



总顾问 费孝通 总主编 季羨林 副总主编 柳斌
中华万有文库

科普卷

中小學生航空航天知識

航空模型的原理 与制作

上

ZHONG XIAO XUE SHENG HANG KONG HANG TIAN ZHI SHI



北京科学技术出版社
中国社会科学出版社

中华万有文库

总 顾 问 费孝通
总 主 编 季羨林
副总主编 柳 斌

科普卷·中小学生航空航天知识

航空模型的原理与制作(上)

《中小学生航空航天知识》编委会

主 编	王 冈	曹振国			
副主编	邓 翔	胡向阳	向 英		
编 委	王 冈	曹振国	邓 翔	胡向阳	
	王辅忠	项 华	赵文博	王 希	
	王 靖	齐小平	齐旭强	李 巍	
	张富民	杨邵豫	向 英		

北京科学技术出版社
中国 社会 出版 社

中 华 万 有 文 库

图书在版编目 (CIP) 数据

中小學生航空航天知識/季羨林總主編.-北京:北京
科學技術出版社, 1997. 10 (中華萬有文庫·科普卷)

ISBN 7-5304-1868-8

I. 中… II. 季… III. ①航空-基本知識-青少年讀物
②航天-基本知識-青少年讀物 IV. V-49

中國版本圖書館 CIP 數據核字(97)第 23747 號

科普卷·中小學生航空航天知識 航空模型的原理與製作 (上)

主編 王 岡 曹振國

北京科學技術出版社 出版
中國社會出版社
北京印刷一廠印刷 新華書店經銷

787×1092 1/32 4.625印張 95千字
1998年8月第1版 1998年8月第1次印刷
印數: 1-10000冊

ISBN 7-5304-1868-8/Z·923

定價: 144.00 元(全套 24 冊)單冊定價: 6.00 元

中华万有文库

总 顾 问 费孝通

总 主 编 季羨林

副总主编 柳 斌

《中华万有文库》编辑委员会

主 任：刘国林

秘书长：魏庆余 和 龚

委 员：（按姓氏笔画为序）

王 斌	王寿彭	王晓东	白建新
任德山	刘国林	刘福源	刘振华
杨学军	李桂福	吴修书	宋士忠
张 丽	张进发	张其友	张荣华
张彦民	张晓秦	张敬德	罗林平
封兆才	和 龚	金瑞英	郑春江
单 瑛	侯 玲	胡建华	袁 钟
贾 斌	章宏伟	常汝吉	彭松建
韩永言	葛 君	鞠建泰	魏庆余

《中华万有文库》

总序言

本世纪初叶，商务印书馆王云五先生得到胡适之、蔡元培、吴稚晖、杨杏佛、张菊生等 30 余位知名学者、社会贤达鼎力相助，编纂出版了《万有文库》丛书。是书行世，对于开拓知识视野，营造读书风气，影响甚巨，声名斐然，遗响至今不绝。

1000 多年以前，南朝学者钟嵘在《诗品》中以“照烛三才，晖丽万有”来指说天地人间的广博万物。今天，我们全国各地的数十家出版发行单位与数千名作者以高度的历史责任感，联袂推出《中华万有文库》，并向社会各界读者，特别是青少年读者做出承诺：传播万物百科知识，营造益智成功文库。

我们之所以沿用《万有文库》旧名，并非意图掠美。首先，表明一个信念：承继中国出版界重视文化积累、造福社会、传播知识的优秀传统，为前贤旧事翻演新曲，把旧时代里已经非常出色的事情在新时代里再做出个锦上添花。其次，表明我们这套丛书体系与内容的鲜明特点。经过反复论证，我们决定针对中小學生正在提倡素质教育的需要和农村、厂矿、部队基层青年在提高基本技能的同时还要提高文化与科学修养的广泛需要，以当代社会科学与自然科学的基础知识为基本立足点，编纂一套相当于基层小型图书馆应该具备的图书品种数量与知识含量的百科知识丛书。万有的本意是万物，百科知识是人类从自然界万物与社会万象之中得到的最重要的收获，而为表示新旧区别，丛书之名冠以中华。这就是我们这套丛书的缘

起与名称的由来。

《中华万有文库》基本按照学科划分卷次,各卷之下按照内容分为若干辑,每一辑大体相当于学科的2级分支,各卷辑次不等;各辑子目以类相从,每辑10至100种不等,每种约10数万字,全书总计300余辑3000余种。《中华万有文库》不仅有传统学科的基本知识,而且注意吸收与介绍相关交叉学科、新兴学科知识;不仅强调学科知识的基础性与系统性,而且注重针对读者的年龄特点、知识结构与阅读兴趣而保持通俗性和趣味性;不仅着眼于帮助读者提高文化素质与科学修养,而且还注重帮助读者提高劳动技能和社会生存能力。

每个时代中的最大图书读者群是10至20岁左右的青少年。每个时代深远影响的图书,是那些满足社会需要,具有时代特点,在最大读者群中启蒙混沌、传播知识、陶冶情操、树立信念的优秀图书。我们相信,只要我们扎扎实实地做下去,经过几个以至更多的暑寒更迭,将会有数以百万计的青少年读者通过《中华万有文库》获取知识,开阔眼界,《中华万有文库》将在他们成长的道路上留下明显的痕迹,伴随他们一同走向未来,抵达成功的彼岸。

海阔凭鱼跃,天空任鸟飞,凭借知识力量,竞取成功,争得自由。在现代社会中,没有人拒绝为获取知识而读书,这是《中华万有文库》编纂者送给每位读者的忠告。追求完美固然是我们的愿望,但世间只有相对完善,《中华万有文库》卷帙庞大,子目繁多,难免萧兰并擷,珉玉杂陈。这些不如人意之处,尚盼大家幸以教之。我们虚心以待。是为序。

《中华万有文库》编委会

目 录

弹射与手掷模型滑翔机	(1)
爬升阶段的飞行性能	(1)
改出阶段的飞行性能	(5)
滑翔阶段的飞行性能	(6)
弹射或手掷设计参数	(8)
木质手掷模型滑翔机	(11)
竞赛型 P1S 模型滑翔机的制作	(16)
牵引模型滑翔机	(20)
牵引上升阶段的飞行性能分析	(20)
滑翔阶段的飞行性能分析	(25)
PIA 牵引滑翔机的制作	(30)
弹射模型滑翔机的制作	(33)
折纸模型飞机的制作	(36)
橡筋模型飞机的制作	(43)
橡筋的性能特点	(43)
动力飞行时力的平衡问题	(46)
一级橡筋模型飞机的制作和调试	(50)
吹塑纸室内模型飞机的制作	(55)
单桨橡筋模型直升机	(61)
可控迎角的 PIB-1 模型飞机	(63)
活塞式发动机模型飞机的飞行原理	(67)

飛行過程的簡單分析	(67)
發動機的性能特點	(69)
控制系統	(74)
線操纵模型飛機	(78)
線操纵模型飛機的操作原理	(78)
1.5 毫升線操纵模型練習機	(80)
線操纵電動模型飛機的制作	(85)
線操纵發動機模型飛機的制作	(94)
線操纵模型旋翼機的制作	(97)
初級線操纵電動模型飛機的制作	(103)
象真模型飛機的制作	(109)
象真模型飛機的制作工具	(109)
象真飛機模型組裝工藝	(110)
金属材料制作的仿真模型	(114)
象真飛機模型座艙罩的制作	(117)
用易拉罐鋁皮制作飛機模型的方法	(123)
象真模型飛機外部塗色的方法	(133)
象真模型飛機彩色水印標志的粘貼	(138)

弹射与手掷模型滑翔机

弹射、手掷模型滑翔机结构简单，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，手掷模型的代号是 P1S。它们是利用橡筋或手动的力量将模型弹入或掷入空中滑翔，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。

爬升阶段的飞行性能

要求模型爬升得越高越好。

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，手掷模型利用人挥手的力量，使模型获得动能： $\frac{1}{2}mv_0^2$ ；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， D 表示阻力，为一个变量，随模型速度的降低而减少。

模型释放时初速度 v_0 比模型在最高处的速度 v 大很多，即 $v_0 \gg v$ 。所以

$$\begin{aligned}\frac{1}{2}mv_0^2 - \frac{1}{2}mv^2 &\approx \frac{1}{2}mv_0^2 \\ \frac{1}{2}mv_0^2 &= mgh + Dl\end{aligned}$$

可以说，模型从橡皮筋或手动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

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

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, 其他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 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。

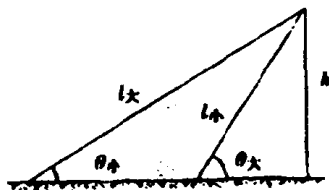


图 1 爬升角度

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则对爬升有利;

(3) 机翼面积尽可能小些;

(4) 注意表面質量，各部件外形應是光滑的流線形。部件之間應仔細地整形過渡。

彈射爬升階段常見故障及其排除方法見表 1 和圖 2。

表 1 爬升階段故障表

故障現象	原 因	常規排除方法
彈射速度低	橡筋力量不夠	加粗橡筋束或增加拉伸長度
		校正變形
	模型阻力過大	提高加工質量
		翼型選擇失誤
拉翻 (或翻筋斗)	彈射失誤	改變彈射方法
	調整失誤	重新調整滑翔
	升力過大	減小機翼或增大尾翼安裝角重新調整
爬升角小 (或俯沖)	彈射失誤	改變彈射方法
	調整失誤	重新調整滑翔
	升力小	增大機翼或減小尾翼安裝角重新調整

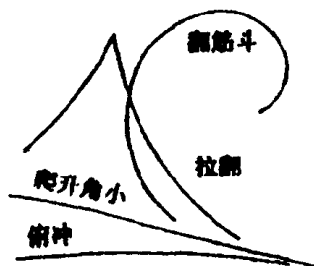


圖 2 不正常爬升軌迹

改出阶段的飞行性能

改出阶段是指模型由爬升改为滑翔飞行的过渡阶段,它要求模型由爬升状态平稳的转入滑翔飞行。这一阶段时间虽短,但却是非常重要的阶段,对模型制作的要求较高。

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 2 列出改出阶段的故障及其排除方法。

表 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	加大水平尾翼或加长后机身
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

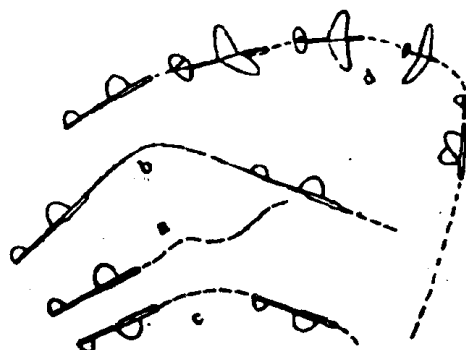


图 3 不正常改出

a—波状飞行；b—俯冲；c—倒飞；d—带坡度俯冲

滑翔阶段的飞行性能

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。

弹射或手掷模型尺寸小，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。

模型滑翔时间 t 可表示为

$$t = \frac{h}{v_y}$$

式中： v_y ——下沉速度，模型每秒下降的高度，是衡量所有自由飞模型滑翔性能最主要的性能参数。下沉速度可表示为

$$v_y = \sqrt{\frac{2}{\rho} \cdot \frac{G}{S} \cdot \frac{C_b^2}{C_l^3}}$$

式中： G ——模型质量；

$\frac{G}{S}$ ——翼载荷；

$\sqrt{\frac{C_L^3}{C_D^2}}$ ——功率系数。

由公式可以得到结论：模型质量尽可能小，机翼面积尽可能大，使翼载荷较小。选择功率系数大的翼型，尽量减小诱导阻力、其他部件的阻力和部件间干扰阻力。

根据上述分析，为使模型有优良的滑翔性能，设计弹射模型时应考虑以下几点：

1. 由于规则限制最大翼展为 200 毫米（即 2 分米），因而增加机翼面积 S 和加大展弦比 λ 的要求有矛盾，即展弦比越大，诱导阻力越小。规则要求航空模型质量单位用“克”，面积单位用“分米²”。机翼面积和展弦比的公式为

$$S = 2b_{\text{平均}}(\text{分米}^2)$$

$$\lambda = \frac{2}{b_{\text{平均}}}$$

式中： $b_{\text{平均}}$ ——平均气动弦长（分米）。

我国生产的航模用木板最大宽度为 55 毫米，因此可考虑将机翼设计成根部弦长为 0.55 分米的椭圆机翼，此时

$$S = 2 \frac{1}{4} \pi b_{\text{根}} = 0.86 \text{ 分米}^2$$

$$b_{\text{平均}} = \frac{S}{l} = 0.43 \text{ 分米} = 43 \text{ 毫米}$$

$$\lambda = \frac{2}{b_{\text{平均}}} = 4.63$$

2. 目前尚没有完全适合航空模型用的完整的翼型资料，从理论上根据功率系数大和阻力系数小的原则选择翼型是困难的。经验认为弹射模型应使用 2~3 毫米厚木板加工平凸翼

型(如克拉克-Y 系列)。如採用凹凸翼型或者雙凸翼型,模型幾何參數需要較大的變化。

3. 為使滑翔時機翼在接近最大功率系數所對應的迎角飛行,機翼和水平尾翼的安裝角應有適當的差值。

4. 選用較輕的材料或採用構架式機翼,減小翼載荷。

5. 各部件外形應是光滑的流線形,部件間應仔細地整形過渡,減小廢阻力和干擾阻力。

滑翔階段的故障及排除方法見表 3。

表 3 滑翔階段故障表

故障現象	原 因	常規排除方法
高度下降很快	調整失誤	重新調整滑翔
	變 形	糾正變形
	翼載荷過大	減輕重量
	制作質量差	提高質量(翼型應用樣板檢修)
左右搖擺	側向安定性過大	減小上反角或加大垂直尾翼
螺旋	方向安定性過大	減小垂直尾翼或加大上反角
波狀飛行	調整失誤	重新調整滑翔
	縱向安定性不夠	加大水平尾翼或加長後機身

彈射或手擲模型設計參數

綜上所述,下面討論設計彈射或手擲模型需要確定的幾何參數。

1. 機翼

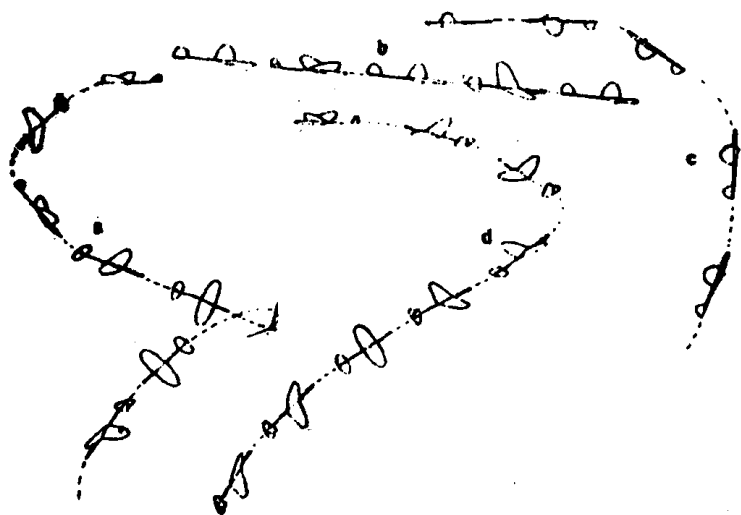


图4 几种飞行轨迹

a—螺旋；b—左右摇摆；c—半筋斗翻转；d—反向盘旋

(1) 翼展 l ：虽然说减小翼展，使机翼面积减小可以提高爬升性能，但却可能使滑翔性能变坏。而规则已将翼展限制在较小范围内，现在绝大多数模型都选取规则允许的最大值。

(2) 机翼平面形状：为了尽可能减小诱导阻力，应选用全椭圆形或椭圆翼尖。后者需要考虑矩形中段展长 $l_{\text{中}}$ ，初学者可用 $l/2$ 或参考现有图纸或模型。

(3) 根弦 b ：受供应原材料的影响，比值确定后机翼面积和展弦比均已确定。减小根弦可以使面积变小，有利爬升；但可能使滑翔性能变坏；需要考虑选取恰当值。

(4) 翼型：目前几乎全部模型都选用了阻力较小的平凸翼型。翼型的厚度与所用板材供应状况有关，大多选用 2、2.5