文章编号 10258-7106(2007)05-0501-11

湘东锡田垄上锡多金属矿床流体包裹体研究

杨晓君¹,伍式崇²,付建明¹,黄惠兰¹,常海亮¹,刘云华¹, 魏君奇¹,刘国庆¹,马丽艳¹

(1 宜昌地质矿产研究所,湖北 宜昌 443003;2 湖南省地质调查院株州矿产地质调查所,湖南 株州 412007)

摘要 锡田垄上锡多金属矿床是湘东锡田锡矿田中的一个大型矿床。通过对锡田垄上矽卡岩型和破碎带蚀 变岩型锡多金属矿石中的萤石和石英流体包裹体的岩相学、显微测温分析、包裹体成分的激光拉曼探针分析,结果 显示锡田垄上流体包裹体可分为3类5型。3类盐水包裹体(A类)富CO₂两相包裹体(B类)和含CO₂三相包裹 体(C类)5型:单相盐水溶液包裹体(A₁型)气液两相盐水溶液包裹体(A₂型)富CO₂两相包裹体(B型)均一成 L_{H2}o的含CO₂三相包裹体(C₁型)和均一成V_{CO2}的含CO₂三相包裹体(C₂型)。3个成矿阶段的均一温度分别为:I 成矿阶段为290~380C;II成矿阶段为210~240C;III成矿阶段为90~190C。成矿早阶段(I阶段),CO₂、NaCl-H2O和 NaCl-H2O-CaCl2各类型均一温度相近的包裹体共生,成矿流体成分主要为CO₂和 NaCl-H2O,含少量H2S和 CH4,成矿晚阶段(II、III阶段),成矿流体成分主要为NaCl-H2O。根据流体包裹体特征,结合高³He/⁴He 比值以及在 锡田花岗岩中存在大量镁铁质微粒包体,笔者认为 锡田垄上锡多金属矿床成矿物质是多来源的,成矿流体为地幔、 地壳和大气水的混合产物,锡多金属来源受岩浆和围岩控制,而在成矿作用过程中尤其是成矿早阶段,地幔成矿流 体可能起到了积极的甚至关键的作用。

关键词 地球化学;流体包裹体;地幔流体;成矿作用;锡多金属矿床;垄上;湘东 中图分类号:P618.44 文献标识码:A

Fluid inclusion studies of Longshang tin-polymetallic deposit in Xitian ore field, eastern Hunan Province

YANG XiaoJun¹, WU ShiChong², FU JianMing¹, HUANG HuiLan¹, CHANG HaiLiang¹, LIU YunHua¹, WEI JunQi¹, LIU GuoQing¹ and MA LiYan¹

(1 Yichang Institute of Geology and Mineral Resources, Yichang 443003, Hubei, China; 2 Zhuzhou Institute of Mineral Resources and Geological Survey, Hunan Geological Survey, Zhuzhou 412007, Hunan, China)

Abstract

The Longshang ore deposit is a large-size tin-polymetallic deposit in the Xitian ore field, eastern Hunan Province. Fluid inclusions in fluorite and quartz from the skarn and fracture zone altered rocks of the Longshang tin-polymetallic deposit were studied by such means as petrography, microthermometry and Laser Raman Spectrometer analysis. The results show that fluid inclusions are composed of NaCl-H₂O type fluid inclusions (Type A), CO₂-rich two-phase inclusions (Type B), and CO₂-bearing three-phase inclusions (Type C). Type A comprises single-phase liquid inclusions (A₁) and two-phase liquid-vapor inclusions (A₂); Type B includes CO₂-rich two-phase inclusions; and Type C consists of CO₂-bearing three-phase inclusions which have been homogenized

^{*} 本文得到中国地质调查局项目(1212010533307)的资助

第一作者简介 杨晓君,女,1966年生,高级工程师,主要从事矿床地球化学研究。E-mail:ycyxj@126.com 收稿日期 2007-04-30;改回日期 2007-06-20。张绮玲编辑。

into $L_{H_2O}(C_1)$ and CO_2 -bearing three-phase inclusions which have been homogenized into $V_{CO_2}(C_2)$. The homogenization temperatures of the three ore-forming stages are $290 \sim 380^{\circ}$ C for Stage I, $210 \sim 240^{\circ}$ C for Stage II, and $90 \sim 190^{\circ}$ C for Stage III. At the early stage of the ore-forming process (Stage I), fluid inclusions of CO_2 , NaCl-H₂O and NaCl-H₂O-CaCl₂ types which had close homogenization temperatures were associated with each other, and the main ore-forming fluids were CO_2 and NaCl-H₂O with small amounts of H₂S and CH₄. At the late stages of the ore-forming process (Stage II, III), the main ore-forming fluid was NaCl-H₂O. According to characteristics of the fluid inclusions, high ³He/⁴He ratios and the existence of lots of mafic microgranular inclusions, the authors consider that the ore-forming fluids were mixed with mantle, crust and atmospheric water. Under the control of igneous and surrounding rocks, the mantle ore-forming fluids played a key role in mineralization at the early stage of the ore-forming process.

Key words: geochemistry, fluid inclusion, mantle fluid, mineralization, tin-polymetallic deposit, Longshang, eastern Hunan Province

地处湘东湘赣两省交界处的锡田锡多金属矿 田,位于扬子板块与华夏板块间的钦州-钱塘结合带 的中部,该结合带为南岭中段一条重要的成矿带,沿 该带分布着锡田、柿竹园、红旗岭、荷花坪、东坡、瑶 岗仙、黄沙坪、骑田岭芙蓉、九嶷山大坳等多处大型-特大型钨、锡、铅、锌多金属矿田(床)。锡田锡多金 属矿田现已发现规模较大的锡多金属矿脉 30 多条, 主要分布在锡田花岗岩岩体哑铃柄地段、东西两侧 内外接触带的垄上矿区、晒禾岭矿区、桐木山矿区 (图1),各矿区的锡远景规模均在大型以上,为南岭 成矿带上重要的锡多金属矿集区。

近年来 随着锡田锡多金属矿田矿产勘查工作 的深入,矿床规模不断扩大,通过对矿田主要矿体的 资源量估算,目前已控制 333+3341 资源量:锡 5.86 万吨, 钨 4.63 万吨, 预测远景资源量(334,): 锡 36.6 万吨,钨28.42万吨。同时,对锡田岩体及锡多金属 矿的矿床地质特征、构造背景、矿床成因、地球化学 和找矿前景等方面的研究 前人也已经取得了大量 的成果(马铁球等 2004 : 伍式崇等 2004 : 罗洪文等 , 2005 曾桂华等,2005;蔡明海等,2005;陈富文等, 2005 徐辉煌等 2006 :付建明等 ,2006),而对成矿的 物理化学条件、成矿物质来源等涉及较少,这在一定 程度上制约了对该矿床及区域成矿规律的研究。为 此 本文在前人研究的基础上 通过对湘东锡田垄上 锡多金属矿床流体包裹体的详细研究 如显微测温 和激光拉曼探针分析,并结合 He, Ar 同位素组成 探 讨了锡多金属矿成矿流体的来源以及地幔流体参与

成矿作用的程度,为锡田垄上锡多金属矿的成因研 究提供新的资料。

1 地质背景

湘东锡田锡多金属矿田位于南岭成矿带中段北 部,位于 NE 向茶陵-郴州-临武-大宁深大断裂与 NW 向锡田隐伏断裂交汇部位的南东侧(图1)。

区内主要出露上古生界泥盆系、石炭系,岩性为 浅海相碳酸盐岩、碎屑岩、粘土岩,在石炭系中夹有 滨海沼泽相含煤岩系。其中,中泥盆统棋梓桥组和 上泥盆统佘田桥组分布广泛,主要由一套不纯的碳 酸盐岩所组成,在其与岩体的接触部位发育矽卡岩 化和钨锡矿化。受印支期—燕山期构造运动的影 响,围岩节理、裂隙发育,为脉型钨锡富集成矿提供 了赋矿空间。泥盆系中上统岩石中 Sn 元素含量为 维氏值的 2~4 倍[●]。

区内褶皱构造总体为一轴向 NE 30~50°的复式 向斜,形成于印支期,由上古生界泥盆系、石炭系组 成。受锡田岩体的穿切,岩体西侧为严塘复式向斜; 东侧为皇图复式向斜。矿区范围内仅出露复式向斜 的次一级褶皱,西侧主要有垄上向斜,东侧有晒禾岭 向斜、荷树下向斜等。断裂构造主要有 NE 向、近 SN 向和 NW 向 3 组(图 1),发育在岩体接触带附近 的 NE 向和近 SN 向断裂对成矿的控制比较明显。 此外,在岩体内部发育有多组裂隙构造,这些裂隙控 制了区内云英岩脉的产出。

[●] 付建明,刘云华,魏君奇,等. 2006. " 南岭地区锡矿成矿规律研究 "成果报告.



图 1 锡田矿田地质图

101

C₁h—石炭系下统岩关阶 _{D3x}—泥盆系上统锡矿山组 ;D₃s—泥盆系上统佘田桥组 ;D₂q—泥盆系中统棋梓桥组 ;D₂t—泥盆系中统跳马涧 组;γπ—花岗斑岩 ;1—燕山早期花岗岩 2—燕山晚期花岗岩 ;3—地质界线 ;4—断层 ;5—矽卡岩型矿体及编号 ;6—构造-矽卡岩复合型矿脉 及编号 ;7— 云英岩型锡矿脉及编号 ;8—蚀变破碎带型矿脉 9—闪长岩 ;10—花岗细晶岩

Fig. 1 Geological map of Xitian ore field

 C_1h —Lower Carboniferous Yanguan Stage; D_3x —Upper Devonian Xikuangshan Formation; D_3s —Upper Devonian Shetianqiao Formation; D_2q —Middle Devonian Qiziqiao Formation; D_2t —Middle Devonian Tiaomajian Formation; $\gamma\pi$ —Granite porphyry; 1—Early Yanshanian granite; 2—Late Yanshanian granite; 3—Geological boundary; 4—Fault; 5—Skarn ore body and its serial number; 6—Structure-skarn complex ore vein and its serial number; 7—Greisen tin ore vein and its serial number; 8—Altered shatter zone ore vein; 9—Diorite; 10—Granite aplite

区内岩浆岩为锡田复式花岗岩岩体,呈 SN 向哑 铃状展布,出露面积约 240 km²。主要出露中粒斑状 黑云母二长花岗岩(主体),中细粒少斑状黑云母二 长花岗岩(补体)和晚期的细粒黑云母花岗岩 3 种岩 石类型,它们的全岩 Rb-Sr 等时线年龄分别为(165 ±6)Ma、(149±5)Ma 和(114±5)Ma,属燕山早、晚 期岩浆活动的产物。钨锡矿中的辉钼矿的 Re-Os 等 时线年龄(成矿年龄)为(150.0±2.7)Ma。早期单

8

A8 9

BYV 10

元中见暗色铁镁质微粒包体,壳幔岩浆作用强烈。 锡田复式花岗岩岩体花岗岩锡钨含量分别为维氏值 的 6~10 倍和 10~12 倍;铜、铋、钼、铅、锑等元素含 量一般高出同类岩石维氏值的数倍^①。

区内脉岩发育,主要受 NE 向断裂控制,少部分 呈 NW 向展布,多数成群成组产出。常见的有花岗 斑岩、石英斑岩、花岗细晶岩、石英正长岩、伟晶岩、 闪长岩等。

2 矿床特征

垄上锡多金属矿床位于锡田岩体哑铃柄地段西 部 严塘复式向斜与岩体接触带部位。矿区由3条 矿脉(体)组成,赋存在岩体与泥盆系中统棋梓桥组 的内、外接触带中,由21号矽卡岩型锡矿体和20 号、22号破碎带蚀变岩型锡矿体组成。矿体自西向 东、由外而内依次为:①20号破碎带蚀变岩型矿体, 位于外接触带泥盆系中统棋梓桥组中,呈似层状、透 镜状产出,总体走向近南北,倾向东,矿体走向长 1 500 m 厚 2.5~10.68 m 平均厚 6.34 m。Sn 品位 0.109%~0.472%,平均0.263%,其北段富含铅、 锌,Pb品位 5.69%,Zn品位 4.86%,南段富含 WO3 品位 0.142% ~ 3.0%, 平均品位 0.63%。② 21 号矽卡岩型矿体(赵一鸣等,1990),为锡田矿区主 要勘查对象,矿体规模属大型。该矿体位于岩体与 泥盆系中统棋梓桥组灰岩接触部位 总体走向近南 北、倾向西、倾角 15~45°。矿体形态简单、多为规则 的层状、似层状 局部出现分枝复合 尖灭再现 矿体 走向长 4 500 m, 单工程见矿厚 1.72~12.78 m, 平 均厚 4.41 m 单工程 Sn 品位 0.081%~1.339% 平 均 0.363%, WO3 品位 0.474% ~ 1.49%, 平均 0.272%。21-1号分支矿体位于21号矿体之上,已 控制长度 2 150 m,厚度 2.95 m,平均品位 Sn 0.524% WO3 0.566%。两矿体共控制 333 + 3341 资源量锡 5.86 万吨, 钨 4.63 万吨。 ③ 22 号破碎带 蚀变岩型矿体位于岩体内接触带,呈似层状、透镜状 产出,走向近南北,倾向东,矿脉走向长2700 m,厚 4.48~33.11 m,平均厚11.91 m,单工程 Sn 品位 0.14%~0.773%,平均0.269%,WO3品位0.038% ~0.83% 平均 0.281%。

锡田垄上矿床矿石中出现的矿物种类较多,矿

物组合复杂。矿石矿物主要为锡石、黑钨矿、白钨 矿、黄铁矿、黄铜矿、闪锌矿、磁黄铁矿、方铅矿、毒 砂、钛铁矿、赤铁矿、褐铁矿等,脉石矿物为透辉石、 萤石、石英等。矿石结构为他形-半自形粒状结构、 交代(残余)结构、包含结构,矿石构造为团块状-脉 状-稀疏浸染状构造。破碎带蚀变岩型矿体与矽卡 岩型矿体的矿物组成基本相同,但是破碎带蚀变岩 型矿体矿石类型以金属硫化物锡矿石和含白钨、黄 铜的锡石方铅闪锌矿矿石类型为主,石榴石绿帘石 锡矿石次之,围岩蚀变主要有矽卡岩化、云英岩化、 萤石化、硅化等;砂卡岩型矿体矿石类型主要为金属 硫化物锡矿石、磁铁矿锡矿石、萤石绿帘石黄铜矿锡 矿石3类,围岩蚀变主要为矽卡岩化、大理岩化。

根据野外观察和室内矿相学研究,锡田垄上矿 床的成矿作用可分为3个阶段,它们的代表性矿石 矿物组合形成的先后顺序分别是:Ⅰ、锡石、黑钨矿-白钨矿阶段;Ⅱ、黄铁矿-黄铜矿、闪锌矿、磁黄铁矿-方铅矿阶段;Ⅲ、钛铁矿-赤铁矿、褐铁矿阶段。

3 流体包裹体研究

3.1 流体包裹体测试方法

对采自湘东锡田垄上矿区的 11 件矿石样品进 行了光、薄片的观察 选取其中的 7 件样品进行了流 体包裹体显微测温实验,选取6件样品进行了单个 包裹体气、液相成分的激光拉曼探针分析 选取锡矿 体中黄铁矿单矿物中的原生流体包裹体进行了 He、 Ar同位素测定。流体包裹体的岩相学和显微测温 研究实验在宜昌地质矿产研究所中南实验检测中心 进行,测试仪器为英国 Linkam 生产的 THMSG600 地质型显微冷热台(2002年),0~600℃的精度为± 2℃ 0~-196℃的精度为±0.5℃。流体包裹体气、 液相成分的激光拉曼探针测试工作在西安地质矿产 研究所实验测试中心进行,仪器型号为法国 J-Y 公 司 RAMANOR-U1000 型激光拉曼探针,实验条件 为:Ar+激光器波长 514.5nm 激光功率 500 mW,双 单色器狭缝 450 μm ,色散率 9.2 cm⁻¹/mm ,光电倍 增管高压 1870V ,实验室温度 25℃ ,湿度 60%。He、 Ar 同位素测试工作在中国地质科学院矿产资源研 究所同位素实验室完成,仪器为乌克兰产的 MI1201IG惰性气体同位素质谱仪,³He用电子倍增 器接收 ;⁴He 用法拉第杯接收 电子倍增器的分辨率为 1 200 ,法拉第杯的分辨率为 760 ,使用标准为大气 ;³He/ ⁴He =1.4×10⁻⁻(1 即 Ra ,代表大气氦的³He/⁴He 值)。

3.2 流体包裹体岩相学特征及显微测温

3.2.1 流体包裹体类型

本研究样品采自锡田垄上锡多金属矿床的 MC21、MC24、MC212 采矿坑道内的 20 号、21 号和 22 号脉,样品包括矽卡岩型和破碎带蚀变岩型矿 (岩)石。萤石和石英是矿石中主要的透明矿物,与 矿化关系密切,其中发育有大量的原生流体包裹体。 按流体包裹体在室温下的物理相态和化学组成(卢焕 章等 2004)將包裹体主要分为3类5型(表1、图2):

(1)盐水包裹体(A类)

此类包裹体主要由 NaCl 和 H₂O 组成,可分为 单相型(A₁型)和两相型(A₂型)。

A₁ 型单相盐水溶液包裹体:由液相水(L_{H2O})组 成,是矿区内主要的包裹体类型之一,在各种矿物中 均有出现,占包裹体总量的20%~70%。多呈米粒 状、椭圆形、多边形;呈自由状分布或呈串状、小群状 分布,部分沿石英或萤石微裂隙分布。包裹体大小 相差悬殊,长径一般为1~25 μm,大者约50 μm。

 A_2 型气液两相盐水溶液包裹体:由气相 H_2O (V_{H_2O})和液相 H_2O (L_{H_2O})组成,偶见萤石捕获晶,是 矿区内最主要的包裹体类型,在各种矿物中均有出 现,占单个包裹体总量的 30%~80%。多呈群、串状 或自由状分布,少数与单相水溶液包裹体共生或沿 萤石(石英)微裂隙分布。包裹体大小均大于 A_1 型, 长径一般为 2~30 μ m,大者约 50 μ m。

(2)富CO2两相包裹体(B类)

由气相 CO₂(V_{CO2})和液相 CO₂(L_{CO2})组成 ,占包

表 1 垄上锡多金属矿床矿物中流体包裹体类型及其组分

Table 1 Types and compositions of fluid inclusions in

Longshang	tin-nolymetallic	denosit
Longshang	un-porynicianic	ucposit

0	· · ·	
类	型	组分
A-盐水包裹体	A1-单相盐水溶液包裹体	L_{H_2O}
	A2-气液两相盐水溶液包裹体	$V_{H_2O} + L_{H_2O}$
B富CO2两相包裹体	B-富 CO ₂ 两相包裹体	$V_{CO_2} + L_{CO_2}$
C-含 CO2 三相包裹体	C ₂ -均一成 L _{H2} 0的含 CO ₂ 三相包裹体	$V_{CO_2} + L_{CO_2} + L_{H_2O}$
	C ₁ -均一成 V _{CO2} 的含 CO2 三相包裹体	$V_{CO_2} + L_{CO_2} + L_{H_2O}$

裹体总量的 5% ,包裹体长径 4~14 μm ;呈多边形、 椭圆形 ,呈分散状与其他包裹体混杂共生。

(3)含CO2 三相包裹体(C类)

由气相 CO₂(V_{CO_2})和液相 CO₂(L_{CO_2})及液相 H₂Q(L_{H_2O})组成,占包裹体总量的少量至 10%,包裹 体长径 5~30 μ m,以 10~20 μ m 为主;形态以椭圆 形、长方形、多边形为主,呈分散状与其他包裹体伴 生。此类包裹体按均一相变可分为 2 种类型 C₁型:均一成 L_{H_2O} 的含 CO₂ 三相包裹体;C₂ 型:均一成 V_{CO},的含 CO₂ 三相包裹体。

各种矿物中的流体包裹体类型及其分布特征见 表 2。

3.2.2 流体包裹体的显微测温和相关参数

(1)盐水包裹体

对 7 件样品石英、萤石中的盐水包裹体进行详 细的显微测量,共获得 307 个 NaCl-H₂O 体系两相盐 水包裹体和 12 个 NaCl-CaCl₂-H₂O 体系两相盐水包 裹体的测温数据(刘斌等,1999) 表 3)。

NaCl-H₂O体系两相盐水包裹体的初熔温度为 -22.0~-20.8℃;均一到液相的完全均一温度范 围为95~380℃ 盐度 u(NaCl_{eq})为0.5%~13.0%, 集中于2%~8% 密度为0.698~0.961 g/cm³;气相 百分数多为10%~15% 少数达20%~30%。

NaCl-CaCl₂-H₂O体系两相盐水包裹体的初熔温 度为-52.0℃;均一到液相的完全均一温度范围为 340~380℃;盐度 w(NaCl_{eq})为16.8%~19.2%。 反映其产状与矽卡岩有关。

(2)富CO,包裹体

富 CO₂ 两相包裹体(V_{CO₂} + L_{CO₂}),加热时均一 到 L_{CO₂} CO₂ 均一温度 27~29℃,相应密度 d(CO₂) 为 0.630~0.671 g/cm³(表 4)。

(3)含CO2 三相包裹体

含 CO₂ 三相包裹体($V_{CO_2} + L_{CO_2} + L_{H_2O}$)的 CO₂ 初熔温度较低,为 - 58.5 ~ - 56.8℃(表 4),比纯 CO₂ 的三相点(-56.6℃)略低,表明含有少量 CH₄、 H₂S等,与单个包裹体激光拉曼成分分析结果相吻 合(表 5、表 6);CO₂ 笼形物的熔化温度(t_{mel})为 6.0 ~9.0℃ 含 CO₂ 三相包裹体水溶液的盐度 w(Na-Cl_{eq})为 2.02% ~ 7.5%。

此类包裹体的均一化过程呈现 2 种情况:一是 均一成 L_{H,O}的含 CO₂ 三相包裹体(C₁型)其 CO₂ 相



Fig. 2 Photos of different types of fluid inclusions under microscope from Longshang tin-polymetallic deposit a and b—Two-phase NaCl-H₂O type inclusions (Type A₂) in fluorite i—Two-phase NaCl-H₂O type inclusions containing xenocrysts (Type A₂) in fluorite i—Two-phase CO₂-type inclusions (Type B) in quartz ie and f—Three-phase CO₂-type inclusions (Type C) in quartz

部分均一到液相 CO₂ 的部分均一温度为 27~29°C, 均一到 L_{H_2O} 的完全均一温度为 320~350°C,相应密 度 $_{\rm cl}$ CO₂)较高,为 0.630~0.671 g/cm³;二是均一 成 V_{CO_2} 的含 CO₂ 三相包裹体(C₂型),其 CO₂ 相部分 均一到气相 CO₂ 的部分均一温度为 27~29°C,均一 到 V_{CO2}的完全均一温度为 340~360℃,相应密度 ℓ(CO2) 较低,为 0.282~0.303 g.cm⁻³(表 4)。 (4)将锡田垄上锡多金属矿床各类包裹体的均 一温度值进行统计(图 4),从直方图中可以看出:① 均一温度变化范围为90~380℃;②其中明显呈现3

	Table 2	Types of fluid in	clusior	is and	their d	istributio	n in minerals of Longshan	g tin-polymetallic deposit
产状	样品	矿 岩 石名称	测定				包裹体特点	
	编号		矿物	类型	比例/%	大小/ μ m	形态	分布特点
20 号脉 (外接触	LS-18	方铅矿闪锌矿矿石	石英	A ₁	40	1~15	米粒状、椭圆形、多边形	自由状、小群状分布,部分沿石英微裂 隙分布
(ירחי				A ₂	45	2~25	椭圆形、多边形	小群状、自由状分布,少数沿石英微裂 隙分布
				В	5	$4 \sim 14$	多边形、椭圆形	分散状与其他包裹体混杂共生
				С	10	5 - 30	椭圆形、长方形、多边形	分散状与其他包裹体伴生
21 号脉 (接触带)	XTLS-5	锡石-黄铜矿矿石	萤石	A ₁	30	2~25	米粒状、多边形、长方形、 不规则状	小群状分布 部分沿萤石微裂隙分布
				A_2	70	3~30	长方形、多边形	群状、小群状分布
	XTLS-8	辉钼矿-锡石矿石	萤石	A ₁	30	1~50	多边形、长方形	群状、串状、小群状分布,部分沿萤石微 裂隙分布
				A_2	70	3~50	长方形、方形	多数呈群状、串状、小群状分布,少数沿 萤石微裂隙分布
	XTLS-11	矽卡岩	萤石	A_1	30	2~18	米粒状、多边形、椭圆形、 负晶形	自由状、小群状分布,少数沿萤石微裂 隙分布
				A_2	70	3~30	半自形负晶形、负晶形	自由状、群状、串状和小群状分布,少数 沿萤石微裂隙分布
	LS-15	含银方铅矿₋ 黄铜矿矿石	石英	A_1	70	1~15	米粒状、椭圆形	自由状、小群状分布,部分沿石英微裂 隙分布
				A_2	30	2~15	椭圆形、多边形	小群状分布或与其他单相包裹体伴生
				С	少量	5~16	椭圆形、多边形	分散状分布于其他包裹体中
	LS-19	含锡石-黄铁矿矿石	萤石	A_1	55	1~15	米粒状、不规则状	串状、小群状分布,部分沿萤石微裂隙 分布
				A_2	45	2~40	椭圆形、多边形	小群状、自由状,与单相水溶包裹体共 生或沿萤石微裂隙分布
22 号脉 (内接触	LS-22	含锡石-磁黄铁矿- 黄铜矿矿石	萤石	A_1	20	2~15	米粒状、负晶形、椭圆形	自由状分布,或与两相水质包裹体伴生
带)				A_2	80	3~35	半自形负晶形或负晶形	自由状、群状分布







个温度段,高温段集中于 290~380℃,中温段集中于
210~240℃,低温段集中于 90~190℃,它们分别对
应于区内Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ三个成矿阶段,③高温段包裹体

类型多样, CO₂、NaCl-H₂O和 NaCl-H₂O-CaCl₂ 各类 型包裹体均有发育;中温段和低温段包裹体类型简 单,主要为 NaCl-H₂O 包裹体。因而成矿早阶段(Ⅰ 阶段)的成矿流体主要为 CO₂ 和 NaCl-H₂O;晚阶段 (Ⅱ、Ⅲ阶段)的成矿流体主要为 NaCl-H₂O。

3.3 流体包裹体气液相成分的激光拉曼探针分析

流体包裹体成分测定已成为研究成矿作用的重 要手段之一,利用显微激光拉曼光谱可以测定单个 流体包裹体不同相的成分,能对流体包裹体组分进 行定量分析,为详细准确地研究成矿流体作用提供 重要依据(张泉等,2005)。锡田垄上矿床矿物流体 包裹体气液相成分的激光拉曼探针分析结果表明, 气相组分(表 5)以 CO₂、CO 为主,次为 H₂S、CH₄、N₂ 及少量的 SO₂、H₂O、F₂、H₂;液相组分(表 6)以 H₂O 为主,次为 CO₂ 及少量的 H₂S、CH₄、SO₂。单个包裹 体激光拉曼成分指示成矿流体中含有较多的 CO₂, 表明 CO₂ 是矿床成矿流体的重要组分。

Table 3 Microthermometric data of two-phase NaCl-H₂O type inclusions in quartz or fluorite from

Longshang tin-polymetallic deposit

产状	样品编号	测定矿物	$t_{\rm eu}$ /°C	t m ∕° C	_{ℓ h} /℃范围(次数)	$\mathcal{U}(\operatorname{NaCl}_{eq})$	ρ ($g \cdot cm^{-3}$)	¢(H ₂ O У %	体系
20 号脉(9	卜接触带)								
	LS-18	石英	-20.8	$-4.8 \sim -5.1$	160~190(32)	7.6 - 8.0	$0.938 \! \sim \! 0.964$	$10 \sim 15$	NaCl-H ₂ O
21 号脉(接	接触带)								
	XTLS-5	萤石	-21.0	$-1.5 \sim -1.8$	195~220(35)	2.5~3.0	$0.865 \! \sim \! 0.890$	15 - 20	$NaCl - H_2O$
	XTLS-5	萤石	-20.8	$-0.3 \sim -0.6$	120~175(40)	$0.5 \sim 1.0$	$0.900 \! \sim \! 0.947$	10 - 12	NaCl-H ₂ O
	XTLS-5	萤石	-20.8	+2.7 - +4.5	105~115(10)	$0.5 \sim 1.0$		10 - 12	NaCl-H ₂ O
	XTLS-8	萤石		$-0.5 \sim -0.8$	95~110(11)	$0.9 \sim 1.4$	$0.900 \! \sim \! 0.947$	10 - 12	NaCl-H ₂ O
	XTLS-8	萤石	-21.0	$-0.5 \sim -0.8$	120~160(44)		$0.926 \! \sim \! 0.958$	10 - 12	NaCl-H ₂ O
	XTLS-11	萤石	-20.8	$-1.2 \sim -1.5$	140~160(8)	2.0 - 2.5	$0.926 \! \sim \! 0.941$	10 - 12	NaCl-H ₂ O
	XTLS-11	萤石	-22.0	$-9.1 \sim -8.2$	210~240(21)	$12.0 \sim 13.0$	$0.927 \! \sim \! 0.950$	15 - 20	NaCl-H ₂ O
	XTLS-11	萤石	-52.0	$-12.8 \sim -15.5$	340~380(12)	$16.8 \sim 19.2$		20 - 30	NaCl-H ₂ O-CaCl ₂
	LS-15	石英	-21.0	$-1.0 \sim -1.2$	150~165(18)	$1.7 \sim 2.0$	$0.918 \! \sim \! 0.930$	$10 \sim 15$	NaCl-H ₂ O
	LS-19	萤石	-20.8	$-0.5 \sim -0.8$	105~115(11)	$0.9 \sim 1.2$	$0.955 \! \sim \! 0.961$	$10 \sim 12$	NaCl-H ₂ O
	LS-19	萤石	-21.0	$-1.0 \sim -1.2$	120~160(40)	$1.7 \sim 2.0$	$0.916 \! \sim \! 0.949$	$10 \sim 15$	NaCl-H ₂ O
	LS-19	萤石	-22.0	$-5.1 \sim -5.5$	310~330(11)	8.0 - 8.5	$0.749 \! \sim \! 0.782$	20 - 30	NaCl-H ₂ O
22 号脉(内	习接触带)								
	LS-22	萤石	-20.8	$-1.5 \sim -1.8$	340~380(17)		2.5 - 3.0	20 - 30	NaCl-H ₂ O
			-21.0	$-2.5 \sim -2.7$	290~340(21)	4.2~4.5	$0.698 \! \sim \! 0.776$	$10 \sim 12$	NaCl-H ₂ O

t_{eu}—初熔温度 ;t_m—冰点温度 ;t_h—完全均一温度(均一到 L_{Ho}相);α(NaCl_{eq})—盐度 ;σ—密度 ;q(H₂O)—气相百分数。

〒 七日 一 一 七 日 一 元 一 元 一 元 一 二 元 一 元 一 元 一 元 一 元 一 元 一	[禹9] 床石央甲	CO,尖包表1	4 奓 釸
---	-----------	---------	-------

Table 4 Microthermometric data of CO₂-type inclusions in quartz from the Longshang tin-polymetallic deposit

HH	米王	. /°C	+ /°C	t h(CO ₂)∕ ℃		t _h /℃(次数)		(N C V) = 3		<i>x</i> (B) %		
件吅亏 关尘	关空	t _{eu} r C	$t_{\rm mcl}$ / C	V→L	L→V	$\rightarrow L_{H_2O}$	→V _{CO2}	α NaCl _{eq} / 70 pr	$\rho (g \cdot cm - L_F)$	20 L _{CO2}	V_{CO_2}	
LS-18	В						51	all	0.630~0.671			
	C_1	- 57.5	+6.0 - +6.5	$27 \sim 29$	$28 \sim 29$	340~350(8)	01	6.6~7.5	0.630~0.671 6	0 20	20	
	C_2	-58.5	$+7.0 \sim +7.5$	27~29		- F	340~360(4)	4.8~5.9	0.282~0.303 4	0 25	35	
LS-15	C ₁	-56.8	+8.5 - +9.0	27-28	TATA	320~330(7)		$2.02 \sim 3.0$	0.671~0.688 6	5 3	35	
÷Π/	应泊 庄,	<u>άτ</u> α π.	物的熔化泪度。	100 1		八坊 泪度(状		17 HI \ I.	空合物_泪度(物	ZII T	=th T	

t_{eµ}—初熔温度; t_{md}—笼形物的熔化温度; t_h(CO₂)-CO₂相部分均一温度(均一到 L_{CQ}或 V_{CO2}相); t_h—完全均一温度(均一到 L_{LQ}或 V_{CO2} 相); ω(NaCl)—盐度; ω—CO₂的密度; _a(B)分别为 CO₂包裹体的体积百分数; V—气相; L—液相。



图 4 各类包裹体均一温度直方图

Fig. 4 Histogram showing homogenization temperatures of different types of inclusions

4 讨论与结论

4.1 成矿流体特征

表 5 垄上锡多金属矿床矿物流体包裹体气相成分的激光拉曼探针分析结果

Table 5 Laser Raman spectroscopic analyses of gas phase fluid inclusions in quartz or fluorite

from Longshang tin-polymetallic deposit

安排	廿口伯旦	.x(气相)/%									
Γ1Λ	作口细亏	CO ₂	H_2S	CH ₄	SO_2	H_2O	CO	F_2	N_2	H_2	总和
20 号脉(外接触带)											
	LS-18(1)	85.9	2.1	12.0							100
	LS-18(2)	70.5	12.8	5.9		10.8					100
21 号脉(接触带)											
	XTLS-5			3.7	17.1		67.3		7.8	4.1	100
	XTLS-11(1)	81.5							18.5		100
	XTLS-11(2)	73.5	11.5						15.0		100
	LS-15(1)	6.1					79.5	2.7	6.5	5.2	100
	LS-15(2)	14.2	10.0	15.0			47.5		8.6	4.7	100
	LS-19	38.0	3.8	3.1			52.3		2.8		100
22 号脉(内接触带)											
	LS-22	49.4	5.9	9.2			30.1		5.4		100

x(气相)/%为摩尔数的相对百分含量。

表 6 垄上锡多金属矿床矿物流体包裹体液相成分的激光拉曼探针分析结果

Table 6 Laser Raman spectroscopic analyses of liquid phase fluid inclusions in quartz or fluorite

from Longshang tin-polymetallic deposit

立建五楼口炉中	.x(液相)%							.x(盐水溶液)(mol/L)					
厂扒及件面编号	CO ₂	H_2S	CH_4	SO_2	$\rm H_2O$	总和	HS^-	SO_4^{2-}	CO_3^{2-}	HCO ₃	NO_3^-		
20 号脉(外接触带)									PI				
LS-18(1)	39.9	4.3	2.6		53.2	100	0.3		0.9	0.7			
LS-18(2)	37.5	7.6	8.3		46.6	100		14.10	0.3				
21 号脉(接触带)					77		10						
XTLS-5		11	11	12.5	87.5	100		1.4			0.7		
XTLS-11(1)		10.4	5.9		83.7	100	0.6		0.4				
XTLS-11(2)	28.6			10.5	60.9	100				0.3			
LS-15(1)	4F10)	7.0	7.7		85.3	100		0.2			0.6		
LS-15(2)	UP	8.0	7.4		84.6	100			0.2		0.6		
LS-19	4	11.4	21.4		67.2	100	1.5	2.4					
22 号脉(内接触带)													
LS-22	18.2	8.2	16.3		57.3	100					1.8		

x(液相)/%为摩尔数的相对百分含量。

锡田垄上锡多金属矿床可分 3 个成矿阶段,各 成矿阶段的均一温度为:I 成矿阶段为 290~380℃; Ⅱ 成矿阶段为 210~240℃;Ⅲ 成矿阶段为 90~ 190℃。成矿早阶段(I阶段)CO₂、NaCl-H₂O和 Na-Cl-H₂O-CaCl₂ 各类型均一温度相近的包裹体共生, 成矿流体主要为 CO₂ 和 NaCl-H₂O,含少量 H₂S 和 CH₄;成矿晚阶段(Ⅲ、Ⅲ 阶段)成矿流体主要为 NaCl-H₂O。表明锡田垄上矿床成矿作用由早阶段至晚 阶段是一个成矿温度由高到低连续的变化过程,在成 矿流体的演化过程中流体组成发生了较大的变化。

4.2 成矿物质来源

锡田垄上锡多金属矿床位于扬子板块与华夏板 块间的钦州-钱塘结合带的中部,沿该带广泛分布具 有高 ε_{Nd}值、低 TDM 特点的花岗质岩石(即"十— 杭 "低 Nd 模式年龄岩浆岩带 (Gilder et al., 1996; Chen et al., 1998),是中生代地质构造相对薄弱而 伸展构造最强烈的地方(梁新权等,2003),有利于幔 源物质上升。锡田花岗岩体中发现了大量壳-幔混 合成因的镁铁质微粒包体,也证明了这一点。

锡田垄上锡多金属矿床中黄铁矿 He、Ar 同位素

研究(蔡明海等,2004;2005a)显示,成矿流体的³He 为($0.50 \sim 14.40$)× 10^{-13} cm³STP·g⁻¹,⁴He 为(0.31 ~ 3.57)× 10^{-7} cm³STP·g⁻¹,⁴⁰Ar 为($0.17 \sim 9.32$) × 10^{-7} cm³STP·g⁻¹,⁶ a⁻¹ b($0.17 \sim 9.32$) × 10^{-7} cm³STP·g⁻¹,⁶ a⁻¹ b($0.17 \sim 9.32$) × 10^{-7} cm³STP·g⁻¹,⁶ a⁻¹ b($0.17 \sim 9.32$) × 10^{-7} cm³STP·g⁻¹,⁶ a⁻¹ b($0.15 \sim 1.15 \sim 4.43$ Ra 之间,低于地幔特征值($6 \sim 7$ Ra),但明显高 于地壳放射性成因的³He/⁴He 比值(0.03Ra),表明 成矿流体中不仅存在地壳 He,同时也有大量地幔 He 的加入,⁴⁰Ar/⁴He 比值为 $0.55 \sim 2.62$,明显高于大气 (0.01)、地壳($0.16 \sim 0.25$)和地幔($0.33 \sim 0.56$)的 相应值,显示出壳幔混合流体的特征。成矿流体可 能为地幔、地壳和大气水的混合产物,但以地幔流体 为主(刘云华等,2006)。

前已提及,锡田复式花岗岩的锡钨含量分别为 维氏值的 6~10 倍和 10~12 倍,泥盆系中上统岩石 中 Sn 元素含量为维氏值的 2~4 倍。因此,笔者认 为.锡田垄上锡多金属矿床成矿物质是多来源的,成 矿流体为地幔、地壳和大气水的混合产物,锡多金属 来源受岩浆和围岩控制,而在成矿作用过程中尤其 是成矿早阶段,地幔成矿流体可能起了积极的甚至 关键的作用。

致 谢 文中包裹体完全均一温度直方图采用 路远发(2004)开发的 Geokit 软件编制,在此表示感谢!

References

- Cai M H , Mao J W , Liang T and Wu F X. 2004. Helium and argon isotopic components of fluid inclusions in Dachang tin-polymetallic deposit and their geological implications J]. Mineral Deposits , 23(2): 225~231(in Chinese with English abstract).
- Cai M H, Mao J W, Liang T and Huang H L. 2005a. Fluid inclusion studies of Tongkeng-Changpo deposit in Dachang polymetallic tin orefield J J. Mineral Deposits, 24(3):228 ~ 241(in Chinese with English abstract).
- Cai M H, Wang X W, He L Q, Chen K X and Liu G Q. 2005b. Main types and prospecting models of tin deposits in the mid-Nanling regior[J]. Geology and Mineral Resources of South China, 2:22~29 (in Chinese with English abstract).
- Chen F W and Fu J M. 2005. Geological and petrochemical characteristics of main Mesozoic tin-mineralized granitoids and regional metallogenetic regularities in Nanlin region[J]. Geology and Mineral Resources of South China , 2:12~21.

Chen J F and Jahn B M. 1998. Crustal evolution of southeastern China:

Evidence from Nd and Sr isotopic compositions of rock[J]. Tectonophysics , 284 :101 \sim 133.

- Fu J M, Xie C F, Peng S B, Yang X J and Mei Y P. 2006. Geochemistry and crust-mantle magmatic mixing of the Qitianling granites and their dark microgranular enclaves in Hunan province J J. Acta Geoscientica Sinica. 27 (6):557~569 (in Chinese with English abstract).
- Gilder S A , Gill J B , Coe R S , et al. 1996. Isotopic and paleomagnetic constraints on the Mesozoic tectonic evolution in South China J J. J. Geophys. Res. ,101(B7):16137~16154.
- Li Y Q, Ma X J and Wei J X. 1988. Application of fluid inclusions in study of mineral deposit and petrology [M]. Beijing :Beijing Sci. & Tech. Pub. House. 1~52 (in Chinese with English abstract).
- Liang X Q, Fan W M and Wang Y J. 2003. The deep process of the Mesozoic intracontinental tectonic deformation in Hunan : Geochemical tracer from the lamprophyres J]. Acta Geoscientica Sinica , 24 (6):603~610(in Chinese with English abstract).
- Liu B and Shen K. 1999. Thermodynamics of fluid inclusions [M]. Beijing : Geol. Pub. House. 44~118(in Chinese with English abstract).
- Liu Y H, Fu J M, Long M L, Wei J Q, Liu G Q, Yang X J and Yang Y Q. 2006. He and Ar isotopic components of main tin deposits from central Nangling region and its signification J. Journal of Jilin University (Earth science edition), 36(5):774~780.
- Lu H Z , Fan H R , Nip P , Ou G X , Shen K and Zhang W H. 2004. Fluid inclusions M]. Beijing : Science Press. $36 \sim 274$ (in Chinese with English abstract).
- Luo H W , Zeng Q W , Zeng G H , Wu S C and Yu Y C. 2005. Geological characteristics and origin of the Xitian tin orefield in eastern Hunan Province J]. Geology and Mineral Resources of South China , 2:61~67 in Chinese with English abstract).
- Ma T Q , Wang X H and Bai D Y. 2004. Geochemical characteristics and its tectonic setting of the Xitian tungsten-tin-bearing granite pluton [J]. Geology and Mineral Resources of South China , 1:11~16 (in Chinese with English abstract).
- Rui Z Y , Li Y Q , Wang L S and Wang Y T. 2003. Approach to oreforming conditions in light of ore fluid inclusions J]. Mineral Deposits , 22(1):13~23(in Chinese with English abstract).
- Wu S C , Luo H W , Huang T. 2004. Metallogenetic geological characteristics and prospecting of tin polymetallic deposits in central Xitian area ,eastern Hunar[J]. Geology and Mineral Resources of South China , 2:21~26 (in Chinese with English abstract).
- Xu H H , Wu S C , Yu Y C , Xie Y L and Long W P. 2006. Geological characteristics and ore-controlling factors of Xitian Skarn-type W-Sn deposit in Hunan province [J] Geology and Mineral Resources of South China , 2 : 37~42 (in Chinese with English abstract).
- Zeng G H, Hu Y Z and Yu C Y. 2005. Geological characteristics and Prospecting potential of the Longshang skarn tin-polymetallic deposit in Xitian orefield, eastern Hunan Province[J]. Geology and Mineral Resources of South China, 2:68~72 in Chinese with English abstract).

- Zhang Q, Zhao A L and Hao Y F. 2005. The application of laser Raman microspectrometry study in fluid inclusions [J]. Non-ferrous Mining and Metallurgy, 21(1)51 - 53 in Chinese with English abstract).
- Zhang W H and Chen Z Y. 1993. Geology of fluid inclusions [M]. Wuhan : China University of Geosciences Press. 83~156 (in Chinese).
- Zhao Y M, Lin W W, Bi C S, Li D X and Jiang C J. 1990. Skarn deposits of China M]. Beijing : Geol. Pub. House. 16~39 in Chinese).

附中文参考文献

- 蔡明海 毛景文 梁 婷 吴付新.2004. 广西大厂锡多金属矿床氦、氩同 位素特征及其地质意义[]] 矿床地质 23(2) 225~231.
- 蔡明海 毛景文 梁 婷 黄惠兰. 2005a. 大厂锡多金属矿田铜坑-长坡 矿床流体包裹体研究[]] 矿床地质,24(3)228~241.
- 蔡明海 汪雄武 何龙清 陈开旭 刘国庆. 2005b. 南岭中段锡矿床主要 类型及找矿模式[J]. 华南地质与矿产, 2 22~29.
- 陈富文 付建明. 2005. 南岭地区中生代主要成锡花岗岩地质地球化学 特征与锡矿成矿规律[]] 华南地质与矿产,2:12~21.
- 付建明 谢才富 彭松柏 杨晓君 梅玉萍. 2006. 湖南骑田岭花岗岩及 其暗色微粒包体的地球化学与壳幔岩浆的混合作用[1].地球学 报,27(6)557~569.
- 李荫清,马秀娟,魏家秀. 1988. 流体包裹体在矿床学和岩石学的应用 [M]. 北京北京科学技术出版社. 1~52.
- 梁新权 范蔚茗 王岳军. 2003. 湖南中生代陆内构造变形的深部过程: 煌斑岩地球化学示踪 J].地球学报 24(6):603~610. http://www.kcdz.ac.cn/

- 刘 斌 沈 昆 1999. 流体包裹体热力学 M] 北京 地质出版社. 44 $\sim 118.$
- 刘云华,付建明,龙宝林,魏君奇,刘国庆,杨晓君,杨永强. 2006. 南岭 中段主要锡矿床 He, Ar 同位素组成及其意义[]] 吉林大学学报 (地球科学版)36(5):774~780.
- 卢焕章 范宏瑞 ,倪 培 ,欧光习 ,沈 昆 ,张文淮. 2004. 流体包裹体 [M] 北京 科学出版社. 36~274.
- 马铁球,王先辉 柏道远, 2004. 锡田含 W Sn 花岗岩体的地球化学特征 及其形成构造背景]] 华南地质与矿产,1:11~16.
- 罗洪文 曾钦旺 曾桂华 伍式崇 余阳春. 2005.湘东锡田锡矿田矿床地 质特征及矿床成因[]] 华南地质与矿产,2.61~67.
- 芮宗瑶 李荫清 ,王龙生 ,王义天. 2003. 从流体包裹体研究探讨金属矿 床成矿条件[1], 矿床地质, 22(1):13~23.
- 伍式崇,罗洪文,黄 韬. 2004. 锡田中部地区锡多金属矿成矿地质特 征及找矿潜力[]] 华南地质与矿产,221~26.
- 徐辉煌 伍式崇 余阳春 谢友良 龙伟平. 2006. 湖南锡田地区矽卡岩型 钨锡矿床地质质特征及控矿因素 J] 华南地质与矿产, 2 37~42.
- 曾桂华,胡永哉,余阳春.2005.湘东锡田垄上矽卡岩型锡多金属矿床 地质特征及找矿前景[]] 华南地质与矿产 2 68~72.
- 张 泉、赵爱林、郝原芳. 2005.显微激光拉曼光谱在流体包裹体研究 中的应用[1]. 有色矿冶,21(1):51~53.
- 张文淮 陈紫英, 1993, 流体包裹体地质学 M1, 武汉:中国地质大学 出版社.83~156.
- 赵一鸣,林文蔚,毕承思,李大新,蒋崇俊. 1990. 中国矽卡岩矿床 [M]. 北京地质出版社.16~39.