

青藏高原横断山区科学考察丛书

# 横断山区花岗岩类地球化学

中国科学院青藏高原综合科学考察队

京)

2



登录号	~ 097397
分类号	P588.12
种次号	002



200829345

青藏高原横断山区科学考察丛书

# 横断山区花岗岩类地球化学

中国科学院青藏高原综合科学考察队

(5421/31)

张玉泉 谢应雯 等著

## 主持单位

中国科学院广州地球化学研究所

中国科学院  
国家计划委员会 自然资源综合考察委员会



00846462

科学出版社

1995

(京)新登字 092 号

## 内 容 简 介

本书是中国科学院青藏高原综合科学考察队花岗岩类地球化学专题组编著的一部花岗岩类地球化学研究专著。作者在多年野外考察和室内研究的基础上,对该区的康滇古陆、哀牢山-金沙江、临沧-左贡和潞西-腾冲四条岩带中广泛分布的 C 型(壳源型)、CM 型(壳幔源型)和 M 型(幔源型)花岗岩类进行了划分,对其地质、岩石学、矿物学、岩石化学、微量元素和稀土元素以及锶、钕同位素地球化学等进行了综合论述。最后一章讨论了花岗岩的成因、演化及其成矿关系。

本书可供地球科学和资源科学界的广大科技工作者、有关高等院校的教学工作者、高年级大学生和研究生参考。

青藏高原横断山区科学考察丛书  
**横断山区花岗岩类地球化学**

中国科学院青藏高原综合科学考察队

张玉泉 谢应雯 等著

责任编辑 谢洪源

科学出版社出版

北京东黄城根北街 16 号

邮政编码:100717

中国科学院印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

\*

1995 年 6 月第 一 版 开本:787×1092 1/16

1995 年 6 月第一次印刷 印张:14 1/4

印数:1 500 字数:273 000

ISBN 7-03-004577-5/P·811

定价:37.00 元

THE SERIES OF THE SCIENTIFIC EXPEDITION TO HENGDUAN  
MOUNTAINS, QINGHAI-XIZANG PLATEAU

GEOCHEMISTRY OF GRANITOID ROCKS IN  
HENGDUAN MOUNTAINS REGION

The Comprehensive Scientific Expedition  
to the Qinghai-Xizang Plateau  
Chinese Academy of Sciences

*Edited by*  
Zhang Yuquan and Xie Yingwen

Directed by

Guangzhou Institute of Geochemistry, Chinese Academy of Sciences  
Commission for Integrated Survey of Natural  
Resources, Chinese Academy of  
Sciences and State Planning Commission  
Science Press, Beijing

1 9 9 5

### 《青藏高原横断山区科学考察丛书》顾问

王云章 刘东生 李星学 吴征镒 吴传钧  
杨敬之 郑作新 郑丕留 胡淑琴 陶诗言  
秦仁昌 徐 仁 涂光炽 席承藩 高由禧  
贾慎修 施雅风 黄秉维

### 《青藏高原横断山区科学考察丛书》编委会

主 任：孙鸿烈  
副主任：李文华 程 鸿 佟 伟 章铭陶  
          郑 度 赵徐懿  
委 员：王金亭 王富葆 孔昭宸 刘照光  
          李吉均 李承彪 李明森 李炳元  
          张玉泉 张宜光 张荣祖 陈宜瑜  
          陈挺恩 林永烈 武素功 郎楷永  
          唐邦兴 黄文秀 韩裕丰 温景春  
          蔡 立 臧 穆 谭福安 樊 平  
          潘裕生

## 作者名录

(按姓氏汉语拼音顺序排列)

### 中国科学院广州地球化学研究所

戴樟谟	胡国相	蒲志平
涂光炽	谢应雯	张玉泉

## The Contributors

Guangzhou Institute of Geochemistry, Chinese Academy of Sciences

Dai Tongmo   Hu Guoxiang   Pu Zhiping

Tu Guangchi   Xie Yingwen   Zhang Yuquan

# 《青藏高原横断山区科学考察丛书》序

辽阔的青藏高原,包括西藏全部、青海南部以及四川西部和云南西北部。大部分地区海拔在 4 000m 以上,四面以巨大的落差急剧下降,衬托出世界屋脊的磅礴气势,素有世界第三极之称。由于青藏高原独特的地质历史和自然条件,丰富的生物组成和生物群落类型,成为地球上一个独具特色的地理单元。青藏高原蕴藏着丰富的自然资源,又是许多少数民族生活和居住的地区,且地处边陲,合理保护和开发这一地区的自然资源,对发展经济,改善人民生活,以及巩固民族团结和加强国防建设都有重要的意义。

为了探索青藏高原形成和演变的历史、研究自然条件的特点及其对周围环境的影响、研究自然资源的数量和质量及其合理开发利用的途径,解放以后,中国科学院对这里进行了多次科学考察,特别是自 1973 年起组织了青藏高原综合科学考察队,对这一地区进行了更为全面、系统的综合性研究。

1973—1980 年期间,考察队重点对西藏自治区进行了考察。其科学成果集中反映在陆续出版的《青藏高原科学考察丛书》(西藏部分)及论文集和画册中。有些成果在实际生产中已得到推广和应用,在国际和国内产生了深远的影响。

考察队从 1981 年起将考察研究的重点转移到横断山区。横断山地处我国西南的藏东、川西和滇西北一带,是青藏高原的一个组成部分。在行政区域上包括西藏自治区的昌都地区,四川省阿坝、甘孜、凉山及云南省丽江、迪庆、怒江和大理等地(州)区,总面积约  $5 \times 10^5 \text{ km}^2$ 。

横断山脉在地质构造上处于南亚大陆与欧亚大陆镶嵌交接带的东翼,是我国东部环太平洋带与西部古地中海带间的过渡地带。地质构造复杂,新构造运动活跃。本区地势由西北向东南倾斜,大部为高山峡谷,山脉、河流南北纵贯,相间并列,高差很大,自然地理条件独具一格,生物种群绚丽多采,富含古老和孑遗类型,是研究生物和地学中许多重大理论问题的关键性地区。

横断山脉自然资源丰富,尤以多种矿产、水利、森林、草场等资源最为丰富。但是随着人口的增长和开发利用的加剧,自然资源承受的人类压力日益加大,有些地区生态平衡遭到了破坏。为了合理利用自然资源,必须研究本区的自然资源特点,探索其合理保护与开发利用的方向和途径。

横断山区科学考察工作主要围绕六个课题进行:(1)横断山脉形成的原因和地质历史;(2)横断山区自然地理特征及其与高原隆起的关系;(3)横断山区自然垂直地带的结构及其规律;(4)横断山区生物区系的组成;(5)横断山区自然保护与自然保护区;(6)横断山区自然资源的评价及其合理开发利用。

为了使科学考察研究更密切地与当地的经济开发工作结合起来,在自然资源评价与开发利用方面着重抓了农业自然资源条件与自然资源系列制图;亚高山暗针叶林采伐与



更新;地方能源的综合利用;畜牧业发展战略及干旱河谷农业自然条件与开发利用等五项综合专题的考察研究。

横断山区的综合科学考察研究工作由中国科学院-国家计划委员会自然资源综合考察委员会负责组织领导。参加此次考察研究的包括中国科学院有关研究所、高等院校和地方科研与生产部门等 40 余个单位,约 300 多人,涉及 40 多个专业。

《青藏高原横断山区科学考察丛书》将系统地总结青藏高原综合科学考察第二阶段的成果。

《青藏高原横断山区科学考察丛书》包括以下内容:横断山区农业自然条件与农业自然资源评价、横断山区的地方能源资源、横断山区亚高山暗针叶林采伐与更新、横断山区畜牧业、横断山区干旱河谷、横断山区地质构造、横断山区镁铁-超镁铁岩、横断山区锡矿带和富碱侵入岩带地球化学与成矿、横断山区花岗岩类地球化学、横断山区地层、横断山区古生物、横断山区哺乳动物化石与生活环境、横断山区地热与水热活动区名录、腾冲地热、横断山区自然地理、横断山区地貌与第四纪地质、横断山区气候、横断山区冰川、横断山区泥石流、横断山区土壤地理、横断山区森林、横断山区植被、横断山区沼泽与泥炭、横断山区湖泊综合研究、横断山区自然垂直带结构特征及分布规律、横断山区植物(横断山区古植物区系、横断山区地衣、横断山区真菌、川西地区大型经济真菌、横断山区维管束植物、横断山区植物起源与演化)、横断山区鸟类、横断山区哺乳类动物、横断山区昆虫、横断山区鱼类、横断山区两栖爬行动物志、横断山区甲壳动物。我们希望这套丛书能在探索青藏高原的奥秘和我国社会主义建设中发挥积极的作用。

中国科学院青藏高原综合科学考察队

## **PREFACE OF "THE SERIES OF THE SCIENTIFIC EXPEDITION TO THE HENGDUAN MOUNTAINS OF THE QINGHAI-XIZANG PLATEAU"**

The vast Qinghai-Xizang Plateau, consisting of the Xizang (Tibet) Autonomous Region, the southern part of Qinghai, western part of Sichuan and northwestern part of Yunnan Provinces, is often eulogized as the third polar of the world. The major parts of the Plateau are 4 000 metres above sea level, while the areas around drop drastically setting off the tremendous momentum of the roof of the world. The particularities of the geological history and physical conditions, the variety of biological composition and the different types of bio-communities make the Qinghai-Xizang Plateau a unique geographical unit. As the Plateau, being rich in natural resources, lies on the border regions where inhabit many national minorities, the rational conservation and utilization of the natural resources in this region are of particular importance in developing economy, improving the local livelihood and consolidating national solidarity as well as strengthening national defence.

Ever since the foundation of new China, many scientific surveys have been carried out in this region so as to make a better understanding of the history of the formation and evolution of the Qinghai-Xizang Plateau, to study the characteristics of its natural conditions, their effects on the environment around and the quantity and quality of the natural resources and thus, to find a way of exploiting and utilizing them rationally. Especially after the forming of the Comprehensive Scientific Expedition to the Qinghai-Xizang Plateau in 1973, an even more comprehensive, systematic integrated research has being made on this region.

A survey was mainly carried out on the Xizang (Tibet) Autonomous Region during the period of 1973—1980. The scientific findings of the survey, part of which have already been extended and applied to actual production and have brought a far-reaching influence both in and outside China, will be concentratedly compiled in the series of the scientific expedition to the Qinghai-Xizang Plateau (Xizang Volume), proceedings and pictorials. Since 1981, the survey team has shifted its major researching area to the Hengduan Mountains Region which is a constitutional part of the Qinghai-Xizang Plateau and is located in the east of Xizang, west of Sichuan and northwest of Yunnan Provinces in southwest China. The total area of this region is about 0.5 million square kilometres and administratively speaking including the Qamdo district of Xizang, Erba, Cangzi, Liangshan of Sichuan and the Lijiang, Diqin, Nujiang and Dali districts of Yunnan.

The Hengduan Range is complicated in geological structure and active in new tectonic movements. It lies on the east flank of the juncture area where south Asia and Eurasia are mounted. It is the transition region between the east zones encircling the Pacific and the

west zones of ancient Mediterranean. The altitude of this area declines from northwest to southeast. Most parts of the area are characterised by a series of paralleled mountain ranges and rivers from south to north, and with a sharp altitudinal differentiation. Its unique physical conditions and variety ecosystems being rich in flora and fauna with abundant relic species, give the area a critical nature for the fundamental research in the field of biology and earth science.

The Hengduan Mountains Region is abundant in natural resources, among which multi-mineral products, hydrological resources, forest and grasslands account for the great part. But with fast growth of the population and an extensive exploitation and utilization of the natural resources, the human pressure on natural resources has vastly increased which even caused ecologic equilibrium damage in some part of the area. In order to make a more reasonable utilization of natural resources, it is necessary to study the characteristics of the resources in this region so as to work out certain ways and methods for protecting, utilizing and exploiting them rationally.

There are six major subjects in the research work being carried out in the Hengduan Mountains:

1. The origin and geological history of the Hengduan Mountains;
2. The physiographical characteristics of the Hengduan Mountains and their relationship with the rise of the Plateau;
3. The structure and rule of the altitudinal belts of the Hengduan Mountains;
4. The composition of bio-communities in the Hengduan Mountains;
5. The natural conservation and nature reserves in the Hengduan Mountains;
6. Evaluation of the natural resources in the Hengduan Mountains and their rational development and conservation.

Five integrated projects have also been given special attention in the research on natural resources evaluation, exploitation and utilization. They include as following: compilation of a series of maps on the conditions of agricultural resources; deforestation and regeneration of subalpine coniferous forest in subalpine areas; the multiple utilization of local energy resources; strategy for the development of animal husbandry and finally the management of the natural resources in the arid valleys. This has been done in line with the purpose of linking scientific research closely to the development of the local economy.

The integrated survey on the Hengduan Mountains Region is organized by the Commission for Integrated Survey of Natural Resources under the Chinese Academy of Sciences and the State Planning Commission. There are more than 300 people, coming from more than 40 institutions including different institutes of the Chinese Academy of Sciences, universities and local scientific research and production departments engaged in natural resources research. A series of scientific publications on the Hengduan Mountains will provide the results acquired from the second phase of the integrated scientific survey in the Qinghai-Xizang Plateau. It is designed that this series will be consisted of 39 volumes and 48 mono-

graphs. It is also expected that this series will play an important role in exploring the wonders of the Qinghai-Xizang Plateau and in the construction of China.

The Comprehensive Scientific Expedition to the Qinghai-Xizang Plateau,  
Chinese Academy of Sciences

# 序

一个地区的花岗岩类研究常可反映这一地区地质、地球化学的综合研究深度与水平,也可以看出人们对这一地区宏观地质背景的理解与认识程度。在我国南岭地区地质和地球化学研究程度高,早在 60—70 年代就连续出版了几部有关这一地区花岗岩类的大型专著。之后,秦岭、西藏南部、新疆北部等地有关花岗岩类的著作也先后出版了。各地区有关花岗岩类的专题讨论会也曾多次召开,并出版了文集。如果说,早期的花岗岩类著作侧重于野外地质、岩石学、岩石化学等方面的工作,则近期工作除这些内容以外,还加强了地球化学及矿物学研究,包括诸如微量元素、同位素、包裹体及矿物物理等方面的工作。

在今天,要研究某一特定地区的岩石圈结构和演化,或是矿产分布规律与成因机制,总是离不开这一地区的花岗岩类,除非它们不存在。这从一个侧面说明了花岗岩类举足轻重的地位。

由于地形障碍、交通不便、人烟稀少和工农业不发达等原因,尽管横断山区不同地质时代、不同成分、不同成因类型的花岗岩类广泛分布,也找到与它们有关的矿床,但相对来说,研究程度较低,只有一些零星出版物发表。

本书作者张玉泉、谢应雯两位同志曾多年从事花岗岩类研究,不仅有长期、丰富的野外经验,对室内测试数据的解释也较擅长。他们在南岭、西藏花岗岩类工作之后,又在横断山区工作了五年。之后,又作了同样长时期的室内研究。本专著就是他们十年辛勤劳动的结晶,它为我国全国范围的花岗岩类研究填补了一个重要地区的空白。

祝愿本专著的出版将有助于花岗岩科学事业的发展。

涂光炽

1992 年 10 月 15 日

## PREFACE

The knowledge about granites in a given district may always reflect the state of geological and geochemical researches as well as how much we know about the broad geological background of that region. The Nanling region is one the district in China where much geological and geochemical studies have been made with considerable amounts of papers on granites published during the 1960's and 1970's. Later, a lot of works were done on granites in Qinling, southern Xizang and northern Xinjiang. Many symposium were organized and special publications were published during this period with special regard to granites. If we say that field geology, petrology and petrochemistry were emphasized during the early days in granite researches, then it is obvious that research interest in this field has been largely broadened in recent years and many subjects in geochemistry and mineralogy, such as trace elements, isotopes, fluid inclusion and physical mineralogy, have received increasing attention.

Today, the study of granite, if there is in a region, is indispensable for a better understanding of either the structure and the evolution of the lithosphere or the distribution and genesis of ore deposits in that area. This may be one aspect which illustrates the importance of granite in geological researches.

Although granites of different ages, compositions and types are known in the Hengduan Mountains and a number of related ore deposits have been found with them, but the study of these granites has been hampered by many natural and economic difficulties in this remote region, and very few literature is available.

The authors of this book, Zhang Yuquan and Xie Yingwen, have engaged in granite studies for many years. They are experts not only in field geology but also in laboratory work. After their projects in Nanling and Xizang, they spent five years in Hengduan Mountains before the same long period of laboratory studies. As the results of their ten-year hard work, this book fills up a blank area which holds important significance in granite study in our country.

It is my sincere hope that the book will contribute a lot to the study of granite.

Tu Guangchi Oct. 15, 1992



# 前 言

横断山区地处青藏高原东部,包括滇西、川西、藏东和青海南部的部分地区,属高山纵谷区。在地质构造上处于南亚大陆与欧亚大陆镶嵌交接带,亦是我国东部环太平洋与西部古地中海间的过渡带,地质构造极其复杂,岩浆活动频繁、强烈,并发育各种成因类型的花岗岩。该区蕴藏着十分丰富的矿产资源,其中有色金属和贵金属矿产在我国国民经济建设中有着重要地位。近几年来锡、铜、钼、铅、锌、金等矿产在成矿研究和勘探方面有较大的进展,这些矿产的形成,大多数在时间、空间和成因上与花岗岩类有密切的关系。因此,对花岗岩类及其成矿作用的研究,不仅在理论上具有重要意义,亦将为本区找矿和勘探工作提供科学依据。

本区花岗岩类分布广泛。在地质时代上,从前寒武纪晋宁期、澄江期;古生代加里东期、海西期;中生代印支期、燕山期和新生代喜马拉雅期都有花岗岩类的形成。在成岩系列上,既有钙碱性岩石系列,又有碱性岩石系列,并具有多种成因,它们的形成、演化与板块构造密切相关。因此,在这样一个地区进行系统的花岗岩类地球化学研究,对于进一步探讨青藏高原地质历史演化和壳幔物质组成、演化也是十分重要的。

本区南部滇西地区是我国较早开展地质工作的区域之一。然而大规模的地质工作是在解放以后开展的。50年代南水北调是第一次大规模的多学科考察和西藏东部地质考察(李璞,1955);60—70年代区域地质测量与矿产普查工作全面展开,并出版了昆明、下关、成都和昌都等100万分之一的国际分幅地质图和部分20万分之一的地质图,以及一些专题性的研究等,为本区地质研究工作奠定了基础;80年代以来,地质矿产部《三江地质志》编著工作是对本区以往地质工作的总结。与此同时中国科学院青藏高原综合科学考察队于1981—1985年组织对本区的综合科学考察,花岗岩类地球化学专业组:张玉泉、谢应雯、胡国相、战新志、董振生等22人次先后四度赴横断山区野外地质考察和系统采集有关分析测试样品。1984年转为室内研究,包括同位素地质年代学和同位素地球化学、岩石学、矿物学、岩石化学、微量元素和稀土元素地球化学等多学科的综合研究,并编写了本书《横断山区花岗岩类地球化学》。

全书共分十章:

第一章为区域地质概况。作者根据地层、古生物、断裂构造及性质、变质岩和蛇绿岩,讨论了哀牢山-金沙江深断裂以东的欧亚大陆扬子板块的康滇古陆区,及以西的南亚大陆古特提斯-喜马拉雅构造区,昌都-兰坪-思茅和腾冲-保山等地体特征;哀牢山-金沙江和澜沧江变质带及双变质带和怒江以西的变质带;哀牢山-金沙江和澜沧-怒江(上游)洋壳断裂及蛇绿岩带,以及古特提斯洋壳断裂的演化和花岗岩带的形成。

本区深断裂带除康滇古陆安宁河-元谋古老基底深断裂带外,其余哀牢山-金沙江、澜沧-怒江(上游)及其邻区雅鲁藏布江-密支那深断裂带都有蛇绿岩套、混杂堆积和双变质

带等。因此,它们属于古特提斯洋在不同时代的洋壳断裂带,其形成演化都伴有同时代的花岗岩类产出。

洋壳断裂的演化,第一次在早二叠世时金沙江洋壳打开,到晚三叠世初关闭;第二次在中三叠世末怒江洋壳打开,到早白垩世初关闭;第三次在晚白垩世密支那洋壳打开,到古新世时关闭。其演化的趋势为早二叠世金沙江洋壳打开,随后在洋壳向东俯冲期间,怒江洋壳开始打开。当金沙江洋壳关闭时,怒江洋壳开始向东俯冲,密支那洋壳打开。怒江洋壳关闭后,密支那洋壳开始向东俯冲,到古新世初密支那洋壳关闭。与此同时相应形成了哀牢山-金沙江、临沧-左贡和潞西-腾冲岩带花岗岩类。至此结束了古特提斯洋的演化历史。

第二章为花岗岩类地质。讨论内容包括花岗岩类的带状分布,多期多阶段性,与围岩关系和地质时代以及花岗岩类的成因类型划分依据和特征。横断山区广泛分布的花岗岩类,时代从前寒武纪直到新生代,岩性从中酸性、酸性直到碱性都有发育,且呈带状分布。从东向西由老到新依次为康滇古陆、哀牢山-金沙江、临沧-左贡和潞西-腾冲四条岩带。康滇古陆岩带,沿安宁河-元谋古老基底断裂及其两侧呈南北向延展。岩带由晋宁期、澄江期中酸性岩和海西期富碱侵入岩组成。前者多呈岩基产出;哀牢山-金沙江岩带,沿哀牢山-金沙江深断裂带及其两侧分布,从南到北岩带由北西向转为北北西向延伸,岩带由海西—印支期、燕山期中酸性花岗岩类和喜马拉雅期富碱侵入岩组成。前者呈岩基产出,后者呈小岩基、岩株和岩枝等产出;临沧-左贡岩带,沿澜沧江及其两侧分布,岩带主体部分出露在澜沧江西侧,呈北北西向展布。组成此带岩体规模较大,呈巨大的岩基产出,但岩性比较单一,主要为中酸性花岗闪长岩和二长花岗岩,时代为海西—印支期;潞西-腾冲岩带,沿潞西、腾冲一带呈近南北向展布,往北经中缅边界一带与西藏察隅地区花岗岩相接。岩带主要为燕山晚期和喜马拉雅期酸性花岗岩类组成,与围岩侵入关系清楚。岩体本身多由不同期次侵入的地质体组成复式岩体,早期岩石偏基性,晚期岩石偏酸性。侵入顺序为闪长岩、花岗闪长岩→斑状黑云母二长花岗岩和钾长花岗岩→黑云母和二云母钾长花岗岩→黑云母和二云母碱长花岗岩;形成时代从晋宁期、澄江期、加里东期、海西期、印支期、燕山期直到喜马拉雅期;根据铈、钕同位素组成、造岩矿物、岩石化学、微量元素、稀土元素以及岩体受控构造等,将本区花岗岩类划分为壳源型(C型)、壳幔源型(CM型)和幔源型(M型)三种成因类型花岗岩类。其中C型相当S型、改造型,CM型相当I型、同熔型、M型相当A型和深熔型。

第三章为花岗岩类年代学。研究内容包括花岗岩类云母钾-氩年龄、全岩铷-锶等时线年龄,结合地质产状,对花岗岩类形成时代进行了探讨。本区四条岩带花岗岩类时代的确定,主要根据同位素地质年龄。本章采用钾-氩稀释法和 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 法以及铷-锶法,对61个岩体以及同一复式岩体中不同侵入阶段的岩石,共测定93个云母钾-氩年龄和5条铷-锶等时线年龄。其时代为:①康滇古陆岩带中酸性花岗岩类,主要形成于晋宁期(900—760Ma)和澄江期(750—600Ma)。其次是富碱侵入岩(碱性岩和碱性花岗岩),形成于海西晚期,同位素地质年龄260—235Ma,相当于石炭—二叠纪;②哀牢山-金沙江岩带中酸性花岗岩类,主要形成于海西—印支期和燕山中晚期,同位素地质年龄分别为337—215Ma和142—75Ma,相当于石炭—白垩纪。其次是富碱侵入岩,形成于喜马拉雅期,年龄为40—28Ma,相当于始新世—渐新世;③临沧-左贡岩带中酸性花岗岩类,同位素地质年龄

为 263—192Ma, 相当于晚二叠世—早侏罗世, 属于海西—印支期; ④潞西—腾冲岩带中酸性花岗岩类, 同位素地质年龄范围为 112—61Ma 和 53—40Ma, 属于燕山晚期—喜马拉雅期, 相当于白垩纪和古新世—渐新世。

第四章为花岗岩类的岩石特征。研究内容包括花岗岩类分类、岩石特征、各形成时代和期次的岩石类型与演化。本章采用 Streckeisen(1976) 的化学-矿物定量分类法, 对横断山区四条岩带 63 个岩体及其不同侵入阶段的岩石共 254 个岩石化学分析结果, 用 ICPW 方法换算成标准矿物后进行分类。其岩石类型有闪长岩、英云闪长岩、花岗闪长岩、斑状黑云母和黑云母二长花岗岩、斑状黑云母和黑云母钾长花岗岩、斑状二云母和二云母钾长花岗岩、黑云母和二云母碱长花岗岩、碱长石正长岩和碱性花岗岩等。并讨论各类型岩石的时空分布、结构构造、造岩矿物种类及含量、斜长石成分和主要副矿物组成等。通过黑云母和角闪石等矿物成分的研究后发现, 在闪长岩和英云闪长岩中为镁黑云母和镁角闪石; 在花岗闪长岩中, 分布在康滇古陆岩带的为镁黑云母和镁角闪石, 在临沧-左贡岩带黑云母为富铁黑云母; 在二长花岗岩、钾长花岗岩和碱长花岗岩中为富铁黑云母和铁角闪石, 碱性岩和碱性花岗岩中为富镁黑云母和浅闪石。各形成时代和期次的岩石类型与演化: 早期岩石偏基性, 晚期岩石偏酸性, 如晋宁期以闪长岩类为主, 岩石类型包括紫苏闪长岩、闪长岩和英云闪长岩等, 澄江期及其以后各个时代的花岗岩类, 主要是二长花岗岩、钾长花岗岩和碱长花岗岩。碱性岩和碱性花岗岩主要形成于两个时代: 一是海西期集中分布在康滇古陆岩带, 有霓辉正长岩、霓石和钠闪石花岗岩; 二是喜马拉雅期集中分布在哀牢山-金沙江岩带, 有透辉石正长岩和透辉石花岗岩, 而且在同一岩体中, 碱性花岗岩形成时间晚于碱性岩。

第五章为花岗岩类的造岩矿物。作者对长石、黑云母和角闪石三类主要造岩矿物, 分别作了主元素和微量元素、稀土元素、X 射线粉晶衍射、红外光谱、差热、比重和折射率等多项分析, 在此基础上对它们进行了矿物种名的划分, 讨论了它们在不同成因类型和不同时代花岗岩类中的诸多变化规律、物源及其成因意义。

本区花岗岩类中的长石, 包括钾钠长石亚族(碱性长石)和斜长石族, 而以碱性长石为主, 碱性长石主要是微斜条纹长石和少量正长石。随花岗岩时代的变新而碱性长石中 Or 含量下降, Ab 含量升高, 到喜马拉雅期  $Or \approx Ab$ , 有序度向低的方向演化。从壳型、壳幔型到幔型花岗岩的碱性长石中, Or 含量减少, Ab 含量增加, 在幔型中  $Or \approx Ab$ 。碱性长石结构状态和成分的变化, 与花岗岩的结晶过程及其结晶后冷却史有关。幔型花岗岩的碱性长石中 Ti、Cr 和 Co 等铁族元素含量最高, 是寄主岩石的物源具有深源特点的反映。

横断山区不同成因类型花岗岩中, 黑云母化学成分有一定的变化范围, 根据黑云母八面体层中二价阳离子(Mg、 $Fe^{2+}$ 、Mn)类质同象系列的不同, 即镁铁比值  $MF = 2Mg / (Mg + Fe^{2+} + Mn)$  将其划分为三个成分变种: 富镁黑云母( $MF = 1.3—1.5$ ), 镁黑云母( $MF = 1.0—1.3$ ), 富铁黑云母( $MF = 0.5—1.0$ ), 它们分别产于幔型、壳幔型和壳型花岗岩中。不同的成分变种是不同成因类型花岗岩的标型矿物, 因此, 可用成分变种来确定黑云母寄主岩石的物源, 还可用其标型特征划分花岗岩的成因类型。

本区花岗岩类闪石主要包括钙质闪石和碱性闪石两类, 本章主要研究前者。钙质闪石的分布、化学成分、结构、差热等地球化学特征表明, 不同成因类型花岗岩中的闪石各具特色: 幔型花岗岩中以浅闪石为主, 壳幔型花岗岩主要是镁角闪石, 壳型花岗岩中铁角闪石