

广西大福楼锡多金属矿床成矿流体特征

成永生^{1,2}, 胡瑞忠²

- (1. 中南大学 地球科学与信息物理学院,
有色金属成矿预测教育部重点实验室, 湖南 长沙, 410083;
2. 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)

摘要: 通过流体包裹体岩相学和显微测温学等分析, 研究大福楼矿床成矿流体的性质及其演化。研究表明: 大福楼锡矿共发育 6 种类型的流体包裹体, 即 I 型(单相气相包裹体)、II 型(单相盐水溶液包裹体)、III 型(两相富蒸汽包裹体)、IV 型(两相富液体包裹体)、V 型(含 CO₂ 相包裹体)以及 VI 型(含 NaCl 子矿物包裹体)。流体包裹体的均一温度为 120~430 °C, 主要的成矿温度为 120~145 °C 和 380~430 °C。流体包裹体盐度变化不大, 介于 17.00%~22.00% 之间, 属于高盐度流体, 具有岩浆热液的标志; 流体密度为 0.158~1.105 g/cm³, 压力为 12.0~65.0 MPa, 属于中高压力的成矿流体。大福楼锡多金属矿床的成矿流体与大厂矿田其他矿床具有很好的一致性, 表明其可能相似的来源与演化。

关键词: 大福楼; 锡多金属矿床; 成矿流体; 包裹体; 广西

中图分类号: P611.1

文献标志码: A

文章编号: 1672-7207(2012)10-3924-07

Characteristics of ore-forming fluids in Dafulou tin-polymetallic ore deposit, Guangxi, China

CHENG Yong-sheng^{1,2}, HU Rui-zhong²

- (1. Key Laboratory of Metallogenic Prediction of Nonferrous Metals, Ministry of Education, School of Geosciences and Info-Physics, Central South University, Changsha 410083, China;
2. State Key Laboratory of Ore Deposit Geochemistry, Institute of Geochemistry, Chinese Academy of Sciences, Guiyang 550002, China)

Abstract: Based on the study of the fluid inclusion and microthermometry, the characteristics and evolution of the ore-forming fluid of the Dafulou tin-polymetallic deposit were studied. The results show that there are six types of fluid inclusion: I, single-phase gas inclusions; II, single-phase brine inclusions; III, two-phase vapor-rich inclusions; IV, two-phase liquid-rich inclusions; V, carbon dioxide-bearing inclusions; VI, containing NaCl daughter minerals inclusions. The homogenization temperature ranges from 120 to 430 °C, but the main temperature scope ranges from 120 to 145 °C and 380 °C to 430 °C. The salinity ranges from 17.00% to 22.00%, characterized by the high salinity and magmatic-hydrothermal fluid. And, the fluid, whose density ranges from 0.158 to 1.105 g/cm³ formed under the medium-high pressure of 12.0–65.0 MPa. The characteristics of the ore-forming fluid for the Dafulou tin-polymetallic deposit accords with the other ore deposits in the Dachang ore field, which may suggest the same source and evolution.

Key words: Dafulou; tin-polymetallic ore deposit; ore-forming fluid; fluid inclusion; Guangxi

收稿日期: 2011-12-19; 修回日期: 2012-03-13

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(41202051); 中央高校基本科研业务费资助项目(201012200210); 中国博士后科学基金资助项目(20090451105)

通信作者: 成永生(1979-), 男, 江西九江人, 博士, 讲师, 从事矿床学、成矿规律和成矿预测研究; 电话: 13017386868; E-mail: cys968@163.com

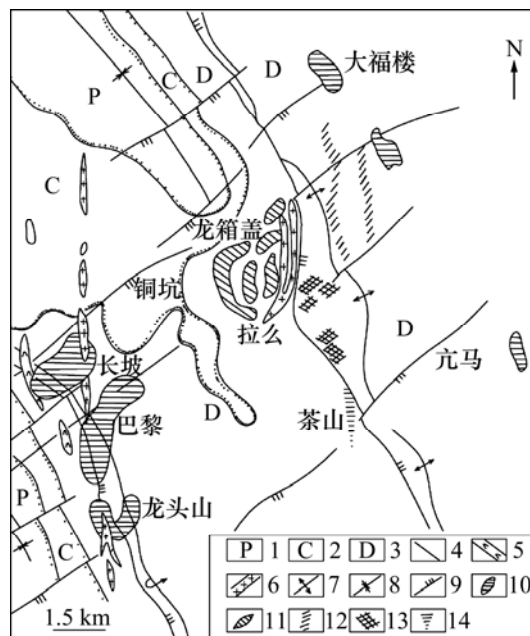
广西南丹大厂锡多金属矿床是世界上著名的超大型锡多金属矿床之一, 由于矿床规模巨大、元素组合复杂、产出特征多样等特点, 长期以来备受国内外矿床地质学家的广泛关注^[1-6]。关于大厂锡矿成矿流体的研究资料非常丰富^[7-9], 李荫清等^[10]对丹池成矿带锡多金属矿床进行了包裹体成分和同位素研究, 认为矿带内不同地段和不同成矿阶段存在相对开放和相对封闭的环境, 成矿流体具有岩浆水和大气水混合特征, 早期以岩浆水为主, 晚期主要为大气降水。蔡明海等^[11]应用显微测温和激光拉曼光谱分析对铜坑—长坡矿床的流体包裹体参数和成分进行了系统测试, 认为区内层状矿体和脉状矿体中的流体包裹体具有相同特征, 在成矿流体的演化过程中, 流体组成发生了较大变化, 但流体盐度变化不明显。在成矿过程中, 幔流体显著参与了成矿作用, 但在成矿的晚阶段, 地下水成分明显地加入到成矿流体中。梁婷等^[12]利用 S 和 Pb 同位素示踪技术探讨了大厂锡多金属矿床的成矿物质来源, 指出相同来源的成矿流体在自下而上迁移过程中硫同位素的演化机制是一致的, 早期以岩浆硫源为主, 后期为混合硫源。不同类型或不同产状矿体中的铅同位素也基本上是一致的, 即以壳源为主, 但也有幔源铅参与。这些研究成果极大地丰富了大厂锡矿的成矿理论, 为矿床的成因研究提供了详实的资料。大福楼矿床位于大厂锡矿田的东矿带, 建国前已有不同程度的开采, 是大厂矿田东矿带中研究较少的大型锡石硫化物矿床。本文作者在剖析大福楼矿床地质特征的同时, 对产自锡多金属矿的硫化物进行流体包裹体研究, 以便为深化大厂矿田锡多金属矿床的成因理论提供新资料。

1 区域地质背景

矿区位于江南台背斜与滇桂台向斜间的丹池拗陷带内, 该成矿带北起麻阳汞矿, 南至五圩矿田, 东到芒场、北香矿田, 西到益兰汞矿—九圩一带, 总体呈北东—南西向展布, 延长约为 100 km, 宽约为 30 km, 已知产有超大型矿床 2 处, 大型矿床 6 处, 中型矿床 11 处, 共计锡、锌、铅、锑、银、铜、钨、汞产地 200 多处, 是我国重要的有色金属产地^[13]。

丹池成矿带产于丹池盆地, 是晚古生代至早中生代在浅海碳酸盐台地上发育起来的台盆相沉积盆地。盆地内地层为泥盆系—三叠系的泥质岩、碳酸盐岩、硅质岩和碎屑岩等。丹池大背斜和丹池大断裂组成的

丹池褶皱带, 主体构造呈北西—南东走向, 背斜轴部逆冲断层发育, 叠加东西向、南北向的断裂和次一级褶皱构造, 在构造叠加之处有花岗岩侵入, 形成以大厂矿田为代表的多个构造隆起^[14]。大福楼矿床位于大厂矿田东矿带龙箱盖背斜之东翼(见图 1), 区域上北西向线型复式褶皱、断裂构造发育, 随着褶皱断裂活化, 在部分隆起区伴有酸性火成岩侵入及矿液活动。



- 1—二叠系灰岩、硅质岩夹砂页岩; 2—石炭系灰岩;
3—泥盆系灰岩、页岩及硅质岩; 4—平行不整合地层接触;
5—闪长玢岩; 6—花岗岩、花岗斑岩; 7—背斜轴;
8—向斜轴; 9—断裂; 10—锡矿体; 11—锌铜矿体;
12—白钨矿脉组带; 13—黑钨矿脉组带; 14—锑矿脉组带

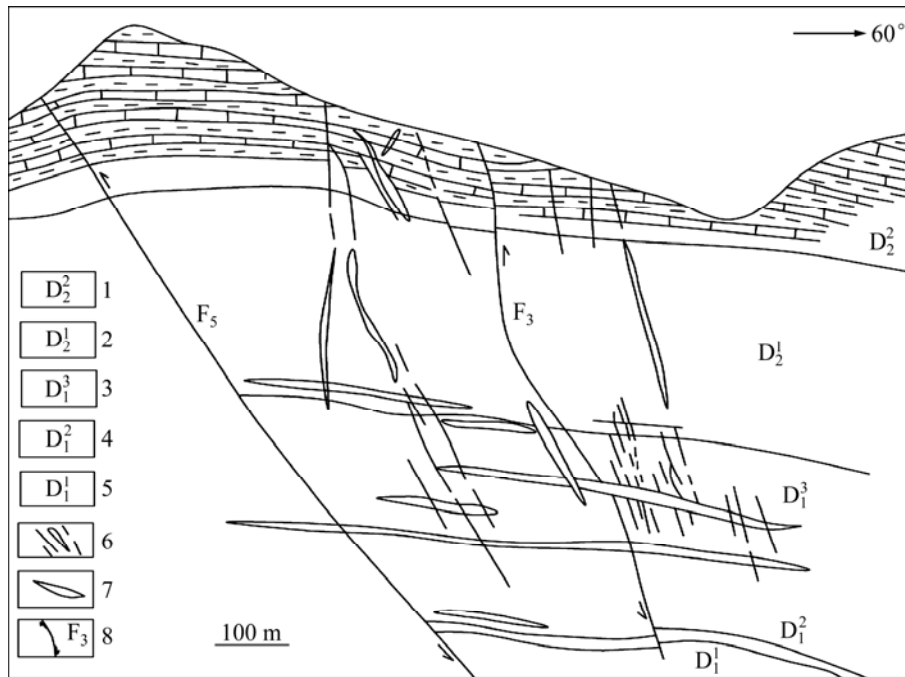
图 1 广西大厂矿田矿床地质略图

(据中国有色金属工业总公司资料修编)

Fig. 1 Sketch geological map of Dachang ore field, Guangxi

2 矿床地质特征

大福楼矿床位于大厂矿田的东矿带丹池大背斜的东翼, 区内发育以北西向为主导的线性断裂构造, 如逆掩断裂和小扰曲构造; 次之则为北东向和近南北向的断裂构造, 如北东向横张平移断裂。矿床由 21 号和 22 号水平似层状矿体以及 0 号陡倾斜脉状矿体所组成(见图 2), 脉状矿体和层状矿体在空间上的分布具有规律性, 由下往上依次为: (1) 22 号矿体, 标高 87~27 m, 产状 $50^{\circ} \angle 7^{\circ} \sim 8^{\circ}$, 矿体控制长度 1 100 m, 宽 250~400 m, 均厚 1.65 m。Sn 含量(质量分数, 下同) 0.32%~



1—泥岩、页岩与灰岩互层；2—黑色泥页岩；3—泥页岩夹粉砂岩；4—粉砂岩；5—细砂岩；
6—脉状矿体；7—层状矿体；8—断层及编号

图 2 广西大福楼锡矿床空间剖面图(据中国有色金属工业总公司资料修编)

Fig. 2 Profile of Dafulou tin ore deposit, Guangxi

3.14%，最高含 Sn 6.16%，Sn 平均品位为 0.96%，Zn 含量 0.02%~0.06%，最高含 Zn 0.18%，主要工业矿物有锡石、磁黄铁矿、黄铁矿、毒砂、铁闪锌矿等。(2) 21 号矿体，标高 140~49 m，产状 $50^{\circ}\angle 8^{\circ}\sim 10^{\circ}$ ，控制长度 600 m，宽 200~300 m，均厚 21.9 m，矿体平均品位 Sn 为 1.14%，Sn 品位变化系数 71%；矿体平均厚度 2.38 m，厚度变化系数 56%，主要工业矿物包括锡石、磁黄铁矿、黄铁矿、毒砂、铁闪锌矿等。(3) 0 号矿体，属陡倾切层大脉，已控制长度 1 250 m，深 500 m，厚 2 m 左右，标高 560~60 m，矿体平均厚度为 2.07 m。矿体上部产状 $240^{\circ}\angle 84^{\circ}$ ，下部产状 $60^{\circ}\angle 72^{\circ}$ ，主要工业矿物有锡石、磁黄铁矿、黄铁矿、毒砂、铁闪锌矿等。

大福楼矿床主要产于下泥盆统上部和中泥盆统下部的含炭质页岩中(图 2)，水平似层状矿体与地层整合产出，脉状矿体主要沿陡倾斜的张性裂隙充填而成。根据野外观察以及室内研究发现，区内矿化特征比较复杂，主要发育有顺层矿化、穿层矿化以及网脉状矿化三种类型；围岩蚀变类型主要包括硅化、碳酸盐化、绢云母化、黄铁矿化以及磁黄铁矿化；矿石构造类型主要有块状构造、浸染状构造、(细)脉状构造、网脉状构造和角砾状构造。

3 样品特征及研究方法

流体包裹体是研究深部地质体以及深部地质过程的重要手段，可提供深部地质作用的重要证据^[15]。流体包裹体均一测温于国土资源部中南矿产资源监督检测中心(湖北宜昌地质矿产研究所)流体包裹体实验室完成。选择的 3 个样品均来自于矿化体中，其中 Y05-3 号样品为锡石、黄铁矿矿体，呈块状构造；Y09-2-1 号样品为产于 10 号采场 2 号面灰黑色含炭质灰岩中的细脉状黄铁矿化，脉宽约 0.5 mm；Y29-4 号样品为采自 818 面的锡石—黄铁矿矿体，矿石呈块状构造。

4 流体包裹体岩相学及显微测温学

4.1 流体包裹体类型和特征

我国许多学者对大厂矿田流体包裹体特征开展过系统研究。李荫清等^[10]对大厂矿带内的包裹体进行了深入研究，对成矿流体的动力学机制进行了探讨。Fu 等^[16]认为，拉么矽卡岩型锌铜矿的成矿流体以高温

度、高盐度为特征, 铜坑—长坡锡矿的成矿流体以中温、中—低盐度流体为特征。近年来, 蔡明海等^[1]根据石英中流体包裹体在室温下的物理相态和化学组成, 区别出 CO_2 型和 $\text{NaCl-H}_2\text{O}$ 型 2 种包裹体类型, 指出铜坑—长坡矿床脉状和层状矿体的流体包裹体具有相同特征, 成矿早阶段流体成分主要以 CO_2 和 H_2O 为主, 成矿晚阶段的流体成分主要为 H_2O , 在成矿过程中存在深部地幔流体的显著参与。

石英和方解石是研究流体包裹体的最重要的矿物, 尤其是石英矿物与锡石紧密共生。本次研究共选择了矿化蚀变岩的 3 个流体包裹体样品(野外编号为 Y05-3, Y09-2-1 和 Y29-4), 其中石英矿物 2 个(Y05-3 和 Y29-4), 方解石矿物 1 个(Y09-2-1)。按照相态组合及物理状态, 大福楼锡矿主要发育 6 种类型的包裹体(见图 3): I 型(单相气相包裹体)、II 型(单相盐水溶液包裹体)、III 型(两相富蒸汽包裹体)、IV 型(两相富液体包裹体)、V 型(含 CO_2 相包裹体)和 VI 型(含 NaCl 子矿物包裹体)。

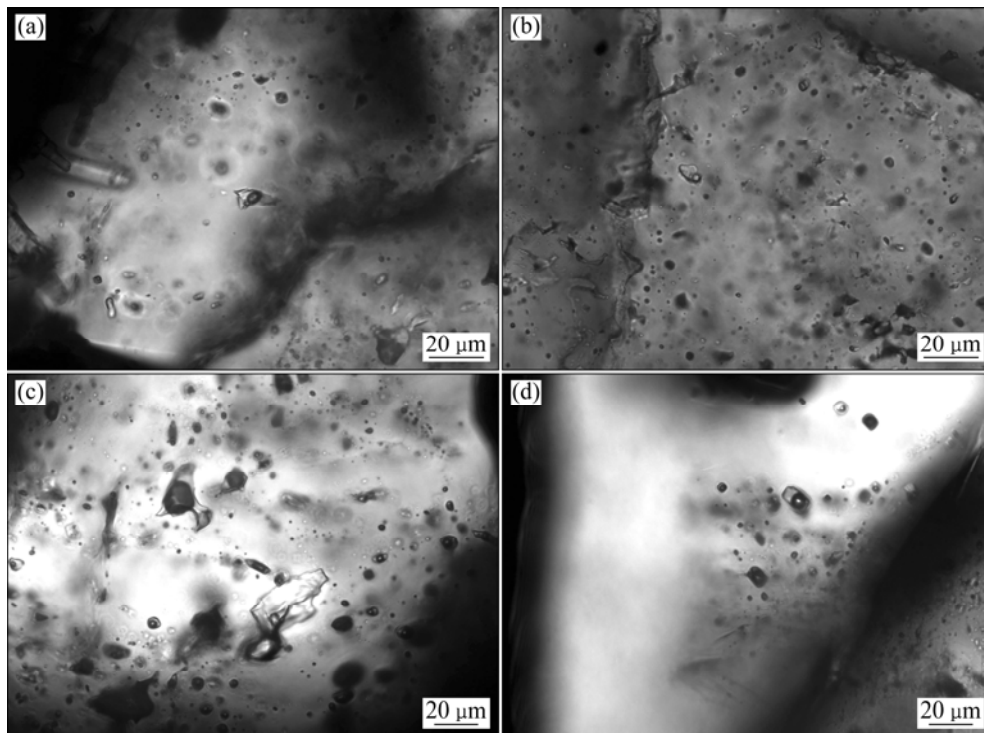
(1) 单相气相包裹体(I 型)。以含气态水为主, 另

含有少量的气态 CH_4 及 H_2S , 包裹体直径为 $3\sim 15\ \mu\text{m}$, 形态主要表现为多边形、米粒状、椭圆形和不规则状, 呈小群状分布或沿方解石愈合微裂隙中, 占包裹体总量的 5% 左右。

(2) 单相盐水溶液包裹体(II 型)。由纯盐水组成的包裹体, 占包裹体总量的 15%~65%, 液相 H_2O 在透光下为无色; 包裹体直径为 $1\sim 15\ \mu\text{m}$, 形态多为椭圆形、不规则状和米粒状, 多呈自由状分布, 部分沿石英或方解石微裂隙定向分布。

(3) 两相富蒸汽包裹体(III 型)。由水蒸气和液体水所组成, 占包裹体总量的 30%~55%; 液相 H_2O 在透光下为无色, 包裹体直径为 $2\sim 18\ \mu\text{m}$, 形态多为椭圆形、多边形和长方形等, 其次为三角形以及不规则状, 呈自由状分布或小群分布。

(4) 两相富液体包裹体(IV 型)。包裹体主要由纯盐水和蒸汽所组成, 占包裹体总量的 15%~50%; 液态 H_2O 在透光下为无色, 包裹体直径为 $2\sim 25\ \mu\text{m}$, 形态多以椭圆形以及半自形的负晶形为主, 其次为三角形及不规则状, 呈自由分布或小群分布。



(a) 矿化石英中的流体包裹体($\text{L}_{\text{H}_2\text{O}}$, $\text{L}_{\text{H}_2\text{O}}+\text{V}_{\text{H}_2\text{O}}$, $\text{L}_{\text{H}_2\text{O}}+\text{L}_{\text{CO}_2}+\text{V}_{\text{CO}_2}$, $\text{L}_{\text{H}_2\text{O}}+\text{V}_{\text{H}_2\text{O}}+\text{S}_{\text{NaCl}}$);

(b) 矿化石英中的流体包裹体($\text{L}_{\text{H}_2\text{O}}$, $\text{V}_{\text{H}_2\text{O}}$, $\text{L}_{\text{H}_2\text{O}}+\text{V}_{\text{H}_2\text{O}}$, $\text{L}_{\text{H}_2\text{O}}+\text{L}_{\text{CO}_2}+\text{V}_{\text{CO}_2}$, $\text{L}_{\text{H}_2\text{O}}+\text{V}_{\text{H}_2\text{O}}+\text{S}_{\text{NaCl}}$), 包裹体直径为 $1\sim 15\ \mu\text{m}$;

(c) 矿化石英中的流体包裹体($\text{L}_{\text{H}_2\text{O}}$, $\text{L}_{\text{H}_2\text{O}}+\text{V}_{\text{H}_2\text{O}}$, $\text{L}_{\text{H}_2\text{O}}+\text{L}_{\text{CO}_2}+\text{V}_{\text{CO}_2}$, $\text{L}_{\text{H}_2\text{O}}+\text{V}_{\text{H}_2\text{O}}+\text{S}_{\text{NaCl}}$), 包裹体直径为 $1\sim 30\ \mu\text{m}$,

少数沿石英微裂隙呈线状分布; (d) 矿化石英中流体包裹体($\text{L}_{\text{H}_2\text{O}}$, $\text{L}_{\text{H}_2\text{O}}+\text{V}_{\text{H}_2\text{O}}$, $\text{L}_{\text{H}_2\text{O}}+\text{V}_{\text{H}_2\text{O}}+\text{S}_{\text{NaCl}}$),

包裹体直径为 $1\sim 25\ \mu\text{m}$, 少数沿石英微裂隙呈线状分布, $\text{L}_{\text{H}_2\text{O}}$ 相在透光中呈无色

图 3 广西大福楼锡矿流体包裹体照片

Fig. 3 Photomicrographs of fluid inclusions in Dafulou tin ore deposit, Guangxi

(5) 含 CO₂ 相包裹体(V型)。由三相构成, 分别为液态水(L_{H₂O})、液态 CO₂(L_{CO₂})和 气态 CO₂(V_{CO₂}), 占包裹体总量小于 5%; 包裹体大小为 5~15 μm, 形态多以椭圆形为主, 次为多边形、负晶形, 主要呈自由分布或与其他包裹体混合分布。

(6) 含 NaCl 子矿物包裹体(VI型)。以气态和液态水、固态 NaCl 为主构成, 约占包裹体总量的 30%; 包裹体大小为 5~30 μm, 形态多为椭圆形、多边形和长方形, 呈自由分布或与其他包裹体混合分布, 其中液态 H₂O 相体积分数为 70%, 固态 NaCl 相体积分数约为 10%, 气态 H₂O 相体积分数约为 15%。

4.2 流体包裹体均一温度、盐度和密度

通过流体包裹体岩相学的观察研究, 选择具有代表性的流体包裹体片在国土资源部中南矿产资源监督检查中心(湖北宜昌地质矿产研究所)的 Linkam-THMSG600 型冷热台上进行测试。仪器测定的温度范围为 -196~600 °C, 均一法测温精度为 ±1 °C, 冷冻法的精度在 ±0.1, 在小于 0 °C 时的测试精度为 0.1 °C, 0~30 °C 范围的测试精度为 0.5 °C, >30 °C 时的测试精度为 1 °C。

显微测温结果表明(见表 1): 矿区不同类型包裹体的温度范围和峰值温度差异很大, 各类矿物流体包裹体显微测温结果如下。

III型两相富蒸汽包裹体均一温度范围在 120~395 °C, 主要存在 3 个温度区间: 120~145 °C, 240~265 °C 以及 350~395 °C, 以 120~145 °C 温度区间为主; IV型两相富液体包裹体均一温度范围在 230~430 °C, 其中

主要存在 2 个温度段: 230~260 °C 和 380~430 °C, 且以 380~430 °C 温度区间为主; V型含 CO₂ 相包裹体均一温度范围在 380~420 °C。不难发现, 从 III型两相富蒸汽包裹体、IV型两相富液体包裹体到 V型含 CO₂ 相包裹体流体温度整体呈升高的趋势, 基本能够反映成矿的主要阶段以及成矿流体的活动与演化情况。

盐度表示包裹体溶液中所含盐类的总浓度, 对确定成矿阶段、指示成矿流体的运动方向、寻找隐伏盲矿体具有很好的作用, 在矿产勘查学以及矿床成因研究等方面具有广泛应用。根据大福楼锡矿床矿物流体包裹体的岩相学研究结果, III型和 IV型流体包裹体的盐度将根据所测出的包裹体冰点, 由 Bodnar^[17] 的盐度-冰点表得到; VI型含子矿物流体包裹体的盐度根据 Hall 等^[18] 提出的盐度公式计算得到, 公式适用的温度范围为 $0.1 \leq t \leq 801$ °C (其中, t 为 NaCl 子矿物消失温度); V型含 CO₂ 流体包裹体的盐度将通过测试笼形化合物熔化温度, 然后根据 Roedder^[19] 提出的公式计算得出, 适用的温度范围为 $-9.6 \leq t \leq 10$ °C (其中, t 为笼形化合物熔化温度)。结果显示: III型两相富蒸汽包裹体的盐度范围为 17.30%~22.44%, IV型两相富液体包裹体的盐度范围为 17.20%~20.30%, V型含 CO₂ 相包裹体的盐度范围为 17.00%~18.70%。不难发现, 3 种类型的流体包裹体盐度变化不大, 基本保持在 17.00%~22.00%, 属于高盐度的流体。高盐度的包裹体是岩浆热液的重要标志, 成矿溶液是在高盐度流体运移过程中盐度迅速降低的情况下矿物先后析出沉淀的, 溶液沸腾以及地下水的混入是岩浆结晶浓缩和岩

表 1 广西大福楼锡多金属矿区流体包裹体参数

Table 1 Parameters of fluid inclusion of the Dafulou tin ore deposit, Guangxi

测试矿物	包裹体类型	$t_{eu}/^{\circ}\text{C}$	$t_m/^{\circ}\text{C}$	$t_{h,tot}/^{\circ}\text{C}$	$w(\text{NaCl})/\%$	密度/($\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$)
石英	III	-55.0~-56.0	-21.3~-22.0	120~145	21.90~22.44	1.098~1.105
		-42.5~-44.6	-18.2~-19.3	240~265	19.80~20.70	0.974~0.984
		-36.5~-37.5	-15.2~-16.5	350~395	18.90~20.00	
	IV	-32.0	-14.2~-15.0	380~410	18.10~18.80	
		-57.3	-3.0~-4.0	380~420	18.11~18.70	0.688~0.703
		-58.5	-2.0~-3.0	390~410	17.30~18.10	0.158~0.164
方解石	III	-49.0~-52.0	-15.2~-15.5	120~145	17.30~17.60	1.052~1.069
		-52.5~-54.0	-18.5~-19.0	230~260	20.00~20.30	0.970~0.996
	IV	-51.5~-52.0	-17.5~-18.0	390~420	19.20~19.50	
		-49.5~-51.0	-15.0~-15.5	380~430	17.20~17.60	
		-58.5	-1.5~-2.0	390~410	17.00~17.40	1.500
		-58.5	-1.5~-2.0	390~410	17.00~17.40	1.500
V	-58.5	-1.5~-2.0	390~410	17.00~17.40	1.500	
	-58.5	-1.5~-2.0	390~410	17.00~17.40	1.500	
VI	-58.5	-1.5~-2.0	390~410	17.00~17.40	1.500	
	-58.5	-1.5~-2.0	390~410	17.00~17.40	1.500	

注: t_{eu} 为初熔温度; t_m 为冰点温度; $t_{h,tot}$ 为完全均一温度。

体运移稀释的根本原因^[20],大厂锡石—硫化物成矿期温度与盐度具有相关趋向^[10]。

利用刘斌等^[21-22]根据实验数据推导的 NaCl—H₂O 体系不同盐度流体包裹体的密度经验公式:

$$\rho = a + bt + ct^2 \quad (1)$$

式中: ρ 为流体密度, g/cm³; t 为均一温度, °C; a , b 和 c 均为无量纲参数, 不同盐度流体对应不同值。

通过式(1)计算得到大福楼矿床锡多金属矿床成矿流体密度(见表1)。由表1可见: 大福楼锡多金属矿 III型包裹体流体密度为 0.974~1.105 g/cm³, IV型包裹体流体密度为 0.970~0.996 g/cm³, V型包裹体流体密度为 0.158~0.703 g/cm³。

4.3 流体包裹体压力及成矿深度

利用矿物中流体包裹体的有关特征参数进行成岩成矿压力的测定, 可为地质体的形成深度提供依据, 对指导深部地质找矿具有重要的作用。根据流体包裹体的均一温度和流体盐度, 利用邵洁连^[23]计算流体压力的经验公式 $p = p_0 T_b / T_0$ 来计算包裹体捕获时的流体压力。式中: $p_0 = 219 + 2620w$; $T_0 = 374 + 920w$; w 表示成矿溶液的盐度, 见表2。

表2 据流体包裹体计算的成矿压力与深度

Table 2 Calculated pressure and depth of mineralization based on fluid inclusion

样号	测定矿物	形成压力/MPa	形成深度/km
Y05-3	石英	63.0~65.0	2.10~2.16
Y09-2-1	方解石	33.6~40.6	1.12~1.35
Y29-4	石英	12.0~15.0	0.40~0.50

从表2可见: Y05-3号样品石英中流体包裹体形成压力(p)为 63.0~65.0 MPa, 形成深度(H)为 2.10~2.16 km; Y09-2-1号样品方解石中流体包裹体形成压力(p)为 33.6~40.6 MPa, 形成深度(H)为 1.12~1.35 km; Y29-4号样品石英中流体包裹体形成压力(p)为 12.0~15.0 MPa, 形成深度(H)为 0.4~0.5 km(表1)。总体来说, 矿物包裹体捕获时的压力(p)为 12.0~65.0 MPa, 形成深度(H)为 0.40~2.16 km。李荫清等^[10]研究得出: 大厂矿区锡石—硫化物矿床的形成压力为 20~80 MPa, 同时推算花岗岩的侵位深度为 3~4 km, 成矿深度为 1.0~2.5 km。本次测定的矿床形成压力为 12.0~65.0 MPa, 介于李荫清等^[10]所测得的成矿压力区间, 表明大厂矿田不同矿带矿床的形成压力具有很好的一致性, 暗示其

可能具有相似的成矿物质来源以及成矿流体演化。

5 结论

(1) 大福楼锡多金属矿床中流体包裹体均一温度为 120~430 °C, 其中主要存在 2 个温度区间: 120~145 °C 和 380~430 °C, 从两相富蒸汽包裹体、两相富液体包裹体到含 CO₂ 相包裹体流体温度整体呈升高趋势。

(2) 流体包裹体盐度变化不大, 为 17.00%~22.00%, 属于高盐度流体, 流体具有岩浆热液的典型特征; 流体包裹体密度为 0.158~1.105 g/cm³, 压力为 12.0~65.0 MPa, 属于中高压力的成矿流体。

(3) 大福楼锡多金属矿床的成矿流体特征与大厂矿田其他矿床具有很好的相似性, 表明矿田内诸多矿床具有相似的流体来源与演化过程。

参考文献:

- [1] WANG Deng-hong, CHEN Yu-chuan, CHEN Wen, et al. Dating of the Dachang superlarge tin-polymetallic deposit in Guangxi and its implication for the genesis of the No.100 orebody[J]. Acta Geological Sinica, 2004, 78(2): 452-458.
- [2] 王登红, 陈毓川, 陈文, 等. 广西南丹大厂超大型锡多金属矿床的成矿时代[J]. 矿床地质, 2004, 78(1): 132-138. WANG Deng-hong, CHEN Yu-chuan, CHEN Wen, et al. Dating the Dachang giant tin-polymetallic deposit in Nandan, Guangxi[J]. Acta Geologica Sinica, 2004, 78(1): 132-138.
- [3] Zhao K D, Jiang S Y, Ni P, et al. Sulfur, lead and helium isotopic compositions of sulfide minerals from the Dachang Sn-polymetallic ore district in South China: Implication for ore genesis[J]. Mineralogy and Petrology, 2007, 89: 251-273.
- [4] 李华芹, 王登红, 梅玉萍, 等. 广西大厂拉么锌铜多金属矿床成岩成矿作用年代学研究[J]. 地质学报, 2008, 82(7): 912-920. LI Hua-qin, WANG Deng-hong, MEI Yu-ping, et al. Lithogenesis and mineralization chronology study on the Lamo Zinc-Copper polymetallic ore deposit in Dachang orefield, Guangxi[J]. Acta Geologica Sinica, 2008, 82(7): 912-920.
- [5] 梁婷, 陈毓川, 王登红, 等. 广西大厂锡多金属矿床地质与地球化学[M]. 北京: 地质出版社, 2008: 6-10. LIANG Ting, CHEN Yu-chuan, WANG Deng-hong, et al. Geology and geochemistry of the Dachang tin-polymetallic deposit in Guangxi[M]. Beijing: Geological Publishing House, 2008: 6-10.
- [6] 范森葵, 王登红, 梁婷, 等. 广西大厂 96 号矿体的成矿元素地球化学特征与成因[J]. 吉林大学学报: 地球科学版, 2010, 40(4): 781-790. FAN Sen-kui, WANG Deng-hong, LIANG Ting, et al.

- Geochemical characteristics of ore-forming elements and ore genesis of No.96 ore-body in the Dachang deposit, Guangxi[J]. Journal of Jilin University: Earth Science Edition, 2010, 40(4): 781-790.
- [7] 叶绪孙, 严云秀, 何海洲. 广西大厂超大型锡矿成矿条件与历史演化[J]. 地球化学, 1999, 28(3): 213-221.
YE Xu-sun, YAN Yun-xiu, HE Hai-zhou. The mineralization factors and tectonic evolution of Dachang superlarge tin deposit, Guangxi, China[J]. Geochimica, 1999, 28(3): 213-221.
- [8] CAI Ming-hai, MAO Jing-wen, LIANG Ting, et al. The origin of the Tongkeng—Changpo tin deposit, Dachang metal district, Guangxi, China: clues from fluid inclusions and He isotope systematics[J]. Miner Deposita, 2007, 42: 613-626.
- [9] FAN De-lian, ZHANG Tao, YE Jie, et al. Geochemistry and origin of tin-polymetallic sulfide deposits hosted by the Devonian black shale series near Dachang, Guangxi, China[J]. Ore Geology Reviews, 2004, 24: 103-120.
- [10] 李荫清, 陈伟十. 大厂锡矿的成矿流体[J]. 岩石学报, 1989(3): 12-24.
LI Yin-qing, CHEN Wei-shi. The ore-forming fluid of Dachang tin deposit[J]. Acta Petrologica Sinica, 1989(3): 12-24.
- [11] 蔡明海, 毛景文, 梁婷, 等. 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, 2005, 24(3): 228-241.
CAI Ming-hai, MAO Jing-wen, LIANG Ting, et al. Fluid inclusion studies of Tongkeng—Changpo deposit in Dachang polymetallic tin orefield[J]. Mineral Deposits, 2005, 24(3): 228-241.
- [12] 梁婷, 王登红, 蔡明海, 等. 广西大厂锡多金属矿床 S、Pb 同位素组成对成矿物质来源的示踪[J]. 地质学报, 2008, 82(7): 967-977.
LIANG Ting, WANG Deng-hong, CAI Ming-hai, et al. Sulfur and lead isotope composition tracing for the sources of ore-forming material in Dachang tin-polymetallic orefield, Guangxi[J]. Acta Geologica Sinica, 2008, 82(7): 967-977.
- [13] 蔡明海, 梁婷, 吴德成, 等. 广西丹池成矿带构造特征及其控矿作用[J]. 地质与勘探, 2004, 40(6): 5-10.
CAI Ming-hai, LIANG Ting, WU De-cheng, et al. Structure characteristics and mineralization controls of the Nandan—Hechi metallogenic belt in Guangxi province[J]. Geology and Prospecting, 2004, 40(6): 5-10.
- [14] 毛景文, 谢桂青, 郭春丽, 等. 南岭地区大规模钨锡多金属成矿作用: 成矿时限及地球动力学背景[J]. 岩石学报, 2007, 23(10): 2329-2338.
MAO Jing-wen, XIE Gui-qing, GUO Chun-li, et al. Large-scale tungsten-tin mineralization in the south China: metallogenic ages and corresponding geodynamic processes[J]. Acta Petrologica Sinica, 2007, 23(10): 2329-2338.
- [15] 傅晓明, 戴塔根. 青海德合龙注铜金矿床成矿流体特征[J]. 中南大学学报: 自然科学版, 2011, 42(4): 1066-1071.
FU Xiao-ming, DAI Ta-gen. Characteristics of ore-forming fluid of Dehelongwa copper-gold deposit in Qinghai[J]. Journal of Central South University: Science and Technology, 2011, 42(4): 1066-1071.
- [16] Fu M, Kwak T A P, Mernagh T P. Fluid inclusion studies of zoning in the Dachang tin-polymetallic orefield, People's Republic of China[J]. Economic Geology, 1993, 88: 283-300.
- [17] Bodnar R J. Revised equation and table for determining the freezing point depression of H₂O-NaCl solutions[J]. Geochimica et Cosmochimica Acta, 1993, 57(3): 683-684.
- [18] Hall D L, Sterner S M, Bodnar R J. Freezing point depression of NaCl-KCl-H₂O solutions[J]. Economic Geology, 1988, 83: 197-202.
- [19] Roedder E. Fluid inclusions[J]. Mineralogical Society of America Reviews in Mineralogy, 1984, 12: 644.
- [20] 叶绪孙, 严云秀, 何海洲. 广西大厂超大型锡矿床成矿条件[M]. 北京: 冶金工业出版社, 1996: 127-136.
YE Xu-sun, YAN Yun-xiu, HE Hai-zhou. The metallogenic condition of Dachang super large tin deposit in Guangxi[M]. Beijing: Metallurgical Industry Press, 1996: 127-136.
- [21] 刘斌, 段光贤. NaCl-H₂O 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.
LIU Bin, DUAN Guang-xian. The density and isochoric formulae for NaCl-H₂O fluid inclusions (salinity ≤ 25wt%) and their applications[J]. Acta Mineralogica Sinica, 1987, 7(4): 345-352.
- [22] 刘斌. 中高盐度 NaCl-H₂O 包裹体的密度式和等容式及其应用[J]. 地质论评, 2001, 47(6): 617-622.
LIU Bin. Density and isochoric formulae for NaCl-H₂O inclusions with medium and high salinity and their applications[J]. Geological Review, 2001, 47(6): 617-622.
- [23] 邵洁连. 金矿找矿矿物学[M]. 北京: 中国地质大学出版社, 1990: 38-45.
SHAO Jie-lian. Prospecting mineralogy of gold deposit[M]. Beijing: China University of Geosciences Press, 1990: 38-45.

(编辑 杨幼平)