

规模

SCALE



规模 SCALE

复杂世界的简单法则

The Universal Laws of Growth, Innovation, Sustainability,
and the Pace of Life in Organisms, Cities, Economies, and Companies

[英] 杰弗里·韦斯特 (Geoffrey West) 著
张培译 张江校译

图书在版编目 (CIP) 数据

规模 / (英) 杰弗里 · 韦斯特著 ; 张培译 . -- 北京 :

中信出版社 , 2018.6

书名原文 : Scale

ISBN 978-7-5086-8789-6

I . ①规… II . ①杰… ②张… III . ①发展经济学

IV . ① F061.3

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2018) 第 054522 号

Scale by Geoffrey West

Copyright © 2017 by Geoffrey West

Simplified Chinese translation copyright © 2018 by CITIC Press Corporation

ALL RIGHTS RESERVED

本书仅限中国大陆地区发行销售

规模

著 者 : [英] 杰弗里 · 韦斯特

译 者 : 张 培

校 译 : 张 江

出版发行 : 中信出版集团股份有限公司

(北京市朝阳区惠新东街甲 4 号富盛大厦 2 座 邮编 100029)

承 印 者 : 北京盛通印刷股份有限公司

开 本 : 787mm × 1092mm 1/16

印 张 : 31 字 数 : 409 千字

版 次 : 2018 年 6 月第 1 版

印 次 : 2018 年 6 月第 1 次印刷

京权图字 : 01-2018-3370

广告经营许可证 : 京朝工商广字第 8087 号

书 号 : ISBN 978-7-5086-8789-6

定 价 : 98.00 元

版权所有 · 侵权必究

如有印刷、装订问题, 本公司负责调换。

服务热线: 400-600-8099

投稿邮箱: author@citicpub.com

目 录

01

大背景

简介、概述和总结 002 我们生活在一个呈指数级不断扩张的世界中 009 生命和死亡的问题 011 能量、新陈代谢和熵 013 规模真的很重要：规模缩放和非线性行为 016 规模缩放与复杂性：涌现、自组织和系统韧性 021 你是你自己的网络：从细胞到鲸的生长 026 城市与全球可持续发展：创新和奇点循环 030 公司与商业 033

02

万物的尺度：规模法则

从哥斯拉到伽利略 038 误导性结论和规模缩放的错觉：超人 046 数量级、对数、地震和里氏震级 049 举重与验证伽利略 052 个体表现与规模缩放的偏差：世界上最强壮的人 054 更多的误导性结论和规模缩放的错觉：从大象的 LSD 剂量到儿童泰诺药剂量 055 BMI、凯特勒、平均人和社会物理学 060 创新与增长的极限 064 “大东方号”、宽轨铁路和伟大的伊桑巴德·金德姆·布鲁内尔 067 威廉·弗劳德和建模理论的起源 073 相似性和比拟：无量纲量和尺度不变量 080

03

生命的简单性、一致性和复杂性

从夸克、字符串到细胞、鲸 088 代谢率和自然选择 095 潜藏在复杂性下的简单性：克莱伯定律、自相似性和规模经济 096 普遍性和掌控生命的神奇数字“4” 099 能量、涌现规律及生命的层级结构 106 网络与 $1/4$ 次幂异速生长规模法则的起源 110 当物理学遇上生物学：理论性质、模型和证明 112 网络原理和异速生长规模法则的由来 118 哺乳动物、植物的代谢率和循环系统 124 题外话：尼古拉·特斯拉、阻抗匹配、交流电 / 直流电 128 回到代谢率、心跳和循环系统 130 自相似性和神奇数字“4”的由来 132 分形：神秘的边界延长 136

04

生命的第四维：生长、衰老和死亡

生命的第四维 157 为什么没有体形小如蚂蚁般的哺乳动物？ 160 为什么没有体形大如哥斯拉般的哺乳动物？ 164 生长 169 全球变暖、温度的指数标度、生态学代谢理论 179 衰老和死亡 183

05

从人类世到城市世：一个由城市主导的地球

生活在以指数级速度不断扩张的宇宙中 216 城市、城市化和全球可持续性 219
题外话：指数发展究竟是什么？一些警世寓言 222 工业城市的崛起及不足之处 228
马尔萨斯、新马尔萨斯主义者和伟大的创新乐观主义者 233 一切都是能源，笨蛋 239

06

城市科学的序曲

城市和公司只是大型生物体吗？ 252 圣·简和巨龙 258 一段旁白：有关花园城市和新城镇的个人经历 268 中段总结和结论 271

07

走向城市科学

城市的按比例缩放 278 城市与社会网络 288 这些网络是什么？ 291 城市：晶体结构还是分形？ 295 城市是巨大的社会孵化器 302 你有多少亲密的朋友？邓巴和他的数字 311 词语与城市 316 分形城市：社会与自然一体化 321

08

从流动性和生活节奏，到社会联系、多样化、 新陈代谢和增长

生活节奏的加快 333 在不断加速的跑步机上生活：城市是一台不断缩小的时光机 334
通勤时间和城市规模 339 步行节奏的加快 341 你并不孤单：移动电话成为人
类行为探测器 343 检验和证实理论：城市中的社会连通性 347 城市移动的规则
结构 352 表现过度和表现不佳 359 财富、创新、犯罪和系统韧性的结构：个体与
城市排名 362 可持续性序曲：有关水的短暂离题 367 城市中商业行为的社会经济
多样性 370 城市的生长与新陈代谢 378

09

迈向公司科学

沃尔玛是比例扩大的乔木材公司吗？谷歌是体形更大的熊吗？ 393 开放式增长的
神话 399 令人惊讶的公司死亡率的简单性 404 安息吧 412 为何公司会衰亡，而
城市则不会？ 416

10

有关可持续性的大一统理论的前景

不断加速的跑步机、创新循环和有限时间奇点 423

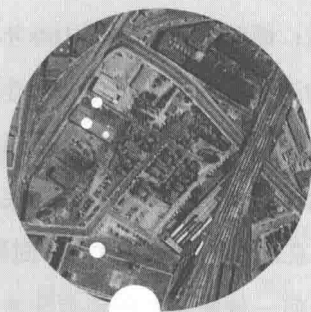
后 记 - 439

21 世纪的科学 439 跨学科、复杂系统和圣塔菲研究所 442 大数据：范式 4.0 还是 3.1？ 451

附言和致谢 - 461

注 释 - 471

图片说明 - 483



1. 简介、概述和总结

生命或许是宇宙中最复杂、最多样化的现象，它展现出了大大小小、纷繁异常的组织、功能和行为。据估计，地球上超过 800 万个不同的生物物种。^[1] 它们体形不一，最小的细菌质量不足 1 皮克（1 皮克等于一万亿分之一克），而最大的动物——蓝鲸则重 100 多吨。前往巴西的热带雨林，你可以在一块足球场面积大小的区域内找到 100 多种树木和分属数千个物种的数百万只昆虫。每个物种的孕育、出生、繁殖和死亡有太多令人惊异的不同。许多细菌仅能存活 1 小时，只需十万亿分之一瓦特的代谢率便能存活；而鲸类可以存活 100 年之久，其代谢率达到数百瓦特。^[2] 我们人类为这个星球所带来的社会生活的复杂性和多样性则在这幅绚丽多彩的生物生命画卷上增添了浓墨重彩的一笔，尤其是那些潜藏在城市外表下的商业、建筑及每位城市居民所表现出来的多样文化和他们背后隐藏的喜怒哀乐，以及所有这些非同寻常的现象。

当我们将以上任何一种复杂的现象与非常简单的行星围绕太阳公转的规律或手表和苹果手机的计时规律相比的时候，自然会思考：在所有这些复杂性和多样性的背后，有没有可能也存在一种类似的潜在规律呢？是否存在一些令人信服的简单法则，确实是从植物、动物等生物体到城市、公司等所有复杂系统都会遵循的？全球各地的森林、草原和城市正在上演的一幕幕景象是否都是随机的、变化无常的，是一个又一个的偶然事件吗？鉴于产生多样化结果进化过程的随机性，与直觉不同的是，任何规律或系统性行为的出现似乎都不太可能。毕竟，组成生物圈的每个生物体、每个子系统、每个器官、每个细胞、每个基因都是在独特的历史轨迹上，在与众不同的生态环境中，通过自然选择过程进化而来的。

现在，让我们来看看图 1-1~图 1-4 吧。每幅图都呈现一个已知变量与其规模大小的关系，这些变量都在人们的生活中扮演着重要的角色。图 1-1 是动物代谢率（即每天需要多少食物才能生存）与其体重的关系图。图 1-2 是不同动物一生中的心跳次数与其体重的关系图。图 1-3 是一座城市所产生的专利数量与该城市人口的关系图。图 1-4 是上市公司的净收入和总资产与其雇员人数的关系图。

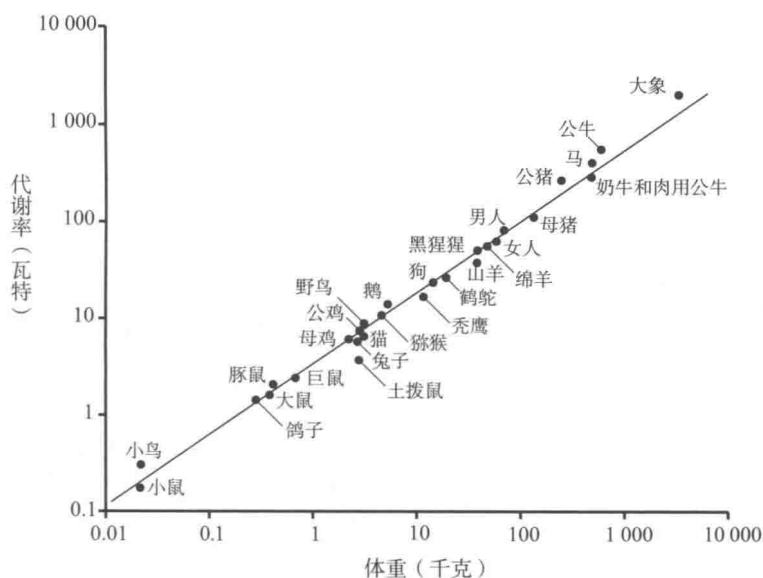


图 1-1 动物代谢率与其体重的关系

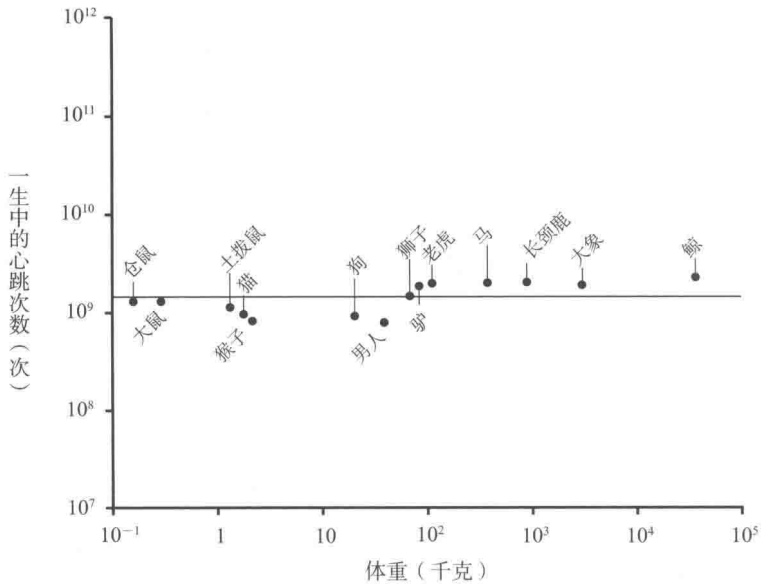


图 1-2 动物一生中的心跳次数与其体重的关系

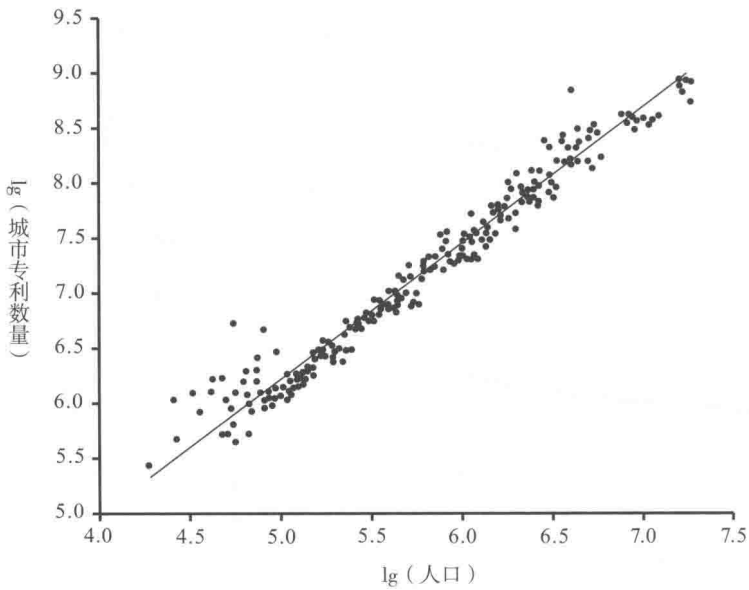


图 1-3 城市专利数量与其人口的关系

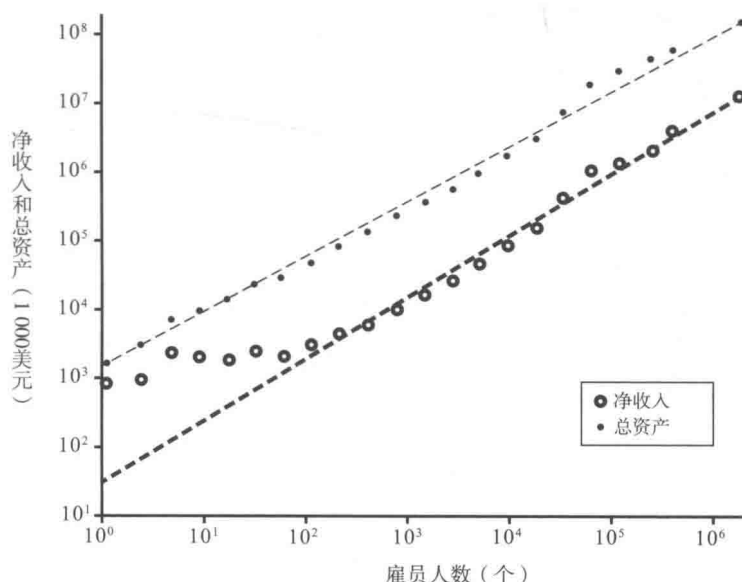


图 1-4 公司净收入和总资产与其雇员人数的关系

规模缩放 (scaling) 曲线的例子, 表明了数量与规模变化之间的缩放关系: 图 1-1 表明了动物代谢率^[3]与其体重之间的缩放关系; 图 1-2 表明了动物一生中的心跳次数^[4]与其体重之间的缩放关系; 图 1-3 表明了一座城市所产生的专利数量^[5]与其人口规模之间的缩放关系; 图 1-4 表明了公司的净资产和总收入^[6]与雇员人数之间的缩放关系。需要注意的是, 这些图涵盖了大范围的缩放关系, 如动物 (从老鼠到大象) 的体重和公司 (从仅有一人的公司到沃尔玛和埃克森美孚) 的雇员人数有着百万数量级的差异。为了使这些图能够涵盖所有动物、公司和城市, 每个坐标轴的刻度都以 10 为增长倍数单位。

无须成为一名科学家或以上任何一个领域的专家, 你马上就可以发现, 尽管它们代表了我们在生命中遇到过的最复杂、最多样化的过程, 但每幅图都揭示了一些简单、系统性、规律性的东西。在每一幅图中, 所有的数据都奇迹般地差不多排列成一条直线, 并没有出现任意分布的现象。而我们此前曾预测, 由于每一种动物、每一座城市、每一家公司的历史和所处地理环境不同, 可能会出现任意分布的状况。或许最令人

吃惊的是图 1-2，所有哺乳动物一生中的平均心跳次数大致相当，尽管体形较小的老鼠只能存活几年时间，而大型动物鲸则可以存活 100 年之久。

图 1-1~图 1-4 中的例子只是为数众多的缩放关系中的一小部分，动物、植物、生态系统、城市和公司中几乎任何可量化的特点都与规模存在可量化的缩放关系，在本书中你还会发现更多这样的例子。这些显著规律的存在表明，在所有这些迥异的高度复杂现象中，都存在着共同的概念框架——动物、植物、人类社会行为、城市与公司的活力、增长和组织事实上都遵循类似的一般规律。

这是本书的焦点。我将会阐述这些系统性规模法则（scaling law）的特性和来源，它们是如何相互联系，如何令我们深入而广泛地理解生命中的诸多领域，并最终理解全球可持续发展挑战的。综合分析这些规模法则将为我们打开一个洞悉背后原则和概念的窗口，以构建一个可量化的预测框架，解决科学和社会领域面临的一系列重大问题。

本书讲述的是一种思维方式，我们将提出一些宏观的问题，并相应地给出同样宏观的答案。本书讲述的是人类当今面临的一些重大挑战和问题如何能够在统一的概念框架下得以解决，这些问题涵盖了快速城市化、经济增长和全球可持续发展，以及对癌症、新陈代谢、衰老和死亡的产生原因等各个领域问题的理解。本书讲述的是城市、公司、肿瘤及人类肌体极为相似的运作方式，它们均代表着从“主旋律”衍生出来的各种“变奏曲”，其组织、架构和发展表现出了惊人的系统性规律与相似性。它们都具有一个共同的特点——高度复杂，由大量独立成分组成，无论是分子、细胞还是人，都通过不同时空层次上的网络化组织相互联系，不断进化。其中一些网络很明显、很具体，比如城市中的循环系统

或道路；也有一些网络十分抽象、很虚拟，比如社交网络、生态系统和互联网。

这种宏观性框架可以帮助我们解决一系列问题，其中一些问题激发了我的研究兴趣，一些问题将会在后文中加以解决。以下选录一些问题：

- 为何我们最多只能活到 120 岁，而不是 1 000 岁或 100 万岁？为何我们会死亡？是什么限制了人类的寿命？人们能否通过组成自身肌体的细胞和复杂分子计算出自己的寿命？它们能否被改变？寿命是否可以延长？

- 为何身体成分与我们几乎相同的老鼠只能存活两三年时间，而大象却能活到 75 岁？尽管存在这样的差异，但是为何包括大象、老鼠在内的所有哺乳动物一生中的心跳次数几乎相同，都达到了大约 15 亿次？^[7]

- 从细胞、鲸类到森林，为何生物体和生态系统都以一种普遍、系统性和可预测的方式与规模大小存在比例关系？看上去能够控制它们从生到死的大部分心理和生理历史的神奇数字“4”源自哪里？

- 为何我们会停止生长？为何我们每天必须睡 8 个小时？为何我们长肿瘤比老鼠少得多，而鲸类几乎不长肿瘤？

- 为何几乎所有公司都只能生存数年时间，而城市却能不断增长，且能够避开即便是最强大、看上去最完美的公司也无法逃避的命运？我们能否预测各家公司的生存周期？

- 我们能否发展出一门城市和公司科学，通过一种可量化、可预测的概念性框架了解它们的活力、增长和进化？

- 城市规模大小有限制吗？是否存在最优规模？动物和植物的生

长规模有限制吗？是否会出现巨型昆虫或巨型城市？

- 为何生活节奏持续加速？为何创新速度必须持续加速才能维持社会经济生活？

- 我们如何确保人类设计的仅有1万年进化历史的系统能够继续与已经进化了数十亿年的自然生物世界共存？我们能否维持一个受思想和财富创造所驱动、充满生机活力、不断创新的社会？地球是否注定会变成一个充斥着贫民窟、冲突和破坏的星球？

为了解答诸如此类的问题，并强调相关概念，我将斗胆从一名理论物理学家的视角，以跨学科的精神综合各种科学思想，把生物学的基础性问题与社会科学和经济科学的基础性问题结合起来考虑。同时，我还会谈及规模法则如何使得基础粒子和自然界基本要素呈现出一致的发展景象，以及它将会为宇宙大爆炸以来的宇宙进化带来何种宇宙哲学影响。本着这种精神，我也会适时尝试推理和争论，但这些几乎都会以现有的科学成就为基础呈现给读者。

尽管本书所呈现的许多结论和解释都有论据支撑，出处来自数学语言，但本书绝非专业书籍，而是秉承教育精神，写给“聪明的外行”看的。这为我带来了极大的挑战，它意味着我在提供解释时要打破学术框架。如果其他科学家发现我在将数学或技术语言转变为通俗语言时过于简化，请试着不要那么挑剔。对于那些对数学有着更多偏好的读者，我推荐他们阅读贯穿本书的参考文献。

2. 我们生活在一个呈指数级不断扩张的世界中

本书的一个中心主题是，城市和全球城市化在决定地球未来的过程中

将扮演怎样的关键角色。城市已经成为自人类社会化以来地球所面临最大挑战的源头。人类的未来和地球的长期可持续发展与城市的命运紧密地联系在一起。城市是文明的熔炉，创新的中心，财富创造的发动机，权力的中心，吸引有创造性个体的磁石，观点、增长和创新的驱动力。然而，城市也有其阴暗的一面：它是犯罪、污染、贫穷、疾病及能源和资源消耗的中心。快速城市化和社会经济的加速发展带来了多重全球性挑战，包括气候变化及其对环境的影响，粮食、能源、水资源、公众健康、金融市场、全球经济的早期危机等。

鉴于城市所具有的双重属性，即它一方面是我们面临的许多挑战的根源，另一方面则是创新和观念的蓄水池并因而成为问题解决方案的来源，我们是否可以创建一门“城市科学”并延伸至“公司科学”的问题就变得极为迫切。换句话说，我们要在一个量化的可预测的体系下建立一个概念性的框架，理解它们的动力学、增长和发展演变。这对于设计能够实现长期可持续发展的严肃战略具有十分重要的意义。尤其是在21世纪下半叶，绝大多数人都将成为城市居民，大量人口将居住在前所未有的规模超大的城市中。

我们所面临的问题、挑战和威胁几乎都不是新出现的。最晚从工业革命时期开始，它们就伴随我们一路走来，仅仅是由于城市化的指数级发展速度，人们才感觉到，它们就像日益逼近的海啸，有可能会将我们淹没。指数级扩张的性质决定，未来将会以更加迅猛的速度来临，并可能会为我们呈现出无法预见的挑战，而等我们意识到它们的威胁时则为时已晚。因此，直到最近，我们才意识到全球变暖，长期环境变化，能源、水和其他自然资源的限制，健康和环境污染，金融市场的不稳定等问题。即使我们已经开始担忧，我们也依然坚定不移地认为这些问题只