

文章编号:0253-9985(2011)04-0506-06

塔里木盆地大理岩化储层发育特征

朱东亚¹, 孟庆强¹, 解启来², 胡文瑄³

(1. 中国石化石油勘探开发研究院, 北京 100083; 2. 华南农业大学资源环境学院, 广东 广州 510640;

3. 南京大学地球科学系, 江苏 南京 210093)

摘要:在岩浆侵入体热作用下, 塔里木盆地古生界碳酸盐岩局部发生了大理岩化作用。塔里木盆地西北缘巴楚县的塘王城剖面是大理岩化作用较为典型的野外剖面, 塔中地区的中16井是揭示大理岩化作用较为典型的钻井。大理岩化特征随碳酸盐岩距离岩浆侵入体的远近不同呈现出规律性的变化。距离侵入岩体越近, 大理岩颗粒越粗; 而随着距侵入岩体距离增加, 大理岩化程度逐渐降低, 并逐步消失。碳酸盐岩发生大理岩化后的颗粒呈近似六边形的嵌晶状结构, 次生孔隙空间较不发育。与灰岩原岩相比, 大理岩化碳酸盐岩具有相似的锶同位素组成和较轻的碳氧同位素组成, 由此表明大理岩化作用是热变质作用为主的过程; 在此过程中, 除原岩地层中少量地层水参与外, 没有外来流体的参与。由于缺少外来流体的溶蚀作用, 大理岩化储层物性与灰岩原岩相比没有明显的变化, 而是继承了灰岩原岩的孔渗特征。

关键词:大理岩化作用; 碳酸盐岩; 同位素; 储层; 塔里木盆地

中图分类号:TE122.1

文献标识码:A

Characteristics of marmorized reservoirs in the Tarim Basin

Zhu Dongya¹, Meng Qingqiang¹, Xie Qilai² and Hu Wenxuan³

(1. SINOPEC Petroleum Exploration & Production Research Institute, Beijing 100083, China;

2. Department of Resource and Environment, South China Agricultural University, Guangzhou, Guangdong 510640, China;

3. School of Earth Sciences, Nanjing University, Nanjing, Jiangsu 210093, China)

Abstract: The Lower Paleozoic carbonates of Tarim Basin were marbleized locally due to the thermal effects of magma intrusions. Marmorization is typical on the Tangwangcheng outcrop section in Bachu county at the north-western margin of Tarim Basin and in cores from Well Zhong-16 in the Tazhong area. The characteristics of marmorization change regularly with the distance from carbonate rocks to intrusions. The degree of marmorization is high in the periphery of igneous intrusions with grains of marble being relatively coarse, but is progressively lowers and eventually disappears away from the intrusions. Grains of carbonate experienced marmorization show pseudo-hexagonal poikilitic structure with poorly developed secondary pores. Compared with the unaltered limestone, the marmorized carbonates have similar strontium isotope composition but slighter oxygen and carbon isotope compositions, indicating that the marmorization is a process dominated by thermal metamorphism. During this process, no extraneous fluids except for a small amount of formation water in the original carbonates are involved. The quality of marmorized reservoirs is basically similar with the unaltered limestone due to the absence of dissolution from extraneous fluids.

Key words: marmorization, carbonate rock, isotope, reservoir, Tarim Basin

塔里木盆地分别在震旦纪-寒武纪、早奥陶世、二叠纪和白垩纪经历了4次岩浆火山作用^[1],

收稿日期:2011-05-02。

第一作者简介:朱东亚(1975—),男,博士,流体与油气成藏。

基金项目:国家自然科学基金项目(41002037);国家科技重大专项(2011ZX05005-001)。

其中二叠纪岩浆作用对塔里木盆地内部影响最大,在岩浆活动的影响下,大量辉绿岩体侵入到塔里木盆地古生界碳酸盐岩地层中,使局部碳酸盐岩发生强烈的大理岩化作用。碳酸盐岩的大理岩化作用被塔里木盆地的一些野外剖面 and 钻井所揭示。大理岩化作用改变了原来碳酸盐岩的岩石结构和孔隙结构,在特定条件下可以形成大理岩型油气储层。虽然已有学者对侵入岩体热作用以及相关深部流体活动与碳酸盐岩储层发育关系进行了探讨^[2-4],但尚未开展大理岩化储层研究。

本文以塔里木盆地发生大理岩化的典型野外剖面和钻井为例,在揭示大理岩化发育特征的基础上,开展碳、氧和锶同位素测试,以分析大理岩化过程中的流体作用机制,并进一步探讨大理岩化对储层的影响。

1 大理岩化储层发育特征

在侵入岩体的影响下,塔里木盆地古生界碳酸盐岩局部可以见到大理岩化作用。典型野外剖面为塔里木盆地西北缘巴楚县的塘王城剖面,典型钻井为塔中地区的中16井,下面将分别加以探讨。

1.1 野外大理岩化储层特征

野外的大理岩化剖面位于塔里木盆地西北缘巴楚县的一间房至塘王城公路边上,断断续续可见到几处的中下奥陶统灰岩发生大理岩化作用。塘王城处的一个剖面发育最为完整,可以见到一层厚十余米的辉绿岩侵入到下奥陶统灰岩中,侵入岩体上下都发生了大理岩化作用(图1a)。

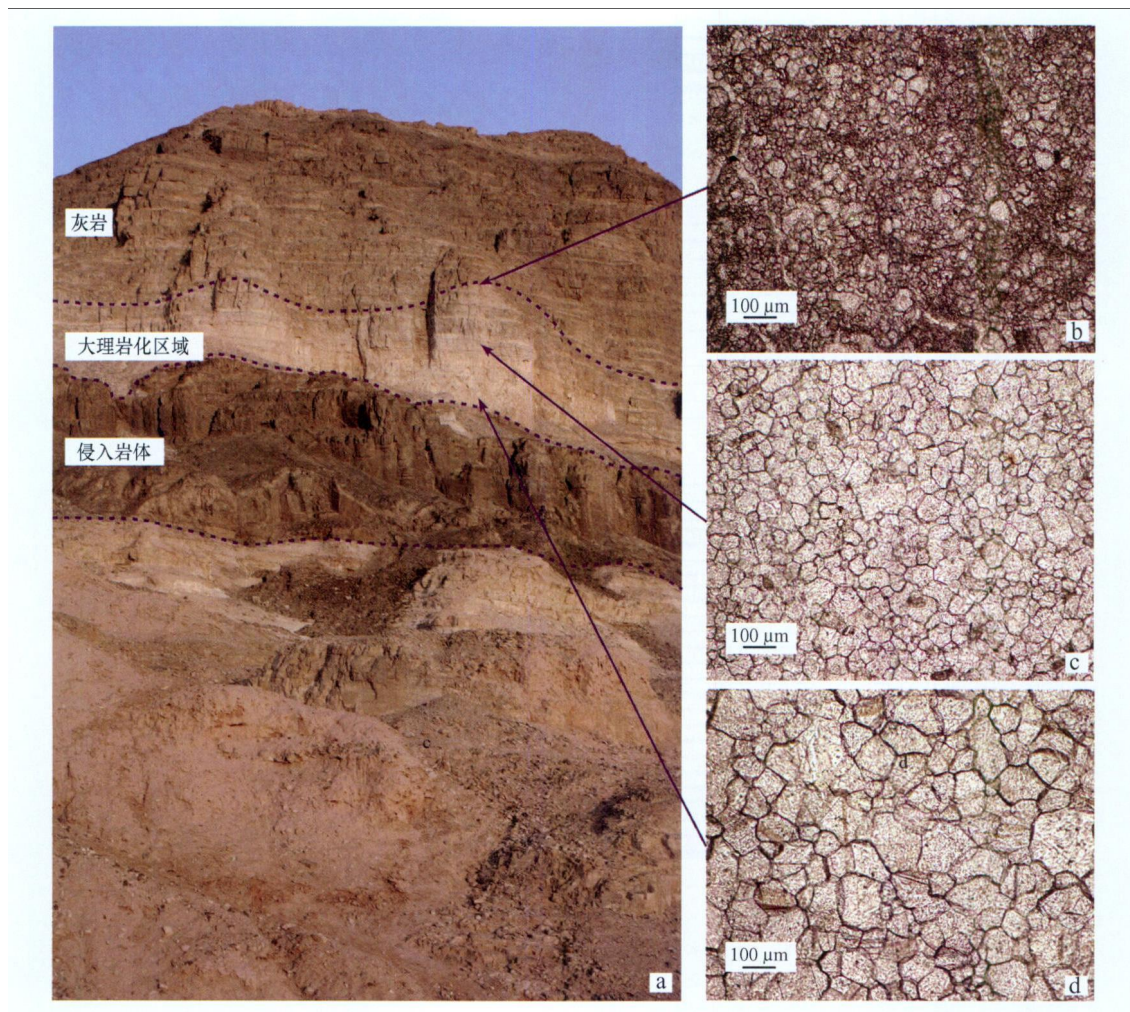


图1 塘王城野外剖面奥陶系灰岩大理岩化作用

Fig. 1 Tangwangcheng outcrop section showing marmorization of the Ordovician limestone

- a. 侵入岩体和大理岩化作用野外照片;b. 大理岩化与灰岩原岩过渡带,显微镜下可见泥晶灰岩原岩和大理岩颗粒,单偏光;
c. 距离侵入岩体较远处的细-中晶大理岩,单偏光;d. 侵入岩体接触面附近的粗晶大理岩,单偏光

大理岩化作用有一定的规律,即距离侵入岩体越近,储层大理岩化程度越强烈,大理岩中的颗粒越粗。随着与侵入岩体距离的增加,大理岩化程度减弱,逐渐过渡为灰岩原岩,大理岩颗粒也逐渐变细。在侵入岩体作用下,灰岩发生大理岩化的范围上下大约都是十余米。

在距离侵入岩体较远的大理岩化和灰岩过渡带,灰岩发生了部分的大理岩化作用,可见泥晶灰岩原岩和大理岩颗粒混合在一起(图1b)。随距离侵入岩体距离减小,大理岩颗粒逐渐变粗(图1c),在侵入岩体附近的大理岩颗粒大小在一百微米至几百微米(图1d)。发育较好的大理岩,颗粒

呈近六边形的嵌晶状结构(图1c,d)。

1.2 钻井大理岩化储层特征

塔中地区的中16井显示,在奥陶系碳酸盐岩地层中钻遇多层辉绿岩侵入岩体,侵入体周围碳酸盐岩发生了不同程度的大理岩化作用。

从钻井取心情况来看,大理岩化发育比较典型的为8回次取心段和12回次的取心段。8回次取心段的下部5465.00~5468.15 m为黑色的辉绿岩侵入岩体,取心段上部5459.95~5465.00 m为以白色中粗晶大理岩为主,顶部见未发生大理岩化的灰岩(图2a,b)。镜下观察可发现与野外

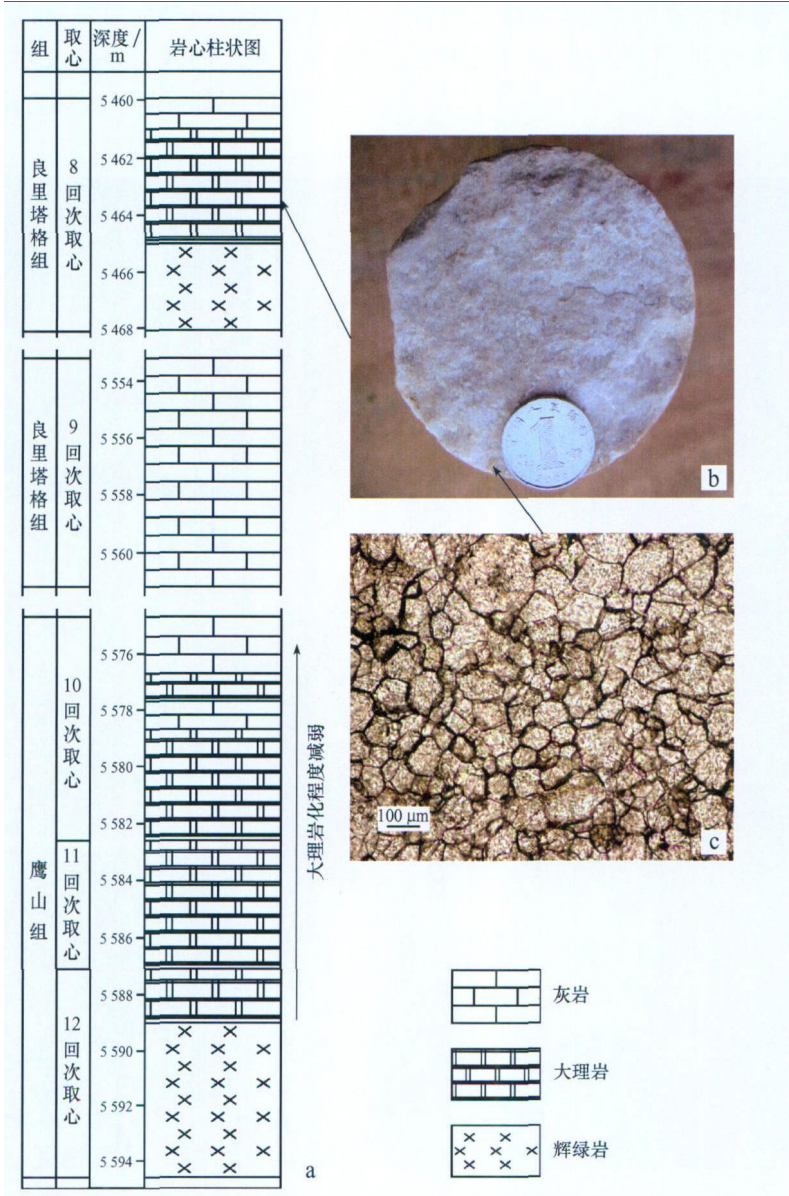


图2 塔中地区中16井大理岩化岩心柱状图

Fig. 2 Core column showing marmorization of limestone in Well Zhong-16 in Tazhong area

a. 大理岩化作用岩心柱状图; b. 中粗晶大理岩岩心照片; c. 大理岩显微照片, 单偏光

剖面类似的特征,即大理岩的晶体结构为近似六边形的嵌晶状结构(图2c)。

12 回次岩心段的下部 5 589.00 ~ 5 594.60 m 也是黑色的辉绿岩侵入体,上部 5 587.10 ~ 5 589.00 m 为白色的粗晶大理岩。距离辉绿岩侵入体较近的 11 回次取心段(5 582.60 ~ 5 587.10 m)也发生了大理岩化,上部的 10 回次取心段(5 574.70 ~ 5 582.60 m)大理岩化程度则较弱,局部可见白云质灰岩原岩。9 回次取心段(5 553.20 ~ 5 561.20 m)为深灰色含泥纹的泥晶灰岩,没有发生大理岩化作用。总体而言,大理岩化程度和大理岩晶体颗粒大小也随距离侵入岩体距离增加而减小(图2)。

2 大理岩化作用地球化学特征与作用机制

2.1 碳、氧和锶同位素

对塔里木盆地西北缘巴楚县的塘王城剖面和

塔中地区的中 16 井钻井岩心的部分大理岩和同层位的灰岩进行了碳、氧和锶同位素分析,以确定大理岩化作用发生特点和其中的流体作用机制(表1)。

从表 1 中可以看出大理岩的 $\delta^{13}\text{C}$ (PDB) 值介于 $-2.26\text{‰} \sim -1.17\text{‰}$ 之间,平均值为 -1.63‰ ; $\delta^{18}\text{O}$ (PDB) 值介于 $-6.97\text{‰} \sim -8.44\text{‰}$ 之间,平均为 -7.6‰ ; $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 值介于 $0.708\,717 \sim 0.708\,831$ 之间,平均值为 $0.708\,789$ 。

塔北和塔中地区奥陶统灰岩的氧同位素 $\delta^{18}\text{O}$ (PDB) 值位于 $-7.6\text{‰} \sim -4.7\text{‰}$ 之间,平均值为 -6.3‰ ; $\delta^{13}\text{C}$ (PDB) 值位于 $-0.8\text{‰} \sim 2.0\text{‰}$ 之间,平均值为 0.5‰ 。灰岩碳和氧同位素组成与世界范围奥陶系碳酸盐岩碳和氧同位素组成相一致^[5]。大理岩的氧同位素 $\delta^{18}\text{O}$ (PDB) 值与灰岩的基本一致,但从平均值上来看低于灰岩的值(图3);碳同位素 $\delta^{13}\text{C}$ (PDB) 值则明显低于灰岩的值(图3)。

塔北和塔中灰岩锶同位素 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 值为 $0.708\,150 \sim 0.708\,869$,平均 $0.708\,606$,位于 Denison 等^[6]

表 1 塔里木盆地大理岩碳、氧和锶同位素特征
Table 1 Characteristics of carbon, oxygen and strontium isotopes of the marble in Tarim Basin

位置	编号	岩性	层位	深度/m	$\delta^{13}\text{C}$ (PDB),‰	$\delta^{18}\text{O}$ (PDB),‰	$^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$
中 16 井	中 16-113	白色粗晶大理岩	O_{1Y}	5 583.20	-1.54	-8.44	0.708 815
中 16 井	中 16-116	白色粗晶大理岩	O_{1Y}	5 587.50	-1.54	-7.54	0.708 717
中 16 井	中 16-117	白色粗晶大理岩	O_{1Y}	5 588.70	-1.30	-7.44	
塘王城	TWC-2	浅灰色细晶大理岩	O_{2YJ}	岩体上部 8 m	-2.26	-7.32	0.708 831
塘王城	TWC-3	白色粗晶大理岩	O_{2YJ}	岩体上部 2 m	-1.17	-6.97	
塘王城	TWC-4	白色粗晶大理岩	O_{2YJ}	岩体上接触面	-1.94	-7.89	0.708 794
大理岩平均					-1.63	-7.60	0.708 789
Tz44 井	Tz44-9	灰岩	O_3l	4 850.20	0.50	-6.7	0.708 418
Tz44 井	Tz44-8	灰岩	O_3l	4 846.60	0.90	-5.1	0.708 397
Tz12 井	Tz12-42	灰岩	O_3l	4 711.80	0.70	-7.2	0.708 276
Tz12 井	Tz12-45	灰岩	O_3l	4 742.00	1.20	-4.7	0.708 269
S76 井	S76-3	灰岩	O_{2YJ}	5 583.57	2.00	-6.4	0.708 765
S100 井	S100-6	灰岩	O_{2YJ}	5 617.63	0.90	-6.6	0.708 764
S102 井	S102-4	灰岩	O_{2YJ}	6 046.22	0.50	-6.7	0.708 741
S109 井	S109-6	灰岩	O_{2YJ}	6 250.63	0.40	-7.0	0.708 782
T115 井	T115-6	灰岩	O_{2YJ}	5 586.40	0.50	-5.8	0.708 802
YQ3 井	YQ3-4	灰岩	O_{1-2Y}	5 726.52	-0.82	-7.0	0.708 869
S99 井	S99	灰岩	O_{2YJ}	6 173.80	0.30	-6.3	0.708 813
S114 井	S114-1	灰岩	O_{1-2Y}	6 413.39	-0.30	-6.3	0.708 692
S114 井	S114-2	灰岩	O_{1-2Y}	6 461.31	-0.80	-5.7	0.708 718
T901 井	T901-1	灰岩	O_{2YJ}	5 572.20	0.10	-7.6	0.708 150
T901 井	T901-2	灰岩	O_{2YJ}	5 550.40	0.80	-6.1	0.708 632
灰岩平均					0.50	-6.3	0.708 606

所确定的奥陶系海相沉积碳酸盐岩的范围之内(图4);大理岩的锶同位素组成也位于塔里木盆地灰岩的范围内(图4)。

2.3 大理岩化作用中的流体机制

陆壳碎屑物质,如钾长石、云母、粘土矿物等通常富含放射性成因的⁸⁷Sr而具有较高的⁸⁷Sr/⁸⁶Sr比值^[7-8]。大气降水由于与地表/近地表富含放射性成因⁸⁷Sr的碎屑物质发生水岩作用而具有较高的⁸⁷Sr/⁸⁶Sr比值^[9]。塔里木盆地奥陶系之下的地层也含有大量的砂泥质碎屑岩,具有较高的⁸⁷Sr/⁸⁶Sr比值。自下而上运移而来的流体,会与这些碎屑物质发生作用也会具有较高的⁸⁷Sr/⁸⁶Sr比值^[10]。

大理岩化过程中可能会有外来流体的参与,如下渗的大气降水或者从下伏地层中向上运移的流体。这两种类型的流体会与浅部或深部碎屑岩地层相互作用,而具有较高的⁸⁷Sr/⁸⁶Sr比值。这样的流体参与到大理岩化过程中会使大理岩具有较高的⁸⁷Sr/⁸⁶Sr比值。但塔里木盆地一间房剖面和中16井大理岩⁸⁷Sr/⁸⁶Sr比值与灰岩一致,表明大理岩化过程中没有外来流体的参与,可能只与本

身的地层水发生一定的作用。

氧同位素组成偏轻,可能是由于较轻氧同位素组成流体的参与(如大气降水)或者是在较高温度下进行的。大气降水的参与将会使大理岩⁸⁷Sr/⁸⁶Sr比值偏高,所以较轻的氧同位素组成可能是较高温度下大理岩化的结果。岩浆侵入一般具有较高的温度,在高温下与水达到氧同位素平衡的碳酸盐岩,通常其氧同位素组成会显著偏轻。但本次研究中大理岩的值只是比灰岩的值略轻,表明大理岩化过程中地层水的量较少,无法达到氧同位素的平衡分馏。

碳酸盐岩碳同位素组成由碳酸根或CO₂决定。通常有机成因的碳酸根或CO₂具有较低的碳同位素值^[11-12],受此影响的碳酸盐岩也具有较轻的碳同位素组成。大理岩较低的碳同位素值,应该是在大理岩化过程中受到了碳酸盐岩原岩地层中有机成因的碳酸根或CO₂的影响造成的。塔里木盆地油气成藏早在加里东期就已经开始^[13-17],碳酸盐岩在发生大理岩化之前已经充注了一定数量的有机流体,含有一些有机成因的碳酸根或CO₂。因此,大理岩化过程中由于受有机成因碳酸根或CO₂的影响,大理岩碳同位素组成偏轻是有可能的。

从上面的分析可以看出,岩浆热作用下灰岩发生大理岩化的过程,是一个以热变质为主,伴随着地层水与围岩的相互作用,没有大量外来流体参与的过程。

3 大理岩化储层发育特征

从上面的分析可以看出,塔里木盆地下古生界碳酸盐岩发生的大理岩化作用是以热接触变质为主的过程。除原来灰岩中所含的油气流体参与影响外,较少有外来流体的参与。所以,在大理岩化过程中,没有发生流体溶蚀作用及与外界物质组分的交换。从这个角度来看,大理岩化作用并不一定能使碳酸盐岩储层孔隙度和渗透率发生较大的变化。但灰岩发生大理岩化作用之后,颗粒变大,颗粒的分选性明显变好,对储层孔隙结构的改善可能会有一定的意义。

从实测孔隙度来看(表2),2个大理岩化样品的孔隙度分别为0.69%和1.54%,平均为

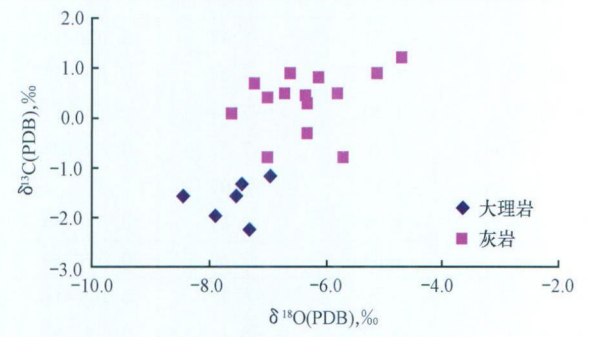


图3 大理岩与灰岩碳、氧同位素组成
Fig. 3 Comparison of carbon and oxygen isotope compositions of marble with that of limestone

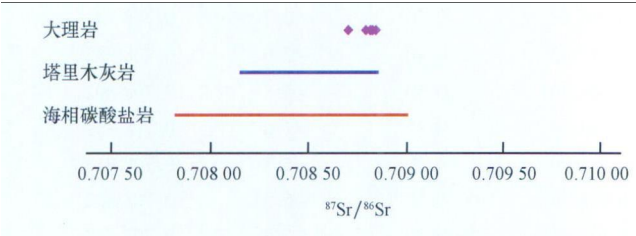


图4 大理岩与灰岩锶同位素组成
Fig. 4 Comparison of strontium isotope compositions of marble with that limestone

表2 中16井大理岩和碳酸盐岩储层物性实测和测井解释成果

Table 2 Measured and logging interpreted physical properties of the carbonates and marble in Well Zhong-16

	位置	岩性	层位	深度/m	孔隙度, %	渗透率/(10 ⁻³ μm ²)
实测	中16井	大理岩	O ₁ y	5 587.5	0.69	
	中16井	大理岩	O ₁ y	5 588.3	1.54	
	中16井	灰岩	O ₃ l	5 462.1	0.6	
	中16井	含云灰岩	O ₁ y	5 584.0	0.93	
	中16井	灰质云岩	O ₁ y	5 848.0	0.41	
测井	中16井	大理岩	O ₁ y	5 573.1~5 578.0	4.85	0.13
	中16井	云质灰岩	O ₁ y	5 618.1~5 620.5	4.08	0.19

1.12%。3个碳酸盐岩样品的孔隙度分别为0.60%,0.93%和0.41%,平均为0.65%。从测井成果上来看,大理岩段的孔隙度和渗透率分别为4.85%和0.13×10⁻³ μm²;碳酸盐岩段的孔隙度和渗透率分别为4.08%和0.19×10⁻³ μm²。

分析表明,大理岩化段储层物性和碳酸盐岩差别不大。由于与外界没有显著的物质交换作用,大理岩化过程并没有改变灰岩原岩的储集性能,只是对原岩的孔渗特征作了继承。

4 结论

1) 在侵入岩体热作用影响下,塔里木盆地下古生界碳酸盐岩局部变成结晶颗粒较为粗大的嵌晶状大理岩。

2) 碳、氧和锶同位素结果表明大理岩化过程缺少外来流体的作用,但在一定程度上受到了碳酸盐岩原岩内部所含有有机流体的影响。

3) 虽然对孔隙度影响不大,但大理岩化作用使储层颗粒变大、分选性变好,因此可能对改善渗透性有一定的意义。

参 考 文 献

[1] 陈汉林,贾承造.塔里木盆地地质热事件研究[J].科学通报,1997,42(10):1 096-1 099.
Chen Hanlin, Jia Chengzao. Research on geothermal events in Tarim Basin[J]. Chinese Science Bulletin, 1997, 42(10): 1096-1099.

[2] 聂保锋,于炳松,刘永顺,等.塔里木盆地塔中-巴楚地区侵入体温度场演化特征及其与油气储层的关系[J].石油与天然气地质,2009,30(1):59-67,73.
Nie Baofeng, Yu Bingsong, Liu Yongshun, et al. Relation between the evolution of temperature field of intrusions and the

development of carbonate reservoirs in Tazhong-Bachu area, the Tarim Basin[J]. Oil & Gas Geology, 2009, 30(1): 59-67, 73.

[3] 吕修祥,杨宁,解启来,等.塔中地区深部流体对碳酸盐岩储层的改造作用[J].石油与天然气地质,2005,26(3):284-296.
Lv Xiuxiang, Yang Ning, Xie Qilai, et al. Carbonate reservoirs transformed by deep fluid in Tazhong area [J]. Oil & Gas Geology, 2005, 26(3): 284-296.

[4] 朱东亚,孟庆强,解启来,等.云南腾冲热液发育模式及其对塔里木盆地热液溶蚀改造的启示[J].石油与天然气地质,2010,31(3):327-334.
Zhu Dongya, Meng Qingqiang, Xie Qilai, et al. Development pattern of hydrothermal fluids in Tengchong, Yunnan Province and its implications for hydrothermal dissolution in the Tarim Basin[J]. Oil & Gas Geology, 2010, 31(3): 327-334.

[5] Veizer J, Ala D, Azmy K, et al. ⁸⁷Sr/⁸⁶Sr, δ¹³C and δ¹⁸O evolution of Phanerozoic seawater[J]. Chem Geol, 1999, 161: 59-88.

[6] Denison R E, Koepnick R B, Burke W H, et al. Construction of the Cambrian and Ordovician seawater ⁸⁷Sr/⁸⁶Sr curve[J]. Chem Geol, 1998, 152(3-4): 325-340.

[7] Banner J L. Application of the isotope and trace element geochemistry of strontium to studies of diagenesis in carbonate systems[J]. Sedimentology, 1995, 42: 805-824.

[8] Harris N. Significance of weathering Himalayan metasedimentary rocks and leucogranites for the Sr isotope evolution of seawater during the early Miocene[J]. Geological Society of America, 1995, 23(9): 795-798.

[9] 刘存革,李国蓉,张一伟,等.锶同位素在古岩溶研究中的应用——以塔河油田奥陶系为例[J].地质学报,2007,81(10):1 398-1 406.
Liu Cunge, Li Guorong, Zhang Yiwei, et al. Application of strontium isotope to the study of paleokarst—An case from Ordovician in the Tahe oilfield, Tarim basin [J]. Acta Geologica Sinica, 2007, 81(10): 1 398-1 406.

(下转第521页)

- end of the Katak Uplift, the Tarim Basin[J]. Oil & Gas Geology, 2010, 31(1): 69-75.
- [15] 范嘉松. 中国生物礁与油气[M]. 北京: 海洋出版社, 1996, 39-75.
- Fan Jiasong. China reef and petroleum[M]. Beijing: Ocean Pubsher, 1996, 39-75.
- [16] Wilson J L. Carbonate facies ingeological history[M]. Berlin: Sping-Verlag, 1975: 1-471.
- [17] Flugel E. Microfacies of carbonate rocks[M]. Berlin: Spring-Verlag, 2004: 1-450.
- [18] 范嘉松, 张维. 生物礁的基本概念、分类及识别特征[J]. 岩石学报, 1985, 1(3): 45-59.
- Fan Jiasong, Zhang Wei. The concept, type and recognition feature of the reef[J]. Journal of The Rock, 1985, 1(3): 45-59.
- [19] 陈景山, 王振宇, 代宗仰, 等. 塔中地区中上奥陶统台地镶边体系分析[J]. 古地理学报, 1999, 1(2): 8-17.
- Chen Jingshan, Wang Zhenyu, Dai Zongyang, et al. The analysis of platform edge system in the Upper-middle Ordovician in Tazhong area[J]. Journal Of Palaeogeography, 1999, 1(2): 8-17.
- [20] 朱筱敏. 层序地层学[M]. 中国石油大学出版社, 2000, 29-36.
- Zhu Xiaomin. Sequence stratigraphy[M]. China University of Petroleum press, 2000, 29-36.
- [21] 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.
- Wang Qicong. Controlling factors of cyclic sequence stratigraphy[J]. Oil & Gas Geology, 2009, 30(5): 648-656.
- [22] 林畅松. 沉积盆地的层序和沉积充填结构及过程响应[J]. 沉积学报, 2009, 27(5): 849-862.
- Lin Changsong. Sequence and depositional architecture of sedimentary basin and process responses[J]. Acat Sedimentologica Sinica, 2009, 27(5): 849-862.
- [23] 姜在兴. 沉积体系及层序地层学研究现状及发展趋势[J]. 石油与天然气地质, 2010, 31(5): 535-541.
- Jiang Zaixing. Studies of depositional systems and sequence stratigraphy: the present and the future[J]. Oil & Gas Geology, 2010, 31(5): 535-541.

(编辑 董立)

(上接第511页)

- [10] Connolly C A, Walte L M, Baadsgaard H, et al. Origin and evolution of formation waters, Alberta Basin, Western Canada sedimentary Basin[J]. I. Chemistry. Applied Geochemistry, 1990, 5(4): 375-395.
- [11] Irwin H, Curtis C, Coleman M. Isotopic evidence for source of diagenetic carbonates formed during burial of organic rich sediments[J]. Nature, 1977, 269: 209-213.
- [12] Cai C F, Worden R H, Wang Q H, et al. Chemical and isotopic evidence for secondary alteration of nature gas in the Hetianhe Field, Bachu uplift of the Tarim Basin [J]. Organic Geochemistry, 2002, 33: 1415-1427.
- [13] 郭光辉, 陈利新, 徐志明, 等. 塔中奥陶系碳酸盐岩油气成藏机理[J]. 天然气工业, 2008, 28(6): 19-22.
- Wu Guanghui, Chen Lixin, Xu Zhiming, et al. Oil and gas reservoiring mechanism in Ordovician carbonate in central Tarim basin [J]. Natural Gas Industry, 2008, 28(6): 19-22.
- [14] 张水昌, 王飞宇, 张保民, 等. 塔里木盆地中上奥陶统油源层地球化学研究[J]. 石油学报, 2000, 21(6): 23-28.
- Zhang Shuichang, Zhang Baomin, Wang Feiyu, et al. Studies on the geochemistry of the middle-upper Ordovician hydrocarbon source rocks in the Tarim basin [J]. Acta Petrolei Sinica, 2000, 21(6): 23-28.
- [15] 张水昌, 张宝民, 王飞宇, 等. 中-上奥陶统:塔里木盆地主要油源层[J]. 海相油气地质, 2000, 5(1-2): 16-22.
- Zhang Shuichang, Zhang Baomin, Wang Feiyu, et al. Middle-upper Ordovician stratum: the main hydrocarbon source rocks [J]. Marine Origin Petroleum Geology, 2000, 5(1-2): 16-22.
- [16] 刘洛夫, 赵建章, 张水昌, 等. 塔里木盆地志留系沥青砂岩的成因类型及特征[J]. 石油学报, 2000, 21(6): 12-17.
- Liu Luofu, Zhao Jianzhang, Zhang Shuichang. Genesis and Characteristics of the Silurian bitumen sandstone in the Tarim basin[J]. Acta Petrolei Sinica, 2000, 21(6): 12-17.
- [17] 蔡希源. 塔里木盆地台盆区油气成藏条件与勘探方向[J]. 石油与天然气地质, 2005, 26(5): 590-597.
- Cai Xiyuan. Reservoiring conditions and exploration targets in Tarim basin[J]. Oil & Gas Geology, 2005, 26(5): 590-597.

(编辑 董立)