

THE INTERCONNECTED WORLD

互联互通的世界

吴时舫 苏宇轩◎著



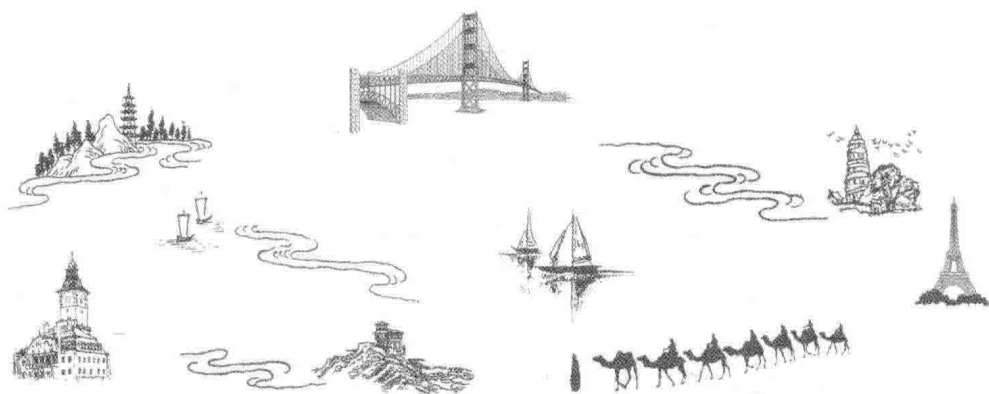
经济管理出版社
ECONOMY & MANAGEMENT PUBLISHING HOUSE

本书由湖北文理学院工商管理学科开放项目资助出版

THE INTERCONNECTED WORLD

互联互通的世界

吴时舫 苏宇轩◎著



经济管理出版社
ECONOMY & MANAGEMENT PUBLISHING HOUSE

图书在版编目 (CIP) 数据

互联互通的世界/吴时舫, 苏宇轩著. —北京: 经济管理出版社, 2018.9

ISBN 978-7-5096-5934-2

I. ①互… II. ①吴… ②苏… III. ①世界经济—通俗读物 IV. ①F11-49

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2018) 第 178622 号

组稿编辑: 郭丽娟

责任编辑: 刘 宏

责任印制: 黄章平

责任校对: 王淑卿

出版发行: 经济管理出版社

(北京市海淀区北蜂窝 8 号中雅大厦 A 座 11 层 100038)

网 址: www.E-mp.com.cn

电 话: (010) 51915602

印 刷: 北京玺诚印务有限公司

经 销: 新华书店

开 本: 720mm×1000mm/16

印 张: 14.75

字 数: 225 千字

版 次: 2018 年 10 月第 1 版 2018 年 10 月第 1 次印刷

书 号: ISBN 978-7-5096-5934-2

定 价: 68.00 元

· 版权所有 翻印必究 ·

凡购本社图书, 如有印装错误, 由本社读者服务部负责调换。

联系地址: 北京阜外月坛北小街 2 号

电话: (010) 68022974 邮编: 100836

序

关于地球村的遐思

春雨淅淅沥沥地下着，料峭的早春寒风中红梅花盛开，湿润的土地上小草刚刚开始伸出绿叶，在这“润物细无声”的氤氲之气中，抬头仰望厚厚的云层，思绪穿过云层，飞向无边的世界。感慨着春雨、感慨着生命的奇迹；心怀感恩，感恩赋予我们生命的一切的一切。

我们的祖先“筚路蓝缕，以启山林”一路走来，历尽磨难也创造过无数辉煌。古苏美尔文明、古埃及文明、古华夏文明、古印度文明、古玛雅文明、希腊城邦、希腊化时期、罗马帝国时期、伊斯兰黄金时代等，这些远古的文明犹如江河的源头，至今滋养着我们的心灵和智慧。中世纪的技术与建筑、阿拉伯人的科学与技术、中国的文化与科学技术，文艺复兴、地理大发现、技术发明和产业革命逐渐拉开了工业文明的大幕。彼此隔绝的生存状态走向相互联系、相互融合的地球村。

工业革命是从煤被开发、钢铁被使用起步的，工业革命的强劲力量将我们带到了繁荣，也使我们面临严峻的环境挑战，共同面对气候问题：气候变暖、冰川消融、海洋酸化、海平面上升、极端灾害天气加剧。能量是万物之源，能源的快速消耗也使我们需要接过新能源的接力棒。石油、煤炭、天然气、油页岩、可燃冰等都是不可再生的资源，能源绿色转型迫在眉睫。清洁能源包括

风能、水能、太阳能、商业核电、海洋能、地热能和生物质能等。其中生物质能是实现能源可持续发展的重要领域。利用荒漠土地生产绿色能源植物，“不与民争粮，不与粮争地”，改善生态环境在当今尤为重要。目前，地球车队超过10亿辆，预计到2020年将达到12亿辆。交通车辆用油将占世界石油总消费量的62%，石油有很多种用途，白白烧掉非常可惜。而车用生物质汽油是最新一代的生物质燃料，比乙醇能量高，使用更经济，不需要更新汽油销售系统和加油站，不需要调整发动机。应对气候变化还有很多有待提倡应用、行之有效的新的生产方式与消费模式。

基础设施的发展正使得世界从隔离走向互联互通。亚洲、北美、南美、欧洲、非洲、阿拉伯世界和东南亚等区域内的自由贸易在不断发展，各城市之间的联系也在加深。基础设施的联通如同地球上各城市联系在一起的神经系统，金融资本和互联网代码就好比神经系统的血细胞，世界正在步入全球网络文明体系。互联互通让此前不可想象的文明进步成为可能，也让实现人类整体救赎之路成为可能。

贸易打造着世界经济的版图，货币和资本在世界范围内快速流动，互联网使信息瞬间接通，航海、航空绕着地球航行，世界融为一体。新科技新技术也正在改变传统的生产方式和生活方式。工业革命引发的蒸汽机与铁路网；电力革命引发的发电机、输电网、交通网；信息革命引发的计算机与互联网、人工智能与物流网，都在不断印证着节点与网络之间的协调变革，凸显网络带来的变革与便利，每一次都极大地提升了整个人类社会的人均生产力，释放出全人类的体力、脑力投入全球产业升级中。人工智能、机器人、量子计算、航空航天、生命科学、新能源等新科技不断启动着相互依存、人人共享、万物互联的新的商业模式。

本书从全新的视角探讨生命的起源、生命的演化历程、应对气候变化问题、城乡统筹、各领域互联互通、文明的百花园共同繁荣等关于地球村的一系列问题，尝试用散文的写作方法描述某些学术问题，尝试用自然科学与社会科学相结合的思维进行问题探讨，力求更具可读性和感染力。

目 录

第一章 生命的历程	1
一、生命来自哪里	3
二、生命的演化历程	8
第二章 应对全球气候变化	24
一、全球气候变暖	24
二、全球共同应对	40
三、能源接力棒——能源转型势在必行	41
四、深科技方兴未艾	51
五、沙产业	56
六、车用燃料的迭代	62
七、发展循环经济	65
八、科技、理性和市场的融合	68
第三章 互联互通、相互依存、人人共享的世界	71
一、国际海洋航行与运输	72

二、国际航空运输	79
三、交通枢纽互联互通	82
四、海底通信电缆	88
五、国际金融格局	89
六、区域经济一体化格局	95
七、“一带一路”倡议	98
八、经济的相互依存	103
九、数字地球、万物互联	107
十、跨境电商连接世界	112
十一、超级能源互联网	113
十二、“濛濛晓雾初开，皓皓旭日方升”——人人共享的经济	118
十三、创新不息，创造不止——以色列崛起的互鉴互通	128
十四、信息网络正在使人类社会走向更致密而高效	130

第四章 低碳生态城市

——英国城镇化历程借鉴	133
一、人类世（Anthropocene）——城镇化的时代	133
二、城市网络节点	136
三、包容性、高密度、混合功能、生态参与型城市	137
四、共生智慧城市	142
五、英国城镇化历程借鉴	144

第五章 地球村的新文明：低碳生态文明

一、文明溯源	189
二、工业革命——一把双刃剑	205
三、信息文明和生态文明	206
四、GPI，经济学范式的变革	207
五、生态文化润泽大地	210

六、低碳消费.....	212
七、低碳生态农业.....	214
八、低碳生态建筑.....	215
结语	217
参考文献	222

第一章 生命的历程

地球，我的母亲！

你背负着我在这乐园中逍遥。

你还有那海洋里面，

奏出些音乐来，安慰我的灵魂。

地球，我的母亲！

我过去，现在，未来，

食的是你，衣的是你，住的是你，

我要怎么样才能够报答你的深恩？

地球，我的母亲！

从今后我不愿常在家中居处，

我要常在这开旷的空气里面，

对于你，表示我的孝心。

——摘自郭沫若诗作《地球，我的母亲》

据科学家估计，约在 137 亿年前，寂静的虚空深处，有一个极其致密的点，这个点被称作奇点。在一个神奇的时刻，这个奇点开始大爆炸，大爆炸相当于无数次核爆同时发生，爆炸最初温度达 100 亿摄氏度，规模大到何种程度

难以想象。大爆炸的最初几秒，物质只能以亚原子的电子、质子、中子等基本粒子形态存在。几分钟后温度迅速下降到 10 亿摄氏度，基本粒子开始形成轻元素的原子核。过了大约 100 万年，温度下降到几千摄氏度，原子开始形成。氢（H）可能是宇宙最早形成的元素，含有一个质子和一个电子的氢元素是宇宙中最原始的物质，是质量最轻、数量最多的元素，大约占据宇宙质量的 75%。氢及其同位素通过热核反应形成氦（He），氢和氦被抛射到远离奇点的宇宙空间中，在引力作用下聚集成致密的星际云，这是所有恒星和星系诞生的摇篮。在恒星演化的早期，氦燃烧产生了碳（C）和氧（O）。随后钠（Na）、镁（Mg）、硫（S）、磷（P）和硅（Si）等元素依次产生。

原始星云开始聚集的 20 亿~30 亿年后，太阳系初步形成。我们的太阳就是一个巨大的核反应堆，在太阳系形成之初，核聚变形成的猛烈风暴将氢、氦、甲烷、氨和水分子等较轻的物质吹向外层空间，形成低密度的外行星如木星、土星、天王星和海王星。硅酸盐、氧化物和金属等重物质在近日轨道形成了类地行星。类地行星是与地球相类似的行星。类地行星包括水星、地球、火星、金星，它们的大小与地球差不多，距离太阳近，体积和质量都较小，平均密度较大，表面温度较高，也都是由岩石构成的。

在成长的初期，地球上的硅酸盐矿物和金属矿物是混杂在一起的。早期的地球除了熔融的岩石并不存在大气，物质的吸积、宇宙不速之客的连续撞击和放射性元素衰变产生的能量加剧了高温和熔化过程。在这种熔融得到的岩石中，地球的组分开始分层，铁和次生重矿物开始下沉，随着压力的不断增加，内核变成了固态。外核由于承受的压力较小，依然保持液态。轻元素（包括气体元素）开始向上运动，质量最轻的气体逃逸到了宇宙中。在之后的 4 亿年里，轻物质和重物质进一步分离，地幔和地壳也逐渐形成。地幔在距地表约 3000 千米处包裹着地核。硅、铝及其他低熔点轻元素的化合物逐渐在地球表层富集。

地球形成之初是一个被宇宙大爆炸所产生的氢和氦包裹的，炽热的几乎熔融状态的星球。大约在 45 亿年前，一颗巨大的微行星飞来，剧烈地撞向了地球，这次撞击使地球释放出大量热量，还使大量的地球表面物质如原始地壳、

地表水和一部分大气等抛向了外层空间，散布在绕地轨道上，这些碎片逐渐聚集吸积形成了今天与我们休戚相关的美丽月球。20 世纪 60 年代末，人类的宇航员从月球上带回的岩石样本测得，这次撞击事件大约发生在距今 45.1 亿年前。

宇宙的起源、生命的起源和意识的起源是科学中的三大谜题，至今科学家们还在不断探索。宇宙中有哪些元素？有没有地球上没有的元素和分子结构？天体物理学家相信在宇宙大爆炸之后的几分钟出现了氘（重氢）和氦，以及锂，哈雷空间望远镜拍摄到距离地球 39 亿光年远的伽马射线冲击波，天体物理学家认为那是两颗中子星碰撞产生的，照片表明碰撞可能产生金、铅、铂或铀等重金属元素。也推测环绕着年轻恒星 NGC1333-IRAS4B 的尘埃盘中可能包含有形成于冰颗粒上的复杂的有机分子。2012 年，天文学家在一个气体云中发现了一个叫作含甲氧基的分子（ CH_3O ）。水星上有冰吗？火星上有水吗？火星上有甲烷吗？土卫二南极附近是否存在地下液态水海洋？……天文学家们在苦苦追寻！然而，在浩瀚的宇宙中却有一个地方，这个地方有 118 种元素以无限丰富的形态、功能和化学反应结合在一起，仅用 1 克这样的物质就足以超越已知的宇宙空间中所有其他地方的物质的多样性。在这个地方，成千上万的生命体尽情绽放。这个地方就是“地球”！

一、生命来自哪里

比利时生理学医学诺贝尔奖得主克里斯蒂安·德迪夫曾说：生命是一种我们皆共享的遗产，其本质昭示了我们的本质，其历史就是我们的历史，其意义对我们所有人至关重要。生命的未来对全人类皆为一种责任，这种责任由于我们所获得的新知和前所未有的新力量而更加紧迫。

生命是如何起源的？是来自早期太阳星云的冰冻碎片，来自洋中脊裂谷处喷涌富含矿物质的深海热液流的“黑烟囱”？还是地球早期风暴中偶然形成？著名量子物理学家薛定谔在《生命是什么？——活细胞的物理观》一书中写

道：“有机体将‘秩序之流’集中于自身，从而避免衰退为混乱的原子，这种从合适的环境中‘吸取秩序’的惊人天赋似乎与‘非周期性固体’即染色体分子的存在有关。凭借着每一个原子核原子团各自发挥作用，这些分子无疑代表着已知的有序度最高的原子集合体，其有序度远比普通的周期性晶体高得多。”那这个生命世界的“有序来自无序”源自哪里？天文学家弗雷德·霍伊尔（Fred Hoyle）终身探索生命起源问题，他有一个形象的比喻来感叹任一微小的生命体的复杂、精巧与有序。他说：“随机化学过程创造出生命的概率，就像龙卷风吹过垃圾场，然后纯属意外地造出了一架大型客机。”

地球早期在生命出现前是一幅怎样的画面呢？地球原始大气主要由氢气和氦气组成，来自太阳的粒子流（即太阳风）吹散后由次生大气取代，次生大气由火山喷发的气体组成，包括氮气、二氧化碳、氢气、氦气和水蒸气等。约在 40 亿年前左右，随着彗星或小行星的撞击逐渐减弱和地表逐渐冷却，地壳开始变得稳定。那时的地球内部比今天要热得多，由此引发的强烈火山活动不断地重塑着地表形态。陨石撞击也可能产生水分子，但主要是火山喷发出来的大气水分子开始凝结并降落到地表以自由水体的形式聚集，它们与岩石发生化学反应溶出钙盐和镁盐汇入，形成地球的原始海洋。

地球内部源源不断地产生热量，一些重元素的放射性衰变也可以产生热量，地球内部的热量通过坚硬的岩石传导到大气中。地核从核—幔界面向下延伸至距地表 6360 千米的地球中心。地核的密度在 10~13 克/立方厘米，由一个固态的内核和一个液态的外核组成。地球外核液态高温熔岩是在绕地旋转的，高温使原子内部的电子可以自由运动。电子运动形成强大的电流将地球变成了一个巨大的磁体，并延伸到太空中，拥有南北两极。地磁场强度要比重力场大得多，保护地球不受太阳风的袭击。太阳风是太阳发射出的具有潜在危害的高能带电粒子流。但早期的大气缺少氧气、二氧化碳等，炽热的太阳光能畅通无阻地直射地表，太阳的紫外线也能直达地面，而紫外线具有极强的化学活性。

地幔位于地壳之下，从地壳底部一直延伸至约 2990 千米深的核—幔界面。对流运动推动熔融的地幔物质向上流动，并在到达地壳之前冷却下沉。岩浆活

动推动板块漂移或水平转动。地球表面很不稳定，地壳变化很剧烈，早期板块的持续运动使得陆地板块不断靠拢，形成最古老的陆地基础。地球拥有两种类型的地壳——大陆地壳和大洋底部较薄的大洋地壳。大陆地壳的厚度在 25 千米和 70 千米之间，由火成岩、变质岩和沉积岩组成。大洋地壳厚度在 6 千米到 11 千米之间，密度更大些。地球更新大洋地壳的频率比大陆地壳高。这就是为什么一些大陆地壳的年龄高于 40 亿年，而大洋地壳的年龄不超过 2 亿年。

化学家米勒和尤里曾在 1953 年设计了一个模拟早期地球大气成分的实验，将甲烷、氢气、氨气和水蒸气混合，通过电极放电模拟闪电作用，结果得到了 4 种氨基酸。^① 米勒—尤里实验震惊了整个科学界。后来几十位科学家做了类似的实验又得到了几种碳水化合物和核苷酸等。我们知道：氨基酸是组成蛋白质的基本单位，氨基酸不同含量与排列顺序组成不同的蛋白质。蛋白质是生物体的重要组成成分，是生物体中含量最丰富的生物大分子（Macromolecule），是生命活动的基本物质基础。一个真核细胞可有数万种蛋白质。蛋白质虽种类繁多，但主要由碳、氢、氧、氮和硫等几种基本元素组成。核苷酸是组成核酸的基本单位。核酸（Nucleic Acid）是生物信息大分子，具有复杂的结构和重要的生物学功能。核酸可分为脱氧核糖核酸（DNA）和核糖核酸（RNA），是遗传信息的载体，并通过复制的方式将遗传信息进行传代。米勒—尤里实验的成功是否意味着找到了地球生命的起源呢？

根据米勒—尤里实验，原始的氨基酸等有机物在原始海洋中积累，形成温热、稀释的有机浆汤，是否只要有足够的时间流逝，原始海洋汤就会熬出一种奇异的新分子，这种分子具有一种非凡的性质：能够进行自我复制？因为原始复制体（Primordial Replicator）的出现是生命起源的关键。

随着量子物理学的发展，对生命起源探索的科学家们把目光投向了微观量子世界，试图从物质内部的最微小处寻找生命起源的答案。物理学家普朗克（Planck）首次将最小的不可再分的能量单元称为“能量子”或“量子”（Quantum），宣告了量子论的诞生。1905 年，爱因斯坦提出光有时表现出波动性，

① 理查德·穆迪，安德烈·茹拉夫列夫，地球生命的历程 [M]，王璐译，北京：人民邮电出版社，2016：46.

有时表现出粒子性，但它既非经典的粒子也非经典的波，光波同时具有波和粒子的双重性质，这就是光的波粒二象性。爱因斯坦的光子学说圆满地解释了光电效应：光是一束光子流，每一种频率的光的能量都有一个最小单位，即光子，光子的能量与光子的频率成正比，即 $E = h\nu$ ，这里 ν 为光的频率。光子具有一定的动量 (p)， $p = h/\lambda$ ， λ 是光子的波长，于是光子的波粒二象性通过普朗克常数 h ($h = 6.626 \times 10^{-34} \text{Js}$) 联系在一起。将频率为 ν 的光照射到金属上，当金属中的一个电子受到一个光子撞击时，光子把它的能量 $h\nu$ 转移给电子，然后光子消失，电子吸收能量变成光电子，电子吸收的能量一部分用于克服金属对它的束缚，其余部分变成光电子的动能，产生光电效应。爱因斯坦因为他的光电效应理论获得了 1921 年诺贝尔物理学奖。这个发现为量子理论的建立踏出了关键性的一步。

组成我们大千世界的原子是由原子核和若干个核外电子组成的微观体系。当原子受到外来作用，它的一个或几个电子吸收能量后跃迁到较高能级，这时原子处于激发态，激发态是一种寿命极短的不稳定状态，原子随即跃迁回基态，这时发射出一定波长的光线以释放多余的能量，这些光线形成一个系列光谱，被称为原子发射光谱。原子能级是量子化的，通过量子力学推测出的原子光谱数据与实验数据已能很好地吻合。

在光具有波粒二象性的启发下，法国物理学家德布罗意 (1892~1987 年) 在 1924 年提出一个假说，指出波粒二象性不只是光子才有，一切微观粒子，包括电子和质子、中子，都具有波粒二象性。他把光子的动量与波长的关系式 $p = h/\lambda$ 推广到一切微观粒子上，指出：具有质量 m 和速度 v 的运动粒子也具有波动性，这种波的波长等于普朗克恒量 h 跟粒子动量 mv 的比，即 $\lambda = h/mv$ 。这个关系式后来就叫作德布罗意公式。

量子叠加态对生命的起源也有重要意义。叠加态现象指粒子可以同时完成 2 件、100 件甚至 100 万件事情。原子核一般由质子和电中性的中子构成。由于自旋方式的不同，质子和中子能以两种不同的方式结合。氢的同位素氘核的存在归功于将质子和中子紧密结合在一起的“核力”的“张量相互作用”，这种相互作用使成对的质子和中子处于一种被称为“S 波”的角动量状态和一种

被称为“D波”角动量状态的量子叠加态。只有两种状态同时存在，两者互相叠加时，黏合力才足够强。一个在确定位置上的粒子，在那个时间点上，处于以任何可能的速度向任何可能方向运动的量子叠加态。曾经在一起的成对粒子，无论分开多么遥远的距离，仍然能够相互联系，刺激一个粒子，会让它远在天边的伙伴同时跃起，这种现象被称为“量子纠缠”。如今，“鸟类利用量子纠缠来进行环球导航”已为新兴的量子生物学所证实。

量子隧穿效应是一种量子特性，是电子等微观粒子能够穿过它们本来无法通过的“墙壁”的现象，又被称为隧穿效应，势垒贯穿。用量子力学的观点来看，电子具有波动性，其运动用波函数描述，而波函数遵循薛定谔方程，从薛定谔方程的解就可以知道电子在各个区域出现的概率密度，从而能进一步得出电子穿过势垒的概率。有科学家认为，量子隧穿效应是宇宙中众多有机分子得以合成的基础，也有可能是合成早期生命所需的有机化合物的重要机制。

组成我们大千世界的原子内部其实是非常空旷的。“欧洲粒子物理中心”曾有一个比喻，他们在巨大的展览中心悬挂一个直径是一毫米的小球，这个小球就像原子核，而展览中心的外墙就好比是原子的外围界限。他们想通过这个比喻说明原子内部是多么空旷。尽管原子几乎是空的，但它们内部的虚空中充满了电场和磁场，其力量巨大，如果试图进入它们会瞬间将你逼停。正是这些力量使得物质是实在而坚固的。

与一个在空间中永远占据一个确定位置的经典物体不同，在量子空间里，一个电子会同时出现在多个地方，薛定谔方程可理解为算出一个数集来描述电子同时存在于空间中各点的概率，可以想象成一个真实的物质波，但一旦我们观测，就立即“塌陷”为一个离散的粒子。我们周围所有能看见的非生命物质，由于构成它们的大多分子内部持续地向各个方向随机运动，使得量子特异性被抵消掉了，我们看到周围的物质不是体现量子力学原理而是符合传统经典物理所揭示的规律。然而物质世界的微小层次，量子力学又取代经典定律，统领一切。

生命就像连接量子 and 经典世界的桥梁；生命驾驭混沌之力，在经典世界和量子世界的边缘上前进；生命之根就是深深扎根于量子世界，借助量子世界特

有的波粒二象性、离散能级、量子叠加态、量子纠缠和量子隧穿等奇特的能量与规律，形成了最原始的能够高精度自我复制和成长的生命。由数百万个粒子构成的蛋白质具有量子叠加态；在光合作用中，光子的能量通过量子随机游走，可以同时游走，可以同时沿着多条路径转移到反应中心；整个大脑中数十亿个神经元内的所有微管之间都存在量子纠缠。基于秩序的秩序，有机体从环境中不断吸取负熵，以“负熵”为生；“有序来自有序”生命从环境中吸取“秩序”来维持组织。

“天行健，君子以自强不息；地势坤，君子以厚德载物”，宇宙以其与生俱来的能量、秩序运转不息，地球以博大宽容、海纳百川的胸怀承载其上的万物，来自物质的微小处蕴含着严密与蓬勃的活力，光阴在混沌世界中飞逝，终于在地球上孕育出最初的生命体。我们的地球大约 46 亿年前诞生在云骸中，35 亿年前最古老的单细胞生物出现，生命的演化开始。从地球诞生到古老的单细胞生物出现可能用了约 10 亿年时间。

二、生命的演化历程

博物学家查尔斯·罗伯特·达尔文曾说：能够生存下来的，既不是最强壮的，也不是最聪明的，而是最能够适应变化的物种。

（一）距今 45.5 亿~25 亿年的太古宙时期

澳大利亚西部和非洲南部富含硅质的燧石中发现的单细胞生物化石记录了大约在 35 亿年前，地球开始了早期生命的演化。细菌和蓝细菌这类单细胞原核生物通过进行光合作用开始改变大气、改变地球。光合作用起源于细菌。

在尚处于生命前夜的有机汤原始海洋中，可能熬出了叶绿素（或细菌叶绿素）的基础——含有 26 个 π 电子的高度共轭的卟啉环及一个能与之连接的长度约为 20 个 C 的烷链。这种卟啉分子既能通过共振传递光能，又能传递电子。这类天生的“感光分子”似乎秉承量子叠加态和量子纠缠等能耐，与生

俱来就具有通过光来改造与衍生自我的化学潜能——只要有光能的激发，这些分子就会反复地产生，并在无数次偶然的相互碰撞中试探反应与利用能量的新组合，通过不断的方向性筛选，加上宇宙的自组织能力，终于探寻到通向叶绿素分子诞生的成功之旅。

叶绿素分子含有一个卟啉环的“头部”和一个叶绿醇的“尾巴”。卟啉环的功能是光吸收；叶绿醇是亲脂的脂肪族链，决定了叶绿素分子的脂溶性。叶绿素吸收大部分的红光和紫光但反射绿光，所以叶绿素呈现绿色，光能被叶绿素吸收并将叶绿素离子化。产生的化学能被暂时储存在三磷酸腺苷（ATP）中，并最终将二氧化碳和水转化为碳水化合物和氧气。光合作用就是指绿色植物通过叶绿体，把光能用二氧化碳和水转化成化学能，储存在有机物中，并且释放出氧的过程。

光合细菌的出现使大气中的氧气含量逐步上升，氧气比例的上升使其他细菌能够利用氧气并通过有氧呼吸释放能量满足自身的需要，这种获取能量的方式较古细菌更为有效。

太古代时期的原核单细胞生物开始迅速繁衍并多样化。但单细胞原核生物还没有由核膜包裹的典型细胞核结构，它们的遗传物质散乱地分布在细胞中。含有真核（被核膜包围的核）的真核细胞终于出现。关于真核细胞的起源，内共生说认为侵入细菌和原核细胞形成了共生关系。如好氧细菌侵入原核细胞，从宿主中获取营养和安全，同时又为宿主提供其必需的能量。这种关系增加了细胞的竞争力，使其可以适应更多的生存环境。在长期互利共生中，好氧细菌逐渐演变形成了线粒体。再如，光合细菌侵入原核细胞，通过光合作用为宿主细胞提供必需的能量，在长期的共生中演化为叶绿体。压缩和结构化假说认为在真核细胞的有丝分裂过程中，与组蛋白耦联的DNA分子的压缩能力是十分惊人的（DNA分子被压缩了8400倍）。细胞核源自原核细胞基因组的大型化（包括DNA的复制错误或多倍化、侧向基因转移方式、内共生融合等）。秩序化是通过细胞内部的模块化得以实现。

具核膜的细胞就是细胞有真正的细胞核，称为真核细胞（Eukaryotic Cell）。除细菌和蓝藻植物的细胞以外，所有的动物细胞以及植物细胞都属于