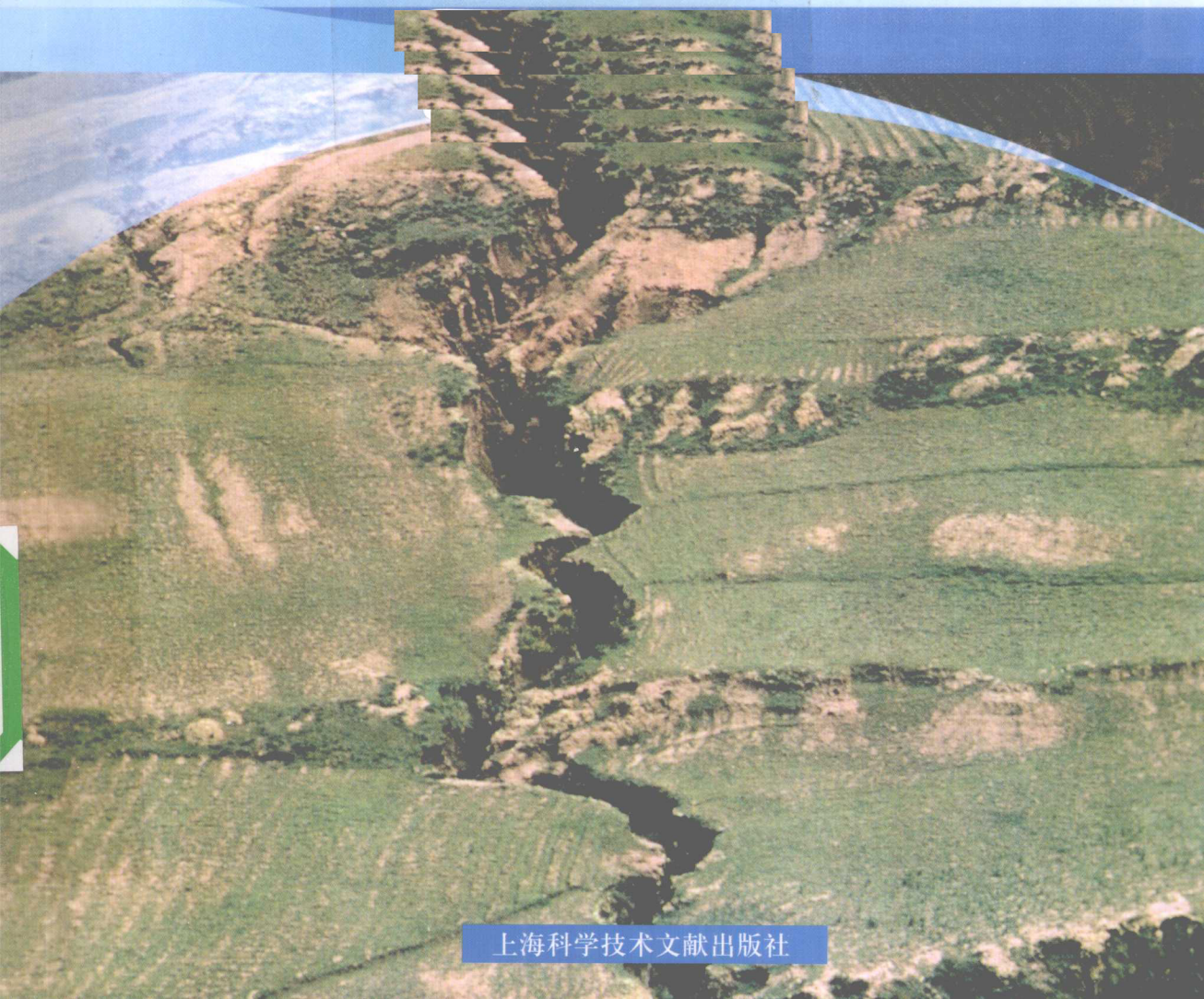


科学图书馆 · 科学基础

板块构造

[美] 史蒂芬·M. 托梅切克 著 李哲 译

Plate Tectonics



上海科学技术文献出版社

“科学基础”系列丛书

板块构造

【美】史蒂芬·M.托梅切克 著

李 哲 译

上海科学技术文献出版社

图书在版编目 (C I P) 数据

板块构造 / (美) 史蒂芬·M. 托梅切克著; 李哲译. —上海:
上海科学技术文献出版社, 2010. 5

(科学基础系列丛书)

ISBN 978-7-5439-4337-7

I. ①板… II. ①史… ②李… III. ①大地板块构造
—普及读物 IV. ①P542-49

中国版本图书馆CIP数据核字 (2010) 第062575号

Science Foundations: Plate Tectonics
by Stephen M. Tomecek

Copyright © 2009 by Infobase Publishing

Simplified Chinese copyright © 2010 Shanghai Scientific & Technological Literature
Publishing House

All Rights Reserved
版权所有, 翻印必究

图字: 09-2010-172

责任编辑: 于 虹
美术编辑: 徐 利

科学基础·板块构造

[美] 史蒂芬·M. 托梅切克 著 李哲 译

出版发行: 上海科学技术文献出版社

地 址: 上海市长乐路746号

邮政编码: 200040

经 销: 全国新华书店

印 刷: 昆山市亭林印刷有限责任公司

开 本: 740×970 1/16

印 张: 4.75

字 数: 75 000

版 次: 2010年5月第1版 2010年5月第1次印刷

书 号: ISBN 978-7-5439-4337-7

定 价: 24.00元

<http://www.sstlp.com>

内 容 简 介

地球的年龄是多少？陆地和海洋是如何形成的？为什么海洋化石会出现在山顶？地震和火山频发区为什么能够重合？这些问题长久以来一直困扰着人们。地质学家经过不懈的努力提出了板块构造论，最终解答了这些复杂的问题。

《板块构造》一书以通俗易懂的语言，先后介绍了大陆漂移学说、海底扩张学说和板块构造论。深入浅出地介绍了地球的演变历程，使读者在阅读的同时体会地质学深奥的魅力与无穷的乐趣。

目 录

1	解读岩石	1
2	大陆漂移	11
3	放射能产生热量形成对流	26
4	海底世界	37
5	了解地球内部的故事	49
6	检验板块构造论	62
	译者感言	70



解 读 岩 石

通常情况下,科学领域出现的新观念会完全改变人们对周围世界的看法。这些新观念如此激进以至于人们把它们称做“科学革命”。对于天文学家来说,这样的科学革命发生在 1543 年。在此之前,大多数人相信地球是宇宙的中心,太阳、星星和行星都围绕着地球运行。而 1543 年一个名叫尼古拉·哥白尼(Nicolaus Copernicus)的天文学家出版了一本书,书中提出太阳和星星是静止不动的,而真正运动的是地球本身。这一“科学革命的新观念”经过了 100 多年才被人们所接受。这一观念完全改变了人们对于太阳系和地球位置的看法。

对于生物学家来说,伟大的革命发生在 1859 年,当时查尔斯·达尔文(Charles Darwin)出版了《物种起源》一书。在这部著作中,达尔文阐述了不同的动植物是如何从其他的动植物发展演变而来的理论。这一“进化革命”为全世界的生物学家提供了审视生物以及生物之间联系的全新方式。

与哥白尼和达尔文的工作性质不同,科学领域外极少有人注意到地质的变化。对于地质学家来说,最为重要的科学革命之一发生在 20 世纪 60 年代中期。这一革命就是板块构造理论,它阐述了地球表面是由大量的“板块”构成的,正是地球内部强大的力量使得这些板块处在不断

的运动中。在运动的过程中，它们不断地改变着海洋和陆地的大小和形状。

如今，板块构造论被几乎所有地质学家所接受，从小学到大学的科学课上，学生们都会学习这一理论。然而，在 20 世纪早期，人们认为板块构造的观点是根本不可能的。那些敢于提出这一观点的科学家受到不相信这些激进观点的科学家的攻击。然而令人惊讶的是，在短短的几年时间里，这一革命性的理论就改变了科学家对于地球的看法。同时板块构造理论也为一些困扰地质学家成百上千年的棘手问题提供了合理的答案。

与其他科学革命不同的是，板块构造论并不是由一个人提出的，而是许多科学家收集事实共同解决了这一难题。该理论的形成是科学方法不断发展的典型例证。这看起来更像是一部侦探小说而非历史故事。为了真正理解板块构造理论，我们必须从地质学刚刚兴起的时候说起。

地质学家的工作

地质学是研究地球构成和变化的学科。天文学、物理学和生物学这几门学科的起源都可以追溯到数千年以前。与这些学科不同的是，地质学是一门相对较年轻的学科，它仅仅兴起于几百年以前。地质学家在发展地质学理论时，经常从物理学、化学和生物学等其他学科借鉴相关的知识和信息。当代地质学家在工作时往往使用大量高科技的工具，而在地质学形成的早期，科学家可以参照和使用的大概只有岩石。对于非专业人士来说，岩石看起来并不会令人兴奋。事实上，即便是在现在，大多数人根本辨别不出各种岩石的区别。可是对于地质学家来说，不同的岩石包含着能够帮助人们揭示地球历史秘密的线索。通过“解读岩石”可以回答地球的形成方式和地球的年龄等问题。正如要读懂一本书需要理解一些语言的基本规则一样，地质学家在研究岩石时，也需要遵循一些基本的规则。

科学理论是如何形成的？

对于科学家来说，“理论”一词并不是简单的猜想和观念。一个科学理论在形成前必须经历多个步骤，这一过程被称为“科学方法”。科学方法始于一系列的观察，这些观察可以揭示出某一事物存在发展的方式。科学家基于这些观察提出一个或多个假设。在某个假设可以被视为理论之前，科学家必须设计实验反复验证它的真实有效性。在检验的过程中，该假设可能被接受、修改或者被彻底抛弃。一旦科学家完成了检验，他们将公布实验结果并从其他科学家那里得到更多的反馈信息。只有当该假设经得起所有实验的验证并被许多科学家接受（或达成共识），它才可以被称做科学理论。人们很快将发现，板块构造论被反复地验证，虽然它是相对较新的理论，但它完全经受住了时间的考验。

早期地质学家发现的第一件事是并非所有的岩石都具有同样的形成方式。**火成岩**（又称岩浆岩），是由热熔的岩石经冷却凝固形成的。地质学家将熔化的岩石称为**岩浆**。当火山喷发时，岩浆会从火山口溢出并覆盖地球的表面。这时，熔岩就被称为**火山岩**。每时每刻，地球上的某个地方会发生火山喷发，火山岩从火山里溢出最终形成新的火成岩。

并不是所有的岩石都是由岩浆形成的。有时，被称做**沉积物**的小块碎岩石经过挤压和粘结后形成新的岩石。因为它们是由沉积物形成的，这些“循环再生”的岩石就被称做**沉积岩**（又称水成岩）。沉积岩通常在水中形成，水的底部堆积了一层层的沙、淤泥以及黏土。沉积岩也可以在地面上形成，但不像在水中形成那么普遍。有时，沉积岩会将生物的残骸保存下来。保存在沉积岩中的贝壳、足迹和骨骼等物体被称做化石。沉积岩中发现的化石能为地质学家提供长期以来地球上生物演变的重要线索。



图 1.1 美国夏威夷基拉韦厄火山自 1983 年以来一直不断地喷发。

灾难论四处传播

18 世纪早期,大部分研究地球的学者认为随着时间的推移,地球只发生了很小的变化。他们认为在地球最初形成的时候,人们所看到的岩石、山脉和海洋就已经形成了。人们认为地球大约形成于 6 000 年以前。然而,这个数据并不是来自于科学家的研究,而是宗教学者根据《圣经》所描述的地球诞生的故事臆断的。事实上,早在 1658 年,爱尔兰大主教詹姆斯·厄谢尔 (James Ussher) 就计算出了地球诞生的确切年份是公元前 4004 年。

随着时间的推移,寻找煤矿和铁矿的人意识到在一些特定种类的岩石

附近会发现有价值的煤矿和铁矿,于是他们求助“自然学家”绘制当地岩石位置的详细地图。经过培训的自然学家对周围的世界进行细致的观察。他们观察的越多,就会对人们长久以来形成的关于地球的观点提出越多的问题。

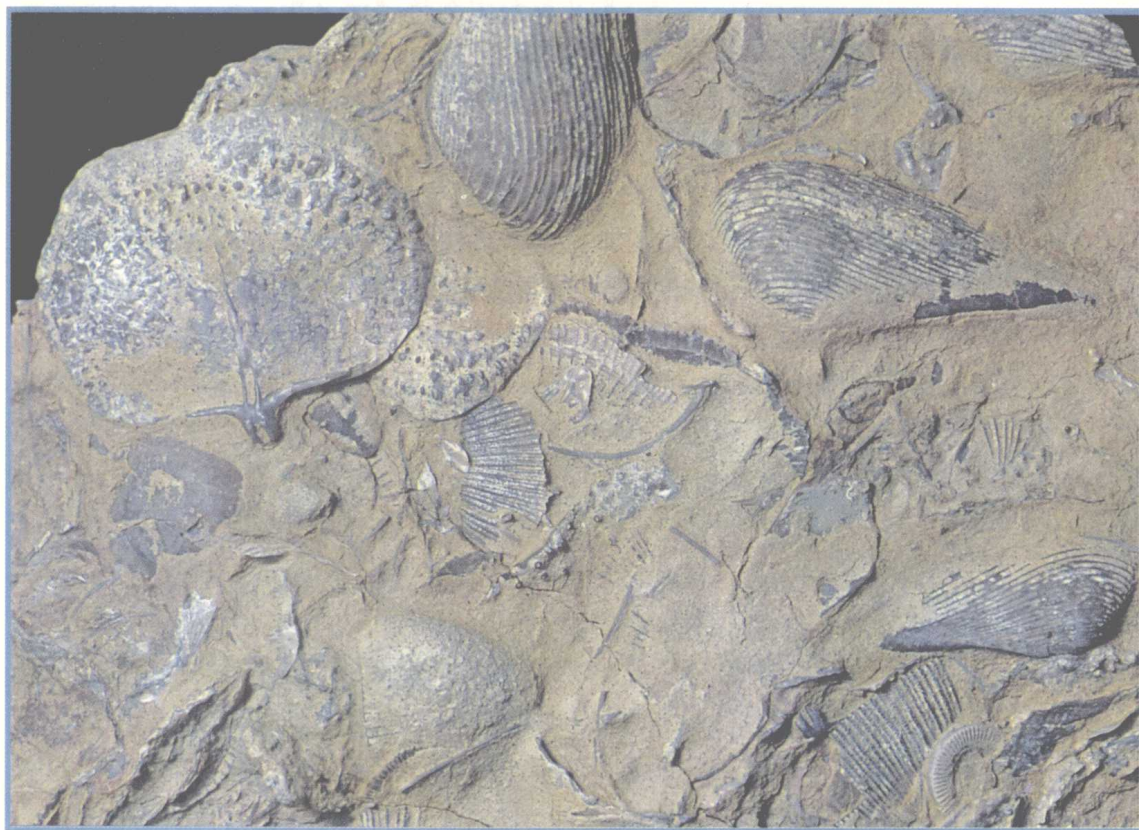


图 1.2 人们经常会在石灰岩(一种沉积岩)中发现一些化石。

这些经过培训观察者最初提出的质疑之一是,随着时间的推移,地球真的没有产生任何变化吗?当他们绘制地图时,经常会在高山上找到鱼和其他海洋生物的化石,然而发现海洋生物化石的地点却远离任何海洋。唯一合理的解释是,这些山脉曾经一度被大量的海水所覆盖。但是海水是如何到达这里的,现在又流至何处?这些地方看起来曾经发生过巨大的变化。

宗教领袖提供了一个答案:《圣经》中有一个著名的故事,描述了诺亚和淹没整个地球的大水灾。宗教领袖辩解道:这些化石是在水灾结束后留下来的。《圣经》中也有描述其他大灾难的故事,许多科学家相信是这些灾难事件造成了岩石的变化。这一观点称为**灾变说**,许多人都支持这种观点。拥护者之一是当时著名的科学家乔治斯·居维叶(Georges Cuvier)。然而这个观点存在一个问题:每当人们在岩石中发现地球变化的新证据时,灾变说者就会提出另一个灾难事件来解释。

均变论:稳扎稳打,无往不胜

当以乔治斯·居维叶为代表的灾变说者将岩石的特征归结于《圣经》事件时,其他科学家正在寻找这一问题的其他答案。其中最有力影响力的科学家是苏格兰博士詹姆士·赫特(James Hutton)。尽管他没有接受过成为自然学家的特定培训,但他热爱大自然并拥有一个农场。农场的大部分土地上堆满了他用来研究的巨大岩石。随着时间的推移,他对地质学产生了真正的热情。

在对岩石的研究中,赫特注意到经常会出现一些特定规律。比如,他从沉积岩中的沙岩和泥板岩中观察到一层沉积物是如何堆积在另一层沉积物上的。当他细心研究小溪流入湖泊的地区时,他发现了同样的沉积层。赫特推断他在岩石中看到的沉积层与湖泊中沉积层的形成方式是相同的。事实上,它们的形成过程确实是相同的。虽然其他自然学家也做过同样的观察,但是赫特的研究更加深入。

赫特计算了沉积层形成的速度,他意识到形成几英寸的沉积物要花费数年的时间。他开始观察自家附近的乡间悬崖。一些悬崖是由数百英尺厚的沉积岩层构成的。形成如此大量的沉积岩需要相当长的时间——不仅仅是数百年、数千年,而是数百万年。对于赫特来说,答案只有一个——地球的年龄远远超过了6 000年。

在进行了更多的观察后,赫特确定自己的观点是正确的。1785年,他用两篇论文阐述了自己的观点并将论文送到苏格兰爱丁堡皇家学会。他的核心观点较为简单:地球的巨大变化并不是由过去巨大的灾难事件造成的,我们在古代岩石中观察到的所有地质特征可以用如今看到的地质变化过程来

解释。“现在就是过去的答案”是地质学家表达这一观点时常用的语言。这些小规模和稳定的规则变化长期累积造成了地球的巨大变化。这一观点被称为均变论,是如今地质学中最重要概念之一。

可以想象,当赫特的论文在 1788 年发表后,大多数当时著名的科学家都认为他的观点是完全错误的。虽然受到了强烈的批评和嘲笑,但赫特拒绝放弃自己的主张。1795 年,他出版了两卷本的《地球理论》,阐述了自己的发现并列举了大量实例支持这一观点。在对地球年龄的讨论上,他说:“我们没有找到开始的痕迹,也没有发现结束的征兆”。换句话说,他认为地球的年龄过大,我们无法计算出来。这与当时人们所相信的“事实”有太大差异。

赫特出版这部书冒了很大的风险,因为他不仅与当时大多数科学家的想法背道而驰,而且还挑战了人们的宗教信仰。他将不得不面对公众潮水般的批评。1797 年,赫特在这种反对力量形成前去世了。

詹姆斯·赫特和约翰·普莱费尔

詹姆斯·赫特虽然是一位伟大的科学家,但他却极不擅长写作。虽然他的书中包含了支持他理论的大量例证,但是他蹩脚的写作风格让大多数人都无法理解他的意图。幸运的是,爱丁堡大学数学教授约翰·普莱费尔(John Playfair)成为他的朋友。两个人经常一起讨论这些观点,因此普莱费尔非常熟悉赫特的想法。赫特去世后,普莱费尔担心人们会忘记赫特所做出的贡献。尽管普莱费尔不是地质学家,但他对于赫特理论的熟悉和理解使其具备了将该理论编撰成书的能力。与赫特不同的是,普莱费尔是极有天赋的作家。1802 年,普莱费尔出版了《赫特地球理论解读》一书,详细地阐述了均变论的概念。其他科学家阅读了这本著作后逐渐接受了这一观念。19 世纪早期,年轻的地质学家查尔斯·莱尔(Charles Lyell)接受了这一理论并成为该理论的新拥护者,这时产生了真正的突破。

查尔斯·莱尔爵士关于旧岩石的新观点

詹姆士·赫特去世8个月后,1797年11月,查尔斯·莱尔出生于苏格兰一个富有的家族。莱尔的父亲老查尔斯是一位律师。家人希望小查尔斯长大后子承父业,然而莱尔却有自己的打算。

1816年,莱尔进入埃克塞特大学,他在数学和科学方面显示出了过人的天赋。在读完普莱费尔的书后,他对均变论的观点非常着迷。

1817年夏天,莱尔参加了牛津大学举办的几场讲座。主讲人是赫特理论的支持者——地质学家威廉·巴克兰(William Buckland)。他向莱尔展示了几张全新的英格兰详细地质图后,莱尔下定决心要把地质学家作为自己的职业。这当然不会得到他父亲的赞同,于是莱尔继续学习法律,私下里却从事地质学工作。在接下来的几年中,他游历了英格兰和欧洲,不断对岩石进行更为细致的研究。1822年,他获得了法学学位并成为一名律师,在此期间,他仍然把地质学的研究作为兼职工作。他还加入新成立的伦敦地质学社团并成为社团的秘书。

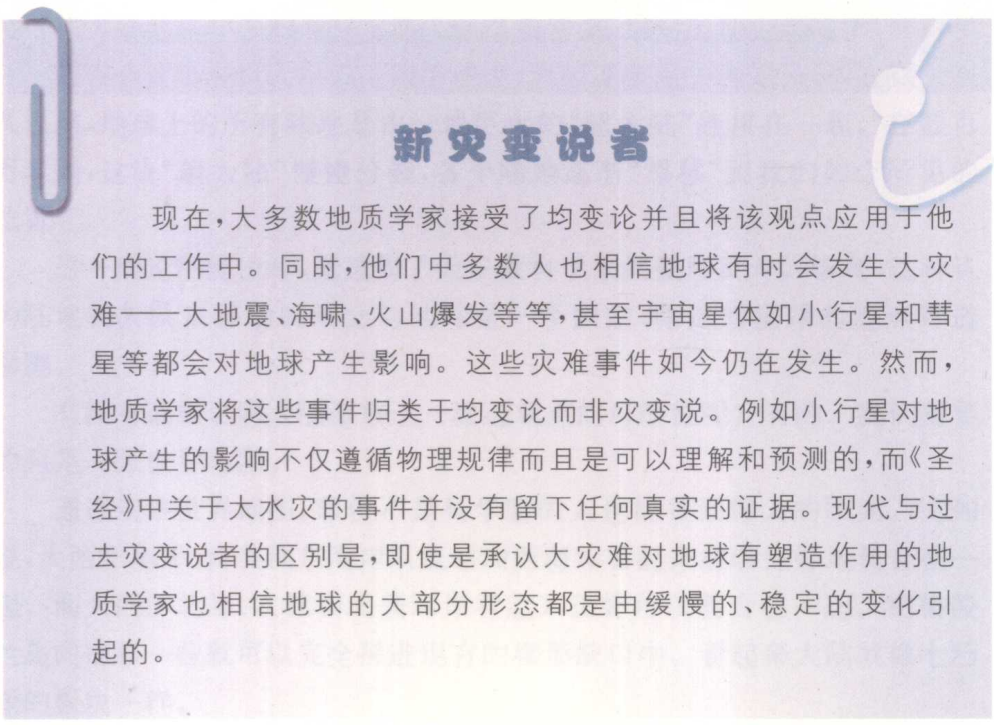
1825年,《季刊》向莱尔约稿。该期刊发表的文章涉及许多主题,其中也包括科学领域最新发展这一主题。像约翰·普莱费尔一样,莱尔也是一个有才华的作家,他因写作获得了丰厚的酬劳。1827年,莱尔放弃了律师工作成为一名专职作家,他写的第一本书是地质学著作。莱尔并没有重复别人的工作,他想研究不同的地质学原理在现实生活中是如何体现出来的。他开始了为期一年的欧洲征程,与当地地质学家会谈,获得大量详细的野外记录。1829年2月,莱尔回到伦敦开始写作。1830年7月,他出版了第一卷《地质学原理》,引起了轰动。

莱尔阐述的原理清楚地解释了最新的地球理论,对地球如何被长久稳定的力量塑造成目前的状态做了详尽的描述。他的事例如此清晰,尽管他没有获得过科学学位,但是他却被任命为伦敦国王学院地质学主席。获得新的职位后,莱尔做了大量关于地质学的公开演讲。他甚至鼓励女士参加演讲,这是当时社会从未有过的做法。不做演讲的时候,他就修正原来出版的著作并出版了两卷新的《地质学原理》。1833年,他从国王学院辞职专心于自己的研究工作并撰写新的著作。

在接下来的40年里,莱尔在妻子玛丽·莱尔(Mary Lyell)的陪伴下,坚

持野外调查并不断更新自己的著作。1838年,他出版了《地质学基础》,该书成为地质学领域的第一本现代教科书。1841年,他被封为爵士。

尽管赫特是解释均变论观点的第一人,但莱尔作出的贡献真正平息了灾变说并使科学家们接受了新的观点:长久以来的微小变化可以带来地球的巨大改变。在他出版的《地质学原理》第二卷中,莱尔解释了长久以来不同的动植物物种是如何发生变化的。根据他对化石的观察,他推论过去一定有相当多的物种生活在地球上。这些生物虽然灭绝了,但是它们被新的物种所取代。这个观点成为25年以后查尔斯·达尔文进化理论的重要支柱。达尔文也非常信任莱尔,因为莱尔为他的进化论的形成创造了条件。达尔文并不是受到莱尔影响的唯一一位科学家。在20世纪早期,德国科学家阿尔弗雷德·魏格纳(Alfred Wegener)利用均变论原理提出了自己的理论——解释陆地位置是如何发生变化的。魏格纳为板块构造论提供了第一个革新的观点。



新灾变说者

现在,大多数地质学家接受了均变论并且将该观点应用于他们的工作中。同时,他们中多数人也相信地球有时会发生大灾难——大地震、海啸、火山爆发等等,甚至宇宙星体如小行星和彗星等都会对地球产生影响。这些灾难事件如今仍在发生。然而,地质学家将这些事件归类于均变论而非灾变说。例如小行星对地球产生的影响不仅遵循物理规律而且是可以理解和预测的,而《圣经》中关于大水灾的事件并没有留下任何真实的证据。现代与过去灾变说者的区别是,即使是承认大灾难对地球有塑造作用的地质学家也相信地球的大部分形态都是由缓慢的、稳定的变化引起的。



图 1.3 亚利桑那州陨石坑是世界上最著名的陨石坑之一。
它是大灾难对地球造成影响的一个很好的例证。

大陆漂移

现代大陆漂移学说的最初发展可以追溯到 20 世纪早期。当时，大陆漂移的观点逐渐被世人所知。简单地说，**大陆漂移**是一种假设，即在很久很久以前，地球上的所有陆地是由一块巨大的“超大陆”连接在一起。在数百万年间，这块“超大陆”慢慢分裂，各个陆地逐渐“漂移”到我们如今所见的位置。

这一理论刚提出时，就遭到了大多数科学家的强烈反对。毕竟，这种认为陆地长久以来移动的观念与地球是一个固态、稳定的星球的观点背道而驰。

有没有证据证明大陆漂移这一激进观点的可能性呢？有的。我们需要的只是一张世界地图。

通过观察世界地图，即使不是科学家的人也能看到惊人的图案。比如说，大西洋南岸、南美洲东海岸以及非洲西海岸看起来能够完好地契合在一起。而大西洋北部、欧洲和北美海岸看起来正好可以整合在一起。把格陵兰岛向南移一些就可以完全拼进现有的楔形缺口中。看起来大陆就像七巧板的板块一样。

事实是，在提出大陆漂移学说前，人们就注意到了这些相似之处并就此提出了疑问。15 世纪末哥伦布结束了具有历史意义的航海后，地图绘制者



图 2.1 观察世界地图时,我们能够发现北美和南美洲海岸看起来可以和欧洲、非洲海岸很好地契合。大陆看起来如同巨大的七巧板的板块一样。

开始根据自己的想象绘制大西洋。人们得到的资料越多,地图就绘制得越精确。人们开始疑惑,如果陆地最初是连在一起的,那会是什么样的情形呢?

1596 年,荷兰地图绘制者亚伯拉罕·奥特里斯(Abraham Ortelius)出版了《地理辞典》一书,提出了欧洲和非洲可能是由于“地震和洪水”而分离的这一想法。1666 年,法国自然学家弗朗科斯·佩奇(Francois Paget)提出陆地海岸线看起来能够契合是因为大块陆地陷入了地球内部,海洋填充缺口形成大西洋造成的。

然而,对于大多数 17 世纪和 18 世纪的地质学家来说,大陆呈现出这种形状完全是一种巧合,不需要进一步的调查。但当人们接受了赫特和莱尔均变论的观点后,越来越多的科学家又对这一问题产生了兴趣。我们可以想象得到,以现在的标准来判断,当时一些科学家的理论看起来绕了很多弯路。