

鄂尔多斯盆地东部二叠系太原组灰岩储层特征

魏新善 王飞雁 王怀厂 李雪梅

(中国石油长庆油田分公司勘探开发研究院)

魏新善等.鄂尔多斯盆地东部二叠系太原组灰岩储层特征.天然气工业,2005;25(4):16~18

摘要 在岩心观察、铸体薄片、扫描电镜、同位素分析的基础上,对鄂尔多斯盆地东部二叠系太原组灰岩进行了研究。太原组灰岩沉积于陆表海潮坪环境,储集岩主要由(含)生物碎屑泥晶灰岩、泥晶生物碎屑灰岩和生物碎屑灰岩组成。储集空间可分为原生孔隙、次生孔隙和裂缝3大类,次生成因的溶蚀孔、缝是最重要的储集空间。压实作用和胶结作用是主要的破坏性成岩作用,溶蚀作用和岩溶作用是主要的建设性成岩作用,由于岩溶作用,使得灰岩的次生溶孔、缝发育。储层以特低孔渗为特征,孔隙结构普遍较差,非均质性较强,根据其结构特征分为3大类:溶孔型、裂隙—溶孔型和裂隙型。古岩溶和裂缝的发育有利于有效灰岩储层的形成。

关键词 鄂尔多斯盆地 东 二叠纪 石炭岩 储集层 特征 岩溶作用 裂缝(岩石)

鄂尔多斯盆地东部二叠系太原组是一套海陆交互相互沉积体系。北部以滨浅海三角洲陆源碎屑沉积为主,南部以陆表海碳酸盐潮坪沉积为主。在盆地东部,太原组灰岩主要发育在榆林以南的大部分地区,灰岩最厚可达20~35 m,向盆地北部灰岩逐渐减薄,以至缺失。

一、岩性及储集空间类型

1. 储层岩石学特征

太原组碳酸盐岩的储集岩类型主要为(含)生物碎屑泥晶灰岩、泥晶生物碎屑灰岩和生物碎屑灰岩,其次为泥晶灰岩、(含)内碎屑泥晶灰岩和内碎屑灰岩。岩石主要为基质支撑,少数为颗粒支撑。

岩石矿物成分主要为方解石,含量在80%以上,另外含部分泥质及少量黄铁矿、硅质等。岩石中生物碎屑普遍,最常见的是有孔虫、腕足、海百合茎和苔藓虫。陆源碎屑含量较少,包括石英、岩屑和炭屑。

2. 储集空间类型

太原组灰岩的储集空间可分为原生孔隙、次生孔隙和裂缝3大类。孔隙主要以各种类型的次生溶孔为主,占孔隙体积的67.2%。

(1) 原生孔隙

生物体腔(壁)孔:太原组灰岩中有大量生物碎

屑,其中有孔虫的房室,苔藓虫的虫室,介形虫和瓣鳃的体腔,以及瓣鳃、腹足等软体动物的壳瓣骨片都可以形成孔隙。孔径一般1~5 μm,最大300 μm左右,面孔率不超过2.5%。孔隙大部分被粒状或嵌晶状亮晶方解石充填,多为孤立状。

残余藻架孔:在藻灰岩中,架状、窗格状原生孔隙被细粉晶和亮晶方解石胶结后,晶间尚保存大量微细孔隙,它是在早期快速固结成岩的作用下保存下来的。孔径一般5 μm,面孔率2%~3%。分布均匀,但并不广泛。

(2) 次生孔隙

溶蚀孔:是一种非组构选择性溶蚀孔,各种组构的方解石溶解形成的孔隙。孔径可以很大。溶蚀孔又可沉淀方解石,而被充填。在太原组中这类孔隙较多。

溶蚀小针孔:在生物泥晶灰岩、泥晶灰岩中可见2~10 μm形态不规则的细小孔。面孔率3%~5%,孔隙边缘具明显的溶蚀痕迹。这类孔隙部分与微裂缝相通,分布比较均一。

晶间微孔:是生物体腔孔、溶蚀孔、裂缝中沉淀的方解石晶体之间的孔隙。这类孔隙在扫描电镜下才能见到,对储层建设的实际意义不大。

砾石间孔:岩溶角砾岩砾石之间的孔隙。太原组中的岩溶形成于同生期,砾石由于发生塑性形变,

作者简介:魏新善,1962年生,高级工程师,1983年毕业于西北大学;现从事油气田勘探综合地质研究工作,曾在国内外公开刊物上发表学术论文数十篇;主研方向为天然气成藏条件研究。地址:(710021)陕西省西安市未央区兴隆园小区。电话:(029)86593675,13709219078。E-mail:wxs_cq@petrochina.com.cn

彼此接触紧密,因此此类孔隙也不多。

(3) 裂缝

储层中有效裂缝主要为构造缝和溶蚀缝,裂缝密度在 0.25~71.43 条/m 之间。

构造裂缝:灰岩受构造应力作用而形成的裂缝,太原组中常见。裂缝宽窄长短不等,垂直或斜交层面,有的成组出现。镜下多见 2~5 μm 宽裂缝,延伸数厘米至十几厘米,绝大部分被充填,仅少数开启或半开启。裂缝面孔率 0.2%~0.5%。

溶蚀缝:对已存在的构造缝、缝合线、收缩缝经淡水淋滤作用改造所形成的裂缝。构造缝和缝合线经改造后所形成的溶蚀缝宽度和长度都较大。由收缩缝改造而成的溶蚀缝窄而短,仅限于层内。太原组灰岩中的大多数裂缝属于此类。

二、成岩作用

1. 成岩作用演化

盆地东部太原组碳酸盐岩的成岩作用主要发生在同生期和成岩早期,晚期由于岩石固结后孔隙少,孔隙水流动困难,成岩作用较弱。成岩作用共生序列总结于图 1。

| 作用或自生矿物类型 | 同生期 | 成岩早期 | 成岩晚期 |
|-----------|-----|-------|-------|
| 机械压实作用 | —— | —— | —— |
| 化学压实作用 | | | —— |
| 重结晶作用 | | —— | —— |
| 硅质 | | —— | |
| 黄铁矿 | | ----- | |
| 菱铁矿 | | ----- | |
| 石膏 | | | ----- |
| 白云石化 | | ----- | |
| 溶蚀作用 | —— | ----- | |
| 岩溶作用 | —— | —— | |
| 胶结作用 | —— | ----- | |

图 1 成岩作用演化序列示意图

成岩作用类型包括压实作用、重结晶作用、交代作用、胶结作用、溶蚀作用和岩溶作用,其中压实作用和胶结作用是主要的破坏性成岩作用,溶蚀作用和岩溶作用是主要的建设性成岩作用。

2. 古岩溶作用

太原组是否存在古岩溶现象是近几年研究中普遍关注的一个问题,本次研究在岩心中发现了相当

数量的岩溶角砾岩以及溶蚀孔、洞、缝,并对灰岩方解石的碳氧同位素进行了分析,确定了古岩溶的存在。

太原组灰岩形成于陆表海环境,海进海退频繁,海退时碳酸盐暴露于地表,不饱和碳酸盐的大气淡水渗透进入碳酸盐沉积物时,在大气水溶解作用下形成古岩溶,产生一定规模的溶蚀孔、洞、缝。太原组沉积物暴露的时间较短,因此,古岩溶的规模也相对较小。

(1) 岩溶角砾岩

岩溶角砾岩是由原始沉积的碳酸盐岩经岩溶作用改造而形成的。按 Loucks (1999) 的成因分类,太原组存在 3 种类型的岩溶角砾岩,即裂缝角砾岩、镶嵌角砾岩和紊乱角砾岩,其中镶嵌角砾岩最为常见。

太原组岩溶角砾岩厚度小,角砾大小 0.5~15 cm,为次圆状。主要形成于同生期和成岩早期沉积物尚未固结时,由于沉积物露出水面的时间短,只能形成规模不大的溶洞,因而产生的岩溶角砾岩厚度不大,延伸有限,角砾的直径较小。角砾产生后,继续接受大气淡水淋滤,变为次圆状。

(2) 碳氧同位素特征

碳氧同位素是判断成岩环境的一个重要地化指标,太原组灰岩方解石的 $\delta^{13}\text{C}$ 在 -2.5‰ ~ 7.2‰ PDB 之间,平均值为 1.8‰ ; $\delta^{18}\text{O}$ 在 -14.6‰ ~ -7.8‰ PDB 之间,平均值为 -11.9‰ ;方解石充填物与泥晶基质碳氧同位素值无明显差别(图 2)。

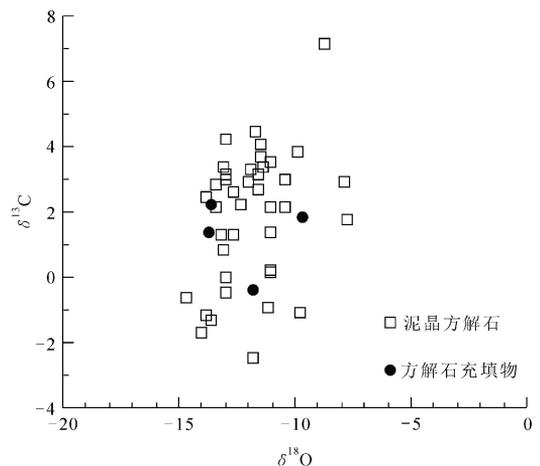


图 2 方解石 $\delta^{18}\text{O}$ 与 $\delta^{13}\text{C}$ 关系图

根据 Lohmann 对大量海相碳酸盐碳和氧同位素的统计,二叠纪方解石的 $\delta^{13}\text{C}$ 和 $\delta^{18}\text{O}$ 平均值分别是 4.3‰ 、 -2.5‰ ,这种估算是在考虑和排除成岩作用影响之后作出的。鄂尔多斯盆地太原组方解石的

$\delta^{13}\text{C}$ 的平均值低于 Lohmann 统计的值,说明碳酸盐沉积物在一定程度上受到了有机来源的 CO_2 影响。方解石的 $\delta^{18}\text{O}$ 值也明显低于 Lohmann 统计的值,其原因是淡水的同位素值一般比海水轻,由于淡水对太原组进行了大强度和长期淋滤,使太原组灰岩的 $\delta^{18}\text{O}$ 值降低。淡水淋滤为碳酸盐的溶解提供了有利条件。

三、储集岩的物性及孔隙结构特征

1. 物性特征

太原组灰岩以特低孔渗为特征,灰岩的孔隙度在 0.1%~8.5% 之间,一般有效储层孔隙度为 2%~4%,大部分灰岩致密无孔。渗透率在 $0.004 \times 10^{-3} \sim 0.31 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 之间,有效储层渗透率为 $0.01 \times 10^{-3} \sim 0.3 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$,而在裂缝发育段渗透率可达到 $8.9 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 。

2. 孔隙结构特征

太原组灰岩孔隙结构普遍较差,非均质性较强。根据其结构特征分为三大类:溶孔型、裂隙—溶孔型、裂隙型。

(1)溶孔型:主要分布在岩溶作用区次生溶孔发育的层段。如麒 2 井,其孔隙度可达 8.5%,渗透率 $0.31 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$;最大进汞饱和度为 91.3%,饱和度中值压力和中值半径分别为 2.098 MPa 与 $0.35 \mu\text{m}$;压汞曲线具有明显的平台段,显示出较好的孔隙结构特征。

(2)裂隙—溶孔型:主要分布在岩溶作用相对较弱的地区。如榆 36 井,孔隙结构较差,压汞曲线平

台段不明显,其孔隙度为 6.9%,基质渗透率较低,仅 $0.078 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$,由于微裂隙的发育,对储层有一定的改善。

(3)裂隙型:主要分布在微裂隙较发育的地区,压汞曲线成直立状,孔隙度 0.9%,基质渗透率仅 $0.004 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$,反映出灰岩基质的孔隙结构比较差。

四、结 论

(1)太原组灰岩以生物碎屑泥晶灰岩或含生物碎屑泥晶灰岩为主,压实作用、胶结作用强烈,原生孔隙不发育。

(2)岩溶角砾岩,溶蚀孔、洞、缝,低的碳氧同位素值证明了古岩溶作用的存在。灰岩沉积之后由于海平面的变化可暴露于地表,接受大气淡水淋滤,古岩溶作用发育,在局部形成以溶蚀孔隙为主的储层。

(3)太原组灰岩是相对较差的储集岩或非储集岩,储集岩以特低孔渗为特征。溶蚀孔、缝是最重要的储集空间。古岩溶和裂缝的发育有利于有效储层的形成。

参 考 文 献

- 1 杨俊杰,裴锡古.中国天然气地质学(卷四).北京:石油工业出版社,1996
- 2 王宝清,徐论勋,李建华,张晓宇.古岩溶与储层研究.北京:石油工业出版社,1995
- 3 王宝清.山西省柳林奥陶系古岩溶顶部方解石充填物.地质论评,1995;41:473~479
- 4 N P 詹姆斯,P W 肖凯.古岩溶(中译本).北京:石油工业出版社,1992
- 5 J D 米利曼.现代沉积碳酸盐.见:海洋碳酸盐(中译本).北京:地质出版社,1978
- 6 Loucks R G. Paleocave carbonate reservoirs: origins, burial-depth modifications, spatial complexity, and reservoir implications. AAPG Bulletin, 1999;83:1795—1834

(收稿日期 2005-02-19 编辑 黄君权)

表 1 鄂尔多斯盆地东部二叠系太原组灰岩储层典型孔隙结构参数表

| 类 型 | 溶孔型 | 裂隙—溶孔型 | 裂隙型 |
|--------------------------------|---------------|----------------|---------------|
| 代表样品 (井号/深度 m) | 麒 2 井/2568.73 | 榆 36 井/3034.36 | 米 3 井/2338.00 |
| 孔隙度(%) | 8.5000 | 6.9000 | 0.9000 |
| 渗透率($10^{-3} \mu\text{m}^2$) | 0.3080 | 0.0780 | 0.0040 |
| 分选系数 | 1.3537 | 4.0626 | 1.4346 |
| 变异系数 | 0.1356 | 0.6297 | 2.6463 |
| 排驱压力(MPa) | 0.7165 | 0.2917 | / |
| 中值半径(μm) | 0.3503 | 0.0294 | / |
| 最大进汞饱和度 (%) | 91.3246 | 56.1317 | 11.7589 |