

材料仿生与思维创新

*CAILIAO FANGSHENG YU SIWEI
CHUANGXIN*

主编 孙树东 万昌秀



四川大学出版社

材料仿生与思维创新

主 编 孙树东 万昌秀

参编人员 余喜讯 李建树 赵长生 张小华



四川大学出版社

责任编辑:毕 潜 李川娜
责任校对:唐 飞
封面设计:墨创文化
责任印制:李 平

图书在版编目(CIP)数据

材料仿生与思维创新 / 孙树东, 万昌秀主编. —成都: 四川大学出版社, 2011. 12

ISBN 978-7-5614-5623-1

I. ①材… II. ①孙…②万… III. ①仿生—工程材料 IV. ①TB39

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2011) 第 259015 号

书名 材料仿生与思维创新

主 编	孙树东 万昌秀
出 版	四川大学出版社
地 址	成都市一环路南一段 24 号 (610065)
发 行	四川大学出版社
书 号	ISBN 978-7-5614-5623-1
印 刷	郫县犀浦印刷厂
成品尺寸	185 mm×260 mm
印 张	13.25
字 数	299 千字
版 次	2012 年 1 月第 1 版
印 次	2012 年 1 月第 1 次印刷
印 数	0 001~2 000 册
定 价	28.00 元

◆读者邮购本书,请与本社发行科联系。电 话:85408408/85401670/85408023 邮政编码:610065

◆本社图书如有印装质量问题,请寄回出版社调换。

◆网址:<http://www.scup.cn>

版权所有◆侵权必究

前言

仿生 (biomimicry) 由拉丁语 bios 与 mimesis 组合而成, bios 的意义是生命, mimesis 的意义是模仿。仿生是一种设计思想, 通过参考并模仿经过漫长时间考验的自然模式和策略来解决人类面临的难题。仿生就是向自然学习, 尤其是学习自然界可持续发展的能力和机制。人类的仿生应用已有数千年的历史, 早在 2300 多年前, 我国的墨子和他的 300 个弟子, 曾经花了三年多时间造了一只“会飞的木鸟”。与此同时, 希腊人阿奇太也制成了一只“机械鸽子”。可以说, 人们对“仿生”技术的研究伴随着人类诞生后的所有历程。随着科学技术的发展, 新兴的“仿生学”于 1960 年正式诞生。它成为生物学、数学、材料学和工程技术科学边缘上的一门崭新学科。

《材料仿生与思维创新》这门课程的出现是 21 世纪中国科技发展对创新型人才的需要; 是建设创新型大学的课程设置顺应市场经济的需要; 是提高中华民族的整体素质, 提高综合国力的需要。因此, 我们几位生物医学材料领域的教师, 在总结了本领域前辈们几十年科研成败的经验和教训以及对材料仿生有较深刻感悟的基础上, 创建了此门新课。

对理工科, 尤其是材料、高分子、药学或生命等学科的本科生, 为了拓展其视野, 有必要进行仿生的高级科普知识的奠基, 引发其浓厚的兴趣。兴趣是最好的老师, 对仿生的兴趣将使学生从孤立、局部的思维习惯中跳出来, 放开视野, 展开丰富的联想。而教学中, 使学生从各自传统专业的封闭状态走向思维的开放是教师们义不容辞的责任。通过本课程的教学和讨论, 能丰富学生的想象力, 拓展他们的想象空间, 增加他们对五彩缤纷大自然的观察兴趣, 从而提高同学们创新能力。仿生的思维模式告诉学生: 预定的目标可以通过不同的道路到达, 只要你放开思维, 不因循守旧, 不僵化, 不受传统观念的束缚, 你将获得成功。

生命, 蕴藏着无穷无尽的玄机 and 奥秘, 正期待着有进取之心、探索之志的精英们将其发掘出来, 为人类服务。近年来, 教育部组织的“大学生创新性实验计划项目”和团中央组织的“挑战杯”学生课外学术科技节中层出不穷的事实, 已向我们展示了青年学生们创新的能力和进取的态度, 大大超过了人们的预想。为了让更多的学生早日获得创新的灵感, 我们抛砖引玉地编写了这本教材, 向学生们引荐“生命”这位大师, 她是亿万年来大自然创造出的无所不能的巨匠。当每位学生都学会了与她的对话并养成了从她那里获取创新思维的灵感之日, 就是中华民族在科技创新上无愧于世界民族之时。

本教材的第 1 章和第 8 章由万昌秀教授编写, 第 2、3 章由孙树东副教授编写, 第 4、5 章由余喜讯副教授编写, 第 6、7 章由李建树副教授编写, 第 8 章的部分内容由赵

长生教授编写。此外，张小华老师也参与了第1章和第8章的编写。由于时间匆忙，加上初次尝试从仿生角度撰写，因此缺点和错误难免，企盼在教学过程中进一步改进和完善，同时请各位读者及时指出，我们深表谢意。

通过本课程的讲授，如能对学生们有所启示，使他们对仿生产生兴趣或有所感悟，这就是我们最大的欣慰和期盼。

编者

2011年9月

目 录

第1章 概 述	(1)
1.1 生命的启示	(2)
1.1.1 大千世界中多姿多彩的生命	(2)
1.1.2 认识生命、了解生命	(3)
1.1.3 生命的启示	(4)
1.2 仿生学与材料仿生	(8)
1.2.1 仿生概念	(8)
1.2.2 材料仿生和仿生材料	(9)
1.2.3 材料仿生研究的内容和分类	(10)
1.3 材料仿生需要思维开放	(17)
1.3.1 对生命的感悟是仿生的基础	(17)
1.3.2 对于创新, 想象比知识更重要	(18)
1.3.3 学科交叉才能迸发出思维创新的火花	(19)
参考文献	(21)
思考题	(21)
第2章 生命的起源与自组装现象	(23)
2.1 概论	(23)
2.1.1 生命的意义	(23)
2.1.2 生命的重要属性	(27)
2.1.3 生命起源的各种学说	(29)
2.2 生命起源的物质基础	(36)
2.2.1 生命起源的三个阶段	(36)
2.2.2 生命起源的各个步骤及相关证据	(39)
2.3 自组装是生命活动的基本组合模式之一	(44)
2.3.1 分子自组装是生命体系中的普遍现象	(44)
2.3.2 微观分子的自组装现象	(46)
2.3.3 超分子(高分子)的自组装现象	(46)
2.3.4 细胞膜的结构与自组装	(47)
2.4 自组装现象在材料仿生方面的应用	(49)
2.4.1 自组装现象对我们的启示	(49)

2.4.2 自组装现象在材料领域中的应用	(50)
参考文献	(50)
思考题	(51)
第3章 物种进化的物质基础	(52)
3.1 达尔文的进化论及进化树	(52)
3.1.1 达尔文的生平简介	(52)
3.1.2 达尔文进化论思想的形成及启示	(54)
3.1.3 进化树	(61)
3.1.4 进化论的发展	(62)
3.2 遗传的保守和变异是物种进化的基础	(65)
3.2.1 遗传与变异的关系	(65)
3.2.2 杂交水稻新品种培育及启示	(66)
3.3 物种进化的宏观过程对材料仿生的启迪	(69)
3.3.1 实验室的研究启示	(69)
3.3.2 从自清洁功能的仿生表面看材料仿生的意义	(70)
参考文献	(72)
思考题	(72)
第4章 个体发育中组织和器官的结构和功能及仿生应用	(74)
4.1 动物个体发育及其相关的仿生研究	(74)
4.1.1 发育的基本过程	(74)
4.1.2 仿生研究 I: 胚胎干细胞及其在再生医学中的应用	(75)
4.1.3 仿生研究 II: 克隆技术	(80)
4.2 人体组织器官的结构与功能及其仿生	(86)
4.2.1 骨组织的结构与功能与材料仿生	(86)
4.2.2 牙的结构和功能与材料仿生	(89)
4.2.3 血管的结构和功能与材料仿生	(91)
4.3 动物组织器官的结构与功能及其仿生	(94)
4.3.1 蜘蛛丝的仿生	(94)
4.3.2 壁虎、蜘蛛等动物和昆虫足的仿生	(95)
4.3.3 昆虫翅膀表面的自洁性仿生研究	(98)
4.3.4 水黾轻功仿生研究	(100)
参考文献	(102)
思考题	(104)
第5章 细胞膜与胞外基质的分子生物学特点及其仿生	(105)
5.1 细胞膜的分子结构功能及仿生应用	(105)
5.1.1 细胞膜的结构、化学成分以及功能	(105)
5.1.2 仿细胞膜的磷脂化材料	(107)

5.1.3 细胞膜受体仿生——低密度脂蛋白受体及其仿生	(109)
5.2 细胞外基质的组成和作用及其仿生	(112)
5.2.1 细胞外基质的组成	(112)
5.2.2 细胞外基质的作用	(121)
5.2.3 仿细胞外基质材料的设计	(122)
参考文献	(133)
思考题	(135)
第6章 材料仿生与思维创新能力的培养	(137)
6.1 概论	(137)
6.2 生物医用材料与仿生	(138)
6.2.1 生物医用材料	(138)
6.2.2 仿生研究赋予生物医用材料新的内涵	(142)
6.3 组织工程学从生命物质获得启示	(150)
6.3.1 组织工程学概述	(150)
6.3.2 组织工程学中的生物材料仿生研究	(153)
6.4 仿生制造	(158)
6.4.1 面向生命的仿生制造	(160)
6.4.2 面向制造的仿生制造	(160)
6.4.3 仿生制造实例	(161)
6.5 诺贝尔奖得主的思维创新给我们的启示	(164)
6.5.1 穆里斯与 PCR 技术	(164)
6.5.2 导电高分子材料	(166)
参考文献	(169)
思考题	(170)
第7章 现代医学手段中的材料仿生与创新	(171)
7.1 基因治疗药物中的材料仿生与创新思维	(171)
7.1.1 基因治疗概述	(171)
7.1.2 病毒给予基因治疗的启示	(174)
7.2 新型药物及药物载体设计中的材料仿生与创新	(178)
7.2.1 药物使用与药物新剂型	(178)
7.2.2 仿生思维为药学开辟新领域	(179)
7.3 创新医疗手段、器械及其他仿生创新思维	(183)
7.3.1 介入诊疗技术与手术方式革新	(183)
7.3.2 比正常人跑得更快的残奥运动员	(185)
7.3.3 光合作用与材料仿生	(186)
参考文献	(187)
思考题	(187)

第 8 章 智能仿生新进展	(189)
8.1 生物黏附和抗黏附的仿生研究	(189)
8.1.1 抗黏附的仿生应用研究	(190)
8.1.2 增强界面相互作用的黏附仿生应用研究	(191)
8.2 自诊断愈伤的仿生智能材料的研究	(192)
8.3 仿生智能单纳米孔道研究	(195)
参考文献	(197)
思考题	(199)

第1章 概述

“创新”是科学和技术发展的灵魂和原动力。为实现中华民族伟大复兴的宏愿，21 世纪的中国渴望并呼唤着人们的创造力。回顾世界强国走过的路，我们将从中得到许多感悟。19 世纪，在工业革命的浪潮中无数发明创造的成果推动了英、法、德等国家的发展，使欧洲走向了富强；20 世纪美国和日本在科学领域突飞猛进，众多的发明创新成果使它们跻身于世界列强；21 世纪随着中国的崛起，为了中华民族的富强，党和政府响亮地提出了建设创新型国家的口号。大学教育应着力推进科技创新，提高自主创新能力，这在建设创新型国家进程中起着举足轻重的作用，是提高中华民族的整体素质、提高综合国力的关键环节。

为什么需要创新性思维？因为不这样，一个国家、一个民族、一个学校甚至个人将会被飞速发展的社会淘汰。例如，随着印刷术近 20 多年来的飞速变化，毕昇发明的活字版印刷从古沿用至 20 世纪 80 年代后，从事铅字排版的师傅们被打字员所取代；几年后，打字员又被照相制版技术人员所取代；90 年代后期，电脑的激光照排又取代了照相制版。当今世界任何一项发明创造都有可能改变许多人的命运，因此对创新人才的培养早已被各国家、各部门、各学校重视。2006 年，中国导弹之父钱学森院士就曾谈到，当前我们的学校教育无法培养出大师级的人才，温家宝总理也曾谈到对当前教育无法培养出大师的焦虑。我国的高等教育在校学生人数（2700 万人）虽然已达到了全球最大的规模，但至今我们还没有培养出一个诺贝尔奖获得者。这些现象充分反映出我国教育存在的问题。为了改变当前教育的现状，近年来国家出台了一系列培养创新人才的导向性举措，如团中央主办的“全国大学生创业大赛”，教育部在大学低年级推行的“创新性实验计划项目”等。

本课程的设立是历史的呼唤，是满足时代对创新人才培养的需求，是致力于新兴交叉学科的教师们数十年科研教学过程中深刻的体会。他们的经验告诉后来者，研究材料尤其是生物材料必须了解生命物质的产生机理，认识生命的神奇多变、巧夺天工，从而自觉模仿结构和功能高度统一的生命物质的形成过程。材料设计者和研究者一旦具备了这样的思维方式，他们的思路和创造力就会挣脱传统思维模式的束缚，产生无穷无尽的想象力，开拓出一片多彩的创新领域。可以预见，仿生理念指导下研究设计的各种材料，尤其是生物医学材料必将更加理想和完善，也必将更好地为人类服务。

1.1 生命的启示

1.1.1 大千世界中多姿多彩的生命

是什么使地球这颗太阳系里的普通行星显得非同寻常？与其他亿万星球相比，它神奇而美丽，不仅多姿多彩，而且生机勃勃，热闹非凡。使地球与众不同的是生命。地球形成后经历了三次极其重要的里程碑式的飞跃。第一次飞跃用了 10~15 亿年。地球表面发生了令人难以想象的化学变化，由于分子的碰撞使地球上的化合物从无机物到低分子有机化合物，再到高分子生物有机化合物，直至复杂的超分子体系和原始的具有单分子膜包覆的生命体，完成了一系列由量变到质变的化学进化过程。第二次飞跃经历了 20 亿年，原始的生命体渐渐形成有基本生命活动的单细胞生物，逐渐在结构上多样化，功能上复杂化，逐步分化完善，实现了向多细胞生物的演变，完成了生命从无到有的生物学进化的艰难历程。第三次飞跃是 10 亿年前至今，尤其近 6 亿年从古生代寒武纪后生物界经历了惊心动魄、死而复生的若干浩劫，分化形成了微生物界、动物界和植物界。

动物界从低等的单细胞原生动物（如草履虫等）进化到多细胞有内外胚层的腔肠动物，如固定在海底岩石上的水螅，轻盈灵活的桃花水母，千姿百态、色彩艳丽的珊瑚虫；从环节动物（如蚯蚓等）进化到软体动物，如形态丰富的贝壳和螺丝、蜗牛类，速度敏捷、灵活自如的章鱼等；昆虫是无脊椎动物中进化最成功的一大类，曾经在 1 亿年的时间段里，昆虫都是独霸空中的生物，如足以让人类伤透脑筋的蝗虫，色彩斑斓、舞姿迷人的蝴蝶，具有严密组织和社会分工的蜜蜂、蚂蚁等，这些昆虫结构和功能的高度完善使它们至今在地球上仍生机勃勃、方兴未艾；5.5 亿年前脊椎动物脊椎的出现是动物界进化中的重大突破，它赋予了肌肉的平衡杠杆和着力点，使动物的行动更加有力，神经的支配也更加准确。所有陆生脊椎动物的祖先是水生脊椎动物，如有鳍有鳃的鱼类。当河水或湖泊枯竭时，被环境所迫的鱼类能从润湿的皮肤中获取氧气，或逐渐成为了能在水陆两栖生活的两栖动物，如青蛙、蟾蜍等，形成了从水中到陆地的过渡群体。水域的大量减少，植物的繁茂生长，又促进了两栖类向爬行类的进化。几亿年前恐龙成了地球上万物的统治者，存在了 1.5 亿年的翼龙的出现打破了昆虫独霸空中的格局，它庞大的翼和中空的骨骼为进化到鸟类奠定了物质基础。皮肤上的鳞片进化而来的羽毛、轻盈可折叠的翅膀是鸟类祖先对进化的最大贡献。鸟类的进化是一种巨大的突破，恐龙灭绝了，而鸟类却存活了下来。飞行的能力是地球动物进化的伟大飞跃。爬行类除了向空中进化，在陆地上还从卵生到胎生。母体对幼兽的哺乳，大大提高了动物适应恶劣环境的能力，提高了存活率，增强了生存竞争力，是一次重大的突破。哺乳类和鸟类都是动物进化树上在结构和功能完美统一方面发展的高级阶段。空中飞鸟和陆上走兽（当然包括水中的哺乳类，如鲸、海豚等）为地球上的大自然增添了成千上万、千姿百态的动物种群。与此同时，植物界也经历了从水中到陆地，从单细胞的藻类到陆地上的苔藓、地衣，从草本到具有木质素的灌木，最后直到坚挺高大的乔木。没有茂密的森林和绿茵



草地,就没有形形色色的从低等到高等的飞禽走兽,人类也无法生存。大自然里草食动物以植物为生,肉食动物以草食动物为生……庞大的食物链,人类生存的星球具备如此完美的生态圈,使我们不得不叹服大自然的鬼斧神工,从而敬畏让这个星球多姿多彩的生命。

1.1.2 认识生命、了解生命

长期以来,人们高估了人类的智力和知识,却低估了动物、植物、微生物的智慧,甚至低估了作为生命最精彩的成果——人体自身自我修复的本领。

植物是一切生命的基础,只有他们可以把地下的矿物和水与空气中的 CO_2 等结合起来,在阳光光能的驱动下制造出有机物,供动物食用。反过来,动物对植物除了利用外,还有相互依赖、相互制约的联系。如果你注意观察迷你世界的强者——蚂蚁群的生态环境和它们如何为保护自己的环境在工作,你将不得不佩服这个组织有序、分工合作的社会。蚂蚁为了维持它们最喜欢的食物资源——蚜虫的分泌物,它们可以把蚜虫带到它最喜欢的植物那里,集中许多蚜虫并放牧它们。当瓢虫来袭击蚜虫时,蚂蚁群起而攻之,直到把比它们体积大得多的瓢虫消灭为止。还有种蚂蚁喜欢生活并筑巢在一种大树的树洞中,当它的“房东”被外来植物寄生或缠绕、生命受到威胁时,蚂蚁会撕咬这些外来植物,并注入蚁酸,导致这些外来物种的迅速枯萎,保证了房东大树这种物种的安全,从而使蚂蚁自身的生态环境相对稳定。阿尔卑斯山有世界上最大的蚁巢,如果有外来的动物或异物闯入巢穴所在的领地,威胁到它们的安全时,全体蚂蚁会同时发射出成千上万的蚁酸微粒,让空气中充满危险的气味从而吓退入侵者。从古至今,人类都不断在观察蚂蚁,学习蚂蚁的生存智慧和不畏强暴的集体主义精神。

你了解大雁吗?成都动物园大雁妈妈的洞察力和思维能力使她想出了巧妙的借天鹅巢下蛋的办法,解决了延续后代的蛋常被管理人员取走的难题。你了解喜鹊吗?当一只年幼的灰喜鹊宝宝不幸摔断了腿时,十几只灰喜鹊反复向路过的一位清华大学女教师求助,最后感动了她而拯救了这只濒临死亡的小喜鹊,六年后还出现了长大后的喜鹊依依不舍向这位善良女教师致谢的动人场景,为此她写了一部小说叫《回家》。你了解白头鸟吗?《成都商报》曾报道过一只受伤的白头鸟被救关在笼里,每天它的父母轮流啄来虫子哺育它,直到它痊愈为止。你了解狼吗?一位东北的养狼专家介绍:狼也是极讲感情和尊严的,它们忠于爱情,勇猛无比,为家族宁愿战死沙场也不愿苟且偷生。你了解猴吗?当一只小金丝猴死去时,它的母亲紧紧抱着其遗体 50 天都不舍得丢下。俗语说:“人非草木,孰能无情”,动物有情有义,草木其实亦非无情。动物能识别自己的亲属,这个能力对动物种群的维系非常重要。但植物似乎也能识别自己的“亲戚”,它们对陌生植物相当不友好。英国媒体近年来曾报道:植物能通过对周围可利用的水分或养料的改变,或土壤中化学成分微量变化,感受到附近植物的存在,从而调整自己的生长情况。加拿大的学者的研究也显示,不相干的植物生长在一起竞争得更厉害,而同种属的植物生长在一起相对好一些。专家们分析,每个植物家族特有的蛋白质或化学信号可能分泌在周围的土壤中,被其他植物根系感受到并发现。以色列植物生物学家表示,植物可能利用与动物的免疫系统相似的体系感知周围其他的信息。

据英国《每日邮报》报道，任教于美国加利福尼亚大学的昆虫专家卡尔班教授认为，植物可以通过空气散发出一种化学物质，进而提醒邻居们危险就在眼前。当旁边的植物“接受”到这一信号之后，它们就会提高对于蝗虫、毛虫等入侵者的防御。卡尔班指出，植物“能够完成远远超出人类想象的复杂行为”。

人类是生命进化的极致和顶峰。人的大脑有上百亿个神经细胞，每天接受近 2000 条信息，进行着 10 万种以上的化学反应。据报道，由于进化使人体各器官组成的系统具有很大程度的自我诊断功能，这是一个能利用人体自身资源自我修复及再生的完整体系。而要保证其工作的基本条件在西医认为是神经体液调集系统和免疫系统的正常运转，中医则认为是精、气、神，即具备足够的血气能量。他们都意识到人体有这种修复能力，但大多数患者却很少充分相信这一点，更不能主动积极自觉调整自己的心态，利用人体的潜在能力，引导其自我修复达到康复的目的。我们身体需要的不是灵丹妙药，而是正确使用和维护的方法和理念。

总之，人类对自然界中生命宏观的历程，对生命微观的结构，甚至人类自身蕴藏的潜力和秘密，只是了解了很小的一部分。在大自然面前，我们需要潜下心来，恭恭敬敬地像一个小学生一样，认真观察，仔细思考，不断领悟，才能认识到生命的博大精深，才能了解这多姿多彩生命的奥秘，掌握其规律，并运用这些规律造福于人类自己。

1.1.3 生命的启示

地球上的生命已有数十亿年的历史，它经历了地壳变化的毁灭性灾难，天体之间的撞击和气候巨变的无数打击。在无情的自然选择和生存竞争中，以数万物种的灭绝为代价进化至今的生物体中，蕴藏了无数生命成功的奥秘。无论你从数学、物理、化学的起点出发，还是从材料学家的立场观察，当你深入生命，从生物体的角度思考时，你都会有崭新的启发和创新的冲动。

人类许多发明创新的灵感来自大自然，对植物、动物、微生物以奇特的结构形式来适应特殊环境的功能常常能发人深省，给有心的人们以启迪。水中的鱼类给了人们设计船、船橹、潜水艇、鱼雷、喷水拖船等的启示；空中的飞鸟赋予了人类设计飞机、滑翔机等飞行器的灵感；陆上形形色色的动物甚至人类自身的构造也给了建筑师、材料科学家或机械制造商们构思新颖的建筑，设计更完美的材料和物件，如机器人、人造器官、变色龙的服装、人造纤维、人造蜘蛛丝等的启发。从对植物的叶子、茎、根、花果的观察中人类更是获益匪浅：光合作用为绿色能源的构想带来了灵感；荷叶的自洁为纳米表面技术的研究思路做出了卓越的贡献；茅草的叶子启发了锯片的发明者；向日葵为旋转房屋提供构思和启迪；甚至肉眼看不见的微生物也让人类产生了许多奇思妙想。下面列举的一些例子生动地说明了生命启示下人类创造出的累累硕果。

在公元前 1 世纪，人类的祖先就从鱼儿摆尾轻快前进的动作联想到，船要是有条尾巴就可以灵活运行了，于是为船也装上了“尾巴”，这就是最早的橹，它像一个推进器，用水流的反推力使船行进得更好。

1775 年北美独立战争期间，美军士兵达韦·布什内尔从一条大鱼潜游到小鱼下面后猛地朝上一跃咬住了小鱼的情景想到了鱼能潜水关键在于它的鱼鳔。船舱里灌满水船

就下沉,如果把船里的水排出,而将空气压入就可以使船上浮。由此,他发明了潜水艇,成功击退了海上英军的舰艇,对战争的胜利起到了至关重要的作用。

海洋里的乌贼(又叫墨鱼)为了逃避敌害喷出的墨团如水中的烟幕弹,让聪明的军事学家们模仿其喷墨发明了人造烟雾。在战争期间,德国和美国的军队曾用它成功地避开了对手。墨鱼强有力的触须有上千只吸盘,可以托起一辆摩托,可以打开每平方厘米压力高达数百千帕的贝壳。

墨鱼和章鱼具有完善的生态适应功能,其皮肤以 cm^2 计,上面有红、橙、黄、绿、蓝、黑等多种色彩,可以在瞬间进行犹如万花筒般魔幻的体色变化。它们可以伪装成珊瑚、沙石、海蛇、海藻或火箭等,可以在 15 ms 内以闪电速度完成对猎物的攻击,是海底最成功的猎手。它们的这套改变体色、体态、动作的海底骗术为人类研制鱼雷诱饵、喷水拖船和更多的高级隐身制品提供了设计的灵感。

科学家们模仿使水母漂浮的浮囊,做成了海上漂浮的浮标站。水母可以靠触角上的听石感受风暴发出的次声波,从而迅速离开岸边回到海里,科技人员由此设计出“水母耳”,这种仪器可以提前 15 h 左右预报风暴的到来,还可知道风暴的强度,所以利用“水母耳”可建立海上天气预报站。

电鳗体内有数以千计的能够产生能量的发电细胞,最高电压可达 600 V。电鳗是从食物中获取化学能并将其转变成电能的。美国耶鲁大学研究人员设想是否能设计出人造发电细胞,并将其作为潜在的动力源,由此他们成功设计出了具有非凡发电本领的人造细胞。这些细胞比他们模仿的自然发电细胞更强更有效,有望未来被用来为移植进人体中那些微小的医疗装置提供动力。

除了水中的鱼类给人类做出了巨大贡献外,两栖爬行类也引起了人们更多的关注。近年来,科学家发现鳄鱼具有世界上最强的免疫系统,因为尽管它们生活在极肮脏的环境中,与同伴打斗时经常被咬掉肢体,但从不感染。

空中的飞鸟也给了我们太多的启迪。早期的人类都憧憬着像鸟一样在空中飞翔,最先发明了风筝。文艺复兴时期,伟大的艺术家、发明家达·芬奇也曾设计过一种扑翼机,设想人趴在上面,用手脚带动一对翅膀飞起来,但这个鸟翅模型怎么也飞不上天。1801年,美国的乔治·凯利爵士研究了风筝和鸟的飞行原理,并在1809年试制了一架滑翔机,当时可以把他带到几米的距离,但后来仍未成功。1900年,奥拓根据鹤的翅膀制造出一架新式的滑翔机并成功飞行了 250 m,因此他被人们称为“滑翔机之父”,如图 1-1 所示。

美国研究人员根据海鸥灵活调整它们的翅膀,使自己盘旋、俯冲、快速飞升带来的灵感,设计出了一种新型的无人侦察飞机。其机翼效仿海鸥,能在飞行中变形,改变其稳定性和灵活性,可以在一分钟内完成三次 360° 的滚转,其机动性极好。

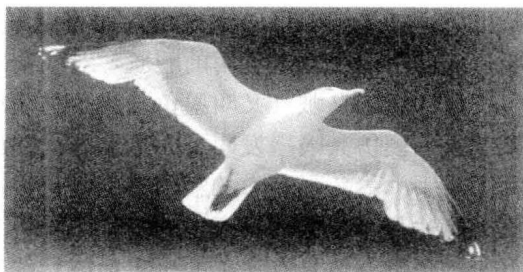
建筑师们根据鸟蛋壳的精巧结构赋予鸡蛋能承受一定压力且抗震性好的原理,设计出各种薄壳式建筑,如国内外的许多体育馆。

猫头鹰由于翅膀表面有很多绒毛,绒毛相互滑动时悄无声息,而且它的羽毛还有特殊的齿状结构,这些都可帮助它消除噪音,因此飞机设计师们根据这个原理做出了锯齿状的翼片,作为飞机高速飞行时的消音装置。

鸟儿是天生的建筑师，它们的窝做得很结实，有的还很漂亮。缝叶莺会缝叶成巢，营冢鸟能造出恒温的巢，燕子会用泥丸垒成巢，骨顶鸟会造浮巢……最精美的鸟巢要数织布鸟编织的瓶状巢了，它撕取长条的树皮纤维，像织布工人那样用嘴和脚灵巧地“穿针引线”，并适时打结成坚固的编织巢。如遇大风，它还会衔一些泥团来“镇风”。这些鸟巢的艺术让建筑师们浮想联翩，他们借鉴大自然给的建筑灵感进行设计。2008年北京奥运会的标志性建筑——国家体育场就是一个“鸟巢”式建筑，结构的组件相互支撑，形成了网络状的构架，简洁而典雅，如图1-2所示。

法国的里昂火车站是著名建筑大师卡拉特拉瓦的杰作。他从飞鸟身上受到启发，把飞鸟的身体设计成车站大厅。屋顶和侧面是大面积的玻璃，就像两扇美丽的翅膀，而火车站优美的造型则像一只展翅欲飞的大鸟，让人震撼。

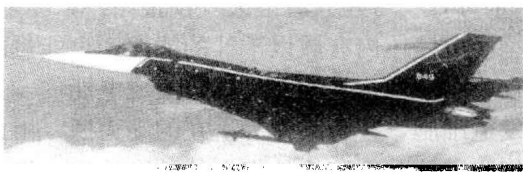
另外，我国天津还有一座“天鹅”模样的博物馆，设计师捕捉的是天鹅一飞冲天的瞬间，以这瞬间的骨架形态，设计了博物馆的建筑骨架。整个建筑让人自然联想到希望与力量。



(a) 模拟鸟类飞行



(b) 研制的滑翔机



(c) 现代飞行器

图1-1 飞行器的发展历程

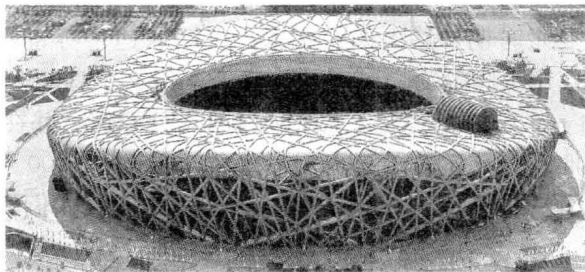


图1-2 鸟巢

哺乳类或陆地上的动物也给人类以各种奇妙的启迪。蝙蝠的视力很差，但它可以在黑夜里自由地飞行，而不撞到任何障碍物，这是它自身发出的超声波遇到物体反射回来使蝙蝠能感知并躲过障碍物的缘故。根据这个原理，英国里兹大学的研究人员研制成功一种“蝙蝠拐杖”，它能发出人耳听不见的声呐波，通过震动的强弱使盲人感受到障碍物的远近，达到安全行走的目的。

澳大利亚的袋鼠是澳洲草原上有名的跳跃冠军，每小时可跳 60 km，其原理在于它强有力的后腿和尾巴。人们根据其后腿和尾巴的结构特点设计出一种适合在坑洼不平的道路上行走的新颖的“跳跃机”。1896 年的奥运会上，美国运动员伯克在 100 m 跑的决赛中采用袋鼠的蹲踞式起跑姿势以弹射的速度启动夺得金牌，从此袋鼠式的起跑开始风靡全球。

人们模仿狗鼻子里的嗅觉细胞多的特点制成了电子警犬。

德国的汽车轮胎设计师根据猫的前爪垫的功能，设计出一种 AMC 垫型轮胎。当驾驶员刹车时，可加大轮胎与地面的摩擦力，大大缩短了刹车的距离，使车辆行驶更安全。

在猫眼的瞳孔变化使它黑夜中也能看清物体的启发下，军事科学家们模仿猫眼研制出了微光夜视仪。除了军用之外，还具有协助石油勘探、森林防火、土地规划和海底电缆铺设等作用。

壁虎脚底部纳米级的钢毛为科学家研究可以像蜘蛛侠一样飞檐走壁、黏住墙面的手套提供了创作的灵感。据英国《每日电讯报》报道，设计师已经制造出一间仿昆虫行走的由 6 条“腿”支撑、可以跋涉于任何地形的房屋。它有 10 英尺（约 3 m）高，屋内有起居室、厨房、卫生间、木制火炉和一个控制这 6 条“腿”的大型计算机。这个屋子行走起来是靠太阳能和风能作为动力，每条“腿”都可以独立行走，而且总是有 3 条“腿”着地以确保平衡。这个“会走路的家”是由丹麦哥本哈根 N55 艺术共同体和美国麻省理工学院的工程师合作创造的。设计师说，这个创意为应对如今不断上升的水平面提供了一个解决办法，因为这间屋子可以在洪水中行走，如图 1-3 所示。

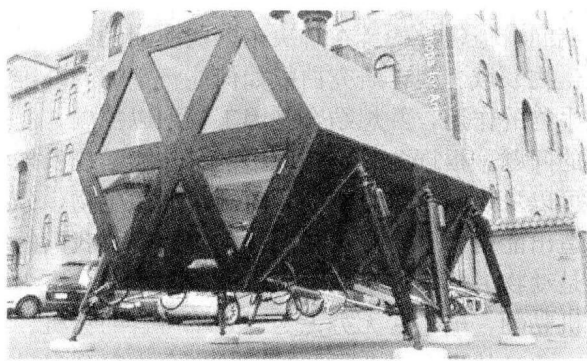


图 1-3 模仿昆虫 6 条腿行走的会走路的房屋

人们从植物的身上同样也获得了无穷多的启发。飞蓬草花枯萎后，根便断开，一遇山风袭来，便会在空中随风旋转飞舞，像一只只紫色的飞轮。有史为证“见飞蓬转而知为车”，即见到随风旋转的飞蓬草而发明轮子，从而做成安装有轮子的车。

1865 年，法国一位园艺师约瑟夫·莫尼埃为当时水泥制成的蓄水池和花坛常常被撞坏一事而烦恼。但他偶然发现摔得粉碎的花盆丝毫没损坏花的根部，泥土被根紧紧地箍着，甚至还保持着花盆的形状。于是茅塞顿开，既然植物的根系能使松软的泥土变得坚固，那么水泥里面掺上类似于根系的东西，它不是更坚固吗？钢筋混凝土结构从此诞生了。

植物叶子的气孔可以随体内水分的多少而自动开合调节湿度。建筑师们正在想如何仿照气孔的原理,根据室内空气的状况设计墙面的通风孔,达到自动调节室内湿度的目的。

近年来科学家通过对水中的植物如荷叶表面结构的观察,认识到微纳米超疏水表面的自洁作用,设计并生产了防污染产品,如建筑涂料、服装面料、厨具面板等,还将生产出免洗汽车的纳米涂层。

微生物的世界也同样精彩。微生物有时可以做出人类在实验室里用尖端的技术难以完成的事情,如固氮菌等。豆科植物根部有一种固氮菌,分泌的固氮菌酸在常温常压下就可以使空气中的氮气与某些含氢物质反应,生成氨提供给植物作氮肥。科学家受到启发,模拟固氮菌并人工合成这种酶。这是仿生化学中研究最早、最多的模拟酶,因为对酶的结构和功能的研究是理解生命现象的基础。

2004年,美国农业部动物排泄病原菌研究室的 Shelton 等开发了一种快速定量确定水中存在的大肠杆菌的方法。将大肠杆菌的单克隆抗体吸附于人工合成的磁珠表面,使其与水体标本混合,利用外磁场回收免疫磁珠与大肠杆菌的结合体,再对回收物进行检测。这种模仿生物体内抗原和抗体识别的特异性,极大地提高了大肠杆菌在水体中的检出率。传统方法只能检出 10 个/mL 浓度以上的菌种,而仿生方法可以检出 100 mL 水中含有的大肠杆菌数目,提高识别率近百倍。2005 年,日本的 Tadashi Matsunaga (松永正训) 等发表了从海底淤泥或河床及矿山土壤中的磁性细菌 (magnetic bacteria) 体内提取磁性微粒 (bacteria magnetic particles, BMP) 替代人工磁珠进行免疫磁分离和免疫检测的思路,成功解决了人工磁珠在生物分子被包后的不稳定性问题。这一仿生技术为医学和卫生防疫检验领域对特定病原菌的早期检测起到了重要的作用。

1997 年诺贝尔物理奖得主,现在的美国能源部部长美籍华人朱棣文博士在负责美国能源部重点实验室期间,他领导的旨在解决未来能源问题的项目居然不是他从事的物理领域,而是属于微生物领域。他曾研究白蚁如何将坚韧的纤维素变成类似酒精的食物,研究白蚁胃里微生物的作用,并想结合基因工程加以控制,制造出能生产酒精的微生物以解决清洁能源的问题。根据此思路,原中国科技大学校长朱清时院士提出了四川盛产竹子,为什么不可以从熊猫的胃里把消化竹纤维的微生物,分离纯化出来再运用基因工程加以控制,制造出能用竹子生产酒精的微生物以解决我国的绿色能源问题。

综上所述,无论是动物、植物还是微生物,无论是水中、空中还是陆上的生物,大自然的生命永远都生机勃勃,蕴藏着无穷无尽、妙不可言的玄机。而人们至今所领悟到和模仿的仅仅是冰山一角。从生命中获得灵感、从生命中得到启示是本课的宗旨。

1.2 仿生学与材料仿生

1.2.1 仿生概念

仿生学的概念是 1960 年 9 月在美国召开的第一次仿生学讨论会上,由 Steele J 正式提出的,其定义为:仿生学是模仿生物系统的原理来建造技术系统,或使人造技术系统具有类似于生物系统特征的科学。从英文名字可以看出仿生概念的发展。由于开始时