

泉浅 A 井龙马溪组下部页岩储层岩石学特征

赵迪斐^{1,2)}, 郭英海^{1,2)}, 曹新星³⁾, 马萌芽^{1,2)}, 毛潇潇¹⁾

1) 中国矿业大学资源与地球科学学院, 江苏徐州, 221116; 2) 煤层气资源与成藏过程教育部重点实验室, 江苏徐州, 22100; 3) 中国科学院广州地球化学研究所, 广东广州, 510640

泥页岩在各种地质条件下生成且尚未完全排出、并以吸附、游离、溶解等多种形式赋存于沉积盆地内的泥页岩内部的天然气即页岩气。在一定埋深下由缺氧环境沉积的巨厚页岩可以为页岩气提供气源并作为页岩气的储集层(蒲泊伶, 2008), 与传统油气地质理论中的生油岩概念明显不同(聂海宽等, 2011)。作为页岩气的储集层, 需要从储层角度对龙马溪组展开细致的研究(赵迪斐等, 2014)。

龙马溪组是我国页岩气勘探开发的核心层位之一, 在龙马溪组页岩储层的研究中, 下部层段被认为具有更好的储集性能。以泉浅 A 井龙马溪组下部页岩储层为例, 通过氩离子抛光-场发射扫描电镜、X 射线衍射、TOC 测试、成熟度测试、高压压汞、低温氮吸附、力学测试等多种实验观测技术, 综合探究研究样品的储层岩石学特征。

1 实验样品与测试条件

实验样品取自泉浅 A 井的龙马溪组下部页岩储层, 岩性对应为碳质泥岩、碳质页岩, 形成于深海陆棚沉积环境。间隔取样品 15 块进行各项测试分析。

XRD 实验采用德国布鲁克(BRUKER)公司 D8 ADVANCE 型号的 X 射线衍射仪, 氩离子抛光-场发射扫描电镜实验采用美国 FEI 公司 Helios Nanolab 600i 聚焦离子电子双束显微镜与日本日立高新 S-4700 冷场发射扫描电子显微镜。高压压汞实验采用仪器为 MICROMERITICS INSTRUMENT 公司 AutoPore IV 9500 V1.09 压汞测试仪。低温氮吸附实验采用仪器为美国 Quantachrome 公司

Autosorb-1 型比表面积及孔径测定仪。

2 储层岩石学特征

2.1 矿物组分特征

X 射线衍射测试结果显示, 龙马溪组下部页岩储层矿物组分类型复杂(图 1), 主要包括粘土矿物和骨架矿物, 粘土矿物包括伊利石、绿泥石、伊蒙混层、蒙脱石、高岭石等, 其中, 伊利石、绿泥石为主要组分, 质量分数分别达到 30%与 24%, 骨架矿物主要包括石英、长石、方解石、黄铁矿等, 石英含量最高, 平均质量分数可达 23%。矿物组合类型特征显示, 研究区龙马溪组页岩储层成岩作用达到了晚成岩作用一极低级变质作用阶段之间。

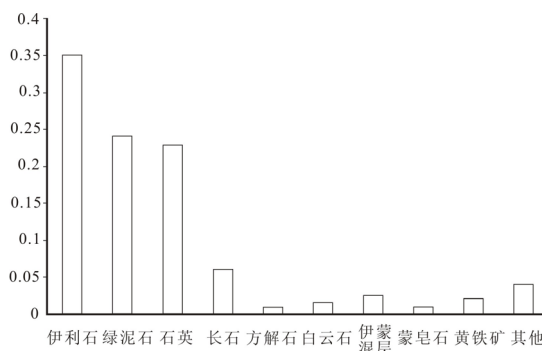


图 1 泉浅 A 井龙马溪组下部页岩储层矿物组分

2.2 有机特征

龙马溪组下部页岩储层干酪根类型为 I 型干酪根, TOC 值介于 1%与 4%之间, 平均值高于 2%, 等效海相镜质组反射率值在 3%~4%之间, 有机质已经达到了过成熟阶段。剖面向上有机质特征发生规律变化, 向上干酪根类型出现 II-1 型与 II-2 型干酪根, TOC 含量向上减少, 成熟度微有降低。

注: 本文为国家重点基础研究发展计划(973)项目(2012CB214702)和煤层气资源与成藏过程教育部重点实验室(中国矿业大学)开放基金资助项目(2015-007)资助的成果。

收稿日期: 2015-02-03; 改回日期: 2015-03-01; 责任编辑: 费红彩。

作者简介: 赵迪斐, 男, 1991 年生, 硕士, 矿物岩石学专业 Email: diffidiffi@126.com。

2.3 储集空间发育特征

高压压汞测试显示, 研究页岩样品孔隙度介于 1.1%~3.5% 之间, 渗透率介于 2mD 至 15mD 之间, 孔渗一致性关系较弱。这可能是由于页岩储层孔隙孔径主要分布在纳米级别, 远小于渗流孔隙通道的直径。总体来说, 龙马溪组下部页岩储层孔隙度极小, 渗流率纵向变化显著。

氩离子抛光-场发射扫描电镜观测显示, 龙马溪组下部页岩储层孔隙类型复杂, 孔径主要集中在纳米级别, 发育的主要成因-形貌孔隙类型包括有机质纳米孔、粘土矿物片间孔、骨架矿物溶蚀孔、残余原生粒间孔、微裂隙等(图 2), 孔隙结构复杂, 发育特征不一, 以有机质纳米孔最为发育, 微裂隙较

为发育。在背散射模式下对储层矿物的分布特征进行了观测, 认为储层矿物组合复杂, 粒度极小, 分布非均质程度较高。

通过高压压汞、低温氮吸附综合探究储层孔隙的孔径分布, 认为储层孔隙的孔径分布均有两端元分布的特征, 孔隙主体发育在 100nm 以下, 在大孔、微裂隙发育的大孔径级别处也有一定发育程度, 中孔发育程度较低。样品的吸附-解吸曲线均呈反 S 型, 与吸附等温线 BET 分类的 II 型吸附等温线形态接近, 同时兼具多种形貌曲线的对应特征, 发育孔隙的形貌复杂, 包括无定形孔、板状、片状孔、墨水瓶形孔等多种形貌。

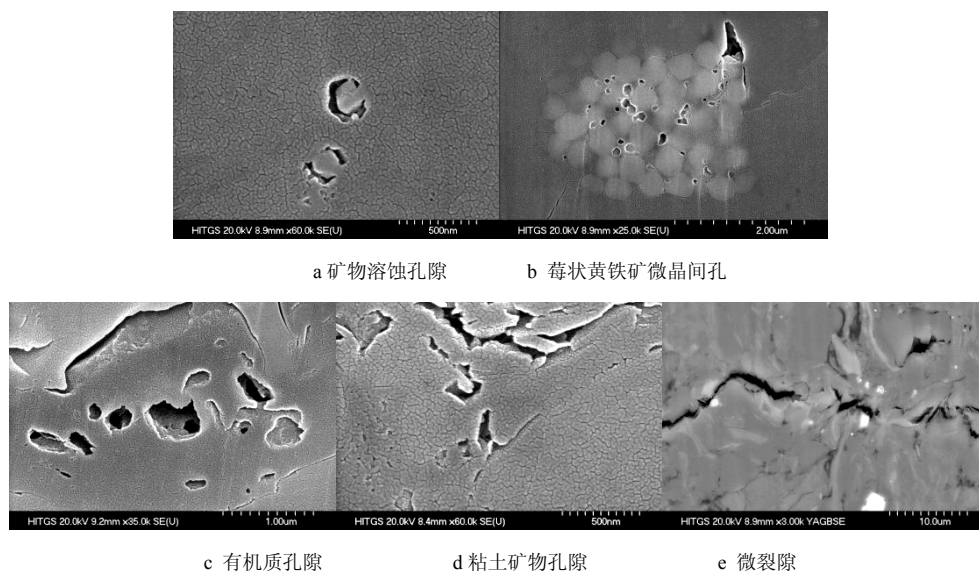


图 2 页岩典型孔隙类型

2.4 力学脆性特征

页岩储层的脆性特征对页岩气的压裂开采具有重要意义。目前, 储层脆性的主要评估手段包括力学性质测试法和矿物指数法。以泉浅 A 井为例, 应用两种方法对储层样品脆性进行评价, 矿物指数法显示, 龙马溪组下部样品的脆性矿物含量指数分布在 21%~44% 之间, 均值为 32%; 峰值应变反映脆性破坏的难易, 力学测试结果显示, 龙马溪组样品的峰值应变参数约 0.085, 基本介于北美 Barnett 页岩 (0.4%~2.2%) 中值位置, 应力应变关系曲线经历压密阶段、弹性变形阶段、屈服变形阶段和残余变形阶段, 曲线表现出了较强的脆性特征。

3 基于岩石学特征的储层评价

总的来说, 龙马溪组下部页岩储层矿物组分复

杂, 矿物粒度小, 以粘土矿物、脆性矿物为主, 有机质 TOC 含量适宜, 成熟度高, 储层孔隙度极小, 纳米级孔隙发育, 微裂隙发育程度好, 孔隙形貌特征复杂, 具有适宜的脆性特征, 是较为优质的页岩气储层。孔隙性、渗透性、力学脆性是储层评价的核心内容, 而岩石学特征是页岩储层孔隙性、渗透性、脆性的发育基础。进一步深入的认知储层岩石学特征, 对探究页岩储层的孔隙性、渗透性、脆性、含气性特征具有重要意义, 可以提供从岩石学特征角度进行储层评价的新思路。

参考文献 / References

- 聂海宽, 等. 2011. 四川盆地及其周缘下寒武统页岩气聚集条件. 石油学报, 32(6): 959~967.
- 蒲泊伶. 2008. 四川盆地页岩气成藏条件分析. 中国石油大学(华东).
- 赵迪斐, 等. 2014. 页岩储层矿物成分及相关讨论. 煤炭技术, 33(4): 92~95.