

doi:10.3799/dqkx.2015.137

# 塔里木盆地古城墟隆起奥陶系多期古流体活动证据及意义

鲁子野<sup>1</sup>, 陈红汉<sup>1,2\*</sup>, 丰勇<sup>3</sup>, 吴悠<sup>3</sup>, 熊万林<sup>4</sup>, 尚培<sup>1</sup>

1. 中国地质大学构造与油气资源教育部重点实验室, 湖北武汉 430074

2. 中国科学院地质与地球物理研究所兰州油气资源研究中心, 甘肃兰州 730000

3. 长江大学地球科学学院, 湖北荆州 434023

4. 中海石油有限公司深圳分公司, 广东广州 510240

**摘要:** 深部热流体活动与碳酸盐岩储层改造及油气成藏具有密切的关系。通过对塔里木盆地古城墟隆起奥陶系的11块样品的成岩观测和流体包裹体系统分析, 识别出3期古流体活动。结合埋藏史, 确定这3期流体活动的发生时间分别为: 第1期以第1世代高角度裂缝及网状裂缝充填方解石为代表, 推测与加里东晚期构造运动有关; 第2期为构造—热液白云岩化流体, 可能与塔里木盆地经历二叠纪末大规模的火山活动有关; 第3期以充填于孔、缝中央的晚期方解石为代表, 记录了晚期天然气充注事件, 发生于喜山期。第1期流体活动伴随的构造运动导致了早期充注的油气沥青化; 第2期流体活动对该区域的储层有建设性改造作用, 所形成的鹰山组内幕储层成为了区内重要的勘探目的层; 第3期流体活动记录了晚期天然气充注事件。因此, 工区应以寻找喜山晚期天然气藏为主要勘探目标。

**关键词:** 塔里木盆地; 古城墟隆起; 奥陶系; 古流体活动; 流体包裹体; 石油地质; 地层学。

**中图分类号:** P618.13

**文章编号:** 1000-2383(2015)09-1529-09

**收稿日期:** 2015-04-03

## Evidences of Multi-Episodically Paleo-Fluid Flow and Its Significance in Ordovician of Guchengxu Uplift, Tarim Basin

Lu Ziyue<sup>1</sup>, Chen Honghan<sup>1,2\*</sup>, Feng Yong<sup>3</sup>, Wu You<sup>3</sup>, Xiong Wanlin<sup>4</sup>, Shang Pei<sup>1</sup>

1. Key Laboratory of Tectonics and Petroleum Resources of the Ministry of Education, China University of Geosciences, Wuhan 430074, China

2. Lanzhou Center for Oil and Gas Resources, Institute of Geology and Geophysics, Chinese Academy of Sciences, Lanzhou 730000, China

3. College of Geoscience, Yangtze University, Jingzhou 434023, China

4. China National Offshore Oil Corporation Limited-Shenzhen, Guangzhou 510240, China

**Abstract:** There is significant relationship among deep paleo-fluid flows and modification of carbonate reservoirs and hydrocarbon migration and accumulation. In this study, 11 samples of the Ordovician in Guchengxu uplift have been employed to make diagenetic observation and fluid inclusion measurement. The analyzed results indicate that there are three events of paleo-fluid flows in the Middle and Lower Ordovician of Guchengxu uplift. (1) The first event of paleo-fluid flows is represented by the first generation of calcite cement filling in high angle and meshy fractures. It is estimated that the calcite cement precipitated during late Caledonian tectonic movement. (2) The second event of paleo-fluid flows is represented by the second generation of hydrothermal dolomites. It is estimated that the saddle dolomite precipitated during the Permian volcanic activities. (3) The third event of paleo-fluid flows is represented by the third generation of calcite cement filling in the central residual spaces of the fractures and vugs. It records the gas accumulation during the later Himalayan. The bitumen distributed along the side of first

**基金项目:** 国家重点基础研究发展计划(973计划)项目(No. 2012CB214804); 国家“十二·五”重大科技专项项目(No. 2011ZX05008-003-30); “构造与油气资源”教育部重点实验室开放基金项目(No. TPR-2014-20).

**作者简介:** 鲁子野(1990—), 男, 博士研究生, 主要从事油气成藏过程研究. E-mail: luziyei88@163.com

\* **通讯作者:** 陈红汉, E-mail: hhchen@cug.edu.cn

**引用格式:** 鲁子野, 陈红汉, 丰勇, 等, 2015. 塔里木盆地古城墟隆起奥陶系多期古流体活动证据及意义. 地球科学——中国地质大学学报, 40(9): 1529-1537.

generation calcite cement implies that the early charging oil accompanied with the first event of paleo-fluid flow had been damaged. The second event of paleo-fluid flow played a role of dolomitization which was in favor of the Ordovician reservoir improvement. The third event of paleo-fluid flow is associated with natural gas filling. It is concluded that the later Himalayan charging natural gases are the favorable exploration target in this area.

**Key words:** Tarim basin; Guchengxu uplift; Ordovician; paleo-fluid flow; fluid inclusion; petroleum geology; stratigraphy.

沉积—成岩作用研究结果表明:流体参与了沉积盆地内几乎所有的地质过程;流体活动控制了盆地中物质的活化与迁移;含油气盆地深部(含烃)热流体流动既产生了丰富的成岩现象又改造了储层性能(Qing and Mountjoy, 1992; Weaver *et al.*, 1995; Cai *et al.*, 2008;朱东亚等, 2008;金之钧等, 2013),也是油气自烃源灶向圈闭运聚的重要方式之一(Li *et al.*, 2006).成岩矿物及其捕获的流体包裹体是流体流动和水—岩相互作用而发生热质迁移的结果,因而可以用来追索和重构其流体演化历史(Goldstein, 2001;吴悠等, 2011;斯尚华等, 2013;熊万林等, 2013).

塔里木盆地古城墟隆起位于车尔臣断裂北部、塔中1号断裂东南端(图1).与塔北和塔中构造带不同的是,该构造带寒武系—奥陶系发育较为齐全,为大套碳酸盐岩“连续沉积区”(刘忠宝等, 2012;唐

照星等, 2013);加里东晚期抬升遭受强烈剥蚀;海西期稍有抬升,印支期和喜山期一直缓慢沉降.这意味着该地区受海西构造运动影响较弱,从而成为研究塔里木盆地深部热流体活动最为理想的场所.因此,通过对其深部(含烃)流体性质、活动期次和流动过程中发生的各种成岩作用加以识别,可为洞悉古城墟构造带奥陶系碳酸盐岩储层演化和成藏过程提供一个窗口.本文在大量岩心和薄片观察的基础上,综合运用流体包裹体、阴极发光、电子探针等分析测试技术,对古城墟隆起西段奥陶系各种成岩矿物和流体包裹体进行系统分析,旨在了解其流体性质、活动期次以及与油气成藏的关系.

### 1 地质背景

古城墟隆起南部以车尔臣断裂为界与东南隆起

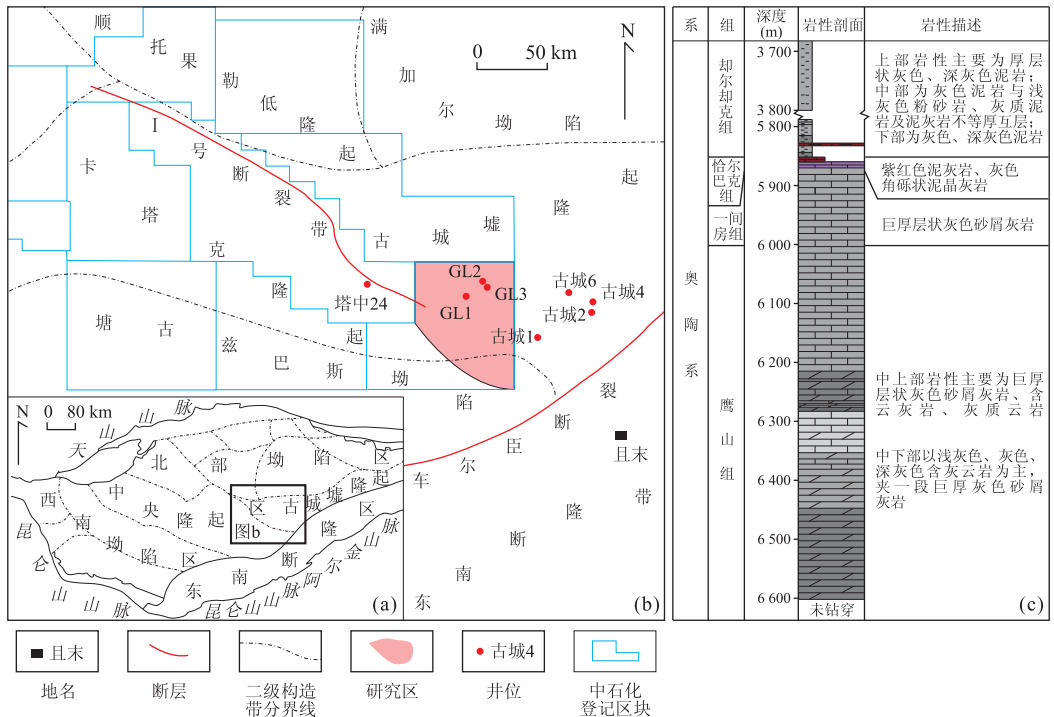


图1 塔里木盆地古城墟隆起构造位置(a,b)及GL1井奥陶系岩性柱状图(c)  
 Fig. 1 The locations of Guchengxu structural unit in Tarim basin (a,b) and the lithological column of the Ordovician in well GL1 (c)  
 据邹元荣等(2005)修改

带相邻,西部以塔中1号断裂带为界与塔中隆起相接(图1).研究区内钻井资料证实,古城墟隆起西段奥陶系碳酸盐岩发育较为齐全,自下而上发育了下奥陶统蓬莱坝组、中一下奥陶统鹰山组、中奥陶统一间房组、上奥陶统恰尔巴克组和却尔却克组. GL1井揭示了奥陶系恰尔巴克组、一间房组和鹰山组(未钻穿),缺失志留系、泥盆系和侏罗系(图1).

早奥陶世,塔里木盆地整体受伸展构造作用影响,盆地中西部为塔西克拉通内坳陷,塔中地区位于塔西克拉通中部相对高的位置(魏国齐等,2000).古城墟隆起在奥陶纪为伸入满加尔凹陷的斜坡带,东部紧邻库满坳拉槽与塔西克拉通之间的陆棚斜坡, GL1井区为局限台地相沉积(蔡习尧和李越,2008).早奥陶世末,盆地南北边缘由被动大陆边缘开始向活动大陆边缘转化,构造应力场开始由伸展向挤压转变,塔中地区开始隆升.

中奥陶世,塔里木盆地南侧西昆仑—祁连山向北俯冲,原盆地中的开阔台地发育为多个孤立碳酸盐岩台地(许志琴等,2011).此时,塔中地区整体抬升,卡塔克隆起大部分露出水面遭受剥蚀,缺失中奥陶统一间房组沉积,而古城墟隆起西段由于抬升幅度较小,尚未露出水面,一间房组礁滩相沉积得以保存.

晚奥陶世,海平面快速上升,本区内台地被淹没,并快速沉积了巨厚的却尔却克组碎屑岩,至此,研究区内发育了一套完整的奥陶纪地层.

志留纪—泥盆纪,由于阿尔金断裂带的活动,区内发生强烈的逆冲—走滑构造变形,车尔臣断裂也在这个时期内形成,由南向北强烈逆冲,在本区形成大量高角度逆冲断层及其伴生小断层,这些断层对后期深部流体向上流动造成了深远的影响.该期运动导致研究区内剧烈抬升并发生强烈剥蚀,奥陶统却尔却克组发生剧烈的剥蚀.

早海西构造运动使本区进一步隆升,此后车尔臣断裂持续活动,使本区持续隆升,直到印支期后古城墟隆起最终定型.二叠纪末期,塔里木盆地经历了大规模的火山活动,同时伴随着大量的深部流体活动(陈汉林等,2009;余星等,2009;杨树锋等,2014).此后,工区构造运动趋于稳定,奥陶系持续缓慢沉降.

## 2 岩石学观察

笔者采集了GL1井、GL2井和GL3井奥陶系

表1 本研究测试样品清单

Table 1 The measuring sample list in this research

井号	层位	样品深度(m)	样品编号	
GL1井	恰尔巴克组	5 864.00	GL1-2	
	鹰山组	6 456.83	GL1-3	
	蓬莱坝组	6 533.19	GL1-4	
		6 536.02	GL1-5	
		5 787.00	GL2-1	
GL2井	一间房组	5 789.79	GL2-2	
	一间房组	5 908.80	GL3-1	
GL3井	灰岩段	6 062.37	GL3-2	
		6 063.92	GL3-3	
	鹰山组	6 236.27	GL3-4	
		灰云岩段	6 237.67	GL3-5

共11块样品(表1),样品层位及采样位置如图1所示.通过双面抛光薄片制作,进行成岩观察(包括薄片矿物鉴定、阴极发光分析和电子探针分析)及流体包裹体系统分析,识别出与油气活动有关的3个世代的胶结物.

### 2.1 高角度裂缝中充填的方解石 CC1

其发育于GL1井恰尔巴克组、GL2井一间房组及GL3井鹰山组灰岩段, GL2井一间房组高角度裂缝切割了近平行于地层的高幅缝合线,裂缝一侧方解石CC1与围岩之间可见近垂直于地层的低幅缝合线(图2a).高角度裂缝可能为强烈的构造剪切应力作用的结果,其纵向延伸范围广,宽度通常小于0.5 cm.阴极发光下,该世代方解石呈亮橙黄色,可见少量不连续的环带(图2b).部分方解石CC1的一侧可见充填有沥青(图2c).

### 2.2 裂缝及部分溶孔中充填的白云石 SD

其主要发育于GL1井鹰山组以及GL3井鹰山组灰质云岩段.岩心中可见一些溶孔或延伸较短的裂缝被白云石SD充填(图2d).单偏光下可见这些白云石沿着裂缝或溶孔壁发育,部分完全充填孔缝空间;这些白云石可分为中细晶直面自形白云石(图2e)和粗晶鞍形白云石(图2f),焦存礼等(2011)认为两者的流体环境是连续过渡的,后者反映了更高的温度、压力和镁离子浓度.阴极发光下,白云石呈红—紫红色(图2g).部分白云石SD生长的基质呈港湾状(图2e),表明其在发生热液白云石化作用之前曾发生过埋藏溶蚀现象.

### 2.3 裂缝及溶孔残余空间中充填的晚期方解石 CC2

其常发育于GL1井鹰山组、蓬莱坝组和GL3井鹰山组灰云岩段的裂缝及溶孔中未被白云石充填

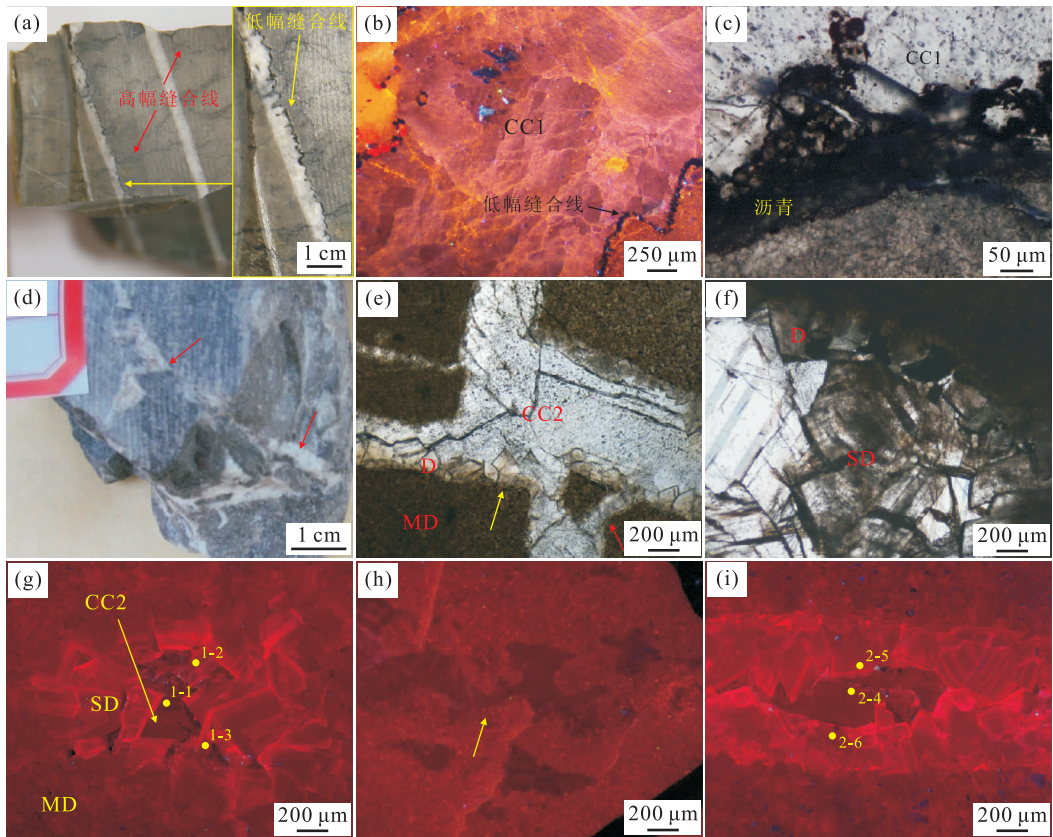


图 2 古城墟隆起奥陶系典型成岩现象照片

Fig. 2 The photos showing the typical diagenetic processes in the Ordovician of Guchengxu uplift

a. GL2 井, 一间房组岩心照片, GL2-1, 5 787. 00 m, 可见高角度裂缝切割近平行地层的高幅缝合线, 一侧分布近垂直地层的低幅缝合线; b. GL2 井, GL2-1, 5 787. 00 m, 一间房组阴极发光照片, 方解石 CC1; c. GL2 井, 单偏光照片, GL2-1, 5 787. 00 m, 一间房组, 高角度裂缝充填方解石—一侧有沥青发育; d. GL1 井, GL1-3, 6 456. 83 m, 鹰山组岩心照片, 被白云石充填的裂缝 (红色箭头); e. GL3 井, 单偏光照片, GL3-5, 6 237. 67 m, 鹰山组灰云岩段, 可见泥微晶白云岩围岩 (MD)、中细晶直面自形白云石 (D, 黄色箭头)、方解石 CC2 及埋藏溶蚀现象 (红色箭头); f. GL3 井, 单偏光照片, GL3-5, 6 237. 67 m, 鹰山组灰云岩段, 可见中细晶直面自形白云石 (D) 和鞍形白云石 (SD); g. GL1 井, 阴极发光照片, GL1-5, 6 536. 02 m, 鹰山组, 溶孔充填鞍形白云石, 残余空间充填方解石 CC2 (黄色点为电子探针测点); h. GL2 井, 阴极发光照片, GL2-1, 5 787. 00 m, 一间房组, 晚期埋藏溶蚀形成的溶孔充填方解石 (CC2, 黄色箭头); i. GL1 井, 阴极发光照片, GL1-5, 6 536. 02 m, 鹰山组, 裂缝充填鞍形白云石, 残余空间充填方解石 CC2 (黄色点为电子探针测点)

的残余空间 (图 2e、2g 和 2h), 显示其形成时间晚于鞍状白云石。阴极发光下, 晚期方解石 CC2 呈暗橙红色, 无环带发育。

通过上述成岩观察, 笔者识别出 3 种主要的胶结物类型。方解石 CC2 形成明显晚于白云石 SD, 裂缝充填方解石 CC1 形成于两期缝合线之间, 但与其他胶结物关系不明确。

### 3 古流体特征

#### 3.1 元素组成

基于单偏光、正交光和阴极发光观察, 笔者对鞍形白云石和方解石 CC2 进行了电子探针测试。电子探针测试在中国地质大学 (武汉) 地质过程与矿产资

表 2 GL1 井蓬莱坝组 (6 536. 02 m) 样品电子探针分析数据  
Table 2 The data of electronic probe analysis of the sample of Penglaiba Formation (6 536. 02 m) in well GL1

点位	1-1	1-2	1-3	2-4	2-5	2-6
Na <sub>2</sub> O	0.039	0.042	0.028	—	0.077	0.028
MgO	0.342	18.914	20.775	1.040	18.178	17.914
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.031	0.050	0.030	0.024	0.038	0.020
SiO <sub>2</sub>	0.057	0.036	0.053	0.031	0.056	0.034
K <sub>2</sub> O	0.030	—	0.017	0.009	0.007	—
CaO	54.890	28.689	30.361	54.628	30.763	30.886
TiO <sub>2</sub>	—	0.028	0.035	0.038	0.055	0.017
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	—	—	—	—	—	—
MnO	—	—	—	—	—	—
FeO	—	0.021	—	—	—	—
总量	55.389	47.780	51.299	55.770	49.174	48.899

注: 表中所列数据为质量百分比; “—” 表示元素含量低于检测精度。

流体期次	宿主矿物及产状	样品	均一温度(°C)						
			130	140	150	160	170	180	
第1期 流体活动	高角度及网状 裂缝充填方解石	GL1-2	146.4						
		GL3-3	150.1						
第2期 流体活动	基质白云石	GL1-4	149.6						
	溶孔充填白云石	GL1-3	128.8						
	裂缝充填白云石	GL1-4	144.5						
		GL3-5	144.7						
第3期 流体活动	裂缝充填方解石	GL1-4	144.0						
		GL3-4	148.1						
		GL3-5	147.7						
	溶孔充填方解石	GL3-3	163.5						
		与气包裹体共生的 盐水包裹体	GL3-5	163.5					
			GL3-4	163.5					

图3 3个世代胶结物中流体包裹体均一温度分布

Fig. 3 The homogenization temperatures distribution of fluid inclusions in the three generations of cements

源国家重点实验室完成,测试仪器为日本电子公司JXA-8100型电子探针波谱分析仪。

电子探针点位见图2g和2i,测试结果见表2。鞍形白云石(点1-2、1-3、2-5和2-6)CaO含量为28.689%~30.886%,平均为30.175%,接近于白云石中CaO的理论含量30.435%;MgO含量为17.914%~20.775%,平均为18.945%,低于白云石中的MgO的理论含量21.735%,说明第2世代胶结物并不是处于理想状态的白云石(朱东亚等,2010)。方解石CC2中(点1-1和2-4)Na<sup>+</sup>含量总体上低于鞍形白云石,显示其盐度可能略低于形成于第2世代胶结物的流体。

### 3.2 流体包裹体特征

为进一步认识各世代胶结物形成时的流体性质,在对各世代胶结物进行成岩识别的基础上,对上述样品进行了流体包裹体系统分析。流体包裹体测定是在中国地质大学(武汉)资源学院石油系微观烃类检测实验室完成。显微测温、测盐仪器为英国产Linkam THMS 600G冷热台,测定误差为±0.1℃。显微测温初始升温速率为8℃/min,当包裹体临近均一状态时升温速率调整为2℃/min。激光拉曼测试是在中国地质大学(武汉)天然气水合物评价实验室完成,仪器为LabRAM HR激光拉曼光谱仪,谱仪共焦效果可以达到横向0.2μm、深度约0.3μm的空间分辨率。

首先对3个世代胶结物中的流体包裹体开展了显微测温( $T_h$ ) (图3)、测盐( $T_m$ ) (图4)以及激光拉曼探针分析(图5)。

(1)方解石CC1中检测到大量气液两相盐水电

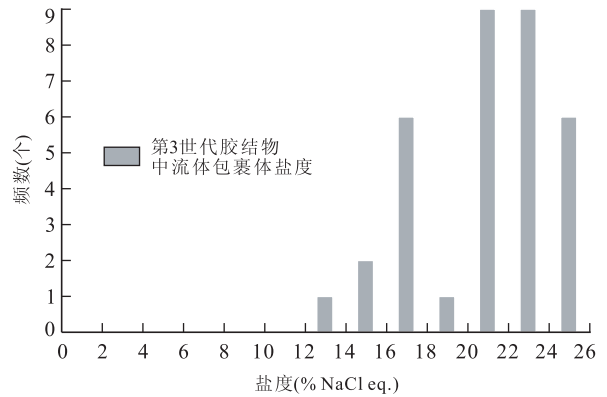


图4 第3世代胶结物流体包裹体盐度分布

Fig. 4 The histogram of salinities of fluid inclusions in first generations of cements

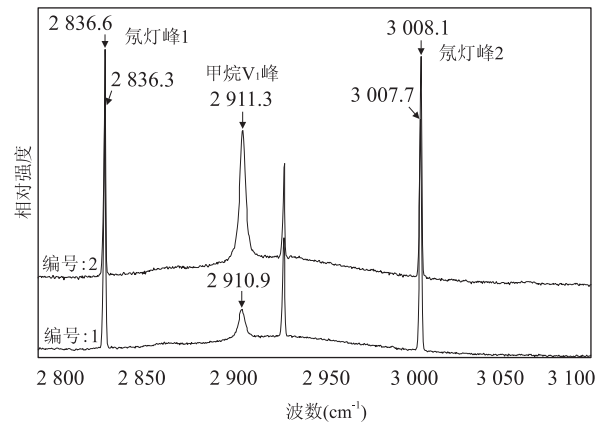


图5 第3世代方解石胶结物中捕获的纯气相包裹体激光拉曼光谱

Fig. 5 The laser Raman spectrum of pure gas phase inclusion in the third generation of calcite cement

裹体,GL1井恰尔巴克组和GL3井鹰山组灰岩段的

两块样品平均均一温度 ( $T_h$ ) 分别为 146.4 和 150.1 °C. 盐水包裹体的最终熔化温度 ( $T_m$ ) 均小于 -25.2 °C, 由于  $T_m$  低于 NaCl-H<sub>2</sub>O 二元体系的共结温度 (-20.8 °C), 笔者推测该世代方解石捕获的盐水包裹体可能含有 CaCl<sub>2</sub> 或其他组分.

(2) 白云石 SD 中检测到了少量气液两相盐水包裹体. 这些包裹体通常较小, 最大直径一般小于 2 μm, 最终熔化温度难以测量. 样品中检测到的两相盐水包裹体的平均  $T_h$  范围为 128.8~149.6 °C.

(3) 方解石 CC2 中检测到大量原生气液两相盐水包裹体和次生纯气相包裹体. 其均一温度范围为 144.0~163.5 °C, 最终熔化温度分布于 -7.1~-26.9 °C, 少量数据低于 NaCl-H<sub>2</sub>O 体系的共结温度 (-20.8 °C), 根据最终熔化温度换算盐度为 10.6%~22.5% NaCl eq. (Bodnar, 1993). 总体上其  $T_h$  和  $T_m$  均高于第 1 世代胶结物中的两相包裹体, 显示其形成的温度高于第 1 世代胶结物, 而流体盐度可能低于第 1 世代胶结物. 在第 3 世代方解石裂纹中检测到纯气相包裹体, 这些次生纯气相包裹体的共生盐水包裹体均一温度范围为 150.2~178.6 °C, 平均值为 163.5 °C. 对 GL2 井样品中的纯气相包裹体进行了激光拉曼探针测试, 其主要成分

为 CH<sub>4</sub> (Brunsgaard *et al.*, 2002), 显示存在后期天然气的充注.

#### 4 古流体活动期次、时期确定及其意义

3 个世代的胶结物分别代表了 3 期不同的流体活动, 各期流体对油气成藏起到了不同的作用, 结合区域构造演化、胶结物特征推测流体活动时期, 进而约束天然气成藏时期 (图 6).

GL2 井一间房组裂缝充填方解石 (CC1) 切割了与地层近平行的高幅缝合线, CC1 一侧 (或两侧) 发育近垂直地层的低幅缝合线, 笔者推测 CC1 形成于两期缝合线之间. 缝合线存在多种成因类型, 而压溶学说为人们普遍接受, 蔡杰兴 (1990) 和高岗 (2013) 认为其是岩石受压力作用差异性溶解的结果. 平行于地层的高幅缝合线形成于地层上覆静岩压力, Dunnington (1954) 认为 610~914 m 深度的静岩压力可以导致压溶作用的发生, 因此笔者推测区内近平行于地层的高幅缝合线形成于晚奥陶世的快速沉积阶段. 低幅缝合线近垂直于地层, 可能形成侧向的构造挤压应力 (Railsback and Andrews, 1995), 研究区在加里东晚期—海西早期经历了由南向北的强

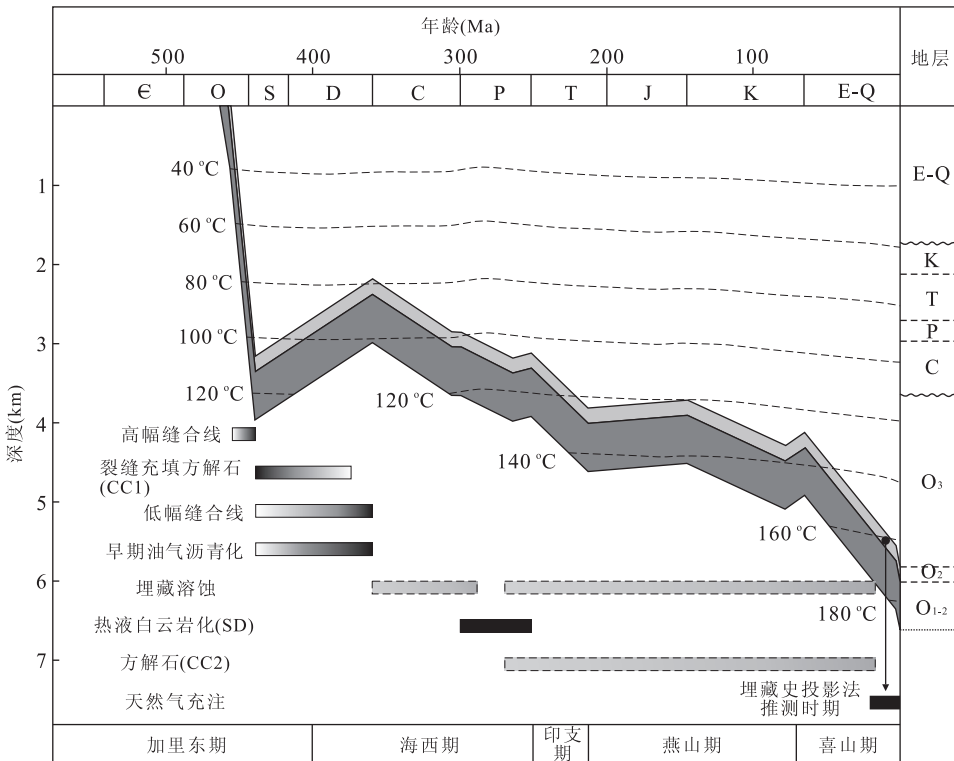


图 6 GL1 井埋藏史图及古流体活动时间确定

Fig. 6 The burial history of well GL1 and the period of the paleo-fluid

烈构造挤压,最有可能导致该期压溶作用的发生.而裂缝的发育特征也显示了强烈的构造挤压特征,因此结合 CC1 与两期压溶作用的关系,笔者推测第 1 期流体活动于加里东晚期—海西早期的强烈挤压环境(图 6).裂缝中所见的沥青揭示了构造抬升过程中早期油气的沥青化.

沿着裂缝发育的白云石(SD)为中细晶直面自形白云石和鞍形白云石,通常被认为是构造—热液白云岩化的产物(Qing, 1998; Lavoie and Morin, 2004; Davies and Smith, 2006; 陈代钊, 2008; 李荣等, 2008; 焦存礼等, 2011; 陈轩等, 2012),焦存礼等(2011)认为其与塔里木盆地经历二叠纪末大规模的火山活动有关,热液白云岩化流体通过断裂向上部地层运移,使围岩发生白云岩化作用,对储层起到了建设作用.

方解石 CC2 充填了热液白云岩化之后的部分残余孔隙空间,该期胶结物可能在二叠纪热液冷却后沉淀析出,也可能是热液活动之后地层继续埋深过程中从地层水中沉淀析出,总的来说其对储层起到了一定的破坏作用.但是 CC2 中检测到的次生富气相  $\text{CH}_4$  包裹体和与其同期的盐水包裹体记录了后期天然气成藏事件,将 CC2 中与次生富气相  $\text{CH}_4$  包裹体同期的次生盐水包裹体均一温度投影到埋藏史图上,笔者推测天然气成藏事件发生于喜山晚期.

近年来的钻探结果表明,GL1 井在下奥陶统内幕型储层中获得低产工业气流;GL2 井揭示了一间房组鹰山组上部储层;古城 6 井鹰山组获得了高产天然气流,孔隙类型以残余晶间孔、粒间孔、裂缝及埋藏溶蚀孔为主.郭建军等(2007)和蔡习尧等(2012)认为工区的寒武系—中下奥陶统盆地相的灰黑色泥页岩为主要烃源岩,寒武系—奥陶系的碳酸盐岩为次要烃源岩,与中—下奥陶统内幕型白云岩储层一起构成有利的储盖组合,钻探成果预示着其中—下奥陶统内幕型白云岩具有巨大勘探潜力.

综上所述,古城墟构造带奥陶系碳酸盐岩经历了加里东晚期第 I 幕构造抬升、构造裂缝化以及油气成藏过程,但这一期充注的油气可能遭受了破坏而沥青化.海西期主要表现为构造热液白云石化.喜山晚期,寒武系—下奥陶统烃源岩进入过成熟阶段,生成的天然气沿着断缝带运移至中—下奥陶统白云岩储层中聚集.因此,该地区应以寻找晚期天然气藏为主要勘探目标.

## 5 结论

通过对古城墟构造西段奥陶系溶洞和裂缝充填的碳酸盐胶结物岩石学特征、成岩作用和流体包裹体的系统分析,本文获得如下认识:

(1)该地区奥陶系发育 3 个世代的胶结物,分别代表 3 期古流体活动:第 1 世代胶结物为方解石 CC1,发育于高角度裂缝及网状裂缝中,笔者推测其与加里东晚期构造运动有关;第 2 世代胶结物为鞍形白云石,可能与塔里木盆地经历二叠纪末大规模的火山活动有关;第 3 世代胶结物为方解石 CC2,形成于热液活动之后,记录了后期天然气成藏事件.

(2)第 1 期流体活动以高温、高盐度和强烈的构造挤压环境为特征,沿着断裂系统向上流动,构造裂缝和水力破裂形成的网状裂缝被流体沉淀形成的方解石和沥青充填,暗示这期构造运动可能破坏了早期形成的古油藏.

(3)第 2 期流体以高 Mg 为特征,流体沿着断裂系统向上部地层流动,使之发生白云岩化.这期热流体活动可能对中下奥陶统内幕型白云岩储层形成具有重要影响.

(4)第 3 期流体以高温和中等盐度为特征,该期流体形成的方解石记录了天然气的充注事件,为指导下一步天然气藏勘探提供了理论依据.

## References

- Bodnar, R. J., 1993. Revised Equation and Table for Determining the Freezing Point Depression of  $\text{H}_2\text{O}-\text{NaCl}$  Solutions. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 57(3): 683—684. doi:10.1016/0016-7037(93)90378-A
- Brunsgaard, S. H., Berg, R. W., Stenby, E. H., 2002. Raman Spectroscopic Studies of Methane-Ethane Mixtures as a Function of Pressure. *Journal of Raman Spectroscopy*, 55(6): 745—749. doi: http://dx. doi. org/10. 1366/00037020/1952442
- Cai, C. F., Li, K. K., Li, H. T., et al., 2008. Evidence for Formational Hot Brine Flow from Integrated  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ , REE and Fluid Inclusions of the Ordovician Veins in Central Tarim, China. *Applied Geochemistry*, 23(8): 2226—2235. doi:10. 1016/j. apgeochem. 2008. 03. 009
- Cai, J. X., 1990. Characteristics of Sutures and Their Forming Mechanism. *Acta Petrologica Sinica*, 6(2): 51—62 (in Chinese with English abstract).
- Cai, X. Y., Li, Y., 2008. Ordovician Lithofacies and Stratigraphic Lacunae in the Southern Part of the Central Ta-

- rim, Xinjiang. *Journal of Stratigraphy*, 32(4): 353—362 (in Chinese with English abstract).
- Cai, X. Y., Zhang, Z. L., Deng, X. J., et al., 2012. Configuration of the Lower Palaeozoic Source and Reservoir Units in the Guchengxu High, Tarim Basin. *Journal of Stratigraphy*, 36(4): 733—738 (in Chinese with English abstract).
- Chen, D. Z., 2008. Structure-Controlled Hydrothermal Dolomitization and Hydrothermal Dolomite Reservoirs. *Oil & Gas Geology*, 29(5): 614—622 (in Chinese with English abstract).
- Chen, H. L., Yang, S. F., Li, Z. L., et al., 2009. Spatial and Temporal Characteristics of Permian Large Igneous Province in Tarim Basin. *Xinjiang Petroleum Geology*, 30(2): 179—182 (in Chinese with English abstract).
- Chen, X., Zhao, W. Z., Zhang, L. P., et al., 2012. Discovery and Exploration Significance of Structure-Controlled Hydrothermal Dolomites in the Middle Permian of the Central Sichuan Basin. *Acta Petrolei Sinica*, 33(4): 562—569 (in Chinese with English abstract).
- Davies, G. R., Smith, L. B., 2006. Structurally Controlled Hydrothermal Dolomite Reservoir Facies; An Overview. *AAPG Bulletin*, 90(11): 1641—1690. doi: 10.1306/05220605164
- Dunnington, H. V., 1954. Stylolite Development Post-Dates Rock Induration. *Journal of Sediment Petroleum*, 24(3): 27—49. doi: 10.1306/D426P648—2B26—11D7—8648000102C1865D
- Gao, G., 2013. Research Status and Oil & Gas Geology Significance of Carbonate Rock Stylolite. *Natural Gas Geoscience*, 24(2): 218—226 (in Chinese with English abstract).
- Goldstein, R. H., 2001. Fluid Inclusions in Sedimentary and Diagenetic Systems. *Lithos*, 55: 159—193. doi: 10.1016/S0024—4937(00)00044—X
- Guo, J. J., Chen, J. F., Chen, Z. Y., et al., 2007. High Abundance Carotane from Marine Strata in Well Gulong-1 in Tarim Basin and Its Geological Significance. *Xinjiang Petroleum Geology*, 28(5): 585—588 (in Chinese with English abstract).
- Jiao, C. L., He, Z. L., Xing, X. J., et al., 2011. Tectonic Hydrothermal Dolomite and Its Significance of Reservoirs in Tarim Basin. *Acta Petrologica Sinica*, 27(1): 277—284 (in Chinese with English abstract).
- Jin, Z. J., Zhu, D. Y., Meng, Q. Q., et al., 2013. Hydrothermal Activities and Influences on Migration of Oil and Gas in Tarim Basin. *Acta Petrologica Sinica*, 29(3): 1048—1058 (in Chinese with English abstract).
- Lavoie, D., Morin, C., 2004. Hydrothermal Dolomitization in the Lower Silurian Sayabec Formation in Northern Gaspé-Matapédia (Québec): Constraint on Timing of Porosity and Regional Significance for Hydrocarbon Reservoirs. *Bulletin of Canadian Petroleum Geology*, 53(3): 256—269 doi: 10.2113/52.3.256.
- Li, M. W., Xiong, Y. Q., Snowdon, L. R., et al., 2006. Cross-Formational Hydrocarbon Fluid Flows in the Tertiary Deltaic System of the Beaufort-Mackenzie Basin. *Journal of Geochemical Exploration*, 89(1): 214—217.
- Li, R., Jiao, Y. Q., Wu, L. Q., et al., 2008. Structurally Controlled Hydrothermal Dolomitization: A New Model in International Carbonates Field. *Geological Science and Technology Information*, 27(3): 35—40 (in Chinese with English abstract).
- Liu, Z. B., Li, H. L., Qian, Y. X., et al., 2012. Characteristics of Lower Paleozoic Carbonate Sediment and Reservoir of Guchengxu Uplift in Tazhong Area. *Chinese Journal of Geology*, 47(3): 640—652 (in Chinese with English abstract).
- Qing, H. R., 1998. Petrography and Geochemistry of Early-Stage, Fine- and Medium-Crystalline Dolomites in the Middle Devonian Presqu'île Barrier at Pine Point, Canada. *Sedimentology*, 45(2): 433—446. doi: 10.1046/j.1365—3091.1998.0154f.x
- Qing, H. R., Mountjoy, E., 1992. Large-Scale Flow in the Middle Devonian Presqu'île Barrier, Western Canada Sedimentary Basin. *Geology*, 20(10): 903—906. doi: 10.1130/0091—7613(1992)020<0903:LSFFIT>2.3.CO;2
- Railsback, L. B., Andrews, L. M., 1995. Tectonic Stylolites in the 'Undeformed' Cumberland Plateau of Southern Tennessee. *Journal of Structural Geology*, 17(6): 911—915. doi: 10.1016/0191—8141(94)00127—L
- Si, S. H., Chen, H. H., Feng, Y., et al., 2013. Two Sources and Three Charging Events of Hydrocarbons in Lower Cretaceous Reservoirs in Shaya Uplift, Tarim Basin; Evidence from Fluid Inclusion Analysis. *Acta Petrolei Sinica*, 34(1): 12—21 (in Chinese with English abstract).
- Tang, Z. X., Cao, Z. C., Wang, X. W., et al., 2013. Reservoir Characteristics and Influencing Factors in the Inner Yingshan Formation in Guchengxu Uplift, Tarim Basin. *Lithologic Reservoirs*, 25(4): 44—49 (in Chinese with English abstract).
- Weaver, T. R., Frappe, S. K., Cherry, J. A., 1995. Recent Cross-Formational Fluid Flow and Mixing in the Shallow Michigan Basin. *GSA Bulletin*, 107(6): 697—707. doi: 10.1130/0016—7606(1995)107<0697:RCFFFA>2.3.CO;2
- Wei, G. Q., Jia, C. Z., Song, H. Z., et al., 2000. Ordovician Structural-Depositional Model and Prediction for Profitable Crack Reservoir of Carbonate Rock in Tazhong Area, Tarim Basin. *Acta Sedimentologica Sinica*, 18



- (3):408—413 (in Chinese with English abstract).
- Wu, Y., Chen, H. H., Xiao, Q. G., et al., 2011. Active Thermal Fluids and the Lower Cretaceous Hydrocarbon Accumulation in the Cuoqin Basin, Tibet. *Acta Petrolei Sinica*, 32(4):621—628 (in Chinese with English abstract).
- Xiong, W. L., Chen, H. H., Yun, L., et al., 2013. Hydrocarbon Charging History for Silurian Reservoirs of Shuntuoguole Block in the North Slope of Tazhong Uplift, Tarim Basin: Constraints from Fluid Inclusion of Well Shun 9. *Acta Petrolei Sinica*, 34(2):239—246 (in Chinese with English abstract).
- Xu, Z. Q., Li, S. T., Zhang, J. X., et al., 2011. Paleo-Asian and Tethyan Tectonic Systems with Docking the Tarim Block. *Acta Petrologica Sinica*, 27(1):1—22 (in Chinese with English abstract).
- Yang, S. F., Chen, H. L., Li, Z. L., et al., 2014. Early Permian Tarim Large Igneous Province in Northwest China. *Science China; Earth Sciences*, 44(2):187—199 (in Chinese).
- Yu, X., Chen, H. L., Yang, S. F., et al., 2009. Geochemical Features of Permian Basalts in Tarim Basin and Compared with Emeishan LIP. *Acta Petrologica Sinica*, 25(6):1492—1498 (in Chinese with English abstract).
- Zhu, D. Y., Jin, Z. J., Hu, W. X., 2010. Hydrothermal Recrystallization of the Lower Ordovician Dolomite and Its Significance to Reservoir in Northern Tarim Basin. *Science China; Earth Sciences*, 40(2):156—170 (in Chinese).
- Zhu, D. Y., Jin, Z. J., Hu, W. X., et al., 2008. Effects of Deep Fluid on Carbonates Reservoir in Tarim Basin. *Geological Review*, 54(3):348—354 (in Chinese with English abstract).
- Zou, Y. R., Guo, S. Y., Qian, Y. X., et al., 2005. Forming Mechanism of Ordovician Reservoirs in the Western Plunge of Guchengxu Uplift, Tarim Basin. *West China Petroleum Geosciences*, 1(2):144—148 (in Chinese with English abstract).
- 附中文参考文献**
- 蔡杰兴, 1990. 缝合线特征及成因机理. *岩石学报*, 6(2):51—62.
- 蔡习尧, 李越, 2008. 新疆塔中南坡奥陶系的地层缺失和沉积相变化. *地层学杂志*, 32(4):353—362.
- 蔡习尧, 张智礼, 邓小杰, 等, 2012. 塔里木板块古城墟隆起奥陶系油气成藏分析. *地层学杂志*, 36(4):733—738.
- 陈代钊, 2008. 构造—热液白云岩化作用与白云岩储层. *石油与天然气地质*, 29(5):614—622.
- 陈汉林, 杨树锋, 厉子龙, 等, 2009. 塔里木盆地二叠纪大火成岩省发育的时空特点. *新疆石油地质*, 30(2):179—182.
- 陈轩, 赵文智, 张利萍, 等, 2012. 川中地区中二叠统构造热液白云岩的发现及其勘探意义. *石油学报*, 33(4):562—569.
- 高岗, 2013. 碳酸盐岩缝合线研究及油气地质意义. *天然气地球科学*, 24(2):218—226.
- 郭建军, 陈践发, 陈仲宇, 等, 2007. 古隆1井海相地层中高丰度胡萝卜烷的检出及其意义. *新疆石油地质*, 28(5):585—588.
- 焦存礼, 何治亮, 邢秀娟, 等, 2011. 塔里木盆地构造热液白云岩及其储层意义. *岩石学报*, 27(1):277—284.
- 金之钧, 朱东亚, 孟庆强, 等, 2013. 塔里木盆地热液流体活动及其对油气运移的影响. *岩石学报*, 29(3):1048—1058.
- 李荣, 焦泉泉, 吴立群, 等, 2008. 构造热液白云石化——一种国际碳酸盐岩领域的新模式. *地质科技情报*, 27(3):35—40.
- 刘忠宝, 李慧莉, 钱一雄, 等, 2012. 塔中古城墟隆起下古生界碳酸盐岩沉积与储层特征. *地质科学*, 47(3):640—652.
- 斯尚华, 陈红汉, 丰勇, 等, 2013. 塔里木盆地沙雅隆起下白垩统双源三幕油气充注成藏的流体包裹体证据. *石油学报*, 34(1):12—21.
- 唐照星, 曹自成, 汪新文, 等, 2013. 塔里木盆地古城墟隆起鹰山组内幕储层特征及影响因素. *岩性油气藏*, 25(4):44—49.
- 魏国齐, 贾承造, 宋惠珍, 等, 2000. 塔里木盆地塔中地区奥陶系构造—沉积模式与碳酸盐岩裂缝储层预测. *沉积学报*, 18(3):408—413.
- 吴悠, 陈红汉, 肖秋苟, 等, 2011. 青藏措勤盆地下白垩统活动热流体与油气成藏. *石油学报*, 32(4):621—628.
- 熊万林, 陈红汉, 云露, 等, 2013. 塔中隆起北坡顺托果勒区块志留系储层油气充注历史——以顺9井流体包裹体分析为例. *石油学报*, 34(2):239—246.
- 许志琴, 李思田, 张建新, 等, 2011. 塔里木地块与古亚亚洲/特提斯构造体系的对接. *岩石学报*, 27(1):1—22.
- 杨树锋, 陈汉林, 厉子龙, 等, 2014. 塔里木早二叠世大火成岩省. *中国科学:地球科学*, 44(2):187—199.
- 余星, 陈汉林, 杨树锋, 等, 2009. 塔里木盆地二叠纪玄武岩的地球化学特征及其与峨眉山大火成岩省的对比. *岩石学报*, 25(6):1492—1498.
- 朱东亚, 金之钧, 胡文瑄, 2010. 塔北地区下奥陶统白云岩热液重结晶作用及其油气储集意义. *中国科学:地球科学*, 40(2):156—170.
- 朱东亚, 金之钧, 胡文瑄, 等, 2008. 塔里木盆地深部流体对碳酸盐岩储层影响. *地质评论*, 54(3):348—354.
- 邹元荣, 郭书元, 钱一雄, 等, 2005. 塔里木盆地古城墟隆起西部倾没端奥陶系成藏条件分析. *中国西部油气地质*, 1(2):144—148.