

中国海陆交互相页岩气研究现状与展望

郭少斌, 付娟娟, 高丹, 李贺洋, 黄家国

(中国地质大学(北京)能源学院, 北京 100083)

摘要: 国内外对于海陆交互相页岩气的勘探开发与研究工作尚处于起步阶段。海陆交互相富有机质泥页岩在中国主要分布在北方鄂尔多斯盆地、沁水盆地、南北华北盆地的石炭—二叠系本溪、太原和山西组地层中, 以及南方四川盆地西南部、贵州西部和湘中—湘南坳陷的二叠系龙潭组地层中。该文总结了我国海陆交互相页岩气研究的成果, 认为我国海陆交互相泥页岩干酪根类型以 II—III 型为主, 除南北华北盆地南部和东部外, 有机质成熟度普遍较高, 一般大于 1.5%, 处于高成熟—过成熟阶段。海陆交互相泥页岩地层岩相变化快, 单层厚度薄, 常与煤和致密砂岩甚至灰岩互层, 单独开发这套薄层煤系页岩气在开发成本和技术上将面临很大的挑战, 进行页岩气、致密气、煤层气等多目的层联合开发将是有效的新途径。

关键词: 海陆交互相; 研究现状; 页岩气; 中国

中图分类号: TE132.2

文献标志码: A

Research status and prospects for marine-continental shale gases in China

Guo Shaobin, Fu Juanjuan, Gao Dan, Li Heyang, Huang Jiaguo

(School of Energy Resources, China University of Geosciences, Beijing 100083, China)

Abstract: Shale gas has become one of the hot spots of unconventional natural gas exploration. At present, domestic and overseas research for shale gases is carried out mostly on marine formations; however, research for marine-continental shale gases is still at the initial stage. In China, marine-continental shales rich in organic matter are mainly distributed in the Benxi, Taiyuan and Shanxi formations of Carboniferous and Permian age in the Ordos, Qinshui and southern North China basins in the north, and the Longtan Formation of Permian age in the southwestern Sichuan Basin, the western Guizhou province, and the central Hunan and southern Hunan depressions in the south. This paper summarizes present research results for marine-continental shale gases in China, and shows that the kerogen types of marine-continental shales are mainly II and III. Except for the south and east of the southern North China Basin, organic matter maturity is generally high, commonly greater than 1.5 %Ro and is in the high mature and over-mature stages. The lithofacies of marine-continental shales change rapidly and the thickness of a single layer is typically thin, often interbedded with coals, tight sandstones, and even limestones. As a result, separately developing shale gases from such thin layers will face a great challenge in development costs and technology. The joint development of shale gases, tight gases and coal bed gases from multiple target layers will be an effective new strategy.

Key words: marine-continental facies; research status; shale gas; China

随着北美泥页岩气勘探开发的成功^[1-13], 页岩气迅速成为非常规天然气勘探开发的新热点^[14-23]。我国自 2005 年开始, 借鉴美国经验, 也开始了规模性的页岩气前期地质评价与勘探开发技术研究。迄今为止, 在富有机质泥页岩地质特征、页岩气形成地质条件、页岩气有利远景区带等认识上取得重要进展。根据国土资源部中国地质调查局的统计, 截至 2014 年 12 月底, 全国共设置

页岩气探矿权 54 个, 面积 $17 \times 10^4 \text{ km}^2$, 相继在四川长宁、威远、井研—犍为, 重庆涪陵、彭水, 云南昭通, 贵州习水和陕西延安等地取得重大突破和重要发现, 获得页岩气三级地质储量近 $5\,000 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。四川盆地及周缘下古生界龙马溪组和牛蹄塘组已形成产能。其中涪陵区块探明地质储量 $1\,067.5 \times 10^8 \text{ m}^3$, 2014 年生产页岩气 $13 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。

与北美相比, 中国页岩气形成与富集条件具明

收稿日期: 2015-07-01; 修订日期: 2015-08-20。

作者简介: 郭少斌(1962—), 男, 教授, 博士生导师, 从事层序地层、储层预测与评价、油气资源预测与评价等工作。E-mail: guosb58@126.com。

基金项目: 国土资源部 2012 年度“全国油气资源战略选区调查与评价”专项(2009YXQ15-07-05)和中国地质调查局“沁水盆地及周缘页岩气资源调查评价”专项(2014-258)部分成果资助。

显特殊性。页岩气资源潜力巨大,发育层系多,主要发育 3 类富有机质泥页岩,包括海相富有机质泥页岩、海陆交互相与湖沼相煤系富有机质泥页岩和湖相富有机质泥页岩。不同时代、不同地区发育不同类型富有机质泥页岩组合,泥页岩成气潜力差异明显。

目前国内页岩气勘探开发和研究多围绕南方海相地层展开,已经初步形成了“深水陆棚相带是基础,良好保存条件是关键”的海相泥页岩气“二元”富集模式。与此相比,国内对海陆交互相泥页岩气的相关研究相对较少。本文通过调研,总结了目前关于我国海陆交互相页岩气研究的成果,提出了当前海陆交互相页岩气研究存在的问题,并对海陆交互相页岩气的研究进行了展望。

1 海陆交互相泥页岩的分布特征

我国海陆交互相泥页岩主要分布在石炭—二叠系地层,在北方鄂尔多斯盆地、南华北的石炭—二叠系和南方扬子地区的二叠系最为发育,此外,在新疆准噶尔盆地也有少量分布(图 1)。总体来说,海陆交互相泥页岩单层厚度较小,常与砂岩、煤层等其他岩性频繁互层。

2 海陆交互相页岩气研究现状

我国北方上古生界海陆过渡相泥页岩层系主要分布在鄂尔多斯盆地、沁水盆地及周缘、南华北

盆地;南方上二叠统海陆过渡相泥页岩层系分布于扬子地区(尤以上扬子地区为主)。

2.1 鄂尔多斯盆地

鄂尔多斯盆地目前已发现靖边、苏里格、乌审旗、榆林和大牛地等常规大气田,据最新完成的油气资源动态评价结果,鄂尔多斯盆地常规天然气为 $15.2 \times 10^{12} \text{ m}^3$,这些气田都直接或间接来源于上古生界石炭—二叠系烃源岩,预示着鄂尔多斯盆地上古生界页岩气也会有巨大的勘探潜力。作者在承担“鄂尔多斯盆地上古生界页岩气资源潜力调查评价与选区”项目研究的基础上,对鄂尔多斯和沁水盆地海陆交互相泥页岩地层的沉积与分布特征、地化特征、岩矿特征、储集特征、孔隙发育特征、含气特征及影响因素进行了较为深入的研究,取得了一些认识和成果^[24-33]。

鄂尔多斯盆地上古生界烃源岩赋存在上石炭统本溪组、下二叠统太原组和山西组,干酪根类型以 II 型—III 型为主(表 1)。本溪组平均埋深 3 101 m;太原组平均埋深 3 059 m;山西组平均埋深 2 956 m。目前在鄂尔多斯盆地石炭—二叠系中已见页岩气工业气流。内蒙古自治区在鄂尔多斯盆地北部实施的鄂页 1 井,经压裂改造后,在太原组获得 $1.95 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 的稳定产量;延长石油在鄂尔多斯盆地伊陕斜坡山西组实施的水平井——云页平 1 井,经分段压裂试气获 $2 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 的工业气流;中联煤层气公司在鄂尔多斯盆地神府地区实施的 SM0-5 井,

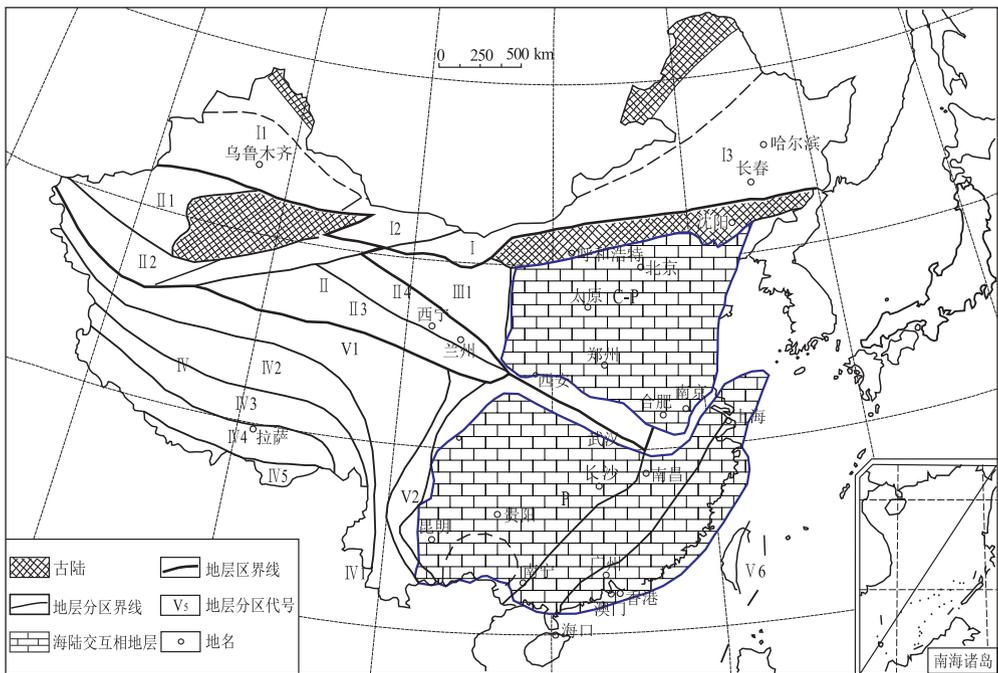


图 1 中国二叠纪地层区划及海陆交互相富有机质页岩分布示意

Fig.1 The Permian stratigraphic regionalization and the mud shale distribution of the marine-continental transitional facies in China

表1 中国海陆过渡相泥页岩层系参数
Table 1 Shales of marine-continental facies in China

| 地区 | 地层 | $w(\text{TOC})/\%$ | $R_o/\%$ | 泥页岩累积厚度/m | 干酪根类型 | 脆性矿物含量/% | 石英平均含量/% | 黏土矿物含量/% | 碳酸盐岩含量/% | 孔隙度/% |
|----------|-------|--------------------|-----------|------------|-----------------|----------|----------|-----------|----------|-----------|
| 鄂尔多斯盆地 | 本溪组 | 0.5~9.6 | 0.71~3.34 | 0~54 | II、III | 2.0~82 | | 18~98 | 0.1~51.5 | 1.51~3.4 |
| | | 1.44 | 2.0 | 21.03 | | 31.7 | | 61.18 | 10.6 | 2.67 |
| | 太原组 | 0.14~5.25 | 3.22~3.23 | 0~42.5 | II、III | 4.0~96 | | 4.0~94 | 0.5~16.6 | 0.66~4.42 |
| 沁水盆地 | 山西组 | 0.06~3.13 | 2.63~2.68 | 18.9~116.5 | II、III | 4.0~80 | | 20~96 | 0.3~3 | 0.28~5 |
| | | 1.96 | 2.66 | 64.12 | | 39.9 | | 57.5 | 1.3 | 3.45 |
| | 太原组 | 0.36~3.94 | 1.14~2.44 | 7~80 | II ₂ | 38~44 | | 53~62 | 1~8 | 2.35~5.46 |
| 南华北盆地 | 山西组 | 0.43~6.42 | 1.26~2.43 | 2.0~101 | II ₂ | 36~48 | | 50~63 | 1.0~2.0 | 2.15~6.95 |
| | | 2.07 | 1.92 | 25.9 | | 40.8 | | 58.0 | 1.2 | 4.22 |
| | 下石盒子组 | 0.26~3.87 | 1.06~2.42 | 2.0~126.25 | II ₂ | 40~43 | | 57~60 | 0 | 3.47~3.54 |
| 四川盆地 | 太原组 | 0.88~3.76 | | 22~63 | II、III | | 33.84 | 54.83 | | |
| | | 3.32 | | 30 | | | | | | |
| | 山西组 | 0.76~5.09 | 0.43~7.80 | 41.5~74.5 | II、III | | 40.62 | 56.13 | | 0.8~9.9 |
| 贵州地区 | 下石盒子组 | 0.01~5.7 | | 74.5~233.5 | II、III | | 41.66 | 52.35 | | 4.2 |
| | | 1.25 | | 165 | | | | | | |
| | 龙潭组 | 0.8~35.7 | 1.96~2.40 | 20~120 | II、III | 6.3~65.7 | | 20.3~92.3 | | 0.56~16.5 |
| 湘中及湘东南地区 | 龙潭组 | 7.51 | 2.22 | | III | 47.8 | | 41.4 | | 0.2~11.1 |
| | | 6.07 | 2.45 | 10~50 | | 27.7 | | 61.9 | 5.41 | |
| | 龙潭组 | 1.02~16.4 | 1.20~2.10 | >250 | II、III | 59~75 | | 25~41 | 23~50 | 2.44~5.15 |
| | | 3.54 | | | | 65 | 35 | 38 | 3.79 | |

注:表中数字意义为: $\frac{\text{最小值} \sim \text{最大值}}{\text{平均值}}$ 。

对太原组压裂测试,获得 6 695 m³/d 的气流。

2.2 沁水盆地

国土资源部油气资源战略研究中心(2011-03—2013-03)^[34]和中国地质调查局(2014-08—2015-07)分别组织了对沁水盆地及周缘页岩气资源调查评价。

沁水盆地暗色泥页岩发育于二叠系太原组、山西组和下石盒子组,干酪根类型主要为 II₂ 型(表 1)。太原组平均埋深 746.0 m;山西组平均埋深 686.2 m。中联煤层气有限责任公司 2012 年在沁水盆地施工 3 口页岩气参数井及生产试验井,分别是 SX-306、SY-Y-01 和 WY-001 井,见到良好的页岩气显示。SX-306 井现场解析含气量在 0.79~4.03 m³/t,由于地层压力系数低等诸多原因,压裂测试没有获得工业气流。

2.3 南华北盆地

国土资源部油气资源战略研究中心(2011-03—2013-03)组织了对南华北页岩气资源调查评价。南华北盆地太原、山西和下石盒子组泥页岩干酪根类型一般以 II-III 型为主^[35-36](表 1)。目前河南豫矿地质勘查投资公司在南华北盆地钻的第一

口页岩气井——牟页 1 井,在上古生界见良好的页岩气显示。中国地质调查局在河南开封实施尉参 1 井,在石盒子组、山西组、太原组和本溪组钻遇累计厚达 465 m 的富有机质泥页岩,见 69 层气测显示,解析气含量达 4.5 m³/t,甲烷含量达 99.09%。

2.4 四川盆地

四川盆地上二叠统龙潭组暗色泥页岩由南向北呈逐渐增厚趋势,厚度为 20~120 m,一般厚度都在 50 m,仅盆地南缘页岩厚度低于 30 m^[37],其基本参数见表 1。目前尚没有针对该层位的页岩气钻井。

2.5 贵州地区

贵州地区龙潭组主体埋深适中,在 1 300~2 500 m;龙潭组泥页岩基本参数见表 1。西页 1 井现场解吸气含气量大致介于 4.926~19.171 m³/t 之间^[38]。方页 1 井龙潭组碳质页岩样品的解吸气含气量大致介于 1.344~5.562 m³/t 之间。

2.6 湘中及湘东南地区

湘中坳陷暗色泥页岩主要发育在龙潭组和大隆组^[39]。龙潭组泥页岩厚度自北往南逐渐变薄之后又逐渐变厚,在耒阳附近厚度达到最大,累计厚

度大于 450 m。湘东南地区龙潭组露头泥页岩样品测试结果显示有机碳含量 (TOC) 一般分布在 1.02%~16.94%, 平均 3.54%^[40]。龙潭组泥页岩基本参数见表 1。

中国石化华东石油局针对研究区内二叠系大隆组、龙潭组和石炭系大塘阶实施钻探的湘页 1 井, 钻遇大隆组和龙潭组泥页岩, 取心并现场解吸样品 10 个, 数据显示总含气量分布范围为 0.164 4~1.413 8 m³/t, 平均为 0.478 5 m³/t。

3 存在的问题

(1) 海陆交互相页岩气的赋存机理与主控因素认识不足。目前, 我国对南方海相页岩气研究较多, 而针对海陆交互相页岩气的赋存机理、富集模式与主控因素缺乏系统的研究, 对海陆交互相页岩储集空间的构成及演化、微孔结构及物性条件等也缺少深入研究。

(2) 海陆交互相关键评价参数获取不规范。目前针对泥页岩的有机地化研究较多, 也仅仅在宏观上。有效页岩层的厚度及展布特征、岩石矿物学特征、储集性能、岩石力学性质, 尤其是页岩的含气性, 现场解析含气量误差较大; 等温吸附更是无法代替地层温压条件下的含气量, 这些页岩气资源评价的关键参数过去研究较少, 评价参数获取不规范、不全面。

(3) 海陆交互相资源评价方法不完善。在评价方法选用上, 由于我国页岩气试采井少、分布局限, 且试采时间较短, 因此, 基于井控的动态评价方法无法采用。尚未建立符合我国地质特点的页岩气资源评价和调查标准体系, 评价方法不统一。海陆交互相页岩与煤层、砂岩共存, 互层性强, 按海相页岩连续段确定标准来评价, 使这类页岩气有利区的确定受到限制, 缺乏针对海陆交互相页岩气资源潜力与技术可采资源量的评价方法、评价参数与标准。

(4) 海陆交互相页岩气“甜点”识别与预测技术不够成熟。页岩气“甜点”识别与预测技术不完善, 尤其是海陆交互相泥页岩地层岩相变化快, 单层厚度薄, 常与煤和致密砂岩甚至灰岩互层, 需要对页岩的有机碳含量、储集性能、微裂缝、脆性、岩石力学参数、含气性等预测技术进行系统攻关。

4 展望

(1) 中国海陆交互相泥页岩干酪根类型以 II-III 型为主, 除南华北盆地南部和东部外, 有机质成熟度普遍较高, 一般大于 1.5%, 处于高成熟—过成

熟阶段。且海陆交互相泥页岩埋深适中, 这对海陆交互相泥页岩气勘探开发是有利因素。

(2) 海陆交互相泥页岩黏土矿物含量较高, 其中四川盆地最高, 黏土矿物含量均值达到 60%; 其次为鄂尔多斯、沁水、南华北盆地, 均值达到 50%~57%; 黏土矿物含量较少的为贵州及湖南地区, 均值仅为 40% 左右。黏土矿物含量过高的地层对后期泥页岩气开发是不利因素。

(3) 海陆交互相泥页岩储层有机质孔发育较差, 部分样品中可见少量有机质孔发育, 不利于页岩气赋存。而矿物孔发育, 形态多样, 由于黏土矿物含量高, 可见书页状、絮状及不规则形状的微孔发育, 有利于页岩气赋存。

(4) 海陆交互相泥页岩地层岩相变化快, 单层厚度薄, 平均厚度一般小于 15 m, 常与煤和致密砂岩甚至灰岩互层, 单独开发这套薄层煤系页岩气在开发成本和技术上将面临很大的挑战, 进行页岩气、致密气、煤层气等多目的层联合开发是有效的新途径。但要区别对待, 对单层泥页岩有效厚度大于 10 m (砂或煤夹层小于 2 m), 累积厚度大于 30 m, 可以单独进行页岩气开发; 对单层泥页岩有效厚度小于 10 m (砂或煤夹层大于 2 m), 如果砂或煤不含水或含水较少的情况下, 可以进行页岩气、致密气、煤层气“三气”联合开发, 反之则没有开发意义。

(5) 针对海陆交互相页岩气研究中存在问题进行攻关, 有望首先在鄂尔多斯盆地、南华北盆地、贵州地区、四川盆地等形成规模突破。

致谢: 本文参考了国土资源部中国地质调查局编写的“页岩气动态”和“中国页岩气资源调查报告(2014)”, 以及前人大量研究成果, 在此表示衷心的感谢!

参考文献:

- [1] Curtis J B. Fractured shale-gas systems[J]. AAPG Bulletin, 2002, 86(11): 1921-1938.
- [2] Bustin R M, Bustin A M M, Cui X, et al. Impact of shale properties on pore structure and storage characteristics[C]//SPE Shale Gas Production Conference. Fort Worth, Texas, USA: SPE, 2008.
- [3] Montgomery S L, Jarvie D M, Bowker K A, et al. Mississippian Barnett Shale, Fort Worth Basin, north-central Texas: Gas-shale play with multi-trillion cubic foot potential[J]. AAPG Bulletin, 2005, 89(2): 155-175.
- [4] Jarvie D M, Hill R J, Ruble T E, et al. Unconventional shale-gas system: the Mississippian Barnett Shale of north-central Texas as one model for thermogenic shale-gas assessment[J]. AAPG Bulletin, 2007, 91(4): 475-499

- [5] Bowker K A. Barnett shale gas production, Fort Worth basin: issues and discussion[J]. AAPG Bulletin, 2007, 91(4): 523-533.
- [6] Jin Lixin, Mathur R, Rother G, et al. Evolution of porosity and geochemistry in Marcellus Formation black shale during weathering[J]. Chemical Geology, 2013, 356: 50-63.
- [7] Curtis M E, Cardott B J, Sondergeld C H, et al. Development of organic porosity in the Woodford Shale with increasing thermal maturity[J]. International Journal of Coal Geology, 2012, 103: 26-31.
- [8] Fertl W H, Chillingar G V. Total organic carbon content determined from well logs [J]. SPE Formation Evaluation, 1988, 3(2): 407-419.
- [9] Ramirez T R, Klein J D, Bonnie R, et al. Comparative study of formation evaluation methods for unconventional shale gas reservoirs: application to the Haynesville Shale (Texas) [C]//North American Unconventional Gas Conference and Exhibition. Woodlands, Texas, USA: SPE, 2011.
- [10] Schmoker J W. Determination of organic content of Appalachian Devonian shales from formation-density logs [J]. AAPG Bulletin, 1979, 63(9): 1504-1509.
- [11] 朱彤, 曹艳, 张快. 美国典型页岩气藏类型及勘探开发启示[J]. 石油实验地质, 2014, 36(6): 718-724.
Zhu Tong, Cao Yan, Zhang Kuai. Typical shale gas reservoirs in USA and enlightenment to exploration and development [J]. Petroleum Geology & Experiment, 2014, 36(6): 718-724.
- [12] 杨振恒, 韩志艳, 李志明, 等. 北美典型克拉通盆地页岩气成藏特征、模式及启示[J]. 石油与天然气地质, 2013, 34(4): 463-470.
Yang Zhenheng, Han Zhiyan, Li Zhiming, et al. Characteristics and patterns of shale gas accumulation in typical North American cratonic basins and their enlightenments [J]. Oil & Gas Geology, 2013, 34(4): 463-470.
- [13] 李建青, 高玉巧, 花彩霞, 等. 北美页岩气勘探经验对建立中国南方海相页岩气选区评价体系的启示[J]. 油气地质与采收率, 2014, 21(4): 23-27, 32.
Li Jianqing, Gao Yuqiao, Hua Caixia, et al. Marine shale gas evaluation system of regional selection in South China: enlightenment from North American exploration experience [J]. Petroleum Geology and Recovery Efficiency, 2014, 21(4): 23-27, 32.
- [14] 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. Reservoiring mechanism of shale gas and its distribution [J]. Natural Gas Industry, 2004, 24(7): 15-18.
- [15] 董大忠, 程克明, 王世谦, 等. 页岩气资源评价方法及其在四川盆地的应用[J]. 天然气工业, 2009, 29(5): 33-39.
Dong Dazhong, Cheng Keming, Wang Shiqian, et al. An evaluation method of shale gas resource and its application in the Sichuan basin [J]. Natural Gas Industry, 2009, 29(5): 33-39.
- [16] 王世谦, 陈更生, 董大忠, 等. 四川盆地古生界页岩气成藏条件与勘探前景[J]. 天然气工业, 2009, 29(5): 51-58.
Wang Shiqian, Chen Gengsheng, Dong Dazhong, et al. Accumulation conditions and exploitation prospect of shale gas in the Lower Paleozoic Sichuan basin [J]. Natural Gas Industry, 2009, 29(5): 51-58.
- [17] 徐士林, 包书景. 鄂尔多斯盆地三叠系延长组页岩气形成条件及有利发育区预测[J]. 天然气地球科学, 2009, 20(3): 460-465.
Xu Shilin, Bao Shujing. Preliminary analysis of shale gas resource potential and favorable areas in Ordos Basin [J]. Natural Gas Geoscience, 2009, 20(3): 460-465.
- [18] 邹才能, 董大忠, 王社教, 等. 中国泥页岩气形成机理、地质特征及资源潜力[J]. 石油勘探与开发, 2010, 37(6): 641-653.
Zou Caineng, Dong Dazhong, Wang Shejiao, et al. Geological characteristics, formation mechanism and resource potential of shale gas in China [J]. Petroleum Exploration and Development, 2010, 37(6): 641-653.
- [19] 邹才能, 董大忠, 杨桦, 等. 中国泥页岩气形成条件及勘探实践[J]. 天然气工业, 2011, 31(12): 26-39, 125.
Zou Caineng, Dong Dazhong, Yang Hua, et al. Conditions of shale gas accumulation and exploration practices in China [J]. Natural Gas Industry, 2011, 31(12): 26-39, 125.
- [20] 王社教, 李登华, 李建忠, 等. 鄂尔多斯盆地页岩气勘探潜力分析[J]. 天然气工业, 2011, 31(12): 40-46, 125.
Wang Shejiao, Li Denghua, Li Jianzhong, et al. Exploration potential of shale gas in the Ordos Basin [J]. Natural Gas Industry, 2011, 31(12): 40-46, 125.
- [21] 董大忠, 邹才能, 杨桦, 等. 中国泥页岩气勘探开发进展与发展前景[J]. 石油学报, 2012, 33(S1): 107-114.
Dong Dazhong, Zou Caineng, Yang Hua, et al. Progress and prospects of shale gas exploration and development in China [J]. Acta Petrolei Sinica, 2012, 33(S1): 107-114.
- [22] 郭少斌, 黄磊. 页岩气储层含气性影响因素及储层评价: 以上扬子古生界页岩气储层为例[J]. 石油实验地质, 2013, 35(6): 601-606.
Guo Shaobin, Huang Lei. Gas-bearing influential factors and evaluation of shale gas reservoir: A case study of Paleozoic shale gas reservoir in Upper Yangtze region. Petroleum Geology & Experiment, 2013, 35(6): 601-606.
- [23] 周德华, 焦方正, 郭旭升, 等. 川东南涪陵地区下侏罗统页岩油气地质特征[J]. 石油与天然气地质, 2013, 34(4): 450-454.
Zhou Dehua, Jiao Fangzheng, Guo Xusheng, et al. Geological features of the Lower Jurassic shale gas play in Fuling area, the southeastern Sichuan Basin [J]. Oil & Gas Geology, 2013, 34(4): 450-454.
- [24] 郭少斌, 王义刚. 鄂尔多斯盆地石炭系本溪组页岩气成藏条件及勘探潜力[J]. 石油学报, 2013, 34(3): 445-452.
Guo Shaobin, Wang Yigang. Shale gas accumulation conditions and exploration potential of Carboniferous Benxi Formation in Ordos basin [J]. Acta Petrolei Sinica, 2013, 34(3): 445-452.
- [25] 付金华, 郭少斌, 刘新社, 等. 鄂尔多斯盆地上古生界山西组页岩气成藏条件及勘探潜力[J]. 吉林大学学报: 地球科学版, 2013, 43(2): 382-389.
Fu Jinhua, Guo Shaobin, Liu Xinshe, et al. Shale gas accumulation condition and exploration potential of the Upper Paleozoic Shanxi Formation in Ordos Basin [J]. Journal of Jilin University:

- Earth Science Edition, 2013, 43(2): 382-389.
- [26] Guo Shaobin, Wang Yigang. Reservoir-forming condition analysis and favorable zone prediction for the shale gas in the Upper Paleozoic Taiyuan Formation in the Ordos Basin [J]. Energy, Exploration & Exploitation, 2013, 31(3): 381-394.
- [27] Guo Shaobin. Experimental study on isothermal adsorption of methane gas on three shale samples from Upper Paleozoic strata of the Ordos Basin [J]. Journal of Petroleum Science and Engineering, 2013, 110: 132-138.
- [28] 赵可英, 郭少斌, 刘新社, 等. 鄂尔多斯盆地东缘上古生界泥页岩储层定量表征 [J]. 科技导报, 2014, 32(32): 60-66.
Zhao Keying, Guo Shaobin, Liu Xinshe, et al. Quantitative characterization of shale reservoir of Upper Paleozoic shale in the eastern margin of Ordos Basin [J]. Science & Technology Review, 2014, 32(32): 60-66.
- [29] 郭少斌, 赵可英. 鄂尔多斯盆地上古生界泥页岩储层含气性影响因素及储层评价 [J]. 石油实验地质, 2014, 36(6): 678-683.
Guo Shaobin, Zhao Keying. Gas-bearing influential factors and estimation of shale reservoirs in Upper Paleozoic, Ordos Basin [J]. Petroleum Geology & Experiment, 2014, 36(6): 678-683.
- [30] 黄家国, 郭少斌, 刘新社, 等. 鄂尔多斯盆地上古生界泥页岩热模拟实验 [J]. 世界地质, 2014, 33(2): 465-470.
Huang Jianguo, Guo Shaobin, Liu Xinshe, et al. Thermal simulation experiment of Late Paleozoic shale in Ordos Basin [J]. Global Geology, 2014, 33(2): 465-470.
- [31] 郭少斌, 郑红梅, 黄家国. 鄂尔多斯盆地上古生界非常规天然气综合勘探前景 [J]. 地质科技情报, 2014, 33(6): 76-84.
Guo Shaobin, Zheng Hongmei, Huang Jianguo. Integrated exploration prospects of unconventional gas of Upper Paleozoic in Ordos Basin [J]. Geological Science and Technology Information, 2014, 33(6): 76-84.
- [32] 黄家国, 许开明, 郭少斌, 等. 基于 SEM、NMR 和 X-CT 的页岩储层孔隙结构综合研究 [J]. 现代地质, 2015, 29(1): 198-205.
Huang Jianguo, Xu Kaiming, Guo Shaobin, et al. Comprehensive study on pore structures of shale reservoirs based on SEM, NMR and X-CT [J]. Geoscience, 2015, 29(1): 198-205.
- [33] 赵可英, 郭少斌. 海陆过渡相页岩气储层孔隙特征及主控因素分析: 以鄂尔多斯盆地上古生界为例 [J]. 石油实验地质, 2015, 37(2): 141-149.
Zhao Keying, Guo Shaobin. Characteristics and main controlling factors of shale gas reservoirs in transitional facies: a case study of Upper Paleozoic in Ordos Basin [J]. Petroleum Geology & Experiment, 2015, 37(2): 141-149.
- [34] 顾娇杨, 叶建平, 房超, 等. 沁水盆地泥页岩气资源前景展望 [C]//2011 年煤层气学术研讨会论文集. 北京: 地质出版社, 2011: 7.
Gu Jiaoyang, Ye Jianping, Fang Chao, et al. Prospect of shale gas resources in Qinshui Basin [C]//2011 Annual Coal Bed Methane Symposium. Beijing: Geological Publishing House, 2011: 7.
- [35] 林小云, 陈倩岚, 李静. 南华北地区二叠系烃源岩分布及地化特征 [J]. 海洋地质前沿, 2011, 27(4): 21-26.
Lin Xiaoyun, Chen Qianlan, Li Jing. Distribution and geochemical characteristics of the hydrocarbon source rocks in Permian of the Southern North China Basin [J]. Marine Geology Frontiers, 2011, 27(4): 21-26.
- [36] 孙军, 郑求根, 温珍河, 等. 南华北盆地二叠系山西组泥页岩气成藏地质条件及勘探前景 [J]. 海洋地质前沿, 2014, 30(4): 20-27.
Sun Jun, Zheng Qiugen, Wen Zhenhe, et al. Shale gas reservoir-forming conditions and exploration prospect in Permian Shanxi Formation of the Southern North China Basin [J]. Marine Geology Frontiers, 2014, 30(4): 20-27.
- [37] 张吉振, 李贤庆, 刘洋, 等. 川南地区龙潭组泥页岩气成藏条件及有利区分析 [J]. 中国煤炭地质, 2014, 26(12): 1-6.
Zhang Jizhen, Li Xianqing, Liu Yang, et al. Longtan Formation shale gas reservoiring conditions and favorable region analysis in southern Sichuan area [J]. Coal Geology of China, 2014, 26(12): 1-6.
- [38] 王中鹏, 张金川, 孙睿, 等. 西页 1 井龙潭组海陆过渡相泥页岩含气性分析 [J]. 地学前缘, 2015, 22(2): 243-250.
Wang Zhongpeng, Zhang Jinchuan, Sun Rui, et al. The gas-bearing characteristics analysis of the Longtan Formation transitional shale in Well Xiye 1 [J]. Earth Science Frontiers, 2015, 22(2): 243-250.
- [39] 钱劲, 马若龙, 步少峰, 等. 湘中、湘东南拗陷泥页岩层系岩相古地理特征 [J]. 成都理工大学学报: 自然科学版, 2013, 40(6): 688-695.
Qian Jin, Ma Ruolong, Bu Shaofeng, et al. Lithofacies-paleogeographical characteristics of marine shale series of strata in Xiangzhong and Xiangdongnan depressions, Hunan, China [J]. Journal of Chengdu University of Technology: Science & Technology Edition, 2013, 40(6): 688-695.
- [40] 罗小平, 李奕霏, 吴昌荣, 等. 湘东南拗陷龙潭组泥页岩储层特征 [J]. 成都理工大学学报: 自然科学版, 2013, 40(5): 588-594.
Luo Xiaoping, Li Yifei, Wu Changrong, et al. Characteristics of mud shale reservoirs in Upper Permian Longtan Formation of Southeast Hunan depression, China [J]. Journal of Chengdu University of Technology: Science & Technology Edition, 2013, 40(5): 588-594.

(编辑 徐文明)