

文章编号: 1009-3850(2009)02-0066-05

鄂尔多斯盆地靖边气田北部马五₄ 亚段储层特征

董少峰¹, 陈洪德¹, 赵俊兴¹, 高 星¹, 黄克献²

(1. 成都理工大学 沉积地质研究院, 四川 成都 610059; 2. 中石化 中原油气田分公司 采油一厂, 河南 濮阳 457172)

摘要: 本文根据岩心和铸体薄片观察与储层物性分析, 系统研究了鄂尔多斯盆地靖边气田北部马五₄ 亚段的储层特征。结果表明: 马五₄ 亚段储集空间以晶间孔、溶蚀孔洞和微裂缝为主, 为典型的低孔低渗型储层; 溶蚀作用对储层的发育具有决定性作用。根据储层物性和产量等参数, 将马五₄ 亚段划分为 4 类储层, 其中 I、II 类为优质储层, 主要分布在研究区西部和北部。

关键词: 鄂尔多斯盆地; 马五₄ 亚段; 储层特征; 物性
中图分类号: TE122.2⁺³ 文献标识码: A

据现有资料, 鄂尔多斯盆地中部气田下古生界已探明天然气地质资源量约 $3048.06 \times 10^8 \text{m}^3$ ^[1, 2], 主要集中在奥陶系顶部的风化壳岩溶体系^[3, 4], 产气层位主要为马五₃ 和马五₂ 亚段, 而古风化壳下的地层储层特征尚有待进一步研究。随着靖边气田产能的日益递减, 储层研究已成为靖边地区油气勘探开发的重要内容。基于此, 本文通过岩心、薄片的观察和多种测试资料的分析, 对马五₄ 亚段储层的岩石学、储集物性及其影响因素进行系统综合研究和评价。

1 储层岩性和储集空间类型

研究区位于鄂尔多斯盆地靖边气田北部, 东临伊陕斜坡, 北接依盟古陆, 南靠庆阳古隆起, 西接天环坳陷(图 1)。十多年的勘探实践表明, 鄂尔多斯盆地下古生界马家沟组是重要的油气勘探层位。

1.1 储层岩石学特征

奥陶系马家沟组马五₄ 亚段岩石类型多样, 储集性能也有较大的差异。通过对研究区 40 多口钻井岩心的观察和薄片鉴定, 白云岩以其孔隙发育而

成为长庆气田的主要储集层, 主要为粉微晶白云岩、溶蚀角砾白云岩和泥微晶白云岩。

1. 粉微晶白云岩

该类白云岩晶体介于 $30 \sim 100 \mu\text{m}$ 之间, 结晶程度较好, 常呈镶嵌状, 由泥晶白云岩经重结晶白云岩化形成。常发育一定数量的晶间孔和岩溶缝, 储集性能良好(图版 1-1)。

2 溶蚀角砾白云岩

为由膏溶、岩溶作用而形成的次生角砾岩, 角砾大小悬殊, 一般为毫米级至厘米级, 岩石中发育砾间孔、洞和网状裂缝, 弥漫性孔隙较多, 储集性能中等(图版 1-2)。

3 泥微晶白云岩

是研究区分布最广的一种岩石类型, 在马家沟组各亚段中均有分布, 晶体通常小于 $30 \mu\text{m}$, 局部发育溶蚀孔洞、晶间孔和裂缝, 但多被方解石充填或半充填, 孔隙度一般小于 2%, 储集性能差(图版 1-3)。

1.2 储层的孔隙类型

根据野外岩心观察、铸体薄片鉴定及扫描电镜分析, 研究区内马五₄ 亚段储集空间类型以鸟眼孔、

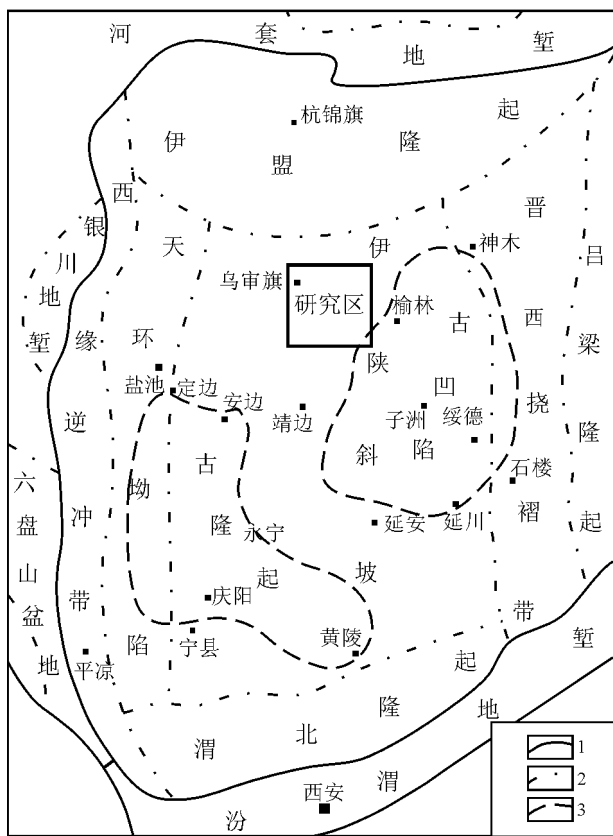


图 1 研究区位置图 (据张吉森等, 1995, 略作修改)

1 盆地分界线; 2 单元分界线; 3 古地貌界线

Fig. 1 Location of the study area (modified from Zhang Jisen et al., 1995)

1= basin boundary; 2= tectonic boundary; 3= paleogeographic boundary

晶间孔、溶蚀孔洞及微裂缝为主。

1. 鸟眼孔

出现在泥晶灰岩及泥晶白云岩中, 由于干收缩形成的孔隙及藻席腐烂形成的气泡被亮晶方解石或石膏充填形成。有些鸟眼孔较大, 在岩心表面肉眼可见, 直径1~2mm左右, 呈蜂窝状分布。多被亮晶方解石或石膏充填(图版1-4), 对储层贡献不大。

2 晶间孔

主要发育于溶蚀孔洞的充填物及细粉晶白云岩中, 孔隙大小明显受晶体控制, 显微镜下多呈不规则形和多边形, 边缘较平直, 孔径一般在 $5 \sim 50 \mu\text{m}$ 之间, 一般未充填或充填少量的泥质。根据铸体薄片的显微分析统计, 晶间孔的出现比率达 40.9%, 其面孔率最高达 10% (图版 15), 最低为 1% 左右, 平均为 2.77%。部分晶间孔常伴随一些溶孔出现, 孔隙之间连通性较好, 为研究区主要的储集空间类型之

→ 9

3. 溶蚀孔洞

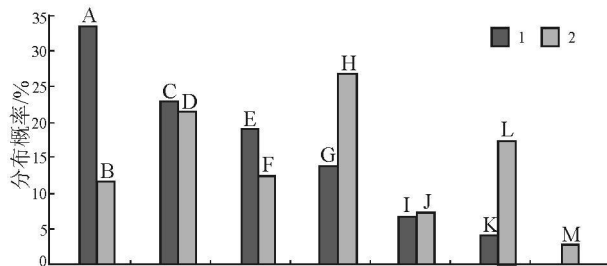
主要为含硬石膏结核的粉晶白云岩被溶蚀后形成的大小不等、形态各异的孔隙,薄片下呈不规则状分布,面孔率最大可达4%,部分溶孔发育一些溶蚀缝与外界相连(图版1-6),极大的改善了储层的孔渗能力。

4. 裂缝

包括张开缝、收缩缝和溶蚀缝等(图版 1-7、1-8),在白云岩中分布极为普遍,呈网状或树枝状分布,宽度一般为 $0.1\sim 2\text{mm}$,多数未被充填,对改善储层孔隙渗透性作用很大。

2 物性特征

研究区马五₁亚段属于典型的低孔低渗型储层。根据42口钻井上千个岩心样品孔隙度和渗透率分析数据统计,马五₁储层的孔隙度介于0.22%~15.91%之间,平均为4.015%,其中孔隙度<4%的约占样品数的56.23%;渗透率介于 $(0.0013\sim 67.216)\times 10^{-3}\mu\text{m}^2$ 之间,平均为 $1.518\times 10^{-3}\mu\text{m}^2$ (图2)。

图 2 马五₁亚段岩心样品孔隙度、渗透率分布直方图

1. 孔隙度 /%, N=624 2 渗透率 $/\times^{-3}\mu\text{m}^2$, N=531

Fig. 2. Bar charts showing the distribution of the porosity and permeability in the core samples from the Ma5₄ carbonate reservoirs.

1. Porosity (%), N= 624 2. Permeability ($\times 10^{-3}$
 $\mu \text{ m}^2$), N=531

研究表明,靖边气田北部大部分储层的孔渗相关性较好,尤其是孔隙度大于5%的样品,呈正相关性,即随着孔隙度的增加,渗透率总体增大,反映了典型的孔隙型储层的特征,在孔隙度小于5%的样品中,孔隙度与渗透率的相关性较差,表现为孔隙度增加幅度不大,渗透率却成倍增大,或孔隙度明显增大但渗透率则基本没有变化(图3)。

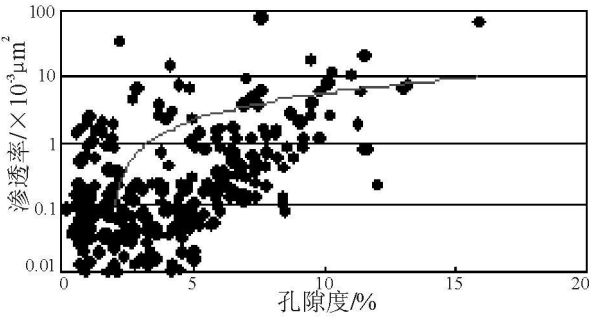


图 3 马五₄亚段岩心样品渗透率与孔隙率关系图
Fig 3 Porosity vs Permeability diagram for the cores from the Ma₅₄ carbonate reservoirs

3 影响储层的因素

影响马五₄亚段储层的因素有沉积相、成岩后生作用及构造作用等,其中以成岩后生作用中的溶蚀作用最为重要,它对储层的储集性能起决定性的作用。

3.1 沉积相

沉积相在马五₄储层的形成过程中有着重要的作用,决定了沉积环境范围内的岩石类型。研究区整体为潮上带—潮间带沉积环境,自西北向东南方向泥质含量减少,白云质、灰质含量逐渐增多,依次发育潮上泥云坪、潮上云坪、潮上灰云坪。根据不同微相物性统计表明,潮上云坪和潮上灰云坪为最有利储层发育的微相,其它相带零星出现储层物性发育较好的区域。

3.2 构造作用

加里东末期,华北地台整体抬升,遭受长达 1.5 亿年的风化剥蚀,后又经燕山、喜山运动形成东隆西凹的区域性大单斜,发育一系列雁列式鼻状构造并产生少量的构造裂缝。这些构造裂缝多数未被充

填,可增加溶蚀孔洞之间的连通性。

3.3 成岩作用

研究区成岩作用类型多样,主要有压实、压溶作用、溶蚀作用、白云石化作用、重结晶作用等。总体而言,准同生期的白云岩化作用虽未形成有利孔隙,但促进了后期溶蚀作用的进行;重结晶作用对提高储层的性能贡献不大;压实作用为破坏性成岩作用,不利于储层的发育;溶蚀作用对本区储层的发育最为有利。

4 储层综合评价

根据岩性、孔隙度、渗透率、压汞曲线特征、有效地层厚度及无阻流量等 5 项参数对研究区马五₄亚段进行了储层评价,将其划分成四类储层(表 1)。

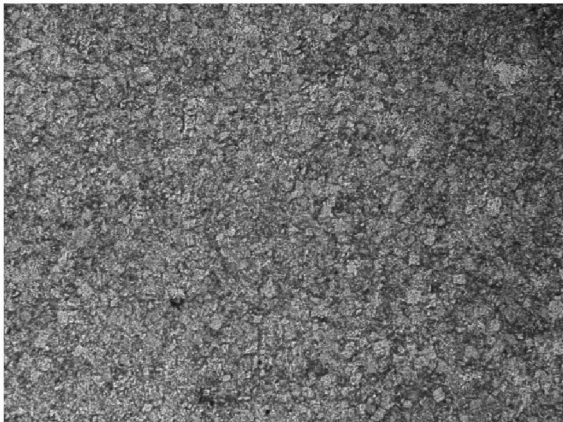
I 类:岩性为微粉晶白云岩和含灰白云岩,因受到表生期和埋藏期溶蚀作用的改造,去膏化、去白云石化发育,溶蚀缝、溶孔、晶间孔发育,孔隙度大于 5%,渗透率大于 $0.3 \times 10^{-3} \mu m^2$,有效地层厚度大于 2m;无阻流量大于 $10 \times 10^4 m^3/d$ 储集性能良好,为研究区内最好的储层。

II 类:岩性主要为微粉晶白云岩和具残余颗粒的白云岩,储集空间为去膏化作用、溶蚀作用形成的晶间溶孔和溶蚀裂缝,孔隙度介于 3%~5%,渗透率在 $(0.1 \sim 0.30) \times 10^{-3} \mu m^2$ 之间,有效地层厚度大于 1m;无阻流量为 $(5 \sim 10) \times 10^4 m^3/d$ 具有较好的储集性,属中等储层。

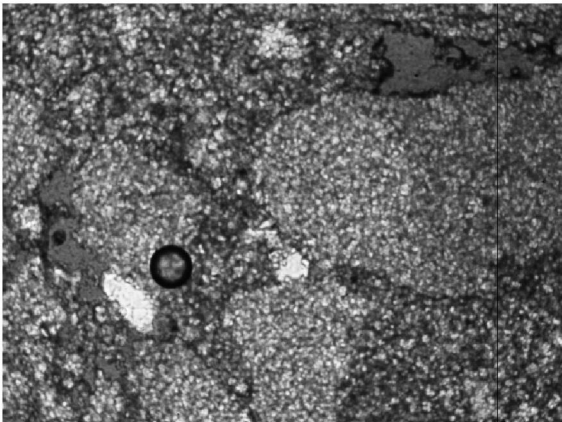
III 类:岩性主要为泥粉晶白云岩、角砾状白云岩、粗晶灰岩和膏质白云岩,受岩溶作用相对较弱,主要发育裂缝、铸模孔,孔隙度一般为 3%~5%,渗透率介于 $(0.1 \sim 0.05) \times 10^{-3} \mu m^2$ 之间;有效地层厚度小于 1m;无阻流量小于 $5 \times 10^4 m^3/d$ 为中等差的储层。

表 1 靖边气田北部马五₄亚段碳酸盐岩储层分类
Table 1 Classification of the Ma₅₄ carbonate reservoirs

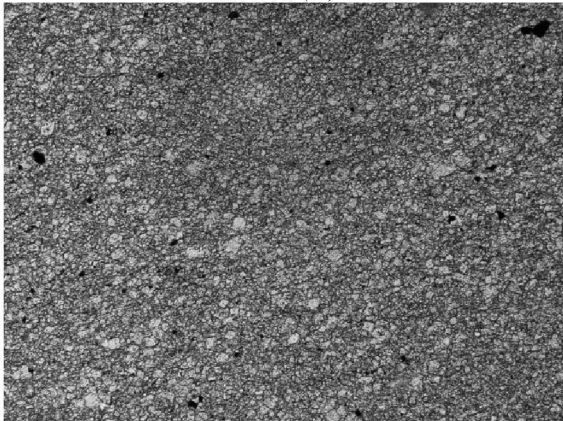
类型	I	II	III	IV
岩性	微粉晶白云岩、含灰白云岩	微粉晶白云岩、具残余颗粒白云岩	泥粉晶白云岩、角砾白云岩、灰岩和膏质白云岩	致密白云岩、灰岩及膏岩
孔隙度 $\varphi/\%$	>5	$3 \sim 5$	$3 \sim 5$	<3
渗透率 $K/(\times 10^{-3} \mu m^2)$	>0.3	$0.1 \sim 0.3$	$0.1 \sim 0.05$	<0.05
压汞曲线	I 型	II 型	III 型	IV 型
无阻流量 $/(\times 10^4 m^3/d)$	>10	$5 \sim 10$	<5	<2
有效厚度 /m	>2	>1	<1	<1
储层综合评价	好	较好	中差	最差



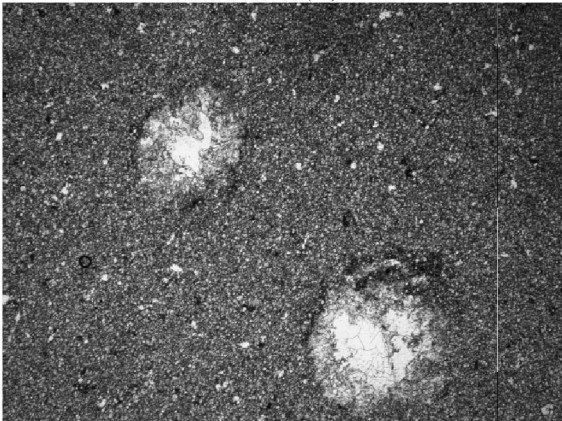
1-1 粉-微晶白云岩 (一)×10 陕243



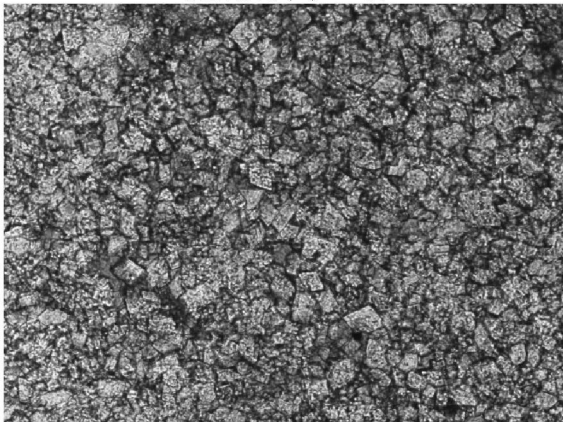
1-2 岩溶角砾白云岩 (一)×10 陕233



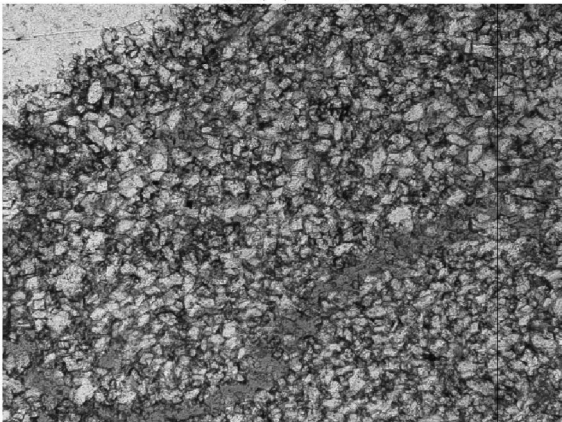
1-3 泥晶白云岩 (一)×10 陕242



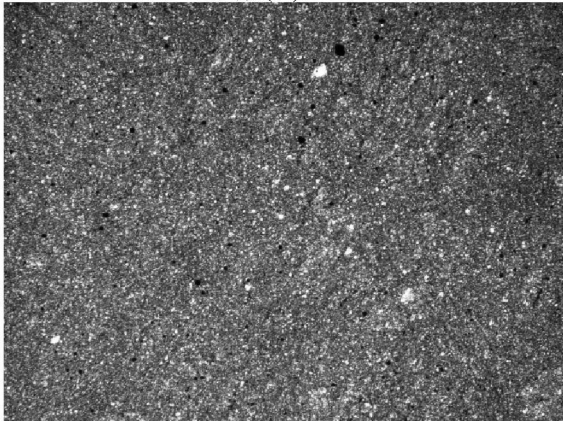
1-4 鸟眼 (一)×40 陕169



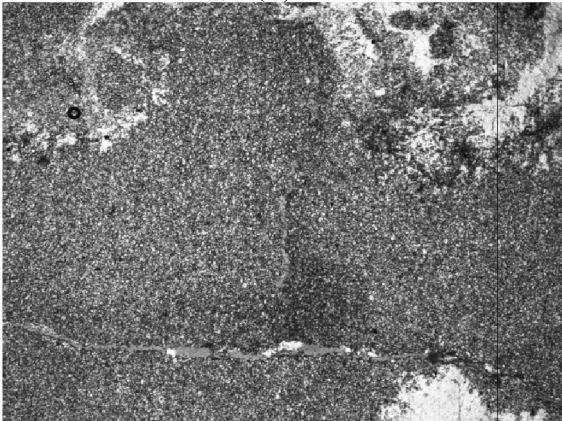
1-5 晶间孔 (一)×20 陕148



1-6 溶缝 (一)×10 陕146



1-7 张开缝 (一)×40 陕189



1-8 溶缝 (一)×4 统14

IV类:岩性主要为致密的白云岩、灰岩及膏岩,孔隙度小于3%;渗透率小于 $0.05\times 10^{-3}\mu\text{m}^2$;有效地层厚度小于1m;无阻流量小于 $2\times 10^4\text{m}^3/\text{d}$;储集空间主要为微孔,多被后期的泥质、石英、白云岩等充填,形成致密微孔型储集岩层,储集性能相对较差,一般不构成储集岩。

研究表明,优质储层(I、II类)主要位于研究区西部,呈狭长状分布,北部也有零星分布,但较为局限。主要是因为该地区沉积时处于潮上带环境,干旱气候和蒸发环境形成了大量准同生白云岩、含膏白云岩,在暴露期经大气淡水选择性淋滤溶蚀形成很多膏模孔,后期的构造沉降形成了少量的构造裂缝;在埋藏期,上覆煤系地层酸性水以及压释水溶蚀后期充填孔隙白云石、方解石,形成大量的晶间、晶内溶蚀孔,从而构成孔(洞)缝网络,增加了储集空间,极大地改善了储层的孔隙度和渗透率,从而形成了研究区内的优质储层。

5 结 论

- (1)研究区马五₄亚段的岩石类型多样,储集性能多样,其中粉微晶白云岩是最有利的储集岩层。
- (2)马五₄亚段储层具有典型的低孔低渗特征,

储层孔渗相关性较好,主要表现为裂缝孔隙(洞)型储层的特征。储集空间以溶蚀孔(洞)、缝和晶间孔为主,表生成岩期和埋藏成岩期溶蚀形成的孔、洞、缝及构造裂隙的发育决定了能否形成良好储层,后期的构造裂缝更是改善了储、渗系统。

(3)压实压溶作用不利于孔隙的发育,溶蚀作用最有利于储层的发育。

(4)根据物性特征并结合产量等参数,对马五₄亚段储层进行综合评价,划分出四类储层,其中的优质储层(I、II类)主要分布于研究区的西部和北部。

参考文献:

[1] 何自新,郑聪斌,陈安宁,等.长庆气田奥陶系古沟槽展布及其对气藏的控制[J].石油学报,2001,22(4):34-38

[2] 何自新,郑聪斌,王彩丽,等.鄂尔多斯盆地靖边气田的发现与勘探开发[J].海相油气地质,2005,10(2):37-44

[3] 郑聪斌,翼小林,贾疏源.陕甘宁盆地中部奥陶系风化壳古岩溶发育特征[J].中国岩溶,1995,14(3):280-288

[4] 郑聪斌,王飞雁,贾疏源.陕甘宁盆地中部奥陶系风化壳古岩溶岩及岩溶相模式[J].中国岩溶,1997,16(4):351-361

Characteristics of the Ma5₄¹ carbonate reservoirs in northern Jingbian Gas Field, Ordos basin

DONG Shao-feng, CHEN Hong-de, ZHAO Jun-xing, GAO Xing, HUANG Ke-xian
(1. Institute of Sedimentary Geology, Chengdu University of Technology, Chengdu 610059, Sichuan, China; 2. Zhongyuan Oil Field Company, SINOPEC, Puyang 457172, Henan, China)

Abstract: The Ma5₄¹ carbonate reservoirs in northern Jingbian Gas Field, Ordos Basin are explored in detail on the basis of cores, cast sections and physical properties of the carbonate reservoirs. These carbonate reservoirs contain intercrystal pores, solution openings and microcracks, indicating a kind of low-porosity and low-permeability reservoirs. The solution is thought to be decisive of the reservoir development. The Ma5₄¹ carbonate reservoirs may be classified into four categories, of which Types I and II are assigned to the high-quality reservoirs in the western and northern parts of the study area.

Key words: Ordos Basin; Ma5₄¹; carbonate reservoirs; physical property