

鸟类飞行空气动力学对人类飞行的启示

屈秋林 王晋军[†]

(北京航空航天大学航空科学与工程学院 北京 100191)

2016-09-09收到

[†] email: jjwang@buaa.edu.cn

DOI: 10.7693/wl20161003

Human flight inspired by the aerodynamics of bird flight

QU Qiu-Lin WANG Jin-Jun[†]

(School of Aeronautic Science and Engineering, Beihang University, Beijing 100191, China)

摘要 文章回顾了人类早期仿鸟飞行失败的历史, 究其失败原因在于盲目模仿鸟的翅膀的形状和运动规律, 而没有研究扑翼飞行的空气动力学原理。随着对空气动力学研究的逐渐深入, 人类成功研制了各类飞行器。在飞行器气动技术的发展历史过程中, 许多技术革新均受到鸟类飞行空气动力学的启示, 例如低速翼型、流线型细长机身、平尾和起落架的设计等等。

关键词 空气动力学, 仿生, 飞机, 飞行历史

Abstract The historical failures of human flight imitating flying birds are summarized. In early times, humans just blindly imitated the shape and movement of birds' wings, but did not know anything about the aerodynamics of flapping wings. With the development of aerodynamics, various types of aircraft have been successfully invented, during which many innovations were inspired by bird flight aerodynamics, such as the design of low-speed airfoil, streamlined fuselage with small drag, horizontal tails, landing gear, and so on.

Keywords aerodynamics, bionics, aircraft, flight history

人类的飞行梦想始于古老而又遥远的年代, 女娲补天、嫦娥奔月、或是普洛米修斯飞天盗火……这些数不清道不明的神话和传说, 都是人类期盼着升空飞翔的美好愿望和朦胧幻想。

人类真正的飞行实践起源于仿鸟飞行, 即给自己装上一对翅膀, 学习鸟的扑翼动作而飞行, 但是长期的大量实践证明仿鸟飞行的失败。1809年, 英国科学家凯利发表了题为 *On Aerial Navigation* 的著名论文^[1], 提出了人造飞行器应该将推进动力和升力面分开考虑的设计, 人类放弃了单纯模仿鸟的扑翼, 进入了固定翼的飞行时代。

早期人类仿鸟飞行的失败应归因于缺乏对空气动力学的基本认知, 而在固定翼飞行蓬勃发展的时代, 人类逐步建立了空气动力学理论体系, 在理论指导下人类研究鸟类飞行, 获得了很多设计灵感, 为飞行器性能的提高做出了重要贡献。

1 早期的扑翼飞行

公元前850年, 英国人布拉德双臂绑上鸟翅从神殿上一跃而下, 试图飞越伦敦城, 结果坠地身亡, 这是先人为实现飞行梦所作的一次早期尝试。

公元前468年—前376年间，我国春秋战国时代的鲁班耗费三年制成一只木鸟并进行了试飞(图1)，据说“连飞三日不下地”，这是有关中国古代人试验飞行器模型的最早记载。

15世纪70年代，意大利全才科学家达芬奇第一个把科学推理用于研究鸟的飞行原理，他设计了一种由飞行员自己提供动力的飞行器(图2)，并称这种飞行器为“扑翼飞机”，它模仿鸟类、蝙蝠和恐龙时代的翼龙，具有多个膜状翅膀。达芬奇认为只有扑翼机才能既具备推力，又具备升力。后来，有许多人开始模仿达芬奇的设计制造飞机，然而结果都逃不过失败的命运，理想情况下能上下蹦跳几下，最坏的结果则是摔成碎片。

1606—1679年间，意大利自然学家玻列里研究了鸟的飞行，认识到靠人的体力是不可能飞上天空的，这一结论有助于结束一些无谓的冒险试验。

早期人们盲目地模仿鸟类翅膀的几何外形和扑动形式，对相关空气动力学原理几乎没有任何认知，导致人类飞行的梦想在2000多年的时间内停滞不前。

2 扑翼飞行向固定翼飞行的转变

空气动力学之父英国科学家凯利通过对鸟的翅膀面积、体重和飞行速度的观察，估算出速度、翼面积和升力之间的关系，在1809年所发表的著名论文*On Aerial Navigation*中，提出了人造飞行器应该将推进动力和升力面分开考虑的设计，使更多人放弃了单纯模仿鸟类的扑翼飞行，逐渐接受和实践了固定翼技术产生升力的正确原理(图3)。正如近100年后飞机发明人美国莱特兄弟所说的那样，“我们设计飞机的时候，完全是采用凯利爵士提出的原理和计算方法进行的”。

德国工程师和滑翔飞行家李林达尔，是制造与实践固定翼滑翔机的航空先驱之一。他制造了多架单翼或双翼滑翔机，并在柏林附近试飞2000多次，积累了丰富资料。虽然最终未能实现动力飞行，但他所积累的大量飞行经验和数据，为日

后美国莱特兄弟实现动力飞行提供了许多宝贵经验。

世人一般认为美国莱特兄弟于1903年12月17日首次实现了完全受控制、附机载外部动力、机体重量比空气浮力大、可持续的飞行，并因此将发明世界上第一架实用飞机的成就归功于他们(图4)。莱特兄弟的飞行者1号的起飞重量仅仅360 kg，勉强能载一个人飞离地面，速度比汽车还慢，只有48 km/h，最成功一次飞行只有59 s，距离260 m^[2]。但就是这么一架不起眼的小飞机翻开了人类航空史上的重要一页，从此人类实现了

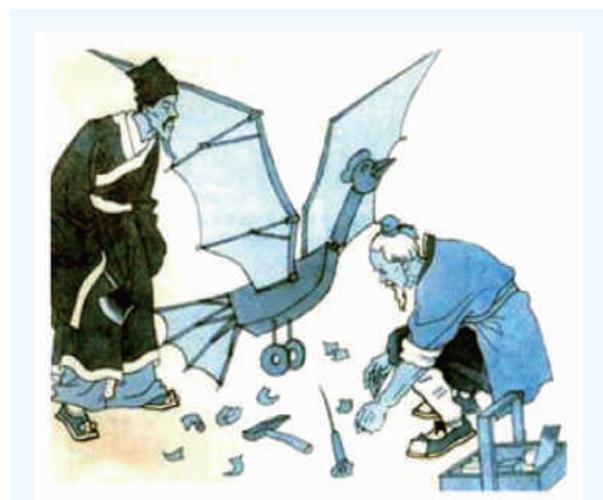


图1 鲁班制造木鸟



图2 达芬奇的扑翼飞机图纸



图3 扑翼机向固定翼飞机的转变

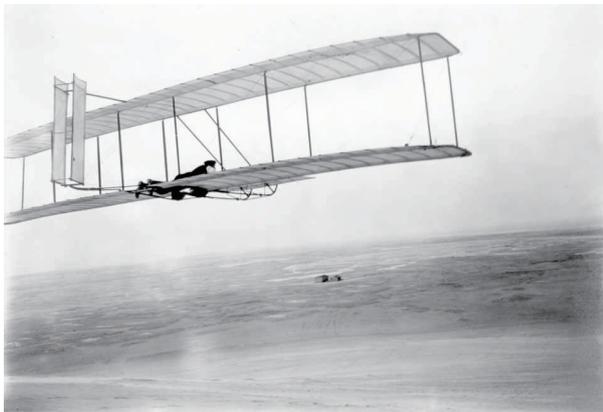


图4 莱特兄弟制造的世界上第一架实用的飞机



图5 鸟类飞行空气动力学对固定翼飞机设计的启示

带动力的飞行,人类进入了航空文明时代。为了研制这架飞机,莱特兄弟进行过多次飞行试验,还为此建造了一座试验段为 0.01 m^2 的小型风洞,正是这些努力,加上综合运用早期的空气动力学知识,最终获得了成功。

3 空气动力学研究促进了固定翼飞行器的高速发展

20世纪,空气动力学研究成果显著,促进了固定翼飞机的快速发展。

20世纪初,建立在理想流体基础上的环量和升力理论以及普朗特提出的边界层理论奠定了低速飞机设计的理论基础,使重于空气的飞行器成为现实。40年代中期至50年代,可压缩空气动力学理论的迅速发展以及对超声速流中激波性质的理论研究,特别是跨声速面积律的发现和后掠翼新概念的提出,帮助人类突破“声障”,实现了

跨声速和超声速飞行,美、苏等国借此研制成功性能优越的第一代喷气战斗机,如美国的F-86、F-100,苏联的米格-15、米格-19等。50年代以后,进入超声速空气动力学发展的新时期,第二代性能更为先进的战斗机陆续投入使用,如美国的F-4、F-104,苏联的米格-21、米格-23,法国的幻影-3等^[3]。

20世纪后期,脱体涡流型和非线性涡升力的发现和利用,是空气动力学的又一重要成果,它直接导致了第三代高机动性战斗机的产生,如美国的F-15、F-16,苏联的苏-27、米格-29和法国的“幻影2000”。

4 鸟类飞行空气动力学对固定翼飞行器设计的启示

目前,人造飞行器在飞行速度、飞行器重量、飞行距离、飞行性能等方面均远远超过鸟的技能,但在气动技术的发展过程中,许多技术的革新都与研究鸟类飞行空气动力学密不可分(图5),如低速翼型和机翼设计、低阻细长机身外形、低速机翼翼梢技术等提出与成功应用,无不都是在通过对鸟的模仿而获得的^[4]。

4.1 翼型

鸟类在滑翔飞行时,其翅膀会产生很大的升力。通过观察可以发现,鸟类的翅膀具有独特的形状:通常拥有一定的弯曲程度,并且剖面呈流线型。受到其启发,人类设计出飞机的翼型。当气流以一定的迎角吹过翼型时,会因为上下翼面产生的气流速度差而产生压力差,通常是上翼面的空气流速快、压力小,下翼面的空气流速慢、压力大,从而将机翼向上托起,产生升力(图6)^[5]。

4.2 平尾

鸟类既能够平稳飞行,也能够快速爬升和

俯冲，通过观察发现这主要是由其尾巴控制的。鉴于此，人类也给固定翼飞机加装了平尾(图7)。通常飞机的重力和机翼产生的升力并不作用于同一点，如此一来便会产生俯仰力矩，加装负安装角的平尾，平尾产生负升力，向上的升力、向下的重力和负升力三者平衡，使得飞机能够稳定飞行。

4.3 发动机

鸟类的翅膀在扑动时会产生一个与飞行方向相同的分力——推力，推动自身克服阻力向前飞行。飞机要向前飞，产生升力的同时也会产生与运动方向相反的阻力。要想将扑翼这个庞大的机构装在飞机上并且实现飞行是有很大难度的，但是解决这个问题的很简单的方法就是凯利提出的由固定翼单独提供升力，由发动机提供推力。航空发动机从“螺旋桨时代”到“喷气式时代”是一个飞跃，喷气式发动机的产生，给世界航空工业带来了一场革命(图8)。

4.4 机身

鸟类拥有完美的流线型身姿，使它们在飞行时姿态优雅舒展，令人心神向往。而对于鸟类来说更重要的是，这种流线型的体态为它们减少了飞行中产生的气动阻力。受其启示，飞机也采用了流线型和大长细比的机身，在最大程度上减小飞行阻力，大大提高了飞行的经济性(图9)。

4.5 起落架

大型鸟类往往不能只靠扑翼起飞，它们需要助跑，从而使高速的气流通过翅膀产生升力，来

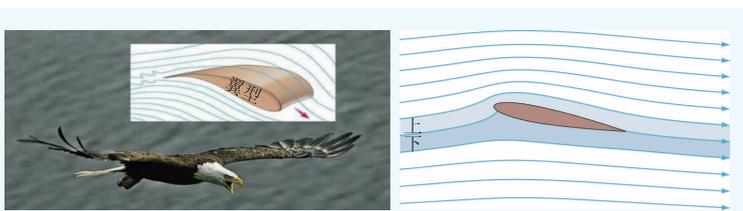


图6 鸟类的翅膀形状对翼型设计的启示

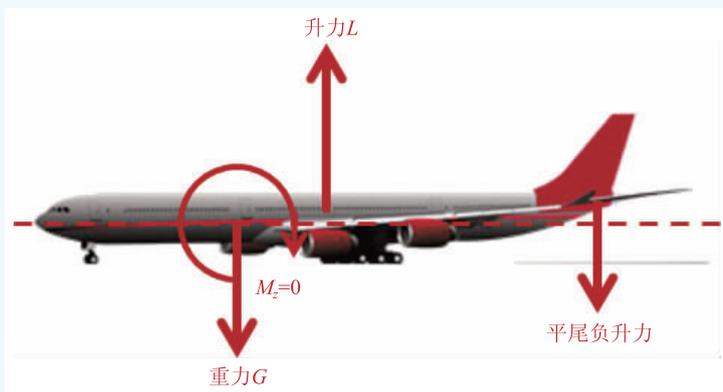


图7 鸟类尾巴对飞机平尾设计的启示

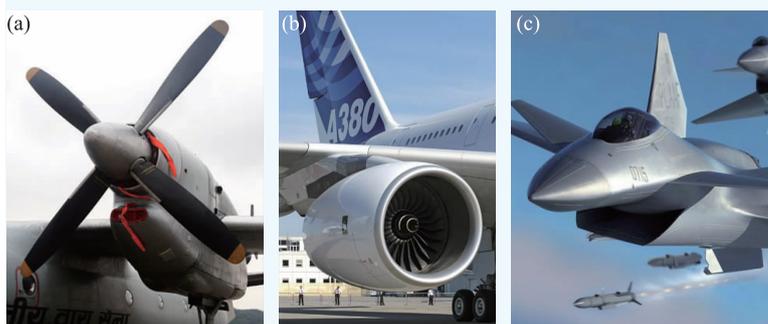


图8 航空发动机发展 (a)涡轮螺旋桨发动机；(b)涡轮风扇发动机；(c)涡轮喷气式发动机

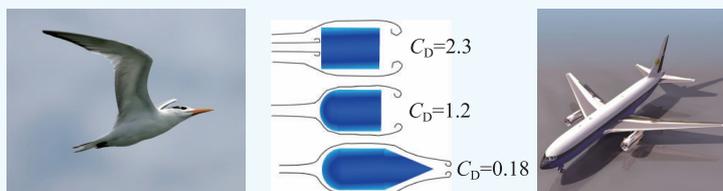


图9 流线型细长体机身减阻(图中 C_D 为阻力系数)

达到起飞的目的。固定翼飞机正如同大鸟，需要通过滑跑达到一定速度才能起飞。起落架看似不起眼，却是飞机至关重要的一部分。起落架担当了飞机起飞加速滑跑、着陆和地面停驻的责任。为了在飞行时减小阻力，小鸟会将腿收起，鹤类会将腿伸展至顺风方向，起落架也是如此(图10)。



图 10 鸟腿与飞机起落架的对比 (a), (b)为起降过程; (c), (d)为巡航过程

5 总结与展望

人类早期盲目地模仿鸟类飞行,在一定程度上阻碍了人类飞翔蓝天的步伐。但是 20 世纪以来,人类系统地开展了空气动力学研究,将鸟类飞行空气动力学知识成功应用于固定翼飞行器的设计,大大改善了飞行性能。如目前最先进的

A380 客机,其外形相当接近于展翅高飞的大鸟。进入 21 世纪以来,人类在揭示生物低雷诺数扑翼飞行的高升力空气动力学机理方面取得了突出进展,仿生扑翼飞行的研究正如火如荼进行之中,目前已经出现的多种高机动性的微小型扑翼概念飞行器,成为了飞行器家族中的重要成员。同时,随着空气动力学及飞行器相关学科的发展,各种变体飞行器、升浮一体飞行器、跨空域飞行器、跨介质飞行器、高超声速飞行器等将进一步改变人类的出行和生活方式,促进社会文明和进步。

参考文献

- [1] Anderson J D. Introduction to Flight (7th Edition). McGraw-Hill Education, 2011
- [2] 李成智.力学与实践,2003,25(6):1
- [3] 崔尔杰.发明与创新:综合版,2006(10):42
- [4] 刘沛清.飞行奥妙与空气动力学原理.见:白春礼主编.科学与中国:院士专家巡讲团报告集-第九辑.北京:科学出版社,2015. 215—256
- [5] Anderson J D. Fundamentals of Aerodynamics (5th Edition). McGraw-Hill Education, 2010

读者和编者

订阅《物理》得好礼

——超值回馈《岁月留痕——<物理>四十年集萃》

为答谢广大读者长期以来的关爱和支持,《物理》编辑部特推出优惠订阅活动:向编辑部连续订阅 2 年《物理》杂志,将获赠《岁月留痕——<物理>四十年集萃》一本(该书收录了从 1972 年到 2012 年在《物理》发表的 40 篇文章,476 页精美印刷,定价 68 元,值得收藏)。

希望读者们爱上《物理》!

订阅方式(编辑部直接订阅优惠价 180 元/年)

(1) 邮局汇款

收款人地址:北京 603 信箱,100190

收款人姓名:《物理》编辑部

(2) 银行汇款

开户行:农行北京科院南路支行

户名:中国科学院物理研究所

帐号:112 501 010 400 056 99

(请注明《物理》编辑部)

咨询电话:010-82649266; 82649277

Email: physics@iphy.ac.cn