

广西大厂超大型锡矿的形成条件与成矿模式

何海洲

(广西地质勘查总院, 南宁 530031)

摘 要: 超大型矿床的形成条件有其特殊性。大厂超大型锡矿产出于南丹—昆仑关基底性深大断裂带上, 经过多旋回构造—岩浆活动使矿质继承叠加, 最后聚积于燕山晚期的岩浆热液中。大厂超大型锡矿床是各种成矿因素良好匹配, 并经长时期的多重富集综合作用的结果。

关键词: 大厂锡矿床; 超大型矿床; 形成条件; 成矿模式; 广西

中图分类号: P611; P618.44 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-1412(2008)03-0187-04

0 引言

大厂是继云南个旧超大型锡矿之后探明的又一处世界级规模的锡矿床, 过去 40 年国内外地质学者进行了大量研究, 提出了各种观点。本文在前人工作的基础上, 通过成矿控制因素最佳组合及成矿演化的分析, 试图阐明大厂超大型锡矿的形成条件。超大型矿床的形成是各种成矿因素优化组合的结果, 成矿需要长时期的多重富集作用。

1 矿床地质概述

大厂锡矿床位于江南古陆南西部的丹池锡—多金属成矿带中段^[1]。矿区主构造为 NNW 向复式褶皱, 断裂主要由 NNW 向逆断层及 NE 向横向断裂组成。地表出露有花岗斑岩(γ_3^b)脉、玢岩脉, 深部为黑云母花岗岩(γ_3^b)隐伏岩体。接触带顶部为夕卡岩铜矿床及钨、铋脉状矿体, 岩体外缘为锡石硫化物矿床, 再外为汞矿床, 呈现分带性。岩体西侧大厂背斜为主要锡矿床产出部位, 其矿物组成复杂, 形态多样, 规模巨大。东侧矿体则规模较小, 矿物组分相对较简单。

矿区地层以泥盆系为主, 下、中泥盆统由泥灰岩、页岩夹粉砂岩组成, 局部有巨大礁灰岩产出舌状、囊状矿体。矿物组合及成矿温度的变化特征: 早

期为石英—锡石—电气石组合(343℃); 中期为锡石—铁闪锌矿—磁黄铁矿—黄铁矿—脆硫铋铅矿—毒砂—方解石组合(274℃); 晚期为锡石—脆硫铋铅矿—方解石—黄铁矿和方铅矿—辉铋锡铅矿—辉铋矿—黄铁矿—方解石两个组合(240℃)。

2 成矿地质条件

2.1 丰富的矿质来源

矿产空间分布的不均匀性和趋群性是成矿的重要特点, 大量的研究认为矿质从根本上主要来源于地幔, 来源于地球早期的壳—幔分离作用。75%~85% 的大陆地壳物质在太古宙就从地幔析出(Dewey 和 Windley, 1981; 李曙光等, 1990), 在后期的地质演化过程中, 地壳活动的主要方式是对先存地壳的各种改造作用(陆松年, 1997)。因此, 只有那些具有大规模 W, Sn 高丰度初始地壳的地区才有可能形成超大型矿床。大厂地处我国华南 W, Sn 高背景区(或地球化学省), 具有形成超大型矿床的物质基础。

从地层地球化学剖面可知, 地层中 Sn 的丰度有规律地相对富集。即每次构造—岩浆活动后的沉积建造 Sn 的丰度普遍偏高($\geq 3 \times 10^{-6}$), 如五台运动后的四堡群、雪峰运动后的寒武系、加里东运动后的泥盆系、海西运动后的三叠系, 但并未富集成所谓的“矿源层”^[2]。从泥盆纪开始到二叠纪丹池地区一直是台沟环境, 在还原性沉积环境中, 亲硫元素如 Fe,

收稿日期: 2007-04-18; 改回日期: 2007-07-16

基金项目: 国家重大基础研究“攀登计划”项目(编号 A30-03B)资助。

作者简介: 何海洲(1963), 男, 广西都安人, 教授级高级工程师, 硕士, 1989 年毕业于中国地质大学研究生院矿产普查与勘探专业, 现从事矿产勘查工作。通信地址: 南宁市淡村路九号广西地质勘查总院, 邮编: 530031, E-mail: gxnnh@126.com

As, Cu, Zn, Pb, Sb, Ag, Ni, Mo, V, S 易于相对富集, 在碳质岩、硅质岩、泥质岩中浓集系数为 1~ 2 之间而略有富集, 这些元素如经热驱动活化转移其含量的 1/10 也可能会有相当可观的数量参与成矿溶液中去。但是 Sn, W, Bi 等元素如按上述比例仍难以达到超大型矿床所需, 更何况仅少部分有效进入矿体。因此, 围岩中 Sn, W, Bi 等元素参与了成矿, 但不是主要来源。Sn 主要是通过作为运载体的岩浆岩带来, 最初来源可以是沉积、变质或岩浆作用初步富集形成的源岩在重熔或上侵过程中, 将围岩的 Sn

活化带入花岗岩岩浆中。因此, “矿源” 应该包含深部岩浆岩源及上部被侵蚀的一整套围岩, Sn 主要通过源岩重熔、分异、岩浆晚期气液蚀变等方式富集。大厂花岗岩中黑云母约占 5%, 黑云母的 $w(\text{Sn})$ 平均为 500×10^{-6} , 蚀变后的白云母 $w(\text{Sn}) = 167 \times 10^{-6}$, 仅从黑云母的蚀变计算大厂每 100 km^3 花岗岩中即可释放出 285.7 万 t 的锡, 现已查明全矿田探明储量仅百万余吨, 而其余大部分逸散, 表现为区域矿化异常, 矿区内出现的矿床与地球化学晕组合均以花岗岩为中心呈分带规律。

表 1 大厂矿田成矿元素丰度表

Tab 1 Element abundance of strata in Dachang ore field									$w_B/10^{-6}$
元素	W	Sn	Mo	Bi	Cu	Pb	Zn	As	Sb
大厂矿田平均值(215 队, 1987)	5.24	3.27	2.03	1.06	19.30	16.26	34.64	5.31	2.70
大厂区域地层平均丰度(桂林地院, 1985)	1.10	1.44	1.86	0.21	18.41	24.52	59.80	7.09	2.56
地壳元素丰度(黎彤, 1976)	1.10	1.70	1.30	0.004	63	12	94	2.20	0.60

区域上有多期的含锡花岗岩活动, 各期花岗岩均表现出含锡量的继承性增高, 由于叠加积累, 至燕山晚期达到相对最大的富集, 是形成超大型锡矿物源上的保证。与锡矿有关的岩体其岩石化学成分上都属于高硅、铝过饱和或钙碱系列。地层中 Cu, Pb, Zn 的丰度为 Sn 的 10 倍以上, 地层来源的倾向明显, 所以这几个元素具有双源特点。

桂北地区的震旦-寒武系和上古生界的 $w(\text{S})$ 平均值均 $> 200 \times 10^{-6}$, 而在中、下泥盆统的黑色泥、页岩中 $w(\text{S})$ 平均值为 1.25%, 成矿物质中硫大部分来自围岩。岩体的 $\delta(^{34}\text{S}) = 0 \sim 4 \times 10^{-3}$, 夕卡岩矿床的 $\delta(^{34}\text{S})$ 接近 6×10^{-3} , 锡石-硫化物矿床 $\delta(^{34}\text{S}) = -10.83 \times 10^{-3} \sim +11.8 \times 10^{-3}$, 外围汞矿床和无矿黑色页岩中草莓状黄铁矿的 $\delta(^{34}\text{S})$ 分别为 $+9.59 \times 10^{-3} \sim +22.46 \times 10^{-3}$ 和 $-19.7 \times 10^{-3} \sim -37.4 \times 10^{-3}$, 显示出成矿热液与围岩介质随距离产生程度不同的同位素交换, 岩体接触带则以“陨石硫”组成为特点, 由岩体往外硫同位素交换越来越强。

台沟相海底火山热水(喷气)成因的榴江组(D_3l)及广西其他地层的硅质岩建造经系统采样, 岩石的锡丰度 $w(\text{Sn})$ 仅 $1 \times 10^{-6} \sim 2.4 \times 10^{-6}$, 最高值(芒场) $4.8 \sim 5.8 \times 10^{-6}$, 不可能成为主要的矿源。

大厂矿田各矿床采取 4 件有效样单矿物样品(石英、锡石)进行矿物气液包体铷-锶同位素年龄测定, 获得年龄为 $(101.0 \pm 2.9) \text{ Ma}^{[3]}$, 与龙箱盖花

岗岩的年龄 $((99 \pm 6) \text{ Ma})$ 近似, 而且铷-锶初始比也与花岗岩相似。此外, 蚀变围岩的 K-Ar 年龄测定值为 $90.92 \sim 117.8 \text{ Ma}$, 证明大厂锡多金属矿床的成矿与花岗岩密切相关。

2.2 水源及热源

矿床流体包裹体的 $\delta(\text{D}) - \delta(^{18}\text{O})$ 图解(图 1)中, 岩体接触带的拉么夕卡岩型锌铜矿的数据点落在岩浆水的区域, 显示以岩浆水为主的流体特征; 长坡、铜坑及龙头山锡石-硫化物型矿床的数据点落在岩浆水的下方, 矿液属岩浆水和天水的混合来源。锡石、石英的 $\delta(\text{D}) = -52 \times 10^{-3} \sim -125 \times 10^{-3}$, 变化幅度较大, 锡石的 $\delta(\text{D}) = -100 \times 10^{-3} \sim -125 \times 10^{-3}$, 也表明有天水的混入, 而且甚至是主要来源。

在 $\delta(^{13}\text{C}) - \delta(^{18}\text{O})$ 图解(图 2)中, 从矿体中碳酸盐矿物 $\rightarrow$ 晚期无方解石 $\rightarrow$ 近矿泥盆系灰岩 $\rightarrow$ 上覆石炭系灰岩 $\rightarrow$ 远矿二叠系灰岩的样品投点分布呈现出有规律的连续分布, 说明成矿作用具有岩浆热液作用与蚀变交代混合的渐变趋势, 即远矿岩石保持沉积岩同位素组成特征。水主要来自重熔上侵过程中被熔蚀地层和地表下渗的天水。

成矿所需的热来源于地幔、大型构造或有关的岩浆体系。

NW 向南丹-昆仑关陆壳基底大断裂在构造运动过程中直接或间接地提供了矿质浓集所要消耗的大量能源, 包括控制台沟相海底热水沉积、加热含矿流体、完成成矿的物理化学反应过程等。同时该基

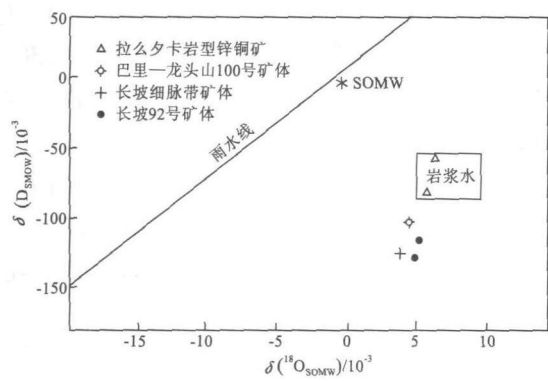


图 1 大厂锡矿锡石包裹体的 $\delta(D) - \delta(^{18}O)$ 图解
(仿 Taylor, 1968)

Fig. 1 $\delta(D) - \delta(^{18}O)$ diagram of fluid inclusion in cassiterite

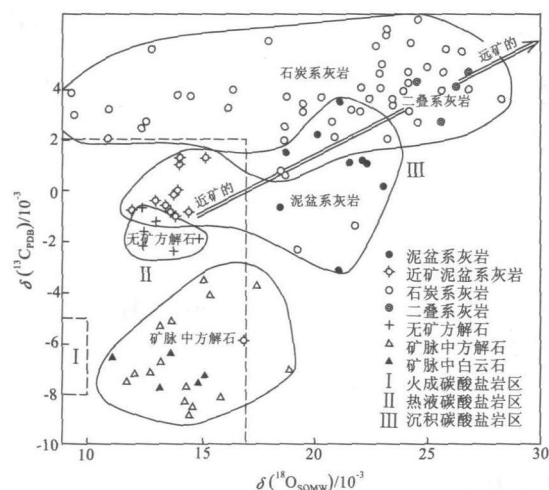


图 2 大厂锡矿近矿围岩及矿石中
碳酸盐之 $\delta(^{13}C) - \delta(^{18}O)$ 关系图

Fig. 2 $\delta(^{13}C) - \delta(^{18}O)$ correlation diagram of
carbonate from ore body and the peripheral strata

底构造在长期活动过程中沟通壳幔, 是深部和浅部的物质交换的重要渠道。

2.3 有利的成矿环境和储矿构造

丹池地区泥盆纪—二叠纪一直是台沟相环境, 亲硫元素易于相对富集, 富含有机碳和沉积硫的黑色建造构成较强的还原环境, 直接影响到岩浆和矿液的 $f(O_2)$ 或 $a(O_2)$, 从而影响到锡的价态、赋存状态以及能否聚集到岩浆晚期熔浆中。碳酸盐岩的弱碱性地球化学环境有利于硫化物的大量析出, 并造成 $f(O_2)$ 或 $a(O_2)$ 相对提高, 则又利于锡石的形成。不同化学性质的围岩对成矿的控制作用也不相同, 矿田的中、上泥盆统反映出富含有机碳和 S, As 元素的还原环境; 而上泥盆统的五指山组或中泥盆统

生物礁灰岩及其附近的碱性环境, 才构成富锡矿化的地段; 溶液继续上移至石炭系黑色碳质页岩中, Sn 以辉锑锡铅矿形式产出为主, 极少见锡石的存在。因此, 产出于碳酸盐岩中的矿体矿石品位高、规模大, 而在碎屑岩中矿石品位则相对偏低。

花岗岩分异速度快是形成超大型矿床的关键。从稀土配分曲线特征反映出分异速度, 早期花岗岩的配分曲线呈左高右低的特征, 至后期轻重稀土持平。而其他一般规模锡矿区的花岗岩则自早而晚轻重稀土配分曲线则都是持平状态, 反映出分异速度慢。此外岩浆的较高侵位也是有助于分异速度加快的另一个因素, 据包体测定数据推测成矿 p_{H_2O} 为 800 Pa, 相当于成矿深度为 1~ 2.5 km。

南丹—昆仑关深大断裂的长期活动, 形成多序次的褶皱、断裂、裂隙系统与影响所及的岩石渗透网络带, 是含矿流体重要的运输通道和储矿空间。整个丹池褶皱带构成的锡—多金属成矿带共 6 个矿田, 成矿规模大小悬殊, 因其他 5 个矿田的主控褶皱较为开阔舒缓, 破裂程度低; 而大厂和龙箱盖背斜挤压紧密, 甚至倒转, 裂隙发育而集中。大厂矿田各矿床沿 3 条具导矿功能的 NNW 纵向断裂展布, 但各矿床的赋矿部位不同, 规模悬殊, 以西带成矿规模最大, 占已查明储量 90%。矿体多赋存于次级断裂或裂隙带以及软硬相间层面上的剥离滑脱空间, 当赋矿岩石为易碎裂脆性的硅质岩和化学活动性较大的灰岩时, 成矿规模较大; 中下泥盆统的细碎屑岩以泥质岩为主, 相对以塑性变形为主不利于成矿, 只有在泥页岩中夹较多的泥灰岩或细—粉砂岩较易破裂则可形成中型或大型规模的矿床。

构造异常控制着有利成矿部位: ①主要矿床大都赋存在背斜轴部和平缓翼, 褶皱中的引张虚脱地段有助于矿液的存留; ②巨大的生物礁灰岩引起应力集中带所生成的规模巨大的剪切构造裂隙带; ③不同方向、不同类型构造的交切部位, 往往是隐伏岩凸部位及热液活动的中心; ④不同序次构造的交切、组合地段; ⑤构造与有利岩性交切地段; ⑥构造带中有多期次脉岩交错产出的地段等。

2.4 持续稳定的成矿作用

大厂地区的 NW 向基底断裂从晚古生代初开始不断地断陷、微拉张, 还原环境的台沟模式造就了有机碳、硫、铜铅锌等成矿元素的初步积聚, 印支期敛合并基本固结。燕山期以断块挤压活动为特点, 多期次的构造—岩浆活动不断地改造、叠加而引起的重复继承、聚集矿质作用, 至燕山晚期花岗岩达到

相对最大的富集,超大型矿床往往表现出与年轻花岗岩关系密切,大厂矿田成矿至少经历了 200 Ma 以上的连续活动时间。

2.5 良好的保存条件

该区成岩成矿后具有较好的保存条件,已形成的矿体未被构造切错、位移,上部围岩被剥蚀的深度不大,基本上完好地保存了已形成的超大型矿体。假如遭受强烈风化剥蚀,则仅能形成类似于桂东北的平桂砂锡矿床。

3 成矿模式

大厂的矿化具有明显的水平分带:以龙箱盖花岗岩为中心,向外依次出现夕卡岩型铜矿床→夕卡岩型锌矿床→锡-多金属硫化物矿床→汞矿床,后被钨锡矿化叠加穿切。由 3 条 NW 向矿带所组成:东矿带包括大福楼、茅坪冲、亢马等锡石硫化物型矿体,主要以中小型锡为主,受龙箱盖背斜东翼的中下泥盆统黑色泥页岩夹泥灰岩、粉砂岩中断裂旁侧裂隙及层间裂隙控制;中矿带由拉么夕卡岩型铜矿、龙箱盖石英脉型黑钨矿、茶山坳石英脉型辉锑矿等矿体组成;西矿带是锡矿产出的主要矿带,主要有大厂倒转背斜及其平缓翼产出的、受层间细脉-网脉带控制的长坡-铜坑似层状锡石-硫化物型矿体,和受生物礁灰岩及构造破裂带控制的龙头山锡石硫化物矿体。

大厂超大型矿床受控于南丹-昆仑关基底大断裂,经过多旋回构造-岩浆活动,使多来源的矿质继承叠加,最后聚积于燕山晚期岩浆热液中成矿,成矿具有多源性;燕山晚期花岗岩侵位浅、分异快;岩浆

源岩和侵位的还原性围岩促使岩浆中的 Sn 充分释放逸出;丹池大断裂活动形成的多序次褶皱、断裂、裂隙系统与影响所及的岩石渗透网络带提供了含矿流体重要的运输通道和储矿空间,构造异常与有利岩性组合控制着成矿部位。因此大厂超大型锡矿的形成是各种成矿因素优化组合,并经长时期的多重富集作用的结果。大厂超大型锡矿的成矿成矿模式见图 3。

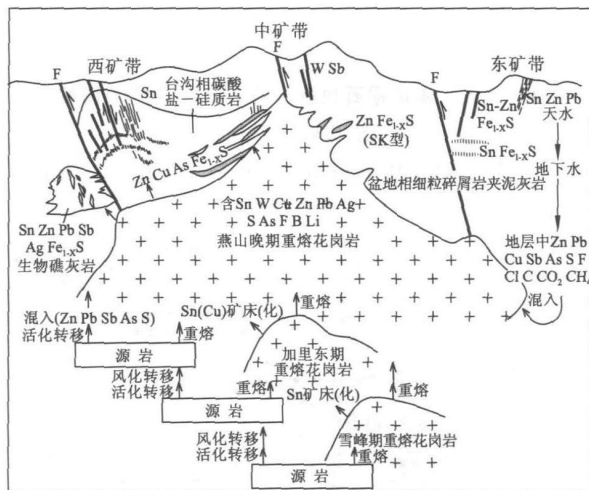


图 3 大厂矿田矿床成因模式图

Fig. 3 Metallogenic model of ore deposits for Dachang ore field.

参考文献:

- [1] 黄汲清,任纪舜,姜春发,等.中国大地构造及其演化[M].北京:科学出版社,1980:101.
- [2] 何海洲.广西大厂矿田矿质来源研究[J].广西地质,1996,9(4):34.
- [3] 叶绪孙,严云秀,何海洲.广西大厂超大型锡矿床成矿条件[M].北京:冶金工业出版社,1996:169.

THE ORE FORMING CONDITION AND MODEL OF DACHANG SUPER LARGE TIN DEPOSIT

HE Hai-zhou

(Geological Prospecting Institute of Guangxi, Nanning 530031, China)

Abstract: Superlarge ore deposits are special in their ore-forming conditions. Dachang superlarge Sn deposit is formed in the deep-seated basement fault zone. Multi-cycle tectonism-magmatism superimposition leads to the final ore materials concentration in Late Yanshanian magmatic hydrothermal fluid and the deposit is resulted from optimum combination of metallogenic factors and the long-term ore material enrichment.

Key Words: tin deposit; superlarge deposit; the metallogenic model; the ore-forming condition; Guangxi