



HUNAN DIQU
DIQIU DONGLIXUE SHUZHI MONI
JI CHENGKUANG ZUOYONG TEZHENG YANJIU

湖南地区 地球动力学数值模拟 及成矿作用特征研究

朱自强 匡文龙 鲁光银 著



地质出版社

湖南省自然科学基金资助项目(06JJ50075)

湖南地区地球动力学数值模拟 及成矿作用特征研究

朱自强 匡文龙 鲁光银 著

地 质 出 版 社

· 北 京 ·

内 容 简 介

湖南地区,是华南成矿区的重要组成部分,区内成矿作用与中生代以来的构造运动密不可分。本书运用区域板块构造运动同大陆板块内部局部地区的力学分析相结合的板块力学研究方法,将构造地质学与地球物理学资料相结合,对区内构造、地层、变质作用、区域地质断面的地球物理特征、古地磁以及深部地壳结构、成矿作用等方面做了较系统的论述;运用有限元数值模拟计算方法,研究了湖南地区中生代以来主要构造演化的动力学特征,运用造山与成盆作用形成的关系及两者的耦合原理,研究了区内矿产资源的分布规律,总结出了造山作用与成盆作用对湖南地区成矿作用的控制特征,进行了成矿远景预测,对湖南地区有关成矿系列理论做了有益的补充。

本书内容丰富,观点新颖,论述清晰,不仅丰富了湖南地区成矿理论与成矿规律的研究,还将对该区正在进行的科研工作 and 找矿实践起到有益的指导作用,所提出的四个成矿远景区更为今后的找矿工作指明了具体方向。本书可供地质学领域科研工作者、院校师生及野外地质工作者参考、借鉴。

图书在版编目(CIP)数据

湖南地区地球动力学数值模拟及成矿作用特征研究/
朱自强等著. —北京:地质出版社, 2007. 11
ISBN 978-7-116-05333-5

I. 湖... II. 朱... III. ①地球动力学-数值模拟-研究-
湖南省②地球动力学-成矿作用-研究-湖南省 IV. P541
P617.264

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2007)第 169048 号

责任编辑:祁向雷 白 峰
责任校对:黄苏晔
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) 82324577 (编辑室)
网 址: <http://www.gph.com.cn>
电子邮箱: zbs@gph.com.cn
传 真:(010) 82310759
印 刷:北京地大彩印厂
开 本:787 mm × 1092 mm ¹/₁₆
印 张:9.75
字 数:225 千字
印 数:1—800 册
版 次:2007 年 11 月北京第 1 版·第 1 次印刷
定 价:25.00 元
书 号:ISBN 978-7-116-05333-5

(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)

序

湖南地区是我国重要的有色金属成矿区之一，如何针对区内众多的矿化现象，找准突破关键，严密成矿思路，从而为发现重大的成矿区（带）作出贡献，这是贯穿本书的主题。从本书所取得的研究成果来看，无论是区域成矿地质-地球物理条件的新思路、还是深部动力学特征的新认识、有限元数值模拟研究的新成果，以及成矿规律与找矿远景区预测研究等方面均有重要的进展。

作者结合湖南省自然科学基金“湘西地区隐伏大型-超大型 MVT 铅锌矿床的成矿预测研究”（编号：06JJ50075）、湖南省科委“湖南省危机矿山深边部找矿研究”（编号：湖科 9708）和“湘南有色成矿区带 1:5 万物（化）探资料处理及找矿靶区优选研究”（编号：中色科 9632）等科研项目，针对制约湖南地区找矿突破的关键问题，从构造地质和地球物理相结合以及造山作用与成盆作用研究相结合的角度，对湖南地区中生代以来主要构造演化的动力学特征及其成矿作用进行了深入研究，并利用有限元数值模拟计算方法对研究所得到的新认识进行了很好的验证。

书中首先确认了“江南古陆”为古隆起，明确了板溪群作为地区性的岩石地层单位是一套武陵运动不整合面之上、平行不整合于震旦系之下的由砾岩、砂岩及板岩构成的正常沉积地层；认为湖南地区的构造作用呈现相互交错的复杂格局，构造应力场几经变化，并最终形成了该区马蹄形盆地地貌。在深部地球动力学研究方面，明确了湖南具有比较稳定的大陆地壳，在此基础上，初步建立了该地区的岩石圈分层模型；提出了雪峰隆起经历了逆冲叠加、伸展滑脱等阶段，由于重力均衡，在中浅部地壳发生伸展凹陷等新认识；探讨了湖南的加里东期、印支期、燕山期地壳发生一系列逆断层构造的原因。在区域成矿作用研究方面，总结出了造山与成盆作用对湘西雪峰弧形构造带内金锑铅锌矿等的控制作用，在此基础上还对湖南地区有关矿产资源的分布规律进行了系统总结，并提出了四个成矿远景预测区，这些成果无疑将会对促进湖南地区矿产资源的找矿勘探具有重要的理论和实践意义。

读后有感，草以为序。

何继善 院士

2006 年 12 月 18 日

前 言

湖南地区，是华南成矿区的重要组成部分，素称“有色金属之乡”，区内成矿作用与中生代以来的构造运动密不可分。特别是南方板块的演化历史、各构造发展阶段的应力特征，都直接控制了本区构造活动的特征。因此本书采用区域板块构造运动同大陆板块内部局部地区的力学分析相结合的板块力学研究方法，将构造地质学与地球物理学资料相结合，对区内构造、地层、变质作用、区域地学断面的地球物理特征、古地磁以及深部地壳结构、成矿作用等方面做了较系统的论述；并通过运用有限元数值模拟计算方法，研究了湖南地区中生代以来主要构造演化的动力学特征，在如下四个方面取得了一定的进展：

(1) 区域大地构造研究方面：通过地球物理资料的综合分析，并依据陆壳反射地震结果，确定了“江南古陆”地区为古隆起，其下存在有时代更老的结晶基底，从而否定了“雪峰山地区是巨大外来体”的说法，提出在整个江南古陆不存在阿尔卑斯型巨大外来体；明确了板溪群是一地区性岩石地层单位，是一套在武陵运动不整合面之上、平行不整合于震旦系之下的由砾岩、砂岩及板岩构成的正常沉积地层，属新元古代早期，在区域上具有明显的可对比性，不是构造混杂岩；通过对湖南地区主要构造作用的应力场特征分析，认为湖南地区由于位于扬子陆块与华南褶皱带和华夏陆块所拼合形成的中国南方板块的中部，受周边板块（华北板块、印支板块、古太平洋板块及古特提斯裂谷）的影响以及早期构造对晚期构造的制约和影响，其构造作用呈现相互交错的复杂格局，构造应力场几经变化，并最终形成该地区大面积宽缓拗褶、抬升，出现东、西、南三面环山，北面临水的马蹄形盆地地貌。

(2) 深部地球动力学研究方面：总结了华南地区地壳平均速度结构特点及其地质含义。指出湖南地壳平均速度为 6.3 km/s 、横向变化不大、上地幔顶部速度都大于 8.0 km/s ，以及壳内低速层不显著、且速度随深度增加缓慢、平均地热流值偏低、地震活动频度低等一系列特点。明确了湖南具有比较稳

定的大陆地壳，并初步建立了湖南地区岩石圈分层模型；结合湖南地区中生代以来地壳结构和主要构造演化的有关地球物理资料和野外实际观察，对雪峰山隆升动力学机制及其与有关矿区构造的关系进行研究，提出雪峰隆起经历了逆冲叠加、伸展滑脱等阶段；三大盆地的形成结构模式是深部隆起背景上的浅部拗陷，是加厚地壳在凸出部位，由于重力均衡，在中浅部地壳发生伸展拗陷而形成等认识；根据湖南地区布格重力异常和均衡重力异常等重磁资料分析，认为在加里东期、印支—燕山期湖南地壳均受到来自东南方向的外力推挤，江南古陆是相对坚硬稳定的构造，而南东地区柔性地层则向北西推挤，形成了一系列逆断层构造。结合对湘东地区有关岩体的详细研究，探讨洞庭湖盆地总体重力高而局部重力低的特征。

(3) 有限元数值模拟研究方面：首次将有限元数值模拟计算方法，应用于湖南地区地壳结构与主要构造演化特征的研究，并取得了理想的成果，很好地验证了本次研究工作的新认识；平面模型的模拟结果，无论是从位移场还是应力场的角度，都很好地验证了造山带总体挤压缩短状态下，加厚地壳的凸出部位由于重力均衡，在中浅部地壳层次发生伸展。由模拟结果反映的地壳加厚带与实际是相符合的；剖面模拟结果所显示的雪峰隆起和沅麻盆地、洞庭盆地、衡阳盆地以及湘中盆地与地质实际是基本吻合的。由模拟结果可以看出，以较低密度的异常地幔为主的岩石圈断裂，均向北西倾斜，因为低值区分布在高值区的北西侧。这与根据凤凰—茶陵地学剖面编制的湖南地区岩石圈结构推断地学剖面图地质情况基本一致。

(4) 区域成矿作用研究方面：首次运用造山与成盆作用形成的关系及两者的耦合原理，来研究矿产资源的分布规律，对湖南地区有关成矿系列理论做出了有益的补充。总结了造山与成盆作用对湘西南雪峰弧形构造带内金锑矿的控制作用特征；提出了四个成矿远景预测区：即雪峰（锑金）矿集区；邵阳—郴州北西向构造带内花岗岩成矿带；湘南超大型钨多金属成矿带；湘北原生金刚石成矿带。

由于有关华南的大地构造演化，特别是“江南古陆”是否存在与“板溪群”的时代归属一直众说纷纭，本书旨在通过板块构造运动同大陆板块内部局部地区的力学分析相结合的板块力学方法，将构造地质学与地球物理学资

料相结合,并通过运用有限元数值模拟计算方法来研究湖南地区中生代以来深部地球动力学演化及其成矿作用的特征,限于时间、经费和作者水平,本次研究工作难免存在一些缺陷甚至谬误,还请阅者不吝赐教。

本书是在何继善院士的悉心指教和多方关怀下完成的。何院士严谨的治学作风、渊博的专业知识、求实的科学态度使我们受益匪浅。中国科学院地质与地球物理研究所刘光鼎院士活跃的学术思想、渊博的学识、坦诚的赐教给予了我们非常有益的启迪。工作过程中还得到了湖南省自然科学基金“湘西地区隐伏大型-超大型 MVT 铅锌矿床成矿预测研究”(编号:06JJ50075)、“湖南省危机矿山深边部找矿研究”(编号:湖科 9708)和“湘南有色成矿区带 1:5 万物(化)探资料处理及找矿靶区优选研究”(编号:中色科 9632)等项目的共同资助。

中国地质科学院陈毓川院士,吉林大学地球科学部何樵登教授、王世称教授、田钢教授,中国地质大学(北京)地球物理与信息技术学院牛滨华教授等都为本书的完成提供了许多宝贵的意见。湖南地质研究所蔡家雄教授级高级工程师、童潜明教授级高级工程师、饶家荣教授级高级工程师、谢湘雄教授级高级工程师,中国科学院广州地球化学研究所梁新权研究员等提供了有关资料并给予了谆谆教诲。

本书的完成得到了中南大学信息物理工程学院、湖南科技大学土木工程学院领导的关怀。

谨此向上述个人和单位致以崇高的敬意和表示衷心的感谢!

朱自强 匡文龙 鲁光银
2006 年 12 月于长沙

目 次

前 言

第一章 绪 论	(1)
1.1 研究基础	(1)
1.2 研究思路	(3)
1.3 研究方法	(4)
第二章 区域地质地球物理背景	(6)
2.1 沉积(变质)建造特征	(6)
2.1.1 前中生界	(7)
2.1.2 中生界	(8)
2.1.3 新生界	(8)
2.1.4 关于板溪群	(8)
2.2 岩浆岩特征	(14)
2.2.1 概述	(14)
2.2.2 时空分布规律	(15)
2.2.3 岩浆岩与成矿	(16)
2.3 区域地球物理场特征	(16)
2.3.1 重力场基本特征	(16)
2.3.2 磁异常特征	(20)
2.3.3 大地电磁测深和深部结构	(23)
2.3.4 地热特征	(24)
2.4 区域构造特征及大地构造演化	(27)
2.4.1 两大构造单元的划界问题	(27)
2.4.2 各构造块体的划分	(28)
2.4.3 大地构造演化各阶段	(31)
2.4.4 大地构造演化模式	(34)
2.5 区域矿化特征	(36)
2.5.1 内生金属矿床	(36)
2.5.2 沉积、层控型矿产	(38)
2.5.3 原生金刚石	(39)
第三章 深部地球动力学特征	(40)
3.1 岩石圈结构	(41)
3.1.1 岩石圈物质组成与结构	(41)
3.1.2 “热”岩石层厚度及其区域变化	(42)
3.2 地球物理参数特征	(45)

3.2.1 表层地球物理参数	(45)
3.2.2 地壳速度模型	(46)
3.2.3 上地幔结构	(48)
3.3 深部构造与中浅部构造的关系	(49)
3.3.1 “铲式”断裂系	(49)
3.3.2 褶皱隆起	(50)
3.3.3 岩浆作用	(51)
3.3.4 大型—超大型矿床成矿	(52)
3.4 板块构造动力演化	(53)
3.4.1 板块运动的古地磁依据	(53)
3.4.2 板块运动和变化的地质过程	(56)
3.4.3 板块构造运动的力源机制	(57)
3.5 板块构造与地幔对流	(59)
3.5.1 地幔物质发生对流的物理背景	(59)
3.5.2 地幔对流模式	(60)
3.5.3 地幔对流与俯冲板块的角度问题	(61)
3.5.4 板块驱动力的应力场计算	(63)
第四章 中生代以来构造变形及动力学特征	(68)
4.1 中生代构造运动	(68)
4.1.1 印支运动	(68)
4.1.2 燕山运动	(68)
4.1.3 喜马拉雅运动	(68)
4.2 中生代以来的盆-山构造格局	(69)
4.2.1 断裂格架的继承和复活	(69)
4.2.2 古隆拗的继承和改造	(71)
4.2.3 褶皱-断裂系统的形成和改造	(71)
4.2.4 盆地升降和构造变形的运移扩展	(72)
4.3 中生代以来的构造变形	(73)
4.3.1 沉积建造特征	(73)
4.3.2 岩浆演化特征	(74)
4.3.3 地幔柱构造主要作用特征	(75)
4.3.4 独特的羽状对称特征	(77)
4.4 构造应力场分析	(79)
4.4.1 重磁异常反映的应力场特征	(79)
4.4.2 航磁异常分布特点显示的应力场	(80)
4.4.3 地壳形变及控矿特点	(81)
4.4.4 各期构造应力场特征	(82)
第五章 造山带与盆地的形成及演化	(86)
5.1 造山带的形成与演化	(86)
5.1.1 造山作用的性质	(86)
5.1.2 造山带的结构构造	(87)
5.1.3 造山作用动力学机制	(87)
5.2 造山带与盆地的耦合关系	(89)
5.2.1 空间关系	(90)

5.2.2 物质关系	(90)
5.2.3 造山作用过程中及造山后的盆地形成和演化	(91)
5.3 雪峰弧形造山带	(92)
5.3.1 宏观形态特征	(92)
5.3.2 深部构造特征	(94)
5.3.3 浦市-辰溪浅层叠瓦状推覆构造	(95)
5.3.4 形成机制分析	(96)
5.4 沅陵-麻阳盆地	(97)
5.4.1 盆地形成的基础	(97)
5.4.2 盆地后期的伸展构造	(97)
5.4.3 盆地演化阶段	(99)
5.5 衡阳-湘中盆地	(99)
5.5.1 衡阳盆地与成煤	(99)
5.5.2 涟源盆地与油气藏	(101)
5.6 洞庭盆地	(103)
5.6.1 区内电性结构特征	(103)
5.6.2 地质解释及推断	(104)
第六章 中生代以来地球动力学演化的数值模拟	(105)
6.1 模型建立的历史背景	(106)
6.1.1 构造运动期次	(106)
6.1.2 构造演化的动力学背景	(108)
6.1.3 各期构造运动的变形特点	(109)
6.2 模型建立的参数特征	(112)
6.2.1 平面模型	(112)
6.2.2 剖面模型	(112)
6.2.3 材料参数	(113)
6.2.4 边界条件、载荷方式及量级	(114)
6.3 模拟的结果和结论	(115)
6.3.1 平面模型模拟结果	(115)
6.3.2 剖面模型模拟结果	(116)
6.3.3 几点讨论	(117)
第七章 区域成矿规律及找矿远景区	(121)
7.1 区域成矿规律	(121)
7.1.1 成矿作用的时间演化规律	(121)
7.1.2 成矿作用的空间分布规律	(125)
7.1.3 成矿分带与构造岩浆活动的迁移	(127)
7.2 找矿远景区	(129)
7.2.1 雪峰(锦金)矿集区	(129)
7.2.2 邵阳-郴州北西向花岗岩成矿带	(133)
7.2.3 湘南超大型钨多金属成矿带	(135)
7.2.4 湘北原生金刚石成矿带	(139)
参考文献	(141)

第一章 绪 论

1.1 研究基础

“地球动力学”的概念由来已久, Scheidegger (1958, 1963, 1982) 较早探讨了这一概念的内涵, 强调了地球表层特征与地球内部驱动力的关系。至于地球深部结构的研究一直是地质-地球物理课题上的难点。20 世纪 80 年代末期, 基于天然地震数据分析的地震层析技术取得了重大突破, 揭示了地球深部圈层结构的图像 (Woodhouse 等, 1984), 从宏观上给出了地球结构的直观图像。Maruyama 等根据这些图像发展了地幔柱的概念, 提出了地幔柱构造 (plume tectonic) 概念模式, 用超级地幔柱、核幔相互作用及地幔对流解释了板块运动的驱动力问题 (谢鸿森, 1995, 1997)。20 世纪 90 年代以来, 许多学者对地球的深层结构做了探讨, 取得了一系列重大成就, 如宋晓东等发现和证实了地球内核自转速度相对于地球整体自转速度每年约快 1 度, 被誉为当代重大的科学发现; 毛河光等用巨压金刚石等技术的高压试验装置提供了核幔边界物质性质的一些数据; 全球地学大断面 (GGT) 跨越了一系列重要的造山带和盆地, 对其深部结构提供了系统的信息, 在我国也取得了重要成果 (吴功建, 1991)。

湖南地区属环太平洋构造域, 位于刘光鼎院士所提出的“三横两竖两个三角”构造格架之大兴安岭-太行山-武陵山南北向造山带的东南缘 (刘光鼎, 1992, 1993)。在该构造域内自桂北、黔东, 经湘、鄂、赣到皖、浙边界, 横亘七省, 分布着一个长条状的中新元古代变质岩系, 而未变质的泥盆系则角度不整合在其上, 黄汲清 (1980) 称之为“江南古陆”。湖南地区则位于江南古陆中部, 地处南方板块的次级构造——扬子陆块与华南褶皱带之间。因此, 南方板块的演化历史、各构造发展阶段的应力特征, 都直接控制了本区构造活动的特征, 研究湖南地区构造演化特征必须考虑整个南方板块的活动历史, 特别是扬子陆块和华夏古陆边缘构造史的分析。

对于湖南地区大地构造属性素有争议, 且众说纷纭。李四光用地质力学的观点, 论述了涉及湖南的“华夏式多字型构造”、“湖南山字型构造”、“南岭东西向构造”和“五岭多字型构造”等, 初步分析了湖南构造体系; 黄汲清从地史发展的角度出发, 在总结中国主要地质构造特征的同时, 鉴别出了湘中向西凸出的“祁阳弧”, 并称其为“美丽而几乎是圆弧状”弧形构造; 吴磊伯等建立了“紫云山旋卷构造”和“大义山向斜构造”, 将“祁阳弧”命名为“祁阳山字型” (湖南省地质矿产局, 1988); 田奇瑞发表了《湖南雪峰地轴与古生代海侵之关系》, 对湖南地区所处的大地构造位置, 性质和意义进行了阐述, 并创“雪峰运动”一词; 陈国达 (1992) 用地洼学说的观点, 发表了一系列文章, 分析了湖南大地构造特征, 并将该理论应用于湖南的金矿、华南的锡多金属矿等矿产成矿规律研究中, 尤其是在构造与金矿的研究和应用中, 取得了许多重大性的突破; 1977 年,

湖南区调队赵恒生、朱振民等,通过研究涟源七星街等地二叠系和三叠系的接触关系,以丰富的古生物、岩石学等资料论证了它们为连续沉积,改变了传统的假整合观点,此外,还根据沉积类型,沉积作用等特征,对“江南古陆”提出了新的认识(陈心才,1996),指出省内前泥盆纪沉积作用有由北西向南东从稳定区到活动区过渡,而大陆地壳演化则由西北向南东迁移的论点;莫柱荪1980年编写了《南岭花岗岩地质学》,对南岭花岗岩的构造特征和成矿模式进行了系统总结;20世纪80年代以后,随着推覆构造研究的深入,许多古陆都受到怀疑,特别是许靖华(1980,1987)对于华南大地构造提出了许多新的认识,他把江南古陆看成是印支期的碰撞造山带,认为梵净山、桂北九万大山都是飞来峰,雪峰古陆上零星出露的上古生界是构造窗,这样“江南古陆”(包括雪峰古陆)究竟是一个原地的、准原地的,还是一个外来的异地体,便成为这个地区构造研究的一个焦点,迄今尚是众说纷纭,莫衷一是。

1991年,陈心才等通过研究雪峰山及邻区大地构造性质及演化,探讨了华南的构造演化背景,发现了湖南存在三大推覆期及不同方向的大型韧性剪切带,刷新了湖南构造研究的内容。其中论述到三大构造阶段构造变形的不同机制,即武陵期、加里东期的变形机制为压扁加韧性至脆韧性剪切,韧性剪切带的发现对金矿的找寻和预测有重要意义;而印支期-燕山期构造变形机制为走滑作用加脆性剪切,脆性剪切的变形主要集中在主断面,因此形成远距离的推覆逆冲,从而开辟了寻找推覆体下隐伏矿产的找矿工作新途径。

1999年,梁新权等在研究雪峰山构造带中生代变形问题时,提出会聚式地幔蠕动和扩散式的地幔蠕动所产生的岩石圈增厚和减薄是引起该区中生代构造变形和活化的根本原因。认为雪峰山构造带于中生代发育有两套相反的逆冲剪切推覆构造系统,它们是壳块不同演化时期多向运动变形的产物。

由此可见,加强对湖南地区深部地质的研究,是有着现实意义的。近年来,有关造山后伸展构造和造山伸展成因盆地的许多研究成果(吴正文,1995,1999)表明:造山后的伸展作用和造山后伸展成因盆地在许多造山带是普遍存在的。同时沉积盆地的形成、演化也是岩石圈各种流变动力学过程的产物,是不同矿产资源的聚集之地。盆地构造发展中的主要变化与大陆边缘及大陆内部的主要变化是同时发生的,造山与成盆作用之间存在着动力环境(拉张、挤压和剪切作用)、物质环境(深部补偿,浅部直接的剥蚀和给予)、相互间的流体作用(层间流动)、应力参与(直接参与和应力传递)等许多方面的相互依存关系。因此,水平方向的拉张和挤压作用与垂直方向的沉降的互相制约、岩浆-热历史和构造应力场的变化、沉积盆地沉降中心的迁移,这些都是造山带和盆地研究相统一和有机联系的重要组成部分。

造山带与盆地,是大陆块内相间分布的两个构造单元,是大陆动力学乃至地质学研究的重要方面;造山带与盆地研究的结合,是大陆资源、大地构造理论及其他地质理论发展的关键,也是今后地质科学研究新的生长点。

作为地学和构造地质领域的重点研究对象之一的造山带研究已有近百年的历史,目前正处于从科学实践探索到新的理论创造概括的中央阶段。早在19世纪中后期,当时一些著名的地质学家,如Gilbert, de Lapparent, 以及Dana等,对造山运动过程、类型,造山作用与造陆作用的区分,造山作用与山脉的形成等提出了论述。Hall和Dana通过对阿巴拉契亚山的调查研究,提出了地槽一词,这是较早有关地槽、造山带的经典论述,它涉及

地槽沉降、沉积作用、岩浆活动、变形、变质作用,以及侧向挤压应力使褶皱隆起形成造山带等,这些认识一直为地质学家们所普遍接受。到20世纪初,Still指出“区域性角度不整合”是造山带内标志构造运动改变岩层组合,形变等的幕式(旋回)过程。20世纪60年代后期,板块构造理论的兴起为造山运动的研究提供了新思路。即造山带的形成演化体现了岩石圈板块从离解(规模不等洋盆的打开)到汇聚(洋盆消减闭合)的过程。在空间上,造山带常常是板块与板块之间的缝合地带,或是板块汇聚的边缘地带。借助于板块学说,对解释造山带形成机制——水平运动(洋盆扩张)与垂直运动(洋盆消减,俯冲作用)的相互联系,造山带内各类岩浆活动的时空关系,以及划分造山带类型,都起到一定的深化作用(吴正文,1999)。到20世纪80年代后期,随着各种测试手段的进一步发展,地质学家们对地球大陆变形、变质作用、动力学特征有了一定的了解,而板块构造学说却无法提供大陆地带动力学作用(如造山期后大陆内各种变形作用,大规模的走滑,逆冲断层等)的确切解释;因此,针对大陆行为、作用、历史、演化,结合人类与自然的协调关系,人类的需求,旨在促进社会发展的大陆动力学诞生。

在我国20世纪50年代中期,陈国达通过总结前人各学科研究成果和对中国东部的地质调查,指出中国东部大陆在中生代以后大地构造体制已发生了根本性的转变,并对中国北部阴山山脉及东南沿海的大地构造发展史和成矿特征作了典型分析,认为这两个地区既非历史文献所说的地台区,也不是地槽区,而是在晚古生代—中生代初统一中国地台的背景上,先后开始出现普遍的构造—岩浆活化,区域地质特征已不同于地台阶段和地槽阶段,从而提出“地台活化”及“活化区”的概念,并将该理论应用于湖南的金矿、华南的锡多金属矿等矿产成矿规律研究中,尤其在构造与金矿的研究和应用中,取得了许多重大的突破(陈国达等,1992;陈心才,1996)。因此,加大对中、新生代以来造山带的演化,动力学机制及其效应等的研究,从而对当前社会需求——开发资源、解决环境恶化、预测灾害频繁发生等都可以提供较为直接的科学依据。

1.2 研究思路

探索地球浅部现象的“深部过程”,一直是地学研究者的孜孜追求。从全球动力学的角度重新审视地球系统,人们认识到正是地核和地幔的深部演化过程作为“动力发动机”提供了地球演化的驱动力。因此地球深部的物质、结构和演化过程已成为地学研究最重要的主题之一;同时与人类生存关系密切的大陆岩石圈以其复杂的结构和丰富的资源始终是地学关注的焦点。尤其是在具有大陆地质优势的我国更是如此。

半个多世纪以来,尤其是随着活动论思想的传播和推覆构造热潮的兴起,湖南及其邻区大地构造属性、构造格架及地壳构造演化,引起了国内外广大地学研究者的广泛争议。围绕这一问题,各家提出了不同的模式,而在这些模式中,尤以雪峰山地区所处大地构造位置及其属性的论述极不相同。因此,对于湖南地区构造作用的形成和演化的正确认识,不仅涉及对该区大地构造属性研究的根本理论问题;而且还直接关系对这个地区隐伏矿床进行预测和找寻的重要实际问题;特别是由于生产的发展和科技的进步,湖南地区许多矿山的开采和生产规模在不断的扩大,而找矿勘探工作却相对滞后,并由此导致了大部分矿山的地质保有储量逐年减少,有相当一部分矿山面临资源枯竭的危机。而要摆脱目前这种

困境,途径只有两条:一是加强对该区的大地构造与成矿学研究,力求对该区地壳结构和主要构造特征及其与成矿作用的关系有一个完整、明晰而又相对正确的认识;二是在正确的成矿学理论指导下,积极开展对隐伏矿床(体)的预测和找寻,加大找矿勘探工作力度,以找寻新的后备基地,扩大地质储量。

本书针对制约湖南地区找矿突破的关键问题,以构造地质学与地球物理学相结合,造山作用与成盆作用研究相结合的方法;通过分析区域板块构造运动同深部地球动力学的关系,特别是通过大陆板块内部局部地区的力学分析,来研究湖南地区中生代以来地壳结构和主要构造演化的地球动力学问题,并对上述研究工作所取得的有关认识,用有限元数值模拟计算方法进行了验证。同时,从岩石圈结构、地球物理方法和应用,造山作用与大陆动力学,岩石圈物质迁移及其富集成矿等几个方面,对湖南地区中生代以来的深部构造及其成矿作用特征进行了重点研究。从而提供对于湖南地区造山与成盆作用相结合的完整的构造认识,对以往单一的仅以构造的几何形态结合运动学的初步分析去研究大陆动力学,以及把探讨造山作用与成盆作用彼此孤立起来的研究方法作有益的补充;通过上述研究工作,明晰湖南地区地壳结构和主要构造演化与成矿作用的关系,总结归纳出该区成矿作用的有关特点;总结出湖南地区有关矿产资源的分布规律,为实际找矿工作提供科学的理论依据。

1.3 研究方法

本次研究工作通过系统收集湖南地区现有研究资料和有关的文献、专著,在充分熟悉和全面把握该区的区域地质特征和区域地球物理场特征的基础上,通过岩石圈结构、地球物理方法和应用、造山作用与大陆动力学、岩石圈物质迁移及其富集成矿等几个方面的综合研究,并运用地球动力学有关理论和有限元数值模拟方法予以验证,试图阐明湖南地区中生代以来地球动力学演化规律、岩石圈物质迁移及富集成矿地质条件,以指导本区的矿产勘查工作。

资料搜集:系统收集湖南地区有关构造特征和矿产资源的研究资料,特别是有关凤凰-茶陵地学剖面与大庸-资兴地质-地球物理综合解释剖面图的相关资料,以及布格重力异常、均衡重力异常和航磁异常等资料,对各个研究区内已有资料进行二次开发利用。

野外考察:选择具有代表性的凤凰-茶陵剖面,结合现有研究成果,湘西地区以沅麻盆地东南缘、湘西金(钨铋)矿、雪峰造山带等作为重要研究对象;湘中地区以龙山穹隆、龙山金铋矿、涟邵盆地、锡矿山铋矿等作为重要研究对象;湘东南地区以衡阳盆地、郴县柿竹园钨锡钼铋多金属矿床作为重要研究对象;湘东地区以攸县红盆东侧一些犁头形断裂、洞庭湖东侧的公田断裂和断裂以东的望湘岩体等主要构造-岩浆活动区为重要研究对象。进行了详细的野外观察、素描和系统的样品采集,为造山作用与成盆作用两者的耦合及其对矿产资源分布的制约关系论证提供充足的地质依据。并通过对样品的结构、构造、主要矿物组成成分的仔细观察、分析,为阐述该区大地构造背景提供准确的第一手资料。

室内研究:采用区域板块构造运动同大陆板块内部局部地区的力学分析相结合的板块构造研究方法,将构造地质学与地球物理学资料相结合,并通过运用有限元数值模拟计算

方法,研究了湖南地区中生代以来主要构造演化的动力学特征及成矿作用特征,整个研究工作主要分以下四个方面进行:①区域大地构造研究方面,通过地球物理资料的综合分析,并依据陆壳反射地震结果,确定了“江南古陆”地区为古隆起,其下存在有时代更老的结晶基底,从而否定了“雪峰山地区是巨大外来体”的说法。提出在整个江南古陆不存在阿尔卑斯型巨大外来体;明确了板溪群是一地区性岩石地层单位,是一套在武陵运动不整合面之上、平行不整合于震旦系之下的由砾岩、砂岩及板岩构成的正常沉积地层,属新元古代早期,在区域上具有明显的可对比性,不是构造混杂岩。通过对湖南地区主要构造作用的应力场特征分析,认为湖南地区由于位于扬子陆块与华南褶皱带和华夏陆块所拼合形成的中国南方板块的中部,受周边板块(华北板块、印支板块、古太平洋板块及古特提斯裂谷)的影响以及早期构造对晚期构造的制约和影响,其构造作用呈现相互交错的复杂格局,构造应力场几经变化,并最终形成该地区大面积宽缓拗褶、抬升,出现东、西、南三面环山,北面临水的马蹄形盆地地貌。②深部地球动力学研究方面,总结了华南地区地壳平均速度结构特点及其地质含义,指出湖南地壳平均速度为 6.3 km/s 、横向变化不大、上地幔顶部速度都大于 8.0 km/s ,以及壳内低速层不显著、且速度随深度增加缓慢、平均地热流值偏低、地震活动频度低等一系列特点;明确了湖南具有比较稳定的大陆地壳,并初步建立了湖南地区岩石圈分层模型;结合湖南地区中生代以来地壳结构和主要构造演化的有关地球物理资料和野外观察实际,对雪峰山隆升动力学机制及其与有关矿区构造的关系进行研究,提出雪峰隆起经历了逆冲叠加、伸展滑脱等阶段;三大盆地的形成结构模式是深部隆起背景上的浅部拗陷,是加厚地壳在凸出部位,由于重力均衡,在中浅部地壳发生伸展拗陷而形成等认识;根据湖南地区布格重力异常、均衡重力异常和航磁异常等资料的分析,认为在加里东期、印支—燕山期湖南地壳均受到来自东南方向的外力推挤,江南古陆是相对坚硬稳定的构造,而南东地区柔性地层则向北西推挤,发生了一系列逆断层和推覆构造。③区域成矿作用研究方面,运用造山与成盆作用形成的关系及两者的耦合原理,来研究湖南地区矿产资源的分布规律,将整个湖南境内的成矿作用,由东南向西北划分出5个不同矿种的成矿带,对湖南地区有关成矿系列理论做出了有益的补充;提出了4个成矿远景预测区:即雪峰(锑金)矿集区;邵阳—郴州北西向构造带内花岗岩成矿带;湘南超大型钨多金属成矿带;湘北原生金刚石成矿带。

有限元数值模拟:以定量分析的方法来判断构造运动的力学性质,根据具有代表性的凤凰—茶陵剖面 and 湖南地区有关大地构造分区图,建立了湖南地区中生代以来主要构造演化的有限元应力模拟平面和剖面两种模型。平面模型的模拟结果,无论是从位移场还是应力场的角度,都很好地验证了造山带总体挤压缩短状态下,加厚地壳的凸出部位由于重力均衡,在中浅部地壳层次发生伸展。由模拟结果反映的地壳加厚带与实际是相符合的。剖面模拟结果所显示的雪峰隆起和沅麻盆地、洞庭盆地、衡阳盆地以及湘中盆地与地质实际是基本吻合的。由模拟结果可以看出,以较低密度的异常地幔为主的岩石圈断裂,均向北西倾斜,因为低值区分布在高值区的北西侧。这与根据凤凰—茶陵地质剖面编制的湖南地区岩石圈结构推断地质剖面图地质情况基本一致。通过将有限元数值模拟计算方法,应用于湖南地区地壳结构与主要构造演化特征的研究,取得了理想的成果,很好地验证了本次研究工作的新认识。这些研究成果将对湖南地区的大地构造研究和成矿作用规律的探讨,起到一定的参考意义。

第二章 区域地质地球物理背景

湖南地区横跨扬子和华南两大构造单元，是环太平洋构造-成矿域的重要组成部分（图2-1）。区内各时代沉积（变质）建造发育齐全、构造复杂、岩浆活动频繁而剧烈、成矿条件优越。根据本次研究的考察工作成果，结合前人已有研究资料，对区内有关地质背景论述如下。

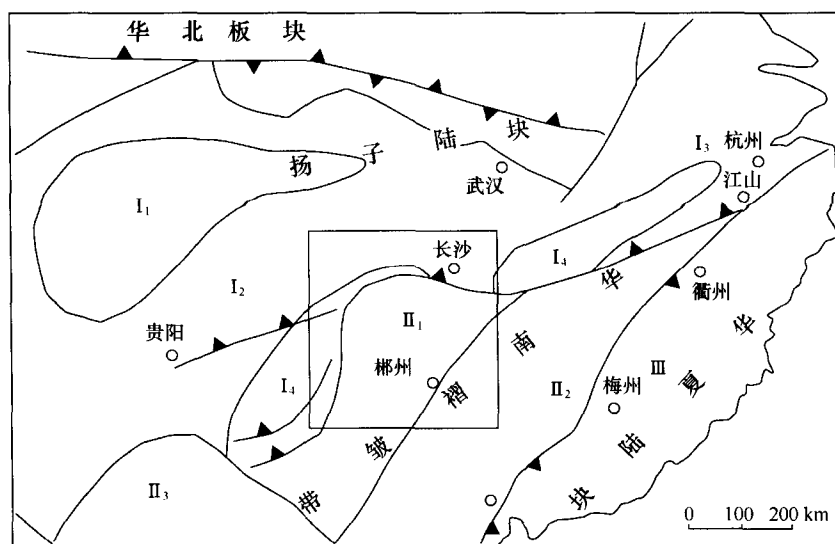


图2-1 研究区构造位置示意图

（据王鸿祯，1986，改编）

构造分区：I—扬子陆块；I₁—川中块体；I₂—上扬子凹陷；I₃—下扬子凹陷；I₄—江南隆起

II—华南褶皱带；II₁—湘桂褶皱区；II₂—赣粤褶皱区；II₃—右江褶皱带；III—华夏陆块

2.1 沉积（变质）建造特征

沉积（变质）建造是最基本的地质单元，也是地质历史的记录。沉积（变质）建造发育之差异，说明它们处于不同的构造位置以及具有不同的演化历史。湖南省地跨扬子和华南两大地层区，地层发育齐全，自中元古界冷家溪群至新生界第四系均有不同程度出露；且层序完整，沉积类型多样。现就该区地层，由老至新概述如下：

2.1.1 前中生界

中元古界冷家溪群（Pt₂lj）：为湖南省内出露最古老的地层，主要出露于湘东、湘东

北地区,在其他地区分布极为零星。它是一套伏于武陵运动不整合面之下的灰色、灰绿色绢云母板岩、条带状板岩、粉砂质板岩与岩屑杂砂岩、凝灰质砂岩组成的具复理石韵律特征的浅变质岩系,局部地段夹有偏基性—酸性火山岩系。它与邻近省区如湖北的神农架群、贵州的梵净山群、广西的四堡群、江西的双桥山群等大致相当。它是省内第一个沉积发育阶段。

板溪群(Pt₃br) 属新元古界的下部,是一套厚度较大的由砾岩、砂岩、板岩、钙质板岩、凝灰岩、变质火山岩等组成的,普遍浅变质的岩系。本群主要分布在武陵山区和雪峰山区一带;此外在湘乡、湘潭、长沙、临湘等地亦有小面积出露;而湘南地区尚未见及。值得指出的是,板溪群大致以靖县、溆浦、安化、桃江及长沙、浏阳一线为界,其北西为“红板溪”(属滨—浅海相)分布区,其南东为“黑板溪”(属次—深海相)分布区。两者除沉积建造特征有所差异外,与下伏冷家溪群的接触关系也不相同,在北区基本上是明显的角度不整合,而向南向东产状逐步趋于一致,呈整合或假整合接触。

震旦系(Z) 在湖南境内分布广泛,发育齐全。下震旦统主要为大陆冰川、海洋冰川和正常海混合沉积的冰碛砾岩、冰碛粉砂岩、含砾板岩、粉砂质板岩及间冰期沉积的碳酸盐岩,含锰碳酸盐岩,局部夹层凝灰岩;上统则以温暖气候条件下硅质沉积为特征,并发育碳酸盐岩、黑板状页岩等浅海—滞流海沉积岩类。

寒武系(Є) 由于寒武纪时区内处于相对宁静的弱还原沉积环境,因此寒武系的沉积物颜色较深,以炭泥质为主,富含黄铁矿,具远岸滞流海沉积特点。下统岩性为炭泥质板岩、硅质炭质粉砂岩、黑色泥灰岩与炭质板岩互层,富含U, Ag, V, Sb, As, P等多种元素,有含矿黑层之称。中、上统为浅海碳酸盐相白云岩、灰岩夹泥灰岩。

奥陶系(O) 区内奥陶系发育较完整,下统岩性多为灰绿色板状页岩、粉砂质页岩、黄绿色板状页岩;中统下部为炭质页岩、泥岩、硅质页岩,上部为中—薄层状泥岩;上统五峰组页岩反映陆棚滞流海盆相,沉积物颜色较深,多为产笔石的黑色页岩和碳硅质页岩。在湘中地区奥陶系厚度一般不超过300 m。

志留系(S) 湖南境内志留系,大致以芷江、沅陵、沅江、平江一线为界,可划分为湘北区和湘中—湘南区。湘北区的志留系主要分布在永顺—石门一带,属稳定型地区混合相沉积,岩石未受变质,主要为砂、页岩,夹灰岩、泥灰岩。湘中—湘南区的志留系则主要散布于宁乡、安化、溆浦、洞口、绥宁、城步等地,为巨厚的类复理石沉积,普遍遭受浅变质。

泥盆系(D) 据湖南地质研究所熊申甫(1988)等研究,省内泥盆系地层以新晃、麻阳、沅陵、常德、岳阳、临湘一线为界划分为湘西北区、湘中—湘南区。湘西北区泥盆系仅见于龙山、桑植、石门一线以北地区,且中下统缺失,只发育有上统,主要岩性为厚度不大的海陆交互相碎屑岩夹泥质灰岩、泥灰岩。湘中—湘南区泥盆系分布广泛,下统主要为陆相—滨海相碎屑岩,中、上统属海—陆相碎屑沉积。

石炭系(C) 以保靖、大庸、澧县一线为界,可划分为湘西北区、湘中—湘南区。湘中—湘南区,在通道、溆浦、韶山、衡山、萍乡一线以南石炭系分布广泛,发育完整,主要为碳酸盐岩沉积;而在该线以北地区只有零星分布。湘西北区,石炭系出露较少,仅见于石门、澧县一带,且发育不全,缺失大塘阶和晚石炭世沉积。

二叠系(P) 以沅江、安化、通道一线为界,划分为湘西北区、湘中—湘南区。湘西