厚度在各个块陷内差异较大,该文分阳谷-齐河分区和济宁-菏泽分区 2 个分区进行介绍。

经统计分析,阳谷-齐河分区内石炭-二叠系暗色泥岩厚度约为 92.93~192.7 m,平均 116.73 m,区内整体呈由西向东、从南至北逐渐变厚的趋势。阳谷-茌平煤田和黄河北煤田西南部潘店矿区、赵官镇矿区范围内暗色泥岩厚度较小,多小于 130 m,黄河北煤田东北部高王矿区、济北矿区含气层段厚度较大,多在 140 m 以上;济宁-菏泽分区内石炭-二叠系暗色泥岩厚度 31.9~109.7 m,平均 87.2 m,整体呈从西向东逐渐变厚的趋势。其中,汶上-宁阳凹陷、兖州凸起及金乡凹陷、鱼台凹陷厚度较大,局部厚度可达 100 m 以上;菏泽凸起等地略浅,厚度约 80 m 左右(图 2)。

2.3 埋深

页岩埋藏深度能够客观地反映地层压力,也是影响储层含气量的主要因素之一。研究表明,在一定范围内地层压力与页岩气成藏呈正相关关系,保留在地层压力过度以前的页岩气藏,更可能具有工业开采的潜力。因此,地层具有较高的地层压力也是页岩气聚集的一个重要条件。

经统计分析,阳谷-齐河分区内富有机质泥页岩埋深约为 447.95~3 000 m,从南向北埋深呈逐渐增加趋势。北部张保屯井田、二十里铺埋深较大,南部潘店井田、赵官镇井田埋深略浅;济宁-菏泽分区富有机质泥页岩埋深 240~4 000 m,从北向南埋深呈逐渐增加趋势。其中,曹县煤田、成武凹陷及鱼台凹陷范围内埋藏较深,局部埋深大于 3 000 m。巨野煤田、单县煤田、济宁煤田北部及宁汶煤田东部深度可达 600~1 000 m 左右,宁汶煤田北部、兖州煤田埋深逐渐变浅,深度约为 300~500 m 左右(图 2)。

3 泥页岩有机地球化学特征

3.1 有机碳含量(TOC)

有机碳含量是决定页岩含气性和资源前景的重要指标,根据美国页岩气勘探经验,富有机质页岩成为有利页岩气远景区带的最低总有机碳含量为

2.0%~3.0%。鲁西地区泥页岩研究程度相对不高,据收集资料分析,目的层有机碳含量差别较大,在 1.8%~2.6%之间,纵向山西组要高于太原组;平面上自南向北有机碳含量逐渐增加(图 3)。

生烃潜力和油气性质起着决定性的作用。因此,有机质类型研究是烃源岩评价中的重要内容。根据鲁西地区石炭-二叠纪含煤地层烃源岩类型指数统计,暗色泥页岩镜质组的含量分布较为分散,在 30%~90%都有分布,但大都分布在 50%~90%之间。惰质组含量分布在 10%~70%之间,一般小于 40%,腐泥组+壳质组的含量小于 50%,分布较为分散。泥页岩显微组分规律性不强,II₂, III 型干酪根都存在且以 III 型干酪根为主。

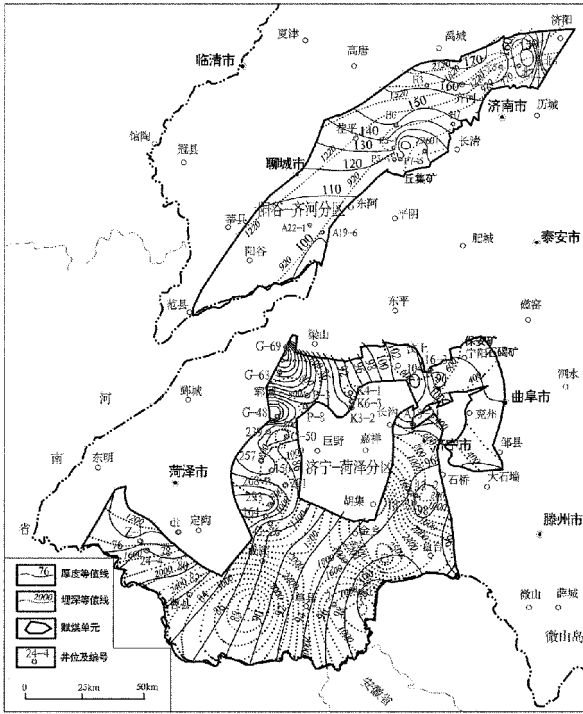


图 2 上古生界暗色泥岩厚度及埋深等值线图

3.3 有机质成熟度

有机质成熟度是确定有机质生油、生气或有机质向烃类转化程度的关键指标。尽管研究有机质成熟度的方法和评价指标很多,但镜质体反射率(Ro)是应用最多、最可靠及作为其他成熟度指标对比参照的成熟度指标。

据数据统计,鲁西地区 Ro 值基本在 0.7%~1.0%范围内,普遍进入成熟阶段,总体呈现由东向西成熟度逐渐增高的趋势(图 3)。有机质成熟度山西组普遍高于太原组。同时,有些组内部也出现自下而上最大镜质体反射率递增的现象,同一层煤随着埋藏深度的增加 Ro 值有着明显的增高趋势。根据美国勘探经验,商业化生产的页岩成熟度 Ro 为 0.4%~4.0%,表明有机质向烃类转化的整个过程中都可以形成页岩气,因此,鲁西地区泥页岩有机质成熟度条件较为利于生气。

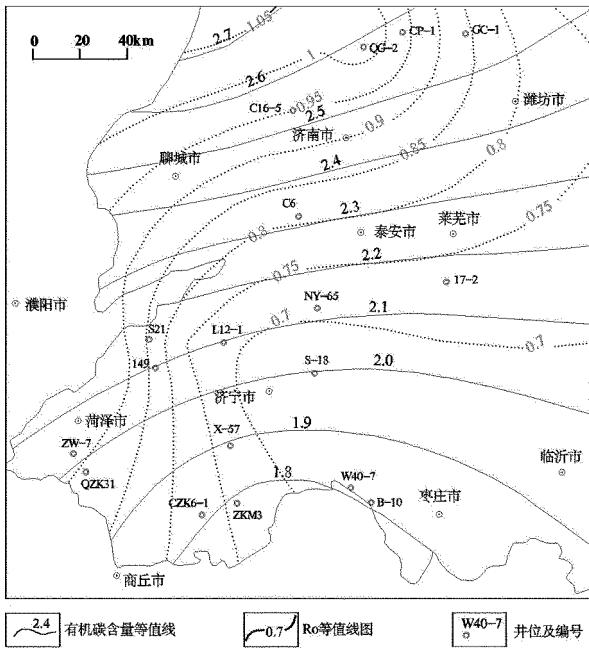


图 3 上古生界暗色泥岩有机碳含量与 Ro 等值线图

3.4 岩性及矿物组成

鲁西地区上古生界石炭-二叠系含气层段岩性主要为杂色页岩、泥岩、碳质页岩、粉砂质泥(页)岩夹薄层的砂岩、灰岩。矿物成分主要由碎屑矿物(石英、斜长石、钾长石)、粘土矿物(伊利石和伊/蒙混层等)、碳酸盐矿物(方解石、白云石、菱铁矿)组成,其中碎屑矿物和碳酸岩矿物质量分数高,而粘土矿物质量分数低。这些物质的存在影响了地层的脆性,从而影响天然裂缝的生成以及人工制造裂缝的能力。裂缝发育程度是决定页岩气藏品质的重要因素,裂缝有助于页岩气中游离态天然气体积的增加和吸附态天然气的解析。一般来说,裂缝较发育的气藏,其品质也较好。

3.2 有机质类型

有机质类型是烃源岩的质量指标,它对源岩的

4 页岩气远景区评价预测

4.1 页岩气远景区优选评价标准

在系统分析了山东鲁西地区上古生界石炭-二叠系 3 套暗色泥页岩形成的沉积相和分布特征、有机地球化学特征、岩性与矿物组成基础上,依据《华北地区非常规能源选区研究工作技术要求(郑州会议)》中非常规能源(页岩气和油)远景区(带)划分主要技术指标,在重点把握生气源岩的基础上,结合鲁西地区勘探现状及页岩气资源特点进行远景区预测评价,具体优选评价标准见表 1。

表 1 鲁西地区页岩气远景区优选评价标准

| 主要参数 | 标准 | 本次优选标准 |
|------------|---------------------|------------|
| TOC (%) | 平均不小于 0.5% | 平均不小于 0.5% |
| Ro (%) | 不小于 0.4% | 不小于 0.4% |
| 黑色页岩厚度 (m) | 大于 15m | 大于 50m |
| 埋深 | 100~4500m | 500~4000m |
| 构造条件 | | 构造发育中等 |
| 地表条件 | 平原、丘陵、低山、山区等 | |
| 保存条件 | 有区域性页岩的发育、分布,保存条件良好 | |

注:据《华北地区非常规能源选区研究工作技术要求(郑州会议)》中非常规能源(页岩气和油)远景区(带)划分主要技术指标。

4.2 页岩气远景区预测

综合前面所述,在对多项影响页岩气富集因素叠合考虑的基础上,依据上述页岩气远景区优选参考指标,在山东鲁西地区共预测上古生界页岩气远景区 4 个,分别为曹县远景区、鱼台远景区、黄河北远景区、阳谷-茌平远景区,预测有利区面积约 8 251 km²(图 4)。

表 2 山东鲁西地区上古生界页岩气远景区特征

| 名称 | 埋深(m) | 厚度(m) | 面积(km ²) | 层位 | TOC | 有机质类型 | Ro |
|----------|------------|------------|----------------------|-----|-----------|----------------------|-----------|
| 曹县远景区 | 1100~3500 | 71.3~90.5 | 2212 | C-P | 1.8%~2.1% | Ⅲ为主,次为Ⅱ ₂ | 0.7%~1.0% |
| 鱼台远景区 | 975~3000 | 90~102 | 886 | C-P | 1.8%~2.1% | Ⅲ为主,次为Ⅱ ₂ | 0.7%~1.0% |
| 黄河北远景区 | 447.9~3000 | 96.8~192.7 | 2353 | C-P | >2% | Ⅲ为主,次为Ⅱ ₂ | 0.7%~2.8% |
| 阳谷-茌平远景区 | 900~2500 | 131.3 | 2800 | C-P | 2.4%~2.6% | Ⅲ为主,次为Ⅱ ₂ | 0.5%~2.4% |

5 结论

(1) 山东鲁西地区上古生界石炭-二叠系发育山西组、太原组和黑山组 3 套厚度较大的暗色泥页岩层系,形成于有机质丰富的沉积环境,总体表现为由克拉通盆地陆表海沉积演化为近海河流-三角洲-湖泊沉积。

(2) 受古沉积环境及构造影响,鲁西地区上古生界暗色泥岩厚度及埋深在各个块陷内差异较大,阳谷-齐河分区内石炭-二叠系暗色泥岩厚度约为

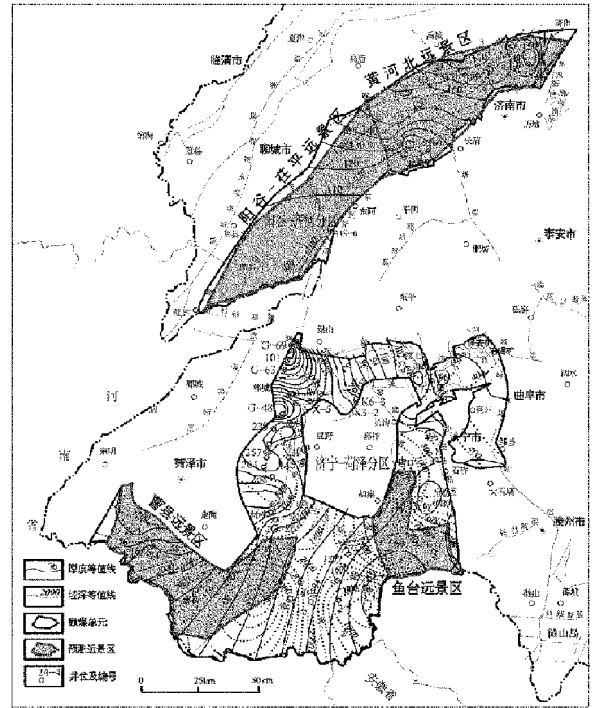


图 4 上古生界页岩气远景区评价预测图

远景区黑色泥页岩具有厚度大,有机质含量丰富,有机质类型好,热演化程度较高,有利于成气且泥页岩层多与煤层、致密砂岩层互层,易形成页岩气、煤层气和致密砂岩气等多种类型性天然气近距离叠置成藏。各远景区具体特征见表 2。

92.93~192.7 m,平均 116.73 m,整体由西向东、从南至北逐渐变厚;埋深约为 447.95~3 000 m,从南向北逐渐增加。济宁-菏泽分区内石炭-二叠系暗色泥岩厚度 31.9~109.7 m,平均 87.2 m,整体从西向东逐渐变厚;埋深 240~4 000 m,从北向南埋深逐渐增加。

(3) 大量资料分析表明,山东鲁西地区上古生界石炭-二叠系暗色泥页岩有机碳(TOC)含量 1.8%~2.6%;有机质类型主要为Ⅱ₂,Ⅲ型干酪根且以Ⅲ型干酪根为主;镜质体反射率(Ro)平均值为 0.7%~1.0%,处于成熟阶段,石英等脆性矿物丰富,具有良

好的页岩气形成条件。

(4) 综合各种成藏条件, 据《华北地区非常规能源选区研究工作技术要求(郑州会议)》中非常规能源(页岩气和油)远景区(带)划分主要技术指标, 初步预测了曹县煤田、鱼台凹陷、黄河北煤田、阳谷-茌平煤田共 4 个远景区。

致谢: 该文在收集资料和编写过程中得到了山东省煤田地质规划勘察研究院领导及同仁的大力支持和帮助, 在此表示感谢!

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.
- [2] 滕吉文, 刘有山. 中国油气页岩分布与存储潜能和前景分析[J]. 地球物理学进展, 2013, 28(3): 1083-1108.
- [3] 李玉喜, 聂海宽, 龙鹏宇. 我国富含有机质泥页岩发育特点与页岩气战略选区[J]. 天然气工业, 2009, 29(12): 115-117.
- [4] 张增奇, 田京祥, 张春池. 国内外页岩气研究进展及山东省页岩气资源潜力[J]. 山东国土资源, 2012, 28(10): 1-6.
- [5] 张增奇, 刘明渭, 宋志勇. 山东省岩石地层[M]. 武汉: 中国地质大学出版社, 1996.

Characteristics of Upper Paleozoic Shales and Prediction of Shale Gas Prospective Area in Luxi Area of Shandong Province

WANG Lijuan

(Shandong Geological Surveying Institute, Shandong Jinan 250013, China)

Abstract: Based on geological mineral data and basic geological exploration results related with shale gas, such as petroleum, mining and coal exploration, regarding upper Paleozoic Carboniferous - Permian sedimentary environment and distribution characteristics of dark shales as well as organic geochemical characteristics as the focus, exploration prospects of upper Paleozoic shale gas in Luxi area has been predicated primarily. It is showed that three dark shale formations with great thickness developed in the upper Paleozoic in Luxi area, they are Shanxi formation, Taiyuan formation and Heishan formation. They are formed in the sedimentary environment which is abundant in organics that are easily preserved. The sedimentary environment is generally from cratonic basin epicontinental sedimentary to offshore river delta lacustrine sedimentary. The thickness is 31~193m, the depth is 240~4000m, TOC is 1.8%~2.6%, organic matter is mainly type III, followed by type II₂, the average value of Ro is 0.7%~1.0% showing in the gas stage of mature. Based on comprehensive analysis of these conditions, it is revealed that the upper Paleozoic dark shales have good conditions of producing shale gas. According to dividing indices of the unconventional energy (shale gas and oil) prospect areas (zones), four prospective areas have been predicated, they are Caoxian coal mine, Yutai depression, Huanghebei coal mine and Yanggu - Chiping coal mine.

Key words: Upper Paleozoic; shale gas; prospective area; Luxi area