

塔里木盆地寒武统肖尔布拉克组白云岩储层特征及成因

严威¹, 郑剑锋², 陈永权¹, 黄理力², 周鹏¹, 朱永进²

(1 中国石油塔里木油田分公司; 2 中国石油杭州地质研究院)

摘要 利用钻遇肖尔布拉克组的13口井和2条露头剖面的资料,分析了白云岩储层的宏观和微观特征,认为塔里木盆地寒武统肖尔布拉克组主要发育9类岩性,孔隙的发育具有明显的岩相选择性,指出粉—细晶白云岩、砂屑白云岩、藻格架白云岩、泡沫绵层石白云岩、叠层石白云岩、凝块石白云岩和粘结(颗粒)白云岩是储层的主要载体。通过岩石学特征、多参数地球化学特征分析,结合地质背景,研究了肖尔布拉克组白云岩储层的成岩作用序列和孔隙演化史,明确了高能丘滩相的多孔沉积物是储层发育的物质基础,早表生期大气淡水溶蚀作用是储层形成的关键,埋藏(热液)溶蚀作用使储层得到了改善。

关键词 塔里木盆地; 下寒武统; 肖尔布拉克组; 白云岩; 储层特征; 成岩作用

中图分类号: TE122.2

文献标识码: A

塔里木盆地中下寒武统盐下白云岩虽然广泛分布,但近20年来的勘探一直没有取得突破,直到2012年通过中深1井肖尔布拉克组的试油(折合日产天然气 $3 \times 10^4 \text{ m}^3$ 、水 34 m^3),显露了寒武系盐下发现的重要苗头;通过中深1井的侧钻井——中深1C井肖尔布拉克组的试油(油压约40 MPa,最高折合日产气达 $216\,677 \text{ m}^3$,最终定产 $158\,545 \text{ m}^3$),使寒武系盐下白云岩由发现苗头升级为战略性突破^[1]。虽然该领域的勘探取得了突破,但由于资料限制,那里的储层类型、成因和分布规律依然不清。前人对塔里木盆地寒武统肖尔布拉克组的白云岩储层研究相对较少且不够系统。陈文玲等^[2]通过对苏盖特布拉克剖面的研究,认为肖尔布拉克组主要发育台地相的(残余)颗粒白云岩,以孔洞-裂缝型储层为主,储层主控因素为沉积作用、白云石化作用、构造作用和岩溶作用;宋金明等^[3]通过对阿克苏地区的露头进行研究,认为肖尔布拉克组上段主要发育微生物礁、包壳凝块石和泡沫绵层叠层石白云岩三种微生物岩储层,储层发育受控于沉积古地貌、成岩作用和微生物结构;熊益学等^[4]刻画了北部台缘带的展布特征,认为

肖尔布拉克组发育两期生物礁,岩性以针孔状白云岩为主,溶蚀孔洞发育;李保华等^[5]在对柯坪地区7条露头剖面的储层建模中认为台缘带储层受沉积相的控制,颗粒滩是最有利的相带,孔隙类型主要为粒间溶孔、晶间(溶)孔等。目前钻遇肖尔布拉克组的井有中深1井、中深5井、舒探1井、和4井、方1井、康2井、玉龙6井、楚探1井、巴探5井、玛北1井、牙哈5井、星火1井和新和1井,本文基于这13口井和阿克苏地区的肖尔布拉克剖面及苏盖特布拉克剖面资料,系统地表征了储层的宏观和微观特征,并开展了多参数实验测试,分析了储层成因及分布规律,以期对区带和目标评价提供依据。

1 地质背景

塔里木盆地构造上可以划分为“三隆四拗”7个构造单元,即塔北隆起、中央隆起、塔南隆起、库车拗陷、北部拗陷、西南拗陷和东南拗陷^[6],本次研究所利用的钻井和露头主要位于塔北隆起和中央隆起(图1),这些区域的整个寒武系自下而上分别为下寒武统的玉尔吐斯组、肖尔布拉克组和吾松格

收稿日期: 2016-10-14; 改回日期: 2017-02-16

本文受国家重大科技专项“大型油气田及煤层气开发”(2016ZX05004002, 2016ZX05004004)资助

严威: 1981年生,博士,高级工程师,从事塔里木盆地碳酸盐岩石油地质综合研究。通讯地址: 841000 新疆库尔勒市中国石油塔里木油田分公司; E-mail: yanwei-talm@petrochina.com.cn

组,中寒武统的沙依里克组和阿瓦塔格组,以及上寒武统的丘里塔格组,其中玉尔吐斯组与下伏震旦系成平行不整合接触,其他地层之间均呈整合接触。在前寒武纪,塔里木盆地的中央隆起区存在东西向古隆起带,环绕古隆起带的大部分地区可能为地势平坦的滨浅海碳酸盐台地。在晚震旦世末的柯坪运动中,全区抬升遭受不同程度的剥蚀,古地貌特征表现为从中央隆起带向南北两侧平缓

降低^[7]。在早寒武世早期(玉尔吐斯组沉积期),塔里木盆地经历快速海侵,形成了优质烃源岩^[7-8],随后,全盆地处于缓慢的海退期。伴随着海平面的逐渐下降,盆地中部、西部大部分区域由原来的局限—开阔台地转变为蒸发台地和局限台地(潟湖沉积),此时的台地类型经历了由早寒武世肖尔布拉克组沉积期的缓坡型台地到中寒武世镶边型蒸发台地的转变^[9-11]。

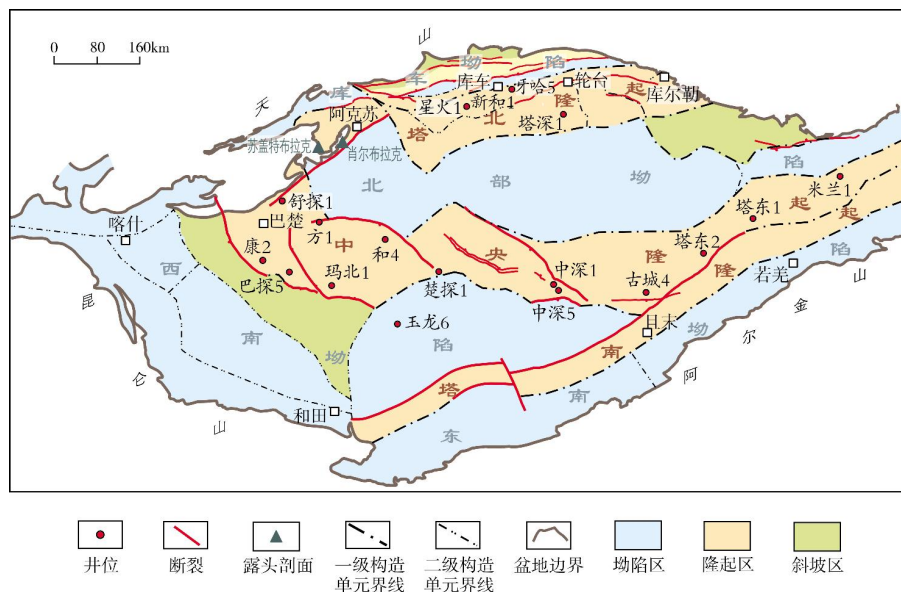


图1 塔里木盆地构造单元划分图(据文献[6]修编)

2 白云岩储层特征

2.1 岩石学特征

塔里木盆地寒武统肖尔布拉克组白云岩岩相类型丰富,主要有泥—粉晶白云岩、粉—细晶白云岩、砂屑白云岩和藻白云岩,其中藻白云岩也有学者称之为微生物白云岩^[3,12-13],但不管如何称谓,这都是一种与(菌)藻相关的岩相,它又可细分为藻格架白云岩、泡沫绵层石白云岩、叠层石白云岩、凝块石白云岩、粘结(颗粒)白云岩和层纹石白云岩。

(1)泥—粉晶白云岩呈深灰色—灰黑色,厚层状,几乎没有层理,厚度稳定,通常泥晶中含有泥质、球粒、生物碎屑,总体致密。

(2)粉—细晶白云岩(图2a)呈浅灰色—灰色,中厚层状,晶体以自形—半自形为主,多数能见到残余颗粒幻影结构,该类岩相中通常发育晶间(溶)孔。

(3)砂屑白云岩(图2b,2c)呈浅灰色—灰色,中厚层状,砂屑以不规则的藻屑为主,通常早成岩期亮晶白云石半胶结,发育较好的粒间或粒内溶孔,是滩相白云岩储层中主要的岩相。

(4)藻格架白云岩(图2d)主要发育于较大的藻类构成的藻丘建隆中,发育体腔孔和格架(溶)孔,目前这种具有格架结构的藻丘只发育于苏盖特布拉克剖面。

(5)泡沫绵层石白云岩(图2e)为泡沫状(菌)藻组成的并具有海绵状格架的一类藻白云岩^[12],发育具有成层性,由被充填的体腔孔构成该类岩相的孔隙空间,主要发育于藻丘相白云岩中,以方1井和肖尔布拉克剖面最为典型。

(6)叠层石白云岩(图2f)宏观上呈水平纹层状,由藻球粒和藻丝体构成,层与层之间或被早成岩期的亮晶白云石所充填,或残留孔隙,形成顺层发育的不规则溶孔,以舒探1井和苏盖特布拉克剖面最为典型。

(7)凝块石白云岩(图2g)为(菌)藻将藻屑、砂屑粘结成不规则的凝块状或团粒状,凝块间或内部会残留部分溶孔,该类岩相既可以存在于滩相白云岩中,也可以存在于藻丘相白云岩中。

(8)粘结(颗粒)白云岩(图2h)为(菌)藻相互粘结在一起或藻屑相对均匀地粘结在一起所构成,局部会残留部分溶孔,该类岩相存在于滩相或丘相白云岩中。

(9)层纹石白云岩(图2i)在宏观和微观上都具有明显的明暗相间纹层,相对亮色的纹层由含球粒的泥—粉晶白云岩构成,暗色的纹层由富泥(有机质)的泥晶白云岩构成,该类岩相致密,通常不发育孔隙。

总体而言,粉—细晶白云岩、砂屑白云岩和各类与藻或微生物有关的白云岩是塔里木盆地寒武统肖尔布拉克组储层的主要载体。

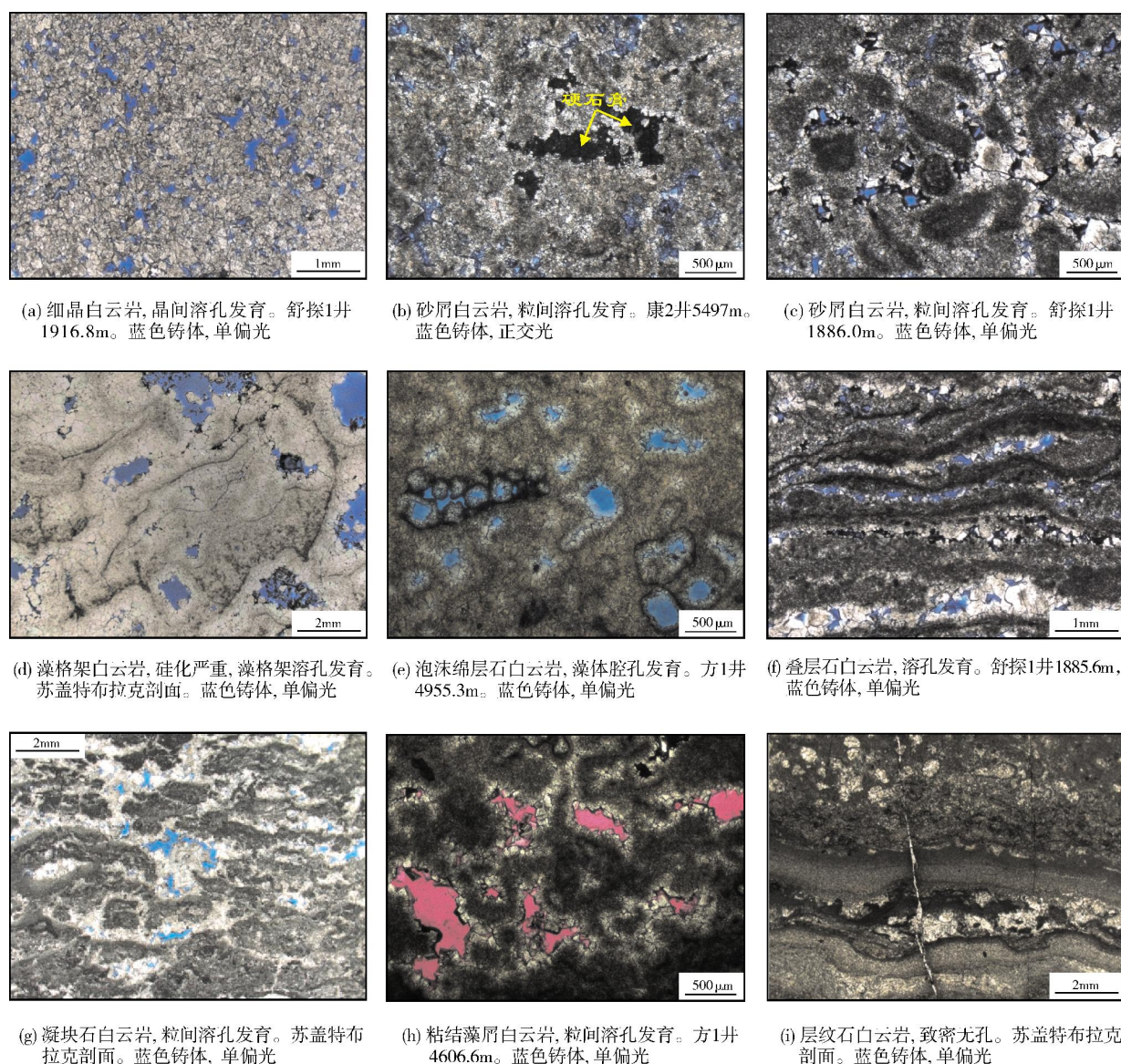


图2 塔里木盆地寒武统肖尔布拉克组白云岩储层特征

由不同岩相实测物性数据可以看出(表1),粉—细晶白云岩、藻格架白云岩孔隙度最好,孔隙度普遍高于5%,其中粉—细晶白云岩渗透率最好,综合评价

为Ⅰ类储层;砂屑白云岩、叠层石白云岩平均孔隙度高于3.5%,平均渗透率在 $0.1 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 以上,综合评价为Ⅱ类较好储层;粘结颗粒白云岩、凝块石白云岩平

均孔隙度大于2.5%, 平均渗透率在 $0.03 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 以上, 综合评价为Ⅱ类储层; 泡沫绵层石白云岩的平均孔隙度为1.87%, 综合评价为Ⅲ类储层; 泥—粉晶白云岩和层纹石白云岩总体呈现低孔低渗的特征, 平

均孔隙度仅有1%左右, 综合评价为非储层。实测物性数据反映了塔里木盆地肖尔布拉克组白云岩的岩相与物性之间具有良好的相关性, 且与薄片分析结果一致。

表1 塔里木盆地寒武统肖尔布拉克组储层物性统计

岩石类型	孔隙度(%)			渗透率($\times 10^{-3} \mu\text{m}^2$)			样品数量	储层综合评价
	最大值	最小值	平均值	最大值	最小值	平均值		
粉—细晶白云岩	10.80	1.78	5.04	13.667	0.006	1.657	21	I类
藻格架白云岩	7.50	3.50	5.50	0.720	0.012	0.366	2	I类
砂屑白云岩	8.69	1.53	3.91	11.015	0.002	0.768	28	Ⅱ类
叠层石白云岩	5.70	1.97	3.79	0.556	0.003	0.102	6	Ⅱ类
粘结颗粒白云岩	4.65	1.63	2.98	0.275	0.002	0.036	10	Ⅱ类
凝块石白云岩	6.42	1.37	2.74	0.839	0.001	0.034	25	Ⅱ类
泡沫绵层石白云岩	3.57	0.89	1.87	3.230	0.001	0.283	16	Ⅲ类
泥—粉晶白云岩	2.06	0.65	1.10	0.113	0.001	0.015	19	非储层
层纹石白云岩	1.21	0.52	0.75	0.008	0.001	0.003	4	非储层

不同岩相的白云岩储层在电成像测井图像上具有一定的可识别性。以舒探1井为例(图3), 通过岩心、薄片的标定, 该井1880~1889m井段主要发育藻叠层格架溶孔的叠层石白云岩储层, 在电成像测井图中表现为断续的明暗相间纹层(图3a); 1913~1918m井段为溶蚀孔洞发育的粉—细晶白云岩储层, 在电成像测井图中具有不均匀斑块状的特征(图3b), 暗色斑块是

溶蚀孔洞发育密集的部位; 1926~1934m井段为粒间溶孔发育的砂屑白云岩储层, 在电成像测井图中表现为豹斑状特征(图3c), 且有一定的成层性; 1934~1948m井段为致密的层纹石白云岩, 在电成像测井图中表现为连续的明暗相间纹层(图3d); 而1994~2008m井段为致密的泥—粉晶白云岩, 在电成像测井图中则表现为连续的明暗相间层(图3e), 层厚相对较大。

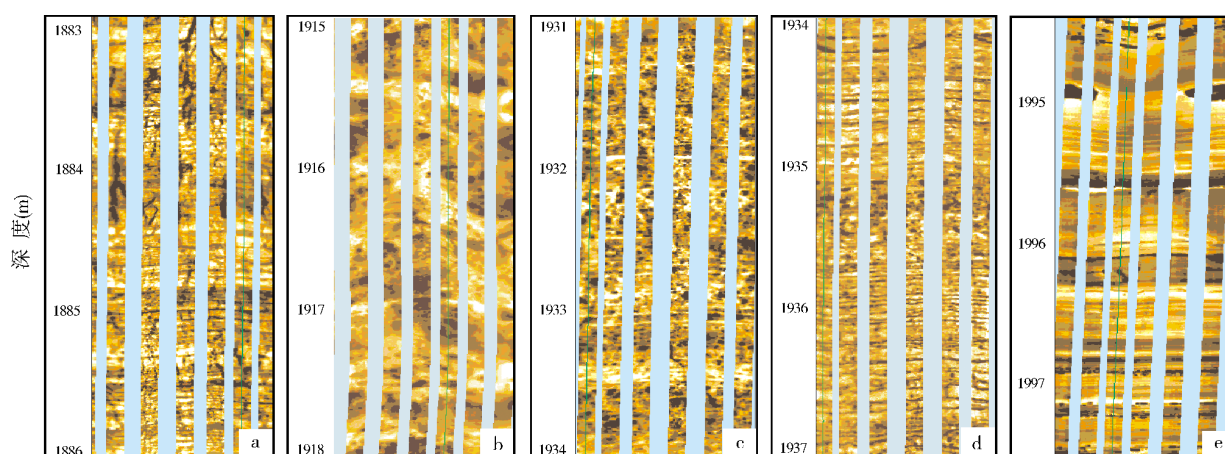


图3 塔里木盆地舒探1井肖尔布拉克组白云岩储层电成像特征

2.2 地球化学特征

不同成岩环境中的成岩流体具有不同的成分与特性, 最终岩石中必然或多或少地留下其地球化学烙印, 利用C、O、Sr同位素, 微量元素, 稀土元素等测

试数据进行综合分析, 可以较好地反映成岩环境和流体的性质。

(1) 碳、氧同位素

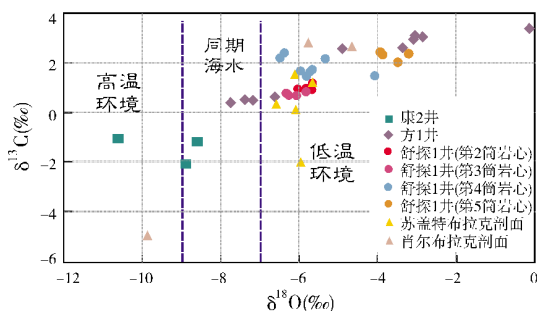
白云石的碳、氧稳定同位素组成与引起白云石化的流体介质有关, 并主要受到介质盐度和温度的

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。Veizer等^[14]通过统计全球的实验数据,认为早—中寒武世全球海水的 $\delta^{18}\text{O}$ 值在 -7‰ ~ -9‰ 之间。根据 $\delta^{18}\text{O}$ — $\delta^{13}\text{C}$ 交会图(图4a)可以看出肖尔布拉克组白云岩的 $\delta^{18}\text{O}$ 值范围或与同期海水相当,或高于同期海水,说明白云石化流体为正常海水或蒸发海水,白云石化作用发生在准同生期或早成岩期,白云岩受晚成岩期高温流体改造不明显。

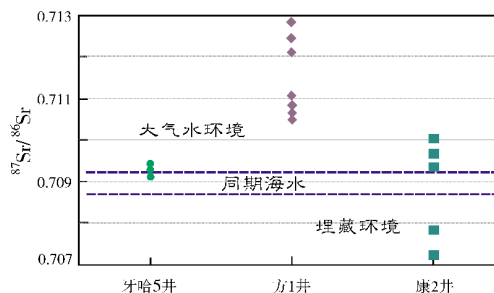
(2) 锶同位素

任一时代全球范围内海水的Sr在同位素组成上是均一的,能引起海相碳酸盐Sr同位素组成偏离海

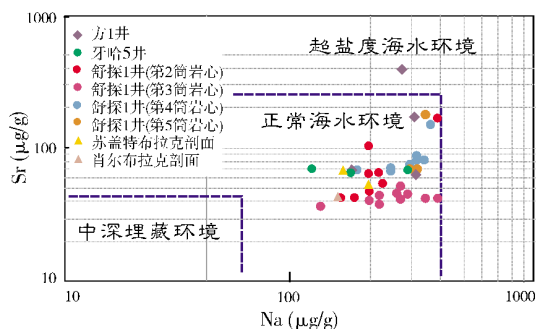
水的主要原因为:①地壳抬升造成表生成岩过程中的大气淡水作用可向海相碳酸盐矿物提供壳源Sr并改变其 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 值;②深部流体作用(包括同期火山物质的溶解)可向碳酸盐提供深源Sr并造成 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 值的降低^[15]。水的蒸发作用不会对Sr同位素有较大影响,所以蒸发环境形成的白云岩一般将保持着海水的Sr同位素特征。Denison等^[16]通过统计全球的实验数据,认为早—中寒武世全球海水的 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 值在0.709附近。根据不同井点 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 值散点图(图4b)可以看出肖尔布拉克组白云岩的 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 值一般高于同期海水,尤其是泥晶白云岩,说明白云岩在形成过程中受到了壳源锶干扰,反映在早表生期受到过暴露,经历了大气淡水成岩阶段。



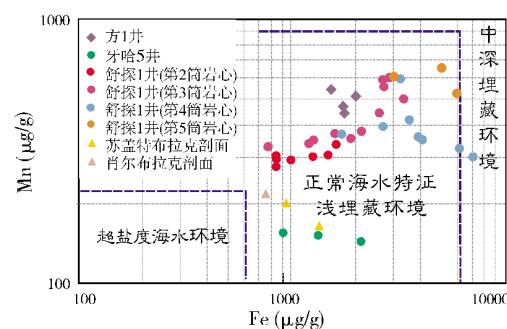
(a) $\delta^{18}\text{O}$ — $\delta^{13}\text{C}$ 交会图



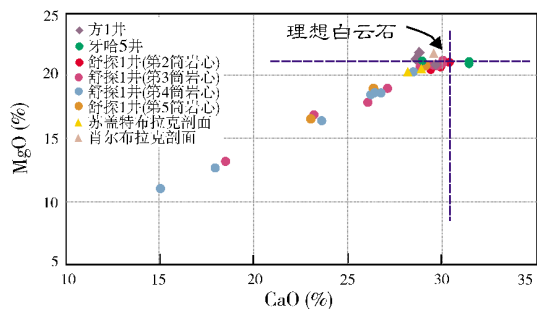
(b) $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 散点图



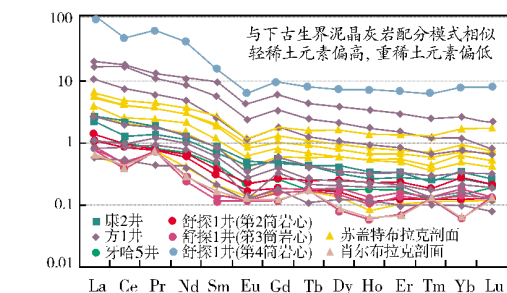
(c) Na—Sr交会图



(d) Fe—Mn交会图



(e) CaO—MgO交会图



(f) 稀土元素配分图

图4 塔里木盆地肖尔布拉克组白云岩储层地球化学特征

(3) 微量元素

Sr、Na 元素和 Fe、Mn 元素的含量大小能较好地判断白云石化流体的性质和成岩环境。一般认为从海相流体中沉淀出来的白云岩中 Sr、Na 含量较高,埋藏成因白云岩的 Sr、Na 含量很低;而白云岩中的 Fe、Mn 则相反,海水成岩环境通常值较低,埋藏成岩环境值较高^[17]。从不同岩相 Sr—Na 交会图(图 4c)和 Fe—Mn 交会图(图 4d)可以看出肖尔布拉克组白云岩的 Sr、Na 含量总体较高,Fe、Mn 含量总体较低,反映了成岩环境为准同生—浅埋藏环境,成岩流体为海水。

(4) 主量元素

理想白云岩的 CaO 含量为 30.4%,MgO 含量为 21.7%,Mg/Ca 摩尔比为 1.0^[17]。根据 CaO—MgO 交会图(图 4e)可以看出肖尔布拉克组白云岩 MgO、CaO 值主要分布于理想白云石范围附近,反映浅埋藏阶段为相对较缓慢的白云石化过程;少数测试样品的 MgO、CaO 值都相对较低,这是由于白云岩中含有较多 SiO₂ 的缘故,但其 MgO、CaO 仍呈线性正相关,且 Mg/Ca 摩尔比接近 1,说明白云石较好地交代了方解石,这也反映出缓慢白云石化的特征。

(5) 稀土元素

碳酸盐岩矿物中稀土元素受成岩作用的影响是非常弱的,故利用稀土元素分析可以判断白云石化流体的来源。从稀土元素配分图(图 4f)中可看出,研究区具有轻稀土元素含量大于重稀土元素含量的配分模式,这种模式与塔里木盆地寒武系—奥陶系泥晶灰岩的配分模式相同^[18],并且一般认为海相泥晶灰岩可以较好地继承同期海水的稀土元素配分模式^[19],因此可以说明下寒武统白云岩的白云石化流体的性质与海水相同,即海水是主要的白云石化流体。

3 白云岩储层成因

塔里木盆地肖尔布拉克组整体发育储层毋庸置疑,但并不是所有的白云岩中都发育储层,只有通过建立储层成岩作用序列和分析孔隙演化史,明确储层的主控因素,才能为储层分布预测提供依据。

3.1 储层成岩作用序列和孔隙演化

基于肖尔布拉克组白云岩储层的宏观、微观岩石学特征和地球化学特征,结合地质背景,可以建立白云岩储层的成岩作用序列和分析孔隙演化史。在此,以资料相对丰富的舒探 1 井为例进行分析,该井

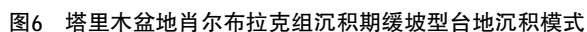
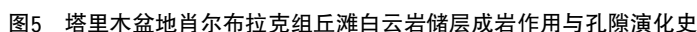
肖尔布拉克组储层厚度 197.5 m,其中 I 类储层厚度 37.5 m,平均孔隙度达到 9.7%,II 类储层厚度 22 m,III 类储层厚度 21.5 m,储层主要发育在丘滩相的白云岩中,其主要的成岩作用序列如图 5:初始沉积—海水胶结作用—早表生期大气淡水淋滤作用(包括大气淡水溶蚀作用和胶结作用,以溶蚀作用为主)—准同生—浅埋藏期渗透回流白云石化作用—石膏沉淀作用(回流过程中局部少量石膏下渗到孔隙)—压实压溶作用—埋藏白云石化作用(早期孔缝洞边缘胶结物)—重结晶作用(白云石晶体次生加大与新生变形)—裂缝作用 I(构造抬升过程中产生的张性裂缝)—埋藏溶蚀作用(地层热卤水、生烃过程中产生的有机酸溶蚀,局部伴有方解石沉淀)—裂缝作用 II(埋藏过程中应力释放产生的裂缝)—热液改造作用(包括溶蚀和鞍状白云石胶结,以溶蚀作用为主)。

根据孔隙演化分析(图 5),可以得出早表生期大气淡水淋滤作用和晚埋藏期的埋藏(热液)溶蚀作用是主要的建设性成岩作用,使得储层的孔隙度得到提高,但前者对储层形成的贡献更大。此外,不能忽视原始沉积物对储层的控制作用,只有高能丘滩体才发育较多的原生孔,并且能在海平面下降时容易受到大气水的淋滤,因此缓坡型台地内高能丘滩相多孔的沉积物是储层孔隙发育的物质基础。

3.2 储层形成的主控因素

(1) 高能丘滩相的多孔沉积物是储层发育的物质基础

前文叙及肖尔布拉克组白云岩中孔隙的发育与粉—细晶白云岩、砂屑白云岩、泡沫绵层石白云岩、凝块石白云岩、叠层石白云岩、粘结颗粒白云岩和藻格架白云岩这 7 种岩相密切相关,根据白云岩原岩结构分析,粉—细晶白云岩多具有残留颗粒幻影结构,结合前人的研究认识^[20-21],可以推测该岩相的原岩为砂屑灰岩,而与藻(微生物)相关的白云岩由于很好地保留了原岩的结构,因此很明显其原岩为藻灰岩(微生物岩)。在塔里木盆地早寒武世碳酸盐缓坡背景下,通常这些颗粒灰岩、藻灰岩(微生物岩)主要发育于中缓坡高能丘滩相中(图 6),由于其本身就发育粒间孔、体腔孔和格架孔等多种孔隙类型,构成了多孔的高能丘滩相沉积物,因此可以认为肖尔布拉克组的储层具有明显的相控性,高能丘滩相的多孔沉积物构成了储层发育的物质基础。



早寒武世,全球海洋为文石海,海相矿物以文石和高镁方解石为主,在成岩过程中,文石、高镁方解石质矿物不但容易被交代,而且还容易被大气淡水溶解而形成孔隙^[22-24],因此我们可以看到肖尔布拉克组丘滩相白云岩储层中,孔隙多数具有组构选择性,这

是明显的大气淡水溶蚀作用的特征。不管从井上,还是在露头区,都可以发现丘滩相白云岩垂向连续发育,但并不是所有丘滩相白云岩都发育孔隙,孔隙最发育的位置往往为丘滩的顶部,向下孔隙逐渐减少,表现出一定的成层性的特征。所以储层的发育往往受高频层序界面控制,出现在四级向上变浅旋回的中上部,因此受高频层序界面控制的早表生期大气淡水溶蚀作用是孔隙形成的关键。

(3) 埋藏(热液)溶蚀作用使储层得到改善

虽然肖尔布拉克组白云岩储层中的孔隙主要为组构选择性的溶孔,但从岩心、薄片中也发现一定量的非组构选择性溶蚀孔洞,白云石被溶蚀成港湾状,形成晶间溶孔,甚至发育一些孔洞并伴生沥青,如舒探1井第3筒岩心中出现的大量溶蚀孔洞,这说明了

局部地区原有孔隙在埋藏期受到了热液或者有机酸溶蚀作用,孔隙得到进一步改造;此外,鞍状白云石、石英等热液矿物充填或半充填于孔洞,也间接证明了埋藏(热液)作用的存在^[25]。热液既可以对储层产生建设性作用,也可以产生破坏性作用,在一个相对开放的埋藏环境下,它可能对经过的地层进行溶蚀,但溶蚀的产物又会随流体最终沉淀在另一个地区。对目前发现的储层而言,埋藏(热液)溶蚀作用对储层的改善具有建设性意义。

综上所述,可以建立肖尔布拉克组白云岩储层的孔隙演化模式^[11](图7):高能丘滩相的多孔沉积物是储层发育的物质基础;早表生期大气淡水溶蚀作用形成的孔隙是储层发育的关键;埋藏(热液)溶蚀作用使储层局部得到进一步改善。

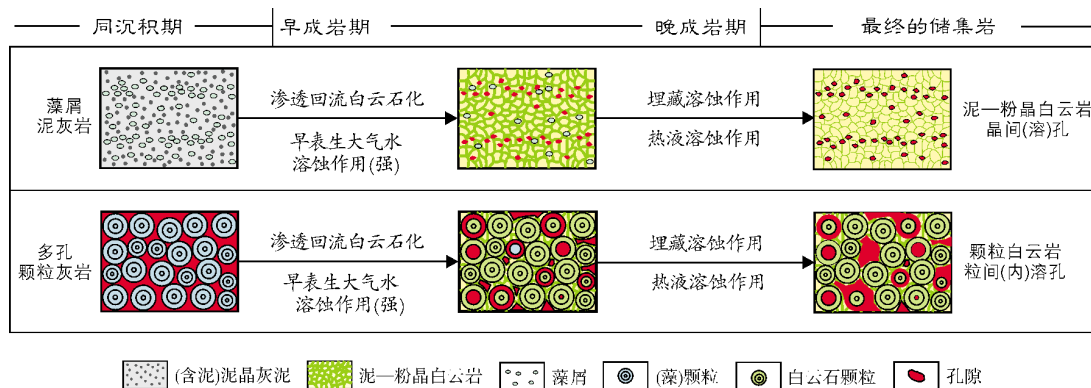


图7 塔里木盆地肖尔布拉克组丘滩相白云岩储层孔隙演化模式(据文献[11]修改)

3.3 储层分布规律

根据储层主控因素,缓坡型台地的高能丘滩是储层发育的有利相带,根据“古隆控滩”的原则,高能丘滩通常发育于古隆起之上及其周缘地区,因此通过刻画岩相古地理格局就能预测这些区域的储层发育规律。据新修编的岩相古地理图认为,塔里木盆地肖尔布拉克组沉积期发育三个隆起区,即南部的塔西南隆起区,北部的柯坪—温宿低凸起区和轮南—牙哈低凸起区,据此可以预测肖尔布拉克组缓坡型台地丘滩相储层主要分布在塔西南古隆起北坡、柯坪温宿低凸起周缘、轮南—牙哈低凸起之上及周缘。相对于镶边型台地,由于缓坡型台地缺乏构成障壁体系的台缘建隆,故沉积体系的发育受海平面升降影响明显,可以形成类似四川盆地龙王庙组的台内泛滩沉积,并且多期叠置,形成“小丘大滩”的沉积格局^[11],因此该领域

的储层规模和勘探潜力不容小觑。和4井、方1井、康2井、中深1井和肖尔布拉克、苏盖特布拉克两个露头区都表明肖尔布拉克组发育规模丘滩相储层,2017年刚完钻的楚探1井也证实了其发育优质的丘滩相储层。

4 结论

(1)塔里木盆地寒武统肖尔布拉克组主要发育泥—粉晶白云岩、粉—细晶白云岩、砂屑白云岩、藻格架白云岩、泡沫绵层石白云岩、叠层石白云岩、凝块石白云岩、粘结(颗粒)白云岩和层纹石白云岩,孔隙的发育具有明显的岩相选择性,其中粉—细晶白云岩、砂屑白云岩、藻格架白云岩、泡沫绵层石白云岩、叠层石白云岩、凝块石白云岩和粘结(颗粒)白云岩是储层的主要载体。

(2)塔里木盆地肖尔布拉克组储层主要受三个因素控制,高能丘滩相的多孔沉积物是储层发育的

物质基础,早表生期大气淡水溶蚀作用是储层形成的关键,埋藏(热液)溶蚀作用使局部储层得到改善。

参考文献

- [1] 王招明,谢会文,陈永权,等. 塔里木盆地中深1井寒武系盐下白云岩原生气藏的发现与勘探意义[J]. 中国石油勘探, 2014, 19(2): 1-13.
- [2] 陈文玲,罗平,单钰铭,等. 塔里木苏盖特布拉克地区肖尔布拉克组白云岩储层特征分析[J]. 石油地质与工程, 2010, 24(1): 12-15.
- [3] 宋金民,罗平,杨式升,等. 塔里木盆地寒武统微生物碳酸盐岩储集层特征[J]. 石油勘探与开发, 2014, 41(4): 404-413.
- [4] 熊益学,陈永权,关宝珠,等. 塔里木盆地寒武统肖尔布拉克组北部台缘带展布及其油气勘探意义[J]. 沉积学报, 2015, 33(2): 408-415.
- [5] 李保华,邓世彪,陈永权,等. 塔里木盆地柯坪地区下寒武统台缘相白云岩储层建模[J]. 天然气地球科学, 2015, 26(7): 1233-1244.
- [6] 贾承造. 中国塔里木盆地构造特征与油气[M]. 北京:石油工业出版社, 1997: 1-438.
- [7] 杨鑫,徐旭辉,陈强路,等. 塔里木盆地前寒武纪古构造格局及其对下寒武统烃源岩发育的控制作用[J]. 天然气地球科学, 2014, 25(8): 1164-1171.
- [8] 潘文庆,陈永权,熊益学,等. 塔里木盆地寒武统烃源岩沉积相研究及其油气勘探指导意义[J]. 天然气地球科学, 2015, 26(7): 1224-1232.
- [9] 刘伟,张光亚,潘文庆,等. 塔里木地区寒武纪岩相古地理及沉积演化[J]. 古地理论, 2011, 13(5): 529-538.
- [10] 倪新峰,沈安江,陈永权,等. 塔里木盆地寒武系碳酸盐岩台地类型、台缘分段特征及勘探启示[J]. 天然气地球科学, 2015, 26(7): 1245-1255.
- [11] 沈安江,郑剑锋,陈永权,等. 塔里木盆地中下寒武统白云岩储集层特征、成因及分布[J]. 石油勘探与开发, 2016, 43(3): 340-349.
- [12] 李朋威,罗平,宋金民,等. 塔里木盆地西北缘上震旦统白云岩储层特征[J]. 海相油气地质, 2015, 20(4): 1-12.
- [13] 罗平,王石,李朋威,等. 微生物碳酸盐岩油气储层研究现状与展望[J]. 沉积学报, 2013, 31(5): 807-823.
- [14] Veizer J, Ala D, Azmy K, et al. $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$, $\delta^{13}\text{C}$ and $\delta^{18}\text{O}$ evolution of Phanerozoic seawater[J]. Chemical Geology, 1999, 161(1): 59-88.
- [15] 黄思静,刘树根,李国蓉,等. 奥陶系海相碳酸盐岩同位素组成及受成岩流体的影响[J]. 成都理工大学学报: 自然科学版, 2004, 31(1): 1-7.
- [16] Denison R E, Koepnick R B, Burke W H, et al. Construction of the Cambrian and Ordovician seawater $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ curve[J]. Chemical Geology, 1998, 152(3/4): 325-340.
- [17] Tucker M E, Wright V P. Carbonate sedimentology[M]. Oxford: Blackwell Science. 1991: 379-382.
- [18] 郑剑锋,沈安江,刘永福,等. 多参数综合识别塔里木盆地下古生界白云岩成因[J]. 石油学报, 2012, 33(增刊 2): 145-153.
- [19] 胡文瑄,陈琪,王小林,等. 白云岩储层形成演化过程中不同流体作用的稀土元素判别模式[J]. 石油与天然气地质, 2010, 31(6): 810-818.
- [20] 郑剑锋,沈安江,乔占峰,等. 柯坪一巴楚露头区蓬莱坝组白云岩特征及孔隙成因[J]. 石油学报, 2014, 35(4): 664-672.
- [21] 赵文智,沈安江,郑剑锋,等. 塔里木、四川及鄂尔多斯盆地白云岩储层孔隙成因探讨及对储层预测的指导意义[J]. 中国科学: 地球科学, 2014, 44(9): 1925-1939.
- [22] 沈安江,郑剑锋,潘文庆,等. 塔里木盆地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.
- [23] Moore C H. Carbonate reservoirs-porosity evolution and diagenesis in a sequence stratigraphic framework[M]. Amsterdam: Elsevier, 2001: 245-289.
- [24] Sun Qing. Dolomite reservoirs: Porosity evolution and reservoir characteristics[J]. AAPG Bulletin, 1995, 79(2): 186-204.
- [25] 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.

编辑:黄革萍

Characteristics and Genesis of Dolomite Reservoir in the Lower Cambrian Xiaerblak Formation, Tarim Basin

Yan Wei, Zheng Jianfeng, Chen Yongquan, Huang Lili, Zhou Peng, Zhu Yongjin

Abstract: Based on 13 wells and 2 outcrops, the characteristics and genesis of dolomite reservoir of the Lower Cambrian Xiaerblak Formation in Tarim Basin are studied. It is indicated that micritic dolomite, powder-fine crystal dolomite, algal dolomite (or microbial dolomite) are the main dolomite types of Xiaerblak Formation. The development of porosity is related to lithofacies obviously. Through the analysis of rock features and multi-parameter geochemical characteristics, and combining with the geological background, the diagenesis sequence and the pore evolution history of dolomite reservoir in Xiaerblak Formation were studied and the main controlling factors of dolomite reservoir were proposed as follows: Porous sediments of high-energy reef-shoal (mound) facies are the material basis of reservoir development; Dissolution of meteoric water in early supergene stage is the key factor to reservoir formation; In addition, burial (hydrothermal) dissolution can improve the reservoir quality.

Key words: Dolomite; Reservoir characteristics; Diagenesis; Xiaerblak Formation; Lower Cambrian; Tarim Basin

Yan Wei: PhD, Senior Geological Engineer. Add: Exploration and Development Research Institute of Tarim Oilfield Company, Korla, Xinjiang, 841000, China