

文章编号:0253-9985(2010)03-0327-08

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

朱东亚¹, 孟庆强¹, 解启来², 金之钧¹

(1. 中国石油化工股份有限公司 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)

摘要:通过对云南腾冲热液流体形成机制的研究,探讨了塔里木盆地热液活动的特征。研究表明,腾冲温泉气体中 CO_2 的 $\delta^{13}\text{C}$ (PDB) 位于 $-6.4\text{‰} \sim -4.7\text{‰}$ 之间, $^3\text{He}/^4\text{He}$ 比值位于 $1.09 \sim 3.51$ 之间;温泉热液氢、氧同位素组成在大气降水线附近,但向氧同位素偏重的方向偏移。研究认为,腾冲温泉气体主要来自深部地幔,而温泉热液主要是大气降水下渗并受深部热源加热后再向上循环的产物。根据塔里木盆地构造演化特点,认为在二叠纪末期塔北沙雅-轮台断裂和亚南断裂带附近有类似于腾冲的地质条件,大气降水下渗相关的热液流体活跃,对下古生界碳酸盐岩形成强烈的溶蚀改造作用;但塔中、巴楚以及塔北隆起南部斜坡区则没有类似的地质条件,热液溶蚀改造作用都相对较弱。

关键词:热液;碳酸盐岩;溶蚀改造;云南腾冲;塔里木盆地

中图分类号:TE121.3

文献标识码:A

Development pattern of hydrothermal fluids in Tengchong, Yunnan Province and its implications for hydrothermal dissolution in the Tarim Basin

Zhu Dongya¹, Meng Qingqiang¹, Xie Qilai² and Jin Zhijun¹

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

2. College of Natural Resources and Environment, South China Agricultural University, Guangzhou, Guangdong 510640, China)

Abstract: Based on the study of the development pattern of hydrothermal fluids in Tengchong, Yunnan Province, we discuss characteristics of hydrothermal activities in Tarim Basin. According to the study, the $\delta^{13}\text{C}$ (PDB) values of the CO_2 in the hot spring gases in Tengchong are between -6.4‰ and -4.7‰ , and the $^3\text{He}/^4\text{He}$ ratios are between 1.09 and 3.51. The compositions of oxygen and hydrogen isotopes in hydrothermal fluids from hot spring are similar with those in meteoric water, but the oxygen isotopes show a tendency of getting heavier in their mass. Based on the study, we believe gases from hot spring in Tengchong mainly come from deep mantle, while hydrothermal fluids originate from rainfall, which infiltrates downwards and is heated by deep heat sources and then goes upwards. According to the features of structural evolution of Tarim Basin, we believe the Shaya-Luntai and the Yanan faulted zones in northern Tarim Basin in Late Permian had similar geological conditions with those in Tengchong today. Under these conditions, hydrothermal fluids originating from the downward infiltration of meteoric water were active and strongly dissolved carbonates in the Lower Paleozoic. On the contrary, there were no similar geological conditions in the Tazhong area, the Bachu area and the southern slope zone in the Tabei uplift, and thus hydrothermal dissolution was relatively weaker.

Keywords: hydrothermal fluid, carbonate rock, dissolution, Tengchong area in Yunnan Province, Tarim Basin

世界上许多含油气盆地在地质历史上都有一定程度的火山活动,也会伴随着热液流体活动。

热液活动对碳酸盐岩储层的溶蚀改造作用已得到国内外学者的广泛关注,主要包括使碳酸盐岩发

收稿日期:2010-01-29。

第一作者简介:朱东亚(1975—),男,博士、工程师,流体与油气成藏。

基金项目:国家重大专项(2008ZX05005-001-006);国家自然科学基金项目(40872088);中石化海相前瞻性项目(YPH08072)。

生溶蚀^[1~8],使灰岩发生热液白云岩化^[1,2,9~12],使白云岩发生重结晶作用等^[3,10,13,14]。

热液活动对塔里木盆地地下古生界寒武-奥陶系碳酸盐岩储层溶蚀改造作用已有不少学者做了深入的探讨^[4~7,13~19]。金之钧等(2006)^[4],朱东亚等(2008,2009)^[7,14]对塔里木盆地热液流体作用证据、热液溶蚀改造特征和规律等都做了较为详细的论证。但目前对塔里木盆地热液流体活动机制以及不同区域之间活动强弱的比较尚缺乏深入的研究。

云南腾冲是近现代岩浆火山活动区,地表温泉非常发育,是热液流体活动的典型地区。本文通过对腾冲地区温泉热液和温泉气体的详细研究,揭示了该区热液流体活动的基本特征。腾冲地区热液活动规律对塔里木盆地热液流体活动具有很好的启示作用,据此进一步探讨了塔里木盆地热液流体对下古生界碳酸盐岩储层溶蚀改造的有利区域。

1 腾冲地区温泉热液发育模式

腾冲火山区所在的腾冲微板块位于印度板块与欧亚板块之间,其西部以密支那-曼德勒缝合线与缅甸板块分界,东部以怒江缝合线与保山块体分界^[20,21]。新生代以来,受印度板块持续向北东挤压以及缅甸板块向东俯冲于腾冲地块之下影响,该区发生强烈的火山活动。火山后期热液活动显著,区内发育数量众多的温泉。

为研究温泉热液发育机制,对腾冲地区温泉

气体和温泉热液进行了系统的取样和分析测试。

1.1 腾冲地区温泉气体特征

通过对腾冲地区温泉气体组成成分以及 CO₂ 碳同位素和稀有气体同位素组成测试结果表明(表 1),温泉气体的主要成分为 CO₂,含量为 85.13%~98.56%,平均为 93.91%。前人研究表明,不管是现代火山喷出气体,还是火山岩加热脱气,或者洋中脊新洋壳形成处的水热流体中,气体成分都主要是 CO₂^[22,23]。除 CO₂ 之外,还含有一定量的 N₂ 和 O₂。N₂ 的含量为 1.15%~12.31%,平均为 4.59%;O₂ 的含量为 0.18%~2.10%,平均为 0.88%。温泉气体中还含有少量的 CH₄,H₂,H₂S 等,以及少量 He 等稀有气体。

腾冲地区温泉气体 CO₂ 碳同位素值 δ¹³C (PDB)为 -6.4‰~-4.7‰,平均值为 -5.4‰,是典型的深部无机成因 CO₂。He 同位素³He/⁴He 值为 1.09~3.51,平均值为 2.40。幔源、壳源和空气中的 He 各自具有特征的³He/⁴He 比值,分别为 (1.1~1.4)×10⁻⁵,2×10⁻⁸和 1.4×10⁻⁶^[24],³He/⁴He 比值大于空气值(R_a)的温泉气体都可以认为具有幔源的特征。所以,腾冲地区温泉气体具有深部幔源成因。

从³He/⁴He 值与 CO₂ 的 δ¹³C 值的关系可以得出(图 1),腾冲地区温泉气体的³He/⁴He 值低于地幔热点、玄武岩等幔源物质值,数据点位于典型的地幔物质和地壳以及空气之间。所以,尽管温泉气体具有幔源来源的特征,但也受到了浅部地壳或空气中 He 的混入。

表 1 云南腾冲地区温泉气体成分组成和同位素组成
Table 1 Composition and isotopes of gases from hot springs in Tengchong, Yunnan Province

取样位置	成分组成, %						He 含量, 10 ⁻⁶	δ ¹³ C _{CO2} (PDB), ‰	R/R _a
	CO ₂	N ₂	O ₂	CH ₄	H ₂	H ₂ S			
大滚锅	93.87	4.34	0.87	0.820	0.03	0	52.10	-5.4	3.57
硫磺塘	94.73	3.59	0.59	0.770	0.26	0	46.99	-4.7	3.51
南岸井	98.56	1.15	0.23	0.036	0	0	1.67	-4.9	1.58
攀枝花 2 号泉	92.67	5.36	1.18	0.360	0	0.33	2.74	-6.4	1.59
攀枝花 1 号泉	92.31	5.97	1.21	0.073	0.16	0.18	1.96	-4.7	1.09
西坡上	96.09	3.19	0.56	0.077	0	0	2.60	-5.4	2.24
新怀胎井	85.13	12.31	2.10	0.010	0.23	0.02	2.42	-6.4	1.23
大地脚南	97.44	1.65	0.18	0.690	0	0	38.05	-5.0	3.34
大地脚	94.36	3.78	1.03	0.760	0	0	41.57	-5.3	3.47
平均值	93.91	4.59	0.88	0.400	0.08	0.06	21.12	-5.4	2.40

注:R 为样品的³He/⁴He 值;R_a 为一个标准大气压下的³He/⁴He 值。

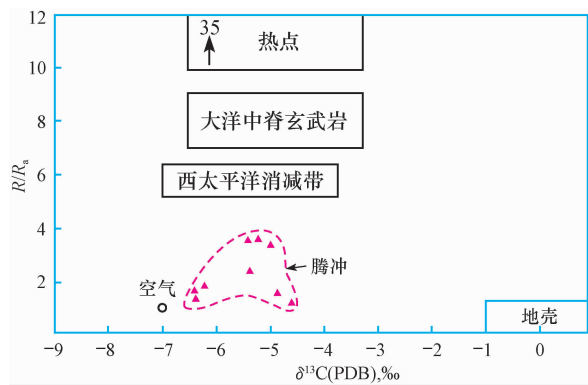


图1 云南腾冲地区温泉气体³He/⁴He 值与 CO₂ 的 δ¹³C 值的关系^[25]

Fig. 1 Relationship between ³He/⁴He and δ¹³C of CO₂ in gases from hot springs in Tengchong, Yunnan Province (R 为样品的 ³He/⁴He 值; R_a 为一个标准大气压下的 ³He/⁴He 值)

1.2 腾冲地区温泉热液特征

1.2.1 温泉热液氢、氧同位素组成特征

通过对云南腾冲地区温泉热液水的氢氧同位素测试结果,可以看出所测试的温泉热液氢氧同位素组成在大气降水线附近(图2),但向氧同位素偏重的方向偏离大气降水线。一般来说,活动温泉热液的补给水为大气降水的下渗。世界上其他地区著名温泉热液的氢同位素 δD 值一般与大气降水较为一致,但氧同位素 δ¹⁸O 值则相对较高,会出现所谓的“正漂移”现象,是大气降水在深部较高温下与岩浆热源等围岩发生同位素交换的结果^[26,27]。

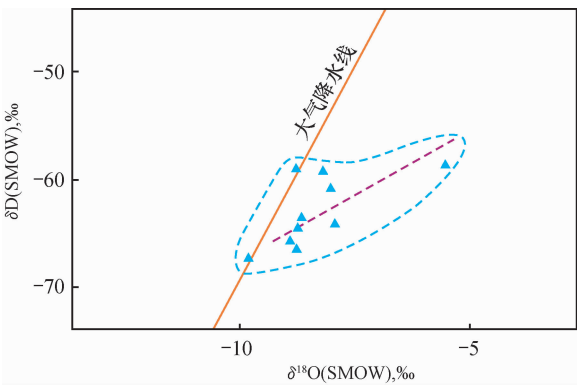


图2 云南腾冲地区温泉热液氢、氧同位素组成

Fig. 2 Isotopic composition of oxygen and hydrogen in thermal fluids from hot springs in Tengchong, Yunnan Province

氧同位素值相对较高的一个样品为珍珠泉的温泉热液样品,δ¹⁸O 值为 5.38‰,该位置地表水温高达 100℃,但水的数量非常少,以喷气为主。氧同位素值相对较高的原因是该处的水岩比较低,温泉热液在与围岩同位素交换过程中获得了较高的氧同位素值。西坡下等位置温泉水量较大,水岩比相对较高,与围岩同位素交换后的氧同位素值相对较低。

1.2.2 温泉热液离子组成特征

对腾冲地区温泉热液中部分阴阳离子组成也进行了分析测试(表2),结果表明温泉热液中主要的阳离子类型为 Na⁺,Ca²⁺,K⁺ 和 Mg²⁺,主要的阴离子为 Cl⁻ 和 NO₃⁻ 离子,还含有一定量的

表2 云南腾冲地区温泉热液离子组成

Table 2 Composition of ions in thermal fluids from hot springs in Tengchong, Yunnan Province

mg/L										
取样位置	Ca	K	Mg	Na	H ₂ SiO ₃	Al	As	B	Ba	Be
黄瓜菁	5.4	22.4	0.7	647.0	200.0	0.170	0.240	5.64	0.031 0	0.000 6
三坡顶	3.6	18.8	0.7	416.0	194.0	0.078	0.095	5.76	0.006 6	0.000 5
攀枝花2号泉	7.6	0.7	2.0	11.3	65.1	0.630	<0.005	6.18	0.011 0	<0.000 1
西坡中	2.5	17.6	0.8	415.0	203.0	0.055	0.068	5.79	0.010 0	0.001 4
硫磺塘	3.2	19.1	0.5	434.0	205.0	0.170	0.083	1.78	0.011 0	0.000 5
澡堂河南	25.5	18.9	0.9	414.0	195.0	0.024	0.110	9.07	0.010 0	0.001 2
西坡下	16.5	17.2	3.3	95.5	117.0	0.990	0.040	1.78	0.027 0	0.003 1
取样位置	Cd	Co	Cu	Fe	Li	Cl ⁻	NO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	总量	Na/Cl
黄瓜菁	0.001 5	0.001 1	0.027 0	0.130 0	1.850 0	441	340	239	1 903.6	2.23
三坡顶	0.000 5	0.000 3	0.006 8	0.020 6	1.440 0	449	341	192	1 622.5	1.40
攀枝花2号泉	0.000 8	<0.000 1	0.032 0	0.400 0	0.009 2	120	314	197	725.0	0.14
西坡中	0.000 4	0.000 4	0.006 9	0.026 0	1.430 0	463	345	189	1 643.3	1.36
硫磺塘	0.000 4	0.000 3	0.000 9	0.055 0	1.460 0	584	354	184	1 787.4	1.13
澡堂河南	0.000 3	<0.000 1	0.016 0	0.120 0	1.670 0	475	348	174	1 662.3	1.32
西坡下	<0.000 2	<0.000 1	0.130 0	0.470 0	0.990 0	179	319	312	1 063.9	0.81

注:Na/Cl 为摩尔比值。

SO₄²⁻ 离子。所溶解物质的总含量为 725.0 ~ 1 903.6 mg/L,平均值为 1 486.9 mg/L,远低于海水中溶解物质的总含量(35 000 mg/L)。Na/Cl 的摩尔比值位于 0.14 ~ 2.23 之间,平均值为 1.20。通常海水的 Na/Cl 比值为 0.85^[28] (曾溅辉等, 2008)。无论从总离子含量上还是从 Na/Cl 比值上都可以看出,腾冲地区的温泉热液流体与之有着明显的差别。

氢、氧同位素组成已经表明了腾冲地区温泉热液是大气降水下渗受深部热源加热并与所经围岩发生水岩作用的结果。温泉热液中所溶解的阴阳离子类型和数量也应是大气降水与所经围岩发生水岩作用的结果,由所经围岩类型、水岩作用温度、水岩比等条件决定。如果岩石越易于溶蚀、水岩作用温度越高、水岩比越低、作用时间越长,温泉热液中各种离子含量就会越多。

1.3 腾冲地区温泉热液发育模式

从以上的分析中可以得出,腾冲地区温泉气体 CO₂ 碳同位素表明了温泉气体为典型的无机成因气体,He 同位素组成进一步表明了气体来自于深部地幔,但是受到了一定程度浅层地壳物质或空气中 He 的混入。混入的地壳或空气中 He 所占比例由幔源释气量的多少和所经围岩情况决定。

尽管温泉气体具有幔源的特征,但温泉热液却表现出了大气降水来源的特征,是大气降水向下循环受深部热源(岩浆或与岩浆活动有关的高热流)加热再向上循环出露地表的结果。在加热

及循环过程中与岩浆等围岩发生强烈的水岩反应,其氢氧同位素组成以及离子组成主要受到这样一个加热循环过程的影响。

受印度板块持续向北东挤压以及缅甸板块往东向腾冲地块之下俯冲的影响,腾冲地区在新近纪发生广泛的火山活动。相关热液活动发育模式表明了热液流体由两部分组成,一部分是幔源岩浆分异出来的地幔流体(包括气体和少量的水),另一部分是大气降水向下渗透—加热—向上循环作用机制形成的热液流体(图 3)。两部分共同组成地表出露的温泉热液流体,其中气体主要来自幔源岩浆的释放,液体主要是循环的大气降水。

2 对塔里木盆地热液溶蚀改造的启示

对腾冲地区热液发育机制的研究揭示了火山活动有关的热液流体发育的一般规律,对探讨塔里木盆地地质历史上热液流体的活动特征具有很好的借鉴作用。结合塔里木盆地的构造演化和地质条件,可以类似的对塔里木盆地地质历史上热液流体的活动特征进行研究,以揭示热液对碳酸盐岩储层溶蚀改造的有利区域。

2.1 塔里木盆地热液活动特征

塔里木盆地分别在震旦—寒武纪、早奥陶世、二叠纪末期和白垩纪经历了四次火山作用^[29],其中二叠纪火山作用最为强烈,在塔里木盆地分布

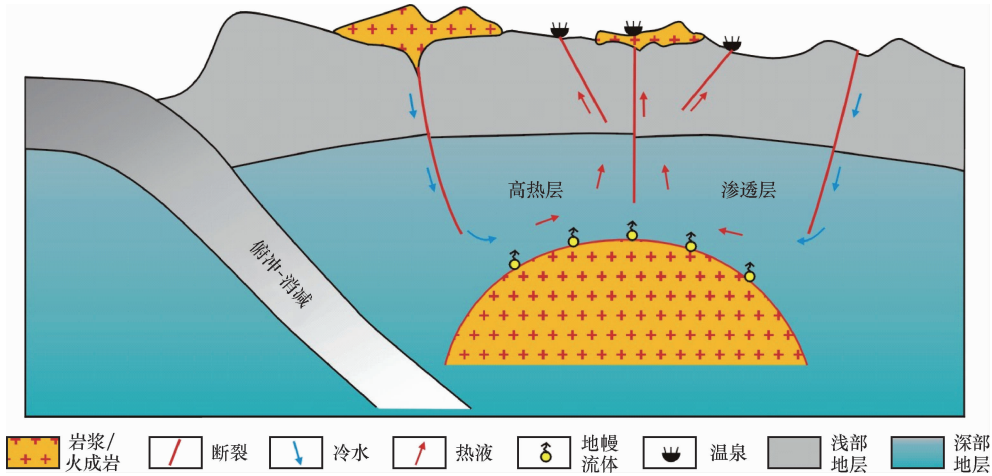


图 3 云南腾冲地区温泉热液发育模式

Fig. 3 Development pattern of thermal fluids from hot springs in Tengchong, Yunnan Province

最为广泛,影响也最大。震旦-寒武纪以及早奥陶世的火山岩钻井钻遇较少,只在野外露头能见到;白垩纪的岩浆活动仅在塔里木盆地周围出现。

火山活动期间及期后一段时期会伴随着强烈的深部热液流体活动,塔里木盆地最主要的一期热液活动与二叠纪末期的火山活动有关。塔里木盆地经过长期的、多期次的、强烈的构造演化,盆地内下切至深部地壳的断裂异常发育,断裂可达50~60 km^[30]。这些向下沟通地壳深部或上地幔,向上沟通不同时代沉积地层的深大断裂是深部热液流体活动的主要通道。

热液活动对塔里木盆地地下古生界碳酸盐岩储层产生了显著的溶蚀改造作用,在碳酸盐岩中产生大量小的溶蚀孔隙、促使白云岩发生重结晶作用等,对碳酸盐岩储层储集物性改善有着积极的意义。关于热液对碳酸盐岩储层溶蚀改造特征、机制等,已有不少文章做了详细的解剖^[4,6,7,14~16],本文不再赘述。

2.2 塔里木盆地热液溶蚀改造制约因素

2.2.1 塔中、塔北隆起区构造演化的差异

塔里木盆地塔中、塔北等隆起区在古生界均受到了多期次的构造运动影响^{①[31]}。晚奥陶世末,受南昆仑洋与塔里木碰撞的影响,塔里木盆地发生加里东中期晚幕运动。加里东中期晚幕运动对塔中隆起区影响最为强烈,是塔中隆起区的主构造变形期,断裂带上抬升幅度可达数千米;而塔北地区构造形变微弱,抬升幅度小,继续保持宽缓缓坡形态,冲断-褶皱构造不发育或十分微弱。

受南天山洋闭合的影响,塔里木盆地在晚泥盆世末及早石炭世初发生了海西早期构造运动。该期运动对塔北隆起区影响最为强烈,是塔北隆起区的主构造变形期,轮台断裂带的累计上冲幅度达4 km。塔中隆起区距此次构造碰撞地较远,构造活动强烈程度较弱。

受塔里木板块与西昆仑板块和中天山板块碰撞的影响,塔里木盆地在二叠纪末发生了海西晚期构造运动。该期构造运动使塔北地区又一次强烈抬升隆起,塔北地区明显高出塔中隆起区3 000余米。塔北隆起区的轮台断裂活动非常强烈,构造抬升使得断裂南北两侧寒武-下奥陶系碳酸盐

岩遭受暴露剥蚀,断裂上盘(北侧)雅克拉地区局部剥蚀出露震旦系及基岩地层,雅克拉断凸主要就在这一时期形成并定型。塔北隆起南部的阿克库勒凸起在这一时期的抬升幅度较小,表现为石炭系-二叠系部分或全部被剥蚀,三叠系底面与它们之间为高角度不整合。塔中隆起区此期构造形变相对较弱,仅局部地段有继承性构造活动,形成石炭系-二叠系宽缓褶曲构造,整体抬升幅度不大。

2.2.2 热液活动地质条件的差异

从腾冲地区温泉热液发育模式可以看出,热液流体活动需要有岩浆作用,岩浆能直接释放出一定数量的水和气体,但直接释放出来水的量是有限的。大量热液流体的形成需要大气降水持续性的下渗补给,受深部热源加热后再向上循环形成热液流体。Qing 和 Mountjoy (1992)^[32]研究也发现了西加拿大盆地类似的区域性的持续补给作用是该区显著热液活动及热液白云岩化的重要因素。同样,对塔里木盆地来说,是否有大气降水的补给也是热液活动及热液溶蚀改造能否显著发育的重要因素。

塔里木盆地强烈而广泛的火山岩浆活动发生在二叠纪末期。盆地不同地区在二叠纪末期的构造、地层等发育特点制约着该区热液活动的强弱。对塔中隆起区来说,虽然二叠纪末期岩浆火山作用非常强烈,但此时下古生界碳酸盐岩地层被巨厚的泥盆、志留、石炭和二叠系所覆盖,不能在碳酸盐岩中形成有效的“大气降水下渗-深部加热-热液向上循环”的热液形成机制。该区的热液流体主要是直接来自岩浆的水和气体,流体的量非常有限。所以,热液流体对下古生界碳酸盐岩的溶蚀改造程度较弱,仅在断裂裂缝附近发生。

在塔北隆起区轮台断裂南北两侧,二叠纪末期隆起抬升运动强烈,寒武-下奥陶统碳酸盐岩遭受抬升剥蚀。在抬升剥蚀区,大气降水能有效地在碳酸盐岩中沿断裂向下渗透,在深部受深部热源加热,继而再向上循环,成为热液流体(图4)。所以轮台断裂两侧热液流体活动较为强烈,对下古生界碳酸盐岩溶蚀改造作用也较为发育。

与塔中隆起区类似,塔北隆起阿克库勒凸起南部斜坡区在二叠纪末也被较厚的志留、泥盆、石

① 闫华,漆立新,云露,等. 沙雅隆起海相碳酸盐岩勘探潜力及战略目标优选. 中石化油田部勘探先导攻关项目成果报告,2006

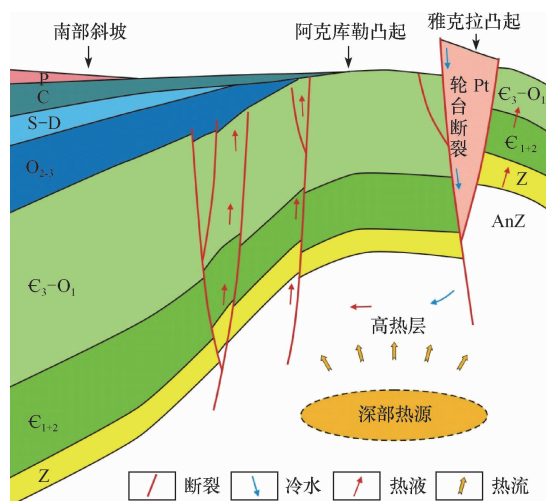


图4 塔里木盆地塔北地区热液活动示意图

Fig. 4 Sketch map showing the activities of thermal fluids in Tabei area, the Tarim Basin

P. 二叠系; C. 石炭系; S-D. 志留-泥盆系; O_{2-3} . 中-上奥陶统; E_3-O_1 . 上寒武-下奥陶统; E_{1-2} . 中-下寒武统; Z. 震旦系; AnZ. 前震旦系; Pt. 元古宇

炭系覆盖,也不能形成有效的热液补给循环。热液流体也主要是直接来自于岩浆的流体,流体的量非常有限。热液流体对下古生界碳酸盐岩的溶蚀改造作用也仅限于在断裂裂缝附近发生。

现今地层水的分析结果虽然并不能表明二叠系岩浆活动时期的地层水的特征,但能在一定程度上能反映奥陶系等地层对地表大气降水来说是封闭的还是连通的。从前人针对地层水的分析结果来看,阿克库勒凸起区北部奥陶系、石炭系地层中地层水主要是地表淡水的补给混合并溶滤地层中的NaCl等物质形成^[33];但塔中北坡I号断裂奥陶系地层水则表明了该区具有较好的保存条件^[34],受地表淡水影响较小。前者表明了奥陶系等地层与地表淡水具有连通性,而后者则表明了地表淡水的封闭性。地层水分析结果与前述分析相一致。

2.3 塔里木盆地热液溶蚀改造实例分析

从上述分析可知,塔里木盆地台盆区的广大地区,如塔中、巴楚、塔北隆起南部等地区热液活动及对碳酸盐岩储层溶蚀改造作用较弱;而塔北隆起区北部,如雅克拉凸起、沙西凸起等,热液流体较为活跃,对碳酸盐岩溶蚀改造作用也较为强烈。

雅克拉凸起区典型的钻井是沙15井,位于轮台断裂带上(图5)。强烈热液改造作用在下奥陶

统白云岩中形成了大量的溶蚀孔隙,使白云岩发生了重结晶作用,并且在溶蚀孔洞中形成了白云石、石英等矿物的充填作用。在热液作用下白云岩的溶蚀作用和重结晶作用以及白云石、石英等矿物的充填作用在沙15井49.39 m长的下奥陶统白云岩岩心上几乎都可以见到。前期针对该井的研究提供了详细的热液溶蚀改造的证据^[35]。

除沙15井外,在塔北的雅克拉至沙西凸起一带的沙雅-轮台断裂和亚南断裂带附近,许多钻井都揭示了热液流体溶蚀改造作用的存在,如位于沙雅-轮台断裂带上的沙5井、沙13井、沙88井、东河12井、东河22井、东河24井、东河25井等,位于亚南断裂带上的星火1井、星火2井、牙哈3井、牙哈303井、牙哈5井、大古1井等,以及沙西地区的英买6井、英买7井、英买32井、英买321井、英买33井、红旗2井等,这些井的下古生界岩心中都发现了类似与沙15井的热液活动现象。吕修祥等(2005)也研究表明沙西地区英买7井热液改造作用的白云岩储层是该区主要油气储层^[5]。

相比较而言,塔中地区钻井揭示热液溶蚀改造作用则较为局部或较弱。塔中地区热液溶蚀改造作用较强的井为塔中45井,在奥陶系碳酸盐岩中有大量的萤石交代现象,研究认为是热液作用的产物^[5,36]。但该井萤石的产生受断裂裂缝控制,只是在局部产生,同一构造上的邻近钻井塔中451、塔中452等井则没有钻遇萤石等热液改造现象。

在塔中地区的中1井下奥陶统白云岩中也见到溶蚀、重结晶等现象,但溶蚀改造作用相对较弱,只形成了少量小的溶蚀孔隙,白云石、石英等充填作用也较弱。热液溶蚀改造作用也只在小的断裂和裂缝处局部发育,邻近的钻井,如中17、中16井等则很少见到热液溶蚀改造的现象。

3 结论

云南腾冲地区热液流体中的气体组分主要是深部幔源岩浆分异的产物,液体组分主要是大气降水沿断裂向下渗透被深部热源加热后再向上循环的产物。在塔里木盆地塔北沙雅-轮台断裂和亚南断裂带附近,大气降水能在寒武系-下奥陶统碳酸盐岩中形成有效的下渗-加热-热液循环的作用过程,热液活动及对碳酸盐岩储层的溶蚀改造相对较为强烈;而塔中、巴楚和塔北隆起南部斜

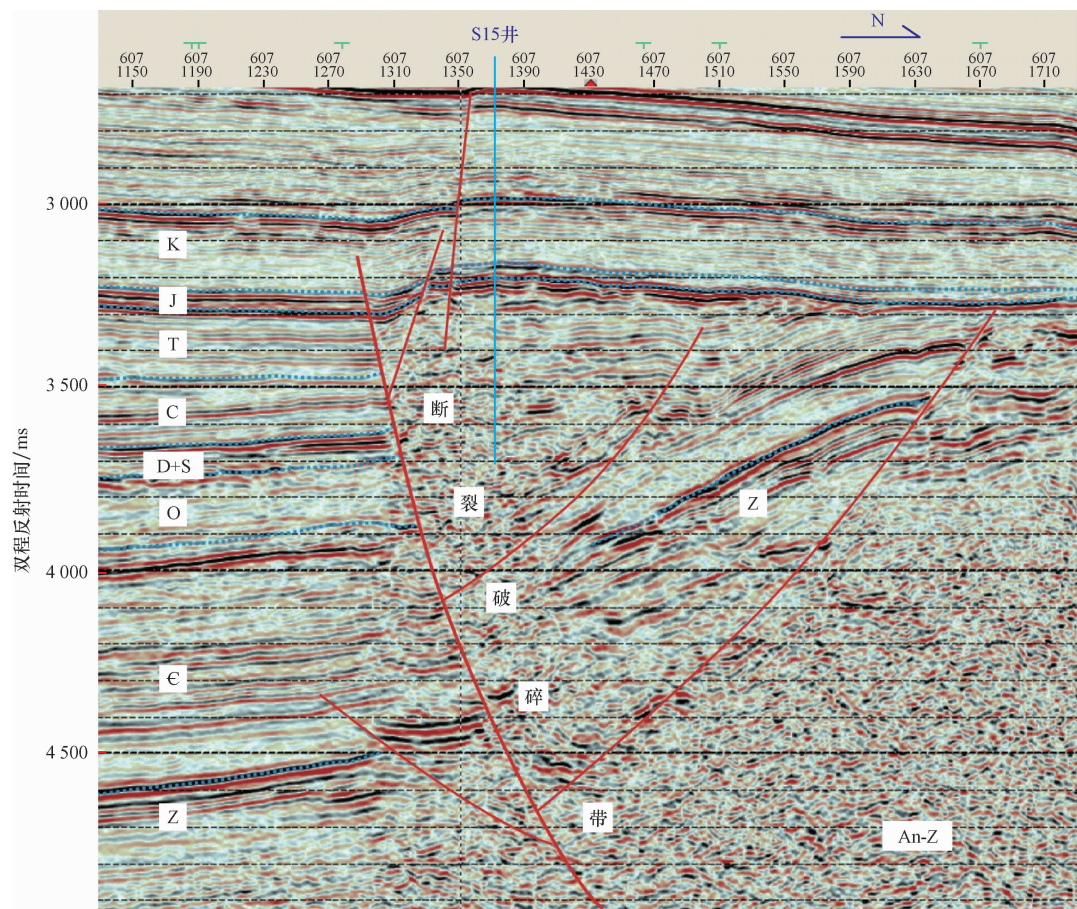


图5 塔里木盆地塔北地区沙15井断裂发育示意图

Fig.5 Seismic section showing faults in Sha-15 well in Tabei area,the Tarim Basin

坡区则不具备这样的地质条件,热液活动及溶蚀改造作用相对较弱。

参 考 文 献

1 Hurley N F,Budros R. Albion-scipio and stony point fields-USA Michigan Basin [A]. In: Beaumont E A, Foster N H, eds. Stratigraphic traps 1, AAPG treatise of petroleum geology, atlas of oil and gas fields [C]. Tulsa: American Association of Petroleum Geologists,1990. 1 ~ 38

2 Lavoie D,Chi G,Brennan-Alpert P,et al. Hydrothermal dolomitization in the lower Ordovician Romaine formation of the Anticosti basin: significance for hydrocarbon exploration [J]. Bulletin of Canada Petroleum Geology,2005,53(4):454 ~ 472

3 Wierzbicki R,Dravis J J,Al-Aasm I,et al. Burial dolomitization and dissolution of Upper Jurassic Abenaki platform carbonates, Deep Panuke reservoir, Nova Scotia, Canada [J]. AAPG Bulletin, 2006,90(11):1 843 ~ 1 861

4 金之钧,朱东亚,胡文瑄,等. 塔里木盆地热液活动地质地球化学特征及其对储层影响 [J]. 地质学报,2006,80(2):245 ~ 253

5 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 ~ 289, 296

6 吕修祥,杨宁,周新源,等. 塔里木盆地断裂作用对奥陶系碳酸盐岩储层的影响 [J]. 中国科学 (D 辑),2008,38(增刊1): 48 ~ 54

7 朱东亚,金之钧,胡文瑄,等. 塔里木盆地深部流体对碳酸盐岩储层的影响 [J]. 地质论评,2008,54(3):348 ~ 354

8 郑和荣,胡宗全,周小进,等. 中国前中生代海相储层发育的构造-沉积条件 [J]. 石油与天然气地质,2008,29(5):574 ~ 581

9 Wilkinson J J,Earls G. A high temperature hydrothermal origin for black dolomite matrix breccias in the Irish Zn-Pb orefield [J]. Mineralogy Magazine,2000,64(6):1 017 ~ 1 036

10 Lavoie D,Morin C. Hydrothermal dolomitization in the lower Silurian Sayabec Formation in northern Gaspé-Matapédia (Québec): constraint on timing of porosity and regional significance for hydrocarbon reservoirs [J]. Bulletin of Canada Petroleum Geology, 2004,52(3):256 ~ 269

11 Luczaj J A,William B,Harrison III,et al. Fractured hydrothermal dolomite reservoirs in the Devonian Dundee Formation of the central Michigan Basin [J]. AAPG Bulletin,2006,90(11):1 787 ~ 1 801

12 Smith L B. Origin and reservoir characteristics of Upper Ordovician Trenton-Black River hydrothermal dolomite reservoirs in New York [J]. AAPG Bulletin, 2006, 90(11): 1 691 – 1 718

13 Malone M J, Baker P A, Burns S T. Hydrothermal dolomitization and recrystallization of dolomite breccias from the Miocene Monterey formation, Tepusquet area, California [J]. Journal of Sedimentary Research, 1996, 66(5): 976 – 990

14 朱东亚, 金之钧, 胡文瑄. 塔中地区热液改造型白云岩储层 [J]. 石油学报, 2009, 30(5): 698 ~ 704

15 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 [J]. 地质论评, 2004, 50(5): 543 ~ 547

16 朱毅秀, 金之钧, 林畅松, 等. 塔里木盆地塔中地区早二叠世岩浆岩及油气成藏关系 [J]. 石油实验地质, 2005, 27(1): 50 ~ 54, 61

17 钱一雄, 陈跃, 陈强路. 塔中西北部奥陶系碳酸盐岩埋藏溶蚀作用 [J]. 石油学报, 2006, 27(3): 47 ~ 52

18 陈代钊. 构造-热液白云岩化作用与白云岩储层 [J]. 石油与天然气地质, 2008, 29(5): 614 ~ 622

19 李开开, 蔡春芳, 蔡缪璐, 等. 塔中地区上奥陶统热液流体与热化学硫酸盐还原作用 [J]. 石油与天然气地质, 2008, 29(2): 217 ~ 222

20 阚荣举, 赵晋明, 阚丹. 腾冲火山地热区的构造演化与火山喷发 [J]. 地震地磁观测与研究, 1996, 17(4): 28 ~ 33

21 韩新民, 周瑞琦, 周真恒. 腾冲火山地质研究述评 [J]. 地震地磁观测与研究, 1996, 17(6): 20 ~ 29

22 Allard P, Jean-Baptiste P, D' Alessandro W, et al. Mantle-derived helium and carbon in groundwaters and gases of Mount Etna, Italy [J]. Earth and Planetary Science Letters, 1997, 148(3 - 4): 501 ~ 516

23 Allard P. A CO₂-rich gas trigger of explosive paroxysms at Stromboli basaltic volcano, Italy [J]. Journal of Volcanology Geothermal Research, 2009, 189(3 - 4): 363 ~ 374

24 王先彬. 稀有气体同位素地球化学和宇宙化学 [M]. 北京: 科学出版社, 1989. 153 ~ 220

25 上官志冠, 白春华, 孙明良. 腾冲热海地区现代幔源岩浆气体释放特征 [J]. 中国科学 (D 辑), 2000, 30(4): 407 ~ 414

26 D' Amore F, Panichi C. Geochemistry in geothermal exploration [A]. In: Applied Geothermics [C]. Malden: John Wiley & Sons Ltd, 1987. 69 ~ 90

27 上官志冠. 腾冲热海地热田热储结构与岩浆热源的温度 [J]. 岩石学报, 2000, 16(1): 83 ~ 90

28 曾灏辉, 吴琼, 杨海军, 等. 塔里木盆地塔中地区地层水化学特征及其石油地质意义 [J]. 石油与天然气地质, 2008, 29(2): 223 ~ 229

29 Chen H L, Yang S F, Dong C W, et al. Geological thermal events in Tarim Basin [J]. Chinese Science Bulletin, 1997, 42(7): 580 ~ 584

30 贾承造. 中国塔里木盆地构造特征与油气 [M]. 北京: 石油工业出版社, 1997. 37

31 郭光辉, 李启明, 肖中尧, 等. 塔里木盆地古隆起演化特征及油气勘探 [J]. 大地构造与成矿学, 2009, 33(1): 124 ~ 130

32 Qing H, Mountjoy E W. Large-scale fluid flow in the Middle Devonian Presqu' ile barrier, Western Canada sedimentary basin [J]. Geology, 1992, 20(10): 903 ~ 906

33 薛会, 张金川, 王毅, 等. 塔里木盆地塔中低凸起地层水与油气关系 [J]. 石油实验地质, 2007, 29(6): 593 ~ 597

34 蔡立国, 钱一雄, 刘光祥. 阿克库勒及其邻区地层水同位素特征和油气地质意义 [J]. 天然气地球科学, 2005, 16(4): 503 ~ 506

35 Zhu D Y, Jin Z J, Hu W X. Hydrothermal recrystallization of the Lower Ordovician dolomite and its significance to reservoir in northern Tarim Basin. Science in China Serial D: Earth Science, 2010, 53(3): 368 ~ 381

36 Jin Z J, Zhu D Y, Hu W X, et al. Hydrothermally fluoritized Ordovician carbonates as reservoir rocks in the Tazhong area, central Tarim Basin, NW China [J]. Journal of Petroleum, 2006, 29(1): 27 ~ 40

(编辑 张亚雄)

(上接第 326 页)

7 王铁冠, 钟宁宁, 候读杰, 等. 中国低熟油的几种成因机制 [J]. 沉积学报, 1997, 15(2): 75 ~ 83

8 王培荣. 生物标志物质量色谱图集 [M]. 北京: 石油工业出版社, 1993. 102 ~ 138

9 Noble R A. A geochemical study of bicyclic alkanes and diterpenoid hydrocarbons in crude oils, sediments and coals [D]. Grawley: Department of Organic Chemistry, University of Western Australia, 1989

10 张敏, 王东永, 朱翠山, 等. 冀中坳陷苏桥-文安地区混源油定量识别模式研究 (一): 原油成因分类及其地球化学特征 [J]. 天然气地球科学, 2004, 15(2): 115 ~ 119

11 武娜, 郭秋麟, 梁坤, 等. 用新思路评价冀中坳陷深县凹陷油气勘探风险 [J]. 石油与天然气地质, 2008, 29(3): 326 ~ 341

12 包建平, 刘玉瑞, 朱翠山, 等. 北部湾盆地原油地球化学特征与成因类型 [J]. 石油与天然气地质, 2007, 28(2): 293 ~ 298

13 魏东涛, 贾东, 赵应成, 等. 准噶尔盆地南缘原油地球化学特征 [J]. 石油与天然气地质, 2007, 28(3): 433 ~ 440

14 Peters K E, Mike J. Mixed marine and lacustrine input to an oil-cemented sandstone breccia from Brora, Scotland [J]. Organic Geochemistry, 1999, 30(4): 237 ~ 247

(编辑 张亚雄)