

云南兰坪-维西地区 成矿与岩石圈构造动力学

YUNNAN LANPING-WEIXI DIQU CHENGKUANG YU
YANSHIQUAN GOUZAO DONGLIXUE

● 邵兆刚 孟宪刚 冯向阳 等著

地质出版社

国土资源大调查项目资助

项目编号：K3. 1. 7

任务书编号：0499153138

云南兰坪-维西地区成矿 与岩石圈构造动力学

邵兆刚 孟宪刚 冯向阳 朱大岗 王 津 著
杨朝斌 刘忠元 刘雪军 余 佳 韩建恩

地 质 出 版 社

· 北 京 ·

内 容 提 要

本书为国土资源大调查项目的研究成果,是对三江中段云南兰坪-维西地区典型矿化集中区的区域构造成矿和相关地区岩石圈构造动力学研究的总结。作者在新发现的白秧坪矿化集中区开展了较详细的矿田构造和物探工作,在厘定区域构造系统、建造-构造-成矿时期基础上,进行了控矿构造的运动学、动力学分析,结合自然电位法、高精度磁测等物探工作,进行了找矿定位预测;较全面地分析了三江地区的重力场、磁场、大地电磁、地震测深以及地热和地震等方面的地球物理资料,构建了三江中段岩石圈结构模型,并联系青藏高原和印支地块等地区,进行了构造成矿与岩石圈构造动力学分析。重点讨论了本区岩石圈分层及流变特征、岩石圈低速高导层岩石力学性质及构造应力场,通过有限元数学及物理模拟等方法,建立了三江中段岩石圈的一个正交叠加构造岩石圈地质-地球物理模型,探讨了本区正交叠加构造的成因及其成矿作用。

本书资料丰富,内容充实。可供从事矿床学、矿田构造学、区域地质学及地球物理学方面的科研人员、院校师生及相关专业人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

云南兰坪-维西地区成矿与岩石圈构造动力学/邵兆刚等著. —北京:地质出版社, 2004.6
ISBN 7-116-04103-6

I. 云... II. 邵... III. ①矿床-地质构造-维西
傈僳族自治县②岩石圈-构造动力学-维西傈僳族自治县 IV. P617.742

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2004) 第 060009 号

YUNNAN LANPING-WEIXI DIQU CHENGKUANG YU YANSHIQUAN GOUZAO DONGLIXUE

责任编辑:孙亚芸
责任校对:关风云
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: 北京长宁印刷有限公司
开 本: 787 mm × 1092 mm ¹/₁₆
印 张: 9.75 黑白图版: 2 页
字 数: 240 千字
印 数: 1—600 册
版 次: 2004年6月北京第一版·第一次印刷
定 价: 38.00 元

ISBN 7-116-04103-6/P·2477



(凡购买地质出版社的图书,如有缺页、倒页、脱页者,本社出版处负责调换)

前 言

怒江、澜沧江、金沙江在云南西部三江并流，陡峭、险峻的横断山峡谷中三条江水奔腾南下，被称为“三江地区”。这里是巨型青藏滇缅歹字型构造体系的重要组成部分，还是欧亚地块与印度地块、滨太平洋构造域与特提斯-喜马拉雅构造域、隐生宙裂谷构造时间域到显生宙地块构造域的叠置交汇处，也是地壳及岩石圈演化和成矿具有特色的地区。因此，该区的地层分区、大地构造单元划分、构造运动的时期和属性、构造运动过程及动力学等问题，历来是地学界研究的热点，是研究构造动力学的天然野外实验室。作者对这一地区曾长期给予关注，并有幸在国家新一轮国土资源大调查工作中到该区兰坪-维西地区进行了矿产地质调查。本书即是在地质调查项目的基础上，对三江地区地质-地球物理-构造动力学等问题研究结果的总结。

一、构造动力学的意义

大陆构造及动力学研究是继板块构造理论之后，地质科学理论的新生长点。国际地学界近 20 年来在运用板块构造理论来解释大陆构造形成和演化的动力学过程遇到了严重阻碍。许多学者认为，至少在上地幔深度范围内，大陆地区与大洋地区是存在着巨大差异的，它们的动力学系统是相对独立的。因而，“完美地”解释了大洋板块扩张和俯冲过程的板块构造理论却不能简单地用来解释大陆的动力学过程。

20 世纪 80 年代后期以来，国际地学界开始把对岩石圈研究的重点从地壳的结构构造和板块运动学转向地幔和深部动力学，并把大陆岩石圈作为一个独立的动力学系统来加以研究，提出板块碰撞之后岩石圈进一步演化的新模式。以往对板块构造演化的研究主要集中在裂解、俯冲和碰撞阶段，随着研究的深入，人们开始认识到大陆岩石圈并不是均一的刚性体，它具有多层结构和广泛的流变特征。岩石圈这一结构分层性和流变性特征控制着大陆的形成和演化，被认为是大陆变形的主导因素之一（肖庆辉，1993；Love, C. et al., 1992）。

本书重点研究的兰坪-维西地区，位于喜马拉雅-三江特提斯构造域中段的 $N26^{\circ} \sim 28^{\circ}$ 之间。在区域上是由扬子、松潘、藏缅等地块拼合而成的南北向构造带，自西向东分别是：古生代察隅-梁河岩浆弧带；中生代、新生代时期左贡-施甸中间地块的上叠盆地；古生代昌都-思茅火山弧带；其间被班公错-怒江断裂带、澜沧江断裂带、金沙江-哀牢山断裂带分割。该带之北延为青藏高原内数条规模巨大的东西向展布互相平行的新生代冲断层带；该带之南的怒江、澜沧江和哀牢山-红河走滑断层带继续向南东延伸，直到中南半岛。

兰坪-维西地区是三江地区地质构造现象最为丰富、构造单元出露较全、地质研究程度相对较高的地区，在东特提斯构造域形成演化的时空迁移变化规律和结构构造特征方面的研究中具代表性，是世界上研究巨型复合造山带较为理想的地区。随着新生代以来欧亚、印度两个板块的碰撞和青藏高原的隆起，本区以其独特的构造形态成为青藏高原研究

的热点之一,许多涉及构造学的前沿、热点问题也多集中于此,如青藏高原隆起的周边效应、印度次大陆东倚角顶撞的外围效应、岩石圈深部与表壳构造呈EW向和SN向的横跨构造等。将这三个方面问题作为重点进行深入研究,分析本区的岩石圈结构和构造动力学机制,具有重要的大陆构造和动力学理论意义。

二、构造动力学研究的国内外现状

构造动力学是20世纪60年代在运用板块构造理论研究岩石圈时提出的,属构造学的一个分支。其理论基础是刚体力学,即认为岩石圈岩石是坚硬的刚体,位于岩石圈之下的软流圈才是流动的。后来弹性力学也被引入到动力学的研究中。构造动力学研究现已从定性研究进入到定量分析的阶段,当代构造与动力学研究的一个重要趋势是重新认识和评价大陆岩石圈的结构、强度、成分和流变性质,特别重视大陆岩石圈在横向和垂向上的不均一性。大陆岩石圈并非单一的硅铝和硅镁双层结构,而是一个不均一、不连续的、具多层结构及复杂流变学行为的“弹-塑-粘”性流变体。因此,大陆岩石圈内部各圈层之间的相互作用是大陆动力学和全球动力学的核心问题,也是建立新地球观的突破口(李德威,1995a),是目前国内外构造学研究的前沿和热点问题,其研究领域相当广泛。

目前国内外在构造动力学方面研究的热点问题有以下几方面。

1. 大陆岩石圈的分层结构及流变性质

大陆岩石圈的分层流变现象十分显著。Ranalli和Murphy(1987)研究了各种构造单元的地温场和岩石强度在垂向上的变化规律,提出了岩石圈的流变分层模式,认为大陆岩石圈是由20~30 km和40~60 km的两个韧性层及由此分隔的两个脆性地壳层和一个上地幔脆性层所组成。接着,Molnar(1988)建立了大陆岩石圈的深度-强度结构剖面,即大陆岩石圈是由下地壳韧性层和上、下两个脆性层构成的“三明治”结构。顺层流动、顺层韧性剪切、顺层滑脱拆离是大陆构造运动的一个重要特征,其发育主要取决于大陆“岩石圈”的垂向不均一性,近来Karato和Wu(1993)提出,随着应力增加,大陆莫霍面之下的上地幔流变转换带附近将发生流变软化和应变局部化,韧性层向下拆离。这些理论表明,大陆岩石圈不同于刚性的大洋岩石圈,具有显著的结构和强度不均一性。

2. 深部拆沉作用

拆沉作用(delamination)的概念最初是由Bird(1978)提出来的,其主要思想是大陆下岩石圈地幔由于较软流圈温度低,因此密度较大,由此产生重力不稳定性,当存在适合的裂隙时,岩石圈地幔将沉入软流圈地幔中,这是人们通常所指的狭义的拆沉作用。Houseman等提出的对流减薄(convective thinning)模型认为,由于密度较大的岩石圈地幔覆于密度较小的软流圈地幔之上将造成对流,如此同样会使岩石圈地幔沉入软流圈中,并使得岩石圈减薄。目前人们将这两种机制造成的岩石圈地幔沉入软流圈的过程,均称为拆沉作用。由此可认为拆沉作用是由于重力的不稳定性导致岩石圈地幔、大陆下地壳或大洋地壳沉入下伏软流圈或地幔过程。重力不稳定是拆沉作用的驱动力,其直接结果是造成岩石圈地幔和下地壳沉入软流圈,热的软流圈物质相应上涌至地壳下部置换冷的上地幔。岩石圈加厚是大陆岩石圈和下地壳拆沉的前奏,岩石圈加厚的结果包括两个方面:一是促使基性下地壳转变为榴辉岩,二是迫使冷的、密度较大的岩石圈地幔沉入热的、浮力更大的软流圈中(Ardnt, 1989)。

3. 地幔柱动力学

地幔柱是来源于地球深部的物质, 由于放射性元素的分裂、热能释放而炽热上升的圆筒状物质流。地幔柱以火山作用、高热流和上隆为标志, 主要特征为: ①上隆并伴随着火山作用, 产生碱性玄武岩、流纹岩及深海拉斑玄武岩, 具有独特的地球化学特征; ②重力高; ③高热; ④可出露于大洋或大陆, 呈一维、有时是二维无震脊, 由热点处向外延伸。地幔柱理论建立在地幔深部物质的垂直运动机制上, 其研究对于了解地球深部动力学机制有重大意义(徐学义, 1997)。Morgan 提出地幔柱假说之后, 基于流体力学基本方程组的地幔柱模式研究, 认为地幔柱是地幔对流的一个组成部分。组成差异驱动的地幔柱模拟实验结果, 限制了地幔柱在地球动力学中的应用。热浮力驱动的模拟实验结果得到了新的动态地幔柱模式, 动态地幔柱可以解释有关大陆大片玄武岩和海洋火山链出现的观测结果。地幔柱携带的热量和浮力, 以及各种深度上的地幔物质是岩石圈演化动力过程研究中必须考虑的因素, 对解释板块内部发生的中小尺度的动力过程将起重要作用。当前, 改进地幔柱定量模式、讨论 670 km 深处间断面对地幔柱上升的影响、寻找地幔柱存在的直接证据是发展地幔柱假说本身的主要前沿课题。进一步深入研究地表热点、海洋火山及巨大火成岩区与地幔柱的定量关系, 讨论地幔柱在冈瓦纳古陆破裂解体过程中的作用, 进而发展适用于讨论板内动力过程的大陆构造动力学则是拓展地幔柱假说应用的前沿课题。

4. 大陆岩石圈动力学机制

地壳各种构造形成与发展的根本原因在于深部。从地球的总体积和总质量而言, 地壳是微不足道的, 仅占 1% 左右, 而地幔占地球总体积的 82%, 占总质量的 67.8%; 地核占地球总体积的 16.1%, 占总质量的 31.5%。地壳大陆与海洋的变迁是深部物质运动与热活动的表现(柳淮之, 1998)。因此大陆动力学过程与地幔对流密切相关, 地幔对流既导致板块漂移和板块之间的相互作用, 为大陆板内构造变形提供板块边缘驱动力源, 又自上而下直接作用于大陆板块内部, 构成板块底界驱动力源。王绳祖(1998)认为, 板缘驱动力主要通过岩石圈下层的网络状流动, 实现其远程传递。

大陆地壳历史悠久, 大陆构造形式多样, 大陆结构十分复杂, 这些不仅给板块构造学说“登陆”带来困难, 而且增添了认识大陆动力学机制的难度。鉴于大陆构造的复杂性, 一些学者认为大陆地壳运动是由多种动力源复合而成的, 大陆构造难以用一种统一的模式进行综合概括, 具有分层流变性的大陆地壳也显示出分层受力的特征(李德威, 1995)。大陆地壳上部脆性域的构造变形主要受应力控制, 碎裂作用和摩擦滑动是主要的变形机制, 岩石的应变量与差异应力基本上呈线性相关, 断块边缘往往变形最强, 而且不同类型的断块(如隆块、陷块、旋块)的应力方向、大小和性质有很大的差别。一般认为, 大陆内部复杂多变的应力状态主要受深部物质运动的制约。此外, 一些学者还注意到陨击力对地壳变形的影响。大陆地壳下部韧性域热软化现象十分显著, 尤其是低速层发育的活动构造带, 热流值通常很高。在底侵作用的伸展区, 热点之上的莫霍面温度可达 1200℃(Fyfe, 1993)。与此密切相关的热力作用不仅引起热点活动区发生壳幔反应和部分熔融, 形成粘性流层, 造成大陆地壳的垂向生长, 而且还制约了大陆下地壳的流变状态和物质流动规律, 具有非线性动力学特征。

宋晓东(1998)提出地球内核系由外核富含铁元素的液态物质结晶而成的, 并证实内核正以 1°/a 的速率相对于地幔向东转动。内核的旋转是通过穿过内核的地震波的走时随

时间变化推测得到的,这种变化是最近十多年来揭示出的内核各向异性在空间方位的改变所造成的。内核在地球发电机中起着重要的作用。利用大型的并行计算机,人们已建立能产生像地磁场一样的三维地球发电机数值模拟。地震学观测到的内核差速旋转为最近的发电机数值模拟提供了支持。这种数值模拟曾预测:导体内核与外核产生的磁场的电磁耦合驱动了内核每年几度向东旋转。地核通过核-幔边界的接触及内核与地幔的吸引力耦合与地幔存在强烈的相互作用。多学科领域的突破为认识地球的深部动力过程提供了极好的机会和手段。

地球内核快速自转的发现,证实了地球圈层差异旋转理论,其动力学意义是旋转系统有不同于非旋转系统的物质运动方式和能量转换方式,圈层有序差异旋转与无序差异旋转的交替是地磁反向的原因。由于内核差异旋转,太阳辐射通过影响核幔角动量交换和电磁耦合控制地球内能释放,形成天文周期和地质旋回的一一对应关系。由于海陆不均匀分布,重力均衡不等于自转均衡,地球内核快速旋转的发现使地球的自转效应不容忽略,自转均衡的研究意义重大。过去把冰川地壳均衡和水均衡仅仅看成是垂直方向的局部均衡,但从全球的角度看,大量冰与水在赤道和两极间运移,不断改变地壳的扁率和地球的转速,实际上是一个自转均衡的问题(杨学祥,1998)。

三、三江地区的有关研究现状

1. 地质-地球物理

中国西南三江地区位于冈瓦纳大陆与欧亚大陆的结合带,历来为中外地质学家所瞩目。20世纪70年代末至80年代初,根据1:20万区域地质调查资料提供的信息,人们曾经把注意力集中在金沙江-哀牢山构造带上,将该带视为重要的板块边界(段新华、赵鸿,1981)。进入80年代,由于昌宁、孟连、澜沧等地区的1:20万区域地质调查工作相继完成,提供了该区有低温高压蓝闪片岩带和构造混杂岩存在的信息(彭兴阶、罗万林,1982),因此澜沧江带(含昌宁-孟连带)成为研究的重点,许多科研、教学单位竞相进行考察研究,大大推动和促进了滇西和三江地区的地质研究程度。仅80年代末到90年代初,就发表了各种专著和论文数十篇,对该带的地质构造特征和重要性进行了详细的讨论。其中以《三江地质志》(1983,构造部分),黄汲清等(1987),《云南省区域地质志》(1990),王义昭等(1988),刘本培等(1993),钟大赉等(1993),莫宣学等(1993),范承钧(1985),范承钧、张翼飞(1993),罗君烈(1990),丛柏林、吴根耀等(1993),方宗杰等(1991)最具代表性。

云南省地质矿产局地球物理-地球化学勘察队先后完成本区1:20万航磁测量、1:100万重力测量区域资料及化探方面的重要成果,发现了与表壳地质构造正交的EW向的磁异常带、重力梯度带;钟大赉(2000)、刘福田(2000)所做工作涉及本区的天然地震层析资料,为我们分析认识区域地壳深部构造提供了重要信息。红河断裂走滑系是认识研究本区构造运动学基础的出发点,测年和古地磁研究最为重要(陈文寄等,1992;杨振宇等,1998)。其他还有国内外学者大量的地质、地球物理方面的文献,例如崔军文等(1978),钟大赉(1989),Tapponnier, P. Y. 等(1990),Harrison, T. M. 等(1996),任纪舜等(1996),安振昌等(1996),赵政璋等(2001),白志明等(2003),周真恒等(1997)。

2. 资源与环境

三江西部高压变质带已有翡翠、祖母绿等发现的报道。澜沧江断裂带旁产出有与火山岩有关的脉型黝铜矿等热液矿床；兰坪铅锌矿为世界级超大型矿床；维西—兰坪间的白秧坪铜多金属矿化集中区，是近年三江找矿新突破区；此外尚有东部丽江—北衙与基性岩有关的金矿化带。总之，该地是多年以来实施三江找矿计划和 2000 年开始的新一轮国土资源大调查重点研究区段。

滇西地区有丰富的温泉-地热资源。三江地区热流密度值远远超过全球热流密度均值，该地区地热分布特征与现代构造活动特征有明显关系。黄尚瑶等（1986）、汪集旻等（1988）在此都有深湛的研究成果。膏盐矿产资源丰富，为研究多金属热液流体成矿提供了重要佐证。

三江是少数民族地区，旅游资源丰富，水资源涉及西部大开发的重要能源及跨地区国际航运与水资源合作开发。地震、新构造隆升，对人民生命财产、交通、经济开发影响巨大。湖泊变迁、小气候转干热也是近期环境变化的重大问题。

国家地震局多年来一直将滇西实验区列为重点研究区（刘祖荫，1996；晏凤桐等，1996），对区内天然地震、活动构造进行了详细的调查研究，长期进行监测，积累了丰富的资料，不仅为了解地表变形，同时也为了解区域深部构造特点提供了丰富的信息。

四、研究方法途径

构造动力学的研究方法有很多，作者在相关地质调查科研项目“云南兰坪白秧坪铜、银、铅、锌、钴矿化集中区构造控矿及资源评价”（1999~2000）课题研究中（图 1）通过野外地质调查，进行构造学、地球物理探矿的观察测量，采集标本样品进行室内测试分析，进行了声发射历史地应力测量和计算应用，构造成矿流体运移势场分析，天然地震、重力数据的计算处理，以及岩石圈的三维有限元数值模型和物理模拟等。

1) 在兰坪-维西地区的白秧坪矿化集中区及其外围进行了构造观察测量，用小构造方法分析计算中新生成矿盆地中岩块变形、位错、掀斜的几何学、运动学量化标志。

2) 利用震源机制解等方法，结合构造分析，确定区域主应力方位及其深部变化情况。

3) 利用声发射 AE 法进行历史地应力测量，计算不同期次历史最大主应力。

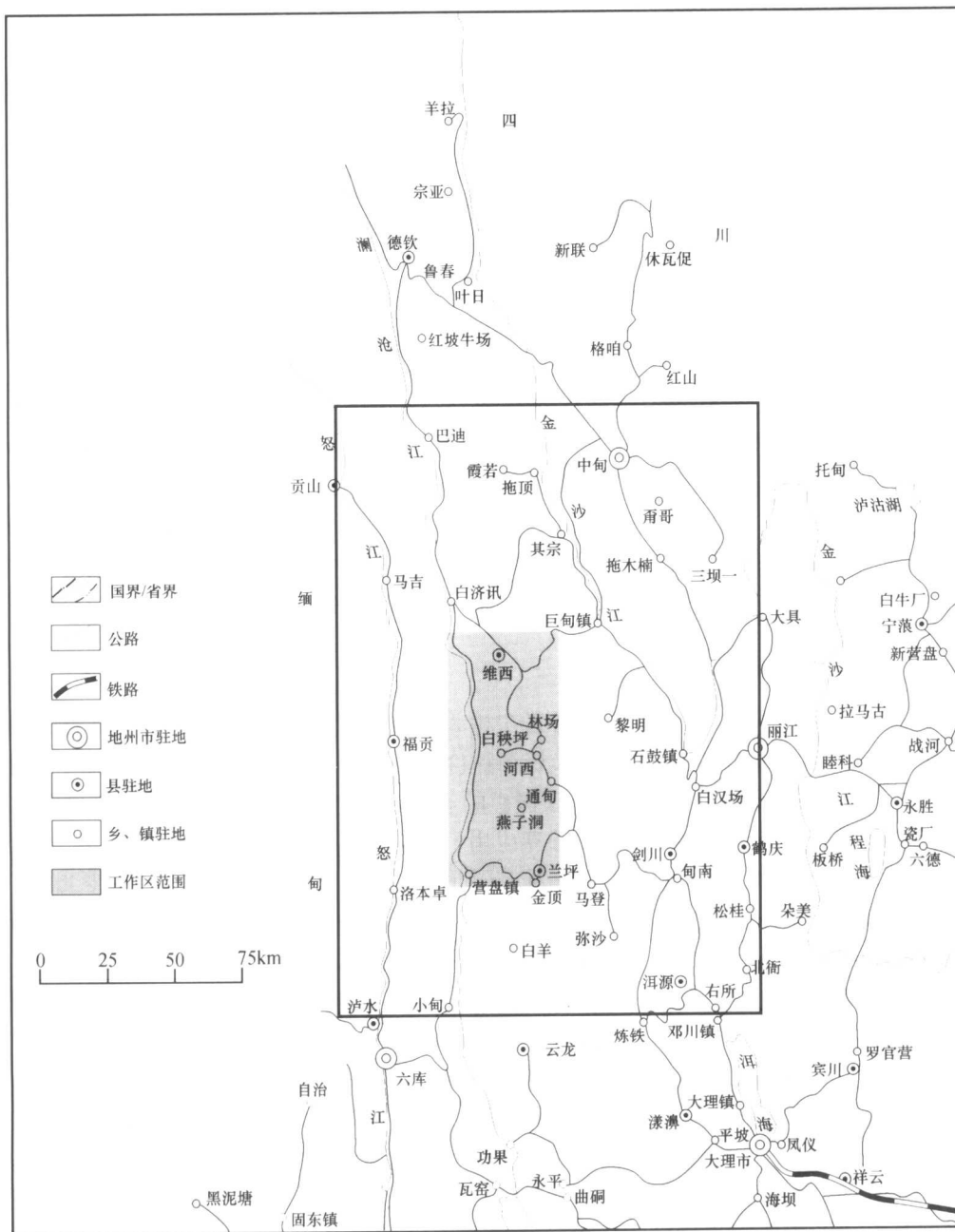
4) 利用地震 S 波及 P 波速度结构及重力、磁法数据处理，分析本区岩石圈结构，描述岩石圈结构模型。

5) 根据上述工作，设定兰坪-维西地区构造动力学模型的边界条件，利用有限元和物理模拟方法进行分析计算，提出本区自喜马拉雅期以来的构造动力学模型，并阐述岩石圈各圈层作用关系及其普遍意义。

五、本书的主要内容

前人对三江地区区域成矿规律的研究，多从地质学、热力学和物理化学等方面进行探讨，对成矿作用的构造动力学这一控矿的核心问题的研究比较少见。因此，笔者将基于地壳-岩石圈结构、构造分析的构造动力学机制，即构造动力学问题，进行重点研究。

本书向读者介绍的资料主要是：充分了解认识本区深部地质-地球物理格局的意义，在考虑到邻区的地球动力学大背景下，联系地质历史，重点分析研究喜马拉雅期以来三江



地区典型的兰坪-维西地区白秧坪铜多金属矿集区与构造成矿控矿有关的构造动力学问题。重点讨论两个方面：

- 1) 兰坪白秧坪铜、钴、铅、锌、银矿化集中区构造控矿的构造动力学背景，提出成

矿控矿的构造动力学、流体成矿模型；

2) 描述三江中段岩石圈结构模型，对该模型的意义和有关地球物理手段方法加以论述。

本书主要将构造应力场、构造物理数值模拟和弹塑性力学等理论和方法运用到构造动力学研究中，应用弹塑性力学，对区域构造应力场进行数值模拟，反演岩石圈正交横跨构造及大区域控矿构造的形成及其发展过程。

本书系经过充分讨论、分工负责、集体编写而成的。邵兆刚负责有关矿区、矿化集中区的地球物理探矿和区域地球物理场等方面的内容；孟宪刚负责区域成矿构造、矿田构造等方面内容；冯向阳负责矿区和区域岩石圈的物理模型实验；朱大岗负责区域地质、构造与成矿分析；王津负责地球物理数据整理分析；杨朝斌负责区域地质-地球物理资料中涉及青藏高原方面的综合分析解译；刘忠元负责区域地质的对比及遥感分析等方面的工作；刘雪军负责深部地球物理分析等方面的工作；余佳、韩建恩参与了测试分析、模拟实验及部分章节的编写。

六、致谢

参与与本书相关项目野外工作的还有中国地质科学院矿产资源研究所刘光海、宋国耀、王原钧，中国地质科学院地球物理地球化学勘查研究所熊寿庆，中国科学院地质与地球物理研究所王君恒，国家地震局张振国，云南地质调查院丁俊、杨伟光、杨爱平、杨家瑞、李文昌、周跃军、王宝禄、卢廷炎、丁崇良、蔡旭、李文辉、和学惠、张克洪、薛一平、毛新光、彭吉和、陈世荣等。野外工作期间还得到周文光、董成林、杨清标、赵维军、孙贵荣、刘家华等诸位同仁的支持和协助。

在与本书相关项目的进行过程中得到了国土资源部中国地质调查局王保良副总工程师、中国地质科学院科技处处长李贵书研究员、地质力学研究所所长兼党委书记杨万来高级政工师、地质力学研究所副所长赵越研究员等的全力支持。

在野外、室内及后续的各项研究中自始至终得到了博士生导师吴淦国教授、王建平研究员的悉心指导和倾力帮助；还得到了孙殿卿院士、陈庆宣院士、崔盛芹教授、刘晓春研究员、陈正乐研究员、汪西海高级工程师、白嘉启高级工程师、杨美玲副译审、赵志中研究员、雷伟志副研究员等各位专家学者的帮助和指导，此外马永革工程师参与了部分野外工作。图件由赵小荣工程师协助绘制。孙立倩研究员、马天林研究员及韩同林研究员对本书进行了全面审阅，并提出了宝贵意见。在此，一并致以衷心的感谢。

目 录

前 言

第一章 区域地质概况	(1)
第一节 区域地质背景	(1)
一、兰坪-思茅褶皱带	(2)
二、云岭褶皱带	(3)
第二节 区域地球物理场特征	(3)
一、区域重力场特征	(4)
二、卫星磁场特征	(5)
第二章 区域地质特征	(6)
第一节 区域地层	(6)
一、古元古界	(6)
二、古生界	(6)
三、中生界	(6)
四、新生界	(8)
第二节 区域构造特征	(9)
一、区域深大断裂特征	(9)
二、拉分裂陷盆地及推覆构造	(11)
第三节 岩浆活动	(11)
第四节 三江地区遥感影像特征	(12)
一、深大断裂在遥感图中的反映	(13)
二、东西向密集影像带发育	(14)
三、火山活动	(14)
第三章 三江地区地球物理场特征	(15)
第一节 磁场特征	(15)
第二节 重力场特征	(17)
第三节 地温场特征	(24)
第四章 三江地区岩石圈结构特征	(25)
第一节 岩石圈的分层结构性质	(25)
第二节 岩石圈不同深度的三维构造格局	(27)
一、地壳内部构造特征	(27)
二、岩石圈上地幔	(31)
第三节 地热分布与岩石流变学特征	(33)
第五章 白秧坪多金属矿化集中区构造控矿特征	(35)
第一节 矿田地质特征	(35)
一、矿田区域地质概况	(35)

二、矿田地质概况	(37)
三、喜马拉雅期构造运动期次划分	(37)
第二节 成矿控矿构造及其动力学	(38)
一、成矿控矿构造	(38)
二、成矿构造调查的主要工作方法	(40)
三、成矿构造动力学分析	(41)
四、兰坪白秧坪矿化集中区南部的构造动力学	(48)
五、历史地应力测量	(49)
六、地表断裂构造展布及分维特征	(52)
七、兰坪白秧坪矿化集中区的控矿构造网络	(53)
第三节 构造成矿控矿规律与成矿预测	(57)
一、东矿带构造成矿控矿规律与预测	(57)
二、西矿带构造成矿控矿规律与预测	(58)
三、区域构造成矿规律与预测	(59)
第四节 构造流体的成矿作用与动力学	(60)
一、矿床类型	(60)
二、流体成矿模拟	(61)
第六章 白秧坪-富隆厂矿区的地球物理探矿	(68)
第一节 矿区开展物探工作的基本条件	(68)
一、矿区的矿床和矿化特征	(68)
二、岩石矿石磁性特征	(70)
三、矿区的电性特征及地电条件	(70)
第二节 测量工作及测网布置	(71)
第三节 高精度磁测工作	(72)
一、野外实测工作	(72)
二、室内资料整理	(72)
第四节 氧化还原电位法	(79)
一、氧化还原电位法野外工作	(79)
二、质量评价	(80)
三、室内资料整理的方法技术	(80)
四、干扰因素	(81)
五、存在的问题与建议	(81)
第五节 物探异常的推断解释	(81)
一、高精度磁测资料的解释	(81)
二、氧化还原电位异常的推断解释	(82)
三、综合物探评价工作的结论及建议	(86)
第七章 三江地区岩石圈构造动力学模拟	(87)
第一节 数学模型及计算方法简介	(87)
一、麦克斯韦体	(87)
二、开尔芬体	(90)
三、有限元数值模拟方法	(91)
第二节 三江地区岩石圈构造动力学特征的数学模拟	(91)

一、模型参数的建立	(91)
二、数值模拟计算结果与分析	(92)
第三节 三江地区地壳上部弹性构造应力场模拟	(99)
一、模型的建立	(99)
二、计算结果及讨论	(101)
第四节 构造物理模拟	(103)
一、构造物理模拟简述	(103)
二、岩石圈叠加构造的物理模拟	(104)
第八章 三江地区岩石圈正交叠加构造及其成矿作用	(110)
第一节 三江及邻区岩石圈正交叠加构造	(110)
一、三江及邻区地壳的运动学特征	(110)
二、正交叠加构造产生的动力学特征	(111)
第二节 三江地区典型多金属矿化集中区的区域成矿作用	(116)
参考文献	(118)
英文摘要	(127)
图版说明及图版	(138)

Content

Preface

Chapter 1 Regional geological background	(1)
Section 1.1 Regional geological Setting	(1)
1.1.1 Lanping-Simao fold belt	(2)
1.1.2 Yunling fold belt	(3)
Section 1.2 Character of the regional geophysical field	(3)
1.2.1 Character of the regional gravity field	(4)
1.2.2 Character of the magnetic field from MAGSAT DATA	(5)
Chapter 2 Regional geology	(6)
Section 2.1 Stratum	(6)
2.1.1 Lower Proterozoic	(6)
2.1.2 Palaeozoic	(6)
2.1.3 Mesozoic	(6)
2.1.4 Cenozoic	(8)
Section 2.2 Character of regional structure	(9)
2.2.1 Character of regional deep and great fault	(9)
2.2.2 Pull-apart basins and nappe	(11)
Section 2.3 Magma activity	(11)
Section 2.4 Remote-sensing image character of the Sanjiang area	(12)
2.4.1 Image character of deep and great fault	(13)
2.4.2 EW-trending linear-structures	(14)
2.4.3 Volcanic activity	(14)
Chapter 3 Character of the geophysical field in the Sanjiang area	(15)
Section 3.1 Magnetic field	(15)
Section 3.2 Gravity field	(17)
Section 3.3 Ground-temperature field	(24)
Chapter 4 Character of the lithosphere framework in the Sanjiang area	(25)
Section 4.1 Lithosphere layered features	(25)
Section 4.2 Three-dimension frame features of the lithosphere in various depth	(27)
4.2.1 Features of structures in crust	(27)
4.2.2 Upper mantle in lithosphere	(31)
Section 4.3 Geothermal distribution and the lithospheric rheology	(33)
Chapter 5 Character of the ore-controlling structures in the Baiyangping multi-metal ore-concentrated area	(35)

Section 5.1 Geological features of the ore field	(35)
5.1.1 Outlook of ore-field regional geology	(35)
5.1.2 Outlook of ore-field geology	(37)
5.1.3 Division of Himalayan movement epoch	(37)
Section 5.2 Ore-forming, ore-controlling structures and their dynamics	(38)
5.2.1 Ore-forming, ore-controlling structures	(38)
5.2.2 Main methods of the investigation in ore-forming structures	(40)
5.2.3 Analysis of ore-forming tectonic dynamics	(41)
5.2.4 Structural dynamics of the southern part of the Lanping-Baiyangping ore-concentrated area	(48)
5.2.5 Measurement of ancient stress	(49)
5.2.6 Distribution of the faults in surface and its fractal features	(52)
5.2.7 Ore-controlling structure network of the Lanping-Baiyangping ore-concentrated area	(53)
Section 5.3 Tectonic ore-forming, ore-controlling law and metallogenic forecast	(57)
5.3.1 Ore-forming and ore-controlling by structures and forecast of eastern ore-belt	(57)
5.3.2 Ore-forming and ore-controlling by structures and forecast of western ore-belt	(58)
5.3.3 Tectonic ore-forming and ore-controlling law and deposit forecast of this region	(59)
Section 5.4 Mineralization and dynamics of the structural fluid	(60)
5.4.1 Deposit type	(60)
5.4.2 Mineralization modeling of the fluid	(61)
Chapter 6 Geophysical exploration of the Baiyangping-Fulongchang ore-concentrated area	(68)
Section 6.1 Basic condition for the geophysical exploration in this area	(68)
6.1.1 Characters of the deposit and mineralization bodies in this ore-concentrated area	(68)
6.1.2 Magnetic feature of the rock and ore in this area	(70)
6.1.3 Electrical feature and geoelectric condition in this area	(70)
Section 6.2 Measurement and arrangement of the survey grid	(71)
Section 6.3 High-resolution magnetic measurement	(72)
6.3.1 Field measurement	(72)
6.3.2 Data-processing in laboratory	(72)
Section 6.4 The method of redox measurement	(79)
6.4.1 Field work of the redox measurement	(79)
6.4.2 Evaluation of the quality	(80)
6.4.3 Method and technology of the Data-processing in laboratory	(80)
6.4.4 Disturbed elements	(81)
6.4.5 Problem and suggestion	(81)
Section 6.5 Explanation of geophysical prospecting anomaly	(81)
6.5.1 Explanation of high-resolution magnetic measurement	(81)
6.5.2 Explanation of redox measurement	(82)
6.5.3 Conclusion and Suggestion of the synthetic geophysical prospecting method	(86)
Chapter 7 Modeling of the lithosphere geodynamics in the Sanjiang area	(87)
Section 7.1 Mathematical model and introduction of the calculation method	(87)

7.1.1	Maxwell-body	(87)
7.1.2	Kelvin-body	(90)
7.1.3	Method of the finite element numerical modeling	(91)
Section 7.2 Numerical modeling of the lithosphere geodynamics in the Sanjiang area		(91)
7.2.1	The parameter of the model	(91)
7.2.2	Modeling result and analysis	(92)
Section 7.3 Modeling of elastic structural stress field in upper crust		
	in the Sanjiang area	(99)
7.3.1	The Set-up of the model	(99)
7.3.2	Calculation result and discussion	(101)
Section 7.4 Structures physical modeling		(103)
7.4.1	Introduction of structure physical modeling	(103)
7.4.2	Physical modeling of lithosphere imbricate structures	(104)
Chapter 8 Lithosphere imbricate structures in the Sanjiang area and		
	its mineralization	(110)
Section 8.1 Lithosphere imbricate structures in the Sanjiang area and its adjacent area ...		(110)
8.1.1	Kinematics of the crust in the Sanjiang area and its adjacent area	(110)
8.1.2	Dynamics of the lithosphere imbricate structures	(111)
Section 8.2 Regional mineralization on the typical multi-metal ore-concentrated area		
	in the Sanjiang area	(116)
Cited reference		(118)
Abstract		(127)
Plate explanation and Plates		(138)

第一章 区域地质概况

滇西北三江中段的兰坪-维西地区,是特提斯构造域的一个重要组成部分,也是阿尔卑斯-喜马拉雅巨型造山带东段的组成部分,其东缘与太平洋构造域交接,属于青藏高原印度-喜马拉雅构造体系的中段,是这一巨型旋扭构造体系的右行走滑南北向构造带。

第一节 区域地质背景

三江地区是由扬子、松潘、藏缅等地块拼合而成的南北向构造带(图1-1),自西向东分别是:波密-腾冲褶皱系、左贡-耿马褶皱系、三江褶皱系;其间由班公错-怒江断裂带、澜沧江断裂带、金沙江-哀牢山断裂带分割。该带向北延伸,逐渐转为青藏高原内数条规模巨大的近东西向展布互相平行的新生代冲断层带;该带南部经怒江、澜沧江和哀牢山-红河走滑断层带继续向南东延伸,直到中南半岛。

兰坪-维西地区位于扬子地台以西三江褶皱带的兰坪-思茅盆地中。由于印度地块向欧亚地块强烈俯冲、顶撞,加之扬子地块的阻抗,结果在印度地块的右犄角处,形成了横断山构造结和弧形弯折,本区正处于该弧形弯折南端的NNW向构造带上,是澜沧江缝合线与金沙江-哀牢山缝合线之间的一个微板条。其东侧与扬子地块相接,西侧与藏滇地块毗邻,在构造格局上具有条块镶嵌的特点。由于本区经历了多期构造变动、变质作用、岩浆活动和多组构造系统复合与联合,形成了复杂而有规律的构造格架,控制了本区多金属矿的成生和分布。

兰坪-思茅盆地为中生代盆地,盆地内未见有元古宇出露。自新元古代以来,由于原特提斯洋向其北塔里木地块的正向挤压和向东部扬子准地台西缘古岛弧带的侧向俯冲,使本区形成了时间长、阶段多、运动强烈、构造复杂的多旋回地槽褶皱(王铠元,1987;陈炳蔚等,1991),产生了大量密集的巨大线状弧形深断裂,构成本区的早期构造格架。在兰坪-思茅盆地西侧的澜沧江带和东侧的哀牢山带,分别出露有元古宇—寒武系的澜沧江群和哀牢山群,红河以东的扬子地块西缘还出露有元古宇大红山群。根据澜沧江群和大红山群中的火山岩具有火山岛弧性质推断,元古宙在兰坪-思茅陆块与藏滇陆块和扬子陆块之间可能分别存在一个元古宙大洋(原特提斯洋)。在新元古代—早古生代早期,该区西缘可能为活动陆缘,东缘为被动陆缘。早奥陶世末原特提斯洋闭合,兰坪-思茅陆块与藏滇陆块和扬子陆块对接,并在该区亲扬子地块的西缘发育有中晚泥盆世的前陆盆地,出现磨拉石建造。志留纪—早泥盆世在该区的东缘为一残留海盆,发育有厚度巨大的复理石建造,至中、晚泥盆世则转变为稳定型的砂、泥质建造和泥质碳酸盐岩建造。

燕山-喜马拉雅期以来,印度板块向北东方向推移、挤压以至俯冲、碰撞。受其影响,原有老断裂又有新的发展,并沿断裂出现大量断陷盆地。早更新世末到全新世,又一次地壳活动席卷全区,上述断裂大部分重新复活,各断裂所挟持的块体内部,多产生有共轭断