

文章编号:0253-9985(2010)02-0455-08

塔中地区寒武-奥陶系白云岩成因类型及空间分布

杨玉芳^{1,2}, 钟建华^{1,3}, 陈志鹏³, 陈鑫³(1. 中国科学院 广州地球化学研究所, 广东 广州 510640; 2. 中国科学院 研究生院, 北京 100039;
3. 中国石油大学 地球资源与信息学院, 山东 东营 257061)

摘要:寒武-奥陶系白云岩是塔里木盆地地下古生界碳酸盐岩中重要储集岩类,综合岩心、镜下、结构组分及宏观地质背景等各种特征,将塔中地区寒武-奥陶系白云岩划分为五种类型,重点对Ⅱ型细晶及Ⅲ型中粗晶白云岩显微结构特征进行了详细阐述,指出Ⅱ型细晶白云岩具三种产状两种结构特点。Ⅲ型白云岩可以以充填物形式产于大型缝洞内,具镶嵌状结构,可同时包含Ⅰ型和Ⅱ型白云岩。探讨了白云岩的沉积组合及空间分布规律,指出了蒸发海水型、混合水型、岩溶型、埋藏型、深部溶蚀型及同生砾屑白云岩等各类型白云岩储层的有利发育区带。

关键词:成因类型;空间分布;白云岩;塔中地区;塔里木盆地

中图分类号:TE122.2 **文献标识码:**A

Genesis types and distribution pattern of the Cambrian and Ordovician dolomites in Tazhong area, the Tarim Basin

Yang Yufang^{1,2}, Zhong Jianhua³, Chen Zhipeng³ and Chen Xin³(1. Guangzhou Institute of Geochemistry, Chinese Academy of Sciences, Guangzhou, Guangdong 510640, China;
2. Graduate School of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100039, China; 3. College of Geo-resources and Information, China University of Petroleum, Dongying, Shandong 257061, China)

Abstract: The Cambrian and Ordovician dolomites are important reservoir rocks of Lower Paleozoic carbonate in Tarim Basin, which can be divided into five genesis types according to various characteristics such as cores, microscopic features, textural components and macro-geology. In this paper, the microtextures of Type Ⅱ fine crystalline dolomite and Type Ⅲ medium-coarse crystalline dolomite are described in detail, with the fine crystalline dolomite characterized by three attitudes and two textures. The Type Ⅲ dolomite can occur in bigger caves and fractures as a fill, which has a mosaic texture and may contain both Type Ⅰ and Type Ⅱ dolomites. The sedimentary combination and distribution pattern of the dolomites are discussed, and the favorable development zones of various types of dolomite, such as evaporated-seawater type, mixed-water type, karstification type, burial type, deep-dissolution type and syngenetic rudaceous type, are pointed out.

Keywords: genesis type, distribution, dolomite, Tazhong area, Tarim Basin

塔中地区白云岩储层主要发育在中上寒武统下丘里塔格群及下奥陶统上丘里塔格群下部,且厚度大、分布广,裂缝、溶洞、粒间孔及晶间孔十分发育^[1],因此研究塔中地区白云岩的成因类型、沉

积组合及空间分布特征具有重要的实际勘探意义。在塔里木盆地多年的油气勘探中,有关下古生界白云岩储层的特征、成因及储集性等方面,已进行了大量研究,取得了丰硕的成果^[2~11]。相对

收稿日期:2009-04-24。

第一作者简介:杨玉芳(1977—),女,博士研究生,构造地质、石油地质。

基金项目:国家重点基础研究计划(973计划)项目(2006CB202406);教育部博士点基金项目(20050425515)。

而言,对寒武-奥陶系白云岩的沉积组合特征、空间发育规律的认识有待进一步深入。本文旨在通过对塔中地区寒武-奥陶系白云岩储层结构组分、微观成因类型、沉积组合及空间分布规律的深入探讨,为合理进行全盆地下古生界优质储层的分布预测提供必要的地质依据。

1 白云岩结构及成因类型

塔中地区寒武-奥陶系白云石晶体大小不一,

结构特征各异,可归纳为 6 种基本类型(表 1);按其成因可划分为 5 种类型,分别为 I 型白云岩,II 型白云岩,III 型白云岩,IV 型白云岩与 V 型白云岩。

寒武-奥陶系白云岩主要为潮上带藻席蒸发白云岩,灰黄色,叠层结构发育,微晶到细晶结构为主,I 型原生白云岩占主要(图 1),反映寒武系本区属于潮间-潮上高温高盐环境。寒武系白云岩主要呈现灰白到褐色,为交代型白云岩伴随少量的白云岩胶结物(<3%),原生的石灰岩结构或者构造诸如:层理、叠层石、珊瑚化石、海百合化石、腕足

表 1 塔中地区寒武系-奥陶系白云石结构类型及特征
Table 1 Textural types and characteristics of the Cambrian and Ordovician dolomites in Tazhong area

序号	结构类型	晶体大小/mm	产状	阴极发光	CaCO ₃ 的摩尔分数, %	有序度
1	微晶白云石	<0.10	半自形-他形,晶间可含少量粘土矿物,可有石膏伴生,交代产物	不发光-昏暗光	60	0.49
2	细晶白云石	0.10~0.25	它形-半自形,浑浊,有的具残余结构,交代或充填	均一的暗红光	52	0.70
3	中、粗晶白云石	0.25~1.00	它形为主,晶体粗大,镶嵌状,浑浊-明亮,交代或充填	均一的暗红光	52	0.81~0.87
4	细、粗晶白云岩胶结物,雾心亮边白云石	0.10~0.50	半自形-自形,中心浑浊,边缘明亮,交代或充填	雾心昏暗光,亮边暗红光	45	0.82~0.88
5	环带白云石	0.10~0.50	半自形-自形,洁净的亮带与浑浊的脏带交互,充填为主	脏带昏暗光,亮带暗红光	40	0.86~0.90
6	马鞍状白云石	0.25~1.00	自形为主,晶面和解理弯曲,具波状消光,充填为主	不发光	38	0.88~0.90

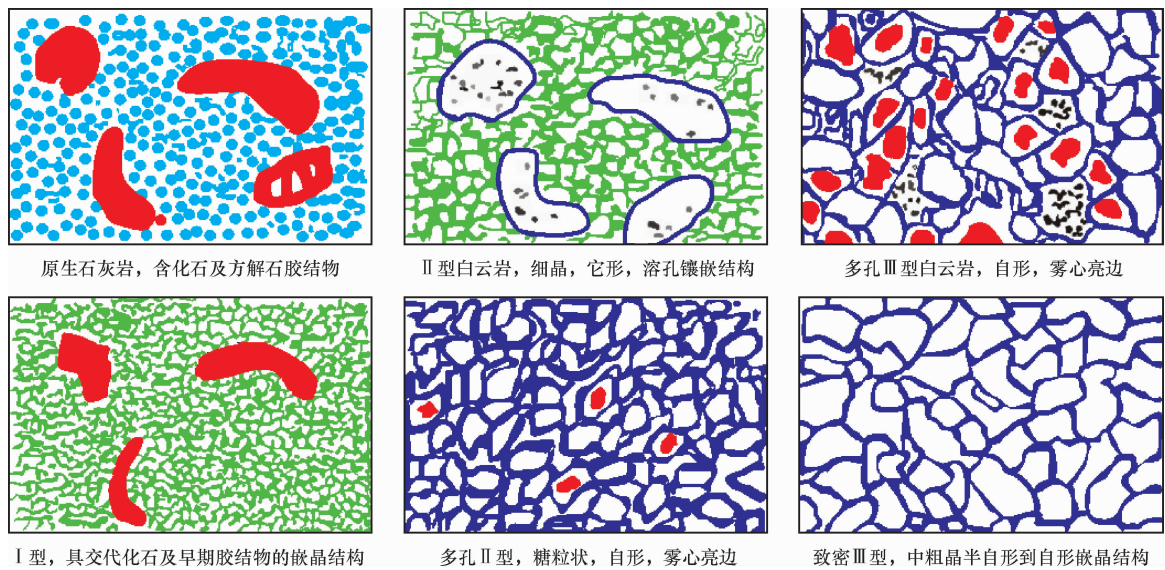


图 1 塔中地区寒武系交代白云岩结构示意图

Fig. 1 Sketch maps showing the texture of the Cambrian metasomatic dolomites in Tazhong area

动物化石及早期细纤维状、等轴状的方解石胶结物由保存到保存较好各个阶段都有。交代白云岩化作用在奥陶系非常典型且普遍,交代白云岩包括微晶到粗晶的,粒径为20~400 μm,据晶体结构大小可分三种类型:微晶白云岩(I型)、细晶白云岩(II型)及中粗晶白云岩(III型)(图1)。少量细晶到粗晶、半透明及马鞍状白云岩在交代白云岩中也常有发生。II型白云岩是最常见的,约占整个交代白云岩含量的80%,I型白云岩约占15%,而III型白云岩则占3%,体积上相对比较少。

1.1 I型白云岩:具保存完好结构的微晶白云岩

通常为紧密排列的、微晶(20~50 μm)、它形、等粒状的、边部是非平面的(图2)。由这种白云石组成的微晶云岩和藻云岩成层性好,横向分布稳定,水平层理发育,主要产于潮坪环境。常能在各种沉积相带中存在,并且具有保存完好的原生石灰岩的结构,发现有海百合碎片及早期细纤维状方解石胶结物(图2a),等轴状的方解石胶结物,被白云岩交代后仍有残余结构。I型白云岩在细纤维状、等轴状方解石胶结物之后形成,但早于缝合线和裂缝(图2b)。I型白云岩大小相对均一,粒屑白云岩中的颗粒主要由泥、微晶白云石组成。推测这种白云石形成时间早,多为准同生白云石化产物,且与沉积环境密切相关。寒武系白云岩中这类白云岩发育广泛。

1.2 II型白云岩:具部分保存完好结构的细晶白云岩

为本区寒武系白云岩的主要结构类型之一。既可作为交代物产出,也可呈胶结物或充填物形式生长于各种孔隙内,或是重结晶作用的产物(图3)。

既可单独构成粉晶云岩,也可是砂砾屑的主要组分。有时可见白云石沿缝合线及其附近呈不规则斑块状或斑纹状分布,或沿生物潜穴和扰动构造分布,在多种成岩环境中均可生成,产状不同,其成因也不同。II型白云岩通常包括粒径为50~150 μm、自形到它形、连生的菱形的晶体,具有规则消光。形态通常是多孔糖粒状嵌晶结构,具平面的晶体边界,原生石灰岩结构如细纤维状及等轴状方解石胶结物都有发现(图3a,b)。晶体中心部位包含有流体包裹体,呈雾心亮边现象,边部含少量流体包裹体,较明亮,但有些晶体或含有大量流体包裹体,晶体明亮的通常占到整个晶体的10%~40%,其余则是雾状核心部分。雾状核心和富含包裹体的晶体常有暗淡的橘红色荧光,比I型白云岩更明亮。较清澈的、含包裹较少的边部则有暗淡红色荧光。许多II型白云岩镶嵌状的晶体常含少量I型白云岩,细晶结构,嵌晶接触。II型白云岩中,腕足类、珊瑚、腹足类、头足类以及海百合化石等具有选择性溶蚀现象,成为数量不等的铸模和溶孔。II型白云岩主要有以下三种不同的产状。

① 浑浊状细晶白云石:细晶云岩和残余颗粒云岩的主要组分,镜下呈浑浊状,半自形-它形为主,晶间呈直线形-凹凸形接触,局部具颗粒残余或幻影结构(图3c)。

② 亮晶白云石胶结物:分布有限,仅产于亮晶粒屑云岩的粒间孔隙中。镜下表现为以胶结物形式生长于粒间孔隙内,晶体洁净明亮,半自形细晶为主,一般发育两个世代,第一世代多呈马牙状环边,第二世代为粒状亮晶。由孔隙流体结晶生成,形成环境范围较宽,从海底成岩环境直到埋藏成岩环境均有可能生成(图3c)。

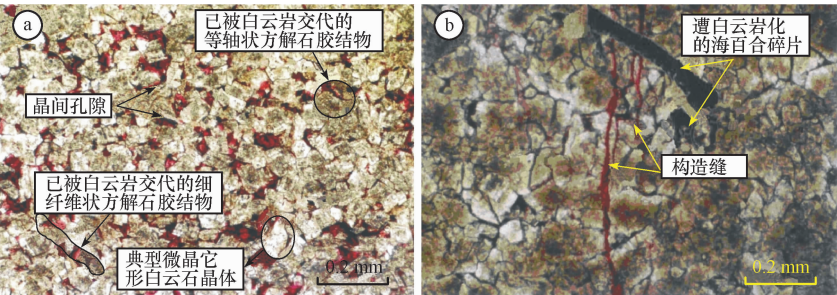


图2 塔中地区寒武-奥陶系I型白云岩显微特征
Fig. 2 Microscopic characteristics of the Type-I Cambrian-Ordovician dolomites in Tazhong area

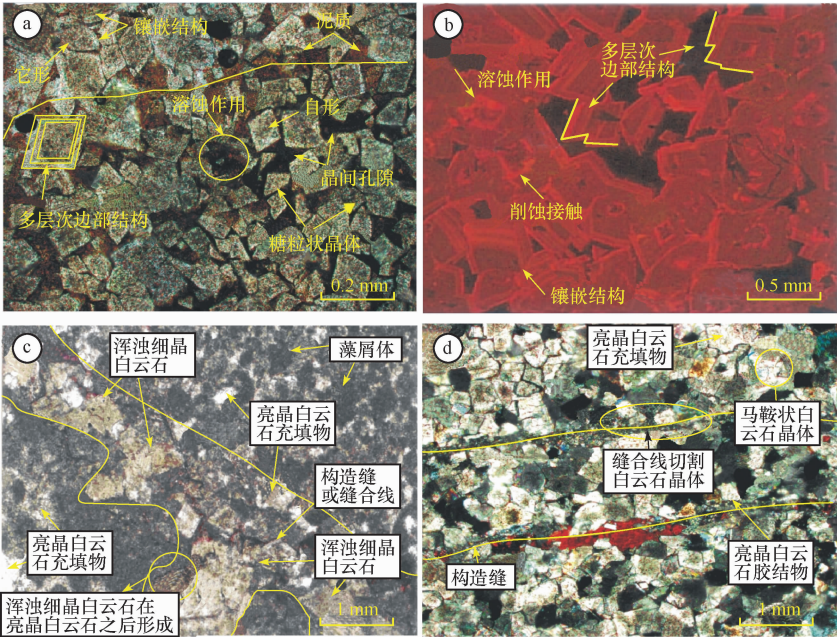


图 3 塔中地区寒武-奥陶系Ⅱ型白云岩显微特征

Fig. 3 Microscopic characteristics of the Type-II Cambrian-Ordovician dolomites in Tazhong area

③ 亮晶白云石充填物:呈充填物形式产于次生缝洞内,在交代围岩基质的基础上向缝洞中心自由生长,菱面体发育良好。岩心中可见中、粗晶甚至巨晶白云石充填物,其晶体大小与缝洞大小成正比,多产于结构裂缝和溶蚀缝洞中。据产状特征推测,这种白云石是在埋藏环境中从地层水中沉淀生成的,甚至可能是由沿构造裂缝运移来的热液中结晶生成的(图 3d)。

1.3 Ⅲ型白云岩:具保存完好结构的中、粗晶白云岩

分布较广,但比Ⅱ型白云岩少的多,可单独组成原生结构完全消失的中、粗晶白云岩,也可以以充填物形式产于大型缝洞内。多数在埋藏环境高温下生成,有的则是重结晶作用的产物。常为松

散排列、糖粒状,粒径为 150 ~ 400 μm,自形-它形,具有内生或者连生的菱形晶体,具雾心亮边现象,有时有嵌晶结构及它形非平面边界,具明显次生加大边(图 4a)。有时具明显原生结构破坏性的特点。次生加大的明亮边部通常占整个晶体的 10% ~ 30%,有雾状核心。Ⅲ型白云岩有些具弯曲的晶体边部,呈波状消光,与马鞍状白云岩类似。荧光照射为暗橘红到红色,比雾状核心的含流体包裹体的Ⅱ型白云岩更亮。Ⅲ型白云岩通常也同时包含Ⅱ型或Ⅰ型白云岩(图 4b)。

1.4 Ⅳ型白云岩:细晶到粗晶的白云岩胶结物

分布有限,仅产于亮晶粒屑云岩的粒间孔隙中。以胶结物形式生长于粒间孔隙内,晶体洁净明亮,半自形细晶为主(图 5a),一般发育两个世

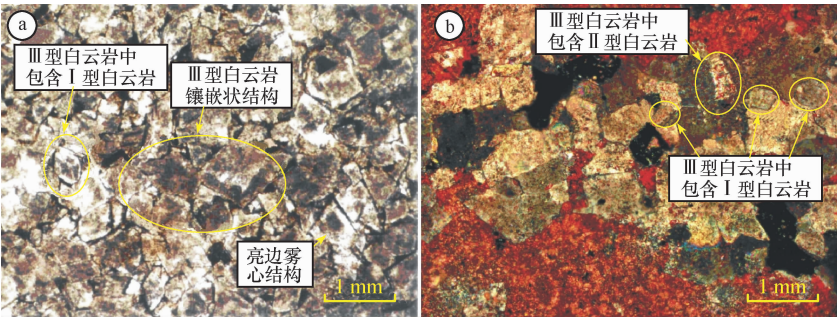


图 4 塔中地区寒武-奥陶系Ⅲ型白云岩显微特征

Fig. 4 Microscopic characteristics of the Type-III Cambrian-Ordovician dolomites in Tazhong area

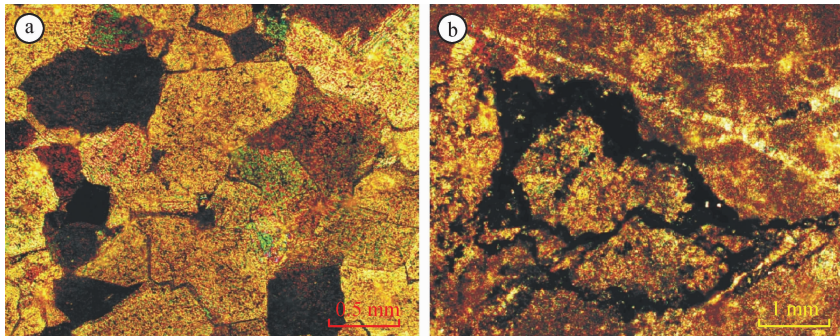


图5 塔中地区上寒武统-奥陶系细晶-粗晶白云岩胶结物显微特征

Fig. 5 Microscopic characteristics of the Upper Cambrian-Ordovician cements of fine-coarse crystalline dolomites in Tazhong area

代,第一世代多呈马牙状环边,第二世代为粒状亮晶(图5)。这种白云石由孔隙流体结晶生成,从海底成岩环境到埋藏成岩环境均有可能生成。也可呈充填物形式产于次生缝洞内,一般是在交代围岩基质的基础上向缝洞中心自由生长,菱面体发育良好。在岩心中可见中、粗晶甚至巨晶白云石充填物,晶体大小与缝洞大小成正比,多产于结构裂缝和溶蚀缝洞中(图5b)。据产状特征推测,为埋藏环境下从地层水中沉淀生成的,甚至可能是由沿构造裂缝运移来的热液结晶生成的。

1.5 V型白云岩:分散在石灰岩晶体中的细粉晶白云岩

为本区常见结构类型之一,很少单独组成白云岩,常以缝洞充填物形式产出(图6),是通过交代基质形成白云石雾心,随后次生加大形成白云石亮边。说明雾心亮边白云石形成于条件多变的

成岩环境,推测主要为混合水和埋藏成岩环境。粒屑云岩是机械搬运、沉积的白云岩碎屑颗粒由自生白云石胶结而成的白云岩,属原生白云岩类型,其形成环境多样,粒屑结构发育良好,颗粒与填隙物界线分明,有时甚至可见粒间白云石胶结物呈世代生长。角砾云岩和砾屑云岩见于塔中5井、塔中38井下奥陶统,发育于台缘斜坡相带,属海底岩崩、滑塌及碎屑流成因,其碎屑颗粒主要来源于台地边缘已固结的同时代白云岩。此类型白云岩也可呈大型溶洞充填物的形式产出,如塔中1井3 585.65~4 593.67 m井段白云岩,其粒屑成分为微晶隐藻云岩,属藻砾屑和藻砂屑,磨圆好,分选中等,推测其源于潮坪环境准同生云化形成的隐藻云岩,经破碎、搬运,在浅滩或潮沟环境中再沉积而成^[12]。粒间一般发育两期白云石胶结物,第一期呈马牙状环边,第二期为粒状亮晶白云石。另一种以塔中38井3 475.5 m以下的砂砾屑云岩为代表,发育于台缘斜坡,也可是海底碎屑流或浊流成因。

2 白云岩沉积组合及空间分布特征

塔中地区下寒武统-奥陶系为一套超过千米厚的海相碳酸盐岩,可分为两个岩性段,上段为灰岩-白云岩过渡段,主要为浅灰、褐灰色泥晶和粉晶灰岩、砂屑灰岩、白云质灰岩、灰质白云岩中有灰色、褐灰色白云岩、残余颗粒白云岩、藻白云岩以及粒屑白云岩。卡塔克1区中1井(表2)所示在早中奥陶统上段为灰色微晶灰岩、斑状灰岩,下段为灰色含油斑白云岩。

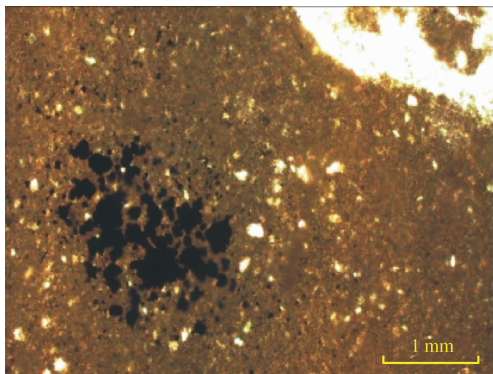


图6 塔中地区寒武-奥陶系细粉晶白云岩显微特征

Fig. 6 Microscopic characteristics of the Cambrian-Ordovician fine-powder crystalline dolomites in Tazhong area

表 2 塔中地区中 1 井早-中奥陶系岩性
Table 2 The simplified Lower-Middle Ordovician lithology in Well Zhong-1, Tazhong area

井号	岩性	时代
中 1-1	灰色微晶灰岩	早-中奥陶统
中 1-2	灰色微晶灰岩	早-中奥陶统
中 1-3	斑杂状云质灰岩	早-中奥陶统
中 1-4	瘤状灰岩	早-中奥陶统
中 1-5	斑杂状云质灰岩	早-中奥陶统
中 1-6	含油斑灰质云岩	早-中奥陶统
中 1-7	纯白云岩	早-中奥陶统
中 1-8	灰色油斑白云岩	早-中奥陶统
中 1-9-20	灰色含油斑白云岩	早-中奥陶统

塔中主体部位及北斜坡带、南斜坡带多口钻井揭示,以塔中 37、塔中 10、塔中 12、塔中 30、中 1 以及中 12 井为代表;下部为灰岩段,厚 255 ~ 608 m;上部以灰色、深灰色泥岩为主夹薄层灰岩和粉细砂岩,中 12 井下部奥陶系一间房组及鹰山组主要为灰色微晶灰岩和灰色泥晶灰岩,鹰山组底部为灰色微晶白云岩。

塔中 I 号断裂东北和塘古孜凹陷中上寒武统-上奥陶统厚度巨大,主要为一套巨厚的泥岩,下部夹薄层灰岩,中上部夹沉凝灰岩、粉砂岩、细砂岩。其中前一种类型钻井揭示较多,其下部灰岩段是主要油气显示和生油岩段。从上到下分 3

个岩性段为泥质条带灰岩段、颗粒灰岩段、含泥灰岩段。

目前钻井资料反映出白云岩化主要在下奥陶统和寒武系,层位越往下,白云岩化强度越强。白云岩化作用遍布于研究区。在垂向上白云岩化石类型分布特点是:下部以层状藻纹层白云岩和残余内碎屑角砾状含灰质白云岩-白云岩为主,往上过渡为以斑块状含白云质灰岩-灰质白云岩及条带状白云质灰岩为主,自下而上白云岩化程度由强至弱。从塔中地区奥陶系的下、中和上统相带分布及白云岩展布图分析认为,白云岩主要分布在碳酸盐台地的斜坡相带,局部分布在局限到半局限海台地相(图 7)。在分析奥陶系部分层段时发现局部层位存在着热液白云岩化作用(图 8),这些白云岩的流体包裹体具有较高的 Th 含量值,推断热液主要通过断层来源于下部地层。

根据碳氧同位素组合特征,通过确定单井的白云岩成因段、沉积组合特征,在地层对比的基础上进行白云岩成因类型的分布对比,认为其纵向与横向分布具有以下特点^[13]。

① 上寒武统-下奥陶统:纵向上,下奥陶统下部白云岩最发育,由各种白云岩不等厚互层所成。向上逐渐过渡为白云岩与灰岩的不等厚互层,且灰岩层逐渐增多、加厚。

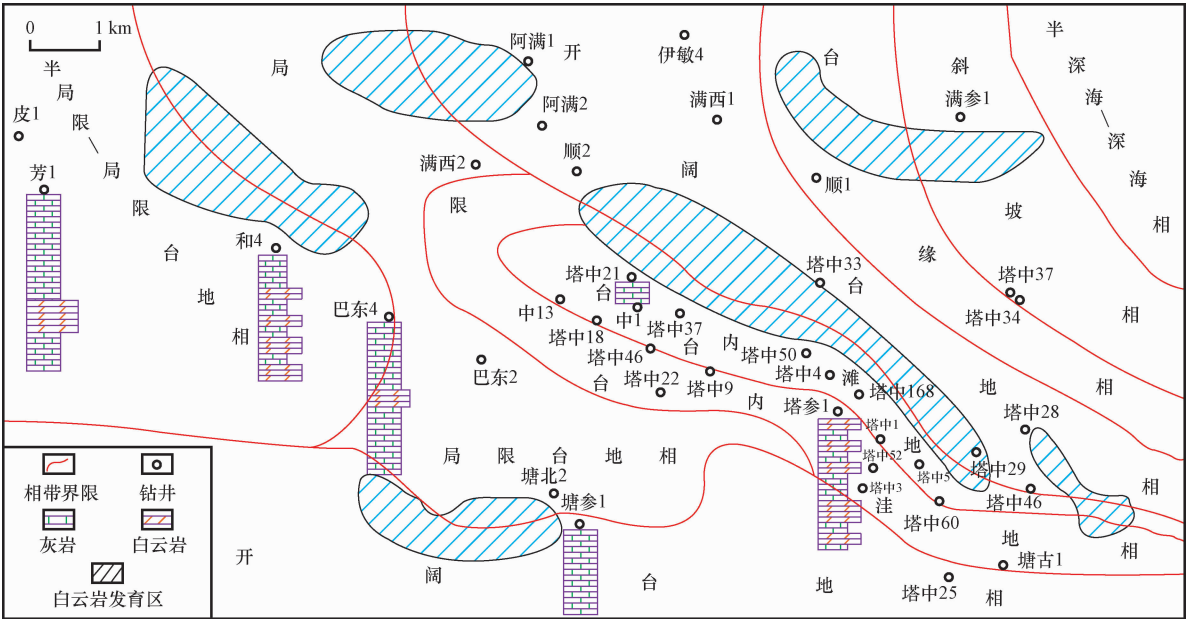


图 7 塔中地区上寒武-下奥陶统相带分布及白云岩展布
Fig. 7 Distribution of the Upper Cambrian-Lower Ordovician facies belts and dolomites in Tazhong area

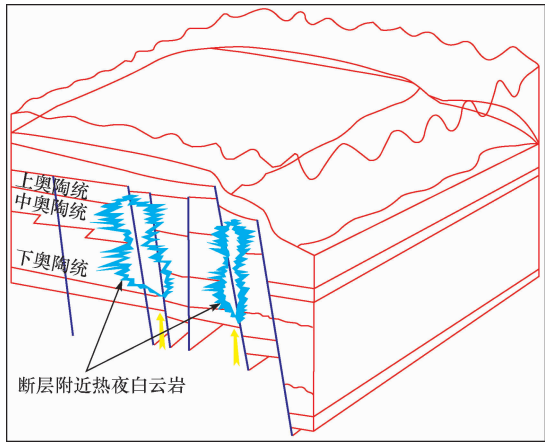


图8 塔中地区上寒武-下奥陶统部分台地断层热液白云岩化模拟示意图
Fig. 8 Sketch map showing the Upper Cambrian-Lower Ordovician hydrothermal dolomitization along a part of platform faults in Tazhong area

② 中奥陶统:塔中 I 号断裂以西以发育局限海台地相为特征,有利于白云岩的形成。因此,这一层位白云岩分布广,连续性好,层位稳定,厚度大。塔中 I 号断裂附近,推测为局限海与开阔海的相变带,向东灰岩可能增多。

③ 上奥陶统:塔中 1 井区附近继续保持局限海台地潮坪环境,形成巨厚白云岩,其余大部分地区转变为半局限海-开阔海台地环境,以白云岩与灰岩不等厚互层为特征。

值得注意的是,塔中 I 号断裂西侧,发育了粒屑滩组成的台缘镶边体系,有利于渗透回流白云化和混合水白云化作用的发生,形成粗结构白云岩,其层位和分布在台地边缘相带内是相对稳定的。

塔中 1 井和塔参 1 井上寒武统-下奥陶统白云岩主要为近地表蒸发海水和混合水成因类型,两井之间基本可以对比。塔中 1 井上寒武统-下奥陶统上部为近地表混合水白云岩,向北到塔中 43 井和向北西到塔参 1 井,这种白云岩迅速变少减薄,呈夹层产于灰岩层之间,直至尖灭。塔中 1 井上寒武统-下奥陶统中下部白云岩以近地表蒸发海水成因类型为主,与塔参 1 井下奥陶系中下部的白云岩可以对比,但塔参 1 井中部白云岩由于后期发生叠加改造,导致其碳氧同位素组成具有深部混合水成因的特点。

沿塔中 I 号断裂西侧的塔中 43 井、塔中 162 井和塔中 12 井,所钻遇的上寒武统-下奥陶统白

云岩以埋藏成因类型为主,尤其是下奥陶系下部白云岩。即使它们原来可能是近地表蒸发海水或混合水成因类型,但由于后期受到重结晶作用等的强烈改造而具有埋藏成因的特点。

通过单井白云岩成因类型分析和横剖面对比,可以预测全区寒武统-下奥陶系白云岩成因类型的平面分布。中央断垒带和塔中 1—8 潜山构造带为近地表蒸发海水和混合水白云岩优势分布区,是寻找古风化壳岩溶控制的白云岩储层的有利地区。沿塔中 I 号断裂西侧的塔中 45 井-塔中 54 井-塔中 26 井一带,是以埋藏成因白云岩为主的分布区,结构类型主要为结晶云岩和残余颗粒云岩等,推测为深部溶蚀型白云岩储层发育区带。塔中 5 井-塔中 38 井一带在早奥陶世中期为台地斜坡相带,主要以沉积角砾云岩、砾屑云岩、砂屑云岩等为特征,属于同生粒屑云岩分布区,其储集性能应该是较好的。其余地区,由于钻井和地球化学分析资料不足,推测为多成因白云岩分布区,也就是说既有近地表成因白云岩,也有埋藏成因白云岩。

3 结论

1) 塔中地区寒武-奥陶系白云岩可分为 5 种类型: I 型为具有保存完好结构的微晶白云岩、II 型为具有部分保存完好结构的细晶白云岩、III 型为具有保存完好结构的中粗晶白云岩、IV 型为细晶到粗晶的白云岩胶结物及 V 型为分散在石灰岩晶体中的细粉晶白云岩。

2) 中央断垒带和塔中 1—8 潜山构造带是寻找古风化壳岩溶作用控制的白云岩储层的有利地区。沿塔中 I 号断裂西侧的塔中 45 井-塔中 54 井-塔中 26 井一带,为深部溶蚀型白云岩储层发育区带。塔中 5 井-塔中 38 井一带属于同生粒屑云岩分布区,其储集性能较好。

3) 塔里木盆地寒武系-下奥陶统白云岩储层非常发育,储层的形成是多期次、多类型地质作用的综合结果,具备较好的成藏条件。加强以白云岩储层为目标的研究和勘探力度,积极探索,重点突破,必将迎来塔里木盆地油气勘探的新突破。

参 考 文 献

1 史基安. 塔里木盆地西北缘震旦系和古生代白云岩成因及其储集性[J]. 沉积学报, 1993, 11(2): 43 ~ 50

2 顾家裕. 塔里木盆地地下奥陶统白云岩特征及成因[J]. 新疆石油地质, 2000, 21(2): 120 ~ 122

3 沈昭国, 陈永武, 郭建华. 塔里木盆地地下古生界白云石化成因机理及模式探讨[J]. 新疆石油地质, 1995, 15(4): 319 ~ 323

4 崔海峰, 张年春, 郑多明, 等. 塔里木盆地牙哈断裂构造带寒武系白云岩潜山储层预测[J]. 石油与天然气地质, 2009, 30(1): 116 ~ 121

5 翟永红. 塔中地区奥陶系白云岩特征及成因[J]. 江汉石油学院学报, 1992, 14(4): 1 ~ 6

6 张涛, 闫相宾. 塔里木盆地深层碳酸盐岩储层主控因素探讨[J]. 石油与天然气地质, 2007, 28(6): 745 ~ 754

7 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): 202 ~ 207

8 于炳松, 陈建强, 林畅松, 等. 塔里木盆地奥陶系层序地层格架

及其对碳酸盐岩储集体发育的控制[J]. 石油与天然气地质, 2005, 26(3): 305 ~ 316

9 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 ~ 253

10 王恕一, 黄继文, 蒋小琼. 塔里木盆地上奥陶统沉积及古地理特征[J]. 石油实验地质, 2006, 28(3): 236 ~ 242

11 朱井泉, 吴仕强, 王国学. 塔里木盆地寒武-奥陶系主要白云岩类型及孔隙发育特征[J]. 地学前缘, 2008, 15(2): 67 ~ 79

12 强子同. 碳酸盐岩储层地质学[M]. 山东东营: 石油大学出版社, 1998. 18 ~ 48

13 顾家裕, 朱筱敏, 贾进华, 等. 塔里木盆地沉积与储层[M]. 北京: 石油工业出版社, 2003. 185 ~ 204

(编辑 张亚雄)

(上接第 454 页)

12 Morad S, Ketzer J M, De Ros L F. Spatial and temporal distribution of diagenetic alterations in siliciclastic rocks; implications for mass transfer in sedimentary basins [J]. Sedimentology, 2000, 47 (Sup): 95 ~ 120

13 Al-Ramadan K, Morad S, Proust J N, et al. Distribution of diagenetic alterations in siliciclastic shoreface deposits within a sequence stratigraphic framework: evidence from the Upper Jurassic, Boulonnais, NW France [J]. Journal of Sedimentary Research, 2005, 75: 943 ~ 959

14 Salem A M, Ketzer J M, Morad S. Diagenesis and reservoir-quality evolution of incised valley sandstones: evidence from the Abu Madi Gas Reservoirs (Upper Miocene), the Nile Delta Basin, Egypt [J]. Journal of Sedimentary Research, 2005, 75: 572 ~ 584

15 Posamentier H W, Allen G P. Siliciclastic sequence stratigraphy- concepts and applications [A]. In: Concepts in sedimentology [C]. Society of Economic Palaeontologists and Mineralogists, 1999, 7: 210

16 王起琮. 旋回层序地层的控制因素[J]. 石油与天然气地质, 2009, 30(5): 648 ~ 656

17 李阳. 惠民凹陷基山砂体成岩作用及对油气圈闭的影响[J]. 岩石学报, 2006, 22(8): 2 205 ~ 2 212

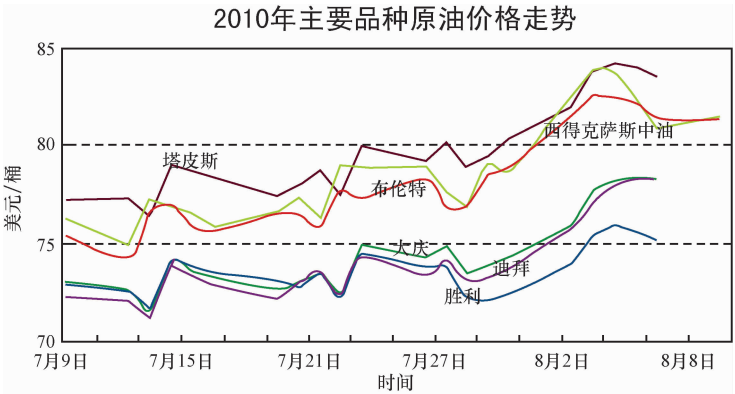
18 王秉海, 钱凯. 胜利油区地质研究与勘探实践[M]. 山东东营: 石油大学出版社, 1997. 60 ~ 70

19 杨剑萍, 许正豪, 姜在兴, 等. 山东惠民凹陷中央隆起带古近系沙河街组层序地层特征及控制因素研究[J]. 沉积学报, 2003, 21(4): 670 ~ 674

20 操应长, 姜在兴, 李春华, 等. 山东惠民凹陷中央隆起带古近系沙三段层序地层及沉积演化[J]. 古地理学报, 2002, 4(3): 40 ~ 46

21 杨剑萍, 操应长. 惠民凹陷下第三系沙河街组基山砂体成因及石油地质意义[J]. 石油大学学报(自然科学版), 1999, 23(4): 9 ~ 12

(编辑 李 军)



(高岩 摘自《石油商报》)