湘中锡矿山超大型锑矿床形成的制约因素*

Constraint Factors for Formation of Supergiant Xikuangshan Antimony Deposit, Central Hunan

彭建堂 胡瑞忠

（中国科学院地球化学研究所，贵州 贵阳 550002）

Peng Jiantang and Hu Ruizhong

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

超大型矿床是指成矿元素在地壳适宜部位的超常堆积，其富集程度达到成矿元素地壳丰度的 $10^{11\sim12}$ 倍（Laznicka, 1983）或其储量为大型矿床 5 倍以上者（涂光炽，1994）。地壳中 Sb 的克拉克值为 0.30 $\times10^{-6}$（Wedepohl, 1995），Laznicka（1999）根据该值将锑的大型矿床（large deposit）、巨型矿床（giant deposit）、超巨型矿床（supergiant deposit）的金属储量（吨）分别定义为 $3.0\times10^3\sim2.1\times10^4$、$3.0\times10^4\sim2.1\times10^5$、$3.0\times10^5\sim2.1\times10^6$。锡矿山锑矿床的金属储量达到 2.11×10^6 t（Laznicka，1999），显然，该矿床达到超巨型锑矿床的规模。目前锡矿山是世界上最大的锑矿床，其锑的金属储量超过国外锑矿总和（200 万吨）。

湘中锑矿床广泛分布，据不完全统计，湘中锑矿床（点）多达 171 处（林肇凤等，1987），形成了世界上独一无二的大型锑矿集区；其中该区 85%以上的锑金属储量又集中在不足 18 km^2 的锡矿山矿区。为什么在锡矿山矿区元素 Sb 能发生如此高强度的超常富集，形成矿石的巨量堆积？这是一个十分重要、但又十分棘手的研究课题。尽管前人对该矿形成的特殊地质条件进行了探讨（靳西祥，1993），但无须讳言，目前的研究仍是初步的。本文拟在前人工作的基础上，结合作者近年的研究成果，试图从物源、流体作用、成矿环境、深部地质等方面揭示该区元素 Sb 发生超常富集的制约因素。

1 充足的矿源

充足的矿源是形成超大型矿床的前提条件，在成矿过程中，只有成矿物质源源不断的供给，才有可能发生巨量的矿石堆积。

Sr 同位素研究表明，锡矿山矿区的矿石、脉石矿物和蚀变围岩富放射性成因 ^{87}Sr，明显高于赋矿围岩和成矿时的煌斑岩（彭建堂等，2001），暗示成矿流体来自或流经下伏的元古宙基底碎屑岩。早、晚成矿期热液方解石的 $\varepsilon_{Nd}(t)$ 分别为－15.5、－15.0（彭建堂等，2002），与成矿时围岩（$D_{2\text{-}3}$）的 $\varepsilon_{Nd}(t)$ 值相差较远，而与下伏基底板溪群（Pt_3b）的相应值（朱炳泉等，1997）较接近，暗示该矿成矿流体中的 Nd 可能来自下伏的元古宙基底，成矿流体来自或流经基底。因此，湘中地区下伏的元古宙基底很可能卷入了该区锑的成矿作用。

前人的大量研究显示，华南的元古宙基底富含 Sb、Au、As 等成矿元素，其 Sb 的含量为上陆壳的 2～14 倍（马东升，1999）；且该区元古宙地层中的 Sb 主要以易活化的形式存在，在低温条件下就能发生活化、迁移（牛贺才等，1991；何江等，1996）。而且在湘中盆地毗邻的雪峰山古陆，锑矿床广泛产出于基底地层中，如符竹溪、沃溪、板溪和渣滓溪等锑矿床均达到了中、大型矿床的规模。显然，该区基底具备提供大量成矿元素 Sb 的能力。

另外，值的关注的是，在华南锑矿带中，不同时代的基性、超基性岩石，均显示出富 Sb 特征❶。湘中锡矿山矿区的煌斑岩，其 Sb 的含量为 $2.94\times10^{-6}\sim23.14\times10^{-6}$（平均为 8.22×10^{-6}），比原始地幔高出 110～926 倍。而且，已有的一些地质、地球化学证据也显示，深部幔源物质很可能参与了锡矿山的成矿作用（黎盛斯，1996；金景福等，1999；Peng et al.,1999；

* 本文受国家重点基础研究发展规划项目(G1999043200)及中科院地球化学研究所前沿领域研究项目资助
第一作者简介 彭建堂，男，1868 年生，博士，副研究员，从事矿床地球化学研究。
❶ 彭建堂．2000． 锑的大规模成矿与超常富集机理. 中科院地球化学研究所（博士后出站报告）. 1～74．

彭建堂等，2000）。因此，我们不排除深部幔源物质对锡矿山巨量矿石堆积的所起的作用。

2　大规模流体作用与充分的水/岩反应

超大型矿床显然是矿石发生巨量堆积的结果，金属 Sb 发生巨量堆积，必然需要大规模的流体作为载体。没有流体的运载，矿质不可能仅依靠扩散机制发生富集成矿，更不可能形成诸如锡矿山之类的超大型矿床。因此，金属的超常富集过程实际上也是大规模流体运移和汇聚的过程。

锡矿山锑矿的围岩蚀变主要为硅化，锑矿体均赋存于蚀变的硅化灰岩中，矿体严格受硅化灰岩的控制。而硅化灰岩显然是成矿热液与围岩发生水/岩作用的结果。笔者的研究揭示，锡矿山矿区至少发生了两次大规模的水/岩反应，第一次水/岩作用使矿区灰岩发生隐性蚀变，尽管灰岩的岩石化学、组构特征并未明显改变，但其 Sr 含量、$\delta^{18}O$ 明显减小，而 $^{87}Sr/^{86}Sr$ 明显增加。第二次水/岩反应使矿区发生广泛的蚀变–成矿作用，灰岩中的 Sr、$\delta^{18}O$ 更趋于减小，而其 $^{87}Sr/^{86}Sr$ 更富放射性成因（彭建堂等，2001a）。最近同位素定年研究表明，锡矿山矿区的成矿作用可分为早、晚两期，其成矿作用时间分别为（155.5±1.1）Ma、（124.1±3.7）Ma（彭建堂等，2002）。早期的蚀变–成矿作用形成硅化、石英–辉锑矿型矿石和少量方解石–辉锑矿型矿石，晚期的蚀变–成矿作用则导致大量方解石–辉锑矿型矿石的沉淀。

野外地质特征、岩石化学数据和水/岩反应的理论模拟（彭建堂等，2001a,b；彭建堂等，2001）均表明，锡矿山的蚀变–成矿过程中，水/岩反应体系的 W/R 比值较高，水/岩反应较彻底、充分。

因此，湘中锡矿山地区不足 18 km^2 的地方 Sb 之所以能发生高强度的富集，显然是大规模流体作用和充分的水/岩反应的结果。特别是发生在（155.5±1.1）Ma 和（124.1±3.7）Ma、且相对独立的两次大规模流体与矿源岩相互作用，是导致该区元素 Sb 发生超常富集、形成巨量矿石堆积的直接原因。

3　特殊的构造环境

元素 Sb 在湘中锡矿山地区的超常富集，这与锡矿山所处的独特的构造环境是密不可分的：① 在大地构造上，锡矿山位于扬子地块、华南褶皱带两个大地构造单元之间的过渡区。扬子地块、华南褶皱带是两个地质演化历史截然不同的块体。这种过渡区的壳–幔作用强烈、频繁，不同物质成分的圈层发生物质、能量交换，促使成矿物质在横向、纵向上发生分异，从而有利于发生成矿作用；② 在构造应力上，锡矿山处于挤压–隆起区（雪峰山）与拉张–陷落区（湘中盆地）的交换带，是应力发生转换的部位。这种应力转换部位有利于流体的大规模汇聚；③ 锡矿山位于 NE 向的桃江—城步岩石圈断裂带与 NW 向的新化–涟源隐伏断裂的交汇部位，在平面上受大型线性构造及其交汇区的控制。桃江–城步深大断裂为岩石圈断裂，切穿地壳深达软流圈（饶家荣等，1993），它控制了湘中主要锑矿床的分布，如板溪、大福坪、廖家坪、锡矿山、罗城等大中型锑矿床都分布于该断裂之中或其近旁。这些穿壳的深大断裂有利于深部流体向上迁移，能沟通地幔、基底和盖层之间的物质和能量交换；④ 在深部构造上，锡矿山位于幔隆与幔坳的过渡带，是刚性地幔块体与韧性地幔块体的接合部位（饶家荣等，1993），与深部构造变动强烈的地带相对应。

4　良好的储矿空间

前人的研究表明，锑矿床的最佳赋矿部位需满足以下条件（斯特罗纳，1982；雅柯甫列夫，1991）：① 具有中和含矿溶液的能力；② 足够空隙的容矿岩层；③ 有不渗透的遮挡层。具有良好的运、储、盖的“成矿圈闭”。从岩性组合上来考虑，砂岩–灰岩–页岩对锑成矿最为理想，能满足成矿的“运—储—盖”条件。锡矿山正好满足了其最理想的赋矿岩性组合。

锡矿山的主要赋矿地层佘田桥组，总体上可分为 3 个岩性段，自上而下为页岩段（D_3s^3）、灰岩段（D_3s^2）、砂岩段（D_3s^1）。其中灰岩段实质上是一套由页岩或泥质、含泥质岩石—灰岩或泥质灰岩、泥灰岩–砂质或粉砂质岩组合的多韵律岩系，厚度可达 220 m；该岩性段中的每一个韵律层都具备良好的“运—储—盖”条件，尤以炭质页岩-硅化岩-粉砂岩组合最佳。而在佘田桥组之上的锡矿山组长龙界页岩段（D_3x^1），又构成了总的遮挡层，能有效阻止矿液的逸失。

灰岩，特别是不纯的灰岩，其力学性能是不均一的，在构造应力作用下易破碎、形成层间滑动、层间剥离等对成矿、储矿有利的构造空间，有利于矿液的运移、富集与沉淀；另一方面，灰岩的化学性质较活泼，易于与成矿热液发生交代蚀变形成硅化灰岩，同时反应所释放的 CO_2 将进一步与碱性硫化物发生反应，消耗碱性硫化物，从而降低 Sb_2S_3 溶解度，使溶液中的 Sb 发生沉淀（Tunell, 1964）。因此，锡矿山佘田桥组灰岩段（D_3s^2），对成矿流体中锑的沉淀和矿体的定位，均十分有利。

5 独特的深部地球物理背景

桃江－城步深大断裂两侧的地壳结构、地壳厚度和类型、岩石圈的厚度、地表和深部的地热流、区域重力场和磁场等地球物理特征明显不同，该断裂为一条深达软流层的岩石圈断裂（饶家荣等，1993）。位于该深大断裂之中的锡矿山矿田，其深部地壳、上地幔以相对低速、低温、低密度、低电阻率为特征。矿田位于莫霍面凹陷区，地壳由薄（36 km）变厚（40 km），岩石圈呈西浅东深，落差达 100 km 的突变带，属厚幔厚壳区。岩石圈电阻率极低，仅为 $n\times10\,\Omega\cdot m$，莫霍面的温度 295 ℃，属“凉”的深部构造环境。而东、西两侧深部热流值为 25.86～36.92 mWm^{-2}，壳幔厚度与地热的巨大差异，是充分进行热交换的深部最理想的构造地球化学条件，有利富 Sb 流体侧向汇聚（饶家荣等，1993）。

矿田位于华南微板块与扬子微板块的边缘敛合部位，桃江－城步岩石圈断裂带旁侧，于壳下岩石圈俯冲–碰撞带之上。两条切穿莫霍面的上陡下缓向 SE 倾斜的断裂带，在矿带分布区上地壳底部聚敛，其中发生在中上地壳间低速层的滑脱韧性断裂带，是形成湘中印支压缩带的走滑断裂，与锡矿山 F_{75} 主要的控矿、导矿断裂联合，形成沟通和输导幔、壳源金属物质的主要通道（饶家荣等，1993）。

参 考 文 献

何江，马东升．1996．中低温含硫、氯水溶液对地层中金、锑、汞、砷的淋滤实验研究．地质论评，42（11）：76～85．

金景福，陶琰，赖万春，等．1999．湘中锡矿山式锑矿成矿规律及找矿方向．成都：四川科学技术出版社. 1～162．

靳西祥．1993．超大型矿床锡矿山锑矿床成矿地质条件研究．湖南地质，12（4）：252～256．

黎盛斯．1996．湘中锑矿深源流体的地幔柱成矿演化．湖南地质，15（3）：137～142．

马东升．1999．华南中、低温成矿元素组合和流体性质的区域分布规律．矿床地质，18（4）：347～357．

牛贺才，马东升．1991．在低温开放体系水岩反应过程中金、锑、钨的实验地球化学研究．科学通报，36（24）：1879～1881．

彭建堂，胡瑞忠，苏文超．2000．扬子地块南缘锑矿床中矿石铅的组成及其地质意义．地质地球化学，28（4）：43～47．

彭建堂，胡瑞忠，邓海琳，等．2001．湘中锡矿山锑矿床的 Sr 同位素地球化学．地球化学，30（3）：248～256．

彭建堂，胡瑞忠．2001．湘中锡矿山超大型锑矿床的 C、O 同位素体系．地质论评，47（1）：34～41．

彭建堂，胡瑞忠，林源贤，等．2002．锡矿山锑矿床热液方解石的 Sm-Nd 同位素定年．科学通报，47（10）：789～792．

饶家荣，王纪恒，曹一中．1993．湖南深部地质．湖南地质，12（增刊 7）：68～83．

斯特罗纳 彼 安．1982．含矿建造论（刘浩龙等译）．北京：地质出版社．

涂光炽．1994．超大型矿床的寻找和与研究的若干进展．地学前缘，1（3）：45～52．

雅柯甫列夫 П Б．1991．金属矿床工业类型（彭万志译）．地矿部郑州矿产综合利用研究所．

朱炳泉等．1997．地球科学中同位素体系理论与应用．北京：科学出版社. 178～179．

Laznicka P. 1983. Giant ore deposits: A quantitative approach . Global Tectonics and Metallogeny, 2(1～2)：41～63.

Laznicka P. 1999. Quantitative relationships among giant deposits of metals . Econ. Geol., 94：455～474.

Tunell G. 1964. Chemical process in the formation of mercury ores and ores of mercury and antimony . Geochim. Cosmochim. Acta, 23：1029～1037.

Wedpohl K H. 1995. The composition of the continental crust . Geochim. Cosmochim. Acta, 59（7）：1217～1232.