

# 江西彭山锡多金属矿田地质地球化学特征研究

卢树东<sup>1</sup> 高文亮<sup>2</sup> 汪石林<sup>2</sup> 肖 镔<sup>2</sup> 许建华<sup>2</sup>

(1. 教育部“岩石圈构造、深部过程及探测技术”重点实验室, 中国地质大学, 北京 100083;  
2. 江西地质矿产勘察局 916 地质勘察院, 江西 九江 332100)

**摘要:**彭山锡多金属矿田位于长江中下游的九瑞地区,是近年来发现的一个以富锡、铅、锌矿产为主的大型矿田。以黑云母二长花岗岩与二云母碱长花岗岩组成的彭山隐伏岩体为中心,各类金属矿床呈“晕圈式”分布。矿床的形成分为 2 个成矿期共 7 个阶段。通过对彭山岩体、典型矿床及围岩中的硫同位素、铅同位素、包裹体及稀土资料进行分析,反映出燕山晚期钙碱性花岗岩体的侵位与多金属矿床的形成有着密切的联系,岩浆活动为本区提供了大量的成矿物质。

**关键词:**锡多金属矿田;硫同位素;铅同位素;包裹体;江西彭山

**中图分类号:**P618.4 **文献标识码:**A **文章编号:**1000-3657(2005)03-0463-08

江西彭山多金属矿田是一个以锡、铅、锌、萤石等矿产为主的大型矿田,位于江西德安县境内,也是赣北地区重要的大型矿产基地,区内萤石矿的开采已有半个世纪之久,是当地经济发展的重要支柱。从上世纪 80 年代中期开始,地质部门就在该区开展了针对有色金属的专题找矿工作<sup>①</sup>,并获得了一些成果,对该区的成矿背景、控矿因素、成矿模式等都进行了不同程度的研究<sup>[1-3]</sup>。从本世纪初开始,随着国土资源大调查项目<sup>②</sup>的相继展开,对该区的资源调查评价工作进入了一个新的阶段,在彭山岩体四周陆续发现了一批新的大中型矿床,其中仅在黄金洼锡矿区、坡西锡矿区、葛洪山铅锌矿区、周家尖铊硫矿区,共探明储量:锡 11.16 万 t,铅、锌 46.24 万 t。最近,又在矿田东部发现了张十八大型富铅锌矿床,多方证据表明,彭山地区有着巨大的找矿潜力。

## 1 矿田地质概况

矿田地处长江中下游的九瑞地区,大地构造位置处于扬子板块与华南板块交接地带之中生代“江南碰撞剪切混杂岩带”的北部边缘,偏扬子板块一侧,地理上位于江西省北部幕阜山东端支脉的彭山地区(图 1)。

区内地层分布有基底的前震旦系浅变质岩,盖层主要为震旦纪至中三叠世以陆表海及泻湖、潮坪相碳酸盐岩沉积组成,缺失了晚三叠—早侏罗世地层。白垩纪及新近—古近纪陆相红层不整合于下伏地层之上。前震旦系浅变质岩中 7 件细碧岩样品的 Rb-Sr 等时线年龄为 $(1515 \pm 241)$  Ma,样品间的相关性很好,是江西省有关前震旦系研究中较系统、较为可靠且最老的一条等时线年龄<sup>[4]</sup>。

彭山矿田内主要构造有 3 类,一是分布于周边的 NEE 向褶断带,为印支期产物,如彭山南部易家垅—梓坊—白果桥及槽渔洞—永丰—乌石门一带的推覆断裂带,沿断裂带两侧有煌斑岩脉侵入,并伴有铋金矿化。二是区内构造主体即彭山底辟穹隆构造,为燕山晚期产物,主要由 4 个部分组成:穹状褶皱,环弧形的层间重力滑动断裂,放射状断裂和高挥发份花岗岩体。第三部分是发育于矿田东侧的 NNE 向断裂带,切断了彭山穹隆的东半部,其中有花岗斑岩。

矿田内的岩浆活动以燕山晚期岩浆活动为主,岩体侵入于震旦系至寒武系之中,主体为先后侵位的二云母碱长花岗岩、黑云母二长花岗岩及少量的白岗岩脉,岩体的化学成分表明其属于钙碱性花岗岩体<sup>[5]</sup>,稀土分布属于轻稀土富集型,稀土元素球

收稿日期:2004-05-14;改回日期:2004-11-28

基金项目:中国地质调查局地质大调查项目(0499136096)资助。

作者简介:卢树东,男,1973,硕士,工程师,从事矿床学、矿物学和岩石学研究;E-mail:lusd2001@163.com。

① 周开郎,刘瑛,马长信,等. 江西德安曾家垅锡矿,1996.

② 江西地质调查院. 江西德安彭山地区锡铅锌评价,2001.

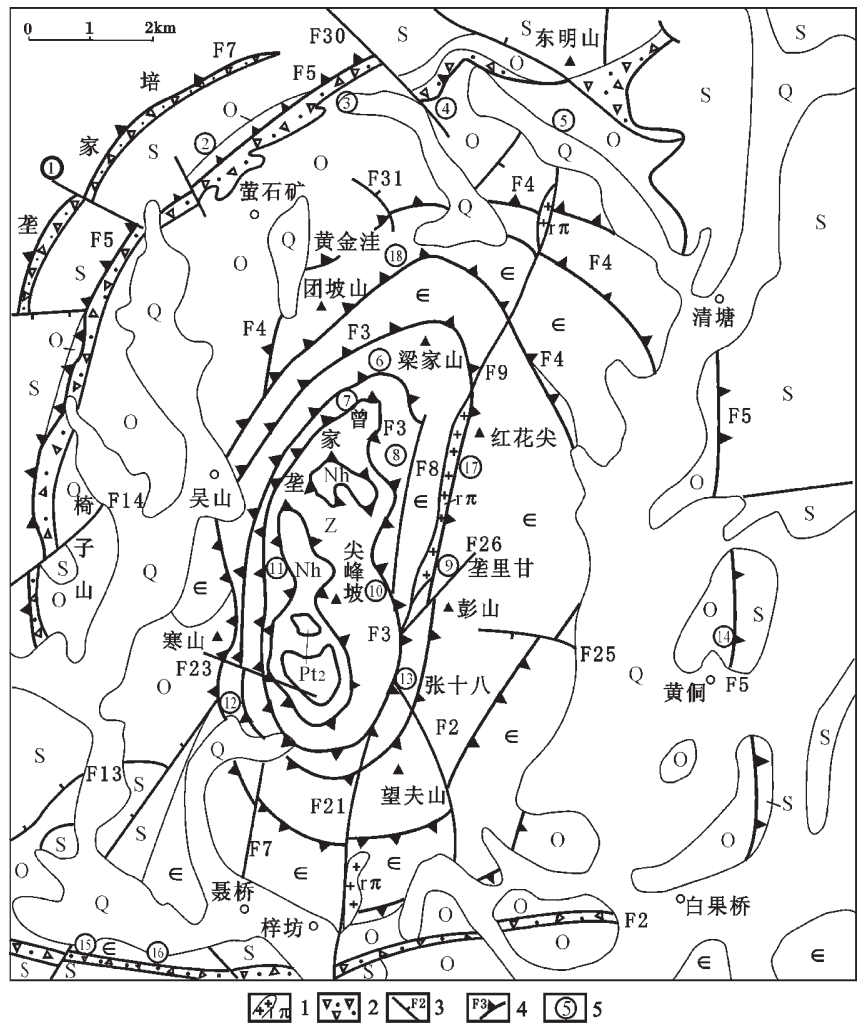


图 1 彭山地质构造矿产分布略图

Q—第四系;S—志留系;O—奥陶系;ε—寒武系;Z—震旦系;Nh—南华系;Pt<sub>2</sub>—中元古界;  
1—花岗岩斑岩;2—滑动破碎带;3—断层及编号;4—层间重力滑动断层及编号;5—矿产地编号

Fig. 1 Map showing the geological structure and distribution of mineral resources in Pengshan

Q—Quaternary; S—Silurian; O—Ordovician; ε—Cambrian; Z—Sinian; Nh—Nanhua System; Pt<sub>2</sub>—Mesoproterozoic;

1—Granite-porphyry; 2—Sliding fractured zone; 3—Fault and its number; 4—Detachment fault and its number; 5—Deposit and its number

粒陨石标准化模式具有强烈铕亏损,是典型的陆壳重熔型花岗岩。岩体形成年代 116~127Ma(K-Ar 法与 Rb-Sr 法)。

2 矿床基本地质特征

岩体的侵入伴随着广泛的矿化作用,从平面上看,以穹隆为中心,矿床主要呈“晕圈式”分布,一般赋存于滑脱断层之间,多形成层控矿床,大多数矿体呈顺层分布于震旦系、寒武系、奥陶系等各有利成矿层位的岩石中。矿床形态总体较简单,以层状、似层状为主,某些小矿体呈透镜状。矿床类型主要有夕卡岩型矿床、云英岩型矿床及细脉状锡石石英脉型矿床。

2.1 矿体特征

彭山锡多金属矿田中大多数矿体均为环绕隐伏花岗岩体的外接触带分布,由于蚀变矿化作用均以顺层间裂隙带及有利岩进行渗滤交代,因此大多数的矿体均顺层分布于各有利层位的矿石之间,少数分布在后期叠加改造的断裂破碎带内。其中锡硫化物夕卡岩型矿体与地层中的碳酸盐夹层有关,而锡石石英细脉型矿体则分布于层面裂隙发育化学性质较稳定的硅铝质岩层中。从平面上看,整个矿田内各类矿床的分布,明显受到了穹隆构造的制约,在内侧以代表高温成矿的毒砂矿、锡矿为主,中间地带则主要为中温的锡、铅、锌

表 1 彭山锡多金属矿田成矿期次及主要矿物生成序列

Table 1 Mineralization stages and genetic sequence of dominant minerals in the Pengshan Sn Polymetallic orefield

| 成矿期  | 岩 浆 气 成 热 液 期 |               |              |               |                  | 表生期                |          |
|------|---------------|---------------|--------------|---------------|------------------|--------------------|----------|
| 成矿阶段 | 云 英<br>岩阶段    | 早 期 夕<br>卡岩阶段 | 萤石-硅酸盐<br>阶段 | 晚 期 夕<br>卡岩阶段 | 石 英-锡 石<br>硫化物阶段 | 碳 酸 盐<br>( 萤石 ) 阶段 | 表生<br>阶段 |
| 石 英  | _____         | _____         | _____        | _____         | _____            | _____              |          |
| 白云母  | _____         |               |              |               |                  |                    |          |
| 锡 石  | _____         | _____         | _____        | _____         | _____            |                    |          |
| 萤 石  | _____         |               | _____        |               |                  | _____              |          |
| 石榴子石 |               | _____         |              |               |                  |                    |          |
| 透辉石  |               | _____         |              |               |                  |                    |          |
| 马来亚石 |               |               | _____        |               |                  |                    |          |
| 毒 砂  | _____         |               |              | _____         | _____            |                    |          |
| 闪锌矿  |               |               |              |               | _____            |                    |          |
| 黄铜矿  |               |               |              |               | _____            |                    |          |
| 方铅矿  |               |               |              |               | _____            |                    |          |
| 磁铁矿  |               |               | _____        | _____         | _____            |                    |          |
| 黄锡矿  |               |               |              |               | _____            |                    |          |
| 方解石  |               |               |              |               |                  | _____              |          |
| 褐铁矿  |               |               |              |               |                  |                    | _____    |

矿床,外侧分布以铅锌、萤石、重晶石为主的低温矿带,空间的变化反映出温度区间的变化,同时也对应着赋集矿种的差别,这也是岩浆分异过程的一个反映<sup>[6]</sup>。

2.2 矿石特征

2.2.1 矿石结构构造

矿石的结构,以半自形—自形粒状结构、包含结构、充填交代结构及交代残余结构、固溶体分离结构等为主。矿石的构造则以浸染状、块状、条带状、角砾状、胶状、多孔状、土状构造为主。

2.2.2 矿石矿物组成

矿区原生矿石主要为锡石—硫化物夕卡岩型矿石。矿床虽受到了动力作用及表生作用的改造,但作用甚微,没有破坏矿体而形成新的矿石类型,故矿石的主要成因类型为岩浆期后热液交代型内生矿石。依矿物组合的特点,矿石自然类型首先被划分为云英岩型和锡石—硫化物夕卡岩型两大类。然后再按矿石矿物特征及其结构构造特点,进一步划分为 7 类:即锡石—云英岩矿石、锡石—磁铁矿矿石、锡石—穆磁铁矿矿石、锡石—黄铁矿矿石、锡石—闪锌矿矿石和闪锌矿矿石等。

矿石中的矿物组成主要为锡石、闪锌矿、方铅矿、黄铁矿、磁铁矿、穆磁铁矿、磁黄铁矿、毒砂、黄铜矿、砷黝铜矿、马来亚石、黄锡矿及一些含铋、含银矿物,脉石矿物主要有石榴子石、透辉石、透闪石、阳起石、符山石、萤石、方解石、白云石等。

2.2.3 矿石化学成分

矿石化学成分比较复杂,常见元素 20 余种,依其含量变化范围,分成以下 4 个含量级。

- 1)>1%的有:Si、Mg、Fe、Al、Ca、K、F、S、Sn、Zn、Pb;
- 2)0.n~1%的有:Cu、As、Na;
- 3)0.0n~0.n%的有:Mn、Pb、Li、P、W、Bi;
- 4)<0.0n%的有:Be、Rb、Nb、Ta、Ga、In、Cd、Te、Tl、Ag、Au 等。

各主矿体矿石的化学成分分析表明,主要有益组分是

Sn、Pb、Zn,伴生有益组分为 Zn、S、As、Cu、Ag、Bi、Fe 和 Ga、In、Cd、Te 等稀散元素,有害杂质为 As、Pb。矿化具有连续性,但矿化分布不均匀,表现为各组分在各矿带中均有分布。但同时各组分在矿体中局部表现富集,构成独立的工业矿体或局部富集地段,表现出矿化的不均匀性。矿化分布具有叠加性,Sn 的富集地段,也常常是 Cu、As、Zn 等元素的集中分布区,元素分布曲线表现其间具有明显的正相关,从工业上圈出的铜锌矿体、锡砷矿体、锡锌矿体来看,也表现出矿化在空间上的叠加性。

2.3 围岩蚀变

彭山锡矿田中有多种蚀变矿化类型,成矿作用中气化高温热液作用发育,总体可将矿田内的蚀变作用分作两大蚀变序列,即云英岩序列及夕卡岩序列。在隐伏花岗岩内发育有钾长石化、钠长石化、白云母化、云英岩化、绢云母—水云母—高岭石化,在接触带附近发育夕卡岩化、硅化、绿泥石化、绢云母化、碳酸盐化、纤闪石化等。

蚀变的空间分布特征,主要存在 3 种类型的蚀变分带,第一种是垂直方向上的层型蚀变分带;第二种是水平方向上大范围的晕圈式面型蚀变分带;第三种是呈狭长带状的线型蚀变分带,前两种是同一蚀变作用在垂直方向及水平上的不同表现形式,总体分布在矿田的北部及中部,范围与彭山底辟穹隆构造相吻合。后一种基本分布于彭山穹隆构造以南 NEE 向褶皱断裂内,仅在烂泥坊至红花尖一线呈一个 NNE 向的狭窄分支叠加在前一种蚀变晕圈之上,在一定程度上破坏了面型蚀变晕圈的完整性。

2.4 成矿期次的划分

彭山地区锡金属矿床的形成,经历了一个漫长的地质作用过程,按照成矿作用的不同和成矿时间的先后,将矿床的成矿作用划分成 2 个成矿期即岩浆气成热液期(内生期)和表生期(表 1)。据矿区矿物共生组合、矿物交代关系和脉状穿插关系、矿石结构构造等诸方面的观察,将彭山地区锡多金

属矿田的成矿作用划分为两个主要的期次及相应的 7 个成矿阶段, 其中在表生期, 由于矿体受地表营力的作用强度不大, 因而外生成矿期的意义较小。

3 矿床地球化学特征

3.1 同位素地球化学特征

3.1.1 岩体的铷锶同位素特征

江西地矿局 916 大队曾对彭山岩体中二云母碱长花岗岩和黑云母二长花岗岩采取了两组共 15 件全岩 Rb—Sr 等时线法年龄分析样品,测得 <sup>87</sup>Sr/<sup>86</sup>Sr 初始值为 0.7206 及 0.7179, 与中国几个锡矿区(个旧、大厂)含锡花岗岩中的 <sup>87</sup>Sr/<sup>86</sup>Sr 比值十分接近(表 2), 它们都大于“1”型或钛铁矿系列的锶初始值, 比较的结果显示彭山隐伏花岗岩具备了提供大规模成矿物质来源的条件, 与矿田内众多的锡铅锌矿床具有成因上的联系。

3.1.2 硫同位素

通过在不同矿区、不同矿石类型、花岗岩体及围岩中采集了 9 个硫同位素测试样, 并结合前人做的 22 个测试样结果进行分析(表 3)。除个别点外, 均具有下列特征:

1) 各矿床中硫化物的硫同位素绝大多数均以较高正值出现。 $\delta^{34}\text{S}$  变化在 7.6‰~28.7‰, 普遍正向偏离零值, 总体具有富集重硫的特征(图 2)。其中一组(两个样)属地层中受成矿热液影响较小的沉积型黄铁矿结核的硫同位素,  $\delta^{34}\text{S}$  高达 22.8‰及 28.7‰, 这一组硫很明显主要是富集了地壳中的重硫, 很可能与双桥山群中的某些沉积型富硫岩源层有关。另一组则是与各类蚀变矿化作用有关的矿物中的硫同位素, 基本上反映了矿田内成矿气热液体系中的同位素构成特点。 $\delta^{34}\text{S}$  为 7.6‰~11.6‰, 算术平均值 9.7‰, 其中曾家垄 8‰~

11.6‰, 尖峰坡 8.2‰~11.6‰, 红花尖 7.9‰, 张十八 7.6‰~8.5‰, 葛洪矿区 9.09‰~19.91‰, 黄金洼 8.75‰~11.95‰, 周家尖 10.68‰~11.04‰。总体上看, 除葛洪矿区极差值稍大于 10‰, 其他均小于 10‰, 说明矿石中硫来源的均一性, 显示其成矿作用基本受到了单一因素, 如岩浆及期后热液的影响, 相对受其他成矿作用影响较小, 表明它们具有极相似的形成条件及相同硫源。矿石中的硫同位素变化与彭山隐伏花岗岩体内部云英岩中黄铁矿的  $\delta^{34}\text{S}$  (10.2‰) 相对比, 也基本一致, 反映了矿石与岩石中硫源具有同源的特征。

2) 由于在成矿作用进行过程中, 液相与固相之间因物化性质的变化而发生了同位素的分馏, 即热液中溶解含硫原子团之间存在硫同位素的分馏现象<sup>[4]</sup>, 那么, 所采样品中的硫同位素组成能否真正代表成矿时的热液状态呢? Ohmoto 指出<sup>[8]</sup>, 矿物的  $\delta^{34}\text{S}$  值是总硫同位素组成、氧逸度、Ph、离子强度和温度的函数, 即  $\delta^{34}\text{S}=f(\delta^{34}\text{S}\Sigma\text{S}, f_{\text{O}_2}, \text{Ph}, I, T)$ , 从而造成矿石硫化物的  $\delta^{34}\text{S}$  值并不等于热液总硫的  $\delta^{34}\text{S}$  值, 但是根据大本定量计算的典型热液成矿条件下形成的硫化物矿物硫同位素组成的相图资料, 当成矿溶液的氧逸度较低时 ( $10^{-38}$ ~ $10^{-40}$ ), 其主要成矿阶段的矿物质组成为黄铁矿、磁黄铁矿、闪锌矿时, 表明成矿流体是处于还原环境, 可近似看作  $\delta^{34}\text{S}_{\text{Py}}=\delta^{34}\text{S}\Sigma\text{S}$ , 并结合彭山锡矿床矿物共生组合特征及成矿的物理化学条件, 以及硫同位素在不同硫化物中的平均变化值, 可以认为形成矿床的成矿热液体系的总硫同位素组成与所测金属硫化物的硫同位素组成相当, 是热液中硫同位素的分馏达到了平衡状态的产物。

3) 从  $\delta^{34}\text{S}$  的分布规律来看, 具有典型的塔式分布规律(图 3), 塔基小, 而塔峰突起, 表明成矿作用受单一因素影响,

表 2 彭山花岗岩与部分含锡花岗岩 <sup>87</sup>Sr/<sup>86</sup>Sr 初始值对比  
Table 2 Comparison of the initial <sup>87</sup>Sr/<sup>86</sup>Sr values between the Pengshan granite and some stanniferous granites

| 矿 区  | 岩石名称     | <sup>87</sup> Sr/ <sup>86</sup> Sr 初始值 | 资料来源                    |
|------|----------|----------------------------------------|-------------------------|
| 彭山矿田 | 二云母碱长花岗岩 | 0.7206                                 | 宜昌地质矿产研究所<br>内部资料, 1986 |
|      | 黑云母二长花岗岩 | 0.7179                                 |                         |
|      | 二云母碱长花岗岩 | 0.7324                                 | 王联魁等 <sup>[12]</sup>    |
| 个 旧  | 花 岗 岩    | 0.7104 ~ 0.7162                        | 伍勤生等 <sup>[13]</sup>    |
| 大 厂  | 花 岗 岩    | 0.7159 ~ 0.7163                        | 徐文圻等, 1984              |

表 3 彭山锡多金属矿田硫同位素组成  
Table 3 Sulfur isotopic composition of the Pengshan Sn-polymetalls orefield

| 样号                             | Ts-1* | Ts-2*                | Ts-3*                | Ts-4*                | Ts-5*                | Ts-6* | Ts-7* | Ts-8* | Ts-9* | Yt11 | Yt12 |
|--------------------------------|-------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|-------|-------|-------|-------|------|------|
| 所测矿物                           | Sph   | Sph                  | Jam                  | Sph                  | Sph                  | Sph   | Sph   | Py    | Sph   | Py   | Py   |
| $\delta^{34}\text{S}/\text{‰}$ | 10.53 | 9.09                 | 10.76                | 8.75                 | 8.51                 | 11.04 | 19.91 | 10.68 | 11.95 | 10.1 | 8.0  |
| 样号                             | Yt13  | Yt14                 | Yt15                 | Yt16                 | Yt17                 | Yt22  | Yt23  | Yt24  | Yt25  | Es78 | Yt30 |
| 所测矿物                           | Py    | Py                   | Py                   | Py                   | Py                   | Py    | Py    | Sph   | Py    | Py   | Py   |
| $\delta^{34}\text{S}/\text{‰}$ | 10.2  | 8.2                  | 9.72                 | 8.5                  | 7.6                  | 10.9  | 28.7  | 9.6   | 22.8  | 10.3 | 9.9  |
| 样号                             | Yt33  | <sup>(89)</sup> Yt23 | <sup>(89)</sup> Yt24 | <sup>(89)</sup> Yt28 | <sup>(89)</sup> Yt30 | Es80  | Es131 | Es138 | Es148 |      |      |
| 所测矿物                           | Py    | Sph                  | Po                   | Sph                  | Py                   | Py    | Py    | Py    | Py    | Py   | Py   |
| $\delta^{34}\text{S}/\text{‰}$ | 9.7   | 11.6                 | 10.8                 | 10.6                 | 10.9                 | 8.9   | 8.1   | 7.9   | 11.6  |      |      |

注: 加 \* 号为本次工作所采集样品, 其余见文献[1]; Sph—闪锌矿; Py—黄铁矿; Po—磁黄铁矿; Jam—脆硫锑铅矿; 由中国科学院贵阳地球化学研究所分析。

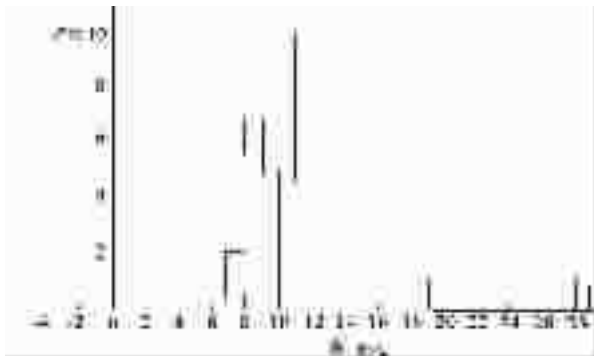


图 2 彭山矿田硫同位素塔式图

Fig.2 Tower diagram of the sulfur isotope in the Pengshan orefield

主要是岩浆及期后热液控制,而其他干扰因素则影响相对较小。整个矿田来看, $\delta^{34}\text{S}$  从岩体附近的接触带向外围慢慢呈降低的趋势,这种趋势与矿田的蚀变带分布大体相符合。

4) 硫同位素在空间分布上明显与矿田中含矿气液运移中硫同位素的分馏效应相关。由于岩浆在向外运移的过程中,岩浆的去气效应能够引起保留在熔体中物质的硫同位素组成发生一定的变化。由于轻硫的活动性较强于重硫,那么相对的迁移能力也较强,因此在热液活动的前峰显示出增高的趋势,而重硫则由于迁移能力稍差而相对滞留在气液活动带的后部,因此,从岩体中心到外围  $\delta^{34}\text{S}$  的不断下降既是热液体系中硫同位素不断调整平衡状态的过程,另一个侧面也反映了含矿热液与花岗岩体的密切联系。

综上所述,矿田内与蚀变矿化作用有关地质体中的硫可能直接来自“S”型的彭山隐伏岩体,而硫的中间来源则可能与双桥山群中的某些沉积型富硫岩源层有关,伴随着曾有过较强烈的硫同位素均一化过程,且岩浆结晶期后含矿气液又继承了重熔岩浆体系中硫同位素的组成特点,从而使本区的硫同位素组成表现出变化范围狭窄的特点(图 2)。

3.1.3 铅同位素

在本次工作中采集了葛洪山矿区中的脆硫锑铅矿及黄

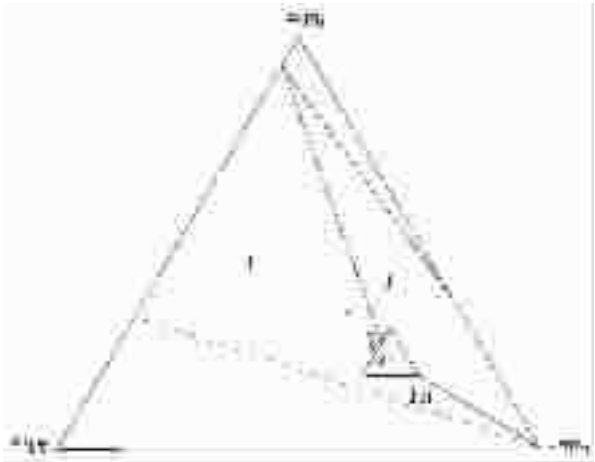


图 3 彭山铅同位素组成三角图解

C—正常铅区间;Th—钍铅;U—异常铀铅区;J—J 区间  
Fig.3 Triangle diagram of the lead isotopic composition of ores from the Pengshan Sn orefield  
C—Normal lead range;Th—Thorium-lead range;  
U—Abnormal uranium-lead range ;J—J range

铁矿,同时结合前人所采集的曾家垄锡矿中的黄铁矿、张十八矿区中的方铅矿以及彭山隐伏花岗岩体中的长石,对几种矿物中的铅同位素的测定结果(表 4)分析,发现它们的铅同位素特点具有一定的相似性,又存在明显的差异。

对比区内铅同位素与铁陨石铅同位素的组成,发现  $^{206}\text{Pb}$ 、 $^{207}\text{Pb}$  普遍高于铁陨石中的原始铅 5.27%~13.49%,具有明显富集放射性来源铅的特点。 $^{204}\text{Pb}$  明显低于铁陨石中的原始铅含量为 0.575%~0.902%,显示非放射性来源铅相对减少的趋势,而  $^{208}\text{Pb}$  也普遍低于铅含量 5.635%~15.266%,表明钍铅含量相对偏低。从 3 种铅同位素的比值来看,矿床中的铅同位素比略小于岩体中的同位素比值,反映出岩浆并非是唯一提供成矿来源,很可能是一种混源产物。

同时,对比本区铅同位素与海泥中现代铅同位素组成,表明张十八矿区方铅矿的铅同位素与现代铅同位素的组成

表 4 彭山锡多金属矿田铅同位素分析  
Table 4 Lead isotope study of the Pengshan Sn-polymetallic orefield

| 样 号   | 产 状      | 铅同位素/%            |                   |                   |                   | 同位素比值                             |                                   |                                   |                                                       |
|-------|----------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|-------------------------------------------------------|
|       |          | $^{204}\text{Pb}$ | $^{206}\text{Pb}$ | $^{207}\text{Pb}$ | $^{208}\text{Pb}$ | $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ | $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ | $^{208}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ | $^{208}\text{Pb}/(^{206}\text{Pb} + ^{207}\text{Pb})$ |
| TPb-1 | 葛洪脆硫锑铅矿  |                   |                   |                   |                   | 18.67                             | 15.85                             | 38.81                             | 1.12                                                  |
| TPb-2 | 葛洪黄铁矿    |                   |                   |                   |                   | 18.59                             | 15.87                             | 39.02                             | 1.13                                                  |
| Yt18  | 张十八铅锌矿床  | 1.411             | 24.14             | 21.80             | 52.65             | 17.110                            | 15.449                            | 37.33                             | 1.147                                                 |
| Yt19  | 张十八铅锌矿床  | 1.405             | 24.85             | 20.81             | 52.93             | 17.691                            | 14.809                            | 36.674                            | 1.159                                                 |
| Yt12  | 曾家垄锡石夕卡岩 | 1.295             | 27.25             | 21.84             | 49.61             | 21.046                            | 16.808                            | 38.306                            | 1.010                                                 |
| Yt20  | 二云母碱长花岗岩 | 1.309             | 27.11             | 20.85             | 50.72             | 20.717                            | 15.930                            | 38.746                            | 1.057                                                 |
| Yt21  | 黑云母二长花岗岩 | 1.084             | 32.36             | 23.25             | 43.30             | 29.852                            | 21.450                            | 39.948                            | 0.779                                                 |
| 地 球   | 铁陨石      | 1.986             | 18.87             | 20.57             | 58.57             | 9.50                              | 10.36                             | 29.49                             |                                                       |
| 太平洋   | 海 泥      | 1.342             | 25.04             | 21.19             | 52.42             | 18.66                             | 15.79                             | 39.06                             |                                                       |

注:TPb-1、TPb-2 为本次工作所采样品,其他来自文献[1]。

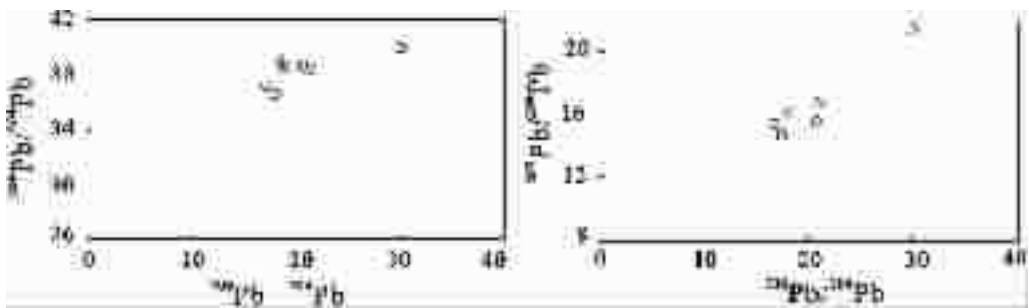


图 4 彭山锡多金属矿田铅同位素投影

Fig.4 Plot of the lead isotopic composition of ores from the Pengshan Sn-polymetallic orefield

相近,而曾家垄矿区的黄铁矿及长石中的铅同位素与其差异较明显,表现在<sup>204</sup>Pb、<sup>208</sup>Pb减少,<sup>206</sup>Pb值增高,<sup>207</sup>Pb相似。根据各样品中铅的3种放射成因同位素的含量比例偏低,投影至Canon三角图解上<sup>[9]</sup>(图3),全部投影点均落在正常铅范围之外的铀铅区间,表明3种铅同位素均受到一定程度铀铅的污染,证明当时的含矿热液中铀钍具有相对高的含量,矿物中铅中含有一定程度的放射性铅衰变产物。

根据铅同位素的单阶段增长的模式年龄计算查表,获得的成岩模式年龄中除Yt18得出一个地质条件无法解释的年龄外,其他4个为负值,说明H-H模式不适合对其进行解释,也说明隐伏花岗岩在其形成过程中曾受到放射性物质的污染,而由这种岩浆分异形成的期后气液继承的这种特点,也反映出岩体与成矿间的密切关系,结合区内地质条件分析,隐伏花岗岩中的放射性污染主要与下寒武统王音铺组碳质页岩中的沉积型铀矿化有关。

在矿石铅同位素组成图解中(图4),矿石、蚀变岩及岩体的铅同位素均较为稳定,并表现出一定的线性关系,这反映出矿田中的成矿物质来源与彭山隐伏岩体之间存在亲缘联

系。根据Zartman图解<sup>[10]</sup>,在铅同位素的投入图中,发现投影点相对较为发散,有的点落入上地壳中,而有的点则落入下地壳,有的则靠近地幔,说明铅的来源较为复杂,可能有岩浆来源,也有地壳来源,也可能是两者混源,并与构造运动有着直接的关系。另据张十八矿区最新的铅同位素资料分析<sup>①</sup>同样证实了上述观点。

3.2 稀土元素

通过对彭山锡矿田中部分矿床中单矿物的稀土元素分析,发现曾家垄矿区中层状锡石-硫化物夕卡岩矿体中各个主要成矿阶段形成的矿物中稀土元素的含量与隐伏岩体有共同的特点,即两者轻稀土的铈族元素含量相对高于重稀土元素含量( $\Sigma Ce/\Sigma Y>1$ ),属轻稀土富集的特点,反映了成岩与成矿之间有一定的亲缘关系。

3.3 成矿温度

从矿田中曾家垄锡矿区中采取了12件(锡石、石英)流体包裹体样品,采用均一法进行测温,结果表明锡石-云英岩脉、石英-电气石-锡石脉及锡石硫化物夕卡岩中的锡石均一温度变化在563~570℃,与之相伴的石英均一温度变化在312~420℃,平均温度392℃。

4 结 论

通过对彭山锡多金属矿田内隐伏花岗岩体的部分地球化学资料、典型矿床的硫同位素、铅同位素、包裹体及稀土资料的综合分析,得出以下几点认识。

(1)彭山隐伏花岗岩体同其他地区含矿花岗岩具有相似的铷锶同位素特征,具备了提供大规模成矿物源的可能。

(2)从硫同位素的资料看,相应矿物中的硫同位素组成是成矿热液达到分馏平衡时的产物,不同矿区具备相似的硫同位素变化区间,且与岩体样品相近的硫同位素组成反映了成矿物质岩体与矿体的同源关系。

(3)岩体与不同矿区含铅矿物的铅同位素组成呈线性关

表 5 彭山矿田曾家垄矿区包裹体测温结果  
Table 5 Microthermometric measurements  
of mineral inclusions in the Zengjialong ore district  
in the Pengshan orefield

| 样品名称       | 样 号       | 矿物名称 | 均一温度/℃ |
|------------|-----------|------|--------|
| 锡石-电气石-石英脉 | Yb5-1     | 石英   | 397    |
|            | Yb5-2     | 石英   | 395    |
|            | Yb14      | 石英   | 402    |
|            | PD185 (Ⅲ) | 石英   | 420    |
|            | PD185 (Ⅲ) | 锡石   | 570    |
| 锡石云英岩脉     | Yb17      | 石英   | 398    |
|            | Yb8       | 锡石   | 570    |
| 锡石-硫化物-夕卡岩 | Yb13-1    | 石英   | 312    |
|            | Yb13-1    | 锡石   | 450    |
|            | Yb13-2    | 锡石   | 563    |
|            | ZK 5C/12  | 锡石   | 568    |
|            | PD185 (Ⅳ) | 石英   | 420    |

注:数据均引自参考文献[1]。

① 卢树东,刘健,汪石林,等. 赣北张十八铅锌矿铅同位素特征研究,2005.

系,从另一侧面反映出两者之间存在密切联系,并推测岩体在侵位的过程中及后期演化中受到了外来放射性物质的干扰,铅的来源有可能是混源的产物。

种种迹象表明,彭山花岗岩体的侵位是造就周边多金属矿床的先决条件,燕山晚期丰富的岩浆活动带来了大量热能,同时也带来了丰富的成矿物质,含矿热液经过一个较为良好的分异过程,最终在有利的穹隆构造及次级构造就位成矿,在平面上形成以岩体为中心,向四周呈“晕圈式”环状的矿床分布格局。

参考文献 (References):

[1] 马长信.关于彭山高挥发份花岗岩底辟穹隆构造及其控矿作用[J].地质论评,1989,35(2):127~135.  
Ma Changxin. A high-volatile diapiric granite dome in the Pengshan area and its ore-controlling role[J]. Geological Review,1989,35(2):127~135(in Chinese with English abstract).

[2] 赵志忠,毕华.江西彭山锡-多金属隐伏矿田的成矿机理及成矿预测[J].江西地质,1992,6(3):210~216.  
Zhao Zhizhong, Bi Hua. Ore-forming mechanism and ore-forming prediction of Pengshan tin-polymetallic concealed orefield in Jiangxi[J]. Jiangxi Geology, 1992, 6(3):210~216(in Chinese with English abstract).

[3] 毕华.彭山源构造及其控矿作用[J].江西地质,1990,5(3):12~16.  
Bi Hua. The Pengshan source structure and its control over mineralization [J]. Jiangxi Geology, 1990,5 (3):12~16 (in Chinese with English abstract).

[4] 江西区测队.江西省区域地质志 [M].北京:地质出版社,1984.  
Jiangxi Regional Survey Party. Regional Geology of Jiangxi[M].

Beijing:Geological Publishing House, 1984(in Chinese with English abstract).

[5] 卢树东,肖锴,朱元松.江西彭山岩体的地球化学特征及成矿关系探讨[J].华南地质与矿产,2004,(2):297~305.  
Lu Shudong, Xiao E, Zhu Yuansong. Geochemical characteristics and related mineralization of Pengshan granitic body in Jiangxi Province[J]. Geology and Mineral Resource of South China,2004,(2):297~305(in Chinese with English abstract).

[6] 卢树东,杜杨松,肖锴,等.江西彭山锡(铅锌)多金属矿田构造地质特征及成矿机理浅析[J].大地构造与成矿学,2004,28(3):295~305.  
Lu Shudong, Du Yangsong, Xiao E,et al. Study on tectonic feature and metallogenic mechanism of Pengshan Sn-Pb-Zn polymetallic orefield, Jiangxi Province [J].Geotectonica et Metallogenia,2004,28(3):295~305(in Chinese with English abstract).

[7] Hugh R.Rollsion.岩石地球化学[M].杨学明,杨晓勇,陈双喜(译).安徽:中国科学技术大学出版社,2000.155~280.  
Hugh R.Rollsion.Litho geochemistry [M].Yang Xueming, Yang Xiaoyong et al (translation).Anhui:Press of University of Science and Technology of China,2000.155~280 (in Chinese with English abstract).

[8] Ohmoto H. Systems of sulfur and carbon isotope in high thermal ore-deposit[J].Econ. Geol., 1972,(17):535~590.

[9] Doe B R, Stacey J S. The application of lead isotopes of the problem of ore genesis and ore prospect evolution [J].Econ. Geol., 1974,(69):724~789.

[10] Zartman R E. The model tectonophysics [J].Plumb Tectonics, 1981,75:125~177.

Geology and geochemistry of the Pengshan Sn-polymetallic orefiled, Jiangxi

LU Shu-dong<sup>1</sup>, GAO Wen-liang<sup>2</sup>, WANG Shi-ling<sup>2</sup>, XIAO E<sup>2</sup>, XU Jian-hua<sup>2</sup>

(1. Key Laboratory of Lithospheric Structure and Exploration Tectonics and Lithoprobng Technology,  
China University of Geosciences, Ministry of Education, Beijing 100083, China;

2. No. 916 Geological Party, Jiangxi Bureau of Geology and Mineral Resources, Jiujiang 332100, Jiangxi, China)

**Abstract:**The Pengshan Sn-polymetallic ore filed is a large Sn-, Pb- and Zn-rich orefield found recently in the Jiujiang-Ruijin area in the middle-lower Yangtze valley. All types of ore deposits are distributed in a halo pattern surrounding the Pengshan buried pluton composed of two-biotite-alkali feldspar granite and biotite monzogranite. The formation of those deposits may be divided into two metallogenic epochs and seven mineralization stages. Analyses of the lead and sulfur isotopic compositions, REE data and fluid inclusions of the Pengshan pluton, typical deposits and country rocks indicate that there is a close relation between the intrusion of late Yanshanian calc-alkaline granite and the formation of polymetallic deposits. The magmatism provided a great deal of ore-forming materials for the Pengshan area.

**Key words:**Sn-polymetallic orefield;sulfur isotope;lead isotope;fluid inclusion; Pengshan, Jiangxi

**About the first author:**LU Shu-dong,male,born in1973, master and engineer; engages in studies of mineral deposit geology, mineralogy and petrology;E-mail:lusd2001@163.com.