

郟 庐 断 裂 带

王小凤 李中坚 陈柏林 陈宣华 董树文
张 青 武红岭 邢历生 张 宏 董法先 著
邬华梅 霍光辉 林传勇 白嘉启 刘晓春

地 质 出 版 社

· 北 京 ·

内 容 简 介

郯城-庐江断裂带是纵贯中国东部大陆的一条巨型构造带,它对该区的构造格局、沉积作用、岩浆活动以及能源矿产和地质灾害的形成分布有重要的控制作用。本书作者在大量野外调查基础上,运用国内外先进的技术方法,从宏观到微观,从形变到相变,从浅部到深部,将地球物理与地球化学相结合,全面阐述了郯庐断裂带的空间展布、结构组合、活动方式的特征及其形成的动力学机制,详细论述了断裂带形成演化和构造应力场演变的过程;提出断裂带由南而北分段递进生长迁移的发育机制和走滑断裂多层滑移的地质模式;讨论了断裂带形成演化的动力来源问题,认为它是中国东部由特提斯体制向太平洋体制转换过程的产物。书中还介绍了古地磁学、精细年代学、矿物高分辨晶格像等方面研究的新发现。本书可供地学界科研、生产和教学人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

郯庐断裂带/王小凤等著. -北京:地质出版社,2000.7(2005.1重印)
ISBN 7-116-03116-2

I. 郯... II. 王... III. 断裂带-研究 IV. P544

中国版本图书馆CIP数据核字(2000)第32808号

责任编辑:江晓庆 渠洁瑜 孙亚芸

责任校对:田建茹

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:23.5 插页:4页 黑白图版:4页

字 数:584千字

印 数:501—1200册

版 次:2000年7月北京第一版·2005年1月北京第二次印刷

定 价:65.00元

ISBN 7-116-03116-2/P·2127

(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)

序

郯庐断裂带是一条纵贯中国大陆东部的巨型构造带。它是这一地区地质发展一定阶段的产物，同时又对该地区的构造格局、沉积作用、岩浆活动以及能源、矿产和地质灾害的形成与分布等产生了重要影响。因此关于它的形成和演化的研究，一直被认为是认识我国东部大陆边缘构造演化和动力学机制的关键性课题之一，也是研究有关我国东部地质资源和地质环境问题的重要基础课题之一，所以长期以来深受国内外学者们的关注。

由于我国大陆东部中生代以来经受了多次构造变革，使这一绵延 2000 km 以上的断裂带具有十分复杂的演化历史，因而尽管不少学者进行了大量工作，但对于有关它的许多重大地质问题的认识，仍存在不少歧见。其现状需要有一项全面、系统、完整的成果问世。

王小凤教授及其科研集体的新著《郯庐断裂带》可以说是在这一征程中应运而生的一部力作。作者等在历时四年的艰苦科研实践中，进行了大量野外调查，通过多学科的多种先进技术方法和手段，搜集了多方面丰富的第一手资料，取得了丰硕的研究成果；该书则是此项成果的全面总结，也是作者们四年来心血和劳动的结晶。

本书运用系统论的观点和构造体系及其复合的思路，采取物质和运动统一的历史分析方法，将郯庐断裂带及其周边地区作为一个整体，并置于中国大陆边缘大环境（特别是南北地块的拼合和特提斯体制向太平洋体制的转变）中，加以观察和剖析，把各种方法手段所取得的资料数据（包括前人成果），围绕一个主题，进行深入研讨，最后对这一巨大而复杂的“断裂系”的形成演化，提出了较为完整的系统认识。而这一切又都紧紧立足于实际，接受实际的检验，使一些成果具有某种立典意义，这些都是本书的重要特色，也是在方法学上的一个贡献。

郯庐断裂（尤其是其南段）以其大幅度左行平移面貌，给人以鲜明而深刻的直观印象，这也是以往不少研究者注意的焦点。本书在对大量实际材料综合分析的基础上，提出了一系列新看法。关于郯庐断裂的形成，作者认为它发轫于南北地块拼合带的向南突出部位，而下地壳物质的北北东向左行韧性剪切流动则是其启动机制，然后逐步向浅部和向北扩展。这一平面上自南向北分段递进的生长迁移机制，得到了相应沉积盆地和岩浆活动年代学资料的支持，也解释了中南段的缩短率和位移量明显大于北段的事实。同时根据不同层次变形域的特征，提出了沿滑脱面上层对下层做 S (SS) E 向滑动的多层滑移模式，反映了陆内大型走滑断裂带由深到浅的应力应变传递方式。通过断裂两侧地壳缩短资料的判断，得出了郯庐中南段累积最大位移量为 300 km 的结论。这些都是对郯庐左行剪切研究的新的重大进展。但是郯庐断裂带并不是一条简单的左行走滑断裂，作者通过多种测年方法的详细年代学研究，结合地质分析，将其发育历史划分为六个时期，其中 T_3 — J_{1-2} 的韧性挤压-韧性左行剪切-拉张， J_2 — K_1 的脆性左行剪切-拉张， K_2 —E 的拉张-右行剪切及 N—现今的脆性右行剪切、挤压等四个变形阶段，较全面地重现了从特提斯体制向太平洋体制的复杂历史转化过程，也在相当程度上反映了我国东部大陆边缘的动力学特征。本书

的精彩之外还在于一些重要的新发现，如古地磁资料表明，断裂带东侧晚侏罗世华南地块曾发生 $15^{\circ} \sim 25^{\circ}$ 的逆时针旋转，这不但对了解我国东部大陆边缘地块的运动方式有重要意义，而且因为这一时期正是重要的成矿期，其在区域成矿研究中的意义也是不言而喻的。特别是富铝单斜辉石中石榴子石出溶结构的发现和书中对它以及相关问题的讨论，已为大别山-苏鲁超高压带的研究提出了新的课题。此外书中对幔源包体的变形特征、构造演化的数值分析和中南段金矿的构造控制规律等方面均作了专门论述，提出了有新意的成果和见解。本书还对郯庐断裂带形成演化的动力来源问题进行了探索性研究，提出地球自转速率的变化，导致大陆表层物质向低纬度流动，诱发了左行走滑运动和洋壳物质的滞后效应，引起近东西向的挤压作用，这已超出郯庐断裂带本身，涉及整个东亚构造演化的动力来源问题了。总之本书比较合理地阐明了断裂带两侧的运动方式和总体的动力特征，以及郯庐断裂带与大别山带之间的动力学联系，并有重要的进展、发现和创新，本书将郯庐断裂带的研究推向一个新的高度，也是地质力学与多学科研究相结合的一个新的范例。虽然由于涉及面广，信息量大，书的前后内容或有待进一步磨合之处；沿断裂带及其两侧广泛发育的中生代岩浆岩的构造环境指示意义也有待探讨。但毋庸置疑的是本书的出版将对郯庐断裂带以及相关领域的研究工作起着有力的推动和促进作用，在资源环境等应用领域亦将产生有意义的影响。

在本书即将问世之际，谨向以王小凤教授为首的付出了辛勤劳动并做出了出色贡献的作者们表示衷心的热忱祝贺和致意。

常印佛

2000年5月10日

前 言

郟庐断裂带（为郟城-庐江断裂带的简称）是引人瞩目、纵贯中国大陆东部的一条巨型断裂带，它对中国东部的地质发育、矿产资源和地质灾害的形成与分布起着重要的控制作用。因此，“八五”期间地质矿产部实施了“郟庐断裂带的形成演化及其对地质发展的控制作用”项目——重要基础性研究项目之一。该项目研究的目的是内容是：查明断裂带的空间展布、构造组合、活动方式、变形机制及应力场演变特征；通过断层岩形态学、运动学、动力学、年代学和地球化学的研究，重建郟庐断裂带形成演化历史及 $p-T-t$ 轨迹；探讨东亚濒太平洋巨型走滑断裂系变形的动力学模式；讨论断裂带与金矿成矿作用的关系。

该项目负责单位为地质矿产部地质力学研究所，参加单位为原地质矿产部沈阳地质矿产研究所、安徽省地矿局地质科学研究所、山东省地矿局遥感站、物探队等四个单位。项目组在对前人成果充分吸收和综合分析的基础上，抓住关键问题，在典型区段进行点面结合的野外地质调查、采集各种样品，通过实验测试和综合整理，编制成研究报告。项目主要研究工作如下。

1. 郟庐断裂带构造特征及运动学动力学机制研究

通过区域构造、地球物理综合分析和重点区段地质调查，厘定郟庐断裂带的力学性质、活动方式、构造型式组合及其时空演变特征，编制郟庐断裂带地质构造图。查明平移期基本构造格架为类鱼骨状构造，主干断裂位移量主要通过其东侧一系列北东向构造带及西侧一系列向南凸出的弧形构造近南北向地壳缩短来吸收，中南段最大位移量为 300 km，北段为 100 ~ 150 km。

通过郟庐断裂带及其两侧变形构造定量分析（古应力方向、大小、应变量、位移量、缩短量等估算），编制郟庐断裂带构造应力场演化图。

2. 郟庐断裂带地球物理特征研究

通过对断裂带及其两侧遥感影像、地球物理（航磁、重力、GGT 断面）资料分析，查明断裂带三维展布、岩石圈结构特征及其形成时期、活动方式、变形动力学过程，编制陆地卫星 TM 影像图、遥感地质解译图及地球物理特征图件，并进行断裂带北段天然地震层析成像试验研究，取得一套图件和成果。

编制郟庐断裂带及两侧大地热流值图，查明沿郟庐断裂带有一个热流值梯度带，其东侧为面状分布的高热流值区。

通过郟庐断裂带幔源包体显微构造分析，重塑沿断裂带新生代地幔流体流变状态（ $\sigma_1 - \sigma_3$ 、 ϵ 、 η 、 p 、 t ）及流动方式。

通过分析郟庐断裂带两侧中生代古地磁样品，查明郟庐断裂带两侧自中侏罗世以来不存在巨大规模的左行平移，断裂带东侧华南地块在早白垩世之前曾发生 $15^\circ \sim 25^\circ$ 逆时针转动。

3. 郯庐断裂带形成演化历史研究

郯庐断裂带两侧大别山与苏鲁造山带对比研究。在基本构造组成、变形变质相结合、变形变质期次时代、构造变形及深部物质作用过程的对比分析基础上,查明大别山-苏鲁超高压变质带的折返和郯庐断裂带形成演化之间的动力学联系,提出超高压变质带反向加楔的折返机制。同时进一步厘定郯庐左行平移发生的时期、启动部位及平移的幅度。

郯庐断裂带年代学研究,运用多种高精度测年的方法相互配合(U-Pb、⁴⁰Ar-³⁹Ar、K-Ar、Sm-Nd、Rb-Sr、ESR等),厘定郯庐断裂带演化各阶段的时限,并提出断裂带自南而北分段递进生长迁移的发育机制。

郯庐断裂带形成演化历史,分为五个阶段:启动期(T₃)、平移期(J₁₋₂-J₃)、拉张期(K₁-K₂)、挤压右行平移期(K₂末-E)和晚近活动期(N-Q)。推测各期构造应力场发生转变可能与地球自转速率的变化有关。

采用二维不可压缩黏性流体——牛顿流模型和小挠度弹性薄板模型,分别对断裂带发育不同阶段的形变场、应力场进行数值模拟。提出实际的郯庐走滑断裂演化多层地质模型。

4. 在研究方法上

本项目尽量做到宏观与微观、形变与相变、深部与浅部、地球物理与地球化学相结合,多种学科相互交叉和渗透;尽力采用多种先进测试仪器和技术,以求得出高水平定量研究成果。例如本项目涉足原子尺度下矿物反应前沿领域的研究,运用高分辨电子显微镜在超高压变质带内发现单斜辉石中石榴子石出溶结构形成过程的晶格像,提供了郯庐走滑导致超高压变质带折返深部物质反应过程的证据。

5. 在应用研究上

提出郯庐断裂带分级控制金矿的规律,以及断裂带主活动期即为其主成矿期,并指出寻找大型金矿集中区的方向。

项目各承担单位参加本研究的人员为:原地质矿产部地质力学研究所王小凤、李中坚、陈柏林、陈宣华、张青、董法先、武红岭、邢历生、白嘉启、刘晓春和王连捷,原地质矿产部沈阳地质矿产研究所张宏、王伍力,安徽省地矿局地质科学研究所董树文、黄德志,山东省地矿局邬华梅、霍光辉,国家地震局地质研究所林传勇,辽宁省地震局李荣安。

在项目研究过程中,项目组与美国加州大学洛杉矶分校地球与空间科学系进行了有关“郯庐断裂带形成演化的动力学机制”的中美合作项目研究(1993~1996),美方参加人员有尹安博士、聂上游博士和Mark. Harrison教授。美国加州理工学院赵大鹏博士与项目组开展了有关“郯庐断裂带北段(辽宁)天然地震层析成像”的合作研究。此外安徽省地矿局地质科学研究所袁洪亮、山东省地矿局区调队刘贵章参加了部分野外考察工作。地质矿产部地质力学研究所陈正乐和许顺山参加了平衡剖面编制及应力、应变测量工作。

原地质矿产部地质力学研究所声发射实验室、X光岩组实验室、古地磁实验室、构造应力场实验室;原地质矿产部地质研究所沉积分析实验室、同位素年代学实验室、构造物理实验室;原地质矿产部矿床地质研究所X光实验室;中国科学院同位素年代学实验室;国家地震局地质研究所ESR实验室、K-Ar同位素年代学实验室;北京大学透射电镜实验室、地质系电子探针实验室;原地质矿产部南京地质矿产研究所同位素年代学实验室;石

油天然气总公司石油规划研究院遥感实验室；美国加州大学洛杉矶分校地球与空间科学系同位素年代学实验室及美国加州理工学院地震实验室等有关单位协助完成部分样品测试、分析及计算任务。

四年来本项目组在原地质矿产部科技司的领导下，在中国地质科学院科技处的关怀支持下，并在项目顾问组李廷栋院士、孙殿卿院士、陈庆宣院士、马宗晋院士、肖序常院士、崔盛芹教授和刘迅研究员的指导下，全体成员努力工作，紧密协作，圆满完成了该项研究成果。1996年3月地质矿产部科技司组织由王鸿祯、程裕淇、胡海涛等院士和万子益教授等组成的专家组，对项目进行了评审和验收。项目组在上述最终科研报告基础上，经过修改编写成本书。本书是六个单位的合作成果，是参加项目的全体人员辛勤劳动的结晶。各章节分工如下：第一章由王小凤、李中坚、张青负责；第二章由李中坚、陈柏林、张青负责；第三章由邬华梅负责；第四章由霍光辉、王小凤、白嘉启、李荣安负责；第五章由邢历生、李中坚负责；第六章由董树文、黄德志负责；第七章由刘晓春负责；第八章由陈宣华、王小凤负责；第九章由陈宣华、王小凤负责；第十章由张青、陈柏林、陈宣华负责；第十一章由张宏负责；第十二章由林传勇、张小鸥、徐义刚、史兰斌、陈孝德负责；第十三章由陈柏林负责；第十四章由武红岭、陈柏林、王小凤负责；第十五章由董法先负责；前言和后语由王小凤负责。全书最后由王小凤、李中坚、陈宣华、陈柏林统稿，陈宣华、陈正乐负责英文审校。图件清绘由杨洁、尚玲承担。

在本书编写过程中，还得到了山东省地矿局、安徽省地矿局的大力支持和关怀，得到了常印佛院士，中国地质大学索书田、李东旭、李树靖教授的热情指导和帮助，在此一并表示感谢。

目 录

序

前 言

第一章 概论	(1)
1.1 引言	(1)
1.2 华北地块和华南地块的拼合与郯庐断裂带的启动	(3)
1.3 郯庐左行走滑断裂系	(5)
1.4 郯庐断裂系自南而北分段递进生长迁移机制	(10)
1.5 郯庐断裂系深部结构特征	(11)
1.6 郯庐断裂带发育历史及构造应力场演化	(12)
1.7 关于动力来源问题	(13)
1.8 郯庐断裂带的形成演化及其对金矿富集的控制作用	(14)
第二章 郯庐断裂带地质构造基本特征	(15)
2.1 调查研究简史	(15)
2.2 区域构造背景	(17)
2.3 断裂带基本特征	(20)
2.4 与郯庐断裂走滑运动有关的构造	(35)
2.5 胶东南地块地质构造特征及其演化	(38)
第三章 郯庐断裂带遥感地质特征	(58)
3.1 遥感图像数据处理和线性构造解译	(58)
3.2 郯庐断裂带空间展布特征	(59)
3.3 郯庐断裂带两侧构造特征	(62)
3.4 郯庐断裂带的演化历史	(67)
3.5 几点认识	(71)
第四章 郯庐断裂带地球物理特征	(72)
4.1 郯庐断裂带重磁场特征	(72)
4.2 郯庐断裂带的深部地壳结构特征	(78)
4.3 对地质构造的探讨	(91)
4.4 郯庐断裂带地温场特征	(94)
第五章 郯庐断裂带两侧地块的构造转动变形	(105)
5.1 引言	(105)
5.2 地质背景和古地磁采样	(106)
5.3 测量与结果	(108)
5.4 郯庐断裂带的平移	(112)
5.5 郯庐断裂带中南段东侧地块的逆时针转动	(113)

5.6	结论和推论	(116)
第六章	郟庐断裂带两侧大别山与苏鲁造山带对比、演化与郟庐断裂启动—发展过程	(117)
6.1	大别山造山带与苏鲁地块结构对比	(117)
6.2	大别造山带组成与时代	(119)
6.3	苏鲁造山带组成与时代	(123)
6.4	大别-苏鲁超高压变质带内浅变质岩组成、时代	(127)
6.5	UHP 岩石折返机制——反向加楔模式	(135)
6.6	郟庐断裂带形成—发展与大别-苏鲁造山带演化	(139)
第七章	大别—苏鲁地区高压超高压变质作用可比性及其与郟庐断裂带的演化 ..	(142)
7.1	引言	(142)
7.2	蓝片岩杂岩及其低温高压变质作用	(142)
7.3	片麻岩杂岩及其区域中低压变质作用	(150)
7.4	榴辉岩及其(超)高压变质作用	(152)
7.5	讨论与结论	(157)
第八章	苏鲁地区榴辉岩富铝单斜辉石中出溶石榴子石结构及其形成机制	(159)
8.1	引言	(159)
8.2	地质背景	(159)
8.3	岩相学和矿物化学	(163)
8.4	单斜辉石中石榴子石的出溶	(165)
8.5	富铝单斜辉石中出溶石榴子石现象的 HRTEM 观察	(170)
8.6	孟中榴辉岩 p - T 演化轨迹	(176)
8.7	结论与讨论	(179)
第九章	郟庐断裂带形成演化的年代学研究	(180)
9.1	华北-扬子地块的拼合——作为转换断裂的郟庐断裂南段的形成	(180)
9.2	西部陆内俯冲和东部推覆滑脱——郟庐断裂作用的剪刀差成因	(195)
9.3	郟庐断裂作用的定年	(199)
9.4	郟庐断裂的引张与火山活动	(209)
9.5	总结与讨论	(212)
第十章	张八岭地区韧-脆性递进变形特征及其与郟庐断裂发育的关系	(214)
10.1	概述	(214)
10.2	张八岭韧-脆性递进变形构造特征	(215)
10.3	张八岭韧-脆性递进构造的形成时代	(220)
10.4	张八岭韧-脆性递进构造的形成机制及与郟庐断裂演化关系的讨论	(220)
第十一章	郟庐断裂带北段的地质特征及中生代演化	(222)
11.1	地质概况	(222)
11.2	郟庐断裂带北段各分支基本构造格架及其地质特征	(225)
11.3	东北东部重点地区中生代应力场特征	(233)
11.4	郟庐断裂带北段中生代的演化	(244)

第十二章	郟庐断裂带沿线幔源包体的变形特征及其地质意义	(248)
12.1	郟庐断裂北段幔源包体的主要特征	(248)
12.2	郟庐断裂南段幔源包体的变形特征	(257)
12.3	结论	(261)
第十三章	郟庐断裂带变形分析及构造应力场演化	(263)
13.1	郟庐断裂带韧性变形基本特征	(263)
13.2	构造应力场及其演化	(283)
13.3	郟庐断裂带演化阶段和演化模式	(307)
第十四章	郟庐断裂带构造演化的数值分析	(313)
14.1	理论模型——牛顿流体	(313)
14.2	数值分析中的优化计算方法	(314)
14.3	郟庐断裂带构造演化数值分析	(315)
第十五章	郟庐断裂带中南段对金矿的控制	(329)
15.1	郟庐断裂带主要特征	(329)
15.2	郟庐断裂带中、南段对金矿的控制作用	(330)
后 语		(339)
参考文献		(342)
英文摘要		(352)
图版说明及图版		(361)

CONTENTS

Foreword

Preface

Chapter 1 Outline	(1)
1.1 Introduction	(1)
1.2 Matching of the NC and SC blocks and the initiation of the Tan-Lu fault zone	(3)
1.3 Sinistral-slip Tan-Lu fault system	(5)
1.4 Progressive growth and propagation mechanism from north to south for the Tan-Lu fault system	(10)
1.5 Structural features of the Tan-Lu fault system in depth	(11)
1.6 Development of the Tan-Lu fault zone and evolution of the tectonic stress field	(12)
1.7 On the dynamics of the Tan-Lu fault system	(13)
1.8 Gold deposits under control of the Tan-Lu fault zone	(14)
Chapter 2 Geological and Structural Features of the Tan-Lu Fault Zone	(15)
2.1 Simplified research history	(15)
2.2 Tectonic setting	(17)
2.3 Basic features of the fault zone	(20)
2.4 Structures related to the strike-slip of the Tan-Lu fault	(35)
2.5 Structural features of the south-eastern Shandong block and its evolution	(38)
Chapter 3 Remote-Sensing Geologic Features of the Tan-Lu Fault Zone	(58)
3.1 Data analysis and lineament structure interpretation	(58)
3.2 Space-distribution feature of the Tan-Lu fault zone	(59)
3.3 Structural features on both sides of the Tan-Lu fault zone	(62)
3.4 Evolution history of the Tan-Lu fault zone	(67)
3.5 Conclusion	(71)
Chapter 4 Geophysical Features of the Tan-Lu Fault Zone	(72)
4.1 Characteristics of the gravity and magnetic fields of the Tan-Lu fault zone	(72)
4.2 Structural features in deep crust	(78)
4.3 Approaching the geologic structures	(91)

4.4	Characteristics of the geothermal field of the Tan-Lu fault zone	(94)
Chapter 5 Rotation of the Adjacent Terranes on Both Sides of the Tan-Lu		
	Fault Zone	(105)
5.1	Introduction	(105)
5.2	Geological setting and paleomagnetic sampling	(106)
5.3	Measurement and results	(108)
5.4	Strike-slip magnitude along the Tan-Lu fault zone	(112)
5.5	Counter-clockwise rotation of the terranes on eastern sides of the middle-southern part of the Tan-Lu fault zone	(113)
5.6	Conclusion and deduction	(116)
Chapter 6 Comparison of the Dabie and Sulu Orogenic Belts on Both Sides of		
	the Tan-Lu Fault Zone and Initiation and Development of the	
	Tan Lu Fault Zone	(117)
6.1	Structural comparison of the Dabie and Sulu orogenic belts	(117)
6.2	Composition and timing of the Dabie orogenic belt	(119)
6.3	Composition and timing of the Sulu orogenic belt	(123)
6.4	Composition and timing of the low metamorphic rocks in Dabie-Sulu ultra-high pressure zone	(127)
6.5	Back-turning mechanism of UHP rocks; Retrograde wedging-in model	(135)
6.6	The evolution and development of the Tan-Lu fault zone and its relationship to the evolution of the Dabie-Sulu orogenic belt	(139)
Chapter 7 Comparison of the Ultra-High Pressure Metamorphism in Dabie and		
	Sulu Areas and Its Relationship to the Evolution of the Tan-Lu	
	Fault Zone	(142)
7.1	Introduction	(142)
7.2	Blueschist melange and high-pressure low-temperature metamorphism	(142)
7.3	Gneiss melange and regional middle to low-pressure metamorphism	(150)
7.4	Eclogites and (ultra-) high-pressure metamorphism	(152)
7.5	Discussion and conclusion	(157)
Chapter 8 Garnet Exsolution in Al₂O₃-Rich Clinopyroxene in Su-Lu Area: Its		
	Geologic Significance	(159)
8.1	Introduction	(159)
8.2	Geologic setting	(159)
8.3	Petrography and mineral chemistry	(163)
8.4	Garnet exsolution in Al ₂ O ₃ -rich clinopyroxene	(165)
8.5	HRTEM observation of garnet exsolution	(170)

8.6	The <i>p-t</i> path for Mengzhong eclogite in Su-Lu area	(176)
8.7	Discussion and conclusion	(179)
Chapter 9	Geochronology of the Tan-Lu Fault Zone	(180)
9.1	Initiation of the southern part of the Tan-Lu fault zone as a transfer fault during the matching of the NC and SC blocks	(180)
9.2	Scissors differential genesis of the Tan-Lu fault; Intracontinental subduction in west side and thrusting in east side	(195)
9.3	Timing of the brittle Tan-Lu faulting	(199)
9.4	Volcanism; Extension of the Tan-Lu fault zone	(209)
9.5	Discussion and conclusion	(212)
Chapter 10	Ductile-Brittle Progressive Deformation in Zhangbaling Area; Its Relationship to the Tan-Lu Fault Zone	(214)
10.1	Geologic setting	(214)
10.2	Structural features of the progressive deformation	(215)
10.3	Timing of the progressive deformation	(220)
10.4	Progressive deformation mechanism in Zhangbaling area and its relationship to the Tan-Lu fault zone; Discussion	(220)
Chapter 11	The Northern Part of the Tan-Lu fault Zone; Geologic Features and Evolution in Mesozoic	(222)
11.1	Geologic setting	(222)
11.2	Framework and geologic features of the various branch faults	(225)
11.3	Mesozoic stress field in this area	(233)
11.4	Mesozoic evolution of the northern part of the Tan-Lu fault zone	(244)
Chapter 12	Deformation of Mantle Xenoliths along the Tan-Lu Fault Zone and Its Geologic Implications	(248)
12.1	Mantle xenoliths in north part	(248)
12.2	Mantle xenoliths in south part	(257)
12.3	Conclusion	(261)
Chapter 13	Analysis of the Strain and Stress Fields of the Tan-Lu Fault Zone	(263)
13.1	Ductile deformation	(263)
13.2	Tectonic stress field and its evolution	(283)
13.3	Model for the evolution of the Tan-Lu fault zone	(307)
Chapter 14	Digital Analog of the Tan-Lu Fault Zone	(313)
14.1	Theoretical model-Newtonian fluid	(313)
14.2	Optimized calculating method in digital analog	(314)
14.3	Digital analog for the evolution of the Tan-Lu fault zone	(315)

Chapter 15 Gold Deposits under Control of the Tan-Lu Fault Zone in Middle-	
Southern Part	(329)
15.1 Main features of the Tan-Lu fault zone	(329)
15.2 Gold deposits under control of the middle-southern part of the Tan-	
Lu fault zone	(330)
Concluding Remarks	(339)
References	(342)
Abstract in English	(352)
Plates and Explanations	(361)

第一章 概 论

1.1 引 言

郯城-庐江断裂带（以下简称郯庐断裂带或郯庐断裂）是纵贯中国东部大陆边缘的一条巨型断裂带，总体呈北北东走向，北起黑龙江，南至长江，绵延逾 2400 km。该断裂带跨越了具有不同演化历史的东北吉黑地块、华北地块、华南地块及大别-苏鲁造山带，它的形成演化对中国东部中生代以来的沉积岩相古地理、岩浆活动、变质作用，以及金属矿产及石油天然气等的形成与分布都有明显的控制作用，同时它又是一条现今地震活动带。因此，对郯庐断裂带形成演化过程的研究是东亚大陆边缘动力学焦点问题之一，这一研究对资源预测和地震灾害防治也有重要的意义。

对郯庐断裂带调查最早的是德国人李希霍芬（1898）、中国学者谭锡畴（1923）和李捷（1929）。原地质部航测大队 904 队发现，山东郯城至安徽庐江一带，有一条十分醒目的航磁正异常带，第一次将之命名为郯城-庐江深大断裂带（1957）。此后对该断裂带的性质、演化及动力学机制的研究，引起中外学者的极大兴趣和关注。概括起来，存在五种不同的观点与认识。徐嘉炜最早研究郯庐断裂及其平移性质，他认为郯庐断裂带是西北环太平洋边缘大陆内测的大型平移断层，其动力背景是太平洋板块向大陆的斜向运动，主平移时代为晚侏罗—早白垩世（140~110Ma），最大平移达 740 km（徐嘉炜等，1984、1985、1992、1993）。另一种观点为“地缝合线-边界线转换断层带作为华北与华南板块的缝合线”（周导之等，1980^①）。第三种是转换断层模式，认为郯庐断裂的形成与华北和扬子陆块沿秦岭-大别造山带碰撞有关（李春昱，1975；OKay et al., 1992），这一转换断层活动时限为晚古生代—中生代，延续到侏罗纪。第四种为碰撞嵌入模式（Yin et al., 1993），基于郯庐断裂带的左行平移和朝鲜半岛沃川带、Honam 剪切带右行平移运动学特征，认为郯庐和 Honam 剪切带之间的苏北、胶南及朝鲜的京畿-沃川带是华南板块北侧不规则被动边缘向北突出的一块，存在于碰撞前。嵌入碰撞时代为早二叠世晚期至晚三叠世与早侏罗世。第五种模式认为它是我国东部一个独立的巨型构造体系，称更新华夏系，形成于燕山运动晚期（李树靖等，1985；邓乃恭，1984）。以上五种观点从运动学角度可分析归纳为两种机制，一是濒西太平洋的单剪运动机制，二是特提斯消失的陆块拼合转换机制。

到目前为止，以下问题仍然是地学界关注的热点：

- （1）郯庐断裂带启动的时间、边界条件及古构造格局是什么？
- （2）郯庐断裂带及其相邻地区的构造型式及岩石圈结构变化怎样？
- （3）郯庐断裂带左行平移发生的时限？最大平移的幅度是 740 km 还是 300 km？它所

① 周导之等，安徽省地质学会庆祝中国地质学会成立 60 周年学术报告，1980（内部交流）。

引起的从浅到深层次的应变图像如何？

(4) 郯庐断裂带形成演化过程及构造应力场演变历史怎样？

(5) 中国东部大陆边缘变形的模式、地壳运动的程式及动力来源是什么？

当然本书试图通过地质调查和综合分析从不同程度或不同角度来解答上述问题。在重塑郯庐断裂带形成演化过程的研究中，必须阐明以下三点看法。

首先，认为郯庐断裂带的基本格架是由过去至少是中南运动以来多次构造变动所确立的。为了恢复其构造活动的历史，必须考虑每次构造事件对于较老的构造格架的影响。不能认为现今的地块边界形态就是其形成时的初始轮廓，在重建这些构造时要考虑到晚期构造事件，特别是地块之间、大陆之间以及海陆之间以及随之而来的走滑断裂可能对已存在的地质形迹的分布和几何形态起到重要的改造作用。另一方面，厘定较老构造形迹的性质，可以用它定量恢复较新应变的线索。因此新构造和老构造的重建必定是相互影响的。本书就是这一研究的结果。

众所周知，走滑断裂是标志大陆地壳水平运动最好的典型构造之一。自 1913 年 Reid 等提出走向滑动断层术语以来已将近一个世纪了，在这期间对于走滑断层在地壳表层的变形图像及其动力学研究可以说是“尽善尽美”了，例如表示走滑断裂存在的各种构造型式：雁列褶皱、拉分盆地、表现纯剪和简单剪切的断裂系统等。20 世纪 80 年代以来，随着岩石圈动力学 GGT 大断面研究成果的积累，使走滑断裂在地壳深层次变形图像及其动力学方面的研究成为可能，并导致提出著名圣安德烈斯走滑断裂底部可能是一拆离带 (Robert et al., 1990)。中国东部 GGT 地学断面的成果也支持了与郯庐断裂带相连东侧华南地块存在多层低角度拆离带的认识 (国家地震局地学断面编委会, 1991; 陈沪生等, 1993)。本书进一步在地质上揭示了走滑断层的发生对其两侧地块地壳内不同层次变形的效应，提出横穿不连续面 (深层次拆离面) 应力应变传递的型式。此外天然地震层析图像分析和大地热流值测量结果都支持了上述认识。

最后一个值得注意的问题是，走滑断裂引起的构造旋转问题 (Sylverster, 1994)。大家知道，大部分走滑断裂应是扭应力作用的产物，因此由于走滑断裂运动导致两侧地块内出现构造旋转是很自然的现象，但是在实际上很难被人们发现与承认。提高对构造旋转的鉴别水平要从两方面努力：一是要打破传统观念，深入研究旋扭构造发生的边界条件动力学机制；二是要提高观测的技术和水平。这里要提到古地磁学方法是鉴定地块发生旋转的时限、运动方式及幅度的有效手段，但它的结果只有与地质上形变相变及年代学研究成果分析相结合才能得到合理的解释和应用。

基于上述复杂情况，本书运用了李四光教授所倡导的构造体系及其复合的思路，来研究郯庐断裂带发育的历史。“构造体系是许多不同形态、不同性质、不同等级和不同序次，但具有成生联系的各项结构要素所组成的构造带以及它们之间所夹的岩块或地块组合而成的总体。这个总体，是一定方式的区域性构造运动 (即地壳的一个组成部分的运动) 的结果” (李四光, 1973)。因此我们将郯庐断裂带主干断裂带及其在相邻地区与之具有成生联系的不同方向、不同形态、不同性质、不同等级和不同序次的褶皱断裂等构造要素及它们所夹持的岩块、地块都看成是一个统一地质过程的产物，称之为统一的构造体系，为“郯庐系”。但是需强调，现今郯庐系的面貌应是其发生发展不同阶段或时期构造体系复合的结果。因此在其发育不同阶段，构造体系的应变图像和区域构造应力场都存在差

异。本书将从宏观与微观、形变与相变、浅部与深部、地球物理与地球化学相结合的角度，通过对郯庐断裂带及其两侧具有成生联系的变形进行构造几何学、运动学和动力学分析，以阐明郯庐断裂带的力学性质、活动方式、构造型式组合的时空演变规律和构造应力场演化特征，重建断裂带发育的历史，追索中生代以来中国东部大陆边缘地壳运动的方式和力源。为此本书是按以下四个步骤开展各项研究工作的；①在综合研究基础上选择关键问题及地段开展野外调查和取样；②室内测试和综合分析；③模拟试验和理论解释；④建立郯庐断裂带形成演化的动力学模式。

在研究方法上，本书尽可能做到多学科相互渗透、相互交叉，如地质力学、地球物理、古地磁学、遥感、地热、岩石学、地球化学、矿物物理、固体物理、岩石力学等学科，吸收相邻学科的新进展。在研究手段上尽力采用先进的仪器设备和先进技术方法，并以多种测试方法相配合，力争使断裂构造研究朝着活动化、三维化、定量化发展的道路上跨进一步。

1.2 华北地块和华南地块的拼合与郯庐断裂带的启动

华北地块与华南地块的拼接是郯庐断裂带启动的构造背景，即为秦岭纬向造山带发育的时期。以东西向海槽逐渐萎缩、陆块渐进靠拢的结构环境为特征，此时为印支期。华南地块向华北地块之下呈楔形挤入，逐渐形成微向南突出的弧形拼合边界（图 1.1），沿拼接带自深而浅有高温超高压变质带（以榴辉岩带为代表）、低温高压变质带（以蓝片岩带为代表）及长英质糜棱岩带相伴产生。继之西太平洋相对东亚大陆左旋力偶作用，在大别地块南缘弧形边界的尖突部位作为始端，中下地壳物质发生 NNE 向左行韧性剪切流动，造成纬向带被动剪切，导致郯庐韧性左行剪切带定位产生，这个时期为早—中侏罗世。

华北与华南地块拼合不是一蹴而就的，而是持续了较长的地质过程，伴随着郯庐走滑断裂的发生及两侧华北与华南地块内部的变形。这一拼合过程的时间下限为晚二叠世至晚三叠世，西段主要在晚三叠世，主要证据如下。

1.2.1 沉积地层学证据

主要根据华北与华南地块之间海盆关闭的时代，华南地块北缘陆相碎屑岩最早出现的时代，及来自华北地块的碎屑时代，来确定两个地块开始拼合的时代。华南地块北缘海相沉积消失的最后时间，在苏北为早三叠世，安徽—湖北为早—中三叠世（图 1.2）（Yin et al., 1993），海盆有自东而西逐渐关闭之特点。

1.2.2 拼合变形变质带的年代学证据

本书对前人有关沿华北与华南地块拼合相伴生的变形变质带年代学数据（包括 U-Pb、 ^{40}Ar - ^{39}Ar 、Sm-Nd、Rb-Sr、K-Ar 等）频度进行了统计，峰值集中于 250~180 Ma 范围，这个范围表示两个地块拼合及拼合后的变形变质的过程时限，其中高峰值集中于 230~200 Ma，基本上反映拼合的时代。张八岭蓝片岩 SSE 线理发育部位的多硅白云母 ^{40}Ar - ^{39}Ar 法测定结果为 (244.2 ± 0.5) Ma。以上研究表明，两个地块开始拼合不早于晚二叠世—晚三叠世。

1.2.3 古地磁学证据

从华北地块与华南地块视极移曲线对比可以得出，晚二叠世以来，华北和华南地块的