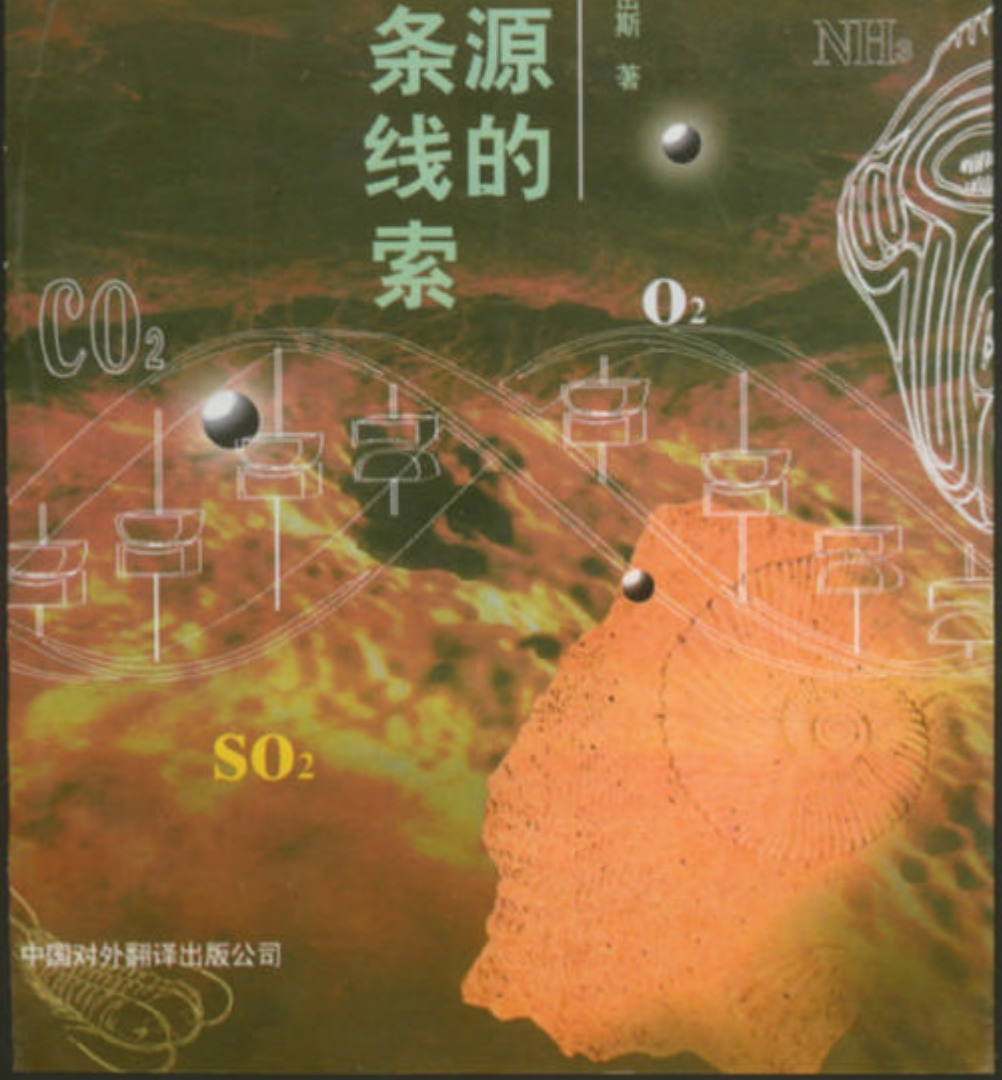
生命起源的七条线索

[英] A·G·凯恩斯·史密斯 著



中国对外翻译出版公司

脱氧核糖核酸及核糖核酸的组成单位

脱氧核糖核酸由四种核苷酸分子合成。下面所表示的是在其中一种核苷酸分子中原子相互连结的方式：

上图所示的核苷酸分子可被看作由两半组成：一半是“字母段”（在右边用粗线条和粗体印刷字母表示），另一半则为“连接段”(位于图的左边）。这四种脱氧核糖核酸核苷酸的连接段全都相同，但其字母段却不同。它们的字母段或者是上图所示的腺嘌呤（A），或者是下图中所示的鸟嘌呤（G），或胸腺嘧啶（T），或胞核嘧啶（C）。

要合成一条脱氧核糖核酸链，核苷酸单位连接段中的磷原子（左上角）必须与其它核苷酸单位的氧原子（左下角）相连接。实际上水分子必须被挤出，分成两部分：氢氧根 OH 离开顶部，H（氢原子）则离开底部，就像图中所示那样。（这是为了使适当的按扣处于释放状态。）

在实践中，除非先给核苷酸单位“上发条”或者使它们具有易感性，否则，它们无法以这种方式相互连接在一起。给核苷酸单位“上发条”或使其具有易感性可通过用别的东西取代氢氧根 OH 来实现。这种取代 OH 的东西是一短串附加的磷原子和氧原子，这种东西的分裂比 OH 要容易得多。下图所示则是四种具有易感性的脱氧核糖核酸核苷酸的结构：

组成核糖核酸的四种核苷酸与脱氧核糖核酸核苷酸之间的区别仅在于它们的连接段有些许不同（核糖核酸核苷酸的连接段中多一个氧原子）以及脱氧核糖核酸核苷酸中的胸腺嘧啶在核糖核酸核苷酸中少了 CH_3，被称作尿嘧啶（U）。

蛋白质组成单位

下图所示是 20 种蛋白质氨基酸中的三种：

氨基酸也像核苷酸一样，可被看作由连接段（氨基酸单位的连接段相当小）与字母段（种类繁多）组成。氨基酸单位相互连接的方式也类似，其连接的正式程序也要求将水分子分裂成 OH 和 H（就像上图所示那样）。同样，在实际中只有当氨基酸单位先具有易感性之后连接才能进行，但使氨基酸具有易感性的过程在这种情况下要更为复杂。

高岭石晶体层

后边的图所代表的是高岭石晶体中的一个晶体层的很小一部分（约相当于这个晶体层的一百万分之一）。一个高岭石晶体由成千上万个晶体层组成（即使这样一个高岭石晶体仍需放大 100 倍才能为肉眼所视）。

为了使读者了解这个晶体层的结构，图中的原子的大小显得比它们之间的距离要小得多。图中的线条表示共价键。这个晶体层由五个不同层次的原

子组成（不包括氢原子）。最上层为氢氧根族（每个氧原子上附着一个氢原子）。这些氢氧根族在图中用粗线条画成的靶心表示。往下一层为铝原子（用很小的白圈表示），在这一层下边则是由简单的氧原子（用较大的白圈表示）和另一些氢氧根组成的混合原子层。再往下则是硅原子层（硅原子用很小的黑圆表示），硅原子下边则又是一层纯氧原子（用画得较淡的白圈表示）。

如果观察细致，你会发现一个硅原子周围总是有四个氧原子，而一个铝原子则总是被六个氧原子包围。因此，可以认为硅原子在晶体中占据四面格位，铝原子占据六面格位，如果你再仔细观察一下，你还会发现，铝原子的晶格中只有三分之二是满格，三分之一为空穴（空穴之一在图中用虚线表示），所有空穴与硅原子和空穴下的氧原子组成的六角形底衬晶格处于同一角度。如果此时你的眼睛还没有形成严重的内斜视，那么，你就会发现，这个方向角在时钟上表示为“1点整”。它同样可以被画成“5点整”或“9点整”。方向是哪一种并不十分重要，最重要的是这种复杂的原子分布图具有方向。这是高岭石晶体层中一个不太明显的非对称现象，我在本书中将这种现象称作高岭石层形结构中的“箭头”。这种箭头所指可以是三个不同方向中的一个。

高岭石层形结构可用下表概述：

层次	
1	氢氧根
2（六面场地）	铝原子与空场地（2：1）
3	氧原子与氢氧根（2：1）
4（四面场地）	硅原子
5	氧原子

上表所概述的实际上是一个侧面图。高岭石晶体中各层之间的结合牢固。一种特大的辅助力作用于顶层的氢氧根与底层的氧原子之间，将它们紧紧地拉在一起。

（完美的）白云母晶体层

白云母层形结构侧面图：

层次	
1	氧原子
2（四面场地）	硅原子与铝原子（3：1）
3	氧原子与氢氧根（2：1）
4（六面场地）	铝原子与空场地（2：1）
5	氧原子与氢氧根（2：1）
6（四面场地）	硅原子与铝原子（3：1）
7	氧原子

正如我们在本书的正文中讨论过的那样，在上表所示的白云母层形结构中，铝原子取代硅原子占据四面格位，从而使这种晶体层带有大量负电荷。一个云母晶体由一叠这样的晶体层组成，各层之间由一层（带正电荷的）钾离子将其紧紧拉在一起。

粘土晶体组成单位

粘土矿物从很稀的溶液中生成。这种溶液的组成单位总是包括硅酸：

上图将图中的氢原子略去后可用下图表示：

这些组成单位可连接起来，并在连接过程中将水分子挤出：

这种连接容易形成，同样也容易拆开。这意味着连接过程具有可逆性。然而，在这种过程中形成及断开的键却是强有力的共价键。在这些似乎矛盾的陈述的后面还隐藏着一个秘密。这就是交换。如果一个牢固的键可以通过水分子的适当增减换成另一个键，那么这种键的性质实际上相当不稳定。然而，一旦这些键脱离与水的接触并被晶体深深包藏其中，它们就不再容易形成或断裂而变得比较稳定。

合成粘土晶体所需的其它物质单位包括水合金属离子。这是一些带正电荷的金属离子，其周围通常有六个水分子。如果先不去理睬这种金属离子所带的电荷，那么，这种离子的结构可用下图表示：

这些水合金属离子同样能够以一种可逆方式相互连接，从而合成较大的结合牢固的结构，如图所示：

或者，硅酸单位可能与水合金属离子相连接，如图所示：

粘土晶体的组成单位不断相互连接，已形成的连接又不断地断裂。这种连接和断裂过程为找到一种特别稳定的结合方式提供了可能。这种特别稳定的结构一旦形成就会继续存在下去。（这是任何一种结晶过程均具有的典型特征。）高岭石和云母类晶体层所代表的就是这样一些特别稳定的结构。一个粘土晶体的自行合成需经过无数次连接和断裂，即使是最小的粘土晶体也是如此。

前言

“奇怪呀，华生，非常奇怪！”

面对一个看来棘手的难题，应当从何下手？是循着笛卡尔[1]倡导的方法入手呢，还是应该按照福尔摩斯探索的方式行事？是否应该从容易理解的部分入手，逐步深入，即如笛卡尔所说的那样，“从最简单、最浅显易懂处开始，由简入繁，由浅入深，一点一点地积累，最后弄通最复杂的部分？”笛卡尔倡导的方法听起来不错，在整体上说，现代科学接受了他的忠告。然而，这种有条不紊、逐步深入的方法并非时时都能奏效。按照这种方法走出的最初几步有时可能将你引入迷途，令你茫然不知身置何处。因此，有时候你需要的不是笛卡尔的忠告而是福尔摩斯的指点。

你知道，福尔摩斯在探查一个案件时首先不是去搜集那些明显的线索而是积极地寻找出案件中那些似乎不可理解的特征，福尔摩斯将它们称之为‘奇怪的’特征。这些特征可以为你指示路径，告诉你所要处理的是何种类型的问题。假如你能想象在门窗紧闭的情况下谋杀究竟会如何发生，或者假如你能推断到底是为了什么窃贼竟然将铃弄响，将自己暴露在房间之内，那么，整个案件也许就已被你侦破。

我以为生命的起源就是一个福尔摩斯式问题，这就是说，如果我们能够推断出生命究竟会是怎样开始的，那么我们就可以确定，至少可以大体上确定，生命实际上是如何发源的。

本书用了大量篇幅寻找出有关地球上生命的起源一案中的难点，并使之尽可能裸露。这样做不是为了说明这一问题的难度从而放弃尝试并说“瞧，这一切简直不可能解答”。完全不是出于这样的目的。难点找出后，不管是对是错，我们都将假定地球上生命的形成确实起自于“自然的原因”。我们寻找难点是为了尽可能看清楚问题的实质，以便找到解决问题的关键所在。

《生命起源的七条线索》一书源自于一个念头，即把我写的一本名为《遗传接替》的书改写成以一般读者为对象的科普读物的想法。这本科普读物只用了少量的技术名词和图表，其篇幅也比原书要短得多，且书中不附录引用资料的出处。既然有关生命起源的问题不管怎样说都是一个需要用侦探方式解决的问题，因此我想用写侦探故事的风格来写这本新书必将有趣得很。如果你愿意，你可将此书当做侦探故事来读，在读的过程中尝试对故事的离奇结局做一预测，结局将从第 10 章左右开始出现。

此外，在阅读此书过程中还有大量的其它方面的问题供你思考。例如，真正的难点是什么？哪些是主要嫌疑者？哪些是为转移注意力而加上的不相干的东西？什么是最佳线索？（或者说作者认为它们是什么？）我在书中选择了七条最佳线索，这些线索撒在故事发展的不同阶段。在本书最后一章，这些线索均将全部予以明确列举。

我决定在书中不附录所引资料的出处是因为：1.一般读者对何人何时做了何事不会特别感兴趣；2.行家对此早已通晓；3.我已写过一本相同内容的书，书中附录有大量的引文出处和参考资料。鉴此，本书对名人显要只在有关各处简单地提了一提。对于一般读者，我仅需要强调的是，书中决非所有

---

[1] 笛卡尔（1596—1650），法国哲学家、自然科学家、解析几何学的奠基人。

概念均为创新思想，即使是那些带点创新意味的概念也是从原来的概念发展而来；书中的知识背景总使人想要推究我们的出身，这些知识背景全部以他人的多次试验和观察所获的结果为依据。还有，概念的形成、发展或推陈出新均为多年来与同事和朋友无数次商讨的结果。

在这里，我要特别感谢那些通过阅读此书原稿以及同我展开讨论，从而对此书的形成给予了积极帮助的人们。他们包括保罗·布拉特曼，科林·布朗，罗杰·布伊克，杰克·科恩，约翰·弗里尔，萨利·吉布森，海曼·哈特曼，凯尔文·泰勒以及我的妻子多萝西·安妮和我的儿子亚当。此外，我还要感谢珍妮特·麦金太尔和我的女儿萨拉，她们通过各种电子手段将此书原稿变成了打印件。

格拉厄姆·凯恩斯-史密斯

1984 年春于格拉斯哥

“科学与人译丛”出版说明

英国著名科学专栏作家布赖恩·阿普尔亚德在其《理解现在——科学与现代人的灵魂》一书中有这样一段话：

“1609 年，加利莱奥·伽利略使用一架望远镜观看月亮。这一时刻，对世界的意义如此重大，以至人们将它与耶稣的诞生相提并论。因为，就像在伯利恒，自这一时刻，人类生活中的不可能成为可能。”

阿普尔亚德据此将科学划分为伽利略之前的科学，或称“智慧”，以及从 1609 年开始的现代科学。前一科学建立在推理基础上，后一科学建立在观察与实验基础上。经过如此划分，我们习以为常的科学，竟然只有 400 年的历史。

但人类就在这 400 年内经历了飞速发展。

我们有了蒸汽机，有了轮船，有了电话、电报，有了飞机、火箭，有了电视、电脑、互联网络，我们还有重力场理论、元素周期表、量子力学、相对论乃至被称为“自然中最基本物体”的超弦。工业革命、农业革命、信息革命使人类的社会生活发生了前人难以想象的变化。

人类改造了自然，也改造了人类自己。回顾这一切，人类完全有理由感到自豪。因为，人类就像上帝，也有自己的“创世纪”。人说，要有科学，就有了科学。科学是好的，它行之有效。

然而，“创世纪”中写道“到第七日，上帝造物的工已经完毕，就在第七日歇了他一切的工，安息了”。而人类的工却没有完毕，400 年后的今天仍然不能安息。

就像有光必有影，人在发现、发明、创造、拥有上述一切的同时，还得到了原子弹、氢弹、核泄漏、酸雨、温室效应、臭氧层空洞乃至伴随科学技术而来的种种风险。

人类曾以为已找到了通往自由王国的必由之路，他将乘着科学的飞船，摆脱一切束缚，重新确立自己在宇宙中的位置。但在科学爆炸的二十世纪，人类终于开始反思：

科学行之有效，但它是否就是真理？

为此，我们编辑了这套《科学与人译丛》，陆续分辑推出。其中，有对信息崇拜的批判，有对生命起源的求索，有对技术所导致风险的分析，有对世界最新科学动态和研究方向的展望。数学家用对策论证明，完全的民主实际上并无可能；物理学家提出全新的超弦理论，试图统一描述所有的力、物质的所有基本粒子和时空，继量子力学和相对论之后，成为“第三次物理学革命的重要标志”……《译丛》汇集了物理学家、数学家、生物学家、天文学家、哲学家、人类学家、伦理学家……自本世纪后半期、尤其是在本世纪末打通自然科学与社会科学之间的隔膜，对科学这一决定人类命运的工具的深刻思索。通过这套丛书，我们期望读者可以对科学的现状、科学的未来、科学的正面与负面效应，有一个较为全面的了解，更好地认识科学、掌握科学、利用科学。

中国对外翻译出版公司

1997 年 2 月

第一章　询问

“福尔摩斯先生，你看这个谜有解开的希望吗？”她问道，问话中带有一丝严厉的口吻。

“哦，这个谜！”他回应着，思绪开始回到现实中来。“是的，这是一个非常复杂、深奥难解的案件。否认这一点是荒谬的。不过，我可以向您保证，我会调查此事，而且如果有所发现，我会让您知道。”

“你找到线索了吗？”

“您已经为我提供了七条。当然我必须对这些线索进行检验，然后才能对它们的价值做出评价。”

“你怀疑某个人吗？”

“我怀疑我自己。”

“什么！”

“我怀疑我会过快地得出结论。”

“进化”是生物学中一个基本概念。无论报界对有关“进化”概念引起的争论如何报道，实际上，生物学家并没有在这个问题上苦苦纠缠。人们对进化如何发生以及进化有多快等问题也许还在争论，但进化已实际发生这一点几乎已无人再提出争议。目前地球上形形色色的生物均从一个共同的祖先进化而来。这种观点的可靠性不是由单一论证所确定而是由生物学家的日常经验所证明。生物学家做了无数次细致的和一般的观察，所得结果均与这种观点相符合。生物学家对生命的相关性进行全面审视的过程把生物学变成了一门连贯的学科。生物学完全成为了一门研究进化因果的学问。在这个意义上，有关生命起源的问题首先是一个有关进化起源的问题。

用这种呆板的方式叙述问题并非要否定有关地球上生命的起源这一问题的深奥和复杂性。有关这一问题的线索很多，远不止福尔摩斯所掌握的七条。然而这些线索并不是和问题直接相关，而那些最为明显的又不一定是最重要的。因此，我们将对其中许多线索进行推理检验，找出并剔除一些不相干的线索，同时避免过快地形成结论。这样一来，七条显得特别有用的线索就将呈现出来，这些线索所提出的有关生命的起源的全部观点也将公之于众。

在我们能够真正开始对这一问题进行探讨之前，一些词汇所表达的概念必须先弄清楚。首先我们来看看“生命”这个词。

我从词典里查到，生命是介于出生与死亡之间的阶段。但是，这种释义却不是我想要讨论的。本书也像《地球上的生命》一书一样，所要讨论的是作为一种现象的生命。生命是一种特性，为人、霉菌和金盏花所共有，这是一种相当模糊的特性，虽然在多数情况下显而易见，但遗憾的是，要给它做一限定却又特别困难。

我倾向于认为“生命”这个词具有模糊且不能限定的性质，但它总是以某种方式包容了一个笼统的概念。柯尔律治给“生命”下了这样的定义：“我以为生命是……一个整体，这个整体是各个部分存在的先决条件。”我们有关生物的印象来自于生物具有的内在的独创性以及按照一定目的设计和组合起来的外表。我们可以把生物看作是一种自然发生的机制。我们还知道一个生物的目的是生存、竞争和繁衍。

必须承认，柯尔律治想要寻找的是某种比机制更具想象力的东西，即某

种特别神奇的聚合力，或者说生命的某种本性，某种使生物区别于非生物的本质的魔力。这就是我们所说的生机论。生机论是一种已被正式宣布过时了的理论。然而一些受人尊敬的科学家，其中大部分为物理学家，似乎仍然认为“生命”不止是一种机制。他们将寻找一种意义深远的区分生物与非生物的分界线。不管怎么说，有一种假设很具诱惑力。这种假设说，如果生命实际上不是源自某种超自然的东西，那么它至少应该是源自某种发生概率极低的非常事件，即从死到生的飞跃，这样一来，有关生命的起源就附上了魔力的痕迹。

我更倾向于赞同一种相反的看法。目前持这种看法的人已居多数。这就是假定达尔文创立的驱魔说可以继续用于对生命起源的探讨。

达尔文劝说我们相信，生物具有的似乎带有目的性的结构通常可以，也许总是可以，归结于自然选择作用的结果。假设你拥有某种具有繁衍同类能力的生物；假设这种生物繁衍的后代有时会出现一些不规则的变异；假设这种变异可以遗传；假设其中某些变异可给物主带来好处；假设在这些具有繁衍能力的实体之间存在竞争，即假设繁衍的后代过多因而不是所有的后代皆能存活到本身也具有繁衍后代能力的时候；那么，这些实体繁衍后代的能力就会有所改善。在这样的环境中，大自然起的是选择物种的作用，物种因此不能不对自身加以改善。

由此可见，自然选择比“适者生存”的涵义要广，它的涵义还包括前面提到的那些假设。然而，自然选择仅仅是进化机制的一个组成部分。任何试图解释生物的多样性和复杂性的理论都必须同时将由已变化的和正起变化的环境形成的已变化的和变化之中的挑战考虑进去。作为物种的培育者和物种竞争的裁判，大自然在选择应授予头奖的物种时总是不断改变主意。天择的不断变化所形成的压力是大自然具有的创造力的一个重要部分。

尽管如此，自然选择仍然是进化的一个关键性因素，是一个必不可少的条件。离开自然选择，生物甚至无法适应已经给定的环境，更不用说去适应新的环境。离开自然选择，有关生命形成的整个过程根本就不可能开始。如此说来，我们把那种我们称之为“生命”的生物内在的独创性放在进化中去讨论就显得比较容易。这就是说，**生命是进化的产物**。

既然如此，生命就不是某种会突然出现的绝对的属性，生命应是在进化初期以渐进方式出现；在最初符合前面提到的那些假设情况的最初的进化实体和后来的进化实体之间并没有严格的分界线。没有谁会去关心这两者之间究竟有什么区别。当你能够弄明白进化过程中发生的事情时，你就会对区分最初的进化实体和后来的进化实体失去兴趣。就像我在前文所说的那样，“生命”是一个模糊概念。我们最好还是停留于此。

然而且慢。你也许会说，按照这种解释，“生命”岂不是不需要由生物来产生了吗？

是的。进化所需的是自然选择，而自然选择所需的则是符合前面提及的那些假设情况的东西。用于这种解释的法则中没有任何法则说明自然选择所需的东西必须是“有生命的”东西。现在，我们形成了一个奇特的看法，之所以如此是因为我们知道的**所有能够进化的东西都已经进化**。

至此，我们所要探讨的问题应从何入手这一点已再清楚不过：如果我们想要弄清楚生命的起源，弄清楚生命会怎样逐渐出现，我们首先必须弄清楚进化的起源。我们首先必须找到那些能够进化但尚未进化的东西。如果这样

的东西在进化最初开始时确实存在，那么类似的东西现在也应该仍能找到或能被造出。

能够在进化的范畴内予以确定的另一个词叫有机物。有机物是进化的参与者。为论述方便起见，讲得更具体一点就是，有机物是进化的必要条件。我们刚才讨论的那些最早能够进化的东西在当时不会是“活的”，但它们却仍然会是有机物。

在对进化发生的方式以及有机物如何繁衍和如何将其本身特征传给后代的方式有了一个基本的了解之后，有关生命起源这一问题中最难弄清楚的难点原则上看起来似乎已经解决。至本世纪中叶，一些生物化学家和其他科学工作者就已感觉到，某些在显微镜下呈现为无特定结构的松散一团的细菌和比它们更小的分子集结体之间可能仅有一道小小的裂口，后者可能就是最早进入进化的有机物。

在 50 年代初期，人们对有关生命起源的研究充满了乐观。当时科学家突然发现了遗传的分子基础。此外，人们对地球的原始环境的研究得出的占主导地位的看法表明有关这种分子系统的组成部分在当时曾无处不在。早期地球上的大气层据认为与目前木星上的大气层相似，主要也是由氢、甲烷和氨等气体组成。事实证明，目前在所有有机物中发现的某些氨基酸用这些气体很容易就可以合成。既然合成了这种氨基酸，总会有机会合成其它氨基酸，而且在这个过程中说不定还可以发现某些可能会减少合成所需运气的特殊效应。

这种乐观主义可见于许多基础学课本。有时，人们甚至对生命的起源这一问题也产生了某种厌倦，好像这一问题之所以难解完全是因为视野模糊不清，即现在难以弄清楚发生在远古时期的事件的细节。

如果这一问题果真变成这样，那未免就太遗憾了。幸而没有。有关生命的起源这个问题依然是桩疑案（即舍洛克·福尔摩斯很感兴趣的那类案子）。例如，进化究竟会以何种方式发生，我们非但说不出很多方式，似乎连一种方式也说不清楚。这桩疑案的独特特征存在于根据我们的知识所能设想的最简单的有机物与地球据理而论能够生成的这种有机物的组成部分之间的裂口之中。现在这道裂口可以看得更清楚了。这是一道鸿沟。

三个主要事实

至此，有关生命的起源这桩疑案中的一个最为明显突出的事实已为读者所知：

事实一：地球上存在生命

地球上存在各种形态的生命，这一点已是显而易见。然而，生命呈现的千形百态从生物化学上说多多少少都是属于一种表面现象，这一点却不是那么明显了。假如你能借助高倍放大镜来观察，你就会发现，地球上的生命实际上只有一种。所有有机物的中央系统均由同样一组微型部件，即由同样一组小分子构造而成。于是，我们又得到了一个事实。

事实二：所有已知生物本质上相同

但是，引起烦恼的却是另一个事实，即

事实三：所有已知生物均非常复杂

用于建造有机物中央系统的微型部件中有些本身就是非常简单的分子。

事实也许如此。然而，这些非常简单的分子却以一种既高度复杂而又组织得十分得法的方式开展协作。这种协作也许可以解释为一种进化的产物而不去加以深究（任何东西在开始进化时与进化后相比自然要简单得多）。但真正的烦恼却已出现，这是因为这种高度复杂性的很大一部分为有机物的活动方式所必需。我们所讨论的生命是一种“高技术”。即使在那些关键的微型部件中，有些部件也决不是轻而易举就能制造出来的。我们将在后文继续讨论第三个事实带来的困惑。

时间与环境问题

地球已存在 45 亿年，这个说法是相当可靠的。有关许多古老岩石的年代的说法也同样可靠。这些岩石在很久以前就已存在。在格陵兰岛就有存在了 38 亿年的古老岩石。然而要给这些古老岩石中最早出现的生命迹象标明（或确定）年代却非易事。尽管如此，目前已有证据可有力地证明，至少在 28 亿年以前地球上就已有某种微生物存在。这是一个比较保守的估计。多数专家都说目前已有相当多的证据表明在 35 亿年以前地球上即已有生命存在，少数专家则认为地球上的生命出现的时间比这还要早，可追溯至 38 亿年以前。

在这些证据中，最为直接的证据包括两个方面。其一：在许多古老岩石、包括已存在 35 亿年之久的澳洲岩石中，均存在有非常奇巧的大型结构物，这种结构物与现今由大量微生物形成的叠层岩极为相似。其二：在古老岩石中还发现有些东西看上去像是由微生物本身形成的化石。

追溯地球生命起源的年代，最早可能出现生命的日期是由地球本身的年龄确定的，然而从月球以及其它星球上获得的证据却表明地球在大约 40 亿年前曾被巨大的陨星体撞击。因此，地球上的生命最早出现的年代应是 40 亿年而不是 45 亿年以前。前文提及的“28 亿年前”那个比较保守的估计有可能随着新的证据的发现而向前推移。因此，两者之间的差距将会缩小。但在目前阶段，我们可以赞同生命起源于 45 亿年（或晚一些）至 28 亿年（或早一些）这一时间范围。

当地球上开始出现生命时，当时的环境会是怎样？有关这一点，我们获得的最有力的证据来自格陵兰岩石。格凌兰岩石已存在 38 亿年之久，这个年代正好在我们得到的关于生命起源的时间范围之内。岩石本身所描绘的地球的环境与现在的情况并没有截然的不同。这种岩石曾作为沉积物沉于水底之中，由此可以推测当时地球上也有陆地，这样才可能有陆上物质沉于水中，形成沉积物。格陵兰岩石中含有碳酸盐，由此也可以推测，当时地球上的大气层中含有二氧化碳。此外，这种岩石中还有含铁的沉积物，这种沉积物通常只有当空气中没有游离氧或游离氧极少时方能形成。还有，早期的大气中还有氮；也像现在一样，氮也是当时大气中的主要成分，这是一种带普遍性的推论。

有一种观点认为早期地球上的大气层就像目前木星的大气层一样充满了甲烷、氨等气体。但这种说法从古老的岩石中却找不出证据。因此，无论在地质学家还是在地质化学家或天文学家中，目前这种观点已没有多少人赞同。

最后，让我们大致地看看在对有关生命的起源这桩疑案的探索上存在的四种态度。这四种态度各走极端，但都倾向于说明同一点，即继续探索没有

意义。

规律被打破了吗？

在已知与未知之间插入奇迹，以此作为桥梁沟通未知世界，这就是所谓奇迹论。这是一种徒劳无功的方法。一些最终可以解释的问题刚开始时却常常显得令人困惑。1000 年前又有谁能想到，人类会认识原子的大小，会发现地球的年龄？舍洛克·福尔摩斯探查的案件总是使可怜的华生医生困惑不已，就像一场精彩的魔术表演也会使我们全都迷惑一样。如果认为对某种现象无法做出符合自然规律的解释因此就必须寻找一种超自然的解释，那么，这种看法未免贻笑大方。鉴于过去许多科学上的难解之谜现在均已一一解开，因此对某些现在无法做出自然解释的现象不去推测其自然原因必须有非常清楚的理由。所以我们还是不要说规律已被打破。

发生了反常事件？

我们已在前面提及这种看法。这种看法认为，假如宇宙在时间和空间均是无限的，那么，任何有限概率的事件都会发生（且会发生无数次）。按照这个推理，地球上最早的有机物的出现很可能是一种偶然现象。除了地球以外，宇宙中其它地方尚未发现有生命，这一点可用来作为支撑这种看法的佐证。这种看法是奇迹论的另一种表述，只不过这种表述的方式比奇迹论要科学一些，因而受到尊重。但它也和奇迹论一样，按照这种看法去探索生命的起源也不会有结果。如果生命可以在没有反常事件的情况下出现，那么，这正是生命会借以出现的方式。

是上帝预做的安排？

有关生命的起源，还有一种观点。这种观点由布兰登·卡特创立，被称作“ 人类的原则 ”。这种观点认为，我们一定是在一个能够产生生命、使我们的存在成为可能的星系。因此我们目前所处的银河系很可能是从无数个星系中挑选出来的奇特的星系。或者有人也许会说，这是上帝特意造出来的。按照这种观点，大自然的法则和恒量以及银河系的最初状态实际上都是为了能够产生有意识的生命而预做的安排。也许是这样吧。但是这种观点也和前面提到的反常事件论一样，它同样无法为我们的探索提供一条摆脱困境的出路。因此，无论我们所处的星系会是如何的超自然，我们应该寻找那种生命借以产生的最有可能的方式。

是外界所为？

也许生命并非从地球开始，而是源自于从其它地方来到地球的某种种子。

曾获诺贝尔化学奖的瑞典化学家阿雷尼乌斯在本世纪初曾做过这样的推测：光波产生的压力可能会将孢子从一个星系推向另一个星系。此外，有人也曾推测陨星可能是孢子做星际旅行的载体，这样，埋在陨星中的孢子在旅

途中方可能免遭辐射的毁灭性打击。

还有一些实际问题需要回答，例如孢子在经过这样的旅行之后事实上是否还能生存下来，以及它们是否能够找到一个适合它们继续生存下去的地点，等等。此外，这种观点还有一个缺陷，即它转移了我们所要讨论的问题。我们至少知道生命可以在地球上生存和繁衍，凭此而论，作为一个想象中的生命起源之地，地球似乎并不比其它任何地方逊色。

往近说，霍伊尔与威克拉马辛格曾经推测：在广阔无垠的星际空间，那里的环境也许格外适合生命的产生。星际空间中也许到处是孢子，这些孢子从未在任何星球上存在过。尽管如此，这些生于太空的有机物却也许能够侵染像地球这样的星球。这种推测认为太空也许是进化最早产生的更为适合的地点，这样一来话题则扯得更远。而且，这种解释一点也不清楚。此外，在太空中进化而来的有机物在一个星球表面所具有的完全不同的环境中如何能够生存下来，这一点也不清楚。还有一种观点认为，彗星或陨星也许是进化起源之地。这种看法也同样既具有诱惑力，也充满了暗礁。

英国生物物理学家克里克和奥热尔却考虑过另一种观点，即所谓有生源说。按照这种观点，也许我们本身就是某些其它高等生物所做的一个研究项目的产物；也许在遥远的过去某个时期，这些高等生物曾特意在地球播下了种子。这种观点同样将问题转移了，因为这样一来，所要讨论的问题就变成：这些高等生物又是怎样进化而来的？

裁　　决

目前我无法否定以下各种可能性：地球上的生命可能源自于奇迹，或反常事件或外部侵染。我赞同这样一种看法：即 50 年代设想生命起源答案时的那种错误把握，会再次出现在某些回答有机物活动方式问题的注释里。要解答有关生命的起源这一问题还需寻找其它线索，一些奇特的线索。

在目前这个时候，对前文提到的那些推测，要说出哪些比较合理而哪些则显得离谱确实比较困难。目前，我们需要找出探索的方向。假如我们想认真探查下去，我们就必须排除一些路径。因此，我对这一调查所做的结论可以被看作仅仅是一种比较实际的观点，至少在现阶段可以这样认为。我的结论是：生命在 30 亿年至 40 亿年前因自然原因在地球上产生。在现阶段，这种结论是一种非常陈腐的观点。尽管如此，有关生命起源这桩疑案中的那些奇特特征，即横在进化开始与未开始之间的那道鸿沟，却将引导我们最终得出一种与一般常见的观点完全不同的看法。

“当然，如果莫蒂默的推测正确，如果我们正在对付的是一些不受大自然的一般规律管束的力量，我们的调查也就到头了。不过，在证明这一假设之前，我们决心先对其它所有假设一一求证。”

第二章　信息，信息

“什么是这一连串事件的开端？这根缠成一团的线的终端就在那里。”

一根线将我们与我们最早的祖先——一些存在于原始地球但尚未有生命的有机物，连在了一起。毫无疑问，这是一根头绪不清的线。然而，这根线究竟是什么东西？在有机物演替过程中这种连接的性质又是什么？

所有有机物本身都有一个仓库，用来存储被称之为遗传信息的东西。遗传信息是一组指令，用来规范和此种有机物具有共同表型的一类有机物的构造和生存。我将把有机物的遗传信息库称作该有机物的图书馆。例如，人的图书馆中的藏书由一组有关构造和功能指南的手册组成，这组手册相当于一个 100 万页的合订本。比较简单的有机物，例如细菌，其“图书馆”容纳的信息量要小得多，例如说，只相当于 1000 来个书页。但即使如此，那也仍然是一本分量不轻的手册。

这种比喻意义上的书本中每一页都密密麻麻地印满了符号，这些符号总共只有四种。我们可以假设这些符号是 ABCD 四种字母，这些字母一行接一行、一页接一页印在书中。但是，这些字母的排列次序却看不出有多少道理。诚然，没有明显的次序则为一种符号序列可能在传递某种信息提供了可能性。有人推测某些“图书馆”，例如人的“图书馆”中的符号只要稍加编辑，这种符号的排列方式也许就传递了某种信息。尽管这一点仍然只是一种猜想，但另一种看法却已无人提出疑问，即如果不是大部分至少也有许多字母排列方式确实包含了某种信息。这些信息中有许多已被破译。

一种肉眼可见的有机物好比一座大房子，里面分隔成许多小隔间，这些小隔间就叫做细胞。构成有机物的细胞通常种类繁多，其功能也各自不同。我们的身体由皮肤、骨头、血、神经等材料组成，这些材料每一种都是由一些各具特性的细胞所构成。

在这种多细胞有机物中，其“图书馆”又位于何处？

答案是无处不在。除了少数例外情况，在多细胞有机物中，每一个细胞都有一整套“图书馆”藏书。当这种有机物生长时，其细胞数目成倍增长。在这个过程中，有机物的中央“图书馆”中的全部藏书就不断地被新的细胞复制下来。

当一个细胞分裂成两个，而这两个新细胞将中央“图书馆”中的全部藏书予以复印时，这种藏书的确可在显微镜下看得比较清楚。就在细胞开始分裂前，一对一对的状似绳索的粗短线条式结构就会出现在显微镜中。这些两根一组的带子的一部似乎被夹在了一起。当细胞开始分裂时，这两根一组的带子也分成两根，分别走向分裂而成的两个新的细胞。这些带子每一根都是一本指令手册，“图书馆”中众多藏书中的一本。两根带于是同一本指令手册的复制品。很显然，这是一个进行相同分裂系统的全部内容。

人的“图书馆”中有 46 本这种状似带子的书籍。这种书籍叫做染色体。它们并非全属同一规格，其中一般规格的相当于两万页左右。

当然，染色体事实上并非那种由书页组成的书。把染色体比作一条纸带比把它比作一本书更为接近，这种纸带上密密麻麻地印着四种字母，这些字母排成了长长的一串。假如你能将人的染色体上的符号打印在一条纸带上，这条纸带将长达 150 公里。无论你怎么看，这都是一卷长书。（设想一下，

假如在刮风天阅读这样一卷书将会是怎样的感受……）

尽管染色体本身看起来也许是一种细长的东西，但它包含的信息带却仍要比它本身长很多很多。这种染色体中的信息带细得不能再细，它在染色体中卷了又卷，然而却一点也不乱，简直令人难以置信。这种很轻的信息带经常不断地受到周围分子的猛烈冲击，为抗住这种冲击，信息带必须排列整齐。（对细胞中那些微小成分来说，这种冲击犹如阵阵狂风。）

人是一个庞然大物。我们身体中的细胞有好几万亿个。我们的“ 图书馆 ”中的藏书复印件也差不多等于这个数目。每一个包含如此众多信息的细胞都享有一定的自主权。在比较大的有机物的组织结构中，细胞处在一个特别重要的地位。它的地位就类似于一个社会中的成员在这个社会中所具有的地位一样。我们可以把一个多细胞有机物看作是一个结构严谨的细胞社会。这样的有机物究竟是如何生成而又如何运转？关于这一点，我们仅有一个模糊的概念。尽管如此，我们至少可以知道，那种必须在细胞之间传递以维持细胞间协作的信息在原则上来说有可能相当简单，简单得就像那种“ 查阅某页，照指示行事 ”的信息指令一样。

非常荣幸，在我们考虑生命的起源这一问题时，有关细胞究竟怎样相互交流这一问题，我们大可不必去探究。然而，细胞的自主性质则是一个重要的概念。目前地球上的大部分有机物实际上都是单细胞有机物。这种有机物只有通过显微镜方可看到。那些我们倾向于看作是“ 地球上的生命 ”的东西则是一些用肉眼即可看到的有机物，这种有机物最初出现的时间离现在相对较近。就像前文曾指出的那样，单细胞有机物已在地球上生存了 28 亿年或更长时间，这一点可以得到有力的证明。然而，那种结构严谨的多细胞有机物的最初出现时间却要比单细胞有机物晚得多，似乎在七亿年以前才在地球上出现。

即使在单细胞有机物中，某些有机物的构造也要比另一些有机物复杂。最简单的独立生存的有机物就是细菌，我们对细菌知道得较多。人们想知道那些最早出现的有机物是不是可能和现在存在的细菌不一样，这是很自然的。因为我们毕竟知道进化的一般趋势是从简单向复杂发展。有鉴于此，对我们所知道的那些最简单的有机物做一次严格的审视不失为一种比较明智的态度。也许如此一来，我们就可以对我们理解中的那道鸿沟，即我们称之为“ 生命的起源问题 ”，做一个限定。

人们通常喜欢拿来讨论的一种生物叫做埃希氏大肠杆菌。这种细菌其实并非是最简单的，然而我们对它的了解却已相当多。美国生物学家沃森曾估计，这种细菌内发生的全部化学反应，我们大概已知其三分之一。这就相当多了。

大肠杆菌栖居在人的肠道之中，但如果能得到合适的营养物，它也能独立生存。只有某些细菌是寄生者。细菌正是在这方面区别于那些比它们更简单的“ 半有机物 ”，即病毒。病毒只能是寄生者，因此不可能会是生命的最初形态。

所谓“ 简单 ”只是相对而言。即使是病毒，它们也未必那么简单。至于大肠杆菌，无论以何种绝对标准判断，它都不简单，一点也不。

当然，根据我们的标准，大肠杆菌只是一种小生物。它只有千分之一毫米粗，五百分之一毫米长，自然算不上“ 庞然大物 ”。但如果从某一角度来看，它是庞大的。就其组成成分而言，它仍然是太庞大了。

大肠杆菌的“图书馆”大约相当于1000个书页，这说明了这种细菌构造的复杂性。假如我们把大肠杆菌的“图书馆”比作一卷印满了符号的纸带，这种类比也许更为贴切。这卷纸带伸展开来大约有10公里长。

此时，假如要说我们明白了有机物怎样活动，这也并不意味着我们弄清楚了有机物的“图书馆”中的大量信息是怎样传递出去的具体细节。就连埃希氏大肠杆菌的“图书馆”中那本书，我们也仅仅阅读和理解了其中一部分，更不用说我们人类的“图书馆”中所有那些书了。

是的。“图书馆”中的书读得越多，我们的理解才会越全面。目前，我们大体上了解机器为什么可以用我们所知道的有机物繁衍自身的方法复制自己。我们也知道这样的机器应该是一个什么样子。这证明了一个道理：即要造出这样的机器，无论用何种方法以及用何种材料，机器本身必须带有一个像信息带之类的东西。

请想一想：父母亲的一些特征为什么可以在子女身上重现？这种现象为什么会发生？这些特征为什么会一代一代不断地传下去，一直延续了千百万年？

比利继承了他父亲的眉毛。这句话的意思究竟是什么？比利的父亲对比利的形成所做的贡献是一个精子，但精子是没有眉毛的。因此，比利从他父亲那里继承的到底是什么东西？

这里需做两种区分。

首先，我们必须区分特征以及决定特征的东西。奥地利遗传学家孟德尔在19世纪60年代就曾认识到，对于人、猫或豌豆属植物，上一代必须传给下一代的不可能是实实在在的特征（例如人的身高和眉毛的形状，植物的花的颜色和其它特征等），而是一些实体，这些实体在有机物从最初的“种子”状态开始成长时可以某种方式把这些特征遗传下去。这些实体就叫做基因。

第二个区分就是物的继承与信息的继承之分。比利并不是像他可能有一天从父亲那里继承金表那样继承他父亲的眉毛。他继承的是一种秘决，比方说比利家是生产糖果的，太妃糖是其主要产品，也许有朝一日比利会继承生产太妃糖的秘诀，继承眉毛也是同一个道理。在生物学上，上一代传给下一代的既有实实在在的物也有看不见摸不着的信息。信息的继承比物的继承要重要得多。只有信息才能一代一代传下去，延续亿万年之久。

物与信息的区别实际上就是古已有之的“物质”与“方法”的区别。信息也许必须体现在某种物质之中，但却不等同于物质。这样的信息就是方法。它可以反复不断地复制，并且大体上说可以无限放大。一个信息经过了反复不断地复制再复制后还可以保存下来，但这种信息的载体却无一能够存留。

可以被复制的方法具有非同寻常的持久性，它比物质在某种意义上说要稳定得多。我们称之为贝多芬第五交响曲的那种复杂的抽象艺术不是轻而易举就能毁去的。假如你从报纸上看到这样的标题，如“大火烧毁了贝多芬第五交响曲第三乐章”或“著名交响曲的开头几节失窃”等，你会对这些报道的真实性产生怀疑。你的怀疑当然是有根据的，因为交响曲本身并不是一件东西，而这支交响曲的乐谱（意即指示如何表演的信息）却有很多，且这些乐谱如果有需要很容易就能复制。

通过不断地复制再复制而体现的持久性显然是有机物演替方式的一部分。有机物的繁衍本身即解释了有机物为何能够具有一种特别复杂的存在方式。对于其它任何实体来说，要想像有机物那样依靠其自身复杂的组成成分

之间那种复杂的相互依存的特性生存下去都是不可能的。某些东西或迟或早会遭受厄运，从而走向灭亡。一种方法如果仅仅是和一个具体的物质的东西联系在一起，这种方法当然很容易失传（《蒙娜丽莎》这幅巨作确实可以被火烧毁）。但对于具有复制自身能力的生物来说，这种危险却不存在。能够繁衍自身的生物其构造要想有多复杂即可以有多复杂。问题在于这种复杂性是否有利于后代的改善。这才是唯一的问题所在。至于有机物的这种复杂性如何形成则是另一回事。对有机物的复杂性是如何通过自然选择而形成这一问题，我们目前已开始有所了解，自然选择只适用于具有繁衍能力的生物。

同样，我们目前也开始能够明白有机物怎样繁衍。有机物通过复制那些详细说明其本身的信息，即那些代代相传的信息而繁衍。

然而，在一段比较短的时间内，信息却并非唯一的可继承的东西。除信息外还必须有物，哪怕仅有那些装载信息的书或纸带；它们也是物。当然，实际上要继承的东西远不止这些。纸带上的信息需要有东西能够将其识别并照此行事。要完成这一任务显然还需要一定数量的自动设备。我们可以设想一下自动化工厂的运转情形，自动化工厂中的各种机器都必须由一个磁盘将指令传给它们，这种机器则将指令转化为具体行动。因此，只要指令恰当，遵照指令就可造出产品。尽管如此，我们还需想到，具有自动制造能力的机器设备可以造出另一种崭新的自动制造机械。而在这一过程中，原先的机器中至少有一台则连同信息一道传给了新一代产品。

由此可见，当一个细胞分裂时，随着分裂的不仅仅是载有指令的书籍。在分裂而成的两个新细胞中除了染色体外还有其它的物质。很明显，这种附加的物质必须包括识别信息的设备和制造设备。

但信息所处的至高无上的地位却没有改变。细胞中的一切，包括所有那些自动制造设备，都在“图书馆”中的某一处有记载。如果在新细胞形成之前，这些信息中的某些信息碰巧需要加以识别并转化为行动，这只是一个时机选择问题，对长期结果不会有什么影响。从长远来说，经过多代相传，能够存留的只有信息。所有具体的东西，每一个原子集合体，每一件设备，每一个水分子，甚至每一条装载信息的纸带，最后都将毁灭或丢弃。只有信息存留。信息是一种方法，一种特定的方法，因此，只有信息本身才能够存留下来，它们才可能成为复制品的复制品的复制品……。

请不要小看细菌这种低级生物。它同样具有繁衍能力，同样可以进化。大肠杆菌一定具有某种长期记忆的功能，记得怎样复制自己，这种记忆功能比其物质形态要长久得多。这就是说，一个大肠杆菌本身就像一个自动化工厂，工厂里的东西有的好比是控制磁带，有的则好比是自动化制造设备，而这些只不过是工厂的一部分。所有设备必须能被工厂容纳，即必须有场地；此外还必须将设备组合起来并供给其原料，而供这些设备加工的工件以及供给设备动力的能源等等都须由大肠杆菌细胞提供。此外，除了那些能够遵循指令工作的自动化设备外，还必须有另外一种设备，一种能够将指令重印的设备。这种设备好比是一台复印机或一个磁带复制器。然而，所有这一切却必须由制造机械根据被称之为“图书馆”的信息带提供的恰当的指令生产出来。

早在 40 多年前,美国数学家诺伊曼就为制造一种具有自行复制自身能力的机器奠定了设计原理，但时至今日尚无人实际造出这样一台机器，不过，这种状况却似乎没有给人们带来多少惊讶。我们可以设想一下：一个行动发

出锤骼之声的机器人在原材料贮藏室转来转去，选择各种原料，试图造出另一个像它本身一样的机器人；这个贮藏室里的原料包括电线、金属板、空白磁带等等。第二天一早，贮藏室里却出现了两个同样的走路镀锵有声的机器人……这当然还只是一种设想，但从逻辑上说，这种设想描述的情况却是完全可能的。（有关这种设想的构图我留给读者自己。）

大肠杆菌自然不会像机器人那样发出铿锵之声，但它却就好比是这种可自行复制自身的机器人。它可以在仅有一些最简单的原料成分的贮藏室里自行复制自身。大肠杆菌的信息带如此之长（如果你还记得，你一定知道，大肠杆菌的信息带相当于一根长达 10 公里的纸带），这算不算作一种奇迹？迄今为止，我们尚未发现任何独立生存的有机物的信息带短于两公里，这是不是一件奇事？

此外，诺伊曼本人以及其他许多科学家都发觉有关生命起源的问题是一个非常令人困惑的问题，这是否会令你感到惊讶？

请考虑以下两点：

1.要通过自然选择产生进化，首先必须有一种可以遗传的并能够加以改进的记忆，这种记忆就是一种经过复制再复制后存留下来的方法，一种因意外事故可以被修改并产生修改结果的方法。只有这样产生的结果才会长期存留下去。然而，离开记忆手段就谈不上适当的意外事故的积累，因此也就谈不上有任何进步。

2.如果机器能像有机物那样根据存留的记忆复制自身，那么这种机器必定是相当复杂的。但是，即使是设计机器的人也从未造出过这样复杂的机器。鉴此，大自然在其唯一的设计师，即自然选择在掌握了运转方法之前又怎能够造出这样的东西？

现在我们面临一个“ 假设——那么——要么——要么 ”的问题：“ 假设 ”生命确实是“ 通过自然原因 ”在地球上出现，“ 那么 ”，结论定然如下：

“ 要么 ”进化其实并不非得有长期的可遗传的记忆为前提；

“ 要么 ”有机物其实并不需要特别复杂。

因为我将此书当作一个侦探故事来写，因此有关答案在这里我且先不透露，例如上文提到的“ 假设 ”是否站得住脚，以及如果站得住脚，那两个“ 要么 ”哪一个将证明符合实际情况等。

“ 我的头脑一片混乱，”我说道。“ 这个问题越想越觉得难以理解。 ”

第三章　自制大肠杆菌模型

从一般突然降到特殊，这种突然下降使我感到宽慰。

有机物构造精密，有些地方精密到极细微的程度。原子是构成有机物的基本粒子。现在请你拿出比喻意义上的最大的放大镜，让我们看看对所有有机物中那些结构最为复杂的有机物的构造原理和活动方式能否有所发现。

迄今为止已被发现的化学元素大约有 100 种，这就是说有大约 100 个各自不同的原子种类。用作有机物基本粒子的原子占所有原子种类的四分之一强，而其中六种则最为常用。这六种原子是：碳原子，氢原子，氧原子，氮原子，磷原子，硫原子。

这几种原子组成分子的能力特强。一个分子就是一个原子协会，这个协会存在的时间有长有短。一个分子可包含任意数目的原子，从两个到 200 万不等。分子中的原子以某种特定的方式连接在一起，这种连接原子的特定方式具有重要意义。分、子并非仅仅表现为一团团结合在一块的原子，远非仅仅如此。有机物中有许多大分子，用“机器”形容有机物最为贴切。

即使是原子，其本身也是相当复杂的东西，原子的内部结构就相当复杂。它们仍然相当神秘。我们只知道原子含有三种最主要的实体，即电子、质子和中子，而不同原子所含有的这三种实体的数目也各不相同。

除了证明原子种类的多样性以外，研究亚原子的深层结构对于我们的探索目的并不重要。在有机物中，此种深层结构的变化，即从一种原子变成另一种原子，是一种极为反常的现象。

在另一方面，原子中有一种比那种深层结构要浅的结构，这种结构不可忽视。作为原子构成成分之一的电子，即那些奇特的、重量很轻的带电粒子，经常可以附在原子和分子中，也可以很容易脱离原子和分子。电子的这种特性导致了离子的产生。这些是原子，或原子团，有些原子带“负”电，因为它们获得了一个或更多的额外的电子：有些原子带“正”电，因为它们失去了一个或更多的电子。例如，氯原子在细胞中几乎总是一成不变地呈现为负离子（Cl^-），而钠原子却因失去了一个电子而呈现为正离子（Na^+）。（用“正”和“负”的概念来形容两种电荷可能有点令人觉得奇怪，这里一个重要概念就是：在正负两种电荷中，同种相排斥，异种相吸引。）

电子是构成原子之间的共价键的关键。这种共价键则为性质稳定的分子的形成提供了可能。电子，或电子对，就像一对对铆钉将原子铆在了一起。在分子形成或分裂或分子结构被重新安排时，电子对则不断地倒换位置。

为了方便论述紧接着就要论述的问题起见，我们可以打一个比较世俗的比方。我们可以将一个装有成对按扣的某种颜色的珠子当作一个原子模型（对于离子来说，按扣的数目须做些修改，但这种修改无关紧要）。例如，你可以将那种最小的原子，即氢原子，设想为一个装有按扣的珠子。把两个这样的珠子合在一起就成为一个氢分子模型，如图所示：

在纸上则通常用这样的图形表示：

H—H

图中中间那一小横则表示共价键。氧原子和硫原子各有两个按扣。氮原子会有三个，碳原子有四个，而磷原子的按扣却多达五个。

原子结合在一起生成共价键的方式受到其它某些规则的限制，但即使如

此，将原子组成分子的方式仍然有很多很多，对内部含有碳原子的有机分子来说，尤其如此。碳原子是一种良好的建筑单位。这不仅仅是因为每个碳原子的珠子带有 4 个按扣，还因为这种原子特别适于制造锁链或戒指。

为了使你对原子组合成分子的方式之多有一个概念，这里列举由九个碳原子和 20 个氢原子连接的两种方式，如图所示：

这九个碳原子和 20 个氢原子之间有 35 种连接方式，以上列举的只是其中两种。这些连接方式各自不同，但在每一种方式中，每一个氢原子只和一个碳原子相连接，而每一个碳原子却和邻近的四个原子相连接。把原子用不同的方式连接在一起就成为不同的分子，成为不同的物质。这些方式之间的区别就像一支曲调和另一支曲调的区别一样，每种方式都是简单元素排列的独特方式。

分子中的原子数目只需增加几个，其排列组合方式却可增加许多。例如，把 40 个碳原子和 82 个氢原子排列组合在一起，其排列组合的方式可多达 60 万亿种。用化学家的话来说就是，分子式为 C40H82 的化合物有 60 万亿种。这些化合物的分子各自不同，因而每一种化合物都是一种独特的物质。（在另外还含有氧、氮和磷原子的有机分子中，其原子的排列组合方式举例可见附录一。）

一组相关有机分子的数目很大，大得几近荒谬。这样一组有机分子就像西方音乐中根据一定的规则所能作出来的各种各样的曲调一样，或者说像国际象棋中可能出现的各种棋局一样。尽管有规则限制，仍然还有大量的可能性有待于探索。然而这一有待于探索的领域却只有那些有一定专门知识的人才能进入。要探索构成有机分子的各种可能的方式至少需要知道怎样区别原子的各种排列组合方式并知道怎样将原子排列组合起来。拿作曲来说，作曲者至少应该知道怎样选择音符和怎样安排音符。下棋也一样，下棋者至少应该知道选择哪个棋子，知道每一步如何走。对于制造有机分子、探索有机物所探索的那个广大的领域来说，这个工作要求的精确性极高。一般来说，哪个原子安排在哪个位置对分子的形成都有关系。有机物绝大部分大分子的原子排列组合具有很高的精确度。这种分子的构成必须非常精确，否则它就无法具备应该具备的最关键的功能，例如识别和印制信息带上的信息等等。

因此，假如你想用不同颜色的珠子试做一具大肠杆菌模型，你在制作过程中必须特别小心，这些珠子必须以正确的方式连在一起。

如果你决定要做这么一具模型，那么我应该提醒你，你需要有一个较大的场地（例如一个像早期教堂的中殿那么大的地方），此外，你还需要有足够的时间和财力。

假设你已经决定开始制作，你首先必须找到一个能以优惠价格为你提供各种各样的带按扣的珠子的珠宝商。假如每个珠子可用一英镑的价格获得，那就更好了，因为即使以这种优惠价格计算，要购到制作模型所需的全部珠子需花费大约 20 亿英镑。购买水分子的花费约占购买全部材料花费的 70%。也许你在这方面可以削减部分费用，但我建议你还是买已经做好的现存的水分子为好。

制作大肠杆菌模型所用的珠子越小越好。它们必须小于一厘米粗，这样，做好的模型才有可能在像索尔兹伯里教堂那样大的地方中放得下。此外，你还需考虑用什么方法才能使这个像肠子似的庞然大物处于良好状态。这样制

作出来的大肠杆菌模型可能重达好几万吨，因此，地面必须加固才能承受这样重的东西。

你还需要大量的受过良好训练的工作人员。假如每个工人连接珠子的速度是平均每五秒钟一个，每个工人每天工作八小时，一星期工作五天；按这样计算， 1000 名工人大约需要 35 年才能完成模型的制作。（这是按照水分子买现成的、不需自己制作的情况计算出来的结果。）

假如你知道一个真的大肠杆菌仅需半个小时即可完成同等量的工作时，你也许会因放弃这一工程而感到泄气。大肠杆菌在通过使细胞一分为二而合成分子的过程中所需完成的操作同制作模型是一样的。诚然，大肠杆菌并不是把原子当做加工的原料。它通常是把分子，例如氨基酸，当做加工原料，这种分子可直接用于制造较大的分子。即使是在这种情况下，大肠杆菌仍需完成大量的操作。例如，这种养料分子须由大肠杆菌皮肤内的机械识别并送进杆菌内。此外，这种被杆菌吸收的养料分子往往还须加以拆开，才能成为制造杆菌所需的分子的原料。其实，即使制造一个共价键，这种工作也非轻而易举就能完成，例如，在把氨基酸分子组合起来合成蛋白质分子的过程中获得的共价键就是经过了好几道独特的工序才形成。因此，无论你从哪方面看，这都是一项艰苦的工作。

应该承认，还有一件事也有可能令你感到气馁，这就是：你制作出来的模型可能得不到他人的赏识，例如，当你好容易才说服教堂的主教同意将你造出的大型模型陈列在教堂的中殿后，前来参观模型的人们可能会说它只不过是一袋珠子而已。

他们的看法确有几分道理。模型毕竟是模型，不像真的大肠杆菌。它只能静静地躺在那里，一动也不动，看起来就是一个沉甸甸的大袋子。

那么，要怎样才能造出一具能够活动的大肠杆菌模型呢？

大肠杆菌能够活动，其原因之一在于那些作用于分子之间的力。共价键产生的力使分子能够保持原型，此外，分子之间还有一种力，这种力较之共价键产生的力要小，因此是一种辅助力。你造的模型必须以某种形式吸收以上两种力。有机物的分子主要通过辅助力相互作用。例如，甲分子可以和乙分子联在一起，因为它们彼此适合对方，能够配合。你可以把甲分子当作手，那么乙分子就是手套。作为手套的乙分子可能很不错，但也许却不完全适合作为手的甲分子。因此，如果把手的形状稍微改变一下，即把甲分子的内部共价键稍微拉紧一点，这样，手套套在手上就显得非常合手。这时，甲分子中的部分按扣将会弹开，然后再以另一种方式重新合上。

这就是酶活动的方式（至少是其活动方式的一部分）。酶是一种蛋白质分子。这种分子较大，大到可以控制它周围其它的分子并可通过重新安排这些分子内部的共价键而将其改造。酶是有机物中一种主要的专业机床。

天晓得你会以什么方式在模型中摹拟产生那种作用于分子之间的力。(也许用小磁铁？）但有一点是肯定的，这就是，你的费用又将增加。我们同样可以假设你已通过某种方式在模型中摹拟产生了那种力（甚至可以假设你把整个模型搬上了地球同步轨道从而消除了重力的作用）。然而即便如此，你的模型仍然是一个不能活动的东西，原因在于原子与分子之间的力量还不够大，不够产生一种连续活动。因此，你必须使你的巨大的袋式模型晃动。你必须不断地用劲晃动模型，而所用力量又须恰到好处。这种晃动模型用的力量必须大到足以使珠子做成的分子在袋子里到处乱窜。这就是说，这种力量

必须大到通常可以克服那种使分子相互作用的相对弱的辅助力。在另一方面，这种晃动也不能过于猛烈，以至使分子里的共价键纷纷断裂。

假设这些技术问题都被你解决了，那么你就可以开始看到事情正在起变化。此时，模型中的分子已有机会同别的分子相遇。大肠杆菌模型中的 2000 余种酶此时也有机会与其周围的能引起性质改变的分子相撞。你甚至可以看到酶已可以活动。

然而直到此时，你的大肠杆菌模型恐怕还不能真正活动。你还需解决一个问题，即你的振动器必须能够对它所产生的振动力加以适当的控制。这种振动力必须能够从小到大按适当比例变化，而由振动产生的大小力度不同的推撞力则须通过某种方式平均分配给模型中的所有分子。你是否能够使你的振动器产生正确的振动力，换句话说，即是否能够摹拟产生真正的分子所具有的那种热骚动，我表示怀疑。

现在，对于摆在教堂里的那具大肠杆菌模型为什么只能像一袋珠子那样静静地躺在那里的原因，你已经有所了解，这是因为它缺少一种要素，这种要素就是原子和分子具有的永恒运动的特性。原子和分子总是在移动，在旋转，在振动，在推撞，而它们在做所有这些运动时却并不需要外部动力。

原子具有的永恒运动的特性早就为希腊哲学家预言过，但直到 19 世纪才被真正确认。了解这种特性不仅对于认识原子本身而且对于化学这门学科的了解都具有重要的意义。分子也运动，只是分子越大，其运动速度也就越慢。事实上，所有物体均处在一种热骚动状态，同时却又受到周围那些参与整个分子运动的分子的冲击。但是，如果一个物体大到肉眼可见，这个物体发生的纯热运动却变得小到无法察觉，尽管这个物体的内部振动强度，即其原子和分子产生的振动强度可通过触摸并根据该物体的温度而估计出来。

请注意，前文就原子和分子、原子和分子以及其运动之间的力量所做的讨论均属于物理学和化学的范畴。因此，大肠杆菌的分子运动激烈并非一种特别现象。它们运动激烈是因为它们本身都很小，也因为它们所处的环境还是太冷。原子和分子具有的永恒运动的特性似乎是一种魔力，然而这种魔力却并非生命所独有。大肠杆菌与其它任何物质的区别在于分子的具体的行为特征。大肠杆菌分子的狂热运动似乎带有一定目的，而这个目的则可以（而且最终也只能）从控制分子行为的信息中找到。人们也许会被大肠杆菌分子的运动所诱惑，认为这种运动最像生命的特征，或者说就是一种生命特征。但实际上作为生命特征的是信息而不是分子的运动。

“……事情变得不是更加简单而是更加不可思议。”

第四章　内核系统

“ 在事实尚未弄清之前就下论断实为大错特错。 ”

本章也许是这本书中技术性最强的一章（尽管实际上并非如此糟糕）。有些读者可能会采取浮光掠影式的略读方法，只将本章提出的论点的主要部分囫囵吞枣式地读过就算（或者只读这一页，其余均略过不读）。本章提出的论点是：地球上所有生命的活动方式在分子这一级均被看作是一种极其复杂的高级方式。现存的有机物显然均属于“ 高技术 ”部件，而且似乎也必须如此。

回到信息带

载有遗传信息的磁带是何种材料做成？或者说，这种遗传材料是什么？

这种遗传材料叫做脱氧核糖核酸。实际上，与其说一个脱氧核糖核酸像一个印有符号的磁带，倒不如说它更像一条长链子。一条脱氧核糖核酸链子中有四种链节，每一种链节都是一个构造相当复杂的物体。这个物体含有 30 个以上不同元素的原子，如碳、氢、氧、氮、磷等。这些原子以一种特定方式连接在一起。这种链节就叫做核苷酸。（核苷酸结构详细说明可参见附录一。）

这四种脱氧核糖核酸链节均形似用锯锯成的拼板，如图所示：

从图中我们可以看到，这四种拼板都有相同的连接块。因此，在将它们组合成一条链子时，标有字母的部分的排列次序大体上没有严格的限制。这对于组合载有信息的脱氧核糖核酸链来说显然是一种比较合适的安排。

核苷酸链节不会自动相互连接起来，即使在热骚动的作用下也不例外。因此，要使它们相互连接起来就必须想法使之具有易感性，或者说，给它们“ 上紧发条 ”，从而使它们本身的能量增加。此外，这种链节的结构还需做些改进，使之像一个捕鼠器。这样，这些链节就能相互扣住，组合成链子。为了使这些核苷酸链节具有易感性，每个链节都被另外附上一个链节，而当链子组合而成时，这些附上去的链节则自行脱开。（有关这方面的详细说明可参见附录二。）

有了四种具有易感性的链节，下一个问题就是如何选择连接的次序。我们知道信息带上还需有一道复制工序，因此我们把下面要讨论的问题变成这样一个问题：即一些正在形成的链子的链节排列次序是怎样被另一些已经组合而成的链子的次序所决定的？

我还记得，在 50 年代初期当人们发现脱氧核糖核酸的链子是双重的，并且其中一条链子的链节排列次序显然被另一条链子中的链节次序所决定时，人们是何等的激动。这一发现就好比在印制这些很长的分子的过程中，这些分子本身好像也被逮着了一样。换句话说，这就好比发现一整套照片，而这些照片都和底片钉在一起。这样一来，有关繁衍的诀窍似乎已初露端倪。

如果将脱氧核糖核酸链子制成一个相互交叉在一起的模型，其结构就如下图所示：

通过模型图，你可发现，在一个脱氧核糖核酸分子中，一条链子上的字

母排列次序与另一条上的字母次序互补。在两条链子中，每一条链子上的字母 A 无论在什么位置总是和另一条上的字母 T 相对应。同样，一条链子上的字母 G 也总是恰好和另一条上的字母 C 对应。再仔细看看模型图，还可发现一个大的字母须和一个小的字母配成一对；同时，一个形状像“插头”的字母则须和一个形状像“插座”的字母配在一起。（真正的脱氧核糖核酸分子并非如模型所示那样是平的，而是被绞成一股双重的螺旋线，就像早些年间人们连结电灯所用的那种花线一样。）

现在请想象一下双重脱氧核糖核酸信息复制的情形。我们假设这根拧在一起的双股绳开始从一头分开或从中间某个地方松开。无论是哪种情况，此时已裸露的单股链子开始吸引那些能够与之互补的具有易感性的核音酸单位。这些核苷酸单位与每根单股链子连接起来，变成一条新的双股链。在这一过程中，原来的那根双股链就被一对同样的双股链所取代。（实际情形当然要复杂得多，不过这种描述可以使你得到一个大概的印象。）

裸露的单股链在选择那些能够与之相配的新的核苷酸单位时靠的是一种力。这种力就是我们在前一章已简单讨论过的那种次级力或辅助力。用核苷酸单位的相同的连接块将这些核苷酸连起来而形成的共价键是一次形成的。然而存在于那些字母部件之间的力量，即把那些形似“插头”的字母部件与形似“插座”的字母部件配在一起的那种配对力却要小得多。这种力主要起试探作用。核苷酸单位来来去去经过很多次才可能有两个相互适合的字母部件偶然碰到一起，组成一对。在我们的生物化学系统中，这两种力的典型作用就是：起尝试、探索和辅助作用的力造成一种形势，该形势导致一个共价键的形成或破裂。木工生产木器产品首先是选择木料，然后细心地将各种合适的料按一定方式排列起来，最后把它们钉成或粘合成木器产品。

信息指的是什么？

从近似意义上说，大肠杆菌中的信息指的是**蛋白质**，即 2000 或 3000 个不同种类的蛋白分子。这些蛋白分子每一个都是一台或多或少具有特定功能的机器。大肠杆菌中大部分信息的用途是对这种分子机械做直接详细的说明。一个蛋白分子就含有一种信息，但只是一种翻译过来的信息。这种信息是从有机物的“图书馆”的某本书中某个章节翻译过来的。

蛋白质信息所用的语言比脱氧核糖核酸信息所用的语言更有趣味，这主要表现在两个方面。首先，蛋白质信息语言所用的字母不是四个，而是 20 个。其次，蛋白质信息语言所用的字母不像脱氧核糖核酸信息语言中那四个字母一样彼此看起来都差不多，而是差别很大。这 20 个字母中，有的大，有的小；有的长，有的粗；有的松软，有的坚硬；有的具有粘性，有的却非常光滑；有的带负电，有的则带正电……等等。

这些蛋白质单位叫做**氨基酸**。氨基酸比核苷酸小，最小的只含有 10 个原子，最大的也只含有 27 个原子。（氨基酸的构造已在附录一中举例说明。）就像核苷酸一样，每个氨基酸单位的一部分都是彼此相同的连接段。通过这些连接段，这 20 个大大小小的字母可按特定的顺序组合在一起。此外，这些氨基酸单位也像核苷酸一样需具有易感性后才能相互连接。一个典型的蛋白分子由 100 个到 1000 个不等的一串氨基酸组成。

你也许会认为一个蛋白分子就像一个开口的大手镯，或者像一条晾衣

绳，上面挂着 20 种计数百余件的物品。像这样一条晾衣绳会传达什么信息呢？

通常，它所传达的信息是：“照这样折叠”。氨基酸单位比核昔酸单位小，一串氨基酸也比一串脱氧核糖核酸要显得紧凑。此外，氨基酸的字母段种类繁多，彼此间差别很大。由于氨基酸的这些特点，因此，一串氨基酸可以折叠成既复杂而又特别有趣的形状。由于氨基酸的连接段本身具有粘性，因此，叠在一起的氨基酸彼此间的结合就显得紧密。然而，叠成何种形状则由字母段的排列所决定。所有奇形怪状的字母段在辅助力的作用下各自与适合自己的字母段配对成双。那些对水具有强烈吸引力的字母段，特别是那些带电荷的字母段则努力使自己露在外层。如何折叠才能使辅助力尽可能发挥作用，从而将所有氨基酸整齐地装配在一起，同时又给热骚动留出一点活动的余地，这是一个非常复杂的计算问题。我们现有的计算机尚无法进行这种计算。但蠕动着的信息带却很快就找到了答案。当一个信息从中央“图书馆”中翻译过来，即从脱氧核糖核酸语言译成蛋白质语言时，这个信息就立即转变成为一件能工作的机械部件。最后，这个信息的内容终于以你所能想象的最直接的方式表达出来，它变成了一个东西。

一个蛋白质信息通常成为一个酶，即数千台一起制造分子从而使整个企业运转起来的机床中的一台。例如，酶为脱氧核糖核酸制造核苷酸单位。同样，它也制造氨基酸。像核苷酸和氨基酸这样的分子需要经过 10 道、20 道乃至 30 道工序才能形成。这一制作过程需要与工序数目同样多的酶，每个酶都为完成一道工序，即共价键的一次重新安排而特别设计。除核苷酸与氨基酸外还有其它许多种制造出来的分子。在细胞膜的组成成分中有一种肥大的分子，叫类脂化合物。在大肠杆菌中，这种类脂化合物成为其所有的两层皮肤中的里层。除此以外，细胞膜还含有很多蛋白分子，这些蛋白分子将类脂分子组织起来并在细胞膜上有选择地开辟了一些渠道或毛细孔。细胞膜中还有一些蛋白质机器。这些机器就是一台台小泵，它们有选择地将物质吸进和排出。

在大肠杆菌细胞膜中的这些泵中有一种氢离子泵。氢离子泵就像一个电池充电器，它使细胞内层和外层之间形成一个电压。电压的释放驱动其它泵工作。同时它还驱动涡轮机使螺旋桨转动，这样，大肠杆菌才能四处游动。

蛋白质的确是生命物质。细胞的组成成分即使不是由蛋白质组成至少也是由蛋白质制造出来，即使像脱氧核糖核酸信息带，其成分也是在蛋白质酶的协助下制造出来并连接在一起的。

无意识翻译

有机物的中央“图书馆”中的朴素的脱氧核糖核酸语言是怎样转化为蛋白质语言，即动作语言的呢？

怎样才能将一个用只有四种字母的语言表达的信息用一种有 20 种字母的语言翻译过来？这个语言规范问题有几种可能的解决方法。事实上有机物用的是最简单的一种。按照这种方法，脱氧核糖核酸语言的四种字母中每三个组成一个语言单位，即 AAA、 AAG 等等；这样，这四种字母立即可组成 64 个可能的“词”，每个词均与蛋白质语言中一个字母（或者一个句号）相对应。然而，蛋白质语言中的字母却没有那么多。因此在通常情况下，与同

一个氨基酸相对应的脱氧核糖核酸有两个或两个以上各不相同的词。

紧接下来的问题不是规范问题而是一个实际问题，即这种翻译是怎样自动地、即无意识地进行的？

简单他说，这种无意识的翻译是由“图书馆”的选印本，一组接续器，许多大个的酶以及一台巨大的机器完成的。

选印本指的是脱氧核糖核酸“图书馆”中一小部分的复制品。当脱氧核糖核酸分子的双股链信息带的一部分相互松开后，这些松开的部分就被复制成一些选印本。选印本本身就是一根核糖核酸单股链。核糖核酸是另一种核酸，它的结构类似脱氧核糖核酸（见附录 1）。

接续器也由核糖核酸组成，但它们的直接功能却大不相同。接续器不是信息带，而是形似一些小型的机械设备。每一个接续器都是一根核糖核酸单股链。这根单股链由大约 80 个核糖核酸单位组成，并以一种特定的方式卷曲起来。卷曲的形状依字母段的排列次序而定，其中许多字母段相互配成对。结果，每一根单股链卷曲起来就形成一个相当奇特的三脚插头。插头的三个脚就是一组三个没有配成对的裸露的核糖核酸字母段。不同种类的接续器的形状类似，但其插头上的三个裸露的插脚却不一样；这些插脚可分别插进信息带上与之对应的插孔之中。

我在前面提到的那种大个的酶每一个均能从其周围选出一个合适的氨基酸和一种接续器并将它们连接在一起。例如，一个带 CCC 联插脚的接续器只能与甘氨酸结合。这是因为在核酸语言中与甘氨酸对应的词汇之一是 GGG，而一个 CCC 接续器在合适的环境中可与这个词相结合。

前面提到的那种巨大的机器叫做核糖体。这种机器负责提供“合适的环境”。核糖体用核糖核酸和蛋白分子制造。大肠杆菌中的核糖体每一个均含有大约 27 万个原子（在一个大肠杆菌中这种核糖体约有三万个）。

实际制造蛋白质的就是这种核糖体，核糖体在时空中通过将核糖核酸信息带和适于装载的接续器组织起来并使它们相互作用而生成蛋白质。

核糖体制造蛋白质的工作方式是：它将自己附在一条信息带上并沿着这条信息带运行，边运行边将信息译成一条不断增长的蛋白链。当它译完最后一个信息时，蛋白链脱开，产品即告完成。

我们假设你要在信息带的某一位置对核糖体的活动方式进行检视，比方说在它刚好把第 50 个氨基酸连起来后对它进行检视。这时，你将发现，这条由 50 个氨基酸形成的链子通过刚刚加上去的那一个氨基酸与核糖体连接在一起。一条蛋白链就是以这种方式不断增长，就像一片草叶从根部生长一样。再仔细检视，你将发现，整条链子是附在一个装载着第 50 个氨基酸的接续器上，而接续器的另一头则插在信息带上一个相对应的插孔之中，而接续器与信息带却又卡在核糖体之中。信息带上的下一个同此时也在核糖体中。核糖体与卡在其中的这段信息带一起造出一个空着的三脚插座。假定这后一节信息带上的词是 GGG，那么，一个带 CCC 插脚的接续器，即一个装载有甘氨酸的接续器就能与这个插座配在一起。

当然没有操作人员来把载有甘氨酸的 CCC 接续器插进 GGG 插座。这里只有使漫无目的探索得以进行的分子的热骚动，以及作为成功象征的越来越多的正确配合。各种各样的接续器和其它分子一个接一个与空着的插座相撞。最后，一个载有甘氨酸的 CCC 接续器终于来到，它碰巧正好以一种恰当的方式与插座相撞，从而被插座接受，咔哒一声插在里面。这一个步骤完成之后

才能开始下一个最关键的步骤，这种插头与插座的结合似乎具有很大的不确定性：一个共价键破裂而另一个共价键形成，在这一过程中，附在准备装第 50 个氨基酸的接续器上的整条链子就转移到下一接续器上的另一个氨基酸。准备装载第 50 个氨基酸的接续器此时已空，因此被抛弃。核糖体为了完成一个运动周期又推动三个核糖核酸字母。整个过程与前面所说的一样，只不过此时接在这个接续器上的链子上的氨基酸已达 51 个,接续器则同样与核糖体内信息带的一节对接。

概括：有机物构造的复杂性必不可少吗？

在本章以及前两章中，我试图给地球上已知的所有有机物的主要活动勾画一个轮廓。在这个轮廓的中心是脱氧核糖核酸信息，这种信息是现存的生命与 100 万年或 10 亿年前的生命之间的唯一联系。在这么长的时间内只有这些信息存留下来，因为只有这些信息在经过不断的复制和再复制之后还能够继续存在。

我们所知的生命的活动可以概括成这样：脱氧核糖核酸制造脱氧核糖核酸（其条件是需要有具有易感性的脱氧核糖核酸核昔酸和酶）；脱氧核糖核酸也制造核糖核酸（其条件是需有具有易感性的核糖核酸核苷酸和更多的酶）；然后，核糖核酸——包括核糖核酸信息、核糖核酸接续器以及核糖体中的核糖核酸等——制造蛋白质（其条件是需有氨基酸、使氨基酸具有易感性的手段以及更多的酶）。蛋白质（尤其是酶）则完成其它一切活动。

这种概括是否过于简单？哦，是的，如果用之于今天的有机物的活动，这种描述的确过于简单了一些。但是，如果用来描述最早出现的有机物的活动，这种描述却又显得过于复杂。然而最糟糕的却是，这种复杂性的很大一部分对于有机物的活动来说似乎是必不可少的。假如你想获得具有某种生命形态的东西，这种东西具有的可复制的信息是用核酸（不是脱氧核糖核酸就是核糖核酸）写成而它本身则是通过蛋白质活动，那么，你最后获得的必定是一个非常复杂的系统。这好比录像。如果你想用磁带将电影录下来，你就必须为此而付出代价。这个工作不是轻而易举就能完成，因为录像机是一种相当复杂的机器。一个大肠杆菌也是一台复杂的机器。我以为，基于核酸的能够独立生存的任何形态的生命都必定是一台复杂的机器。

以我们生化系统的一部分，即蛋白自动合成机来说，任何一种这样的机械，无论它是怎样造出来的，它必定是一项精巧而又复杂的工程，因为它所需完成的工作是一项复杂而艰难的工作。

你可以去向任何有机化学家打听，了解一下合成一点点蛋白质，即只含 100 个氨基酸的蛋自质，需要多长时间。或者，你可从有关科学杂志中查阅一下有关蛋白质合成的配方和方法。你会发现有关这方面的介绍冗长而繁杂。而这些介绍却是针对具有一定的专门知识、知道怎样使用实验室设备的人而做的，这些介绍要求你使用很多种非常特殊的和高度提纯的化学试剂和溶剂。按照介绍中指示的方法实际操作会得到什么样的产品呢？假如你走运，你用数公斤原材料可生产千分之几克的蛋白质产品。

或者，你还可仔细阅读实验室中一台蛋白链自动生产机的详细说明并仔细审阅其工程设计图。（如果你想买，你得多花钱，这种机器比录像机贵。）这时，你一定会为这种机器构造之精巧而感叹，因此，当有人对你说大肠杆

菌也是一台精巧的机器时，你也不会感到惊讶。它的确必须构造精巧，难道不是吗？

还有一点必须注意。有机物的蛋白质是根据有机物具有的可复制的信息给予的指令制造的。这不是附加的多余的特征，上述特征可能在更早更简单的设计中遭到摒弃。这是整个观点中的一个关键的概念。蛋白质或用其它方法制造的类似蛋白质的物质不会与信息直接相关，因为它不会通过自然选择而趋于复杂，它会与信息的演替脱钩，只有信息才独目保持长期的连续性。任何东西，如果不是以某种方式和信息的演替联系在一起，则都不会进化。

有机物的活动随时都需要酶，但制造酶所要求的精确度却不能因此而大打折扣。一个制作拙劣的酶如果不断地以错误的方式改造分子或者经常将它所要改造的对象搞错，那么，这个酶非但无用，反而有害（在这里，无能加勤快比懒惰糟得多。）在这种情况下，以错误方式制造的分子会越来越多，其中包括核糖核酸接续器以及核糖体等物质的组成成分，从而又会造出更为糟糕的酶。如此一来，整个活动很快就会陷入混乱。

要造出一个不称职的酶并不困难。有机物的活动技术要求蛋白质信息依氨基酸单位的排列次序而叠合。这时，只要出现一个错误，即有一个氨基酸的次序不对，蛋白质信息就不可能正确叠合，其结果是必定出现更多的错误。

用一个叠合的大分子制造或破坏其它分子（像用磁带录电影一样）是一个极妙的主意，当然你需拥有这方面的技术。

最后，让我们再回想一下第二章的内容。我们可以知道，我们需要探索的问题不止是有关“图书馆”，甚至是最小的“图书馆”的规模；不仅仅是有关核苷酸单位本身非常复杂而又难于相互连接；不仅仅是有关酶的需求无处不在以及酶除非制造合格否则将毫无用处；也不仅仅是有关核糖体的构造竟然如此精密而且看起来好像这种构造之精巧是由它所担负的工作所决定。我们需要探索的问题不仅仅是那些与我们所熟悉的与生命有关的问题。我们似乎还有一个更主要的困难没有克服。任何可设想的有机物都须含有某种信息以及识别和复制这种信息的设备。因此，任何可设想的有机物似乎都须装备机器。如果是这样，那么，第一个有机物的出现似乎就需要有奇迹发生。

这就是需要进一步探讨的问题。

“……这一问题变得比以往任何时候都更加晦涩难解了。”

第五章　花园小路？

莱斯特雷德哈哈大笑。“毫无疑问，你已经从报界的报道中得出了结论，”他说道。“这个案件非常清楚，越往下查，案情就会越明白。”

观察事物

变戏法者和艺术家都知道，感觉通常基于非常有限的资料。用铅笔略略勾画几下或用颜料涂上几笔，所形成的图案也许就足以清楚地代表某件物品。你仅从一幅素描中就可以看出它所描绘的是什么。

即使这是一件真正的物品，你有可能看到的有关这件物品的所有资料通常仍然只是一张略图。例如某件物品，你只需匆匆一瞥即可得出结论：“这是一把木椅，一点不错。”实际上，你眼睛摄取的只是这件物品部分表面散发出来的部分光线；你实际看到的椅子腿只有三条，而你却可以设想有四条；你没有去查看一下这把椅子是否结实，更不去管椅子是否像你推断的那样是真的用木头做的。对于这把椅子，你几乎什么都不知道。然而你却匆匆地做出了结论，并且还加上一句“一点不错”。

当然，你的结论仍然有意义。在多数时候，你只需获得一些提示即可得出结论。例如，当输入感官的六个信号都告诉你这件物品“像椅子”时，你就觉得不必再拿小钻去钻一下或用秤称一下了。如果它确实像椅子，那么它就是椅子。经验告诉你，根据少量资料做出的推测通常是对的。然而感觉毕竟只是一种（前意识的）推测，即使这种感觉在意识中已是一个明显的事实时也是如此。

有时候，我们的感觉可能出问题。当一种通过感官获得的印象破灭后新的印象则需形成。例如，远处出现一对灯光，根据这一资料，你感觉到，一辆汽车正朝这个方向驶来。然而，这对灯光却开始以出乎意料的方式移动，不像汽车的灯光一样两者协调一致。一辆汽车突然变成了两辆摩托车。

这种场合（当时我们对自己说：“等等，发生了什么事？哦！我知道了。”）可谓司空见惯。这说明那种想尽快将感官摄取到的资料分类，使之转化为感性认识并加以理解的欲望有多强烈。我们有这样的欲望并不奇怪；匆匆做出（正确的）结论也许具有生死攸关的意义。

在科学上，我们也观察、发现事物：我们根据事实做出推测。

科学使我们对世界的认识远远超出我们的感官所及。严格地说，这种认识已不是一种感知，不像刚才你对那把“椅子”的感知一样。然而，科学上的认识也和感知一样，它们从一种现象得出一幅连贯的“图画”，所依据的都是有限的资料，在这个意义上，它们是同类。一种对世界的共识则是由“科学社会”的共同努力而形成的。这种共识是许多人感知的结果。

如果说我们根据各自的感知做出的推测可能将我们引入歧途，就像一场魔术表演会将我们整个儿蒙住一样，那么，科学上的认识也同样可能。之所以这样是因为无论我们找到多少事实来证明我们对一些现象的认识，我们决无可能找到所有的事实，我们决无可能在所有时间以所有可能的方式观察到所有的事物。就像看见那把椅子，我们看到的只是所有可以设想的有关椅子证据的极小一部分，但我们却必须据此做出判断。任何这种有限资料的集合均可作为另一种总的看法的依据之一。

例如，我们看到太阳早晨升起，越过天空，傍晚落下，这是一种普遍的日常感知。对这种现象还有另外一种总的看法，即科学的认识。科学认识则认为这是地球本身在旋转。这是对直接事实的另外一种解释。有谁能够肯定除此之外已没有更好的从未被人们想到过的解释呢？

尽管如此，我们在对这个世界进行科学认识时建立起了一种信心，这种信心就像我们在日常生活中对周围事物感知时所具有的信心一样，它们的基础也类似。我们可以肯定椅子是真的。如果需要，我们还可以摄取新的资料，即不同种类的新资料，来证明这把椅子不是假的，也不是幻觉，以此增加我们所做的判断的可靠性。我们可以从新的角度来观察这把椅子，可以将它举起，可以用脚踢一踢，还可以在椅子上坐一坐。当这些新的资料也显示这个东西“像椅子”时，怀疑就很快消除。

科学上得到的认识，如概念和见解等，其真伪是无法用脚踢或用眼睛看这类方法去鉴别的。然而当我们检验一个观点时，我们用的却是类似的方法。我们从尽可能宽的领域收集新资料，然后看看这些新资料是否与整个画面相符。

要做到有把握通常有困难。如果我们获得的画面本身相当模糊，或者我们收集到的资料太软，可塑性太强，那么，在一段时间内，我们可能是在不断地搜集与假象相符的证据，即使这时我们已产生一种不安的感觉（你可能会说，这不可能是对的）。在洞悉某种错误之前，你的感觉可能会告诉你，这是一个错误。

当新的科学证据与人们已经接受的画面不相符合时，人们自然就会考虑能否将画面改变一下，使之与新的证据相符。这种方法通常有效。实际上，改变后的画面可能比原来的更好。它可能更为简单或更为全面。一个最初看起来与某种理论相冲突的证据在将理论做些许调整后可与它完全相符。这样一来，这种理论也就更加可信（这就是所谓正因为有例外才证明有普遍规律）。

这种方法在某些其它的场合则行不通。我们得到的认识可能完全是一种假象，无法将其改进，因此必须用新的不同的认识代替。这时，“某些地方出了毛病”就变成“这整个是一个错误”。

任何熟悉科学研究（或熟知侦探故事）的人都会明白我在这里指的是什么。你根据少量证据做出推测；然后你根据新的证据验证你的推测是否成立；如果不能成立，你首先试着将推测做些修改；如果修改后的推测仍不能成立，你就再做一个推测，这个新的推测和原来的也许完全不同。这种认识方式是科学研究一直使用的方式。这种方式就叫做努力弄清楚发生了什么。

有时一种错误的见解会得到发表并在一段时间内成为一种普遍接受的学说，这种情况比较少见但也更能引起轰动。化学中一个最著名的事例就是燃素说。燃素说在整个 18 世纪流行。在当时，这是一种很具吸引力并为人们普遍接受的理论。按照这种理论，可燃物中存在一种叫做燃素的物质，当物体燃烧时，燃素则逸出。因此，含有燃素是可燃物的特性。当一块煤、一截木头或一张纸燃烧后变为一堆灰烬时，很明显，已有一些东西，即燃素，已经逸出。燃素说还被延伸用于金属。铁生锈被认为是燃素逸出的表现。所有金属都含有同样的燃素。（这就是为什么所有金属都具有光泽并且看起来类似，而它们生成的锈却看起来大不一样。）有生命的有机物也被认为含有大量燃素，生命的过程则被看作是一个缓慢燃烧的过程。燃素说逻辑相当严谨。从

这一方面来说，这是一个不错的理论。燃素说认为燃烧、长锈以及呼吸三者之间紧密相关，这确是一种正确的见解。18 世纪中许多伟大的化学家均相信燃素说。燃素说能够流行达一个世纪之久而不倒，部分原因在于这种错误学说的完整性。这种理论几乎正好和实际情况相反。“ 燃素 ” 即表示 “ 缺氧 ”，想到这一点，你就离发现这一学说的错误不远了。在燃素说这个系统中，许多逻辑关系本身都不错，但把关系弄反了。燃素说初看起来似乎有理，这一点无疑是这种学说能够持久的另一个因素。这种理论容易被人接受但要丢开它却比较困难。你必须深入进去才能发现它的错误，你必须掂量各种事实，必须承认气体是物质，等等。只有通过这种穷尽细节的研究，你才会开始感到不安。这时，你会发现，燃素说描绘的是一幅总体现象图画，但它对具体的效应却没有提供令人满意的解释。需要找到能够做出新的解释的新的关键物质，这就是氧。这种新的解释怎样才能获得呢？答案是通过分析。原来形成的画面必须打破。原来已经获得的某些认识必须推翻，而代之以某种令人困惑的东西。这样一来则与愿望相悖。这是一种倒过来的认识。这种方法看起来似乎不是正确的方法。人们似乎经常是在工作上的压力解除之后，或者至少是暂时解除之后才获得某种新的见解。新见解形成后，对一个问题的原来的认识则可不必认真对待，可将这种认识再还原成组成这种认识的资料和概念。用这种解析方法考虑问题并不是因为对某事已有所理解而是没有理解。

有创见的人们有一个特点：一些在别人看来是非常清楚的事情，他们却无法理解。牛顿对重力不理解。（那个苹果为什么会往地上掉？）而对其他人来说，这是个非常清楚的问题。爱因斯坦则对光无法理解。（如果有人骑在一束光上朝镜子里看会有什么事情发生？）同样，福尔摩斯总是被看起来非常清楚的或价值不大的琐事所困惑。理解好倒是好，但不理解却要比理解显得有趣得多。本书到目前为止集中讨论的是有关生命起源问题中最难理解的部分。

目前，世界上很多有创见、有见识的人们对生命的起源不理解，尽管有一种叫做 “ 化学进化 ” 的学说为这一问题描绘出了一幅 “ 大图 ”。“ 化学进化 ” 论也像燃素说一样，远看不错，而且还明白易懂。然而在我看来，“ 化学进化 ” 也和燃素说一样，未能履行最初的许诺，未能做出比较详细的解释。

“ 化学进化 ” 论：现代燃素说？

按照化学进化论，我们在有机物中发现的那种分子最初是在没有有机物的情况下生成的。早期地球上发生的化学和物理过程的结果产生了这些分子（氨基酸、核苷酸、类脂化合物等等）。这些分子然后（通过化学和物理过程）进一步组织起来，成为可通过自然选择而进化的最早的生物。因此，“ 化学进化 ” 可被看作从原子到人这一进化过程的第一个阶段。化学进化与生物进化不是一回事，但两者之间有联系，而且它们都是从简单向复杂进化，在这一点上它们是相同的。

这是一个极富想象力的描述，这个描述在我看来似乎是真实和不真实的混合体。现在，我暂且来装扮一个虔诚的化学进化论者。我的主要论点是什么呢？

我将从生物化学的同一性、即第一章中提及的有关生命的起源这一案件

的三个主要事实的第二个来开始阐述我的观点：

“在几亿万个可能的有机分子中，迄今发现的所有生命均仅仅基于一二百个单位,即含有 10 个至 100 个原子不等的氨基酸或核苷酸的大小相同的分子，这一观察结果无疑具有深远的意义。这些分子就叫做“生命分子”，既然生命全都用这些“生命分子”做成，那么，最初的生命也应该是从这些分子产生。地球应该是这些分子产生的源泉。这些分子不是通过地球的变化过程而形成就是从来自太空的陨石中获得。如果一台机器是用某些部件做成的，那么在造出这台机器之前首先得造出这些部件，这个道理非常清楚而且也合乎情理。”

接下来我将阐述第二个论点，即“生命分子”容易制造：

“早期地球上存在各种形态的能，特别是紫外线与闪电释放的能。这些能作用于早期大气层中的气体时所产生的影响可能导致有机分子的产生。这一点已为实验所证明。将一些摹拟早期大气层的气体混合在一起，然后在气体中做瞬态放电，这时，气体中就有氨基酸和其它“生命分子”形成。这种实验用含有甲烷的空气来做能获得最佳结果。如用其它混合空气和其它能源来做，其结果也是成功的。这里的主要问题是空气中不能有氧的存在。我们可以推测，在造氧植物出现之前，在原始状态的地球上，空气中本来就没有氧。”

“氰化氢是一种小分子，这种分子只含一个碳原子，一个氮原子和一个氢原子。通过在含甲烷和适当形式的氮（例如氮气加一点氨）的空气中放电，这种分子很容易就能造出。氰化氢分子还可相互结合生成腺嘌呤。腺嘌呤是核苷酸的一种重要组成成分。它们还可生成核苷酸的其它组成成分。此外，氨基酸也可从氰化物中合成。”

“甲醛是另一种重要的分子。同样，这种分子也很小，只含一个碳原子，一个氧原子和两个氢原子。合成这种分子的方法有好几种。例如，将矿石放在水中并置于二氧化碳气体之内，再用紫外线照射，这样就可合成甲醛。甲醛分子有一个奇妙的特点，它们很容易结合在一起生成各种糖类分子。‘生命分子’中有几种分子就是简单的糖。它们含有的碳、氧、氢等元素的原子数目比例同甲醛中这些原子的数目比例一样。葡萄糖就是其中一种。这些糖分子通常带有一个原子环，这个原子环形成一个相当坚硬的小单位，使这些分子便于与其它分子连接。（核苷酸的连接部件就含有糖单位。）”

“氨基酸、糖以及核苷酸的字母部件等均有可能在原始状态的地球上形成。的确，有些氨基酸随时随地不断出现，从这一点即可判断，这些氨基酸似乎很容易合成。例如，在某些陨星中，即在那些在太阳系形成之后而地球尚未诞生之前就已存在、且直至现在改变最小的陨星中均可找到氨基酸。那些“生命分子”的小前辈，如氰化物和甲醛，目前在宇宙中大量存在。它们存在于广阔无垠的星际空间，存在于替星之中……”

“你能够明白这一点，不是吗？这就是一个宇宙的分子开端，一个渴望产生生命的宇宙。”

如果你问我下一个阶段的情形又是如何，即这些小小的“生命分子”又是如何结合在一起，从而形成具有繁衍能力、可进化的最初的生物，我的回答是：“需要时间，更多的时间以及海洋资源。”我会大幅度地挥动手臂，表示这是一个漫长的过程。

“你知道，在缺氧状态下，海洋会将‘生命分子’积聚起来。海洋就像

一个盛着营养汤的巨大的碗，为‘生命分子’的积聚提供了场所，其它则由机会来完成。在这只大碗中，各种分子不断地结合、破裂。有些分子之间的结合会比其它分子的结合更为稳定，于是，这种结合就形成汤中凝聚的小飞沫或小凝块。这些小飞沫中有些会发生化学反应，从而使这种小飞沫吸收新的物质而增大。海浪时常将这些不断增大的飞沫打散成小块，这些小块飞沫也同样吸收了新的物质……最后，这种分子结合体中有一个——也只需有一个即可——终于爬上了达尔文描述的进化的阶梯。它可以繁衍，可以将其特征传给后代……”

“当然，这个描述在一些细节上显得有点模糊。但作为一个总的看法，这种描述似乎很合情理，难道不是吗？”

那么，这种描述又有什么不对呢？

我刚才所做的这种描述之所以不对原因就在于它几乎没有触及有关生命起源问题中的真正的难点，即那些我在本书前四章中堆积起来的难点。

这条化学进化之路似乎很合情理而且方向也对，我姑且承认这一点。这条路上有几个明显的水坑需要绕过，此外，也许有些铺路石也不太平整。尽管如此，这似乎仍然是一条好走的路，它可望将我们一直带到一座大山的山脚下，这座大山就屹立在我们的前头，清楚可见。然而，这却是一个没有实现的希望。这条路突然将我们引到一处几乎垂直的绝壁面前，而途中却无法看到这处绝壁，烦恼也正在此处。按照化学进化论提供的路径探索下去，我们在思维过程中会突然面临一项明确的需要：需要一台相当复杂的运转自如的机器；这台机器必须构造复杂，因为看起来它不仅应能工作而且应能把活干好。鉴此，对于这条通向大山的正式的旅游者之路，我们是否有抱怨的理由呢？这是否仅仅是一条虽然好走但却哪儿也到不了的花园路？

我想是的。我以为将我们引入迷途的似乎是两个主要路标，即生物化学的同一性以及所谓“生命分子”容易制造的观点。如果你将这些路标匆匆扫上一眼，你即可发现，这些路标似乎直接指向远处可看得见的目标。然而这条笔直的大道却将我们引向了绝壁。难道是我们看错了路标？

“华生，一切都与你的假设相符。但现在我们却碰上了一些非常棘手的难题。”

第六章　仔细察看路标

“福尔摩斯，”我叫了起来，“这不可能。”

“很好！”他说道，“一个非常精辟的见解。正如我说的，这是不可能的。也正因为如此，从某个方面说，我这样说肯定不对。然而，你却自己看到了这一点。你能推测出其中的谬误吗？”

哪种同一性？

关于生物化学的同一性，除把它理解为地球上所有有机物都有一组共同的分子外还可有别的理解。还有大量的用小字体印刷的东西需要仔细辨认。这种辨认的结果将改变最初获得的印象。现在我们将用放大镜对这些东西做仔细的辨认，尤其对四个主要论点，我们将给予特别的注意。

论点一

地球上所有有机物不仅仅有一组共同的分子，它们还有一个共同的系统。例如，有关蛋白质于核糖体内合成的方法、用蛋白质作为催化剂的概念以及从蛋白质和类脂化合物中合成细胞膜的方式等等，都可解释为生物化学的同一性。此外，一些比较特殊的制造工艺程序，例如分子合成和破裂的程序安排等也都可以用同一性的观点来解释。这些“中央代谢途径”与我们已知的所有各种形态的生命特别类似。（它们的详细构造则更能说明它们之间的同一性。这种更进一步的分析我们将留给下一章讨论。）

很清楚，这种有着高级组织形式的生物具有的普遍性是无法按照地球上尚未有生命时的情况来解释的。我不认为有谁曾推测核糖体是从一碗“生命前驱汤”中挑选出来的。鉴此，在那些作为生命组成成分的分子中，哪些有可能会被事先挑选出来这一问题也因此而变得不够清楚了。生物具有的普遍性至少部分是进化的产物。由此可得出另一种看法：也许这种普遍性整个都是进化的产物。

然而，你也许会说，在制造机器之前必须先有部件；在生命出现之前，在生物共有的系统开始形成之前，“生命分子”应该已经存在。这难道不是一种常识吗？

常识？也许这是常识吧。然而这种常识却使人糊涂。这是一种建立在一个我们认为是符合情理的程序基础之上的错误的直觉。

诚然，我们制造机器的程序是先设计，再列出所需的部件，然后获得这些部件，再然后才是制造这台机器。然而，进化却决不可能按照如此程序进行。进化没有计划。它看不到完成后的系统。它不会事先知道哪些部件有用。例如，即使在那种“生向前驱汤”中存在氨基酸，在当时这种氨基酸又会有何用处呢？”它们的主要用途（合成蛋白质）是很久以后的现在才发现的。由此可见，在机器与部件之间，部件以机器为先决条件。

论点二

在通用系统内，各个子系统被紧紧地连锁起来。例如，制造催化剂需要蛋白质，而蛋白质的合成却又反过来需要催化剂。合成蛋白质不能没有核酸，而核酸的合成却也离不开蛋白质。同样，制造细胞膜需要蛋白质和类脂化合物，而细胞内所有化学反应过程的进行却又需细胞膜的保护。如此等等，不一而足。对于重要的小分子来说，制造这些分子的程序之间的关系是一种高度相互依存的关系：即要合成一种分子必须先合成另一种分子；而要合成另

一种分子则必须先有这种分子。在这里，部分以整体为先决条件，即有部分就有整体。这种连锁非常紧密，而且是必不可少的。所有部件都在中央相互依存。

从上面的论述可得到四个辅助论点：

（1）我们的中央生物化学系统现在是如此保守，这一点已不是什么新发现。由于所有一切均相互依存，因此任何东西的改变都比较困难。

（2）这种功能的多重连锁只可能是进化的产物。由于这种连锁，我们的通用系统的中心就固定下来，但这种固定却不是在系统形成之前就已经如此。

（3）作为一种进化的结果，子系统之间的高度的相互依存是一种机器部件组合的典型方式，这一点能够被人们理解。一辆汽车，一个计时钟，一台电视机，一根双簧管，一台冰箱，一个网球拍……几乎任何一件构造比较复杂的物品都由或多或少的不同部件组成。这些部件各自本身的用处不大，它们通过相互协作发挥效能。

（4）一个渐进的、逐步发生的进化怎样才能导致一个内部一切均相互依存的系统的形成？这一点尚不够清楚。

第八章将对论点二展开详细的调查。在四个辅助论点中，使人困惑的第四个论点将证明可为调查提供特别有益的帮助。

论点三

生物共有的系统是一种非常复杂的系统。其复杂性远不止表现为子系统之间的相互连锁。因此，这种系统是一种延伸进化的产物。用进化论的语言来说，这种系统与最早的有机物相隔十万八千里。

论点四

在通用系统中存在习惯。例如，对氨基酸字母顺序做准确无误的选择以及为核酸词汇——即遗传密码——分配合适的氨基酸字母等，都是习惯在起作用的例子。一个特别明显的例子是：系统选取用于合成蛋白质的氨基酸一律都是“左旋的”，而据人们所知，“右旋”氨基酸也完全可以用来合成蛋白质。让我来说明这一点。

复杂分子通常与其镜中影子不相重合。这一点毫不奇怪。多数物体均这样。例如，你的右手在镜子中却变成了左手。只有那些相当对称的物体才没有“左”和“右”一说。

当两个或更多的物体须以某种方式结合在一起时，这些物体的“旋向性”就开始变得重要起来。如果是左手，则它必须与左手套相配。如果一个螺母上刻的是右旋螺纹，那么一个与之相套的螺栓也必须刻有右旋螺纹。

同样，一个酶上的插座对一个与之相配的分子的“旋向性”通常也非常挑剔。如果这个插座是“左旋的”，那么只有“左旋”的分子才能插进去。因此，生物化学中必须有这种旋向区别，就像在人体工程中一样，这样“左旋”和“右旋”的物体就相互区别开来。鉴此，有关用于合成蛋白质的氨基酸均具有同样旋向的现象也许就不会令人感到惊讶了。这种现象应该有它的道理，就像螺母螺栓总是用一种旋向有它的道理一样。然而，选择哪一种旋向，是左还是有，这却纯粹是习惯使然。它可以用抛掷硬币的方式来决定。

这种纯粹的习惯使然是一个普遍现象，这种现象正是生物化学的同一性中最为奇特的特征之一。那么这种习惯从何而来呢？我们知道，非生物反应过程作为一种规则并不显示这样或那样的偏见。同时，要以任何现实的方法

证明“生命前驱汤”的任何组成成分均以一种旋向，即或“左旋”或“有旋”的分子为主这一点也显得特别困难。由此可见，有关旋向选择的习惯很难被解释为一种有机物最初就已具有的特征。这种习惯似乎是伴随整个复杂系统的进化而逐渐形成的。如果以这样的方式看问题，那么，有关“旋向”习惯从何而来这一问题就像生物化学同一性所有其它表现一样，均属于同一个问题。这样一来，一种古典的达尔文式的解释就出现在我们的眼前。

不同种类的有机物具有共同的特征，对这种现象的通常解释是它们都源自一个共同的祖先。所有哺乳动物都有毛发，这是因为诸如奶牛、兔子、鲸、人以及蝙蝠等都是从一个有毛发的物种进化而来，因为当这个共同的祖先出现时，毛发已经成为它的一种重要特征。

然而，这种观点有时却可能会将人引入迷途。鸟的翅膀与甲虫的翅膀之间没有联系，不能用源自共同祖先的观点去解释。

由此可见，我们用这种观点解释某些现象时必须注意。然而，如果一种特征并非功能所需，如果它看起来像一种纯粹的习惯，如果这种特征完全有可能会是别的样子，那么，此时用源自共同祖先的观点去解释就有了比较可靠的根据。如果这种共同的特征很多，这时，可用这种观点去解释的根据已非常充分。生物化学中有很多“习惯”使然的情况，这一点使我们可以比较有把握地断言：生物化学之所以具有同一性是因为地球上所有有机物均从一个共同的祖先进化而来，这个共同祖先的某些特征已经固定。这是一种非常普遍的看法。

毫无疑问，上面提到的那些固定的特征就是那些形成生物化学同一性的特征。我们也许可以推测（从论点二）：这些特征是通过功能的相互连锁而固定下来的。（从论点三）我们可以推测，这个地球上所有生命的最后的共同祖先当时已经高度进化。它具有的固定的习惯最终将传给地球上所有形态的生命。

拿氨基酸的旋向来说，是“左旋”还是“右旋”？我敢说在这方面曾有过许多不同的决定，有过很多次抛掷硬币的结果。但是，因为所有生命均源自一个共同的祖先，所以需要记忆下来的只是一枚硬币抛掷一次的结果。

按照达尔文的物种世系图的推理，地球上所有生命的最后的共同祖先形成较晚这一点也就不难理解了。假定新的物种只能通过抽枝的方法从先于它而存在的物种中产生出来，又假定绝大多数物种都会消亡，那么，在经过一段足够长的时间之后，所有现存物种都可追溯到最初的分枝点以上的某个地方。达尔文的物种世系图就像下图中所示：你可以尝试自己画这样一棵树，在画树的抽枝以及树枝的修剪情形时均须随意为之。这时，你将发现这就是通常会有的结果。如图中所示，在树的最顶端的细枝就好比是现存的有机物，它们均和地面之上某个主要的分枝点相联系。

如果目前地球上显然已不存在真正属于原始形态的生命，这并不是因为地球上从未有过这种形态的生命。这甚至也不是主要因为竞争对原始形态的生命过于严酷的缘故（虽然我敢说竞争可能很严酷）。实际原因不会是这样。达尔文的世系图所包含的推理就已说明了这一点。在达尔文描绘的图中，抽枝、修剪，再抽枝、再修剪；这两者总是伴随在一起。

为什么（有些）“生命分子”容易合成？

那种认为处于原始状态的海洋充满了有机分子的观点现在已越来越多地受到怀疑。正像我们在本书第一章中所讨论的那样，现在看来，早期地球上大气层中占主导地位的是氮和二氧化碳。在这种大气层中合成有机分子要比在早先设想的那种甲烷居主导地位的大气层中困难得多。

紫外线对中型有机分子具有的摧毁力甚至要大过它合成这种分子的能力，这一点也正在被人们所认识。紫外线的总的效应是摧毁共价键。当然，裂开后的共价键会以新的方式重组，这样就会导致更多的新的分子合成。但尽管如此，紫外线的总的效应仍是破坏性的。这种效应是一种原子改组效应。所产生的典型的结果无非是两种：一种是形成一种非常复杂的混合物，如沥青，另一种则是形成简单但性质相当稳定的分子，如二氧化碳和水。

“海盗”宇宙飞船在火星上遥控着陆后拍摄到的情形从化学进化的观点来看可有力地证明紫外线具有的破坏性的一面。在火星表面似乎没有任何有机分子，其原因就在于紫外线的破坏作用。事实上，在强烈的紫外线照射下，有机分子根本就不可能合成。紫外线将火星表面的矿物质变成对有机分子具有破坏作用的物质，其破坏力甚至大过氧气。

即使没有紫外线的照射，也没有氧气的破坏，有机分子的混合物也难以保持不变。（窖藏的佳酿葡萄酒只需仅仅几十年光景就可改变。）构造复杂的矿物质表面可偶然产生催化效应，这种效应可加速共价键的任意改组，从而导致越来越多的复杂混合物（如焦油沥青）的形成。假如需要用具体实例来说明地球怎样对有机分子做加工处理，地下的原油就是一个很好的例子。有机矿物质通常都属于这类经共价键重组形成的特别复杂的混合物。

如果处于原始状态的海洋中确曾存在那种活性（“上紧了发条的”）小分子，如氰化物和甲醛，那么，情况可能会更糟。这些活性分子在各种能源的作用下从性质比较稳定的物质中产生。如果这些分子很纯，那么它们无须加以推动就会合成一些较为简单的“生命分子”（以及其它很多东西）。然而，原始状态下的海洋不会是很纯的。假如海洋中当时曾存在有机分子，那么这些有机分子的种类定然是无数的。因此，氰化物和甲醛的化学反应方式也定会数不胜数。这种情况就会导致更加稠密、颜色更深的焦油沥青的形成。

有机化学家对焦油沥青、冈克等类黏糊物质再熟悉不过。非常复杂的混合物只是有机化学反应的一般产品。碳、氢、氧、氮等元素的原子可以多种不同的方式组合起来，但问题却正是出在这种组合方式过于繁多。因为这样一来，要合成某种特定的分子，不管这种分子的复杂程度多高，则须通过设计和控制才能办到，哪怕只合成一点点也需如此。即使这样，形成复杂混合物的可能性也很难完全避免。因此，在合成某种特定的有机化合物的过程中，大部分艰苦的工作是“查病”。这是一种在一个反应发生后进行的除草工作，即将你不想要的分子剔除出去。合成任何复杂程度的分子都需经过一连串化学反应，每一个反应发生后都需对反应生成的结果进行仔细的检查，因为一般地说，每次反应生成的产品都不能含有任何杂质，只有这样，下一步反应才能进行。

在摹拟原始地球环境中生成的复杂混合物中已发现一些比较简单的氨基酸，这是事实。甚至核苷酸也已在一些据说可能是生命前驱产品的摹拟物中发现。然而，所有这些“生命分子”均数量极少，通常只不过是一些痕量产品而已。这些“生命分子”的发现常常是因为实验者具有较高的技能而不是

因为这些分子很容易合成。

糖的合成尤其不易。不错，糖可从甲醛溶液合成。但这些溶液的浓度却需大大高出存在于早期海洋中的溶液的深度。此外，糖的合成所需的化学反应实际上却是一个无效过程，因为在这个过程中，所有各种糖类以及其它许多物质都同时形成。更有甚者，糖的合成所需的环境反过来对它具有破坏作用。因此，糖很快就会造出一种本身特有的混合物，即焦糖，而如果遇上氨基酸，则会造出更加复杂的混合物。

总而言之，所谓“生命分子”容易合成之说是一种过分夸大的说法。这种说法只适用于少数最简单的分子。要弄清楚分子会怎样有效地抵御那些不相干的或干扰分子的侵袭，进而组合成所需要的较高等的如信息带之类的结构殊非易事。

最后，即使我所说的这一切全错了；即使原始地球化学已证明的有机化学反应控制的精确度与现代地球化学所证明的大不相同；即使原始地球化学已生产出所有“生命分子”而且也仅仅大量生产了这种分子；即使如此，这也仅仅是触及了本书开头四章所概述的那些真正的难题的边缘。

然而，你也许会说，有些事情仍需给予解释。例如，糖自甲醛中合成，腺嘌呤来自氰化物，氨基酸更适于在摹拟的闪电中合成以及氨基酸出现在陨星之中等等，所有这些现象无疑都不是巧合。因此，难道我们不能说至少某些“生命分子”具有无处不在的特性吗？这些分子到处皆可发现。

是的，事情的确如此。现在让我们用透视的方法来分析这些现象。我们现在将面对三个严峻的事实：

1.只有部分“生命分子”“无处不在”。

2.多数“无处不在”的分子均不是“生命分子”。

3.“生命分子”通常更适于在与早期地球环境不同的环境中合成。

我们从中可得出的正确的推论应该是：某些种类的有机分子比其它种类的有机分子更为容易合成，其性质也更为稳定；这些种类的一部分有机分子被我们的高度进化的生物化学机器所吸收。这个推论不是令人耳目一新的新理论。

在那组最后将在我们的生物化学系统中固定下来的分子中有一些这样的分子：它们本身的合成并不十分困难，而且合成之后具有相对稳定的性质。这一点并不难理解。对于确立了我们的中央生物化学系统的进化早期阶段来说，无论这种分子是这个阶段的前提物质还是这一阶段的产物，都是一种可以理解的结果，这会是一项很好的很经济的工程。

对于我们现在的系统来说必不可少的核苷酸和类脂化合物却不在那种“无处不在”的分子之列，我以为这一点的意义要远远超过前面所说的那一点。核苷酸与类脂化合物尚未从摹拟的早期地球环境中合成。它们过于复杂也过于特别。它们具有那种为某种特定目的而合成的分子所具有的全部外貌特征。具体来说，它们具有作为早期进化的产物而不是其前提物质所具有的全部外貌特征。

你也许仍然觉得用那种“时间、更多的时间以及海洋资源”的观点应该能够解释那些较为复杂的“生命分子”最初如何形成这一问题。如果是这样，下面我对“生命分子”中那些最重要、最关键的分子所做的深入思考将打消你的乐观。

核苷酸过于昂贵

西格马公司是几家提供研究所用的生物化学制品的公司之一。从公司的产品价目单上我得知用五英镑可购买一克 ATP（三磷酸腺甙），即一种具有易感性的（“上紧了发条的”）核糖核酸核苷酸。三磷酸腺甙之所以如此便宜是因为它相对来说比较容易从大块生物物质中提取，例如从马肉中提取。其它三种核糖核酸核苷酸的价格却是它的 10 倍。脱氧核糖核酸核苷酸的价格则更高，达 300 英镑一克。但这种价格仍然是便宜的，因为这些生化制品均取自天然生物物质。

就像邮票一样，越不寻常，价格就越高。核苷酸的价格也是如此。例如，如果三磷酸腺甙的连接段不是核糖而是阿拉伯糖，那么，这种三磷酸腺甙的价格则将上升到 6000 英镑一克。但即便是这种不规则的核苷酸，如果是用（人工）合成方法获得，它们也决不是百分之百的合成物。合成核甘酸可能是从核糖一类成分开始的，此类成分取自自然资源。同样，核苷酸的字母件通常也可用这种方法合成，鉴此，6000 英镑一克（或 600 万英镑一公斤）的价格对于在空阔的宇宙中合成一个具有易感性的核苷酸的费用来说实为一种很低的估价。如果这些物质不是从马肉等生物物质中提取的，它们的价格会有多高？从甲烷、氨和磷酸盐岩中合成核苷酸的实际费用又会是怎样一个数字？我不愿去想。

请比较一下甘氨酸与丙氨酸这两种最简单的氨基酸。这两种氨基酸确实可以说容易合成。这些物质经常可以通过放电实验在混合物中找到，也可在陨星中找到。甘氨酸的价格大约一英镑一克。丙氨酸（一种“左旋”和“右旋”形态物质结合的混合物）则大约八英镑一克。（你出这个价钱购得的这些物质，其纯度可达 99%，而你在摹拟雷鸣电闪的条件下获得的物质其纯度却只有 1%。）

具有易感性的核苷酸不仅难以合成，其性质也相当不稳定。西格马公司建议，具有易感性的脱氧核糖核酸核苷酸制品应同干冰一起装运，以免途中分解。核苷酸一般应在冰点以下的温度中贮藏。

具有易感性的核苷酸既昂贵又脆弱，因此，我以为，在任何时候，这种物质都不会像矿物质那样是地球化学反应过程的产品。

在《遗传接替》一书中，我列举了 14 种在原始地球的环境中合成具有易感性的核苷酸时必须克服的障碍。这些障碍存在于从合成足够的和不同的甲醛及氰化物浓缩物到最后为核苷酸“上发条”，即使其具有易感性这一全过程中。实际上，这些反应过程每一个又分为若干个单元步骤，这些步骤的顺序必须适当。

在实验室中做一次有机合成实验需完成几十道或几百道小工序，例如升液、倒液、混合、搅动、加满液体、倾析、调节等等。这些单位工序本身也许没有大多的要求，但它们之间的顺序却一定要正确。实验的操作规程必须遵守，当这种程序被拖延后，很难设想实验还有成功的机会。这就是为什么简单的氨基酸可被看作生命前驱产品而具有易感性的核苷酸却不能的道理。原始地球上发生的各个单元反应过程加在一起也许就可能合成具有易感性的核苷酸，这一点并非不能想象，就像人们可以想象一个硬币连续抛掷 1000 次而每次的结果均为正面一样。

你可以想象原始地球就像一个有机化学家做实验时一样行事。你可以看

到一个池子中的水在阳光下蒸发从而使溶液的浓度提高，或可看到溪水外溢从而使两种溶液混合在一起，或可看到风将一种具有催化作用的矿尘吹进了溶液之中。你可以想象过滤、倾析、加热、酸化等种种工序。你可想象许多此类活动是由地质和气象变化中的小事故引发的。然而证明一个顺序中的每一步都合理并不能证明这个顺序本身也合理。

你也许会说，在如此大的世界上以及这么长的时间内环境的正确结合会在某个时间出现吗？这是不合理的吗？

答案是：不合理，因为既没有足够的时间也没有足够的天地。

我在前面提到的在合成具有易感性的核苷酸的过程中存在的 14 个障碍，平均每个障碍涉及 10 个单元工序，因此至少有 140 道工序必须以一种适当的次序排列起来。这样说显得过于简化但却仍不失之为一种有把握的简化。（如果你有所怀疑，你可去看看有机化学家怎样工作，观察他为完成一个有机合成实验的“一个步骤”而做的所有工作。）我们无疑可以比较乐观地假定，这些工序的排列在不加控制的情况下，在每一个工序上每排列六次即有一次是正确的。如果我们把它当作一种概率，那么，我们可以说，在原始地球上合成具有易感性的核苷酸，其成功的概率就好比掷骰子：掷一个即可出现六种可能的结果；掷双的则出现 36 种，掷三个则出现 216 种；掷 140 个，即可能出现 6140 种结果，而其中只有一种是成功的。这样一种情况是不是太有点像巧合？

用近似值计算，在原始地球上合成具有易感性的核苷酸的成功概率是 10^{109} 分之一，即你必须做 10^{109} 次试验才能有一次成功的机会。如果将一粒骰子每秒钟投掷一次算作一次试验，那么自地球形成到现在也只能完成大约 10^{15} 次试验（原文如此，似为 10^{16} 之误），因此你将需要 10^{98} 个骰子（原文如此，似为 10^{93} 之误）。这个数目远远超过我们能够观察到的宇宙中的电子的数目（这个数目估计为 10^{80}）。

当然，你也许会争辩说，一种物质的合成可以用不同的方式进行。这一点诚然不错，但请记住，我们已通过削减有机合成实际需要的技能量为我们所做的估计留出了很大的余地。同时还请记住，一种制造程序通常不容随意改变。随意改变很容易使程序偏离轨道而且永远也无法复原。这一点对于化学反应过程来说尤其如此。在化学反应过程中，通常不能在不应该加酸的时候加酸，或把不应扔掉的溶液扔掉，或使用不适合的紫外线灯等等。在有机合成中，只有当你需要合成的产品是一种性质特别稳定的物质——例如二氧化碳和水分子——时，合成过程中才容许有疏忽。也许甘氨酸和丙氨酸的合成也容许有疏忽，只不过其限制比二氧化碳和水分子的合成要严格得多。但核苷酸的合成却不容许有疏忽，这一点从这种产品的价格即可看出。

当人们考虑在合成不太可能的物质结构时用去的大量时间和空间有何作用时，人们可能会被自己的直觉引入迷途。这里的教益是：对于纯粹的机会能够摹拟的技能水平来说，大量的时间和空间并不会带来太大的差别。要连续掷出 14 个六点（按照我们的规则用一粒骰子投掷），需要大约一万多年时间，而掷出七个六点则可能只需几个星期，掷出三个六点则也许只需数分钟就够。

这一切都说明我们在前面提到过的那道绝壁的坡度之陡。一个三步完成的反应过程可能容易由机会实现，但一个类似的有着 30 个步骤的反应过程也说能够由机会实现则显得相当荒谬。

与生命赌博

人们通过直觉可能会做出这样的猜测：即一个 30 步的反应过程由机会去实现，所需时间会是一个三步反应过程所需时间的 10 倍。这种猜测在有些情况下是对的，但这只有当过去的成功和失败能够被记忆下来而且成功的次数可以累积起来计算时才有可能。用投掷骰子来类比，那么按照规则，我们可以在每一个步骤连续投掷，直至掷出一个六点后再开始下一步；同时我们还可以将过去的成功次数累积起来。按照这种游戏方法，要掷出 140 个六点可能只需用一粒骰子在 840 秒钟，即大约一刻钟内完成。但这种掷骰赌运气的方法要使之适用于自然界，则只有出现有机物演替时才有可能。在有机物演替过程中，信息可往下传递；一个设计不会因为仅仅一次失败而成为废品；尽管有失败，但过去的成功仍可累积起来，因为这种成功的复制品有很多，这就是生物学的开始。与有机物赌博是一种完全不同的赌博。

然而大自然又是如何开始这场赌博的呢？对于任何一种使用我们那种信息带的有机物来说，它至少需要源源不断地获得具有易感性的核苷酸。这就需要有一个核苷酸制造厂。首先，只有自然选择才可能制造出核苷酸，这一点是否能够肯定？其次，有些出现较早的有机物本身并不需要核苷酸但进化后却可生产核苷酸，这一点是否也能肯定？

征服绝壁的方法就是绕开它。一定还有其它道路通往大山。

“ 巧合的因数太大，大到无法用数字表达。 ”

第七章　套盒中的线索

“这是另一种思路。这里的思路有两种，请你不要将它们绞在一起。”

一条长卷毛狗，一只狮子狗，一条俄国狼狗，一只约克夏■——这四种狗看上去相互之间区别很大，但我们却认为它们在某种意义上均属同一种动物，只是各自的外表不同罢了。同一个物种的成员必须有非常类似的生物组织。可相互杂交的动物必须在本质上属于同一种设计，因为它们“图书馆”中的构造指南必须大体上能够相互替代。

即使在关系较远的动物之间，例如在鲸与蝙蝠之间，它们在设计上的类同可能大大超出它们的外表所显示的不同。鲸与蝙蝠都属于从一个不太远的共同祖先进化而来的哺乳动物，它们仗以生存的设计思想的大部分是共同的。例如呼吸、消化和排泄系统，神经和血液循环系统的分布，造皮与造骨的手段以及蛋白分子的种类等等，所有这些和其它很多东西在鲸和蝙蝠之间的类同均大于不同。因此，这两种动物也许同样可以被看作外表不同的同一种动物，尽管这一次需要做些比较深入的研究才能确定。对于鲱鱼和仓鼠来说，你则需要做更为深入的研究才能看出它们之间在何处类似，虽然这种类似并没有隐藏太深。同样，鲱鱼与仓鼠之间的类同也多于不同。

那么，对于卷毛狗与矮牵牛花来说又是怎样呢？这两种生物在较高层次的设计特征无疑有点不一样。矮牵牛花没有任何像卷毛狗的卷毛之类的东西，也没有肝脏，没有骨头，没有那种持续不断地吠叫的脾性等等。然而，再往深看，深到足够的程度后你就可发现一些相类似的东西，例如设计有点类似的细胞以及非常类似的蛋白分子等。再深一点你就可发现地球上所有生物——无论是大象还是火绒草或大肠杆菌等——都共有的那些特征。你就会发现我们在第四章讨论过的那个处在最中心的共同的中枢生化系统。在这个系统中，中央“图书馆”书籍中的信息带物质总是一样；印刷传给次一代细胞的信息所用的方式一样；在信息翻译中使用的主密码一样，组成蛋白链链节的那组氨基酸也完全一样，……等等。

地球生命形态的多样性主要存在于表面，越往里多样性越少。在中心，多样性则不存在。

人们经常用层次来描述不同的组织结构。有些方面被看作是表层结构，另一些则是较深层的结构，还有一些则是中央结构。这是一种套盒隐喻。按照这种隐喻，整个组织被认为是一种盒中套盒的结构。在这种结构中，外层子系统基于里层子系统，所有系统基于中央核心。

让我们把这个比喻用于有机物。让我们将地球看作一个博物馆，馆内收藏着大量的各种各样的套盒。这种收集是怎样形成的？在各组套盒之间，外层盒子彼此之间在式样上的区别远大于里层盒子，这种情况又是怎样发生的？拆开博物馆内的任何一组套盒均可发现一个同样的内核，这又是怎么一回事？

看来，这些套盒大体上似乎都是通过在外层加上新的盒子而造出来的。这种情况和我们对进化事件顺序的总的理解相符，即越靠近中央的设计思想其年代就越久。这一点也属于常识之列。我们说某种设计特征是一种表面特征，这意思是说，在组织之内没有多少其它的东西基于这种特征。要在一个组织的外层再加上一层或对位于外层的特征做些修改要容易得多。达尔文在

《物种起源》一书中阐述了这个论点，即有机物的新近进化而成的特征确实已发现在很多情况下比已存在很长时间的特征具有更大的可变性。

因此，人们也许可以明白为什么博物馆中套盒的外盒被漆成各式各样。同样，人们也能明白为什么现在要将里层盒子做些改变已大为不易。但是，这仍然没有回答为什么越往里盒子种类越少，而到最里面却只有同一种内核这一问题。一个套盒中的盒子，不管目前在哪个层次，毕竟曾经在某个时间是外层盒子，既然如此，它应该很容易受到进化的修改，因此这个层次的盒子应该种类繁多。那么，这种多样性为什么不能持久呢？

我们用三个标准概念，一个连一个，即可对这个问题做出解释。假如概念（1）——即当外层又加上一层新的盒子时，原来属于外层的盒子此时就成了里层盒子并固定下来——能够成立，那么我们就可以加上从上一章得到的另两个概念。概念（2），新的物种只能通过抽枝过程从旧的物种产生（一个新的套盒只能是博物馆中已经存在的旧的套盒经修改后的复制品）。概念（3），大部分物种都会消亡（博物馆总是遭到窃贼与摧残文化者的劫掠；侧厅整个被烧掉，每年都有一车车的盒子因遭雨淋和虫蛀以及受地震和涝灾的影响而毁坏，最后只好扔掉……）。

由于外层盒子对里层盒子的多样性的抑制，同时也因为概念（2）中所说的情况，因此要形成新的中央设计根本就没有可能。然而，物种却继续大量消亡。如此一来，中央设计思想也只会失传。越靠近中心位置，受到这种危险威胁的时间就越长。因此，在收藏地球有机物的博物馆观察到的结果是：有机物的最外层具有高度的可变性，而越往里则越保守。

越过最后的共同祖先

假如以上所述成立，同时，假如你再看看第六章中的进化树，那么，生物共有的中央内核竟如此复杂这一点也就丝毫没有令人惊讶之处。这种中央生化系统可追溯到目前地球上所有生命的最末一个共同祖先那里。这种共同的系统就好比是博物馆中所有套盒的共同内核。就像前一章所讨论的，这种不变内核具有的极高的复杂性需要经过一个延伸的进化过程才能形成，这个过程在进化树上表示则从进化树的真正的根部一直伸展达到远离根部的分枝点，这个分枝点则代表现存所有生命的最末一个共同的祖先。

现在，请再仔细看看这棵树。你将发现这个最后的共同的祖先在树中的位置与我们的看法不谋而合。对于在此以前就已生存了很长时间的有机物来说，其共同祖先在树上的位置应在这个位置以下的某个分枝点。（将树的上半部分用纸盖住，这样一来，你看到的新的枝头的共同连接点则在原来的连接点以下的某个位置。）

在生命进化的初期会存在一个有关最后共同祖先演替的全过程。现在的问题是：那些较早的共同祖先的中央内核是否小于较晚的共同祖先的内核？我们现在共有的那种极为复杂的内核是否就是通过像后来的进化过程一样的过程，即通过外层使里层固定的方式进化而来？如果是这样，那么，我们共有的生化内核应该在其结构中揭示它的历史。这种内核的结构应该是一种盒中套盒的结构，它应该是套起来的。这种层层相套的结构性质可使我们看到地球上所有生命的最后一个共同的祖先以前的进化顺序。这应该值得一看。

二难推论

那么，是否地球上所有生命的中央生化系统都是套起来的呢？

是的，不过有一点还令人困惑，即在这种中央生化系统中，层与层之间相套的方式却有两种。更有甚者，这两种不同方式暗示着早期进化事件的两种不同次序。下面我将解释这一点。

根据人们看待这个问题的方式之一，这个中央内核中最里面的盒子应是脱氧核糖核酸。盒子里装的是有机物的精髓，即最后的控制者，也就是遗传信息。在这个盒子的外层是核糖核酸盒，再外层是蛋白质盒以及与蛋白质活动直接形成的产品或多或少相对应的盒子，即一种膜一类的较远程控制结构。这种分层很容易看清楚，其方法是通过提出这样的问题：即需要什么来控制什么。对这一问题的答案最终总是归到脱氧核糖核酸，这意味着脱氧核糖核酸最早形成。

除此以外，还有一种观察方法，即不是从董事会会议室，即控制结构，而是从工厂车间的布局开始。提出的问题不是“需要什么来控制什么”而是“需要什么来制造什么”。我们把它叫做一个组织的供应结构。

有机物中央内核的这种供应结构在有机物的主要的新陈代谢途径中或多或少均能发现。这些代谢途径是关于合成和拆开某些微分子成分的工序的排列次序。这些微分子成分包括氨基酸、核苷酸和类脂化合物等，它们都属于生物共有的“生命分子”。

主要代谢途径的组织结构有点像一个典型的英国市镇的道路结构。中央内核的供应结构至少在一个层次表现为明显的套盒结构，这个内核本身就有一个中心，我们可把它叫做商业中心或销售中心。在这个中心里只需走几步路即可买到必需的商品。中心通过四周的主道向外辐射。（这些道路中有些是单行道，有些则是双行道。）

这个中心的中心，即这个生化销售市场，经营的是一些次级成分。这些次级成分是一些由一般意义上说比较大的“生命分子”拆散而成的小分子。这些小分子可重新组合成大分子。在高等动物中，例如人类，像这种通过拆散、组装而重新合成分子的道路有些已年久失修。但大体上说，任何“生命分子”均能从其它“生命分子”中合成，其方法是将拆散和组装适当地结合起来，或者说从一条路进入中心地区再从另一条路出来。

这些处在最中心位置的中间分子又是些什么东西呢？这些分子约有 12 种，每种均含有碳、氢和氧等元素的原子，少数还含有磷酸盐。有一种叫乙酰的分子（实际上只是一个分子的一部分）通常可用一个硫原子将它抓住。

令人奇怪的是，在这些地区却没有氮原子。这是供应结构与控制结构之间一个显著的不同。在控制中心，即在脱氧核糖核酸、核糖核酸和蛋白质中，氮可说是无处不在。

在供应结构中，氨基酸离中央内核的中心地区至少有一层之远。从那些中央次级成分中很容易合成八种氨基酸分子。这些氨基酸可被看作在供应结构中构成一个独特的层次。核苷酸则在离中心区更远的外层，它们的合成除其它物质外还需要两个处于里层的氨基酸。要合成一个脱氧核糖核酸核苷酸需经过大约 18 道工序，因而也需要 18 个酶。然而这一切却仍然是在供应结构的内核中进行的，这个内核对地球上现存的所有有机物来说在本质上都是相同的。

那些处在最中心的次级成分彼此之间容易相互转化，因此，要找出一个确切的中心比较困难，就像要确定一个城市的中心也可能比较困难一样。（例如这个中心应该是在市政厅呢，还是在邮局，或者在战争纪念馆？）从某种角度看这个问题在任何一种情况下都有点学术问题的味道，真正的中心是一个地区而不是具体某一点。尽管如此，如果我们在供应结构中也想要有某种相当于脱氧核糖核酸的东西，即如果我们想在一组套起来的盒子的最里层放上某种物质，那么，我猜想这种物质应为二氧化碳。这种猜测的根据不是因为二氧化碳是所有有机物所需的碳的直接来源，而是因为它是植物的源泉，因而也是所有有机物的最终源泉。如果二氧化碳即使在植物中也不是恰好位于中心位置（主要供应点往往稍微偏离主要街道），那么，所有那些中央次级成分和它在化学上的关系就相当亲近。（这些次级成分含有的氧原子的比例相对较高。）

现在我们陷入了一个进退两难的处境。从对有机物的控制结构的分析中我们可推测脱氧核糖核酸是生命的最初物质，但对供应结构的分析却又引导我们得出一个不同的结论，即最初的物质是一种相当简单的、不含氮的、类似二氧化碳之类的东西。

相信哪种说法？

下面则是地球现存有机物的“控制核心”和“供应核心”的简图：

这两种推测中究竟哪一种含有真正的线索呢？抑或这两者都不含有？抑或两者都以某种方式含有？

现在让我们看看两种假设。

根据 C 假设（C 代表控制），真正的奥秘就存在于有机物共同内核的控制结构中。脱氧核糖核酸（或类似东西）总是位于中心，控制机制则从里向外进化，新的盒子和新的远距离的控制手段则在外层形成。

首先，脱氧核糖核酸类分子是由分子周围的环境直接根据它们各自具有的字母排列顺序将它们挑选出来。这种挑选是粗线条的，因此排列顺序是否完全符合标准并无太大的关系。当然有些排列次序显然要优于其它。例如，某些顺序可使分子折成一个结实的小球，从而将其包裹起来，以免在某些地方有受到摧毁之虞。鉴此，这样的排列顺序在这种地方就会经常出现，如此一来，它们就会越来越流行。

如果你承认某个特定的脱氧核糖核酸类分子中的信息可影响这个分子的特性，那么，这种分子可进化的概念在逻辑上就肯定不会有错。对于一种脱氧核糖核酸类分子、即核糖核酸分子来说，这一点已在实验室里得到证明。在提供具有易感性的核苷酸的情况下，核糖核酸在适当的大酶的协助下可在试管中复制自身，而且如果环境适合还可产生进化。

现在假定你已有能进化的脱氧核糖核酸类分子，这时你就可设想这些分子中的信息可借以产生效应的其它方式，例如对氨基酸等其它类分子产生间接影响以及将氨基酸结合在一起合成蛋白质的能力。控制结构就是这样通过不断向外发展即通过不断从里往外套盒子的方法不断累积，最后形成中央内核。在这以后，控制结构继续往外发展，形成新的外层盒子并创造出千变万化的间接控制手段，通过这些手段，脱氧核糖核酸设法达到传播自己的目的。

以上所说很合逻辑，但它是不是正确呢？要判断这种说法正确与否，可回忆一下我们论证有关地球制造核苷酸这一观点是多么困难，即可找到答案。那么，供应结构又如何呢？为什么供应结构提示的情况不同呢？为什么按照供应结构的提示，核苷酸的出现会如此之晚？什么东西会引导二氧化碳向那些对生命的形成不可或缺的、难于合成的具有易感性的核苷酸进化呢？

同样，如果你能相信早期地球上存在核苷酸，那么这些问题也能找到符合逻辑的答案。你可以设想，当早期地球上的这种核苷酸快用完了时，那些可从比较简单的物质中合成核苷酸的有机物就具有了优势；然后当这些比较简单的物质也快用完时，有机物就会从更简单的也更易获得的物质中去合成核苷酸；如此类推，最后就会找上一种最简单且最易获得的东西，即二氧化碳。按照这种描述，中央内核的供应结构是从相反方向、即从外往里建造而成的。

同样，这种推论是否正确？首先，要理解早期地球上存在具有易感性的核苷酸这一概念就非常困难。合成一个核苷酸需要经过 18 道工序，此外还需很多媒介物质。这些媒介物质中许多物质的性质相当不稳定。因此，早期地球上即使有具有易感性的核苷酸，这种媒介物质是否存在却仍大可怀疑。

C 假设虽然逻辑合理，但当用它来解释具体实例时却无法令人满意。

那么，我们再看看 S 假设（S 代表供应）。按照 5 假设，地球上生命起源的真正线索可在另一组套盒中找到，即从共同的中央内核的供应结构中找到。于是就出现另一种情况。

二氧化碳总是处于供应结构的中心，然后才是核苷酸，再然后才是核酸，即脱氧核糖核酸和核糖核酸。进化总是按照正常的从里向外的方式进行，即从简单产品向复杂产品进化。脱氧核糖核酸控制结构也是从里向外建造而成，但整个建造过程却很晚才开始，即直到结构内部能供应核苷酸之后才开始。

根据对生化图最直接的理解，二氧化碳的存在早于核苷酸，这一点没有多少疑问。伟大的生物化学探索家李普曼在大约 20 年前就已指出这一点。在这以后，哈特曼提出了我们现在正讨论的这种假设（哈特曼将它称作“洋葱启示”）。但在哈特曼看来，这个 S 假设带有一个必要的附加条款。由于没有可被复制的信息、即没有可被一代一代复制、再复制的方法，代谢途径以及其它任何东西的进化就不可能发生，因此，任何种类的有机物都必须具有某种遗传物质。如果这种物质最初并不是核酸，那么它必定是某种别的东西。既然如此，我们就必须假定，在以核酸为中心的控制系统形成之前存在另一种控制系统。我们必须假定有一种更早的有机物存在，这种有机物本身并不需要核苷酸，但却可以进化生产核苷酸。这个结论我们在上一章末就已经做出。

“华生，当你按照两种思路往下探索时，你会发现它们的某个交叉点，这个交叉点应该已接近真相。”

第八章　失踪的部件

“我不是说我们已经弄清了案件的真相，远非如此。但当我们查出了那个失踪哑铃的下落后……”

“那个哑铃！”

“哦！华生。你是否仍未弄清，这个案件的关键就在于那个失踪的哑铃？好啦，好啦，你也不用感到丧气。在我们之间来说，我以为无论是麦克探长还是那位杰出的地方侦探，他们都还没有抓住这个事件的主要价值。一个哑铃，华生，请你想想看一个运动员只用一个哑铃会怎样。你可为自己勾画一幅图画，看看这种片面的运动会带来什么结果，最直接的危险是脊椎骨弯曲。糟糕呀，华生，真糟糕！”

从某一方面来说，眼睛特别易于认识。眼睛与相机是如此的相似以致使人们纳闷为什么没有发生过侵犯专利的诉讼纠纷。两者都有暗盒、镜头、可变光阑以及感光表面。再往深层看当然就可看出两者之间在设计上的一些各自专有的明显的不同。眼睛后面的感光区实际上与胶卷并不太相似。这一点以及有关眼睛的其它很多东西尚没有为人们所完全认识。但是眼睛由一些协同工作的相当确定的部件组成，这一点是眼睛特别易于认识之处。就像我们在第六章中讨论过的那样，一些真正有效能的机械部件通常是通过相互协同工作而发挥效能的，眼睛的这些部件也同样如此。

有关眼睛，一个不太清楚的地方就是：既然整个机器只有在所有部件均到位并工作时才能工作，那么，眼睛的组成部件是怎样进化而来的呢？这是达尔文喜爱接受的那类挑战。

这个问题不是眼睛所独有。有机物中充满了这样的机制。这种外表已事先设计好的特征是生物的一个重要特征。这是一种相当普遍的观点。（请回想一下科尔里奇给生命下的定义。这个定义就是：生命是“一个整体，这个整体是所有各个部分的先决条件”。）

然而，各个组成部件之间的错综复杂的合作又如何能够一小步一小步地进化呢？

我们首先可以看到的一件事就是：一个有机物中一个结构通常具有几种不同的功能。例如，一个动物的颌除了用来进食之外还可以有好几种其它用途，如搏斗、叼幼小动物等。这些功能显然不是一次发现的，其中有些功能必定是后来才发现。既然老的结构可以发现具有新的用途，那么一些老的需要也应该可以被后来进化而成的结构满足。

偶然发现新的工作方式的机会很多，这种工作方式以已经存在的两种或两种以上的结构为基础。例如，猫通过皮外衣保暖的方式也许只有在有办法使皮外衣保持干净的情况下才是一种好方式。没有人会说猫的舌头本来就是为了保持皮毛的干净而进化的。但舌头是因为被证明对皮保温系统同样有用而成为这一系统的一个不可或缺的部分。现在猫的舌头已为了保持皮毛干净的目的而有所改进，但它依然是食品处理系统的一部分，仍然发挥它的古老的作用。当然，舌头还有其它用途。有些动物用它散热，有些则用它说话，如此等等。这一点在生化组织的所有层次，从器官到分子，都是非常典型的。有机物的有些组成部件具有很多功能，这些功能不可能都是最初就有的功能。有些组成部件相互依存的方式也不可能最初就有，但现在这些方式却已成为必不可少的东西。

事实上，即使像大肠杆菌那种所谓简单的有机物，它们也都是一些体系庞大、错综复杂的企业，在这些企业里，子系统偶然形成新的组合而产生新的功能的余地很大。由一组新的子系统组合而形成的新的工作方式取代老的工作方式的事时常发生，这似乎是一种必然发生的现象。这样一来，自相矛盾的合作就会出现。

要了解这是怎么一回事则请看下面这个非常简化的模型，这是一个用石头搭成的弓形结构：

如果你被告知这个弓形结构是用一批相互之间的形状只有些许改变的石头搭成而且是用一次搭上一块石头的方法搭成的，那么这个弓形结构也许看起来就是一个自相矛盾的结构。

怎样才能逐步建成一个弓形建筑呢？

答案是搭一个支撑脚手架。在上面所说的情况中你也许会用石头垒成一个脚手架。首先你会将石头一块一块往上垒，垒成一道墙。

然后你就会抽去其中一些石头，从而留下这个“自相矛盾”的弓形结构。除了用垒脚手架的方式外是否还有其它的方式？对于人们发现的有机物的子系统相互依靠的结构、即几个子系统中每一个均与其它子系统相互靠在一起的结构，我们可以做这样的解释：即这种结构中早先本来还有一些部件但现在却失踪了。但除了这种解释外是否还有别的解释，组成成分之间的协作在任何地方均没有在中央生化系统中紧密。现在我们抽出一个分子，任何一个分子，来分析这种协作之紧密，例如我们可以抽出一个丁氨二酸分子。丁氨二酸是 20 种蛋白氨基酸之一,因此实际上这种分子是每种酶都需要的组成成分。细胞中每一个化学反应都需有丁氨二酸的存在，这就是说细胞合成每一个分子都离不开这种分子。此外，这种分子还可用来作为其它所有种类的分子合成所需的材料之一，例如它可作为合成核苷酸字母部件的材料。核苷酸字母部件无疑是非常重要的物质。抽出一个其它分子，即中央内核中的任何一种分子，分析的结果会同样如此。如果你问这种分子有何用处，你会立即获得好几个答案。然后，当你分析这种分子的间接影响时，你就会发现，每一个分子均在这方面或那方面为其它所有分子所必需。

由此可见，这是一种比弓形结构要复杂得多的结构，因为这种结构中的每一块“石头”不仅仅是和另两块相连而且和许多块相连。这是一种多面的弓形结构，而且面越多越无法改变。这种结构中的任何东西都不能触动，否则整个大厦就会倒塌。在了解了中央生化系统的这种相互依存的结构之后，对于这个系统现在为什么会这样固定以及为何如此长时间保持固定这一问题也就一点也不难理解了。现在比较难解的问题是：这种如此复杂的弓形结构是如何通过一块石头接一块石头的方法进化而来？

请想象一下，要造出合成蛋臼分子所需的所有机器需要经过多长时间的进化。请想想看，要获得如此极为复杂的结果需要经过多少次挑选和摒弃。密码的进化只是这个问题的一部分，尽管是最难理解的部分之一。请设想一下，一个一致的密码以什么为先决条件。另外，还可设想一下，任何像我们的中央生化系统这样的东西在什么情况下才能进化。这种东西是如此复杂而又如此固定，且这种固定似乎是如此地不可避免，而现在又是如此地不可缺少。不管当时的情况会如何，有一点可以肯定，它和现在会很不相同。

可以肯定，当时会有建“脚手架”的材料存在。目前生化系统中众多的

组成部件在能够相互倚靠在一起之前必须先靠在其它别的物质上。

我们曾提及这种观点，现在又经常不断地回到这种观点，这种观点就是：在进化的早期阶段，即在我们所知的生命出现之前，地球上存在其它种类的进化系统，即那些实际上发明我们的中央生化系统的其它有机物。

但人们是否能够想象出控制从一个老系统传到一个新系统所用的任何方式呢？即便能够，我们不是又面临一个以前就遇到过的同样的难题吗？对前一个问题的答案是肯定的，对后一个问题的答案则是否定的。让我们从第一个问题开始。

长绳

第二章论述的主要观点是：进化可以说是由对遗传信息的阐述和发挥组成。应该承认，要使进化成为可能，遗传信息必须具有某种效力。它们必须以硬件形式表现出来，即它们必须能够导致具有共同表型的一类有机物产生。但所有这些严格地说只是论点的下一个部分，即信息首先出现是因为只有这种信息才能长期生存，只有它们才能使演替线之间具有长期的连续性，只有它们才被认为可以进化。

演替线并不是单纤丝。一代一代相传的是一组信息，即一串基因。因此，产生进化的是连成一串一串的基因，而这些基因串不仅可以通过串中基因本身的修改，而且改变还可以通过增加或减少基因而发生变化。

一长条连成一线的有机物就像一根长绳索，这根绳索的纤维部分重叠，就像大部分绳索一样。但这根绳索的任何纤维却都不必从绳索的一头一直延伸至另一头。在这根有机物绳索中，基因来、基因去，新的基因不断取代旧的基因。

如果一种有机物的所有基因都用同一种物质制造，而这些基因也用同一种方式活动，那么我敢说这样的有机物具有管理上的明显优势。在这种情况下，一旦你能获得一种像蛋白质的物质作为原料，你就可以从这种原料中合成几乎任何东西。如此一来，这种复杂的简单也就具有了意义。按照这种情况，目前我们就只有一种生命形态可供观察，而这种生命形态的有机体则都是同质的。这种观点无疑只是一种附带的看法。我们可以看出为什么这是一个不错的观点，但同时也知道这种观点有可能使我们走入歧途。一组基因可以演替，但这种演替原则上却并不要求制造基因的遗传物质完全一样，也不要求基因的活动方式全都一样。它所需要的是这些基因结合在一起可生产出一种具有共同表现型的生物体群。而这就是基因演替的全部所需。

鉴此，有机物的中央生化系统则可通过一种简单的方式使自己不断更新。这种方式就是逐步接替。一根在一头为大麻纤维的绳索可逐渐改造成为一根只有波罗麻纤维的绳索，改造的方式是大麻纤维逐渐减少直至消失而波罗麻纤维却逐渐增加直至完全取代大麻纤维。同样，一列基于一种遗传物质的有机物可通过遣传接替逐渐变成一列基于另一种完全不同的遗传物质的有机物。

进化早期存在遗传接替这一概念并没有简单地将生命的起源这一问题转移，因为最早的那种遗传控制系统当然不会有也不可能有那种自相矛盾的造成种种麻烦的“弓形”组织结构。最早的遗传控制系统是一种一个部件一个部件垒起来的“脚手架”式的结构。因此，对有关生命起源的探索首先成为

一项寻找那些失踪部件的工作，从那些最初的部件开始。接下来我们将讨论什么呢？

构　　图

人们并不需要遇见过某种人才能在脑海中形成这种人的形象，特别是当人们知道他们是哪里人以及有何成就时尤其如此。我们的最终祖先就有点像这种情况。我们至少非常怀疑，在进化树根部的最早的有机物也许就是我们的最终祖先。

（从第一章）我们可以做如下假定：

1.我们的最终祖先是地球的产物，即它是由地球提供的成分造出来的。根据定义我们还知道

2.它可以通过自然选择进化。这应该是一个很好的线索，因为这样的系统必定有非常独特的特性，这些特性与第二章中对任何有机物的抽象描述相符。从本章我们则可得出另外两点假定，即

3.我们的最终祖先的子系统不是紧紧地相互倚靠在一起（即没有形成弓形结构），此外

4.遗传接替为过渡到我们所知的那种“弓形结构”系统提供了手段。

有了遗传接替，我们的最终祖先就可能从有机物的不同物质中产生。这样也好，因为我们已经推断（在第六章）现代中央生化系统中的关键的微型组成部件中至少有一种，即核苷酸，不可能在最初的有机物中存在。从上一章也可得知，核苷酸似乎在很长一段时间内都不可能存在。但是，那些最初的有机物与现存的有机物之间在化学上的区别又如何呢？假使我们可以推测它们之间有很大的区别，那么我们是否有理由认为它们实际上也会如此呢？

最初的生化物质和现在的生化物质有很大的不同，这一点目前至少是人们的一种很深的猜疑。这种猜疑来自于对那些“低技术”和“高技术”设计方法之间的区别的分析。现在我将澄清这里使用的“低技术”和“高技术”等名词的概念。

棍子和石头是最典型的“低技术”工具，它们主要用来作为武器、支撑物、生火的工具等等。即使是矛，假如它只是一根经过改进的棍子，它仍然属于“低技术”之列。一个引火盒，如果其设计仍然没有超出那种用两块石头敲打而生出火花的原理，也仍然属于“低技术”产品。问题多多少少成了：因为机器正在安装，什么时候它才能开始运转呢？即使存在着一些非常简单的能够做工的机器，其设计原理也是一种“低技术”。由此可见，最初的有机物也一定属于“低技术”之列。

“高技术”设计原理则大不一样。这里的设计原理是将各种各样的不同的组成部件（例如汽车的引擎活塞、橡胶轮胎、火花塞、装有高度易燃液体的罐等等）组合在一起并使它们协同工作，从而产生一种综合功能。那么，这种“高技术”组成成分中任何一种或它们之间的简单组合是否具有这种综合功能？如果将这些组成成分去掉一部分后再组装起来，它们是否还能产生这种综合功能？这些问题现在已与我们所要讨论的问题无关。这里唯一的标准是效率。唯一的问题是：一俟全部组装完毕机器能否工作。

根据我们的经验，“高技术”机器的效率总的来说要高于“低技术”机器，即便是精心设计的“低技术”机器也是如此。当你想到要造出一台与原

始机器类似的机器在设计上所受到的限制时，你对上面所说就不会感到不可理解。当突破与功能无关的限制之后，机器设计者几乎都会选择“高技术”。他们会选择那种规定机器只有全部部件组装完毕后通常才能工作的设计。就像本章已讨论的那样，进化也能达到“高技术”设计，有办法实现这种设什（记住拱形结构和绳索）。

经验还告诉我们，“高技术”机器通常是用与它们所对应的“低技术”机器不同的材料造出来的。这一点也不难理解。这种不同是由设计原理的不同所决定的。“高技术”机器的各个部件之间的分工比那种只有一两个部件的原始的“低技术”机器的分工要细得多，因此“高技术”机器的任何部件都不需完成“低技术”机器部件所需完成的工作。这时，部分就以那个复杂整体为先决条件。各个部件都是根据协作的目的而制造。这样造出的部件自然就与“低技术”机器部件不同了。例如，计算器显然不是用和算盘所需的同样的材料制造。同样，用制造弓箭所需的材料无法造出机枪。（请读者试举六七个其它例子。）

制造那些最初的“低技术”有机物成分在设计上受到的限制与制造当代“高技术”机器中相互紧紧连锁的部件所受到的设计限制会有不同。因此我们又可形成三点猜测；

5.我们的最终祖先是用和当代有机物完全不同的物质做成的，尽管

6.已经进化的“低技术”生命形态可制造我们现在的中央生化系统的组成成分，且

7.二氧化碳是最初的碳原料。

在以上七点就我们的最终祖先这一问题提出的猜测中，第四和第五无疑最具诽谤性。然而这两点却有双重钥匙的特点。将两者合起来使用可开辟一些新的探索的可能性。

“也许气味还不是太淡，因此像华生和我本人这样的老猎狗仍可以嗅出。”

第九章　分子提出的难题

“侦探艺术中最重要的一点就是要能够从一堆事实中分辨出哪些是不重要的而哪些是至关重要的。否则你的精力和注意力就会分散而不能集中。在这个案件中，我对怎样寻找整个案件的关键从一开始就不曾有过丝毫的怀疑，即必须在……”

那么，福尔摩斯先生，你是如何判断哪些事实不重要，而哪些却至关重要的呢？标准是什么？

没有一定之规。我们在第五章讨论过的，即那种福尔摩斯经常利用的前意识历程可将人引入歧途。然而对于我们的调查来说却有一种凭经验判断的方法。这种方法来自生物学是一门研究进化因果的学说这一命题。当我们探索进化的起源时，在原因与结果两者之间原因更有可能是至关重要的东西，而结果则可能是不太重要的。因此，我们把探索的兴趣集中在有机物的抽象性质，即那些使有机物通过自然选择产生进化的抽象的特征。这些抽象特征中，最重要的是那种将具有潜在复杂性的信息非常准确地传给子代的本领。

首先被证明是不太重要的东西是生物化学的同一性。这是转移注意力的闲扯。生物化学的同一性可被看作是一个相当长的进化过程产生的结果。

直到目前为止，本书所做的讨论基本上是一种筛选工作，即将那些至关重要的东西从那些不太重要的东西中筛选出来。现在我们已获得一种经过浓缩沉淀的推测，即：

进化从“低技术”有机物开始，这种有机物不一定非得用而且很可能不是用“生命分子”制造。

如果不是因为从第二章中得出的那个有害的结论，以上推测的前一部分也许是非常清楚的。那个结论就是：任何可以设想的有机物的设计都必然是非常非常复杂的。这种复杂性可用一个机器人的功能来表述，即这种机器人可根据信息库的指令制造出其它机器，包括像它门本身的机器；这种信息库可以用别的机器予以复制，而这种复制信息库的机器本身的指示也是在信息库中明确规定的，可以由机器人执行，如此等等。

然而，这种结论又是一个转移话题的闲扯。这个结论的根据是一个没有明确说出来的假定：即一个有机物中毕竟需要有某种机器。一旦你认为需要机器时，你就会想到需要很多机器，例如，一个有机物中需要有某种能够将其遗传信息复制的机器，而这种印刷机器却又需要有制造机器才能将其造出来。这种制造机器就像某种机器人一样，必须能够造出同它们完全一样的机器，即必须能够复制自身。这就好比兜圈子，最后终于又绕回来，但这一绕却绕了很长一段路。这段路太长，要实际将它走完即使对于我们来说也无法做到，而对于自然选择尚未出现前的大自然来说则尤其困难。

既然如此，那么为什么要绕上一大圈呢？从原则上说，只有信息才是进化所需的必要条件，尽管实际上信息需要有一个物质的载体，同时也还需有复制信息的物质手段。但制造遗传物质所需的组成成分却可由环境提供，同样，复制遗传信息所需要的任何机器也可由环境提供。如果环境很适合，那么一个有机物生命体只需要一个赤裸裸的基因就够了。

当我们在第七章发现核糖核酸分子可以进化时，我们实际上已提出上述观点。这个观点的关键概念是，尽管基因的演替可能取决于它所装载的信息至少有一部分通过精巧的机器转化为行动，这种行动的间接方式是一种充足

条件而不是必要条件。因此，这种间接行动方式可能是进化的结果而不是进化的一种必要前提。一个基因中的信息可对这个基因本身的性质产生直接影响。这一点从原则上来说是对的，而且对于核糖核酸来说，实际情况也是如此。例如，基因粒子的大小与形状可能受其内部装载的信息的影响，而这些大小与形状特征则会对基因本身的生存机会、被复制的难易程度以及基因的传播产生影响。回头再看看第一章，你会对这一点有一个更详尽也更全面的了解。例如，当你获得任何含有特定图案且能复制这些图案的结构；当这些图案有时会受到随意修改；当这种修改也同时被复制下来；当图案的种类越来越多，多得不可胜数时；当不同种类的图案可对复制粒子的生存机会、复制能力或粒子本身的传播产生不同影响时；这时，通过自然选择的进化已几乎不可避免。这里列举了多种并列条件，但请注意，这其中没有包括机器人。

但这一来不是把困难从有机物简单地移到了环境了吗？困难自然是转移了，但却不是简单地移动，因为经这么一移，它已有所变化，变得比以前容易多了。例如，机器人已不再是一种必需。环境可能有必要为进化提供某种印刷或复制机器，但它不必提供另一种可根据指令制造印刷或复制机器的机器。实际上，环境有无必要提供任何可被称之为复制机器或制造机器的东西，这一点尚可继续探讨。

环境有必要为裸露基因提供的东西只有三种：1.制造新的基因所需的物质单位；

2.基因演替所需条件（条件中是否包括任何复制机器无关紧要）；

3.某些基因优于其它基因的理由（这种理由叫做选择压力）。

核糖核酸所需的物质单位作为原始地球产品来说也许确实过于复杂，而且看起来这些所需条件中似乎还有必要包括一个大酶。但这些都是一些附带特征，并非至关重要。这些特征是核糖核酸的具体缺点，它们由核糖核酸分子的特定属性决定。不管怎样，我们在前一章中已推断，无论是核糖核酸还是脱氧核糖核酸，它们均不是最初的遗传物质。

对于最初的裸露的基因来说，我们还需寻找一些更为切合实际的东西才能满足前面列举的三个条件。对这种东西的寻找将在后面四章中占据相当的篇幅。在本章的余下篇幅中我们将对一个更为重要、更为笼统的问题展开讨论，即原子是怎样组织起来的。基因也像其它控制结构一样，也必然是由大量的原子按一定方式组合而成的。在有机物中，像基因这种规格的结构是怎样组合而成？这种结构离开了有机物又怎样以最容易的方式组合而成？

分子建造系统

有机分子种类如此繁多，这既是优点也是缺点。将 10 来个原子组合成分子有许多种不同的组合方式。如果分子中的原子数目增加到 100 个，那个代表各种可能的组合方式的数字就是一个天文数字；如果原子数目增至 1000 个，代表组合方式的数字则又会远远大于那个天文数字。有机物中多数重要的控制结构都是比较大的分子。例如，一个比正常规格略小的酶由 5000 个原子按一种特定方式组合而成，而在核糖核酸信息带上对这个酶的规格予以说明的那段遗传物质则含有 30000 个原子。膜，例如色裹细胞的细胞膜，则不是一种规格如此严谨的东西，但有关它的设计和建造的要求却仍然严格。膜的合成可能需要数十亿个原子按恰当的方式组织起来，既然是这样，就要通

过许多蛋白质和类脂化合物分子的结合。

现存有机物可以设计生产膜的这些组成成分。它们能够利用有机分子种类繁多所具有的优点的一面，从而合成正好符合某一目的的物质。它们之所以能利用其优点是因为它们有能力克服这种种类繁多所具有的缺点。种类越多可提供的选择也越多，因此，出错的可能性也越大。

那么，有机物是怎样用其优点而摒弃其缺点的呢？人们可以找出三种紧紧地相互交织在一起的技术，即分子操作、预做安排以及分子自行组装。分子操作是用诸如酶和核糖体等特别设计的机床去实现；预做安排是指预先造成一种环境，从而使结果限制在一定范围；自行组装则指让分子自行组合成一种较高级的结构。

我们最容易理解的也许是第一种技术。这种技术与我们人类的正常制造技术最为接近，应用于大规模的实物生产中，例如袜子和汽车生产。一个核糖体显然就是一台制造机器。正是在这方面，这种技术很容易理解。

第二种技术也适用于人类的制造程序，尽管我们也许难以发觉这一点。编织袜子时，所需的线团应放在随手可及的地方。如果是用机器人组装汽车，那么排列在组装线上的都应当是正确的部件，因为机器人虽然操作技巧熟练但却愚笨。酶与核糖体也像机器人那样，操作非常熟练但也相当愚蠢。它们只能在受到控制的环境中工作，此外还需有适当的工作条件，例如，只能获得一组数量有限的分子。酶很容易被那些与它所要加工处理的分子相近但不完全相同的分子干扰。此外，对酶的活动具有阻碍或破坏作用的其它东西还有很多。由此可见，预做安排是有必要的。

与人类的制造技术共同点最少的是第三种技术，即自行组装技术。这种技术是某些物体特有的领域，这些物体很小，因此其形成主要依靠热骚动的作用。这种自行组装技术是地球表面多原子物质的合成所用的常见方式。下面，让我们对这种技术展开进一步讨论。

你也许会认为，吹起一个肥皂泡完全是你自己的功劳。但实际上，起主要作用的是肥皂分子本身。无数个肥皂分子通过自行组装的方式组合在一起则形成了这种奇特的物体。

一个肥皂分子在形状上有点像一个长长的蝌蚪。这个蝌蚪的尾巴由一串碳原子和氢原子组成，头部含有两个氧原子并带负电荷。蝌蚪的尾部通过辅助力（非共价键）相互紧紧粘连，但它们与水分子却完全无法粘贴在一起。由碳和氢原子合成的分子或分子的一部分据认为具有恐水的特性，即不喜欢水。但肥皂分子的头部却具有相反的特性，它们不仅不畏水，相反却喜欢水，这种特性叫做亲水特性。头部具有这种特性的主要原因是它带有的负电荷，这种负电荷在肥皂分子的头部与水分子之间协助形成强有力的辅助键。

当把肥皂溶于水时，肥皂分子就形成一小束一小束的形状，尾部位在束中（离开可恨的水）而头部则位于束的外层（与它们喜欢的水分子相连接）。这种一束一束的肥皂分子均是自行组装而成的物体。（这种肥皂分子很有用，因为脂肪物质分子也具有恐水的特性但却喜欢肥皂分子的尾部。这就是肥皂水可分解脂肪的道理。分解脂肪的工作全由分子的自行组装完成。这些分子并不懂化学，但它们却知道自己喜欢什么而不喜欢什么。）

皂膜提供了解答分子关系问题的另一种方式。分子的尾部乐于笔直伸向空气，特别是当这些尾部相互并列因而所有尾部均可从一侧连在一起时尤其如此。肥皂水总是有一层像这种形状的肥皂分子，而皂膜却有两层，中间隔

着一层薄薄的水。这是另一种分子自行组装方式。

有机物充分利用了分子之间的这种亲恐关系。这一点从包在细胞外的膜与裹在细胞内的膜中特别容易看清楚。这些膜主要由像肥皂分子的被称为生膜类脂化合物的分子组成。这种分子的形状经过精心设计，因此，它们在水中不会形成杂乱的一堆，而会相互排成一排，形成结构严密的薄板，即膜。这种膜有点像皂膜，只不过它的外层是水而不是空气，此外，分子的尾部是向里而不是向外伸展。

自然界中最常见的一种自行组装而成的物体是晶体。在糖类晶体、或冰块或石英砂中，分子均非常匀称地组装在一起。这种组装不是靠建筑机械完成，而是全靠分子本身完成。这种现象既普通而又神奇。

那么，分子怎么能够自行组装呢？

分子能够自行组装成物体是因为它们总是处于热骚动状态。它们从不安静地呆上一会，总是想相互贴在一块。在某些情况下，分子之间的相互粘贴会显得更牢固（例如将一些具有恐水特性的分子放在一起，或将带正电荷的分子与带负电荷的分子放在一块等等）。由于分子总是在运动，因此，它们可尝试各种组装方式，并且能够找到一种具有最大凝聚力的方式。这种方式一旦找到自然就会保持下来。

以上所述是分子自行组装的主要概念但却并非全部。分子的自行组装尚有一些其它条件。

1.温度不能偏高——即热骚动不能过于狂热，否则，分子就无法与任何东西相结合。

2.温度也不能偏低；太低了，分子要找到一种适当的组合方式所需时间就会很长。

3.集中在一块的分子必须达到足够的数目，在粘合距离内必须有足够的分子；这样，分子组合的速度才能快到与已经组合而成的结构重新拆开的速度相抵消的程度。（这种新的组合形成、旧的组合拆开的现象在任何温度下都在一定程度上存在。）

4.分子必须具有较强的相互结合的能力，即存在于分子之间的力必须大到足够使各种分子彼此遇合。

5.分子之间的力还必须是双向的，必须是我们在第四章讨论过的那种试探性的探索力。这种力不能使分子彼此一经接触就锁在一起。分子必须具有不断探索各种组合方式的能力。某些共价键也具有双向力，这一点我们将在以后讨论。在有机化学中，我们所讲的双向力差不多一律是那种辅助力。这种存在于分子之间的辅助力是那种在分子内将原子拉在一起的共价键力量的百分之一到十分之一。

6.集中在一块的分子种类不能太多，否则就可能出现很多不同的组合方式，因而就可能难以找出一种非常明显的最佳方式。这就是说，在各种不同组合方式中难以找到一种明显的可使凝聚力发挥最大效力的方式，或者说最能满足分子间那种亲恐关系的方式。即使有这样一种明显的最佳方式存在，但如果它淹没于众多的其它方式之中，分子找到最佳方式的速度不足以抵消其热骚动具有的永久性的拆离效应。

所有这些都是对“自行组装”技术的补充。经此补充后，这种技术就不再完全是自行组装技术而是一种得到协助的或预做安排的组装技术，如果你布置的环境适合，特别是如果你对分子的选择恰当，那么，这些分子就会“自

行组装”。

当然，所谓自行组装本来就应该是如此。如果不加任何控制，让分子各行其是，分子决不会自行组装成某种物体。比较高级的结构——大多为多分子结构，可按预做安排的自行组装方式合成。这种预先安排是一种明智的非积极的控制。这就像自由经济学所提倡的那样，人们可以想生产什么就生产什么，因为环境是受到调控的，而在这种环境中人们喜欢的也就是人们需要的。

一个蛋白分子的折叠方式是一种最为精巧的预做安排的自行组装方式。在这里，预做安排主要是对蛋白链中的氨基酸链节相互组合在一起的顺序预先做些安排。如果你还记得第四章的内容，那么你就会知道，这种顺序就是对遗传信息的直译。这种直译使遗传信息变成一种最为特别的信息。遗传信息本身变为它所要说明的那种东西。组成蛋白链的氨基酸单位有各种不同形状，有亲水的也有恐水的。根据它们的组合顺序，蛋白链以一种特定的方式折叠起来。这种折叠方式是将亲水的氨基酸单位尽可能放在外层而将那些恐水的放在里层，从而使各个链节之间的凝聚力发挥最大的效应。这样，一根散乱的蛋白链就变成一台结构紧凑的工作机器，例如说一个酶。

当你吹起一个肥皂泡时，这个吹的动作为泡的形成创造了一个相当一般的环境，其余工作则由分子自己去完成。蛋白质机械的建造方法同样由预做安排和分子自行组装这两者之间的分工决定。如果说要合成一个酶比吹起一个肥皂泡要困难得多，那是因为在合成酶的过程中预做安排在该蛋白分子中所占的比例过高。此外，在蛋白质建造方式中，需要预做安排的事情主要是对氨基酸的特定次序予以说明，这种安排主要通过分子操纵去实现。（我告诉过你，有机物的三种构造技术紧紧地相互交织在一起。）分子操纵是一种特别复杂的技术。这种技术不是有机化学家所擅长的。在多数情况下，我们必须满足于使用那些相对较为简单的预做安排技术，即每次安排几万亿个分子参与反应，并获得所需的反应结果。实际上，真正的分子操纵是由酶或核糖体每次加工一个分子的分子加工处理过程。请看看酶与核糖体的规格大小和其构造的复杂性！这两种分子很大，但这种大却是由它们所担负的工作所决定。它们要大才能从其周围挑选出特定的分子，才能以特定的方式作用于这些分子。

以上所有论述要说明的一个道理就是：如果你需要的是一种合成多原子物体的“低技术”建造方法，那么这种建造方法则以自行组装技术为主、预做安排技术为次。如果你可以完全不用分子操纵技术，这当然更好。

然而，这种建议是否现实呢？请记住我们早些时候讨论过的有关有机化学的一个大难点，即在有机分子的合成过程中可能出错的地方很多。搞有机化学有点像拉小提琴，搞得好会获得精彩的效果，反之则会一团糟。

看来你似乎面临一个非常明确的选择。你所需要的建造方法要么是一种像拉小提琴那样的方法，这种方法具有灵活性，可造出大量可供选择的东西；要么这种方法是一种像吹“六孔哨”之类的适合于初学者的比较简单的方法，它的灵活性不大，可能出错的地方也不多。但有机分子能否用这种“低技术”建造法合成则完全不清楚。

有机分子还有一个独特的麻烦，即这种分子只有相当大时才能以正确的方式自行组合在一起。只有按正确的方式组合，分子之间或一个折叠分子的各个部分之间才具有足够的凝聚力。（例如一个肥皂分子需要带一个长长的

尾巴；一个蛋白链则需有约 20 个氨基酸单位才能开始紧凑地折叠起来。）然而大分子却不易获得，尤其是精确的自行组合过程所需的那种浓度和纯度则更难得到。那种认为核苷酸可由原始地球预做安排而大量获得的观点很难站住脚（见第六章）。能够在水中自行组合成为比较高级的结构的有机分子必须是最小的分子。那种认为这种分子可由原始地球预先造出的观点也同样难以自圆其说。……

如此一来，我们又陷入了一个圈子。有没有办法打破这个圈子呢？究竟什么东西至关重要，什么东西则不太重要呢？

现在我们回到有关这一问题的基本原理。对于最初的有机物来说，至关重要的是它们必须能够进化。因此这种有机物中必须有信息的存在，这种信息必须能够通过被复制、再复制、再复制……的形式代代相传。这种有机物中应有某种基因。任何种类的基因无疑都必定是一种精心制作的由许多原子组成的结构。既然最早出现的基因中可能没有先行进化的机器协助完成基因的复制工作，那么在复制过程中新单位的组合方式应是某种自行组装方式。如果这一点意味着没有有机分子的参与，那就如此吧。许多迹象表明，地球上最早出现的那种生命形态与现在的生命形态不同。因此，作为生命形态的物质是不重要的，重要的是它参与的那种过程。

“……看来……他似乎突然发现了某种新的可能性。”

第十章　晶体

“当你将所有不可能的东西排除之后，剩下来的，不管是什么，也不管其或然性如何低，它必定是事情的真相。这是我的一句老格言。”

如果有机分子作为一类物质不符合“低技术”基因的规格要求，那么剩下来的物质中有哪些种类符合这种要求呢？

让我们从下述观点着手：

最初的基因自行组合所用的物质单位应该是很小的。用碳原子合成的物质结构有一个缺陷，即这种结构在具有进行精确的自行组合的能力前须经过一个很长的精确的分子建造过程。我们需要的物质却是一种能够很快进行自行组合的物质。这种物质由在地球化学条件下易于生产的小物质单位合成，这种小物质单位构造简单因此种类不多，仅有几种。这对于减少与自行组装过程相联系的预先净化所面临的困难会有所帮助。由于一个装载不止少量信息的基因必须含有很多精确组合的物质单位，因此，预先净化尤显重要。但如果这些物质单位体积很小，它们则必须由强大的双向力将它们拉在一起。

许多小物质单位由强大的双向力以精确的方式组合在一起？这听起来有点像在描述一种无机晶体物质。我们现在将集中讨论关于最初基因是晶体基因的概念，即最初的有机物本质上是一种无机晶体，而不像现在的有机物那样是有机分子。

谈到晶体时，你也许会想到钻石，或雪花或石英。这些东西很好看，但却没有多少生气。确实如此。如果你对有机聚合物的概念仅仅只是汽车轮胎或塑料桶等之类的东西，那么，你对于有生命的有机物中的主要结构是有机聚合物这一概念也不会有太多的印象。我们所要寻找的晶体基因决不仅仅是任何一种晶体，就像有机基因决不仅仅是任何有机聚合物一样。一个晶体基因必须要能够装载相当多的信息，并且要能够通过晶体生长和破裂的过程将信息准确地复制下来。在另一方面，由这种基因装载的信息必须具有某种或某些效力，能够帮助提高基因的生存能力和复制速度或扩大其传播的范围。

然而，非常普通的晶体却也可能呈现出我们所要寻找的那些必不可少的特征。例如，你可做一个试验，用来试验的晶体会显得非常活跃：它会在你的眼皮底下生长、组合甚至繁殖。

取约 250 克摄影师用的“海波”（即硫代硫酸钠定影药剂），将它倒在一只 250 毫升的干净的烧杯内，加上 75 毫升的蒸馏水。然后将烧杯加热，使溶液接近沸点，用玻璃棒将溶液搅均匀。随后将烧杯移离加热器并立即用一个较松的盖子（用一块玻璃最理想）将杯子盖住，以避免灰尘进入杯内。然后让烧杯呆在那里不动，一直等着杯内溶液冷却。此时，无论是幸运与否，杯中不会有任何事情发生。几个小时前，杯内溶液是热的，几个小时后变凉了，热凉两种浴液看上去并没有什么不同。但实际上，此时变凉了的溶液却成了一种神奇的溶液。将盖住烧杯的盖子小心地拿开，然后将一小片“海波”晶体投在溶液表面。这时你就会发现，烧杯内会开始产生奇异的变化。投下去的那片晶体会以肉眼可见的速度生长。这片晶体会不时破裂，而破裂后的晶片也会生长……很快，烧怀内会挤满晶体，达几厘米长。这一过程可持续约几分钟，然后又归于平静。此时神奇溶液的神奇力已经消失。如果你想再看一次，你只需将烧杯再次加热和冷却即可。

这个试验说明晶体从溶液中生长需要两个条件，即超饱和与引晶。让我们一个一个地单独分析。

欠饱和——饱和——超饱和

假定你已开始向一只盛水的烧杯内加盐。盐开始在水中溶化。只要是盐能继续溶于水中，那么我们就说溶液对于盐仍处于未饱和状态，到了一定时候，不管你如何搅动，不管你等多长时间，加进去的盐已不再溶化。这时，我们就说，烧杯内的水已对盐处于饱和状态，形成一种饱和溶液。众所周知，有些物质比另一些物质更易溶于水。这就是说在特定的溶剂（如水）内和特定的温度下，不同物质的饱和溶液含有这些物质的量有不同。例如“海波”，这种物质在水中的易溶性特强。一公斤“海波”在室温下可溶于一升水中。同样，盐也易溶于水， 370 克盐在室温下可溶于一升水中。那么，玻璃粉呢？不能溶解，很多人会如此说。实际情况当然不是这样。玻璃粉同样可溶于水，但它溶解得相当慢。在室温下溶于一升石英玻璃溶液中的石英玻璃大约只有 0.1 克。甚至纯石英砂（一种硅石晶体）也可溶于水。在室温条件下，六毫克纯石英砂可溶于一升水中。

所谓超饱和是指物质在溶剂中溶解的量超出了它应能溶解的量。达到超饱和状态的方法有各种各样，但最简便容易的方法之一是我们在做试验时所用的那种方法，即将溶液放在高温下加热，使其可溶解性增强，然后将其降温冷却。用这种方法很容易使“海波”溶液的错误显露：冷却后的超饱和溶液简直不知道应该干什么才好，因此它必须“受教”。使其受教的方法是给它加上一片晶体，这片晶体内的单位（无数个单位）已用同“海波”晶体同样的方式捆扎在一起。换句话说，这种溶液必须加以引晶。

新造一种晶体显然要比使一种已经存在的晶体增大更加困难。其原因是很小的晶体很难很好地连接在一起。这种很小的晶体的可溶解性比大晶体要高得多。一种对大晶体来说已处超饱和状态的溶液，对于那种非常小的晶体来说则仍处于欠饱和状态。

当我们谈到一种**晶体结构**，例如“海波”晶体结构时，我们指的是物质单位的一种特定的立体结构，就像一个仓库中大捆大捆的货物整整齐齐、密密匝匝地堆积在一起，堆积的方式全都相同。“海波”晶体内的单位有三种：即钠离子，硫代硫酸盐离子和水分子。钠离子是带一个正电荷的钠原子；硫代硫酸盐离子是由两个硫原子和三个氧原子合成的分子，这种分子带两个负电荷。这三种单位数目的比例是 1：2：5。

晶体组合的速度之快简直令人咋舌（“海波”晶体中的单位数目可能超过将地球的历史以毫秒计算而成的数目）。这种组合之精密也令人惊讶。这种内部排列之精确就像人们所熟悉的一种典型晶体的有规则的轮廓一样。那么，相互任意碰撞的分子如何能够排列得如此精确呢？

这种分子排列的精确性，就像所有各种形式的自行组装的精确性一样，其形成的关键就在于将各个单位拉在一块的力量所具有的双向性。即使在一个生长的晶体中，生长与溶解的过程也是同时进行的。溶液中的单位往晶体上加，但同时，已在晶体上的单位则因受其本身热骚动的影响和溶液中水分子的吸引而从晶体上抖落。这就是动态平衡。如果溶液处于饱和状态，那么这就是说，单位加入到晶体内的速度与单位从晶体脱离的速度完全相等。如

果溶液处于超饱和状态，这时加入过程就快过脱离过程。如果溶液处于欠饱和状态，那么单位减去过程就会占上风。当然，这些单位并没长有眼睛。它们经常以错误的方式加入到晶体中。当这种情况发生时，以错误方式加入而形成的那部分晶体就会不稳定；它们不会很好地组合在一起。因此在这一地区溶解过程就会加快。如果超饱和的程度不是太高，那么，那部分拙劣的晶体溶解的速度就可能超过新晶体形成的一般速度。

如果这种改错机制发挥正常效应，溶液处于何种程度的超饱和状态显然是很重要的。如果超饱和程度很高，那么那种通过单位从溶液加入到晶体而形成新晶体的速度就会远远超过晶体的平均溶解速度，同时它也完全可能超过晶体的那些有缺陷的部分能够重新溶解的速度。我们可用另一种方式来表述这一点，即就完美无暇的晶体而言，溶液应处于超饱和状态；但就有缺陷的晶体而言，如果要使改错机制正常发挥效应，那么溶液就应处于欠饱和状态。这里有一个报偿问题。低度超饱和状态只能产生低速度的晶体生长；高度超饱和则可以提高晶体生长速度，但同时也使生长中的有缺陷晶体的数字增大，并使缺陷的种类增加。

超饱和高到一定程度时可导致“自发引晶”现象。在这种情况下甚至连那些很小及缺陷很多的单位群也会生长。这种单位群会偶然出现，而且很可能出现在溶液容器的表面或尘土粒子上，从而不用加入任何晶种就可引发晶体生长过程。

现在，即使我们对一个晶体基因可能如何装载及复制复杂信息只有一个模糊概念，我们已知道有一个条件将是必需的：这就是一种适度的（很可能是程度相当低的）超饱和溶液。这是因为将新单位组合成新晶体的工作应当精确无误，而且这种组合工作只应在已经存在的良好的晶体上进行。

另一个必要（但不是充分）条件是晶体基因应当进行简单意义上的“繁殖”，用晶体学家的语言来说就是：晶体应在生长的同时破裂，从而产生新的晶种。这种现象就像用“海波”做试验时清楚地显示的那种情况一样。详细研究这种现象如何能够以保存和传播信息这类方式发生这一问题可为我们提供一些线索。我们将在第十二章中追查这些线索。目前，有关适度超饱和这一问题还可以给我们提供更多的线索。

连续结晶

你会如何保持一个给定的低度超饱和状态呢（例如保持 100 万年）？

我们做试验用的那种“海波”结晶法肯定不行。根据这种结晶法，溶液的超饱和度一开始很高，但却随着结晶的进行而降低。然后，整个过程停止。那么，怎样才能使一种结晶过程无限期进行下去呢？

如果我们安装了一个被称之为开放系统的装置，即一种既能使溶液流进也能使它流出的容器，而不是一个简陋的烧杯，我们本可以使“海波”晶体的生长按照我们的意愿保持下去，要它保持多久则可保持多久。说得更详细一点，我们需要的是这样一种容器：这种容器可使具有给定浓度的超饱和溶液连续不断地流入，而从溶液中结成的悬浮晶体则不断清除。这样一种装置叫做连续结晶器，它用于在恒定晶体生长条件下进行的晶体商业性生产。

如果我们的目的实际上不是生产晶体而是将结晶过程无限期保持下去——如果我们是园丁而不是农民，这时，明智的做法是将外流物质回收并再放

入系统之中。方法是将外流的悬浮晶体加热然后再冷却，使之变成作为输入的超饱和溶液。（整个布置这时成为一种闭路循环系统，但它的任何部分却都是一种开路系统，只需有输入能源即能将其驱动。）

现在，我们不仅了解了晶体的生长和繁殖，也了解了晶体的死亡。任何晶体迟早都会通过废水管道排出，整个过程则通过新晶体的同时形成而持续不变。如果超饱和度低到足够的程度，这个过程则只需通过晶体的繁衍就可持续下去。

这种循环式连续结晶器是地球上生命整体的一个微观类比。你能够想到的任何有机物均生活在一个开放系统中，这个系统所处的环境与循环式连续结晶器中的晶体所处的环境相类似。对于有机物或那种“上了发条的”（即超饱合的）晶体溶液来说，两者都需要有源源不断的物质和能源供应。这些物质和能源就是食品和阳光等等。

人们也许已开始看出那种靠晶体生长过程而生存的简单有机物所需的一般环境。如果这种有机物想生活一段很长的时间，它们必须生活在一种连续结晶器中。例如，现今很多海洋生物必须在碳酸钙（白垩）处于超饱和状态的海水中才能生存。接着，这些生物巧妙地促进碳酸钙晶体的形成，以制造壳层等结构。

这种靠晶体生长过程而生存的有机物所含有的无机组成成分大部分均在这种有机物的组织结构的外层，即在套盒中的外层盒内。比较高级的有机物可依靠能量在其组织结构内部形成合适程度的超饱和状态（可能就像我们人类在自己的身体内部制造骨头和牙齿一样）。不过我以为，我们仍然可以认为，对于靠晶体生长过程而生成的第一个有机物，最适合它形成的地点是在一个连续结晶器内，这个连续结晶器内的溶液通过不断的适度的流入和流出始终保持在一种超饱和状态。海洋就像这么一个结晶器。此外，地球上还有其它很多地方也具备同样的环境，我们将看到这一点。

如果由简单单位组成的晶体可以作为脱氧核糖核酸的“低技术”替代物这一看法有重要意义；如果晶体基因这种东西确实存在或曾经可能存在，那么，我们可能找到这种东西的地方就是地球。当然，要将这一点解释得更为清楚，我们还需做更具体的讨论。

“这一次给你的教训就是：千万不要忽视另一种可能性。”

第十一章　粘土制造机

我写信告诉福尔摩斯，我是怎样迅速而又准确地找到了事情的根源。然而我得到的答复却是一封电报，电报要求我具体描述施莱辛格的左耳。福尔摩斯的幽默观令人不可思议，有时甚至令人生厌。于是，我对他的这种不合时宜的玩笑未予理睬……

整个地球，如果就其物质产量之多和规模之大来说，就是一个粘土矿物连续结晶器。本章所要讨论的是粘土物质，即粘土矿物如何形成以及具体来说它们是些什么样的物质。

认为粘土是一种晶体物质的看法也许并不普遍。然而大部分粘土却确实是一种晶体物质。如果粘土看起来似乎是一种无定形的东西，这是因为从我们的观点来看它的晶体非常微小。例如，一块鼹鼠丘大小的粘土得放大到一座大山的尺寸后，它的晶体才能为肉眼所视。

粘土可被粗略地解释为一种软岩，它的粒子的粗细仅千分之几毫米或更小。这种粒子不易溶解，但在水中却容易形成悬浮状态。符合这种解释的粘土物质有很多种。一般来说，一块粘土通常含有数种不同的粘土物质，每一种都有独特的物质单位组成形式或晶体结构。

驱动粘 土制造机器的是两种大循环。第一种是由太阳提供动力的水循环。水从海洋以及地球其它表面蒸发，形成云彩、雨、地下水、泉流和江河，然后又汇归于大海。像花岗岩之类的硬岩石经过日复一日的日晒雨淋，经过水的这种活动就形成了粘土。这种硬岩石也许看起来比粘土稳定，但其化学性质的稳定性却不如粘土。当流水不断地流过这种岩石的表面以及顺着岩石的细孔和裂缝渗进时，这种岩石就会慢慢溶解。毛细孔中的溶液迟早会达到超饱和状态，粘土的小晶体就在这种神奇的溶液中生长。这种小晶体中许多被流水带入溪流和江河，其中不少可能被流水一直带入大海，在大海的海床上沉淀，形成厚厚的沉淀物。那里的环境与这种粘土小晶体最初生成的环境会有所不同。特别是溶液中物质单位的浓度，它也许已达不到粘土结构溶液的饱和程度。在这种环境中，粘土晶体很可能重新溶解，然后又形成新的粘土矿物。实际上，在岩石风化形成粘土到粘土最后被流水带入大海沉积这一过程之中以及这一过程之外，不同地点可能会出现好几次重新结晶，每个地点都为某组特定的粘土提供了一种连续结晶器，这种特定粘土得到营养液的滋养，营养液是由粘土分解和其它在此种环境下较易溶解的矿物质生成的。这就是地球在某些地区在比较窄的范围内能够不断地保持超饱和状态的奥妙：在每一个结晶器，输入溶液的浓度由那些可溶解性较高的物质的溶解度决定，这些物质的可溶性稍高于那些在上述范围内正在结晶的物质。

即使对于那些在海底沉积而成的粘土沉积物，其重新溶解又重新结晶的过程也还没有走到尽头，因为还有第二个更为缓慢的循环在起作用。这种循环由地球本身驱动，即由地球内放射性原子裂变产生的热提供动力。它将海床向一边推去，从而在洲与洲交界处产生缓慢的但却是巨大的、灾难性的碰撞。在这种碰撞中，此时已经过改造的粘土沉积物在高温和来自地底的高压下发生根本性的蜕变。这种蜕变正好与岩石风化成土的蜕变相反，粘土此时又蜕变形成岩石，这些岩石成为更加牢固的矿物质，如长石、云母、片岩石英和花岗岩，但是，推动和坍塌仍在继续。于是这种重新形成的岩石迟早会从海底露出海面，又一次经受日晒雨淋。这种岩石的化学性质的稳定性在比

较温和的环境之中反而不可思议地降低。当流水流经其表面或顺其毛细孔和裂缝渗进时，岩石开始慢慢溶解……

通过这种方式形成的粘土大部分均为层形硅酸盐。这种硅酸盐中有两大类，其晶体的各层均非常薄，且构造非常精美。

这两种晶体结构之一可在瓷土的主要成分，即一种叫做高岭石的粘上矿物中找到。这种物质中的晶体各层约有三个氧原子厚。请想象一下由三层氧原子一层一层堆积起来的情形（就像盒子中堆积起来的三层桔子一样），这三层氧原子之间的空隙中插入了两层更小的原子，这些插入层原子与氧原子通过共价键连接在一起。两个插入层原子中一层为铝原子，另一层为硅原子。此外，还有一些很小的氢原子附在高岭石一个表层的氧原子之上。（它们之间相互连接的详细结构图可见附录二。）

从以上说明可以看出，构成高岭石晶体的层次是一些相当复杂的结构。这些结构层有“顶面”和“底面”，两面互不一样。你可以将这种结构中的一层设想为一块地毯，地毯的一面带绒头而另一面则带背衬。实际上这种地毯上还有图案，图案上所有的箭头均指向同一方向。这种图案是由铝原子排列中那种似隐似现的非对称性而形成的（有关这一特征在附录二中有详细说明）。

完美的高岭石晶体由成千上万张比喻意义上的地毯一张压一张堆积而成；这些地毯中每一张带绒头的一面均与压在上面那一张的背衬紧紧粘在一起。现实中的高岭石晶体各层的堆积通常不会有这么整齐，中间常常有大批地毯的绒头面和背衬面是颠倒的。关于这种复杂的堆积方式我们暂且略过不讲。

完美的高岭石晶体中各层的堆积还有一种规律，即整个一堆中地毯上的箭头图案的箭头均指向同一方向。当然现实中的晶体的各层堆积方式同样要比理想中的晶体的堆积方式复杂一些。这一点我们将在下一章再讲。

和高岭石较近的变体粘上矿物中有一种叫地开石的物质。这种物质与高岭石之间的不同仅仅在于地毯的箭头图案的箭头方向在层与层之间会有不同，但在每一层中，其图案箭头也都指向同一方向。仅仅因为晶体中各个层次的堆积方式不同而成为不同的晶体的现象在粘土矿物中是一种最常见的现象。这种现象用一个技术名词来表达就是多形体性。例如，高岭石和地开石就被认为是多形体。有关这一点，我们还将在以后讲到。

还有一种叫做多水高岭石的粘土矿物，它的晶体各层与高岭石同样，但各层之间的粘接却比高岭石松散得多，层与层之间通常夹有水分子。这种物质中的各层也许会卷起来，或者像被卷成一捆一捆的地毯，或者被卷成一个一个的小空心球，或者以更为复杂的方式堆积在一起。

在与高岭石离得较远的变体物质中，晶体各层的建造方式仍与高岭石一样，但在氧原子层之间的插入层中的原子却有不同，或部分改变或全部改变；由铝原子换成硅原子或由硅原子换成铝原子。高岭石的变体物质可谓多得不胜枚举。

层形硅酸盐中的另一大类中最具代表性的是一种叫白云母的物质。白云母的晶体结构严谨。这种晶体较大，易于观察研究。由于晶体较大，因此白云母本身不属于粘土矿物，但其晶体的主要构造特征却与几种重要的粘土矿物相同。这是一种颇具特色的层形结构，比高岭石的“地毯”层要稍厚，对称性也要好一些。（两者之间的详细比较可见附录二。）

白云母与高岭石这两种最重要的层形硅酸盐物质之间的主要区别在于各层之间相互粘贴的方式。白云母晶体各层均带有相当多的负电荷，层与层之间由带正电荷的钾离子插入层粘贴在一起。

白云母晶体各层带有的电荷来自于所谓替代品，例如在通常是硅的地方用铝离子替代。一个硅原子被一个铝离子替代后即增加了一个负电荷。白云母晶体各层所带的负电荷主要由这种替代产生。当然也还有别的替代方式，例如在通常为铝原子的地方由镁原子替代等；用这种替代方式每替代一个即增加一个负电荷。实际上，在云母类层形晶体物质中，各种替代方式均可能发生。对这些物质进行分析后即可得知，它们所含的金属原子的种类远远超过所谓“正式”的硅和铝等种类。

在常见的具有云母类层形晶体结构的粘土矿物中，伊利石与白云母在其晶体结构上很类似，只不过伊利石因属粘土矿物，因而它的晶体比白云母的晶体要小得多。伊利石的晶体，正如人们在电子显微镜下可能看到的情况一样，也许只有几层厚。这种晶体就像板条结构一样具有很大的伸缩性，同时也相当坚韧。这样的晶体通常在海底沙石的毛细孔中生成。

绿土的晶体各层中的负电荷无论比云母类物质还是比伊利石都少，因此这种晶体的各层之间的金属离子相应也少。这种晶体各层之间常见的金属离子通常为钠离子和钙离子，而不是钾离子。同时，这些金属离子通常处于一种游离不定的状态。此外，绿土晶体的各层之间还夹有水分子，这些水分子也或多或少处于一种运动状态。水甚至可能进入晶体，将其中某些层次之间的连接完全冲开。各种有机分子也具有类似的性能。实际上，粘土矿物可吸住有机分子的能力早已为人们所知，这种能力是土壤形成的重要因素。

与伊利石一样，一个绿土晶体可以是一种很薄、易伸缩但却相当坚韧的物体。这种晶体在电子显微镜下看起来不大像人们通常看到的晶体；它看起来也许更像一块揉成一团的破布，或者有时则可能像折叠起来的餐巾。一大块绿土晶体，由于晶体内各层部分粘贴在一起、部分裂开，通常具有一种独特的“蜂窝状”外观，在这种峰窝式结构中，无数个格子相互连在一起。典型的绿土晶体，也像典型的伊利石晶体一样，完全不是通常概念中的正规晶体，因为正规晶体的各层应当匀称、整齐。因此，把这种粘土晶体叫做膜更为合适。请回忆一下，我们在前文讲过，晶体层相互叠在一起的方式上的细微区别形成了高岭石和地开石这两种不同的粘土矿物。云母类粘土矿物中也有一种箭头图案，这些箭头可能是指向同一方向，也可能不是。两层云母类晶体相叠的方式不下六种，如果再加上一层，还会有另外六种方式。堆积的次序常常呈有规则的重复，但并不总是如此。用术语解释，这就是，晶体中既有有序多形体（如完美的高岭石和地开石），也有无序多形体。在无序多形体晶体中，晶体不同层次相互堆砌的方向性无法或很难预测。

化学性质不同的晶体层也可以相互叠在一起，其层叠次序可以有规律也可以无规律。这种现象也比较常见。例如，伊利石和绿土通常合成一种混合层粘土。这是一种构造复杂的粘土。

如何组合？

粘土结构既不是由有机物特别设计而成，也不是奇特的地球化学环境产生的结果，而是自行组合而成。这一点已无疑义。这是一些属于“零技术”

的物质，即这些物质的结构代表了物质单位在地球表面各种含水分的环境中想要组合的方式。（这种现象实际上似乎不仅限于地球。人们已在某些陨星中发现了层形硅酸盐粘土并推想火星表面也会有这种物质的存在。）当一个很小的粘土晶体自行组合时，经历了哪些过程？

当军队中的士兵组成一个排，或当肥皂与水分子生成皂沫，或当糖分子结成晶体时，在所有这些组合中，其组成单位是什么都很清楚。在这些组合中，每一种组合都只是简单地把拆散的单位（如士兵、分子）组合在一起，这些单位本身并没有改变。但蛋白质链或脱氧核糖核酸链合成的情形却大不相同。当这种链子合成时，最初的溶液中所需的物质单位与链子合成后组成链子的单位并不完全相同。作为链子合成过程的一部分，最初的单位部件必须裂开。在这一方面，粘土层的形成与蛋白质或脱氧核糖核酸类似。粘土结晶所需的溶液中的单位是诸如硅酸和水合金属离子之类的物质（见附录二），当这些单位组合在一起形成晶体时，其中的水分子必须加以排除。（只有这样才能使适宜的按扣打开，才能使这些单位紧密地结合在一起，就像附录二中所显示的那样。）

在其它主要方面，粘土层的形成却与蛋白质或脱氧核糖核酸链的形成大不相同。粘土的形成是一种自行组合过程，即真正的结晶过程。首先，这是一种完全可逆过程，这一过程是纯组合还是纯分解取决于晶体周围溶液是处于超饱和还是处于欠饱和状态。晶体结晶过程总是如此。其次，溶液中的单位必须具有易感性，或者说“上紧发条”这一点是没有问题的。这里的必要条件是给溶液“上紧发条”（意即使溶液处于超饱和状态）。从地球上每时每刻均有大量粘土形成这一点判断，地球似乎是提供粘土形成所需适当溶液的能手。

另一区别直接来自于晶体生长是一种空间充填行动这一事实。将物质单位组装起来填充空间所需的辨别力可能远比将它们组成一条摇摆的链子大得多。假设我们将彩色台球垒成一个晶体结构，在这个结构的中间某个地方却夹有一个网球。这时请设想一下这个网球对整个结构所具有的破坏作用。在真实的晶体中，我们在前一章讨论过的那种改错机制可以毫不费力地发现这类错误。

当粘土晶体生长时，无论其表面以及与水接触的键会如何重新溶解，已被裹在晶体之中、离开了水的那些晶体结合键此时在常温下已经无法发生变化。它们此时就像小妾一样忠诚，因为它们已没有改变的机会。

我摇了摇头，说道：“福尔摩斯，这样说有点牵强了吧。”

他又装了满满一烟斗烟丝并重新坐了下来，对我的话未加理睬。

“从我所说的故事中得出的实际结论与我正在调查的问题非常接近。你知道，这是一个错综复杂的案件，犹如一团乱麻，我正在寻找未被系住的一端。”

第十二章　基因—1

“我将告诉你一件事，这件事对你们侦查此案或许会有些帮助，”他转过身来对两名侦探继续说道。“这里发生过谋杀。谋杀者是一名男子。他身高超过六英尺，年岁正当壮年。他的双脚与其身高相比显得稍小，脚上穿了一双粗糙的圆头靴。他喜欢抽特里其雪茄烟。他与被害者同乘一辆四轮出租马车来到这里。拉车的马三条腿上的蹄铁都是旧的，但右前腿上的蹄铁是新的。这个谋杀者很可能有一张红润的脸，他的右手指甲显得特长。这些只是一些迹象，但也许会对你们有所帮助。”

我将告诉你一件事，这件事首先对我们探索地球上生命的起源应该有所帮助。最初的有机物中有基因。这些基因很可能是一些微晶无机矿物质。长期以来，它们在接近于地球表面的某些地方从一种稍许超过饱和状态的水溶液中不断结晶而成。这些仅仅是一些迹象，但对我们的探索会有所帮助。

当我们详细考察遗传物质的性质时，我们会发现更多的迹象。毫无疑问，如果一种遗传物质可装载并复制能对其本身的生存产生影响的可变信息，那么这种物质必定是一种奇特的东西，即使它完全是一种新的物质。正如我在前文所说过的那样，一个晶体基因不仅仅是任何一种晶体。

晶体基因必须能够装载信息，由此可立即得出一个结论，即晶体基因不可能有完全规则的结构。这是一个总的看法。例如说，当你翻过这一页，发现下一页印的满篇都是……ABCAB-CABCABCABCABC 这几个字母的规则排列图形时，即使你猜想作者已突然决定改用密码书写，你也能知道这些图形中不会有多少信息。然而如果你发现的图形是一些看起来随意的字母排列，那么它可能携带你要知道的所有信息。如果你看到的只有“A”这一种字母，这种字母就像五彩纸屑一样遍布书页每一个角落，这种情况同样也包含了某种信息。当然这些字母不能像真的纸屑那样很容易移动，而且实际上它们也不能是被随意地撒在书页之中。人们可以想象到，“A”字母在书页中的各种不同位置和不同方向代表着某种密码信息。

书籍中印有文字的书页就是典型的同时具有规则和不规则特点的信息结构。字母以行排列，差不多同样大小，且都以一种方式立着，这些都属于规则性。此外，由于字母排列次序或多或少受到语法规则的制约，因此，字母排列次序本身也有一些不太明显的规则性。然而字母的排列次序并没有被语法规则限死，也正因为如此，字母的排列次序才能传达信息。笼统地说，任何信息结构，其随意性看起来越大，它包含的信息就越多。

信息结构需要有固定的不规则特征，这一点已显而易见。但信息结构中的那种规则性，即从印有文字的书页到脱氧核糖核酸分子等信息结构都具有的那种规则性，又有何意义呢？

毫无疑问，意义就在于规则性可使信息便于处理，例如，对于书页来说则便于印刷，对于脱氧核糖核酸分子来说则便于复制，而对两者来说则都便于识别。

脱氧核糖核酸具有的结构变化性相对较小，因此它所拥有的信息容量实际上有限得很。这种相对较小的变化表现在它差不多只能从每 60 个原子中选取四分之一。才于如此重要的信息库来说，这似乎是一种奇怪现象，但当你认识到纯信息容量易于获得时你就不会觉得奇怪了。要不规则比较容易。一个分子的难处在于要具有可复制的而又富有意义的特定的不规则性。因此，如果规则性能有所帮助，例如，如果脱氧核糖核酸易于复制是因为它具有相

同的连接部件，那么，有关规则性的意义已无须多问，规则性正帮助解决问题的真正难点。

所有这些给了我们一个提示，即当我们考虑原始基因的性质时，我们也许应该考虑那种规则性多于脱氧核糖核酸分子的结构。在这种结构中的不规则特征也许只是一种重复的基调中偶尔出现的变调。

如此一来则把我们带回到了晶体，因为差不多所有的晶体都像这种结构。它们都有一种基础性的晶体结构，这种结构被附上一种有缺陷结构。从广义上说，它首先是晶体物质的一个特征。其次，有缺陷结构则是单个晶体相互区别的特征，它由各种不规则结构组成。由于晶体都有固定的有缺陷结构，因此可以肯定，在地球上的任何海滩都不可能找到两粒完全相同的石英砂。现在让我们看看可随晶体的生长而复制的晶体的缺陷。

完美的晶体只能是一种虚构物，因为要达到完美，晶体就必须在三维空间无限延伸。因此，现实中晶体的有限体积和特定形状本身就是缺陷，无论这种说法有可能显得多么勉强。毫无疑问，形状和大小是单个晶体的特征，正因为如此，它们代表着特定的信息。粘土小晶体的形状和大小是决定这些物质特性的重要方面。由此可见，形状与大小实际上可能具有某种相当直接的“意义”。这种遗传信息的“意义”方面将是下一章讨论的主题。本章集中讨论另一个方面，即遗传信息的可复制性。

那么，晶体的形状和大小是否具有可复制性呢？一个晶体的任意的立体形状和大小如何能够通过晶体的生长过程而得到复制，这一点很难看出；但从一个晶体的平面图，即它的横断面来看，其形状和大小则完全可以通过晶体的生长而得到复制。这里所需的全部条件就是晶体只应往一个方向生长且只应在这个方向横着断开。

晶体往某些方向生长的速度比朝其它方向生长要快得多，从而长成针形或柱形。这是一种常见现象。同样，晶体在某些方向比在其它方向更容易断开，这也是一种常见现象。由此可以推测，形状和大小具有可复制性所需的条件并不是一种反常现象。事实上，常见的粘土矿物，如高岭石，通常含有其生长过程符合这些条件的圆柱形晶体。这种晶体表面通常生成一些形状复杂的沟槽，这些沟槽就意味着“信息”通过这些沟槽的生长和断裂而被复制下来。

晶体表面生成的形状复杂的沟槽是一种内部缺陷的迹象之一，表明晶体内不同区域相互错向。因此，晶体的缺陷结构除肉眼可看到的沟槽外还可能有其它内容。但沟槽类却是常见的晶体缺陷，这种缺陷在矿物质晶体中尤其普遍。这种缺陷的最简单的形式叫做孪晶现象。一个孪晶就像一张织工很差的地毯，地毯上不同地方的图案相互之间显得似乎很相配，但实际上却是一种错误的搭配。由晶体表面的沟槽显示的这种错误搭配存在于组成圆柱形晶体的每一层，即每一层都含有同样的错向的马赛克式拼花图案。

我们正在讨论的这些线索来自某些高岭石晶体的概貌。这些高岭石晶体叫做“蚓状”晶体，这种蚯蚓形状在电子显微镜下看得尤其清楚。用 X 射线观察所看到的也是类似的形状。请回想一下，一小片高岭石晶体层也是一种定向结构，即它同样含有一种“箭头图案”。说得更明确一点即是，这种图案的方向可以是三种定向中任何一种。（详细说明可参见附录二。）在一大

片高岭石晶体层中，所有三种定向都存在。一个特定的晶体层事实上是由不同定向的小片拼装而成，就像上图所示。

在用 X 射线对晶体结构进行研究时还发现，在高岭石晶体中，一个晶体层中箭头图案的特定方向通常在该层的上面和下面各层中均可见到，我们在上一章提到了这一点。这一发现使我们不仅可以对“蚓状”高岭石晶体的复杂的横断面而且可以对某种独特的复杂特征为什么似乎可以在成千上万个晶体层中得以保留这一点做出听起来符合情理的解释。这是因为，一个新晶体层在其生成的同时将它下面一层中有缺陷的图案复制了下来。

这种解释当然仍只是一种推测，但这种推测却是根据正常的晶体生长过程做出的。尽管如此，你也许会问，那种经常谈及的错误改正机制，即那种应该在晶体生长过程中使从溶液中生成的有缺陷的结构重新溶解的改错机制，又作何解释呢？这些改错机制如何能够容忍这种错误拼凑的存在呢？这些缺陷不正是改错机制应予以消灭的吗？

就高岭石晶体这种特例来说，由于其层形结构的非对称性质，人们有理由认为某种箭头图案错误的拼凑实际上会比所有箭头均指同一方向的规则拼凑更为稳定。即使如此，人们仍会期待改错机制能造出一些规则的、完美的、最为稳定的拼凑图案。从晶体的总体情况看，以及从对晶体基因总概念的综合评论来看，使复制保持高度逼真的那种不断摸索的晶体生长过程似乎只适用于晶体中的规则性特征而不适用于唯一能够装载信息的不规则性特征。从一个正在生长的晶体的角度来看，任何“信息”似乎都是一种错误，需要加以消除。（我论述了半天，最后却告诉你，晶体生长过程中的信息复制毕竟是不可能的，是不是这样？）

然而，这肯定不是一种致命的缺陷。因为实践明确地告诉我们，从现实的溶液中结成的真正的晶体含有大量的缺陷。这说明改错机制显然不是每时每刻都发生作用，其原因我们已在第十章中做过讨论。这是因为改错机制必须在溶液的超饱和度处在足够低的程度时才能查出那些对结构的稳定影响很小的缺陷，但现实的溶液却很少能达到这种低度的超饱和。

我们先承认任何一种含信息的结构必然是“亚稳定”结构，这就是说，这是一种固定结构，但仍然不稳定，因为它不是最稳定的结构。这些结构所装载的信息量与结构的稳定性完全无关。信息设多少完全取决于信，急装载的方式。一个稳定性仅次于完美结构的结构完全可以装载大量的信息。例如，本书中的字母排列，或脱氧核糖核酸分子中的物质单位排列次序，这些信息对装载它们的结构的稳定性几乎不产生任何影响。

由此可见，晶体基因的这种缺点却正好澄清了一个条件：即含信息的缺陷结构对结构稳定性的影响要小。

我们如何确定这类有缺陷的结构是些什么样子的结构呢？观察一下大自然的情况，从矿物质中找出那些常见的晶体缺陷结构，然后你就可以认为，这些就是对其结构稳定性影响很小的有缺陷结构。孪晶就是其中之一。我们还将简要讨论其它几种。

有缺陷结构需要有“临界亚稳度”，这是第一个条件。接下来的一个条件我只能说有点厚颜无耻。有缺陷结构不仅必须在晶体生长过程中避免被改错机制消灭，而且必须在这一过程使自己得到复制。

要设想有缺陷结构得到复制这一点并不困难。在晶体生长过程中要将一个有缺陷结构复制下来通常要比将它消灭更为容易。例如铺瓦，如果一片瓦

的位置放得不当，那么整排瓦都可能位置不当。

我们可以想象一下一个表面有拼花图案的孪晶的形状。这个拼花图案由一个柱状晶体结构的不同定向组合而成。为了使问题简化，我们假定图案中所有箭头方向一致的结构是最稳定的结构。在晶体生长过程中，如果某一层出现了不规则现象，这种不规则现象可在紧接着生成的晶体层中消除，只要组成这个晶体层的单位此时均按同样方式排列即可。我们可以看出，这就是去掉缺陷并最后形成一种稳定性较高的晶体的方式。但组成晶体层的那些单位却不可能有这种见识。对这些单位来说，这个走向完美的第一步也许与结构稳定性相距太远，因为无论这些单位与其左右邻居的匹配如何恰当，在某些单位组中，三分之二的单位与位于它们下面那一层中的单位却不相匹配。如果晶带宽广则很容易形成这样的状况，即单位之间横向匹配的改进远远抵销不了由此而形成的纵向之间的不匹配。“ 如果你无法战胜它们，你就加入它们，”这是晶体生长的更深层的原则之一。

以上所述可给我们什么教益呢？假如你要求复制的精确度高于一切，那么你就应当在信息容量方面做出牺牲，就应当选择宽广的晶带。

至目前为止我们讨论的有缺陷结构都是物理上的。除此以外还有化学上的晶体缺陷，即在一个给定的晶体结构中原子的种类可能会出现某种不规则现象。例如，即使“ 地毯 ”图案的定向性相匹配，图案中的花则可能不相匹配，在某些应该是玫瑰的地方却出现了矢车菊。在这样的地毯中当然可以写下信息。同样，我们在上一章中描述的那些云母类粘土中的金属离子的替代为信息贮存提供了大量可能的方式。

粘土的硅酸盐层中金属离子的替代可产生负电荷，这是一种特别有趣的现象。那么，在一个粘土晶体层中，一个特定的带负电荷的结构能不能被它上面新生成的晶体层继承呢？

这种继承似乎很有可能。请回忆一下，我们在前文讲过，在带负电荷的硅酸盐层之间存在“ 游离的 ”带正电荷的金属离子，这种带正电的离子将硅酸盐层拉在一起。因此，人们可以做这样的设想：即在顶层的一个负电荷吸引一个“ 游离 ”的带正电的离子，这个离子则又吸引下一层中另一个负电荷。在一些已知的层形硅酸盐结构中，人们发现正电荷中心刚好位于上层和下层的负电荷中心之间。这一发现是对这一设想的佐证。这种情况从电学上可以讲通。但对特定的电荷结构是否已随晶体的生长而遗传这一点，人们却仍然无法肯定。

要弄清这一点就必须对晶体生长过程本身进行研究。1981 年，德国慕尼黑大学的阿明 · 韦斯报告了有关绿土晶体生长的研究结果。韦斯的实验是在现有的晶体层中间生成新的晶体层。实验结果表明，新晶体层的电荷密度与将它们夹在中间的旧晶体层上的电荷密度类似。此外，韦斯的研究还发现这种遗传可保持 20“ 代 ”以上。尽管这种实验的细节尚有待于发表，但做这种有趣的实验所需的条件显然是高度智慧和精巧技能的结晶。

韦斯描述的那种拷贝工艺是在原版与副本上均等着墨。这是任何直接复制工艺至少应具备的绝对必要条件。假如晶体的电荷用这样的工艺复制，人们也许会认为，这种工艺至少可以将电荷结构的大型特征复制下来。然而，我们却不清楚这种看法是否符合实际，我们甚至也不知道这种复制的清晰度如何。如果用这种在晶体层之间一对一、一个电荷接一个电荷逐步复制的方法复制出来的东西具有较大的清晰度，那么，这种可复制的信息容量就与脱

氧核糖核酸的信息容量相类似。作为一项纯粹的工程，这种复制法很具吸引力，不过，我们在考虑原始的遗传物质时也许不应将目标定得过高。对于基因—1 的复制来说，重要的是逼真，而逼具与晶粒的细化程度却不是一回事。我们知道，用大号字体印刷出错的可能性相对较少，对操作条件的要求也不那么苛刻。

要使信息得到复制的把握性更大并使复制的保真度更高，另一个办法是准备多个相同的版本，意即晶体中包含很多装载同一种信息的载体。这种重复对信息的复制具有潜在的用处。我们在前面讨论过的高岭石晶体基因模型就是如此。它就像一本书，每一页印的都是相同的内容。这当然是一本令人扫兴的书。但如此一来，特定的平面图案结构却成为一个立体晶体的一部分。在这种情况下，由于晶体生长过程中改错机制的作用，信息复制的精确度就能得到保证，这一点很容易想象到。我以为，单个硅酸盐层过于柔软，因此不容易被复制。如果一个晶体很厚很硬，且晶体的表面比较稳定，这时要复制这个晶体表面的图案就容易得多。由于这种图案贯穿整个晶体，因此，图案被复制的把握又增大了不少。

整个复制过程在几个方面可能变得更加随便。由于可复制的相同版本很多，因此几个晶体层偶然溶解已无关紧要。此外，就复制过程的后一部分，即晶体断裂来说，情况也同样如此。例如，既然整副纸牌全都一样，那么从何处将这副纸牌拆开也已无关紧要。请注意，单张“牌”，即单层，决不需要再制造出来：断裂决不会严重到那种程度。也许这样也挺好，因为要具备同时兼容硅酸盐层的分裂和结晶的条件非常困难。此外，如果发生断裂，那么如何使硅酸盐层部分呆在适当位置呢？单个硅酸盐层又如何知道何时断开？由很多硅酸盐层叠起来的结构不存在这种问题。这些结构当因堆积层数太多而变得过大时会机械地断裂。

我们将就复制的一般情况继续做些讨论，然后再讨论另一种晶体基因。现在，我们再来看看所谓维数。

作为一种不太严格的说法，我们可以说一张纸是二维的，而一根线则是一维的。当然严格说起来这是不对的，因为任何现实的物体均属三维。然而当我们在纸上画图时，我们只“用”了两维，而当我们把一张纸揉成一团时，我们却知道纸除了长和宽之外还有一维。我们说一个细绳只有长度，其道理也是一样，因为除非你变成一只很小的昆虫，否则你的感觉会告诉你线只有一维，尽管线可以用多种方式折叠或缠绕起来（这是因为这条线实际上还有两维）。我们可以把这种粗略解释的薄片状或线状特征称为物理维度。

信息维度是一个更为抽象的概念，但这个概念通常还是很清楚的。文字装载的信息为一维，蓝图包含的信息为二维，而建筑物模型装载的信息却有三维。

当我们说一个脱氧核糖核酸分子是一个线性信息库时，我们的根据有二：一是脱氧核糖核酸分子实际上就像一根线；二是它所装载的信息是线性的，即这种信息是一种排列次序。其它信息结构却不像这样简洁。例如，这个二维的书页装载的信息却是一维的。同样，一个三维的蛋白质分子也许仅仅装载一种次序信息。

我们刚才谈及的晶体基因当然属于三维物体，装载的信息为二维信息。有关晶体基因的总概念是：一个真实的晶体基因应是一个确定的三维体，这个物体的组成单位将空间完全填满，因此，填充需要就会为通过晶体生长复

制的机制提供所需要的辨别力。在另一方面，如果要使这种三维物体装载的信息易于复制，这种信息本身不能有三维，因为对于简单的复制过程而言，三维中至少要有一维空着，这样就可将信息复制进去。

现在应该能够清楚地看出，可以考虑的真实的晶体基因还有一种。这种晶体基因装载的信息可以只占一维并可被复制到其它两维。

我们在前文说过，一个脱氧核糖核酸分子就像一本书，书中内容全写在第一页，其它各页的内容均与第一页完全相同。这当然是一本非常令人扫兴的书。现在我们撇开这本书，看看另一本真正令人乏味的书。这本书无论在哪一页几乎都没有实质内容。书中仅有两个或几个简单的标准书页，信息就包含在这些书页相互叠在一起的次序之中。你也许会设想这些书页只有两种：一种书页上除了整齐地印满了“ a ”这种字母外其它什么也没有；另一种书页上则仅仅印有“ b ”这种字母。这两种书页堆积的特定方式就代表着一种信息，如 aababbaabbbbbabbbba。如果你还记得，混合层粘土就是由不同种类的粘土层组成的，这些粘土层可能常常或多或少以不规则的方式相互叠在一起。

实际上，即使粘土层只有一种，它们也很可能以相当复杂的方式堆积在一起。记得我们在第十一章讲过，高岭石与地开石这两种有序多形体之间的区别在于同样的粘土层相互叠在一起的方式有不同。（在高岭石中，各层图案均指向一个方向，而在地开石中图案指向却有两种，两种指向交替出现。）我们可以设想，所有书页上均只印有“ a ”这种字母，但将这些书页叠在一起时，有些字母成立着姿势，有些则成倒立姿势，例如像这样一种次序：

像这样的 aaaa■■■a■a■■a■aa■aa■■■a■a■■无序排列当然也可以装载信息。就像前文所说，无序多形体是一种常见现象。这种现象在粘土矿物中，特别在云母类粘土矿物中经常出现。

这种简朴的方式能够容纳的信息量却决不能低估。例如，两个云母类粘土层叠在一起的方式不下六种，因此，如果把 140 个这样的粘土层叠起来，其堆积方式总数原则上可达 6^{139} 多。每一种方式代表一种信息。由此可见，若要处理如此复杂的信息，问题会有多么严重。

假如你仍然认为用堆积次序贮存信息显得过于浪费，那么，请回忆一下脱氧核糖核酸贮存信息的方式。脱氧核糖核酸大体上也是用堆积次序存储信息。一个想象中的（非常小的）昆虫会发现脱氧核糖核酸线是一根双股花线，其中每个叠压层上确有一个细小的层形结构,信息就存储在叠压这些层体(四种）的次序中。在装载一维信息的真实的晶体基因之中，晶体层会极力横向扩展，无须用皮线将它们连在一起，其复制的方式也比较随便。

和前一种晶体基因一样，这种晶体基因的复制方式也包括晶体生长和断裂两个部分。复制过程的进行也同样要受到一些规则的制约。但这里的规则却和前面所述相反。在这里，晶体生长决不能以一层叠一层的方式进行，而应完全横向进行；此外，断裂不应发生在层与层之间，而应在层中。我们可以做这样的设想：一本书因书页不断扩张而变得越来越大（但决不会变厚），然后用切刀将它分切成多本小书；这些小书的书页然后又继续扩张……

说来也怪，尽管这种晶体基因所要求的条件如此不同，但我们依然可从层形硅酸盐粘土中找到它的模型：某些混合层粘土矿物质含有的晶体就具有符合上述条件的形状。例如，伊利石—绿土混合层粘土通常呈向外延伸的板条式和薄片式形状，暗示着横向生长的强烈倾向。这些海藻式结构尽管坚韧

柔软，但仍然容易被撕裂。由此可见，完成一个复制周期所用的方式有多么原始，这种方式就是不时地将一个晶体结构撕裂。然而，如果这种方式有效，那么它对基因—1 是适合的，因为你十分肯定，这种基因一点也不时髦。正因为信息的重复率是如此之高，断裂已可以随意进行，出乎意料的是，这种断裂过程不需切刀来完成。

然而在讨论基因—1 时，我们不要死死盯住层形硅酸盐。我们的目光首先盯住这些物质是因为地球上的粘土中很多都属于这一类。但除此之外，从水溶液中生成小晶体的矿物质还有许多种，这些物质是更为一般意义上的粘土矿物质。此外，诸如生命起源的七条线索孪晶现象、堆垛错误、正离子替代、从优取向生长以及择优取面断裂等特征在各种晶体中均为常见，同时还见于各种化合物的矿物质之中。

现在，我们可以说已经查出那个对“ 反常识罪 ”负责的组织，即生命的起源。诚然，关于我们最终的祖先是矿物晶体这一命题尚不为人们普遍预见。我们的嫌疑者名单中甚至已包括某些人物，但离正式逮捕尚仍有一段距离。这是在进化开始时出现的额外的难点。那么，这个额外的难点是否使整个生命的起源问题变得比以往更加模糊呢？

我不这么认为。

“ 那种看起来似乎使案件变得更为复杂难解的特点，如果加以仔细考虑和科学的分析，很可能就是破案的关键所在。 ”

第十三章　通过直接作用进化

……我从巡官的面部表情看出这一问题已引起他的高度注意。

“你认为那重要？”

“是的，非常重要。”

“有没有你希望引起我注意的地方？”

“请注意那条狗在夜间的奇特举动。”

“那条狗在夜里什么也没干。”

“这就是奇特举动，”舍洛克·福尔摩斯说道。

人们曾经认为，衣机物可通过物质的改变直接产生，这种物质的改变不需要有先前存在的有机物的繁衍。这就是所谓自然发生，或叫自然产生。自然发生曾被认为是一种常见现象：例如青蛙据认为可从泥土中重新产生，蛆则从腐肉中产生。

现在我想提醒您注意的是我们现在所看到的有关自然发生的奇特的发生率。根据我们现在看到的情况，自然发生似乎根本不存在。

这难道不显得非常奇怪吗？一个进化过程曾于从前某个时间开始，但现在却似乎已不再有任何进化过程的新的开始。生命之树目前已枝繁叶茂，但这样的树却显然只有一棵，在同一个场地甚至没有任何近代幼苗存在的迹象。那么，为什么现代或近代自然发生的迹象均不存在呢？

我们有可能想到的第一个答案是：有机物过于复杂。对于青蛙和蛆可自然产生的观点，人们很容易看出其荒谬性，因为这样的生命形态所具有的‘高技术”性质是显而易见的。细菌也同样，大肠杆菌实际上也不是真正简单的东西。但细菌却是我们所知的最简单的独立生存的有机物之一种，既然如此，那么，为什么细菌的自然产生现在看来也可能显得荒谬？

然而且慢。这种思维路线回避了争议的论点。这个论点就是：根据我们做出的假设，我们也许曾期待我们周围应该存在一些真正简单的有机物。不管怎样，我们已（在第一章）假定最初的有机物确实是在地球上自然出现的（没有奇迹，没有反常事件，没有预先策划，也没有外部侵染）。在这种情况下，一种能够自然产生的有机物至少应该曾经存在过。回忆一下纯机会作为造物主所受到的局限即可知道这种有机物在化学上会是一种极为简单易造的东西。假定大自然的规律 40 亿年前与现在并无任何区别，那么，这样的有机物，即那种我称之为原生有机物的东西，为什么现在却找不到了呢？为什么我们对此一无所知呢？

这是不是因为地球上总的环境已经改变的缘故？是不是因为产生并维持最初的生命火花所需的条件已不再存在？这是一个标准答案。但我们却已看出，这个答案是多么欠缺。仅仅具备理想的条件仍远远不够。即使在能够设想到的最为有利条件下，复杂程度不高的重要分子，例如核苷酸，仅仅靠必要的能力等类东西是不可能造出来的。要合成这类分子还需有复杂的干扰，即一个完善的制造工艺程序，这个程序只有靠自然选择的长期作用或由一个有经验的从事研究的化学家才可望造出。

不管怎么说，我们所能做的应该比仅仅创造出理想的一般条件要好得多。我们能够编出制造程序并造出完成这些程序的自动机器。我们也能够创造一些环境和装置，这些环境和装置无论怎样异想天开也不可能被认为纯粹

靠机会产生。因此，如果纯粹的机会在物理和化学规则的制约下确曾造出最初的进化参与者，那么，看在老天爷的面上，我们现在为什么不能呢？如果困难不像它所呈现的那样，即不在技术方面，那么，它必定在于确定所要探索的可能性领域，在于找出合适的设计方法。也许，根据本书的主要观点，作为研究对象的物质和自然现象是不是搞错了？（新的生命火花是不是因为在熊熊大火的映照下显得过于微弱因而不易发现呢？）但是如果原生有机物的关键物质是无机晶体，就像我已说过的那样（如此一来地球上生命的起源这一问题就成为矿物学的一个分支），那么，本章开头提到的问题就会变得相当尖锐。由于生命出现前的地球的情况现在看起来比以前所认为的要更为“正常”，因此，这一问题愈发显得尖锐。

同样，我们在第六章中对为什么地球上所有生命的单一共同祖先应当已经高度进化所做的解释也不存在漏洞。这种解释以近代自然发生不存在为前提。按照这种解释，如果生命进化之树只有一棵，那么几乎抽枝与剪枝的任意一种结合都会导致一个最后的共同祖先的形成。然而，按照有关自然发生理论，我们可以认为，生命进化之树应该不只是一棵，而是多棵，即由不同年龄的树木组成的一片小森林。在这种情况下，地球上的生命也就不可能有单一的共同祖先。

当然，用任意抽枝和剪枝来描述进化树的生长状况显然过于简单化。除了抽枝与剪枝外，当时还会有其它因素存在。达尔文指出了其中一种因素。这就是：有机物不再重新自然产生，因为任何新的生命形态会被已经进化的生命形态迅速吃掉。毫无疑问，事实的确如此。但如何迅速法呢？如果最初的形态是无机晶体基因，那么，这种基因对于任何现代型的有机物来说都是倒胃口的东西。达尔文的观点也许可以解释为什么在生命之树的周围没有明显的、发育完好的幼苗存在。但是，按照晶体基因的概念，就应该不存在许多很小的幼苗，即接近生命形态的有机物吗？（这种有机物还不足以与现代型有机物相互作用，因为它们还不太像现代型有机物。）

这无疑是原生有机物尚不为人们所认识的一个原因，因为这种有机物是由“不合要求的”物质生成，同时其外表也不像生命。我以为，我们周围很可能确实存在原生有机物。

至第九章时，我们已得出结论，最初有机物合成所用的物质与现今的生物化学物质很可能有实质性的不同。我们还讨论了有关这种有机物可能是一些“赤裸裸的基因”的概念。对于这种基因，晶体似乎是最为理想的物质材料。

然而，用“有机物”这个术语来表示一团微小的晶体不是显得有点名不符实吗？也许正因为如此，人们可能会倾向于用别的词而不愿用“有机物”这个词来描述这种物质。

这是一种纯粹的偏见在作怪。如果我们过于偏离实际去想象原生有机物应该是什么样子，我们将永远找不到（或造出）这种物质。它们都是潜在的有机物，其出现的可能性很小或者没有。无疑，它们是一些相当乏味、相当可怜的东西。如果我们的最终祖先确是地球的产物，那么我们现在也许能够找到的类似于我们的最终祖先的东西首先应该是同样的矿物质。

例如，在一片沙岩的毛细孔中生长的粘土晶体也许证明就是原生有机物。在这种条件下生长的粘土晶体常常具有独特而精巧的形态，例如我们在上一章描述过的带槽高岭石的蚯蚓形状。此外，在某些环境中，只有晶体的

形状和大小能对晶体快速生长、或正确断裂、或正确定向、或适应困难条件的能力产生影响，这样的环境也不难想象。如果形状和大小的某个方面（例如断面）可被复制且在复制过程中会偶尔出错，那么这个方面就会受自然选择的左右，它就会倾向于得到优化，其优化方式与动物或植物的成分通过自然选择得到优化的方式在形式上完全相同。晶体基因与其它东西，例如树木或长颈鹿之间的实际区别在于晶体基因的形状和大小在很大程度上是由遗传信息直接说明的。实际上，对于真正的创始者，晶体基因所含信息可能仅仅是形状和大小。裸露基因属于直接作用的基因，因而是极为简单的进化参与者。

粘土晶体的形状与大小对包含它们的沙岩的孔隙率会产生很大的影响。在这种情况下，自然选择过程就会在非常简单的水平进行。我们可以设想一片沙岩中最初含有两个不同的晶体基因。这两个基因中每一个很快造出一个小晶带，晶带中含有数千个小晶体，每个晶带中的小晶体形状类似，大小相同，因此，每个晶带都具有独特的孔隙结构。这两个晶带中其中一个晶带的晶体形状独特，因而将毛细孔完全堵塞。在这种情况下，这个晶带区的营养（超饱和）溶液的流动就停了下来，溶液就流向其它地方。这些晶体也就停止生长。另一个晶带中的晶体的形状特点却有不同。这种晶体呈细长状，很像锭子，这种形状既可使晶体生长又不至于把生长空间完全堵塞，因而溶液可以流入为生晶提供养料。随着晶体的生长，这种形状也就不断地被复制下来。正是这种晶体具有的独特的松散结构使它易于通过扩展将沙岩充填。这种结构的一部分也许以断裂的方式将晶体有效生长的秘密带向其它沙岩，这种沙岩因此而被侵染。在复制过程中不可避免地会出现的错误则使类型的多样性总是保持在某种程度。我敢说晶体的具体形状对晶体的特性并无多大影响，但真正的堵塞物却总会被淘汰，就像一些极小的晶体也总会被淘汰一样。这种晶体由于太小，因此特容易从生长区中被彻底淘汰。如果沙岩的类型多样，如果溶液的流速有变换，如果结晶的场所有多种从而可使晶体的形状具有不同的优化特征，那么，你最后可望看到的就不会总是一种确切形状的晶体，而会是一种或者也许几种非专门性类型的晶体。

现在，我们再来设想一种更为复杂的情况。我们假定流经沙岩的液体有时会相当快，在这种情况下，溶液通常处于欠饱和状态，它在流过坚硬的岩石到达沙岩前没有足够的时间去溶解岩石。这时，粘土晶体就遇到了一个新问题，即要避免被处于欠饱和状态的液体重新溶解。一种看法是晶体在这种环境中会变得不渗水。这听起来就像特性的复杂结合，然而当流速过快并形成涡流时，晶体的板条结构就会抖开，形成纷乱的一团，从而降低该地区的流速。

以上所述仅仅是一种看起来似乎符合情理的说法，做这种描述只是为了说明要设想能够形成有利于晶体的选择压力的特定环境有多容易，这种晶体所具有的特征相当简单而且也许具有复现性。但是我必须承认，在讨论这种晶体时，我的脑海中已有伊利石作为原型。这种粘土在海底沙层中大量生长，它们具有的像海藻似的细薄柔软的结构对包含它们的沙岩的孔隙率有奇特的影响。（这种粘土容易使含石油的沙岩堵塞，因此对海底石油的再生是一大妨碍。）

这种伊利石如果确可被称之为有机物，那么它们无疑应被放在进化尺的低刻度。作为装载一维信息的晶体基因，它们的信息容量会非常有限，因为

它们只有几个，即通常三至四个晶体层。（如果你还记得，你就会知道在这种晶体基因中信息包含在晶体层的排列次序之中。）这种假定存在的裸露基因只能容纳非常有限的信息，但这种信息却有三个特点：即（1）复现性；(2)适应性；　(3）发展趋于复杂。与量的有限相比，这些特点更为重要。

这些特点中，第一点和第二点已大大超出我们的设想，我在本章与上一章中一直试图讲清这一点。第三个特点原则上没有问题，即使对于低级伊利石情况也同样如此。如果晶体基因的晶体层不是四个而是 100 个，那么这个基因的信息容量就会相当大。鉴此，从某些方面说，这一问题就成为一个厚晶体在某些情况下是否优于薄晶体的问题，是一个晶体层叠加的独特特征对晶体本身的性质，如柔软性、断裂方式或横向生长的速率等，是否会产生影响的问题。同样，这一点也超出了我们能够设想的范围。

我们已经完全超越推断进化过程中应已出现的情况这一阶段。进化中实际出现的情况在很大程度上取决于独特的环境。因此，预测一个长时期的进化之路就像预测一条弯弯曲曲的河道的走向或明天天空中云彩的确切形状一样。在做这种预测时，人们只能描述某些可能的情况或大致的结果。当然，我们无法知道在进化的最初时期哪些具体条件真正重要。但我们的确知道现实的世界中充满了特殊性，如结构、事件及环境等；我们也知道这对于确定进化之路会至关重要。有机物不只是自行进化，它们还受周围的环境，即各种具体威胁和机会的驱使而走向进化。

现举例说明我所讲的这种情况。在植物进化到某个阶段时木茎得以发现。这一发现与一种叫做本质素的硬化物质的发现连在一起。木质素是一种相当复杂的物质，可用蛋白质氨基酸之一种经几道工序合成。能够合成木质素的植物可长得较高，因此可向其它植物窃取阳光。树木的独特形状和大小，它所具有的高大和枝桠广散的结构，无疑取决于适宜的硬化物质的发现。但树木的出现却又会为其它有机物创造新的威胁和机会。我们可去林中漫步，或想想我们的类人猿祖先生活的情景。与其说类人猿是自己选择生活在林中，倒不如说是环境驱使它们如此生存。这种生存方式除其它因素外取决于树林的存在。因此这种林间动物的存在部分起因于树木。作为这种动物后代的人类当然也是如此。我们的眼睛生在头的前部主要是因为我们那些具有杂耍特技能力的祖先需要具有善于判断近距离事物的能力；我们灵巧的双手当时主要是为能够抓牢支撑得住身体重量的树枝而设计；我们良好的平衡感使我们能够学会和欣赏如滑冰或骑自行车等特技，而这种平衡感的形成却可追溯到我们的祖先当时在树林中过的那种像杂技演员般的生活。（谁会想到木质素与骑自行车有关呢？如果本质素没有被创造出来，那么我想，人类的这些奇特的能力就不会存在。）

这就是进化产生的无法预测的结果，甚至是离我们较近的进化阶段产生的结果。那么，我们又如何能够描述进化最初阶段的情形呢？我们当然无法确切描述当时的情况；因为各种环境细节都已失去。但原则还是可以理解的，我们应该能理解激励进化的种种情况以及进化可望采取的方向。

在寻找原生有机物的过程中，由于原生有机物不像其它有机物，它可在未进化状态下存在因而难以为人们所认识，因此，考虑那些主动激励进化的情况尤其重要。如果原生有机物可自行显露，那么它们定会受到那种种威胁和机会的影响。我们也许可以在粘土易于生长的地区附近寻找已进化的原生有机物。这种地方只有具有特别性能的粘土才能适应。人们可以设想，原生

有机物产生于环境宽松的地区，而且是每时每刻在各处产生，然后（有时）向比较困难的地区进化。它们为什么要这样做？为什么它们不老老实实地呆在环境宽松的地区不动？它们为什么不保持原样而要进化呢？

我敢说多数原生有机物会呆在环境宽松的地区保持未进化状况。但问题是为什么其中一部分却会选择一条比较困难的道路呢？人们也许会问为什么有些动物会从大海来到陆地（陆地的生存环境比大海苛刻得多）？为什么鸟类的祖先会飞向空中？为什么我们人类的祖先走进林中？为什么我们迟早会定居于火星？显然这并非完全是为了容易生存，因为无论哪种情况都需具备大量的复杂的技术。但如果具备了这种技术，那些拥有技术的有机物就会发现新的机会。有机物逐步占领环境，一个比一个困难的生态龛，获得在其它东西无法存在的地方生存下去的手段，这显然是进化的一个重要方向。这种现象与有机物是否具有天生的野心这一问题无关，而是自然选择在复杂的多相的世界中作用的结果。

从直接向间接遗传作用的渐进过渡是进化的另一个原则，也是与日益增多的环境控制并存的一种趋势。我们在第七章中讨论了这种趋势的结果如何演变成我们所知的所有有机物共同的控制结构。间接作用具有重要意义。通过在核糖核酸、蛋白质、细胞、高等结构等层次的间接作用，本来干巴巴的脱氧核糖核酸信息就变得丰富多采。

现在可知原生晶体基因一开始是通过直接作用进化。然而，这些基因不也向间接控制发展吗？一种遗传物质担负的工作很多，既容纳信息又准确地复制信息。因此要这种物质像膜材料或催化剂一样担负一锤定音的工作显然不合理。用一种物质，即脱氧核糖核酸，专门负责信息复制，而用另一种不同的物质，即蛋白质，负责其它所有工作，这是一种完全可以理解的可能的进化结果。通过这种间接作用，很多特性均可得到控制。对于进化之中的原生有机物来说，这种间接作用不可能通过蛋白质或其它像蛋白质的东西实现，但总的战略却无疑类似，因为这一逻辑对于处于进化任何阶段的有机物都是相同的。间接作用为增进控制手段的多样性提供了途径。在一个复杂多相的世界中，这意味着有机物借以繁荣的场所的种类增多。

最初的有机物无法预见在遥远的将来会出现基于脱氧核糖核酸的机器。我们在努力回忆这一观点时也许会问，基因—1 可能会以何种方式进行控制，它最容易造出的相互独立的表现型结构是什么以及造出这些结构的目的又是什么？

不同种类的粘土矿物晶体在生长过程中可能相互合作，即一种晶体的生长影响其它晶体生长的环境。这种合作可通过在已有晶体的表面生成新的晶体，即引晶的方式实现，或者还可通过更为间接的方式实现：即一种粘土改变诸如溶液流速或局部酸度等一般性条件，从而使本来难以生成的其它粘土得以生成。只要晶体基因的可复制特征（例如形状、大小及表面图案等）可对其它非基因粘土的形成产生影响而非基因粘土同时又反过来对基因粘土的生长具有帮助作用，那么，这种非基因粘土就可称作基因粘土的表现型。

我们可以设想一下已得到些许进化的有机物的结构。这种有机物含有大量晶体基因，这些基因嵌在由其它粘土或粘土类物质组成的含水基质之中。这种基质物质的用途不难想象。它也许可在晶体基因断裂过程中保护基因免受机械损伤，也许可作为一种胶将基因固定在合适的位置。它或许还可使基因免受溶液浓度变换的影响：即当这种基质物质的生长和分解的速度超过基

因物质时，它对周围的溶液就具有一种稳定效力。或者，它也许易于将那些有可能干预晶体基因生长的金属离子抓住由于有关实际的表现型结构的具体规格要求是如此的不确切，因此，我们可以毫不费力地设想出表现型结构所具有的许多可能的用途。总的来说，一个因基因的生长而形成的表现型结构必须有助于改善该基因的生存环境。至于怎样改善却没有一定之规。

现在我们的讨论已开始超出有关原生基因具有的相对的确定性；这种确定性表现为原生基因进化的各种可能性或多或少均受到基因物质，即晶体和分子的特征的制约。我们正从对直接作用的基因的讨论向一个新的范畴转移，转移到似乎没有极限的间接遗传控制的回旋这一问题。

“哦，亲爱的华生，我们正进入一些推测领域；在这些领域内逻辑性最强的头脑也可能出错。”

第十四章　接替

“人的智慧无法解释的事件组合不会存在。现在我来简要介绍一种可能的思路。我介绍这种思路只是想把它当做一项智力训练，丝毫没有断言这种思路就是正确的意思。我承认，这纯粹是一种想象，但想象不是常常成为真相之母吗？”

至目前为止，我在本书所讲述的这个故事中如果还有点什么东西值得一提，那就是：我们的生化系统，连同这个系统的各种分子组成成分的起源问题应与真正的生命的起源问题区别开来。进化并不是从生命目前共有的有机分子开始。事实上，最早的有机物甚至最早进化的有机物中究竟有无有机分子，我对此表示怀疑。

正因为如此，我在讲述这个故事时过了很久才讲到有机分子。既然这样，那么现在的问题就是：什么东西作为桥梁把进化的矿物质有机物和目前在地球上四处存在且其形态和这种有机物完全不同的生命联系在一起呢？本书第八章简要介绍了这种桥梁的总的特征。在最初的有机物与后来的生命之间存在接替：最初的有机物在进化过程中在其内部创造了一种环境，从而使“高技术”遗传系统得以出现；这种遗传系统在运作过程中日趋成熟，随之而来的就是对最初有机物的接替。此时，原生有机物为次生有机物取代。所谓次生有机物指的是一种完全无法自然产生的有机物。

现在，让我们为这幅桥梁的略图补充一些细节。我们只把这项工作作为一种智力训练，丝毫不去断言我们所补充的细节就是对的。我们可以从四个问题入手：

有机分于是如何获得的？为什么？

有机分子如何获胜？为什么能够获胜？

关于第一个问题，即有机分子是如何获得的这一问题，如果你还记得，我想你一定知道本书在有关“套盒”一章中提供了这么一条线索：这条线索暗示我们的生化供应结构是从二氧化碳发展而来；而这一点则又提示最初的有机分子是矿物质有机物通过光合作用获得。

这个线索所提示的情况至少会是贯穿进化的一个不变因素。光合作用仍然是有机物吸收碳原子的最重要的方式。植物利用太阳光能从空气中的二氧化碳和水这两种最为容易获得的物质中合成较大的分子，这是植物具有的独特的能力。植物物质的大部分实际上就是由这种通过光合作用合成的较大的分子组成。

在原始地球上发生的反应过程不会像现代植物的光合作用那样高深复杂。植物的绿叶中有一些很小的机器，每台机器都带有薄膜，薄膜中包含有呈晶体状排列的叶绿素分子。这些叶绿素将一束束太阳光光线吸收下来，就像天线接收无线电电波一样。这一过程导致扰动的产生，扰动是在电荷分裂以及电荷朝薄膜两面作相反方向的运动时积累的。正电荷向一个方向运动并作用于水（从而合成氧气这种副产品）；负电荷，即电子，则朝另一个方向运动并协助从二氧化碳中合成糖分子。

这是一个相当复杂的过程，然而有些矿物质却可以在有限的程度上模仿这种植物的光合作用效应。在紫外线的照射下，某些结构简单的铁盐溶于水中之后可以使二氧化碳凝固并将它合成如甲酸之类的小有机分子。某些晶体矿物质也能以这种方式模仿光合作用效应。

另一种重要的反应过程是通过将空气中的氮分子分裂，而使氮原子发展成为生化物质。完成这一过程并非易事，因为氮分子也像二氧化碳分子一样，其化学性质相当稳定。这种固氮过程需要大量的能，只有某些细菌才能完成。同样，固氮也是有机物中一种非常复杂的反应过程。这种复杂的反应过程同样也有一些矿物质可在有限程度上加以模仿。作为砂的一种次级成分，含铁的二氧化钛也具有固氮的能力。当太阳光照射到这种物质的潮湿的晶体之上，这时就会有少量的氮转化为氨。氨是一种形态的氮，它相比之下比较容易发展成为如氨基酸之类的较大的分子。

即使是在主要由二氧化碳、氮和水蒸气组成的惰性程度相当高的大气层下，即在那种目前普遍认为存在于早期地球上的那种大气层下，人们也能想象到小有机分子在这种环境中合成的情形。这种合成当然决不可能在汪洋大海这样广阔的范围内进行，但在局部，例如说，当潮湿的矿物质暴露在大气层以及早期含有大量紫外线的太阳光线之下时，这种合成是完全可以想象得到的。这样合成的物质的量会很小，因为就我们所知，这种合成方法对于普通矿物质来说是一种低效方法，而且，正如本书第六章所讨论过的那样，紫外线对有机分子同时还具有破坏力。合成和拆散（以及混淆）会同时进行。

然而，人们不能逃避与纯粹用地球化学反应合成如核苷酸等较大的有机分子有关的更为普遍的问题。不过假设有矿物质有机物的存在，那么，这一问题就不再是重大的障碍。我们就不会再讨论机会能够实现程序的长串次序排列的问题。假定矿物晶体集合体存在，假定这种集合体的形态、结合方式以及有缺陷结构等均可由自然选择造成，那么我们现在所要探询的就是什么事情也许是可行的。就像本书第六章在行将结尾时所讨论过的一样，当自然选择开始运作，当过去的成功实际上已可被连续记忆下来时，那种靠碰机会的游戏方法就会得到根本的改变。这时，专门知识或技能可以积累增多。一些不可能的事情也许就会成为非常可行的事情。

那么，我们能否设想已经进化的矿物质有机物为合成难以合成的分子创造了条件呢？对于为什么已经进化的矿物质有机物也许可以担负这一工作这一问题，我们将在后文讨论，现在还是让我们继续讨论它是“如何”完成这一工作的。现在需要回答的问题是 粘土是不是担负这一工作的适合的物质？它是否就是你所需要的那种物质？

答案是肯定的。让我们来分析一下光合作用。光合作用依赖的首先是一个吸收光线的装置以及一个在很小的规模范围内使一些很小的物体彼此处于分离状态的装置。（由光束产生的电子和正电荷以及由这些活化剂合成的最初的分子这三者之间必须保持分离，不能让它们重新聚合而相互抵销掉。）铁原子是粘土矿物中常见的组成成分，同时也是理想的吸收光线的材料，而那种非常薄但却坚韧的粘土层本身却似乎是一种理想的微量分离器。其余问题主要是组织结构方面的问题，例如使吸收光线的原子处于合适的位置、使粘土膜按正确的方式排列、使粒子的形状和大小恰如其分，等等。

通过适当的空间组织结构安排，冗长的有机合成过程中固有的程序排列问题原则上也可以得到解决。这一点如果暂时还不是很清楚，那是因为空间结构安排并不是我们人类用来排列制造程序的主要方法。我们靠的是识别。例如，假如我们要烤糕点，我们并不需要将所有成分按照我们使用这些成分的先后次序一样一样排列起来，也没有必要将调羹、搅拌器、烤箱等器具严格地按照我们使用它们的先后次序事先排列好。撇开其它一切不谈，如果我

们的厨房只按照烤糕点的要求布置，这显然不成其厨房。生产单一产品的自动化工厂则不同，工厂的布局在很大程度上体现了产品的工艺流程。这种工厂的生产活动如果仍然还有依赖识别的成分，这种依赖成分也已很少。

现代细菌在很多方面与其说像一个生产单一产品的自动化工厂倒不如说更像一个厨房。它的活动在很大程度上依赖酶识别其它分子的能力。这种识别能力当然不像我们人类具有的那种识别力那样高级发达，但仍然是一种高度发达的能力。早期的有机物不可能具有这种能力。因此，在自动化工厂与厨房之间，它们会更像工厂。那些已进化到能够制造诸如核苷酸这样的分子的有机物就其所含有的装置而言要比现代细菌复杂得多，这种装置的布局决定了这些有机物的制造程序。

当然，复杂与高级发达无疑不是一回事。现在我想请您设想某种像实验室中复杂的玻璃料器那样的东西，比方说，由简易烧杯、试管、泵等料器组成的复杂的集合体，它们之间相互联系在一起的方式说明了某种特定的实验程序。（希思·鲁宾逊曾持有这种观点，而北美人持这种观点的代表则是鲁布·戈德堡。）

假如你开始以这种方式分析有机物开始进入有机合成这一困难领域时所需的那种“料器”，那么，粘土矿物似乎是理想的材料。它们可以充当催化剂，但又不是过于活跃。即使在没有任何遗传控制的情况下仍有许多可以发挥试管和容器作用的粘土。它们会在各层的边缘将有机分子抓住，或者通常将有机分子夹在各层之间。

那么,在存在遗传控制的情况下,这种装置又是如何被组合在一起的呢？我们可以设想这种装置按照类似蛋白分子的折叠那样的建造方法组合在一起。也许那些带有特定电荷图案的柔性粘土层会起皱或者会以特定的方式合在一起，以说明某种特定的复杂的装置。或者，也许那些呈沟槽状的粘土表面会组合在一起，从而在它们之间形成一些错综复杂的但却带有非自然形成痕迹的裂隙。也许当我们在实验室内合成了各种晶体基因之后，我们将能够对前面提出的有关“如何”之类的问题做出更为具体的解答。

现在我们来讨论有关“为什么”这类问题。有机分子对于进化之中的矿物质有机物会有什么用处呢？

我们可以想象到，有机分子对于各个层次的矿物质有机物，即从那些也许可以用作胶、或紫外线屏障或原始屏障的简单的缺乏控制的混合物到用于更高级目的自锁聚合分子，均有它的用处。在制造粘土的过程中，有机分子可从许多方面提供帮助。

我们来分析一下甲酸的作用。甲酸是最简单且最易合成的有机分子之一。它可以稳定溶液的酸性，从而帮助控制粘土结晶过程。比甲酸稍许复杂一些的草酸也相当容易合成。大家知道，草酸能帮助粘土合成。同样，我们在第七章中讨论过的那些作为中央内核的次级成分的小分子中有几种也具有这种作用。这几种分子通过将铝离子溶解协助粘土合成。

氨基酸以及小串的氨基酸，还有其它一些分子，则善于控制溶液中的金属离子。也许这就是为什么氨基酸被带进一种生化系统，在这个系统中，溶液中金属离子的量与浓度非常重要。

在供应结构中，从氨基酸再往外的那一层是核苷酸。核苷酸的字母段是一种易于粘接在粘土层之间的分子，在具有易感性的核苷酸中出现的三价磷酸盐单位则特别适合与粘土层的边缘粘接。也许像核苷酸这种分子首先就是

为了与粘土相互作用而设计的，因此，它的第一个用途就是以特有的方式将粘土晶体系在一起。

当我们分析比前面所说的分子大得多的分子时，我们还可设想有机分子具有的其它用途。多糖由许多连在一起的糖单位合成。在现代有机物中，多糖具有各种各样的用途。符合标准的多糖可成为控制溶液浓度的能手，它可造出粘性适度的粘质物或胶质物，这种粘质物或胶质物在适当条件下可变软或变硬。多糖具有的这种专长对于进化的粘土有机物也许会有一定用处，特别是当粘土有机物的生长必须解决溶液不因受到光线照射而被烘干或者被水冲掉等诸如此类的问题时，多糖的用途就会明确地显示出来。

也许脱氧核糖核酸和核糖核酸的前身属于一种特异多糖。不论是与不是，你都可以这样理解：即脱氧核糖核酸和核糖核酸的前身在开始时并不具有遗传用途。发现这类分子可以复制信息是后来的事情，而且这种发现是一种偶然事件。

既然存在着一些对许多种有机分子都有用处的完全发挥作用的有机体，还存在着能把漫长的有机合成反应进行到底的日益演进的专门技术，那么偶然发现具有复制能力的有机分子的可能性是不是增加了呢？能增加多少呢？

为什么核糖核酸类分子链首先在有机物中固定下来？我猜测其原因纯属于结构方面，它取决于不同链段相互连锁在一起的能力。这是一种制造复杂物体的方法，即一种物体建造方法。这样一种技术一经确立，有关复制的可能性就会蓦然出现。

我们已在第八章中对这种情况做过讨论。在进化中，这种情况无时不在发生。例如，某种东西为了一个目的而进化，但结果却经常或通常发现这种进化后的东西具有其它用途（请回忆一下我们对猫的舌头的功能所做的讨论）。这种情况谈不上什么预谋，这只是一种机会主义。

一旦有机物中出现另一组能够容纳和传递信息的复制结构，进化则不但可以在旧的物质而且也可以在新的物质中通过可复制的变化产生。这里有一个条件，即核糖核酸类分子中的排列顺序信息应对这种分子的一个特性具有某种影响，而这个特性对整个粘土结构的有机物均具有某种用途。例如，这种复制顺序也许可决定分子自我折叠的方式，从而使分子成为有用的系统元件，或者相互连锁以形成一种处于良好状态的结构物质。

现在，我们可以确定，在进化中的有机物中至少会有某些氨基酸存在。我们必须假定，结构严谨的核糖核酸类分子终于以某种方式协助氨基酸组合成氨基酸链。这定然会是一个冗长渐进的过程（而且可以肯定，这个过程只有在已能充分运作、处于进化之中的有机物中才有可能发生）。只有当我们的中央控制系统，即遗传密码和这个系统的一切，全部完成之后，独自基于这一奇异系统的非寄生有机物才可望出现。

事实上，在独立生存的有机物出现之前还有一些工作有待完成。例如，制作粗陋的粘土装置须由进化而成的蛋白质酶以及所有新型的膜取代。最后，所有粘土装置终被取代。这时，该系统就开始固定下来，大约就像我们现在所看到的那种样子。任何东西均不是这种主要产自空气和阳光的超生命的竞争对手。这种超生命的一个种类成为目前地球上所有生命的共同祖先。

有机分子为什么会取得如此辉煌的胜利？这一问题已在本书第九章中做过讨论。有机分子比其它分子更适合用于“高技术”系统。这主要是因为有机分子的原子组合比较牢固。这些原子很难自行组合。要造出一种含碳原子

的、相互密合和有序的多原子结构比造出诸如硅—氧结构之类的东西要困难得多。然而，这种基于碳原子的结构一旦造出，它所具有的独特的复杂性就会无限期地保持下去。从水溶液中生成的晶体结构则大不一样，这种结构随时都有重新溶于水中的危险。那些很小的晶体，或晶状物体的小部件，则尤其容易分离或重新组合。这好比是同一个硬币的另一面：即易于自行组合的东西也容易自行分解。这种东西对于“低技术”系统也许还凑合，但它的作用毕竟有限。因此，对于重大工程来说，只有棍子和绳子显然是不够的。

综上所述，生物物质的优势最后与规模问题连在一起。有机系统可比其它系统小许多。有机分子可造出像插座一样巧妙的东西，这种东西能够识别、容纳和操纵其它分子。在有关分子控制的比赛中，手指最小的系统将获得胜利。

“对你来说，这看起来是一个简单案子；对我来说，这个案子却似乎非常复杂。”

第十五章　总结：七条线索

“……揭示整个奥秘的关键特征。”

第一条线索：来自生物学

遗传信息是唯一可以通过自然选择进化的东西，这是因为遗传信息从长远来说是唯一代代相传的东西。尽管遗传信息被装载在一种遗传物质之中，它本身却不是物质。它是方法。这种方法可以被复制，因此，它可超过载体物质的存在期而存在。只有当这种方法存在，即只有当遗传信息的复制所需的条件存在时，进化才能开始。

这第一条线索是最为重要的线索。它将我们的注意力引到了真正的问题之上。这个线索提出了问题，同时，它还会对问题的答案做出暗示。这个线索会向我们提示，最初的有机物会是什么样子，虽然它所提示的只是一个笼统的概念。最初的有机物定然是一些“裸露基因”或与之相近的某种东西。这个线索早在本书第二章靠前部分就已第一次出现。

第二条线索：来自生物化学

脱氧核糖核酸是一种郊外分子，它远离现在的生化系统中心。核糖核酸也属于同样情况。从生物化学以及化学上说，脱氧核糖核酸以及核糖核酸显然均属于难于合成的分子。即使用位于生化系统中央、比较简单的分子制造这两种分子的核苷酸单位也需经过许多道工序。所有这些暗示着一个事实：即这两种目前已成为中央生化系统无可争议的主宰分子的出现相对较晚。

第二条线索似乎与第一条线索相矛盾，因为第一条线索已明确暗示一种能够工作的有机物质从一开始就已出现。（解决这个矛盾将为找出整个问题的答案提供一条前进之路。）第二条线索经过了很长时间才呈现出来。在此之前，有些事实细节需要做些描述，同时还有两个转移注意力的不相干的线索必须予以排除。第二条线索的预兆出现在本书第六章。至第七章行将结束时，这条线索终于呈现出来。

第三条线索：来自建筑业

用石头垒成一个拱形建筑需要某种脚手架，需要有某种东西能够在石头全部到位并能相互支撑之前将石头撑住。建造程序中包括的东西最后却没有被包括进去，这是一种常见现象。进化中的情况也同样，有些东西可随着进化而消失。这种现象可导致物质的组成成分之间的相互依存，而这种相互依存则是中央生化控制系统的一个非常鲜明的特征。

这第三条线索提醒我们注意，某些物质可能已经失踪。这种已经失踪的物质可能是在较早时期曾经存在的“脚手架”，即进化开始时存在的早期的有机物设计。这些最初出现的有机物基于一种在我们现在的中央生化系统中不再存在的遗传物质，这种情况似乎非常可能。从第三条线索起，所有线索已开始频频出现。第三条线索在第八章的前半部分出现。

第四条线索：来自绳索的性质

一条绳索中的任何一条纤维都不必从绳索的一端一直延至另一端。人们只需将这些纤维相互紧紧地缠绕在一起即可。有机物演替过程中那一根根长线将我们与我们的远祖联系在一起，这些长线就像用多种纤维搓成的绳索。在这些线上代代相传的是一批批基因。（基因相互缠绕，因为它们与具有生存力的有机物相对应，彼此呆在一起符合它们的共同利益。）在演替过程中，新的“基因纤维”可能加入，旧的可能减少，但这种加减却不会打断整体上的连续性。

这第四条线索讲的是方式方法问题。它向我们暗示：基于一种遗传物质的有机物如何能够逐渐进化到基于另一种完全不同的遗传物质的有机物。这是一条中心线索，不止在一个方面是如此。这条线索出现在第八章的中间部分。

第五条线索：来自技术史

原始机械通常不同于后来出现的先进同类机械的设计原理（它们所用的制作材料也因此而不同）。原始机器必须易于用当时现有的材料制造；它必须能够工作，不论其工作能力如何，而且工作中的忙乱现象应减到最低程度。先进的机器则只须能够孤好地工作即可，不须具有特别容易制造的特性。它可由各式各样的具有各种专长并可相互协作的部件组合而成。实际情况通常也是如此。

这第五条线索引导我们推测那些最初的、尚未进化的（因而必定是属于“低技术”的）有机物和当今（明显属于“高技术”）的有机物会有很大的差别。而且很可能它们各自所用的制作材料也会有很大的不同。这个线索出现在第八章的末尾。

第六条线索：来自化学

晶体自行组合而成，其自行组合的方式也许适合用于合成“低技术”的遗传物质。即使是最原始的基因复制过程，也必须相当精确，并且需要有相当数量的原子组合在一起。大的有机分了很少显示具有适当的自我控制能力的迹象。另一方面，存在着几种情况，我们可以设想在这几种情况下复杂信息的复制可通过晶体生长过程实现。

这第六条线索为我们寻找原始的生物化学物质提供了一种方向。这条线索的意义在第九章中从头至尾逐渐呈现，并且在后几章中得到发展。该线索在第十章的开头部分首次集中呈现。

第七条线索：来自地质学

地球每时每刻都在制造粘土，江河中的大量泥沙即是明证。粘土矿物是一种微小的晶体，这种微小晶体从水溶液中生成，水溶液则由硬岩石风化合水而成。不仅对于原始基因，而且对于诸如属于“低技术”的催化剂和膜

等原始的控制结构来说，这些无机晶体作为一种构造物质似乎比大的有机分子要合适得多。

第七条线索的意义取决于其它所有线索。粘土这种地球上最常见的物质是最初的生命物质这一观点本身自然没有什么新颖之处，因为在圣经中早已有所记载。新的地方在于我们对这种物质的认识：即在超高倍放大镜下观察，这种物质究竟会引起人们多大的兴趣、其种类多至何种程度以及这种物质的复杂程度又是如何等等。第七条线索在第十一章中出现。

以上就是我在本书讲述的有关生命起源的七条最佳线索。这七条线索中只有第一条可以说本身代表一种重要见解（而且这决不是新见解），只有第二条是纯技术性的。其余的均属陈腐之见。然而，正如福尔摩斯所说的那样：

“观点的相互印证以及知识的间接运用往往具有不同寻常的意义。”