

扬子地块南缘锑矿床中矿石铅 的组成及其地质意义*

彭建堂 胡瑞忠 苏文超
(中国科学院地球化学研究所 贵阳 550002)

P618.66

P597

摘要 锑是我国的特色矿产,扬子地块南缘锑矿带是世界上最大的锑成矿带。铅同位素研究表明,该带锑矿床中矿石铅的组成变化较大;在铅同位素组成图解中,线性分布明显,但它不具有等时线意义,而是由低放射性成因铅和高放射性成因铅两个端元混合所致。矿石铅属壳、幔混合铅。成矿作用发生于开放体系之中,深部幔源物质可能参与了锑的成矿作用。

关键词 矿石铅 壳、幔混合作用 锑矿床 扬子地块南缘

第一作者简介 彭建堂 1968年生 男 博士 副研究员 主要从事矿床地球化学研究

铅同位素 成矿作用

锑是我国的特色矿产,我国的锑矿储量约占世界总储量的70%以上。除陕西公馆外,我国主要的锑矿床都集中分布于扬子地块南缘,构成一巨型锑矿带。该矿带总体上呈NE向展布,延长1900余公里,宽约200公里^[1],已知的锑矿床(点)505个,占全国锑矿总数的85.5%,探明储量占全国总量的83.1%^[2],其中木利、独山、晴隆、大厂等为大型矿床,锡矿山达到超大型规模。显然,该矿带是锑大规模成矿和局部超常富集的结果。

该区锑矿床表现出多层位、多时代地层赋矿

的特征,但重要锑矿床大多赋存于泥盆系地层中;成矿温度较低,一般小于200℃;大部分矿床为单锑矿床,矿石成分简单,锑主要以辉锑矿形式存在。锡矿山、独山、马雄锑矿是其典型代表。

1 矿床地质特征

锡矿山锑矿位于湘中地区,是世界上唯一的超大型锑矿床,享有“世界锑都”的美称。独山锑矿位于黔南地区,为我国重要的锑矿生产基地。而马雄是桂西北一与金共生的中小型锑矿。该3个锑矿床的地质特征见表1。

表1 锡矿山、独山和马雄锑矿床的地质特征

Table 1. Geological features of the Xikuangshan, Dushan and Maxiong antimony deposits

矿床	锡矿山	独山(半坡)	马雄
出露地层	D、C	S、D	Є、D-T
赋矿地层	余田桥组(D ₃ s)、次为棋梓桥组(D ₂ q)	丹林组(D ₁ d),次为舒家坪组(D ₂ s)	寒武系与泥盆系的不整合面
赋矿围岩	灰岩夹少量细碎屑岩	石英砂岩,次为页岩、含铁砂岩	碎屑岩,少量灰岩
矿体形态	层状、似层状为主	陡脉状	不规则脉状、透镜状、藕节状
金属矿物	辉锑矿	辉锑矿,次为黄铁矿	辉锑矿,次为黄铁矿和自然金,少量毒砂
脉石矿物	石英、方解石、极少量的萤石、重晶石	石英,少量方解石,微量重晶石、粘土、白云石	石英、方解石,次为绢云母、白云石
矿石类型	石英-辉锑矿型,石英-方解石-辉锑矿型和方解石-辉锑矿型	石英-辉锑矿型,少量方解石-粘土-辉锑矿-黄铁矿型	石英-辉锑矿-(自然金)型
围岩蚀变	硅化,次为碳酸盐化和少量重晶石化、萤石化	硅化,次为方解石化、黄铁矿化、白云石化和重晶石化	黄铁矿化、毒砂化、硅化、碳酸盐化和少量绢云母化
岩浆活动	煌斑岩脉	无	辉绿岩脉
矿床规模	超大型	大型	中型

1999年11月22日收稿;2000年6月2日改回。

* 国家攀登计划(编号:95-预-25)资助项目。

2 矿石铅的同位素组成及其地质意义

2.1 矿石铅的同位素组成

前人对该区锑矿床的铅同位素做了许多工作^[3-6]。已有的研究表明,锡矿山辉锑矿的铅同位素组成^[3,4]: $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 为 17.685 ~ 18.874, $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 为 15.478 ~ 15.966, $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 为 38.028 ~ 39.427; 独山半坡矿石铅的同位素组成^[5]: $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 为 16.98 ~ 18.905, $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 为 15.375 ~ 15.725, $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 为 36.605 ~ 39.110; 马雄矿石铅同位素组成^[6]: $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$

为 17.636 ~ 19.481, $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 为 15.504 ~ 16.092, $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 为 37.872 ~ 40.362。由上可知,该区锑矿矿石铅的同位素组成变化较大,这暗示其成矿物质可能并非单一来源。

在 $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb} - ^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 和 $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb} - ^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 图解中,以上锑矿床矿石铅的同位素比值均呈明显的线性分布,且表现出良好的相似性(图 1~图 3)。由于我们采用的数据主要是 90 年代的测试结果,分析精度较高,因此铅同位素数据应是可靠的。矿石铅的 μ 值未出现大幅度的波动,也说明了这一点。故这种线性分布不应是分析误差所致。

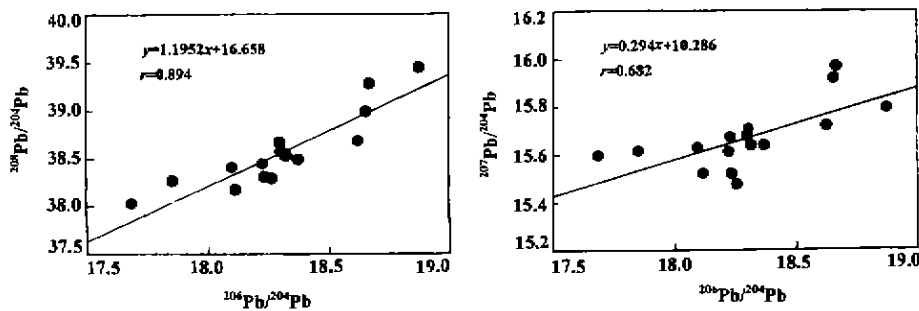


图 1 锡矿山辉锑矿的 $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb} - ^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 和 $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb} - ^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 图解
Fig. 1. $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb} - ^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ and $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb} - ^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ diagrams of stibnite in the Xikuangshan deposit.

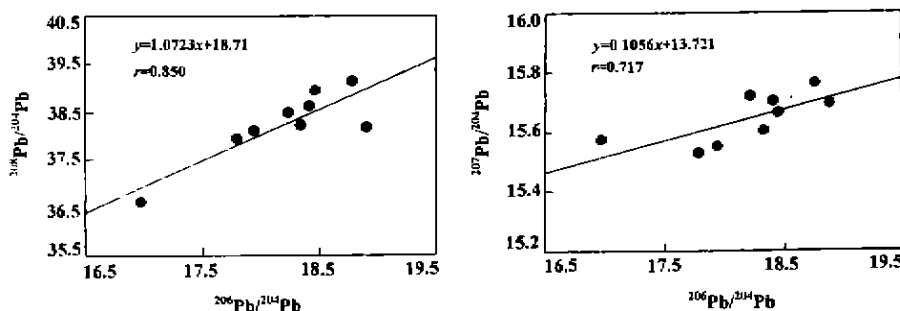


图 2 独山锑矿矿石铅的 $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb} - ^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 和 $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb} - ^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 图解
Fig. 2. $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb} - ^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ and $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb} - ^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ diagrams of ores in the Dushan Sb deposit.

2.2 成矿时代信息

铅模式年龄的计算表明^①,锡矿山矿石的单阶段模式年龄为 65 ~ 580Ma,独山为负值到 1132Ma,马雄为负值到 607Ma。由此可见,该区锑矿的模式年龄变化范围较大,相差悬殊,没有实际的地质意义。

假如 $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb} - ^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 图解中的线性

关系,是矿石铅在封闭体系条件下发生均一化所致,那么其 Pb - Pb 等时线年龄则应代表锑矿的成矿年龄。根据公式:

$$m = (e^{\lambda_5 t} - 1) / [137.88 \times (e^{\lambda_8 t} - 1)]$$

式中 m 为直线的斜率, λ_5 、 λ_8 分别代表 ^{235}U 、 ^{238}U 的衰变常数, t 为等时线年龄。可求出各直

① 彭建堂,2000,锑的大规模成矿与超常富集机制(博士后出站报告)。

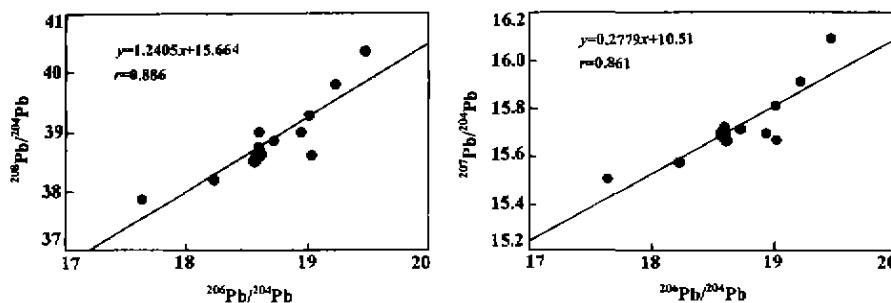


图 3 马雄锑矿矿石铅的 $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ - $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 和 $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ - $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 图解

Fig. 3. $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ - $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ and $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ - $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ diagrams of ores

in the Maxiong Sb deposit.

线斜率所对应的等时线年龄 t 。然而,计算显示,该 3 个锑矿床的等时线年龄 t 分别为 3439.5Ma (锡矿山)、3351.1Ma (马雄) 和 1724.8Ma (独山), 远远超出其赋矿地层年龄 (405~350Ma), 显然, 这是不可能的。而且, 与其对应的矿石铅的 μ 值须达到 26~29, 亦与该区的地质演化历史不符, 华南地区迄今未发现有如此高 μ 值的硫化物矿石。因此, 该区锑矿床并非形成于封闭体系之中。

假如矿石铅的这种线性关系是代表二次等时线, 即成矿作用是多阶段的, 那么根据公式:

$$m = (e^{\lambda t_1} - e^{\lambda t_2}) / [137.88 \times (e^{\lambda t_1} - e^{\lambda t_2})]$$

式中 m 为二次等时线的斜率, t_1 、 t_2 分别为早、晚期的矿化时间。利用已知的 (或假定的) t_2 值, 就可计算出早期的成矿时间 t_1 。但研究显示, 对于锡矿山锑矿, 取 $t_2 = 119\text{Ma}$ (煌斑岩中黑云母的 K-Ar 法年龄^[7]) 时, $t_1 = 3404.4\text{Ma}$; 取 $t_2 = 175\text{Ma}$ (热液成因方解石的 Sm-Nd 等时线年龄^[8]) 时, $t_1 = 3387.2\text{Ma}$ 。对于马雄锑矿, 取 $t_2 = 165\text{Ma}$ (矿石的 Rb-Sr 法等时线年龄^[9]) 时, $t_1 = 3303.2\text{Ma}$ 。以上求得的 t_1 均大于已知的华南最老的地壳年龄 (3.1Ga)^[10], 显然这些 t_1 值没有任何地质意义, 不能代表锑矿的形成时代。对于独山锑矿, 取 $t_2 = 145\text{Ma}$ (石英流体包裹体的 K-Ar 法年龄^[5]) 时, $t_1 = 1645.7\text{Ma}$, 该值也远大于该区最老的地层年龄。因此该区矿石铅的线性分布也并非两次成矿作用所致。

2.3 成矿物质来源信息

以上研究表明, 尽管该区矿石铅在 $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ - $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 图解中具有线性排列趋势, 但没有任何等时线年龄含义, 表明它是铅同位素混合线或 ^{204}Pb 误差线^[11]。正如前所述, 我们此次

采用的数据分析精度较高, 而且矿石铅在 $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ - $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 图中的线性关系更明显, 因此可排除其为 ^{204}Pb 误差线的可能性。在 $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ - $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 图解中, 由两个组分端元和由 3 个组分端元构成的混合是截然不同的, 因为不同来源岩石 Th/U 比将产生明显的变化。对于二元体系的混合, 所有铅同位素组成将落在两端元之间的直线上; 而对于三元体系的混合, 数据将落在有三个端元所限定的三角区内。从图 1-图 3 中不难发现, 该区矿石铅在 $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ - $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 图解中均沿直线分布, 且其相关性非常明显。因此该区锑矿床的矿石铅应主要由两个端元构成, 即低放射性成因铅和高放射性成因铅。前者很可能是来自深部, 而后者应主要来自地壳物质。已有的计算表明, 锡矿山矿石铅的 μ 值为 8.70~9.69, 独山为 8.66~9.61, 马雄为 8.92~9.88, 绝大多数小于 9.58^①, 亦证实了其存在低放射性成因的深源铅。根据计算公式^[12]:

$$\Delta\alpha = [\alpha/\alpha_{M(t)} - 1] \times 1000$$

$$\Delta\beta = [\beta/\beta_{M(t)} - 1] \times 1000$$

$$\Delta\gamma = [\gamma/\gamma_{M(t)} - 1] \times 1000$$

式中 α 、 β 、 γ 为矿石铅同位素的测定值, $\alpha_{M(t)}$ 、 $\beta_{M(t)}$ 、 $\gamma_{M(t)}$ 为成矿时地幔的同位素值。可求出矿石铅与同时代地幔铅的相对偏差 $\Delta\alpha$ 、 $\Delta\beta$ 和 $\Delta\gamma$ 。其中锡矿山 $21 < \Delta\alpha < 89$, $10 < \Delta\beta < 42$, $14 < \Delta\gamma < 52$; 独山为 $-20 < \Delta\alpha < 91$, $3 < \Delta\beta < 28$, $-23 < \Delta\gamma < 44$; 马雄为 $17 < \Delta\alpha < 98$, $11 < \Delta\beta < 31$, $11 < \Delta\gamma < 47$ ^①。在矿石铅同位素的 $\Delta\gamma$ - $\Delta\beta$ 成因分类图解中^[12], 矿石铅主要落入上地壳与地幔混

① 彭建堂, 胡瑞忠, 湘中锡矿山超大型锑矿床的 C、O 同位素体系, 地质论评, 2000 (待刊)。

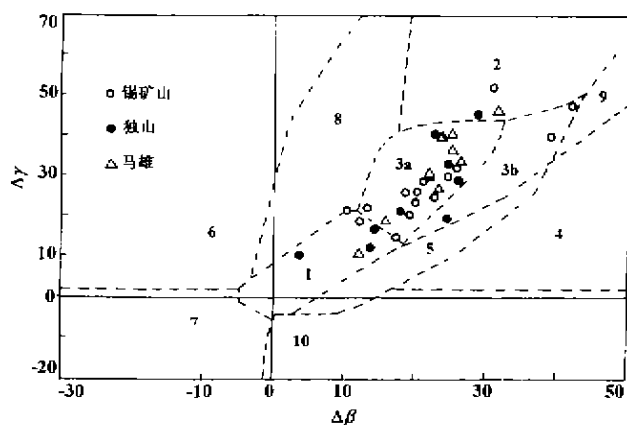


图4 矿石铅同位素的 $\Delta\gamma - \Delta\beta$ 成因分类图解
(据朱炳泉等, 1998)

Fig. 4. Discrimination $\Delta\gamma$ vs. $\Delta\beta$ diagram of ore lead
(after Zhu et al., 1998).

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-化学沉积铅; 5-海底热水作用铅; 6-中深变质作用铅; 7-变质作用下地壳铅; 8-造山带铅; 9-古老页岩上地壳铅; 10-退变质作用铅。

合的俯冲带铅和幔源铅的范围(图4)。因此,该区铋矿床的矿石铅应属壳、幔混合铅^[12],深部幔源物质可能参与了其成矿作用。这与该区一些矿区存在深源脉岩和深源元素(如 Co、Ni、Cr、Mo 等)异常相吻合。锡矿山的 C、O 同位素研究亦证实深源物质参与了早期的成矿作用^①。

3 结论

(1) 扬子地块南缘铋矿床的矿石铅的同位素组成变化较大,在 $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb} - ^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 和 $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb} - ^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 图解中均显示出明显的线性分布特征,但它不具有等时线意义,而是由低放射性成因铅、高放射性成因铅两个端元所构成的混合线。

(2) 该区铋矿床的成矿作用发生于开放体系之中,成矿物质并非单一来源,深部幔源物质可能参与其成矿作用。

参 考 文 献

- [1] 张国林、姚金炎、谷湘平,中国铋矿床类型及时空分布规律。矿产与地质,1998,12(5):306~311。
- [2] 肖启明、赵守耿,中国铋矿床时空分布规律及找矿方向。地质与勘探,1992,28(12):9~14。
- [3] 刘文钧,华南几个铋矿床的成因探讨。成都地质学院学报,1992,19(2):10~19。
- [4] 金景福、陶琰、赖万春等,湘中锡矿山式铋矿成矿规律及找矿方向。成都:四川科学技术出版社,1999,1~162。
- [5] 傅月星、陈民扬、徐文圻,独山铋矿稳定同位素地球化学研究。矿产与地质,1993,34(7):119~126。
- [6] 郭新生、谭运金,广西马雄微细浸染型金矿床稳定同位素地球化学研究。中国科学院矿床地球化学开放研究室年报,1991,12~25。
- [7] 刘光模、简厚明,锡矿山矿田地质特征。矿床地质,1983,2(3):43~49。
- [8] Hu Xiongwei, Pei Rongfu, Zhou Su, Sm-Nd dating for antimony mineralization in the Xikuangshan deposit, Hunan, China. *Resource Geology*, 1996, 46(4):227~231.
- [9] 韦文灼,马雄铋矿床的地质特征。西南矿产地质,1993,7(2):8~16。
- [10] 李献华、赵振华、桂训唐等,华南前寒武纪地壳形成时代的 Sm-Nd 和锆石 U-Pb 同位素制约。地球化学,1991,20(3):255~263。
- [11] 陈毓蔚、朱炳泉,矿石铅同位素组成特征与中国大陆地壳的演化。中国科学(B辑),1984,(3):269~277。
- [12] 朱炳泉等,地球科学中同位素体系理论与应用。北京:科学出版社,1997,152~174,216~235。

LEAD ISOTOPIC COMPOSITION OF ORES IN THE ANTIMONY DEPOSITS AT THE SOUTHERN MARGIN OF THE YANGTZE MASSIF AND ITS GEOLOGICAL IMPLICATIONS

Peng Jiantang Hu Ruizhong Su Wenchao

(Institute of Geochemistry, Chinese Academy of Sciences, Guiyang 550002)

Abstract

China is abundant in Sb resources. The important Sb deposits in China are predominantly distributed at the southern margin of the Yangtze massif, which build up the largest Sb mineralization belt in the world.

The ores from some deposits in the region show relatively significant variations in Pb isotopic composition. There exists obvious linear distribution for ores in the $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ - $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ and $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ - $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ diagrams. This linear distribution array is of no isochron significance and can be attributed to the mixing of low radiogenic lead and highly radiogenic Pb. Ore lead from the Sb deposits in this region should belong to the crust-mantle mixed Pb. Sb mineralization should take place in an open system, and the deep-seated materials seem to have been involved in Sb mineralization.

Key words: ore lead; mantle-crust mixing; Sb deposit; southern margin of Yangtze massif