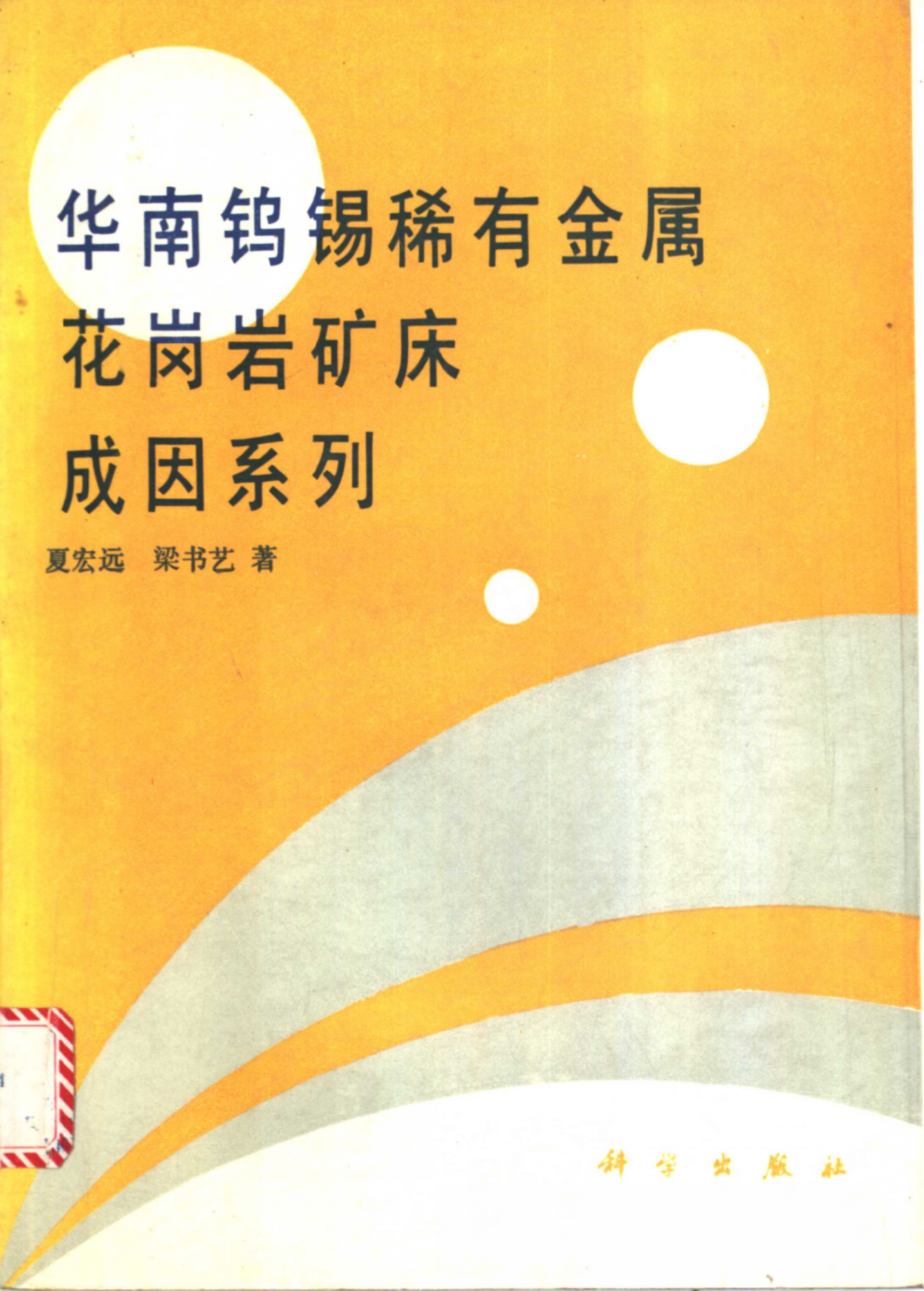




华南钨锡稀有金属 花岗岩矿床 成因系列

夏宏远 梁书艺 著



科学出版社

华南钨锡稀有金属花岗岩 矿床成因系列

夏宏远 梁书艺 著

中国科学院矿床地球化学
开放研究实验室资助项目

科学出版社

1991

(京)新登字 092 号

内 容 简 介

本书根据大量野外实际资料和室内测试研究成果,对华南钨锡稀有金属花岗岩矿化类型、含矿花岗岩的地球化学特征、花岗岩的演化及其与成矿的关系等,都作了全面、系统的阐述;提出了华南钨锡稀有金属花岗岩矿床成因系列,并进一步划分为四个矿床成因亚系列,分属两个成矿体系,详细研究了它们的成岩成矿过程及其发展演化规律。本书还从华南多旋回构造-岩浆活动和成矿作用等特点着手,论述了它们的矿质来源、形成机理和内在成因联系。

本书是一部研究华南地区矿床共生规律的理论性专著,内容涉及矿床学、地球化学、矿物学、岩石学及大地构造地质学等方面,可供从事地质科学研究和矿产勘查的技术人员及地质院校师生参考。

华南钨锡稀有金属花岗岩矿床成因系列

夏宏远 梁书艺 著

责任编辑 衣晓云

科学出版社出版

北京东黄城根北街16号

邮政编码:100707

北京京辉印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

1991年10月第一版 开本:787×1092 1/16

1991年10月第一次印刷 印张:13 插页:2

印数:0001—800 字数:310 000

ISBN 7-03-002500-8/P·509

定价:11.70元

序

我国南方是钨锡稀有金属矿床的密集分布区，有若干大型和超大型矿床，其经济价值早已闻名于世。这些矿床不同程度地与中生代花岗岩存在空间、时间及成因联系。多年来，花岗岩及与之有关的钨锡稀有金属矿床吸引了国内各个方面的学者，进行了多学科、跨学科的研究，出版了大量矿床学、地球化学、岩石学、矿物学及有关找矿勘探的成果。就单个岩类和矿种来说，对华南花岗岩及钨锡稀有金属矿床的研究程度之高在区内无疑名列前茅。

尽管如此，由于国家经济建设的需要及科学事业本身的发展，对华南花岗岩及钨锡稀有金属矿床的研究工作还存在空白领域，存在一些有待开展的科研课题，整个工作有待完善和深化。

夏宏远、梁书艺二同志的著作——《华南钨锡稀有金属花岗岩矿床成因系列》正是在大量有关华南花岗岩和钨锡稀有金属矿床已有成果基础上的一部深化著作。作者对南方花岗岩与有关矿床已工作多年，积累了丰富的经验和资料。主要基于地球化学、岩石化学的考虑，作者将南方与花岗岩有关的钨锡稀有金属矿床划分为四种矿化类型，即 W (Sn、Mo、Bi)，W-Sn(Be)-Ta-Nb，Ta-Nb(Sn、Li) 及 Sn (多金属)，并指出它们之间存在的相似和继承演化关系。作者对四种矿化类型花岗岩及矿床作了细致的矿物、微量元素、元素比值、锶氧同位素等方面的工作，肯定了这四种矿化类型与花岗岩的明显时空及演化关系，具体化为钨锡稀有金属花岗岩矿床成因系列。作者还将四种矿化类型与地质背景、大地构造之间的关系进行了讨论。

当然，关于华南钨锡稀有金属矿床类型的划分、成因系列的建立会有这种或那种不同的看法，正象华南花岗岩类成因类型划分存在多种方案一样。这是好事，因为只有百家争鸣，深化讨论，事物的本质才能够揭示得透辟一些，深刻一些。

祝愿本专著的出版将进一步推动我国钨锡稀有金属矿床科研工作的发展。

涂光炽

1989年11月23日

前 言

华南地区是我国重要的有色、稀有金属矿产基地，特别是与花岗岩类有关的有色、稀有金属矿床分布广泛，在空间上和成因上关系密切，是环太平洋成矿带的重要组成部分，因而，一直为中外学者所瞩目。

为查明华南地区有色、稀有金属矿床的成矿地质条件和分布规律，促进矿产资源的勘查和开发，我国生产、科研和教学单位，在该地区先后开展了多学科、多层次的研究工作，取得了丰硕的成果和许多规律性的认识。如近十年来陆续出版的《华南花岗岩类的地球化学》（中国科学院贵阳地球化学研究所，1979）；《南岭花岗岩地质学》（莫柱荪等，1980）；《华南不同时代花岗岩类及其与成矿关系》（南京大学地质学系，1981）；《赣南钨矿地质》（朱焱龄等，1981）；《华南钨矿》（冶金部南岭钨矿专题组，1985）等专著，以及国内、国际学术讨论会及其所出版的论文集，都大大丰富和推动了华南花岗岩成岩成矿作用和矿床地质的不断深入研究。

自1981年以来，众多地质工作者参与和完成了国家的“六五”科研项目，如《南岭地区有色、稀有金属矿床的控矿条件、成矿机理、分布规律及成矿预测》（张宏良等，1987）；《南岭花岗岩地质及其成因和成矿作用》（南岭花岗岩专题组，1989）；《南岭地区区域地球化学》（於崇文等，1987）；《南岭地区与中生代花岗岩类有关的有色及稀有金属矿床地质》（陈毓川等，1989）；《南岭泥盆系层控矿床》（曾允孚等，1987）等专著，以及区内为数众多的课题研究报告和典型矿床专著的出版，大大提高了本区的研究程度，为阐明华南区域成矿规律作出了贡献。作者撰写的“南岭某些钨锡（钽铌）矿床的原生分带及成因系列研究”（夏宏远等，1986），对华南钨锡稀有金属矿床的成矿规律也进行了初步探讨。

在上述大量研究工作的基础上，作者通过对华南一些典型矿床的深入研究和区域性对比，提出了华南钨锡稀有金属花岗岩矿床成因系列，是华南多旋回构造-岩浆活动和成矿作用长期演化、继承发展的必然结果。必须指出，本著作还融合了前人的不少规律性认识，尤其是中国科学院地球化学研究所、南京大学地质学系及参与“南岭项目”研究的同行们的成果，为华南钨锡稀有金属花岗岩矿床成因系列的研究提供了丰富的资料。在研究工作中，得到中国地质科学院，中国地质大学，广西、江西、湖南、广东、福建等省、自治区地质部门的热情帮助，在此谨向他们致以深切的谢意。

在本书即将出版之际，我们深切怀念著名矿床地质学家冯景兰教授，是冯老师关于矿床共生规律学术思想的启迪，使作者经过多年实践才得以完成本书。感谢张炳熹教授在50年代指导作者进行了华南某钨矿床的研究，继后又在“南岭项目”研究工作中给予指导和鼓励，使我们获益匪浅。

衷心感谢涂光炽教授在百忙中审阅了文稿，并撰写了序言，使我们受到很大教益。感谢王中刚、刘义茂、欧阳自远、金景福、栾世伟和裘愉卓等专家详细审阅了全稿，使本著作的质量得到进一步提高。

在本书撰写过程中，张千明、王乾、应汉龙、段力等参加了部分研究和资料整理工作，

王霞、邓会明清绘了书内插图，在此一并致谢。

衷心感谢中国科学院矿床地球化学开放研究实验室对本著作撰写、评审、出版的大力支持和经费资助。

愿本书能作为华南众多专著的一个补充，对华南地区矿床共生规律的研究起到“抛砖引玉”的作用，以便促进我国其它地区矿床共生规律的深入研究。

作者

1989年12月

目 录

序

前言

绪论	1
第一章 钨锡稀有金属矿床的成因类型	6
第一节 钨锡稀有金属矿床类型研究现状	6
第二节 钨锡稀有金属矿床的基本类型	12
第二章 钨锡稀有金属花岗岩的地球化学	16
第一节 华南不同时代花岗岩的演化	16
第二节 钨锡稀有金属花岗岩的岩石化学特征	23
第三节 钨锡稀有金属花岗岩的矿物学特征	29
第四节 含矿花岗岩的微量元素和稀土元素地球化学	42
第五节 含矿花岗岩的稳定同位素地球化学	54
第六节 小结	60
第三章 含矿花岗岩演化与成矿	61
第一节 区域含矿花岗岩的演化	61
第二节 复式岩体的演化与成矿	64
第三节 花岗岩演化与成矿的基本规律	81
第四章 钨(钨)钽铌成矿体系	83
第一节 钨(钨、钼、铋)矿床成因亚系列	83
第二节 钨锡(铍)钽铌矿床成因亚系列	136
第三节 钽铌(锡、锂)矿床成因亚系列	148
第五章 锡(多金属)成矿体系	162
第一节 含矿花岗岩的演化特征	163
第二节 成矿过程的发展演化	166
第三节 特征性矿物的演化规律	169
第四节 锡(多金属)矿床的演化系列	173
第六章 钨锡稀有金属花岗岩矿床成因系列的形成机理	175
第一节 多旋回构造-岩浆活动与矿源	175
第二节 矿床成因系列的形成机理	182
结论	189
参考文献	193
图版	

绪 论

华南地区经历了漫长的地质发展历史,发育一套从前震旦纪到中、新生代较完整的地层。区内沉积建造类型齐全,区域地球化学背景独特,地质构造运动强烈,岩浆活动频繁,大地构造演化具有多旋回的特点,并伴随多时代、多成因、多类型的规模巨大的花岗岩浆活动。多旋回的构造、沉积、岩浆活动,必然伴随着多旋回的成矿作用,因而使华南地区构成一个别具特色、举世瞩目的钨锡稀有金属矿床成矿区,不少大型或超大型矿床如西华山、大吉山、柿竹园、大厂、栗木等钨锡稀有金属矿床就分布在本区内,其它中、小型矿床更是星罗棋布。据现有资料统计,本区钨矿探明储量占全国的75%,相当于国外全部钨矿探明储量的3.6倍;锡矿占全国的55%,钼矿占全国的90%。本区的W、Sn、Ta、Nb等矿化不仅在区域上,也经常在一个矿田、矿床内同时出现,或在同一矿体、矿石及矿物内共生,因此,研究钨锡稀有金属矿床的共生规律和成因联系,就成为华南区域成矿规律的一个重要研究课题。

为了满足“四化”建设对矿产资源日益增长的需求,我国地质学者在华南地区开展了广泛、深入和系统的科学研究工作,积累了大量实际资料,取得了极为丰富的研究成果,使本区的研究水平进入世界先进行列。现结合本著作内容对已有的研究成果作一概括介绍和评述。

一、花岗岩与钨锡稀有金属成矿作用

1. 花岗岩的成岩机理

Tuttle等(1958)对Ab-Or-Q-H₂O体系人造花岗岩进行了成功的实验,比较全面地研究了人工合成标准“花岗岩”的相图,发现三相共结点为4000bar和650℃,与天然花岗岩熔化实验进行对比,其结果基本一致。其后对天然花岗岩类(花岗岩、英云闪长岩、石英闪长岩、花岗闪长岩等)的熔化实验,也取得了相似的结果。此外还有沉积岩(页岩、硬砂岩等)的熔化实验。含挥发分或含某些盐类的人工合成“花岗岩”及天然花岗岩的实验结果表明,多数挥发分和盐类有降低熔化温度和结晶温度的作用,这些实验为地壳重熔学说提供了有力证据(中国科学院贵阳地球化学研究所,1979)。从此,深熔-重熔作用就成为形成花岗岩类岩浆的重要机理。我国学者也相继开展了华南花岗岩的熔化实验和液态分离的实验研究(王联魁等,1979;1987),进一步提高和丰富了对花岗岩成岩机理的认识,从而证实了华南地区花岗岩浆活动与区内规模巨大、且长期活动的断裂有关。

2. 花岗岩的成因类型及与成矿的关系

翁文灏(1920)指出,中国南部赣、湘、粤、滇诸省的酸性花岗岩与W、Sn、Mo等金

属矿产有成因关系，而长江中下游的中酸性花岗闪长岩与Fe、Mo、Pb、Zn有关。谢家荣(1936)将华南花岗岩分为香港式(黑云母、白云母花岗岩)，与W、Sn、Mo、Cu、Pb、Zn、Sb、Hg等矿床有关；扬子式(多为花岗闪长岩)则产有Fe、Cu、Pb、Zn等矿床。中国科学院贵阳地球化学研究所(1979)在总结大量资料的基础上，明确提出华南燕山期花岗岩类可分为两个成岩成矿系列：

系列Ⅰ或简称为南岭系列，分布广泛，在华南地区占主导地位。从早期到晚期的侵入顺序是：花岗闪长岩、二长花岗岩→中粗粒斑状花岗岩→浅色花岗岩(钠长石花岗岩、超酸性花岗岩)→花岗斑岩或石英斑岩。有关的矿化为REE、Nb、Ta、Be、Sn、W、Bi、U等，其物质的主要部分来源于地壳硅铝层的重熔作用，即一般所指的壳层(源)重熔型花岗岩；

系列Ⅱ或简称为长江系列，分布于闽浙沿海、赣东北、粤中南、湘东南等地，分布不如系列Ⅰ广泛，但在长江中下游一带发育较好。从早期到晚期的侵入顺序是：辉石闪长岩(玢岩)→花岗闪长岩、石英二长岩→石英粗安斑岩或花岗岩。有关矿化以Cu、Mo、Fe等为主，其物质主要部分来自于地壳深部或上地幔，即一般所指的壳幔源同熔型花岗岩。

徐克勤等(1984)则将华南花岗岩划分为三个成因类型，即陆壳改造型花岗岩类；过渡型地壳同熔型花岗岩类；幔源型碱质花岗岩类。前两类与上述系列Ⅰ和系列Ⅱ相当，而后一类花岗岩分布局限，故一般以两分为主。

华南地区广泛分布的主要是重熔型或陆壳改造型花岗岩，研究它们的形成机理及其有关的成矿作用，是推进当前华南区域成矿规律研究工作的关键。

3. 花岗岩的成矿作用

大量研究资料表明，含矿花岗岩都是原始花岗岩浆分异、演化到一定阶段的富含挥发分和成矿元素的产物，这是花岗岩成矿作用的物质基础。对于花岗岩成矿作用中钨、锡、稀有元素等的富集机理尚存在三种不同的认识：

(1) 岩浆结晶分异-交代说：当含矿花岗岩浆处于早期结晶分异阶段，成矿元素(REE、Nb、Ta、Li、Be、Sn、W等)可以类质同象置换方式或以微粒矿物赋存于载体矿物(如钛铁矿、黑云母、白云母、长石等)内。当进入岩浆晚期结晶分异阶段，岩浆中的挥发分和成矿元素的含量不断增加，在相对封闭条件下，以至达到过饱和状态而形成一种超临界状态的含矿熔-流体，并与早晶出的矿物发生反应，使岩浆熔-流体进入自交代作用阶段，由于晚期结晶分异作用与自交代作用之间是过渡的和反复的，因而无明显界限，所以一般统称为岩浆晚期结晶分异-交代作用。若含矿岩浆熔-流体演化到晚阶段又处于相对开放系统时，含矿熔-流体将沿构造裂隙逸向上部围岩，形成钨锡长石石英脉或石英脉，或形成铌钽细晶岩脉。

(2) 岩浆期后气化-热液交代说：与上述稍有不同的是，它强调交代作用发生于花岗岩形成之后，由于岩浆期后气化-热液的交代作用，导致分散在花岗岩造岩矿物内的成矿元素活化转移而富集成矿。

(3) 岩浆结晶分异说：认为花岗岩内Nb、Ta等富集成矿是花岗岩浆结晶分异的结果，Nb、Ta是以副矿物形式存在于花岗岩的不同相带内，经逐渐富集而形成花岗岩型铌钽矿床。

以上虽有三种不同认识，但共同点都认为成岩成矿是同源的统一过程。

当然，花岗岩的成岩成矿过程是十分复杂的，所处的地质环境也是千变万化的，当岩浆

熔体处于深成环境和早期演化阶段时,是以岩浆结晶分异作用为主,或当含矿熔体演化至晚期又骤然处于浅成一近地表环境时,铈、钽矿物等将会迅速冷凝晶出,其成矿过程也主要表现为结晶分异作用。在多数情况下,岩浆熔体处于中深条件而有利于结晶分异-交代作用的进行。如含矿花岗质熔浆在向上运移过程中,随温度和压力的降低,熔浆中矿物的不断晶出,使其中的成矿元素和挥发分更趋于在熔体上部聚集,Nb、Ta等成矿元素的络合物与早期晶出矿物之间因交代作用而沉淀富集,或在开放条件下,部分铈、钽等矿物以结晶作用方式沉淀。这一复杂过程必须结合实际情况加以具体分析。

二、矿床的原生分带性

矿床的原生分带性问题历来为矿床地质学界所关注,如Emmons (1936)的地热分带、C.C.斯密尔诺夫(1937)的脉动分带,以及沉淀分带理论等,这些承前启后的分带理论的提出,无疑对矿床原生分带性的研究起了积极的推动作用。另一些学者根据大量实际资料统计,强调参与成矿分带的化学元素本身的地球化学性质和行为,认为化学元素在矿床中的分布(从深部到浅部),一般总是按熔点、离子密度和化学价降低的顺序排列,同时也取决于参加成矿作用的化学元素的浓度、化合物的活动性及逸度等多种因素的影响(Канишев, 1977)。

综合了许多学者的矿床分带资料以后,B.И.斯密尔诺夫(1982)提出了矿体分带性的成因类型,认为目前还不能用同一种原因来解释热液矿体原生分带性的所有情况,它的成因是多式多样的,从而划分出两类热液矿体的原生分带性:

第一类分带性或阶段分带性,是由于不同成分的含矿溶液从母岩浆槽中按顺序分泌出来和不同成分的矿石按一定顺序沉淀所造成的;第二类分带性或相分带性,是由于成矿溶液在运移途中因地质条件和物理化学条件变化,以及按矿物不同比例的矿物组合的依次沉淀所形成的分带。B.И.斯密尔诺夫的分带性理论无疑较为全面,还注意到矿床原生分带性与母含矿岩体形态变化的关系和具有偏心的特点。

我国一些学者在矿床原生分带的研究方面已取得了丰硕成果。徐克勤、丁毅(1938)就曾指出赣南钨锡矿脉存在垂直逆向分带的事实;郭文魁(1963)根据我国某些矿床存在的原生分带现象,指出矿物从高温到低温的沉淀是按硅酸盐、氧化物、硫化物、碳酸盐的次序进行,认为矿物沉淀序列是形成原生分带的主要控制因素,指出在闭口裂隙中,因气液分异作用导致了某些钨矿脉的逆向分带;柳志青(1980)提出的矿物微粒浓差沉降分带理论,由于大量成矿实验结果证实,W、Sn、稀有等成矿元素是以络合物的形式运移的,因而矿物微粒浓差沉降运移可能仅是一种短暂现象。实际情况是既存在具垂直逆向分带的钨锡石英脉(如黄沙、珊瑚等),也存在具顺向分带的钨锡长石石英脉(如栗木、瑶岗仙等)。

我国许多学者对南岭地区钨锡矿脉形态分带——“五层楼”规律的研究,对大厂、个旧、黄沙等矿床原生分带的研究,都取得了实际效益。在大量实际资料的基础上,大多数学者认为,单一的分带现象(无论是地热、脉动还是沉淀)在具体矿床中很少见到,多数矿床既有脉动分带又有沉淀分带,在一次脉动的沉淀分带中又可能受到地热梯度的影响。有的矿床原生分带主要表现为顺向分带,而另一些矿床则主要表现为逆向分带,或顺向和逆向分带兼有。

矿床原生分带性的研究是一个极为重要而且十分复杂的问题,在不同地区、不同类型的

矿床中,其原生分带性是有差异的。在分带理论的研究中,既要注意控制分带的外在因素,更要注意成矿物质的地球化学特征;既要研究成矿元素之间的共同性(或相似性),又要研究它们的特殊性(差异性)。共性决定了它们出现在同一个矿化系列中,而特殊性则决定了它们时间上的先后析出和空间上的分带出现。

作者(夏宏远等,1985;1986)认为,若忽略了对影响原生分带的内在因素的研究,特别是与成矿有关的母岩浆岩成分、演化特征及其对矿床原生分带的影响,则南岭地区在相似地质条件下产出的钨锡矿脉,有的表现为顺向分带,有的则为逆向分带的事实,就不能得到圆满的解释,而许多成岩、成矿的实验成果,已为我们提供了这方面的理论依据。

作者认为,矿床原生分带就是矿床成因系列在时、空上的表现。

三、成矿系列

研究矿床类型共生规律的成矿系列(体系)早为中外学者所注视,冯景兰(1963)认为,由于各种元素的地球化学性质、成矿作用的连续性和复杂性,某些矿种与矿种之间,或某些矿床类型与矿床类型之间,往往存在着共生规律,它们之间有些是过渡型的具有内在成因联系的,因而单一矿床和单纯的矿床类型的存在可能只是少数,而多数矿区的矿床经常是复杂的共生体。这为继续开展成矿系列的研究指出了方向。

闻广等(1963)在对岩浆岩成矿专属性的研究中,曾得出“相同矿种不同类型矿床的专属性有着基本的共同特点”的结论,为与岩浆成矿作用有关的成矿系列的研究提供了理论依据。程裕淇等(1979,1983)提出了成矿系列的概念,认为“成矿系列是由两个或更多的矿床类型所组成,它们分别含有一定的有用组分,产出在一定地质单元内的不同地质部位,其形成的具体地质条件各有不同,但都在一定的主要地质作用的影响之下,主要形成于一定地质历史时期的同一或不同阶段,从区域地质发展历史的角度来考虑,彼此之间存在着内在联系,并构成一个四维成矿整体,即一个成矿系列”。还认为“每一成矿系列所包含的不同矿床类型,许多具有空间上或时间上伴生的特征,因而在一定条件下常可互为区域性的或矿区内的找矿标志”。按照上述概念,陈毓川(1983)讨论了华南与燕山期花岗岩有关的稀有、稀土、有色金属矿床的成矿系列,并相应建立了它们的成矿模式。张宏良等(1987)对南岭与花岗岩有关的矿床成矿系列进行了系统的研究,并划分为五个矿床成矿系列和21个矿床式。

Абдулаев(1960),Sattran等(1970),Власов(1978,1986)等提出了成岩成矿系列、成矿系列(矿石建造成因系列)和成矿体系(岩浆成矿体系)、热液-岩浆体系、岩浆和成矿中心等。尽管各家所用术语不同,但他们都是从不同角度,用以阐述不同矿床类型或矿石建造之间的共生规律及与岩浆岩在成因上和空间上的相互关系。

翟裕生等(1987)认为,成矿系列概念的核心是成因联系,但其伸缩性太大,致使各人所建立的成矿系列的实质相差很大,原因是成矿系列的建立和划分没有一个合理而明确的标准。因而提出应确立成矿系列层次的概念,并注意成矿系列的复合问题,这对进一步推动成矿系列的研究是有益的。总之,成矿系列的研究是现代矿床学的重要发展方向之一。

四、本区矿床地质研究中存在的主要问题

综上所述可知,前人对华南花岗岩与钨、锡、稀有金属成矿作用及成矿规律等已进行了

大量的研究工作，特别是由于开展了各种比例尺的区域地质调查和矿产普查勘探，对区域地质特征和基础地质条件的认识更加深入，为华南地区区域成矿规律和典型矿床的研究创造了良好条件。特别是对典型矿床的研究、剖析和重视矿床成因及成矿机理的研究，有力地推动了华南花岗岩及其成矿作用研究的不断深入，促进了本区的矿产预测和评价。但按照科学研究的不断深入和本区目前寻找隐伏矿床的要求，这些研究尚感不够，主要是：

(1) 对华南花岗岩的成因类型已进行了深入系统的研究，但对花岗岩的含矿类型（特别是分布广泛的壳层重熔型花岗岩）、演化特征、成因联系及其成矿作用的研究尚不够。

(2) 华南地区过去多偏重于从单一矿种去研究成因和成矿规律，而对多矿种共生规律，特别是对它们的成因联系缺乏研究。

(3) 华南地区与重熔型花岗岩有关的钨锡稀有金属矿床及成矿元素间的共生关系和成因联系早已为人们所认识，但过去较少将花岗岩的成岩、成矿作用视为统一过程来研究，因而对它们之间的成因联系和继承演化关系的认识尚不够完善。

五、华南钨锡稀有金属花岗岩矿床成因系列

通过作者的研究，认为华南地区存在一个与重熔型花岗岩有关的钨锡稀有金属矿床成因系列，它是在成因上有密切联系、空间上紧密共生、矿物组合等相似并又相互过渡的一组矿床，它们是华南多旋回构造-岩浆活动和花岗岩的成岩成矿作用长期演化、继承、发展的必然产物。这种演化关系不但反映在不同地质时代，也反映在同一地质时代的成岩成矿过程中；既表现在一个矿田内从早到晚的复式含矿岩体，也表现在同一含矿岩体从深至浅的演化上；同时，在矿床形成的早、晚矿化期、矿化阶段及同一矿化阶段内，也呈现出这种演化关系。因此可以认为，华南钨锡稀有金属矿床形成的全过程，都体现了成岩成矿作用的这种继承、发展关系，即作者所称之为“系列性特征”，成因联系则是贯穿系列性特征的核心，而与一般所指成矿系列有别。

由于矿床成因系列形成过程的长期性和复杂性，因此，根据所涉及的范围大小、广度及深度，将其分为矿床成因系列、成矿体系、矿床成因亚系列、矿床式、矿床（化）类型、矿物组合、特征元素等序次或层次。华南钨锡稀有金属花岗岩矿床成因系列是华南多旋回构造-岩浆活动及花岗岩成岩成矿作用演化的产物，据花岗岩的含矿类型及成岩成矿作用，划分为四个矿床成因亚系列：①含W（Sn、Mo、Bi）花岗岩及有关矿床；②含W-Sn（Be）-Ta-Nb花岗岩及有关矿床；③含Ta-Nb（Sn、Li）花岗岩及有关矿床；④含Sn（多金属）花岗岩及有关矿床。再根据它们的亲缘关系和成岩成矿条件的差异，又将其归并为两个成矿体系，即W（Sn）-Ta-Nb成矿体系和Sn（多金属）成矿体系。再进一步划分矿床式、矿床（化）类型、矿物共生组合等，并深入研究特征性矿物和特征性元素的系列性演化规律。

为了探索钨锡稀有金属矿床成因系列不同层次的继承演化关系，即系列性变化特征及其内在联系，作者尽可能采用多种现代研究方法和测试手段。但由于矿床成因系列的复杂性，涉及的问题很多，特别是作者采用华南多旋回构造-岩浆活动和板块构造的观点来解释钨锡稀有金属矿床成因系列的形成机理，更是初步尝试。

第一章 钨锡稀有金属矿床的成因类型

华南地区以盛产与花岗岩有关的钨、锡、钽、铌等有色、稀有金属矿床著称于世，它们分布于元古界、古生界、中生界的花岗岩体内。虽然这类矿床的产出条件各异，形成机制复杂，矿床类型繁多，但主要都与华南燕山期花岗岩有关。各位学者从不同角度出發，提出了钨、锡、钽、铌等矿床类型的划分。但较早提出的上述矿床的成因类型多局限于单个矿种的分类，随着矿产普查勘探工作的进一步开展和科学研究工作的不断深入，愈来愈多地发现钨、锡、钽、铌的矿床、矿物或元素往往产在同一矿田、矿床或矿石中，表明它们之间存在紧密的内在成因联系。

第一节 钨锡稀有金属矿床类型研究现状

一、钨矿床的成因分类

我国是钨矿资源大国，各种类型钨矿床在华南地区星罗棋布，钨矿类型的划分历来为众多学者所瞩目（徐克勤等，1938，1943；莫柱荪等，1958；黎彤，1963）。自70年代以来，在钨矿地质研究成果的基础上，钨矿床成因类型的划分，在体系上更趋于完善，但矿床类型繁多。例如，在江西南部及其邻境钨矿床的分类（朱焱龄等，1981）和江西及邻省钨矿成因类型（李崇佑等，1984）中，将钨矿床的成因类型划分为岩控钨矿、层控钨矿、复控钨矿和现代生钨矿四个大类和17型，其岩控钨矿一类中与花岗岩有关的则有四个类型和九个亚型。又如在华南钨矿床成因分类（冶金部南岭钨矿专题组，1985）中，将华南钨矿床划分为：与壳下层（或上地幔）深熔岩浆有关的钨矿床（深源系列）、与壳上层重熔岩浆有关的钨矿床（浅源系列）、沉积再造钨矿床及砂钨矿床等四大系，再进一步细分为17个型，其中与重熔花岗岩浆有关的矿床类型如表1.1。按矿石建造划分的钨矿床类型（Денисенко，и др.，1986）及其它划分方法（Hosking，1973；1982；沃里弗松等，1982）就不再一一赘述。

作者认为，与花岗岩有关的各个钨矿床类型，都是花岗岩及其有关的成矿作用（岩浆结晶分异-交代作用、气成-热液作用、热液作用等），在一定地质构造环境（相对封闭或开放）、裂隙形态和产状、围岩成分（硅铝质岩或碳酸盐岩）及成矿物质的丰度等具体条件下的种种表现。由于上述条件的变化，如花岗岩的演化阶段不同导致成矿作用的差异等，都可以引起矿体产出部位、矿物组合、蚀变类型、成矿温度、矿体形态及成矿方式等的变化，从而表现为各种不同的钨矿床类型。同时，由于上述条件的组合，又可以见到很多复式矿床类型（夏宏远等，1980）。例如瑶岗仙钨矿床，在矿区花岗岩（ γ_2^{+2} ）侵入体的东部含钙质砂（页）岩中为似层状细脉浸染型白钨矿体；在其上的砂页岩与石灰岩层间为似层状白钨矿夕卡岩矿体；而中北部砂页岩及花岗岩中则为云英岩型黑钨矿石英脉（图1.1）。在该矿区内

表 1.1 华南与重熔岩浆有关的钨矿床分类表

大 类	亚 类	产 出 部 位	形 态 产 状	围 岩	蚀 变 类 型	主 要 金 属 矿 物 组 合
岩浆晚期一期后 分异、交代矿床	花岗伟晶岩	花岗岩内外接触带	脉状、透镜状	花岗岩、变质岩	钠长石化、白云母化	黑钨矿、辉钼矿
	花岗岩	花岗岩体顶部	透镜状、囊状	变质砂岩、板岩或花岗岩	钠长石化、白云母化（自变质）	黑钨矿、白钨矿、细晶石、绿帘辉石、绿柱石
岩浆后期气成热液矿床	云英岩	花岗岩体顶部或边缘以及岩体附近微裂隙发育部位	带状、不规则状或透镜状	花岗岩、千枚岩、白云岩	云英岩化、硅化或萤石化	黑钨矿、锡石、白钨矿、绿柱石
	夕卡岩	褶皱基底隆起区旁侧，陆台沉降带边缘，断裂带及断裂交汇处，花岗岩侵入体及其内外接触带附近	透镜状、条带状、不规则状、似层状	大理岩、灰岩	夕卡岩化、硅化、萤石化	白钨矿、多金属硫化物
	石英脉		网脉、细脉、大脉或巨大石英体	变质砂岩、板岩及花岗岩	硅化、云英岩化、绢云母化	黑钨矿、绿柱石、辉钼矿、辉铋矿；黑钨矿、锡石、多金属硫化物；黑钨矿、白钨矿、辉钼矿、黄铁矿
	石英-萤石交代岩		不规则脉状	大理岩、灰岩	萤石化、硅化	白钨矿

（冶金部南岭钨矿专题组，1985）

不少地段可见，当矿脉切穿砂页岩时，砂页岩中为黑钨矿石英脉（脉旁具电气石化和云英岩化），当矿脉穿越钙质页岩和石灰岩时，则见白钨矿夕卡岩顺层产出，说明围岩岩性是控制该区矿床类型的主要因素（徐克勤，1957），其它如徐山钨矿床也有类似情况。

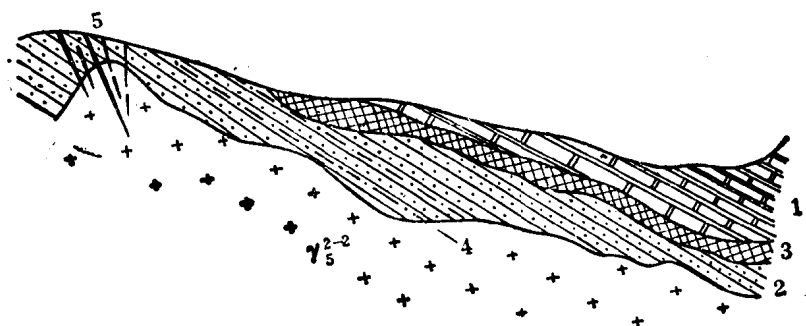


图 1.1 湖南瑶岗仙各类型钨矿的共生关系

1. 大理岩 2. 石英砂岩 3. 含钨夕卡岩 4. 含钨钙质砂页岩 5. 黑钨矿石英脉

大明山钨矿床在白云母花岗岩的内外接触带有三种矿化类型（图1.2）：①因受岩体冷凝收缩裂隙控制的石英网脉型；②受褶皱构造派生的层间滑动和层间剥离裂隙控制的层间细脉带型；③受各向断裂构造的次级裂隙和派生裂隙控制、并切穿岩层至白云母花岗岩内尖灭的石英大脉型（陈志中等，1986）。由此可见，容矿构造裂隙的部位和形态控制了该区矿床类型的变化。

愈来愈多的事实说明，在一个矿区内单独仅有一个矿床类型的少见，而同一矿种多类型共生则是常见的（冯景兰，1963）。总的来说，这些不同矿床类型的出现，都是由成岩成矿条

件及过程的差异造成的,但各个矿床类型之间彼此又有密切的成因联系。如变花岗岩型矿床

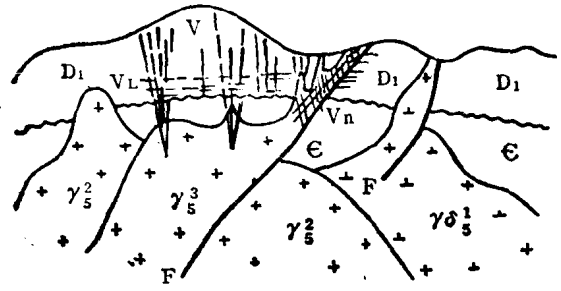


图 1.2 广西大明山各类型钨矿脉的共生
(据陈志中等, 1986简化)

γ₅¹. 寒武系砂页岩 D₁. 下泥盆统石英砂岩 γ₅¹. 印支期花岗岩闪长岩 γ₅². 燕山早期花岗岩 γ₅³. 燕山晚期花岗岩 V. 大脉型钨矿 V_L. 层间细脉型钨矿 V_n. 网脉型钨矿

的典型实例——大吉山钨铋钽矿床, 该区在二云母花岗岩之上, 依次为钠长石化钨铋钽花岗岩(变花岗岩型)。含矿似伟晶岩、含矿石英脉(从下向上的矿物组合为长石-石英、绿柱石-黑钨矿-石英、黑钨矿-石英, 并穿切变花岗岩和似伟晶岩)。其中黑钨矿的 Ta₂O₅ 和 Nb₂O₅ 含量相应依次降低(表1.2), 这说明随成矿花岗岩的演化阶段不同, 引起矿床类型在时间上和空间上的变化。如果控制矿床类型的变化因素在两种以上, 则将产生复杂的或复合的矿床类型, 如湖南柿竹园矿区含钨锡

表 1.2 大吉山钨铋钽矿床黑钨矿的铋钽含量

矿脉或岩石类型	蚀变类型	石英包裹体均一化 温度(℃)	成矿作用	黑 钨 矿(wt%)	
				Nb ₂ O ₅	Ta ₂ O ₅
黑钨矿-石英	电气石化、白云母化、萤石化	280	岩浆期后气成-热液	0.1	0.03
绿柱石-黑钨矿-石英	电气石化、云英岩化	287		0.3—0.4	0.1—0.2
微斜长石-石英	电气石化、云英岩化	295		0.4	0.2
似伟晶岩		455—503	岩浆晚期结晶分异-交代	0.60	0.28
白云母花岗岩	钠长石化、云英岩化	690—740 ¹⁾		0.762	0.361

(孔昭庆, 1982; 章崇真, 1984)
1) 常海亮, 1985, 南岭地区某些燕山期花岗岩及其脉钨矿床的温压地球化学研究。

(钼、铋)的云英岩网脉叠加于含钨(钼)夕卡岩体中, 形成规模巨大的网脉状云英岩-夕卡岩复合型钨锡(钼、铋)矿床。近年来, 在苏联学者B. K. Денисенко等的钨矿床分类中, 亦充分注意到矿床类型的复合特征。纵观上述各个钨矿床类型, 它们以岩浆期后气成-热液作用为主要的成矿作用, 并形成重要的矿床类型。

二、锡矿床的成因分类

我国南部地区蕴藏着丰富的锡矿资源, 矿床分布广泛, 类型复杂。在中国原生锡矿床分类(冶金部西南冶金地质勘探公司, 1984)中, 划分为含锡伟晶岩、锡石-石英和锡石-硫化物三大矿组共九个类型(表1.3), 其中前两个矿组的成矿与岩浆结晶分异-交代作用和气成-高温热液作用有关, 含锡矿体产在花岗岩体顶部及内外接触带, 而锡石-硫化物矿组的成矿温度相对较低, 成矿部位离花岗岩体较远, 往往见有花岗斑岩等产出。广西锡矿资源十分丰富, 矿床类型繁多(刘元镇等, 1984), 锡与多种组分共生。根据锡矿床类型之间的内在成因联系和它们在时间、空间上的发展、演化规律等, 将与花岗岩有关的锡矿床划分为四类12型。

表 1.3 中国原生锡矿床分类表

矿 组	矿床类型	主 要 矿 物 成 分	围岩岩性	蚀变作用	主要成矿作用
含锡伟晶岩矿组	石英微斜长石型	石英、微斜长石、钠长石、白云母、电气石、锡石	花岗岩、变质砂页岩	钠长石化、白云母化、电气石化	气成-高温热液
锡石-石英矿组	含锡云英岩型	石英、白云母、锂云母、电气石、黄玉、萤石、绿柱石、锡石、黑钨矿及锆钽矿物	花岗岩、石英斑岩、长石砂岩	云英岩化、钠长石化	气成-高温热液
	黄玉-石英型	石英、黄玉、钠长石、白云母、锂云母、锡石、黑钨矿	花岗岩、砂页岩	云英岩化、硅化、黄玉化	气成-高温热液
	长石-石英型	石英、正长石、白云母、电气石、锡石	片岩、千枚岩、砂岩	电气石化	高温热液
	石英型	石英、白云母、电气石、萤石、锡石、黑钨矿、白钨矿、黝锡矿	砂页岩、花岗岩、碳酸盐类	硅化、绢云母化、云英岩化、白云母化	高温热液
锡石-硫化物矿组	磁铁矿-夕卡岩型	透辉石、石榴石、符山石、磁铁矿(含锡石)、少量金属硫化物	碳酸盐类岩石	夕卡岩化、绿泥石化	高温热液
	硫化物-夕卡岩型	透辉石、石榴石、符山石、方柱石、电气石、萤石、毒砂、磁黄铁矿、黄铜矿、黄铁矿、锡石、黝铜矿、白钨矿、铁闪锌矿、辉钼矿、辉铋矿	碳酸盐类岩石为主	夕卡岩化、萤石化、电气石化、硅化	高-中温热液
	锡石-硅酸盐型	电气石、石英、萤石、绿泥石、黑云母、白云母、绿柱石、锡石、黑钨矿、白钨矿、毒砂、磁黄铁矿、黄铜矿、方铅矿、闪锌矿、辉铋矿、黄铁矿	变质砂页岩、碳酸盐类岩石	电气石化、硅化、绿泥石化	高-中温热液
	硫化物型	毒砂、磁黄铁矿、黄铜矿、方铅矿、闪锌矿、黄铁矿、锡石、石英、方解石、脆硫锑铅矿、辉铋矿	砂页岩、碳酸盐类岩石	绢云母化、绿泥石化、硅化、黄铁矿化	高-中温热液

(冶金部西南冶金地质勘探公司, 1984)

从其它的锡矿床分类来看(沃里弗松等, 1982; 泰勒, 1978; 单振华, 1985; 姚金炎, 1985; 任治机, 1988; Денисенко, и др., 1986), 也说明锡的成矿作用复杂, 矿床类型受多种因素制约。作为变花岗岩型、伟晶岩型、夕卡岩型、云英岩型锡矿床, 主要受花岗岩浆晚期结晶分异-交代作用和岩浆期后-热液作用所制约, 成矿物质主要来自花岗岩。而锡石-硫化物型矿床的成矿作用就更为复杂, 其成矿物质除主要来自花岗岩浆外, 还部分来自围岩。由于花岗岩的演化阶段不同, 成矿的构造、岩性等条件的改变, 形成不同的锡矿床类型, 还可以见到多种矿床类型在一个成矿区或矿田内出现, 如广西富贺钟地区, 就有花岗岩或变花岗岩型(REE、Nb、Ta、Sn、W)、伟晶岩型(W、Sn、Ta、Nb)、锡石-夕卡岩型、锡石-云英岩型、锡石-硫化物型等多种矿床类型分带产出。

各种不同类型的锡矿床不仅在空间上共生, 而且矿物组合上表现出继承演化关系。据华南地区统计, 变花岗岩型锡矿床的锡石含Nb、Ta最高, 依次向云英岩型、锡石硫化物型递减(表1.4)。由此可见, 含矿花岗岩演化阶段不同和成矿作用差异, 成矿的地质构造环境和围岩条件等的变化, 都将导致产生不同锡矿床类型。虽然矿床类型各异, 但锡石中Nb、Ta的含量总是随成矿作用的演化呈现规律性变化, 更进一步说明这些不同的锡矿床类型都

表 1.4 华南不同成因类型锡石的钽铌含量(wt%)

类 型	亚 型	成矿元素	成矿作用	Nb	Ta	Nb+Ta
变花岗岩型	钠长石化花岗岩	Ta、Nb、Sn	岩浆晚期结晶分异-交代	0.0748—1.1886 0.9672	0.1474—2.4982 1.2231	0.5466—3.6868 2.7903
	云英岩化、钠长石化花岗岩	W、Sn、Be、Ta、Nb	岩浆晚期结晶分异-交代	0.0692—0.5048 0.1769	0—5.3575 1.4627	0.0489—5.8623 1.6396
云英岩型	钨锡石英脉	W、Sn	岩浆期后气成-热液	0.0092—0.4922 0.1039	0.0002—0.2457 0.0433	0.0197—0.7379 0.1472
硫化物型	锡石硫化物	Sn、Cu、Pb、Zn	岩浆期后热液	0.0028—0.0769 0.0342	0.0002—0.0246 0.0140	0.0030—0.1015 0.0482

与相应的花岗岩有成因联系。在上述诸多锡矿床类型中，是以岩浆期后热液成矿作用为主，并形成主要矿床类型。

三、稀有金属矿床的成因分类

我国华南地区稀有金属矿床分布广泛，稀有金属矿床类型较多，特别是以与花岗岩有关的矿床占主导地位，具有重要经济价值。刘源骏等（1979）根据钽铌矿床的成矿作用、矿床的成因和有关的母岩等，进行矿床分类，将与花岗岩有关的钽铌矿床划分为花岗岩型、蚀变花岗岩型、花岗伟晶岩型和热液脉型等四个类型，再按含矿岩体或矿体分为13个亚型。由这种分类可见，从岩浆结晶阶段直到岩浆期后阶段都有钽铌的成矿作用，并使钽铌富集成矿，即在花岗岩浆的不同演化阶段，由于成矿作用的差异而形成不同的矿床类型。如岩浆结晶分异阶段形成稀土、钽矿床（规模大，但富集程度低）；岩浆晚期结晶分异-交代作用阶段形成变花岗岩型钽铌矿床（为主要类型）；岩浆结晶分异-岩浆期后阶段形成花岗伟晶岩型矿床（为富矿类型）；岩浆期后气成-热液阶段形成热液脉型矿床。

总的来说，花岗岩有关的钽铌矿床主要与花岗岩浆的结晶分异及交代作用关系最密切，往往岩体的某一部分即为矿体，并形成主要矿床类型。到岩浆期后阶段，钽铌矿化减弱，只形成次要的或不具独立经济价值的矿床类型。由此可见，矿床类型主要受含矿花岗岩的演化阶段和相应的成矿作用所控制。当含钽铌花岗岩浆分异演化阶段处于相对封闭、稳定的地质环境时，将依演化阶段不同，先后依次形成花岗岩型（REE、Nb）、变花岗岩型（Ta、Nb）及似伟晶岩型，如大吉山、430矿区等。若含矿岩浆处于早期封闭而晚期开放的地质环境，沿构造裂隙即可形成含Ta、Nb细晶岩脉，如431矿区。在栗木地区还可见到变花岗岩型（Ta、Nb）→花岗岩脉、伟晶岩脉（Ta、Nb、Sn）→长石英脉（Sn、W、Ta、Nb）→锂云母萤石细脉（Sn、W）的过渡关系，而且锡石的Ta₂O₅和Nb₂O₅含量向锂云母萤石细脉方向降低，锡石内钽铌元素的赋存状态从以微包裹体为主→类质同象分散状态和微包裹体共存→类质同象（表1.5）。以上变化规律与温度向上降低和矿床类型的变化相对应（夏宏远，1985；1986），说明钽铌独立矿物的沉淀主要发生在岩浆晚期结晶分异-交代作用阶段。随成矿温度降低向岩浆期后阶段发展，钽、铌主要以类质同象杂质分散在锡石等矿物中，故钽铌矿化较弱，锡钨矿化反而增强。