

文章编号: 1000-0550(2010) 05-0861-07

# 白云岩成因探讨: 新疆三塘湖盆地发现 二叠系湖相喷流型热水白云岩<sup>①</sup>

柳益群<sup>1</sup> 李红<sup>1</sup> 朱玉双<sup>1</sup> 胡亭<sup>2</sup> 傅国斌<sup>2</sup> 刘洪福<sup>1</sup> 周小虎<sup>1</sup> 郑朝阳<sup>1</sup> 樊婷婷<sup>1</sup>

(1 西北大学大陆动力学国家重点实验室 西北大学地质学系 西安 710069)

(2 中国石油天然气总公司吐哈油田分公司勘探开发研究院 新疆哈密 830002)

**摘要** 晚石炭世—早二叠世是新疆北部地区构造转换、海陆变迁的重要变革时期,包括三塘湖盆地在内的北疆地区该时期发育多个呈近东西向分布的陆内裂谷,其中存在大量基性、酸性及中性火山岩,它们以裂隙式喷发为特征。中二叠世芦草沟期,北疆地区发育裂谷期后半深湖沉积,沉积了厚层暗色泥岩、凝灰质泥岩、白云质泥岩夹白云质泥晶灰岩、凝灰岩、白云岩及火山岩的岩石组合,在暗色泥岩、凝灰质泥岩中普遍发育吐鲁番鲕鱼、双壳、叶肢介、介形虫等化石。其中的白云岩具如下特征:以铁白云石为主,多呈泥晶和粉晶状,与泥晶石英和有机质(含藻类)构成纹层;与方沸石岩互层,并作为方沸石的胶结物同时交代方沸石;伴生钠长石、伊利石、硬石膏、黄铁矿等多种热液矿物。此类白云岩及其热液矿物为本研究区首次发现,其分布与上石炭统火山岩的分布范围一致,表现出裂隙式、点式分布特点;火山岩中发育丰富的网状、树枝状裂缝并被热液矿物充填,可见火山岩具角砾状构造,可能反映了热液喷流口的沉积特征。初步分析认为该白云岩是一种与岩浆作用、深部热液作用相关的喷流型湖相热水沉积白云岩。

**关键词** 热液白云岩 地幔热液流体 湖泊相 二叠系 裂谷 三塘湖盆地

**第一作者简介** 柳益群 女 1951 年出生 博士 矿物、岩石、矿床学 E-mail liu-yiqun@263.net

**中图分类号** 588.24<sup>+</sup>.5 **文献标识码** A

白云岩的成因一直是地质学界长期争议并持续进行研究的重要科学问题。在笔者所在研究团队对三塘湖盆地二叠系湖相白云岩的研究基础上<sup>②[1-2]</sup>,结合目前国内外最新研究成果<sup>[3-8]</sup>,对该区白云岩的成因有了新的认识,认为三塘湖盆地二叠系白云岩为一种湖相热液喷流岩—热水沉积白云岩。

## 1 地质背景

三塘湖盆地是分布于阿尔泰山系和天山山系之间的叠合、改造型山间盆地,西南隔大黑山、巴里坤山与准噶尔、吐哈盆地毗邻,东北与蒙古国接壤,面积 2.3 万 km<sup>2</sup>(图 1)。根据区域地质资料、地震资料、遥感资料和重、磁资料等的综合分析,认为该盆地经历了前晚石炭世基底形成的板块构造作用和晚石炭世以来盆地盖层沉积形成发展的板内构造作用两大重要时期。前晚石炭世基底形成过程主要受古生代大区域古亚洲洋域洋盆俯冲、陆块增生拼贴、板块碰撞造山过程的控制,直接受控于古准噶尔洋沿克拉麦里

俯冲消减带在泥盆纪的俯冲、西伯利亚板块与哈萨克斯坦板块在石炭纪的碰撞造山的构造作用。三塘湖盆地的发展分为五大阶段:①晚石炭世—中二叠世区域伸展、陆内裂谷、断陷、拗陷盆地形成阶段;②晚二叠世—早三叠世区域挤压改造阶段;③中、晚三叠世—早白垩世拗陷盆地形成阶段;④晚白垩世区域挤压改造阶段;⑤第三纪—第四纪逆冲—走滑改造和山间拗陷盆地形成阶段。后两个阶段的构造变形和成盆作用形成了三塘湖盆地区域的现今基本地质面貌,并形成北西向隆、拗相间的三大构造单元,包括北东冲断隆起带,中央拗陷带和西南逆冲推覆带(图 2)。拗陷带内划分出北东向凹、凸相间的二级构造单元,自西向东包括汉水泉凹陷、石头梅凸起、条湖凹陷、岔哈泉凸起、马朗凹陷、方方梁凸起、淖毛湖凹陷、苇北凸起和苏鲁克凹陷。热水白云岩主要分布在盆地中部的马朗凹陷。

三塘湖盆地的二叠系自老到新分为下二叠统卡拉岗组、中二叠统乌拉泊组、井井子沟组、芦草沟组、

①中石化项目《中国西北地区构造—岩相古地理研究与编图》(批准号: YPH 08103)与国家自然科学基金青年科学基金项目(批准号: 40802024)联合资助。

②柳益群,冯乔,周鼎武,等.三塘湖盆地油气勘探前景分析与有利区带评价.吐哈油田内部资料,2002

收稿日期:2010-05-20 收修修改稿日期:2010-06-05

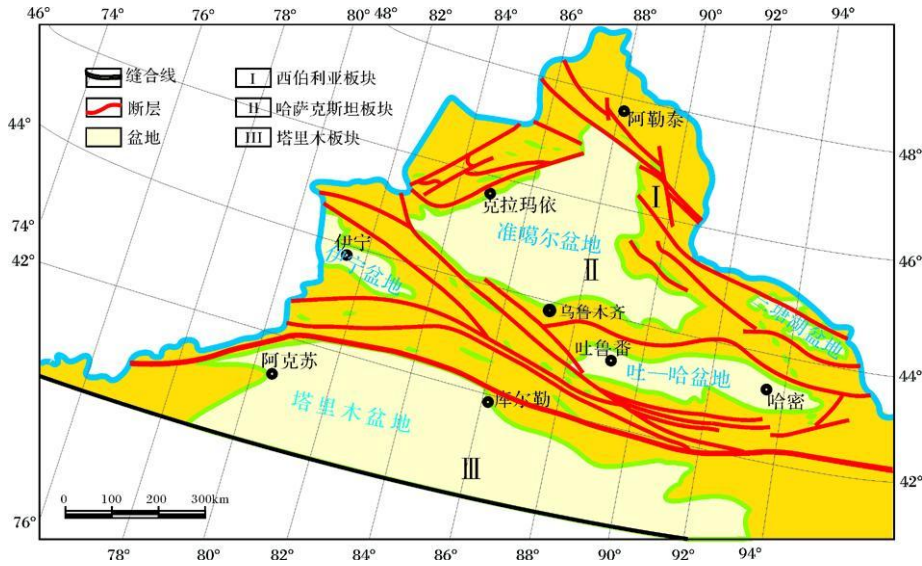


图 1 新疆北部地区构造单元划分图

Fig 1 A tectonic map of northern Xinjiang

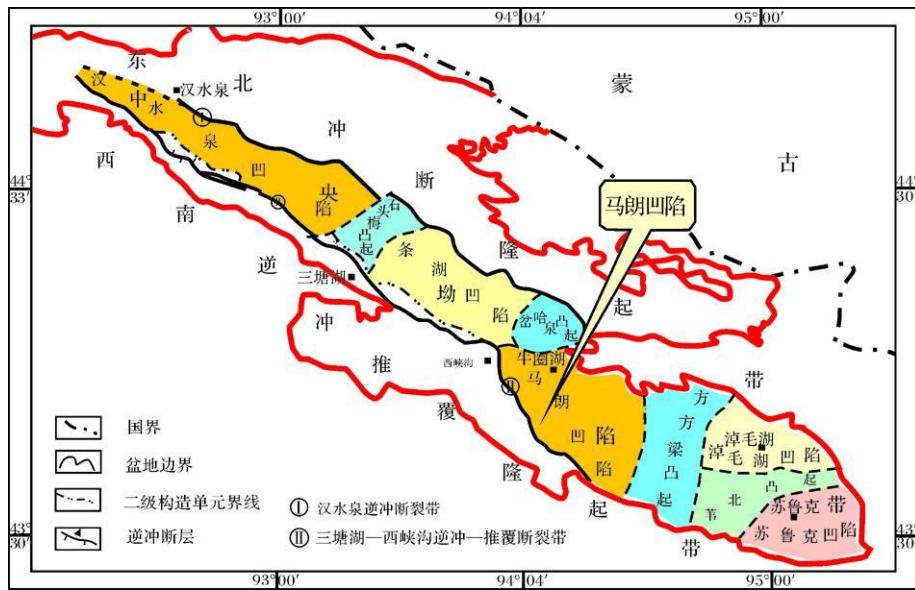


图 2 三塘湖盆地构造单元划分图

Fig 2 Structural unites of Santanghu basin

条湖组, 上二叠统缺失。井下缺失乌拉泊组和井子沟组, 白云岩主要分布在中二叠统芦草沟组。

晚泥盆世—早石炭世期间, 准噶尔地区及其邻区洋盆闭合, 准噶尔盆地及其北部、西部、东部以及觉罗塔格、吐哈、三塘湖地区已经形成范围极为广泛的统一大陆, 广泛存在海陆过渡相沉积、陆相火山岩和局部山麓堆积相沉积以及斜方薄皮木、亚鳞木等标准化石。海西运动使早石炭世地层遭受强烈剥蚀并造成与上覆晚石炭世地层的角度不整合, 该地区进入晚石

炭世—早二叠世板内陆相裂谷演化阶段。三塘湖盆地 15 件钻井玄武岩岩心全岩  $^{40}\text{Ar}-^{39}\text{Ar}$  年龄介于 293~266 Ma, 27 件火山岩 ICP 锆石 U-Pb 年龄介于 273~327 Ma 表明它们属于晚石炭世—早二叠世。玄武岩元素地球化学特征表明其 Nb-Ta 强烈亏损、高场强元素选择性富集, 显示岩浆源区存在消减组分影响, 先期应有过板块俯冲消减作用。该时期火山岩为钙碱性—碱性系列组合, 形成于板内造山期后的(陆内)伸展环境, 为区域断陷裂谷盆地的产物<sup>[9]</sup>。

中二叠世, 准噶尔及邻区发育裂谷期后半深湖沉积, 在中二叠世晚期, 仅在三塘湖地区发育巨厚火山岩。

### 2 火山岩与白云岩的时空关系

晚石炭世时期, 三塘湖地区及邻区进入区域伸展阶段, 发育受正断层控制的陆内裂谷相火山岩、暗色泥岩、凝灰岩沉积组合, 但仍有残余海相沉积。该套地层在三塘湖盆地广泛分布, 以两套火山岩夹一套沉积岩为主要特征。火山岩以中基性为主夹少量酸性岩, 其次还有火山角砾岩、熔结凝灰岩等; 沉积岩中含腕足、苔藓虫、腹足、菊石、双壳、海百合茎、植物等化石, 植物化石均为安加拉植物区分子。早二叠世, 裂谷进一步演化, 但范围有所变化, 在盆地西南缘三塘湖乡地区裂谷沉积最为广泛, 而在伊吾大黑山地区则缺失<sup>③</sup>, 此种现象在博格达山一带也有表现<sup>[10]</sup>, 如照壁山、塔儿郎沟一带也缺失下二叠统。下二叠统可明显的划分为上下两套: 下部以海陆交互碎屑岩沉积为主, 含丰富的动、植物化石; 上部以中酸性火山岩为主, 基性次之, 有少量碎屑岩。进入中二叠世, 准噶尔、三塘湖、博格达及邻区进入裂谷期后拗陷盆地阶段, 发育一系列由半地堑控制的半深湖相沉积。在三

塘湖盆地内, 钻井揭示缺失中二叠统下部的乌拉泊组 and 井子沟组; 在中二叠统上部的芦草沟组沉积了厚层暗色泥岩、凝灰质泥岩、白云质泥岩夹白云质泥晶灰岩、凝灰岩、白云岩及火山岩; 至中二叠世条湖组沉积时期, 三塘湖盆地出现了与吐哈盆地差异较大的岩石组合, 即总厚度达 2 000 余米的以玄武岩、英安岩、流纹岩为主体夹少量碎屑岩的沉积组合, 为火山机构中心。

该区火山岩整体分为三个大的火山喷发旋回。重磁力资料显示, 火山岩体主要分布在主断裂以及次级断裂交会处, 整体构成串珠状, 表明火山活动受深大断裂的控制(图 3), 具有裂隙式溢流喷发和点式喷发的特点。火山岩基质中的基性斜长石多呈定向一半定向, 具似粗面结构特征, 反映岩石偏碱性; 玄武岩基性程度高, 可见到橄榄石斑晶。

三塘湖盆地中二叠统白云岩质岩石的分布状况与火山岩的分布极为相似, 即平面上为串珠状, 剖面上连续性强, 具裂隙式分布的特点。但纹层状白云岩的分布范围较窄, 主要分布在马朗凹陷, 与第三套火山岩的分布一致, 具有点式分布的特点。

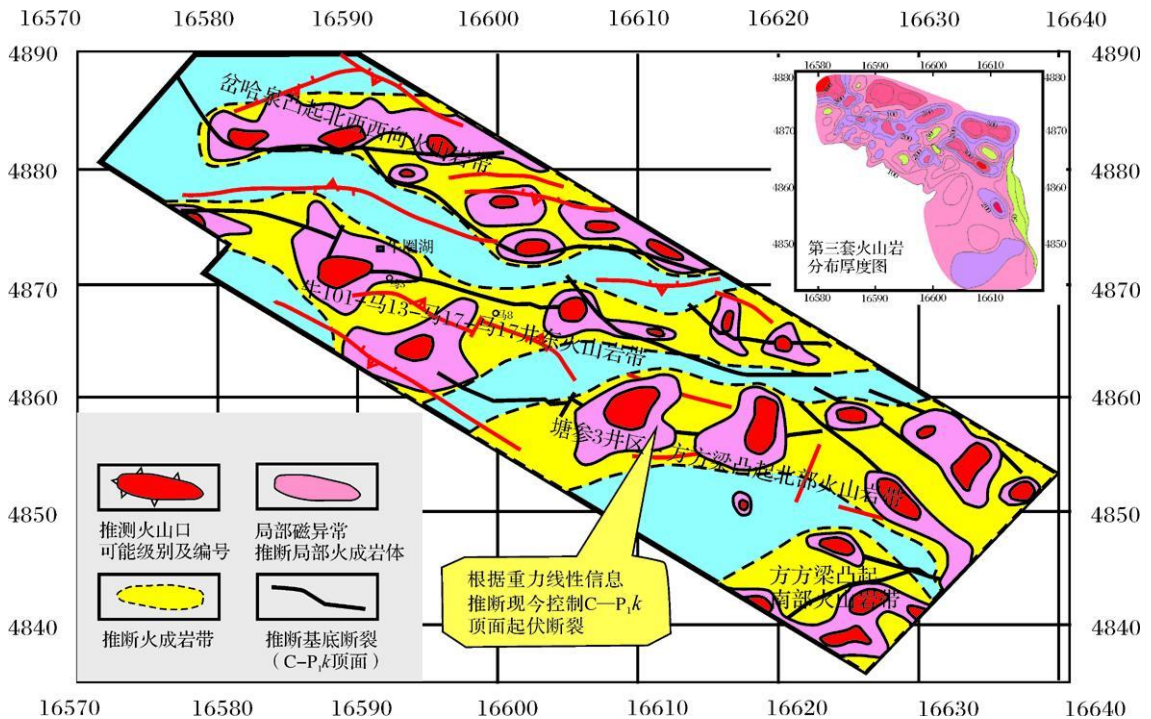


图 3 三塘湖盆地马朗凹陷上石炭统火山岩带推断解释图 (据吐哈油田资料, 2007)

Fig 3 The inferred volcanic distribution in early Carboniferous Period in Malang sag in Santanghu basin

③柳益群, 刘洪福, 李玮, 等. 吐哈探区野外石炭系一下二叠统典型地层剖面建立. 吐哈油田内部资料. 2009



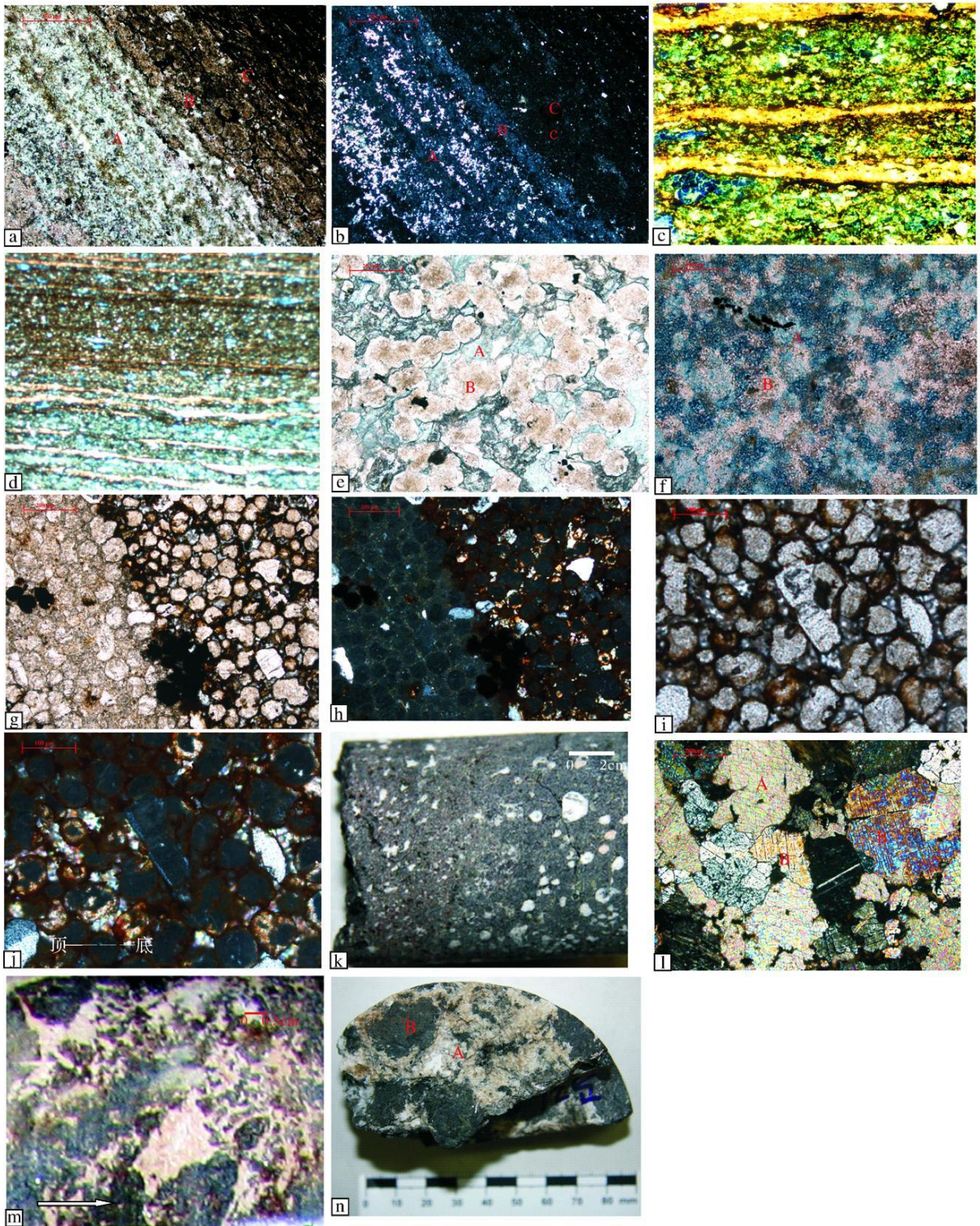


图 4 白云石及其共生矿物特征

a 由泥晶、微晶铁白云石 (A)、泥晶石英 (B) 和方沸石 (C) 组成的互层 (单偏光, 染色片); b 由泥晶、微晶铁白云石、泥晶石英和方沸石组成的互层 (正交偏光); c 粉晶铁白云石 (蓝色) 与藻类 (黄色)、有机质 (黑色) 互层呈纹层 ( $10 \times 10$ , 单偏光, 染色片); d 粉晶铁白云石 (蓝色) 与方沸石 (黄褐色)、藻类 (浅红色) 互层呈纹层 ( $10 \times 10$ , 单偏光, 染色片); e 方沸石岩, 铁白云石 (A) 作为方沸石 (B) 的胶结物; f 铁白云石 (A) 胶结的方沸石岩 (B) (单偏光, 染色片); g 被泥晶石英胶结 (左) 和被铁白云石胶结 (右) 的不同层方沸石岩 (单偏光); h 被泥晶石英胶结 (左) 和被铁白云石胶结 (右) 的不同层方沸石岩 (正交偏光); i 铁白云石胶结并交代方沸石, 方沸石呈均匀粒状 (单偏光, 染色片); j 铁白云石胶结 (高级干涉色) 并交代方沸石 (全消光, 正交偏光); k 充填火山岩气孔的方解石及浊沸石; l 呈半自形晶的方解石 (A: 5 级干涉色, 菱形解理) 和硬石膏 (B: 2 级兰和 1 级黄干涉色, 正交解理) 组成单层 (正交偏光); m 钻井岩心中火山岩的树枝状构造, 碳酸盐和浊沸石沿裂缝充填; n 钻井岩心中火山岩的角砾状构造, 碳酸盐沿裂缝充填 (A), 火山岩呈角砾 (B)

Fig 4 Characteristics of dolomite and mineral association



### 3 热水白云岩及其共生的矿物组合特征

纹层状白云岩单层厚度一般为 0.3~1 cm,由白云石、泥晶石英和有机质(含藻类)互层而成(图 4a, b, c, d),夹于白云质泥岩、凝灰岩的互层中,局部层段可见极细交错层理,为本区首次发现。经铁氰化钾和茜素红染色,白云岩中呈现绿蓝色纹层,几乎全为铁白云石。显微镜下观察,铁白云石主要为泥晶白云石和粉晶白云石,粒度多在 0.02~0.04 cm,大小均匀,晶形较差,多呈球粒及它形状,少量呈半自形状;藻类呈圆形、半圆形,个体 < 0.03 cm(类型待鉴定),它们及孔隙中有机质均发强烈的荧光。本次还发现与纹层状白云岩呈互层的方沸石岩,其中方沸石含量大于 90%,大小及分布均匀,呈粒状,不同纹层中粒度变化明显。这些方沸石或被铁白云石胶结(图 4e, f),或被泥晶、微晶石英、伊利石所胶结(图 4g, h),并普遍见到被铁白云石交代的现象(图 4i, j),它们应为碱性热水沉积产物<sup>[3]</sup>。在个别纹层中,还见到完全由半自形晶组成的方解石和硬石膏及钠长石(图 4k)。在这些热液矿物组合发育地区,在其下部层位的火山岩常见变形的气孔及垂直、网状、树枝状裂缝,其中普遍充填了大量的黄铁矿、方解石及浊沸石等热液矿物(图 4l, m)。有些部位火山岩裂缝极为发育,热液矿物含量较多,火山岩被分割包绕呈角砾状(图 4n),推测离喷流口较近<sup>[4]</sup>。根据上述共生矿物组合、岩石构造和形成背景,认为三塘湖盆地中二叠统白云岩的形成可能与火山作用和湖底热液作用有关,是一种与岩浆作用、深部热液相关的热热水沉积白云岩。

### 4 白云岩沉积环境

在中二叠世芦草沟组沉积时期,马朗凹陷的沉积中心位于凹陷南部,该凹陷的构造沉降速率为 33.46 m/Ma,沉积速率为 133.46 m/Ma,不论在时间上还是在空间上均是三塘湖地区沉积、沉降速率最大的区块<sup>[11]</sup>,因此沉积了厚度达 3200~4200 m 的暗色岩系(含火山岩厚度)。已有研究资料表明<sup>[11]</sup>,19 个白云质岩石的 Mg/Ca 比值测定均小于 1,平均 0.402,盐度平均指数为 124.43,  $\delta^{18}O_{\text{‰}} = -18$ ,  $\delta^{13}C_{\text{‰}} = 1.2\text{‰}$ (PDB)~6.3‰(PDB),平均 2.64‰(PDB);12 个样品的 Sr 含量主体介于  $164 \times 10^{-6} \sim 537 \times 10^{-6}$ ,平均  $379.1 \times 10^{-6}$ , Sr/Ba > 1,平均 4.05,在芦草沟组

的原油中检测出丰富的  $\beta$ -胡萝卜素烷和  $\gamma$ -蜡烷( $\gamma$ -蜡烷 GI 指数为 0.04~0.74)<sup>[12]</sup>,均说明当时的湖泊为盐度适中的还原性水体。另外,在 12 个样品中还检测到较高的 Ba、V 和 N 离子,其中 Ba 离子含量介于  $17 \times 10^{-6} \sim 1353 \times 10^{-6}$ ,有 8 个样品的 Ba 离子含量超过  $200 \times 10^{-6}$ ;V 离子含量  $54 \times 10^{-6} \sim 242 \times 10^{-6}$ ,其中 8 个样品的 V 离子含量介于  $105 \times 10^{-6} \sim 242 \times 10^{-6}$ ;N 离子含量  $2 \times 10^{-6} \sim 62 \times 10^{-6}$ ,有 9 个样品的 N 离子含量小于  $40 \times 10^{-6}$ ,参考该时期发育厚层富含有机质及吐鲁番鳕鱼、双壳、叶肢介、介形虫等化石的暗色泥岩,表明该地区当时应为较安静、潮湿温暖的湖泊环境。综上所述,结合纹层状白云岩在马朗凹陷已见三个集中出露点,具有点式分布的特点,推测三塘湖地区中二叠世时可能有多个热液喷流口,在喷流口附近来自地幔的热液向上喷流,并与湖水快速混合,是一种喷流口盐度较高、周围盐度较低、水体温暖、安静、富地幔热液成分的湖泊沉积环境。

### 5 白云岩成因分析

前已述及,三塘湖盆地马朗凹陷中二叠统芦草沟组纹层状白云岩目前仅见于马朗凹陷中。根据纹层状白云岩的矿物组合和形成环境,认为该白云岩是一种“白烟型”湖相喷流热水沉积白云岩。该白云岩的形成与岩浆作用和地幔热液作用密切相关。地幔热流的上涌是造成该时期异常高热地温梯度的主要原因,岩浆活动加剧了局部热异常。利用镜质体反射率、流体包裹体测温求取的新疆东部地区石炭纪—二叠纪裂谷发育时期的地温梯度平均为  $4.4^{\circ}\text{C}/100\text{m}$ <sup>[13]</sup>。在石炭纪—二叠纪地幔隆起时,深部热液不断被异常高热地温梯度驱动向上运移、喷流,在喷流口形成成分较纯的白云岩及方沸石岩、硅质岩及热液成因矿物,在喷流口周边以至较远地带,由于与湖水混合及湖相沉积物的加入,温度快速降低(一般 <  $2^{\circ}\text{C}$ )<sup>[14]</sup>,出现泥质白云岩、白云质泥岩等岩石类型。再远过渡为正常沉积的沉积岩和凝灰岩等岩石类型。

镁离子的浓度是白云岩形成的重要因素。三塘湖盆地的纹层状白云岩是一种铁白云石含量极高的白云岩,它的形成必须有大量的镁离子和铁离子供应。推测该白云岩的可能成因为:地幔热液在高地温梯度驱动下呈脉动式向上喷流,当地幔流体是一种低温的碳酸盐热液时(热液温度低于  $100^{\circ}\text{C}$ )<sup>[15]</sup>,热液在喷流口附近形成方解石、文石和水镁石矿物<sup>[16]</sup>。在地幔隆起时,超基性岩浆会底辟到花岗岩层和玄武

岩层中,来自地幔的流体(是一种富碱、富烃的热液)在上升过程中使地壳中的超基性岩发生蛇纹石化,放出大量的镁离子、铁离子及铁族金属元素,并形成膏岩、卤水及大量热液矿物。这些离子进一步上升到沉积地层中则发生  $Mg^{2+}$  及  $Fe^{2+}$  的交代作用(铁白云石化),  $Na^+$  的交代作用(钠长石化),  $K^+$  的交代作用(伊利石化),从而形成铁白云石、钠长石、伊利石等交代矿物<sup>[14-20]</sup>。本次发现的丰富的方沸石岩,可能是碱性热液直接沉积而成<sup>[4]</sup>,也是一种热液喷流岩,形成后被铁白云石所交代。

另一方面,三塘湖盆地芦草沟组中丰富的硫酸盐矿物(重晶石)和硫化物(黄铁矿)以及丰富的 V 和 N 离子也为热液流体的反映。硫酸盐型热液温度介于 100~320°C,硫化物型热液温度介于 300~400°C<sup>[14]</sup>。据卡拉岗组和条湖组火山岩裂隙中流体包裹体均一温度资料<sup>[21]</sup>,其盐水包裹体温度介于 60~240°C 之间,表现出多期的特点。用  $T = 14.8 - 5.14 \times \delta^{18}O$  计算白云岩的成岩温度为 112.2°C<sup>[2]</sup>,因此,三塘湖盆地芦草沟组时期的热液可能既有低温热液又有中温热液,它们可能交替喷发,具有多期喷发的特点。然而,上述热液矿物的形成机理尚待进一步的证据支持,白云岩的成因也有待于深入研究。更为重要的是,地幔热液与油气生成的关系业已取得重要的研究进展<sup>[7,19,20-24]</sup>。热液会不会使沉积有机质在较短的时间内转化成石油?三塘湖盆地的石油生成是否有地幔无机烃的加入?现代海相喷流岩与古代陆相喷流岩的成因和判识有何异同?随着三塘湖盆地古代陆相“白烟型”喷流岩的首次发现及研究的不断深入,必将对此类沉积岩石的成因、成矿机理及油气生成理论的探讨提供翔实的依据。

致谢 在本文撰写之前,曾与成都理工大学郑荣才教授进行学术交流,受益匪浅,在此谨致谢忱!

### 参考文献 (References)

- 李红,柳益群,朱玉双.新疆三塘湖盆地二叠系湖相白云岩形成机理初探[J].沉积学报,2007,25(1):75-81 [Li Hong, Liu Yiqun, Zhu Yushuang. Preliminary study on the origin of lacustrine dolostones of Permian, Sangtanghu Basin, Xinjiang [J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2007, 25(1): 75-81]
- 朱玉双,柳益群,周鼎武.三塘湖盆地中二叠统芦草沟组白云岩成因[J].西北地质,2009,42(2):95-99 [Zhu Yushuang, Liu Yiqun, Zhou Dingwu. Origin of dolostone in Lucaogou Formation of middle Permian in Sangtanghu basin [J]. Northwest Geology, 2009, 42(2): 95-99]
- 郑荣才,王成善,朱利东,等.酒西盆地首例湖相“白烟型”喷流岩——热水沉积白云岩的发现及其地质意义[J].成都理工大学学报:自然科学版,2003,30(1):1-8 [Zheng Rongcai, Wang Chengshan, Zhu Lilong, et al. Discovery of the first example of “white smoke type” of exhalative rock (hydrothermal sedimentary dolostone) in Jiuxi Basin and its significance [J]. Journal of Chengdu University of Technology: Science & Technology Edition, 2003, 30(1): 1-8]
- 范铭涛,杨明科,方国玉,等.青西凹陷下白垩统湖相喷流岩成因探讨及其意义[J].沉积学报,2003,21(4):560-564 [Fan Mingtao, Yang Mingke, Fang Guoyu, et al. Origin of lacustrine hydrothermal sedimentary rock (Lower Cretaceous) in Qingxi Sag and its significance [J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2003, 21(4): 560-564]
- 文国华,郑荣才,海明清,等.酒西盆地青西凹陷下沟组湖相热水沉积岩锶同位素地球化学特征[J].沉积学报,2009,27(4):642-649 [Wen Guohua, Zheng Rongcai, Haimingqing, et al. Characteristics of strontium isotopic geochemistry of sublacustrine hydrothermal sedimentary rock of Xigou Formation in Qingxi Sag, Jiuquan Basin [J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2009, 27(4): 642-649]
- 张景廉,曹正林,于均民.白云岩成因初探[J].海相油气地质,2003,8(2):104-115 [Zhang Jinglian, Cao Zhenglin, Yu Junmin. Discussion on the Origin of Dolomitization [J]. Marine Origin Petroleum Geology, 2003, 8(1-2): 109-115]
- Jean-Jacques Tiercelin 王登红译自 Geology 1993, 21: 499-502 东非裂谷坦噶尼喀湖的热液喷口 [J]. 世界地质, 1994, 13(4): 12-14 [Jean-Jacques Tiercelin, Catherine Pflum, Maryse Castrec, et al. Hydrothermal vents in Lake Tanganyika, East African Rift system [J]. Geology, 1993, 21: 499-502]
- Simonett B R I, Lonsdale P F. Hydrothermal petroleum in mineralized mounds at the seabed of Guaymas Basin [J]. Nature, 1982, 295 (5846): 198-202
- 周鼎武,柳益群,邢秀娟,等.新疆吐一哈、三塘湖盆地二叠纪玄武岩形成古构造环境恢复及区域构造背景示踪[J].中国科学: D 辑, 2006, 36(2): 143-153 [Zhou Dingwu, Liu Yiqun, Xing Xir-jian, et al. Restoration of ancient tectonic environment and the regional tectonic setting tracing of Permian basalts in Xinjiang Turpan-Hami Basin and Sangtanghu Basin [J]. Science in China: Series D, 2006, 36(2): 143-153]
- Wan Yang, Yiqun Liu, Qiao Feng, et al. Sedimentary evidence of Early-Late Permian mid-Latitude continental climate variability, southern Bogda Mountains, northwest China [J]. Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology, 2007, 252: 239-258
- 李红,柳益群.三塘湖盆地条湖、马朗凹陷沉降史分析[J].西北大学学报,2004,34(6):721-725 [Li Hong, Liu Yiqun. Analysis of the subsidence history of Tiaohu and Malang Sags of Sangtanghu Basin [J]. Journal of Northwest University: Natural Science Edition, 2004, 34(6): 721-725]
- 冯乔,柳益群,郝建荣.三塘湖盆地芦草沟组烃源岩及其古环境[J].沉积学报,2004,22(3):513-516 [Feng Qiao, Liu Yiqun, Hao Jianrong. The source rock and its palaeo-environment of Lucaogou Formation, Permian in Sangtanghu Basin [J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2004, 22(3): 513-516]
- Liu Yiqun, Yuan Mingsheng, Zhou Dingwu, et al. New progress on

- geochemical history of the Tüpan-Hami Basin, Xinjiang, China [J]. *Science in China Series D*, 2001, 44(2): 166-176
- 14 Von Damm K L. Lost city found [J]. *Nature*, 2001, 412: 127-128
- 15 Kelley D S, Karson J A, Blackman D K, *et al*. An off-axis hydrothermal vent field near the mid-atlantic Ridge at 30 [J]. *Nature*, 2001, 412: 145-149
- 16 李江海, 牛向龙, 冯军. 海底黑烟囱的识别研究及其科学意义 [J]. *地球科学进展*, 2004, 19(1): 17-25 [Li Janghai, Ni Xianglong, Feng Jun. The identification of the fossil black smoke chimney and its implication for scientific research [J]. *Advance in Earth Sciences*, 2004, 19(1): 17-25]
- 17 Rona P A. Mineral deposits from sea-floor hot spring [J]. *Scientific American*, 1986, 254: 84-92
- 18 沃里沃夫斯基, 萨尔基索夫. 世界最大含油气盆地 [M]. 任俞译. 北京: 石油工业出版社, 1991 [Bakirov A, Karia Salajisov. The Largest Oil and Gas Basin in the World [M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 1991]
- 19 张景廉, 王先彬, 曹正林. 液态烃的生成与深部油气藏 [J]. *地球科学进展*, 2000, 15(5): 545-552 [Zhang Jinglian, Wang Xianbin, Cao Zhenglin. Hydrothermal hydrocarbon formation and deep petroleum prospect [J]. *Advance in Earth Sciences*, 2000, 15(5): 545-552]
- 20 杜乐天, 欧光习. 盆地形成及成矿与地幔流体间的成因联系 [J]. *地质前缘*, 2007, 14(2): 215-224 [Du Letian, Ou Guangxi. Genetic relationship between basin formation associated mineralization and mantle fluids [J]. *Earth Science Frontiers*, 2007, 14(2): 215-224]
- 21 曹青, 柳益群. 三塘湖盆地流体包裹体研究及其应用 [J]. *岩石学报*, 2007, 23(9): 2310-2314 [Cao Qing, Liu Yiqun. Application of fluid inclusion to study of petroleum migration in Santanghu Basin [J]. *Acta Petrologica Sinica*, 2007, 23(9): 2310-2314]
- 22 Simoneit B R I. Hydrothermal effect on recent diatomaceous sediments in Guaymas Basin: generation, migration, and deposition of petroleum, the Gulf and Peninsular province of the California [J]. *AAR G Memoir*, 1991, 47: 793-825
- 23 Simoneit B R I, Kvenvolden K A.  $^{14}\text{C}$  ages of hydrothermal petroleum and carbonate in Guaymas Basin, Gulf of California: Implications for oil generation, expulsion, and migration [J]. *Geology*, 1991, 19: 253-256
- 24 Dilyk B M, Simoneit B R T. Hydrothermal oil of Guaymas Basin and implications for petroleum formation mechanisms [J]. *Nature*, 1989, 342: 65-69

## Pemian Lacustrine Eruptive Hydrothermal Dolomites, Santanghu Basin, Xinjiang Province

LIU Yiqun<sup>1</sup> LI Hong<sup>1</sup> ZHU Yushuang<sup>1</sup> HU Ting<sup>2</sup> FU Guobin<sup>2</sup> LIU Hongfu<sup>1</sup>  
ZHOU Xiaohu<sup>1</sup> ZHENG Chaoyang<sup>1</sup> FAN Tingting<sup>1</sup>

(1. State Key Laboratory of Continental Dynamics, Northwest University, Department of Geology, Northwest University, Xi'an 710069;  
2. Exploration Development & Research Institute of Tu-HA Oilfield, CNPC, Hami Xinjiang 830002)

**Abstract** Late Carboniferous to Early Permian was an important period of tectonic changes and ocean-continent transformation in northern Xinjiang area. Several approximately east-west intracontinental rifts occurred, such as Santanghu basin, where abundant basic, intermediate, and acidic volcanic rocks are present. Deposition of moderately deep lacustrine sediments of the Lucaogou Formation occurred during Middle Permian in Northern Xinjiang. The sediments include thick dark colored shale, tuffaceous shale, and dolomite shale, intercalated with dolomitic micritic limestone, tuff dolomite, and volcanic rocks. They contain Turfanian bivalve, conchostracans, and ostracoda. The dolomite is composed of interlamated ankerite, cryptocrystalline quartz and organic matter including algae and animal laminae as ankerite. The ankerites were cemented and replaced by ankerite. In addition, hydrothermal minerals like albite, illite, anhydrite, and pyrite are present. These hydrothermal minerals were firstly recognized in the Lucaogou, and the distribution of dolomite is consistent with that of the underlying Upper Carboniferous volcanic rocks, which occur in fractures and point sources. The network-like and branch-like fractures in volcanic rocks with a brecciated structure are filled with hydrothermal minerals, indicating deposition around a hydrothermal vent. Preliminary analysis indicateds that dolomites were related to magmatism and mantle hydrothermal fluid, and formed as lacustrine eruptive hydrothermal dolomites.

**Key words** hydrothermal dolomite, mantle hydrothermal fluid, lacustrine, Permian, Santanghu rift basin