

科学大众

# 生命机器

〔美〕D·S·古德塞尔〔著〕  
易军、仲力〔译〕



海洋出版社

# 生命机器

[美] D. S. 古德塞尔 著  
易 军 仲 力 译

海洋出版社

2001 年·北京

## 图书在版编目(CIP)数据

生命机器/(美)古德塞尔著;易军等译. — 北京:  
海洋出版社, 2001.4

ISBN 7-5027-5259-5

I. 生… II. ①古… ②易… III. 生命科学-普及  
读物 IV. Q1-0

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2001)第 18778 号

**图字:01-1999-1029 号**

Translation from the English edition

*The Machinery of Life* by David S. Goodsell

Copyright © 1998 Springer Verlag New York, Inc.

Published by Copernicus, an imprint of Springer - Verlag

New York, Inc.

All Rights Reserved

责任编辑:赵江峰

责任印制:严国晋

**海洋出版社 出版发行**

<http://www.oceanpress.com.cn>

(100081 北京市海淀区大慧寺路 8 号)

北京市燕山印刷厂印刷 新华书店发行所经销

2001 年 4 月第 1 版 2001 年 4 月北京第 1 次印刷

开本: 850 × 1168 1/32 印张: 4.5

字数: 116 千字 印数: 1~3 000 册

定价: 12.00 元

海洋版图书印、装错误可随时退换

以此书献给我的父亲和母亲——戴维(David)和  
谢里尔·古德塞尔(Cheryl Goodsell)



**免疫系统穿透细菌细胞壁**

我们的血液中含有能够识别和摧毁入侵细胞的蛋白质。在本图中，上半部是血清，下半部是遭受攻击的细菌的细胞壁。Y字形的抗体分子识别出外来细胞，附着到细胞表面，左边的六臂蛋白依次识别出抗体。这样，形成联合攻击行动的过程启动了，就出现了图中右边中央的被刺穿的细胞壁。这些穿孔扰乱了入侵细菌细胞的离子平衡，引起细胞的膨胀直至破裂(放大 100 万倍)。

# 前 言

设想一下,如果我们能够利用 X 射线显微镜或阿西莫夫的物体缩放机(不幸的是,这两种工具目前都还只是幻想)直接观察人体中的分子,将会亲眼看到一些多么神奇的现象:抗体攻击病毒,电信号顺着神经纤维传输,蛋白质在构建新的 DNA 链。多少困扰着当前生物化学精英们的难题将在这一瞬间迎刃而解。但是,上百万倍的尺寸差异在分子的微观世界与我们的日常生活之间形成了一条无法逾越的鸿沟。

在本书中,笔者建立了一套图示来跨越这条鸿沟,帮助读者看到细胞分子的结构。当然,这不是直接的观察,而是一种艺术性的表达。我在构造这些图示时的目的是这样的:通过放大 100 万倍画出一个生物细胞的一小部分,来表现内部的分子结构(就像卷首插图那样)。

在制作这些图示时,有几个一直贯穿全书的原则。一是比例,由于大多数人对于水分子、核糖体、蛋白质、细菌和人体等的相对尺寸缺乏一个较准确的概念,为便于读者理解,我在所有的图示中使用了几个固定的放大比率。在第四章到第七章中描绘生命细胞内部的图示都是放大了 100 万倍。因此可以对它们进行直接的比较:翻出这些章节中有图的书页,读者就可以比较 DNA、双脂层、核孔,以及生命细胞中其他许多分子的尺寸和形状。

为便于比较,我在作图时也保持了恒定的风格。表现分子时一律使用了实心图,没有在棒球图、条形图、化学符号之间换来换去。我希望从头至尾让读者对分子的形状和尺寸有一个统一的感

觉。

在画细胞内部构造图时,我尽量精确地在正确的位置放置正确数量的分子,并保证它们有正确的尺寸和形状。但是,目前公开的关于分子分布和数量数据还不完善,经常不断地进行扩展和补充。因此,细胞图示中不可避免地融入了一些个人的理解,尤其是第五章和第六章中的酵母菌和人体细胞图。另外,到目前为止许多分子还没有在原子水平上进行分析,这也使得笔者不得不进行一些艺术加工。

这本书的读者对象是非科学工作者,但我在画这些图时,保持了生物化学家所要求的科学精确度。对于外行的读者,这本书是对生物化学的一个介绍——一本用图示来描述分子和谐地完成生命活动历程的书。要想全面了解生物化学,这本书远远不够。如果读者想了解更多的信息,笔者在书后介绍了这个领域一些优秀的教科书(Lubert Stryer 的《生物化学》是优秀的入门读物,Alberts 等人的《细胞的分子生物学》几乎介绍了所有生物化学领域的研究方法)。对于生物化学专家,我希望这本书能充当直觉的试金石。请像我做的那样,利用这些图示,想像生物分子是如何正确地组合,形成生命细胞的。

非常感谢那些帮助我把写作本书的想法变成现实的朋友们。Arthur Olson 在每一个阶段都提出了宝贵的意见,并通过拉霍亚的斯克里普斯(Scripps)研究所的分子图形实验室为我提供了优越的工作环境。最后,我还要感谢 Bill Grimm 给予我的支持和信任。

# 目 次

|                            |       |
|----------------------------|-------|
| 前言 .....                   | ( 1 ) |
| 第一章 引言 .....               | ( 1 ) |
| 细胞世界 .....                 | ( 3 ) |
| 分子世界 .....                 | ( 4 ) |
| 分子图示 .....                 | ( 8 ) |
| 第一部分 分子与生命 .....           | (12)  |
| 第二章 分子机器 .....             | (12)  |
| 核酸 .....                   | (13)  |
| 蛋白质 .....                  | (16)  |
| 脂类 .....                   | (20)  |
| 多糖 .....                   | (22)  |
| 第三章 生命过程 .....             | (26)  |
| 能量的产生 .....                | (27)  |
| 自我复制 .....                 | (46)  |
| 保护和感觉 .....                | (50)  |
| 第二部分 细胞中的分子 .....          | (53)  |
| 第四章 大肠杆菌——最简单的细胞之一 .....   | (53)  |
| 细胞质 .....                  | (54)  |
| 细胞壁 .....                  | (55)  |
| 核心区 .....                  | (59)  |
| 第五章 面包匠的发酵粉——分工协作的优势 ..... | (63)  |
| 细胞质 .....                  | (66)  |

|                            |       |
|----------------------------|-------|
| 线粒体 .....                  | (69)  |
| 细胞核 .....                  | (70)  |
| 蛋白质的运输 .....               | (74)  |
| 第六章 人体——专门化的优势 .....       | (81)  |
| 血液 .....                   | (85)  |
| 神经 .....                   | (92)  |
| 第七章 植物——从阳光中获取能量 .....     | (97)  |
| 细胞壁 .....                  | (99)  |
| 光合作用 .....                 | (99)  |
| <b>第三部分 细胞的健康与疾病</b> ..... | (104) |
| 第八章 维生素 .....              | (104) |
| 维生素 A(视黄醛) .....           | (104) |
| 维生素 B .....                | (105) |
| 维生素 C(抗坏血酸) .....          | (108) |
| 维生素 D .....                | (108) |
| 维生素 E(生育酚) .....           | (109) |
| 第九章 病毒——生物世界中的强盗 .....     | (111) |
| 脊髓灰质炎病毒和鼻病毒 .....          | (112) |
| 流行性感冒病毒 .....              | (115) |
| 人体获得性免疫缺乏病毒(艾滋病病毒) .....   | (118) |
| 第十章 毒药和药物 .....            | (121) |
| 广大的毒药家族 .....              | (121) |
| 神经系统毒药和药物 .....            | (124) |
| 镇痛剂 .....                  | (130) |
| 抗生素 .....                  | (130) |
| 药物发现和发展 .....              | (133) |
| 展望 .....                   | (134) |
| <b>进一步阅读的书目</b> .....      | (135) |

# 第一章 引言

你、我以及地球上的其他生命之间都存在着密切的联系。只需随便一瞥,就可以看出我们和父母、兄弟姐妹等直系亲属共同拥有的家族特征。同样,所有的男人、女人所存在的密切关系也是显而易见的。如果有不同,也仅仅是在高矮和外形上的微不足道的差别。

哺乳动物、鸟类、爬行动物、两栖动物和鱼类等脊椎动物是人类的近亲。但是,由于已经经过了无数代的演化,所以必须要通过解剖学的研究才能够找到彼此间的共同点。人类的解剖学特征与其他脊椎动物完全相同:都拥有被大脑控制的神经系统,神经系统指挥肌肉带动骨骼运动,对眼睛和耳朵等感觉器官传来的刺激作出反应。人类和一头大象或一只蜥蜴的区别只是尺寸上的微小差异:腿的长短、皮毛的浓密以及牙齿的尖利程度不同。

进一步的研究可以发现,诸如海绵、昆虫、扁形虫这样更加简单的动物,甚至于植物、真菌、原生动物等,也是人类的亲戚。利用显微镜我们可以发现,所有的生物都是由细胞构成的。我们身体中的细胞与其他有机生命的细胞在很大程度上是相同的。这些细胞都拥有大致相同的机制,可以吸收营养、独立生存、产生能量,并且能够繁殖。

如果再深入研究,将会揭示我们更加遥远的亲缘关系——细菌。生物化学技术的进步发现,这些简单细胞与地球上其他所有生命最基本的相似性,这也是一种家族共性,是无数执行着生命活动的分子所拥有的共性。

沿着生命的族谱向前追溯 35 亿至 40 亿年,我们可以确切地推断出人类最古老的祖先的样子:一种独特的分子,它们被认为提

供了生命发展的种子。这种分子拥有的一种特性,使得它们与众不同,它们可以利用周围环境中的资源,复制出一个完全相同的自己。这些分子,严格来讲,并不具有生命,但它们跌跌撞撞地走上了发展现代生命最核心的环节——自我繁殖。

在自然选择的压力下,这些能自我复制的分子进化着,并逐渐与其他种类的分子结合形成了最早的有机组织。能够进行特定化学反应的分子机器出现了,有机组织从此可以生产自己需要的分子,而不必仅仅依赖周围的环境来提供。出现了分子发动机,有机组织具备了向指定方向运动的能力。分子皮肤产生了,将有机组织需要的资源与周围环境的有害成分分离。

逐渐地,那些能够最大限度复制自己的有机组织主宰并消灭了复制能力弱的竞争者。赢得了这场竞赛的有机组织就是我们最直接的祖先。它们是最原始的细胞,由拥有各种各样功能的分子机器结合而成,每种分子机器在生命的历程中都承担着独特的使命。这些分子机器同样在现代生命中发挥作用,与它们在最古老的细胞中存在的形式基本相同,只不过更加复杂和专门化。在地球漫长的历史中,再没有第二次激发无生命物质向生命体进化的历程。因此,最古老的细胞成了人类以及所有的地球生命的共同祖先,在地球生命族谱中占据了最基础的位置。

本书将带领大家探索进化到今天的分子机器。第一部分中,对构造现代细胞并被其使用的独立的分子机器进行研究,这些机器包括蛋白质、核酸、脂类和多糖等。我们将看到,这些机器是如何和谐地工作,以执行生命的种种功能:繁殖,利用能源,与环境中的不利因素战斗。

第二部分将所有的信息结合起来,来介绍4种不同的有机组织是怎样在分子水平上组合起来的。从一种简单的有机组织——埃希氏大肠杆菌出发,我们将看到怎样将几种最基本的分子组合成不同形式来执行各种生命的职能。我们也可以看到同样的分子

机器被重新组合,但并不发生根本改变,形成更加复杂的有机组织——如烤面包用的酵母菌。然后,我们将研究两个多细胞组织——人类的和植物的——看到仅仅利用细菌中那些分子机器就可以实现难以相信的复杂功能。

本书第三部分将总结一些专题。在了解了我们身体中的一些细胞是如何工作的之后,我们将介绍对维生素的需要,了解病毒是如何在阻碍我们细胞中分子机器工作的同时实现自我繁殖的,探索药物和毒药的微细差别。

## 细胞世界

细胞很小,但并不是难以想像的小。与我们日常生活中的物体相比,细胞的尺寸在长短上大概要小 1 000 倍(见图1.1和1.2)。我们身体中典型的细胞大约 10 微米<sup>①</sup> 长,比你手指的最末一节小1 000倍。将长度上1 000倍的差距形象地描述出来并不困难,一粒大米在长度上大概是你所坐着的房子长度的千分之一,想像一下将你的房间装满大米的样子,这会给你一个概念,即近10亿细胞是如何构成你的手指尖的。

细胞尺寸上的微小对它们与外界环境相互作用的方式有重要的影响,对于细胞这样大的物体,不像在我们的世界中那样,重力是最重要的受力方式,相比较而言,周围环境中水分子带来的压力更加重要。对分子级的物体,水不再像我们的生活中那样是流动的液体。对细胞来说,水是粘性的。水的表面张力提供了一个熟悉的例子:小昆虫可以在水塘的表面滑行,如果人走上去,重力作用在我们身体上的力将大大强于水分子微弱的表面张力,我们会直接沉到水底。细胞生活在厚厚的、粘稠的水中,相对而言重力可以忽略不计。当细胞要从一个地方向另一处转录时,主要的力气

---

① 1 微米 = 1/1 000 000 米。

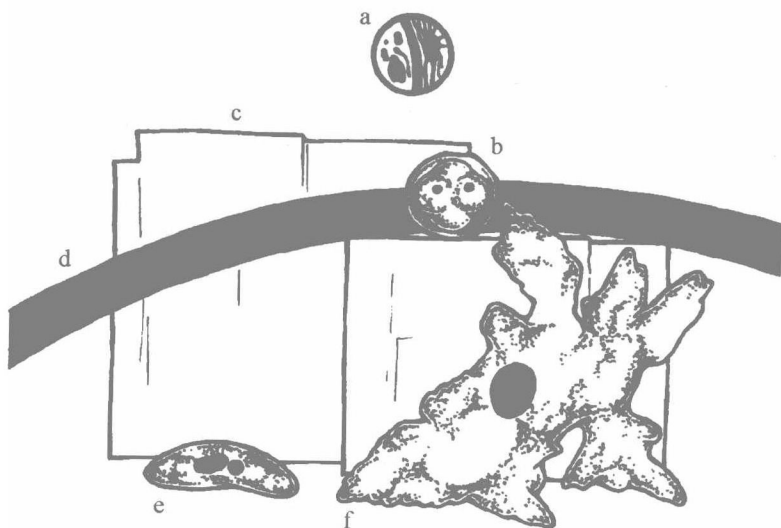


图 1.1 放大 100 倍

a. 一群细胞(在下一幅图中将被再次放大);b. 人体最大的细胞——卵细胞在分裂成 4 个细胞的阶段;c. 食盐颗粒;d. 人的头发;e. 一种多细胞的原生动物草履虫;f. 原生动物扁形虫

用来推开周围粘乎乎的液体,而不是用来向上举起自己的身体。

## 分子世界

如果我们要离开细胞的世界,进入分子的世界,必须将尺寸再缩小 1 000 倍(见图 1.3 和 1.4)。细胞中的一个普通的蛋白质由 5 000 个原子组成,它的长度大概是细胞长度的千分之一,是手指尖长度的百万分之一。如果我们可以将物体放大 100 万倍,将很容易地看到分子。原子刚刚可以看到,就像一粒盐的样子。再想像一下用米粒装满一间屋子的样子,这将给我们 10 亿左右的蛋白质分子充满一个细胞大小的空间的形象。

分子是如此的小,以至于对它们来讲重力完全可以忽略不计:

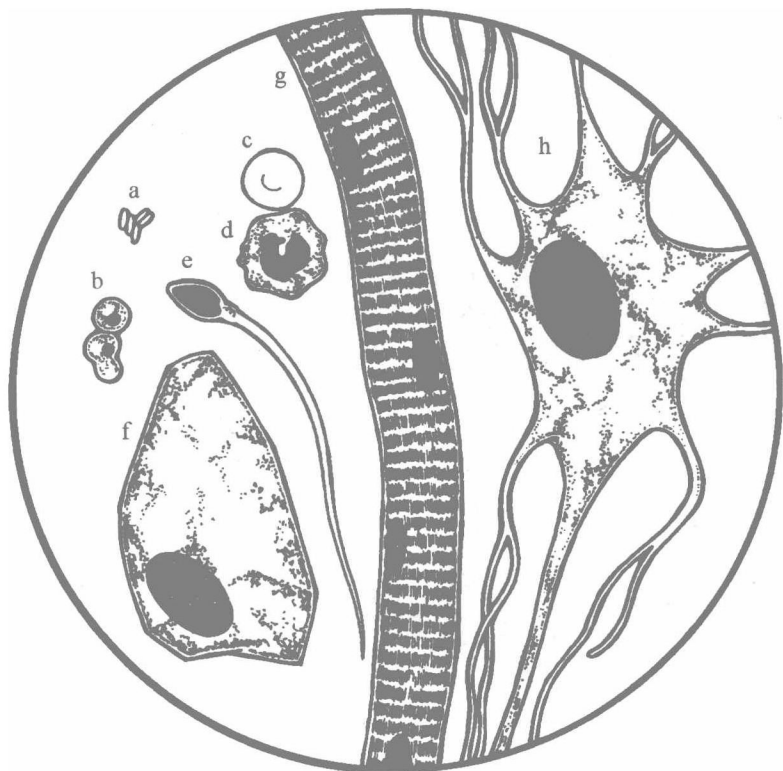


图 1.2 放大 1 000 倍

- a. 5 个大肠杆菌细胞; b. 两个酵母菌细胞, 其中一个正处于出芽期;
- c. 人体红血球; d. 人体淋巴细胞; e. 人体精子细胞; f. 人体表皮细胞;
- g. 人体肌肉条纹细胞; h. 人体神经细胞

细胞中大分子的运动完全被它们周围的水分子所主宰。在室温下, 一个中等大小的蛋白质分子以每秒 5 米的速度运动着。如果把这个蛋白质分子单独放在一个空间中, 它将在 2 纳秒( $1 \text{ 纳秒} = 1 \times 10^{-9} \text{ 秒}$ )的时间中走过相当于自己身体长度的距离 10 纳米( $1$

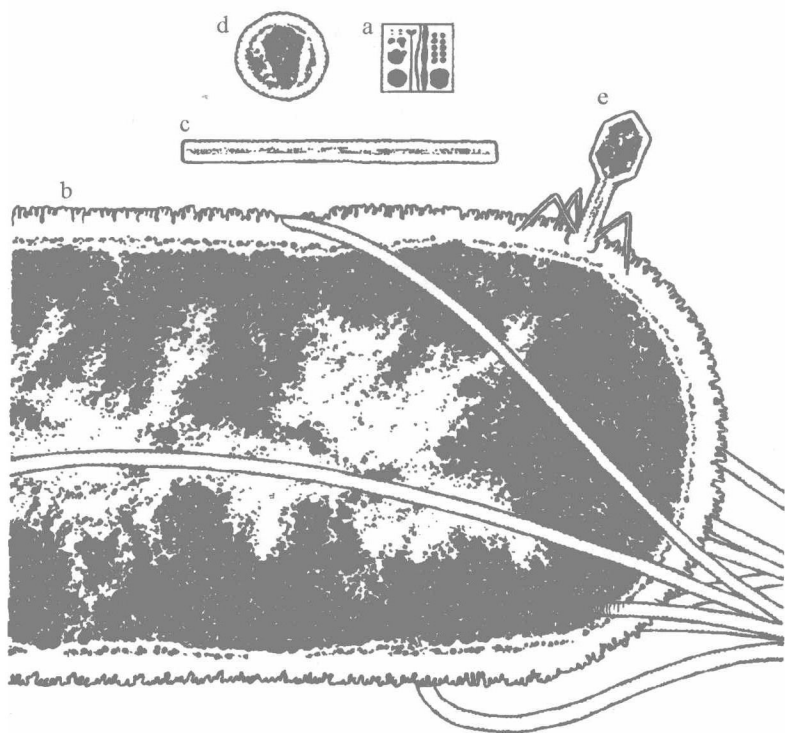


图 1.3 放大 10 万倍

- a. 一群分子(在下一幅图中将被再次放大); b. 一个细菌细胞(图 1.2 中的 a);  
c. 烟花叶病毒; d. 人体免疫缺乏病毒; e. 一个细菌病毒

纳米 =  $1 \times 10^{-9}$  米)。但是在细胞中, 蛋白质分子完全被环境中的水分子包围了。它四面受阻, 以很高的速度前前后后地弹来弹去, 但是却走不出多远。在水分子的包围中, 蛋白质分子要想走出 10 纳米的距离, 需要花费上千倍于它在自由空间中走出同样距离所用的时间。

想像一下我们在生活中遇到同样的情形: 你进入一个机场大

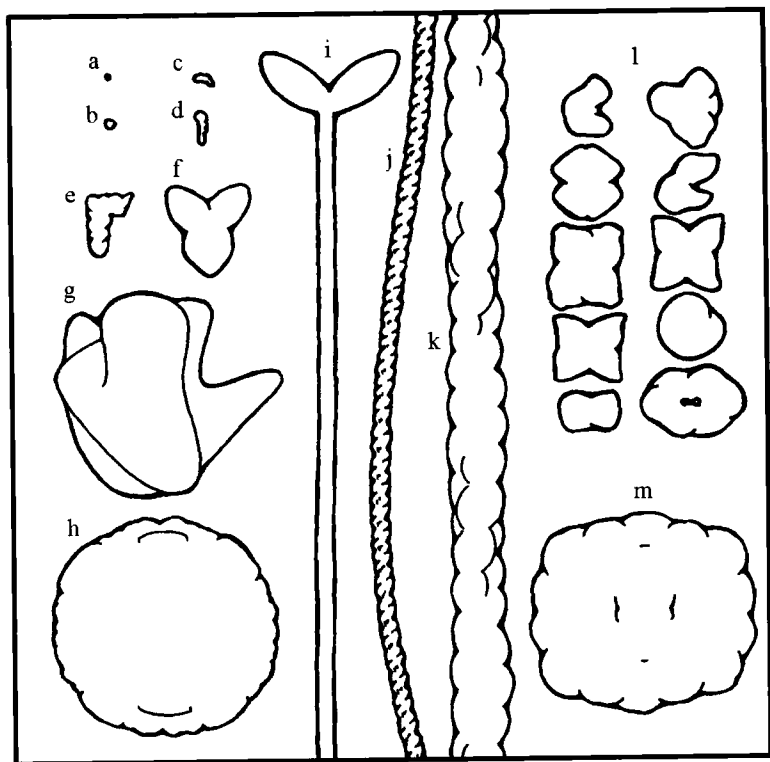


图 1.4 放大 100 万倍

a. 碳原子; b. 葡萄糖; c. 三磷酸腺苷(ATP); d. 叶绿素; e. 转录 RNA; f. 抗体; g. 核糖; h. piliavirus; i. 肌球蛋白; j. 脱氧核糖核酸(DNA); k. 肌动蛋白; l. 糖酵解的 10 个酶; m. 脱氢丙酮酸复合酶

厅,走向售票窗口。距离只有几米,大概相当于你的身高。如果大厅是空的,你可以在几秒内走过去,但设想一下,大厅中挤满了人,各自走向他们想去的售票窗口,你必须不断地推来挤去,最后花了 15 分钟才穿过大厅。在这个过程中,你被推向各个方向,甚至被几次挤回起点。这与分子在细胞中受限制的情况下走出的曲折的

道路非常相像(虽然分子不会有目的地选择目标)。

## 分子图示

由于无法直接观察到分子,因此对于任何描述分子的书来说,运用一些测量的技巧都是必需的。一个分子究竟是什么样子的?分子是若干原子的集合,每个原子都是由许多电子围绕着一个小的难以想像的原子核构成的。它们太小了,即使在最强大的光学显微镜的帮助下,人们也无法用眼睛直接看到它们。但是有两种试验技术,几乎可以说让我们的肉眼直接观测到了分子和原子。电子显微镜利用一束电子,而不是光线,来捕捉图像。从电子显微镜中看到的结果正如我们所假设的:一片模糊的电子云围绕着几乎看不见的原子核在运动。电子隧道扫描显微镜则是使用了雕刻般的技术。一个微小的探测器在分子的表面扫描,选择许多点与分子接触,由此对分子的一个侧面形成图像。电子显微镜是间接告诉我们分子看上去的样子,电子隧道扫描显微镜则间接地告诉我们分子感觉上是什么样子。

但是,在研究细胞中使用的“大型”分子机器时,这些受条件限制的图像并不总是可以用得上。电子显微镜图像中,许多原子的形象重叠在一起,形成杂乱的图片。利用电子隧道扫描显微镜得到的模型,也只是粗略的、被扭曲的分子表面的图像。这里,我们将构成这些分子的原子在三维空间进行排列,通过得到的试验数据构造出人工分子模型。

本书中,将对个体的分子用两种方法描述(见图 1.5)。第一种是用简单的轮廓图建立起有关分子尺寸和整体形状的概念。书中所有的轮廓图都是放大了 100 万倍以后的结果,因此书中的图可以直接用来对不同分子的相对尺寸和形状进行比较。

第二种是实心图,描述分子中的每个原子。每个原子用一个球来表示,这个球以原子核为中心,大小刚好把电子包含在其中。