

文章编号: 1000-0550(2013)01-0089-10

塔里木盆地寒武系与蒸发岩相关的白云岩储层特征及主控因素^①

郑剑锋^{1 2} 沈安江^{1 2} 刘永福³ 陈永权³

(1. 中国石油杭州地质研究院 杭州 310023; 2. 中国石油集团碳酸盐岩储层重点实验室 杭州 310023;

3. 中国石油塔里木油田分公司 新疆库尔勒 841000)

摘要 塔里木盆地寒武系广泛发育白云岩,其中中寒武世地层沉积了巨厚的蒸发岩,蒸发岩和白云岩可以构成很好的储盖组合,该领域也是塔里木盆地未来勘探的新领域。萨布哈白云岩和渗透回流白云岩是两种与蒸发岩相关的白云岩,其储层发育的主控因素也都与蒸发岩存在着直接或间接的联系。通过对大量岩芯、薄片、主量元素、稀土元素、碳、氧稳定同位素及锶稳定同位素等地球化学测试和测井资料的细致研究,系统总结了它们的岩石学特征、地球化学特征。萨布哈白云岩储层的岩性以含石膏的泥—粉晶白云岩为特征,孔隙类型主要为膏模孔和溶塌角砾间孔,萨布哈白云石化作用及伴生石膏的沉淀作用和准同生期大气淡水溶蚀作用是该类储层的主控因素;渗透回流白云岩储层的岩性以保留原岩颗粒或藻(丘)格架结构的粉晶白云岩为特征,孔隙类型主要为粒间孔、铸模孔、格架孔,渗透回流白云石化作用和大气淡水溶蚀作用是该类储层的主控因素。两者主要发育于塔里木盆地干旱气候背景下的中—下寒武统地层,其分布规律主要受沉积相控制。

关键词 蒸发岩 特征 主控因素 白云岩储层 寒武系 塔里木盆地

第一作者简介 郑剑锋 男 1977年出生 硕士 工程师 碳酸盐岩沉积、储层研究 E-mail: zhengjf_hz@petrochina.com.cn

中图分类号 TE122.2 **文献标志码** A

0 引言

塔里木盆地寒武纪地层广泛发育白云岩,白云岩领域是未来勘探的重要接替领域。全球大油气田统计表明,有蒸发岩分布的含油气盆地拥有全世界50%以上的探明储量。蒸发岩又称岩盐,可以和盐间、盐下的白云岩储层构成很好的储盖组合^[1]。此外,萨布哈白云岩和渗透回流白云岩的形成也都与蒸发岩有关,可见蒸发岩的存在意义重大。钻井和地震揭示塔里木盆地中西台地区中寒武世地层沉积了巨厚的蒸发岩,其中就发育许多与蒸发岩有关的白云岩储层。按白云岩成因分类,可以把塔里木盆地的白云岩储层分为萨布哈白云岩储层、渗透回流白云岩储层、埋藏白云岩储层和热液白云岩储层,前两种储层是与蒸发岩有关的,其最大的区别在于萨布哈白云岩储层主要发育于潮间—潮上坪,而渗透回流白云岩储层主要发育于蒸发台地或潟湖中^[2]。从目前公开发表的文献来看,前人对塔里木盆地的埋藏型、热液型、

潜山型白云岩储层的研究较多^[3-16],而对与蒸发岩有关的白云岩储层的研究却相对较少,本文系统描述了与蒸发岩有关的萨布哈白云岩储层和渗透回流白云岩储层的宏观、微观岩石学特征及地球化学特征,并对储层形成的主控因素及发育规律进行了分析,为该领域的下一步勘探提供依据。

1 区域地质背景

塔里木盆地位于天山、昆仑山和阿尔金山之间,是一个由古生代克拉通盆地和中、新生代前陆盆地叠加而成的复合盆地,盆地中心为塔克拉玛干沙漠。塔里木盆地寒武纪主要为蒸发台地、局限台地相沉积环境,大规模发育白云岩,其中,中寒武世主要为干旱气候环境,形成了巴楚—英买力大潟湖(图1),并沉积了巨厚的蒸发岩。这种岩相古地理、古气候背景为萨布哈白云石化和渗透回流白云石化作用的发生奠定了基础。本文研究区位于中西台地的寒武系,地层序列自下而上为下统的玉尔吐斯组、肖尔布拉克组、吾

^①国家科技重大专项“大型油气田及煤层气开发专项”(编号2008ZX05004—002)资助
收稿日期:2012-01-20; 收修稿日期:2012-04-18

松格尔组,中统的沙依里克组、阿瓦塔格组和上统的丘里塔格组,其中蒸发岩主要发育于中寒武世地层中,早寒武世地层中也少量发育。从和4井实钻资料来看,蒸发岩的厚度可达360 m(图2)。目前塔里木盆地中下寒武统盐间—盐下白云岩储层的勘探程度不高,自20世纪90年代中期以来,钻遇中寒武统蒸发岩层的只有牙哈5、牙哈10、牙哈7x-1、英买36、和4、和6、方1、康2及塔参1井等十来口井,其中和4井、方1井钻穿了整个寒武系。

2 岩石学特征

2.1 萨布哈白云岩储层

萨布哈白云岩储层的岩石特征为:(1)岩性多以纹层状泥晶白云岩、粉晶白云岩和泥晶隐藻白云岩为主,夹溶塌角砾岩(图3A—E);(2)由于岩石在氧化环境受到长期暴露,故呈褐色、暗红色(图3A、B),并可见干裂、泥裂及鸟眼等暴露构造;(3)又由于发育于干旱气候背景下,故常伴生硬石膏(图3C、E),并且

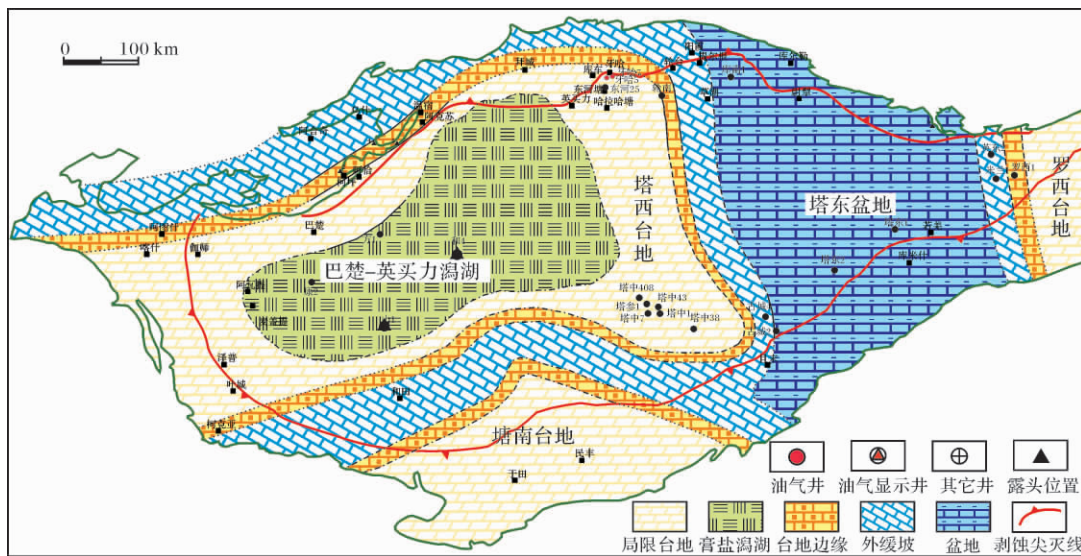


图1 塔里木盆地中寒武统岩相古地理图(塔里木油田,2008)

Fig. 1 The map showing Middle Cambrian lithofacies paleogeography in Tarim Basin (Tarim Oil field, 2008)

地层				地层剖面	厚度/m	岩性描述	代表井
界	系	统	组				
古生界	寒武系	上统	丘里塔格组		722	灰、深灰色白云岩为主,夹灰质白云岩。	和4井
			阿瓦塔格组		326	上部以褐灰、深灰色白云岩、灰质白云岩、膏质白云岩为主,夹白云质盐岩。中下部以灰白、浅褐灰色盐岩、膏盐岩为主,夹白云岩、膏质泥岩。	
		下统	沙依里克组		237	上部以褐灰色灰岩为主,中下部以褐色盐岩为主,夹红色泥岩、泥质白云岩,底部为灰色辉绿岩。	
			吾松格尔组		103	深灰色白云岩,含灰白云岩。	
			肖尔布拉克组		204	上部以褐灰、灰色白云岩、灰岩互层为主,下部为巨厚层状灰白色白云岩为主。	
			玉尔吐斯组		28	褐灰色硅藻岩。	

图2 塔里木盆地寒武系地层综合柱状图

Fig. 2 The strata composite column of Cambrian in Tarim Basin

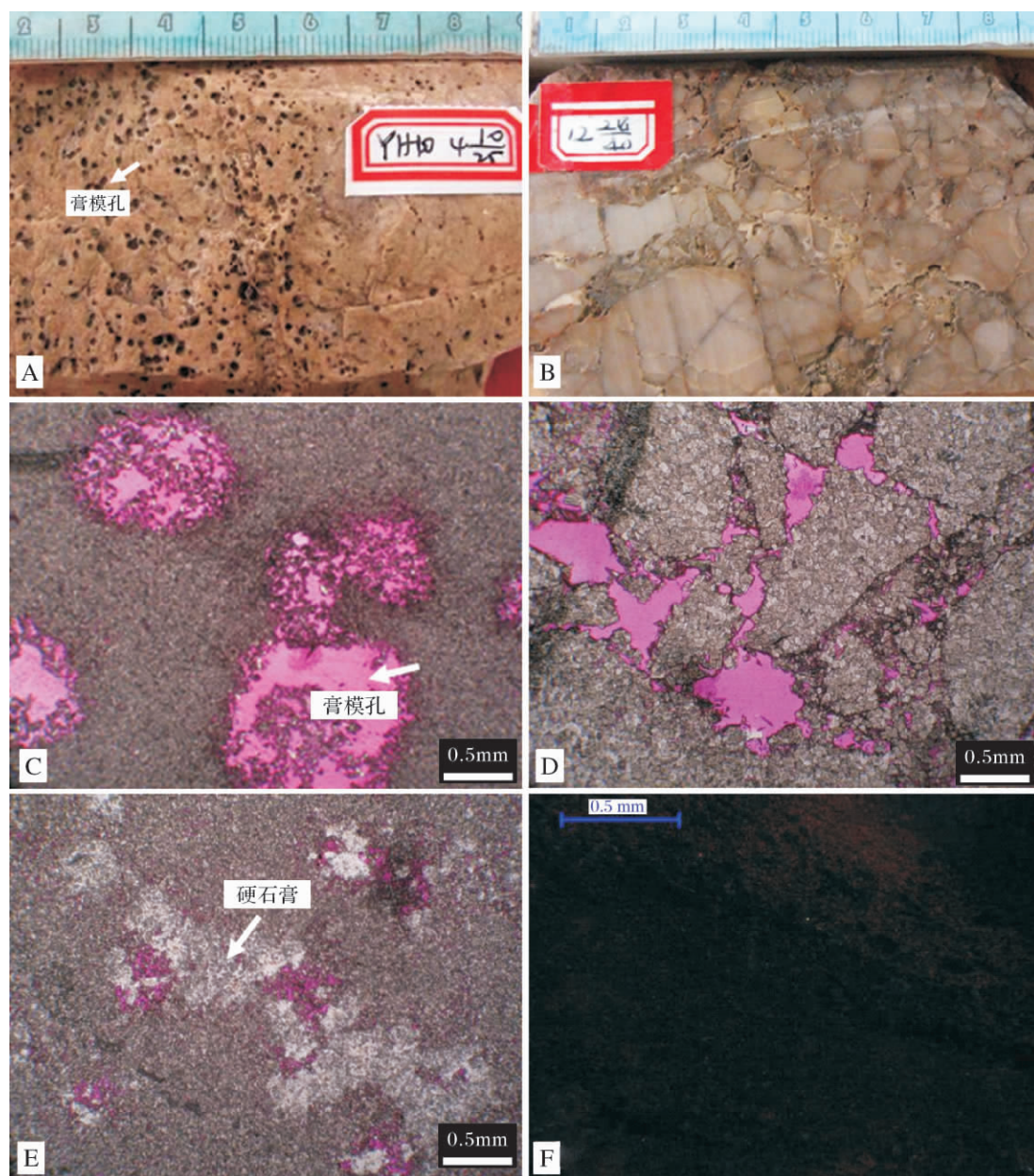


图 3 塔里木盆地寒武系萨布哈白云岩储层岩石特征

A. 灰褐色含膏泥晶白云岩, 1~2 mm 膏模孔呈蜂窝状发育, 牙哈 10 井, 中寒武统沙依里克组, 岩芯; B. 灰褐色含泥质泥晶白云岩, 纹层状结构, 石膏层溶解而使岩层塌陷, 呈网状角砾状, 沿裂缝发育较多的溶孔, 牙哈 7x-1 井, 中寒武统阿瓦塔格组, 岩芯; C. 泥晶白云岩, 粒状硬石膏被溶解形成而形成铸模孔, 牙哈 10 井, 中寒武统沙依里克组, 铸体; D. 泥晶白云岩, 角砾状, 砾间溶孔发育, 牙哈 10 井, 中寒武统沙依里克组, 铸体; E. 泥晶白云岩, 粒状硬石膏被部分溶解形成少量孔隙, 牙哈 10 井, 中寒武统沙依里克组, 铸体; F. 含硅质硬石膏泥晶白云岩, 白云岩发暗棕色光; 硬石膏和硅质均不发光, 和 4 井, 中寒武统阿瓦塔格组, 阴极发光。

Fig. 3 The petrological features of Cambrian sabkha dolomite reservoir in Tarim basin

由于位于海陆过渡带靠近陆地一侧, 导致了该类白云岩具有泥质含量高的特征; (4) 阴极发光强度弱^[17], 以不发光或发暗褐色光为主(图 3F); (5) 岩石的孔隙类型为石膏及膏岩层受到溶解或垮塌而形成的膏模孔(图 3A, C) 和溶塌角砾砾间孔(图 3B, D), 对

156 个该类储层物性进行统计, 31 个样品的孔隙度 > 4.5%, 19 个样品的孔隙度在 2.5%~4.5% 之间, 48 个样品的孔隙度在 1.5%~2.5% 之间, 58 个样品的孔隙度 < 1.5%, 其中孔隙度 > 2.5% 的样品约占总样品数的 32%。

2.2 渗透回流白云岩储层

渗透回流白云岩储层的岩石特征为:(1)岩性主要以颗粒白云岩及藻白云岩为主,较好地保留了原岩的颗粒、藻(丘)格架等结构(图4A—F);(2)白云石晶体以粉晶为主(图4D—F);(3)颜色以灰色、深灰色为主,明显较萨布哈白云岩暗(图4A、B);(4)常伴生硬石膏、石盐等蒸发盐类矿物充填或半充填的原生孔隙(图4A—C、G);(5)阴极发光以暗红色、褐色光为主,由于其形成于蒸发台地(潟湖)中,发光强度较萨布哈白云岩强(图4H);(6)岩石的孔隙类型主要为残留粒间孔、格架孔、体腔孔(图4D—F)或蒸发岩类矿物及未完全白云石化的文石质颗粒受到溶解形成的铸模孔(图4C、F)。对76个该类储层物性进行统计,10个样品的孔隙度 $>4.5\%$,8个样品的孔隙度在 $2.5\% \sim 4.5\%$ 之间,12个样品的孔隙度在 $1.5\% \sim 2.5\%$ 之间,46个样品的孔隙度 $<1.5\%$,其中孔隙度 $>2.5\%$ 的样品约占总样品数的24%。

3 地球化学特征

在不同的成岩环境中,引起白云石化作用和白云石生成的流体显然具有不同的成分与特性,或多或少地留下其地球化学烙印^[18],利用C、O、Sr同位素、主量元素、稀土元素等测试数据进行综合分析,能较好地反映成岩流体的特性,从而识别出白云岩的成因。文中,元素分析数据和碳、氧同位素数据分别测试于中石油碳酸盐岩储层重点实验室 Panalytical Axios XRF 和 DELTA V 型碳、氧同位素质谱仪;锶同位素和稀土元素分别测试于国土资源部宜昌检测中心固态质谱仪和 IVP—MS (X Series II)。

3.1 主量元素

通过对塔里木盆地寒武系泥、粉晶白云岩中的全岩主量元素 CaO 和 MgO 百分含量值进行交汇分析可以看出(图5A),萨布哈白云岩的 CaO 和 MgO 百分含量具有线性正相关的趋势^[19],同时 SiO_2 ($7.6\% \sim 33.71\%$) 和 Al_2O_3 ($2.85\% \sim 8.86\%$) 含量明显偏高,反映了萨布哈白云岩位于海陆过渡带靠近陆地一侧,具有高泥质含量的特征,为准同生期沉积成因而非后期交代成因的产物。渗透回流白云岩的 CaO 和 MgO 百分含量具有线性负相关的趋势,并且整体具有高 CaO 低 MgO 的特征,反映了渗透回流白云岩泥质含量低的特点。

3.2 稀土元素

一些经历过成岩作用和变质作用的碳酸盐沉积

物,其稀土元素的含量基本相同,这说明了碳酸盐沉积物沉积之后,在成岩过程中稀土元素只发生微小变化,所以利用稀土元素也能较好地反映白云岩的成因。通过对塔里木盆地寒武系泥、粉晶白云岩的稀土元素进行球粒陨石标准化可以看出,萨布哈白云岩和渗透回流白云岩的稀土元素特征是不同的(图5B)。萨布哈白云岩的中稀土元素含量比渗透回流白云岩高,这是由于碳酸盐岩中的稀土元素总量在沉积岩中是最低的,但泥质的增加会导致稀土元素含量的增加。又由于 Ce^{3+} 在大洋中会被氧化为 Ce^{4+} ,以 CeO_2 的形势沉淀出来,故海水的 Ce 表现为亏损的特征,而形成萨布哈白云岩和渗透回流白云岩的成岩流体主要为高盐度的海水,所以从配分模式图中也可看出它们整体也表现为 Ce 的负异常,但随着泥质含量的增加,Ce 的亏损会逐渐消失^[20],故萨布哈白云岩 Ce 的亏损程度要比渗透回流白云岩低。

3.3 碳、氧稳定同位素

白云石的碳、氧稳定同位素组成与引起白云石化的流体介质有关,并主要受到介质盐度和温度的影响。海水蒸发作用使海水的碳、氧同位素向偏正方向迁移。相反,埋藏条件下地下卤水是海水、地层水,包括有淡水和海水混入的地下流体,再加上高温使氧同位素向偏负的方向迁移^[21]。从塔里木盆地寒武系泥、粉晶白云岩的 $\delta^{13}\text{C}$ 和 $\delta^{18}\text{O}$ 交会图可以看出(图5C):萨布哈白云岩的 $\delta^{18}\text{O}$ 在 $-7\text{‰} \sim -4\text{‰}$ (PDB) 之间, $\delta^{13}\text{C}$ 在 $-1\text{‰} \sim +1.5\text{‰}$ (PDB) 之间,而渗透回流白云岩的 $\delta^{18}\text{O}$ 在 $-5\text{‰} \sim 0\text{‰}$ (PDB), $\delta^{13}\text{C}$ 在 $+2.5\text{‰} \sim +4\text{‰}$ (PDB) 之间,两者能很好的区别开来。对比国外全新世蒸发环境中形成的白云岩的碳、氧稳定同位素数据^[22],塔里木盆地的萨布哈白云岩的 $\delta^{18}\text{O}$ 要偏负的多,这是由于塔里木盆地白云岩的年代要老的多,而所采集样品又紧邻潜山面,在漫长的埋藏过程中受到温度、大气淡水等因素影响的结果,但总体上其变化范围窄的特征基本不变。

3.4 锶稳定同位素比值

海水的蒸发作用不会对 Sr 同位素有较大影响,所以蒸发环境形成的白云岩一般将保持着海水的 Sr 同位素特征, ^{87}Sr 的相对丰度是用 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 的比值来表达的^[20]。塔里木盆地寒武系萨布哈白云岩和渗透回流白云岩的 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 比值存在着差别(图5D),前者变化范围在 $0.7090 \sim 0.7098$ 之间,而后者在 $0.7087 \sim 0.7094$ 之间,这说明了虽然萨布哈白云岩和渗透回流白云岩都是准同生期形成的,但是萨布哈

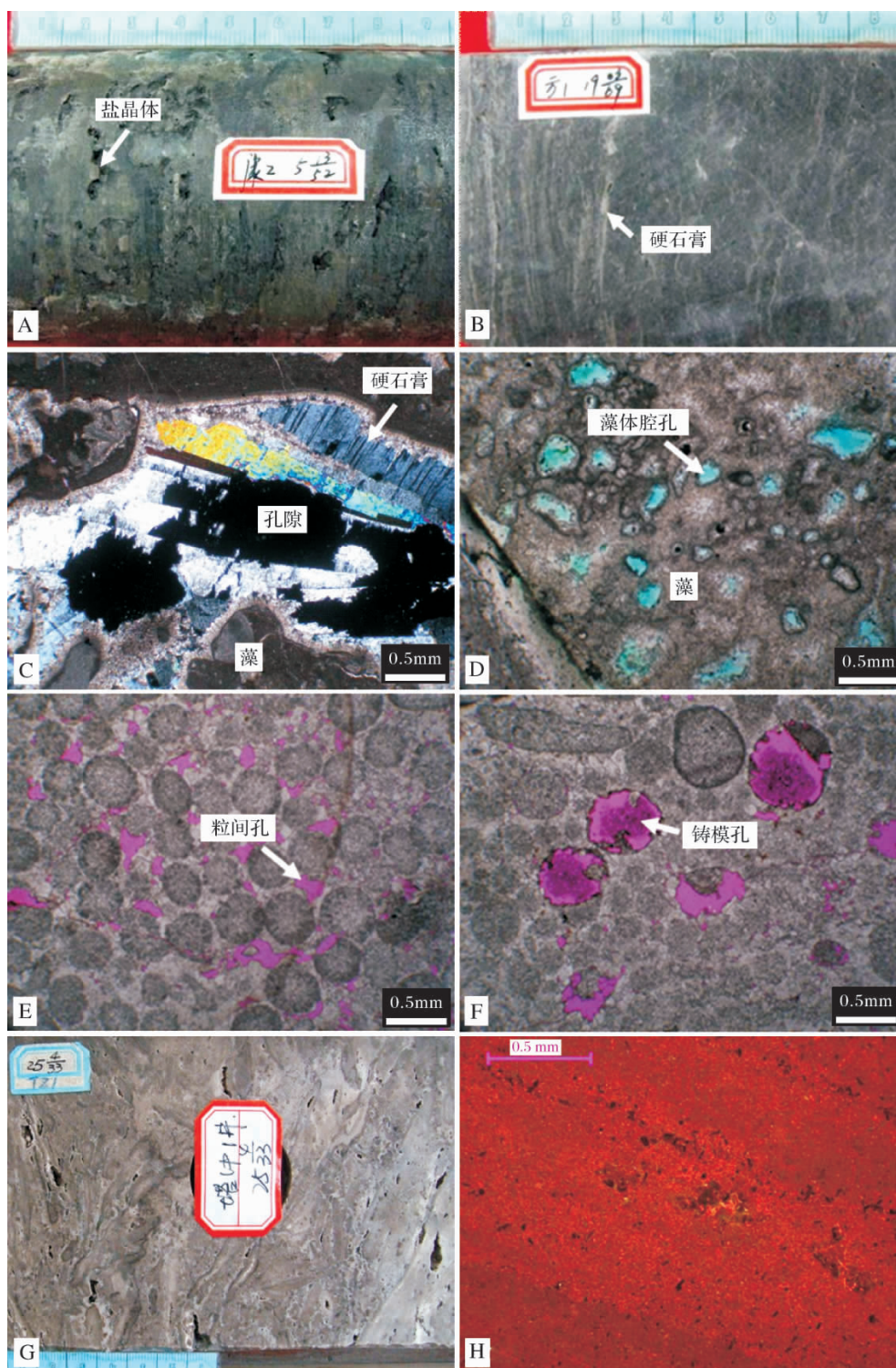


图 4 塔里木盆地寒武系渗透回流白云岩储层岩石特征

A. 深灰色泥粉晶白云岩, 见透明的盐晶体半充填孔隙, 康 2 井, 中寒武统沙依里克组, 岩芯; B. 深灰色泥粉晶藻白云岩, 隐约见纹层状结构, 硬石膏多顺层发育, 局部发育硬石膏溶孔, 方 1 井, 下寒武统玉尔吐斯组, 岩芯; C. (粉晶)藻丘白云岩, 藻格架孔被硬石膏半充填, 方 1 井, 下寒武统玉尔吐斯组, 铸体, 正交偏光; D. (粉晶)藻白云岩, 藻格架孔被硬石膏部分充填或部分硬石膏被溶解, 方 1 井, 下寒武统玉尔吐斯组, 铸体; E. 粉晶鲕粒白云岩, 粒间也被粉晶白云石半胶结, 残留较多的粒间孔, 牙哈 7x-1 井, 中寒武统阿瓦塔格组, 铸体; F. 粉晶鲕粒白云岩, 发育粒内孔、铸模孔, 粒间基本被胶结完全, 牙哈 7x-1 井, 中寒武统阿瓦塔格组, 铸体; G. 灰色颗粒白云岩, 颗粒由竹叶状颗粒、内碎屑组成, 顺层分布, 粒间胶结粉晶白云石, 发育颗粒溶蚀的铸模孔, 塔中 1 井, 上寒武统, 岩芯; H. 泥-粉晶藻白云岩, 白云石不均匀发棕褐、桔红色光; 充填方解石发棕色光为主, 康 2 井, 下寒武统肖尔布拉克组, 阴极发光;

Fig. 4 The petrological features of Cambrian seepage reflux dolomite reservoir in Tarim basin

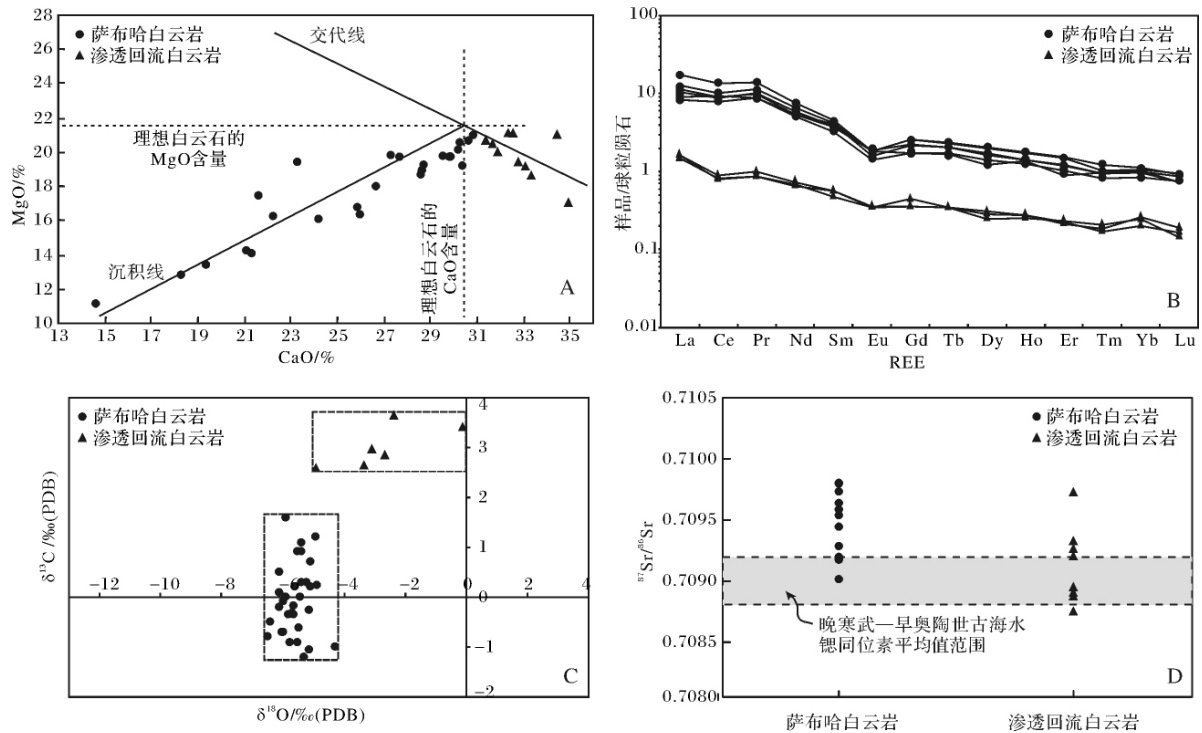


图 5 塔里木盆地地下古生界白云岩地球化学特征

A. MgO—CaO 交会图; B. 稀土元素标准化配分曲线图; C. 碳、氧稳定同位素交会图; D. ⁸⁷Sr/⁸⁶Sr 比值变化图

Fig. 5 The geochemical features of Cambrian dolomite in Tarim basin

白云岩由于常暴露在水上,能接受大气淡水的 Sr 的补充,并且受到高泥质的影响,从而导致了⁸⁷Sr/⁸⁶Sr 值较渗透回流白云岩高。

4 测井响应特征

通常利用自然伽马测井能够定性解释沉积相,而中、下寒武统的萨布哈白云岩和渗透回流白云岩的发育主要受沉积相控制,故它们的自然伽马响应特征是不同的。前文提及萨布哈白云岩储层具有泥质含量高的特点,故自然伽马曲线表现为高值;而渗透回流白云岩储层主要发育在蒸发台地(或潟湖)中,岩性以颗粒白云岩、礁丘白云岩为主,泥质含量相对较低,故自然伽马曲线表现为低值,又由于受海平面频繁变化控制,萨布哈白云岩储层和渗透回流白云岩储层交替发育,使得自然伽马曲线呈指状、箱状频繁变化的特征,如牙哈 7x-1(图 6A)和牙哈 10 井(图 6B)通过薄片标定,吻合得很好。

5 储层形成的主控因素

5.1 萨布哈白云岩储层

萨布哈白云岩储层发育于潮间—潮上坪,主要受

沉积相带的控制,在萨布哈向上变浅的地层序列中,由下至上具有气候逐渐干旱和石膏含量逐渐增多的特征^[23~25]。石膏一般以结核状或薄层状分布,很容易被罕见的雨水所溶解,所以这类储层的孔隙类型主要为石膏及膏岩层受到溶蚀而形成的膏模孔和溶塌角砾间孔。由此可见石膏的存在非常重要,它为储层的形成奠定了物质基础,而萨布哈环境的过渡属性又为频繁的大气淡水淋溶作用提供了条件(图 7)。这很好地解释了萨布哈白云岩储层为什么主要发育于萨布哈地层序列的中上部,而下部的纯泥晶白云岩反而不能发育成有效储层的原因。事实上,塔里木盆地寒武—奥陶系泥晶白云岩是非常发育的,但不含石膏的泥晶白云岩是不可能发育成储层的。

综上所述,萨布哈白云岩储层发育的主控因素为:①萨布哈白云石化作用及伴生的石膏沉淀作用为储层的形成奠定物质基础;②同生期大气淡水溶蚀作用使石膏溶解形成膏模孔及膏岩层溶解导致白云岩层垮塌形成砾间孔缝。塔里木盆地中下寒武统干旱气候背景下潮间—潮上带的膏云坪是有利储层发育区。

5.2 渗透回流白云岩储层

根据 Adams 和 Rhodes 1961 年提出的渗透回流白

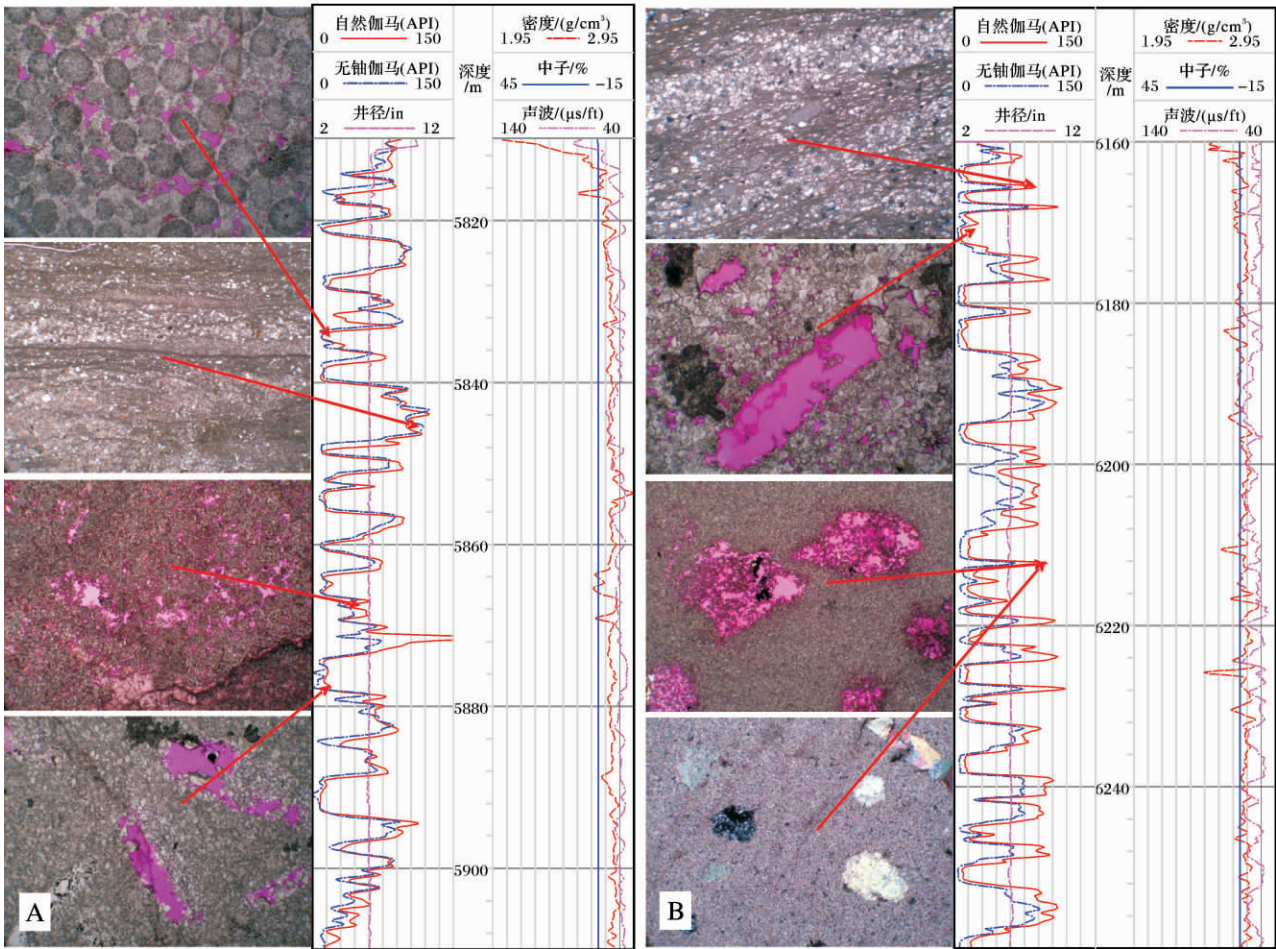


图 6 塔里木盆地萨布哈白云岩和渗透回流白云岩测井识别图

A. 牙哈 7x-1 井中寒武统地层测井响应特征与岩石对应关系; B. 牙哈 10 井中寒武统地层测井响应特征与岩石对应关系。

Fig. 6 The well logging feature of sabkha dolomite and seepage reflux dolomite reservoir in Tarim Basin

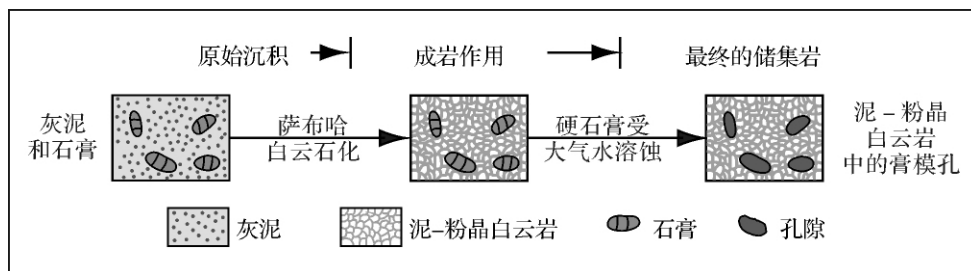


图 7 塔里木盆地萨布哈白云岩成岩演化示意图

Fig. 7 The sketch showing diagenetic processes of Cambrian sabkha dolomite in Tarim basin

云石化模式 海水受到蒸发 在潟湖内石膏达到饱和, 并沿着潟湖向陆的一侧蒸发盐发生沉淀。尽管潟湖底床向陆一侧的边缘发生蒸发盐沉淀而封闭, 但是高密度卤水仍能在蒸发岩沉淀作用带向海一侧的潟湖底床向下渗透回流, 使原始灰岩发生白云石化^[22-26]。孔隙中充填的石膏或者未完全白云石化的文石颗粒

由于礁(丘)滩体本身具有良好的物性, 最容易在原始孔隙中沉淀石膏, 并接受回流的镁离子而发生白云石化, 故台地(潟湖)一台缘的礁滩体是储层发育的优势相带。同时在干旱气候背景下, 缺乏亮晶方解石的胶结, 但又能经常受大气淡水淋溶作用的改造, 使溶解形成铸模孔(图 8)。这类储层往往位于高频旋

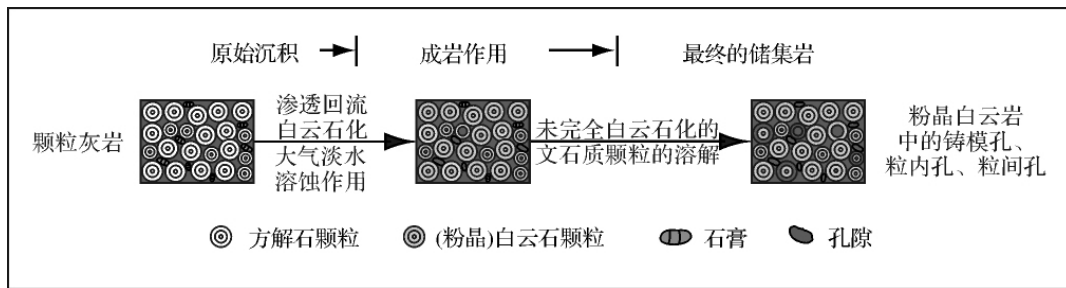


图8 塔里木盆地渗透回流白云岩储层孔隙演化示意图

Fig. 8 The sketch showing diagenetic processes of Cambrian seepage reflux dolomite in Tarim basin

回或三级旋回向上变浅序列的上部,侧向上与膏岩层相变,垂向上为膏岩层覆盖,通常所说的盐下白云岩储层就赋存于这类储盖组合中。

综上所述,渗透回流白云岩储层发育的主控因素为:①渗透回流白云石化作用保留了部分原生粒间孔及藻格架孔;②石膏沉淀及溶解作用形成膏模孔;③未完全白云石化的文石质颗粒溶解形成颗粒铸模孔、粒间溶孔。塔里木盆地中下寒武统干旱气候背景下,位于台缘带后侧、蒸发潟湖靠海一侧的礁滩体是利储层发育区。

6 结论

萨布哈白云岩储层和渗透回流白云岩储层是塔里木盆地寒武系与蒸发岩有关的两种白云岩储层,两者具有不同的识别特征,储层形成的主控因素也存在差异,但都直接或间接的与蒸发岩存在联系。

(1) 萨布哈白云岩发育于潮间—潮上坪蒸发环境,岩性上以纹层状红褐色含石膏、泥质泥晶,阴极发光不发光或发暗色光为主要特征;地球化学特征上以MgO、CaO的线性正关、高稀土含量、 $\delta^{18}\text{O}$ 值变化范围窄及 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 比值相对较高为特征;并且可以通过在幅度频繁快速变化的自然伽马曲线中寻找高值段来识别。

(2) 渗透回流白云岩发育于蒸发台地(或潟湖)环境,岩性上以灰色的保留原岩颗粒、藻(丘)格架结构的粉晶白云岩为特征,常伴生硬石膏、石盐等蒸发盐类矿物及相对较萨布哈白云岩强的阴极发光;地球化学特征上以MgO、CaO的线性负相关、稀土Ce元素负异常、相对偏正的 $\delta^{13}\text{C}$ 、 $\delta^{18}\text{O}$ 值及 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 比值相对较低为特征;并且可以通过在幅度频繁快速变化的自然伽马曲线中寻找低值段来识别。

(3) 萨布哈白云石化及伴生石膏的沉淀作用和准同生期大气淡水溶蚀作用使石膏或膏岩层溶解、垮

塌而形成膏模孔及溶塌角砾砾间孔是萨布哈白云岩储层的主控因素。

(4) 渗透回流白云石化保留了部分原生粒间孔、藻格架孔和石膏及未完全白云石化的文石质颗粒受大气淡水溶蚀形成铸模孔、粒间溶孔是渗透回流白云岩储层的主控因素。

参考文献 (References)

- 1 郑和荣,吴茂炳,邬兴威,等. 塔里木盆地地下古生界白云岩储层油气勘探前景[J]. 石油学报,2007,28(2): 1-8 [Zheng Herong, Wu Maobing, Wu Xingwei, et al. Oil-gas exploration prospect of dolomite reservoir in the Lower Paleozoic of Tarim Basin [J]. Acta Petroli Sinica, 2007, 28(2): 1-8]
- 2 沈安江,郑剑锋,潘文庆,等. 塔里木盆地地下古生界白云岩储层类型及特征[J]. 海相油气地质,2009,14(4): 1-9 [Shen Anjiang, Zheng Jianfeng, Pan Wenqing, et al. A research on dolomite reservoirs types and their characteristics from Palaeozoic carbonate, located in Tarim Basin, Western China [J]. Marine Origin Petroleum Geology, 2010, 14(4): 1-9]
- 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,1995,16(4): 319-324 [Shen Zhaoguo, Chen Youwu, Gu Jianhua. Discussion on the dolomitization characteristics and model of Lower Ordovician of Tarim Basin [J]. Xinjiang Petroleum Geology, 1995, 16(4): 319-324]
- 4 顾家裕. 塔里木盆地下奥陶统白云岩特征及成因[J]. 新疆石油地质,2000,1(2): 120-122 [Gu Jiayu. Characteristics and origin analysis of dolomite in Lower Ordovician of Tarim Basin [J]. Xinjiang Petroleum Geology, 2000, 21(2): 120-122]
- 5 杨威,王清华,刘效曾. 塔里木盆地和田河气田下奥陶统白云岩成因[J]. 沉积学报,2000,18(4): 544-548 [Yang Wei, Wang Qinhua, Liu Xiaozhen. Dolomite origin of Lower Ordovician in Hetian River Gas Field, Tarim Basin [J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2000, 18(4): 544-548]
- 6 何莹,鲍志东,沈安江,等. 塔里木盆地牙哈-英买力地区寒武系一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]
- 7 李凌, 谭秀成, 陈景山, 等. 塔中北部中下奥陶统鹰山组白云岩特征及成因[J]. 西南石油大学学报, 2007, 27(3): 35-40 [Li Ling, Tan Xiucheng, Chen Jingshan, *et al.* Characteristics and origin of dolostones in Yingshan Formation, Lower and Middle Ordovician, north of central Tarim Basin [J]. *Journal of Southwest Petroleum University*, 2007, 27(3): 35-40]
 - 8 朱井泉, 吴仕强, 王国学, 等. 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 [Zhu Jingquan, Wu Shiqiang, Wang Guoxue, *et al.* Types and porosity characteristics of the Cambrian-Ordovician dolostones in Tarim basin [J]. *Earth Science Frontiers*, 2008, 15(2): 67-79]
 - 9 刘永福, 殷军, 孙雄伟, 等. 塔里木盆地东部寒武系沉积特征及优质白云岩储层成因[J]. 天然气地球科学, 2008, 19(1): 126-132 [Liu Yongfu, Yin Jun, Sun Xiongwei, *et al.* Cambrian sedimentary characteristics and origin of high-quality dolomite reservoirs in eastern Tarim Basin [J]. *Natural Gas Geosciences*, 2008, 19(1): 126-132]
 - 10 张新华, 黄文辉, 王安甲, 等. 塔里木盆地古生界白云岩储层发育控制因素分析[J]. 西北大学学报, 2009, 39(2): 288-292 [Zhang Xinhua, Huang Wenhui, Wang Anjia, *et al.* Analysis of the reservoir development controlling factors of the Cambro-Lower Ordovician dolomite in Tarim Basin [J]. *Journal of Northwest University: Natural Science Edition*, 2009, 39(2): 288-292]
 - 11 朱东亚, 金之钧, 胡文瑄, 等. 塔中地区热液改造型白云岩储层[J]. 石油学报, 2009, 30(5): 698-704 [Zhu Dongya, Jin Zhijun, Hu Wenxuan, *et al.* Hydrothermal alteration dolomite reservoir in Tazhong area [J]. *Acta Petrologica Sinica*, 2009, 30(5): 698-704]
 - 12 陈永权, 周新源, 杨文静. 塔里木盆地寒武系白云岩的主要成因及其储层评价[J]. 海相油气地质, 2009, 14(4): 10-17 [Chen Yongquan, Zhou Xinyuan, Yang Wenjin. Genesis of Cambrian dolomite and the reservoir evaluation in Tarim Basin [J]. *Marine Origin Petroleum Geology*, 2009, 14(4): 10-17]
 - 13 邵龙义, 韩俊, 马锋, 等. 塔里木盆地东部寒武系白云岩储层及相控特征[J]. 沉积学报, 2010, 28(5): 953-961 [Shao Longyi, Han Jun, Ma Feng, *et al.* Characteristics of the Cambrian dolomite reservoirs and their facies-controlling in eastern Tarim Basin [J]. *Acta Sedimentologica Sinica*, 2010, 28(5): 953-961]
 - 14 邢凤存, 张文淮, 李思田, 等. 热流体对深埋白云岩储集性影响及其油气勘探意义[J]. 岩石学报, 2011, 27(1): 266-276 [Xing Fengcun, Zhang Wenhui, Li Sitian, *et al.* Influence of hot fluids on reservoir property of deep buried dolomite strata and its significance for petroleum exploration: A case study of Keping outcrop in Tarim basin [J]. *Acta Petrologica Sinica*, 2011, 27(1): 266-276]
 - 15 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): 277-284 [Jiao Cunli, He Zhiliang, Xing Xiujian, *et al.* Tectonic hydrothermal dolomite and its significance of reservoirs in Tarim basin [J]. *Acta Petrologica Sinica*, 2011, 27(1): 277-284]
 - 16 郑剑锋, 沈安江, 潘文庆, 等. 塔里木盆地古生界热液白云岩储层的主控因素及识别特征[J]. 海相油气地质, 2011, 16(4): 47-56 [Zheng Jianfeng, Shen Anjiang, Pan Wenqing, *et al.* Key controlling factors and identification characteristics of Lower Paleozoic hydrothermal dolomite reservoir in Tarim Basin [J]. *Marine Origin Petroleum Geology*, 2011, 16(4): 47-56]
 - 17 黄思静. 碳酸盐矿物的阴极发光性与其 Fe、Mn 含量的关系[J]. 矿物岩石, 1992, 12(4): 74-79 [Huang Sijing. Relationship between cathodoluminescence and concentration of iron and manganese in carbonate minerals [J]. *Mineralogy and Petrology*, 1992, 12(4): 74-79]
 - 18 张学丰, 胡文瑄, 张军涛, 等. 塔里木盆地奥陶统白云石化流体来源的地球化学分析[J]. 地学前缘, 2008, 15(2): 80-89 [Zhang Xuefeng, Hu Wenxuan, Zhang Juntao, *et al.* Geochemical analyses on dolomitizing fluids of Lower Ordovician carbonate reservoir in Tarim basin [J]. *Earth Science Frontiers*, 2008, 15(2): 80-89]
 - 19 陈永权, 周新源, 杨海军. 塔里木盆地塔中地区上寒武统三种截面特征白云岩的岩石地球化学特征与成因研究[J]. 沉积学报, 2010, 28(2): 209-218 [Chen Yongquan, Zhou Xinyuan, Yang Haijun. Geochemical research and genesis of dolostones with different crystal characteristics occurring in the Upper Cambrian, central area of Tarim Basin [J]. *Acta Sedimentologica Sinica*, 2010, 28(2): 209-218]
 - 20 强子同. 碳酸盐岩储层地质学[M]. 北京: 石油大学出版社, 1998: 107-157 [Qiang Zitong. *Carbonate Reservoir Geology* [M]. Beijing: University of Petroleum Press, 1998: 107-157]
 - 21 彭苏萍, 何宏, 邵龙义, 等. 塔里木盆地 ϵ -0 碳酸盐岩碳同位素组成特征[J]. 中国矿业大学学报, 2002, 31(4): 353-357 [Peng Shuping, He Hong, Shao Longyi, *et al.* Carbon isotopic compositions of the Cambrian-Ordovician carbonates in Tarim Basin [J]. *Journal of China University of Mining & Technology*, 2002, 31(4): 353-357]
 - 22 Moore C H. Carbonate Reservoirs—Porosity Evolution and Diagenesis in a Sequence Stratigraphic Framework [M]. Amsterdam: Elsevier, 2001: 145-183
 - 23 Butler G P. Evaporate deposition and geochemistry of coexisting brines, the sabkha, Trucial Coast, Arabian Gulf [J]. *Journal of Sedimentary Petrology*, 1969, 39: 70-89
 - 24 McKenzie J A. Holocene dolomitization of calcium carbonate sediments from the coastal sabkhas of Abu Dhabi, UAE: a stable isotope study [J]. *Journal of Geology*, 1981, 89: 185-198
 - 25 Haas J, Demeny A. Early dolomitisation of Late Triassic platform carbonates in the Transdanubian Range (Hungary) [J]. *Sedimentary Geology*, 2002, 151(3-4): 225-242
 - 26 Gunatilaka A. Spheroidal dolomites origin by hydrocarbon seepage? [J]. *Sedimentology*, 1989, 36(4): 701-710

Main Controlling Factors and Characteristics of Cambrian Dolomite Reservoirs Related to Evaporite in Tarim Basin

ZHENG Jian-feng^{1 2} SHEN An-jiang^{1 2} LIU Yong-fu³ CHEN Yong-quan³

(1. Hangzhou Institute of Petroleum Geology, PetroChina, Hangzhou 310023;

2. Key Laboratory of Carbonate Reservoir, CNPC, Hangzhou 310023;

3. Tarim Oilfield Company, PetroChina, Korla, Xinjiang 841000)

Abstract: Massive dolomites are widely distributed in the Cambrian System of Tarim basin, and in Middle Cambrian with thick evaporite, evaporite and dolomite can be good reservoir-seal assemblage, so the dolomite strata is a new exploration field of Tarim Basin in the future. Sabkha dolomite and seepage reflux dolomite are the two kinds of dolomite related to evaporite, and the main controlling factors of reservoir are also associated with evaporite directly or indirectly. This article summarized the petrologic and geochemical characteristics of sabkha dolomite and seepage reflux dolomite by analyzing a lot of cores, thin sections, major element, REE and stable isotope (carbon, oxygen and strontium) data. The lithology of sabkha dolomite reservoir characterized by the deposits of gypsodolomicrite, gypsum mould pores and inter-gravel pores of solution-collapse breccia are the two kinds of porosity, sabkha dolomitization, gypsum precipitation and dissolution of meteoric fresh-water are the main controlling factors of this reservoir; The lithology of seepage reflux dolomite reservoir featured by crystal powder dolomite which has reserved the original grainstone or algae mound structure, intergranular pores, mould pore, framework pores and organism pores are the main kinds of porosity, seepage reflux dolomitization and meteoric fresh-water dissolution are the main controlling factors of this reservoir; The distribution law of these two dolomite reservoirs are controlled by sedimentary facies, and chiefly developed in arid climate background of middle Cambrian, Tarim basin.

Key words: evaporite; main controlling factor; characteristics; dolomite reservoir; Cambrian; Tarim Basin