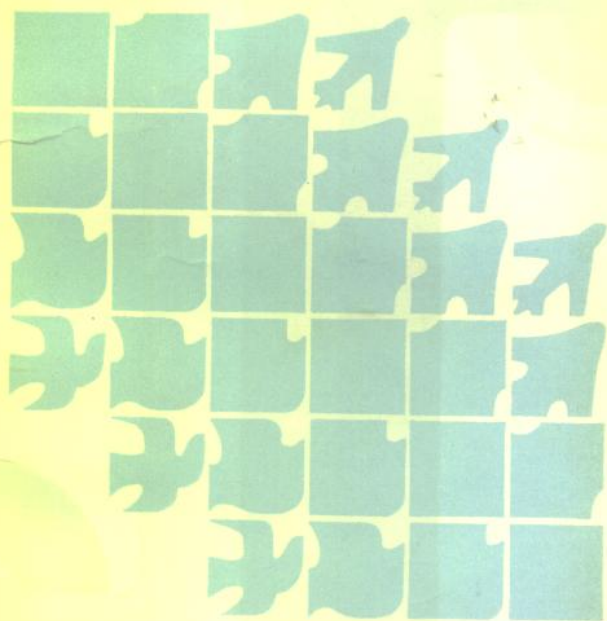


生物与仿生

马祖礼编



生物与仿生

马祖礼 编



353703



天津科学技术出版社

限 考

生物与仿生

马祖礼 编

天津科学技术出版社出版

天津市赤峰道124号

天津新华印刷二厂印刷

新华书店天津发行所发行

开本 787×1092毫米 1/32 印张 4.25 字数 88,000

一九八四年三月第一版

一九八四年三月第一次印刷

印数：1—10,400

书号：17212·8 定价：0.53元

333703

责任编辑：黄立民

编 者 的 话

仿生学是生物科学与技术科学之间的一门边缘科学，诞生于二十世纪六十年代初期，至今虽然仅有二十年的历史，但是，已以强大的生命活力渗透到各个学科领域。在现代科学技术发展的历程中，仿生学为工程技术提供了新颖、精巧的生物设计蓝图，发挥了独特的作用。尤其在近十年来，仿生学的发展非常迅速，科研成果五光十色，累累可观。在我国为实现四个现代化而努力奋斗的历史任务中，仿生学也必将发挥重要的作用。《生物与仿生》这本小册子并不涉及仿生学的具体内容，而是以仿生学在某些科学领域内，已经取得的若干科研成果为例，向读者介绍仿生学的发生发展概况。为便于读者了解各项仿生成果的由来，本文也介绍了一些与仿生成果有关的知识，例如生物原型的结构与功能、生物体内的物理、化学现象、实现功能的机理、涉及其他学科的基本知识和资料以及仿生学的设想等。这本小册子可供中学教师教学参考，也可作为大专院校生物系学生的科普读物。

仿生学的内容遍及各个学科领域，资料丰富而分散，由于笔者水平所限，在引用资料和编汇工作中若有不妥和错误之处，敬希读者批评指正。

马 祖 礼

1979.1.

目 录

一、仿生学的由来与发展	(1)
(一) 人类仿生由来已久	(1)
(二) 发人深省的对比	(3)
(三) 连接生物与技术的桥梁	(9)
(四) 仿生学的诞生	(12)
(五) 仿生学的研究方法 with 内容	(14)
二、生命的火花——生物电	(17)
(一) 生物电的发现	(17)
(二) 普遍的生物电现象	(21)
(三) 生物电源	(32)
(四) 生物电的控制	(40)
三、电子学技术与仿生	(51)
(一) 神经元的模拟	(52)
(二) 感觉器官的模拟	(58)
(三) 脑模拟与人工智能	(74)
四、化学与仿生	(85)
(一) 生物体内化学反应过程的模拟	(87)
(二) 生物膜的模拟	(93)

(三) 生物体内能量转换的模拟	(98)
五、农业生产与仿生	(103)
(一) 光电捕鱼	(103)
(二) 诱虫除害	(113)
(三) 仿牛济猪	(119)
(四) 仿菌固氮	(123)

一、仿生学的由来与发展

仿生学是模仿生物建造技术装置的科学。它是在本世纪中期才出现的一门新兴的边缘科学。仿生学研究生物体的结构和功能的工作原理，并将这些原理移植于工程技术之中，发明性能优异的仪器、装置和机器，创造新技术。从仿生学的诞生、发展到现在短短二十年的时间内，它的研究成果已累累可观。仿生学的问世开辟了独特的技术发展道路，这就是向生物界索取设计蓝图的道路，它大大地开拓了人们的眼界，显示了极大的生命力。

（一）人类仿生由来已久

自古以来，自然界就是人类各种技术思想、工程原理及重大发明的源泉。种类繁多的生物界经过长期的进化过程，使它们能适应环境的变化，从而得到生存和发展。劳动创造了人类。人类以自己直立的身躯、能劳动的双手、交流情感和思想的语言，在长期的生产实践中，促使神经系统尤其是大脑获得高度发达。因此，人类以无与伦比的能力和智慧远远超过生物界的所有类群。人类通过劳动运用聪明的才智和灵巧的双手制造工具，从而在自然界里获得更大的自由。人类的智慧不仅仅停留在观察和认识生物界，而且还运用人类所独有的思维和设计能力模仿生物，通过创造性的劳动增加自己的本领。鱼儿在水中有自由来去的本领，人们就模仿鱼

类的形体造船，以木桨仿鳍。相传早在大禹时期，我国古代劳动人民观察鱼在水中用尾巴的摇摆而游动、转弯，他们就在船尾上架置木桨。通过反复的观察、模仿和实践，逐渐改成橹和舵，增加了船的动力，掌握了使船转弯的手段。这样

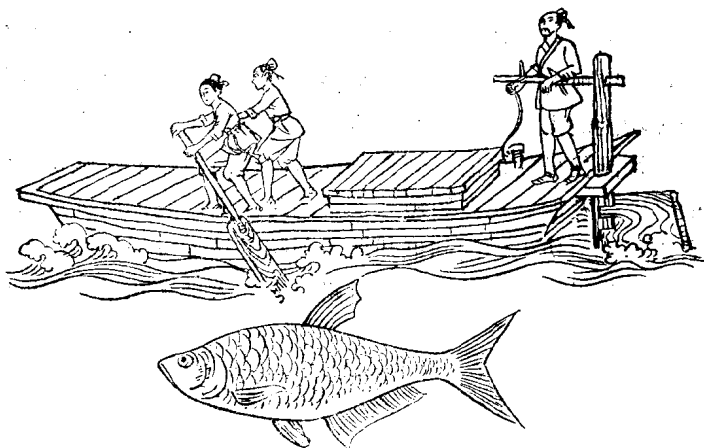


图1 桨、舵——模仿鱼的鳍、尾

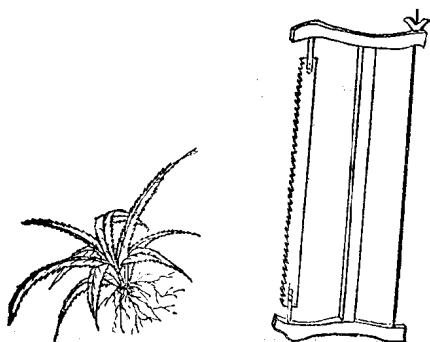


图2 茅草与木锯

即便在波涛滚滚的江河中，人们也能让船只航行自如。

鲁班是我国春秋战国时代杰出的木匠，相传木工的主要工具如刨、斧、钻、锯都是由他发明创造的。有一次鲁班上山伐树时，手指被茅草划破。他观察茅

草叶子的边缘上有许多锋利的小齿，由此受到启发制成了第一把木锯。

鸟儿展翅可在空中自由飞翔。据《韩非子》记载鲁班用竹木作鸟“成而飞之，三日不下。”然而人们更希望模制鸟儿的双翅使自己也飞翔在空中。早在四百多年前，意大利人利奥那多·达·芬奇（Leonardo da Vinci, 1452~1519）和他的助手对鸟类进行仔细的解剖，研究鸟的身体结构并认真观察鸟类的飞行。设计和制造了一架扑翼机，这是世界上第一架人造飞行器。

以上这些模仿生物结构和功能的发明与尝试，可以认为是人类仿生的前驱，也是仿生学的萌芽。

（二）发人深省的对比

人类仿生的行为虽然早有雏型，但是在二十世纪四十年代以前，人们并没有自觉地把生物作为设计思想和创造发明的源泉。科学家对于生物学的研究也只停留在描叙生物体精巧的结构和完美的功能上。而工程技术人员更多的依赖他们卓越的智慧、辛辛苦苦的努力，进行着人工发明。他们很少有意识地向生物界学习。但是，以下几个事实可以说明：人们在技术上所遇到的某些难题，生物界早在千百万年前就曾出现，而且在进化过程中已经解决了，然而人类却没有从生物界得到应有的启示。

在第一次世界大战时期。出于军事上的需要，为使舰艇在水下隐蔽航行而制造潜水艇。当工程技术人员在设计原始的潜艇时，是先石块或铅块装在潜艇上使它下沉，如果需要升至水面，就将携带的重物扔掉，使艇身回到水面来。以

后经过改进，在潜艇上采用浮箱交替充水和排水的方法来改变潜艇的重量。此后又改进成压载水舱，在水舱的上部设放气阀，下面设注水阀，当水舱灌满海水时，艇身重量增加便可潜入水中。需要紧急下潜时，还有速潜水舱，待艇身潜入水中后，再把速潜水舱内的海水排出。如果一部分压载水舱充水，另部分空着，潜艇便可处于半潜状态。潜艇要起浮时，将压缩空气通入水舱，排海水，艇身重量减轻后就可以上浮。如此优越的机械装置实现了潜艇的自由沉浮。但是后来发现鱼类的沉浮系统比人们的发明要简单的多。鱼的沉浮系统仅仅是充气的鱼鳔。鳔并不受肌肉的控制，而是依靠分泌氧气进入鳔或是重新吸收鳔内一部分氧气来调节鱼鳔中气体含量，促使鱼体自由沉浮。然而鱼类如此巧妙的沉浮系统，对于潜艇设计师的启发和帮助已经为时过迟了。

声音是人们生活中不可缺少的要素。通过语言人们交流

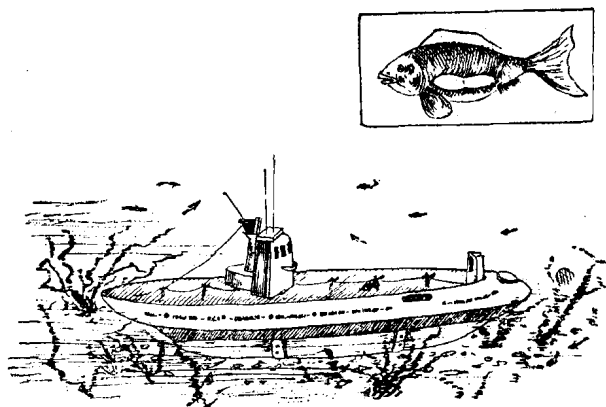


图3 潜水艇与鱼鳔的功能

思想和情感，优美的音乐使人们获得艺术的享受，工程技术人员还把声学系统应用在工业生产和军事技术中，成为颇为重要的信息之一。自从潜水艇问世之后，随之而来的就是水面的舰只如何探查潜艇的位置以防偷袭，而潜艇沉入水中后，也须准确测定敌船方位和距离以利攻击。因此，在第一次世界大战期间，在海洋上，水面与水中敌对双方的斗争采用了各种手段。海军工程师们也利用声学系统作为一个重要的侦察手段。首先采用的是水听器，也称噪音测向仪，通过听测敌舰航行中所发出的噪音来发现敌舰。因为只要周围水域中有敌舰在航行，机器与螺旋桨推进器便会发出噪音，通过水听器就能听到，能及时发现敌人。但是那时的水听器很不完善，一般只是收到本身舰只产生的噪声，要侦听敌潜艇，必须减慢舰只航行速度甚至完全停车才能分辨潜艇的噪音，这样很不利于战斗行动。不久法国物理学家郎之万 (Paul Langevin, 1872~1946) 研究成功利用超声波反射的性质来探测水下舰艇。用一个超声波发射器，向水中发出超声波后，如果遇到目标便反射回来，由接收器收到。根据接收回波的时间间隔和方位，便可测定出目标的方位和距离，这就是所谓的声纳系统。人造声纳系统的发明以及在侦察敌方潜水艇方面获得的突出成果，曾使人们为之赞叹不已。岂不知远在地球上出现人类之前，蝙蝠、海豚早已对“回声定位”声纳系统运用自如了。生物在漫长的年代里就是生活在被声音包围的自然界中，它们利用声音寻食、逃避敌害和求偶繁殖。因此，声音是生物赖以生存的一个重要信息。早在1793年意大利人斯帕兰赞尼 (Spallanzani) 发现蝙蝠能在完全黑暗中任意飞行，既能躲避障碍物也能捕食正在飞行中的昆虫，



333703

5

甚至瞎眼的蝙蝠其飞行本领也毫不逊色。但是堵塞蝙蝠的双耳后，它们在黑暗中则寸步难行了。面对这些事实，斯帕兰赞尼提出了一个使人们难以接受的结论：蝙蝠能用耳朵“看”东西。第一次世界大战结束后，1920年哈台（Hartridge）认为蝙蝠发出声音信号的频率超出人耳的听觉范围。并提出蝙蝠对目标定位的方法与第一次世界大战时郎之万所发明的用超声波回波定位的方法相同。遗憾的是，哈台的提示并未被人们重视，而且工程师们对于蝙蝠具有“回声定位”的技能是难以相信的。直到1938年采用电子测量仪器，测定人类可以听到的音频范围为16~20000周/秒，而蝙蝠发出的音频可达2万~20万周/秒。至此，完全证实蝙蝠就是以发出超声波来定位的。但是这对于早期雷达和声纳的发明已经不能有所帮助了。

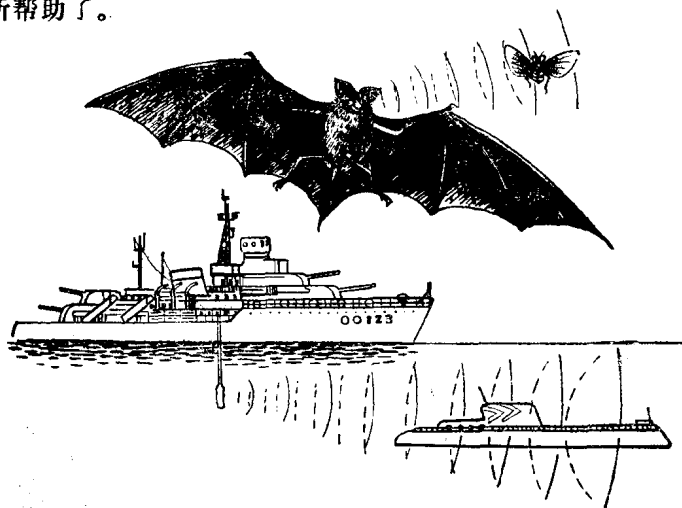


图4 人造声纳系统与蝙蝠的回声定位

另一个事例是人们对昆虫飞行为时过晚的研究。在利奥那多·达·芬奇研究鸟类飞行造出第一个飞行器的四百年之后，人们经过长期反复的实践，终于在1903年发明了飞机，使人类实现了飞上天空的宿愿。由于不断改进，二十年后人们制造的飞机不论在速度、高度和距离等几个方面都超过了鸟类，显示了人类的智慧和才能。但是在继续研制飞行更快更高的新型飞机时，设计师们又碰到了一个新的难题，就是气体动力学中的颤振现象。当飞机飞行时，机翼发生有害的振动，飞行越快，机翼的颤振越烈，甚至使机翼折断，造成飞机堕落，许多试飞的飞行员因而丧生。飞机设计师们为此花费了很大的精力研究消除有害的颤振现象，经过长时间的努力才找到解决这一难题的方法。就是在机翼前缘的远端上安放一个加重装置，这样就把有害的振动消除了。可是，昆虫早在三亿年前就飞翔在空中了，它们也毫不例外地受到颤

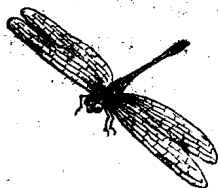
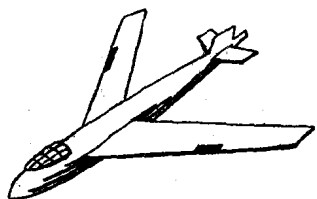


图5 昆虫的翼眼与颤振

振的威胁，经过长期的进化，昆虫早已成功地获得防止颤振的方法。生物学家在研究蜻蜓的翅膀时，发现在每个翅膀前缘的上方都有一块深色的角质加厚区——翼眼或称翅痣。如果把翼眼去掉，飞行就变得荡来荡去。实验证明正是翼眼的角质组织使蜻蜓飞行的翅膀消除了颤振的危害。这与设计师高超的发明何等相似。假如设计师们先向昆虫翅膀探取翼眼的功用，获得有益于解

决颤振的设计思想，就可以避免长期的探索和人员的牺牲了。面对蜻蜓翅膀的翼眼，飞机设计师大有相识恨晚之感！

以上这三个事例发人深省，使人们受到了很大的启发。早在地球上出现人类之前，各种生物已经在大自然中生活了亿万年，在它们为生存而斗争的长期进化过程中，获得了与大自然相适应的能力。人们在生产斗争和发展技术中遇到不少的难题，而生物界则早以人们还不十分清楚的方式完善地解决了。生物学的研究可以说明，生物在进化过程中形成的极其精确和完善的机制，使它们具备了适应内外环境变化的能力。表现在它们有经济而精巧的结构，可靠而协调的功能，最高效率地使用能量。生物界具有许多卓有成效的本领，如体内的生物合成，能量转换，信息的接受和传递，对外界的识别、导航、定向、计算和综合等。显示出许多机器所不可比拟的优越之处。生物的小巧、灵敏、快速、高效、可靠和抗干扰等特性实在令人惊叹不已。

过去，工程技术人员发展技术的道路基本上是根据当时科学技术水平提供的理论，发挥力所能及的生产条件，选择各种人造装置的优点，进行逻辑的综合，以创造和发展新工艺、新机器。但是，人们越是希望新的技术装置有完善的功效，装置的结构也就越加复杂和庞大，操作也越加困难。而且复杂的结构使组成的元件极其众多，如果少数甚至一个元件的损坏就会使整个装置停止工作，使效率和可靠性都受到很大的威胁。这些问题的产生也是如前所述在技术发展道路上是难免的。到本世纪中期，科学技术的发展和生产实践的要求，期待着可靠、灵活、高效和经济的技术设备，这就需要寻求新的系统设计原理和开辟新的技术发展途径。回顾生

物界对人们有益的启示，人们悟出一个新的努力方向。生物界长久以来所走过的道路，已经获得了一些工程技术人员的重视，他们把注意力转向生物系统，踏上模仿生物的道路。当然人类绝不会愚蠢地重踏生物进化的漫长历程，而是以科学技术为手段，发掘出生物界中蕴藏着的极其巧妙的工程技术原理，应用到为人类造福的实践之中。

（三）连接生物与技术的桥梁

自从瓦特（James Watt, 1736~1819）在1782年发明蒸汽机以后，人们在生产斗争中获得了强大的动力。在工业技术方面基本上解决了能量的转换、控制和利用等问题，从而引起了第一次工业革命，各式各样的机器如雨后春笋般的出现，工业技术的发展极大地扩大和增进了人的体能，使人们从繁重的体力劳动中解放出来。随着技术的发展，人类在蒸汽时代之后又经历了电气时代并向着自动化时代迈进。

人们从制造简单的机器发展到制造复杂的自动控制装置，积累了极其丰富的知识和宝贵的经验。人们在生产斗争和科学实验中所表现出的巨大智慧和能力发生了质的飞跃。

二十世纪四十年代电子计算机的问世，更是给人类科学技术的宝库增加了可贵的财富，它以可靠和高效的本领处理着人们手头上数以万计的各种信息，使人们从汪洋大海般的数字、信息中解放出来。使用计算机和自动装置可以使人们在繁杂的生产工序面前变得轻松和省力，它们准确、高速的控制着生产程序，使产品规格精确。但是，自动控制装置是按照人制定的固定程序进行工作的，这就使它的控制能力具有很大的局限性。自动装置对外界缺乏自动分析和进行灵活

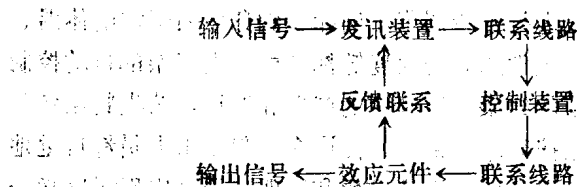
反应的能力，如果发生任何意外的情况，自动装置就要停止工作，甚至以发生事故而告终。这就是自动装置本身所具有的严重弱点，要克服这种弱点，无非是使机器各部件之间，机器与环境之间能够“通讯”。也就是使自动控制装置具有适应内外环境变化的能力。要解决这一课题，在工程技术中就要解决如何接受、转换、利用和控制信息的问题。因此，信息的利用和控制就成为工业技术发展的一个主要矛盾。如何解决这个矛盾呢？生物界给人类提供了有益的启示。

人类要从生物系统中获得启示，首先就需要研究生物和技术装置是否存在有共同的特性。1940年出现调节理论，将生物与机器在一般意义上进行对比。到1944年，一些科学家已经明确了在机器和生物体内，在通讯、自动控制与统计力学等一系列的问题上都是一致的。在这样的认识基础上，在1947年一个新的科学——控制论产生了。“控制论”（Cybernetics）是从希腊文而来，原意是“掌舵人”。按照控制论的创始人之一维纳（Norbert Wiener, 1894~1964）给予控制论的定义是：“关于在动物和机器中控制和通讯”的科学。虽然这个定义过于简单，仅仅是维纳关于控制论经典著作的副题，但它却是直接了当地把人们对生物和机器的认识联系在一起了。

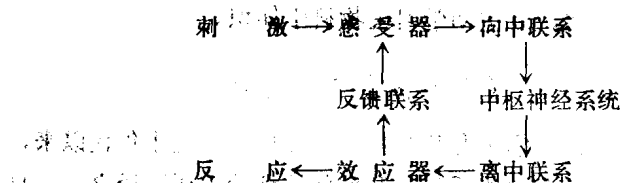
控制论的基本观点认为：动物（尤其是人）与机器（包括各种控制、通讯、计算的自动化装置）之间有一定的共性，也就是在它们具备的控制系统内有某些共同的规律。根据控制论研究表明，各种控制系统的控制过程都包含有信息的传递、变换与加工过程。为保持控制系统工作正常，必然取决于信息运行过程的正常。所谓控制系统是指由被控制的

对象及各种控制元件、部件、线路有机地结合成有一定控制功能的整体。从信息的观点来看，控制系统就是一部信息通道的网路或体系。我们不妨将机器的控制系统和生物机体的自动调节控制系统作一对比。

机器自动控制系统：



生物自动控制系统：



通过以上对比可以看出，机器与生物体内的控制系统有许多共同之处，于是人们对生物自动控制系统产生极大的兴趣，并采用物理学的、数学的甚至是技术的模型对生物系统开展进一步的研究。因此，控制论成为联系生物学与工程技术的理论基础，成为沟通构成生物系统与技术系统连接的桥梁。

生物体和机器之间确实有很明显的相似之处。这些相似性可以表现在对生物体研究的不同水平上。由简单的单细胞到复杂的器官系统（如神经系统）都存在着各种调节和自动控制的生理过程。我们可以把生物体看成是一种具有特殊能