

# 塔河油田奥陶系碳酸盐岩油藏 岩溶成因类型

徐微<sup>1,2</sup>, 蔡忠贤<sup>2</sup>, 林忠民<sup>2,3</sup>, 贾振远<sup>2</sup>

(1 中海油研究总院; 2 中国地质大学(武汉); 3 中国石化西北油田分公司)

**摘要** 塔河油田位于塔里木盆地北部沙雅隆起中段的阿克库勒凸起上。该凸起自加里东中晚期到海西早期的多次构造抬升运动使奥陶系碳酸盐岩地层长期出露于地表, 受到强烈的大气淡水淋滤溶蚀作用。该地区还经历了加里东中期海侵和石炭纪海侵以及二叠纪火山作用。以塔河油田主体区内 11 口井的 33 份砂泥质充填物为基础样本, 作了硼、砷、镓、铷等微量元素和包裹体分析等地球化学的研究, 证实研究区内以大气淡水岩溶作用为主, 存在后期的淡水-海水混合岩溶作用和热水岩溶(溶蚀)作用。大气淡水岩溶纵向上主要分为三个带, 溶洞充填物的伊利石 K—Ar 同位素定年揭示其呈上老下新的时序性。海水入侵所改造的为浅层第一、二个岩溶带, 热水岩溶(溶蚀)改造的为深部第三个岩溶带。

**关键词** 塔河油田; 岩溶作用; 成因类型; 微量元素; 同位素年龄测定

中图分类号: TE111.23

文献标识码: A

塔河油田位于新疆塔里木盆地北部沙雅隆起中段的阿克库勒凸起上。该凸起上的奥陶系碳酸盐岩地层受加里东中晚期到海西早期多次构造抬升运动的影响而长期出露于地表, 受到强烈的大气淡水淋滤溶蚀作用。同时, 塔河地区还发生过加里东中期由北向南的海侵, 继而又发生过石炭纪由西向东的广泛海侵以及二叠纪的火山作用。岩溶作用是塔河地区碳酸盐岩储集体形成的主导因素, 所以对岩溶作用成因的研究也显得至关重要。

关于塔河油田奥陶系岩溶作用发生的环境, 曾有过一些不同的看法, 例如存在大气淡水岩溶、大气淡水-海水混合岩溶、热水岩溶(溶蚀)等多种观点。随着油气勘探开发工作的开展和研究工作的不断深入, 对于塔河油田奥陶系内不同成因岩溶的研究, 也有了较为可喜的进展, 绝大多数研究学者和勘探家认同该区岩溶作用主要发生于地表或近地表低温氧化大气水条件下。目前, 利用地球化学方法中的碳氧同位素<sup>[1-3]</sup>、锶同位素<sup>[3-4]</sup>、微量和稀土元素<sup>[5-6]</sup>和方解石包裹体测试分析数据对岩溶成因环境进行判断, 可得出较为客观合理的结果。

## 1 样品采集及测试

笔者通过对塔河油田主体区及其周围 50 多口岩心井溶洞充填相观察<sup>[7]</sup>, 选取 11 口典型溶洞充填井中的 33 份砂泥质充填物为基础样本, 作了微量元素、稀土元素、同位素定年和包裹体分析等地球化学特征研究, 分析了岩溶作用的不同成因类型。所有的基础样本, 在中国地质大学(武汉)地质过程与矿产资源国家重点实验室作了 ICP—MS 微量元素和稀土元素含量的测试; 另选取了其中 4 个基础样本, 在中国石油勘探开发研究院同位素实验室作 K—Ar 同位素定年的测试; 选取了 8 个基础样本在中国地质大学(武汉)资源学院石油系微观烃类检测实验室作了包裹体分析测试。

## 2 岩溶类型

### 2.1 大气淡水岩溶

大气淡水岩溶指碳酸盐岩地层主要受大气淡水的淋滤溶蚀而形成缝、洞的现象。塔河油田奥陶系碳酸盐岩地层主要发生于地表或近地表地温氧化大气

收稿日期: 2011-01-28; 改回日期: 2011-11-03

基金项目: 本文为中国石化西北油田分公司勘探研究基金项目(项目编号 KY-S2006-031)部分成果

徐微: 女, 1981 年生, 硕士, 工程师。石油地质学专业, 主要从事层序、沉积、储层方面的研究工作。通讯地址: 100027 北京市东直门外小街 6 号海油大厦; 电话: (010)84525420

水条件下。其证据主要有以下五方面。

**证据1** 在岩心观察中发现,塔河油田地区无论是有中—上奥陶统覆盖的南部区,还是下奥陶统直接出露于海西早期不整合面的主体区域,奥陶系岩心上均可见到岩溶缝洞壁灰岩因受氧化改造而形成的紫红色晕圈。这揭示了塔河油田奥陶系碳酸盐岩地层的岩溶作用主要发生于地表或近地表氧化条件下。

**证据2** 通过对研究区内33个溶洞充填物样品的微量元素及稀土元素中的地球化学响应特征的分析,得出区内大部分样品为大气淡水岩溶的沉积产物。主要运用的微量元素有Sr、Ba、B、Ga、Rb、V、Ni以及稀土元素,采用的方法有V—B关系图解(图1),B—Ga—Rb三角关系图解(图2),Sr/Ba—V/Ni比值关系(图3),微量元素Sc、Zr、Nb、Hf、Ta、Th、Cs含量高低,以及稀土元素配分模式等。

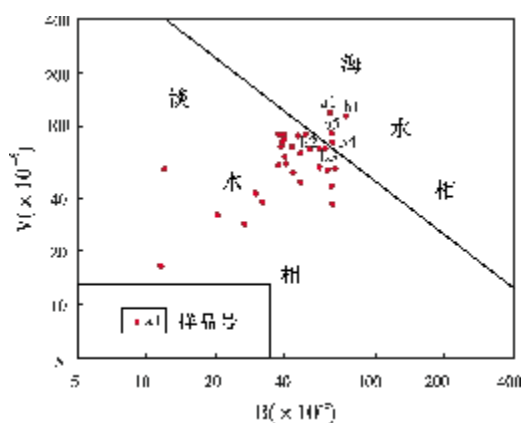


图1 塔河油田奥陶系溶洞充填物区分海相—淡水相的V—B元素关系图解<sup>①</sup>

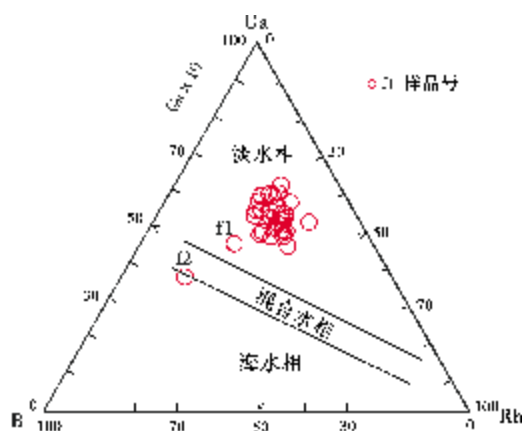


图2 塔河油田奥陶系溶洞充填物的Ga—B—Rb关系图解

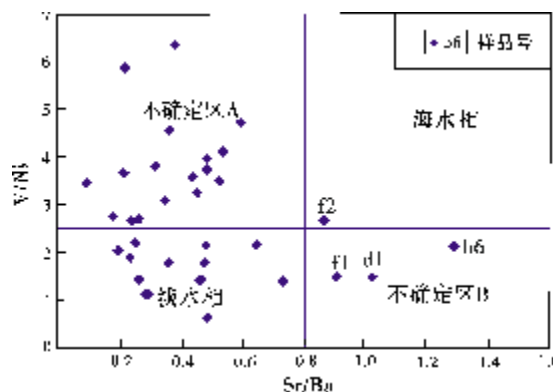


图3 塔河油田奥陶系溶洞充填物的Sr/Ba—V/Ni比值关系图

**证据3** 前人研究发现,塔河油田奥陶系碳酸盐岩中岩溶缝洞方解石的氧、碳同位素( $\delta^{18}\text{O}$ 、 $\delta^{13}\text{C}$ )值变化范围较宽,都显偏负特征;其 $\delta^{18}\text{O}$ 、 $\delta^{13}\text{C}$ 值分布的范围与Hudson提出的淡水方解石和土壤方解石的 $\delta^{18}\text{O}$ 、 $\delta^{13}\text{C}$ 值组成范围接近,且较之本区中下奥陶统背景值低,表明其具有大气淡水岩溶特征<sup>[3]</sup>。

**证据4** 碳酸盐矿物中的 $\text{Sr}^{2+}$ 、 $\text{K}^+$ 、 $\text{Na}^+$ 离子含量可作为成岩介质盐度的指示剂,刘存革<sup>[8]</sup>对塔河地区岩溶产物所做的中子活化分析研究表明,区内奥陶系碳酸盐岩岩溶缝洞方解石具有Fe、Na、K、Ni、Zn、Rb、Sr、Ba等微量元素的含量均低的特征,特别是Na、K、Sr离子含量明显较正常海相微晶灰岩方解石的低,可低至1/2以下,从而有力地证实了缝洞方解石的沉淀作用和岩溶作用发生于大气淡水条件下。

**证据5** 对研究区内溶洞的统计发现,溶洞多发育于不整合面附近60m处,其数量达到溶洞总数的53.3%。在塔河油田主体区,钻井揭示大气淡水岩溶层段形成达323个溶洞。由这些溶洞的纵向分布与海西早期古地貌之间的关系(即溶洞层距双峰灰岩<sup>①</sup>顶的距离)(图4)分析可知,大气淡水岩溶在纵向上主要分为三个带,分别距双峰灰岩的距离为20~120m、120~200m和200m以上。溶洞充填物的伊利石K—Ar同位素定年分析也揭示出,三个纵向岩溶发育带基本呈上老下新的时序性(图5,表1)。

## 2.2 淡水—海水混合岩溶

混合岩溶,指碳酸盐岩地层在大气淡水与海水

① 蔡忠贤,贾振远,徐微,等.塔河碳酸盐岩油藏古溶洞系统研究[R].中国石化西北油田分公司资料中心,2008.

② 双峰灰岩在全区范围内分布较稳定,沉积厚度较均一,可作为标准层

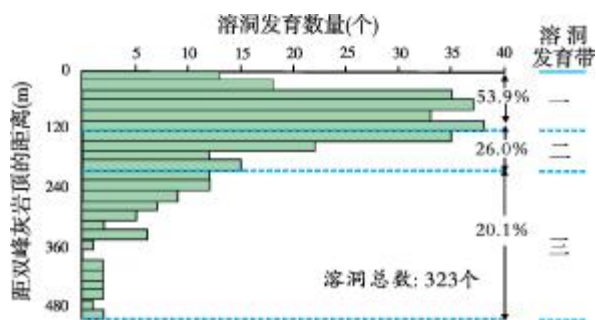


图4 塔河油田奥陶系溶洞发育数量与距双峰灰岩顶距离的关系柱状图<sup>[9]</sup>

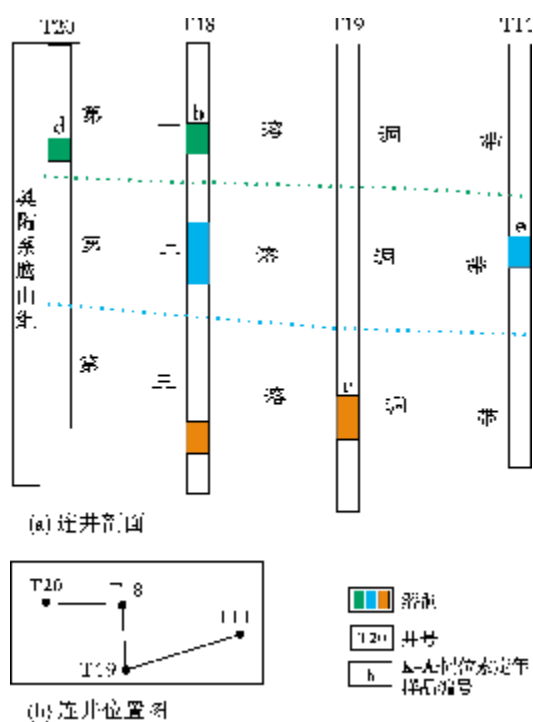


图5 塔河油田 T20 井—T18 井—T19 井—T11 井溶洞发育对比剖面(井号为化名)

混合的共同作用下所产生的岩溶作用。塔河油田奥陶系岩溶作用以大气淡水岩溶作用为主,但还存在

有大气淡水—海水混合岩溶。塔里木地区自加里东运动之后基本上形成了以塔北和塔中隆起带(水下)为格局的古地理背景。海西运动早期这两个地区完全上升成陆并遭受剥蚀。石炭纪初期,塔里木地区经历了一次由西向东的广泛海侵,在这两隆起带的两侧均为海水侵进的通道。因此,在隆起带的边缘与海平面相接触的地带深处形成一条狭长的淡水—海水混合水带。在该带中, $\text{CaCO}_3$  是未饱和的,从而发生  $\text{CaCO}_3$  的溶解。Bogli<sup>[10]</sup>认为,这样的淡水—海水混合带是  $\text{CaCO}_3$  溶解最活跃的地方,是地下深处岩溶形成的主要方式之一。塔河油田奥陶系溶洞充填物中,绝大部分为淡水产物。前人研究认为,该区可能存在古海岸线附近形成的侵入溶洞的海岸沉积,但这仅仅处于推测阶段,没有太确凿的证据,笔者根据此次实验测试的微量元素,对该问题进行了探索性的研究。本文主要运用微量元素来区分海水相与淡水相。其证据有如下四方面:

证据 1 Potter<sup>[5]</sup>利用元素钒(V)和硼(B)的含量来区分海水相与淡水相。他采用的是统计学中的主成分分析的思路,对 B、Co、Cr、Cu、Ga、Ni、Pb、V 和 Zn 等 9 种元素进行分析,结果得出 V 和 B 是最大的影响因子,其吻合度达到 95%,据此建立了区分海水相和淡水相的 V—B 元素图解模板。笔者根据此 V—B 图板,将塔河区内 11 口井 33 个样品的 V 和 B 数据进行了投点(图 1),得出区内绝大部分为淡水相区的产物,仅有 T11 井的 a1 号样品、T18 井的 b1、b4 和 b5 号样品位于海水相区,T18 井的 b2、b3 则位于分界线上。T11 井的 a1 号样品属于搬运砾岩相,可能存在有围岩成分,所以其成因还需进一步确定。而 T18 井的 b1、b2、b3、b4 和 b5 号样品正好是厚度达 10 m 的鹰山组搬运型砂岩相(5538.3~5548.3m)<sup>[9]</sup>,推断其应为海水入侵的产物。

表 1 塔河油田奥陶系岩样描述与不同粒级伊利石 K—Ar 同位素年龄测定结果表(据徐微等<sup>[9]</sup>,有修改)

井 号	T20	T18	T19	T11
样品深度(m)	5617.5	5540.7	5700.0	5550.6
距不整合面的距离(m)	13.5	19.7	200.0	12.1
距双峰灰岩顶的距离(m)	109.0	90.2	273.0	159.1
岩 性	泥 岩	粉砂岩	泥 岩	粉砂岩
K—Ar 同位素 测定年龄(Ma)	<0.15 $\mu\text{m}$ 粒级	416.93 $\pm$ 2.66	407.88 $\pm$ 3.25	410.16 $\pm$ 3.58
	0.15~0.30 $\mu\text{m}$ 粒级	404.54 $\pm$ 4.26	394.47 $\pm$ 4.13	369.33 $\pm$ 2.86
地 质 时 代	S <sub>3</sub> —D <sub>1</sub>	D <sub>1</sub>	D <sub>1-2</sub>	D <sub>1</sub>



证据2 Degens<sup>[6]</sup>曾用 B、Ga、Rb 三种元素含量的关系来区分海水相和淡水相沉积岩,笔者依据此方法对塔河油田所取的 33 个溶洞充填物的样品分析,绘制了 B—Ga—Rb 三角关系图(图 2),划分了海水相、淡水相和混合水相。由图可见,区内的溶洞充填物大部分为淡水相的产物,T21 井的 f1 号样品比较接近混合水相,仅有 T21 井的 f2 号样品基本为海水相的产物。

证据3 用 Sr/Ba 值和 V/Ni 值的关系来判别海水相与淡水相,利用这一微量元素参数指标也是较常用的一种方法。Sr 和 Ba 是碱土金属中化学性质较相似的两个元素,它们在不同沉积环境中由于其地球化学行为的差异而发生分离,因此,可以使用 Sr/Ba 值作为古盐度的标志。研究认为,Sr 的迁移能力比 Ba 强,当淡水与海水相混时,淡水中的  $Ba^{2+}$  与海水中的  $SO_4^{2-}$  结合生成  $BaSO_4$  而沉淀;而  $SrSO_4$  溶解度大,可以继续迁移到远海,通过生物途径沉淀下来。因此,Sr/Ba 的质量比值是随着远离海岸而逐渐增大的,一般来讲,淡水沉积物中 Sr/Ba 值小于 1,而海相沉积物中的 Sr/Ba 值大于 1<sup>[11-12]</sup>。据我国海底样品的研究结果,泥岩中的 Sr/Ba 值在 0.8~1.0 之间。鄂尔多斯盆地中生代陆相地层的研究表明,大多数泥岩的 Sr/Ba 值在 0.54,有部分样品在 0.5~0.8 之间,少数大于 0.8。综上所述,笔者把 Sr/Ba 值的临界值定在 0.8。张新建等<sup>[13]</sup>在给出判别海陆相的主要元素参数值中,海相泥岩的 V/Ni 值大于 3,陆相泥岩的 V/Ni 值小于 2。由于塔河油田所选的样品多为粉砂岩或砂泥岩,泥质成分相对少些,所以笔者采取折中的办法,选取 V/Ni 值的临界值为 2.5。

综合前人对于区分海水与淡水环境的微量元素特征的研究成果<sup>[13]</sup>,本文采用 Sr/Ba 值与 V/Ni 值之间的关系(图 3)来探索塔河油田奥陶系溶洞充填砂泥岩的沉积环境特征。

本次研究将 Sr/Ba 值作为此法判断沉积环境的主因素,V/Ni 值作为辅助因素,在两者关系图中,淡水相和不确定区 A 两个区中分布的样品点基本定为淡水相的产物,海水相和不确定区 B 中分布的样品点被认为是淡水—海水混合水相的产物。分布于海水相的样品是 T21 井的 f2 号样品,分布于不确定区 B 的三个样品分别为 T21 井的 f1、S5 井的 d1 和 T18 的 b6 号样品。

证据4 Sc、Ti、Zr、Nb、Hf、Ta、Th 等高场强元素

以及部分大离子亲石元素如 Rb、Ga、Cs 等,在探讨海底沉积物的碎屑物源特征中发挥着重要作用。这些元素在岩石的风化过程中很不活泼,往往被固体物质吸附或者结合其中,随颗粒物一起搬运和沉积。此外,它们在海水中的含量往往极低,存留时间较短,在自生颗粒物质中富集程度很低。所以在海底沉积物中,这些元素几乎全部来自碎屑物质,这反映了碎屑源区的地球化学特征。除了已分析过的 Rb 和 Ga 元素,本文还利用了 Sc、Zr、Nb、Hf、Ta、Th、Cs 含量的高低来分析碎屑物输入量的大小,以判断其为陆相成因或海相成因。

从溶洞充填物的微量元素组成表(表 2)中可以看出:

(1)T21 井 f2 号样品的 Sc、Zr、Nb、Hf、Ta、Th、Cs 含量均较小,除表征陆源碎屑特征的微量元素 Zr 含量( $404 \times 10^{-6}$ )外,基本与上面得到的海相产物是相符合的。结合上述论据 2 和 3 判断的结果,该样品应为海水相产物;T21 井 f1 号样品中的 Zr 含量也是相当高的(达到  $1246 \times 10^{-6}$ ,高于其他的样品几倍到几百倍),其他表征陆源碎屑特征的微量元素 Sc、Nb、Hf、Ta、Th 等均较高,但表征海水特征的 B 的含量也较高,结合论据 2 和 3 判断的结果,该样品属于渗流充填相,说明此样品可能为早期被海水入侵的海岸沉积物,后期受构造运动的抬升影响,又受地表岩溶水的渗流淋滤,带入了大量的陆源碎屑物质,所以应为淡水—海水混合的产物。

(2)T18 井 b0、b1、b2、b3、b4、b5 和 b6 号样品均位于鹰山组搬运型砂岩相(5 538.3~5 548.3 m),通过表 2 中微量元素 Sc、Zr、Nb、Hf、Ta、Th、Cs 值的比较,位于顶部的 b0 号样品和底部的 b6 号样品,二者微量元素表现特征较为相似,即较之其他样品的含量低;而位于中部的 b1、b2、b3 和 b4 号样品,微量元素表现出来的特征很接近。在 T18 井的鹰山组(5 533.45~5 552 m 段)的岩心观察中,还发现其岩石碎屑成分基本上为碎屑石英,缺乏碳酸盐岩砂和晶屑,碎屑颗粒分选性及磨圆度均较好,显示出成分成熟度和结构成熟度均较高的特征,碎屑颗粒间主要为巨晶方解石胶结,明显有别于塔河油田其他井的地下暗河沉积物。结合上述证据 1 和证据 3,证明 T18 井的鹰山组(5 533.45~5 552 m 段)为早期地表岩溶发育形成的溶洞,又被后期的海水所侵入。

表2 塔河油田奥陶系鹰山组溶洞充填物的微量元素组成

井号	样品号	微量元素及其含量( $\times 10^{-6}$ )								岩相
		Sc	Zr	Nb	Hf	Ta	Th	Cs	B	
T21	f2	4.72	404.0	10.20	10.70	0.83	7.49	1.44	26.6	渗流充填相
	f1	8.52	1246.0	24.30	33.50	2.14	24.00	1.32	65.0	
S5	d1	4.60	272.0	11.30	7.33	0.85	8.75	1.88	29.9	搬运型砂岩相
T18	b0	8.00	105.0	9.44	2.88	0.70	6.73	3.92	11.5	搬运型砂岩相
	b1	12.90	217.0	17.40	6.19	1.28	15.20	8.55	74.4	
	b2	8.95	197.0	15.30	5.47	1.14	11.70	5.67	62.0	
	b3	8.78	200.0	14.50	5.64	1.10	11.90	5.31	60.0	
	b4	9.49	199.0	14.90	5.63	1.11	11.80	5.91	64.8	
	b5	10.30	237.0	16.90	6.82	1.24	14.00	6.79	64.3	
	b6	3.47	15.3	0.58	0.44	0.02	4.53	1.07	12.0	

综上所述,采用V-B图解、B-Ga-Rb三角关系、Sr/Ba—V/Ni关系、微量元素(Sc、Zr、Nb、Hf、Ta、Th、Cs)含量高低分析、稀土元素配分模式等方法,对研究区内11口井的33个溶洞充填物样品进行分析,认为大部分样品为大气淡水岩溶的沉积产物,仅有塔河油田T21井鹰山组5 504.05~5 542.64 m段的溶洞和T18井鹰山组的5 533.45~5 552 m段的溶洞存在海水—淡水混合岩溶。

郭建华<sup>[14]</sup>指出,位于塔河四区的LN15井与塔河油田外围上奥陶统桑塔木组尖灭线附近的LN16井,均位于轮南潜山南坡边缘,发育有海水侵入时的产物。钱一雄等<sup>[15]</sup>对塔河地区奥陶系碳酸盐岩及其胶结物方解石的地球化学特征及方解石晶体微形貌研究后认为,S60井发育于埋深5 433.20~5 435 m的岩溶角砾灰岩属于高度大于2 m的大型古岩溶洞穴沉积;而埋深5 435 m晶洞中的方解石则是地表岩溶带早中期的淡水与海水混合带的产物。李国蓉<sup>②</sup>通过岩心薄片观察发现,塔河地区的S70井5 496~5 502 m段(第13次取岩心)砂岩和T18井5 533.45~5 560.01 m段下奥陶统灰岩中所夹砂岩在岩石学特征上具有相似性,岩石碎屑成分基本上为碎屑石英,缺乏碳酸盐岩砂和晶屑,碎屑颗粒分选性及磨圆度均较好,显示出成分成熟度和结构成熟度均较高的特征,碎屑颗粒间主要为连晶方解石胶结,明显有别于塔河油田有关井段发育的地下暗河沉积物,而更像是海岸沉积。结合此砂岩段上下存在典型的洞穴沉积特征,他们认为此类砂岩沉积的场所为先期形成的洞穴系

统,上述高成熟度砂岩为随着石炭纪海侵,伸入并充填先期洞穴系统的海岸沉积。

结合前人研究成果和笔者新得到的T21井资料,勾绘出塔河油田主体区及其周围地区石炭纪初期发生的广泛海侵的古海岸线,由西向东为T18—T21—LN15—S70—S60—LN16井一线。在恢复古地貌的情况下,经古海岸线上T18—T21—LN15—S70—S60—LN16井发育的混合型溶洞对比,得知被海水入侵的溶洞带主要为早期形成的第一和第二溶洞带(图6)。

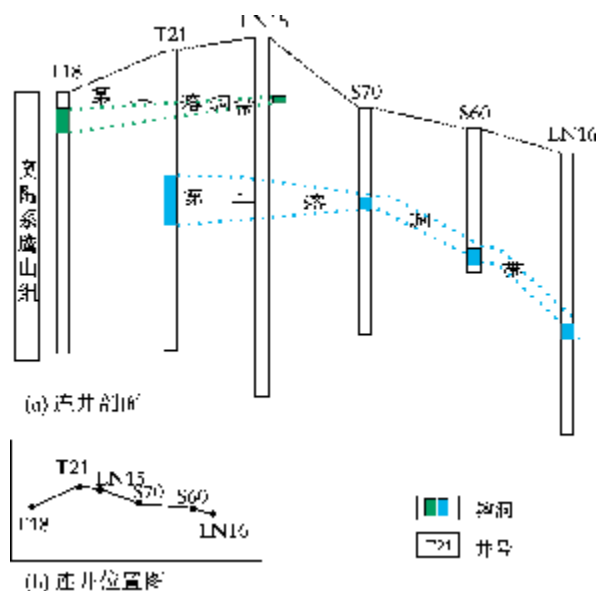


图6 塔河地区T18—T21—LN15—S70—S60—LN16井混合型溶洞发育对比剖面

② 李国蓉. 新疆塔河油田奥陶系碳酸盐岩储层古岩溶作用研究[R]. 中国石化西北油田分公司资料中心, 2003.

## 2.3 热水岩溶(溶蚀)

塔河油田的热水岩溶是指奥陶系古风化壳深埋藏后,受燕山运动构造热事件的影响,古地温梯度明显增高,呈承压状态向上运移的具有溶蚀能力的深循环热水对可溶岩所产生的溶蚀作用。热水岩溶主要经历了深循环对流热水形成—溶蚀与白云石化作用两大阶段,对油气藏的形成具有建设性作用。塔河油田发现的热水岩溶证据如下:

**证据1** 关于溶洞充填方解石包裹体分析,H.C.索比奠定了流体包裹体均一法测温的理论基础。他指出,矿物形成时所捕获的流体呈均匀的单一相,并充满整个包裹体空腔,随着温度和压力的下降,包裹体中的流体收缩系数和主矿物的收缩系数不同,从而产生气泡,包裹体内原来为单一相态的流体体系变成两相或三相体系,成了气-液相包裹体。当包裹体重新加热时,随着温度的升高(同时内压加大),相态将发生变化,当达到一定温度时,多相消失,变成了原来的单相流体。均一相转变的瞬间的温度称之为均一温度,这一温度经过压力校正后可以得出近似的矿物形成温度(捕获温度),通常均一温度为矿物生长的温度下限。前人对研究区内包裹体的分析表明,区内缝、孔洞中的方解石包裹体类型多样,且单相水溶洞包裹体较为丰富。笔者选取溶洞中充填的方解石包裹体进行分析。6口井不同溶洞充填方解石捕获的165个盐水包裹体,其均一温度分布特征(图7)说明溶洞中存在地表淡水岩溶的产物,但主要以热水岩溶为主,峰值在80~130℃。其中S65井中5 732.24~5 733.21 m和S69井中5 696~5 700 m的包裹体均含有低温小于50℃和163~187.8℃的包裹体,即存在地表大气淡水岩溶、后期热水岩溶两种类型。而在其他井中,如S75井5 681.57~5 689.57 m之间的包裹体温度均在67~187.2℃之间,以热水产物为主。S69井5 696~5 700 m井段的溶洞被巨晶方解石充填夹黑色沥青,且包裹体均一温度达到187.8℃。

**证据2** 常见的热水岩石学特征是热褪色。热褪色是岩石在热液作用下局部或全部颜色由深变浅到白的现象。热褪色一般沿着裂缝发育,这是由于热流体沿断裂活动而与围岩发生作用造成的。褪色作用常与萤石化伴生,如S87井在萤石交代方解石部位,其周围的岩石或生物碎屑产生了褪色。

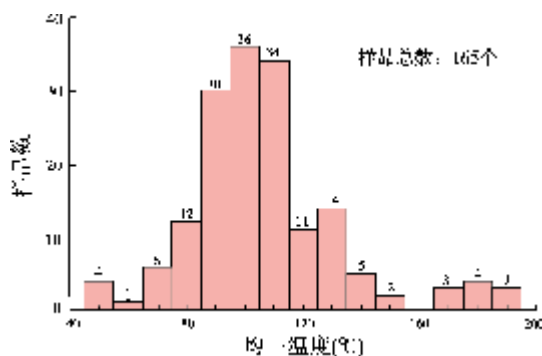


图7 塔河油田中下奥陶统盐水溶液包裹体均一温度分布图

**证据3** 热水作用的主要表现为萤石化、绿泥石化作用。萤石化一般表现为交代结晶方解石或呈斑块状交代岩石,如S76井5 580.72 m可见萤石交代结晶铁方解石,S85井5 874.42 m裂缝充填方解石被萤石交代;萤石中盐水包裹体的均一温度208.5~218.5℃,平均为213.6℃,而被交代裂缝方解石盐水包裹体均一温度为125.9~131.4℃。绿泥石化主要为交代棘屑及其共轴增长边。S110井一间房组中发育的溶洞中发现有溶洞石英、溶洞重晶石、萤石等,且其包裹体的均一温度90~130℃之间,平均为117℃。这些发现均证明了塔河地区热水作用的存在。

纵观存在热水岩溶的井,它们大部分与断裂有关。发育有热水岩溶的井有S76井、S65井、S75井、S85井,且均发育在断裂附近,而S75井5 681.57~5 689.57 m、厚度达8 m的方解石充填溶洞和S65井5 732.24~5 733.21 m的方解石充填溶洞均为深部溶洞。所以,塔河地区热水岩溶主要是发育在断裂附近岩溶谷地中的深层溶洞。至于热水来源、热水岩溶发育规模到底有多大、发育模式如何等问题,由于资料有限,还不能预测。

## 3 结 论

(1)溶洞充填物样品的地球化学分析证明,塔河油田奥陶系以大气淡水岩溶为主,但也存在后期的淡水—海水混合岩溶和热水岩溶(溶蚀)。

(2)大气淡水岩溶纵向上主要分为三个带。溶洞充填物的伊利石K—Ar同位素定年揭示出三个纵向岩溶发育带基本呈上老下新的时序性。

(3)淡水—海水混合岩溶改造多位于浅层的第一、第二岩溶带;热水岩溶(溶蚀)改造多位于深部的第三溶洞带。



## 参考文献

- [1] 刘小平,吴欣松,张祥忠. 轮古西地区奥陶系碳酸盐岩古岩溶储层碳、氧同位素地球化学特征[J]. 西安石油大学学报, 2004, 19(4):69-76.
- [2] 张云峰,王清晨. 济阳坳陷奥陶系碳酸盐岩及缝洞充填方解石 C、O 同位素特征及其意义[J]. 地质科学, 2007, 42(3): 570-578.
- [3] 刘存革,张钰,吕海涛. 塔河油田中—下奥陶统古岩溶洞穴巨晶方解石成因及演化[J]. 地质科技情报, 2008, 27(4):33-38.
- [4] 刘存革,李国蓉,张一伟. 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): 1398-1406.
- [5] Potter P E, Shimp N F, Witters J. Trace elements in marine and fresh-water argillaceous sediments[J]. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 1963, 27: 669-694.
- [6] Degens E T, Williams E G, Keith M L. Application of geochemical criteria [Pennsylvania], Part2 of environmental studies of Carboniferous sediments[J]. *AAPG Bulletin*, 1958, 42(2): 981-997.
- [7] 徐微,蔡忠贤,贾振远,等. 塔河油田奥陶系碳酸盐岩油藏溶洞充填物特征[J]. 现代地质, 2010, 24(2):287-293.
- [8] 刘存革,李国蓉,吴勇. 新疆塔河油田下奥陶统碳酸盐岩储层成因类型与评价[J]. 沉积与特提斯地质, 2004, 24(1):91-96.
- [9] 徐微,陈冬梅,赵文光,等. 塔河油田奥陶系碳酸盐岩油藏溶洞发育规律[J]. 海相油气地质, 2011, 16(2):34-41.
- [10] Bogli A. *Karst hydrology and physical speleology*[M]. Berlin: Springer-Verlag, 1980.
- [11] 史忠生,陈开远,史军,等. 运用锶钡比判定沉积环境的可行性分析[J]. 断块油气田, 2003, 10(2): 12-16.
- [12] 王敏芳,焦养泉,王正海,等. 沉积环境中古盐度的恢复——以吐哈盆地西南缘水西沟群泥岩为例[J]. 新疆石油地质, 2005, 12(6): 719-722.
- [13] 张新建,范迎风,张剑君,等. 富县探区延长组微量元素特征及地质意义[J]. 新疆石油地质, 2004, 25(5):483-485.
- [14] 郭建华. 塔北、塔中地区下古生界深埋藏古岩溶[J]. 中国岩溶, 1996, 15(3):207-216.
- [15] 钱一雄,蔡立国,李国蓉,等. 碳酸盐岩岩溶作用的元素地球化学表征——以塔河 1 号的 S60 井为例[J]. 沉积学报, 2002, 20(1):70-74.

编辑:赵国宪

## Karst Genesis Classification of Ordovician Carbonate Reservoir in Tahe Oilfield, Tarim Basin

Xu Wei, Cai Zhongxian, Lin Zhongmin, Jia Zhenyuan

**Abstract:** Tahe Oilfield locates in the margin of Akekule uplift in north Tarim Basin. It underwent several times of tectonic uplifts during middle Caledonian to early Hercynian epochs, which led to Ordovician carbonate formations being exposed perennially to the surface and suffering from intense meteoric fresh-water weathering, leaching and dissolving. At the same time, it also went through wide marine transgression from north to south during Mid-Caledonian movement, wide marine transgression from west to east during Carboniferous period, and volcanic events during Permian period in Tahe area. Geochemical analysis of trace elements including B, V, Ga, Rb, etc. and analysis of fluid inclusions are taken for 33 basic samples of argillite-fillings in karst caverns from 11 wells in the main area of Tahe Oilfield. It is proved that the meteoric water karstification is predominant in this area, succeeding by reconstructing the mixed marine/meteoric water karstification and hydrothermal water karstification. There are three karstification zones in vertical in this area. The isotopic element dating of K-Ar in illite samples from the cavern fillings reveals the karstification chronogenesis that is later in the upper and earlier in the lower. The first and second karstification zones in shallow were reconstructed by marine water transgression and the third karstification zone in deep was by hydrothermal water transgression.

**Key words:** karstification; Genetic classification; Trace element; Isotopic dating; Tahe Oilfield; Tarim Basin

Xu Wei; female, Master, Engineer. Add: CNOOC Research Institute, 6 Dongzhimenwai Xiaojie, Beijing, 100027 China