



谨将此书献给第三十届国际地质大会

国家自然科学基金资助项目 地质矿产部基础/深部项目

中国大陆根—柱构造

——大陆动力学的钥匙

邓晋福 赵海玲 莫宣学 吴宗絮 罗照华 著



A

地质出版社



国家自然科学基金资助项目
地质矿产部基础/深部项目

谨将此书献给第三十届国际地质大会

中国大陆根-柱构造

——大陆动力学的钥匙

邓晋福 赵海玲 莫宣学 吴宗絮 罗照华 著

地质出版社

· 北 京 ·

内 容 简 介

本书以中国为例,提出并详细论述了“大陆根-柱构造”的科学命题——陆-陆碰撞和陆内造山带对应于山根与造山岩石圈根,克拉通对应于大陆岩石圈根,大陆裂谷带对应于地幔热柱。基于这一科学命题,讨论了中生代以来中国大陆上,构造性质截然不同的东、西部地区的成生联系,与中、新生代之交的地幔对流系统的逆转;提出了新生代以来岩石圈尺度的大地构造分区方案。基于层圈相互作用的概念,阐述了中国大陆三层式壳幔动力学系统——核-幔边界至400 km界面范围内的地幔重力崩塌-堆积构造层是表壳运动(物理的与化学的)的总动力源,是亚洲大陆中生代以来不断生长扩大的最根本原因;400 km至约15 km的大陆根-柱构造层是表壳运动的驱动力系统;约15 km以上的表壳块体构造层是大陆根-柱构造的表现与响应。

本书学术思想新颖,研究方法先进,提出了大陆动力学研究中的许多新问题,值得地质院校师生和有关生产、科研人员阅读与参考。

图书在版编目(CIP)数据

中国大陆根-柱构造:大陆动力学的钥匙/邓晋福等著.-北京:地质出版社,1996.5
ISBN 7-116-02050-0

I. 中… II. 邓… III. 地质构造-地球动力学-中国 IV. P548.2

中国版本图书馆CIP数据核字(96)第02379号

地质出版社出版发行

(100083 北京海淀区学院路29号)

责任编辑:周继荣

*

中国科学院印刷厂印刷 新华书店总店科技发行所经销

开本:787×1092 1/16 印张:7.75 字数:169000

1996年5月北京第一版·1996年5月北京第一次印刷

印数:1--1000册 定价:12.80元

ISBN 7-116-02050-0

P·1546

前 言

为寻找 21 世纪地球科学的前沿领域，世界各国于 80 年代后半期组织地球科学家进行了多方讨论与论证；其中最具有影响、较为系统的三份报告是由美国科学家提出的。它们是：《固体地球科学与社会》（1993）、《美国大陆动力学研究的国家计划》（1990）、《地球物质研究》（1989），并于 1991 年至 1993 年分别出版中译本。

这三份报告大致可代表 21 世纪前沿领域中最重要的大科学命题，即（1）地球系统科学，了解整个地球系统的过去、现今及未来的行为，要求对整个地球进行地质学、物理学、化学和生物学的交叉学科研究，以了解整个地球系统所涉及的过程（地质过程、地球物理过程、地球化学过程与生物活动过程），特别注意地球各层圈之间的联系和相互作用；（2）大陆动力学，由于板块构造理论在解释大陆地质及其构造演化中遇到了许多困难，大陆动力学被作为一个重要前沿领域提出，大洋岩石圈的相对均一和相对年轻（ ≤ 200 Ma），使研制出一种可供操作的大洋动力学模型成为可能；大陆则是由诸多大陆块体与造山带拼贴在一起的一个复杂的大拼盘（a complex collage），它记录了从近 40 亿年前直至现在的地质历史，大陆岩石圈的非均一性和漫长的地质历史对板块构造理论“登陆”产生了许多困难，探索大陆动力学及其演化这类重大挑战需要有新一代技术发展来承担，这些新技术必须能研究地下组成及其作用过程；（3）地球物质科学，主要包括地球化学、岩石学、矿物物理学与岩石物理学四门学科。美国国家自然科学基金会的战略计划中明确提出，要全面开展现有的大陆岩石圈和地球物质的物理学与化学的开拓性研究，因为地球物质的物理与化学性质控制了地球及其动力学过程，控制着地壳和地表物质迁移与分布的主要作用过程。

看来，“壳幔深部过程及其与表壳运动之间的相互作用”这一科学命题研究的突破，将成为新的全球构造理论建立的重要支柱之一。1994 年国家科委制定的 21 世纪中国地球科学战略中最优先发展领域之一的大陆动力学中，明确地把“陆下地幔的性质及其与大陆的相互作用”列为前沿研究方向。岩石探针（lithoprobe）被誉为研究壳幔性质与深部过程的新技术，它与地球物理学探测深部的新技术以及计算机数学模拟新技术的结合，将成为探索地球、地下深部和地球过去历史的主要途径。岩石探针新技术在重建地球过去历史及其动力学，以及对地球深部，特别是下地幔内还保留的地球过去历史的某些记录或残迹的解释中将起到特别重要的作用。岩浆的喷发与侵入可比喻为一群深达壳幔深度的巨型超深钻。上地幔与下地壳的深源捕虏体是岩浆携带上来的深部的天然样品。火山岩和侵入岩记录了壳幔源区物质的化学与温压等物理学信息，变质岩记录了岩石圈（特别其地壳部分）物质的化学、温压与构造运动的信息，痕量元素与同位素地球化学系统示踪深部物质与深部过程，沉积岩记录了表壳对深部过程响应的重要信息；另一方面，岩石构造组合，特别是火成岩构造组合可有效地表征大地构造背景。这样，火成岩的研究将成为岩石探针新技术的核心。

从 20 世纪 70 年代末期开始，我们以火成岩岩浆起源与演化的成因研究作为主要途径，

探索壳幔深部过程，重建大地构造背景。80年代，我们论证了中国东部新生代时期岩石圈受到强烈的热减薄，它受控于热地幔软流圈物质底辟上升的作用过程。1993年开始，地质矿产部与国家自然科学基金会开始“九·五”科研立项，国家科委开始制定21世纪科学发展规划的讨论，这些工作的展开促进了我们学习80年代以来地球科学研究的新成果。中国地球科学家对中国大陆各个区域作出的许多重要新成果，结合我们的工作成果，初步觉得中国东部减薄以前的岩石圈曾是一个巨厚的岩石圈，可能曾有岩石圈根的存在。这样，把这一过程的岩石圈减薄叫做岩石圈去根作用(de-rooting)可能更接近其科学含义。因此，于1993年底，我们大胆地提出了“中国东部滨太平洋大陆岩石圈根/去根作用与大陆活化——深部各层圈相互作用与东亚型活动大陆边缘地球动力学模式研究”的立项建议。1994年又继续论证，初步认为，扬子大陆、鄂尔多斯陆块、塔里木大陆等可能有一个克拉通岩石圈根，它的低密度产生的巨大浮力提供了它们在地质历史上直至今长期保持构造上稳定性的深部依据；青藏-喜马拉雅造山带不仅有山根，可能还有一个造山岩石圈根（除冈底斯可能已进入造山带崩塌的岩石圈去根作用阶段以外）。

这些想法，导致我们提出“大陆根-柱构造”这一科学命题，并用一年左右的时间撰写了本书，作为对这一科学命题的非常初浅的论证。

本书在简述主要思路与研究方法之后，以较多篇幅论述了中国大陆根-柱构造及其形成过程，提出了中国大陆岩石圈尺度的大地构造分区方案，阐述了中国大陆三层式壳幔动力学系统；同时，还讨论和提出了其它一些重要的地质问题。

需要说明的是，本书讨论的“大陆根-柱构造”及其相关的地质问题，仅仅是一个框架，它可以作为我们进一步深入研究的导向。

目 录

前 言

第一章 思路与方法	(1)
1.1 基本思路	(1)
1.2 研究方法	(1)
1.3 时限	(2)
第二章 大陆根-柱构造与壳-幔岩石学结构	(3)
2.1 大陆根-柱构造	(3)
2.1.1 岩石圈底界的形态	(3)
2.1.2 岩石圈和地壳在垂直剖面上的形态	(6)
2.1.3 岩石圈尺度的大地构造分区(新生代以来)	(6)
2.2 壳幔岩石学结构	(8)
2.2.1 研究方法	(8)
2.2.2 陆壳岩石学结构及其类型	(10)
2.2.3 上地幔岩石学结构及其类型	(10)
2.2.4 下地壳与 Moho 界面形成	(12)
2.2.5 壳幔岩石学结构的构造意义	(13)
第三章 大陆根-柱构造的火成岩标志	(14)
3.1 陆内火成岩构造组合	(14)
3.2 大洋闭合与陆-陆碰撞造山的岩石构造组合	(14)
3.3 白云母花岗岩和二云母花岗岩——陆内俯冲的岩石学记录	(15)
3.4 陆内造山钾玄岩系列——造山岩石圈与外侧克拉通岩石圈会聚的产物	(17)
3.5 造山末(或后)期 A 型花岗岩类——造山带崩塌的标志	(20)
第四章 陆内造山过程与山根-岩石圈根的形成	(22)
4.1 青藏-喜马拉雅陆内造山过程与山根-岩石圈根的形成	(22)
4.1.1 陆内造山火成岩带的成对性与造山带范围的确定	(22)
4.1.2 造山幕与造山带水平扩展(生长)	(23)
4.1.3 造山带边界的性质及其不对称性	(23)
4.1.4 陆内俯冲造山缝合带的类型	(24)
4.1.5 陆壳的会聚与山根的形成	(24)
4.1.6 地幔会聚与造山岩石圈根的形成	(25)
4.1.7 青藏高原的近期快速隆升	(26)
4.2 扬子大陆的陆内俯冲作用与大陆的缩小	(27)
4.2.1 华南与天水-雅江白云母花岗岩和二云母花岗岩带与扬子大陆的陆内俯冲	(27)
4.2.2 扬子大陆的缩小	(28)
4.2.3 扬子大陆与秦岭造山带的关系及某些运动学问题	(28)

4.2.4	中生代前华南两次陆内俯冲造山事件	(29)
4.3	东部滨太平洋燕山期火成岩与造山过程	(30)
4.3.1	长期争论的疑难问题	(30)
4.3.2	岩石学与地球化学上弧火成岩的属性	(31)
4.3.3	岩石圈与陆壳厚度的估算	(31)
4.3.4	岩石圈拆沉诱发岩石圈去根作用	(33)
4.3.5	东部滨太平洋燕山期岩浆活动的成因模型	(34)
4.3.6	东部滨太平洋燕山期造山带类型与造山过程	(36)
第五章	大陆裂谷作用与地幔热柱的形成	(40)
5.1	大陆裂谷岩浆作用	(40)
5.2	壳幔热结构的扰乱——岩石圈快速热减薄的记录	(41)
5.3	软流圈埋深及性质	(43)
5.4	岩石圈的伸展、减薄与上隆	(45)
5.4.1	岩石圈伸展及其类型	(45)
5.4.2	伸展类型与岩石圈热减薄的速度	(46)
5.4.3	岩石圈减薄与上隆	(47)
5.5	地幔热柱的形成及其结构	(49)
5.5.1	地幔热柱与亚热柱	(49)
5.5.2	地幔热柱的形成	(50)
5.5.3	地幔热柱的结构与形状	(51)
5.6	岩石圈的飘移与大陆裂谷的扩张	(53)
5.6.1	热点(或热柱)火山活动的迁移——岩石圈飘移的记录	(53)
5.6.2	火山岩的侧向对称水平分带——大陆裂谷扩张的记录	(54)
5.6.3	火山喷发对岩石圈飘移的“铆钉效应”	(56)
5.7	陆下地幔深部过程及其浅部响应的事件序列	(56)
第六章	中国大陆的形成、演化与大陆动力学	(59)
6.1	拼合的中国大陆的形成	(59)
6.1.1	碰撞造山——大陆拼合的主要机制	(59)
6.1.2	印支期中国东部大陆的拼合	(59)
6.1.3	燕山期中国主体大陆的拼合	(62)
6.1.4	中生代山根与岩石圈根的岩石学记录	(63)
6.2	中国大陆三维构造框架的模型	(64)
6.2.1	问题的提出	(64)
6.2.2	双向压入-挤出构造——二维平面构造模型	(65)
6.2.3	深度维软流圈物质塑性挤压与向东流出模型	(66)
6.2.4	三维构造模型——大陆根-柱构造及其过程	(68)
6.2.5	讨论	(72)
6.3	克拉通块体群的构造效应	(72)
6.4	陆下地幔动力学	(73)
6.4.1	火成岩-构造组合大省与地幔对流	(73)
6.4.2	印支期以来,陆下地幔动力学系统及其演化	(73)

6.4.3	拆沉的岩石圈在哪里	(75)
6.4.4	中国大陆三层式壳幔动力学系统	(77)
6.5	层圈间的相互作用	(78)
6.5.1	研究的主要内容	(78)
6.5.2	超级冷地幔下降流——中国大陆形成以来表壳运动（物理的与化学的）的总动力源	(78)
6.5.3	大陆根-柱构造——直接控制表壳运动的驱动力子系统	(79)
6.5.4	岩石圈尺度与表壳尺度的大地构造分区不完全一致的可能原因	(80)
第七章	某些重要地质问题的讨论	(83)
7.1	大陆动力学研究的关键	(83)
7.2	地球多层对流系统	(84)
7.2.1	地球多层对流系统的可能性	(84)
7.2.2	全地幔尺度（一级）对流系统	(84)
7.2.3	过渡地幔尺度（670 km 界面以上）（二级）对流系统	(84)
7.2.4	上地幔尺度（400 km 界面以上）（三级）对流系统	(85)
7.3	有泛大洋吗	(86)
7.4	大陆裂谷作用与大陆分裂（裂解）	(87)
7.5	潘基亚（Pangea）与大陆分裂	(88)
7.5.1	几个问题	(88)
7.5.2	超大陆的隔热效应	(88)
7.5.3	大陆分裂的放热效应	(88)
7.5.4	地质记录的检验	(89)
7.6	与大陆焊接有关的造山带及其分类	(90)
7.7	陆内造山带岩石圈岩石学结构的类型	(91)
7.8	青藏-喜马拉雅造山带山体的形态与动力学意义	(93)
7.9	地壳的性质与壳幔交换	(94)
7.10	关于全球动力学研究的几个问题	(95)
7.10.1	地质过程的事件性（或突发性）	(95)
7.10.2	未来地球的预测	(96)
7.10.3	地球层圈间物质与能量的传送与相互作用	(96)
参考文献	(97)
索引	(103)
英文摘要	(105)

Contents

Introduction

Chapter 1 Thought and Approach (1)

- 1.1 Basic thought (1)
- 1.2 Approach (1)
- 1.3 Time limit (2)

Chapter 2 Continental Roots-plume Tectonics and Crust-Mantle Petrological

Structure (3)

- 2.1 Continental roots-plume tectonics (3)
 - 2.1.1 Contour of lithospheric base (3)
 - 2.1.2 Lithospheric and crustal contour at the vertical section (6)
 - 2.1.3 Geotectonic units on a lithospheric scale since Cenozoic (6)
- 2.2 Petrological structure of the crust-mantle (8)
 - 2.2.1 Approach (8)
 - 2.2.2 Petrological structure and its type of the continental crust (10)
 - 2.2.3 Petrological structure and its type of the upper mantle (10)
 - 2.2.4 Lower crust and the formation of Moho (12)
 - 2.2.5 Tectonic implications of the crust-mantle petrological structure (13)

Chapter 3 Igneous Petrological Sign for the Continental Roots-plume Tectonics ... (14)

- 3.1 Intracontinental igneous petrotectonic assemblage (14)
- 3.2 Petrotectonic assemblage of oceanic closing and continent-continent collision orogeny (14)
- 3.3 Muscovite/two mica granite as a petrological record of intracontinental subduction (15)
- 3.4 Intracontinental orogenic shoshonite series as a product of lithospheric convergence between the orogenic belt and the outside craton block (17)
- 3.5 Post-orogenic A-type granite as a sign of the orogenic collapse (20)

Chapter 4 Intracontinental Orogenic Process and Formation of both the Mountain Root and the Lithospheric Root (22)

- 4.1 Intracontinental orogenic process and formation of mountain root and lithospheric root, Qinghai-Tibet-Himalaya (22)
 - 4.1.1 Paired zones of the intracontinental orogenic igneous rock and determination of the range of orogenic belt (22)
 - 4.1.2 Orogenic episode and horizontal growth across the orogenic belt (23)
 - 4.1.3 Nature of the orogenic boundary and asymmetry (23)

4.1.4	Types of suture zone of intracontinental subduction orogeny	(24)
4.1.5	Continental crust convergence and formation of mountain root	(24)
4.1.6	Mantle convergence and formation of orogenic lithospheric root	(25)
4.1.7	Recent rapid uplifting of the Qinghai-Tibet plateau	(26)
4.2	Intracontinental subduction of the Yangtze continent and continent reducing	(27)
4.2.1	The Southeast China and the Tianshui-Yajiang muscovite/two-mica granite zones and intracontinental subduction of the Yangtze continent	(27)
4.2.2	Reducing of the Yangtze continent	(28)
4.2.3	Relationships between the Yangtze continent and the Qinling orogenic belt, and some kinematic problems	(28)
4.2.4	Two events of the intracontinental subduction orogeny in the Southeast China prior to the Mesozoic	(29)
4.3	Yanshanian igneous rocks and orogenic process in East China of the Circum-Pacific Belt	(30)
4.3.1	Long-time debatable mystery	(30)
4.3.2	Arc-magmatic property in both the petrology and the geochemistry	(31)
4.3.3	Estimation for thickness of the lithosphere and continental crust	(31)
4.3.4	Lithosphere de-rooting induced from the delamination	(33)
4.3.5	Genetic model for the Yanshanian magmatism in East China of the Circum-Pacific Belt	(34)
4.3.6	Types of the Yanshanian orogenic belt and orogenic processes in East China of the Circum-Pacific Belt	(36)
Chapter 5	Continental Rifting and Formation of the Mantle Plume	(40)
5.1	Continental rifting magmatism	(40)
5.2	Perturbation in the thermal structure of the crust-mantle—record of the lithospheric rapid thermal thinning	(41)
5.3	Depth and nature of the asthenosphere	(43)
5.4	Lithospheric extension, thinning and uplifting	(45)
5.4.1	Lithospheric extension and its types	(45)
5.4.2	Extensional types and rate of lithospheric thermal thinning	(46)
5.4.3	Lithospheric thinning and uplifting	(47)
5.5	Formation of the mantle plume and its structure	(49)
5.5.1	Mantle plume and sub-plume	(49)
5.5.2	Formation of the mantle plume	(50)
5.5.3	Structure and shape of the mantle plume	(51)
5.6	Lithospheric drifting and continental rift spreading	(53)
5.6.1	Shift of the hotspot (or plume) volcanism as a record of the lithospheric drifting	(53)
5.6.2	Lateral symmetric horizontal zonation of volcanic rocks as a record of the continental rift spreading	(54)
5.6.3	Volcanic eruption as “rivet effect” for fixing lithosphere	(56)

5.7	Subcontinental mantle deep process and its responsive event sequence at the shallow level	(56)
Chapter 6 Formation and Evolution of the China Continent, and Continental Dynamics		
6.1	Formation of the assembled China continent	(59)
6.1.1	Collision orogeny as a main mechanism of the continent assembling	(59)
6.1.2	Continental assembling of East China in the Indosinian stage	(59)
6.1.3	Continental assembling of Main China in the Yanshanian stage	(62)
6.1.4	Petrological record of the Mesozoic mountain root and lithospheric root	(63)
6.2	A three dimensional model of tectonic framework of the China continent	(64)
6.2.1	Problem	(64)
6.2.2	Bidirectional indentation-extrusion tectonics—a two dimensional (plane) tectonic model	(65)
6.2.3	A depth-dimensional model of plastic extrusion eastwards of the asthenospheric materials	(66)
6.2.4	Three dimensional tectonic model—continental roots-plume tectonics and its processes	(68)
6.2.5	Discussion	(72)
6.3	Tectonic effect of the craton block group	(72)
6.4	Subcontinental mantle dynamics	(73)
6.4.1	Large province of igneous petro-tectonic assemblage and mantle convection	(73)
6.4.2	Subcontinental mantle dynamic system and its evolution since the Indosinian	(73)
6.4.3	Where the delamination lithosphere	(75)
6.4.4	Three layer crust-mantle dynamic system of the China continent	(77)
6.5	Interaction between the geospheres	(78)
6.5.1	Main research object	(78)
6.5.2	Super-downwelling of cold mantle as a general dynamic source for the supracrustal movement (physical and chemical) since the formation of the China continent	(78)
6.5.3	Continental roots-plume tectonics as a driving force daughter system controlling directly the supracrustal movement	(79)
6.5.4	Why inconsistency between the geotectonic units on the lithospheric scale and the supracrustal scale	(80)
Chapter 7 Discussion on Some Important Geological Problems		
7.1	Key to the continental dynamics research	(83)
7.2	Multiple-layer convection system in the Earth	(84)
7.2.1	Possibility of the multiple-layer convection in the Earth	(84)
7.2.2	First-order convection system on the whole mantle scale	(84)
7.2.3	Second-order convection system on the transition mantle scale (above the 670km boundary)	(84)

7.2.4	Third-order convection system on the upper mantle scale (above the 400km boundary)	(85)
7.3	Panthalassa	(86)
7.4	Continental rifting and continental breakup	(87)
7.5	Pangea and continental breakup	(88)
7.5.1	Some problems	(88)
7.5.2	Heat-insulated effect of the supercontinent	(88)
7.5.3	Heat-released effect of the continental breakup	(88)
7.5.4	Geological test	(89)
7.6	Orogenic belt related to continental welding and its classification	(90)
7.7	Types of the petrological structure of the intracontinental orogenic lithosphere	(91)
7.8	Mountain body contour of the Qinghai-Tibet-Himalaya orogenic belt and its dynamic implications	(93)
7.9	Nature of the crust and the crust-mantle exchange	(94)
7.10	Some problems on the research of whole earth dynamics	(95)
7.10.1	Episodic character of the geological processes	(95)
7.10.2	Predication of the Earth in the future	(96)
7.10.3	Material and energy transmission and interaction between the geospheres	(96)
References		(97)
Index		(103)
Summary		(105)

第一章 思路与方法

1.1 基本思路

近 20 年来,在板块构造学说的总框架下,对中国大陆古板块构造的重建,现今岩石圈结构与现今构造活动已有许多详细的研究成果。但是,对于中国大陆岩石圈与软流圈系统的深部过程及其浅部响应的研究才刚刚起步;本书将在这一方面进行补充,试图提出一个极为概略的框架,作为我们今后研究的一个参照。

1. 大陆根-柱构造是大陆动力学的钥匙。全球大陆内,地壳浅部主要表现为三种构造形态,即挤压造山带、大陆裂谷带和克拉通,它们分别对应山根与造山岩石圈根、地幔热柱和大陆(岩石圈)根。我们认为,浅部构造形态是对壳幔深部构造的一种响应,所以提出“大陆根-柱构造”这一科学命题。中国大陆上同时并存这三种构造形态,是全球大陆的一个缩影,它的研究将具有全球意义。

2. 壳幔岩石学结构是大陆构造演化的记录。岩石记录了大陆演化的历史。与地球物理学的地震波速、密度结构等类似,从研究地球物质的角度出发,我们曾提出“岩石学结构”这一名词。由于壳幔物质的化学与物理学的差异,它对于同一个作用过程的反应不同,在同一个新的动力学系统作用下,有的易于改造,有的则不易改造而保留;或者由于作用力的强弱不同,同一种物质在作用力强的地方易于改造,而在作用力弱的地方不易改造。这样,尽管壳幔岩石学结构主要记录了最后一次构造-岩浆-热事件,但仍有可能保留了过去构造-岩浆-热事件的某些记录。

3. 深部构造与浅部构造的某些不协调是物质-热-力的传送过程的记录。壳幔具有层状构造,它们的物质的化学与物理学各有差异,因此,物质-热-力的传送过程必定不是像在一个均匀介质内那样的一个简单过程,层与层之间除耦合之外,会有拆离,从而造成一个比较复杂的图案。这样,深部与浅部构造的不协调,正是我们追溯物质-热-力传送过程的重要依据,由此来了解壳幔层圈间的相互作用。

4. 边界条件是研究壳幔动力学系统的必需。基于流体力学的基本原理与实验,如果一个系统的动力源相同,但是边界条件不同,那末产生的对流图案会有很大差异。因此,在壳幔动力学系统的研究中,阐明边界条件是十分重要的。对中国大陆来说,最重要的一级边界是西伯利亚大陆、印度大陆与太平洋,特别要注意三维空间内的边界条件,深度维是过去研究中不十分注意的,或了解尚少的,另外也要考虑时间维所给予的边界条件的变化。

1.2 研究方法

1. 岩石探针,特别是火成岩探针,将作为本书的主要支柱。一次幔源岩浆的火山喷发

产生的一群火山口及其火山岩可比喻为可达上地幔深度的一群巨型超深钻。由岩浆带至地表的上地幔-下地壳深源捕虏体是天然样品,火成岩本身记录了源区物质的化学与温压等物理学信息。一次壳幔混合型岩浆的侵入或喷发活动记录了壳幔相互作用的各种信息。同时,火成事件还表征区域大地构造背景。前寒武纪变质岩系常常是抬升达地表的深部陆壳剖面,变质岩 p - T - t 轨迹记录了岩石圈形成与构造隆升的历史信息。痕量元素、同位素地球化学可示踪深部物质与深部过程。这样,岩石探针是我们观察深部过程,探索深部过程与浅部响应之间的成生联系的重要支柱之一。

2. 结合地球物理场与浅部构造运动,是研究深部过程与浅部响应的另一个重要支柱。各种地球物理场获得深部结构与深部过程。浅部构造运动,包括构造变形、地壳隆升、沉积作用、盆地形成、岩浆作用、地震活动、成矿事件等,是我们反演壳幔深部过程的重要途径。

3. 物理学与化学的基本原理是我们模拟大陆动力学与建立各种模型的理论依据,也是判断各种模型合理性的主要依据。依据重要地质事实及相应的参数,从物理学与化学基本原理推导出理论(或假设的)模型是十分重要的。

1.3 时 限

本书主要集中于中、新生代,因为,① 它们是中国大陆拼合形成以及形成以后陆内构造发育的时期;② 它们是最远的构造事件,其各种记录保存最完整、最清晰;③ 岩石探针、地球物理场与构造运动各要素的结果之间可互相约束,多种成果的共同约束将可建立更为合理的壳幔动力学模型。

第二章 大陆根-柱构造与壳-幔岩石学结构

2.1 大陆根-柱构造

除台湾属于西太平洋岛弧带以外,中国大陆上,新生代以来地壳浅部表现出三种主要构造形态,即东部大陆裂谷带、中部克拉通块体群与西部挤压造山带,它们分别对应地幔热柱、大陆(岩石圈)根、与造山岩石圈根和山根,我们把它们称为“大陆根-柱构造”。

2.1.1 岩石圈底界的形态

各种方法定义的软流圈,因其概念不同,所获得的岩石圈底界也不同。本书采用 Ringwood (1975) 与 Condie (1982) 定义的软流圈概念,它是一个容易蠕变变形的薄弱层,向下可延伸到约 700 km,它们常分为上、下两部分,上部软流圈大致与地震波低速层相吻合。低速层以低的地震波速度、低 Q 值和高的电导率为特征,Condie 认为只有初始熔融才能满足解释低速层的三个主要特征。同时,低速层突变的边界,以及低速层位于浅部时所出现的高地表热流也支持了初始熔融这一观点。玄武岩岩浆起源于上地幔的局部熔融,原生(primary)玄武岩岩浆起源的深度为软流圈顶界的确定提供了岩石学约束(邓晋福等,1985; Deng et al., 1984)。这样,岩石学与地震波速定义的上部软流圈的概念是一致的,它们的联合可为岩石圈底界提出更好的约束。

从天然地震提出的中国大陆上地幔 V_P 结构(宋仲和等,1986)(图 2—1)来看,岩石圈与软流圈界面的深度如下:东部大陆裂谷带(华北平原、黄海、东海)为 60~68 km,青藏挤压造

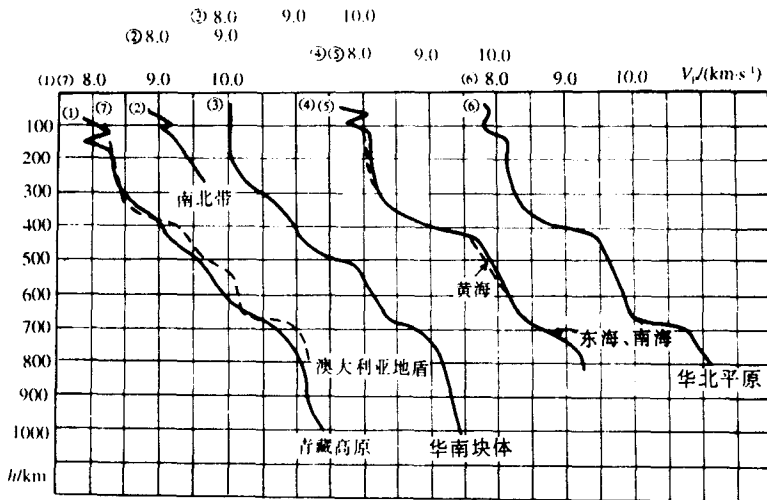


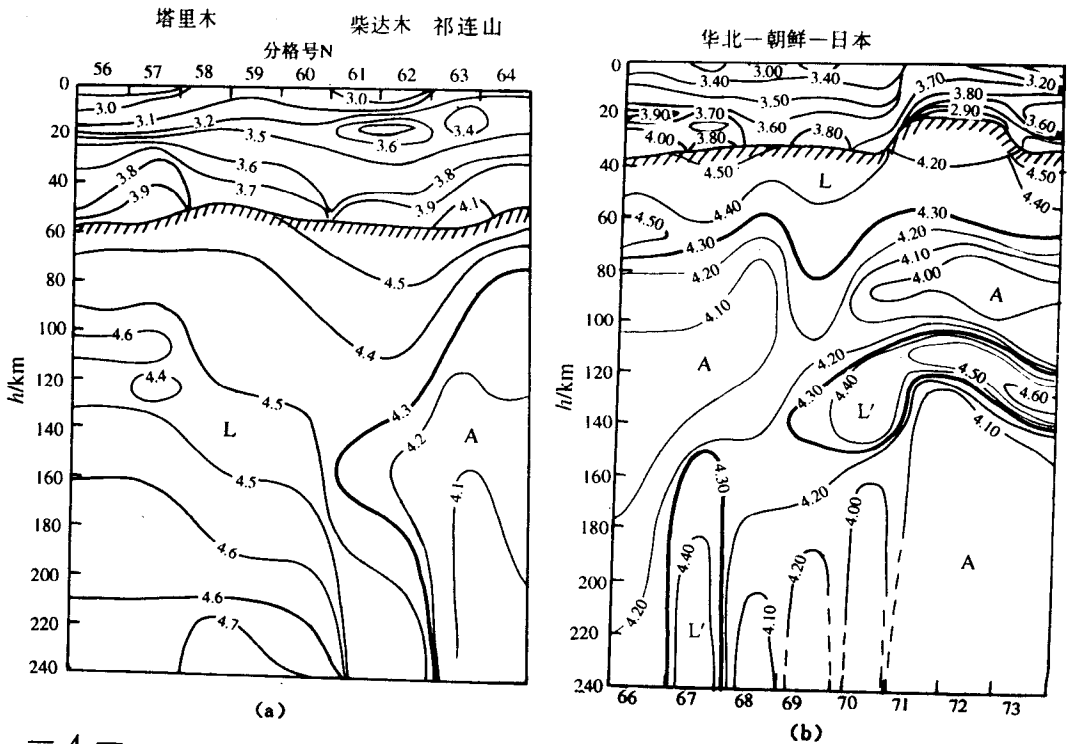
图 2—1 中国大陆上地幔 V_P 结构

Fig. 2—1 Upper mantle V_P structure of China continent

(据宋仲和等, 1986)

山带为 118 km,造山带边缘(南北带)为 104 km,而扬子大陆(相当于图 2—1 中的华南块体)则未见低速层出现,类似澳大利亚克拉通,说明扬子大陆具克拉通性质。用人工爆炸地震获得的 V_p 测得华北邢台软流圈埋深为 83 km(滕吉文等,1982),塔里木东端直达 460 km 深度还未见 V_p 低速层(8301 工程协作组,1988)。大地电磁测深获得华北平原下软流圈埋深 60~80 km(刘国栋,1985),鄂尔多斯北缘到阴山下为 100~130 km(马杏垣等,1991),扬子大陆的湘中地区可深达 320 km(饶家荣,1993),青藏高原南部为 120~140 km,北部 160~200 km(吴功建等,1989),柴达木-祁连山-北山为 140~160 km(格尔木-额济纳旗地学断面专题报告,1994),南北带为 80 km,向东、西两侧快速加深到大于 100 km(马杏垣,1987)。地幔 V_s 结构推定的软流圈埋深如下:东部裂谷带为 60~80 km,扬子大陆无低速层(宋仲和等,1992),塔里木无低速层,柴达木 116~121 km,祁连山 74 km(安昌强等,1993)或 92 km(庄真等,1992),青藏高原 120~130 km,南北带 67~74 km(庄真等,1992),三江-巴颜喀拉-柴达木为 90~110 km(周兵等,1991)。美国康奈尔大学 Beghoul 等[地质矿产信息研究成果(35),1984,p. 29~43]用两台站(均位于研究区内)法,利用 P 波求出西藏岩石圈厚 205~250 km。

新生代玄武岩岩浆起源的深度,东部大陆裂谷带主要集中于 60~80 km(邓晋福等,1990a),青藏高原北缘为 80~130 km(赖绍聪,1994,博士学位论文),它与上述地球物理测定的结果大致符合,这表明,上部软流圈有初始熔融发生。由上,我们可以获得中国大陆岩石圈底界的合理平均值为:东部裂谷带约 70 km,中部克拉通块体群大于 200 km,青藏挤压造山带约 150 km,其边缘约 100 km。中国东部岩浆起源限定的软流圈顶界大致与宋仲和等的 $V_s=4.30$ km/s 符合,如果以此为标准,那么我们可以把中国大陆各部分上地幔 V_s 结构连接起来,获得几个剖面上岩石圈底界的形态(图 2—2)。由图 2—2 可以形象地看



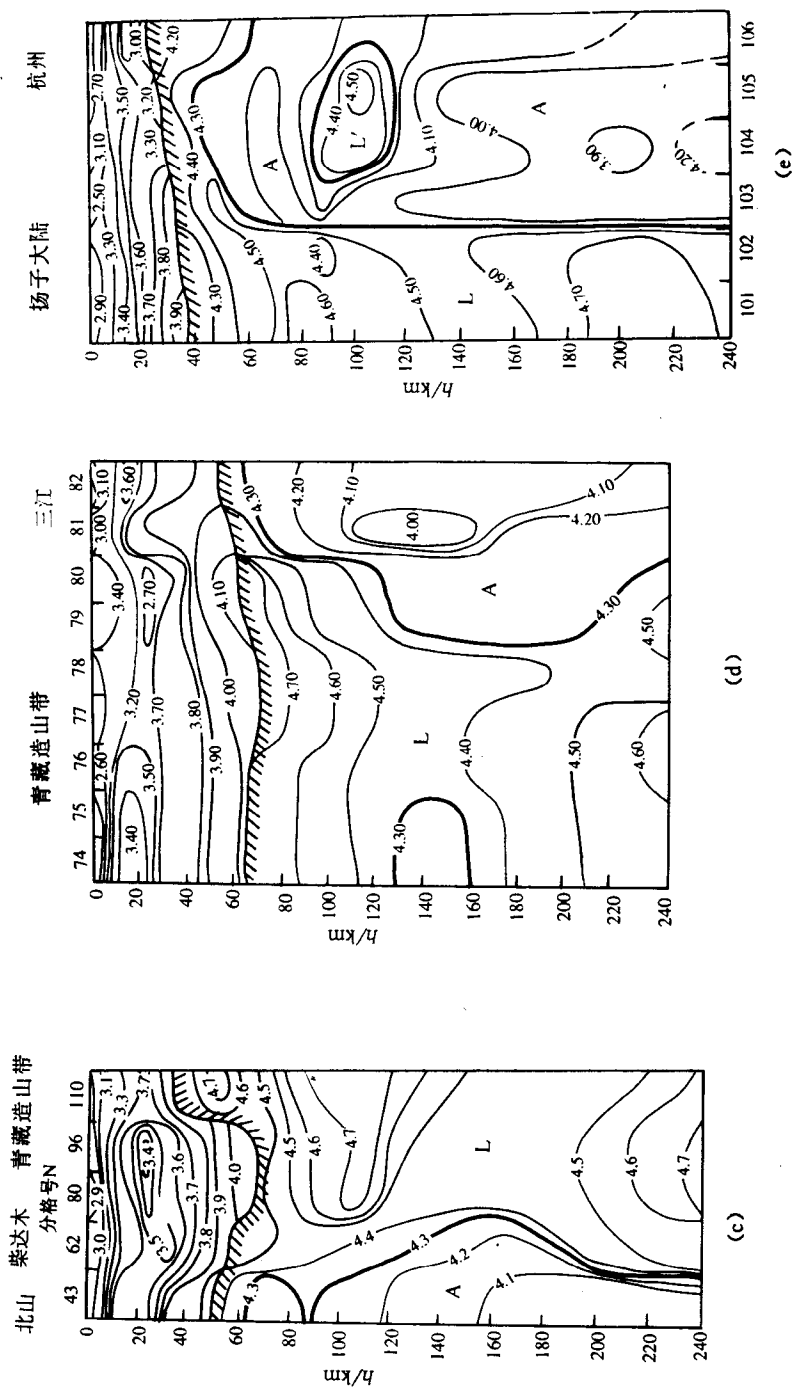


图 2-2 中国大陆岩石圈底界形态示意图
 Fig. 2-2 Lithospheric base contour of China continent
 据上地幔 V_s 结构绘制, 资料来源: 宋仲和等 (1991, 1992), 安昌强等 (1993)
 A—软流圈; L—岩石圈; L'—岩石圈残留碎块