

“我国典型金属矿科学基地研究”项目系列丛书

云南个旧超大型锡多金属矿集区 成岩成矿作用研究

程彦博 毛景文 等著



地质出版社

“我国典型金属矿科学基地研究”项目系列丛书

云南个旧超大型锡多金属矿集区 成岩成矿作用研究

程彦博 毛景文
童 祥 莫国培 武俊德 李肖龙 张 娟 著

地 质 出 版 社

· 北 京 ·

内 容 提 要

本次工作在前人研究工作的基础上,以个旧超大型锡多金属矿床及与成矿有关的岩浆岩为重点研究对象,通过系统的野外地质研究和岩石地球化学、矿床地球化学研究,对研究区内中生代大规模岩浆作用与成矿作用的地质与地球动力学背景、金属矿床成因和成矿作用过程进行了系统的研究。研究表明,在晚白垩世时期,个旧地区的地壳物质与地幔物质之间存在强烈的相互作用,个旧矿集区的成矿作用均发生于晚白垩世,矿化为岩浆热液成因而非同生成因。本次工作分别对岩浆作用和成矿作用构绘了相应的模型。

本书可供从事矿床学、找矿勘探学的研究人员,以及大中专院校相关专业的师生参考。

图书在版编目(CIP)数据

云南个旧超大型锡多金属矿集区成岩成矿作用研究 /
程彦博等著. —北京:地质出版社, 2016. 9

ISBN 978-7-116-09960-9

I. ①云… II. ①程… III. ①锡矿床-多金属矿床-
成矿作用-研究-个旧 IV. ①P618.440.1

中国版本图书馆CIP数据核字(2016)第220542号

Yunnan Gejiu Chaodaxing Xi Duojinshu Kuangjiqu Chengyan Chengkuang Zuoyong Yanjiu

责任编辑:李莉

责任校对:王素荣

出版发行:地质出版社

社址邮编:北京市海淀区学院路31号,100083

电 话:(010) 66554646(邮购部);(010) 66554629(编辑室)

网 址: <http://www.gph.com.cn>

传 真:(010) 66554629

印 刷:北京地大天成印务有限公司

开 本:889 mm × 1194 mm 1/16

印 张:16.5

字 数:300千字

版 次:2016年9月北京第1版

印 次:2016年9月北京第1次印刷

定 价:80.00元

书 号:ISBN 978-7-116-09960-9

(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)

总 前 言

矿产资源是一种不可再生的自然资源，是人类社会赖以生存和发展的物质基础。中国是世界上地质演化历史悠久、成矿作用具有多样性的国家之一，自太古宙以来的各个地质历史时期的构造运动在中国都或多或少地留下了记录并伴随有不同规模的成矿作用。世界上最重要的三大成矿域（古亚洲成矿域、滨太平洋成矿域和特提斯—喜马拉雅成矿域）在空间上交汇于中国。多期复合造山铸就了中国独具特色的成矿体系。对于深化中国特色成矿规律的研究，亟须一套代表中国各类矿床的“字典”和科学研究基地作为矿产地质研究的示范区，并成为创新研究基地以及文化普及的园地。

我国已成为世界上最大矿产品进口国和生产国，而且随着国民经济的高速发展，矿产资源短缺的形势将更加严峻，迫切需要破解矿产资源不足之“瓶颈”。只有加大勘查力度，才能有效保障矿产资源供给。迄今，越来越多的老矿山面临资源枯竭或“硐老山空”的严峻局面。在过去 10 多年，我国部署了一系列国家计划项目，例如，“973”计划、科技支撑计划和地质调查专项等，开展区域成矿规律、勘查技术方法以及新区的矿产调查和勘查等。相比之下，对于典型大型矿床，尤其是正在开采的大型老矿山缺乏系统解剖研究，而这些大型矿山揭露出的地质现象极其丰富，往往是成矿新理论和新思维的发源地，对其进行立典性解剖研究，将会大大提升成矿理论。一个大型—超大型矿床从发现—勘查—开采以及开采过程中的多次补充勘查，都拥有一部史诗，包括运用不同勘查技术方法组合开展地质勘查，既有成功的经验，也有失败的教训，对其进行挖掘和总结，不仅能促进对该矿床深部及外围找矿，而且可以运用这些新认识和技术组合在相同景观下有效地开展找矿勘查。

目前，不少大型矿山经过多年的开采资源逐渐枯竭，甚至即将闭坑。一旦关闭和掩埋，许多丰富的地质现象，特别是独一无二的现象将荡然无存。因此，迫切需要在闭坑之前，把每一个重要矿床的地质特征客观地记录下来，以便后人参考。同时，将闭坑老矿山建成博物馆或科普旅游基地向社会开放，必将提高普通民众认识地球、了解资源及其形成过程的认知水平，有益于提升全民保护环境和节约资源的意识。因此，开展大型矿床的立典研究，既是科学技术创新研究和推动找矿勘查的需要，也是保护“历史科学资料”和提高全民科学素质之必须。

典型矿床科学基地有机地融合了创新、教学和科普，在推动全民科学文化素质和科技普及方面越来越发挥着重要作用。典型矿床基地既是科学研究的基地，也是专业教学和科学普及的园地。一些发达国家的矿山在开采阶段乃至闭坑后，都以矿石、岩石和开采历史及其相应的图集和图册为主体建立了一座座矿山博物馆或科技馆。这些博物馆和科技馆逐渐被开发为地球科学技术培训以及古矿业遗迹的参观基地，极大地促进了旅游业的发展和矿业科学技术的普及。

为此，国土资源部于 2009 年启动公益性行业科研专项经费项目“我国典型金属矿科学基地研究”，对我国重要矿种 29 个大型—超大型金属矿床开展立典研究，并建立科学基地。具体包括江西德兴斑岩型铜矿、西藏甲马斑岩—矽卡岩型铜钼矿、云南北衙斑岩—矽卡岩型金（铜）矿、安徽铜陵矽卡岩型铜多金属矿、新疆阿舍勒块状硫化物矿床（VMS 型）铜锌矿、云南东川砂岩型铜矿、甘肃金川岩浆型铜镍矿、河南南泥湖—三道庄斑岩—矽卡岩型钼钨矿、陕西金堆城斑岩型钼矿、新疆可可托海伟晶岩型锂铍铌钽矿、湖南柿竹园矽卡岩—云英岩钨钼铋矿、云南个旧矽卡岩型锡多金属矿、广西大厂锡石硫化物型锡矿、湖南锡矿山中低温热液型锑矿、辽宁弓长岭 BIF 型铁矿、甘肃镜铁山海底喷流沉积型铁矿、安徽凹山玢岩型铁矿、湖北大冶矽卡岩型铁矿、

内蒙古白云鄂博铁稀土建造矿、云南会泽密西西比型 (MVT) 铅锌矿、甘肃厂坝—代家庄热液型铅锌矿、内蒙古东升庙 SEDEX 型铅锌矿、云南金顶热液型铅锌矿、海南石碌沉积变质型铁矿、四川攀枝花岩浆型钒钛磁铁矿、福建紫金山浅成低温热液型铜金矿、山东焦家—玲珑石英脉—蚀变岩型金矿、贵州烂泥沟卡林型金矿、江西冷水坑次火山岩热液型银铅锌矿。这些矿床都是储量巨大、成矿类型具有代表性、成矿方式具有特殊性，而且在我国国民经济建设中曾经或正在发挥重要作用。

此次工作对矿床的矿石组合、结构构造、成矿期次和阶段、围岩蚀变、找矿标志、形成时代、成矿物质来源、成矿物理化学条件、同位素地球化学特征、成矿环境等开展了系统研究，同时，针对各种不同类型矿床研究中存在的关键科学问题开展攻关研究：斑岩型铜矿形成期间从岩浆凝固晚期到成矿流体析出转变过程中组分演变特征与相应的物理化学条件；斑岩铜矿和斑岩钼矿形成环境和物质来源的异同性；古盆地流体来源和运移的驱动力，流体汇聚的规律性；与 A 型或高分异性 I 型花岗岩有关的稀有和钨锡矿床的物质来源，地幔对成矿的贡献及含矿岩体的主要辨别要素；变质古海底喷流型矿床的环境恢复等方面，取得了一系列重要创新成果，在综合研究的基础上，建立了矿床模型。通过收集和整理典型矿床勘查、开采过程中所采用的勘查技术和方法，梳理出不同类型矿床勘查的有效方法组合，提供了矿床成功勘查的范例。

在国土资源部公益性行业科研专项经费的支持下，基于前人找矿勘查和研究成果，结合此次补充研究，编著了“我国典型金属矿科学基地研究”项目系列丛书，既客观地反映这些大型—超大型矿床的基本特点和勘查开发与研究的历史，也充分展示了最新的研究水平。

历时 5 年，项目的顺利执行以及丛书的及时出版，得到了各级主管部门、承担单位和有关矿山企业的大力支持，得益于陈毓川、李廷栋、裴荣富、叶天竺、吴淦国等专家的殷切指导和同行们的热情帮助，值此谨代表项目执行团队 200 余位同仁深表谢忱。

矿床学的研究是一个不断探索、不断深化的过程，尽管编著者付诸很大努力，仍然存在一些不足或错误之处，请读者批评指正。

毛景文 张作衡 吕志成

“我国典型金属矿科学基地研究”项目首席科学家

2014 年 11 月

目 录

总前言

第 1 章 引言	1
1.1 已有的理论基础和认识	1
1.2 个旧锡多金属矿集区的研究历史及存在问题	4
1.3 技术路线及方法	7
1.4 已完成的工作量	8
第 2 章 区域地质背景	10
2.1 构造	13
2.2 地层	15
2.3 岩浆岩	17
2.4 地质演化历史	18
第 3 章 个旧矿集区中生代岩浆作用及意义	20
3.1 岩体地质及岩石学	20
3.2 样品分析测试方法	33
3.3 样品分析结果	34
3.4 花岗岩的成因及意义	95
3.5 碱性岩-铁镁质岩墙的成因及意义	101
3.6 辉长岩与暗色微粒包体：壳幔岩浆混合作用	104
3.7 小结	107
第 4 章 矿床地质特征及成因探讨	109
4.1 个旧锡多金属矿集区矿床地质特征	110
4.2 成矿期、成矿阶段划分及金属元素分带特征	125
4.3 个旧矿集区成矿年代学格架	131
4.4 成矿物质来源与流体演化总体特征	143
4.5 脉状锡多金属矿床	161
4.6 卡房矿田铜矿成因探讨	167
4.7 “层间氧化矿”的成因：铁同位素特征及意义	182
4.8 锡石：微区分析的应用及其意义	192
4.9 小结	213
第 5 章 个旧矿集区中—新生代动力学背景与锡多金属成矿作用模型	215
5.1 个旧矿集区中生代岩浆作用及深部过程	215
5.2 个旧矿集区新生代的地球动力学：锆石 U-Pb 年龄启示	224

5.3 个旧矿集区晚白垩世大规模成矿作用模型 233

5.4 小结 236

第6章 结论..... 237

6.1 本次工作获得的主要认识 237

6.2 尚未解决的科学问题 238

主要参考文献..... 241

第1章 引言

锡的元素符号为 Sn，源出拉丁名字 stannum。锡的相对原子量为 118.69，在元素周期表中的原子序数为 50，属于第 IV 族的元素，位于锑和铅之间，因而具有很多与铅相似的性质，易与铅形成合金。锡是一种银白色的金属，相对较软，具有良好的延展性，熔点较低，约为 232 °C，易于冶炼，无毒，抗腐蚀性较强，电阻率约为 $11.5 \times 10^{-6} \Omega \cdot \text{cm}$ ，热导率为 $60.7 \text{ W} \cdot (\text{m} \cdot \text{K})^{-1}$ 。锡的化学性质不活泼，其原子的价电子层结构为 $5s^2 5p^2$ ，容易失去 5p 亚层上的两个电子，此时外层未形成稳定的电子层结构而易于失去 5s 亚层上的两个电子，以形成稳定的结构，因此锡有 +2 和 +4 两个价态。锡具有 10 种稳定的天然同位素，其中 ^{120}Sn 、 ^{118}Sn 和 ^{116}Sn 的丰度分别为 32.85%、24.03% 和 14.30%，占总和的 71.18%。其中 ^{126}Sn 的半衰期最长，为 10^5 a ，而 ^{132}Sn 的半衰期最短，为 2.2 min。目前世界上已知的锡矿物有 50 多种，按晶体化学可分为自然锡、硫化物、氧化物、氢氧化物、硫酸盐、硼酸盐及金属互化物等 7 类，其中，自然锡为零价，硫化物类的有 2 价和 4 价，其余各类矿物的锡多为 4 价。自然界中的锡主要是以锡石形式存在，其他常见矿物还有黝锡矿（黄锡矿）、辉锑锡铅矿、硫锡矿、硫锡铅矿、硫锡银矿、硼钙锡矿及钽锡矿等。锡的工业矿物较少，真正具有工业意义的锡矿物仅有锡石（ SnO_2 ）和黝锡矿（ $\text{Cu}_2\text{FeSnS}_4$ ）两种，以锡石为主。

1.1 已有的理论基础和认识

1.1.1 锡矿床在全球的时间分布

在全球范围内，锡的矿化在时间上分布不均匀，跨越了一个比较长的时期，主要的形成时代有：元古宙—（前）寒武纪、华力西期、印支期、燕山期及新生代。目前的研究尚未发现有新太古代形成的锡矿床，仅在加拿大 Kidd Creek 发现有可作为副产品回收的锡的初步富集。古—中元古代的锡矿化也十分罕见，目前仅有两例：一处为南非的布什维尔德，另一处为我国的广西宝坛（毛景文等，1988；Mao, 1995）。有重要工业意义的原生锡矿成矿期主要有 5 期：①元古宙—前寒武纪，矿床主要分布于非洲、德国、巴西、玻利维亚、澳大利亚西部及北部、俄罗斯、中国康滇地轴；②加里东中期，矿床主要分布于南非西部、塔斯马尼亚西北部和中国广西钦甲等地区；③华力西中晚期，矿床主要分布于欧洲、澳大利亚的昆士兰与新南威尔士、俄罗斯、哈萨克斯坦、加拿大东部和中国东准噶尔地区；④燕山期，矿床主要分布于俄罗斯的远东地区和雅库茨克、日本、南美玻利维亚和中国华南地区以及中国滇西至缅甸、泰国、马来西亚相连的锡矿带，是原生锡矿最大富集的时期；⑤新生代，矿床主要分布于秘鲁、玻利维亚、墨西哥、中国三江地区及冈底斯地区、俄罗斯兴安岭地区与锡霍特阿林，以及日本（Schuiling, 1967；Schneider and Lehmann, 1977；Lehmann and Lavrean, 1988；Taylor, 1979；Stempork, 1986；毛景文, 1999）。锡矿成矿在印支期进入一个低潮，这期间尚未发现有大规模锡矿成矿事件发生（毛景文, 1999），仅在我国东昆仑地区、云南新寨锡矿及越南、缅甸有少量分布。

关于矿床成因类型与成矿时代的耦合关系,前寒武纪和早古生代以含锡伟晶岩型为主,其次是锡石-石英型;晚古生代和早中生代以锡石-石英型为主,其次是伟晶岩型;晚古生代和新生代的原生矿分别以锡石-石英型为主,很少有伟晶岩型矿化;白垩纪则以锡石-硫化物型为主;新生代少有原生矿,砂锡矿占了绝大多数。总之,原生锡矿类型从老到新由伟晶岩型,经锡石-石英型,向锡石-硫化物型转化(中国有色金属工业总公司北京矿产地质研究所,1987;尹全七,1984;卢戈夫,1977)。

1.1.2 锡矿床在全球的空间分布

就全世界看,锡矿虽然分布广泛,但其分布很不均匀,常以“区”或“带”的形式聚集出现且局限分布在一定的区域或地带。根据全球性锡矿相对集中的部位,可以划分出3个主要的锡成矿带:环滨太平洋巨型锡矿成矿带、欧亚大陆陆内锡成矿带和中南非洲锡成矿带。

锡矿主要分布于环太平洋成矿带,西岸北起俄罗斯的楚克奇半岛,南经俄罗斯东部沿海、朝鲜、我国南部、东南亚直到澳大利亚以东诸岛,近南北延伸约16 000 km;东岸北起美国的阿拉斯加,经北美、南美太平洋沿岸各国向南直达阿根廷,全长14 000 km,近南北向展布。此带内锡储量约占全球总储量的80%~90%(图略)。此外,分布于亚欧大陆内部的英格兰、西班牙、葡萄牙、德国、捷克等国家的锡矿,以大致平行于赤道的条带状分布,储量约占世界锡储量的4%~7%。非洲大陆中南部的尼日利亚、扎伊尔、南非等地的锡矿,产在非洲前寒武纪古老大陆地区,储量占世界锡储量的5%左右。

1.1.3 锡的成矿作用基本认识

地球内部各圈层在分异作用下,Sn元素在地幔、下地壳和上地壳的丰度分别为: 0.13×10^{-6} 、 1.5×10^{-6} 、 $2.5 \times 10^{-6} \sim 5.5 \times 10^{-6}$ (表1.1;图1.1)(Lehmann, 1990)。锡具有特殊的地球化学性质,锡具有亲铁性、亲氧性和亲硫性。因此,锡在不同的地球化学环境下可以生成非常复杂的锡矿物。如在氧化条件下,锡优先形成锡石;在还原条件下,锡可以以铌锡矿-钽锡矿形式存在;在还原的基性和超基性岩浆岩环境中,锡可以和铂族元素等形成金属互化物。在热液矿化过程中,锡既可生成氧化物(锡石)和 $[\text{SnO}_3]^{2-}$ 、 $[\text{SnO}_4]^{4-}$ 等配离子的锡酸盐,又可生成硫化物(硫锡矿)和含 $[\text{SnS}_3]^{2-}$ 、 $[\text{SnS}_4]^{4-}$ 、 $[\text{SnS}_6]^{8-}$ 等配离子的硫锡酸盐。由于锡酸盐和硫锡酸盐都易于水解,生成锡的氧化物,经脱水作用生成 SnO_2 ,所以在自然界中锡石比黝锡矿更为常见。

在岩浆岩类岩石中,Sn的丰度由超基性岩向酸性岩呈有规律的递增,有些地区含锡花岗岩的Sn丰度可以高达 $20 \times 10^{-6} \sim 30 \times 10^{-6}$,说明锡矿富集与酸性程度较高的花岗岩有密切的关系。Stempork(1990)报道了其对世界363个锡矿床和矿化点考察后的结论:285个与花岗岩密切共生;11个与基性程度高于花岗岩的火成岩共生;31个与喷出岩和各类岩脉共生;36个难于找到与岩浆活动的关系。这对上述的结论提供了有力的支持。关于锡矿床的成因,在200多年的探索过程中,地质学家们比较一致地认为与花岗岩在成因方面有着密切的联系。但自20世纪80年代以来,一些学者指出,有些锡矿床是海底喷流沉积或基性火山喷发作用的产物(Hutchinson, 1979; Henry et al., 1982; Erich et al., 1986; Michael and Surjono, 1990; Quinton et al., 1999)。尽管关于矿床成因有不同的观点,但主流还是认为锡矿主要与花岗岩有关,这可以从世界性的地质大会和矿床大会一直将锡矿划为“与花岗岩有关矿床成矿作用”得到反映(毛景文等, 1999)。

表 1.1 地球中不同圈层锡的丰度							$w \text{ (Sn) } / 10^{-6}$			
圈层	地核	下地幔	上地幔	原始地幔	整个地壳	上地壳	地球平均	数据来源		
	1.6							Murthy, 1970		
	70							黎彤, 1976		
	100							Mason, 1971		
		0.5	0.8	0.60				黎彤, 1976		
		0.52	0.79	6		Andeson, 1983				
						2		Clarke and Washington, 1924		
						2.5		Onishi and Sandell, 1957		
						3.1		Vinogradov, 1962		
						3		Hamaguchi, 1964		
						2		Taylor, 1964		
								黎彤, 1965		
								Horn Adams, 1966		
						2.5		Taylor and McLennan, 1983		
						5.5		Ganapathy and Anders, 1974		
							0.71	Morgan and Anders, 1980		
							0.39	陈骏, 2000		
							0.92			

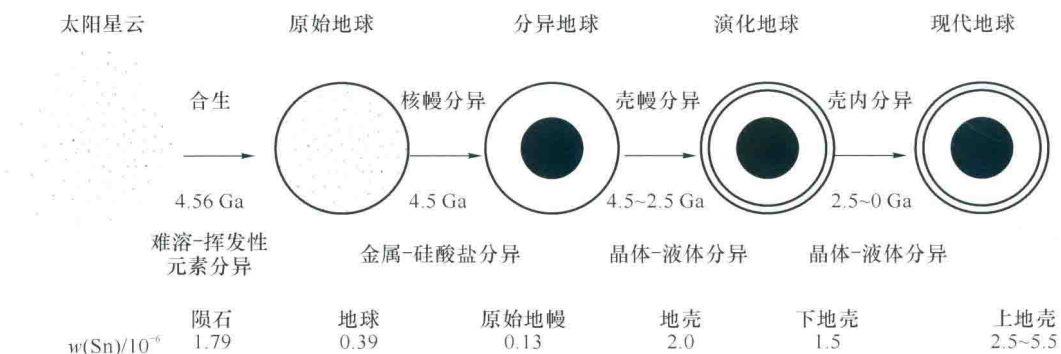


图 1.1 地球演化过程中 Sn 元素丰度分布
(据 Lehmann, 1990)

1.2 个旧锡多金属矿集区的研究历史及存在问题

1.2.1 研究区的工作历史回顾

云南个旧锡矿集区以其悠久的采锡历史以及丰富的有色和稀有金属矿产而驰名中外。据考证，个旧锡矿自汉代发现以来，迄今已有 2000 年左右的采矿历史，但地质矿产勘查研究工作始于 19 世纪末期（庄永秋等，1997）。清朝同治十二年（1873 年），法国地质学家儒伯最先来个旧进行地质考察，其后有法、德、美等国的 20 余位地质学家先后来矿区考察过。1914 年 2 月，我国地质学家丁文江先生首次来个旧开展地质矿产考察，著有《云南个旧附近地质矿务报告》。1934~1938 年，我国地质学家孟宪民、陈恺、熊秉信、丁道衡等在个旧矿集区进行了地质矿务详细调查，先后对矿区地层、构造、岩浆岩及矿床等做了研究，编制了矿区 1:5 万和 1:1 万的地质图。限于当时各种历史条件的限制，地质工作仅限于对矿区的地层岩性、构造、岩浆岩、矿床成因等方面的基础地质作一些概略调查研究，基本上未作矿产勘查工作。

全面和系统的矿产地质勘探和地质研究工作始于新中国成立以后，即 1953 年下半年开始，西南地质局 224 队和西南冶金地质勘探公司 308 地质队先后对个旧砂锡矿进行了全面的地质勘探，同时对脉矿进行了调查，查明了砂矿的形成与原生矿床的关系，为原生矿的找矿勘查提供了直接的找矿标志。到 1956 年基本上完成了矿区的砂锡矿勘探工作，探获锡储量约 80 万 t，包括伴生金属（铅和锌为主）在内的综合储量达 335 多万吨。20 世纪 70~80 年代中期，个旧矿集区层间矿的找矿勘探取得了辉煌的成就，1984 年出版的《个旧锡矿地质》一书系统地总结了个旧矿集区开展地质找矿工作以来的地质成果和矿区的矿床特征及成矿规律，矿区地质找矿也转到以矽卡岩型矿床为重点，从注重锡矿化成矿发展为利用矿区金属元素分带规律进行多矿种的综合找矿，并获得了巨大的成功。

20 世纪 80 年代以后，许多学者从不同角度对其开展了深入广泛的研究，对个旧矿集区锡多金属矿床成因与成矿理论的认识也逐渐呈现出较大的分歧，代表性观点如下：

1) 燕山期花岗岩岩浆期后热液成因认识（黄福生等，1983；西南冶金地质勘探公司 308 地质队，1984；伍勤生等，1984，1987；赵一鸣等，1987；於崇文等，1989；戴福盛，1990；谭允谦，1993；孙绍有等，1995；庄永秋等，1997）。这种认识强调的是个旧矿集区的矿化均与区内花岗岩具有重要的成因联系，个旧锡矿为岩浆热液成因。持这种认识的以西南冶金地质勘探公司 308 地质队（1984）为代表，他们通过大量的野外地质调查，以及当时所能开展的实验室测试分析数据为基础，

提出了上述认识。在这种认识的指导下,在成矿理论和找矿勘查方面均取得了重大的突破;然而,由于当时勘探程度的限制,自那时起至今的近30年中被揭露的矿体和地质现象当时并未发现,因而,不少重要的现象和认识均有待进一步的补充和提升。

2) 海底火山沉积、喷流热水沉积成因认识(金祖德,1981,1991;徐克勤等,1987;涂光炽等,1987;李增荣,1991;彭张翔,1992;罗君烈等,1995)。这种观点最早提出于20世纪80年代,后来不断被不同的学者引用和强调。随着勘探程度的深入,个旧矿集区部分层状矿体(主要是以碳酸盐岩为围岩的“层间氧化矿”)被不断发现并开采。因此,一些国内学者认为个旧矿集区的层状矿应该属于“层控矿床”,并从不同的角度朝着同生成因方向进行了积极的探索。

3) 海底火山沉积、喷流热水沉积为主以及燕山期花岗岩浆期后热液叠加改造的成因认识(周怀阳,1988;周建平等,1997,1999;李朝阳等,2000)。在以“层控矿床”为代表的同生成因成矿理论提出之后,部分学者对这种新认识开始了进一步的审视,发现尽管个旧矿集区存在不少层状矿体,但整体而言,个旧矿集区的矿化与云英岩尤其是矽卡岩密切相关仍然是一个无法回避的事实。在进行了大量对比工作之后,这些学者认为,研究区内与花岗岩密切相关的矿化应该是“后期叠加改造”作用所形成的,个旧矿集区的矿化主体是同生矿化,热液成因的矿化起到了后期的叠加改造作用。

4) “印支中晚期海底基性火山沉积成矿、印支中晚期海底喷流热水沉积成矿、燕山中晚期岩浆热液叠加成矿”成因认识(秦德先等,2008)。21世纪以来,以昆明理工大学秦德先教授为主的科研团队对个旧矿集区的成岩成矿作用开展了大量工作,提出了“两楼一梯”的成矿模式,他们认为个旧矿集区存在多个期次的成矿作用,即与三叠纪玄武岩有关的“印支中晚期海底基性火山沉积成矿”、以三叠纪个旧组碳酸盐岩有关的“海底喷流热水沉积成矿”,以及与花岗岩有关的“岩浆热液叠加成矿”。他们认为个旧矿集区的矿化是多因复成的,对产于接触带的矿体、以玄武岩为围岩的似层状铜矿和以碳酸盐岩为围岩的“层间氧化矿”分开处理,分别提出成因模式。他们对个旧矿集区内的玄武岩开展了系统的研究,包括岩体地质、岩浆期次、岩石学、地球化学,以及玄武岩与矿化的关系等,从而对玄武岩的认识向前迈出了很重要的一步。

5) “红海型热水沉积”成因认识(张欢等,2004,2007;钱志宽等,2009,2011)。在形成这种认识的早期阶段,他们报道了在个旧矿集区发现的鲕状黄铁矿和胶状黄铁矿,并对其中的锡进行了电子探针成分分析,认为其具有热水沉积的特征;随后认为个旧矿集区广泛分布的“层间氧化矿”并非氧化成因,而是具有海底热水沉积作用的特点,是原始的热液沉积产物;并进一步认为个旧锡矿可能是目前发现的唯一的古红海型热水沉积成矿的实例。近年来,持有此观点的作者们对层间氧化矿开展了矿物学的研究工作,报道了他们在个旧矿集区卡房矿田新山矿段发现的“透辉石岩”,并且认为此种“透辉石岩”具有“热水交代岩”的特征。他们在最新的工作中识别出来了一种新的成矿类型,即“锡石-赤铁矿-方解石脉型矿体”,并以松树脚和高松矿田地区的工作为基础,提出了“层间氧化矿”及“红海型热水沉积矿床中铁氧化物型矿床”的成因模式。

不同的观点代表了找矿和勘探的不同方向,上述分歧不仅在认识上造成了混乱,也为进一步找矿勘查带来了极大的困扰。作为世界上最大规模的锡-多金属矿床,正确理解个旧矿集区成矿作用发生的机理,建立客观的矿床模型具有明显的紧迫性。通过建立更加客观合理的矿床模型,不仅有助于推动成矿理论研究进展,也对进一步实现找矿勘探的突破具有重要的现实意义。

1.2.2 面临的科学问题及研究思路

个旧矿集区锡铜多金属储量巨大,有色金属总储量已达1000万t以上,在全球锡矿床中占有重

要地位,具有典型性,在我国国民经济建设中发挥着重要作用。为了深入了解为什么巨量金属在个旧这个几十平方千米、时间仅数个百万年内快速堆积成矿,为什么这种特殊事件出现在个旧而不是其他地区等一系列问题,就需要从更宽的视角去认识其成矿的动力学背景及成矿作用过程。针对这一目标,研究区目前面临的科学问题及本次工作相应的内容与目标如下:

1.2.2.1 矿区内辉长岩-花岗岩-碱性岩-镁铁质岩墙的岩浆作用特征、演化及与成矿的关系尚不明确

本次研究在前人工作的基础上,对所有侵入岩的岩体地质、岩石学、矿物学、元素地球化学、同位素地球化学及成岩年代学开展研究。所研究的岩体包括:贾沙辉长岩体、神仙水暗色微粒包体、白云山碱性岩、长岭岗碱性岩、老厂镁铁质岩墙、神仙水花岗岩、龙岔河花岗岩、白沙冲花岗岩、马松似斑状花岗岩、老厂似斑状花岗岩、老卡等粒花岗岩、新山等粒花岗岩等。

通过翔实的野外地质调查与系统的样品采集,揭示岩体的规模、岩相带及与围岩地层之间的关系;从显微镜下识别岩石的矿物组成、含量、结构,以及矿物之间反映出来的成因信息,进行成岩的物理化学条件判断;开展岩体的主量元素、微量元素、稀土元素、Sr-Nd 同位素、Lu-Hf 同位素,以及 SHRIMP 及 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 的数据测试,从而获得一整套系统的高精度数据资料,完成对这一套基性岩-酸性岩-碱性岩的成因的重新认识。

在此基础上,结合本领域内国内外的最新研究进展,深入讨论个旧锡矿成矿的大陆动力学背景,对比华南西部地区的研究成果,探寻个旧矿集区晚白垩世大规模岩浆作用的深部作用过程,为正确认识成矿作用发生时的背景及演化机制奠定基础。同时,由于钨锡多金属矿床与花岗质岩石具有密切的关系,深入开展花岗质岩石的成岩物质来源、地幔物质对成岩成矿的贡献、花岗岩分异演化过程及与成矿关系,以及含矿性岩体判别等方面的研究,对正确理解研究区内的成矿作用具有积极的意义。最后,结合上述资料,以期对研究区内岩浆作用的时空结构及其演化特征进行重新认识,构筑整个矿区内岩浆作用的格局及与成矿作用之间的关系。

1.2.2.2 不同类型矿体的空间分布规律、与围岩关系及其与其他类型矿床或矿体之间的关系存在争议

本次研究拟针对目前争议较大的问题,通过野外调研和资料收集,着重观察不同成因类型矿体的几何特征,查明各类型矿床之间的时空分布规律和时空结构,例如:层状矿床在空间上是否具有“二元结构”,是否存在热水-化学沉积层等典型的海底热水-喷流沉积矿床宏观特征。厘定出各类型矿床的成矿期次和成矿阶段,矿化蚀变特点及其分带性,矿化元素组合及其时空分布关系。在此基础上,通过选取合适的矿物开展年代学研究,首要问题是得出两种具有不同容矿岩石的层状矿体的形成时代,确定层状矿是否是印支期的产物;同时,在明确划分成矿期和成矿阶段的基础上,测定所有矿床的成矿时代。最终通过不同矿床类型间的同位素精确测年数据对比,解决个旧矿集区是否存在多期成矿作用这一问题。

为了更加全面深入的理解个旧矿集区的成矿作用,需要对与成矿有关的围岩蚀变开展系统的研究。主要包括调查围岩蚀变类型与蚀变的空间展布规律,观察引起各期蚀变事件的地质记录,总结矿化的空间分布规律,包括矿体的形态及成矿元素的分带规律,与围岩蚀变结合,讨论蚀变与矿化之间的关系,并根据成矿的物理化学条件,对成矿物质的沉淀与卸载机制得出初步的认识。

不同的矿化类型需要采用不同的、有针对性的研究方法。对于以玄武岩为围岩的似层状铜锡矿需要以现有的工作为基础,开展成矿流体特征、成矿物质来源等方面的研究。对于以碳酸盐岩为围岩的层间氧化矿(CRD: carbonate-replacement deposits),需要对比与其他的成矿类型成矿流体的差异,揭示成矿物质来源、流体演化、金属卸载机制;对于与矽卡岩有关的矿床则将会从不同的矿区,从纵

向上和横向上选择几十条典型剖面，从矿物组成（野外观察）、矿物分带（野外观察）、物质成分组成（电子探针微区分析）、物理化学条件变化（测定不同阶段矽卡岩矿物中包裹体的温度，以及相关蚀变矿物组合的改变）等方面，判断矽卡岩矿物所属种类，进而推断此种矽卡岩及相伴矿床的形成条件。与此同时，开展与全球范围内典型的同种类型矿床对比研究，尝试从不同的角度探讨矿床成因及成矿过程。

综上所述，本次工作通过对比矿区内不同矿床类型的矿物组合、矿物空间分带情况、流体性质的演化、物质的组分及来源特征等，从时间和空间上分析流体-成矿耦合过程，总结整个矿区范围的成矿规律。讨论岩浆岩与成矿的关系，着重研究花岗质岩浆-成矿流体-成矿物质卸载三者之间的关系。通过对比不同类型矿床的成矿特征，查明成矿流体-矽卡岩-退化蚀变作用-成矿这一过程的规律，从而全面揭示成矿发生的物理过程和化学过程。

1.2.2.3 对成矿流体的特征、演化及与成矿的关系认识有限

尽管个旧有世界上规模最大的锡矿床，但对于其系统的成矿流体研究尚显不足。本次工作针对不同的成矿类型进行流体包裹体研究，在此基础上，探讨个旧锡矿的成矿作用及影响因素，包括成矿的温度、盐度，研究个旧锡矿形成的地质及物理化学条件。结合氢、氧、硫等同位素和矿区内火成岩和沉积岩的地球化学资料，示踪成矿流体的来源及其演化规律，探讨金属成矿物质来源，并进一步探讨个旧矿集区原生金属分带规律的成因机制和成矿流体的运移规律。同时开展与类似矿床的对比研究，尤其是对比国内外典型与花岗岩有关的锡矿床、成因争议性大的锡矿床。

1.2.2.4 精细的矿床模型亟须建立

矿床模型是找矿勘查的理论基础，是对矿床的形成过程、时空分布特点和找矿标志的高度概括。客观而有效的普适性矿床模型可以有效地指导在成矿区带开展找矿评价。而运用矿床模型开展找矿评价的关键就是正确识别矿床类型，合理运用矿床模型，把握矿化之间的时空关系，正确部署探矿工程，这对于实现矿产资源的经济价值具有重要意义。

本轮工作拟通过上述系统工作，明确个旧矿集区是否存在海底火山或海底喷流沉积作用形成的矿体，确定不同类型矿体的成因，判断两种类型的层状矿体与其他类型的矿体是否为统一成矿作用系统的产物。同时结合整个矿集区成矿作用的时空结构、各类型矿床之间的内在联系、不同类型矿床成矿特点及异同性、大规模流体来源、运移和卸载成矿及其巨量金属快速堆积的机制，建立具有普适性意义的个旧超大型锡多金属成矿模型。

1.3 技术路线及方法

本次工作拟针对上述研究内容和关键科学技术问题，合理地选择研究对象，采用野外调查和室内研究相结合的研究技术路线开展工作：

1) 系统收集与全球主要锡矿床和个旧锡多金属矿床有关的资料和数据，对所获资料（数据）进行梳理，开展对比、分析和归纳工作。

2) 对个旧锡多金属矿集区进行深入的野外地质调查，尤其对近年来随着开采深度和范围增加而揭露的新现象进行重点观察和调研，以加深对矿体特征、矿石类型、矿物组合及时空变化规律、围岩蚀变，以及矿区、矿田内的地层、构造和岩浆岩特征及其与成矿的关系等方面的认识。

3) 结合现代分析测试技术和方法对个旧矿集区与成矿关系密切的岩浆岩开展工作，包括岩石地球化学、同位素地球化学、地质年代学等，例如运用锆石 U-Pb（包括 SHRIMP 和 LA-ICP-MS）等测年方法准确测定成岩时代，运用 Sr-Nd-Hf 同位素探讨岩浆物质来源等。通过对区内花岗岩、

辉长岩、闪长质包体、碱性岩和镁铁质岩墙开展系统研究,结合前人在华南地区西部几个邻近矿集区内相关的研究成果,深刻认识晚白垩世大规模钨锡成矿的动力学背景。

4) 选择成因上无异议的矿化类型作为研究对象,运用云母 Ar - Ar 和辉钼矿 Re - Os 等测年方法准确测定成岩成矿时代,对不同阶段的矿化开展流体包裹体显微测温,并运用 H - O - S 等同位素探讨成矿物质来源和成矿流体特征,探讨研究区内成矿作用总体特征,为对比其他成因不明的矿化类型奠定基础。

5) 选择目前存在争议的矿化类型进行重点解剖,并从横向和纵向上对比其余几个矿田,以系统的流体包裹体、H - O - S 同位素研究为基础,选择成矿物质来源和成矿流体特征为切入点,对不同的矿化类型选择有针对性的技术手段开展工作,以勾勒出成矿物质来源、运移和卸载过程,尤其是巨量物质快速堆积机制,进而探讨矿床成因和成矿过程。

对于争议较大的以玄武岩为围岩的层状铜矿床,工作过程首先开展详细的野外地质调查,对具有代表性意义的矿体开展坑道剖面测量工作,从地质的角度初步认识影响和控制矿化的因素。以此为基础,开展系统的辉钼矿 Re - Os 法和云母 Ar - Ar 法测年、流体包裹体显微温压测试及 H - O - S 同位素实验研究,查明不同成矿环境中成矿流体的差异和铜的物质来源是否一致,从而回答该类铜矿床究竟是同生成因还是后生成因这一争议问题。

对于研究程度比较低却同样存在争议的“层间氧化矿”,在准确厘定成矿阶段、矿物共生组合、矿化蚀变分带的基础上,对整个矿田开展系统的成矿作用年代学格架厘定,主要运用 Re - Os 和 Ar - Ar 法开展系统测年;同时,开展成矿流体方面的研究以探讨其成矿过程。在此基础上,与矿区内无异议的矿化类型开展对比研究,初步认识该类矿化的成因。

6) 积极运用新技术新方法服务本项研究。针对长期以来个旧矿集区锡矿成矿时代不清这一问题,本次工作过程中与国外相关实验室开展合作,以锡石为研究对象,创新性地运用 LA - ICP - MS 锡石 U - Pb 定年技术,获得了个旧矿集区锡矿化的直接年代。同时运用 SEM - CL 技术,对个旧矿集区不同成矿环境中的锡石开展显微结构研究,首次揭示出锡石在阴极发光下的清晰环带;并通过将四极杆与激光系统结合起来,对上述锡石开展微区原位微量元素成分测试,获得了一批高精度的数据,从更加精细的角度来认识矿床成因和成矿过程,拓展了锡矿研究的范围。

对于区内的“层间氧化矿”,选择高松矿田为研究对象,以原生硫化矿和地表铁帽为端元,分别采集不同氧化程度的矿石开展 Fe 同位素测试。揭示 Fe 同位素在表生作用过程中的行为,并以期从非传统同位素的角度来制约此种类型矿床的成因和形成过程。

7) 通过系统总结本次工作中获得的不同类型侵入岩的形成时代、元素与同位素地球化学特征、成矿元素的分带规律、矿化时代、成矿流体演化规律、成矿物质来源和成矿作用过程总体特征,理清岩浆岩 - 流体 - 矿床三者时空和物质演化方面的关系,提出矿集区尺度的岩浆作用模型和矿床模型。

1.4 已完成的工作量

在执行项目的过程中,课题组先后 6 次到个旧矿集区及周边地区开展野外地质调查工作,对个旧矿集区马拉格、松树脚、高松、老厂和卡房等五大锡铜多金属矿田,以及龙岔河复式花岗岩、贾沙辉长岩、贾沙暗色微粒包体、白云山碱性岩、老厂东部镁铁质岩墙,以及矿区内所有与成矿有关的花岗岩进行了系统的观察和研究,收集了丰富的第一手资料。同时,在工作过程中,我们也进行了深入细致的室内研究和测试工作。

完成的主要工作量如下：

1) 野外工作时间 >8 个月，采集样品 >1000 件，野外素描 >30 件，野外照片 >800 张；

2) 磨制岩石薄片、探针片、包裹体片和矿石光片共计约 500 片，对各种片子的显微镜观察累计超过 300 h，采集各类显微照片 >1000 张。

3) 显微镜下详细岩石样品描述 117 份，获得锆石阴极发光照片约 200 张，SHRIMP/LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄 17 个，主量元素与微量元素数据 134 份、Nd-Sr 同位素数据 55 份、Hf 同位素 186 个数据点。

4) 流体包裹体测温 54 张片子 (728 个点)，氢同位素数据 28 件，氧同位素数据 42 件。

5) 硫同位素数据 98 件，铁同位素测试 23 件。

6) 辉钼矿 Re-Os 年龄测试 10 件，云母 Ar-Ar 年龄测试 13 件。

7) 锡石 SEM-CL 分析 108 份，锡石 LA-ICP-MS 原位微量元素分析 96 套，锡石 LA-ICP-MS 测年分析 160 个点。

第2章 区域地质背景

位于华南西部的右江盆地边缘分布着一批世界级规模的锡钨多金属矿床，包括滇东南的个旧锡矿、大厂锡矿、都龙钨锡矿、白牛厂银锡矿等，以及桂西的大明山钨矿、王社铜钨矿等。其中个旧和大厂都是世界级的超大型锡多金属矿床。

右江盆地地处扬子、印支和华夏板块交接部位（图 2.1），是泥盆纪至三叠纪期间形成的一个沉积盆地，为古特提斯和滨太平洋构造域复合作用下的产物。区内出露地层主要有寒武系、泥盆系、石炭系、二叠系、三叠系及第四系。其中三叠系在该区分布最广，地层发育和出露良好，地层厚度最大，绝大部分为碎屑岩相，中三叠统广泛发育浊积岩。盆地内断裂十分发育，共有北西、北东、南北、东西向 4 组主干断裂群，但以北西向为主（图 2.2）。

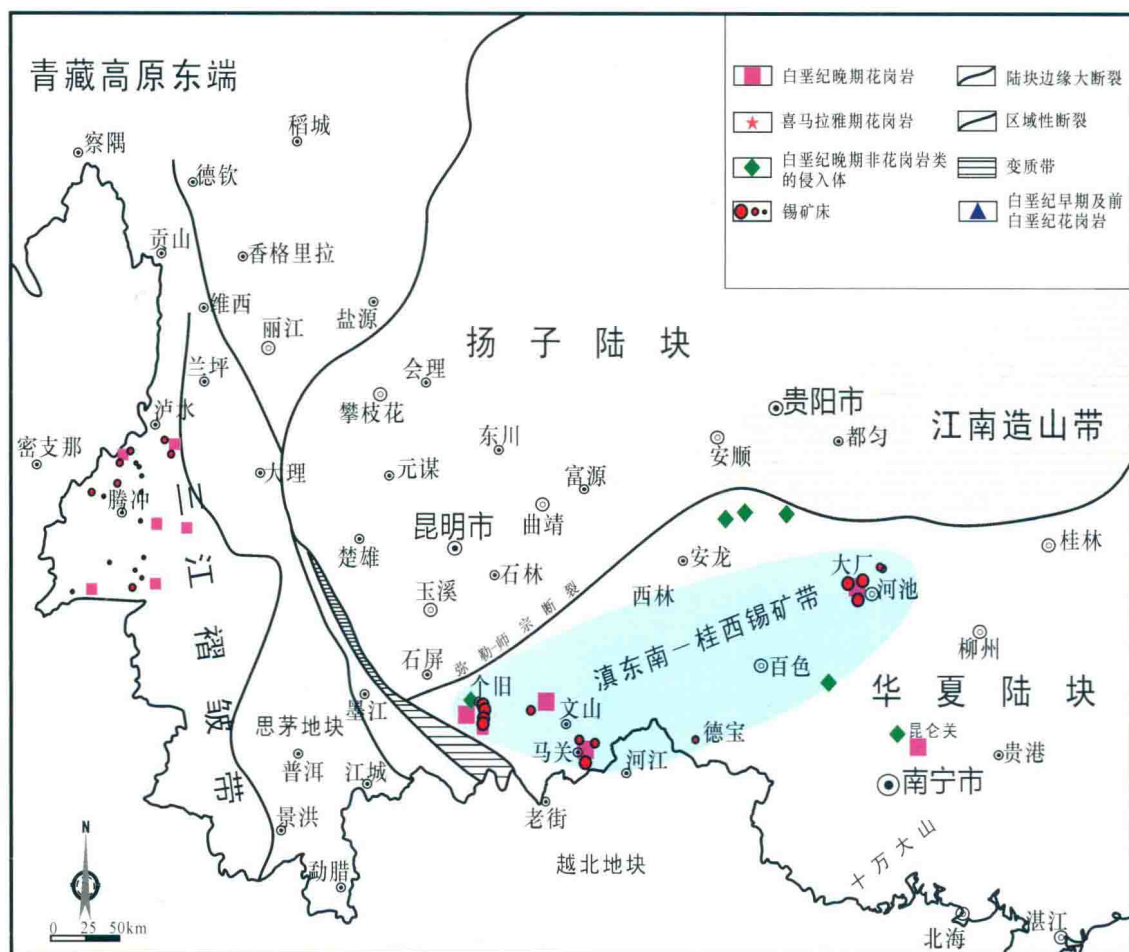


图 2.1 华南西部地区锡矿成岩成矿事件的空间分布及形成时代示意图

(据施琳等, 1989; 吕伯西等, 1993; 有修编)