

## 湖南瑶岗仙石英脉型黑钨矿床成矿流体特征

董少花<sup>1,2</sup>, 毕献武<sup>1</sup>, 胡瑞忠<sup>1</sup>, 陈佑纬<sup>1</sup>, 陈 恒<sup>1,2</sup>

1. 中国科学院地球化学研究所矿床地球化学国家重点实验室, 贵州 贵阳 550002;  
2. 中国科学院研究生院, 北京 100049

**【摘要】** 利用红外显微镜对湖南瑶岗仙石英脉型黑钨矿床中不透明矿物黑钨矿的流体包裹体以及黑钨矿共生的透明矿物石英中的流体包裹体进行显微测温对比分析, 结果表明, 黑钨矿中的原生流体包裹体有富液体包裹体、纯液体包裹体和富气体包裹体等, 其均一温度范围大致在 230 ℃~320 ℃, 平均温度为 281 ℃; 冰点 -4.2 ℃~-12.9 ℃, 盐度 6.74%~16.80% 溶液。石英中流体包裹体主要为富液体包裹体, 其均一温度范围大致在 202 ℃~273 ℃, 平均温度为 240 ℃; 冰点 -0.5 ℃~-4.1 ℃, 盐度为 0.88%~6.59% 溶液。黑钨矿形成时捕获的流体属于中温、中等盐度、低密度的流体, 石英形成时捕获的流体属于中低温、低盐度、低密度的流体。通过黑钨矿中流体包裹体的显微测温结果及前人研究成果分析显示, 成矿流体主要来自岩浆, 流体演化经历了自然冷却、混合作用等过程, 这些过程可能是钨沉淀的有效机制。

**【关键词】** 瑶岗仙; 石英脉型黑钨矿床; 流体包裹体; 红外显微测温; 成矿流体

中图分类号: P618.67 文献标识码: A

文章编号: 1001-6872(2011)02-0054-07

### 0 引 言

湖南瑶岗仙钨矿床是我国大型钨矿床之一, 自 1914 年开采以来到现在已有近百年的历史, 矿床主要由石英脉型黑钨矿矿床和矽卡岩型白钨矿矿床组成, 石英脉型黑钨矿是矿区开采的主要对象<sup>[1]</sup>。前人研究认为瑶岗仙钨矿为“五层楼”式脉钨矿床<sup>[2]</sup>并确定形成矿床的复式花岗岩体经历 6 个矿化阶段, 矿床形成于燕山中期华南大规模钨锡成矿阶段, 成矿年龄在 153 Ma 左右<sup>[3]</sup>。相对而言, 对成矿流体特征研究虽较早, 但研究方法相对陈旧并且对成矿流体特征存在着不同的认识, 通过瑶岗仙石英脉型

黑钨矿床石英脉的晶洞特征、黑钨矿中 MnO/FeO 比值变化, 认为瑶岗仙黑钨矿石英脉的成矿流体是一种粘稠的、密度较大、成分以 SiO<sub>2</sub> 为主的熔浆-热液过渡性流体<sup>[4]</sup>; 石英中包裹体特征研究, 认为成矿流体为中高温弱酸性溶液<sup>[5]</sup>。

作为矿物形成过程中捕获的流体, 流体包裹体研究已成为研究地质流体与成矿作用的关系不可缺少的重要手段之一<sup>[6]</sup>, 多针对与矿石矿物共生的透明脉石矿物进行的(如石英、萤石、方解石等), 随着显微红外测温技术的发展, 目前可以直接运用红外显微镜通过红外成像系统观察研究不透明和半透明矿物的流体包裹体特征, 并通过红外显微镜与冷热台相结合进行流体包裹体显微测温分析<sup>[7]</sup>。直接对

收稿日期: 2010-12-10; 改回日期: 2011-03-22

基金项目: 国家自然科学基金(40373020); 国家重点基础研究发展计划(973)项目(2007CB411404)

作者简介: 董少花, 女, 25 岁, 博士, 地球化学专业, 研究方向: 矿床地球化学. E-mail: dsh1985@163.com

不透明矿物包裹体进行研究,对矿床形成机制及其成矿流体性质的探讨更有意义。因此,希望对瑶岗仙石英脉型钨矿床的矿石矿物黑钨矿中的流体包裹体进行岩相学特征研究和显微测温分析,能够获得更直接的成矿流体温度、压力等物理化学参数和成矿流体组成的信息,通过对矿石矿物黑钨矿和脉石矿物石英原生流体包裹体特征的对比研究,分析成矿流体的来源、特征和演化过程,从而进一步探讨瑶岗仙石英脉型黑钨矿床钨沉淀的有效机制。

## 1 矿床地质背景

瑶岗仙钨矿床位于湖南省郴州市南 32 km 处,在构造位置上地处南岭东西复杂构造带北端,加里东隆起带与印支-燕山拗陷带的交汇地带<sup>[8]</sup>。该区广泛发育不同类型的褶皱和断裂,并伴随着相应的岩浆活动和成矿作用,形成了现今以东北-北北东褶皱和断裂为主导的构造格架(图 1)<sup>[9]</sup>。瑶岗仙钨矿区分布在瑶岗仙背斜南部倾灭端与北东向大断裂交汇部位,北西向和北西西向次级断裂控制着石英脉型钨矿床和矿体的分布<sup>[10]</sup>。

矿区内出露地层包括寒武系浅变质砂岩、板岩,中泥盆统砂岩、砂砾岩、页岩,中、上泥盆统灰岩、页岩,下、中石炭统灰岩、砂岩、页岩,下侏罗统砂岩、砂砾岩、页岩等,其中寒武系和泥盆系地层为含矿的主要层位,瑶岗仙燕山早期复式花岗岩体侵入其中,构成含矿围岩之一<sup>[2]</sup>。花岗岩出露于矿区中部,出露

面积约 1.2 km<sup>2</sup>,呈复式岩株产出,岩石类型为中粗粒-细粒二云母-白云母花岗岩,同位素年代学研究表明花岗岩形成于燕山中期第一阶段华南大规模陆壳重熔型花岗岩浆活动阶段,成岩年龄在 170 Ma 左右<sup>[11]</sup>。

区内有多种矿床类型,以石英脉型黑钨矿床为主要开采对象,从花岗质岩体顶部到浅变质围岩,将“五层楼”式脉钨矿床依次分为 5 个矿化层次:尖灭带-大脉带-薄脉带-细脉带-线脉带<sup>[12]</sup>。矿床由数百条含钨石英脉组成,在空间形态上是主脉简单、支脉复杂,一般受裂隙性质所控制。含石英脉的矿物成分比较复杂,以石英和黑钨矿为主,其次有锡石、白钨矿、黝锡矿、毒砂、黄铜矿、闪锌矿、方铅矿、黄铁矿、磁黄铁矿、辉钼矿等二十余种金属矿物和石英、白云母、锂白云母、黑云母、长石、萤石、黄玉、方解石、绿泥石、绿柱石等非金属矿物。矿石结构类型主要有自形结构、半自形结构、他形结构及少量的交代、压碎结构。矿石构造主要是块状为主,还有浸染状、梳状、条带状、角砾状及少量的晶洞构造出现。显微镜下,黑钨矿为自形晶,局部发生破碎,并被石英胶结,表明黑钨矿形成较早,石英形成较晚。

## 2 流体包裹体研究

### 2.1 样品选取及分析方法

矿石样品主要采集自由矿山剖面自上向下的 16 中段、19 中段、19 西段、21 中段、23 中段石英脉

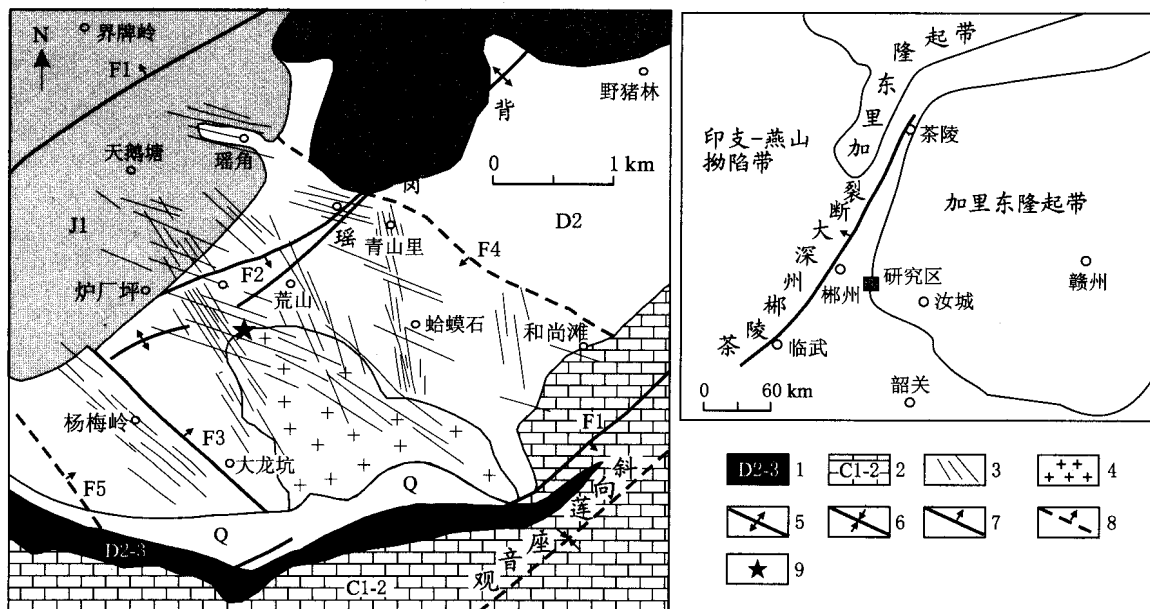


图 1 瑶岗仙钨矿床地质简图(据车勤建等,2005<sup>[9]</sup>;Peng et al.,2006<sup>[3]</sup>修改)

△. 寒武系浅变质板岩\砂岩; D2. 中泥盆统砂岩; J1. 下侏罗统砂岩; Q. 第四系冲积层; 1. 中\上泥盆统灰岩; 2. 中\下侏罗统灰岩\砂岩; 3. 钨矿脉; 4. 花岗岩; 5. 背斜; 6. 向斜; 7. 断裂; 8. 推测断裂; 9. 取样位置

Fig. 1 Simplified geological map for the Yaogangxian wolframite deposit(after Che Qingjian,2005<sup>[9]</sup>; Peng et al.,2006<sup>[3]</sup>)



型黑钨矿矿体。由于黑钨矿透光性差,需要将包裹体片磨制的较薄,薄片厚度在  $60\ \mu\text{m}\sim 150\ \mu\text{m}$  之间,并对黑钨矿包裹体片进行两面抛光。由于黑钨矿包裹体片磨制技术难度较高,经过反复的实验,磨制成功并且能观察到较多流体包裹体的黑钨矿包裹体片共有 4 片,分别为采集自 16 和 21 中段的黑钨矿,可以看到包裹体片呈暗红色。同时选择与成功磨制包裹体片的黑钨矿共生的石英按常规方法磨制石英的包裹体片 4 片,用于与黑钨矿流体包裹体特征的对比研究。研究选择 4 件黑钨矿包裹体片和 4 件石英包裹体片进行包裹体显微温度测定,共得到 76 个黑钨矿包裹体数据和 32 个石英包裹体数据。

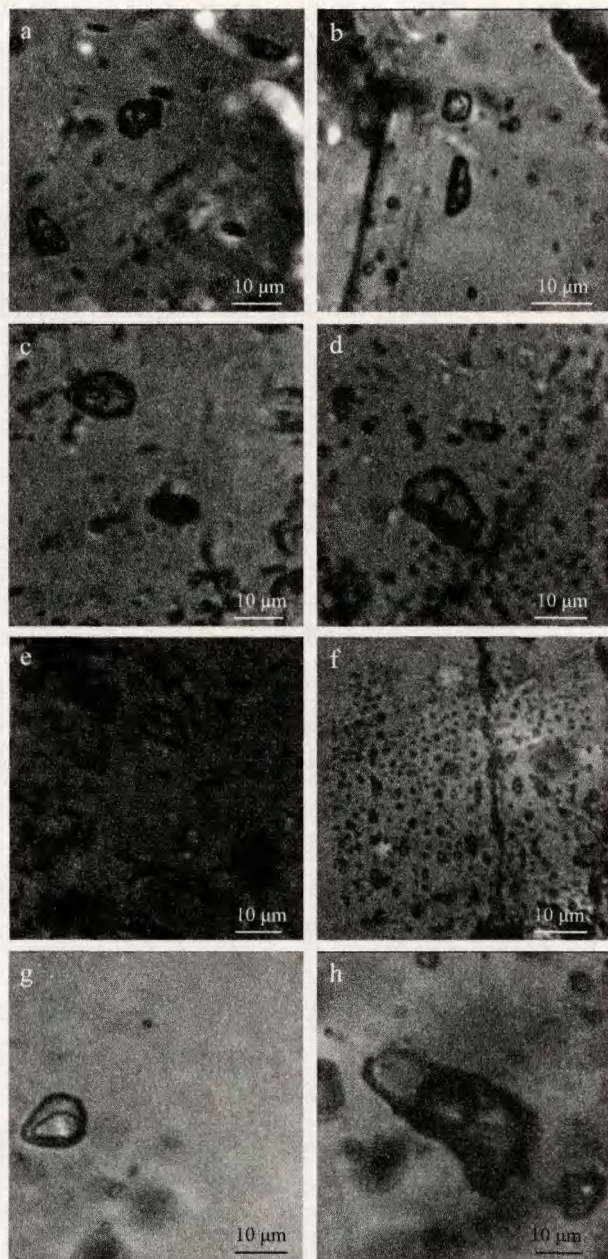
利用 OLYMPUS BX51 型显微镜进行黑钨矿与石英流体包裹体的岩相学特征研究。采用 OLYMPUS LMPlan IR 型红外显微镜和 Linkam THMSG 600 型冷-热台结合的方法对黑钨矿的流体包裹体进行显微测温分析,仪器测定温度范围  $-196\ ^\circ\text{C}\sim +600\ ^\circ\text{C}$ ,在温度  $-56.6\ ^\circ\text{C}\sim 0\ ^\circ\text{C}$  和  $100\ ^\circ\text{C}\sim 600\ ^\circ\text{C}$  范围内的测试误差分别为  $\pm 0.1\ ^\circ\text{C}$  和  $\pm 1\ ^\circ\text{C}$ 。石英中的流体包裹体采用显微镜进行观察,用 Linkam THMSG 600 型冷热台进行显微测温分析。上述研究在中国科学院地球化学研究所矿床地球化学国家重点实验室流体包裹体分析室完成。

## 2.2 流体包裹体特征

对 4 片黑钨矿包裹体片及 4 片石英包裹体片进行了详细的岩相学研究,观察发现,石英、黑钨矿中均含有大量的流体包裹体。包裹体类型有孤立分布的原生包裹体和定向分布的次生或假次生包裹体。石英中包裹体类型多为具定向分布的次生或假次生包裹体,占 90% 以上;原生包裹体多孤立分布,形态有椭圆状、纺锤状、不规则形等,大小在数微米到数十微米(其中约 50% 在  $6\ \mu\text{m}\sim 10\ \mu\text{m}$ ,少数达到  $10\ \mu\text{m}\sim 50\ \mu\text{m}$ )。黑钨矿中原生包裹体占 20% 左右,孤立分布,形态多为椭圆形、长条形、不规则形等,大小多在  $5\ \mu\text{m}\sim 20\ \mu\text{m}$ ,主要有富液体包裹体、纯液体包裹体、富气体包裹体等。次生包裹体可达 80% 之多,定向成群分布,形态多为椭圆状、长条状等,个体较小、多数  $1\ \mu\text{m}\sim 10\ \mu\text{m}$ ,多为富液体包裹体。

实验主要以原生包裹体为对象,分别对黑钨矿和石英包裹体片中各 200 个包裹体进行观察统计,根据室温条件下和均一状态时流体包裹体的相态特征可以分为 5 类(照片 1):

I 类为富液体包裹体,由气相和液相组成,气相充填度在 10%~40%,是瑶岗仙钨矿床黑钨矿和石英中最发育的流体包裹体,加热后均一到液相,少数



照片 1 瑶岗仙石英脉型黑钨矿中流体包裹显微镜下照片(单偏光,50 倍):

a. 黑钨矿中富液体包裹体; b. 黑钨矿中富气体包裹体; c, d. 黑钨矿中含子矿物多相包裹体; e. 黑钨矿中纯液体包裹体和富液体包裹体; f. 黑钨矿中次生包裹体; g. 石英中富气体包裹体; h. 石英中富液体包裹体

Photo 1 Microphotographs of the fluid inclusions from Yaogan-xian wolframite deposit (plainlight, 50 $\times$ )

临界均一。黑钨矿中富液体包裹体均最发育,约占总原生包裹体的 85%,形态多样,有椭圆形、方形、长条形等。石英中富液体包裹体也最发育,约占总原生包裹体的 90%,形态主要为圆形、椭圆形等。

II 类为富气体包裹体,由气相和液相组成,气相充填度在 80% 以上,加热均一到气相。黑钨矿中富气体包裹体发育少,约 5%,个体较小,多呈椭圆形。石英中富气体包裹体发育较少,约占 5%,个体大小不等,有长条形、椭圆形等。



Ⅲ类为纯液体包裹体,全由液相组成。在黑钨矿中可见纯液体包裹体,约占 7%。

Ⅳ类为含子矿物包裹体,由气相、液相和子矿物组成,发育极少。在黑钨矿中可见含子矿物包裹体,约占 3%。

### 2.3 流体包裹体显微测温

利用均一法和冷冻法分别对黑钨矿石英脉中黑钨矿和石英的流体包裹体进行显微测温分析。

冰点的测定:对石英中流体包裹体冰点的测定是在可见光下进行的,直接用冷冻法测定冰点。实验具体操作为将温度骤降到  $-110\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,然后慢慢升温,在加热过程中观察得到流体包裹体中的最后一块冰晶的熔化的温度,该温度即为冰点。而黑钨矿中流体包裹体的冰点不能利用常规的显微测温技术测定。因为在红外光下,流体包裹体的图像是通过红外电子感应转换成数据信号,最后通过电脑软件处理在显示器上输出的,沿着包裹体壁强烈折射,从而很难观察到冰晶的形成<sup>[13]</sup>。为了能准确观察测定黑钨矿中  $\text{H}_2\text{O}-\text{NaCl}$  体系流体包裹体的冰点,我们用冷冻法与循环测温技术<sup>[14]</sup>相结合,通过流体包裹体的大小、形状和位置在冷冻和加热过程中发生的根本性变化来确定流体包裹体冰点的临近温度。具体实验步骤为:首先观察室温( $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ )包裹体内气泡的大小和所在位置,将温度骤降至 $-110\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,流体包裹体中的气泡被挤压变小、压瘪,有的甚至消失。然后慢慢升温至 $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,观察到气泡开始慢慢变化,进一步将升温速度放慢,直至观察到气泡与室温下大小、形状和位置非常接近,此温度为  $T_1$ 。此时,为了确定包裹体中的冰是否已融化,采用循环技术法,将包裹体快速降温至  $T_2$  ( $T_2 < T_1$ ),如见到气泡变小表明冰在这个过程中还存在,冰晶没完全融化,继续升温至比  $T_1$  高一点的温度  $T_3$  ( $T_3$  稍高于  $T_1$  0.5 度左右),再降温至  $T_2$ ,看气泡有没有变小,如果气泡变小,则重复上述过程;如果气泡没有变化,则继续快速降到 $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ 也无任何变化,说明在  $T_3$  时冰已经消失,该温度为流体包裹体的冰点温度  $T_m = T_3$ 。

均一温度的测定:对石英中的流体包裹体均一温度的测定可直接在可见光下进行的,对两相的流体包裹体直接慢慢升温直至包裹体中两相均一到一

相,此时的温度为包裹体的均一温度。用均一法测试黑钨矿中流体包裹体的均一温度,由于红外光直接投射于包裹体片上,为避免包裹体片上的温度较实际测得的温度高,尽量使要测温的包裹体远离视域中心红外显微镜头直接投射的位置。因为我们的黑钨矿包裹体片在升温过程中,随着温度的升高,矿物在红外光下的透光性下降不是很明显,在  $300\text{ }^{\circ}\text{C}$  高温下仍能清楚看到包裹体的变化,因此也直接用均一法测定黑钨矿中流体包裹体的均一温度。测定富液体包裹体均一温度时,一般都能看到气泡逐渐变小,且最后能清晰看到气泡跳动直到消失,得到均一温度。

盐度的计算可根据 Hall 等<sup>[15]</sup>  $\text{NaCl}-\text{H}_2\text{O}$  体系盐度-冰点公式<sup>[16]</sup>:  $W = 0.00 + 1.78T_m - 0.0442T_m^2 + 0.000557T_m^3$  (式中:  $W$ ,  $\text{NaCl}$  的重量百分数;  $T_m$ , 冰点温度)。

经实验测定和计算,得出以下结果:黑钨矿中气-液相  $\text{NaCl}-\text{H}_2\text{O}$  型包裹体的均一温度范围大致在  $230\text{ }^{\circ}\text{C} \sim 320\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,平均温度为  $281\text{ }^{\circ}\text{C}$ ;冰点  $-4.2\text{ }^{\circ}\text{C} \sim -12.9\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,盐度  $6.74\% \sim 16.80\%$ 。石英中气液相  $\text{NaCl}-\text{H}_2\text{O}$  型包裹体的均一温度范围大致在  $202\text{ }^{\circ}\text{C} \sim 273\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,平均温度为  $240\text{ }^{\circ}\text{C}$ ;冰点  $-0.5\text{ }^{\circ}\text{C} \sim -4.1\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,盐度为  $0.88\% \sim 6.59\%$ (表 1)。由于黑钨矿中富气相包裹体、含子矿物包裹体太少且较小,所以黑钨矿主要做了富液相包裹体的测温,所列举的点都测试了均一温度和冰点,具有统计意义。为了与黑钨矿流体包裹体测温结果进行对比,本研究选择了少量石英流体包裹体进行了测温研究。

### 2.4 流体的密度、压力及成矿深度

流体密度的计算根据刘斌<sup>[17]</sup>等的  $\text{NaCl}-\text{H}_2\text{O}$  液相包裹体的密度式计算,计算公式为:

$$\rho = A + Bt + Ct^2$$

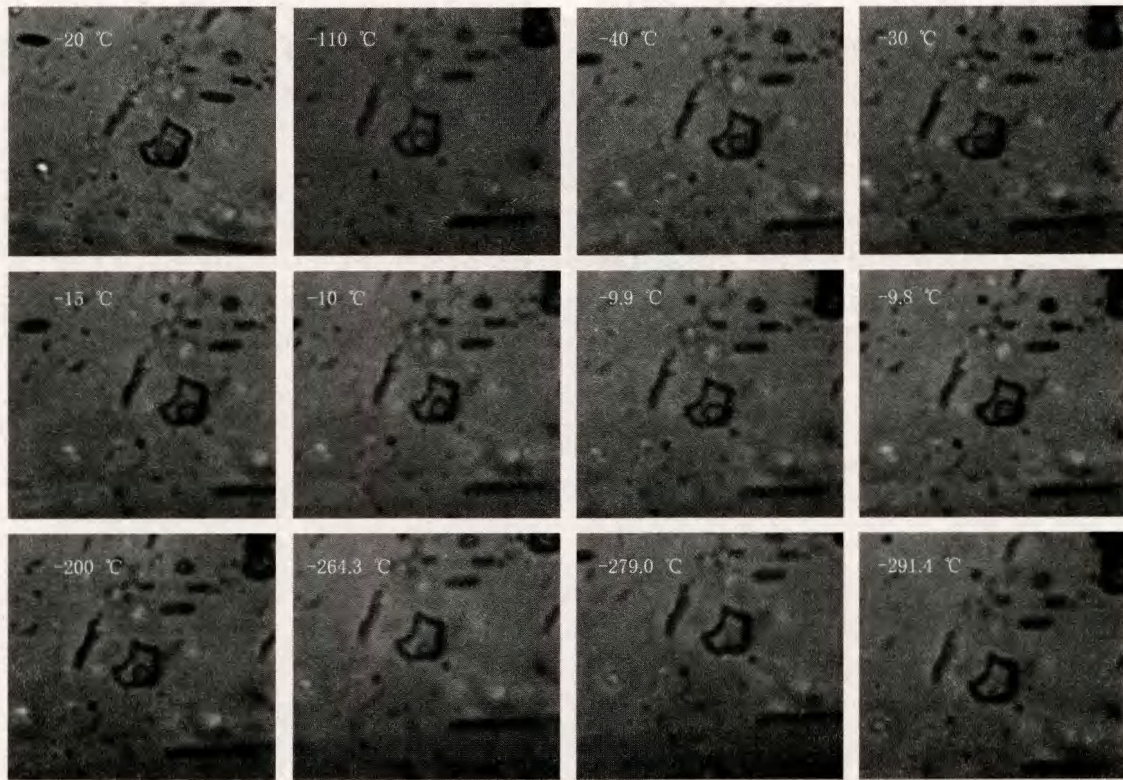
(其中,  $A = 0.993531 + 8.72147 \times 10^{-3}W - 2.43975 \times 10^{-5}W$ ,  $B = 7.11652 \times 10^{-5} - 5.2202 \times 10^{-5}W + 1.26656 \times 10^{-6}W^2$ ,  $C = -3.4997 \times 10^{-6} + 2.12124 \times 10^{-7}W - 4.52318 \times 10^{-9}W^2$ 。)

式中:  $\rho$ , 流体密度/ $(\text{g} \cdot \text{cm}^{-3})$ ;  $t$ , 均一温度/ $^{\circ}\text{C}$ ;  $A, B, C$ , 无量纲参数,又是盐度的函数;  $W$ ,  $\text{NaCl}$  的重量百分数。根据计算得到,黑钨矿流体包裹体中流体密度为  $0.8\text{ g/cm}^3 \sim 0.9\text{ g/cm}^3$ ,石英流体包

表 1 瑶岗仙石英脉型黑钨矿流体包裹体测温结果

Table 1 Thermometric experimental data of fluid inclusion for the Yaogangxian wolframite deposit

包裹体类型	主矿物	个数	液相比例	大小/ $\mu\text{m}$	均一温度/ $^{\circ}\text{C}$	冰点/ $^{\circ}\text{C}$	盐度/%
富液体包裹体	黑钨矿	65	0.5~0.95	5~20	232.9~312.6	-4.2~-12.9	6.74~16.8
富气体包裹体	黑钨矿	5	0.2~0.4	3~8	296.3~316.8	-4.5~-8.1	7.17~11.81
次生包裹体	黑钨矿	6	0.8~0.9	1~5	165.4~255.5	-2.7~-5.1	4.49~8
富液体包裹体	石英	32	0.5~0.95	5~50	202.6~273	-0.5~-4.1	0.88~6.59



照片2 黑钨矿中富液相流体包裹体在冷冻实验和均一实验时实际相变图(单偏光, 50倍)

Photo 2 Photographs showing phase transformation in the fluid inclusion experimentation (plainlight, 50 $\times$ )

裹体中流体密度为  $0.8 \text{ g/cm}^3 \sim 0.85 \text{ g/cm}^3$ 。

根据黑钨矿和石英中富液体流体包裹体的均一温度和盐度数据, 在  $\text{NaCl-H}_2\text{O}$  体系  $T-\rho$  相图(图2)<sup>[18]</sup>上投影, 得到黑钨矿包裹体中流体的密度范围也在  $0.8 \text{ g/cm}^3 \sim 0.9 \text{ g/cm}^3$ , 流体的压力为  $60 \text{ MPa} \sim 85 \text{ MPa}$ ; 石英流体包裹体中流体的密度范围主要在  $0.8 \text{ g/cm}^3 \sim 0.85 \text{ g/cm}^3$ , 流体的压力为  $40 \text{ MPa} \sim 70 \text{ MPa}$ 。如果将获得的压力视作静岩压力, 那么根据  $27 \text{ MPa/km}$  换算成成矿深度可得: 黑钨矿形成深度约为  $2.3 \text{ km} \sim 3.2 \text{ km}$ , 石英形成深度为  $1.5 \text{ km} \sim 2.6 \text{ km}$ 。

综上所述, 瑶岗仙石英脉型黑钨矿的成矿流体特征表现为中温、中压、中等盐度、低密度的流体, 成矿深度为中浅成, 成矿流体主要为  $\text{NaCl-H}_2\text{O}$  溶液, 初步推断瑶岗仙石英脉型黑钨矿的成矿流体的可能来自两个不同端元: 温度、盐度较高的岩浆热液和温度、盐度较低的大气降水。

### 3 流体的来源及演化

前人对脉钨矿床成矿流体性质的研究大多采用透明脉石矿物石英中的

流体包裹体来代表, 通过对共生的黑钨矿和石英中的流体包裹体显微测温 and 岩相学对比研究, 矿石矿物黑钨矿和脉石矿物石英中的流体包裹体在均一温度、盐度和成分上均存在差异。由黑钨矿和石英中原生富液体流体包裹体中均一温度和盐度的直方图(图3)对比可以看出, 黑钨矿捕获的流体包裹体均一温度和盐度都比石英中的高。除此之外, 黑钨矿形成时的流体和石英形成时的流体成分上也存在着不同, 黑钨矿与石英中的流体包裹体类型多样, 均以

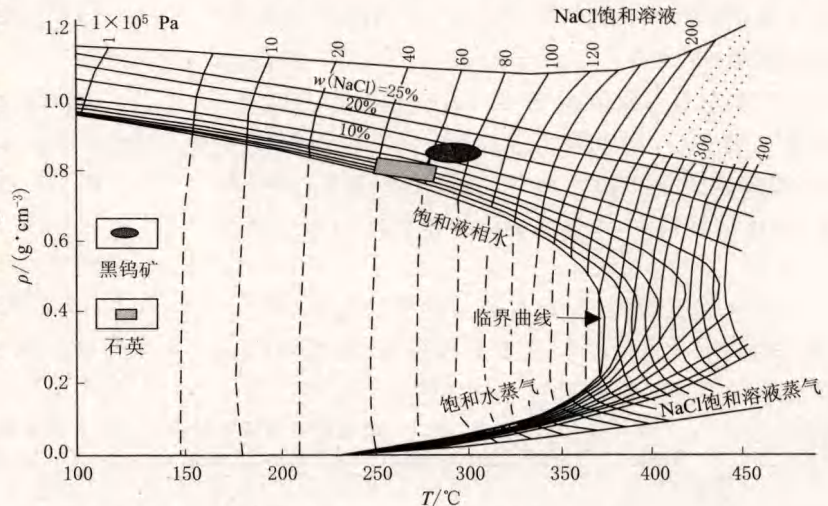


图2  $\text{NaCl-H}_2\text{O}$  体系温度-流体密度投影图(底图据 Bischoff, 1991<sup>[18]</sup>)

Fig. 2 The temperature-density diagram of  $\text{NaCl-H}_2\text{O}$  system (after Bischoff, 1991<sup>[18]</sup>)



富液体包裹体为主。但黑钨矿中还含有纯液体包裹体,这些包裹体可能是从均匀流体中捕获的,由于缺乏成核条件,室温下见不到气泡;同时黑钨矿中发育有子矿物包裹体,子矿物主要为不透明矿物,升温至爆裂时仍不见子矿物熔化,说明子矿物可能是包裹体形成过程中偶然捕获的矿物颗粒。因此,当矿石矿物与脉石矿物形成于同阶段时,脉石矿物的流体包裹体特征能反映成矿流体的特征;但当脉石矿物形成晚于矿石矿物时,需要结合矿石矿物中的流体包裹体性质,来反映成矿流体的性质。

张理刚<sup>[19]</sup>根据石英-水氧同位素分馏方程,计算出该矿床热液 $\delta^{18}\text{O}$ 值为 $5.85\% \sim 8.17\%$ ,认为形成黑钨矿的成矿流体主要来自岩浆。陈依壤<sup>[2]</sup>根据矿床中硫化物的硫同位素成分测定,认为该矿床硫来源比较单一,为岩浆来源。同时,根据王登红等<sup>[11]</sup>及本次研究对成岩成矿时间的测定,可以看出该矿床的岩矿时差较小,推测瑶岗仙复式花岗岩体为脉型黑钨矿的形成提供了热源及物质来源。这些研究均表明瑶岗仙石英脉型黑钨矿成矿流体的原始流体来自岩浆,结合流体测温,可推测成矿流体可能是温度、盐度较高的岩浆热液的自然冷却或者岩浆热液与较冷的、盐度低的大气降水的混合。

黑钨矿和石英中流体包裹体研究表明成矿流体为中温、中压、中等盐度、低密度的流体,成矿流体来源可能有两个不同端元:温度、盐度较高的岩浆热液和温度、盐度较低的大气降水。前人研究显示,在温度-盐度双变量图解上,数据点有时可能呈直线排列,一般看作是原始流体的理论演化轨迹<sup>[16]</sup>。用黑钨矿和石英中富液体包裹体的盐度和均一温度做了盐度与均一温度散点趋势图(图4)。在温度-盐度双变量图解中黑钨矿的流体包裹体均一温度与盐度有两种趋势:a)垂直向下的趋势线,对此趋势有两种解释:一是代表原始流体单纯的自然冷却,二是包裹体的颈缩,在黑钨矿的流体包裹体中并没看到颈缩(或称“卡脖子”)现象,因此认为黑钨矿流体

包裹体温度-盐度双变量图解中的垂直线性趋势代表岩浆热液的单纯冷却现象;b)线性正相关趋势,流体包裹体的盐度随均一温度的降低有降低的趋势,这种趋势表明了原始流体与较冷的、盐度低的流体相混合<sup>[20]</sup>。黑钨矿和石英中流体包裹体盐度和均一温度均呈现线性正相关趋势,且石英中流体包裹体数据排列轨迹正好在黑钨矿流体正相关趋势线的延长线上,因此认为成矿流体经历了岩浆热液流体与较冷的、盐度低的大气降水的混合。上述分析表明,成矿流体演化过程经历了流体的自然冷却和流体的混合作用,这些过程的相互作用可能是钨沉淀的有效机制。

综上所述,推断该矿床原始流体主要来自岩浆,在流体演化过程中经历了岩浆热液的自然冷却、岩浆热液与大气降水的混合作用等过程,使得成矿流体的物理化学条件不断改变,从而使钨不断沉淀富集成矿。

## 4 结 论

4.1 黑钨矿中的原生流体包裹体有富液体包裹体、纯液体包裹体和富气体包裹体等,其均一温度范围大致在 $230\text{ }^{\circ}\text{C} \sim 320\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,平均温度为 $281\text{ }^{\circ}\text{C}$ ;冰点 $-4.2\text{ }^{\circ}\text{C} \sim -12.9\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,盐度 $6.74\% \sim 16.80\%$ 溶液,计算出流体的密度范围主要在 $0.8\text{ g/cm}^3 \sim 0.9\text{ g/cm}^3$ ,成矿压力大致为 $60\text{ MPa} \sim 85\text{ MPa}$ ,形成深度约为 $2.3\text{ km} \sim 3.2\text{ km}$ 。石英中流体包裹体主要为富液体包裹体,其均一温度范围大致在 $202\text{ }^{\circ}\text{C} \sim 273\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,平均温度为 $240\text{ }^{\circ}\text{C}$ ;冰点 $-0.5\text{ }^{\circ}\text{C} \sim -4.1\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,盐度为 $0.88\% \sim 6.59\%$ 溶液,计算出流体的密度范围 $0.8\text{ g/cm}^3 \sim 0.85\text{ g/cm}^3$ ,流体的压力为 $40\text{ MPa} \sim 70\text{ MPa}$ ,石英形成深度为 $1.5\text{ km} \sim 2.6\text{ km}$ 。瑶岗仙石英脉型黑钨矿的成矿流体特征表现为中温、中压、中等盐度、低密度的流体,成矿深度为中浅成。

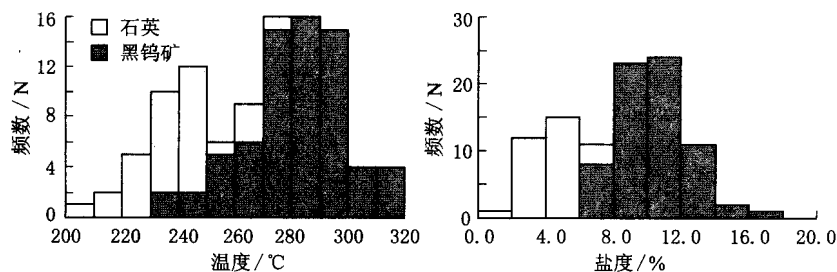


图 3 流体包裹体的均一温度及盐度直方图

Fig. 3 Histogram of homogenization temperature from fluid inclusion and salinity in fluid inclusion

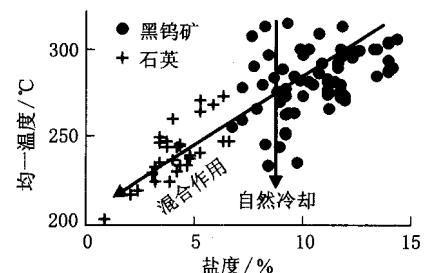


图 4 黑钨矿和石英中流体包裹体温度-盐度关系图解

Fig. 4 Diagram showing the relation of temperature and salinity for fluid inclusion

4.2 瑶岗仙石英脉型黑钨矿床的原始流体可能主要来自岩浆,在成矿流体演化过程中经历了岩浆热液的自然冷却以及岩浆热液与大气降水的混合作用

等过程,这些过程相互作用使得成矿流体的物理化学条件不断改变,从而使钨不断富集沉淀成矿,这可能是钨的有效沉淀机制。

## 参考文献

- [1] 卢焕章. 华南钨成因[M]. 重庆: 重庆出版社, 1986.
- [2] 陈依壤. 瑶岗仙花岗岩地质地球化学特征与成岩成矿作用[J]. 矿产与地质, 1988, 1: 22-28.
- [3] Peng J T, Zhou M F, Hu R Z, *et al.* Precise molybdenite Re-Os and mica Ar-Ar dating of the Mesozoic Yaogangxian tungsten deposit, central Nanling district, South China[J]. *Mineralium Deposita*, 2006, 41: 661-669.
- [4] 林新多, 张德会, 章传玲. 湖南宜章瑶岗仙黑钨矿石英脉成矿流体性质的探讨[J]. 地球科学(武汉地质学院院报), 1986, 11(2): 153-160.
- [5] 倪纪文. 瑶岗仙钨矿床包体研究及成矿溶液特征的探讨[J]. 浙江大学学报, 1994, 28(1): 73-81.
- [6] 范宏瑞, 金成伟, 沈远超. 新疆哈图金矿成矿流体地球化学[J]. 矿床地质, 1998, 17(2): 135-149.
- [7] Campbell A R, Panter K S. Comparison of fluid inclusions in coexisting (cogenetic?) wolframite, cassiterite, and quartz from St. Michel's Mount and Cligga Head, Cornwall, England[J]. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 1990, 54(3): 673-681.
- [8] 陈依壤. 瑶岗仙钨矿床地质特征与找矿标志[J]. 地质与勘探, 1981, (2): 25-30.
- [9] 车勤建, 李金冬, 魏绍六, 等. 湖南千里山-骑田岭矿集区形成的构造背景初探[J]. 大地构造与成矿学, 2005, 29(2): 204-214.
- [10] 周柏生, 张国华, 龚述清, 等. 湖南瑶岗仙矿田化探异常特征及找矿前景[J]. 物探与化探, 2002, 26(6): 436-438.
- [11] 王登红, 李华芹, 秦燕, 等. 湖南瑶岗仙钨成岩成矿作用年代学研究[J]. 岩矿测试, 2009, 28(3): 201-208.
- [12] 陈依壤. 瑶岗仙矿田控矿因素及成矿条件分析[J]. 湖南地质, 1992, 11(4): 285-293.
- [13] Campbell A R, Robinson-Cook S. Infrared fluid inclusion microthermometry on coexisting wolframite and quartz[J]. *Economic Geology*, 1987, 82: 1 640-1 645.
- [14] Goldstein R H, Reynolds T J. Systematics of fluid inclusions in diagenetic minerals[J]. *SEPM Short Course*, 1994, 31: 1-199.
- [15] Hall D L, Sterner S M, Bodnar R J. Freezing point depression of NaCl-KCl-H<sub>2</sub>O solutions[J]. *Economic Geology*, 1988, 83: 197-202.
- [16] 卢焕章, 范宏瑞, 倪培, 等. 流体包裹体[M]. 北京: 科学出版社, 2004.
- [17] 刘斌, 段光贤. NaCl-H<sub>2</sub>O 溶液包裹体的密度式和等容式及其应用[J]. 矿物学报, 1987, 7(4): 345-352.
- [18] Bischoff J L. Densities of liquids and vapors in boiling NaCl-H<sub>2</sub>O solutions: A P-V-T-X summary from 300 to 500 °C[J]. *American Journal of Science*, 1991, 291: 309-338.
- [19] 张理刚. 华南钨矿床黑钨矿的氧同位素研究[J]. 地球化学, 1987, (3): 233-242.
- [20] 翟德高. 内蒙古乌拉银多金属矿床成矿流体演化与成矿机制分析[J]. 矿物岩石, 2010, 30(2): 68-76.

## CHARACTERISTICS OF ORE-FORMING FLUID IN YAOGANGXIAN QUARTZ-VEIN WOLFRAMITE DEPOSIT, HUNAN PROVINCE

DONG Shao-hua<sup>1,2</sup>, BI Xian-wu<sup>1</sup>, HU Rui-zhong<sup>1</sup>  
CHEN You-wei<sup>1,2</sup>, CHEN Heng<sup>1,2</sup>

{ 1. State Key Laboratory of Ore Deposit Geochemistry, Institute of Geochemistry,  
Chinese Academy of Sciences, Guiyang 550002, China;  
2. Graduate University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China }

**Abstract:** The petrography and temperature from the fluid inclusions in the opaque minerals in the Yaogangxian quartz-vein wolframite deposit are studied and tested under infrared microscope, and correlated those with the fluid inclusions in the transparent mineral quartz coexisted with wolframite. There are three dominant types of fluid inclusion in wolframite, liquid-rich inclusion, gas-rich phase inclusion and pure liquid fluid inclusion. Homogenized temperature of fluid inclusions in wolframite ranges from 230 °C to 320 °C, with a mean temperature of 281 °C and the salinity ranges from 6.74 to 16.8 wt% NaCl eqv. The major fluid inclusions in quartz are liquid-rich inclusion with their homogenized temperature ranging from 202 °C to 273 °C and with their salinity from 0.88 to 6.59 wt% NaCl eqv. These features reveal that the ore-forming fluid of wolframite is characteristic of medium temperature, medium salinity and low density, while the fluid in quartz belongs to low temperature, low salinity and low density. According to microthermometry data of the fluid inclusions and previous study, it is considered that the ore-forming fluid in Yaogangxian tungsten deposit may come from magma, and their evolutions are composed of cooling and mixing processes, which may be the efficient mechanism leading to the deposition of wolfram.

**Key words:** Yaogangxian; quartz-vein wolframite tungsten deposit; fluid inclusion; infrared microscopy; ore-forming fluid-forming fluid

ISSN 1001-6872(2011)02-0054-07; CODEN: KUYAE2

**Synopsis of the first author:** Dong Shaohua, female, 25 years old, a Ph D candidate of geochemistry. Now she is engaged in the research of ore deposit geochemistry.