

中国地质大学地质过程与矿产资源国家重点实验室资助

青藏高原

新生代碰撞 - 后碰撞火成岩

莫宣学 等著

地质出版社

中国地质大学地质过程与矿产资源国家重点实验室资助

青藏高原新生代碰撞— 后碰撞火成岩

莫宣学 赵志丹 喻学惠 董国臣 著
李佑国 周 肃 廖忠礼 朱弟成

地 质 出 版 社

· 北 京 ·

内 容 提 要

本书是对青藏高原新生代碰撞-后碰撞火成岩近期研究的总结,内容包括青藏高原新生代碰撞-后碰撞火成岩的时空分布格局及主要岩石类型概述、同碰撞性质的西藏林子宗火山岩系、冈底斯花岗岩类和后碰撞性质的冈底斯带钾质-超钾质火山岩、西藏南部强过铝花岗岩、青藏高原北部羌塘和可可西里地区新生代火山岩、川滇藏“三江”地区新生代火成岩、青藏高原东北缘西秦岭地区新生代火山岩的较详细的论述,作者近年来新测得的同位素年龄数据的归纳总结,以及在上述基础上,关于青藏高原岩石圈地球化学不均一性、青藏高原新生代火成岩的地球动力学意义的讨论。

本书可供研究青藏高原的地质工作者和高等学校学生参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

青藏高原新生代碰撞-后碰撞火成岩/莫宣学等著. —北京:
地质出版社, 2009. 10
ISBN 978-7-116-06333-4

I. 青… II. 莫… III. 青藏高原-火成岩 IV. P588.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2009) 第 181591 号

QINGZANG GAOYUAN XINSHENGDAI PENGZHUANG-HOUPENGZHUANG HUOCHENGYAN

责任编辑: 李 莉

责任校对: 杜 悦

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) 82324567 (编辑室)

网 址: <http://www.gph.com.cn>

电子邮箱: zhs@gph.com.cn

传 真: (010) 82310759

印 刷: 北京地大彩印厂

开 本: 889 mm × 1194 mm^{1/16}

印 张: 26 彩版: 8 面

字 数: 780 千字

印 数: 1—800 册

版 次: 2009 年 10 月北京第 1 版·第 1 次印刷

定 价: 68.00 元

书 号: ISBN 978-7-116-06333-4

(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

青藏高原是世界上最高和形成时代最晚的高原，它独特的地理环境和岩石圈结构对解决全球性地学理论问题具有典型意义，被国际地学界公认为世界上研究大陆动力学最好的实验室。国内外对青藏高原的研究从19世纪就已开始。随着地质科学进入以建立地球系统科学知识体系为标志的新时期，青藏高原的研究也进入了一个以学科的交叉渗透和科技协作为特色的新阶段。学科的交叉与综合是当代科学发展的时代特征，地质科学上的重大突破、新的生长点乃至新学科的创立常常是在与相邻学科的交叉过程中实现的。

在多学科交叉结合开展青藏高原的地学研究中，作为以阐明地球内部性质及动力学为目标的新兴的地球物质科学的组成部分，岩浆岩岩石学也发挥着重要的作用。岩浆是地球各层圈之间物质和能量交换的重要载体。岩浆岩及其所携带的深源岩石包体被当之无愧地称作探究地球深部的“探针”和“窗口”；同时也是板块运动与大地构造事件的记录。在青藏高原的地学研究中，当前的核心科学问题和主要任务是研究印度-欧亚大陆碰撞所引起的高原及周边地区地球各圈层的物质与能量再分配与再平衡的过程，研究这个过程的各种形式（诸如大陆俯冲、地壳缩短/增生/加厚、底侵/壳幔混合/拆沉、下地壳与地幔物质的侧向流动等）的物质表现（证据）、时限和机制。

《青藏高原新生代碰撞-后碰撞火成岩》一书，就是在这样的背景下编著出版的。它是作者对青藏高原新生代碰撞-后碰撞火成岩近期研究的集成；其研究工作的特点是，在对若干典型地质对象进行“地质立典”式研究的基础上，尝试对一些关键地质问题作出解释和推断，获取规律性认识。本书的作者们是一个长期坚持在青藏高原进行地质研究的科研集体，他们对青藏高原地学研究作出了自己的新贡献。

青藏高原在矿产资源及科学研究上都有很大的潜力，对它的研究方兴未艾。愿借此机会，一方面祝贺本书的出版和作者们所取得的丰硕成果；另一方面希望本书作者们继续不畏劳苦地沿着陡峭的山路攀登，争取新的辉煌，在青藏高原的研究中作出更大的贡献。

中国科学院院士 

2009. 10. 于北京

前 言

本书是我们研究集体近年来关于青藏高原新生代碰撞-后碰撞火成岩研究的总结，是以近几年我们所承担的国家重点基础研究发展规划项目、国家自然科学基金重点项目与面上项目、国土资源部重点基础研究项目等的研究成果为基础编写而成的。在编写过程中，参阅了近年来国内外有关青藏高原及其周边地区新生代岩浆作用研究的大量文献，特别是近年来国土资源大调查的成果。本书还参阅或引用了部分博士学位论文与硕士学位论文的相关内容。对所引用的全部文献和材料，均已在书中标明。

青藏高原是我国最重要的新生代火成岩分布区，为世界所瞩目。青藏高原新生代火成岩是在印度-亚洲大陆碰撞及青藏高原形成演化的总的地球动力学背景下产生的，蕴含着大陆碰撞与高原隆升过程及壳幔深部作用的丰富信息，是探究青藏高原内部的“探针”和“窗口”。因此，长期以来受到国内外地球科学家的关注，已出版了大量专著和研究论文。本书希望在前人的基础上，作出自己的一份贡献。全书共有 11 章，第一章阐述了青藏高原新生代碰撞-后碰撞火成岩的时空分布格局及主要岩石类型，简要地勾绘青藏高原新生代火成岩的全貌。从第二章到第八章，分别对研究得比较深入的新生代火成岩进行了较系统详细的论述，它们是冈底斯-念青唐古拉带同碰撞性质的林子宗火山岩系、花岗岩类岩基，后碰撞性质的冈底斯带钾质-超钾质火山岩、西藏南部强过铝花岗岩、青藏高原北部羌塘和可可西里地区新生代火山岩、川滇藏“三江”地区新生代火成岩、青藏高原东北缘西秦岭地区新生代火山岩。第九章在对现有文献中有关青藏高原火成岩的同位素年龄数据进行统计和评述的基础上，重点介绍了本研究集体近年来测得的新的同位素年龄数据及其分析技术。第十章和第十一章，在上述各章的实际资料和论证的基础上，对青藏高原岩石圈地球化学不均一性、青藏高原新生代火成岩的地球动力学意义进行了讨论。

本书撰写工作的分工如下：前言 莫宣学，第一章 莫宣学、朱弟成、廖忠礼，第二章 董国臣、莫宣学，第三章 董国臣、莫宣学，第四章 赵志丹、莫宣学，第五章 廖忠礼、莫宣学，第六章 李佑国，第七章 喻学惠、莫宣学，第八章 喻学惠，第九章 周肃，第十章 赵志丹、莫宣学，第十一章 莫宣学、赵志丹。全书由莫宣学统撰，赵志丹、喻学惠协助统撰。朱弟成、廖忠礼分别编绘了青藏高原新生代火山岩分布图、青藏高原中-新生代侵入岩与蛇绿岩分布图。李勇、黄兴凯、李小伟、管琪、和文言对书稿进行了校对与图件修绘工作。郭铁鹰、赵崇贺参加和指导了部分野外和室内工作。张双全、江万、肖润、谢国刚、王亮亮、赵欣、柯珊、曾普胜、董方浏、杨伟光、王勇、赵海滨、徐受民、孙晨光、张瑾、陈涛、李冰、朱德勤、王永磊、肖振依托相关研究项目完成了博士或硕士学位论文研究，不同程度地涉及高原新

生代火成岩，对本书作出了贡献。

本书之所以能够完成和出版，有赖于各方面领导和专家的指导和支持。我们衷心感谢国家科学与技术部、国家自然科学基金委员会、国土资源部、中国地质调查局给予立项资助；衷心感谢西藏自治区国土资源厅与地质矿产局、青海省国土资源厅与地质矿产局、云南省国土资源厅与地质矿产局、四川省国土资源厅与地质矿产局、新疆维吾尔自治区国土资源厅与地质矿产局、甘肃省国土资源厅与地质矿产局、成都地质矿产研究所、西安地质矿产研究所，以及我校领导对我们的研究工作给予的长期支持和指导；衷心感谢李廷栋院士盛情为本书作序；衷心感谢在青藏高原地质研究中给予我们宝贵指导和支持的各位院士、各位专家、各位同仁；衷心感谢北京离子探针中心、西北大学大陆动力学国家重点实验室、中国地质大学地质过程与矿产资源国家重点实验室、中国科学院地质与地球物理研究所、中国地质科学院地质所、矿产资源研究所、美国伯克利加利福尼亚大学地球化学中心（Isotope Geochemical Center, University of California, Berkeley）、伯克利年代学中心（Berkeley Geochronology Center）对分析测试工作给予的大力支持。最后，还要衷心感谢中国地质大学地质过程与矿产资源国家重点实验室资助本书的出版。

作 者

2009年8月于北京

目 次

序

前 言

第一章 青藏高原新生代火成岩的分布格局	(1)
第一节 青藏高原新生代火成岩的分布格局	(1)
一、冈底斯-念青唐古拉构造-岩浆岩带	(1)
二、喜马拉雅构造-岩浆岩带	(5)
三、“三江”构造-岩浆岩带	(6)
四、喀喇昆仑-羌塘构造-岩浆岩带	(7)
五、可可西里-巴颜喀拉构造-岩浆岩带	(9)
六、阿尔金构造-岩浆岩带	(10)
七、昆仑构造-岩浆岩带	(10)
八、柴达木盆地北缘构造-岩浆岩带	(11)
九、西秦岭构造-岩浆岩带	(11)
十、祁连构造-岩浆岩带	(11)
第二节 青藏高原新生代火成岩的主要岩石类型	(12)
一、同碰撞花岗岩类	(12)
二、同碰撞中酸性火山岩类	(12)
三、后碰撞钾质-超钾质火山岩类	(13)
四、后碰撞埃达克质斑岩类	(14)
五、同碰撞-后碰撞强过铝花岗岩类	(14)
六、同碰撞-后碰撞基性小侵入体	(15)
第二章 冈底斯-念青唐古拉带林子宗火山岩	(16)
第一节 林子宗新生代火山岩空间分布特征	(16)
第二节 林子宗火山岩系的层序	(17)
一、典中组 (E_1d)	(17)
二、年波组 (E_2n)	(21)
三、帕那组 (E_3p)	(22)
四、岩石地层单位划分标志及变化特征	(24)
第三节 林子宗火山岩石学特征	(27)
一、岩相学特征	(27)
二、岩石组合特征	(28)
三、矿物组成	(30)
第四节 林子宗火山岩岩石化学特征	(34)
一、火山岩系列及类型	(34)
二、碱度与铝饱和度特征	(37)
三、岩石化学参数特征	(38)

第五节 火山岩地球化学特征	(40)
一、稀土元素地球化学特征	(40)
二、不相容微量元素特征	(44)
三、同位素地球化学特征	(46)
第六节 林子宗火山岩年代学	(49)
第七节 林子宗火山岩的成因及大地构造意义	(49)
第三章 西藏冈底斯-念青唐古拉带新生代花岗岩	(52)
第一节 冈底斯-念青唐古拉带花岗岩类的时空格架	(52)
一、西藏冈底斯-念青唐古拉带花岗岩的空间分布	(52)
二、冈底斯构造-岩浆事件的序次	(55)
第二节 冈底斯-念青唐古拉带花岗岩类岩石学及地球化学特征	(56)
一、主要岩石类型的岩石学与矿物学特征	(56)
二、岩石地球化学特征	(58)
三、花岗岩的形成时代	(60)
第三节 冈底斯-念青唐古拉花岗岩类的成因	(67)
一、花岗岩中暗色包体及特征	(67)
二、岩浆混合作用及其时代的确定	(70)
三、岩浆混合作用机制探讨	(73)
四、岩浆混合作用模拟	(75)
第四章 冈底斯-念青唐古拉带新生代钾质-超钾质火山岩	(78)
第一节 青藏高原后碰撞钾质-超钾质岩石研究现状	(78)
一、研究历史回顾	(78)
二、冈底斯带超钾质岩石的特征	(80)
三、冈底斯带超钾质岩石的成因与印度大陆俯冲	(80)
第二节 冈底斯带后碰撞火山岩的地质特征	(81)
一、乌郁盆地火山岩与花岗斑岩	(81)
二、羊应地热田火山岩	(83)
三、扎布耶茶卡盐湖东岸火山岩	(85)
四、当惹雍错和许如错火山岩	(85)
五、仲巴贡木滴火山岩	(85)
第三节 火山岩岩相学特征	(88)
一、乌郁盆地	(88)
二、羊应地热田	(88)
三、扎布耶茶卡东岸火山岩	(89)
四、当惹雍错和许如错火山岩	(89)
五、仲巴贡木滴火山岩	(89)
第四节 冈底斯带后碰撞火山岩年代学	(90)
一、样品	(90)
二、实验与测试方法	(90)
三、年龄结果	(91)
四、冈底斯带后碰撞岩浆岩的年龄与时空分布特征	(93)

第五节 岩石化学与地球化学	(97)
一、主量元素特征与岩石分类和命名	(97)
二、微量元素地球化学	(101)
第六节 Sr、Nd、Pb 和 O 同位素地球化学	(105)
一、Sr-Nd 同位素	(108)
二、Pb 同位素地球化学	(109)
三、O 同位素	(110)
第七节 后碰撞钾质-超钾质岩石的成因	(111)
一、乌郁群钾质(钾玄质)岩石成因	(111)
二、冈底斯带后碰撞超钾质岩石的成因	(112)
第八节 冈底斯带后碰撞岩浆作用的其他问题	(116)
第五章 西藏新生代过铝花岗岩	(118)
第一节 西藏过铝花岗岩的分布及岩石类型和特征	(118)
一、西藏过铝花岗岩带的划分	(118)
二、西藏过铝花岗岩的分布	(118)
三、过铝花岗岩的岩石类型	(118)
第二节 西藏过铝花岗岩的岩石化学及地球化学特征	(126)
一、岩石化学特征	(127)
二、稀土元素地球化学	(128)
三、微量元素地球化学特征	(138)
四、同位素地球化学特征	(139)
第三节 西藏过铝花岗岩的侵位年代	(143)
一、过铝花岗岩同位素年代学研究情况	(143)
二、过铝花岗岩岩浆活动的规模	(144)
第四节 西藏过铝花岗岩的成因	(146)
一、过铝花岗岩的岩浆源区	(146)
二、过铝花岗岩形成的构造与物理化学条件	(146)
三、西藏过铝花岗岩产出的构造环境	(148)
四、喜马拉雅过铝花岗岩——陆内俯冲的岩石学记录	(150)
五、冈底斯过铝花岗岩	(152)
第六章 青藏高原北部新生代火山岩	(156)
第一节 空间分布	(156)
一、岩群及岩区的划分	(156)
二、火山岩区的地质特征	(156)
第二节 形成时代	(167)
一、火山岩的形成时代	(167)
二、火山活动的时空迁移规律	(173)
第三节 岩石类型及组合	(175)
一、岩石类型	(175)
二、火山岩岩石系列及共生组合	(178)
第四节 元素地球化学及同位素地球化学	(180)

一、岩石化学与微量元素地球化学特征	(180)
二、同位素地球化学特征	(197)
第七章 滇西三江地区新生代火成岩及深源岩石包体	(201)
第一节 新生代碱性火成岩地质特征	(201)
一、剑川甸南-马登新生代碱性火山岩和富碱斑岩带	(204)
二、鹤庆六合-松桂-北衙新生代富碱斑岩带	(205)
三、海东-祥云-弥渡新生代碱性火山岩、富碱斑岩和煌斑岩带	(205)
四、姚安-南华新生代碱性火山岩、富碱斑岩和煌斑岩带	(206)
五、镇沅-凤庆碱性火山岩和碱性煌斑岩带	(206)
六、哀牢山九甲-墨江新生代碱性火山岩带	(206)
七、景洪碱性火山岩及富碱斑岩带	(206)
八、屏边-马关碱性火山岩带	(206)
九、永平卓潘新生代碱性杂岩	(207)
十、腾冲火山岩带	(207)
第二节 滇西新生代碱性火山岩	(207)
一、新生代火山岩的主要岩石类型和特征	(207)
二、新生代碱性火山岩的岩石化学	(212)
三、新生代碱性火山岩的地球化学	(213)
四、Sr、Nd 和 Pb 同位素	(214)
第三节 滇西新生代富碱斑岩和煌斑岩	(218)
一、新生代富碱斑岩和煌斑岩的主要岩石类型及特征	(218)
二、新生代富碱斑岩和煌斑岩的岩石化学	(220)
三、富碱斑岩的地球化学特征	(225)
第四节 滇西地区新生代火成岩的矿物学	(231)
一、单斜辉石	(232)
二、角闪石	(232)
三、黑云母	(235)
四、长石	(237)
第五节 滇西地区新生代富碱斑岩中的壳源岩石包体	(238)
一、富碱斑岩中深源岩石包体的岩石类型和特征	(238)
二、壳源包体的矿物化学	(240)
三、壳源包体的地球化学特征	(245)
第六节 马关地区新生代火山岩中的地幔包体	(255)
一、地幔包体的岩石类型和特征	(255)
二、幔源包体的矿物化学	(257)
第七节 滇西地区新生代岩石圈结构和热状态	(261)
一、富碱斑岩中各种壳源包体平衡温度、压力的计算	(261)
二、马关碧玄岩中幔源包体平衡温度、压力的计算	(264)
三、根据幔源包体平衡温压建立的上地幔地温线及其地质意义	(266)
第八节 滇西地区新生代火山作用的起源、成因及深部动力学背景	(268)
一、滇西新生代碱性火山岩和富碱斑岩产出的构造环境	(268)

二、滇西新生代碱性火山岩和富碱斑岩源区 EM II 富集端元的成因	(268)
三、滇西新生代碱性火山岩和富碱斑岩的起源和成因	(269)
四、滇西地区新生代岩石圈结构及壳幔过渡带	(271)
第八章 甘肃西秦岭新生代火成岩	(273)
第一节 西秦岭地区新生代火山岩地质特征	(273)
一、地质背景及深部地质概况	(273)
二、火山地质特征	(274)
第二节 新生代火山岩的结构分类和岩石学特征	(276)
一、钾霞橄黄长岩的结构分类和岩石学特征	(276)
二、碳酸岩的结构分类及岩石学特征	(277)
三、钾霞橄黄长岩中的球状分凝体	(278)
第三节 新生代火山岩的矿物学特征	(278)
一、钾霞橄黄长岩的矿物学特征	(278)
二、碳酸岩的矿物学特征	(290)
第四节 新生代火山岩的全岩化学及岩石名称的确定	(290)
一、钾霞橄黄长岩的全岩化学	(290)
二、碳酸岩的全岩化学	(292)
第五节 新生代火山岩的地球化学	(295)
一、钾霞橄黄长岩的稀土、微量元素	(295)
二、碳酸岩的稀土、微量元素	(296)
三、同位素地球化学	(297)
第六节 新生代钾霞橄黄长岩和碳酸岩的起源和成因	(302)
一、钾霞橄黄长岩的起源与成因	(302)
二、火山岩源区 EM I 和 EM II 富集端元的成因	(304)
三、有关碳酸岩	(305)
第九章 青藏高原中新生代火成岩同位素年代学	(306)
第一节 同位素年代学研究进展及方法选用	(306)
第二节 同位素年龄数据的统计与分析	(313)
一、统计数据筛选取舍准则	(313)
二、同位素年龄数据统计结果及讨论	(314)
第三节 新获得的同位素年龄数据	(321)
一、冈底斯-念青唐古拉带新生代林子宗火山岩	(322)
二、冈底斯-念青唐古拉带新生代钾质-超钾质火山岩	(328)
第四节 喜马拉雅带康马岩体	(339)
第五节 冈底斯带中-新生代强过铝花岗岩(罗扎岩体)	(341)
第六节 滇西兰坪盆地卓潘岩体、大莲花山-各救母斑岩	(341)
第七节 青藏高原蛇绿岩	(343)
一、雅鲁藏布蛇绿岩带	(343)
二、班公湖-怒江西段蛇绿岩	(350)
第八节 冈底斯北带及班公湖-怒江南带改则-尼玛地区中生代火成岩	(352)

第十章 青藏高原岩石圈的化学不均一性	(354)
第一节 青藏高原主要构造单元及其同位素地球化学进展	(355)
一、喜马拉雅带	(356)
二、冈底斯-念青唐古拉带（拉萨地块）	(356)
三、雅鲁藏布蛇绿岩	(356)
四、青藏高原北部主要构造单元	(357)
第二节 冈底斯带碰撞-后碰撞岩浆作用概述	(357)
第三节 青藏高原岩石圈的三种主要地球化学端元	(357)
一、青藏高原北部地球化学省（青藏原始岩石圈地幔地球化学端元）	(358)
二、雅鲁藏布蛇绿岩代表的新特提斯洋地幔端元	(363)
三、喜马拉雅带地壳地球化学端元	(364)
第四节 冈底斯带碰撞后岩浆作用的三种地球化学类型	(364)
一、冈底斯带原地型岩浆作用	(364)
二、亲特提斯洋型岩浆作用	(365)
三、亲喜马拉雅型岩浆作用	(365)
第五节 冈底斯带碰撞后岩浆作用对大陆俯冲的启示	(365)
第六节 冈底斯带碰撞-后碰撞岩浆作用与成矿类型	(366)
一、亲特提斯洋型岩石对寻找 Cu - Au 成矿作用的启示	(366)
二、亲喜马拉雅型岩浆作用与盐类矿床的找矿	(366)
第十一章 青藏高原新生代火成岩的地球动力学意义	(367)
第一节 印度-亚洲大陆碰撞过程	(367)
一、青藏高原形成的前提和基础	(367)
二、印度-亚洲大陆碰撞的时间	(367)
三、青藏高原构造-岩浆活动阶段的划分	(370)
第二节 青藏高原后碰撞火成岩岩浆类型	(370)
一、幔源岩浆	(371)
二、下地壳源岩浆	(371)
三、中-上地壳源岩浆	(371)
第三节 关于青藏高原岩石圈深部物质组成	(372)
一、在青藏高原已发现的壳幔深源岩石包体及出露于地表的地球深部岩石	(372)
二、青藏岩石圈地幔的三种地球化学端元	(372)
三、青藏高原的三种岩石圈结构类型	(373)
第四节 青藏高原巨厚地壳的成因	(373)
一、现今青藏高原地壳的状况	(373)
二、青藏高原巨厚地壳的成因	(374)
第五节 青藏高原新生代碰撞-后碰撞火成岩的时空迁移及其可能的地球动力学含义	(375)
一、青藏高原新生代碰撞-后碰撞火成岩的时空迁移	(375)
二、青藏高原下深部物质横向流动的可能性	(377)
三、青藏高原物质流动的构造、深部地球物理和 GPS 证据	(377)
四、深部物质流动的可能方式：连接东、西部的可能“通道”	(378)
参考文献	(380)

Contents

Preface

Foreword

Chapter 1 Spatial-temporal distributions of the Cenozoic igneous rocks in the Tibetan Plateau

.....	(1)
Section 1 A frame of the Distribution of the Cenozoic igneous rocks in the Tibetan Plateau	(1)
1. The Gangdese-Nyainqentanglha tectonomagmatic belt	(1)
2. The Himalayan tectonomagmatic belt	(5)
3. The Jinshajiang-Lancangjiang-Nujiang tectonomagmatic belt	(6)
4. The Karakoram-Qiangtang tectonomagmatic belt	(7)
5. The Hoh Xil-Bayan Har tectonomagmatic belt	(9)
6. The Altyn Tagh tectonomagmatic belt	(10)
7. The Kunlun tectonomagmatic belt	(10)
8. The tectonomagmatic belt of the North margin of Qaidam Basin	(11)
9. The West Qinling tectonomagmatic belt	(11)
10. The Qilian tectonomagmatic belt	(11)
Section 2 Petrological types of the Cenozoic igneous rocks in the Tibetan Plateau	(12)
1. Syn-collisional granitoids	(12)
2. Syn-collisional intermediate-acidic volcanic rocks	(12)
3. Post-collisional potassic-ultrapotassic volcanic rocks	(13)
4. Post-collisional adakitic porphyries	(14)
5. Syncollisional-postcollisional peraluminous granites	(14)
6. Syncollisional-postcollisional small mafic intrusions	(15)
Chapter 2 Linzizong volcanic succession in the Gangdese-Nyainqentanglha belt	(16)
Section 1 Distribution of the Linzizong volcanic succession	(16)
Section 2 The stratigraphic sequence of the Linzizong volcanic succession	(17)
1. The Dianzhong Formation	(17)
2. The Nianbo Formation	(21)
3. The Pana Formation	(22)
4. The basis for dividing petro-stratigraphic units	(24)
Section 3 Petrological characteristics of the Linzizong volcanic rocks	(27)
1. The petrographic features	(27)
2. The petro-assemblages	(28)
3. Mineralogical compositions	(30)
Section 4 Petrochemistry of the Linzizong volcanic rocks	(34)
1. Petrological series and types	(34)
2. Alkalinity and degree of Al-saturation	(37)

3. Petrochemical parameters	(38)
Section 5 Geochemistry of the Linzizong volcanic rocks	(40)
1. Rare earth element geochemistry	(40)
2. Incompatible trace element geochemistry	(44)
3. Isotopic geochemistry	(46)
Section 6 Geochronology of the Linzizong volcanic succession	(49)
Section 7 Petrogenesis and tectonic implicatioins of the Linzizong volcanic succession	(49)
Chapter 3 Cenozoic granitoids in the Gangdese-Nyainqentanglha belt	(52)
Section 1 A Spatial-temporal frame of the Cenozoic granitoids in the Gangdese-Nyainqentanglha belt	(52)
1. The spatial distribution of granitoids in the Gangdese-Nyainqentanglha belt	(52)
2. The sequence of tectonomagmatic events in the Gangdese-Nyainqentanglha belt	(55)
Section 2 Petrology and geochemistry of the Cenozoic granitoids in the Gangdese-Nyainqentanglha belt	(56)
1. Petrological and mineralogical characteristics of granitoids	(56)
2. Petrochemical and geochemical characteristics of granitoids	(58)
3. Timing of the formation of granitoids	(60)
Section 3 Origin of the granitoids in in the Gangdese-Nyainqentanglha belt	(67)
1. Mafic microgranular enclaves in the granitoids	(67)
2. Magma mixing and the timing when it took place	(70)
3. The mechanisms of magma mixiing	(73)
4. A simulation of the processes of magma mixing	(75)
Chapter 4 Potassic-ultrapotassic volcanic rocks in the Gangdese-Nyainqentanglha belt	(78)
Section 1 An overview of the studies on the post-collisional potassic-ultrapotassic rocks in the Gangdese belt	(78)
1. An overview of the study history	(78)
2. Characteristics of ultrapotassic rocks in the Gangdese belt	(80)
3. Petrogenesis of ultrapotassic rocks in the Gangdese belt and implications for the subduction of Indian continent plate	(80)
Section 2 Geological features of the post-collisional potassic-ultrapotassic volcanic rocks in the Gangdese belt	(81)
1. Volcanic rocks and granitic porphyries in the Wuyu basin	(81)
2. Volcanic rocks in the Yangying geothermal field	(83)
3. Volcanic rocks on eastern bank of the Zabuye salt lake	(85)
4. Volcanic rocks in the Dangriyong lake and the Xuru lake	(85)
5. Volcanic rocks in the Gongmutang, Zhongba County	(85)
Section 3 Petrography of the ultrapotassic volcanic rocks	(88)
1. Volcanic rocks in the Wuyu basin	(88)
2. Volcanic rocks in the Yangying geothermal field	(88)
3. Volcanic rocks on eastern bank of the Zabuye salt lake	(89)
4. Volcanic rocks in the Dangriyong lake and the Xuru lake	(89)

5. Volcanic rocks in the Gongmutang, Zhongba County	(89)
Section 4 Geochronology of the post-collisional volcanic rocks in the Gangdese belt	(90)
1. samples	(90)
2. Experimental and testing methods	(90)
3. The results of isotopic dating	(91)
4. The ages and spatial-temporal distribution of the post-collisional igneous rocks in the Gangdese	(93)
Section 5 Petrochemistry and geochemistry of the post-collisional volcanic rocks in the Gangdese belt	(97)
1. Major elements and the classification and nomenclature	(97)
2. Trace element geochemistry	(101)
Section 6 Sr, Nd, Pb and O isotopic geochemistry	(105)
1. Sr-Nd isotopes	(108)
2. Pb isotopes	(109)
3. O isotope	(110)
Section 7 Origin of the post-collisional potassic-ultrapotassic rocks	(111)
1. The origin of potassic (shoshonitic) rocks in the Wuyu basin	(111)
2. The origin of the post-collisional ultrapotassic rocks in the Gangdese	(112)
Section 8 Other aspects about post-collisional magmatism in the Gangdese belt	(116)
Chapter 5 Cenozoic Peraluminous granites in Tibet	(118)
Section 1 Distribution and characteristics of the Cenozoic Peraluminous granites in Tibet	(118)
1. Various belts of the Cenozoic peraluminous granite	(118)
2. The distribution of the Cenozoic peraluminous granites in Tibet	(118)
3. Petrological types of the Cenozoic peraluminous granites	(118)
Section 2 Petrochemistry and geochemistry of the Cenozoic peraluminous granites in Tibet	(126)
1. Petrochemistry	(127)
2. Rare earth element geochemistry	(128)
3. Trace element geochemistry	(138)
4. Isotopic geochemistry	(139)
Section 3 Timing of the emplacement of the peraluminous granites in Tibet	(143)
1. An overview of the studies on peraluminous granites	(143)
2. The scope of the Cenozoic peraluminous granites in Tibet	(144)
Section 4 Origin of the Cenozoic peraluminous granites in Tibet	(146)
1. The source regions of peraluminous granitic magmas	(146)
2. The tectonic and physicochemical conditions for the formation of peraluminous granites	(146)
3. The tectonic settings for the Cenozoic peraluminous granites in Tibet	(148)
4. The Cenozoic peraluminous granites in the Himalayas; Petrological records of the intra-continental subduction	(150)
5. The Cenozoic peraluminous granites in the Gangdese	(152)
Chapter 6 Cenozoic volcanic rocks in northern Tibetan Plateau	(156)
Section 1 Spatial distribution of the Cenozoic volcanic rocks in northern Tibetan Plateau	(156)
1. The distribution of petrological fields	(156)

2. The geological characteristics of various petrological fields	(156)
Section 2 Timing of formation of the Cenozoic volcanic rocks in northern Tibetan Plateau	(167)
1. The timing of formation of the Cenozoic volcanic rocks	(167)
2. Migration of volcanism with time in northern Tibetan Plateau	(173)
Section 3 Petrological types and petro-assemblages of the Cenozoic volcanic rocks in northern Tibetan Plateau	(175)
1. Petrological types	(175)
2. Petrological series and paragenetic associations	(178)
Section 4 Elemental and isotopic geochemistry of the Cenozoic volcanic rocks in northern Tibetan Plateau	(180)
1. The characteristics in petrochemistry and trace element geochemistry	(180)
2. The characteristics in isotopic geochemistry	(197)
Chapter 7 Cenozoic igneous rocks in the Jinshajiang-Lancangjiang-Nujiang region in western Yunnan Province	(201)
Section 1 Geological features of the Cenozoic alkaline rocks in western Yunnan	(201)
1. The Diannan-Madeng belt of Cenozoic alkaline volcanic rocks and alkali-rich porphyries	(204)
2. The Liuhe-Songgui-Beiya belt of the Cenozoic alkali-rich porphyries	(205)
3. The Haidong-Xiangyun-Midu belt of the Cenozoic alkaline volcanic rocks, alkali-rich porphyries and lamprophyres	(205)
4. The Yaoan-Nanhua belt of the Cenozoic alkaline volcanic rocks, alkali-rich porphyries and lamprophyres	(206)
5. The Zhenyuan-Fengqing belt of the Cenozoic alkaline volcanic rocks and lamprophyres	(206)
6. The Ailaoshan Jiujiu-Mojiang belt of the Cenozoic alkaline volcanics	(206)
7. The Jinghong belt of the Cenozoic alkaline volcanic rocks and alkali-rich porphyries	(206)
8. The Pinbian-Maguan belt of the Cenozoic alkaline volcanics	(206)
9. The Yongping Zhuopan Cenozoic alkaline complex	(207)
10. The Tengchong volcanic belt	(207)
Section 2 Cenozoic alkaline volcanic rocks in western Yunnan	(207)
1. The petrological types and characteristics of the Cenozoic volcanic rocks	(207)
2. The petrochemistry of the Cenozoic volcanic alkaline rocks	(212)
3. The geochemistry of the Cenozoic volcanic alkaline rocks	(213)
4. Sr, Nd, and Pb isotopes of Cenozoic volcanic alkaline rocks	(214)
Section 3 Cenozoic alkali-rich porphyries and lamprophyres in western Yunnan	(218)
1. The main petrological types and petrographic features of the Cenozoic alkali-rich porphyries and lamprophyres	(218)
2. The petrochemistry of the Cenozoic alkali-rich porphyries and lamprophyres	(220)
3. The geochemistry of the Cenozoic alkali-rich porphyries	(225)
Section 4 Mineralogy of the Cenozoic alkali-rich porphyries in western Yunnan	(231)
1. Clinopyroxene	(232)
2. Amphibole	(232)
3. Biotite	(235)
4. Feldspars	(237)
Section 5 Deep seated nodules in the Cenozoic alkali-rich porphyries in western Yunnan	(238)

1. The petrological types and petrographic characteristics of the deep seated nodules	(238)
2. Mineralogical chemistry of the deep seated nodules	(240)
3. Geochemistry of the deep seated nodules	(245)
Section 6 Mantle-derived nodules in the Cenozoic volcanic rocks in Maguan region	(255)
1. The petrological types and petrographic characteristics of the mantle-derived nodules	(255)
2. Mineralogical chemistry of the mantle-derived nodules	(257)
Section 7 Structure and thermal state of the lithosphere in the Cenozoic in western Yunnan	(261)
1. The estimation of equilibrium temperatures and pressures for various crust-derived nodules in alkali-rich porphyries	(261)
2. The estimations of equilibrium temperatures and pressures for mantle-derived nodules in Maguan region ...	(264)
3. The geotherms in the upper mantle beneath the western Yunnan based on the estimated equilibrium temperatures and pressures of mantle-derived nodules	(266)
Section 8 Petrogenesis and geodynamic implications of the Cenozoic alkaline volcanic rocks and alkali-rich porphyries in western Yunnan	(268)
1. The tectonic settings of the Cenozoic alkaline volcanic rocks and alkali-rich porphyries in western Yunnan	(268)
2. The origin of EM II reservoir deduced from the Cenozoic alkaline volcanic rocks and alkali-rich porphyries in western Yunnan	(268)
3. The petrogeneses of the Cenozoic alkaline volcanic rocks and alkali-rich porphyries in western Yunnan	(269)
4. The lithospheric structure and crust-mantle transition zone beneath western Yunnan	(271)
Chapter 8 Cenozoic igneous rocks in western Qinling, Gansu Province	(273)
Section 1 Geological features of the Cenozoic volcanic rocks in western Qinling	(273)
1. Geological settings	(273)
2. Geological features of volcanoes	(274)
Section 2 Classification and petrological characteristics of the Cenozoic volcanic rocks	(276)
1. Classification and petrological characteristics of kamafugites	(276)
2. Classification and petrological characteristics of carbonatites	(277)
3. Spherical segregations in kamafugites	(278)
Section 3 Mineralogy of the Cenozoic volcanic rocks	(278)
1. Mineralogy of kamafugites	(278)
2. Mineralogy of carbonatites	(290)
Section 4 Petrochemistry and nomenclature of the Cenozoic volcanic rocks	(290)
1. Petrochemistry of kamafugites	(290)
2. Petrochemistry of carbonatites	(292)
Section 5 Geochemistry of the Cenozoic volcanic rocks	(295)
1. Rare earth elements and trace elements in kamafugites	(295)
2. Rare earth elements and trace elements in carbonatites	(296)
3. Isotopic geochemistry	(297)
Section 6 Origin of the Cenozoic kamafugites and carbonatites	(302)
1. Origin of kamafugites	(302)
2. Origin of EMI and EMII in the source region of magmas	(304)
3. Origin of carbonatites	(305)