

LIFE  
ASCENDING

The Ten Great Inventions of Evolution

# 生命的跃升

40亿年演化史上的十大发明

[英]尼克·莱恩◎著 张博然◎译

英国皇家学会  
科学图书奖获奖作品

珍藏版

 科学出版社

LIFE  
ASCENDING

The Ten Great Inventions of Evolution

# 生命的跃升

40亿年演化史上的十大发明

[英] 尼克·莱恩 ◎著 张博然 ◎译

英国皇家学会  
科学图书奖获奖作品

珍藏版

 科学出版社

图字：01-2010-5737 号

This is a translation of Life Ascending: The Ten Great Inventions of Evolution  
by Nick Lane

Copyright © Nick Lane 2009

Simplified Chinese Translation copyright © 2016, by Science Press.

All rights reserved.

This edition is for sale in the People's Republic of China (excluding Hong Kong  
SAR, Macau SAR and Taiwan Province) only.

此版本仅限在中华人民共和国境内（不包括香港、澳门特别行政区及台湾  
地区）销售。

### 图书在版编目 (CIP) 数据

生命的跃升：40亿年演化史上的十大发明 / (英) 尼克·莱恩 (Nick Lane)  
著；张博然译. —北京：科学出版社，2018.6

书名原文：Life Ascending: The Ten Great Inventions of Evolution  
ISBN 978-7-03-057046-8

I. ①生… II. ①尼… ②张… III. ①生物工程-自然科学史-世界 IV. ①Q81-091

中国版本图书馆CIP数据核字 (2018) 第055640号

责任编辑：侯俊琳 田慧莹 / 责任校对：邹慧卿

责任印制：张克忠 / 封面设计：可圈可点工作室

编辑部电话：010-64035853

E-mail: houjunlin@mail.sciencep.com

**科学出版社** 出版

北京东黄城根北街16号

邮政编码：100717

<http://www.sciencep.com>

**中国科学院印刷厂** 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

\*

2018年6月第一版 开本：720×1000 1/16

2018年6月第一次印刷 印张：19

字数：270 000

**定价：78.00 元**

(如有印装质量问题，我社负责调换)

“莱恩属于特别罕见的一类人：作为科学家，他不但能讲述整个领域的全局视角，还能告诉你他自己非常有趣的观点。”

——卡尔·齐默，《科学》

“富于原创性又令人敬畏的叙述。前两章是我所读过的最自治、最令人信服的生命起源总结……这是一段包含了生物学中最深刻、最重要观点的激动人心的旅途。任何对生命感兴趣的人都应当读这本书。强烈推荐。”

——《新科学家》

“屡获大奖的生物化学家重建了生命的历史，聚焦于演化史上十项最伟大的发明……关于我们自己在地球上存在的本质，莱恩为我们带来了生动而发人深省的看法。”

——《好书志》

“卓越……莱恩的作品是大师级的……优雅而令人心满意足的整體。”

——星级评论，《出版商周刊》

“极其出色的书。非常有趣、易读，充满了热情，面对有争议的甚至古怪的观点也不畏惧……作为床头读物毫无希望：你绝对睡不着。”

——格拉汉姆·凯恩斯-史密斯，《化学世界》

“迷人的一瞥：科学家是如何以堪与自然本身媲美的智慧理解演化的。”

——《科学新闻》

“看似繁复的科学，实则是充满热情又清晰的讲述，传达了十分巧妙的概念……”

——《卫报》

“《生命的跃升》十分美妙，莱恩有科学叙事的真正天赋……极其扣人心弦。”

——不列颠天体生物学协会

“莱恩以顺畅、灵巧的散文阐述了令人目眩的复杂过程。”

——《科克斯评论》

“关于生命最伟大奥秘的迷人而美丽的叙述——生命如何诞生、如何运作，为何会死，意识如何演化。行文顺畅，为当前科学界关于演化重大难题的思考提供了极有见地的观点，而没有在困难中纠缠不清。”

——伊安·斯泰沃特，《斯泰沃特教授的数学奇妙壁橱》一书的作者

“演化如何为生命带来至关重要因素的生动图景。”

——《环球邮报》

“最新演化生物学发现的绝妙阐述。”

——《周日明星时报》

“一位并不怯于思考大问题、深入思考问题的作者。”

——弗兰克·维尔切克，2004年诺贝尔物理学奖得主

## 致我的母亲和父亲

现在我也当了父亲，我比过去任何时候都更感激你们为我做的一切。

# 目 录

001		导论 演化的十项最伟大的发明
008		第一章 生命的起源——来自旋转地球
032		第二章 DNA——生命的编码
057		第三章 光合作用——太阳的召唤
082		第四章 复杂的细胞——决定命运的相逢
110		第五章 性——地球上最大的彩票机构
137		第六章 运动——力量和荣耀
163		第七章 视觉——来自盲人之地
195		第八章 热血——打破能量壁障
221		第九章 意识——人类心智的根基
248		第十章 死亡——不朽的代价
275		后记
277		致谢
280		参考文献



## 导论

### 演化的十项最伟大的发明

和宇宙空间吞噬一切的黑暗相比，地球是一个梦幻的蓝绿色球体。仅有二十余人曾站在月球或更远方，亲身经历过看到我们星球时的感受。然而他们送回家乡的照片，把这种脆弱之美镌刻在了一代人的心灵中。这种感受无与伦比：这个被无尽虚空包围的弹珠般的星球是我们共同的家乡，在这一认知面前，人类关于国境线、石油或教义的小打小闹都烟消云散了。更重要的是，在这个家里，我们与生命最神奇的发明共同生活着——事实上我们的存在都是拜这些发明所赐。

正是生命，把我们的星球从一块绕着年轻恒星公转的伤痕累累的炙热岩石，改造成了这座太空中的活灯塔；正是生命，使我们的星球充满蓝色与绿色，因为微小的光合细菌净化着大气与海洋，令其充满氧气，滋滋作响。在氧气的驱动下，生命在所有可想象的维度里爆发。繁花盛开招蜂引蝶，金色的鱼儿躲进缠结的珊瑚，巨大的怪物潜伏在漆黑的深渊里，树木的枝条伸向天空，动物沉睡、醒来、



看见一切。而在这所有一切之中，我们被造物的无尽谜题深深触动，我们这些宇宙中的分子集合体感知、思索、惊讶与好奇着我们是怎样抵达此时此地的。

这颗星球有史以来第一次，我们知道了。这不是确定无疑的知识，不是真理的石板，但却是人类最伟大的使命——知晓和理解我们身边和体内的生命世界——之正在成熟的果实。当然，自150多年前出版了达尔文的《物种起源》起，我们就已经了解了最基本的框架。自达尔文以来，人类关于过去的知识愈发丰富：不仅有化石填补了空缺，还有对于基因紧密结构的理解——正是这种理解巩固了丰饶的生命奥秘之毯的每一个细密针脚。然而只是在最近的几十年里，我们才从理论和抽象知识前进到了关于生命生机勃勃的细节图景。直到最近，人们才开始破译书写生命奥秘的语言，这种语言所掌握的密钥，不仅通向我们生活于其中的生命世界，也直达远古的奥秘。

这个故事要比任何造物神话更富有戏剧性、更引人注目，也更错综复杂。然而就像任何造物神话一样，它仍然是一个关于转变的故事：关于突发的、惊人的改变；关于革新如何重塑了我们的星球，如何用新的复杂性重写过去的革命。宇宙中看到的这颗星球的平静之美，掩藏了它的真实历史：满载冲突、创造与变化。讽刺的是，我们自己那些小打小闹正反映了这颗星球狂暴的历史，而只有我们——这颗星球上的掠夺者，得以崛起其上，并窥见它统一的美丽整体。

这个行星的剧变，在很大程度上是被两只手数得过来的演化革新所驱动的，这些新发明改变了世界，并且最终使我们的生命成为可能。我必须澄清这里所说的“发明”（invention）的意思，因为我并不是暗示这里存在一个有意识的“创造者”。《牛津英语大词典》定义invention是“做某事采用一种新方法或手段得出的原初的发明物或产品，在此前不为人所知；起源，引入”。演化并无远见，也不曾为未来谋划。不存在发明者，也没有智能设计。尽管如此，自然选择令所有特质面对最严酷的实验，只有最佳设计得以胜出。这是使人类剧场相形见绌的自然实验室，仔细核对以亿万计的微小差异，每代如此，代代如此。设计无处不在，它来自盲目而精密的过程。演化论者常常非

正式地谈论发明，要表达自然惊人的创造力，没有比它更好的词了。洞察这一切如何发生的图景，是科学家的共同目标，无论他们的信仰状况如何——而每一个热切关心我们是怎样走到今天的人，也应是如此。

这本书讲的是演化的最伟大发明，讲的是每一次变革如何改变生命世界，以及我们人类怎样学会读懂这些历史——用到的精巧机智足可媲美自然之力。这是生命伟大创造力的庆典，也是对我们自己的礼赞。事实上，这本书讲的就是我们走到今天的历程——从生命起源到我们自己的生死，这条史诗之路沿途的各座里程碑。这是一本宏大的书。我们将跨越生命的广度与长度，从它最初在深海热泉的起源到人类的意识诞生，从微观细菌到庞然恐龙。我们将纵览各个学科，从地质和化学到神经影像，从量子物理到行星科学。我们还将追溯人类历史，从上古史诗《吉尔伽美什》到最新近的研究，从史上最著名的科学家到如今鲜为人知的研究者（但我希望，他们注定将来会大放异彩）。在这里抢先读到他们的英姿吧！

我的发明清单当然是主观的，完全可以有所不同；不过我确实引入了四个标准，靠这些标准大大缩减了可选项，入选的都是生命历史上开创性的大事件。

第一条标准是，这一发明必须对生命世界以及对行星整体造成革命性的变化。我已经提过光合作用，它使地球变成了我们如今所知的活力四射的富氧星球（没有它，动物就不可能存在）。其他的变化不那么明显，但影响力几乎同样普遍。影响力波及最广的两项发明是运动（这使动物可以四处巡游寻找食物）和视觉（它改变了所有生命有机体的角色和行为）。有可能正是眼睛在5.4亿年前的快速演化，在寒武纪大爆发（化石记录中突然出现了真正的动物）中居功至伟。我在每个章节的引言里讨论了每一次发明对地球造成的翻天覆地的影响。

第二条标准是，它必须直到今天依然有着无可比拟的重要意义。最佳例子是性与死。性一直被描述成终极的存在之荒谬，这还不是说《爱经》里那些从苦痛到狂喜的扭曲精神状态，而只是说细胞之间性行为的奇怪机制。为什么如此之多的动物，甚至很多植物都要沉溺于性，

明明它们可以安静地自体克隆呀？这是一个谜，而我们现在已经十分接近这个谜的答案。但如果性是终极的存在荒谬，那么死就是终极的非存在之荒谬。为什么我们会变老、会死亡，一路忍受最为悲惨痛苦的疾患？这个非常现代的状态，并非受热力学决定，并非是混沌和衰败积累的结果——因为不是所有活着的东西都变老，而即使那些会变老的也可以关掉开关停下来。我们将看到，演化已经一次又一次地成功将动物的寿命延长了一个数量级。抗衰老药不应只是传说。

第三条标准是，每一个创新都是通过自然选择演化的直接结果，而不是譬如说文化变迁的后果。我是生物化学家，对语言和社会没什么原创的看法。但是我们所成就的一切，属于人类的一切，其基础都是意识。很难想象，如果没有了共享的价值、观念、感受，还有爱、快乐、悲伤、恐惧、渴望、希冀、信念这些无言的情感支撑，共享的语言和社会将如何存在。如果人类心灵是演化来的，我们必须搞明白我们脑中神经元的发放如何能够引发非物质性的精神感觉，以及情感的主观张力。在我看来，这是个生物学问题，虽说还是个困难问题。我将尝试在第九章解释这个论点。因此，意识可以算作伟大发明中的一个，语言和社会则不是，它们更多的是文化演进的成果。

第四条标准是，这种发明必须在某种意义上是标志性的。在达尔文的时代以及更早之前，所谓的眼睛完美性可能是原型的挑战。从那时候开始，人们以各种方式从各个角度讨论过眼睛问题，但过去十年里遗传研究的爆发进展对此提供了新的解决方案：它发现了一个意料之外的血缘。DNA 的双螺旋是我们信息时代最伟大的标志。复杂细胞（真核生物）的起源则是另一个标志性的主题，和外界公众相比，这个问题在科学界更为知名。这一里程碑是过去四十年里演化论者争论最为激烈的问题之一，并且对于复杂生命在宇宙中如何分布至关重要。每一章就这一类的问题进行了讨论。一开始我和一位朋友讨论了我的清单，对方想把内脏而不是运动作为动物的象征。这个想法在标志性地位上没能合格：在我心中，肌肉力量才是标志性的——想想飞翔的荣耀——而仅有内脏没有动力的移动，只能算是一只海鞘，一管系在岩石上摇摆的肠子，不够标志性。

除了这些比较正式的标准之外，每一个发明还得激发我自己的想象力。这些发明，是我自己作为一个热切好奇的人最想知道的。其中有一些发明我以前写过，如今想要在更广阔的设定下重新讨论。其他一些发明，比如DNA，是对每一个好奇心灵都有致命吸引力的主题。深藏于DNA结构中的线索如何被解开，这是过去半个世纪里最伟大的科学侦探故事，然而这个故事就算在科学界中也鲜有人知。我只能希望，我能够成功表达出自己在探索时的兴奋、激动。热血则是另一个例子，是一个充满激烈争论的领域，因为在许多问题上科学家们还没有达成共识：恐龙到底是懒洋洋的大蜥蜴（变温动物）还是活跃的热血杀手（恒温动物），热血鸟类是直接从霸王龙的近亲演化而来还是跟恐龙没关系。没有比这更好的机会来亲自审视相关证据了！

于是我们现在有了清单，我希望你现在已经迫切地想读了。我们将从生命起源开始，以我们自己的死亡和对不朽的钻研收尾，途中会经过以下里程碑：DNA、光合作用、复杂细胞、性、运动、视觉、热血和意识。

但在我们开始之前，我必须多说两句这篇前言里贯穿的主旨：是一种新的“语言”为演化历史的深度提供了如此洞察力。直到不久之前，历史的研究有两条大道：化石与基因。论及探索生命的过往，两者都十分得力，但也各有瑕疵。化石记录中所谓的“空白”已广为人知，自达尔文对此表示忧虑之后的150年里，这些空白已被艰苦工作弥补了不少。化石的问题在于，它们必须有特定的环境才能保存，因此不能、也不可能毫无扭曲地反映过去。事实上我们能从中收集这么多信息已经非常惊人了。同样地，比较基因序列的细节使我们得以建立起谱系树，它能够精准地表达我们和其他有机体如何相关；不幸的是，基因最终会分叉到再也找不到共同之处的地步：往前不断追溯总会到极限，继续往前走的话读出的历史就变成了乱码。但是在基因和化石之外，还有其他有力手段可以追溯最为古老的过去，而这本书在某种程度上就是这些方法之精确性的礼赞。

举个简单的例子——我最喜欢的例子之一，但在这本书里没有找到合适的地方出场。它涉及一种酶（能催化化学反应的蛋白质），这种

酶对于生命而言非常核心，从细菌到人类，几乎在所有活着的有机体中都可以找到它。两种细菌里的这种酶被拿来比对，一种细菌生活在高温的热泉口，另一种细菌则在寒冷的南极地区。编码它们的基因序列是不一样的——它们已经分异到了截然不同的程度。我们知道它们是从一个共同的祖先发展而来的，因为我们发现，那些生活在较温和环境中的细菌，体内有一系列的中间状态。但仅看基因序列，我们难以发现更多了。二者分异当然是因为生活环境如此不同，但这是抽象的理论知识，干瘪而且缺乏深度。

但现在，由于晶体学的长足进展，我们可以用高强度的 X 射线瞬间穿透它们，在这转瞬即逝的片刻里看到这两种酶的分子结构。这两种结构是可以重叠的——它们如此相似，每一条折叠和裂隙，每一个凹陷和凸起，都在三个维度上如实复制另外一种。未经训练的双眼也许难以区别它俩。换句话说，尽管大量的基石随着时间推移被替代，分子的总体结构和形状在演化中被保留下来（因此它的功能也一样），就好像它是一座原本石砌的大教堂，然后用砖重构，但并未流失其宏伟的建筑风格。接着就出现了另一个启示：哪些建筑模块被替换了？为什么？热泉口的细菌那里，酶是尽可能地结实——建筑模块彼此紧紧地绑在一起，通过类似于水泥的内部胶合，保证它在沸腾热泉水的能量冲击下还能保持形状。这个教堂是用来抵御不间断地震的。在冰雪中，这一情形正好颠倒过来。这一建筑模块是灵活的，允许它们无视冰雪仍保持活动，就好像是用滚珠轴承而非砖块重建了教堂。在 6°C 的环境下，冰版的酶要快 29 倍，但在 100°C 时它就变成了碎片。

这里浮现的景象既多姿多彩又真实立体。这一基因序列的变化现在有了意义：尽管需要在完全不同的环境下运作，但它们保留了酶的结构和功能，我们现在可以看到在演化中到底发生了什么，以及为什么——不再仅仅是模仿，而是真正的明悉。

现在，还有其他巧妙的工具可以用来洞悉真实过程，获取同样生动的理解。比较基因组学使我们不仅能够比较基因，还能够比较基因组——一次比对数百种不同物种的数千基因，这也是过去几年中刚刚实现的，靠的是越来越多的全基因组信息。而蛋白质组学使我们可以

捕捉到一个细胞任何时候都有怎样的蛋白质在工作，并理解这一蛋白质组成如何被少数的调节基因所控制，并且在千万年演化时光中被保留下来。计算生物学使我们能够鉴定出特定的形状、结构和花纹，这些特征无视基因变化，坚守于蛋白质中。对化石和岩石的同位素分析使我们能够重建过去的气候和大气变化。成像技术能使我们看到我们思考时大脑的神经元机能，或者重建深植岩石中的微观化石的三维结构而无须破坏它们。如此等等。

这些技术本身并不新奇，新奇之处在于它们的复杂性、速度和可适用性。就像人类基因组计划慢慢加速直到提前完成，数据积累的步伐令人眼花缭乱。所有这些信息并不是用经典的群体遗传学和古生物学语言书写的，而是用分子语言——自然界变化实际发生的层面。有了这些新的技术，一批新的演化论者正在出现，他们可以实时捕获演化的进程。这一图景的丰富细节令人屏息，而它的指引范围从亚原子延伸到行星尺度。这就是我为什么说：有史以来第一次，我们知道了。当然，这个庞大的知识体系中有许多东西是暂时的，但它生机勃勃，意义重大。生在这个时代有趣极了，因为我们已经知道了这么多，而仍然有更多的未来可以期待。



## 第一章 生命的起源

### ——来自旋转地球

昼夜交替，接连不断。此时的地球每天只有五六个小时。行星疯狂地绕轴自转。月亮低悬在空中——比现在近得多，因此看起来也大得多——带来强烈的厚重感和压迫感。几乎看不见星星，因为大气中满是烟雾和尘埃，但明亮的流星则时常划过夜空。太阳，就算是透过沉闷的红色烟雾看到它的时候，也显得软弱无力，毫无青壮年的朝气。人类无法在此存活。虽然我们的眼睛不会鼓出来炸开，但我们的肺找不到一丝氧气。我们会绝望地挣扎一分钟，然后窒息而死。

地球是个糟糕的名字。“海球”要好得多。就算是今天，海洋也覆盖了我们这颗行星（地球）2/3的面积，主宰了俯瞰的行星面貌；而那时候，地球几乎全是水，只有几个小小的火山岛高耸在波涛汹涌的海水之上。因为月亮的近距离操控，那时的潮汐十分巨大，也许有几十米高。小行星和彗星的撞击没有早先那么常见了，此前最大的撞击直接把月亮给甩了出去；但就算是这片相对平静的时期，海水

还是常常沸腾翻滚。海底也是一样：地壳遍布裂痕，岩浆四处涌出，火山则让地狱的景象持续不断。这是一个失衡的世界，一个躁动不安的世界，一个高烧不退的行星幼儿。

这也是 38 亿年前生命最初诞生的世界，也许恰恰就是被这行星的躁动赋予了生命。我们知道这一点，是因为遥远过去时代的一点岩石成功熬过了这段多事之秋，存续到了今天。在它们里面藏着最微小的碳残片，其原子组成里有生命自己的印痕，几乎不可能认错。如果你觉得如此里程碑式的宣言，其理由却如此弱不禁风，你可能是对的：专家们至今还没有达成完整的共识。但是从时间的洋葱上再剥去几片，到了 34 亿年前，生命的迹象就已经无可争议了。那时的世界充满了细菌，它们留下的不仅仅是碳信号，还有种种形态各异的微体化石，都藏在细菌的穹顶大教堂——一米高的叠层石里面。接下来 25 亿年里细菌主导了我们的行星，直到最初的真正复杂生物出现在化石记录里。有人说细菌在今天依然是主宰，因为所有动物和植物加起来也比不上细菌的生物量。

地球早期到底发生了什么而将最初的生命赋予了无机物质？我们是独一无二或者极为罕见的吗？还是说我们的行星不过是遍布宇宙的亿万孵化场之一？根据人择原理，这无关紧要，如果生命诞生在宇宙中的概率是千万亿分之一，那么千万亿行星上生命诞生的概率差不多接近 1。因为我们自己就在有生命的星球上，我们当然就生活在这里。不管生命是多么极端罕见，在无限的宇宙中生命总会出现在某个行星上的，而我们只能生活在这样的行星中。

如果你像我一样，觉得这种耍聪明过头的统计学不能让人满意，那么这里还有一种同样不能让人满意的答案，提出人正是大名鼎鼎的弗雷德·霍伊尔（Fred Hoyle），后来又有弗朗西斯·克里克（Francis Crick）助阵。他们说，生命起源于别的地方，“感染”了我们的星球，要么是纯属偶然，要么是被某些接近神明的地外智慧所操纵。也许确实如此——谁敢说一定不是这样？但是大部分科学家面对如此论证还是会退缩的，理由也很充分。这几近于断言科学无法解决这个问题，而我们还没有真的看过科学是不是能回答它呢。之所以要到宇宙别处



寻找救赎，人们常说的原因是时间：地球上没有足够的时间，不足以让如此复杂的生命演化出来。

但谁说一定不够呢？同样声名显赫的诺贝尔奖得主克里斯蒂安·德·杜维（Christian de Duve）以更加激动人心的论证指出，化学的决定性意味着生命一定会快速涌现。从本质上讲，他的观点是：化学反应要么发生得很快，要么根本不会发生；如果一个反应要一千年才能完成，那从概率上说它的反应物早就弥散消失或者干脆分解掉了——除非它们有更快的反应来补充。生命的起源当然是一个化学问题，所以同样的逻辑适用于此——生命的基本反应必须是自发而快速地发生。因此，在德·杜维看来，生命花一万年诞生的可能性要比花一百亿年诞生大得多。

我们永远无法知道地球上的生命到底是怎么起源的。就算我们用试管里旋转的化合物制造出了细菌甚至虫子，我们也不可能知道这不是我们行星上真实的生命起源过程，只能说明这样的事情是可能的，也许比我们曾经以为的更可能。但科学并非关于例外，而是关于规律；执掌我们行星生命涌现的规律，也应该适用于全宇宙。寻找生命起源的任务，不是试图重建公元前 38.51 亿年前那个星期四早晨六点半发生了什么，而是寻找那些主宰了宇宙间任何生命起源的一般规律，特别是适用于我们行星的规律——毕竟这是我们唯一已知的例子。这些规律，就是本章的主题。虽然我们即将追随的故事几乎肯定在所有细节上都不正确，但我认为，它是大致可信的。我希望展示，生命起源并不是人们有时喜欢说的伟大奥秘；相反，生命从我们星球的旋转中诞生，几乎是不可避免的。



当然，科学不只是规则，它也是那些用以推导出规则的实验。因此我们的故事开始于 1953 年，在这个奇迹之年里，有伊丽莎白女王二世加冕、珠穆朗玛峰首次登顶、斯大林之死、发现 DNA 结构，当