

学校的理想装备

电子图书·学校专集

校园网上的最佳资源

中小學生課堂故事博覽

发明物中来

— 生物仿生的故事

 **eBOOK**
网络资源 免费下载

发明物中来

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，然后拉丝结幅射线，圆蛛的网幅射线通常为 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。这就不禁使人想到，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周内只是不能动弹，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翰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础。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、农业的飞速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，人们一方面要节流，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“淡水器”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（Max Kramer）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、鲭鱼、鲣鱼、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，有人说鲭鱼的时速可以达到 90 公里。鱼类学家戈特教授说今天在美洲海边见到的鲭鱼，可能是在前晚经过好望角的。不管这些说法是否可靠，但是都无非说明鲭鱼游泳速度快。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，这个相对厚度对鲭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，因此说鲭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，这就难怪鲭鱼能在转眼之间，游离人的视线之外。美国按照鲭鱼的体型，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鲭鱼的体型，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，如鲭鱼和鲚鱼等的尾，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，现在还存活着的剑尾类就是鲎。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汉堡、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找产生电的方法。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，经过示波器放大和记录下来，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0.001~0.002伏。而人脑输出的电压仅为0.00002~0.0001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，有从脑通到发电器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场。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，它的发电机全都安装在这条长尾中。成年电鳗的发电机约占它的总体积的 40% 左右，发电机每侧各有两个，上面一个较大，由尾部的前端一直伸向尾部的后端，是主要发电机；下面一个较小，沿着身体下表面伸展，这些发电机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。

非洲淡水河中的电鲛能产生高达 350 伏的电压，它的发电机不像电鳗和电鳐那样集中在某一部位，而是存在于由鳃到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机，它的电板上有神经末梢的一侧膜是正极，这同电鳗和电鳐正好相反，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机上去，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。电鲛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机输出电功率为 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。电鱼发电机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，电鱼发电机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，海豚就会将它取回，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。

人们对海豚的研究主要在于它在水中的回声定位技能。同空中回声定位相比，水中回声定位有利处在于：水是回声定位的理想介质，传声性能比空气好。声能被吸收得较少，一般声音在水中传播的速度比在空气中传播快 5 倍，每秒可达 1600 米左右，传播距离也更远。海豚能听到的声音范围虽然比不上蝙蝠那么大，但是海豚对水中频率高达 170000 赫兹的声音起反应。而且具有很强的抗干扰能力和辨别能力。实验证明，将两个钢球，一个直径为 6.1 厘米，另一个直径为 5.2 厘米，两球相距 12 厘米，让海豚检出 6.1 厘米的小球，结果正确率达 100%。区别 6.1 厘米和 5.5 厘米小球，正确率 80% 左右。海面下的世界是烦嚣的，各种海洋生物发出各种音频的声音交汇在一起，如同闹市。当然这些声音多数是人耳听不到的。海豚生活在这样的环境中，习惯于所熟悉的声音，一旦有新的声音突然出现就会引起海豚的警觉。人们用金属棒和玻璃板等在池中设置障碍，并给予各种强烈的人为的声音干扰，然而海豚照样能在其中自由穿梭，不会碰撞这些障碍物。无论是空中或是水中，一个表面要产生反射声波必须要比波长大几倍。在水中中央 C 调的声音要从物体反射回去，这个物体一般不会比万吨轮小。由此可见海豚利用回声定位所发出的声信号的频率要有多么高！

有关海豚的声纳系统，人们还不完全了解。鲸类都没有声带，不可能从喉部发音，有人认为海豚是通过呼吸道发声的。海豚头顶上有一个喷水孔，也就是外鼻孔，在喷水孔和内鼻孔之间的鼻道向两侧延伸出数个左右不对称、大小和方向都不一样的气囊，受挤压的空气从气囊喷出，并在喷水孔周围的肌肉配合下发出定位用的“的嗒”声。在气囊的后面是颅骨，使声波向前反射出去，气囊的前面有一个瓜状的脂肪体，使声音在此产生共鸣。因此，当海豚浸在水中时，喷水也必须紧闭。从水中拍摄的照片，看得很清楚，海豚到水面以前，喷水孔确实是关闭的。而白鲸在发声时，努力收缩腭部上面的肌肉，使头上鼓起一个浑圆的大块，借以形成共鸣腔。瓜状脂肪体具有超声聚焦的作用，它把声波聚成声束辐射出去，海豚用作回声定位的“的嗒”声，以每秒 1~800 次的脉冲进行传播，最短的持续时间仅为千分之一秒。海豚在海中游动时，头部不时地以 10° 幅度左右摆动，频频发出声波，大约每 20 秒发出一个声音，当收到能引起其兴奋的回声时，便立即发出不同音频的超声来寻找产生回声的来源，根据对回声的分析，最后确定探测目标的距离、

方位、形状和性质。海豚能发觉 3 公里以外的鱼群，并分辨出其爱吃的或不爱吃的种类。

鲸类适应水中生活，身体呈流线型，以减少水流对身体的摩擦。外耳已退化，耳孔缩小到如同铅笔那样粗细，耳道有蜡质的耳塞，海豚的听觉十分灵敏，水中的声波是通过身体组织和头骨传入中耳。由内耳延伸出的听神经十分粗。脑中的听觉中枢比视觉中枢几乎大 4 倍。鲸类和一切少毛的哺乳动物一样，皮下脂肪层特别厚，这对声波传入体内不利。但是，奥妙在于海豚前额部几乎没有脂肪，声波能由此处很好地传入。由此可见，海豚的前额部对回声定位极其重要，无论是声波的向前发射，还是回声的由前传入都与前额部有关，这就不难解释为什么海豚能觉察到脑前方的事物，而对脑后的事物往往觉察不到。海豚的下颌骨对回声接收有很大作用，它的下颌骨具有空隙，一直后延并将耳骨包围，耳骨周围的空间扩大到内耳，空间大部分含有泡沫物质，一方面起到保护耳免受深海巨压，另一方面起着隔音作用，防止声音由身体传入耳中，使海豚只能接收来自前方的声波。

海豚的超声波探查系统与人造的水中探查用声纳相比，无论在识别能力、抗干扰能力和方向性等各个方面都要优越得多。各国科学家都开展对海豚和其它海洋动物回声定位的研究，模拟海豚等的回声定位以改进人造声纳。随着电子超声波声纳系统的发展，已在水下导航、反潜艇侦察以及鱼群监测等方面起到很好的作用。

由海螵蛸、鱼鳔到潜水艇

三国时代，曹操有个小儿子，叫曹冲，自幼就聪明过人，深受曹操宠爱，常常陪伴在曹操身边。曹冲7岁那年，有人送给曹操一头大象，曹操想知道这头大象有多重，但是，当时还没有一把秤能称得起大象，曹操问计于左右随从，大家都无计可施。曹冲却想出一个办法，让人将大象牵上一条船上，由于象身的重量，使船身下沉一截，这时，在船身和水面交界处划上一个记号，然后将大象牵回岸上，船身又上浮至原处，再命人将一筐筐石头搬上船，直到船身又下沉到所划记号处为止，最后将石头分筐称重，相加起来的数目就是大象的体重。曹冲用物体的重量与沉浮的关系，巧妙地解决了这个难题，曹冲称象的故事也就流传至今。

物体为什么会沉浮？这是由于浮力作用，浮力是物体浸没在流体（如水）中所受各方向流体静压力的合力，大小等于被物体所排开流体的重量，方向铅直向上，当物体的比重小于浮力时，物体就浮上来，否则就沉下去。阿基米德原理说的就是这个道理。

人们根据沉浮原理成功地制造了潜水艇，这种能在水下作战的舰艇在历次海战中都显示其战斗力，它能下潜离水面深达500米，具有良好的隐蔽性和续航力，能从水下袭击水面舰船和岸上目标，也能作侦察、布雷和运输等。最初，人们也是将石头或铅块等重物装进潜艇，使潜艇下沉，卸掉石头或铅使潜艇重浮水面，这种潜艇当然不能下潜太深，而且费事，上浮后再要下潜，则又要从岸上取得石头。后来改进了，用浮箱充水取代石头，使潜艇下沉，要上浮时，用压缩空气通入浮箱排水，并可通过调节使艇身周围海水的比重相等就能保持潜艇在水中一定深度，不浮不沉，这种潜艇非但省事得多，而且可以控制潜水深度，自由沉浮。现代又用核动力作为推进动力制成核潜艇，水中排水量达到万吨以上，水下续航力达20万海里，自持能力达2~3月。从原始的潜艇到现代的核潜艇都是以沉浮原理作为基础。然而，早在人类出现以前，许多水中动物已经具有很好的潜水本领，具有令人赞叹的浮箱系统结构。

乌贼被列为我国四大海洋渔业之一，这种软体动物由于足基在口四周分裂成10条腕，所以在分类上属于头足纲。它的身体背侧皮肤褶皱向下伸展形成外套膜，含有丰富的肌肉，外套膜所包围的空腔称外套腔，内脏等均位于其中。在外套膜内有一块“骨板”，中药称为海螵蛸，呈两头尖平，中间宽厚的扁流线形。如果把它掰开，可以见到内部为疏松多孔隙的石灰质结构，空隙处可充满气体或水，如果把海螵蛸揷入水中，手一放开，它立即浮上水面。乌贼按照自己所需的潜水深度来调节海螵蛸孔隙内含水和气体的混合比例。海螵蛸起到相当于潜艇的浮箱系统的作用；乌贼通过海螵蛸来控制沉浮。

一些有鳔的鱼，鳔就是它们的浮箱，而且更为轻巧。从发生上看，鳔是由食道上分出来的一个小泡发展而成，通常呈长囊形，有的呈马蹄形，如鲶鱼有的由中间凹陷成两个囊状。如鲤鱼有的鳔上分出一些盲囊，如鳊鱼鳔壁由内外两层组成，外层是扁平或柱状的皮膜组织，内层是弹性纤维性的结缔组织，使鳔能承受内外压力。有的鱼鳔有一短小的鳔管与食道相通。有的鱼没有鳔管，鳔内壁一般是光滑的，但也有分隔的，鲂鱼鳔由一纵隔分成左右两室，很多种鲶鱼的鳔内有T字形的隔把鳔分成三室。雀鳝的鳔内成蜂窝状。如果用脚去踩破一个鳔，会发出“啪”的响声，证明鳔内充满气体，

鳔内的气体主要是氧、氮和少量的二氧化碳。海水鱼比淡水鱼鳔内含氧气多，一些深海鱼的鳔含氧更多，几乎占到 90% 左右，鳔内气体是由鳔壁血管内的血液中分离出来的。一般来说，有鳔管类的微血管多半集中在鳔内面一二处，呈斑状，叫红斑；无鳔管类微血管形成腺状，叫红腺。根据检测，深海鱼类血液中氧气的压力大约是空气的五分之一，鱼鳔内的压力则为 40 大气压以上。鱼又是怎样把血液中的气体压入这样的气压的鳔内呢？是通过红腺和红斑分离氧的作用，当血液流至红腺和红斑处，这里的细胞把血球中与血色素相结合的氧气分离成游离状态的氧，使它变为鳔内气体，当鱼下沉时，鳔内气体又回到血液中去。鱼类居住的水层愈深，鳔内含氧愈多，红腺和红斑也愈发达，这一点可以证明鳔内气体的出入与血液有关。有鳔鱼类调节鳔内气体的变化来控制鱼体的沉浮，鳔内气体多，鱼体比重减少，就浮上来，鳔内气体减少，鱼体比重大，就沉下去，如果使身体比重与环境水的比重相等，就不沉不浮，保持一定位置。

鳔是鱼类特有的调节身体沉浮的器官，但是，并不是所有的鱼都有鳔。由于鳔内的气体充入或排出过程，即使最快，也总要有一个时间。如果鱼需要紧急下潜或上浮，这时鳔反而起着阻碍作用，所以有些快速游泳的鱼，如蓝点马鲛鱼、青甘金枪鱼和所有的软骨鱼以及一些深海底栖的鱼类都没有鳔，但是，它们仍能自由地上浮下潜。如果说人类靠自己的智慧发明浮箱来解决潜艇的沉浮，并没有及时地从鱼鳔中得到什么启发和帮助，那么，人们若想设计没有浮箱的新型潜艇，是不是可以从无鳔的鱼类和其它水生动物中得到一些启示和帮助呢？

到海底去，除了要解决沉浮问题外，如何抵抗深海的巨大压力也是要解决的。人平时所承受的大气压力约为每平方英寸 15 磅，而水下 3000 英尺深度的压力达到每平方英寸四分之三吨。用作科学考察的美国特里斯特号深海潜艇能下潜 35800 英尺，那里的压力超过每平方英寸 16000 磅，仍然有鱼类活动。为了抗压，潜艇的外壳大都采用抗高压合金钢；特里斯特号的乘客舱的外壳厚度达到 7 英寸。然而，不管是乌贼还是鱼的皮肤与它相比又是显得多么薄，深海潜水艇的沉浮系统没有采用浮箱，而是用一艘充满比水轻的航空汽油的“气船”，它既能沉浮又能抵抗深海的巨大压力，球形的乘客舱连接在“气船”的下面。有一种深海乌贼叫酸浆乌贼，它具有类似深海潜艇所用的“气船”的构造。大多数乌贼的体腔都已退化成围心腔、肾管内腔和生殖腺外面的囊腔等，而酸浆乌贼还存留有真体腔的地方，腔内充满一种比水还轻的含氮液体。这个低密度液体“气船”帮助酸浆乌贼上浮，并起有抵抗深海压力的作用。

回声定位和蝙蝠仿生

第二次世界大战期间，德军制定了一个叫“海狮行动”的军事计划，动用 2000 架飞机突然袭击伦敦，企图一举摧毁英国。为了保证这次空袭成功，事前派遣了一个特工小组潜入英国，破坏英国雷达网中心。在这个危急时刻，英国反间谍人员及时破获了这个特工小组，使英国能够以 1000 架战斗机在雷达的监测下，击退了当时不可一世的德国空军。事后，英国首相丘吉尔在向全国广播时说：“1000 名皇家空军挽救了英国”。这次战役，英军能够以少胜多，当然是由于英国皇家空军的英勇奋战，但是，雷达在其中显示的威力也起着很大的作用。

雷达和声纳都是人为的监测设备。雷达是用电磁波的反射发现目标并测定其位置的电子设备；声纳是利用声波的反射探测目标和测距的仪器。远在人类利用雷达和声纳千百万年前，在自然界，不少动物，如蝙蝠、海豚等早已在应用它们自身的声纳系统来定位、捕食、绕过障碍和逃避敌害。而且在结构的精致，效应的灵敏等很多方面都是目前人工雷达和声纳系统还办不到的。虽然人为的雷达和声纳是对一些动物回声定位的一种迟到的仿生，但是，深入研究一些动物的回声定位势必会给完善人为的雷达和声纳许多有益的借鉴。

物体振动才能发声，声音以波的形式在媒介中传播，当声波碰到障碍物时就会反射回来，反射回来的声波传入耳就是回声。如果回声到达耳朵比原来的声音滞后 0.1 秒以上，就能把回声与原来的声音区分开来。因此，根据声速和回声滞后时间就能测出发声体与目标之间的距离。人耳能听到的振动频率范围约在 20 ~ 20000 赫兹之间。因此，把低于 20 赫兹的声波称次声波，高于 20000 赫兹的声波称超声波。利用回声定位的蝙蝠能发出和听到的超声波超过每秒 150000 次振动，这样高的频率的声波，如果人耳能听得到，就会有震耳欲聋的感觉。蝙蝠发出的声波是极短促的，还不到千分之一秒长，而且是不连续的，并以脉冲的形式发射出来，这样可使发出的声波有较大的能量，也容易听清不连续的回声。有不少蝙蝠如菊头蝠科和蹄蝠科等在鼻部有复杂的鼻叶，是由鼻子周围的皮肤褶瓣形成，鼻叶沿鼻孔围成一圈，就像喇叭筒一样，这样就能把超声波集中成一狭窄的波束发射出去，使它传得更远。从鼻叶的着生部位来看，可能这些蝙蝠的超声是从喉头发生经由鼻孔发出的。蝙蝠不仅能调制声波的振幅，改变声音的强度，也能调制频率。一只蝙蝠飞行中每秒重复它的叫声 20 次，但是当收到有用的回波后，立即会兴奋起来，发出每秒 200 次以上的脉冲，进行确切地探测。有些蝙蝠在外耳基部有一片皮肤瓣叫做“耳屏”，种类不同耳屏的形状也不同。值得注意的是，一般有复杂鼻叶的蝙蝠大多数都没有耳屏，而有耳屏的一般都没有复杂的鼻叶。这样就不免使人联想到一个问题：如果鼻叶同声音的发射有关，那么，耳屏是不是同回声的接收有关。研究过蝙蝠的人都知道，菊头蝠科的蝙蝠的外耳特别大。即使是倒挂着的时候，它们的双耳都在不停地向各个方向微微颤动，这显然是在收集声波的动作。此外，它们的股关节特别柔韧，倒挂时几乎能作 360° 弯曲。蝙蝠的内耳也很大，两个耳蜗占据了后颅腔很大位置。耳蜗螺旋韧带很发达，在近鼓阶处还有一个螺旋板，这些结构都使蝙蝠对回声的接收具有高灵敏度的基础。声音是会被干扰的，蝙蝠抗干扰的能力非常强。人造的声学仪器当噪声强度与它发出的声波强度之比为 1 : 1 时就开始失

灵了。但是，实验证明：在一间布满细铁丝的暗房内，用噪声去干扰一只蝙蝠的飞行，即使噪声和信号声之比高到 100 : 1 时，蝙蝠飞行照样不会碰撞细丝。很多蝙蝠都有聚群的习性，一个山洞中聚集有千万只蝙蝠是常有的事，如此多的蝙蝠同时发出的超声波而彼此不受干扰又是多么令人羡慕！

由于声波透过空气和水这一界面时，从水中物体返回到空中接收到的回声声波几乎下降了 100 万倍以上，因此，从空中收听来自水中的回波是很难的。但是，一种食鱼的兔唇蝠就能从空中探测到水中的鱼，并能把握住最好时机，俯冲下来将鱼抓获。当然兔唇蝠是贴水低飞觅食的，这样可以减少声波通过水面时的损失。

最令人不可思议的是现代的声纳和雷达装置，重量以吨为计算单位，体积以百立方米计，而一只盘翼蝠的头和体长只有 34 ~ 52 毫米，平均体重只有 4.2 克。要知道这还不是最小的蝙蝠。就在这样小的一个躯体内竟装置有如此精密的声纳系统，难道不值得人们去深入研究！

味觉的仿生

如果你感冒，鼻子不通，吃起东西来就不会觉得有滋味。舌苔很厚，饮食也不会觉得有味。高明的厨师烹调一定讲究色香味齐全，通过视觉、嗅觉和味觉的综合作用促使胃口大开，远比单一感觉的作用效果要好。事实上味觉和嗅觉是如此的相似，以致一些低等动物对化学物质的感觉很难分清嗅与味的界线。嗅觉和味觉都是化学性感觉。都是化学分子与感觉器官相接触产生电信号，传给大脑形成感觉。所不同的是你可以离李子较远而闻到李子的香味，但是，你要知道李子的味道就非得亲口去尝一尝。

人和哺乳动物的味觉感受器主要是分布在舌背面的味蕾。舌背面有许多细小的突起，叫乳突。可分为三种：轮廓乳突，分布在舌根部，约有 8~12 个，排列成倒八字形；菌状乳头，分布在舌尖和舌的边缘部，这两种乳突里面，味蕾很多；丝状乳突没有味蕾。此外，还有一种叶状乳突，普通哺乳动物都有，但在人类则已退化，这种乳突也含味蕾。乳突中散布有神经纤维。味蕾在口腔粘膜的其它部位也有分布。味蕾呈球状，由 2~12 个纺锤状的味细胞和支柱细胞构成，味细胞上有刚毛突出在味蕾上方的味孔处。味觉有探测溶解在水中的物质的能力。一种特定的食物味道取决于它对几种味蕾的联合效应。人有四种基本味觉，即酸、甜、苦、咸，加上辣合称五味。一般舌尖主要感觉甜味，舌的边缘感觉酸味，舌根主要感觉苦味，咸味则整条舌都能感觉。人舌非但能尝出何种味道，而且还能尝出这种味的浓淡，一直到现在，国际上名酒等饮食评比，都还是以人的品尝为主。人的味蕾约有 10000 多个。兔子约有 17000 个。牛有 25000 个左右。鸟舌中味蕾较少，一般只有 20~60 个。但是鸽子能尝出一粒谷中富含蛋白质的部分和富含淀粉质的部分。

并不是所有的动物都有舌，也不是所有的味感觉器都分布在口中。原生动物和海绵用整个身体去尝味。苍蝇的口器上有一片海绵状小板，叫唇瓣，苍蝇用它不断地到处伸探。科学家把唇瓣上一根细毛放入糖液中，并使它接上微电极，可立即在电流计中看到反应，说明苍蝇感到味道，正在作出反应。苍蝇的前足上也有感觉毛，它们也可用足来品尝食物，苍蝇前足对糖的敏感度比口器强 5 倍。蝴蝶的足上也有味感觉毛。有些鱼类的触须具有味觉。圆头鲈能觉察到头前较远处向已游来的猎物，如果破坏它的嗅神经，它仍然保持这种能力。但是，如果破坏它的味神经，这种能力立即消失。淡水鱼的味蕾多数分布在鳃腔内，当水流经鳃腔，同时也经过味蕾，产生味觉。有些鱼类数千个味蕾散布于全身，以此探测整个水域。鲇鱼几乎盲目，它靠味觉来获取食物，而靠嗅觉来维持其群体生活。

在蜥蜴和一些蛇类的鼻腔下面，具有一对由口腔背壁向跨部内凹的弯曲小管，叫锄鼻器或贾科勃林氏器。管内有許多与鼻腔中的细胞相似的感觉细胞，并且通过嗅神经的大量分支与脑联系，并有眼腺分泌物润滑，就像唾液腺分泌湿润口腔一样。由于毒蛇的唾液腺已演化成毒腺，因此，眼腺可能是替代唾液腺分泌，起湿润毒蛇口腔的作用。只要空气中所含的少量化学分子通过锄鼻器，就能分辨这些分子是什么物质，可见它有辅助嗅觉的作用。但是，锄鼻器的末端是一盲端，没有导向体外的开孔，只有开口于口腔的孔。蛇不断地用它那分叉的舌头伸出口外，探测空气中的气味，当舌摄取到空气中的化学分子后，便迅速将舌回缩入口，到锄鼻器中，产生味觉。刚出生的

小蛇虽然从未吃过任何东西，但是，对浸在水中小动物的皮肤，也会吐出舌头，作出进攻的反应。因此，很难分清锄鼻器究竟是嗅觉器官抑或是味觉器官，这也说明很多动物的嗅觉和味觉往往是混杂在一起的，因为，它们都靠化学分析的方法起作用。鲨鱼对血腥特别敏感，海水中只要有一些新鲜血液，就会引来鲨鱼，这究竟是由于血腥的气味，还是血腥的味道在起作用，确实不易说清，不过有一点是可以肯定的，就是嗅觉和味觉综合作用要比单独作用的效能大得多。

人们研究动物的味觉器官和嗅觉器官对研制理想的气体分析仪器是有益的。人们研究和模拟苍蝇的这些感觉器官而制成小巧灵敏的气体分析仪，已被应用于宇宙飞船的座舱中，用来监测气体；也应用于分析气体的电子计算机上，对气体进行精密的分析；还用来监测潜水艇和矿井等逸出的气体，以便及时发出警报。

翅痣、减振器和飞机

亨特是一位优秀的飞行员。那天，天气晴朗，地勤人员对他驾驶的飞机作了精细地检查，一切机件都属正常。亨特熟练地驾驶着银鹰起飞了。飞机在空中高速飞行，时速已达 600 公里，不久，他觉得机身异乎寻常地一震，突然机翼折断了。幸亏亨特早有准备，及时跳伞，但飞机却坠毁了。像这类飞机在高速飞行中机翼突然莫名其妙地折断的事故已发生过多起，科学家们对此进行过很多研究，但一直未弄清原因。最后，才知道是颤振作用使机翼折断。

颤振是气体动力学中一种气动弹性现象，飞行器结构在匀直气流中，由于受到空气动力、弹性力与惯性力三者的共同作用，而产生一种自激振动，飞行越快，机翼受到动力作用，使机翼的振幅越来越大，最终将机翼折断。问题找出后，飞机设计师们在机翼前缘离翼端不远处安装了一个加重装置，减除颤振，终于解决了机翼折断的问题。然而，善飞的蜻蜓的双翅薄到透明，但飞行速度每小时可达 140 公里，它的双翅却未见折断，又是怎样抗颤振的呢？昆虫学家发现在蜻蜓的前后翅的前缘，离翅端不远处，也有一块深色的角质组织加厚区，叫翅痣，如果将翅痣去掉，蜻蜓在飞行时，同样也会折断双翅。证明正是这块角质组织使蜻蜓双翅消除了颤振的危害，蜻蜓的翅痣与飞机的抗颤振装置简直如出一辙，如果飞机设计师早知这一奥妙，在抗颤振研究上就会少走很多弯路。类似这种吻合的例子还有很多。

在 20 世纪 30 年代出现的直升飞机，由于不需要跑道就能在很小范围内，由地面垂直升起和垂直降落地面，并能将机身悬空定身，因此，它起到了其它飞机所不能起到的作用。例如，野外工作人员在森林、山谷或海面出事，需要急救，这时直升飞机就可迅速飞到出事地点，降落或悬空放下吊梯，送去医生和药品或将受伤者接去医院急救。直升飞机主要由旋翼、机身、发动机、升降器和操纵系统等部分组成。用旋翼转动产生升力，不需跑道就能升降，这种本领在鸟类中的蜂鸟早就具有了。

蜂鸟是一种纤细的小鸟，最小的蜂鸟比黄蜂还小，主要分布在南美洲和中美洲热带地区。蜂鸟羽色十分艳丽。嘴细长呈管状，舌能自由伸出，有些蜂鸟的舌端呈毛刷状，食花蜜和花上的小虫，常飞行于花丛间，飞行时双翼拍动得很快，每秒能达 70 次。蜂鸟的飞翔与直升飞机相同，不但能向前飞、倒退飞和向两侧飞，还能悬空定身飞。蜂鸟的双翼结构与大多数鸟类不同，它们的腕和肘关节几乎不能动，整只翼几乎直挺的由一个转轴关节连接在肩上。通过高速摄影可以看出蜂鸟的飞翔动作与直升飞机非常相像，所不同的是直升飞机的旋翼是转圆圈，而蜂鸟的翼是前后划动的。直升飞机在空中定身不进时，由发动机带动旋翼所成的平面与地面平行旋转，产生升力，升力大于机体体重，机体就上升；小于机体就下降；等于机体就悬停在半空。蜂鸟展开双翼所成平面与地面平行拍动，产生升力，使升力等于蜂鸟体重，就将身体悬停空中。鸟翼向前划时翼缘稍稍倾斜，形成一个上迎角，产生升力，而无前冲力；向后划时，整只翼在肩部作 180° 转向，使前缘转向后方，于是得到相同的上升力而无推前作用，故使鸟体悬在空中不进不退。直升飞机利用旋翼向所飞方向倾斜，机身就能向前、后、左、右或任何方向推进或后退。蜂鸟的翼也是如此，蜂鸟也能由地面直接升起。

喷气式飞机是一种高速飞机，到 20 世纪 70 年代，涡轮喷气式飞机的最

大平飞速度已达音速的 3 倍以上，飞行高度达 3 万米。喷气式飞机装配有喷气式航空发动机，主要有涡轮喷气、冲压喷气和脉动喷气三种。利用发动机向后喷气给空气一个作用力，空气也给机身一个大小相等、方向相反的反作用力，推动机身前进，从而提高了飞行速度。“喷气推进”的原理在鸟类尚未发现，但在鱼类、柔鱼和头足类乌贼早就在应用了，不过不是喷气，而是喷水推进。鱼的运动有三种方式：一是肌肉交替收缩和舒张，使鱼左右摆动；二是鳍的摆动；三是鳃孔的向后喷水，使鱼体向前疾进，这是一种重要的运动方式，鱼张口吸水，然后闭嘴使水从鳃孔喷出，借助水给予的反作用力推动躯体前进，这与喷气式飞机喷气推进道理一样。高速运动的鱼类，喷水时，正在鱼体弯曲以后向前推进的一刹那，喷水效果也最大。此外，鱼开始运动时，喷水力量也最大。如果鱼类将一侧鳃盖闭合，使水全部由另一侧鳃盖裂孔中喷出，就可辅助胸鳍使鱼体作急速转弯。虽然，人们在制造喷气式飞机时，未必从鱼的喷水推进中得到什么启发，但是，鱼的一侧喷水急转弯这一招是否能给喷气式飞机急速转弯一点启示呢？柔鱼和乌贼一直在应用喷射推进作高速运动，它们身体背侧的皮肤褶皱向下伸展形成外套膜，包围着一个空腔，叫外套腔。在口的周围有 10 条腕足，足的基部形成一个漏斗，是外套腔通向外界的孔口。漏斗与外套膜以软骨形成的闭锁器相连，水流经过漏斗进入外套腔。当乌贼和柔鱼快速运动时，外套膜肌肉用力收缩，使外套腔内的水急剧由漏斗喷出，身体就借水的反作用而急速游进，可使它的运动速度高达每秒 15 米。我国造船工业科技人员模拟乌贼的喷水器制成用于浅水航行的喷水拖船。

蛙眼和电子检测器

17 世纪初期，一位耶稣教会修士史钦纳将眼球后面逐层剥离。当他将不透明的层剥清后，竟发现在视网膜上显示出一幅那位死者临终前一瞬间所见到的事物的映象。以后，直到 19 世纪末期，人们能用化学物品把视网膜上的映象固定下来，事物通过透镜成像在视网膜上这一见解才被人们公认。最近，俄罗斯破获了一件前苏联遗留下来的骇人听闻的凶杀案，一个灭绝人性的杀人狂在过去 19 年中，极其残忍地杀害了数十名无辜的妇女和少年，由于凶手过于狡猾，得以长期逍遥法外。破案后，侦破组负责人答记者问时谈及：他们发现被害者的尸体都有一个共同点，就是双眼都被挖去，这一点引起侦破人员的注意，经过仔细分析，认为可能是凶手怕自己的形象在作案时被留在受害人的视网膜上。如果这个分析是正确的话，那么按此推理，凶手具有一定的文化知识，在日常生活中，一定会避免与人正视，同人交往，不敢与人目光对视，并且外出经常戴墨镜等。侦破人员以此线索作为突破点，深入调查，解开一个个疑点，终于挖出凶手。这个凶残而又狡黠的杀人狂害怕视网膜成像留下罪证，企图挖眼毁证，逃避法网，没料到天网恢恢，聪明的俄罗斯侦破员正是根据他的这一行为才打开僵局，最终将他送上审判台。

人们对自己和别的动物的视网膜所知不多。也许永远不能了解客观世界究竟在动物眼内是什么样子，因为，在研究和分析中难免不带主观性。通过研究，发现一些动物所见到的世界同人们所见到的并不一样。人的眼睛大体上可说是动物界中最复杂和完备的了，但是，人眼不能感觉到昆虫能感觉到的紫外光，而有些动物不能辨别颜色，蛙眼则对不动的物体没有反应。然而，人们就是根据已知不多的有关视网膜的认识，设计出一批视网膜机能电子模型，并收到很好的应用效果。蛙眼的模拟就是一个较成功的事例。

莱特文和马图兰把微电极插入青蛙视神经上，并接到一台示波器和扬声器上。这样，当青蛙视网膜上感光细胞受到光刺激后产生的电脉冲就会在示波器上显示波形，并在扬声器上发出噼啪声来。

蛙类视网膜上的神经细胞分布在三个层次上：第一层是感光细胞，约有 100 万个。第二层是双极细胞、无轴突细胞和水平连接细胞，约有 300 万个。第三层是神经节细胞，约有 50 万个。它们发出神经纤维组成视神经与大脑相接，神经节细胞根据其输出纤维连接场所的不同，分成五种类型。他们把微电极插到青蛙视网膜上的各种细胞上进行试验，给青蛙看黑色的各种几何形状的物质，看黑色和白色的图像，包括青蛙在自然环境中可能见过的景色彩照。给青蛙看灯光、熄灯和灯光由亮变暗等各种刺激，再观察示波器上显示的波形和扬声器上发出的声音的变化。发现这五种类型的细胞各自起着不同的作用。

第一类细胞最小，只能感觉到物体的边缘轮廓，故称轮廓检测器。第二类细胞较大，只对那些比背景暗的并向视野中心移动的小凸体发生反应，称为昆虫检测器，也就是说青蛙对静止的物体不感兴趣，青蛙注意的目标主要是其共性，而目标的个性是次要的。第三类细胞对时间上的亮度变化，如目标的移动起反应，叫活动边缘检测器。第四类细胞只对光从强到弱，如发生阴影起反应，叫转阴检测器。第五类细胞只对一种“水蓝色”的色调起反应，叫颜色检测器。

五种神经节细胞接受从感光细胞传来的信息，各按自己的方式去进行分

析，差不多十分之九的信息都在视网膜处立即处理，最后通过神经传入大脑去作综合，形成一个崭新的组合图象，就像书刊上的彩色图版由各种颜色套印而成一佯。处理过的信息随即送往大脑的一个反射中枢，及时发出应作出相应动作的命令，因此，蛙眼看到的只是对其生存有关的事物，此外，什么也置之不顾。在自然环境中生活的蛙类，通常也不食死物。当一只飞虫进入它的视野时，青蛙立即会张口将其吞下，动作之敏捷，令人叫绝。有人曾将一只死虫抛向青蛙，它一张口就将其吞下。又将一只烟蒂抛向青蛙，它照样将其吞入口中，反应之快，如同吞食一只活的飞虫一样，但它很快又将烟蒂吐出。可见青蛙不是不食死物，而是对不动的物体无反应。相反，只要是运动着的如同飞虫一样大小的物体都能使其作出捕食反应。这主要是边缘检测器和昆虫检测器所起的作用。漫步在水池边，当你走近时，潜伏在草丛中的青蛙它会立即跳入水中躲避。这主要是转暗检测器所起的作用。蛙眼五种类型的神经细胞综合作用，保证了蛙的生存。

科学家们模拟蛙视网膜，设计出蛙眼电子模型——电子检测器，由 7 个代替感光细胞的光电管和一个人造神经元组成。其中一个光电管位于中央，并与人造神经元的抑制性输入端相接。6 个光电管以等距离排列在四周，并与人造神经元的兴奋性输入端相接。当 7 个光电管都受到光照射时，人造神经元输出为零。若一个不透光的运动物体的阴影挡住外周的任意一个光电管时，人造神经元输出为负，当运动物体移入中心，遮住中心光电管时，使抑制性输入为零，而 6 个光电管的兴奋性输入之和为正，人造神经元立即有信号传出。这架电子模型具有感受边缘、运动、“昆虫”和光强减弱等能力。根据这个模型研究图象识别，已设计出有效的雷达跟踪系统，提高了雷达的辨别性能，只检出转向雷达飞来的飞机，并立即告知监视人员。然而，这架当时造价 20 万美元的模型，重 500 磅，体积近 2 立方米，与两只春雨蛙相比，人们又会发出什么感叹呢？另外，蛙类不消三个月就能自行将被切断的视神经纤维一一连接起来，使视觉恢复正常。这种令人难以想象的“自修复”功能，也值得研究“自修复”结构的人员去模拟的。

热感受器和热传感导弹

夏天的夜晚，甲乙两人同睡在一间房内，灯刚关掉，讨厌的蚊虫就嗡嗡地人在人耳边侵扰。一只蚊虫刚停落在甲的脸颊上，甲觉得被叮了一下，立即用手打去，将蚊虫打死，甲高兴地喊道：“哈！我打死了一只雌蚊虫”。乙听罢，不能理解，认为房间内是黑暗的，伸手不见五指，又怎能看清蚊虫的雌雄，甲说打死一只雌蚊虫，纯粹是胡乱瞎猜，便嘲笑甲道：“老兄的眼睛真行，竟然能在黑暗中看清蚊虫的雌雄！”事实上，甲打死的确实是只雌蚊虫，不过甲不是用眼去看清，而是用他掌握的知识去作出的正确判断，因为只有雌蚊虫才吸血，而雄蚊虫只是吸吮植物的汁液。在黑暗中甲是看不见蚊虫的，他所以能发觉有蚊虫，首先是蚊虫发出的嗡嗡声，然后是脸上被蚊虫叮咬的感觉。蚊虫在黑暗中同样也看不见甲，然而蚊虫又是怎样会发觉甲的呢？不是甲发出的声音，也不是甲的气味，更不是蚊虫瞎碰乱撞，而是蚊虫对甲身上发出的热的感应。

人和所有温血动物一样，体温都是相对恒定的。也就是说机体所产生的热和散发的热基本相等，由于温血动物产热率相对稳定，因此有皮肤、汗腺和肺等散热调节与产热恒定相适应，从而使体温保持在相对恒定的、稍高于环境温度的水平，这是由于机体在冷环境温度下散热容易，在低于环境温度下生活，会引起“过热”而致死。人体散热主要是皮肤的辐射热和汗腺的蒸发热，其次是肺通过呼吸散发部分热。温血动物的辐射热其实是一种红外线，亦称红外光，在电磁波谱中，波长介于红光和微波间的电磁辐射，它是一种肉眼看不见的光，但是有显著的热效应，人们用特殊的灯照射物体，用滤镜挡住所有肉眼可见的光，只让红外线透出，通过红外线望远镜，如军用窥探望远镜和瞄准望远镜等才可看见。但是，在自然界，有不少动物具有能接收红外线信息的结构。雌蚊虫的红外线探测器是它的触角，呈环毛状。雌蚊虫觅食时，不断地转动一对触角，当两条触角接收到的辐射热相同时，就知道可被吮血的温血动物应在正前方，雌蚊虫就朝目标飞去。根据离热源愈近，所接收到辐射热愈多的原理，就能准确地测知辐射热源的方位。

蛇类中有一些蛇，如产于美洲、尾端有角质环、摆时能作响的响尾蛇，广布于我国的蝮蛇，吻鼻部向上翘起的五步蛇，美丽的竹叶青蛇和头似烙铁的烙铁头蛇等，在眼睛与鼻孔之间有一凹窝，叫颊窝，就具有极灵敏的红外线感受作用。将一条蒙住双眼的响尾蛇放在两只灯泡的下面，灯泡不亮时，响尾蛇毫无反应，显得很安静，当开亮其中一只灯泡时，响尾蛇立即昂首张口朝着它，显得异常兴奋，而对那只不亮的灯泡不予理睬。将颊窝神经暴露出来，插上微电极，将颊窝神经细胞的电变化引导出来，显示在示波器上，然后给颊窝加以化学、声音和机械等多种刺激，在示波器上没有显示出脉冲变化。但是，当用手或热的物体去靠近它时，示波器上立即显示出强烈的脉冲变化，表明它处于兴奋状态。颊窝能感受到千分之一度的温度升高，并在35毫秒内作出反应，而且具有极高的抗干扰能力和分辨能力，并能在环境温度下起作用。颊窝被一层薄膜分隔成内外两个小腔。内腔以小孔开口于皮肤，使口腔与环境的温度一致，并可调节内外腔间的压力。颊窝上密布有三叉神经末梢质体，为红外感受单位，包含有许多线粒体。颊窝膜表面每平方毫米约有1000个红外感受单位。外腔方向指向前方，当热量到达颊窝时，窝内的空气膨胀，颊窝膜两侧温度就不同，神经末梢便兴奋，刺激神经细胞，产生

脉冲传给脑中中枢，信息加工后，脑中中枢便发出攻击猎物的命令。在电子显微镜下，可以见到神经末梢受到刺激后，线粒体的形态发生改变，线粒体可能构成初级红外感觉器。目前对颊窝的灵敏度已能测检，但对其机制还不完全了解，有颊窝的蛇靠它的颊窝感觉在黑夜中猎食，颊窝接受来自前方的辐射热，左右两个颊窝的感觉场是重叠的，并且有一定的感觉距离。通常蛇体盘起时比游动中感觉距离要远一些，只要感觉到有比环境温度稍差异的物体都会引起蛇的注意。蟒蛇的红外感觉器在头的正面和唇边，叫唇窝。深海乌贼的红外感受器在尾部的下表面，叫热视眼。此外，鸡虱、臭虫、蚂蚁等动物都能感受红外辐射的能力。

人们已经制造出灵敏的量热、温度计和红外探测装置等。例如响尾蛇导弹，是一种空对空导弹，就是将红外探测器配备在歼击机的弹头上，它可以追踪敌机发动机散发的热和喷出的废气时所发出的红外线而准确地击中敌机。

以红外、电子等技术为依据的公共安全技术产品是目前世界上发展最快的新兴产业之一。中国科学院上海技术物理研究所已研制出红外入侵探测器系列产品。可安装在室内、户外或屋顶、门窗、走廊等处，它们具有 24 个感应现场，相当于 24 只眼睛全方位探测，可起监视防盗作用。但是，人类目前制造成功的测温仪器从普通的人体温度计到复杂的红外探测仪同已知的一些动物对温度变化的感觉相比，无论从灵敏度或感热器官的结构轻巧上都是显得不足的。你不会不知道一支普通的医疗体温计有多大，也不会不知道一只叮人的蚊虫有多大，可以想象得出长在蚊虫头上的触角又是多么细小。两者一比较，就不难看出雌蚊虫的热感应器是多么精致，而仪器小型化正是宇宙航天科学研究所追求的。按现代的科学水平，人类还制造不出像雌蚊虫热感器那样大小的测温仪。

生物如何发光

晋朝车胤年轻时家境贫困，经常没有钱买灯油，但他又是个勤奋好读书的人，为了夜间也能看书，在夏天他捕捉了数十只萤火虫，放入一个囊内，借萤火虫发出的荧光读书，通宵达旦。于是，车胤囊萤夜读也就被后人用作勤奋读书的典故。

萤火虫会发光，很多人都知道。在夏季的夜晚，走到庭园或田野去，当你看到一闪一闪的流萤飞舞在灌木丛的上空，就像一盏盏小灯笼，可能会脱口喊出“萤火虫”三个字来。萤火虫发光是为了照明吗？不是，它的发光是作为一种招引异性的信号，停在叶片上的雌萤火虫见到飞过的雄萤火虫发出的荧光后立即放出断续的闪光，雄萤火虫见了就会朝它飞去。

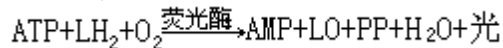
在自然界除了萤火虫外，会发光的生物很多。动物界大约有三分之一包含有发光生物；海洋中会发光的细菌已知有 70 余种。热带和温带海面上出现的“海火”奇观就是无数发光细菌聚集在一起放出的光所致。当然夜光虫更是“海火”的生成者。在某些深海水域，几乎 95% 的深海鱼类都会发光。一种斧头鱼，身体只有 5 厘米长，浑身透明，具有一系列的发光器，它在光线难以透进的深海中发光扩散而照亮了一定的范围，使得斧头鱼能在黑暗中认识同类、群聚或寻找对象。其实人本身也能发光，当然放出的光绝不会像神话小说中所描述的头上有光环那样，而是放出肉眼所不能见到的超微光。

人们对发光生物发出的生物光发生了浓厚的兴趣。因为：（1）生物光的效能实在太高。古书《古今秘苑》记载有：古时我国渔民用百多只萤火虫装入一个吹胀的羊膀胱内，将它结扎在渔网底下，就能招来鱼群，从而提高捕鱼量。数十只萤火虫装入囊中放出的光量就能解决车胤的夜读照明问题。据测定，一个发光细菌所发出的光相当于 1.9×10^{-14} 烛光。如此高效能的光源是不会不被人们注意的；（2）爱迪生发明了电灯，取代了用火照明。电灯无烟，光亮而且安全。但是，当你靠近开亮的电灯泡，就会感觉到热；愈是接近愈觉得热，这说明电只有使灯泡的钨丝烧热才能发光，而且大部分能量都以红外线形式转变成热散发了。此外，这种热线对人眼是无益的，而生物光是目前已知唯一不产生热的光源，因此也叫“冷光源”，其发光效率可达百分之百，全部能量都用在发光上，没有把能量消耗在热或其它无用的辐射上，这是其他光源办不到的。

人们研究生物光，虽然对生物发光的机制还了解得不多，但就现有的研究和了解，已取得一定的效益。通过对萤火虫的研究，已知萤火虫约有 1500 多种，各自发出不同的光，作为自己特有的求偶信号，不同种之间不会产生误会。萤火虫的发光部位是在腹部，那里的表皮透明，好像一扇玻璃小窗，有一个虹膜状的结构可控制光量，小窗下面是含有数千个发光细胞的发光层，其后是一层反光细胞，再后是一层色素层，可防止光线进入体内。发光细胞是一种腺细胞，能分泌一种液体，内含两种含磷的化合物：一种是耐高温，易被氧化的物质叫荧光素；另一种是不耐高温的结晶蛋白叫荧光酶，在发光过程中起着催化作用。在荧光酶的参与下，荧光素与氧化合就发出荧光，氧是从营养发光层的血管进入发光细胞的。由于血管随着它周围肌肉收缩而收缩，当血液中断供应时，氧就不能到达发光细胞，荧光也随之熄灭。生物发光需要氧，是英国学者波义耳在试验基础上发现的。波义耳将装有发光细菌瓶中的空气抽出，细菌立即停止发光。将空气重新注入，细菌又马上发光。

后来才知道是空气中含有氧所致。发光反应所需的能量是来自一种存在于一切生物体内的高能化合物，叫三磷酸腺苷，简称 ATP。美国约翰·霍普金斯大学的研究人员将萤火虫的发光细胞层取下，制成粉末，将它弄湿就会发出淡黄色的荧光，当荧光熄灭时，若加入 ATP 溶液，荧光又会立即重现。说明粉末中的荧光素可被 ATP 激活。因此，萤火虫每次发光，荧光素与 ATP 相互作用而不断重新激活。

萤火虫发光的化学反应可以写成下列反应式：



（式中 LH_2 为荧光素；AMP 为一磷酸腺苷；LO 为氧化荧光素；PP 为焦磷酸）

从上式可见生物发光和光合作用都是“电子传递”现象。有人认为生物发光好像是光合作用的逆反应。光合作用是绿色植物吸取环境中的二氧化碳和水分，在叶绿体中，利用太阳光能合成碳水化合物，同时放出氧气。光能从水分子上释放电子，并把电子加到二氧化碳上，产生碳水化合物，这是一个还原过程。光合作用把光能转变成化学能，而生物发光是电子从荧光素分子上脱下来和氧化合，形成水，产生光。生物发光是将化学能转变成光能。

人们研究生物光是为了利用它，这种冷光源效能高、效率大、不发热、不产生其它辐射、不会燃烧、不产生磁场等特点，对于手术室、实验室、易燃物品库房、矿井以及水下作业等都是一安全可靠理想照明光源。人们还可设法模仿发光生物把一种形式的能量转换成另一种形式的能量，制造冷光板使其不需要复杂的电路和电力，就能白天吸收太阳光，到晚上再将光能放出来。

人们先是从发光生物中分离出纯荧光素，后来又分离出荧光酶。现在已能人工合成荧光素，这就使人类模仿生物发光创造一种新的高效光源——冷光源成为可能。但是，人们对生物发光的认识还很肤浅，就拿研究得较多的萤火虫来说，萤火虫发光是为了交配，然而萤火虫的卵刚产下时，内里也发着光，萤火虫的幼虫也会发光，这些又是为了什么？它们是怎样发光的？都不了解。因此，人们对生物发光研究得愈清楚，对于创造这种新光源必然会愈有利。

甲壳质的妙用

虾、蟹类肉质细腻，味道鲜美无比，是一种低脂肪、高蛋白、营养价值极高的著名水产。我国阳澄湖出产的金毛青壳大闸蟹和青岛出产的大明虾更是誉满全球的佳肴。在日常生活中，一般人只知道吃它们的肉，而对它们的体壳往往是弃之不要的。其实它们的壳，如果加以利用，其价值并不在它们的肉之下。

虾、蟹类身披坚硬的甲壳，所以在分类上属于甲壳纲，甲壳对它们来说，显然是起有保护作用。甲壳类在发育过程中有蜕皮现象，经过蜕皮它们的身体才能长。有经验的家庭主妇，买蟹时总要捏一下蟹脚，如果是软的，就说明这只蟹蜕皮不久，肉尚未长实。甲壳类在成熟以后，一般还能继续蜕皮，这一点同昆虫一到成熟后就不再蜕皮的情形不一样。它们的甲壳中含有一种重要成分，叫做“甲壳质”，亦称“甲壳素”或“壳糖”，是一种含氮多糖类物质，即多聚乙酰氨基葡萄糖。科学家将虾、蟹的甲壳磨成粉末为原料，用稀酸和稀碱等处理，就可得到甲壳素，是一种白色、半透明、无固定形状的固体，它不溶于水，也不溶于稀酸和稀碱以及有机溶剂，但是可以溶于浓盐酸，用酸完全水解，生成甲壳胺，即2-氨基葡萄糖。

甲壳质用途非常广泛，早在第二次世界大战期间，英国飞机制造工程师就用甲壳质为基本原料，加配其它化合物研制成一种粘合力极强的胶液。用来粘合飞机机壳，并获得成功。用这种工艺粘合的机翼，即使部分受损，也不影响飞行。人们在拼合材料时，所采用的多种方法，如衣服要用针线缝合，钢材等用焊接，或用铆钉、螺丝钉等接合。但是，在各种方法中，胶合方法最为简单和方便，而且，相对说来，技术性要求也没有其它方法高，方法容易掌握。比如一件衣服，高明的裁缝，缝制出来，针眼细，线脚不露，平整贴身，美观大方，因此有“天衣无缝”的比喻。而胶合只须涂上胶水，将设计好的贴料粘到被粘物上，粘牢就解决了。一艘远航轮，航行在海上，突然船舱什么地方出现了小裂缝或漏洞，如果用高性能的粘合剂，只要将钢板粘合在裂缝或漏洞处就行了。既省时又省力，较其它方法简单得多。

甲壳素在医疗外科手术上的应用，已取得可喜的成就，外科手术，一般需要手术缝合线缝合伤口，这又是个技术问题，技术好的医生缝得平整，技术差的缝线不是拉得过紧就是过松。伤口愈合后，通常还要拆线，科学家用“壳糖”研制成一种“人造皮肤”，这是一种透气性能良好，又能吸水的薄膜。外科医生可以按烧伤或烫伤病者的创口大小，剪下一块薄膜贴在伤口上，它不同于“打补丁”，不用缝合，而是利用创口中的溶菌酶逐渐地把薄膜分解，最后使伤口愈合，不留斑痕。美国和日本的一些制药厂用甲壳素制成甲壳质绷带和胶布。眼科医生还用甲壳质制成隐形眼镜片，这种镜片不用机械磨制，而是将甲壳质溶解，倒在各种规格模型内形成。

人们还用甲壳素制成味道鲜美的调味品、酒石酸和人工种子的种皮等。甲壳质还可被拉成纤维。

在自然界，很多动物都能分泌粘性非常强的粘液。雌虾产卵后，即行受精，将受精卵粘附在雌虾的腹肢之间，抱卵的雌虾到处游荡，腹肢不断地扇动，以此保证卵能经常接触到新鲜水流，然而附着的卵从不掉落下来。甲壳纲中又一种小动物，叫藤壶，它们的背壳形成外套，常构成石灰质的硬壳，包裹了全身。它们的幼体在水中过了一段自由生活后，便分泌一种粘液，把

自身粘附在一些物体上，固着下来发育成成体。藤壶常固着在船底，这给船业带来很大麻烦，大量的藤壶固着在船底，会大大地减低船的航行速度。有人做过统计，一般近 2000 吨的船在不到半年的时间内，由于大批的藤壶附着在船底，时速减低了 2 哩。据说在日俄战争中，沙俄从波罗的海调来增援的舰队在马海峡与日本海军激战，结果被日军击溃，其中一个原因是波罗的海舰队军舰的舰底长满了藤壶之类的固着物，使舰速比不上日舰。因此，世界造船业都在研究如何克服藤壶固着问题。另一方面，人们对藤壶粘液的化学成分进行分析，发现是由多种氨基酸和氨基糖组成的。科学家人工合成藤壶粘液，制成一种耐温性能极高的粘合剂，从 0~205 的范围内都可用来焊接。

甲壳纲动物已知有 25000 种，昆虫体外的几丁质硬壳也含甲壳质，据估计，在自然界每年生成的甲壳质至少有一百亿吨，在天然聚合物中占第二位，仅次于纤维素，这份天然宝藏是值得人们去研究开发和利用的。

啄木鸟啄木与脑振荡

清晨，如果你在树林间散步，可能会听到一阵阵清脆的“笃鹿鹿鹿”的声音，这是啄木鸟在啄木时发出的声音。啄木鸟是一个通称，它有 200 多种，在我国分布有 27 种。常见的种类有斑啄木鸟，它的背羽黑色，杂有白色圆点，上腹和两侧白色，下腹部朱红色，雄鸟颈部有一块红斑。还有绿啄木鸟分布也较广。啄木鸟啄木是为了寻找隐藏在树干内的昆虫。在它们的食谱中所列的昆虫大多数都是对林业有害的。因此，啄木鸟是妇孺皆知的益鸟，并且被人们称为“森林医生”。

啄木鸟善于攀爬树木，它们的脚趾很特别，第二和第三趾朝前，而第一和第四趾向后，像一把双爪钳一样，再加上锐利的趾爪就能牢牢地抓住树皮，在几乎笔直的树干上进退自如，尾羽坚挺而富有弹性，啄木时用利爪抓住树皮，强硬的尾羽撑在树干上起着支架作用，这样身体就能牢靠地固着在树干上。啄木鸟的嘴坚壮有力，嘴形直，像木匠用的凿子，适于啄木。人们除了对啄木鸟的啄木灭虫感兴趣外，对它的啄木行为也有极大的兴趣。一些有经验的侦破人员常用手指或其它工具不断地敲打墙壁，然后听回声，凭他们的经验，就可以判断出墙壁里面是否有夹层，从而果断地凿开墙壁将内藏物搜出。啄木鸟似乎也有这套本领，它们在觅食时，飞到树上，用凿形的嘴不停地敲打树木，从这一棵树敲打到另一棵树，一旦觉察到异常的回声后，便将嘴作为钻、锤、凿等不断地迅速啄木，直到啄开树木，然后用它那富有粘性的舌深入凿开的缝隙内，搜捕昆虫。啄木鸟的头并不太大，那么在平时它的长舌又安置在哪里呢？剥去啄木鸟头部的皮肤，就容易了解这个问题。原来啄木鸟的舌并不太长，但是，它的舌根骨有一条带有弹性的肌腱状的组织，平时这条肌腱状物由颞下向上伸展，绕过枕骨，经头顶骨进入右鼻孔，呼吸主要由左鼻孔承担，当啄木鸟要粘捕昆虫时，这条舌根骨就从后脑及下颞向外滑出，这样就可将舌伸至洞内很深的地方，啄木鸟的舌端是角质的，并且带有倒钩，可以将洞内的虫钩出来。尽管啄木鸟的嘴是如此的坚直壮实，但是，要凿开坚硬的树木没有速度是不行的。人们发现啄木鸟啄木时嘴的啄木速度可以高达每小时 1300 公里。但是，啄木鸟每啄一下所花费的时间还不到千分之一秒，这样高的啄木速度和频率，经过折算，就意味着啄木鸟在啄木时它的头脑经受的重力加速度高达 1000g，重力加速度是指在地面附近物体由于重力作用而获得的加速度，用 g 表示，任何物体的重力加速度在同一地点都相同，约为 9.8 米/秒²，这简直是令人难以想象的。因为在载人火箭发射时，坐在舱座内的宇航员所受到的重力加速度还不到 4g。你可以做一个简单的试验，快速地不断点头，没有几下你就会感到头晕眼花，忍受不了。那么，是什么原因使啄木鸟的脑能承受这样大的重力速度呢？啄木鸟脑的基本结构同其它鸟相比，并没有太大的差异。人们想到啄木鸟啄木时，在这么大的重力加速度的作用下，要做到脑袋不会被震裂和撕落，除非啄木鸟的头和嘴不产生丝毫歪斜，不受到丝毫扭曲力。经过研究和各种试验证明，啄木鸟的颈部肌肉特别发达，啄木鸟啄木时，是利用头和颈部强壮的肌肉非常协调地运动，以精确的配合动作，致使在整个啄木过程中，啄木鸟的头和嘴的运动轨迹几乎成一条几何直线，这样啄木鸟的头脑就能避免扭曲力的影响。你见过一些运载蛋类和酒瓶之类易碎物品的箱盒吗？人们在盒子里安排了一个个大小同运载物体相同的格框，将酒瓶或蛋类前后左右和底部框住，使酒瓶

和蛋类不能向前后左右晃动，只能垂直上下的动，这样运载物品就不容易破碎了。啄木鸟头和颈部发达的肌肉限制住头部，不让它在啄木时有左右晃动。如果啄木鸟头和嘴以非常小的角度歪斜，那么它的脑部将被震坏。

人们根据啄木鸟避免扭曲力的原理，研制出一种安全帽，帽内有缚带限制住头部，不使它产生在受到震动或撞击时可能发生的危险性歪斜，从而减少了脑震荡。

香臭感觉与气味检测仪

炎热的夏天，某人吃了发馊的食物，引起肚疼和腹泻，去医院看病。

“哪里不舒服？”医生问。

“肚子疼和腹泻。”病人答。

“吃过什么东西？”

“吃过昨晚的剩菜。”

医生问完，提笔开了一张转诊单，叫病人先去看鼻科。病人感到莫名其妙。问道：“我是肚疼和腹泻啊！为什么要去看鼻子？”医生说：“你要先医好鼻子，不然的话，你闻不出食物的味，再会吃馊食物，这样你的腹泻肚疼，治好也会再犯。”

这虽是一则笑话，但也说明了嗅觉的重要性。人们不用看见或是相距很远，用鼻子就能发现些什么，鼻子对气味的感觉，使我们闻到馊味，就知道这食物已经腐败变质，绝对不能食用。突然闻到一阵异味，就会引起警觉，去看看煤气灶是不是关紧，炉子上的饭菜有没有烧焦，或是有什么东西被烧着。香喷喷的饭菜令人开胃，花木发出的清香使人心情舒畅。

嗅觉对于动物更有多种多样的功能，动物依靠嗅觉追捕猎物、寻觅食物、躲避敌害、集群、求偶、繁殖和定向等。通常鸟类被认为是嗅觉较差的，但是，有一些鸟却有很强的嗅觉。产于新西兰的无翼鸟，又叫几维，它的嘴细长，除了嘴基处与其它鸟类一样有鼻孔外，在嘴的尖端处也有鼻孔。在夜晚无翼鸟将长嘴扎入土中探测，根据蠕虫发出的气味来觅食。有人并排建造了两间一模一样的小木屋，其中的一间藏有腐肉，结果嗜食腐肉的兀鹫都停在放腐肉的那间木屋的房顶上。在地下生活的鼯鼠，眼睛退化，全凭灵敏的嗅觉寻找地下蠕虫。狩猎者都知道将自己隐蔽在逆风的地方，否则，猎人身上的气味会吓跑猎物。捕到过老鼠的鼠夹或鼠笼上面，留有被捉老鼠散发的警戒气味，必须用滚水浇烫，消除这种气味后才能再用，不然，就不会再有老鼠上钩。一些鱼陷入鱼网或挂在钓钩上时，马上会从皮肤排出一种具有浓烈气味的分泌物，其中含有警戒信息，同类嗅到这种气味就远离而去。蜜蜂和蚂蚁等能根据气味来辨认同类是同巢的还是异巢的，如果发现来者是异巢的，就会将它赶走或咬死。同一条鳗鲡产下的卵所孵出的小鳗鲡有一段时间总是结群游动，与不同母体孵出的不相互混合，这是由于不同母体孵出的小鳗鲡有不同的气味。很多兽类都以散发气味来招引异性，而应征者是靠嗅觉找到配偶的。鲑鱼依靠嗅觉找到它的产卵地，那里河水的化学成分发出的特殊气味是它们看不见的路标。

嗅觉器官是怎样产生嗅觉的，还不完全了解。通常认为是物质散发出气味的分子进入嗅觉器官，刺激鼻粘膜上的嗅细胞，产生一种电信号，传送给脑嗅觉中枢形成嗅觉。嗅觉是一种化学性的感觉。

人的嗅觉器官是鼻子，从外鼻孔进入，经内鼻孔至咽间的通道称为鼻腔。由鼻中隔分成左右两腔，围绕鼻腔的骨增加的皱襞叫鼻甲骨，分为上鼻甲骨、筛鼻甲骨和下鼻甲骨。筛鼻甲骨以上的粘膜上有发达的嗅细胞和支持细胞是嗅觉感受部。其余部位是呼吸部。嗅细胞的树状突起伸至粘膜液中，人的嗅神经纤维约有1亿根，经过大脑前方的嗅球，最后组成一对嗅神经入脑嗅觉中枢。并不是所有动物都有鼻子，也不是嗅觉器官一定分布在头部。昆虫那对有窝的触角就是它的嗅觉器官，小窝与外界相通，嗅觉细胞分布在窝内。

福特动力公司航空分部的科学家把苍蝇的嗅觉器官与触角神经分离，用微电极把嗅神经接到示波器上，用带气味的东西靠近小窝，示波器上立即有信号出现，表明苍蝇已感觉到气味。苍蝇的口器和足上都有类似的神经细胞构造，当给予化学气味刺激时，同样会产生信号。只有用肺呼吸的动物才有内鼻孔。用鳃呼吸的如鱼类等都没有内鼻孔，因此鼻腔是盲端的。人的嗅觉器官对气味有很快的适应能力，无论哪一种气味，不管香或臭，只有在刚闻到时有感觉，如果持续多闻一阵，很快就会感觉不出它的气味来。嗅觉的适应性并不是丧失嗅觉能力，因为，对一种气味的适应并不影响对别种气味的感觉。而且，当你再次闻到这种气味时，又能觉察得到。

狗的嗅觉比人灵敏百万倍，狗能分辨百万种物质和不同浓度的气味，其灵敏度几乎达到单个分子的水平，经过训练的军犬、警犬以及缉毒犬等的嗅觉就更强了。哥伦比亚警方利用狗的嗅觉来检查走私毒品。已知有些动物的嗅觉更是惊人。在 3500 亿吨的湖水中只要加入 1 克酒精，鳗鱼就能觉察出来。鲤鱼能在 100 万立方米的水中觉察出 1 克香豆素气味。一只雌蛾仅分泌 0.1 微克的性诱物质就能招引数千米以外的雄蛾循味而至。

人们对动物的嗅觉器官进行研究和加以模拟，已取得一些成果，如被称为“电子警犬”的气味检测仪，应用在油库、化工厂、矿井、仓库和手术室等气味检测，可测出被测气体的浓度的千万分之一，其灵敏度已达犬鼻水平。人们模仿动物的嗅觉原理研制出废气探测器，装备在反潜艇飞机上，可探测出潜艇发动机所排出的废气中某些化学分子，从而追踪水下潜艇。目前，市场上出售的一些驱蚊器就是以昆虫的警戒信息素为主要依据，达到驱逐和消灭蚊子的目的。我国科研工作者研制出一种嗅敏仪，经鉴定，可测出包括人鼻不能闻出的一氧化碳等 40 多种气体，能测出百万分之一的氢气以及埋在地表下 0.5 米深的煤气管道的漏气部分，可用于煤气管道及其它易燃易爆或有毒气体等管道的检查。

生物鳃与人工鳃

水生脊椎动物用鳃呼吸，陆生脊椎动物用肺呼吸。陆生脊椎动物是由水生脊椎动物演化而来，因为，很多用肺呼吸的动物，在它们的胚胎发育过程中，尚须经过鳃的阶段。虽然鳃和肺的呼吸原理基本相同，都是不断地吸收氧和呼出二氧化碳。氧和二氧化碳都是气体，都是通过湿润的膜交换气体。但是，鳃适应于在水中交换气体，而肺适应于在空气中交换气体。由于空气中的含氧量比水中的含氧量大 20 倍以上，而且氧气在水中的弥散率很低，所以在水中吸取氧要困难得多。从水生到陆生，呼吸空气中的氧气是一个要解决的问题。同样，一些用肺呼吸的动物重新回到水中去过水中生活的鲸类，无论能屏气多长时间，但是在水中逗留一段时间后，总要浮至水面，呼吸空气中的氧，经换气后才能再潜入水中。尽管国内外有些人经过训练，能在水下屏气较长时间，但最多坚持不到 10 分钟，而且也仅是在水中屏屏气而已，已屏得脸红颈胀，不必说本人感到难受，就连旁观者也感到怪难受的，又怎能谈得上在水中作业呢。动物要维持生命必须要消耗氧气，于是血液中的二氧化碳就会逐渐增多，而一些陆生动物对血液中的二氧化碳非常敏感，当二氧化碳达到一定浓度时，就会刺激神经中枢，引起强呼吸，这就是一些陆生动物不能长时间屏气的道理。人由于某些需要，到水中去进行较长时间的作业，就必须背上氧气瓶，即使是乘坐潜水器也必须要有氧气供给装置，这些供氧器既笨重而且氧气耗尽必须充氧才能再次下水。人为了能早日研制出较理想的新型供氧器材，就想了解水中动物呼吸的奥妙。

鱼终生生活在水中，是动物中最适应水环境的一大类群。鱼鳃在水中呼吸器官中是发展得最好的，所谓鱼鳃通常是由鳃瓣组成；鳃瓣是在咽喉两侧的一系列片状物上面长有许多鳃丝，鳃瓣与鳃瓣之间的裂口叫鳃裂，每个鳃瓣由前后两个半鳃组成。软骨鱼每侧有 9 个半鳃。硬骨鱼每侧有 8 个半鳃。软骨鱼的鳃裂直接开口于体外；而硬骨鱼鳃裂外面有一个鳃盖，这样鳃裂就被保护在鳃腔内，以一个鳃盖裂口与体外相通。软骨鱼两个半鳃间有鳃间隔支持，在鳃间隔内缘有半圆形的鳃弧，其向外的一边有许多红色细丝，这就是鳃丝。鳃丝上布满了微血管，气体交换就在这里进行。鳃弧向内的一边，附有许多突起，叫鳃耙，起防止泥沙等物进入鳃内和微小食物的逸出的作用。硬骨鱼无鳃间隔，两个半鳃完全靠拢在一起。鳃丝微血管的膜非常薄，是一种具有选择性和通透性的生物膜，它能透过氧和二氧化碳，而水不能透过。鱼进行呼吸时，先将咽部扩大，鳃盖和喉头闭紧，水从口流入后，将口闭合，喉部收缩，水流经鳃进行气体交换，鳃盖张开，让水流出。鳃丝微血管膜的基本结构通常认为是具有疏水性的膜蛋白和不连续的双层磷脂的镶嵌结构。在双层磷脂分子的排列中，膜的中间部分是由磷脂分子的脂肪酸碳氢链形成的非极性区，它对水溶性物质起阻隔作用，膜的选择性输送是由镶嵌在膜上“载体”蛋白的作用来完成的。载体蛋白在膜内外两面运动，与被运送的物质形成可逆性结合，通过膜的非极性区，再释放出来。气体从分压高的地方向低的地方扩散，氧扩散到微血管内与红细胞中的血红蛋白疏松地结合成氧合血红蛋白，随血液扩散到身体的各个组织细胞去。与之相反，二氧化碳由组织产生，扩散入血管，与血红蛋白结合，随血液到鳃排出。当鱼塘中氧气不足时，鱼被迫浮至水面，吞食空气，叫做“泛塘”，是养鱼业大忌，若不及时处理，会造成大批鱼的死亡。有些鱼有副呼吸器官，如攀鲈鳃上的副鳃

腔，腔内有薄片，膜薄而富含微血管，与喉相通，可以辅助呼吸空气；泥鳅可用肠呼吸；淡水鳗可用皮肤呼吸等。

美国纽约斯克内克塔迪通用电气公司先进实验室的劳勃博士模拟鱼鳃，用两层硅酮橡胶薄膜，制成人工鳃，每层膜仅一万分之一厘米厚。这种膜只允许水中的氧通过而将水阻隔在膜外，二氧化碳也能从膜中透过。但是，这种膜要实际应用，目前尚有困难。因为一个人在静止时，每分钟至少要吸取250毫升左右的氧气，要供应一个人一小时的氧，这种膜就得要有2.5平方米那么大。

美国达克大学玛丽实验室的研究人员研制成一种“人工鳃”叫血海绵，它是一种高聚化合物，能从海水中提取出氧气。他们将一种血珠蛋白固定在聚氨基甲酸乙酯上，并保持血珠蛋白的生理活性，利用血珠蛋白从海水中不断地吸取氧气。据说用这种血海绵制成一只宽5英尺，长10英尺的供氧器可以供150人用。

有一种水蜘蛛，它和鲸一样也是由陆生重返水中生活的，因为它的呼吸器官是书肺和气管。书肺是蛛形纲动物的一大特点，是从腹部体表内陷而成的囊状构造，内有很薄的书页状的突片，是适应空气呼吸的结构。但是，水蜘蛛却生活于淡水中，在水下的水草间结钟形的网，呈囊状，水蜘蛛腹部密生茸毛，不易浸湿，在潜水前先将水面空气在茸毛间形成气泡，然后带入网内，以供呼吸。水蜘蛛的这种潜水本领引起人们极大的兴趣。经过研究，发现如果能在水下营造一个空囊，水中氧气就会逐渐充满这个空间。于是科学家用硅酮橡胶薄膜在水下建造一个空间，使水中的氧慢慢充入。经试验每平方米每分钟可透入10毫升的溶解氧。如果能提高溶解氧的透入量，就可望解决人的水下呼吸问题。

鸟眼、电子眼和电子监测系统

1941年12月7日，日本海空军在山本五十六司令长官指挥下，对美国在太平洋地区的主要海空军基地珍珠港进行偷袭。那天正好是星期日，天气晴朗，基地大多数官兵都在度假，突然天空中出现了大批日本轰炸机，发出刺耳的呼啸声，俯冲而下，对停泊着的军舰和机场上的飞机狂轰乱炸，日机俯冲得很低，命中率很高，不一阵，美国太平洋舰队除航空母舰在外巡弋，幸免于难外，被击沉击伤的主要舰只就有10余艘，飞机180架。第二日，美国对日宣战，爆发了第二次世界大战。

日本偷袭珍珠港早有预谋，这次军事行动的代号叫：虎、虎、虎，事前对飞行员进行了严格训练，要求飞行员练就俯冲低空投弹的技能，提高命中率。一些最优秀的飞行员俯冲到离地面最低也只能在200米以上，再低就可能撞到海面，造成机毁人亡。因为从高空突然急速俯冲而下，平衡器官和视觉等都需作急速调整，这不是一般人能做到的。你可以做一个简单的试验，站在书桌旁俯视桌面上的书，可以完全看清楚书页上的字，但是，当你急速将头俯冲下去，快接近书本时，你会什么也看不清了，如果你掌握得不好，刹不住，还会一头撞到书上去。然而，人难以做到的，鸟类却能轻易地做到。你看一只觅食的老鹰在高度盘旋，当见到地面上一只田鼠时，立即快速俯冲下来，用利爪一下就能将田鼠抓住，又迅速飞起，找一安静处慢慢地享受。电视《动物世界》片头中，有一只在水面上空悬飞的鱼狗，当它见到水中有一条鱼时，便双翼一夹，俯冲下来，一头扎入水中，将鱼叼起，它的身体之敏捷，动作之神速，视力之准确，令人惊叹不已。

鸟类的眼睛是动物界中最敏锐的。鹰隼的视力敏锐超过人的8倍，鸟的眼睛按与身体比例在脊椎动物中是最大的，一双眼睛往往比脑还大，尤其适合远视，鸟视网膜上最敏感的中凹处有视觉细胞约150万个，而人眼的相应处即斑带区只有20万个视觉细胞。鹰隼的眼睛能看清很远处的一只小兔，而在同样距离的人眼看来仅是模糊的一小片，甚至什么也看不见。鸟类眼睛的基本结构与人类并无多大差异，主要区别是在视网膜上成像焦点的调节方法不同。人眼完全靠分布在水晶体周围的睫状肌的收缩来改变水晶体的突出度而调节视力。而鸟类的睫状肌特别发达，与人眼不同的是这些调节肌肉是横纹肌，这对于鸟类在飞行中迅速聚焦可能是有利的。除了用睫状肌调节外，在巩膜中有小形薄骨片排列成环状，可以不使眼球在飞行时因受气压的改变而变形，在巩膜四周具有环肌，其中的前巩膜角膜环肌收缩能改变角膜的屈度，后巩膜角膜环肌能改变水晶体的屈度，因而它不仅改变水晶体的形状以及水晶体与角膜间的距离，而且还能改变角膜的屈度，所以鸟的眼睛有双重调节的功能，这也就是鸟类为什么能迅速将扁平的水晶适用于远视调节成较圆形的水晶体适用于近视的道理。

此外，鸟眼在后眼房中视神经终点附近，有一个富含血管的褶皱组织，叫栞膜，它能供给眼球额外的血液，这对鸟类观察远距离的物体是有益的。

除了猫头鹰以外，其余鸟类的两只眼睛都是分别长在头部两侧，这样两只眼睛就有各自广阔的视野。几乎所有鸟类朝前方看东西时，两只眼睛的视野都会有部分重叠，合成一个双视的影像，可以产生对深度的感觉，有利于判断距离和大小。所以大多数鸟类都兼有单视和双视的优点。猫头鹰的两只眼睛长在同一平面的脸盘上，没有单视功能，但是，猫头鹰的双视范围最

为广阔，而它单视功能的缺失，可以被能灵活扭转的头颈得到填补。猫头鹰是夜晚活动的鸟类，它的眼睛适应夜视，瞳孔对光的反应所产生的收缩和扩大的时间比人少一半。瞳孔可以收缩得很小，而在夜间却能张开得很大，让尽量多的光线进入眼内，因此，在夜间光线非常暗淡的情况下也能看清东西。

鸟眼是一个极其精密而又复杂的感光器官，人们对它的整个感光传递到脑的整个线路还不十分清楚，但是，无疑要比目前人们所设计的任何电子系统都要复杂。对鸟眼的研究和模拟，对人们研制具有更好性能的光学仪器是有益的。例如，通过对鸽眼的研究，发现鸽眼的视网膜上分布有6种视神经节细胞，分别抽取输入到视网膜中图像的6种特征，即：亮度、凸边、垂直边、边缘、方向运动和水平边等。此外，还发现有6种与之相应的检测器，检测器把抽取的信号同时送入脑中的视觉中枢，其中方向运动检测器只能对自上而下的运动物体产生反应，而水平边检测器只对横过感受域向上和向下的水平边运动产生反应。人们根据鸽眼的方向运动和水平边检测器，设计了电子鸽眼模型，它对一定方向运动物体的边缘产生反应，而对相反方向运动的物体没有反应。用电子鸽眼装备雷达进行监测，当飞机或导弹等飞行物飞入国境时，监测系统立即会发出警报，而对出镜的飞行物体则没有反应。

人造手的由来

经过约两百万年的过程，人为了求生，与环境相适应，逐渐学会了使自己的手适应于做各种各样的动作。从第一块石器开始到能缝制出精美的金缕玉衣，直至在一粒米上刻了唐诗三百首的工艺。人手的结构同所有高等动物的前肢一样都是由肩、上臂、前臂、腕、掌和指组成。但是，人手的肩关节、肘关节、腕关节和指关节等部位至少有 27 个自由度。人手的优越性在于它功能的多样性，这是任何动物和机器都不能比拟的。你只要去查一下字典，有手字作部首的含有动词意思的字有多少，就足以说明人手能做的动作的多样性。人手的感觉非常灵敏，用手能感觉物体的轻重、软硬、粗细、干湿、大小、冷热等。蒙上你的眼睛，摊开手掌，在上面放上一块薄冰，问你这是什么东西？你肯定会不加思索地准确地说出这是块冰，并能说出它是冷的、硬的、薄的、轻的、湿的和光滑的等等性质来。盲人的手感就更灵敏了，用手摸盲文，代替了眼睛看书。

尽管人手是如此的多能，但毕竟不是万能，人还需要利用制作工具来弥补手功能的不足。自从瓦特发明蒸汽机后，机器逐步代替了人工劳动，推动了生产力。人们追求好的机器，以此完成人手所做不到的一些事，以及把人从危险的工作境地解脱出来，由机器去代劳。因此，对手的研究和仿生是不会被忽视的。一些残疾人不幸失去了手，高明的医生就给他装上假手，早期的假手是在外部用皮带和金属线来操纵假手的活动，利用使用者的肩部运动使它动作，基本上只有手指或开或合这样一个自由度。以后外科医生又用一种叫做“运动形成切断术”，把病人的肌肉固定在钢针上，再把钢针用电线连接起来去操纵假手活动，它的优点是使用者只要想把手捏拢来，假手指就会捏拢来，它是用肌肉本身来操纵假手的，但是，这种手术不适用于肌肉不发达的人。后来人们又进一步用肌电直接控制假手，什么是肌电呢？肌电是指大脑传给肌肉或器官的神经信号电脉冲，人手的活动是直接受大脑支配的，从大脑传给肌肉的神经电信号使肌肉和骨骼关节按指令动作。由于神经信号的电特性，所以神经电信号不但能操纵活的肌肉，同样也可用来操纵机械活动。50 年代，前苏联的科学家成功地制造了能工作的肌电手，这种假手从使用者成对的颞颥肌上引出神经电信号，经电子仪器放大后去控制假手的活动，他们将微型电动机配上电池安装在假手上作为动力的能源，在断肢上套上一个电极固定圈，使它紧贴皮肤，引导出手指伸肌和手指屈肌的神经电信号；再通过放大器加大电流强度，使假手活动。安装在假肢中的电池耗尽后可以利用晚上睡觉时给予充电。这种假肢能举起 10 磅左右的重物，而且能完成一些较精巧的动作。我国上海假肢厂和上海生理研究所共同研究也制成肌电手，能握力已达 1 公斤，他们将两片涂有导电性能良好的电极膏的银片电极，贴在颞颥肌外面的皮肤上，引导出神经电信号，通过放大器，去控制假手。肌电假手尚需解决的一个难题是人体的“噪声”会造成大量的虚假电信号，致使打一个喷嚏也会导致假手举起来。

肌电控制技术的研究给人-机合作打下了良好的基础。所谓人-机合作就是人和机器紧密地结合。人的所有随意动作都是受大脑支配的，由大脑发出神经电信号支配有关肌肉和骨骼关节而完成指定动作。既然能用肌电信号来操纵机械，那么也就有可能直接用大脑的电信号来操纵机械。也就是说操纵者在荧屏上观察由自己脑电控制的机械设备，只要操纵者想什么，被控制的

设备就会按你所想的进行活动。人-机合作的好处是通过遥控，人不必身临危险地方工作，可以及时解决某些预测不到的问题，要比单独的人或单独的机器工作好。美国飞往火星工作的无人飞船“水手三号”在飞行途中突然发生故障，虽然飞船发出17个求救信号，但是由于金属保护罩不能打开，太阳能电池板得不到日光，致使“水手三号”因缺乏动力而殒失，本来这个问题很易解决，只要去掉这个保护罩就行了。但是飞船的电子设备没有这道程序。如果这只飞船是由人-机合作操作的，就可以及时解决这些意外困难。

人们给机器装上机械手，用来到危险作业地方去搬运重物，由于机械手受形状、大小、动力源方面的制约较少，因此设计的自由度也就大，许多国家已广泛使用机械手。1966年，一架美国军用飞机在地中海上空失事，将一枚氢弹坠入海底，美国海军部用机械手式打捞器进行打捞，这个打捞器重达1吨，而它的机械手却能提起几吨重的物体。打捞器配备有摄像机、声波探测仪、定位仪和信号灯等各种精密仪器，以螺旋桨推动机器在海底移动，打捞器在海底的情况通过摄像机显示在指挥船的电视屏幕上，工程师们据此通过电子计算机对打捞器进行操纵。1969年，前苏联戈尔夫级攻击型导弹潜艇在夏威夷西北海域沉没。美国海军派出“格拉玛”勘探号作业船进行打捞，这艘深海作业船用3部吊车将大型蟹爪式机械手放入海底，操作人员在船上通过电视屏幕控制机械手用5对夹钳把这艘长达百米的潜艇从5000米深的海底提起，由于艇身断裂，仅捞起艇首部分，而后半部分仍坠入海底。

夜视仪与动物的夜视

虽然动物的运动速度——跑、游水、或飞翔能力——使它可以逃避敌害或搜寻食物，但是毫无疑问，大多数动物中最重要的生存特点还是听觉、视觉和嗅觉等警戒感觉器官。尤其是夜间动物，它们必须极大限度地使用这些器官。所以，当我们在不同的动物身上检查这些感觉器官时，就能得到一幅它们生活方式的清楚的图画。

在最暗淡的光线下，眼睛用来辨别动作、反差、形状、距离和位置；当光线较亮时，眼睛还可辨别阴影、颜色和亮度。借助于记忆，所有这一切能使动物决定自己是在什么地方，判断它看见的危险是迫在眉睫，还是离得较远。如果视觉有障碍，其他的感觉器官就开动起来。听觉和嗅觉也能检测危险，有时甚至可以判断距离，但是这些感觉器官常受到风、声音和其他因素的干扰。因此，对动物来说，夜视是关系到存亡的一个极为重要的条件。

灵敏的眼睛

眼睛是一个非常精密而又复杂的器官，它好像电视照相机，能把接受的光沿着神经传递到脑，恰如一个影像能沿着电视照相机的线路被输送到与之相应的发射机和接收机。但在显微镜下观察，这个装置非常复杂，目前我们对神经系统的整个线路还不十分清楚。但肯定要比人们所设计的任何电子系统都要复杂。

在显微镜下，我们可以看到眼的视网膜上有两类感光细胞，每一类都具有各自细微的神经末梢。在 1 平方毫米的视网膜上，聚集着几千个这种感光细胞，这就是前面提到过的视杆和视锥。多数动物的视网膜上有大量的视杆细胞，它对光极为敏感，即使在弱光、甚至接近于黑暗的情况下仍有感光作用。夜出活动的动物，视杆的这种高度灵敏性是由其他的特殊装置放大和协助所致。例如，晶状体能过滤紫外线和短波辐射，因此，可以保护灵敏的感光细胞。但是，红外线能通过晶状体和玻璃体而进入眼中，强烈的阳光就足以破坏一部分视网膜，所以人或多数动物都不愿直接注视极为耀眼的光源。此外，还有一些装置用来调节到达感光细胞上光的数量，最熟知的就是瞳孔。在亮光中瞳孔缩小，在暗光中它就放大。例如人的瞳孔最大时直径可达 8 毫米，最小时直径为 2 毫米。因此瞳孔最大时的面积为最小时面积的 16 倍。一般说来，动物瞳孔虽不如人的瞳孔大，然而其调节范围有时却超过人的瞳孔。这样，就可控制光线的数量。但是，外界环境中最暗与最亮的光强度差别可达一百亿倍，如果光靠面积为 16 : 1 的比例来调节是远远不够的。因此，不管是人的眼还是动物的眼，必须具有进一步控制和调节光强度的神经系统和化学机制。当光线照射视杆时，其中一部分就被极端灵敏的化学物质——视紫红质所吸收，然后视紫红质再分解为两种其他的化学物质：视黄醛和蛋白质。这个分解活动引起电脉冲传到脑，在接受一个影像的一只眼中，从全部视杆来的所有脉冲的总和就在脑中组成暗光图象。

任何一个被分解的化学物质必须立即再合成，否则，它的机能就停止了。当维生素 A 存在时，即与蛋白质结合而重新合成视紫红质，而维生素 A 是由视网膜后面靠近视杆和视锥的血管不断递送来的。视紫红质的分解和合成是连续不断的，并且总是保持着平衡，除非眼睛受到强烈的光线照射，平衡才

被破坏。

强光会极度减低视网膜的效力，以致要恢复其功能，就必须长时间补偿维生素 A，否则就造成暂时性盲，如果情况非常严重的话，暂时盲能延续到几个小时。曾有这样的证据：有些夜间动物由于视网膜暴露在光照下时间过长而受到永久性的损伤。

当我们在一个明亮的房间里把灯关掉，或从光线充足的环境突然进入到黑暗中时，我们的眼睛就需要一个短时间的暗光适应。因为经过强光照射后，视紫红质被大量分解，此时视杆细胞必需要接受大量的维生素 A，经过一定时间的暗光视觉，才能合成这类化学物质以供视锥在亮光中使用。人的年纪越轻，产生暗适应越快，除非维生素 A 在血液中被过多的酒精、尼古丁，或因疾病等破坏及中和。有些动物也需要这种短时间的适应期。

当一只猫在夜间刚放出门时，它并不灵活，直到它对暗淡的光线产生适应，并能辨别轮廓和动作时为止。一只狗摇头摆尾进入黑暗中，是通过鼻子和耳朵来分辨它需要的所有信息，并逐步适应于黑暗的环境。这两种动物世世代代就是这样重复着它们的祖先在野生环境中所具有的那些特点，运用着它们最重要的器官，猫使用它的眼，狗使用其鼻子。

看来夜视必须有两个基本要素：白天保护灵敏的视杆和维生素 A 的及时供应。肝脏是维生素 A 的贮存库，有趣的是，有些夜间肉食动物在吃被猎动物时，总爱先吃它们的肝脏。

不同种类的动物视网膜感受器的大小都有差别，一般视锥总是比视杆大。了解这一点是很重要的。通过放大镜看一幅报纸插图时，可以看到它是由无数小点组成的。如果这些小点非常小，这张图画就能表示出大量的细节，如果这些点很粗糙，那么这幅画的细节就表示不出来。对眼睛来说也是一样。如果感受器很小，在 1 平方毫米的面积内聚集着几万个，那么感受器在脑中形成影像的轮廓和细节都很分明；如果感受器很粗糙，特别是视杆，则将产生一个非常模糊的影像。

但是，这些粗糙的感受器有一个优点。感受器越大，它所包含的视紫红质越多，即使在暗淡的光线下也能比较灵敏地视物。我们发现，动物视网膜上的感受器，每平方毫米有 10,000 ~ 1,000,000 个，这种性质的排列在视觉中是非常突出的。并且可以肯定，任何特殊的动物都已进化到这种阶段：其感受器的大小和类型能最好地适应于它的生活方式。

在某些鸟类和爬行动物眼中，光线在达到视杆和视锥以前，在通过视网膜各层的通道所遇到的一个特别好的滤波器是位于感光细胞顶端的小油滴。在青蛙视网膜中，这些油滴状物呈浅白色，而某些动物的小油滴有深的色素。因为照射到感光细胞上的光必须通过它，因此它就会滤掉一些短波的光。

鱼类眼睛里没有油滴状结构，但是，有些鱼的视锥细胞顶端有椭圆状的透明球状物。它们最重要的特征是含有色素，所以也象其他动物的油滴一样能吸收短波光线，并和眼的其他部位一起，使达到网膜的光线恰到好处。

奇妙的反射镜

反光组织是在暗淡的光线下增强眼睛效力的一个装置，它是位于视网膜后面的一层象镜子一样的膜。因为视网膜是透明的，所以达到视网膜上的光只有很小一部分被它吸收和利用，其余的就直线通过。反光组织则把这些没

有利用的光反射回来，使视网膜上的感受器得到双重的光线。而未被感受器重新吸收的反射光仍沿着入射线的相反方向射出眼外，这就是当一只动物在汽车灯光的照射下，坐车人所以能看到它眼睛闪闪发光的原因。

没有反光组织的任何动物，感受器吸收后的余光就在视网膜后面的组织中消失。所以，反光组织的效力象是在银幕后面放一个镜子，进来的光一点也不会漏掉。

反光组织看起来是一个简单的装置，但是，在许多情况下，大自然已经把它变为一个高度成熟的机械和化学仪器。在哺乳动物眼中，它是由具有高度反射性能的细胞或纤维层组成，构造非常简单。然而在鱼类和鳄鱼眼中，它的效力却非常大，因为它们的反光组织中含有鸟嘌呤结晶——象在鱼鳞中看到的一种发光的银色化学物质。在某些硬骨鱼和鲨鱼的反光组织中，这些结晶以一种与黑色素交叉排列的方式进行工作，当光的强度增加时，色素就渗入银色化学物质中以阻止其反射能力，同时也起到覆盖和保护视杆的作用。当光线减弱时，银色反光组织上的色素消失，视杆也就与色素分开，从而获得必须的光亮。在某些没有鸟嘌呤类型的反光组织的动物眼中，也有保护性色素的迁移和视杆的运动。

某些鲨鱼的反光组织排列得更为精巧。银色的结晶形成板状与视网膜细胞成 45° 的夹角。当光线太亮时，保护性色素就溢出到成角度的镜子上将其遮盖，当光线减弱时，色素就从这镜子上离开。整个动物界有各种形式的反光组织，虽然这些反光组织的效力各不相同，但都是暗适应的结果——增强大海深处或夜间森林阴暗处的微弱光线。

因为反光组织增加了射到视网膜上的光量，所以当强烈的汽车灯光直射到动物时，不仅它的眼睛被照得眼花缭乱，甚至会惊慌得发呆。此时，汽车驾驶员不能期望它会自行躲避，因为它连逃窜的路也看不见了。

在哺乳动物中发现，各种反光组织仅仅是由在视网膜后面的细胞或纤维层组成的。在这两种类型中特别有趣的是，纤维型反光组织只在被追捕的动物——有蹄类动物的眼中发现，如牛、鹿和山羊；而细胞型反光组织则在追捕动物眼中发现，如狮子、猫、狗、海豹和熊。一般说来，夜出活动的动物才有反光组织，某些哺乳动物在出世时没有反光组织，以后才发育而成。

许多没有反光组织的动物在夜间如果遇到汽车灯光，它们的眼睛也会发光。例如有些啮齿类、蝙蝠、有袋类、蛇类、蟾蜍和鸟类。其原因可能仅仅是由一层薄膜反射而成，这些薄膜覆盖着视网膜后面的血管，还不知道它是否充当一部分反光组织。

多形的瞳孔

如果没有一定形式的保护，突然遇到极亮的光照，灵敏眼睛的一切优点就发挥不了什么作用。所以人们往往喜欢戴墨镜来保护自己的眼睛，防止眼睛受强光照射是非常重要的，因为强光将破坏视杆中的化学物质，光线越强，时间越长，破坏就越厉害，从而恢复到原来状态所需的时间也就越长，这在野生动物中甚至可能造成致命的危险。

渗到反光组织里的许多保护性色素对防止强光是十分必需的。当光线较强时，瞳孔的收缩是防护的第一线。瞳孔是位于有色虹膜中央的一个孔，光线通过它射到视网膜。它象照相机的光圈，瞳孔的直径缩小一半，光的通透

量大约减少到四分之一。如果我们对着镜子观察，当强光照射眼睛时，就可看到瞳孔的收缩。可以推算出，如果瞳孔直径由 8mm 缩小到 2mm，光的通透量只有未收缩时的 6%。

人的瞳孔收缩是有极限的，和夜间动物相比，收缩速度也很慢。猫头鹰的瞳孔对光反应所产生缩小和散大的时间仅是人的一半。做一个简便的实验，在鱼缸里养一只章鱼，并装一盏明亮的闪光灯。随着灯光的闪现和熄灭，可明显地看到章鱼的瞳孔在迅速地收缩和散大。

大多数动物的瞳孔是圆形的，这可能是动物界中最多的瞳孔形状。在夜间它们开得很大会，而在光线强烈的白天，有些动物的瞳孔几乎收缩成一个针尖那么大的小孔。但这还不算小，例如鱼类为适应其在夜间觅食，发展了比较灵敏的视网膜，但当它们在白天游到明亮的水面时，用小圆形的瞳孔来保护视网膜显然是不够的，因而它们需要由一束环形肌所组成的结构把瞳孔收缩到最小限度，以致象紧闭的门缝一样。大多数动物都具有这种类型的瞳孔，根据它们的需要，这条缝可能是垂直的，也可能是水平的或斜的。

在强光和弱光两种情况下都能活动的动物身上，我们均可看到细长缝形状的瞳孔。水中的鲨鱼，陆上的家猫也许是大家所熟悉的例子。但是，还有无数其他的动物——两栖类、爬行类和哺乳类都具有这种类型的瞳孔。据我们所知，能收缩成细长缝的所有瞳孔，有阴暗的光线下就散大成圆形或近似于圆形。猫鲨瞳孔是最独特的，瞳孔的两边重迭起来，只在两端各产生一个极小极小的孔，这比一条普通的缝更为有效。

某些有蹄类（以马为例）有一层从瞳孔顶部悬挂下来的遮盖膜。它是虹膜上缘的附属物，当瞳孔闭合时，它碰到瞳孔的下沿，有前后留下一个孔的未遮盖区，这类动物就从这个区察看其周围发生的一切，以保持高度警惕。这个膜处于半舒张的松弛状态，当它收缩时，可以看到其瞳孔与猫鲨特别相似。北非野羊象所有的野山羊和绵羊一样有灵敏的视网膜，它由收缩成一条水平细缝的瞳孔保护着。

大眼睛与小头

在夜间，动物界充分利用大眼睛的特点，就足以补偿感受器的数量，产生一个较大的优质而清晰的影象。但是，较大的影象往往会把光线散播的范围扩大，而使其亮度减弱。这在白天影响还不大，到了夜间就成问题了，此时动物就以瞳孔的放大来弥补，让更多有效的光射入眼睛。瞳孔的直径增加 4 倍，进入眼睛光的数量就增加 16 倍。

由于小头限制了眼睛的大小，所以许多动物找到了另一种产生大影象的方法，就是使眼睛发展到头所能容纳的那么大，以致头的背部表面也成为眼睛的一部分，显然这种眼睛的活动范围就相应缩小，有的甚至完全不能动。但这种动物如有一个灵活的脖子，或本身并不需要大范围的视野，那么由于眼睛不能移动所引起的损失还是不大的。大的眼睛也意味着，动物的颅骨内就只有很小的空隙来装脑子，所以脑子的大小就受到严格的限制。

虽然眼的形状各不相同，但它们视觉的效力却有些相似，原因可能是由于眼球背面的弧度是相同的。猫头鹰眼睛的前后直径大，从晶状体和角膜到视网膜的距离比较长，所以产生一个大的影象。鱼的视觉系统情况不同，因为它们的眼睛与水相接触，水的折射率比空气大，就减低了角膜的视觉能力。

但眼睛里面的晶状体有较大的折射率，它能补偿这个损失；又因为所有的视觉影象在水中比在空气中大，所以鱼类还能获得较大的影象。

为了说明这一点，我们不妨举一个简单的例子。如猫头鹰的角膜放大率是 5，晶状体的放大率是 3，产生的影象值是 15，因为晶状体进一步放大了由角膜产生的影象。如果是鱼的话，角膜的放大率是零，因为它是与水接触，但其晶状体的放大率是 15，所以产生的影象值与猫头鹰是相同的。

许多夜出哺乳动物有特别大的眼睛，并有与眼相适应的头颅。菲律宾跗猴就是一个例子。另外，相似的动物还有中美和南美的夜猴，它可能是仅有的真正在夜间活动的猴子。

在脑子里发生了什么

一个视觉影象达到动物脑中所发生的过程包括很多的因素，在这里就不一一描述了。我们假设夜出觅食的蛇的两只眼睛，它在岩石上看到一只小壁虎，因此，在蛇的每只眼睛里就形成了这只壁虎的影象。这两个影象倒过来沿着神经传递到对侧脑半球，在它传递到大脑皮层的一部位以前，每个影象达到一个中枢，在这里发生复杂的综合，然后达到大脑皮层的枕叶。

在脑中，两个影象再倒过来适当地联合成一个影象，这是高等动物最简单的模型。看起来有些不必要的复杂，然而并不如此。为了记录如形状、密度、运动方向等特点和一大堆视觉中包含的其他微妙的因素，就要求有一个类似于计算机的成熟系统，所有这些因素都必须被包含在这个很短的通道内，许多动物的这个通道长度还不到一寸（约 2.5cm）。

两个影象在皮层中联合至少要达到两个目的：它产生了一个立体效应，使所看见的东西具有深度、厚度和丰满的感觉；同时，也增加了影象的鲜明性。如果我们看某一样暗淡的东西并且交替地开、闭一只眼睛，则同样能体会到这点。只睁开一只眼睛时，物体就远不及两只眼都视物时那么明亮。因为两只眼视物在皮层中就得到双重影象的刺激。

人和最高等动物的脑的模型当然比刚才描述的复杂得多；动物的感觉器官本身不仅要适应于新的生活方式，而且它的脑必须沿着新的途径发展，才能更好地适应复杂的环境。

浅谈味觉仿生

嗅觉和味觉是十分相似的两种感觉，有时要把它们区别开来都很困难。对鱼类来说，与这些感觉相关的器官在身体上分布得比较散。鼻子总是在头的正面，而味觉感觉器（味蕾）在鱼嘴内外都有。认为鱼类的味蕾完全在嘴里面的这种说法是值得怀疑的。一般它可能分布在嘴唇的皮肤上或体表及头上；甚至鳍上。

触须与味觉器

某些鱼类具有特殊的味觉器官，如触须、触角等，就象是延长的舌头一样，当这些须状物触及物体的同时，味觉随即参与鉴别。可见触须上的触觉感受器对味觉灵敏性的增强起着一定的作用，但对某些生活在泥水或黑暗环境中的鱼类来说，其味觉器官几乎和嗅觉器官一样有效。

圆头鲶鱼在寻找食物时，如果被食对象是朝着它的方向游来，即使距离还较远，也只需通过味觉器官就能发现。倘若嗅神经损伤，这种能力一点也不会减弱，但如果损伤味觉神经，发现食物的本领就立即丧失了。在不带味儿的水流中来回游弋的鱼类，往往用触须能使它在黑暗和混浊的水中检测食物。鲶鱼也同样装备着味觉器官。

很可能这些外部味蕾的功能仅仅是检测食物，它既不能识别这食物是什么种类，也不能辨别各种食物的差别。这些鱼在嘴里、喉头和鳃腔中有许多其他的味蕾，它似乎可控制鱼不吃那些虽已找到但滋味不佳的食物。还有一些鱼可以用触须上的味蕾区别不同的食物，而圆头鲨之类的鱼嘴里是没有味蕾的。

淡水鱼和海水鱼相比，这些内部味蕾多在鳃腔里，它们沿着鳃的前沿排列，当水通过鳃腔的同时，即流过味蕾，这样味蕾就与已到嘴里的食物挨得很紧。这些味蕾大小的变化是很显著的，当鱼生长时，味蕾也就变大。

至于对蛇的分叉舌头的的作用说法更多。在美国西部的许多影片中，总有印第安人对白人说，不要“用分叉的舌头”讲话。显然，印第安人把分叉的舌头与自相矛盾、撒谎或叛逆联系起来。有毒的爬虫类和许多确实有分叉舌头的其他动物看起来也是很刁滑的，因此有人经常错误地对舌头加上“危险的”这个形容词，他们一直以为，蛇是用分叉的舌头释放毒液。

象自然界其他所有事物一样，分叉的舌头也有一定的作用，即探测空气中的味道。尤其是在夜间，它很可能是极有用的器官之一。当蛇需探测空气中的气味时，舌头就先轻轻地弹出来。

蛇的锄鼻器

由于分叉的舌头有弹出口腔的习性，因此引起了上述的这种说法。其实当舌头攫取了空气中的化学颗粒后，就迅速地缩回到口腔顶部的一对洼陷之中，这对洼陷就叫锄鼻器。锄鼻器的洼陷通到由许多感觉细胞排成的小腔。这些细胞与鼻腔中的细胞相似，并且通过嗅神经的大量分枝与脑联系。它们是高度敏感的嗅觉区，只要空气中所含的少量化学分子通过这里，就可以辨别出这些分子是什么物质。这些细胞使许多蛇类具有惊人的追踪能力，甚至

远远超过了狗，也许还超过其他的动物。这种追踪能力对在黑暗中咬住捕获物的爬虫类来说是非常重要的，因为这种捕获物多数是先被蛇咬伤，后又挣扎逃脱，但由于蛇毒发作最终还是死亡的动物。要是这种动物藏在某个遥远而隐蔽的地方，蛇用别的方法永远也找不到它，正因为有了锄鼻器的追踪作用，才能重新将它们逮出来。

对某些蛇来说，这个稀有器官的作用似乎用上述的解释是合理的，但对那些用缠捆方式掠捕动物的蛇，或者也有锄鼻器的蜥蜴来说，这个解释就不怎么合适了。所以有人提出，尽管有些实验给我们的印象是，这个器官只获得气味分子，其实它的主要功能是通过嗅觉来分辨食物。味觉和嗅觉是如此相似，甚至我们还可以说，锄鼻器是一个高度敏感的味觉区，它能极灵敏地识别最轻微的痕迹，而丝毫不会降低鼻子的作用。

当一只动物（如青蛙或老鼠）通过草地时，它就会在接触过的地方留下从皮肤上散发的气味分子。这些分子飘浮在空气中，就被蛇经常伸出的舌头送到锄鼻器里。这样，蛇的感觉器官效能要比单独使用鼻子时大得多，由于增强了感觉器官的效力，动物就可以应用它来识别异性。盲蛇也将互相求偶，但是，如果鼻子和锄鼻器遭到破坏，这种活动就再也没有了。

一切感觉器官都需要某种润滑剂来保持其良好的功能；鼻子、耳朵、眼睛、舌头全都如此，锄鼻器也不例外。特别有趣的是，蛇和蜥蜴的这个器官是由润滑眼睛的腺体来承担这一任务的，高等动物润滑眼睛的腺体是一种产生眼泪的器官，然而蛇的这个腺体却有小管道通到锄鼻器。

锄鼻器并不是最近的新发现，在早已绝灭的爬虫类化石中，曾发现有保护此器官的小骨，看来也只有爬虫类还保留着这种器官的功能。大型爬虫类不仅有分叉的舌头，还具有这种器官，如与澳洲大蜥蜴有亲缘关系的、长达6米的巨古蜥蜴就已经有锄鼻器了。这种器官不仅在一些高等哺乳动物的胚胎中可以看到（在出生前就消失了），而在一些现代哺乳动物的嘴里也偶尔能看到这种痕迹，特别是在老鼠和豚鼠身上。

锄鼻器的生长认为是和夜间生活有联系的，因为此时眼睛发挥不了什么作用。龟没有锄鼻器，它除了产卵以外，在夜间从无明显的活动。但鳄鱼是夜间动物，它却没有锄鼻器。因此有人认为：在水中这种器官没有什么用处，所以早在它祖先时就已退化了。可是海蛇却还保留着这种器官，从表面上看，其功能和陆地蛇一样，但它从不爬上岸来。

蛇在蜕皮时，显得非常迟钝。很多人认为这是由于蜕下来的皮遮盖了眼睛，使眼睛变得不透明了，此时蛇就难以视物。但还有一种看法是，蛇的舌头也被蜕下来的皮遮盖了，使它正处在蜕变和发硬的状态之中，这样蛇就处于双重不利的地位。毫无疑问，这时舌头为锄鼻器收集气味分子的本领就极其小了。因而正在蜕皮的蛇在夜间也很少活动。

在显微镜下观察时，我们可以发现，锄鼻器是由类似鼻膜那样的一层灵敏膜所覆盖，并被眼腺分泌物润滑，就象所有动物的口腔唾液腺湿润一样。润滑锄鼻器的分泌物很可能增加了毒蛇口腔的湿润度，而这些毒蛇的唾液腺早已演化成毒腺了。

锄鼻器的功能和蛇的捕食有着密切的关系，因为实验已经表明，从来没有吃过东西的刚出生的小蛇，面对着浸泡在水中小动物的皮肤，也会吐出舌头，并采取进攻的姿势。刚出生的蛇在黑暗中一开始就能正确地检测或搜寻出它所喜爱的食物。成年蛇对各种捕获物的这种攻击行为更加明显。

能适应黑暗生活的特殊耳朵

自然界存在的声音比我们能听到的要多得多。事实上，动物界使用的一切声音，我们可以听到的还不到 10%。超出我们听觉的其余的声音是可以记录下来的。人类的听觉范围大约是 16 周/秒 ~ 30000 周/秒这样的频率。对大多数儿童来说，23000 周/秒是上限，而成年人一般是 20000 周/秒。可能有少数成年人能听见频率高于 10000 周/秒或低于 50 周/秒的声音。

钢琴上的中央 C 发出的声音，频率是 256 周/秒，乐器达到的最高音调大约是 4800 周/秒，所以我们自然就会想到，10000 周/秒的音调的确是非常高的。而蝙蝠却能听到 100000 周/秒这么高频率的声音，它的听觉范围的顶峰几乎可达到 300000 周/秒。

有些科学家主张，人类的耳朵可以听到超声波，但他们是在非自然生活条件下用实验方法加以证明的。声源是放在每个受试者的额头或耳朵后面的乳突上，这就意味着，振动是通过颅骨，而不是通过正常通道——空气和外耳传导的。这种情况在一般条件下是碰不到的。他们认为，年龄在 40 岁或 40 岁以下的所有受试者都能分辨 225000 周/秒频率的声音，这个频率比正常通道能听到的声音高十倍。如果声音频率具有足够大的强度在水中传播的话，那末正在游泳的人就能将这个高频率的声音通过与水接触的颅骨传导到他的声音记录中枢。

人类的耳朵经受声音的强度和响度的范围极大。从刚开始能听到的那点（阈值）到放大一百亿倍的声音都经受得起。象这么大强度的声音幸好在正常情况下是遇不到的，否则将使精巧耳朵的机能产生永久性损伤。我们对动物所能忍受的噪音强度还不大清楚，但可推测出这个强度范围的变化肯定也是很大的。对有些动物进行观察发现，使人们感觉到很不舒服的响度对这些动物似乎并不打扰。例如，海豹在水中发出的叫声可以使潜水员感到非常不适，然而对其他海豹却无多大影响。

地下穴居者

凡是在夜间捕食的大多数动物，一般都有较大的耳朵和灵敏的听觉中枢。就以非洲发现的土猪为例，这种土猪体重有 150 磅（67.5 公斤），却以食蚂蚁为生。它有一对长耳朵和一个笨重的长鼻子，这种外貌使它活象驴、兔和猪杂交后的产物。别看它长相奇丑，然而却是非常有本领的动物之一。它那善于四方转动的长耳朵可以听到物体内部白蚁的活动声，在静寂的夜晚，当土猪听到这些声音后，就毫不留情地把它们挖出来吃得精光。

还有一些习性行为相类似的其他夜间动物，例如指猴，它能听到钻木甲虫幼体的活动声，继而用前肢上很细的中指将它们挖出来。更奇妙的是非洲的蝙蝠耳狐，它也是以吃白蚁和其他的昆虫为生，偶尔也吃水果或小脊椎动物，它的每只耳朵几乎和头一样大。非洲北部的一种小狐（*Fennecus zerda*）也有同样大的耳朵，并且是一个出色的搜捕者，在黑暗中它能听到鼠类、鸟类、蜥蜴或昆虫发出的最轻微的活动声，甚至能听到它们的呼吸声。

经常生活在地洞中的动物（象鼯鼠）和一些在夜间离开巢穴的动物，几乎看不见它的耳朵，只有一个没有耳廓的小孔；有的还被软毛覆盖着，这些软毛可以防止洞穴中的灰尘堵塞耳朵。当然，这种结构对听觉有一定影响，

但它可以得到从地面传来的、通过骨骼和颅骨直接达到内耳的低频振动，从而补偿结构上的不足。

具有这种听觉的哺乳动物，其辨别声音的能力是比较差的。然而对穴居生活来说，这种听觉已足够了。事实上，鼯鼠不仅以接收振动来得到信息，而且还可以用简单的回声定位。因为当它们探测周围的情况时，常发出一种噼噼喳喳的声音，这对于探测从它们所在地到洞底的距离来说，是一种极好的方法。

蛇和营穴居的蜥蜴只有内耳，和鱼有些相似，它们对通过骨骼和颅骨传来的地面上的振动也有反应。有些非穴居的蜥蜴没有鼓膜；但以发声来进行联系的那些蜥蜴是有鼓膜的。壁虎的鼓膜已经发展得非常完善，它们也和夜间动物一样，发出简单的卡嗒声。鳄鱼在水中时，用一个可移动的帘状物保护着耳朵，已经确定，它们能听到频率为 50 周/秒 ~ 4000 周/秒的声音，并且也是以声音进行通讯。

总的来说，大概所有的脊椎动物都能够通过空气、地面、或水来探测振动，并且，许多脊椎动物都具有比人类发展得更为完善的听觉装置。

动物对声音的接收和使用

很自然，在黑夜中活动的动物大部分依靠听觉，并且需要对比我们能听到的范围更广的声音作出反应。因而大量的哺乳动物的耳廓比人要大得多，其耳廓呈喇叭状。某些哺乳动物能辨别每秒几十万周的声音，这和鸟类的反应形成鲜明的对比。除了少数夜间鸟类外，大多数鸟类只在白天活动，主要依靠视觉，因此它们听不见 10000 周/秒以上的声音。

只有大的耳朵还是不能保证对范围很广的声音或强度作出判断。耳朵只能听到声音，并将这声音送入中耳和内耳——听觉机构所在地，然后由脑部听觉中枢进行综合和分析。主要依靠耳朵获得外界信息的动物，其听觉中枢的部位相应较大，使用回声定位或声纳的动物也是如此。在使用回声定位或声纳的过程中，声音由动物传播，并精确判断反射来的回声。甚至在复杂的黑暗环境中也能测出最小的生物并将它们捕食之。

了解耳朵的机能将帮助我们辨认声音的复杂性。耳朵分为外耳、中耳、内耳。外耳收集声音的振动，它具有类似盘状天线的作用；声音对准绷紧的鼓膜振动，产生的压力也就引起鼓膜振动。鼓膜振动的振幅是极小的，以致只能用百分之几微米来测量。然而，这么微小的振动足以引起中耳里的三块小听骨的活动。这三块听骨通称为锤骨、砧骨和镫骨，镫骨的形状象骑士的脚踏，其底部盖住通往内耳的小窗，所以它能把鼓膜的振动准确地传到内耳。小窗的面积只有鼓膜面积的 3.5%，因而这个系统能将声音扩大 28 倍。

内耳是一个排列非常复杂并装有液体的室腔和管道，通往大脑的听神经的灵敏末梢或感受器就位于这里，其中一部分感受器控制着整个身体的平衡。当振动到达这些神经末梢时，就刺激这些感受器而形成电脉冲，这与视网膜感受器对光波反应时形成的电脉冲一样。引起的微小电流达到脑的中枢，在这里再翻译成声音。

混合的声音也必须被译码和分析，从而去掉其中的噪音。这首先要根据达到两耳的声音强度之差来辨别方向，然后根据经验和记忆来识别每一个声音，并将它们进行分类，这可能就是了解听觉的基本原则。

夜出觅食的动物，其耳廓往往象喇叭一样，把收集到的声音对准鼓膜；所以耳廓越大，收集的声音就越多。同时耳廓的形状也是很重要的，因为一定的声音以不同的角度通到外耳道，其压力就会产生变化。人们在动物身上进行了很多实验，切除耳廓，同时用电子仪器测量脑对声音的反应，发现其听觉水平大大降低，方向的判断也受到干扰。因而对动物来说，最重要的是能把声音放大，并与其他的声音相区别。

从动物发光想到的

有些眼睛几乎是在永久的黑暗中发生作用——在岩洞中，或在大海的深处，任何时候那里的光都很少，甚至没有光照。生活在这些环境中的鱼都面临着进化的选择：或者发展非常灵敏的眼，或者完全废弃它而使用一些其他的感觉器官来觅食和交配。实际上大多数鱼类选择了前者，这样它们就能获得由其他生物或从这些生物的发光器官所发射出来的弱光。但也有许多鱼类完全没有眼睛，生活得也很好。还有一些鱼类发展了管状眼，这种眼和大的球形眼一样，将看到的物体造成一个非常大的影象，同时可以感受最暗淡的偶然闪现的光。

发光器官：闪光识别，寻找配偶

在大海的深处，那里只存在着极其微弱的光线，一切动物几乎都是互相掠夺，因此，识别同类和区分雌雄就成了它们生存的主要环节。在光线充足的水中，鱼类彼此之间能通过形状、颜色或条纹而相互识别；但到很深的地方，即使是最锐利的鱼类眼睛，要将一个影子的运动形状准确地识别出来是不太可能的。所以，无数的深海鱼类都以分布于全身的极微弱的光作为标志来识别自己的同类和分辨雌雄。这些光通常由发光器发出，我们发现，在大海的某些深度区，有 95% 的鱼类都以一定的形式使用这些发光器官，或随时将光发射出去，或保持着连续发光。

大海可分成很明显的深度区，在 200 米深处的水域通称为浅海区，它与深海区融合在一起；深海区的底层大约在 2000 米左右；深于 2000 米的水层称为“无生命水层”，那里的生物极为稀少。生活在这个区域的生物当它们需要捕食或互相交配时，自然就遇到了困难。然而这些鱼发展了发光器官系统，这个系统对同一种类或相同种类的不同性别来说是恒定不变的，并且其结构相当完善，所以鱼类能够根据发光器官的类型相互识别。

许多鱼类根据发光类型和闪烁间隙，雌雄成群结队地集合在一起，然而又不自觉地把自已存在的信号发给了捕食者。但也有为欺骗捕食者而设计的发光系统。反过来，捕食者利用发光在它们的有效范围内来诱惑那些牺牲者。通过声音或其他感觉发现附近有其他鱼类而发生反应时，不是连续发光的器官就闪光了。识别不同鱼类的反应性闪光表明，同类鱼的发光类型可以互相引起光的充分显现或者反复闪光。

某些鱼类闪光有精确的间隙——以相同的间隔发光和熄灭，在同类鱼中，识别的信号类型是恒定不变的，并且与其他所有种类都不相同，即使是非常相近的种类也不相同。这些器官的发光，用人工的方法在水里加上氨水或通入电流就能引出。

因为白天生活在深水中的鱼类在夜间经常浮到水面，所以有时我们能看见或捉到点缀着发光器官的小鱼。澳大利亚沿岸的某些水域这种鱼很多，就象北美太平洋沿岸一样。它们除了在没有月光的夜晚以外，平时很少游到紧靠水面的地方。这种鱼体长大都小于 12 吋（约 30cm），忽上忽下地游动，显然是在寻找食物。它们仿效着生活在海中的小无脊椎动物或浮游生物，形成波动和有节律的栖移活动。这种采取微小生命的活动形式，每天改变着深度，还不知道是什么原因。据分析，不可能是温度变化所引起，因为深水中

的温度是恒定的；也不可能是对亮光和黑暗周期的反应，因为它们老是生活在黑暗处。这很可能是由无节律性的生物钟的机制所造成的。

发光器官具有极高的效能，并且都是发冷光。光是以不同的方式产生，又受到各种方式的控制：有的恒定地发光，有的象闪电般地突然显现。当发光器官发展到最高级时，就象是眼睛和腺体的结合产物。说它象腺体，因为它有分泌一种液体的细胞；说它象眼睛，因为它有一个聚焦的透镜，通过这透镜产生几乎完全平行的光束，由一个虹膜状的结构控制光的数量。这种发光器的背面有一个反射层，一般含有银色鸟嘌呤，其后还有一层色素包围着整个发光器官，防止光线射入体内。腺体分泌一种含磷的荧光素化合物。当荧光素酶存在的情况下，被氧分解就发光了。氧气是从营养腺体的丰富血管中获得的。这是一个很巧妙的装置，因为血管随着它周围肌肉的收缩而收缩，此时由于中断了血液供应，到达腺体的氧也停止了，所以光就随之熄灭。

最近，人们已经能够用人工的方法复制出化学光。化学光不需要电路和电池，它的优点是能够在液体、粉末、球状、薄片、板块等各种形状下使用，当它们与空气或氧气接触时，即被活化而发光。化学光不会燃烧，不发热；只有把它装在密闭的容器内，隔断空气中的氧才能使其熄灭。这样看来，人们是在仿效着自然界早已应用了的那些光的性质。

在鱼身上还发现由腺细胞组成的较为简单的发光器官，这些腺细胞来自分泌皮肤粘液的细胞。它们有时在皮肤低洼处集成一团，当皮肤粘液分泌物离开腺细胞，并与水接触时，就因吸收氧气而发光。还有一种类型的发光器官是由生活在皮肤洼陷处的发磷光菌体构成，当氧气与这些细菌接触，它们就发光。这些氧来自受肌肉支配的能收缩的血管或是海水。

人们认为这些发光器官发出的光是不会带有颜色的。因为产生不同的颜色需要化学变化或类似滤光器样的各种结构。但事实上，这些光的颜色还是有变化的，大多数呈蓝色或蓝绿色，也有少数鱼发出淡红、浅黄、黄绿、橙紫或蓝白等颜色的光。经过充分研究，有趣地发现某些鱼的发光器官发出的光波波长与它的光感受器最易吸收的光波波长是一致的。这就意味着任何一类鱼的眼睛对来自同种鱼所发出的光是最敏感的，这个事实有力地说明了发光器官能使鱼在黑暗中识别自己的同类，并能聚集成群或寻找配偶。

有许多种深海鱼，在眼睛周围或附近有非常大的发光器官。它们的功能比起其他部位的发光器官来更为专一，它们可以经常被遮盖起来，或是通过肌肉将它转入到色素囊内，或是被一个黑暗的、象帘子状的膜所覆盖，就象眼睛被眼睑盖住一样。这些器官也有很好的聚焦结构，有时甚至连发光细菌的简单凹陷同样也被象快门一样的结构控制着。这种机制与血管收缩、中断对细菌或腺细胞的氧供应有着相似的效果。所不同的是，当发光器官被覆盖物遮住时还能继续发光，而当血管收缩时，氧气一中断，发光就停止了。

某些鱼类还具有与眼睛附近这样的发光器官相类似的光斑，如生活在水面的某些鱼，在靠近尾巴处有带色的眼斑，这可能是为迷惑追捕者而设计的。有时它们为了达到双重目的，也使用闪光信号，就象在交配季节中萤火虫那样。有些鱼类只有雄的发光，雌的不发光，如同鸟类一样，似乎雄的试图把捕食者的注意力从雌性个体上转移，使其在平静的环境中繁殖后代，保持子孙的永远延续。

最令人注目的是头旁的腺体性发光器官，这种鱼当它逃跑时，能把发光的云雾放射到水中迷惑敌人。就好象章鱼和乌贼使用的方法一样，当敌人追

捕时，它们就射出一种墨汁样的液体，把水搅混而逃跑。甚至无脊椎动物也掌握和发展了这个习性。生活在不太明亮深水区的一种小虾（*Acanthephyrapurpurea*）在逃跑时，也释放出一种发光的液体来蒙蔽和迷惑敌人。

在柔软的背鳍或触须上挂着诱饵的琵琶鱼是捕鱼人所熟悉的一种鱼。这种鱼不仅存在于有光的海面，在深水中也大量存在。它们携带着发光的诱饵，其光呈黄、黄绿、蓝绿或橙色，有的还可能由于血管收缩而一亮一灭。看来这些诱饵是由发磷光的细菌组成，当菌体对来自血管的氧发生反应时显出闪光。琵琶鱼在嘴里也有发光的诱饵；有的鱼类有闪光的牙齿，这可能是粘液覆盖下的细菌所产生的。

鱼的发光器官形式可能多达数千种，甚至很小的鱼，其体表也会有几千个这种微小的发光体。每边两排，就象两排小洞一样，这是非常普遍的类型，有时发光体位于侧线下面或腹部。这些发光体的排列间隔较为均匀，有三个或数个排成一直线或排成三角形。有的发光体在鳍上，或象鲑鱼那样，甚至在嘴里面。在夜间游近水面的小灯笼鱼有很明显的头灯，还有些鱼在紧靠尾部有强烈闪光的发光物。

鱼的发光器官不是进化上的新发展，在研究深海鲨鱼时发现，它们是属于相当古老的类型。其结构除了没有反射层外，基本上与那些已经描写过的具有透镜和背后有色素的发光器官是类似的。但这些发光器官形状很小而数目相当多，甚至在胸鳍上也有，这样就能显示出一个闪闪发光的鱼的轮廓，而不象几排单调的发光物。和硬骨鱼比起来，这些发光器还不太专门化，然而鲨鱼有极灵敏的眼睛，也就足以识别同类了。

在海洋中发光的不仅限于鱼类和甲壳类动物。在茫茫大海中，夜间常可看到水中移动着一些生物，其原因就是当这些生物受到骚扰时，无数小的有机体就会发光。此光可以照亮一片水域，足以使鱼群看得清清楚楚。至于珊瑚和某些植物也会发出不同颜色的荧光，虽然我们还不知道有某种动物的眼睛专门对这些荧光发生反应，但总是有某一定的原因。

在陆地上有时也能看到发荧光的地衣和苔藓；还有能控制光闪的萤火虫。这种光的显现是适应在黑暗中进行辨认和召唤异性进行交配的需要。

从猫胡子谈起

从猫胡子谈起

除了某些鱼类以外，触觉对动物的追踪没有什么帮助。但对逃避看不见的危险却有一种特殊的作用。猫的胡子就是特殊的触觉器官，它伸展的面积与猫的身体一样宽，这就能使它在黑暗中探测路径，摸清自己的身体是否可以通过。许多其他的动物，特别是啮齿类，也有着触觉灵敏的胡须。

鼯鼠的这套装备也是很出色的，它除了在鼻子周围有一圈完整的胡须之外，末端还有一串称为爱默氏器的细微神经末梢。这些神经末梢的排列十分致密，以致可以与触须一起，共同来识别洞穴中的空气碰到障碍物而产生的气流方向和压缩波方向。如果夜晚它要出来时，就以触须来试探洞穴外面的空气。

星鼻鼯鼠用它那特异的超灵敏触觉器官来发现食物，事实上，这种器官也有味觉机能。它是由鼻尖周围 22 个很小的裸露的肉质附属物排列而成，形状象星形，鼯鼠用它来探测沼泽、湖底和小河深部的食物。

鱼的触觉感受器就象味觉感受器一样，在身体的某一个部位分布得最密（如头部），而在整个体表较为稀疏。触觉感受器与侧线系统中敏感细胞之间的功能差别是极微小的，区分起来也较困难。侧线系统是由鱼身体两侧排成一条线的微小器官组成的。

生活在恒温水中而不进入到深水区的鱼，需要有对温度变化发生反应的感受器。这种感受器能够探测出 1/30 度温差的变化，虽然温度的逐渐变化对成年鱼没有什么损害，但是，对它们产卵来说，恒温的水区是非常重要的，因为变幻莫测的温度易导致鱼苗的死亡。

侧线系统与电感

鱼的侧线系统是由许多小孔组成的直线状的精密器官。这些小孔有时打开与表皮下穿过整个身体的管道相通，管道内布满敏感细胞，它能察觉身体周围的波动。但这些细胞也经常大量地聚集在其他部位，如头部或尾部。其实，鱼体表的任何部位都有这种敏感细胞，它对感知周围看不见的环境具有极重要的意义。

从这些器官获得信息的方式来看，它们与耳朵的机制是很相似的。因而有人认为，它们提供的信息可能是听觉和触觉器官之间的折中，或把它们称为听觉侧线系统。事实上，这些器官和耳朵在胚胎时经常是同一来源。有的科学家甚至相信，耳朵是从侧线系统发展来的，沿着神经纤维将冲动送到脑的侧线器官能够对低频声音、微小电流、身体活动或水的压力产生反应。但是，鱼类对由其他鱼的运动引起的微小水流和声音，或由这些鱼的肌肉活动传导的电流是否有反应，这点还没有弄清。对温度的反应也是如此，因为温度能改变这些感觉的效果。

最古老的脊椎动物有侧线系统，无脊椎动物的祖先也可能具有这个器官。有些还存活的古老鱼类具有侧线系统的雏型，这种雏型与较早的侧线系统是非常相似的，事实上，我们发现，比较古老的一种鱼，它的侧线系统的排列是很复杂的。弓鳍鱼的头上约有 4000 个感觉器，雀鳝也有排列同样复杂

的感觉器。

游动繁捷的鱼具有发育得很完善的侧线系统，并且其位置多半集中在尾部，这就说明，侧线系统对速度的感觉也有反应。动作缓慢的弓鳍鱼，侧线器官多数集中在身体的前部，这可能与探测水的流速和周围环境的情况有关。

从鱼的实验表明，侧线器官多半集中在头部。如果把鱼的嘴、眼、鳃和鳍都露在外面，而用塑料罩盖住鱼头其他部分，这些鱼就探测不出水的振动，甚至互相碰撞。这个实验结果也说明了鱼在密集的鱼群中游动时，由于使用侧线系统，每条鱼能对周围鱼的运动所产生的水压发生反应，所以即使在队伍改变航向时也不会互相碰撞，使整个鱼群始终保持着原来的队形。组成这么一个坚强的鱼队，是四千多种鱼的一种习性。显然，这是为了减少掠夺者对个体鱼所造成的危险，因而在黑暗中，捕到的鱼总是一大群。而不是零星星星的几条。

侧线器官在空气中毫无用处，因此现在的陆生脊椎动物中，除了少数生活在水里的两栖类幼体外，都没有侧线器官。甚至象鲸鱼和海豚这些长期生活在海洋中的动物也没有。相反，它们的耳朵和回声定位系统得到了发展，以便在黑暗中捕食和逃避敌害。

具有部分侧线系统的两栖类主要是生活在没有亮光的洞穴中的那些动物。如蝾螈的幼体有侧线系统，有些在进入成体阶段时还保留着，经常发现这种器官象鱼那样在头部和身上排列成一行，然而没有鱼那么灵敏。在大多数情况下，蝾螈这个器官已经蜕化。看来侧线器官只在水中才有作用，并且只对低频振动发生反应。

有些侧线器官能收集水中很微弱的、但作用却非常大的电流，对电现象的这种知觉与对温度及水流的感觉是相类似的，它是在同一个系统中被感知的。许多鱼（特别是鲨鱼和鳐鱼）对电场的微弱变化极为敏感，以致用人工方法产生的电流就可以影响它们的呼吸速度。最微弱的电刺激能使它们的心跳变慢。如鳐鱼，只要 $1/10000$ 伏特的电压就能影响它的呼吸。根据仪器的测量，证明这些鱼能感觉到 $1/100000$ 伏特的电压，它比鱼鳃活动时由骨肉产生的电流强度还要低。

实验已经表示，鲨鱼和鳐鱼不仅对电场极为敏感，它们还能对电场的来源进行定位。有一种鳐鱼只要用鳃肌产生的极其微弱的电流就可以检测出隐藏在泥沙中的动物。人类的肌肉也产生类似的微弱电流，心电图就是由这种微弱电流构成的。所以，鲨鱼在黑暗中能发现游泳者，可能和这种电流的发放有密切关系。

鲨鱼对这么微弱的电流如此敏感，是由于其侧线系统有这样一种结构：在皮肤上的许多小孔与充满了液体的小管相通，在小管中，敏感细胞与极细的、飘浮在液体中的纤毛相连。这小管到眼睛附近分开成两支，一支经过眼睛上方，一支经过眼睛下方，这样就使得头部具有双重的敏感性，这里也是对压力波最敏感的区域。根据对不同压力的感受，鲨鱼就游向不同的深度区。

在大海的深处

侧线系统的效力一般不受水的深度影响。我们发现，海面和深海的鱼都使用这一器官。鳐鱼是生活在海底的最普遍的一种鱼，它的头部具有显著突

起的小管道，其内部包含着长长的侧线感觉器官。

虽然这种鱼的眼睛是鱼类中最灵敏的，但它们大部分时间生活在深水中，那里光线极其阴暗，很可能它们是依靠侧线系统来获得食物，并探测微小水流或电流所产生的波动。因为在深海区域，一则水本身不会流动；二则许多深海鱼的侧线器官能探测 60 呎（约 18 米）以外各种鱼的游动、吃食物和水经过鳃或嘴时的活动。当这些灵敏的器官象小细胞垫一样突出在皮肤外时，都有一根纤毛，它们可以记录低频振动和由其他鱼活动引起的水流压力；对电流有反应的感觉器官也可能位于小管道中。

由鱼尾或鳍的活动所引起的声波很快地在水中传播，每秒大约 5000 呎（约 1500 米），这就意味着，当鱼的侧线系统收集到低频振动的一瞬间，就能感觉到旁边有其他鱼的存在或正朝着它游过来。侧线系统的作用也有一点象蝙蝠的回声定位系统。鱼本身在水中的活动也引起很小的声波向四周传播，当这声波碰到一个物体或其他的鱼类时就反射回来，侧线系统既能记录到反射回来的声波，又能记录到鱼自身的运动和速度。

除少数种类外，鱼的眼睛是很不灵敏的，所以它们需要用灵敏的侧线系统来装备。已经知道的有些盲鱼有非常发达和具有极高效率的侧线器官，然而所有的鱼类，甚至那些生活在水面附近的鱼，夜间都得依靠它们的侧线系统。用这种方式感知周围事物的鱼也能察觉渔船上钓鱼者的活动。尤其是对金属船的反应更为明显，因为这些船经常发出叮叮 的响声和振动声。当钓鱼人在池塘边或附近的岩石上走动时，池塘里的鱼也能感觉到它们脚步的振动。

大部分鱼类的侧线器官对微弱的电流很敏感，有些鱼类还具有雷达似的装置，它向各处发出 50 ~ 1600 次/秒的低电压脉冲，这些脉冲被物体和各种鱼反射回来，再被测线细胞收集。这就象接收了它自己发出声音的回声一样。这种传导的机制现在还不十分清楚，但不同种类的鱼发出的脉冲是不同的，就象许多深海鱼的发光器官各不相同一样；这些不同的传播也给各种鱼类提供了识别的标志。

当然没有证据可以说鱼类发光器官都是侧线系统的一部分，但侧线系统的确产生很明显的亮光。在石首鱼身上那明显可见的“洞口”，看起来就是与非发光器官相交错的侧线系统的一部分。

有效而可变的侧线系统是大自然为鱼类暗淡的水域和夜晚活动或捕食而安排的。

蛇的红外器

有些蛇的头上具有特殊的热敏感器官，它对温度十分敏感，以致可以记录到 1/1000 的温度变化，而反应速度不超过 1/10 秒。因而只要是温血动物，通过这种蛇的所在地就一定会被它们发觉，有时还会受到蛇的袭击。

我们知道，凡有这种器官的蛇，大多数是有毒的蛇，在嘴的上方每边都有一个非常明显的大颊窝。这些蛇在漆黑的夜里总是盘绕起来，但是从不失去其攻击的能力。据我们所知，这些蛇也没有听觉；它们只能感觉到由地面传来的振动。据统计具有颊窝的蛇有六个属，超过 80 种，少数产于亚洲和马来西亚，其余约 50 种生活在美洲。

所有的响尾蛇是典型的有毒蛇，此外还有食鱼蝮、铜头蝮、能长到 12

呎（约 3.6 米）的可怕的巨蝮和矛头蝮。除了有两种原始的和在黄昏时开始活动的穴蝮和夜蝮以外，在白天它们的瞳孔全都呈垂直的缝，以保护高度灵敏的视网膜。事实上，这些蛇都有出色的夜间视觉，但是，当灵敏的视觉不起作用时，即使是在完全黑暗的情况下，红外线器官也足以使它能捉到捕获物。

颊窝对超过蛇本身温度的一切温度变化都非常敏感，甚至对空气流动也很敏感。这个器官下陷甚深，在能带动毒牙的可活动的上颌骨上形成一个较大的凹陷。巨蝮的这个凹陷特别大。在颊窝中有一层紧绷在其壁之间的薄膜，当热量到达颊窝时，里面的空气就膨胀，使这些膜发生轻微偏斜，偏斜的程度与温度升高的数值有关。这样就刺激了颊窝与脑联系的丰富神经末梢，从而对面部和牙齿的感觉产生反应。目前对蛇的颊窝灵敏度已能测量，但对其机制还不完全了解，在其他动物身上还没发现对温度有这么高的敏感性。

有人用响尾蛇做实验证明了颊窝的这种功能。用一个装着温水的气球朝着响尾蛇移去，或者经过它的附近，可以发现当气球离它还有一段距离时，蛇就立即向气球发动攻击。但蛇对装着冷水的气球却毫无反应。

虽然响尾蛇的颊窝与尾部发出的咔嗒咔嗒响声没有明显的联系，但有趣的是，只有具有颊窝的毒蛇其尾部才有这种响声。这种声音是响尾蛇尾部的一个类似警报器的结构所发出的。而其他有颊窝的毒蛇不一定都有响尾，但也尽力模仿这种声音。如铜头蝮在发怒或陷入绝境时，就振动尾巴发出沙沙的响声。巨蝮也以同样的方式活动。可见，只有响尾蛇是真正发出响声的唯一的毒蛇。

其他各种有颊窝的蛇对热也很敏感，但这些颊窝所在的部位不同。蟒蛇的唇窝在下嘴唇边沿和头的正面，它似乎是和响尾蛇面部的颊窝以同一种方式对温度产生反应。这些蛇老是盘绕着，当其他动物出现时，即使产生轻微的振动，也会传递到它的全身，然后，用热感受器来确定这些动物的精确位置。

