

文章编号:0258-7106(2005)06-0603-10

# 内蒙古沙麦钨矿床地质及流体包裹体研究\*

胡 朋<sup>1</sup>, 聂凤军<sup>1</sup>, 赫 英<sup>2</sup>, 张 义<sup>1</sup>, 刘 妍<sup>1</sup>

(1 中国地质科学院矿产资源研究所, 北京 100037; 2 西北大学地质学系, 陕西 西安 710069)

**摘 要** 文章首次对内蒙古东乌珠穆沁旗沙麦钨矿床的石英流体包裹体进行了均一温度、盐度和成分测试,并分析了主成矿期石英流体包裹体的氢、氧同位素组成。结果表明,沙麦钨矿床成矿流体为中-高温、中低盐度的  $H_2O-NaCl-CO_2 \pm CH_4$  流体体系,系岩浆演化热液与大气降水的混合产物。花岗质岩浆不仅从深部携带了成矿物质,而且带来了巨大热能,在自身发育的断裂系统内引起热液的对流循环和混合,导致了钨的沉淀。

**关键词** 地球化学;钨矿床;地质特征;流体包裹体;矿床成因;沙麦;内蒙古

**中图分类号**: P618.67

**文献标识码**: A

沙麦钨矿床位于内蒙古自治区东乌珠穆沁旗境内,北距中蒙边境线 40 km,中心地理坐标为东经  $116^{\circ}56'8''$ ,北纬  $45^{\circ}58'21''$ 。该矿床是在 20 世纪 70 年代由群众报矿发现的,原内蒙古自治区第一区域地质测量队七分队对矿点进行过检查和初步评价,原内蒙古自治区地质勘查局 109 地质队对矿区进行过详细的普查评价工作,探明  $WO_3$  储量 2.27 万吨,为一中型钨矿床。迄今为止,尚无人对该矿床的地质、地球化学特征及成因做过详细研究。笔者在参与国家地质调查项目期间,对该钨矿床开展了较为系统的地质、地球化学和岩石(相)学研究,并对其成矿流体和成矿物质的来源及矿床成因进行了探讨。本文主要介绍该钨矿床的地质特征、流体包裹体及氢、氧同位素研究结果。

## 1 区域地质背景

沙麦钨矿床位于华北板块和西伯利亚板块之间的中亚古生代造山带之东段,查干敖包—五叉沟深大断裂之北西侧,属西伯利亚板块东南缘伊尔施早古生代增生带(赵一鸣,1997)。区内出露的地层主要有中奥陶统汉乌拉组海相凝灰岩、凝灰质粉砂岩、粉砂岩和细砂岩,上志留统巴润德勒组滨海相-浅海相细碎屑岩夹生物碎屑灰岩,泥盆系浅海相凝灰质砂岩、灰岩及板岩,上石炭统宝力格庙组陆相安山质

火山岩,下二叠统格根敖包组火山熔岩及火山碎屑岩和上二叠统河湖相碎屑岩,侏罗系马尼特庙群含煤地层夹凝灰质砂泥岩,第三系和第四系沉积物主要为粘土、风成砂土、腐植土和湖相沉积泥土。

区域范围内海西期和燕山期花岗岩类分布广泛。两个时期的花岗岩无论在产出环境、岩石组合和造岩矿物方面,还是在岩石化学和锶同位素初始比值方面均存在着较大的差别。据张德全(1993)的研究,本区海西期花岗岩类主要与板块俯冲作用有关,属挤压造山环境下形成的钙碱性花岗岩系列,相比之下,燕山期花岗岩类则主要与大陆边缘断裂活动有关,属引张环境下地幔上隆所引发的亚碱性-碱性花岗岩系列。区域上,与海西期花岗质岩浆作用有关的矿床(点)有奥由特铜矿床、巴彦都兰铜矿点、阿太乌拉铜矿点、麦狼温都尔铜矿点、乌兰陶勒盖铜矿床、海勒斯铅-锌矿点等;与燕山期花岗质岩浆作用有关的矿床(点)有朝不愣铁-铅-锌多金属矿床、查干敖包银-铅-锌多金属矿床、吉林宝力格银多金属矿床、沙麦钨矿床及毛登锡铜矿床等,其中,燕山晚期黑云母花岗岩与本区钨矿化具密切的时空分布关系。

## 2 矿床地质特征

沙麦钨矿床位于沙麦花岗岩体东南边缘突出部位,矿区范围内出露的地层主要为上泥盆统安格尔夫音乌拉组浅变质岩和中-下侏罗统马尼特庙群火山

\* 本文得到中国地质调查局地质调查综合研究项目(200310200001-01)的资助

第一作者简介 胡 朋,男,1980 年生,博士研究生,从事矿床学、地球化学研究工作。

收稿日期 2005-03-18;改回日期 2005-09-05。李 岩编辑。

沉积岩(图1)。从钻孔资料可知,中-下侏罗统马尼特庙群凝灰质砂泥岩曾遭受到轻微变质作用,由浅变质砂砾岩与碳质板岩互层组成,其底部不整合于上泥盆统安格尔音乌拉组浅变质岩之上,顶部被上侏罗统查干诺尔组流纹质凝灰岩不整合覆盖<sup>①</sup>。

沙麦含钨二长花岗岩体为一沿东乌珠穆沁旗海西期断裂带侵入的复式岩基,长轴为 NNE-SSW 向,其东北端延入蒙古国境内,长 110 km,宽 20~80 km,出露面积 2 700 km<sup>2</sup>,成岩时代为燕山晚期(内蒙

古自治区地质矿产局,1991)。岩体东南侧侵入上泥盆统和中-下侏罗统火山沉积岩地层中,接触热变质带宽达 800 m。靠近岩体一侧为红柱石-黑云母角闪岩,远离岩体依次变为斑点状板岩和片理化砂砾岩;西南端侵入上泥盆统沉积岩地层中,热接触变质带宽 7 000 m,从接触带向外依次为堇青石角闪岩-红柱石角闪岩-斑点板岩,岩体西北侧被第三系、第四系覆盖。沙麦岩体岩性组合较为简单,主要岩石类型有中细粒黑云母二长花岗岩和细粒似斑状黑云母二长

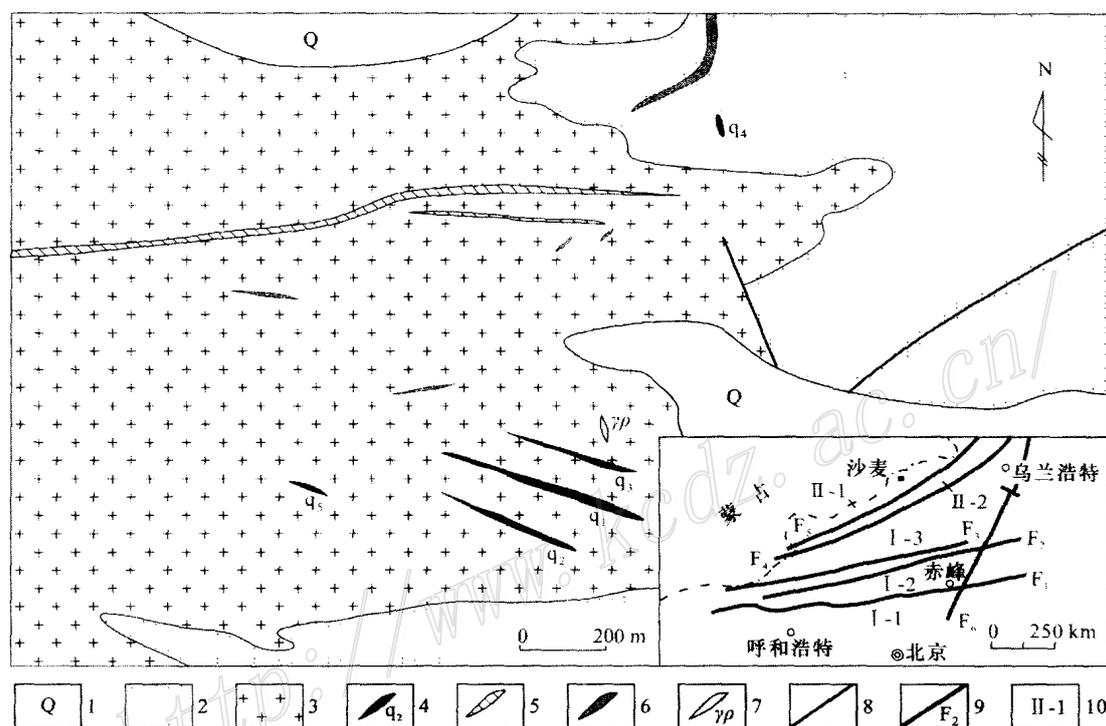


图1 内蒙古沙麦钨矿床大地构造位置及地质简图(大地构造位置底图据赵一鸣等,1997)

1—第四系;2—中-下侏罗统凝灰质砂泥岩;3—燕山晚期黑云母花岗岩;4—含钨石英脉及编号;5—花岗斑岩脉;6—石英脉;7—花岗伟晶岩脉;8—断层;9—深断裂及编号;10—构造单元及编号。构造单元名称:I—华北构造域,其中I-1—华北地台,I-2—温都尔庙-西拉木伦兴凯里东褶皱带,I-3—蒙东南中-晚海西褶皱带;II—西伯利亚构造域,其中II-1—伊尔施-多宝山加里东褶皱带,II-2—东乌旗早海西褶皱带。深断裂名称:F<sub>1</sub>—华北地台北缘深断裂;F<sub>2</sub>—温都尔庙-西拉木伦深断裂;F<sub>3</sub>—索伦山-天山深断裂;F<sub>4</sub>—二连浩特-贺根山深断裂;F<sub>5</sub>—查干敖包-五叉沟深断裂;F<sub>6</sub>—嫩江深断裂

Fig.1 Simplified geological map of the Shamai tungsten deposit, Inner Mongolia, showing its geotectonic location (the geotectonic location map modified from Zhao et al., 1997)

1—Quaternary sediments; 2—Middle-Lower Jurassic tuffaceous sandstone-mudstone; 3—Late Yanshanian biotite granite; 4—Tungsten-bearing quartz vein and its serial number; 5—Granite porphyry dyke; 6—Quartz vein; 7—Granite pegmatite dyke; 8—Fault; 9—Deep fault and its serial number; 10—Tectonic unit and its serial number. **Tectonic units:** I—North China tectonic domain: I-1—North China platform, I-2—Wenduermiao-Xilamulunxinkai Caledonian folded belt, I-3—Abagaqi Early Hercynian folded belt, I-4—Southeast Inner Mongolia Middle-Late Hercynian folded belt; II—Siberia tectonic domain: II-1—Yirshi-Duobaoshan Caledonian folded belt, II-2—Dongwuqi Early Hercynian folded belt. **Deep faults:** F<sub>1</sub>—Northern marginal deep fault of North China platform; F<sub>2</sub>—Wenduermiao-Xilamulun deep fault; F<sub>3</sub>—Suolunshan-Tianshan deep fault; F<sub>4</sub>—Erenhot-Hegenshan deep fault; F<sub>5</sub>—Chaganaobao-Wuchagou deep fault; F<sub>6</sub>—Nenjiang River deep fault

花岗岩。一般来讲,中细粒黑云母二长花岗岩位于岩体的边缘部位,约占岩体面积的三分之二,构成含钨石英脉的直接围岩,与钨矿化的关系更为密切;似斑状黑云母二长花岗岩位于岩体中部,约占岩体面积的三分之一。

### 3 矿体地质特征

#### 3.1 矿体空间分布形态

钨矿化主要在沙麦花岗岩类侵入体及其围岩内呈脉状产出,矿体受控于矿区内的 NW 向张扭性断裂(图 1)。该期断裂由花岗岩体自身发育的 NW 向压扭性节理演化而来,既是矿区的主干断裂构造,又是矿区的主要容矿构造。迄今为止,先后在区内发现和圈定了 350 条含钨石英脉,其中 76 条脉体具有工业价值。前述各类含钨石英脉构成 5 条脉带,其中 3 条脉带(图 1 中  $q_1$ ,  $q_2$  和  $q_3$ )无论在钨储量上,还是在产量上均占主导地位。从空间分布特征上看,这 3 条脉带呈 NW 向分布,矿带间距大体相等。从剖面上看,地表的细脉和线脉向下逐渐变为大脉,在走向上,几条单脉可构成复脉。虽然组成矿带的这些矿脉总体排布形态较复杂,但单矿脉形态却比较简单。如 1 号矿带中的 1 号石英大脉长约 645 m,最大倾向延深约 265 m,平均厚度 1.58 m,走向为 NW 305°,向 SW 倾斜,倾角 84~87°,具体形态为舒缓波状逐渐尖灭及局部地段的分支复合形态。

#### 3.2 矿石类型及物质成分

沙麦钨矿床矿石大体可分为 2 种类型,即石英脉型和云英岩型,其中以前者质量较好,易于采选。

从表 1 中可以看出,石英脉型和云英岩型矿石  $WO_3$  含量均值分别为 2.03% 和 0.48%,石英脉型矿石品位明显高于云英岩型矿石。矿石中金属矿物主要由黑钨矿、白钨矿和少量的黄铁矿、黄铜矿、方铅矿、闪锌矿、蓝铜矿和褐铁矿组成,脉石矿物主要由石英、白云母、铁白云母、萤石以及少量的黑云母、钾长石、钠长石、黄玉和电气石等组成。石英脉型矿石主要由黑钨矿和石英组成,伴生有白云母、萤石和黄玉等,其中黑钨矿呈自形半自形晶在石英块体中产出。云英岩型矿石主要由黑钨矿、石英、白云母和萤石组成,其中黑钨矿多呈不规则的细粒状浸染分布于矿石中。

#### 3.3 围岩蚀变与矿化期次

矿区蚀变作用主要有铁白云母化、云英岩化、硅化及黄铁矿化,其中云英岩化和硅化与钨矿化具密切的空间分布关系。镜下观察显示,沙麦花岗岩体具有强烈的铁白云母化,铁白云母化发生在微斜长石化之后,沿黑云母,偶尔沿长石边缘发生交代。云英岩化总是沿着含矿石英脉的脉壁产出,从远脉壁到近脉壁发育云英岩化花岗岩—石英云英岩—正常云英岩—富云母云英岩的分带序列。在部分云英岩化花岗岩和云英岩中,钨的含量可达到工业品位,它们或成为独立脉体,或为含钨石英脉上、下盘围岩。矿区云英岩化又可分为 2 期,早期云英岩呈深灰色,鳞片花岗变晶结构,主要由他形石英与铁白云母组成,这一期云英岩常构成独立矿脉或含钨石英脉上、下盘的云英岩型矿石;晚期云英岩分布范围有限,其岩性特征为金黄色,黄绿色白云母占 80%,黄玉占 15%,其他为少量石英,它们常以细脉的方式穿插早

表 1 沙麦钨矿床不同类型矿石样品部分金属元素化学分析结果<sup>①</sup>

Table 1 Chemical analyses of several elements in different tungsten ores from the Shamai tungsten deposit

矿石类型	$w_B/\%$					$w_B/10^{-6}$	
	Pb	Zn	$WO_3$	Mo	Sn	Au	Ag
石英脉型矿石(72)							
最小值	0.003	0.005	0.00	0.000	0.000	0.01	7.59
最大值	0.238	0.067	32.49	0.018	0.008	0.23	39.81
平均值	0.036	0.019	2.033	0.003	0.003	0.01	7.59
云英岩型矿石(90)							
最小值	0.004	0.005	0.010	0.00	0.001	0.000	0.48
最大值	0.136	0.159	4.710	0.015	0.013	0.23	23.45
平均值	0.020	0.024	0.484	0.003	0.006	0.015	3.80

注:括号内为样品数。

① 内蒙古自治区 109 地质队, 1984. 内蒙古自治区东乌珠穆沁旗沙麦矿区钨矿详细普查地质报告. 科研报告. 1~90.

期云英岩。根据野外观察和室内鉴定,沙麦钨矿床的矿化可划分为3个阶段:硅酸盐-萤石阶段、黑钨矿-石英阶段(包括云英岩化阶段和含钨石英脉形成阶段)和硫化物阶段。

## 4 流体包裹体研究

### 4.1 流体包裹体类型

与黑钨矿共生的一些透明矿物,如石英、萤石中都发育有流体包裹体,但石英中的包裹体相对较大且最为发育。本次工作对细粒黑云母二长花岗岩、云英岩、含钨石英大脉中的石英分别进行了流体包裹体研究。其中,细粒黑云母二长花岗岩中石英流体包裹体分布不均匀,仅部分石英颗粒中较发育,主要为两相液相包裹体和少量的含 $\text{CO}_2$ 三相包裹体,包裹体普遍较小,以 $3 \sim 5 \mu\text{m}$ 居多,少量为 $5 \sim 15 \mu\text{m}$ ,气相百分数约30%,呈不规则菱形、圆粒状、长条状等;云英岩中流体包裹体发育,分布密集,主要为两相液相包裹体和少量含 $\text{CO}_2$ 三相包裹体,偶见含固相的多相包裹体,包裹体大小不一,以 $10 \sim 15 \mu\text{m}$ 者居多,气相百分数约10%~30%,大者大于40%,形态多呈负晶形、不规则状和长条状等;含钨石英脉中流体包裹体极为发育,类型主要为两相液相包裹体和少量的含 $\text{CO}_2$ 三相包裹体,偶见单一液相包裹体和含固相多相包裹体,包裹体大小多在 $5 \sim 25 \mu\text{m}$ 之间,气相百分数多数集中于15%~25%,少数气相百分数达40%~45%,包裹体形态呈负晶形、不完全负晶形、椭圆形、长条状及不规则状等。根据流体包裹体中所含相的类型和比例,可将石英中的原生流体包裹体划分为4种类型(表2)。

### 4.2 流体包裹体均一温度及盐度

流体包裹体的显微测温是在中国地质科学院矿产资源研究所经校正的法国产 Chaix meca(-180~+550℃)冷热台上进行的,冷冻实验先于加热实验,升温速率为 $1^\circ\text{C}/\text{min}$ ,在相变附近升温速率适当减小。

绝大多数液相包裹体均一到液相,极少数在未均一前爆破,所测试的含 $\text{CO}_2$ 三相包裹体都均一到液相。各类岩(矿)石中石英流体包裹体的均一温度测温结果直方图见图2,从中可以看出:含钨石英脉中石英流体包裹体均一温度为 $190.5 \sim 392.5^\circ\text{C}$ ,主要温度范围为 $260 \sim 320^\circ\text{C}$ ,在均一温度直方图中呈正态分布;云英岩中石英流体包裹体均一温度为 $145 \sim 371^\circ\text{C}$ ,主要温度范围集中于 $200 \sim 240^\circ\text{C}$ 和 $320 \sim 360^\circ\text{C}$ 两个区间;细粒黑云母二长花岗岩中石英流体包裹体均一温度为 $194 \sim 320^\circ\text{C}$ ,主要温度范围集中于 $280 \sim 320^\circ\text{C}$ 。对1个极少发育的含固相的多相包裹体进行测温,升温至 $303^\circ\text{C}$ 气相消失,继续升温至 $450^\circ\text{C}$ 固相仍不变化,推测该子矿物为碳酸盐类矿物。

各类岩(矿)石中石英流体包裹体的冰点及换算的盐度值直方图见图3和图4。含钨石英脉中30个石英液相包裹体的冰点值变化范围为 $-0.8 \sim$

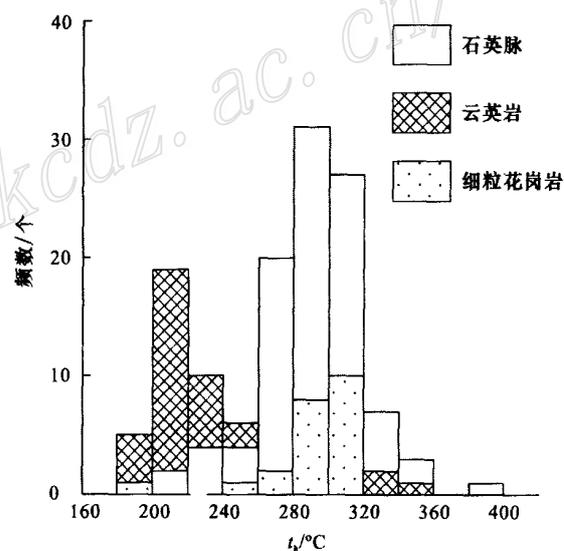


图2 沙麦钨矿床各类岩(矿)石中石英流体包裹体均一温度直方图

Fig.2 Histogram showing homogenization temperature of fluid inclusions in quartz from the Shamai tungsten deposit

表2 沙麦钨矿床各类岩(矿)石中石英流体包裹体类型和特征

Table 2 Types and features of fluid inclusions in quartz from various rocks and ores of the Shamai tungsten deposit

类型	主矿物	包裹体长轴长/ $\mu\text{m}$	气相百分数/%	所占比例/%	形态	均一状态
液相包裹体	石英	$5 \sim 20$ 为主	$10 \sim 25$ , 少量 $40 \sim 45$	90	较规则的六边形、椭圆形	液相
单一液相包裹体	石英	$8 \sim 15$	0	1~2	规则	液相
含 $\text{CO}_2$ 三相包裹体	石英	$10 \sim 50$	$10 \sim 20$	5~6	较规则	液相
含子矿物三相包裹体	石英	$10 \sim 20$	10	1~2	较规则	液相

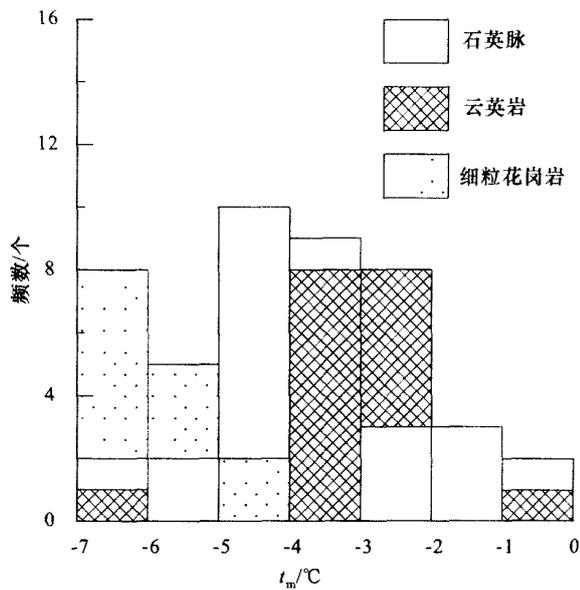


图 3 沙麦钨矿床各类岩(矿)石中石英液相包裹体冰点直方图

Fig.3 Histogram showing melting temperature of aqueous fluid inclusions in quartz from the Shama tungsten deposit

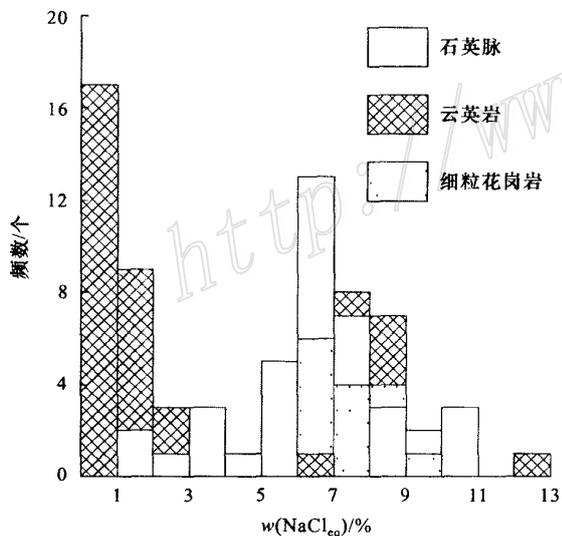


图 4 沙麦钨矿床各类岩(矿)石中石英各类流体包裹体盐度直方图

Fig.4 Histogram showing salinity of various fluid inclusions in quartz from the Shama tungsten deposit

- 6.9 °C,大部分数值集中在 - 3.1 ~ - 4.9 °C,根据冰点估算法(刘斌,1999)所获盐度  $w(\text{NaCl}_{\text{eq}})$  为 1.4%~10.36%,主要集中在 5.11%~8.81%之间,平均值为 6.04%;10 个含  $\text{CO}_2$  三相包裹体的三相点

温度变化范围为 - 57.2 ~ - 57.8 °C,略低于纯  $\text{CO}_2$  包裹体的三相点温度(- 56.7 °C),表明气相成分中除  $\text{CO}_2$  外可能还含有少量其他的挥发分(卢焕章等,2004), $\text{CO}_2$  水合物的熔化温度为 4.3 ~ 7.2 °C,根据 Collins(1979)的公式计算获得流体包裹体的盐度  $w(\text{NaCl}_{\text{eq}})$  为 5.41%~10.14%,平均值为 7.41%,基本与液相包裹体冰点测得的盐度相仿。云英岩中 46 个石英液相包裹体冰点值变化范围为 - 0.1 ~ - 8.8 °C,估算所获盐度值变化于 0.18%~12.62%之间,且可分为 2 个明显的盐度峰值区间,低盐度区间为 0.18%~2.57%,较高盐度区间为 7.17%~8.95%;4 个含  $\text{CO}_2$  三相包裹体的三相点温度变化范围为 - 56.8 ~ - 57.4 °C,也低于 - 56.7 °C,表明存在其他少量挥发分, $\text{CO}_2$  水合物的熔化温度为 7.9 ~ 9.3 °C,换算获得的包裹体盐度值为 1.43%~4.13%。细粒黑云母二长花岗岩中 15 个液相包裹体冰点值变化于 - 3.7 ~ - 5.9 °C 之间,换算所获盐度值变化于 6.01%~9.08%。

### 4.3 流体包裹体成分

对含钨石英脉中 5 件包裹体片的 11 个液相包裹体进行了显微激光拉曼光谱测试,测试工作在中国地质科学院矿产资源研究所完成。测试仪器为雷尼绍公司生产的 Renishaw2000 型激光拉曼光谱仪,有关工作参数为:光源采用  $\text{Ar}^+$  激光器,波长为 514.5 nm,激光功率为 20 mW,光谱分辨率 1 ~ 2  $\text{cm}^{-1}$ ,内置 CCD 探测器。

选取 2 个代表性的液相包裹体的气、液相激光拉曼图谱示于图 5。结果表明,沙麦钨矿床液相包裹体气相成分主要为  $\text{H}_2\text{O}$ ,同时常见  $\text{CO}_2$  和  $\text{CH}_4$  特征峰的显示(图 5a 和 b);液相主要由  $\text{H}_2\text{O}$  组成(图 5c 和 d),偶见  $\text{CO}_2$  特征峰。

## 5 氢、氧同位素组成

### 5.1 氢、氧同位素测试方法

所有样品的氢、氧同位素测试都在中国地质科学院矿产资源研究所同位素实验室完成。氧同位素测试前采用  $\text{BrF}_5$  法对样品进行处理,然后在 MAT251EM 型质谱计上对获得的  $\text{CO}_2$  进行氧同位素比值测定,并以 SMOW 为标准,分析精度为  $\pm 0.2\text{‰}$ 。氢同位素的样品制备中要尽量消除  $\text{H}_2\text{O}$  的影响,否则  $\text{H}_2\text{O}$  与  $\text{H}_2$  之间的同位素交换会影响质谱分析结果,其制备方法为:样品经清洗、去吸附

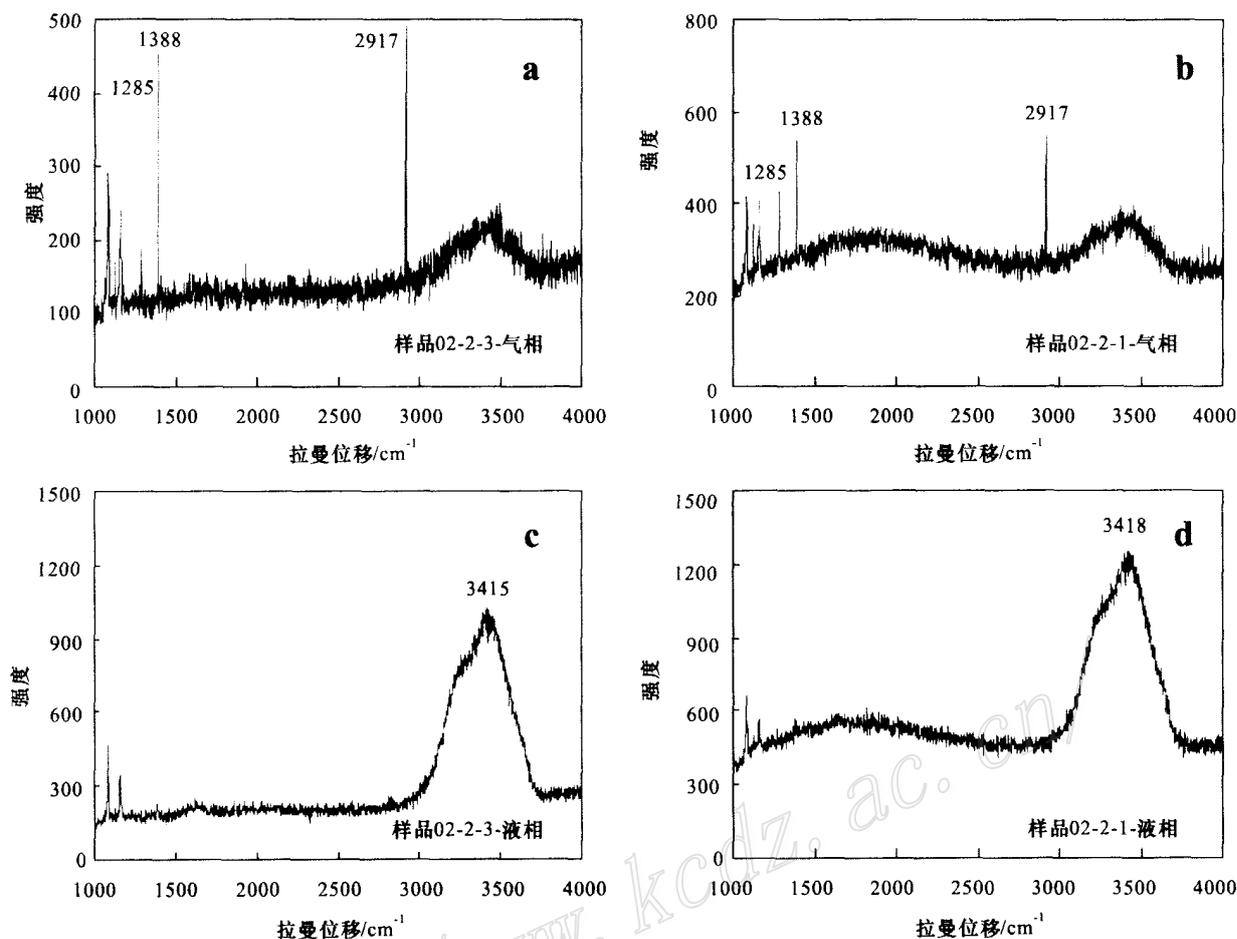


图5 沙麦钨矿床代表性流体包裹体激光拉曼图谱

Fig.5 Laser Raman Spectra of representative fluid inclusions from the Shamai tungsten deposit

水和次生包裹体后,再采用加热爆破法从样品中提取原生流体包裹体的  $H_2O$ ,  $H_2O$  与  $Zn$  在  $400\text{ }^\circ\text{C}$  条件下反应  $30\text{ min}$  制取  $H_2$ , 然后送入质谱计中进行氢同位素测定, 仪器型号同上, 以  $SMOW$  为标准, 测试精度为  $\pm 2\text{ }^\circ\text{‰}$ 。

## 5.2 测试结果

氢、氧同位素测试结果见表3。此次工作共测定了2件全岩样品、2件石英脉和4件含钨石英(云英岩)脉中的石英、2件含钨石英脉中黑钨矿的氧同位素组成。其中, 2件花岗岩全岩具有较低的  $\delta^{18}O$  值, 属于 Taylor(1968)的花岗质岩石氧同位素分类的正常  $\delta^{18}O$  值的低端( $6.0\text{ }^\circ\text{‰} \sim 8.5\text{ }^\circ\text{‰}$ 之间); 4件含钨石英(云英岩)脉中石英的  $\delta^{18}O$  值比较接近, 为  $8.8\text{ }^\circ\text{‰} \sim 9.1\text{ }^\circ\text{‰}$ , 平均值为  $9.0\text{ }^\circ\text{‰}$ ; 2件无矿石英脉中石英的  $\delta^{18}O$  值分别为  $7.6\text{ }^\circ\text{‰}$  和  $6.9\text{ }^\circ\text{‰}$ , 略低于含钨石英脉中的石英, 两者可能是同一花岗质岩浆不同演化阶段

的产物; 2件含钨石英脉中黑钨矿的氧同位素  $\delta^{18}O$  值为  $2.8\text{ }^\circ\text{‰}$  和  $3.1\text{ }^\circ\text{‰}$ , 远远小于含钨石英脉中石英的  $\delta^{18}O$  值。另外, 不同标高的含钨石英脉中石英的  $\delta^{18}O$  值自上而下有逐渐降低的趋势, 但是不太明显。

4件含钨石英脉石英的包裹体水  $\delta D_{\text{水}}$  值为  $-102\text{ }^\circ\text{‰} \sim -78\text{ }^\circ\text{‰}$ 。运用 Clayton 等(1972)的石英-水平衡体系中的  $\delta^{18}O_{\text{水}}$  值, 一并列于表3中。

## 6 讨论与初步结论

### 6.1 流体组成、密度与压力

上述显微测温结果表明, 沙麦钨矿床含钨石英脉和云英岩中的石英流体包裹体均以气液两相包裹体为主, 含有少量的含  $CO_2$  三相包裹体。流体包裹体主要由  $H_2O$  和  $CO_2$  组成, 含有极少量的其他挥发

表 3 沙麦钨矿床全岩及单矿物氢氧同位素组成

Table 3 Hydrogen and oxygen isotope compositions of granite and mineral separates from the Shamai tungsten deposit

样品编号	采样位置	岩(矿)石类型	对象	$\delta^{18}\text{O}_{\text{石英}}/\text{‰}$	$\delta^{18}\text{O}_{\text{水}}/\text{‰}$	$\delta\text{D}_{\text{水}}/\text{‰}$	平均 $t_h/\text{℃}$
S M04	1 号竖井 880 m 中段	中粒花岗岩	全岩	6.5			
S M17	1 号竖井 880 m 中段	细粒花岗岩	全岩	7.4			
S M02	1 号竖井 880 m 中段	含钨石英脉	石英	9.1	1.9	- 79	305
S M03	1 号竖井 880 m 中段	含钨云英岩脉	石英	9.1	1.3	- 78	290
S M08	1 号竖井 840 m 中段	含钨石英脉	石英	9.0	1.4	- 84	294
S M16	1 号竖井 840 m 中段	含钨石英脉	石英	8.8	1.0	- 102	290
S M3-15	地表	无矿石英脉	石英	7.6			
S M3-16	地表	无矿石英脉	石英	6.9			
S M3-8	1 号竖井 880 m 中段	含钨石英脉	黑钨矿	2.8			
S M3-13	1 号竖井 880 m 中段	含钨石英脉	黑钨矿	3.1			

测试单位：中国地质科学院矿产资源研究所。 $\delta^{18}\text{O}_{\text{水}}$  计算采用的分馏方程为  $1000\ln\alpha_{\text{石英-水}} = 3.38 \times 10^6 / T^2 - 2.90$  (Clayton et al., 1972);  $t_h$  为实测石英流体包裹体的均一温度。

分。通过进一步的单个包裹体显微激光拉曼测试揭示出包裹体的气相中含有不等量的  $\text{CH}_4$ , 表明沙麦钨矿床成矿流体为中低盐度的  $\text{H}_2\text{O}-\text{NaCl}-\text{CO}_2 \pm \text{CH}_4$  流体体系。

由于石英流体包裹体中气液两相包裹体占绝大多数, 因此在估算包裹体捕获压力时将成矿流体近似看作  $\text{H}_2\text{O}-\text{NaCl}$  体系。根据流体包裹体的盐度、均一温度和均一方式, 参照  $\text{H}_2\text{O}-\text{NaCl}$  体系的  $t-p-\rho$  相图可以确定成矿流体的密度和捕获压力 (Bodnar, 1983; Bischoff, 1991)。含钨石英脉中石英流体包裹体的密度介于  $0.767 \sim 0.865 \text{ g/cm}^3$  之间, 均值为  $0.812 \text{ g/cm}^3$ , 流体压力介于  $(51.3 \sim 83.2) \times 10^5 \text{ Pa}$  之间, 均值为  $62.5 \times 10^5 \text{ Pa}$ ; 云英岩中石英流体包裹体的密度介于  $0.446 \sim 0.923 \text{ g/cm}^3$  之间, 均值为  $0.858 \text{ g/cm}^3$ , 流体压力介于  $(12.4 \sim 210.5) \times 10^5 \text{ Pa}$  之间, 均值为  $34.6 \times 10^5 \text{ Pa}$ ; 细粒二长花岗岩中的石英流体包裹体密度介于  $0.748 \sim 0.830 \text{ g/cm}^3$  之间, 均值为  $0.799 \text{ g/cm}^3$ , 流体压力介于  $(45.5 \sim 105.1) \times 10^5 \text{ Pa}$  之间, 均值为  $79.9 \times 10^5 \text{ Pa}$ 。

6.2 流体来源与演化

从图 2 和图 3 中可以看出, 沙麦钨矿床各类石英流体包裹体的均一温度集中于  $200 \sim 240 \text{℃}$  和  $260 \sim 320 \text{℃}$  两个区间, 盐度  $w(\text{NaCl}_{\text{eq}})$  集中于  $0.18\% \sim 2.57\%$  和  $5.11\% \sim 8.95\%$ , 且均一温度较高的包裹体盐度也较高。在石英流体包裹体的均一温度-盐度图解(图 6)中也可看出, 含钨石英脉和花岗岩中石英流体包裹体的均一温度和盐度都较高, 而云英岩中的石英流体包裹体可以分为明显的 2 群, 一群均一温度和盐度相对较高, 与含钨石英脉和花岗岩中

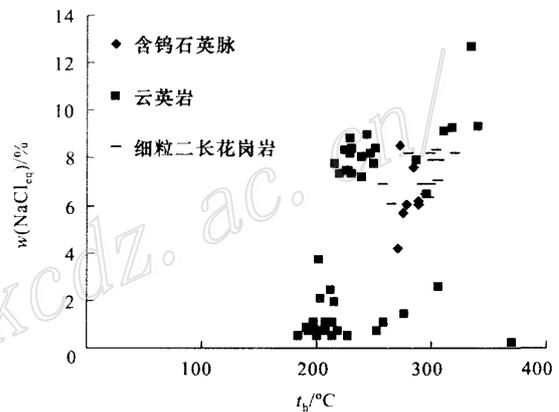


图 6 沙麦钨矿床石英流体包裹体均一温度-盐度图解  
Fig.6 Homogenization temperature versus salinity diagram of fluid inclusions in quartz from the Shamai tungsten deposit

的流体包裹体接近, 另一群均一温度和盐度相对较低, 且总的来说有线性演化的趋势。通过对 3 类石英流体包裹体的密度和压力计算发现, 从细粒二长花岗岩 → 含钨石英脉 → 云英岩, 流体包裹体密度逐渐增大, 捕获压力逐渐减小, 同样具有线性演化的趋势。

上述趋势可以用温度较高、中等盐度的岩浆热液和较冷的低盐度流体混合来解释(卢焕章等, 2004)。大量研究已经证实(Sun et al., 1987; 华仁民, 1994; 张作衡等, 2002; Lu et al., 2003), 在与花岗岩类有关的稀有金属矿床中, 以上升的岩浆水为主的流体与以大气降水为主的流体混合是引起 W、Sn 等金属沉淀的有效机制之一。在沙麦含钨石英脉的石英流体包裹体的  $\delta^{18}\text{O}-\delta\text{D}$  图解中(图 7), 样品

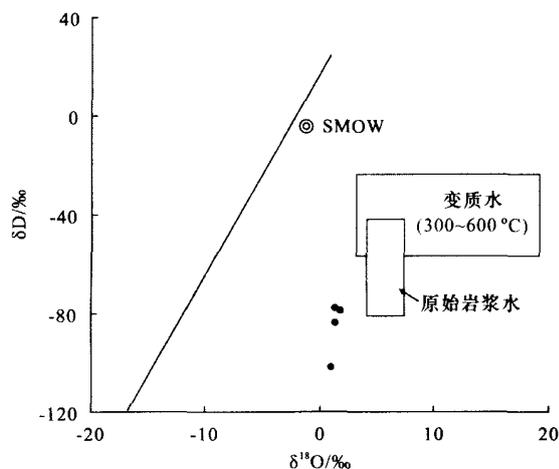


图7 沙麦钨矿床主成矿期石英包裹体水的  $\delta^{18}\text{O}$ - $\delta\text{D}$  关系图(底图据 Taylor, 1974)

Fig. 7  $\delta^{18}\text{O}$  versus  $\delta\text{D}$  diagram of fluid inclusions in quartz from major ore-forming stage ore of the Shamai tungsten deposit (after Taylor, 1974)

点均偏离原始岩浆水区域向雨水线一侧迁移,同样表明沙麦钨矿床主成矿期成矿流体具有岩浆水和大气降水的混合特征。含钨石英脉的共生矿物石英和黑钨矿的氧同位素组成差别很大,存在明显的不平衡(表3),表明在矿石沉淀过程中,成矿体系处于浅成开放状态(郑永飞等,2000),为来自深部的岩浆演化热液和大气降水的混合提供了条件。

### 6.3 矿床成因

沙麦钨矿床钨矿化与花岗岩体演化晚期边缘相的中细粒黑云母二长花岗岩关系密切,矿体受控于矿区内由花岗岩节理发育而来的NW向张扭性断裂,以黑钨矿石英大脉及蚀变云英岩的方式产出,这些特征与中国华南和花岗岩有关的石英脉型钨矿床的地质特征一致(南京大学地质系,1981;赫英,1987;陈毓川等,1995)。结合流体包裹体的研究表明,花岗质岩浆不仅从深部带来了大量的成矿物质,并在自身的分异演化中使其往岩体顶部和边部富集(赫英,1991;刘家远,2002;华仁民,2003),而且往往扮演了“热能机”的作用,导致了成矿热液的对流循环(毛景文等,1998;张作衡等,2002)。随着花岗质岩浆在地壳浅部侵位与冷凝,在岩体的隆起部位常形成一系列断裂系统,此时体系处于开放状态。沿这些开放的断裂系统,花岗质岩浆自身演化形成的岩浆热液与地表较冷的大气降水发生混合,引起流体体系的温度骤然冷却以及物理化学条件的改变,

导致钨的快速沉淀,形成含钨石英脉型矿床。

### 6.4 初步结论

综合上述,可得出以下几点认识。

(1) 沙麦钨矿床是位于大兴安岭南段西坡的典型黑钨矿-石英大脉型矿床,钨矿化主要位于二长花岗岩体内含钨石英大脉及其旁侧的云英岩内,与演化晚期的中细粒黑云母二长花岗岩关系密切。

(2) 通过对含钨石英脉和云英岩中石英流体包裹体的显微测温和单个包裹体显微激光拉曼光谱分析,认为沙麦钨矿床成矿流体为中低盐度的  $\text{H}_2\text{O}$ - $\text{NaCl}$ - $\text{CO}_2$   $\pm$   $\text{CH}_4$  流体体系。

(3) 高温、中等盐度的岩浆演化热液和低温、低盐度的大气降水的混合作用是引起矿石沉淀的主要机制。

**致谢** 野外矿山实地考察和坑道调查工作得到内蒙古东乌珠穆沁旗沙麦钨矿付晓军矿长、王亚军先生、米玉海副矿长等的支持,室内流体包裹体的测试工作得到中国地质科学院矿产资源研究所李荫清研究员和徐文艺副研究员的指导和帮助,张德全研究员对本文提出了建设性的修改意见,在此一并致谢!

### References

- Bischoff J L. 1991. Densities of liquids and vapors in boiling  $\text{NaCl}$ - $\text{H}_2\text{O}$  solutions: A PVTX summary from 300 to 500  $^{\circ}\text{C}$  [J]. American Journal of Science, 291: 309 ~ 338.
- Bondar R J. 1983. A method of calculating fluid inclusion volumes based on vapor bubble diameters and PVTX properties of inclusion fluids [J]. Econ. Geol., 78: 535 ~ 542.
- Bureau of Geology and Mineral Resources of Inner Mongolia Autonomous Region. 1991. Regional geology of Nei Mongol (Inner Mongolia) Autonomous Region [M]. Beijing: Geol. Pub. House (in Chinese with English abstract).
- Chen Y C, Mao J W, et al. 1995. Metallogenic series of ore deposits and metallogenic evolution through geologic history in north Guangxi [M]. Nanning: Guangxi Sci. & Technol. Press (in Chinese).
- Clayton R N, O'Neil J R and Mayeda T K. 1972. Oxygen isotope exchange between quartz and water [J]. J. Geophys. Res., 77: 3057 ~ 3067.
- Collins P E. 1979. Gas hydrates in  $\text{CO}_2$ -bearing fluid inclusions use of freezing data for estimation of salinity [J]. Econ. Geol., 74: 1435 ~ 1444.
- Department of Geology, Nanjing University. 1981. The granites formed in different times and their relationship to metallization in southern China [M]. Beijing: Sci. Press (in Chinese).

- He Y. 1987. The relationship of alkaline metasomatism to tungsten metallization in Xihuashan, Jiangxi Province[ J ]. *Mineral Deposits*, 6(2): 29 ~ 38 (in Chinese with English abstract) .
- He Y. 1991. Some features of composite granite bodies and their relationship to the metallization in southern China[ J ]. *Mineral Resour. & Geol.*, 5(1): 17 ~ 23 (in Chinese with English abstract) .
- Hua R M. 1994. Studies on metal deposition by fluid mixing during ore-forming processes[ J ]. *Advance in Earth Sci.*, 9(4): 15 ~ 22 (in Chinese with English abstract) .
- Hua R M, Zhang W L, Chen P R, et al. 2003. Comparison in the characteristics, origin and related metallogeny between granites in Dajishan and Piaotang, Southern Jiangxi, China[ J ]. *Geol. J. China Univ.*, 9(4): 609 ~ 619 (in Chinese with English abstract) .
- Liu B and Shen K. 1999. Thermodynamics of fluid inclusions[ M ]. Beijing: Geol. Pub. House (in Chinese with English abstract) .
- Liu J Y. 2002. Composition of Xihuashan granites and relationship to tungsten metallogenesis[ J ]. *Geol. & Mineral Resour. South China*, (3): 97 ~ 101 (in Chinese with English abstract) .
- Lu H Z, Liu Y, Wang C, et al. 2003. Mineralization and fluid inclusion study of the Shizhuyuan W-Sn-Bi-Mo-F skarn deposit, Hunan Province, China[ J ]. *Econ. Geol.*, 98: 955 ~ 974 .
- Lu H Z, Fan H R, Ni P, et al. 2004. Fluid inclusions[ M ]. Beijing: Sci. Press (in Chinese) .
- Mao J W, Li H Y, Song X X, et al. 1998. Geology and geochemistry of the Shizhuyuan W-Sn-Mo-Bi-poly metallic deposit, Hunan, China [ M ]. Beijing: Geol. Pub. House (in Chinese with English abstract) .
- Sun S and Eadington P J. 1987. Oxygen isotope evidence for the mixing of magmatic and meteoric water during tin mineralization in the Mole granite, New South Wales, Australia[ J ]. *Econ. Geol.*, 82: 43 ~ 52 .
- Taylor H P Jr. 1968. The oxygen isotope geochemistry of igneous rocks [ J ]. *Contrib. Mineral. Petrol.*, 19(1): 1 ~ 71 .
- Taylor H P Jr. 1974. The application of oxygen and hydrogen isotope studies to problems of hydrothermal alteration and ore deposition[ J ]. *Econ. Geol.*, 69: 843 ~ 883 .
- Zhang D Q. 1993. Two granitoid series in different tectonic environment of southern Da Hinggan Mountains, China[ J ]. *Acta Petrologica et Mineralogica*, 12(1): 1 ~ 11 (in Chinese with English abstract) .
- Zhang Z H, Mao J W, Yang J M, et al. 2002. Geology and genesis of Ta'ergou skarn-quartz vein type tungsten deposit in north Qilian Caledonian orogen, Northwest China[ J ]. *Mineral Deposits*, 21(2): 200 ~ 211 (in Chinese with English abstract) .
- Zhao Y M, Zhang D Q, et al. 1997. Metallogeny and prospective evaluation of copper-poly metallic deposits in the Da Hinggan Mountains and its adjacent regions[ M ]. Beijing: Seismological Press (in Chinese) .
- Zheng Y F and Chen J F. 2000. Stable isotope geochemistry[ M ]. Beijing: Sci. Press (in Chinese) .

### 附中文参考文献

- 陈毓川, 毛景文, 等. 1995. 桂北地区成矿系列和成矿历史演化轨迹 [ M ]. 南宁: 广西科学技术出版社 .
- 赫英. 1987. 碱交代作用及其与钨矿化的关系——主要以西华山钨矿为例 [ J ]. *矿床地质*, 6(2): 29 ~ 38 .
- 赫英. 1991. 赣湘南与成矿有关的复式小岩体若干问题的探讨 [ J ]. *矿产与地质*, 5(1): 17 ~ 23 .
- 华仁民. 1994. 成矿过程中由流体混合而导致金属沉淀的研究 [ J ]. *地球科学进展*, 9(4): 15 ~ 22 .
- 华仁民, 张文兰, 陈培荣, 等. 2003. 赣南大吉山与漂塘花岗岩及有关成矿作用特征对比 [ J ]. *高校地质学报*, 9(4): 609 ~ 619 .
- 刘斌, 沈昆. 1999. 流体包裹体热力学 [ M ]. 北京: 地质出版社 .
- 刘家远. 2002. 西华山钨矿的花岗岩组成及与成矿的关系 [ J ]. *华南地质与矿产*, (3): 97 ~ 101 .
- 卢焕章, 范宏瑞, 倪培, 等. 2004. 流体包裹体 [ M ]. 北京: 科学出版社 .
- 毛景文, 李红艳, 宋学信, 等. 1998. 湖南柿竹园钨锡钼铋多金属矿床地质与地球化学 [ M ]. 北京: 地质出版社 .
- 南京大学地质系. 1981. 华南不同时代花岗岩类及其与成矿关系 [ M ]. 北京: 科学出版社 .
- 内蒙古自治区地质矿产局. 1991. 内蒙古自治区区域地质志 [ M ]. 北京: 地质出版社 .
- 张德全. 1993. 大兴安岭南段不同构造环境中的两类花岗岩 [ J ]. *岩石矿物学杂志*, 12(1): 1 ~ 11 .
- 张作衡, 毛景文, 杨建民, 等. 2002. 北祁连加里东造山带塔儿沟夕卡岩-石英脉型钨矿床地质及成因 [ J ]. *矿床地质*, 21(2): 200 ~ 211 .
- 赵一鸣, 张德全, 等. 1997. 大兴安岭及其邻区铜多金属矿床成矿规律与远景评价 [ M ]. 北京: 地震出版社 .
- 郑永飞, 陈江峰. 2000. 稳定同位素地球化学 [ M ]. 北京: 科学出版社 .

## Geological features and fluid inclusions of Shama tungsten deposit, Inner Mongolia

HU Peng<sup>1</sup>, NIE Feng-jun<sup>1</sup>, HE Ying<sup>2</sup>, ZHANG Yi<sup>1</sup> and LIU Yan<sup>1</sup>

(1 Institute of Mineral Resources, CAGS, Beijing 100037, China; 2 Department of Geology, Northwest University, Xi'an 710069, Shaanxi, China)

### Abstract

Located in the eastern part of the Central Asian Palaeozoic orogenic belt, the Shama tungsten deposit is one of the most important tungsten deposits in northeast China. Tungsten mineralization occurs mainly as wolframite-bearing quartz veins within Late Yanshanian granitoids, and partly as greisen veins in association with wolframite-bearing quartz, controlled by a series of NW-trending fracture zones. An individual tungsten body can be traced along the strike for 645 m, and down the dip for 265 m, with an average thickness of 1.58 m. Alterations are relatively simple and consist of ferri-muscovitization, silicification, greisenization and pyritization. Two types of tungsten ores, namely quartz vein type and greisen type, can be identified, with their average  $WO_3$  content being 2.03% and 0.48% respectively. Ore minerals mainly include wolframite, scheelite, pyrite, chalcopyrite, bornite, molybdenite, arsenopyrite, galena, pseudogalena, malachite, azurite and hydroferrite. Gangue minerals consist of quartz, muscovite, ferri-muscovite, biotite, K-feldspar, albite, topaz, tourmaline and fluorite. The fluid inclusions in quartz from granite, greisen and tungsten-bearing quartz veins were studied, and the result shows that the ore-forming fluids are of the intermediate- or low-salinity  $H_2O-NaCl-CO_2 \pm CH_4$  system. Combined with the oxygen isotope features, it is concluded that the ore-forming fluids seem to be a mixed product of elevated magmatic fluid and low-temperature meteoric water. The granite magma not only carried ore-forming materials from the deep crust but also provided tremendous heat, which resulted in the circulation and mixing of ore-forming fluids in the superficial crust, thus forming the quartz-vein type tungsten deposit.

**Key words:** geochemistry, tungsten deposit, geological feature, fluid inclusion, genesis of deposit, Shama, Inner Mongolia