

● 史长义 鄢明才 迟清华 著

中国花岗岩类化学元素丰度

ZHONGGUO HUAGANGYANLEI
HUAXUE YUANSU FENGDU

地质出版社

中国花岗岩类化学元素丰度

史长义 鄢明才 迟清华 著

地质出版社

· 北 京 ·

内 容 简 介

依据全国约 750 个有代表性花岗岩类岩体的近 70 种化学元素的实测分析数据,作者计算并提出:①中国花岗岩类的总平均化学成分和元素丰度;②中国花岗岩、碱长花岗岩、正长花岗岩、二长花岗岩、花岗闪长岩、石英二长岩、石英二长闪长岩等不同岩石类型花岗岩的平均化学成分和元素丰度;③天山-兴安造山系、中朝准地台、昆仑-祁连-秦岭造山系、滇藏造山系、扬子准地台、华南-右江造山带、喜马拉雅造山带等中国 7 大构造单元花岗岩类的总平均化学成分和元素丰度;④不同大地构造单元碱长花岗岩、正长花岗岩、二长花岗岩的平均化学成分和元素丰度;⑤太古宙、元古宙、早古生代、晚古生代、中生代、新生代花岗岩类的总平均化学成分和元素丰度;⑥不同时代碱长花岗岩、正长花岗岩、二长花岗岩的平均化学成分和元素丰度。

本书可供地球化学、岩石学、基础地质专业的科研人员及大专院校师生参考阅读。

图书在版编目 (CIP) 数据

中国花岗岩类化学元素丰度/史长义等著. —北京:地质出版社, 2008. 10

ISBN 978-7-116-05880-4

I. 中… II. 史… III. 花岗岩-化学元素-地球化学丰度-中国 IV. P588. 12

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2008) 第 165124 号

责任编辑: 陈军中
责任校对: 李 玫
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)
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^{1/16}
印 张: 8.625
字 数: 185 千字
印 数: 1-1100 册
版 次: 2008 年 10 月北京第 1 版·第 1 次印刷
审 图 号: GS (2005) 512 号
定 价: 25.00 元
书 号: ISBN 978-7-116-05880-4

(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)

前 言

花岗岩类 (Granitoid) 是以花岗岩为主的一类岩石。中国是花岗岩类相当发育的国家, 花岗岩类分布广泛, 出露面积估计为 $92 \times 10^4 \text{ km}^2$, 约占中国陆地总面积的 10%。花岗岩类化学元素丰度作为地壳元素丰度研究的重要部分, 一直受国内外学者的重视, 国内外学者先后发表了很多关于花岗岩类化学成分的资料和数据。然而, 这些丰度数据大部分都是主成分的分析结果, 多数是收集别人的分析数据经统计计算后得出的, 缺乏实测数据, 也缺乏以区域地质、地球化学实际资料为基础的对花岗质岩石微量元素的系统研究。另一方面, 由于分析方法和分析水平的差异, 导致同一成分或元素的含量数值差异较大。因此, 到目前为止, 尚无公认的世界花岗岩类化学成分的总平均值 (黎彤等, 1998)。

本书中所述“中国花岗岩类样品”是由中国东部约 500 余个有代表性的花岗岩类岩体 (鄢明才等, 1997a) 和中国西部约 250 个有代表性的花岗岩类岩体的样品组成。它们采自中国内地的 23 个省份, 所覆盖的面积约占中国内地面积的 80%, 跨越天山-兴安造山系、中朝准地台、昆仑-祁连-秦岭造山系、滇藏造山系、扬子准地台、华南-右江造山带、喜马拉雅造山带等中国 7 大构造单元。采集样品 6080 件, 实测组合样品数达到了 768 件, 涉及各种不同花岗岩类岩体约 750 个, 在地域分布和岩石类型方面具有广泛的代表性。

选用了以 ICP-MS 和 X 射线荧光光谱为主的多种先进的分析方法测试中国花岗岩类样品, 实测元素近 70 种。使用国家一级地球化学标准物质和随机抽取重复测试样品进行质量监控, 确保了分析数据的准确性和可靠性。

依据全国约 750 个有代表性花岗岩类岩体的近 70 种化学元素的实测分析数据, 作者计算并提出: ①中国花岗岩类的总平均化学成分和元素丰度; ②中国花岗岩、碱长花岗岩、正长花岗岩、二长花岗岩、花岗闪长岩、石英二长岩、石英二长闪长岩等不同岩石类型花岗岩的平均化学成分和元素丰度; ③天山-兴安造山系、中朝准地台、昆仑-祁连-秦岭造山系、滇藏造山系、扬子准地台、华南-右江造山带、喜马拉雅造山带等中国 7 大构造单元花岗岩类的总平均化学成分和元素丰度; ④不同大地构造单元碱长花岗岩、正长花岗岩、二长花岗岩的平均化学成分和元素丰度; ⑤太古宙、元古宙、早古生代、晚古生代、中生代、新生代花岗岩类的总平均化学成分和元素丰度; ⑥不同时代碱长花岗岩、正长花岗岩、二长花岗岩的平均化学成分和元素丰度。

以上述花岗岩类的近 70 种实测化学元素的系列丰度值为基础, 作者从不同的角度系统地研究了中国花岗岩类的成分和元素丰度的总体特征、不同时代花岗岩类元素丰度的演化趋势和不同构造单元花岗岩类元素丰度的区域分布, 探讨了花岗岩类的岩石化学特征、微量元素特征与稀土元素分布特征, 并从岩石化学、微量元素、稀土元素分布特征三个方面对比了中国花岗岩类与世界花岗岩类的元素丰度, 得出了一些初步认识。

本书所提供的中国花岗岩类化学元素丰度, 分析数据准确、可靠, 资料的系统性、完整性和准确度等方面均达到了一个新水平。这项成果不仅可以为中国的基础地质、矿产勘

查、地球化学的研究提供宝贵的基础资料，对中国区域上地壳的化学组成及其演化的研究有重要价值；同时，这对于世界花岗岩类化学元素丰度的研究，乃至地壳丰度的研究也是一份重要贡献。

采集全国的花岗岩类岩体样品是一项十分艰巨和困难的工作，尤其是在中国的西部地区进行。之所以能够完成此项工作，主要依靠的是有关单位领导、同事、朋友的支持和鼎力相助。作者非常感谢那些在西部 9 省区花岗岩类样品的采集和收集工作中曾经给予大力支持和无私帮助的同志，他们是：中国地质调查局奚小环处长、西安地质矿产研究所李宝强教授级高级工程师、广东地质调查研究院杜海燕院长、广东佛山地质矿产局黄宇辉总工程师和庄文明副总工程师、广西壮族自治区地质勘查总院副院长李维天博士、广西壮族自治区地质矿产局测试中心测试部叶秋主任、广西壮族自治区地质勘查总院地球物理地球化学勘查院李斌院长、云南省地质勘查开发局地球物理地球化学勘查院王永华院长、四川省地质勘查开发局赵琦教授级高级工程师、四川地质调查院陈德友院长和阚泽忠高级工程师、青海省地质勘查开发局杨生德处长、甘肃地质调查院牛洪斌高级工程师和徐家乐教授级高级工程师、新疆维吾尔自治区地质调查院庄道泽博士、西藏自治区地质调查院程力军院长和刘鸿飞副院长、湖南省有色地质勘查局 247 队李松和队长、中国核工业地质局地质处高同德高级工程师和核工业华南地质调查院吴烈勤高级工程师、原华东地质学院刘成东博士，感谢他们!!

作者同样要衷心地感谢中国地质科学院物化探研究所的领导和同事，感谢他们从立项到项目执行过程的支持和帮助!

参与这项工作的还有胡树起、刘崇民、顾铁新、卜维、鄢卫东等同志。

最后，作者再次对所有提供过帮助和支持的单位和个人表示衷心的感谢!

由于这是首次开展全国范围内花岗岩类化学元素丰度的研究，有开拓性和创新性，同时也具有一定的探索性和冒险性。鉴于作者水平和资料有限，书中难免存在不妥之处，敬请有关同行、专家及广大科技工作者批评指正。

作者
2008.5

On Abundance and Distribution of the Chemical Elements in Granitoid of China

(Abstract)

Granitoid is one type of rocks that dominantly consist of granites. It quite develops and widely distributes in China. The exposed area of granitoid in China is about 92 000 km² and represents about 10% land area of China. The abundance of chemical elements in granitoid as one of important part of the study of element abundance of Earth's crust has been focused on all the time at home and abroad. Many information and data about chemical composition of granitoid have been published in the world. However, these data dominantly are major compositions and are estimated on the basis of the data that were collected from publications rather than actual analytical data of themselves. Consequently, it is short of systematical researches on the trace elements based on the regional geology and geochemistry. On the other hand, there are bigger differences on the content of same one composition or element as a result of the differences of analytical methods and analytical levels among various authors. Therefore, there is no accepted total average chemical composition of granitoid in the world up till now (Li *et al.*, 1998).

The samples of China's granitoid used in this book were sampled from about 500 representative granitoid bodies in Eastern China and about 250 representative granitoid bodies in Western China. These samples distribute over about 23 provinces in China. The covered area is about 80% main land area of this country. They spread in the seven geotectonic units of China. These units are Tianshan-Xing'an orogenic series, Sino-Korean metaplat-form, Kunlun-Qilian-Qinling orogenic series, Yunnan-Tibet orogenic series, Yangtze metaplat-form, South China-Youjiang orogenic zone and Himalayan orogenic zone. About 6080 samples were collected in the field mainly from about 750 large to middle representative granitoid bodies in whole China and they are combined into 768 composite samples to do analysis in a laboratory.

All the samples were processed and prepared by the contamination-free preparing scheme. About 70 elements of Ag, As, Au, B, Ba, Be, Bi, Cd, Cl, Co, Cr, Cs, Cu, F, Ga, Ge, Hf, Hg, In, Li, Mn, Mo, Nb, Ni, P, Pb, Rb, S, Sb, Sc, Se, Sn, Sr, Ta, Th, Ti, Tl, U, V, W, Zn, Zr, SiO₂, TiO₂, Al₂O₃, Fe₂O₃, FeO, MnO, MgO, CaO, Na₂O, K₂O, P₂O₅, H₂O⁺, CO₂, Ce, Dy, Er, Eu, Gd, Ho, La, Lu, Nd, Pr, Sm, Tb, Tm, Y and Yb were analyzed with multiple advanced reliable analytical methods relying mainly on ICP-MS, INAA and XRF. National preliminary

geochemical certified reference materials such as GSR - 1, GSR - 2, GSR - 4, GSR - 5, GSR - 14, GSS - 9, GSD - 9, GSD - 1a, GAu - 10, GAu - 11, GAu - 2, GAu - 8, GAu - 9 and duplicates were used to monitor rigidly the analysis quality in order to ensure the accuracy and reliability of analytical data.

Based on the actual analytical data, a series of chemical element abundances of about 67 chemical elements of SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , FeO , MgO , CaO , Na_2O , K_2O , H_2O^+ , CO_2 , TFe_2O_3 , Ag, As, Au, B, Ba, Be, Bi, Cd, Cl, Co, Cr, Cs, Cu, F, Ga, Ge, Hf, Hg, Li, Mn, Mo, Nb, Ni, P, Pb, Rb, S, Sb, Sc, Se, Sn, Sr, Ta, Th, Ti, Tl, U, V, W, Zn, Zr, La, Ce, Pr, Nd, Sm, Eu, Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Yb, Lu and Y are calculated and presented in the book. These abundances include: ①the total average chemical compositions and element abundances of China's granitoid; ②the average chemical compositions and element abundances of different rock types of granitoid in China such as alkalifeldspar granite, syenogranite, adamellite, granodiorite, quartz monzonite and quartz monzodiorite; ③the total average chemical compositions and element abundances of granitoid in China's seven geotectonic units involving Tianshan-Xing'an orogenic series, Sino-Korean metaplatform, Kunlun-Qilian-Qinling orogenic series, Yunnan-Tibet orogenic series, Yangtze metaplatform, South China-Youjiang orogenic zone and Himalayan orogenic zone; ④the average chemical compositions and element abundances of alkalifeldspar granite, syenogranite and adamellite in the 7 geotectonic units; ⑤the total average chemical compositions and element abundances of Ar, Pt, Pz_1 , Pz_2 , Mz and Cz of China's granitoid; ⑥the average chemical compositions and element abundances of alkalifeldspar granite, syenogranite and adamellite of above-mentioned different geological ages.

In this book, on the basis of these abundances of about 70 chemical elements of granitoid mentioned above, general distribution characteristics of chemical compositions and element abundances of China's granitoid are systematically studied on the different points of view. At the same time, some researches on evolution tendency of chemical element abundances of the granitoid along the geological ages as well as regional distribution of element abundances of the granitoid in different geotectonic units are done. Meanwhile, it is sufficiently discussed on the distribution patterns of petrochemical parameters, trace elements content and rare earth element distributions related to granitoid and several rock types of granitoid respectively. Finally, the abundances of chemical elements of granitoid in China and the world are compared on the petrochemical parameters, trace elements content and rare earth element distributions. Consequently, the author makes a summary of some primary cognition.

The chemical element abundances of China's granitoid given in this book are directly calculated using the analytical data of 767 composite samples that sampled from 750 granitoid in whole China. It based on the regional geology and practical geochemical data rather than the published data colleted from other authors. These samples are representa-

tive and some advanced analytical methods are chosen to determine element contents. The analytical data, therefore, are accurate and reliable. That means the systematic integrality and accuracy of these chemical data have reached a new level. These chemical element abundances can be used as important fundamental information in the study on basic geology, ore exploration and geochemistry in China. It is also valuable to do research on chemical composition and evolution of China's regional upper crust. At one time, it could be an important contribution to the study on chemical element abundance of granitoid in the world and even on chemical element abundance of Earth's crust. It provided with important significance in theory and science and can be widely utilized.

目 次

前 言

On Abundance and Distribution of the Chemical Elements in Granitoid of China

第一章 绪论——中国和世界花岗岩类元素丰度研究现状	(1)
第一节 背景——为什么要研究	(1)
第二节 国内外关于花岗岩类元素丰度的研究	(2)
一、花岗岩类元素丰度研究历史与现状	(2)
二、有关花岗岩类元素丰度的计算方法	(5)
三、关于花岗岩类的分类与命名	(6)
四、存在问题及评述	(8)
第二章 中国花岗岩类元素丰度研究方法	(11)
第一节 样品分布与采集	(11)
一、采样布置	(11)
二、采样方法、原则和样品分布	(11)
第二节 样品制备	(13)
第三节 分析方法与分析质量评估	(14)
一、主要分析方法及测试元素	(14)
二、分析质量评估	(14)
第四节 花岗岩类的分类与定名	(20)
第五节 数据处理与编图	(21)
一、统计单元划分	(21)
二、数据处理及元素丰度的计算方法	(21)
三、地球化学图的编制	(21)
第六节 有关问题讨论	(23)
一、关于面积加权计算丰度值的问题	(23)
二、关于二长花岗岩、花岗闪长岩、石英二长岩、石英二长闪长岩 SiO_2 含量偏低的讨论	(25)
第三章 中国花岗岩类概况	(27)
第一节 前吕梁期	(27)
第二节 吕梁期	(27)
第三节 四堡期	(28)
第四节 晋宁期	(28)
第五节 震旦期	(28)

第六节	加里东期	(29)
第七节	华力西期	(29)
第八节	印支期	(29)
第九节	燕山期	(30)
第十节	喜马拉雅期	(30)
第四章	中国花岗岩类的化学成分和元素丰度	(31)
第五章	中国花岗岩类元素丰度的时空分布特征	(50)
第一节	花岗岩类的成分和元素丰度的总体特征	(50)
第二节	成岩序列上的演化趋势	(50)
第三节	不同时代花岗岩类元素丰度的演化趋势	(52)
一、	各时代元素丰度的特点	(52)
二、	元素丰度随时间的演化	(54)
三、	不同时代不同岩石类型花岗岩类的元素丰度	(54)
第四节	不同构造单元花岗岩类元素丰度的区域分布	(61)
一、	不同构造单元花岗岩类元素丰度的特点	(61)
二、	不同构造单元花岗岩类元素丰度的区域分布	(64)
三、	不同岩石类型花岗岩类在不同构造单元的元素丰度	(67)
第六章	中国花岗岩类地球化学图	(70)
第一节	不同元素和成分的分布特征	(70)
一、	硅、铝和铁的分布特征	(70)
二、	碱土金属和碱金属主成分的分布特征	(70)
三、	碱金属与碱土金属微量元素的分布	(70)
四、	高温成矿元素 Be、W、Sn、Mo、Bi 的分布	(71)
五、	稀有放射性元素 U、Th、Nb、Ta、Zr 的分布	(71)
六、	稀土元素的分布	(71)
七、	易挥发元素与分散元素 B、F、P、Ga、Ge 的分布	(72)
八、	低温成矿元素 As、Hg、Sb 和 Se 的分布	(72)
九、	亲硫元素 Cu、Pb、Zn、Ag 及 Au 在花岗岩类中的分布	(72)
十、	亲铁元素 Cr、Ni、Co、Mn、Ti、V、Sc 的分布	(73)
第二节	中国花岗岩类丰度的空间分布趋势	(74)
第七章	花岗岩类的岩石化学特征与微量元素特征	(75)
第一节	岩石化学和元素比值特征	(75)
一、	中国花岗岩类和不同花岗岩类岩石的岩石化学和元素比值特征	(75)
二、	不同时代花岗岩类岩石化学和元素比值特征	(77)
三、	花岗岩类岩石化学和元素比值特征的区域分布	(80)
第二节	微量元素特征	(84)
一、	亲铜元素丰度特征	(85)

二、亲石元素丰度特征	(88)
三、亲铁元素丰度特征	(89)
四、微量元素比值蜘蛛网图	(91)
第三节 稀土元素分布特征	(99)
一、中国花岗岩类岩石 REE 分布特征	(99)
二、不同花岗岩类岩石 REE 分布特征	(100)
三、不同区域花岗岩类及不同岩石类型花岗岩 REE 分布特征	(104)
四、不同时代花岗岩类及不同岩石类型花岗岩 REE 分布特征	(106)
第八章 中国花岗岩类与世界花岗岩类元素丰度对比	(112)
第一节 岩石化学特征对比	(112)
第二节 微量元素特征对比	(113)
第三节 稀土元素分布特征对比	(114)
第九章 结 论	(116)
参考文献	(120)

CONTENTS

Preface

On Abundance and Distribution of the Chemical Elements in Granitoid of China

Chapter 1 Introduction	(1)
1.1 Background	(1)
1.2 Researches on the Element Abundances of Granitoid in China and the World	(2)
1.2.1 History and Present of Study on the Element Abundances of Granitoid	(2)
1.2.2 About Calculating Methods of the Element Abundances of Granitoid	(5)
1.2.3 About Classifications of Granitoid	(6)
1.2.4 Some Problems and Reviews	(8)
Chapter 2 Research Methods of Element Abundance of Granitoid in China	(11)
2.1 Sample Distribution and Sampling Scheme	(11)
2.1.1 Sampling Scheme	(11)
2.1.2 Sampling Methods and sample Distribution	(11)
2.2 Sample Preparing	(13)
2.3 Sample Analysis and Quality Monitoring	(14)
2.3.1 Major Analysis Methods and Determining Elements	(14)
2.3.2 Evaluation of Analysis Quality	(14)
2.4 Classification of China's Granitoid	(20)
2.5 Data Processing and Mapping	(21)
2.5.1 Division of Statistical Units	(21)
2.5.2 Methods of Data Processing and Calculating Methods of Element Abundance	(21)
2.5.3 Mapping of Geochemical Maps	(21)
2.6 Some Problems To Be Discussed	(23)
2.6.1 About the Problem of Calculating Abundance by Area weighting	(23)
2.6.2 The Discussion of Lower SiO ₂ Content in adamellite, granodiorite, quartz monzonite and quartz monzodiorite	(25)
Chapter 3 A Outline of Granitoid of China	(27)
3.1 Pre-Lüliang Period	(27)
3.2 Lüliang Period	(27)
3.3 Sibao Period	(28)
3.4 Jinning Period	(28)

3.5	Sinian Period	(28)
3.6	Caledonian Period	(29)
3.7	Variscan Period	(29)
3.8	Indosinian Period	(29)
3.9	Yanshanian Period	(30)
3.10	Himalayan Period	(30)
Chapter 4 The Total Average Chemical Compositions and Element Abundances		
	of the China's Granitoid	(31)
Chapter 5 Distributions of Element Abundances of the China's Granitoids		
(50)		
5.1	The Collectivity Characters of Chemical Compositions and Element Abundances of the China's Granitoids	(50)
5.2	Evolution Tendencies on the Lithology Sequences	(50)
5.3	Evolution Tendencies of Element Abundance in Granitoid in Different Geological Ages	(52)
5.3.1	Characters of Element Abundances of Granitoid in Different Geological Ages	(52)
5.3.2	Evolution Tendencies of Element Abundances of Granitoid along with Geological Ages	(54)
5.3.3	Element Abundances of Different Rock Types of Granitoid in Different Geological Ages	(54)
5.4	Regional Distributions of Element Abundances of Granitoid in Different Tectonic Units	(61)
5.4.1	Features of Element Abundances of Granitoid in Different Tectonic Units	(61)
5.4.2	Regional Distributions of Element Abundances of Granitoid in Different Tectonic Units	(64)
5.4.3	Element Abundances of Different Rock Types of Granitoids in Different Tectonic Units	(67)
Chapter 6 Geochemical Maps of Granitoid of China		
(70)		
6.1	Distributions of Different Elements and Compositions	(70)
6.1.1	Distributions of SiO ₂ , Al ₂ O ₃ and FeO	(70)
6.1.2	Distributions of Major Compositions of Alkaline Earth and Alkali Metals	(70)
6.1.3	Distributions of Trace Elements of Alkali Metals and Alkaline Earth	(70)
6.1.4	Distributions of High Temperature Ore Elements of Be, W, Sn, Mo and Bi	(71)
6.1.5	Distributions of Rare Radioelements of U, Th, Nb, Ta and Zr	(71)
6.1.6	Distributions of Rare Earth Elements	(71)
6.1.7	Distributions of Highly Volatile Elements and Dispersed Elements of B, F, P, Ga and Ge	(72)
6.1.8	Distributions of Low Temperature Ore Elements of As, Hg, Sb and Se	(72)
6.1.9	Distributions of Sulfophilic Element of Cu, Pb, Zn, Ag and Au	(72)

6. 1. 10	Distributions of Siderophile Elements of Cr, Ni, Co, Mn, Ti, V and Sc	(73)
6. 2	Spatial Distributions of Element Abundances of Granitoid of China	(74)
Chapter 7 The Characters of Petrochemistry and Trace Elements of China's		
	Granitoid	(75)
7. 1	Petrochemistry and Element Ratios Characteristics	(75)
7. 1. 1	Petrochemistry and Element Ratios Characteristics of Granitoid and Different Rock Types of Granitoid in China	(75)
7. 1. 2	Petrochemistry and Element Ratios Characteristics of Different Rock Types of Granitoid of Different Geological Ages	(77)
7. 1. 3	Petrochemistry and Element Ratios Characteristics of Granitoid Rocks of Different Geological Units	(80)
7. 2	Characteristics of Trace Elements	(84)
7. 2. 1	Abundance Characteristics of Chalcophile Elements	(85)
7. 2. 2	Abundance Characteristics of Lithophile Elements	(88)
7. 2. 3	Abundance Characteristics of Siderophile Elements	(89)
7. 2. 4	Chondrite-Normalized Spider Diagram of Trace Elements	(91)
7. 3	Characteristics of Rare Earth Elements	(99)
7. 3. 1	REE Distributions of China's Granitoid	(99)
7. 3. 2	REE Distributions of Different Types of Granitoid Rocks of China	(100)
7. 3. 3	REE Distributions of Granitoid and Different Granitoid Rocks in Different Units	(104)
7. 3. 4	REE Distributions of Granitoid and Different Granitoid Rocks in Different Geological Ages	(106)
Chapter 8 Comparisons of Element Abundances of Granitoid in China		
	and the World	(112)
8. 1	Comparisons of Petrochemistry	(112)
8. 2	Comparisons of Trace Elements	(113)
8. 3	Comparisons of Rare Earth Elements	(114)
Chapter 9 Conclusions		
		(116)
References		
		(120)

第一章 绪论——中国和世界花岗岩类元素丰度研究现状

第一节 背景——为什么要研究

岩石是地壳和岩石圈的基本组成部分，是地球科学研究的重要对象。岩石的化学组成作为其基本属性和分类的依据之一，对基础地质和矿产勘查均具有重要意义并受到广泛重视。

化学元素的丰度与分布是人类研究与改造自然和环境所必须掌握的基础资料。长期以来，国内外地球化学家一直探索着地壳的元素丰度。元素丰度不仅在矿产勘查、基础地质和成矿规律的研究中具有重要作用，亦可为农业、环境、卫生等部门提供区域地球化学背景资料。

岩类元素平均含量是丰度研究的重要内容。花岗岩类 (Granitoid) 是以花岗岩为主的一类岩石。花岗质岩石是大陆地壳生长和分异的实质性物质，其化学组成可近似反映地壳化学组成的演化特征。花岗质岩石是上部地壳的主要成分，是地球长期演化与调整的产物。花岗质岩石广泛分布于大陆岩石圈中。中国是花岗岩类相当发育的国家，全国范围内花岗岩类的出露面积约占我国陆地总面积的 10%。中国许多内生金属矿床，如金、铀、钨、锡、铜、稀土、铌钽等矿床，其成因往往都与花岗岩类的岩浆活动及其后期热液作用有关。花岗岩类的岩石本身，也是一种很有开发价值的建材资源。

基本岩石类型的元素平均含量，是采用全球地壳模型来计算地壳元素丰度的必不可少的数据。花岗岩类化学元素的丰度包含了区域地壳的特征及其演化的广泛信息。

Clarke 等 (1924) 和 Washington (1925) 发表了地壳元素丰度。研究花岗岩类化学元素丰度作为地壳元素丰度研究的重要部分，也具有悠久的历史和丰富的资料，国内外学者一直重视这方面研究，先后发表了很多关于花岗岩类化学成分的资料和数据 (Daly, 1933; Nocholds, 1954; Turekian 和 Wedepohl, 1961; Vinogradov, 1962; Le Maitre, 1976b; 黎彤等, 1963, 1998; 鄢明才等, 1997a)。虽然有多位学者在不同的时间、以不同的计算方式提出了不同的花岗岩类丰度的数据，但是其中大部分都是常量元素的分析结果，而且多数是收集公开发表的分析数据经统计计算后得出的，缺乏实测数据。另外，鄢明才等 (1996) 提出的中国花岗岩丰度值，虽然是实测数据得出的，但是其多数元素主要是依据中国东部花岗岩类的分析数据计算出的。因此，到目前为止，尚无公认的世界花岗岩类化学成分的总平均值 (黎彤等, 1998)，也缺乏中国范围内完全通过实测数据得出的中国花岗岩类化学成分的平均值。因此，在全国范围内，通过选择性采集有代表性的花岗岩类岩体样品，运用当今先进的分析测试手段，开展中国花岗岩类地球化学元素丰度的测试和研究是非常重要的。

本书提供的中国花岗岩类化学元素丰度, 不仅将为中国的基础地质、矿产勘查、地球化学研究提供宝贵的基础资料, 对中国区域上地壳的化学组成及其演化的研究有重要价值; 同时, 对于世界花岗岩类化学元素丰度的研究, 乃至地壳丰度的研究也是一份重要贡献, 具有重大的理论意义和应用前景。

第二节 国内外关于花岗岩类元素丰度的研究

一、花岗岩类元素丰度研究历史与现状

基本岩石类型的元素平均含量, 是采用全球地壳模型来计算地壳元素丰度的必不可少的数据。花岗岩类的元素丰度值则是其中最重要的一种。

Daly (1933) 最早发表了根据 546 个分析数据计算出的花岗岩中 SiO_2 (70.18%)、 TiO_2 (0.39%)、 Al_2O_3 (14.47%)、 Fe_2O_3 (1.57%)、 FeO (1.78%)、 MnO (0.12%)、 MgO (0.88%)、 CaO (1.99%)、 Na_2O (3.48%)、 K_2O (4.11%)、 H_2O^+ (0.84%)、 P_2O_5 (0.19%) 等 12 种主要氧化物的平均化学成分。

Nocholds (1954) 根据 173 个分析数据也计算并提出了钙碱性、碱性、过碱性花岗岩 SiO_2 、 TiO_2 、 Al_2O_3 、 Fe_2O_3 、 FeO 、 MnO 、 MgO 、 CaO 、 Na_2O 、 K_2O 、 H_2O^+ 、 P_2O_5 12 种常量元素的平均化学成分, 而且他们的数据至今仍然在被引用。

根据发表的大量文献资料, Turekian 和 Wedepohl (1961) 汇编了富钙和贫钙花岗岩类中 60 余种元素的平均含量。他们同时也指出, 无论是对原始研究者还是编者, 这种汇编的数据在分析测试、取样的代表性和岩性描述的可靠性方面均存在着较大的不确定性。

继后, Vinogradov (1962) 也汇总提出了花岗岩类约 70 种元素的丰度资料, 其对基础地球化学和地壳元素丰度的研究起了重要作用。1972, 苏联的 Beus 发表了世界花岗岩类的平均成分。

依据 CLAIR 数据系统, 在 2485 个花岗岩化学分析数据的基础上, Le Maitre (1976b) 统计计算出了世界花岗岩类的 12 种主要氧化物的平均化学成分、分异指数 (84.24) 和结晶指数 (9.27)。他所用的这些数据全部取自世界各地已公开发表的 197 篇文献。

在国内, 最早由黎彤和饶纪龙 (1963) 根据从 1925~1960 年发表的文献中收集的 221 个花岗岩分析数据, 计算并发表 SiO_2 、 TiO_2 、 Al_2O_3 、 Fe_2O_3 、 FeO 、 MnO 、 MgO 、 CaO 、 Na_2O 、 K_2O 、 H_2O^+ 、 P_2O_5 、 CO_2 13 个组分的中国花岗岩类的平均化学成分。1998 年, 黎彤等根据有关文献中发表的 12265 个花岗岩类样品化学分析结果, 重新求得我国花岗岩类化学成分 (SiO_2 、 TiO_2 、 Al_2O_3 、 Fe_2O_3 、 FeO 、 MnO 、 MgO 、 CaO 、 Na_2O 、 K_2O 、 H_2O^+ 、 P_2O_5) 的总平均值; 并结合 Daly (1933)、Nocholds (1954)、Beus (1972) 的花岗岩类统计资料, 采用区域综合平均法进一步求出包含中国花岗岩类在内的世界花岗岩类 11 种元素的总平均化学成分。

鄢明才等 (1996, 1997a) 以中国东部地区 500 余个较大的和有代表性的花岗岩类岩体实测数据为基础, 同时, 在未采样的地区 (主要为中国西部) 收集了有代表性、分析质量良好的 300 余个花岗岩类岩体的常量元素数据, 求出中国花岗岩类及不同岩石类型花岗岩 (即碱长花岗岩、正长花岗岩、二长花岗岩、奥长花岗岩、花岗闪长岩)、中国东部不同构

造单元〔即内蒙兴安-吉黑造山带、华北地台、秦岭-大别造山带、扬子地台（东）和华南褶皱系〕花岗岩类以及东部不同构造单元不同时代酸性岩的 76 种元素或成分的平均含量。

史长义（2003）^①和史长义等（2005a, 2005b, 2007）依据采自全国范围内 750 个有代表性的大中型花岗岩类岩体的 767 件组合样的实测分析数据为基础（分析样品数为 768 件），计算提出了中国花岗岩类和不同岩石类型花岗岩〔即碱长花岗岩、正长花岗岩、二长花岗岩、花岗闪长岩、石英二长岩、石英二长闪长岩〕以及不同构造单元（即天山-兴安造山系、中朝准地台、昆仑-祁连-秦岭造山系、滇藏造山系、扬子准地台、华南-右江造山带、喜马拉雅造山带）、不同时代（即太古宙、元古宙、早古生代、晚古生代、中生代、新生代）花岗岩类和不同岩石类型花岗岩的近 70 种化学元素和成分的丰度。

国内外不同学者发表的中国和世界花岗岩类岩石的地球化学丰度值见表 1-1。

此外，关于区域性、地区性或单个岩体的花岗岩（类）的化学成分的研究也取得了很多成果，它们主要体现在大量的有关花岗岩（类）岩石地球化学方面的文献中。如中国科学院贵阳地球化学研究所（1979）、南京大学地质系（1981）、中国科学院青藏高原综合科学考察队（1982）、新疆地矿局区域地质调查大队（1985）、严阵（1987）、陆杰（1987）、於崇文等（1987）、王成发（1987）、张德全等（1988）、廖庆康（1989）、王伏泉（1989）、张本仁等（1990）、李石等（1991）、李之彤（1991）、李先梓等（1993）、张宏飞等（1994）、王焰等（2001）、Witt 等（1997）、Nashar（1999）、Jahn 等（1981）、Dodge 等（1982）、Pearce（1982, 1984）、Taylor 等（1986）、Sheralong 等（1988）、Vielzeuf 等（1988）、Sauerer 等（1990）、Truscott（1990）、Champion 等（2000），以及中国各省（区、市）的区域地质志等。但是，这些文献中的数据主要涉及花岗岩的主要化学成分的含量，微量元素的分析数据比较少。

例如，通过对华南花岗岩类的研究，计算提出华南花岗岩类的岩石化学成分和不同时代花岗岩类中 18 种微量元素的平均含量（中国科学院贵阳地球化学研究所，1979）。於崇文等（1987）通过对南岭地区 9 个花岗岩类岩体的研究，提出了不同时代花岗岩类岩体的常量元素的平均含量，以及不同时代花岗岩类 40 种元素的丰度。

李石等（1991）对桐柏山-大别山花岗岩类的地球化学进行了较详细的研究，根据 80 个岩体的 262 个样品的数据（其中 179 个是引用前人的），计算出不同岩石类型及全区的岩石化学算术平均值；根据 60 个岩体的 95 个样品的数据（其中 25 个是引用前人的）计算出不同岩石类型及全区的稀土元素平均含量；根据 52 个岩体的 82 个样品的分析数据计算出不同岩石类型及全区的 21 种微量元素平均含量。

另外，王炳成（1986）研究了玲珑花岗岩的岩石化学和 V、Cr、Co、Cu、Pb、Zn、As、Sb、F、Li、Rb、Bi、Sr、Ba、Cd、Ga、Te、W、Sn、Mo、Zr、Nb、Ta、Hg、Be、Bi、Hf、Cs、U、Th、Tl、Se、Ag、Au 34 种微量元素的地球化学特征。陆杰（1987）对个旧花岗岩的 Ni、Co、Cu、Pb、Zn、Li、Cs、Rb、Sr、Ba、Nb、Ta、U、Th、Zr、Hf、Sc、Sn、W、Mo、F、B 共 22 种微量元素和稀土元素地球化学特征进行了研究。廖庆康（1989）研究了广西地区不同时代、不同成因花岗岩中微量元素及其组合的丰度变化。王伏泉（1989）对大余花岗质岩体的稀土元素、27 种微量元素和常量元素的地球化学特征进行了论述。黎

① 史长义，2003，中国花岗岩类化学元素丰度研究，中国地质大学（北京）。