

王君仁 编著



生物的启示

辽宁人民出版社



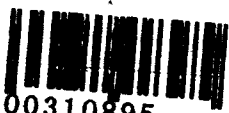
200356211

3580

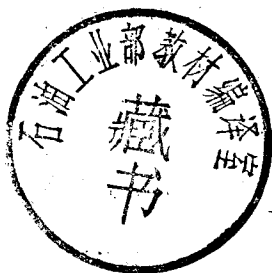
生物的启示

——仿生学札记

王君仁 编著



00310895



52/54/25

辽宁人民出版社

一九八〇年·沈阳

前 言

自然界的生物数以百万计，到处充满着生命的活力。这些生物经历了千百万年漫长岁月的进化，受到了自然条件严峻的选择。为了适应外界条件，并在生物界的竞争中求得生存和发展，它们练就了一身独特的本领，其生物系统的功能今天已达到了高度完善的程度。这种奇妙卓绝的机体结构是令人惊赞的，它给人类提供了许多有用的启示。现代科学技术的新成就，有很多是直接或间接模拟某些生物系统的机体结构而实现的。

在生物界里：有直上云霄的雄鹰、有快速游动的鱼类、有利用天文导航的候鸟、有能发射超声的蝙蝠、有能发出荧光的动物、有探测热线的响尾蛇、有结构科学的骨骼、有建造巧妙的蜂窝、有富集金属的专家……，这里的二十几个短篇，从各个不同的侧面向读者介绍，人类是如何从这些有趣的生物机体结构中获得了启示；又怎样模拟这些生物系统，进一步推动现代科学技术的发展。为了卓有成效地研究生物界，探索和模拟生物系统各类机体的奥妙，借以推动科学技术的发展，于本世纪六十年代初诞生了一门崭新的科学——仿生学。

仿生学发展的道路是十分宽广的，远景也是非常诱人

的。自然界提供仿生学研究的对象和内容是取之不尽的，譬如：感觉器官的模拟；神经元的模拟；生物的定向和导航；生物力学；生物膜的研究；生物电控制等许多研究课题，都是仿生学未来继续探索、研究的重要内容。

如果说今天人们在仿生学的某些方面已经取得了一些重要成果，但这仅仅是很少的一部分，只是刚刚跨进仿生学的大门，还有很多生物系统各类生物结构的奥妙没有被揭穿，或者没有完全被揭穿，还不知道在它的机体结构里将会有多少幅了不起的图景；但是，完全可以相信，随着科学技术的发展和人们对生物界的认识的不断深化，这些未知的奥妙迟早会真相大白，那时在生物的启示下，有关科学技术发展定会出现新的突破。

值得指出的是，一切生物都是被动的适应自然，只有人类才能运用自己的智慧，在一些领域中（如飞机、火箭、定向导航、工程结构等）都远远的超过了生物。因此说，仿生学不是简单生物的机体结构模拟，而是学中有仿，仿中有创；不是一蹴而就，而是要付出艰巨的劳动，进行大量的研究工作。

近年来，国际上对仿生学的研究非常活跃，一九六〇年在美国召开了第一届仿生学讨论会。我国仿生学的研究工作起始于一九六四年，现已取得了一些可喜的成果，具备了一定的基础。毫无疑问，今后仿生学将会得到迅速的发展，并在军事、航空、航海、自动控制、工程设计、医疗卫生、工农业生产等各方面得到广泛的应用。

目 录

在天空中飞翔	1
鱼游的奥妙	16
电子计算机与大脑	28
不发热的光	36
动物结构里的科学	46
建筑艺术札记	57
海洋中的火箭	64
野鸭与水翼船	70
听不见的回声	81
海豚的秘密	96
天文导航及其它	102
穿透黑暗的眼睛	114
蚂蚁大力士	126
海洋的声音	135
施放烟幕的能手	142
电鱼和活的雷达	146
大气中的离子	155
冬眠与人工冬眠	163
看不见的朋友	173
绿色的工厂	180
金属收藏家	188
温度调节的几个片段	196

在天空中飞翔

就是在宇宙飞船上了天的今天，深入研究这些大自然的飞行家，仍然能给我们带来许多教益。

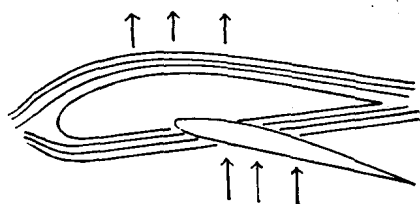
自然界卓绝的飞行家——鸟类，启发人类飞上天空，推动了航空技术的发展。盘旋在蓝天中的鸽群，低回于碧波之上的海鸥和那翩翩飞舞的燕子，都使得生活在地面上的人类为之神往。早在古代，我们的祖先，就曾幻想过征服天空，腾云驾雾，御风而行，因而出现了许多嫦娥奔月、巧匠鲁班能做会飞的鸟等优美动人的神话故事和传说。

值得提出的是：我国劳动人民最早发明的火箭、指南针和陀螺，为人类飞上天空做出了伟大的贡献。

由于人们对鸟类飞行的观察和研究，从中获得了启示，经过多次的试验和失败，甚至牺牲了生命，终于制成了滑翔机。既然人可以在空中滑翔，那么是否可以在天空中飞行呢？随着科学技术的发展，人们在吸取滑翔机飞行经验的基础上，经过艰苦的努力之后，在一九〇三年十二月，世界上第一架由发动机驱动的飞机，终于在天空中自由的飞行了。

让我们来看看，鸟类对人们的启示吧。

初秋晴朗的日子里，如果你漫步郊外，有时可以看到，在已经收割了的田地上空，苍鹰平展着双翅，身不动膀不摇，悠然地盘旋。这样的飞行叫翱翔。不少鸟类如海鸥等，都能作翱翔飞行。鸟类的翱翔和飞机的滑翔极为相似。



海鸥和苍鹰为什么能够在空中滑翔呢？

飞鸟的体形和翅膀都是良好的流线型，它滑行前进时与飞机的飞行极为相似

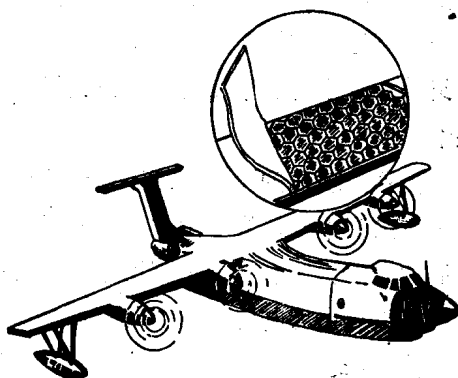
道理很简单：在一般情况下，它们是挥动双翅飞行的，当气流通过上凸下平的翅膀的时候，就产生了向上的升力，把它们托在空中。如果它们平展双翼，也能翱翔一段距离，只不过高度越来越低，最后会降落地面。但是，如果在飞行中遇到由晒热的地面向上升起的暖空气，或由海上波涛所产生的上升气流时，情况就不同了。这些长满羽毛的“飞行员”可以用不着挥动翅膀，而追逐上升气流长时间在空中翱翔，久而不降。海鸥和苍鹰就是善于找寻上升气流的鸟类之一。

覆盖着丰满羽毛的鸟类，无论是它的翅膀，还是身躯都

具有完美的流线型。这种形状具有优越的空气动力学的性能，飞行时阻力很小。所以，它们能够长途旅行，从遥远的北方飞向暖和的南方。在飞鸟的外形结构启发下，所以人们所设计的飞行器的外形，都采用良好的流线型。

鸟类羽毛不仅是用来防寒，羽毛的空隙中还储有大量的空气，有助于降低鸟的比重，使它更容易起飞。鸟类的骨质轻而多空隙。骨质是由许多连接的薄片构成，薄片间的空隙是蜂窝状结构。

对飞机来讲，减轻一公斤重量也是有重要意义的。在寻求重量轻、强度大的新型结构中，飞机设计工作者想到了鸟骨的结构，于是就出现了一种所谓“蜂窝夹层结构”。有一种



蜂窝夹层结构

轰炸机的机身和机翼，百分之九十采用了蜂窝结构，其中部分蜂窝结构是用两块铝合金板，中间夹塑料胶接而成的。直升飞机的金属旋翼也是胶接蜂窝结构的典型。

鸟类在飞行时，本能地把两脚缩在腹下的羽毛之内，整个外形很干净，很符合流线型，阻力很小。有些鸟，象鹭、鹤等，脚很长，不能缩在腹下，便水平地伸向后方，以减少空气的阻力。现代的飞机在起飞后，也是把轮子收起

来。这不是偶合，而是飞机设计师向鸟类学习的结果。

许多作家都喜欢把飞行员比做雄鹰，因为，鹰是世界上飞得最高最矫健的鸟类之一，能够飞到七千米以上的高空。象雄鹰一样飞翔，这是人们自古以来的愿望。人类凭着自己的智慧和劳动，终于实现了这个理想；今天的飞机，在飞行高度和速度方面，都是鸟类永远赶不上的。现代的超音速飞机飞上了三万四千米的高空，它的飞行速度每小时高达三千三百多公里，是音速的三倍左右。一九七六年七月二十七日美国一架高速高空战略侦察机 SR-71，创造了飞行速度的世界纪录：每小时三千五百二十三公里，这要比鹰飞行的速度快十倍以上。

但是，现代的飞机，还不是十全十美的。它同鸟类进行的飞行比赛中，还算不上“绝对冠军”，在飞行的机动性和灵活性方面，所有的飞机都比不上鸟类；在起飞和着陆方面，鸟类更是无与伦比的。你不妨仔细地观察一下，一只稳稳地停在树枝上的小山雀，当它受惊的时候，不用助跑，就能雀跃而起，远走高飞。而目前任何一种直升飞机都没有这种本领。性能最好的飞机，一旦迎角超过了二十度，升力就会消失，但是，鸟类能够随意改变它们飞行体的面积，随时改变迎角，能够作各式各样的特技飞行：盘旋、急转弯、翻筋斗等等。它们甚至能垂直地悬在空中，准确地追捕猎物。

每到秋天，成群结队的大雁、天鹅，就从北方飞到南方越冬，到来年春暖花开，又踏上归途。优越的飞行本领，使它们能消耗较少的体力完成长途的旅行。每年三月，在南极

的茫茫雪原上空，便有成群的燕鸥飞过，它们一直飞向远在天边的北极，过些日子还要飞回来。长达一万公里的旅行，完全靠自身的力量完成，这也是今天人们所羡慕的。当然，人类更高超，在飞行距离上，飞机也能“一口气”飞得很远，一九六七年一月十日到十一日创造的新航程纪录是二万多公里，差不多沿赤道绕地球飞半圈，这个纪录直到现在还没有被打破。

鸟类的负重能力是十分巨大的。有人做过计算，老鹰在攫获绵羊起飞时，每马力居然能负重几十公斤，而最新式的飞机，每马力平均载重量只有十几公斤。

鸟类所具备的这些卓越的飞行本领，值得人们进一步研究、学习。

自从天空中出现第一架以内燃机作动力的飞机时起，七十五年来，飞机的结构有了很大改进，日新月异，但是有一点是不变的，它的机翼都是固定的，并不象鸟类那样作扑翼飞行。可见现代飞机的飞行原理和鸟类有着很大的差异。你可能知道，飞机朝水平方向作等速飞行时，空气对固定的机翼，产生升力和阻力。升力是用来平衡飞机的重量，使飞机悬在空中；阻力是由发动机产生的推力来克服的。鸟类在飞行时，有着各种不同的姿态，但一般说来，都是周期性地挥动着双翼，每秒钟大约在一至五十次之间。下扑和上举时，空气对翅膀产生的作用力是不同的。请你观察一下海燕，当它作水平飞行时，靠近身体部分的翅膀挥动的幅度很小，可见，它的作用和机翼相似，始终产生一定的升力和阻力。但外面部分就不同了，下扑时，翅膀除了向下运动外，还要向

后运动。这时，气流来自下前方，产生了水平方向前进的推力和垂直方向的升力。翅膀上举时，气流来自上前方，因而，只产生阻力。为了减少这种阻力，鸟的翼端，在上举时就放松下垂。鹰、雁、鹤等鸟类的飞行方式极类似海燕。至于一些小鸟，如麻雀、黄鹰等则另有一套飞行技术，加上起飞着陆，那就花样更多。它们各自采取不同的方式挥动翅膀，随时改变翅膀的弯曲度，准确地确定方向，掌握升降。现在创造出一种具有“圆锥弯曲”翼的飞机，它是研究和模仿飞鸟翼端下垂或弯曲的结果，飞行稳定性很好。

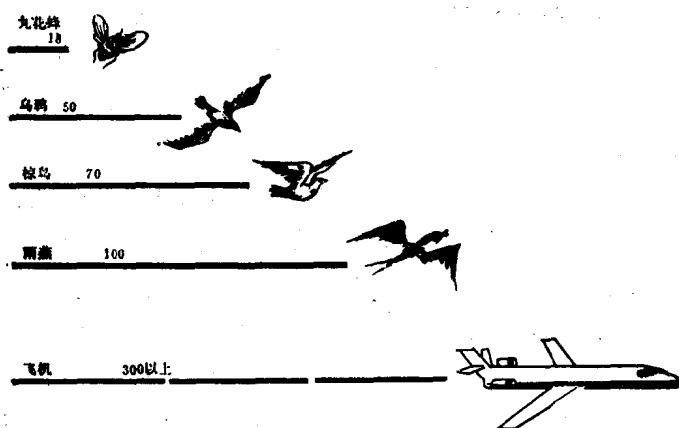
这里顺便谈谈昆虫：

夏天的早晨，又是一个晴朗的艳阳天，公园里的景色是多么美丽啊，玫瑰花、牵牛花盛开着、茉莉花送来了一阵又一阵的香气，几只蝴蝶在花丛上飞舞，勤奋的蜜蜂忙着采集花蜜，轻盈的蜻蜓穿梭地点水嬉戏，这些自然界的昆虫飞行家，很久以来就引起了人们的注意。研究昆虫的飞行原理和机体结构，对推进航空事业的发展是有所帮助和有所启发的。

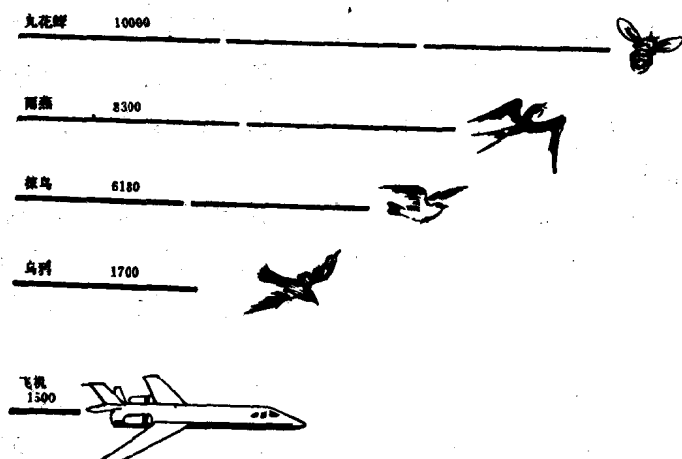
昆虫的飞行也很有趣，它们的飞行方式，又不同于鸟类。有些昆虫在飞行时，翅膀振动得很快，翼尖在作上下振动的同时，还作“8”的运动。它们的飞行技术很高，有时，可以不动地“悬”在空中，甚至还能横飞或向后飞。

不过，论飞行速度，昆虫比鸟类慢多啦！

例如，丸花蜂飞行速度每小时是十八公里，可是乌鸦飞行速度是五十公里，棕鸟是七十公里，针形雨燕（山燕子）是三百公里。螺旋桨发动机的飞机，最高速度是每小时九百公里。而现代超音速飞机每小时飞行速度超过三千公里。



绝对速度 (公里/时)



相对速度 (每分钟内飞行的本身长度的倍数)

飞行速度比较图

假若我们从另一个角度来做比较，如果计算一下丸花蜂、雨燕、棕鸟、乌鸦和飞机飞完相当于自己身体长度的距离时究竟有多快的话，那么就会发现，相对速度最低的是飞机，而最高的却是昆虫。

在昆虫身上，人们也会找到一些与飞机相似的结构。

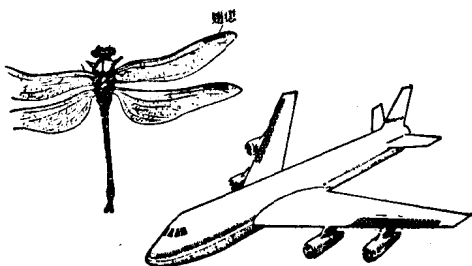
在提高飞机飞行速度的过程中，人们需要克服无数的困难和障碍，颤振现象就是其中之一。当飞行速度达到某一数值时，机翼就会发生剧烈的颤振，严重时会使机翼折断。由于这种有害的颤振，一些新型飞机在试飞时坠毁了，飞行员因而受了伤，甚至丧了命。飞机设计工作者为了寻找消除这种有害现象的方法，不知花费了多少心血，经过不断的试验和摸索，终于找到了抗颤振的方法。其中之一就是在飞机两翼前缘的末端装设一个制止有害颤振的配重装置或加厚区。

然而，后来人们发现，这种经长久摸索才找到的消除机翼颤动的方法，并不是什么新鲜玩意。原来，蜻蜓早就运用这种方法了。

若是你捕捉一只蜻蜓，轻轻地展开它的翅膀，仔细观察，就会发现在它每片翅膀前缘上方，都有一块深色的角质加厚部分——翅痣（翼眼）。翅痣的功用就是调整翅膀的振动，消除有害的颤振。你可以做个实验：用剪刀将每片翅膀上的翅痣剪掉，但不要损害翅膀的其它部分，然后将它放回空中去。这时，你会看到蜻蜓并不因此而失去飞行能力，但是由于翅膀不能维持正常振动，因而飞行也失去规律，它好象断了线的风筝，在空中摇摇晃晃，飘忽不定。

目前已经证明，蜻蜓翅膀上翅痣的位置和飞机机翼上抗

颤振配重的位置相当，如果飞机设计工作者能早些发现蜻蜓翅膀上翼眼的功用，那么就能省去很多麻烦，很快地解决机翼颤动的问题。



看蜻蜓与飞机防止颤振的方法多么相似

由于深入对昆虫飞行原理的研究，人们用塑料模仿蜻蜓翅膀制造出第一架昆虫飞机，装上二点二五千瓦的发动机，已经成功的飞上了天空。

让我们再来看看甲壳虫的飞行吧。

前翅高度硬化而变为翅鞘的鞘翅目甲壳虫的飞行也有自己的特点。有些甲壳虫在飞行时两个翅鞘微微地摆动，互相保持一定的角度，很象一个拉丁字母“V”，甲壳虫在水平飞行时所以稳定的秘密，也就在这里。正如一些稍有上抬（即具有上反角）的机翼一样，在飞机转弯和倾斜时能起稳定作用。

飞机在转弯时，首先要把一侧的机翼向下倾斜，这时，另一侧机翼就向上抬起，由于大量空气冲击抬起机翼的表面，使飞机恢复到原先的平衡状态。

还有甲虫，你看它飞得多么敏捷！科学工作者曾经研究过一些甲虫的眼睛，那是由许多小眼组成的复眼。各个小眼，由于部位不同，看到物体的时间也就有先有后。甲虫就

是利用这种巧妙的复眼，来掌握它在空中的飞行方向、速度和高度的。由于对甲虫复眼的研究结果，科学工作者模仿甲虫的两个小眼，在某些飞机和导弹的头部和尾部各装一个光电管。并连接在电子计算机上，构成一台精密的测试仪。由于两个光电管接收到来自地面光线的时间、角度不同，测试仪就可以测出飞机或导弹飞行的高度和速度。

双翅目昆虫（例如苍蝇），后翅的一个小小痕迹器官——楫翅，象一对哑铃似的平衡棒。它能帮助昆虫精确确定飞行方向的变化，及时调整航向。

经有关人员研究，苍蝇飞行时平衡棒以每秒三百三十次频率迅速振动着。当航向偏离时，平衡棒会产生扭转振动，基部感觉器官便感到飞行的方向不对头，从而改变某一侧翅膀的拍动速度来纠正航向。如果你捕捉一只苍蝇，把它的平衡棒剪掉，它就飞得很不稳，总是绕着圈子乱飞，好象个无头苍蝇似的。

你可能知道，陀螺转动时，它的轴总是不变的朝着某一个方向，利用这种原理，陀螺仪可以控制飞机、导弹的飞行方向，但由于转动时摩擦而不耐用，且有误差，又不易小型化。为了改进这种仪器，近年来，科学工作者模仿苍蝇平衡棒的作用原理，创造出一种音叉式振动陀螺仪，它没有转子，也没有转动部分，使用时简单可靠。音叉的支脚装在基座上，在飞行时利用电磁线圈使它产生快速振动。当航向偏转时，音叉和基部随之转动，这时音叉支脚产生扭转振动，跟支脚相连的弹性杆也振动，把这个振动转变成电讯号传递给转向舵，从而纠正了航向。

根据双翅目昆虫的导航原理制成的新型振动陀螺仪具有体积小、准确度高等一系列优点，现已成功的应用在高速飞机和火箭上。

说不定，我们以后还可能从飞鸟和昆虫的飞行器官上，发现许多有用的结构。这些暂时还不知道的结构，在将来的飞机上也可能会出现。

现在再来谈一谈，人类能否模仿鸟类、昆虫，制造一种“扑翼机”的问题。

多少世纪以来，扑翼飞行一直是个诱人的理想。

十五世纪，在欧洲文艺复兴时代，意大利的艺术家兼学者达·芬奇，仔细观察了鸟类的飞行，并画下了一张扑翼飞行的设计草图：在人身上装两只翅膀，靠脚的力量来扑动。后来，虽然有不少人作过类似的研究，可是一直没有获得成功。

究竟是什么原因阻碍人们不能实现这个理想呢？

原来，当鸟类体重增加时，它的翅膀长度就要成倍甚至几倍的增加。比如，世界上最小的鸟——美洲的蜂鸟，它的翅膀是体长的零点六倍，普通燕子的翅膀是体长的一点五倍，而较大的兀鹰的翅膀，是它本身体长的三倍。如果按照这个比例推算，那么，人所需要的翅膀要比身长大十几倍之多。不用说，如此巨大的翅膀安装制造起来该多么困难，而且即使有这付巨大的翅膀，人也无力去挥动它。根据科学工作者的研究，要是燕子长得跟人一样大，那么它的肌肉力量的增长就应该大大超过它身体重量的增长。可是，实际上，动物肌肉力量的增长，远远赶不上身体重量的增长。所以，到目前

为止，在自然界里会飞的动物当中，还没有一只动物身体重量超过十五公斤。人的体重达六、七十公斤，想靠自己的力量飞到天空中去，确是件很不容易的事情。

此外，由于鸟类上亿万年来长期适应环境的结果，它的骨质轻，呈“泡沫塑料”式多孔结构，重量约及兽骨的三分之一。它的肌肉系统和其它生理条件都变得越来越适合于飞行。鸟类的肌肉系统在飞行时大部分能参加工作，而且它的胸肌特别发达。据观察，山鸡身上与双翅相连的大胸肌，就占体重四分之一以上。人类的肌肉系统，并不是为飞行而安排的，所以依靠体力来飞行，看来是很困难的。

在人类模仿鸟类飞行屡遭失败之后，十七世纪八十年代，意大利生理学家波列利曾断言：“人类想依靠肌肉的力量来飞行是不可能的，要创造重于空气的飞行器，必须借助于发动机。”那时著名的英国力学家胡克也发表了相同的论断。

十八世纪，出现了蒸汽机，结束了人力和风力的纪元。二十世纪发明了内燃机。一九〇三年造出的第一架能够飞行的飞机是用内燃发动机作动力，有螺旋桨、翅膀，和风筝差不多。每小时的飞行速度，仅有十六公里。可是几十年来，由于对机身、机翼和发动机进行不断的改进，飞机的发展也日新月异，现在已经出现了各式各样性能良好的飞机，但是除直升飞机外，它们共同的特点为机翼是固定的。那么模仿鸟类的扑翼飞行究竟做了哪些工作呢，有无潜力可挖呢？

首先让我们来观察一下扑翼飞行的原理。鸟类作扑翼飞行时是借空气的反作用力产生升力的，跟现代固定机翼的飞