

湘中锡矿山式锑矿成矿地质条件分析*

陶 琰¹ 高振敏¹ 金景福² 曾令交²

(1.中国科学院地球化学研究所矿床开放研究实验室 贵阳 550002; 2.成都理工学院 成都 610059)

摘 要 湘中锡矿山式锑矿形成于晚白垩-古新世,空间上与岩脉关系密切,各锑矿床、矿化点都伴有或附近发育有煌斑岩及中-酸性岩脉群,在锑矿成矿同期地质事件中,还有周缘一些中-新生代红色盆地的形成及基性火山岩喷发,据之,提出湘中锡矿山式锑矿成矿与燕山晚期拉张构造-岩浆活化作用有关。锑矿床(点)基本上都出于两组或两组以上断裂的交汇点附近,3组断裂的交汇部位对应于最主要的锑矿床(点)。矿体具体受断裂交汇部位附近的次级短轴背斜轴部、倾伏背斜的倾伏端及其翼部被纵向陡倾角断裂构造所切穿的部位控制,是断裂导矿与背斜构造圈闭的体现。岩性组合控矿表现为易于硅化蚀变交代的砂质碳酸盐岩与隔挡层泥质岩所构成的岩性圈闭。根据包裹体均一温度和盐度测定成果,推算成矿压力为 $(200 \sim 300) \times 10^5$ Pa,成矿深度约为1 km。

关键词 锡矿山式锑矿 构造-岩浆活化 构造-岩性圈闭 成矿深度 湘中

锡矿山式锑矿是湘中地区最重要的矿床类型,储量占湘中地区锑矿的75%。该类型锑矿以锡矿山锑矿为典型代表,矿石矿物组合简单(基本上为单一的辉锑矿或伴有少量黄铁矿、辰砂等),以硅化蚀变为特征,属典型低温热液成矿,在湘中盆地晚古生代构造层灰岩与细碎屑岩组合建造中广泛产出。已发现该类型锑矿床矿点40余处,锡矿山以其超大型的矿床规模闻名于世,其它矿床矿点储量则都在中型以下。制约矿床形成规模的是成矿对地质条件的特殊要求和实际存在的地质条件的矛盾。深入分析成矿地质条件对评价湘中地区本类型锑矿的找矿前景和进一步找矿勘探具有重要的意义。本文在广泛研究前人资料的基础上,从热液矿床形成的源、流、储3个方面即以区域成矿背景、成矿流体运移(断裂构造体系和成矿构造应力场)、成矿空间定位条件(岩性圈闭、构造圈闭和深度控制)为主要内容,通过大量的地质调查对湘中锡矿山式锑矿的成矿地质条件进行系统的分析。

1 区域地质概况

湘中地区位于扬子地台向华南褶皱系过渡的部位,区域地质构造体系如图1所示。其基本构造格架为周缘4个隆起带(雪峰山弧形隆起带、沅山隆起带、白马-龙山隆起带和四明山-关帝庙串珠状隆起带)环绕两个晚古生代盆地(涟源盆地和邵阳盆地,统称湘中盆地)。桃江-城步断裂带、宁乡-新宁断裂带为两条北东向超壳断裂,斜贯全区,盆地内北东向、北西向等几组区域性断裂近等距离分布。盆地周缘隆起带上出露加里东期、印

* 原地质矿产部定向科研基金(编号:地定96-13)资助项目。

陶 琰,男,1963年3月生,博士,矿床地球化学专业。

2000-12-22 收稿,2001-03-08 改回。

支期、燕山期花岗岩体或复式岩体。锡矿山式铋矿在晚古生代盆地靠近隆起带边缘的上古生界构造层中产出。

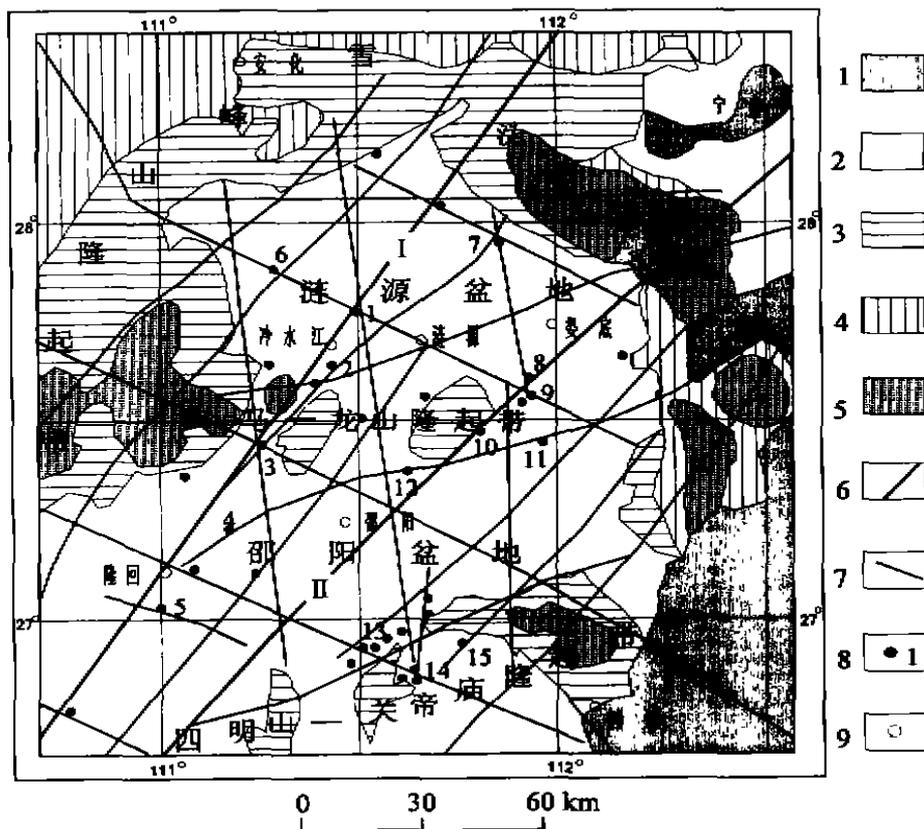


图1 湘中地区地质简图(据湖南418队区域地质资料及遥感解译修编)

- 1.白垩-第三系;2.泥盆系-中三叠统;3.震旦-志留系;4.冷家溪群-板溪群;5.古生代-中生代花岗岩;6.超壳断裂;
- I.桃江-城步断裂;II.宁乡-新宁断裂;7.区域断裂;8.锡矿山式铋矿床(点)及编号;9.市、县所在地;矿床点:1.锡矿山;2.罗家塘;3.牛山铺;4.芭蕉坳;5.五峰山;6.长田垅;7.甘溪;8.杨才山;9.马颈坳;10.左湾;11.东冲;
- 12.三塘铺;13.石井铺;14.新王家;15.三德堂

Fig.1 Geological sketch map of the Central Hunan

2 成矿时代

由于矿床矿物组合简单,缺乏供放射性同位素定年的矿石矿物,故对湘中铋矿成矿时代精确定年难度很大。普遍认为成矿作用发生于燕山晚期(林肇风等,1987)^[1],其依据包括地质分析和各种同位素年龄测定。区域地质研究表明,铋成矿流体活动同区域构造—岩浆活动密切相关;区内岩浆演化显示,燕山晚期岩浆活动有富铋现象(林肇风等,1987;

[1] 刘煥品,等.1985.湖南省锡矿山铋矿田地质特征及成矿规律,湖南地质矿产研究所科研报告.

史明魁等,1993),矿床受燕山期构造控制。区内大部分矿床(点)伴随有燕山晚期的各类岩脉产出,且脉岩中往往还有各种蚀变和锑矿化现象,金荣龙1980年对锡矿山锑矿田东部云斜煌斑岩全岩用K-Ar法测定年龄结果为119 Ma(转引自史明魁等,1993);考虑岩脉形成在成矿作用之前,可以作为锑矿成矿年龄的下限。在本次研究中,我们采集锡矿山、罗家塘、左湾3个矿床(点)的含矿硅化岩石英或脉石英样品,进行石英电子自旋共振(ESR)年龄测定,测定年龄值为51.6~66.4 Ma,测定成果如表1,根据ESR测年的技术特点,可以将它视为成矿年龄的下限。

表1 石英的电子自旋共振(ESR)年龄/Ma

Table 1 The ESR ages of Sb-bearing quartz

矿床(点)	样号	样品名称	ESR年龄
罗家塘	LJ002	硅化石英	66.4
锡矿山	XK304	含锑矿脉石英	51.6
左湾	ZW006	含锑矿脉石英	58.1

四川省核技术应用开发重点实验室测定,测定者:梁兴中。

综上所述,推测成矿时代为晚白垩世-古新世,相当于燕山晚期。

3 成矿背景

空间上,锑矿成矿作用与岩脉关系密切,一般情况下,各类锑矿都伴有或附近发育有煌斑岩及中-酸性岩脉群(林肇凤等,1987)。如沅山隆起边缘的甘溪,大乘山西北侧的锡矿山、罗家塘,其矿区都有煌斑岩脉出露。龙山东北侧的左湾、三塘铺等,其矿区都有石英斑岩脉出露。锡矿山锑矿田及其南部罗家塘锑矿点出露的煌斑岩脉长达10 km。

根据林肇凤等(1987)、赵振华等(1998)及区调资料,在锑矿成矿同期地质事件中,还有周缘一些中-新生代红色盆地(麻阳、洞庭、衡阳红色断陷盆地)的形成及基性火山岩喷发活动,如燕山晚期的衡南县冠市街橄榄玄武岩、宁乡县新桥玻基玄武岩、道县虎子岩碱性橄榄玄武岩、喜马拉雅期宁乡县青华铺玄武岩等,在新化县、黔阳县等地也有燕山晚期玻基玄武岩产出。虎子岩玄武岩中有地幔二辉橄榄岩包体(王京彬,1991)。

以上事实表明,本区锑矿成矿期是区域构造-岩浆活化期,地幔有显著的活动性并参与本区内生动力作用。黎盛斯(1996)提出湘中锑矿深源流体的地幔柱成矿演化模式。彭建堂认为,扬子地块南缘很可能存在一个富锑的上地幔块体,富锑上地幔是成矿的重要物质基础,在成矿作用中起重要作用^①。近年来由于对地幔研究的进展以及氩同位素对幔源物质示踪的研究,许多热液矿床的成矿作用被认为与地幔流体有着密切的关系(胡瑞忠等,1997;毛景文等,1999)。丁振举等(1997)认为,地幔流体可溶解地幔中的成矿物质、活化地壳中的成矿元素形成含矿流体成矿。孙忠实等(2000)对国内外大型金矿成矿条件综合分析,提出燕山期构造活化区成矿流体系统的幔-壳多层循环体成因模式。

陶琰等(2001)曾从地层含矿性、同岩浆活动的关系及同位素组成特征等几个方面进行分析,表明湘中锡矿山式锑矿成矿物质来源于与燕山晚期构造-岩浆活化作用有关的

① 彭建堂,2000. 锑的大规模成矿与超常富集机制[博士后研究报告],中国科学院地球化学研究所。

区域性深部上升流体。金景福等(1999)认为,区域构造—岩浆活化作用是一个系统的内生作用过程,晚期低温矿床的形成往往构成独立的流体活动阶段,上地壳与地幔处于统一的体系之中,流体来源于自下(地幔)而上(上地壳)的分泌物混合,包涵对矿质的萃取过程,并在上部地层建造水、地下水参与下成矿。

根据区域构造演化,燕山期构造运动强烈,岩浆活动广泛,深部活动表现为湘中地区周缘开始地幔隆升,麻阳、洞庭、衡阳红色断陷盆地开始发育形成。地幔隆升伴有热流的上升,形成构造—岩浆活动及成矿元素活化转移的有利条件,构造运动期的异常热流及区域性深大断裂的发育构成了构造—岩浆活化的基础。据毛景文等(1999)介绍,澳大利亚以 Macquarie 大学为主组织国际攻关——“大陆地球化学演化与成矿”研究,提出构造圈热侵蚀概念,即由于岩石圈减薄,软流圈上拱,致使地壳重融和成矿。湘中地区构造—岩浆活动主要集中在地幔隆起与地幔凹陷区的过渡部位,对应于湘中盆地周缘隆起带,谢湘维等(1990)证实周缘隆起带花岗岩分布与幔凹区的边缘有良好的耦合关系。含锑成矿流体在区域温度场中向温度降低的方向即从隆起带向盆地方向运移,由于锑的低温热液成矿属性,因此,本类锑矿主要产出在隆起边缘的盆地中,并受到深大断裂的控制,而燕山期花岗岩及中、高温的钨-锡矿、金-锑矿则在隆起带上产出。

4 赋矿地层及成矿岩性组合条件

湘中锡矿山式锑矿床大都产出于上古生界构造层浅海相陆源细碎屑岩-碳酸盐岩建造中,赋矿地层主要为上泥盆统余田桥组,其次为中泥盆统棋梓桥组和上泥盆统锡矿山组。研究表明(陶焱等,2001),本类锑矿虽有在一定的层位集中的现象,但并非地层矿源成矿,层位控矿是在成矿区域和成矿深度复合作用下的岩性组合控制。

湘中锡矿山式锑矿含矿围岩有灰岩、砂质灰岩、白云质灰岩、泥灰岩、钙质粉砂岩和泥质岩等。湘中锡矿山式锑矿赋矿围岩(硅化原岩)的岩性组合在区域上有较大变化,大致可以划分为以下几种类型。

(1)碳酸盐岩为主夹粉砂岩及泥质岩组合 碳酸盐岩常与粉砂岩、泥岩互层,在剖面上表现为泥岩-灰岩-泥岩的多层韵律性变化,碳酸盐岩类占80%左右,且为不纯灰岩,含较多砂质、粉砂质,属于混合沉积的产物。此类岩性组合以锡矿山为典型代表。另外,马颈坳矿点为此类型上的变化形式,厚层碳酸盐岩与砂-页岩组合相对简单,岩性较单一,次级韵律不发育,碳酸盐岩与砂-页岩比例大致相等。

(2)单一碳酸盐岩岩石组合 主要为灰岩、泥灰岩,如芭蕉坳、牛山铺矿床(点),属于碳酸盐台地相沉积的产物。

(3)泥质粉砂岩为主夹泥灰岩、薄层状或透镜状灰岩组合 如甘溪矿床及东冲矿点,属于潮坪—台地相沉积。变化类型有单一的细碎屑岩型,如杨才山锑矿点。

(4)夹硅质岩或含硅质条带的灰岩、泥灰岩、泥岩和泥质粉砂岩组合 代表较深水的台盆沉积,如新王家和三德堂矿点。

不同的岩性组合影响了成矿条件的优劣和矿体形态。锡矿山岩性组合条件下形成良好的层状、似层状矿体;甘溪以陆源碎屑岩为主的组合形成以断裂破碎带为主要容矿空间的带状矿体;东冲矿点的岩性组合为泥质粉砂岩夹灰岩透镜体,形成透镜状硅化灰岩和矿

化;杨才山基本上为砂岩的地层,则只在断裂构造中见有微弱矿化。

湘中锡矿山式锑矿明显受岩性组合控制,最为有利的岩性组合为顶部泥质岩和下部砂质灰岩、泥灰岩所构成的岩性圈闭。

顶部泥质岩作为容矿盖层,阻碍成矿热液和矿质的逸散,成矿作用在岩性圈闭的条件下进行。锡矿山锑矿田矿体产出在余田桥组中段灰岩中,其上为厚达约 100 m 的页岩所覆盖(包括锡矿山组第一段长龙界页岩及余田桥组上段页岩)。页岩有良好可塑性,在构造变形条件下不易发生破碎,再加上化学性质不活泼,孔隙度低,对矿质运移和沉淀起到良好的屏障作用。当然,岩性圈闭必须以一定的构造型式体现,即构造—岩性圈闭。在锡矿山,长龙界页岩覆盖整个矿田,在长龙界页岩之上未见有任何锑矿化现象。

容矿岩层以砂质灰岩为主的多层岩性交互有利于矿化。不同物理性质的岩性交互成层,在构造形变褶曲时,往往易于在界面附近形成层间滑动、层间剥离,并在脆性岩层内产生张性破裂或剪性裂隙群,形成含矿流体运移的通道和矿质沉淀的良好场所。吉让寿(1986)采用数值模拟锡矿山岩性组合条件下褶皱构造应力场,在一定程度上反映了岩性及层理对成矿的影响。我们认为,页岩与灰岩交互式的多层组合以及适当的单层厚度对层间滑动及层内裂隙体系的形成起着重要作用,单一的厚大的灰岩层不利于层间滑动的产生。据湖南 418 队地质调查资料,锡矿山赋矿层位具有良好的泥砂质岩石与灰岩多层互层的组合,总厚度约 220 m 的余田桥组中段至少可划分 27 个小层,砂页岩与灰岩互层。

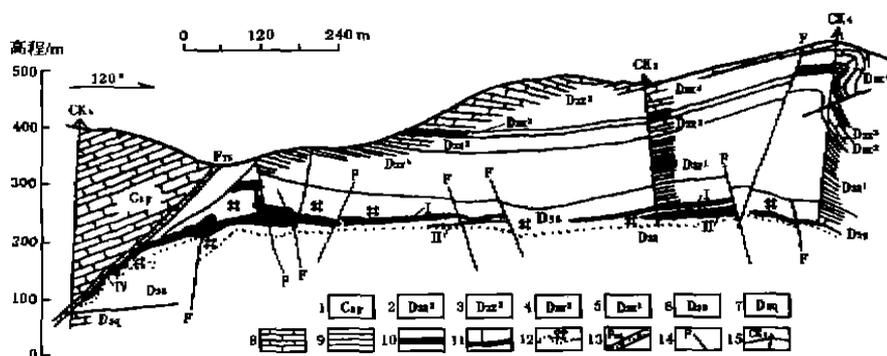


图 2 锡矿山锑矿田 31 线地质剖面图(据冶金 246 队,1980)

1. 下石炭统岩关阶;2. 锡矿山组第四段;3. 锡矿山组第三段;4. 锡矿山组第二段;5. 锡矿山组第一段;6. 余田桥组;7. 棋梓桥组;8. 灰岩;9. 页岩;10. 铁矿层;11. 锑矿体及编号;12. 硅化及界限;13. 断裂破碎带及编号;14. 断裂;15. 钻孔及编号

Fig 2 Cross section of No. 31 prospecting line in Xikuangshan antimony deposit

易于蚀变交代的不纯灰岩(包括砂质灰岩、泥灰岩等)是最有利的赋矿围岩。锡矿山式锑矿具有显著的蚀变交代作用特点,矿体产于蚀变交代硅化岩中,因此,岩石的化学成分、孔隙度和渗透率等都对

成矿有重要影响。砂质灰岩、泥灰岩以孔隙度大、渗透性好、化学性质活泼而易于被流体交代形成硅化岩和成矿。湖南地质矿产研究所刘焕品等(见前脚注)统计了锡矿山锑矿田 II 号似层状矿体赋矿地层多砂层(含砂量 > 20%)的分层厚度及含砂量,岩层全厚 28.76 m,以薄-中厚层泥晶灰岩-石英砂岩-钙质石英粉砂岩组合为特征,每一分层含砂量由 n% ~ 60% 不等,且呈渐变关系,含石英砂达 20% 的分层累计厚度为 14.74 m,占全厚 28.76 m 的 55.5%。泥岩以化学上惰性和低渗透率作为流体流通屏障层,本身难以矿化,砂质岩

类也难以蚀变交代,只能在有矿液流径的地带以裂隙充填形式形成矿脉。锡矿山锑矿矿体形态清楚地显示岩石化学性质的影响:Ⅳ号矿体为交错型的带状矿体,产出在 F_{75} 旁侧(图2),沿 F_{75} 呈不规则侧羽状分布,带状体宽度受岩性控制,在灰岩中可侧向渗滤交代达70余米;而在砂岩中,仅在距断层小于20 m的范围内有少量在裂缝中充填的辉锑矿细脉,矿化大部分限定在断裂旁侧几米的范围内。

5 成矿构造圈闭条件

湘中锡矿山式锑矿的基本控矿构造型式为背斜被陡倾角断裂所切割(林肇风等,1987),区内几乎所有矿床矿点均无例外。锡矿山锑矿田的控矿构造型式(图2)具有典型的意义,断裂通常是区域性的导矿构造,背斜形成构造圈闭,在背斜轴部或翼部层间破碎带形成层状、似层状矿体,沿断裂破碎带形成交错型带状矿体(谌锡霖,1978)。对湘中地区大多数的其它矿床矿点,往往以其中某一部分的形态为主。可以认为,不同矿体形态是在同一个内在的成矿机制之下,随成矿构造-岩性条件的变化表现出不同的变异形式。整合型矿体如牛山铺(图3)、石井铺、下苏溪和新王家等矿床(点)的层状、似层状矿体及锡矿山锑矿的Ⅰ、Ⅱ层矿体。交错型如锡矿山矿田Ⅳ号矿体,以及甘溪、三德堂等矿床点。

湘中地区可分出3种背斜:舒缓短轴背斜、紧闭或倒转背斜和隆起边缘倾伏背斜。

(1)舒缓短轴背斜 舒缓短轴背斜是最为有利的控矿背斜构造,例如锡矿山、石井铺、牛山铺、五峰山和长田垅等矿床(点)。

锡矿山锑矿田受锡矿山复式背斜控制,矿体产于泥质页岩之下的单个背斜舒缓核部及断裂带上(图2),谌锡霖等(1978)总结为“侧羽状矿床构式”,矿床由层状、似层状的整合型矿体(Ⅰ、Ⅱ层矿体)与受西部大断裂所控制的交错型矿体(Ⅳ号带状矿体)构成,Ⅲ号矿体为转折复合部位膨大性矿体。Ⅰ、Ⅱ层整合型矿体在背斜核部沿层间构造侧向远距离伸展,控制了锡矿山锑矿大部分的储量。

牛山铺锑矿床位于大乘山构造—岩浆隆起带的西南缘,处于桃江—城步北东向区域性深大断裂东南上升盘。锑矿化主要产出于棋梓桥组顶部泥灰岩、钙质页岩与余田桥组顶部生物碎屑灰岩,泥晶灰岩、泥质页岩的接触带层间构造破碎带中呈层状、似层状和透镜状产出。从构造角度来看,锑矿化集中分布在短轴背斜的西南倾伏端,又被夹持于两条相互平行的北东向构造断裂之间,具体受次级背斜和层间破碎带的联合控制。矿体长400~500 m,最厚可逾10 m,沿倾向延伸可达100~200 m,构成一定规模。在裂隙交叉处和层间褶皱小挠曲鞍部往往形成富矿体。

(2)紧闭或倒转背斜 长田垅北东约10 km的老王冲背斜轴向北东40~55°,长18 km,宽6~7 km。背斜核部地层为锡矿山组,翼部为石炭系。在背斜及两翼,一系列倾向南东的叠瓦状逆冲断裂构造发育,造成地层缺失或形成直立带。局部特别是近轴部地层直立或倒转(图4),使核部紧闭,这与锡矿山箱状背斜明显不同,不利于矿化。老王冲背斜其它地质条件都非常有利,曾作为重点找矿靶区,但未发现锑矿化,而在其西南边的长田垅背斜核部相对宽缓,则发现有锑矿化现象。

(3)隆起边缘的倾伏背斜 此种构造类型出现于前泥盆纪隆起边缘,泥盆系地层围绕隆起边缘分布,背斜向盆地方向倾伏,而靠隆起的一端向上仰起。区域性纵向断裂沿

背斜核部及翼部分布,矿床产于断裂上升盘,具体位于背斜倾伏端及其两侧,代表性的矿床(点)有:甘溪、罗家塘、三德堂和新王家等。

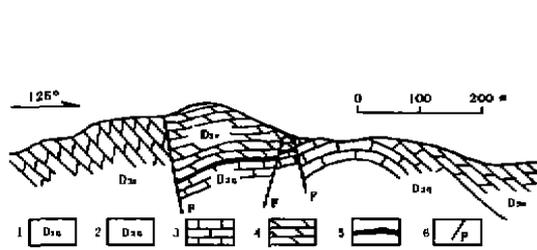


图3 牛山铺锑矿地质剖面略图

- 1. 上泥盆统余田桥组; 2. 中泥盆统棋梓桥组;
- 3. 灰岩; 4. 泥灰岩; 5. 锑矿化层; 6. 断层

Fig 3 Cross section of Niushaopu antimony deposit

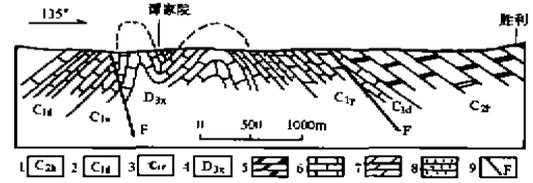


图4 老王冲紧闭背斜示意图

(据1:5万区调资料)

- 1. 中石炭统黄龙组; 2. 下石炭统大塘组; 3. 下石炭统岩关阶; 4. 上泥盆统锡矿山组; 5. 白云岩;
- 6. 灰岩; 7. 泥灰岩; 8. 砂岩; 9. 断裂

Fig 4 Simplified section of Laowangchong anticline

甘溪锑矿位于沅山构造—岩浆隆起带西南缘,处于桃江—城步北东向区域性深大断裂的分支断裂与北西—南东向断裂交汇部,泥盆系地层围绕沅山构造—岩浆隆起带西南缘呈半弧形分布,主要为中泥盆统棋梓桥组陆源细碎屑岩—碳酸盐岩建造和上泥盆统余田桥组和锡矿山组陆源细碎屑岩—碳酸盐岩建造。锑矿床产出于沅山隆起边缘甘溪背斜向南倾伏端。该背斜轴向北转向北东,向北(沅山隆起)仰起,向南(盆地中心)倾伏。矿区地层为中—上泥盆统,围绕沅山隆起带分布。锑矿化大都产出于上泥盆统余田桥组下段中—下部中—厚层状灰岩和钙质粉砂岩中,其顶部为灰黑色泥质页岩,矿体一般呈似层状和透镜状产出,其产状与围岩基本一致,主要受背斜倾伏端及西南翼的构造破碎带控制。

综上所述,不同的构造型式对矿床产出有重要影响。锡矿山锑矿田以舒缓复式短轴背斜配合良好的导矿断裂以及有利的岩性组合,形成世界独一无二的超大型锑矿;紧闭或倒转背斜则不利于矿化。锡矿山锑矿田整体产于锡矿山复背斜之内,复背斜为多次构造挤压叠加的产物,印支期可能为一宽缓的北东向褶皱,燕山早期4个次级北北东向背斜叠加于早期褶皱之上。4个次级呈右行雁列的单个背斜分别控制老矿山、童家院、飞水岩和物华4个矿床(图5),矿体产出在单个背斜的轴部或翼部。复背斜西北翼被区域性断裂 F_{23} 所切割,东南翼被断层 F_1 切割,构成一个地垒式褶断地块。控制矿床的单个背斜,核部较开阔平缓,岩层倾角一般为 $14 \sim 20^\circ$,幅宽达 $200 \sim 600$ m,两翼倾角加大,多在 $20 \sim 40^\circ$,东翼局部达 70° ,具箱状构造特征(图5),且向北东、南西两端倾伏。故处于背斜核部和倾伏端的矿体呈似层状延伸,规模大;而岩层产状较陡和倒转部位,则无矿体充填。

隆起边缘的倾伏背斜是一种地质特征比较独特的成矿构造型式,在湘中锡矿山式锑矿的产出环境中占有较大比例,且形成了如甘溪、新王家等矿化较好的中—小型矿床。

缺乏构造圈闭的地段,不利于矿质的沉淀富集,渐变的物理化学环境,成矿空间边界没有明确的限定,成矿流体活动不集中,成矿物质分散在一个比较广阔的空间范围。根据对现代地热系成矿现象的研究,在非约束性的渐变环境,辉锑矿倾向于在非常浅的部位沉淀,新西兰 Broadland 地热系在近地表条件下才有辉锑矿或“准辉锑矿”(非晶质的锑的硫

化物)形成(Weissberg et al., 1979; Simmons and Browne, 2000)。因此,非约束性的渐变环境将导致大部分的矿质随流体流失而散逸,形成的矿化也难于保存。如产出在杨才山砂岩断裂中的铋矿点,只是一点零星矿化。因此,对矿质沉淀富集,构造和岩性圈闭是非常重要的地质条件。

6 区域断裂对矿床分布的控制作用

湘中锡矿山式铋矿是典型的区域性流体成矿,成矿空间定位可考虑为流体上升运移过程中成矿物质在区域上的聚散分配和成矿地质地球化学条件所确定的垂向控制。根据区域性深源流体成矿的特点,流体的运移是矿床在区域上分布的内在原因,区域应力场、导流断裂体系起着控制作用。其中,区域断裂体系是控制矿床区域分布的最基本的地质条件,对区域应力分布也有重要影响。许多研究者对湘中铋矿在区域上的分布规律进行过分析,林肇凤等(1987)、杨舜全(1986)等从地质上进行分析,说明断裂是重要的控矿构造。卢新卫等(1999)对湘中地区断裂体系进行分形学研究,表明断裂分维对铋成矿流体运移和矿床定位有指示作用。

裴荣富等(1999)明确提出我国东部地区中生代“行”、“列”、“汇”成矿构造模式,用于概括超大型矿床的成矿构造聚敛场。笔者认为,这一成矿构造模式体现了我国东部中生代构造—岩浆活化地区的地壳构造、岩石和成矿作用特点,并可应用于区域尺度上的成矿构造条件分析,呈“行”、“列”式分布的区域性断裂构成了区域性的深部上升成矿流体的断裂导流系统,成矿流体在断裂交汇部位聚敛。

根据区域地质资料,结合对遥感影像的解译和野外实际调查,湘中盆地主要的控矿断裂构造形迹有 3 组:北北东向、北西西向和北北西向,且每组方向上的断裂大致保持一定的等间距性(图 1)。湘中锡矿山式铋矿的主要铋矿床(点)基本上都位于两组或两组以上断裂构造的交汇部位附近,3 组断裂的交汇部位对应于最主要的铋矿床(点),如锡矿山铋矿田,甘溪、马颈坳、牛山铺和新王家等矿床(点)都处于 3 组断裂构造的交汇地带。特别是锡矿山铋矿田,处于桃江—城步超壳断裂和锡矿山—涟源基底断裂及一条贯穿湘中盆地的北北西向断裂交汇处,并恰好复合一个长轴约 6 km 的舒缓复式背斜,在 TM 遥感卫星影像上都清晰可见(金景福等,1999)。一般说来,单一的一组构造断裂不利于铋矿床的产出。有利于铋矿床产出的部位,主要为北北东向构造断裂与北西西向构造断裂的汇合或交叉部位;其次为北北西向构造断裂与北西西向构造断裂的汇合或交叉部位;3 组断裂的汇合部位是成矿构造条件最有利的部位。

近年来,在流体成矿作用研究中,成矿构造应力场对成矿定位的影响受到广泛的重

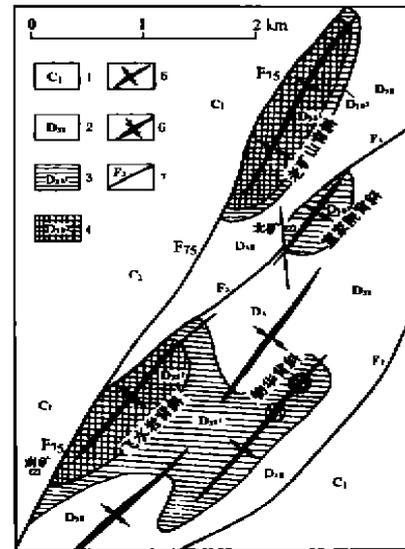


图 5 锡矿山铋矿田控矿构造简图

- 1 下石炭统; 2. 上泥盆统锡矿山组;
3. 上泥盆统余田桥组上段; 4 上泥盆统余田桥组中段硅化岩; 5 背斜轴;
6. 向斜轴; 7. 断层及编号

Fig.5 Simplified geological plan of the Xikuangshan deposits

视,成矿流体的运移聚散确定了成矿物质在区域上的分配,构造应力场控制着矿液的流势,矿液由高压区向低压区运移(Ridley,1993;Carrier and Jebrak,2000)。金景福等(1999)对湘中地区成矿构造应力场进行数值模拟,发现在构造体系、应力场及矿床分布之间有显著的内在联系,断裂构造体系控制了区域的应力分布,应力低值凹陷在几组主要的断裂方向上均表现出串珠状排列,成矿作用集中在应力低值凹陷区,矿床主要产出在两组或两组以上断裂的交汇部位。Carrier and Jebrak(2000)也通过具体研究表明,区域性断裂构造体系对应力分布具有重要影响,交互出现的高、低应力区呈串珠状沿断裂分布,低应力区处于断裂交汇部位。

7 成矿压力和深度

热液矿床的产出受到温度、压力等物理化学条件的制约,并确定了矿床在垂向上的定位。压力对成矿流体的影响是多方面的,其中压力对流体体系气相组分的控制性作用非常突出,压力降低,气相组分的逸度也随之降低,原有的平衡体系的平衡就会受到影响或破坏,当压力下降到某一程度,尤其是压力的迅速降低,如进入降压带或开放空间,将会引起流体中气相组分的大量挥发,包括水汽化,产生降压沸腾,引起矿质的大量沉淀。

我们根据含矿脉石英和方解石中包裹体均一温度和盐度测定成果(表2),采用 Ahmad and Rose(1980)的 NaCl-H₂O 体系温度-盐度-密度图解获得流体密度,再以 Roedder and Bodnar(1980)的温度-密度-压力图解,用水的等容线外推法近似地获得成矿流体的压力。推算成矿压力为(200~300)×10⁵ Pa(表2)。

表2 流体包裹体成矿压力推算

Table 2 The estimated trapping pressure of fluid inclusions

矿床	样品编号	测定矿物	均一温度/℃	盐度/wt% NaCl	密度/g·cm ⁻³	成矿压力/10 ⁵ Pa
锡矿山	XK15-J-2	石英	110	2.02	0.97	200
	XK6	方解石	128	3.29	0.93	300
五峰山	WF13	石英	112	2.33	0.96	240

成矿深度按岩石静压力 250×10⁵ Pa/km,定性推算成矿深度为 0.8~1.2 km。表明矿床为浅成或超浅成。因为流体压力与地层静压力不完全一致,成矿深度的推算只作为一种定性参考。涂光炽等(1988)曾计算锡矿山锑矿成矿压力为 200×10⁵ Pa。湘中锡矿山式锑矿流体包裹体的物理化学参数测定及成矿压力推算能够很好的与国外有关锑矿的报道资料类比,即低温(均一温度通常低于 200℃)、低盐度流体(<6%)和浅成—超浅成环境成矿(压力(100~300)×10⁵ Pa, Munoz and Shepherd,1987; Luders,1996; Bailly et al.,2000)。

现代流体采矿工艺压裂生产表明,在 1 km 深度附近,当流体压力达到地层压力的 1.05~1.20 倍时,地层将发生破裂,常常是顺层破裂,良好的构造、岩性组合有助于压裂的渗透和扩展。地层破裂导致压力锐减,体系从封闭系统进入半开放状态,引起降压沸腾。湘中锡矿山式锑矿大部分矿体的产出均在层间破碎带中或沿一定的层间界面分布,并且常常见到围岩碎裂化破碎现象(碎裂角砾间没有位移)。童潜明(1991)称之为网络状似角砾岩,并被矿质胶结,认为与流体水热爆发引起的地层破裂有关。裴荣富等(1999)指出,锡矿山锑矿床广泛分布的层状角砾岩矿化层为同成矿角砾破碎带矿化堆积。Holland

and Malinin(1979)指出,沸腾可导致所有矿物沉淀,尤其是对于方解石的沉淀具有重要的意义。Guillemette and Williams-Jones(1993)以及 Bailly et al.(2000)通过对矿石及脉石矿物流体包裹体的研究,认为在浅成环境下沸腾是锑矿沉淀的有效方式。锡矿山式锑矿往往伴随有多期方解石脉的发育,围岩 CaCO_3 的硅化交代和中晚期的多次方解石沉淀结晶同流体压力的动荡相联系。因此,我们认为压力的降低是引起矿质沉淀富集的重要因素,其主要表现方式可能是降压沸腾引起的流体水热爆发。

水热爆发发生的空间位置,受到深度及塑性岩层层位及层间界面的影响。在较深的深度下,地层围压较高,能量的积聚只能产生向上运移的渗透力,不能导致水热爆发,因而不能形成有效的降压沸腾和相应的成矿作用。当深度较小时,地层围压与深度成比例降低,适宜的构造如短轴背斜,适宜的岩性组合如塑性、渗透性差的页岩覆于灰岩之上,限制流体的逸散,有利于流体能量积累,使流体压力与地层压力之比得到提高,从而在岩性界面附近产生水热爆发,并成为后续流体成矿作用的优势空间。

8 结 论

通过对湘中地区锡矿山式锑矿成矿地质条件的分析,得出如下主要结论。

(1)湘中锡矿山式锑矿形成于统一的区域性成矿流体活动,与中-酸性岩脉、拉斑玄武岩、晚白垩世红色盆地形成于同期地质构造事件,但锑成矿时间稍晚,成矿流体来源于燕山晚期构造—岩浆活化所产生的深部上升流体,锑成矿具有区域上的普遍性。

(2)成矿流体的运移聚散确定了成矿物质在区域上的分配,断裂构造体系控制矿床在区域上的分布,矿床主要产出在区域性断裂的交汇部位。其控制成矿流体运移的作用方式是通过断裂导流及对区域构造应力分布的影响。

(3)地层控矿是在成矿区域和成矿深度复合作用下的岩性组合控制,泥质页岩-砂质灰岩-泥质页岩组合有利于锡矿山式锑矿床的产出。空间上,主要产出于被陡倾角构造断裂所切割的舒缓短轴背斜核部、倾伏背斜倾伏端及其翼部部位,受岩性组合—构造联合圈闭控制,在层间滑动、层间破碎带及有利岩性中形成似层状矿体,在断裂破碎带中可形成交错型的带状矿体。

(4)矿质沉淀成矿受到物理化学条件的制约,使成矿具有一定的深度控制,湘中地区锡矿山式锑矿床成矿压力为 $(200 \sim 300) \times 10^5 \text{ Pa}$,反映成矿深度大约在 1 km 左右。

锡矿山锑矿具有非常有利的成矿地质条件,各方面控矿因素都十分理想并构成完美的组合,表明该超大型矿床的产出有必然的成矿地质基础,但这种成矿环境在湘中地区并不是广泛存在的。我们认为湘中地区锡矿山式锑矿是区域性深源上升流体成矿的典范,深入分析源流中心和成矿流体运移体系,精确评价可能成矿部位的构造—岩性圈闭条件,是进一步找矿勘查有效的途径。

参 考 文 献

- 湛锡霖. 1978. 锡矿山锑矿田矿床构造的新认识及其西部大断层下盘带状矿体找矿远景. 地质与勘探, (6): 9—18.
Chen Xilin. 1978. A new insights on the structure of Xikuangshan antimony deposits and prospects of belt ore-body along lower wall of

- the western big fault. *Geology and Prospecting*, (6): 9—18.
- 丁振举, 姚书振, 方金云. 1997. 地幔流体及其成矿作用. *地质科技情报*, 16(1): 72—76.
- Ding Zhenju, Yao Shuzhen and Fang Jinyun. 1997. Mantle fluid and its ore-forming process. *Geological Science and Technology Information*, 16(1): 72—76.
- 胡瑞忠, 毕献武. 1997. 滇西马厂箐铜矿黄铁矿流体包裹体 He-Ar 同位素体系. *中国科学(D辑)*, 27(6): 503—508.
- Hu Ruizhong and Bi Xianwu. 1997. He-Ar isotope system of fluid inclusions in pyrite of Machangqing copper deposit, western Yunnan. *Science in China (Series D)*, 27(6): 503—508.
- 吉让寿. 1986. 湖南锡矿山锡矿田成矿期构造特征及控矿机制. *地球科学*, 11(5): 525—532.
- Ji Rangshou. 1986. The structure characteristics and the mechanism of ore-control of Xikuangshan antimony field, Hunan province. *Earth Science*, 11(5): 525—532.
- 金景福, 陶 焱, 赖万昌, 曾令交, 楚志宽, 王高道. 1999. 湘中锡矿山式锡矿成矿规律及找矿方向. 成都: 四川科学技术出版社. 1—176.
- Jin Jingfu, Tao Yan, Lai Wanchang, Zeng Lingjiao, Chu Zhikuan and Wang Gaodao. 1999. *Metallogenic Regularities and Direction for Prospecting of Xikuangshan-Type Antimony Deposits in Central Part of Hunan Province, China*. Chengdu: Sichuan Science and Technology Press. 1—176.
- 黎盛斯. 1996. 湘中锡矿深源流体的地幔柱成矿演化. *湖南地质*, 15(3): 137—142.
- Li Shengsi. 1996. Evolution of antimony mineralization by the mantle plume of deep fluid in Central Hunan. *Hunan Geology*, 15(3): 137—142.
- 林肇凤, 邹国光, 胡必勤, 周雪昌, 易延桃, 邹今湛. 1987. 湘中地区锡矿地质. *湖南地质*, 增刊(3): 1—217.
- Lin Zhaofeng, Zou Guoguang, Hu Biqin, Zhou Xuechang, Yi Yantao and Zou Jinzhan. 1987. Antimony ore geology of the central Hunan. *Hunan Geology (Suppl. 3)*: 1—217.
- 卢新卫, 马东升. 1999. 湘中锡矿带断裂体系分维及对成矿流体运移和矿床定位的指示作用. *矿床地质*, 18(2): 168—173.
- Lu Xinwei and Ma Dongsheng. 1999. Fractal dimensions of fracture systems in antimony metallogenic zones of central Hunan and their indicating significance for migration of ore-forming fluids and location of ore deposits. *Mineral Deposits*, 18(2): 168—173.
- 毛景文, 华仁民, 李晓波. 1999. 浅议大规模成矿作用与大型矿集区. *矿床地质*, 18(4): 291—299.
- Mao Jingwen, Hua Renmin and Li Xiaobo. 1999. A preliminary study of large-scale metallogenesis and large clusters of mineral deposits. *Mineral Deposits*, 18(4): 291—299.
- 裴荣富, 熊群尧. 1999. 中国特大型金属矿床成矿偏在性与成矿构造聚敛(场). *矿床地质*, 18(1): 37—46.
- Pei Rongfu and Xiong Qunyao. 1999. Metallogenic preferentiality and metallogenic convergence of unique ore deposits in China. *Mineral Deposits*, 18(1): 37—46.
- 史明魁, 胡必勤, 靳西祥, 周雪昌. 1993. 湘中锡矿. 长沙: 湖南科学技术出版社. 12—19, 53—55.
- Shi Mingkui, Hu Biqin, Jin Xixiang and Zhou Xuechang. 1993. *Antimony Metallogeny in the Central Part of Hunan Province*. Changsha: Hunan Science and Technology Press. 12—19, 53—55.
- 孙忠实, 邓 军, 翟裕生, 冯本智, 刘俊来. 2000. 大型金矿构造—成矿系统及幔—壳多层循环体成因模式. *地质科学*, 35(3): 267—276.
- Sun Zhongshi, Deng Jun, Zhai Yusheng, Feng Benzhi and Liu Junlai. 2000. Structure-metallogenic systems of large-scale gold deposit and genetic model of mantle-crust gradational circulatory fluid. *Chinese Jour. Geol. (formerly, Scientia Geologica Sinica)*, 35(3): 267—276.
- 陶 焱, 高振敏, 金景福, 曾令交. 2001. 湘中锡矿山式锡矿成矿物质来源探讨. *地质地球化学*, 29(1): 12—20.
- Tao Yan, Gao Zhenmin, Jin Jingfu and Zeng Lingjiao. 2001. The origin of ore-forming fluid of Xikuangshan-type antimony deposits in central part of Hunan province. *Geology-Geochemistry*, 29(1): 12—20.
- 童潜明. 1991. 湖南省热液硅化成矿作用与找矿. *湖南地质*, 10(2): 129—134.
- Tong Qianmin. 1991. Metallogenesis related to hydrothermal silicification in Hunan and prospecting. *Hunan Geology*, 10(2): 129—134.

- 涂光炽,卢焕章,范文苓,刘丛强,王秀璋,陈景平.1988.中国层控矿床地球化学,第三卷.北京:科学出版社.16—17.
- Tu Guangzhi, Lu Huanzhang, Fan Wenling, Liu Congqiang, Wang Xiuzhang and Chen Jingping. 1988. Geochemistry of Strata-Bound Ore in China, (3). Beijing: Science Press. 16—17.
- 王京彬.1991.道县虎子岩岩体及其包体的地球化学特征和构造意义.湖南地质, 10(1):52—58
- Wang Jingbin. 1991. Geochemical feature and structure implication of Huziyan basalt rock mass and its xenolith in Dao county. Hunan Geology, 10(1):52—58
- 谢湘雄,顾剑虹.1990.试论湖南省莫霍面形态及地壳厚度特征.湖南地质, 9(2):10—18.
- Xie Xiangxiong and Gu Jianhong. 1990. Trial discussion on the form of Moho discontinuity and crust thickness of Hunan province. Hunan Geology, 9(2):10—18.
- 杨舜全.1986.湖南省锡矿成因及找矿方向的探讨.湖南地质, 5(4):12—25.
- Yang Shunquan. 1986. Genesis of antimony deposits and the orientation of prospecting in Hunan. Hunan Geology, 5(4):12—25.
- 赵振华,包志伟,张伯友.1998.湘南中生代玄武岩类地球化学特征.中国科学(D辑), 28(增刊):7—14.
- Zhao Zhenhua, Bao Zhiwei and Zhang Boyou. 1998. Geochemical characteristics of Mesozoic basalt in southern Hunan. Science in China (Series D), 28(Suppl.):7—14.
- Almad S N and Rose A W. 1980. Fluid inclusions in Porphyry and skarn ore at Santa Rita, New Mexico. Econ. Geol., 75:229—250.
- Bailly L B, Bonchot V, Beny C and Miles J P. 2000. Fluid inclusion study on stibonite using infrared microscopy: an example from the Brazil's antimony deposit. Econ. Geol., 95:221—226.
- Carrier A and Jebrak M. 2000. The Silidor Deposit, Rouyn-Noranda district, Abitibi belt: geology, structural evolution, and paleostress modeling of an Au quartz vein-type deposit in an Archean tondjemite. Econ. Geol., 95:1049—1065.
- Guillemette N and Williams-Jones A E. 1993. Genesis of the Sb-W-Au deposits at Ixtahuacun, Guatemala: evidence from fluid inclusions and stable isotopes. Mineralium Deposita, 28:167—180.
- Holland H D and Malin S D. 1979. The solubility and occurrence of non-ore minerals. In: Barnes H L. ed. Geochemistry of Hydrothermal Ore Deposits. New York: John Wiley & Sons. 465—471.
- Luders V. 1996. Contribution of infrared microscopy to fluid inclusion studies in some opaque minerals (wolframite, stibonite, bournonite): Metallogenic implications. Econ. Geol., 91:1462—1468.
- Munoz M and Shepherd T J. 1987. Fluid inclusion study of the Bournac polymetallic (Sb-As-Pb-Zn-Fe-Cu) vein deposit Montagne Noire, France. Mineralium Deposita, 22:11—17.
- Ridley I. 1993. The relations between mean rock stress and fluid flow in the crust: With reference to vein-and lode-style gold deposits. Ore Geology Review, 8:23—37.
- Roedder E and Bodnar R J. 1980. Geochemical pressure determinations from fluid inclusion studies. Annual Review of Earth and Planetary Science, 8:263—301.
- Simmons S F and Browne P R L. 2000. Hydrothermal minerals and precious metals in the Broadlands-Ohaaki geothermal system: implications for understanding low-sulfidation epithermal environments. Econ. Geol., 95:971—999.
- Weissberg B G, Browne P R L and Seward T M. 1979. Ore metals in active geothermal systems. In: Barnes H L. ed. Geochemistry of Hydrothermal Ore Deposits. New York: John Wiley & Sons. 738—780.

ORE-FORMING CONDITIONS OF XIKUANGSHAN-TYPE ANTIMONY DEPOSITS IN CENTRAL HUNAN

Tao Yan¹ Gao Zhenmin¹ Jin Jingfu² Zeng Lingjiao²

1. Institute of Geochemistry, Chinese Academy of Sciences, Guiyang 550002;

2. Chengdu University of Technology, Chengdu 610059

(下转第 242 页)

subducting, and metallization explore by the way of magnetic repulsion affecting or controlling fluid. The plate collision and followed rotating/subducting and bending must have broken electrical and magnetic balances in the former dynamic system. Positive and negative ions, drifting oppositely each other, concentrated together in transforming area between two dynamic systems. When the same magnetic poles met, magnetic levitation force created on transforming plane. Magnetic repulsive force could raise an amount of fluids, which drew Au, Cu, Pb, Zn and other elements from the country rocks. Such a mechanism gave a new metallogenetic model for Au, Au-U deposits and accompanied nonferrous metal ores in greenstone belts. Based on the distribution of magnetic repulsive force and magnetic attraction force, the potential areas for further exploratory were discussed.

Key Words Magnetic levitation force, Gold metallogenetic characters, Metallogenetic mechanism

~~~~~  
(上接第 195 页)

#### Abstract

The Central Hunan is a world-famous antimony metallogenetic province, host a great number of antimony deposits in which Xikuangshan-type is the most important one. Based on geological investigations, this paper confirmed that the metallogeny was related to tectono-magmatic activation. The geological evidences and the ESR ages of Sb-bearing quartz showed that metallogenetic epoch was from Late Cretaceous to Paleocene. Antimony deposits were located on the intersection of two or three faults. In general, the intersection of three faults companied with the main antimony deposit. Controlled by structure trap, ore-body located in the core of the brachy anticline or pitch part of plunging anticline which was intersected by high angle longitudinal fault. The most favorable wall rock assemblages were in three-layer structures in which agillaceous rocks acted as plastic beds overlain on top, clastic rocks at bottom, chemically active beds of arenaceous limestone in the middle and prone to be silicified. The ore-forming pressure was  $(200 \sim 300) \times 10^5$  Pa, the forming depth was about 0.8 ~ 1.2 km.

**Key Words** The Xikuangshan-type antimony deposits, Tectono-magmatic activation, Structural-lithological trap, Ore-forming depth, Central Hunan

### 纪念尹赞勋先生诞辰 100 周年

尹赞勋先生 1902 年 2 月 23 日生于河北省平乡县大时村,今年是他诞辰 100 周年纪念。先生全面系统地研究了中国的志留系,著有“志留纪之中国”等文,奠定了中国志留系研究之基础,故中国地质界有“尹志留黄二叠”之口碑。他毕生致力于我国地层学规范的研究,领导编纂了“中国区域地层表”、“中国地层规范草案说明书”、“中国地层典·石炭系”等,使我国地层研究得以与国际地层规范统一和接轨。先生最早把板块构造学说引入国内,深信“板块学说具有重大理论意义,它把辩证法带进了地质构造学,使地球变活了”,影响至广至远。

本刊今年第 1 期为地层学专辑,第 2~3 期继续刊发地层学的论文,以示对我国地层学的奠基人和先驱者的崇敬和怀念之情。

(本刊编辑部)