

# 塔里木盆地古生界白云岩储层特征与成因类型

焦存礼<sup>1</sup> 邢秀娟<sup>2</sup> 何碧竹<sup>3</sup> 陈代钊<sup>4</sup> 李程成<sup>5</sup> 刘忠宝<sup>1</sup>

(1. 中国石油化工股份有限公司石油勘探开发研究院, 北京 100083; 2. 中国石化国际石油勘探开发有限公司, 北京 100083; 3. 中国地质科学院地质研究所 国土资源部大陆动力学重点实验室, 北京 100037; 4. 中国科学院地质与地球物理研究所, 北京 100029; 5. 中原石油勘探局勘察设计院, 河南 濮阳 457001)

**摘要:**塔里木盆地寒武系—奥陶系白云岩具有时代老、埋藏深、成岩作用复杂的特点。白云岩储层储集空间主要为孔隙和裂缝两大类,其中孔隙类型可进一步划分为晶间孔、晶间溶孔、晶内溶孔、铸模孔、溶蚀孔洞等;裂缝类型可进一步划分为缝合线、风化裂缝和构造裂缝。根据储集空间类型特征,白云岩储层可以划分为孔隙型、孔洞型、缝洞型和裂缝型 4 种。孔隙型储层和缝洞型储层物性较好。根据成因白云岩储层可以划分为准同生白云岩储层、埋藏型白云岩储层、构造—热液型白云岩储层和 风化壳岩溶型白云岩储层,其中后两者及其复合类型常形成优质储层。

**关键词:**塔里木盆地;寒武系—奥陶系;白云岩;储层类型

**中图分类号:**P588.24\*5 **文献标志码:**A **文章编号:**1000-3657(2011)04-1008-08

白云岩储层是海相含油气盆地的主要储层之一,是碳酸盐岩地区的主要勘探目标,尤其在深部碳酸盐岩储层中,白云岩往往比灰岩孔隙度高,这是因为灰岩孔隙度随深度增加的衰减速度明显大于白云岩<sup>[1]</sup>。世界上的许多大型油气藏都产于白云岩储层中,在中国目前发现的 3 个海相大油气田中,与白云岩储层有关的就有两个,显示了白云岩储层独特的油气勘探潜力<sup>[2]</sup>。塔里木盆地寒武系和下奥陶统广泛发育白云岩地层,且埋深大都在 5000 m 以下。一般认为 6000 m 埋深是碳酸盐岩储层孔隙发育的“死亡线”,而塔参 1、和田 1 和塔深 1 井等深层钻探实践表明,埋深在 6000~8400 m 的超深层下古生界白云岩中存在较好的溶孔和溶蚀缝洞,这些白云岩的储集空间类型、储层物性和孔隙成因存在明显差异。如阿克库勒凸起东侧寒武系碳酸盐台地边缘的塔深 1 井是目前中国第一深井,钻探证实,超深层建隆体内白云岩储层发育,主要储集空间类型有晶间角孔、晶间溶孔和无结构选择性的溶蚀孔洞及网络状裂缝,并且储层呈随深度加深溶蚀孔洞越发育

的特征<sup>[3]</sup>。在巴楚隆起、塔中隆起、阿克库勒断凸带、塔东地区和柯坪隆起上均发现了不同类型的寒武系—奥陶系白云岩,由于成岩作用的差异和埋藏后期强烈的构造运动和热液溶蚀作用等因素,构成了多种类型的白云岩储层<sup>[4-7]</sup>。开展盆地内下古生界白云岩储层特征和成因类型的系统研究,对于深层海相碳酸盐岩油气勘探评价具有重要意义。

## 1 白云岩储层储集空间类型及物性特征

由于成岩作用的复杂性,塔里木盆地寒武系—奥陶系白云岩储集体系复杂,不同地区有多种划分结果。孔金平等(1998)和王嗣敏等(2004)将塔中地区白云岩储集空间分为孔隙型、裂隙型、洞隙型以及组合型 4 种类型。张新海等(2002)把次生孔隙、晶间孔及晶间溶孔、溶蚀孔洞和大型洞穴作为巴楚地区和和田古隆起下古生界白云岩的主要储集空间。艾华国等(1999)认为晶间孔、晶间溶孔等是塔北地区沙雅隆起下古生界白云岩的主要储集空间。张军涛等认为

收稿日期:2011-01-14;改回日期:2011-03-01

基金项目:国家重大专项(2008ZX05005-002)和中国石化股份有限公司科技开发部项目(YPH08110)联合资助。

作者简介:焦存礼,男,1965年生,博士,高级工程师,研究方向为油气储层地质与勘探;E-mail:jiaoc@pepris.com。

塔里木盆地白云岩储层孔隙主要有溶蚀洞、针状孔和晶间孔等<sup>[9]</sup>。通过岩石薄片、扫描电镜、铸体薄片的系统观察,发现塔里木盆地寒武系—奥陶系各类型白云岩储层的储集空间类型主要为孔隙和裂缝,白云岩具有年代老、埋藏深、成岩强烈的特征,原始孔隙几乎完全破坏,因此其储集空间均为次生成因。其中孔隙类型可进一步划分为晶间孔、晶间溶孔、晶内溶孔、铸模孔、溶蚀孔洞等;裂缝类型可进一步划分为缝合线、风化裂缝和构造裂缝。

### 1.1 白云岩储层孔隙类型

(1)晶间孔:发育于自形—半自形白云石晶体之间的孔隙。细—中晶为主、粗晶白云石偶见;孔隙形态规则,在铸体薄片、染色薄片呈直边多角形(图 1-A),直径为 0.05~0.3 mm,有的可更大。扫描电镜下为规则的多面体形。

(2)晶内溶孔:白云石受淋滤、溶蚀而形成晶内溶孔,通常沿解理缝方向发育,薄片可见针状、蜂窝状溶孔,电镜下呈不规则的菱面体,连通性较

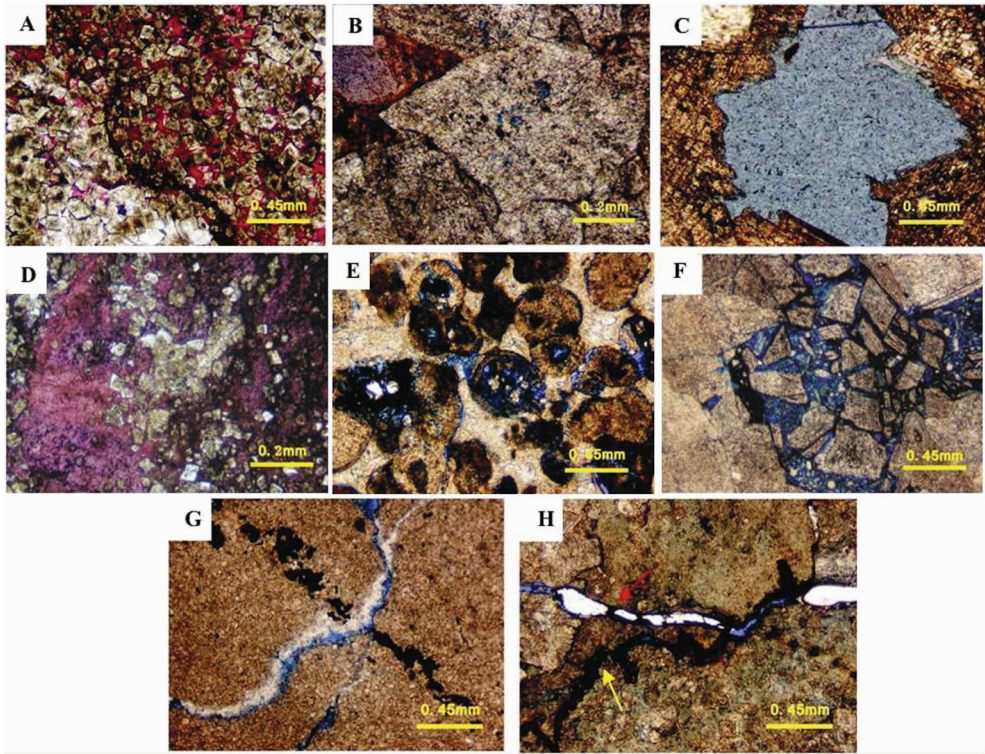


图 1 白云岩储层孔隙微观特征照片

A—自形—半自形白云石晶间孔(红色),铸体薄片,单偏光,中 13 井,5978.4 m;B—自形—半自形白云石晶体被溶蚀,铸体薄片,单偏光,柯坪地区寒武系;C—鞍形基质白云石部分被溶蚀,形成晶间孔,铸体薄片,单偏光,中 4 井,5818.1 m;D—细晶、自形白云石晶体散布在灰泥基质之中,灰泥基质充满溶蚀微孔洞,铸体薄片,单偏光,和田 1 井,5761.3 m;E—颗粒白云岩中部分鲕粒全部或部分溶蚀,形成铸模孔,铸体薄片,单偏光,和田 1 井,6165.8 m;F—断裂导致白云石的角砾化,伴随大量裂缝和孔隙产生,铸体薄片,单偏光,沙 15 井,5378.9 m;G—粉晶白云岩中的缝合线,部分被胶结,具有孔隙和连通性,铸体薄片,单偏光,星火 1 井,5861.7 m;H—泥粉晶白云岩中沥青部分填充的缝合线(黄色箭头)以及后期扩溶的缝合线(红色箭头),古隆 1 井,6536.9 m

Fig.1 Microscopic feature photos of the dolomite pore

A—Euhedral-subhedral dolomite intercrystalline pore (red), cast thin section, plainlight, Zhong 13 well, 5978.4 m; B—Corroded euhedral-subhedral dolomite crystal, cast thin section, Cambrian in Keping area; C—Partial corrosion of saddle-shaped matrix dolomite, forming intercrystalline pore, cast thin section, plainlight, Zhong 4 well, 5818.1 m; D—Fine-crystalline euhedral dolomite crystals scattered in lime-mud matrix, lime-mud matrix filling corrosion micro-pores, cast thin section, plainlight, Hetian 1 well, 5761.3 m; E—Whole or partial corrosion of some oolites in grained dolomite, forming mold pores, cast thin section, plainlight, Hetian 1 well, 6165.8 m; F—Brecciation of dolomite resulting from faulting, accompanied by the production of fissures and pores, cast thin section, plainlight, Sha 15 well, 5378.9 m; G—Suture line in crystal powder dolomite, which is partly cemented, resulting in the formation of pores and connection, cast thin section, plainlight, Xinghuo 1 well, 5861.7 m; H—Suture line partly filled with asphalt in micritic dolomite (yellow arrow) as well as subsequent expanded suture line (red arrow), Gulong 1 well, 6536.9 m

差。大小在 0.005~0.03 mm, 由于晶内溶孔太小, 连通性差该类型孔隙往往不能成为有效储集空间 (图 1-B)。

(3) 晶间溶孔: 在晶间孔基础上白云石晶体边缘部分溶蚀形成的一类溶孔 (图 1-C), 这类孔隙连通性差<sup>[9]</sup>, 孔径很小, 多为十几到几十微米, 不是良好的储集空间。它们在沙雅隆起、塔中隆起区白云岩中均有发育, 塔北地区塔深 1 井、沙 15 井、沙 88 井、塔中地区中 13 井岩心上较为典型。

(4) 溶蚀孔洞: 由于白云石晶体溶解作用而形成的孔隙, 由多个白云石晶体部分或全部溶解而形成, 形态不规则, 其大小界定于可在岩心上识别 (Wardlaw & Taylor, 1976), 可以形成较大 (厘米级) 的溶孔, 扫描电镜下晶间溶孔常被白云石胶结物部分充填, 并可见白云石晶面被溶蚀呈凹凸不平状。溶蚀孔洞在塔北和塔中下奥陶统一寒武系白云岩中广泛发育, 岩心上可相对孤立存在, 也可沿裂隙发育, 可稀疏或密集发育, 甚至使岩石显蜂窝状, 洞径在 1~65 mm, 多在 1~15 mm。发育溶蚀孔洞的岩性主要是中-粗晶云岩和部分白云岩化的灰泥中 (图 1-D), 孔洞内往往自形白云石或鞍形白云石部分充填, 也可有自生石英及方解石部分充填, 也可未充填, 溶蚀孔洞为研究区最重要的空隙类型和有效储集空间类型。

(5) 铸模孔: 鲕粒、生物骨架等颗粒部分或全部溶解形成的孔隙, 形态不规则 (图 1-E), 大小 0.2~2 mm, 是礁滩相白云岩储层最重要的空隙类型, 但是研究区内铸模孔受到后期强烈胶结, 储集性能已大大降低。

## 1.2 白云岩储层裂缝类型

(1) 构造裂缝: 构造裂隙 (缝) 是一类较为重要的储渗空间, 是岩石在构造应力作用下发生破裂而形成, 包括张裂缝、剪裂缝或水平缝和斜交缝等<sup>[10]</sup>。区内大多数钻井和野外早古生代白云岩均有裂缝发育, 裂隙产状多样, 有水平裂隙、斜交或垂直层面裂隙; 剪切裂缝一般较平直, 形状较规则, 常呈雁列式。构造缝有多期, 其分布主要与构造部位有关。一般缝宽 0.1~5 mm、形状较规则, 缝壁平直、延伸较远, 可被白云石或方解石部分或全部充填, 见沥青、黄铁矿等完全充填或半充填于缝内, 可形成空隙丰富的角砾白云岩 (图 1-F)。

(2) 压溶缝: 沿缝合线溶蚀, 形成许多断续、串珠

状溶孔, 溶蚀强烈者, 成溶缝, 形成多为锯齿状、波状和不规则状, 常被沥青充填或半充填 (图 1-G)。

(3) 溶缝: 溶缝是原有的缝合线、构造裂缝被溶蚀改造而成, 呈不规则带状或串珠状分布 (图 1-H), 溶缝的形成不仅可以扩大空间, 同时也改善了油气运移的条件 (图 1-H)。

## 1.3 白云岩储层物性特征

根据储集空间类型白云岩储层可以划分为孔隙型、孔洞型、缝洞型和裂缝型 4 种。而一套白云岩储层往往是多种类型的复合。

### (1) 孔隙型储层的物性特征

孔隙型储层为白云岩主要储层类型之一, 往往表现为很好的储渗能力, 其岩性主要为细-粗晶白云岩, 尤其是糖粒状白云岩。在和 4 井寒武系、中 13 井和古隆 1 井鹰山组都发育该类储层。

古隆 1 井鹰山组 5875.5~6453 m 井段为灰、云岩互层及厚层云岩夹灰岩沉积。从岩心薄片及扫描电镜资料看, 古隆 1 井鹰山组灰云岩段面孔隙率较泥晶砂屑灰岩段要高, 白云岩主要为细晶、中晶云岩晶间孔发育, 晶间溶孔少见。鹰山组裂缝以构造缝及缝合线为主, 早期形成的各种裂缝多被方解石、白云石及沥青质半充填—全充填。岩心见多期不同产状的裂缝相互交切形成网状裂缝, 从而提高了岩石的渗透性。常规物性分析 12 块样, 最大孔隙度 1.2%, 最小孔隙度 0.3%, 平均孔隙度 0.70%; 最大渗透率  $6.34 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ , 最小  $0.02 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ , 平均  $0.81 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 。从孔隙度、渗透率分布频率直方图 (图 2) 可看出, 0.5%~1.0% 为孔隙度优势分布区, 样品频率数为 83.3%, 渗透率主要分布于  $0.01 \times 10^{-3} \sim 0.05 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ , 渗透率在  $1 \times 10^{-3} \sim 10 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$  的频率数为 25.0%。

### (2) 孔洞型储层的物性特征

溶蚀孔洞型储层的基质物性相对较差。塔北雅克拉地区 S88 井下奥陶统蓬莱坝组白云岩位于构造不整合面之下, 尽管有断裂影响的深潜流带岩溶形成的孔洞, 但受大气水-海水混合以及受层序不整合面控制的白云岩岩心物性分析结果表明: 78% 的孔隙度分布在 0~2%, 约 50% 的渗透率小于  $0.01 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$  (图 3)。塔中地区塔中 1 井 3750 m 之下的白云岩溶蚀孔洞型储层, 54% 的孔隙度分布在 0~2%, 约 18% 的渗透率分布在  $0.01 \times 10^{-3} \sim 10 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 。

### (3) 缝洞型储层的物性特征

缝洞型白云岩储层的物性明显较溶蚀孔洞型储

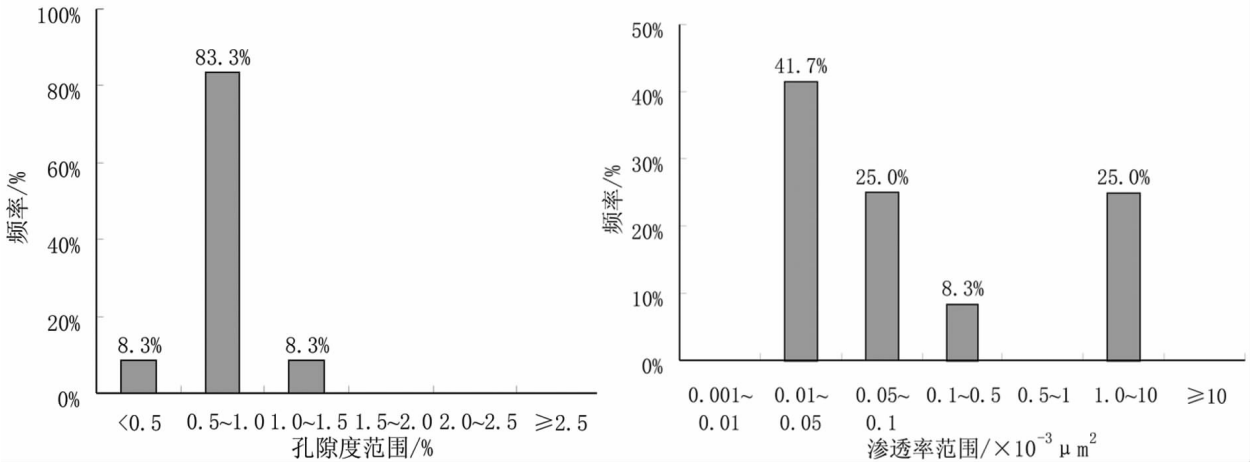


图 2 古隆 1 井鹰山组岩心孔隙度、渗透率分布直方图  
 Fig.2 Distribution histogram of porosity and permeability of Yingshan Formation at well GL1

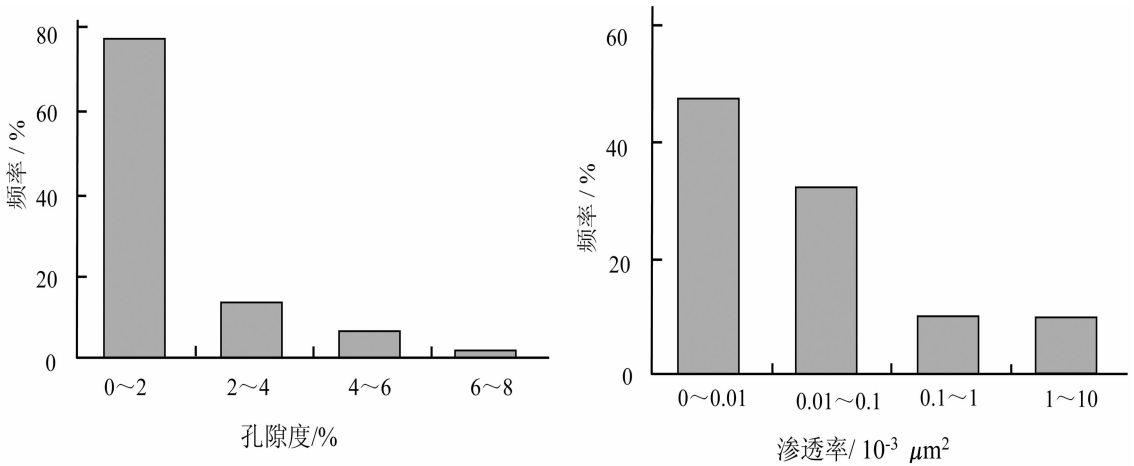


图 3 沙 88 井溶蚀孔洞型白云岩储层孔渗分布图  
 Fig.3 Distribution histogram of dissolution cave dolomite reservoirs of well S88

层好,构造不整合面控制的岩溶叠加构造热液改造是白云岩成为好储层的重要因素。塔北雅克拉地区沙 15 井钻遇下奥陶统白云岩的岩心样品孔隙度的 80%分布在 0~4%,约 35%样品的渗透率分布在  $1 \times 10^{-3} \sim 10 \times 10^{-3} \mu m$  (图 4)。塔中地区塔中 1 井 3588~3750 m 井段白云岩位于构造不整合面之下 160 m 深度范围内,岩心岩溶缝孔洞发育,其孔隙度的 60%的分布在 0~4%,约 66%样品的渗透率分布在  $0.01 \times 10^{-3} \sim 10 \times 10^{-3} \mu m$ 。

(4)构造裂缝型储层

构造裂缝型储层在白云岩储层中具有广泛性,往往发育在断裂构造带和构造转换带部位,常常形成复合型优质白云岩储层。储渗空间主要为斜交层面或高角度斜交层面的未充填构造裂隙,其他类型

的储渗空间欠发育,构造破裂作用是此类储层形成的主要机制。早期裂缝往往被方解石等胶结充填,位于塔中隆起构造高部位的中 4 井寒武系—奥陶系白云岩发育,5153~5973 m 3 次取心裂缝发育,其中 5811.52~5817.07 m 裂缝面密度达到 20%,呈网状分布,然而均被方解石充填,造成该井储层不发育。晚期裂缝常常形成优质储层,如塔北沙 15 井 5437.30~5438.30 m、5413.49~5417.66 m 段岩心上发育此种类型的储层。

2 白云岩储层成因类型

以白云岩的成因及形成环境(白云化作用)的变迁为主线,以白云石结构类型为基础,将塔里木盆地古生界白云岩储层大致可分 4 类(表 1):同生-准

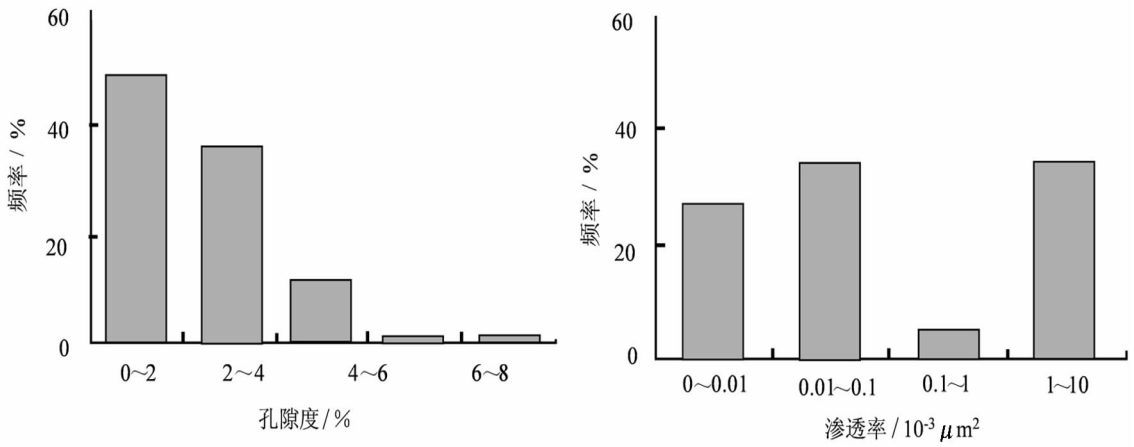


图 4 沙 15 井缝洞型白云岩储层孔渗分布图

Fig.4 Distribution histogram of fracture-hole dolomite reservoirs of well S15

同生白云岩储层、埋藏型白云岩储层、构造-热液改造型白云岩储层和岩溶白云岩储层。其中同生-准同生白云岩储层可进一步划分为局限台地白云岩储层和礁滩相白云岩储层；埋藏型白云岩储层可划分为浅-中埋藏白云岩储层和深埋藏白云岩储层。岩溶白云岩储层实际上与白云化作用没有关系，它们是白云岩暴露地表后由于大气淡水溶蚀作用（即岩溶）形成的储层，即非白云化作用白云岩储层。

2.1 准同生白云岩储层

同生-准同生白云岩储层为分布广泛的低孔、低渗储层或非储层，可进一步划分为：局限台地型白云岩储层和礁滩相白云岩储层。薄片观察发现局限台地白云岩储层物性较差，而礁滩相白云岩储层物

性相对较好。礁滩相白云岩的原始成分为台内、台缘礁滩相的方解石质颗粒及灰泥沉积物。在准同生期由生物骨架、颗粒支撑形成大量原生孔隙，主要孔隙类型为粒间孔、体腔孔、藻间孔、遮蔽孔、晶间孔，孔隙度可达 30%以上<sup>[4]</sup>。然而，在经历了广泛而持久的卤水回流白云化作用以及深埋藏的压实作用和强烈的成岩作用后，孔隙度大大下降，而且储集空间主要由后期的溶蚀作用形成的铸模孔和构造裂缝组成，面孔率仅为 1%~4%（图 5），其中裂缝的贡献率为 1%~1.5%。因此，此类型的白云岩基本上为差（III 级）储层或非储层（IV 类）。它们的分布严格受到沉积环境的控制，因此分布非常广泛。但由于储层物性较差，其本身并不能构成有规模的有效储层，不过可以为

表 1 塔里木盆地地下古生界白云岩储层类型及特征

Table 1 Types and characteristics of Lower Paleozoic dolomite reservoirs in Tarim basin

形成机理	白云化作用				岩溶作用	
形成阶段	同生-准同生期		埋藏期		构造-热液	表生期
储层类型	局限台地	台缘礁滩	浅-中埋藏	深埋藏	构造-热液	岩溶
白云石(岩)结构	泥-粉晶白云石, 原生沉积构造	残余拟晶, 原生沉积构造	细-中晶、直面-他形白云石漂晶、基质	中-粗晶、曲面-他形白云石嵌晶	鞍形白云石、曲面白云石嵌晶	先成白云石结构
孔隙类型	原始晶间孔, 裂缝	晶间孔、残留粒间孔、裂缝	晶间孔、压溶缝、裂缝	晶间孔、裂缝	溶蚀残留孔、裂缝、压溶缝、晶间孔	溶蚀孔(洞)、缝, 粒内溶孔-针孔
孔隙度	1%~4%		2%~8%	1%~4%	6%~15%	一般 3%~10%
分布	台内潮坪	台缘	台内/斜坡富泥碳酸盐岩	不确定	沿张性(或扭张)构造线	古隆起

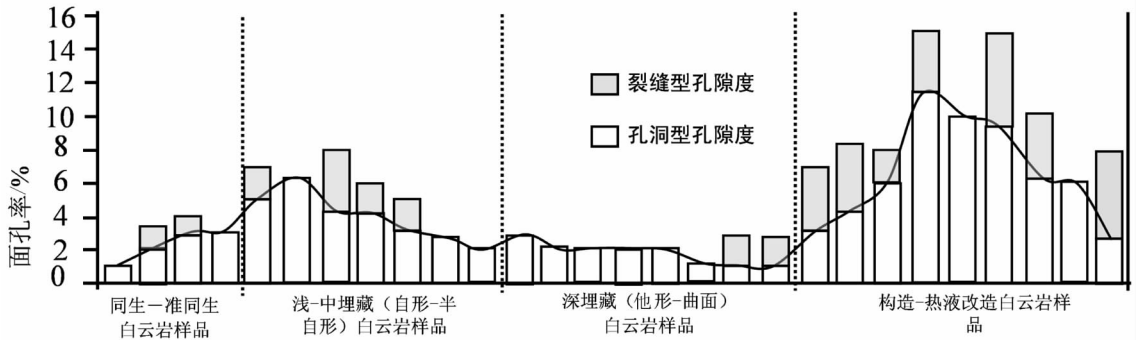


图 5 塔里木盆地古生界不同白云岩类型(铸体薄片)实测孔隙度(面孔率)变化  
Fig.5 Variations of measured porosity of different types of Lower Paleozoic dolomite in Tarim basin

随后的进一步白云化作用提供充分的物质基础。

## 2.2 埋藏型白云岩储层

从面孔率统计来看,区内浅-中埋藏白云岩的物性相对较好,主要由自形-半自形白云石组成,孔隙度比较高(2%~8%)(图 5),其中含有漂浮状白云石的部分白云岩化的灰岩往往由于溶蚀作用形成了许多密布的微孔隙(图 1),从而使灰泥基质变得疏松多孔。而自形-半自形的砂糖状结构白云岩孔隙类型主要为晶间孔,同时少量的构造裂缝也为这两种白云岩的孔隙度有所贡献。Weyl(1960)采用体积减小的原理来解释砂糖状结构白云岩的高孔隙度,这种模型假定白云石化是在封闭体系中进行<sup>[12]</sup>。当白云石交代灰岩中的组分后,如方解石或文石,减小了矿物体积,即增大了孔隙,因为白云石比方解石和方解石具有较小的摩尔体积。建立该模型的基础是观察到白云石含量不断增加时,相应的孔隙度也增加,还有一个因素是白云石的菱面体生长时会创造一个刚性的骨架,在骨架间的方解石灰泥被溶蚀之后,就创造了孔隙空间。这类白云岩可以成为中等-差的储层,主要分布于台内潟湖和台缘斜坡(或陆棚)富泥质碳酸盐岩沉积中。而深埋藏白云岩储层物性较差,面孔率一般 $\leq 2.5\%$ ,基本上没有多大的储集性,即使加上裂缝作用的贡献也是差储层。

## 2.3 构造-热液型白云岩储层

构造-热液白云岩化作用在塔里木盆地古生界发育,是形成优质储层的重要作用<sup>[13-15]</sup>。在构造-热液白云岩化的过程中热流体会对围岩造成一定的溶蚀,使原岩的孔隙度和连通性大大增加,往往可以形成优质的储层。重要的是随着热液向断裂系统以外的范围扩散,并产生大量溶孔,围岩会发生强烈的

重结晶或交代作用,在孔隙中虽有鞍状白云石沉淀,但由于  $Mg^{2+}$  主要来自本层白云岩围岩的溶蚀,热流体中  $Mg^{2+}$  的浓度并不高,因此鞍状白云石的丰度并不高,常常保存了大量的残留孔洞。此外,构造-热液白云岩中的构造裂缝往往也比较发育,丰富的断裂系统会引起白云岩的角砾化,并且由于裂缝的连通,加强孔-缝的联系,裂缝的发育又增强了热液流体对白云岩的溶蚀,这都大大提高了原岩的储集性能<sup>[16-17]</sup>。构造-热液改造型白云岩储层的面孔率可达到 6%~15%,是区内储集性能最好的白云岩储层。

## 2.4 岩溶型白云岩储层

风化壳岩溶的发育主要与重大的海平面升降或构造运动造成的陆地大面积暴露有关,常常是地层学中的主要不整合面。一般而言,暴露时间越长,岩溶发育越好,储集条件越好。白云岩和灰岩在表生条件下,都会发生溶蚀,形成岩溶系统,二者之间并没有本质的区别。因此,风化壳岩溶储层模式同样适合于白云岩地层,只是在表生条件下,白云石(岩)的溶解能力要小于方解石(灰岩),因此白云岩地层的岩溶系统规模相对较小(在相同的气候条件下)。在塔中隆起、塔北隆起和巴楚隆起广泛发育加里东中期和海西期构造角度不整合,塔北隆起雅克拉断凸带还叠加了印支期不整合<sup>[18]</sup>,造成了广泛发育的岩溶型白云岩储层。在塔北、塔中、玛扎塔格(巴楚)等地区奥陶系碳酸盐岩顶部不整合面之下约 200 m 地层内发现了发育程度不同的风化壳岩溶作用及其规模不等、形态各异的岩溶缝洞系统和特征的内部充填物。塔中地区寒武系一下奥陶统白云岩大气水溶蚀作用受层序及高频层序界面的控制<sup>[6]</sup>。三级层序高水位体系域时期及层序不整合界面形成时期,台

地碳酸盐岩暴露出水面遭受大气淡水淋滤及风化剥蚀,导致了溶蚀孔隙(洞)的发育。

基于白云石和方解石在表生大气淡水中的溶解度及物理性质差异,受岩溶作用改造的白云岩储层主要发育晶间孔、晶间溶孔、溶蚀孔洞外,局部发育一些中、小型溶洞和风化裂隙,如塔中 38、塔中 1 等井剖面的下奥陶统白云岩段与石炭系直接接触,经海西早期不整合侵蚀面改造,白云岩层段的缝、孔洞较发育,岩石中均见有针孔及中小型溶洞,但白云岩层发育原始晶间孔、晶间溶孔、溶蚀孔洞,使得大气水进入地层后以弥散渗流方式缓慢运动,流动改造的结果是原始孔隙空间的溶蚀扩大和地层的均匀整体溶蚀。这些特征决定了下奥陶统白云岩岩溶储层的发育主要形成馒头山,难见大型洞穴系统,故从不整合面向下,岩心溶蚀孔洞面孔率从 40% 减小到 5%<sup>[19-20]</sup>。在白云岩区,白云岩中溶洞规模相对较小,直径一般不超过 1 m,充填程度较低,为白云岩角砾、粘土和碳酸盐矿物等充填或半充填。溶蚀孔洞多呈蜂窝状,部分呈拉长状沿水平方向分布,面孔率一般为 3%~12%,最高可达 15%以上,总体表现为较好储层。溶蚀孔洞中渗流沉积物和示底构造的发育,以及它们产出于不整合面附近的特征,可与埋藏环境中形成的溶蚀孔洞相区别。

### 3 结 论

塔里木盆地寒武系—奥陶系白云岩储层储集空间主要为孔隙和裂缝两大类,根据储集空间特征,白云岩储层可以划分为孔隙型、孔洞型、缝洞型和裂缝型 4 种。孔隙型储层为白云岩主要储层类型之一,往往表现为较好的储渗能力,其岩性主要为细—粗晶白云岩,尤其是糖粒状白云岩。孔洞型白云岩储层的基质物性相对较差;缝洞型储层物性明显变好,整体测试往往获得较高产能。构造裂缝型储层在白云岩储层中具有广泛性,往往发育在断裂构造带和构造转换带部位,常常形成复合型优质白云岩储层。从成因上分析,优质白云岩储层主要为构造热液白云岩、风化溶蚀白云岩和浅埋藏白云岩。

### 参考文献(References):

- [1] Allan J R, Wiggins W D. Dolomite reservoirs. Geochemical techniques for evaluating origin and distribution: AAPG Continuing Education Course Notes Series 36. 1993.
- [2] 郑和荣, 吴茂炳, 邬兴威, 等. 塔里木盆地中生界白云岩储层油

- 气勘探前景[J]. 石油学报, 2007, 28(2):1-7
- Zheng Herong, Wu Maobing, Wu Xingwe, et al. Oil-gas exploration prospect of dolomite reservoir in the Lower Paleozoic of Tarim Basin [J]. Acta Petrolei Sinica, 2007, 28(2):1-7(in Chinese with English abstract).
- [3] 云露, 翟晓先. 塔里木盆地塔深 1 井寒武系储层与成藏特征探讨[J]. 石油与天然气地质, 2008, 29(6):727-734.
- Yun Lu, Zhai Xiaoxian. Discussion on characteristics of the Cambrian reservoirs and hydrocarbon accumulation in Well Tashen-1, Tarim Basin [J]. Oil & Gas Geology, 2008, 29(6):727-734 (in Chinese with English abstract).
- [4] 邵龙义, 何宏, 彭苏萍, 等. 塔里木盆地巴楚隆起寒武系及奥陶系白云岩类型及形成机理[J]. 古地理学报, 2002, 4(2):20-31.
- Shao Longyi, He Hong, Peng Supin, et al. Types and origin of dolostones of the Cambrian and Ordovician of Bachu uplift area in Tarim Basin[J]. Journal of Palaeogeography, 2002, 4(2):20-31 (in Chinese with English abstract).
- [5] 何莹, 鲍志东, 沈安江, 等. 塔里木盆地牙哈—英买力地区寒武系—下奥陶统白云岩形成机理[J]. 沉积学报, 2006, 24(6):806-818.
- He Ying, Bao Zhidong, Shen Anjiang, et al. The Genetic mechanism of dolostones of the Cambrian—Lower Ordovician in Yaha—Yingmaili region, Tarim Basin [J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2006, 24(6):806-818 (in Chinese with English abstract).
- [6] 李宇翔, 李国蓉, 顾炎午, 等. 塔中地区寒武系—下奥陶统白云岩层序不整合面控制的大气水溶蚀作用研究[J]. 岩性油气藏, 2009, 21(2):245-254.
- Li Yuxiang, Li Guorong, Gu Yanwu, et al. Meteoric water karstification controlled by sequence unconformity of Cambrian—Lower Ordovician in Tazhong area [J]. Lithologic Reservoirs, 2009, 21(2):245-254 (in Chinese with English abstract).
- [7] 胡九珍, 刘树根, 冉启贵, 等. 塔东地区寒武系—下奥陶统成岩作用特征及对优质储层形成的影响 [J]. 成都理工大学学报, 2009, 36(2):138-146.
- Hu Jiuzhen, Liu Shugen, Ran Qigui, et al. Diagenetic characteristics and their effect on the formation of good-quality reservoirs of the Cambrian System to Lower Ordovician in the east of Tarim Basin [J]. Journal of Chengdu University of Technology, 2009, 36(2):138-146(in Chinese with English abstract).
- [8] 张军涛, 胡文瑛, 钱一雄, 等. 塔里木盆地白云岩储层类型划分、测井模型及其应用[J]. 地质学报, 2008, 82(3):381-384.
- Zhang Juntao, Hu Wenxuan, Qian Yixiong, et al. Classification and Logging Modes of Dolomite Reservoirs in the Tarim Basin, Northwestern China [J]. Acta Geologica Sinica, 2008, 82(3):381-384 (in Chinese with English abstract).
- [9] Wardlaw N C, Taylor R P. Mercury capillary pressure curves and the interpretation of pore structure and capillary behaviour in reservoir rocks[J]. Bull. Can. Petrol. Geol, 1976, 24(2):225-262.
- [10] Wardlaw, N C, McKellar M, Yu L. Pore and throat size distributions determined by mercury porosimetry and by direct observation[J]. Carbonates Evaporites, 1988, 3(1):1-15.

- [11] Watts N R, Coppold M P, Douglas J L. Application of reservoir geology to enhanced oil recovery from Upper Devonian Nisku Reefs, Alberta, Canada[J]. A APG Bull., 1994, 78 (1):78–101.
- [12] Weyl P K. Porosity through dolomitization:conservation of mass requirements[J]. Sediment. Petrol., 1960, 30:85–90.
- [13] 焦存礼, 何治亮, 邢秀娟, 等. 塔里木盆地构造热液白云岩及其储层意义[J]. 岩石学报, 2011, 27(1):277–283  
Jiao Cunli, He Zhiliang, Xing Xiujuan, et al. Tectonic hydrothermal dolomite and its significance of reservoirs in Tarim basin[J]. Acta Petrologica Sinica, 27(1):277–285(in Chinese with English abstract).
- [14] 陈代钊. 构造-热液白云岩化作用与白云岩储层[J]. 石油与天然气地质, 2008, 29(5):614–621.  
Chen Daizhao. Structure-controlled hydrothermal dolomitization and hydrothermal dolomite reservoirs [J]. Oil & Gas Geology, 2008, 29(5):614–621(in Chinese with English abstract).
- [15] 金之钧, 朱东亚, 胡文瑄, 等. 塔里木盆地热液活动地质地球化学特征及其对储层影响[J]. 地质学报, 2006, 80(2):245–254.  
Jin Zhijun, Zhu Dongya, Hu Wenxuan, et al. Geological and geochemical signatures of hydrothermal activity and their influence on carbonate reservoir beds in the Tarim Basin [J]. Acta Geologica Sinica, 2006,80(2):245–254(in Chinese with English abstract).
- [16] Yie D S. Diagenesis and reservoir characteristics of Cambrian through Early Ordovician dolomite in the northern Tarim basin[C] Jia R X (ed.), Petroleum Research in the Northern Tarim Basin, China; Part I. Stratigraphy and Sedimentology. Wuhan:China University of Geosciences Press, 1991:263–273.
- [17] Woody R E, Gregg J M, Koederitz L F. Effect of texture on the petrophysical properties of dolomite—evidence from the Cambrian–Ordovician of southeastern Missouri [J]. AAPG Bull, 1996, 80(1):119–132.
- [18] 何碧竹, 许志琴, 焦存礼, 等. 塔里木盆地构造不整合成因及对油气成藏的影响[J]. 岩石学报, 2011, 27(1):253–263.  
He Bizhu, Xu Zhiqin, Jiao Cunli, et al. Tectonic unconformities and forming: Implication for hydrocarbon accumulations in the Tarim Basin [J]. Acta Petrologica Sinica, 2011, 27(1):253–263 (in Chinese with English abstract).
- [19] 郭建华. 塔北、塔中地区下古生界深埋藏古岩溶 [J]. 中国岩溶, 1996, 15(3):207–217.  
Guo Jianhua. On the palaeokarst of lower palaeozoic group, Tabei and Tazhong regions of Tarim [J]. Carsologica Sinica, 1996, 15(3):253–263(in Chinese with English abstract).
- [20] 闫相宾, 李铁军, 张涛, 等. 塔中与塔河地区奥陶系岩溶储层形成条件的差异[J]. 石油与天然气地质, 2005, 26(2):203–208.  
Yan Xiangbin, Li Tiejun, Zhang Tao, et al. Differences between formation conditions of Ordovician karstic reservoirs in Tazhong and Tahe areas [J]. Oil & Gas Geology, 2005, 26(2):203–208. (in Chinese with English abstract).

## Characteristics and genetic types of Cambrian–Ordovician dolomite reservoirs in Tarim basin

JIAO Cun-li<sup>1</sup>, XING Xiu-juan<sup>2</sup>, HE Bi-zhu<sup>3</sup>,  
CHEN Dai-zhao<sup>4</sup>, LI Cheng-cheng<sup>5</sup>, LIU Zhong-bao<sup>1</sup>

(1. Sinopec Petroleum Exploration & Production Research Institute, Beijing 100083, China; 2. Sinopec International Petroleum Exploration and Production Corporation, Beijing 100083, China; 3. Key Laboratory of Continental Dynamics of Ministry of Land and Resources, Institute of Geology, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100037, China; 4. Zhongyuan Engineering Company, Puyang 457001, Henan, China)

**Abstract:** The Cambrian–Ordovician dolomite in Tarim basin is characterized by old age, deep burial and complex diagenesis. The space of the dolomite reservoir is mainly composed of pores and cracks. The pores can be further divided into such types as intercrystal pores, intercrystal dissolved pores, intracrystal pores, moldic pores and dissolved holes, while the cracks can be further divided into satures, weathering fractures and structural fractures. According to the characteristics of reservoir space, dolomite reservoirs can be divided into four kinds, i.e., pores, vuggies, fracture–pores and fractures, in which pore and fracture reservoirs are better than others. Based on the origin, dolomite reservoirs can be divided into three types, namely syngeneses, burial, structure–hydrothermal solution and weathering–crust corrosion, among which the last two types and their combinations often formed high quality reservoirs.

**Key words:** dolomite; reservoir classification; Cambrian–Ordovician; Tarim basin

**About the first author:** JIAO Cun-li, male, born in 1965, doctor and senior engineer, engages in the study of oil and gas reservoirs and exploration; E-mail: jiaocl@pepris.com.