

The First Billion Years  
From Stardust to Living Planet

[美] 罗伯特·黑森

王祖哲 译

# 千面地球

地球 46 亿年的传记，从星尘到生命的史诗

The  
Story  
of  
Earth

Robert M. Hazen



北京大学出版社  
PEKING UNIVERSITY PRESS



# 千面地球

地球 46 亿年的传记，从星尘到生命的史诗

[美] 罗伯特·黑森 著

王祖哲 译



北京大学出版社  
PEKING UNIVERSITY PRESS

著作权合同登记号 图字：01-2015-0320

图书在版编目（CIP）数据

千面地球/（美）罗伯特·黑森（Robert M. Hazen）著；王祖哲译. —北京：  
北京大学出版社，2017.4

（沙发图书馆）

ISBN 978-7-301-27731-7

I. ①千… II. ①罗… ②王… III. ①地球演化—普及读物 IV. ①P311-49

中国版本图书馆CIP数据核字（2016）第266137号

The Story of Earth: the First Billion Years, from Stardust to Living Planet / Robert M. Hazen

First published in the United States of America by Viking Penguin,

a member of Penguin Group (USA) Inc., 2012

Published in Penguin Books 2013

Copyright © Robert M. Hazen, 2012

All rights reserved

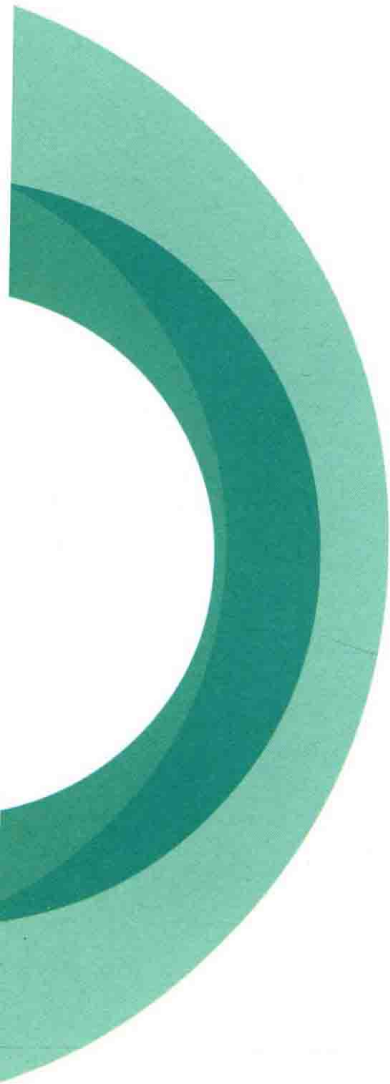
书 名	千面地球 QIANMIAN DIQIU
著作责任者	（美）罗伯特·黑森 著 王祖哲 译
责任编辑	王立刚
标准书号	ISBN 978-7-301-27731-7
出版发行	北京大学出版社
地 址	北京市海淀区成府路 205 号 100871
网 址	http://www.pup.cn 新浪微博：@北京大学出版社
电子信箱	sofabook@163.com
电 话	邮购部 62752015 发行部 62750672 编辑部 62755217
印 刷 者	北京中科印刷有限公司
经 销 者	新华书店
	880 毫米 × 1230 毫米 16 开本 18 印张 205 千字 2017 年 4 月第 1 版 2017 年 4 月第 1 次印刷
定 价	59.00 元

未经许可，不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。

版权所有，侵权必究

举报电话：010-62752024 电子信箱：fd@pup.pku.edu.cn

图书如有印装质量问题，请与出版部联系，电话：010-62756370



如沙发安顿身体，书安顿心灵

**S**book

s o b o o k , s o f i n e

# The Story of Earth

The First Billion Years

From Stardust to Living Planet

Robert M. Hazen

# STO

Earth



人类在月球上留下的  
第一个脚印

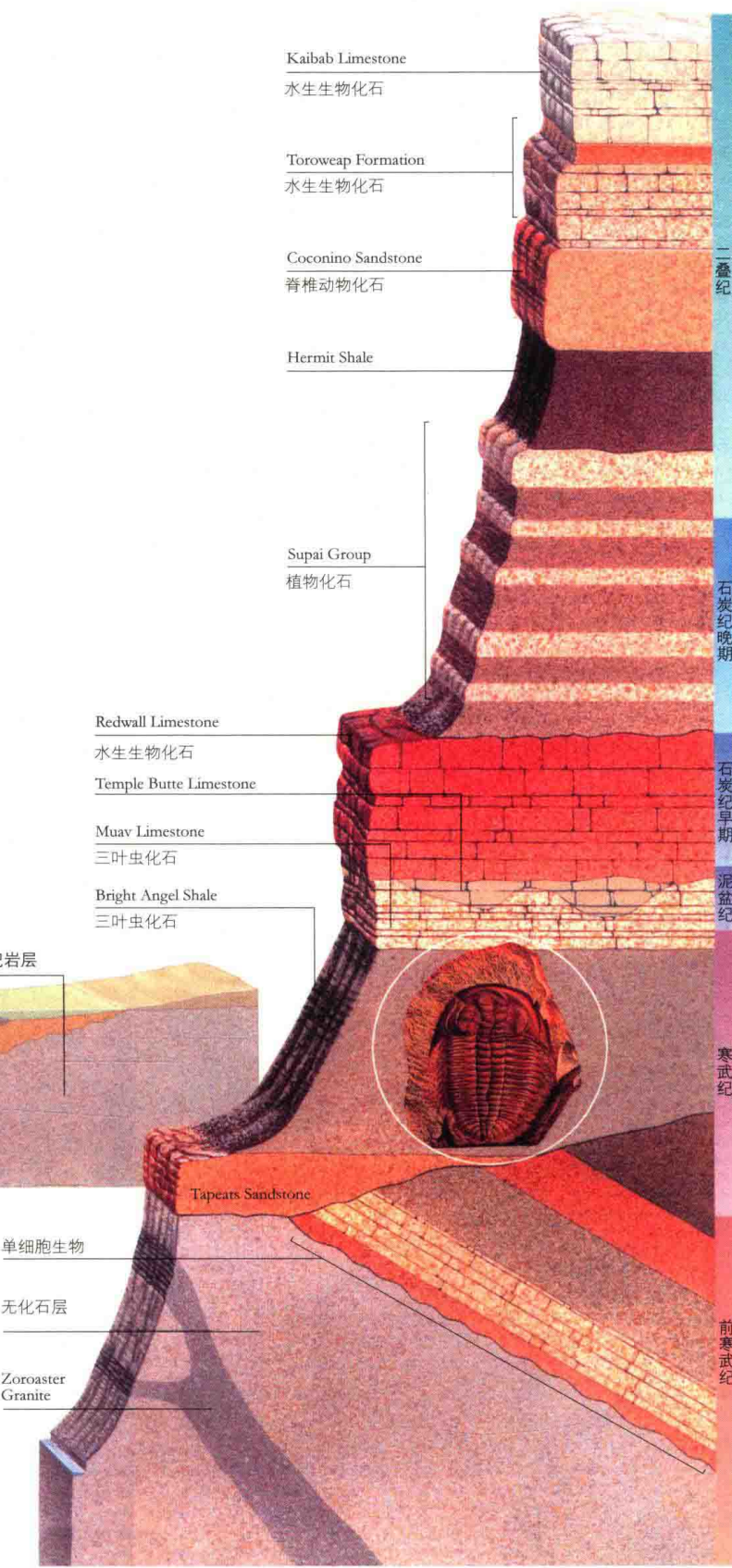
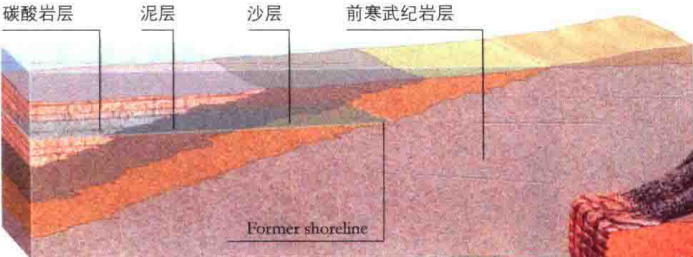
# The First Footprint on Moon



地质年代				距今时间 (百万年)	空前繁盛的 生物种类			
宙(宇)	代(系)	纪(系)	世(统)					
显生宙	新生代	全新纪		全新世	0-1	被子植物	哺乳动物	
				更新世	2-3			
		第三纪	晚第三纪		上新世			10
					中新世			25
			早第三纪		渐新世			40
		始新世			60			
		古新世	70					
	中生代	白垩纪		晚白垩纪		裸子植物	爬行动物	
				早白垩纪	140			
		侏罗纪		晚侏罗纪				
				中侏罗纪				
				早侏罗纪	195			
		三叠纪		晚三叠纪				
				中三叠纪				
	早三叠纪			230				
	古生代	晚古生代	二叠纪		晚二叠纪		蕨类	两栖动物
					早二叠纪	280		
			石炭纪		晚石炭纪			
					早石炭纪	350		
		泥盆纪		晚泥盆纪		裸蕨	鱼类	
				中泥盆纪				
				早泥盆纪	400			
		早古生代	志留纪		晚志留纪		藻类	笔石
					中志留纪			
早志留纪					440			
奥陶纪			晚奥陶纪					
			中奥陶纪					
			早奥陶纪	500				
寒武纪		晚寒武纪						
		中寒武纪						
		早寒武纪	600					
隐生宙	元古代		震旦纪	800				
				1800				
	太古代			2500				
	前太古代			3800				



美国科罗拉多大峡谷的地层剖面，累积的岩层仿佛是地球的一本自传





Earthrise  
地球升起



## 中文版序言

P r e f a c e

本书是从全新的“矿物进化”的视角审视地球 45 亿年的故事，这个视角的新颖之处在于它把地球整个地表如此多样化的矿物看作是物理 - 化学 - 生物多重作用的结果。我们的团队认为在最早的冥古宙（也称隐生宙）地球上只有 420 种矿物，但到了距今 30 亿年前就增加到 1500 种。接着，这一造矿过程继续在 24 ~ 22 亿年前的大氧化时期，以及 5.4 亿年前的显生宙时期制造新的矿物，这一时期创造的新矿物占今天 5000 种已知矿物的 70%。

过去一年里见证了这一概念的迅速发展，包括对多样性矿物之间关系的系统的统计学研究。为此，我们把矿物学视为一个复杂进化系统的范例，其进化过程是确定性与随机性过程的综合。当然，所有进化的系统都遵循物理和化学定律，但概率事件也起了重要作用，引发了系统中很多无法预测的和突发性的细节。

地球地表 45 亿年的变迁表现出了和其他进化系统一样的典型的复杂特征，趋同与分化，停滞与快进，甚至灭绝。在矿物进化的历程中，造岩过程是最主要的方面。

太古地球，甚至是外星表面的矿物演化应该和今天的地球大同小异。尤其是氧、碳、镁、硅、硫、铁这些太阳系丰度最高的元素，也暗示了银河系甚至河外宇宙中任何固体表面的星球，其壳层的地幔层都由相似的氧化物和硅酸盐的成岩作用所主宰。不过随机性也扮演着关键角色。为什么地球或月球上将近 5000 种矿物，有的相互伴生，有的则相对独处？如果让地球历史重放一次，矿物会有多大不同？其他星球上又会有怎样的进程（初始条件和偶



然性到底起多大作用)? 所以我们要探索矿物的“生态学”中的偶然性和必然性。

这些算不上是新问题, 生命起源研究中偶然性与必然性经常引发争论。例如碳是所有生物化学中不可或缺的关键的核心元素, 所以几种生命起源理论都建立在生物分子学的路径之上, 即所谓的 TCA 代谢循环。与之相反, 有些分子生物学家将基因视为“凝固的偶然”, 他们认为信使 RNA 上的密码子与氨基酸的匹配很可能是地球历史上一次偶然事件的结果。以后的分析和争论仍然在考量基因以及蛋白质结构和功能的作用。

对于基因产生之后的生命演化, 仍然可以看见一些权威学者主张偶然性扮演主角, 例如寒武纪无脊椎动物的形态学研究。另有一些科学家则更强调动物进化中的必然性, 例如对软体动物的拓朴结构、蛋白质的结构以及诸如眼睛、四肢、翅膀、鳍、刺等结构的功能特点的研究。

我们最近的研究则主张偶然性与必然性在矿物进化过程中旗鼓相当, 我们发现至少有 4 种因素影响矿物的分化: ① 结晶化学上的特性, 反映在矿物多样性及其丰度之间的关系上; ② 矿物在多维复合空间中的稳定性, 反映在热化学数据上; ③ 稀缺矿物产生的概率, 反映在矿物种类的地理分布上; ④ 星体的化学细分研究, 反映在最近在搜寻太阳系外类地行星过程中获得的其他星体的化学组成数据上。

或许最激动人心的发现是关于那些“失踪”的矿物的。“分化—分布”这一关系模式可以使我们去估量地球上今天尚未发现的矿物的数量。我们预测约有四分之一的矿物, 也就是约 1500 种矿物, 我们知之未详。甚至我们还可以根据缺失矿物的组成与分布的统计学数据来预测去哪里可以找到它们。因此在矿物—生物学的观念下, 生物学最终将不仅仅是一门寻找偶然性的观察性科学, 而是可以成为一门可以预测、预言的科学。


于是, 每次矿物学的新发现, 都使我们更清晰地看到地球的身世。

2015 年 6 月于华盛顿特区


导 言 / 1

第一章 诞生 7  
地球的形成 

距今 45.67 亿年

第二章 大撞击 33  
月球的形成 


45 亿年

第三章 黑地球 57  
最初的玄武岩地壳 

44 亿年

第四章 蓝地球 82  
海洋的形成 

43 亿年

第五章 灰地球 108  
最早的花岗岩地壳 


# 目 录



40 亿年

第六章 活地球 130  
生命的起源 


35 亿年

第七章 红地球 157  
光合作用与大氧化事件 


18 亿年

第八章 臭地球 181  
矿物革命 

8 亿年

第九章 白地球 202  
雪球—温室循环 

5 亿年

第十章 绿地球 225  
陆地生物圈的兴起 

第十一章 未来 260  
行星永不停息 

尾 声 / 278



## 导 言

“地升” (Earthrise) 是二十世纪最引人瞩目的图片之一，那是 1968 年人类的一位远足者在绕月轨道上拍摄的。我们的世界有多么珍贵、多么特别，我们知道此事久矣：在已知行星中，积水成海，大气富氧，生机勃勃，地球是只此一家。全然荒蛮的月球地貌，苍穹漆黑，略无生气。与我们那蓝白相得益彰的家园，恰成鲜明对照，对此我们许多人不曾预料到。从那么遥远的合适位置来看，地球是那么孤独、渺小、脆弱；但是，与天上的任何东西相比，却漂亮得多。

我们蛮有理由对我们的家园心醉神迷。在基督出生前两个多世纪，博学的希腊哲学家、普兰尼的埃拉托色尼斯 (Eratosthenes of Cyrene) 做了最早的地球测量，有案可稽。他别出心裁，只凭简单地观察影子来测量地球的周长。在埃及的热带城市赛伊尼 (Syene) 的夏至日正午，他观察到太阳在头顶正上方，一根垂直于地面的杆子没有影子。与此对照，在同一天的同一时刻，位于赛伊尼北方大约 490 英里 (mile, 1 mile = 1.609km) 的海滨城市亚历山大里亚 (Alexandria)，一根相同长度的杆子投下了一个短小的影子，这就表明：在此处，太阳并不正好在头顶上方。埃拉托色尼斯使用他的希腊前辈欧几里德的几何学定理，得出了结论：地球必定是圆的，并算出它的周长大约是 25000 英里——与现代公认的赤道长度 24902 英里是相当接近的。

在若干世纪中，还有几千位学者都对我们的行星老家进行过探索和沉思，可是其中名垂青史者寥若星辰，大多数湮没无闻。他们问，地球是怎么

形成的，它在天空中是怎么运动的，它是由什么构成的，它是怎么运作的。最重要的是，我们这颗充满活力的行星是如何演化，如何变成了一个有生命的世界的，这些成了我们最感兴趣最惊奇诧异的。如今，因为我们积累了丰富的知识，也因为人类各种奇妙的技术，与古代哲学家们所能了解的相比，我们对地球知道得更多了。当然，我们并非事事都知道，但我们的理解是丰富而深刻了。

自从人类问世以来，我们对这颗行星的知识就不断变化；经过几千年，这种知识不断修正、精炼，已然明晰坚定：那就是，关于地球的研究就是在研究变化之学。

许多学科的观察证据表明地球每年都在波动，每个时期都在波动。在斯堪的纳维亚半岛的一些冰川湖底，一年一度的沉积物，条理分明，颇有节奏，显示 17000 多年的粗糙与精细颗粒的交替层积——每年春天，冰消融，侵蚀就更快，而到了冬天则侵蚀放慢，故有此结果。在南极洲和格陵兰岛，钻探冰川而得到的冰芯，能够揭示 80 多万年的季节性冰层累积。怀俄明州的绿河页岩（Green River Shale）的沉积层，每一层菲薄如纸，保存着 100 多万年中每年的大事。全部的沉积层之下，安然坐落的是古老得多的岩石，岩石本身也承载着宏大的变化周期。

渐进的地质过程的尺度，还能涵盖更为漫长的地球历史。譬如，要形成庞大的夏威夷群岛，需要几千万年的时间，缓慢而稳定的火山活动不断喷出岩浆，最后流淌并堆积起来。阿巴拉契亚山脉和其他古老的圆顶山脉，显示它们已经被侵蚀了几亿年，时不时地发生山体崩塌。因此，在地质史上，乍止乍动的板块运动会重造大陆、堆起高山、豁成深海。

地球不曾有一刻的安分，是一颗一直在演化的行星。从地核到地壳，我们的世界不停地躁动。甚至在今天在此刻，空气、海洋和陆地也在变化。如果不关心那些令人不安的全球变化，我们就很蠢了；确实，对我们许多人而言，我们不关心似乎也不可能——关于我们的家园，我们的好奇和关心是自然而然的，正如埃拉托色尼斯也是如此。但是，关于地球那些令人震惊的往昔，关于地球叵测多变的现在，关于我们以及我们在地球未来的地位，如果



我们不善加利用，而仅仅专注于眼前，我们也是同样愚蠢。

在一生的大部分时间，我都试图理解我们生动、复杂而多变的地球家园。在还是一个小男孩的时候，我就搜集岩石和矿物，我的房间塞满了化石和晶体，外加随意放置的虫子和骨头。地球就是我毕生的事业。我开始在原子的亚微观尺度上做实验，研究构成岩石的那些矿物的分子结构，加热并挤压小小的矿石颗粒，记录地球深处的那种高压锅似的效应。

随着时间推移，我的视野扩展到了更宏大的地质学时空领域。从北美的沙漠到格陵兰岛的冰原，从夏威夷的海岸到落基山脉的顶峰，从澳大利亚的大堡礁到十几个国家古老的珊瑚化石，地球这个大自然的图书馆，满架子都是数十亿年的故事，讲的是自然力、矿物、生命与岩石的共同进化。

我的研究转到了矿物在生命出现后，在地球化学过程中产生的新作用。此刻我就痴迷于此，这些领域表明：地球史上的生命与矿物的共同进化，比以前所设想的更令人惊讶——不仅某些岩石起于生命（如大陆上那些石灰岩洞就是生命留下的遗物），而且生命本身或许起于岩石。在40亿年的地球史上，关于矿物与生命的进化故事——地质学与生物学——以令人瞠目结舌的方式交织在一起，这也仅仅是在最近才引起了我们的注意。2008年，这些想法集成了一篇不合常道的论文，讲的是“矿物进化”（evolution of minerals）——这是一个引人争议的新论点，有人赞之曰这是两个世纪中矿物学的范式转变；另一些人则认为那可能是在远古洪荒背景下对科学的离经叛道的歪曲。

关于地球及其往昔的传奇，矿物学这门古老的学科，对于我们所知道的每一件事，绝对都是重要的。但矿物学却一直出奇地沉静，对科学观念上的沧海桑田退避三舍。200多年来，对化学成分、密度、硬度、光学属性和晶体结构的度量，一直是矿物学家过日子的主菜。参观任何一处自然史博物馆，你就会明白我是什么意思：美轮美奂的晶体标本，摆放在一个一个展柜里，展柜的前脸是玻璃的，贴了标签，上面写着名称、化学式、晶系和产地。地球上的这些最受珍视的碎块，其历史背景是何其丰富，可是你要追溯它们诞生年代的线索，以及随后的地质变迁，却没人告诉你。矿物学的老路

子无非是把矿物的那些引人入胜的故事搞得无影无踪。

传统观点必须要改变。我们越是考察地球丰富的岩石记录，越是看得清楚自然世界，无论有生命的还是没有生命的，都三番五次地发生脱胎换骨之变。时间与变化，关于行星的这两重现实，我们的理解越多，那么就越有可能重构这些矿物诞生的故事了。有些地方——高热的火山口、酸性的水洼、北极的古冰，以及平流层的尘埃——我们长久以为那里没有一丝生气，最近却在这些极端环境中发现了生命，矿物学由此就成了理解生命起源和幸存的关键。在2008年11月那一期的《美国矿物学家》(*American Mineralogist*, 该领域最重要的刊物)上，我的同事们和我建议了一个新路子，来探索矿物在我们还很陌生的时期中发生的那些不可思议的嬗变。我们强调：几十亿年前，宇宙中哪儿都没有矿物。在大爆炸之后的高热大漩涡中，任何晶体复合物都不能形成，更不可能存留至今。花费了50万年，最初的原子（氢、氦和一撮锂）从创世的大锅里涌现出来。又过了几百万年，引力把这些原初的气体元素笼络成最早的星云，然后星云坍塌成第一批炽热、致密、明亮的恒星。而后，只有当第一批恒星膨胀成了照耀宇宙的超新星的时候，当富含元素的气体在膨胀与冷却的极端情况下把最初微小的钻石晶粒凝聚起来的时候，宇宙中矿物学的传奇才得以开始。

因此我就变得痴迷于解读岩石的证词——它们讲述了引人入胜的故事，虽然有时候破碎而含糊，但依然能听得出生与死、静与动、源与流。关于地球的生物圈和非生物圈（生命与岩石的共同进化）那些难以表达的宏大而错综的故事，绝对叫人心醉神迷，我必须与你们分享，因为我们就是地球——我们吃的穿的，我们拥有的桩桩件件，直至我们肉身里的每一个原子和分子，全来自地球，也会归于地球。那么，理解我们的地球家园，就是理解我们自身的一部分。

我们都应该知道地球的往事，因为我们的海洋和大气在变化，变化的速度与其漫长历史颇不协调。海平面在上升，水温更高，水质更酸。全球的降雨模式在变化，大气变得更加反复无常。极地的冰在融化，苔原在解冻，动物的栖息地在变换。正如我们在此后将要探索的，地球故事确实是一个关于



变化的传奇。以前地球上也碰上罕见的时刻，变化速度快得令人惊骇，生命看来是付出了惨重的代价。鉴往知来，所以我们要知道地球的去，毕竟从239000英里之外的那个死寂的月球世界里拍的那幅照片清楚地显示，我们没有其他的家园。

遵循着埃拉托色尼斯与他身后成千上万的好奇心灵所在的那个传统，我在本书中也要探查地球漫长的变化史。地球看似亲切而易，它生动的故事囊括一串史诗般的事件，那几乎超过我们的想象。要真正知道我们的行星家园，要理解塑造地球那些漫长的时代，我们必须首先抓住七个核心事实：

1. 地球是由已经循环利用并正在循环利用的原子构成的。
2. 地球的古老远远超过我们人类对时间的认知。
3. 地球是三维的，大多数活动是看不到的。
4. 岩石是地球历史的记录簿。
5. 地球各系统——岩石、海洋、大气与生命——错综复杂地联系在一起。
6. 地球的历史由一些漫长的停滞阶段和突然打破这种停滞的不可逆事件组成。
7. 生命已经改变并且继续改变地球的表面。

关于这些论点，讲的是时空大背景上的原子、矿物、岩石与生命的错综复杂的故事。地球与生命的共同进化，乃是本书的核心新范式，是大爆炸之后不断演化的一种不可逆结果的一部分。每一个进化阶段都为地球带来了一些新过程和新现象，这最终使我们这颗行星的表面得到了反复的雕琢，不可避免地为我们如今栖居其中的这个奇妙的世界铺平了道路。这就是地球的故事。