

(原书第7版)

 Pearson

地球科学导论

Foundations of Earth Science, Seventh Edition

◇ [美] Frederick K. Lutgens Edward J. Tarbuck 著

◇ [美] Dennis Tasa 绘图

◇ 徐学纯 梁琛岳 郑琦 等译



中国工信出版集团



电子工业出版社
PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY
<http://www.phei.com.cn>

(原书第7版)

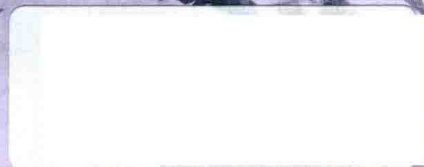
地球科学导论

Foundations of Earth Science, Seventh Edition

◇ [美] Frederick K. Lutgens Edward J. Tarbuck 著

◇ [美] Dennis Tasa 绘图

◇ 徐学纯 梁琛岳 郑琦 等译



电子工业出版社
Publishing House of Electronics Industry
北京·BEIJING

内 容 简 介

地球科学是以地球系统（包括大气圈、水圈、岩石圈、生物圈和日地空间）的过程与变化及其相互作用为研究对象的基础学科。本书通过对地质学、海洋学、气象学和天文学等的简要介绍，让人们了解地球科学的基本原理。首先介绍什么是地球科学，然后分七篇分别介绍构成地球的物质、地表的形成过程、地球内部活动、地球的演化、海洋学、大气学、天文学等。全书通过日常生活中的示例，说明了地质、海洋、气象和天文活动对生活的影 响，同时说明了各学科在国民经济发展中的作用。

本书可作为高校学校理工科专业学生地球科学导论的教材，也可供其他需要了解地球科学是什么的人士阅读和参考。

Original edition, entitled Foundations of Earth Science, Seventh Edition, 9780321811790 by Frederick K. Lutgens Edward J. Tarbuck, Dennis Tasa. Publi shed by Pearson Education, Inc., Copyright © 2014 Pearson Education, Inc. All rights reserved. No part of this book may be reproduced or transmitted in any forms or by any means, electronic or mechanical, including photocopying, recording or by any information storage retrieval system, without permission from Pearson Education, Inc.

CHINESE SIMPLIFIED language edition published by PEARSON EDUCATION ASIA LTD., and PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY, Copyright © 2017.

本书中文简体字版专有出版权由Pearson Education（培生教育出版集团）授予电子工业出版社。未经出版者预先书面许可，不得以任何方式复制或抄袭本书的任何部分。

本书贴有Pearson Education（培生教育出版集团）激光防伪标签，无标签者不得销售。

版权贸易合同登记号 图字：01-2014-7301

图书在版编目（CIP）数据

地球科学导论：原书第7版 /（美）弗里德雷克·K·拉更斯（Frederick K. Lutgens），（美）爱德华·J·塔巴克（Edward J. Tarbuck）著；徐学纯等译。—北京：电子工业出版社，2017.8

书名原文：Foundations of Earth Science, Seventh Edition

ISBN 978-7-121-30984-7

I. ①地… II. ①弗… ②爱… ③徐… III. ①地球科学—高等学校—教材 IV. ①P

中国版本图书馆 CIP 数据核字（2017）第 032595 号

策划编辑：谭海平

责任编辑：谭海平 特约编辑：王崧

印 刷：中国电影出版社印刷厂

装 订：中国电影出版社印刷厂

出版发行：电子工业出版社

北京市海淀区万寿路 173 信箱 邮编：100036

开 本：787×1092 1/16 印张：31.25 字数：840 千字

版 次：2017 年 8 月第 1 版（原著第 7 版）

印 次：2017 年 8 月第 1 次印刷

定 价：138.00 元（全彩）

凡所购买电子工业出版社图书有缺损问题，请向购买书店调换。若书店售缺，请与本社发行部联系，联系及邮购电话：（010）88254888，88258888。

质量投诉请发邮件至 zllts@phei.com.cn，盗版侵权举报请发邮件至 dbqq@phei.com.cn。

本书咨询联系方式：（010）88254552，tan02@phei.com.cn。

译者序

地球是人类赖以生存的家园，了解、认识和爱护地球是人类共同的责任和义务，只有很好地掌握地球科学知识，才能更好地保护我们共同的家园。因此，地球科学与人类生活息息相关。本书是电子工业出版社根据社会的需求和人们对知识的苛求，选定出版的。

本书译自于著名地球科学家 Frederick K. Lutgens 和 Edward J. Tarbuck 编著的 *Foundations of Earth Science, Seventh Edition* 一书，该书在美国、日本、新加坡等世界上 24 个国家和地区发行，具有较大的学术影响力，是知识性和科学性极强的普及性读物。全书包含 7 个单元 16 章，主要介绍地质学、海洋学、气象学和天文学的基本主题与原理，内容广泛，知识面宽，由浅入深，通俗易懂，图文并茂，注重前沿信息。书中既有前沿问题聚焦，又有关键知识点和课后复习要点，内容既具有知识性和可读性，又具有科普性，能最大可能地调动人们了解地球科学知识和学习地球科学知识的主观能动性与积极性。本书的最大优点是，既可作为无地球科学背景知识的通俗读物，又可作为大专或大学本科生修读“地球科学”课程的教材。全书内容信息量大、前沿性强，既注重知识的原理性和概念的准确性，又具有内容的可读性与用户友好性。

本书是为自主学习而设计的。每章都从概念开始。每个学习目标都对应于该章的主要部分，并给出学生在学完一章后应掌握的知识和技能，帮助学生了解重点概念。在每章的每节后面都提供有“概念检测”，以便学生在深入学习后面的内容之前，了解自己对重要概念的理解程度。每章最后都以能培养学生思维能力的“思考题”结束，每章末的所有新内容都是对本书主动学习途径的重要组成部分。这些思考内容与章首的学习目标相呼应，简明扼要，突出重点。本书具有无与伦比的视觉享受。除了 200 多幅高质量照片和卫星图像外，还重新绘制了几十幅地学插图，体现了地球科学的高度可视化。插图和图表常与照片搭配以产生更好的效果，文字叙述中夹杂了许多新的图表，以帮助读者掌握相关内容。

本书的主要目标是为初学者提供可读性强的最新知识，着眼于基本原理和教学过程的灵活性。为实现这一目标，每部分内容都有精挑细选的问题讨论、案例分析和实例。众多的标题和副标题可帮助学习者跟进讨论并明确每章提出的重要思想。书中涉及的不少热点话题，其主要关注点都是提升学习者对基本地球科学原理的理解和认识。通过本书的学习，可以使学习者掌握基本的地球科学知识原理和内容，满足了解和认识地球系统以及进一步研究地球科学的需要。

全书主要由徐学纯、梁琛岳、郑琦、郑常青翻译，林波、徐久磊、韩晓萌、崔一兵、周晓萍、张慧明、孟兆海、钟定鼎、刘云虎、董云峰、王照元、杨岩、郭腾达、石磊、宋旸、周泉等研究生做了大量具体的翻译和校对工作，在此表示感谢。由于译者的水平和能力所限，对原书中很多知识的理解和认识还不能够达到原作者的理想水平，很多翻译内容表达还不够准确，还存在很多不足和错误之处，敬请广大读者批评指正。

译者

前 言

本书是地球科学导论课程的教材。全书包含 7 个单元，主要介绍地质学、海洋学、气象学和天文学的基本主题与原理，内容广泛，注重前沿信息，注重原理和概念的可读性与用户友好性，可作为无科学背景知识的本科生和相关人员的读物。

新版特点

- **新编排方式。**每章都从基本概念介绍开始，章首给出学习目标，节尾给出“概念检查”，章末给出“思考题”。
- **概念检查。**章末的回顾内容与章首的学习目标相呼应，简明扼要，突出重点。
- **无与伦比的视觉享受。**提供 200 多幅高质量照片和卫星图像，以及几十幅地学插图，且地图和图表常与照片搭配。此外，叙述中还夹杂了许多新图表。
- **内容的更新和修订。**每部分内容都进行了精挑细选，同时改进了许多讨论、案例分析和实例。

与众不同的特征

- **可读性。**本书的语言通俗易懂。众多的标题和副标题可帮助学生跟进讨论并明确每章的重要思想。新版的结构和写作风格更为合理。
- **强调基本原理。**虽然书中涉及不少热点话题，但新版的主要关注点与之前各版本的关注点相同，都是为了提升学生对地球科学基本原理的理解。
- **强大的视觉组成。**地球科学需要高度可视化，插图和照片在导论性课程中起重要作用。如在之前的所有版本中那样，插图师 Dennis Tasa 与本书的作者密切合作，策划并绘制了学生易于理解的表格、地图、图形和草图。地质学家兼摄影师 Michael Collier 为本书提供了几十张航空照片。

教学资源包

- **MasteringGeology。**提供非常具有吸引力的动态学习方式，关注课程目标，并回应学生的进步，有助于学生理解课程内容和较难的概念，详见 www.masteringgeology.com。
- **教师手册。**内容包括概述、学习目标、教学方法、教师资源和每章的习题答案。
- **TestGen 试题库（仅供下载）。**TestGen 是一个试题生成程序，教师能查看和编辑试题库、生成试题，并以各种格式来打印试题。试题库中包含 800 多道选择题、正误題、简答题、填空题和论述题。试题库也能转换为 Word 格式并导入黑板。详见 www.pearsonhighered.com/irc。

致谢

编写教材需要天赋并与多人合作，本书也是团队努力的成果。感谢 Andy Dunaway 为本书投入的时间、精力与热忱，感谢 Crissy Dudonis 对图书撰写进度的把控，感谢 Derek Bacchus 和 Gary Hesperheide 对本书的设计，感谢营销经理 Maureen McLaughlin 提供的意见和建议，感谢策划编辑 Jonathan Cheney 对本书修订所提供的帮助。感谢 Heidi Allgair 领导的制作团队。

感谢对本书作出重要贡献的如下三人：负责文中所有插图的 Dennis Tasa；为本书提供许多照片的 Michael Collier；负责书中二维码制作的北弗吉尼亚社区学院地质学助理教授 Callan Bentley。

感谢审阅本书的人士，他们是 Winston Crausaz、Chris Hansen、Miriam Helen Hill、Paul Horton、Adam Kalkstein、Kody Kuehn、Judith Lemons、Randal Mandock、Kevin Marty、Gustavo Morales、Malcolm Skinner。

最后感谢我们各自夫人 Nancy Lutgens 和 Joanne Bannon 的支持与鼓励。

Frederick K. Lutgens

Edward J. Tarbuck

目录

CONTENTS

第0章 地球科学导论 1

- 0.1 什么是地球科学 2
- 0.2 地球的圈层 3
 - 0.2.1 水圈 4
 - 0.2.2 大气圈 4
 - 0.2.3 生物圈 5
 - 0.2.4 岩石圈 5
- 0.3 地球系统 7
 - 0.3.1 什么是系统 7
 - 0.3.2 各个部分的相互关联 8
- 0.4 地球科学中的时间与空间尺度 8
- 0.5 资源和环境问题 10
 - 0.5.1 资源 10
 - 0.5.2 环境问题 11
- 0.6 科学探索的本质 12
 - 0.6.1 假说 12
 - 0.6.2 理论 13
 - 0.6.3 科学方法 13
- 概念回顾 14
- 思考题 15

第1章 物质成分和矿物组成 16

- 1.1 矿物：组成岩石的基本单元 17
 - 1.1.1 矿物的定义 17
 - 1.1.2 岩石的定义 18
- 1.2 原子：矿物的结构单元 19
 - 1.2.1 质子、中子和电子的属性 19
 - 1.2.2 元素：由质子数决定 20
- 1.3 原子结合的原因 21
 - 1.3.1 八隅规则与化学键 21
 - 1.3.2 离子键：电子转移 21
 - 1.3.3 共价键：共用电子 22
 - 1.3.4 金属键：电子自由移动 23

- 1.4 矿物的物理性质 23
 - 1.4.1 光学性质 23
 - 1.4.2 晶体形态和结晶习性 24
 - 1.4.3 矿物强度 24
 - 1.4.4 密度和比重 27
 - 1.4.5 矿物的其他性质 27
- 1.5 矿物分类 28
 - 1.5.1 硅酸盐矿物 28
 - 1.5.2 常见的浅色硅酸盐 30
 - 1.5.3 常见的暗色硅酸盐矿物 31
 - 1.5.4 重要的非硅酸盐矿物 31

概念回顾 33

思考题 35

第2章 岩石：固体地球的物质 36

- 2.1 地球系统：岩石循环 37
 - 2.1.1 基本循环 37
 - 2.1.2 其他途径 37
- 2.2 火成岩：“浴火而生” 39
 - 2.2.1 从岩浆到结晶岩 39
 - 2.2.2 火成结构能告诉我们什么？ 40
 - 2.2.3 火成岩的成分 41
 - 2.2.4 火成岩的分类 41
 - 2.2.5 不同火成岩的成因 44
- 2.3 岩石风化形成沉积物 45
 - 2.3.1 机械风化作用 46
 - 2.3.2 化学风化作用 47
- 2.4 沉积岩：压实和胶结的沉积物 48
 - 2.4.1 沉积岩分类 49
 - 2.4.2 沉积物的石化作用 53
 - 2.4.3 沉积岩的特征 53
- 2.5 变质岩：由老变新的岩石 54
 - 2.5.1 变质作用的动力是什么？ 55
 - 2.5.2 变质结构 57

2.5.3 常见的变质岩石 57

概念回顾 59

思考题 61

第3章 水成地貌 63

3.1 地球的外力作用 64

3.2 崩塌作用:重力作用的结果 64

3.2.1 崩塌作用和地貌形成 65

3.2.2 崩塌作用的控制和诱发 67

3.2.3 无诱因的滑坡? 68

3.3 水循环 68

3.4 流动的水 69

3.4.1 流域 70

3.4.2 河流系统 70

3.4.3 水系类型 71

3.5 流速 72

3.5.1 影响流速的因素 73

3.5.2 从上游到下游的变化 73

3.6 流水的作用 74

3.6.1 河流侵蚀 74

3.6.2 河流的搬运作用 75

3.6.3 河流的沉积作用 76

3.7 河道 76

3.7.1 基岩河道 76

3.7.2 冲积河道 76

3.8 河谷的形态 78

3.8.1 基准面和河流侵蚀 78

3.8.2 深切河谷 79

3.8.3 河谷拓宽 80

3.8.4 基准面的变化和深切的河曲 81

3.9 沉积地貌 81

3.9.1 三角洲 81

3.9.2 天然堤坝 83

3.10 洪水与防洪 83

3.10.1 洪水的成因 83

3.10.2 防洪 84

3.11 地下水:地表之下的水 85

3.11.1 地下水的重要性 85

3.11.2 地下水的地质作用 86

3.11.3 地下水的分布 86

3.11.4 影响地下水存储和运动的因素 87

3.11.5 隔水层与含水层 88

3.11.6 地下水的运动 88

3.12 泉、井和承压系统 88

3.12.1 泉 89

3.12.2 井 90

3.12.3 承压系统 90

3.13 地下水的环境问题 92

3.13.1 不可再生的地下水资源 92

3.13.2 地下水开采引起的地面沉降 93

3.13.3 地下水污染 93

3.14 地下水的地质作用 95

3.14.1 溶洞 95

3.14.2 喀斯特地貌 96

概念回顾 98

思考题 100

第4章 冰川与干旱地貌 102

4.1 冰川:两个基本循环的一部分 103

4.1.1 山岳(阿尔卑斯)冰川 103

4.1.2 冰盖 104

4.1.3 其他类型的冰川 105

4.2 冰川如何移动 105

4.2.1 观察并测量冰川的运动 106

4.2.2 冰川的估算:增长与消融 107

4.3 冰蚀作用 108

4.3.1 冰川如何侵蚀 108

4.3.2 冰蚀地貌 109

4.4 冰川沉积 111

4.4.1 冰碛物的类型 111

4.4.2 冰碛石、冰水沉积平原和冰碛湖 112

4.4.3 鼓丘、蛇丘和冰砾阜 114

4.5 冰期冰川的其他作用 115

4.6 冰期冰川作用的范围 116

4.7 荒原 117

4.7.1 干涸土地的分布与成因 118

4.7.2 水在干旱气候中的作用 120

4.8 盆地和山脉:多山荒漠地貌的演化 121

4.9 风蚀作用 122

4.9.1 风蚀、膨胀露头和沙漠砾石盖层 123

4.9.2 风蚀作用 125

4.10 风成沉积 125

4.10.1 黄土 125

4.10.2 沙丘 125

概念回顾 127

思考题 129

第5章 板块构造论：一场科学的革命 131

5.1 从大陆漂移说到板块构造论 132

5.2 大陆漂移说：超越时代的一个想法 133

5.2.1 证据：大陆拼图 133

5.2.2 证据：跨海化石的吻合 134

5.2.3 证据：岩石类型和地质特征 135

5.2.4 证据：古气候 135

5.3 大辩论 137

5.4 板块构造论 138

5.4.1 覆盖软流圈的刚性岩石圈 138

5.4.2 地球的主要板块 140

5.4.3 板块边界 140

5.5 离散板块边界和海底扩张 140

5.5.1 洋中脊和海底扩张 140

5.5.2 大陆裂谷 143

5.6 汇聚板块边界与俯冲作用 143

5.6.1 洋-陆汇聚 144

5.6.2 洋-洋汇聚 145

5.6.3 陆-陆汇聚 146

5.7 转换板块边界 147

5.8 检验板块构造模型 149

5.8.1 证据：大洋钻探 149

5.8.2 证据：地幔柱和热点 150

5.8.3 证据：古地磁学 151

5.9 什么驱使板块运动？ 154

5.9.1 驱使板块运动的力 154

5.9.2 板块-地幔对流模型 156

5.10 板块和板块边界如何变化？ 157

5.10.1 泛大陆的裂解 157

5.10.2 未来的板块构造 158

概念回顾 159

思考题 162

第6章 动荡的地球：地震、地质构造和造山运动 164

6.1 什么是地震 165

6.1.1 探索地震的成因 166

6.1.2 断层与地震 167

6.2 地震学：地震波研究 169

6.3 震源定位 171

6.4 确定地震大小 172

6.4.1 烈度表 173

6.4.2 震级表 173

6.5 地震的破坏作用 176

6.5.1 火灾 179

6.5.2 什么是海啸？ 179

6.6 地震带与板块边界 181

6.7 地球内部 182

6.7.1 地球分层结构的形成 183

6.7.2 探索地球内部：“透视”地球的地震波 183

6.8 地球圈层 184

6.8.1 地壳 184

6.8.2 地幔 184

6.8.3 地核 185

6.9 岩石变形 185

6.9.1 岩石为什么变形 185

6.9.2 岩石变形的类型 185

6.10 褶皱：韧性变形构造 186

6.10.1 背斜和向斜 186

6.10.2 穹窿和盆地 187

6.11 断层：脆性变形构造 188

6.11.1 倾向滑移断层 188

6.12 造山运动 190

6.13 俯冲作用与造山运动 191

6.13.1 岛弧型造山运动 192

6.13.2 安第斯型造山运动 192

6.14 碰撞造山带 193

6.14.1 科迪勒拉型造山运动 193

6.14.2 大陆碰撞：阿尔卑斯型造山运动 194

概念回顾 197

思考题 200

第7章 火山及其他岩浆活动 202

7.1 圣海伦火山和基拉韦厄火山 203

7.2 火山喷发的性质 204

7.2.1 影响黏度的因素 204

7.2.2 宁静式和爆裂式火山喷发 205

7.3 火山喷发期间挤出的物质 206

7.3.1 熔岩流 206

7.3.2 气体 207

7.3.3 火成碎屑物 207

7.4 火山结构 209

- 7.5 盾状火山 210
 - 7.5.1 莫纳罗亚火山: 地球上最大的盾状火山 210
 - 7.5.2 夏威夷基拉韦厄火山: 喷发的盾状火山 211
 - 7.6 火山锥 212
 - 7.7 复式火山 213
 - 7.8 火山灾害 214
 - 7.8.1 火山碎屑流: 致命的自然力量 215
 - 7.8.2 火山泥流: 活跃和不活跃火山锥的火山泥流 216
 - 7.8.3 其他火山灾害 216
 - 7.9 其他火山地貌 218
 - 7.9.1 破火山口 218
 - 7.9.2 裂隙喷发和玄武岩高原 220
 - 7.9.3 火山颈和火山管道 221
 - 7.10 侵入岩浆活动 221
 - 7.10.1 侵入岩体的性质 221
 - 7.10.2 板状侵入岩体: 岩墙和岩席 222
 - 7.10.3 块状侵入岩体: 岩基、岩株和岩盖 224
 - 7.11 部分熔融和岩浆的成因 224
 - 7.11.1 部分熔融 225
 - 7.11.2 从固态岩石产生岩浆 225
 - 7.11.3 压力降低: 减压熔融 225
 - 7.12 板块构造和火山活动 227
 - 7.12.1 汇聚板块边界的火山活动 227
 - 7.12.2 离散板块边界的火山活动 229
 - 7.12.3 板内火山活动 229
 - 概念回顾 230
 - 思考题 233
- 第 8 章 地质年代 235**
- 8.1 地质学简史 236
 - 8.1.1 灾变论 236
 - 8.1.2 现代地质学的诞生 237
 - 8.1.3 当代地质学 237
 - 8.2 创建年代表——相对定年原理 237
 - 8.2.1 年代表的重要性 237
 - 8.2.2 绝对年代和相对年代 238
 - 8.2.3 叠加原理 238
 - 8.2.4 原始水平原理 238
 - 8.2.5 穿切关系原理 239
 - 8.2.6 包裹物原理 239
 - 8.2.7 不整合 240
 - 8.2.8 相对定年原理的应用 241
 - 8.3 化石: 过去生命的证据 243
 - 8.3.1 化石类型 243
 - 8.3.2 保留化石的条件 244
 - 8.4 岩层对比 244
 - 8.4.1 有限区域内的对比 245
 - 8.4.2 化石对比 245
 - 8.5 放射性测年 247
 - 8.5.1 基本的原子结构回顾 247
 - 8.5.2 放射性 247
 - 8.5.3 半衰期 248
 - 8.5.4 使用不同的同位素 249
 - 8.5.5 C14 测年 249
 - 8.6 地质年代表 250
 - 8.6.1 年代表的结构 250
 - 8.6.2 前寒武纪 250
 - 8.6.3 术语和地质年代表 251
 - 8.7 确定沉积岩的绝对年代 252
 - 概念回顾 253
 - 思考题 254
- 第 9 章 海洋: 最后的净土 256**
- 9.1 浩瀚的海洋世界 257
 - 9.1.1 海洋地理学 257
 - 9.1.2 对比海洋与大陆 258
 - 9.2 海水的构成 258
 - 9.2.1 盐度 259
 - 9.2.2 海盐的来源 259
 - 9.2.3 影响海水盐度的过程 259
 - 9.3 温度和密度随深度的变化 260
 - 9.3.1 温度变化 261
 - 9.3.2 密度变化 261
 - 9.3.3 海洋分层 262
 - 9.4 新兴的海底图像 263
 - 9.4.1 绘制海底地形图 263
 - 9.4.2 从太空绘制海底地形图 264
 - 9.4.3 海底地貌单元 266
 - 9.5 大陆边缘 266
 - 9.5.1 被动大陆边缘 266

- 9.5.2 活动大陆边缘 269
- 9.6 深海盆地的特征 269
 - 9.6.1 深海沟 269
 - 9.6.2 深海平原 269
 - 9.6.3 海底火山结构 270
- 9.7 洋脊 270
 - 9.7.1 洋脊剖析 270
 - 9.7.2 洋脊抬升的原因 271
- 9.8 海底沉积物 272
 - 9.8.1 海底沉积物的类型 272
 - 9.8.2 海底沉积物——气候数据宝库 273

概念回顾 274

思考题 276

第10章 动荡的海洋 278

- 10.1 海洋的表层环流 279
 - 10.1.1 洋流模式 279
 - 10.1.2 洋流影响气候 281
- 10.2 上升流和深海环流 282
 - 10.2.1 海岸上升流 282
 - 10.2.2 深海环流 283
- 10.3 海岸：一个动态界面 284
- 10.4 波浪 285
 - 10.4.1 波浪的特征 285
 - 10.4.2 圆周运动 286
 - 10.4.3 碎波带的波浪 286
- 10.5 海滩和海岸的形成过程 287
 - 10.5.1 波浪侵蚀 288
 - 10.5.2 海滩上的泥沙运动 288
- 10.6 海岸的特点 290
 - 10.6.1 侵蚀的特点 290
 - 10.6.2 沉积特征 291
 - 10.6.3 不断变化的海岸 292
- 10.7 海岸加固 293
 - 10.7.1 硬加固 294
 - 10.7.2 硬加固的替代方法 295
- 10.8 美国海岸的比较 296
 - 10.8.1 大西洋和墨西哥湾海岸 296
 - 10.8.2 太平洋海岸 297
 - 10.8.3 海岸分类 298
- 10.9 潮汐 299
 - 10.9.1 潮汐的成因 300
 - 10.9.2 月潮周期 300

10.9.3 潮汐类型 300

10.9.4 潮汐流 301

概念回顾 302

思考题 304

第11章 大气加热 306

- 11.1 关注大气 307
 - 11.1.1 美国的天气 307
 - 11.1.2 天气和气候 307
- 11.2 大气的组成 309
 - 11.2.1 主要成分 309
 - 11.2.2 二氧化碳(CO₂) 310
 - 11.2.3 变化的成分 310
 - 11.2.4 臭氧减少——一个全球性问题 311
- 11.3 大气的垂向结构 312
 - 11.3.1 压力变化 312
 - 11.3.2 温度变化 313
- 11.4 地日关系 315
 - 11.4.1 地球运动 315
 - 11.4.2 四季的成因 315
 - 11.4.3 地球的方向 316
 - 11.4.4 夏至/冬至和春分/秋分 317
- 11.5 能量、热量和温度 319
 - 11.5.1 热传递方式：传导 319
 - 11.5.2 热传递方式：对流 320
 - 11.5.3 热传递方式：热辐射 320
- 11.6 大气加热 322
 - 11.6.1 吸收太阳辐射发生了什么？ 322
 - 11.6.2 反射和散射 322
 - 11.6.3 吸收 323
 - 11.6.4 大气层变暖：温室效应 323
- 11.7 人类活动对全球气候的影响 324
 - 11.7.1 二氧化碳含量增加 324
 - 11.7.2 大气响应 326
 - 11.7.3 一些可能的后果 326
- 11.8 气温数据 327
- 11.9 影响气温的因素 329
 - 11.9.1 海陆分布 329
 - 11.9.2 海拔高度 330
 - 11.9.3 地理位置 330
 - 11.9.4 云量和反照率 331
- 11.10 气温的全球分布 332

概念回顾 333

思考题 335

第 12 章 湿度、云和降水 337

- 12.1 水的相变 338
 - 12.1.1 冰、液态水和水汽 338
 - 12.1.2 潜热 338
- 12.2 湿度: 空气中的水汽 340
 - 12.2.1 饱和 340
 - 12.2.2 混合比 341
 - 12.2.3 相对湿度 341
 - 12.2.4 露点温度 343
 - 12.2.5 测量湿度 343
- 12.3 云的形成基础: 绝热冷却 344
 - 12.3.1 雾、露和云的形成 344
 - 12.3.2 绝热温度变化 345
 - 12.3.3 绝热冷却和凝结 345
- 12.4 空气上升过程 346
 - 12.4.1 地形抬升 346
 - 12.4.2 锋面楔入 347
 - 12.4.3 局地对流抬升 347
- 12.5 天气的形成: 大气稳定度 348
 - 12.5.1 稳定度类型 349
 - 12.5.2 稳定度和日常天气 350
- 12.6 凝结和云的形成 351
- 12.7 雾 354
 - 12.7.1 冷却雾 354
 - 12.7.2 蒸发雾 355
- 12.8 降水的形成 357
 - 12.8.1 冷云降水: 伯杰龙过程 358
 - 12.8.2 暖云降水: 碰并过程 359
- 12.9 降水类型 359
 - 12.9.1 雨 360
 - 12.9.2 雪 360
 - 12.9.3 雨夹雪和冻雨 360
 - 12.9.4 冰雹 360
 - 12.9.5 雾凇 361
- 12.10 降水的观测 362
 - 12.10.1 降雪测量 362
 - 12.10.2 天气雷达测量降水 362

概念回顾 363

思考题 365

第 13 章 大气运动 367

- 13.1 了解气压 368
 - 13.1.1 观察气压 369
 - 13.1.2 测量气压 369
 - 13.2 影响风的因素 370
 - 13.2.1 科里奥利力 372
 - 13.2.2 地面摩擦力 373
 - 13.3 高压与低压 375
 - 13.3.1 气旋风和反气旋风 375
 - 13.3.2 与高压和低压相关的天气 376
 - 13.4 大气环流 377
 - 13.4.1 地球不自转时的环流 377
 - 13.4.2 理想的全球环流 377
 - 13.4.3 大陆的影响 378
 - 13.4.4 西风带 379
 - 13.5 局地风 380
 - 13.5.1 陆风和海风 380
 - 13.5.2 山风和谷风 380
 - 13.5.3 钦诺克风和圣塔安娜风 381
 - 13.6 风的观测 382
 - 13.7 全球降水分布 383
- 概念回顾 384
- 思考题 386

第 14 章 天气模式与恶劣天气 387

- 14.1 气团 388
 - 14.1.1 气团是什么? 388
 - 14.1.2 气团的发源地 388
 - 14.1.3 与气团相关的天气 389
- 14.2 锋面 391
 - 14.2.1 暖锋 391
 - 14.2.2 冷锋 392
 - 14.2.3 静止锋和锢囚锋 393
- 14.3 中纬度气旋 394
 - 14.3.1 理想的中纬度气旋天气 395
 - 14.3.2 高空气流的作用 396
- 14.4 雷暴 397
 - 14.4.1 名称的含义 397
 - 14.4.2 雷暴的形成 398
 - 14.4.3 雷暴发展的各个阶段 399
- 14.5 龙卷风 400

- 14.5.1 龙卷风的形成和发展 401
- 14.5.2 龙卷风的破坏性 403
- 14.5.3 龙卷风预报 404
- 14.6 飓风 405
 - 14.6.1 飓风概况 406
 - 14.6.2 飓风的形成与消亡 407
 - 14.6.3 飓风的破坏性 408
 - 14.6.4 飓风跟踪 410

概念回顾 411

思考题 413

第 15 章 太阳系的特点 415

- 15.1 古代天文学 416
 - 15.1.1 天文学的黄金时代 416
 - 15.1.2 托勒密模型 417
- 15.2 现代天文学的诞生 419
 - 15.2.1 哥白尼 419
 - 15.2.2 第谷 420
 - 15.2.3 开普勒 420
 - 15.2.4 伽利略 422
 - 15.2.5 牛顿 424
- 15.3 太阳系概述 425
 - 15.3.1 星云说: 太阳系的形成 425
 - 15.3.2 行星: 内部结构和大气层 427
 - 15.3.3 行星碰撞 429
- 15.4 地球的卫星——月球: 古老地体的碎片 430
- 15.5 类地行星 433
 - 15.5.1 水星: 最靠内的行星 433
 - 15.5.2 金星: 神秘的行星 434
 - 15.5.3 火星: 红色的行星 435
- 15.6 类木行星 437
 - 15.6.1 木星: 天体的主宰 437
 - 15.6.2 土星: 优雅的行星 439
 - 15.6.3 天王星和海王星: 双胞胎 441
- 15.7 太阳系中的小型天体 442
 - 15.7.1 小行星: 剩下的星子 443
 - 15.7.2 彗星: “脏雪球” 444
 - 15.7.3 彗星的范围: 柯伊伯带和奥尔特云带 445

15.7.4 流星: 地球的造访者 445

15.7.5 矮行星 447

概念回顾 448

思考题 450

第 16 章 系外宇宙 452

- 16.1 宇宙 453
 - 16.1.1 宇宙有多大? 453
 - 16.1.2 宇宙简史 454
- 16.2 星际物质: 星星的温床 455
 - 16.2.1 亮星云 455
 - 16.2.2 暗星云 457
- 16.3 星体分类: 赫罗图 457
- 16.4 恒星演化 459
 - 16.4.1 恒星的诞生 459
 - 16.4.2 原恒星阶段 460
 - 16.4.3 主序星阶段 460
 - 16.4.4 红巨星阶段 460
 - 16.4.5 燃尽和消亡阶段 460
- 16.5 恒星残骸 462
 - 16.5.1 白矮星 462
 - 16.5.2 中子星 462
 - 16.5.3 黑洞 463
- 16.6 星系和星团 464
 - 16.6.1 星系分类 464
 - 16.6.2 星团 466
 - 16.6.3 星团碰撞 466
- 16.7 大爆炸理论 467
 - 16.7.1 宇宙扩张的证据 467
 - 16.7.2 大爆炸理论的预言 468
 - 16.7.3 宇宙的命运是什么? 468

概念回顾 468

思考题 470

附录 A 公制和英制单位的换算 472

附录 B 地球的网格系统 474

附录 C 相对湿度和露点温度对照表 476

附录 D 恒星的性质 478

词汇表 482

第 0 章 地球科学导论



犹他州南部泥河附近下午的一场暴雨 (Michael Collier 摄)

本章主要内容:

- 0.1 列举并描述组成地球科学的学科。
- 0.2 描述构成地球自然环境的4个“圈层”。
- 0.3 定义系统并解释地球是一个系统的原因。
- 0.4 探讨地球科学中的空间和时间尺度。
- 0.5 概括人与自然环境之间的一些重要关系。
- 0.6 讨论科学探索的本质, 区分假说与理论。

壮观的火山喷发、景色秀丽的岩石海岸以及飓风造成的破坏, 都是地球科学家研究的课题。

0.1 什么是地球科学

列举和描述组成地球科学的学科。

地球科学是试图了解地球及其周围空间的所有学科的总称, 它包括地质学、海洋学、气象学和天文学。

在本书中, 单元1~4的重点都是地质学, 地质学的字面意思是“研究地球”。地质学传统上分为两大领域: 自然地质学和历史地质学。

自然地质学考查地球的物质组成, 并力求了解发生在地表上或地表下的许多过程。地球是一个动态的、千变万化的星球。地球的内力作用会引发地震、构建山脉和形成火山构造。在地表上, 外力作用裂解岩石并形成多种多样的地貌(见图0.1)。水、风、冰的侵蚀作用造就了种类繁多的地貌景观。由于岩石和矿物是在地球的内部和外部作用过程中形成的, 因此研究地球的物质是了解我们这个星球的基础。



图 0.1 阿拉斯加的福拉克山。地球内力作用创造了这座山, 而外力则不断雕刻着它。这座山位于迪纳利国家公园, 是美国第四高峰 (Michael Collier 摄)

与自然地质学相比, 历史地质学的目的是了

地球科学研究涉及很多有关环境的迷人问题或实际问题。什么力量造就了山脉? 为什么每天的天气如此多样? 气候真的在发生改变吗? 地球有多少岁了, 它与太阳系中的其他行星有着怎样的联系? 什么导致了海洋潮汐? 冰期是什么样的? 会不会有另外一个地球? 可以在这里成功钻井吗?

本书的主题就是地球科学。要了解地球并不是件容易的事情, 因为地球并不是静止不变的物质。相反, 它是一个动态的球体, 有着许多相互作用的部分和漫长且复杂的演化历史。

解地球的起源及这颗行星在 46 亿年历史中的演化。它致力于建立一个有序的编年序列, 将发生在地质历史中的许多自然和生物变化排列起来。从逻辑上讲, 自然地质学研究先于地球历史的研究, 因为在试图揭秘它的过去之前, 我们必须先了解地球是如何运转的。

第5单元主要关注海洋学研究。海洋学其实并不是一门割裂的独立学科。相反, 海洋研究综合性强且相互影响, 它涉及所有领域及它们之间的相互关系。海洋学综合了化学、物理学、地质学和生物学, 包括海水成分和海水运动, 以及海岸变化、海底地形和海洋生物的研究。

第6单元主要研究因重力作用而保持在行星表面的气体混合物, 气体混合物随着海拔高度的增加迅速变得稀薄。在地球运动和太阳能量二者的共同驱动下, 无形且不可见的大气圈导致了多种多样的天气变化, 而这又构建了全球气候的基本格局。气象学是研究影响天气和气候变化的大气圈及其作用过程的科学。像海洋学一样, 气象学在综合研究环绕地球的薄层空气时要使用其他学科的知识。

第7单元阐述地球在宇宙空间中的位置, 它与太空中所有的其他星体都有关系, 需要我们在更大的宇宙空间视角下研究我们所在的行星。天文学(研究宇宙空间的科学)对于确定我们自己的外界环境起源很有用。因为我们如此熟知自己生活的这个星球, 所以很容易忘记它仅仅是浩瀚宇宙空间中的一个小星体。事实上, 地球受自

然法则支配，而同样的法则也支配了占据巨大宇宙空间的许多其他星体。因此，为了理解我们所在行星起源的学说，了解太阳系中其他星球的知识是有用的。此外，对于我们认识太阳系是组成银河系的大量星体组合中的一部分，而银河系也只是众多星系之一，也是有帮助的。

理解地球科学具有挑战性，因为我们的地球是一个动态的球体，它的许多部分相互作用，并有着复杂的历史。在漫长的演化历史中，地球始终发生着变化。事实上，现在它就在发生变化，且在可预见的未来会继续变化。有时这种变化是迅速和猛烈的，比如强烈风暴、山体滑坡或火山爆发。通常这种变化是逐渐进行的，可能人的一生中都不会注意到。地球科学所研究的现象，其规模及空间位置通常也相差很大。

地球科学通常被视为在室外进行的科学，事实确实如此。很大一部分地球科学家的研究都基于在野外进行的观测和实验。但是，地球科学也有在实

验室进行的研究，因为在实验室对各种地球物质的研究可帮助人们了解许多基本过程。例如，在实验室中创建复杂的计算机模型来模拟我们这个星球的复杂气候系统。地球科学家们经常需要了解和应用物理学、化学和生物学。地质学、海洋学、气象学和天文学是我们寻求增强对自然界的认识并扩大我们在自然界中的生存空间的科学。

概念检查 0.1

1. 列出并简要描述构成地球科学的学科门类。
2. 说出地质学的两大分支及它们之间的区别。

你知道吗？

1492年，当哥伦布起航时，许多欧洲人认为地球是平的，哥伦布将航行到地球的边缘。然而，早于此时的2000年前，古希腊人就意识到了地球是球形的，因为在月食期间，它总会在月球上投射出弯曲的影子。事实上，希腊天文学家、数学家和地理学家埃拉托色尼（公元前276—公元前194）计算了地球的周长并获得了数值，它非常接近于40075千米这样一个现代测量结果。

0.2 地球的圈层

描述组成地球自然环境的4个“圈层”。

图0.2中的图像非常经典，因为它们让人类看到了地球不同于以往的一面。这些早期的印象深刻地改变了我们对地球的固有概念，并在第一次观测到它们的几十年后仍印象深刻。这样的图像告诉我们，我们的家园毕竟是一颗行星——虽小却自成一体，甚至在一定程度上相当脆弱。

从太空中仔细观察我们的星球时，可以清晰看

到它不仅由岩石和土壤组成。实际上，图0.2所示的圈层结构中最显著的特征不是大陆，而是悬挂在大陆表面和广阔海洋上方的卷云。这些特征告诉我们，这个星球上的空气和水非常重要。

图0.2中所示的地球照片可帮助我们了解自然环境传统上分为三个主要部分的原因：水的分布，称为水圈；地球的气体外壳，称为大气圈；固体地球，称为岩石圈。



图0.2 从太空中看地球的两幅经典图片（NASA 供图）



图 0.3 地球圈层的相互作用。海岸线是交汇地，系统的不同部分在这里相互作用。在这一场景中，空气（大气圈）移动形成的海浪（水圈）会击碎岩岸（岩石圈）。水的力量很强大，其导致的侵蚀作用也很巨大（Michael Collier 摄）

应强调的是，我们的环境是高度综合的，而不是由水、空气或岩石单独支配的。相反，其特征在于空气与岩石、岩石与水、空气与水之间不断的相互作用，而且地球生命形式的总和即生物圈，延伸到了这三个自然领域，且同样是地球的组成部分。因此，地球可视为由 4 个主要圈层组成，即水圈、大气圈、岩石圈和生物圈。

地球上的 4 个圈层之间的相互作用是无法估量的。图 0.3 给出了一个简单且形象化的例子。海岸线是岩石、水和大气交汇的场所。在这里，穿过海水的空气运动产生波浪，并拍打对面的岩岸。水的力量很强大，产生的侵蚀作用也很巨大。

0.2.1 水圈

地球有时被人们称为蓝色星球。水无比重要，它使得地球独一无二。水圈是水连续变化的一个动态体，海水从海洋蒸发到大气圈，再降落到大陆，然后流回到大海。全球海洋无疑是水圈的最突出特征，它覆盖了近 71% 的地球表面并有着 3800 米的平均深度。它占据了地球上超过 96% 的水（见图 0.4）。水圈还包括地下的淡水和河流、湖泊及冰川。此外，水还是所有生物的重要组成部分。

尽管后几种来源只是全部来源的一小部分，但要比其所占百分比更为重要。除了为陆地上的生命提供重要的淡水外，溪流、冰川和地下水还为雕琢和创造我们所在星球多样性的地貌起了重要作用。大气中的水、云层中的水和水蒸气在天气与气候变化中也至关重要。

你知道吗？

海水的体积非常巨大。如果地球的固体物质呈平滑的球状，那么覆盖在地球表面上的海水的平均厚度将超过 2000 米。

0.2.2 大气圈

地球被一个活力十足的气体外壳包裹，这个气体外壳称为大气圈（见图 0.5）。当我们观看喷气式飞机穿越天空时，似乎大气圈向上还延伸了

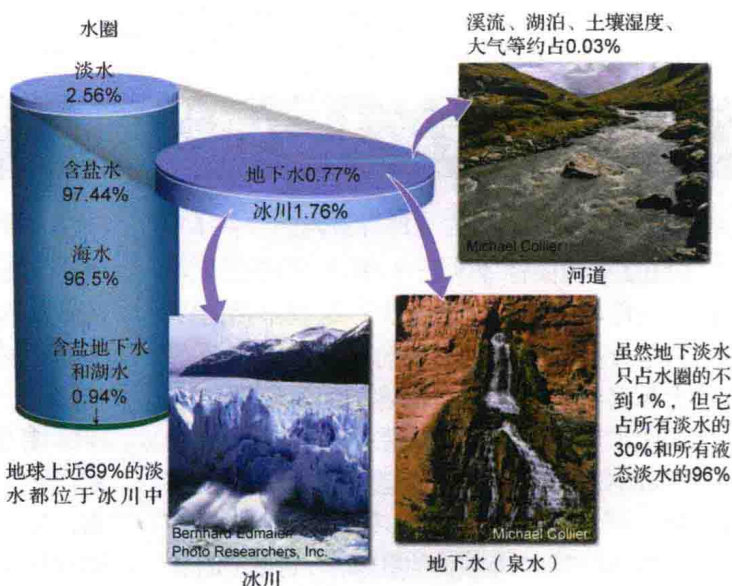


图 0.4 含水的行星。水圈中水的分布

很大的距离。然而，与固体地球的半径（约 6400 千米）相比，大气圈是一个很薄的圈层。即使忽略其较小的规模，这层很薄的空气毯仍然是地球不可或缺的一部分。它不仅提供了我们呼吸的空气，也保护了我们不受来自太阳辐射的危害。大气与地球表面之间以及大气圈与太空之间不断发生能量交换的过程，导致了我们将天气和气候的结果。气候对地球表面过程的性质和强度影响很大。气候变化时，这些过程也会相应地变化。