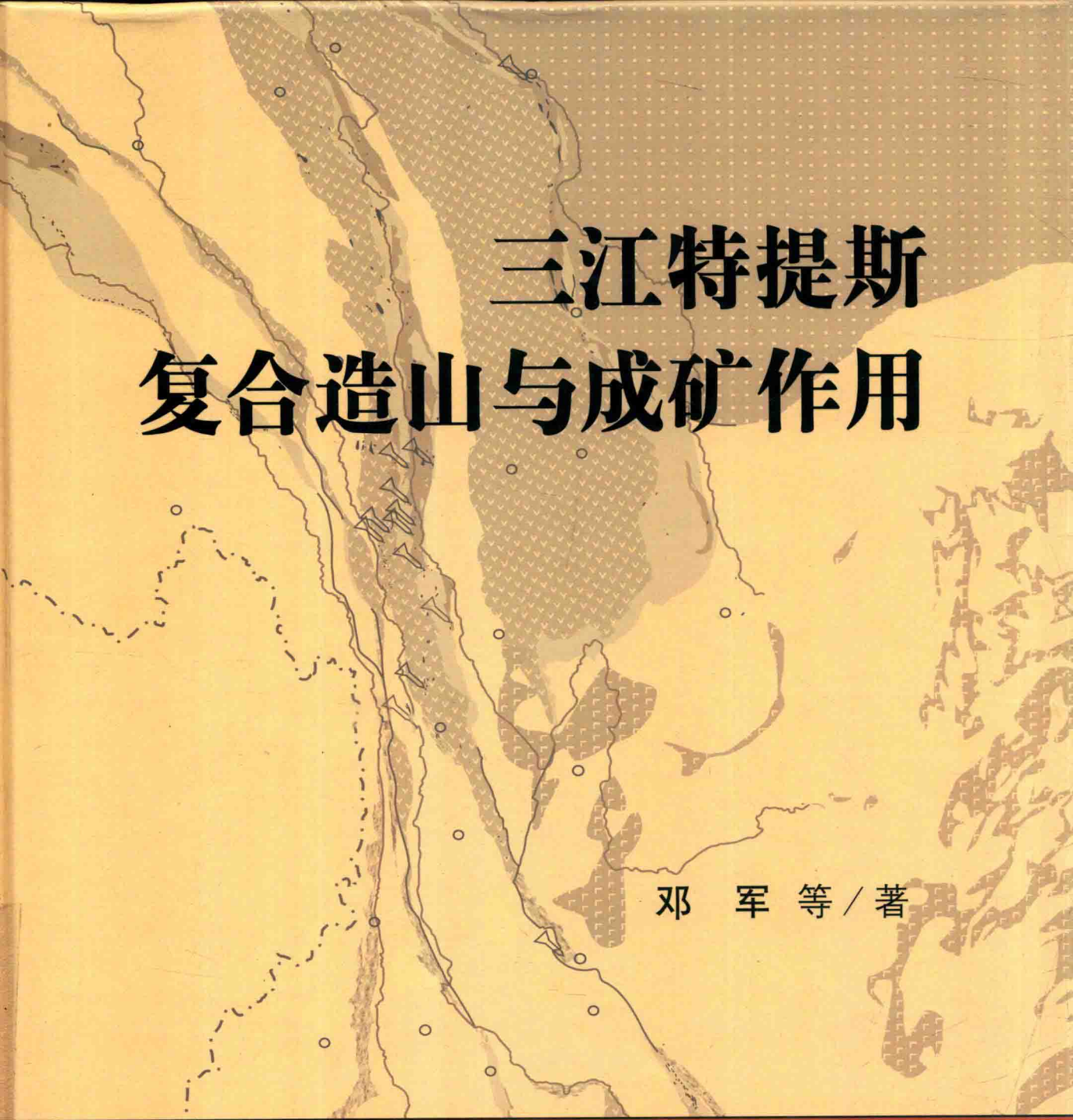


A detailed geological map of the Sanjiang Tethyan Composite Orogeny. The map shows various geological units with different patterns and colors, including a large area with a cross-hatch pattern in the center. It also depicts major faults, rivers, and topographic features. The title is prominently displayed in the upper right quadrant.

三江特提斯 复合造山与成矿作用

邓 军 等 / 著



科学出版社

三江特提斯复合造山与成矿作用

邓 军 等 著

国家重点基础研究计划 973 项目 (2009CB421000 和 2015CB452600) 资助

科 学 出 版 社

北 京

内 容 简 介

本书是国家重点基础研究计划973项目(三江特提斯复合造山与成矿作用;2009CB421000和2015CB452600)的研究成果。全书分为上、中、下三篇。上篇有5章,系统阐述三江特提斯晚古生代—中生代增生造山、新生代大陆碰撞造山及其构造体制转换与复合叠加三大关键地质作用过程;中篇有4章,系统剖析斑岩型铜矿、VMS型铅锌铜矿、造山型金矿、热卤水型银铅锌矿和叠加复合型锡矿五种主要成矿类型,创建三江特提斯复合造山与成矿理论,阐明其复合造山背景下的成矿物质巨量集聚过程和赋存规律;下篇有2章,系统论述成矿预测系统和集成技术组合,预测急缺矿种的战略新区,实现复合造山成矿系统理论和找矿实践的结合。

本书可供构造地质学、矿床学及相关专业的生产、教学、科研人员和研究生参考。

图书在版编目(CIP)数据

三江特提斯复合造山与成矿作用 / 邓军等著. —北京:科学出版社, 2016

ISBN 978-7-03-047825-2

I. ①三… II. ①邓… III. ①造山运动—成矿作用—研究—西南地区
IV. ①P611

中国版本图书馆CIP数据核字(2016)第056150号

责任编辑:韦沁 王运 韩鹏 / 责任校对:张小霞 何艳萍

责任印制:肖兴 / 封面设计:耕者设计工作室

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>

北京利丰雅高长城印刷有限公司 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

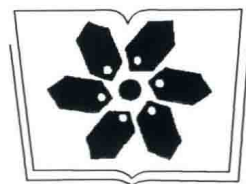
2016年6月第 一 版 开本:787×1092 1/16

2016年6月第一次印刷 印张:40

字数:948 000

定价:498.00元

(如有印装质量问题,我社负责调换)



中国科学院科学出版基金资助出版

著 者 名 单

邓 军	李文昌	莫宣学	许继峰	王立全	
杨天南	孙晓明	毕献武	王长明	杨立强	
王庆飞	董国臣	刘俊来	史晓颖	颜丹平	等
袁万明	刘家军	赵志丹	卢映祥	薛春纪	
朱弟成	陈建林	梁华英	王保弟	张 静	
陶 琰	杨志明	宋玉财	尹光侯	周道卿	

前 言

矿产资源短缺已成为中国国民经济发展的重要瓶颈和制约。依靠科技进步,加速发现新的矿产资源基地,提高资源保障程度,是一项迫在眉睫的重大战略任务。然而,中国大陆异常复杂的多旋回式演化决定了其矿种繁多、类型多样、多源复成和破坏再生,显示出十分鲜明的中国成矿特色,迫切需要建立和研发与之适应的自主创新的成矿理论与勘查技术,以促进找矿勘查的重大突破。

三江特提斯域是中国大陆地质复杂演化的典型缩影,是全球特提斯构造在中国的最佳发育区以及斜向碰撞的最佳构造体制转换域。它经历晚古生代-中生代特提斯构造演化和新生代大陆碰撞造山的叠加转换,发生多幕式的大规模成矿作用和巨量规模的金属工业聚积,形成了高山峡谷、三江并流的全球独特地貌景观,保存了中国最重要的多金属富集区和全球罕见的多金属成矿省,完好记录了超级大陆裂解→增生→碰撞的完整演化历史,而且现在仍处于活跃状态。这些均明显不同于中国东部陆内环境、北方增生造山环境和青藏高原主体碰撞造山环境,是建立大陆动力学与成矿新理论新模型的关键地带。三江特提斯域成矿作用凸现出长时期、多幕式、大规模、多类型以及复合叠加、破坏再生、多源复成、大器晚成特征,其独特的成矿地质环境和成矿作用过程、巨量的金属工业堆积和复杂的壳幔金属共生组合,显著区别于世界范围已知成矿系统,不能被基于其他地区研究得出的成矿模型所涵盖,迫切需要建立新的成矿理论模型,指导新的找矿突破。因此,立足当今大陆成矿研究的国际前缘,发挥三江独特地域优势,深入研究复合造山成矿作用,将为大陆成矿理论体系的建立和完善作出实质性贡献,更重要的是将为该区实现找矿新突破提供有力指导。为此,科技部于2009年启动了“三江特提斯复合造山与成矿作用”国家重点基础研究计划(973)项目。

一、项目概况介绍

本书研究项目聚焦三江特提斯域,瞄准国家急缺的铜、富铅锌、银、金等矿种,围绕复合造山成矿系统形成机制这一科学主题,针对增生造山及大陆碰撞造山与金属超量富集的耦合-互馈机制、构造体制转换与叠加复合及巨型矿床演化赋存规律两个关键科学问题;以复合造山带成矿系统研究为核心,在准确认识三江特提斯构造演化和大陆动力学过程基础上,抓住晚古生代-中生代增生造山、新生代大陆碰撞造山、构造体制转换与复合叠加三大关键地质作用过程及相应的成矿系统,深入剖析斑岩型铜矿、VMS型铅锌铜矿、造山型金矿、热卤水型银铅锌矿和叠加复合型锡矿5种主要成矿类型;创建三江特提斯复合造山与成矿理论,阐明其复合造山背景下的成矿物质巨量集聚过程和演化与赋存规律,形成相应的成矿预测系统和集成技术组合;预测急缺矿种的战略新区,实现复合造山成矿系统理论和找矿方法的创新及其资源勘查关键技术的进步。

围绕总体研究目标,项目共设置了8个相互关联的研究课题:①三江特提斯复合造山作用与成矿构造背景;②三江岩浆作用与壳幔交换成矿制约;③特提斯演化过程中的VMS型铜铅锌成矿作用;④增生与碰撞造山过程中的斑岩铜钼金成矿作用;⑤碰撞造山过程中的铅锌铜银成矿作用;⑥碰撞造山过程中的金成矿作用;⑦巨型矿床形成保存及资源潜力;⑧三江特提斯构造演化与成矿作用综合研究。

项目完善增生与碰撞造山成矿理论,揭示复合造山不同阶段的构造背景和成矿环境,揭示造山过程与成矿耦合-互馈关系;查明成矿系统的时空结构与矿床类型,阐明成矿系统的形成机制和大型矿床的赋存规律,研究构造转换、叠加复合及其壳幔作用过程对成矿系统形成演变和巨量金属聚集成矿的约束机制,创新复合造山成矿理论;开展三江区域资源潜力评价,优选战略靶区。项目基于成矿理论和大量勘查实践,综合应用地质、物探、化探、遥感方法和新技术,提出适合三江地区高山深切割地貌、植被掩盖区的斑岩铜(金、钼)矿床等五类矿床的勘查技术方法集成,实现了建立特殊地貌景观中不同类型矿床勘查评价技术的目标。理论指导实践,找矿取得重大突破。

项目共资助发表论文500余篇;被SCI收录论文300余篇。项目资助出版专著3部。项目培养了大批高层次人才,包括国家杰出青年基金3人次、长江学者特聘教授1人次、中科院百人计划1人次、中组部千人计划2人次、何梁何利基金科学与技术进步奖1人次、李四光教师奖1人次、全国高等学校教学名师1人次、教育部新世纪人才3人次。项目培养了博士后10名,研究生168名。项目成员作国际特邀报告27次,国际一般报告52次,国内特邀报告57次。项目成员在国内外学术组织中担任多个重要职务。

二、研究成果和进展

特提斯大洋是晚古生代以来分割地球南北两个古陆的大洋,现仅残存在欧洲的地中海、里海和黑海。特提斯构造成矿域是全球三大成矿域之一。青藏高原为印度-欧亚大陆碰撞造山的产物,其构造演化与成矿作用是全球地质学者研究的热点与难点。三江地区位于特提斯构造域的东段以及青藏高原的东南侧,构造演化先后经历了特提斯增生造山以及青藏高原碰撞造山两个阶段,构造演化独特。复合造山是大洋闭合-大陆拼贴过程的必然演化结果,地质历史时期普遍存在的地质过程,全球板块运动研究的薄弱区以及地球动力学研究的新热点。三江特提斯复合造山与成矿过程的研究对于揭示特提斯大洋演化和欧亚大陆形成过程、碰撞造山及其周缘的大陆挤出-俯冲机制、增生造山与碰撞造山叠加效应、巨型矿床成因-分布有重要意义。项目针对三江特提斯构造成矿带,开展了特提斯洋演化模式、特色大型矿床成矿模式、成矿系统演化动力学、复合造山成矿理论、复合造山找矿技术等多方面深入研究,研究成果的水平与创新性体现在以下三个方面。

(1) 建立增生与碰撞造山演化模式,揭示复合造山与构造体制转换过程。

发现并证实三江地区原特提斯洋的存在;系统开展地层、蛇绿岩套、弧岩浆岩和碰撞型岩浆岩等多方面综合研究阐释了增生造山期原—古—中—新特提斯旋回的时空演化历程。提出青藏高原陆陆侧向碰撞带四期构造变形史,即挤压褶皱期(>45Ma)、拆沉伸展期(44~32Ma)、挤压走滑期(31~13Ma)和伸展旋扭期(12~0Ma)。系统研究了印度-欧亚陆陆碰撞造山作用对三江特提斯增生造山构造格架的叠加与改造作用,查明复合造山

具体过程。

提出复合造山具有不同属性板块聚合、多条蛇绿岩套与岛弧带并列、构造格架反复继承与改造、物质活化与循环运动以及构造体制转换突出的特征。深部存在多期大洋板片俯冲-断离与岩石圈地幔富集-活化, 板块拼贴、流体交代、岩浆作用与构造挤压导致岩石圈物质组成与结构复杂。浅表盆地经历了剥蚀沉积-流体汇集-物质继承的演化。地质演化复杂多样, 包括大洋-大陆裂解、大洋俯冲-物质循环、板块拼接-大陆增生、板内变形-盆地沉降和板块逃逸-构造走滑-地形隆升。

构造环境以大洋俯冲向陆陆碰撞转换和大洋俯冲向大陆俯冲过渡为主。构造动力体制转换作用突出, 三江构造体制转换受控于区域复合造山形成岩石圈结构和周缘多个造山带演化, 体现为构造环境、岩浆类型、构造应力场和构造变形特征的转变; 构造体制转换类型多样, 包括四期: ① 古特提斯大洋俯冲→大洋闭合 (260 ~ 230Ma): 随着古特提斯昌宁-孟连、龙木错-双湖、金沙江、哀牢山以及甘孜-理塘大洋在晚二叠纪—中三叠纪 (260 ~ 230Ma) 的逐次关闭, 滇缅泰马、印支、华南、羌塘等微陆块碰撞, 形成三江多陆块拼接体, 代表构造环境从以大洋演化转换为大陆演化; 构造体制中古特提斯洋片从俯冲-撕裂转换为洋壳断离-地壳伸展, 岩浆类型从弧岩浆岩为主过渡到板内 S 型岩浆岩为主; ② 岩石圈挤压褶皱→拆沉伸展 (~44Ma): 受到印度-欧亚大陆造山带构造转换的制约, 新特提斯洋壳断离, 三江地区从挤压褶皱期 (>45Ma) 过渡到拆沉伸展期 (44 ~ 32Ma), 古特提斯洋片俯冲形成的交代岩石圈地幔拆沉重熔, 区域从弧岩浆岩以及 S 型岩浆岩为主过渡为以钾质和超钾质岩浆岩为主; ③ 拆沉伸展→挤压走滑 (~30Ma): 承接于岩石圈拆沉, 扬子陆块和印度陆块先后分别俯冲于拉萨陆块与扬子陆块之下, 在多边陆陆碰撞挤压作用下, 印度板块逃逸, 大规模剪切活动发生, 大量淡色花岗岩沿剪切带分布, 盆地内部流体循环十分活跃; ④ 挤压走滑→伸展旋扭 (~13Ma): 受到印度大洋与洋脊的北东向俯冲以及太平洋板块北西向俯冲的影响, 区域伸展盆地发育, 似弧岩浆岩以及似洋岛玄武岩等多种类型火山岩形成。

(2) 揭示多类型矿床成矿机制, 建立复合造山成矿系统演化动力学模型。

提出复合造山成矿具有矿床种类多样、矿床类型独特、构造转换控矿、叠加成矿显著、保存条件良好、成矿大器晚成、超大型矿床多和矿床集约度高等特征。经过长期演化, 三江地区形成了洋岛型、弧后盆地型、上叠裂谷型和陆内裂谷型四类 VMS 多金属矿床, 俯冲型和碰撞型两类斑岩, 金顶式、脉状铜矿和脉状铅锌矿三类盆地容矿型矿床。建立了金顶式铅锌矿、陆陆碰撞造山型金矿和大陆碰撞型铜矿等大型矿床成矿模式, 阐明了复合造山背景下成矿作用。相比于国内外典型的增生造山型金矿, 三江碰撞造山型金矿整体上具有矿石矿物组合复杂、成矿时代新、成矿流体幔源组分多盐度高和壳幔相互作用明显的特征。提出了碰撞造山环境斑岩铜矿的成矿模型, 认为碰撞斑岩铜矿成矿斑岩为强烈挤压构造背景下形成的埃达克岩, 成矿金属的深部富集是因岩浆高氧逸度所致, 岩浆房的流体出溶是引发矿床大规模蚀变与矿化的根源。

三江地区经历了增生造山与碰撞造山两大构造事件, 不同构造体制转换控制了区域成矿作用的类型与时空分布: ① 古特提斯大洋俯冲→大洋闭合 (260 ~ 230Ma): 成矿类型由上叠式 VMS 型、俯冲斑岩型矿床为主过渡至与板内过铝质岩浆有关的锡钨矿、陆内裂谷

VMS 型为主; ② 挤压褶皱→拆沉伸展 (~44Ma): 区域成矿从热液型锡钨矿为主过渡至与钾质斑岩有关的铜钼金巨型成矿带以及盆地内部与岩浆热液有关的脉状铜矿的形成; ③ 拆沉伸展→挤压走滑 (~30Ma): 由于大型构造走滑作用形成断裂, 促进流体循环并沟通深浅矿源层, 形成了哀牢山造山型金矿、盆地热卤水型金顶式铅锌矿和脉状铅锌矿。

不同构造体制下的成矿作用于同一空间先后发生, 导致不同时代与成因矿体同位叠加, 是矿床规模提升、共伴生矿种增多和资源潜力扩大的重要因素, 叠加成矿作用可划分为火山成因块状硫化物-岩浆热液叠加、沉积-热液叠加和多期热液叠加等。建立了增生造山原—古—中—新特提斯成矿系统和碰撞造山成矿系统的时空构架与演化, 查明了复合造山过程中多种矿床的时空分布规律。

(3) 建立复合造山带内矿床勘查集成模式, 理论指导实践找矿取得重大突破。

依据复合造山带构造体制转换成矿与叠加复合成矿等特征, 选定义敦弧、昌宁-孟连缝合带、保山地块、兰坪-思茅盆地、新生代金沙江-哀牢山金铜成矿带等为重要远景区, 开展了不同成因类型矿床勘查集成模式与隐伏矿体定位预测研究。依据不同规模、矿种、类型矿床的成矿模式以及勘查过程, 对适用的勘查技术手段与类型(组合)的实施效果进行对比、判别、排序, 建立了适合三江高山深切割地貌、植被掩盖区的 5 套勘查技术集成技术, 包括: ① 斑岩型铜(金、钼)矿床(如普朗铜矿床), 斑岩矿床模型+高光谱+便携式短波红外光谱分析仪+高精度磁测+激电; ② 火山成因块状硫化物矿床(如老厂铅锌矿床), 成矿模式+层位+瞬变电磁法+激发激化法+高精度磁法; ③ 造山带型金矿床(如长安金矿床), 韧性剪切带+化探异常; ④ 盆地容矿脉型多金属矿床(如白秧坪铅锌矿床), 构造圈闭+热液循环中心+多种电法技术; ⑤ 夕卡岩、斑岩型矿床(如芦子园铅锌铁多金属矿床), 成矿模式+重+磁+多种电法。

区域资源潜力评价和找矿勘查技术创新成果在 VMS 和夕卡岩叠加型矿床、俯冲型斑岩矿床、碰撞型斑岩矿床和造山型矿床等不同构造背景、多个构造单元、多种矿床类型勘查中起到了重要作用, 经地质勘查单位验证, 新增了金、铜、钼、铅锌等资源储量, 实践取得重大突破。

三、专著撰写情况

全书分为上、中、下三篇。绪论由邓军执笔; 第一章由杨天南、邓军、刘俊来、史晓颖、颜丹平、王立全、许继峰、王庆飞、朱弟成、王保弟等执笔; 第二章由邓军、莫宣学、杨天南、颜丹平、刘俊来、史晓颖、王庆飞等执笔; 第三章由莫宣学、董国臣、赵志丹、朱弟成、周道卿等执笔; 第四章由邓军、周道卿、杨立强、王庆飞、王长明等执笔; 第五章由邓军、王庆飞、杨立强、刘欢、王长明等执笔; 第六章由王立全、许继峰、李文昌、杨立强、王长明、刘家军、顾雪祥、王保弟、董国臣等执笔; 第七章由许继峰、孙晓明、毕献武、邓军、杨立强、杨志明、梁华英、王长明、王庆飞、陶琰、陈建林、薛春纪、祁进平、袁万明、宋玉财等执笔; 第八章由邓军、王立全、李文昌、王长明、王保弟、张静等执笔; 第九章由邓军、李文昌、杨立强、王长明、卢映祥、张静等执笔; 第十章由李文昌、卢映祥、尹光侯、王庆飞等执笔; 第十一章由李文昌、邓军、卢映祥、杨立强、尹光侯、周道卿等执笔。全书最后由邓军统撰定稿。

除上述主要章节执笔人外,项目研究人员李楚思教授、牛耀龄教授、成秋明教授、张招崇教授、丁林研究员、朱维光研究员、叶霖研究员、张万平研究员、彭建堂研究员、温汉捷研究员、王彦斌研究员、杨竹森研究员、陈文研究员、龚庆杰教授、赵志芳教授、施光海教授、田世洪研究员、葛良胜高级工程师、郭晓东高级工程师、祁进平副研究员、冯彩霞副研究员、周肃副教授、石贵勇副教授、李振清副研究员、刘正庚高级工程师、潘小菲副研究员、孙祥副教授、刘琰副研究员、刘学飞副教授、余海军工程师等学者为本项目提供了大量创新性研究成果并作出了重要的学术贡献。李龚健、刘欢、肖昌浩、江彪、马楠、孟建寅、蒋成竹、刘江涛、赵凯、和文言、张闯、杨喜安、贾丽琼、黄行凯、黄文婷、王静、刘英超、张燕、韦慧晓、孙诺、夏锐、侯林、刘云飞、邱昆峰、卢宜冠、杨镇、禹丽、乔龙、黄钰涵、贺昕宇、欧阳学财、梁坤、陈思尧、李强、陈福川、吴彬、吕亮、黄明、李坡、熊伊曲、闫寒、杜达洋、张广宁、邢延路、高学泉、魏超、杨立飞、杜斌等研究生参与了野外地质调查、室内测试以及对书稿做了大量图表制作工作。

在项目研究过程中,科技部973项目顾问组陈毓川院士、科技部973项目咨询专家马福臣研究员、赵振华研究员、许东禹研究员、顾连兴教授和丁悌平研究员以及项目专家翟裕生院士、滕吉文院士、莫宣学院士、柴育成研究员、潘桂棠研究员、侯增谦研究员始终给予悉心指导和全力帮助,使项目按整体科学目标顺利实施。

在项目实施和书稿撰写过程中,得到科技部基础研究司彭以祺巡视员、沈建磊处长,科技部基础研究管理中心张延军副主任、张峰处长;教育部科学技术司王延觉司长、雷朝滋副司长、高润生副司长、李渝红处长、明炬处长、邹晖副处长;国土资源部国际合作与科技司姜建军司长、高平副司长、白星碧副司长、马岩处长;中国科学院资环局范蔚茗局长;国家自然科学基金委员会地球科学部郭进义处长、姚玉鹏处长;中国地质大学(北京)、中山大学、中国地质科学院地质研究所、中国地质科学院矿产资源研究所、中国科学院地球化学研究所、中国科学院广州地球化学研究所、成都地质矿产研究所和云南省地调局等项目承担单位的领导和同仁们的帮助、指导和大力支持,在此一并表示衷心感谢。

目 录

前言

上篇：复合造山篇

第1章 增生造山时空结构与构造演化	4
1.1 增生造山空间结构	5
1.1.1 微地块	5
1.1.2 微地块缝合带	7
1.1.3 缝合带空间分布	7
1.2 增生造山演化过程	9
1.2.1 原特提斯旋回	10
1.2.2 古特提斯旋回	17
1.2.3 中特提斯旋回	45
1.2.4 新特提斯旋回	48
1.3 增生造山演化模型	52
1.3.1 特提斯洋演化与板块增生	52
1.3.2 增生造山演化模型	54
第2章 碰撞造山时空结构与构造演化	60
2.1 碰撞造山空间结构	60
2.2 碰撞造山演化过程	60
2.2.1 挤压褶皱期	60
2.2.2 拆沉伸展期	62
2.2.3 挤压走滑期	66
2.2.4 伸展旋扭期	68
2.2.5 构造演化过程	71
2.3 碰撞造山演化模型	72
2.4 复合造山与构造体制转换	76
第3章 构造-岩浆体系与壳幔相互作用	78
3.1 岩浆岩时空分布格局	78
3.1.1 增生造山岩浆事件	78
3.1.2 碰撞造山岩浆事件	85
3.2 壳内构造-岩浆体系	85

3.2.1	地壳结构	85
3.2.2	大型构造	85
3.2.3	壳内岩浆	96
3.2.4	岩性填图	102
3.3	壳-幔相互作用及动力学机制	105
3.3.1	板内火山岩地球化学特征	105
3.3.2	扬子板块西缘地幔柱作用	112
3.3.3	复合造山与壳幔相互作用	121
第4章	地球物理探测与壳幔结构	125
4.1	地球物理场特征	125
4.1.1	重力场特征	125
4.1.2	磁场特征	128
4.2	莫霍面变化特征	128
4.2.1	幔隆带与幔拗带	130
4.2.2	莫霍面与壳内圈层关系	130
第5章	地球化学元素分布特征	133
5.1	地球化学单元	133
5.2	地球化学元素与分布特征	134
5.2.1	构造单元元素展布规律	134
5.2.2	汇水盆地元素展布规律	142
5.3	地球化学异常信息	146
5.3.1	扬子板块	147
5.3.2	义敦岛弧	156
5.3.3	哀牢山缝合带	159
5.3.4	思茅地块	162
5.3.5	保山地块	170
5.3.6	腾冲地块	176
5.3.7	金沙江缝合带	186

中篇：成矿系统篇

第6章	增生造山成矿系统	193
6.1	原特提斯成矿系统	193
6.2	古特提斯成矿系统	217
6.2.1	老厂 VMS 型铅锌矿床	218
6.2.2	普朗斑岩型铜矿床	266
6.3	中特提斯成矿系统	288
6.3.1	滇滩夕卡岩型锡铁矿床	288

6.3.2	西邑热液型铅锌矿床	292
6.4	新特提斯成矿系统	311
6.4.1	红山斑岩型铜钼矿床	311
6.4.2	大松坡锡矿床	319
第7章	碰撞造山成矿系统	330
7.1	挤压褶皱期成矿系统	330
7.2	拆沉伸展期成矿系统	335
7.2.1	北衙斑岩型铜金矿床	335
7.2.2	纳日贡玛斑岩型铜钼矿床	343
7.3	挤压走滑期成矿系统	359
7.3.1	哀牢山造山型金矿床	359
7.3.2	兰坪-思茅盆地容矿铜铅锌矿床	384
第8章	复合叠加成矿作用	430
8.1	叠加成矿作用类型	430
8.1.1	VMS-岩浆热液叠加成矿	430
8.1.2	沉积-热液叠加成矿	433
8.1.3	多期热液叠加成矿	434
8.2	羊拉复合叠加矿床	435
8.2.1	成矿地质	435
8.2.2	含矿岩系特征	450
8.2.3	矿化与蚀变特征	450
8.2.4	成矿地球化学特征	461
8.2.5	矿床成因与模型	476
8.3	鲁春复合叠加矿床	480
8.3.1	成矿地质背景	480
8.3.2	含矿岩系	485
8.3.3	矿化与蚀变	500
8.3.4	成矿地球化学	509
8.3.5	同位素地球化学	515
8.3.6	矿床成因与模型	519
第9章	复合造山成矿理论体系	525
9.1	矿床类型划分厘定	525
9.2	构造体制转换成矿作用	527
9.3	复合叠加成矿作用类型	528
9.4	复合造山成矿系统演化	528
9.5	矿床成矿后变化与保存	532
9.5.1	典型矿床形成保存	532
9.5.2	岩体隆升演化过程	533

9.5.3 典型矿床变化过程	537
----------------------	-----

下篇：资源评价篇

第10章 勘查模式与技术集成	545
10.1 勘查模式	545
10.1.1 VMS型铜矿床	545
10.1.2 斑岩型铜钼矿床	545
10.1.3 夕卡岩型铁铜铅锌矿床	547
10.1.4 热液脉型铜铅锌矿床	549
10.2 勘查技术	550
10.2.1 斑岩型铜钼矿床	550
10.2.2 VMS型铜矿床	550
10.2.3 造山型金矿床	553
10.2.4 热液脉型铜铅锌矿床	553
10.2.5 夕卡岩-斑岩型矿床	553
第11章 成矿预测与找矿突破	555
11.1 成矿远景区划分与优选	555
11.1.1 致矿信息提取	555
11.1.2 成矿远景区划分	561
11.2 重要区带与靶区圈定	568
11.2.1 技术路线与方法	568
11.2.2 重要区带与靶区圈定	568
11.3 工程验证与找矿实践	579
11.3.1 羊拉铜矿床	580
11.3.2 老厂铜钼矿床	580
11.3.3 红山铜钼矿床	580
11.3.4 北衙金矿床	581
11.3.5 小水井金矿床	581
11.3.6 长安金矿床	581
11.3.7 勐满金矿床	581
11.3.8 普朗铜钼矿床	581
11.3.9 铜厂沟铜钼矿床	581
11.3.10 芦子园铅锌矿床	582
参考文献	583

上篇：复合造山篇

三江复合造山带历来为中外地质学家所瞩目。20 世纪 70 年代，国外学者从全球构造角度明确提出了三江古特提斯的存在（Hsü and Bernoulli, 1978; Sengör, 1979, 1981; Sengör and Hsu, 1984）。李春昱和黄汲清先生在 20 世纪 80 年代对三江特提斯进行了论述（Li, 1982; 黄汲清等, 1984）。随后，以刘增乾、钟大赉和潘桂棠为代表的中国地质学家开展了系统研究，取得了重大研究进展（刘增乾等, 1993; 钟大赉等, 1998; 潘桂棠等, 2003）。初步查明了三江特提斯的构造格局和地质演化，获得了重要的新发现和新认识：提出三江古特提斯具有多岛洋构造格局，由一系列相对稳定的地块和洋岛及其间的洋盆和支洋盆组成（钟大赉等, 1998）；识别出以 5 条蛇绿混杂岩带为标志的洋盆和支洋盆、4 套大洋消减形成的弧盆系统以及亲冈瓦纳地块群和亲扬子地块群（钟大赉等, 1998; 潘桂棠等, 2003）；提出三江古生代蛇绿混杂岩带所代表的盆地原型多数为弧后洋盆、弧间盆地或边缘海盆地。一系列共存的多条弧链（前锋弧、岛弧、火山弧等）和相间分布的弧后、弧间、边缘海盆地及微陆块，在古生代时期构成复杂的多岛弧盆构造系统。以弧后盆地消减和洋壳俯冲为动力，通过弧-弧碰撞、弧-陆碰撞、陆-陆碰撞等多岛造山过程，在中生代实现类似“东南亚”式造山过程（潘桂棠等, 2003）；按照多岛弧盆系构造思想，解剖和研究了三江地区 3 条弧盆系、2 个赋矿盆地和 2 个微陆块的时空结构及其构造演化；提出三江特提斯在新生代遭受印度-亚洲大陆碰撞造山叠加改造，经历了陆内走滑汇聚造山过程；在三江复合造山带识别出 6 条不同规模和不同类型的造山带，提出了“横断山”式造山带的时空结构与造山模式。

基于洋-陆系统研究而建立的板块构造理论引发了地球科学的一场革命，导致了成矿理论研究的一次飞跃，促进了对板块边缘成矿体系和成矿机制认识的深刻变革。具有划时代意义的两部专著《矿床与全球构造环境》（Mitchell and Garson, 1981）和《金属矿床与板块构造》（Sawkins, 1984）的面世，全面反映了矿床学家对板块构造与成矿关系的理解，较好地阐释了显生宙以来的矿床类型及其成矿理论。然而，就像板块构造“难以登陆”一样（张国伟等, 2002），传统板块构造的成矿理论在解释大陆成矿方面也遇到了一系列重大难题和挑战。因此，伴随着 20 世纪 90 年代美国大陆动力学计划的制订与实施，西方国家相继实施了大陆动力学与成矿关系研究计划。澳大利亚实施了大陆动力学与成矿作用研究计划，欧洲科学基金会设立了由 14 个国家参与的地球动力学与矿床演化重大项目，美国地调局则把地壳成像与成矿关系研究列为重大研究计划。这些重大计划，多以大陆形成演化与成矿物质供给→传输→集聚过程为研究核心，从壳幔相互作用和物质-能量交换传递新视角研究大陆成矿作用过程。进入新世纪后，中国相继设立若干相应的重大基

基础研究计划,旨在通过增进对大陆形成演化过程与成矿作用的理解,建立大陆成矿理论体系,提高成矿预测水平,增强发现大型矿床能力。

纵观十多年来大陆动力学与成矿作用的研究现状和发展趋向,以下5个方面的研究颇具代表性和方向性,已经成为矿床学界的研究焦点,并取得长足进展。

超大陆旋回是板块构造理论的拓展,其概念产生于20世纪90年代。地质学家发现2700Ma以来,超大陆发生了多次旋回性聚合与离散,一个旋回的时间尺度在200~500Ma (Murphy and Nance, 1992)。超大陆裂解或者由地幔柱活动引起,或者与高角动量有关。超大陆汇聚有两种方式,即内会聚(陆-陆碰撞)和外会聚(大陆增生)。矿床学家发现太古宙以来,许多不同类型的矿床周期性或旋回性地出现于超大陆演化的不同阶段,并与超大陆旋回中陆块的旋回性会聚与裂解事件有关(Barley and Groves, 1992)。与非造山岩浆作用有关的矿床,如Olympic Dam铁氧化物-铜-金-铀矿床(IOC)和砂岩型铜-铅矿床(SST),形成于超大陆裂解初期而与会聚构造有关的矿床,如造山型金矿床、斑岩型铜-金矿床、低温热液金矿床和火山型贱金属硫化物矿床,则形成于会聚边缘俯冲期和超大陆会聚期(Kerrick *et al.*, 2000)。研究发现在超大陆旋回演化中,不同类型金属矿床的形成与发育受几个关键性地质要素控制:①地幔岩石圈的性质(White, 1988);②地幔的热衰减过程;③俯冲带的消减速率、俯冲角度和热结构(Sillitoe, 1988, 2003);④汇聚方式(增生与碰撞);⑤保存条件与过程(翟裕生等, 2004)。澳大利亚Patrice等(2014)在*Nature*发表文章研究初始大陆块体与相邻的大洋地壳接触边界上随着时间演化发生的各种可能的动力学过程,预测同时发生的大陆内部从地球深部逐渐传递到浅地表的镁铁质岩浆作用和岛弧岩浆作用过程。目前,超大陆旋回与成矿演化研究作为矿床学的一个全新的重大研究方向正在推动全球和区域成矿学的发展。

大陆增生是大陆边缘增生造山过程的重要结果,其与成矿作用的关系是现今矿床学研究的热点。大陆的侧向增生是通过大陆边缘的增生完成。与碰撞造山带相比,增生型造山带更多地记录了多岛洋、多岛弧、并有微陆块加入的造山过程。有关增生造山的构造学说基本构建了大多数矿床形成的宏观构造框架,但众多矿床形成的机理与地球动力学过程的关系,目前仍存在激烈的争论。增生造山型矿床指的是随着板块俯冲作用的持续进行至洋陆板块缝合期间于会聚板块边缘的岩浆弧及与其相关的弧前盆地、弧内盆地、弧后盆地、弧间盆地等板块增生构造环境中形成的矿床。中亚造山带被认为是典型的增生造山带,伴随着增生造山和地壳生长而发生的流体活动与成矿作用,研究已取得了重要进展(王京彬、徐新, 2006)。Deng等(2014)对三江特提斯构造演化做了系统论述,揭示了原—古—中—新特提斯洋开启、俯冲和闭合的历程及其岩石学记录,并系统阐释了特提斯演化对多种类型成矿作用的控制作用。

碰撞造山作为形成超大陆最有效的方式和造山类型,其成矿作用近年来得到高度重视。目前,欧洲学者的研究热点聚焦于劳亚大陆(Laurasia)与冈瓦纳大陆(Gondwana)碰撞形成的海西期碰撞造山带,已有大型国际会议召开和代表性专著*Metallogeny of Collisional Orogens*面世。虽然已经建立起6种类型矿床的成矿模型(Seltmann and Faragher, 1994),但因其成矿时代较老、矿床保存较差、矿床类型单一且规模较小,尚难以勾画出碰撞造山成矿的整体轮廓。中国学者近年则聚焦于秦岭大陆碰撞造山带和青藏高原

原碰撞造山带。秦岭碰撞造山带发现并识别出具有特色的造山型金矿、铅锌银矿和斑岩型钼矿等,已建立起碰撞造山带流体系统与成矿模式(陈衍景,1996,2006)。青藏高原碰撞造山带发现大陆碰撞造山经历主碰撞、晚碰撞、后碰撞三阶段连续演化历程,提出大陆碰撞带发育三大碰撞成矿作用,即主碰撞汇聚成矿作用、晚碰撞转换成矿作用和后碰撞伸展成矿作用(侯增谦等,2006a,2006b,2006c)。

陆内伸展与成矿作用经历了增生造山和碰撞造山而进入陆内演化阶段的中国大陆,发生了强烈的大规模伸展、岩石圈拆沉、岩浆底侵、地幔柱活动等重要地质过程,并伴随着大规模成矿作用,成为矿床学研究的新热点。研究发现,陆内伸展环境是形成大型-超大型矿床和矿集区的有利环境(邓军等,2008)。北美科迪勒拉造山带东侧发育大量世界级的卡林型金矿、MVT型铅锌矿和浅成低温热液金-银矿,成矿年龄均集中于30~42Ma,成矿环境为造山后伸展盆地(Hofstra and Cline, 2000)。中国东部成矿作用以中生代大爆发为特色,集中分布于170~150Ma、140~125Ma和110~80Ma(毛景文等,2004),大致与华南陆内岩石圈伸展期的5次花岗岩侵位事件(164~153Ma、146~136Ma、129~122Ma、109~101Ma和97~87Ma; Li, 2000)相对应,形成于具有盆岭系统特征的伸展环境(胡瑞忠等,2004),与中生代岩石圈拆沉减薄和幔源岩浆底侵作用有关。中国西南地区大面积低温成矿域的空间分布、矿化特征和成矿年龄研究证明,大陆板块内部大规模伸展对成矿物质的活化、迁移、聚集具有重要意义(胡瑞忠等,2007)。峨眉山地幔柱活动,作为镁铁质岩浆短时限、超巨量堆积形成大火成岩省的重要机制(He *et al.*, 2003),伴随着丰富多彩的成矿作用,V-Ti-Fe、Cu-Ni、PGE、Cu、Nb、Ta、Zr矿床(点)星罗棋布,显示矿床类型的多样性,在全球大火成岩省中独一无二;V-Ti-Fe大规模成矿更是全球其他大火成岩省中少见(宋谢炎等,2005)。无疑,随着陆内地质过程与成矿作用研究的不断深入,必将大大增进对陆内成矿作用的认识和理解。

构造体制转换与叠加成矿作用。中国小陆块、多旋回的大地构造演化特征决定了其成矿的复杂性和多样性,叠加成矿系统发育构成了中国区域成矿的特色之一。近年来,通过对Au、Pb、Zn、Fe、Cu、Sn、U、Sb等矿床的改造成矿和叠加成矿的研究与探索,已发现多处成矿系统叠加的实例(如大厂、白牛厂、大宝山、铜陵、白云鄂博等)。研究表明(翟裕生等,2004),叠加成矿常造成复杂的矿床物质组成和结构,也是形成大矿、富矿的重要因素,从地球动力学演化的角度来看,大型-超大型矿床和矿集区的形成无一不叠加着多期成矿事件的烙印。尤其是最近的研究表明(翟裕生等,2002; Deng *et al.*, 2004; 邓军等,2012),构造动力体制转换无论从空间上还是时间上是一个普遍发生的地质现象,在控制成矿过程的多种参数中提出了叠加改造成矿的普遍性和复杂性观点,阐明了叠加成矿的控制因素、作用过程和效应,初步建立了中国叠加成矿作用的时空框架。

本篇第1章研究增生造山时空结构与构造演化;第2章研究碰撞造山时空结构与构造演化以及复合造山与构造体制转换;第3章研究岩浆活动与壳幔相互作用;第4章研究地球物理探测与壳幔结构;第5章研究地球化学单元分布规律。这些研究为建立三江特提斯复合造山成矿理论体系奠定了坚实的基础。