

文章编号：1006-6616 (2002) 03-0257-08

巴楚地区上寒武—下奥陶统 丘里塔格群碳酸盐岩储层特征

张新海¹, 王晓东¹, 阳国进¹, 周新桂², 毛晓长²

(1. 中石化新星石油公司西北石油局, 乌鲁木齐 830011; 2. 中国地质大学, 北京 100083)

摘要：巴楚地区上寒武—下奥陶统丘里塔格群碳酸盐岩储层是区内主要储层段，为一套局限台地沉积，其中“云岩、灰岩互层段”、“白云岩段”为有利储层层位。受沉积相、成岩作用和构造作用影响，储集空间类型主要是次生孔隙、溶洞和裂缝，尤其是溶蚀作用与断裂改造作用，使丘里塔格群碳酸盐岩形成优质储层。分布在南部康塔库木—玛扎塔格构造带已获得高产工业气流。

关键词：白云岩；储集空间；有利储层；溶蚀作用；裂缝

中图分类号：TE122.2

文献标识码：A

0 引言

塔里木盆地巴楚地区地处塔里木盆地的西北部，横跨中央隆起区巴楚隆起和西南凹陷区麦盖提斜坡的西北部（图1）。该区上寒武—下奥陶统丘里塔格群碳酸盐岩储层是巴楚地区的主要储层，分布全区，为一套局限台地沉积，并发育潮坪、蒸发湖沉积。下奥陶统在区内遭受不同程度的剥蚀，厚度变化较大；上寒武统发育齐全。据康2、玛4、和4、方1井等钻井油气地质资料分析表明，丘里塔格群的“云岩、灰岩互层段”、“白云岩段”为有利储层分布层位。

1 储集特征

1.1 储层岩石类型

巴楚地区丘里塔格群碳酸盐岩储层岩石类型主要是灰岩和白云岩。

(1) 灰岩主要发育于“灰岩段”及“云岩、灰岩互层段”，主要是泥晶、粉晶、粉—细晶灰岩，部分为亮晶、泥晶粒屑灰岩。灰岩中方解石多为自形—半自形晶，含量在96%以

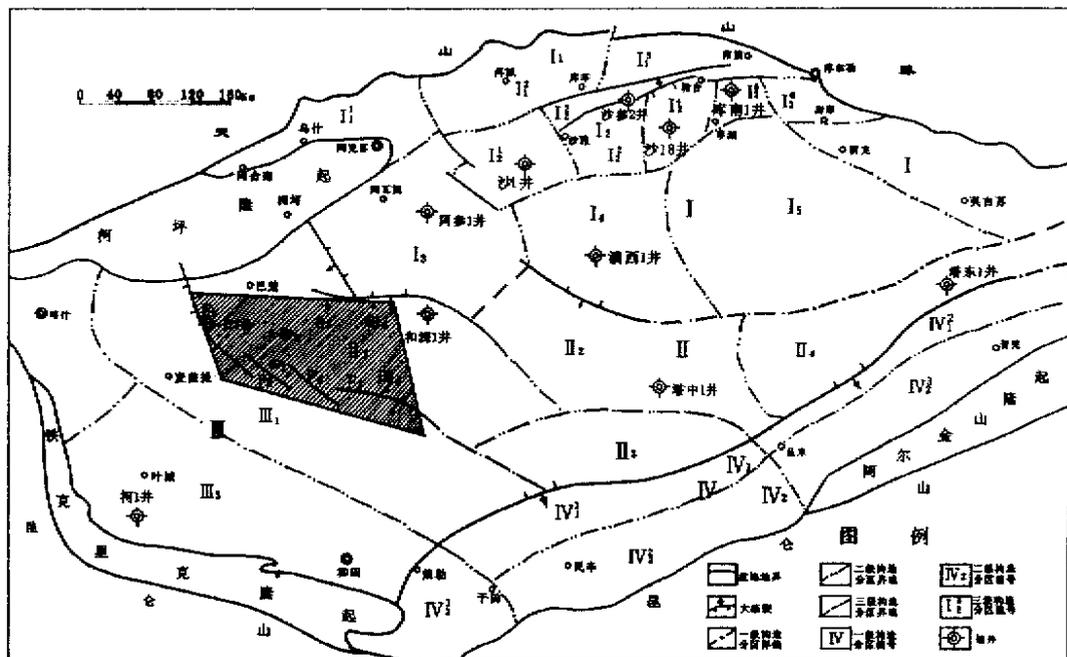


图1 巴楚地区位置图

Fig.1 Tectonic location of Bachu area

F₁. 色力布亚断裂; F₂. 康塔库木断裂; F₃. 玛扎塔格断裂; F₄. 乌山断裂

上; 粒屑灰岩中粒屑含量可占 70% ~ 74%, 以砂屑为主, 占 69%, 粉屑占 18%, 含少量生物碎屑和鲕粒。

(2) 白云岩主要发育于“白云岩段”。岩性以泥晶、粉晶、细晶白云岩为主, 少量粗晶云岩、灰质云岩、含灰、含泥云岩, 还发育少量粉—细晶残余粒屑云岩。白云岩中白云石含量多在 70% ~ 80% 左右, 最高为 97.6%, 呈半自形—自形晶, 少量它形晶, 是方解石的白云石化产物。粉—细晶残余粒屑云岩中粒屑以鲕粒为主。

1.2 储集空间类型

本区丘里塔格群碳酸盐岩的储集空间类型主要是次生孔隙、溶洞和裂缝等三大类。

1.2.1 次生孔隙

主要的储集空间是晶间孔、晶间溶孔、粒间溶孔和粒内溶孔。

晶间孔和晶间溶孔主要发育于粉—细晶白云岩、粒屑云岩的白云石和粉—细晶灰岩、粒屑灰岩的方解石。此类孔隙在区内分布比较广泛。

粒内溶孔和粒间溶孔主要发育于“云岩、灰岩互层段”的亮晶、泥晶粒屑灰岩与“白云岩段”的亮晶粒屑云岩中。由于此类孔隙的形成和发育与酸性溶液的渗流状态密切相关, 所以孔隙的分布往往受到局限, 是造成碳酸盐岩非均质性的原因之一。

1.2.2 溶洞

溶洞是碳酸盐岩储层的重要储集空间。它们的形成和发育一部分和岩溶作用有关, 一部分则是埋藏溶蚀的结果。溶洞主要发育于“云岩、灰岩互层段”下部、“白云岩段”。它们分布极不均匀, 非均质性极强, 而且常常和裂缝一起组成缝洞型储层。在钻进过程中常发生井漏和放空。据对部分钻井井漏资料的统计表明“白云岩段”漏失严重。

“白云岩段”是区内最具有储集潜力的缝洞型碳酸盐岩储层，溶洞数量大，线密度为 23.3 个/m，其中半充填洞占总洞数的 94.6%，洞径最大可达 58 × 11mm。巴楚地区南部乌山构造山 1 井在此层段已钻获油气。

表 1 巴楚地区丘里塔格群碳酸盐岩储裂缝特征

Table 1 The features of the fractures in the carbonate reservoir of Qiulitage Group in Bachu area

地层时代			岩性	裂缝特征						分布密度条/m		
				裂缝类型	数量	百分比/%	充填类型	数量	百分比/%		充填物	
下奥陶统	丘里塔格群	灰岩段	灰岩	垂直缝	33	29.5	全充	37	33	方解石	0.89	
				水平缝	72	64.3	半充	44	39.3			炭、泥
				倾斜缝	7	6.2	未充	31	27.7			其它
		合计	112			112						
	丘里塔格群	云岩、灰岩段	含云灰岩、云质灰岩、云岩、针孔云岩	垂直缝	20	7.1	全充	28	10	方解石	5.30	
				水平缝	180	64.3	半充	185	66.1	炭、泥		
				倾斜缝	80	28.6	未充	67	23.9	其它		
			合计	280			280					
	上寒武统	云岩段	云岩	垂直缝	102	42.7	全充	70	29.3	方解石、白云石	5.14	
				水平缝	83	34.8	半充	164	68.6	炭、泥		
倾斜缝				54	22.5	未充	5	2.1	其它			
合计			239			239						

1.2.3 裂缝

裂缝不仅仅是酸性流体的流动通道，同时也是油气运移和储集空间类型之一。巴楚地区丘里塔格群碳酸盐岩中裂缝十分发育，主要是与断裂、局部构造相伴的构造缝，并在断裂两侧或背斜的轴部裂缝的分布密度高，如山 1 井靠近乌山断裂，所钻遇的上寒武统的细—粉晶云岩中的裂缝密度可高达 38.4 条/m。与局部构造伴生的裂缝在褶皱轴部多为张性裂缝。如位于玛扎塔格背斜轴部的玛 2 井在上寒武—下奥陶统灰岩段岩心上共检测出裂缝 102 条，具明显的张裂缝特征。与断裂相伴而生的裂缝由于受断裂剪切应力的作用，岩石较易破碎，形成的裂缝以闭合型剪切裂缝为主。白云岩比灰岩裂缝发育（表 1），4 口钻井岩心中，共发现各种裂缝 631 条，其中以“云岩、灰岩互层段”裂缝发育状况最好，裂缝宽度及未充填有效缝占裂缝总数百分比均较高。因此，巴楚地区丘里塔格群碳酸盐岩储层空间组合类型多是溶洞 + 裂缝型，或次生溶孔 + 溶洞 + 裂缝型。

1.3 储层的孔隙结构

碳酸盐岩储层岩石的孔隙结构特征与岩石类型、岩石矿物成分的组成相关。研究表明，灰岩结构均匀、孔隙以细孔为主，储集性较差；白云岩则以偏粗孔为主、结构不太均匀，储集性好。

压汞分析结果表明，“灰岩段”、“云岩、灰岩互层段”为分选中等的细歪度型孔隙结构（图 2），其排驱压力最小值为 0.01MPa，最大值为 9.232MPa，一般为 6 ~ 8MPa。最大连通孔喉半径的最大值为 75 μ m，最小值为 0.0812 μ m，一般为 0.1 ~ 0.3 μ m，孔喉分布范围基本在

0.25 ~ 0.063 μm 内。

“白云岩段”的孔隙结构好于“灰岩段”、“云岩、灰岩互层段”，为分选好、细歪度孔隙结构（图 2E）。其排驱压力最大值为 12.486MPa，最小值 0.353MPa。一般为 1 ~ 6MPa。最大连通孔喉半径一般为 0.1 ~ 0.4 μm 。孔喉分布范围在 0.25 ~ 0.063 μm 之间。

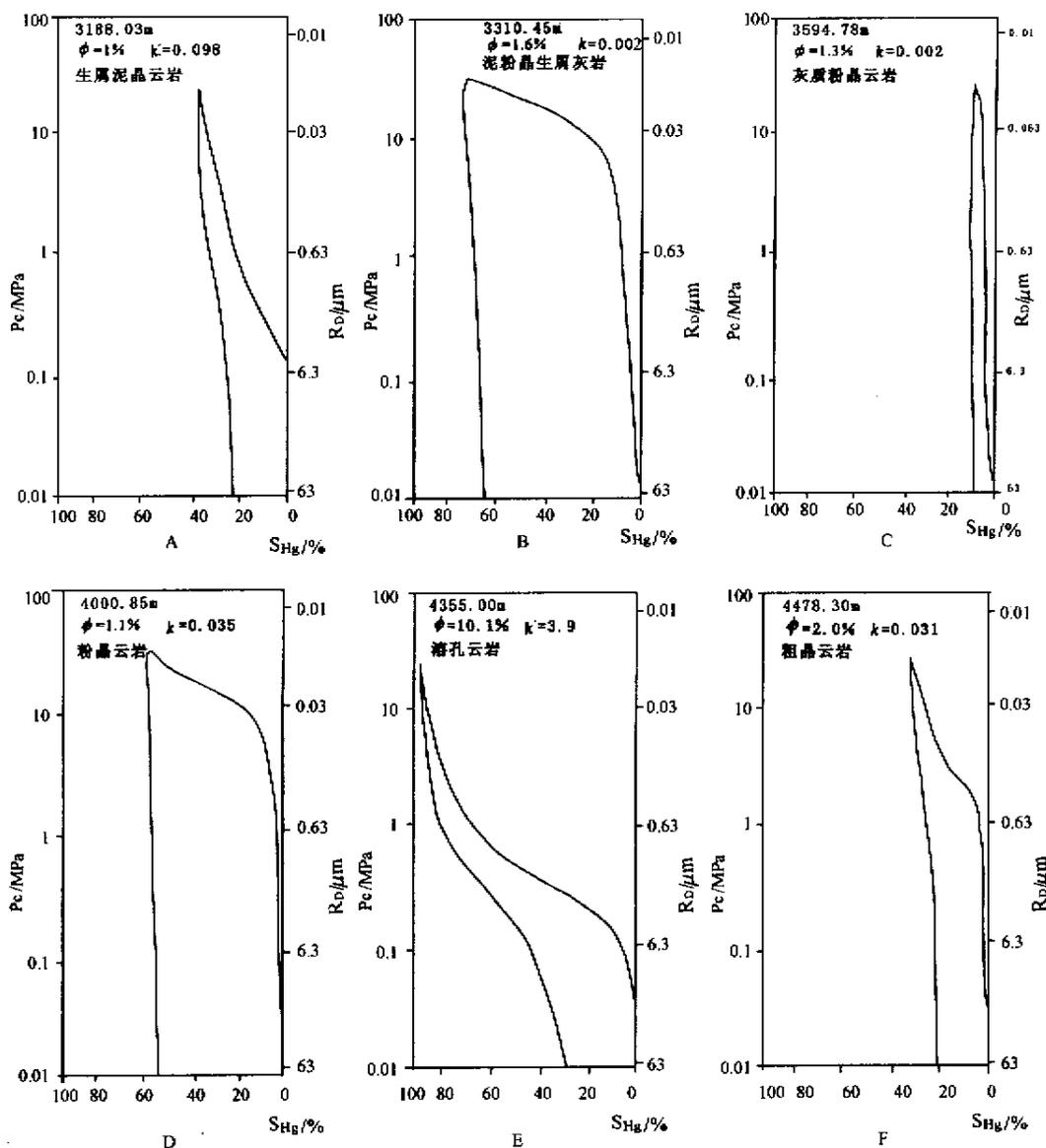


图 2 丘里塔格群“灰岩段”(A-B)、“云岩灰岩互层段”(C-D)、“白云岩段”(E-F) 压汞曲线图

Fig.2 Capillary pressure curves of the carbonate rock of Qiulitage Group

1.4 储层储集物性

碳酸盐岩储层的储集物性主要受孔隙与裂缝发育程度的控制。由于研究区碳酸盐岩储层

的岩石类型、储集空间类型较多，加之裂缝对储层储集性能的影响，导致区内碳酸盐岩储层储集性能表现为明显的非均质性。

根据岩心物性的测试结果统计，丘里塔格群碳酸盐岩的孔隙度最大值为16.6%，最小值为0.32%，平均在0.58%~3%之间，渗透率变化更大，最大值达 $214 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ ，最小值仅 $0.005 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ ，平均在 $1.7 \sim 7.3 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 之间。从岩性上看，白云岩孔隙度的区间值为0.95%~10.1%，平均3.37%，而灰岩孔隙度区间值为0.66%~1.6%，平均仅1.09%。白云岩渗透率为 $0.009 \sim 3.9 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ ，平均 $0.793 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ ，灰岩渗透率则为 $0.002 \sim 0.098 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ ，平均 $0.034 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ ，与白云岩相差一个数量级，表明丘里塔格群的白云岩的储层物性好于灰岩，这和孔隙结构的分析结果相一致。

研究表明“云岩、灰岩互层段”、“白云岩段”储集性好，岩性主要为中—细晶云岩、颗粒云岩和针孔状白云岩，粒间溶孔、粒内溶孔发育，缝洞密度高，钻井中发生井漏。据康2井资料，“云岩、灰岩互层段”岩性为粉—粗晶云岩、云灰岩，岩石结构上细下粗，上部发育针孔、微裂隙，下部发育晶间孔、构造裂缝、井漏严重。“白云岩段”岩性为中—细晶云岩，上部以粗晶结构为主，发育孔、洞和构造裂缝，井漏严重；下部以细—粉晶结构为主，孔、洞和构造裂缝发育程度较上部稍弱，其中上部井漏漏失量较大。部分层段发育针孔状云岩，为裂缝+孔洞型Ⅰ—Ⅱ类储集体。

2 影响储层物性的因素

影响碳酸盐岩储层物性的因素主要是沉积相、成岩作用和构造作用。

2.1 沉积相对储层的控制

储层受沉积相的控制。本区晚寒武—早奥陶世是由早期干燥炎热气候条件下、海水较为闭塞的浅海局限台地向晚期正常盐度的浅海开阔台地沉积逐渐过渡的沉积环境，颗粒云岩、中—细晶云岩等岩石具有较强储集能力，它们都是局限台地相沉积，部分白云岩则属于潮坪相沉积。早奥陶世晚期开阔台地静水沉积的以泥晶灰岩为主的“灰岩段”岩石致密、结晶细小，钻井证明为差储层。

2.2 成岩作用对储层物性的影响

巴楚地区丘里塔格群碳酸盐岩经历了多种成岩作用，其中压实作用、胶结作用、充填作用、硅化作用、重结晶作用为破坏型成岩作用；白云石化作用、溶蚀作用是建设型成岩作用。

(1) 白云石化作用：白云石化作用形成大量的晶间孔、晶间隙，它不仅改善了储集性能，并为以后的溶蚀作用创造了条件。通过对研究区内碳酸盐岩岩心、薄片、铸体薄片等资料的综合研究表明，本区以混合白云石化、埋藏成岩白云石化作用为主，形成的粉—细晶、细—中晶，甚至粗晶白云岩，晶间孔发育。

(2) 溶蚀作用：溶蚀作用是造就碳酸盐岩次生孔隙的极其重要的作用。岩溶作用贯穿了从成岩早期到深埋藏直至表生的整个成岩作用过程中。

区内碳酸盐岩溶蚀作用大致可分为四期：第一期：早期的大气淡水淋滤，溶蚀形成粒内溶孔，基本上被充填。第二期：在白云石化的基础上进行，由于白云石化形成了许多晶间孔隙，使酸性水得以进入并在此基础上进行溶蚀，扩大为不规则的溶孔和局部发育的溶孔。第三期：伴随着后期构造裂缝进行的埋藏溶蚀作用。第四期：与构造运动地壳抬升、暴露大气、风化剥蚀、淡水淋溶作用有关的古岩溶作用。其中对巴楚地区丘里塔格群碳酸盐岩储层最有意义的是第三、四期溶蚀作用：

表 2 巴楚地区丘里塔格碳酸盐岩储层综合评价分类表

Table 2 Classification of comprehensive assessment of the carbonate reservoir of Qiulitage Group in Bachu area

类别	储层岩石类型	储层孔隙空间类型	缝洞发育程度		物性		毛管压力特征			分选系数 /SP	评价结果
			裂缝密度 /条/m	溶洞密度 /个/m	孔隙度 /%	渗透率 / $\times 10^3 \mu\text{m}^2$	排驱压力 / P_D /MPa	中值压力 / P_{C50} /MPa	非饱和体积 / S_{min} /%		
I	颗粒云岩、灰岩、藻屑、藻云岩、针孔云岩	粒内孔、粒间孔、粒间溶孔、裂缝、溶洞	> 10	> 20	> 3	> 1	< 1	< 30	< 25	< 2	很好 ~好
II	生物灰岩、藻灰岩、中、粗晶云岩、云化灰岩	粒间孔、晶间孔、晶内溶孔、裂缝、溶洞	10 ~ 5	20 ~ 10	2 ~ 3	> 1	1 ~ 7	5 ~ 50	20 ~ 35	1 ~ 3	较好
III	中、细晶云岩、中、细晶灰岩	晶间孔、晶内溶孔	< 5 ~ 1	< 10 ~ 5	2 ~ 3	0.01 ~ 1	7 ~ 15	20 ~ 90	30 ~ 50	2 ~ 5	较好 ~差
IV	致密灰岩、云岩、含泥灰岩、泥灰岩	溶孔、缝合线	< 1	< 5	< 2	< 0.01	> 15	> 90	> 50	> 5	差 ~非

表 3 巴楚地区丘里塔格群碳酸盐岩储层综合评价结果表

Table 3 Results of comprehensive assessment of the carbonate reservoir of Qiulitage Group in Bachu area

层位	岩性	孔隙空间类型	缝洞发育程度		物性		毛管压力特征			分选系数 /SP	评价结果
			裂缝密度 /条/m	溶洞密度 /个/m	孔隙度 /%	渗透率 / $\times 10^3 \mu\text{m}^2$	排驱压力 / P_D /MPa	中值压力 / P_{C50} /MPa	非饱和体积 / S_{min} /%		
丘里塔格群	灰岩段	泥-粉晶含晶、粉-粉晶、灰岩、生溶孔、裂缝、灰岩	0.89	1.95	1.09	0.034	4.32	/	25.74 ~ 64.22	/	IV
	云岩	细-中晶针岩、云岩、云岩、粉晶云岩、灰岩、灰质	5.3	7.2	3	7.3	5.28	10.02	40.61 ~ 68.51	/	II ~ III
	白云岩段	中-细晶粉晶、云岩、云岩、粉晶云岩、砂屑、砂屑、粒云岩	5.1	23.3	3.37	0.793	4.28	/	40.61 ~ 68.51	/	I ~ II

埋藏溶蚀作用：指碳酸盐岩在中—深埋藏阶段，与有机质热演化成岩作用有密切联系的

溶蚀作用现象及过程。本区埋藏溶蚀作用主要发育于裂缝发育区和晶间孔或针孔发育的丘里塔格群“云岩、灰岩互层段”、“云岩段”的结晶云岩中，常形成溶洞细晶云岩、溶洞粗—中晶云岩等。方1、和4、康2等井相同层位均有发育，储集性能综合评价一般较好，尤其是康2井综合评价为好储层。形成这些次生孔隙的时期应在中成岩期的成熟阶段，即有机酸形成高峰期，与油气运移基本上是同期的。由脱羧基作用影响而形成的酸性水溶液溶解碳酸盐岩，形成孔洞、扩大裂缝^[1]，为此时排注油气提供储集空间。

古岩溶作用：当地壳抬升，碳酸盐岩暴露大气期间接受风化、剥蚀和大气淡水淋滤作用，大量含酸性的水对 CaCO_3 有强烈的溶解能力，水呈垂向运动，故可把溶解物质不断地带出，形成大量的溶蚀孔、洞、缝，成为好的储集层。钻井资料研究表明，该区的古岩溶多数遭受了不同程度的破坏，在喜马拉雅期的断裂作用改造后成为储集性能好的改造型古岩溶。

2.3 构造作用

构造应力造成岩石破裂产生的裂缝是重要的渗流通道和储集空间的一种类型。尤其在断层附近，由于断裂破碎形成一个断裂裂隙分布带，裂隙密度越大，发生溶蚀作用越强，则形成的溶蚀缝洞越多^[2]。

巴楚地区南部色力布亚—康塔库木—托合塔格及玛扎塔格断裂构造带上，构造作用显著，沿断裂的致密性脆的泥晶灰岩、泥灰岩、白云岩等易产生裂缝，这为地下酸性水介质提供了溶蚀渗滤通道。岩心与镜下观察，区内上寒武—下奥陶统丘里塔格群碳酸盐岩构造缝以斜交缝、垂直缝为主，水平缝次之。

3 储层评价

综合本区上寒武—下奥陶统丘里塔格群各储层储集岩类、储集空间、孔隙结构、储集物性等特征的研究和分析，对照本区碳酸盐岩储层分类评价标准（表2），认为本区上寒武—下奥陶统丘里塔格群最好的储集层是“白云岩段”白云岩储层；其次为“云岩、灰岩互层段”白云岩、灰岩储层（表3）。

4 结论

（1）巴楚地区上寒武—下奥陶统丘里塔格群以“云岩、灰岩互层段”、“白云岩段”白云岩储集性好，为Ⅰ~Ⅱ类储层。

（2）储层的发育受沉积相的控制。巴楚地区上寒武—下奥陶统丘里塔格群的颗粒云岩、中—细晶云岩等岩石具有较强的储集能力，它们都是局限台地相沉积，部分白云岩则属于潮坪相沉积。早奥陶世晚期开阔台地静水沉积的以泥晶灰岩为主的“灰岩段”岩石致密，结晶细小，钻井证明为差储层。

（3）白云石化作用、溶蚀作用、构造作用是影响储层储集性重要作用，其中构造作用产生的裂缝对改善云岩、灰岩储集性有很大作用，为溶蚀作用流体渗流产生通道，也是重要的储集空间类型。

参 考 文 献

[1] 陈存时. 浙西皖南地区下古界碳酸盐岩成岩作用及储集条件研究[A]. 中国油气储层研究论文集[C], 北京: 石

油工业出版社, 1993, 162.

[2] 吴胜和, 熊琦华. 油气储层地层学 [M]. 北京: 石油工业出版社, 1998, 19.

THE FEATURES OF THE CARBONATE RESERVOIR OF QIULITAGE GROUP BETWEEN UPPER CAMBRIAN AND LOWER ORDOVICIAN IN BACHU AREA

ZHANG Xin-hai¹, WANG Xiao-dong¹, YANG Guo-jing¹, ZHOU Xin-gui², MAO Xiao-chang²
(1. Northwest Petroleum Bureau, CNSPC, Urumqi 830011; 2. China University of Geoscience, Beijing 100083, China)

Abstract : The carbonate reservoir of Qiulitage Group between Upper Cambrian and Lower Ordovician is the main reservoir member in this area. It is a suit of local platform sediment. The horizon of the vantage reservoir situated in the member consists of cross bedding of dolomite and limestone and the dolomite member. Because of the influence of sedimentary facies, diagenesis and tectonism, induced porosity, dissolved cavern and fracture are the dominant types of the reservoir space. Especially because of the influence of the action of dissolution and the reconstruct of faults, the carbonate rock of Qiulitage Group had become highclass reservoirs. They are distributed in the south of the Kangtakumu-mazhata structural zone and high yield commercial gas had been achieved in them.

Key words : dolomite ; reservoir space ; vantage reservoir ; dissolution ; fracture