

梁 婷 陈毓川 王登红 蔡明海 著

广西大厂锡多金属矿床 地质与地球化学

GUANGXI DACHANG XI DUOJINSHU KUANGCHUANG
DIZHI YU DIQIU HUAXUE



地质出版社

广西大厂锡多金属矿床 地质与地球化学

梁 婷 陈毓川 王登红 蔡明海 著

地 质 出 版 社

· 北 京 ·

内 容 提 要

广西大厂锡多金属矿床是世界著名的超大型矿床之一,研究程度较高,先后有众多的学者对其进行了科学研究。本书是在大厂锡多金属矿床多年的资源勘查和研究基础上完成的。通过对矿床的成矿地质背景、矿床的地质-地球化学特征、同位素地球化学、流体包裹体地球化学和同位素年代学等方面较深入的研究,探讨了矿床的成矿物质、成矿流体的来源、运移特点以及矿床的成矿时代等问题,是目前该矿床成因研究的最新成果。

本书可供从事基础地质学、矿床学、地球化学和地质矿产勘查等专业的勘查、科研和教学人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

广西大厂锡多金属矿床地质与地球化学 / 梁婷等著.
北京:地质出版社, 2008. 11
ISBN 978-7-116-05901-6

I. 广… II. 梁… III. ①锡矿床:多金属矿床—地质构造—南丹县②锡矿床:多金属矿床—地球化学—南丹县
IV. P618.440.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2008) 第 185560 号

责任编辑:宫月萱 孙亚芸

责任校对:郑淑艳

出版发行:地质出版社

社址邮编:北京海淀区学院路 31 号, 100083

咨询电话:(010) 82324508 (邮购部); (010) 82324569 (编辑室)

网 址: <http://www.gph.com.cn>

电子邮箱: zbs@gph.com.cn

传 真:(010) 82310759

印 刷:北京长宁印刷有限公司

开 本:787 mm × 1092 mm $\frac{1}{16}$

印 张:15.25

字 数:360 千字

印 数:1—700 册

版 次:2008 年 11 月北京第 1 版·第 1 次印刷

定 价:42.00 元

书 号:ISBN 978-7-116-05901-6

(如对本书有建议或意见,敬请致电本社;如本书有印装问题,本社负责调换)

目 次

绪 论	(1)
第一章 区域成矿背景	(7)
第一节 地层特征	(8)
一、地层	(8)
二、沉积建造分析	(12)
第二节 构造特征	(14)
一、区域构造格局	(14)
二、长坡-铜坑矿区的构造特征	(16)
第三节 岩浆岩特征	(18)
一、岩体产出特征	(18)
二、主要岩石的岩石特征	(21)
三、岩浆岩侵入期次划分	(25)
第二章 侵入岩体的地球化学特征及构造环境	(27)
第一节 侵入岩体的地球化学特征	(27)
一、样品的采集及分析方法	(27)
二、主量元素	(27)
三、微量元素	(30)
四、稀土元素地球化学	(33)
第二节 岩浆岩的成因及形成构造环境	(35)
一、岩石的成因类型划分	(35)
二、起源与源区性质	(36)
三、岩石形成的构造环境	(37)
第三章 矿体地质特征	(40)
第一节 长坡-铜坑锡多金属硫化物型矿体的特征	(40)
一、矿体的产出特征	(40)
二、矿体的形态	(51)
三、矿石矿物的组成和结构构造	(54)
四、围岩蚀变	(61)
第二节 高峰 100 号矿体地质特征	(65)
一、100 号矿体的规模、形态和产出特征	(65)
二、主要矿物组成和结构、构造	(68)
第三节 长坡-铜坑深部矽卡岩型层状锌（铜）矿体特征	(70)
一、矿体的形态、产状和规模	(71)

二、矿石的矿物组成	(73)
三、矿石的主要结构、构造	(73)
四、围岩蚀变	(73)
第四节 长坡-铜坑矿体的空间分布规律	(75)
第五节 矿床成矿期和成矿阶段的划分	(76)
第四章 矿物的微量元素地球化学特征及指示意义	(78)
第一节 黄铁矿特征及指示意义	(78)
一、黄铁矿的产出特征	(78)
二、同生沉积黄铁矿的成分特征	(81)
三、矿体中黄铁矿与同生沉积黄铁矿的化学成分对比	(87)
第二节 锡石化学成分的变化及指示意义	(91)
一、锡石产出特征	(91)
二、锡石的化学成分特点	(94)
第三节 矿石和脉石矿物的 REE 地球化学特征及指示意义	(96)
一、矿石矿物的 REE 地球化学特征	(96)
二、脉石矿物方解石的 REE 地球化学特征	(101)
三、矿物 REE 地球化学特征的指示意义	(107)
第五章 矿体地球化学特征及意义	(114)
第一节 成矿元素地球化学背景	(114)
第二节 锡石-硫化物矿体的地球化学特征	(116)
一、样品特征与测试结果	(116)
二、主量元素的地球化学特征	(117)
三、微量元素地球化学特征	(121)
第三节 矽卡岩型锌(铜)矿体的地球化学特征	(129)
一、样品特征与测试结果	(129)
二、96 号矿体造岩元素地球化学	(131)
三、成矿元素和微量地球化学	(132)
四、稀土元素地球化学	(143)
五、96 号矿体成矿物质的来源与运移方向	(149)
第四节 从微量元素地球化学特征分析大厂矿床成矿物质的运移	(152)
第六章 硫、铅同位素地球化学	(154)
第一节 硫同位素组成及示踪	(154)
一、长坡-铜坑矿床硫同位素组成	(154)
二、100 号矿体硫同位素组成	(160)
三、锌(铜)矿体的硫同位素组成	(162)
四、硫同位素示踪	(164)
第二节 铅同位素特征	(166)
一、Pb 同位素分析方法和结果	(166)
二、铅源讨论	(173)

第七章 成岩成矿时代研究	(176)
第一节 大厂岩浆岩体的侵入时代	(176)
一、样品的采集及测试方法	(177)
二、测定结果	(178)
第二节 长坡-铜坑锡多金属矿体的成矿年龄	(183)
一、石英中流体包裹体的 Rb-Sr 等时线法	(183)
二、 $^{40}\text{Ar}-^{39}\text{Ar}$ 定年	(184)
三、毒砂、黄铁矿的 Re-Os 同位素年龄测定	(191)
第三节 矽卡岩型锌(铜)矿体成矿年龄	(195)
第四节 成岩成矿作用的时间讨论	(196)
一、大厂笼箱盖岩体的形成时代及岩浆活动延续的时间	(197)
二、成矿作用的年代	(198)
三、Re-Os 同位素体系成矿物质来源示踪	(199)
第八章 矿床的成矿机制及成矿模型	(201)
第一节 有利地质条件是矿床形成的前提	(201)
一、有利的赋矿地层是矿床形成的基础	(201)
二、岩浆活动为成矿提供物源和热源	(203)
三、构造条件为成矿提供有利的定位空间	(204)
第二节 成矿流体的地球化学特征和流体来源	(205)
一、流体包裹体地球化学特征	(205)
二、成矿流体来源的 He 和 Ar 同位素示踪	(216)
第三节 矿床的成矿机理和成矿模型	(221)
结束语	(223)
参考文献	(226)
英文摘要	(234)

绪 论

第一节 中国锡矿类型和研究意义

矿产资源是社会和经济发展必不可少的物质基础,是国家安全和工业竞争力的重要保障,特别是我国进入工业化快速发展阶段,对矿产资源的需求成倍增加,保证矿产资源的可持续供应已经成为国家长期、重要的战略任务。大型矿山基地不仅在我国矿产资源供应中占有重要地位,而且对所在地区的经济及社会稳定有着重要的影响。

锡是人类较早熟悉和使用的金属之一,早在商代,我们的祖先就能用锡、铜、铅生产青铜器皿。由于锡金属具有质软、延展性好、熔点低、易于冶炼、无毒、不活泼等性质,使得锡成为现代社会重要的金属矿种,在国家经济和国防经济中具有广泛的消费基础。随着全球环保意识的加强以及电子工业和化工工业等行业的飞速发展,作为国际公认的“绿色金属”,锡的利用前景将更加广阔。

中国锡矿资源丰富,且分布广泛、矿床类型多,是世界上锡产量最大的国家。锡资源分布在全国 15 个省(区),但主要集中分布在云南、广西、江西、内蒙古和湖南 5 省区,它们拥有的锡矿保有储量约占全国储量的 98%,其中广西大厂和云南个旧是两个超大型的锡矿产地,其产量占全国储量的 60% 以上,经济意义巨大。

从矿床类型来讲,锡矿床分为砂锡和原生锡矿床两大类,而原生锡矿占锡矿总储量的 80%~90% (韦栋梁等, 2006; 赵一鸣等, 2004)。从区域构造上讲,原生锡矿主要分布在造山带,以华南造山带、大兴安岭造山带和三江造山带为主,天山-祁连造山带、吉-黑造山带与秦岭造山带也有产出。地台区锡矿主要分布在扬子地台,中朝地台也发现有若干锡异常(赵一鸣等, 2004)。原生矿床类型划分方案很多(如李希勤等, 1994; 林格仑, 1935; 刘锦新, 1959; 张志信, 1981; 程裕淇等, 1979, 1983; 涂光炽, 1976; 陈俊, 1985; 施琳等, 1986; 赵一鸣等, 2004)。根据赵一鸣等(2004)提出的方案,分为 4 类:

1) 与 S 型花岗岩或钛铁花岗岩有关的锡矿床:该类矿床分布广泛,成矿时代自前寒武纪至喜马拉雅期。进一步可划分为:① 蚀变花岗岩型,矿床出现在花岗岩体顶部内外接触带,矿床中的锡石与围岩、特别是花岗岩类岩石是同时生成的(Hosking, 1987),该类矿床以广西栗木 Sn-W-Nb-Ta 矿床为代表,另有内蒙古苔菜花、江西牛岭坳、姜坑里和早叫山等矿床;② 伟晶岩型,矿床分布较少,占全国锡储量的 0.4%,含锡伟晶岩产于花岗质侵入体的顶部或围岩的构造裂隙带中,在矿床中锡作为次要金属,在南岭成矿带、康滇地轴成矿带北部、滇东南以及滇西三江等处均有产出,主要有福建西部的南平矿床、四川西部的甲基卡 and 赫德矿床、云南麻栗坡矿床和广东西部云孚矿床;③ 云英岩型锡矿床,该类型矿床的经济意义较大,金属储量占全国锡总储量的 6.5%,典型矿床有云南西部的来利山和小龙河锡矿床、湖南的柿竹园 W-Sn-Mo-Bi 矿床,矿床一般沿着贯穿性断裂、

裂隙系统产于花岗岩体的长英质围岩酸性障中（李希勳等，1994）；④矽卡岩型，该类型矿床在我国锡矿床中分布最广，其金属储量占全国总储量的43.5%，矿床大多产在花岗岩与富钙镁质岩石接触带及其附近围岩中，典型矿床有内蒙古黄岗含锡矽卡岩矿床、广东大顶 Sn-Fe 矿床、湖南柿竹园 W-Sn-Mo-Bi 矿床、四川岔河锡矿床、江西曾家垄 Sn-Cu 矿床等；⑤热液脉型锡矿床，该类型矿床在我国分布也较广，锡金属储量占全国总储量的22%，进一步划分为3种类型，即硫化物脉型、电气石脉型和石英脉型，以硫化物脉型最为重要，典型矿床有云南都龙锡矿、云南个旧锡矿（硫化物脉型）、广西宝坛锡矿（电气石脉型）、广西珊瑚 W-Sn 矿床（石英脉型）。

2) 与火山-次火山岩有关的锡矿床：该类矿床分布少，金属储量占全国总储量的4.2%，主要分布在环太平洋成矿域亚洲大陆边缘。根据成矿环境，进一步划分为两类：与斑岩有关的斑岩型矿床和与火山作用有关的火山热液脉型矿床。广东西部银岩斑岩型锡矿床可作为斑岩型锡矿床的代表，其矿床金属储量大于 $10 \times 10^4 \text{t}$ ，锡平均品位大于0.5%。广东惠来县西岭矿区风地山锡矿可以作为与火山有关热液型矿床的代表。

3) 与 A 型花岗岩有关的锡矿床：该类矿床十分稀少，近几年在新疆东准噶尔地区相继发现数个该类型的矿床，如卡姆斯特和干梁子锡矿床等。

4) 喷气型矿床：该类矿床是20世纪70年代以后人们认识的新的一种矿床类型，如加拿大 Sulivian Pb-Zn 矿床，锡金属储量达1万多吨。典型矿床以青海锡铁山矿床为代表，其锡金属储量达 $2.4 \times 10^4 \text{t}$ 。

尽管我国锡矿资源丰富，锡矿中共生和伴生组分也较多，综合利用的潜力和经济效益较大，但我国现存的大型金属矿山多是20世纪50~70年代建设的。随着国家经济的快速增长，矿产资源消耗过快，使得老矿山面临十分严峻的资源形势。一方面由于矿产地质勘查投入不足，可采储量和矿石品位急剧下降，保有资源储量日趋枯竭；另一方面在老矿山及其周围地区一般都经过长期的勘查生产和地质研究，易于发现的地表矿及浅部矿已消耗殆尽，深部找矿难度大，迫切需要通过成矿预测开展深部找矿工作。而能否增加矿山的资源储量，延长矿山的生产年限，已经不仅是一项地质工作，而且成为一项影响到保证矿山企业经济发展、社会安定和国民经济可持续发展的政治任务。为此，国家投入了巨资进行资源危机矿山的深部和外围矿产资源勘查工作，这对于解决危机矿山资源接替问题，对于保障资源的可持续供应和资源产业的可持续发展，对促进国民经济发展与国家安全和稳定，对全面建设小康社会和实现现代化建设等，都具有十分重要的意义。

第二节 研究区以往工作程度及存在问题

广西大厂锡多金属矿床是举世瞩目的超大型锡多金属矿产地之一，位于我国著名的丹池成矿带中部的大厂矿田西矿带。地理位置位于广西壮族自治区西北部，行政区划属于河池市南丹县，地理坐标为东经 $107^{\circ}29'43'' \sim 107^{\circ}42'11''$ ，北纬 $24^{\circ}44'45'' \sim 24^{\circ}56'35''$ ，总体上为一呈北西方向延长的狭长地带，主要包括长坡-铜坑锡多金属矿区、高峰锡多金属矿区，拥有锡矿储量超过 $100 \times 10^4 \text{t}$ 。伴生金属有：Cu, Zn, Pb, Sb, As, In, Ge, Cd, Se 等，具有重要的经济价值。

大厂矿田研究历史较长。据记载，新中国成立前，岳胜（1928）、丁文江（1937）、

张兆瑾(1938)、张庚(1939)等老一辈地质学家先后在大厂矿带开展过地质调查工作,初步确定了该区的地层层序、构造轮廓、矿产种类及其分布特征等。新中国成立后,自1954年开始至今,广西华锡集团下属215地质队(原中国有色金属工业总公司广西地勘局215队)对矿带进行了系统的地质调查工作,为提高丹池成矿带研究程度和探明矿产资源做出了巨大贡献,正是由于他们在大厂超大型锡多金属矿田发现上做出的卓越贡献,1992年1月被国家授予“全国地质勘查功勋单位”荣誉称号。同时,华锡集团下属铜坑矿和高峰矿地测科的技术人员一直也在开展大量“探边摸底”的找矿工作,为矿山开发与建设提供了第一手资料。

在科学研究方面,大厂锡多金属矿床的研究程度较高,广西地勘局、广西地质七队、大厂矿务局、中国科学院地球化学研究所、中国地质科学院矿床所等单位先后从1958年、1959年起开始在该矿带进行科学研究。以陈毓川院士为首的科研集体先后在20世纪60年代和80~90年代(陈毓川,1964,1965;陈毓川等,1985,1993,1996;王登红等,1996)对丹池成矿带及大厂矿田的地质特征、矿石矿物学及区域成矿规律进行了卓有成效的研究,建立了大厂矿带矿床成矿系列和成矿模式;同时,李锡林等(1960,1981)、叶绪孙(1985)、叶绪孙等(1996,1999)、尹国栋(1985)、刘元镇等(1987)、杨翼民(1989)、郜兆典(2002)等从不同角度讨论了原生锡矿床的成矿地质背景、地质特征和成矿规律,论证了花岗岩及其成矿演化是锡多金属矿床形成的主要控制因素。蔡宏渊等(1983)、叶俊等(1985,1989)、雷良奇(1986)、周怀阳等(1987)、张国林等(1987)、陈俊等(1988)、李孝全等(1988)、韩发等(1989a,1990,1997)、徐新煌(1991)、罗德宣等(1993)、廖宗廷等(1994)、秦德先等(2002,2004)通过对矿区岩浆岩特征、容矿围岩特征以及矿床地球化学等方面的研究,先后提出了大厂矿床形成是早期海底火山喷气同沉积成矿作用和后期与花岗岩有关岩浆热液叠加成矿的认识。涂光炽(1984,1987)在分析了大厂矿田诸多成矿因素后,提出了大厂矿床具有多成因、多来源、多阶段成矿特征的认识。

在成矿流体包裹体和同位素研究方面,杨凤筠等(1966)率先开展了对大厂锡矿田硫同位素的研究;徐文忻等(1986)开展了对岩体的Rb-Sr测年和成矿物理-化学条件的研究;李荫清等(1988)通过对大厂矿带流体包裹体的详细研究,获得了该区岩浆熔融体和成矿流体的特征及其演化的一系列重要信息。丁悌平等(1988)通过对大厂矿田岩石和矿物稳定同位素的研究,认为矿石铅与花岗岩浆活动具有成因联系;Fu等(1991,1993)对大厂矿田流体包裹体及C, O, S同位素进行了系统研究,认为成矿流体来自于花岗岩。赵葵东等(2002)对长坡-铜坑锡矿体中黄铁矿中的流体包裹体进行了He和Ar同位素测试,指出成矿流体中有地幔流体的混入,并通过与花岗岩有关的萤石样品的对比,认为矿床中层状和块状矿体的形成可能与花岗岩无成因联系。而蔡明海等(2004a, b)对长坡-铜坑锡矿体中黄铁矿中的流体包裹体中He和Ar同位素的测试,得出矿床中层状和脉状矿体的成矿流体来源一致的认识。

高峰100号矿体由于产状不同于铜坑91号和92号矿体,对其成因认识也不同。张起钻(1999a)研究提出,大厂龙头山100号矿体S同位素集中分布于6‰~12‰,具有油气硫的特点,其流体包裹体具高盐度,高密度,富含CO₂, Cl⁻, CH₄, K⁺, 低K⁺/Na⁺, F⁻/Cl⁻等特点,其成因与生物有机成矿作用有关。王登红(2004)提出了100号矿体形

成是含矿流体进入古溶洞、由于突然的减压降温而导致成矿物质超常聚集的“失压沸腾”成矿的新认识。对于该矿体的成矿条件,李衡等(2001)通过多种测温方法,确定矿床的成矿温度为 $(300 \pm 30)^\circ\text{C}$;推算出的成矿压力为 $84.2 \times 10^5 \text{ Pa}$;成矿环境是在相对低硫、低氧和低二氧化碳逸度,溶液为酸性及弱酸性的物理化学环境下形成的。蔡建明等(1995)、聂爱国(1996)分别开展了对五圩矿田和茶山锑矿成矿流体的研究;在矿石矿物学研究上,黄民智等(1988)从金属矿物学、应用矿石学和成因矿石学3个方面对大厂矿床金属矿物及矿石学特征进行了全面系统的总结。李达明等(1987)、周卫宁等(1987, 1988, 1989)分别对矿区磁黄铁矿、黄铁矿、闪锌矿、锡石的标型特征及指示意义进行了研究,说明了矿床形成与岩浆热液有关。

在构造研究方面,李孝全等(1988)、陈洪德等(1989)对丹池成矿带沉积相及盆地演化特征进行了研究;徐珏(1988)对丹池地区矿田构造进行了系统总结,主要强调了燕山期构造的控岩、控矿作用;高计元(1998)研究提出,矿床的分布总体上受桂西北盆-山体系的控制,矿床的生成和定位是盆-山体系发生、发展和演化到一定阶段的产物;章程(2000)对五圩矿田构造应力场及力源进行了探讨。

尽管不同时期、不同研究单位或研究者,根据不同的思路、采用不同的技术手段,开展了侧重点不同的研究,取得了大量的研究成果,有力地指导了矿山地质找矿工作,但是,大厂矿田范围内仍然存在一些科学问题尚待深入探讨,具体包括:

1) 大厂锡多金属矿床规模大、矿种多、品位高,元素组合复杂,矿化分带清楚,矿体产出特征具多样化,因而工业意义和研究意义都很重大。通常而言,超大型矿床多为孤立产出,成矿作用具有“偏在性”(裴荣富等,2005),受到地质、地球化学、地球物理等方面成矿条件的综合控制。大厂与个旧和柿竹园为我国最大的3个锡矿床,均分布在以南岭为中心的华南地区,但是成矿环境、成矿条件、矿物组合均具有各自的特殊性,个旧矿床和柿竹园矿床是与岩浆岩有关的热液矿床,而大厂矿床与笼箱盖主岩体之间并没有直接的接触关系,成矿作用在不同的阶段是不均匀的,具有幕式特征。大厂矿床,尤其是占矿床储量80%的91号和92号以及高峰100号矿体,在大厂如此小的范围内,多种金属元素巨量堆积,形成的关键是什么?成矿的背景有什么特殊性?这些问题还值得进一步探讨。

2) 作为举世瞩目的超大型矿床,经过50多年的研究、开发,在区域地质、地层、构造、岩石学、同位素、成矿物化条件等方面积累了丰富的资料,这对于矿山深部及其周边地区的找矿具有十分重要的指导意义。但是,在已有的丰富资料中,大厂矿床的成矿机制问题,至今仍未达成共识。目前存在3种分歧:①矿床形成是与燕山期花岗岩有关的岩浆热液矿床;②矿床形成与岩浆活动无关,是与海底火山喷气有关的同生热水沉积矿床;③矿床形成早期为热水沉积,晚期为燕山期岩浆热液叠加改造,属于多期次、多阶段、多成因。成因认识分歧的焦点是对大厂层状、似层状矿体成因的理解。具体来讲,集中反映在3个方面:①矿床成矿物质来源问题,即成矿物质来自岩浆还是来自赋矿围岩?②成矿时代问题,即是泥盆纪同生成矿还是燕山期后生成矿?③成矿流体的来源问题,即成矿流体是来自地壳、地幔还是壳-幔混合?回答这些问题,是解决大厂矿床成因问题的关键。正是由于大厂矿床成因问题悬而未决,直接影响了矿山后续资源的找矿方向。

3) 从现有的研究资料分析,我们认为在矿床成因方面存在分歧意见的主要原因是

矿床的研究没有建立在扎实的矿相学研究之上,研究的样品或者是单阶段的,或者是选择易于获得,且便于挑选、分析的样品,而矿物之间的相互关系并没有查清楚,从而影响了对客观事实的认识。矿床成因问题归根到底是成矿的动力学问题,即成矿物质的源、运、聚。只有搞清成矿的动力学机制,才能建立正确的矿床成因模式,进而建立矿床的预测模型,指导矿山后续资源勘查的方向和探矿工程的部署。

大厂矿床经过几十年的开采,原有的探明储量已消耗巨大,矿山面临严重资源危机,进一步寻找新的资源和加强深部找矿势在必行。为此,有必要在正确认识大厂矿床成矿地质背景和矿床地质特征的前提下,重新厘定大厂锡(多金属)矿床的成因模型,为矿山后续资源的勘查和开发提供依据。

第三节 本次工作的任务来源和完成情况

本次对于大厂锡多金属矿床成矿机制的研究,是国家危机矿山项目“广西南丹县铜坑锡矿接替资源勘查”工作项目(工作项目编码:200545022)下属的研究专题“广西南丹县铜坑锡矿成矿机制与预测模型”的研究成果。专题承担单位是中国地质科学院矿产资源研究所,参加单位有长安大学、广西大学和华锡集团。工作起止年限自2006年3月至2008年3月,专题负责人是陈毓川院士和王登红研究员。应该指出,本书所涵盖的内容和所取得的成果也包括了20世纪50年代末至今近半个世纪以来以陈毓川院士为首的中国地质科学院矿产资源研究所的众多科学家和大厂矿务局众多地质工作者长期以来的研究成果,也包括了近年来由国家重点基础发展规划973项目(“大规模成矿作用和大型矿集区预测”)下属“大规模成矿时代年龄精测与成矿谱系”(陈毓川负责)和“西南三江新生代大陆动力学过程与大规模成矿”(王登红负责)两个课题以及地质大调查项目“全国矿产资源潜力评价”等项目的成果,还包括了其他项目所涉及的工作或思路方面的贡献。

本次研究的目標是在充分收集整理和分析前人研究成果的基础上,根据大厂锡矿目前的研究现状,通过系统、详尽的岩石学、矿床地质特征、矿床地球化学、年代学、同位素研究,探讨大厂锡矿的成矿元素在时间与空间上的分布规律、成矿物质的来源、成矿流体的运移机制及成矿时代等问题,进而厘定大厂锡(多金属)矿床的成因模型,为矿山后续资源的勘查和开发提供依据。

围绕研究目标,具体主要开展5项内容研究:①矿相学研究,通过野外地质调查,查明不同类型和产状矿体的空间分布规律,查明矿体之间的相互穿插和交代关系,初步划分成矿的期次;通过显微镜下观察,分析矿石的结构构造、矿物的共生组合、伴生及世代关系,以及不同类型矿体中主要矿石和脉石矿物组合在横向和纵向上的变化趋势等;②成矿流体研究,包括矿物中流体包裹体的物理状态、成分研究,成矿流体的温度、压力和盐度测定以及演化研究,结合He-Ar同位素、硫、铅同位素分析,探讨成矿物质、成矿流体来源;③稀土元素分析,系统分析和对比不同类型矿体、不同成矿阶段矿物中稀土元素的含量和变化,进而确定成矿物质的来源和成岩成矿环境;④成矿时代研究,采用不同的同位素年代学技术对大厂笼箱盖复式岩体和不同矿体的成岩成矿时代进行测定,为矿床成因的探讨提供确实可靠的年代学依据;⑤通过综合研究,分析大厂锡矿的成矿机制,建立矿床的成因模型。

本专题通过近两年多来的努力，完成了大量的实物工作量，其中野外调查、采集样品 500 多件，室内查阅文献 250 多篇，光、薄片鉴定 400 件，常量元素分析 60 件，微量元素分析 135 件，稀土元素分析 142 件，S 同位素分析 6 件，Pb 同位素分析 15 件，包裹体片制作和观察 31 件，包裹体均一温度和冰点测试 126 件，激光拉曼光谱分析 12 件，ICP-MS 同位素定年 4 组，Re-Os 同位素定年 2 组，Rb-Sr 同位素定年 2 组，Sm-Nd 同位素等时线定年 1 组，电子探针分析 500 多点，拍摄野外照片 1250 张、显微镜下照片 960 张、阴极发光和背散射电子图像 155 张。

本书在博士论文和专题研究报告的基础上修改而成。在项目进行过程中，中国地质调查局危机矿山项目办叶天竺总工程师、严光生主任等和广西河池市战明国副市长、华锡集团张友宝董事长、姚根华副总经理等各级领导对我们的工作给予了大力支持；广西华锡集团科技处甘平处长，生产部周鸿军部长、邓家凤副部长，铜坑矿余子庆矿长、余阳先总工程师，地测科韦可利科长及全体技术人员，215 队闭忠敏队长、范森葵总工程师、吴德成工程师、黄惠民工程师，高峰矿邓金灿总工程师、张清工程师等在野外工作中给予了很多的帮助；中国地质科学院毛景文研究员、徐珏研究员、李厚民研究员，宜昌地质矿产研究所李华芹研究员，长安大学刘建朝教授、王崇礼教授、胡能高教授、姜常义教授、于凤池教授、杨兴科教授，中国地质大学薛春纪教授等在工作过程中也给予了很多的帮助和指导，在此一并表示感谢。国家地质实验测试中心的屈文俊研究员、杜安道研究员、曾法刚高级工程师，中国地质科学院电子探针室的陈振宇博士及长安大学成矿作用及动力学实验室的刘民武博士、白开寅工程师、何克高级工程师、孙志华讲师等为本专题的研究完成了部分的分析测试工作。中国地质科学院矿产资源研究所的陈郑辉博士、李建康博士、郭春丽博士、应立娟博士、王成辉博士等在样品加工处理方面给予了协助，在此也表示非常的感谢！由于作者的水平有限，错误和不足之处在所难免，敬请批评指正。

第一章 区域成矿背景

丹池成矿带是我国重要的有色金属成矿带，位于江南古隆起的西南缘、右江再生地槽边缘的丹池褶皱带中，属古特提斯构造域与太平洋构造域的复合部位。总体上为一呈 NW 方向延长的狭长地带。该带长约 130 km，宽约 25 km，面积约 3000 km²。带中从北向南，在 NW 向断裂与 NE 向断裂交汇的部位出现 3 个大的隆起带，依次出现芒场、大厂、五圩 3 个大型锡多金属矿田，外围还有益兰和麻阳汞矿等（图 1-1）。

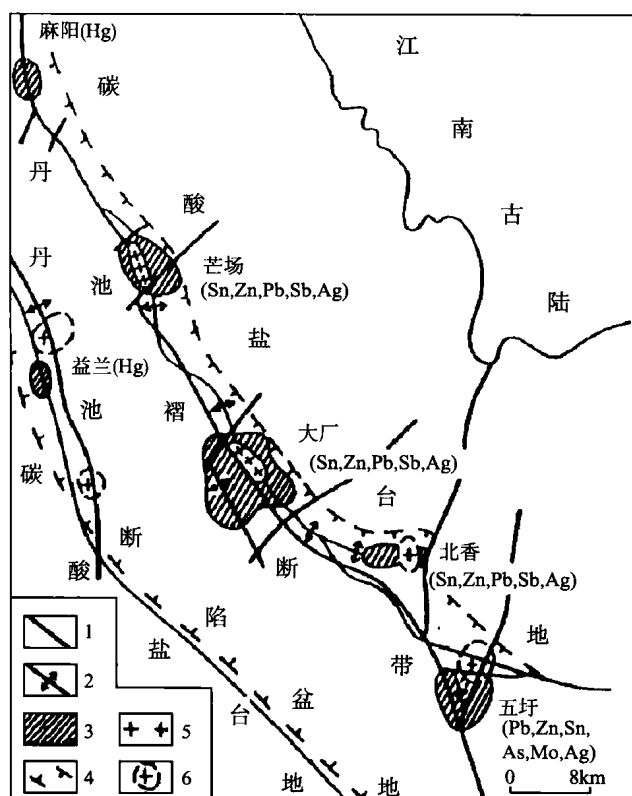


图 1-1 丹池矿带区域构造及矿产分布示意图

（据秦德先，2002）

1—断裂；2—背斜；3—矿田（床）范围；4—槽盆界线；5—花岗岩；6—推测花岗岩

大厂矿田位于中央隆起带，带内褶皱紧闭，断裂构造发育，岩浆活动强烈，围绕中心笼箱盖花岗岩体可划分出 3 个矿带：东带以大福楼、亢马的锡（锌）矿床为代表；中带有关箱盖岩体，以拉么锌-铜矿、茶山钨-铋-铅矿为代表；西带主要包括长坡-铜坑、巴黎、龙头山的高峰 3 个锡多金属矿（图 1-2）。它们是大厂主要的锡多金属矿产地，也是本次工作的重点地区。

第一节 地层特征

一、地层

区域上出露的地层主要有泥盆系、石炭系、二叠系、三叠系和第四系，沉积厚度为4325~7851 m。其中泥盆系分布广泛，发育最好，是区内锡多金属矿的主要赋矿地层。基底地层应属加里东构造层的一套下古生界至前寒武系岩石，可与桂北地区的四堡群、丹州群、震旦系、寒武系、奥陶系和志留系下统等对比（陈毓川，1993）。

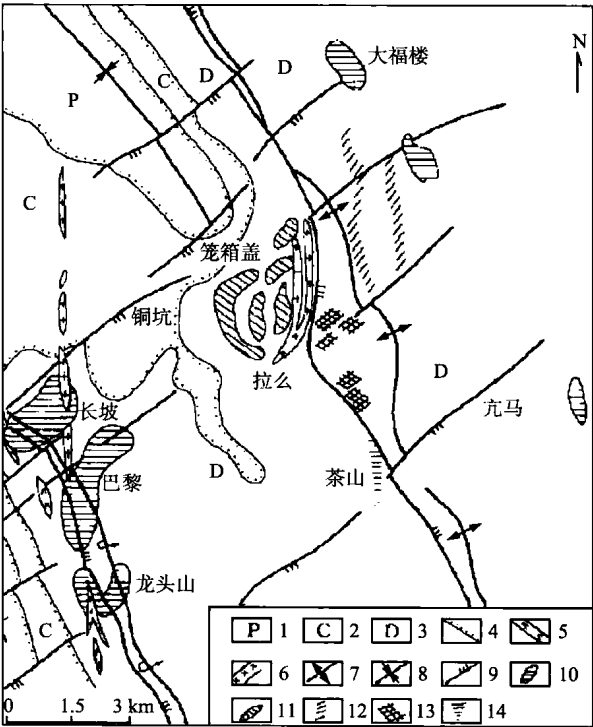


图 1-2 大厂矿田矿床分布图
(据陈毓川等, 1995 简化)

1—二叠系灰岩、硅质岩夹砂页岩；2—石炭系灰岩；3—泥盆系灰岩、页岩及硅质岩；4—平行不整合地层接触；5—闪长玢岩；6—花岗岩、花岗斑岩；7—背斜轴；8—向斜轴；9—断裂；10—锡矿体；11—锌铜矿体；12—白钨矿脉组带；13—黑钨矿脉组带；14—铋矿脉组带

出露的地层自下而上如下所述。

1. 泥盆系

(1) 下泥盆统 (D₁)

该套地层在地表没有出露，据广西地勘局 215 队（1990）资料^①，仅在钻孔中见到。

① 广西地勘局 215 队. 1990. 广西锡多金属矿田地质测量报告（内部资料）.

岩性以碎屑岩为主，间夹碳酸盐岩。厚度大于 355 m。从下至上分为 3 组。

丹林组 (D_1^1d)：岩性以灰白色、浅灰色中—厚层状中粒石英砂岩、灰色虫迹泥质粉砂岩为主，夹细粒砂岩、砂质泥岩和页岩。局部有斜层理和波痕，厚度大于 65 m。

益兰组 ($D_1^{2-1}y$)：按照岩性可以划分为 3 段。下段为含泥质粉砂岩夹钙质泥岩和页岩；中段为钙质泥岩、页岩夹含生物碎屑灰岩；上段为麻布状泥质灰岩夹钙质泥岩和页岩。颜色以深灰色、灰黑色为主，少量为蓝灰色、浅灰色。薄层状至中厚层状，厚度约 14 m。

塘丁组 ($D_1^{2-2}t$)：为褐色泥岩、粉砂岩、砂岩夹结晶灰岩。含竹节石、三叶虫、腕足类、珊瑚、双壳类等化石，厚度大于 894 m。

(2) 中泥盆统 (D_2)

出露于东部、中部和西部，呈带状分布。岩性以碎屑岩为主，碳酸盐岩次之，厚度约 1212.81 m。由下而上，划分为两个亚组。

纳标组 (D_2^1nb)：该组除龙头山为生物礁灰岩之外，其他地区皆为碎屑岩，以泥岩和页岩为主，夹灰至灰黑色薄至中厚层状中粗粒石英砂岩、细砂岩、泥质灰岩等。大厂生物礁灰岩主要分布在龙头山—大厂背斜核部，为一个在海盆地内的孤立似马蹄形礁组合（曾允孚，1993），出露面积约 0.24 km²。据广西地勘局 215 队钻孔资料，礁体为一呈 NNW 向延长的椭圆形穹丘，面积约 10 km²，长 3600 m，宽 2700 m，高约 900 m，西翼陡、东翼缓，长轴与背斜走向一致（图 1-3）。生物礁灰岩层理不发育，呈块状，仅顶部显层理，厚层状。

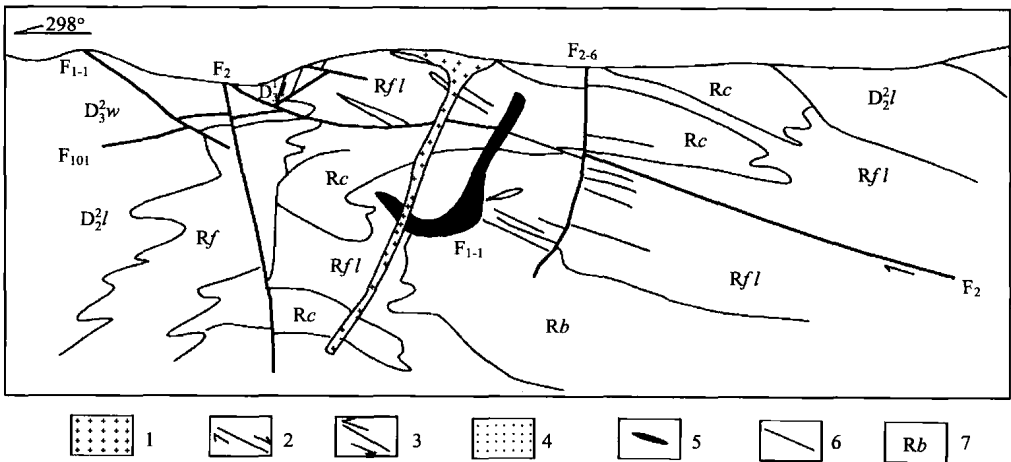


图 1-3 大厂生物礁和 100 号矿体地质剖面图
(据张起钻，1999b)

1—花岗斑岩脉；2—实测及推测正断层；3—逆断层；4—含锡破碎带；5—100 号矿体；6—裂隙脉；7—礁体相
代码：Rf—礁前相，Rc—礁核相，Rf/l—礁坪相，Rb—礁后相。 D_3^2w —五指山组扁豆状、条带状灰岩； D_3^1l —榴
江组硅质岩； D_2^2l —罗富组泥灰岩、页岩、硅质岩

礁体中生物化石丰富，主要由层孔虫和板状珊瑚构成，其次为棘皮动物和四射珊瑚等，主要岩石类型划分为原地生物灰岩和异地生物碎屑灰岩两类。原地灰岩包括生物骨架

灰岩、生物障积岩及生物粘结岩，主要构成礁核；生物碎屑岩分布较广，组成礁坪相、礁前相及骨架间的填隙物。该生物礁是在丹池次级盆地内走滑挤压所造成的局部海底隆起基础上发育生长的（张起钻，1999b）。有燕山期花岗岩墙侵入其中。据广西地勘局 215 队和曾允孚（1993）等的研究，礁体可以分为 5 个亚相：① 礁前亚相，分布在礁体的西侧，主要为塌积层，垮塌物以礁核相物质为主，棱角明显，杂乱堆积，有大量的生物碎屑和砂屑充填其中，含层孔虫、四射珊瑚、藻类、腕足类和海百合茎等化石；② 礁核亚相，分布在礁体的中部及东侧，为原地生长的穹丘，由生物骨架灰岩、生物障积灰岩、生物粘结灰岩和砂屑、棘屑灰岩组成，主要为钙质和泥质胶结，并有大量的棘屑充填物，在生物体之间和体腔空隙中常有沥青充填，含半球状、块状和板状的层孔虫及板状珊瑚和四射珊瑚、藻类、腕足类等化石；③ 礁坪亚相，分布于礁核的周围和旁侧，由生物碎屑灰岩、球粒或团块状灰岩组成，生物种类复杂，含藻屑、棘屑、枝状层孔虫、枝状珊瑚、单体四射珊瑚和腹足类等化石，均被亮晶方解石或泥晶胶结；④ 礁后亚相，分布在礁体的东侧和内部，岩石以深灰色泥晶灰岩为主，见有球状层孔虫、双层层孔虫、单体四射珊瑚、腕足类、介形虫等化石；⑤ 礁基亚相，分布在礁体下部，主要由海百合细晶灰岩、海百合细晶含膏灰岩等组成，高 100 ~ 200 m，具有特殊的纹层构造，纹层厚 1 ~ 10 mm。

张起钻（1999b）、杨斌（1999a）研究认为，龙头山生物礁体内各种裂隙和在生物体腔或颗粒之间等都有黑色沥青充填，生物礁体与上覆盆地相泥质岩、硅质岩组合构成优越的油气“生、储、盖”条件，认为生物礁体内曾有过大规模的油气迁移和储积。

纳标组生物礁灰岩为研究区重要的赋矿地层，大型锡多金属矿体 100 号和 105 号矿体即赋存在该层位中。层内礁灰岩已重结晶，礁体向四周渐变为泥灰岩和页岩。

罗富组（ D_2^1I ）：覆盖于纳标组之上，其总体展布方向与纳标组基本一致。根据岩性特征，大致分为两段：下段主要为碎屑岩、灰黑色炭质页岩、泥岩，夹深灰色透镜状或薄层状灰岩，底部为灰色粉砂岩或砂岩，厚度约 327.79 m；上段为灰至深灰色、厚层状灰岩夹灰至黑色泥岩、页岩，局部有透镜状炭质沥青，厚度约 153 m。其底部有一层砂岩作为分层标志。该组岩石部分发生了硅化、碳酸盐化、矽卡岩化、角岩化等。该组为矽卡岩型锌（铜）矿的主要赋矿地层。

（3）上泥盆统（ D_3 ）

上泥盆统岩性主要为硅质岩、碳酸盐岩和碎屑岩。由下而上，分为 3 组。

榴江组（ D_3^1I ）：该套地层以条带状硅质岩为主，岩石为深灰色至黑色薄层状—厚层状的硅质岩、硅质页岩。榴江组硅质岩色深，多呈灰黑色至黑色，少量浅灰色，发育规则的水平纹层。层厚一般为数毫米，少数达数厘米，常夹薄层硅质泥岩、页岩，或由二者构成韵律互层。在局部地区，尤其是上部，含有顺层分布的钙质或锰质结核，呈透镜状，长度最大达到 1 m 左右。顺层可见到稀疏浸染状的黄铁矿化。根据陈洪德（1989）的研究，在硅质岩中生物以大量的浮游生物为特征，除丰富的竹节石外，还有由放射虫、颗石藻和翼足类化石组成的深水生物组合，另还有少量的薄壳型双壳类和腕足类化石。化石均顺层分布，保存完好。生物普遍遭受硅化，但原始的结构保留较好。该组与上覆的宽条带灰岩及下伏的泥灰岩等整合接触，表明其形成于宁静、还原的深海环境。该层位是大厂 92 号矿体的赋矿层位。

五指山组 (D_3^2w): 该组地层可以进一步划分为4个亚层。

- 宽条带灰岩亚层 ($D_3^2w^a$): 以层状的灰岩和泥灰岩为主, 夹有薄层硅质岩。层理构造, 单层厚5~10 cm, 总厚15~20 m。在不同的纹层中岩石普遍发生变质作用, 灰岩层发生碳酸盐化, 主要由粒状方解石组成。泥灰岩层中发生硅化、绢云母化及菱铁矿化。在矿化强烈地段有钾长石化、电气石化。硅质薄层主要由微晶石英组成, 具有粒状镶嵌结构。相伴有碳酸盐化或绢云母化。

- 细条带灰岩亚层 ($D_3^2w^b$): 主要为薄层硅质岩和薄层灰岩相互成层, 单层厚度小(1~5 cm), 其中钙质条带呈灰白色, 以重结晶方解石为主。含炭硅质层为灰黑色, 主要由微晶石英和绢云母组成。颜色黑白相间, 条带构造十分明显。含较多的化石碎片(据100矿体详查报告), 总厚10~20 m。此层位为91号矿体的赋存层位。

- 小扁豆灰岩亚层 ($D_3^2w^c$): 灰白色, 具有扁豆状构造, 扁豆体由近等粒状方解石组成, 长轴0.5~2 cm, 短轴0.2~0.4 cm, 其余由泥灰质以及含炭质硅质、灰质组成, 粒度小, 总厚90~110 m。

- 大扁豆灰岩亚层 ($D_3^2w^d$): 岩石组成与小扁豆灰岩一致, 但扁豆体粒径较大, 长轴1.5~5.5 cm, 短轴0.5~2 cm。底部往往出现泥灰岩, 厚1 m左右。顶部为条纹状泥灰岩, 厚度变化大, 几米至几十米不等, 总厚15~20 m。局部见有燧石结核或条带。该层含矿性较差, 矿化优先沿扁豆体边缘进行, 但裂隙脉矿化较发育, 在局部地段(如584中段)可见强烈矿化的层状矿体。

同车江组 (D_3^3t): 该组为一套浅海相的陆源碳酸盐岩和泥页岩沉积, 可分为3层。下部($D_3^3t^a$)为灰黑色至黑色炭质泥岩、页岩与灰色中厚层状的粉砂质泥岩互层, 厚度为80~110 m, 部分地区夹有凝灰岩和凝灰质熔岩(卜国基, 2001); 中部($D_3^3t^b$)以黑色炭质页岩和泥岩为主, 夹灰色泥质砂岩和深灰色薄层状、透镜状泥灰岩, 厚60 m; 上部($D_3^3t^c$)主要以灰黑色薄层状泥岩和页岩为主, 夹深灰色中层状泥灰岩和灰色薄层状硅质岩, 厚200 m。该套地层中裂隙脉矿化发育, 局部出现层状矿化。岩石普遍发生重结晶作用。

2. 石炭系

石炭系覆盖于泥盆系之上, 分布于丹池矿带各隆起区外围背斜的翼部, 区内分布较广。

(1) 下石炭统

寺门组 (C_1s): 该组覆盖在上泥盆统之上, 呈NWW向狭长的带状延伸。岩性下部为灰色、深灰色中—厚层粒状石英砂岩; 上部为粉砂岩、粉砂质泥岩和炭质页岩。在底部出现有石英砾岩。厚度为29~72 m。该组与下伏地层之间呈平行不整合关系。

(2) 中石炭统^①

黄龙组 (C_2h): 该组分为两段, 下段(C_2h^1)为灰—灰黑色的中厚层含燧石条带灰岩, 其下部夹有白云质灰岩, 上部为生物碎屑灰岩或含生物灰岩, 单层厚度一般为0.3~0.5 m, 层厚109.98~245.1 m; 上段(C_2h^2)为厚层状至块状白云质灰岩, 含有少量的燧石结核或燧石条带, 局部含有鲕状结构和角砾状构造, 厚145.54~255.4 m。

(3) 上石炭统

^① 因为目前还没有确切的资料说明黄龙组应划归为下石炭统还是上石炭统, 故此处沿用前人的划分, 将石炭系分为上、中、下三统。