

# 兴蒙造山带

中部晚古生代晚期构造演化及  
旅游地学研究

李红英 李鹏举 柳长峰 著



科学出版社

# 兴蒙造山带中部晚古生代晚期 构造演化及旅游地学研究

李红英 李鹏举 柳长峰 著

科学出版社

北 京

## 内 容 简 介

本书通过对晚石炭世一早二叠世岩浆岩进行岩石学、年代学和岩石地球化学研究,以及对相关的沉积地层进行岩相古地理分析,认为晚石炭世研究区由挤压体制转变为伸展体制,发育一条伸展构造带。该伸展构造带在早二叠世发展达到顶峰。中二叠世,伸展构造带逐渐萎缩,水体开始变浅。晚二叠世,构造伸展带闭合。同时,本书总结出研究区晚古生代晚期构造演化发展的五个阶段及每个阶段的构造特征,并对研究区内由构造演化产生的地质遗迹景观成因进行解析,阐述构造演化在地质遗迹形成过程中所起的重要作用。

本书读者对象比较广泛,包括地质、地理、旅游等相关专业的院校师生,以及热爱地质旅游的游客等普通读者。

### 图书在版编目(CIP)数据

兴蒙造山带中部晚古生代晚期构造演化及旅游地学研究 / 李红英, 李鹏举, 柳长峰著. — 北京: 科学出版社, 2019.4

ISBN 978-7-03-060322-7

I. ①兴… II. ①李… ②李… ③柳… III. ①造山带-晚古生代-地质演化-研究-中国 ②造山带-旅游地学-研究-中国 IV. ①P535.2 ②K901.7

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2018) 第 297515 号

责任编辑: 张 展 叶苏苏 / 责任校对: 彭 映

责任印制: 罗 科 / 封面设计: 墨创文化

科学出版社出版

北京东黄城根北街16号

邮政编码: 100717

<http://www.sciencep.com>

成都锦瑞印刷有限责任公司印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

\*

2019年4月第 一 版 开本: B5 (720×1000)

2019年4月第一次印刷 印张: 12 3/4

字数: 257 000

定价: 98.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换)

本书由四川省教育厅科学研究基金项目(项目编号: 18SB0492)、四川省智慧旅游研究基地规划项目(项目编号: ZHYR18-02)、四川轻化工大学(原四川理工学院)人才引进项目(项目编号: 2017RCSK01)、国家自然科学基金项目(项目编号: 41702054)、四川省旅游业青年专家培养计划专项课题、自贡市社会科学重点研究基地——产业转型与创新研究中心项目(项目编号: 2017CYZX005)资助。

# 前 言

大地构造学(Tectonics)是研究岩石圈组成、结构、运动和演化的一门综合性构造地质学分支学科,其理论基础之一就是20世纪60年代在大陆漂移假说基础上提出来的板块构造学说。板块构造学说认为地球的岩石圈不是一个整体,而是被一些构造带分割成许多构造单元,这些构造单元叫作板块。全球的岩石圈可分为六大板块,这些板块漂浮在“软流层”之上,处于不断运动之中。这些板块的相对运动造就了地球表面的基本面貌:当两个板块逐渐分离时,在分离处出现新的裂谷和海洋,如东非大裂谷和大西洋;当两个板块相互靠拢并发生碰撞时,就会在碰撞合拢的地方挤压出高大险峻的山脉,如喜马拉雅山脉。虽然这些板块的运动速度很慢,但经过亿万年的演化,地球的海陆面貌也会发生翻天覆地的变化。板块构造学说已被广泛用于解释火山、海沟、岛弧、地震、矿产等的形成与分布,是20世纪地球科学领域的重大研究成果。

中亚造山带就是在古生代由西伯利亚板块与塔里木-华北板块以及中间的岛弧、弧后盆地、洋岛及微陆块不断拼合增生而形成的复合造山带,是世界闻名且研究程度较高的造山带之一,它的形成标志着古亚洲洋的消亡。而中亚造山带东段延伸至中国内蒙古东部的这一部分被称为兴蒙造山带。在过去的几年中,笔者有幸参加了多个与兴蒙造山带相关的重大项目,如国家自然科学基金项目“内蒙古中东部毛登-前进场早石炭世强过铝花岗岩带地球化学成因及其构造意义”(项目编号:41702054),中国地质调查局项目“兴蒙造山带中西段构造单元及边界性质”(项目编号:1212011220465)、“航空物探遥感综合勘查系统应用示范1:5万地质填图项目”(项目编号:12120114093901)、“内蒙古1:5万巴拉格尔农业分场等四幅区调”(项目编号:1212011120700)以及“内蒙古1:25万索伦幅、乌兰浩特幅区调”(项目编号:1212010881207)等。随着项目的顺利进行,笔者对研究区的基础地质有了更加深入的了解,对兴蒙造山带的构造演化也取得了一些自己的认识。虽然前人对兴蒙造山带构造演化的研究取得了丰富的成果,但多数学者仅从某一个方面或者以某一类地质体作为研究对象来讨论造山带的构造演化,鲜有学者将该时期的岩浆岩、岩石地层、古地磁、古生物等因素进行综合分析讨论。因此,笔者产生了写作本书的想法,选择出露于兴蒙造山带的石炭纪—二叠纪岩浆岩及同期沉积地层作为研究对象,通过野外地质填图、岩石学、年代学、地球化学、Hf同位素分析等方法对区域的岩浆岩进行研究,并结合研究区上石炭统一二叠系沉积地层所反映的沉积环境、古地磁及化石证据来讨论晚古生代以来兴蒙造山带

的构造演化。同时，考虑到旅游地学是地学界与社会大众联系的一个重要窗口，故将本书的一些结论应用于区域地质遗迹景观成因的解释，满足旅游者对地球科学知识 with 日俱增的求知欲望，也有利于实现本书的理论价值和实践价值。

全书共分为八章：第 1 章主要介绍兴蒙造山带的研究现状，存在问题及研究内容、方法及意义；第 2 章介绍研究区的地层、构造等区域地质概况；第 3 章对研究区前石炭纪的构造格局进行阐述；第 4 章是本书的重点，介绍研究区晚古生代晚期的岩相古地理情况，为厘清研究区晚古生代晚期的构造演化提供佐证；第 5 章也是本书的重点，通过对研究区晚古生代晚期的构造岩浆岩带进行分析，提供研究区构造环境变化的直接证据；第 6 章综合前几章的研究成果，提出研究区晚古生代晚期构造带的时空演化；第 7 章和第 8 章是本书研究内容的延伸部分，主要介绍研究区的地质遗迹概况以及成因，阐述构造演化在地质遗迹形成过程中所起的重要作用。

本书在撰写过程中，得到了四川轻化工大学何凡教授、李启宇教授、罗泊副教授以及中国地质大学(北京)周志广教授、柳长峰副研究员的大力支持，在此深表感谢。

# 目 录

|                     |    |
|---------------------|----|
| 第1章 绪论              | 1  |
| 1.1 中亚造山带及兴蒙造山带     | 1  |
| 1.2 旅游地学及其研究内容      | 2  |
| 1.3 研究现状及存在问题       | 4  |
| 1.3.1 研究现状          | 4  |
| 1.3.2 存在问题          | 6  |
| 1.4 研究内容、方法及意义      | 6  |
| 1.4.1 研究内容          | 6  |
| 1.4.2 研究方法          | 7  |
| 1.4.3 研究意义          | 9  |
| 第2章 区域地质概况          | 10 |
| 2.1 区域地层概况          | 10 |
| 2.2 前石炭纪岩浆岩         | 14 |
| 2.3 微陆块             | 16 |
| 2.4 区域构造            | 17 |
| 第3章 前石炭纪构造格局        | 21 |
| 3.1 索伦山-西拉木伦河缝合带的闭合 | 21 |
| 3.2 二连-贺根山缝合带的闭合    | 22 |
| 第4章 晚古生代晚期岩相古地理     | 24 |
| 4.1 石炭系             | 25 |
| 4.1.1 本巴图组          | 25 |
| 4.1.2 阿木山组          | 29 |
| 4.2 二叠系             | 40 |
| 4.2.1 寿山沟组          | 40 |
| 4.2.2 哲斯组           | 46 |
| 4.2.3 林西组           | 49 |
| 第5章 晚古生代晚期构造岩浆岩带    | 57 |
| 5.1 晚石炭世火山岩         | 58 |
| 5.2 晚石炭世侵入岩         | 64 |
| 5.2.1 苏尼特左旗地区花岗岩类   | 64 |

|                       |     |
|-----------------------|-----|
| 5.2.2 苏尼特右旗地区石炭纪英云闪长岩 | 71  |
| 5.3 早二叠世火山岩           | 75  |
| 5.3.1 西乌珠穆沁旗地区大石寨组火山岩 | 76  |
| 5.3.2 卫境地区早二叠世火山岩     | 86  |
| 5.4 早二叠世侵入岩           | 94  |
| 第6章 晚古生代晚期伸展构造带时空演化   | 99  |
| 6.1 伸展构造带的展布          | 99  |
| 6.1.1 沉积地层展布特征        | 99  |
| 6.1.2 构造岩浆岩带展布        | 100 |
| 6.1.3 蛇绿岩与构造混杂岩       | 101 |
| 6.2 伸展构造带发育程度         | 112 |
| 6.3 伸展构造带的形成机制        | 112 |
| 6.4 伸展构造带的演化发展        | 115 |
| 第7章 兴蒙造山带中部的地质遗迹      | 118 |
| 7.1 地质遗迹的类型           | 118 |
| 7.2 区域内地质遗迹的分布        | 121 |
| 7.3 研究区地质(矿山)公园简况     | 123 |
| 7.3.1 克什克腾地质公园        | 123 |
| 7.3.2 宁城地质公园          | 126 |
| 7.3.3 二连浩特地质公园        | 127 |
| 7.3.4 四子王地质公园         | 128 |
| 7.3.5 锡林郭勒草原火山地质公园    | 128 |
| 7.3.6 七锅山地质公园         | 129 |
| 7.3.7 翁牛特旗地质公园        | 129 |
| 7.3.8 黄花沟地质公园         | 130 |
| 7.3.9 乌兰哈达火山地质公园      | 130 |
| 7.3.10 苏尼特地质公园        | 131 |
| 7.3.11 大石架冰川石林地质公园    | 132 |
| 7.3.12 巴林石矿山公园        | 132 |
| 7.3.13 大井矿山公园         | 133 |
| 7.3.14 白云鄂博矿山公园       | 133 |
| 第8章 构造演化与地质遗迹成因       | 134 |
| 8.1 构造环境与地质遗迹         | 134 |
| 8.2 古生物化石遗迹           | 135 |
| 8.2.1 化石的成因           | 135 |
| 8.2.2 古生物化石的价值        | 137 |

|            |                    |     |
|------------|--------------------|-----|
| 8.2.3      | 上石炭统阿木山组中的化石 ..... | 139 |
| 8.2.4      | 中二叠统哲斯组中的化石 .....  | 141 |
| 8.2.5      | 古生物化石遗迹的保护 .....   | 141 |
| 8.3        | 花岗岩地质遗迹成因 .....    | 142 |
| 8.4        | 构造地质遗迹成因 .....     | 146 |
| 8.5        | 矿床地质遗迹成因 .....     | 147 |
| 8.5.1      | 主要控矿因素 .....       | 147 |
| 8.5.2      | 典型矿床成因 .....       | 148 |
| 参考文献 ..... |                    | 154 |
| 附录 .....   |                    | 174 |

# 第 1 章 绪 论

## 1.1 中亚造山带及兴蒙造山带

基于大陆漂移假说提出的板块构造学说是 20 世纪 60 年代地球科学领域取得的重要成果。板块构造学说不仅揭示了地球内部圈层构造、板块的水平运动与海底扩张现象之间的关系,而且提出了板块运动的驱动力是地幔柱,它通过与板块边界有关的岩浆活动将固体地球的内部活动与地球表面的演化过程联系起来,是当今地学领域占统治地位的理论指导(朱炳泉等, 2006)。岩石圈与软流圈沿着汇聚板块、离散板块及转换板块边界发生物质能量的交换会引起板块运动,板块运动是陆壳形成与演化的主要动力(Kusky et al., 1999; Santosh et al., 2013; Polat et al., 2015),也是引起构造变形、岩浆活动、沉积建造以及变质作用的主要原因(Sengör, 1990; Polat et al., 2015)。汇聚板块边缘通常形成巨型造山带(Sengör et al., 1993; Windley, 1995; Windley et al., 2007; Nance et al., 2014), Windley(1995)按照汇聚主体的不同将其分为碰撞型造山带和增生型(又名科迪勒拉)造山带。碰撞型造山带是由两个大陆拼合碰撞而成,涉及大陆之间大洋的闭合;增生型造山带则是由不同地体汇聚增生而成,包括岛弧、洋岛、海山及微陆块等,各地体以增生楔的形式聚合在一起。

中亚造山带作为世界闻名的造山带之一,是现今研究程度较高的造山带,它的形成与古亚洲洋的演化密切相关。西伯利亚板块与塔里木-华北板块之间的广大地区是古亚洲洋曾存在的区域(Zonenshain et al., 1990; Dobretsov et al., 1995; Windley et al., 2007)。有学者认为古亚洲洋于中新元古代的中一晚里菲期拉开(张旗等, 2003), 750 Ma~700 Ma 开始大规模扩张, 700 Ma~600 Ma 达到顶峰。Tang (1990)认同古亚洲洋在中寒武世之前就已经存在的观点。Zhu 等(2014)基于对蒙古国境内曼莱(Manlay)地区的蛇绿岩及基性侵入岩的锆石测年结果,也认为古亚洲洋于寒武纪之前已经打开,至少应早于 509 Ma。正是古亚洲洋的闭合形成了中亚造山带(Sengör et al., 1993; Jahn et al., 2000; Xiao et al., 2003, Windley et al., 2007; Jian et al., 2008; Yarmolyuk et al., 2014)。中亚造山带西起哈萨克斯坦,向东延伸至太平洋,北侧与西伯利亚板块/南蒙微陆块相邻,南侧与塔里木-华北板块相邻,总长超过 2500km,西部宽 1100km,向东逐渐缩窄至 500 km (Sengör et al., 1993; Windley et al., 1995; Jahn et al., 2000; Xiao et al., 2003; Windley et al., 2007; Jian et al., 2008; Wilde, 2015)。

关于中亚造山带的形成,学者们认为存在多种模型。Sengör 等(1993)将中亚造山带分为南部的满洲里造山带(Manchurides)和北部的阿尔泰造山带(Altaiids),并认为它是由单一弧(Kipchak)简单地不断增生的演化结果,波罗的板块和西伯利亚板块的差异旋转及后期被大规模走滑断层错断或“复制”成多条弧。Filippova 等(2001)认为奥陶纪末,从冈瓦纳大陆分离的小陆块及早期增生形成的岛弧将古亚洲洋分成四个洋盆,这四个洋盆在中一晚古生代先后闭合,形成多条重要的中亚造山带的主体山脉。Yakubchuk (2002)发展了 Sengör 的单一弧模型,认为中亚造山带是由多条弧或者弧后(back-arc)演化的结果。Windley 等(2007)修正了 Filippova 的多岛洋模式,应用洋脊-海沟相互作用来解释中亚造山带的形成。随着对中亚造山带的深入研究,有学者提出中亚造山带并不是一条简单的造山带,而是由西伯利亚板块与塔里木-华北板块以及中间的岛弧、弧后盆地、洋岛、蛇绿岩及微陆块不断拼合增生而形成的复合造山带(李春昱,1980;任纪舜,1989;Tang,1990;李双林 等,1998;Yakubchuk,2002;Xiao et al.,2003;Li,2006;张兴洲 等,2006;Windley et al.,2007;Jian et al.,2008;潘桂棠 等,2009;Xu et al.,2013;Li et al.,2014;Yakubchuk et al.,2014;Xu et al.,2015),属增生型造山带。

中亚造山带东段延伸至中国内蒙古以东地区,被称为兴蒙造山带(任纪舜 等,1980)。对于中亚造山带东段的形成与演化,Xiao 等(2003)提出了古亚洲洋双向俯冲模式,并认为古亚洲洋在寒武纪—志留纪时期分别向南北两侧的华北板块和西伯利亚板块之下俯冲,但向南的俯冲在泥盆纪—早石炭世之前曾停滞,并于晚石炭世再度发生俯冲。Jian 等(2008)进一步完善了双向俯冲模式,命名了南方及北方两条造山带,并首次应用超俯冲带(supra-subduction zone,SSZ)型蛇绿岩的时间线探讨了古亚洲洋的演化。

中亚造山带演化历史漫长,其东段兴蒙造山带自中生代以来在古亚洲洋构造域的基础上叠加了古太平洋构造域(李双林 等,1998)和蒙古-鄂霍茨克构造域(Wu et al.,2002;Wu et al.,2011),致使造山带内构造变形和岩浆活动极其复杂,关于晚古生代以来的构造演化问题,一直争议不断。

## 1.2 旅游地学及其研究内容

早在1985年,中国旅游地学会将“旅游地学”定义为“运用地学的理论与方法,为旅游资源调查、研究、规划、开发与保护工作服务的一门新兴边缘学科”。而在2013年出版的《旅游地学大辞典》中,陈安泽等又将旅游地学的定义进行了扩展,即“以地球科学的理论、方法为基础,并结合其他科学知识,以发现、评价、规划、保护具有旅游价值的自然景观和与人类活动有关的古遗迹、遗址,探讨其形成原因、演变历史,为发展旅游事业服务为目的的一门综合性边缘

学科”(陈安泽, 2016)。从上述定义可知, 旅游地学是一门由地球科学与旅游科学相结合而产生的新兴交叉学科, 是引导中国旅游业走向科学旅游时代的新兴学科, 地学旅游有望成为中国高端旅游的基石。

旅游地学的研究内容包括: ①旅游的主体要素——旅游者, 即运用人文地理、经济地理和区域地理等学科的原理和方法, 研究旅游者在区域上的分布规律及气候、环境、人口、交通、经济发展水平等因素对客源市场的影响等; ②旅游的客体要素——旅游资源, 即应用地质学、自然地理学、美学、景观科学等学科的原理和方法, 探讨自然旅游资源的分布规律、形成原因、类型划分、科学价值、美学价值、旅游开发价值、科学普及教育价值和保护方法等, 也研究人文景观资源(如石窟、古文化遗址、古建筑等)的地质背景条件、环境因素等; ③旅游的媒介要素——旅游业, 即应用地质学、环境科学等学科的理论和方法, 研究旅游业服务设施建设涉及的地学及环境学问题, 如建筑物的选址、地基稳定性评价、旅游道路的选线以及各种地质灾害因素等, 以确保旅游业各类设施的科学设计以及旅游者的人身安全; ④地质遗迹开发与地质(矿山)公园建设等, 即研究地质遗迹的开发及保护, 地质公园的申报、规划、科学研究及科学普及, 公园科学解说体系建设, 科学旅游产品打造, 公园信息化建设等(陈安泽, 2016)。

当前, 旅游地学最热门的研究内容还属地质遗迹开发与地质(矿山)公园建设。地质遗迹(geoheritage)是在地球漫长的地质历史时期, 由各种内外动力地质作用形成、发展并保存下来的珍贵的不可再生的自然遗产, 包括有重要观赏和科学研究价值的地质地貌景观、地质剖面、构造形迹、古人类遗址、古生物化石遗迹, 有特殊价值的矿物、岩石及其典型产地, 有特殊意义的水体资源, 典型的地质灾害遗迹等(国土资源部地质环境司, 2006)。由于兼具美学观赏、科普教育、探险康体和社会经济等价值(李鹏举 等, 2015), 地质遗迹近些年逐渐成为国内地学和旅游研究的热点。建设地质公园或矿山公园是开发利用地质遗迹的最主要方式。地质公园以地质遗迹为主体, 融合其他自然景观或人文景观构成特定的旅游区或保护区, 既为人们提供具有较高科学品位的观光游览、休闲度假、康疗保健的场所, 又是地质遗迹研究和地球科学普及教育的基地(陈安泽, 2003; 赵逊 等, 2003)。矿山公园则是以展示矿业遗迹景观为主体, 体现矿业发展历史内涵, 具备研究价值和教育功能, 可供人们游览观赏、科学考察的特定空间地域(李宏彦 等, 2010)。

旅游地学是地学界与社会大众联系的一个重要窗口。推动地质遗迹的成因与演化研究, 揭示地球某段地质历史时期古地理、古气候、古生物等方面的信息, 既可为人类研究地球的历史演化过程、恢复地质历史乃至预测地球未来的演变趋势提供重要依据, 也可以通过地学知识的普及, 满足旅游者对地球科学知识的求知欲望, 为国家科普教育和公众启智奠定良好的基础, 提高公众对地质遗迹的保护意识, 实现公民科学素养的大幅提升。

## 1.3 研究现状及存在问题

### 1.3.1 研究现状

前人已发表的成果中,对中亚造山带东段(兴蒙造山带)研究的热点主要集中在七个方面:①兴蒙造山带构造单元划分(任纪舜等,1980;邵济安,1991;李双林等,1998;张兴洲等,2006; Xu et al., 2013; 徐备等,2014; Xu et al., 2015);②微陆块是否存在及其属性(徐备等,1997;郝旭等,1997;赵光等,2002;施光海等,2003;朱永峰等,2004;武广,2006;苗来成等,2007;陈斌等,2009;薛怀民等,2009; Wu et al., 2011; Zhou et al., 2011; 葛梦春等,2011;表尚虎等,2012;孙立新等,2013;蒙启安等,2013;周建波等,2014; Zhou et al., 2015);③岩浆岩的年代格架、成因及其所处的大地构造背景(Wu et al., 2002; 葛文春等,2005, 2007; Zhang et al., 2007a; Zhang et al., 2007b; Jian et al., 2008; Zhang et al., 2008; Zhang et al., 2009; 童英等,2010; Wu et al., 2011; Gou et al., 2015; Zhang Z C et al., 2015; Zhang X H et al., 2015; Wu et al., 2015);④显生宙以来的地壳增生(Wu et al., 2002; Wu et al., 2011; 任邦方等,2012; Zhou et al., 2013; Yarmolyuk et al., 2014);⑤地层层序及沉积环境(鲍庆中等,2005;李福来等,2009;辛后田等,2011;张永生等,2012);⑥古地磁及深层结构(Enkin et al., 1992;高锐等,2011;李朋武等,2012; Zhao et al., 2013);⑦构造演化(李春昱,1980;曹从周,1987;王荃等,1991;唐克东,1992; Sengör et al., 1993; 梁日暄,1994;王玉净等,1997; Xiao et al., 2003; 孙德有等,2004b; Li, 2006; Wu et al., 2007; Jian et al., 2008; Miao et al., 2008; 王成文等,2008; Liu et al., 2012; Xu et al., 2015)。

在讨论兴蒙造山带构造演化过程中,诸多争论都是围绕古亚洲洋闭合时间和闭合位置展开的。作为洋壳残留的蛇绿岩套,通常被认为是大洋存在的标志(Khain et al., 2003; 张旗等,2003)。引发对古亚洲洋闭合位置争议的主要原因在于兴蒙造山带在我国境内发育有三条蛇绿岩带,由北向南依次为二连-贺根山蛇绿岩带(Davis et al., 2001; Xiao et al., 2003; Miao et al., 2008; Jian et al., 2008; 李尚林等,2012; Zhang et al., 2015)、苏尼特左旗-西乌珠穆沁旗蛇绿岩带(王荃,1991;李英杰等,2012;李英杰等,2013)、索伦山-温都尔庙-西拉木伦河蛇绿岩带(王荃,1991;唐克东,1992;梁日暄,1994; Li, 2006)。虽然梁日暄(1994)指出贺根山蛇绿岩带和西拉木伦河蛇绿岩带之间的小蛇绿岩块,可能是逆冲断层上冲带到地面来的断片,而不是古洋壳俯冲作用的产物,但近年来的研究表明部分地区的蛇绿岩块具有完整的蛇绿岩套组合,并与代表俯冲作用的蓝片岩伴生(李瑞彪等,2014),能够作为古大洋存在的标志。

关于古亚洲洋闭合时间存在五种观点: ①晚志留世—泥盆纪(唐克东, 1992; Yue et al., 2001); ②中晚泥盆世(Tang, 1990; 徐备等, 2001); ③晚泥盆世—早石炭世(曹从周等, 1986; Tang, 1990; 邵积安, 1991; 周志广等, 2010; 辛后田等, 2011; Xu et al., 2013; 邵济安等, 2014; 徐备等, 2014; Kozlovsky et al., 2015; Zhao et al., 2016); ④晚二叠世—早三叠世(Xiao et al., 2003; 孙德有等, 2004a; Li, 2006; Jian et al., 2008; Miao et al., 2008; Zhang et al., 2009); ⑤白垩纪(Nozaka et al., 2002)。如何认识晚石炭世—二叠纪研究区的构造格局和所处的背景是研究古亚洲洋闭合时间的关键。

岩浆活动被认为是“地质 DNA”要素之一(王荃, 2011), 是岩石圈热事件的产物, 有其独特的时空分布特征。20 世纪 80 年代以来, 随着我国 1:25 万和 1:5 万区域地质调查工作的开展, 兴蒙造山带的基础地质研究取得了突破。锆石 U-Pb、K-Ar、Rb-Sr 等测年技术的推广与应用在查明兴蒙造山带内地质体尤其是火成岩的形成时代方面成果显著; 岩石地球化学方法的应用为探讨兴蒙造山带不同时期的构造属性提供了依据; Sm-Nb、Rb-Sr、Lu-Hf、Pb-Pb 等同位素方法揭示了显生宙以来大规模地壳增生现象的存在。

对岩浆岩的细致研究初步构建起兴蒙造山带显生宙以来的岩浆岩时空演化架构, 为探讨兴蒙造山带显生宙以来的构造演化和地壳增生提供了强有力的证据(Zhang et al., 2007a; Zhang et al., 2007b; Jian et al., 2008; 童英等, 2010; Wu et al., 2011; Zhou et al., 2011; Liu et al., 2013; 石玉若等, 2014; Zhou et al., 2015)。兴蒙造山带内古生代岩浆活动主要集中在 3 个时期: 奥陶纪(505 Ma~475 Ma)、石炭纪(340 Ma~310 Ma)、二叠纪(270 Ma~250 Ma), 志留纪和泥盆纪岩浆活动较弱。

对于晚石炭世—早二叠世岩浆岩形成的大地构造背景问题, 目前学界争议较大。一种观点认为出露于苏尼特右旗地区的上石炭统本巴图组火山岩夹层是由玄武岩和英安岩构成的双峰式火山岩组合, 代表碰撞后的伸展环境(汤文豪等, 2011)。因此, 自晚石炭世起, 研究区进入裂谷或裂陷槽发育时期(曹从周等, 1986; 邵积安, 1991; 徐备等, 2013; 邵济安等, 2014, 2015; Zhao et al., 2016), 而这时期的岩浆岩之所以显示火山弧特征, 可能是因为早古生代俯冲消减的洋壳保存在壳幔之间, 后期上升的岩浆通过时都会携带早期俯冲带的信息(邵济安等, 2014)。早二叠世喷发的大石寨组火山岩也具有双峰式火山岩的特征(邵济安, 1991; Zhu et al., 2001; 吕志成等, 2002; 曾维顺, 2011; 晨辰等, 2012; 陈彦等, 2014; 徐备等, 2014), 并且在二连—东乌珠穆沁旗一带出现了 286 Ma~276 Ma 的碱性花岗岩, 被认为是板块碰撞拼合之后的产物(洪大卫等, 1994), 因此认为古亚洲洋于晚石炭世之前闭合。

另一种观点则认为上石炭统本巴图组火山岩夹层(潘世语等, 2012)及下二叠统大石寨组火山岩应当是古亚洲洋向北俯冲的产物, 形成于岛弧或活动大陆边缘弧

构造背景之下(高德臻 等, 1998; 陈斌 等, 2001; 陶继雄 等, 2003; 陈斌 等, 2009)。虽然支持古亚洲洋在早二叠世之后闭合观点的学者中也有人认同大石寨组火山岩产生于伸展背景下, 但却认为是洋壳俯冲过程中在局部伸展部位形成的弧后盆地(Zhang et al., 2008; 刘建峰, 2009; Zhang et al., 2010), 而并非大规模的裂陷槽或裂谷环境。华北板块北缘在晚古生代晚期是类似于安第斯型的活动大陆边缘, 古亚洲洋继续向南北两侧俯冲(Xiao et al., 2003; Zhang et al., 2007a; Jian et al., 2008; Zhang et al., 2009), 洋壳的俯冲至少持续到晚二叠世(Xiao et al., 2003; Li, 2006; Zhang et al., 2007a; Jian et al., 2008; Miao et al., 2008; Zhang et al., 2009)。

### 1.3.2 存在问题

如前所述, 鉴于研究者的出发点、研究对象和研究方法的不同, 前人在对兴蒙造山带古生代构造演化发展进行研究的过程中产生了诸多分歧, 归纳如下。

(1) 兴蒙造山带是一个构造旋回的产物还是两个构造旋回的产物? 索伦山蛇绿岩套是包含两个不同时代硅质岩的混杂岩, 它们是同一大洋不同时代的洋壳残片, 还是不同大洋不同时代的洋壳残片?

(2) 西拉木伦河以北地区泥盆系开始出现陆相磨拉石建造(Xu et al., 2013; 徐备 等, 2014; Xu et al., 2015), 但贺根山以南—西拉木伦河以北地区在晚石炭世再次出现海相沉积地层。如果古亚洲洋洋盆在石炭纪之前已经闭合, 上石炭统一—中二叠统的海相沉积如何解释? 如果古亚洲洋在晚石炭世—早二叠世仍未闭合, 如何解释泥盆纪—石炭纪沉积环境的变化?

(3) 华北板块北缘晚石炭世是活动大陆边缘还是被动大陆边缘? 如果是被动大陆边缘, 安第斯型陆缘弧岩浆岩如何解释? 如果是主动大陆边缘, 又如何与区域构造进行配套?

(4) 锡林浩特—西乌珠穆沁旗一带的晚石炭世—早二叠世火山岩究竟是弧火山岩还是双峰式火山岩? 如果是弧火山岩, 代表深海大洋的洋壳和海相沉积物在哪里?

(5) 内蒙古境内已开发多处以地质遗迹为主要特色的国家级、省级公园, 内蒙古晚古生代时期的构造演化与这些地质公园的形成有何种联系? 如何通过研究内蒙古晚古生代时期的构造演化来推进地学旅游在这些地质公园的开展?

## 1.4 研究内容、方法及意义

### 1.4.1 研究内容

近十年来, 虽然对兴蒙造山带的研究取得了丰富的成果, 但多数学者单独选择

岩浆岩或者碎屑锆石、古地磁作为研究对象来讨论古亚洲洋的演化发展,鲜有学者将该时期的岩浆岩、岩石地层、古地磁、古生物等因素进行综合分析讨论。为深入认识兴蒙造山带晚古生代的构造演化,解决以上问题,本书选择索伦山—西乌珠穆沁旗的广大地区为研究区,选择出露于内蒙古中部满都拉、卫境、苏尼特左旗、西乌珠穆沁旗的石炭纪—二叠纪岩浆岩及同期沉积地层作为研究对象,通过野外地质填图、岩石学、年代学、地球化学、Hf 同位素等方法,对西乌珠穆沁旗、苏尼特左旗、苏尼特右旗及满都拉等地的岩浆岩进行研究,并结合出露于西乌珠穆沁旗、满都拉地区的上石炭统一二叠系沉积地层所反映的沉积环境、古地磁及化石证据来讨论晚古生代以来兴蒙造山带的构造演化。研究内容主要包括五个方面。

(1)搜集整理研究区已报道的地质资料,综合分析前石炭纪兴蒙造山带中部的地层、岩浆岩及构造事件,确定前石炭纪兴蒙造山带中部的构造格局。

(2)对兴蒙造山带满都拉和西乌珠穆沁旗地区的上石炭统本巴图组、阿木山组及二叠系寿山沟组、哲斯组和林西地层进行剖面测量和分析,讨论以上沉积地层所代表的沉积环境。

(3)对出露于内蒙古中部满都拉—苏尼特左旗—锡林浩特—西乌珠穆沁旗一线的晚石炭世—早二叠世岩浆岩进行岩石学分析,查明岩浆岩的岩石组合规律;进行年代学、岩石地球化学分析,查明其形成时代,探讨其反映的构造环境,并结合前人已发表的数据讨论晚古生代兴蒙造山带内不同地区岩浆岩形成的大地构造背景。

(4)对出露于西乌珠穆沁旗迪彦庙和达青牧场的早二叠世蛇绿岩、满都拉和卫境地区的基性熔岩,以及补力太及卫境地区的构造混杂岩展开系统研究,查明其物质组成,探讨其形成的大地构造背景,讨论蛇绿岩的构造属性。

(5)在厘清区域构造演化的基础上,查明区域内地质遗迹的分布与属地情况、资源类型、资源级别及核心遗迹点,评价地质遗迹的开发与保护情况。从科学的角度分析地质遗迹的旅游价值,探索地质遗迹景观的形成原因、演化过程、主要特色、科学研究价值等,并提出区域内地质遗迹的开发与保护建议。

### 1.4.2 研究方法

本书的研究方法主要包括野外地质调查和室内分析两部分,其中野外地质调查包括地质调查和填图、剖面测量、沉积环境分析、采样。室内分析包括文献搜集、薄片鉴定、全岩岩石地球化学分析、锆石 U-Pb 测年、锆石 Lu-Hf 同位素分析。

#### 1. 全岩岩石地球化学分析

全岩岩石地球化学分析工作由河北省区域地质矿产调查研究所实验室完成。

主量元素的测定采用国家标准《硅酸盐岩石化学分析方法》(GB/T14506); 微量元素测定采用 X Series 2 电感耦合等离子体质谱 ICP-MS 分析方法。

## 2. 锆石 U-Pb 测年

锆石存在于多种火成岩中及沉积岩中, 是测年实验中使用最广泛的矿物 (Harley et al., 2007), 但在岩浆演化过程中受变质作用影响可能会导致 Pb 丢失, 从而影响测年结果的可信度 (Solari et al., 2015)。因此除了锆石, 斜锆石也被认为是基性—超基性岩中理想的测年矿物 (Rodionov et al., 2012)。样品碎样及锆石挑选由河北省区域地质矿产调查研究所实验室完成。本书采用锆石/斜锆石 U-Pb 法对样品进行同位素测年。测年样品经清洗、晾干、粉碎后, 先用水进行粗淘, 再采用强磁、电磁分选后用酒精进行细淘, 在显微镜下进行人工挑选。北京铭年领航科技有限公司承担制靶及阴极发光图像采集工作。锆石 U-Pb 同位素年龄分析在天津地质调查中心进行, 所用仪器为 Neptune 型 LA-MC-ICPMS 仪器, 利用 193 nm 激光器对锆石进行剥蚀, 分析时激光束斑直径为 35  $\mu\text{m}$ , 激光剥蚀深度为 20~40  $\mu\text{m}$ 。外部锆石年龄标准采用 GJ-1 进行校正, 使用 NIST612 玻璃标样作为外标计算锆石样品的 Pb、U、Th 含量, 具体方法参见相关文献 (李怀坤 等, 2009)。数据处理采用 ICPMSDataCal (Liu et al., 2008), 锆石加权平均年龄计算及谐和图绘制采用 Isoplot (3.0 版) (Ludwig, 2003) 完成。锆石年龄采用谐和度大于 80% 的  $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$  年龄。

## 3. 沉积环境分析

通过野外观察, 查明各组地层的岩石组合、结构、构造发育特征、岩相学特征、沉积序列, 分析各组沉积环境。

## 4. 锆石 Lu-Hf 同位素分析

锆石 Lu-Hf 同位素分析在自然资源部成矿作用与资源评价重点实验室完成, 所用仪器为 Neptune 型多接收器电感耦合等离子质谱仪器和 Newwave UP123 激光剥蚀系统 (LA-MC-ICPMS), 利用 193nm 激光器对锆石进行剥蚀, 分析时激光束斑直径为 44  $\mu\text{m}$ , 激光脉冲能量为 100mJ, 脉冲频率为 8Hz, 信号采集时间为 26s。采用锆石标样 GJ-1 作为外标, 标样的  $^{176}\text{Hf}/^{177}\text{Hf}$  平均值为  $0.282015 \pm 0.00008$ 。 $\epsilon\text{Hf}(t)$  和  $T_{\text{DM}}^{\text{①}}$  的计算采用 Griffin 等 (2000) 的计算方法, 其中  $^{176}\text{Lu}$  衰变常数采用 Blichert-Toft 等 (1997) 的使用常数。具体数据校正过程参考相关文献 (Wu et al., 2006)。

①  $T_{\text{DM}}$  为亏损地幔模式年龄。