

## 从锡矿山矿田的古流障系统看锡矿山锑矿 深边部的找矿方向

陈星霖<sup>1,2</sup>, 吴延之<sup>1,2</sup>

- (1. 中南大学 有色金属成矿预测教育部重点实验室, 长沙 410083;
2. 中南大学 地球科学与信息物理学院, 长沙 410083)

**摘 要:** 通过分析 14 个矿床矿化点的分布资料, 编制锡矿山锑矿田古成矿环境网络示意图, 总结锡矿山锑矿床的 14 项基本成矿特点, 归纳分析前人对本区锑矿成因的 5 种观点和相关依据, 提出锡矿山矿田古环境系统, 深-流-障, 即深流-环流-障积成矿系统的新认识。湘中晚古生代台内断陷盆地是成矿环境系统的重要地质基础, 由西向东 NE 向 5 条深切基底的断裂构成断陷盆地的成矿环境主干, 而以冷水江大断裂及其分支 75 号断裂表现尤为突出。锡矿山矿田构造展布、蚀变矿化、包体分析、化探异常, 表明它们间存在叠合和耦合关系, 并显示出矿田内存在一个由南西向北东, 并有多处分支分叉的环境系统。矿田内众多矿体分布表明 NE 向主断裂带、F<sub>75</sub> 及其 3 条分支断裂带与棋梓桥组、余田桥组、刘家塘组 3 个层顶界面处为成矿的有利空间, 而以余田桥组顶界面处规模最大, 连续性最好, 组成了完整的障积组合系统。盆地周边侵入岩体和深部可能的地幔柱, 是盆内的主要热源, 上升热矿水与下渗水的长期环流是盆地内成矿作用重要动力机制, 分析并剔除了 3 种环流(垂向环流、双向环流、洞穴环流)的方式和机制。总结了鉴别古成矿环境系统的 4 大标志。针对矿田成矿系统环流分布特点, 提交了马月山背斜至陈家排的 6 处有利找矿靶区。

**关键词:** 锡矿山矿田; 古成矿环境系统; 深边部找矿

中图分类号: TP597

文献标志码: A

## Prospecting direction on deep and side prospecting of Xikuangshan antimony deposit based on ancient flow block system of ore-field

CHEN Xing-lin<sup>1,2</sup>, WU Yan-zhi<sup>1,2</sup>

- (1. Key Laboratory of Metallogenic Prediction of Nonferrous Metals, Ministry of Education,  
Central South University, Changsha 410083, China;
2. School of Geosciences and Info-Physics, Central South University, Changsha 410083, China)

**Abstract:** According to the distribution data of 14 mineralization points, the sketch map of the ancient ore-forming environment in Xikuangshan antimony ore-field was drawn, 14 basic mineralization characteristics in this area were summarized, and the previous 5 kinds of viewpoints on genesis as well as its relevant basis were analyzed. Through the above comprehensive analysis, the paleoenvironmental system of the Xikuangshan ore-field, deep-flow-barrier, namely the new understanding of flow-circulation-bafflestone metallogenic system was proposed. The late Paleozoic rift basin, which is inside the platform of central Hunan, is a significant geological basis of the metallogenic environment system. In this mining area, from west to east, there exist 5 NE trending faults, which deeply ingrow into the basement, constitute the backbone of the metallogenic environment. Among these faults, the Lengshuijiang fault and its branch No.75 fault are particularly prominent. In Xikuangshan ore-field, by the analysis of the structural distribution, mineralization and

alteration, inclusion and the geochemical anomaly, it can be concluded that there exists a superposition and coupling relationship between them, thus demonstrating that there is an environment system extending from SW to NE with various branches of bifurcation. According to the distribution of the numerous mineral deposits, it can be concluded that the favorable space for mineralization is the top layer interface between the NE-trending main fault zone, F75 as well as its three branches and the three groups of Qiziqiao formation, Shetianqiao formation and Liujiatang formation. In addition, with the largest top boundary and the best continuity, the Shetianqiao formation composes a complete bafflestone combined system. The intrusive rocks around the basin and the deep mantle plume are possibly the main heat source. What's more, the uprising thermal water and the infiltration water are the important driving force in the basin mineralization mechanism. Through analysis, three kinds of modes and mechanisms i.e., the circulation-vertical circulation, two-way circulation and the cave circulation, were analyzed and removed. Also, four signs for the identification of ancient metallogenic environment system were summed up. According to the distribution characteristics of the metallogenic circulation system, the six areas of favorable prospecting targets from Mayue mountain antiline to Chenjiapai were put forward.

**Key words:** Xikuangshan ore-field; ancient metallogenic environment system; deep and side prospecting

锡矿山锑矿是我国唯一的超大型锑矿床, 以其一大二富三集中而闻名于国内外。矿床自 1897 年开采至今, 已有 110 多年的开采历史。近 100 年来, 本区共生产锑矿 100 万 t 以上, 累计本区锑矿总储量在 200 万 t 以上。整个锡矿山矿田内的锑矿床集中分布在 4 个矿化集中区, 即老矿山、飞水岩、童家院和物华。目前, 这 4 个矿化集中区经过长期开采, 保有储量已大幅度减少, 矿山急需增加后备储量以保证可持续生产。近十年来, 矿山已采取多种措施, 并开展数次关于锡矿山周边扩大找矿的高层次专题研讨会。采取了多种手段进行探矿工作, 然而进展并不理想。近年来, 在湖南省地质学会的组织下, 开展了矿山边深部的找矿研究工作, 取得了明显的成果。说明矿田内的深边部找矿仍大有潜力可挖, 本文作者在总结前人资料的基础上, 结合本人在教学科研过程中多次对矿田矿床实际研究考察, 根据矿田内 14 个矿床矿点分布与相关资料编制了锡矿山锑矿田在成矿环流网络图, 对本区成矿作用的深源-环流-障积成矿机制和系统提出了新的认识, 并针对本区深边部找矿提出了 6 个有利找矿靶区。

## 1 锡矿山锑矿床的总体特征

锡矿山锑矿田位于湖南湘中地区, 在冷水江市北 12 km 处。属湘中晚古生代凹陷盆地的偏西地区。矿区呈 NE—SN 向的长椭圆形。长轴南西—北东长 4 km, 短轴北西—南东宽 2 km, 总面积 8 km<sup>2</sup>。集中于飞水岩、老矿山、物化和童家院 4 处, 该矿床具有如下

特点。

1) 矿床产于晚古生代碎屑碳酸盐岩系组成的湘中凹陷盆地西部。盆地外围及基底为前震旦系板溪群、震旦系、寒武系、志留系等浅变质岩系地层, 总厚度达万余米。盆地内沉积盖层为晚古生代台地型陆表海相碎屑碳酸盐岩系。经多次海侵进退, 形成多次海进海退的旋回韵律。其中, 夹有多层可溶性碳酸盐层及蒸发岩相白云岩、重晶石、可溶性碳酸盐、硫酸盐及少量含盐地层。一些碳酸盐地层中富含生物碎屑、有机质、菱铁矿层及黄铁矿层<sup>[1-3]</sup>。

2) 盆地经后期构造运动隆起, 形成一系列短轴背斜向斜, 并发育与之相关的断裂构造, 其中, 以北东向、北北东向断裂构造最为明显。整个盆地东西两边各有一条北东向的深断裂切过, 西侧一条为桃江—城步大断裂, 东侧一条为宁乡—新宁大断裂。

3) 4 个矿化集中地段都产于短轴背斜与断层交切的地段。“背斜加一刀”现象十分突出, 其中, 老矿山与飞水岩两处较大, 而物华与童家院两处较小, 矿体主要产于断裂破碎带、层间剥离及滑动裂隙, 特别是断裂带与旁侧层间剥离及滑动裂隙复合交汇处。以老矿山与飞水岩为例, 矿体均与 NE 向断裂及旁侧背斜有关, 并形成多层组合矿体。

4) 矿体受岩性、岩相控制明显。主要产于页岩层下部的含生物碎屑或富有机质硫化物的岩层中, 没有固定的层位, 但产出最多的层位是余田桥组上段生物礁灰岩以及粉砂岩、灰岩、页岩互层韵律层带中, 余田桥组中段灰黑色粉砂页岩与钙质砂岩互层, 棋梓桥组上段微晶灰岩和生物碎屑灰岩, 这种上部页岩、下部富生物碎屑有机质、硫化物层的地球化学障积岩性

组合，在矿化集中区都十分普遍突出。

5) 矿体形态。以产于断裂带中的脉状、产于层间剥离裂隙带和层间滑动破碎带中的似层状和透镜状以及产于两组构造交汇扩容处的囊状和洞穴状3类最为普遍。三者往往相互关联，但在不同矿段或矿化集中区仅以一种形态为主。

6) 矿石矿物总体比较简单。原生矿石为单一辉锑矿矿石，其他金属矿物为少量黄铁矿和磁黄铁矿，偶见微量闪锌矿和雌黄。脉石矿物主要为石英，其次为方解石，并见极少量的白云石、重晶石、绢云母和石膏。按矿体中矿物组合穿插关系，主要可分3个阶段：石英辉锑矿阶段、碳酸盐辉锑矿阶段和晶洞辉锑矿阶段。反映成矿过程中，构造和矿液活动具脉动性，由早到晚，成矿溶液的性质发生变化<sup>[4-6]</sup>。

7) 矿石构造常为致密块状构造，由他形短柱状辉锑矿集合体组成；条带状构造，辉锑矿往往沿围岩的层间裂隙充填交代而成；生物碎屑构造，辉锑矿交代生物化石碎屑，如层孔虫、珊瑚、腕足类碎片等；晶洞状构造，多见于硅化岩裂隙空洞及构造破碎带，多存在于小裂隙空洞处，其中辉锑矿与石英或辉锑矿与方解石组成晶洞。这说明辉锑矿主要由交代和充填作用形成。

8) 矿化与硅化蚀变带有密切的依从关系。矿化发生于强烈硅化蚀变作用之后，如老矿山、飞水岩等大量矿化集中区，矿体产于致密厚大的硅化蚀变带之下。硅化蚀变带的厚度达30~50 m，硅化蚀变带的范围大于矿体的5~10倍。显示硅化蚀变作用为成矿作用的前锋。

9) 矿石中硫同位素具有较大的极差值。辉锑矿的 $\delta^{34}\text{S}$ 根据近400个辉锑矿样品统计 $\delta^{34}\text{S}$ 变化介于-2.3‰~16.8‰之间，极差为19.1；与辉锑矿共生的黄铁矿的 $\delta^{34}\text{S}$ 为14.6‰~34.8‰，极差为20.2；重晶石的 $\delta^{34}\text{S}$ 为16.9‰~48.9‰，这些说明成矿液体中以海水型重硫为主。

10) 矿石的氢氧同位素测定结果。层间石英-辉锑矿矿体 $\delta^{18}\text{O}$ 为+12.7‰， $\delta\text{D}$ 为-76‰；脉状石英-辉锑矿 $\delta^{18}\text{O}$ 为+16.2‰， $\delta\text{D}$ 为-77‰，说明成矿液体中的水介于岩浆水和大气降水之间，可能为二种水的混合物。它们既有深部上升热卤水，也有浅部下渗的天水。

11) 矿物包裹体测温。石英辉锑矿体，石英包体测温为275℃，石英辉锑矿脉167.5℃，方解石161.6℃，重晶石182~209℃，辉锑矿爆裂测温平均为199℃，这些说明成矿温度介于160~275℃之间，属于中

低温热液范围。

12) 矿物包裹体成分测定。石英中包裹体大小为6~12 μm，形状不规则。气液比约为30%，富含 $\text{Cl}^-$ 、 $\text{Ca}^{2+}$ 、 $\text{Na}^+$ 和 $\text{K}^+$ ，属Cl-Ca-Na-K型。含 $\text{CO}_2$ ，溶液主要为地层水，性质为弱酸-弱碱性。

13) 矿石铅同位素组成。 $\text{Pb}^{206}/\text{Pb}^{204}$ 为17.685‰~18.663‰， $\text{Pb}^{207}/\text{Pb}^{204}$ 为15.516‰~15.966‰， $\text{Pb}^{208}/\text{Pb}^{204}$ 为38.028‰~39.277‰。说明铅同位素的组成比较均一，差异并不很大，模式年龄可分3组：基底老铅(789.8~569.4) Ma、围岩地层铅(314.3~358.6) Ma和燕山期136.2 Ma。这些说明铅同位素组成中以围岩铅为主，部分混有老基底及晚期构造岩浆活动的影响。

14) 矿田内无较大矿体。矿区内除东部有一条走向为 $\text{N}30^\circ\text{—}35^\circ\text{E}$ 方向的煌斑岩脉外，未见有其他侵入岩。该岩脉切穿泥盆系和下石炭统地层，与围岩接触界限清楚。但旁侧羽状裂隙或层间裂隙内充填了小岩枝。在飞水岩南西倾伏端 $\text{F}_{75}$ 断层下盘、坑内亦见以小的隐伏煌斑岩脉，脉体中未见蚀变与矿化，亦未见与矿化的直接关系，总体上，在矿田内大规模热变质角岩化或大理岩化，因此，本矿床与岩浆活动无直接关系<sup>[7]</sup>。

关于本矿床的成因，研究者接近数百人次，提出成因观点较多。计其要者，有以下5种：浅成低温岩浆热液成矿、沉积-改造成矿、热水喷流沉积-改造成矿、热水岩溶成矿和渗流热卤水成矿。

根据上述14个方面的成矿背景、矿化特征，主要矿床空间展布形式和分布规律，S、Pb、H、O同位素组成特点，矿物包裹体测温和成分数据资料，认为应属于晚海西-燕山早期与晚古生代盆地渗流热卤水有关的，后生层控型中低温交代充填式锑矿床，与岩浆活动无直接关系<sup>[8-10]</sup>。

## 2 锡矿山锑矿田古成矿环流系统

锡矿山矿田处于元古宙雪峰古陆基底的东南侧，经加里东运动后，本区处于雪峰古隆起的东南侧陆缘海的湘中边缘凹陷盆地。在凹陷盆地内，经多次陆表海侵进退，形成盆内一套以碎屑碳酸盐建造为主的泥盆-石炭系地层。经晚古生代末的海西运动而形成湘中短轴背向斜复式缓倾斜褶皱。构成一个有独立环流系统与多个横向斜向挡隔的屏障。燕山早期在凹陷地南部与北部，沿基底断裂形成花岗岩体侵入叠加于

早期加里东、印支期岩体之上，在南面形成了大神山—白马山复式岩体，在北侧形成桃江，沅山复式岩体<sup>[11]</sup>。使整个湘中晚古生代碎屑碳酸盐沉积盆地成为一个受岩体包围的长期加热系统，并在其中多处 NE—NNE 向断裂带上，形成多处热液矿化活动中心，而锡矿山矿田则为其中最突出的一处。图 1 所示为湘中晚古生代凹陷盆地空间分布图。

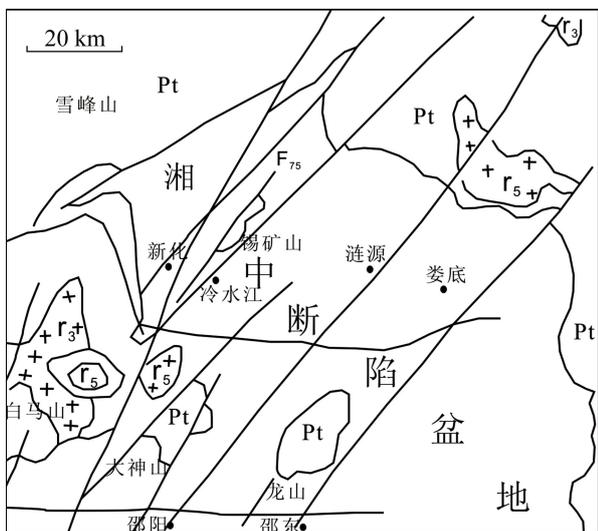


图 1 湖南湘中晚古生代断陷盆地空间分布图  
 Fig. 1 Spatial distribution of Late Paleozoic rift basins in central Hunan

锡矿山矿田古成矿环流系统或称为古流障系统 (Ancient underground water current and barrier system)。这一术语来源于 20 世纪 40 年代美国学者 White1942 年研究美国黄石公园地区 Sb、Hg 成因时的一种提法，他根据该区 Sb、Hg、As 的矿化分布及相关硅化蛋白化石与该区温泉系统密切有关，蚀变矿化与温泉系统两者在空间分布形影相随，而 Sb、Hg 矿床的包裹体成分和温度又与温泉系统的主成分和温度十分接近锑汞矿床，属于热泉成因<sup>[12]</sup>，在此本文作者就加以延伸和引用。

根据锡矿山矿田构造的展布特征和蚀变矿化的叠合分析，可以看出矿化蚀变(包括化探异常的分布与构造岩性组合之间的耦合关系)十分明显地在锡矿山矿田内存在一个由南西向北东，并有多处分支分叉的环流系统。图 2 所示为锡矿山矿田古成矿环流的网络示意图。

从图 2 可以看出，锡矿山矿田西部的 F<sub>75</sub> 断层是切穿湘中晚古生代碎屑碳酸盐盆地一条主干古成矿环流通道。在其右侧的一系列东北向次级断裂，由南往北依次有物华断裂 F<sub>2</sub>、童家院断裂 F<sub>3</sub> 和老矿山断裂

F<sub>72</sub>，它们的走向均为 NE—SW 向，倾向 NW，其南西端均与 F<sub>75</sub> 大断裂交汇，形成了一个长约 10 km、宽约 3 km，局域潜流面积约 10 km<sup>2</sup> 的古成矿环流区，整个区域的总体方向为 NE—SW 方向。根据包体测温，矿体埋深，矿物蚀变空间分布变化以及化探原生晕的浓

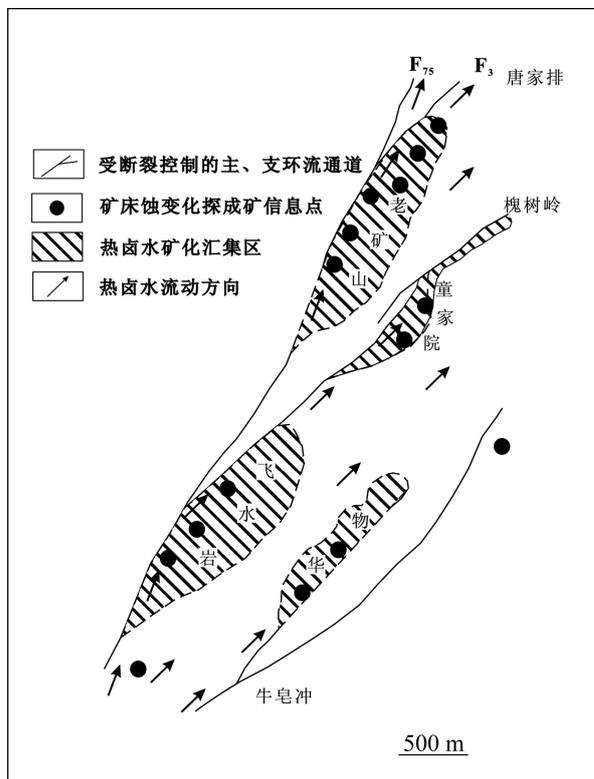


图 2 锡矿山锑矿田古成矿环流网络示意图  
 Fig. 2 Schematic diagram of ancient ore-forming circulation in Xikuangshan antimony ore-field

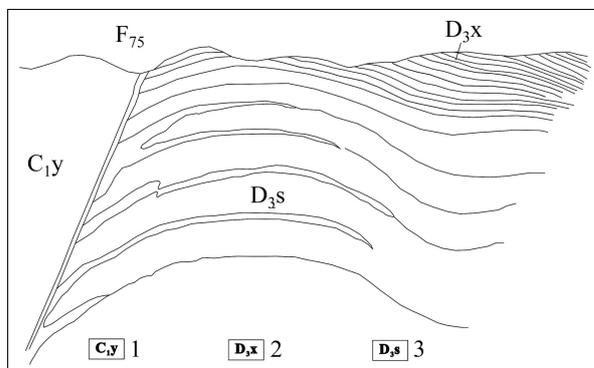


图 3 锡矿山飞水岩矿区由单向环流沿层间裂隙所形成的成组顺层矿体示意图：1—下石炭统岩关组；2—上泥盆统锡矿山组；3—上泥盆统余田桥组  
 Fig. 3 Schematic diagram of bedding ore-body formed by one-way circulation along inter-layer cracks in Feishuiyan deposit of Xikuangshan: 1 — Yanguan group lower carboniferous; 2—Xikuangshan group upper Devonian; 3— Shetianqiao group upper Devonian

度圈闭形态和分布方向，目前可以清楚的看出它是由一个主干潜流通道和 3 个分枝潜流通道所组成，此外还有很多次级横向小断裂以及大量短轴背斜的各个层间滑动面，组成一个古成矿环流网络。

### 2.1 主干潜流通道

主干潜流通道为纵贯矿区的主干断裂 F<sub>75</sub>，其总体

方向为 N35° E，局部略有舒缓的弧形转折，其最主要的依据是下盘岩石发生延长远、厚度大、强度高的硅化蚀变带，因而它是富硅酸盐含矿载体的主要环流通道<sup>[13]</sup>。其垂向深度达 800~1 000 m，水平方向向东侧延展 500~1 000 m。除已控长度外，这条主干通道向南至少还可以延续 2 km 以上，向北延续 3~4 km，其流动方向则为 SW 流向 NE，且南西端埋深较大，最

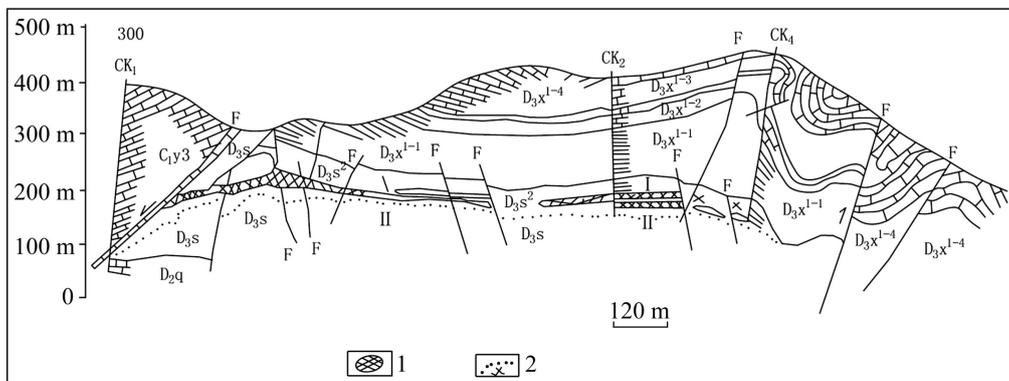


图 4 锡矿山锑矿田南矿引线环流矿化剖面图(据锡矿山矿务局资料修改): C<sub>1y</sub><sup>3</sup>—刘家塘灰岩; D<sub>3x</sub><sup>1-4</sup>—马枯脑灰岩; D<sub>3x</sub><sup>1-3</sup>—泥塘里铁矿层; D<sub>3x</sub><sup>1-2</sup>—兔子糖灰岩; D<sub>3x</sub><sup>1-1</sup>—长龙界页岩; D<sub>3s</sub>—余田桥组页岩; D<sub>2q</sub>—棋梓桥组灰岩; F<sub>75</sub>—断层及编号; 1—矿体及编号; 2—硅化岩主界线

Fig. 4 Circulation mineralization profile of south mine in Xikuangshan antimony ore-field (Modified according to data of Xikuangshan Bureau of mines): C<sub>1y</sub><sup>3</sup>—Liujiatang limestone; D<sub>3x</sub><sup>1-4</sup>—Magunao limestone; D<sub>3x</sub><sup>1-3</sup>—Nitangli iron ore-bed; D<sub>3x</sub><sup>1-2</sup>—Tuzitang limestone; D<sub>3x</sub><sup>1-1</sup>—Changlongjie shale; D<sub>3s</sub>—Shetianqiao formation shale; D<sub>2q</sub>—Qiziqiao formation limestone; F<sub>75</sub>—Fault and number; 1—Mineral deposit and number; 2—Main boundary of silicified rock

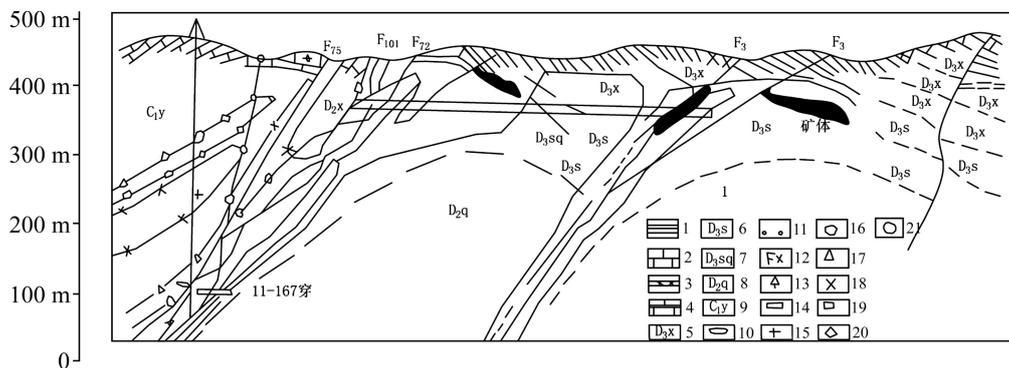


图 5 锡矿山锑矿田北矿环流矿化剖面图(据湖南有色地勘局 246 队资料修改): 1—页岩; 2—灰岩; 3—铁矿层; 4—硅化灰岩; 5—上泥盆统锡矿山组; 6—上泥盆统余田桥组灰岩段; 7—上泥盆统余田桥组硅化灰岩段; 8—中泥盆统棋梓桥段; 9—下石炭统岩关段; 10—锑矿体; 11—硅化界线; 12—断裂及编号; 13—钻孔; 14—坑道; 15—锑异常; 16—汞异常; 17—砷异常; 18—铅异常; 19—锌异常; 20—铜异常; 21—锡异常

Fig. 5 Circulation mineralization profile of north mine in Xikuangshan antimony ore-field (Modified according to data of Hunan Nonferrous Geological Prospecting Bureau 246 Team): 1—Shale; 2—Limestone; 3—Iron orebed; 4—Silicified limestone; 5—Upper Devonian Xikuangshan formation; 6—Limestone of upper devonian Shetianqiao formation; 7—Silicified limestone of upper devonian Shetianqiao formation; 8—Middle devonian Qiziqiao formation; 9—Lower carboniferous Yanguan formation; 10—Antimony deposit; 11—Silicified boundary; 12—Fault and number; 13—Borehole; 14—Tunnel; 15—Sb anomaly; 16—Hg anomaly; 17—As anomaly; 18—Pb anomaly; 19—Zn anomaly; 20—Cu anomaly; 21—Sn anomaly

深处可达1 km。而北东端逐渐变浅,至北端陈家冲一带,深度最大仅可达300~400 m,而且影响范围与强度也逐渐减弱(图3~5)<sup>[14]</sup>。

## 2.2 物华北东向半隐伏分支环流通道

物华北东向半隐伏分支环流通道在地表的显示不明显,但在剖面上比较明显,其产状为NE40°~45°方向,倾向NW。据地表蚀变与矿化标志反映,其影响长度约为2 km,横向影响距离为300~500 m,它控制了物华矿化中心和一些主矿体的形成。

## 2.3 童家院北东向分支环流通道

童家院北东向分支环流通道的SW端与主干通道F<sub>75</sub>汇合,然后顺F<sub>3</sub>向童家院延展,其长度约为3 km,控制童家院矿化中心和童家院主矿体的形成,并延伸至槐花岭。

## 2.4 F<sub>72</sub>老矿山唐家排分枝环流通道

F<sub>72</sub>老矿山唐家排分枝环流通道的SW端也在老矿山北部与主干通道F<sub>75</sub>汇合,这一通道在老矿山东北面被另外几条不同方向的次级断裂切割,因而在南西端比较单一集中,而在北东端则分散扩大,因此,难以集中形成大矿,而形成许多不同方向的分散矿体。

## 2.5 南部贯场里断裂分支环流通道

南部贯场里断裂分支环流通道分布于物华半隐伏断裂以南,位于贯场里背斜的西翼,介于贯场里背斜与月马山背斜之间。这是一个尚未被注意的有利矿化地区,根据该断裂产状,其南西端亦与F<sub>75</sub>主干环流通道相连,在与该通道相交切的余田桥组和棋梓桥组有利层位,应注意对这些部位进行勘查。

上述系统仅是一个初步的宏观分析,建议系统开展1/10 000的矿田古成矿环流系统图的研究编制工作,并据此进行成矿预测和靶区选定。这一图件的编制应以详细的矿田矿床构造图为基础,重点反映出4个方面的内容:1)矿化分布,包括不同层位(棋梓桥组、余田桥组、刘家塘组等)矿层埋深厚度;2)蚀变分布、硅化、碳酸盐化、埋深与厚度、强度;3)原生晕形态,成矿元素丰度;4)包裹体温度和成分。根据这些系统资料,可以较精确进行古成矿环流系统的恢复,编制一系列古环流成矿定位剖面图,以便进行定位成矿预测。

# 3 成矿古环流及屏障系统的鉴别标志和环流成矿机制

## 3.1 成矿古环流及屏障系统的鉴别标志

在层控型锑、汞、铜、铅、锌、金、铀一类矿床的形成过程中,古含矿流体的环流和屏障系统是控制矿体形成及其空间分布形式的关键,鉴别这一系统的标志主要有以下4个方面。

1) 古环流盆地的存在。成矿物质在成矿流体中的聚集是成矿环流盆地中长期水岩反应的结果。含矿盆地内,基底和含矿岩系的成矿元素丰度和盆地规模大小,直接影响到成矿规模的大小。以湘中晚古生代凹陷盆地为例,它西界雪峰山,南坡北东东向边缘断裂,北界沅山岩体壶天一棋梓桥盆地边缘,南界白马山一大神山—龙山,湘中凹陷盆地面积达300 km<sup>2</sup>以上。这一盆地自海西运动至今,已存在数亿年,因而对大型锑矿床的形成极为有利<sup>[14-16]</sup>。

2) 环流通道系统。由可溶性岩层、不整合面和切穿岩层的断裂带构成一个完整的环流系统,它们受后期各种地层作用的影响,也可以分割为若干个范围较小的局部环流系统。以锡矿山矿田为例,F<sub>75</sub>断裂和其东部的冷水江断裂所夹持的地区就是与锡矿山锑矿田成矿有关的局部环流区、主干断裂、分枝断裂、不整合面以及层间滑脱裂隙组合在一起,构成一个完整的环流网络系统。

3) 矿体及相关的围岩蚀变带的空间分布。矿体及相关的围岩蚀变带的空间分布是成矿流体在成矿环流系统中直接留下的烙印和标志,在宏观上具有很强的直观效果。如果再辅助以不同地段矿物包裹体的测温 and 成分测定的系统数据资料,则可以精确反映出古成矿流体具体运移流动情况,从微观上加以充实。

4) 矿床及相关断裂构造带成矿元素原生地球化学晕。在成矿流体环流与卸载成矿过程中,成矿流体内所含各种与成矿有关的元素,依其化学活动性质及氧化还原的强弱程度,分别可以显示出远程、中程、近程和滞后的元素分布和分带差异。它们不但可以指示成矿流体在环流系统中的移动方向,而且可以直接反映矿体在三度空间上位置和范围,这对于预测隐伏矿床矿体,具有十分重要意义。

成矿地球化学屏障主要与地层的物理化学性质、岩性成分、岩相组合以及与主、支断裂,环流通道的相互组合型式和相关关系有关,在此,分析其在成矿作用中的几种主要型式<sup>[17]</sup>。

### 3.2 环流成矿的几种主要方式

成矿流体在运移过程中如果遇到滞流或还原岩层屏障，那么含矿流体使含还原岩石屏障，如碳质页岩、硅质不透水层、生物碎屑灰岩、沉积的黄铁矿、菱铁矿层、白云岩夹层，发生新的水岩反应，并导致成矿物质的大量卸载沉淀形成矿体和矿化带<sup>[4]</sup>。

在锑、汞类矿床通过环流系统在相关地球化学屏障条件下发生局部环流及矿化沉淀的主要方式有如下 4 种。

1) 层：即可溶性多孔性地层，如富含生物碎屑灰岩，内碎屑灰岩，生物礁灰岩，白云石化灰岩，富有机质碳质黄铁矿、菱铁矿灰岩，它们是主要环流通道旁侧最有利的环流层位。这种层可以是一层也可以是多层，可以是韵律层也可以是砂页岩与灰岩、白云岩互层。

2) 断：即断层或断层组、断层带，包括同向断层组或反向对冲断层组，呈叠瓦状，犁式、铲式断层组等。特别常见的是一条主干断层和其旁侧的次级分枝断裂。

3) 交：即相交的断层结点，或断层与不整合面，或断层与层间滑动破裂带的交汇结合点。

4) 溶：即可溶性岩层如石灰岩、白云岩、钙质胶结的碎屑岩等岩层中的溶洞。这些溶洞有顺层的、穿层的、以及与地层斜交的由两组斜交断裂结点发育而成的溶洞等。如锡矿山北矿即有由背斜核部层间滑脱裂隙与北东及近东西向断裂的结点，形成了老矿山巨大的富锑矿柱。

### 3.3 环流成矿的方式

上述不同的地层构造地球化学屏障与流通空间使含矿卤水在其中发生环流，并导致矿化沉淀，概括起来有如下几种方式：

1) 单向环流。即沿主干环流通道的一侧，在地球化学屏障层下形成单向局部环流，结果在环流区形成交代或交代充填矿体，如图 6(a)和(b)所示。

2) 双向环流。沿主干环流通道一侧，同时有两条支断裂相夹，在夹持区内，可以形成局部的相对环流，这样便增加了矿液卸载效果，可形成致密富厚矿体，如图 6(c)和(d)所示。

这两种情况在锡矿山矿田内，特别是飞水岩南矿和老矿山北矿都有很多的实例，如图 7 所示。

3) 洞穴环流。成矿溶液沿环流系统网络在已成岩溶洞中形成局部的涡流滞流，特别在一些温度较高(>200 °C)的酸性含矿热卤水具有很强的溶蚀性，在其环流过程中，可以对可溶性石灰岩、白云岩发生边溶

解边交代沉淀的成矿作用，即热液自溶洞穴作用，前述老矿山的万人堂就是这一成矿方式的最好实例。

洞穴环流的形式很多，但主要有不整合面以下的古岩溶、沿主干断裂切过可溶性岩层中的洞穴、在主干断裂旁侧多向次级裂隙交叉处形成的洞穴和由含矿热液自身边溶解边沉淀形成的洞穴，如图 8 所示。

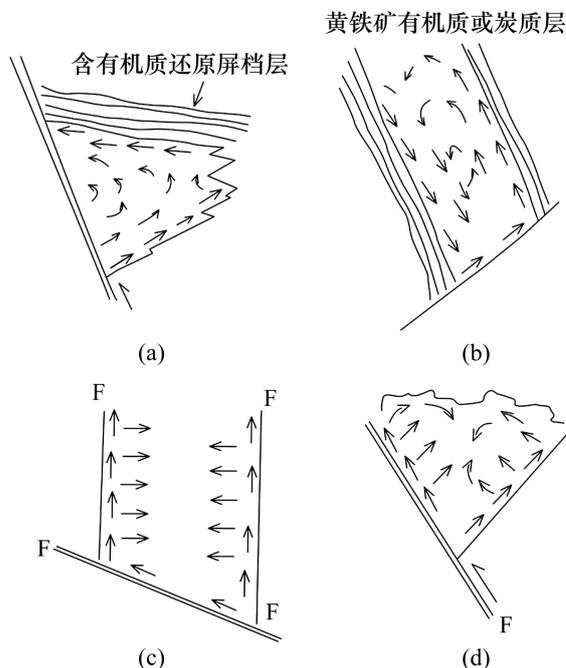


图 6 主干断裂旁侧的单向局部环流((a), (b))和双向局部环流((c), (d))成矿方式示意图

Fig. 6 Schematic diagrams of unidirectional ((a), (b)) and bidirectional ((c), (d)) local circulation mineralization along main fault

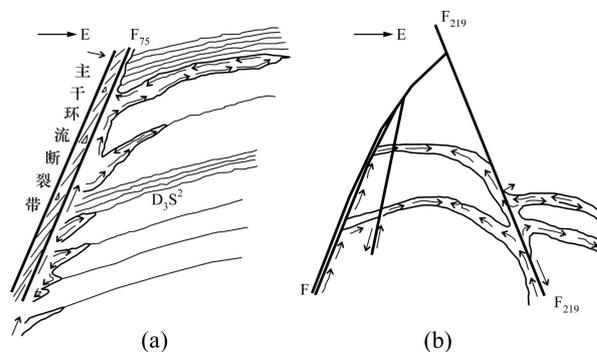


图 7 北矿沿 F<sub>75</sub> 下盘沿余田桥组 D<sub>3</sub>S<sup>2</sup> 地层中的单向环流(a)和北矿 F<sub>219</sub> 及西侧另一条 F 两条断裂环流带双向环流成矿(b)

Fig. 7 One-way circulation along footwall of F<sub>75</sub> and Shetianqiao formation D<sub>3</sub>S<sup>2</sup> in north mine (a) and two-way circulation mineralization along breaking belt of F<sub>219</sub> and another fault in north mine (b)

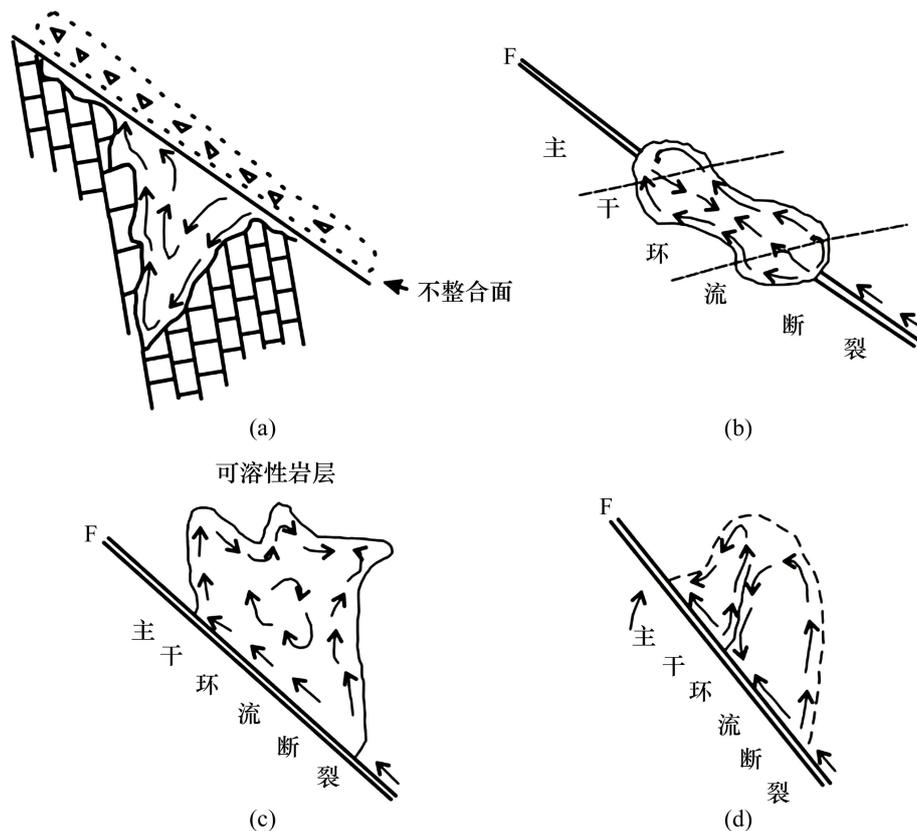


图8 在不同成因岩溶洞穴中成矿溶液的环流情况: (a) 沿不整合面基底可溶性岩层中的洞穴; (b) 沿断层带中发育的洞穴; (c) 断层一侧可溶性岩层中的洞穴; (d) 热液自溶洞穴

Fig. 8 Circulation situation of mineralizing solution in karst caves of different causes: (a) Caves in soluble rock of unconforming basement; (b) Caves in fault belt development; (c) Caves in soluble rock of fault; (d) Caves in hydrothermal autolysis

#### 4 从锡矿山矿田古环障系统看矿田内今后的找矿方向

由于近 10 多年来都未再在锡矿山矿区进行研究, 加上近 20 年来矿山开采过程中的新揭露地质现象也未能参阅, 这里只能凭过去工作的印象结合一些平剖面图所反映的矿化蚀变与地球化学原生晕概略情况, 提供一些初步认识, 以供矿区边深部勘察工作的参考。

从图 2~5 的主干环流通道网络分析可知, 锡矿山矿田的主干环流通道为西部大断层即  $F_{75}$ , 其成矿溶液环流方向是从矿田南西角月马山背斜的深部沿  $F_{75}$  向  $NE30^{\circ}\sim 40^{\circ}$  方向呈帚状扩散, 其最远前锋既至陈家冲和唐家排一带, 对此, 可将锡矿山矿体内除老矿山, 飞水岩、童家院、物华 4 矿区深部主环流通道旁侧不同层位( $D_{2q}$ ,  $D_{3s}$ ,  $C_{1z}$ )继续挖潜外, 由南往北建议特别注意如下 6 个地段, 其分布位置如图 9 所示。

1) 月马山背斜。这一地段处于  $F_{75}$  大断裂下盘, 含矿层位有  $D_{3s}$  和  $D_{2q}$ , 还可以考虑  $D_{2t}$  和下伏老地层的不整合面交汇地段, 但矿体埋深稍大, 可能在

600~1 000 m 之间。

2) 贯场里背斜。这一地段与月马山紧邻, 有 NE 方向的支断裂与贯场里背斜两翼交切, 赋矿层位仍为  $D_{3s}$  和  $D_{2q}$ , 同样  $D_{2t}$  之下的不整合面也值得考虑。

3) 牛皂冲。这一地段位于胜利背斜西翼。有 NE 向支断裂切过, 其 SW 端延长线也与  $F_{75}$  交汇, 赋矿地层可能有  $C_{1z}$  及  $D_{3s}$ ,  $D_{2q}$  的埋深也较大。

4) 槐花岭。这一地段处于童家院断裂向 NE 方向延伸部位, 矿化范围及规模可能不太大, 但也有一定的规模, 值得进行勘察探索。

5) 陈家冲。这一地段虽然位置较高, 但已有矿化显示, 虽然规模远不及老矿山, 但有利的环流通道与赋矿层位  $D_{3s}$  仍然发育, 对  $D_{2q}$  层位矿化尤应加以注意。

6) 唐家排。这一地段层位较高, 有  $F_{72}$  支断裂存在, 地表化探 Sb、Cu、Hg 化探异常明显, 建议在  $F_{72}$  稍东, 相距 150~200 m, 用普查占 800~1 000 m 先行探索。

最后, 建议对矿山开展矿田内构造、古环流系统

与构造地球化学等学科相交叉结合的综合找矿预测研究，并在充分分析研究的基础上，使用钻探与坑道工程验证，这样必能使锡矿山锑矿的储量获得大幅度的增长。

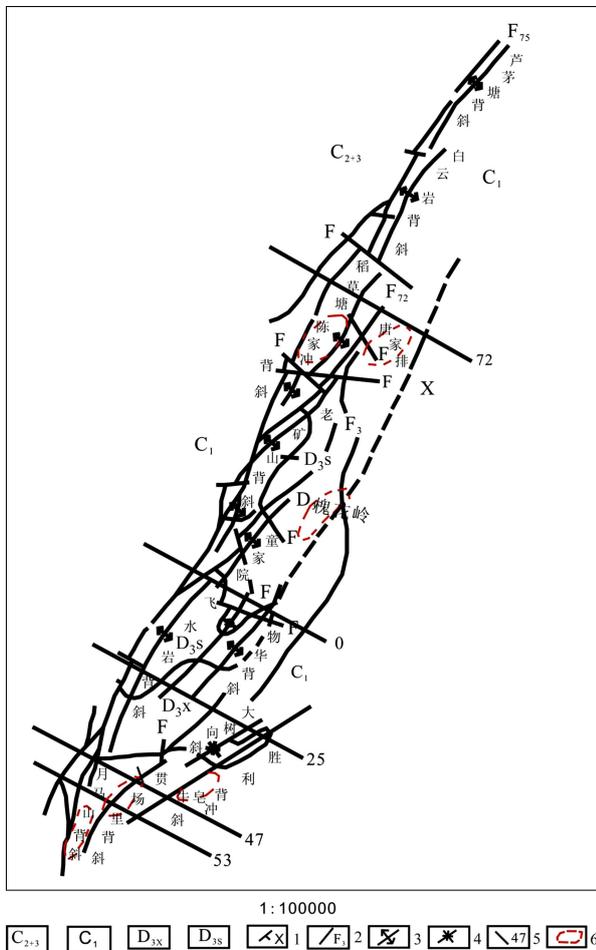


图 9 锡矿山锑矿田找矿靶区分布位置图: C<sub>2+3</sub>—中、上石炭统壶天群; C<sub>1</sub>—下石炭统; D<sub>3x</sub>—上泥盆统锡矿山组; D<sub>3s</sub>—上泥盆统余田桥组; 1—煌斑岩脉; 2—断层及编号; 3—背斜; 4—向斜; 5—勘探线及编号; 6—找矿靶区及编号

Fig. 9 Distribution of prospecting target in Xikuangshan antimony orefield: C<sub>2+3</sub>—Middle and upper carboniferous hutian group; C<sub>1</sub>—Lower carboniferous; D<sub>3x</sub>—Upper devonian Xikuangshan formation; D<sub>3s</sub>—Upper devonian Shetianqiao formation; 1 — Lamprophyre; 2 — Fault and number; 3—Anticline; 4—Syncline; 5—Exploration line and number; 6—Prospecting targets and number

REFERENCES

[1] 乌家达, 赵守耿. 湖南锡矿山锑矿地质[R]. 北京: 中国有色金属总公司地质勘查总局, 1999.  
WU Jia-da, ZHAO Shou-geng. Hunan Xikuangshan antimony

deposit geology[R]. Beijing: The Geological Prospecting General Bureau of China Nonferrous Metals Corporation, 1999.

[2] 谌锡霖. 湖南锡矿山锑矿成因探讨[J]. 地质评论, 1983, 29(5): 486-492.  
SHEN Xi-lin. The investigation of ore genesis in Hunan Xikuangshan antimony ore-field[J]. Geological Review, 1983, 29(5): 486-492.

[3] WHITE D E. 热泉及与之有关的低温热液金、砷、锑、汞矿床[C]//经济地质 75 周年纪念文集, 1955.  
WHITE D E. Hot springs and the related epithermal gold, arsenic, antimony and mercury deposits[C]//Proceedings of Economic Geology 75th Anniversary. New York: Geology Press, 1955.

[4] 吴延之. 层控矿床及其评价研究方法[M]. 成都: 成都地质干部学院出版社, 1984: 1-16.  
WU Yan-zhi. Study on stratabound deposits and its evaluation methods[M]. Chengdu: Chengdu Geological College Press, 1984: 1-16.

[5] 汪集旸. 中低温对流型热液系统[J]. 地学前沿, 1996, 3(3): 96-103.  
WANG Ji-yang. Low-temperature hydrothermal convection system[J]. Earth Science Frontier, 1996, 3(3): 96-103.

[6] BAMES H L. 热液矿床地球化学[M]. 陈浩疏, 译. 北京: 地质出版社, 1985: 1-18.  
BAMES H L. Hydrothermal ore deposit geochemistry[M]. CHEN Hao-liu, transl. Beijing: Geological Publishing House, 1985: 1-18.

[7] 邹同熙. 锡矿山锑矿地球化学异常模式及其预测标志[J]. 地质与勘探, 1989, 10(14): 49-52.  
ZOU Tong-xi. Geochemical anomaly patterns and prediction mark of Xikuangshan antimony mine[J]. Geology and Exploration, 1989, 10(14): 49-52.

[8] 马东升. 地壳中大规模流体迁移的成矿现象和地球化学示踪[J]. 南京大学学报: 自然科学版, 1997, 33(1): 1-10.  
MA Dong-sheng. The geological trace and mineralization of the large-scale crustal fluid migration[J]. Journal of Nanjing University: Natural Science Edition, 1997, 33(1): 1-10.

[9] 黎感斯. 湘中锑矿深源流体的地幔柱成矿演化[J]. 湖南地质, 1996, 15(3): 152-157.  
LI Gan-si. Evolution of mantle plume of deep source fluid in central Hunan antimony mine[J]. Geology of Hunan, 1996, 15(3): 152-157.

[10] 刘焕晶. 湖南省锡矿山锑矿田地质特征及成矿规律[J]. 湖南地质科技情报, 1983, 15(4): 31-35.  
LIU Huan-jing. Geological characteristics and metallogenic regularities of Xikuangshan antimony ore-field in Hunan Province[J]. Hunan Geological Science and Technology Information, 1983, 15(4): 31-35.

[11] 史明魁. 湘中锑矿[M]. 长沙: 湖南科技出版社, 1993: 1-16.

- SHI Ming-kui. Antimony mines in central Hunan[M]. Changsha: Hunan science and Technology Press, 1993: 1-16.
- [12] 邹同熙. 湖南锡矿山锑矿田地球化学特征与成矿机理[J]. 桂林冶金地质学院学报, 1988, 5(2): 28-36.
- ZOU Tong-xi. Geochemical characteristics and ore-forming mechanism of Xikuangshan antimony ore-field in Hunan Province[J]. Journal of Guilin Metallurgy College of Geology, 1988, 5(2): 28-36.
- [13] 易建斌. 锡矿山锑矿床成因新解[J]. 湖南地质, 1994, 13(3): 47-51.
- YI Jian-bin. New understanding of ore genesis of Xikuangshan antimony deposit[J]. Geology of Hunan, 1994, 13(3): 47-51.
- [14] 陈斌文. 论湘中地质“锡矿山”锑矿床的成矿地质条件及成矿预测[J]. 湖南矿物岩石地球化学论丛, 2003, 10(1): 159-165.
- CHEN Bin-wen. Geological conditions of mineralization and metallogenic prediction of Xikuangshan antimony deposits in Hunan[J]. Hunan Mineral Rock Geochemistry, 2003, 10(1): 159-165.
- [15] 刘建明. 地壳中的成矿地质流体体系[M]. 南京: 南京大学出版社, 2003: 134-144.
- LIU Jian-ming. Ore-forming fluid systems in the crust[M]. Nanjing: Nanjing University Press, 2003: 134-144.
- [16] GARVEN G, FREEZE R A. The arctical analysis of the role of groundwater flow in the genesis of stratbound ore deposits[J]. American Journal of Science, 1984, 284(1): 1125-1134.
- [17] GARVEN G. The role of regional fluid flow in the genesis of the pine point deposits in western Canada[J]. Sedimentary Basin Ecan Geotvso, 1985, 25(3): 307-324.

(编辑 陈卫萍)