

个旧矿集区锡铜多金属多因复成成矿机制*

Mechanism of multi-genetic and compound metallogenesis of Sn-Cu polymetallic deposits in the Gejiu ore district

彭省临, 欧阳恒, 王力, 杨斌, 邵拥军, 刘明, 张建东

(中南大学地学与环境工程学院, 湖南长沙 410083)

PENG ShengLin, OUYANG Heng, WANG Li, YANG Bin, SHAO YongJun, LIU Ming and ZHANG JianDong

(Institute of Geosciences and Environmental Engineering, Central South University, Changsha 410083, Hunan, China)

摘要 滇东南地区大地构造演化经历了前地槽及地槽阶段、地台阶段和地洼阶段。地槽演化阶段即有锡的初步富集; 地台演化阶段的早期即初“定”期, 由于受基底活动余波的影响, 地壳仍有较大的活动性, 在滇东南一带产生了强烈的断拉谷运动及与之伴生的海底火山成矿作用, 造成锡铜多金属的再次富集; 当壳体演化至燕山期地洼阶段, 早期北东向断拉谷系统再次活化, 形成大规模的深部壳源重熔岩浆, 岩浆重熔及上侵定位过程中同熔或萃取了大量的深源锡铜等成矿元素, 在构造有利部位对先成矿体或矿化体进行再造和叠加富化, 并形成了一系列具后生成矿特征的矿化类型。文章阐述了个旧矿集区锡铜多金属成矿大地构造背景和多元复成成矿机制。

关键词 锡铜多金属; 成矿大地构造; 多元复成; 成矿作用; 成矿机制; 云南个旧。

云南个旧锡铜多金属矿集区, 是滇东南锡矿带上最重要的锡成矿区之一, 属于中国著名的南岭纬向成矿带的西延部分。其大地构造位置位于东南地洼区、云贵地洼区、中蒙南北地洼区及滇西地洼区的交汇部位, 属于中亚壳体与东亚壳体的过渡地带, 晚古生代—印支期该区则处于扬子古地台边缘与南盘江张陷盆地衔接部。

1 成矿大地构造背景

依据构造层特征, 滇东南地区大地构造演化经历了如下几个阶段:

(1) 前地槽及地槽阶段: 始于早元古代吕梁运动一直延续到中元古代晋宁运动后结束。

前地槽活动阶段是在洋壳雏陆壳的基础上演化的, 沉积物质来源以火山为主, 沉积建造类型多为火山复理石建造; 岩浆活动以基性火山活动为主; 构造变形复杂, 区域变质及混合岩化强烈。吕梁运动后, 构造层结晶固化, 壳体稳定性提高, 进入前地槽“稳定”阶段。

地槽阶段是壳体演化中的一个关键时期。区内罗平—开远—屏边一线以西地区, 其代表地层昆阳群厚度愈万米, 沉积环境由深海→滨浅海→陆地演化; 岩浆活动由幔源型(基性)过渡到壳源型(酸性), 并逐渐减弱。晋宁运动使之强烈褶皱并发生广泛的低温区域动力变质作用, 形成一套以千枚岩、板岩为主的岩石。昆阳群顶部的震旦系澄江组地层则代表地槽余期产物, 为一套灰紫—紫红色磨拉石建造。而罗平—开远—屏边以东的屏边群及其上覆的寒武系—下奥陶统地层则为岩性单一、厚度巨大、岩浆活动少见的冒地槽型复理石建造。说明滇东南地区东西两部分可能属于不同的壳体单元, 具分异演化的特点。

(2) 地台阶段: 罗平—开远—屏边一线以西地区地台阶段始于晚震旦世早期; 区域以东区域地槽活动则可能一直延续到志留纪末再进入地台阶段。整个滇东南地区分属不同演化单元的东西两部分, 在晚古生代初已经开始接合、同化, 并以地台体制共同演化, 直至晚三叠世早期结束, 属于扬子古地台的边缘演化地段。

从本区地台构造层的建造特征分析可知: 地台阶段的沉积环境以滨浅海相为主, 其西面、南面分别为康滇古隆起及哀牢

*本文得到高等学校博士学科点专项科研基金项目(20030533012)和国家“十五”科技攻关项目(2004BA615A-02)的联合资助
第一作者简介 彭省临, 男, 1948年生, 教授, 博士生导师, 主要从事成矿学及矿床定位预测研究。E-mail: psl@mail.csu.edu.cn

山—越北古隆起环绕；岩浆活动主要在局部地段沿深大断裂分布，但二叠纪有大规模的基性火山活动，相当于四川峨眉山玄武岩，以海相喷发为主，其顶部出现“红顶”，可能属于陆相喷发；变质作用微弱，仅出现于构造带附近；地壳活动主要以整体周期性升降为主，在地台发展的后期即余“定”期伴有地壳的水平拉张作用，地台构造层内未见不整合现象。

至早三叠世早期，以个旧—开远一带为中心地壳迅速下降，形成平面上呈“L”型展布的断拉谷雏形；而区域西部康滇古隆起仍保持稳定上升，壳体演化再度出现分异。至中三叠世，地壳拉张作用加强，早三叠世早期形成的呈“L”型展布的断拉谷随之演化，以至沿个旧—开远为中心的长槽状地带，该沉降带内沉降和补偿作用均十分发育，并沿此活动带伴有广泛的碱性玄武岩的喷发，形成以个旧—开远为中心的北东向断拉谷；该断拉谷演化至中三叠世活动加剧，沉积厚度巨大。至晚三叠世中晚期，印支运动加剧，影响面更广，整个滇东南区域大面积隆起抬升，活动性质发生了质的变化，北东向个旧—开远断拉谷闭合，壳体演化进入的地洼阶段。

(3) 地洼阶段：地洼初初期开始于晚三叠世中晚期至燕山早期，沉积环境由滨海过渡为陆地，沉积盆地不断缩小，岩浆活动弱，构造运动表现为整体缓慢隆升，伴随块断的差异升降，未发生不整合现象及区域变质作用。地洼激烈期相当于燕山中晚期至喜马拉雅期，构造运动非常强烈：地层普遍褶皱隆起；古构造断裂带重新继承活动；大量中、小型断裂和断裂带形成；旧盆地消失、新产生一些小型断陷盆地；岩浆侵入活动频繁，局部地段发生变质和小规模的基性火山活动。这期间地台期形成的个旧—开远断拉谷被地洼构造作用所利用而再度活动，以酸性为主的侵入岩广泛侵入于盆地中心及东南，形成了以断拉谷为基础的地洼型断陷盆地。

就矿化意义而言，区域上呈北西西向带状展布的个旧、白牛场、都龙3大重熔型花岗岩基便是燕山晚期即地洼剧烈期的产物，滇东南锡矿带上 Sn、W、Cu、Pb、Zn 等大型、超大型矿床的形成与该期岩浆热液活动具有密切关系；喜马拉雅期的地壳大幅度隆升、剥蚀，在滇东南各成矿区内普遍造成了第四纪以残破积为主的规模不等的砂锡矿床。

总之，个旧及其邻域壳体从低级向高级的演化经历了前寒武至志留纪末的接合、泥盆纪—石炭纪同步演化、二叠纪—三叠纪边缘扩张分异以及地洼阶段共同活化等过程。说明该区大地构造演化史复杂，具有东亚与中亚两壳体过渡性特征。

2 多因复成成矿作用

2.1 印支期海底火山-沉积与海底（火山）喷流-热水沉积成矿作用

研究表明，个旧矿集区内存在大量印支期海底火山-沉积与海底（火山）喷流-热水沉积成矿作用的特征。

(1) 个旧组含矿建造中含铁白云石化十分普遍，并见有多层含膏碳酸盐，局部可见硅质含锰层；马拉格段底部发育1~3层同沉积滑塌角砾岩，控矿断裂带中常见同生复式角砾；层间锡石硫化物矿体中夹有变火山岩薄层；矿体呈层状、似层状、透镜状与围岩整合接触，并具有同步褶曲；矿石中黄铁矿为磁黄铁矿，并常见黄铁矿具胶状结构、鲕粒结构、草莓状结构、蜂窝状构造、条带状构造等。胶状黄铁矿和鲕状黄铁矿往往呈同心圈层状，并且 Cu、Zn、Sn 含量都很高。如鲕状黄铁矿中的 Cu 含量可达 1.6975%，Zn 含量可达 11.2638%，Sn 含量可达 741×10^{-6} ；胶状黄铁矿中 Sn 的含量可达 551×10^{-6} 。

(2) 印支期碱性玄武岩与产于玄武岩中的矿石的稀土元素配分模式具有密切的亲缘关系；火山岩型矿床与大部分层状锡石—硫化物型矿床矿石硫同位素 $\delta^{34}\text{S}$ 分布主要集中表现集中在 0 值附近的一组，显示硫源可能与变基性火山岩有关即来自于深部幔源。

(3) 印支期碱性玄武岩平均含 Cu: $(32\sim 881) \times 10^{-6}$, Sn: $(3.5\sim 141) \times 10^{-6}$, Pb: $(10.5\sim 111) \times 10^{-6}$, Zn: $(19\sim 341.1) \times 10^{-6}$ ，高出世界同类岩石中的丰度数倍至上百倍；火山岩内局部地段还偶见有锡石颗粒；在花岗岩与印支期玄武岩交接部位受两者共控的矿体，以 Cu 特别富集为特征；区内 Au 主要产于变玄武岩型矿床内；说明印支期玄武岩是 Cu、Au 的主要来源之一。

2.2 燕山期花岗岩浆热液成矿作用

前人对燕山期花岗岩成矿作用已有过详细研究和充分肯定。主要表现在：区内燕山期花岗岩岩浆活动与锡、铜矿化具有密切的生因联系，矿体都是围绕花岗岩体生成；岩体中 Sn、W、Pb、Zn、Sb、Mo、Be、B、F 含量都大大高于世界同类岩中平均含量，并明显高于我国华南同期含锡花岗岩的平均含量，反映花岗岩是有利于锡矿化的成矿岩体；矿体和花岗岩都含有较高的 Sn、B、Li、Rb、Cs 等元素，具有密切的地球化学同源性和继承性等等。

但不容忽视的是，个旧矿集区内燕山期花岗岩浆活动对前期成矿（化）作用的叠加改造成矿作用。其主要表现在以下几个方面：

(1) 虽然个旧隐伏花岗岩体与个旧组灰岩接触界面范围广、面积大，但只有在花岗岩与某个矿源层交接部位及穿过矿源层构造裂隙发育地段才会形成工业矿体；

(2) 一些层间硫化物型矿体内常发现有典型的沉积结构, 表明同沉积期形成的锡石硫化物矿体(化), 与后期岩体侵入接触时被叠加、改造而成为接触带型硫化矿。

(3) 不同矿化类型在空间上并无明显的渐变过渡关系, 矿床蚀变分带与岩浆热液矿床中常见的蚀变分带格局不相吻合, 矿物生成次序交错等, 反映了多次成矿事件在同一空间上的耦合。

(4) 在个旧矿集区尤其是老厂矿床, 常见层状氧化矿被较新鲜的后含锡电气石脉穿切, 显然两者并非同一成矿期形成, 前者层状矿应早于后者脉状矿。

(5) Pb 同位素分析说明矿集区 Pb 也具有多种来源, 其铅源来自上地壳为主, 少部分来源花岗岩浆。

因此, 燕山期花岗岩浆热液成矿作用主要表现在对先成矿体或矿化层的叠加和改造。一方面, 花岗岩作为一个巨大的热源, 促使早期矿源层或矿化体再度活化、富集; 另一方面, 花岗岩浆本身也携带来大量的成矿物质, 形成含矿流体使早期矿源层或矿化体进一步叠加富化或形成新的矿体。

2.3 锡在地壳中的初始富集——深部矿源层

研究表明, 滇东南区域地壳可能存在锡铜多金属的深部矿源层。

前寒武纪哀牢山群、瑶山群中 Sn、Pb 的丰度值平均高于克拉克值 2~3 倍; 中元古代昆阳群中 W、Pb 的丰度值分别高于克拉克值 3.7、3.0 倍, Sn、Cu 丰度值分别高于克拉克值 1.25、1.30 倍; 新元古代震旦系底部为澄江组尤其富 Cu, 其丰度为 357×10^{-6} , 浓集系数达 7.6, Pb 丰度 72.55×10^{-6} , 浓集系数为 4.5, Sn、Zn 丰度也略高于克拉克值; 出露于区域东部的屏边群 Sn、Pb 丰度分别比克拉克值高 1.7、1.5 倍。

寒武—奥陶系富集 Sn、Pb, 滇东南老君山矿田即赋存于寒武系地层中, 其中寒武系中统田蓬组平均含 Sn 为 11.3×10^{-6} , 含矿性最好的角岩层内发育有变余晶屑和变余球粒脱玻结构, 以及残留的拉长状、卵状、气孔状火山岩构造, 推断其原岩富锡与加里东期基性火山活动有关。

因此, 个旧矿集区的基底地层具有为产于上覆地层中的矿床提供成矿物质的条件。深部矿源层—结晶或变质基底中的成矿物质在形成重熔岩浆过程中可以富集起来, 并在岩浆上侵定位过程中, 同化部分含矿物质较高的地层, 萃取地层中成矿元素而进一步富集, 最终进入成矿流体参与成矿。

3 锡铜多金属多成因复合成矿机制

个旧超大型锡多金属矿集区内矿床的形成是一个复杂地质作用过程。矿集区内成矿作用与区域壳体大地构造的递进性演化-运动密切相关, 锡铜多金属矿床具有“多成矿大地构造演化阶段、多成矿类型、多控矿因素、多成矿作用、多成矿物质来源”“五多”特点, 属于典型的多成因复合型矿床。

从个旧及邻区壳体大地构造演化运动特征来看, 在地槽演化阶段即有锡的初步富集, 如: 前寒武纪基底中哀牢山群、瑶山群等老地层中锡、铅含量均明显偏高, 锡、铅浓集系数一般为地壳克拉克值的 2~3 倍; 在地台演化阶段的早期即初“定”期, 由于受基底活动余波的影响, 地壳仍有较大的活动性, 滇东南一带的强烈断拉谷运动及与之伴生的海底火山成矿作用, 造成滇东南地区锡铜多金属的再次富集。

此后, 滇东南地区长时间处于缓慢稳定的地台发展阶段, 二叠纪滇东南地壳逐渐开始进入地台演化的余“定”期, 活动性渐强, 至早三叠世, 由于印支运动的影响, 地壳产生张裂作用, 区域性北东向南盘江断裂带及南北向小江断裂带活动性加剧, 形成了以个旧—开远为中心的沉降和补偿作用均十分发育的北东向断拉谷, 中三叠世沿断拉谷拉张、断陷作用加剧, 地壳变薄, 区内北东向的南盘江断裂及南北向的小江断裂演化为同生深大断裂。受重力均衡作用影响, 深部富含 Cu、Sn (Au) 的高浓度幔源物质沿同生深断裂上拱, 造成了间歇性的海底火山喷发喷溢活动, 并由于岩浆喷发喷溢时的结晶分异和喷发分异作用, 导致喷发后的成矿元素呈非均匀状态分布, 某些部位 Cu、Sn 相对富集, 随后在海底喷流热水、海水软泥化学作用、厌氧细菌等还原作用下, Cu、Sn 等在适宜的环境区局部集中, 形成多层层状、似层状铜、锡或铜(金)工业矿体或矿化层 (VHMS 型)。

随着地下深部能量的大量释放, 海底火山喷发喷溢活动逐渐减弱直至停止, 但深部的火山热源仍然存在, 富含成矿金属元素的流体被加热后, 沿同生深断裂继续上涌, 此时以海底(火山)热水—喷流沉积成矿活动占主导地位, 富 Sn、Cu、Pb、Zn 等其它金属元素的成矿流体持续而稳定地排泄到海底, 由于海水的还原作用造成流体物理化学条件的改变, 使得流体中呈胶体状态的成矿粒子直接在海底的适宜部位逐渐析出、积淀, 形成了顺层发育的层间层状、似层状硫化物矿体或矿化体 (SEDEX 型) 以及与之有关的热液沉积结构。

当壳体演化至燕山期, 地台活化开始即进入地洼演化阶段, 早期北东向断拉谷系统被地洼构造所利用而演化为地洼型盆地, 而作为印支期海底火山活动及海底(火山)热液喷流通道的断拉谷及其背景上的同生深断裂系统代表了地壳构造的薄弱

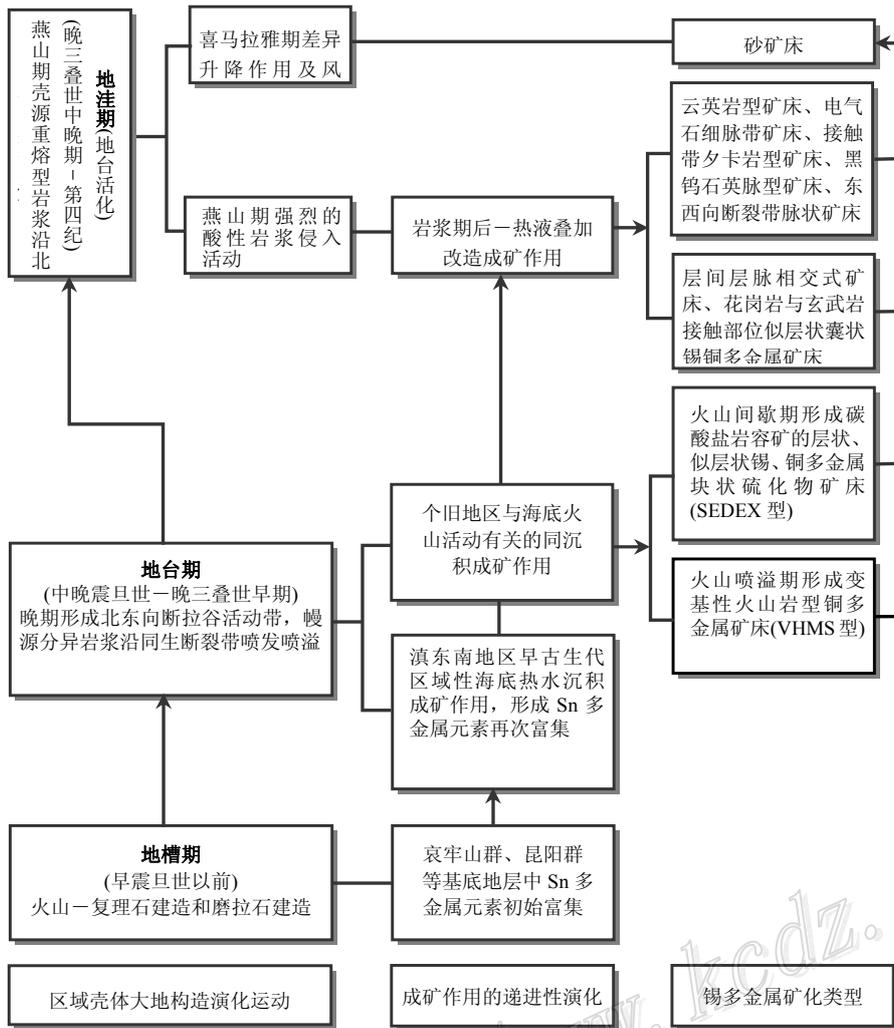


图1 个旧锡、铜多金属多因复成成矿演化综合模式框图

活动和热水沉积成矿作用的结果;电气石细脉带型、锡石云英岩型等矿化类型产于燕山期花岗岩内外接触带的陡倾斜裂隙中,具有典型的后生成矿特征,是燕山期岩浆热液活动的产物。

综上所述,矿床成矿作用的演化具有明显的继承性和递进性特点,同生成矿作用和后生成矿作用共存。深部基底锡多金属的富集为成矿作用打下了良好的基础,印支期同沉积成矿作用是其“量”的积累,随之而来的燕山期花岗岩叠加改造富集作用则促成其“质”的飞跃。正是这种复杂的地质过程和成矿作用才造成了矿化类型齐全、矿种繁多、规模如此巨大的个旧超大型锡、铜多金属矿床(图1)。

参 考 文 献

陈国达. 1994. 多因复成矿床与超大型矿床. 大地构造与成矿学, 18(3): 283-310.

陈国达, 等. 1977. 1: 400 万中国大地构造图(按地洼学说编制). 北京: 地图出版社.

陈国达, 等. 1998. 亚洲陆海壳体大地构造. 长沙: 湖南教育出版社.

陈国达, 彭省临, 戴塔根. 2004. 云南铜-多金属壳体大地构造成矿学. 长沙: 中南大学出版社.

高振敏. 2002. 云南个旧锡多金属矿床地质地球化学及找矿勘查应用研究. 云南个旧矿区地质找矿与研究会议论文集. 云南锡业公司. 65-106.

伍勤生, 许俊杰, 杨志, 刘青莲. 1987. 个旧含 Sn 花岗岩的 Sr、Pb 同位素和稀土元素地球化学特征的研究. 锡矿地质讨论会论文集. 北京: 地质出版社. 295-301.

姚金言, 吴明超. 1987. 个旧花岗岩成因和成矿作用. 锡矿地质讨论会论文集. 北京: 地质出版社. 58-65.

杨世瑜. 1990. 滇东南锡矿时空分布特征及成矿模式. 地球科学, (2):137-148

冶金工业部西南冶金地质勘探公司. 1984. 个旧锡矿地质. 北京: 冶金工业出版社.

庄永秋, 王任重, 杨树培, 等. 1996. 云南个旧锡铜多金属矿床. 北京: 地震出版社.

周建平, 徐克勤, 华仁民, 等. 1999. 个旧等锡矿中沉积结构的发现与矿床成因新探. 自然科学进展. 9(5): 419-422.

Tischendorf G. 1977. Geochemical and petrographic characteristics of silic magmatic rocks associated with rare-element mineralization. In: Stempok M, Burnol L and Tischendorf G, ed. Metallization Associated with Acid Magmatism, Vol.2. Prague: Geological Survey.

部位,受燕山构造运动影响而再次活化,导致燕山期大规模的深部壳源重熔岩浆沿这些构造薄弱部位再度上侵,促使早期矿体成矿元素进一步活化迁移、富集。同时,在岩浆重熔及上侵过程中同熔或萃取了大量的深源锡铜等成矿金属元素,在构造有利部位对印支期先成矿体或矿化体进行再造和叠加富集,形成了一系列后生成矿特征的矿化类型,如:产于岩体中的含锡云英岩型矿体、沿穿层裂隙带发育的电气石细脉带型锡矿体、接触带砂卡岩型铜锡矿体以及一系列脉状矿体、层脉交叉状矿体。

至喜马拉雅构造运动期,由于滇东南地壳差异隆起,遭受剥蚀,在个旧矿区造成了规模巨大的以残坡积为主的锡、铅等外生砂矿床。

上述分析表明,个旧矿区两种最主要矿化类型即接触带砂卡岩型硫化矿体和层间锡石氧化矿体,至少经历了两次成矿作用的叠加而富集,兼具同生与后生的双重特征,是多因复成型矿化的代表;而变基性火山岩铜金型矿体中较多地保存了同生沉积矿化特征,是海底火山