

# 个旧超大型锡多金属矿床成矿物质来源的铅和硫同位素示踪

张欢<sup>1,2</sup>, 高振敏<sup>1</sup>, 马翥云<sup>1</sup>, 陶琰<sup>1</sup>, 伍孟银<sup>3</sup>

(1. 中国科学院地球化学研究所矿床地球化学开放研究实验室, 贵阳 550002 2. 中国科学院研究生院, 北京 100039  
3. 贵阳金筑大学工程技术系, 贵阳 550003)

**[摘要]** 文章通过对个旧超大型锡多金属矿床的铅、硫同位素地球化学特征的系统研究, 揭示矿床成矿物质具有多来源的特点, 矿床的形成是多种成矿作用过程叠加的结果, 具有多来源, 多期次成矿特点, 经历了中三叠世的海底热水沉积作用和燕山晚期岩浆热液的叠加改造作用, 个旧超大型锡多金属矿床应为同生沉积与岩浆热液叠加、改造的复合成因矿床。

**[关键词]** 个旧 矿质来源 多种成矿作用 热水沉积 岩浆热液

**[中图分类号]** P618.44 P597 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 0495-5331(2005)02-0017-04

个旧锡多金属矿床位于云南省东南部个旧市境内, 大地构造处于环球两大巨型锡矿带, 即特提斯巨型锡矿带和环太平洋巨型锡矿带的交汇点。它是一个驰名中外以锡为主的超大型锡矿床, 同时也是大型的铜、铅、锌、钨和银矿床, 此外还伴生众多的稀有金属矿产。对该矿床的成因研究中岩浆热液成因观点<sup>[1-3]</sup>曾被广大的专家学者所认可, 随着层控锡矿床的发现及其概念的提出<sup>[6]</sup>, 一些学者开始重新审视个旧锡矿的成因, 并对岩浆热液成因观点提出质疑<sup>[7-9]</sup>, 当周建平发现海底喷流沉积证据并提出海底热液喷流成因观点<sup>[9]</sup>后, 个旧锡矿再度成为现今研究的热点。本文旨在根据个旧锡多金属矿床的铅、硫同位素地球化学特征, 探讨成矿物质来源这一成因研究中的重要问题。

## 1 成矿地质背景

个旧原生锡矿床的矿床类型有含锡云英岩型锡矿床、电气石细脉带型锡矿床、夕卡岩型硫化物矿床、层间硫化物型矿床及规模较小的含锡细脉白云岩矿床, 其中夕卡岩型硫化物矿床、层间硫化物型矿床为个旧矿区最主要的两类矿床, 以隐伏形式赋存于隐伏花岗岩体顶面内外接触带及上覆碳酸盐岩个旧组(T<sub>2</sub>g)地层中, 主要产出在个旧断裂东侧的东部矿区, 矿田受五子山复背斜控制, 包括马拉格、松

树脚、高松、老厂、卡房五大矿田。

矿区内出露地层为中三叠统碳酸盐岩, 赋矿地层主要是中三叠统个旧组卡房段和马拉格段灰岩、白云质灰岩及白云岩, 90%以上的锡储量分布在个旧组下亚段一卡房段地层中。

矿区褶皱和断裂构造发育, 主要有北东(北北东)、东西、南北及北西向四组, 主干构造为北东向的五子山复背斜, 和个旧西区的贾沙复向斜, 其上发育了次级褶皱和断裂。

个旧矿区是一个多旋回、多种岩浆活动的中心, 按岩浆活动的时间系列有华力西旋回、印支旋回、燕山旋回。华力西旋回与印支旋回主要为火山喷溢, 产生深源岩浆系列的碱性、钙碱系列的玄武岩与所夹的酸性火山岩, 印支晚期或燕山早期主要为基性侵入岩和碱性侵入岩; 燕山旋回则为重熔花岗岩系列<sup>[10]</sup>。

## 2 铅同位素地球化学

陈好寿综合我国 30 多个层控矿床的 300 多个铅同位素资料, 划分为 3 种类型: “正常型”、“异常型”和“混合型”<sup>[11]</sup>。与之对比, 除个别样品为异常铅(年龄为负值)外, 个旧矿床的铅同位素基本上属“混合型”铅。按两阶段模式<sup>[12]</sup> ISOPLOT 软件<sup>[13]</sup>对其进行年龄计算, 花岗岩的模式年龄为 219Ma ~

[收稿日期] 2004-06-14 [修订日期] 2004-08-26 [责任编辑] 余大良。

[基金项目] 云南省省院省校合作项目(编号: 2000YK-5)资助。

[第一作者简介] 张欢(1977年-), 女, 2000年毕业于贵州工业大学, 获学士学位, 现主要从事矿床地球化学工作。

22Ma 与燕山晚期不一致;地层年龄为 95Ma 与地层时代不吻合;矿石铅的模式年龄虽然主要集中于 200Ma ~ 300Ma 之间,但最低年龄达 74Ma 最高年龄可达 634Ma 变化范围大,既不能反映成矿时代,也不能确切阐明铅源,说明铅是多来源的,成矿是多阶段的。

20世纪 90年代以来,多数学者主张用矿石、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已不能简单的说是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<sup>[14]</sup>。因此据 Zartman 等图解<sup>[15]</sup>,我们对个旧锡多金属矿区的矿石、地层、花岗岩、火山岩的铅同位素进行对比,由图 1 可见个旧矿区矿石铅的同位素组成并不均一,除 3/4 样品投点在上地壳和造山带铅演化曲线之间呈相对集中分布特征外,其余铅同位素数据的投点则很分散,说明这些矿床的矿石铅并非全部由花岗岩浆提供,我们认为这种类型矿床的铅来源不是单一的。投点较集中矿石铅同位素组成 ( $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb} = 18.385 \sim 18.450$   $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb} = 15.606 \sim 15.674$

$^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb} = 38.386 \sim 38.894$ )与矿区花岗岩铅同位素 ( $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb} = 18.359 \sim 18.445$   $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb} = 15.613 \sim 15.64$   $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb} = 38.723 \sim 38.741$ )一致,表明矿石大部分铅源于燕山期花岗岩。部分铅同位素 ( $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb} = 18.005 \sim 18.617$   $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb} = 15.513 \sim 15.563$   $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb} = 37.848 \sim 38.809$ )与矿区印支期火山岩 ( $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb} = 18.368$   $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb} = 15.540$   $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb} = 38.567$ )接近,位于地幔铅演化线上或沿该演化线的延长方向展布,由此看来上地幔也为该类型矿床提供了部分成矿物质。考虑到热水沉积矿物的发现<sup>[9]</sup>,以及笔者曾发现层间矿体中热水沉积产物—鲕状黄铁矿中锡石颗粒的存在<sup>[16]</sup>,热水沉积曾为个旧矿区提供部分矿源。其他少部分位于上地壳铅演化线区之上的投点 ( $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb} = 18.447 \sim 18.650$   $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb} = 15.715 \sim 15.942$   $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb} = 38.082 \sim 39.766$ ),明显高于花岗岩铅,其铅同位素比值的增高必然是更富放射成因铅加入的结果,因此该类型矿床可能还有地层铅的加入。

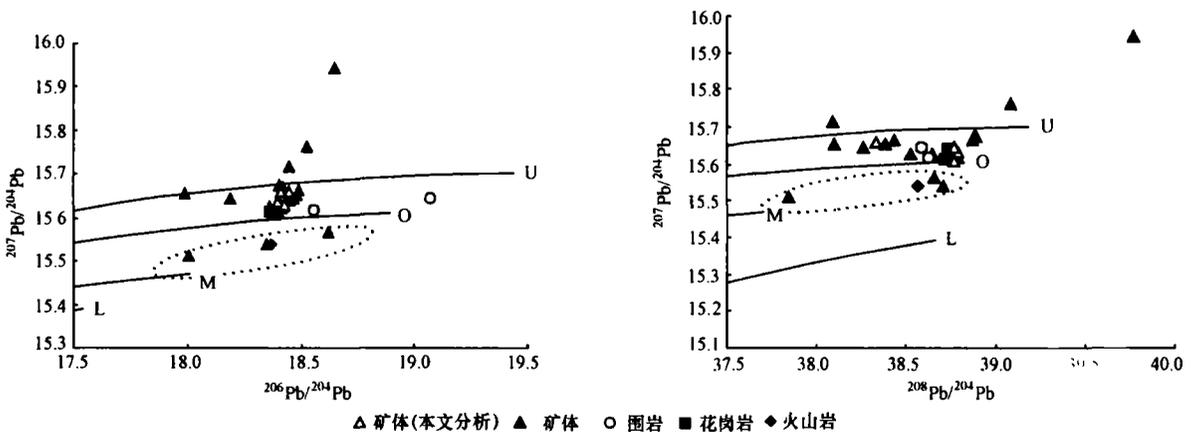


图 1 个旧锡多金属矿床铅同位素组成

M—上地幔铅; L—下地壳铅; O—造山带铅; U—上地壳铅

(注:本文分析样品由中国地质科学院矿产资源研究所测定,测试时间为 2003年 6月。其余均转自文献[10].)

由矿石铅同位素  $\Delta\gamma - \Delta\beta$  成因分类图解<sup>[17]</sup>可见(图 2),矿石铅主要投影在上地壳铅区、造山带铅区和岩浆作用铅区内。其范围覆盖了作为对比的大厂、白牛厂、都龙和大降坪四个 Sedex 与岩浆热液叠加型矿床,暗示其成因应与这 4 个矿床一致。这 5 个矿床形成过程中热水沉积体系的岩石组合特征、热水沉积作用后所经历的地质作用的叠加和改造等因素,可能制约着他们的矿石铅与海底热水活动铅的偏离程度。

综上所述,本文认为个旧锡多金属矿床的铅具

有多源特点。其中部分矿石铅与印支期导致热水沉积作用的地热系统和原动力—火山喷发所产生的幔源火山岩一致或接近于上地幔,表明这部分矿石铅与印支期的热水沉积作用密切相关。另有大部分的矿石铅与燕山期花岗岩铅同位素一致,表明其应源于燕山期花岗岩。

### 3 硫同位素

表 1 为本文分析的硫同位素值,结合前人分析的矿区五大矿田的矿石数据作图 3,由图可见个旧

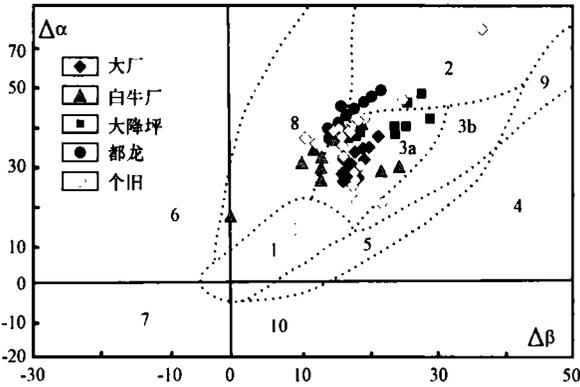


图 2 个旧锡多金属矿床矿石铅  $\Delta\beta - \Delta\alpha$  成因分类图解  
 1—地幔源铅; 2—上地壳源铅; 3—上地壳与地幔混合的俯冲带铅 (3a—岩浆作用, 3b—沉积作用); 4—化学沉积型铅; 5—海底热水作用铅; 6—中深变质作用铅; 7—深变质下地壳铅; 8—造山带铅; 9—古老页岩上地壳铅; 10—退变质铅  
 \* 大厂、白牛厂、大降坪、都龙矿床的  $\Delta\beta - \Delta\alpha$  成因分类图解源于文献 [18]

锡多金属矿床硫化物的  $\delta^{34}\text{S}$  值变化范围为  $-3.1\text{‰}$  ~  $+9.4\text{‰}$ , 极差为  $12.5\text{‰}$ , 平均为  $+2.2\text{‰}$ , 具有一定塔式效应, 并向正偏移。其主峰突出分布在零区左右, 表现为陨石硫特征。陨石硫是在地幔或地壳深处高温均一化条件下形成的, 具有深源硫特征。燕山期大规模的岩浆活动, 岩浆热液后期叠加、改造成矿作用, 应为个旧锡矿床深源硫占优势的原因之一, 但将  $\delta^{34}\text{S}$  值接近零作为判别成矿物质源于花岗岩的依据之一, 不能很好地解释该矿床中保留了沉积成因的标志, 对现代海底热水沉积体系和众多的古代热水沉积矿床的研究表明, 深部岩浆房是引起热水循环的根本机制, 因此  $\delta^{34}\text{S}$  值接近零暗示硫也有可能来自深部岩浆房, 另外地壳岩石和海水硫酸盐的还原作用均可以产生近于零的  $\delta^{34}\text{S}$  值 [19]。曾志刚 [20] 收集了全球现代海底热液沉积物的 1264 个硫同位素数据进行统计分析, 得出现代海底热液沉积物中硫化物的硫同位素组成集中分布在  $1\text{‰}$  ~  $9\text{‰}$  之间, 均值为  $4.5\text{‰}$  ( $n=1042$ ), 而硫酸盐矿物的硫同位素组成主要分部在  $19\text{‰}$  ~  $24\text{‰}$  之间, 均值为  $21.3\text{‰}$  ( $n=217$ )。本矿区用于分析硫同位素的矿物均为硫化物,  $\delta^{34}\text{S}$  值与上述海底热液沉积物中硫化物的硫同位素组成特征基本一致, 反映其硫应部分源于热水沉积期间深部岩浆房和海水硫酸盐, 暗示热水沉积作用在成矿过程中具有重要意义。

#### 4 结 论

1) 矿石铅同位素地球化学特征表明铅属于多

源铅, 部分铅源于上地幔与印支期的热水沉积作用密切相关, 另有部分铅源于燕山期花岗岩岩浆热液作用, 同时地层也提供了部分铅。

表 1 个旧锡多金属矿床的部分硫同位素组成

取样位置	测定矿物	$\delta^{34}\text{S}_{\text{SM}}/\text{‰}$
松矿 102 <sup>#</sup> Ag Pb 矿	方铅矿	0.6
松矿 10~14 矿体	胶黄铁矿	1.9
松矿 10~14 矿体	黄铁矿	2.6
松矿 10~14 矿体	磁黄铁矿	1.5
松矿 1~3 矿体	磁黄铁矿	7.3
松矿 1~3 矿体	方铅矿	6.3
老厂 5 矿体	磁黄铁矿	-0.9
老厂 5 矿体	黄铁矿	-1.1
老厂 3-1-1 矿体	方铅矿	-0.2
老厂 3-11 矿体	方铅矿	-0.4

测试单位: 中国地质科学院矿产资源研究所; 测试时间: 2003 年 7 月。

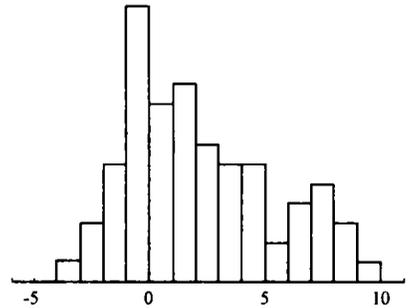


图 3 个旧锡多金属矿主要矿田硫同位素组成直方图

2) 硫同位素地球化学特征表明, 硫部分源于热水沉积期间深部岩浆房和海水硫酸盐, 燕山期大规模的岩浆活动, 岩浆热液后期叠加、改造成矿作用, 也给该矿床提供了大量的深源硫。

3) 同位素地球化学特征反映了个旧锡多金属矿床成矿物质具有多来源的特点, 矿床的形成是多种成矿作用过程叠加的结果, 具有多来源, 多期次成矿特点, 经历了中三叠世的海底喷流热水沉积作用和燕山晚期岩浆热液的叠加改造作用。个旧超大型锡多金属矿床不是单纯的花岗岩成因矿床, 也不是单纯的海底喷流成因矿床, 而是同生沉积与岩浆热液叠加、改造的复合成因矿床。

中国科学院地化所张乾研究员、刘玉平副研究员对铅同位素的分析和计算给予了大力帮助, 作者谨向他们表示衷心感谢。

#### [参考文献]

[1] 汪志芬. 关于个旧锡矿成矿作用的几个问题讨论 [J]. 地质学报, 1983 57(2): 154~163.  
 [2] 李家和. 个旧花岗岩特征及成因研究 [J]. 云南地质. 1985 4(4): 327~352.

- [ 3 ] 伍勤生,刘清莲. 个旧含锡花岗岩浆杂岩体的成因演化及成矿作用[ J ]. 有色总公司矿产地质研究院学报, 1985 4 22 ~ 31.
- [ 4 ] 於崇文,唐元骏,石平方,等. 云南个旧锡多金属成矿区内生矿作用的动力学体系[ M ]. 中国地质大学出版社, 1988.
- [ 5 ] 王新光,朱金初,沈渭洲. 个旧锡矿的成矿物质来源[ J ]. 桂林冶金地质学院学报, 1992 12(2): 164 ~ 170.
- [ 6 ] Schwartz M. O. and Surjono. The strata-bound tin deposit N an Saku Kelapa Kampit Indonesia [ J ]. Econ Geol, 1990 85 76 ~ 98.
- [ 7 ] 金祖德. 个旧层间赤铁矿型锡矿热液成因之否定[ J ]. 地质与勘探, 1991 27(1): 19 ~ 20.
- [ 8 ] 彭张翔. 个旧锡矿成矿模式商榷[ J ]. 云南地质, 1992 11 (4): 362 ~ 368.
- [ 9 ] 周建平,徐克勤,华仁民. 个旧等锡矿中沉积组构的发现与矿床成因新探[ J ]. 自然科学进展, 1999 9(5): 419 ~ 422.
- [ 10 ] 庄永秋,王任重,杨树培,等. 云南个旧锡铜多金属矿床[ M ]. 北京:地震出版社. 1996.
- [ 11 ] 陈好寿. 我国层控多金属矿床的铅同位素特征及其矿床成因意义[ J ]. 科学通报, 1981 (10): 612 ~ 616.
- [ 12 ] Stacey J. S. and Kramers J. D., Approximation of terrestrial lead isotope evolution by a two-stage model[ J ]. Earth Planet Sci Letters, 1975 26 207 ~ 221.
- [ 13 ] Ludwig K. R., Isoplot A plotting and regression program for radiogenic isotope data (Ver. 2.90) [ J ]. US Geological Survey Open-File Report 1996 91(445): 1 ~ 47.
- [ 14 ] 张乾,潘家永,劲树勋. 中国某些金属矿床矿石铅来源的铅同位素诠释[ J ]. 地球化学, 2000 29(3): 231 ~ 238.
- [ 15 ] Zartman R. E., Doe B. R. plumbotectonics—The model[ J ]. Tectonophysics 1981 75 135 ~ 162.
- [ 16 ] 张欢,高振敏,马德云,等. 个旧锡矿区鲕状黄铁矿、胶状结构黄铁矿中锡的分布及其成因意义[ J ]. 矿物学报, 2004 24 (1): 87 ~ 91.
- [ 17 ] 朱炳泉. 地球科学中同位素体系理论与应用—兼论中国大陆壳幔演化[ M ]. 北京:科学出版社, 1998.
- [ 18 ] 刘玉平,李朝阳,谷团,等. 都龙锡锌多金属矿床成矿物质来源的同位素示踪[ J ]. 地质地球化学. 2000 28(4): 75 ~ 82.
- [ 19 ] Ohmoto H., Rye R. O., Isotopes of Sulfur and Carbon. In Bames H. L. ed. Geochemistry of hydrothermal ore deposits[ J ]. New York: John Wiley and Sons 1979 509 ~ 567.
- [ 20 ] 曾志刚,蒋富清,秦蕴珊,等. 现代海底热液沉积物的硫同位素组成及其地质意义[ J ]. 海洋学报. 2001 23(3): 48 ~ 56

## LEAD AND SULPHUR ISOTOPIC TRACING FOR SOURCE OF ORE-FORMING MATERIALS IN THE GEJIU TIN-POLYMETALLIC DEPOSIT

ZHANG Huan<sup>1,2</sup>, GAO Zhen-ming<sup>1</sup>, MA De-yun<sup>1</sup>, TAO Yan<sup>1</sup>, WU Meng-yin<sup>3</sup>

(1. The Open Laboratory of Ore Deposit Geochemistry, Chinese Academy of Sciences, Guiyang 550002

2. Graduate School, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100039

3. The Department of Engineering and Technology, Guiyang Jinchu College, Guiyang 550002)

**Abstract** Lead and sulphur isotopic characteristics of Gejiu tin-polymetallic deposit suggested that there should be several sources of ore-forming materials and multiple mineralization. It is thought that the Gejiu tin deposit is the result of both hydrothermal sedimentary mineralization and magmatic hydrothermal mineralization, i.e., hydrothermal sedimentary mineralization and magmatic hydrothermal mineralization are superposed.

**Keywords** ore source, multiple mineralization, hydrothermal sedimentation, magmatic hydrothermal fluid, Gejiu