

# 鄂尔多斯盆地马家沟组 中组合白云岩型储层特征及主控因素\*

苏中堂<sup>1,2)</sup>, 陈洪德<sup>1,2)</sup>, 呼尚才<sup>1,2)</sup>, 郝哲敏<sup>1,2)</sup>, 裴文超<sup>1,2)</sup>

1) 油气藏地质及开发工程国家重点实验室(成都理工大学), 成都, 610059;

2) 成都理工大学沉积地质研究院, 成都, 610059

鄂尔多斯盆地古隆起东缘马家沟组中组合(马五<sub>5</sub>~马五<sub>10</sub>)白云岩体是天然气勘探取得重大突破的新领域(杨华等, 2011a; 付金华等, 2012), 初步估算天然气储量超过  $1000 \times 10^8 \text{ m}^3$ , 勘探潜力较大, 但储层发育主控因素尚不明确, 影响到该成藏系统勘探开发进程。这套白云岩呈环带状分布在中央古隆起以东、靖边气田以西(图 1), 是在马五海退大背景下次一级振荡性海进-海退过程中形成的潮坪相沉积组合, 其中马五<sub>5</sub>、马五<sub>7</sub>、马五<sub>9</sub>为海侵期(黄正良等, 2012)。受古地形及区域构造抬升剥蚀影响, 地层自西向东依次出露, 其上直接覆盖石炭系地层, 易形成岩性圈闭。

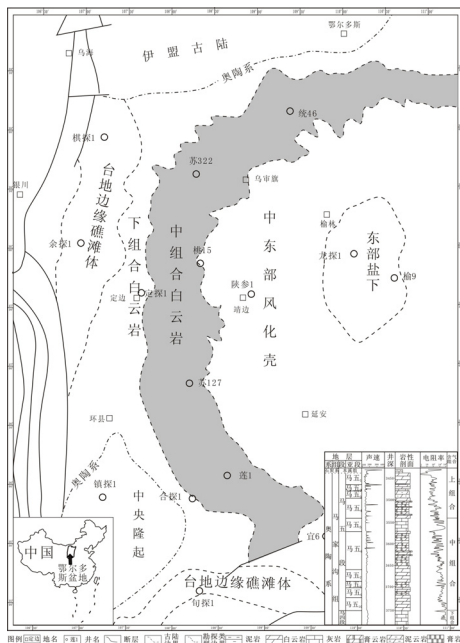


图 1 鄂尔多斯盆地碳酸盐岩成藏区带划分图  
(据杨华等(2011b)修改)

## 1 储层基本特征

(1) 岩石学特征: 400 多片铸体薄片鉴定分析表明重要储集岩类为: 粉-细晶白云岩 晶体大小约为  $0.01 \sim 0.25 \text{ mm}$ , 晶体多为自形和半自形, 表面往往不干净, 含包裹体, 面孔率通常为  $5 \sim 8\%$ 。鲕粒白云岩 真鲕, 多被亮晶白云石胶结, 残留粒间孔, 发育粒间溶孔和溶蚀孔, 面孔率可达  $5 \sim 7\%$ 。残余砂屑云岩 砂屑  $0.02 \sim 15 \text{ mm}$ , 粉-细晶结构, 伴生生物屑, 被亮晶-微亮晶胶结物充填, 发育晶间孔及晶间溶孔, 面孔率  $5 \sim 10\%$ , 最高可达  $18\%$ 。

(2) 储集空间特征: 中组合白云岩型储层储集空间主要为晶间孔、晶间溶孔和溶缝。晶间孔多见于粗粒云岩内, 呈三角形或规则多边形, 连通性较好, 面孔率通常为  $5 \sim 8\%$ , 平均面孔率为  $6.47\%$ 。晶间溶孔 系晶间孔和晶间微孔扩溶而成, 边缘不规则, 分布不太均匀, 多未被充填, 面孔率通常在  $6 \sim 10\%$ , 平均面孔率为  $8.3\%$ 。溶缝 多为交错网状微缝, 宽窄不一, 形态弯曲, 缝壁具明显溶蚀痕迹, 部分被方解石或铁泥质充填, 起重要的沟通作用。

(3) 储集物性: 对 2200 多个物性数据统计显示, 孔隙度主要集中于  $1 \sim 5\%$  区间, 其中  $1 \sim 2\%$  的孔隙占  $51\%$ ,  $2 \sim 5\%$  的孔隙占  $44\%$ ; 渗透率主要分布在  $0.05 \times 10^{-3} \sim 0.5 \times 10^{-3} \mu \text{ m}^2$  和  $1 \times 10^{-3} \sim 5 \times 10^{-3} \mu \text{ m}^2$  两个区间, 分别占  $57\%$  (晶间孔及晶间溶孔型) 和  $25\%$  (晶间溶孔-溶缝型), 属低孔低渗型储层。二者呈指数关系, 相关性较差, 孔喉以微喉、细喉为主, 喉道集中程度较差且小孔隙居多。

注: 本文为国家自然科学基金青年基金项目(编号 41302087)资助的成果。

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

作者简介: 苏中堂, 男, 1981 年生。博士, 副教授, 沉积学专业。Email: xiongwei3279@sina.com。

## 2 主控因素

### 2.1 沉积微相控制储层基础

对中组合沉积微相分析认为沉积环境主要为潮坪相,从西向东依次划分为潮缘滩、潮间云坪、潮间灰云坪等微相,向东过渡为泻湖环境。

沉积微相物性数据统计显示,潮缘滩微相孔隙度平均值 2.313%、潮间云坪平均值 2.19%、含灰云坪和泻湖平均值分别为 2.013%和 1.912%;渗透率统计规律与孔隙度规律相似,但差异性更明显(图 2),表明沉积微相对储层物性具有明显控制作用。

沉积微相决定了储集岩石类型及组合,不同的岩石类型具有不同的储集空间类型,不同的沉积微相具有差异的储层物性,表明中组合沉积微相对储层发育有控制作用,潮缘滩、潮间云坪是相对有利的沉积微相类型。

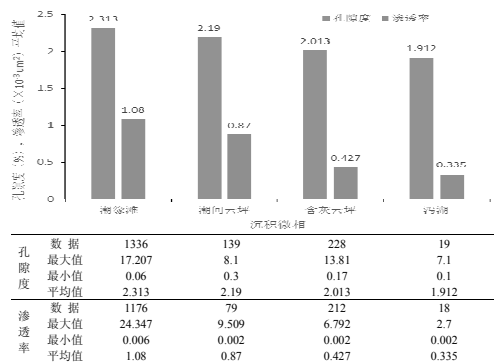


图 2 马家沟组中组合不同沉积微相物性差异

### 2.2 白云岩化决定储层规模

白云岩化作用是中组合储层形成的关键要素之一,中组合相对优质储层发育于潮间云坪粉-细晶白云岩和潮缘滩残余砂屑云岩中,白云岩化程度相对较低的含灰云坪与泻湖内储层质量明显较差,表明白云岩化作用对于中组合白云岩型储层规模具有明显的控制作用。

中组合白云岩内白云石多为粗粉晶-细晶,少数为中晶,半自形-它形,晶体边界非平直-弯曲,发暗棕色光或不发光,晶体边缘较中心稍显“干净”。X-衍射表明白云石具有较高有序度,平均 0.81,电子探针能谱反映核心跟边缘各地化数据相似,微量元素 Na-Sr 投点处于埋藏白云岩区, C-O 同位素投点多落在高温区, Sr 同位素值分布在 0.708725~0.710802 之间,大部分落在奥陶纪原始海水区间内,包裹体均一温度(未校正)平均值为 97℃。岩石学及地球化学证据表明,白云岩应为埋

藏成因,在浅埋藏时经渗透回流发生规模白云岩化,深埋藏期间重结晶并过度生长形成较为干净的边缘。

目前研究认为,中组合白云岩在浅埋藏时期就已由海源流体发生白云岩化,确定了储层规模和原始储集空间,且这时期的白云岩化增强了抗压实能力,有利于先期晶间孔的保存。后期再次深埋以后发生重结晶作用及过度生长形成亮边,同时形成了鞍形白云石的充填,其实对储层发育不利。因此,对于白云岩型储层中白云岩化作用需要分类评估其贡献,并非都有利于储层发育。

### 2.3 溶蚀改造影响储层质量

溶蚀作用对中组合储层改造发生在表生期和埋藏期。奥陶纪末华北地台整体抬升,使得中组合白云岩处于大气淡水直接淋滤溶蚀环境,形成了溶蚀孔洞系统,表现为白云岩被溶蚀形成晶间溶孔及方解石和铁泥质局部充填的溶缝,这期溶蚀提高了白云岩储层的储集能力和渗透能力,向东非白云岩的储层形成就是溶蚀作用起关键因素,而上覆地层覆盖区储层不发育除了与未白云岩化有关外,溶蚀作用无法改造也是原因之一。

埋藏期溶蚀是在表生期溶蚀基础上进一步叠加改造,表现为先期淡水方解石被溶蚀后形成一些铁方解石及少量的黄铁矿和沥青充填。该期溶蚀岩石学证实其存在,且有上覆煤系地层及烃类产生有机酸溶蚀的条件,但储集空间表现是原储集系统的扩容,其溶蚀程度如何较难考量。

从孔隙演化分析而言,溶蚀作用不同程度的增加了岩石储集能力,它可使孔隙度增加 8%~20%,另外晶间溶孔相互连通、溶缝使孔隙发育区相互贯通,均提高了岩石的渗透能力。因此,溶蚀作用明显提高了储层质量,对中组合白云岩型储层的形成起到较为关键的作用。

### 参 考 文 献 / References

- 付金华,白海峰,孙六一,马占荣. 2012.鄂尔多斯盆地奥陶系碳酸盐岩储集体类型及特征.石油学报,33(增刊 2):111-117.
- 黄正良,陈调胜,任军锋,包洪平. 2012.鄂尔多斯盆地奥陶系中组合白云岩储层及圈闭成藏特征.石油学报,33(增刊 2):118-124.
- 杨华,付金华,魏新善,任军锋. 2011a.鄂尔多斯盆地奥陶系海相碳酸盐岩天然气勘探领域.石油学报,32(5):733-740.
- 杨华,包洪平. 2011b.鄂尔多斯盆地奥陶系中组合成藏特征及勘探启示.天然气工业,31(12):11-20.