

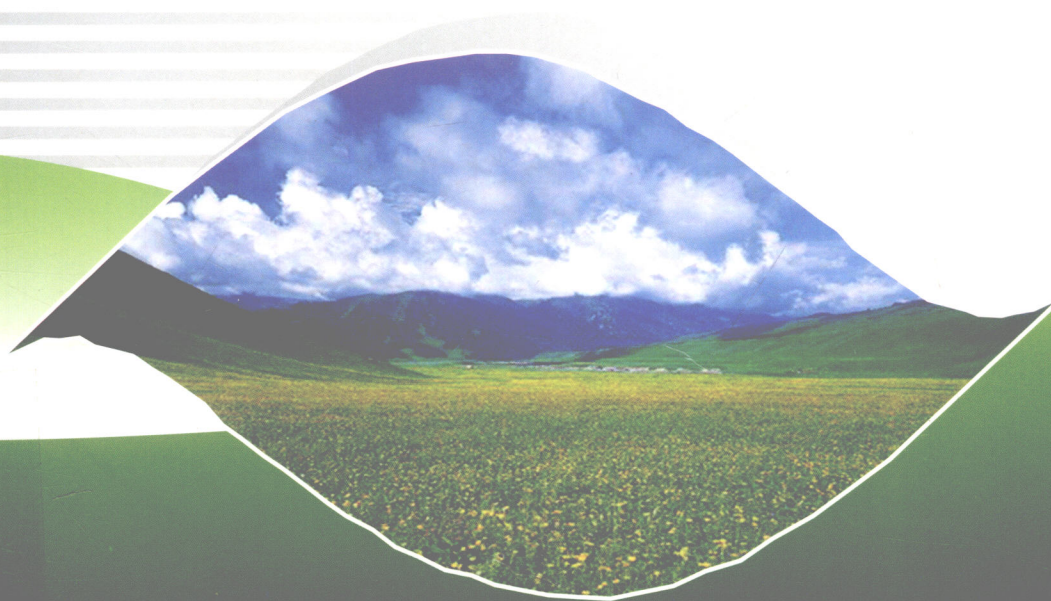
中国地质大学（武汉）学术著作出版基金资助

沉积盆地的成矿元素富集 与成矿机制研究

——以湘中盆地锡矿山锑矿床为例

杨瑞琰 马东升 鲍征宇 著

The Study of Metallogenesis and
Concentration for Ore-forming
in the Sedimentary Basins:
A Case Study from the
Xikuangshan Antimony Deposits



中国地质大学出版社

中国地质大学(武汉)学术著作出版基金资助

沉积盆地的成矿元素富集 与成矿机制研究

——以湘中盆地锡矿山锑矿床为例

杨瑞琰 马东升 鲍征宇 著

中国地质大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

沉积盆地的成矿元素富集与成矿机制研究——以湘中盆地锡矿山锑矿床为例/杨瑞琰,马东升,鲍征宇著. —武汉:中国地质大学出版社,2005.9

ISBN 7-5625-2052-6

I. 沉…
II. ①杨…②马…③鲍…
III. 成矿元素-成矿机制-沉积盆地
IV. P64

沉积盆地的成矿元素富集与成矿机制研究
——以湘中盆地锡矿山锑矿床为例

杨瑞琰 马东升 鲍征宇 著

责任编辑:王凤林

技术编辑:阮一飞

责任校对:张咏梅

出版发行:中国地质大学出版社(武汉市洪山区鲁磨路388号)

邮编:430074

电话:(027)87482760

传真:87481537

E-mail:cbb@cug.edu.cn

经 销:全国新华书店

<http://www.cugp.cn>

开本:787毫米×1092毫米 1/16

字数:190千字 印张:7.25

版次:2005年9月第1版

印次:2005年9月第1次印刷

印刷:湖北地矿印业有限公司

印数:1—500册

ISBN 7-5625-2052-6/P·648

定价:20.00元

如有印装质量问题请与印刷厂联系调换

前言

沉积盆地,作为连接地球内部过程和地表过程的纽带,既是了解和认识地球动力学系统和岩石圈演化的窗口,也是能源和矿产资源富集的重要地质单元。活跃于沉积盆地演化过程中的流体,正是认识这些能源和矿产资源重大科学问题的关键环节之一。盆地流体,是指存在于盆地沉积物的孔隙间并通过其孔隙进行流动的任何流体(Lawrence S R, et al., 1995),主要是来自盆地内部沉积物封存及压实—相变释放出的流体,以及由盆地边缘大陆隆起区补给的下渗大气降水两大部分,包括不同比例的沉积物间隙水(海水为主)、沉积物颗粒吸附水(海水为主,部分大气降水)、粘土矿物的层间水和结构水、下渗大气降水、下渗海水以及由沉积有机物质热解而成的各种气态—液态有机组分(石油、天然气)等。

沉积盆地作为地壳中重要的大地构造单元,是流体活动最活跃的场所。它广泛参与沉积盆地演化的全过程,包括沉积物的各种成岩—后生变化、盆地的热结构和热历史以及各种矿床和石油、天然气的生成。在成矿过程中盆地流体扮演着十分重要的角色,它既是汲取矿质的活化剂,又是成矿元素的载体,因此盆地流体研究已成为当今国际地学前缘的重要研究对象之一(刘建明等, 1997a)。沉积盆地中的油气以及与盆地流体有关的固体矿床,是同一地质构造格架内同一自然过程留下的物质表象(刘建明等, 2000)。油气是被封存起来的、以碳氢化合物为主的盆地流体,而固态的金属矿石则是以水溶液相为主的盆地流体在适当的部位将所溶解携带的成矿金属组分沉淀卸载的结果。

成矿作用实际上是大范围分散的盆地流体在地壳局部大量汇聚的过程。绝大多数成矿流体在沉积盆地和矿床中已不复存在。目前虽然已经积累了大量有关古流体性质及其演化的知识,但它们几乎都来自对矿床本身的研究综合,有关信息大多都局限于一般矿体和矿床的尺度。

在我国的众多沉积盆地内,相继发现了一些具有中国特色的重要矿床类型,如广东富湾—长坑银金矿床(杜均恩等, 1996; 梁华英等, 1998; 孙晓明等, 1999)、锡矿山锑矿床(马东升等, 2002, 马东升等, 2003; 陶琰等, 2001; 彭建堂等, 2002)、贵州的卡林型金矿床与万山汞矿(刘建明等, 1997b); 云南兰坪盆地金顶超大型铅—锌矿床(李小明等, 2001; 薛春纪等, 2002)、粤北的凡口、大宝山矿床(邓军等, 2000)和吐哈盆地十红滩铀矿床(李保侠, 2002)等。它们从不同侧面揭示了盆地流体成矿的某些鲜为人知的重要特征,表明盆地流体对许多性质不同的金属都具有很强的成矿能力。这些矿床与盆地流体的关系大多被看作某期次后期地质—热事件的产物。因此,探讨盆地流体运移规律对盆地中矿床成因的研究具有十分重要的意义。

研究任何一个矿床都必须研究矿床形成的三要素:矿源、矿运和矿储。“矿源”研究的对象是该矿床主要成矿元素的来源问题,回答的是该矿床的矿源层(岩)在哪里,以及主要成矿元素怎样离开成矿物质源区的机制等问题。“矿储”研究的是矿床的主要成矿元素在赋矿层富集成矿的问题,回答的是主要成矿元素的富集机制以及储矿的空间等问题。“矿运”研究的是矿床的成矿元素从“矿源”到“矿储”的运移机制、运移介质等问题。在成矿的“源—运—储”过程研究中,与 20 世纪 70~80 年代层控矿床研究特别关注成矿物质来源相比,20 世纪 90 年代以来已将更多的注意力转向“运”这一成矿中介环节。其中,地壳中的流体作用与成矿关系研究是

阐明这一中介环节的关键所在。因此,地壳流体运移及其水岩反应机制与成矿关系已成为当今矿床成因理论研究中的前沿课题和热点。有关地热田的研究早已确定地下热水具有广泛的来源和较大的活动范围。热水区面积可达上万平方千米以上,如中塔什干附近和西西伯利亚(Ellis A J, 1979)。Fyfe 等(Fyfe W S, et al., 1978)在 20 世纪 70 年代末首先注意到地壳中大规模流体运移与成矿作用的关系。20 世纪 80 年代以来,地壳中大规模流体运移与成岩成矿的关系开始受到重视。如 Oliver 提出了由陆壳碰撞产生大规模构造卤水运动,并在俯冲盘一侧成矿的新设想,以此解释石油、煤和中低热液矿床成因及石英岩化、白云岩化等成岩作用(Oliver J, 1992)。在涉及大规模流体运移的多种成矿模式中(如陆壳天水环流,重力驱动区域规模地下水流),以大气降水和地下水为代表的大范围、大通量流体过程受到高度重视。这方面以 Garven 等人的研究最为典型(Garven G et al., 1984a; 1984b; Garven G, 1985; 1986; Garven G, et al., 1993; 1994; Person M, et al., 1996)。由此可见,自 20 世纪 80 年代以来,成矿流体研究已从以往仅限于矿床内部的局部规模,发展到探讨区域性流体成岩成矿演化的新阶段。

在国内的热液矿床成因研究中,对区域性流体运移与成矿关系的重视始于 20 世纪 80 年代末,如在季克俭的“三源热液成矿模式”中(季克俭, 1989; 季克俭等, 1994),强调了透水、含水“水源层”与地下水流动方向在成矿中的重要作用,但至今主要限于对岩体热场周围流体运动的研究。近年来,马东升(马东升, 1990a、1990b、1991a、1991b)通过系统研究发现,在无岩浆活动或活动极弱之中—低温成矿带内,存在大范围地层金亏损与金矿伴生,即“贫化—富集地球化学共轭”现象,其亏损面积可达上千平方千米,垂深达几千米。国内外同类研究证实了该现象的普遍性(Quednau M, et al., 1991; 刘金钊, 1992),并都认为是大规模流体运动使地层中的金产生活化再分布的结果。

湘中是我国重要的中低温矿床(锑矿、雄黄矿、汞矿、金矿和铅锌矿等)产地之一。这些中低温矿床均具温度、盐度低,与岩浆关系不密切等特点。事实上,这些矿床就是中低温流体大规模运移,在减压区集中排泄,矿质大量堆积的结果。许多现代地热系统正在形成锑—汞—砷—金矿就说明了这一点(Krupp et al., 1987; Karpov G A, 1991)。

湘中地区广泛分布着锑、砷、汞、金和铅锌等中低温热液矿床,且经过多年研究与开发积累了较丰富的资料,是进行低温地球化学、古流体活动示踪研究的天然实验区,也是进行流体运移及成矿过程模拟研究的较好场所。

锡矿山锑矿发现于明嘉靖二十年(公元 1541 年),1949 年以前锡矿山未进行过系统的地质勘探工作。解放后,许多单位及研究者对该矿床进行过多方面专题研究(湖南地质研究所, 1983; 刘光模等, 1983; 刘焕品等, 1985; 刘焕品, 1986; 吉让寿, 1986、1987; 李鸿儒, 1986; 杨舜全, 1986; 刘汉元等, 1991; 靳西祥, 1993; 湖南有色地质研究所矿床室, 1993; 易建斌等, 1994; 单业华等, 1994; 解庆林, 1996a; 杨照柱, 1998a),但是对矿床成因认识仍存在明显分歧,部分学者认为属与火成岩(或隐伏火成岩)有关的中低温热液矿床(肖启明等, 1984; 林肇凤, 1987; 李智明, 1993);另一部分学者则认为是层控矿床(谌锡霖等, 1983; 涂光炽, 1984; 曾允孚等, 1987、1993; 邹同熙, 1988; 庄锦良, 1988; 文国璋等, 1993);还有部分研究者认为是大气降水成因(解庆林, 1996a; 杨照柱, 1998b)。

虽然前人对湘中中低温矿床作了许多工作,但仍存在一些薄弱环节。一是区域古流体研究尚属空白;二是区域古流体的活动特征及其与典型矿床成矿流体、成矿作用的关系研究不足;三是“源—运—储”作为一个整体研究不够。尤其是对成矿过程中流体的运移路径、流场、温度场特征及流体流速的大小了解甚少,许多方面的研究甚至是空白。针对上述情况,本文结

合国家重点基础研究发展规划项目(973)子课题(大规模成矿作用及大型矿集区预测, G1999043210)和相关国家自然科学基金课题(40073007),在以往工作的基础上,应用元素地球化学、包裹体地球化学、同位素地球化学等研究方法,并首次引入数学模拟技术,探讨了湘中区域古流体的活动特征、古流体的性质以及古流体在锡矿山锑矿成矿中的作用。定量分析了锡矿山锑矿成矿过程中的流场和温度场特征。

本文的特点有:

首次应用流体力学和水动力学理论定量模拟分析了锡矿山锑矿成矿过程中的流场、温度场特征,模拟计算了成矿流体在矿床定位处的流速、估算了矿床形成作用的时间、流体卸载成矿的流量以及蚀变带的范围等。研究表明,湘中盆地燕山期古流体主要来源于龙山与大乘山山区的大气降水,在流体重力和热流浮力的双重驱动下,深部循环的古流体以 $0.2\sim 0.4\text{m/a}$ 的平均速度沿地层的倾向缓慢地向盆地深部运移。在运移过程中流体被不断地加热,在加热的同时淋滤地层,使盆地基底地层中的成矿物质组分成为含矿流体。该流体主要在冷水江—城步断裂带和锡矿山—涟源断裂带内向上运移,最后在泥盆系灰岩中受上部页岩弱透水层的阻挡,受温度($180\sim 200^{\circ}\text{C}$)和压力(27MPa)改变的影响,在泥盆系地层中卸载形成层状、似层状及脉状矿体。模拟表明,在锡矿山锑矿床的下部应该有一个隐伏岩体,该岩体在当时提供的热流值大约为 0.2W/m^2 。同时在流体排泄区:①每年排泄的流体总量超过 $(0.8\sim 1.6)\times 10^9\text{kg}$;②每年实际在锡矿山锑矿床成矿部位沉淀锑矿 $(0.169\sim 1.32)\times 10^4\text{kg}$;③该成矿过程持续了 $(1.19\sim 0.15)\times 10^6\text{a}$ 才形成锡矿山超大型锑矿床;④排泄流体总量为 $(0.24\sim 0.95)\times 10^{15}\text{kg}$;⑤成矿热液蚀变了围岩,蚀变范围近似为该矿床矿体体积的 $1.28\sim 5.03$ 倍。

首次应用双扩散对流模型模拟研究了沉积盆地的局部隆起可能是导致成矿元素富集的机制以及影响该富集机制的有关因素。同时还模拟研究了沉积盆地断裂带的规模、强度和盆地流体流动对成矿元素富集强度的影响,并对该矿床的成因得出新的认识,认为:断裂带的宽度影响成矿元素的富集能力,断裂带越宽富集能力就越强,相反断裂带越窄成矿元素的富集能力就越弱;断裂带的强度(深度)同样影响成矿元素的富集范围,断裂带的强度越大,成矿元素的富集范围和能力就越大;另外通过模拟还显示出,如果流体在外力的作用下发生流动,则流动既有利于成矿元素的富集,同时成矿流体的富集能力也较大。

本文选择湘中锡矿山地区,着重研究盆地流体的运移特征,影响盆地流体运移的因素,以及盆地流体与矿床成矿的关系,并在此基础上通过数学模拟方法进一步探讨盆地流体富集成矿原理,同时对锡矿山锑矿床的矿床成因进行了深入的讨论。

本专著是根据第一作者在南京大学博士后流动站期间的研究报告改编而成的,由于作者的水平有限,错误和漏洞在所难免,敬请读者来信批评和讨论,我们将不胜感激,并表示衷心的感谢! E-mail: ryyang@cug.edu.cn

作者于中国地质大学(武汉)

2005年3月

目 录

第一章 区域地质背景	(1)
第一节 大地构造位置	(1)
第二节 区域地层及其水文地质特性	(2)
一、元古代地层及其水文地质特性	(2)
二、古生代地层及其水文地质特性	(4)
三、中生代地层及其水文地质特性	(6)
第三节 区域矿产	(6)
第四节 区域构造	(8)
第五节 岩浆热事件与金锑矿床定位	(8)
第二章 锡矿山矿床特征	(10)
第一节 锡矿山矿床地质特征	(10)
一、矿区地层	(10)
二、矿区构造	(11)
三、矿区岩浆岩	(11)
四、矿体形态特征	(11)
五、矿石特征	(12)
六、围岩蚀变特征	(12)
第二节 锡矿山矿床古流体特征	(12)
一、元素地球化学特征	(12)
二、同位素地球化学特征	(14)
三、古流体包裹体地球化学特征	(20)
四、水-岩反应模拟与淋滤实验	(23)
第三章 沉积盆地的流体活动	(29)
第一节 盆地流体概述	(29)
一、盆地流体	(29)
二、盆地流体的运移	(31)
三、盆地流体的成矿作用	(34)
第二节 沉积盆地岩石和流体参数	(37)
一、孔隙度	(37)
二、渗透系数与渗透率	(37)
三、热传导率	(39)
四、热容	(39)
五、流体密度	(40)
六、流体粘度	(41)
第三节 影响流体运移的因素	(41)

一、裂隙和断裂破碎带对盆地流体运移的影响·····	(41)
二、沉积盆地的隆起构造对盆地流体运移的影响·····	(42)
第四章 盆地流体运移的控制方程组 ·····	(43)
第一节 成矿流体的动力学模型 ·····	(43)
一、能量守恒方程·····	(43)
二、流体连续性方程·····	(44)
三、达西定律·····	(44)
四、状态方程·····	(45)
第二节 组分浓度方程 ·····	(46)
第三节 盆地流体运移模型及计算方法 ·····	(47)
一、盆地流体运移模型·····	(47)
二、盆地流体运移模型的无量纲化·····	(48)
三、盆地流体运移模型的计算方法·····	(49)
第四节 边界拟合坐标系 ·····	(56)
一、拟合坐标变换·····	(57)
二、调节因子函数的构造·····	(59)
第五章 重力驱动数值模拟结果 ·····	(60)
第一节 边界条件 ·····	(60)
第二节 模拟结果 ·····	(64)
一、龙山岳坪峰大河溪—锡矿山剖面(CO) ·····	(64)
二、大界垵—锡矿山剖面(AO) ·····	(74)
三、大乘山大河溪—锡矿山剖面(BO) ·····	(74)
四、大丰山主峰—锡矿山剖面(DO) ·····	(78)
第三节 结果与讨论 ·····	(80)
一、成矿时间与流体通量·····	(81)
二、成矿速率·····	(81)
三、硅化带的范围·····	(81)
四、结论·····	(82)
第六章 双扩散对流与成矿元素的富集 ·····	(83)
第一节 双扩散对流模型 ·····	(83)
第二节 初始条件、边界条件及参数取值和设定·····	(85)
第三节 模拟结果及地质解释 ·····	(87)
第四节 讨论和结论 ·····	(93)
第七章 锡矿山锑矿床的矿床成因分析 ·····	(94)
第一节 成矿流体和成矿物质来源 ·····	(94)
第二节 成矿模式 ·····	(97)
一、控矿因素·····	(97)
二、成矿模式·····	(98)
第三节 找矿方向 ·····	(99)
参考文献 ·····	(100)

第一章 区域地质背景

湖南锑矿遍布全省,共有大小矿床几十处,矿点百余个。具有工业意义的矿床集中分布在湖南省中部(湘中)地区,该区已探明锑储量约 $249 \times 10^4 \text{t}$,占湖南全省锑储量的 98%(肖启明、李典奎,1984;史明魁等,1994)。由此可见,湘中锑矿在中国以及世界锑资源中占重要地位。

第一节 大地构造位置

湘中地区地处江南古陆东南部,主要由震旦系和古生界(寒武系一二叠系)沉积盆地,即湘中盆地组成。盆地基底为前泥盆系巨厚变质、浅变质碎屑岩,主要分布于盆地边缘及内部次级隆(凸)起上,盖层由晚古生界碳酸盐岩、碎屑岩系组成。

湘中地区在大地构造上的归属认识分歧颇大,不同学者、不同大地构造学派对此均有专门论著。主要有以下两类观点:

一类观点是将湘中地区作为华南两个一级大地构造单元的过渡带。持槽台学说观点的学者将其划为华南加里东褶皱带(黄汲清,1954)、湘中—桂北带、坳陷槽型冒地槽之华南造山带(任纪舜,1980),或划为华南断块系武陵—云开断块的一部分;持地质力学观点者则认为该区属新华夏系第二沉降带和第三隆起带之间的交接地带;持板块构造观点者认为该区属湘桂海西—印支弧间盆地、古生代大陆边缘、中元古—早古生代裂陷系、扬子板块与华夏板块 P_2/T_1 碰撞带(史明魁等,1993)、中生代碰撞造山带。

另一类观点则认为湘中地区属于独立块体,并列于扬子、华夏(南华),是构成华南地区的一级大地构造单元,将其称为湘桂板块或湘中地体。前者认为是原地块体,后者认为是外来块体。

本书持板块构造观点,认为湘中盆地在大地构造上位于东安—雪峰期古岛弧的南缘,湘桂海西—印支弧间盆地的北部(图 1.1)。

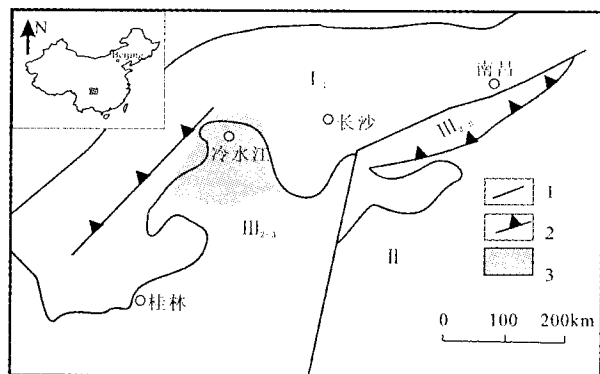


图 1.1 湘中盆地大地构造位置(郭令智等,1983)

I. 江南东安-雪峰期岛弧褶皱系; II. 武夷-云开加里东岛弧褶皱系; III_{2-A}. 湘桂海西-印支弧间盆地;
III_{2-B}. 萍乐海西印支期前坳陷; 1. 雪峰期俯冲带; 2. 深大断裂带; 3. 湘中地区

地层、构造、岩浆岩等资料显示了湘中地区从中元古代—中生代经历了武陵—雪峰期、加里东期、海西期和印支—燕山期 4 个地史发展阶段。武陵—雪峰期地壳活动性强,属成熟地壳快速增生、中下地壳构造层发育阶段;加里东期为中上地壳构造层发育阶段;海西期表现为后加里东盆地(湘中盆地)发育阶段,形成上地壳构造层。印支运动导致湘中后加里东盆地关闭,结束了地壳增生历史,是湘中地区构造发展历史的一个转折点。

第二节 区域地层及其水文地质特性

湘中盆地基底由前泥盆系巨厚浅变质碎屑岩组成,主要分布于盆地边缘及内部次级隆(凸)起上。盖层由晚古生界碳酸盐岩、碎屑岩系组成(图 1.2)。

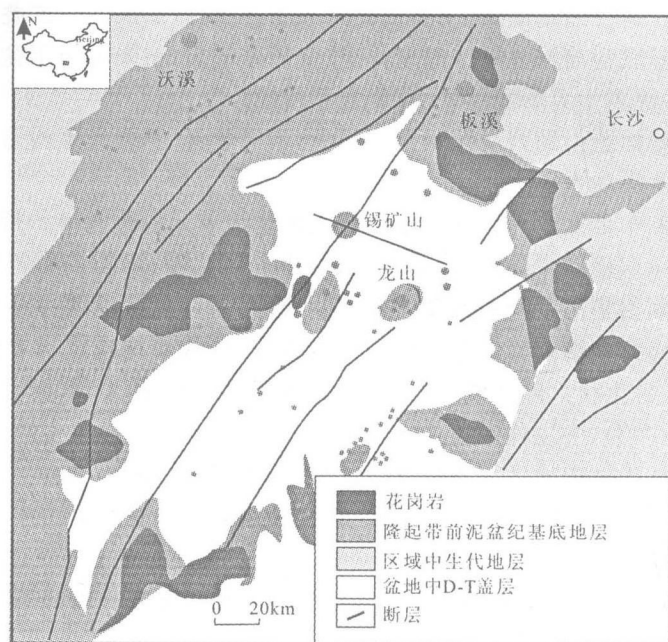


图 1.2 湘中盆地地质及矿床(点)分布简图

(据 Murao S. et al., 1999, 部分根据 1978 年 1:200 000 地质图及矿产图修改, 图中圆圈为锑(金)矿床)

湘中地区地层发育齐全,从中元古界至第四系均有存在。区域地层的水文地质特征是制约盆地流体运动的重要因素。各时代地层分区、建造特征及其水文地质特性从老至新简述如下。

一、元古代地层及其水文地质特性

1. 中元古界冷家溪群及其水文特性

冷家溪群是湘中出露最老的地层,主要分布于雪峰弧形构造带沅陵、桃源、桃江、益阳等地,长沙、衡阳、双峰也有零星出露,其可与黔东的梵净山群、滇东的昆阳群和桂北四堡群等进行对比。它是以一套浅灰、浅灰绿色为主的浅变质细粒碎屑岩、粘土岩及含凝灰质细粒碎屑岩组成的复理石建造。底部夹有较厚的白云质灰岩透镜体,顶部以砂岩为主,局部夹有上地幔物

质上涌形成的裂隙火山基性—超基性熔岩,最大厚度超过2500m,未见底,属活动型陆缘海槽沉积,构成了本区褶皱基底。冷家溪群是江南古陆重要的赋矿层位之一。

岩石中孔隙、裂隙均不发育,水力传导率极小,属于不透水层。

2. 上元古界板溪群及其水文特性

板溪群包括马底驿组(或高涧组)和五强溪组(或漠滨组),可与黔东的下江群、桂北的丹州群进行对比。

中元古代晚期的武陵运动,是一次不均衡的构造变动,其运动烈度呈现北西强南东弱的趋势。在永顺—石门—岳阳一线以北,冷家溪群强烈褶皱,与上覆板溪群呈高角度不整合,而芷江—溆浦—长沙一线以南,中元古界与板溪群连续沉积。武陵运动以后,板溪群分为北区和中区两个沉积相区,自北向南分为河流滨岸相—陆棚相—陆坡相,沉积物北粗南细,北红南绿,北部紫红偏多而南部多为灰绿色。

北区:相当于滨岸相—浅海相沉积环境,下段马底驿组粒度较粗,岩性为砾岩、石英砂岩、长石砂岩、粉砂岩、板岩等,组成第一旋回。上段五强溪组以紫红色砾岩、砂岩、粉砂岩、板岩为主。北区的板溪群主要特点是沉积物较粗,颜色多为紫红色,有“红板溪”之称,发育有较多的中酸性火山沉积岩和凝灰岩夹层。总厚752~380m之间,与下伏冷家溪群呈角度不整合接触。

中区:主要出露于溆浦、黔阳、会同、通道等地。与北区不同的是武陵运动尚未波及到中区,板溪群与冷家溪群呈连续沉积,沉积物厚度大,粒度细,多呈灰绿色。岩性以深灰—灰绿色细砂岩、粉砂岩、绢云母板岩、条带状板岩等为主,夹有数量较多的凝灰质板岩,局部可见到火山角砾玻基玄武岩。下部高涧群中段夹有灰岩透镜体,上部漠滨组中上段有黑色炭质板岩夹层。板溪群构成雪峰弧形构造带总体,也是该带金锑矿产主要赋矿层位之一。韵律发育,为较典型的复理石建造。总厚3290~4757m之间,与下伏冷家溪群假整合接触。

深部地球物理研究揭示^①,湘中乃至华南的上部元古界均属低阻稳定层,如华南上元古界的地层电阻率仅为 $n \times 10 \Omega \cdot m$ 。地层、岩石的电阻率主要取决于岩性、孔隙水以及孔隙的连通状态。以浅变质砂岩、砂岩、板岩及碳酸盐岩为主的板溪群内,孔隙及层间裂隙极为发育,且孔隙连通性好,因而极可能作为湘中地区乃至华南地区区域性含水层。

3. 上元古界震旦系及其水文特性

雪峰运动是一次造陆运动,它使震旦系与下伏板溪群之间存在不整合—假整合接触界面。震旦系主要分布于盆地边缘及白马山—大乘山—龙山东西向隆起带上,自下而上分为下统(江口组、湘锰组、洪江组)和上统(金家洞组、留茶坡组)。下统主要为海洋冰川沉积类型和正常海洋与海洋冰川混合型沉积的冰碛砾岩、冰碛砾粉砂岩、粉砂岩及砂岩、板岩;上统主要为温暖气候条件下沉积的硅质岩、黑板状页岩、碳酸盐岩。震旦系厚度为773~5664m,自北而南递增,与下伏板溪群呈假整合接触,各组间基本上为连续海相沉积。岩石中孔隙、层间裂隙发育,导水性能好,为一含水层。震旦系是湘中重要的锑矿赋矿层位,22.7%的锑矿产于该层,较著名的矿床有龙山金锑矿和钱江冲锑矿(史明魁等,1994)。

^① 中国地质勘察技术院. 台湾—黑水地学大断面综合研究. 科研报告, 1990

二、古生代地层及其水文地质特性

1. 下古生界寒武系及其水文特性

湘中地区寒武系发育较全,主要分布于雪峰山东侧及白马山—龙山、苗儿山—关帝庙等穹隆中。寒武纪时该带处于相对宁静的弱还原沉积环境,沉积物颜色较深,以炭泥质为主,富含黄铁矿,具远岸滞流海沉积特点。早寒武世主要为炭泥质页岩、硅质炭质粉砂岩、黑色泥灰岩与炭质页岩互层,富含铀、银、钒、锑、砷、磷等多种元素,有含矿黑层之称,厚度为195~408m;中寒武世主要为炭质、泥质碎屑岩和纹层状泥灰岩,厚度为113~718m;晚寒武世为以黑色薄层泥灰岩、泥质灰岩为主的碳酸盐岩类,厚70~255m。寒武系与上、下地层一般为整合接触。

碳酸盐岩富含地下水,裂隙、岩溶发育,是较好的含水层。该套地层也是湘中地区较为重要的锑矿赋矿层,湘中地区25.6%的锑矿赋存于寒武系(史明魁等,1994)。

2. 下古生界奥陶系及其水文特征

奥陶系发育完整,出露良好,分布范围大致与寒武系一致。岩性以碎屑岩为主,下统为灰绿、灰黑色的砂质页岩;中统为灰黑色粘土质页岩,夹含锰灰岩或钙质白云岩;上统以页岩、硅质页岩、泥岩为主。湘中地区奥陶系厚度一般不超过300m,与下伏寒武系整合接触。安化廖家坪矿床的金矿体赋存于奥陶系中。

岩石中孔隙度较小,含水、透水性极差,为弱透水层。

3. 下古生界志留系及其水文特性

志留系分布于该带南东侧安化—洞口一线,其余零星分布,仅出露下中志留系周家溪群,为一套灰绿色浅变质(泥砂)复理石沉积。下部岩性为炭质页岩、硅质页岩、粉砂质炭质页岩等,属滞流海沉积相。中上部为石英杂砂岩、泥质粉砂岩、少量炭质页岩,上部以灰绿—深灰色条带状板岩为主,夹薄层粉砂岩,复理石韵律明显。总厚度为723~4000m,整合于奥陶系之上,与上覆中泥盆统跳马涧组或半山组呈不整合接触。

岩石中孔隙、裂隙不发育,渗透率较小,为弱透水层。

4. 上古生界泥盆系及其水文特性

泥盆系是湘中盆地中出露最广泛的地层之一,亦为锡矿山超大型锑矿田内出露和被揭露的主要地层。中统下、中部属滨海—陆相碎屑沉积,自中统上部至上统主要属浅海相碳酸盐岩沉积。由南往北,碳酸盐岩沉积逐渐减少,泥砂碎屑沉积相应增加,相变为滨海—陆相碎屑沉积。沉积物厚度变化大,在605~2028m之间,与下伏地层呈角度不整合接触。中统包括跳马涧组和棋梓桥组,上统包括余田桥组和锡矿山组,现对各组岩性特征及水文特性分别叙述如下:

(1) 中统跳马涧组

该组中下部为灰白色石英砂岩,上部为紫红色石英细砂岩、粉砂岩和砂质页岩,厚95.5~536.4m。孔隙不发育,导水性能差,为弱透水层。

(2) 中统棋梓桥组

该组岩性横向变化大,可大致分为灰岩区和页岩区,厚216.2~766.1m。灰岩区主要分布于天马山、炉观、洋溪、锡矿山一带。大观、禾青、严塘、猪婆山周围以及雷鸣桥一带,岩性主要为深灰色厚层状灰岩、生物灰岩夹泥灰岩,厚173~721.9m。页岩区主要分布于金凤团、桃林、坪上及龙山周围,厚200m。不同岩相区,其水文地质特性各异,灰岩区为含水层,页岩区为弱

透水层。

(3) 上统余田桥组

该组岩性变化极为复杂,大致分为页岩灰岩区、灰岩区和砂岩区,厚 110.1~708m。页岩灰岩区主要分布于西半部团山、天马山、炉观、桃林、大观及巨口铺、严塘、禾青和锡矿山等地;灰岩区分布于猪婆山周围,厚 110.1m;砂岩区分布于雷鸣桥一带,下段以泥灰岩、灰岩为主,上段为页岩、砂岩及厚层状石英砂岩。在锡矿山余田桥组按岩性分为上、中、下三段:上段为钙质页岩,厚 40m;中段以深灰薄—厚层状灰岩为主,厚 220m;下段为灰、深灰色中厚—厚层状含白云母粉砂岩、钙质砂岩,厚 45m。该组水文地质特性变化复杂,孔隙度、导水能力中下段较大,平均渗透系数为 0.041m/d(湖南有色地质勘探 246 队,1985),上段为弱透水层。余田桥组是锡矿山锑矿的主要赋矿层位。

(4) 上统锡矿山组

锡矿山组是区内最主要的含铁地层,可分为灰岩段(下段)和砂岩段(上段),厚 155.6~534.2m,横向变化大。下段为泥灰岩、泥质灰岩、灰岩互层;上段以碎屑岩为主。在锡矿山该组由下而上分为 5 段(长龙界段、兔子塘段、泥塘里段、马牯脑段、欧家冲段)。长龙界段以钙质页岩为主,厚 70m;兔子塘段为深灰色瘤状灰岩,厚 30m;泥塘里段为黄绿色粉砂质页岩,夹鲕状赤铁矿,厚 20m;马牯脑段下部为蓝灰色泥灰岩,中部为深灰色瘤状灰岩与纯灰岩互层,上部为砂质灰岩,厚 240m;欧家冲段下部为黄绿色页岩,上部为灰白色薄至中厚层状石英砂岩、粉砂岩夹页岩,厚 116m。

该组各段水文地质特性各异,灰岩段含水性良好,平均渗透系数 0.012m/d,属含水层;砂岩段导水性能较差,属弱透水层,其中长龙界页岩段在锡矿山锑矿形成过程中起着隔水作用,使得成矿流体的向上运移受阻,在该岩性段下部地质构造有利部位汇聚成矿。

5. 上元古界石炭系及其水文特征

石炭系广泛分布于盆地内部,地层发育完好,主要为碳酸岩、含煤碎屑岩,厚约 1 000m,可分为上、中、下统。下统自上而下分为岩关阶和大塘阶。

岩关阶自下而上又分为邵东段、孟公坳段和刘家塘段。岩性主要以粉砂岩、砂岩、钙质页岩、泥灰岩为主。岩石含水、透水性差,为弱透水层。

大塘阶自下而上又分为石碇子段、测水段和梓门桥段。石碇子段下部为灰岩,上部为灰岩与泥灰岩互层,厚 135~247m,含水性好。测水段主要为砂岩、粉砂岩夹砂质页岩、黑色页岩及煤层,厚 100~200m,为弱透水层。梓门桥段下部为灰黑色泥灰岩和灰岩互层,上部为灰岩、泥质灰岩夹泥灰岩和少量白云质灰岩及生物灰岩,厚 31~137m,为灰岩含水层。

中统黄龙组岩性单一,为巨厚层块状白云岩。在涟源、冷水江、田坪等地,下部见有厚 30~100m 的浅灰色灰岩、白云质灰岩。黄龙组总厚度 408m,为含水层。

上统船山组岩性甚为稳定,由浅灰色厚层块状灰岩、白云质灰岩夹白云岩、灰质白云岩组成,厚 200~426m,为灰岩含水层。

6. 上古生界二叠系及其水文特征

二叠系在湘中地区广泛出露,是最重要的含煤地层,总厚 833~1 040m。上统上部是含铁锰质的硅质岩和页岩,下部为含煤碎屑岩;下统为灰岩、硅质岩和泥砂质含煤沉积。

岩石含水、透水性较差,尤其页岩与煤层的渗透系数较小,为弱透水层。

三、中生代地层及其水文地质特性

1. 三叠系及其水文特性

三叠系在湘中地区发育不全,仅零星出露。下统主要由页岩、粉砂岩及厚层灰岩组成,厚300~846m;中上统不发育,缺失,为弱透水层。

2. 侏罗系及其水文特性

侏罗系零星分布于盆地内部,海相和陆相两类沉积均有,且赋存煤、油页岩等矿产。岩性以页岩、粉砂岩为主,含水、透水性较差,为弱透水层。

3. 白垩系及其水文特性

盆地内白垩系为陆相沉积,下统主要为滨海、浅湖相砂泥岩,局部夹盐湖相膏泥岩,其次为山麓相砾岩、砂岩。上统岩相复杂,除有山麓相砾岩、砂岩及滨湖相砂泥岩外,局部尚有盐湖相膏泥岩及火山岩,透水性能好,为含水层。

新生代地层为陆相沉积物,零星分布在山间盆地中。

根据湘中地区各地层单元的岩性特征、水文地质特性以及岩性组合、地层的区域性展布情况等,可建立其水文地质单元,如表1-1所示。

表 1-1 湘中地区地层单元的岩性特征、水文地质单元

地层单位	厚度(m)	岩性组合特征	孔隙度(%)	水文单元	模拟厚度(m)
白垩系		下统主要为滨海、浅湖相砂泥岩,局部夹盐湖相膏泥岩			区域上边界
侏罗系	710~1 210	以页岩、粉砂岩为主,仅零星出露	12	弱透水层	2 000
三叠系	849~958	主要由页岩、粉砂岩及厚层灰岩组成,仅零星出露			
二叠系	553~1 257	含煤地层,主要岩性为页岩、粉砂岩、灰岩			
石炭系	1 241~2 001	主要为碳酸岩、含煤碎屑岩赋矿层位,主要岩性为灰岩、石英砂岩、粉砂岩夹页岩	20	透水层	3 000
泥盆系	943~2 313				
志留系	723~1 656	中厚层状细粒砂岩、粉砂岩、板状页岩,底部有少量黑色炭质板状页岩	8	弱透水层	1 500
奥陶系	<300	主要为细砂岩、硅质页岩及泥岩			
寒武系	551~636	主要为炭质页岩、泥质碎屑岩及纹层状泥灰岩			
震旦系	77~5 664	以浅变质砂岩、砂岩及砾岩为主。孔隙及层间裂隙极为发育,且孔隙连通性好	15	透水层	3 500
板溪群	752~4 757				
冷家溪群	未见底	活动型沉积,本区褶皱基底			区域下边界

第三节 区域矿产

湖南省的锑矿在储量、产量及质量上均居全国首位。据统计仅湘中地区锑矿床(点)就有172处之多,其中锡矿山锑矿总储量(包括现有储量和推算出的已采量)约 $249\times 10^4\text{t}$ (史明魁等,1994),是世界上独一无二的超大型锑矿床。

根据锑矿赋矿围岩的性质、矿体产出形态、产状等特征可将湘中地区锑矿划分为3类(表1-2)。第一类以锡矿山锑矿为代表,即产于碳酸盐岩中的锑矿床。主要产于泥盆系中,次为寒武系和石炭系。矿体主要呈似层状,次为脉状。矿床远离火成岩体。矿物组合简单,矿石矿物以辉锑矿为主,其他金属矿物较少。脉石矿物以石英、方解石为主。围岩蚀变以硅化为主。此类矿床除锡矿山外还有牛山铺、甘溪、罗家塘等。第二类产于碎屑岩中,矿体呈似层状、脉状,赋矿围岩主要为板溪群、冷家溪群、震旦系和寒武系板岩、千枚岩、页岩、砂岩等。矿床一般远离火成岩体,但多数矿区出现中酸性或基性小岩脉。矿物组合较复杂,除辉锑矿外,常见自然金、白钨矿、黄铁矿和毒砂等。围岩蚀变有硅化、绢云母化、黄铁矿化、毒砂化和绿泥石化等。第三类矿床的矿体呈脉状、串珠状产于花岗岩、花岗斑岩或石英斑岩内外接触带中。矿石矿物主要有辉锑矿、黄铁矿和毒砂等。围岩蚀变有硅化、绢云母化,有时见电气石化。矿体规模小,品位变化大,如杏子铺、马鞍界等。

表 1-2 湘中锑矿类型的划分

大类	亚类	围岩	构造位置	矿体形状	金属矿物	非金属矿物	围岩蚀变	矿床规模	矿床实例
I 碳酸盐岩中锑矿床	A 似层状矿床	以泥盆系为主,次为寒武系、石炭系,岩性为灰岩、泥灰岩、白云岩	坳陷中的凸起或背斜与断裂交汇处	似层状、透镜状	辉锑矿、黄铁矿	石英、方解石、重晶石	硅化为主,次为黄铁矿化、重晶石化、萤石化、碳酸盐化	超大型、大中型、小型及矿点、矿化点,品位高	锡矿山等
	B 脉状(切层)矿床			单脉、细脉、网脉、束状脉等	辉锑矿为主,次为黄铁矿,伴生白钨矿、方铅、闪锌矿			矿点、矿化点,品位变化大	
II 碎屑岩中锑矿床	II A 似层状矿床	板溪群、冷家溪群为主,次为寒武系、奥陶系、震旦系。岩性为板岩、千枚岩、页岩、砂岩,部分硅质岩	隆起带中部及边部断裂带内,有主干断层通过	似层状、板状	辉锑矿、自然金、白钨矿、黄铁矿、毒砂等	石英为主,次为绢云母、绿泥石,有时有电气石、钠长石等	硅化、绢云母化、黄铁矿化、毒砂化、绿泥石化、长石化	大型少,主要为小型及矿化点	沃溪、王家冲、王家冲、渣滓溪、廖家坪、江溪垅
	II B 脉状(切层)矿床			单脉、复脉、网脉,切层产出	基本同上,有时伴生黄铜矿、方铅矿、硫锑铅矿等			大、中型及矿化点	板溪、同心
III 花岗岩体中锑矿床	III B	花岗岩、花岗斑岩、石英斑岩	中酸性岩体接触带,后期构造裂隙	各种脉状、串珠状、束状	辉锑矿、黄铁矿、毒砂等	石英为主,次为绢云母、电气石	硅化、绢云母化,有时有电气石化	均为矿点、矿化点	半边山

各类锑矿床在空间分布上有一定特点。锡矿山是似层状交代充填型矿床,主要分布于城步—新化—桃江断裂带。脉状充填型分布区域较广,在安化—宁乡东西向构造带是钨锑金、钨锑及锑多金属石英脉型矿床(点)分布区,南部接近越城岭花岗岩体多出现钨锡锑矿点;白马山—龙山东西向构造带主要分布了锑、锑金、锑多金属矿床(点)。距离花岗岩体由近至远,其矿物组合的变化有钨锡锑—锑多金属—锑金—锑,即由中高温热液—中低温热液矿床的水平分带。

湘中地区还有大量的铅锌矿点,多达77处。层控型铅锌矿主要分布在泥盆系和寒武系的碳酸盐岩地层中。另外,该区还有黄铁矿矿床、伴生银矿床以及大量沉积矿产,如镍钼钒矿、石膏矿、煤矿、磷矿、锰矿等。

第四节 区域构造

湖南及其邻区断裂构造极其发育。从走向上看,有北东向、北北东向及北西向构造,并具有多期活动的特点。这些构造体系相互联合、复合、迁就利用构成区域主要构造格架。

湘中地区褶皱构造主要有前加里东期、加里东期和印支期。前加里东期褶皱主要分布在雪峰隆起北缘,古构造线展布多为东西或近东西向,常为紧密线状褶皱。加里东期褶皱主要分布在雪峰隆起内,构造线以北东向及北北东向为主,多为短轴状,主要分布在湘中坳陷内,呈弧形展布。一系列背、向斜呈疏密波状相间排列,向斜带比较宽阔,背斜带比较紧闭。湘中坳陷带的劈理前锋一般到达上泥盆统余田桥组灰岩的底界,中泥盆统棋梓桥组及其以下为下部变形层次,形成劈理褶皱或相似褶皱。加里东褶皱基底作为一个整体卷入印支褶皱,使泥盆系与加里东基底之间的不整合面与泥盆系岩层同步褶皱。余田桥组—三叠系为上部变形层次,形成同心或等厚褶皱。

构造体系是在漫长的地质历史中形成的,且对后期的沉积建造起控制作用。武陵运动形成了湖南省最古老的安化—宁乡东西向构造带,控制了板溪期的沉积;雪峰运动,除安化—宁乡东西向构造继续活动外,白马山—龙山东西向构造带已具雏形,安化—黔阳构造带及雪峰弧形构造已经出现;它控制了本区震旦纪—下古生代的沉积;广西运动除老的构造体系有继承性活动外,紫云山—牛头山—四明山隆起带、古北北东向构造带基本定型,它控制了上古生代的沉积建造,使本区由较活动的沉积环境演变为较稳定的沉积环境,晚古生代以广海式局限海台地型碳酸盐建造为主,间有含煤砂页岩建造;印支运动形成了祁阳弧形构造,基本结束了本区海相沉积的历史;强烈的燕山运动,形成了以北北东向为主的断陷盆地,构成了区内基本格架。

锑矿床主要产于雪峰山隆起带东南缘的上古生界构造层中,明显受北东向区域深大断裂如桃江—城步及其次级断裂与北西向区域性隐伏深大断裂如双峰—涟源—平口断裂的交叉部位与次级复式舒缓背斜的轴部、倾伏端及其翼部的联合控制;矿体多产于砂质灰岩的层间剥理、层间虚脱、层间破碎带等构造中,与围岩大体呈整合产出。研究表明,上述北东向和北西向区域性深大断裂都持续活动,并且贯通到地球深部,为深部成矿流体运移到地壳上部提供了良好的通道,从而起到导矿作用。而次级复式舒缓短轴背斜则相对封闭,为成矿物质的大量聚集和储存提供了良好的圈闭空间,起到容矿作用。

第五节 岩浆热事件与金锑矿床定位

湘中地区花岗岩发育,为多期次复式岩体,主要出露于西部、东北部盆地周边。区内出露面积较大的岩体有白马山岩体、浏山岩体、天龙山岩体、歇马岩体和关帝庙岩体。按岩体出露面积统计,湘中地区岩浆活动集中在晚三叠世—早侏罗世,其中早侏罗世为岩浆活动高峰期(200Ma左右),岩体多为中深成岩基,中、晚侏罗世岩体多呈浅、超浅成岩株状。不同时间、不同侵位深度的岩体对古地温场的贡献不尽相同(胡雄伟等,1995;卢新卫等,1999),早侏罗世岩基的分布控制了古地温场的区域格局,而中、晚侏罗世侵位的岩株(或隐伏岩体)导致局部古地温异常。

综合不同矿床的流体包裹体研究资料,锑、金、铅锌矿床矿物流体包裹体均一温度变化在90~260℃,且主要集中在120~220℃范围内。这种成矿流体的温度范围落在侏罗纪最大古

地温范围内(胡雄伟等,1995)。区域成矿研究表明,侏罗纪是本区主要的成矿期,龙山金锑矿成矿年龄为 $(174\pm 27)\text{Ma}$ (史明魁等,1994),锡矿山超大型锑矿成矿年龄为 $(156.3\pm 12)\text{Ma}$ (Xingwei Hu et al.,1996)。因此,可以推知湘中地区岩浆热事件所控制的古地温场与金锑矿床成矿作用之间存在内在联系。湘中区域金矿床和矿化点多分布于花岗岩的岩凸及岩凹部位,如古台山、太平等金矿分别产于白马山、洑山等花岗岩体凸出部位的外接触带;金山里、杏枫山等金矿化点产于白马山岩体港湾状内凹部位的外接触带。岩体的岩凸或岩凹部位是热力和应力的集中场所,围岩最易破碎形成裂隙,成为成矿流体运移的良好通道,成矿流体沿裂隙上升并在这些有利部位充填成矿。

湘中地区多数锑矿远离花岗岩岩体,尤其是碳酸盐岩中锑矿床(史明魁等,1994)。从矿化与花岗岩关系来说,锑矿属于远成矿床。然而,湘中地区中生代地温场研究表明(胡雄伟等,1995),锑矿床(点)分布皆为高古地温区。这些高古地温区与区域断裂、岩浆热事件密切相关。

湘中地区锑矿床成矿定位对地层、岩性组合的选择性极为明显,多赋存于上泥盆统余田桥组地台型陆源细碎屑岩-碳酸盐岩建造中,具体与碳酸盐岩组成有密切关系。从岩性剖面来看,矿体并非产在单一的岩性中,而主要出现在一定的岩性组合如泥质页岩-砂质灰岩-泥质页岩中。但矿体并非出现于该岩性组合的所有岩石中,而只限于屏障层泥质页岩下伏的砂质灰岩层中上部位,呈层状、似层状和透镜状产出。剖面上这套组合多次反复出现,矿体呈现多层性。泥质页岩构成的热液封闭构造对矿体的形成起重要作用。

研究表明,作为锑矿围岩的陆源细碎屑岩-碳酸盐岩建造主要是在碳酸盐台地边缘环境形成的,可能属于相对封闭的泻湖-潮坪相。由于地壳微弱升降运动的影响,碳酸盐台地边缘海水面不断发生变化,时而变浅,时而变深,并随之出现具有周期性的细碎屑岩-混积岩-碳酸盐岩半个较完整海进沉积韵律现象,这为构成有利于锑矿产出的围岩建造创造了良好的岩相古地理条件。