

从岩石结构和地化特征 看巴楚隆起上寒武统白云岩的成因及演化

谢世文^{1,2}, 张东辉³, 竹合林^{2,4}, 曾祥亮², 李小东¹

(1 中海石油(中国)有限公司深圳分公司; 2 成都理工大学油气藏地质与开发工程国家重点实验室)

(3 核工业北京地质研究院遥感信息与图像分析技术国家级重点实验室; 4 四川省地质矿产勘查开发局二零七地质队)

摘要 塔里木盆地巴楚隆起上寒武统发育一套极具勘探价值的厚层白云岩。基于该白云岩的钻井取心与薄片鉴定, 将其分类为结晶白云岩、泥微晶白云岩、具残余(颗粒)结构白云岩及过渡型白云岩。运用多种地化分析和测试手段, 认为上寒武统白云岩主要经历了(准)同生(蒸发泵、渗透回流)白云石化—埋藏白云石化—后期局部热液改造三个阶段, 导致研究区白云石化的流体主要为高盐度卤水、埋藏残余海水以及深部热液流体, 整个白云石化过程中岩石结构也发生相应演化。泥微晶白云岩主要形成于(准)同生期萨布哈环境, 过渡型白云岩及残余结构白云岩由白云石化不彻底或选择性白云石化作用形成, 结晶白云岩由埋藏白云石化作用形成。存在自生矿物、高 Ba/Sr 值、稀土 Eu 富集以及包裹体测温均显示深部热液对白云岩具有局部改造作用, 该类白云石通常具有波状消光的特征。经过热液溶蚀改造的白云岩储集空间变好, 这对白云岩储层的勘探具有指示意义。

关键词 上寒武统; 白云岩; 成岩作用; 热液溶蚀作用; 岩石成因; 巴楚隆起; 塔里木盆地

中图分类号: TE112.23

文献标识码: A

塔里木盆地下古生界寒武系至奥陶系广泛发育一套极具勘探价值的白云岩油气储集体, 已在塔北雅克拉—轮台断凸的沙参2井下奥陶统、塔中主垒带的塔中1井下奥陶统、塔北沙雅隆起的塔深1井上寒武统等地层中发现了一系列以白云岩为主要储集体的油气藏^[1], 充分显示了塔里木盆地白云岩层系的勘探前景。前人对盆地白云岩储集体的研究成果主要集中在塔北和塔中, 建立的白云岩成因模式有蒸发泵吸模式、渗透回流交代模式、混合水交代模式、高温热液重结晶模式等^[2-4]。近年来, 盆地碳酸盐岩勘探逐渐向巴楚—麦盖提地区迈进, 巴楚隆起的和4井、方1井、和田1井、同1井在上寒武统白云岩中均发现了气层或(含气)水层, 取心段上显示出具有较好的储集性能。相比于塔北和塔中地区的白云岩而言, 巴楚隆起的白云岩同样具有形成时间早、埋藏深、因素控制多、经历过复杂构造运动的特点。

已陆续有学者从单一或两三个地化特征来分析巴楚隆起区的白云岩成因^[5-6], 但综合岩石结构及地化特征来整体研究白云岩成因演化的论述较少。本文通过对取心井的样品分析, 综合应用岩石学、地球化学、沉积学等地质理论, 分析探讨巴楚隆起上寒武统下丘里塔格组白云岩的成因及演化特征。

1 地质背景

巴楚隆起位于塔里木盆地中央隆起带的西端, 为一大型背冲断隆。东邻卡塔克隆起和塘古巴斯坳陷, 西南为麦盖提斜坡, 北西为柯坪隆起, 东北为阿瓦提断陷(图1)。该构造为一个在震旦系基底上发育演化的继承性活动型古隆起, 先后经历多次构造演化, 二叠纪盆地内部发生强烈火山活动, 以喷发玄武岩为特征, 几乎遍及整个盆地中部^[7], 影响着碳酸盐岩储集体的形成。

收稿日期: 2012-11-29; 改回日期: 2013-04-19

基金项目: 本文为中国石化西北油田分公司基金项目《塔里木盆地下古生界多类型储集体形成与成藏条件研究—塔里木盆地中央隆起带O-Z储集体形成机理、主控因素、有利储集体展布及成藏条件研究》(编号KY-S-2008-0862)部分成果

谢世文: 1985年生, 硕士, 工程师。2008年毕业于成都理工大学资源勘查工程专业, 主要从事储层地质学及地球化学方面的研究。通讯地址: 510240 广东省广州市海珠区江南大道中168号海洋石油大厦; 电话: (020)84262736

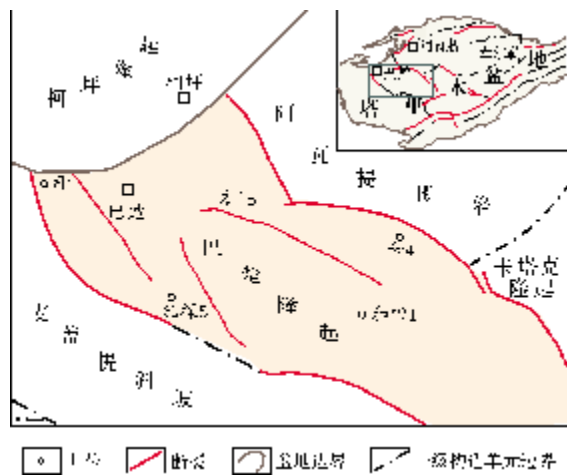


图1 巴楚隆起构造位置图

巴楚隆起的上寒武统下丘里塔格组碳酸盐岩为台地相沉积,它与下伏的中寒武统阿瓦塔格组呈整合接触,与上覆的下奥陶统蓬莱坝组呈平行不整合接触。下丘里塔格组碳酸盐岩沉积厚度大,储集体以厚层白云岩为主,夹灰质、泥质、膏质,含少量石灰岩和辉绿岩。

2 取样及测试方法

选取巴探5井、和田1井和同1井(井位参见图1)钻取的上寒武统岩心中不同类型的白云岩(共35件)为样,由川庆钻探工程有限公司磨制薄片,并挑选磨片残样进行了扫描电镜(3块)、微量元素(17块)、稀土元素(11块)、同位素(16块)以及包裹体(3块)等分析。地化样品测试在成都理工大学油气藏地质及开发工程国家重点实验室分析测试中心完成,采用的仪器为FEI-QUANTAN 250 FEG 扫描电子显微镜、OXFORD-INCA X-MAX 20 X射线能谱仪、Elan DRC-e电感耦合等离子体质谱仪、MAT261同位素质谱计、RENISHAW INVIA激光共焦显微拉曼光谱仪。

3 岩石学特征

巴楚隆起上寒武统主要以层状白云岩为主,根据白云岩中白云石晶体大小、是否含内碎屑、有无结构残余以及特殊结构类型等方面,将白云岩分为晶粒白云岩、泥微晶白云岩、残余结构(颗粒)白云岩和过渡型白云岩等五类。通常,晶粒白云岩按晶粒大小及

其组合可进一步分为粉晶(0.03~0.1 mm)、细晶(0.1~0.25 mm)、中粗晶(0.25~2 mm)及不等晶白云岩。

3.1 晶粒白云岩

晶粒白云岩占研究区上寒武统白云岩的50%以上,由完全白云石化交代作用以及重结晶作用形成,白云石原岩组构已经很难识别。其典型特征是:在显微镜下可见白云石晶体结构发育较好,基本看不到原岩组构的残余,如残余灰质、幻影等,白云石晶体通常为半自形—自形状,也有少量他形,接触关系以线接触或镶嵌接触为主。

粉晶白云岩 晶体颗粒的大小变化范围较大,自形程度一般较差,通常为他形或半自形;晶体表面较污浊,有些还含硅质并且可见微亮晶胶结物,局部存在石膏假晶(图2a),主要形成于潮坪蒸发环境,成因可能与蒸发泵吸及高盐度卤水渗透回流有关。

细晶白云岩 自形、半自形到他形晶形都常见,自形晶多为点、线接触,晶面较干净,他形晶常为凹凸接触,孔隙不大发育,主要发生在中—浅埋藏成因环境中。

中粗晶白云岩 晶体常为半自形—自形晶粒状镶嵌结构,晶体常较粗大,具解理,富包裹体,晶面较脏,常有沿裂缝发育呈脉状充填的方解石;洞、缝周围的晶形常较好,也较干净,为遭受溶蚀后再沉淀重结晶的表征;有些中晶白云岩具有雾心亮边结构(图2b),可能为多期白云石化流体活动的产物^[8]。Kysner^[9]曾推测雾状核心是在混合带条件下形成的亚稳定富含包裹体的白云石,随着环境向海洋的迁移,沉淀形成的包裹体逐渐减少,新形成这些趋于半透明的外层白云石(亮边)某种程度上是胶结物。粗晶白云岩往往含有鞍形白云石,与萤石、自生石英、重晶石、黄铁矿、天青石等热液矿物集中出现。这种白云石晶面弯曲,正交偏光下具有波状消光,晶面可呈马鞍状、镰刀状、阶梯状等(图2c),形成温度较高,是热液白云岩的代表性矿物^[10-11]。有些洞、缝周围的白云石形状上虽不具典型鞍形白云石外形,但正交偏光下具波状消光,这种白云石不是热液中直接沉淀的,可能是白云石受后期热液流体改造,经重结晶作用形成的^①。中粗晶白云岩从岩心和镜下观察都均具有可观的孔洞缝,可作为良好的储集体。

① 李国蓉. 塔中地区寒武—奥陶系白云岩储层成因机制及预测评价[R]. 中国石化石油勘探开发研究院西部分院. 2008.

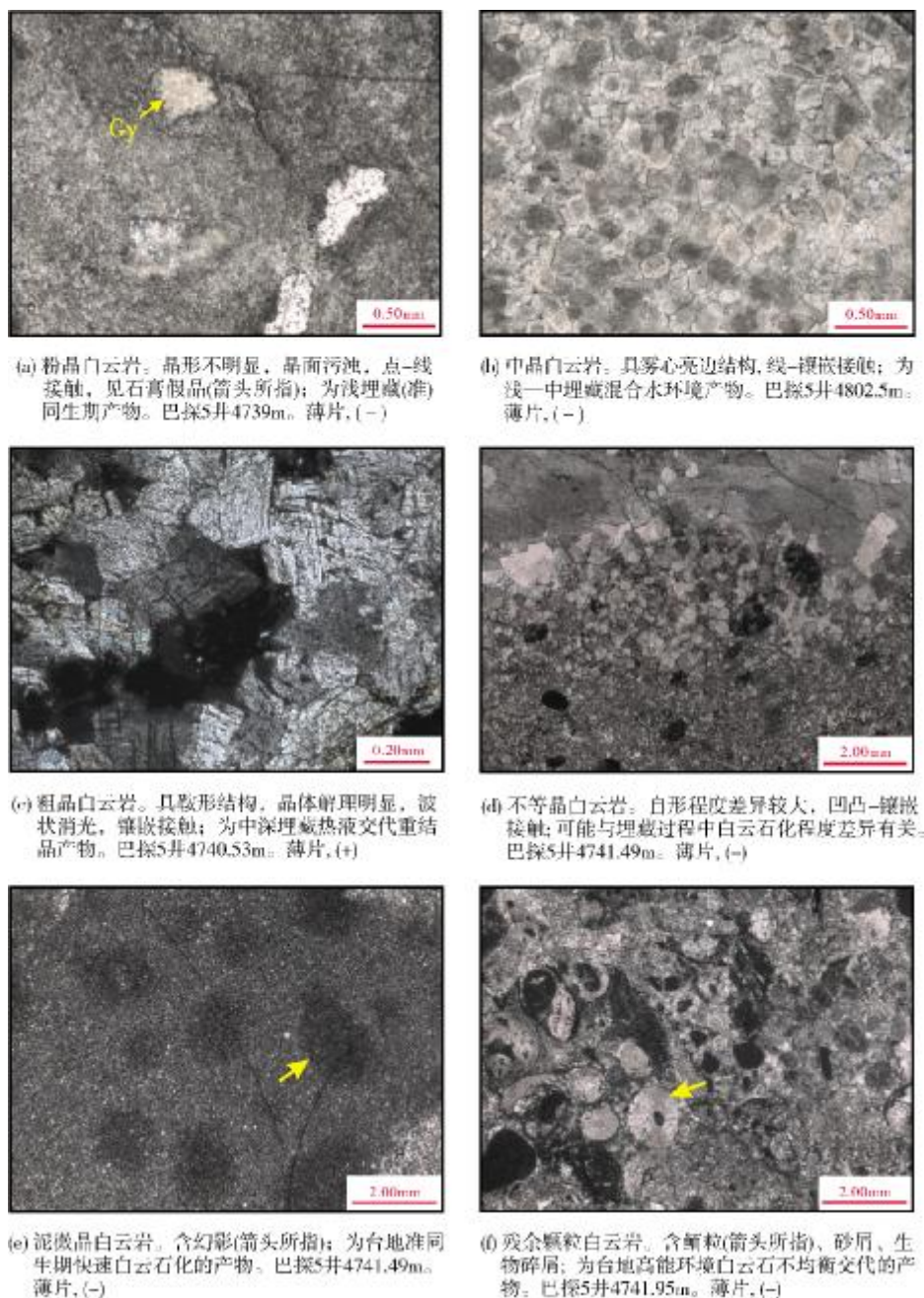


图2 巴楚隆起上寒武统白云岩的结构—成分特征

不等晶白云岩 由成因上有联系的不同晶粒大小白云石组成, 白云石晶体大小范围可从粉晶到中粗晶, 晶体自形程度差异较大, 自形与他形的晶体相互紧密靠拢, 接触关系呈镶嵌或凹凸接触(图2d); 不等晶白云石有时含有残余结构, 具有残余结构的不等晶白云石晶体大小受原岩组构的影响, 颗粒中可看到交代残余和幻影, 而不含残余结构的不等晶白

云岩, 晶体往往以中粗晶与粉晶的组合并存, 可能跟埋藏过程中白云石化程度差异有关。

3.2 泥微晶白云岩

白云石晶体颗粒直径小于0.03 mm, 较难看见完整晶体, 晶形以他形、半自形为主, 晶面较脏, 晶体间呈缝合镶嵌状接触, 常见幻影(图2e), 有时可见波状

纹层、藻纹层以及一些波痕、鸟眼构造等浅水沉积(暴露)构造。虽然泥微晶白云岩按晶体大小应划为结晶白云岩类,但是一般认为泥微晶白云岩形成时间较早^[10,12],形成环境为准同生期高浓度的卤水,通过准同生期白云石化作用快速交代而形成,成核速度快,有序度低,晶体细小,而其它结晶白云岩一般形成于埋藏期,考虑到成因上的差异,故单独划分出来。

3.3 残余结构(颗粒)白云岩

由颗粒灰岩经白云石化交代作用形成,往往因交代不彻底而保留了原岩的颗粒结构或残影(图2f),如纹层状藻屑白云岩、残余生物碎屑白云岩、残余砂屑白云岩、残余鲕粒白云岩等。此类白云岩原岩一般形成于开阔台地或台地边缘高能环境,在后期的白云石化过程中,由于原岩组构的不均一性以及白云石化流体的差异性导致了白云石化作用的不均衡^[13],白云石晶体以中晶、粉—细晶为主。这类白云岩在巴探5井中发现较多,可能与靠近西南缘台缘有关。

3.4 过渡型白云岩

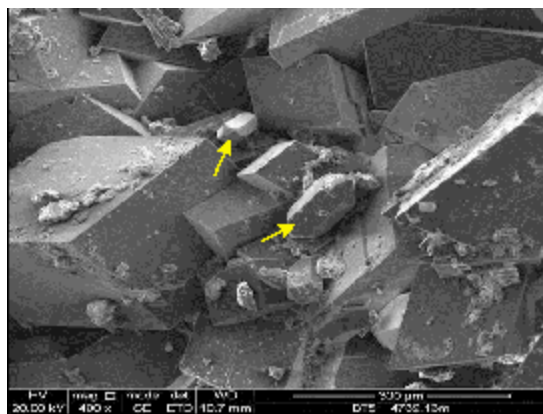
巴楚隆起下丘里塔格组除了纯白云岩外,还有少量的过渡型白云岩,主要为灰质白云岩、膏质白云岩和泥质白云岩,白云石的含量小于50%。这类岩石在同1井、和田1井、和4井以及巴探5井录井中都有发现。灰质白云岩在成因上一般认为是白云岩未交代完全石灰岩留下的残余,也有后期化学沉淀形成胶结物(方解石)或沿裂缝及孔洞充填的白云石和方解石。和田1井中、下部见较多的膏质白云岩,膏质含量在28%~31%,泥晶—粉细晶结构,多呈不规则状集合体成团分布,不透明—半透明,为干旱气候潮间带以及潮上带下部较高盐度环境下形成的。泥质白云岩一般为潮坪环境准同生期交代产生的,但也有在斜坡和盆地的深水环境下发育的^[14],从研究区沉积背景以及相邻岩石特征对比来看,泥质白云岩主要为潮下带低能环境下的产物。

4 地球化学特征

4.1 自生矿物

沉积物在沉积后期水—岩相互作用阶段会形成一些自生矿物,这些矿物的形成、分布对研究成岩环境具有指示意义。研究区白云岩内发育自生石英,晶

形完整,多以双锥柱状产出(图3),并且常与黏土及重晶石、天青石、黄铁矿等热液矿物(能谱确认)共存于孔洞中。巴探5井白云岩多见藻类活动的痕迹,这些生物碎屑有机质含量高,埋藏成岩过程中导致酸性环境,利于自生石英的形成;成岩后期,黏土矿物转换时(如蒙脱石→伊利石)还可能会产生部分二氧化硅。另外,热液矿物的共生关系揭示石英的物质来源及形成还可能与深部热液流体有关^[15-16]。



白云岩孔洞中自生石英,巴探5井4739.13m,扫描电镜

图3 巴楚隆起白云岩孔洞中的自生石英

4.2 微量元素

成岩环境、外来流体、黏土矿物对微量元素选择上的吸附等,都会造成元素含量上的差异。Fe、Mn元素较难以低价形式进入矿物晶格中,而只有在深埋藏强成岩(向高Fe、Mn,低Sr转化)的还原环境中才能作为类质同象离子置换白云石晶格中的Ca和Mg^[17-18]。白云岩微量元素含量分布(图4)表明:研究区不同白云岩样品的Fe、Mn含量有所差异,大多数样品含量中等偏高,这反映了白云岩经历过埋藏成岩环境,其中,中晶、粗晶白云岩的Fe含量可达1800 µg/g以上,这极可能是受外来流体的改造所致。

另外,溶蚀孔洞发育的样品中,Ba含量较高,Ba/Sr值远远大于1,如巴探5井4739.13m溶蚀孔洞发育的粉晶白云岩样品,Ba含量明显增高(达1892.17µg/g)(图4),其Ba/Sr值远大于1;而溶蚀孔洞不发育的粉晶白云岩Ba含量(3.35 µg/g)和Ba/Sr值(0.04)都较低,在扫描电镜(SEM)下证实为重晶石(BaSO₄)。溶洞中的自生石英也显示Ba含量增高(2836.35µg/g),Ba/Sr值同样大于1。这些现象说明,溶蚀作用与热液有关,且

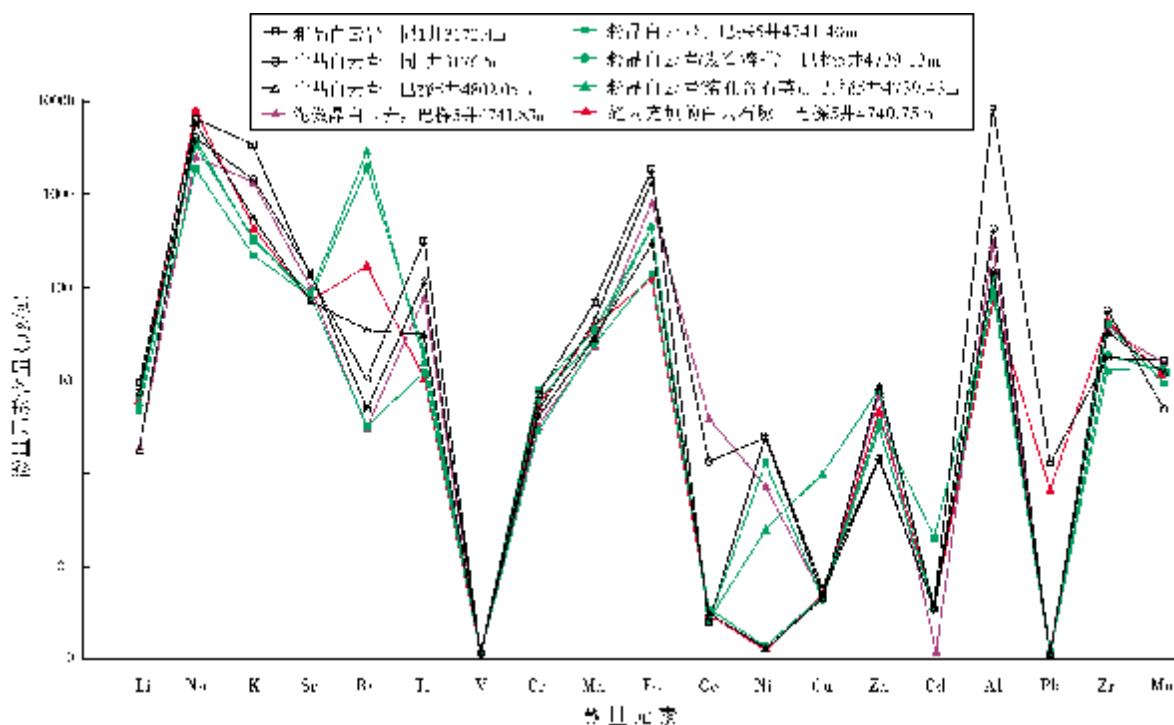


图4 巴楚隆起上寒武统白云岩微量元素含量分布

与火山热液相关。

4.3 稀土元素

稀土元素(REE)同属镧系元素,化学行为具有稳定一致性,但也存在相互分馏的特点。由于环境的变化,白云石化作用会导致REE发生一定程度的迁移转换,REE含量的变化规律及有关特征对成岩环境具有“示踪”作用。研究区白云岩样品REE的配分模式基本一致(LREE>HREE),多数样品总体趋势与吴仕强^[19]的泥晶灰岩实验结果相同,说明稀土元素含量主要受沉积期海水的控制,但存在三个异常(图5):

异常1 同1井粗晶白云岩和巴探5井粉晶白云岩Ce负异常,反映古海水主要呈氧化环境,白云岩晶体从细到粗的跨度都经历过暴露弱氧化环境。

异常2 巴探5井中粗晶白云岩具Eu正异常。Guichard等^[20]认为:Eu的富集与高温、热水沉积有关,样品Eu异常主要是受到热液影响。

异常3 稀土元素Tm均为负异常,显示古海水对Tm的选择性迁移,也可能为仪器测量原因。

Σ REE值在泥微晶白云岩以及雾心亮边白云岩中最高,达 $(29\sim40)\times10^{-6}$,其次是含鲕粒砂屑白云岩,

为 9.5×10^{-6} ,这反映形成时间早,受后期改造程度较弱。晶粒白云岩 Σ REE值普遍偏低($2\times10^{-6}\sim5\times10^{-6}$),这跟成岩过程中水/岩比(岩水反应中流体与岩石质量比)以及成岩作用改造有关,埋藏过程高水/岩比(大于 1×10^4)强烈稀释稀土,使之流失,所以 Σ REE值越低,表明改造程度越大。

4.4 同位素

由图6a可以看出,研究区不同类型白云岩样品的同位素值具有分带现象:

(1)泥微晶白云岩中的 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 值最低(0.707 2~0.708 1),大致反映了当时海水值,说明成岩蚀变程度小。

(2)细—中粗晶白云岩中的 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 值均有增加的趋势,表现为后期流体的改造;同1井样品的Sr含量最高(141~155 $\mu\text{g/g}$),可见成岩流体具有区域性。

(3)岩缝内,脉状充填物(白云石脉和方解石) $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 值变化较大,高的在0.719左右,低的在0.707左右,反映了这些充填脉由不同时期的流体所形成,其中一期白云石脉(巴探5井4 740.75 m)具较高的Sr同位素值(0.7192)。

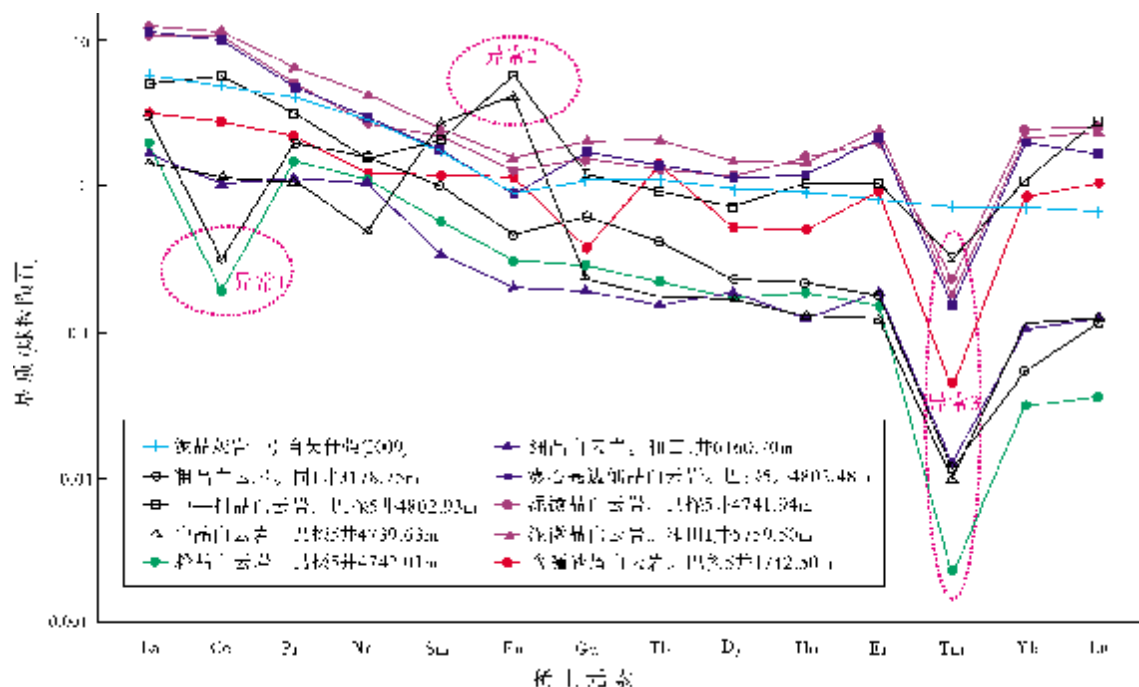


图5 巴楚隆起上寒武统稀土元素配分模式

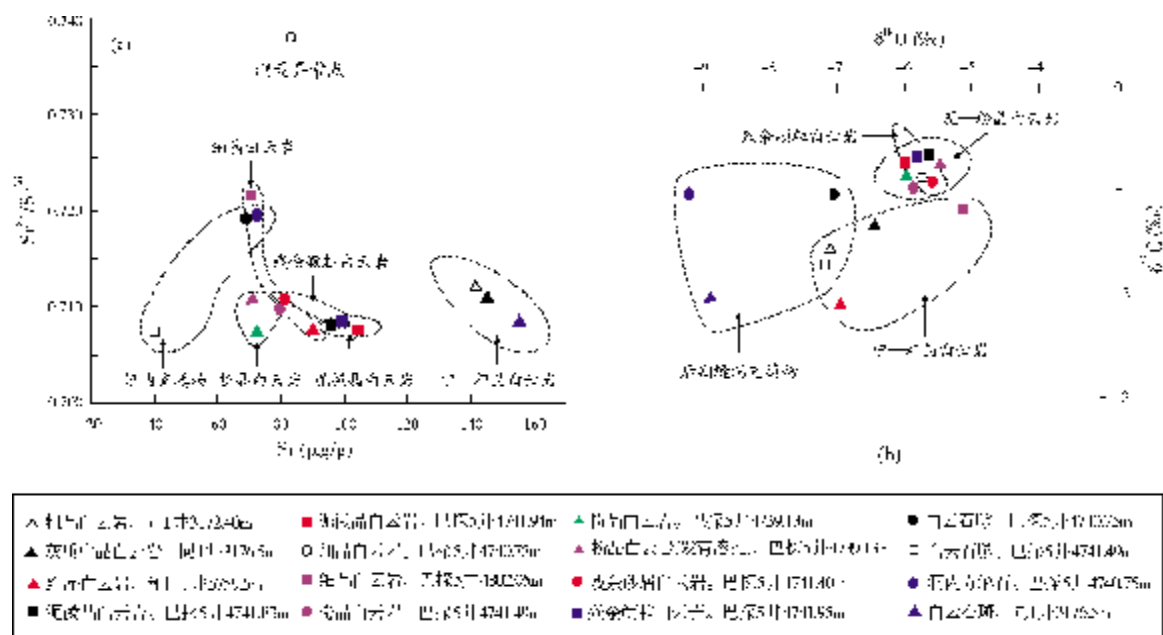


图6 巴楚隆起上寒武统不同类型白云岩同位素交汇图

(4)通过巴探5井同一井深(4 739.13 m)中溶蚀孔洞发育和不发育的两个粉晶白云岩样品 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 值对比发现,前者(0.711)比后者(0.707)的 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 值高,说明溶蚀流体具较高的 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 来源,可能产

生溶蚀的热液流体为壳源或经过了下部地层的风化壳。

图6b显示,泥—粉晶白云岩的 $\delta^{18}\text{O}$ 值偏高(-5.81‰ ~ -5.41‰),这与(准)同生期高浓度卤水中发生白

白云石化作用有关。残余颗粒白云岩与泥—粉晶白云岩的 $\delta^{18}\text{O}$ 值接近,而结晶较好的中—粗晶白云岩 $\delta^{18}\text{O}$ 值偏低些($-7.22\text{‰}\sim-5.77\text{‰}$),特别是充填白云石脉和方解石脉的 $\delta^{18}\text{O}$ 值最低($-8.82\text{‰}\sim-7.09\text{‰}$)。黄思静等^[21]认为:在埋藏环境流体中形成的 $\delta^{18}\text{O}$ 值较低,反映成岩阶段较晚。Allan等^[22]和Smith等^[23]认为: $\delta^{18}\text{O}$ 值小于 -7‰ 的白云石形成于高温条件。这些印证了前面述及的具热液成因白云岩的地球化学特征。

整体上, $\delta^{13}\text{C}$ 值的差异较小(图6b),为 $-2.14\text{‰}\sim-0.81\text{‰}$,说明C元素的来源基本相同,均来源于海相灰泥。泥微晶白云岩和颗粒白云岩比细—中粗晶白云岩以及埋藏期形成的缝内充填物具更高的 $\delta^{13}\text{C}$ 值,显示后期成岩作用对白云石的晶形大小有改造作用。

4.5 包裹体

包裹体均一温度代表了矿物形成期的热力学参数(温度、压力、流体密度等)。对巴探5井溶蚀孔洞周缘采样测试的流体包裹体均一温度结果见表1:石英均一温度范围为 $104\sim 126\text{℃}$;白云石均一温度范围 $80\sim 154\text{℃}$,主频温度 $115\sim 130\text{℃}$,其中,具有波状消光的白云石上测得的包裹体均一温度普遍高于 150℃ ,这证实了鞍形白云石(具波状消光白云石)形成温度均高于 150℃ 。但是研究区上寒武统在地质历史深埋期从未达到如此高的温度^[24-25]。目前,针对高温成因的白云岩提出的热液白云石化定义较多,很多所谓的“热液白云石化”也都未被证实。Machel^[26]引用White^[27]对“热液”的原始定义认为:流体的温度高于围岩温度(通常 $>5\text{℃}$)即为热液!据此本文认为,研究区具波状消光的白云石是经热液改造形成的。

5 成因机理及演化

自白云石(岩)发现以来,白云岩的成因以及它与储集体的关系一直在不断探索当中,白云岩岩石学与地球化学研究仍然是现阶段对白云石化作用机制研究的重要思路^[13]。白云石地化指标受影响因素众多,不同类型白云石的地化参数分布范围可出现重叠,包裹体形成后又极易受到外来物质的渗漏,信息可靠性有待检验。复杂的成岩作用以及多重因素的影响导致白云石化作用难以用一种简单模式解释。

表1 巴楚隆起巴探5井白云岩包裹体测量数据

深度 (m)	样品 编号	主矿物	均一温度 (℃)	备 注
4739.13	1	石 英	104	
	2	白云石	145	具波状消光
	3	石 英	118	
	4	白云石	80	
	5	白云石	115	
	6	石 英	126	
4739.63	7	白云石	135	
	8	白云石	124	
	9	白云石	107	
	10	白云石	131	孔洞充填,自形晶
	11	白云石	126	裂缝中充填
	12	白云石	129	
	13	白云石	116	裂缝周缘白云石
	14	白云石	154	具波状消光
	15	白云石	150	亮边环带

综合研究区的构造—沉积背景、白云岩岩相以及地球化学特征,笔者认为:巴楚隆起上寒武统白云岩的形成主要经历了(准)同生(蒸发泵、渗透回流)白云石化—埋藏白云石化—后期局部热液改造三个过程,并影响了白云岩的结构演变(图7)。

上寒武统沉积之前,下伏的中寒武统阿瓦塔格组为一套膏盐岩,为干旱蒸发的萨布哈环境台地相沉积。上寒武世继承了前期地层的沉积环境,为蒸发泵白云石化作用提供了条件。

(准)同生期—浅埋藏期(图7中①—②),潮坪环境下沉淀的高镁方解石和文石因蒸发泵吸作用及渗透回流作用产生的高浓度卤水被快速交代,形成泥微晶白云石,在此期间可能还有藻类参与,形成藻纹层状白云石(图7a)。当白云石化流体过饱和时,原始石灰岩中的颗粒也将被白云石化,最终形成具残余结构的白云石(图7b)。这一时期,既没有淡水注入也受不到热液影响,溶蚀作用并不发育,经过较早期的压实及胶结作用,粒间孔隙以及部分晶间孔隙遭到了大量的破坏。

进入浅—中埋藏期(图7中③),白云石化作用继续进行,白云石晶粒继续增生,晶形也变得更好,向直面细—中晶自形白云石转化,部分白云石因重结晶作用产生了部分晶间孔隙,交代残余和

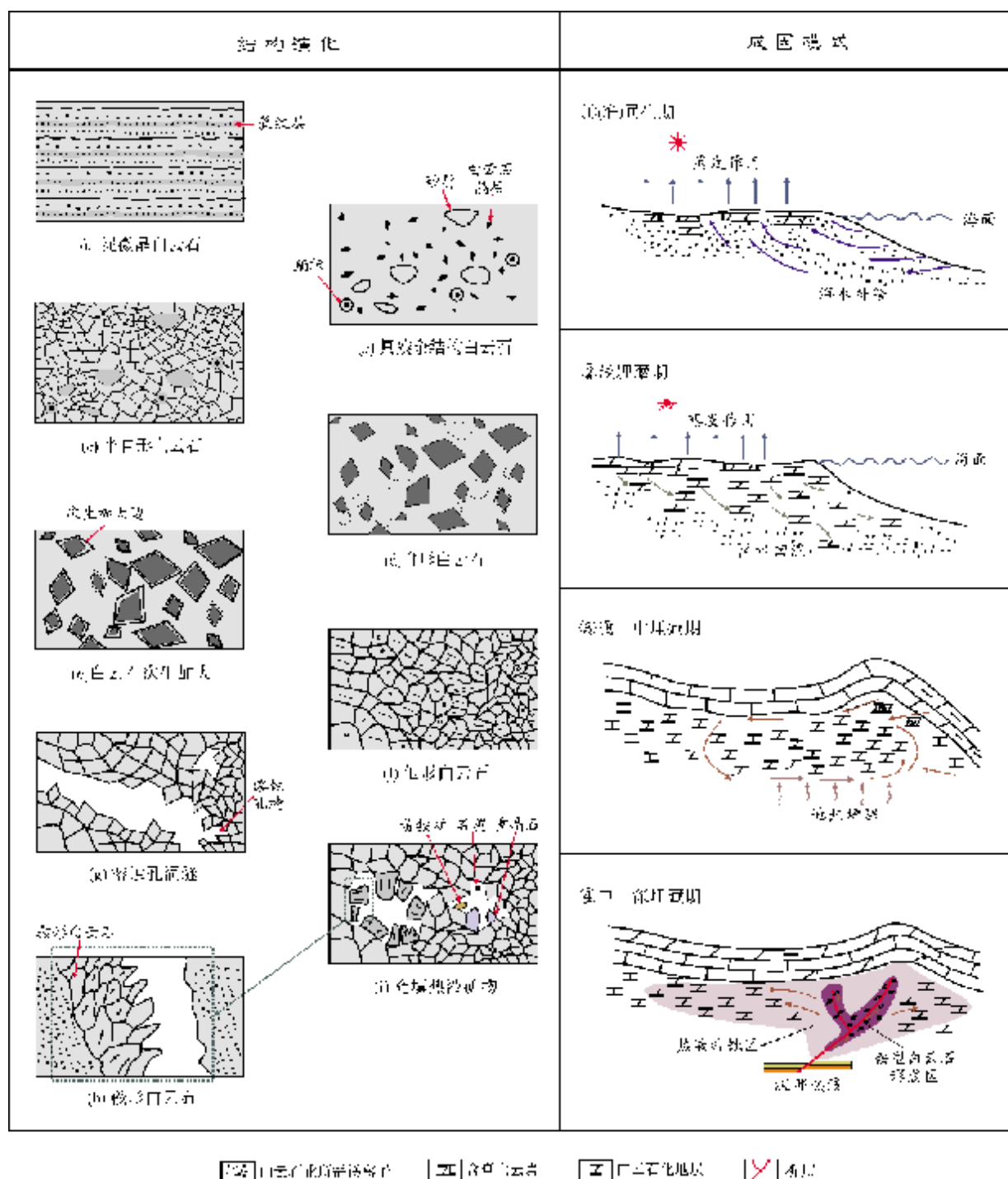


图 7 巴楚隆起白云岩结构演化及成因模式

幻影结构变少,部分鲕粒内部已交代完全(图 7c、7d、7e);有些(雾心)白云石由于埋深环境的成岩流体更接近海水,继续白云石化则会形成雾心亮边结构。随着埋藏深度加大,白云石颗粒继续增

大,颗粒间变得紧密接触,并随埋藏温度的增加而产生部分他形白云石(图 7f),颗粒呈凹凸、镶嵌接触,孔隙不发育。

进入中—深埋藏期(图 7 中④),后期火山活

动(尤其是二叠纪的火山活动)带来的热液,沿着构造活动产生的断裂向上溢流,通过构造裂缝或成岩裂缝、前期形成的孔隙以及不整合面等通道进入白云岩地层,热液流体由于遇冷,对碳酸盐的溶解度变大,使部分白云岩段遭受热液溶蚀作用,致使晶间孔和裂缝扩溶形成溶蚀孔、洞、缝(图7g)。热液流体同时对白云岩进行调整,沿着孔、洞、缝产生部分鞍形白云石以及重结晶白云石等,石英、重晶石、黄铁矿、天青石等热液矿物开始析出(图7h、7i),充填部分孔、洞、缝,但相当一部分的孔洞未被全充填,从而保存下来,形成了良好的油气储集空间。

6 结 论

(1)巴楚隆起上寒武统发育一套厚层白云岩,按岩石学特征可划分为结晶白云岩、泥微晶白云岩、具残余(颗粒)结构白云岩及过渡类型白云岩。泥微晶白云岩本属结晶白云岩范畴,但由于其成因特殊性,故单独分类。

(2)白云石化的流体主要为高盐度卤水(蒸发回流成因)、埋藏残余海水(埋藏成因)以及深部热液流体(地质热事件成因),不同流体及驱动机制构成了白云岩及其结构的整个演化过程,主要经历了(准)同生(蒸发泵、渗透回流)白云石化—埋藏白云石化—后期局部热液改造三个过程,受热液影响的白云岩在地球化学参数上都有一定程度的响应。

(3)泥微晶白云岩主要形成于高盐度的暴露蒸发环境,为(准)同生期萨布哈环境白云石化产物。白云石化不彻底或受原岩颗粒影响的选择性白云石化,将会形成过渡型白云岩及残余结构白云岩;结晶白云岩经受过埋藏白云石化,导致晶形结构变化;深部热液对白云石具改造作用,该类白云石往往具有波状消光的特征。

(4)热液溶蚀是巴楚隆起白云岩储集体形成的主要作用,经过热液溶蚀的白云岩储集空间变好,这对白云岩储层的勘探具指示意义。

致谢:本文大地构造背景、沉积环境分析部分得到成都理工大学傅恒教授级高工悉心指导,黄擎宇博士针对岩相部分提出了宝贵意见,在此一并衷心感谢!

参 考 文 献

- [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.
- [2] 吴仕强,朱井泉,王国学,等. 塔里木盆地寒武—奥陶系白云岩结构构造类型及其形成机理[J]. 岩石学报, 2008, 24(6): 1390-1400.
- [3] 孙国昕,杨玉芳,江胜国,等. 塔中寒武—奥陶系白云岩储层特征及主控因素[J]. 断块油气田, 2010, 17(3): 257-261.
- [4] 郑剑锋,沈安江,潘文庆,等. 塔里木盆地地下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.
- [5] 周波,李明,段书府,等. 巴楚地区寒武系碳酸盐岩白云石化机制[J]. 石油勘探与开发, 2012, 39(2): 198-202.
- [6] 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]. 古地理论, 2002, 4(2): 19-30.
- [7] 陈汉林,杨树锋,董传万,等. 塔里木盆地地质事件研究[J]. 科学通报, 1997, 42(10):1096-1099.
- [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.
- [9] Kyser T K, James N P, Bone Y. Shallow burial dolomitization and dedolomitization of Cenozoic cool-water limestones, Southern Australia: Geochemistry and origin[J]. Journal of Sedimentary Research, 2002, 72(1): 146-157.
- [10] Warren J. Dolomite: Occurrence, evolution and economically important associations [J]. Earth-Science Reviews, 2000, 52(1/3): 1-81.
- [11] Davies G R, Smith L B. Structurally controlled hydrothermal dolomite reservoir facies: An Overview[J]. AAPG Bulletin, 2006, 90(11):1641-1690.
- [12] 刘萍. 川东北地区下三叠统飞仙关组白云岩成因分析[J]. 地质找矿论丛, 2010, 25(3):241-245.
- [13] 谢世文. 塔里木盆地中央隆起区鹰山组层序地层及储集体地质特征[D]. 成都理工大学, 2011.
- [14] 余宽宏,金振奎,周勇,等. 塔里木盆地东部地区寒武纪海盆局限期深水准同生白云岩化作用研究[J]. 沉积学报, 2011, 29(6):1041-1047.
- [15] 吴茂炳,王毅,郑孟林,等. 塔中地区奥陶纪碳酸盐岩热液岩溶及其对储层的影响[J]. 中国科学: D 辑 地球科学, 2007, 37(增刊 1): 83-92.
- [16] 郑永飞. 稳定同位素体系理论模式及其矿床地球化学应用[J]. 矿床地质, 2001, 20(1): 57-70.
- [17] Tucker M E, Wright V P. Carbonate sedimentology [M]. Oxford: Blackwell Scientific Publications, 1990:365-596.
- [18] Walker G, Abumere O E. Luminescence spectroscopy of Mn²⁺ centers in rock-forming carbonates[J]. Mineralogical Magazine, 1989, 53(370):201-211.

- [19] 吴仕强,朱井泉,胡文瑄,等. 塔里木盆地寒武系—奥陶系白云岩稀土元素特征及其成因意义[J]. 现代地质,2009,23(4):638-647.
- [20] Guichard F, Church T M, Treuil M, et al. Rare earths in barites: Distribution and effects on aqueous partitioning[J]. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 1979, 43(7):983-987.
- [21] 黄思静, Qinghairuo, 胡作维, 等. 封闭系统中的白云石化作用及其石油地质学和矿床学意义—以四川盆地东北部三叠系飞仙关组碳酸盐岩为例[J]. 岩石学报, 2007, 23(11): 2955-2962.
- [22] Allan J R, Wiggins W D. Dolomite reservoirs: geochemical techniques for evaluation origin and distribution[M]. AAPG Continuing Education Course Notes Series 36, 1993.
- [23] Smith L B. Origin and reservoir characteristics of upper Ordovician trenton -black river hydrothermal dolomite reservoirs in New York[J]. AAPG Bulletin, 2006, 90(11): 1691-1718.
- [24] 于靖波, 张健, 史保平. 塔里木盆地巴楚隆起区构造-热演化历史研究[J]. 地球物理学报, 2010, 53(10):2396-2404.
- [25] 冯昌格, 刘绍文, 王良书, 等. 塔里木盆地中央隆起区现今地温场分布特征及其与油气的关系[J]. 地球科学—中国地质大学学报, 2010, 35(4): 645-656.
- [26] Machel H G, Lonnee J. Hydrothermal dolomite: A product of poor definition and imagination [J], *Sedimentary Geology*, 2002, 152(3/4):163-171.
- [27] White D E. Magmatic connate and metamorphic water[J]. *Geological society of America Bulletin*, 1957, 68(12): 1659-1682.

编辑:赵国宪

Lithological and Geochemical Characteristics Indicating Genetic Mechanism and Evolution of Upper Cambrian Dolostone in Bachu Uplift, Tarim Basin

Xie Shiwen, Zhang Donghui, Zhu Helin, Zeng Xiangliang, Li Xiaodong

Abstract: A set of prospective thick Upper Cambrian dolostone develops in Bachu Uplift, Tarim Basin. Based on analysis of drilled cores and thin sections, the dolostone may be divided into crystalline dolostone, micritic dolostone, residual(granular) dolostone and transitional dolostone. Lithological and geochemical analyses have revealed that the dolostone experienced three stages of diagenesis: peneconcontemporaneous-contemporaneous(evaprite pumping and penetrative reflux) dolomitization, burial dolomitization and locally hydrothermal dolomitization, during which rock structures changed correspondingly in the dolostones. The fluids associated with dolomitization chiefly are high-salinity reflux brine, burial residual seawater and hydrothermal fluid from crust deep. All of indexes, including Existence of ausignetic minerals, high Ba/Sr ratios, REE Eu enrichment and homogenization temperature of fluid inclusions, indicate that the dolostone was affected with locally dissolution and reformation by hydrothermal fluid from deep. Reservoir space will be advanced in the resolved dolostone, which means a prospective significance to the dolostone reservoirs in this area.

Key words: Upper Cambrian; Dolostone; Diagenesis; Hydrothermalism; Rock nenesis; Bachu Uplift; Tarim Basin
Xie Shiwen; male, Master, Geology Engineer. Add: CNOOC Shenzhen Branch, Offshore Petroleum Office Mansion, 168 Jiangnan Dadao, Guangzhou, Guangdong, 510240, China