



新世纪航空模型运动丛书

MOXING FEIJI
DE YIXING YU JIYI

模型飞机的翼型与机翼

中国航空运动协会组织编写
张 炜 苏建民 张亚锋 编



航空工业出版社

新世纪航空模型运动丛书

模型飞机的翼型与机翼

中国航空运动协会组织编写

张 炜 苏建民 张亚锋 编

航空工业出版社

北 京

内 容 提 要

先进的航空模型是按照严格的科学原理设计出来的, 简易的航空模型同样也充满着科学道理。知识面广和技术性强是航空模型活动区别于其他活动的一个显著特点。在航空模型设计过程中, 气动设计与气动特性分析是两项首要的基本任务, 其中模型飞机的翼型选择与分析及其机翼的设计与分析是模型飞机成功的必需的技术支持。针对这个问题, 本书较详细地介绍了模型飞机翼型与机翼的气动设计原理, 气动设计的过程、特点、内容和计算分析方法, 并附有相应的工程经验公式和分析方法, 提供了相关设计与应用的数据与资料。其中第一章介绍了气动分析所依据的基本原理, 第二、三章介绍了翼型的定义与空气动力, 第四、五、六章介绍了机翼的气动特性、平面形状、配置与安装, 第七、八章为常用翼型与航空模型制作图纸。

本书可供航空模型飞机的设计、制作和使用人员以及航空模型爱好者学习和参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

模型飞机的翼型与机翼/张炜, 苏建民, 张亚锋编. —北京: 航空工业出版社, 2007. 10
(新世纪航空模型运动丛书)
ISBN 978 - 7 - 80243 - 060 - 0

I. 模… II. 张… III. ①模型飞机 (航空模型运动) —翼型②模型飞机 (航空模型运动) —机翼 IV. G875. 3

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2007) 第 146410 号

模型飞机的翼型与机翼

Moxing Feiji de Yixing yu Jiayi

航空工业出版社出版发行

(北京市安定门外小关东里 14 号 100029)

发行部电话: 010 - 64919539 010 - 64978486

北京地质印刷厂印刷

全国各地新华书店经售

2007 年 10 月第 1 版

2007 年 10 月第 1 次印刷

开本: 787 × 960 1/16

印张: 7.75

字数: 150 千字

印数: 1—3000

定价: 20.00 元

《新世纪航空模型运动丛书》

编 委 会

顾 问：顾诵芬
主 任：赵明宇
副 主 任：刘文章 毕东海
委 员：（按姓氏笔画排列）
牛安林 甘彦龙 叶树钧 朱宝鏊
朱建成 刘 鑫 李仁达 肖治垣
吴大忠 陆钟毅 南 雍 顾 辰
高 歌 黄永良 程不时 谭楚雄
主 编：毕东海
副 主 编：谭楚雄
主要编写人员：（按姓氏笔画排列）
王维忠 朱宝鏊 刘文章 寿尔康
李仁达 李育廉 李新庄 杨 煊
余 敏 张 炜 查保传 阎天来
黄 云 谭楚雄

序

19 世纪后期，人类探索航空的重点由气球转向重于空气的飞行器——飞机。由于试验飞机的复杂性和危险性，航空先驱们都是首先用不载人的模型飞机反复进行研究，摸索规律，有相当把握后才开始试制载人飞机。英国人凯利的滑翔机、美国人兰利和莱特兄弟等的飞机都是这样进行的。

1903 年动力飞机试飞成功，但初期飞机的性能极差，不但速度小（不如快速汽车），而且稳定性也很不好，飞到空中危机四伏，仍然需要通过模型飞机进行研究、试验、改进和完善。载人飞行器的初步成功，使从事学习和研究飞机的队伍迅速扩大，也引起了许多人对模型飞机的兴趣。20 世纪初，在发达国家开始了航空模型运动，为这些国家造就了许多航空人才和科技人才。

我国在 20 世纪 30 年代后期才出现小规模民间航空模型活动，比西方发达国家晚了 20 多年。当时没有常设的全国性航空模型运动机构，基层活动属自发性质，参与航空模型运动的人数不多，技术水平和模型器材都很落后，处于萌芽状态。

新中国成立以后，中央人民政府十分重视和提倡航空模型运动。1952 年成立了中央国防体育俱乐部，后更名为中国人民国防体育协会，其任务是在人民群众中普及军事技术知识，进行国防教育，储备军事人才，培养国防后备力量。航空模型运动被列为首批重点国防体育项目，有组织、有计划地开展起来，其发展势头超过许多发达国家。1956 年，新中国第一届航空模型竞赛在北京举行，此后，每年都举办全国性的航空模型比赛，“文革”期间中断了比赛，1978 年恢复了全国比赛。

1978年,中国加入国际航空联合会,我国航空模型运动有些项目跃居世界领先地位,截至目前共有58人59次打破31项世界纪录,夺取世界冠军28个。

目前,航空模型运动是我国正式开展的99个体育运动项目之一,作为科技体育运动项目,航空模型运动具有竞技、教育、娱乐和应用等功能。

竞技功能是航空模型运动的基本功能。通过各种比赛,展现选手的竞技水平,体现“更高、更快、更强”的体育精神,向观众奉献最精彩的场面。在激烈抗争的世界赛场上,中国选手通过顽强拼搏,夺取冠军,为国争光。

对人进行全面素质的培养,是航空模型运动的教育功能。由于这项运动内涵的特殊性,即运动的参与者要自己设计和制作模型飞机;参与者的运动成绩由他操纵放飞的模型飞机的飞行表现来确定,因此决定了这项运动所独具的动手与动脑相结合、脑力与体力相结合的特点。

航空模型运动同时也是一项形象健康、积极向上的娱乐运动项目。它以其模型种类繁多、技术难度跨度大而吸引社会上不同层次、职业、年龄的爱好者参与其中。

航空模型应用于科研、生产和国防是这项运动的另一大功能。航空模型是飞机的先驱,在飞机研制中,航空模型一直是一种不可缺少的研制手段,它在航空产业的各个环节中起着重要作用。

为了贯彻中共中央、国务院《关于进一步加强和改进未成年人思想道德建设的若干意见》的精神,培养青少年科技素质和创新精神,培养热爱航空事业的后备人才,中国航空运动协会组织编撰这套《新世纪航空模型运动丛书》,丛书本身是半个世纪我国开展航空模型运动经验的积累,涵盖了航空模型运动的各个方面,既有航空模型运动的基础知识,又有帮助从事航空模型运动提高知识水平和技巧的专业读物,既介绍适合在小学生中开展活动的《纸模型飞机》,也介绍制作高级航空模型必备的《模型飞机的翼型与机翼》。丛书的作者都是多年从事航空模型运动的专家,具有丰富的教学和航空模型制作、放飞经验。本套丛书面向读者为初中以上的高级航空模型爱好者、全

国中小学航空模型课程的教学人员，从事航空模型运动的运动员、航空模型的设计人员和制造人员，以及各相关人员。

我们希望，丛书的出版，能为促进我国航空模型运动更上一层楼，帮助更多的航模爱好者步入航空科技殿堂，建设中国现代化的和谐社会发挥更大作用。

《新世纪航空模型运动丛书》编委会

2007 年 8 月

前言

随着对地面和海洋开发的进展和对自然界认识的加强，人类不会永远把自己束缚在地面上。即使在科技比较落后的古代，人类幻想创造的火花也是无法泯灭的：西汉刘安所著《淮南子》中记载有射日英雄后羿的妻子嫦娥偷食长生药身体变轻飞上月宫的神话传说；在距今两千多年的春秋战国时期的著作《韩非子》中记载：“墨子为木鸢，三年而成，飞一日而败。”据有关记载在一千九百多年前的我国的王莽新朝时期，就有人在自己身上缚上一对用羽毛做成的大翅膀做过飞行尝试；宋朝李昉等人编纂的《太平御览》中记有“张衡尝作木鸟，假以羽翮，腹中施机，能飞数里”的记载。在时间空间如此之广的范围内，关于我们祖先航空尝试的大量记载反映了我国古代劳动人民的智慧和对航空发展的持续贡献。另外在古希腊神话中也有一个关于高飞的神话：少年伊卡洛斯以天鹅的羽毛制成的翅膀，用蜡粘在自己的背上，因飞得太高，靠近了太阳，蜡受热而融化了，使他摔入海里淹死了。这些记载和神话传说都清楚地表达了人类征服自然和支配自然、实现飞天的美好愿望与理想。

希望本书能够帮助航空模型飞机爱好者解决在模型飞机设计过程中遇到的翼型和机翼方面的气动问题，通过自己的聪明才智和辛勤努力，通过模型飞机这一载体早日实现自己翱翔蓝天的梦想！

第一章 基本原理	(1)
一、牛顿三定律	(1)
二、空气属性	(2)
第二章 翼型的发展概况和几何参数定义	(5)
一、翼型的发展概况	(5)
二、翼型的几何参数	(11)
三、典型翼型简介	(12)
第三章 翼型的空气动力	(15)
一、升力和阻力	(15)
二、雷诺数	(20)
三、翼型的选择	(20)
四、层流边界层	(22)
五、翼型选择的一般规律	(23)
第四章 机翼的气动特性	(24)
一、翼梢小翼与翼尖涡	(24)
二、机翼的升力特性	(27)
三、机翼的阻力特性	(30)
第五章 机翼的平面形状	(35)
一、机翼的平面参数	(35)
二、常见机翼的平面形状	(39)
三、机翼平面形状对气动特性的影响	(42)

第六章 翼型配置与机翼安装	(44)
一、翼型的配置	(44)
二、机翼的安装	(45)
三、增升装置	(50)
四、增升装置的选择	(54)
五、增升装置平面参数的确定	(55)
六、升力曲线、阻力曲线、力矩曲线	(57)
七、极曲线	(59)
 第七章 常用翼型*	(61)
 第八章 常用的航空模型飞机图纸与翼型	(68)
一、特技飞机	(68)
二、竞速飞机	(78)
三、滑翔机	(81)
四、非常规飞机	(89)
五、仿真飞机	(92)
六、练习飞机	(103)
 参考文献	(109)

一、牛顿三定律

牛顿三大定律是力学中重要的定律，它是研究经典力学的基础。

（一）牛顿第一定律

任何物体都保持静止或匀速直线运动的状态，直到受到其他物体的作用力迫使它改变这种状态为止。物体都有维持静止和作匀速直线运动的趋势，因此物体的运动状态是由它的运动速度决定的，没有外力，它的运动状态是不会改变的。物体的这种性质称为惯性。所以牛顿第一定律也称为惯性定律。第一定律阐明了力的概念。明确了力是物体间的相互作用，指出了是力改变了物体的运动状态。因为加速度是描写物体运动状态的变化，所以力是和加速度相联系的，而不是和速度相联系的。在日常生活中不注意这点，往往容易产生错觉。牛顿第一定律并不是在所有的参照系里都成立，实际上它只在惯性参照系里才成立。因此常常把牛顿第一定律是否成立作为一个参照系是否为惯性参照系的判据。我们日常使用的地球坐标系就是一个惯性参照系。

（二）牛顿第二定律

物体在受到合外力的作用会产生加速度，加速度的方向和合外力的方向相同，加速度的大小正比于合外力的大小，与物体的惯性质量成反比。

第二定律定量地描述了力作用的效果，定量地度量了物体的惯性大小。它是矢量式，并且是瞬时关系。物体受到合外力，会产生加速度，可能使物体的运动状态或速度发生改变，但是这种改变是和物体本身的运动状态有关的。真空中由于没有空气阻力，各种物体因为只受到重力，则无论它们的质量如何，都具有相同的加速度。因此在作自由落体时，在相同的时间间隔中，它们的速度改变是相

同的。

（三）牛顿第三定律

两个物体之间的作用力和反作用力在同一条直线上，大小相等，方向相反。要改变一个物体的运动状态，必须有其他物体与其相互作用。物体之间的相互作用是通过力来体现的。有作用力必有反作用力。它们是作用在同一条直线上，大小相等，方向相反。

- （1）作用力和反作用力是没有主次、先后之分，同时产生、同时消失；
- （2）这一对力是作用在不同物体上，不可能抵消；
- （3）作用力和反作用力必须是同一性质的力；
- （4）与参照系无关。

二、空气属性

（一）连续性假设

气体由大量的分子组成。每个分子在不断地作不规则的热运动，彼此碰撞。每个分子两次碰撞间行走的距离称为自由行程，每次行程并不相等，但在一定压力（压强）、温度等条件下，会有一个平均值。这个值和飞行器任何尺寸相比都是微乎其微的。

空气的运动如果是由飞行器飞行造成的，空气发生显著变化的范围一般说来和飞行器特征长度是一个数量级的，这样空气受飞行器的扰动而运动，不会是以分子为单位的运动而是大量分子一起运动，空气所表现出的特性就不会是单个分子的行为，而是表现出总体的属性。以此为前提，空气动力学采取了连续介质的概念。把流体看成是连绵一片的介质，假设介质占据的空间到处都弥漫这种介质，因而不再生有空隙。低速、高速、甚至是超高速空气动力学都是在这一假设下进行研究的，只有到了大气层外层，稀薄空气动力学的研究前提才不是连续性假设。

（二）黏性

流体都是有黏性的，空气也是有黏性的，在日常生活中可以观察到，譬如河

里的流水, 靠近岸边的水流速度就比河中心水流慢些, 这点可以从漂浮在水面上的草叶等的速度差别上看出。凡是有黏性作用的地方, 各层气流的速度是不均一的, 这也是摩擦阻力产生的根源, 如图 1-1 所示, v_{∞} 表示远前方的速度, x 表示空间流向, n 是与 x 垂直的方向, u 是考虑空气黏性的气流速度。

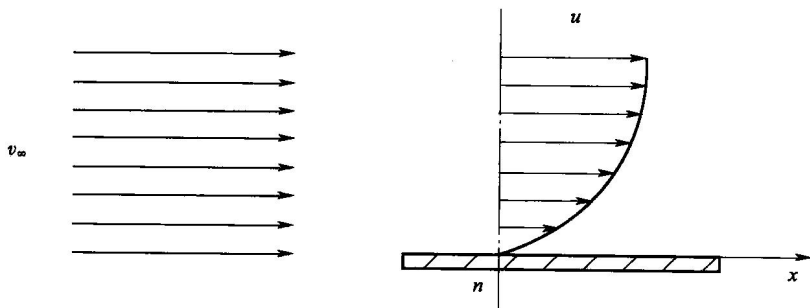


图 1-1 流体黏性示意图

(三) 伯努利方程

空气的密度是很容易随压强(压力)而改变的, 但是当空气流速不大时, 由流速引起的压强变化还不足以使空气的密度有显著的变化, 这样的流动称为不可压缩流动。一维流是指流动的各项参数(速度 v 、压强 p 等)只是一个坐标 s 和时间 t 的函数, 也就是假定气流参数在各个横截面上是一致的, 没有变化的, 如图 1-2 所示, s 为坐标系, t 是时间, v 为来流速度。

$$v = v(s, t), p = p(s, t) \quad (1-2)$$

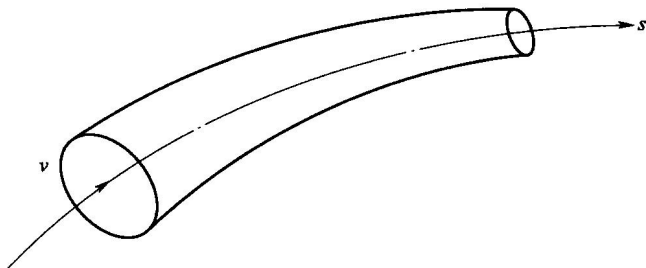


图 1-2 一维流示意图

在不可压的一维流中(航空模型(航模)运动所遇到的流动均可认为是不可压一维流动), 经过合理的假设与简化(略), 气体的伯努利方程通常写为

$$\frac{\rho}{2} v^2 + p = C \quad (1-2)$$

式中： $\frac{\rho}{2} v^2$ ——动压，常用 q 表示，即 $q = \frac{1}{2} \rho v^2$ ；

p ——静压；

C ——常数。

可以这样理解，气体的压力是由两部分相加而来，一部分是静压，为气体静止时对外界的压力，一部分是动压，是气体流动时对外界的压力；如果气体不流动，那么气体此时的静压值就是常数 C 值，当气体流动起来，因为气体又产生了动压，所以此时流动起来的气体静压就会比原来的静压要小，气体流动越快，动压就越大，静压比没有流动时就越小。

第二章

翼型的发展概况和几何参数定义

一、翼型的发展概况

翼型设计是空气动力学研究的一项重要内容。翼型的发展过程就是人类在空气动力学领域不断进步的写照，是人类从实现早期的飞天梦想，到追求更快、更高飞行理想的理论基础。空气动力学专家、学者对提高飞机空气动力特性的不断深入研究和认知，已经为世界航空器的发展进步做出了巨大的贡献。被世界公认的航空创始人之一的意大利画家达·芬奇长期对鸟的飞行进行观察和研究，并写出《论鸟的飞行》一书，书中还画出多幅模仿鸟的飞行器（如图2-1所示）。



图2-1 达·芬奇与他设计的飞行器

图2-1所示的飞行器具有明显的近现代飞行器特征，其中的机翼有一定的剖面形状和平面形状，结构形式和近代飞机没有本质区别，明显脱离了早期航空蒙昧时期的航空器设计的随意性。

世界上很多技术发明是在动物的特异功能启发下研究成功的，飞机就是个典型的例子。机翼产生升力，就是在鸟的翅膀升力启发下逐步发展改进而得来的。鸟的飞行运动有两种，一种是扇动翅膀作扑翼飞行，另一种是展开翅膀作滑翔，滑翔是最典型的飞机仿生动作。鸟的升力装置就是它那对翅膀，如果仔细观察鸟的翅膀就会看到它能产生升力的奥秘。从图 2-2 看到，鸟在飞行时两只翅膀是呈拱形的大羽毛扇子，飞行中不断地调整翅膀的姿态，时而大迎角提高升力，向上飞；时而改平，仅用翼型曲面产生的升力保持平飞。

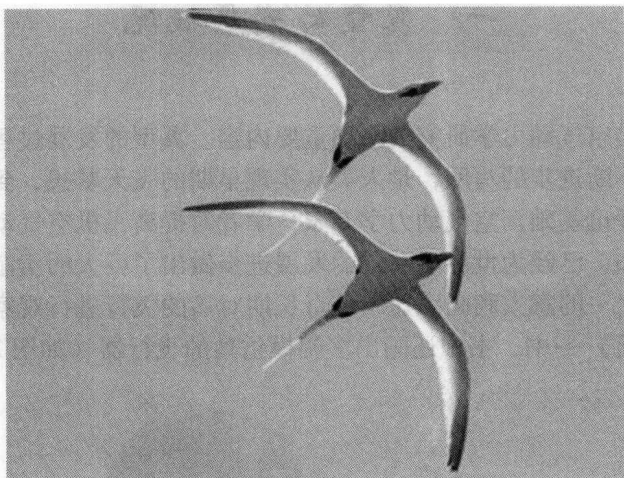


图 2-2 鸟类飞行——人类航空的灵感来源

1889 年，李林达尔（O. Lilienthal）写成了著名的《鸟类飞行——航空的基础》一书，论述了鸟类飞行的特点。李林达尔注意积累数据，总结经验，纠正了前人“多层叠置窄条翼”的片面做法，第一次提出了“曲面机翼比平面机翼升力大”的观点，这对翼型的发展产生了深远影响。李林达尔曾与弟弟古斯塔夫（G. Lilienthal）长期研究鸟类的飞翔，由鸟类飞翔启示做过多架试验性滑翔机，并于 1891 年制成一架仿鸟翼的弓形翼面滑翔机，亲自试飞，飞行了 30 多米，从而成为了人类靠自制重于空气的飞行器飞行成功的先驱。他的实践充分证实了人类若想飞上蓝天，必须要有一对像鸟一样的拱形翅膀，用其产生升力才能飞行。李林达尔把研究成果都写在他的《鸟类飞行——航空的基础》一书中。

飞机发明人美国的莱特兄弟读了他的书受到很大启发，并按书中写到的“每只鸟都是一名特级飞行员，谁要飞行，谁就得模仿鸟”的论述，对鸟的飞行动作，作了更仔细的观察研究，于 1903 年 12 月成功地发明了世界上首架有动力、可操纵的飞机，成为世界公认的飞机发明人。

尽管人们更早地就知道即使一块平板在一定气流入射角的情况下就会产生升力, 尽管有人提出飞机机翼如果采用类似于鸟类翅膀的曲线会产生更大的升力或者更有效率, 但是世界上对于翼型最早的系统性研究还是始于 19 世纪末。H. F. Phillips 在 1884 年通过在早期的风洞 (由木桶和管道通过喷嘴导入的人造气流组成) 测试后获得一系列翼型专利, 如图 2-3 所示, 上为 1884 年获得专利的翼型, 下为 1891 年获得专利的翼型, 气流方向是从右向左。

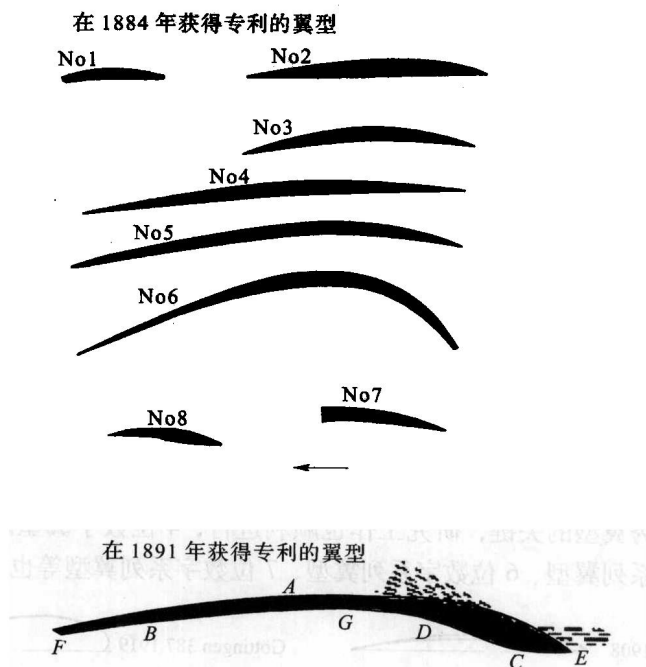


图 2-3 H. F. Phillips 获得专利的翼型系列

德国的李林达尔几乎在同一时间产生了相同的想法。经过仔细测量鸟类的翅膀形状, 发展了如图 2-4 所示 (在 1889 年《鸟类飞行——航空的基础》一书中所示) 的翼型族。李林达尔认为飞行成功的关键是机翼的曲率和弯度, 他还测试了不同前缘半径和厚度分布的差别。

1903 年美国的莱特兄弟研制成功的能够实现动力飞行的飞机和 1908 年法国的亨利·法尔芒操纵的瓦赞-法尔芒号飞机的翼型都是薄而且具有弯度剖面的特征。1909 年成功飞越英吉利海峡的布莱里奥的单翼机布莱里奥 XI 号的机翼也是相当薄而且有很大的弧度, 其翼型形状和鸟翅的剖面非常相似。

莱特兄弟所使用的翼型和李林达尔所开发的翼型很相似: 薄翼型和较大的弯度。可能是由于早期的翼型选择试验是在低雷诺数下测试的, 薄翼型比厚翼型有优势。高