

鄂尔多斯盆地下寺湾地区陆相页岩微观储层特征

陈斐然^{1,2)}, 陈践发²⁾, 史鹏³⁾, 刘国恒²⁾, 董劲²⁾

1) 中国石油勘探开发研究院, 北京, 100083; 2) 中国石油大学(北京)油气资源与探测国家重点实验室, 北京, 102249; 3) 延长石油集团有限责任公司, 陕西西安, 710075

美国页岩气的成功勘探与开发促进了全球页岩气的飞速发展。2011年,我国将页岩气作为一种新型的天然气能源。国内页岩气的研究一般集中在中国南方成熟度较高的海相页岩(R_o 普遍大于2.0%) (邹才能等, 2010; 黄金亮等, 2012)。中国北部广泛分布的二叠系、三叠系、侏罗系及白垩系等富含有机质的湖相页岩,为中国陆相油气的主要烃源岩(邹才能, 2013),但该页岩成熟度相对较低($R_o < 1.5\%$),其微观储层及含气性特征同海相页岩相比差异较大。

页岩作为一种非常规储层,其孔径多为微纳米级别。大量研究认为页岩的微观储层特征是影响页岩储层原地含气量(GIP)及后期页岩气产能的关键因素(Thomas et al., 2014)。因此,定量评价页岩的微观孔隙体积和大小分布是国内外页岩气研究的重点问题之一。页岩的孔隙体积和大小分布主要受压实作用、成熟度、矿物颗粒大小及成分的影响。页岩孔隙大小分布可以通过氩离子抛光—场发射扫描电镜(FIB-SEM)实验进行直接观察,孔隙体积的定量研究方法主要有岩心压汞实验(MICP)及气体吸附的方法。

本文研究样品主要来自于鄂尔多斯东南部下寺湾地区,为三叠系延长组长7段陆相页岩。通过对样品进行氩离子抛光—场发射扫描电镜实验观察,并结合氮气吸脱附实验定量分析,描述研究区陆相页岩微观孔隙发育的主要类型、形态及大小分布,并初步分析该地区页岩储层微观孔隙发育的影响因素。

1 岩石物理特征

1.1 有机地球化学特征

研究区长7段页岩主要为深湖—半深湖相沉

积,根据岩石热解(Rock-Eval)及显微组分分析,该地区延长组长7段页岩TOC含量较高,多大于2%;具有腐泥型和混合型干酪根的特点,有机质类型以II型为主,部分为I型; R_o 主要分布在0.7%~1.3%,处在成熟生油及伴生气阶段。

1.2 岩石与矿物组成

通过对研究区样品进行全岩与粘土矿物X衍射(XRD)实验分析,结果显示岩样中碎屑矿物主要包括石英、粘土矿物、斜长石、钾长石、方解石、白云石和黄铁矿,此外,也含有一定量的磷灰石、重晶石等矿物。其中,石英含量在8.0%~48.0%之间,平均含量为31.7%;斜长石含量在1.0%~19.0%之间,平均含量为9.1%;钾长石及碳酸盐岩矿物含量较少;粘土矿物含量较高,平均含量超过45%。粘土矿物主要由伊蒙混层、伊利石、绿泥石及高岭石组成,伊蒙混层含量在30%~88%之间,平均值为55.9%,其次是伊利石,平均含量为25.7%,绿泥石及高岭石含量较少。

2 页岩微观孔隙特征

2.1 孔隙类型及形态特征

泥页岩中典型的页岩微观孔隙类型可分为三类:矿物基质粒间孔、矿物粒内孔和有机质孔(Loucks et al., 2012)。同国内志留系或寒武系海相页岩相比,研究区长7段陆相页岩埋藏深度较浅(1100~1600m),成岩作用程度相对较低,页岩成熟度较低($R_o < 1.5\%$)。因此,初步推测陆相页岩微观孔隙发育类型同海相页岩相比存在较大差别。

通过对页岩样品进行亚离子抛光及扫描电镜观察,结果显示研究区页岩发育类型主要以矿物基质粒间孔及粒内孔为主,有机质孔基本不发育,有

注:本文为陕西延长石油(集团)科技重大专项(编号:陕研13-4)的成果。

收稿日期:2015-02-02;改回日期:2015-02-28;责任编辑:费红彩。

作者简介:陈斐然,男,1988年生,博士,矿产普查与勘探专业。Email: feiran_c@163.com。

机质边缘与粘土基质接触部位出现大量溶蚀孔隙（图 1A—E）。该类溶蚀孔隙主要是不稳定矿物在有机酸作用下发生溶蚀而形成的，孔隙大小范围在几纳米至几百纳米，为该区页岩储层中主要发育的微观孔隙类型。

粒间孔主要发育在长石、石英或黄铁矿等矿物颗粒接触部位（图 1D,F），孔隙形态多为不规则状，簇丛状黄铁矿颗粒间孔隙以近椭圆形孔隙为主，粒间孔直径范围在几百纳米至几微米，为该区页岩储层中孔隙直径较大的微观孔隙类型。初步分析认为，不规则粒间孔隙是岩石矿物颗粒在受成岩作

用压实胶结后剩余的空间产物。另外，粘土矿物层间孔在研究区广泛发育（图 1E），孔隙宽度范围在几纳米至几百纳米，多为狭缝型，主要由蒙脱石向伊利石转化脱出层间水，导致层间塌陷形成粒内孔。

由于研究区构造变形平缓，导致由构造运动产生的裂缝并不发育，少量微观裂缝主要来源于成岩作用，经常沿水平纹层或条带型岩性转换区出现，另外在扫描电镜观察中常见由页岩干燥脱水引发的裂缝（图 1B,C）。

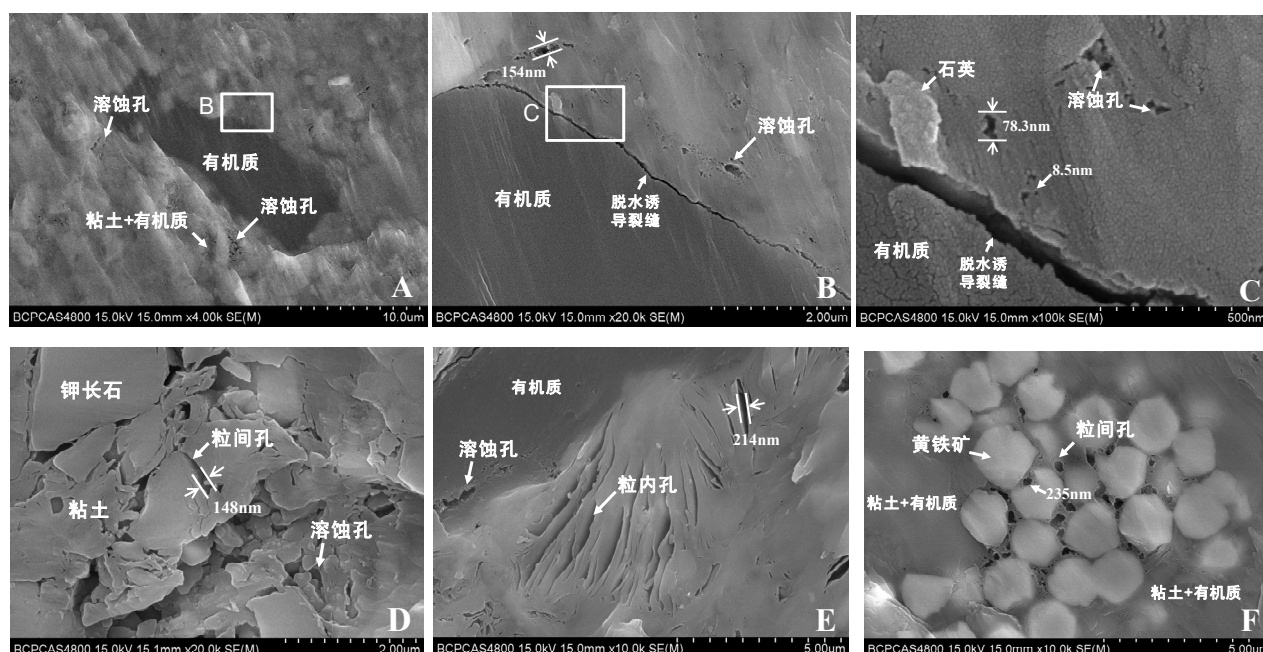


图 1 页岩微观孔隙特征

1.2 孔径大小分布及孔隙结构

1.2.1 孔径大小分布

低压 N_2 吸附实验（比表面积分析）可以定量描述孔径大小分布及其孔体积贡献量。比表面积分析结果显示研究区长 7 段页岩孔隙直径在 3~5nm 处出现峰值（图 2），表明该孔径范围内孔隙发育量大，增加了页岩比表面积及页岩气吸附点位，对页岩气体吸附具有重要意义。但该类孔隙直径较小（3~5nm），在场发射扫描电镜观测中较难识别（图 1C），需借助气体吸脱附实验进行定量分析。孔径大于 10nm 的孔隙对页岩孔隙体积贡献量大，为页岩储层提供了主要的油气储集空间。

1.2.2 微观孔隙结构

页岩微观孔隙结构研究可以通过等温吸附-脱附曲线形态来反映。实验测试前样品首先经过高温抽真空预处理，然后以高纯度的氮气为吸附质在 -198°C 温度下测定不同相对压力下的氮气吸附量；最后以相对压力为横坐标，单位样品质量吸附量为纵坐标绘制氮气吸附-解吸等温线。

根据页岩孔隙结构及滞后回线特征可将页岩孔隙分为 3 类。第一类是开放性的透气孔，包括四边开放的平行壁狭缝型毛细孔和两端开口的圆柱型孔，均能产生滞后回线；第二类是一端封闭的不透气性孔，包括一端封闭的楔形孔—锥形孔—一端封闭的圆柱型孔，这类孔不能产生吸附回线；第三

类为一种特殊形态的孔，即细颈广体的墨水瓶孔，这种孔虽然是一端封闭的，但能产生滞后回线，且解吸曲线存在一个急剧下降的拐点，称为 G 点。

如图 3，当相对压力降低至 0.4~0.6 时，脱附曲线下降不明显，出现短暂平台，即为滞后回线 G

点。随着相对压力继续降低，吸附量出现急剧下降，G 点的存在表明样品中存在“墨水瓶”型孔隙。根据气体吸附与凝聚理论及曲线形态特征，初步推测孔隙直径大于 10nm 的孔隙以开放型孔隙为主，直径在 10nm 以下的微孔则主要为“墨水瓶”型孔隙。

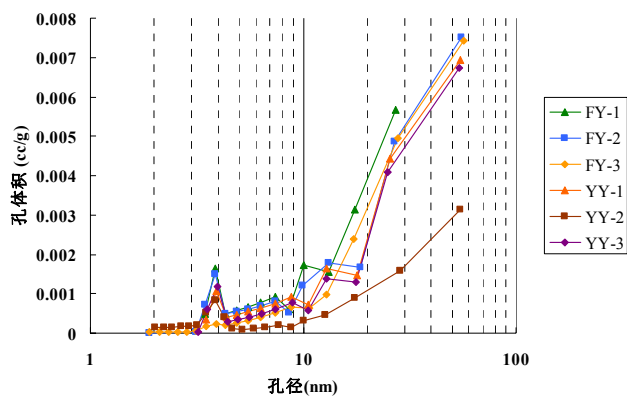


图 2 页岩氮气吸附法孔径分布图

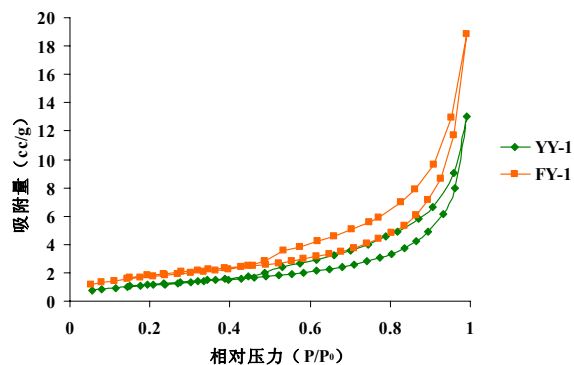


图 3 页岩氮气等温吸附—脱附曲线

参 考 文 献 / References

- 黄金亮, 邹才能, 李建忠, 等. 2012. 川南下寒武统筇竹寺组页岩气形成条件及资源潜力. 石油勘探与开发, 39(1): 69~75.
- 严继民, 张启元. 1979. 吸附与凝聚—固体的表面与孔隙. 北京: 科学出版社.
- 邹才能, 董大忠, 王社教, 等. 2010. 中国页岩气形成机理、地质特征及资源潜力. 石油勘探与开发, 37(6): 641~652.
- 邹才能, 杨智, 崔景伟, 等. 2013. 页岩油形成机制、地质特征及发展对策. 石油勘探与开发, 40(1): 14~26.

- Thomas F R, Eliza J M, Andrew C A, et al. 2014. High-pressure methane adsorption and characterization of pores in Posidonia shales and isolated kerogens. Energy Fuels, 28: 2886~2901
- Loucks R G, Reed R M, Ruppel S C. et al. 2012. Spectrum of pore types and networks in mudrocks and a descriptive classification for matrix-related mudrock pores. AAPG Bull, 96: 1071~1098.