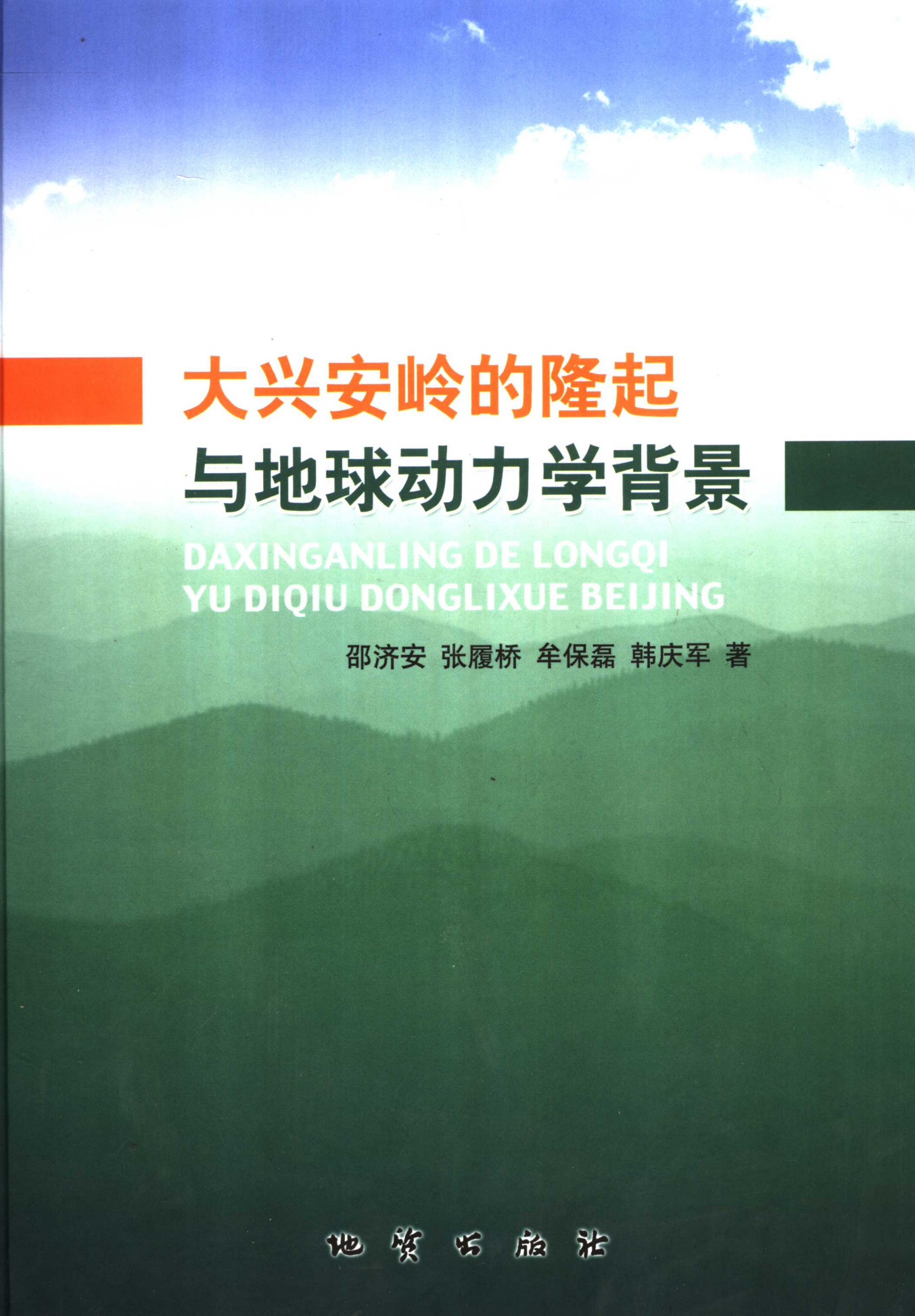




大兴安岭的隆起 与地球动力学背景

DAXINGANLING DE LONGQI
YU DIQIU DONGLIXUE BEIJING

邵济安 张履桥 牟保磊 韩庆军 著

地质出版社

内 容 提 要

本书通过构造、岩石化学、同位素地质等多方面的资料,探讨了在软流圈(层)物质上涌导致的底侵作用背景下大兴安岭的形成过程,建立了一个大陆岩石圈内部伸展背景下的“伸展造山”构造演化模式。

本书可供从事构造地质、地球化学研究、石油地质的工作人员及相关院校师生阅读参考。

图书在版编目(CIP)数据

大兴安岭的隆起与地球动力学背景/邵济安等著. —北京:地质出版社, 2007. 8

ISBN 978 - 7 - 116 - 05399 - 1

I. 大... II. 邵... III. 大兴安岭 - 造山运动 - 研究
IV. P562. 35

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2007)第 136023 号

责任编辑:孙亚芸

责任校对:郑淑艳

出版发行:地质出版社

社址邮编:北京海淀区学院路 31 号, 100083

咨询电话:(010)82324508(邮购部);(010)82324569(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 $\frac{1}{16}$

印 张:16.50 彩版:4 面

字 数:400 千字

印 数:1—800 册

版 次:2007 年 8 月北京第 1 版·第 1 次印刷

审图号:GS(2007)1283 号

定 价:48.00 元

书 号:ISBN 978 - 7 - 116 - 05399 - 1

(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

造山带是组成大陆地壳的两类端员单位之一，代表当时的构造活动带。造山带在空间上呈线形展布，由活跃的沉积、岩浆活动和构造变形、变质作用表现出来的厚大而相对连续的地质记录及其快速变化历来受到人们的关注，它们是破解区域构造性质及其演化历史的最佳切入点。我们所熟悉的槽-台学说和板块构造理论也是从造山带和克拉通的比较研究中概括、提炼出来的。

20 世纪 80 年代以前全球地学界关注的主要是像阿尔卑斯-喜马拉雅和我国祁连、秦岭那样的挤压型大陆边缘造山带。我们有关洋-陆相互作用、不同世代特提斯洋演化以及罗迪尼亚、潘基亚等超大陆旋回的认识都来源于此。90 年代后期随着地球物理测深技术的发展和广泛应用，Wernicke B. P. (1996) 根据北美海拔近 3000m、最高峰达 4419m 的塞拉内华达山脉不存在山根，下伏地壳厚度和周围地区相仿，P 波速度低和上地幔电导率增大以及火山岩幔源捕虏体的温压资料，提出它属于普拉特型伸展造山带。他认为大陆山脉在这里不是由艾利型地壳增厚、出现山根、因密度降低而均衡上升支撑的，而是通过上地幔密度的侧向变化保持的。这些成果不仅拓宽了对造山带成因类型的认识，还使研究深度涉及壳、幔相互作用范畴。

地震资料和计算机技术相结合产生的地震层析图像是研究手段的一大突破，它证实消减的岩石圈板片已突破 660km 处的上、下地幔界面甚至到达 2900km 深处的核-幔边界附近。Rob Van der Voo 等 (1999) 根据对从兴都库什经西藏到东南亚不同深度地幔层析图像的分析，发现在 1000 ~ 2300km 深度间发育一系列高 P 波速带。这些高速异常形成 3 条大致平行的 NWW-SEE 向条带。其中南带的异常北倾，有些仍明显依附在上覆印度板块岩石圈上。向北的巴基斯坦北部，板片显示出翻转，其更深部分变为南倾并与上部断离。作者们把南面两条高速异常解释为白垩纪和古近纪初新特提斯洋消减大洋岩石圈的残余，北侧的深地幔带可能代表古特提斯最后封闭时的残体。邓晋福等 (2004) 提出上地壳的构造是对深部岩石圈-软流圈活动的响应和地表表现。可以看出，对区域构造的研究现已进入通过包括“岩石学探针”在内的各种研究手段对构造事件精确定年，确定源区深度和由此造成的对当地温压、黏度及流变性质的影响，以及由此产生的后继应变等前所未有的高度。

邵济安教授自 20 世纪 80 年代初起在北方已有多年研究工作实践, 涉及多方面领域并发表了《中朝板块北缘中段地壳演化》(1991)、《中国东北地体与东北亚大陆边缘演化》(1995)、《辽西中生代软流圈底辟体的脉动式上涌》(2006) 等多篇论著。《大兴安岭的隆起与地球动力学背景》的出版不仅填补了我国对陆内伸展造山带研究的空白, 而且书中应用地震层析等新技术手段对造山作用的深部过程作了较为完整的深入探讨, 开启了一个新的认识时期, 值得祝贺。

与我国正处于巨大的历史变革时期一样, 地球科学也站在一个新的起点上, 展现出前所未有的发展和突破机遇。希望本书的出版能对进一步深化造山带的研究作出贡献。

馬文璞

2007 年 3 月

前 言

回眸过去的一个世纪，地球科学取得了长足的进展，地学理论经历了三次大的飞跃：大陆漂移、板块构造、全球构造。由于对岩石圈深部结构的不断揭示，人们的视线从熟悉的地壳延拓到岩石圈、软流圈，甚至是核幔边界，展示在人们面前的是一个整体的地球。本书尝试从整体的地球观角度，探讨目前地学界广为关注的大陆岩石圈内部造山问题，选择的研究对象是大兴安岭。大兴安岭以强烈的构造岩浆活动为特色，岩浆成因又具有典型的壳幔混熔的特征。此外，对称伸展类型的变质核杂岩以及与相邻的二连、松辽盆地构成的盆岭结构都显示了山脉隆升过程中伸展机制的重要性。本书将探讨在软流圈（层）物质上涌导致的底侵作用背景下，伴随陆壳的垂向增生与减薄过程形成的大兴安岭，尝试建立一个大陆岩石圈内部伸展背景下成山的模式，或者简称为“伸展造山”的构造演化模式。

与国内其他造山带（如从早古生代以来经历了多次夷平、再造的天山，早中生代经过强烈折返隆升的秦岭，新生代碰撞造山的喜马拉雅山）相比，中国东部晚中生代热隆成山的大兴安岭具有独特的色彩；与美国西部以伸展造山为特色的内华达山脉相比，大兴安岭以其陆内造山带的特点区别之。因此可以相信，对大兴安岭中南段的研究将从造山带分布的时空角度、造山作用类型等多方面丰富人们对中国造山带的认识。

本书是国家自然科学基金委员会资助的多个项目的研究成果，作者们在参与和完成了国家自然科学基金重大项目“兴蒙—北疆及其邻区古生代岩石圈的形成和演化”（9487001）之后，持续完成了两个面上基金项目“大兴安岭中南段中生代造山的特征”（4967156，1995～1997年）和“内蒙古东部中生代构造格局转换过程中的深部作用”（4947143，1997～1999年），结合近年来一些相关项目的进一步研究，对大兴安岭的形成和演化有了一个比较系统的认识，希望这些偏于基础理论的研究成果有助于对该区资源与环境的预测。

全书共分十章，第一、二、三、五、十章由邵济安执笔，第四章由韩庆军执笔，第六、七章由牟保磊执笔，第八、九章由张履桥执笔。全书由邵济安统一定稿。

在本项目进行过程中有许多同志参加了合作研究，他们是参与了两项自

然科学基金项目的内蒙古地质局的赵国龙，中国石油天然气总公司的王冰、杨德银、李明杰，内蒙古第十地质矿产勘查开发院的郑广瑞、朱慧忠、王忠、贾文、何会文、王硕等，沈阳地质矿产研究所的吴家弘、李之彤。此外中国科学院地质与地球物理研究所的陈辉、乔广生、桑海清，中国科学院高能物理研究所的韩松、贾秀玲等都给予了极大的帮助，对他们的支持与贡献，在此深表感谢。

最后特别要提到的是，本课题最初的预研究得到了中国科学院地质与地球物理研究所岩石圈构造演化开放实验室的立项支持，并召开了“大兴安岭伸展造山构造研讨会”，会上、会下得到了钟大赉、马福臣、刘福田、臧绍先、何国琦、马文璞、李思田、路凤香、周新华、袁学诚、谢鸿森等教授的启发和帮助，在此也一并表示感谢。

作 者
2007 年 3 月

目 次

序 前 言

第一章 绪 论	(1)
第一节 区域研究回顾	(1)
一、大兴安岭地质研究简史	(1)
二、对大兴安岭构造成因的认识	(4)
第二节 与大兴安岭研究有关的科学问题	(5)
第三节 研究思路	(6)
第二章 岩石圈圈层结构	(8)
第一节 浅表层的结构特征	(8)
一、大面积火成岩出露	(9)
二、地热异常及相关的地幔去气作用	(9)
三、中生代的盆岭构造格局	(10)
四、活跃的新构造运动	(11)
五、丰富的多金属矿产	(11)
第二节 壳幔结构特征	(12)
第三节 软流圈(层)上涌体	(15)
第四节 东亚陆缘的层析图像特征及其地质意义	(15)
第三章 大兴安岭隆升前的地壳演化	(18)
第一节 前中生代的地层组成	(18)
一、太古宇	(18)
二、元古宇	(19)
三、古生界	(19)
第二节 前中生代板块软碰撞、弱造山的历史	(21)
一、古洋盆的性质和消亡的特征	(21)
二、晚古生代造山作用的特征	(24)
第三节 上叠型的构造演化阶段	(24)
一、裂陷槽的演化	(24)
二、上叠型构造及其研究意义	(28)

第四章 早中生代堆晶岩和麻粒岩的发现	(30)
第一节 早中生代堆晶岩捕虏体的发现	(30)
一、堆晶岩捕虏体的野外地质特征	(30)
二、堆晶岩捕虏体的岩石学特征	(32)
三、堆晶岩捕虏体矿物学特征	(34)
四、寄主闪长岩的岩石学特征	(41)
第二节 堆晶岩捕虏体及其寄主岩的地球化学特征	(42)
一、主量元素	(42)
二、稀土元素	(49)
三、微量元素	(54)
四、Sr - Nd 同位素	(60)
第三节 堆晶岩捕虏体及寄主岩的同位素年代学	(62)
一、Rb - Sr 等时线年龄	(62)
二、 $^{40}\text{Ar} - ^{39}\text{Ar}$ 年龄	(63)
三、堆晶岩捕虏体和寄主闪长岩的 K - Ar 年龄	(65)
第四节 堆晶岩形成条件	(66)
第五节 麻粒岩捕虏体的发现及其意义	(67)
一、岩石学特征	(67)
二、矿物化学特征及变质作用温压条件	(68)
三、变质作用温压条件讨论	(73)
四、麻粒岩捕虏体的元素地球化学特征及成因探讨	(74)
五、麻粒岩捕虏体的同位素年代学	(78)
六、麻粒岩的成因讨论及地质意义	(79)
第六节 早中生代深部地壳结构的重建	(83)
一、样品及实验技术	(83)
二、实验结果	(84)
三、早中生代壳幔过渡带的重建及其地质意义的讨论	(89)
第五章 中生代岩浆活动及其构造意义	(91)
第一节 火成岩的时空分布与构造背景	(91)
一、火成岩的时段分布	(91)
二、火成岩的空间分布规律及其构造背景	(92)
第二节 火山岩的岩石组成和构造环境判别	(96)
一、火山岩主量元素分析结果及其特征	(96)
二、火山岩的微量元素组成与特征	(101)
三、火山岩岩筒	(105)
第三节 花岗质岩石组成和构造环境判别	(109)
一、花岗质岩石主量元素分析结果及其特征	(110)
二、花岗质岩石的微量元素组成与特征	(113)

三、关于花岗岩形成机制的讨论	(116)
第四节 火成岩 Sr - Nd 同位素地球化学特征	(122)
一、火成岩 Sr - Nd 同位素地球化学特征	(122)
二、地壳和地幔交代造成的不均一性对花岗岩组成的影响	(124)
第五节 关于大兴安岭火成岩岩浆演化的讨论	(125)
第六章 氧同位素地球化学及同位素年代学	(127)
第一节 氧同位素地球化学	(127)
一、大兴安岭中生代侵入岩的氧同位素组成特征	(127)
二、低 ¹⁸ O 侵入岩体成因讨论	(132)
三、低 $\delta^{18}\text{O}$ 花岗岩浆成因讨论	(136)
第二节 同位素年代学的讨论	(140)
一、同位素年龄测定	(140)
二、对火山岩全岩 K - Ar 稀释法年龄数据的讨论	(149)
三、关于大兴安岭地区早中生代热事件的确定	(149)
第七章 成矿物质深部来源的证据	(153)
第一节 大兴安岭中南段多金属矿床概述	(153)
一、大兴安岭中南段多金属矿床时空分布	(153)
二、主要成矿系统类型	(155)
第二节 大兴安岭中南段多金属矿床的特征	(156)
一、锡、钨矿床的特征	(156)
二、铅、锌矿床的特征	(158)
三、巴尔哲超大型稀土稀有金属矿床特征	(159)
第三节 成矿物质的来源	(161)
一、同位素示踪	(161)
二、微量元素证据	(167)
第四节 深部流体与成矿作用	(167)
一、关于流体作用的讨论	(167)
二、流体作用的直接证据	(168)
三、蚀变交代作用成矿的典型	(169)
四、成矿流体来源	(169)
五、小结	(170)
第八章 伸展变形和变质	(171)
第一节 基性岩墙群	(171)
一、基性岩墙群的地质特征	(171)
二、岩墙群的同位素年龄测定	(173)
三、岩墙群的岩石学和地球化学特征	(174)

四、辉绿岩岩墙群形成的温、压条件和构造环境	(182)
五、岩墙群的演化	(184)
第二节 伸展变形和变质核杂岩	(184)
一、变质核杂岩	(184)
二、变质核杂岩的隆升时间	(194)
三、变质核杂岩隆升机制的讨论	(194)
第三节 伸展变质作用特征	(195)
一、基底剥离断层面之下的变质作用	(195)
二、中间层的变质作用	(196)
三、热接触变质作用	(196)
第九章 伸展盆地的构造演化	(197)
第一节 中生代地层组成	(197)
一、侏罗系	(197)
二、白垩系	(199)
第二节 早中生代断陷煤盆地	(200)
一、二连盆地群	(200)
二、大兴安岭山区盆地群	(201)
第三节 晚侏罗世火山岩盆地的形成	(202)
一、晚侏罗世火山岩盆地的分布	(202)
二、晚侏罗世火山岩盆地的形成条件	(203)
第四节 早白垩世含油气盆地及其热演化特征	(204)
一、早白垩世含油气盆地的分布及充填特征	(204)
二、早白垩世形成的盆-山耦合关系	(208)
三、盆地的伸展构造系统及其伸展量、拉伸速率估算	(209)
四、早白垩世含油气盆地热演化特征	(212)
五、早白垩世盆地的演化	(216)
第五节 与美国盆岭省的对比	(216)
一、构造演化的时空背景	(216)
二、控制盆地边界的断裂系统和盆地的构造样式	(217)
三、盆地伸展量、拉伸速率	(217)
四、构造热背景	(218)
五、变形机制	(218)
第十章 大兴安岭造山作用的讨论	(219)
第一节 关于造山作用概念的讨论	(219)
一、“造山带”和“造山作用”概念沿革	(219)
二、如何理解造山作用的前提	(221)
第二节 陆内造山带	(222)

一、关于陆内造山带的讨论	(222)
二、大兴安岭——陆内造山带的一例	(223)
三、大兴安岭的形成与太平洋板块的俯冲作用是否有关	(223)
四、底侵作用	(226)
五、拆沉（或拆离）作用	(229)
第三节 关于大兴安岭造山作用的讨论	(230)
一、大兴安岭造山带构造特征	(230)
二、伸展造山	(231)
三、大兴安岭与美国盆岭省的伸展造山模式对比	(232)
四、大兴安岭的隆升历史和动力学模式	(233)
参考文献	(234)
图 版	(251)

第一章 绪 论

第一节 区域研究回顾

东亚大陆边缘火山-深成岩带是地球上最壮观的地质景观之一,全长超过 5000km,由晚中生代中酸性火山-深成岩组成,大兴安岭是其中的一段,75%的面积为火山-深成岩所覆盖,它是中国东北大火成岩省的一部分,也是有很大潜在远景的多金属成矿带。大兴安岭全长 1400km,宽 150~300km(图 1-1),海拔 1000~1300m,最高峰黄岗梁 2034m,它是松辽-开鲁盆地与海拉尔-二连含油气盆地的分水岭。大兴安岭与太行山相连,在地貌-地形上构成中国东部一道天然屏障(图版 I-1,引自牛耀龄,2005),它分割了东北平原、华北平原与内蒙古高原和山西、陕西黄土高原,以其醒目的北北东走向横跨在古亚洲构造域不同构造单元之上,是组成中国东部构造格架的一部分。

通常地理上划分的大兴安岭北起漠河,南至西拉木伦河南侧。但是从中生代地层组成、演化历史以及深部构造来看,构造意义上的大兴安岭可以延续到内蒙古东南赤峰以南的喀喇沁旗地区,叠加在华北克拉通的古老基底之上,其南端直至黑里河大断裂(图 1-2)。为方便起见,将围场-赤峰-开原断裂带以北,霍林郭勒-科尔沁右翼中旗一线以南,作为大兴安岭中段;赤峰以南,隆化-宁城一线以北称为南段。多伦-围场-赤峰-开原断裂带以北,古生代曾经是近东西向展布的古亚洲洋的一部分,经历过陆壳裂解,洋壳生成、发育和消亡,最后成为亚洲大陆的一部分。自中生代开始,该区的地质历史演化进入了一个崭新的阶段。由于地幔的上隆、地壳的伸展作用,及强烈的板内火山喷发和岩浆侵入活动,形成了举世瞩目的北北东走向的中生代岩浆构造带,这里蕴藏着丰富的矿产资源,是我国重要的矿产资源基地之一。

一、大兴安岭地质研究简史

1. 区域地质和资源调查

大兴安岭全面详细的研究是建立在区域地质调查基础上的。从 1957 年开始到 60 年代中期内蒙古完成了 1:100 万区域地质调查;从 1956 年以来,大兴安岭除了呼伦贝尔盟境内少数沼泽、原始森林覆盖区外,大部分地区完成了 1:20 万区域地质调查;近年来大兴安岭中南段开展了部分 1:5 万的地质填图,并开始了新一轮的 1:25 万地质调查。有计划的大面积矿产普查工作始于 60 年代初期,工作主要集中于兴安盟以南地区,目前发现有特大型钼-稀土矿,大型锡铁、铜、铅、锌、银矿和中型铜、铅、锌矿多处。因此,80 年代以来大量研究工作是围绕着成矿规律和隐伏矿体的探索展开的(赵一鸣等,1997),有些火山岩专著也大多为适应找矿或油气资源目的服务(赵国龙等,1989;陈义贤等,

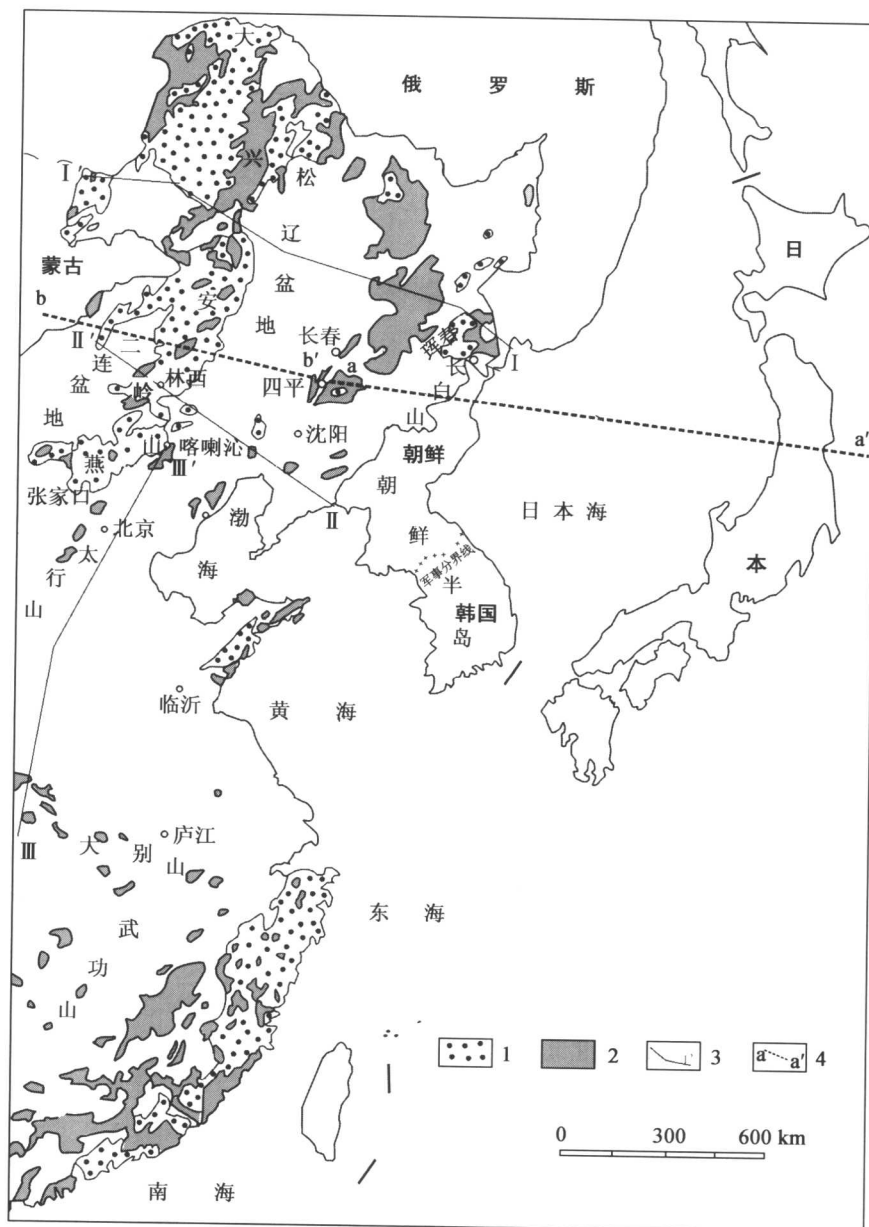


图 1-1 中国东部中生代火山-深成岩带

1—中生代火山岩；2—中生代侵入岩；3—通过本研究区的三条地学断面（I—I'为满洲里-绥芬河地学断面，II-II'为内蒙古东乌珠穆沁旗至辽东东沟地学断面，III-III'为湖北随州至内蒙古喀喇沁旗地学断面）；
4—切过大兴安岭的层析成像剖面位置（详见第二章第三节）

台湾省资料缺

1997)。这些工作为大兴安岭更深入的研究奠定了坚实基础。

2. 板块构造研究

20 世纪 80 年代初板块构造学说在我国盛行以来，中国北方开展了两轮板块构造的大范围对比研究：1982~1987 年由原地质部地质科学院李春昱教授协调的“七五”重点项

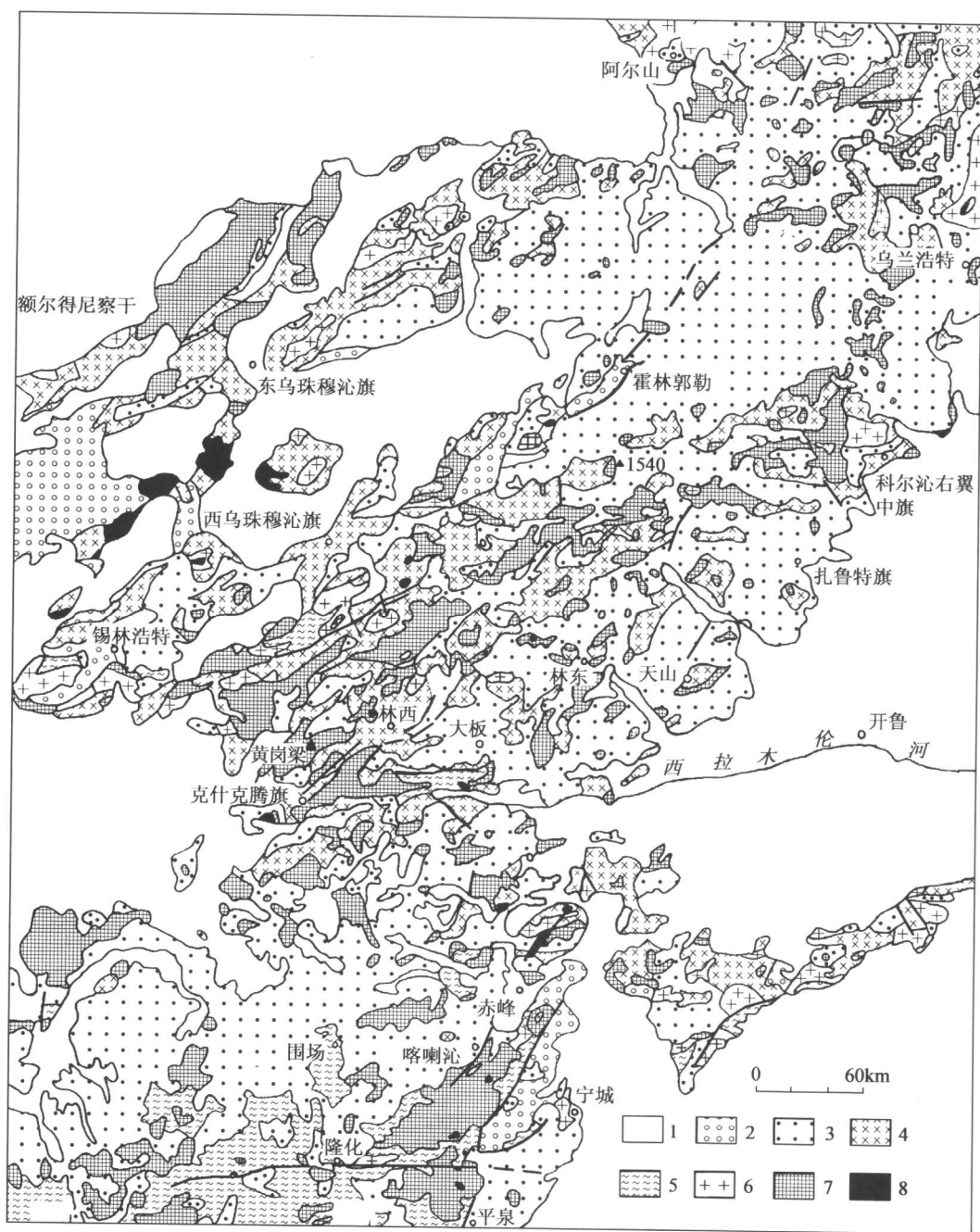


图 1-2 大兴安岭地质简图

1—新生界；2—白垩系；3—侏罗系；4—古生界；5—前寒武系；6—古生代花岗岩；
7—中生代花岗岩；8—基性—超基性岩（个别堆晶岩放大表示）

目“中国北方板块构造与成矿作用”和 1987 ~ 1992 年由北京大学何国琦教授负责的国家自然科学基金重大项目“中国兴蒙—北疆及邻区古生代岩石圈的形成和演化”，参加者来自北方 7 个省的科研、教学、生产单位，在这两轮合作研究中，首次采用了板块构造观点

对古亚洲域显生宙岩石圈的演化历史进行了探讨。认识到中亚-蒙古-鄂霍次克造山带是古亚洲洋消亡后, 板块碰撞造山的产物。从阿拉善以北的内蒙古草原向东延伸的兴蒙造山带是其中的一段, 而晚中生代形成的大兴安岭则以北北东走向斜交并部分叠加其上。其地质演化是在新构造格局控制下发展的, 显示了大陆板内造山的新生性特点, 但是旧格局的影响显然不可忽视, 因此上述两个侧重古生代演化历史的研究项目对认识大兴安岭中生代的造山特征无疑十分重要。这一时期, 有相当部分学者将中生代的大兴安岭岩浆作用直接与太平洋板块俯冲作用联系起来 (详见第十章)。

3. 地学断面研究

20 世纪 80 年代后半期国际岩石圈委员会发起全球地学断面计划, 在全球各关键部位编制了 170 多条地学大断面以便进行全球性对比, 服务于矿产资源预测和减轻自然灾害。由中国岩石圈委员会组织编制的 11 条地学断面, 其中有 3 条涉及本研究区, 最主要的一条是内蒙古东乌珠穆沁旗至辽宁东沟地学断面, 它横穿大兴安岭中南段; 另一条是满洲里-绥芬河地学断面, 它横穿大兴安岭北段; 第三条是湖北随州至内蒙古喀喇沁旗地学断面, 它涉及了大兴安岭南段的研究区 (图 1-1)。

这些地学断面综合了长 1000km、宽约 100km 走廊带的资料, 利用地质、地球物理和地球化学等多学科手段对岩石圈结构、构造、动力学状态及演化过程进行了研究, 揭示了地壳和上地幔的组成和结构、构造, 为认识大兴安岭中生代的构造演化提供了重要的背景资料。

4. 造山作用研究

近年来人们从中生代大兴安岭的岩浆作用和成矿作用入手, 采用精细手段测定了大量同位素年龄 (刘敦一等, 2003; 石玉若等, 2005; 葛文春等, 2005; Wang Fei et al., 2006), 并且从地球化学角度逐渐深入到大造山背景的研究 (郭锋等, 2001), 开始探讨中生代造山过程的理论研究, 同时还有人从中生代沉积盆地的特征入手, 探讨板块构造模型 (Meng, 2003)。应当承认, 上述不同学科的研究对深入研究大兴安岭的演化无疑是有重要贡献的, 但是围绕造山作用的构造理论研究还十分薄弱, 有许多问题还值得深入研究。

二、对大兴安岭构造成因的认识

由于特殊的地理位置和构造面貌, 大兴安岭的研究引起人们极大关注。早在 1939 年李四光在《中国地质学》一书中就将大兴安岭纳入晚中生代形成的新华夏系第二隆起带, 并且强调了新华夏系是东亚滨太平洋地带一种特殊的构造现象 (Lee, 1939; 李四光, 1973), 将它看作是亚洲大陆相对向南、太平洋相对向北剪切作用的产物, 这种观点后来被太平洋板块运动轨迹所证实。鲜为人知的是, 李四光在《中国地质学》一书中还特别提到了大兴安岭林西地区中生代的岩墙群 (Lee, 1939), 本书将在后面章节中详细阐述。黄汲清等 (1981) 在《中国大地构造及其演化》一书中将中生代构造-岩浆活动强烈的大兴安岭划入滨太平洋构造域外带, 认为是太平洋板块的俯冲使中国大陆地壳东缘转化为类似安第斯式的太平洋型活动大陆边缘, 直至晚燕山期 (K_1 末— K_2 早期) 大陆边缘活动带才由挤压为主转化为引张为主。以上是早期涉及大兴安岭中生代构造演化背景两种主

要观点, 尽管二者对大兴安岭的形成机制有不同认识, 前者侧重洋-陆相对剪切运动引起的挤压, 后者侧重板块会聚引起的挤压, 但两者共同之处是都认为大兴安岭是水平挤压体制下的产物。

近年来, 大兴安岭中生代的岩浆演化和独特的地球化学特征引起人们的兴趣, 对将大兴安岭乃至东北地区中生代的岩浆作用直接与太平洋板块或伊泽奈崎-库拉 (Izanagi-Kula) 板块俯冲相联系的观点提出质疑, 认为与古亚洲洋消减带物质的活化有关 (周新华等, 2001), 也有人提出与地幔柱活动有关 (葛文春等, 1999), 本书作者也曾提出与导致陆壳垂向增生的壳幔相互作用有关 (邵济安等, 1999a)。这些观点的共同之处是将大兴安岭岩浆作用作为大陆内部的产物, 认为大兴安岭中生代崛起是大陆岩石圈板内的变形结果。

第二节 与大兴安岭研究有关的科学问题

近年来大陆岩石圈板块内部造山带研究成为国际地学前缘研究的热点, 本书正是从这一角度来探讨大兴安岭的形成和演化, 提出一种可能的陆内造山模式。围绕着这一主题遇到的科学问题主要有以下三个:

首先, 大兴安岭是造山带吗?

北北东走向的大兴安岭横跨在晚古生代晚期就逐渐稳定的兴蒙造山带之上, 在中生代隆起成山之前它未经历过“地槽沉降”、“强烈的挤压褶皱”阶段, 不属于传统的“褶皱回返造山”; 由于远离太平洋板块的俯冲带, 也不属于板块边缘的汇聚造山带。因此有人认为它与太行山一样充其量是一地貌意义上的隆起带, 不能作为造山带看待。在 2000 年召开的中国构造地质学发展回顾与展望学术讨论会上, 这一问题引起了争论。

其次, 伸展作用能造山吗?

从本书有关章节中看到的大兴安岭确实有许多地方不同于经典的挤压造山带, 例如变形、变质、岩浆活动以及不具备巨厚的磨拉石建造等特征, 反过来在地壳深部结构和对称的盆岭结构等方面具有明显的伸展构造特征。大兴安岭为什么不同于经典的挤压造山带? 它们具备造山作用的前提吗? 可以看作陆内造山的产物吗? 一个重要的概念问题是: 伸展作用能造山吗?

最后, 不可回避的问题是大兴安岭的形成与太平洋板块俯冲有直接关系吗?

位于东亚大陆边缘北北东走向的大兴安岭, 一直被认为是滨 (环) 太平洋构造岩浆岩带的一段。20 世纪 80 年代以来有不少人把大兴安岭中生代的中酸性钙碱系列火山岩归属为岛弧或活动陆缘型火山岩。之后有人明确提出包括大兴安岭在内的滨太平洋造山岩石圈根的去根作用与大洋板块向中国大陆下的俯冲作用有成生联系 (邓晋福等, 1996)。近年来这种观点又再次被提出 (Zhao Dapeng, 2004)。还有人认为梯度带的形成乃至中国东部的岩石圈减薄都与太平洋板片俯冲引起的软流圈东移有关 (牛耀龄, 2005)。因此大兴安岭与太平洋板块俯冲有无直接联系的问题再度引起人们关注。

大兴安岭的构造研究必然会直面以上这些科学问题, 而且必将涉及许多基本概念探讨, 在绪论部分不拟展开详细论述, 在后续各章节讨论的基础上将于第十章重点讨论。

至于如何从前文提到的分割中国东-西的梯度带角度认识大兴安岭的形成或改造是值得进一步深入研究的科学问题,它需要多学科共同努力。

第三节 研究思路

近年来随着造山带演化历史的深入研究,发现山脉的形成和隆起不仅发生在板块俯冲或碰撞过程中,而且有相当部分是发生在大洋消亡、板块碰撞后的板内作用阶段。以往在探讨板内造山过程时主要着眼于岩石圈板块的相互作用,借助于板缘应力传递到板内薄弱带,引起地壳的增厚,通过进一步的推覆、褶皱而成山。但这种观点不足以解释近年来发现的某些山脉没有山根这一事实,如美国科迪勒拉山脉的盆岭省下部不但没有山根,反而是软流圈物质上隆的部位。因此正如许多学者提出的大陆岩石圈变形构造包括造山带构造,不仅是板块相互作用的结果,而且在许多情况下是岩石圈和软流圈内部不同圈层间相互作用的结果。

20世纪80年代初,美国学者提出“伸展造山”概念(Wolfgang, 1981; Wernicke, 1981)的创新意义在于首先突破了局限在地壳范围内研究造山带的传统,把岩石圈和软流圈等不同圈层结合起来,将地球看作一个统一体系,来探讨大陆动力学的问题;其次,它也突破了只有挤压才能造山的经典概念。Howell(1989)从岩石圈变形动力机制角度对造山带进行了分类,其中就包括有拉张作用和热隆作用形成的山脉。近年来对Nevada的研究强调了造山带热边界层在地幔物质作用下通过拆沉作用(delamination)不断减薄,或者基性山根发生重力失稳,形成滴水构造(drip structure)(曾令森等, 2006)。从岩石圈组成的角度看,大兴安岭与盆岭省伸展造山带有相似之处:它也有软流圈上涌和岩石圈减薄的背景;地壳厚度变化不大;缺乏明显山根,中地壳也有呈透镜状的低速层;大兴安岭与二连盆地和松辽盆地还组成了盆岭格局。同时,大兴安岭又有诸多独特之处,由于它漫长的演化历史、特殊的大地构造位置决定了它保留有更丰富的地质信息,大量的非弧火成岩属性的岩浆活动、强烈的底侵作用和表壳发育的断堑盆地和岩墙群,这一切都更多地显示了大陆板内造山带的特征。这些特征与Martin描述的非洲纳米比亚的Damara造山带(Martin, 1983)更为相近, Martin通过840~500Ma三个阶段演化历史的分析,建立了一个典型的“拆沉模式”,清楚地叙述了通过底侵作用和壳幔相互作用形成的岩浆对地壳垂向增生的贡献。这一模式对板内造山,特别是对本书要讨论的大兴安岭造山模式有着重要的参考价值。

综合国际上对大陆板内及伸展造山模式的研究,可以看到地球内部物质的垂向调整和热能的传递是造山作用的主因。本书将以兴蒙造山带中、南段为对象探讨中生代板内大陆动力学的核心问题之一,即软流层(包括岩石圈中软层——低阻高导层)活动对岩石圈板内山脉形成和高原隆起的影响;从地球不同圈层相互作用的角度研究造山过程,阐明伸展作用的表现及其在山脉形成过程中的作用,探讨现今地球物理场特征与晚中生代以来的岩石圈结构特征之间的关系。

基于上述研究目的,本书将“深部地质过程与浅部地质响应”作为主线,从早中生代发生在壳幔边界的底侵作用起始,终止于晚中生代变质核杂岩和盆岭格局的形成。以地