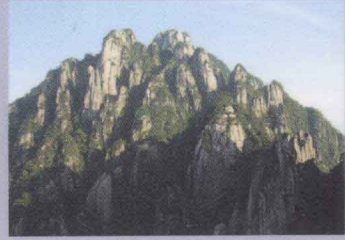
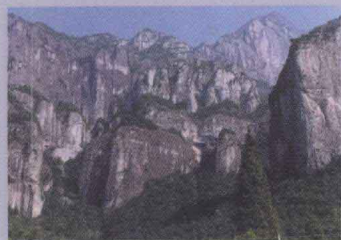


火成岩岩石学

IGNEOUS PETROLOGY

徐夕生 邱检生 主编



科学出版社

www.sciencep.com

火成岩岩石学

徐夕生 邱检生 主编

科学出版社

北京

内 容 简 介

本书是为地质学各专业本科生专业基础课程教学而编写的教材。书中系统介绍了火成岩岩石学的基础理论知识,并吸收了当前国内外火成岩岩石学研究的最新成果,将形成火成岩多样性的各种岩浆作用过程、岩浆作用与构造环境的关系、岩浆作用对成矿的制约等内容融入其中,突出了岩类学与岩理学的结合,同时融入了编者在火成岩岩石学教学和科研方面的体会,希望帮助学生“感兴趣、会鉴定、懂原理、欲探索”。本书内容丰富,取材新颖,层次分明,结构合理,既能帮助学生掌握火成岩的基本理论和基础知识,还能帮助学生深入认识岩浆作用过程等。

本书可作为全日制大学本科生的教材,也可供从事矿物学、岩石学、地球化学、大地构造学、同位素地质学、实验岩石学等方面科研人员参考使用。

图书在版编目(CIP)数据

火成岩岩石学/徐夕生,邱检生主编. —北京:科学出版社,2010

ISBN 978-7-03-029001-4

I. ①火… II. ①徐…②邱… III. ①火成岩岩石学-高等学校教材
IV. ①P588.1

中国版本图书馆CIP数据核字(2010)第182073号

责任编辑:罗吉赵冰/责任校对:李影

责任印制:钱玉芬/封面设计:王浩

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>

源海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

*

2010年11月第一版 开本:787×1092 1/16

2010年11月第一次印刷 印张:22 1/2

印数:1—2 500 字数:532 000

定价:48.00元

(如有印装质量问题,我社负责调换)

前 言

火成岩，又名岩浆岩，是构成固体地球的主要岩类之一。近二十余年，随着国内外地质学家对大洋中脊、板内、岛弧、陆缘活动带、陆-陆碰撞带、裂谷带以及地幔柱地球动力学的研究，火成岩岩石学也相应地取得了重要研究进展。特别是由美国国家科学基金会、地质调查局和能源部联合提出，并实施的为期 30 年（1990~2020 年）的“大陆动力学计划”，以及由欧洲 16 国针对大陆成因与演化开展的“欧洲探测”计划，凸显了有关火成岩知识和研究的关键性。

当今的地球科学已发展为地球系统科学，人们更加关注全球变化与地球各圈层相互作用及其变化的研究，关注地球内部深层过程与岩石圈动力学。岩浆是地球各圈层之间物质和能量交换的“使者”。火成岩，特别是火成岩中的深源岩石包体是揭示岩石圈深部性状的“窗口”，通过对其研究可以获取壳幔结构、物质组成、热状态等深部信息，反演壳幔深部过程。在火山活动中，地球内部活动过程与水圈、大气圈的外部流体有着十分显著的相互作用，会产生气候变化，并对生物圈产生巨大影响。由火成岩组成的巨大陨石体，在其撞击地球过程中，更造成地球历史上气候与生物进化的巨变。因此，地球科学中许多热点和前沿问题，如岩浆活动与全球构造、岩石圈减薄与大规模成矿、早期地幔的组成与演化等，都需要火成岩岩石学的知识。

资源、环境与人类社会可持续发展是摆在地球科学工作者面前的重要使命，对火成岩岩石学的研究将是其中十分重要的环节。更深层次地研究岩浆形成和演化、岩浆作用和构造环境的关系，甚至将地球上火成岩的特征、成因和分布与月球和其他行星上的火成岩进行对比，将是长期的研究主题和方向。随着分析测试高新技术的开发和运用，以及实验岩石学的发展，相信火成岩岩石学的发展会更加迅猛。

“火成岩岩石学”是地质学各专业本科教学的一门重要的必修专业基础课程。长期以来，南京大学地球科学系岩矿教研室十分重视该课程的建设、教材编写和教材内容更新工作，有较好的基础和教学、科研水平。由孙甬、彭亚鸣主编的《火成岩岩石学》教材于 1985 年由地质出版社出版，并在 1987 年获国家优秀教材奖。岩矿教研室前辈老师们在“火成岩岩石学”教学方面付出了大量的心血和汗水。

目前，国内许多高校仍在使用上述《火成岩岩石学》教材，也有的在使用《岩浆岩岩石学》（邱家骧，1985）或《岩石学》（路凤香和桑隆康，2002）等教材。国外高校目前用得较多的与火成岩有关的教学参考书包括 *Igneous Petrogenesis*（Wilson, 1989）、*Igneous Petrology*（Best and Christiansen, 2001）、*An Introduction to Igneous and Metamorphic Petrology*（Winter, 2001）及 *Igneous Petrology-3rd edition*（McBirney, 2007）等，这些教材的内容各有侧重。

现代岩石学与化学、物理学日趋紧密结合，已不再是单纯的岩石分类、岩相学描述

和成因解释。Winter 在 2001 年出版的 *An Introduction to Igneous and Metamorphic Petrology* 一书前言中写道: *Modern petrology must rely heavily on data other than simple observation, ... it borrows heavily from the field of chemistry and physics*。随着科学研究成果的不断取得, 我们和国内外众多同行一样, 在教学工作中不断充实新内容, 感到修编一本适合我国教学现状, 文字简练, 既有广度又有深度, 能够反映现代岩石学基本理论、基础知识和基本技能, 同时又能适量介绍现代火成岩岩石学研究进展的《火成岩岩石学》新教材已是当务之急。同时, 我们又感到修编一本这样的教材难度很大。经多次商讨, 在本教研室前辈王德滋院士、周新民教授的鼓励和支持下, 我们尝试以原《火成岩岩石学》教材为基础, 结合近二十余年来对火成岩研究取得的新成果, 修编此教材。

按火成岩岩石学的教学要求, 本次编写突出了岩类学与岩理学的结合, 适量引入了一些火成岩岩石学的前沿科学问题, 同时融入了每位参编者在火成岩岩石学教学和科研方面的一些体会, 希望帮助学生“感兴趣、会鉴定、懂原理、欲探索”。在岩石类型描述方面, 力求精简和准确, 选取典型的实例和精美图片; 同时对近年来新确定的一些岩石类型进行适当介绍。在岩石成因方面, 以组成岩石的矿物、化学成分为基础, 认识各种不同的岩浆作用过程; 同时结合板块构造和地幔柱理论研究进展, 介绍在不同构造环境下的岩石组合。

本教材除绪论外, 共分十四章。编写分工如下: 绪论、第一章、第八章、第十三章和第十四章由徐夕生编写; 第二章、第三章、第十章和第十一章由邱检生编写; 第四章、第五章和第十二章由王孝磊编写; 第六章、第七章和第九章由陈立辉编写。

在编写过程中, 王德滋院士、周新民教授、周金城教授多次提出修改意见并给予了极大的鼓励和帮助。初稿完成后, 南京大学和科学出版社邀请我国目前承担火成岩岩石学教学的专家马昌前、许文良、赖绍聪、罗照华、陈斌、董传万教授在南京进行了审议, 与会专家给予了很大的支持并提出了十分有益的修改意见。本教研室研究生对本书的绘图提供了帮助。在本书的编写过程中, 还得到校院领导的关心和支持, 得到了出版资助。

火成岩岩石学的发展方兴未艾, 观念会不断更新, 模式会逐渐修正, 我们希望该教材能得到进一步充实、完善。

编 者

2009 年 12 月

目 录

前言

绪论	1
第一节 岩石、岩石学、火成岩岩石学的基本概念	1
一、岩石	1
二、岩石学	1
三、火成岩岩石学	2
四、三大类岩石的地质特征和演变	2
第二节 地球的内部结构	3
第三节 地球上火成岩的分布	7
第四节 火成岩研究简史、意义和方法	11
第一章 火成岩的物质成分	13
第一节 岩浆的基本概念	13
第二节 岩浆的性质	13
一、岩浆的温度	13
二、岩浆的黏度	15
三、岩浆的密度	17
第三节 火成岩的化学成分	18
一、火成岩的基本化学组成	18
二、火成岩化学类型和岩石系列的划分	19
第四节 火成岩的矿物成分	22
一、火成岩的基本矿物组成	22
二、火成岩造岩矿物的分类	23
第五节 火成岩化学成分和矿物成分的关系	25
第六节 常见的火成岩矿物及其成岩意义	28
一、橄榄石族	28
二、辉石族	30
三、角闪石族	34
四、云母族	37
五、长石族	39
六、似长石和沸石	43
七、石英	44

第二章 火成岩的结构与构造	47
第一节 火成岩的结构	47
一、确定火成岩结构类型的基本要素	47
二、根据各要素所区分的火成岩结构的主要类型	47
第二节 火成岩中矿物生成顺序的确定	58
一、运用火成岩结构特征确定矿物晶出顺序的原则	58
二、鲍温反应系列	59
第三节 火成岩的构造	61
一、岩浆结晶过程中处于流动状态所形成的构造	61
二、火成岩的原生节理构造	63
三、由结晶作用特点和岩石组分空间充填方式所形成的构造	64
第三章 火成岩的产状与岩相	68
第一节 火成岩的产状	68
一、侵入岩的产状	68
二、喷出岩的产状	72
第二节 火成岩的岩相	78
一、侵入岩的岩相	79
二、火山岩的岩相	80
第四章 火成岩微量元素和同位素地球化学	84
第一节 地球化学分析方法	84
第二节 微量元素的分配系数	86
第三节 固态熔融模式	88
一、批式熔融作用	88
二、Rayleigh 分离熔融作用	89
第四节 稀土元素：一组特殊的微量元素	90
第五节 火成岩中微量元素的应用	93
一、特征参数	93
二、微量元素图解	94
三、蛛网图	95
四、构造环境判别图解	96
第六节 火成岩中同位素的应用	96
一、稳定同位素	96
二、放射性和放射成因同位素	99
第五章 火成岩相平衡和相图	104
第一节 理论基础和基本概念	104
第二节 单组分体系	105

一、不含流体的平衡体系	105
二、含流体的纯矿物熔融体系	106
第三节 二组分（二元）体系	107
一、二元共结系	107
二、二元近结系	110
三、二元完全固溶体体系：斜长石 Ab-An 体系	114
四、二元有限固溶体体系：Or-An 体系	117
五、碱性长石二元固溶体体系：Or-Ab 体系	118
第四节 多组分体系	120
一、与基性岩结晶有关的三元系相图	121
二、与花岗岩浆结晶有关的三元系相图	124
第六章 火成岩的分类和命名	128
第一节 概述	128
第二节 侵入岩的分类	129
第三节 火山岩的分类	132
第四节 火成岩的命名原则	134
第五节 本书的分类和描述框架	134
第七章 超基性（超镁铁质）岩类	137
第一节 概述	137
第二节 侵入岩	137
一、矿物组成	137
二、结构、构造	138
三、种属划分及主要种属	138
四、化学成分	140
五、产状与分布	141
六、成矿关系	142
第三节 喷出岩	142
第四节 地幔岩	145
一、矿物组成	145
二、结构、构造	146
三、种属划分及主要种属	148
四、化学成分	149
五、产状与分布	149
六、成矿关系	150
第五节 金伯利岩	150
一、矿物组成	151

二、结构、构造	153
三、化学成分	153
四、产状与分布	154
第六节 钾镁煌斑岩	154
一、矿物组成	155
二、化学成分	155
三、主要种属	155
第七节 煌斑岩	156
一、矿物组成	156
二、结构、构造	156
三、种属划分与主要种属	156
四、化学成分	158
五、产状与分布	158
第八节 超基性岩的成因	158
一、超基性侵入岩的成因	159
二、超基性喷出岩的成因	159
三、地幔岩的成因	160
四、金伯利岩、钾镁煌斑岩和煌斑岩的成因	162
第八章 基性岩类	163
第一节 概述	163
第二节 侵入岩	163
一、矿物组成	163
二、结构、构造	164
三、种属划分及主要种属	166
四、化学成分	171
五、产状与分布	172
六、成矿关系	172
第三节 喷出岩	173
一、矿物组成	173
二、结构、构造	174
三、种属划分及主要种属	175
四、化学成分	177
五、产状与分布	180
六、成矿关系	180
第四节 基性岩成因	181
一、大洋玄武岩	182

二、大陆玄武岩	186
三、岛弧与大陆边缘玄武岩	187
第五节 月球基性岩	189
第九章 中性岩类	192
第一节 概述	192
第二节 侵入岩	193
一、矿物组成	193
二、结构、构造	194
三、种属划分及主要种属	194
四、化学成分	197
五、产状与分布	197
六、成矿关系	199
第三节 喷出岩	199
一、矿物组成	199
二、结构、构造	200
三、种属划分及主要种属	200
四、化学成分	203
五、产状与分布	203
六、成矿关系	204
第四节 中性岩的成因	204
第十章 酸性岩	207
第一节 概述	207
第二节 侵入岩	207
一、矿物组成	208
二、结构、构造	210
三、种属划分及主要种属	211
四、化学成分	215
五、产状与分布	219
六、成矿关系	221
第三节 喷出岩	222
一、矿物组成	222
二、结构、构造	223
三、种属划分及主要种属	223
四、化学成分	225
五、产状与分布	227
六、成矿关系	228

第四节 酸性岩的成因·····	228
一、花岗岩的成因·····	228
二、流纹岩的成因·····	233
第五节 细晶岩与伟晶岩·····	234
一、细晶岩·····	234
二、伟晶岩·····	235
第十一章 碱性岩及其相关岩石·····	239
第一节 概述·····	239
第二节 碱性岩·····	240
一、矿物组成·····	240
二、结构、构造·····	241
三、种属划分及主要种属·····	241
四、化学成分·····	244
五、产状、分布与典型实例·····	245
六、成矿关系·····	249
七、岩石成因·····	250
第三节 碳酸岩·····	251
一、概述·····	251
二、矿物组成·····	252
三、结构、构造·····	252
四、种属划分·····	252
五、化学成分·····	253
六、产状、分布与产出构造环境·····	255
七、成矿关系·····	256
八、岩石成因·····	257
第四节 黄长石火成岩·····	257
一、概述·····	257
二、主要特征·····	258
三、分类·····	258
四、主要种属·····	259
五、产状、分布及成因·····	260
第十二章 火山碎屑岩·····	261
第一节 概述·····	261
第二节 火山碎屑物的类型及特征·····	262
一、火山弹·····	262
二、火山块·····	263

三、火山砾	264
四、火山灰	264
第三节 岩石类型及特征	267
一、正常火山碎屑岩类	268
二、熔结火山碎屑岩类	270
三、自碎火山碎屑岩类	273
四、火山碎屑熔岩类	274
五、火山碎屑沉积岩类	275
第四节 产状、分布与成因	276
一、重力流型火山碎屑沉积	276
二、降落型火山碎屑沉积	277
三、水携型火山碎屑沉积	277
第五节 次生变化及成矿关系	277
第十三章 影响火成岩多样性的因素	279
第一节 概述	279
第二节 源岩成分、部分熔融与火成岩成分变化	280
一、地幔部分熔融	280
二、地壳部分熔融	283
第三节 壳幔相互作用	286
一、底侵作用	286
二、拆沉作用	288
第四节 岩浆演化过程与火成岩成分变化	289
一、岩浆混合作用	289
二、液态不混溶作用	291
三、结晶分异作用	292
四、同化混染作用	293
第十四章 不同构造背景的火成岩组合	296
第一节 火成岩构造组合的概念及分类	296
第二节 大洋中脊火成岩组合（蛇绿岩套）	299
第三节 与大洋俯冲有关的火成岩组合（岛弧、活动大陆边缘）	301
一、岛弧火成岩构造组合	302
二、活动大陆边缘火成岩构造组合	306
第四节 与大陆碰撞有关的火成岩组合（陆-陆碰撞）	309
第五节 板内火成岩组合（包括洋岛、大陆裂谷）	311
一、洋岛	311
二、大陆裂谷	312

第六节 地幔柱与大火成岩省.....	316
一、地幔柱的定义.....	316
二、热点	316
三、地幔柱的识别.....	316
四、地幔柱的起源与演化	317
五、大火成岩省	318
六、地幔柱活动模式	319
参考文献.....	323
附录.....	338

绪 论

第一节 岩石、岩石学、火成岩岩石学的基本概念

一、岩 石

岩石 (rock) 通常是天然产出的具有稳定外形的矿物集合体, 是构成地球上层 (地壳和上地幔) 的主要物质, 在地壳中呈一定的产状。岩石主要由一种或数种造岩矿物, 少数由天然玻璃或生物遗骸组成, 它是在地球发展的一定阶段, 由各种地质作用形成的产物。陨石和月岩是特殊的岩石。一般所说的岩石是指组成地壳和上地幔的物质, 岩石的种类很多, 但根据其基本成因, 可归纳为如下三大类:

1) 火成岩 (igneous rocks) 又称岩浆岩 (magmatic rocks), 指高温熔融的岩浆在地下或喷出地表后冷凝而成的岩石, 如橄榄岩、玄武岩等。由于岩浆固结时的化学成分、温度、压力及冷却速度不同, 可形成各种不同的岩石。大多火成岩是结晶质的, 少数为玻璃质。

2) 沉积岩 (sedimentary rocks) 是指在地表或接近地表的条件下, 母岩经风化作用、生物作用、化学作用以及某种火山作用形成的产物, 经过搬运、沉积形成成层的松散沉积物, 而后固结石化形成的岩石, 如砂岩、石灰岩等。

3) 变质岩 (metamorphic rocks) 是在变质作用 (通常是温度、压力和化学活动性流体发生变化) 条件下, 使地壳中已经存在的岩石 (火成岩、沉积岩或先前的变质岩) 变成具有新的矿物组合和结构构造的岩石, 如片麻岩、大理岩等。

二、岩 石 学

岩石学 (petrology) 是研究岩石的物质成分、结构、构造、成因、共生组合、分布规律及其与成矿关系的一门独立的学科, 是地质学的一个重要分支。根据研究的重点不同, 岩石学常被分为岩类学和岩理学。岩类学又称描述岩石学 (descriptive petrology) 或岩相学 (petrography), 主要是研究岩石的物质成分、结构、构造、分类、命名等方面内容以及产状、伴生关系和分布规律等; 岩理学又称成因岩石学 (petrogenesis), 是研究岩石成因, 探讨岩石的形成条件和形成过程等, 是在大量岩类学观察资料的基础上, 结合物理、化学、地球物理和地球化学、实验岩石学等综合研究分析, 阐明或探讨有关岩石成因问题。但岩类学和岩理学两者是互相联系、有机统一的。岩类学是岩石学研究的一个重要方面, 是基础, 但不是岩石学的全部内容, 其分类体系是科学地建立在一定成因概念上的; 岩理学的发展又是建立在合理、不同区域可对比的岩类学的基础上的。

三、火成岩岩石学

火成岩岩石学 (igneous petrology), 又称岩浆岩岩石学 (magmatic petrology), 主要研究由岩浆冷凝固结而形成的岩石, 包括侵入岩和火山岩。其研究方法和内容往往是首先在野外研究火成岩的产状、岩相、原生构造、同化混染、结晶分异、与围岩的接触关系、侵入或喷发的先后次序等并系统采集标本; 然后在室内结合野外手标本等观察, 通过偏光显微镜研究, 分析其矿物成分、结构构造, 结合化学成分, 正确地确定岩石的种属名称; 同时, 结合岩石地球化学、实验岩石学, 了解其形成的物理化学条件、成因和演化, 以及探讨岩浆活动与地球动力学的关系, 查明其成矿专属性等。因此, 火成岩岩石学是地质学中的主干分支, 其研究需要融入物理、化学等领域的知识。

四、三大类岩石的地质特征和演变

火成岩、沉积岩和变质岩三大类岩石在岩石圈中的含量、分布有很大的不同, 沉积岩主要分布于大陆地表, 约占陆壳面积的 75%, 距地表越深, 火成岩和变质岩越多, 沉积岩越少。根据地球物理资料 and 高温高压实验, 地壳深处和上地幔主要是由火成岩构成。据统计, 整个地壳中火成岩体积占 66%, 变质岩占 20%, 沉积岩仅占 8%。

三大类岩石在成分、结构、构造以及产状等方面各有特性, 它们简要的野外地质特征如表 0-1 所示。三大类岩石彼此之间有着密切的联系, 并可以相互转化, 它们的相互演变关系可以用图 0-1 表示。岩浆可以直接来源于地球深处的软流圈地幔, 也可以通过先前存在的变质岩、火成岩和沉积岩在高温条件下部分熔融形成, 岩浆冷却和固结就形成火成岩; 而火成岩、沉积岩和变质岩可以在温度、压力和化学活动性流体的作用下形成新的变质岩; 火成岩、沉积岩和变质岩又可以在风化、破碎、搬运和沉积作用下形成新的沉积岩。但这种相互演变关系并不是简单地循环重复, 而是不断变化的。

表 0-1 三大类岩石野外特征对比简表 (路凤香和桑隆康, 2002)

火成岩	沉积岩	变质岩
1. 形成火山及各类熔岩流	1. 在野外呈层状产出, 并经历分选作用	1. 岩石中的砾石、化石或晶体受到了破坏
2. 形成岩脉、岩墙、岩株及岩基等形态并切割围岩	2. 岩层表面可以出现波痕、交错层、泥裂等构造	2. 碎屑或晶体颗粒拉长, 岩石具定向构造, 但也有少数无定向构造的变质岩
3. 对围岩有热的影响致使其重结晶, 发生相互反应及颜色改变	3. 岩层在横向上延续范围很大	3. 多数分布于造山带、前寒武纪地盾中
4. 在与围岩接触处火成岩体边部有细粒的淬火边	4. 沉积岩地质体的形态可能与河流、三角洲、沙洲、沙坝的范围相近	4. 可以分布于火成岩体与围岩的接触带
5. 除火山碎屑岩外, 岩体中无化石出现	5. 沉积岩的固结程度有差别, 有些甚至是未固结的沉积物	5. 岩石的面理方向与区域构造线方向一致
6. 多数火成岩无定向构造, 矿物颗粒成相互交织排列		6. 大范围的变质岩分布区矿物的变质程度有逐渐改变的现象

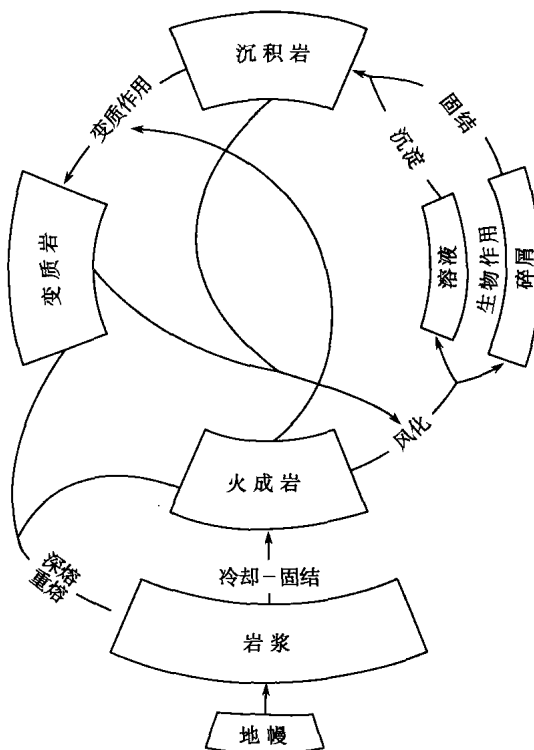


图 0-1 三大岩类岩石相互演变关系图解

第二节 地球的内部结构

岩浆岩是来源于地球某个深度产生的熔体经凝固结的产物，因此，如果我们要了解这些岩石的起源、想了解地球的演化，就需要在宏观上知道地球的结构与组成。地震学和地球物理学资料，特别是 P 波（纵波）和 S 波（横波）在地球内部传播速率的变化表明，地球的内部可被分为三个主要单元：地壳（crust）、地幔（mantle）和地核（core）。在地球形成之后的漫长地质历史中，各种地质作用导致元素的分离，使不同层圈具有不同的化学组成。

地壳又可分为两种基本类型，即大洋地壳（oceanic crust）和大陆地壳（continental crust）。洋壳相对较薄（大约为 10km 厚），主要由基性的玄武岩组成。由于在板块构造过程中，洋壳向大陆俯冲消减、大洋中脊扩张并产生新的洋壳，洋壳就持续地更新和循环。最老的洋壳是在西南太平洋，距今大约 160 百万年。陆壳较厚（平均是 36km），组成也较复杂，包括所有的沉积岩、火成岩和变质岩。有别于洋壳，陆壳较轻、容易上浮而难以消减（除陆-陆拼合的情况）。在长期的地球演化历史中，主要以地幔分异熔融的形式使陆壳逐渐增加。因此，有些地壳非常古老，而另一些地壳相当年轻。大陆地壳的平均组成可以用花岗闪长岩表示。总体上说，地壳仅占地球总体积的 1%（Winter, 2001）。地壳的下层叫做硅镁层或称玄武岩质层，它是贯穿大陆和大洋连续分布的层圈，地壳的上层叫做硅铝层，又称花岗岩质层，一般仅分布在大陆部分，海洋中往往缺失。

因此根据有否硅铝层的分布,把地壳分为陆壳和洋壳。地壳由火成岩、沉积岩、变质岩三大类岩石组成,其中又以火成岩为主,沉积岩层仅仅是地壳表面极薄的一层。在火成岩中又以侵入的酸性岩和喷出的基性岩分布最广,其次是中性岩,而碱性岩和超基性岩分布量极少。根据全球火成岩样品的算术平均,火成岩的平均化学成分相当于闪长岩。地壳的平均化学成分,是指地壳内元素的平均含量或地壳的元素丰度值,较早由克拉克(F. W. Clark)计算并发表,故也称克拉克值。他用算术平均法计算了深为16km的岩石圈中不同元素的丰度值。近年来,有许多人计算了莫霍面以上整个地壳的元素丰度值,以及将地壳细分为陆壳和洋壳,甚至将陆壳进一步分为上部陆壳、中部陆壳和下部陆壳,并求得相应的元素丰度值。表0-2是Condie(2005)通过岩石化学统计获得的陆壳(包括上部、中部和下部)和洋壳化学成分。

表 0-2 陆壳及洋壳的平均组成 (Condie, 2004)

化学成分	陆壳				洋壳
	上部陆壳	中部陆壳	下部陆壳	平均陆壳	
SiO ₂	66.3	60.6	52.3	59.7	50.5
TiO ₂	0.7	0.8	0.54	0.7	1.6
Al ₂ O ₃	14.9	15.5	16.6	15.7	15.3
FeO*	4.68	6.4	8.4	6.5	10.4
MnO	0.07	0.1	0.1	0.1	0.2
MgO	2.46	3.4	7.1	4.3	7.6
CaO	3.55	5.1	9.4	6.0	11.3
Na ₂ O	3.43	3.2	2.6	3.1	2.7
K ₂ O	2.85	2.0	0.6	1.8	0.2
P ₂ O ₅	0.12	0.1	0.1	0.11	0.2
Rb	87	62	11	53	1
Sr	269	281	348	299	90
Ba	626	402	259	429	7
U	2.4	1.6	0.2	1.4	0.05
La	29	17	8	18	2.5
Sm	4.83	4.4	2.8	4.0	2.6
Ni	60	70	88	73	150

注:主量元素 wt% (wt%指质量分数),微量元素 ppm (1ppm=10⁻⁶),全铁含量以 FeO* 表示。

地壳下表面至约2900km深处是地幔,其约占地球总体积的83%。地壳和地幔的边界是一个不连续面,地球物理学家称为莫霍洛维奇不连续面(Mohorovičić discontinuity),简称莫霍面(Moho),或者M不连续面。经过这个不连续面,P波的速率突然由7km/s增加到约8km/s。实际上,地震波速发生不连续变化是“岩石类型”发生跳跃式变化的反映。由于地壳的厚度不同,因此,在地球上不同的地区莫霍面的深度是变化的。在大洋地区,莫霍面较浅;而在大陆地区,特别是克拉通地区,莫霍面较深。岩石学家认识到莫霍面以上的地壳岩石,主要由辉长岩、麻粒岩等富含长英质的岩石组成,而莫霍面之下的地