

文章编号: 1000-0550(2009)05-0983-12

塔里木盆地古生界碳酸盐岩热液岩溶的特征及地质模型^①

潘文庆^{1,2} 刘永福² Dickson JA D³ 沈安江⁴ 韩杰²
叶瑛⁵ 高宏亮² 关平¹ 张丽娟² 郑兴平⁴

(1. 北京大学 北京 100871; 2. 塔里木油田勘探开发研究院 新疆库尔勒 841000;
3. 英国剑桥大学; 4. 中国石油杭州地质研究院 杭州 310000; 5. 浙江大学 杭州 310058)

摘要 随着塔中地区下古生界碳酸盐岩油气勘探地持续深入,分别在野外露头、塔中地区相关探井奥陶系储层中发现有萤石、闪锌矿、天青石、重晶石、硬石膏、焦沥青及热液石英等一系列热液矿物及其组合,越来越多的地质资料表明热液岩溶储层可能是塔里木盆地古生界碳酸盐岩油气勘探中被忽视的一个重要储层类型。通过总结近 6 年大量的针对野外露头热液岩溶现象地实地观察测量,以及通过对塔中 82 井区—24 井区奥陶系储层发育段大量的岩石薄片观察、矿物能谱测定、地层水锶同位素测试,断裂性质的分析,深入研究热液溶蚀流体的活动特点以及对形成优质储层的控制作用,最终建立了热液岩溶储层的地质模型。研究表明,热液矿物主要沿断裂伴生的构造溶蚀缝和溶蚀孔洞发育,断裂是热液运移的主要通道,是形成优质储层的重要控制因素。塔中地区沿海西期走滑断裂附近的奥陶系灰岩将广泛发育热液溶蚀改造形成的储层,为塔中西部上奥陶统沿走滑断裂向内带拓展油气勘探打下了基础。

关键词 塔中 热液流体 热液矿物 锶同位素 走滑断裂

第一作者简介 潘文庆 男 1967 年出生 高级工程师 石油地质 E-mail: hpwq@sohu.com

中图分类号 P588.24⁵ **文献标识码** A

塔里木盆地古生界碳酸盐岩地层中已探明石油储量超过 10 亿吨,成为台盆区最重要的勘探开发领域;在轮古—塔河油田、和田河油田、塔中油田的潜山风化壳和礁滩体两类储层的勘探中获得了重大发现和进展。近年,随着塔里木盆地古生界油气勘探的持续推进,分别在野外露头、塔中地区相关探井奥陶系储层中发现有萤石、闪锌矿、天青石、重晶石、硬石膏、焦沥青及热液石英等一系列热液矿物及其组合。越来越多的地质资料表明热液岩溶储层可能是塔里木盆地古生界碳酸盐岩油气勘探中被忽视的一个重要储层类型,其形成机理可能与潜山风化壳和礁滩体两类储层存在差异。有关热液对储层的影响是近年国际上碳酸盐岩储层研究比较前沿的领域^[1-7],关于塔里木盆地古生界的热液活动在国内已有相关报道^[9-17]。目前,由于对热液活动的机理认识不清,已经制约了正确认识塔里木盆地古生界碳酸盐岩储层的主控因素及分布规律。因此,笔者试图从热液岩溶的角度探讨其对碳酸盐岩储层的改造作用,以期建立合理的储层发育模型,更好地解释现今塔中下古生界碳酸盐岩油气勘探中遇到的一系列热液改

造的储层形成机理,为油气勘探提供新的思路。

1 盆地周缘露头区热液活动模型的建立

通过对塔里木盆地野外多个露头下古生界中广泛发育的热液蚀变灰岩的分布,及一系列热液矿物如萤石、铅锌矿、巨晶方解石、硫磺、硬石膏等的产出特点的研究,发现蚀变灰岩主要沿大断裂及不整合分布,而萤石等热液矿物主要充填在风化壳岩溶的潜流带中。

1.1 野外剖面的热液分布特点及类型划分

通过大量的野外调查,在塔里木盆地周缘多个露头发现了象征热液活动的热液蚀变和一系列热液矿物组合(图 1)。其中研究比较深入的有塔木、一间房微波塔、且迪塔格山、硫磺沟、西克尔、三间房、五道班、柯坪水泥厂等地点。根据蚀变灰岩附近有无辉绿岩脉及火成岩可将它们分为三类。

第一类是与花岗岩伴生的侵入体改造型(图 2),例如塔木剖面,正长花岗岩与奥陶系碳酸盐岩发生明显的接触变质作用,形成了代表性岩类砂卡岩。在岩体与灰岩的接触部位以伴生有萤石、电气石、硅质大

①国家科技重大专项(编号 L2008ZX05000-004-004)及中国石油股份公司重大专项(编号:2008E-0703)资助。

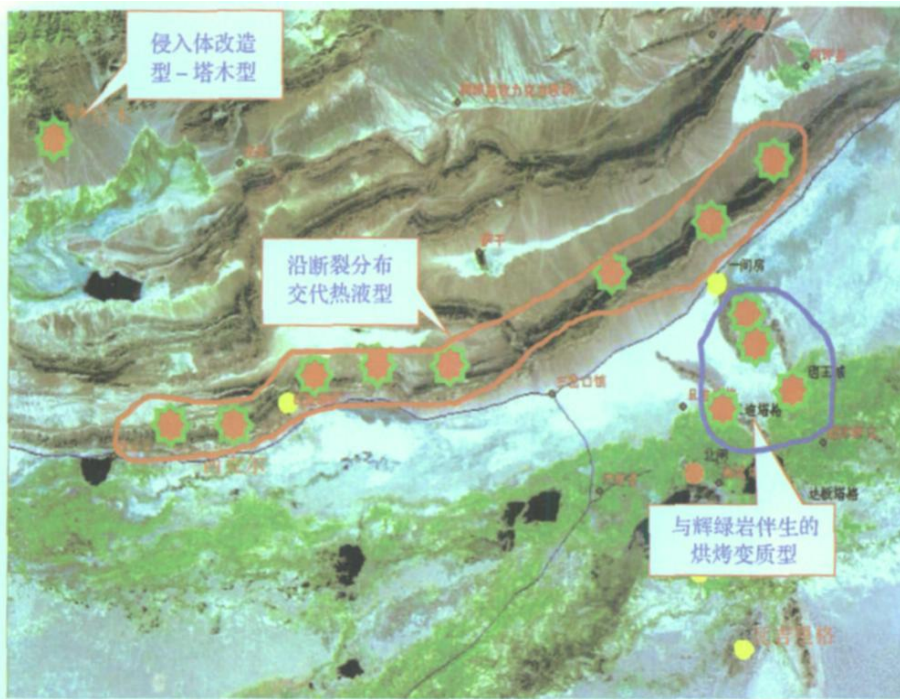


图 1 存在热液活动的野外露头分布示意图

Fig.1 Sketch map showing the hydrothermal activity location in outcrop

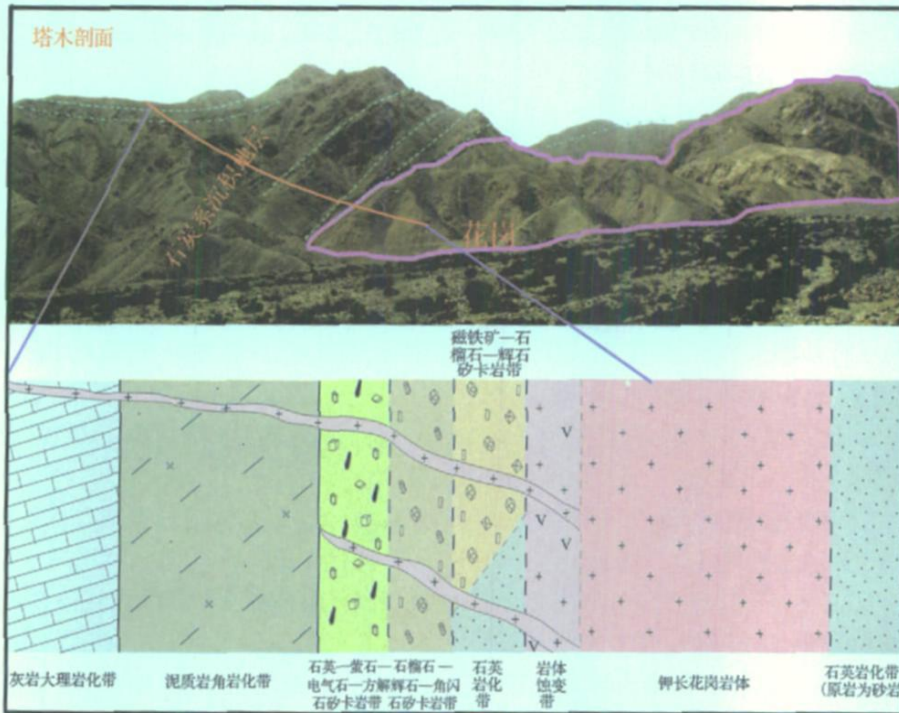


图 2 塔木剖面花岗岩侵入体

Fig.2 Granite intrusive body in the Tamu section

理岩等热液矿物为特征,但在井下目前还未发现有类似的情况。其伴生的热液矿物有利地证明岩浆热液活动提供了部分成矿物质来源,特别是形成萤石的氟

离子来源。以此类推,其他露头中发现的萤石、铅锌矿等可能与岩浆热液活动有关。

第二类是与辉绿岩密切共生的蚀变灰岩(图 3),

例如一间房微波塔剖面 and 且迪塔格山剖面, 主要为辉绿岩侵入引起的接触变质作用形成的。当辉绿岩脉侵入到鹰山组碳酸盐岩中, 由于接触热变质作用, 导致大理岩化。在与辉绿岩接触的蚀变灰岩中可明显看到倒“V”型裂隙, 以及接触变质作用减弱的远端普遍发育的热胀冷缩作用形成的收缩缝。通过详细的野外调查、测量以及结合前人的研究成果, 发现第二类与辉绿岩伴生的蚀变灰岩仅局限分布于辉绿岩脉附近, 而且蚀变灰岩的厚度受控于辉绿岩体的厚度。灰绿岩体越大对碳酸盐岩热烘烤作用范围越大, 一般情况下接触热变质作用的影响范围小于岩脉宽度的一半。



图 3 一间房剖面与辉绿岩伴生的烘烤蚀变灰岩
Fig 3 Altered limestone accompanying with diabase in Yijiangfang section

第三类是沿柯坪塔格断裂分布且未发现有辉绿岩伴生的蚀变灰岩, 表现为沿柯坪塔格断裂西克尔东—硫磺沟—克科库勒露头一线 150 km 的长度范围

内分布, 而且在奥陶系与志留系的不整合面之下广泛发育(图 4)。其中部分露头在不整合面之下的潜流带内充填有萤石、硬石膏、硫磺、巨晶方解石等, 其中萤石和硫磺已具有开采价值。例如在西克尔剖面(图 5), 鹰山组上覆志留系铁热克阿瓦提组, 在不整合面之上广泛发育热液蚀变的灰白色灰岩, 而且该类灰岩具有良好的物性, 主要以微孔为主, 面孔率在 10% 以上。在鹰山组不整合面之下的潜流带中充填有伴生巨晶方解石的萤石矿。硫磺沟剖面, 主要在鹰山组内幕发育一套巨厚的灰白色蚀变灰岩, 物性较好, 主要以微孔为主, 面孔率至少在 10% 以上, 其上下地层中皆未发现有火成岩体侵入的现象, 但在鹰山组顶部的潜流带中充填有硫磺和伴生的硬石膏。在其他剖面, 如三间房、五道班、柯坪水泥厂和克科库勒剖面等皆在不整合面之下或者内幕发现有蚀变灰岩分布的现象。特别是琼格漫剖面在蓬莱坝组和鹰山组内幕分别发育两套灰白色蚀变灰岩。与第一、二类蚀变灰岩发育特点明显不同的是第三类蚀变灰岩主要沿断裂和不整合面广泛发育, 而且无论是分布范围还是蚀变程度远胜于前两类; 在物性方面, 前两类紧靠火成岩体的灰岩往往发生变质形成大理岩化, 如果没有裂缝改造, 物性很差, 储层整体较第三类蚀变灰岩差。综上所述, 只有沿断裂、不整合及岩溶分布带活动的热液, 才能够形成广泛的热液蚀变和热液矿物充填。此外, 由于第三种类型的蚀变灰岩并未在其周围发现有火成岩侵入的现象, 因此, 如何解释这类大范围蚀变灰岩的热源来源、性质及活动规律将是热液模型建立的关键。

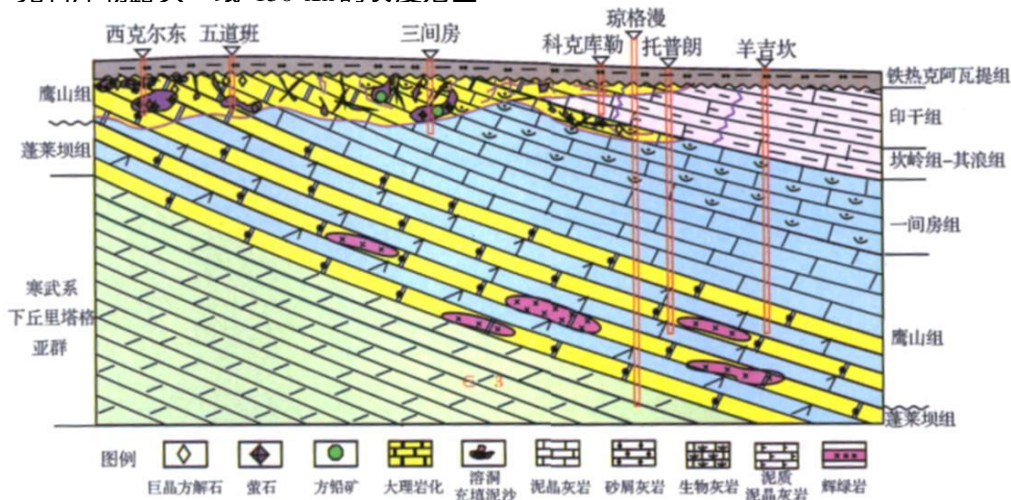


图 4 野外露头热液蚀变灰岩的展布示意图

Fig 4 Sketch map showing the hydrothermal altered limestone distribution in outcrop



图 5 西克尔露头鹰山组与志留系铁热克阿瓦提组之间的不整合面

Fig 5 Unconformity between the Yingshan member and Silurian Terekav atim member in Xiker outcrop

1.2 热液活动的特点和规律

除上述引起灰岩大范围蚀变的热液主要沿断裂和不整合活动外,通过野外观察,在硫磺沟露头和西克尔露头可见这种热液沿裂缝进行蚀变的特点(图 6a b)。此外,通过对硫磺沟、西克尔、柯坪水泥厂露头野外蚀变灰岩中残余灰岩的镜下薄片观察表明这种热液蚀变灰岩具有很强的岩性及组构选择性。未蚀变的灰岩主要是泥晶灰岩,而蚀变残余的灰岩在薄

片下大多表现为亮晶砂屑灰岩,亮晶胶结物大多已被蚀变(图 6c、d),藻砂屑仅遭受微弱蚀变,这表明热液蚀变还具有明显的岩性及组构选择性。上述这种沿裂缝而且具有岩性选择性的热液活动在一间房唐王城剖面鹰山组地层中表现很典型,主要表现为热液沿纵向的裂缝上移之后,在横向上发生选择性的溶蚀,蚀变的亮晶砂屑灰岩与未蚀变的泥晶灰岩在裂缝附近表现为互层出现,但远离裂缝时这种蚀变现象则随之消失。在裂缝的主要发育带上则沉淀析出萤石和巨晶方解石(图 7),类似羽毛的结构特点,因此,根据上述特点提出了羽状模式(图 8),即热液沿垂向的裂隙向上运移后,在侧向上优先蚀变颗粒灰岩,从而在横向上与未蚀变的泥晶灰岩形成互层分布的特点,随着热液交代的进行,温度的降低、压力、浓度及 pH 值等条件的变化,在热液运移的通道里将逐渐沉淀出萤石、巨晶方解石等热液矿物。

1.3 热液的性质及热液活动模型的建立

长期以来,对“热液”的概念一直没有明确的定义,国际上较早的热液定义为比周围环境高 5℃或更高的任何有关的水^[19]。“热液”可以是多种来源、或

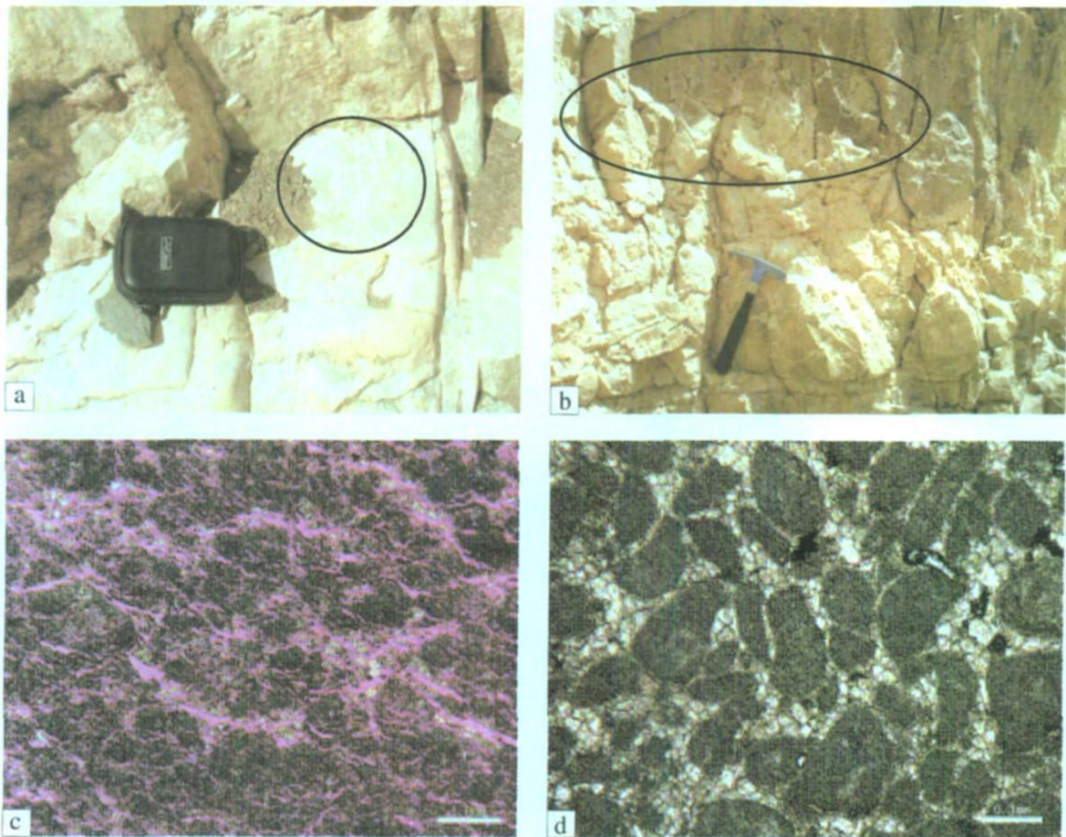


图 6 西克尔露头中沿裂隙蚀变的热液活动现象

Fig 6 The altered hydrothermal activity phenomena along fractures in Xiker section

混合来源的,包括:岩浆期后热液、被岩浆加热的层间卤水、被加热的下渗大气淡水等等。在埋藏环境下,这种相对高温的热液流体与碳酸盐岩相互作用形成的岩溶,统一称为热液岩溶。由于热液的来源和性质具有多重性和复杂性,因此通过对热液性质的研究,可有效地解释热液活动的规律。

关平在测定了 55 个井收集了 32 个火成岩年龄的基础上,认为露头区侵入寒武—奥陶系的辉绿岩与二叠系玄武岩及区内所有层段的火成岩具有相近的年龄,说明前两类露头奥陶系中与辉绿岩伴生的蚀变灰岩是海西期火山活动作用的产物。对第三类露头(西克尔、三岔口)中未发现火成岩伴生的蚀变灰岩中的萤石 ESER 测年表明萤石形成于海西期,平均年龄 $259.4 \text{ Ma}^{[19,10]}$,与海西期火山活动存在相关性;但对其相应蚀变灰岩及萤石等的地球化学测试表明西克尔等露头区萤石的成矿流体并非岩浆期后热液,反而支持存在有大气淡水混入的观点^[19,10],这表明热液的来源并不是简单的一种岩浆期后热液,在一定程度上说明了热液来源和性质的复杂性。一般来讲,岩浆期后热液可以提供萤石形成所需的 F^- ,但并非氟离子的唯一来源^[20],那么,大气淡水来源的热液能否提供氟离子呢?目前有研究认为占全国储量 50% 的华南低温热液萤石矿的 F^- 来源于大气淡水对火成岩的淋滤和萃取^[21],这在一定程度上说明了部分成矿热液来源于加热的大气淡水。通过对塔中地区部分探井地层水锶同位素的研究表明现今地层水锶同位素值明显偏高(表 1),很可能为古大气淡水淋滤古老硅铝质陆壳风化产物。一般而言,有三个库控制了海水锶同位素值的变化:①海底玄武岩和海底热液中的锶同位素值为 0.704 ②古老硅铝质陆壳风化产物中

的锶同位素值为 0.720 ③海相碳酸盐岩风化提供的锶同位素值 0.708。为了确保本次测试样品是真实的地层水,采取对同一井深不同时间间隔分别取样测试。测试结果表明现今塔中地区 82 井区—24 井区奥陶系良里塔格组地层水的锶同位素介于 0.712 111 ~ 0.713 361,平均 0.712 899(9),全部样品测试结果高于 0.7119 的现今河流 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 比值^[22],也高于塔中地区志留系地层水的 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 比值,更高于塔中地区奥陶系 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 平均值 0.7083^[23]。因此,这在一定程度上说明塔中地区与现今储层发生水岩反应的流体很可能来源于大气淡水。此外,塔中 12 井奥陶系部分泥晶碳酸盐岩 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 比值偏低^[23],表明可能受幔源锶的影响,与深部流体的影响有关^[24]。有研究表明塔里木盆地二叠系全区火成岩为裂谷拉张环境下形成,呈北东向和北西向两组方向分布,主要受到区内二叠系两组区域张性断裂控制,这为后期大气淡水的大量下渗以及萃取围岩中的成矿离子提供了有利的通道。塔里木盆地二叠纪火成岩是一个完整的岩浆作用过程,玄武岩、辉绿岩等几乎整个塔里木盆地均有分布^[25],如此大规模活动的火成岩无疑是一个巨大的热源。火山活动不仅可以带来部分岩浆期后热液,更为重要的是它不但可以对地层内卤水以及大量下渗大气淡水加温,而且是加速热液流体循环的一个重要驱动力。正常情况下缓慢进行的水岩反应可能会因此而在短时间内得到加速,从而在碳酸盐岩地层内形成大量的溶蚀孔隙。

基于上述流体性质,流体运移通道,火山活动提供热源、驱动力的分析以及野外露头蚀变灰岩广泛发育的特点,初步认为导致第三类蚀变灰岩广泛发育的这期热液事件与二叠纪火山活动密切相关。海西期

表 1 塔中地区不同时间内地层水锶同位素测试结果*

Table 1 The strontium isotopes of formation water with different times in Tazhong area

井号	井段 /m	层位	采样日期	$^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$
TZ111	4362~ 4963.8	志留系	2008-07-26	0.712 137
TZ111	4362~ 4963.8	志留系	2008-08-01	0.712 111
TZ721	4946~ 4961	良里塔格组	2008-07-29	0.712 137
TZ721	4946~ 4961	良里塔格组	2008-08-01	0.712 111
TZ62-1	4892.07~ 4973.76	良里塔格组	2008-01-05	0.713 361
TZ62-1	4892.07~ 4973.76	良里塔格组	2008-07-26	0.712 939
TZ62-1	4892.07~ 4973.76	良里塔格组	2008-07-29	0.712 971
TZ62-1	4892.07~ 4973.76	良里塔格组	2008-08-01	0.712 837
TZ62-1	4892.07~ 4973.76	良里塔格组	2008-01-07	0.712 868
TZ62-1	4892.07~ 4973.76	良里塔格组	2008-01-08	0.713 114
TZ62-1	4892.07~ 4973.76	良里塔格组	2007-09-06	0.712 858

* 塔里木油田与广州地球化学所横向课题《塔中碳酸盐岩地层水成因与油气的关系》



图 7 一间房露头溶洞中的萤石与巨晶方解石共生

Fig. 7 Coexisting of fluorite and calcite in vugs in Yijiangfang section

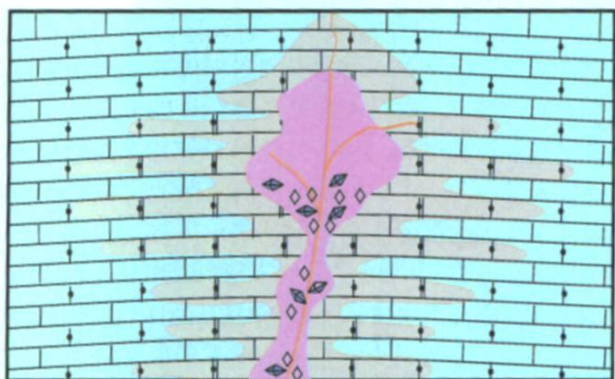


图 8 一间房露头羽状热液溶蚀地质示意图

Fig. 8 Geological sketch map showing the feather hydrothermal alteration in Yijiangfang section

广泛的火山作用在热液岩溶体系中主要起提供巨大热源和部分岩浆期后热液的作用,并提供部分的成矿离子;成矿的绝大部分离子很可能来自于岩浆加热驱动的热水对岩浆的循环萃取以及在流动过程中对围岩碳酸盐岩的萃取。由于古生代碳酸盐岩地层自身含水量较少,因此,需要萃取大量矿物离子的热液可能来自于下渗的大气淡水,经岩浆加热循环形成具有很强溶蚀作用的酸性热水。而走滑断裂或者张性断层及其伴生的断裂系统将是热液运移的重要通道,在横向上,先前存在的不整合面及风化壳岩溶系统也将是热液运移的重要通道,除此之外,由于岩性的差异也可能导致热液蚀变的差异性,热液蚀变往往会优先蚀变颗粒灰岩。由此,结合野外露头热液蚀变的特点

和规律提出热液流体蚀变的三要素: 1) 岩浆提供热源及部分矿物离子, 围岩提供流体中绝大部分成矿物质; 2) 断裂是重要运移通道, 尤其是张性断层和走滑断层; 3) 大气淡水及地层水提供大部分流体来源。最终, 根据以上的认识初步总结归纳出野外热液活动的模型(图 9)

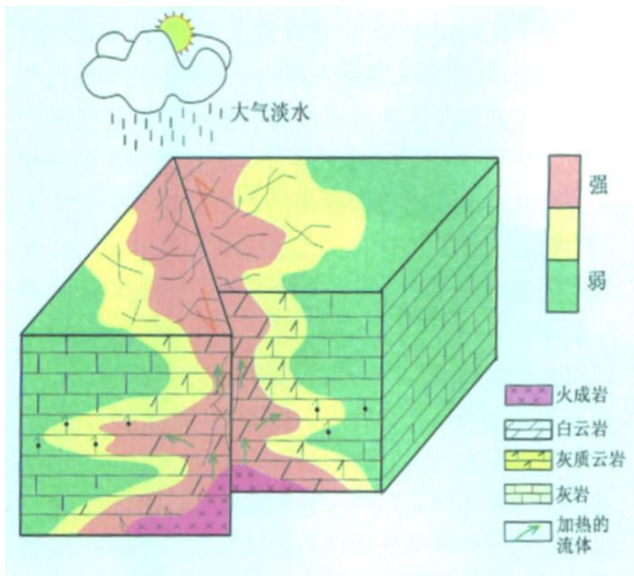


图 9 野外热液活动地质模型

Fig 9 The geological model of hydrothermal activity in outcrop

2 塔中 82—24井区热液活动模型的建立

目前,已有众多学者从岩石学和地球化学测试方面研究表明塔中地区奥陶系存在热液活动^[9-17]。本次研究在结合上述地层水锶同位素分析流体性质的基础上,重点通过大量的薄片观察及矿物能谱定量分析,研究热液矿物的赋存方式及热液流体对储层的改造规律。通过对塔中 I 号坡折带塔中 82—24井区岩心及大量薄片热液矿物的赋存状态和矿物组合的观察,并结合断裂系统分析发现储层中伴生的热液矿物发育特点与野外热液活动的规律具有一定的相似性,可以应用野外热液活动模型来解释勘探中遇到的热液现象。并且通过深入解剖钻井中遇到的热液溶蚀现象,总结了井下热液活动规律。

2.1 塔中 82井区—24井区热液存在的系列矿物依据和赋存特点

通过大量的薄片观察及矿物能谱定量分析,分别在塔中 621、82、72等多口井良里塔格颗粒灰岩段(良二段)中发现了金红石、天青石、闪锌矿、重晶石(图 10a、b)、方沸石、硬石膏、萤石、钠长石等热液矿物

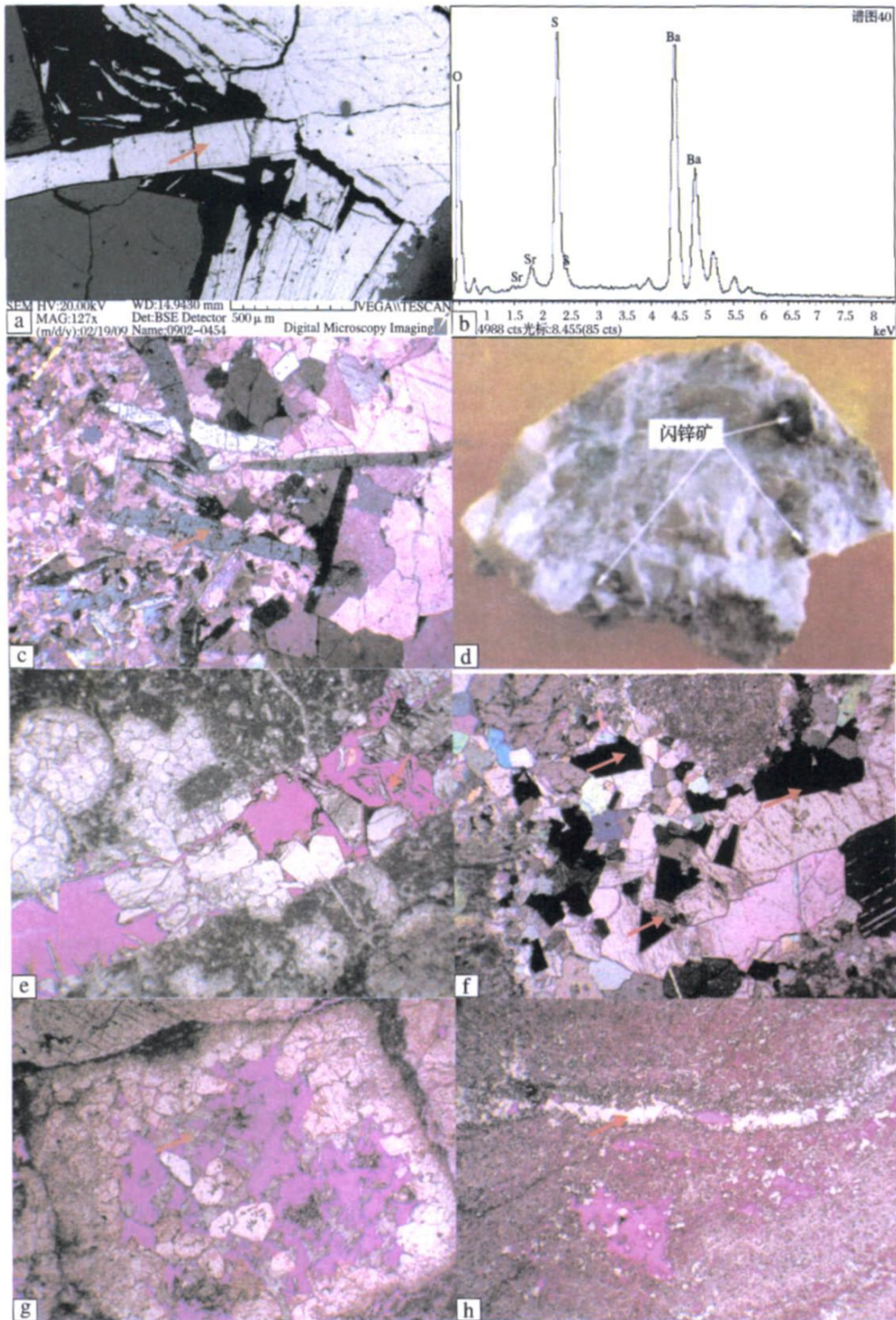


图 10 岩心及镜下热液矿物的赋存特点

Fig 10 The occurrence characteristics of the hydrothermal mineral in cores and under the microscope
 a TZ72井, 5092.3m, 扫描电镜, 重晶石; b TZ72井, 5092.3m, 矿物能谱, 重晶石; c TZ162井, 5981.38m, 天青石, 正交, 40×; d TZ12井, 5217m, 方解石脉中有红棕色闪锌矿; e TZ243井, 4541m 铸体, 裂隙中的重晶石, 单偏, 40×; f TZ242井, 4753.44m, 晶间充填的萤石, 正交, 40×; g TZ262井, 4753.85m, 溶洞内天青石, 单偏, 40×; h TZ62-1井, 4895.27m, 沿裂缝溶蚀充填萤石, 单偏, 40×

表 2 热液矿物的类型、分布层位及其深度范围

Table 2 The types distribution strata and depth range of hydrothermal minerals

井名	层位	产能	深度范围 /m	矿物组合和赋存状态
塔中 621(13个样品)	良里塔格颗粒灰岩段	高产工业油气井	4864.26 ~ 4879.13	晶间白云石、晶间铁方解石、萤石、裂缝中重晶石、晶间重晶石、裂缝中天青石、晶间金红石、溶孔中石英、溶孔中石膏晶体、晶间斜长石、晶间黄铁矿、溶孔中菱铁矿
塔中 71井(12个样品)	良里塔格颗粒灰岩段	酸压折日产 0.132 方油	5020.97 ~ 5039.11	晶间白云石、晶间铁方解石、晶间石盐、萤石、晶间重晶石、裂缝中天青石、晶间金红石、晶间闪锌矿、晶间纳长石、溶孔中石英、溶孔中石膏晶体、晶间斜长石、晶间黄铁矿、溶孔中菱铁矿
塔中 44井(2个样品)	良里塔格颗粒灰岩段	高产工业油气井	4847.2 ~ 4850.5	晶间黄铁矿、晶间溶孔中菱铁矿、晶间菱铁矿、晶间石英、溶孔中黄铁矿
塔中 42井(2个样品)	良里塔格颗粒灰岩段	未获得工业油气流	5375	晶间石英晶体、晶间黄铁矿、晶间金红石
塔中 82井(4个样品)	良里塔格颗粒灰岩段	高产工业油气井	5421.77 ~ 5466.31	萤石、溶孔中白云石、晶间菱铁矿、晶间黄铁矿、溶孔中黄铁矿、晶间金红石、晶间纳长石、晶间黄铁矿、溶孔中石英、溶孔中白云石、溶孔中粗晶方解石、晶间菱铁矿



图 11 发育有热液矿物的探井在平面上与良里塔格组断裂的叠合示意图

Fig 11 The overlap sketch map between exploration wells location with hydrothermal mineral and the faults in the Liangritage Formation in the plane

(表 2), 部分探井如塔中 12 井、塔中 162 井、塔中 19 井等在鹰山组发现有闪锌矿、天青石、热液石英等热液矿物(图 10c、d)。赋存在良里塔格颗粒灰岩段里(良二段)的热液矿物主要沿构造溶蚀缝和溶蚀孔洞发育(图 10e~h)。赋存有上述热液矿物的探井在平面上的展布如图所示(图 11)。

2.2 塔中 82 井区—24 井区热液活动的特点及模型建立

在塔中 82 井区—62 井区良里塔格组高产的颗粒灰岩段中(良二段)发现的这些热液矿物, 主要沿裂缝溶蚀孔洞和溶扩缝中赋存(图 10e~h), 表明裂缝是热液运移的通道。在平面上, 赋含热液矿物的井

主要沿走滑断裂分布,例如沿海西期走滑断裂分布的塔中 19 井—塔中 12 井—塔中 82 井皆有热液活动的特征(图 11)。通过对 I 号断裂的重新研究也发现,该断裂在塔中 82 井区—塔中 62 井区,在早加里东末期以逆冲为主,东强西弱,在过塔中 62 井、塔中 242 井、塔中 26 井的主测线上,逆冲活动明显(图 12);在晚海西期则以右旋走滑活动为主(图 13),在过塔中 84 井、塔中 721 井等垂直 I 号断裂的剖面上可以看出高角度近垂直的断层且具有花状构造特征。I 号断裂在塔中 82 井区—62 井区存在的反“s”型,在一定程度上也说明存在剪切作用。由于构造控制的热液溶蚀,张性断层和走滑断层是最优先的导管^[1],在走滑断裂形成的“岩桥区”裂隙异常发育,非常有利于热液进行溶蚀改造。通过对塔中 82 井区—24 井区高产、稳产井储层的研究发现,现今支持产能的有效储层类型主要是次生的裂缝—溶蚀孔洞型储层,储层发育主要受断裂形成的裂缝和岩性控制。国外研

究表明热液优先沿走滑断裂和张性断层溶蚀改造储层。例如在美国密歇根州南部的 A bin-Scipio 油田^[8],工业产能的探井主要沿走滑断裂分布,而远离走滑断裂的探井基本为干井,热液储层的发育主要受走滑断裂控制,断裂是热液运移的主要通道。通过对塔中东部目前完钻的 62 口井统计(图 14),其中工业油气流井中 62%、显示井中 61% 打在走滑断裂带附近,这表明走滑断裂与储层的发育密切相关,沿断裂发育的储层很可能是热液沿断裂运移对围岩改造形成的。

综上所述,根据野外热液活动的规律,并结合井下热液矿物的赋存特点、塔中 82 井区—62 井区各期断裂以及储层类型提出了塔中 I 号坡折带礁滩体中优质储层的热液溶蚀发育模式(图 17)。在纵向上,这种热液溶蚀很可能沿走滑断裂和张性断层带活动,在横向上则沿奥陶系灰岩各个时期的不整合及风化壳岩溶带活动,并优先沿裂缝溶蚀颗粒灰岩中的藻砂

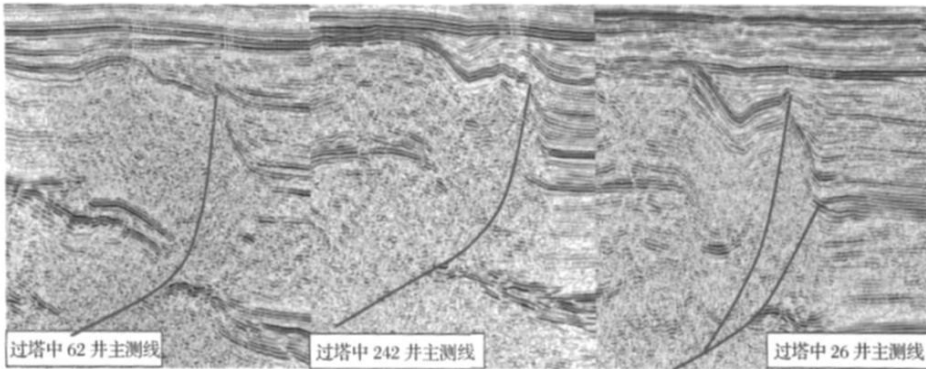


图 12 过井地震剖面断层解释示意图

Fig. 12 Fault interpretation sketch map of seismic profile crossing wells

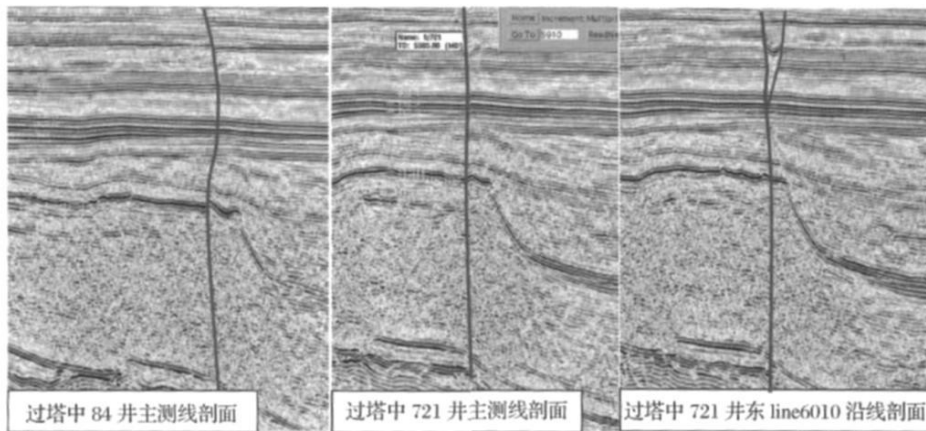


图 13 过井地震剖面断层解释示意图

Fig. 13 Fault interpretation sketch map of seismic profile crossing wells

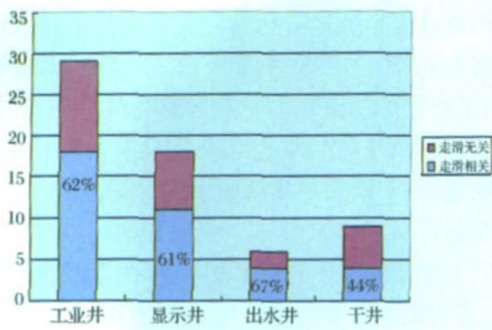


图 14 塔中东部目前完钻井的统计

Fig 14 statistical list of the completion wells in the eastern part of Tazhong

屑,广泛发育的礁滩体仅是起到了提供岩相的基础。在海西期塔中地区大范围火山活动的基础上,这些走滑断裂发育的地区是热液溶蚀孔洞发育区,是优质储层发育的最有利地区。勘探实践表明这类储层发育的塔中东部实验区也是最容易培植高产稳产的井区。

3 热液活动模型对勘探生产及研究的意义

目前塔中地区奥陶系良里塔格组颗粒灰岩段

(良二段)能够获得工业油气流的优质储层主要为裂缝—孔隙型、裂缝—孔洞型或洞穴型为主,而且孔洞和孔隙的发育都与断裂或裂缝具有一定的相关性。热液溶蚀模型的提出可以很好的解释该类储层的成因。此外,近年来在塔中地区下奥陶统风化壳的勘探过程中发现,在鹰山组顶部风化壳发育的优质储层往往与上奥陶统含泥灰岩段的优质储层连在一起,地震剖面上的“串珠”反射穿越上、下奥陶统不同层位的灰岩地层。酸化压裂后,很多产层段跨越上下奥陶统不整合,储层相互连通。这类储层的形成在很大程度上与沿断裂进行的热液溶蚀作用有关,热液沿早期的断裂通道进行溶蚀,往往可以形成现今鹰山组顶部和良里塔格组底部相互连通的储层。该类型储层以裂缝孔洞型储层为主,不但产量高,而且压力比较稳定。结合对野外露头热液溶蚀的研究以及塔中 82 井区—24 井区热液活动规律的研究,塔中地区在海西期走滑断裂广泛发育的基础上,热液溶蚀改造形成的储层将非常发育。对这类储层形成的认识可为塔中地区缝洞系统的雕刻提供理论意义,并为塔中西部上奥陶统沿走滑断裂向内带拓展油气勘探打下基础。

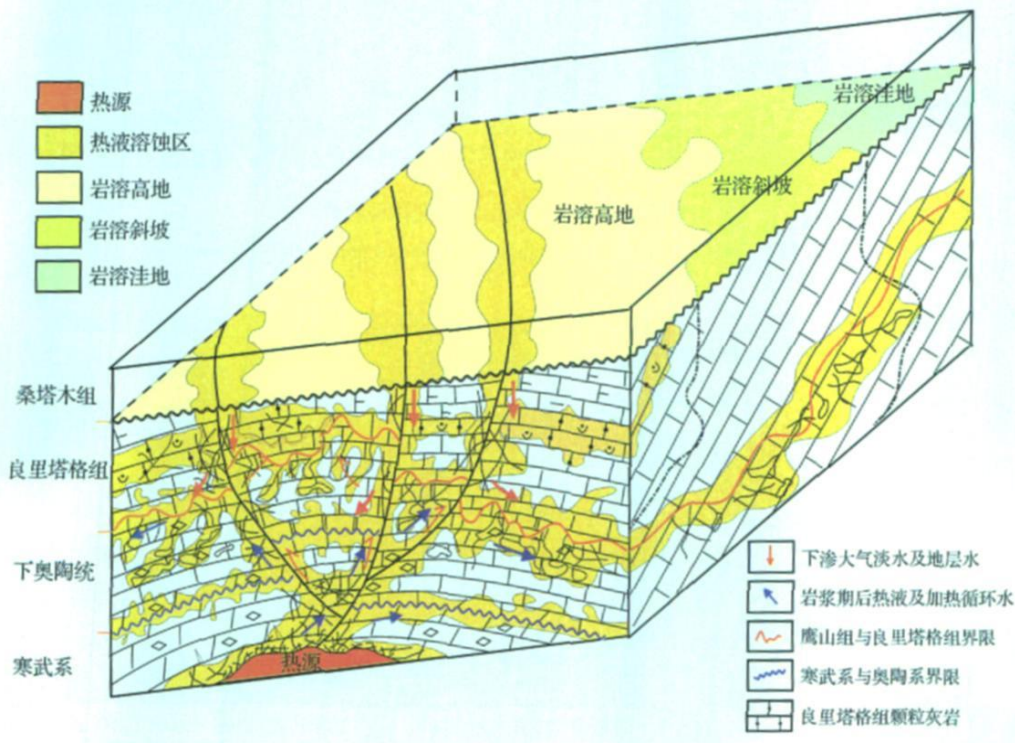


图 15 塔中 82 井区至 24 井区热液溶蚀模型

Fig 15 The geological model of hydrothermal alteration in TZ82 area-TZ24 area

参考文献 (References)

- 1 Graham R Davies, Langhorne B Smith Jr. Structurally controlled hydrothermal dolomite reservoir facies: An overview [J]. *AAPG Bulletin*, 2006, 90(11): 1641-1690
- 2 John A Luczaj, William B Harrison III, Natalie Smith Williams. Fractured hydrothermal dolomite reservoirs in the Devonian Dundee Formation of the central Michigan Basin [J]. *AAPG Bulletin*, 2006, 90(11): 1787-1801
- 3 Langhorne B Smith Jr. Origin and reservoir characteristics of Upper Ordovician Trenton Black River hydrothermal dolomite reservoirs in New York [J]. *AAPG Bulletin*, 2006, 90(11): 1691-1718
- 4 John A Luczaj. Evidence against the Dorag (mixing-zone) model for dolomitization along the Wisconsin arch: A case for hydrothermal diagenesis [J]. *AAPG Bulletin*, 2006, 90(11): 1719-1738
- 5 Rik Wierzbiński, Jeffrey J Dravis, Hans A Hasam, et al. Burial dolomitization and dissolution of Upper Jurassic Abenaki platform carbonates Deep Panuke reservoir, Nova Scotia, Canada [J]. *AAPG Bulletin*, 2006, 90(11): 1843-1861
- 6 David A Katz, Gregor P Eberli, Peter K Swart, et al. Tectonic-hydrothermal brecciation associated with calcite precipitation and permeability destruction in Mississippian carbonate reservoirs, Montana and Wyoming [J]. *AAPG Bulletin*, 2006, 90(11): 1803-1841
- 7 Jeff Lonner, Hans G Mache. Pervasive dolomitization with subsequent hydrothermal alteration in the Clarke Lake gas field, Middle Devonian Slave Point Formation, British Columbia, Canada [J]. *AAPG Bulletin*, 2006, 90(11): 1739-1761
- 8 Hurley N F, Budros R. Albion-Scipio and Stoney Point fields, U. S. A. Michigan Basin [C] // Beaumont E A, Foster N H, eds. *Stratigraphic traps I*. AAPG Treatise of Petroleum Geology. Atlas of Oil and Gas Fields, 1990: 1-37
- 9 张兴阳, 顾家裕, 罗平. 塔里木盆地奥陶系萤石成因及其油气地质意义 [J]. *岩石学报*, 2006, 22(8): 2220-2228
- 10 张兴阳, 顾家裕, 罗平. 塔中 45 井萤石成因与油气成藏 [J]. *新疆石油地质*, 2004, 25(5): 479-482
- 11 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
- 12 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): 543-546
- 13 赵霞. 塔里木盆地塔中 45 井及柯坪西克尔萤石成因讨论 [J]. *西北地质*, 2000, 33(3): 5-8
- 14 朱东亚, 胡文瑄, 宋玉才, 等. 塔里木盆地塔中 45 井油藏萤石化特征及其对储层的影响 [J]. *岩石矿物学杂志*, 2005, 24(3): 205-215
- 15 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影响 [J]. *地质论评*, 2008, 54(3): 348-357
- 16 Cai Chunfang, Li Kakai, Li Hongtao, et al. Evidence for cross-formational hot brine flow from integrated $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$, REE and fluid inclusions of the Ordovician veins in Central Tarim [J]. *Applied Geochemistry*, 2008, 23: 2226-2235
- 17 李开开, 蔡春芳, 蔡廖璐, 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
- 18 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): 217-222
- 20 涂光炽. *中国层控矿床地球化学* [M]. 北京: 科学出版社, 1987
- 21 曹俊臣. 华南低温热液脉状萤石矿床稀土元素地球化学特征 [J]. *地球化学*, 1995, 24(3): 225-234
- 22 Palmer M R, Edmond J M. The strontium isotope budget of the modern ocean [J]. *Earth and Planetary Science Letters*, 1989, 92: 11-26
- 23 江茂生, 朱井泉, 陈代钊, 等. 塔里木盆地奥陶纪碳酸盐岩的碳、锶同位素特征及其对海平面变化的响应 [J]. *中国科学: D 辑*, 2002, 32(1): 36-42
- 24 黄思静, 刘树根, 李国蓉. 奥陶系海相碳酸盐岩同位素组成及受成岩流体的影响 [J]. *成都理工大学学报: 自然科学版*, 2004, 31(1): 1-7
- 25 苒衡, 张新艳, 彭鑫岭. 塔里木盆地塔中地区火成岩对油气勘探的影响 [J]. *断块油气田*, 2003, 10(1): 5-8

The Geological Model of Hydrothermal Activity in Outcrop and the Characteristics of Carbonate Hydrothermal Karst of Lower Paleozoic in Tarim Basin

PAN Wen-qing^{1,2} LIU Yong-fu² Dickson J A D³ SHEN An-jiang⁴ HAN Jie² YE Ying⁵
GAO Hong-liang² GUAN Ping¹ ZHANG Lijuan² ZHENG Xingping⁴

(1 Peking University, Beijing 100871; 2 Institute of Tarim Oilfield Company, PetroChina, Korla, Xinjiang 841000;

3 Cambridge University, England; 4 Hangzhou Institute of Petroleum Geology, PetroChina, Hangzhou 310023;

5 Zhejiang University, Hangzhou 310027)

Abstract Along with the continuously proceeding of petroleum exploration in the Lower Palaeozoic carbonate in Tazhong area, a series of hydrothermal minerals such as fluorite, sphalerite, schatzite, barite, anhydrite, pyrobitumen, and hydrothermal quartz and their associations are found in the Ordovician reservoir in outcrops and the relative

exploration wells of Tazhong area respectively. More and more geological data show that the hydrothermal karst reservoir may be an important type neglected in the Lower Palaeozoic carbonate petroleum exploration in Tarim Basin. By the observation and measurements of outcrop hydrothermal karst phenomena in the recent six years, large amount of thin sections observation, mineral energy spectrum detecting, formation water strontium isotopes analysis, and study about faults nature of the Ordovician reservoir in well field of Tazhong 82 and 24. The active characteristics of the hydrothermal corrosion fluid and its controlling factor on the formation of quality reservoir are in deep study. The hydrothermal karst reservoir geological model is established finally. The results show that the hydrothermal minerals are mainly developed in the associating structural dissolution fractures along faults, corrosional vugs and the faults, they are the main pathway for hydrothermal fluid migration and the important factors controlling the formation of quality reservoir. The hydrothermal corrosion altering reservoir are widely developed in the Ordovician reservoir in the proximity of the strike faults formed in Hercynian in Tazhong area, which can be the petroleum exploration targets of the Upper Ordovician strata along the strike faults in the western part of Tazhong.

Key words Tazhong, hydrothermal fluid, hydrothermal minerals, strontium isotopes, strike faults