

〔美〕P. J. 怀利 著

# 地球是怎样活动的

—新全球地质学导论及其变革性的发展—

地质出版社

# 地球是怎样活动的

——新全球地质学导论及其变革性的发展——

〔美〕P.J. 怀利 著

张崇寿 等 译

吴佳翼 校

地质出版社

## 内 容 简 介

本书是讲授六十年代兴起的板块构造学的一本教科书。书中系统地介绍了地球科学中有关海底地貌、震源分布和机制、海洋磁异常、古地磁、海洋地质和地热流等一系列的新发现和新成果。本书的特点是对有关科学内容进行了生动具体的阐述和详尽的解释,在论述板块构造学的有关书籍中是较好的一部著作。本书可以作为我国高等院校地学各有关专业的辅助教材或参考书,也可供具有中等以上文化程度的一般读者阅读。

The Way  
The Earth Works:  
An Introduction to the New  
Global Geology and Its  
Revolutionary Development  
Peter J. Wyllie  
University of Chicago

## 地球是怎样活动的

—新全球地质学导论及其变革性的发展—

〔美〕P.J.怀利 著

张崇寿 等译 吴佳翼 校

\*

地质部教育司教材室编辑

地质出版社出版

(北京西四)

地质印刷厂印刷

(北京安德路47号)

新华书店北京发行所发行·各地新华书店经售

\*

开本:787×1092<sup>1</sup>/<sub>16</sub>·印张:15<sup>7</sup>/<sub>8</sub>·字数:386,000

1980年7月北京第一版·1980年7月北京第一次印刷

印数1—5,740册·定价2.40元

统一书号:15038·教97

## 前言

这本教科书根据《岩石与星星》一书的“岩石”部分而写成。它是为芝加哥大学文科学位教学大纲对自然科学的要求而设置的一门课程。书的中心论题是地球科学变革的新范例——板块构造学说。J.图佐·威尔逊 (J. Tuzo Wilson) 曾建议以这个统一的理论作为开端来教授地球科学, 根据他的建议做出了这样的安排。书中对一些传统地质学的论题, 仅在那些阐述板块构造学说基本论点所需之处, 才加以介绍和概略叙述。

书的中心论题是在本世纪早期开始的有关大陆漂移争论的历史背景下提出的, 书中较详细地叙述了在“革命的”六十年代中这一争论迅速而明显的发展情况。本书首先介绍了板块构造学说, 随后是地震学提供的证据, 接着是地球磁场和磁化岩石方面的证据。从后者可以确定海底扩张整整延续了几千万年, 而大陆漂移可追溯至几亿年。书中所选论题, 包括地质旋回、阿特兰梯斯 (Atlantis) 古大陆的消失和中生代爬虫类的灭亡, 均于板块构造学说的范围内加以论述。与地球科学变革一并叙及的是我们对行星科学不断增长的认识, 以及随着这些进展而来的月球考察计划的历史, 并介绍了某些科学结论。最后一章又返回到与环境地质和动力设施有关的地震问题。

本教科书虽为非理科专业的学生所撰写, 但理科专业的学生会发现, 详尽的解释和地球科学的变革历史将促进他们对许多课题的理解, 这些课题在通常的教材中只简略地涉及, 而且它们常采用通过地质学讲授地球科学的传统方法。我期望, 作为这样一些课程的补充, 本书将被证明是有用的。对于那些在大学培训期间并不强调板块构造学说的大学毕业生来说, 他们需要对这些论题及其进展情况有一个概观的了解。在这本书中可以找到这些内容。

一般高等院校的地球科学导论, 总是力图囊括尽可能多的论题和基本原理。这样做, 或者导致出一本百科全书式的教科书, 其篇幅远远超出对一个学生阅读能力的合理要求; 或者导致出一本字典式的课本, 其中每个论题都一带而过和几乎未加解释。大多数这类教材包括了大量的地质学专门术语, 以致需要一个词汇表。在现今的技术社会中, 科学文字的阅读和写作能力是和熟悉“伟大著作”同样重要的。然而我认为, 地质学家无须期望未来的人文学家和社会科学家去记忆诸如造陆作用、残丘、淋余土、斑晶或铁燧石等字眼。

新全球地质学基本概念的精确和简洁, 使作者有条件用最低限度的地质学和地球物理学的专门术语向学生们表达地球科学中最精辟的理论变革, 这个理论现在已成为许多地球科学家研究活动的中心议题了, 而这正是令人振奋之所在。我和威尔逊都同意应该使这个理论变革成为启蒙课程的主题。在第一学期的全球轮廓性介绍后, 教员们接着可以进行几乎任何一种课题: 矿物和岩石、地貌、历史地质、海洋、大气、行星科学或环境地质以及自然资源。教员们如不愿推迟讲授普通课程的专题内容, 则可在讲授本书课题的同时, 平行地进行一系列物理地质学方面的常规实验课。

我选择了有关板块构造的主要证据, 对它们所作的解释要比教科书中通常的解释详尽得多, 而最为关注的是我的学生们认为难于理解的课题。我不从研究文献中直接引用图表,

而是把这些图表分选出来,加以简化,再把它们结合起来,力图帮助学生研究的对象和空间能具有三维空间感。这一点是重要的,例如,海洋磁异常条带和海底磁化条带之间的区别。我要为本书冗长的解释进行辩解,因为我相信,学生们如能真正弄懂几个重要课题,将要比学习大量琐碎事实更能得到满足。全书叙述经过了周密的组织,如无其它先决条件,则每一章都建立在前一章的基础上,并为后一章做好准备。我还尽量在论述部分穿插一些比较生动的情节和历史上的争论以及轶事奇闻等。

第二、十三、十七和十八章的部分内容,与我在1971年发表在《当代伟大思想》(The Great Ideas Today)中“地球科学变革”一文里的部分内容相同。

承蒙一些人士惠阅了我的部分原稿,他们的意见使本书有了提高。在此,谨向他们表示衷心的感谢。

P.J. 怀利

芝加哥大学

芝加哥 伊利诺斯

1975年4月

## 译 者 的 话

我们居住的地球，在它漫长的发展历程中究竟是怎样活动和演变的呢？这是地球科学中争论颇多的一个问题。

本世纪六十年代以来，在海底地貌、震源分布、海洋磁异常、古地磁、海洋地质和地热流的研究方面获得了突飞猛进的发展。大量观测资料的积累，使人们有可能从理论上对全球活动方式作出概括和总结。在这样的前提下，板块构造学扩展成为地球科学中的一个新分支，很快地建立了自己的体系，受到越来越多的赞同和响应。在国际上，有人甚至认为这是地球科学中的一次伟大变革；我国的著名科学家也把它看成是当代科学史上新的伟大突破在地学方面的体现。

本书以本世纪初魏格纳提出的大陆漂移概念和六十年代兴起的板块构造学说为主要线索，比较系统地介绍了地球科学中的一系列新发现和新成果，是迄今讲述板块构造学专业书籍中的一部优秀著作。

作者彼得·怀利通过生动形象的描述，深入浅出的解释和精心设计的图件，把有关板块构造学说的主要论据（尤其是海洋磁异常的论据）和内容一一展示给读者。他比较详细地叙述了地球科学变革的历史，并从板块构造的角度简要论述了地球科学中的一些主要课题。作者力图避免过多地堆砌专门术语和生硬地罗列数据资料，尽可能将客观事实和基础理论有机地结合起来，并穿插一些有趣的历史故事。这样做，不但不影响本书作为一部优秀教材的水平 and 价值，而且使它兼有了科普读物的特色。

本书既可作为我国高等院校地球科学各有关专业的辅助教材和有关科技人员的参考书，也可供具有中等以上文化程度的一般读者阅读。

为了向我国读者介绍板块构造学说，同时纪念大陆漂移论首创人阿尔弗雷德·魏格纳教授（1880—1930）诞生一百周年，我们译出了这部著作。

书中第一、二、八、九、十、十一、十二、十三、十五、十六章由张崇寿译，第三、六章由杨珊珊译，第四、五、七、十四、十七、十八章由张翊译。吴佳翼校阅全书译文。因为我们的水平有限，如有疏误之处，欢迎读者批评指正。

1979年11月

# 目 录

|                                |      |
|--------------------------------|------|
| <b>第一章 引言：一门新学说兴起的时代</b> ..... | (1)  |
| “新全球地质学”、大陆漂移和板块构造 .....       | (1)  |
| 深海钻探 .....                     | (3)  |
| 月球考察 .....                     | (4)  |
| 环境地质学 .....                    | (5)  |
| 地质年代表 .....                    | (6)  |
| 以下各章采用的方法 .....                | (6)  |
| 小 结 .....                      | (8)  |
| <b>第二章 地球科学的大变革</b> .....      | (9)  |
| 大陆漂移——一场大论战 .....              | (9)  |
| 复 兴 .....                      | (11) |
| 海底扩张 .....                     | (13) |
| 磁异常和极性反转 .....                 | (14) |
| 转换断层和地震研究 .....                | (14) |
| 板块构造 .....                     | (15) |
| 革 新 .....                      | (17) |
| 反 革 新 .....                    | (17) |
| 阿尔弗雷德·魏格纳——漂移论者和探险家 .....      | (18) |
| 小 结 .....                      | (20) |
| <b>第三章 地球的固体表面</b> .....       | (22) |
| 大陆和海洋的分布 .....                 | (22) |
| 地表的主要特征 .....                  | (26) |
| 等高线图和剖面图的绘制 .....              | (28) |
| 固体地球表面的起伏 .....                | (30) |
| 地球表面的活动带 .....                 | (34) |
| 小 结 .....                      | (35) |
| <b>第四章 地震：它的作用和分布</b> .....    | (36) |
| 地震的烈度和震级 .....                 | (37) |
| 秘鲁的灾难 .....                    | (39) |
| 加利福尼亚州的地震 .....                | (41) |
| 美国中西部新马德里地震 .....              | (43) |
| 地震震中的分布 .....                  | (44) |
| 地震震源的分布 .....                  | (46) |
| 小 结 .....                      | (49) |

|                         |       |
|-------------------------|-------|
| <b>第五章 地震和板块构造学说</b>    | (51)  |
| 稳定板块与活动边界               | (51)  |
| 板块边界处的运动方向              | (53)  |
| 板块在球面上的相对运动             | (56)  |
| 板块运动的持续时间               | (59)  |
| 小    结                  | (60)  |
| <b>第六章 地质旋回</b>         | (61)  |
| 水的旋回                    | (62)  |
| 岩石旋回                    | (64)  |
| 地质旋回                    | (67)  |
| 地质旋回和板块构造               | (68)  |
| 火    山                  | (69)  |
| 小    结                  | (71)  |
| <b>第七章 地震波与地球内部</b>     | (72)  |
| 地球的同心结构                 | (72)  |
| 地    震    波             | (73)  |
| 地球内部的地震波速分布             | (76)  |
| 地壳、岩石圈和软流层              | (78)  |
| 地        核              | (80)  |
| 小    结                  | (81)  |
| <b>第八章 地球磁场和磁化岩石</b>    | (82)  |
| 磁                       | (82)  |
| 磁    场                  | (83)  |
| 磁    化                  | (85)  |
| 地球的磁场                   | (86)  |
| 地球磁场随时间变化               | (91)  |
| 地球磁场的起因                 | (91)  |
| 岩石的磁化                   | (92)  |
| 地球磁场异常                  | (94)  |
| 小    结                  | (96)  |
| <b>第九章 地球磁场的历史：极性反转</b> | (98)  |
| 正极性和反极性                 | (98)  |
| 极性反转年代表的标定              | (100) |
| 贯穿地质年代的极性反转             | (103) |
| 深海沉积物的磁化作用              | (104) |
| 极性转换期间的磁场               | (107) |
| 小    结                  | (109) |

|                              |       |
|------------------------------|-------|
| <b>第十章 磁异常和海底扩张模型</b>        | (111) |
| 磁异常条带的发现                     | (111) |
| 岩石圈传送带和磁带记录器                 | (113) |
| 海洋沉积物的磁化                     | (117) |
| 海底扩张速率                       | (119) |
| 极性反转年代表的外推                   | (121) |
| 测定海底年龄                       | (123) |
| 小 结                          | (125) |
| <b>第十一章 大陆漂移和古地磁</b>         | (126) |
| 大陆漂移早期论战中引用过的证据              | (126) |
| 往昔争论的再起                      | (129) |
| 关于古磁性的解释                     | (131) |
| 古磁性的测量和描述                    | (133) |
| 印度的向北漂移                      | (137) |
| 小 结                          | (138) |
| <b>第十二章 极移路线和大陆迁移</b>        | (139) |
| 极移路线                         | (139) |
| 古地磁真有根据吗?                    | (143) |
| 劳亚古陆和冈瓦纳古陆的分散                | (143) |
| 在联合古陆出现之前                    | (145) |
| 鸟类有首创权                       | (147) |
| 小 结                          | (149) |
| <b>第十三章 宣布革新——证据的挑战</b>      | (150) |
| 瓦因-马修斯假说以及莫利的稿件如何受到权威们的刁难    | (150) |
| 一次专题讨论会、两次科学大会和一次大变革         | (152) |
| 板块构造                         | (153) |
| 宣布和异议                        | (153) |
| 第二次考察真实的磁异常                  | (155) |
| 可供选择的解释                      | (159) |
| 历史展望中的大地构造学信条                | (163) |
| 小 结                          | (165) |
| <b>第十四章 格洛玛挑战者号的航行和深海沉积物</b> | (166) |
| 深海钻探计划                       | (167) |
| 格洛玛挑战者号                      | (168) |
| 南大西洋的海底扩张                    | (171) |
| 地中海的死谷                       | (173) |
| 阿特兰梯斯大陆的消失                   | (177) |
| 小 结                          | (178) |

|                        |       |
|------------------------|-------|
| <b>第十五章 物种的繁衍和灭绝</b>   | (180) |
| 生物地理学的平衡模式             | (180) |
| 影响物种繁衍的因素              | (182) |
| 物种的繁衍和灭绝与板块构造的关系       | (183) |
| 地球磁场倒转和动物群的灭绝          | (185) |
| 恐龙和其它兽类的灭绝             | (186) |
| 小    结                 | (187) |
| <b>第十六章 板块运动的驱动力问题</b> | (188) |
| 地幔拖曳板块                 | (188) |
| 板块拖曳地幔                 | (191) |
| 热柱形成热点并驱动板块            | (193) |
| 是热柱还是重力锚?              | (196) |
| 研究在继续中                 | (197) |
| 小    结                 | (198) |
| <b>第十七章 月球考察</b>       | (199) |
| 在阿波罗飞行以前               | (199) |
| 阿波罗计划                  | (201) |
| 俄国的计划                  | (203) |
| 阿波罗11号对阿波罗以前争论的影响      | (204) |
| 月历的历史                  | (207) |
| 月球起源和行星演化的基本理论问题       | (209) |
| 未    来                 | (211) |
| 小    结                 | (211) |
| <b>第十八章 环境地质和地震预报</b>  | (213) |
| 自然资源                   | (213) |
| 空气和水                   | (215) |
| 岩石和矿物                  | (216) |
| 化石燃料                   | (217) |
| 污染和动力: 能源危机            | (218) |
| 地震预报                   | (223) |
| 地震控制                   | (226) |
| 未    来                 | (228) |
| 小    结                 | (229) |
| <b>推荐读物</b>            | (230) |

# 第一章 引言：一门新学说兴起的时代

本书以简明的语言介绍了地球科学中通常称之为“新全球地质学”的革新理论。书中阐明了这一理论的主要根据，并且概述了这一学说的某些含义和应用。这种研究地质学和地球科学的新方法，有别于传统的宝塔式的方法。传统的方法是以堆砌资料 and 解释构成一种理论的。在这里，我们首先检视整个全球理论，然后才能在较诸一般方法更为先进的水平上对各个课题加以讲解；并使每一论题棒合在全球理论体系的适当位置上。

## “新全球地质学”、大陆漂移和板块构造

现在，大多数的地质学家、地球物理学家和地球化学家都认为，经历了数十亿年的地球演变的漫长时期，各个大陆已从地球表面的一边漂移到另一边。超级大陆（Superconti-

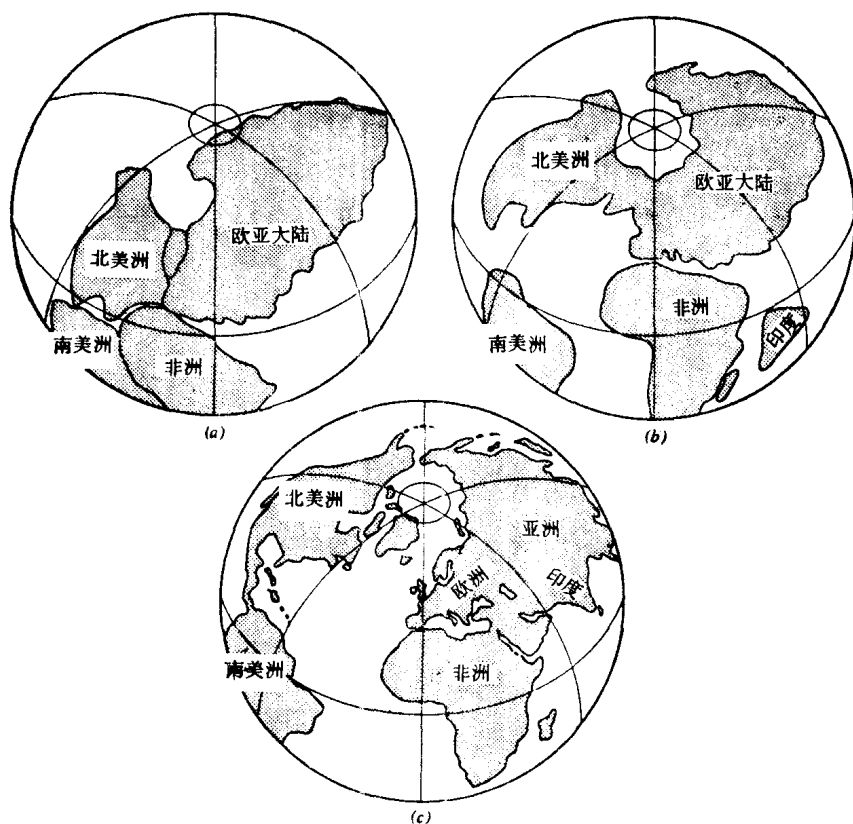


图1-1 大陆漂移。2 亿年前，大陆块体形成了单一的超级大陆，超级大陆破裂了，它的碎块漂移开来，并在其间形成海洋。与图12-3和12-4对照。(a) 2 亿年前；(b) 6.5 千万年前；(c) 现在。

nents)分离了；海洋出现了，扩展了；当大陆碰撞时又消失了。大陆碰撞冲起了巨大的山脉，例如喜马拉雅山。各个大陆仍在漂移，大西洋正越来越大，而太平洋却日益变小。漂移的各大陆的早先位置请见图1-1、12-3和12-4。

自本世纪初以来，在支持大陆漂移概念的证据和反对意见之间，就已进行着论战了，但直到二十世纪六十年代末期，大陆漂移概念作为板块构造新学说的一部分，才被普遍接受。“构造学”(tectonics)一词来源于与“建筑学”(architecture)一词相同的词干。它是地质学的一个分支，讨论造山作用，在较小的范围内也涉及到岩石埋入地下及其褶皱和断裂的方式。

按照板块构造学说，地球表面覆盖着一组比较薄的壳状板块。图1-2和图5-1表示出地表上的这些板块边界，图2-3表示它们的剖面图。这些刚性的岩石板块在地球内层上面滑动，互相挤压，犹如湖面上漂流的大片浮冰。板块边界是地质和构造的活动地带；地震和火山就集中在这些地带，有些边界则是造山运动的场所。

对这一学说的承认，使得科学见解有了如此重大的转变，以致这一学说的宣布犹如科学上的一次革命。地球科学第一次掌握了一种全球体系，看来它可以解释地球表面发生的许多变化，可以把先前似乎毫不相干和难于解释的现象联系起来。

在地质学、生物学、物理学、化学等不同领域里经过训练的专家，已对整个地球及地表的历史和现状的许多方面进行了研究，这些研究多数概括在“physical science”(自然科学)这一术语之下。我们首先应当用适当的科学方式为我们的术语下个定义。在一本好的字典里我们看到：

physical science (自然科学) —— 主要涉及非生物的一些自然科学(如矿物学、天文学、气象学、地质学)。

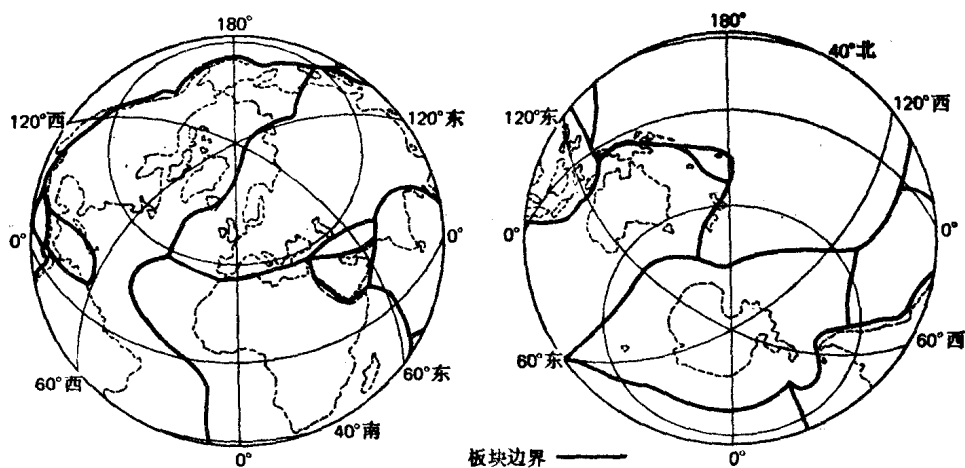


图1-2 地球表面被若干壳状的板块覆盖着，这些板块边界与大陆及海洋间的海岸线无关。载有大陆的刚性板块彼此相对运动，引起大陆漂移。请对照图2-3和5-1。

于是，我们把书翻到这样的一页：

natural science (自然科学) —— 涉及物质、能量，它们的相互关系和转化或客观上可以测量的现象的一切科学(如物理学、化学、生物学)。

然后，我们又把书翻到这样的一页：

geology (地质学) —— 1a, 涉及地球历史及地球生物 (特别是岩石中所记录的) 的一门科学;  
b, 关于天体 (如月球) 的固体物质的一门学科。

各学科专家间的思想交流并不总是容易进行的, 部分原因是他们使用了不同的语言符号 (不同的行话)。这种千篇一律地使用符号表达思想的方法, 使许多青年学生在他们有机会充分学习以求发现一门伟大学说令人望而生畏的奥妙之前, 就放弃了科学。但是, 由于所涉及的新概念的革新和相互关联, 现在我们看到, 自然科学中大多数传统学科的以及生物学科的研究人员, 出于共同的兴趣而在地学问题上互相协作起来了。仅仅几年前, 谁会料到, 把研究海底岩石中微小的海洋动物骸骨化石所得的资料与地球磁场提供的资料结合起来, 就会极好地证明: 至少7.5千万年以来, 大西洋一直以每年4厘米的恒定速率在不断扩展着呢 (见第十四章)?

板块构造的革新学说为许多地球科学工作者的研究活动提供了一个中心。这就是新发现不断形成之所在, 这就是令人振奋之所在。在今后的1千万年间, 由于太平洋板块的缓慢向北移动, 将使洛杉矶运移到旧金山的近旁, 还有什么能比了解到这样一件事情更加令人神往的呢 (见第十二章)?

六十年代是科学上特别令人兴奋的十年, 这是伟大思想创生的时期。本书以大部分篇幅描述和评介板块构造学说, 但也包括了地球科学其它方面在同一时期的进展情况。一艘特制的深海钻探船开始从洋底搜集资料, 空间计划把宇宙航行员送上了月球, 公众对生态学、环境污染和再循环等方面不断增长的知识, 使得环境地质学作为一个活跃的研究领域而发展起来了。

## 深 海 钻 探

约有70%的地球表面被海水覆盖着。淹没在海水下面4公里深的大洋盆底, 长期以来就象月球表面一样地使人难以接近。因此, 对于地质学家来说, 大部分固体地球表面一直是神秘的; 而月球靠近我们的一面却可以借助高放大倍数的望远镜进行观测。一艘名为“格洛玛挑战者”号的特制深海钻探船, 从1968年8月起开始了它的一系列航行, 并取得了大量的海底资料。格洛玛挑战者号是一艘模样很奇特的船只 (图14-1), 它是专为钻探海底和从海底获取沉积物长岩心的目的而建造的。

当查尔斯·达尔文 (Charles Darwin) 还是一位年仅22岁的青年时, 他以一名博物学者的身分, 从1831年到1836年乘英国船比格尔号进行了一次环球考察, 历时五年。这次航行为他在科学上的重要著作——《物种起源》(On the Origin of Species by Means of Natural Selection)——作了准备, 这一著作发表于1859年底。它的影响是如此巨大, 甚至一个世纪之后, 《物种起源》这一书名仍可能比任何其它科学著作更广泛地被人们所知晓。格洛玛挑战者号航行期间所取得的资料, 在数量上超过了比格尔号航行期间所取得的资料, 而且由这些资料所产生的结果和综合成果, 在科学上的重要意义, 甚至也可以和达尔文的论文相匹敌, 这看来是可能的。

哥伦比亚特区华盛顿地球物理实验室的艾贝尔逊 (P.H. Abelson) 在1969年12月的一期《科学》杂志 (Science) 的社论中写道:

对地质学和有关学科来说, 这已成为不寻常的一年。两项巨大进展以其新的知识、新的疑难问

题和新的研究对象丰富了这些领域。在这两项进展中，广为宣传的是月球考察……，其次的进展是深海钻探的广泛计划所取得的成就……。人们不能预见……由此两项最近的巨大进展而引起的新良机，然而明显的是，在另一个十年结束之前，我们对地球和太阳系的认识将有实质性的增进。

## 月球考察

地球科学革新在六十年代末期的一般新闻中得到了相应的报道，但与月球考察的宣传相比，它就相形见绌了。

尼尔·阿姆斯特朗 (Neil Armstrong) 和埃德温·奥尔德林 (Edwin Aldrin) 在一次宇宙飞行中实现了人类的首次登月，这已成为本世纪的轶事了。这次飞行于1969年7月16日从佛罗里达州开始，以7月24日在太平洋上的成功溅落而告结束。佛罗里达五十余万来宾观看了阿波罗11号的起飞，其中包括来自美国和其它五十五个国家的新闻记者约三千五百名，电视摄影机把这次飞行和人类在月球上破天荒的行走情况传送到世间的每个家庭。地质学家们舒适地坐在家里面观看着宇宙航行者采集岩石标本，期待着一些与地球起源有关的问题将能得到解决。

1970年1月5日至8日在休斯敦举行的阿波罗11号月球科学大会，无疑是那一年最大的科学事件。1969年7月25日阿波罗11号乘员从月球带回的22公斤岩石被送到休斯敦探月接待站进行检疫隔离，岩石在那里保存了一个月以防“异乡”的病原生物体散布出某些宇宙的病害。检疫期间和检疫以后，使用各种方法对生物体进行过仔细的寻查，结果表明月球岩石上没有能够繁殖的生物。

9月19日《科学》杂志发表了月球标本初步检查小组在休斯敦的研究结果，在此前后这些标本也分送给了一百四十二位主要研究人员，这些人员早先曾提出过研究月球岩石的计划。大多数研究人员都带有若干名致力于研究专业的副手。在令人极为兴奋的三个月左右的时间里，有九个国家的五百多位科学家致力于从22公斤岩石中所分到的一点点标本。1970年1月5日，他们在休斯敦集会，介绍和对比他们的研究结果，讨论他们对岩石的来历、月球的起源以及太阳系起源等问题的推断。

讨论结果曾向约一千名科学家和众多的新闻纪者作了介绍。全世界都对这次不平凡的讨论会结果发生了兴趣。一般公众期望着将要就月球起源问题宣布一些激动人心的消息。对他们来说，结果可能有些失望，因为在更广泛应用月球研究成果的问题上，专家们之间还缺乏一致的意见；而熔岩流的发现，尽管可以证实月球曾是炽热的，并且发生过化学组成上的分异，但较之对这一问题争论了多年的地球科学家来说，一般公众对这样一些问题就不大感兴趣了。

阿波罗12号、14号、15号、16号和17号的宇宙飞行从月球表面的其它地点带回了岩石标本，许多国家都有大批专家利用这些标本对月球岩石继续进行深入细致的研究。在1969年7月第一次登上月球的大约三年半之后，即1972年12月，阿波罗17号完成了它的宇宙航行任务。这是第一次夜间起飞的宇宙航行，几百万人从电视上，约有五万人在佛罗里达州的公路和海滩上，观看了阿波罗17号从火柱中腾起的壮丽场面。自从阿波罗11号起航以来，公众的兴趣已经低落了，那一回佛罗里达有五十余万观众观看宇宙飞船的起飞。

1973年3月在休斯敦举行了第五届月球科学大会。那时，已有十二名宇宙航行者对月

球表面进行了考察，他们在月球和环绕月球运行的宇宙飞船上做了大量的科学实验，而且已经有380公斤月球岩石运回了休斯敦。十九个国家的一千多名科学家研究了月球岩石标本。俄国的不载人宇宙飞船太阴16号、20号也取回了约150克的月球土壤，由此获得的研究结果同样是有用的。

在将近四年对月球的考察和深入研究之后，业已证实太阳系的起源问题比先前想象的要复杂得多。虽然对月球起源问题没有取得一致的意见，但有关月球演变的主要概念已开始形成了。最初10亿年的月球演化史可为地球的早期历史提供资料，这种资料很有用，因为在地质记录中几乎找不到关于这一时期地球上发生了什么情况的痕迹。

月球考察的意义，已由史密森研究所(Smithsonian Institution)的梅森(B. Mason)和梅尔森(W. G. Melson)在他们的著作——《月球岩石学》一书中着重地做了介绍，在这本书中他们评论了第一届月球科学大会上发表的研究结果。第一章是这样开始的：

无论怎样说，六十年代这十年在科学上确实是不平凡的，就整个科学是这样，地质学尤其是这样。它以首次观察了月球远离人们的一面为开始，又以第一次得见月球的组成物质而结束。这十年间，美国和俄国的遥控宇宙飞船为月球绘制了细致的地形图。

现在，对月球进行科学考察的阶段已告结束。虽然要把月球岩石标本的全部秘密都揭露出来那还是多年以后的事，但在报刊上用大字标题宣传的那种初期的激动心情已经减退。对于非自然科学专业的人们来说，地球科学变革的进展情况，比起月球的研究结果来，就具有更直接的兴趣了。

## 环 境 地 质 学

1970年5月31日，第一届月球科学大会后的三个月左右，秘鲁的一次毁灭性地震夺去了五万人的生命。板块构造学说说明了地壳活动带的分布，结果与地震和火山所表明的情况一致。假如对一种现象能够加以解释，那么就有希望能控制它。加利福尼亚州和日本等人口稠密地区对大地震灾害的担心，使得人们在地震预报与控制的研究工作中投入了相当可观的力量。

通行的做法是把地震归入地质灾害一类。这就构成了新兴的环境地质学科的一个部分。根据斯坦福大学迪金森(W. R. Dickinson)的说法：

人类文明中最伟大的思想之一，或许是最重要的思想……是认识到人类必须学会在与自然环境保持平衡中求得生存……，而且我们相信，这样的时代已经来到了。

这段话引自加利福尼亚圣何塞(San Jose)“环境地质学教育”四月讨论会上所提出的，后经《地质教育》杂志1970年11月一期发表的几篇论文中的一篇。加利福尼亚州矿山与地质处的奥凯肖(G. B. Oakeshott)断言说，整个地质学都是环境地质学，如果没有人，也就没有象地质灾害这样一件事了。大城市对环境的利用急剧增加且不太明智，这已使平常的地质作用变成了“地质灾害”。

近几年来公众对环境、生态学、环境污染可能产生的影响以及对生态学规律的认识，确实已大为提高。许多科学家认为，现今人们对自已环境的敏感并不仅仅是因为眼睛流泪，肺发生哮喘和看到河流塞满了秽物，而可能是因为受到宇宙航行者奥尔德林所说的“美丽呀！美丽！这宏伟的荒凉世界”那幅情景的刺激。月球上的荒凉景象可能已使人们

意识到地球上现实的和潜在的灾难，意识到他们自己造成的灾难。许多人已对把几十亿金钱耗费于宇宙空间探索的必要性和道德观念表示怀疑，并建议代之以把金钱用于建设污水处理厂，减少由燃料产生的污水和废气以及减少贫困等方面。

有件事是肯定的。如果我们要作为人类继续生存，那么我们就必须更加仔细地管理我们从环境取得的资源：如空气、水、燃料、各种矿物、岩石和各种矿床。检验板块构造学说的一个方法就是进行长期预测，但这也只是在我们的后代得以幸存下来并能对预报进行检验时方可得到证实的。

## 地质年代表

上述有关月球最初10亿年历史的非正式论述，对大多数读者来说可能毫无意义。我们的常识对极其漫长的地质时期的含义是很难理解的。然而，研究地球是一项带有历史性质的课题，对以下几章中论述的许多论题必须确定其年代。十九世纪和二十世纪，人们为了从岩石研究中弄清楚地质事件的次序，并确定其在相对年代表上的位置，曾做了很大的努力。但直到研究出一种以放射性元素为基础的方法之前，划定年代表的努力均告失败了。

各种岩石含有少量的放射性元素，这些元素以恒定速率衰变，产生出其它的元素、粒子和辐射。如果已知一种放射性元素的衰变速率，通过测量该放射性元素与衰变产物的比例，就可以测定岩石形成之后的年龄了（见第六章）。这种方法的原理从1904年就已被人们知晓，但只是在1950年以后，困难的实验技术才得到充分改进，从而能够在常规的基础上确定岩石的年龄。用这种方法标定的地质年代表可见图1-3的左半部。

地球大约形成于46亿年以前，这段时期的85%被划为前寒武纪。人们在已有30亿年历史的岩石中发现了原始生物的遗迹，但大量的比较进化的生物化石只是在古生代初期年龄不超过5.7亿年的岩石中发现的。在此时期，生物开始长出甲壳，这就比早期的软体动物更易成为化石而在岩石里保存下来。

图1-3中后续的各栏尺度均以十倍的比例递增，第二栏是前寒武纪以后年代表的扩展型式，表明古生代、中生代、新生代的持续时间。这些年代可以再细分为更小的单元，每一单元都具有自己的名称。地质文献往往以地质事件发生时期的名称来叙述这一事件，但在本书中我们将避免使用一长串的名称，而采用以百万年为单位划分的年代表。

第三栏和第四栏的时间尺度分别按前一栏的十倍扩展，所以最后一栏包括4百万年的一个时期，只代表了最左边一栏里持续时间的千分之一。直立的具有双腿的灵长目动物大约在5百万年前才出现，这可以帮助读者理解图1-3中各尺度的大小。现在请读者在最后一栏中标出公元前1500年克里特文明(Cretan civilization)毁灭的位置，并且领会一下想象中的悠久的古代历史！

右边的两栏标有“地磁年代表”的字样。这两栏表明了地磁极性反转期的标定年代，有关此事在第九章中还要提到，以数字标明的磁异常条带的推定年代将在第十章中讨论。

## 以下各章采用的方法

板块构造学说是本书的中心论题。凡可能之处，每个新论题采用的方法均是先进行概

述, 介绍出整个轮廓, 然后再就论题中经过选择的诸方面做较为详细的分析。第二章从1912年的大陆漂移说开始, 概述了板块构造说和这一学说概念发展的历史。这对于以后各章中详细叙述的许多专题, 乃是一个引言或总目。我们首先研究板块构造, 然后研究海底扩张, 最后再讨论大陆漂移。

地磁年代表

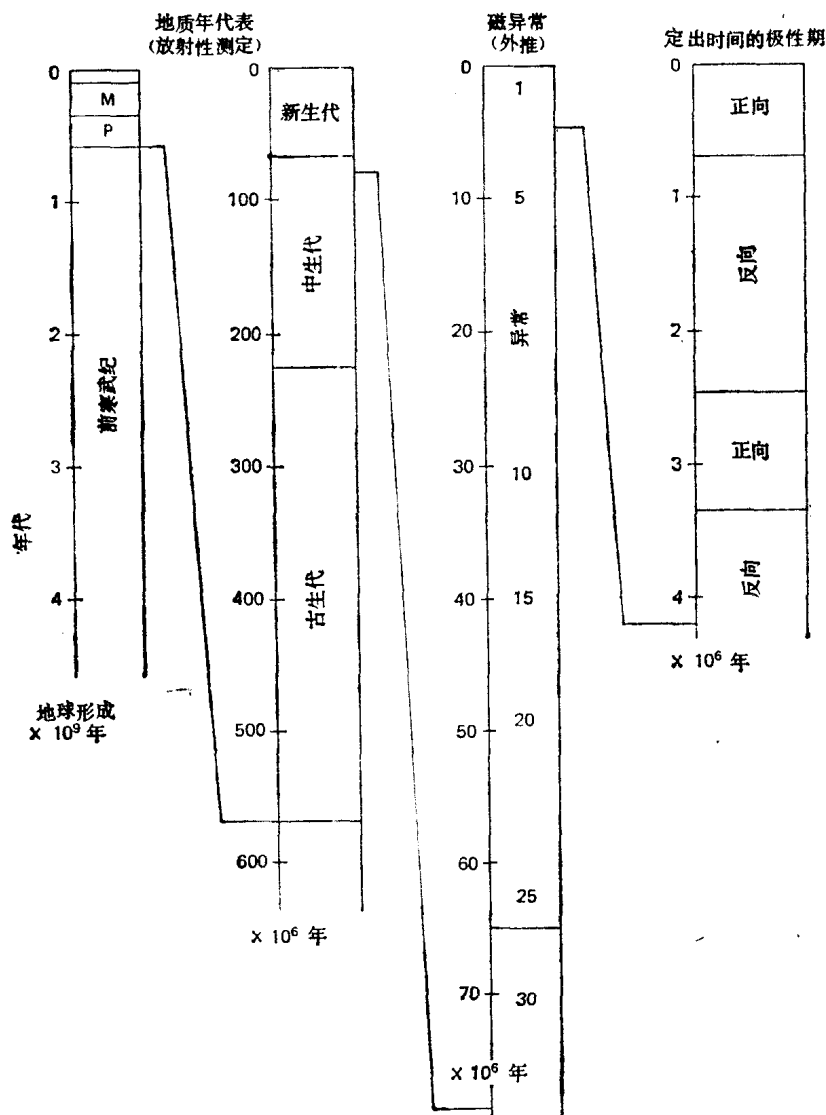


图1-3 放射性测定的地质年代表与地磁年代表的对比。左栏表示从46亿年前地球形成以来的地质年代。每一后续栏的尺度均增加10倍。年代表按地质时代名称加以划分。地磁年代表将在第九章和第十章中论述。对照图10-9b和9-3。

第三章我们将叙述固体地球表面, 诸大陆及海洋下面大范围的地形分布, 这与第四章讨论的地震分布有关。地震是地球活动的信息, 第五章中把有关地震和固体地球表面特征的解释结合起来, 以说明现在和整个历史时期岩石圈板块的分布和相对运动。地震波也能象X射线透视那样地提供出地球内部的构造图, 这将在第七章中予以介绍。第十八章中则讨论预报和控制地震的方法。

第六章通过地质旋回概述了岩石形成和地表精细刻蚀的过程。这些题目在地球科学传