

文章编号: 0258-7106(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洲矿产地质调查所, 湖南 株洲 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-H₂O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290~380℃; 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 , $NaCl-H_2O$ and $NaCl-H_2O-CaCl_2$ types which had close homogenization temperatures were associated with each other, and the main ore-forming fluids were CO_2 and $NaCl-H_2O$ with small amounts of H_2S and CH_4 . At the late stages of the ore-forming process (Stage II, III), the main ore-forming fluid was $NaCl-H_2O$. 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 materials of the Longshang tin-polymetallic deposit were derived from multiple sources. 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 $333 + 334_1$ 资源量:锡 5.86 万吨,钨 4.63 万吨,预测远景资源量(334_2):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 and 上泥盆统余田桥组分布广泛,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^①。

区内褶皱构造总体为一轴向 NE $30 \sim 50^\circ$ 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。

① 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.

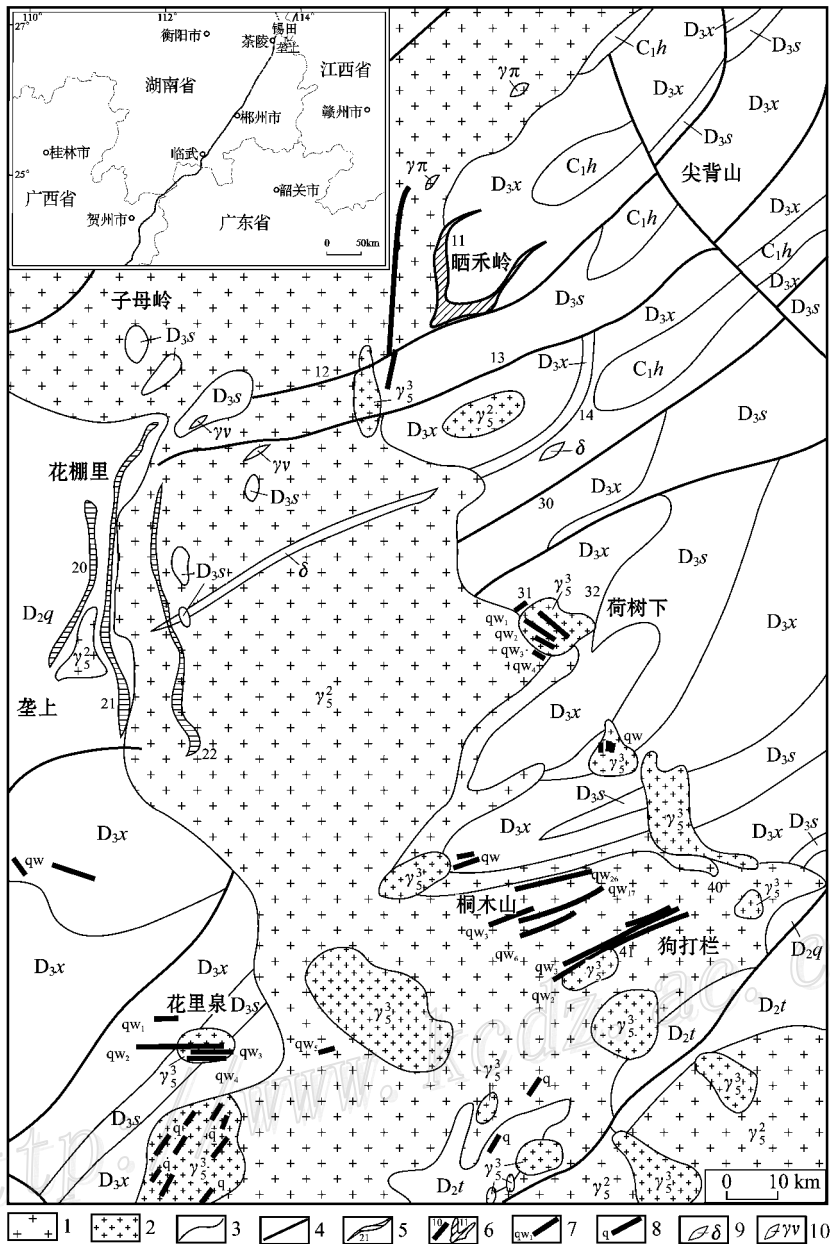


图 1 锡田矿田地质图

C_{1h} —石炭系下统岩关阶 ; D_{3x} —泥盆系上统锡矿山组 ; D_{3s} —泥盆系上统佘田桥组 ; D_{2q} —泥盆系中统棋梓桥组 ; D_{2t} —泥盆系中统跳马潭组 ; $\gamma\pi$ —花岗岩斑岩 ; 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—砂卡岩型矿体及编号 ; 6—构造-砂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

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。常见的有花岗岩斑岩、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1500m,厚2.5~10.68m,平均厚6.34m。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%。②21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4500m,单工程见矿厚1.72~12.78m,平均厚4.41m,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2150m,厚度2.95m,平均品位Sn0.524%,WO₃0.566%。两矿体共控制333+334₁资源量锡5.86万吨,钨4.63万吨。③22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2700m,厚4.48~33.11m,平均厚11.91m,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,矽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500mW,双单色器狭缝450μm,色散率9.2cm⁻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

① 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.

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, $^3\text{He}/^4\text{He} = 1.4 \times 10^{-6}$ (即 R_a 代表大气氦的 $^3\text{He}/^4\text{He}$ 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, 样品包括砂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) 将包裹体主要分为 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 H_2O 组成, 可分为单相型(A_1 型)和两相型(A_2 型)。

A_1 型单相盐水溶液包裹体: 由液相水($L_{\text{H}_2\text{O}}$)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 ($V_{\text{H}_2\text{O}}$)和液相 H_2O ($L_{\text{H}_2\text{O}}$)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 μm , 大者约 50 μm 。

(2) 富 CO_2 两相包裹体(B 类)

由气相 CO_2 (V_{CO_2})和液相 CO_2 (L_{CO_2})组成, 占包

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 CO_2 三相包裹体(C 类)

由气相 CO_2 (V_{CO_2})和液相 CO_2 (L_{CO_2})及液相 H_2O ($L_{\text{H}_2\text{O}}$)组成, 占包裹体总量的少量至 10%, 包裹体长径 5~30 μm , 以 10~20 μm 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: C_1 型: 均一成 $L_{\text{H}_2\text{O}}$ 的含 CO_2 三相包裹体; C_2 型: 均一成 V_{CO_2} 的含 CO_2 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 $\text{NaCl-H}_2\text{O}$ 体系两相盐水包裹体和 12 个 $\text{NaCl-CaCl}_2\text{-H}_2\text{O}$ 体系两相盐水包裹体的测温数据(刘斌等, 1999)(表 3)。

$\text{NaCl-H}_2\text{O}$ 体系两相盐水包裹体的初熔温度为 $-22.0 \sim -20.8^\circ\text{C}$, 均一到液相的完全均一温度范围为 $95 \sim 380^\circ\text{C}$, 盐度 $w(\text{NaCl}_{\text{eq}})$ 为 0.5%~13.0%, 集中于 2%~8%, 密度为 $0.698 \sim 0.961 \text{ g/cm}^3$, 气相百分数多为 10%~15%, 少数达 20%~30%。

$\text{NaCl-CaCl}_2\text{-H}_2\text{O}$ 体系两相盐水包裹体的初熔温度为 -52.0°C , 均一到液相的完全均一温度范围为 $340 \sim 380^\circ\text{C}$, 盐度 $w(\text{NaCl}_{\text{eq}})$ 为 16.8%~19.2%。反映其产状与砂卡岩有关。

(2) 富 CO_2 包裹体

富 CO_2 两相包裹体($V_{\text{CO}_2} + L_{\text{CO}_2}$), 加热时均一到 L_{CO_2} , CO_2 均一温度 $27 \sim 29^\circ\text{C}$, 相应密度 $\rho(\text{CO}_2)$ 为 $0.630 \sim 0.671 \text{ g/cm}^3$ (表 4)。

(3) 含 CO_2 三相包裹体

含 CO_2 三相包裹体($V_{\text{CO}_2} + L_{\text{CO}_2} + L_{\text{H}_2\text{O}}$)的 CO_2 初熔温度较低, 为 $-58.5 \sim -56.8^\circ\text{C}$ (表 4), 比纯 CO_2 的三相点(-56.6°C)略低, 表明含有少量 CH_4 、 H_2S 等, 与单个包裹体激光拉曼成分分析结果相吻合(表 5、表 6); CO_2 笼形物的熔化温度(t_{mcl})为 $6.0 \sim 9.0^\circ\text{C}$, 含 CO_2 三相包裹体水溶液的盐度 $w(\text{Na-Cl}_{\text{eq}})$ 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 $L_{\text{H}_2\text{O}}$ 的含 CO_2 三相包裹体(C_1 型), 其 CO_2 相

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-polymetallic deposit

类	型	组 分
A-盐水包裹体	A_1 -单相盐水溶液包裹体	$L_{\text{H}_2\text{O}}$
	A_2 -气液两相盐水溶液包裹体	$V_{\text{H}_2\text{O}} + L_{\text{H}_2\text{O}}$
B-富 CO_2 两相包裹体	B-富 CO_2 两相包裹体	$V_{\text{CO}_2} + L_{\text{CO}_2}$
C-含 CO_2 三相包裹体	C_2 -均一成 $L_{\text{H}_2\text{O}}$ 的含 CO_2 三相包裹体	$V_{\text{CO}_2} + L_{\text{CO}_2} + L_{\text{H}_2\text{O}}$
	C_1 -均一成 V_{CO_2} 的含 CO_2 三相包裹体	$V_{\text{CO}_2} + L_{\text{CO}_2} + L_{\text{H}_2\text{O}}$

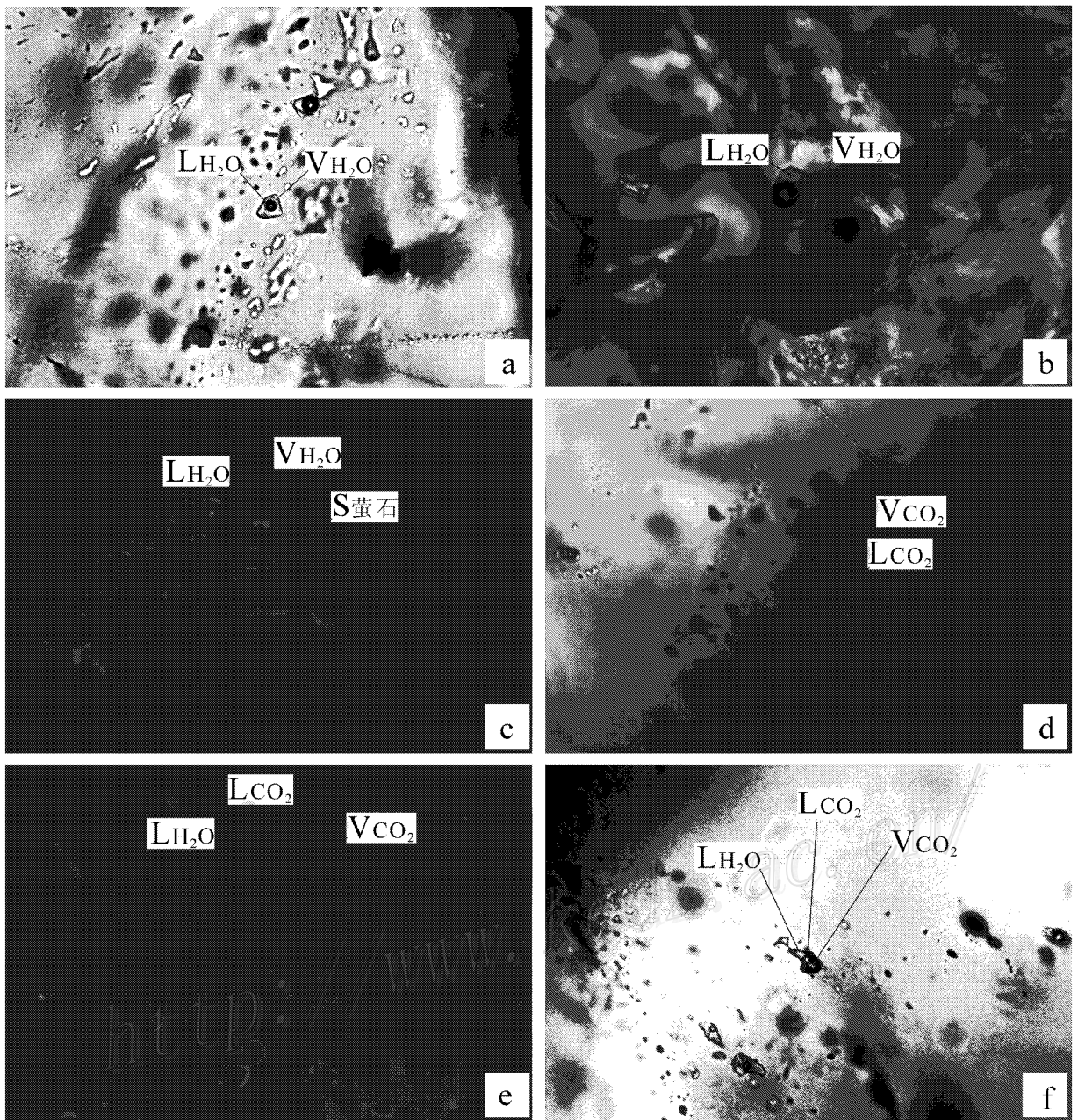


图2 垄上锡多金属矿床不同类型包裹体的显微镜下照片

a, b—气液两相盐水溶液包裹体(A₂型); c—含萤石捕获晶的气液两相盐水溶液包裹体(A₂型); d—富CO₂两相包裹体(B型);
e, f—含CO₂三相包裹体(C型)

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; c—Two-phase NaCl-H₂O type inclusions containing xenocrysts (Type A₂)
in fluorite; d—Two-phase CO₂-type inclusions (Type B) in quartz; e 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℃,均一到LH₂O的完全均一温度为320~350℃,相应密度ρ(CO₂)较高,为0.630~0.671 g/cm³;二是均一成VCO₂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℃,均一

到VCO₂的完全均一温度为340~360℃,相应密度ρ(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

表 2 垄上锡多金属矿床矿物中流体包裹体类型与分布特征

Table 2 Types of fluid inclusions and their distribution in minerals of Longshang tin-polymetallic deposit

产状	样品编号	矿(岩)石名称	测定矿物	包裹体特点				
				类型	比例/%	大小/ μm	形态	分布特点
20 号脉 (外接触带)	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
				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
				B	5	4~14	多边形、椭圆形	分散状与其他包裹体混杂共生
				C	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
C				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 (内接触带)	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
				A ₂	80	3~35	半自形负晶形或负晶形	自由状、群状分布

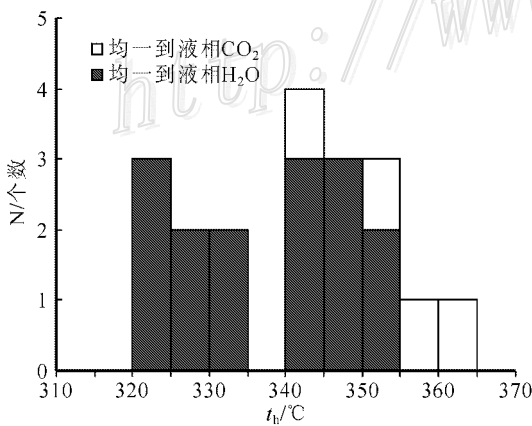


图 3 CO₂ 类包裹体完全均一温度直方图

Fig. 3 Histogram showing total homogenization temperatures (t_h) of CO₂-type inclusions

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。

表3 垄上锡多金属矿床两相盐型包裹体参数

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	$t_{cu}/^{\circ}\text{C}$	$t_m/^{\circ}\text{C}$	$t_h/^{\circ}\text{C}$ 范围(次数)	$\omega(\text{NaCl}_{eq})\%$	$\rho(\text{g}\cdot\text{cm}^{-3})$	$\varphi(\text{H}_2\text{O})\%$	体系
20号脉(外接触带)	LS-18	石英	-20.8	-4.8~-5.1	160~190(32)	7.6~8.0	0.938~0.964	10~15	NaCl-H ₂ O
21号脉(接触带)	XTLS-5	萤石	-21.0	-1.5~-1.8	195~220(35)	2.5~3.0	0.865~0.890	15~20	NaCl-H ₂ O
	XTLS-5	萤石	-20.8	-0.3~-0.6	120~175(40)	0.5~1.0	0.900~0.947	10~12	NaCl-H ₂ O
	XTLS-5	萤石	-20.8	+2.7~+4.5	105~115(10)	0.5~1.0		10~12	NaCl-H ₂ O
	XTLS-8	萤石		-0.5~-0.8	95~110(11)	0.9~1.4	0.900~0.947	10~12	NaCl-H ₂ O
	XTLS-8	萤石	-21.0	-0.5~-0.8	120~160(44)		0.926~0.958	10~12	NaCl-H ₂ O
	XTLS-11	萤石	-20.8	-1.2~-1.5	140~160(8)	2.0~2.5	0.926~0.941	10~12	NaCl-H ₂ O
	XTLS-11	萤石	-22.0	-9.1~-8.2	210~240(21)	12.0~13.0	0.927~0.950	15~20	NaCl-H ₂ O
	XTLS-11	萤石	-52.0	-12.8~-15.5	340~380(12)	16.8~19.2		20~30	NaCl-H ₂ O-CaCl ₂
	LS-15	石英	-21.0	-1.0~-1.2	150~165(18)	1.7~2.0	0.918~0.930	10~15	NaCl-H ₂ O
	LS-19	萤石	-20.8	-0.5~-0.8	105~115(11)	0.9~1.2	0.955~0.961	10~12	NaCl-H ₂ O
	LS-19	萤石	-21.0	-1.0~-1.2	120~160(40)	1.7~2.0	0.916~0.949	10~15	NaCl-H ₂ O
	LS-19	萤石	-22.0	-5.1~-5.5	310~330(11)	8.0~8.5	0.749~0.782	20~30	NaCl-H ₂ O
22号脉(内接触带)	LS-22	萤石	-20.8	-1.5~-1.8	340~380(17)		2.5~3.0	20~30	NaCl-H ₂ O
			-21.0	-2.5~-2.7	290~340(21)	4.2~4.5	0.698~0.776	10~12	NaCl-H ₂ O

t_{cu} —初熔温度; t_m —冰点温度; t_h —完全均一温度(均一到 L_{H₂O}相); $\omega(\text{NaCl}_{eq})$ —盐度; ρ —密度; $\varphi(\text{H}_2\text{O})$ —气相百分数。

表4 垄上锡多金属矿床石英中 CO₂ 类包裹体参数Table 4 Microthermometric data of CO₂-type inclusions in quartz from the Longshang tin-polymetallic deposit

样品号	类型	$t_{cu}/^{\circ}\text{C}$	$t_{mcl}/^{\circ}\text{C}$	$t_h(\text{CO}_2)^{\circ}\text{C}$		$t_h/^{\circ}\text{C}$ (次数)		$\omega(\text{NaCl}_{eq})\%$	$\rho(\text{g}\cdot\text{cm}^{-3})$	$x(\text{B})\%$		
				V→L	L→V	→L _{H₂O}	→V _{CO₂}			L _{H₂O}	L _{CO₂}	V _{CO₂}
LS-18	B							0.630~0.671				
	C ₁	-57.5	+6.0~+6.5	27~29	28~29	340~350(8)		6.6~7.5	0.630~0.671	60	20	20
	C ₂	-58.5	+7.0~+7.5	27~29		340~360(4)		4.8~5.9	0.282~0.303	40	25	35
LS-15	C ₁	-56.8	+8.5~+9.0	27~28		320~330(7)		2.02~3.0	0.671~0.688	65		35

t_{cu} —初熔温度; t_{mcl} —笼形物的熔化温度; $t_h(\text{CO}_2)$ —CO₂ 相部分均一温度(均一到 L_{CO₂} 或 V_{CO₂} 相); t_h —完全均一温度(均一到 L_{H₂O} 或 V_{CO₂} 相); $\omega(\text{NaCl})$ —盐度; ρ —CO₂ 的密度; $x(\text{B})$ 分别为 CO₂ 包裹体的体积百分数; V—气相; L—液相。

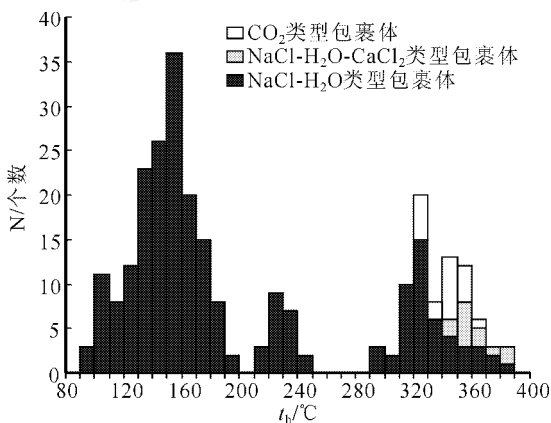


图4 各类包裹体均一温度直方图

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

流体包裹体研究(李荫清等,1988;张文淮等,1993;芮宗瑶等,2003)表明,锡田垄上流体包裹体分为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_{H₂O}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)。含CO₂型包裹体的均一温度均较高,有的甚至均一成V_{CO₂},指明其形成压力不高,与裂隙发育的开放成矿系统相符。

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

产状	样品编号	x (气相)%									
		CO ₂	H ₂ S	CH ₄	SO ₂	H ₂ O	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

产状及样品编号	x (液相)%						x (盐水溶液)(mol/L)				
	CO ₂	H ₂ S	CH ₄	SO ₂	H ₂ O	总和	HS ⁻	SO ₄ ²⁻	CO ₃ ²⁻	HCO ₃ ⁻	NO ₃ ⁻
20 号脉(外接触带)	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		1.1	0.3	
21 号脉(接触带)	XTLS-5				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)		7.0	7.7		85.3	100		0.2		0.6
	LS-15(2)		8.0	7.4		84.6	100			0.2	0.6
	LS-19		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 NaCl-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(Ⅱ、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“十一杭”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 $(0.50\sim 14.40)\times 10^{-13}\text{cm}^3\text{STP}\cdot\text{g}^{-1}$, ^4He 为 $(0.31\sim 3.57)\times 10^{-7}\text{cm}^3\text{STP}\cdot\text{g}^{-1}$, ^{40}Ar 为 $(0.17\sim 9.32)\times 10^{-7}\text{cm}^3\text{STP}\cdot\text{g}^{-1}$ ^①。 $^3\text{He}/^4\text{He}$ 比值介于1.15~4.43 Ra之间,低于地幔特征值(6~7 Ra),但明显高于地壳放射性成因的 $^3\text{He}/^4\text{He}$ 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, $^{40}\text{Ar}/^4\text{He}$ 比值为0.55~2.62,明显高于大气(0.01)、地壳(0.16~0.25)和地幔(0.33~0.56)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]. 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 region[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 rocks[J]. Tectonophysics, 284: 101~133.
- 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]. 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. 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 Nanling region and its significance[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 inclusion[M]. Beijing: Science Press. 36~274(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 ore-forming 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 Hunan[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: 37~43(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: 68~73(in Chinese with English abstract).

① 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.

- 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 [J]. 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 [J]. 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 [J]. 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 [J]. 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.
- 刘 斌, 沈 昆. 1999. 流体包裹体热力学 [M]. 北京: 地质出版社. 44~118.
- 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 [J]. 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 [J]. 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. 湘东锡田锡矿床地质特征及矿床成因 [J]. 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 [J]. 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 [J]. 华南地质与矿产, 2: 21~26.
- 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 [J]. 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 [J]. 有色矿冶, 21(1) 51~53.
- 张文淮, 陈紫英. 1993. 流体包裹体地质学 [M]. 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.

<http://www.kcdz.ac.cn/>