

文章编号: 0253-9985(2009)03-0350-07

鄂尔多斯盆地中部气田中奥陶统马家沟组 岩溶型储层特征

何江, 方少仙, 侯方浩, 杨西燕

(西南石油大学, 四川 成都 610500)

摘要: 鄂尔多斯盆地中部气田目前累计探明地质储量 $3\,377.3 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。其中, 中奥陶统马家沟组碳酸盐岩油气藏储量占总探明储量的 80% 以上, 而岩溶型储层贡献最大。在对大量起控制作用的钻井岩心进行系统、详细的描述和研究的基础上, 结合镜下铸体薄片研究, 提出了研究区奥陶系岩溶作用的形成环境、成因类型、作用机理及岩溶型储层的特征。特定环境中沉积的具含量不一晶间孔隙的粗粉晶白云岩和含硬石膏结核白云岩是储层发育的物质基础, 表生成岩期和埋藏成岩期岩溶作用所形成的次生孔、缝、洞的发育和保存程度是能否形成良好储层的关键, 埋藏成岩期岩溶作用和构造裂隙主要在表生成岩裸露期形成的孔隙系统上叠加发育。储集类型可细分为裂缝-溶孔(洞)型, 裂缝-孔隙-溶孔型和孔隙型, 其中裂缝-溶孔(洞)型对储层贡献最大。优质储层纵向上主要分布在硬石膏结核粉晶白云岩发育的马五₁³、马五₁² 小层, 平面上分布在中部的硬石膏结核盆缘坪相带。

关键词: 岩溶; 储集空间; 储层类型; 马家沟组; 鄂尔多斯盆地

中图分类号: TE122.2

文献标识码: A

Characteristics of karst reservoirs in the Middle Ordovician Majiagou Formation of gas fields in the central Ordos Basin

He Jiang, Fang Shaoxian, Hou Fanghao, Yang Xiyang

(Southwest Petroleum University, Chengdu, Sichuan 610500, China)

Abstract The accumulative proved geologic reserves of the gas fields in central Ordos Basin is about 337.73 billion cubic meters, of which more than 80% comes from carbonate reservoirs (mostly the karst reservoirs) in the Majiagou Formation of the Middle Ordovician. On the basis of a systematic and detailed description and study of the key core samples as well as the microscopic observation of cast thin sections, the authors of the paper put forward the formation environment, genetic types, mechanisms of the Ordovician karstification and the karstic reservoir characteristics. They also suggest that coarse medium crystalline dolomite with intercrystalline pores and the nodular dolomite with anhydrite deposited in particular environment are the material bases of reservoir development, while the development and preservation of the secondary pores, the fractures and the vugs formed by the karstification in the epidiagenetic stages and burial diagenesis stages are crucial for the formation of a good reservoir. The karstification in the burial diagenesis stages and structural fissures mainly overprinted on the pore system formed in the epidiagenetic stage. The reservoirs can be further classified into the fracture-dissolved pore (vug) type, the fracture-pore-dissolved pore type and the pore type, among which the fracture-dissolved pore (vug) type is predominant. Quality reservoirs are mainly distributed vertically in the M₁³ and M₁² submembers with well-developed anhydrite nodular medium crystalline dolomite and horizontally in the central basin marginal flat facies belt.

收稿日期: 2008-12-23。

第一作者简介: 何江 (1981-), 男, 讲师, 沉积岩石学和储层地质学。

基金项目: 四川省重点学科建设项目 (SZD0414)。

with anhydrite nodules

Key words karst reservoir space; reservoir type; Majiagou Formation; Ordos Basin

油气勘探成果证明, 世界上许多含油气盆地均发育有碳酸盐岩岩溶型含油气层(体)。据统计, 世界油气的 20% ~ 30% 与不整合面有关, 且主要与古岩溶有关, 如美国德克萨斯州西部中陆盆地下奥陶统顶部的岩溶储层和二叠系 San Andres 组中的 Yates 油田、墨西哥白垩系的 Golden Lane 大油田、阿拉伯迪拜白垩系阿尔都-森诺曼组的礁灰岩岩溶储层等等^[1~4]。碳酸盐岩中与古岩溶有关的油气储层是近几十年中石油地质学家十分关注的问题。

鄂尔多斯盆地是我国第二大含气盆地, 气藏主要发育在奥陶系顶部古风化壳内。在前人研究^[5~14]的基础上, 笔者以研究区古岩溶形成环境、成因划分为基础, 以岩溶作用机理式探讨为主线, 系统分析了岩溶作用产生的孔隙类型、组合关系和储集类型, 讨论了优质岩溶型储层的分布特征。

1 古岩溶发育地质背景

鄂尔多斯盆地中部赋存有中奥陶统马家沟组的碳酸盐岩储层, 面积约 $4 \times 10^4 \text{ km}^2$, 即中部气田(图 1)。马家沟组上部的马五₅-马五₁亚段是该

气田的主力产层, 每个亚段划分为 2~4 个小层, 为本文研究的重点(表 1)。

早古生代, 中奥陶世马家沟期因西部贺兰裂谷沉降扩张引起的均衡作用, 导致盆地西缘裂谷肩部翘升, 发育一醒目的正向构造单元, 即中央古隆起。相应地在其东侧因均衡调节而伴生一边侧拗陷, 即陕北拗陷(图 1, 图 2)。二者相互协调, 在中奥陶世至早石炭世长期并存, 不仅控制了华北海和祁连海在盆地区的海域范围和演变关系, 同时也决定了奥陶纪岩相古地理格局。研究区位于中央古隆起与陕北拗陷的过渡区, 沉积古地貌平坦。马五段沉积期, 在干旱炎热的气候条件下, 该区发育成局限或半局限海环境, 大面积呈现出宽缓的盆缘含硬石膏的白云岩坪与盆缘硬石膏白云岩坪相带。沉积以白云岩为主, 且相当部分为细粉晶白云岩, 少数可达粗粉晶级, 既可含硬石膏结核和柱状晶, 也可为均一的粉晶白云岩。中奥陶世末, 华北地块因晚加里东运动整体抬升, 后经历了 130 余 Ma 的沉积间断, 盆地主体缺失晚奥陶世至早石炭世的沉积。中奥陶统马家沟组顶部经受了长期的岩溶作用, 风化壳及溶蚀孔、洞、缝发育, 伴有印支期和燕山期裂隙, 成为鄂尔多斯盆地地下古生界的主要天然气储、产层。

2 古岩溶类型划分及作用机理

古岩溶按照不同的分类标准可有多种分类方案, 包括按形成时间(早古生代岩溶、晚古生代岩溶)、按发育层位(奥陶系岩溶、石炭系岩溶)、按深度(浅部岩溶、深部岩溶)、按岩性(石灰岩岩溶、白云岩岩溶)、按构造位置(断裂带深循环型岩溶、大型凹陷边缘型岩溶、隐伏向斜翼部岩溶)、按形成岩溶的地质作用(水蚀岩溶、生物岩溶)等等。本文将岩溶作用看作广义的成岩作用, 为碳酸盐岩成岩环境中的一种成岩作用类型。根据奥陶系古岩溶发育的时空关系及古水文地质条件, 将奥陶系古岩溶类型系统归纳为表生成岩期岩溶和埋藏成岩期岩溶两大类。

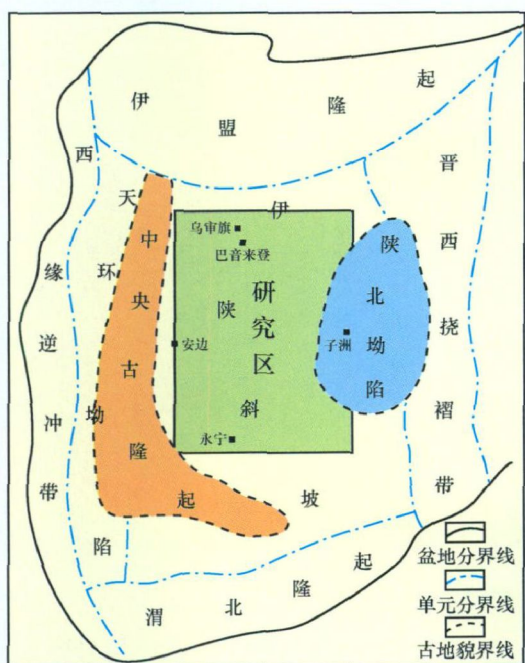


图 1 鄂尔多斯盆地中部气田位置示意图

Fig. 1 Locations of gas fields in central Ordos Basin

表 1 鄂尔多斯盆地中部气田中奥陶统马家沟组马五₁—马五₄亚段岩性及储集性Table 1 Lithology and reservoir properties of the M₅¹ to M₅⁴ sub-members in the Middle Ordovician Majiagou Formation of the gas fields in central Ordos Basin

组	段	亚段	层	现存厚度 /m	岩性	储集性
马家沟	马六			0~17	微晶石灰岩, 生物碎屑微晶石灰岩	差
	马五	马五 ₁	马五 ₁ ¹	0~8	微-细粉晶白云岩, 夹含硬石膏结核粉晶白云岩	较好
			马五 ₁ ²	0~9	含硬石膏结核粉晶白云岩, 以粗粉晶白云岩为主	好
			马五 ₁ ³	0~4	含硬石膏结核粉晶白云岩为主, 夹中、薄层粗粉晶白云岩	好
			马五 ₁ ⁴	0~6	粉晶白云岩与微晶白云岩为主, 夹含硬石膏结核粉晶白云岩; 顶部有 1.5 m 左右岩溶建造岩, 底部有 1 m 左右凝灰岩 (K ₁)	较好
		马五 ₂	马五 ₂ ¹	0~4	微-粉晶白云岩为主, 中、上部夹含硬石膏结核粉晶白云岩; 中部夹 1~2 层中层状岩溶建造岩, 下部在研究区均发育成 1.5 m 左右的岩溶建造岩	较差
			马五 ₂ ²	0~4.5	粉晶白云岩, 中、上部夹含硬石膏结核粉晶白云岩; 有的井中底部见中层凝灰岩 (K ₂)	较好
		马五 ₃	马五 ₃ ¹	5~6	上部为微-粉晶白云岩, 但大多数井中都夹有 1~3 层、总厚 1~1.5 m 的岩溶建造岩; 下部为微-粉晶白云岩, 夹含硬石膏柱状晶或和结核的粉晶白云岩	较差
			马五 ₃ ²	10~12	微晶白云岩, 局部为细粉晶白云岩, 中部可夹少量鸡雏状白云质硬石膏岩, 地层多已发育成岩溶建造岩	差
			马五 ₃ ³	9~10	微晶、细粉晶白云岩为主, 中部有中、厚层状鸡雏状硬石膏岩, 中部大部分已发育成岩溶建造岩	差
		马五 ₄	马五 ₄ ¹	10~14	上部为含硬石膏结核粉晶白云岩夹粗粉晶白云岩和微晶白云岩, 下部细粉晶白云岩夹硬石膏岩, 中部发育 1~1.5 m 岩溶建造岩, 底有 1 m 左右凝灰岩 (K ₃)。	较好
			马五 ₄ ²	13~15	微晶、细粉晶白云岩为主, 中、下部夹含硬石膏结核粉晶白云岩, 上部夹竹叶状白云岩	较差
			马五 ₄ ³	8~14	微晶白云岩, 夹粉晶白云岩为主, 中、上部夹硬石膏岩	差

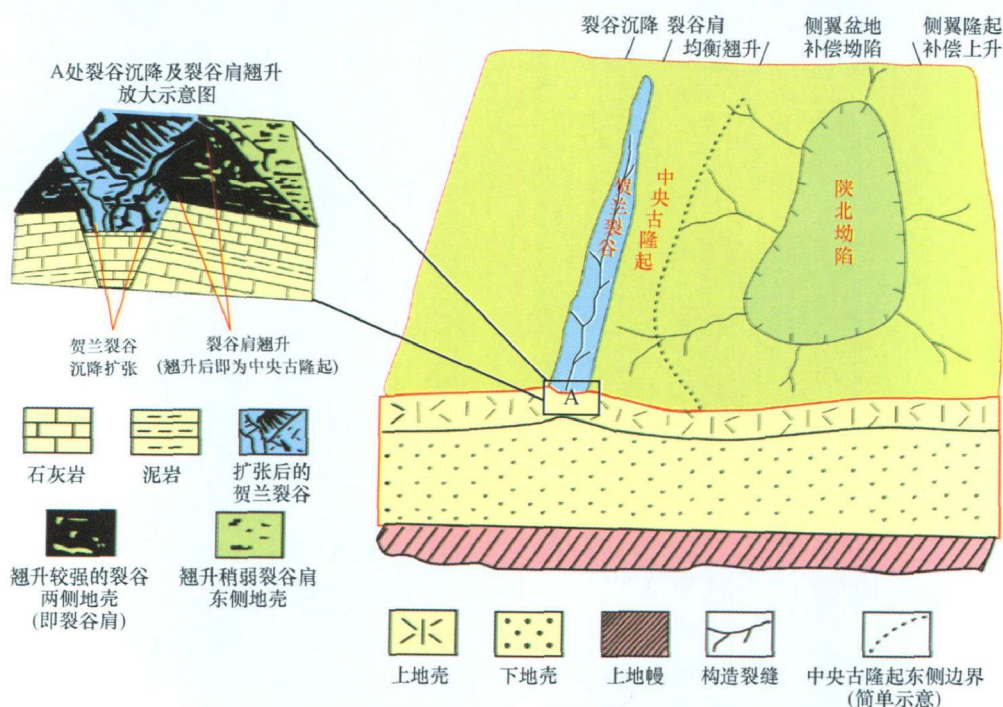


图 2 鄂尔多斯盆地早古生代构造演化

Fig. 2 Tectonic evolution map during the Early Paleozoic in Ordos Basin

表生成岩期岩溶主要发育于加里东中、晚期。华北地块古构造环境由拉张、离散向聚敛、挤压转换,整体抬升经历了 130 余 Ma 的沉积间断,造成中奥陶统顶部的暴露。中部气田位于中奥陶统马家沟组最上部的马五₅—马五₁亚段,该段地层发生了强烈的风化淋滤岩溶作用。风化淋滤作用主要发生在含硬石膏柱状晶和结核的粉晶白云岩中,因为硬石膏的溶解度远比白云岩高,其基岩粉晶白云岩亦多孔。伴随硬石膏结核和柱状晶的溶解和释压,在基岩粉晶白云岩中形成形式多样的裂碎缝及溶孔等,它们与成互层或夹层的粗粉晶白云岩一起形成早期的、也是主要的孔隙网络。

埋藏成岩期岩溶发育于海西早、中期至今。华北地台奥陶系风化壳之上逐渐沉积中石炭统一二叠系地层,马家沟组进入埋藏成岩期。该期可分为两个阶段:中—深埋藏成岩阶段和深成埋藏成岩阶段。前者以上覆石炭系含煤泥质岩在压实过程中不断排出的富含有机质的酸性压释水伴生的岩溶作用为主,后者以不同深度的承压热水岩溶作用为主。埋藏成岩期岩溶作用主要叠加于古岩溶作用形成的孔隙空间中,使得硬石膏结核残余溶模孔再次扩溶,古岩溶形成的孔、缝、洞中充填的含粒间孔的渗流粉砂局部再溶解,也可发生粉晶白云岩的少量溶解现象,改善了原有储层。

3 储集空间类型及特征

岩心和铸体薄片资料揭示,马家沟组马五₅—马五₁亚段中由不同成岩期形成的储、渗空间形式多样,结合古岩溶成因分类及作用机理,可划分为原生期的孔隙、表生成岩期的孔隙、埋藏期的孔隙和裂缝四大类。限于篇幅,每一种类型里只介绍最为重要的。

3.1 原生期的孔隙

研究层段以白云岩为主,而且相当部分为细粉晶,少数可达粗粉晶级,既可以含硬石膏结核和柱状晶,也可以为均一的粉晶白云岩(表 1)。在一部分白云石晶径相对较粗、达到 0.03~0.05 mm 或更粗的粉晶白云岩和部分含硬石膏和柱状晶的粉晶白云岩中,可以发育一些晶间孔隙。尤其在部分不含硬石膏结核和柱状晶的达粗粉晶级的粉

晶白云岩中,最高晶间孔含量可达 8%~10% (图 3a),常成为较优的储集层。

3.2 表生成岩期的孔隙

1) 硬石膏结核溶模孔被半充填后的残余孔隙

硬石膏结核溶模孔早期均有细粉晶级的自形亮晶白云石半充填,大部分仅在溶模孔的下部和中部,成假示底构造。白云石晶体的大小不一,最大的晶径可达 0.3~0.4 mm;其密度亦不一致,一般晶径大的密度较小。溶模孔中残余孔隙可达 60%~70%;也有少部分结核溶模孔中晶径细小,仅 0.2 mm 左右的白云石大量淀出,残余 10%~20% 的溶模孔。绝大部分硬石膏结核溶模孔经细粉晶亮晶白云石半充填后,又有一粒至若干粒自形的自生石英淀出(图 3b)。自生石英透明干净,SD₂含量达 96.57%,一般充填掉溶模孔的 0.1%~20%,少数可达 30% 以上。相当一部分晚期又有方解石再度交代前者并半充填或充填残余溶模孔,甚至在扩溶的结核溶模孔中也被方解石半充填或充填。

硬石膏结核溶模孔经历了多期复杂的、但又不同程度的充填和交代—充填后,剩余的溶模孔隙度为 0~75%。一般方解石交代—充填作用较弱的残余溶模孔是主要的储集空间。

2) 含硬石膏结核粉晶白云岩的裂碎缝和扩溶裂碎缝中,先有粉晶亮晶白云石半充填,后有渗流粉砂半充填的晶间和粒间叠合孔隙

海洋环境中只能沉积出硬石膏(CaSO₄)。硬石膏在溶解过程中必须先转变成(软)石膏(CaSO₄·2H₂O),体积增大 30%,对基(围)岩增压;随着石膏淋溶,又对基(围)岩释压。这样,就使结核周边的基岩发生裂碎,在含硬石膏结核的粉晶白云岩中形成裂碎缝。

大部分裂碎缝可以蜿蜒连贯两个或若干个硬石膏结核溶模孔,特别是硬石膏结核较密集的层段。各个方向的裂碎缝和扩溶裂碎缝将岩石切割为弥散的网格状(图 3c)。当下渗的大气淡水进入裂碎缝时,也必将使裂碎缝发生扩溶,并将所携带的含粒间孔隙的渗流粉砂充填其中。如果裂碎缝中早期已有部分亮晶白云石淀出,当渗流粉砂再进入后,形成两类孔隙的叠加。这类孔隙主要发育在含硬石膏结核的粉晶白云岩内,面孔率 1%~3%;如渗流粉砂中含泥质,则面孔率为 0~1%。

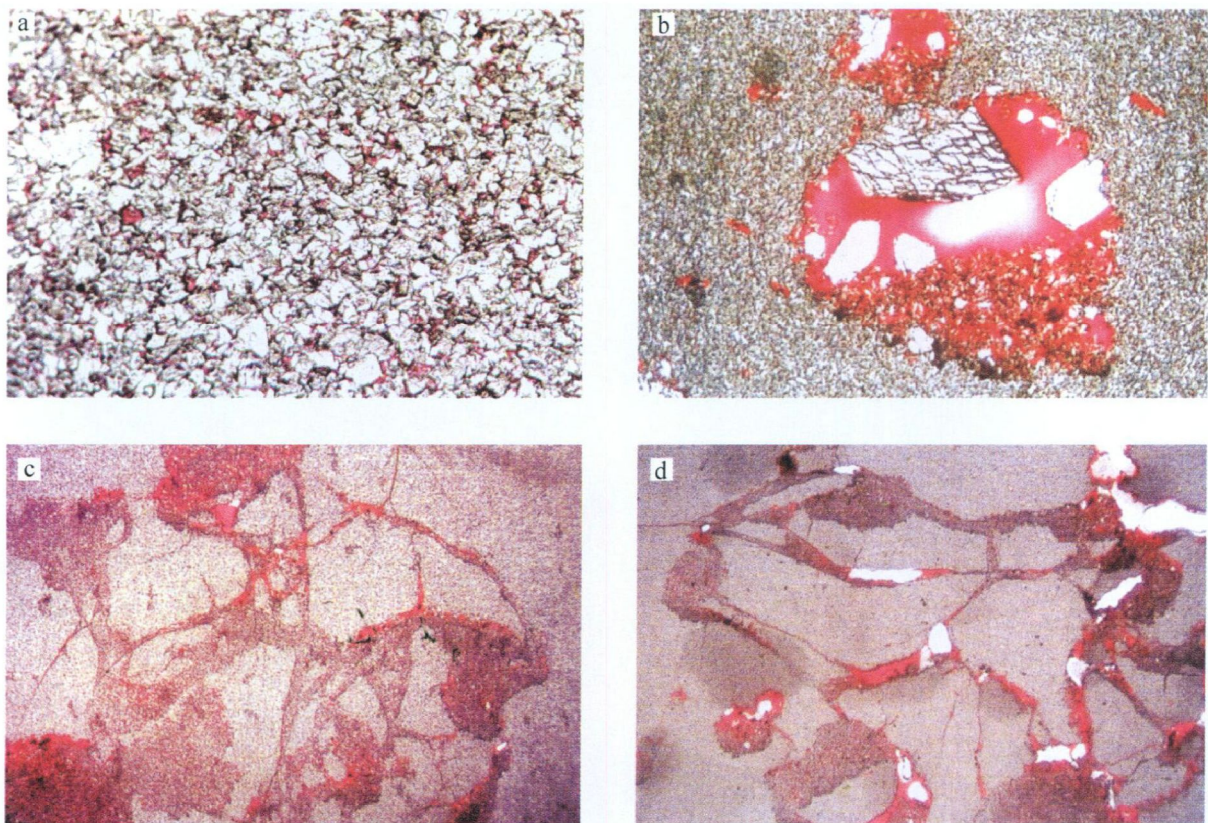


图 3 鄂尔多斯盆地中部气田中奥陶统马家沟组储集空间类型

Fig. 3 Types of reservoir space in the Majiagou Formation of the Middle Ordovician of the gas fields in central Ordos Basin

- a. 粉晶白云岩, 白云石晶径达 0.05~0.08 mm, 半自形镶嵌结构, 含晶间孔约 10%, 陕 201 井;
- b. 硬石膏结核溶模孔由下向上被细粉晶白云石-石英-方解石充填, G42-8 井;
- c. 含硬石膏结核白云岩中网状裂碎缝均被含粒间孔隙的渗流粉砂半充填, G42-8 井;
- d. 含硬石膏结核白云岩中网状裂碎缝被渗流粉砂半充填, 埋藏溶解作用发育在渗流粉砂中, 溶孔中自形石英淀出, G42-8 井

3.3 埋藏成岩期的孔隙

沿硬石膏结核层裂碎缝和溶洞角砾间, 含孔隙渗流粉砂再溶解的孔隙为最常见的埋藏溶解现象 (图 3d)。不含或少含泥质的渗流粉砂具孔隙, 有利于埋藏成岩环境中含二氧化碳和有机酸等孔隙水的渗流, 发生次生溶解。

可以得出如下的结论: 特定环境中沉积的含孔隙的粗粉晶白云岩和含硬石膏结核和/或柱状晶的白云岩是储层发育的物质基础, 而表生成岩期和埋藏成岩期所形成的次生孔、缝、洞及构造裂隙的发育和保存程度是能否形成良好储层的关键。

4 储集岩类及储集类型

马五段储层的主要岩类是含硬石膏结核和/或柱状晶残余溶模孔的细粉晶白云岩 (图 4), 以及质较纯的细粉晶白云岩。发育的裂碎微缝常使

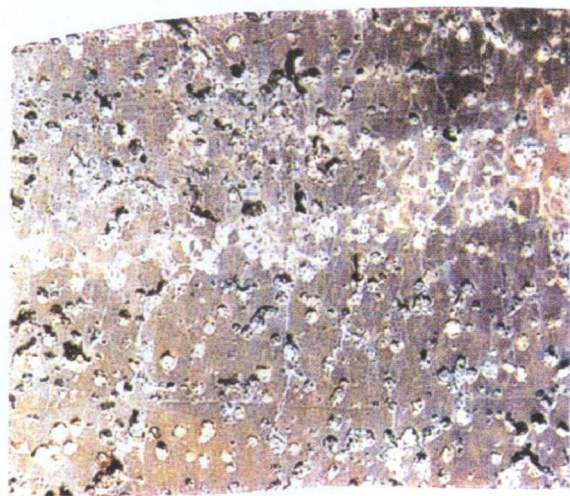


图 4 硬石膏结核溶模孔被半充填

Fig. 4 Half-filled moldic pores in anhydrite crystal (含硬石膏结核粉晶白云岩, 结核溶模孔中、下部被细粉晶亮晶白云石半充填, 溶模孔间发育半充填的裂碎缝, 形成裂缝-溶孔型储层。G10-9 井, 马五₁。)

含硬石膏结核和 咸柱状晶的细粉晶白云岩破碎,溶蚀后局部形成细角砾屑白云岩。此外,还有少数竹叶状砾屑白云岩、亮晶砂砾屑白云岩、中-粗晶屑白云岩、叠层石白云岩等。

在含硬石膏结核细粉晶白云岩及其衍生的细角砾屑白云岩中,结核的含量相差悬殊,变化约 5% ~ 30% 不等。

经漫长的成岩改造过程,除少数薄层尚有硬石膏结核保存外,绝大部分受古岩溶作用的溶蚀变成溶模孔隙。但在后来的成岩过程中,溶模孔又接受多期成岩矿物的充填、沉淀,充填程度差别很大。有的岩石中结核和 咸柱状晶仅被小部分充填或半充填。当结核和 咸柱状晶含量多时,残余溶孔必然多而较大,加之岩石中微裂缝的沟通,常常可形成较好的裂缝-溶孔(洞)型储层。这也是研究区分布最广、最为优质的储层。

在含硬石膏结核和 咸柱状晶的细粉晶白云岩中,以及细角砾屑白云岩的填隙物细粉晶白云石或含孔隙的渗流粉砂中,除了膏模孔外,有时还发育小的晶间孔隙或粒间孔隙。这类孔隙与岩石中的残余溶模孔隙及微裂缝相结合,组成另一种较优的储层,即裂缝-孔隙-溶孔型储层。

上述岩石的硬石膏结核及柱状晶的溶模孔,被亮晶细粉晶白云石和亮晶方解石近全充填后,残余的溶模孔少而小,与岩石微小的晶间孔或粒间孔较为相似,如果同时发育有晶间孔隙或粒间孔隙,可以统称为孔隙型储层;而不含硬石膏结核的细粉晶白云岩也可发育为孔隙型储层。此类储层相对较差。

在系统观察 127 个样品薄片的基础上,统计其孔、渗资料得出:储集空间为裂缝-溶孔型的样品 54 个,平均孔隙度达 4.70%,平均渗透率达

$3.40 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$;裂缝-孔隙-溶孔型样品 42 个,平均孔隙度 3.40%,平均渗透率 $2.80 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$;孔隙型样品 31 个,平均孔隙度 2.59%,平均渗透率达 $1.00 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 。其中,裂缝-溶孔型储集性能最优。

5 优质储层分布

对马家沟组岩溶型储层特征的深入分析显示,最优的储集类型为裂缝-溶孔型;最优质的储集岩为含硬石膏柱状晶和 咸结核的粉晶白云岩,其次为含晶间孔隙的细-粗粉晶白云岩。

纵向上,马五₁³,厚 4 m 左右,岩性以含硬石膏柱状晶和 咸结核的粉晶白云岩为主,含晶间孔隙的细-粗粉晶白云岩成前者的夹层或两者呈逐渐过渡层状产出,共同组成 2~ 3 m 或更厚的储层段(表 1),发育裂缝-溶孔(洞)型或裂缝-孔隙-溶孔型储层,是气田区最好的储集层;较好的储层马五₁²,厚 7 m 左右,仅部分层段为含硬石膏结核粉晶白云岩和粗粉晶白云岩,但厚度也可达 2~ 4 m;而马五₁⁴、马五₂² 和马五₄¹,上述两种岩性在该小层所占的地层比相对较小,储集性能中等偏差;其他小层,岩性以储集性能较差的岩溶角砾岩、细粉晶白云岩为主,仅发育较差孔隙型储层,基本不具备储集性能。物性分析同样表明(表 2),马五₁ 和马五₂ 最好,其次为马五₄;3 个亚段的平均孔隙度值分别为 3.47%,2.61% 和 3.85%,平均渗透率分别为 2.15×10^{-3} 、 1.22×10^{-3} 和 $1.86 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 。

平面上,马家沟组沉积期,研究区处于一个特殊的古地理环境,位于北、西、南三面均向其缓倾斜的(内)陆棚盆地中的盆缘坪环境。马五₁—马五₄ 沉积期为干旱炎热气候条件,在这样一个古地

表 2 鄂尔多斯盆地中部气田中奥陶统马家沟组五段主要储层物性对比

Table 2 Physical property comparison of the main reservoirs in the fifth member of the Middle Ordovician Majagou Formation of the gas fields in central Ordos Basin

层位	孔隙度, %			渗透率 /(10 ⁻³ μm ²)			含气饱和度, %		
	最大值	最小值	平均值	最大值	最小值	平均值	最大值	最小值	平均值
马五 ₁ ¹	9.73	0.66	2.80	12.11	0.003	1.75	71.73	25.15	46.27
马五 ₁ ²	8.04	1.06	3.51	13.33	0.006	2.38	84.73	7.18	54.44
马五 ₁ ³	10.39	0.28	4.31	13.99	0.004	3.16	93.15	40.14	66.97
马五 ₁ ⁴	13.30	0.50	2.79	13.27	0.005	1.18	84.35	29.40	47.68
马五 ₂ ²	6.52	0.66	2.59	10.27	0.004	1.00	73.49	24.24	44.70
马五 ₄ ¹	10.34	0.10	4.20	12.81	0.009	2.10	60.15	22.49	47.39

理环境中, 洋域中含盐度高, 比重大的重卤水必然向研究区东面坳陷盆地汇聚, 甚至发育成膏盐盆地。因此, 在同一沉积时间段内, 即使是研究区东西方向各点上, 或南北方向各点上, 海水的含盐度也是不一样的, 表现在同一小层的沉积微相是不一样的。研究区中部为盆缘坪环境, 含硬石膏结核的细粉晶白云岩发育; 向西, 含盐度减少, 硬石膏结核减少; 向东靠近坳陷盆地, 含盐度增高, 硬石膏结核渐变为膏岩层。因此, 有利的储集岩性在研究区中部最为发育。中部气区平均孔隙度为 3.24%, 平均渗透率为 $2.07 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$; 西部井区平均孔隙度为 3.02%, 平均渗透率为 $1.39 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$; 东部井区平均孔隙度为 3.19%, 平均渗透率为 $1.31 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 。可见, 中部气区物性优于西部和东部井区。

6 结论

1) 经历了中奥陶世末至中石炭世长达 130 余 Ma 的表生成岩裸露期的风化淋溶作用, 在原来即已存在白云石晶间孔的含硬石膏柱状晶和/或结核的粉晶白云岩, 以及粗粉晶白云岩地层中, 发育起大面积的丰富多彩的古岩溶孔、缝、洞。埋藏成岩期岩溶作用和构造裂隙主要在表生成岩裸露期形成的孔隙系统上叠加发育, 最终形成多期叠加的孔隙网络系统。

2) 特定环境中沉积的含孔隙的粗粉晶白云岩和含硬石膏结核和/或柱状晶白云岩是储层发育的物质基础, 而表生成岩期和埋藏成岩期岩溶作用所形成的次生孔、缝、洞及构造裂隙的发育和保存程度是能否形成良好储层的关键。根据储集空间的发育演化关系, 通过孔隙结构分析, 结合储集空间类型, 将研究区储集类型划分为裂缝-溶孔(洞)型、裂缝-孔隙-溶孔型和孔隙型 3 类, 其中裂缝-溶孔(洞)型对储层贡献最大。

3) 储层纵向上主要分布在硬石膏结核粉晶白云岩发育的马五₁、马五₂小层; 平面上分布在中部的硬石膏结核盆缘坪相带。中、东部不同程度发育鸡雏状和层状硬石膏岩、含硬石膏质白云岩、泥质或灰质白云岩, 因此希望较差, 即使有白云岩储层也只呈夹层产出。

参 考 文 献

- 何江, 方少仙, 沈昭国, 等. 鄂尔多斯盆地中部前石炭纪岩溶古地貌恢复 [J]. 海相油气地质, 2007, 12(1): 19~30
- 王庭斌. 中国天然气地质理论进展与勘探战略 [J]. 石油与天然气地质, 2002, 21(1): 1~7
- 钱基. 关于中国油气资源潜力的几个问题 [J]. 石油与天然气地质, 2004, 23(4): 363~369
- Fritz R D, Wilson J L, Yorewicz D A. Paleokarst related hydrocarbon reservoirs [M]. New Orleans SEMP Core Workshop 1993
- 马振芳. 鄂尔多斯盆地中部古风化壳储层特征 [J]. 天然气地球科学, 1994, 5(6): 28~36
- 吴智勇, 郑秀才, 张尚锋, 等. 鄂尔多斯盆地中部马五₄碳酸盐岩的成岩作用 [J]. 江汉石油学院学报, 1995, 17(2): 15~20
- 席胜利, 李振宏, 王欣, 等. 鄂尔多斯盆地奥陶系储层展布及勘探潜力 [J]. 石油与天然气地质, 2006, 27(3): 405~412
- 马永生, 李启明, 关德师, 等. 鄂尔多斯盆地中部气田奥陶系马五₄碳酸盐岩微相特征与储层不均质性研究 [J]. 沉积学报, 1996, 14(1): 22~32
- 郑秀才. 鄂尔多斯盆地中部马五₄亚段成岩作用及储集性能 [J]. 西安工程学院学报, 1996, 18(1): 43~49
- 郑聪斌, 王飞雁, 贾疏源, 等. 陕甘宁盆地中部奥陶系风化壳岩溶岩及岩溶相模式 [J]. 中国岩溶, 1997, 16(4): 351~360
- 陈志远, 马振芳, 张锦泉, 等. 鄂尔多斯盆地中部奥陶系马五₅亚段白云岩成因 [J]. 石油勘探与开发, 1998, 25(6): 20~22
- 李儒峰, 鲍志东. 鄂尔多斯盆地中部马五₁亚段高分辨率层序地层格架中风化成岩模式和储层特征 [J]. 沉积学报, 1999, 17(3): 390~395
- 侯方浩, 方少仙, 董兆雄, 等. 鄂尔多斯盆地中奥陶统马家沟组沉积环境与岩相发育特征 [J]. 沉积学报, 2003, 21(1): 106~112
- 代金友, 何顺利. 鄂尔多斯盆地中部气田奥陶系古地貌研究 [J]. 石油学报, 2005, 21(3): 37~43

(编辑 李 军)