

西南“三江”多岛弧造山过程 成矿系统与资源评价

潘桂棠 徐 强 侯增谦 王立全 杜德勋 莫宣学
李定谋 汪名杰 李兴振 江新胜 胡云中 著



地质出版社

西南“三江”多岛弧造山过程 成矿系统与资源评价

潘桂棠 徐 强 侯增谦 王立全
杜德勋 莫宣学 李定谋 汪名杰 著
李兴振 江新胜 胡云中

地 质 出 版 社

· 北 京 ·

内 容 简 介

本专著系国土资源部“九五”资源与环境(资源部分)科技攻关项目有关西南“三江”地区中段矿产资源的最终研究成果。笔者在对重点成矿区的大量研究成果和野外实地调查分析研究的基础上,运用新理论和新思路对该区铜、金、银、铅、锌等大型/超大型矿床的成矿地质条件及成矿规律提出了新的认识,为建立国家级的有色金属、贵金属矿产资源基地和提高国家资源保证程度及优选靶区提供了科学依据;并根据洋-陆构造体制的演化特征与成矿环境类型,成矿系统的主控要素与成矿作用过程,矿床化学组合与矿床成因类型,首次对“三江”地区进行了成矿系统分类,初步划分出4个成矿区系统和12个成矿系统。

该专著的研究成果实用性强,对指导有关研究人员在“三江”地区进一步寻找大型/超大型矿床资源,开发、研究优势矿产,促进资源开发和产业成长,具有重要的参考价值。

图书在版编目(CIP)数据

西南“三江”多岛弧造山过程成矿系统与资源评价/潘桂棠等著. -北京:地质出版社, 2003.5

ISBN 7-116-03872-8

I. 西… II. 潘… III. ①矿床成因论-研究-西南地区②矿产资源-综合评价-西南地区
IV. P617.27

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2003)第 056607 号

责任编辑:王培生 江晓庆

责任校对:李 玫

出版发行:地质出版社

社址邮编:北京海淀区学院路31号,100083

电 话:(010) 82324508(邮购部);(010) 82324573(编辑室)

网 址:<http://www.gph.com.cn>

电子邮箱:zbs@gph.com.cn

传 真:(010) 82310759

印 刷:北京印刷学院实习工厂

开 本:787mm×1092mm¹/₁₆

印 张:26.75

字 数:651千字

印 数:1—1000册

版 次:2003年5月北京第一版·第一次印刷

定 价:66.00元

ISBN 7-116-03872-8/P·2388

(凡购买地质出版社的图书,如有缺页、倒页、脱页者,本社发行处负责调换)

前 言

本专著是国土资源部“九五”资源与环境（资源部分）科技攻关项目。“西南‘三江’中段重要成矿带的地质构造演化与贵金属、有色金属成矿规律和远景预测研究”的最终研究成果。该项目合同编号为 95-02-001。项目负责单位为成都地质矿产研究所、中国地质科学院矿产资源研究所，参加单位有中国地质大学（北京、武汉）、宜昌地质矿产研究所、成都理工大学、四川省地勘局、云南省地勘局、西藏自治区地矿厅。项目负责人是潘桂棠、胡云中、徐强。中国西南“三江”地区，自 20 世纪 70 年代以来一直是我们进行区域地质调查、资源评价、基础研究的重点片区。20 世纪 80 年代以来先后出版了《三江地质志》、《三江地质图》、《三江地区构造岩浆带的划分与矿产分布规律》、《西南三江地区特提斯构造演化与成矿（总论）》、《东特提斯地质构造形成演化》等一系列丛书和专著。本专著是对以往研究成果的系统总结，也是全体参加项目课题研究人员勤奋工作、艰苦拼搏的结晶。

一、研究区范围、工作任务和目标

（一）研究区范围

“九五”“三江”科技攻关项目主攻“三江”地区的中段，其研究范围北起西藏邓柯，南至云南永平，东达四川甘孜、云南剑川以西，西至西藏丁青、八宿和云南贡山一带，即北纬 $25^{\circ}20' \sim 32^{\circ}40'$ ，东经 $95^{\circ} \sim 101^{\circ}$ ，约 30 余万平方公里。

（二）工作任务和目标

攻关项目任务要努力体现“深化、提高、拓展和见效”的指导思想，树立地质科研工作面向国家经济建设、面向地质找矿的思想，贯彻我国经济建设战略重点西移的方针。

本项目为原地质矿产部“‘三江’特别找矿计划”的重要组成部分之一，其任务与目标是：

（1）在重点成矿区进行科研-地勘协同攻关，力争在短期内取得突破，确定一批大型-超大型的矿床勘查基地，为在“三江”地区建立国家级的重要有色金属、贵金属矿产资源和提高国家资源保证程度提供依据；

（2）在大量研究成果和地勘工作基础上，运用新理论和新思路对该区铜、金、银、铅、锌等大型/超大型矿床的成矿地质条件、成矿规律提出新认识，为优选靶区提供依据；

（3）紧密结合“‘三江’特别找矿计划”，选择一批不同类型的矿床进行解剖，查明控矿因素、成矿机理，确定矿床类型，应用计算机技术进行成矿预测，提交 5~8 处短期内可能突破的找矿靶区，力争为“十五”寻找到大型/超大型矿床资源评价工作区 3~4 处。

二、主要研究内容、思路、方法和技术路线

（一）主要研究内容与关键科学技术问题

根据项目的攻关目标、任务要求和历年来的研究工作基础，研究内容要紧密结合国家

急缺的以铜为主的有色金属和贵金属矿产最有成矿远景的矿带，选择能带动全局、影响全局的关键性问题，以创新的精神组织多学科、多种手段（地质-物探-化探-遥感等）的联合攻关。基础地质研究工作要紧紧围绕区域成矿规律工作而展开，应以与成矿有关的基础地质问题为研究重点；成矿规律的研究工作，以区域成矿规律为重点，做到点面结合。点上工作应选择一批不同成因类型的有代表意义的矿床（点），进行必要解剖，查明控矿因素，确定成矿类型，研究成矿作用特征，目的在于为研究区域成矿规律奠定基础；面上工作应研究区域控矿因素，确定不同矿床类型，划分区域成矿分带，结合物、化、遥特征，建立区域成矿模式，圈定大型、特大型矿床的远景区。本项目主要抓三个关键科学技术问题：①弧-盆系统演化和碰撞后造山过程的地质、地球化学的时空结构、组成特征及“盆、相、位”的控矿与成矿作用；②重要成矿带的地质构造演化及金属矿产成矿规律；③盆-山转换及成矿富集区的成矿条件。在项目及课题的研究过程中，广泛吸收国内外新理论，开拓科研找矿新思路，采用一些适用的新技术、新方法，结合“三江”地质条件，形成自己的研究思路和技术方法组合；强调地质、地球物理、地球化学研究方法多学科的结合，重视战略性勘查技术和科研找矿的先行作用。

项目下设置六个课题：①“三江”地区碰撞造山过程及其与成矿关系研究；②“三江”地区中段铜、金区域成矿岩石地球化学研究；③金沙江结合带构造演化及铜、金成矿条件研究；④义敦岛弧带构造演化与多金属成矿规律研究；⑤昌都盆地演化及其成矿条件研究；⑥兰坪盆地演化及其成矿条件研究。各课题攻关目标明确，重点突出，相互间又适当交叉，协调配合，紧密围绕项目的攻关总目标所要求解决的关键问题，构成完整的研究体系。

（二）研究思路与切入点

“九五”“三江”攻关项目是在前人18年来大量地勘和科研成果的基础上开展的，在指导思想，项目坚持以原地矿部“‘三江’特别找矿计划”的地勘工作为依托，运用现代地质理论，采用多学科新方法，与地-物-化等地勘工程密切结合，协同攻关；研究成果快速向地勘转化，向促进生产力发展转化。

在研究工作的切入点上，强调确定以东特提斯多岛弧-盆系时空演化和碰撞后造山带形成过程为主线，将成矿作用定位为弧-盆→造山演化过程的一个不可逆的随机事件，揭示长期地质过程演化中的成矿自组织状态；以不同时期洋-陆转换、盆-山转换、壳-幔转换形成的不同构造环境与成矿作用过程耦合关系为基点，深层次揭示两种过程的内在联系；加强各构造单元相互作用和各层圈相互作用研究，重点对“三江”造山带大型/超大型矿床的成矿地质条件、控矿要素、成矿规律提出新认识，在成矿预测上要有新发现，为优选靶区提供科学依据。

“三江”地区经历了大洋岩石圈向大陆岩石圈构造体制的转化，多弧-盆系统向多岛弧的弧-弧、弧-陆碰撞造山的转换，以及复合碰撞造山向陆内走滑转换造山的转变。造山带内保存有地球上部各圈层多期、多来源的各种物质循环、转换和汇聚、混杂的记录，内含超越时空构造单元和层圈的成矿流体活动演化轨迹的信息。要通过对各类大、中型矿床成矿条件的对比，赋矿盆地分析，构造-岩浆-热流体事件，成矿物质的富集、运移和赋存的地质信息提取研究，对成矿富集区与各地质块（或岩体、岩片）的边缘转换带耦合关系，有序的成矿分带、分段和不同的成矿类型进行精细研究，其中成矿类型的确定是推动项目研究的关键。考虑当前急需的重点突破要求，“九五”期间“三江”项目在成矿类型

上主要抓以下几种类型的矿床进行立典式研究：即“结合带或火山弧中的喷流沉积块状硫化物型矿床，碰撞后陆内造山过程的斑岩型矿床，以及与推覆、滑脱构造和走滑断裂、韧性剪切带有关的中低温热液型矿床和层控沉积改造型矿床。将矿床系列视为构造-盆地演化阶段的特定产物，把区域成矿事件纳入到区域的多岛弧-盆山转换的动力学演化过程中去考察研究，这不仅有利从本质上和整体上把握盆-山转换过程中成矿作用过程，而且将极大增强对区域内矿床的预测能力。

（三）研究方法

在研究区分“点”、“区”和“带”三个层次开展攻关。依据研究区域成矿地质条件，对重要成矿区（带）充分利用地、物、化、遥等新技术、新方法，从区（带）中圈定和优选出一批找矿靶区；对重点靶区采用新技术和新方法进行快速而有效的评价，确定具有大、中型远景规模的普查评价基地；对重要矿床或矿区进行成矿模式研究，建立评价准则和找矿标志，以指导矿带的找矿工作；要重视优势矿产的开发条件研究，促进资源开发和产业成长。

在成矿带层次，要引进地学新理论（如构造-层序转换界面流体成矿统一地质场、地质流体与成矿、弧间裂陷盆地与成矿、构造过程与成矿过程相耦合的统一动力系统等新思维），开拓新思路，进行深入的野外地质工作，填制精细的剖面图和岩性岩相图。既要研究特定构造单元的成矿，又要研究跨单元成矿作用之间的联系和耦合关系；既要研究成矿的定位部位，又要研究成矿流体运移的方向和轨迹。此外，还要重视成矿带的微细结构，如结合带中应进一步确认混杂岩类型和形成演化过程对成矿的约束，加强赋矿盆地分析，加强陆缘火山弧、岛弧的性质、类型和时空结构分析，特别是地质体的年代学研究，提示成矿带的成矿规律。

在成矿富集区层次，要通过采用地、物、化、遥综合研究，进行矿田地质构造解剖和区域赋矿部位、赋矿盆地的对比研究，分析不同层次、不同级别的示矿要素；要确定富集区内各种成矿类型以及各类型矿床的相互关系，分析厘定成矿系列；要结合室内的构造岩石、构造地球化学、岩石地球化学、成矿年代学、流体包裹体、同位素研究，尽可能对成矿过程进行模拟，建立区域成矿模型。

在有远景规模的矿区（点）层次，要在综合地、物、化、遥的致矿异常筛选的基础上，对控矿的构造样式、岩石组合的时空分布、沉积层序与成矿元素的空间结构、热液蚀变中心及矿带追踪，确定主要的控矿要素，确认成矿类型；要选择与矿区找矿相应的物化探技术（或收集各种物探数据）对各种示矿要素、示矿信息，运用计算机技术进行处理，提取和综合分析，以圈定矿化富集部位，利用综合方法对矿床进行定位预测。

（四）技术路线

为促进国家经济的可持续发展，实施经济建设战略重点的西移，立足于“三江”近30年地质勘查和15年来科研攻关的工作基础，着眼于建立支撑国家经济建设的大型金属矿产资源基地，选准“九五”攻关项目关键科学技术问题和切入点，在高水平上组织多学科协同攻关，并尽量采用高新技术，努力为我国新世纪金属矿产基地提供资源依托。同时，大力推进工作区矿产科技开发和科技经济的一体化工作，使矿业开发成为“三江”地区的支柱产业，为少数民族边远地区的脱贫致富做出贡献。

在研究工作中，要坚持从面着眼、从点入手、点面结合的原则，以区域成矿规律研究

为核心内容，面上工作要加强对矿点和矿化线索的野外调查工作。同时，项目坚持以地、物、化、遥相结合的综合研究。

在攻关内容上，重点抓“三江”造山带的洋-陆、盆-山、壳-幔转换，弧、盆相间的多岛弧-盆系统，以及碰撞造山效应与综合成矿理论等重大的基础地质和矿产地质关键问题；抓三大成矿带的大型/超大型矿床的成矿规律，成矿预测和靶区快速评价工作。

在矿种上，主攻铜、金、银、铅、锌等国家急缺矿种，兼顾其他优势矿产。地质研究要立足于找大矿、特大矿。在攻关战略布局上，主攻金沙江构造成矿带中段，深化义敦岛弧带南段，开拓昌都-兰坪赋矿盆地对比的研究。在金沙江带，不仅要提出金沙江结合带构造演化过程的新认识，更重要的是必须发现有科学依据的、可望突破的3个大型矿床的找矿靶区；义敦岛弧带不仅要划分出岛弧带的微细结构以及提出演化过程的新认识，也要以新思路研究并提交两个大型矿床的找矿靶区；对于兰坪赋矿盆地提交以铜为主的多金属大型矿床1处，昌都赋矿盆地提交大型铅锌矿床1处和有色金属矿床1处。按此部署则必将对新世纪找矿工程做出重大贡献。

在项目各课题的协调上，以地矿勘查跨世纪工程“特别找矿计划”为依托，各课题既自成体系、各有侧重、突出重点，又形成一个目标明确、任务清晰、相互关联的研究系统。结合带及成矿研究中要重视研究火山弧系统的成矿，岛弧带及成矿研究也要联系结合带的演化；赋矿盆地研究不仅是研究盆地主体，更重要的是将其与两侧的造山带联系起来，对成矿作用进行详细地研究。

攻关队伍是一支能吃苦耐劳、严谨求实的优秀科研队伍，是集研究机构、高等院校、产业部门的地质矿产科技力量之长形成的优势互补、协同配合的攻关队伍。

本书由项目负责人、课题研究专家共同讨论，形成编写提纲，分章编写。其中，前言由潘桂棠、杜德勋撰写；绪论由胡云中、侯增谦、潘桂棠撰写；第二章由潘桂棠、徐强、王立全、李兴振、江新胜、汪名杰、李定谋撰写；第三章由侯增谦、王立全、汪名杰撰写；第四章由莫宣学、沈上越、徐启东、喻学惠、魏启荣、李文昌撰写；第五章由李定谋、王立全、汪名杰撰写；第六章由徐强、潘桂棠、侯增谦、王立全撰写；第七章由王立全、侯增谦、杜德勋、潘桂棠撰写；结语由潘桂棠、杜德勋撰写。全稿最后由潘桂棠、胡云中、徐强统纂。预测图编制由徐强、李定谋、王春娣完成。英文摘要由王承书翻译。

本项目由原地质矿产部科学技术司立项、资助，原地质矿产部科学技术司张良弼司长、彭维振处长，地质调查局朱明玉处长、白冶副处长，国土资源部国际合作与科技司黄宗理司长、崔岩副司长、高平处长、高锦曦处长、白星碧副处长等，对项目立项和实施给予了多方面的关怀和指导。

项目的实施过程是在国土资源部国际合作与科技司、中国地质调查局和“三江”特别找矿项目协调领导小组的指导下进行的，并得到参加单位：成都地质矿产研究所、中国地质科学院矿产资源研究所、西藏自治区地矿厅、云南省地矿厅、四川省地矿厅、中国地质大学、成都理工大学、宜昌地质矿产研究所，以及各地勘协作单位和这些单位的有关领导给予的多方面的帮助和支持。宋叔和、常印佛、汤中立、陈毓川、许志琴院士，以及叶天竺、李裕伟、黄崇轲、孙文珂、吴淦国、周家骧、高平、王国平等同志对项目成果进行了评审验收，并提出许多修改、补充的意见和建议。本专著是集体劳动的成果，文中引用了一些单位、个人的文献资料和成果，在此一并表示诚挚的感谢。

目 录

前 言

第一章 绪论	(1)
第二章 “三江”造山带的时空结构与演化过程	(11)
第一节 多岛弧-盆系理论及其机制	(11)
一、多岛弧-盆系的基本观点	(11)
二、“三江”特提斯多弧-盆系统的时空结构	(14)
第二节 “三江”多岛弧-盆系地质	(20)
一、义敦多岛弧-盆系的时空结构及其演化	(20)
二、金沙江多岛弧-盆系的时空结构及其演化	(30)
三、中咱-中甸地块的时空结构及其演化	(40)
四、昌都盆地的时空结构及其演化	(43)
五、兰坪盆地的时空结构及其演化	(54)
第三节 “三江”陆内造山系统	(59)
一、大陆造山带类型	(59)
二、“三江”地区造山带的类型和时空结构	(62)
三、横断山式造山带的首次厘定	(69)
四、“三江”地区大陆造山带形成机制探讨	(74)
第三章 “三江”造山带的成矿系统及成矿作用	(80)
第一节 “三江”造山带的成矿系统	(80)
一、“三江”造山带的成矿系统类型	(80)
二、陆缘汇聚成矿巨系统	(82)
三、陆内汇聚成矿巨系统	(93)
第二节 “三江”造山带的重大成矿作用分析	(103)
一、主要成矿期与主要成矿类型	(104)
二、关键成矿地质作用过程分析	(106)
三、重要成矿环境与成矿作用分析	(116)
第四章 “三江”地区金属矿产分布的区域地球化学制约	(130)
第一节 “三江”中段区域地球化学分区	(130)
一、概述	(130)
二、元素地球化学分区的原则与方法	(132)
三、地层-火山岩地球化学分区及各区(子区)地球化学特征	(134)
四、花岗岩类地球化学分区及各区(子区)地球化学特征	(138)
五、地球化学分区对该区矿产分布及成矿规律的启示	(140)

第二节 “三江”中段新特提斯阶段区域流体性质、状态及对区域成矿的制约	(141)
一、区域流体与成矿流体的基本性质和状态	(142)
二、区域流体状态及与金属矿化的关系	(155)
三、以兰坪盆地为例探讨新生代区域成矿的地球化学约束	(157)
第五章 “三江”巨型构造成矿带超大型矿床、矿集区与区域成矿模型	(168)
第一节 超大型矿床与矿集区	(168)
一、超大型矿床与矿集区的概念	(168)
二、超大型矿床与矿集区的特征	(169)
三、矿集区概况	(171)
第二节 大型矿集区的区域成矿模型	(171)
一、羊拉铜、金矿集区	(171)
二、徐中-鲁春-红坡牛场铜多金属矿集区	(192)
三、呷村银-铅-锌多金属矿集区	(212)
四、夏塞-连龙锡多金属矿集区	(224)
五、兰坪-白秧坪铅、锌、银多金属矿集区	(239)
六、南仁-南佐与火山岩有关的铜、金矿集区	(251)
七、赵卡隆-加多岭铁(铜)、银多金属矿集区	(254)
八、阿中-秀格山金银多金属矿化区	(273)
九、各贡弄-马牧普金银多金属矿化区	(282)
第三节 矿集区的典型矿床模型	(294)
一、矿集区与大型矿床聚矿构造	(294)
二、典型矿床模型	(296)
第六章 “三江”巨型构造成矿带的成矿条件和远景评价	(300)
第一节 矿产资源远景评价的方法、依据和原则	(300)
一、矿产资源远景评价的基本思路——多岛弧-盆系统成矿理论	(300)
二、矿产资源远景评价的理论依据	(301)
三、“三江”地区的工作准则	(303)
第二节 金沙江结合带铜、金矿成矿条件和资源远景评价	(305)
一、金沙江结合带铜、金矿成矿条件	(305)
二、资源远景预测	(307)
三、成矿预测	(310)
第三节 义敦岛弧带 GIS 评价体系	(313)
第四节 昌都盆地铜、金、铅、锌矿成矿条件与资源远景评价	(322)
一、成矿带与区域构造控矿模型	(322)
二、主要成矿规律	(324)
第七章 巨型构造成矿带找矿靶区的圈定与矿床定位预测	(336)
第一节 找矿靶区圈定的原则和方法	(336)
一、找矿靶区圈定的原则	(336)
二、找矿靶区圈定的方法技术	(336)

第二节 典型矿床的综合找矿模型	(338)
一、Pb-Zn-Cu-Ag 多金属块状硫化物矿床的综合找矿模型	(338)
二、斑岩型 Cu-Mo-Au-Ag 多金属矿床的综合找矿模型	(339)
三、接触交代型 Fe-Cu-Sn-Bi-Mo-Au-Ag-Pb-Zn 多金属矿床的综合找矿模型	(341)
四、热液脉型 Cu-Pb-Zn-Au-Ag 多金属矿床的综合找矿模型	(343)
第三节 找矿靶区	(344)
一、呷村外围有热沟 Pb-Zn-Cu-Ag 矿靶区	(344)
二、农都柯 Ag 多金属矿靶区	(344)
三、鲁春 Zn-Cu-Pb (Ag) 多金属矿靶区	(347)
四、红坡牛场 Cu-Au (Pb、Zn) 矿靶区	(347)
五、王大龙 Au 矿靶区	(347)
六、足那 Pb-Zn (Ag) 矿靶区	(350)
七、丁钦弄 Ag-Cu 多金属矿靶区	(351)
八、各贡弄 Au-Ag 多金属矿靶区	(352)
九、阿中 Au 矿靶区	(352)
十、三山-白秧坪 Ag 多金属矿靶区	(354)
第四节 重要靶区矿床(体)定位预测	(356)
一、鲁春 Zn-Cu-Pb (Ag) 多金属矿靶区的矿床(体)定位预测	(356)
二、呷村外围有热沟 Pb-Zn-Cu-Ag 多金属矿靶区的矿床(体)定位预测	(368)
三、农都柯 Ag 多金属矿靶区的矿床(体)定位预测	(373)
四、青麦 Pb-Zn-Cu-Ag 矿靶区的矿床(体)定位预测	(378)
结语	(388)
参考文献	(400)
英文摘要	(405)

第一章 绪 论

矿产资源是制约国家经济和社会发展的重要物质基础,根据我国经济发展“三步走”的战略目标和一些发达国家实现工农业现代化的历史经验,今后几十年,随着我国经济、社会的迅速发展,对矿产资源的需求势必急剧增长。因此,正确认识成矿地质背景,分析成矿条件,评估矿产资源地质勘查的问题,研究国内外矿产资源动态趋势,制定正确的资源勘查开发战略和政策,是保证国家经济建设持续稳定协调发展的一项重要任务。

20 世纪 50 年代以来,我国地质矿产事业取得了长足的进展,在成矿地质背景的调查研究,矿产资源的寻找、发现、评价、开发利用等方面都取得了巨大的成就,并基本保证了国家社会主义建设的需求,也为国家未来的发展奠定了良好的基础。但就我国经济基础、经济技术条件以及人口众多的背景而言,当前我国的矿产资源形势仍面临着十分严峻的局面。其主要表现,不仅在人均资源拥有量不及世界人均拥有量的一半,而且突出表现在老矿山矿产资源紧缺,后备资源基地紧张,国民经济发展需要的大宗矿产,如石油、天然气、铜、金等 15 种矿产,可供规划开发的储量严重不足。今后 15 年内,一些重要矿产的勘查若无重大突破,我国矿产资源将面临着全面紧张的局面,从而将严重影响国家经济建设的发展。

努力改变矿产资源储备不足的局面,是我们地质工作者义不容辞的责任,同时国家有关部门也应在政策倾斜与投入方面着力支持。

一、主要金属矿产资源的勘查态势

20 世纪 80 年代以来,国际地质矿产行业形势发生了重大变化。作为地矿工作主体的矿产勘查工作严重衰退,近乎全球性的矿业萧条导致矿产勘查的严重萎缩。就我国的情况而言,近年来由于找矿难度增大,地勘投资不足,地质勘查工作滑坡,重要矿产的储量增长缓慢,甚至停滞或下降,使今后 10~15 年矿产的资源储备十分紧张。

近 10 多年来,西方各国在勘查资金分配上,70%~80%投向油气勘探,而固体矿产勘查,转向以金为主,其投资占固体矿产勘查投资的一半以上。占世界大多数人口的发展中国家,由于工业化阶段远未完成,有的刚开始起步,其经济发展缓慢,生产增长率低下,对矿产品需求总体偏低。至于经济步入正常的发展中国家发展速度加快,对矿产品的需求增大,矿业出现低缓的增长,从而带动矿产勘查工作的发展。

尽管矿产勘查工作的衰退和资金投入的减少,但国外在金、铜、铅、锌和金刚石等矿产的勘查上仍取得了重大进展。新近发现的超大型金矿(100 t 以上)多达 20 个,主要为环太平洋火山岩区浅成热液型金矿和斑岩型铜金矿,卡林型金矿的深部找矿也取得很大突破。铜矿进展亦很显著,新发现的大型铜矿矿床至少 16 个,主要发育于环太平洋火山-岩浆带上,集中分布在已知的成矿区(带),显示出已知成矿区(带)仍具有巨大的找矿潜力。其主要类型为斑岩型铜矿-铜金矿床、黄铁矿型铜矿、硫化铜镍矿。铅锌找矿亦有突

破, 20 世纪 80 年代新发现的大型-超大型铅锌矿床 (300×10^4 t 以上) 至少 5 个, 主要集中于澳大利亚、阿尔及利亚、爱尔兰和西班牙等传统产铅锌国家的已知成矿区带, 主要为喷气沉积型和黄铁矿型。

纵观国外固体矿产勘查经验和巨型矿床的发现历史, 具有以下重要特点并由此对我国矿产勘查和找矿有重要启示。

1. 地、物、化、遥综合方法运用和钻探验证是现代找矿的基本手段

金属矿床的发现, 其手段和方法并非独特, 关键在于地、物、化、遥综合方法及组合的合理应用和多参量信息综合分析、找矿模型的建立。地质方法包括常规的地质测量、各种比例尺的地质填图和成矿预测。大量野外地质观察和多参量系统填图是找矿的重要手段。如北美发现的金矿约 75% 是由综合运用地质填图和钻探方法发现的。化探对金矿找矿起着重要作用, 我国亦是如此。井中物探在找寻隐伏矿上起着重要作用。

2. 客观实际的矿床模式是矿产勘查和预测的指导准则

矿床模式是一组相似矿床特征的系统整理, 并归纳出具一定理性认识的反映该类型矿床特性的标准式样, 由此而成为矿产勘查和评价的有效工具, 尤其是斑岩铜矿模式和火山成因块状硫化物矿床模式在北美和南美的矿产勘查中发挥了重要作用。如智利埃斯康迪达超大型斑岩铜矿, 就是利用斑岩铜矿系统的矿化和硅酸盐同心带状模式和热液系统, 以其系统的外环作为勘查目标, 层层逼近矿化核心, 从而发现巨型斑岩铜矿。加拿大卢维库尔超大型黄铁矿型铜矿床, 则是依据火山成因块状硫化物矿床的双层结构和“下脉上层”模式发现的。

3. 新理论的诞生和新思路的提出可导致新矿床的发现

浊积岩金矿新概念的提出, 导致了世界范围内新元古界至下古生界中浊积岩系内金矿床的大量发现。剪切带型金矿新概念, 突破了传统的成矿模型, 证实大型韧性剪切带不仅是大地构造上重要的地质体之间, 层圈相互作用的转换界面, 而且是含金热液上升通道和沉淀场所, 而且本身亦是一种重要的成矿机制, 从而为深部找矿提供了理论依据, 通过剪切指向和变形强度分析, 预测新矿脉形态和分布, 指导深部找矿。绿岩带金矿虽是传统的成因类型, 但金矿赋存形式研究的突破, 极大地扩展了人们的找矿思路, 即在太古宇下部基性岩石中寻找石英脉型金矿, 中部寻找条带状含铁建造型金矿, 上部巨厚中酸性-沉积岩中寻找层控浸染型金矿, 大大促进了矿产的综合勘查, 扩大了找矿前景。美国卡林型金矿深部发现大而富的硫化物金矿, 据此提出的在卡林型金矿深部找寻硫化物富金矿体新思路开创了全球性矿带深部找矿新局面。奥林匹克坝 Cu、U、Au、REE 矿床是由爆发角砾岩化和热液蚀变及交代作用联合形成的矿床新类型。最近研究发现, 奥林匹克坝矿床是其上部阿德雷德沉积铜矿的原始物质来源, 而阿德雷德铜矿则是奥林匹克坝的派生矿床。这种沿袭关系和派生矿轨迹找矿新思维, 就为世界各地寻找奥林匹克坝型矿床提供了重要的新思路。

4. 按成矿区(带)布置找矿工作, 用成矿系统论、过程论和转换论的思想对成矿区(带)进行整体研究和实施总体勘查是勘查成功的最有效途径

近些年来, 国外固体矿产的重要发现主要集中于已知的成矿区(带)甚至老矿区深部和外围, 这固然与地勘工作的萎缩和资金的投入较少有关, 但说明成矿区(带)仍有较大的找矿潜力。我国经地质勘查, 已基本划分了主要成矿区(带), 并相应地部署了找矿工

作,今后的找矿突破将展现在这些重要成矿区带。实践证明,用系统论思想对成矿区(带)进行整体研究和总体勘查,亦即从成矿区(带)整体着眼,查清成矿区(带)的地质背景和地史演变及其造就的成矿环境,把矿床看成区域地质构造演化、造山过程的一个组成部分,是构造-岩浆演化中的一个特殊事件,是构造-盆地分析中的一个组成部分,是构造-变质作用中的一个转换产物。分析了解矿床赖以形成的动态地质环境,从总体上研究和掌握各种矿床类型及其相互联系,从而对成矿区进行全面研究和勘查。

二、金属矿产资源基础理论研究动向

在找矿难度愈来愈大的今天,矿产勘查愈来愈向知识密集型和技术密集型方向发展,而矿产的发现则成为创造性活动和创新思维的结果,应用科学和技术的综合成果,是真正意义上的发明。近年来,固体矿产基础研究取得长足进展,区域成矿学正面临着重大变革,显示出几个重要发展态势:

- 全新的地球科学理论体系的逐渐形成,使矿床学面临着重大变革;
- 矿床学、成矿学新思维、新概念正在形成和发展;
- 超大型矿床、矿集区与全球背景的研究备受关注;
- 成矿系统、流体作用和成矿作用动力学研究正在成为研究的热点。

1. 全新的地球科学理论体系与矿床学面临的变革

现代地学研究表明,建立于地球固体物质研究基础上的现有地球科学知识结构和理论体系,正面临着严峻的挑战和新的变革。例如:①俄罗斯和德国的大陆科学深钻发现,在地壳8~12 km深度范围内仍存在大量流体,并正发生着流体-生物-成矿作用;瑞典深钻在4~6 km的结晶岩中亦获得了大量含烃类的高盐度流体矿泥,这从根本上否定了所谓饱和带之下结晶岩中无自由流体活动的认识;②自20世纪80年代中期开始对北美大陆内部地质-地球物理-地球化学-钻探等综合研究证实,大型-特大型矿集区和油气田的形成与分布主要受盆-山转换系统地壳流体沿薄皮构造、大型逆掩构造大规模远距离运移的控制,该区特大型密西西比河谷型(MVT型)矿床以及大部分油气藏就是由横穿北美克拉通的活活动热卤水大规模运移形成的。这不仅是对所谓层控矿床理论和中低温热液成矿说的重大修正,而且还推动成矿理论研究进入到探索金属矿床和油气形成的地壳规模控制因素的新阶段;③对扩张中心洋底热泉喷口和红海深部等的研究表明,这些区域正发生着热流体排泄和显著的热液成矿作用,并对现有的金属成矿理论,如流体对流循环、硫化物堆积机制,流体形成机制等产生重大影响;④大洋钻探结合地质-地球物理研究揭示,现代增生楔深部的构造滑脱带内存在大范围的含金属和烃类的活动热液体。近年来大量研究也发现,许多金属矿如金、银、铜、铅、锌、钼、钒等与洋-陆转换和盆-山转换过程的流体运移作用有关;⑤地质-地球物理探测已基本查明,在一些大油气田和成矿盆地的深部存在着巨大的超高压流体房,这一发现对传统的金属成矿理论和生成机理产生了重大影响;⑥实验研究发现,在含水或富集挥发分的硅酸盐固体-熔体体系和流体-固体反应体系中,控制微量元素分配的主要因素不再是离子半径和电价,这从根本上改变着广泛用于地球科学中的元素分配理论体系;⑦研究发现,几乎所有的同位素体系(即使是Sm-Nd体系)在流体参与下,部分受到扰动,这对我们正确理解放射性年代学数据的科学意义影响重大。上述事实说明,地质流体作为各种地质作用过程中最活跃因素和地球层圈相互作用过程中的

重要物质化学-能量载体,不仅决定了壳-幔系统的物质交换和能量运移交换与再循环,直接控制和影响地壳乃至地幔的化学演化、内部结构、地质作用和动力学过程,而且还充当金属矿床与油气的重要媒介和作用剂,制约着矿产资源的形成与分布。因此,近10余年来,国际地质界的地质研究重心开始由固体地质向流体地质转移,一个以地质流体为核心的新一代地质知识体系正在建立和形成。

地质理论体系的交替与交换,既给矿床学带来新的机遇,又为矿床学发展注入新的活力,至少在下述几方面为矿床学发展带来深远影响。

(1) 流体成矿系统与成矿作用。长期以来,矿床研究的重点主要是矿体及其附近围岩,通过对控制矿床的有关地质因素的总结,探讨矿床成因与形成过程,得出相应的理论认识,建立相应的假说或模型。这种研究和工作模式虽可提高对矿床地质特征和成因演化的认识,适于大区域或小比例尺成矿预测,但难以对完整成矿过程(物质来源-迁移-堆积)得出客观认识,其研究结果亦难以适用于中大比例尺矿床定量评价与找矿勘查。地质流体新思维强调,金属成矿过程均与金属从源岩的活化、渗滤、运移和淀积事件密切相关,流体参与成矿全过程,是联结矿源岩、成矿地质环境和矿体定位场所三者的纽带。因此,矿床研究的关键,在于准确认识成矿地质背景、识别金属相流体的来源,追溯流体将金属从多源区输运到最终定位场所所经历的路径。查明金属和矿体运移路径发生的物理、化学和时间上的各种变化及地质-地球化学过程,即研究由矿源岩-矿质转输迁移路径-矿床定位空间构成的流体成矿系统,从大区域尺度开展区域流体研究,研究流体来源、驱动与控制因素、追踪流体运移途径及流体系统各变量的方向性、相关性和指示性,必将为了解矿床形成过程和成矿规律,进行大比例尺矿床定量评价与成矿预测,带来质的飞跃。

(2) 地球层圈物质-能量交换与流体成矿作用。地球层圈物质-能量交换是地球演化的主要体现,作为物质-能量传输的主要载体,流体广泛分布于各个层圈,直接参与控制着各层圈,特别是壳-幔相互作用中的地质-地球化学过程,从根本上制约着金属矿床和油气的四维空间分布与形成演化过程。在伸展拉张构造机制下,伴随地幔岩浆上升,地幔流体向地壳运移渗透;在挤压构造体制,特别是板块俯冲作用,洋壳楔入地幔,其地壳脱水流体亦携入地幔,并交代楔形地幔。伴随多岛弧-盆系的形成,弧-弧、弧-陆碰撞及后碰撞的岩浆作用,循环的流体再度向上运移与汇聚而返回地壳。在壳-幔剧烈作用地区,地壳深部岩石圈流体和软流圈流体构成深部流体系统,成为成矿物质在深部循环、运移的作用剂和传输深部物质至地壳浅部的媒介。地壳浅部大气水、建造水、循环海水或岩浆脱气流体构成浅部流体系统,成为油气和矿质搬运、迁移和沉积的重要载体。因此,从多岛弧-盆系,弧-弧、弧-陆碰撞及层圈相互作用和壳-幔反应角度重新研究成矿过程,势必开启新的成矿理论内涵。

(3) 金属- CO_2 -烃类相互作用与成矿作用。长期以来,习惯于把内生金属矿床与外生非金属矿床(如盐类矿床、石膏矿床等)、金属热液矿床与油气矿床人为地割裂开来,加以研究。然而,大量事实证明,两者不仅时空相依,而且成因相关。例如:①超深钻结果表明,地壳深部存在大量 CO_2 -烃-盐水流体;②MVT型Pb-Zn矿床存在大量烃类包裹体,成矿流体由烃类(石油)和盐水流体构成;滇黔桂地区卡林型金矿的成矿流体中亦存在许多烃类;③在一些油田,Au达工业品位,Hg储量达超大型规模;④在现代海底活动热水区,海底喷流与硫化物矿床附近伴有大量石油产出;在岛弧弧后扩张盆地,喷流流体与大

量 CO_2 和烃类流体共生。这些事实证明,金属热液矿床与油气矿床实际上具有统一的成矿流体系统。烃类流体和 CO_2 流体对金属元素的活化萃取、输运转移和卸载聚集至关重要。因此,加强对 CO_2 -烃类-金属成矿作用多重耦合关系研究,不仅将对金属成矿理论和油气成因机制给予全新的认识和理解,而且将极大地丰富和发展成矿理论,为建立矿床新思维奠定理论基础。

2. 矿床学新思维、新概念正在形成和发展

与当代地球科学研究强调的全球性和统一性的整体观和系统观相适应,当代矿床学领域矿床研究的系统性、运动观和历史观等新思维亦在逐步形成和发展。

在矿床学研究的系统性方面,强调矿床是岩石圈系统的一个组成部分,其形成与分布受岩石的组成、结构和演化过程所控制。要深入研究矿床形成的构造背景,势必要研究岩石圈的动力学特征及其演化过程,研究区域壳-幔结构与深部地质作用、流体作用对矿床形成的制约。目前,地球动力学分析正在三个层次上展开,即矿集区(成矿域)、成矿带和典型地区。在成矿域层次上,强调地球各层圈物质-能量交换过程,研究层圈垂向与横向不均一性及其成矿物质的差异性,研究幔柱构造与浅部构造体制,冷-热幔柱与流体系统的制约关系,探索幔柱构造与层圈相互作用方式及矿集区形成机制;在成矿区(带)层次,研究岩石圈古板块构造体制、深部地质作用、三维结构构造及其演化过程,建立矿集区超大型矿床与特殊岩石圈及地幔结构、热事件、特殊地质作用和演化事件间的时空关系,确定不同尺度的矿产普查勘探模型;在典型地区,采用地、物、化、遥综合方法及大比例尺地质填图和相应钻探,进行深部地球动力学填图,建立四维地球动力学模型,揭示深部成矿作用和矿体分布规律,构造体制演化与含矿流体体系运移轨迹和矿质沉积机制,为寻找隐伏矿和深部矿提供预测模型。

在矿床学的历史观方面,用历史思维去观察研究矿床、矿带、成矿省的发生史和整个地球历史中的成矿作用演化,是引人瞩目的矿床前沿研究方向。“金属成矿省”的概念虽提出较早,但目前其内涵和外延均出现较大变化。其研究指导思想已从以往仅在一定地质构造单元内以其一定成矿特征标定一个成矿省及其规律的做法,发展为随地质历史推移探索在开放体系中壳-幔演化和成矿作用非平衡态的动态成矿过程,并研究它在一定成矿构造场内出现相对平衡态时形成的金属成矿省的活动论新概念。其本质是从地质历史演化的角度,系统地认识这些特殊标志和全面分析其形成与发展的全过程。金属成矿省强调四等级体制:①控制重大地质事件和热事件的区域成矿地质背景;②地质、构造、岩石、地球物理和地球化学的综合控矿因素有利组合构成的成矿场;③矿物共生和组合达到物化条件相对平衡时构成的金属成矿相;④金属成矿省成矿作用演化的最终体现——矿床。四等级体制被区域成矿计时钟贯穿,从而构成金属成矿省演化的主要研究内容。

成矿作用本身亦是一个自然系统,其系统内部的物质运动、时间结构和空间演化无疑决定着成矿时空演化和矿床分布规律。我国学者提出的成矿系列新概念强调了成矿作用的系统观和历史观的统一性,着重研究成矿作用在四维空间中的规律,探索在地球发展过程中成矿的时空化和分布规律,从而成为当代矿床学研究的前沿领域、国际矿床学界的重要学术命题。成矿系列是四维空间中具有内在联系的矿床自然组合和成矿体系,它们在地史演化中从空间的分布、成矿物质组成都经历着演化,并具有一定的规律。通过研究建立在各地质历史发展阶段各地质构造单元中的成矿系列和成矿模式,研究其成矿规律,通过探

索成矿系列在地球演化过程中的时空及成矿物质演化规律,编制成矿系列图件或进行成矿系列填图,从而建立矿床成矿系列的成矿预测及信息系统,指导矿产勘查工作。

3. 超大型矿床与全球成矿背景研究

超大型矿床,因其巨大的经济效益和重要的理论意义引起了各国矿床学家们的极大兴趣。对超大型矿床的研究集中在两个方面:典型超大型矿床的深入剖析和超大型矿床的全球背景研究。初步对全球成矿背景对比研究发现:①全球热水沉积型超大型铅锌矿床,为数不多,但各地均有分布,虽相距遥远,却具明显的时控性;②某些超大型矿床,如分处澳大利亚和加拿大的超大型不整合型铀矿,虽相距甚远,但其含矿建造、成矿地质背景、矿石组成、控矿因素等十分相近;③某些超大型矿床,如卡林型金矿,常高度集中(如美国西部,中国西南),形成超大型矿床密集区,其外围矿床甚少。对超大型矿床深入剖析表明,超大型矿床的形成是多种有利成矿因素综合作用的结果。利于形成超大型矿床的宏观背景包括克拉通边缘、地壳厚度急变带和碳酸盐岩向碎屑岩系过渡带,利于成矿的重要因素包括挥发分、碱金属、有机质、黑色岩系、大型构造、热水活动等,其中大型构造包括裂谷伸展构造和同生断层、活动陆缘构造-岩浆带、大陆内部巨型断裂带、大型火山-沉积盆地、大型韧性剪切带、大型火山穹窿与破火山等。在有利的地质背景和控矿要素前提下,超大型矿床的形成可能取决于下列因素:异常构造聚集场,时空域内成矿因素的最佳匹配,相同空间成矿流体作用长期活动与叠加。

4. 现代成矿理论及研究进展

目前,矿床学界已形成三个独立的区域成矿理论学派:板块成矿论派、槽台成矿论派和成矿省控矿论派。在成矿概念上,发生了四个方面的根本改变:即同生、浅生、微生和边生,涌现出许多新的成矿理论和概念。如同生成矿理论、沸腾-酸化金属成矿理论、建造分析成矿理论、“三源”热流成矿理论、生物成矿理论、软硬酸碱成矿理论、转换边缘成矿理论和纬度分带成矿学说等。

同生成矿理论认为,具一定层位控制的层状-似层状、透镜状矿床,是与围岩同时或近同时形成的,并被许多层控矿床中存在的同生矿石层、同生矿石条带、同生层纹和矿化圆藻等沉积和生物组构所证实。现代海底黑烟囱式热液活动和硫化物在海底不断堆积,不仅丰富完善了同生沉积成矿理论,同时再现了硫化物的沉积过程,以沉积岩为容矿岩石的块状硫化物矿床和火山成因块状硫化物矿床是同生沉积作用的典型产物。其典型成矿过程包括:岩浆热源驱动海水对流循环,并从岩石中淋滤矿床,形成成矿热液流体;流体排放海底,硫化物在固化的硫化物丘堤或烟囱结壳下部及内部沉积和充填。形成层状-透镜状矿体;在热液补给通道,热液卸载,形成脉状-网状矿石。

浅成低温热液金属成矿理论,即沸腾-酸化模式,被誉为20世纪80年代成矿理论上的最新、最重大成果。浅成低温热液矿床均产于地表环境中的古热泉系统中。成矿热液流体降压沸腾,产生大量气液爆角砾岩,导致贵金属大量沉淀。沉淀矿物可堵塞或暂时隔断流体和气体的运移通道,经水压致裂、降温再沉淀。因此,完整的热泉系统自地表至下部往往发育泉华、硅帽、蚀变带、液爆角砾岩和网脉状富矿体、岩屑胶结层状矿及贵贱金属矿。这种沸腾-酸化金属成矿理论得到现代陆地热泉成矿活动的检验和支持。

生物成矿理论强调,生物活动产生各种酸碱性物质,能改变成矿的物理化学环境,促使金属元素的运移和富集,生物机体及生命活动可吸收或吸附成矿元素并使其直接沉淀和

聚集,同时可促使金属离子形成稳定的有机金属络合物,并使其在有利成矿部位沉积和成矿。近年来的研究证实,某些微细浸染金矿、红层铜矿和砂岩铀矿,均有大量微生物参与成矿过程,并对铜、铀、金等的溶解和运移产生重要影响。

建造分析成矿理论认为,成矿作用不是一个孤立事件,是在含矿建造形成和演化过程中某一特定条件下的产物。建造分析通过区分不同建造组合和具有一定成矿专属性的构造建造带类型,了解其含矿性,对构造建造带和各建造成分的特点与含矿性大小关系进行系统分析,了解各建造构造带类型和各地质建造中有远景的矿石类型,从而为区域性成矿区(带)划分和含矿远景评价提供理论基础。建造分析成矿理论在前苏联得到广泛应用,并取得重大找矿效益。

转换边缘成矿理论和纬度分带成矿学说实际上分别强调了金属矿床沿大地构造单元和地质体的边缘地理空间分布。前者认为构造边缘是地质作用极其剧烈变化地带,因而成为成矿物质急剧沉积和富集的区域。后者认为纬度分带的可能原因是成矿组分随地球旋转运动而形成螺旋型的矿床分布轨迹。

火山成因块状硫化物矿床(VMSD)一直是国际矿床学界研究热点,现代海底“烟囱”与热水成矿作用的发现又为其注入了新的活力。我国学者基于现代与古代块状硫化物矿床研究,丰富和发展VMSD成矿新观念和成矿新机理,强调指出:①现代与古代海底热水成矿虽可发生于不同构造环境(岛弧、弧后扩张盆地、洋脊等),但均与张裂断陷事件密切相关,矿床规模与分布特征受扩张速率制约;②成矿物质主体来自有热水循环的火山-沉积岩和下伏基底岩系。中国西部海相基性火山岩大量发育,是导致块状硫化物铜矿大量产出的关键因素;③金属硫化物堆积多发生于海底丘堤-“烟囱”联合体和固结壳下部,通过开放空间的硫化物充填和先成矿石的淋滤迁移来实现块状硫化物的富集过程;④成矿热水体系基本呈双扩散对流循环;⑤海底深部成矿热流体体系由高温盐水流体和大量CO₂-烃类流体(气体)构成。前者是成矿物质的重要载体,后者的大量藏储(油气藏)是金属工业堆积的关键条件。

应该指出,成矿理论和模式仍在不断探索和演变之中,但没有一个成矿理论和模式完全适用于全部矿床类型。几十年的勘查实践证明,每一种符合客观实际的新成矿理论和模式的诞生,可极大开启人们的找矿思路,掀起新的成矿理论热潮。

5. 成矿系统和成矿作用的动力学研究

成矿系统是指一定的时空域中,成矿物质由分散状态浓集成矿床的作用过程和有关地质因素及地质产物构成的有机整体。开展成矿系统的研究无疑促进对成矿作用的整体认识,揭示成矿作用本质。基于成矿地质背景分析、成矿物质浓集规律和成矿轨迹追溯,现已识别出三大基本成矿系统,即伸展构造体制下的流体聚敛成矿系统,挤压构造体制下的岩浆-热液成矿系统和剪切-走滑构造体制下的热动力成矿系统。目前,对成矿系统的研究刚刚开始,许多科学问题尚有待于深入研究。

矿床成因的基本问题归根结底是成矿作用的动力学问题。研究成矿作用的速率、机制和过程,无疑将深刻地揭示成矿作用的本质,使矿床成因研究从静态上升到动态,从定性走向定量,从而对传统的矿床成因理论有新的突破,对成矿预测产生重要影响。我国学者在此崭新的领域里已进行了开创性研究,提出了成矿作用动力学理论体系和研究方法。成矿作用动力学的核心是矿化向成矿的转变。成矿系统的物质组成及相互关系可用多组成耦