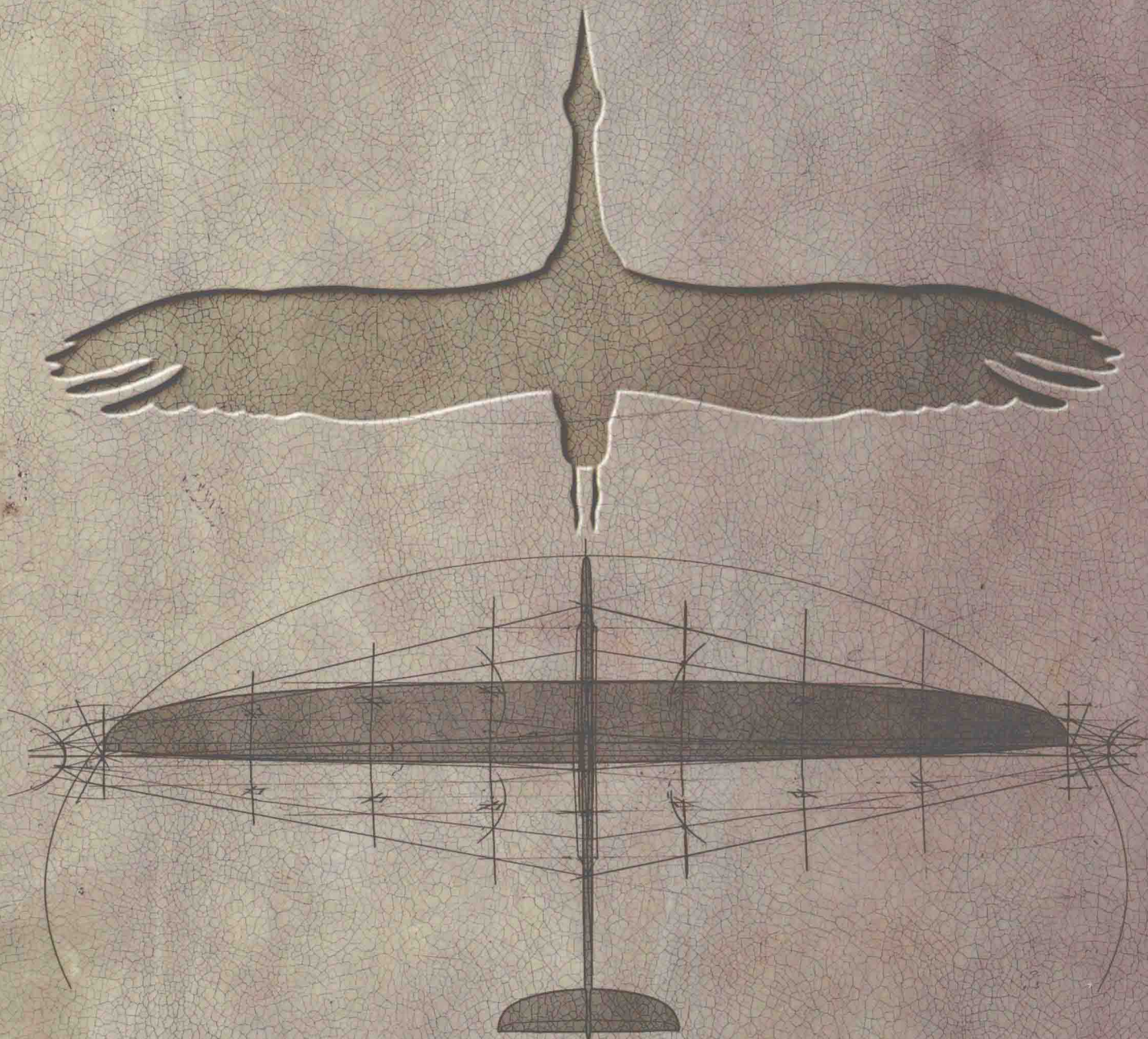


后浪出版公司

人类的发明智慧，常常源于自然

当自然赋予 科技灵感

[法] 玛特·富尼耶 著 潘文柱 译



江西人民出版社
Jiangxi People's Publishing House
全国百佳出版社

人类的发明智慧，常常源于自然

当自然赋予科技灵感

[法] 玛特·富尼耶 著 [法] 扬尼克·富尼耶 摄 潘文柱 译



1 由插画师蒂特瓦内 (Titwane) 在速写本上绘图和做注，来讲解“科学原理”……
2 从 a 到 i: 绘制工具

图书在版编目 (CIP) 数据

当自然赋予科技灵感 / (法) 玛特·富尼耶著; 潘文柱译. — 南昌:
江西人民出版社, 2017.10 (2017.11 重印)

ISBN 978-7-210-09617-7

I. ①当… II. ①玛… ②潘… III. ①仿生—普及读物 IV. ①Q811-49

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2017) 第 182988 号

© 2011, Éditions Plume de carotte (France) for the original edition published under the title

《*Quand la nature inspire la science*》by Mat Fournier & Yannick Fourié

Current Chinese translation rights arranged through Divas International, Paris

巴黎迪法国际版权代理 (www.divas-books.com)

Simplified Chinese translation edition published by Ginkgo (Beijing) Book Co., Ltd.

本书中文简体版权归属于银杏树下 (北京) 图书有限责任公司

版权登记号: 14-2017-0370

当自然赋予科技灵感

作者: [法] 玛特·富尼耶 译者: 潘文柱

责任编辑: 冯雪松 胡小丽 特约编辑: 彭 鹏 筹划出版: 银杏树下

出版统筹: 吴兴元 营销推广: ONEBOOK 装帧制造: 墨白空间

出版发行: 江西人民出版社 印刷: 北京盛通印刷股份有限公司

635 毫米 × 965 毫米 1/8 20 印张 字数 100 千字

2017 年 10 月第 1 版 2017 年 11 月第 2 次印刷

ISBN 978-7-210-09617-7

定价: 128.00 元

赣版权登字 -01-2017-580

后浪出版咨询 (北京) 有限责任公司 常年法律顾问: 北京大成律师事务所 周天晖 copyright@hinabook.com

未经许可, 不得以任何方式复制或抄袭本书部分或全部内容

版权所有, 侵权必究

如有质量问题, 请寄回印厂调换。联系电话: 010-64010019

作者是谁？

玛特·富尼耶，1972年生于普罗旺斯的艾克斯。她的童年和青年的大部分时间都在梅康图尔山林间度过。在那儿，她找到了自己的一项爱好——在树林中闲逛，如今这已成为她的日常活动。散步、攀岩、溜进灌木丛、灌足溪流间：还有更好的度日方式吗？

在同样的年纪、同样的山间，她找到了另一项爱好：写作。不顾周围人的反对，她立即下定决心不再从事别的职业。如今，离许下诺言已过去大约30年……

结束文学学业后，她成了自由记者，经常在《美国国家地理》(*National Geographic*)等各类杂志上发表关于自然和法国地理人文的文章。

这样的工作除了为她提供了一个在林间散步的绝佳理由，还让她学习了更多关于动物、植物以及景观的知识。而且，“当我们知道得更多时，我们会更好奇”：这些发现给了她继续研究和投身自然写作中的欲望。

同时，她还是巴黎第八大学和美国康奈尔大学的文学和性别研究学者，现在生活在美国东北部的五指湖区域：那是一个完美的地方，尤其适合散步、攀岩、溜进灌木丛、灌足溪流间……



后浪微信 | hinabook

筹划出版 | 银杏树下

出版统筹 | 吴兴元 |

特约编辑 | 彭 鹏 | 责任编辑 | 冯雪松 胡小丽

装帧制造 | 墨白空间·李渔 | mobai@hinabook.com

后浪微博 | @后浪图书

读者服务 | reader@hinabook.com 188-1142-1266

投稿服务 | onebook@hinabook.com 133-6631-2326

直销服务 | buy@hinabook.com 133-6657-3072



后浪出版咨询(北京)有限责任公司
POST WAVE PUBLISHING CONSULTING (BEIJING) CO., LTD

目录

- 020 巨藻，海底能源
- 022 欧洲赤松，智能服装
- 024 竹子，曲而不折
- 026 枣椰树，埃及庙宇
- 028 莲，从纯洁到干净
- 030 王莲，玻璃宫殿
- 032 牛蒡，征服太空
- 034 风滚草，数码建筑
- 036 臭木樟，喷泉树
- 038 枫树，如何在空中停留？
- 040 千金榆，折纸和太阳翼
- 042 翅葫芦，飞翼

- 044 海绵，从一种纤维到另一种
- 046 水熊，隐生
- 048 海参，未来医学
- 050 鲍鱼，比钢铁更坚硬
- 052 蛇尾海星，收集光线
- 054 硅藻，软化学
- 056 珊瑚虫，绿色水泥
- 058 水母，生物发光
- 060 龙虾，嗅觉探测器
- 062 美洲林蛙，自我冰冻的能力
- 064 蜘蛛，仿生学的圣杯
- 066 水蜘蛛，带着氧气潜水
- 068 扇贝，瓦楞板
- 070 贻贝，无敌胶水
- 072 鹦鹉螺，深海潜行
- 074 章鱼，从吸盘到人造手臂
- 076 乌贼，从墨汁到伪装艺术
- 078 蝠鲼，水下滑翔机
- 080 双髻鲨，奥运皮肤
- 082 发电鱼，生物发电
- 084 箱子鱼，节能汽车

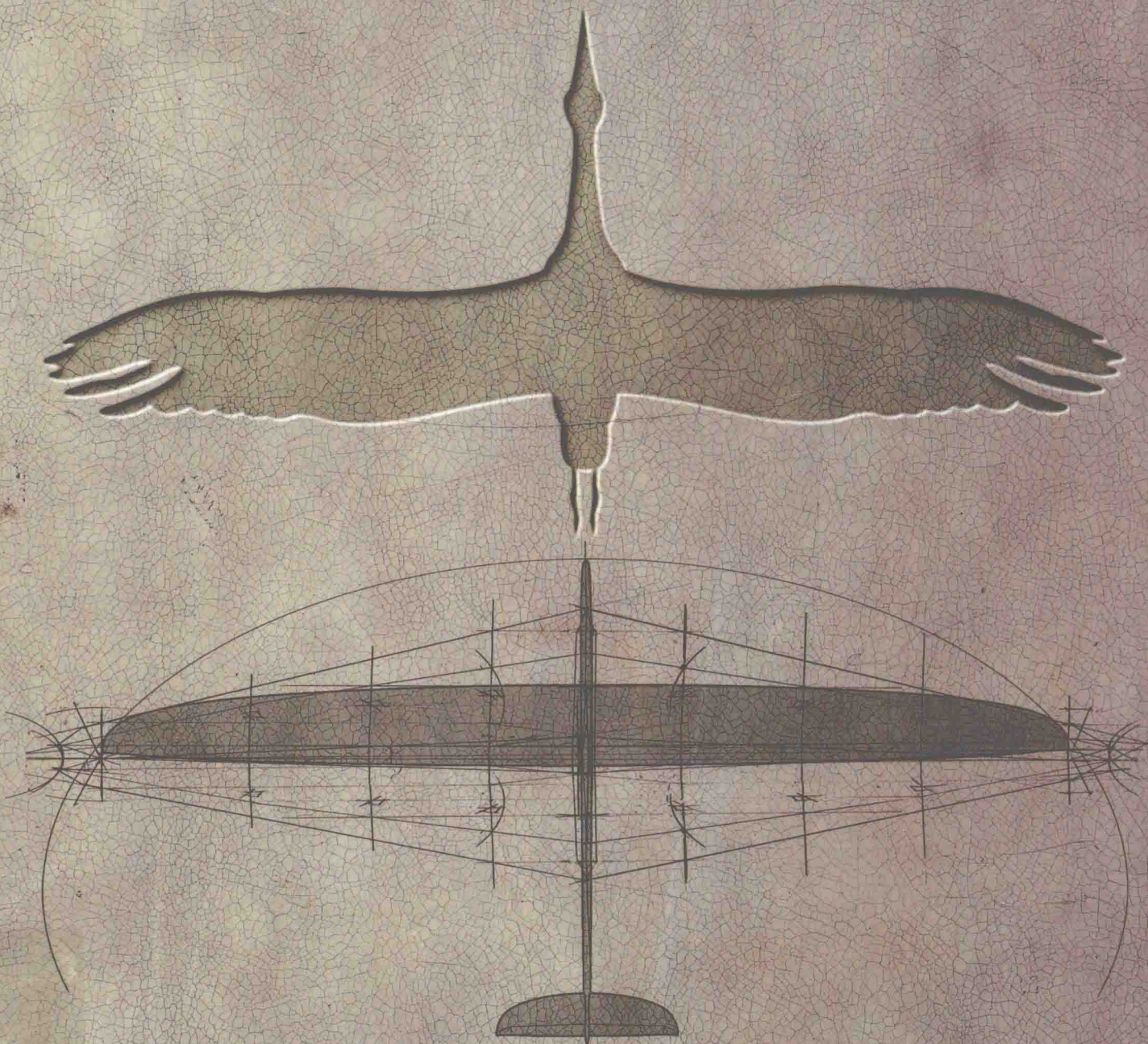
- 086 鳐鱼，飞艇
- 088 金枪鱼，飞机的机身
- 090 壁虎，在天花板上行走
- 092 魔蜥，水之捕手
- 094 砂鱼蜥蜴，沙中遨游
- 096 鸽子，飞行的榜样
- 098 翠鸟，日本高铁
- 100 野鸭，如何在飞行中保持平衡？
- 102 啄木鸟，从冰镐到风镐
- 104 猫头鹰，用耳朵看
- 106 鹤，奥托·李林塔尔的飞行老师
- 108 安第斯神鹫，人力飞行
- 110 企鹅，节约能源
- 112 海豚，水下交流
- 114 座头鲸，突起技术
- 116 人，用骨架建造埃菲尔铁塔？
- 118 老鼠，普斯卡尔帕克斯和人造动物
- 120 猫，夜间反射
- 122 穿山甲，给建筑师的鳞片
- 124 斑马，障眼法
- 126 飞鼠，无翅飞行
- 128 蝙蝠，夜间狩猎和超声波定位
- 130 蜜蜂，六边形的秘密
- 132 胡蜂，造纸的秘密
- 134 苍蝇，抗反射的眼睛
- 136 蜻蜓，挑战重力
- 138 闪蝶，光的游戏
- 140 天蛾，扑翼飞行之王
- 142 尺蠖，微型引擎
- 144 蟋蟀，歌唱家
- 146 蟋蟀，轮子的发明
- 148 纳米布沙漠甲虫，收集水分
- 150 蚂蚁，群体智慧
- 152 白蚁，集体居住地和零能耗空调

后浪出版公司

人类的发明智慧，常常源于自然

当自然赋予 科技灵感

[法] 玛特·富尼耶 著 潘文柱 译



江西人民出版社
Jiangxi People's Publishing House
全国百佳出版社

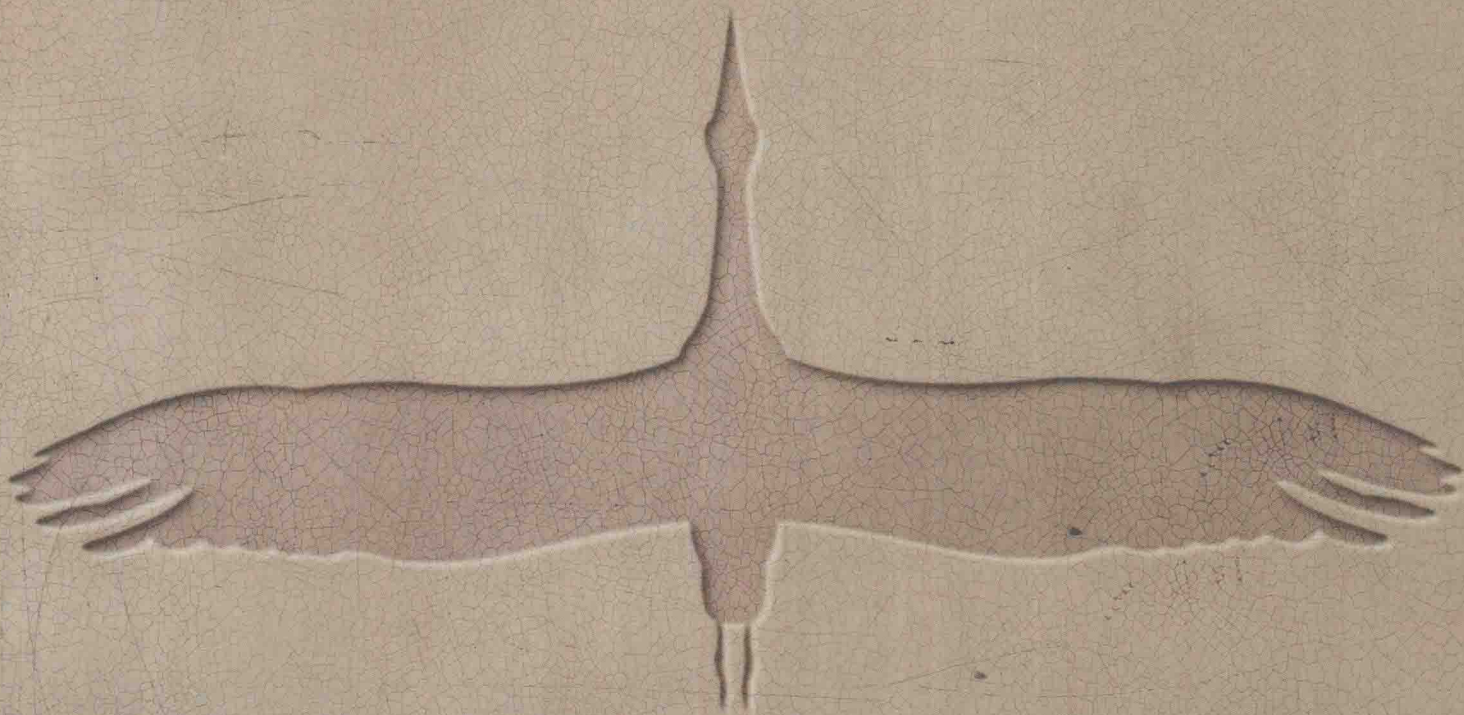
人类的发明智慧，常常源于自然

当自然赋予科技灵感

[法] 玛特·富尼耶 著 [法] 扬尼克·富尼耶 摄 潘文柱 译



1 由插画师蒂特瓦内 (Titwane) 在速写本上绘图和做注，来讲解“科学原理”……
2 从 a 到 i: 绘制工具



前言

仿生学是什么？

仿生学，是代达罗斯（Daedalus），他为了带上他的儿子伊卡洛斯（Icarus）逃离囚禁他们的岛屿，而制作了飞鸟的翅膀。那双翅膀如此完美，以至于年轻的伊卡洛斯忘记了自己并非一只鸟，竟冒着生命危险飞向太阳——我们都知道结局是什么。在对这则神话的阐释中，我们常常忘记代达罗斯的天才发明，他实现了人类的梦想——飞翔，而且他是通过研究与模仿自然而实现的。

仿生学，是中国的一个村子，宏村。那儿的居民在800年前，将村子布局成了一头牛的样子。不过这并非简单的形状上的模仿，因为宏村拥有一套依照该动物的消化系统而修建的水利网络。仿照动物肠道而挖掘的水道可使净水流经居住的地方；污水则汇集来灌溉农作物。

仿生学，是一位英国园丁，他在缺少一个足够大的温室来庇护他视如掌上明珠的巨大睡莲的情况下，从睡莲的叶子中得到启发而建造了一种新型温室。这里所说的温室成为了一种新型建筑的起点，它使得玻璃护板的组合成为可能；这位园丁，约瑟夫·帕克斯顿（Joseph

Paxton），出于他对建筑学的贡献，大英帝国授其为爵士。而那种睡莲叫做维多利亚睡莲（王莲），帕克斯顿是第一个成功让它在温室中生长的人。

仿生学，显而易见，就是对生命体的模仿，对自然过程的模仿，目的是创造新的技术或改良已有的技术。这本书讲述的是动物以及植物如何启发了发明家、工程师、建筑师、科学家……这些例子都发生在久远的过去或者更近一些的时期。本书也讲述了仿生学如何成为现代科学研究中最有前景的学科之一——无论是在发现还是在发明方面，它都拥有迷人的前景，尤其促进着环境无害型技术的发展，如无污染科技、可循环材料、可再生能源，以及显著减少能源消耗甚至零消耗的新技术……所有这些都像一个温柔的梦想。然而，它们的可能性——技术解决方案——都已经在大自然中呈现了。如空气调节系统和零能耗集水方案，都已经存在了。有些发明已经上市销售了，比如“天然”的抗菌外层（它

由于表面的结构而变得抗菌，而非借助于化学物质）、一种不含任何有毒物质的工业木胶，以及建筑的自动清洁涂层——这三种产品分别模仿了鲨鱼、贻贝以及莲花的特性。

书中所描写的一些发明和方案会让人想到科幻小

说，因为如今仿生学对尖端科技的影响显而易见。如太空探测器会像飞蛾一样飞行，太阳能板能像绿色植物一样进行“光合作用”，飞艇可以像鳐鱼游动一样推进……所有这些发明都是极其严肃的，而且，在短期和长期之内，它们都会成为我们现实生活的一部分。

不断重启的历史

仿生学这个词语是新近产生的，但它的历史却并不短暂。事实上，我们不知道最早的人类科技是如何诞生的，也对最初的发明者知之甚少……

不过，我们却能知道，人类住得离大自然越近，他们就越模仿自然——显而易见。比如，生物学及仿生学家戈捷·沙佩勒（Gauthier Chapelle）认为，因纽特人应该是从北极熊的巢穴中学习了如何建造他们的冰屋——这些冰屋同样具有空气调节系统。一种动物教会人类某种技能或者某种生产秘诀，此类传说多不胜数。在北美洲的沙漠里，或许就是胡蜂里的工蜂教会了印第安人如何用黏土建造他们的住房——这种住房神奇地抵挡了外部的炎热。在非洲，或许就是白蚁讲授了建筑的艺术——同样是这些白蚁，使得一种零消耗空调系统在20世纪末被投入使用。

仿生学的历史是一段不断重启的历史：在每一个时

期，人们都从大自然中探寻解决技术难题的方法。比如，航空技术的先驱们花费数年时间观察鸟类、蝙蝠、昆虫甚至种子的飞行。

这同样也是一段永不完结的学习历史：人类的技术不断发展，我们对自然的认识以及对自然的观察方式也在不断革新。例如，扫描式电子显微镜使生物学家威廉·巴特洛特（Wilhelm Barthlott）通过观察最终发现了莲花效应，这项发现促成了自洁外层的产生。

仿生学的历史同样也是爱好者们创造的历史：自然学家、发明家、工程师、生物学家、建筑师……所有人都以各自的方式，为大自然的精巧和富饶着迷（不过，这并不代表他们是现代意义上的“生态学家”）。

同时，仿生学的历史还是不同学科知识相遇、共同发现和相互碰撞的历史。

飞行的先驱们

列奥纳多的扑翼机

是谁说过“鸟是一个遵照数学原理运行的工具，人类需要做的，就是造出一台足以复制它每一个动作的机器”？毋庸置疑，是列奥纳多·达·芬奇（Leonardo da Vinci）。正是他在15世纪开启了我们今天所了解的生物仿生学。

在列奥纳多所有的研究与工程计划中，占最重要地位的是他为之着迷的“学习飞行”。在他看来，只有以“数学的方式”，也就是科学的方式，来观察动物才能得到答案。他的素描本记录了他对鸟类、蝙蝠以及蜻蜓等动物的飞行动作和技术的细致入微的观察。在所有的飞

行方式中，他特别关注的是鸟类的扑翼飞行，他对这种飞行方式从起飞到着陆做了分解观察。正是以这种方式，列奥纳多·达·芬奇将躯干中心与推力中心分离，这成为了所有飞行器研究不可或缺的一个过程。他同样致力于对鸟类翅膀的观察，观察它们的解剖学构造、羽毛分布以及羽毛的结构。

对扑翼飞行的研究促使他设计了一种由人力推进的飞行器——扑翼机（Ornithopter，在希腊语中，*ornithos* 意为“鸟”，*pteron* 意为“翅膀”）。列奥纳多·达·芬奇在 1485 年完成了扑翼机的初稿：它的两片巨型翅膀由一个滑轮装置带动，滑轮装置则由脚踏板提供动力。

不过这个飞行器存在一些显然无法解决的技术问题：首先，在那个时期能使用的材料都太重了——按照扑翼机的设计稿，它将会超过 300kg；其次，即使是以强壮的腿而非手臂驱动，人类的肌肉占体重的比例依然比鸟类小得多——人类无法够快地扇动翅膀来让机器留在空中。

在扑翼机之后，列奥纳多·达·芬奇专注于研究掠

食性鸟类的飞行——滑翔飞行。四百年余后，这成为了奥托·李林塔尔（Otto Lilienthal）的选择，而且正是李林塔尔促成了最初的滑翔机的顺利飞行，虽然他并非从掠食性鸟类，而是从鸬的身上汲取灵感（见第 106 页）。

列奥纳多·达·芬奇还绘制出了人类所知的第一个悬挂式滑翔机的模型。这是一个可操作的模型，后来的复原模型已经为此提供了证明。至于扑翼机，它所面临的问题并没有被 19 世纪的航空发明家们解决，而是再过一百年后由美国发明家保罗·麦卡克莱迪（Paul MacCready）解决，保罗·麦卡克莱迪首次让一架人力推动的机器成功飞行（见第 108 页）。而根据列奥纳多·达·芬奇的设想而制作的第一架扑翼机直到 2010 年秋天才出现，它由加拿大多伦多大学的师生共同制作，被称为“雪鸟（Snowbird）”。这架扑翼机有 32m 长的翼展（接近波音 737 的机翼长度），接近 43kg 的质量。其翅膀的长度和灵敏性使得它能够持续拍打，产生维持一定高度的动力。虽然可以说这只是一项特殊的试验，但制作了“雪鸟”的团队看中的却是在它身上蕴藏的航空发展的灵感源泉：列奥纳多·达·芬奇设计的扑翼机提供了依靠自主能源飞行的最初模型之一。

乔治·凯利的动物图集

“航空之父”——英国人这样称呼乔治·凯利（George Cayley）。在 19 世纪，这位天才的工程师研发了数不清的飞行器。更重要的是，正是他建立了关于飞行原理的科学基础，其中就包括用尾翼来平衡飞行器的必要性。我们还得留意到，凯利同列奥纳多·达·芬奇一样，从来没有亲自制作过在他所处时代的技术条件下具备起飞可能性的机器。

与列奥纳多·达·芬奇一样，凯利也专注于大自然提供的模型。在 1808 年，他确定了他自己的扑翼机模型，设计灵感来自苍鹭——为了更近距离地观察这种动物，他在自己的邸内用猎枪打下了一只……他的扑翼机复制了受害动物的外形和比例。然而，凯利并没有仅靠观察鸟类来设计他的模型。在飞艇发明二十五年后，这位英国工程师改善了自己的飞艇模型，而灵感来自鱈

鱼（见第 86 页）……植物，尤其是植物的种子，也向他提供了更富有成效的模型：枫树的翅果（见第 38 页）让他构想出了螺旋桨的基础结构；而蒲公英则让他设计出了锥形降落伞。

作为严谨的工程师，凯利并不满足于复制或者发明新的机器外形，他同样借助系统化的计算；他知道，一架机器如果不是从推动系统到外形都完美无缺，那它就不能飞行。出于这样的理由，他开始设计一种他宣称的“最少阻力的坚固外形”——这契合后来人们所熟知的流线型。根据乔治·凯利的计算，这种“最少阻力的坚固外形”正好对应海豚的身形。20 世纪 70 年代，即一个多世纪以后，关于层流的研究证实了凯利的直觉：与金枪鱼一样，海豚也是这一领域的学习榜样。

1857 年凯利去世后，还要经过好几代人的时间，

才等到第一架悬挂式滑翔机在 1891 年的首次飞行。随后是最初的飞机在 20 世纪初面世。航空历史上最初几十年里的这些先驱们的灵感大多来自动物：阿代尔（Ader）的蝙蝠、埃特里希（Etrich）的鸽子、李林塔尔的鸢……

然而这只是一个开始。在整个 20 世纪，航空历史上写满了由细致观察自然而得出的发现。猛禽强有力的飞羽启发人们修改机翼的外形以避免颠簸；海豚的皮肤使得开发一种减少空气阻力的涂层成为可能；群飞的候鸟为共同飞行的飞机给出节省燃油的提示……

机器仿生学：当机器模仿自然和人类

如果我们模仿的动物是人类，这还算是仿生学吗？在 20 世纪中期，就像一百年前的航空科学那样，机器人科学吸引了研究者和大众的兴致。随之而来的，是创造出人造的人类复制品的美梦（或者噩梦）。几十年后，这种痴迷和它所引发的恐惧已有一些消退。不过，在这种背景下产生的科学——机器仿生学（*bionics*，可译为“仿生学”。一般认为 *bionics* 这个词和这门学科是在 1960 年由斯蒂尔首先提出。但在法语环境中，该词对应 *bionique*，通常指从动植物身上获取灵感来创造新的科技，可以说是狭义的仿生学。——译注），取得了令人赞叹的进步。

20 世纪 60 年代初，“机器仿生学”一词通过美国代顿的一场会议而得到传播，这场会议聚集了来自世界各地的科学家。

这场会议的倡导者是杰克·斯蒂尔（Jack Steele），美国军方的研究者和军官。当时冷战正酣，杰克·斯蒂尔意识到一些或许能为生物学打开前进大门的可能——如果它们是在武器领域得到开发的话。从间谍机器人到水陆两栖的越野运载工具，从超强机器人到变异动物……这是一个世界的开端，它会为科幻小说提供素材——但不止于此。

代顿的会议标志着杰克·斯蒂尔所称的“机器仿生学”的研究者的第一次聚集。他将这门学科定义为“模仿生物原理来建造技术系统，或使人造技术系统具有生物系统特征或类似于生物系统的科学”。这样的定义不仅包括模仿人类的发明，而且还与仿生学定义有部分相交。

不过，机器仿生学这一术语如今更多地关联着机器人科学和修复学——就是模仿生命体，以及研发能够“移植”到生命体中的人造肢体和器官。

我们还记得 20 世纪 60 年代和 70 年代在漫画和电视连续剧中出现的人物的“仿生”四肢。几十年过后，它们几乎成为了现实。这种肢体尤其得益于人造肌肉的发明，它能够遵从电流刺激反应。

人造肌肉由一种新型材料——电活性聚合物制成，在 20 世纪的最后几年里研发成功。不足之处是它在力量方面还有待提高。在最后的实验中，它在力量方面还是比人类肌肉差了许多……

另一方面，凭借目前神经学上的知识已经足以造出一种既模仿人类肢体外形，又遵照主人的神经命令的假体。而且，在不远的将来，它能够向大脑传导信息，让它的穿戴者能够“感受”到它在触碰某些东西。

争夺空间的动物—机器

一只甲壳虫与一台计算机有哪些相似之处呢？答案远远多于我们能想到的。在科幻作家们的想象中，机器人就如同人类的复制品。

事实上，今天的机器人研究将希望寄予动物身上。动物们——甚至在某些情况下，还有植物们——能够教给机器人的，首先就是它们的移动方式。动物的移动

方式多样且绝妙，挑战着人类运载工具的原则。某些动物能在水面上或天花板上行走，或者比任何直升机都能更稳定地悬停，或者能从一道裂缝潜入物体内部，或者能在地底下穿行……动物们掌握了无数工程学问题的答案，只要我们能成功地模仿它们。

如果说动物们的移动方式极其高效，那首先是因为它们能够适应它们的生存环境。请想象一个必须在海底走动的机器人：还有比能抵抗着水流在礁石中行动的甲壳类动物更好的学习榜样吗？这就是机器龙虾，一个机器人-龙虾的结合体（见第 60 页），它专门用于探索海岸边的水下部分。同它的模仿对象一样，这个机器龙虾也具有一个能够抵抗外界压力的甲壳；除此以外，它的外形也使得它能够在重力小于地面的水中依然保持紧贴海底。机器龙虾只不过是数十种忠实模仿动物的外形和移动方式的机器人之一。机器蜗牛（RoboSnail，名字来源于一种水生蜗牛）——一种能征服空间的机器——同样能在水下移动，不过需要黏附在载体上。机器七鳃鳗

传递感受，处理信息

机器人从动物身上学到的，还有接收信息和处理信息的方式——也就是说，它们的感官和它们如何使用感官。在视觉、听觉、味觉方面，昆虫和软体动物与哺乳动物有极大的差异；前者更为简单，更有可能被分解成一台机器能够利用的机制。如今的机器人研究的重点在于信息的处理，这里的信息指的并非是由机器人的“操控者”向它们传递的信息，而是由机器人所处环境反馈给它们的信息。为一台机器人安装摄像机并且处理由摄像机所传递的图像是更简单的（相对而言），但教会一个机器人自主处理它“所见”的图像，则更加困难，哪怕只是绕过一个障碍物。而正是在这方面，机器人能够获得更大的自主性。

举个例子，一条鱼感知到一个障碍物并调整前进方向的方式可以被分解成不同的步骤，而且这些步骤与人类的眼睛和大脑之间传递信息的方式有极大的差异。更何况眼睛并不一定都承担主要的功能：许多种类的鱼都有一种特殊的感觉器官——体侧线（这个名字源于该器官穿过身体侧部），这个器官使得动物能够探测水流的

的发明能让人更深入地理解爬行动作和“感受器”，即将神经冲动从身体的一部分传导到下一部分的接收器。另外，还存在机器蛇、机器鱼、“仿生企鹅”（见第 110 页）、用苍蝇或者胡蜂的方式飞行的机器人、像水母一样移动的机器人……

一种移动方式如果已经完美地适应了一种环境，并不意味着它应该就此却步。在本书的例子中，一种动物和一种植物成为了探索火星的榜样。动物正是天蛾（见第 140 页），它启发了人们发明多模态电子昆虫——达·芬奇扑翼机的一种变形后代，这种器械能够在火星的地面上飞行，并且能在地面上停留和采集样品。植物则是风滚草（见第 34 页），西部片里的神圣植物，它能在地面上滚动行走。

这两项发明的相同点，在于它们揭示了仿生学怎样让研究者通过借鉴已经存在（通常是存在了上千年）的方式来跳出思维局限。

颤动，然后立即改变方向。

由此产生了斯路奇（Snookie），一个拥有接收器的机器人，而它的接收器模仿了一种淡水鱼——墨西哥盲鱼（*Astyanax mexicanus*）的体侧线。斯路奇能够自主移动，并且避开障碍物。尽管斯路奇目前只处于实验阶段，但这类机器人在将来或许能够产生实用价值，比如检查以及清理管道，或者进行水下探索。

引导斯路奇移动的装置不过是机器人感官探测器的一种可能的应用实例。龙虾的触须（见第 60 页）上有能够探测气味的化学接收器，加利福尼亚的研究者已经能够模仿这一机制，并且正在据此研发能够探测水底污染、石油泄露等问题的机器人。有一些动物，比如电鳗（见第 82 页），确定自身位置时靠的是电磁定位——通过释放像雷达波段那样传输的电流，模仿这一定位方式的机器人也正处于研究阶段。

更宽泛地说，动物能够教会机器人如何反应、如何

传递反应，以及如何学习。这方面最好的例子是机器老鼠普斯卡尔帕克斯（Psikharpax，见第118页）。它的设计者们并没有费力复制人类的智力，反而致力于模仿一种更为简单的智力——老鼠的智力。普斯卡尔帕克斯的“大脑”是一块能够处理信息的芯片，信息则来自摄像机和感觉接收器。这块芯片能够学习如何处理数据，以便让这只老鼠能（例如）获得食物（也

就是成功地接上安置在实验室不同角落的电源插头）。普斯卡尔帕克斯使得它的发明者们能够直接观察它的学习过程——比一个真正的动物要慢了许多！这种已经在全世界开展的、与普斯卡尔帕克斯同类型的“动物机器”实验，对机器人研究和生物学研究有同样的价值，因为在这样的实验中我们可以获得一种新的视角去分析动物行为。

群体活动：当昆虫启发计算机

动物还是团体协作的良好榜样。颇具戏剧性的是，我们通常将组织、交流和团体凝聚力看作人类的特性。然而，动物社会也被证明极具教育意义。

对它们的模仿是当今仿生学最重要的路线之一。一群鸟如何保持方向一致地飞行？它们当中的成员怎样做到互不干扰、互不相撞，也不掉队？这是计算机科学家克雷格·雷诺兹（Craig Reynolds）在设计一种虚拟生命程序时向自己提出的问题。在1986年，他成功地对鸟的群体移动建模，也就是说，他用计算机能识别的语言翻译了这种群体移动的规则。

雷诺兹得出了三个主要原则：分离原则（与邻居保持一定的距离）；对齐原则（保持与邻居一致的前进方向）；凝聚原则（根据邻居间的平均距离保持自我的位置）。雷诺兹的虚拟生命程序曾经（如今也在）被用于动画电影和电子游戏的制作，然而，它实际上大大地超越了这一个范畴。

在机器人研究中，雷诺兹发现的规律能够协调数个自主机械的工作，并且使其保持团体队形。更重要的是，上述的三条原则中还能增加新的命令，比如去往一个目

的地、躲避障碍物、对区域实行分区控制等。

同样，昆虫的团体协作也是一个绝佳的榜样——不是对于人类而言，而是对于计算机。不同于人们所认为的那样，成群的蜜蜂、蚂蚁或者白蚁的智慧，并非集中在一个王后的绝对权力上。一个动物种群不仅能够拥有数个王后，而且后者绝对不知道在另一个巢穴中发生的事情。比起同一种群中的其他角色，王后拥有下达命令或者指示的权力。群体的智慧并不在于对一个中央大脑的服从，而在于一种由许多简单互动相连的沟通方式——与雷诺兹得出的领航原则同样简单。这样的方式会让人想到计算机的运作：通过大量的二进制符号得出合适的答案。

因此，目前许多已运行和在计划中的软件都尽量模仿一群而非一只蜜蜂的思维方式（见第130页），这并非是一个巧合。蚂蚁和蜜蜂拥有许多对计算机而言极有价值的方式，尤其是它们构成网络的方式：寻找离源头（食物源头，或者信息源头）最短的路径；持续按需分配工作而不浪费劳动力；使得由个体组成的群体（或者信息）得以运转而不停滞；或者在尝试过多种方式后选择最佳解决方案。

丝、甲壳和叶子：有机材料，最理想的材料

一只蜘蛛，一动不动地栖息在窗台的边缘。当一个阴影靠近时，它已经下落了——沿着一条它自己刚刚生产

出来的丝，一条以极快的速度按需生产的丝，一条能够承受巨大重量的丝……哪一种人造物能达到这样的要求？