

桂北地区矿床成矿系列 和成矿历史演化轨迹

陈毓川 毛景文 等 著

广西科学技术出版社

桂北地区 矿床成矿系列和 成矿历史演化轨迹

陈毓川 毛景文等 著



广西科学技术出版社

(桂)新登字 06 号

桂北地区矿床成矿系列和成矿历史演化轨迹

陈毓川 毛景文 等 著

广西科学技术出版社出版发行

(南宁市东葛路 38 号)

广西地质印刷厂印刷

*

开本 787×1092 1/16 印张 28 插页 3 字数 68 万

1995 年 3 月第 1 版 1995 年 3 月第 1 次印刷

印 数:1—1 000 册

ISBN 7—80619—113—5
P·1

定价:平装 32.00 元
精装 42.00 元

内 容 简 介

位于扬子地块与华南褶皱系之间的桂北地区富有锡、钨、稀有、稀土、铅、锌、铋、汞等金属矿产。本著集以往研究工作之大成，尤其是在“六五”和“七五”国家攻关项目研究的基础上，以成矿系列学术思想为指导，对区内有色、稀有金属矿产的生成和分布规律进行了深入研究和总结。从元古宙至中生代，划分出与岩浆作用有关的五个矿床成矿系列及亚系列，阐述了各个矿床成矿系列的基本特点和生成演化模式。并着重从地质历史演化角度，探讨了各矿床成矿系列形成规律及不同矿床成矿系列之间成矿物质的继承性。这是从四维空间研究区域成矿规律的成功尝试。

本书适于金属矿床学、地球化学和岩石学方面的科学工作者及高等院校地学专业师生参考。

前 言

一、矿产研究和开发历史

桂北地区位于南岭之西部,包括广西境内北纬 $24^{\circ}20'$ 以北和东经 107° 以东的范围(图1),面积达74500平方公里。区内有沪昆铁路和枝柳铁路通过,交通尚称方便。

根据夏湘蓉(1980)报导,广西早自隋唐时代(公元七世纪初)和北宋年间就有开采铁、锡、金和铅的记载。在南宋年间(约1127年),古人在大厂矿田开始采银。明代,于丹池一带采矿已相当盛行,原生矿和砂矿皆采之,宋应星(明)在其所著的《天工开物》中已明确地记载了该地采锡之盛况。清代在老厂一带对铅、锌、银也有相当规模的开采。

中华人民共和国成立前,一批地质学家先后到桂北地区进行过地质矿产考察研究,初步确定了桂北地区地层层序、构造轮廓,以及矿产种类和分布特点。当时的代表性成果见之于李四光著《南岭何在》(1943)、《中国地质学》(1939)、《广西地台之轮廓》(1941),赵金科著《广西地层发育史》(1940),黄汲清著《中国主要构造单位》(1945)。与其它地区一样,该区自新中国成立以来,地质矿产工作有了突飞猛进的进展。自1955年以来,完成了区内全部1:20万和部分地区1:5万的区调工作,并发现了一大批矿产和矿化点。广西地质矿产局、广西冶金地质勘探公司及广西有色金属地质勘探公司在研究区内对已知金属矿产进行了勘探,开发出一批新的矿产基地,特别是有色金属地质勘探公司所属215地质队在大厂矿田找矿工作中作出了卓越的贡献。到目前为止,桂北地区已成为我国重要的稀有、稀土、钨、锡、铅、锌、铋等矿产基地之一,大厂锡、铅、锌、银、铋超大型多金属矿更是闻名全球。研究区内可划分出5个成矿区(带),即丹池成矿带、九万大山-元宝山成矿区、古陆边缘拗陷成矿带、桂东北成矿区和桂东成矿区。其中主要矿田有大厂矿田、芒场矿田、五圩矿田、宝坛矿田、九毛矿田、北山矿田、泗顶矿田、老厂矿田、栗木矿田、珊瑚矿田和姑婆山矿田(图1)。

50年代末李锡林等对大厂矿床进行了初步研究。60年代前5年及80年代的前5年中,陈毓川等领导的研究集体先后两次在丹池矿带及大厂矿田对矿床地质特征、矿石矿物学和矿带的成矿规律进行了系统的、卓有成效的研究。该研究区也是成矿系列学术思想的源区之一。近15年以来,由于各种现代测试技术的迅速发展和不少新思维、新观点在区内的应用并取得了结果,致使桂北地区矿产地质研究得到了长足进展和全面深化。陈毓川(1983),陈毓川、黄民智等(1985)和陈毓川、裴荣富等(1989)深入地研究了南岭地区燕山期与花岗岩类有关的有色及稀有金属矿床成矿系列,并详细地解剖了研究区内丹池成矿亚系列和桂东成矿亚系列。毛景文(1987)和毛景文、宋叔和、陈毓川(1988)初步研究了古老基底上雪峰期与黑云母花岗岩有关的锡、铜多金属矿床成矿系列。刘元镇等(1985)、尹国栋(1985)和杨冀民(1989)探讨了广西原生锡矿床的地质特征和成矿规律。夏卫华(1985)、赖来仁(1985)、李家驹(1985)、夏宏远(1986)和刘文龙、袁奎荣(1989)先后研究了桂东地区主要矿床的成矿机制。以上研究均证明了花岗岩及其生成演化是锡多金属矿床形成的主要

控制因素。王思源等(1990)曾尝试性地探索了芒场矿田成矿的“层控”性质,但最终研究结果却使他们得到了该矿田与燕山期花岗岩在时空方面的必然联系之结论。此外,章锦统(1989)翔实地论证了栗木矿田的老虎头铌-钽矿床为一种岩浆分异晚期的残浆矿床。

涂光炽(1987)通过研究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、多阶段的成矿特征。并将沉积作用、热泉、热卤水、海底火山活动首先形成贱金属硫化物的矿源层,构造应力驱使 Pb、Zn、As、Sb 等元素再活化成矿和燕山期黑云母花岗岩的侵位与锡多金属叠加成矿论述为该矿田的“三步曲”。叶俊等(1984)提出大厂矿田层状矿体具沉积成因特点;蔡宏渊和张国林(1983)、雷良奇(1986)、周怀阳等(1987)、张国林和蔡宏渊(1987)、陈骏(1988)、韩发和 Hutchison(1989、1990、1991)和徐新煌等(1991)先后论证了大厂矿田同生火山喷气和后期与花岗岩有关热液叠加的成矿机制。刘永树(1981)、胡纯生(1981)、涂光炽等(1981)讨论了泗顶、北山、保安等铅-锌层控矿床的成矿过程,而曾允孚等(1988)则认为以泗顶为代表的铅-锌矿床为二叠纪以后的后生热水矿床。彭大良等(1987)在丹洲群底砾岩中发现有含锡电英岩砾石,毛景文、陈晴勋等(1988)在四堡群中找到了由火山喷气作用所形成的层纹状电英岩锡矿化体,从而证明了桂北地区的锡矿化作用始于早元古宙。杨丽贞等(1987)、毛景文(1987)、毛景文等(1988)在九万大山-元宝山地区发现科马提岩,随即宝坛地区的铜-镍硫化物矿床被证实为同生的火山岩型矿床(毛景文等, 1988)。

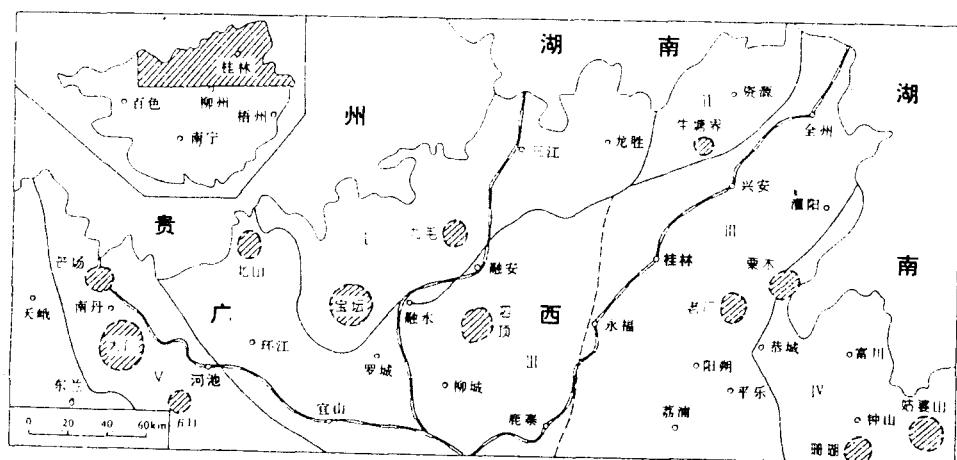


图1 研究区地理位置和主要成矿区带及矿田分布略图

I 九万大山-元宝山 Cu、Ni(Sn)成矿区; II 桂东北稀有、W、U 成矿区; III 古陆边缘拗陷带 Pb、Zn、S (Ag、Cu、Hg、Sb)成矿区; IV 桂东稀有、REE、W、Sn 成矿区; V 丹池 Sn、Pb、Zn、Ag、Sb、Hg 成矿区

二、本书的主要论点

在本次研究的初始阶段,首先认真地整理和分析了前人在区内的研究成果,并将以往资料的二次开发和合理使用作为一个必要的工作内容。在此基础上,对重要成矿带的区域成矿规律、矿床地球化学、全区构造、岩浆岩特征及时空演化、成岩实验等方面,又进

行了专题性的重点研究。并对整个区域的地质演化和成矿作用进行了详细的探索,取得了以下九点主要认识。

1. 基于以往工作,本次研究系统地探讨了研究区内各成矿时期内生金属矿床的分布规律和成因机制。划分出五个矿床成矿系列,即:四堡期与镁铁质-超镁铁质火山岩有关的铜、镍、钴(锡)矿床成矿系列;雪峰期与黑云母花岗岩有关的锡、铜矿床成矿系列;加里东期与黑云母花岗岩有关的钨、锡、铜矿床成矿系列;海西末期-印支期与花岗岩有关的铅、锌、硫矿床成矿系列和燕山期与黑云母花岗岩有关的稀有、稀土、锡、钨、铜、铅、锌、银、锑、汞矿床成矿系列和两个成矿亚系列,即:印支末期-燕山期与花岗岩有关的铌、钽、稀土、钨、锡矿床成矿亚系列和燕山晚期与花岗岩有关的锡、铅、锌、锑、汞、银、砷、矿床成矿亚系列及14个矿床式(大厂式、芒场式、五圩式、大坡岭式、五地式、宝坛式、九毛式、泗顶式、北山式、老厂式、牛塘界式、栗木式、姑婆山式和珊瑚式)。通过岩石学、矿物学、地球化学及区域矿床地质等方面的研究,建立了各矿床成矿系列、亚系列及主要矿床式的成矿模式。

2. 自从成矿系列概念(程裕洪、陈毓川和赵一鸣,1979)提出以来,已在国内及国外得到了广泛的赞同和运用。但迄今为止,几乎所有工作仍集中在对某一个成矿系列本身的研究。为了便于研究地质历史过程中不同成矿系列之间的相互联系,兹结合桂北地区不同时期锡多金属矿床成矿系列出现于同一地区的特点,提出了“成矿系列类型”的概念。成矿系列类型是指相似成矿元素组合以类同的成矿机制形成的矿床成矿系列跨越不同时代出现于同一或不同地区(带)。在桂北地区可以划分出3个矿床成矿系列类型,即与镁铁质-超镁铁火山岩有关的铜、镍、钴(锡)矿床成矿系列类型;与壳幔混源的花岗闪长岩有关的铅、锌、硫(银、铜、汞、锑)矿床成矿系列类型;与壳源黑云母花岗岩有关的稀有、稀土、钨、锡、铜、铅、锌、锑、汞、银、(钼、铀)矿床成矿系列类型。后一类型包括了雪峰期、加里东期和燕山期三个成矿系列和两个成矿亚系列。

3. 通过对桂北地区构造-岩浆活动、成矿系列及主要金属矿物组合、标型矿物、成矿元素(W、Sn、Mo、Bi、Co、Ni、Nb、Ta、Cu、Pb、Zn、Sb、Ag、As、Hg)和挥发组分(F、B、CO₂、Cl)在成岩成矿历史中的演化研究,总结出成矿作用在时空上具有多旋回螺旋式上升的规律。对于各旋回而言,从早到晚,成矿物质从幔源或以幔源为主到壳源,成矿元素组合及其相应的金属矿物组合由少到多;从整个地质历史演化方面看,幔源组分也是趋向减少,壳源组分逐渐增多,成矿组分趋于复杂。成矿作用在空间上显示出从古老基底向外迁移,即在前寒武纪从西向东递变,显生宙则从北向南过渡。由于桂北地区是一个富锡的地球化学异常场区及古老基底对成矿的制约作用,因而锡元素以不同形式多次成矿,表明了成矿的继承性。桂北地区位于扬子地块与华南褶皱系的衔接部位,其成岩成矿的时空演化特征无疑是华南地区成矿规律的一个缩影。

4. 全面整理了以往在桂北地区完成的花岗岩研究成果,并在稀土元素及微量元素等方面作了系统的补充工作,进一步证明了四堡晚期本洞等花岗闪长岩既不是幔源花岗岩石(王德滋等,1982),也不是I型花岗岩(赵子杰,1989),而是一种分异程度较差的壳源花岗闪长岩。三防岩体通常被认为由两阶段复式岩体所组成,本次野外工作和室内测试一致证明该岩体的形成有四个阶段,即片麻状花岗岩、似斑状黑云母花岗岩、中粒-中细粒黑

云母花岗岩和细粒黑云母花岗岩。区内 Sm-Nd、U-Pb、Pb-Pb 同位素模式年龄研究初步表明四堡期和雪峰期花岗岩的成岩物质主要来源于四堡群及更老地层, 显生宙的花岗岩类源于前寒武纪地层, 早元古宙的四堡群是最重要的源区之一。由于四堡群中 Sn 等元素具有初步富集之特点, 因而由其熔融所生成的花岗岩类在不同时代的侵位导致了类似的矿床成矿系列在地质历史中反复出现。另外, 本区壳源花岗岩成矿具有同期多阶段成岩成矿和多期成岩成矿两个演化型式。

5. 具有异常地球化学场的地层与花岗岩及有关矿产之间的因果关系早已为地质学家们所注意和探讨。这些地层是否能够转变成含矿花岗岩? 转变的条件是什么? 这一直是地质学家们所关心的一个问题。此次工作以四堡群为实验原料, 在富 H_2O 、B、F 的各种环境中经熔融和冷凝, 获得了类似于雪峰期黑云母花岗岩的含锡花岗岩石。这就说明了由四堡群及更老地层经重熔作用可以生成雪峰期、加里东期和燕山期的含锡花岗岩。

6. 自从杨丽贞等(1987)、毛景文(1987)和毛景文等(1988)提出在四堡群鉴定出科马提岩以来, 引起了不少学者的关注。由于该套岩石的特殊性, 即有类似科马提岩的一些特点和不同于科马提岩的另一些证据。因而, 赞同和非议并存, 且以后者为主。本次研究初步确认在桂北地区不存在标准的科马提岩, 但部分岩石的确具有科马提岩的某些性质。岩石、矿物、地球化学和同位素资料表明, 元宝山地区和宝坛地区的镁铁质-超镁铁质岩有不同的生成过程。在元宝山地区, 科马提质岩浆直接源于地幔, 随及喷溢到海底, 未在下部地壳经受过明显的同化混染作用。在宝坛地区, 科马提质或富镁拉斑玄武质岩浆及拉斑玄武岩浆在喷溢之前, 可能于下地壳(太古宇?)首先形成一个岩浆房, 经过大幅度的同化混染及部分岩流的结晶分异之后, 再喷溢至海底。这种同化混染作用在诸多方面改变了原始岩浆的成分和性质, 因此这里定义该区的部分镁铁质-超镁铁质岩为类科马提岩(Komatiite affinity)。元宝山地区的超镁铁质岩尽管其成分和同位素证据表明为科马提岩, 但鉴于缺少(或尚未找到)上好的鬣刺结构, 因而也暂时命名为准科马提岩(Parakomatiite)。在国外, 80 年代中期以来, 不少学者业已认识到和开始研究科马提质岩浆在上升过程中与地壳的同化混染作用。桂北地区在早元古宙为一个大陆边缘拗陷槽, 因此, 性质截然不同的岩浆与围岩之间的同化混染作用势在必行。

首次比较系统地研究了火山岩型铜镍硫化物矿床地质和地球化学特征。著者将宝坛地区的主要铜镍矿论证为同属一个层位, 分同生成矿和后生金属活化再成矿两个成矿期次。工业矿体均为同生的层状矿体, 后生矿脉只有叠加在同生矿体之上或产于附近才具有工业价值。还提出了地幔起源、下地壳岩浆房的同化混染和熔离作用, 随后喷溢海底分异成矿的成矿机制和成矿模式。

7. 古陆边缘拗陷带中的老厂、泗顶和北山等一系列铅-锌(锑、汞、铜、硫)矿床(点)的成因问题争议颇大, 是同生的以沉积岩为容岩的喷气矿床、后生的热水矿床, 还是与花岗岩质岩浆活动有关的矿床? 此次工作, 重点解剖了老厂、泗顶和北山矿床。这些矿床的共同特点是: 裂控性质明显大于层控性质(也就是矿床为后生成因); S 和 Pb 同位素显示为花岗岩源; 各矿田之下均有花岗岩体隐伏或出露, 而且从东向西岩体埋藏深度增大。另外, 从东向西, 矿床中的 Ag 含量逐渐降低, S 含量趋向增高。由此可以认为这些矿床是一个与花岗闪长岩类有关的铅、锌、硫(锑、汞、铜、银)矿床成矿系列, 并确定了成矿时代为海西晚期。

8. 华南地区是否有下元古宇及太古宇的存在? 这已是我国地学界所关注的重要基础问题之一。毛景文(1988)通过对区内四堡群镁铁质-超镁铁质岩的 Sm-Nb 同位素年龄测试, 获得了 2412Ma 数据。但由于该工作仅有四个测试点, 大多数学者对该年龄持怀疑态度。本次工作经加密测试点, 获得 2219Ma 的资料。另外, 李献华^①最近在澳大利亚测试同一层位岩石又获得 2090Ma 的 Sm-Nd 同位素等时线年龄。由此可以考虑四堡群归为早元古宙为宜, 至少文通组应属于早元古宙。另一方面, 大量的 Sm-Nd 和 U-Pb 同位素模式年龄数据表明, 区内大部分壳源花岗岩系由下元古宇重熔而成。李福喜在中国地质报上报导了湖北宜昌地区的崆岭群成岩时代为 2300—2400Ma, 袁忠信和张宗清(1992)对福建麻源斜长角闪岩的 Sm-Nd 同位素进行了研究, 获得了 2116Ma 的全岩等时线年龄数据。这些年龄数据基本上揭示了下元古宇在华南地区的存在。

9. 本研究注重了典型矿床式研究与区域成矿规律研究的结合, 成矿理论与找矿预测的结合, 地质地球化学与物化探、航测、遥感等方面技术的结合。在 1988 年 1 月—1991 年 12 月四年工作期间, 边提高和完善理论研究, 边开展成矿预测和靶区优选。迄今已找到和探明了中型银多金属矿床和中型铜矿床各一处, 还提供了 6 个普查靶区和一批预测区段。

本专著共分十章。其中前言由陈毓川、毛景文执笔, 第一章由徐志刚执笔, 第二章由邹天人、梁祥济、周玉林、乔莉执笔; 第三章由陈毓川、毛景文执笔, 第四章由毛景文、陈毓川执笔, 第五章由毛景文、陈毓川执笔, 第六章由王平安执笔, 第七章由朱正书、陈毓川执笔, 第八章由黄民智执笔, 第九章由陈毓川、张招崇、毛景文执笔, 第十章由陈毓川、毛景文、王平安、魏家秀执笔。全书经陈毓川、毛景文修改和统编而成。此外, 邵兆典、徐珏、王登红、张相训、王香成、陈晴勋和龚羽飞自始至终参与了本项研究工作, 但因故未执笔编著。尤其是徐珏承担了大量的区域构造、矿田构造和成矿预测研究, 她所提供的初稿为有关著者们所借鉴和部分采纳。

本专著集作者们在桂北地区 30 年(尤其近 10 年)工作之大成, 亦融汇了他人的不少成果, 经进一步从多学科、全方位的系统研究和提高, 最后成书。多年来, 承蒙中国地质科学院(含地质矿产部矿床地质研究所)和广西地质矿产局的正确领导和大力支持; 在野外工作期间, 广西地质矿产局和广西冶金地质勘探公司及它们所属的各区调、地质勘探队和矿床地质研究所及中国地质大学(北京)在岩石、单矿物和微量元素分析、电子探针分析、放射性同位素年龄和稳定同位素测试等方面给予了积极的协助; 在工作期间, 得到了程裕洪教授、郭文魁教授、张炳熹教授和宋叔和教授的关心和指导; 曾与裴荣富研究员、赵一鸣研究员、赵逊研究员、翟佑华高级工程师、钟铿高级工程师、陈开礼高级工程师、张忠伟高级工程师、朱裕生教授就某些学术问题作过有益的讨论, 获益匪浅; 黄典豪研究员认真通阅原稿, 提出诸多具体而宝贵的意见和建议; 本专著还利用了李纯杰副研究员数十件未曾发表的花岗岩微量元素分析资料; 李红艳、廖英在专著原稿串编时做了大量具体工作和大部分稿件的校正; 王骁红、周国容、王新清承担了全部插图的清绘。在此一并致以衷心谢忱。

^①李献华(1992年8月)与毛景文的私人通信。

目 录

前言	(1)
一、矿产研究和开发历史	(1)
二、本书的主要论点	(2)
第一章 桂北地区地质构造特征	(1)
一、桂北地区地壳演化概况	(1)
二、区域地层、沉积环境及成矿元素地球化学特征	(6)
三、桂北地区构造特征	(24)
四、桂北地区深部构造特征	(35)
第二章 桂北花岗岩类特征及其含矿性	(48)
一、桂北花岗岩类的形成时代和分类及空间分布	(48)
二、桂北花岗岩类的矿物学特征	(58)
三、桂北花岗岩类的岩石化学特征	(64)
四、桂北花岗岩类的含矿性及微量元素地球化学	(71)
五、桂北花岗岩类的成因	(92)
六、桂北含锡黑云母花岗岩形成机理的实验研究	(101)
第三章 成矿系列和成矿系列类型	(128)
一、矿床分类和成矿系列	(128)
二、桂北地区成矿系列的划分	(129)
三、各矿床成矿系列和亚系列中矿床成因类型	(131)
四、矿床在地质历史中演化和成矿系列类型	(131)
第四章 九万大山—元宝山地区与四堡期镁铁质—超镁铁质火山岩有关的 铜—镍(锡)矿床成矿系列	(136)
一、区域地质背景简述	(136)
二、熔岩地质和地球化学	(139)
三、铜镍硫化物矿床成矿系列	(157)
四、成岩成矿构造环境和成因模式	(168)
五、四堡期锡矿化的基本特征	(178)
六、结束语	(185)
第五章 九万大山—元宝山地区与雪峰期黑云母花岗岩有关的锡铜多金属 矿床成矿系列	(186)
一、一洞—五地锡铜多金属矿床的成矿地质特征	(186)
二、红岗—沙坪锡铜多金属矿床成矿地质特征	(193)
三、九毛—六秀锡铜多金属矿床成矿特征	(198)
四、交代建造和交代系列	(201)
五、成矿环境和成矿物质来源	(203)

六、雪峰期矿床成矿系列和成矿模式	(209)
第六章 古陆边缘褶皱带内与海西晚期—印支期花岗闪长岩有关的铅、锌、硫	
矿床成矿系列	(217)
一、区域成矿条件	(217)
二、老厂式矿床的主要地质特征	(219)
三、泗顶式矿床的主要地质特征	(240)
四、北山式矿床的主要地质特征	(254)
五、古陆边缘褶皱带内与海西晚期—印支期花岗闪长岩有关的铅、锌、硫	
矿床成矿亚系列的主要特征和成矿模式	(264)
第七章 桂东地区与印支晚期—燕山期花岗岩有关的铌、钽、稀土、钨、锡	
矿床成矿亚系列	(268)
一、区域成矿环境概述	(268)
二、栗木矿田钨锡铌钽矿床	(270)
三、姑婆山稀有、稀土、有色金属矿床	(280)
四、珊瑚矿田钨锡矿床	(289)
五、桂东地区锡多金属矿床成矿亚系列的若干特征	(303)
第八章 丹池地区与燕山晚期黑云母花岗岩有关的锡、铅、锌、铋、汞、银、砷矿床	
成矿亚系列(简称丹池成矿亚系列)	(311)
一、区域地质构造背景	(311)
二、成矿地质条件	(314)
三、成矿特征及其分带性	(328)
四、成矿机理及成矿亚系列模式	(347)
第九章 围岩蚀变与成矿作用	(353)
一、交代类型和交代矿物组合	(353)
二、围岩蚀变的分带特征	(370)
三、蚀变过程的地球化学变化	(375)
四、围岩蚀变过程探讨	(382)
第十章 成矿作用的历史演化轨迹	(393)
一、地球化学场与成矿	(393)
二、火成岩演化与成矿	(394)
三、挥发组分示踪成矿轨迹	(396)
四、金属矿物对成矿历史演变规律的指示	(399)
五、主要成矿元素的时空演化特点	(402)
六、铅、硫稳定同位素的演化	(404)
七、桂北地质构造—岩浆活动—成矿系列演化规律	(410)
参考文献	(414)

METALLOGENIC SERIES OF ORE DEPOSITS AND METALLOGENIC EVOLUTION THROUGH GEOLOGIC HISTORY IN NORTH GUANGXI

Chen Yuchuan, Mao Jingwen and Others

Preface	(1)
1. Research and development history of mineral resources in North Guangxi	(1)
2. Major achievements in this book	(2)
Chapter 1 Geological setting and tectonic movements in North Guangxi	(1)
1. Evolutional outline of the crust	(1)
2. Regional stratigraphical sequences and geochemistry of ore-forming elements	(6)
3. Regional structure	(24)
4. Deep structure	(35)
Chapter 2 Characteristics of granitoids and their association with polymetallic ore deposits	(48)
1. Rock-forming time, classification and distribution of granitoids	(48)
2. Mineralogy of granitoids	(58)
3. Petrochemistry of granitoids	(64)
4. Geochemistry of trace elements of granitoids	(71)
5. Rock-forming mechanism of granitoids	(92)
6. Experimental study of tin-bearing biotite granite	(101)
Chapter 3 Metallogenic series of deposits and its classification	(128)
1. Classification of ore deposits and metallogenic series	(128)
2. Division and classification of metallogenic series of ore deposits	(129)
3. Genetic types of ore deposits in varied metallogenic series and submetallogenic series of deposits	(131)
4. Types of metallogenic series of ore deposits and metallogenic evolutions through geological history	(131)
Chapter 4 Metallogenic series of Cu-Ni (Sn) deposits associated with Sibao (Early Proterozoic) ultramafic-mafic volcanic rocks in the Jiuwandashan- Yuanbaoshan region	(136)
1. Outline of regional geological setting	(136)
2. Geology and geochemistry of lavas	(139)
3. Metallogenic series of Cu-Ni sulfide deposits	(157)
4. Environment and model of rock-forming and metallogenesis	(168)
5. Basic characteristics of Sibao tin mineralization	(178)

6. Conclusion	(185)
Chapter 5 Metallogenic series of polymetallic tin deposits associated with Xuefeng (Late Proterozoic) biotite granite	(186)
1. Metallogenic characteristics of the Yidong-Wudi polymetallic tin-copper deposit.....	(186)
2. Metallogenic characteristics of the Honggang-Shaping tin copper deposit	(193)
3. Metallogenic characteristics of the Jiumao-Liuxiu polymetallic tin-copper deposit.....	(198)
4. Metasomatic formations and metasomatic series	(201)
5. Metallogenic environment and source-derived of metallogenic substances	(203)
6. Metallogenic series and metallogenic model of Xuefeng polymetallic tin deposits	(209)
Chapter 6 Metallogenic series of lead, zinc and sulfur deposits associated with Late Hencynian-Indosinian granitoid in marginal foldbelt neighbouring south to the Yangtze old continent	(217)
1. Reginal metallogenic conditions	(217)
2. Major geological characteristics of the Laochang deposit	(219)
3. Major geological characteristics of the Siding deposit	(240)
4. Major geological characteristics of the Beishan deposit	(254)
5. Major characteristics and metallogenic model of metallogenic series of lead, zinc and sulfur deposits associated with Late Hencynian-Indosinia granitoids in the marginal foldbelt of the Yangtze old continent.....	(264)
Chapter 7 Metallogenic subseries of polymetallic rare metals, tungsten and tin deposits associated with Late Indosinian-Yanshanian granites in the Guidong region	(268)
1. Outline of regional metallogenic environment	(268)
2. Tungsten, tin, niobium and tantalum deposits in the Limu ore district	(270)
3. Rare, rare earth and nonferrous metal deposits in the Guposhan ore district.....	(280)
4. Tungsten and tin deposits in the Shanhu ore district.....	(289)
5. Some characteristics of metallogenic series of polymetallic tin deposits in the Guidong region	(303)
Chapter 8 Metallogenic subseries of polymetallic cassiterite sulfide deposits associated with Late Yanshanian biotite granites in the Danchi region	(311)
1. Regional geologic-tectonic setting	(311)
2. Geological condition of metallogenesis	(314)
3. Metallogenic characteristics and mineralization zoning	(328)

4. Metallogenic mechanism and model of the metallogenic subseries	(347)
Chapter 9 Wall rock alterations and their relationship to metallogenesis	(353)
1. Metasomatic types and metasomatic mineral assemblages	(353)
2. Zoning characters of wall rock alterations	(370)
3. Geochemistry during wall rock alterations.....	(375)
4. Mechanism of wall rock alterations.....	(382)
Chapter 10 Metallogenic evolution through geological history.....	(393)
1. Relation between geochemical field and mineralizations	(393)
2. Igneous rock evolution and its relationship to metallogenesis	(394)
3. Metallogenic process traced by some volatile components	(396)
4. Historic evolution of metallogenesis implied by metal minerals	(399)
5. Spatial-temporal evolutionary characteristics of ore-forming elements	(402)
6. Evolution of lead and sulfur isotopes	(404)
7. Evolutional regularities of tectonic movements-magmatic activities-metallogenesis	(410)
References	(414)

第一章 桂北地区地质构造特征

桂北地区范围大致在北纬 $24^{\circ}00'$ — $26^{\circ}20'$ ，东经 $107^{\circ}00'$ — 112° ，属传统的扬子准地台、华南加里东褶皱带及桂西印支褶皱带间的过渡区。近年来，华南地质构造研究取得了重大进展，使我们能较客观地和正确地追溯桂北地区的地壳演化和基本构造格架及其对成矿作用的控制。

一、桂北地区地壳演化概况

华南地区地质构造研究已取得了重大进展：

1. 确定扬子准地台除有中元古宙变质基底外，还存在晚太古宙和早元古宙结晶基底

扬子准地台西缘康定群、哀牢山群和北缘崆岭群及其相当的中—深变质岩系中发现麻粒岩相岩石，并测得同位素年龄 $1958\text{—}2950\text{Ma}$ ；钻孔证实下一中元古宇大红山群变质岩系($1701\text{—}1900\text{Ma}$)之下有深变质片麻岩和片岩；不整合于康定群之上的中元古宇盐边群的底砾岩中，有较多麻粒岩砾石(赵友年等，1988；卢良兆等，1988)。崆岭群局部地段有麻粒岩相岩石，并获得 2850Ma 的 U-Pb 锆石不一致曲线年龄(转引自任纪舜等，1990)。侵入崆岭群的黄陵花岗岩中锆石的 U-Th-Pb 年龄为 2375Ma (杨志坚，1987)。四堡群陆源碎屑岩地层的 U-Pb 锆石年龄为 $2573\text{—}2935\text{Ma}$ 。三防花岗岩中残留锆石年龄为 2860Ma (康自立，1987；转引自王砚耕，1988)和 2800Ma (卢良兆，1986)。梵净山群砾岩中花岗质岩砾石的矿物成分和化学成分迥异于该区武陵期花岗岩，可能源自远离梵净山区的花岗质地壳(王砚耕，1988)。湖南汤湖花岗岩中残留锆石的 U-Pb 不一致线上交点年龄为 2516Ma (李献华等，1989)，广西清湖石英二长岩体中锆石的 U-Pb 不一致线上交点年龄为 2642Ma (袁忠信等，1992)。武夷—云开加里东变质带高州云灯混合花岗岩中出现少量麻粒岩残留体(董申保，1986)。桂北西部的都安地区燕山期煌斑岩脉中有大量来自深处的麻粒岩和混合岩角砾(广西区域地质志，1985)。

2. 重新厘定了“华夏古陆”的存在及其范围

袁忠信等(1991)测得闽北麻源群斜长角闪岩、麻粒岩和云母片岩的 Sm-Nd 同位素年龄为 2116Ma 。水涛(1987)依据用多种计时法获得的浙闽陈蔡群和建瓯群同位素年龄数据及地质事实论证了包括海南岛在内的华夏古陆存在于 $2000\text{—}900\text{Ma}$ 间，在雪峰期沿绍兴—江山断裂带与江南古陆对接碰撞，但向赣湘粤桂开放，形成残洋。但部分学者认为浙闽陈蔡群和建瓯群及武功山区、诸广山区前震旦系仅是华南加里东地槽系中的岛弧(中间地块和活动地块)(王鸿祯，1985，1986；杨巍然等，1986)，前震旦纪的华夏板块应位于海岸线以外，即印支—南海地台(任纪舜等，1990)。

浙、闽、湘东、粤、桂震旦纪—早古生代陆源碎屑主要来自东南大陆，桂北的“江南古陆”当时可能并不存在(陈焕疆，1986；广东省区域地质志，1988；钟铿，1984)，如湘

东的桂东、资兴和汝城一带震旦纪粗屑长石石英砂岩、岩屑砂岩的粒度由西向东明显增粗,显示闽、粤、赣交界地区可能存在一古陆(王任衡,1988)。

3. 确定了前震旦纪地层的变质相系和类型

康定群、大红山群、崆岭群及陈蔡群均曾经历过低压相系型及中(低)压相系型的区域动力热流变质作用(低绿片岩相—低角闪岩相),原岩建造从下往上由中基性火山岩演变为火山质硬砂岩—复理石建造,代表由硅镁环境向硅铝环境的转变,相当于陆壳的形成(程裕淇等,1986;董申保等,1986);四堡群、梵净山群、冷家溪群和双桥山群仅经历了区域低温动力变质作用,由此可推测华南地区在早元古宙末曾形成过一个统一的古陆。

4. 深入研究了扬子准地台南缘“江南隆起”上的“中元古宙”地层的时代及形成环境

对以往原定为中元古宇并形成于岛弧环境的四堡群、梵净山群、冷家溪群、双桥山群和双溪坞群的深入研究表明,这些地层并不等时,且形成于不同的构造环境。

桂北四堡群曾据其被 1063Ma 的本洞岩体侵入而定为中元古宙,并被认为可能相当于蓟县纪。董宝林(1987)测得宝坛地区文通组上段镁铁质熔岩全岩 Rb-Sr 年龄为 $1667 \pm 247\text{Ma}$,推测该群形成于 1800—1400Ma 之间,即相当于长城纪,建造特征显示其不属于蛇绿岩套,而是形成于与离散构造有关的裂陷槽中。毛景文等(1990)测得元宝山地区及宝坛超镁铁质—镁铁质熔岩 Sm-Nd 等时线年龄为 $2219 \pm 111\text{Ma}$ ●,将其时代定为早元古宙晚期。但若考虑到四堡群变质程度远低于华南地区中深变质的早元古宙地层,因而四堡群时代应主要是早元古宙晚期—中元古宙早期。本著暂定为早—中元古宙。

黔东北梵净山群的组成和层序大致与四堡群相同,其中部的火山—沉积序列(回香坪组)由变枕状基性熔岩、拉斑玄武岩和暗色细碎屑沉积岩组成,并有层状的基性—超基性岩(具鬃刺结构的科马提岩),不具蛇绿岩特征,而显示出裂谷盆地的充填序列(王砚耕,1988)。

湘北冷家溪群为厚万余米的含火山碎屑的泥质、粉砂质浊积岩,益阳石咀塘、浏阳上白该和文家市等地夹基性枕状熔岩、细碧岩和玄武岩。在石咀塘一带,变基性火山岩厚 2000m,枕状熔岩化学成分属拉斑玄武岩—玄武质科马提岩,具典型的橄榄石、单斜辉石显微鬃刺结构(现为变中空骸晶鬃刺结构)(肖禧砥,1988),显示其形成环境相似于四堡群和梵净山群。

赣西北双桥山群(或九岭群)和皖南上溪群为厚逾 13000m 的火山—沉积岩系,有的地段发育细碧岩,并有超基性岩构成的蛇绿岩套。前者 Rb-Sr 等时线年龄为 1401Ma(江西省区域地质志,1984)和 $1515 \pm 241\text{Ma}$ (徐备,1989),后者 Sm-Nd 等时线年龄为 1286Ma(张光弟等,1990)和 1024Ma(杨杰东等,1989)。浙西双溪坞群为厚 4000m 的火山—浊流沉积,英安岩中两个锆石 Pb-Pb 年龄分别为 $903.6 \pm 3.9\text{Ma}$ 和 $875.0 \pm 4.3\text{Ma}$,时代应为晚元古宙早期,而不是原先认为的中元古宙。绍兴平水一带者为细碧角斑岩建造,并有幔源型石英闪长岩(Rb-Sr 等时线年龄为 $852.6 \pm 7.8\text{Ma}$)(祁岷等,1986),属晚元古宙早期岛弧型火山—沉积建造;而赣中新余一带神山群和上饶一带漆工群显示火山岛弧沉积组合,并有武功山和赣北两超基性岩带。赣东北上墅群和赣西北修水群为凝灰浊流沉积,发育鲍马序列,属弧后盆地浊积岩沉积。

●李献华(1992)在澳大利亚悉尼大学地质系用 Sm-Nd 方法测得同一地层的年龄为 2090Ma。

5. 海南岛地质构造研究取得新进展

通过对西沙群岛永兴岛新第三系之下的云母石英片岩、花岗质片麻岩和片麻状花岗岩的 Rb-Sr 同位素年龄测试, 获 1465Ma 数据, 以及海南岛南端崖县发育寒武—奥陶系地台型沉积, 显示南海地台的存在(任纪舜等, 1980—1990); 但此地台型沉积的层序、沉积类型、含矿性(含磷)和产三叶虫等特征酷似澳大利亚的; 海南岛中—北部活动类型的下古生界的沉积变质和变形特征迥异于大陆地区的, 直至早石炭世早期, 动物群(如 *Fusella*, *Neospirifer*)还具南大陆和南特提斯色彩, 因此, 可能以琼州海峡断裂为界与广东大陆分属不同构造域(王鸿祯, 1986; 杨巍然等, 1986)。正是由于南海板块与扬子板块在印支旋回晚期沿琼州海峡断裂的对接碰撞, 使我们南岭东西向构造带的形成、印支期花岗岩侵位及构造特征得出了较合理的解释。

6. 火山—深成岩物质来源研究显示它们系由硅铝质下陆壳物质重熔而成, 东南沿海火山岩带深部及华南加里东褶皱系之下存在早—中元古宙基底

浙西寿昌组火山岩中继承锆石年龄为 1530Ma。浙东磨石山组火山岩 Sm-Nd 模式年龄为 1320—1180Ma, 两个重熔型中生代花岗岩 Sm-Nd 模式年龄为 1600Ma 和 1200Ma(陈江峰, 1987; 转引自水涛, 1987)。诸广山型黑云母花岗岩、大容山型堇青石花岗岩和关帝庙型二长花岗岩的 Sm-Nd 模式年龄为 1200—950Ma(王联魁等, 1987)。中国东南部花岗岩都具 2000—1000Ma 的元古宙模式年龄(江博明, 1987)。袁忠信等(1992)对华南 50 个花岗岩类岩体 Sm-Nd 同位素特征的研究, 表明其大多具元古宙的模式年龄(2384~1139Ma), 少数岩体或样品还具太古宙模式年龄(3317—3720Ma)。西华山花岗岩的岩石学、矿物学和稀土元素特征显示其由下陆壳重熔改造而成, 并非由震旦—寒武系砂页岩重熔而成(李亿斗等, 1986)。

7. 根据华南海西—印支地台沉积相和沉积环境的研究, 确定了某些基底断裂复活或新生断裂的小型扩张, 形成浅海台地上断槽或箕状盆地, 进而形成台地型和台沟型两种不同类型的沉积(王鸿祯等, 1985; 广西地质矿产局, 1985)(详见第二节)。

8. 中国东部自晚印支旋回以来进入滨太平洋构造域发展阶段, 并可能受到了库拉板块因库拉—菲尼克斯洋脊扩张、沿北北西向转换断层斜向俯冲于亚洲大陆板块之下的俯冲作用影响。这种北北西向斜向俯冲作用导出亚洲大陆板块与库拉(太平洋)板块间的南北向左行剪切应力和库拉板块对亚洲大陆板块的西向挤压应力, 加之中国东部前中生代基底构造的制约, 使中国东部不同地段处于不同的构造应力场作用之下, 进而形成具不同岩浆作用和成矿作用特征的东北、华北和华南三个构造—岩浆成矿省及诸多的构造—岩浆成矿带(徐志刚, 1985; Xu Zhigang, 1990)。就华南地区而言, 该区距库拉板块俯冲带较近, 主要受到库拉板块西向挤压作用, 致使先期以云开—武夷隆起为核部的巨型隆起更趋加强, 隆起背景上形成一些断陷盆地; 东部沿海地区受构造挤压作用强烈、积累能量引起下陆壳大规模局部熔融, 并发生强烈而广泛的酸性—中酸性火山—深成岩浆活动; 往内陆, 构造挤压作用渐弱, 岩浆活动(特别是火山作用)也渐弱, 并受前中生代的“加里东隆起”和“海西—印支台陷”控制, 成矿作用特征也逐渐有所不同。

根据华南地质构造研究的新进展, 笔者认为华南地区除了存在中元古宙—晚元古宙早期褶皱基底外, 还确实存在晚太古宙—早元古宙变质基底, 且可能于早元古宙末组成一个统一的扬子—华夏古陆。这个统一的扬子—华夏联合古陆西南部从早元古宙晚期起, 局部