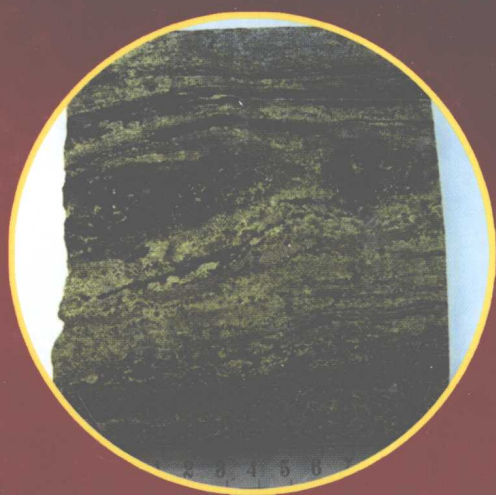
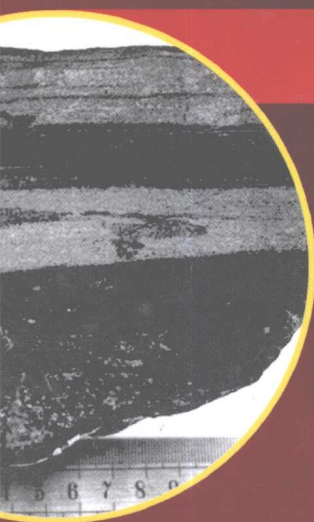


个旧锡铜多金属 矿床地质研究

秦德先 黎应书 等 著



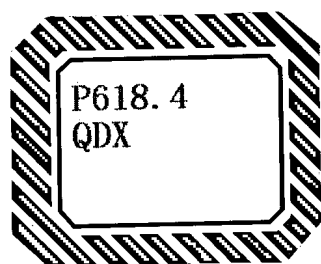
科学出版社

www.sciencep.com

国家“十五”科技攻关项目
云南省科技出版基金资助

个旧锡铜多金属 矿床地质研究

秦德先 黎应书 等著



科学出版社
北京

内 容 简 介

本书对个旧锡矿的区域成矿地质背景、基性火山岩、矿床地质、地球化学、成矿地质年代等进行了全面、系统深入的研究,提出并论证了个旧矿区“变辉绿岩”为海相碱性基性火山岩,形成于大陆裂谷环境,对个旧锡多金属成矿有重要作用;提出并论证了个旧锡矿的三个成矿系列、八个矿床成因类型和“两楼一梯”的矿床结构模式,以及“裂谷背景-火山沉积-喷流沉积-花岗岩叠加改造”的成矿模式等成矿理论。

本书可供矿产地质、矿山地质等专业的科研、生产人员及相关专业的本科生、研究生使用和参考。

图书在版编目(CIP)数据

个旧锡铜多金属矿床地质研究/秦德先等著. —北京:科学出版社, 2008

ISBN 978-7-03-020418-9

I. 个… II. 秦… III. ①锡-多金属矿床-地质构造-研究-个旧市②铜-多金属矿床-地质构造-研究-个旧市 IV. P618.402

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2008) 第 062621 号

责任编辑: 韩 鹏 谢洪源 王日臣/责任校对: 钟 洋

责任印制: 钱玉芬/封面设计: 王 浩

科学出版社 出版

北京东黄城根北街 16 号

邮政编码: 100717

<http://www.sciencep.com>

中国科学院印刷厂 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2008 年 6 月第 一 版 开本: 787×1092 1/16

2008 年 6 月第一次印刷 印张: 11 3/4 插页: 10

印数: 1—1 300 字数: 256 000

定价: 85.00 元

(如有印装质量问题, 我社负责调换〈科印〉)

序

锡具有独特的防腐、易熔和延展性，并能与一系列有色金属制成减摩合金，因此，锡可广泛用于食品和汽车、拖拉机制造及航空、化工、玻璃、电气等许多行业。锡盐还可用于搪瓷、印染工业和电铸造业。高纯度锡还可用来生产半导体。锡的矿产用途很广泛，是社会经济发展的、大宗需要的和大量开发的重要矿产资源。

据不完全统计，世界锡矿储量约 1400 余万 t，其中约 90% 以上分布于中国、马来西亚、泰国、印度尼西亚、澳大利亚和俄罗斯（远东），并形成滨西太平洋分布的著称于世的亚澳钨锡成矿带，另外，在南美的巴西、玻利维亚、秘鲁和西欧的葡萄牙、英国也有重要产地。其中，我国锡矿资源最为丰富，据统计其总储量达 570 余万 t，列世界第一；矿石以原生矿为主（占总量 80%），主要分布在华南，其次在大兴安岭、“三江”地区和“西部”地区也有分布。其中分布在云南个旧、马关和广西大厂三个超大型矿床的储量占全国 70% 以上，是闻名于世的重要成矿区。

中国锡矿床类型众多，有与花岗岩类有关的蚀变岩型、伟晶岩型、云英岩型、夕卡岩型、热液脉型；与火山-次火山岩有关的斑岩型、火山热液脉型和与海相火山岩有关的喷流沉积型。另外，近年在新疆东准噶尔还发现与 A 型花岗岩有关的新类型锡矿。总之，中国锡矿的成矿类型多样，并以多期多因的复成类型为特征。

个旧锡矿是我国著称于世的“锡都”，是我国最大的锡矿产地，但经过多年开采，矿山多数已进入老年期，有些矿山资源短缺，严重制约矿山可持续发展，为此，应用成矿新“认知”加强锡矿成矿研究，以期能在该矿山深部和外围找矿获取新的突破是当务之急。

秦德先教授及其集体完成的《个旧锡铜多金属矿床地质研究》一书就是应用成矿新“认知”进行深化研究的成果，尤其是书中创新地对印支期玄武岩地质、地球化学及其与成矿相关关系作了详细探讨，并从区域火山-沉积建造与花岗岩作用的多期、多因成矿观点总结出“两楼一梯”成矿模式，应是对个旧锡矿找矿突破提出的新理念。无疑，这一包括新理念成矿专著的出版将会活跃讨论气氛，引起有关研究者和决策者对个旧锡矿找矿工作的更多关注。

裴荣富

前 言

我国是世界锡矿大国。锡的探明储量和近年产量均占世界 1/3 以上。云南个旧、马关和广西大厂三个超大型锡多金属硫化物矿床，锡储量占全国的 70% 以上，是我国锡矿的主要产地。矿石以锡石-硫化物为主是我国锡矿的突出特点。个旧是中外著名的锡都，是我国最大的锡生产、出口基地，近年产锡占全国的 1/3 以上。主导产品“云锡牌”精锡获国优金奖，是国际名牌产品。个旧锡业是国家级特大型企业，是云南省最大的有色金属企业，对国际锡工业和国家及地方经济、社会的发展起着举足轻重的作用。

目前个旧锡矿的关键问题是矿产资源问题。个旧锡矿经过多年的开采，资源消耗量大，多数矿山生产达不到设计能力；更严重的是竹叶山、卡房、红旗、促进、革新等矿山资源危机，难于维持生产；资源问题已成为严重制约矿山可持续发展，甚至威胁着矿山企业生存的根本问题。因此，加强矿山深部和外围找矿，以期扩大资源，维持矿山正常生产，延长矿山服务年限，具有重大的社会经济意义。已有资料分析研究表明，个旧矿区深部和外围还有找矿前景，通过找矿和科研可以增加储量。

个旧锡矿是我国最早发现和开采的老矿山。产锡始于汉代，但缺乏详细历史记载。新中国成立后国内外很多著名的地质专家对个旧锡矿进行过研究。特别是云南有色地质局 308 地质队半个世纪来一直在个旧进行地质勘查工作，探明了一批工业矿床，对个旧锡工业作出了突出的贡献。关于锡矿床的成因，一百多年来国内外多数地质学家比较一致地认为与花岗岩有成因联系。如国外许多地质学家 (Groves et al., 1972, 1978; Ishihara, 1977) 认为锡矿床在成因上与花岗岩有关，并在显生宙地槽褶皱带的演化过程中形成。我国地质学家 (邓玉书, 1951; 张志信, 1984, 1991; 高志斌, 1958, 1983; 尹国栋, 1985; 刘元镇等, 1987)，对个旧、大厂锡矿进行过研究，认为矿床属于燕山晚期壳源重熔型花岗岩岩浆期后热液成因，花岗岩是成矿母岩。

在此理论的指导下过去曾取得了一些找矿成果，但笔者发现有不少地质事实难以用花岗岩成因模式解释。如个旧矿区外围远离花岗岩体的石屏牛街地区中三叠统个旧组地层（个旧矿区含矿地层）中的锡矿化；近年新发现的芦塘坝 10 号矿群，似层状块状硫化物矿体多呈层平行整合产出于个旧组硅质碳酸盐岩中，距下伏深部花岗岩体 800m，矿石具纹层条带状构造，其中除含 Sn、Cu、Pb 外，还含有 Au、Ni、Ag、Pt、Sb 等元素，难以用花岗岩成矿来解释；老厂、卡房矿区及外围玄武岩（过去认为是变辉绿岩，笔者根据其产出范围广、层位稳定、具有大量杏仁气孔构造，认为是玄武岩）中存在整合式层状块状硫化物铜（锡）矿体（在老厂这类矿体的含矿岩石过去被误定为夕卡岩，经笔者研究证实为透辉石、阳起石化基性火山岩），矿石具纹层状构造，锡石粒度细、颜色深，可能为基性火山成因；个旧大量层间（笔者认为是层状）矿（占个旧锡铜储量 50%）中残留的黄铁矿、磁黄铁矿，普遍具有结核状、草莓状和生物结构等，也难于用单一的花岗岩成矿来解释。

近年来海洋地质研究获得了较大的进展，海底火山沉积、喷流热水沉积形成的含锡

硫化物矿床(化)不断发现(Franklin et al., 1988), 国外如在大西洋中脊钻探中获得的地幔超基性岩含锡 20×10^{-6} , 并有火山热泉引起的锡石-硫化物矿化(陈骏等, 2000); 国内涂光炽(1987)、金祖德(1991)、彭张翔(1992)、周建平等(1997, 1998)、李朝阳等(2000)等提出了个旧锡矿的非花岗岩成矿观点, 这一切对传统的“唯花岗岩成锡论”是一种挑战。

以秦德先教授(博导)为首的昆明理工大学科研群体, 主要是秦德先及其指导的博士研究生黎应书、谈树成、薛传东、范柱国、洪托、刘春学、李连举、高建国、燕永锋、陈爱兵、高志武、张学书、田毓龙等, 应用火山成矿、喷流成矿、层控矿床等现代成矿理论, 野外宏观矿体形态产状与室内微观地球化学结合, 全面对个旧锡矿的区域成矿地质背景、基性火山岩、矿床地质、地球化学、成矿地质年代等进行了系统深入的研究, 提出并论证了个旧矿区“变辉绿岩”为海相碱性基性火山岩, 形成于大陆裂谷环境, 对个旧锡多金属成矿有重要作用; 提出并论证了个旧锡矿三个成矿系列, 八个矿床成因类型, “两楼一梯”的矿床结构模式, 以及“裂谷背景—火山沉积—喷流沉积—花岗岩叠加改造”的成矿模式等成矿理论。在上述新提出的成矿理论指导下, 获得了找矿的重大突破。本书是研究成果的一部分, 由秦德先、黎应书、谈树成完成编写工作。

本书得到云南省自然科学基金项目“个旧锡矿火山-喷流沉积成矿作用及找矿预测研究”(2003D00008Q)、云南省省院省校科技合作项目“个旧锡矿深部和外围成矿预测及矿山增储研究”(项目编号为: 2000YK-05)、国家“十五”科技攻关项目“个旧锡矿接替资源探查技术示范研究”(2004BA615A-03)和云南省科技出版基金资助。昆明理工大学、云南锡业(集团)公司、中国地质科学院、中国科学院地球化学研究所、桂林矿产地质研究院及中南大学等有关单位的领导、专家给予了关心及帮助, 特别值得提出的是, 在研究工作中得到了党玉涛、孙绍友高级工程师、裴荣富院士、何继善院士、汤中立院士、高振敏研究员以及王俊德、童祥、李玉新、莫国培、杨宝富、王海云、康德明、马振飞、陈兴寿、赖大信、沈思联、李周武、路宏纪、杨文宝等高级工程师以及贾国相、黄永平教授级高级工程师的大力支持和帮助, 在此一并表示衷心感谢!

著 者
于昆明理工大学
2007年9月

Preface

China, as the major tin producer in the world, takes up about one-third of the identified tin reserve and tin production in recent years. Three super-large scale tin-ploy metals sulfide deposits, as named by the Gejiu and Maguan tin deposits in Yunnan Province and Dachang tin deposits in Guangxi Province, account for about 70% of the total tin reserve in China, they are also the major tin production base in China. That the cassiterite-sulfides dominates ores is the major feature of tin ores in China. Gejiu, known as the tin kingdom in the world, is the largest tin production and export base in China, its tin production takes up one-third and over of the total tin production in China, its mainstream production by the brand of "Yunnan Tin" is well-known around the world and awarded with the "National Golden Prize". Yunnan Tin Company is the super-large scale enterprise of the national class, and the largest non-ferrous enterprise in Yunnan Province, and it plays a critical role both in the international tin industry and in the social and economic development in China and Yunnan Province.

Currently, the major issue in the Gejiu tin deposit is on the mineral resources. With the continuous mining in the past years, the Gejiu tin deposit exhausted its major resources, most of the mines can not be operated at its full designed capacity. The worst is that some mines, such as Zhuyeshan, Kafang, Hongqi, Cujing, Gexing, and so on, can hardly be operated with their current identified reserves. The resources issue has already become the fundamental factor that restricts the sustainable development and even threatens the existence of the mining company. Therefore, it bears important social and economic significance to ensure the normal production of mining company and prolong the service life of the mine by strengthening exploration in the depth and surrounding area of the deposits and increasing the mineral resources. The analysis and study over the existing data shows that it is possible to find more mineral resources through composite research and exploration in the potential targets in the depth and surrounding area of the Gejiu tin deposit.

Gejiu tin deposit, as one of the earliest discovered deposit, has a long history of mining. It initially began to produce tin from the Han dynasty but lacks of detail writing record. Since the establishment of the P. R. China, many famous geologists from abroad and China have carried out research on the Gejiu tin deposit, especially, the Geological Party No. 308 of the Yunnan Nonferrous Metals Geological Bureau has done exploration in the Gejiu area for the past 50 years, lots of commercial tin deposits have been explored and identified, and the Geology Party No. 308 has contributed much to the tin industry in the Gejiu area. As for the genesis of the tin deposit in the Gejiu area, most of the geologists from abroad and domestic consistently agreed with the viewpoint that

tin deposit genetically related to the granite. Many foreign geologists (Groves et al., 1972, 1978; Ishihara, 1977, and so on) concluded that tin deposit genetically related with granite, and it formed during the evolution of the phanerozoic geosynclinal folding belt. Many Chinese geologists (Deng Yushu, 1951; Zhang Zhixing, 1984, 1991; Gaozhibin, 1958; 1983; Yin Guodong, 1985; Liu Yuanzheng et al., 1987) have carried out researches on the Gejiu and Dachang tin deposits, and concluded that the tin deposits are of post-magmatism hydrothermal origin of the later Yanshannian crust-soured re-melting granite, and the granite is the parent rock of the mineralization. Under the guide of this theory, some positive exploration results have been achieved in the past, whereas, the writers of this book found that some geological phenomena can not be fully explained by the genetic model of granite origin. For example, the tin mineralization hosted in the Gejiu Formation of the Middle Triassic (ore-hosting strata in Gejiu area) in the Niujie area of the Shiping County, which is far away from the granite. And ore-body-group No. 10, which is newly discovered in recent year in the Lutangba section and multi-layered and paralleled to each other, are hosted in the siliceous carbonate of the Gejiu Formation, the ore-group is 800m away from the underneath granite, and the ores have the typical straticulate banded structure, and the ore contains Au, Ni, Ag, Pt, Sb etc. besides the Sn, Cu and Pb, all these are difficult to be explained by the granitic metallogenesis. The basalts (it is known formerly as the epidibases in the past, but now it is identified as the basalts by that it is widely distributed with stable strata and lots of amygdaloidal structures in it) which are located in the Laochang, Kafang area and their adjacent area with conformably stratified massive copper and tin sulfide mineralization within it (the ore-hosting rock of this type of ore-body is wrongly identified as skarn, but it is really the diopside and actinolite basic volcanic rocks) and the ores have the straticulate structure, and the cassiterite is finegrained and dark colored, probably the cassiterite is of basic volcanic origin. A lot of the intra-strata ore-bodies (identified as the stratiform ore-bodies by the writers), which take up to 50% of the total tin reserve, have a large amount of the remained pyrite and pyrrhotite, widely with concretionary, strawberry-like and bioclastic structure inside. And all of these characteristics are also difficult to be explained through the granitic metallogenesis.

Great progress has been made on the oceanic geology in recent years, and many tin-bearing sulfide deposits formed through the oceanic volcanic-sedimentation and exhalative-hot water deposits have been discovered continuously (Franklin et al., 1988). In foreign country, the mantle ultramafic rocks containing 20×10^{-6} of tin and cassiterite-sulfide mineralization formed through volcanic hot spring have been obtained from deep sea drilling in the middle range in the Atlantic ocean (Chen Jin et al., 2000). In domestic, geologists such as Tu Guangzhi (1987), Jin Zude (1991), Pen Zhangxiang (1992), Zhou Jianping et al. (1997, 1998) and Li Chaoyang et al. (2000), and so on, have put forward a new view of the non-granitic metallogenesis, which challenges the traditional understanding of the "pure granite tin metallogenesis".

The project team(including many doctor's tutors) of Kunming University of Science and Technology, with Professor Qin Dexian as its leader, consisting of Qin Dexian, Li Yingshu, Xue Chuandong, Fan Zhuguo, Tan Shucheng, Liu Chunxue, Li Lianju, Gao Jianguo, Yan Yongfeng, Cheng Aibin, Gao Zhiwu, Hong Tuo, Zhang Xueshu and Tian Yulong et al., has put forward and confirmed the hypothesis that the epidiorite in the Gejiu area is really the oceanic alkalic basic volcanic rock formed in continental rift by the comprehensive research on the tectonic setting, basic volcanic rock, ore deposit and metallogenic dating combining studying on the occurrence of ore bodies and in-house geochemical analysis by applying the modern metallogenic theory of the volcanic metallogenesis, exhalative and strata-bounded ore deposits. And the basalts play an important role in the formation of the tin mineralization. It is concluded that there exist three metallogenic series and eight ore deposit genetic types in the Gejiu tin deposit. A kind of brand new metallogenic theory has been put forward as the mineralization structure model of the "two stories with one ladder" and genetic model of the "rifting background-volcanic sedimentation-superimposition and remolding by granite" . And new exploration discovers have been made under the above-mentioned mineralization model. This book is a part of the project results, and compiled and edited by Qin Dexian, Li Yingshu and Tan Shucheng.

This book is financially supported by the following projects and fund, i. e. the project of "Study on the volcanic-exhalative sedimentary metallogenesis and minerals targeting" (Project series No. 2003D00008Q) from the Yunnan Provincial Nature Science Fund, the project of "Study on the exploration targeting in the depth and surrounding area and resources increasing expectation in the Gejiu tin deposit" (Project series No. 2000YK-05) from the Yunnan Provincial Cooperation Projects between Provincial Government and Universities and Institutions, the project of "The demonstration study on the exploration technology and technique for the new resources in the Gejiu tin deposit" (Project series No. 2004BA615A-03) from the National Science and Technology Key Task Projects, and Yunnan Provincial Publishing Fund. The book could not be have been written without the helps of experts and Professors from the Kunming University of Science and Technology, Yunnan Tin Corporation, China Academy of Geoscience, Guiyang Geochemistry Institute of China Academy of Science, Guilin Minerals and Geology Institute, and Central South University. The authors are deeply grateful to Senior Geologist Dang Yutao, Sun Shaoyou, Academician Pei Yongfu, He Jishan and Tang Zhongli, Professor Gao Zhenmin, Senior geologists such as Wu Junde, Tong Xiang, Li Yuxin, Mo Guopei, Yang Baofu, Wang Haiyun, Kang Demin, Ma Zhenfei, Chen Xingshou, Lai Daxin, Shen Silian, Li Zhouwu, Lu Hongji and Yang Wenbao, Professor Jia Guoxiang and Huang Yongping for their great help during the completion of the book.

Authors

Kunming University of Science and Technology
September 2007

目 录

序

前言

第一章 绪言	1
第一节 研究意义	1
第二节 锡矿床研究现状综述	2
第三节 研究工作简况及主要认识和结论	9
主要参考文献	11
第二章 个旧锡矿区域成矿地质背景	15
第一节 大地构造位置	15
第二节 区域地层	16
第三节 区域构造	18
第四节 区域岩浆活动	21
第五节 区域地层锡 (Sn) 地球化学背景	25
第六节 区域地壳演化与成矿	28
第七节 区域矿产	32
主要参考文献	33
第三章 个旧锡矿矿区地质	35
第一节 矿区地层	35
第二节 矿区构造	46
第三节 矿区岩浆岩	51
第四节 矿产	69
主要参考文献	70
第四章 个旧地区印支期玄武岩地质特征	71
第一节 云南省印支期火山岩的区域分布	71
第二节 个旧地区印支期玄武岩地质特征	71
第三节 岩石学特征	82
第四节 火山岩相和火山机构问题	85
主要参考文献	87
第五章 个旧地区玄武岩地球化学特征	89
第一节 采样测试	89
第二节 岩石化学特征	109
第三节 微量元素特征	117
第四节 稀土元素特征	121
第五节 同位素特征	126

第六节 铂族元素特征·····	128
第七节 个旧地区印支期火山作用的演化·····	131
主要参考文献·····	131
第六章 矿床地质·····	134
第一节 成矿系列概述·····	134
第二节 个旧锡矿成矿系列与矿床类型的划分·····	137
第三节 矿床地质特征·····	137
主要参考文献·····	149
第七章 矿床地球化学及成矿作用演化·····	151
第一节 微量元素·····	151
第二节 金属元素分带模式·····	152
第三节 稀土元素·····	158
第四节 硫同位素·····	160
第五节 铅同位素·····	162
第六节 成矿时代·····	162
第七节 矿物气液包裹体特征·····	169
第八节 成矿作用演化·····	170
主要参考文献·····	172
附录 I 岩石学图版及其说明	
附录 II 野外及矿石光片图版及其说明	
附录 III 矿石光片镜下图版及其说明	

第一章 绪 言

第一节 研究意义

个旧锡铜多金属矿区,属云南锡业集团公司的生产矿山,简称个旧锡矿,是世界著名和中国最大的锡生产、出口基地,是中国锡工业的龙头骨干企业,在世界锡行业中排名第二。云南锡业集团采、选、冶配套完善,历史悠久,现有职工 8 万多人。其主导产品“云锡牌”精锡连续三年获国优金奖,在伦敦金属交易所(LME)注册的“YT”商标,系国际名牌产品。云南锡业集团是云南最大的有色金属大型企业,也是红河哈尼族彝族自治州和个旧市的支柱产业,半个世纪来的锡产量名列世界前茅。截至 1999 年,累计生产金属 104 万 t,其中 Sn 64 万 t、Pb 25 万 t、Cu 11 万 t,还综合回收了 Zn、Ag、Fe、S、W、Bi、In 等多种金属,共上缴利税 25 亿元,在地方经济和国民经济中起着举足轻重的作用。

个旧锡矿虽然探明锡储量居世界前列,但经多年开采,矿产资源消耗量大。目前资源危机问题严重,大多数矿山生产达不到设计能力,后续接替资源不足,难于维持矿山正常生产。云锡集团公司共有矿山 16 座(其中坑下 11 座、露天 5 座),现已办理或正在办理关闭破产矿山 11 座(其中坑下 6 座、露天 5 座),占矿山数的 68.8%。正在生产的马拉格、塘子凹、老厂及松树脚等矿山保有储量仅可供矿山开采 5~10 年。资源问题已成为严重制约矿山企业发展、甚至威胁企业生存的根本问题。个旧市区现有人口约 20 多万人,主要由云锡集团及其相关单位的人员构成,是我国“四矿”问题的典型。个旧有色金属工业的兴衰与地方经济以及国家锡资源战略息息相关。因此,加强找矿研究,以期扩大资源储量,维持矿山正常生产,延长矿山服务年限,是目前矿山的当务之急。

已有资料分析研究表明,矿区深部和外围还有较好找矿前景。个旧地区处在特提斯巨型锡矿带与环太平洋巨型锡矿带交接部位的滇东南锡矿带上,印支-燕山期构造岩浆作用强烈,成矿条件得天独厚,具有超大型锡矿和超大型铜、铅、锌、银多金属矿形成的地质环境。个旧矿区面积约 1580km²,成矿条件较好的约 500km²,已评价勘探区仅 64km²,大部分地区研究程度低。其中不少地段已作了一些前期工作,如老厂矿田与松树脚矿田之间的空白地段、老厂矿田东部空白地段、卡房矿田与龙树脚矿田之间的空白地段,个旧西区陡崖、保和以及各矿田的深部,获得了不少好的找矿信息,但缺乏进一步找矿科研,尚未打开找矿思路。特别是个旧地区往深部(500m 以下)多为接触交代型矿床和火山岩型矿床,其铜储量大、品位高(据局部揭露含 Cu 2%~5%)。云南锡业集团自 20 世纪 80 年代以来,通过自筹资金找矿科研和勘查,每年新增锡储量 1 万~2 万 t,铜储量 2 万~3 万 t,也说明个旧矿区深部和外围还有较大找矿前景。如果通过进一步找矿和科研,可以扩大找矿远景,增加铜锡资源量。

近十多年来国内外重视老矿山深部和外围找矿预测研究,将大部分矿产勘查资金投

向于老矿山深部和外围找矿。其原因之一是老矿区成矿条件优越，为矿化集中区，找矿潜力和找矿成功概率大；二是前期研究基础好，已知找矿信息多，比起新区找矿预测的周期短、成本低；三是老矿山已有现成的生产系统和矿山生产的外部条件，找到矿接着就可开采，节省矿山建设时间和投资，降低生产成本。

许多老矿山由于重视矿山深部和外围找矿，在新的成矿理论的指导下，通过对已有资料的系统整理和再认识，应用新的方法和手段，在老矿区深部及外围找到了新的矿床。近十多年来国外新发现了一批大型、超大型有色金属和贵金属矿床，其中大部分是在已知老矿区发现的。如智利新发现的五个大型铜矿床，都在已知的安第斯山斑岩铜矿带上；加拿大在萨德伯里老矿区新发现了两个大镍矿；澳大利亚在已知朗希尔矿田发现了巨型“世纪”铅锌矿等。我国在老矿山找到新矿床的例子也不少，如辽宁青城子铅锌矿外围新找到了高家堡子大型银矿和桃园大型金矿；云南东川铜矿近年新发现的大型金矿；云南北衙铅锌矿区新找到大型金矿，云南中甸红山-郎都铜矿外围新发现的大型斑岩铜矿等。

第二节 锡矿床研究现状综述

在对锡矿成因的 200 多年的探索中，地质学家们比较一致地认为锡矿床与花岗岩在成因方面有着密切的联系 (Barsukov, 1974, 1966; Chappell and White, 1974; Groves et al., 1972; Ishihara, 1977; Taylor, 1979)，而现在却有越来越多的事实表明海底喷气作用也是形成锡矿的一种重要途径。Mulligan(1975) 在论证加拿大锡矿资源时，首先提出 Sullivan 和 Kidd Greek 等典型块状硫化物矿床中 Sn 可作为副产品回收，其后 Lehmann 和 Schneider(1980) 在著名论著“层控锡矿床”中揭开了层控锡矿床研究的序幕，他们总结了不同类型矿床的特征及组成，如层控锡矿床、层状含锡块状硫化物矿床、含锡层状夕卡岩、与火山沉积有关的层状交代锡矿床和产于石英岩、长石砂岩中的层状锡矿床等。这不仅合理地解释了一批与岩浆作用关系不明显的热液矿床的成因，打破了以往关于锡矿床成因的“唯花岗岩热液成矿说”，大大开阔了人们对锡矿床成因的认识和寻找锡矿床的思路，并且在找矿实践中取得了巨大的成功。Hutchison(1979) 提出 Rennison Bell 锡多金属矿床在海底热水喷流方面的依据，Lehmann 和 Schneider(1980) 对全球层控锡矿床的系统总结将这方面研究引入高潮。

一、基性-超基性岩与锡矿床的成因关系

原苏联远东滨海省南部的锡石-硅酸盐矿床常与基性岩墙有关，原苏联还有超镁铁质岩含锡较高的报道 (Barsukov, 1974)，如二辉橄榄岩含锡 3.8×10^{-6} 、斜辉橄榄岩含锡 2.0×10^{-6} 、纯橄榄岩含锡 0.6×10^{-6} 、榴辉岩含锡 1.4×10^{-6} 、金粗面岩含锡 1.9×10^{-6} 。1974 年在大西洋洋中脊钻探中获得的地幔超基性岩含锡 20×10^{-6} ，并且见到火山热泉引起的锡石-硫化物矿化现象。

从洋中脊溢出的玄武岩、粗玄武岩或橄榄岩含锡和其他金属矿化的现象不乏其例。原苏联学者 Taylor(1979) 曾经报道过某些超基性岩及其铁镁质矿物（如铬云母）中有

一定的锡含量；Radkevich(1978)曾经提出 Maritime 锡石-硫化物矿床与基性岩墙或闪长岩有关；在加拿大地盾太古代 (Abitibi) 绿岩带 Ecstall 矿山的锌铜银铅矿体中回收锡矿 (Mulligan, 1978)；澳大利亚塔斯马尼亚的芒特比肖夫-曾尼贝尔锡矿田为与海相基性火山活动有关的火山-沉积锡多金属硫化物矿床 (含锡 1%，铜 0.3%) (Onikhi-movskiy, 1972)。

Shcheglov(1991)把锡矿床分为壳源型和幔源型两类。

壳源型锡矿床以高温石英脉、含锡云英岩和伟晶岩为代表，以出现矿石矿物锡石、黑钨矿 (白钨矿)、辉银矿的稳定三元组合为特征。这些矿床与冒地槽演化中晚阶段侵位的浅色花岗岩 (通常是伟晶状二云花岗岩) 有成因联系 (如外贝加尔地区、鲁德内阿尔泰等)。

然而幔源型锡矿床就其表现形式和矿物成因特征而言，则更为复杂，其特征为：①产出构造地质特征方面：通常产出与构造-岩浆活动有关的深大断裂带、基底块状构造、隐性穿透性断裂和环形构造中。②岩浆作用特征方面：矿床与中酸性、酸性侵入-火山成因岩体有关，产于岩体边缘；含矿杂岩体具较高的 K/Rb 值；某些地区岩浆活动呈逆向演化，矿田中产出基性岩脉群。③矿物学-地球化学特征方面：地幔锡矿床以具若干复杂阶段矿石建造为特点，晚期依次出现多金属阶段、玉髓阶段和碳酸盐阶段；伴有铜矿化；矿石矿物、电气石中特征元素是 Cr、Ti、Co、Ni 和 V；硫同位素组成接近陨石硫。④地壳结构层特征方面：大陆壳厚度减薄，基性层 (尤其是地幔) 隆起；地壳厚度急剧变化，深部密度降低。⑤与钼的关系方面：对于地幔锡矿床钼是相克元素；与此相反，在地壳锡矿床中，锡矿化与钼矿化密切相关。

关于锡在不同岩石中的丰度各家在不同地区、不同时期所测定的数据相差较大，很不一致 (李在基, 1987; 毛景文, 1991; 杨世义等, 1987)。这可能是由于样品的代表性差和分析方法的准确性低引起的，也有可能这本身就代表了地球含锡量的不均一性。就陨石的含锡量而言，镍铁陨石和铁陨石的锡丰度远比球粒陨石 ($0.50 \times 10^{-6} \sim 1.00 \times 10^{-6}$) 和硅酸盐陨石 (5.00×10^{-6}) 的高。镍铁陨石 100×10^{-6} ，铁陨石 $0.20 \times 10^{-6} \sim 7.72 \times 10^{-6}$ ，平均值为 6.70×10^{-6} 、 2.00×10^{-6} 。它们都超过地壳中超镁铁质 ($0.35 \times 10^{-6} \sim 0.50 \times 10^{-6}$) 和镁铁质岩石 ($0.90 \times 10^{-6} \sim 1.20 \times 10^{-6}$) 的含锡量和中性岩浆岩的平均含锡量，有的甚至超过花岗岩的平均含锡量 ($3.5 \times 10^{-6} \sim 3.6 \times 10^{-6}$)。陨石中锡丰度的变化，表明了锡元素的亲铁性质；在褶皱带的锡矿床中经常出现含锡磁铁矿矿体，是具体而又明显的表现。郭文魁 (1987) 从陨石、超镁铁质、镁铁质和硅铝质岩石的含锡丰度以及锡元素的亲铁习性，提出了锡来自地幔。

在国内与基性超基性岩有关的锡矿床主要分布在广东西岭、内蒙古东部地区和广西桂北地区 (黎应书等, 2005)。

自 20 世纪 80 年代初以来，中国不少学者也开始进行该方面研究。通过在广西桂北锡成矿区 (毛景文等, 1986; 毛景文, 1991; 陈骏, 1988)、曾家垅和都龙锡矿床 (陈骏, 1988) 等地作了比较详细的工作，取得了可喜成果。

20 世纪 70 年代中期以来，从共生角度对锡矿床研究所作出的最大贡献在于证明了锡矿成矿作用并不完全依赖于花岗岩的分馏演化和富集成矿，Sn 在地壳中的其他初始富集与成矿也是 Sn 在地质历史演绎和成矿中不容忽视的基本因素之一。地球中 Sn 元

素分布的不均一性，海底喷气作用、基性火山喷发和古砂锡矿的再造作用都是 Sn 在地壳中初始富集的具体表现及锡矿化富集的方式。虽然目前已知的层控锡矿床在数量上远不及与花岗岩有关的锡矿床，但是对这种新的成矿现象的挖掘和新的成矿理论的探讨，深化了人们对锡矿成因多样性的认识。随着人们对这类矿床重视和综合利用程度的提高，层控锡矿的重要性也将日益显露出来。

层控矿床理论经过长期的发展和实践检验已逐步趋于完善。现在，人们普遍认识到层控矿床是寓外生与内生、同生与后生于一体，介于同生与后生、外生与内生之间的一类矿床。

一般认为锡矿床的形成与花岗岩热液关系密切。但近 25 年来，存在碱性的基性岩和超基性岩形成锡矿床的证据越来越多。已有相当多的证据表明，地幔和幔源岩也与锡矿化关系密切。锡在不同的环境中可表现出亲硫性、亲氧性和亲铁性，一般以亲氧性最强，并显示了地球分异过程中不断趋向于向地球上部硅铝层聚集。地幔中锡分布的不均匀性产生了局部的富锡地壳。Lehmann(1994) 总结说，经过聚生、核幔分异作用、壳幔分异作用和壳内分异作用，锡在地幔、下地壳和上地壳的丰度分别为 0.13×10^{-6} 、 1.5×10^{-6} 、 $2.5 \times 10^{-6} \sim 5.5 \times 10^{-6}$ 。锡不仅对地球不同层圈具有不同的亲和性，而且在地球内分布也呈高度的不均匀性，可以在某一个成矿带内相对集中，且往往多旋回成矿。在该区带内，锡在不同成因的地壳岩和地幔岩中都比较富集。例如，九万大山-元宝山锡多金属成矿区中，超镁铁质岩、镁铁质岩、花岗闪长岩、黑云母花岗岩、变粉砂岩、变泥岩分别含锡 7.0×10^{-6} 、 15.3×10^{-6} 、 22.4×10^{-6} 、 40.3×10^{-6} 、 14.8×10^{-6} 和 12.3×10^{-6} (毛景文等, 1986)。世界上 82% 以上的锡矿集中在华南、东南亚、玻利维亚、澳大利亚、英国西南部等地区。其中华南地区的面积仅占全球陆地面积的 0.7%，却集中了世界锡矿资源的 30% 以上。一般认为的基性岩、超基性岩的贫锡现象，可由其保锡能力不如中酸性岩来解释。实验和理论推导证实，岩浆岩保锡能力取决于岩浆中矿物晶格容纳锡的能力、岩浆中挥发分的种类及含量、初始岩浆物理化学条件及其在演化中的变化、周围环境的圈闭能力等因素 (Ma Hong, 1984)。

研究认为，可能产出锡矿的基性岩、超基性岩大概只能出现在古克拉通之上；后期地壳强烈活动的地区，古地层中的锡向年轻地层中转移；有利的产锡环境是深海盆，大陆玄武质岩浆因上侵距离大、喷发时间长而导致锡的逸散。一般来说，锡矿带产于大陆板块与大洋板块的拼接处、地槽褶皱区与稳定地块的连接区以及长期活动的深大断裂中。深断裂在长期地质时期内的活化和它们与各种成分岩浆活动及火山活动的关系说明，它们的存在与其说决定于该区地壳结构的特点，不如说决定于在上地幔发生的一些作用和构造。在锡矿发育的不同地区，一般都有较高原始锡含量（超过克拉克值 3~30 倍）的高钾玄武岩或碱性基性岩及超基性岩，如波罗的地盾南部及中欧波希米亚岩体的锡矿省以及华南一些锡矿省——如云南个旧 (李树基等, 1984)，康滇地区 (金明霞等, 1985)，广西大厂、九毛、宝坛 (李在基, 1987; Ma Hong, 1984)，四川岔河、钼钴 (Ma Hong, 1984) 等。因此，相当数量的大型内生锡矿床在空间上与含锡碱性的基性岩和超基性岩共生，这无疑说明了它们的共生联系。碱性的基性岩和超基性岩一般组成小岩体和岩墙，而低碱的拉斑玄武岩具有相当范围的区域性分布，形成大的侵入体或广泛的熔岩被。这是因为高碱基性岩和超基性岩的母岩浆是由上地幔较深部位熔融产生

的，其熔融程度比拉斑玄武岩原始岩浆低。因此，在锡矿床发育区，碱性的基性岩和超基性岩比拉斑玄武岩更富锡。

可见，在各个地质时期和各个不同地区，含锡碱性的基性岩和超基性岩的原始岩浆由上地幔熔出以及这些岩石与锡矿床的空间关系不是偶然的。可以作出这样的结论：含锡碱性的基性岩和（或）超基性岩可以作为预测新的未知锡矿带（省）的重要找矿标志。

郭文魁（1987）指出，“从找矿角度出发，海下侵入和喷发的超铁镁质和铁镁质岩石区是值得注意的找锡远景区”。

二、喷流热水沉积成矿作用及国内外锡矿研究进展

矿床成因的确定一直是矿床学界争论的焦点，三百多年来“水火之争”从未间断。经典的成矿学说对不同的成矿作用只强调它们的区别与对立，认为多数矿床不是外生就一定是内生，不是同生就一定是后生。由于热液成矿过程的长期性（以数十万或数百万年计），而且成矿都在地下深处进行，人们无法直接观察其全过程。同时，成矿过程极其复杂，包括地质作用、化学作用、物理作用等，很难进行接近实际的成矿模拟实验。所以，在与热液有关矿床成因研究方面，推测和假设的比重更大，可靠的论证材料显得不足，这导致出现众多新的成矿理论学说。这一方面反映成矿过程极为复杂，另一方面表明这些理论大多可信度相对较低。

早在 1948 年，瑞典海洋考察船“信天翁”号在红海中部（21°10'N，38°09'E）水深 1937m 的地方发现了水温与盐度的异常，揭开了人类认识海底热水作用的序幕。20 世纪 60 年代中期，美、英、德的考察船不仅证实了瑞典人的发现，而且发现了富含 Fe、Mn 及 Zn、Cu、Cd、Pb 和 Ag 的多金属软泥，标志着研究海底喷流成矿作用的开端（戴问天，1985）。1978 年美、法、墨西哥联合小组用 Cyana 号潜水器，在东太平洋脊 21°N 首次发现了海底热水硫化物（Hekinian et al., 1980）。翌年，美国 Alvin 号潜水器再度下潜，发现了正在喷发的温度高达 350℃ 的热液流体，当其与海水混合时，析出了 Cu、Fe、Zn 等的硫化物微粒，形成了所谓“黑烟囱”（black chimneys）（Cyamex Scientific Team, 1981）。此后，日、澳、加和原苏联等国的科学家相继开展了这方面的调查研究。到 1993 年底，在已进行了系统调查的不到全球洋壳表面 1% 的地球上，共发现了 139 处海底喷流成矿（矿化）点（翟裕生，1997）。其中，红海 Atlantis II 深渊已达到大型矿床的规模（Zn 3.2×10^6 t；Cu 0.8×10^6 t；Pb 8×10^4 t；Ag 4500 t；Au 45 t）（Rona, 1988）。

近年来，人们在地热勘察、评价和利用过程中又证实了陆相环境中喷流成矿作用的存在。如美国索尔顿湖地热系的 Fe-Mn-Cu-Pb 矿化、新西兰 Brandlands 等地热水沉积物中的 Au、Ag、Hg、Ti 矿化以及我国腾冲地热系中的 Au、U 矿化等（颜文等，1993）。这些资料表明了喷流成矿作用的普遍性。

根据对 Atlantis II 深渊中的喷流热水沉积成矿作用的考查与研究，发现沉积物的主要组分有 Fe、Mn 和 Si，热水中微量元素最积极参与成矿的有 Zn、Cu、Pb、Cd、Ag、Ba。溶液气相成分中的 H₂S 和 CO₂ 对成矿作用有重大影响。热水中的金属主要以氯化物络合物的形式迁移。喷出的炽热酸性溶液遇到海水被冷却稀释、中和，金属络合物受

到破坏、水解，各种元素都参与到复杂的成矿反应中去，结果形成了极其复杂的矿物共生组合，其中包括 Fe、Mn 及有色金属的氧化物、硫化物、硅酸盐、碳酸盐和硫酸盐等（张立生，1994）。

20 世纪 60 年代以来，由于测试技术与手段的改进和提高，为研究热液矿床矿质来源创造了条件。近代矿床学已初步摆脱经典的、受某一地质作用限制的相对立的假说——内生作用对外生作用、岩浆矿床对沉积矿床的影响，正转向一个以整体地质环境为背景，以各种地质作用相互联系为主线的地球动力学方向（geodynamic prospect），并从矿床的源区和源岩出发，在不同的地质作用下特别是与挥发组分的参与相结合，追溯矿床的形成过程。20 世纪 70 年代，各种边缘类型矿床，包括火山沉积热液矿床、远成热液矿床（telethermal deposits）等方面的发展，促使矿床学研究出现了转向上的变化，国际方面则逐渐形成被普遍接受的层控矿床理论（stratabound ore deposits）（Wolf et al., 1980）。

从物质组分的共生组合，特别是从地球化学元素的分布上看，任何一个矿床都有着自己特定的元素共生组合，并以之组成某些岩石和矿物的共生，代表其发生时源区的源岩。它们大致与其所处的某一地质作用的源区有关，如花岗岩重熔（anatexis）时的源（source）、基性岩浆部分重熔（partial melting）时的地幔特点等。它们是矿床形成的源泉，并在以后的某一地质作用进程或联合作用进程中发生元素的迁移和集中，形成某些矿化系列和矿石，最后可形成若干矿床或矿床系列。近年来，随着一些过去被忽视的诸种成矿作用，如喷流热水沉积成矿作用、热驱动对流循环成矿作用、低温成矿作用、生物成矿作用等和板块成矿、超大型矿床理论、边界（缘）成矿、垃圾成矿、成矿系统分析、成矿作用动力学等理论或观点的提出和深入讨论，推进了现代矿床学的发展。

喷流热水沉积成矿理论是近 20 年来地学上的重大发现，它导致了成矿理论的深刻变化，使一大批矿床的成矿作用长期以来的“水火”之争，渐趋协调统一。它打破了矿床成因上的“非此即彼”的思想僵局，认为该类矿床的形成既包括火的力量，又包括水的力量，使二者达到了对立与统一。“喷流热水沉积成矿”泛指从深部上升的不同成因含矿热流体喷出海底过程中，与常温海水相互反应，致使矿质沉淀富集的作用，这种成矿作用形成的矿床称海底喷流矿床。不同学者曾冠以“喷气矿床”、“喷流矿床”、“喷流沉积矿床”、“热水沉积矿床”等不同的名称。鉴于这类矿床成矿物质和成矿热液可与岩浆活动有成因关系，也可无成因关系，成矿作用以同生沉积为主，成矿流体上升到海底后以液态为主，而非气态，所以称“喷流热水沉积矿床”（简称“喷流矿床”）更为确切一些（秦德先等，1999）。20 世纪初艾孟斯、林格仑等人建立了主导一时的岩浆热液成矿理论，把地下喷出的热水都认为是与岩浆有关的热液。但仍有一些学者对这一观点持有异议。1925 年，德国著名矿床学家 H. 史奈德洪就明确提出“矿化流体海底上升喷气”的成矿理论，1931 年以前又有人对著名的日本黑矿提出同生沉积海底升华成因的观点，这些新观点在当时并未受到重视。到 1958 年，Ch. Oftedahl 首次系统阐述了海底喷气-沉积成矿假说，并命名为“Exhalative Sedimentary”，在地学界引起了极大的反响和争议。20 世纪 70 年代以后，对红海、太平洋、大西洋的海底考察与研究，为这一假说提供了大量的事实证据。1973 年，Rider 把海底喷气-沉积成矿由假说上升到理论，得到世界范围大多数学者的承认。1986 年第七届矿床成因讨论会上，Russell 将这