

【美】古德塞尔 著 王新国 译

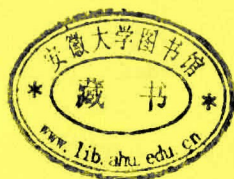
图解生命

中国青年出版社

【美】古德塞尔 著 王新国 译

图解生命

The Machinery
of Life



中国青年出版社

(京)新登字083号

图书在版编目(CIP)数据

图解生命/[美]古德塞尔(Goodsell, D.)著;王
新国译.—北京:中国青年出版社,2013.11

ISBN 978-7-5153-1946-9

I. ①图… II. ①古… ②王… III. ①生命—物质—
研究 IV. ①Q10

中国版本图书馆CIP数据核字(2013)第233124号

北京市版权局著作权合同登记

图字:01-2013-2473

Translation from English language edition:

The Machinery of Life by David S. Goodsell

Copyright: ©2009 Springer New York

Springer New York is a part of Springer Science+Business Media

All Rights Reserved

选题策划:彭岩

责任编辑:耿艳丽 王涵

*

中国青年出版社出版 发行

社址:北京东四12条21号 邮政编码:100708

网址:www.cyp.com.cn

编辑部电话:(010)57350407 门市部电话:(010)57350370

北京顺诚彩色印刷有限公司印刷 新华书店经销

*

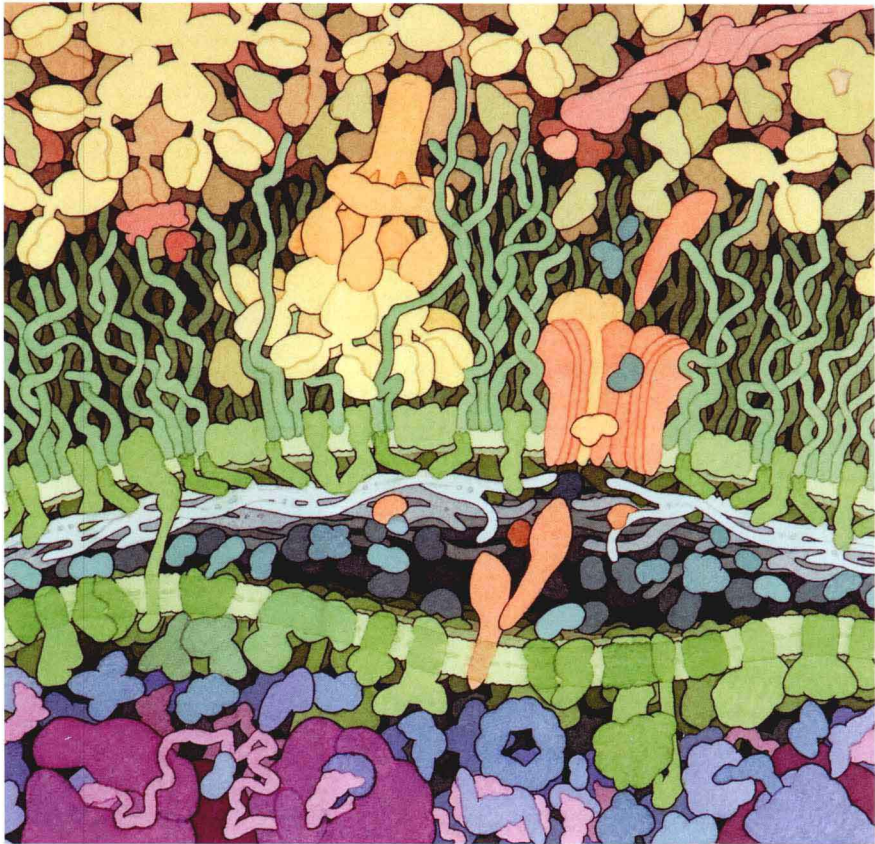
787×1092 1/16 12印张 2插页 100千字

2013年11月北京第1版 2013年11月北京第1次印刷

印数:1-4000册 定价:56.00元

本书如有印装质量问题,请凭购书发票与质检部联系调换

联系电话:(010)57350337



人体免疫系统刺透细菌的细胞壁

人体血液中含有能够识别并摧毁入侵细胞和病毒的蛋白质。图示为正被血浆中的蛋白质攻击（图片上部分黄色和橙色所示）的细菌细胞（图片下部分绿色、蓝色和紫色所示）横截面。“Y”形的抗体通过将其绑定到细菌细胞的表面启动这一过程，并被6条臂的蛋白（图片上部分中间区域）识别。这便开启了一个级联反应，最终形成一个细胞膜攻击复合体，图中抗体正在穿透细菌的细胞壁。（放大100万倍）

前 言

设想一下，我们是不是可以通过某些方式直接观看一个活体生命中的分子？采用X光显微镜可以达到预期效果，亦或在梦中可以有一艘阿西莫夫型的纳米潜水艇（很不幸，目前二者对普通人来说都不可行）。想想看，那样的话我们就可以直接见证奇迹：抗体攻击一个病毒、电信号沿神经纤维争先而行、蛋白质构建新的DNA链等。就这么一瞥，就能解决当今仍困扰着科学领军人物的许多问题。但是，纳米尺度的分子世界与我们每天现实生活的世界被尺度差异所分隔，这种令人望而却步的差异是百万倍数量级的，所以今天的分子世界仍然是“隐形”的。

为了弥合这一鸿沟，我在本书中创作了插图，使我们能看到细胞内的分子结构——即使不是直接看到，那么也能以一种艺术的形式再现观察。我在书中采用了两种类型的插图：一种是将一个活

细胞的一小部分放大一百万倍的水彩画，描绘了细胞内部分子的排布；另一种是电脑绘制的图像，用于表现单个分子中原子的细节。在本书的这个第二版中，这些插图以全彩的形式展示，并且还在其中加入了自首版问世以来，过去15年间激动人心的科学进展。

与第一版相同，我用几个主题将这些图片联系起来。其中一个主题是尺度。对于水分子、蛋白质、核糖体、细菌和人类的相对尺寸，我们中大多数人没有一个很好的概念。为了便于理解，我按照一致的放大倍数完成了这些插图。表现活细胞内部区域的图片、扉页中以及贯穿本书后半部分插图的放大倍数都是一致的，都是100万倍。正因为有这个“标准尺度”，读者可以在这些章节之间直接跳读，并比较DNA、脂质膜、核孔以及活细胞中所有其他的分子装置的大小。同样是为了便于比较，电脑绘制的单分子图像也是按照几个“标准”的尺度完成的。

在绘制这些插图时，图画风格我也保持前后一致，这同样是为了易于比较。所有的分子插图都使用了一种把每个原子描绘成一个球面的空间填充式表现法。在细胞图画中，分子的形状则是空间填充式图像的简化版，只是把握分子的总体构型，而没有表现其中每个原子的位置。当然，这些分子中的绝大多数都是没有颜色的。图片色彩完全是人工完成的，我选择这些颜色是用以强调所述分子和细胞环境的功能性特征。

在对细胞内部区域的描绘中，我竭尽所能描述正确区域中正确的分子数量以及正确的分子大小和形状。本书首版出版的15年中，很多种类的新数据可以用来支持这些图片，但是已发表的关于分子分布和浓度的数据却依旧寥寥无几。因此，描绘细胞的图片受限于我个人的理解，尤其是第五、六章中人类细胞的插图。

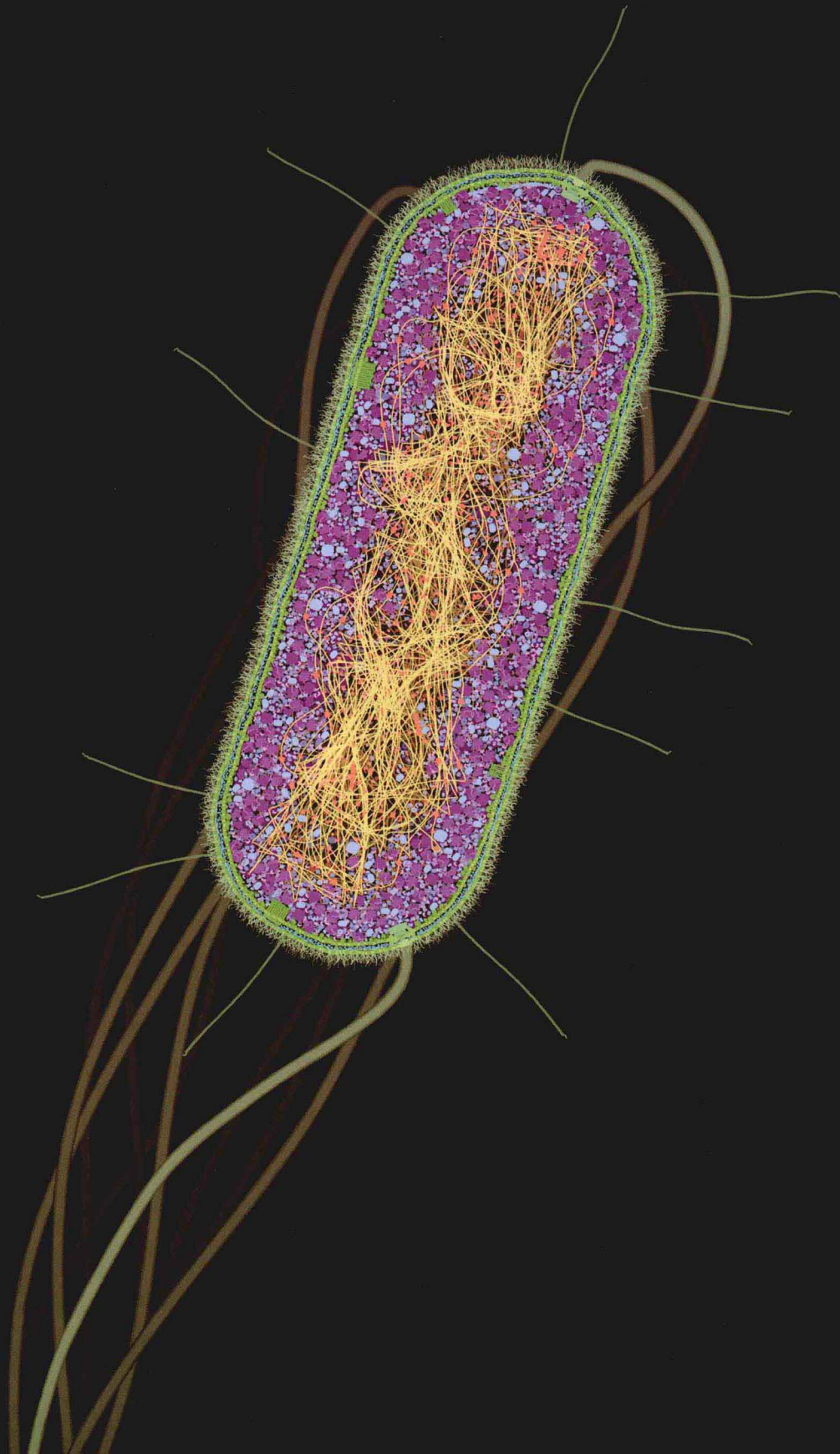
和首版一样，我与心目中的非科学家读者一同写作了该书的正文部分。并且我秉持严谨的科学态度创作了插图，希望也能使科学家读者满意。对于那些非专业的读者，本书是一部分子生物学导言——编排生命过程的分子的图式概览。第二版书中包括了分子生物学中的许多新成果，以及讨论生命、衰老和死亡的一个新章节。

但是请注意，本书并不旨在体大虑周——我选择的一系列主题，也只是我所找到的、能够展现最显著且最迷人的分子生物学面貌的主题。所以，书末补充列出了一些优秀教材，可为读者提供更为细节而广泛的信息。特别是《细胞的分子生物学》这本书，几乎可以为细胞或分子生物学中的任一主题提供学习指导。对于科学家而言，我期望本书继续为直觉提供试金石。请和我一样使用这些插图吧，它们能够帮助我们在其正确的语境中设想生物分子：分子装在活细胞中。

感谢目睹这一计划“由想法变成现实”并为我提供帮助的人们。感谢亚瑟·奥尔森先生在每一阶段源源不断地提出有用的意见，提供拉荷亚市的斯克里普研究中心分子图像实验室这一优良的工作环境。感谢在过去8年中结构生物学合作研究协会对我绘画和写作提供的支持，本书中的许多素材都绘于该协会蛋白数据库中的“每月分子”系列。感谢fourmentin-Guilbert科学基金会对这一计划的支持。感谢达曼·鲁尼恩-沃尔特·温切尔癌症研究基金会、国家卫生研究院（NIH）和国家科学基金会在我开发绘制电脑插图方法的过程中给予的支持。最后，感谢比尔·格林姆先生的支持与信任。

加利福尼亚州拉荷亚市

大卫·古德赛尔



目 录

前言	I
第1章 导言	001
尺度的问题	003
分子的世界	005
第2章 分子装置	009
核酸	014
蛋白质	019
脂质	021
多糖	026
细胞内神奇的分子世界	028

第3章 生命的工序	031
分子的构建	032
能量的利用	043
防护与感知	049
第4章 细胞中的分子：大肠杆菌	057
保护屏障	061
蛋白质的合成	064
细胞的供能机制	068
细胞的螺旋桨	071
分子之战	073
第5章 人类细胞：区室的优势	077
第6章 人体：专一化的优势	091
基础设施与交流	093
肌肉	099
血液	103
神经	111
第7章 生命与死亡	121
泛素和蛋白酶体	122
DNA的修复	123

端粒	129
细胞的程序化死亡	130
癌症	131
衰老	134
死亡	139
 第8章 病毒	143
脊髓灰质炎病毒和鼻病毒	145
流感病毒	150
人类免疫缺陷病毒	151
疫苗	154
 第9章 你和你的分子	159
维生素	160
广谱毒素	164
细菌毒素	167
抗生素类药物	170
神经系统的药物和毒素	173
你和你的分子	177
 原子坐标	179
 辅助阅读	181

第1章

导 言

我们的世界充满了各种各样的生命。想象一下当你悠闲漫步于一个植物繁茂的公园时的情境：橡树和枫树在午后的阳光中投下摇曳的斑影；鸟儿和蝴蝶在林中飞来飞去；松鼠们在树上喧闹蹦跳。在一片树林中，几十种树和植物环绕在你周围，其中还有许多种鸟类驻留。昆虫们或在林中漫步，或在叶片间游走，或在空中穿梭。即使在城市中心，你也能找到种类繁多的植物——有



图1.1 生命的构成

地球上的所有生命都由细胞构成，细胞则由分子构成。图示为单细胞细菌的横截面。这个细胞被多层的细胞壁（绿色部分）包裹。长长的螺旋形鞭毛由细胞壁内部的动力部分驱动，能驱使细胞在其环境中运动。细胞内部充满了各种分子装置，有构建和修复分子的，有统筹各种来源的能量的，还有感知并抵御外界环境危害的。（放大7万倍）

些被悉心照料，有些则躲开园丁独立发展。这些植物也容留了各种鸟类和昆虫，它们造就了房舍和混凝土之间的一方居所。

当你下次漫步于公园或林间的时候，凡有植物和动物的地方，请花一点时间，用一个生物学家的眼光看看周围的这个世界吧。这真的很棒！科学能揭示这个世界中许多隐藏在熟悉事物背后的奇迹……就在这片树林风景下，承载着某些真正惊人的证据。正是通过研究我们周围的这些植物、鸟和动物，科学家们已经发现你我与地球上每一种生物之间都存在着直接联系。只需稍稍留心观察一下，你也能亲自发现这种联系。

只消一眼，就可以看出你和父母、兄弟姐妹，甚至于和那些偶遇的路人之间是存在着密切联系的。我们人类之间的差异是微乎其微的，仅在身体比例和隐性部分存在着细微的差别。我们都有相同的感受，运用相同的以肌肉和骨骼组合的系统说话与行走，以同样的方式出生，以相近的时间度过一生直至死亡。所有人类之间存在密切联系是显而易见的，根本不需要特别证明。

但是，要发现我们人类与生物学意义上下一级种族的亲缘关系，就要多花些时间去观察发现了。一次轻松的动物园之旅便能揭示我们与我们熟悉的动物之间的近亲关系。鸟类、哺乳动物、爬行动物、两栖动物以及鱼类，其实都是与我们隔了N代的表亲。那么，要解释这种种族相似性，我们需要稍稍了解一些解剖学的知识。从解剖学角度讲，人类和这些物种都有相似的消化系统和神经系统，都以相似的肌肉和骨骼系统构建起了头部、躯干和四肢乃至身体。所以说，在解剖学意义上，我们和大象或蜥蜴之间的差别仅在于：谁的腿更长、谁的毛更多和谁的牙更尖。

当我们把目光扩展到整个生物大家庭，事情就更加有趣了。这个大家庭包括所有生物：植物、昆虫、海绵、扁形虫以及许多异域远亲。现在，光靠解剖学知识是不行了，你需要大量其他生物学的工具才能真正看到我们与那些家族成员之间的关系。乍看上去，你 and 一棵树根本没有什么可比性。但是，你的胃和树的根虽然明显不同，却同样是用来吸收食物营养的。那么如果借助显微镜观察的话，你就会发现所有的生物体都是由细胞构成的，而树的细胞恰恰和你手的细胞十分相似。

生物学中最卓越的科学发现也许就是：即使是细菌，也和我们一样是生物大家庭的成员。细菌并不是像我们人类的身体那样由数万亿个细胞构成，它是由单细胞构成（图1.1）。然而，这单细胞却和人体细胞使用很多相同的装置。如果你能在非常近的距离观察那些参与精妙协调生命进程的分子，你会发现这些装置是多么相似（图1.2）。地球上的所有生物都利用一套相似的分子组合来进食、呼吸、移动和繁殖——正因为如此，无论是树、青蛙还是肉毒杆菌，都需要水和食物；温度过高或过低，都会导致它们的死亡；而如果条件适宜，它们都会繁殖出新的后代。

在本书中，我们将探索生命分子机构的基本功能。首先要看看它们本身的基本机构，以及它们运营起来的那个非凡的分子世界。然后，探索它们是如何在活细胞中组合起来的。最后，将讨论一些与我们人类自身分子和细胞相关的特别话题。

尺度的问题

在本书中，我们讨论的所有事物几乎都小得难以看见。分子

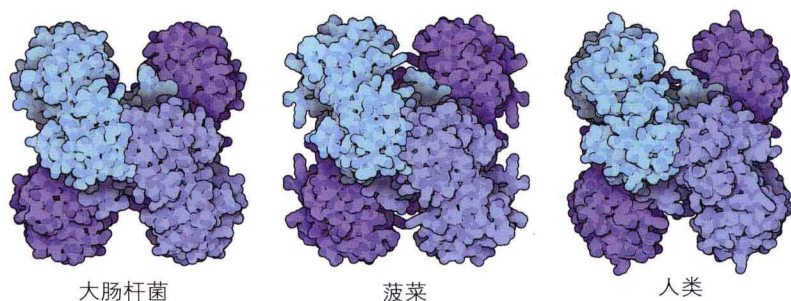


图1.2 分子装置

在所有活细胞中，许多分子装置都是可以被识别出来的，特别是那些在生命进程中执行基础任务的分子装置。例如3-磷酸甘油醛脱氢酶在图中3种生物体的糖代谢过程中都是至关重要的，而且可以看出该酶在这3种生物体——细菌细胞（左）、植物细胞（中）和人类细胞（右）中的相似形态。（放大500万倍）

实在太小了，而细胞却并非小得难以想象。细胞的长度比我们日常世界中的事物小约1000倍，最大的细胞（如原生动物）在放大镜下就可看见。我们人类的典型细胞长约10微米，差不多是手指末节的1/1000，所以人体中的绝大多数细胞则必须借助显微镜才能看到。1000倍的差异也不难想象：一颗米粒的长度是普通房间长度的1/1000，现在设想一下该房间装满了米粒，米粒的数目相当于构成你指尖的细胞数目，数量以10亿计。

再缩小1000倍，我们将进入分子的世界。分子的长度比光的波长还要短，所以用光学显微镜是无法直接“看到”它们的。但是，我们可以借助诸如 X 射线结晶学和NMR 光谱的方法、电子显微镜或原子力显微镜等工具来观察分子中的原子排布，然后绘制出它们的虚拟图像（图1.3）。随便哪个细胞中的一个蛋白质分子一般平

均包含约5000个原子，这样的分子长度约为一个典型细胞的千分之一，大概是你指尖宽度的百万分之一。让我们再次借用米粒和房间的比例关系，蛋白质分子之于细胞，即米粒之于房间。

分子的世界

细胞内的分子是在一个奇特而且我们不熟悉的世界中工作的，我们在研究它时必须要小心谨慎。因为在尝试理解分子工作机制的时候，我们很可能被直觉引入歧途。那些指导我们日常世界的法则——引力、摩擦、温度——在分子尺度上会有所不

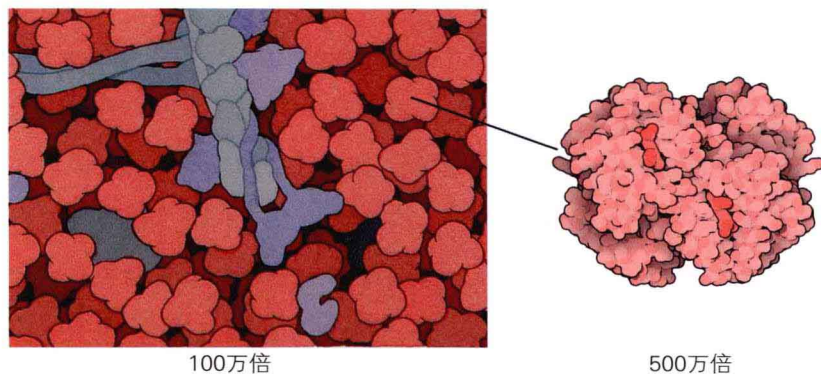


图1.3 分子图解

本书中最常使用的插图有两种类型。第一种是单一分子的图片（如右图所示的血红蛋白分子）：利用电脑软件，以原子核为中心为每一个原子绘制一个球形，球形的体积与原子核周围电子云的大小近似。在这幅图中，你能够轻松地识别出单个原子（放大500万倍）。第二种是展示细胞内部的手绘插图（如左图所示的红细胞）：每个分子的形状得以简化，而单个原子小得难以看到（在这个放大倍数下，单个原子的大小跟盐粒差不多）。本书中的所有手绘插图的放大倍数前后一致，为100万倍。

同，并且经常会导致出人意料的结果。

但是，仍有一个基本事实在两种尺度上（我们的尺度和分子尺度）是保持不变的：物质的固体性。这是最基本的相似之处，我们不必太过担心那些发生在量子力学范畴的怪异情况，分子也是具有确切大小和形状的。你可以充分想象这些分子相互撞击的画面，如果形状匹配，它们便能结合在一起。当然，如果近距离观察，你会发现分子的边缘有点模糊，但对于大多数研究目的而言，我们可以把它们看成桌子和椅子那样棱角明确的物理对象。

然而，分子世界中物质的其他性质的确会大为不同。例如，分子实在是太小，可以说它基本上不受重力作用的影响。实际上，在这个世界里，生物分子的运动和相互作用完全是由包围在其周围的水分子所掌控的。在室温下，一个中等大小的蛋白质能以5米/秒的速度（最快速度）行进。如果这个蛋白质被单独放置在一个空间中，那么它在1纳秒（10亿分之一秒）内就可以走过其自身长度的距离。但在细胞中，蛋白质分子是被水包围着的，它会受到来自水分子各个方向的撞击。所以，虽然它总是能高速地前挺后突，但受困于水分子的包围，在细胞中实际完成其自身长度的移动则需要花费近1000倍的时间（图1.4）。

想象一下发生在我们生活的世界中的类似情况。你进入一个机场，要去售票厅另一端的售票窗口，这窗口也就一两米的距离，和你的身高大致相当。如果售票厅空旷，几秒钟你就能到达。但如果这里挤满了许多正前往其他窗口的人，那么，在不停地推搡中，你可能需要15分钟才能通过！这期间，你可能一直在售票厅中被推来推去，甚至数次退到起点——这和分子在细胞中的蜿蜒前进是非常相似的（当然，分子是没有明确目的地的）。