

科技模型丛书



张雷琨 著

北京航空航天大学出版社

航空模型原理与设计

V278
05

航空模型原理与设计

张霁琨 编著

HK49/03



05

北京航空航天大学出版社



C03111118

内 容 简 介

本书主要介绍航空模型的原理、设计与制作方法,结合中、小学中广泛开展的普及级自由飞类航空模型进行讨论。全书共分十章,其中包括:弹射模型滑翔机,手掷模型滑翔机,牵引模型滑翔机,橡筋动力模型飞机,橡筋动力模型直升机;室内模型飞机和活塞式发动机模型飞机的特点分析和设计方法;航空模型使用的翼型和螺旋桨;结构设计的基本知识;模型飞机三面图的绘制以及使用计算机辅助设计程序编写方法等。内容丰富,语言流畅,通俗易懂,适合青少年航空模型爱好者阅读。也可供从事航空模型运动的辅导员、教练员和运动员参考。

航空模型原理与设计

HANGKONG MOXING YUANLI YU SHEJI

张霁琨 编著

责任编辑 陶全福

北京航空航天大学出版社出版

新华书店总店科技发行所发行 各地新华书店经销

通县觅子店印刷厂印装

787×1092 1/32 印张:6.75 字数:157千字

1994年5月第一版 1994年5月 第一次印刷 印数:10000册

ISBN 7 81012-466-8/V·033 定价:5.50元

前 言

航空模型运动是一项深受广大青少年爱好的课外活动，在我国有广泛的群众基础。它对青少年思维能力、技能训练、毅力培养和身体锻炼等各方面都有极大的促进作用。航空模型运动的特点是：

(1) 航空模型的爱好者大多是在校的中小学生。

(2) 航模爱好者既是模型的设计者，又是模型的制作者，还是模型的飞行者。

(3) 航空模型应根据竞赛规则的要求进行设计，而竞赛规则是经常变化的，因而设计方法和步骤也应随之改变。

(4) 航空模型试制周期较短，并只能依靠试飞检验设计质量。

(5) 航模爱好者条件差异较大，如在经验、技术、文化水平以及器材等方面。

作者根据多年从事航空模型运动和辅导工作实践经验，提出一种适合在青少年中推广的设计自由飞类航空模型的方法。步骤如下：

(1) 根据航空模型竞赛规则要求，分析设计该类模型时需确定的几何参数。

(2) 收集同类模型的资料、图纸和数据。

(3) 用数理统计的方法对所需几何参数进行处理。分析其结果，确定各参数数值范围。

(4) 设计新模型。

参加本书编写和提供资料的还有刘福生、张家骅和郑常生等人，插图由李秀英绘制，在此表示衷心感谢。

主要符号

A	功
$A_{\text{水}}$	水平尾翼面积系数
$A_{\text{中}}$	中翼展长系数
$A_{\text{垂}}$	垂直尾翼面积系数
$A_{\text{纵}}$	纵向安定系数
A_G	质量分配系数
B	螺旋桨桨叶数目
b	弦长、中翼弦长、根肋弦长、截面宽度
$\bar{b}$	螺旋桨桨叶相对宽度
$b_{\text{平均}}$	平均气动弦长
b_{max}	最大弦长
$b_{\text{尖}}$	翼尖弦长
$b_{\text{后}}$	后缘宽度
c	翼型厚度
$\bar{c}$	翼型相对厚度
C_D	阻力系数
C_{D0}	零升阻力系数
C_L	升力系数
$C_{L\text{max}}$	最大升力系数
C_{m0}	平板零升阻力系数
C_p	螺旋桨功率系数

C_l	螺旋桨拉力系数
D	阻力、螺旋桨直径、外径
D_p	爬升时阻力
D_g	滑翔时阻力
d	内径
E	能量、材料弹性模数
E_0	橡筋单位质量释放能量(单位能)
F	截面面积
F1	国际级自由飞类模型
F1A	国际级牵引模型滑翔机
F1B	国际级橡筋模型飞机
F1C	国际级活塞发动机模型飞机
F1D	国际级室内模型飞机
f	梁的挠度、翼型中弧线弯度
$\bar{f}$	翼型中弧线相对弯度
$f_{\max}$	梁的最大挠度
G	质量,材料剪切模量
G_R	橡筋质量
g	重力加速度
H	螺旋桨实际螺矩
H_s	螺旋桨几何螺矩
H_T	螺旋桨理论螺矩
$H_{\perp}$	上反角高度
$H_{\text{中}}$	中翼上反角高度
$H_{\text{台}}$	机翼翼台高度
h	飞行高度、截面高度

J	进距比、截面惯性矩
J_n	扭转惯性矩
$J_{\min}$	最小惯性矩
K	升阻比、螺旋桨缩放比例系数
K_g	橡筋质量比例系数
K_l	橡筋束长度系数
K_N	橡筋束可扭圈数系数
K_n	螺旋桨转速系数
K_t	动力时间系数
L	升力
L_G	滑翔时升力
L_P	爬升时升力
l	翼展、路程长度
l_R	橡筋长度
$l_{\text{中}}$	中翼展长
$l_{\text{外}}$	外翼展长
$\dot{l}_{\text{外}}$	外翼实长
l_k	机头长度
l_R	尾力臂
M	弯曲力矩、阻力矩
$M_{\max}$	最大弯矩
M_n	扭转力矩
$M_{n \max}$	最大扭矩
m	橡筋拉伸倍数
n	螺旋桨转速、发动机转速
n_R	橡筋束可绕圈数

P	功率、轴向载荷
P_L	临界载荷
P_1	普及级自由飞类模型
P_{1A}	普及级牵引模型滑翔机
P_{1B}	普及级橡筋模型飞机
P_{1C}	普及级活塞发动机模型飞机
P_{1D}	普及级室内模型飞机
P_{1F}	普及级模型直升机
P_{1S}	普及级手掷模型滑翔机
P_{1T}	普及级弹射模型滑翔机
R	总空气动力、螺旋桨半径
Re	雷诺数
$R_{前}$	前缘半径
r	半径
$\bar{r}$	相对半径
S	机翼面积、橡筋束横截面积
$S_{中}$	中翼面积
$S_{外}$	外翼面积
$S_{尖}$	翼尖面积
$S_{水}$	水平尾翼面积
$S_{垂}$	垂直尾翼面积
T	模型留空时间、螺旋桨拉力
t	时间
t_P	爬升时间
t_G	滑翔时间
V	发动机工作容积

v	速度
v_P	爬升速度
v_G	滑翔速度
v_{min}	最小速度
v_y	下沉速度
v_0	初速度
v_W	风速
$v_{地}$	相对地面运动速度
W	截面系数
W_n	抗扭截面系数
X	重心位置
x	横向坐标、横向坐标值
$\bar{x}$	算术平均值
$\bar{x}_e$	最大厚度相对位置
$\bar{x}_f$	最大弯度相对位置
y	纵向坐标
$y_{中}$	中弧线纵向坐标
$y_{上}$	上弧线纵向坐标
$y_{下}$	下弧线纵向坐标
α	迎角、机翼安装角
$\alpha_{水}$	水平尾翼安装角
β	桨叶角
Δ	梯形比
$\Delta_{水}$	水平尾翼梯形比
ε	残余变形, 应变
η	螺旋桨效率

θ	爬升角、下滑角
ξ	滑流系数
λ	展弦比
$\lambda_{\text{水}}$	水平尾翼展弦比
μ	相当长度系数
ρ	密度
σ	正应力、螺旋桨实度、标准差
σ_L	临界应力
$\sigma_{\text{挤}}$	挤压应力
τ	剪应力
τ_{max}	最大剪应力
Φ	倾斜角
φ	气流角
ψ	侧风角

目 录

前 言

主要符号

第一章	弹射模型滑翔机	(1)
第二章	手掷模型滑翔机	(18)
第三章	牵引模型滑翔机	(32)
第四章	螺旋桨	(54)
第五章	橡筋模型飞机	(68)
第六章	橡筋动力模型直升机	(94)
第七章	室内模型飞机	(103)
第八章	活塞动力模型飞机	(111)
第九章	翼型	(135)
第十章	结构设计	(163)
附录 A	怎样画三面图	(197)
附录 B	国际级自由飞模型设计参数表	(205)
结束语		(206)
参考文献		(206)

第一章 弹射模型滑翔机

弹射模型滑翔机(以下简称弹射模型或模型)结构简单,容易制作,便于初学者掌握。根据航空模型普及级竞赛规则(以下简称规则)的规定:弹射模型的代号是P1T。它是利用橡筋的力量将模型弹入空中滑翔,记录从释放到落地的时间为飞行成绩。因此可将模型飞行过程分为弹射爬升、改出和滑翔三个阶段。

一 飞行性能分析

1. 弹射爬升阶段

要求模型弹得越高越好。

弹射模型在弹射释放时,橡筋拉伸变形获得的势能 E 变成模型的动能: $\frac{1}{2}mv_0^2$;式中: m ——模型质量; v_0 ——模型的初速度。如果模型的动能全部变成模型增加高度 h 的势能,则上述关系可以表示为

$$E = \frac{1}{2}mv_0^2 = mgh$$

式中: g ——重力加速度。

因此得到如下关系

$$h = \frac{v_0^2}{2g}$$

由上式得到的结论是：模型可能达到的高度只与弹射释放时的初速度有关。

实际上在弹射爬升阶段有阻力 D 存在，克服阻力做功消耗一部分能量，速度逐渐降低。为了使模型顺利从爬升转入滑翔，应在模型速度逐渐降低至接近或等于滑翔速度 v 时停止爬升，进入滑翔阶段。根据能量守恒定律，上述关系可写成：

$$\frac{1}{2}mv_0^2 - \frac{1}{2}mv^2 = mgh + Dl$$

式中： l ——爬升路程的长度；

Dl ——爬升时克服阻力所做的功。①

弹射模型弹射释放时初速度约为 50 米/秒，滑翔速度约为 5 米/秒。所以

$$\frac{1}{2}mv_0^2 - \frac{1}{2}mv^2 \approx \frac{1}{2}mv_0^2 \quad ②$$

$$\frac{1}{2}mv_0^2 = mgh + Dl$$

可以说，模型从橡筋获得的动能一部分变成势能，即增加高度；另一部分消耗在克服阻力做功。由此对弹射模型提出两个要求：模型的阻力应尽量小和弹射爬升的路程应尽量短。

阻力 D 可以用公式表示

$$D = \frac{1}{2}C_D\rho v^2S$$

① 爬升时阻力随速度降低而减小，“ D ”是一个变量。

② 这是一种分析研究问题时常用的方法：忽略影响极小的那部分或那个因素。如此处所忽略部分为 1%。

式中： ρ ——空气密度，与模型无关，随气象条件变化。在海平面，气温 15°C 时为 $\rho = 0.125$ 千克·秒²/米⁴；

v ——模型的飞行速度，在弹射爬升阶段从释放速度逐渐降至接近滑翔速度；

C_D ——阻力系数，包括翼型的阻力系数，机翼的诱导阻力系数，其它部件的阻力系数和各部件间的干扰阻力系数；

S ——机翼面积。

为了获得高度，弹射速度不能降低，因而减小阻力只能通过降低阻力系数和减小机翼面积实现。

从图 1-1 很容易说明为什么应采用大爬升角 θ 直线上升。但是爬升角越大需要的弹射力越大而升力越小（ $\theta = 90^{\circ}$ 时不需要升力）。升力公式

$$L = \frac{1}{2} C_L \rho v^2 S$$

式中： C_L ——升力系数。

根据升力公式，降低升力系数和减小机翼面积，可使升力降低，有利于大角度爬升。

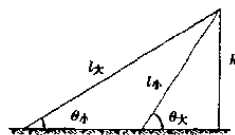


图 1-1 爬升角度

根据上述分析，为了使模型有优良的弹射爬升性能，设计弹射模型应考虑以下几点：

(1)应选用升力系数和阻力系数较小的翼型,如弯度和厚度较小的平凸或双凸翼型;

(2)机翼和水平尾翼的安装角差值应较小,使机翼在弹射爬升时以较小的迎角飞行,此时机翼的升力和阻力均较小(图 1-2)对爬升有利;

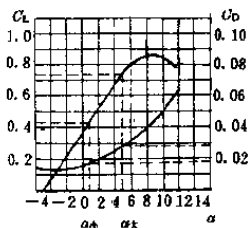


图 1-2 升力系数和阻力系数曲线

(3)机翼面积尽可能小些;

(4)注意表面质量,各部件外形应是光滑的流线型。部件之间应仔细地整形过渡(图 1-3)。

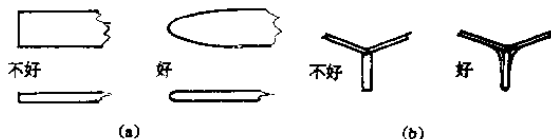


图 1-3 减小阻力示例

(a)机头应为流线型;

(b)部件间加整流

弹射爬升阶段常见故障及其排除方法见表 1-1 和图 1-4。

表 1-1 爬升阶段故障表

故障现象	原 因	常规排除方法
弹射速度低	橡筋力量不够	加粗橡筋束或增加拉伸长度
	模型阻力过大	校正变形
		提高加工质量
		翼型选择失误
拉翻 (或翻筋斗)	弹射失误	改变弹射方法
	调整失误	重新调整滑翔或机构
	升力过大	减小机翼或增加尾翼安装角重新调整
爬升角小 (或俯冲)	弹射失误	改变弹射方法
	调整失误	重新调整滑翔或机构
	升力小	增大机翼或减小尾翼安装角重新调整

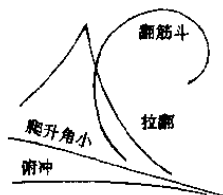


图 1-4 不正常爬升轨迹

2. 改出阶段

要求模型由爬升状态平稳的转入滑翔飞行。

改出过程比较复杂,影响因素也较多。它是模型设计水平、制作质量、气象条件和弹射技巧巧妙地结合。只要模型设

计和制作没有重大失误,天气不是很恶劣,都可以通过改变弹射方法得到正常改出。表 1-2 图 1-5 列出改出阶段的故障及其排除方法。

表 1-2 改出阶段故障表

故障现象	原 因	常规排除方法
波状飞行	弹射失误	改变弹射方法
	调整失误	重新调整滑翔
	纵向安定性不够	加大水平尾翼或后机身加长
俯 冲	弹射失误	改变弹射方法
	调整失误	重新调整滑翔
	机翼失速	增大机翼或减小尾翼安装角
倒 飞	弹射失误	改变弹射方法
	侧向安定性不够	加大上反角
带坡度俯冲	弹射失误	改变弹射方法
	调整失误	加大滑翔盘旋半径
	方向安定性过强	减小垂直尾翼面积或加大上反角

3. 滑翔阶段

要求模型在适于竞赛的各种气象条件均能正常飞行,滑翔时间越长越好。

弹射模型尺寸小,结构简单,可以调整的环节少(实验机例外),一般不再随气象变化进行调整。因而模型调在比较‘迟钝’的位置。