

迟清华 鄢明才 编著

应用地球化学 元素丰度数据手册

YINGYONG DIQIU HUAXUE
YUANSU FENGDU SHUJU SHOUCHE

地质出版社

应用地球化学 元素丰度数据手册

迟清华 鄢明才 编著

地质出版社

· 北 京 ·

内 容 提 要

本书汇编了国内外不同研究者提出的火成岩、沉积岩、变质岩、土壤、水系沉积物、泛滥平原沉积物、浅海沉积物和大陆地壳的化学组成与元素丰度,同时列出了勘查地球化学和环境地球化学研究中常用的中国主要地球化学标准物质的标准值,所提供内容均为地球化学工作者所必须了解的各种重要地质介质的地球化学基础数据。

本书供地球化学、岩石学、勘查地球化学、生态环境与农业地球化学、地质样品分析测试、矿产勘查、基础地质等领域的研究者阅读,也可供地球科学其他领域的研究者使用。

图书在版编目(CIP)数据

应用地球化学元素丰度数据手册/迟清华,鄢明才编
著. —北京:地质出版社,2007.12
ISBN 978-7-116-05536-0

I. 应… II. ①迟…②鄢… III. 地球化学丰度-化学元素-数据-手册 IV. P595-62

中国版本图书馆CIP数据核字(2007)第185917号

责任编辑:王永奉 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: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:10.25
字 数:260千字
印 数:1—3000册
版 次:2007年12月北京第1版·第1次印刷
定 价:28.00元
书 号:ISBN 978-7-116-05536-0

(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)

关于应用地球化学 元素丰度数据手册（代序）

地球化学元素丰度数据，即地壳五个圈内多种元素在各种介质、各种尺度内含量的统计数据。它是应用地球化学研究解决资源与环境问题上重要的资料。将这些数据资料汇编在一起将使研究人员节省不少查找文献的劳动与时间，这本小册子就是按照这样的想法编汇的。它主要收集中国东部地壳与岩石化学组成的成果，兼及中国土壤、水系沉积物、泛滥平原沉积物、浅海沉积物中多种元素的丰度数据。为了读者使用的便利，还列出我国主要地球化学标准物质的标准值。这本小册子并不求全，只求今后的一个宏伟计划有个开始。今后随着国内外地球化学填图的发展，大量新数据的涌现，可以不断修订，补充，再版，使此手册一直紧跟应用地球化学的发展步伐。

谢学锦
2007.11

前 言

地壳、岩石和疏松沉积物的化学组成与元素丰度是人类开展地质与地球化学调查、生态环境与农业地球化学调查需要了解的必不可少的最基础和最常用的地球化学数据。本书汇集的应用地球化学基础数据以岩石的化学组成和元素丰度为主体，同时汇集了疏松沉积物、大陆地壳的化学组成与元素丰度及常用地球化学标准物质标准值的数据，力求实用和全面，以供不同行业工作者和研究者参考选用。

岩石是地壳和岩石圈组成的基本单元。研究各种地质体中元素的分布、迁移和富集规律，确定地球化学异常下限及评估地质体的含矿性与成矿条件，都需要与相应的岩石化学组成与元素丰度数据对比。岩石中的元素丰度资料，除主成分和稀土元素外，系统的微量元素尤其是痕量元素含量的新资料目前很少。迄今人们仍常引用 20 世纪 60 年代 Turekian and Wedepohl (1961) 和 Vinogradov (1962) 根据选取散见于文献上不同研究者给出的不同岩类、不同元素的含量资料发表的 4 种火成岩和 3 种沉积岩的元素丰度数据，在早期地球化学研究中曾起了重要作用，但受制于当时的测试技术条件或样品的代表性，其中的一些元素尤其是测试困难的痕量元素和贵金属元素与实际偏离较大。如 Vinogradov (1962) 给出的酸性岩和基性岩中 Au 丰度分别为 4.5×10^{-9} 和 4×10^{-9} ；Hg 丰度分别为 80×10^{-9} 和 90×10^{-9} ；Pd 的丰度估计值更高，分别为 10×10^{-9} 和 19×10^{-9} 。实际上这样的含量值已达异常或强异常值，与目前实测的元素含量难以进行对比和地球化学解释。实际上 Turekian and Wedepohl (1961) 在其论文中亦曾客观地指出，他们的汇编数据中的一些岩类和元素，在元素含量的测试、取样的代表性和岩性的描述上存在着不确定性。对另一重要岩类变质岩，则几乎见不到综合性的元素丰度数据。因此，迫切需要充实新的岩石化学组成，特别是痕量和超痕量元素丰度资料。本书在第一章、第二章、第三章汇编了国内外有代表性的火成岩、沉积岩和变质岩的岩石元素丰度，收集了近十几年来中国不同类型火成岩、沉积岩和变质岩的最新地球化学研究成果，其中包括了数十种岩石 70 余种元素的实测丰度数据，信息丰富，期望其对地球化学的定量研究和科学比对有所助益。

地壳的化学组成和元素丰度研究经历了一个多世纪，大体可分为 3 个阶段。最早以大陆地壳出露的结晶岩石成分的平均值估计地壳元素丰度 (Clarke, 1889, 1908; Clarke and Washington, 1924)；然后以酸性岩和基性岩的平均化学组成按不

同比例估计大陆地壳元素丰度 (Vinogradov, 1962; Taylor, 1964); 目前则通过对出露有下地壳岩石的某些有代表性的大构造单元的陆壳实测元素丰度研究来估计大陆地壳元素丰度 (Shaw *et al.*, 1986; Wedepohl, 1991, 1995; 鄯明才和迟清华, 1997; Yan and Chi, 2005)。地壳元素丰度的资料已日臻完善, 除个别难测痕量、超痕量元素外, 不同作者的新近估计值已相当接近。本书第五章列出了不同时期国内外研究者给出的具代表性的大陆地壳元素丰度数据, 提供读者选用。

近年来不同研究者提出的不同国度大陆地壳化学组成、元素丰度数据与先后研究发表的中国东部和中国花岗岩元素丰度的相似性表明, 涵盖 5 个一级大地构造单元的中国 (东部) 岩石和地壳的元素丰度数据具有良好的代表性, 可作为不同区域元素丰度对比的基础; 较前人收集不同来源数据估计的值, 特别在研究元素相关性和比值时, 应更具可比性和适用性。

中国东部大陆地壳和岩石化学组成与元素丰度的研究成果 (鄯明才和迟清华, 1997; Yan and Chi, 2005) 是本书岩石和大陆地壳元素丰度数据的重要来源。1986 ~ 1995 年, 中国地质科学院地球物理地球化学勘查研究所与中国地质大学 (武汉)、长春地质学院以及中国东部 9 省区区域地质调查队或地球物理地球化学勘查院合作, 在中国东部东经 105° 以东、面积 $330 \times 10^4 \text{ km}^2$ 、涵盖 17 省 (市、区) 5 个一级大地构造单元的广大地区, 系统采集了 500 余条标准地层剖面、800 余个代表性的火成岩体和变质杂岩体的总计 28253 个样品, 组合成 2718 件分析样; 与国内众多有经验的地质分析实验室合作, 采用以中子活化法、X 射线荧光光谱法、等离子体光谱法与质谱法为主的 10 余种配套分析方法进行准确测试, 以相应的国际公认的国家一级地球化学标准物质严格监控分析质量, 准确测定了每个岩石组合样品中 62 种元素的含量; 同时按构造单元和岩类组合成了 150 件大组合样, 准确测定了 Br、I、In、N、Os、Ir、Rh、Ru、Re、Te、Pr、Dy、Ho、Er、Tm 15 种元素的含量。以中国东部区域地质、地球化学和地学断面资料为基础获得的中国东部大陆地壳和岩石 76 种元素的化学组成与元素丰度, 是迄今为止跨越一级大地构造单元最多、通过系统测定每件岩石组合样品得到的元素最为齐全的大陆地壳和岩石的化学组成与元素丰度研究成果。

疏松沉积物 (主要是水系沉积物和土壤) 是勘查地球化学和生态环境地球化学研究的主要对象, 国际上与之相关的地球化学元素含量背景资料不多。自 20 世纪 80 年代开始, 中国相继开展的全国土壤环境地球化学背景值调查、水系沉积物区域化探全国扫面、全国泛滥平原沉积物地球化学填图、中国浅海沉积物地球化学调查以及中国东部平原土壤生态地球化学基准值研究; 20 世纪 60 ~ 80 年代美国开展的

土壤环境地球化学元素背景值调查；1996~2005年欧洲地球化学基准填图计划进行的土壤、水系沉积物和泛滥平原沉积物地球化学调查，积累了丰富的疏松沉积物元素含量资料。据此本书第四章汇集了中国和其他国家土壤、水系沉积物和浅海沉积物元素含量的新资料，这些基础地球化学数据可供生态环境与农业地球化学调查、地球化学勘查等领域的研究者进行对比应用。

本书第六章还汇集了常用的岩石、土壤、水系沉积物、生物地球化学多元素标准物质的标准值以及痕量超痕量、矿石金和铂族元素标准物质的标准值等，可供地质、地球化学和地质测试工作者参考使用。

此外，本书还将中国有代表性的主要类型岩石、土壤、水系沉积物、浅海沉积物和大陆地壳的化学组成与元素丰度、地球化学勘查样品分析方法检出限以及重要地球化学勘查计划中采用的检出限和分析方法分列于附录1、附录2和附录3。

随着区域地质、地球化学和全球地学断面资料的不断积累与地质分析测试技术的进步，有关地壳及不同地质介质的化学组成与元素丰度的数据必将日臻完善。

衷心感谢中国科学院院士、中国地质科学院地球物理地球化学勘查研究所名誉所长谢学锦教授为本书作序！

谨以此书献给中国地质科学院地球物理地球化学勘查研究所成立50周年，献给致力于应用地球化学和地质分析测试的广大科研工作者！

由于水平所限，缺点、疏漏和错误在所难免，敬请读者批评指正。

编著者
2007年10月

目 次

关于应用地球化学元素丰度数据手册（代序）

前 言

第一章 火成岩化学组成与元素丰度	(1)
1.1 酸性岩化学组成与元素丰度	(2)
表 1.1.1 酸性岩化学组成与元素丰度	(2)
表 1.1.2 花岗岩和流纹岩化学组成与元素丰度	(3)
表 1.1.3 高钙酸性岩化学组成与元素丰度	(4)
表 1.1.4 中国各类花岗岩化学组成与元素丰度	(5)
表 1.1.5 中国东部各构造单元花岗岩化学组成与元素丰度	(6)
表 1.1.6 中国东部各构造单元碱（正）长花岗岩化学组成与元素丰度	(7)
表 1.1.7 中国东部各构造单元二长花岗岩化学组成与元素丰度	(8)
表 1.1.8 中国东部各构造单元花岗闪长岩化学组成与元素丰度	(9)
表 1.1.9 中国东部各构造单元酸性火山岩化学组成与元素丰度	(10)
表 1.1.10 中国各构造单元花岗岩化学组成和元素丰度	(11)
表 1.1.11 中国各构造单元碱长花岗岩化学组成和元素丰度	(12)
表 1.1.12 中国各构造单元正长花岗岩化学组成和元素丰度	(13)
表 1.1.13 中国各构造单元二长花岗岩化学组成和元素丰度	(14)
表 1.1.14 中国东部太古宙和后太古宙酸性岩化学组成与元素丰度	(15)
1.2 中性岩化学组成与元素丰度	(16)
表 1.2.1 闪长岩和安山岩化学组成与元素丰度	(16)
表 1.2.2 中国各类闪长岩和安山岩化学组成与元素丰度	(17)
表 1.2.3 中国东部各构造单元闪长岩化学组成与元素丰度	(19)
表 1.2.4 中国东部各构造单元中性火山岩化学组成与元素丰度	(20)
表 1.2.5 二长岩、正长岩和粗面岩化学组成与元素丰度	(21)
表 1.2.6 中国各类正长岩化学组成与元素丰度	(23)
表 1.2.7 中国东部各构造单元正长岩类化学组成与元素丰度	(24)
表 1.2.8 中国东部太古宙和后太古宙中性岩化学组成与元素丰度	(25)
1.3 基性岩和超镁铁质岩化学组成与元素丰度	(26)
表 1.3.1 基性岩化学组成与元素丰度	(26)
表 1.3.2 中国各类辉长岩化学组成与元素丰度	(28)
表 1.3.3 中国东部各构造单元辉长岩和辉绿岩化学组成与元素丰度	(29)
表 1.3.4 中国东部各构造单元玄武岩化学组成与元素丰度	(30)
表 1.3.5 中国东部太古宙和后太古宙基性岩化学组成与元素丰度	(31)
表 1.3.6 超镁铁质岩化学组成与元素丰度	(31)
1.4 火山碎屑岩及其他火成岩化学组成与元素丰度	(34)
表 1.4.1 中国火山碎屑岩化学组成与元素丰度	(34)
表 1.4.2 中国东部各构造单元火山碎屑岩化学组成与元素丰度	(35)
表 1.4.3 中国其他火成岩化学组成与元素丰度	(36)

第二章 沉积岩化学组成与元素丰度	(38)
2.1 砂岩化学组成与元素丰度	(39)
表 2.1.1 砂岩化学组成与元素丰度	(39)
表 2.1.2 中国东部各类杂砂岩化学组成与元素丰度	(41)
表 2.1.3 中国东部各构造单元砂岩化学组成与元素丰度	(43)
2.2 泥(页)岩化学组成与元素丰度	(45)
表 2.2.1 泥(页)岩化学组成与元素丰度	(45)
表 2.2.2 中国东部各类泥(页)岩化学组成与元素丰度	(46)
表 2.2.3 中国东部各构造单元泥(页)岩化学组成与元素丰度	(48)
2.3 碳酸盐岩化学组成与元素丰度	(50)
表 2.3.1 碳酸盐岩化学组成与元素丰度	(50)
表 2.3.2 中国东部石灰岩化学组成与元素丰度	(51)
表 2.3.3 中国东部白云岩化学组成与元素丰度	(52)
表 2.3.4 中国东部泥灰岩和泥云岩化学组成与元素丰度	(53)
表 2.3.5 中国东部各构造单元碳酸盐岩化学组成与元素丰度	(54)
2.4 硅质岩化学组成与元素丰度	(56)
表 2.4.1 中国东部硅质岩化学组成与元素丰度	(56)
表 2.4.2 中国东部不同区域硅质岩化学组成与元素丰度	(57)
第三章 中国东部变质岩化学组成与元素丰度	(58)
3.1 中国东部板岩、千枚岩和片岩化学组成与元素丰度	(59)
表 3.1.1 中国东部板岩化学组成与元素丰度	(59)
表 3.1.2 中国东部各构造单元板岩化学组成与元素丰度	(60)
表 3.1.3 中国东部千枚岩和片岩化学组成与元素丰度	(61)
表 3.1.4 中国东部各构造单元千枚岩化学组成与元素丰度	(62)
表 3.1.5 中国东部各构造单元片岩化学组成与元素丰度	(63)
3.2 中国东部片麻岩化学组成与元素丰度	(64)
表 3.2.1 中国东部片麻岩化学组成与元素丰度	(64)
表 3.2.2 中国东部各构造单元片麻岩化学组成与元素丰度	(66)
表 3.2.3 中国东部太古宙和元古宙花岗质片麻岩化学组成与元素丰度	(67)
3.3 中国东部变粒岩化学组成与元素丰度	(69)
表 3.3.1 中国东部酸性变粒岩化学组成与元素丰度	(69)
表 3.3.2 中国东部中酸性变粒岩化学组成与元素丰度	(70)
表 3.3.3 中国东部中性变粒岩和副变粒岩化学组成与元素丰度	(71)
3.4 中国东部麻粒岩化学组成与元素丰度	(72)
表 3.4.1 中国东部酸性麻粒岩化学组成与元素丰度	(72)
表 3.4.2 中国东部中性麻粒岩化学组成与元素丰度	(73)
表 3.4.3 中国东部基性麻粒岩化学组成与元素丰度	(74)
3.5 中国东部斜长角闪岩和绿片岩化学组成与元素丰度	(75)
表 3.5.1 中国东部斜长角闪岩化学组成与元素丰度	(75)
表 3.5.2 中国东部各构造单元斜长角闪岩化学组成与元素丰度	(76)
表 3.5.3 中国东部绿片岩化学组成与元素丰度	(77)
3.6 中国东部大理岩和石英岩化学组成与元素丰度	(78)
表 3.6.1 中国东部大理岩化学组成与元素丰度	(78)
表 3.6.2 中国东部石英岩化学组成与元素丰度	(79)

第四章 疏松沉积物化学元素平均含量	(80)
表 4.1 中国土壤化学元素含量	(82)
表 4.2 中国、美国和欧洲土壤元素背景值	(84)
表 4.3 中国东部平原土壤生态地球化学基准值	(87)
表 4.4 欧洲土壤和沉积物化学元素含量	(89)
表 4.5 中国不同类型沉积物化学元素含量	(92)
表 4.6 中国水系沉积物 39 种化学元素含量	(94)
表 4.7 中国浅海沉积物化学元素含量	(96)
第五章 地壳化学元素丰度	(98)
表 5.1 大陆地壳化学元素丰度	(101)
表 5.2 上陆壳和下陆壳化学元素丰度	(103)
表 5.3 华北地台大陆地壳化学元素丰度	(105)
表 5.4 华北地台大陆地壳主成分组成	(107)
表 5.5 不同研究者对大陆地壳主成分组成的估计值	(107)
表 5.6 中国东部大陆地壳化学组成与元素丰度估计值	(108)
表 5.7 中国东部及各构造单元出露地壳化学组成与元素丰度	(110)
表 5.8 华北地台太古宙出露地壳化学组成与元素丰度	(112)
表 5.9 华北地台不同变质相地体化学组成与元素丰度	(113)
表 5.10 中国东部及其不同构造单元沉积盖层化学组成与元素丰度	(114)
表 5.11 中国东部及其不同构造单元结晶基底化学组成与元素丰度	(115)
第六章 中国主要地球化学标准物质的标准值	(116)
表 6.1 岩石地球化学成分分析标准物质标准值 (GSR 1~6, GSR 13~15)	(117)
表 6.2 岩石地球化学成分分析标准物质标准值 (GSR 7~12)	(119)
表 6.3 土壤地球化学成分分析标准物质标准值 (GSS1~8)	(121)
表 6.4 土壤地球化学成分分析标准物质标准值 (GSS 9~16)	(123)
表 6.5 水系沉积物地球化学成分分析标准物质标准值 (GSD 1~8)	(125)
表 6.6 水系沉积物地球化学成分分析标准物质标准值 (GSD 9~14, GSD-1a)	(127)
表 6.7 植物和人发成分分析标准物质标准值 (GSV 1~4, GSH-1)	(129)
表 6.8 生物成分分析标准物质标准值 (GSB 1~5)	(130)
表 6.9 生物成分分析标准物质标准值 (GSB 6~10)	(131)
表 6.10 生物成分标准物质标准值 (GSB 11~15)	(132)
表 6.11 生物成分分析标准物质标准值 (GSB 16~20)	(133)
表 6.12 微量金和金矿石地球化学成分分析标准物质标准值 (GAu 8~23)	(134)
表 6.13 铂族元素地球化学成分分析标准物质标准值 (GPt 1~10)	(135)
表 6.14 多金属矿石地球化学成分分析标准物质标准值 (GSO 1~7)	(136)
参考文献	(137)
附录 1 中国主要类型岩石、疏松沉积物、大陆地壳的化学组成和元素丰度	(140)
附录 2 地球化学勘查样品分析方法检出限	(143)
附录 3 重要地球化学勘查计划采用的样品分析方法检出限	(146)

Contents

Foreword

Preface

Chapter 1 Chemical Composition and Elemental Abundance of Igneous Rocks	(1)
1.1 Chemical composition and elemental abundance of acidic rocks	(2)
Table 1.1.1 Chemical composition and elemental abundance of acidic rocks	(2)
Table 1.1.2 Chemical composition and elemental abundance of granites and rhyolites	(3)
Table 1.1.3 Chemical composition and elemental abundance of high-calcium acidic rocks	(4)
Table 1.1.4 Chemical composition and elemental abundance of different types of granites in China	(5)
Table 1.1.5 Chemical composition and elemental abundance of granites in the geotectonic units of the eastern part of China	(6)
Table 1.1.6 Chemical composition and elemental abundance of alkali feldspar granites and syenogranites in the geotectonic units of the eastern part of China	(7)
Table 1.1.7 Chemical composition and elemental abundance of monzogranites in the geotectonic units of the eastern part of China	(8)
Table 1.1.8 Chemical composition and elemental abundance of granodiorites in the geotectonic units of the eastern part of China	(9)
Table 1.1.9 Chemical composition and elemental abundance of acidic volcanics in the geotectonic units of the eastern part of China	(10)
Table 1.1.10 Chemical composition and elemental abundance of granites in the geotectonic units of China	(11)
Table 1.1.11 Chemical composition and elemental abundance of alkali feldspar granites in the geotectonic units of China	(12)
Table 1.1.12 Chemical composition and elemental abundance of syenogranites in the geotectonic units of China	(13)
Table 1.1.13 Chemical composition and elemental abundance of monzogranites in the geotectonic units of China	(14)
Table 1.1.14 Chemical composition and elemental abundance of acidic rocks of Archean and post - Archean in the eastern part of China	(15)
1.2 Chemical composition and elemental abundance of intermediate rocks	(16)
Table 1.2.1 Chemical composition and elemental abundance of diorites and andesites	(16)
Table 1.2.2 Chemical composition and elemental abundance of different types of diorites and andesites in China	(17)
Table 1.2.3 Chemical composition and elemental abundance of diorites in the geotectonic units of the eastern part of China	(19)
Table 1.2.4 Chemical composition and elemental abundance of intermediate volcanics in the geotectonic units of the eastern part of China	(20)
Table 1.2.5 Chemical composition and elemental abundance of monzonites, syenites and trachytes	(21)
Table 1.2.6 Chemical composition and elemental abundance of different types of syenites in China	(23)
Table 1.2.7 Chemical composition and elemental abundance of syenites in the geotectonic units of the eastern part of China	(24)
Table 1.2.8 Chemical composition and elemental abundance of intermediate rocks of Archean and post-Archean in the eastern part of China	(25)

1.3	Chemical composition and elemental abundance of basic rocks and ultramafic rocks	(26)
Table 1.3.1	Chemical composition and elemental abundance of basic rocks	(26)
Table 1.3.2	Chemical composition and elemental abundance of different types of gabbros in China	(28)
Table 1.3.3	Chemical composition and elemental abundance of gabbros and diabases in the geotectonic units of the eastern part of China	(29)
Table 1.3.4	Chemical composition and elemental abundance of basalts in the geotectonic units of the eastern part of China	(30)
Table 1.3.5	Chemical composition and elemental abundance of basic rocks of Archean and post-Archean in the eastern part of China	(31)
Table 1.3.6	Chemical composition and elemental abundance of ultramafic rocks	(31)
1.4	Chemical composition and elemental abundance of pyroclastic rocks and other igneous rocks	(34)
Table 1.4.1	Chemical composition and elemental abundance of pyroclastic rocks in China	(34)
Table 1.4.2	Chemical composition and elemental abundance of pyroclastic rocks in the eastern part of China	(35)
Table 1.4.3	Chemical composition and elemental abundance of other igneous rocks in China	(36)
Chapter 2	Chemical Composition and Elemental Abundance of Sedimentary Rocks	(38)
2.1	Chemical composition and elemental abundance of sandstones	(39)
Table 2.1.1	Chemical composition and elemental abundance of sandstones	(39)
Table 2.1.2	Chemical composition and elemental abundance of common sandstones in the eastern part of China	(41)
Table 2.1.3	Chemical composition and elemental abundance of sandstones in the geotectonic units of the eastern part of China	(43)
2.2	Chemical composition and elemental abundance of shales	(45)
Table 2.2.1	Chemical composition and elemental abundance of shales	(45)
Table 2.2.2	Chemical composition and elemental abundance of different types of shales in the eastern part of China	(46)
Table 2.2.3	Chemical composition and elemental abundance of shales in the geotectonic units of the eastern part of China	(48)
2.3	Chemical composition and elemental abundance of carbonate rocks	(50)
Table 2.3.1	Chemical composition and elemental abundance of carbonate rocks	(50)
Table 2.3.2	Chemical composition and elemental abundance of limestones in the eastern part of China	(51)
Table 2.3.3	Chemical composition and elemental abundance of dolomites in the eastern part of China	(52)
Table 2.3.4	Chemical composition and elemental abundance of marls and dololutes in the eastern part of China	(53)
Table 2.3.5	Chemical composition and elemental abundance of carbonate rocks in the geotectonic units of the eastern part of China	(54)
2.4	Chemical composition and elemental abundance of siliceous rocks	(56)
Table 2.4.1	Chemical composition and elemental abundance of siliceous rocks in the eastern part of China	(56)
Table 2.4.2	Chemical composition and elemental abundance of siliceous rocks in different regions of the eastern part of China	(57)
Chapter 3	Chemical Composition and Elemental Abundance of Metamorphic Rocks in the Eastern Part of China	(58)
3.1	Chemical composition and elemental abundance of slates, phyllites and schists in the eastern part of China	(59)
Table 3.1.1	Chemical composition and elemental abundance of slates in the eastern part of China	(59)
Table 3.1.2	Chemical composition and elemental abundance of slates in the geotectonic units of the eastern part of China	(60)

Table 3. 1. 3	Chemical composition and elemental abundance of phyllites and schists in the eastern part of China	(61)
Table 3. 1. 4	Chemical composition and elemental abundance of phyllites in the geotectonic units of the eastern part of China	(62)
Table 3. 1. 5	Chemical composition and elemental abundance of schists in the geotectonic units of the eastern part of China	(63)
3. 2	Chemical composition and elemental abundance of gneisses in the eastern part of China	(64)
Table 3. 2. 1	Chemical composition and elemental abundance of gneisses in the eastern part of China	(64)
Table 3. 2. 2	Chemical composition and elemental abundance of gneisses in the geotectonic units of the eastern part of China	(66)
Table 3. 2. 3	Chemical composition and elemental abundance of the Archean and Proterozoic granitic gneisses in the eastern part of China	(67)
3. 3	Chemical composition and elemental abundance of leptites in the eastern part of China	(69)
Table 3. 3. 1	Chemical composition and elemental abundance of acidic leptites in the eastern part of China	(69)
Table 3. 3. 2	Chemical composition and elemental abundance of acidic-intermediate leptites in the eastern part of China	(70)
Table 3. 3. 3	Chemical composition and elemental abundance of intermediate leptites and paraleptites in the eastern part of China	(71)
3. 4	Chemical composition and elemental abundance of granulites in the eastern part of China	(72)
Table 3. 4. 1	Chemical composition and elemental abundance of acidic granulites in the eastern part of China	(72)
Table 3. 4. 2	Chemical composition and elemental abundance of intermediate granulites in the eastern part of China	(73)
Table 3. 4. 3	Chemical composition and elemental abundance of basic granulites in the eastern part of China	(74)
3. 5	Chemical composition and elemental abundance of amphibolites and greenschists in the eastern part of China	(75)
Table 3. 5. 1	Chemical composition and elemental abundance of amphibolites in the eastern part of China	(75)
Table 3. 5. 2	Chemical composition and elemental abundance of amphibolites in the geotectonic units of the eastern part of China	(76)
Table 3. 5. 3	Chemical composition and elemental abundance of greenschists in the eastern part of China	(77)
3. 6	Chemical composition and elemental abundance of marbles and quartzites in the eastern part of China	(78)
Table 3. 6. 1	Chemical composition and elemental abundance of marbles in the eastern part of China	(78)
Table 3. 6. 2	Chemical composition and elemental abundance of quartzites in the eastern part of China	(79)
Chapter 4	Average Concentration of Chemical Elements of Loose Sediments	(80)
Table 4. 1	Concentration of chemical elements of soils in China	(82)
Table 4. 2	Elemental background values of soils in China, U. S. A, and Europe	(84)
Table 4. 3	Eco-geochemical reference values of soils in the alluvial plains of eastern China	(87)
Table 4. 4	Concentration of chemical elements of soils and sediments in Europe	(89)
Table 4. 5	Concentration of chemical elements of different types of sediments in China	(92)
Table 4. 6	Concentration of 39 chemical elements of stream sediments in China	(94)
Table 4. 7	Concentration of chemical elements of sediments in the China Shelf Sea	(96)
Chapter 5	Abundance of Chemical Elements of the Earth's Crust	(98)
Table 5. 1	Abundance of chemical elements of the continental crust	(101)
Table 5. 2	Abundance of chemical elements of the upper and lower continental crust	(103)
Table 5. 3	Abundance of chemical elements of the continental crust in the North China platform	(105)
Table 5. 4	Major component composition of the continental crust in the North China platform	(107)
Table 5. 5	Estimate of major component composition of the continental crust by different researchers	(107)

Table 5. 6	Estimate of chemical composition and elemental abundance of the continental crust in the eastern part of China	(108)
Table 5. 7	Chemical composition and elemental abundance of the exposed crust in the eastern part of China and its geotectonic units	(110)
Table 5. 8	Chemical composition and elemental abundance of the exposed Archean crust in the North China platform	(112)
Table 5. 9	Chemical composition and elemental abundance of the different metamorphic facies terrains in the North China platform	(113)
Table 5. 10	Chemical composition and elemental abundance of the sedimentary cover in the eastern part of China and its geotectonic units	(114)
Table 5. 11	Chemical composition and elemental abundance of the crystalline basement in the eastern part of China and its geotectonic units	(115)
Chapter 6	Certified Values of Main Geochemical Certified Reference Materials in China	(116)
Table 6. 1	Certified values of rock geochemical certified reference materials (GSR 1—6, GSR 13—15)	(117)
Table 6. 2	Certified values of rock geochemical certified reference materials (GSR 7—12)	(119)
Table 6. 3	Certified values of soil geochemical certified reference materials (GSS1—8)	(121)
Table 6. 4	Certified values of soil geochemical certified reference materials (GSS 9—16)	(123)
Table 6. 5	Certified values of stream sediment geochemical certified reference materials (GSD 1—8)	(125)
Table 6. 6	Certified values for geochemical certified reference materials of stream sediments (GSD 9—14, GSD - 1a)	(127)
Table 6. 7	Certified values of vegetable and human hair certified reference materials (GSV 1—4, GSH - 1) ...	(129)
Table 6. 8	Certified values of biological certified reference materials (GSB 1—5)	(130)
Table 6. 9	Certified values of biological certified reference materials (GSB 6—10)	(131)
Table 6. 10	Certified values of biological certified reference materials (GSB 11—15)	(132)
Table 6. 11	Certified values of biological certified reference materials (GSB 16—20)	(133)
Table 6. 12	Certified values of trace gold and gold ore geochemical certified reference materials (GAu 8—23)	(134)
Table 6. 13	Certified values of platinum-group elements geochemical certified reference materials (GPt 1—10)	(135)
Table 6. 14	Certified values of multimetal ore geochemical certified reference materials (GSO 1—7)	(136)
References	(137)
Appendix 1	Chemical composition and elemental abundance of main types of rocks, loose sediments and the continental crust in China	(140)
Appendix 2	Detection limits of analytical methods in geochemical exploration	(143)
Appendix 3	Detection limits of analytical methods in the important projects of geochemical exploration	(146)

第一章 火成岩化学组成与元素丰度

Chapter 1 Chemical Composition and Elemental Abundance of Igneous Rocks

火成岩的化学组成与元素丰度是研究地球化学和岩石学的基础资料。本书国外的资料主要引自 Turekian and Wedepohl (1961) 及 Vinogradov (1962)。中国的资料是数据表的主体, 主要引自鄢明才和迟清华 (1997)、鄢明才等 (1996)、Yan and Chi (2005) 和史长义等 (2005, 2007)。

中国的资料

在中国东部共采集了火成岩样品 13846 件 (含正变质岩为 15555 件), 组合分析样 1680 件 (含正变质岩为 1870 件); 火山碎屑岩 1560 件, 组合分析样 107 件。同时共收集了西部未采样地区的具有区域代表性和分析质量可靠的 5191 件火成岩样品的 739 个主成分平均值数据。采用一次剔除 $X \pm 2s$ 范围以外的离群值后的算术平均值, 求得中国各类火成岩 76 种化学元素的组成与丰度。火成岩的分类依国际地科联 (IUGS) 火成岩分类学委员会推荐的方案 (Le Maitre, 1989), 侵入岩按 $Q'(F')-An-Or$ 图解 (据 Streckeisen and Le Maitre, 1979)、火山岩按全碱- SiO_2 (TAS) 图解 (据 Le Bas *et al.*, 1986; Le Maitre, 1989) 进行化学分类和命名 (鄢明才等, 1996; 鄢明才和迟清华, 1997; Yan and Chi, 2005)。

史长义等 (2005, 2007) 在利用鄢明才和迟清华 (1997) 在中国东部采集和分析的 500 余件花岗岩组合样品的基础上, 又在中国西部和东南部采集并分析了约 250 件花岗岩组合样品, 采用一次剔除 $X \pm 2s$ 范围以外的离群值后的中位值, 求得中国及其各大地构造单元花岗岩的 66 种化学元素的组成与丰度。其花岗岩的分类主要采用国际地科联 (IUGS) 火成岩分类学委员会推荐的方案, 按 QAP 三角图解确定各类花岗岩的基本名称。

国外的资料

Turekian and Wedepohl (1961) 综合文献资料给出了高钙花岗质岩石、低钙花岗质岩石、正长岩、玄武岩和超镁铁质岩 67 种元素的丰度估计值, 其中超镁铁质岩中有 20 种元素的丰度值只给出了数量级; Vinogradov (1962) 采用相似的方法综合给出了酸性岩 (花岗岩、花岗闪长岩等) 73 种元素、中性岩 (闪长岩与安山岩) 50 种元素、基性岩 (辉长岩、辉绿岩) 73 种元素和超镁铁质岩 59 种元素的丰度估计值, 并利用酸性岩与基性岩 2:1 的比例得到了大陆地壳的元素丰度; Taylor (1964) 同样采用 Turekian and Wedepohl (1961) 的方法综合给出了花岗岩和玄武岩 55 种元素的丰度, 并利用花岗岩与基性岩 1:1 的比例得到了大陆地壳的元素丰度。

表 1.1.1—表 1.1.14 列出了各种酸性岩的化学组成与元素丰度; 表 1.2.1—表 1.2.8 列出了各种中性岩的化学组成与元素丰度; 表 1.3.1—表 1.3.6 列出了各种基性岩和超基性岩的化学组成与元素丰度; 表 1.4.1—表 1.4.3 列出了各种火山碎屑岩和其他火成岩的化学组成与元素丰度。为便于比对和方便读者使用, 上述表中均将 Turekian and Wedepohl (1961) 与 Vinogradov (1962) 给出的主元素的含量换算成氧化物的含量。

数据表中, N 为被分析的组样数, t 为采集的样品数; 组样数 (N) 中不带圆括号的为主成分的数据数, 带圆括号的为微量元素的数据数, 均未加括号时示两者数据数相同; 带圆括号的元素含量为参考值, 带“ n ”的为量级估计值, 带“—”的未给值。

1.1 酸性岩化学组成与元素丰度

1.1 Chemical composition and elemental abundance of acidic rocks

表 1.1.1 酸性岩化学组成与元素丰度

Table 1.1.1 Chemical composition and elemental abundance of acidic rocks

文献 Literature	A	B	文献 Literature	A	B	文献 Literature	A	B
岩石 Rock	中国 酸性岩 Acidic rocks in China	酸性岩 (花岗岩, 花岗 闪长岩等) Acidic rocks (Granites, granodiorites, etc.)	岩石 Rock	中国 酸性岩 Acidic rocks in China	酸性岩 (花岗岩, 花岗 闪长岩等) Acidic rocks (Granites, granodiorites, etc.)	岩石 Rock	中国 酸性岩 Acidic rocks in China	酸性岩 (花岗岩, 花岗 闪长岩等) Acidic rocks (Granites, granodiorites, etc.)
<i>N</i>	1249 (693)		<i>N</i>	1249 (693)		<i>N</i>	1249 (693)	
<i>t</i>	10458 (6665)		<i>t</i>	10458 (6665)		<i>t</i>	10458 (6665)	
SiO ₂	70.85	69.10	F	490	800	Sn	2.0	3.0
TiO ₂	0.295	0.38	Ga	18	20	Sr	250	300
Al ₂ O ₃	14.20	14.55	Ge	1.15	1.4	Ta	1.2	3.5
Fe ₂ O ₃	1.22	3.86 (T)	Hf	5.0	1.0	Te	(5)	1
FeO	1.60	—	Hg	6.6	80	Th	14.5	18
MnO	0.049	0.08	I	(0.05)	0.4	Ti	1770	2300
MgO	0.94	0.93	In	(0.05)	0.26	Tl	0.73	1.5
CaO	1.83	2.21	Ir	(3)	—	U	2.5	3.5
Na ₂ O	3.52	3.73	Li	19	40	V	33	40
K ₂ O	4.00	4.02	Mn	380	600	W	0.85	1.3
P ₂ O ₅	0.099	0.16	Mo	0.70	1.0	Zn	45	60
H ₂ O ⁺	1.07	—	N	28	20	Zr	160	200
CO ₂	0.32	—	Nb	15	20	Y	22	34
Ag	0.060	0.050	Ni	7.7	8.0	La	40	60
As	1.7	1.5	Os	(15)	—	Ce	75	100
Au	0.53	4.5	P	430	700	Pr	7.8	12
B	6.2	15	Pb	24	20	Nd	30	46
Ba	700	830	Pd	(0.08)	10	Sm	5.3	9.0
Be	2.7	5.5	Pt	(0.06)	—	Eu	0.90	1.5
Bi	0.24	0.01	Rb	140	200	Gd	4.9	9.0
Br	(0.2)	1.7	Re	0.25	0.67	Tb	0.72	2.5
Cd	0.060	0.1	Rh	(4)	—	Dy	4.4	6.7
Cl	58	240	Ru	(7)	—	Ho	0.90	2.0
Co	4.8	5.0	S	120	400	Er	2.6	4.0
Cr	12	25	Sb	0.16	0.26	Tm	0.39	0.30
Cs	3.5	5	Se	5.3	3.0	Yb	2.4	4.0
Cu	8.0	20	Se	0.033	0.05	Lu	0.38	1.0

A. 鄯明才和迟清华 (1997), 鄯明才等 (1996), Yan and Chi (2005); B. Vinogradov (1962)。

含量单位: 主成分, %; Au, Hg, Pd, Pt, Re, Te, 10⁻⁹; Ir, Os, Rh, Ru, 10⁻¹²; 其他元素, 10⁻⁶。

Concentration units: major elements, %; Au, Hg, Pd, Pt, Re, and Te, 10⁻⁹; Ir, Os, Rh, and Ru, 10⁻¹²; other elements, 10⁻⁶。

表 1.1.2 花岗岩和流纹岩化学组成与元素丰度

Table 1.1.2 Chemical composition and elemental abundance of granites and rhyolites

文献 Literature	A	B	A	C	D	文献 Literature	A	B	A	C	D
岩石 Rock	中国 花岗岩 Granites in China	中国 花岗岩 Granites in China	中国 流纹岩 Rhyolites in China	低钙 花岗质岩石 Low calcium granitic rocks	花岗岩 Granites	岩石 Rock	中国 花岗岩 Granites in China	中国 花岗岩 Granites in China	中国 流纹岩 Rhyolites in China	低钙 花岗质岩石 Low calcium granitic rocks	花岗岩 Granites
<i>N</i>	880 (469)	748	56 (53)			<i>N</i>	880 (469)	748	56 (53)		
<i>t</i>	7008 (4322)	5945	857 (701)			<i>t</i>	7008 (4322)	5945	857 (701)		
SiO ₂	72.40	72.26	73.17	74.24	69.10	Os	(12)	—	(12)	—	—
TiO ₂	0.230	0.27	0.257	0.20	0.38	P	345	410	250	600	700
Al ₂ O ₃	13.83	14.19	13.28	13.60	14.55	Pb	26	26	21	19	20
Fe ₂ O ₃	1.02	0.86	1.47	2.63 (T)	3.86(T)	Pd	(0.06)	—	(0.06)	<i>n</i>	—
FeO	1.27	1.03	0.80	—	—	Pt	(0.05)	—	(0.05)	<i>n</i>	—
MnO	0.041	0.05	0.048	0.05	0.05	Rb	160	160	140	170	150
MgO	0.64	0.50	0.48	0.27	0.27	Re	(0.15)	—	—	—	—
CaO	1.34	1.32	0.85	0.71	2.21	Rh	(3)	—	(4)	—	—
Na ₂ O	3.55	3.54	2.93	3.48	3.73	Ru	(6)	—	(6)	—	—
K ₂ O	4.34	4.35	4.52	5.06	4.02	S	90	86	90	300	270
P ₂ O ₅	0.079	0.09	0.057	0.14	0.16	Sb	0.13	0.13	0.34	0.2	0.2
H ₂ O ⁺	0.91	0.76	1.43	—	—	Sc	4.0	4.9	5.2	7	5
CO ₂	0.26	0.23	0.46	—	—	Se	0.03	0.02	0.03	0.05	0.05
Ag	0.060	0.052	0.070	0.037	0.04	Sn	2.2	2.0	2.2	3	3
As	1.2	0.90	3.5	1.5	1.5	Sr	220	170	115	100	285
Au	0.48	0.37	0.42	4	4	Ta	1.4	1.3	1.3	4.2	3.5
B	5.5	4.1	7.5	10	15	Te	(5)	—	—	—	—
Ba	680	560	620	840	600	Th	17	17	14.5	17	17
Be	3.2	2.7	3.2	3	5	Ti	1380	1490	1540	1200	2300
Bi	0.24	0.14	0.13	0.01	0.18	Tl	0.83	0.84	0.80	2.3	0.75
Br	(0.2)	—	—	1.3	1.3	U	2.9	2.9	3.0	3.0	4.8
Cd	0.057	0.052	0.080	0.13	0.2	V	23	22	20	44	20
Cl	52	58	37	200	200	W	1.0	0.70	1.1	2.2	2
Co	3.0	2.9	2.2	1.0	1	Zn	40	43	55	39	40
Cr	6.6	5.0	4.5	4.1	4	Zr	155	150	230	175	180
Cs	3.6	3.8	3.9	4	5	Y	23	20	27	40	40
Cu	5.5	5.0	4.5	10	10	La	41	33	47	55	40
F	485	450	340	850	850	Ce	77	63	87	92	—
Ga	18.0	18.0	17.4	17	18	Pr	8.4	7.0	9.8	8.8	—
Ge	1.2	1.3	1.2	1.3	1.5	Nd	30	25	38	37	—
Hf	5.0	5.0	7.0	3.9	4	Sm	5.3	4.6	6.8	10	—
Hg	6.4	5.0	7.0	80	80	Eu	0.82	0.82	0.92	1.6	—
I	(0.05)	—	—	0.5	0.5	Gd	5.0	4.6	6.4	10	—
In	(0.05)	—	(0.06)	0.26	0.1	Tb	0.74	0.64	0.98	1.6	—
Ir	(2)	—	(2)	—	—	Dy	4.4	4.0	5.4	7.2	—
Li	19	21	15	40	30	Ho	0.90	0.80	1.15	2.0	—
Mn	320	350	370	390	400	Er	2.7	2.25	3.5	4.0	—
Mo	0.70	0.49	0.84	1.3	2	Tm	0.41	0.38	0.53	0.3	—
N	25	—	60	20	20	Yb	2.6	2.1	3.5	4.0	—
Nb	16	14	19	21	20	Lu	0.40	0.33	0.53	1.2	—
Ni	5.2	4.4	4.0	4.5	0.5						

A. 鄢明才和迟清华 (1997), 鄢明才等 (1996), Yan and Chi (2005); B. 史长义等 (2005); C. Turekian and Wedepohl (1961); D. Taylor (1964)。

含量单位: 主成分, %; Au, Hg, Pd, Pt, Re, Te, 10⁻⁹; Ir, Os, Rh, Ru, 10⁻¹²; 其他元素, 10⁻⁶。

Concentration units: major elements, %; Au, Hg, Pd, Pt, Re, and Te, 10⁻⁹; Ir, Os, Rh, and Ru, 10⁻¹²; other elements, 10⁻⁶。