

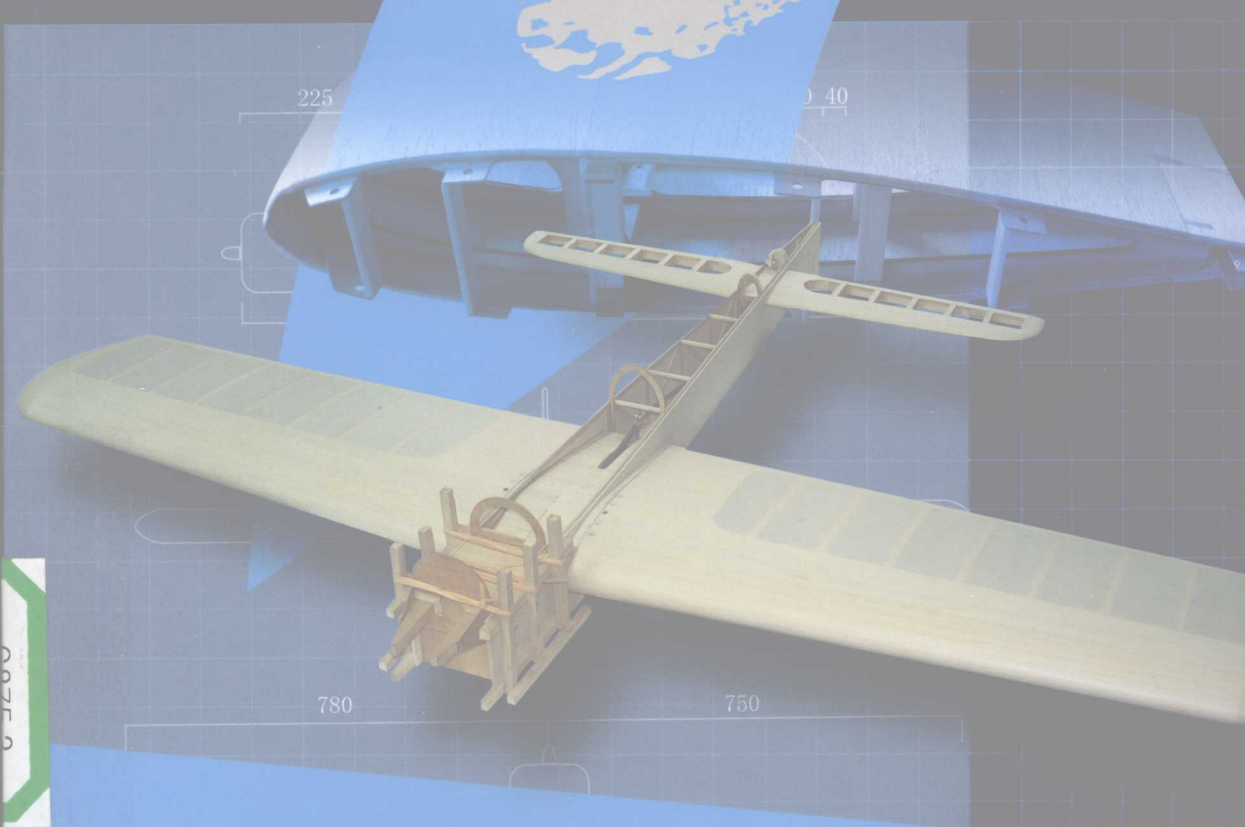


新世纪航空模型运动丛书

MOXING FEIJI DE  
GOUZAO YUANLI YU ZHIZUO GONGYI

# 模型飞机的 构造原理与制作工艺

中国航空运动协会组织编写  
李仁达 编著



航空工业出版社

新世纪航空模型运动丛书

# 模型飞机的构造原理 与制作工艺

李仁达 编著

航空工业出版社

北京

## 内 容 提 要

本书为提高航空模型制作水平的参考读物,作者从构造原理和制作工艺两个方面介绍了航空模型的制作方法。在构造原理方面,本书重点从模型飞机的机身、机翼、起落架和操纵系统等主要受力部件进行分析。同时,本书还介绍了一些理论力学和材料力学方面的基础知识。在制作工艺方面,本书对传统制作工艺、新材料和新工艺进行了简单介绍。

本书可作为有一定航模制作基础的航模设计、制作和生产者参考资料,也可供一般的航模爱好者学习和参考。

### 图书在版编目(CIP)数据

模型飞机的构造原理与制作工艺/李仁达编著. —北京:  
航空工业出版社, 2008. 10  
(新世纪航空模型运动丛书)  
ISBN 978-7-80243-210-9

I. 模… II. 李… III. ①模型飞机(航空模型运动)—  
构造②模型飞机(航空模型运动)—制作 IV. G875.3

中国版本图书馆CIP数据核字(2008)第149217号

### 模型飞机的构造原理与制作工艺

Moxing Feiji de Gouzao Yuanli yu Zhizuo Gongyi

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: 010-64815615 010-64978486

北京地质印刷厂印刷

全国各地新华书店经售

2008年10月第1版

2008年10月第1次印刷

开本: 787×960 1/16

印张: 9

字数: 176千字

印数: 1—3000

定价: 23.00元

# 《新世纪航空模型运动丛书》

## 编 委 会

- 顾主副委 问：顾诵芬  
任：赵明宇  
主 任：刘文章 毕东海  
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 | 朱建成 | 刘文章 |
| 寿尔康 | 李仁达 | 李育廉 | 李新庄 |
| 陆耀华 | 杨 焯 | 余 敏 | 张 炜 |
| 查保传 | 黄 云 | 阎天来 | 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

要制作一架飞行性能良好的模型飞机，并且能安全地飞行，就必须具备合理的结构，既要保证模型飞机设计的气动外形和最轻的重量，又要使它有足够的强度和刚性。在保证模型飞机气动外形的前提下，重量和强度、刚性是一对矛盾。只有解决好这对矛盾，才能制作出有足够强度和刚性，重量又轻，性能又好的模型飞机。这就是本书要研究和解决的问题。

有许多航模爱好者，借鉴国内外优秀模型的图样，只有气动外形图，没有详细的结构图，制作出来的模型飞机性能不好，甚至容易损坏，主要原因就是结构不合理或者是选材不当。

不同类别，不同项目，不同级别的模型飞机要求多大的强度和刚性，各种零部件选用什么材料和尺寸，取决于不同的模型飞机在飞行过程中作用在模型飞机上的外力——外在载荷所决定的。外在载荷，就是模型飞机在飞行时作用在模型飞机各部件上的力。因此，本书首先要简单地讲述一下“理论力学”的基本知识。我们认识了模型飞机在飞行时各个部件上的受力情况和受力的大小，才能决定各个部件用什么材料和材料的尺寸。各种材料在受力的情况下的性能如何呢？为此，我们必须了解“材料力学”的基本知识。然后，我们以模型飞机的典型部件，如：机翼、平尾、机身为例分析它们的结构和功能，了解一些“结构力学”的基本知识。初步掌握结构设计的原理和方法，设计出有足够强度和刚性、结构简单、便于制作、重量轻、性能好的模型飞机。

模型飞机的结构可分为：气动外形结构，强度和刚性结构，工艺结构，特殊功能部件结构，本书着重研究前两项。

本书的后半部分介绍制作模型飞机的传统工艺、材料和近几年使用的新材料和新工艺。



# 目 录

第一章 模型飞机的基本要求 .....	( 1 )
一、性能要求 .....	( 1 )
二、结构要求 .....	( 1 )
第二章 力的平衡条件与平衡方程 .....	( 3 )
一、力 .....	( 3 )
二、力的方向 .....	( 4 )
三、力的合成 .....	( 4 )
四、力系的平衡条件 .....	( 6 )
五、平衡方程 .....	( 8 )
六、应用平衡方程求解内力 .....	( 10 )
第三章 材料力学的基本概念 .....	( 13 )
一、材料力学的任务 .....	( 13 )
二、载荷 .....	( 13 )
三、应力和变形 .....	( 14 )
四、材料拉伸时的力学性能 .....	( 18 )
第四章 应力分析 .....	( 22 )
一、拉伸与压缩 .....	( 22 )
二、剪切 .....	( 26 )
三、扭转 .....	( 28 )
四、弯挠 .....	( 32 )
五、稳定性 .....	( 38 )

第五章 模型飞机的外在载荷 .....	( 40 )
一、平飞 .....	( 40 )
二、曲线飞行 .....	( 41 )
三、特技飞行时的过载 .....	( 44 )
四、飞机着陆时的载荷 .....	( 46 )
五、安全系数 .....	( 49 )
六、强度规范 .....	( 49 )
第六章 机翼 .....	( 55 )
一、对机翼结构的基本要求 .....	( 55 )
二、作用于机翼的外在载荷 .....	( 56 )
三、机翼的受力情况 .....	( 60 )
四、机翼的结构形式 .....	( 64 )
五、机翼的应力分析 .....	( 66 )
六、机翼的颤振 .....	( 71 )
第七章 机身 .....	( 78 )
一、基本要求 .....	( 78 )
二、机身的外在载荷 .....	( 78 )
三、机身的结构形式 .....	( 80 )
四、机身受力后的应力分析 .....	( 81 )
第八章 尾翼形式与受力情况 .....	( 88 )
一、尾翼的形式 .....	( 88 )
二、尾翼的受力情况 .....	( 89 )
第九章 起落架 .....	( 92 )
一、概述 .....	( 92 )
二、起落架的外在载荷 .....	( 97 )
第十章 操纵系统 .....	( 103 )
一、对操纵系统的要求及类型 .....	( 103 )
二、副翼的差动装置 .....	( 104 )
三、系统传动比 .....	( 106 )

四、操纵系统传动杆的振动 .....	(109)
<b>第十一章 传统工艺概述 .....</b>	<b>(110)</b>
一、量具 .....	(110)
二、工具 .....	(111)
三、材料 .....	(112)
四、制作工艺要点 .....	(118)
五、维修工艺原则 .....	(120)
<b>第十二章 新材料新工艺 .....</b>	<b>(121)</b>
一、新材料 .....	(121)
二、新工艺简介 .....	(124)
<b>参考文献 .....</b>	<b>(129)</b>

## 第一章

# 模型飞机的基本要求

模型飞机有不同类型、不同项目、不同级别以及不同的功能。随着科学技术的进步，又不断引进新材料、新工艺和新型结构，但无论怎么发展和提高都脱离不了性能和结构这两方面的基本要求。

### 一、性能要求

性能要求主要有：气动性能要求、稳定性要求和操纵性要求。

**气动性能：**主要是升力系数大、阻力系数小、平飞速度大、着陆速度小、爬升率大、升限高、航程远、载重大等。

**稳定性：**模型飞机在飞行时，作用在模型飞机上的各种力和力矩要处于平衡状态。当受到外部干扰时，能及时恢复原来的平衡状态。

**操纵性：**模型飞机在各种飞行条件下，都能按照要求改变其运动状态，而且操纵灵敏省力。

### 二、结构要求

不同类型、项目、级别的模型飞机结构不同，但基本要求是一致的，首先是要坚固。模型飞机的结构是由各种构件组成的，要使每个构件在规定的荷载下安全工作，应满足强度、刚度和稳定性三个基本要求。

(1) 足够的强度：构件在承受外在荷载下，抵抗破坏的能力，以保证在规定的条件下不发生破坏。

(2) 足够的刚度：构件受荷载后，抵抗变形的能力，以保证在规定的条件下，不产生过分的变形，也就是说构件在受力后的变形不超过容许范围。即使飞机失去操纵性和稳定性。刚性不够的飞机（特别是在承受阻力时）在飞行时会在某一临界速度时发生危险的抖振。

(3) 足够的稳定性: 结构在一定的载荷作用下, 有保持原有平衡形式的力量, 以保证在规定的使用条件下, 不产生失稳现象。

构件在载荷作用下, 产生不能保持原有平衡形式的现象称为失稳。如细长杆件在轴向受压时, 当所加压力达到或超过一定的载荷作用后, 构件会突然变弯, 并且往往是明显的弯曲变形。

(4) 结构要轻: 构件在满足以上三个基本要求下, 越轻越好。重量<sup>①</sup>减少可以改善飞机的飞行性能。增加经济性, 可以增加载重量。减轻结构重量的方法: 可把各构件做得在它们承受载荷时, 其应力都在同一程度(均力化), 以及使用好的材料, 减少非受力件的数量与减小尺寸等。

综上所述, 飞机在使用中必须满足以上结构要求。在构造上要能承受住各种外在载荷。而结构在承受载荷时必然会在结构系统内引起各种力的相互作用。

为此, 我们必须从静力学、材料力学、结构力学以及飞行力学的基本概念开始研究。

① 如无特殊说明, 本书所指的重量为质量。

## 第二章

# 力的平衡条件与平衡方程

### 一、力

#### (一) 载荷

施加在结构上的力称为载荷。载荷可按以下三种情况来划分：

##### 1. 按加载时速度变化情况来划分

(1) 静载荷——加载时速度变化较小，即没有加速度或加速度极小。如模型飞机以稳定的姿态滑翔时作用在模型上的质量力和空气动力。

(2) 动载荷——加载时的速度变化较大，如用榔头敲击物体；牵引模型飞机加速脱钩时机翼上的受力。

##### 2. 按载荷的分布范围来划分

(1) 集中载荷——力作用在一个点上。如牵引模型飞机放飞时的牵引力。

(2) 分布载荷——以一定规律或形式分布在构件上的力。如模型飞机在滑翔时空气动力分布在机翼上。

集中和分布是相对的，如升力，在研究模型飞机飞行时，可认为它是作用在机翼压力中心的集中载荷，在研究机翼的受力情况时它是分布在机翼表面的分布载荷。

##### 3. 按载荷的作用方式来划分

按载荷的作用方式，可分为力、力矩或力偶。

#### (二) 内力

构件或物体承受载荷后产生变形，构件内部产生抵抗变形、平衡载荷的力称为内力。内力可分解为沿构件轴线方向的轴向力和与构件垂直的切向力。

### (三) 应力

单位面积上的内力称为应力。任何复杂的受力情况都可以把应力分为垂直于承力平面的正应力和平行于承力平面的剪应力。应力是衡量物体受力程度的标准。

## 二、力的方向

力对物体的作用不仅决定于它的强度，同时决定于它的方向，因此力是向量，向量的图像表示是具有一定长度和一定方向的线段。

## 三、力的合成

当几个力同时作用于某点所产生的效果与另一个单力对该点的作用效果相同，则此单力称为几个力的合力。合力（向量和）的求法如下：

#### 1. 作用在同一点上的两个力互相垂直

用矩形作图法求两力的合力（如图 2-1 所示）。即画出两力的向量线段  $OQ$  和  $OP$ ，再从  $Q$  和  $P$  点分别画水平和垂直两线相交于  $S$ ，连接  $OS$  点，线段  $OS$  即为合力的向量， $\theta$  角表示合力的方向。

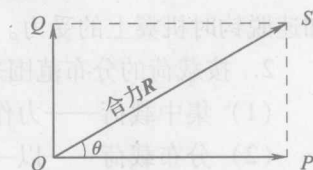


图 2-1 相互垂直的两个力合力的求法

#### 2. 作用在同一点上的两个力不垂直

如图 2-2 所示，利用平行四边形法可直接由图上量取合力  $R$  值，也可利用正弦和余弦定律从  $\triangle OPS$  中计算出来。利用三角形作图法也可求出合力：将两个力的向量首尾相连，完成一个三角形，第三边  $OQ$  即表示合力  $R$ 。

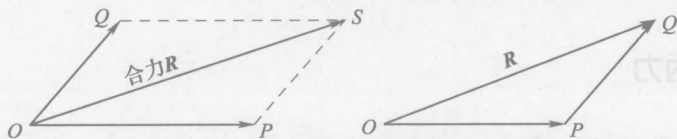


图 2-2 相互不垂直的两个力合力的求法

### 3. 两个以上交于一点的力

利用多边形法 (如图 2-3 所示), 先求  $A$ 、 $B$  的合力  $E$ , 再求  $E$ 、 $C$  的合力  $F$ , 依次求  $F$  与  $D$  的合力, 首尾连接  $A$  力起点与  $D$  力终点, 即为  $A$ 、 $B$ 、 $C$ 、 $D$  力的合力  $R$ 。

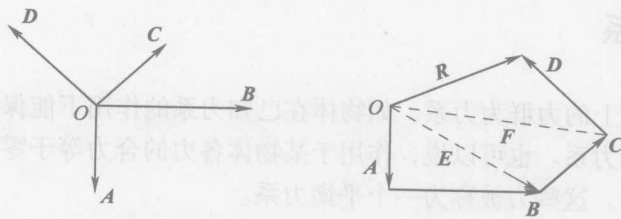


图 2-3 两个以上交于一点的力合力求法

### 4. 作用在不同点上的若干个力合力求法

上述用向量作图法求合力很容易, 但用数值运算很不方便, 我们可应用坐标法, 将各力分别投影在  $X$  与  $Y$  坐标轴上 (见图 2-4), 求出各力在  $X$  轴上的代数和, 及在  $Y$  轴上的代数和, 最后将二正交分力的代数和合成所求的合力。由此我们得出一条定理: 合力在任何轴上的投影等于它的各分力在该轴上的投影的代数和。

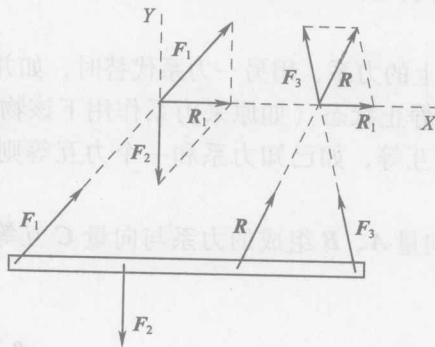


图 2-4 作用在不同点上的力合力求法



## 四、力系的平衡条件

### (一) 力系

作用于物体上的力群为力系。如物体在已知力系的作用下能保持原状态，则此力系称为平衡力系。也可以说，作用于某物体各力的合力等于零，则称此物体处在平衡状态中。这些力被称为一个平衡力系。

例如，我们用手推一物体用力  $P$ ，同时又用大小相等的另一力  $P'$  反方向推同一物体于共同作用线上，则该物体不改变其原来状态，即  $P$  和  $P'$  的向量和等于零，不仅模数相等，而且方向相反。

这样，我们得到的结论是：作用于刚体上的两个力平衡的必要和充分条件是：这两个力应大小相等，方向相反并且在两作用点的连线上。也就是说两力的合力为零。

这里应指出：不能把作用力与反作用力说成互相平衡（等于0），因为作用力与反作用力永远是作用在两个不同的物体上的两个力，与平衡力中的两个力作用在同一物体上迥然不同，所以不能说作用力与反作用力平衡。千万别和上述概念混为一谈。

当作用在已知物体上的力系，用另一力系代替时，如并未因此而改变物体的运动状态，即不破坏其静止状态（如原来力系作用下该物体是处于静止状态），则我们说这两个力系是互等，如已知力系和一个力互等则这个力称为该力系的合力。

如图 2-5 所示，向量  $A$ 、 $B$  组成的力系与向量  $C$  互等： $C = A + B$ ， $C$  则是  $A$ 、 $B$  力系的合力。

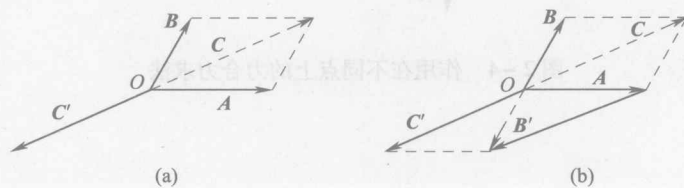


图 2-5 平衡力系