

赣南淘锡坑钨矿床流体包裹体特征及其地质意义

汪群英¹, 路远发^{1*}, 陈郑辉², 彭相林¹, 熊险峰¹

(1. 长江大学地球化学系, 湖北, 荆州, 434023; 2. 中国地质科学院矿产资源研究所, 北京, 100037)

摘要: 淘锡坑钨矿是赣南一个重要的大型石英脉型钨多金属矿床。矿床主要矿化阶段含矿石英脉中石英和黄玉中的流体包裹体类型有单一水溶液相 $H_2O-NaCl$ (I a 型)、富液 L+V 两相 $H_2O-NaCl$ (I b 型)、两相 $H_2O-NaCl-CO_2$ 体系包裹体 (II a 型) 和三相 $H_2O-NaCl-CO_2$ 包裹体 (II b 型)。I b 型包裹体均一温度范围为 $80 \sim 370^\circ C$, 具有多峰态分布特征, 可识别出 $140 \sim 190^\circ C$, $200 \sim 250^\circ C$ 和 $340 \sim 360^\circ C$ 几个峰。成矿流体的盐度相对较低, 一般 $< 8w(NaCl_{eq})\%$ 。用流体包裹体组合的方法获得四组包体的相关参数, 结果表明同一包体组合内不同包体的盐度、均一温度及密度基本一致, 而不同包体组合中包体的盐度、均一温度及密度则相差较大, 显示出不同包体组合所捕获的流体存在较大的差异。I b 型包裹体均一温度分别分布在 $329 \sim 355^\circ C$, $214 \sim 240^\circ C$ 和 $141 \sim 189^\circ C$ 三个温度区间, 经压力校正后的捕获温度分别为 $400 \sim 425^\circ C$, $275 \sim 300^\circ C$, $210 \sim 260^\circ C$ 。这些特征表明, 淘锡坑钨矿至少存在三期热液流动, 其中前两期为成矿期的热液活动, 第三期 (次生包体) 为成矿后的热液活动。根据 II 型包裹体的 CO_2 部分均一温度与最终均一温度计算出成矿流体的捕获压力 $67.3 \sim 97.8\text{ Mpa}$, 平均压力 74.8 Mpa , 按静岩压力换算成成矿深度为 $2.59 \sim 3.77\text{ km}$, 平均为 2.88 km 。

关键词: 钨矿床; 流体包裹体; 流体包裹体组合; 成矿流体; 淘锡坑; 赣南

中图分类号: P618.67

文献标识码: A

赣南地区素来享有“世界钨都”的美誉, 具有钨矿储量丰富, 类型全面, 产出集中的特点, 这在全国及至世界都很罕见。淘锡坑钨矿是赣南地区一处大型热液石英脉型钨矿床, 并以品位富而闻名。前人对淘锡坑钨矿床进行过系统的矿床学及成岩成矿年代学研究工作^[1-4], 但是对该矿床的成矿流体研究工作尚显不足。

金属矿床的形成都是在流体的直接参与下进行的, 没有流体就不可能发生成矿作用。流体包裹体研究是当前成矿流体研究的一个重要的方面。看似简单的赣南石英脉型钨矿床, 实质上存在着多期次、复杂的成矿作用过程, 而流体包裹体是记录这

一复杂过程信息的重要载体。本文通过对淘锡坑钨矿床流体包裹体进行系统的研究, 旨在查明成矿流体的基本特征, 为确定矿床成因、恢复成矿过程进而为区域成矿规律研究提供一些基本依据。

1 区域地质概况

赣南地区处于欧亚大陆板块与滨西太平洋板块消减带的内侧华夏板块中, 属环太平洋构造域 (一级构造) 中生代构造带的南东部, 次级构造单元为南岭东西向构造带 (二级构造) 东段与武夷山 NE-NNE 向构造带南段的复合部位。地壳运动频繁, 构造变形错综复杂, 具有多旋回、多方向叠加复合的特点。

本区各类岩浆岩体出露较多, 侵入岩以花岗岩为主, 间有少量的中酸性、基性岩。岩浆侵入具有多

收稿日期: 2011-10-24; 修回日期: 2012-01-06

基金项目: 全国危机矿山接替资源找矿项目 (20089947) 资助

作者简介: 汪群英 (1987—), 女, 硕士研究生, 地球化学专业, E-mail: emma.victory@163.com

* 通讯作者: 路远发 (1959—), 男, 研究员, 地球化学专业, E-mail: Lyuanfa@163.com

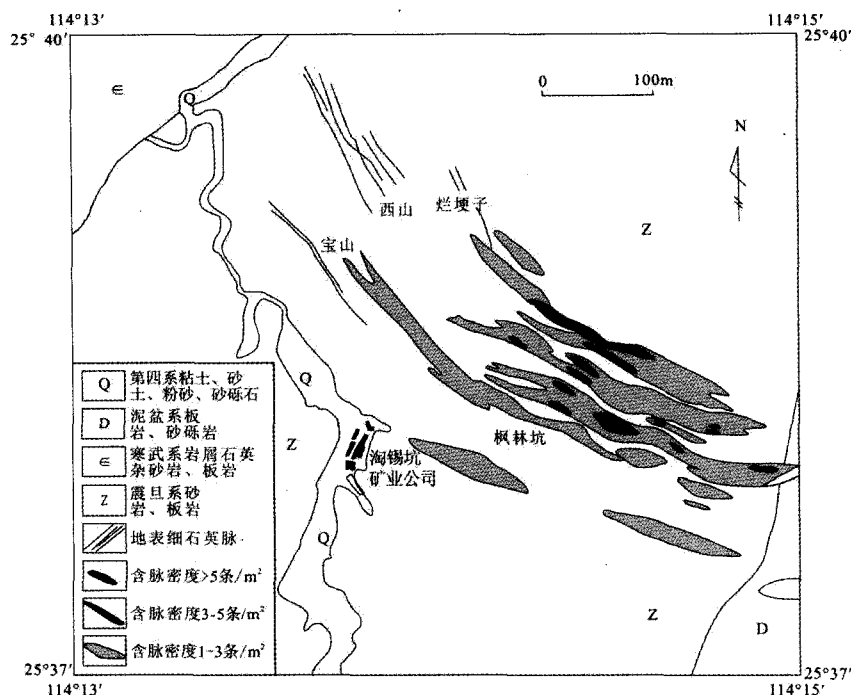
图1 淘锡坑矿区地质简图^[2]

Fig.1 Geological map of the Taosikeng tungsten deposit

期次活动的特点。与成矿有关的花岗岩类主要是分异演化程度较高并以高硅、富碱、富挥发分、铝过饱和为特征的陆壳改造型花岗岩,岩体富含钨、锡、钼、铋、铍等成矿元素,常呈复式岩体产出^[1]。成矿地质条件优越,使得本区矿产资源丰富,尤其以富产钨矿闻名于世。主要矿床类型包括热液石英脉型、花岗岩型、云英岩型、矽卡岩型、层控浸染型、破碎带型等,其中石英脉型是本区最重要的矿床类型。

2 矿床地质特征

淘锡坑钨矿床处于NNE向九龙脑-营前岩浆岩带与E-W向古亭-赤土区域构造-岩浆-成矿带的交汇部位。

矿区地层简单,主要有震旦系、寒武系、奥陶系,属浅海相碎屑岩类,成分为细砂岩、粉砂岩、粉砂质板岩等。构造主要有淘锡坑倒转复式背斜及大量NE向断裂,大范围出露的为震旦纪、寒武纪、奥陶纪变质岩系,也是矿区的主要赋矿围岩,仅在矿区东部有泥盆纪、二叠纪、石炭纪沉积岩出露,构成宝山近S-N向向斜拗陷的一部分。

区内断裂发育,形式复杂,规模不大,活动时间较长,既有控矿、储矿断裂又有成矿期后破坏性断裂构造。根据空间展布主要有三组方向:S-N向断裂、NE向断裂、W-W向断裂。

(1)S-N向断裂:是矿区形成最早的断裂,走向近南北向,西倾为主,倾角 $70^{\circ}\sim 80^{\circ}$ 。其力学过程先张后扭。矿区S-N向断裂主要为密溪河大断裂,长达5 km,宽1~20 m,直接影响了淘锡坑隐伏岩体的侵入定位。

(2)NE向断裂:规模较大,延长1.4 km,绝大部分表现为硅化带,裂面多数向NW倾斜,倾角 $55^{\circ}\sim 80^{\circ}$,成矿前形成,据现有资料分析其力学过程是压-张-扭。

(3)E-W向断裂:规模较小,多为低温石英细脉构成的硅化破碎带,走向 $260^{\circ}\sim 280^{\circ}$,倾向北,倾角 $60^{\circ}\sim 85^{\circ}$,此组断裂反映出压扭-张-压的形迹特征。

矿区钨矿体呈脉状产出,产于燕山期花岗岩外接触带的变质岩内,矿体的形成与隐伏花岗岩体的侵入就位密切相关。按矿脉的空间展布位置,可分为:宝山、棋洞、烂埂子、枫岭坑4大脉组(如图1所示)。

3 样品采集、加工及流体包裹体岩相学特征

本文研究样品分别采自烂埂子、宝山和西山脉组的主要矿化阶段的大脉中。样品的主要矿物组合类型有黑钨矿-黄铁矿-石英组合和黑钨矿-黄玉-石英组合。

将经过精心挑选的样品磨制成厚度约为0.3 mm 双面抛光的测温薄片。把薄片置于显微镜下观察、寻找流体包裹体并对包体的岩相学特征进行鉴定,识别出寄主矿物类型、划分包体的成因类型以及包裹体的组合特征。选出有代表性的不同类型包体,然后再在薄片上用记号笔标明,对所选包裹体编号以便于下一步的测温研究工作。

前人研究表明^[9],赣南钨矿的流体包裹体可分为四种类型,即气液型、含 CO₂ 型、气体型和少量的含食盐子晶的多相包裹体。本次所采的样品中并未发现含食盐子晶的多相包裹体,因此,本文研究的对象主要是前三种包裹体。

根据 Roedder^[10]和卢焕章等^[11]提出的流体包裹体在室温下相态分类准则及冷冻回温过程中的相

态变化,可将本次淘锡坑钨矿流体包裹体划分为 H₂O-NaCl 型包裹体(I 型)、H₂O-NaCl-CO₂ 型包裹体(II 型)两种类型的包裹体(如图 2 所示)。

I 型为 H₂O-NaCl 包裹体,包括纯液相 L 单一相 H₂O-NaCl 体系包裹体(I a)和富液相 L+V 两相 H₂O-NaCl 包裹体(Ib)。

I a 型:纯液相 H₂O-NaCl 包裹体,此类包裹体出现量不多,在室温下呈纯液相产出,大小一般为 5~8 μm,最大可达 20 μm 以上。形态为不规则形、管状和椭圆形等。

I b 型:富液相 L+V 两相 H₂O-NaCl 包裹体, L 主要为水溶液, V 主要为水蒸气。本类包裹体是在成矿阶段石英中占流体包裹体总量的 80% 以上。包裹体体积变化较大,一般为 5~20 μm,最小的长径在 0.5 μm 以下,最大的长径可达 105 μm。形状一般为椭圆形、楔形、半负晶形、负晶形和不规则形等,气相体积分数通常在 5%~15%,个别可达到 30% 左右。

II 型为 H₂O-NaCl-CO₂ 包裹体。在所测样品中,该类包裹体数据不多,占包裹体总数的比例约 10%,在室温条件,按相态可进一步划分为不含液相 CO₂ 的两相 H₂O-NaCl-CO₂ 包裹体(II a)和含液

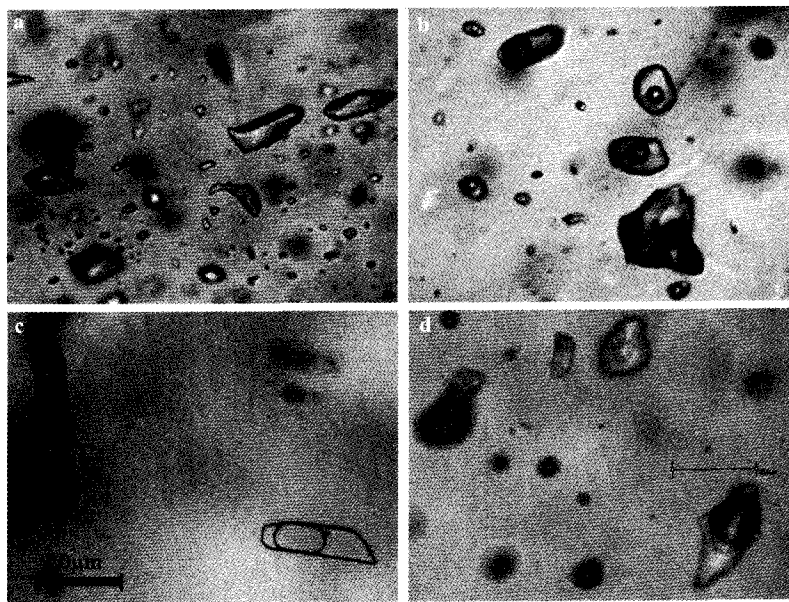


图2 淘锡坑钨矿床含矿石英脉中的流体包裹体类型

a: I a型包裹体; b: I b型包裹体; c: II a型包裹体; d: II b型包裹体

Fig. 2 Types of fluid inclusions in ore-bearing quartz veins from Taosikeng tungsten deposit

a: Type I a fluid inclusions; b: Type I b fluid inclusions; c: Type II a fluid inclusions; d: Type II b fluid inclusions

相 CO_2 的三相 $\text{H}_2\text{O}-\text{NaCl}-\text{CO}_2$ 包裹体(II b)。

II a: 两相 $\text{H}_2\text{O}-\text{NaCl}-\text{CO}_2$ 包裹体, 室温条件下, 由液相 CO_2 和水溶液组成, 在冷冻过程中则有气相 CO_2 的出现。 CO_2 占包裹体总体积的 30%~75%不等, 形态呈不规则形、管状和椭圆形等, 大小一般为 10~25 μm , 呈孤立状或与 I a、II a 型包裹体共生, 一般为原生包裹体。

II b: 三相 $\text{H}_2\text{O}-\text{NaCl}-\text{CO}_2$ 包裹体, 由水溶液、液相 CO_2 和气相 CO_2 构成, CO_2 体积变化较大, 从 20%~95%不等。形态一般为半负晶形、椭圆形和不规则形等, 大小一般为 10~25 μm , 最大者可达 45 μm 。呈孤立状或与 I、II b 型包裹体相伴生产出, 一般为原生包裹体。

4 流体包裹体显微测温结果

流体包裹体显微测温分析在长江大学地球化学系教育部重点实验室流体包裹体室进行, 仪器为英国产的 Linkam-MDS600 冷热台 (温度范围: -195~+600 $^{\circ}\text{C}$), 分析精度为: $\pm 0.2^{\circ}\text{C}$, <30 $^{\circ}\text{C}$; $\pm 1^{\circ}\text{C}$, <300 $^{\circ}\text{C}$; $\pm 2^{\circ}\text{C}$, <600 $^{\circ}\text{C}$ 。

测温过程是先将系统温度降低到 -100 $^{\circ}\text{C}$ 以下, 然后缓慢升温, 在升温过程中观测有关相变点的温度。对于 I 型包体, 主要观测的相变温度有: 初熔温度、冰点温度、均一温度及均一相态; 对于 II 型包体, 所观测的相变温度有: 初熔温度、 CO_2 笼形物融

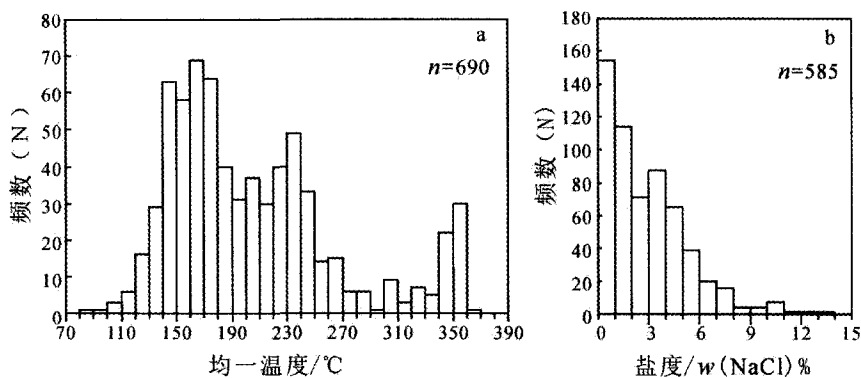


图3 淘锡坑钨矿床石英脉中 I 型流体包裹体的均一温度(a)、盐度(b)分布直方图

Fig3. Histogram of homogenization temperature and salinity for type I fluid inclusions from wolframite-quartz veins of Taosikeng tungsten deposit

化温度、 CO_2 部分均一温度、完全均一温度。然后根据相关相变温度计算流体的盐度和密度和捕获压力等参数。

I-型包体的初熔温度为 -21 $^{\circ}\text{C}$, 为典型的 $\text{NaCl}-\text{H}_2\text{O}$ 体系, 其盐度计算采用下列公式^[8]:

$$S=0.00+1.78 T_m-0.0442T_m^2+0.000557T_m^3$$

式中, S 为流体的盐度, 单位为 NaCl 当量质量百分数 [$w(\text{NaCl}_{\text{eq}})\%$], T_m 为冰点下降温度 ($^{\circ}\text{C}$)。

其密度计算采用的公式如下^[9]:

$$\begin{aligned} \rho = & (0.993531 + 8.72147 \times 10^{-3} \times s - 2.43975 \times 10^{-5} \times s^2) \\ & + (7.11652 \times 10^{-5} - 5.2208 \times 10^{-5} \times s + 1.26656 \times 10^{-6} \times s^2) \times t \\ & + (-3.4997 \times 10^{-6} + 2.12124 \times 10^{-7} \times s - 4.52318 \times 10^{-9} \times s^2) \times t^2 \end{aligned}$$

式中, ρ 为密度 (g/cm^3), s 为盐度 [$w(\text{NaCl}_{\text{eq}})\%$], t 为均一温度 ($^{\circ}\text{C}$)

II 型包裹体的盐度利用 CO_2 笼形物的熔化温

度求得^[10], 计算据公式^[9]为:

$$S=15.52022-1.02342t-0.05286 t^2$$

式中, S 为流体的盐度 [$w(\text{NaCl})\%$], t 为笼形物融化温度 ($^{\circ}\text{C}$)。

4.1 I-型包体的均一温度、盐度与密度

在本次研究中, 我们做了大量的测试工作, 共测薄片 23 片, 得到了大量的数据, 特别是 I 型包裹体 (如图 3 所示)。由图 3 可以看出, 本矿床流体包裹体均一温度范围宽, 从 80 $^{\circ}\text{C}$ 一直到 370 $^{\circ}\text{C}$ 均有分布, 并可识别出 140~190 $^{\circ}\text{C}$, 200~250 $^{\circ}\text{C}$ 和 340~360 $^{\circ}\text{C}$ 几个峰, 表明本矿床成矿流体具有多期次活动的特征。成矿流体的盐度相对较低, 一般 <8 $w(\text{NaCl}_{\text{eq}})\%$, 少量分布在 8~14 $w(\text{NaCl}_{\text{eq}})\%$ 之间。

虽然多期次的流体活动特征明显, 但除了沿裂

隙呈定向分布的流体包裹体为明显的晚期捕获的包体外,其它包体已很难根据岩相学特征区分捕获期次。为此,本文在岩相学分析基础上,按流体包裹体组合对其进行进一步的研究。流体包裹体组合指的是“岩相学上能够分得最细的有关联的一组包裹体”或“通过岩相学方法能够分辨出来的、代表最细分的包裹体捕获事件的一组包裹体”^[1]。包裹体组合可有效的制约测温数据的有效性。从黄玉和石英矿物里的 I 型包裹体中筛选出四组包裹体组合(FIA1、FIA2、FIA3、FIA4),FIA1 是黄玉中的包裹体组合,FIA2、FIA3 和 FIA4 都是石英中的包裹体组合;其中,FIA1、FIA2 是成群分布,为典型的原生包体特征;FIA3 成定向分布、FIA4 为沿裂隙分布,均属次生包裹体组合。同一流体包裹体组合中包含的包裹体的类型相同、形态相似,气液比相近,显然为同期捕获的流体包裹体(如图 4 所示)。

各包体组合的测温结果列于表 1 中,其均一温度分布特征如图 5 所示。由表 1 和图 5 可以看出,四组包裹体均一温度范围 FIA1:329 ~ 355 °C; FIA2:214 ~ 240 °C; FIA3:162 ~ 176 °C; FIA4:141 ~ 189 °C。包裹体组合 FIA1、FIA2 均一温度较高,FIA3、FIA4 均一温度较低,与之前的岩相学观察相吻合。

四个包体组合冰点温度范围为-0.1~-8.9°C,对

应的盐度范围为 0.18~12.89w (NaCl_{eq})/%。盐度从 FIA1→FIA2→FIA3→FIA4 具有逐渐降低的趋势。

四个包体组合的流体密度分别为:FIA1:0.724~0.788g/cm³,FIA2:0.849~0.917g/cm³,FIA3:0.922~0.94g/cm³,FIA4:0.915~0.958 g/cm³,总体上具有中低密度之特征。

由上可见,同一包体组合内不同包体的盐度、均一温度及密度基本一致,而不同包体组合中包体的盐度、均一温度及密度则相差较大,显示出不同包体组合所捕获的流体存在较大的差异。

在均一温度-盐度-密度图上(图 6),可以更清楚地看出四个包裹体组合具有的不同均一温度、盐度与密度的特征。在此图上,四个包体组合的点大致分布在三个密度密集区间。这进一步表明不同的包体组合所捕获的流体是不同的,从而证明,本矿床存在多期次的流体活动。

4.2 II 型包裹体均一温度、盐度及捕获压力估计

石英和黄玉中都发现了 II 型包裹体,但数量远少于 I 型包裹。如表 2 所示,本次共观察测试了 22 个 II 型包裹体。石英中的存在 II a 和 II b 两种类型包裹体,而黄玉中只发现 II a 型包裹体,两种矿物中的包裹体最终均一到液相和气相的都有。由图 7 可看出,II 型包裹体的完全均一温度远远高于 I 型包裹体,存在两个明显的峰值。其均一温度范围为 204~

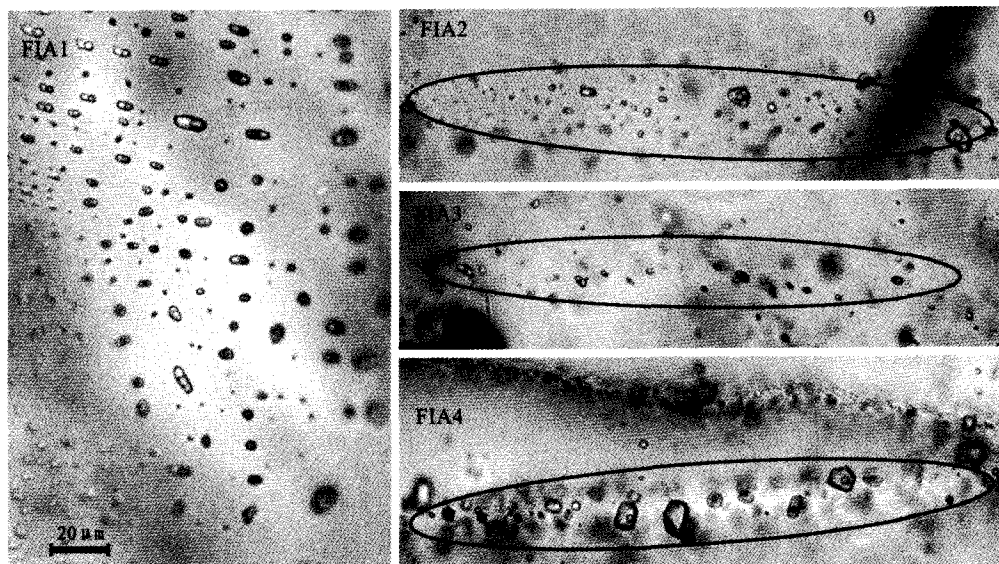


图4 陶锡坑钨矿床含矿石英脉石英中流体包裹体组合

Fig. 4 Microphotography of Fluid inclusion assemblages in ore-bearing quartz veins from Taosikeng tungsten deposit

表1 淘锡坑钨矿床主成矿阶段I型流体包裹体测温结果

Table 1 Summary of microthermometric data for type I fluid inclusions in the Taoxikeng tungsten deposit

FIA	包体 个数	寄主 矿物	产状	大小 (μm)	气相百分 比 (%)	初融温 度($^{\circ}\text{C}$)	冰点温度 ($^{\circ}\text{C}$)	均一温度 ($^{\circ}\text{C}$)	平均均一 温度($^{\circ}\text{C}$)	盐度 $w(\text{NaCl}_{\text{eq}})/\%$	密度 g/cm^3
FIA1	25	黄玉	成群分布	6~12	20~40	-21	-8.9~-5.9	329~355	345	9.15~12.89	0.724~0.788
FIA2	30	石英	成群分布	5~12	10~30	-21	-6.5~-2.7	214~240	229	4.49~9.86	0.849~0.917
FIA3	7	石英	定向分布	4~8	15~20		-4~-0.8	162~176	168	1.4~6.45	0.922~0.94
FIA4	13	石英	沿裂隙分布	5~12	10~20	-21	-3~-0.1	141~189	153	0.18~4.96	0.915~0.958

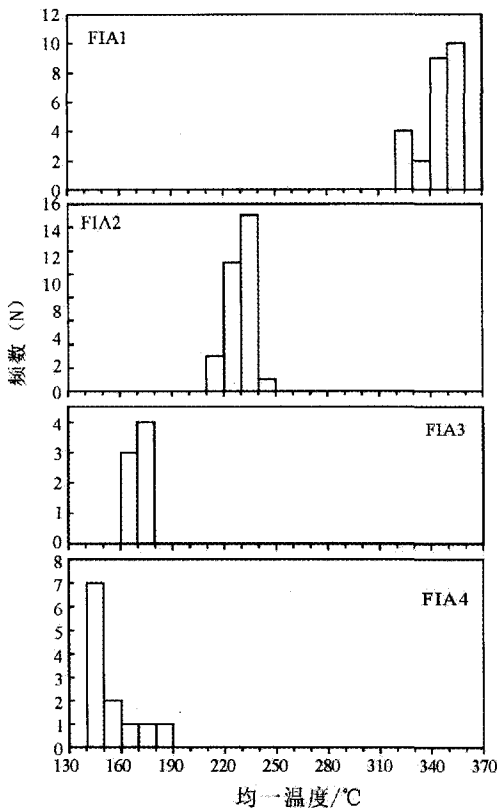


图5 淘锡坑钨矿床石英脉中不同FIA的均一温度直方图
Fig. 5 Histogram of homogenization temperature in different
FIAs from wolframite-quartz veins of Taoxikeng tungsten
deposit

352 $^{\circ}\text{C}$,主要集中在 280~290 $^{\circ}\text{C}$ 和 310~340 $^{\circ}\text{C}$ 。由表 2 可知,初熔温度范围为-57.6~-56 $^{\circ}\text{C}$,与纯 CO_2 的三相点(-56.6)略有偏差,说明除 CO_2 外,还存在少量其他的挥发分^[15]。盐度范围较宽,2.03~5.77 $w(\text{NaCl}_{\text{eq}})/\%$,密度范围 0.63~0.894 g/cm^3 。

含 CO_2 的流体包裹体是高压相的典型标志^[13],也是很好的捕获压力的研究对象。根据流体包裹体的显微测温数据,本文使用徐文刚等(2011)^[14]编写的 $\text{CO}_2\text{-H}_2\text{O}$ 迭代计算程序,根据 II 型包裹体的部

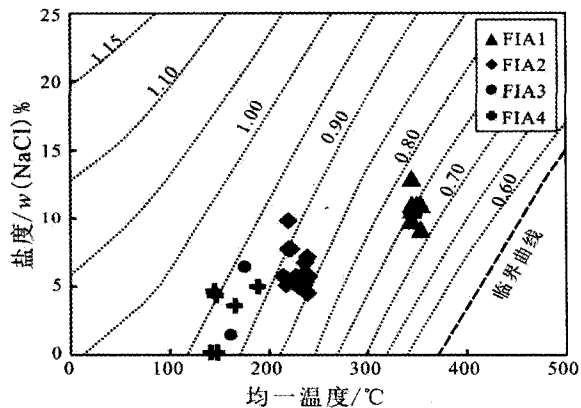


图6 淘锡坑钨矿床石英脉中不同FIA的均一
温度-盐度-密度图^[12]

Fig. 6 Diagram of Th-S-p in different FIAs from
wolframite-quartz veins of Taoxikeng tungsten deposit

分均一温度和完全均一温度,对流体的压力进行计算得出成矿流体压力范围是 67.3~97.8 Mpa,平均压力 74.8 Mpa (表 3)。按静岩压力计算公式 $P=h\rho g$ [式中 P 为压力, h 为深度, ρ 为上覆盖层的平均密度(本文取 2.65 g/cm^3), g 为重力加速度(9.8 m/s^2)],得出成矿深度范围 2.59~3.77 km,平均深度为 2.88 km。

4.3 流体包裹体的捕获温度估计

均一温度是在常压条件下测得的,不能代表捕获温度,即成矿温度。从均一温度求捕获温度时要考虑压力的影响即: $T_t=T_h+\Delta T$ 。式中 ΔT 为压力对温度的校正值,本文校正采用 Potter^[19]所作的不同浓度的 NaCl 溶液的均一温度与压力关系图。采用淘锡坑钨矿床平均压力 74.8 Mpa,得出 I 型包裹体捕获温度要比均一温度高出 55~70 $^{\circ}\text{C}$ 。捕获温度介于 150~430 $^{\circ}\text{C}$,四组包裹体组合的捕获温度 FIA1: 400~425 $^{\circ}\text{C}$; FIA2: 275~300 $^{\circ}\text{C}$; FIA3: 220~235 $^{\circ}\text{C}$; FIA4: 210~260 $^{\circ}\text{C}$ 。

表2 淘锡坑钨矿床主成矿阶段 II 型流体包裹体测温结果

Table 2 Summary of microthermometric data for type II fluid inclusions in Taoxikeng tungsten deposit

寄主矿物	包体类型	包体个数 n	大小 (μm)	气相百分比 (%)	初融温度 (°C)	CO ₂ 笼形物融化温度 (°C)	CO ₂ 部分均一温度 (°C)	完全均一温度 (°C)	盐度 w(NaCl) / %	均一方式
石英	II a	6	10 ~ 20	10 ~ 50	-58 ~ -56	7.3 ~ 9	20.2 ~ 30.9	204 ~ 312	2.03 ~ 5.23	L
	II b	4	10 ~ 20	30 ~ 50	-57.3 ~ -56	8.5 ~ 9	30 ~ 33.3	280 ~ 352	2.03 ~ 3.0	L、V
黄玉	II a	12	8 ~ 30	50 ~ 60	-58.2 ~ -57.1	7 ~ 7.3	26.5 ~ 28.8	309 ~ 336	5.23 ~ 5.77	L、V

5 流体包裹体的激光拉曼探针测定

选择淘锡坑钨矿石英脉石英中具有代表性的、不同类型的流体包裹体进行了拉曼探针分析。测试工作在西安地质矿产研究所实验测试中心完成,仪器是英国产 Renishaw invia SX-02 型激光 Raman 探针。实验条件:温度 23 °C;湿度:65%;Ar 离子激光器(514.5 nm);激光功率 40 mw;扫描速度 10 秒/6 次叠加;光谱仪狭缝 10 μm。

对 I 型和 II 型包裹体的激光拉曼探针测试结果显示 (图 8), 在包裹体中检测到有宽泛的液相

H₂O 的包络峰。这两类流体包裹体的气相成分除 CO₂ 外,均含有少量的 CH₄ 和 N₂,表现在拉曼谱图上出现典型的 CO₂ 谱峰、典型的 N₂ 谱峰以及 CH₄ 谱峰,这与显微测温结果相符。个别包体的 CH₄ 谱峰很强,为纯甲烷包体,说明了流体包裹体存在不均匀捕获特征。

6 结论与讨论

(1) 淘锡坑钨矿含矿石英脉中的流体包裹体主要有两类类型,即 H₂O-NaCl 型(I 型)包裹体和 H₂O-NaCl-CO₂ 型(II 型)包裹体。其中, I 型包裹体

表3 淘锡坑钨矿床主成矿阶段 II 型流体包裹体显微测温与压力估算结果

Table 3 Microthermometric and pressure data for type II fluid inclusions in Taoxikeng tungsten deposit

寄主矿物	包体类型	大小 (μm)	气相百分比 (%)	初融温度 (°C)	CO ₂ 笼形物融化温度 (°C)	CO ₂ 部分均一温度 (°C)	完全均一温度 (°C)	完全均一压力 (bar)
石英	II a	20	10	-563	7.8	30.9	203.5	978.06
石英	II a	15	40	-576	9	27.2	293.5	767.09
石英	II a	10	40	-56	8.9	20.2	247.1	>1000*
石英	II b	10	40	-57.1	9	30	320	673.19
石英	II a	20	40	-579	8.1	24.5	290.1	814.35
石英	II a	10	50	-58	7.5	23.2	311.6	771.61
石英	II a	15	50	-578	7.3	23.4	283	856.53
黄玉	II a	15	60	-573	7.2	28.2	329.8	700.61
黄玉	II a	8	50	-573		28.2	318	710.86
黄玉	II b	10	50	-57.1	7.2	28.1	315	715.48
黄玉	II a	8	60	-573	7.3	28.2	321	708
黄玉	II a	12	60	-574	7.2	28.1	323	707.6
黄玉	II a	10	60	-573	7.3	28.1	327.6	703.68
黄玉	II a	10	60	-574		28	309	724.37
黄玉	II a	8	50	-574	7.2	28	313	719.27
黄玉	II a	12	60	-574	7.1	28.2	331.2	699.52
黄玉	II a	10	60	-573	7.1	26.5	335.6	713.66

*此点未参与平均压力计算

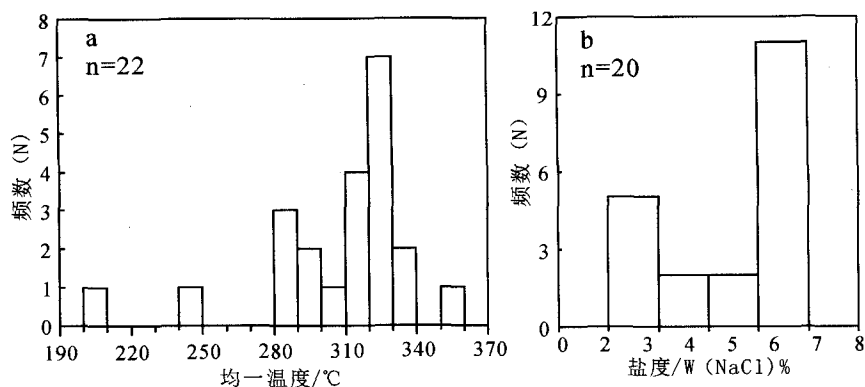


图7 淘锡坑钨矿床石英脉中Ⅱ型流体包裹体的均一温度(a)、盐度(b)分布直方图

Fig. 7 Histogram of homogenization temperature and salinity for type II fluid inclusions from wolframite-quartz veins of Taosikeng tungsten deposit

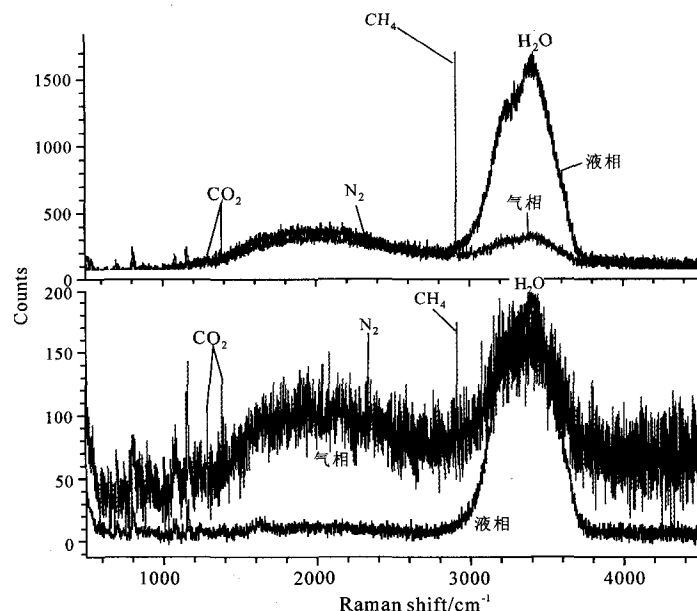


图8 淘锡坑钨矿主要成矿阶段含矿石英脉流体包裹体拉曼图谱

Fig.8 Raman spectra of fluid inclusions in the main ore-forming stage of Taosikeng tungsten deposit

又可分为纯液相 $\text{H}_2\text{O}-\text{NaCl}$ 体系包裹体 (I a) 和富液相的两相 $\text{H}_2\text{O}-\text{NaCl}$ 体系包裹体 (I b)。Ⅱ型包裹体又可分为不含液相 CO_2 的两相 $\text{H}_2\text{O}-\text{NaCl}-\text{CO}_2$ 体系包裹体 (Ⅱ a) 和含液相 CO_2 的三相 $\text{H}_2\text{O}-\text{NaCl}-\text{CO}_2$ 体系包裹体 (Ⅱ b)。

(2) 采用 FIA 的方法对主成矿阶段石英中Ⅰ型包裹体研究表明, 四组流体包裹体组合, 均一温度、盐度和密度存在三个分布区域, 这说明淘锡坑钨矿床很可能有三期热液活动, 其中, 前两期是成矿期流体活动, 形成原生流体包裹体。第三期是成矿后的流体活动, 形成次生流体包裹体。前人

对本矿区成岩成矿年代学的研究表明, 该矿床至少也可以划分出两期成矿作用, 其中早期成矿作用时间大致与成岩时间一致, 在 $159 \pm 2 \text{ Ma}$ 之间, 而晚期成矿作用的年龄大致在 $153 \pm 2 \text{ Ma}^{[1-3]}$, 这与本文由流体包裹体资料得出的认识是一致的。

(3) 利用黄玉和石英中的含 CO_2 包体估计的成矿流体捕获压力范围是 $67.3 \sim 97.8 \text{ MPa}$, 平均压力 74.8 MPa ; 按静岩压力换算成成矿深度范围为 $2.59 \sim 3.77 \text{ km}$, 平均为 2.88 km ; 按该压力对Ⅰ型包裹体的均一温度进行力校正, 经校正后的Ⅰ型包裹体的捕获温度总体分布范围为 $150 \sim 430 \text{ }^\circ\text{C}$ 。四组包

裹体组合的捕获温度分别为 FIA1:400 ~ 425 °C; FIA2:275 ~ 300°C; FIA3:220 ~ 235 °C; FIA4:210 ~ 260 °C。

(4) 含 CO₂ 包裹体是赣南大多数钨矿床的重要特征^[16-18],淘锡坑钨矿含 CO₂ 包裹体也较为发育,但未发现纯 CO₂ 包裹体,这说明 CO₂ 在淘锡坑钨矿成矿流体的形成与迁移中起到了重要作用,且未发生 CO₂ 的逸失作用。个别包体的拉曼谱中存在纯 CH₄ 包体说明成矿流体存在不均一捕获特征,但其成因及捕获机制还有待于进一步研究。

野外矿山实地考察采样工作得到赣南地质调查大队总工程师曾载淋、副总工程师张永忠、淘锡坑钨矿矿长钟瑞光、副矿长黄泽祥,矿办主任肖晓东等人的大力支持和帮助;样品测试过程中得到中国地质调查局武汉地质调查中心黄惠兰高级工程师、常海亮研究员的精心指导,审稿专家及编辑部对本文初稿提出了宝贵的修改意见,在此一并感谢。

参考文献:

- [1] 陈郑辉,王登红,屈文俊,等.赣南崇义地区淘锡坑钨矿的地质特征与成矿时代[J].地质通报,2006,25(4):496-501.
- [2] 郭春丽,王登红,陈毓川,等.赣南中生代淘锡坑钨矿区花岗岩锆石 SHRIMP 年龄及石英脉 Rb-Sr 年龄测定 [J].矿床地质,2007,26(4):432-442.
- [3] 郭春丽,蒯志永,王登红,等.赣南淘锡坑钨多金属矿床花岗岩和云英岩岩石特征及云英岩中白云母 40Ar/39Ar 定年[J].地质学报,2008,82(9):1274-1284.
- [4] 宋生琼,胡瑞忠,毕献武,等.赣南崇义淘锡坑钨矿床氢、氧、硫同位素地球化学研究[J].矿床地质,2011,30(1):1-10.
- [5] 芮宗瑶,李荫清,王龙生,等.从流体包裹体研究探讨金属矿床成矿条件[J].矿床地质,2003,22(1):13-23.
- [6] Roedder E. Fluid inclusions [M]. Mineralogical Society of America: Reviews in Mineralogy, 1984, 12: 644.
- [7] 卢焕章,范宏瑞,倪培,等.流体包裹体.北京:科学出版社,2004,406-419.
- [8] Hall D L, Sterner S M and Bodnar R J. Freezing point depression of NaCl-KCl-H₂O solutions [J]. Economic Geology, 1988,83: 197-202.
- [9] 刘斌,沈昆.流体包裹体热力学[M].北京:地质出版社,1999,87-91
- [10] Collins P L F. Gas hydrate in CO₂-bearing fluid inclusions and the use of freezing data for estimation of salinity. Economic Geology, 1979,74 (6): 1435-1444.
- [11] Goldstein R H and Reynolds T J. Systematic of fluid inclusions in diagenetic minerals [M]. Society for Sedimentary Geology Short Course, 1994,31,199.
- [12] Roedder E (卢焕章,王卿铎,译).流体包裹体(上)[M].长沙:中南工业大学出版社,1985,1-303.
- [13] 路远发,陈开旭,黄慧兰.云南羊拉地区不同类型铜矿床流体包裹体研究[J].地质科技情报,2004,23(2):13-20.
- [14] 徐文刚,张德会,黄智锋,等.T<623.15K,P<100MPa 条件下 CO₂-H₂O 体系热力学计算新方法.地质论评,2011,待刊.
- [15] Potter R W II. Pressure correction for fluid inclusion homogenization temperature based on the volumetric properties of the system NaCl-H₂O [J]. J Res V S Geol. Surv., 1977, 5: 603-607.
- [16] Giuliani G, Li Y D and Sheng T F. Fluid inclusion study of Xihuashan tungsten deposit in the southern Jiangxi province, China [J]. Mineralium Deposita, 1988,23: 24-33.
- [17] 马秀娟.大吉山钨矿包裹体地球化学研究[A].//李荫清,马秀娟,魏家秀.流体包裹体在矿床学和岩石学中的应用[M].北京:北京科技出版社,1988,65-108.
- [18] 王旭东,倪培,张伯声,等.江西盘古山石英脉性钨矿床流体包裹体研究[J].岩石矿物学杂志,2010,29(5):539-550.

Fluid Inclusion Characteristic and Its geological Implication of the Taoxikeng Tungsten Deposit, Southern Jiangxi Province

WANG Qun-Ying¹, LU Yuan-Fa¹, Chen Zhen-Hui², PENG Xiang-Lin¹, XIONG Xian-Feng¹

(1. Department of Geochemistry, Yangtze University, Jingzhou 434023, China; 2. Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100037, China)

Abstract: Taoxikeng tungsten deposit is one of the most important quartz-vein type of W-polymetallic deposit in Southern Jiangxi Province, China. Four main types of fluid inclusions: single aqueous phase H_2O -NaCl (I a type), rich liquid L+V two-phase H_2O -NaCl (I b type), two phase H_2O -NaCl- CO_2 (II a type) and three phase H_2O -NaCl- CO_2 (II b type) have been recognized in all samples from the wolframite-bearing quartz and topaz of the major mineralizing stage. The I b type homogenization temperatures are widely from 80°C to 370°C with multi-peaks distribution, mainly in 140 ~ 190°C, 200 ~ 250°C and 340~360°C. Ore-forming fluids has the characteristic of low salinity, generally < 8 w (NaCl_{eq}) %. We obtained four related groups parameters by the means of "fluid inclusion assemblage". The results are indicated that different fluid inclusions parameters are generally belongs to the same range in the same fluid inclusion assemblage, such as salinities, homogenization temperatures and densities, while those parameters are quite different in different fluid inclusion assemblages, showing trapped fluids are diversity in different fluid inclusion assemblages. There are three ranges of the four fluid inclusion assemblages homogenization temperatures: 329 ~ 355 °C, 214 ~ 240 °C and 141 ~ 189 °C, which can be adjusted to trapping temperature: 400 ~ 425 °C, 275 ~ 300 °C and 210 ~ 260 °C by pressure. All of these presented that there are existing at least three hydrothermal flow in Taoxikeng tungsten deposit, of which the first two periods are ore-forming hydrothermal activity, and the third period is a hydrothermal activity after diagenesis. According to CO_2 homogenization temperatures and final homogenization temperatures of type II fluid inclusions, this paper got trapping pressures 67.3 ~ 97.8 Mpa of ore-forming fluid, an average of 74.8 Mpa, converted into ore-forming depth of 2.59 ~ 3.77 km by lithostatic pressure, an average of 2.88 km.

Key words: fluid inclusions; Fluid inclusion assemblage; ore-forming fluid; Taoxikeng tungsten deposit; southern Jiangxi province