

文章编号: 1009-3850(2014)02-0098-06

重庆马槽坝-黑楼门地区上石炭统黄龙组 白云岩储层类型及其控制因素

郑博, 曹峻峰

(成都地质矿产研究所, 四川 成都 610081)

摘要: 根据钻井岩心、薄片、物性等数据资料,对四川盆地东部马槽坝-黑楼门地区白云岩储层特征进行分析,并探讨沉积相及成岩作用对储层形成的控制作用。研究区白云岩储层的岩石类型主要为颗粒白云岩、微晶白云岩、粉-细晶白云岩。储集空间以次生粒间及粒内溶孔为主,并伴生有超大溶孔。研究区黄龙组储层总体上属于低孔低渗储层,以小孔-中细喉组合为主。白云石化作用、重结晶作用、破裂作用、古岩溶作用是有利于储层发育的成岩作用,其中白云石化作用是最普遍也是最重要的成岩作用。粒屑浅滩、潮道是有利于储层发育的沉积环境。

关键词: 黄龙组;白云岩;储层物性;成岩作用;沉积相

中图分类号: TE122.2⁺³

文献标识码: A

引言

碳酸盐岩广泛分布于各地质时代,约占沉积岩总面积的20%^[1]。世界上有大约三分之一的油气资源赋存在碳酸盐岩中,其中又有一半是在白云岩中^[2,3]。白云岩中的各种次生孔隙被认为是潜在的油气储集空间^[4,5]。川东、渝北地区自1977年于上石炭统黄龙组获高产工业气流以来,前人已对该地区黄龙组沉积相和成岩作用特征进行了较深入的研究,积累了丰富的资料,但对成岩作用、沉积相与储层发育关系的研究尚存不足。本文对川东、渝北地区白云岩储层的岩石类型、成岩作用、成岩环境进行综合研究,探讨成岩作用与岩石物性、储层特征的关系。

1 区域地质背景

马槽坝-黑楼门地区位于重庆市云阳、奉节和巫山县境内,构造上位于四川盆地东北部大巴山前缘拗陷带,被西面的川东高陡褶皱带构造带、东面的齐岳山高陡背斜构造带和北面的南大巴山前陆褶

断带等3个构造带夹持控制。上石炭统黄龙组为海相蒸发岩-碳酸盐岩沉积建造,超覆在志留系烃源岩层之上(图1)。

2 储层岩石学特征

2.1 储层岩石类型

研究区内白云岩储层的岩石类型主要有微晶白云岩、粉-细晶白云岩、颗粒白云岩3类。

2.1.1 颗粒白云岩

颗粒白云岩是黄龙组二段最主要的岩石类型,根据沉积微相可分为潮坪-泻湖相的白云岩颗粒白云岩、粒屑滩相的颗粒白云岩和潮道高能带的颗粒白云岩(图版1-3,1-4),其中潮坪-泻湖相白云岩主要为藻屑藻迹白云岩、藻砂屑白云岩、砂屑白云岩、球粒白云岩等;粒屑滩相白云岩主要为(含)生物屑白云岩、藻砂屑白云岩、虫屑白云岩等;潮道高能带的颗粒白云岩主要为砂砾屑白云岩,由于此类颗粒白云岩溶蚀孔洞非常发育,往往呈溶蚀孔洞残余颗粒白云岩产出,部分受古表生期大气淡水溶蚀作用而转化为岩溶角砾岩。

收稿日期: 2014-03-20; 改回日期: 2014-04-01

作者简介: 郑博(1985-),男,助理工程师,沉积学专业。E-mail: sanyecao711@hotmail.com

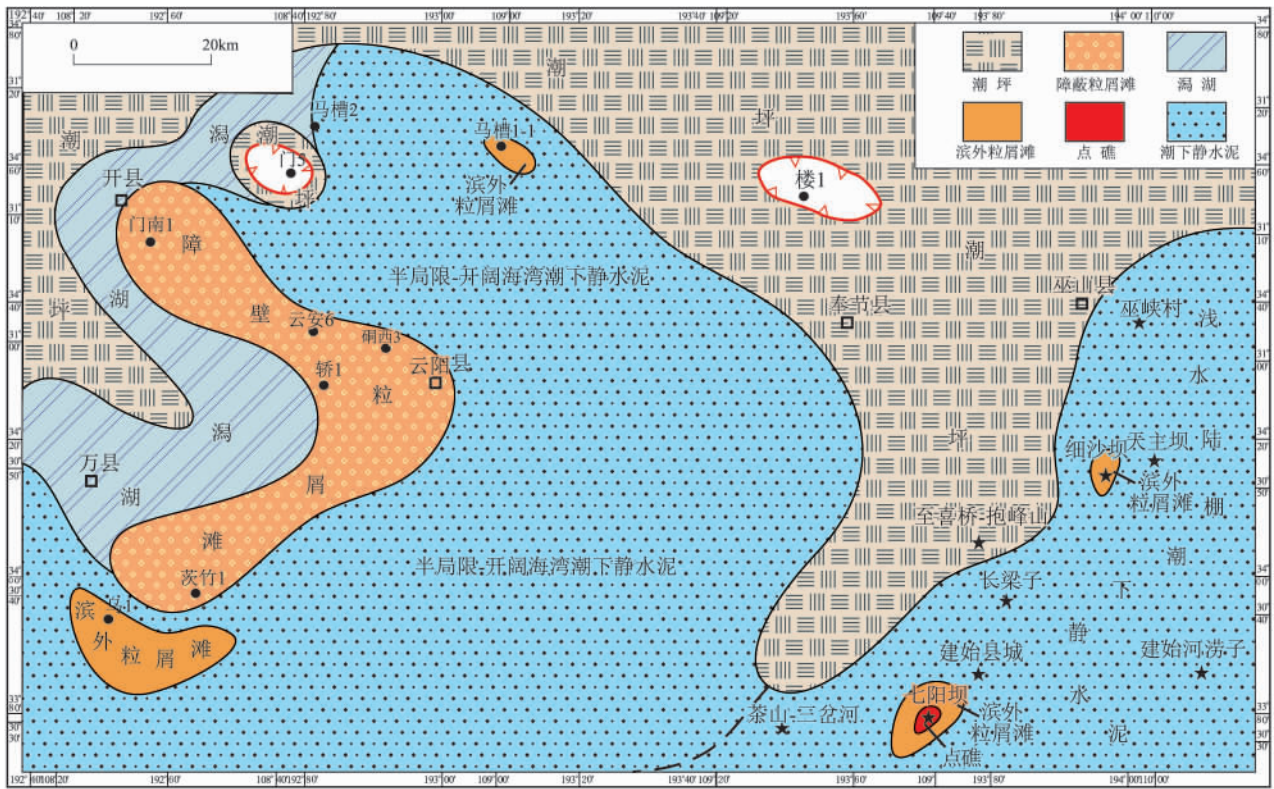


图1 马槽坝-黑楼门地区黄龙组2段岩相古地理图

Fig. 1 Sedimentary facies and palaeogeographic map of the second member of the Huanglong Formation in the Macaoba-Heiloumen region

2.1.2 微晶白云岩

主要形成于潮坪或泻湖环境中,由微晶白云石组成,含有微-隐粒杂质或有机质,偶见发育水平藻纹层或具残余藻屑纹层,也见有含石膏或石膏假晶的微晶云岩,局部裂缝发育(图版1-4)。

2.1.3 粉-细晶白云岩

大部分具有残余颗粒结构,白云石晶形较好,晶体较粗,部分可达细晶级,呈半自形-自形的晶粒支撑结构,发育针孔状溶孔,有利储层发育,往往分布于粒屑滩环境中(图版1-2)。

2.2 储集空间类型

2.2.1 原生粒间孔

原生粒间孔是指沉积前形成的孔隙。研究区原生粒间孔隙主要表现为碳酸盐重结晶形成的晶间孔隙(图版1-3,1-5)。

2.2.2 次生粒内及粒间溶孔

粒内溶孔主要分布于部分生物碎屑、藻屑中,形态不规则,大小不等,孔径一般为0.05~0.3mm,是较为常见孔隙类型。其孔隙有效面孔率不高,仅为1%~5%。粒间溶孔是颗粒之间的胶结物和基质被溶蚀而形成。这种孔隙在研究区的生物碎屑砂屑白云岩、粉-细晶白云岩中较发育,其成因与古

表生期的大气淡水溶蚀有关(图版1-3,1-4)。

2.2.3 铸模孔

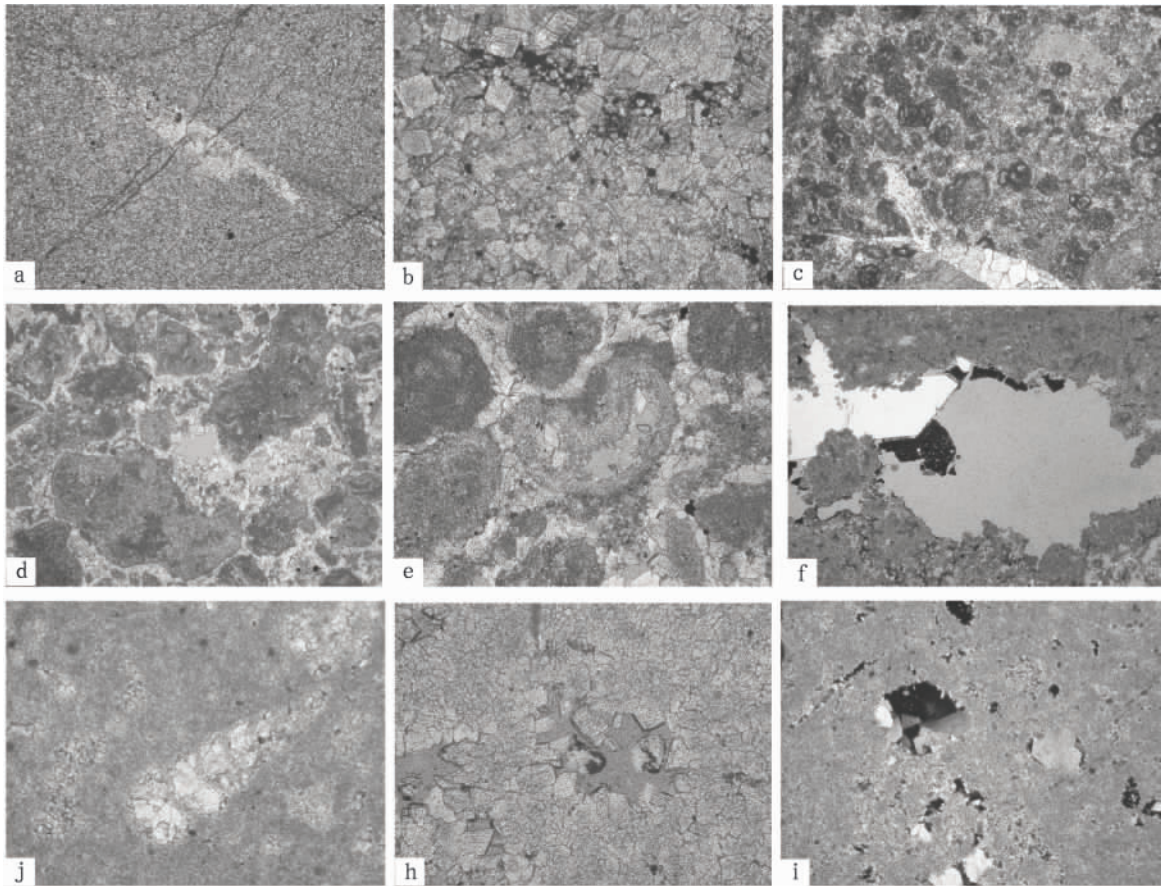
螺壳和瓣鳃多形成粒内溶孔,当溶蚀作用继续进行,粒内溶孔进一步扩大,直到颗粒全部被溶蚀掉,形成铸模孔(图版1-5)。而棘屑、腕足等基本不发生溶蚀。不同的岩石中铸模孔的数量不同,通常在0%~8%之间,对储层的贡献较大。

2.2.4 晶间溶孔和超大溶孔

伴有溶蚀作用形成扩大的晶间溶孔或超大溶孔在欠压实的埋藏交代成因的晶粒状白云岩中很发育,是最重要的储集空间(图版1-6)。多为中孔和大孔,部分为溶洞,镜下测量孔径为0.15~1.4mm,面孔率5%~18%。大多数白云石晶间溶孔被晚期中-粗晶方解石、细-中晶白云石、沥青、天青石、萤石、石英等充填。影响了空隙的有效性。

2.3 储层成岩作用类型

对马槽坝-黑楼门地区石炭系黄龙组岩石薄片进行镜下观察表明,研究区碳酸盐储层成岩作用主要有:胶结作用、压实压溶作用、白云石化作用、石膏化作用、硅化作用和大气淡水溶解作用、去云化作用等。



图版 1 说明: a. 微晶白云岩, 充填溶洞的白云石具有晶间孔. 门南 1 井, C_2h_2 , 照片对角线长 4mm(-); b. 粉-细晶含灰质白云岩, 大量白云石晶间溶孔被方解石充填, 局部晶间孔被黄铁矿充填. 马槽 1-1, C_2h_3 , 照片对角线长 1.6mm(-); c. 粉晶虫屑白云岩, 裂缝中充填白云石. 云安 6 井, C_2hl_2 , 照片对角线长 4mm(-); d. 具溶蚀孔亮晶砂屑白云岩, 粒内溶孔、粒间孔. 门南 1 井, C_2hl_2 , 照片对角线长 4mm(-); e. 亮晶藻砂屑白云岩, 生物屑内溶孔并充填白云石. 门南 1 井, C_2hl_2 , 照片对角线长 1.6mm(+); f. 具溶蚀孔硅化微晶粉屑白云岩, 溶蚀洞, 洞内充填自生石英和有机质. 茨竹 1 井, 第 1 回次, C_2hl_2 , 对角线长 1.6mm(-); g. 残余生物屑微-粉晶白云岩, 充填生物体腔的灰泥重结晶, 具粒内溶孔. 茨竹 1 井, C_2h_2 , 照片对角线长 1.6mm(-); h. 硅化残余砂屑细-粉晶白云岩. 云安 6 井 126 号, C_2hl_3 , 照片对角线长 1.8mm(-); i. 残余生物屑微-粉晶白云岩, 高模孔被白云石部分充填. 茨竹 1 井, C_2h_2 , 照片对角线长 4mm(+)

2.3.1 胶结作用

胶结作用在黄龙组层位中普遍发育(图版 1-1), 常见的胶结物为泥-微晶结构, 微-亮晶胶结结构, 亮晶胶结结构。淡水胶结主要发生在淡水渗流带和潜流带, 形成等轴粒状亮晶方解石胶结物。由于胶结作用, 使颗粒碳酸盐岩的原岩或呈二世代结构, 有的还可见三世代结构。第一世代为纤状-短柱状方解石, 第二世代开始粒间孔隙完全被充填, 因此, 胶结作用是破坏岩石储集性能的成岩作用, 其结果是使部分或全部原生孔隙遭到破坏, 使岩石孔隙度、渗透率下降。

2.3.2 压实作用

碳酸盐沉积物在埋藏过程中, 受到压实作用出现失水、流动及塑性变形等现象。受压实后可发生

矿物的稳定化作用, 如不稳定的高镁方解石向稳定的低镁方解石转化。同时形成颗粒变形, 使颗粒间变为微缝合线接触关系。通常发生在浅埋藏-半深埋藏的早成岩阶段早期至晚期。

2.3.3 压溶作用

压实作用的持续会使岩石发生溶解并有自生矿物和充填缝合线的形成, 充填物有黑色有机质及黄铁矿、粗晶方解石、白云石等矿物, 有时伴有白云石化等, 其特征受原岩性质和应力强度的控制。压溶作用则是在物理作用的基础上叠加了化学作用, 是浅埋-深埋藏环境下的地质事件, 对岩石的储集性能有较大的影响。

2.3.4 重结晶作用

重结晶作用在各岩性中的结晶程度和分布不

同。白云岩的重结晶作用相对灰岩更强烈一些,矿物晶体粒度呈微晶-粉晶或粉晶-中晶,最发育的是粉晶-细晶结构。强烈的重结晶作用使原岩的组构消失或仅留下部分残余结构。重结晶强度对储层孔隙的影响甚为明显,中等重结晶程度的粉-细晶白云岩有利于孔隙度和渗透率的提高(图版 1-8)。

2.3.5 岩溶作用

岩溶作用是溶解作用的一种特殊类型,不饱和富有溶蚀性和流动性的水溶液对已固结成岩的碳酸盐岩可溶岩产生溶解作用。而古岩溶储层又是其中非常重要一类。马槽坝-黑楼门地区石炭系储层就是古岩溶储层。按岩溶作用形成时期可分为表生期的岩溶作用和埋藏期的溶蚀作用(图版 1-5,

1-7)。

3 储层物性特征

3.1 孔渗物性特征

据研究区白云岩储层的物性资料分析结果,孔隙度分布范围为 0.14% ~ 15.24%,平均值为 3.35%,在孔隙度分布直方图上主峰位于 1.0% ~ 6.0% 之间(图 2),约占孔隙总量的 84%;渗透率分布范围为($<0.01 \sim 290$) $\times 10^{-3} \mu\text{m}^2$,平均值为 $1.51 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$,渗透率主峰有两个,一个为位于 $<0.01 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$,另一在 $(1 \sim 100) \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 之间(图 2)。由上述的孔渗数据可知,研究区黄龙组储层总体上属于低孔低渗储层。

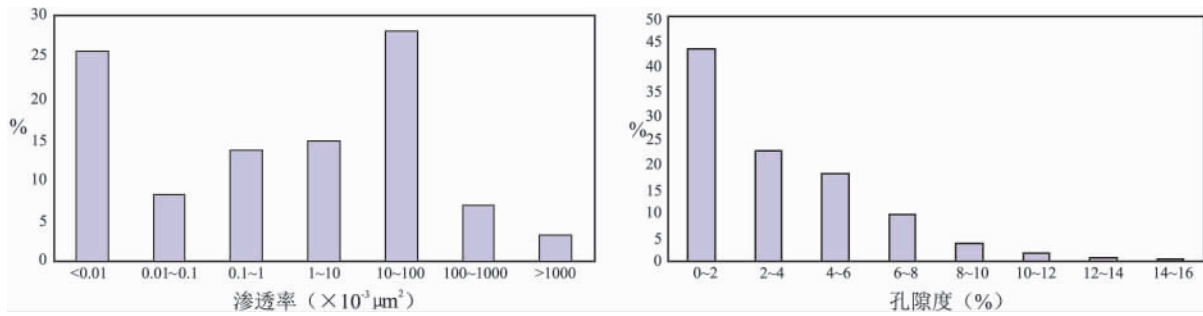


图 2 马槽坝-黑楼门地区黄龙组储层分布直方图

Fig. 2 Bar charts showing the distribution of the dolostone reservoirs in the Macaoba-Heiloumen region

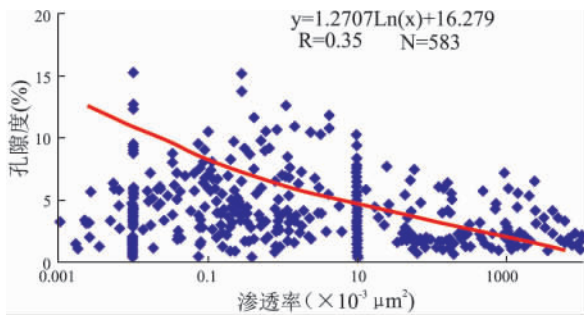


图 3 马槽坝-黑楼门地区黄龙组储层孔渗相关图

Fig. 3 Correlation of porosity and permeability of the dolostone reservoirs in the Macaoba-Heiloumen region

马槽坝-黑楼门地区黄龙组储层孔隙度与渗透率相关图反映黄龙组孔隙度与渗透率呈弱正相关性(图 3) 相关系数为 0.35,说明孔喉对储层渗流能力仍有较大影响。但在同一孔隙度范围内,渗透率的变化可达 2 ~ 3 个数量级,说明裂缝对改善储层的渗流能力起关键作用,与镜下可见较发育的溶缝吻合。

3.2 孔隙结构特征

孔隙结构是指岩石孔隙和喉道的几何形状、大

小、分布特征及其相互连通关系,由于它能较好地表征储层的储渗能力、流体分布、油气产层的产能、油水在油层中的运动、水驱油效率及原油采收率的大小等特征,因而成为储层研究的重要内容之一。

3.2.1 喉道形态类型

马槽坝-黑楼门地区黄龙组储层喉道以孔隙小型、宿颈型、管状喉道型与片状喉道型为主,而点状喉道基本未见。

3.2.2 喉道大小

最大连通孔喉半径(R_{c10})为 0.0214 ~ 13.3046 μm ,平均值 2.3187 μm ; 中值孔喉半径(R_{c50})为 0.0115 ~ 0.9356 μm ,平均值 0.3209 μm ,在产出规模上,多以中、细喉为主,次为微喉。

3.2.3 孔喉组合关系

研究区黄龙组储层的储集空间虽由多种类型的孔隙组合而成,但往往以其中一种或几种孔隙占主导地位。从铸体薄片资料来看,岩石的各种溶孔虽然较发育,但孔隙之间的连通性仍然较差,其孔喉关系以中、小孔-中细喉组合为主,小孔-细、微喉型组合与小孔-微喉型组合次之,少部份为中、小孔-

中喉组合,以及微孔-微喉型组合。

4 储层控制因素

4.1 岩性

岩石是储层存在与发育的物质基础,不同的岩石类型在不同的环境中其分布及组合也不尽相同,孔隙的发育特征和分布特征也有很大的差异。根据研究区的储层特征可以看出,储层主要发育在颗粒白云岩、晶粒白云岩和白云质岩溶角砾岩等岩性中,而且在这3种储集岩中,其孔隙类型和孔隙组合特征也不相同,反映了原始沉积组构对储层物性的控制,其在颗粒白云岩和云质岩溶角砾岩中最为明显。

4.2 沉积微相

由研究区储层的岩性与物性关系可知,颗粒白云岩与晶粒白云岩的物性特征整体较好,而这两种岩石类型的发育和分布显然是受沉积相的控制。颗粒白云岩本身的沉积特征表明它的沉积环境主要为高能的粒屑滩、潮道,在这种环境中,由于波浪和潮汐的簸选和改造,细粒的灰泥及云泥被带走,沉积粗粒碎屑;原始渗透率较高;加之较短的埋藏时间和较浅的埋藏深度,后又被抬升改造,使得渗透率更为发育,因此粒屑浅滩、潮道是研究区储层发育的最有利沉积环境(图1)。泥粉晶白云岩的分布特征及沉积特征主要受到局限的泻湖环境所控制,虽然在这一环境中能量低,没有大量的颗粒物沉积,然而在蒸发条件下,它为其埋藏白云化提供了一个极好的沉积成岩环境;高盐度的海水在埋藏过程中,造成了沉积物的白云化,从而发育白云石晶间孔隙,因此局限的蒸发泻湖环境有利于储层的发育。

4.3 白云化作用

研究区较好的碳酸盐岩油气储层,几乎都为白云石化形成的白云岩(成岩白云岩)。有利储层发育的岩石类型有微-粉-细晶白云岩、交代残余状的颗粒灰质粉晶白云岩、藻纹层状的灰质微-粉晶白云岩等。因此,白云化作用是研究区碳酸盐岩成岩过程中最为普遍和重要的成岩作用。理论上,由方解石转化为白云石的过程可缩小14.81%的体积(即所谓的减体积效应),由此产生规则的多面体晶间孔而使岩石的孔隙度增大。因此,白云岩化过程是形成次生孔隙的一个重要因素。根据薄片镜下观察,黄龙组碳酸盐岩白云化作用具有多期次的特点,按储层的白云岩化的阶段,分为准同生交代白云岩和成岩期交代白云岩。

4.3.1 准同生交代白云石化

准同生白云石化作用的产物主要为泥-微晶白云岩(图版1-1)、含硬石膏或与硬石膏互层产出的膏质泥-微晶白云岩、膏质藻团粒微晶等,白云石晶体细小,通常 $<0.004\text{mm}$,大小均匀,形态以它形晶为主。此类岩石较为致密,孔隙不发育,但在有裂缝发育时,可形成溶蚀孔隙。大多数孔隙被后期的方解石或白云石晶体充填或半充填。可用准同生蒸发白云岩化模式加以解释,即在干旱炎热的蒸发潮坪环境中,由于孔隙水强烈蒸发浓缩,导致石膏结晶,形成高镁卤水钙质沉积物而发生白云岩化作用,主要分布在有强烈蒸发作用的萨勃哈潮坪和暴露的滩顶体相带,常伴生有石膏、莓状黄铁矿等矿物。

4.3.2 成岩交代白云石化

黄龙组白云岩储层原始结构普遍遭到程度不同的破坏(如鲕粒、虫屑和砂屑结构)。部分白云岩为原始结构完全消失的晶粒白云岩(图版1-8,1-9),晶体大小为 $0.03\sim 0.1\text{mm}$,大小较均匀,形态以半自形~自形晶为主,晶体镜下呈棕褐色,残余大量原岩微晶或杂质,重结晶作用明显,具雾心亮边结构。这种现象是由浅埋藏成岩作用与成岩孔隙流体演化造成的,为典型的粉-细晶结构,是一类最有利储层发育的岩石类型。

5 结论

(1) 马槽坝-黑楼门地区黄龙组储层岩石类型主要为颗粒白云岩、微晶白云岩、粉-细晶白云岩。

(2) 研究区黄龙组储集空间以次生粒间及粒内溶孔为主,并伴生有超大溶孔。储层总体上属于低孔低渗储层,以小孔-中喉组合为主。储层成岩作用主要有胶结作用、压实压溶作用、白云化作用、石膏化作用、硅化作用和大气淡水溶解作用、去云化作用等。

(3) 控制储层发育的最主要因素是白云岩化作用,按时间先后分为准同生交代白云石化作用和成岩交代白云石化作用。古表生期大气水的岩溶作用以及再埋藏期的构造破裂和深部溶蚀作用对储层发育也产生了重要影响,而粒屑浅滩、潮道等沉积微相则是储层发育的先决条件。

参考文献:

- [1] 刘宝瑞. 沉积岩石学[M]. 北京: 地质出版社, 1980. 497.
- [2] FENG ZENGZHAO, ZHANG YONGSHENG, JIN ZHENKUI.

- Type, origin, and reservoir characteristics of dolostone of the Ordovician Majiagou Group, Ordos, North China Platform [J]. *Sedimentary Geology*, 1998, 118: 127 - 140.
- [3] 马永生, 田海芹. 碳酸盐岩油气勘探[M]. 山东东营: 石油大学出版社, 1999. 206.
- [4] WARREN J. Dolomite: occurrence, evolution and economically important associations [J]. *Earth Science Reviews*, 2000, 52: 1 - 81.
- [5] QING H, BOSENCE D W J, et al. Dolomitization by penesaline seawater in Early Jurassic peritidal platform carbonates, Gibraltar, western Mediterranean [J]. *Sedimentology*, 2001, 48: 153 - 163.
- [6] 郑荣才, 彭军, 高红灿. 渝东黄龙组碳酸盐岩储层的古岩溶特征和岩溶旋回[J]. *地质地球化学*, 2003, 31(1): 28 - 35.
- [7] 文华国, 郑荣才, 文其兵, 等. 南大巴山前缘黄龙组古岩溶储层锶同位素地球化学特征[J]. *吉林大学学报*, 2009, 39(5): 789 - 795.
- [8] 郑荣才, 李德敏, 张梢楠. 川东黄龙组天然气储层的层序地层学研究[J]. *沉积学报*, 1995, 13(增刊): 1 - 9.
- [9] 肖松, 夏敏全, 王大勋, 等. 川东邻北构造石炭系储层储集特征评价研究[J]. *大庆石油地质与开发*, 2005, 24(4): 28 - 31.
- [10] 胡忠贵, 郑荣才, 周刚, 等. 邻水-渝北地区石炭系黄龙组白云岩成因研究[J]. *岩石学报*, 2008, 24(6): 1369 - 1378.
- [11] 王一刚, 文应初, 刘志坚. 川东石炭系碳酸盐岩储层孔隙演化中的古岩溶和埋藏溶解作用[J]. *天然气工业*, 1996, 16(6): 18 - 23.
- [12] 王芙蓉, 陈振林, 王雪莲. 川东北地区石炭系成岩作用及储集性[J]. *海相油气地质*, 2004, 9(1-2): 91 - 96, 150 - 153.
- [13] 陈浩如, 郑荣才, 文华国, 等. 南大巴山前缘黄龙组储层特征[J]. *岩性油气藏*, 2010, 22(2): 62 - 68.

Types and controls on the dolostone reservoirs in the Upper Carboniferous Huanglong Formation, Macaoba-Heiloumen region, Chongqing

ZHENG Bo, CAO Jun-feng

(Chengdu Institute of Geology and Mineral Resources, Chengdu 610081, Sichuan, China)

Abstract: The present paper deals, on the basis of cores, thin sections and physical properties, with the types and controls of sedimentary facies and diagenesis on the dolostone reservoirs from the Huanglong Formation in the Macaoba-Heiloumen region, eastern Sichuan Basin. The dolostone types are composed of grainy dolostone, micritic dolostone, silty to fine-grained dolostone. The reservoir spaces consist of dominant secondary intergranular and intragranular solution openings and associated superlarge solution openings. The dolostone reservoirs from the Huanglong Formation generally belong to the low-porosity and low-permeability reservoirs with micropores and moderate-fine pore throats. The diagenesis favourable for the development of the dolostone reservoirs includes dolomitization, recrystallization, cataclasis and palaeokarstification, of which the dolomitization is wide-spread and most important diagenesis. The shoals and tidal channels are interpreted as the favourable sedimentary environments for the development of the dolostone reservoirs in the study area.

Key words: Huanglong Formation; dolostone; physical property; diagenesis; sedimentary facies