



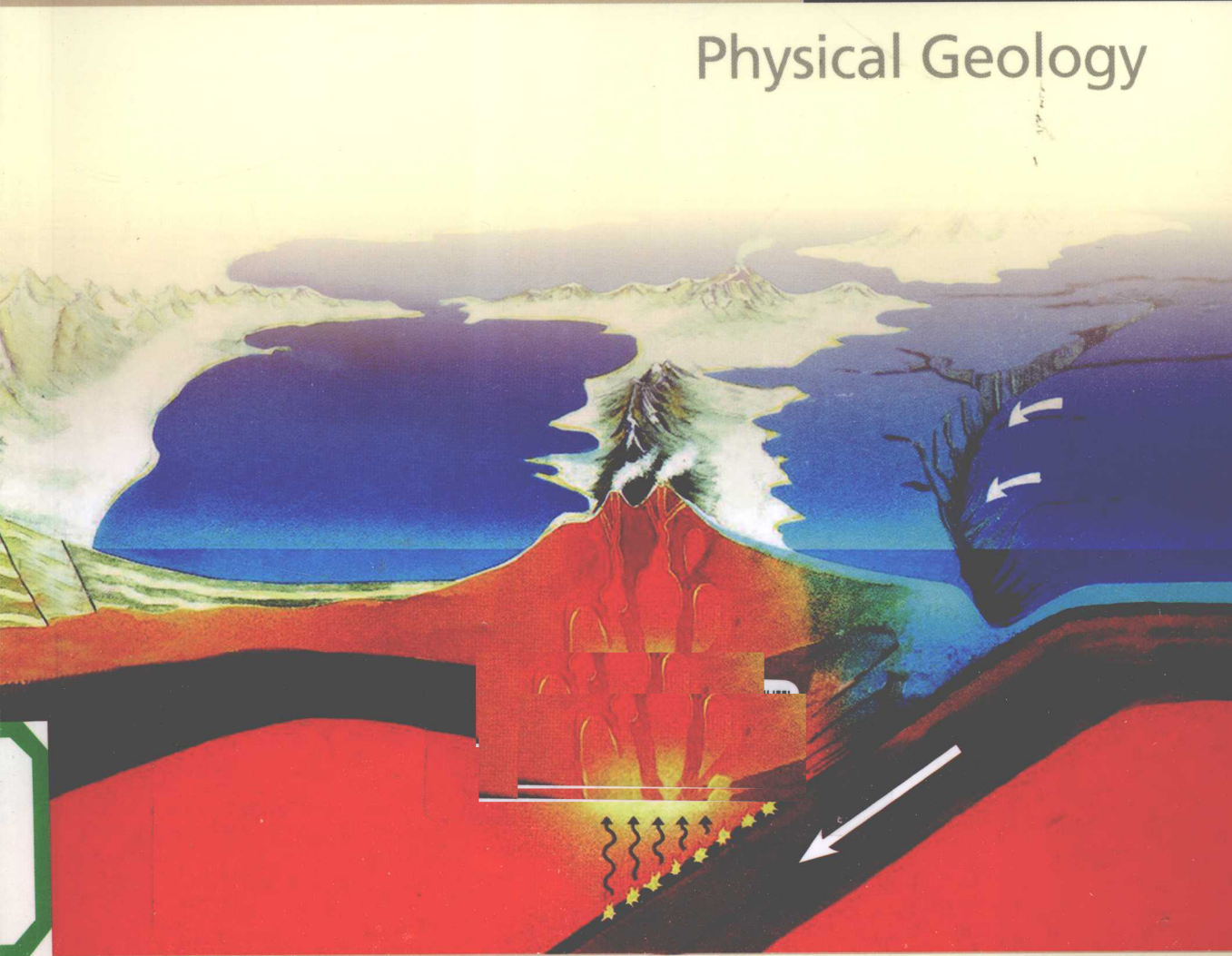
南京大学地质学核心课程系列教材

舒良树 主编

普通地质学

第三版·彩色版

Physical Geology



地质出版社

国家精品课程“普通地质学”建设项目
教育部地球科学基础理论与实践教学团队项目

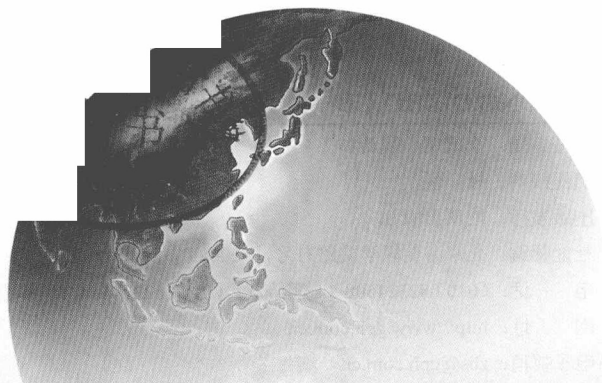
联合资助

普通地质学

(第三版·彩色版)

Physical Geology

舒良树 主编



地质出版社

· 北 京 ·

内 容 提 要

本教材在夏邦栋主编的《普通地质学》(第二版)的基础上修订而成,基本框架仍保留原教材的体系;同时,将近年来地球科学各领域所取得的新理论、新进展与新发现增补到相关章节中。教材由20章组成,从地质学研究的微观对象元素到宏观对象矿物和三大类岩石再到行星地质,从内动力学到外动力学再到全球构造,从若干重要分支学科的基础理论到环境地质学等,彼此既各具特色,又环环相扣,构成了一个系统完整、结构合理的知识体系。

本书可作为普通高等院校地质类专业的教学用书,亦可供相关专业技术人员、地球科学爱好者参考阅读。

图书在版编目(CIP)数据

普通地质学 / 舒良树主编. —3版. —北京:
地质出版社, 2010.9 (2011.1重印)
ISBN 978-7-116-06491-1

I. ①普… II. ①舒… III. ①地质学—高等学校—教材 IV. ①P5

中国版本图书馆CIP数据核字(2010)第162769号

PUTONG DIZHIXUE

责任编辑:李凯明 魏智如

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) 82324514(编辑室)

网 址:<http://www.gph.com.cn>

电子邮箱:zbs@gph.com.cn

传 真:(010) 82324340

印 刷:北京天成印务有限责任公司

开 本:787mm×1092mm $\frac{1}{16}$

印 张:19

字 数:550千字

印 数:5001—10000册

版 次:2010年9月第3版

印 次:2011年1月第2次印刷

定 价:39.80元

书 号:ISBN 978-7-116-06491-1

(如对本书有建议或意见,请致电本社;如本书有印装问题,本社负责调换)

第三版前言

普通地质学课程是地质学、地球化学、地球物理学、水文学、地质工程学、地理学等学科学生入校后最早接触到的一门专业基础课，其课程内容涵括了上述学科的专业基础知识。其授课对象是地学领域有关专业的一年级本科生，授课学时80。本教材第一版由夏邦栋教授主编，并作为普通高校地质矿产类规划教材于1984年出版；1995年经夏邦栋教授修订后出版了第二版，先后被地质、冶金、煤炭、建工、石油、海洋以及师范等系统40余所院校所采用，迄今已发行五万多册。

近20年来，地球科学各领域发展很快，新理论、新技术、新发现不断涌现，地学知识不断充实和更新。其间，我国地质学界在很多领域取得了具有国际领先水平的研究成果，凸显出我国地学研究水平在国际学术舞台上的地位以及中国独特的地学特色。这些研究成果不断地修改、补充、丰富了原有的地质学基础理论。一些过去认为是合适的并编入教材中的内容，现在已显陈旧。同时，我国经济建设的快速发展和日益加快的国际化进程，要求学习该课程的学生具有进入国际科学前沿、适应最新进展的知识储备。因此，作为系统性介绍地质学原理的教材必须适应这一发展趋势，对原教材作出必要的修改和补充，以提高教学水平，满足当代地球科学人才培养的需要。

编者等10多年的教学实践表明，本教材原版的编写体系、结构和主要内容仍然是合理的，有其一定的特色和优势。因此，本次修编是在前两版的基本体系和内容框架的基础上进行的，并在以下几个方面作了重要变动。

第一，为了反映地质学的新进展，更好地体现《普通地质学》教材的基础性、先进性、系统性与普适性，对大部分章节作了改写，部分内容与文字作了增加、删减与调整。

第二，修编后的教材不仅突出了时代特征，也体现了中国的地学特色，对当代地质学的特点、基础理论的最新进展以及发展趋势等作了重点补充，对我国得天独厚的一些地学基地的研究特色、突出的研究成果作了简要介绍。

第三，为了直观地展现地质现象，便于学生学习理解，我们借鉴了国外出版的同类教材的表现手法，绝大部分插图、照片均以彩版印刷。修订后的教材新增插图、照片270余幅，占全书总量的70%以上。

第四，为了便于读者自学与更好地指导自学，我们对第二版每章末尾的“本章小结”、“重要术语”、“复习思考题”予以保留，但作了必要的修改、补充和完善。

本次修编先由夏邦栋教授在第一版和第二版的基础上进行修订，然后由舒良树教授对全书进行修改、补充和定稿，并负责全书文字的初排、校订和出版，插图的重新绘制、全书彩图与照片的遴选等。第一章到第十六章修编初稿由夏邦栋教授完成，第十七章修编初稿由中国科学院地质与地球物理研究所尚彦军研究员完成，第十八章由南京大学天文

系萧耐圆教授修改，第十九章由夏树芳教授修改，第二十章由闵茂中教授修改。舒良树教授增写了第一章第五节，第二章第四节，第三章第四节，第六章第四节；改写了第二章第三节，第三章第一节，第四章第二、三节，第五章第一、三节，第七章第一节，第八章第二、四节，第九章，第十章第三节，第十二章第六节，第十三章第五节，第十五章第一节，第十六章第二节，第十七章第二节等，并重编了参考文献。卢华复教授为第八章增写了“断层相关褶皱”一节。周新民教授和李继亮研究员提供了大量图片，吕洪波教授、陈岩教授（法）、张培震研究员、侯康明研究员、陶奎元研究员、陈爱林研究员提供了若干彩照。博士研究生向磊为本书初排和校对做了大量工作，董忠家副教授参与了部分照片的计算机处理。王德滋院士对第一和第三章，罗谷风教授对第二章，黄志诚教授、孔庆友副教授对第四章，于津海教授对第五章，冯洪真教授、刘冠邦副教授对第六章与第十九章，朱文斌教授、徐鸣洁教授对第七章，卢华复教授对第八章与第九章，胡文瑄教授对第十章、第十二到第十六章，郑洪波教授对第十一章，分别进行了阅读与修改。夏邦栋教授先后两次对书稿进行了审读，提出了修改意见。

在本书修编过程中，王德滋院士、胡文瑄教授给予了热情的支持和帮助，夏邦栋教授在内容上进行了修改补充，付出了辛勤劳动，在此表示诚挚的感谢。同时，对参加本版编写工作的夏树芳、萧耐圆、闵茂中、尚彦军和参与第一版、第二版编写工作的夏邦栋、姜凤琪、张冬茹、陈智娜、刘寿和等教师，以及为本书提供图（照）片资料、对初稿给予阅读、修改、编录等帮助的教师和同仁们致以由衷的谢意。

本书修编与出版获国家精品课程“普通地质学”建设项目和教育部地球科学基础理论与实践教学团队项目的资助。

主 编

2010年8月于南京

第二版前言

《普通地质学》自1984年问世以来受到了地质、冶金、煤炭、建工、石油、海洋以及师范等系统数十所院校的欢迎和采用，先后重印3次，印数达数万册。然而，十余年来，地质学有了快速发展，在不少分支学科领域中出现了新思想和新概念；同时过去认为是合理与科学并写在书中的若干内容已经过时了，有些甚至已属于谬误之列。作为系统性介绍地质学原理的教材必须适应这一情况，对原书做出相应修改与补充，是时不可待了。

另一方面，编者在教学实际中进一步积累了经验，发现《普通地质学》书中存在的若干缺点，尤其是得到了使用和关心该书的广大师生对如何发挥本书特色与优点、弥补不足与缺点方面的殷切希望和宝贵建议。这就促使编者对改进该书做出应有的投入感到责无旁贷了。

本书继承了《普通地质学》的基本体系、结构和主要内容。十余年的实践表明，作为已被广泛使用的教材在这些方面显示了特色和优势。本书在以下两方面作了重要变动：

第一，为了反映地质学的新进展，更好地体现教材必须具备的先进性与科学性，对部分章节作了改写。其中全部重写的是第七章“地震及地球内部构造”、第十七章“块体运动”、第十八章“行星地质概述”、第十九章“地球的演化”、第二十章“环境地质概述”。有重要修正与改写的章次有第一章“绪论”、第五章“变质作用与变质岩”、第九章“海底扩张与板块构造”、第十一章“河流的地质作用”、第十二章“冰川的地质作用”、第十六章“风的地质作用”。其余各章在内容与文字上作了精简与调整。

第二，为了便于自学与更好地指导自学，每章末尾增加了“本章小结”，“重要术语”以及“复习思考题”。这些内容是本教材的特色和优点，是国内地质类教材的重要欠缺。本书对此做出了努力。此外，各章正文中附有较多专业术语的英文名，以便于学生熟习这些名称，为阅读外文书刊打下基础。

我们做出上述努力的目的是，使本书在内容的先进性与系统性、体系的合理性与科学性以及教学的适用性等方面达到更好的统一。然而缺点与错误还在所难免，希望读者进一步提出宝贵意见。

本书第二十章由闵茂中执笔，其余各章修正与改写以及全书成稿工作由夏邦栋完成。倪琦生为书稿作了润色加工；刘晓华、朱斌、范湘涛为书稿的校对、整理插图及其英文术语等方面做了大量工作。谨致深切谢意。

夏邦栋
1995年2月

第一版前言

普通地质学是地质学各学科的概论，它的任务是说明地质学的基本内容，使学生对地质学有较为全面和系统的了解，为学好地质学打下牢固的基础。

由于地质学经历了 200 多年的发展，目前分科很细，内容十分丰富，因此，在一本篇幅有限的普通地质学教材中，不可能包罗万象，面面俱到。在本教材的编写中，笔者力求体现教材应具备的科学性、先进性、系统性与适应性，并注意到以下几方面：

1. 普通地质学要为进一步学习地质学的各门分支学科打基础。因此，凡是作为基础所需要的内容，本书尽可能予以包括，但是在深度和广度上力求恰如其分，深浅适度。

2. 普通地质学是高等学校地质学类的专业基础课程，而学生在中学阶段已学过“地学”或“地理”课，为学习普通地质学准备了一定的基础，因之，本书在内容取舍和章节安排上也尽量考虑到这一因素。

3. 当代地质学发展迅速，内容日新月异，普通地质学也需要介绍地质学中的一些新成就和新动向。为此，本书辟有“海底扩张与板块构造”、“行星地质概述”、“环境与地质”三章；同时在其他章节的叙述中也注意体现上述原则。

4. 《普通地质学》教材在国内外都有不同的编写体系。本书是根据南京大学地质系多年的教学经验，以动力地质作用原理与地质作用的产物密切结合作为主导思想贯通全书，并且在安排上先讲内动力地质作用，后讲外动力地质作用。这样，在讲述矿物、岩石等具体产物时不至于枯燥乏味，只知其然，而不知其所以然；在讲述地质作用原理时又不失之抽象，两者相得益彰。同时，由于有了内力地质作用的知识作基础，就有利于从地质的角度来讲述外力地质作用，突出内力地质作用尤其是岩石和地质构造对于外力地质作用的控制意义。

5. 力求做到全书结构紧凑，内容连贯，防止前后脱节或前后重复。

本书是在郭令智教授指导下编写的。由夏邦栋主编，姜凤琪负责编辑的具体工作。编写的具体分工是：夏邦栋编写第一、二、三、四、五、八、九、十四章，张冬茹编写第十、十二、十三、十七章，姜凤琪编写第七、十一、十八章，陈智娜编写第六、十五、十九章，刘寿和编写第十六、二十章。郑意春清绘图件，黄志诚协助照相。

在编写过程中，南京大学地质系区域地质教研室、岩石矿物教研室及南京大学地理系地貌教研室的老师对本书有关章分别提出了许多宝贵的意见。

本书初稿完成后经地质矿产部《普通地质学》教材编审委员会于 1983 年 3 月审查、通过，根据会议审查的意见编者又做了进一步的修订，最后，由中山大学黄玉昆、武汉地质学院胡家杰、合肥工业大学颜怀学等组成的主审小组以及本书责任编辑陈书田同志于 1983 年 5 月进行了出版前的审定。编者对所有为本书审定、修改、编辑、出版付出了辛勤劳动的同志致以衷心感谢。由于本书内容广泛，不当之处在所难免，恳请读者予以指正。

编者

1983年6月

目 录

第三版前言	I	二、喷出作用与喷发产物	22
第二版前言	III	三、喷出岩浆的类型及其喷发特征	25
第一版前言	IV	四、火山喷发的间歇性	26
第一章 绪论	1	五、典型火山喷发实例	27
第一节 地质学的研究对象	1	六、火山喷发对气候的影响	28
第二节 地质学的任务	2	七、世界火山的分布	29
第三节 地质学的研究内容	2	第二节 侵入作用与侵入岩	30
第四节 地质作用及其研究方法	3	一、侵入作用概述	30
一、地质作用	3	二、侵入岩的产状	31
二、地质作用的特点	3	三、侵入岩的主要类型	32
三、地质作用的研究方法	3	第三节 火成岩的结构与构造	32
第五节 我国地学研究的若干地域优势	4	一、火成岩的结构	32
一、青藏高原	4	二、火成岩的构造	33
二、西北黄土高原	5	第四节 火成岩的分类及其野外识别	33
三、大别—秦岭高压—超高压变质带	5	一、火成岩分类	33
四、云南澄江动物群	5	二、熔岩、深成侵入岩与浅成岩的主要 辨别标志	34
五、辽西热河动物群	5	三、火成岩的野外识别	34
六、陆相生油盆地	6	第五节 火成岩的成因	35
七、滇黔桂喀斯特地貌	6	一、地球的内热	35
八、华南花岗岩	6	二、地热的成因	35
第二章 矿物	8	三、岩浆的形成	36
第一节 矿物的概念	8	四、火成岩多样化的原因	37
一、矿物的定义	8	第四章 外力地质作用与沉积岩	42
二、晶体、非晶质体与准晶体	9	第一节 外力地质作用的一般特征	42
第二节 矿物手标本的鉴定特征	10	一、引起外力地质作用的因素	42
一、矿物的形态	10	二、引起外力地质作用的能源	44
二、矿物的物理性质	11	三、外力地质作用的类型	44
第三节 常见矿物	13	第二节 沉积岩的特征	46
一、矿物的分类	13	一、沉积物的来源	46
二、常见矿物	13	二、沉积岩中的矿物	46
第四节 矿物的用途	19	三、沉积岩的结构	46
一、工业矿物原料	19	四、沉积构造	47
二、矿物材料	20	第三节 常见的沉积岩	50
第三章 岩浆作用与火成岩	22	一、沉积岩的类型	50
第一节 喷出作用与喷出岩	22	二、常见陆源和内源沉积岩及其特征	51
一、岩浆的概念	22		

第五章 变质作用与变质岩	56	第三节 地震的强度	87
第一节 变质作用概述	56	一、地震的震级	87
一、变质作用概念	56	二、地震的烈度	87
二、引起变质作用的因素	56	第四节 地震的分布	88
第二节 变质作用中原岩的变化	58	一、全球地震带分布	88
一、物质成分的变化	58	二、我国地震带分布	89
二、变质岩中的矿物	59	第五节 地震预报与预防	91
三、变质岩的结构	59	一、地震预报	91
四、变质岩的构造	60	二、地震预防	91
第三节 变质作用类型及其代表性岩石	61	第六节 地球的内部构造	92
一、接触变质作用	61	一、地球内部地震波速度突变的主要界面	92
二、区域变质作用	62	二、初步的地球参考模型 (PREM)	94
三、混合岩化作用	65	三、地球内部各层圈的物质成分	94
四、动力变质作用	66	四、均衡原理	96
第四节 岩石的演变	67	第八章 构造作用与地质构造	101
第六章 地质年代	70	第一节 构造作用的基本方式	101
第一节 相对年代的确定	70	一、水平运动	101
一、地层层序律	70	二、垂直运动	101
二、生物层序律	70	三、水平运动与垂直运动的关系	101
三、切割律或穿插关系	71	第二节 岩石的变形与地质构造	102
第二节 同位素年龄的测定	72	一、岩石的空间位置	102
第三节 地质年代表	73	二、褶皱	103
一、地质年代表的建立	73	三、断裂	107
二、地质年代名称的来源与含义	73	四、节理	113
三、岩石地层单位的概念	75	五、断层相关褶皱	114
第四节 地质历史时期的生物爆发与灭绝	76	第三节 地层的接触关系	115
一、生物大爆发	76	一、整合接触	115
二、生物大灭绝	76	二、假整合接触	115
第七章 地震及地球内部构造	79	三、不整合接触	116
第一节 地震的基本概念	79	四、侵入接触	116
一、地震概况	79	五、侵入体的沉积接触	116
二、地震类型	80	第四节 构造期与构造事件	117
三、地震序列	81	一、太古宙构造期	117
四、国内外强烈地震的实例	82	二、元古宙构造期	117
第二节 地震波与地震仪	84	三、新元古代晚期—志留纪构造期	118
一、地震波	84	四、晚古生代构造期	118
二、地震仪	85	五、早中生代构造期	118
		六、燕山构造期	118

七、喜马拉雅构造期	118	四、流域盆地	159
第九章 板块构造	121	五、影响河流侵蚀与沉积的因素	159
第一节 大陆漂移	121	第二节 河流的侵蚀作用	160
第二节 海底扩张	124	一、侵蚀的方式	160
一、海底地质考察	124	二、侵蚀的方向	161
二、海底扩张的论证	125	第三节 河流的搬运作用	165
三、海底扩张说的提出	126	一、流水质点的运动方式	165
四、海底扩张说催生的新成果	127	二、物质搬运的方式	165
第三节 板块构造	133	三、河流的搬运能力和搬运量	166
一、板块边界类型——板块划分的依据	133	第四节 河流的沉积作用	166
二、全球板块的划分	134	一、沉积发生的原因	166
三、两种大陆边缘	135	二、冲积物	167
四、海洋的开闭旋回（威尔逊旋回）	138	三、冲积物的地貌类型	167
五、板块运动的驱动力	140	第五节 河流的均夷化与去均夷化	169
六、地体的概念	142	一、深切河曲	169
七、板块构造理论的最新进展——大陆动力学	143	二、河流阶地	170
第十章 风化作用	146	三、阶地类型	170
第一节 风化作用的类型	146	第六节 河流发育与地质构造的关系	171
一、物理风化	146	第七节 准平原	172
二、化学风化	148	第十二章 冰川及其地质作用	174
三、生物风化	149	第一节 冰川的形成与运动	174
第二节 制约岩石风化性质与特征的因素	150	一、冰川的形成	174
一、气候	150	二、冰川的运动	175
二、地形	150	第二节 冰川的类型	176
三、岩石的特征	151	一、大陆冰川	176
第三节 风化作用的产物	152	二、山岳冰川	176
一、风化产物的类型	152	第三节 冰川的剥蚀作用与冰蚀地貌	177
二、残积物	153	一、冰川的剥蚀作用	177
三、风化壳	153	二、冰蚀地貌	178
四、土壤	153	第四节 冰川的搬运作用与沉积作用	180
五、风化地貌	154	一、冰川的搬运作用	180
第十一章 河流及其地质作用	157	二、冰川的沉积作用与冰碛物	181
第一节 河流概述	157	三、冰碛地貌	181
一、地表水流	157	第五节 冰水沉积物及其地貌	182
二、河谷的横剖面	158	一、冰水扇	182
三、河流的纵剖面	159	二、纹泥	182
		三、蛇形丘	182
		第六节 冰川作用及其原因	183
		一、冰川作用	183

二、冰川作用的影响	186	四、我国湖泊分布的特点	222
三、冰川作用的原因	186	第二节 湖泊的地质作用	223
第十三章 地下水及其地质作用	189	一、湖水运动的特征	223
第一节 地下水概述	189	二、湖泊的剥蚀和搬运作用	223
一、地下水的赋存条件	189	三、湖泊的沉积作用	224
二、地下水的化学成分	190	第三节 沼泽及其地质作用	227
三、地下水的补给和排泄	190	一、沼泽的概念及其成因	227
第二节 地下水的类型	192	二、沼泽的沉积作用	228
一、根据地下水埋藏条件的划分	192	第十六章 荒漠特征与风的地质作用 230	
二、根据含水层空隙性质的划分	194	第一节 荒漠概述	230
第三节 地下热水	194	一、荒漠的形成条件	230
第四节 地下水的地质作用	195	二、荒漠中的某些特征性现象	231
一、地下水的剥蚀作用及喀斯特	195	三、荒漠化	231
二、地下水的搬运作用和沉积作用	198	第二节 风的地质作用	231
第五节 地下水的开发与利用	200	一、风的剥蚀作用	231
第十四章 海洋及其地质作用	202	二、风的搬运作用	234
第一节 海洋概况	202	三、风的沉积作用	235
一、海与洋	202	第三节 黄土	238
二、海水的化学成分	202	一、黄土的一般特征	238
三、海水的物理性质	203	二、黄土的物质成分	238
四、海水中的生物	203	三、黄土的分布	238
第二节 海水的运动及其地质作用	204	四、黄土的成因	239
一、波浪及其地质作用	204	第十七章 块体运动	241
二、潮汐及其地质作用	207	第一节 影响块体运动的主要因素	241
三、洋流及其地质作用	208	一、重力作用	241
四、浊流及其地质作用	208	二、水的作用	241
第三节 海底沉积物	210	三、其他因素作用	242
一、海底沉积物的来源	210	第二节 块体运动的类型	242
二、滨海沉积	210	一、崩塌	242
三、浅海沉积	211	二、滑坡	243
四、半深海沉积	212	三、泥石流	245
五、深海沉积	213	第三节 相关地质灾害及其防治	246
第四节 海水的进退	215	第十八章 行星地质概述	250
第十五章 湖沼及其地质作用	218	第一节 太阳系及其起源	250
第一节 湖泊概述	218	一、太阳系	250
一、湖泊概况	218	二、撞击作用	251
二、湖水的来源、排泄及其化学成分	219	三、太阳系起源	252
三、湖泊的成因类型	219	第二节 类地行星	254
		一、水星	254

二、金星	254	一、环境与地质环境	277
三、月球	255	二、环境地质学的研究内容	277
四、火星	257	第二节 城市兴衰与地质环境	278
五、类地行星的比较	259	一、城市兴衰的地质因素	278
第三节 类木行星及其卫星	259	二、城市规划的地质因素	279
一、木星及其卫星	259	三、城市建设的地质因素	280
二、土星及其卫星	260	第三节 人体健康与地质环境	280
第十九章 地球形成与生物演化	263	一、人体的元素组成	280
第一节 地球的天文时期	263	二、微量元素的生理功能	281
一、地球层圈构造的形成	263	三、地方病的环境地质致因	282
二、陨星的撞击及其频繁的火山爆发	263	四、地质药物	283
三、热流值的迅速衰减	263	第四节 废物处置的地质环境	284
四、原始地壳的组分与最初的地壳运动	264	一、城市废物处置的地质环境	284
五、原始大气与次生大气	264	二、放射性废物处置的地质环境	284
六、原始水圈的出现	264	第五节 人为地质作用	285
第二节 太古宙—元古宙时期	264	一、地面沉降	285
一、大气圈	264	二、咸水入侵	285
二、水圈	265	三、地下水污染	285
三、生命的起源及演化	265	四、海平面上升	285
四、陆核和地盾的形成	266	五、土地沙漠化	286
第三节 显生宙时期	267	六、土壤盐碱化	286
第二十章 人类社会与地质环境	277	七、水土流失	286
第一节 环境地质学的一般概念	277	八、诱发地震	286
		九、矿产资源枯竭	286
		参考文献	288

第一章 绪论

第一节 地质学的研究对象

地质学 (geology) 的研究对象是地球, 是研究地球的物质组成、结构构造、地球形成与演化历史以及地球表层各种作用、各种现象及其成因的学问 (Jolivet et al., 2001)。人们生活在地球上, 要开采矿产资源, 要适应自然环境, 要与地球上发生的各种自然灾害作斗争, 要保护诞生和繁衍人类的美好家园。通过长期的实践, 人类逐步认识了地球, 并形成了地质学 (Robert et al., 1839; 孙鼎, 1943; 夏邦栋, 1984; 杨伦等, 1998)。

地球由固体地球 (solid earth) 和覆盖其上的水圈 (hydrosphere)、生物圈 (biosphere) 和大气圈 (aerosphere) 构成。固体地球又分为地壳 (crust)、地幔 (mantle) (上地幔和下地幔) 和地核 (core)

(外核和内核) 三大层圈 (图 1-1)。地壳是厚度很薄 (平均 30~40km) 的固体外壳。地壳之下是厚约 2900km 的地幔, 除上地幔内有一厚约 200km 的软流圈是固体与少量 (1%~10%) 液态物质的混合体外, 地幔的其他部分皆为固体。地壳加软流圈之上的固体地幔合称岩石圈 (lithosphere); 具有一定规模的岩石圈块体, 称为板块, 可分为大洋板块和大陆板块。地核厚约 3470km, 外核为液态, 内核为固态。

构成地球的各个层圈是彼此独立又相互依存、相互联系与彼此作用的 (图 1-2); 圈层间的相互作用使地球逐渐演化成一个具有强大活力而又复杂的系统。

例如, 当大量热物质从地幔或者从核幔边界上涌, 并以火山活动的方式喷出时, 喷出的物质就参

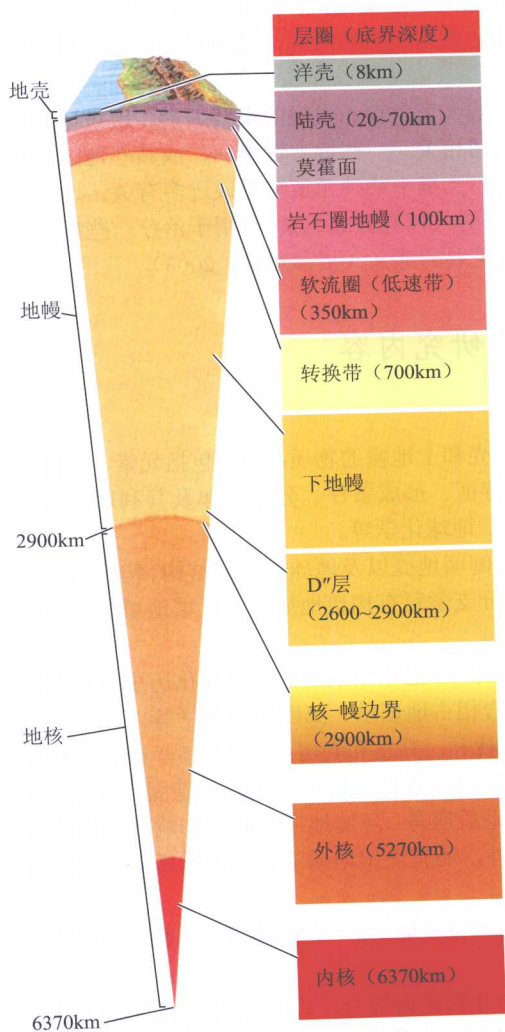


图 1-1 固体地球的层圈构造
(Stanley et al., 2007)

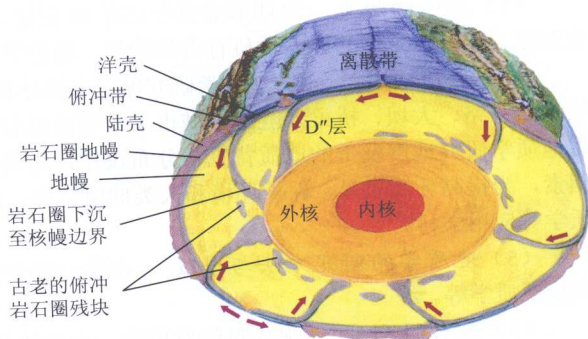


图 1-2 地球各层圈的关系
(Stanley et al., 2007)



与到地壳、水圈、生物圈以及大气圈之中；另一方面，一些堆积在海底且富含水、生物以及气体的物质通过俯冲作用可沉入地幔之中。地球不同层圈的物质就这样在不停地运动和循环着。本书将对这些问题一一加以论述。

第二节 地质学的任务

地质学在解决天体起源与生命起源等当代自然科学基本理论问题上是不可或缺的；另外，地质学在社会生产、自然灾害的防治、人们日常生活等方面都具有极其重要的现实意义。

(1) 指导人们寻找和开发矿产资源、能源和水资源 众所周知，各种金属及非金属矿产是工业的原料，它们与人们的生活、国民经济、科学技术以及国防建设都有密切的关系。其中金、银等除工业用途外还是国库的必要储备；石油、天然气、煤炭是重要的能源；在我国许多缺水地区（尤其是西北地区），水即成为当地经济持续发展与保障人们基本生存的重要资源。因此，如何科学地寻找和合理地开发这些资源，便是地质学研究的一项重要任务。

(2) 有效地指导抵御自然灾害 调查并阐述地震、火山爆发、滑坡、泥石流、洪水泛滥、风沙、地面沉降等自然灾害的形成规律，指导人们有效抵抗和防御这些自然灾害，是地质学的又一项重要任务。

(3) 研究地质环境，保护人体健康 环境是影响人类生存和发展的重要因素，地质环境是环境中一个极为重要的方面。地质环境又与人体健康密切相关。一些地方性疾病，或某些地区的高发性疾病，如四川的克山病及大骨节病，就与该区岩石与土壤中某种元素缺乏或过多有关。地质环境中对人体健康也有有利的一面，如温泉水往往含有某些对人体有益的元素，可用于治疗一些疾病。因而，地质学在直接服务于人类的身体健康方面也具有重要的意义（吴泰然等，2003）。

第三节 地质学的研究内容

地质学的研究内容主要有以下方面。

(1) 组成地球的物质 目前深入研究的是组成地壳和上地幔的物质，主要包括元素、矿物、岩石（包括矿石和矿床）、不同尺度物质的存在形式、特征、形成条件、分布规律及其利用。研究这方面的分支学科有结晶学、矿物学、岩石学、矿床学、地球化学等。

(2) 物质的组成方式、形成、演化与分布 主要阐明地壳以及地球内部的结构、构造特征，阐明其分布特征、形成条件与演化规律。研究这方面的分支学科有构造地质学、区域地质学、地球物理学等。

(3) 地球的历史 地球形成至今已有 46 亿年，其中 36 亿年以来的形成与演化历史是重点研究对象。研究这方面的分支学科有古生物学、地史学、岩相古地理学、第四纪地质学等。

(4) 应用问题 水文地质学研究地下水的分布、找寻、开发和利用；工程地质学研究的是与铁道、公路、大坝、桥梁、隧道、城市工程等建设有关的地质条件，以保证工程的稳固与安全；地震地质学研究地震发生的地质背景与分布规律，为预报地震服务；环境地质学研究影响环境的地质因素，为提高环境质量、保护环境和人类健康服务。此外，还有煤田地质学、石油地质学、铀矿地质学等应用学科。

(5) 地质学的研究方法手段 在这一领域中有同位素地质学、遥感地质学、数学地质学、实验地质学等。

(6) 综合性研究 现代科学发展的一个趋势是由分科走向综合，许多重大科学问题只有通过综合性研究才能解决。板块构造学是这一方向的突出体现。它从全球的角度，将物质组成、地壳与整个地球的结构构造、演化历史以及地质体的几何学、构造运动学、年代学、地球动力学融为



一体进行研究。此外,行星地质学、大陆动力学及海洋地质学都是进行综合性地质研究的新领域(McMenamin, 2007)。

地质学形成至今不过 200 余年,其发展进程十分迅速,知识更新速度很快。如生命大爆发与生物大绝灭、高原隆升机制、大陆深俯冲、玄武岩浆底侵、陨石撞击、地球核幔边界的矿物成分、内外核之间旋转角速度差异、臭氧层空洞等研究成果,拓宽了地学的研究内涵,促进了地质学理论的发展。当前,地质学与数学、物理、化学以及信息科学等学科相互渗透,许多边缘学科正在成长。

多学科交叉、跨学科联合、整合集成研究已经成为当今科学取得重大突破的重要途径。现代科学发展要求打破人为的学科界限,科学的进步永远需要合作(杨树锋, 2001)。

第四节 地质作用及其研究方法

一、地质作用

地质作用(geological action)就是形成和改变地球的物质组成、外部形态特征与内部构造的各种自然作用。它分为内力(endogenous)地质作用与外力(exogenous)地质作用两类。前者主要以地球内热为能源并主要发生在固体地球内部,包括岩浆作用、构造作用、地震作用、变质作用、地球各层圈相互作用;后者主要以太阳能及日月引力能为能源并通过大气、水、生物因素引起,包括地质体的风化作用、重力滑动作用以及各种地壳表层载体(河流、冰川、地下水、海水、湖泊、风沙)的剥蚀作用、搬运作用、沉积作用、固结成岩作用。内力地质作用与外力地质作用都同时受到重力和地球自转力的影响。正是这些内力和外力地质作用,或明或暗、或急或缓不断地作用于地球并改变地球的面貌,地球才表现出巨大的活力。地质学的主要研究任务就是研究各种地质作用的过程及结果。

二、地质作用的特点

(1) 地质作用的地域特色 一方面,地质作用的发生与发展具有共同规律;另一方面,不同地区往往出现不同的地质作用,且同一类地质作用在不同地区往往具有其特殊性。

(2) 地质现象的复杂性 从性质上看,包括物理的、化学的、生物的;从规模上看,大到全球的宏观现象,小到原子和离子的微观过程。同时,地质作用涉及生物、气象、天文、地理等一系列学科领域。

(3) 地质作用过程的漫长性 例如海陆变迁、山脉隆升、海底扩张、岩浆侵位等过程需要很长时间,一般以百万年(Ma)为单位计算。如喜马拉雅山脉,从大洋关闭、褶皱隆起至今约有 40Ma,太平洋的形成至今约有 180Ma。但是,也有一些地质作用过程的时间很短,如地震作用,往往在数秒至数十秒时间内完成。2008 年 5 月 12 日 14 时 28 分发生的举世震惊的四川省汶川 8.0 级大地震,仅持续十几秒,但发震前的能量聚集过程时间很长。因而,人们难以对正在进行的地质作用的全过程进行完整的观察,对于地质历史中发生的地质作用更不可能直接去了解;绝大多数地质作用也难于用物理或化学方法加以重现(陶晓风等, 2007)。

三、地质作用的研究方法

(1) 野外调查 地质现象是地质作用的结果或产物。通过对地质现象的观察,可以找出地质作用的特点与规律。因此,野外调查便是研究地质作用的前提和基础。大自然是最好的地质博物馆,在某种意义上也是实验室(黄定华, 2004)。

(2) 仪器测量 目前主要采取物理的、化学的、数学的、生物的以及信息技术的方法来提高对物质的分辨能力、穿透能力、鉴定能力、模拟能力、遥感能力。电子显微镜的分辨能力达 0.1nm,对于矿物中原子、离子的排列能够直接进行观察。高温高压及超高压实验技术已应用在



模拟地幔的物质性状及组成。目前已能提供 10^{11}Pa 以上的压力与 10^4C 的温度的实验条件。岩石地球化学方法可以精确测定组成岩石的各种元素含量，放射性同位素年龄测定方法可以测定地质作用发生的时间。

(3) 理论分析 理论研究建立在丰富的地质事实和数据的基础之上。这是一个由表及里，由此及彼，去粗取精，去伪存真，由感性认识上升到理性认识的过程。在这一过程中要进行地质思维，地质思维就是要运用地质学知识和原理去研究问题。

◎将今论古 这一方法论的基本思想是：“现在是认识过去的钥匙”，即用现在正在发生的地质作用去推测过去，类比过去，认识过去。如现在的河流将大量的泥沙带到海盆中沉积下来并形成有一定特征的沉积物，因而过去的河流也应有类似的作用，形成类似特点的岩石。干旱区内陆盐湖里有各种盐类矿物沉淀并形成盐层，因而古代岩石中所见的盐层也应该是在干旱条件下形成的（张广忠等，2004）。“将今论古”是地质学的传统思维方法，地质学成果很大程度上是建立在这一方法论之上的。但是随着人们对客观现象认识的深入，发现不同地质时期内条件是不同的，地质作用的规律也有相应的变化，现在并不是简单地重复着过去；因而不能将过去的地质作用规律和现代正在进行的地质作用规律机械地等同起来。如海百合现在只生长在深海，但是在数亿年前，海百合与造礁珊瑚等典型的浅海生物生活在一起。

◎以古论今，论未来 是地质思维中另一个重要的方法论。因为人们今天能够直接加以观察的地质作用往往只是漫长的地质作用过程中的一个片断，而在过去的地质记录中往往保留了某一地质作用的全部过程。因此，认识了过去就能够帮助我们更好地了解现在并且预测未来。譬如，最近地质时期气候的冷暖变化是有周期性的，这在深海海底沉积物中留下了清楚的记录，研究这些沉积记录就能够帮助我们去预测未来（如 1000 年内）气候变化的趋势。

◎活动论 是当代地质学研究的指导理论。大陆、海洋不是固定不变的，而是不断活动和演变的。除了岩浆活动导致岩石圈隆起一沉降之外，地球浅层活动主要表现为水平运动。现在看到的洋陆面貌是地质历史期间大规模、长距离裂解或运移一聚合的结果。比如现在的地中海，是地质历史期间特提斯洋俯冲一关闭的遗迹；而现在的红海，则是因非洲大陆裂解而形成的一个狭长形海盆。固定不变的认识是不对的，必须实事求是地去看待和认识地球。

上面论述的是地质作用研究方法的一般原则，对于地质学各分支学科来说，还有各自的特殊方法。如研究地球的内部结构与构造时要用地球物理的方法、深部钻探技术、高温高压模拟实验等；研究地壳的物质成分时要用化学分析、电子探针分析、光谱分析、差热分析、能谱分析、X 射线分析、偏光显微镜、电子显微镜鉴定等；研究地球发展历史要用同位素年龄测定、生物地层学方法及古地磁方法等（Jean et al., 1999）。

第五节 我国地学研究的若干地域优势

我国地域辽阔，地球各个演化时期地质信息和物质记录丰富，有地球上最古老和最年轻的造山带，有各种类型的盆地构造，有分布广泛的花岗岩，有丰富的矿产与能源。我国具有独特的地域特色和研究优势，形成了一些重要的地学研究和教学基地（肖庆辉等，1991）。下面兹举我国若干具有突出的地域特色和研究优势的实例加以说明。

一、青藏高原

青藏高原号称世界屋脊，其主峰珠穆朗玛峰海拔 8844.43m，为地球第一高峰。大部分地区海拔在 4500m 以上。青藏高原由若干来源不同、成分各异的地质块体组成，经历了从陆到洋以及从洋到陆的复杂变迁。它是地球上最年轻的巨型造山带，其最近一次大规模的山体隆升开始于距今约 40Ma 前，是特提斯洋关闭、印度板块与欧亚板块强烈碰撞的结果。这里有规模宏伟的平坦高原



面,有全球最大的地壳厚度;这里较完好地保留有古大洋消亡的物质记录——蛇绿岩套和大陆碰撞的证据——高压变质带(许志琴等,2010)。这部分内容将在第九章授课时介绍。其高大巍峨的形貌给世人以深刻印象,其内部结构与构造、形成与演化历史、隆升过程与机制,都是当代地质学研究的热点与前沿(Tapponnier et al., 2001)。我国学术界对青藏高原的研究,一直走在世界的前列。

二、西北黄土高原

黄土是风沙地质作用的产物。我国西北地区拥有全球最大面积的黄土高原,面积为 $4.0 \times 10^5 \text{ km}^2$,海拔1000~1500m。高原上覆盖的黄土厚度在50~180m之间。黄土颗粒细,土质松软,含有丰富的矿物质,利于耕作,是中国古代文明的摇篮。我国西北地区石油、天然气、煤、铝土储量巨大,但气候干旱,植被稀疏,降水集中,水土流失严重。黄土的成因及其时代曾经是国际地质学界的难题,我国学者经过数十年不懈的努力,攻克了这一难题,取得了国际领先的研究成果。这部分内容将在第十六章授课时介绍。

三、大别—秦岭高压—超高压变质带

根据当代地质学理论,当一个板块俯冲到另一个板块之下时,将产生巨大的挤压应力,导致结合带的地壳浅部发生高压低温变质作用,产生蓝闪石、硬玉等矿物,形成高压变质岩;当俯冲陆块到达地下100km甚至更深部位时,就会发生超高压变质作用,产生柯石英和金刚石矿物,形成超高压变质岩(含柯石英金刚石榴辉岩)。之后,通过特殊的构造方式折返到地壳中一浅部位,构成高压—超高压变质带(HP-UHP metamorphic zone)。这部分内容将在第五章介绍。目前为止,世界上只在法意边境阿尔卑斯山、我国大别—秦岭和哈萨克斯坦三个地区发现高压—超高压变质带。江苏东海县毛北的科学深钻在地下1000~2000m处还获取到超高压变质岩岩心。大别高压—超高压变质岩带以其岩石典型、岩类丰富、分布广泛以及便利的交通条件吸引了全球地质学界的目光(张国伟等,2001;许志琴等,2010;Jahn et al., 1999),成为国际地质学界的一个研究热点地区。我国学者自20世纪80年代开始对其系统研究,在高压—超高压变质岩的地质特征、形成条件与时代、构造背景等方面取得了国际领先的研究成果。

四、云南澄江动物群

1984年7月,我国学者在前人研究的基础上,在云南澄江县首次发现一个寒武纪初期的多门类动物化石群。随后工作表明,这个化石群以多门类海生软躯体和保存有软体部分的无脊椎动物化石为代表(Chen et al., 1999; Shu et al., 1999),命名为澄江动物群。这里化石密集,保存完美,极为珍稀,展现了5.3亿年前各种各样动物在生命大爆发时期迅速起源的面貌,揭示出生活在现今地球上的各个动物门类在寒武纪初期几乎都出现的事实。我国学者取得的这一重大科研成果,为达尔文困惑不解的动物起源大爆发提供了解答证据,为阐明寒武纪早期地球演化的奥秘提供了重要线索。《纽约时报》称其为“20世纪最惊人的发现之一”。

五、辽西热河动物群

1928年,美国学者葛利普将辽西地区中生代晚期的化石命名为热河动物群(陈丕基,2000)。20世纪80年代末以来,我国学者对热河动物群的研究取得了震惊世界的重大突破,发现了脊椎动物绝大部分门类的化石和许多新的种类,包括早期鸟类(孔子鸟、华夏鸟、辽西鸟、中华龙鸟、中华神州鸟等)、长羽毛的恐龙、奇特的水生蜥、完整的张和兽和热河兽等珍贵化石。其中,鸟类化石的发现改写了鸟类的进化史(季强等,1996),为鸟类起源于小型兽脚类恐龙的学说提供了直接证据,填补了鸟类演化的空白,动摇了始祖鸟作为鸟类始祖的地位。张和兽的发现则解决了长期争论的哺乳动物三大类群的关系。这些成果确立了我国在国际同类研究中的引领地位。