Mud Shale Reservoir Comparison of the Upper Paleozoic in Qinshui Basin and Erdos Basin

Dan Gao, Quanfang Gao

School of Energy and Resources, China University of Geosciences, Beijing Email: <u>15311689850@163.com</u>

Received: Jun. 7th, 2015; accepted: Jun. 20th, 2015; published: Jun. 25th, 2015

Copyright © 2015 by authors and Hans Publishers Inc. This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY). http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/

CC ① Open Access

Abstract

Qinshui basin is one of the important coal basin in China; Erdos basin is an important oil and gas basin in China. With the rapid development of Chinese economy, demand for oil and gas resources is much higher. Shale gas is an important additional energy in the future [1]. The two basins develop many sets of shale bed, of which Shanxi group and Taiyuan group may form shale gas reservoirs, so it is of great significance to make a comparative study of the two basin shale reservoirs. The author focuses on Total Organic Carbon, organic matter types and maturity, the characteristics of brittle mineral content and porosity, permeability and micropores in the evaluation of mud shale, through the comparison of organic geochemistry and shale reservoir characteristics, and finally obtains the mud shale reservoirs of Shanxi formation and Taiyuan formation in Erdos basin are better than which in Qinshui basin, which provides an important reference for the following exploration and development.

Keywords

Qinshui Basin, Erdos Basin, Mud Shale, Reservoir Comparison

沁水盆地与鄂尔多斯盆地上古生界泥页岩储层 对比分析

高 丹,高全芳

中国地质大学(北京)能源学院,北京 Email: 15311689850@163.com

收稿日期: 2015年6月7日; 录用日期: 2015年6月20日; 发布日期: 2015年6月25日

摘要

沁水盆地是我国重要的含煤盆地之一,鄂尔多斯盆地是我国重要的含油气盆地。随着中国经济的快速发展,对油气资源的需求越来越高,页岩气是未来重要的补充能源[1],这两个盆地均发育多套泥页岩层, 其中山西组与太原组等均有可能形成页岩气藏,因此对这两个盆地泥页岩储层进行对比研究具有重要意 义。笔者重点关注了泥页岩评价指标中的总有机碳、有机质类型和成熟度、泥页岩中脆性矿物含量及孔 渗方面和微孔隙等的特征,通过有机地球化学及泥页岩储层特征的对比,最终得出鄂尔多斯盆地山西组 及太原组泥页岩储层均优于沁水盆地,为以后的勘探开发提供了重要参考。

关键词

沁水盆地,鄂尔多斯盆地,泥页岩,储层对比

1. 引言

页岩气是未来重要的补充能源[1]。沁水盆地是我国重要的含煤盆地之一,煤层气勘探开发程度较高, 沁水盆地及周缘在上古生界发育多套页岩,其中二叠系下统太原组、山西组和二叠系中统下石盒子组等 三套泥页岩最有可能形成页岩气藏[2] [3]。鄂尔多斯盆地是我国重要的含油气盆地,在盆地沉积地层中, 古生界和中生界发育多套泥页岩,其中奥陶系平凉组、石炭系本溪组、二叠系太原组和山西组、上三叠 统延长组等多套泥页岩最有可能形成页岩气藏[4]。因此对这两个盆地泥页岩储层进行对比研究具有重要 意义。

笔者重点针对这两个盆地山西组和太原组泥页岩样品进行了有机地化特征和泥页岩储层特征的对比, 进而评价其泥页岩储层的好坏。

总有机碳、有机质热演化程度和干酪跟类型、泥页岩中脆性矿物含量及孔渗方面和微孔隙等的特征 是泥页岩储层评价中几个重要的参数,其中总有机碳、有机质热演化程度和干酪根类型属于泥页岩有机 地化方面的特征,泥页岩中脆性矿物含量及孔渗方面和微孔隙等属于泥页岩储层方面的特征,通过有机 地球化学及泥页岩储层特征的对比,最终得出鄂尔多斯盆地山西组及太原组泥页岩储层优于沁水盆地, 为以后的勘探开发提供了重要参考。

2. 有机地化特征对比

2.1. 有机质丰度

任何类型的天然气的聚集,都需要充足的有机质,因为生烃量的多少主要受有机质丰度的控制,烃 源岩有机质丰度常以总有机碳含量(TOC)、氯仿沥青和总烃含量(HC)来表达,其中总有机碳含量是控制 后两者的参数,是油气资源评价的基本参数[5]。TOC之所以作为对泥页岩储层进行评价的重要参数,主 要有以下几方面原因:第一是由于页岩气藏是自生自储模式,其运移距离短,含气面积常常与泥页岩的 分布面积相当;如果 TOC 含量高,生气潜力就大,由于运移距离短,其单位面积泥页岩的含气率也高; 第二是由于有机质含有大量微孔隙,提高了游离气的储集空间,且泥页岩中的分散有机质是一种活性非 常强的吸附剂,能够提高泥页岩的吸附能力[6]。

沁水盆地山西组 TOC 含量平均值为 4.04% (图 1),其中 TOC 含量大于 1%的样品占 73.7%,TOC 含量介于 1%~2%的占 21.1%,介于 2%~3%的占 15.8%,介于 3%~4%的占 21.1%,相比之下,鄂尔多斯盆地山西组 TOC 含量平均值为 2.14% (图 1),其中 TOC 含量大于 1%的样品占 63.4%,TOC 含量介于 1%~2%的占 32.3%,介于 2%~3%的占 17.6%,大于 4%的占 13.6%。

沁水盆地太原组 TOC 含量平均值为 2.6% (图 2),其中 TOC 含量大于 1%的样品占 88.9%,TOC 含量 介于 1%~2%的占 38.9%,介于 2%~3%的占 11.1%,介于 3%~4%的占 0.278%,相比之下,鄂尔多斯盆地 太原组 TOC 含量平均值为 0.98% (图 2),其中 TOC 含量大于 1%的样品占 85.8%,TOC 含量介于 1%~2% 的占 34.9%,介于 2%~3%的占 21.2%,大于 4%的占 17.9%。

研究表明, 泥页岩TOC含量达到0.5%可以作为产气页岩的下限, 而较为有利的产气页岩TOC含量应 大于1.0%。从有机质丰度标准看, 沁水盆地与鄂尔多斯盆地泥页岩均属于有机质丰度较高的泥页岩。



Figure 1. The distribution of measured TOC of Shanxi Formation Shales in Qinshui Basin and Ordos Basin

图 1. 沁水盆地与鄂尔多斯盆地山西组泥页岩样品实测 TOC 分布



Figure 2. The distribution of measured TOC of Taiyuan Formation Shales in Qinshui Basin and Ordos Basin

图 2. 沁水盆地与鄂尔多斯盆地太原组泥页岩样品实测 TOC 分布直方图

2.2. 有机质热演化程度

有机质的热演化程度是表征其成烃有效性和产物性质的重要参数。评价有机质热演化程度的方法有 多种[7],镜质体反射率(Ro)是其中常用且较有效的方法之一。

沁水盆地山西组泥页岩样品有机质镜质体反射率平均值 1.75%,最小值 1.03%,最大值 2.35%,太原 组泥页岩样品有机质镜质体反射率平均值 1.82%,最小值 1.04%,最大值 2.78%。

鄂尔多斯盆地山西组泥页岩样品有机质镜质体反射率平均值 1.99%,最小值 1.3%,最大值 2.68%,太原组泥页岩样品有机质镜质体反射率平均值 2.37%,最小值 1.51%,最大值 3.23%。

研究表明热演化成熟度(镜质体反射率)太高或太低都不利于页岩气成藏。Ro太低,生成的天然气量 太少,不足以聚集成藏; Ro过高(>3%),生气高峰已过,同样不利于聚集成藏[3]。由此看来研究区沁水 盆地与鄂尔多斯盆地均处于生气高峰,有利于页岩气聚集。

2.3. 干酪跟类型

根据岩石热解方法应用氢指数和氧指数对泥页岩有机质进行分类,沁水盆地山西组和太原组干酪根显微组分以腐泥组为主,镜质组 + 惰质组含量很低,只有个别样品含量较高,基本不含壳质组,为II2型干酪根。鄂尔多斯盆地山西组和太原组干酪跟显微组分基本不含腐泥组,壳质组含量部分样品小于50%,其余样品大于50%,镜质组+惰质组部分样品大于50%,其余样品小于50%,为III型干酪跟。III型干酪跟是良好的生气母源,利于泥页岩中页岩气的形成。

3. 泥页岩储层特征

3.1. 储层岩石学特征

泥页岩的储层岩石学特征以研究储层岩石的矿物成分、结构特征和胶结物特征为主。碎屑矿物和自 生矿物主要是石英、长石黄铁矿等物。石英、长石等脆性矿物的存在能提高岩石的脆性,使得其容易被 压裂形成裂缝,进而提高产量。

沁水盆地和鄂尔多斯盆地脆性矿物以石英为主,沁水盆地泥页岩石英含量在 35%~44%之间(图 3), 鄂尔多斯盆地泥页岩石英含量在 29%~42%之间(图 4)。

泥页岩的粘土矿物为伊利石、绿泥石、高岭石等,沁水盆地及鄂尔多斯盆地研究区内粘土矿物以伊 蒙混层为主,其中沁水盆地伊蒙混层含量在 29%~62% (图 5),鄂尔多斯盆地伊蒙混层含量在 37%~60% (图 6),其次是高岭石、伊利石和绿泥石。粘土矿物具有较大的比表面和较高的孔隙体积,使得其吸附能力 比较强。但是蒙脱石等吸水易膨胀的矿物的存在,不利于后期储层压裂造缝。

3.2. 孔隙度和渗透率

无论是碎屑岩储层还是泥页岩储层,孔隙度、渗透率始终是评价储层的重要指标。泥页岩储层的渗 透率都很低且变化非常复杂,页岩气后期开发主要借助压裂手段,压裂可改造其渗透率[8]。

在常规储层评价中,孔隙度和渗透率是描述储层特性的重要的两个参数,对于非常规储层也不例外。 泥页岩作为储层时,常显示出较低的孔隙度和渗透率。在泥页岩中,游离气的含量与孔隙体积呈现正相 关的关系[9],而渗透率的大小则决定了页岩气藏是否具有经济开发价值。

沁水盆地山西组气测孔隙度平均值 4.15%,太原组 4.53%;山西组脉冲渗透率平均值 0.0011 md,太原组 0.0009 md。

鄂尔多斯盆地山西组气测孔隙度平均值 3.44%,太原组 3.56%;山西组脉冲渗透率平均值 0.0025 md,太原组 0.0003 md。



Figure 3. Whole rock mineral analysis of shales in Qinshui Basin 图 3. 沁水盆地泥页岩样品全岩矿物分析统计图







Figure 5. Clay mineral analysis of shales in Qinshui Basin 图 5. 沁水盆地泥页岩样品粘土矿物分析统计图





3.3. 微孔隙

页岩气是赋存于富含有机质的泥页岩中的天然气,主要以游离态和吸附态两种形式存在,游离态的 页岩气主要保存于岩石天然裂缝与粒间孔隙中[10]-[12],吸附态的页岩气吸附于有机质颗粒、黏土矿物颗 粒、干酪根颗粒及孔隙表面之上[13]。泥页岩中的微孔隙、微裂缝是游离态及吸附态页岩气重要的储集空 间和流通通道,孔隙发育程度直接关系到页岩气的储量大小[14]。

对研究区沁水盆地及鄂尔多斯盆地所采样品进行扫描电镜观察发现,沁水盆地山西组常见泥晶间微 孔隙(图7(a)),泥晶间微孔隙多<1 µ,少量1~4 µ,偶见有机质内微孔隙(图7(b)),宽2~3 µ,长几十µ;太原 组常见泥晶间微孔隙(图7(c)),多<1 µ,少量1~2 µ;偶见粒晶间、有机质间微孔隙(图7(d)),孔隙直径2~3 µ。

研究区鄂尔多斯盆地山西组以微孔缝为主(图8(a)), 宽多<1 μ, 少量1~2 μ, 长几~几十μ, 少量达百余 μ, 偶见泥晶间微孔隙(图8(b)), 多<1 μ, 少量1~2 μ; 太原组以微孔缝为主(图8(c)), 宽多<1 μ, 少量1~3 μ, 长几~几十μ, 偶见泥晶间微孔缝(图8(d)), 长约1~5 μ。

对沁水盆地及鄂尔多斯盆地泥页岩样品进行氩离子抛光处理后,观察其孔隙形态,沁水盆地常见微裂缝和有机质孔(图9),面孔率低,孔缝形态较为简单。

鄂尔多斯盆地微裂缝较为发育,且常见复杂网状孔及脉状或条带状孔(图10),面孔率较高。相关研究 [15]表明复杂网状孔和脉状条带状孔有利于气体渗流,在后期压裂过程中可形成更好的孔缝系统。

4. 结论

1) 从有机地球化学特征方面来看,沁水盆地与鄂尔多斯盆地均具备页岩气成藏的基本地质条件。



(a) 山西组泥晶间微孔隙



(b) 山西组有机质内微孔隙

Vega ?Tescar



Figure 7. SEM photos of shales in Qinshui Basin 图 7. 沁水盆地泥页岩样品扫描电镜照片



微裂缝





Figure 9. Argon ion polishing photos of shales in Qinshui Basin **图 9.** 沁水盆地泥页岩样品氩离子抛光照片



 NONE
 COMP0 10.0kV X50.000 100mm
 WD 8.0mm
 NONE
 COMP0 10.0kV X13.000
 1mm
 WD 8.0mm

 NONE
 COMP0 10.0kV X13.000
 1mm
 WD 8.0mm
 NONE
 COMP0 10.0kV X13.000
 1mm
 WD 8.0mm

Figure 10. Argon ion polishing photos of shales in Ordos Basin 图 10. 鄂尔多斯盆地泥页岩样品氩离子抛光照片

2) 从氩离子抛光照片可以看出,鄂尔多斯盆地孔隙类型较为复杂,网状孔的发育有利于后期压裂改造其孔渗特性,沁水盆地则孔隙类型较为简单。沁水盆地相较于鄂尔多斯盆地埋深较浅,沁水盆地煤层 气开发程度较高,但鄂尔多斯盆地已发现了苏里格等大型气田,综合来看,鄂尔多斯盆地泥页岩储层更 有利。

基金项目

中国地质调查局"沁水盆地及周缘页岩气资源调查评价"专项资助部分成果(2014-258)。

参考文献 (References)

- [1] 侯读杰,包书景,毛小平,等 (2012)页岩气资源潜力评价的几个关键问题讨论. 地球科学与环境学报,3,7-16.
- [2] 顾娇杨, 叶建平, 房超, 邵龙义 (2011) 沁水盆地页岩气资源前景展望. 2011 年煤层气学术研讨会论文集, 中国 煤炭学会煤层气专业委员会、中国石油学会石油地质专业委员会, 7.
- [3] 陈燕萍,黄文辉,陆小霞,龚猛,刘贝 (2013) 沁水盆地海陆交互相页岩气成藏条件分析. 资源与产业,3,68-72.
- [4] 郭少斌,郑红梅,黄家国 (2014)鄂尔多斯盆地上古生界非常规天然气综合勘探前景. 地质科技情报, 6, 69-77.
- [5] 王辛 (2012) 鄂尔多斯盆地富县地区长7段页岩储层评价. 成都理工大学, 成都.
- [6] 付金华,郭少斌,刘新社,王义刚 (2013) 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. 吉林大学 学报(地球科学版), 2, 382-389.
- [7] 郭少斌, 王义刚 (2013) 鄂尔多斯盆地石炭系本溪组页岩气成藏条件及勘探潜力. 石油学报, 3, 445-452.
- [8] 郭少斌, 赵可英 (2014) 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. 石油实验地质, 6, 678-691.
- [9] 王传刚, 王毅, 许化政, 等 (2009) 论鄂尔多斯盆地下古生界烃源岩的成藏演化特征. 石油学报, 30, 38-45.

- [10] Curtis, J.B. (2002) Fractured shale gas systems. AAPG Bulletin, 11, 1921-1938.
- [11] Ross, D.J.K. (2007) Shale gas potential of the Lower Jurassic Gordondale Member, northeastern British Columbia, Canada. *Bulletin of Canadian Petroleum Geology*, **55**, 51-75.
- [12] 蒲泊伶, 蒋有录, 王毅, 等 (2010) 四川盆地下志留统龙马溪组页岩气成藏条件及有利地区分析. 石油学报, 31, 225-230.
- [13] 吉利明, 邱军利, 夏燕青, 等 (2012) 常见粘土矿物电镜扫描微孔隙特征与甲烷吸附性. 石油学报, 33, 249-256.
- [14] 焦淑静,韩辉,翁庆萍,杨峰,姜大强,崔立山 (2012) 页岩孔隙结构扫描电镜分析方法研究. *电子显微学报*, 5, 432-436.
- [15] Loucks, R.G., Reed, R.M., Ruppel, S.C., et al. (2009) Morphology, genesis and distribution of nanometer-scale pores in siliceous mudstone of the Mississippian Barnett Shales. *Journal of Sedimentary Researsh*, 79, 848-861.