

广西大福楼锡多金属矿床铅同位素地球化学

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: 为了探讨广西南丹大厂矿田大福楼锡多金属矿床的成矿物质来源及其源区特征, 对矿石的铅同位素组成特征及其成矿构造环境进行分析与研究。研究表明: 大福楼锡矿 $w(^{206}\text{Pb})/w(^{204}\text{Pb})=17.478\sim 18.431$ 均值为 17.991, 极差为 0.953; $w(^{207}\text{Pb})/w(^{204}\text{Pb})=15.440\sim 15.717$, 均值为 15.582, 极差为 0.277; $w(^{208}\text{Pb})/w(^{204}\text{Pb})=37.556\sim 38.839$, 均值为 38.233, 极差为 1.283; Φ 介于 0.592~0.638 之间, μ 为 9.26~9.69, $w(\text{Th})/w(\text{U})=3.74\sim 3.97$ 。根据 Zartman 构造模式图, 大福楼锡矿床金属硫化物铅同位素数据聚为 2 个区域, 即上地幔与造山带以及造山带与上地壳演化线之间, 表明矿石铅既有地幔来源也包含上地壳成分或来自于上地壳, 矿床的矿石铅并非全部由花岗岩浆所提供。另外, 根据 Doe 铅同位素构造环境判别图, 铅同位素投影点具有集中分布的特点, 主要分布于造山带与下地壳演化线之间, 即造山带演化线的上方, 再次证实上地壳也为成矿提供了部分铅源, 即上地壳也是成矿物质的来源之一。大福楼锡多金属矿床成矿作用与造山构造事件有关, 矿床主要形成于造山带构造环境中。

关键词: Pb 同位素; 成矿物质来源; 矿床成因; 大福楼锡矿; 广西

中图分类号: P611.1

文献标志码: A

文章编号: 1672-7207(2012)11-4381-07

Lead isotope geochemistry of Dafulou tin-polymetallic deposit, Guangxi

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 Science, Guiyang 550002, China)

Abstract: In order to discuss the ore-forming material source and its characteristics, lead isotope composition and its tectonic setting were analyzed. The results indicate that the $w(^{206}\text{Pb})/w(^{204}\text{Pb})$ of sulfide ores range from 17.478 to 18.431, with an average of 17.991 and the maximum difference of 0.953, the $w(^{207}\text{Pb})/w(^{204}\text{Pb})$ of sulfide ores range from 15.440 to 15.717, with an average of 15.582 and the maximum difference of 0.277, the $w(^{208}\text{Pb})/w(^{204}\text{Pb})$ of sulfide ores range from 37.556 to 38.839, with an average of 38.233 and the maximum difference of 1.283. The values of Φ , μ and $w(\text{Th})/w(\text{U})$ vary from 0.592 to 0.638, 9.26 to 9.69 and 3.74 to 3.97, respectively. According to Zartman tectonic pattern, the lead isotope values project in two zones, between the upper mantle and orogenic belt and between orogenic belt and upper crust, which suggests that the ore lead is supplied by both the mantle and crust, not all by granitic magma. In addition, on the basis of Doe lead isotope diagram for discriminating tectonic setting, the values of lead isotope are characterized by concentrated distribution, between orogenic belt and upper crust mainly, which indicates that the upper crust is also one of the main lead sources and supplies lead for mineralization. The Dafulou deposit is related to orogenic tectonic event and forms in the environment of orogenic belt.

Key words: Pb isotope; ore-forming material source; ore genesis; Dafulou tin deposit; Guangxi

收稿日期: 2011-11-08; 修回日期: 2012-04-25

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(41202051); 中国博士后科学基金资助项目(2012M521721); 中央高校基本科研业务费自由探索计划项目(201012200210)

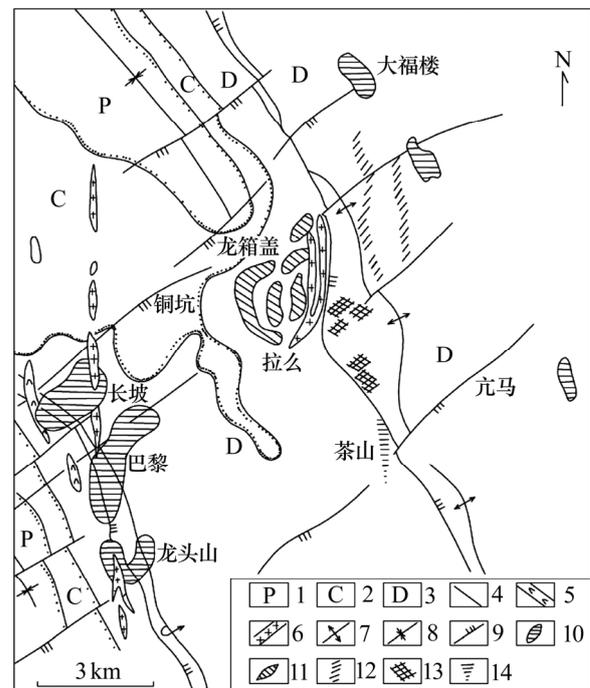
通信作者: 成永生(1979-), 男, 江西九江人, 博士, 副教授, 从事矿床地球化学、成矿规律与成矿预测等研究; 电话: 13017386868; E-mail: cys968@163.com

广西大厂矿田是世界著名的锡多金属矿产地,一直被国内外学者视为研究锡多金属矿床的最佳天然实验室,基础资料丰富,但由于大厂锡多金属矿床的复杂性,一些关键的基础地质问题依然存在分歧,如对矿床成因一直存在着燕山期岩浆热液成矿以及泥盆纪同生喷流沉积成矿的不同观点^[1-6]。成矿物质来源是矿床成因研究的核心问题,铅同位素是研究成矿物质来源的有效方法,现已建立地球不同深度的铅同位素演化模式,在示踪成矿物质来源、研究矿床成因机制以及矿床的垂直分带等方面具有积极意义^[7-8]。关于大厂锡多金属矿铅同位素的研究,韩发等^[9]认为,大厂脉状矿体的铅源与侵入岩有关,而层状矿体的铅源与侵入体无关,2种不同形态的矿体是不同地质作用的产物;叶绪孙等^[10]研究发现,从大厂由近而远的锡矿为北山铅锌矿、泗顶铅锌矿及桂北九毛锡矿,雪峰期九毛矿区为地壳下部经均一化形成的正常铅,泗顶为壳源型,至北山则为壳源为主,开始有壳幔混合,至大厂呈渐变过渡关系;何海洲等^[11]认为,大厂矿田成矿作用具有“岩浆正常铅”与地层多阶段正常铅的混合;梁婷等^[12-13]通过对不同类型、不同产状矿体的铅同位素研究表明,大厂锡多金属矿床铅的来源主要为与岩浆作用有关的壳源铅,但也有上地壳及壳幔混合来源的铅参与。这些研究成果极大地丰富了大厂锡矿的成矿理论,为矿床的成因理论研究提供了详实的资料。位于大厂矿田东矿带的大福楼矿床是一个大型规模的锡多金属矿床,地处丹池大背斜东翼^[14],最早的地质勘探工作始于20世纪50年代冶金地质勘探公司二一五勘探队对0号脉的勘探。该矿床研究程度较低,公开发表的研究成果也较少。在已有认识与研究的基础之上,本文作者采集22号水平层状矿体新开采地段的样品,通过铅同位素地球化学的研究,探讨成矿产物的来源及其源区环境,为进一步深化大厂矿田锡多金属矿床的成矿机制补充了新资料。

1 地质背景

广西大厂锡-多金属矿田是我国著名的丹池成矿带中部的主体矿田,位于江南古陆西南缘的丹池褶皱带北段,主要含矿层位为泥盆系,优越的成矿条件使该矿带内产有丰富的锡、铅、锌、锑、铜、汞、钨等多种矿产资源^[15]。丹池及整个桂北地区地质历史时期遭受了多期构造运动的影响,致使在不同阶段发育不同的沉积盆地,具有不同的沉积层序、岩浆活动和成矿作用特点,丹池成矿带就是海西—印支期右江被动

陆缘裂谷盆地北部的1个断裂凹陷盆地^[16]。构造与成矿的关系非常密切,丹池成矿带构造活动具有多期性,形成以北西走向为主导的构造体系。从区域上看,丹池成矿带裂陷盆地是由地壳沿丹池断裂拉张、裂陷形成的,矿带沿丹池大断裂呈北西向展布^[17]。在丹池成矿带内,各主要矿田的分布受后期的走滑断层与丹池大断裂交汇产生的一组次级构造拗陷控制,矿田主要产于这些次级拗陷内,沿丹池同沉积断裂呈串珠状展布,自北西向南东依次为麻阳汞矿、芒场锡多金属矿、大厂锡多金属矿、北香锡多金属矿和五圩铅锌矿,大厂矿田位于丹池成矿带的中段(图1),丹池断裂与北东向大厂—捞村走滑断层的交汇部位。



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

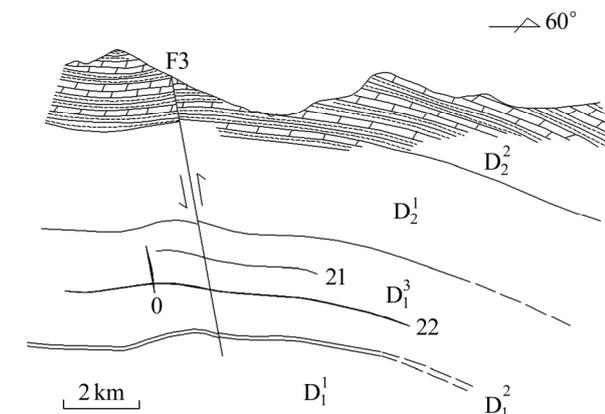
图1 大厂矿田构造纲要及矿床分布图

Fig.1 Structural outline and deposit distribution map of Dachang ore field

2 矿床地质

矿床位于广西南丹县车河镇大湾村,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(如逆掩断裂和小挠曲构造),其次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), 2 组方向的构造相互叠加导致该矿带上的矿化段具有等间距排列的典型特征。由于长期受挤压作用的影响, 丹池大背斜东翼产生一些与主背斜近似平行的北西向压(扭)性断裂、次级扰曲、深部的层间滑裂等有利的成矿构造环境^[18-20]。矿床的主要容矿地层为下泥盆统塘丁组灰黑色含钙质泥(页)岩夹薄层泥灰岩, 以及少量的粉砂质泥灰岩、粉砂岩及含砾泥(页)岩。矿床主要由 0 号、21 号和 22 号 3 个矿体所构成(图 2), 其中, 0 号矿体为陡倾斜脉状矿体, 受断层裂隙控制, 矿体切层展布, 矿体平均厚度为 2.07 m, 主要工业矿物包括锡石、磁黄铁矿、黄铁矿、毒砂以及铁闪锌矿等; 21 号和 22 号矿体为水平似层状矿体, 21 号矿体位于 22 号矿体的上部, 主要工业矿物由锡石、磁黄铁矿、黄铁矿、毒砂、铁闪锌矿等组成, 21 号矿体平均厚度为 2.38 m, 产状为 50° 8°~10°, 最高 Sn 含量达 2.80%, 22 号矿体平均厚度为 1.65 m, 最高含 Sn 6.16%。已有研究证实, 0 号、21 号和 22 号矿体以及地表的裂隙脉群等锡石硫化物矿体(脉)均受与主背斜近似平行的北西向次级构造所控制。



D_2^2 —中统罗富组含钙页岩夹中厚层泥灰岩; D_2^1 —中统纳标组含钙页岩夹中薄层泥灰岩、砂岩; D_1^3 —下统塘丁组隐条带含钙页岩夹泥灰岩; D_1^2 —下统益兰组泥灰岩夹泥质粉砂岩; D_1^1 —下统丹林群浅灰色、暗灰色石英砂岩、泥质粉砂岩

图 2 广西大福楼锡多金属矿床剖面图

Fig.2 Profile of Dafulou tin-polymetallic ore deposit, Guangxi

总体而言, 大福楼矿床深部赋存似层状细脉型矿体(如 21 号、22 号矿体), 上部产出裂隙大脉型和细脉型矿体(0 号矿体)。根据矿物成分、矿石的结构与构造, 矿区矿石大体可划分为浸染状矿石、致密块状矿石、细脉状矿石和角砾状矿石 4 种类型, 其中浸染状矿石和致密块状矿石是主要的矿石类型, 浸染状矿石主要由黄铁矿、磁黄铁矿等组成, 常表现为黄铁矿、磁黄

铁矿于围岩中呈浸染状分布。矿区围岩蚀变较发育, 包括硅化、碳酸盐化、绢云母化、黄铁矿化、磁黄铁矿化等。

3 样品描述

8 个样品均产自 22 号矿体新开采的地段, 样品新鲜, 均为硫化矿物, 包括方铅矿、黄铁矿、磁黄铁矿。Y11-3 样分析矿物为方铅矿, 采自于 12 号采场 1 号面; Y29-2-1 号样品来自于 818 面断层中的黄铁矿化矿体; Y03-1 号样品产自 8 号采场断层中, 分析矿物黄铁矿发育于石英脉中, 其间晶洞发育, 见有结晶良好的石英晶体; Y01-3 号样采于 6-1 号矿体, 其主要矿物为磁黄铁矿和锡石, 为粒状结构、块状构造; 样品 Y21-1 采自 6-1 号采场, 矿化发育于断裂破碎带中, 主要矿物成分为磁黄铁矿和锡石, 分析矿物为磁黄铁矿; Y30-2 分析矿物为磁黄铁矿, 为断层角砾岩; Y29-4 测试矿物为黄铁矿, 采自 818 号面, 矿石成分主要为黄铁矿, 呈块状构造; Y03-2 号样采自 8 号采场断层处, 矿石主要矿物为黄铁矿以及锡石, 矿化体发育于石英脉中。

4 分析方法及结果

铅同位素分析由国土资源部中南矿产资源监督检测中心(武汉地质矿产研究所)同位素地球化学研究室检测完成, 仪器设备为 MAT-262 多接受器的热电质谱仪, 以硅胶作为发射剂, 测定采用静态模式, 用标准样 SRM 981 控制质谱计中的质量分馏, 国际标样 NBS—981 的测定值为 $w(^{206}\text{Pb})/w(^{204}\text{Pb})=16.937$, $w(^{207}\text{Pb})/w(^{204}\text{Pb})=15.491$, $w(^{208}\text{Pb})/w(^{204}\text{Pb})=36.722$ 。

将矿石和岩石样品破碎后过筛, 在双目镜下挑选出新鲜岩石颗粒和单矿物, 单矿物纯度 > 98%。硫化物样品用 0.15 mol/L HCl 和高纯水清洗, 然后在玛瑙研钵中研磨到 74 μm 以下。样品在聚四氟乙烯 PFA 管形瓶中分解, 硫化物样品用 HCl+HNO₃ 分解, 分解完全后蒸发到近干燥并转化为 0.15 mol/L HCl+0.65 mol/L HBr 介质。在阴离子 Bio-RadAG 1 \times 8 交换柱上分离, 用 1.0 mol/L HNO₃ 淋洗 Pb, 然后将溶液加热至干燥。闪锌矿样品在淋洗 Pb 前先用大量 0.15 mol/L HBr 溶液淋洗 Zn, 所有试剂都经过 2 次双瓶亚沸蒸馏, 具体分析结果见表 1。

表 1 广西大福楼锡多金属矿铅同位素组成

Table 1 Lead isotope composition of the Dafulou tin-polymetallic ore deposit, Guangxi

样品 编号	样品 名称	同位素比值			表面年龄/ Ma	特征参数		
		$w(^{206}\text{Pb})/w(^{204}\text{Pb})$	$w(^{207}\text{Pb})/w(^{204}\text{Pb})$	$w(^{208}\text{Pb})/w(^{204}\text{Pb})$		Φ	μ	$w(\text{Th})/w(\text{U})$
Y11-3	方铅矿	18.431±0.016	15.717±0.010	38.839±0.040	295	0.594	9.69	3.91
Y29-2-1	黄铁矿	18.369±0.003	15.667±0.002	38.678±0.006	279	0.593	9.60	3.87
Y03-1	黄铁矿	17.478±0.006	15.510±0.005	37.849±0.017	729	0.638	9.41	3.97
Y01-3	磁黄铁矿	18.269±0.011	15.647±0.008	38.515±0.026	326	0.597	9.57	3.85
Y21-1	磁黄铁矿	17.566±0.008	15.468±0.007	37.687±0.015	619	0.626	9.31	3.84
Y30-2	磁黄铁矿	17.517±0.007	15.440±0.006	37.556±0.016	623	0.627	9.26	3.80
Y29-4	黄铁矿	18.304±0.001	15.624±0.001	38.505±0.002	274	0.592	9.52	3.82
Y03-2	黄铁矿	18.044±0.007	15.525±0.006	38.026±0.014	341	0.599	9.36	3.74

注： $\mu=w(^{238}\text{U})/w(^{204}\text{Pb})$ ； Φ 为初始等时线斜率。

从表 1 可以看出： $w(^{206}\text{Pb})/w(^{204}\text{Pb})$ 介于 17.478~18.431 之间，平均为 17.991，极差为 0.953； $w(^{207}\text{Pb})/w(^{204}\text{Pb})$ 相对较高，变化范围为 15.440~15.717，均值为 15.582，极差值为 0.277； $w(^{208}\text{Pb})/w(^{204}\text{Pb})$ 也较高，介于 37.556~38.839 之间，均值为 38.233，极差值为 1.283； Φ 变化范围为 0.592~0.638 之间； μ 范围为 9.26~9.69 之间； $w(\text{Th})/w(\text{U})$ 于 3.74~3.97 之间变化。

由图 3 可知： $w(^{206}\text{Pb})/w(^{204}\text{Pb})$ 变化范围较大且比较分散，投影点集中在 17.4~17.6 以及 18.2~18.4 这 2 个区域； $w(^{206}\text{Pb})/w(^{204}\text{Pb})-w(^{207}\text{Pb})/w(^{204}\text{Pb})$ 投影点也同样较分散，具有一定的线性分布特征。

5 讨论

不同类型不同产状矿体中铅同位素组成相近，说明它们具有相同的来源或演化历史。Zartman 等^[21]在研究世界上各类矿床大量铅同位素数据的基础上，提出把铅同位素与地质环境和时间联系起来的构造模式，根据同位素比值投影点的分布特征及与不同地质单元平均演化曲线的关系判断成矿物质的来源。Zartman 构造模式图^[2]是使用最普遍的矿石铅同位素示踪图解法。自 20 世纪 90 年代以来，我国许多学者主张并积极采用矿石、岩浆岩、地层铅同位素全方位对比的方法来研究矿石铅来源。一个矿床的矿质来源并非仅来自地球的某个圈层，需要把矿质来源定位到某个具体的岩体和层位，这样才具有实际意义。尽管 Zartman 铅构造模式是比较粗略的平均演化值，具有一定的局限性，但仍可作为对比的基础，并可加深对

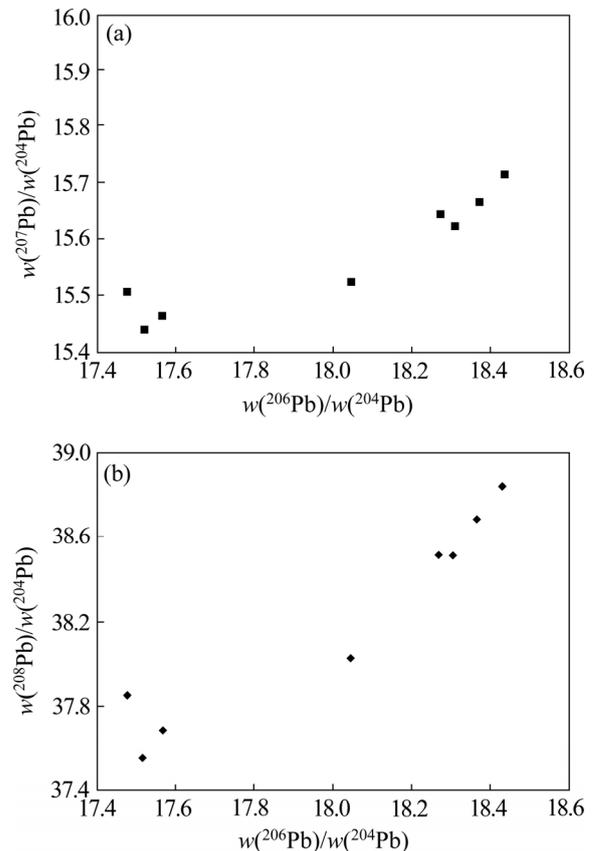
(a) $w(^{206}\text{Pb})/w(^{204}\text{Pb})-w(^{207}\text{Pb})/w(^{204}\text{Pb})$;(b) $w(^{206}\text{Pb})/w(^{204}\text{Pb})-w(^{208}\text{Pb})/w(^{204}\text{Pb})$

图 3 广西大福楼锡矿铅同位素组成图

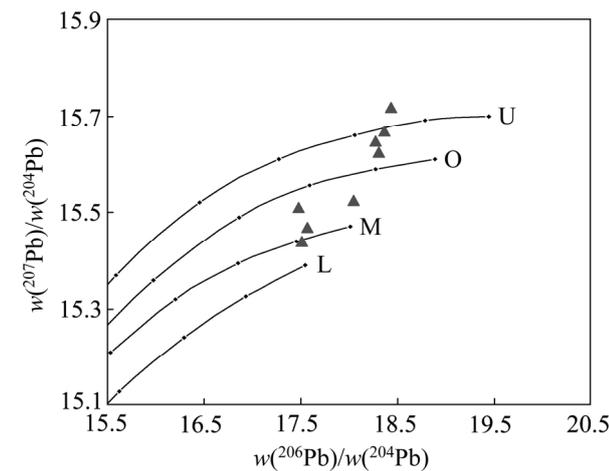
Fig.3 Lead isotope composition of Dafulou tin-polymetallic ore deposit, Guangxi

研究实例的铅同位素组成特征、矿石和岩石物质来源以及成因的认识，因此，依然是目前矿床成因研究中

判断铅源的常用方法之一。

叶绪孙等^[10]对大厂矿田铅同位素进行了测定, $w(^{206}\text{Pb})/w(^{204}\text{Pb})$ 于 18.3~18.7 之间变化, $w(^{207}\text{Pb})/w(^{204}\text{Pb})$ 于 15.55~15.67 之间变化, $w(^{208}\text{Pb})/w(^{204}\text{Pb})$ 于 38.38~38.29 之间变化, 认为铅源既有地层的, 也有岩浆的, 相当部分铅是与岩浆混合程度较高的地层铅。

根据 Zartman 的铅构造模式^[21], 将铅同位素分别按 $w(^{207}\text{Pb})/w(^{204}\text{Pb})-w(^{206}\text{Pb})/w(^{204}\text{Pb})$ 和 $w(^{208}\text{Pb})/w(^{204}\text{Pb})-w(^{206}\text{Pb})/w(^{204}\text{Pb})$ 进行投影。在 $w(^{206}\text{Pb})/w(^{204}\text{Pb})-w(^{207}\text{Pb})/w(^{204}\text{Pb})$ 图解中(图 4), 大福楼锡矿床金属硫化物铅同位素数据聚为 2 个区域, 部分数值投影于上地幔与造山带演化线之间; 其他数值位于造山带与上地壳演化线之间, 在其他区间几乎没有分布, 表明矿石铅既有地幔来源也包含上地壳成分或来自于上地壳, 暗示矿床的矿石铅并非全部由花岗岩浆所提供, 矿床的铅来源可能并不是单一的, 反映了矿石铅的壳幔混合来源特点。在铅同位素 $w(^{206}\text{Pb})/w(^{204}\text{Pb})-w(^{208}\text{Pb})/w(^{204}\text{Pb})$ 增长曲线模式图上(图 5)^[21], 投影点具有相对集中分布的特点, 铅同位素组成主要位于造山带与下地壳演化线之间, 即造山带演化线的上方, 反映了矿石铅的壳源性质, 即地壳也是成矿物质的主要来源之一, 该区锡多金属矿床成矿物质铅具有多来源特点。与铜坑—长坡锡石硫化物矿床一样同是壳—幔共同作用的产物^[22], 铅的来源主要为与岩浆作用有关的壳源铅, 但也有上地壳及壳幔混合来源的铅参与^[13]。



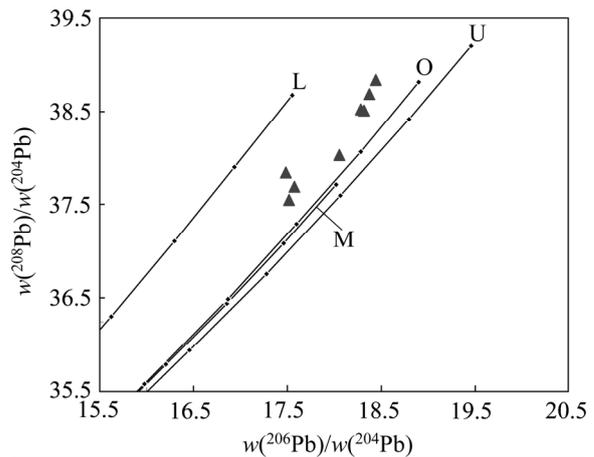
M—上地幔铅; L—下地壳铅; O—造山带铅; U—上地壳铅 (据 Zartman 等^[21], 1981)

图 4 大福楼矿床金属硫化物

$w(^{206}\text{Pb})/w(^{204}\text{Pb})-w(^{207}\text{Pb})/w(^{204}\text{Pb})$ 图解

Fig.4 $w(^{206}\text{Pb})/w(^{204}\text{Pb})-w(^{207}\text{Pb})/w(^{204}\text{Pb})$ diagram of metal sulfides in Dafulou ore deposit

据 Doe 等^[23]研究的铅同位素构造环境判别图, 将铅同位素组成分别以 $w(^{206}\text{Pb})/w(^{204}\text{Pb})-w(^{207}\text{Pb})/w(^{204}\text{Pb})$ 和 $w(^{206}\text{Pb})/w(^{204}\text{Pb})-w(^{208}\text{Pb})/w(^{204}\text{Pb})$ 作图, 见图 6 和图 7。由图 6 可知: 6 个点落入下地壳区内, 另外 2 个投影点落入造山带区内。从图 7 可以看出, 3 个投影点落入下地壳区域, 另有 5 个投影点落入造山带区域。以上结果表明: 大福楼锡多金属矿床形成于造山带构造环境中, 地壳为成矿提供了主要物质来源。

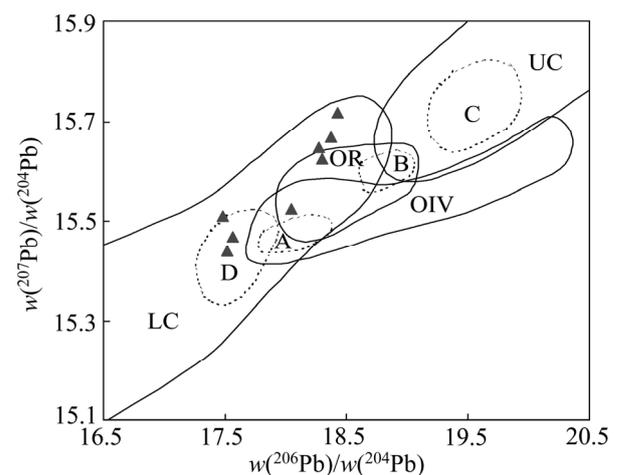


M—上地幔铅; L—下地壳铅; O—造山带铅; U—上地壳铅 (据 Zartman 等^[21], 1981)

图 5 大福楼矿床金属硫化物

$w(^{206}\text{Pb})/w(^{204}\text{Pb})-w(^{208}\text{Pb})/w(^{204}\text{Pb})$ 图解

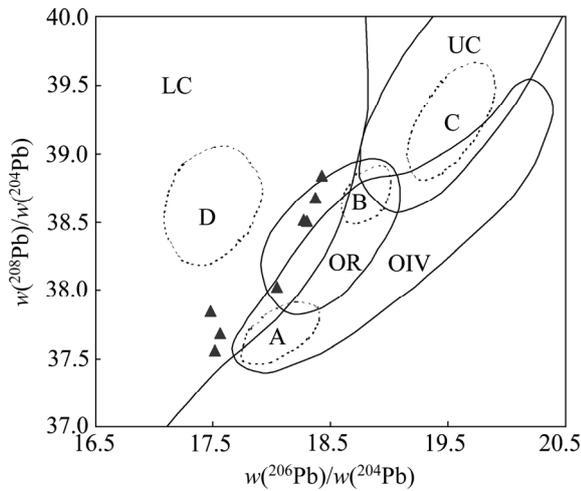
Fig.5 $w(^{206}\text{Pb})/w(^{204}\text{Pb})-w(^{208}\text{Pb})/w(^{204}\text{Pb})$ diagram of metal sulfides in Dafulou ore deposit



LC—下地壳; UC—上地壳; OR—造山带; OIV—洋岛火山岩 (据 Doe 等^[23], 1979)

图 6 铅同位素 $w(^{206}\text{Pb})/w(^{204}\text{Pb})-w(^{207}\text{Pb})/w(^{204}\text{Pb})$ 构造环境判别图

Fig.6 $w(^{206}\text{Pb})/w(^{204}\text{Pb})-w(^{207}\text{Pb})/w(^{204}\text{Pb})$ diagram for discriminating tectonic settings



LC—下地壳；UC—上地壳；OR—造山带；
OIV—洋岛火山岩 (据 Doe 等^[23]，1979)

图 7 铅同位素 $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ – $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 构造环境判别图

Fig.7 $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ – $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ diagram for discriminating tectonic settings

6 结论

(1) 广西大福楼锡多金属矿床矿石铅具有多来源特征，既有地幔来源也包含上地壳成分或来源于上地壳，在成矿过程中上地壳是成矿物质的主要源区，为成矿提供了部分铅源。

(2) 矿床的矿石铅并非全部由花岗岩浆所提供，该种类型矿床的铅来源并不是单一的，矿石铅具有壳幔混合来源的特点。

(3) 矿床成矿作用与造山构造事件有关，大福楼锡多金属矿床主要形成于造山带构造环境中。

参考文献：

[1] Fu M, Changkakoti A, Krouse H R, et al. An oxygen, hydrogen, sulfur, and carbon isotope study of carbonate-replacement (skarn) tin deposit of the Dachang tin field, China[J]. *Economic Geology*, 1991, 86: 1683–1703.

[2] 韩发, 赵汝松, 沈建忠, 等. 大厂锡多金属矿床地质及成因[M]. 北京: 地质出版社, 1997: 142–155.

HAN Fa, ZHAO Ru-song, SHEN Jian-zhong, et al. *Geology and origin of ores in the Dachang tin-polymetallic ore field*[M]. Beijing: Geological Publishing House, 1997: 142–155.

[3] 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.

[4] 赵财胜. 广西大厂锡矿成因研究综述[J]. *世界地质*, 2000, 19(3): 224–229.

ZHAO Cai-sheng. A review about the genetic study of the Guangxi Dachang tin deposit[J]. *World Geology*, 2000, 19(3): 224–229.

[5] 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.

[6] Wang D H, Chen Y C, 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.

[7] 郑永飞, 陈江峰. 稳定同位素地球化学[M]. 北京: 科学出版社, 2000: 21–68.

ZHENG Yong-fei, CHEN Jiang-feng. *Stable isotope geochemistry*[M]. Beijing: Science Press, 2000: 21–68.

[8] 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.

[9] 韩发, 哈钦森 R W. 大厂锡矿床成因综合分析及成矿模式[J]. *中国地质科学院院报*, 1991, 22: 61 - 80.

HAN Fa, Hutchinson R W. Synthetic studies on the origin of the Dachang tin-polymetallic deposits and their metallogenetic model[J]. *Bulletin of the Chinese Academy of Geological Sciences*, 1991, 22: 61–80.

[10] 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: 169–173.

YE Xu-sun, YAN Yun-xiu, HE Hai-zhou. The metallogenetic condition of Dachang super large tin deposit in Guangxi[M]. Beijing: Metallurgical Industry Press, 1996: 169–173.

[11] 何海洲, 叶绪孙. 广西大厂矿田矿质来源研究[J]. *广西地质*, 1996, 9(4): 33–41.

HE Hai-zhou, YE Xu-sun. Study on source of ore-forming materials in Dachang ore field, Guangxi[J]. *Guangxi Geology*, 1996, 9(4): 33–41.

[12] 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: 38–109.

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: 38–109.

[13] 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.
- [14] 蔡明海, 梁婷, 吴德成, 等. 广西大厂矿田花岗岩地球化学特征及其构造环境[J]. 地质科技情报, 2004, 23(2): 57-62.
- CAI Ming-hai, LIANG Ting, WU De-cheng, et al. Geochemical characteristics of granites and their tectonic setting of Dachang ore field in Guangxi[J]. Geological Science and Technology Information, 2004, 23(2): 57-62.
- [15] 范森葵, 黎修旦, 成永生, 等. 广西大厂矿区脉岩的地球化学特征及其构造和成矿意义[J]. 地质与勘探, 2010, 46(5): 828-835.
- FAN Sen-kui, LI Xiu-dan, CHENG Yong-sheng, et al. Geochemical features of vein rocks and their significance to structure and mineralization in the Dachang ore district, Guangxi province[J]. Geology and Exploration, 2010, 46(5): 828-835.
- [16] Cai M H, Mao J W, Liang T, 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.
- [17] 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.
- [18] Fan D, Zhang T, Ye J, 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.
- [19] 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.
- [20] 蔡明海, 梁婷, 吴德成, 等. 桂西北丹池成矿带花岗岩地球化学特征及其构造环境[J]. 大地构造与成矿学, 2004, 28(3): 306-313.
- CAI Ming-hai, LIANG Ting, WU De-cheng, et al. Geochemical characteristics of granites and its structural genetic environment in the Nandan-hechi metallogenic belt, northwest Guangxi[J]. Geotectonica et Metallogenia, 2004, 28(3): 306-313.
- [21] Zartman R E, Doe B R. Plumbotectonics-The model[J]. Tectonophysics, 1981, 75: 135-162.
- [22] 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.
- [23] Doe B R, Zartman R E. Plumbotectonics: The phanerozoic[C]//Barnes H L. Geochemistry of Hydrothermal Ore Deposits. New York: Wiley Inter Science, 1979: 22-70.

(编辑 赵俊)