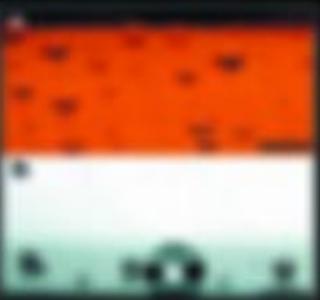


# 生物仿生学的故事

刘德宏 著



中国国际广播出版社

**图书在版编目(CIP)数据**

生物仿生学的故事/刘德宏主编. - 北京:中国国际广播出版社, 1999. 12

ISBN 7-5078-2501-9

I. 生… II. 刘… III. 仿生学 - 故事 - 生物 IV. Z228

中国版本图书馆 CIP 数据核字(1999)第 86810 号

---

## 生物仿生学的故事

---

**编 者** 刘德宏

**责任编辑** 何宽华

**封面设计** 国广设计室

**出版发行** 中国国际广播出版社

**社 址** 北京复兴门外大街 2 号(国家广电总局内)

**邮 编** 100866

**经 销** 新华书店

**印 刷** 北京大同数字印务有限公司

**开 本** 850×1168 1/32

**印 张** 7

**字 数** 126 千字

**版 次** 1999 年 12 月第一版 1999 年 12 月第一印刷

**印 数** 1-10000 册

**书 号** ISBN 7-5078-2501-9

**定 价** 10.5 元

---

国际广播版图书 版权所有 盗版必究

(如果发现图书质量问题, 本社负责调换)

# 目 录

从蛛丝说开去 .....	1
动物是如何适应咸水的 .....	3
片流膜是怎样发明的 .....	5
鱼、流线体和船 .....	7
鲎和鲎眼仿生 .....	9
动物放电给我们的启示 .....	11
声纳和动物的水中定位 .....	14
由海螵蛸、鱼螵蛸到潜水艇 .....	16
回声定位和蝙蝠仿生 .....	19
味觉的仿生 .....	21
翅膀、减振器和飞机 .....	23
蛙眼和电子检测器 .....	26
热感受器和热传感导弹 .....	28
生物如何发光 .....	31
甲壳质的妙用 .....	34
啄木鸟啄木与脑震荡 .....	36
香臭感觉与气味检测仪 .....	38
生物鳃与人工鳃 .....	40
鸟眼、电子眼和电子监测系统 .....	43
人造手的由来 .....	45
夜视仪与动物的夜视 .....	47
浅谈味觉仿生 .....	55
能适应黑暗生活的特殊耳朵 .....	58
从动物发光想到的 .....	61
从猫胡子谈起 .....	66

## 从蛛丝说开去

小小诸葛亮，独坐中军帐，布下八卦阵，捉住飞来将。

稍有一些常识的人，一定不难猜出这则谜语的谜底是蜘蛛。蜘蛛排丝张网捕虫，几乎是家喻户晓的事。但是，蜘蛛是怎样排丝结网的，知道的人就不多了。除了营游猎生活的蜘蛛外，大多数的蜘蛛都会结网，不同的蜘蛛结不同形状的网。圆蛛在江南是一种常见的蜘蛛，体型较大，全身灰黑色，常常在庭园楼阁、树木之间、屋角檐下，张结巨型的车辐状网。这种网是蜘蛛网中最精巧的一种，网的半径一般可达 50 厘米，有的网横挂空间，跨越小溪。有人测量过一只圆蛛网，从网的一端到另一端的距离竟达 7 米左右，网的结构主要由若干条辐射线和围绕其间的环绕线构成，网上尚有数条白色波状带，起着加强网的作用。蜘蛛结网时，先选好地点，然后爬到高处，抽出蛛丝任其随风飘荡，当蛛丝飘至彼处粘附在某点时，蜘蛛就以此为基础先结外围网架线，然后拉丝结辐射线，圆蛛的网辐射线通常为 25 根左右。而横带黄金蛛一般为 45 根左右，多的可达 60 余根，辐射线结好后，蜘蛛从网中心向外结螺旋线，最后再由外向内结环绕线，直至网的结成。

蜘蛛能抽丝结网，是因为蜘蛛腹腔内含有一些腺体，叫作丝腺。目前已知有 8 种丝腺，但是，一种蜘蛛只具有其中的数种，如圆蛛有梨状泡腺、圆管腺、前壶腹腺、后壶腹腺和凝结腺 5 种丝腺。网架线的丝是由前壶腹腺分泌而来，由梨状腺分泌胶液粘附网架线。在蜘蛛的近腹部末端气门后方有 3 对纺绩器，前纺绩器上有一个呈瓶塞状的巨纺绩管和约 180 个小纺绩管；中纺绩器具有 6 个巨纺绩管，没有小纺绩管；后纺绩器有 5 个巨纺绩管和 180 个小纺绩管。丝腺分泌一种骨蛋白通过纺绩器上的许多微小的纺绩管排出体外，在空气中凝结，再经过蜘蛛的步足梳理成的细丝就是蛛丝。蛛丝比蚕丝还要纤细得多，粘性很好，韧性极大，弹性很强。如此纤细的蛛丝可以吊着蜘蛛升降自如，随风飘荡，有时蜘蛛抽出一条很长的游丝可随风飘移到离陆地好几百公里的海面上而不折断。蛛丝的这种优异性能，引起了仿生学

家的极大兴趣。美国军事研究部门将蛛丝和目前作防弹衣的纤维 B 作比较试验，结果证明蛛丝在延伸到 15% 的长度时才折断，而纤维 B 当延伸到 4% 的长度时就被折断了，也就是说用蛛丝做的防弹衣的防弹性能要比用纤维 B 做的防弹衣强得多。

蛛丝还有一种可贵的性能是它的"玻璃化转变温度"比一般的聚合物的"玻璃化转变温度"低得多，蛛丝在 -50℃ 时才会变脆，这表明用蛛丝编结的救生绳索即使在冰点温度下仍然具有弹性，并说明它能承受突然而来的重物冲击，一只疾飞的蛾突然碰撞到蜘蛛网上，马上会被粘住，网并没有被撞破。蛛丝的纤细，早被人们用于测微器或光学仪器的刻度与划线。由于蛛丝产量不高，不易多得，价格昂贵，因此尚不能像蚕丝那样被用作大规模纺织工业生产。但是，人们是不会甘心轻易放弃利用蛛丝的，世界很多国家都在开展对蜘蛛的研究。美国马萨诸塞州研究中心已能用精巧的纺锤设备成功地从一种来自巴拿马的大蜘蛛腹内抽出蛛丝，每次可抽取蛛丝 3~5 毫克，每股蛛丝可达 300 余米长。抽过丝的蜘蛛第二天又可照样抽丝。这不禁使人想到，既然人们能培育出产乳量高；质量好的乳牛和产丝量高；质量好的家蚕，为什么不能像培育乳牛和家蚕那样去人工培育蜘蛛，使其蛛丝的产量和质量都得到大大地提高呢。美国科学家正在通过对蜘蛛的研究，去了解蛛丝蛋白质的化学性质、结构单元和它们转化成晶体聚合物以及形成蛛丝的过程，以便能用仿生学的手段制造出人造蛛丝。

蜘蛛在我国被称为五毒之一。它的头胸部有 6 对附肢，第一、第二对为头部的附肢，第一对叫螯肢，其端部的螯钳尖利，用以刺杀粘在网内的小昆虫，螯肢近末端处有一毒腺开孔，毒液从这里注入被刺动物的体内，使猎物逐渐麻醉。人们发现被注入蜘蛛毒液的昆虫在两三天内只是不能动弹，而正常的新陈代谢仍在继续进行，这就给人一种启示，如果能将蜘蛛毒液制成麻醉剂，可能会是一种理想的新型麻醉剂，它具有操作简单和麻醉时间长的优点。英国利物浦大学有机化学系的约纳斯通教授成功地从蜘蛛毒液中分离出一种毒素，这就为弄清蜘蛛毒素的分子结构和研制新型蜘蛛麻醉剂打下了良好的基矗我

国早就利用蜘蛛治病，据李时珍《本草纲目》记载，用蜘蛛可医治的疾病就有数十种，例如用蜘蛛代替奎宁医治疟疾。

## 动物是如何适应咸水的

电影《上甘岭》中有一组令人动容的镜头，坑道中的中国人民志愿军战士已两天没有水喝了，一个个都渴得口干唇裂，连吞咽都感到困难。为了夺取反攻胜利，连指导员命令战士们以惊人的毅力去吃饼干，战士们每咽下一口饼干都要费好大劲，忍受着喉咙撕裂般的疼痛，小小一块饼干，也不知要吃多久才能把它吃完。如果这时送来一口水，实在要比那饼干好得多。由此可见口渴比饿更难熬。事实也是这样，人和其它动物同样可饿上几天，还能支撑住，如果渴上几天就不行。1920年科克市市长麦克斯威奈在为爱尔兰独立的斗争中被逮捕，他在狱中绝食以示抗议。最终他饿了74天而牺牲。当然，在这74天内他必须喝水。如果没有水喝，他几天也活不成。因为生物体内含量最多的是水，一切正常的生命活动都是在水中进行的，没有水，养料不能吸收，废物不能排出。口渴就是表明生物体已经失去一部分水，并刺激生物去补充水。

地球上的水并不少，海洋面积就占地球总面积的71%，陆地面积仅占29%，而且其中还包括了许多江、河、湖、泊、溪、涧等。地球上的水97.2%是海水，海水中溶解有复杂的化学成分，每升海水所含的各种离子、分子和化合物的总量（矿化度）在3克以上，是咸水。航海者都知道海水是不能喝的。海水不但苦涩，难以下咽，而且越喝越渴。所以远航必须带足淡水，途中补充给养时，第一件事就是补足淡水。由于海水含有大量的盐类，就连用来灌溉农作物也不能。因此，生物体能直接利用的是矿化度每升小于1克的淡水。主要分布在江、河、湖、泊、地下水、高山积雪和冰川等。仅占全球总量的2.8%。随着现代工业、农业的飞快发展和人民生活需要用水量的日益增加，如果不注意节约用水，再加上肆意破坏水的资源，那么地球上淡水的危机就会到来。为了避免这种灾难的发生，人们一方面要节约，另一方面要开源。首先想到的当然是海水淡化。设法将海水脱除

盐分变为淡水。世界上许多国家都建立了海水淡化工厂。通常用的传统方法是蒸馏法，使海水急速蒸发，蒸发产生的水蒸汽冷凝后得到淡水。目前采用的一些新方法是从一些动物中得到启示而研制成功的。

有一种海鸟叫信天翁，分布于太平洋，冬季也可见于我国东北及沿海各地。成熟的普通信天翁全身纯白，仅翼端及尾端呈黑色，翅膀很长，伸展开来，两翅展开可达 3.6 米。它们能一连数月，甚至成年在海上生活，累了在水面上歇息，饿了捕食海中的鱼，喝的当然是海水，因为它们只有在繁殖的时候才返回荒岛和陆地。信天翁能喝海水，当然会引起了人们的注意，想了解它们是怎样解决海水中的盐分问题。经过研究，发现信天翁的鼻部构造与其它鸟类不同，它的鼻孔像管道，所以称为管鼻类。在鼻管附近有去盐腺，这是一种奇妙的海水淡化器，去盐腺内有许多细管与血管交织在一起，能把喝下去的海水中过多的盐分隔离，并通过鼻管把盐溶液排出。以后人们相继发现许多海洋动物都有把海水淡化的本领，如海燕、海鸥、海龟和海水鱼等。海水鱼终生生活在海水里，喝的当然是海水，而且全身都浸没在海水中，它们又是如何解决海水中的盐分的问题呢？人们当然也不会放过对这问题的研究。水生动物的体表通常是可渗透的，鱼体内的渗透压和水环境的渗透压差别很大，鱼类与体外水环境的水分动态平衡是通过渗透压调节和体液中盐分含量的渗透作用调节来维持的。海水含盐量高，海水硬骨鱼血液和体液的浓度比海水要低，因此体内水分就会不断地从鳃和身体其它表面渗出，为了保持体内水分代谢的动态平衡。一方面海水鱼必须大量吞饮海水，这样体内盐分就会增加。那么，又如何解决这个矛盾呢？海水硬骨鱼的鳃部有一种特殊的能分泌盐类的细胞，把过多的盐分排出体外；另一方面，海水硬骨鱼肾脏的肾小球的数量很少，肾小管重新吸收水的能力强，从而使排尿量减少到最低限度。

就现有的研究材料来看，这些海洋动物虽然各有自己的海水淡化器官，把喝进去的海水盐分排出体外，但是这些"淡化器"基本上都是用细胞的半渗透膜来脱盐淡化海水的；如口腔膜、内腔膜、表皮膜和

鳃微血管膜等都是细胞膜，通常称为生物膜。它们喝进海水后，首先在口腔内通过吸气对腔内不断加压，压力差使一部分水渗过粘膜进入体内，而大部分盐则被阻隔在口腔内，随水流经鳃裂或排泄道排出体外。人们根据这个道理，研制出反渗透膜海水脱盐淡化装置。对海水施加大于渗透压的压力，使海水中水分通过渗透膜，而盐分则被隔在外面，从而得到淡水。

其次，海水中的盐分总有一些进入机体内，则通过泌盐细胞的特殊功能，以自身微弱的生物电形成电磁场，把海水中的盐类，如氯化钠的两种电离子分离，在电场的作用下，渗出膜外，而将水分留在机体内。人们根据这个道理，研制出电渗析膜海水淡化器，在直流电场作用下，使海水中的盐类分解成正、负离子，使它们分别通过阳、阴渗透膜向正极和负极运动。然后收集留在两渗透膜中间的淡水。

## 片流膜是怎样发明的

克雷默（MaxKramer）博士倚在轮船甲板上沿缘栏杆上，大西洋的景色没有引起他的兴趣，唯有那群乘风破浪的海豚一直没有离开过他的视野。克雷默是一位很有造诣的德国科学家，第二次世界大战以前，他在德国航空研究中心工作，领导着抗湍流的研究。这次，他应聘到美国海军某研究所工作。连日来，他一直注意着大西洋上的海豚，眼前的这群活泼的海豚，伴随着轮船快速游行已有两个多小时了。但是看上去他们的动作依然是那样地自由自在，好像没有丝毫倦意。当时，轮船是以每小时 50 公里的航速前进，也就是说这群海豚的游速也达到每小时 50 公里。这对于多年从事抗湍流研究工作的克雷默不会不知道空中的飞行物体要经受气流产生的湍流的阻力，在水中运动的物体同样会经受水中湍流的阻力。他不禁问自己，海豚是怎样抗湍流才能高速度地游动呢？虽然，海豚天生有如此完美的流线型的外形，头部和尾部狭尖而中间部分宽厚，具有较理想的身体长度与厚度的比例，浑身光滑少毛，耳壳和后肢都已退化消失，这些无疑都是对海豚减少水中湍流阻力有利的。然而，根据有人做过的试验，拖着一只与海豚大小相仿的物体在海上航行，需要增加 2.6 匹马力。而眼前的海

豚按其体躯大小来估计，本身是不可能产生那么大的推动力的。海豚能在比空气密度大 800 倍的水中轻松地追随高速航行的轮船，必定有它的奥妙。是不是海豚能以最小的动力达到最大限度地把湍流变成片流呢？如果研究清楚，那么对抗湍流的研究一定会有所帮助。克雷默带着这个问题到了美国。

1956 年，克雷默终于从太平洋的马林兰德得到了梦寐以求的海豚皮样张，立即对它进行仔细地研究，这张海豚皮厚度约 1.55 毫米，富有弹性，具有疏水性。经过切片，在显微镜下观察，可见它的组织结构与其它脊椎动物的皮肤一样也是由表皮、真皮和由胶质纤维和弹性纤维交错的结缔组织组成。但是与众不同的是海豚的真皮层上面有许多小乳突，根据各部位比较，这些小乳突在额部和尾部特别发达，这些小乳突对抗湍流有什么作用呢？这引起了克雷默的极大注意。他认为这些小乳突形成了很多微小的管道系统，在运动中能经受很大的压力，含有胶质纤维和弹力纤维交错的结缔组织，中间充满了脂肪，增加了海豚皮肤的弹性，皮肤的弹性和疏水性在很大程度上消除了水流由片流变成湍流的振动，并能使水分子集结成环状结构在海豚体表上滚动。正如大家都知道的，滚动摩擦阻力是最小的，从而把水阻力大大地减少了，再加上海豚皮下肌肉能作波浪式运动，使富有弹性的皮肤在水的压力下作灵活地变形，使其和水流的运动相一致，有效地抑制水流高速度流经皮肤时产生的漩涡，这样海豚即便在高速运动时，也能把水阻力降低到最小限度。

据此，克雷默开始研制人造海豚皮，1960 年他在美国橡胶公司工作期间，用橡胶仿造海豚皮肤的结构，研制出一种名叫“片流膜”的人造海豚皮。这种片流膜也由三层组成：表层和底层都是光滑的薄层。当中的一层设置了许多容易弯曲的小突片，形成微细的管道系统，其内充满了富有弹性的液体，使片流膜具有弹性。将片流膜装配在潜水装置上进行试验，结果果然使湍流减少 50%。于是将片流膜安装在潜水艇的表面，取得了很好的效果，大大地提高了潜水艇的航行速度。

人们将这种片流膜安装在输送石油的管道的内壁上，同样大大地提高了石油输送的效率。

## 鱼、流线体和船

从人类懂得造船开始，就一直为如何提高船的航行速度而努力。任何物质在水中运动都会受到水流不同程度的阻力。这个阻力由水流经运动物体表面的三种形式组成：一是平流，水很平滑地从运动物体表面流过，流动迹线规则，摩擦很少，对运动物体的阻力最小；二是湍流，水粗糙地从运动物体表面流过，流动迹线很不规则，摩擦增大，对运动物体的阻力很大；三是漩涡，水流遇低洼处所激起的螺旋形水涡，对运动物体的阻力最大。这三种形式的阻力的总和愈大，运动物体在水中前进的速度也就愈慢。因此，必须尽量减少船前进时所受的阻力，才能使船的航行速度加快。

鱼类终生生活在水中，对水环境有很好的适应。人们在设计船的式样时可从这些动物身上得到一些提高船速的启示。尽管鱼类按其各自的生活方式有多种多样的体型，但是人们发现其中最常见的一种体型叫纺锤型，又称流线型，这种体型的特点是：头、躯干和尾三部分比例适中。鱼身的三个体轴以从头到尾的长度最长，背到腹的高度次之，左到右的宽度最短。整个鱼体形状像一只纺梭，两头尖，中间厚，其横切面为椭圆形，它的身体最厚的部位是在头后至体前这一段，自此以后均匀地向后方渐渐地变窄，整个体型显得浑圆结实光滑，可以减少湍流，将水流的摩擦力减少至最低限度。一些快速游动的鱼类如金枪鱼、马鲛鱼、鲔鱼、鲤鱼、箭鱼和鲨鱼等都是这种体型。有关鱼类的游泳速度很少有精确记录，有人说鲔鱼的时速可以达到 90 公里。鱼类学家戈特教授说今天在美洲海边见到的鲔鱼，可能是在前晚经过好望角的。不管这些说法是否可靠，但是都无非说明鲔鱼游泳速度快。对这样的著名速游鱼类，仿生学家当然会对它进行研究，它的身体剖面相对长度是 3.6 米，相对厚度是 0.28 米，这个相对厚度对鲔鱼的游速快起到什么作用呢？实验证明：0.28 米这个相对厚度是恰到好处的。相对厚度小于 0.28 米时，形状阻力虽有减少但摩擦阻力增大很多，

相对厚度大于 0.28 米时，摩擦阻力虽有减少但形状阻力又增大很多，因此说鲔鱼获得了最理想的相对厚度，这种体型使受到的摩擦阻力和形状阻力共同作用减少到最低程度，这就难怪鲔鱼能在转眼之间，游离人的视线之外。美国按照鲔鱼的体型，设计制造成功的“飞鱼号”核潜艇，达到航速快，灵活性大的效果。现代的潜艇和鱼雷等也都是按照流线型来设计的。

空气和水都是流体，船在水中受到水流的阻力，飞机在空中受到气流的阻力，两者都受流体力学规律的制约。船舰设计师可以模拟的一些东西对航空设计师来说也是有用的。航空设计师们也模拟鲔鱼的体型，设计新的喷气式高速客机，增加机身的相对厚度，从而减少了飞行阻力，同时也扩大了机舱。

鱼类的体型对鱼类运动速度有很大影响。但是，为什么蓝枪鱼和马鲛鱼同样具有完美的流线型体型而蓝枪鱼总是游得比马鲛鱼快一些呢？这足以说明体型仅是影响游速的一个方面，还有很多方面可以影响游速。英国的瓦兹发现蓝枪鱼的尾鳍前比马鲛鱼多了一个臀鳍，他认为这个构造有利于鱼身作急转弯。他按照蓝枪鱼的这一结构，在设计轮船“武尔为吉”号时，在船尾前增加了一个类似“侧鳍”装置，试航结果，缩小了船体转弯时的距离和时间，从而也就提高了航速。

人们发现鱼尾的形状也是多种多样的，它与游速也有很大关系。通常尾柄细而坚实有力，两侧有骨状小突起，尾鳍上下端尖长，展开时呈新月形的鳍，大多数游速快，如鲔鱼和鲣鱼等的尾，只要用力一摆，就能急速前进几十米，因为鱼尾摆动，使水流变成弯曲波，大大提高了运动速度。

为了减少机械运动时所受的摩擦阻力，使用滑润油之类是一种行之有效的方法。其实，鱼类早就在使用这种方法了。鱼类的皮肤含有丰富的单细胞腺，能分泌大量的粘液，在身体表面形成一层粘液层，一些无鳞的鱼类更是粘滑。粘液的功能有很多，其中有一个功能就是使鱼体润滑，可减少水流的摩擦，有利于在水中游动。有人做过试验，将鱼体分泌的粘液涂在水中运动的物体表面，结果可将水流阻力减少

到一半以上，这种粘液的有效期可以长达数月之久。但是，人们要想取得足以喷涂一艘轮船所需要的鱼体分泌粘液，谈何容易？于是，人们试图用其它化学代用品，如聚氧化二烯水溶液等，虽然可减少摩擦阻力的 70%，但是，这种代用品的有效期还不到一天就失去作用。因此，人们研究人工合成鱼的分泌液，不过，即便获得成功，每喷涂一次，也仅能维持几个月的效能，如果能像鱼类那样，不断地分泌，那将会有多少好。

## 鲎和鲎眼仿生

除我国福建、广东和浙江外，在北美、中美、东南亚沿海生活着一种古老的节肢动物，叫做鲎。它的身体可分成头胸、腹和尾三部分。头胸和腹的背面覆盖着蟹壳似的甲壳，形同马蹄，所以有人称它为马蹄蟹。尾部像一把锋利的长剑突出在体后。鲎生活在沙质海底，夏天常见雄鲎爬在雌鲎的背壳上，相随活动，形影不离。退潮时雌雄结伴爬行在沙滩上，以蠕虫和无壳的软体动物为食。

有很多理由使鲎扬名于世：一、它在节肢动物中的特殊地位，虽然同蟹一样也具有坚硬的甲壳，但是它不属于甲壳纲动物，在它头胸部的腹面有 6 对关节的附肢，前 5 对末端呈螯状，第 2~6 对基部都有咀嚼面围住口部，因此，它属于肢口纲动物。这个纲仅仅发现过两类，其中巨甲类早已成为化石，现在还存活的剑尾类就是鲎。它的幼虫非常像三叶虫的成体，足以证明鲎的古老。将 1.75 亿年前的鲎化石与现存的鲎比较，在演化上还看不出有什么变化，因此，人们称它为活化石。二、通常血液是红色的，然而鲎的血液竟是蓝色的，因为鲎血中含有 0.28% 的铜元素。更有价值的是鲎血对细菌十分敏感，一接触到很快就会凝固。人们便将鲎血制成试剂，用来测检人体、药物和食品等是否被细菌污染，既快速又准确。三、尚未发现鲎有什么经济价值，因此，收购便宜。鲎的生命力又强，能离水生活很久，只要满足其湿度和凉爽的条件，就能经受长途运输，这些对作为实验材料来说是十分理想的。四、最吸引人的是鲎的视觉器官，它有一对单眼和一对复眼。同许多昆虫的复眼一样，鲎的复眼也是由许多小眼镶

嵌而成，每只小眼都有水晶体、感光细胞和与之相连的神经纤维。但是，鲎小眼体积大，神经纤维也粗，给研究工作带来方便。美国洛克菲勒研究所的哈特兰（H.K.Hortline）等人就是用鲎的复眼作为研究对象，才发现鲎的视觉侧抑制现象，并研制出侧抑制数学模型。美国通用电气公司高级电子中心的工程师们根据鲎的视觉侧抑制原理研制出鲎眼电子模型，从而使电视荧屏上的图像更加清晰。应用鲎眼技术可提高 X 光和宇航摄影的清晰度。应用在军用雷达显示器上同样收到良好的效果。

为了理解鲎视觉侧抑制究竟是怎么一回事及其为什么能起到如此的作用，让我们先来了解一下眼睛是怎样看到物体的，通过眼睛来观察周围物体的形状、明暗、颜色、距离和运动等情况。但是，单靠眼睛再看也只是熟视无睹，能见的是大脑，外部物体通过晶状体的聚焦作用，使来自被注视的物体上的光聚焦在视网膜上，视网膜是多层结构，相当复杂，其中有三级神经细胞构成视觉传导：第一级神经细胞是感光细胞，只要是眼睛，不论简单或复杂，在视网膜上都有感光细胞，可分为锥感光细胞和杆感光细胞，前者能接纳光波长短的刺激，能辨别颜色；后者能接受光的强弱，感光细胞是唯一能感受光的细胞。因为它含有感光色素，目前了解得最多的感光色素是视紫红质，它是维生素 A 醛和视蛋白的结合物，光线射到感光细胞上，把视紫红质色素漂白，以后在维生素 A 的辅助下，用呼吸作用所获得的能量重又合成视紫红质，在此光化学反应过程中，将光能转化为电能，引起神经兴奋，发放信息，信息的大小就是脉冲频率，即单位时间内发出的脉冲数。第二级神经细胞是双极神经细胞，它的一极与感光细胞相联系，另一极与第三级神经细胞--视神经细胞相联系，视神经节细胞发出视神经纤维，由许多视神经纤维集结成视神经把来自视网膜上的信息输送到间脑的外侧膝状体，交换神经细胞后，沿着外侧膝状体放出的视放线继续输送，信息经过如此复杂的线路时加以整理后送到大脑背面的视区，在视区上这些经过整理的信号把视网膜上众多感光细胞形成的镶嵌图像译成画面，使大脑获得外界的形象。如果用放大镜

去观察报刊上的图版和电视屏幕上的影象，可发现它们也都是由许多小点镶嵌成的，这就较易理解脑是怎样接收影象的了。

现在再来谈谈视觉的侧抑制，首先被发现于鲎的复眼中，后来发现许多动物，如猫、猴等都存在着侧抑制的现象。哈特兰及其助手用鲎的复眼做实验，把精密的微电极的一端插入一个小眼的视神经纤维上，另一端接到测量放大器的输入端，观察其对光输入的反应，当光束照射这个小眼时，从微电极上记录到一串脉冲，脉冲的大小基本与光强度的对数成正比，把两根微电极的一端分别插入两个邻近的小眼视神经纤维，另一端各接测量放大器，用同样强度的光束同时照射到这两个小眼，从两者的微电极上都记录到脉冲，但是，这两者的输出脉冲频率都比单独照射时的频率低。这就表明：当一个感光细胞受到光刺激引起兴奋，可使相邻的感光细胞受到抑制，也就是说各个小眼的输出起着减少附近小眼的输出作用。由于这种抑制作用是通过小眼视神经纤维之间的侧向联系网络来实现的，因此，哈特兰把它称为侧抑制。侧抑制起着加强对对比度的作用，使物体的轮廓突出，从而所见形象也就更加清晰了。可以想象，当海中物体的光投入鲎眼复眼中的那部分小眼引起兴奋，产生脉冲，由于侧抑制，抑制了这部分小眼以外的小眼发放脉冲，这样在鲎脑的视觉中枢上接收到的信号就有明暗的反差，于是，物体的轮廓也就清晰地显示出来。前面已经提及电视屏幕图像是由一个个小点凑合而成，当要在屏幕上显示电视片名时，如果把拼成片名的那些点变亮，同时把片名以外的那些点变暗，这样由于黑白对照分明，片名就会显得格外清晰。鲎眼仿生是仿生学上的成功事例之一。

## 动物放电给我们的启示

电对于人类是如此的重要，不用说大至工农业生产，如果停电，很多机器不能开动，生产就要停顿；就拿小至千家万户的日常生活来说，一旦停电，电灯不能照明，只好又采用蜡烛或油灯等落后的照明方法，很多家用电器都无法使用，冰箱里的食品就会变质，电视机和

录像机不能显影，各种电器音响无法播音，深受家庭主妇喜爱的电饭煲、电烤箱、洗衣机、电熨斗、空调、风扇等等都不能工作。

人们认识到电的功能就努力去寻求产生电的方法。远在古代就已观察到摩擦生电的现象。19世纪意大利物理学家伏特用电位上有差别的不同材料制成的化学电池产生了最早的人工电。19世纪30年代末期，英国的格罗夫利用液体或气体作燃料制成燃料电池。20世纪各种发电厂包括火力发电厂、水力发电站和核电站，能把煤、木材、液体燃料、沼气、核物质以及日光等都转换成电，这些都是人们所共知的。但是，有相当一部分人可能还不知道动物也能放电，可以这样说，凡是有生命活动就有生物电。动物是生物，当然也就能生电，不过一般动物产生的电太微弱，所以不被人们注意。就拿人本身来说也能生电，你到医院去检查身体，医生为你做心电图和脑电图，就是用电极把你的心脏和脑子发出的电信号引导出来，经过示波仪放大和记录下来，然后根据所显示的电波形状分析你的健康情况。人的心脏跳动时，在皮肤表面产生的电压为 $0.001\sim0.002$ 伏。而人脑输出的电压仅为 $0.00002\sim0.0001$ 伏。目前已测知的人体电还有肌电、视网膜电、皮电和细胞活动电等。

当然，人体产生的电流是微弱的，产生的电量还不及一节普通电池的千分之一。从脑传给四肢肌肉或器官的神经电称为肌电，人们对肌电进行深入研究，认识到由于神经电特性不仅能操纵肌肉，而且也能操纵人造器械。医学生物工程已能从断肢部位的神经中引出肌电，经放大后来操纵人造假肢的活动。在自然界有些鱼类能放出相当强的电流，这些鱼身体内有发电机。电鳐是生活在海洋中的一种软骨鱼，躯体呈扁圆型，体后拖着一条粗长的尾巴，整体有些像一把团扇，在它的头侧与胸鳍之间，每边有一个大型的发电机，每个发电机由纤维组织隔成约2000个直立的六角形柱状小管，管内又分成约40个小隔，每隔有一块扁平的电板，实际上就是一个由肌肉细胞转化来的电化学细胞。这种细胞兴奋时不是收缩，而是产生电流。电板一侧的膜是光滑的，有从脑通到发电机的神经分支出来的神经末梢，这一侧的膜能

产生电压放电；另一侧的膜具有许多指状突起，但没有神经末梢分布，电极之间充满胶状物质，起电解质的作用，细胞膜让钾离子进入，而把钠离子隔在外面，在膜内就有过剩的电子，所以细胞内外就形成电位差，膜内是负的，膜外是正的。当一个神经冲动触发了发电细胞，受神经支配的细胞膜放出化学物，改变了对钠离子的透性，全部电极一齐激发，离子就从一个细胞向另一个细胞移动，便形成电流，由于电极都朝一个方向叠合，所以电流有一定方向，电流在体内流动的方向是从腹部流向背部，电流在体外通过水流动就形成电常电鳐的电力根据电极数目及其幅度，加上鱼体大小和精力而定，一般相当强，可以使一个成年人触及而失去知觉。

生活在南美洲河流中的一种电鳗产生的电流就更强了。一条 2 米长的电鳗在水中所产生的电压可达 250 伏，而离开水时所产生的电压竟高达 550 伏，并能产生足以使 6 只 100 瓦灯泡发出闪光的电流。电鳗是一种淡水硬骨鱼，身体细长，但头和躯干部很短，仅占整个身体的八分之一左右，其余都是尾部，它的发电器全都安装在这条长尾中。成年电鳗的发电器约占它的总体积的 40% 左右，发电器每侧各有两个，上面一个较大，由尾部的前端一直伸向尾部的后端，是主要发电器；下面一个较小，沿着身体下表面伸展，这些发电器都是由一系列整齐的圆盘形电板组成，约有一万多个电板，每一个电板可放出 0.14 伏电压，当所有电板一齐放电时，头部是正极，尾部是负极，电流方向是由前传向后，在鱼身四周的水中有电流通过形成电场，可以电击在此范围内的任何生物。电鳗体内的一些重要结构，如神经和肌肉等都有与电流绝缘的脂肪组织所包围，因此，虽然相应的电流也在电鳗体内流动，但不会因此而受损。

非洲淡水河中的电鲶能产生高达 350 伏的电压，它的发电器不像电鳐和电鳗那样集中在某一部位，而是存在于由鳃至尾端整个躯体的皮肤和肌肉之间，以纤维质包住胶状物形成像鞘一样的发电器，它的电板上有神经末梢的一侧膜是正极，这同电鳐和电鳗正好相反，同时鱼的后部是正极，电由尾向前部负极流动。此外，从脑和脊髓交界处

发出神经分布到发电器上去，再逐步分支到每一电极已仅是一条神经纤维，而不是一支神经。电鲶的发电器的来源尚不清楚，有人认为是从皮层细胞转化而来。

各种电鱼的电板在显微镜下检查时，所见到的细胞就像电池里的电板一样，以各种各样的串联和并联方式连接起来，受神经支配，放电完全在鱼的意愿控制之下，并不是一直在放电，如果几次发电后，电力就会愈来愈弱，像电池一样，也会耗尽，但只要休息片刻，就能重新放电，电鳐可在 30 分钟内放电近 2000 次，耗尽后，间隔 15 分钟后又可发电，可见它的恢复功能是相当强的。

电鱼的发电器具有非常高的效率，电鳗的每克体重发电器输出电功率为 0.1 瓦，相当于目前汽车上用的铅蓄电池每克重输出电功率的 100 倍。电鱼发电器不是连续地输出功率，而是以间歇方式工作，间歇输出的周期又较高，每秒内工作几毫秒。还有，电鱼发电器的小型化更是人造发电机所追求的，这些都值得人们好好地研究和模拟，这对人们制造更好的发电装置和利用动物电源必会有所帮助。

## 声纳和动物的水中定位

蝙蝠利用它的声纳在黑夜的天空中导航和寻找食物；鲸类也利用它的声纳，在光线微弱的水中导航和寻找食物，它们都是发出超声波，然后根据声波碰到物体后，折射回来的声波特征辨认目标。两者可以说是异曲同工，各显神通。

世界各地许多海洋公园都有鲸类中的海豚表演节目，往往博得人们的欢笑和阵阵掌声。驯养员向观众席上借来一件小物品，如钥匙之类，先给海豚熟悉一下，然后，将此物抛入池中，转眼间，海豚就会将它收回，交还原主。世界上的鲸类分为两大类型：一类是口中有须，没有牙齿，外鼻孔两个，叫须鲸类；另一类是口中没有须而有牙齿，外鼻孔只有一个，叫齿鲸类。海豚就属于齿鲸类，世界已知有 25 种左右。海豚的脑子十分发达，脑子的相对重量（每单位体长中的脑重量）比猩猩的脑子重 1 倍，而且脑上表布有脑沟和脑回，因此，海豚能表演那么多精彩节目也就不足为怪了。