

大牛地气田奥陶系储层成岩作用及孔隙演化特征

李冰毅, 王贵生, 李晓慧

中石化华北分公司第一采气厂, 河南郑州, 450000

大牛地气田下古生界储层位于鄂尔多斯盆地奥陶系顶部古风化壳斜坡上, 主力气层为马家沟组五段(郑聪斌等, 1993; 包洪平等, 2002)。从目前的勘探认识来看, 其白云岩风化壳优质储层的发育主要受控与成岩作用。通过对成岩作用类型及成岩特征的研究, 分析储层的孔隙演化过程, 以期为本地区奥陶系碳酸盐岩性气藏的勘探提供依据。

1 大牛地奥陶系风化壳成岩作用

1.1 成岩作用

岩芯观察、野外露头调查及岩芯薄片等分析测试手段表明, 白云石化作用和溶蚀作用是控制大牛地气田马五段有利储层发育的主要成岩作用。

白云石化作用主要表现在 O_1m5^2 的准同生白云石化作用和 O_1m5^5 的埋藏白云石化作用。 O_1m5^2 发育膏质白云岩、含膏质白云岩, 说明 O_1m5^2 白云岩沉积时为一个蒸发—局限台地环境(包洪平等, 2004)。而 O_1m5^5 , 晶粒普遍较粗, 晶型较好, 剖面和平面上显示, 白云岩的发育呈不连续、块状特征发育。马五段中骨屑泥微晶灰岩中的白云石化有可能成为储气层段。在含骨屑泥微晶灰岩薄片中发现有细粉晶级菱面体白云石(晶粒大小 0.03mm 左右), 呈斑晶状、斑点状(白云石集合体 < 1mm)、斑块状(白云石集合体 > 1mm)交代泥微晶灰岩, 并在白云石晶间形成大量晶间孔及晶间溶孔, 根据岩石学特征分析该白云石化一般发生在准同生—成岩早期, 形成机理用蒸发泵原理来解释。亦可能叠加有淡水改造。由于白云石化过程是一个体积收缩过程, 一般可增加孔隙度 13%。根据沉积地质背景分析, 马五段泥微晶灰岩中的细粉晶级白云石化有可能呈区域性分布, 因此, 大牛地地区的 O_1m5^5 上部应是一个有利储层层位。

通过古地质图、残厚图、上覆地层厚度图的编制, 利用 400 余口钻井资料精细刻画奥陶系风化壳古地貌, 建立了研究区的岩溶剖面图。在垂向风化壳岩溶剖面中, 由上到下依次为地表岩溶带(残积角砾岩带)、垂直岩溶带(渗流岩溶带)、水平岩溶带(潜流岩溶带)和深部岩溶带, 这四个岩溶带构成了一个完整的岩溶序列。随着地壳构造抬升, 潜水面就会下降, 从而形成新的水平溶洞, 开始发育一个新的岩溶序列, 亦即岩溶发育有旋回性。而早期的水平溶洞因抬升而遭到剥蚀或部分剥蚀, 亦可能全部保存下来。在研究区见到有 3 层水平洞穴砂砾岩, 说明存在有 3 期岩溶旋回。

1.2 成岩阶段划分及成岩序列

成岩序列能直观的呈现出马五段主要成岩作用的先后顺序和基本特征(图 1): 准同生成岩阶段主要为白云石化作用, 发育原生孔隙及部分晶间孔; 早成岩阶段为白云石化作用为主, 局部的埋藏溶蚀作用; 中成岩阶段为溶蚀作用和破裂作用为主, 埋藏白云石化; 最后由于地层抬升, 进行大规模的岩溶作用, 以溶蚀作用和破裂作用位置, 局部发育淡水白云石化作用。

成岩阶段		同生成岩			表生成岩	早成岩	晚成岩	
成岩环境		海水	混合水	大气淡水	表生	浅埋藏	中-深埋藏	
成岩作用类型	压实作用							
	压溶作用							
	胶结作用							
	交代作用	膏化						
		去膏化						
		去云化						
	溶蚀作用	去云化						
		同生期						
		表生期						
	埋藏期							
重结晶作用								
构造破裂作用								

图 1 大牛地气田马五段成岩阶段划分及成岩序列

注: 本文为国家科技重大专项“鄂尔多斯盆地大牛地致密低渗气田勘探开发示范工程”(2011ZX05045)的成果。

收稿日期: 2015-02-02; 改回日期: 2015-02-28; 责任编辑: 费红彩。

作者简介: 李冰毅, 男, 1974 年生, 硕士, 高级工程师, 勘察与基础工程专业。Email: 434496445@qq.com。

2 白云岩储层孔隙演化特征

2.1 储层孔隙演化

马五段中孔洞缝均有所见, 根据岩石、铸体薄片鉴定结果分析, 各种孔隙类型在早成岩期、表生成岩期均有形成, 部分孔隙能识别出它的形成阶段, 但大量孔隙经多次成岩作用的叠加改造难以确定其形成阶段。白云石化作用的晶间孔、晶间溶孔是白云岩储层的有利储集空间。碳酸盐矿物的溶蚀作用是造成碳酸盐岩中次生孔隙发育的重要机理, 溶解作用发生的时间贯穿了从同生一直到表生的整个成岩作用过程。

将马五段储层的储集空间划分为晶间孔隙型、溶蚀孔洞型、裂缝型和裂缝—孔洞型四种类型。晶间孔隙型储层物性孔隙度较好, 一般 1~5%, 渗透率一般小于 $1 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$, 是主要的储层类型。电性特征表现为低伽玛, 三孔隙度测井均反应出孔隙发育的特征, 低电阻低, 且光滑有幅差; 溶蚀孔(洞)型储层的电性特征与晶间孔隙型较为相似, 唯一的差别是电阻率呈现齿化, 这是由于(含)膏质白云岩中石膏含量的非均质性强, 纵向变化较快, 而且石膏在溶解过程中, 由于体积增大, 会形成大量的微裂缝, 最终导致电阻率呈现齿化; 裂缝—孔洞型储层的电性特征是自然伽玛低, 由于裂缝和孔洞的存在导致中子值变化不大而声波时差明显增加、电阻率较低且存在幅差; 低角度及网状裂缝型储层的电性特征是声波发生跳跃而电阻减低, 深浅电阻率明显存在幅差。

参 考 文 献 / References

郑聪斌, 谢庆邦. 1993. 陕甘宁盆地中部奥陶系风化壳储层特征. 天然气工业, 13(5): 26-30.
包洪平, 杨承运. 2002. 鄂尔多斯东部奥陶系马家沟组微相分析. 古地

2.2 优质储层发育控制因素

大牛地奥陶系白云岩风化壳优质储层的发育主要受 4 种控制因素:

(1) 白云石化: 通过对大 29 井 O_1m5^5 段的取心段 51 个样品的物性研究后发现, 白云岩储层的平均孔隙为 3.9% (17 个样品); 而灰岩的平均孔隙度仅为 0.95% (34 个样品), 可以看出白云岩储层是 O_1m5^5 层中非常好的储集段。

(2) 岩溶作用: 白云石化碳酸盐岩地层整体抬升, 遭受大气水溶蚀作用, 早期的溶蚀孔洞为地表水的溶蚀提供了通道, 有利于岩溶储层的发育, 不同的岩溶古地貌控制岩溶强度, 优质储层和岩溶作用的强度密切相关。

(3) 原岩成分: 不同的原岩成分在地表或埋藏等不同的成岩环境, 在岩溶强度上存在差别。

(4) 构造裂缝: 岩溶强度的大小和构造裂缝的发育密切相关, 灰岩的溶蚀主要受微裂缝的发育控制。裂缝的发育有效的为溶蚀性流体提供了通道, 溶蚀缝、构造裂缝也可以作为储集空间。

大牛地奥陶系白云岩储层由于自身的一些特殊性, 虽然有了一些认识, 但同时也发现一些不易解释的问题, 如: O_1m5^4 岩溶强烈, 但到 O_1m5^5 似乎戛然而止, 什么原因使地下水跨过 O_1m5^5 进行 $O_1m5^6 \sim O_1m5^{10}$ 沉积的; 有膏的区域溶而不跨, 而跨塌严重的区域, 从角砾来看反而没有膏(膏模孔)等, 仍有更多问题需进一步的勘探来解答。

理学报, 2(1): 31-42

包洪平, 杨承运, 黄建松. 2004. “干化蒸发”与“回灌重溶”一对鄂尔多斯盆地东部奥陶系蒸发岩成因的新认识. 古地理学报, 6(3): 279-287.