

文章编号: 1000-0550 (2005) 04-0596-07

塔里木盆地塔中西北部多期、多成因岩溶作用 地质—地球化学表征 ——以中 1 井为例

钱一雄^{1, 2} 邹远荣² 陈强路² 陈跃²

1 (石油大学资源与环境学院 北京 102249) 2 (中国石油化工集团公司石油勘探开发研究院西部分院 乌鲁木齐 830011)

摘要 中 1 井是一口在塔中西北部的奥陶系碳酸盐岩中取得工业油气流突破的重要发现井。对中 1 井岩心观察、过井的地震剖面、古生物分析和溶蚀—胶结作用成因的矿物学、岩石学及地球化学研究表明: 中 1 井 T_7^0 (相当于志留系底)、 T_7^1 (相当于上奥陶统底) 存在两至三个构造削截—沉积间断面, 与加里东中晚期岩溶有关; 奥陶系碳酸盐岩储层方解石充填物的铁、锰、锶和钡含量相对较低、 $^{18}O_{\text{HDB}}$ 为 $-6.4\text{‰} \sim -4.5\text{‰}$, $^{13}C_{\text{HDB}}$ 为 $-1.4\text{‰} \sim 0.5\text{‰}$, $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 平均为 0.7092; 而石炭系巴楚组膏岩、东河砂岩、志留系碎屑岩中的方解石胶结物 $^{18}O_{\text{HDB}}$ 为 $-10.5\text{‰} \sim -16.1\text{‰}$ 平均为 -13.9‰ , $^{13}C_{\text{HDB}}$ 为 $-1.5\text{‰} \sim -9.6\text{‰}$ 平均为 -4.8‰ , $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 为 0.7090 (志留系)、0.7091 (石炭系); 研究表明奥陶系碳酸盐岩具有准同生期、浅埋条件下混合水以及较短暴露期下大气淡水下的表生溶蚀的多种复合成因, 而志留系和石炭系具有大气淡水溶蚀—充填或埋藏成岩作用特征, 海西晚期发生了热液—热水交代有关的溶蚀作用; $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 均低于 0.7100, 表明中 1 井区经历的大气淡水条件下暴露期相对较短, 陆源物质影响较小, 因而不具备沙雅隆起海西早期发生的大规模表生岩溶地质条件。

关键词 中 1 井 元素地球化学 岩溶作用 奥陶系 塔中西北部

第一作者简介 钱一雄 男 1962 年出生 在职博士研究生 教授级高级工程师 地球化学

中图分类号 P595 P642 25 **文献标识码** A

1 引言

塔中西北部的中 1 井以及塔中 58、62、621 和 622 井在奥陶系碳酸盐岩获工业油气流突破后, 大大促进了对奥陶系碳酸盐岩储层类型与成因的研究。

李宇平^[1]提出沿塔中西北部 号构造带奥陶系碳酸盐岩存在: 以塔中 30 井上奥陶统鲕粒灰岩段为代表的受同沉积期的大气水溶蚀的透镜状 2~4 期孔隙发育带; 以塔中 44 井上奥陶统生物灰岩段为代表的暴露型大气水溶解与胶结的孔洞型储集体; 以塔中 45 井上奥陶统为代表受同沉积期和不整合岩溶缝洞及后期热水溶蚀改造的缝洞储集体; 王嗣敏^[2]进一步提出塔中 45 井里塔格组中以发育萤石为特征的缝孔洞是与中晚二叠世岩浆—热液作用有关的深部流体改造型碳酸盐岩储集体特殊储集体, 萤石 Sm—Nd 等时年龄为 263~241Ma, 均一温度为 92

~152 和 153~310 °C; 孙龙德^[3]从沉积岩相分析角度, 指出了沿奥陶系斜坡带一侧的塔里木中、西部发育台内的中—高能粒屑滩, 易受多期成岩改造, 是有利的多成因、多类型储集区及多期油气运聚区; 刘忠宝^[4]在层序地层分析的基础上, 揭示层序界面对台地边缘碳酸盐岩同生期岩溶的控制。因此, 涉及到卡塔克隆起西北部的奥陶系碳酸盐岩油气勘探的一个关键性问题是, 与岩溶型储层有关的不同类型(期)溶蚀作用、叠加作用特征及分布, 它是否发育类似于塔河油田的受不整合面、风化壳发育控制孔—洞—缝网络型储集体^[5~9]?

利用综合地质方法, 首次确定层序不整合面的特征、成因类型, 重点阐明不同类型岩溶作用的地质—地球化学特征, 探索碳酸盐岩储集体发育主控因素, 为储层发育的地质成因模式建立及储层分布预测工作奠定坚实的基础。

2 构造削截—沉积间断面

中 1 井在埋深 5 184 ~ 5 583 m 揭示了一套奥陶系碳酸盐岩沉积,它与上覆志留系呈角度不整合接触。与邻区的塔中 35、45 和 451 井等对比,缺失上奥陶统碎屑岩和部分灰岩层段(图 1)。主要由微晶灰岩、含云质灰岩、灰色微晶灰岩与云质粉晶灰岩互层和层状粉晶—细晶白云岩组成。在埋深 5 184 ~ 5 350 m 段,上部以深灰色、灰色含泥质条带状灰岩为主;中部为褐灰色泥晶灰岩,含生物碎屑灰岩,粉晶含云灰岩等,发育缝合线构造、鸟眼构造,可见床板珊瑚、四射珊瑚、腕足类以及三叶虫等化石;下部为灰色薄层砂屑灰岩和泥晶灰岩,通过对灰岩中牙形石鉴定:埋深 5 227 m,产 *Aphelognathus* sp., *Comuodus* sp., *Plectodina* sp. nov. D, *Protopanderodus procenus* An, *Tasmanognathus* sp. nov. 1, *Yaoxianognathus* sp.; 埋深 5 234.3 m,产 *Periodon?* sp., *Protopanderodus* cf. *lirip-*

ipus Kennedy 等。时代为晚奥陶世的中晚期上奥陶统良里塔格组;埋深 5 350 ~ 5 483 m 大致可划分为上下两大段,其中,上部 5 352 ~ 5 362 m 为褐灰色块状灰岩、砂屑灰岩,内碎屑灰岩夹薄层含灰质云岩,下部 5 362 ~ 5 582 m 为褐灰色粉—细晶白云质和细晶白云岩。在埋深 5 368.3 m,产 *Baltoniodus triangularis* (Lindstrom), *Drepanodus suberectus* (Branson et Mehl), *D.* sp., *Paroistodus proteus* (Lindstrom), *Tripodus brevibasis* (Sergeeva); 在埋深 5 372.9 m,产 *Drepanodus arcuatus* Pander, *Paroistodus proteus* (Lindstrom), *Scolopodus* sp. 为早奥陶世中早期鹰山组。在地震剖面上,上奥陶统主要呈上超、顶部呈部分剥蚀—削截关系,因此,在 T_1^0 (相当于志留系底) 或 T_1^2 (相当于桑塔木组底)、 T_1^4 (相当于上奥陶统底) 界面附近至少存在二至三个的构造削截—沉积间断面;直接影响加里东中晚期岩溶作用的规模。

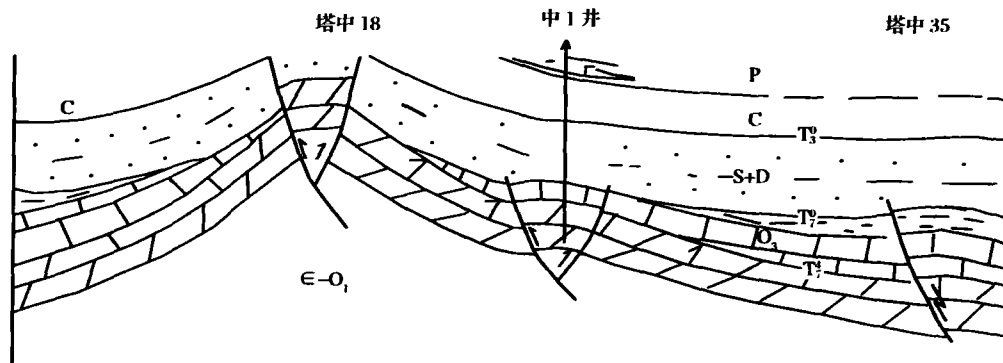


图 1 塔中西北部的中 1 井区构造削截—沉积间断面示意图

Fig 1 The sketch profile of tectonic-related truncations and sedimentary gap in the Northwest Tazhong

3 地质特征

中 1 井在二叠系玄武岩及凝灰岩中发育了构造裂隙、在石炭系卡拉沙依组的油迹粉砂岩裂缝和层状的溶蚀孔(洞)发育;巴楚组灰色油迹角砾岩和泥灰岩及膏(盐)岩中的膏盐溶蚀—垮塌作用明显,并被沥青及原油(油浸)所充填,在取心段上,常见到沿构造裂隙发育了黄铁矿化、硅化等一系列热液—热水交代作用(图 2),构成了网络状结构。

下奥陶统白云岩段是溶蚀较发育的段,上部(5 230.6 ~ 5 234.0 m)以沿缝合线分布的花斑状的粉细晶白云岩、条带状粉晶白云岩和少量溶蚀孔洞发

育的细—中晶白云岩为主(图 3);下部(5 363.0 ~ 5 372.0 m)为层状粉—细晶白云岩,条带状粉晶白云岩、与生物扰动形成不规则月牙形、团块状斑状粉细晶白云岩、沿缝合线分布斑状粉细晶白云岩以及交代方解石的自形白云石晶体;局部具有呈典型的糖粒状。形成了三个孔隙发育层段,孔洞直径为 0.3 ~ 0.5 cm,局部可达 2 ~ 0.5 cm;未充填,六个样品的实测平均面孔率为 6.83% (1% ~ 10.65%),呈层状分布,连通性一般至较好(图 3)。

因此,从岩心观测、成像测井揭示的沉积构造、溶蚀作用特征等分析,中 1 井二叠系—奥陶系的溶蚀作用大致分为以下类型,准同生期白云岩化;浅埋

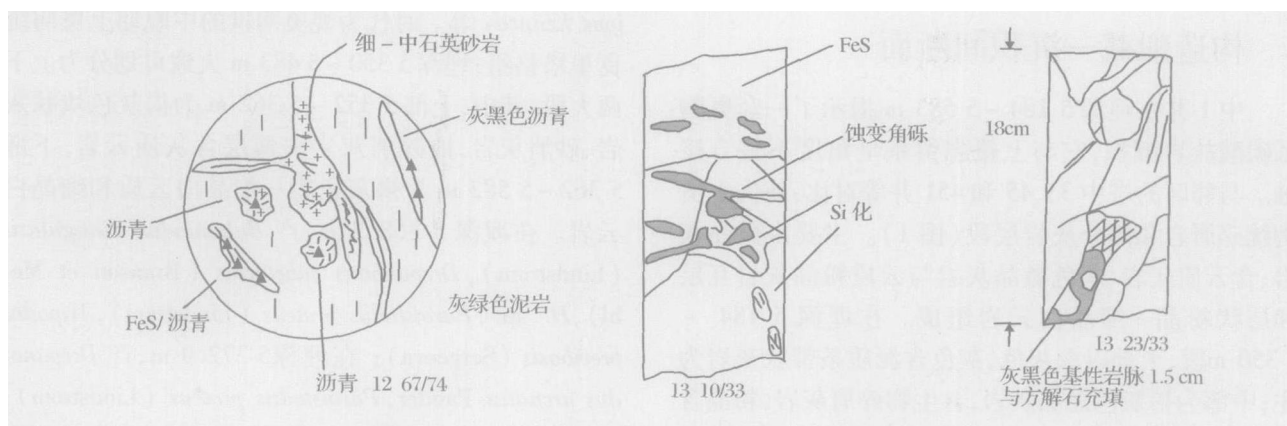


图 2 中 1 井志留系塔塔埃塔格组下砂岩段 (4968.17~4968.55 m, 5038.00~5038.15 m, 5039.90~5040.00 m) 砂岩中裂隙中沥青、方解石充填和强烈的硅化素描图

Fig 2 The sketch map of fracture: filling bitumen, calcite-filling cavities or vuges and intensive silicification of Silurian sandstone in Well Zhong-1

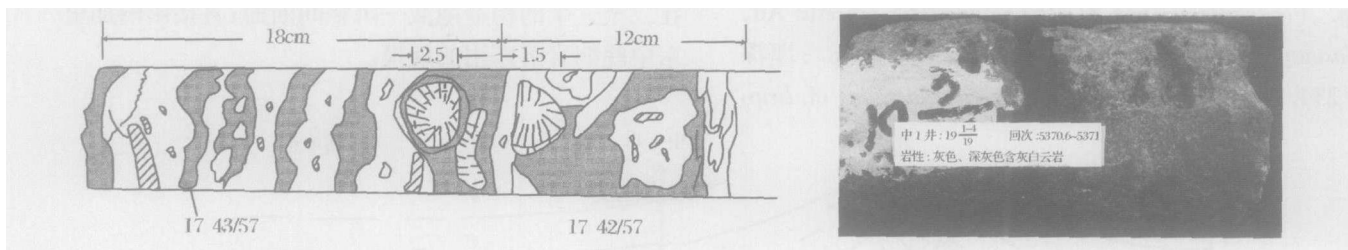


图 3 中 1 井奥陶系碳酸盐岩的条带状白云岩化 (1 30) 和溶蚀孔洞的照片与素描图 (1 20)

Fig 3 The picture and sketch map of band-dolomitization and cavities or vuges in Well Zhong-1

至埋藏条件的埋藏成岩作用 (包括成岩白云岩化);

与构造削截—剥蚀或沉积间断面有关的同生期暴露型大气风化淋滤作用; 沿构造裂隙带的岩浆期后热水 (液) 作用有关的溶蚀作用有关, 以发育黄铁矿、绿泥石、石英和异型白云石等热液蚀变矿物为标志。

4 矿物学、地球化学特征

4.1 白云岩成岩作用

根据对中 1 井下奥陶统白云岩的显微观察与扫描电镜分析表明: 中 1 井细、粉晶白云岩中白云石主要呈菱形粒状、呈自形—半自形、平均大小为 50~100 μm (20~500 μm), 主要为镶嵌状结构, 晶间孔隙、残留晶间孔隙和溶蚀孔隙为主要孔隙, 上部 (5362.00~5371.00 m) 晶间孔隙不发育、下部似层状晶间孔隙较为发育 (5371.00~5371.60 m); 晶间孔隙最大孔径为 852 μm, 一般介于 10~30 μm, 有少量粘土 (有机质) 和碳酸盐岩碎屑充填。

阴极发光分析表明: 细、粉晶白云岩中的自形—半自形白云石一般不发光、仅在泥微晶灰岩的白云石

化中见到发亮桔黄色、残留边缘的方解石晶体发桔黄色、微晶方解石发桔红色光, 粗晶方解石发亮桔黄色, 而方解石裂隙充填脉发暗桔黄色光, 从孔隙胶结物的不同发光强度、颜色则反映了白云岩经历了从沉积不发光至沉淀含锰发光明亮含铁、锰的埋藏作用为主复杂的成岩环境, 表明奥陶系碳酸盐岩曾经历了大气水风化淋滤作用及埋藏成岩作用。

荧光分析表明: 白云石晶体不发光, 其晶间孔、缝发中亮—中暗黄色—黄绿色、暗绿黄色、绿色和极暗荧光, 为沥青质沥青, 发光强度中等、局部较弱且不均匀, 受油浸影响发黄绿光。

下奥陶统白云岩的 $^{18}\text{O}_{\text{PDB}}$ 和 $^{13}\text{C}_{\text{PDB}}$ 值大致可分为二类, 微晶—粉晶 $^{18}\text{O}_{\text{PDB}}$ 平均为 -7.0‰, $^{13}\text{C}_{\text{PDB}}$ 为 -1.6‰, 接近下奥陶统海相碳酸盐岩的原始同位素组份 (-6.6‰~-7.8‰), 应是海水沉积环境的产物, 即准同生白云岩化成因; 而粉晶至细晶 $^{18}\text{O}_{\text{PDB}}$ 平均为 -9.0‰, $^{13}\text{C}_{\text{PDB}}$ 为 -2.6‰; 其氧同位素值略偏负, 一方面可能是埋深加大、温度升高即经历了埋藏成岩作用的结果, 或者是较浅埋或短期抬升剥蚀时

大气淡水淋滤或重结晶作用所致^[10~11]。

含云岩、白云岩的微量元素、比值平均值的对比表明(表 1):含云灰岩的微量元素组成与白云岩完全不同,微晶—粉晶白云岩与粉晶—细晶白云岩微量元素组成基本相似,但前者锶、氟、锰含量、镁钙比和锶镁比均比后者低,但铁含量、铁锰比高,因此,微晶—粉晶白云岩更可能在氧化条件相对高的浅埋藏条件下形成^[11]。因此,白云岩既有准同生期也有成岩白云岩成因,且以成岩白云岩为主。

4.2 不同期次及成因溶蚀作用的地球化学特征

常(微)量元素:在本次研究中,选取中 1 井二叠系至奥陶系储层中的方解石充填物 11 件。分析是由中国地质科学研究院地球物理地球化学研究所完成。

奥陶系碳酸盐岩方解石充填物中的铁、锰、锶和钡含量相对较低(表 2),其中,锶含量高于下奥陶统白云岩对应值(155 $\mu\text{g/g}$, $n=6$)、但小于上奥陶统灰岩对应值(338 $\mu\text{g/g}$, $n=9$);这与塔河油区奥陶系大气淡水下方解石充填物中的 Sr 小于 100 $\mu\text{g/g}$ 完全不同^[6~7];锰含量均低于原岩对应值,下奥陶统白云岩(42 $\mu\text{g/g}$, $n=6$)和上奥陶统灰岩(104 $\mu\text{g/g}$, $n=9$);铁锰比相对较低,但与原岩平均值相同(0.03);石炭系储层中方解石充填物(如中-8、10 等) Fe, Mn, Sr/Ba 相对较高,具有埋藏成岩特征;志留系储层中方解石

充填物(如中-70)中的 F, Si (3.1%) 含量相对较高,可能热水成因有关。

碳、氧同位素:共采集并选送了中 1 井石炭系至奥陶系储层中的裂隙—溶洞(孔)中充填物方解石碳、氧同位素样品 23 件和锶同位素样品 10 件。其中,碳、氧同位素分析是由国家地质实验测试中心矿床所完成,采用 McCrea (1950) 100% 正磷酸法和 Finngan—MAT252 气体质谱仪,分析精度 $\pm 0.2\%$, 锶同位素分析是由核工业地质分析测试研究中心完成的。

从石炭系至奥陶系中储层中裂隙—溶洞(孔)中充填的方解石稳定同位素分析可见(表 3、表 4、图 4),明显可划分出三个不同区域,其中,奥陶系 $^{18}\text{O}_{\text{PDB}}$ 为 $-6.4\% \sim -4.5\%$, $^{13}\text{C}_{\text{PDB}}$ 介于 $-1.4\% \sim 0.5\%$;志留系为 $-8.1\% \sim -17.9\%$, $^{13}\text{C}_{\text{PDB}}$ 介于 $-4.8\% \sim -0.2\%$;石炭系为 $-14.1\% \sim -12.2\%$, $^{13}\text{C}_{\text{PDB}}$ 介于 $-4.9\% \sim -3.1\%$ (表 3、图 5)。奥陶系主要呈准同生成岩或埋藏成因特征,志留系和石炭系主要呈大气淡水溶蚀—充填特征。

需提出的是:海洋碳酸盐的 ^{13}C 值在一个靠近零的狭窄的范围($-1.0\% \sim 2\%$)内变动^[11]。在志留系溶洞(孔)中方解石出现 $^{18}\text{O}_{\text{PDB}}$ 为 -8.4% , $^{13}\text{C}_{\text{PDB}}$ 为 -0.2% (中-70);表明可能也存在准同生或深埋藏

表 1 中 1 井奥陶系含云灰岩和白云岩的常、微量元素与比值平均值(常量为%,微量为 $\mu\text{g/g}$)

Table 1 Major trace element composition and its ratio results of dolomitic limestone and dolostone of Ordovician

岩性或结构	元素及元素比值									样品数
	Fe ₂ O ₃	Na ₂ O	Mn	Sr	F	B	Mg/Ca	Sr/Mg	Fe/Mn	
含云的泥微晶灰岩	0.77	0.25	102.03	254.13	266.94	8.09	0.06	0.01	52.53	3
粉晶白云岩	0.21	0.07	38.20	136.70	234.61	2.51	0.49	0.0013	37.53	2
粉晶—细晶白云岩	0.19	0.07	43.78	163.75	250.12	2.51	0.53	0.0015	29.68	4

表 2 中 1 井石炭系、志留系和奥陶系储层中方解石充填物(常量%)、微量元素 $\mu\text{g/g}$ 值

Table 2 Major and trace element composition results of filling calcite in cavities or vuges in reservoirs

样号	层位	埋深/m	Fe ₂ O ₃	Mn	Sr	Ba	F	Mg/Ca	Sr/Ca	Sr/Mg	Sr/Ba	Mn/Fe
中-8		3972.10	1.45	1298	790	26	63	0.0061	0.0020	0.3267	30.18	0.13
中-10		3973.68	1.38	820	864	53	66	0.0048	0.0023	0.4881	16.27	0.08
中-14		4976.65	1.21	1671	603	190	41	0.0059	0.0015	0.2565	3.17	0.20
中-20	C	4218.42	0.99	1669	376	47	70	0.0042	0.0010	0.2328	8.05	0.24
中-23		4219.60	0.53	440	1275	22662	28	0.0032	0.0039	1.2280	0.06	0.11
中-35		4322.83	0.46	136	399	6345	109	0.0032	0.0010	0.3077	0.06	0.04
中-39		4327.80	0.29	245	821	112	73	0.0044	0.0021	0.4671	7.34	0.12
中-70	S	4963.70	0.81	287	315	32	283	0.0147	0.0008	0.0536	9.87	0.05
中-78		5038.35	1.17	499	495	36	94	0.0028	0.0012	0.4387	13.68	0.06
中-95	O ₃	5198.15	0.30	65	287	40	152	0.0116	0.0007	0.0616	7.17	0.03
中-117	O ₂	5368.98	0.17	32	204	16	283	0.5070	0.0009	0.0019	12.52	0.03

表 3 中 1 井不同地层时代储层中溶蚀孔洞中方解石锶、碳、氧同位素分析

Table 3 The ^{18}O , ^{13}C and $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ results of filling calcite in cavities or vuges in reservoirs of Well Zhong 1

样号	埋深 /m	时代	$^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$	2 sigma	$^{13}\text{C}_{\text{V-HDB}}/\text{‰}$	$^{18}\text{O}_{\text{V-HDB}}/\text{‰}$
中-7	3970.82	C_1kl	0.709099	16	-4.9	-12.2
中-10	3973.68		0.70902	17	-4.6	-12.4
中-14	4976.65		0.709045	18		
中-23	4219.60		0.709159	13	-3.7	-14.1
中-26	4225.50		0.709181	17	-3.1	-13.7
中-70	4963.70	S_2t	0.708937	14	-0.2	-8.1
中-78	5038.35		0.709531	19	-4.8	-16.1
中-89	5177.95		0.708413	18	-2.7	-17.9
中-95	5198.15	O_3l	0.709248	19	0.5	-6.4
中-117	5368.98	O_1	0.709201	19	-1.4	-4.5

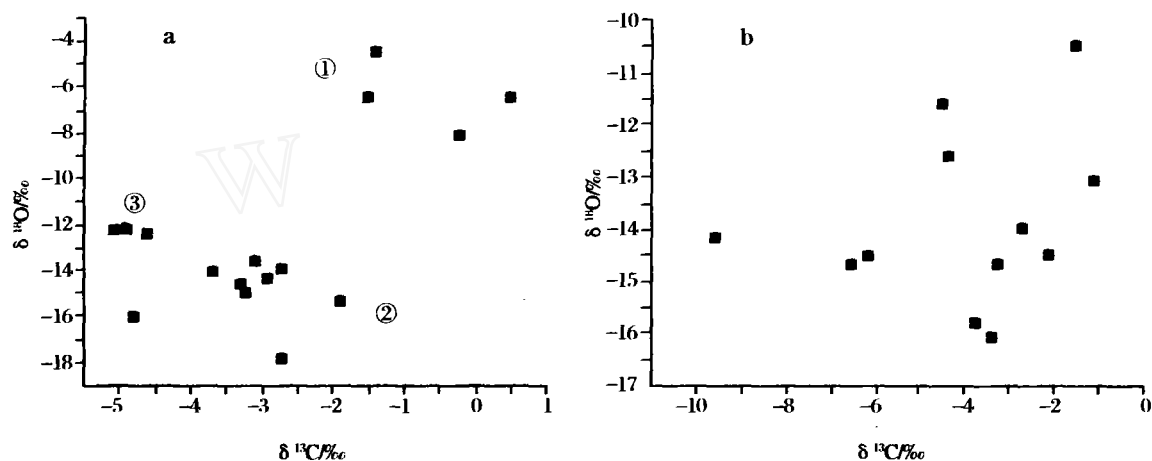
图 4 中 1 井储层方解石溶孔 (洞) (a) 和巴楚组膏岩、东河砂岩、志留系胶结物 (b) 氧、碳同位素关系图
(奥陶系, 志留系—巴楚组砂岩或膏岩, 卡拉沙依组)

Fig 4 Oxygen and carbon isotopic compositions of filling calcite in cavities or vuges (a) and calcite cements in Bachu, Donghe formations and Silurian system. The arrow to right indicates Ordovician, lift represents Bachu formations and Silurian system, down is Kalashayi formation

表 4 中 1 井不同地层时代储层中碎屑岩方解石胶结物的碳、氧同位素分析结果

Table 4 The ^{18}O and ^{13}C results of calcite cements in the clastic rocks of Well Zhong 1

样品编号	埋深 /m	时代	岩性描述	$^{13}\text{C}_{\text{V-HDB}}/\text{‰}$	$^{18}\text{O}_{\text{V-HDB}}/\text{‰}$
中-33	4250.70	C_1b	灰色盐溶垮塌角砾岩	-2.7	-14.0
中-37	4326.70		垮塌膏盐角砾岩	-3.3	-14.7
中-41	4430.20	D_3d	浅灰黑含油的细砂岩	-1.5	-10.5
中-43	4431.60		浅灰黑含油的细砂岩	-6.1	-14.5
中-44	4431.90		浅灰黑含油的细砂岩	-4.5	-11.6
中-47	4437.40		浅灰黑含油的细砂岩	-4.3	-12.6
中-51	4443.00		石英砂岩 (裂隙油浸)	-6.5	-14.7
中-58	4616.85	S	中—细石英砂岩	-9.6	-14.2
中-69	4962.50		角砾岩 (油斑)	-3.2	-14.7
中-71	4966.00		硅化粉砂质泥岩、细砂岩	-1.1	-13.1
中-72	4966.30		硅化的细砂岩	-2.1	-14.5
中-82	5110.60		含沥青砂岩	-3.8	-15.8
中-86	5115.50		岩屑砂岩 (干沥青)	-3.4	-16.1

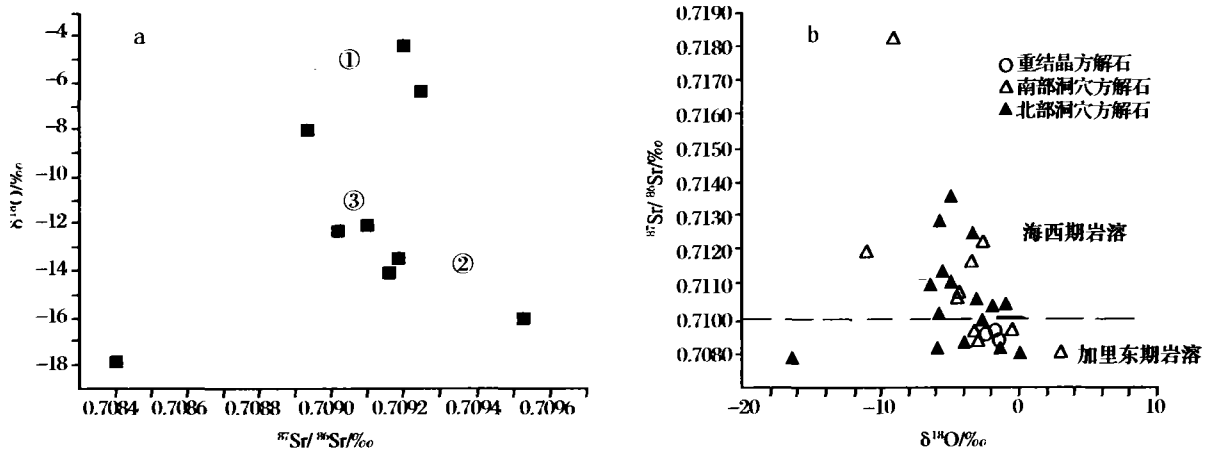


图 5 (a)中 1 井石炭系卡拉沙依、志留系—奥陶系储层中方解石氧—锶同位素关系图 (奥陶系, 志留系—巴楚组砂岩或膏岩), 卡拉沙依组), (b)塔河油田奥陶系岩溶产物方解石的 $^{87}Sr/^{86}Sr$ — ^{18}O 组成分布特征 (据李国蓉, 2001)

Fig 5 Oxygen and Strontium isotopic compositions of filling calcite in cavities or vuges (a) in Kalashayi formation of Carboniferous and Silurian and Ordovician system (a) in Well Zhong 1. indicates Ordovician, represents Bachu formations and Silurian system, Kalashayi formation; Tahe oilfield (b)

成因的溶蚀作用。

对巴楚组膏岩、东河砂岩、志留系胶结物中的方解石的碳氧同位素分析表明 (表 4, 图 6), $^{18}O_{PDB}$ 一般位于 $-10.5‰ \sim -16.1‰$ 平均为 $-13.9‰$ ($n = 13$, 下同), $^{13}C_{PDB}$ 一般位于 $-1.5‰ \sim -9.6‰$ 平均为 $-4.8‰$, 主要呈现出大气淋滤作用的特征, 但位于东河砂岩油水界面以下的石英砂岩 (中-51、58) 及志留系下砂岩段的含沥青段 (中-72、82、86 等) 均具有较低的 $^{18}O_{PDB}$ 值和 $^{13}C_{PDB}$ 值, 表明其成因主要与大气水淋滤作用有关、部分与有机埋藏成岩作用有关。

锶同位素: 锶同位素可用于地层划分、帮助识别不同期次及环境岩溶作用^[12]。塔河油田海西期岩溶中方解石 $^{87}Sr/^{86}Sr > 0.7100$, 加里东期 $^{87}Sr/^{86}Sr < 0.7100$ 。其依据加里东中晚期碳酸盐岩储层中方解石一般生长于正常海水沉积、陆源碎屑较少或无的环境下形成; 而海西早期近滨岸浅海沉积或沿潜水面的地下暗河沉积环境, 导致陆源碎屑增加。对奥陶系碳酸盐岩及溶洞及裂隙充填物方解石锶同位素分析表明: 中 1 井区上奥陶统灰岩的 $^{87}Sr/^{86}Sr$ 的平均值为 0.70976, 变化范围是 0.708561 ~ 0.710993; 下奥陶统灰岩与白云岩的 $^{87}Sr/^{86}Sr$ 的平均值为 0.70921, 变化范围是 0.709021 ~ 0.709501; 这表明而上奥陶统灰岩 $^{87}Sr/^{86}Sr$ 平均值要高于下奥陶统对应值、

且变化幅度大, 表明自下奥陶统至上奥陶统沉积时陆屑碎屑增加; 中 1 井储层中的方解石 $^{87}Sr/^{86}Sr$ 均低于 0.7100 (表 3, 图 5 (a)), 其中, 奥陶系方解石溶孔 (洞) $^{87}Sr/^{86}Sr$ 平均为 0.7092, 志留系 $^{87}Sr/^{86}Sr$ 平均为 0.7090, 石炭系 $^{87}Sr/^{86}Sr$ 平均为 0.7091, 三者相差较小, 这可能表明其大气淡水条件下暴露期相对较短, 陆源物质影响较小, 与塔河油田以海西早期为主的大规模的表生岩溶的地质环境显然不同。

5 结论

通过中 1 井岩心的详细观察、古生物鉴定溶蚀—胶结作用成因的矿物学、岩石学及地球化学研究可以得出以下结论: 中 1 井区奥陶系的 T_7^0 、 T_7^4 界面附面存在两至三个与加里东中晚期岩溶有关的构造削截—沉积间断面; 奥陶系碳酸盐岩储层具有准同生期、埋藏条件下混合水条件以及可能为较短暴露条件下大气淡水下溶蚀复杂复合成因; 海西晚期存在岩浆期后热水 (液) 作用有关的溶蚀作用的叠加过程; 中 1 井区奥陶系或上覆的志留系—石炭系沉积在成岩演化过程中, 大气淡水条件下暴露期间相对较短, 陆源物质影响较小。在此, 提出塔中西北部多类型多期的岩溶 (蚀) 作用、尤其是强调埋藏成岩作用在碳酸盐岩储层发育中的重要性, 明确提出它不具备

发育沙雅隆起海西早期大规模表生岩溶(斜坡带)地质条件和大型网络型孔洞缝优质的储集体。本文对多期、多类型岩溶(蚀)作用地质—地球化学识别标志综合研究,对阐明塔中西北部奥陶系碳酸盐岩储层非均质性的时空展布、建立合适的塔中西北部奥陶系碳酸盐岩岩溶地质模式与指导油气勘探十分重要。

参考文献 (References)

- 1 李宇平,王振宇,李文华,等. 塔中 1 号断裂构造带奥陶系碳酸盐岩圈闭类型及其勘探意义. 地质科学, 2002, 37(增刊): 141~151 [Li Yuping, Wang Zhenyu, Li Wenhua, *et al* Trap types of Ordovician carbonate rocks in the central Tarim fault zone and their petroleum exploration significance. *Scientia Geologica Sinica*, 2002, 37(Suppl): 141~151]
- 2 王嗣敏,金之钧,解启来. 塔里木盆地塔中 45 井区碳酸盐岩储层的深部流体改造作用. 地质论评, 2004, 50(5): 543~547 [Wang Simin, Jin Zhijun, Xie Qilai Transforming effect of deep fluids on carbonate reservoirs in the Well TZ45 region. *Geological Review*, 2004, 50(5): 543~547]
- 3 孙龙德. 塔里木含油气盆地沉积学研究进展. 沉积学报, 2004, 22(3): 408~415 [Sun Longde Progress of sedimentological research in Tarim basin. *Acta Sedimentologica Sinica*, 2004, 22(3): 408~415]
- 4 刘忠宝,于炳松,李延艳,等. 塔里木盆地塔中地区中上奥陶统碳酸盐岩层序发育对同生期岩溶作用的控制. 沉积学报, 2004, 22(1): 103~109 [Liu Zhongbao, Yu Bingsong, Li Tingyan, *et al* Sequence development controls on syngensis karst of the Middle-upper Ordovician carbonate in Tazhong area, Tarim basin. *Acta Sedimentologica Sinica*, 2004, 22(1): 103~109]
- 5 陈洪德,张锦泉,叶德胜. 新疆塔里木盆地北部古岩溶储集体特征及控油作用. 成都:成都科技大学出版社, 1994. 27~77 [Chen Hongde, Zhang Jinquan, Ye Desheng The Palaeo-karstification (weathering crust) Reservoir Characteristics and Its Controls on Pool-formation in the Northern of Tarim Basin, Xinjiang. Chengdu: Chengdu University of Science and Technology Press, 1994. 27~77]
- 6 钱一雄,蔡立国,李国蓉. 碳酸盐岩溶作用的元素地球化学表征—以塔河 1 号的 S60 井为例. 沉积学报, 2002, 20(4): 70~75 [Qian Yixiong, Cai Lieguo, Li Guorong Element geochemical implications for carbonate karstification interpretation: Taking Well S60 in Taihe as an example. *Acta Sedimentologica Sinica*, 2002, 20(4): 70~75]
- 7 钱一雄,陈跃,马宏强,等. 新疆塔河油田奥陶系碳酸盐岩溶洞、裂隙中方解石胶结物元素分析与成因. 沉积学报, 2004, 22(1): 6~11 [Qian Yixiong, Chen Yue, Ma Hongxiang, *et al* Chemical analysis and origin of calcite in cleavage and cave filled cements of Ordovician carbonates in Taihe oilfield, Xinjiang. *Acta Sedimentologica Sinica*, 2004, 22(1): 6~11]
- 8 Budd D A, Saller A H, Harris P M. Unconformities and porosity in carbonate strata. AAPG Memoir 63, Tulsa, Oklahoma, U. S A. 1995. 35~123
- 9 Robert G I Paleocave carbonate reservoirs: origins, burial-depth modifications, spatial complexity, and reservoir implications. AAPG Bulletin, 1999, 83(9): 1795~1831
- 10 Heward A P, Chuenbunchom S, Make1 G, *et al* Nang Nuan oil field, B6/27, Gulf of Thailand: karst reservoir of meteoric or deep-burial origin? *Petroleum Geoscience*, 2000, 6: 15~27
- 11 Hayes M J, Boles J R. Evidence for meteoric recharge in the San Joaquin basin, California provided by isotope and trace element chemistry of calcite. *Marine and Petroleum Geology*, 1993, 10: 136~144
- 12 黄思静,石和,张萌,等. 锶同位素地层学在奥陶系海相地层定年中的应用——以塔里木盆地塔中 12 井为例. 沉积学报, 2004, 22(1): 1~5 [Huang Sijing, Shi He, Zhang Meng, *et al* Application of strontium isotope stratigraphy to dating Ordovician marine sediments. *Acta Sedimentologica Sinica*, 2004, 22(1): 1~5]

Geological and Geochemical Implications for Multi-period and Origin of Carbonate Karstification in the Northwestern Tazhong: taking Well Zhong 1 as an example

QIAN Yi-xiong^{1,2} ZOU Yuan-rong² CHEN Qiang-lu² CHEN Yue²

¹(Department of Resource and Environment, University of Petroleum, Beijing 102200)

²(Western Institute, Exploration & Production Research Institute, SINOPEC, Urumqi 830011)

Abstract Well Zhong 1 is an important discovery well of oil and gas in Ordovician carbonate rocks located at the Northwestern Tazhong uplift. This paper presents an updated review of the multi-period and origin of carbonate karstification, which took into account of core observation, palaeo-biological analysis, seismic section and mineralogical and petrological and geochemical of calcite cements and calcites in cleavages and cavities or vuges. The two tectonic-related truncation and sedimentary gap surfaces have been identified, which have some extent of relationship with carbonate

karstification in Caledonian, the fact that calcites in cleavages and cavities or vuges in Ordovician carbonate rocks with rather low contents of elements of Fe, Mn, Sr and Ba, and the normal value of ^{18}O (- 6.4‰ ~ - 4.5‰) and ^{13}C (- 1.4‰ ~ 0.5‰) in comparison with that of the average value of seawater of Ordovician are believed to occur as a composite results of syngensis affected by the mixed fluid at shallow buried condition and later meteoric invasion; while the calcite cements developed in Bachu, Donghe formations and Silurian sandstones with the ramiform structures of infiltration metasomatism related with magmatic hydrothermalism and the low value of ^{18}O (- 10.5‰ ~ - 16.1‰) and ^{13}C (- 1.5‰ ~ - 9.6‰) indicated it had undergone an intense hydrothermal buried as well as Hercynian sub-aerial meteoric diagenetic change; the low data of strontium isotopic compositions ($^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ less than 0.7100) of filling calcites in cleavages and cavities or vuges in Kalashayi formation and Silurian and Ordovician system of Well Zhong-1 are explained as the results of the little effect of continental clastic sediment due to a rather short period of exposure; moreover, it may be concluded that no similar geological condition or background of a large scale of strong epigenetic karstification exists in the Northwestern Tazhong just as occurred in the Tahei oilfield (Shaya uplift) with Palaeocave systems widely developed in forms of multiple passage caves in the Middle-Upper Ordovician carbonate.

Key words Well Zhong 1, geochemistry of trace elements, karstification, Ordovician Northwestern Tazhong

第三届全国沉积学大会在成都举行

第三届全国沉积学大会于 2005 年 9 月 22 ~ 24 日在成都举行。本次大会由中国地质学会沉积地质专业委员会、中国矿物岩石地球化学学会沉积学专业委员会发起,并联合国土资源部成都地质矿产研究所、国家自然科学基金委员会地球科学部、中国科学院地质与地球物理研究所、西南石油学院、中国石化胜利油田分公司、中国石油塔里木油田分公司、中国石油勘探开发科学研究院、中国石化勘探开发研究院、成都理工大学、中国石化西南油气田分公司、中国石油西南油气田分公司、中国石化南方勘探开发分公司、国际岩石圈计划中国委员会等单位或学术团体共同主办,由国土资源部成都地质矿产研究所承办。

四年一度的全国沉积学大会是我国沉积学、沉积地质学领域的学术盛会。与会代表来自全国百余家单位,人数达到 500 余人。

第三届全国沉积学大会的主题是“沉积学与社会发展”。围绕这一主题,大会安排了大会学术报告、六个分会场学术报告,四个学术展板区,总结交流了我国近年来在沉积学理论、沉积与能源、沉积与环境、沉积与大地构造、海洋沉积以及沉积学方法技术等研究领域的最新研究成果,突显出沉积学在促进社会经济可持续发展中的地位与作用,讨论了我国沉积学与国际沉积学全面接轨问题。

会议期间还召开了专业委员会全体会议和《沉积学报》编委会,评选出 6 篇优秀论文,并向优秀论文作者颁发了荣誉证书。

会议历时三天,学术气氛浓厚,讨论热烈。

第四届沉积学大会由中国科学院青岛海洋研究所与中国地质调查局青岛海洋地质研究所承办,于 2009 年在青岛召开。