

# 台北凹陷深层致密砂岩储层“三微储集空间”发育特征及控制因素分析\*

司学强<sup>1)</sup>, 曹全斌<sup>1)</sup>, 季卫华<sup>2)</sup>, 陈昶旭<sup>2)</sup>, 王鑫<sup>1)</sup>, 智凤琴<sup>1)</sup>

1) 中国石油杭州地质研究院, 杭州, 310023;

2) 中国石油吐哈油田公司勘探开发研究院, 新疆哈密, 839009;

致密砂岩气藏是指有效渗透率小于 $0.1 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$  (绝对渗透率小于 $1 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ )、孔隙度小于10%的砂岩气藏。目前, 世界上70多个盆地广泛分布着致密砂岩气藏, 我国致密砂岩气藏远景资源量达 $12 \times 10^{12} \sim 100 \times 10^{12} \text{m}^3$ , 开发潜力巨大(张水昌等, 2009; 朱如凯等, 2009)。相关学者的研究表明, 微观孔隙结构是影响致密砂岩气体渗流的重要因素之一(姜福杰等, 2007; 杨建等, 2008; 徐兆辉等, 2011; 郝乐伟等, 2013), 而致密砂岩储层一般都具有复杂的孔隙结构, 因此微观孔隙结构的表征和形成机制研究成为了研究孔隙结构对渗流影响的基础性问题。随着科技的进步, 储层微观孔隙结构的研究方法由最初的简单物性分析向先进的实验测试发展, 研究方法也逐渐多样化, 多种研究方法的应用能够使储层微观孔隙结构特征更加直观、准确的展现在研究人员面前。本文中, 笔者应用偏光显微镜、扫描电镜、激光共聚焦显微镜、工业CT等实验测试方法对吐哈盆地台北凹陷深层水西沟群致密砂岩储层进行微观特征研究, 表征了台北凹陷致密砂岩储层的微观孔隙结构特征, 并探讨了其控制因素。

## 1 台北凹陷致密砂岩岩石学特征

岩石学特征表明, 水西沟群致密砂岩主要以中、粗粒级的岩屑砂岩为主, 其次为长石岩屑砂岩, 石英平均含量为 29.3%~48%, 长石平均含量为 11%~17.3%; 砂岩分选中等, 磨圆较差, 颗粒以次棱状为主; 砂岩压实较强, 颗粒以线状、线-凹状接

触, 压嵌型胶结, 碳酸胶结物含量 0.3%~3%, 最高达 4.5%; 储层物性较差, 孔隙度一般小于 8%, 绝对渗透率小于  $1 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ , 属于致密砂岩储层。

## 2 “三微储集空间”发育特征

200 余块样品镜下微观特征显示, 致密砂岩储层粒间孔基本消失, 主要的显孔类型为粒内溶蚀微孔, 其次是基质晶间微孔和微缝, 目前这三类微型储集空间是主要的储集空间, 可称之为“三微储集空间”。

粒内溶蚀微孔主要是长石和火山岩屑选择性溶蚀作用所形成, 偏光显微镜下可见孤岛状粒内溶蚀微孔、条带状粒内溶蚀微孔、铸模孔等, 粒内溶蚀微孔大小各异, 微孔直径从几个微米到几十微米不等, 最大可超过 100 微米。粒内溶蚀微孔是研究区致密砂岩储层最重要的储集空间。基质晶间微孔主要是颗粒间的泥状杂基沉积石化时收缩形成的微孔隙和粘土矿物形成时产生的晶间微孔隙, 扫描电镜下常见到颗粒间自生高岭石的晶间微孔, 晶间微孔大小从几微米到十几微米不等, 是该致密砂岩储层的次要储集空间。微裂缝主要包括碎裂微缝与粒缘微缝, 偏光显微镜下常见长石、岩屑等碎屑颗粒破裂形成的碎裂微缝, 缝宽几十纳米至几微米不等; 在压实较紧密的颗粒间也常见粒缘微缝, 构造作用下此种粒缘微缝易发生变动。

激光共聚焦显微镜下显示这三种微储集空间大多是相互连通的, 特别是微缝的发育对粒内溶蚀微孔和基质晶间微孔起到了较好的沟通作用, 三种

注: 本文为国家科技重大专项(编号 2011ZX05001-002-004), 中国石油勘探与生产分公司重点科技项目“吐哈盆地中、下侏罗统致密砂岩气藏勘探潜力与有利目标评价”(编号 2011D-0708-01), 吐哈盆地致密砂岩气高效开发示范基地项目资助成果。

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

作者简介: 司学强, 男, 1979 年生, 博士, 石油地质综合研究。Email: sixq\_hz@petrochina.com.cn。

微孔在空间上形成了一个立体的微孔隙网络,这种微孔隙网络对天然气的流动和聚集起着至关重要的作用。工业 CT 扫描显示,储层中这三种微储集空间分布不均匀,微孔隙直径大小介于几百纳米到几十微米,吼道直径平均几个微米,孔隙体积与吼道体积之比接近 2.5:1。

### 3 “三微储集空间”形成因素分析

“三微储集空间”的形成受控于多种因素。由于水西沟群是含煤地层,因此砂岩自成岩的准同生期即处于偏酸性成岩环境,各等化学成岩作用比较活跃,以致砂岩表现出较强的压实与压溶作用。粒间孔急剧减少,后期的硅质加大,方解石胶结物的形成使得粒间孔基本消失,储层致密化。随着埋藏的加深,有机质热演化程度逐渐升高,临近烃源岩的古构造的斜坡区和高部位成为酸性流体运移的指向区,酸性流体对碎屑颗粒进行选择性溶蚀,从而形成了一定规模的溶蚀微孔。长石在有机酸作用下发生蚀变而生成高岭石,自生高岭石又可形成晶间微孔。在垂向地层压力和侧向构造压力及酸性流体的共同作用下,一些碎屑颗粒发生碎裂,形成碎裂微缝。颗粒溶蚀和碎裂作用在粒度较粗的分流河道砂岩中和裂缝较发育的区带更易发生。以上三种微储集空间均是在缺少粒间孔的致密背景下形成

的,虽然储层埋深较大,但这三种微储集空间还是可以有效存在的。

综上所述,台北凹陷深部砂岩储层早期快速致密化,后期在微溶蚀和压碎作用共同影响下形成了“三微储集空间”。特定的沉积成岩环境控制了“三微储集空间”形成,特定的油气成藏条件使得“三微储集空间”成为了烃类的富集场所,这种“三微储集空间”的存在使得台北凹陷深部致密砂岩储层成为了可积极探索的领域。

#### 参 考 文 献 / References

- 郝乐伟,王琪,唐俊. 2013. 储层岩石微观孔隙结构研究方法理论与综述. 岩性油气藏, 25(5): 123~128.
- 姜福杰,庞雄奇,姜振学,田丰华. 2007. 致密砂岩气藏成藏过程的物理模拟实验. 地质论评, 53(6): 844~849.
- 徐兆辉,汪泽成,徐安娜,卞从胜. 2011. 四川盆地须家河组致密砂岩储集层特征与分级评价. 新疆石油地质, 32(1): 26~28.
- 杨建,康毅力,李前贵,张浩. 2008. 致密砂岩气藏微观结构及渗流特征. 力学进展, 38(2): 229~236.
- 张水昌,米敬奎,刘柳红,陶士振. 2009. 中国致密砂岩煤成气藏地质特征及成藏过程. 石油勘探与开发, 36(3): 320~330.
- 朱如凯,邹才能,张鼎,王雪松,程荣,刘柳红. 2009. 致密砂岩气藏储层成岩流体演化与致密成因机理—以四川盆地上三叠统须家河组为例. 中国科学 D 辑, 39(3): 327~339.