

学校的理想装备

电子图书·学校专集

校园网上的最佳资源

二十一世纪中小生素质教育文库(55)

仿生奥秘



仿生学的概念与内容

仿生学是指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的边缘科学。仿生学研究生物体的结构、功能和工作原理，并将这些原理移植于工程技术之中，发明性能优越的仪器、装置和机器，创造新技术。从仿生学的诞生、发展，到现在短短几十年的时间内，它的研究成果已经非常可观。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蓝图的道路，它大大开阔了人们的眼界，显示了极强的生命力。

祖先对生物的模仿

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，促进了神经系统尤其是大脑获得了高度发展。因此，人类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自由。人类的智慧不仅仅停留在观察和认识生物界上，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，以本桨仿鳍。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摇动、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，即使在波涛滚滚的江河中，人们也能让船只航行自如。

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”。然而人们更希望仿制鸟儿的翅膀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。

以上这些模仿生物构造和功能的发明与尝试，可以认为是人类仿生的先驱，也是仿生学的萌芽。

从生物那儿得到的

人类仿生的行为虽然早有雏型，但是在 20 世纪 40 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述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于他们卓越的智慧，辛辛苦苦的努力，进行着人工发明。他们很少有意识向生物界学习。但是，以下几个事实可以说明：人们在技术上遇到的某些难题，生物界早在千百万年前就曾出现，而且在进化过程中就已解决了，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出潜水艇。当工程技术人员在设计原始的潜艇时，是先用石块或铅块装在潜艇上使它下沉，如果需要升至水面，就将携带的石块或铅块扔掉，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。以后又改成压载水舱，在水舱的上部设放气阀，下面设注水阀，当水舱灌满海水时，艇身重量增加使它潜入水中。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，另一部分空着，潜水艇可处于半潜状态。潜艇要起浮时，将压缩空气通入水舱排出海水，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得多，鱼的沉浮系统仅仅是充气的鱼鳔。鳔内不受肌肉的控制，而是依靠分泌氧气进入鳔内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。通过语言人们交流思想和感情，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。自从潜水艇问世以来，随之而来的就是水面的舰船如何发现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，也称噪声测向仪，通过听测敌舰航行中所发出的噪声来发现敌舰。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发出噪声，通过水听器就能听到，能及时发现敌人。但那时的水听器很不完善，一般只能收到本身舰只的噪声，要侦听敌舰，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。不久法国科学家郎之万（1872~1946）研究成功利用超声波反射的性质来探测水下舰艇。用一个超声波发生器，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及在侦察敌方潜水艇方面获得的突出成果，曾使人们为之惊叹不已。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”声纳系统应用自如了。

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种重要信息。早在1793年，意大利人斯帕兰赞尼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在飞行中的昆虫，但是堵塞蝙蝠的双耳后，它们在黑暗中就寸步难行了。面对这些事实，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。并提出蝙蝠对目标的定位方法与第一次世界大战时郎之万发明的用超声波回波定位的方法相同。遗憾的是，哈台的提示并未引起人们的重视，而工程师们对于蝙蝠具有“回声定位”的技术是难以相信的。直到1983年采用了电子测量器，测定人们可以听到的音频范围为16~20,000周/秒，而蝙蝠发出的音频可达2万~20万周/秒。至此，完完全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。

另一个事例是人们对于昆虫行为为时过晚的研究。在利奥那多·达·芬奇研究鸟类飞行造出第一个飞行器400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梦想。由于不断改进，30 年后人们制造的飞机不论在速度、高度和距离上都超过了鸟类，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飞机时，设计师又碰到了一个难题，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，造成飞机坠落，许多试飞的飞行员因而丧生。飞机设计师们为此花费了巨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，昆虫早在三亿年以前就飞翔在空中了，它们也毫不例外地受到颤振的危害，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学习翼眼的功用，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，飞机设计师大有相见恨晚之感！

以上这三个事例发人深省，也使人们受到了很大启发。早在地球上出现人类之前，各种生物已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中，获得了与大自然相适应的能力。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。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、可抗和抗干扰性实在令人惊叹不已。

生物与技术

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地出现，工业技术的发展极大地扩大和增强了人的体能，使人们从繁重的体力劳动中解脱出来。随着技术的发展，人们在蒸汽机以后又经历了电气时代并向自动化时代迈进。

20 世纪 40 年代电子计算机的问世，更是给人类科学技术的宝库增添了可贵的财富，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、高速地控制着生产程序，使产品规格精确。但是，自动控制装置是按人们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，甚至发生意外事故，这就是自动装置本身所具有的严重缺点。要克服这种缺点，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。要解决这一难题，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，首先需要研究生物和技术装置是否存在着的共同的特性。1940年出现的调节理论，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，一个新的学科——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，但它直截了当地把人们对生物和机器的认识联系在了一起。

控制论的基本观点认为，动物(尤其是人)与机器(包括各种通讯、控制、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含有信息的传递、变换与加工过程。控制系统工作的正常，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。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系统产生了极大的兴趣，并且采用物理学的、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，控制理论成为联系生物学与工程技术的理论基础，成为沟通生物系统与技术系统的桥梁。

生物体和机器之间确实有很明显的相似之处，这些相似之处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力的机器，和其它机器的不同就在于生物体还有适应外界环境和自我繁殖的能力。也可以把生物体比作一个自动化的工厂，它的各项功能都遵循着力学的定律；它的各种结构协调地进行工作；它们能对一定的信号和刺激作出定量的反应，而且能像自动控制一样，借助于专门的反馈联系组成自我控制的方式进行自我调节。例如我们身体内恒定的体温、正常的血压、正常的血糖浓度等都是肌体内复杂的自控制系统进行调节的结果。控制论的产生和发展，为生物系统与技术系统的连接架起了桥梁，使许多工程技术人员自觉地向生物系统去寻求新的设计思想和原理。于是出现了这样一个趋势，工程师为了和生物学家在共同合作的工程技术领域中获得成果，就主动学习生物科学知识。

仿生学的诞生

随着生产的需要和科学技术的发展，从50年代以来，人们已经认识到生物系统是开辟新技术的主要途径之一，自觉地把生物界作为各种技术思想、设计原理和创造发明的源泉。人们用化学、物理学、数学以及技术模型对生物系统开展着深入的研究，促进了生物学的极大发展，对生物体内功能机理的研究也取得了迅速的进展。此时模拟生物不再是引人入胜的幻想，而成了可以做到的事实。生物学家和工程师们积极合作，开始将从生物界获得的知

识用来改善旧的或创造新的工程技术设备。生物学开始跨入各行各业技术革新和技术革命的行列，而且首先在自动控制、航空、航海等军事部门取得了成功。于是生物学和工程技术学科结合在一起，互相渗透孕育出一门新生的科学——仿生学。

仿生学作为一门独立的学科，于 1960 年 9 月正式诞生。由美国空军航空局在俄亥俄州的空军基地戴通召开了第一次仿生学会议。会议讨论的中心议题是“分析生物系统所得到的概念能够用到人工制造的信息加工系统的设计上去吗？”斯梯尔为新兴的科学命名为“Bionics”，希腊文的意思代表着研究生命系统功能的科学，1963 年我国将“Bionics”译为“仿生学”。斯梯尔把仿生学定义为“模仿生物系统的原理来建造技术系统，或者使人造技术系统具有或类似于生物特征的科学”。简言之，仿生学就是模仿生物的科学。确切地说，仿生学是研究生物系统的结构、特质、功能、能量转换、信息控制等各种优异的特征，并把它们应用到技术系统，改善已有的技术工程设备，并创造出新的工艺过程、建筑构型、自动化装置等技术系统的综合性科学。从生物学的角度来说，仿生学属于“应用生物学”的一个分支；从工程技术方面来看，仿生学根据对生物系统的研究，为设计和建造新的技术设备提供了新原理、新方法和新途径。仿生学的光荣使命就是为人类提供最可靠、最灵活、最高效、最经济的接近于生物系统的技术系统，为人类造福。

仿生学的内容

仿生学是生物学、数学和工程技术学相互渗透而结合成的一门新兴的边缘科学。第一届仿生学会议为仿生学确定了一个有趣而形象的标志：一个巨大的积分符号，把解剖刀和电烙铁“积分”在一起。这个符号的含义不仅显示出仿生学的组成，而且也概括表达了仿生学的研究途径。

仿生学的任务就是要研究生物系统的优异能力及产生的原理，并把它模式化，然后应用这些原理去设计和制造新的技术设备。

仿生学的主要研究方法就是提出模型，进行模拟。其研究程序大致有以下三个阶段：

首先是对生物原型的研究。根据生产实际提出的具体问题，将研究所得的生物资料予以简化，吸收对技术要求有益的内容，取消与生产技术要求无关的因素，得到一个生物模型；第二阶段是将生物模型提供的资料进行数学分析，并使其内在的联系抽象化，用数学的语言把生物模型“翻译”成具有一定意义的数学模型；最后的阶段是采用电子的、化学的、机械的手段，根据数学模型制造出可在工程技术上进行实验的实物模型。当然在生物的模拟过程中，不仅仅是简单的仿生，更重要的是在仿生中有创新。经过实践——认识——再实践的多次重复，才能使模拟出来的东西越来越符合生产的需要。这样模拟的结果，使最终建成的机器设备将与生物原型不同，在某些方面甚至超过生物原型的能力。例如今天的飞机在许多方面都超过了鸟类的飞行能力，电子计算机在复杂的计算中要比人的解题能力迅速而可靠。

仿生学的基本研究方法使它在生物学的研究中表现出一个突出的特点，就是整体性。从仿生学的整体来看，它把生物看成是一个能与内外环境进行联系和控制的复杂系统。它的任务就是研究复杂系统内各部分之间的相互关系以及整个系统的行为和状态。生物最基本的特征就是生物的自我更新和自

我复制，它们与外界的联系是密不可分的。生物从环境中获得物质和能量，才能进行生长和繁殖；生物从环境中接受信息，不断地调整 and 综合，才能适应和进化。长期的进化过程使生物获得结构和功能的统一，局部与整体的协调与统一。仿生学要研究生物体与外界刺激（输入信息）之间的定量关系，即着重于数量关系的统一性，才能进行模拟。为达到此目的，采用任何局部的方法都不能获得满意的效果。因此，仿生学的研究方法必须着重于整体。

仿生学的研究内容是极其丰富多彩的，因为生物界本身就包含着成千上万的种类，它们具有各种优异的结构和功能供各行业来研究。自从仿生学问世以来的二十几年内，仿生学的研究得到迅速的发展，且取得了很大的成果。就其研究范围可包括电子仿生、机械仿生、建筑仿生、化学仿生等。随着现代工程技术的发展，学科分支繁多，在仿生学中相应地开展对口的技术仿生研究。例如：航海部门对水生动物运动的流体力学的研究；航天部门对鸟类、昆虫飞行的模拟、动物定位与导航研究；工程建筑对生物力学的模拟；无线电技术部门对于人神经细胞、感觉器官和神经网络的模拟；计算机技术对于脑的模拟以及人工智能的研究等。在第一届仿生学会议上发表的比较典型的课题有：“人造神经元有什么特点”、“设计生物计算机中的问题”、“用机器识别图象”、“学习的机器”等。从中可以看出以电子仿生的研究比较广泛。仿生学的研究课题多集中在以下三种生物原型的研究，即动物的感觉器官、神经元、神经系统的综合作用。以后在机械仿生和化学仿生方面的研究也随之开展起来，近些年又出现新的分支，如人体仿生学、分子仿生学和宇宙仿生学等。

总之，仿生学的研究内容，从模拟微观世界的分子仿生学到宏观的宇宙仿生学包括了更为广泛的内容。而当今的科学技术正是处于一个各种自然科学高度综合和互相交叉、渗透的新时代，仿生学通过模拟的方法把对生命的研究和实践结合起来，同时对生物学的发展也起了极大的促进作用。在其它学科的渗透和影响下，使生物科学的研究在方法上发生了根本的转变；在内容上也从描述和分析的水平向着精确和定量的方向深化。生物科学的发展又是以仿生学为渠道向各种自然科学和技术科学输送宝贵的资料和丰富的营养，加速科学的发展。因此，仿生学的科研显示出无穷的生命力，它的发展和成就将为促进世界整体科学技术的发展做出巨大的贡献。

生物界物理现象的启示

神奇的生物电

在一次自动控制技术的会议上，当一个没有手的 15 岁男孩，用假手在黑板上用粉笔写起“向会议的参加者致敬”的时候，大厅里顿时响起了雷鸣般的掌声。人们赞叹不绝，不断地向这种新颖控制技术的创造者表示热烈的祝贺。

创造者是怎样使假手能像真手一样工作的呢？这就是我们要介绍的生物电。

早在 18 世纪末叶，人们对生物机体内的生物电流，就已经有所认识。因为生物体内不同的生命活动，能产生不同形式的生物电，如人体心脏的跳动、肌肉的收缩、大脑的思维等等，所以人们就可以借助生物电来诊断各种疾病。

生物电的应用十分广泛，生物电手的应用就是其中之一。我们知道，人双手的一切动作，都是大脑发出的一种指令（即电讯号）经过成千上万条神经纤维，传递给手中相应部位的肌肉引起的一种反应。如果我们把大脑指令传到肌肉中的生物电引出来，并把这个微弱的信号加以放大，那么，这种电讯号就可以直接去操纵由机械、电气等部件组成的假手了。

国外一种假手，从肩膀到肘关节，使用了五只油压马达，手掌及手指的动作利用两只电动马达。手臂在发出动作之前，利用上半身的各肌肉电流来作为假手活动的指令。即在背脊及胸口安放相应的电极，用微型信号机来处理那里产生的电流信息，七只马达就能根据想要做的动作进行运转。这种假手的动作与真手臂大致相同，并且由于主要部分采用了硬铝及塑料，故其重量还不到 2.63 公斤。据报道，这种假手已能够做诸如转动肩膀及手臂、手掌、弯曲关节等等 27 种动作了。它能为由于交通及工伤事故而被齐肩截断手臂的残废者解决生活和工作上的许多不便。

国内在研究生物电控制假手方面，上海假肢厂的工人和上海生理研究所的科技人员，经过共同的努力，已经制造了一种重约 1.5 公斤，握力达一公斤，可以提 10 公斤的人造假手。其工作能源是由 11 节镍镉电池提供的。

人造假手的出现不仅为四肢残废的人制造了运用自如的四肢，而且由于生物电经过放大之后，可以用导线或无线电波传送到非常遥远的地方去。显然，这对于扩大人类的生产实践，将会产生具有影响力的改变。到那时，人们可以叫假手到万米深的海底去取宝，或到高炉里、矿井里去操作，甚至可以叫它到月亮上去开垦处女地。

生物电的研究，对于农业生产也具有很大的意义。我们常常见到的向日葵，它们的花朵能随着太阳的东升西落而运动；含羞草的叶子，经不起轻扰，一碰就会低眉垂着头害起羞来。这些植物界中的自然现象，都是因为生物电在起作用的缘故。

植物中的生物电，究竟是怎样产生的呢？有人曾做过如下的实验：在空气中，将一个电基放在一株植物的叶子上，另一电基放在植物的基部；结果发现两个电极之间能产生 30 毫伏左右的电位差。当将同样的一株植物放在密封的真空中时，由于植物在真空中被迫停止生命活动，所以植物基部和叶片之间的电压也就消失了。

这个实验有力地证明，生物的生命活动，是产生生物电的根源。

生物发电与通讯

老鼠是一种常见的动物，但老鼠能发电，也许你会感到惊奇。有人曾从一个活老鼠身上，获得推动一架频率为 500 千周的无线电发射机正常工作时所需的电能。

老鼠中的生物电，据说能供这种发射机维持六个月的正常工作（每天按工作八小时计算），且自身并无衰减。据测量，从老鼠身上引出的电流，其电流为 0.68A。当电压为 0.23V，负载电阻为 500 Ω 时，则老鼠最大的输出功率能达 155 μ W。

有关研究表明，动物的眼睛也能发电。当人们把一根极细的金属丝通到动物的眼睛神经细胞中，在光的作用下，对这些细胞所发出的电流放大 100 万倍，再在示波器的屏幕上进行记录时，发现这种微弱的电流，能随着光照的强度、时间等因素的变化而改变。

许多生活在海洋中的鱼类，也具有发电的本领。

有人统计过，全世界大约有五百余种具有发电能力的鱼类。鱼依靠自身的电能器官，能在水中黑暗的世界里进行导航、联络、求偶、觅食、攻击以及辨别其他鱼的性别、种类甚至年龄等等。

各种鱼的发电本领各不相同，非洲鲶鱼能产生 350V 的电荷；电鳗则能产生 500V 以上的电压；大鲰鱼产生的电流能把 50A 的电阻丝烧断。

电鲰是发电的能手。它的外形很像一把厚的团扇，背腹扁平，头胸部连在一起，尾部呈粗棒状。电鲰的一对小眼睛长在背面前面的中央，在身体的腹面有一横裂状的小口，两侧各有五个鳃孔。电鲰常栖居在太平洋、大西洋、印度洋等热带和亚热带海域的底部，行动迟钝，体长一般在两米左右。我国东南沿海一带，也有电鲰分布，但体型较小，一般都在 0.3 米以下。

电鲰生长在深水之中，怎么会发电呢？经过解剖研究，原来电鲰头胸部腹面两侧，各有一个肾脏形、蜂窝状的“发电机”，每个“发电机”大约由 600 个呈六角形的柱状管组成，而柱状管是由一块块肌肉纤维组织重叠而成的，肌肉纤维组织的一面与神经末梢相连，当电鲰的大脑神经受到刺激和兴奋时，电鲰两侧的“发电机”就能把神经脉冲变成电能而放出来。由于一块块的肌肉纤维组织，好像蓄电池中的极片一样，且因柱状管之中充满着胶状质的绝缘物质，所以电鲰放电时的电压高达 80V 左右。大鲰鱼的一个电脉冲，甚至能使六个 100w 的灯泡，像霓虹灯广告牌一样闪光。

电鳗生长在美洲中部和南部一带的河流中，特别是在亚马逊河下游和圭亚那河流域最为常见。电鳗体长可达两米，体重约 20 公斤。虽然没有背鳍，但胸鳍特别发达。电鳗是许多放电鱼类中放电能力最强的一种。它的发电器官由胸鳍上方和侧线下面的两排非常发达的纵行肌肉组织所构成。体长 50 厘米的电鳗，就能放出电压力 40 ~ 300V 的生物电。个体较大的电鳗，据说能用生物电来击毙像马那样大的动物。所以，人们在捕捉肉味鲜美的电鳗时，不得不将一些家畜赶到河中去，以消耗电鳗的电力，然后用网和手来捕捉已经精疲力尽的电鳗。

电鳗的发电器不仅能寻找食物或抵抗敌害，更耐人寻味的是电鳗能利用电能器官，进行水中通信和导航。当雄鳗鱼在接近鱼群中的雌鳗鱼时，发现它们能改变电荷的强度。

象鼻鱼也是一种能发电的鱼，多分布在非洲热带地区的河流或湖泊之中。它的嘴很长，头也特别大，约占体重的 $1/25 \sim 1/28$ ，这是任何其他低等脊椎动物所不及的。

象鼻鱼的发电器官长在尾端的两边，在安静状态时，象鼻鱼能发出低频率的电脉冲，如果有象鼻鱼在附近时，则发现它们发出的电脉冲能立即迅速地升高，达到一定程度时，双方的电脉冲又降低，逐步恢复到正常的低频状态。

象鼻鱼不仅能发电，更令人惊奇的是背上具有一个能接收电波的东西，好像雷达的天线一般。当象鼻鱼的吻部连同眼睛都钻入泥土中寻食物时，尾部的发电机就能向四周发射电脉冲。如果遇到敌害，则背部的电波接收器在接到电波的反射信号之后，就能立刻发出警告，象鼻鱼便可以逃之夭夭了。

人们利用电来进行空中通讯，是从电报开始的，至今仅有八十多年的历史；但鱼用电来进行通讯，却已有千万年的历史了。更可贵的是鱼能在水中进行通讯，这是一个了不起的本领。虽说人类现代通讯本领已很高超，可以利用无线电波与地球上任何地方进行通讯，甚至还可以与月亮建立联系，但如果要与水下 15 米深的潜水艇进行通讯，则无线电波的发射功率就一定要在几兆瓦左右，并且潜艇还不能回答信号。随着潜水深度的增加，通讯也会变得越来越困难。但生活在海洋中的某些鱼类，却具有高超的水中通信本领。如一条一斤多重的青花鱼，就能用十分微小的功率与百米之外的同伴建立联系，甚至还能将有关的信号从水中发射到空中去。

这种非凡的本领，引起了人们的极大兴趣。近代，在研究鱼类利用电进行水下通讯的基础上，已经研制了一种水下电波发射机。这种新颖的发射机，据说输出 100 毫瓦的功率时，就能与 250 米远的目标建立联系。

在研究利用生物电进行通讯的时候，生物无线电也是一个重要的研究课题。

我们知道，生物的生命活动，不仅会产生生物电，更有趣的还会向空中发射无线电波，如肌肉的活动就能产生无线电波的辐射。当人体在吸气时，胸部的肌肉就能产生辐射频率在 1504 周（有时能产生更高的频率）的无线电波。

试验还表明，人体中除头颅不能产生无线电波的辐射之外，其它任何地方的肌肉均能产生，更奇妙的是某些小肌肉，发射的电讯号特别显著，如人手中的小指肌肉，发射的无线电信号最为强烈。

生物中的光学现象

光是太阳辐射到地球上的一种能量。人类视觉能看到的光，其波长一般在 $7,7000 \sim 400,000\text{A}$ ($1\text{A}=1 \times 10^{-8}$ 厘米 = 0.0001 微米) 之间。虽然这段光波的光，也能产生热量，但没有红外线产生的热量大。红外线的波长在 0.1 毫米 ~ 7700 埃之间，紫外线的波长在 4000 ~ 3000 埃之间，它们都位于人类的视觉范围之外，但动物（特别是昆虫）的视觉范围比较广，常常能延伸到短光波之中。

生物在亿万年的进化过程中，由于受到太阳光长期的直接作用，所以生物的生命活动和光有着密切的关系，即光对于加速或降低生物的新陈代谢和习性，都会产生很大的影响。

大多数鸟类在春季进行营巢、产蛋、育雏等等，那是因为这个季节是一年中日照逐渐增长的美好时光。许多鸟类从秋季就开始停育、换羽、育肥、流浪或迁徙，那是因为这个季节，是一年中日照逐渐缩短的时期。

在一般情况下，大多数鸟类必须在光照时间为 14~16 小时的白天下进行繁殖。为了改变这种情况，人们在鸟类停育的冬季，每天晚上给它们补充光照，使白天的时间延长到 14~15 小时，则有趣地发现已经停止的生殖腺又能重新活动。

根据这个特点，人们常采用补充光照的方法来提高家禽的产蛋量。如在 14~15 小时的光照条件下，夏德林种鹅的产蛋率能提高 70%；土伦兹品种鹅的产蛋率能提高 20%；罗马尼亚种鹅的产蛋率能提高 25.9%；普通信鸽的产蛋率能提高 64.6%；火鸡和朱鸡的产蛋率能提高 40%；普通家鸡的产蛋率能提高 25.3~77.6%。

为什么采用补充光照的办法能提高家禽的产蛋量呢？经过研究发现，家禽生蛋与它的脑垂体有很大关系。当脑垂体分泌催卵激素时，就能促进家禽的卵巢生蛋。实践证明，要使脑垂体分泌这种催卵激素，就一定要有比较长的光照时间，所以一般家禽在春季的生蛋量要比冬季多。

不同波长的光线，对生物的生命活动也会产生一定的影响。人们又用家禽做试验，结果发现受到红光照射的家禽，它的产蛋量增加很少，有的甚至没有增加。

自从科学工作者揭开了家禽产蛋量与光照之间的秘密之后，人们一方面在选择鸡种和饲料上面下功夫；另一方面利用光对家禽生理活动的影响，加以精心的饲养和管理，结果使家禽的产蛋量大幅度提高。有些良种母鸡，已经达到每年下蛋 360~370 个的新水平。

光对于鱼类的生活习性，也能产生明显的影响。人们一方面观察在自然光线照射下，鱼类在早晨和晚上的活动情况；另一方面研究了在用人工光线的照射下，鱼类的反应情况，结果发现随着光线颜色的不同，被照射的鱼类（特别是鳗鱼、鲭鱼等）会表现出不同的反应。

当光的颜色从波长较短的青色光变换到波长较长的红色光时，发现光的波长愈短，鱼的活动愈活泼；相反，当光的波长愈长，则鱼的行动愈迟钝。在蓝色光和绿色光的照射下，鱼可以做大范围的活动；在黄色光的照射下，鱼群开始集结到照射灯的附近，行动变得不活跃；在红色光线照射下，鱼群密集在一起，行动大为迟钝。

人们又用虾做实验，结果发现，当用红灯照射时，它们会一动不动地浮到水面上来。

鱼类分布在海洋中各个不同的水层。人们一般习惯地把生活在海洋较底层的鱼类，称为底层鱼类，如我国的大黄鱼、小黄鱼、鲳鱼等；而把生活在接近海面或海面以下的鱼，称为中上层鱼类，如我国的马鲛鱼、鲈鱼（俗称油筒鱼）、太平洋鲱鱼（俗称青鱼、青条鱼等）。中上层的鱼类一般都具有敏锐的视觉，发达的侧线以及适应迅速游动的体型，所以捕捉比较困难。

自从人们发现光对鱼的生活习性能产生影响之后，近年来世界各国在充分利用底层鱼类资源的同时，积极发展“灯光围网渔业”。这是一种先进的捕鱼方法，利用灯光把鱼诱集起来，然后用围网进行捕捉。

昆虫的生长发育和生活习性，与光也有密切的关系。生活在苍郁的林中，植物的茎（或根）中、地下或大多数仓库中的昆虫，由于它们习惯于弱光，

所以若增强其生活环境的光度，则它们的活动就会受到抑制。而许多有翅的昆虫就具有很强的趋光性，它们在夜间飞行时，都是利用光线辨别方向的。利用这个特性，人们常常用橙、黄、绿、蓝、紫和紫外光（因为昆虫看不见红光，所以一般不采用红光）来诱捕大量有害昆虫，侦察虫害发生的时期和数量。

人们曾用不同波长、强度和照射周期的光做试验，结果有趣地发现，家蚕的幼虫在白色光线照射下（红色光次之）生长最快，起眠也比较整齐；当用绿色的光线照射时，发现家蚕的结茧很大；用短波光照射能促进蚕的生长，而长光照射能延迟蚕的生长。

光的颜色，除了对昆虫的生长发育产生影响之外，还能在一定程度上改变其生活的习性。如用黄色的光线照射蚂蚁时，发现它们在受到刺激后能立即去搬移蚁卵；当用绿色的光照射竹节虫时，发现它们受到刺激后能立刻变色。

植物和光的关系，可以追溯到远古的时代。在白垩纪中叶以前，根据当时植物的特征进行判断，地球上还没有直射的阳光，那时地球的表面是一片水汽雾和密密层层的云海。但自从白垩纪中叶起，地球上开始有直射的阳光后，这种浑浊的局面才逐步澄清，大地也渐渐变得暖和起来了。

环境的改变，对于植物的进化起着决定性的作用。一种完全新颖的植物类型——被子植物，就是在这种形势下诞生的。它一经出现，就非常迅速地在地球大陆上排挤裸子植物而大量地进行繁殖。

对于植物来说，光的作用是一种非常有用的刺激剂。它不仅对于植物茎的大小、形状、生长方向、生长程度以及茎上芽和分枝的产生能起到很大的影响，而且能以直接的光压和辐射能，为植物的生长创造最适宜的条件，促使植物两种最基本的生命活动过程——同化作用（光合作用）与蒸腾作用（水分的吸收和蒸发）顺利地进行。植物生命和光的关系，还表现在其他的许多方面。如植物的开花时节，与光照的关系就很密切：

为什么鲜艳华丽的桃花，必须在春回大地、草长莺飞的清明时节开放？

为什么雅致素淡的荷花和灿烂多娇的兰花，必须在炎热的夏季开放？

为什么馥郁芬芳的桂花和瑰丽多姿的菊花，必须在秋高气爽的中秋佳节开放？

为什么清香贞洁的梅花，“必须在已是悬崖百丈冰”的数九寒天开放？

这种情形的出现除了和温度、水、肥料等因素有密切的关系之外，有关的研究表明，在很大的程度上，光照的周期、光照的颜色对开花的时节，能起到决定性的作用。

响尾蛇的启迪

任何一个化学反应过程，都因为参加反应的物质中，原子最外层电子的运动状态改变而伴随有温度的变化。这个过程中温度的变化可能是负值（吸收热量），也可能是正值（放出热量）。温度变化是物质分子热运动的表现形式。分子运动愈快，物质温度就越高。生物界的热——动物的体温，主要是由生物能（生命物质的化学能）提供的。这里，我们既不讨论由体内分子热运动所表现出来的能量，也不讨论生命过程中化学能的变化，而主要讨论生物体热力学和生物对热信息的感觉器两个问题。

在炎热的夏天，南方的水牛喜欢到池塘浸泡；鸡会张开嘴不停地喘息；山羊躲藏在树荫下面……这都是因为它们没有汗腺来调节体温。但人们除了寻找和制造凉爽的条件之外，还可以通过汗腺来进行体温调节。

在研究活机体与其环境间的热相互作用的时候，可以沿用工程系统热力学的某些概念。然而活机体的热力学与化学过程的热力学差别很大，而活机体与热机系统的热力学差别就更大。之所以产生这种差别，是因为被看作热力学系统的活机体不断地发生热的可逆反应；而非生命热系统中若发生产热，总可以看作是处于平衡的可逆反应。

有些动物的体温，是随环境温度的变化而变化的，这类动物叫冷血动物；有些动物的体温不大受环境的影响，体温保持相对恒定，叫恒温动物。体温是决定活体内化学反应速率的一个主要因素，体温升高一度时，基础代谢强度增加 7%。大多数高等动物的体温是恒定的，其调节体温不是控制产热，而是调节散热机能。恒温动物的散热主要是以红外线辐射的形式进行，又因为红外线辐射携带大量的信息，于是一些动物（特别是夜行动物）进化出了能接收红外线信息的器官，例如蛇就是利用红外探测器在夜间捕食小鸟的。下面我们就顺便介绍一下动物的体外感受器。

人们发现，蟒蛇科的蛇的唇口和响尾蛇亚科的蛇的颊窝红外感觉器的效率超过了它的视觉，其方向性和选择性比人造红外线探测器精确很多。因此，瞎眼睛的蛇也能根据红外线辐射来追踪和捕获猎物。蛇还能在来自太阳、热石头等干扰场中，识别活的动物，对死鼠则不予理会。可见，生物界的红外装置抗干扰和识别能力是很高的。

感受红外辐射的还有深水乌贼。深水乌贼的热视眼分布在乌贼尾部的整个下表面。当热视眼接收到红外线信息后，引发视觉神经产生脉冲，脉冲信号被送入神经中枢加工、处理。此外，蚂蚁、蚊子也对红外辐射很敏感。研究生物界的红外探测器，探索生物界利用红外感受器接收、加工处理红外线信息的秘密，将有助于研究、设计和制造新型的红外装置，增强人类认识和改造自然的能力。

生物界的磁学现象

磁场对生物的影响，即磁场的生物效应引起人们的注意还为期不久。据测验，人在 2000 奥斯特的磁场中停留 15 分钟，对身体还不至于造成危害，如突然靠近加速器磁场时，会立刻失去辨别方向的能力，稍等片刻后，方能适应。当人们突然离开加速器时，又将产生刚进入磁场时的同样反应。强磁场对某些生物的作用更加显著。如果将果蝇蛹放在 22,000 奥 12 毫米和 9000 奥 1 毫米的非均匀磁场中，几分钟后果蝇便会死去。约经过 10 分钟磁处理的果蝇，有 50% 不能变为成虫，成为成虫的那一部分也活不到一小时，并且有 5~10% 的成虫呈现出翅和体形畸变。

磁场对生命的活动会产生哪些影响呢？我们不妨先做一个试验。在一个潮湿的（温度在 18~25℃）玻璃暗室内，安置一个特定的架子，上边放有过滤纸，过滤纸的两端分别与放有水的容器相连，以便使过滤纸团能均匀地吸取水分。过滤纸的上面，放有两类干燥的、没有发过芽的玉米种子，一类玉米种子的胚根朝着地球的北磁极。这样经过一些时间，玉米的种子就能慢慢地开始发芽。有趣的是，胚根朝向地球南磁极的那类玉米种子，要比胚根朝

向地球北磁极的那类玉米种子早几昼夜发芽，并且还发现前者的根和茎，生长都比较粗壮，而后者的种子所发的芽，常常会产生弯向南磁极的形状。

为了探索其中的奥妙，有人还精心设计了一种试验设备。让种子处在强度高达 4000 高斯的永久磁铁中，结果有趣地发现种子的幼根仿佛在避开强磁场的影响，而偏向磁场较弱的一边。

这是什么原因呢？科学工作者经过了几年的研究发现，原来植物的有机体，是具有一定的磁场和极性的，并且有机体的磁场是不能对称的。一般说来，负极往往比正极强，所以植物的种子在黑暗中发芽时，不管种子的胚芽朝那一个方向，而新芽根部是朝向南方的。

经过研究，科学工作者还发现弱磁场不但能促进细胞的分裂，而且也能促进细胞的生长，所以受恒定弱磁场刺激的植物，要比未受弱磁场刺激的根部扎得深一些，而强磁场却与此相反，它能起到阻碍植物深扎根的作用。

但任何事物并不是绝对的，有关的试验表明，当种子处在磁场中不同的位置时，如果磁场能加强它的负极，则种子的发芽就比较迅速和粗壮；相反，如果磁场能加强它的正极，则种子的发育不仅变得迟缓，并且容易患病死亡。科学工作者曾经在堪察加半岛进行这样的实验，在种植落叶松的时候，不是按通常那样彼此之间是相互平行的，而是径向种植的，各行的树朝南、东南和西南方向排列，结果有趣地发现，生长最好的是以扇形磁场东部取向的那些树苗。根据这个科研成果，在栽种落叶松时，人们采用了一种粘性纸带，在纸带上放置已按预定方向取向的种子来进行播种。

磁场对动物的生命活动，也有一定的影响。人们曾经用鱼类、老鼠、白蚁、蜗牛、果蝇和蚯蚓等动物做实验，结果发现鼠类在很强的均匀磁场中，生长缓慢而且短命；在不均匀的磁场内，其死亡率会增加；在高达 3000 ~ 4000 高斯的稳定磁场下，能使它性欲周期消失；在经过永久磁铁磁场作用的老鼠，对于通常情况可以致死的辐射剂量，具有较强的抵抗能力。

人们很早就发现白蚁常常按照磁场的方向来休息。有人曾经故意把它按东西方向横放着，然后拿到磁场非常强的人造磁场中，发现它仍会按照新的磁场方向挪动身体的位置。

蜗牛的运动也是一样。当外界磁场强度在 0.1 ~ 0.2 高斯左右时，它辨别方向的能力最为灵敏；当外界磁场强度增大时，分辨方向的能力就会很快消失。

一般的蠕虫，当外界磁场超过 10 高斯时，其辨别方向的能力也会消失。

地球诞生以来，地球磁场不但改变方向，而且经常倒转。螃蟹是一种对磁场十分敏感的动物，面对着磁场不断变化的情况，它不得不采取一种折衷的办法，以不变应万变，既不向前走也不向后走，而是横着走。地球的倒转对这种老资格的动物来说，就没有什么影响了。

生物界化学现象的启示

奇特的生物酶

生物的活细胞，是天然化工厂。生物在进化过程中，获得了能有效地合成生命运动所必需的一切有机物的惊人本领。

生物的活细胞，是一个“反应堆”。在细胞中，可同时发生 1500~2000 个化学反应，而且完成这些反应的速度极快。例如，由缬氨酸开始，合成一条由 150 个氨基酸组成的肽链仅需一分钟。尤其惊人的是，只需在常温、常压下就能完成这些反应。相比之下，现代的化学合成技术是何等的“笨拙”，不但必须在几百、上千度的高温下和几百个大气压才能反应，而且最多只能同时进行几十个反应。

二者的差别为什么会这么大？最根本的原因就在于，在活细胞的化学反应中，起着支配和调节作用的是生物酶。

据估计，一个活细胞中往往含有几千种生物酶，它们的催化效率比化学工业上应用的无机催化剂要高得多，而且有很强的选择性，一种酶仅仅催化一种特定的反应，并且往往只是一个反应，这也大大加强了生物酶的催化作用。因此，人们正在努力寻找把酶反应应用到化学工业和化学分析中去的有效方法。但是，生物活细胞中酶的含量极少，要提取和纯化它们是十分困难的。因此，要在化学工业和化学分析中广泛采用生物酶去催化化学反应，几乎是不可能的；而人工模拟合成生物酶，才是可行的途径。不过，生物酶本身是一种蛋白质，是由一连串氨基酸组成的。其化学结构远比无机催化剂复杂，因而要用非生物化学方法严格地模拟酶也相当困难。经过进一步研究，发现在酶的蛋白质链中，不是所有的氨基酸分子都具有同样重要的作用，起催化剂作用的只是其中的“活性点”的那一部分。因此，研究酶的活性点的结构是模拟生物酶的一个重要途径。

对生物固态酶的生物化学研究和化学模拟，是生物酶研究的一个例子。氮肥是植物生长发育必不可少的养料，氨是人工化学合成的氮肥。如果按每亩施用 20 公斤氨计算，我国的 16 亿亩耕地每年就需要 3200 万吨氨。而目前全世界氨的产量不过 4000 万吨，远远不能满足人类的需要。因此，寻找合成氨的简易方法，自然就成了举世瞩目的研究课题。

高等植物不能直接利用空气中的氮气作养料。但豆科植物根上的一种微生物——根瘤菌，则可以通过体内固态酶的作用，从空气中提取氮，从水中取出氢，并将二者合成氨，当然这是在常温、常压下以极高的速率进行的。

目前在石油工业、化学反应工业的生产过程中都广泛采用了催化剂。催化剂能够使一些化学反应的速度加快，而它们本身在化学反应结束后却没有什么损耗，也不发生化学变化，这种能使化学反应加快的本领是催化剂的一个特点，称为“活性”。催化剂的活性越高，被它催化的化学反应速度就越快。催化剂的活性是个很复杂的问题，许多原因现在还不很清楚。目前比较普遍的看法是，在有催化剂的化学反应中，当参加反应的不同分子在互相进行化学反应之前，催化剂就先和反应分子接触，发生一些特殊的物理和化学作用，使这些反应分子的化学结构发生了有利于化学变化的反应。因此，催化剂也是积极参加反应的，但是在反应之后还能从反应中解脱出来，仍然保持原来的性质。例如，在室温条件下，把氢气和氧气按 2:1 的比例放入玻璃

瓶内密封，即使经过很长时间，也只有少量的氢气和氧气发生反应而成水。但是，如果在瓶内加入少量的白金粉末，绝大部分的氢气和氧气几乎立即即合成水，而白金粉末的数量和质量都没有发生改变。催化剂的第二个特点是对所催化的化学反应方向有选择性，使化学反应沿着某一方向进行。

生物膜与化学分离技术

生物膜是指包围整个细胞的外膜。对于真核生物还包括处于细胞内具有各种特定功能的细胞器的膜，如细胞核膜、线粒体膜、肉质网膜等等，称为细胞内膜。生物膜是生物细胞的重要组成成分，它具有复杂的细微结构和各种独特的功能。对于生物膜的研究以及构成生命现象本质的许多问题，如能量转换、物质转换、代谢的调节控制、细胞识别、信息传递等都有密切的关系。

真核细胞的膜约占细胞干重的 70 ~ 50%，它不仅仅是包围细胞质的口袋，或者区分细胞内各细胞器的隔膜；而且作为一种结构为细胞提供了细胞空间内的支持骨架，使酶和其它的物质有秩序地排列在细胞内外的“骨架”上，因而保证了细胞内有条不紊高效率地进行成千上百的各种反应，保证了生命活动的正常进行。

生物膜的构造是非常复杂的，它的成分主要是蛋白质和脂类物质，此外还有少量的糖、核酸和水。其中蛋白质约占 60 ~ 75%，脂类占 25 ~ 40%，糖类占 5% 左右。其中脂类物质规定膜的形态，蛋白质则赋予膜的特殊功能。蛋白质与脂类的比例在不同的细胞膜是不同的，对于功能复杂的膜，其蛋白质的含量也比较高。

构成膜内脂类的主要部分是磷脂，它是一个两性分子。每一个磷脂分子由极性部分和非极性部分组成。生物膜中的磷脂呈双分子平行排列，极性部分排列于双层的外表面，非极性部分朝着膜的内部，这就形成了膜的基本结构。蛋白质和酶等生物大分子或者主要结合在膜的表面上或者可以由膜的外侧伸入膜的中部，有的甚至可以从膜的一侧穿透两层磷脂分子而暴露于膜的另一侧外。在暴露于膜外侧的蛋白质分子上有时还带有糖类物质。这些蛋白质、酶和糖类物质在生物膜的位置上并非固定不变，而是处于一种不断运动的状态。膜的各项生理功能主要是由蛋白质、酶、糖类决定的。

目前对于生物基本结构的了解，被认为是具有疏水性的膜蛋白与不连续的脂双层的镶嵌结构。对于水溶性的物质如金属离子、糖类、氨基酸等透过膜是一个“屏障”。但是活着的正常细胞，水溶性的小分子物质仍然可以穿透细胞膜，比如碘在细胞内的积累浓度比海水中高千倍以上。人体内在颈部气管的两旁有一种内分泌腺，称为甲状腺，甲状腺的腺泡细胞对于碘也具有很强的选择性摄取、浓缩和运转的能力。

细胞对某种物质所具有的浓缩功能，使某物质在细胞内的含量远远超过细胞外的数量，这种物质被输送到膜内是逆着浓度差进行的。这类输送过程称为“主动输送”，而且要消耗代谢能量。如果在主动输送过程中停止能量的供应，主动输送就变成“促进输送”，使膜内高浓度的物质顺着浓度差的方向将物质输送至细胞外，直至被输送的物质在细胞内外的浓度相等为止。

总之，膜的选择性输送功能，主要是由膜上的载体蛋白的作用实现的，载体的作用使膜提高了渗透率，且有高度的选择性。具有选择性的通透性是

生物膜的一个特性，使细胞能接受或拒绝、保留（浓缩）或排出某种物质。人们如果能模拟生物膜的输送功能，创造出选择性强、高效的分离膜，不仅具有重要的理论意义，而且在化学工业中也有很大的实用价值。目前在模拟生物膜的“促进输送”和“主动输送”的功能方面取得了一些进展，利用液膜技术达到了对气体及溶液中离子的选择性分离的目的。

液膜分离技术是从 70 年代初发展起来的，它以模拟生物膜的“促进输送”为基础，是一种新方法、新技术。在液膜中加入适当的载体分子后，大大提高了液膜的渗透率和选择性，展示了良好的应用前景。

人工模拟生物膜输送物质的功能，把载体应用于化学分离，由此而产生的一种新的分离技术——液膜分离技术，为化学工业实现高速、专一分离目的开辟了一条新途径。人们可以根据不同的分离对象而设计不同的在液膜中进行的平衡反应。可以预料液膜分离技术在气体分离、海洋资源的开发和应用中将起到巨大作用。而对于生物膜化学模拟工作的广泛开展也将推动对生物膜的深入研究。

生物发光

谈起生物发光，人们首先就会想到萤火虫。

在炎夏之夜的野外，人们经常看到点点流动的淡黄色或淡绿色闪光。有时是单独一个，忽而又会成双成对。这便是从萤火虫腹部末端的发光器发出的“求偶信号”。雄萤先发出寻找配偶的闪光信号，“有意”的雌萤便发出回答闪光，凭着这种奇特的“闪光”语言，它们便在夜幕中默默幽会了。

萤火虫的发光器，由发光细胞层和反光细胞层构成。发光细胞含有荧光素和荧光酶，前者是光的产生者，后者是发光的催化剂。在荧光酶的作用下，荧光素在细胞内的水分参与下，与进入的氧化合而发生出荧光。荧光素每次发光后，因失去能量而“熄灭”，此时萤火虫体内的一种高能化合物——三磷酸腺苷（ATP）便使荧光素重新产生，继续发光。

在海面上，有时会发现银色的光带，有时又会涌出一团火球，那就是海洋生物发的光。海洋是发光生物云集的地方，它们像夜空中闪烁的点点繁星，给黑沉沉的海洋深处染上了瑰丽的色彩。海绵、珊瑚、海洋蠕虫、水母、甲壳类、蛤类、乌贼以及单细胞海生生物——海藻都能发光。

有一种称作“钓鱼者”的安康，又叫蛤蟆鱼，它生活在几十米至几千米深的海底，几乎完全失去了游泳能力。安康背鳍的第一棘特化为长长的丝状“钓杆”，顶端有一个像盏小灯笼的膨大的发光器。游过的鱼类常把在水里摆动着的这盏小灯误认为是食物，上去就是一口，这时，安康就把大嘴一张，周围的水突然变成一股下陷流，随即又把“钓杆”往口中一甩，安康就坐食美餐了。

生物发光是“化学发光”的一种特殊形式。不同的生物，发光的形式也不尽相同，一般说来有三种：

一种是细胞内发光。这种发光过程是在生物体内专门的发光器官里进行的。萤火虫的发光属于此种。

另外一种是在细胞外发光。即生物把荧光素和荧光酶排出体外而引起的发光现象。如海洋里的一种小动物——海萤，就是这样发光的。

还有一种是“共栖细菌发光”，安康的发光属于此种。安康的那盏小灯

笼里窝藏着一些发光细菌，它们靠安康供给养料，安康以它们为钓饵。二者互相依存，形成一种特殊的共栖关系。

与人工光源相比，生物发光有着许多优点。电光源在发光过程中，灯丝一般要烧到 3000 的高温，90% 以上的电能变成热能浪费掉了，因此叫“热光”。如普通的电灯泡（白炽灯）的发光效率不到 10%，荧光灯也不过 25%。而生物发出的是一种不放出热量的“冷光”，发光效率是 100%，可将化学能全部转变成光能。

许多研究者正在深入探讨生物发光的机理，以求制造新型高效人工冷光源。人类大规模使用冷光源照明的日子，已经为时不远了。到那时，室内涂有特殊发光物质的墙壁，白天接收阳光照射储存能量，夜晚便可“大放光明”！

诱人的光合作用

象是大陆上现存的最大动物，高度达 5 米左右，鳁鲸是海洋中现存的最大动物，长约 30 米（与久已绝种的恐龙相比，仅仅有几米之差），但它们还不是生物界中的“最大者”。世界上现存的最高大的树木——澳洲的桉树，高度竟达 155 米，加里福尼亚的“世界爷”（由于树枝光秃秃的像猛犸的大牙齿一样，所以又称“猛犸树”，植物学家也常称它巨杉）可长到 142 米高，树木下部的直径也可达 46 米。

桉树的种子常常是有棱角的、棕褐色的细小颗粒，两棱角之间的最远距离也不过 1~2 毫米，但这么小的种子，仅仅经过七年左右的时间，就能长成一棵高达 19 米、粗为 1.5 米的大树了。这些寸步难行的植物，它们是依靠什么东西生长出来的呢？大概是从土壤中吸收而来的吧！过去人们一直是这样猜想的。

在 17 世纪，有人曾为此做了一个著名的试验：把一枝小柳树插在盆中，每天浇浇水，五年以后，惊奇地发现虽然柳树的体重从原来的五磅增加到 169 磅，但盆中的泥土只减少了 0.02 公斤。这个试验有力地证明，植物生长所需要的大部分东西，不是从土壤中吸取的。但究竟是从哪里来的呢？人们又想到了水。

由于水是植物原生质的重要组成部分，原生质内部含水量的多少，会直接影响到原生质的状态，如凝胶、溶胶、团聚体的相互转换等，严重的缺水往往会使胶体凝固而停止生命的活动，所以水在植物的生长中的确占有很重要的位置。植物在生长中所消耗的水，是很惊人的。据统计，一株向日葵在整个夏天要消耗 250 公斤左右的水，水稻每长成一公斤干物质，就要消耗 600~700 公斤的水，甚至更多。

但人们又经过了近 200 年的研究，发现植物生长所需要的物质，光有水还是不行的。科学工作者曾仔细地进行过观察，发现植物的叶子是水分蒸发十分强烈的地方，因一般植物都具有很多的叶子，植物与空气的接触面积也非常大。如一棵中等大小的桦树，它大约有 20 万片叶子，如果按每片叶子平均面积为六平方厘米计算，则 20 万片叶子的总面积为 1200 平方米，这个数值相当于二亩土地的面积。由于这些原因，所以根吸收进来的水分，大约有 99.8% 通过叶子被蒸发掉了。

既然这样，那么在植物的生长过程中，究竟是什么东西在起作用呢？经过深入的研究，人们从分析空气的成分和有机物质的化学结构中知道，原来

植物的生长和发育，除了水的作用之外，空气和阳光起着巨大的作用。计算表明，植物制造出一克糖，不仅需要吸收相当于 2500 升大气所包含的二氧化碳，而且还需要相当于四千卡的太阳能。

但阳光、大气和水，这三者在植物的生长过程中又是怎样起作用的呢？这就是植物所独有的一种神秘的本领——光合作用。

光合作用，一般来说，是植物利用二氧化碳和水，在阳光的照射下，通过叶绿素吸收太阳的辐射能，把无机物变成碳水化合物的过程。这是奇妙的反应过程，为了探索它的秘密，近年来，人们对它进行了规模巨大的研究活动。

1954 年，人们将植物叶子中的叶绿素提取出来，并加入含有放射性同位素的二氧化碳，再放在阳光下照射，结果有趣地发现，叶绿素能生成放射性碳水化合物，并放出氧气。

叶绿素的这个本领是从哪里来的呢？为了揭开秘密，人们又用显微镜对植物的叶子进行了仔细的观察和分析，结果发现植物叶子中组成叶肉的细胞内存在有大量的绿色“小球”（即叶绿体或叶绿球）。这些小球由基粒和间质两部分组成，它的外部还具有一层半透性的薄膜。基粒是叶绿体中许多圆碟形的非常微小的颗粒，它埋在间质之中。介质则主要由蛋白质所组成。在含有大量色素的基粒之中，还排列着一层层、一束束有次序的叶绿素分子。当光线照射到这些叶绿素分子时，它们就会利用日光的能量，把水和二氧化碳制成糖，糖就可以合成我们食用的淀粉，经过转变之后，也可以合成脂肪和蛋白质，在这个转化的基础上，也可以进一步合成维生素以及橡胶等重要原料。

一般植物的叶绿素，都是呈绿色的，为什么不呈其它的颜色呢？有关的研究表明，原来光敏色素与植物的生活有很大的关系。科学工作者曾用不同波长的光进行试验，结果发现光谱中的红色光对于植物的发芽、生长、开花、结果能产生良好的促进作用，而绿色叶绿素又是吸收红光的能手。由于这个原因，在高等植物中，虽然其种类极其繁多，但都有一个共同的特点，即叶子都是呈绿色的。

在光合作用的过程中，光的影响是很大的。光能通过叶绿体吸收后，能迅速地能量传给水分子，使水在光的照射下发生分解，在分解过程中不仅放出氧，同时还形成质子和电子。由叶绿素激发出来的电子，它们能像爬山一样，爬到一个高能的水平，然后通过许多传递体回到原来的水平，在电子的流动过程中，进行光合作用的两种最基本的东西也就形成了，电能变成了化学能。

人们发现许多不能食用的植物叶子不仅含有可以食用的蛋白质、脂肪、淀粉、胡萝卜素（人食用之后，在人体内可以转变成多种维生素）和抗血酸等物质。而且这些物质的含量，常常比种籽和块茎还要多，所以人们大胆地设想从叶子中直接提取可供食用的蛋白质等物质。但由于叶子一般含有大量的纤维素，可供食用的物质常常被包在由纤维素所组成的细胞壁里边，人们直接食用这些叶子，一般无法消化和吸收叶子中可供食用的物质，所以，科学工作者提出了一套从叶子中提取可供食用物质的工艺过程：植物的叶子经过压碎、打浆、压榨、加热、过滤和干燥等步骤之后，叶子的细胞壁就会被打破，可供食用的物质就可以从纤维素中分离出来。

据报导，利用这种加工方法的一种名叫“机械牛”的提炼机器，使用同

量的草料，“机械牛”所形成的蛋白质，可以十倍于以肉和奶的形式所提供的蛋白质的数量。

一种可以用来制造片状、海绵状或口香糖状的人造肉的工业用挤压植物蛋白设备也已经问世了。虽然机器的产品在广泛性、多样性等方面还存在着一些问题，但它诞生的意义是深远的。因为它不仅可以利用自然界中任何植物的叶子作为原料，来大量生产纯粹的蛋白质，为人类的食物提供了一个新方向，而且它们对于人类的生活和工作，也将产生革命性的影响。

为了解决人在宇宙飞行的诸多问题，除了对宇宙飞船提出一系列的要求之外，对于人在漫长的征途中所需要的食物、水、氧气的供应，以及人在生理作用下排出的水汽、二氧化碳等废物的处理方面，还必须采取一定的措施。

目前人们常采用压缩的或液态的氧气来保证供应宇宙飞行员在呼吸时对氧所需要的数量和压力。对于飞行员在呼吸过程中所产生的二氧化碳，一般是利用化学吸收剂——锂、钾、氢氧化合物等物质来进行排除。但这并不是最好的办法，如果人们要到很远的星球上去做客，这种办法肯定会遇到很大的困难。

怎样来解决这个问题呢？人们在经过许多试验后发现，寄生绿藻在得到二氧化碳及适当的光线之后，放出来的氧气常常要比一般植物多。计算表明，2.3 公斤的寄生藻在一小时内就可放出足够人在一小时内所需要的氧气量。如果考虑到寄生藻在光合作用时，还能吸收二氧化碳的话，那人类在远征宇宙中寄生藻的价值就更高了。

光合作用是地球上影响最大、与人类关系最为密切的一种反应过程。它不仅为地球上所有植物的生长提供了条件，而且也是人类和许多动物生存所需物质的唯一来源。

由于大部分陆地为绿色植物所覆盖，即便是海洋，从光合作用的观点来看，也并不是不毛之地，因为在深达 20~50 米或更深的海水中，往往存在着大量的、只有在显微镜下才能看到的单细胞藻类。这些在一公顷面积内可达 3~4 吨重的单细胞藻类，和绿色植物一样，在光的作用下，每年也能将大量的二氧化碳中的碳还原而形成有机物质。所以人们根据陆地植物和水生植物的生长数字，曾进行过粗略而保守的估计：假定一年中每公顷陆生植物，由于光合作用而固定 1.2 吨碳，水生植物由于光合作用而固定 3.75 吨碳，再加上它们用于呼吸作用的 15% 的碳，则一年内植物在光合作用过程中，固定碳的总数量可达：陆生植物约 200 亿吨，水生植物约 1550 亿吨，两者加起来可达 1750 亿吨。

据这个总数，就可以推算出地球上的植物，每年在光合作用的过程中，要形成大约 4000 亿吨左右的有机物质，这个非常巨大的数值，就是地球上规模及影响最大的物质循环——碳的循环。

目前地球大气中氧的含量仅为 1.5×10^{15} 吨，所以，植物在光的作用下，可以担负起这样的一个重任：用 3000 年左右的时间，把地球上大气中的氧更换一次。这就是地球上另一个重要的物质循环过程——氧的循环。

光合作用的丰功还远非如此，它对其他的物质循环，也能起到很大的推进作用。

光合作用的研究具有重要的意义。从现实的情况来看，植物光合作用，是大气中氧的来源，氧不仅是人和动物的生存所不可缺少的东西，而且也是目前工业中的一种重要的助燃剂。植物的光合作用，为人类提供了无法计算

的工业原料。如各种纤维、木材、橡胶、造纸的原料、造酒精的原料等等。植物的光合作用，也是人类目前所利用的能量的基本来源。因为迄今为止，在国民经济的各个部门和日常生活中，人们所需能量的 95%，都是从过去的或现在的光合作用的产物中取得的。植物的光合作用，也是人类目前所利用的一切食品的根本来源，这些植物的收获物，大约有 90 ~ 95% 是由植物在光合作用的过程中形成的。

生物化学反应的运用

人们曾把草藤栽在绝对纯净的蒸馏水中，除了加入少量的钙盐作为养料之外，植物的生长几乎不与外界发生物质交换，但经过一个多月的时间之后，发现草藤中的磷元素比原来减少了，而钾元素却增加了十分之一左右。

这是什么缘故呢？这种能将一种元素转化为另一种元素的奇妙本领，常常使近代的科学家们感到惊奇，因为迄今为止，科学工作者只能利用原子反应堆或回旋加速器等复杂的设备，才能使一种元素转化为另一种元素。但植物却不同，它们能在常温常压下，轻而易举地完成这项艰巨的工作。

非凡的化学本领还表现在其他的许多方面，如非生命物质向生命物质转换的过程。绿色植物就是一个天然的有机化学工厂，它们能吸收外界的无机物质，并把无机物质转化为有机物质，制造出各种供人和动物食用的果实、香料和药物，或燃料、染料等。如甘蔗和甜菜里，就含有大量的糖，除此之外，一些植物还具有能合成蛋白质的本领。

机体最基本的功能——新陈代谢，它能不断地产生新的细胞和组织，以取代业已衰老无用的那些东西。在这整个过程中，生物的活细胞就具有合成生命活动所必需的一切有机物质的非凡本领。号称人体化工厂和仓库的肝脏，它不仅是机体内三大营养物质——碳水化合物、蛋白质和脂肪的制造者，而且还具有解毒、生成维生素 A、调节水和盐的代谢、贮藏血液等功能。

小小的肝脏具有这样巨大的功能，研究表明，除了它在构造上的复杂性和特殊性之外，在机体内还有一整套非常经济、有效的化学合成本领。

有一个有趣的故事。在某个牧场里，由于年景不佳，牧草大多长得矮小枯黄，但奇怪的是有一小块牧草却长得十分茂盛，远远看去，就像沙漠中的绿洲一样。什么原因呢？经过仔细分析，原来这块绿洲的附近，有一个铜矿工厂，许多抄近路走的工人，常常从这里走过，工人皮靴下沾着许多铜矿粉，也就大量地留在这个地方，于是这里就长出了绿茵茵的一片牧草。这个事实清楚地告诉我们，微量元素在生物的生长过程中，能起到“维生素”的作用。

研究表明，生物体中仅仅有占两万分之一的微量元素，常常与生物体内各种主要酶的活动有极为密切的关系，而各种酶又是机体基本正常活动的支持者，所以说，如果酶的组成部分发生变化，生物体内的正常活动就会失调，进而会引起各种疾病。

微量元素与人体的构造有密切的关系。

如果某些地区由于水分或土壤中缺少碘，则当地的许多居民就会患上一种“粗脖子”病。在过去，人们常把这种现象和霍乱、伤寒、猩红热等疾病联系在一起，当作传染病看待。随着人们对微量元素的逐步认识，这个谜终于揭开了。给病人服用一些食盐并加上几千分之一的碘化钾，就可以很快战胜这种疾病了。

称碘为“大哥”的溴，对人体和动物机体中的血液、脑和肾脏的工作，起着很大的作用。如果它的含量减少，则人体和动物的神经系统就会出现故障。

钴、锰和铜等元素，也是人体中非常重要的一些微量元素。

食盐中的金属部分——钠，是探索神经记忆奥妙的关键部分。

研究还表明，由于生物体内各种机体具有不同的构造和功能，所以机体中各部分微量元素的含量，也不完全一致。例如在动物的有机体中，锂主要集中在肺里，镍主要集中在胰腺里，铜主要集中在脑子里，钡主要集中在眼睛的视网膜里，锡主要集中在舌头的粘膜里……

血液由于是机体各部分营养物质的来源，所以里面含有三十多种微量元素。因为肝脏是血液的制造者之一，研究测定，肝脏里面含有更多的微量元素，它几乎“蕴藏”着门捷列夫周期表中的所有元素。

生物体是一个天然的、规模巨大的“化学工厂”。这个天然的“化学工厂”里面存在着无穷无尽的奥妙，等待着我们去发掘和利用，这就是仿生学在化学领域中面临着的一个艰巨任务。但由于任务面广、量大，且非常艰巨，所以对于化学仿生，目前研究得比较多的，仅局限在以下几个方面：

第一方面，是利用人工的方法，按照天然物质的结构形式，合成许多重要的物质，如生物碱、维生素、激素和抗生素、蛋白质，甚至核酸片段。或者对天然物质的部分结构加以改造，合成更有生物活性的物质，如按照某些蛾类性引诱剂的结构，合成一种可以消灭害虫的农药。

第二个方面是借用个别生化反应的机制，来改进人工合成的技术。如在新陈代谢过程中起重要作用的氢可的松。虽说人工可合成这种物质，已有很多年的历史了，但步骤繁多，可一些微生物活细胞却能轻而易举地完成这项任务。

第三方面是借用整个生物合成的路线来扩大人工合成的物质。如目前得到广泛应用的人工橡胶，可以用来加速食用饲料酵母生长的全合成脱硫生物素，以及能耐受 4000 高温、性能无与伦比的树脂等等。

第四方面是酶的模拟。酶的应用，我国最早，可以追溯到远古的年代。酶在公元前 22 世纪的夏禹时代，就已经用于酿酒。约在战国以前，就已经利用淀粉酶水解来制造饴糖。利用酶来控制疾病，在我国也很普遍，如中药里的陈曲，就是一种非常重要的药剂，特别是在治疗胃病时常常用到它。

酶也叫酵素，是构成机体细胞与组织的一种特殊蛋白质，分子量很大，遇到 60~70 的温度时就会失去活性。它也是生物合成中用的蛋白质催化剂。它和化学工业中应用的无机催化剂相比，具有高效专一、条件温和、不促进新的反应、在反应过程中也不会被消耗等等的特点。

向生物界学习——仿生机械学

仿生机械学的内容

如果把传统的机械称之为一般机械的话，仿生机械应该是指添加有人类智能的一类机械。在物理和机械机能方面，一般机械要比人类的能力要强许多，但在智能方面却比人类要低劣得多。因此，若把人——机结合起来，就有可能使一般机械进化为仿生机械。从这一角度出发，可以认为仿生机械应该是既具有像生物的运动器官一样精密的条件，又具有优异的智能系统，可以进行巧妙的控制，执行复杂的动作。

仿生机械学是以力学或机械学作为基础的，综合生物学、医学及工程学的一门边缘学科，它既把工程技术应用于医学、生物学，又把医学、生物学的知识应用于工程技术。它包含着对生物现象进行力学研究，对生物的运动、动作进行工程分析，并把这些成果根据社会的要求付之实用化。

从习惯上说，可把仿生机械学的各个研究动向归纳如下：

(1) 生物材料力学和机械力学。以骨或软组织（肌肉、皮肤等）作为对象，通过模型实验方法，测定其应力、变形特性，求出力的分布规律。还可根据骨骼、肌肉系统力学的研究，对骨和肌肉的相互作用等进行分析。

另外，生物的形态研究也是一大热门。因为生物的形态经过亿万年的变化，往往已形成最佳结构，如人体骨骼系统具有最少材料、最大强度的构造形态，可以通过最优论的观点来学习模拟建造工程结构系统。

(2) 生物流体力学。主要涉及生物的循环系统，关于血液动力学等的研究已有很长的历史，但仍有许许多多的问题尚未解决，特别是因为它的研究与心血管疾病关系十分密切，已成为一门备受关注的学科。

(3) 生物运动学。生物的运动十分复杂，因为它与骨骼和肌肉的力学现象、感觉反馈及中枢控制牵连在一起。

虽然各种生物的运动或人体各种器官的运动测定与分析都是重要的基础研究，但在仿生机械学中，目前特别重视人体上肢运动及步行姿态的测定与分析，因为人体上肢运动机能非常复杂，而下肢运动分析对动力学研究十分典型。这对康复工程的研究也有很大的帮助。

(4) 生物运动能量学。生物的形态是最优的，同样，节约能量消耗量也是生物的基本原理。从运动能量消耗最优性的特点对生物体的运动形态、结构和功能等进行分析、研究，特别是对有关能量的传递与变换的研究，是很有意义的。

(5) 康复工程学。包括如动力假肢、电动轮椅、病残者用环境控制系统等。它涉及许多学科和技术，比如对于动力假肢，只有在解决了材料、能源、控制方式、信号反馈与精密机械等各种问题之后才能完成，而且这些装置还要作为一种人——机系统进行评价、试用，走向实用化的道路是非常艰难和曲折的。

(6) 机器人的工程学。是把生物学的知识应用于工程领域的典型范例，其目的一是省力；二是在宇宙、海洋、原子能生产、灾害现场等异常环境中帮助和代替人类进行作业。机器人不仅要有移动功能的人造手足，而且还要有感觉反馈功能及人工智能。目前研究热点为人造手、步行机械、三维物体的声音识别等。

来自生物形态的灵感

前面我们提到过，经过了亿万年的进化，生物的形态是最优的。形形色色的生物结构中，有许多巧妙最佳利用力学原理的实例，让我们从静力学的角度出发，来观察一下生物形体结构对人类工程设计产生的影响。

自然界有许多高大的树木，其挺直的树干不但支撑着本身的重量，而且还能抵抗大风及强烈的地震。这除了得益于它的粗大树干外，还靠其庞大根系的支持。一些巨大的建筑物便模仿大树的形态来进行设计，把高楼大厦建立在牢固可靠的地基上。

植物的果实担负着延续种族的任务，亿万年的进化使其果实多呈圆形。圆的外形使它们在较小的空间占有最大的体积来存贮营养，同时使它们对外界的压力如风力等有较大的抵抗力。如花生、核桃等还有着坚硬的外壳，可以保护里面相对娇嫩的果仁。同样地，动物也具有对自然力的适应性，如蛋壳、乌龟壳和贝壳等，都巧妙利用了一定的力学原理。如果你握住一个鸡蛋，即使加力挤压，也很难把它弄破。原来蛋壳的拱形结构与其表面的弹性膜一起构成了预应力结构，在工程上称为薄壳结构。

自然界中巧妙的薄壳结构具有各种不同形状的弯曲表面，不仅外形美观，还能够承受相当大的压力。在建筑工程上，人们已广泛采用这种结构，如大楼的圆形屋顶、模仿贝类制造的商场顶盖等。

动物界中，辛勤的蜜蜂被称为昆虫世界里的建筑工程师。它们用蜂蜡建筑极规则的等边六角形蜂巢，无论从美观和实用角度来考虑，都是十分完美的。它不仅以最少的材料获得了最大的利用空间，而且还以单薄的结构获得了最大的强度。

在蜂巢的启发下，人们仿制出了建筑上用的蜂窝结构材料，具有重量轻、强度和刚度大、绝热和隔音性能良好的优点。同时这一结构的应用，已远远超出建筑界，它已应用于飞机的机翼，宇宙航空的火箭，甚至于我们日常的现代化生活家具中。

生物形态与运动

现代的各种交通工具，如汽车、飞机、舰船等，均需要一定的工作条件，若在崇山峻岭或沼泽中则无法工作。但自然界中有各种各样的动物，在长期残酷的生存斗争中，它们的运动器官和体形都进化得特别适合在某种恶劣环境下运动，并有着惊人的速度。

昆虫是动物界中跳跃的能手，许多昆虫的后腿特别发达，跳跃的本领异常高超。

就目前研究所知，叩头虫和蚤类为动物界跳跃的冠亚军获得者，它们的跳跃高度一般为其体长的几十倍，而且无须助跑，就会产生极高的加速度。

而集跑、跳、飞于一体的全能冠军，则非蝗虫莫属。它有着异常灵活、机动的运动能力，给农作物带来巨大灾害。但若抛开这一点，单独研究其运动形态，则会给我们以很大的启迪。如果研究出了它的运动奥秘，则对目前飞机的改进有很大的促进意义，倘若离开了跑道，喷气式巨型飞机是无法起飞的，但蝗虫则完全用不着这些。

动物界中的跳跃能手还有羚羊和袋鼠，这在非洲及澳大利亚的大草原上是非常著名的。带轮的汽车在沙漠上行走时会异常困难，但羚羊和袋鼠却是如鱼得水。它们是依靠其强有力的后肢在沙漠上跳跃前进的，现已研制出一种“跳跃机”，在坎坷不平的田野或沙漠地区均可通行无阻。它没有轮子，是靠四条腿有节奏的相互协调的起落来前进的。

但是世界上还有许多地方，即使你拥有强壮有力的腿，也是无法行进的，如南北极的茫茫雪原，杂草丛生的泥泞的沼泽地区等。漫步在南极茫茫雪原的绅士——企鹅，给了人类以极大的启示。它们在紧急情况时，可以以 30 公里的时速飞跑，这是因为经过两千多万年的进化，企鹅的运动器官已变得非常适宜于雪地运行。它只要扑倒在地，把肚子贴在雪的表面上，蹬动双脚滑雪，便可飞速向前。受它的启发，人们已研制出一种越野汽车，可在雪地与泥泞地带快速前进，速度可达 50 公里/小时。

人类在水上航行的历史十分悠久，但活动能力却非常有限，远远不如人类在空中飞行和陆地上行走所取得的成就。许许多多鱼类的航速可轻而易举地超过目前世界上最先进的舰艇。其原因也是来自于大自然无所不在的进化改革，是亿万年来鱼儿为了适应水中生活，便于追逐食物和逃避敌害的进化结果。

首先，鱼类的航行速度得益于其理想的流线型体形。这种体形使得它们受到摩擦阻力和形状阻力的共同作用尽可能地减小。另外人们还发现，鱼在水中运动时，由于尾部的摆动，产生一种弯曲波，使鱼的运动速度大为提高。另外，有些鱼的身体表面还附有一种粘液，这种粘液也能降低鱼在水中运动的摩擦阻力。

目前，有许多新型船只按照鲸和海豚的体形轮廓及其身体各部比例而建造的，据称航速大为提高。

另外，最新的研究成果表明，海豚之所以游得快，不仅仅是因为其流线型体形，还由于其特殊的皮肤构造。

大家知道，物体在水中运动时受到的阻力的大小，与流经运动物体表面的水的流动形式有关，若水接触的是钢铁等坚硬物质的表面，则由于水流产生混乱现象，水的阻力会随之增加；若水接触的是柔软且具有极微细凹凸面的物体表面，则由于物体表面本身具有吸收和消除产生水流混乱的现象，所以水的阻力会下降。

海豚的皮肤可分为三层。第一层是光滑柔软的表皮层；第二层是白色的真皮层，它生有无数的乳头状、中空的突起物，且伸向黑色的表皮里面；第三层是很厚的脂肪层，很有弹性。由于这种构造，使海豚在水中游泳时，皮肤能顺从水的压力而波动，阻力小，摩擦力也小，其航速就快。人们模仿海豚的皮肤构造，用橡胶制成人造海豚皮——片流膜，装在潜水艇上，使湍流减少了 50%，大大提高了潜水艇航行的速度。

随着航空知识和对飞行生物有关知识的增加，人们在长期的飞行实践中，对飞机的机身、机翼和发动机进行了不断的改进，并取得了较高水平。目前超音速飞机的时速已达到三千六百多公里，它已经接近声音传播速度的三倍；军用歼击机已能飞到 30,000 米以上的高空，爬升的速度也能达到 200 米/秒；军用轰炸机的航程可达 12,000 公里以上。飞机载重能力也有了较大提高，大型运输机虽然自重已达 250 吨以上，还可以运载 80 多吨物资。

尽管如此，动物在千万年的自然淘汰和进化过程中所掌握的飞行本领，

仍值得人类学习和借鉴。

现代飞机的起飞和降落都需要很长的跑道，即使是直升机也要像篮球场一样大小的空地，作为起飞和降落的基础。但飞行动物均不需任何空地和跑道，能在刹那间腾空而起远走高飞。

目前飞机的燃料消耗非常大，一架“波音 747”飞机在运输 50 吨货物时，要消耗 100 吨轻油，是所载货物重量的两倍。但鸟类在长途飞行中却能充分利用空气的浮力，有时滑翔，有时振翅飞行，非常节省动力。如果按照鸟类动力消耗的情况来计算，目前的轻便飞机在飞行 32 公里之后仅需 0.5 升的汽油，但实际上要消耗四升。

因此，对飞行生物飞行本领的研究还需要仿生学家做出进一步的努力，从它们身上可以发现一些尚未被人类掌握的空气动力学规律，这对于我们研制及改进飞行器，是非常有益的。

人体的启示

对人体生物电的研究

生物电学是研究生物和人体的电学特性——生物电活动规律的科学。生物电学研究是深入认识人体生理活动规律和病理、药理机制的基础之一，同时也为医学的临床诊断和治疗不断研究出新的方法和技术。

对人体和生物电活动的研究已有很长历史。当前，在各种学科协作配合下，一方面对生物电产生机制和活动规律的研究已深入到生物大分子的水平；另一方面，在临床医学应用上正发展着更多的新技术和新仪器。

人体电活动现象及其微观来源

人体要维持正常的生命活动，就需要在体内及与周围环境不断进行物质的交换、能量的转化及信息的传递，这一切过程都离不开生物电活动。举一个例子，一个路上的行人，看到一辆汽车迎面驶来，就急忙躲避，这一简单动作就包含了一系列复杂的生物电活动。首先，由汽车反射的光线通过眼球进入视网膜，光引起了视细胞上蛋白质分子构象变化，把光能转换成电能，使视细胞膜发生周期性的同位变化，形成可传播的电信号——动作电位。经过视觉神经把汽车的形状、位置、运动状态等各种信息输入到中枢神经，在大脑中经过亿万个细胞的电活动，对所输入的信息进行分析、综合、判断，作出需要躲避的决定。然后，把动作指令以发放序列动作电位的方式经运动神经传送到腿部，通过神经——肌肉接头，由动作电位引起肌纤维的收缩运动，并使许多肌肉发生协调动作，从而实现了躲避汽车的宏观行动。

人体内充满了电荷，但大部分不能像金属中的自由电子那样在导体中快速运动，而是以离子、离子基因和电偶极子的形式存在。例如，组成蛋白质的 20 种氨基酸中，有 13 种氨基酸在水中能产生离子基因或表现出电偶极子特性，遗传物质 DNA 大分子也存在离子基因和偶极子。正是靠着这些电的相互作用，才能使生物大分子保持一定的空间构象，行使特殊的生命功能。例如，遗传密码的复制、生物大分子的合成、新陈代谢过程中酶和底物的诱导——契合作用等，都依赖于离子基因和偶极子的电的相互作用。目前，对这种相互作用的具体细节和规律尚了解不多。

在一些生命活动中，存在着瞬时的电子输运过程。例如，人体细胞内合成 ATP 以储存能量的过程中，出现电子沿着分子链传输的现象。在外界能量（如辐射）作用和体内能量转化过程中，都能瞬时产生自由电子和质子（氢离子），它们在水溶液和大分子之间运动，完成某些功能或损害正常的生命活动。

各种无机离子如 K^+ 、 Na^+ 、 Ca^{++} 、 Mg^{++} 、 Cu^{++} 、 Fe^{++} 等，在人体内大量存在，参与各种各样的生命活动。它们有的被束缚于一些生物大分子上，成为大分子的活性中心。还有许多种离子分散在体液、血液和细胞内、外液中，它们一方面保持着人体碱度的平衡，保证细胞有正常的生存环境，同时执行着调节生命活动的使命。另外 K^+ 、 Na^+ 、 Ca^{++} 等离子是心脏、神经系统和骨骼肌、平滑肌等组织和器官电活动的基础，由于这些离子在细胞膜内外分布不平衡，导致细胞膜两侧的正、负电荷不相等，使膜呈现出外正内

负的电位差。在各种刺激作用下，膜对离子的通透性会发生瞬时变化，使不同的离子发生跨膜运输，由于运输的时间、数量和方向不同，造成细胞膜内外电位差发生脉冲式的变化，即产生动作电位。

人体内的水分子利用其电偶极子的特性，影响着许多生物大分子的结构和功能，例如，蛋白质和酶在水溶液中，通过与水分子的电的和其他类型的力的相互作用，形成特定的空间构象，表现出专一的生物活性，一旦脱水，原来的空间构象被破坏而变成了“死”物质。水也和溶液中的离子发生电的相互作用，使离子外包围着若干层的水分子，称水合作用。这些离子直接参与某种生命活动时，有的需要这些水分子同时存在，有的则需要摆脱掉水分子的电的影响。

综上所述，人体各种电特性和电活动的来源，主要是由生物大分子、离子、水和少量瞬态的自由电子的电学特性及其运动产生的，对它们的特性和功能的研究，是当前有关学科的重要前沿课题。

人体器官电活动图

由兴奋性细胞组成的人体组织和器官，如脑、心脏、骨骼肌和平滑肌、视网膜等，在生命活动中，由于细胞动作电位不断地发生和传播从而形成复杂的电流回路和电场分布。我们可以在这些组织和器官所在部位的体表测量出一定的电位变化，为了解该组织和器官的生理和病理提供重要的信息。下面分别说明一些组织和器官电活动图产生的原理、测量方法及在临床医学上的应用。

心脏有节奏的收缩扩张，受位于右心房的特殊肌细胞的自发兴奋的电信号控制，即窦房结以大约 72 次/秒的频率进行自发专极化活动，所产生的动作电位通过神经传导到两个心房，使心房肌细胞专极化引起心房收缩把血液注入心室；接着动作电位传播到房室结，由希式束和蒲肯野纤维把动作电位送到两个心室，使心室肌专极化发生收缩运动，推动血液进入体循环和肺循环，并按此顺序周而复始。同时，窦房结的起搏频率还受植物神经系统的调控，根据身体内和外部的刺激作出反应，使起搏频率加快或减慢。

1876 年玛瑞 (Marey) 最早发现心脏收缩时伴有电反应，这种电反应的复杂形式不同于骨骼肌电反应形式，引起了大家的注意。心脏在跳动时甚至在皮肤表面上也能产生 1~2 毫伏的电压。1903 年爱因索文 (Einthoven) 发明了弦线电流计，促进了心肌动作电位的深入研究。借助弦线电流计可以记录整体内心脏电活动，并在临床上迅速获得广泛的应用。爱因索文为测定心脏动作电流确定了三种标准导程：即为右手——左手；为右手——左脚；为左手——左脚。

三种导程记录出的心脏电活动由许多波组成，按各波先后出现的顺序分别命各为 P 波、Q 波、R 波、S 波、T 波。这一系列的电位变化称为心电图 (缩写为 ECG)。其中 P 波代表左、右心房肌兴奋产生和体表电位变化，由于兴奋中窦房结向心房各处扩布时电势方向不同，互相抵消甚多，故波形小而圆钝。

P~R 间期或 P~Q 间期代表心房开始兴奋到心室开始兴奋所需时间间隔，一般约为 0.12~0.2 秒左右。QRS 波群代表左、右心室肌兴奋传布过程中的体表电位变化，波群的时程代表肌兴奋传布所需的时间，约为 0.06~0.1 秒。在兴奋由心房传到房室结再经房室束下传的一段时间内，心

电图记录不到电位变化，只有当室间隔左侧开始专极化并向其右和上方传布时，可记录到 Q 波。随后，兴奋继续向心尖部分传布，并从心室壁内膜向外膜传布，对应的电势向量由心房指向心尖，可记录到向上的高 R 波。最后兴奋传至左心室后侧底部与室间隔底部时，电势向量指向心底，记录到向下的 S 波。

S~T 段正常时接近一等电位线，这段时间反映心室各部分均处于兴奋状态。S~T 段与等电位线的偏移称损伤电位，是心肌受损伤的反映。T 波反映心室复极化过程的体表电位变化，T 波一般向上这一事实反映了心室先兴奋的部位后复极化，而后兴奋的部位先复极化。

为适应临床上对心脏疾患的诊断和心脏功能的监护、遥测，近年来已发展了许多成套的心电监测自动化仪器设备。关于心电图异常的各种心脏疾患的关系，临床医生已积累了十分丰富的诊断经验和资料。

肌肉的一个运动单位包括来自脑干或脊髓的单个分枝的神经元和 25~2000 个肌纤维。神经元通过运动终极的肌肉细胞连接，当神经元把脑或脊髓发出的动作电位传到肌细胞后，使肌细胞专极化并产生收缩。用同轴针形电极插入皮下，可测量单个运动单位的电活动，若用面电极放在皮肤上，测得的是多个运动单位的电活动。当肌肉放松时，肌电图上只有人体或仪器的干扰和噪音，肌肉轻度用力时，肌电波是分立的；肌肉强直收缩时，由于参与活动的运动单位多，频率增高，各波形互相干扰，不再能分辨单个肌电波。

除记录自发肌电活动外，用电刺激肌肉运动单位也可得到肌电图。其优点是：刺激时间确定，所有肌纤维几乎能同时起动。也可电刺激传感神经，将信息传入中枢神经，再通过观察肌肉的反射反映来研究反射系统的功能。

肌电图 (EMG) 是临床神经生理学检查的重要方法之一，在神经、内科、骨科、职业病诊断和运动医学等方面有广泛应用。

脑包括大脑、小脑和脑干。大脑两个半球表面的一层结构叫大脑皮质，是人类进行思维活动的物质基础。大脑皮质是灰质，由神经元组成，这些神经元分别集中形成各种神经中枢。例如听、视、语言、感觉等神经中枢，神经中枢的基本活动形式是反射活动。脑电波 (缩写为 EEG) 是神经中枢细胞在反射活动中有节律的交变放电，是神经细胞电活动的综合。

在大脑皮质中产生的电位要经过脑脊液、脑膜、头盖骨、皮下组织等传到头皮表面。在头皮表面放置电板，可探查大量脑细胞电活动形成的电位或电位差随时间的变化。

关于大脑皮层上电活动的发现，起始于 1875 年俄国人达尼里夫斯基，他用声音刺激狗的听觉器官时，首次观察到狗的大脑皮层上出现生物电流。同年美国人卡通也发现暴露的兔脑上能产生电变化。1924 年德国人伯格用两根白金针刺入精神病患者的头皮并与颅骨相触，记录到了人类的首例脑电图。到 30 年代后期，脑电图技术开始应用于临床，记录方法也不断改进。将电极置于头皮之上便可记录出脑电图。

在脑电图中可记录到几种自发脑电波形，按频率范围可将它们分类如下：

中慢波 4~7 赫

波 8~13 赫

快波 13 赫以上

各种波都可在皮层的不同区域引出，但不同区域波幅的大小有差别。

波在人清醒、安静并闭眼时出现，其波幅随时间周期性地变化，睁眼后波立即消失。人困倦可测到波，睡眠时可记录到波。一般认为，快波是皮层处于特殊紧张活动状态时主要脑活动的表现，慢波是睡眠状态脑活动的表现。

大脑的结构和功能十分复杂，对脑电波与各种脑细胞电活动的明确对应关系目前所知不多。因此，为了给基础研究和临床诊断提供更多的信息和依据，近年来国内外已广泛开展了脑电波信号分析和信息提取的研究。这种研究以信号处理的方法原理为依据，利用计算机为工具，设计出各种程序进行分析、处理和运算，以期得出有价值的结果。

人体生物磁的利用

相对于生物电学，生物磁的研究是近代才开始的，尽管人们熟知电与磁的孪生关系，而且预言生物磁信号肯定是存在的，但是直到1963年才由锡拉丘兹大学的鲍列和麦克菲第一次从人体上探测到小磁场。可见，生物电信号的首次记录（1875年）与生物磁信号的首次记录相比，后者落后，主要是由于生物磁信号极其微弱，而且往往深深地埋藏在环境磁噪音之中，测量仪器的分辨率长期达不到要求，随着科学技术的逐渐发展，问题才逐步得到解决。迄今探测到的生物磁场有心磁场、肺磁场、神经磁场、肝磁场、肌磁场、脑磁场等。

生物磁场的来源

生物磁场的来源主要有：

（1）由天然生物电流产生的磁场。人体中小到细胞、大到器官和系统，总是伴随着生物电流，运动的电荷便产生了磁场。从这个意义上来说，凡是有生物电活动的地方，就必定会同时产生生物磁场，如心磁场、脑磁场、肌磁场等均属于这一类。

（2）由生物材料产生的感应场。组成生物体组织的材料具有一定磁性，它们在地磁场及其它外磁场的作用下便产生了感应场。肝、脾等所呈现出来的磁场就属于这一类。

（3）由侵入人体内部的强磁性物质产生的剩余磁场。在含有铁磁性物质粉尘下作业的工人，呼吸道和肺部、食道和肠胃系统往往被污染。这些侵入体内的粉尘在外界磁场作用下被磁化，从而产生剩余磁场。肺磁场、腹部磁场均属于这一类。

生物磁场一般都是很微弱的，其中最强的肺磁场其强度也只有 $10^{-11} \sim 10^{-8}$ 特斯拉数量级；心磁场弱一些，其强度约为 10^{-10} 特斯拉数量级；自发脑磁场更弱，约为 10^{-12} 特斯拉数量级；最弱的是诱发脑磁场和视网膜磁场，其强度为 10^{-13} 特斯拉数量级。然而，周围环境磁干扰和噪声比这些要大得多，如地磁场强度约为 0.5×10^{-4} 特斯拉数量级左右；现代城市交流磁噪声高达 $10^{-8} \sim 10^{-6}$ 特斯拉数量级。若距离像机床、电磁设备、电网或活动车辆较近，则磁噪声会更强。

生物磁场及其医学应用

1. 心磁场

心脏的心房和心室肌肉的周期性收缩和舒张伴随着复杂的交变生物电流，由此而产生了心磁场。上面提到 1963 年首次测得人体心磁场，其强度为 10^{-10} 特斯拉。其随时间的变化曲线称为心磁图（MCG）。心磁图与心电图在时间变量与波峰值上有相似之处。测量心磁图时需要将磁探头放在心脏位置的胸前，随着位置的变化记录所得 MCG 各成分亦有所不同。

心磁图与心电图相比有一些明显的优点。首先，测心磁图时不必使用电极就可测得生物组织的内源性电流，这是在身体表面直接安放电极所不能做到的；其次，在心磁图上可呈现出心电图尚不能鉴别的异常变化；再者测心磁图时不必与皮肤接触，也不用参考电极，不会出现由此而产生的误差。

2. 脑磁场

脑细胞群体自发或诱发的活动，产生复杂的生物电流，由此产生的磁场叫脑磁场。1968 年科恩首先测得 节律脑磁场随时间的变化曲线，称为脑磁图（MEG）。

脑磁图比脑电图有许多明显的优点。首先脑磁图既不需要参考点也不需要与皮肤接触，不会出现由此引起的误差。由于头盖骨有很高的阻抗，常使脑电图模糊不清，但脑磁图是穿透的；另外脑磁图能直接反映脑内场源的活动状态，特别能显示出脑深层场源的活动状态，对脑磁图求逆更能准确确定场源的强度和位置。

3. 肺磁场

心磁场和脑磁场属于内源性磁场，而肺磁场则属于外部含有铁磁性物质的粉尘侵入人体肺部在磁化后所产生的剩余场。

测量肺磁场时，首先应清除人身上的铁磁性物质，如手表、钮扣等。再将受试者胸部置于数十毫特斯拉磁场中进行磁化，然后立即到磁强计探头处进行测试。

肺磁场是 1973 年美国麻省理工学院的科恩首先探测出来的。70 年代后期至今，日本、加拿大、芬兰和我国都开展了一系列研究工作。肺磁场的研究之所以受到人们的重视，一个直接的原因是在医学上有重要应用。众所周知，职业性尘肺痛诊断的唯一有效手段是 X 射线法。但此法属于影象学，一般来说只有粉尘与肺组织形成生化反应而导致病变的才能检查出来。肺磁法则属于含量学，只要肺部积存一定量粉尘，不管侵入的时间长短都能被检测出来，这就意味着对那些虽积存一定粉尘但尚未构成病理改变的早期病人也能检查出来，从而进行早期预防，这对防止某些职业性尘肺病的发生有着重要意义。

人造器官

生物医学材料是指能植入人体或能与生物组织或生物流体相接触的材料；或者说是具有天然器官组织的功能或天然器官部件功能的材料。近年来，器官移植虽然取得了巨大的进展，但排异和器官来源及法律等问题仍是一个难题。因此，医学界对生物医学材料和人工器官的要求日益增加。古代人类只能用天然材料（主要是药物）来治病，包括用天然材料来修复人体的创伤。例如，公元前 3500 年，古埃及人用棉花纤维、马鬃等缝合伤口；墨西哥印第

安人用木片修补受伤的颅骨。公元前 2500 年中国的墓葬中发现有假牙、假鼻、假耳。1588 年，人们用黄金板修复颞骨；1755 年，用金属在体内固定骨折；1809 年，有人用黄金修复缺损的牙齿；1851 年，发明了天然橡胶的硫化方法后，采用硬胶木制作人工牙托和颞骨。

最近几十年来，生物医学材料和人工器官的研究才有了较大的进步，在很大程度上应归功于高分子材料科学和工业的发展。1936 年发明了有机玻璃，很快就用于制作假牙和补牙；1943 年，赛璐珞薄膜开始用于血液透析；1950 年开始用有机玻璃做人工股骨头。50 年代，有机硅聚合物开始应用于医学，对人工器官的研究起了促进作用。特别是 60 年代以后，具有各种特殊功能的高分子材料不断研制出来，一部分从事高分子科学的人员也把研究方向转向生物医学高分子材料方面。在经济发达国家，用高分子材料制造医疗用品已十分普遍。1976 年美国医用塑料的消耗量占当年塑料消耗量的 4.4%，达 53.6 万吨。同年，日本用于医疗一次性使用的塑料制品达一万吨。现在，除了大脑之外，几乎所有的人工器官都在进行研究，有些已经作为商品出售。仅美国和欧洲，每年用于人体自然缺陷和损伤的修复植入材料就有四五百万件，每年有上百万病人在用人工器官。全世界有六万人靠人工肾维持生命，美国和德国每百万居民中有超过 500 人的心脏病患者要植入心脏起搏器。在美国，每年有 3.5 万人安装人工心脏瓣膜；有 18 万人植入人工血管；有 12 万人安装人工髋关节；有 10 万人注射有机硅隆胸美容。人工器官和以高分子材料为主的生物医学材料已开始成为一个新兴的工业。

人工肺

人工肺又名氧合器或气体交换器，是一种代替人体肺脏排出二氧化碳，摄取氧气，进行气体交换的人工器官。以往仅应用于心脏手术的体外循环，需和血泵配合称为人工心肺机。70 年代初，已将人工肺作为一个单独的人工器官进行研究。因它可以不用血泵而进行部分呼吸支持，并且有植入性人工肺的实验报告。

目前用于心脏手术的人工肺大部分采用一次使用的附有热交换装置的鼓泡式人工肺。这种人工肺已趋成熟，在国内外得到广泛的应用。

早在 1882 年 Schroder 首次提出在体外静脉血内通入氧气使血液氧合的设想以后，Bayliss、Clark 分别采用转碟和鼓泡的方式使血液得到氧合，从实践上证实该设想是切实可行的。1953 年 Gibbon 首次采用静立垂屏式人工肺进行体外循环，成功地开展了心房间隔缺损的修补手术，建立了现代人工心肺和体外循环的概念。此后各种类型的人工肺装置相继问世。随着高分子化学的飞速发展，为研制膜式人工肺提供了大量可选用的膜材料和新技术。1960 年 Kolobow 用硅胶为原料试制出膜式人工肺，具有较高的气体运输功能，适宜于长期体内循环。而后，又有不少学者从血液动力学角度进行研究，以期获得符合生理性能、功效更佳的人工肺。

目前人工肺基本上可分为四种：静立转屏式、转碟式、鼓泡式和膜式。

人工心脏

人工心脏是在解剖学、生理学上代替人体因重症丧失功能不可修复的自

然心脏的一种人工脏器。

人工心脏分为辅助人工心脏和完全人工心脏。辅助人工心脏有左心室辅助、右心室辅助和双心室辅助，以辅助时间的长短又分为一时性辅助（二周以内）及永久性辅助（二年）两种。完全人工心脏包括一时性完全人工心脏、以辅助等待心脏移植及永久性完全人工心脏。

要想制成像自然心脏那样精确的组织结构、完全模拟其功能的人工心脏是极不容易的，需要医学、生物物理学、工程学、电子学等多学科的综合应用和相当长时期的研究。

从广义及泵功能这一角度考虑，人工心脏研究可以回溯到体外循环的动脉泵开始，即 1953 年 Gibbons 将体外循环应用于临床。心肺机利用滚筒泵挤压泵管将血泵出，犹如自然心脏的搏血功能进行体外循环。而人工心脏这个血液泵恰是受此启发而开始研究的。1957 年美国 Kolff 和 Akutsn 将聚乙烯基盐制成的人工心脏植于人体内存活一个半小时，以此为开端展开了世界性人工心脏研究。1958 年日本及前联邦德国均设立了专门研究中心。1964 年 Kolff 利用人工心脏使小牛生存 24 小时。1966 年 DeBakey 将人工心脏用于瓣膜置换病例，辅助数小时。1968 年开始临床研究，1969 年动物实验生存记录为 40 天。同年 Cooley 进行了第一个临床病例植入一时性完全人工心脏后因合并症死亡。1970 年 Nose 等的动物实验生存 100 天。1973 年以后，动物实验成活率迅速上升：1976 年 Kolff 试验牛成活 89 天、122 天；1980 年渡美和彦试验山羊生存 232 天、242 天、288 天；1982 年 12 月 1 日美国盐湖城犹他大学医学中心人工心脏研究小组为一患者植入完全人工心脏使其存活 112 天。

世界上虽已进行了几例完全人工心脏临床应用，但目前人工心脏仍处于动物试验为主的研究阶段。但已有的临床应用表明，完全人工心脏能代替自然心脏功能，用其较长维持循环是可行的，其前景是乐观的。

人工血管

1950 年以来，由于高分子化学的发达，促进了合成高分子材料的研制，因此，在 50 年代末，60 年代初，采用高分子合成纤维编织人工血管，经实验研究而用于临床，到目前为止，世界各国已普遍采用。

目前用机器编织的人工血管有两种，一种是平织，又称机织；另一种是针织，又称线圈编织。最初的材料为尼龙，后因其稳定性差，在机体内易被破坏，缺点很多而被废弃。目前普遍采用的人工血管材料为涤纶及聚四氟乙烯，大多数使用的是针织人工血管。1960 年以后，国际市场上出售无缝带有皱纹加工的人工血管。最受欢迎的是 De - Bakey 的涤纶针织人工血管及 Edwards 的聚四氟乙烯人工血管。

人工血液

近年来由于外科手术日益进步，因而输血用血液也愈感不足，迫切需要研制代用品。

血液由有形成分及无形成分组成，其主要生理功能是携氧、运输氧和营养物质，清除二氧化碳和代谢产物以及免疫防御等。多年来曾研究了血浆、

血浆成分的制品及各种血细胞悬液，以期合理而节约地使用血液。其后又研制了许多种血浆代用品，目前广泛使用的有右旋糖酐、明胶代血浆和羟乙基淀粉。它们都是胶体溶液，其扩充血浆容量的效果显著，但均不具备血液气体交换的主要功能。

输血时配血费时又易发生错型，此外由于输血而传播肝炎及爱滋病的危险也无法妥善解决，故而有待研制出既可携氧又无毒害的人工血液，这对平时和战时的医疗来说都是极为重要的课题。

近几十年来，世界各国在人工血液方面做了不少研究工作。这里仅以氟化碳乳剂人工血液加以介绍。

1966年 Clark 等发现，美国 3M 公司所制全氟碳化合物、对氧的溶解度约为水的 20 倍，携氧能力为血红蛋白的数倍，在氟碳化合物 FX80 中给以一个大气压的氧，小鼠得以生存。

1967年 Sloviter 等以白蛋白为稳定剂的全氟碳化合物乳剂对大鼠实行脑灌流成功。

1968年 Geger 等以全氟三十胺乳剂给大鼠进行血液交换接近 100%，大鼠生存八小时。其后 Clark 动物试验心脏灌流成功。

1970年光野、火柳等以狗试验，用氟碳化合物作 90% 血液交换，生存一年以上，这是在动物中以人工血液进行全血交换的第一次成功。其后火柳等与日本绿十字中央研究所共同研究达 11 年。初期研究全氟碳化合物乳剂的携氧及二氧化碳能力，并可保持离体器官组织较长期存活；后期研究活体输入全氟碳化合物乳剂，力求减少副作用。经反复改进，在猴体内进行 99% 的换血，无一例失败，全部长期存活。

人工肾

人工肾是一种替代肾脏功能的装置，主要用于治疗肾功能衰竭和尿毒症。它将血液引出体外利用透析、过滤、吸附、膜分离等原理排除体内过剩的含氮化合物，新陈代谢产物或过量药物等，调节电解质平衡，然后再将净化的血液引回体内。亦有利用人体的生物膜（如腹膜）进行血液净化。它是目前临床广泛应用、疗效显著的一种人工器官。就慢性肾炎和晚期尿毒症的治疗效果而言，其五年生存率已达 70~80%，其中约有一半患者还能部分恢复劳动力。由于上述成就，人工肾的治疗范围逐步扩大，并进入免疫性疾病的治疗领域，受到各方面的重视，成为人工器官研究最活跃的领域之一。

早在 19 世纪中叶，就有人设法用透析法除去血液中的尿素，因未找到合适的半透膜未获成功。1913 年 Abel 等用火棉胶膜制成管状透析装置进行动物透析实验；1943 年 Kolf 等首次将转鼓型人工肾应用于临床并获得成功，开创了人工肾治疗肾衰竭患者的历史；1960 年 Kill 研制平板型人工肾；1966 年 Steward 研制空心纤维人工肾临床应用成功。进入 70 年代以来，透析器向小型化方面发展。

近年来开发的新的肾技术主要包括血液滤过、血液灌流和腹膜透析。

人工肝

人体中的肝脏是一个极为复杂的器官，根据现代科学技术水平，要研制一个装置，可以长期或基本上代替肝脏主要功能的名副其实的人工肝，还是不可能的。近代对人工肝的研究，只是用一种装置或系统来暂时代替肝脏的某些功能。如清除肝衰竭时的毒性物质；治疗肝昏迷及调整其氨基酸平衡等来协助患者渡过危险期；等待肝细胞再生，或等待肝移植，因而许多学者称之为“人工肝辅助”。

因为肝脏有强大的再生能力，临床患者或动物实验中将肝切除一半，2~3月以内，其剩余的肝组织又可生长到原来体积，而且其功能也完全恢复，这样，如能研制成一种装置，协助肝衰竭患者渡过危险期，等待肝细胞再生，则患者可能获救。

目前国际上对人工肝辅助的研究，多处于基础及动物实验阶段。有些已进行临床应用，但尚无根本性突破。

人工关节

多年来人们就采用各种关节成形术治疗关节强直、关节畸形和各种破坏性骨关节疾病，力图将这些有病的关节矫正和恢复功能，使之成为稳定的、不疼的并有一定功能的关节，为此许多学者做出了巨大的努力。迄今已研制出膝、髋、肘、肩、指、趾关节假体用于临床。

1890年，Gluck首先应用象牙制造下颌关节；1938年，Wiles用不锈钢作髋臼与股骨头；而后Moor开展了人工股骨节置换术；1940年Wder兄弟用合成树脂制造人工关节；1951年开始全髋人工关节置换术。1952年Habowsh用固定牙的丙烯酸脂固定人工髓关节，由此合成树脂开始用于人工关节与骨的结合。1958年Charnhey根据重体环境润滑理论，用聚四氟乙烯髋臼和金属股骨头制成低磨擦的人工关节，接着在1962年，Charnley把高密度聚乙烯髋臼和直径为22毫米的金属股骨头组成全髋人工关节，并用骨水泥（甲基丙烯酸脂）固定，获得较满意的效果。自此，人工关节置换术进入实际应用的新阶段。

目前，英、美各国每年可施行全髋人工关节置换术数万例，并获得了较好的治疗效果。

奇妙的大脑

现代神经科学的研究指出，所有行为都是脑功能的某些表现，思维、学习、智力也不例外。因此，研究智能理论与技术必须考察一下脑的结构与功能。

脑位于颅腔内，由延髓、脑桥、中脑、小脑、间脑和大脑六大部分组成。由脊髓开始向上，依次是延髓、脑桥、小脑、中脑、间脑和大脑皮层半球。胼胝体是联接大脑两个半球的神经纤维组织。

有时，把延髓、脑桥和小脑统称为后脑；把间脑和大脑皮层统称为前脑；中脑位于后脑与前脑之间。

通常也把延髓、脑桥、中脑三者统称为脑干，它含有丰富的神经核。

间脑包含丘脑和下丘脑。丘脑是大脑皮质下高级感觉中枢，来自全身的躯体浅感觉和深感觉都先在丘脑进行处理之后才到大脑皮层。下丘脑是大脑

皮质下的重要内脏神经中枢，它在大脑皮质影响下可以对内脏的活动起重要的调节作用，如水平衡、心跳、血压、呼吸、消化、内分泌、糖和脂肪的代谢、体温调节等都可以改变。

大脑由左右大脑半球组成，它笼盖在间脑、中脑和小脑的上面。左右半球之间有大脑纵裂，裂府有联接两半球的横行纤维，称为胼胝体。大脑半球表面凹凸不平，布满深浅不同的沟，沟与沟之间的隆起称为大脑回。每个半球以几条主要沟为界分为不同的叶。这些叶在功能上各有分工。

大脑半球表面被覆一层灰质，称为大脑皮质。大脑皮质由无数大小不等的神经细胞（神经元）和神经胶质细胞以及神经纤维构成。皮质的神经元和神经纤维均分层排列，神经元之间形成复杂的神经网络。由于它们联系的广泛性和复杂性，使皮质具有高度分析和综合的能力，构成了思维活动的物质基础。

大脑皮质的组织有两个重要的特点：即交叉性和非对称性。

交叉性指每个脑半球都处理与它对侧躯体的感觉与运动。从身体左侧进入脊髓的感觉信息在传到大脑皮质之前在脊髓和脑干区交叉到神经系统的右侧，脑半球中的控制区域也交叉控制对侧身体的运动。

非对称性是说两个半球虽然十分相似，但它们的结构并不完全对称，功能上也不完全相同，因为功能是按区定位的。

但功能分区定位并不是机械的一对一关系。许多功能特别是高级思维功能通常都可以分成若干子功能。这些子功能之间不仅存在串序关系，也存在并序关系。因此，对于一个特定功能的神经加工往往是在大脑的许多部位分布式进行的。正因为这个缘故，某一部位的损伤不一定会导致整个功能的完全丧失；或者即使暂时丧失了，也可能逐步得到恢复，这是因为其他组织也可以承担受损伤的那个组织的任务。事实上，皮质的各个部分都有各自的功能，每个定位区内有该功能的中枢对此功能进行整合。从纤维分布的情况可以看出，各部位的功能并不是完全独立地进行的，只是以它为主而已。

人脑的绝对重量为 1000 ~ 2000 克，男子的脑平均重为 1375 克，女子因一般全重较轻，故脑的平均重量只有 1230 克。智力发达的人，其脑重不一定较大。相反，有时傻子的脑重量能达到 2850 克左右，而人的智力将会显著下降。

在脑的研究方面，目前主要侧重于思维和记忆的机制，但由于人脑的复杂性，所以人们只能从具有简单神经系统的昆虫和蠕虫着手。

人工智能的任务，就是研究和完善等同或超过人的思维能力的人造思维系统。

从目前研究人工智能的内容和进展情况来看，人工智能的研究工作包括计算机方法和仿生学。计算机方法是利用现有的电子计算机的硬件设备，研究计算机的软件系统，来实现计算机的图象识别、自然语言识别和机器思维等工作。这项工作，可以叫做机器智能，是人工智能的初级阶段。仿生学对人工智能的研究主要从两方面着手进行：一方面根据生理学、心理学等学科的现有成就，对人脑进行人工模拟，建立人工智能领域的大脑学说，即建立人体神经系统的各种生物模型、数学模型以及电子模型；另一方面，根据以上模型研究、设计和制造具有人体神经系统某些功能的人工智能机。按仿生学的途径来研究人工智能有两个特点：一是研究生物模型和研制人工智能机的工作相辅相成，互相促进；二是电子计算机与人工智能机的交叉和互相渗

透。电子计算机是研究人工智能的重要工具。

人工智能这一术语是 1956 年在美国的达特茅斯大学召开的世界第一次人工智能会议上由麻省理工学院的 John Mearthy 提议而使用的。首次公开发表使用的是麻省理工学院的 Marvin Minsky (人称人工智能之父)。人工智能这一学科至今已有 40 年的历史,在国际上已确认人工智能是当代高科技的核心之一。人工智能是一个广义词,各有说法,要对人工智能作出准确的定义或给出一般性的定义是有困难的,因此可用基本含义描述:人工智能是用机器(计算机)来模仿人类的智能行为,即上面提到的机器智能。在这个含义中关键是如何理解人类的智能,“智能”词源来自拉丁语 Legere,字面意思是采集、收集和汇集,并由此进行选择。而 Intellegere 意思是从中进行选择,进而理解、领悟和认识。因此人工智能是要让机器进行收集、汇集、选择、理解、领悟和认识。现在人们所指的智能,是指人类在认识和改造客观世界的活动中,由思维活动和脑力劳动所体现的能力,即理解和解决问题的能力。

由人工智能的基本含义可知,它的研究领域是广泛的,它与其他学科是相互渗透的,属交叉学科,因此边界是模糊的。如在人工智能研究领域中的定理证明与数学、自然语言理解与语言学、认知模型与心理学、推理方法与思维学、机器人与机械学、模式识别与电子学、人工神经网络与生理学等都有交叉。另外,从人工智能学科的发展历史也可知,它所包含的分支内容也在不断变化,既有分出去的,也有新增加的。

人工智能的核心一直是该学科发展中争论的问题之一。问题争论的基本原因是因为人工智能属交叉性学科,可以从不同学科的角度研究。根据人工智能的含义可以把人类思维活动过程作为研究目标,因此 Newell 以为思维规律是人工智能的研究核心,该观点来自哲学家 Aristotle,他认为在人的思维活动中形式逻辑是一切推理活动的核心,并且 Leibnit 和 Boole 又进一步把形式逻辑符号化和数学化,从而能实现对人的思维进行运算和逻辑演绎推理。因此,早期代表人物是 Newell 和 Simen 等人,他们研究出通用问题求解程序,主要用于数学定理证明。后来又进一步研究通过计算机来模拟人类思维普遍规律,并认为只须建立一个通用的万能的符号逻辑运算体系,就能求得问题的解答。但至今这样的万能符号逻辑体系并没有研究出来,其中存在的问题是没能充分利用定义域内的专门知识,即领域专家的积累经验和启发知识,这也是促进后来研究专家系统的推动力。在这期间,Nilsson 的观点则认为在符号逻辑运算体系中的逻辑演绎方法是人工智能的研究核心。

根据人类思维规律中以形式逻辑为研究核心暴露出来的问题,心理学家则主张直接研究人类在解决问题时的实际思维活动。他们认为人类的智能行为是建立在知识基础上的,即理解和解决问题的过程是依赖于人所具有的知识行事,所谓“知识就是力量”。具有这种观点的代表人物是斯坦福大学的 Feigenbanm,他认为知识是人工智能的研究核心,人类的所有智能活动,即理解和解决问题的能力,甚至学习能力都完全靠知识,并于 1977 年的第五届国际人工智能大会上提出知识工程这一名词,后来知识工程成为人工智能领域卓有成就的分支之一。知识工程的目标是智能信息处理系统,它开创了以知识为基础的专家系统,即具有知识获取、知识表达、知识处理、知识运用的智能信息处理系统,它是以人实施的信息处理为模型来构造的。

以上两种观点都是从人类思维活动的思维学和心理学的特性出发,通过

计算机软件进行宏观的智能功能模拟，把客观世界构成形式模型，在人工智能发展史上称为功能派或心理学派。

另有一派是从人脑的生理结构出发，认为大脑是一个智能问题求解系统，应把大脑构成形式模型，研究模拟思维活动的机理结构，即神经细胞、神经网络和脑模型的硬件结构系统，因此称它们为结构派或仿生学派。这方面初期研究成果有：神经网络模型，它是通过神经网络的几种基本逻辑元件来组成的；感知机，它是模仿视觉，通过学习功能进行模式识别的脑模型；后来又研究出联想机，它是模仿脑的联想功能（联想记忆、联想识别以及联想推理）。当时由于电子学受其他学科领域技术限制，在 70 年代后期研究进展不大。因人脑是由 100 亿个神经细胞构成的巨大神经网络系统，它是研究智能计算机的重要依据。80 年代中期以来又再度掀起神经网络的研究热潮。

在人工智能研究进程中，不管是哪种观点、哪个派别，都表明人工智能研究是极困难的，因此，还有待研究者们付出巨大的努力。

人工智能的研究内容主要分为以下几个方面。

基本原理

1. 知识获取，研究机器如何从各种知识源获取知识的问题根据知识源的不同，机器获取知识的途径可由直接或间接两种方式。

机器直接获取知识是指机器直接接受客观世界的自然信息，并进行信息处理加工，如机器感知（机器视觉和机器听觉等）。机器视觉是机器能进行文字、图象识别和物景分析，从而获取知识；机器听觉是通过对声音识别和语言识别来获取知识。另外还有通过机器对话（自然语言对话和机器阅读对话）来获取知识，它是在机器视觉和听觉的基础上，再经机器思维和机器行为来构成的，这样获取的知识类型可以扩展，如经验知识等。以上涉及人工智能领域的研究内容是模式识别、自然语言理解等。

机器间接获取知识是指人机交互式的知识传递。根据知识获取自动化程度可划分为人工知识获取、半自动知识获取和自动知识获取三种。

人工知识获取是较常用的方式，它是以通过计算机键盘与计算机进行人机交互式的知识传递。在这种方式下知识获取过程为：求解问题的确定、问题域知识概念化和建立知识基本模型、有效知识表示模式。

半自动知识获取是以智能编辑器为知识获取辅助工具，进行人机交互式的知识传递。在人工智能系统开发中，知识获取问题是最困难和最棘手的。首先要把问题域的各种知识源传递给程序设计员掌握，因此人工智能程序员必须与问题域的专家、工程技术人员、用户之间进行知识信息交换。由于受程序员对问题理解能力因素的限制，特别是领域专家的一些直觉知识很难准确地描述，也有虽然已获得知识，但受人工智能语言限制难以充分表达，因而会影响知识的确定性、有效性、以及会出现知识之间的不一致性等。智能编辑器可免去程序员与具有问题域的知识人员之间的中间知识传递，而由问题域的知识人员直接与机器交互传递知识，自动形成知识库，提高获取知识的可靠性，减少错误。这类半自动知识获取的学习策略仍需有问题域知识的人当导师来指导学习，故又称指导注入式。

自动知识获取是指人工智能系统在运行过程中，能对处理过的问题实例进行探索、归纳和总结，获取新的经验和知识或启发式知识，发现新知识。

其相应学习策略是示例学习、类比学习、发现式学习等，这种学习具有一定的创造性。

上述机器间接知识获取方法在人工智能研究领域的内容为机器学习、专家系统开发工具。

2. 知识表示是研究如何在机器中表示知识的方法学问题

构造任何人工智能系统，在知识获取初级阶段是根据确定的问题域，把有关问题域的各种知识源经各种传递方式汇合给人工智能程序员，然后进入概念化阶段，该阶段要进行的工作有：对求解问题进行子问题分解；研究各问题涉及的定义、概念及相互关系；各知识的层次关系、因果关系；给定的信息和数据内容；专家的经验知识、启发知识和联想知识等。知识表示阶段是在概念化阶段所建立的求解问题基本模型基础上，把所确定的知识假设空间结构和数据特征结构，变换成一定的表示形式，且必须是机器可以接受的表示形式，因此该阶段实际是知识的模型化或形式化阶段。由于不同特性的知识描述，所用的表示模式不同，而且同一个问题亦可用不同的表示方法，但它们在效能上是有差异的，因此要用一定原则专门评估知识形式化工作。在人工智能中知识表示研究也是一个最基本的内容。现已有十几种表示方法，常用的有：产生规则表示法、过程式知识表示法、特征表表示法、框架结构表示法、语义网络表示法等。

3. 问题求解即运用存贮于机器中的知识形式进行相应知识处理的问题

求解问题的能力是衡量智能的重要尺度。在人工智能中问题求解应与传统程序的问题求解严格区分开。传统程序的问题求解是依靠建立数学模型和相应的算法进行；而人工智能中的问题求解是由思维规律和心理学出发建立模型。因此人工智能的问题求解是运用已有知识来推出结论，故推理方式与知识表示形式有密切关系，一般用搜索原理或逻辑演绎原理，在所构造问题域的空间内进行问题求解。搜索原理策略有宽度优先搜索、深度优先搜索、启发式搜索、博弈树搜索等。

逻辑演绎是反复运用归结原理求解。全部知识推理过程是由控制器或推理机来引导实现，其基本控制策略有正向、反向、双向混合推理。

问题求解是人工智能研究领域的核心课题之一。有许多分支课题都与它密切相关，如自然语言理解、模式识别、数学定理证明、智能机器人、机器学习、专家系统等都涉及问题求解。

人工智能语言

任何人工智能系统的构成必须有相应的语言。其作用是为了表达人类的思维活动，把问题域经形式化的知识有效地传递给机器，便于对求解问题基本模型的表示。自人工智能发展以来，由于应用领域广泛，对语言的要求也有所不同，目前较广泛应用的是 LISP 和 PROLOG 两种语言。

人工智能的应用研究

人工智能的应用研究是指根据人工智能原理构成的智能信息处理系统，或称智能系统，它是专家系统、神经网络、模糊控制三者的总称，是在知识获取和知识表达基础上，通过问题求解策略进行知识信息处理，求得问题的

解答，或作出决策，或作出行为反应等。由于人工智能学科本身具有广泛性的特点，因此其应用研究也已深入各个学科和领域，并取得了显著成果。随着学科的发展已形成许多新的重要分支，如专家系统、智能机器人系统、自然语言理解系统、模式识别系统、机器学习系统、智能控制系统等。

神秘的神经网络

“人脑是如何工作的？”

“人类能否制作模拟人脑的人工神经元？”

多少年以来，人们从医学、生物学、生理学、哲学、信息学、计算机科学、认知学、组织协同学等各个角度企图认识并解答上述问题。在寻找上述问题答案的研究过程中，近年来逐渐形成了一个新兴的多学科交叉技术领域，称之为“神经网络”。神经网络的研究涉及众多学科领域，这些领域互相结合、相互渗透并相互推动。不同领域的科学家又从各自学科的兴趣与特色出发，提出不同的问题，从不同的角度进行研究。

心理学家和认知科学家研究神经网络的目的在于探索人脑加工、储存和搜索信息的机制，弄清人脑功能的机理，建立人类认知过程的微结构理论。

生物学、医学、脑科学专家试图通过神经网络的研究推动脑科学向定量、精确和理论化体系发展，同时也寄希望于临床医学的新突破；信息处理和计算机科学家研究这一问题的目的在于寻求新的途径以解决目前不能解决或解决起来有极大困难的大量问题，构造更加逼近人脑功能的新一代计算机。

人工神经网络是由大量的简单基本元件——神经元相互连接而成的自适应非线性动态系统。每个神经元的结构和功能比较简单，但大量神经元组合产生的系统行为却非常复杂。

人工神经网络反映了人脑功能的若干基本特性，但并非生物系统的逼真描述，只是某种模仿、简化和抽象。

与数字计算机比较，人工神经网络在构成原理和功能特点等方面更加接近人脑，它不是按给定的程序一步一步地执行运算，而是能够自身适应环境、总结规律、完成某种运算、识别或过程控制。

人工神经元的研究起源于脑神经元学说。19世纪末，在生物、生理学领域，Waldeger等人创建了神经元学说。人们认识到复杂的神经系统是由数目繁多的神经元组合而成。大脑皮层包括有100亿个以上的神经元，每立方毫米约有数万个，它们互相联结形成神经网络，通过感觉器官和神经接受来自身体内外的各种信息，传递至中枢神经系统内，经过对信息的分析和综合，再通过运动神经发出控制信息，以此来实现机体与内外环境的联系，协调全身的各种机能活动。

神经元也和其他类型的细胞一样，包括有细胞膜、细胞质和细胞核。但是神经细胞的形态比较特殊，具有许多突起，因此又分为细胞体、轴突和树突三部分。细胞体内有细胞核，突起的作用是传递信息。树突是作为引入输入信号的突起，而轴突是作为输出端的突起，它只有一个。

树突是细胞体的延伸部分，它由细胞体发出后逐渐变细，全长各部位都可与其他神经元的轴突末梢相互联系，形成所谓“突触”。在突触处两神经元并未连通，它只是发生信息传递功能的结合部，联系界面之间间隙约为 $(15 \sim 50) \times 10^{-9}$ 米。突触可分为兴奋性与抑制性两种类型，它相应于神经

元之间耦合的极性。每个神经元的突触数目正常，最高可达 10^5 个。各神经元之间的连接强度和极性有所不同，并且都可调整，基于这一特性，人脑具有存储信息的功能。利用大量神经元相互联接组成人工神经网络可显示出人的大脑的某些特征。下面通过人工神经网络与通用的计算机工作特点来对比一下：

若从速度的角度出发，人脑神经元之间传递信息的速度要远低于计算机，前者为毫秒量级，而后者的钟频率往往可达几百兆赫。但是，由于人脑是一个大规模并行与串行组合处理系统，因而，在许多问题上可以作出快速判断、决策和处理，其速度则远高于串行结构的普通计算机。人工神经网络的基本结构模仿人脑，具有并行处理特征，可以大大提高工作速度。

人脑存贮信息的特点为利用突触效能的变化来调整存贮内容，也即信息存贮在神经元之间连接强度的分布上，存贮区与计算区合为一体。虽然人脑每日有大量神经细胞死亡（平均每小时约一千个），但不影响大脑的正常思维活动。

普通计算机是具有相互独立的存贮器和运算器，知识存贮与数据运算互不相关，只有通过人编出的程序使之沟通，这种沟通不能超越程序编制者的预想。元器件的局部损坏及程序中的微小错误都可能引起严重的失常。

人类大脑有很强的自适应与自组织特性，后天的学习与训练可以开发许多各具特色的活动功能。如盲人的听觉和触觉非常灵敏；聋哑人善于运用手势；训练有素的运动员可以表现出非凡的运动技巧等等。

普通计算机的功能取决于程序中给出的知识和能力。显然，对于智能活动要通过总结编制程序将十分困难。

人工神经网络也具有初步的自适应与自组织能力。在学习或训练过程中改变突触权重值，以适应周围环境的要求。同一网络因学习方式及内容不同可具有不同的功能。人工神经网络是一个具有学习能力的系统，可以发展知识，以致超过设计者原有的知识水平。通常，它的学习训练方式可分为两种，一种是有监督或称有导师的学习，这时利用给定的样本标准进行分类或模仿；另一种是无监督学习或称为导师学习，这时，只规定学习方式或某些规则，则具体的学习内容随系统所处环境（即输入信号情况）而异，系统可以自动发现环境特征和规律性，具有更近似人脑的功能。

人工神经网络早期的研究工作应追溯至本世纪 40 年代。下面以时间顺序，以著名的人物或某一方面突出的研究成果为线索，简要介绍人工神经网络的发展历史。

1943 年，心理学家 W·McCulloch 和数理逻辑学家 W·Pitts 在分析、总结神经元基本特性的基础上首先提出神经元的数学模型。此模型沿用至今，并且直接影响着这一领域研究的进展。因而，他们两人可称为人工神经网络研究的先驱。

1945 年冯·诺依曼领导的设计小组试制成功存储程序式电子计算机，标志着电子计算机时代的开始。1948 年，他在研究工作中比较了人脑结构与存储程序式计算机的根本区别，提出了以简单神经元构成的自再生自动机网络结构。但是，由于指令存储式计算机技术的发展非常迅速，迫使他放弃了神经网络研究的新途径，继续投身于指令存储式计算机技术的研究，并在此领域作出了巨大贡献。虽然，冯·诺依曼的名字是与普通计算机联系在一起的，但他也是人工神经网络研究的先驱之一。

50年代末，F·Rosenblatt设计制作了“感知机”，它是一种多层的神经网络。这项工作首次把神经网络的研究从理论探讨付诸工程实践。当时，世界上许多实验室仿效制作感知机，分别应用于文字识别、声音识别、声纳信号识别以及学习记忆问题的研究。然而，这次神经网络的研究高潮未能持续很久，许多人陆续放弃了这方面的研究工作，这是因为当时数字计算机的发展处于全盛时期，许多人误以为数字计算机可以解决人工智能、模式识别、专家系统等方面的一切问题，使感知机的工作得不到重视；其次，当时的电子技术工艺水平比较落后，主要的元件是电子管或晶体管，利用它们制作的神经网络体积庞大，价格昂贵，要制作在规模上与真实的神经网络相似是完全不可能的；另外，在1968年一本名为《感知机》的著作中指出线性感知机功能是有限的，它不能解决如异感这样的基本问题，而且多层网络还不能找到有效的计算方法，这些论点促使大批研究人员对于神经网络的前景失去信心。60年代末期，神经网络的研究进入了低潮。

另外，在60年代初期，Widrow提出了自适应线性元件网络，这是一种连续取值的线性加权求和阈值网络。后来，在此基础上发展了非线性多层自适应网络。当时，这些工作虽未标出神经网络的名称，而实际上就是一种人工神经网络模型。

随着人们对感知机兴趣的衰退，神经网络的研究沉寂了相当长的时间。80年代初期，模拟与数字混合的超大规模集成电路制作技术提高到新的水平，完全付诸实用化，此外，数字计算机的发展在若干应用领域遇到困难。这一背景预示，向神经网络寻求出路的时机已经成熟。美国的物理学家Hopfield于1982年和1984年在美国科学院院刊上发表了两篇关于神经网络研究的论文，引起了巨大的反响。人们重新认识到神经网络的威力以及付诸应用的现实性。随即，一大批学者和研究人员围绕着Hopfield提出的方法展开了进一步的工作，形成了80年代中期以来神经网络的研究热潮。

神经网络的研究内容相当广泛，反映了多学科交叉技术领域的特点。目前，主要的研究工作集中在以下几个方面：

(1) 生物原型研究。从生理学、心理学、解剖学、脑科学、病理学等生物科学方面研究神经细胞、神经网络、神经系统的生物原型结构及其功能机理。

(2) 建立理论模型。根据生物原型的研究，建立神经元、神经网络的理论模型。其中包括概念模型、知识模型、物理化学模型、数学模型等。

(3) 网络模型与算法研究。在理论模型研究的基础上构作具体的神经网络模型，以实现计算机模拟或准备制作硬件，包括网络学习算法的研究。这方面的工作也称为技术模型研究。

(4) 人工神经网络应用系统。在网络模型与算法研究的基础上，利用人工神经网络组成实际的应用系统，例如，完成某种信号处理或模式识别的功能、构作专家系统、制成机器人等等。

纵观当代新兴科学技术的发展历史，人类在征服宇宙空间、基本粒子，生命起源等科学技术领域的进程中历经了崎岖不平的道路。我们也会看到，探索人脑功能和神经网络的研究将伴随着重重困难的克服而日新月异。

人类的模拟

机器人这一名词最早出现于 19 世纪，但直到本世纪 50 年代后期，机器人才走出了科学幻想，进入了科学技术领域。那时，在市场上出现了两种机器人，一种取名为“万能自动机械”，一种取名为“通用搬运机械”，并构成了今天机器人发展的基型。

一般说来，可以从两个角度来对机器人进行定义。从工程的角度出发，认为它属于一种自动机械，具有对环境的通用性和适用性，操作程序简便，而且可以实现独立、随意的运动。若从仿生学的角度看，则认为它是具有近似人类相当部分功能的机械，它能执行与人类似的动作，且具有类似人的某种智能，如记忆、再现、逻辑运算、学习、判断、感知等。

机器人由硬件和软件两大部分组成。为了使机器人能够从事复杂的工作，执行与人相似的一些动作，必须要使它的机构和功能都具有很大的灵活性。同时，还要有能对其运动器官进行巧妙控制的软件，两者互相配合，协调运

从 50 年代以来，机器人技术已有了很大的进步，按照其功能和类型的发展，大体上可把它划分为以下三个时期：

第一代机器人，是使用存贮和程序控制的自动机器，在 60 年代初问世，即目前能够在工业部门实用的重复型机器人，常称为工业机器人。它的动作包括示教、存贮、再现和操作四个步骤。它可以通过示教输入操作程序，在存贮装置内存贮一系列的操作内容，并利用存贮内容的再现，自动地重复进行工作的一种通用自动搬运机械。

它存在的问题包括：

(1) 传感器与反馈问题。它一般没有触觉及反馈系统，不能用触觉去发现物体放置的位置与姿态，所以不能做出灵巧的动作。

(2) 视觉问题。由于它没有眼睛，不能辨别物体的种类，不能看出零件安装位置，也不能进行视觉检查。

(3) 适应能力问题。由于它只按事先存贮的程序动作，不能随环境和作业对象的变化而自动更改作业内容，几乎不能把复杂的装配作业编成程序。

(4) 运动自由度问题。一般来说，这类机器人的运动自由度小，手的柔软性差，没有移动脚。

这种机器人的最大优点在于能把人类从危险、恶劣、单调的工作环境中解放出来，做到工业生产的自动化与省力化，目前仍然得到广泛的应用。

第二代机器人与第一代的根本区别在于其智能性。它具有感觉识别又具有某些思维功能，并由这些功能控制动作，是具有与人类相类似智能的自动机械。其发展主要开始于 70 年代，主要用在各种对人有害的环境中作业，它能在操作人员操纵下进行工作，或按照人的指令在未知环境中从事高水平的作业。一般把前者称为近距离操纵型机器人，后者称为远距离操纵型机器人。

假如说在 60 年代主要用示教重复型机器人来“放”与“拿”工件，那么到了 70 年代，开始用智能机器人进行“寻找”与“发现”对象物，今后的十年将是机器人大发展的十年，智能机器人的时代已经到来。

目前世界上已有几万台机器人，其品种和功能多种多样，应用范围相当广泛，可归纳为：

(1) 危险环境条件替代作业。原子能生产、宇宙开发、空间飞行、海洋开发、军事工程、救火等领域。

(2) 社会福利。假肢、高级作业程序及语言控制的假肢、医疗机器人、家用机器人等。

(3) 生产自动化领域。工业机器人，装配、检验、系统管理机器人等。

总之，机器人的研究领域相当广泛。可以从仿生学的角度对人和动物肢体的运动学和动力学进行研究，使机器人具有类似生物运动的机构，也可以从生理学的角度对生物体的视觉、触觉和听觉等神经系统进行研究，并作出其物理模型，以便研制机器人的理想信息处理系统；还可以采用电子计算机，进行机器人智能信息处理和肢体运动控制的研究等。

