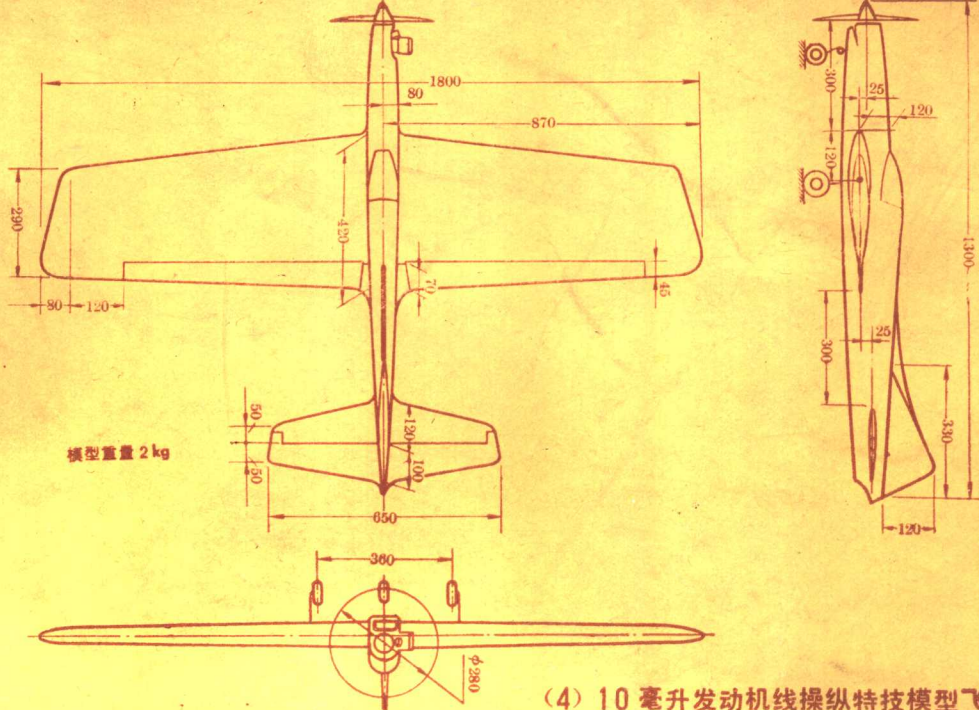


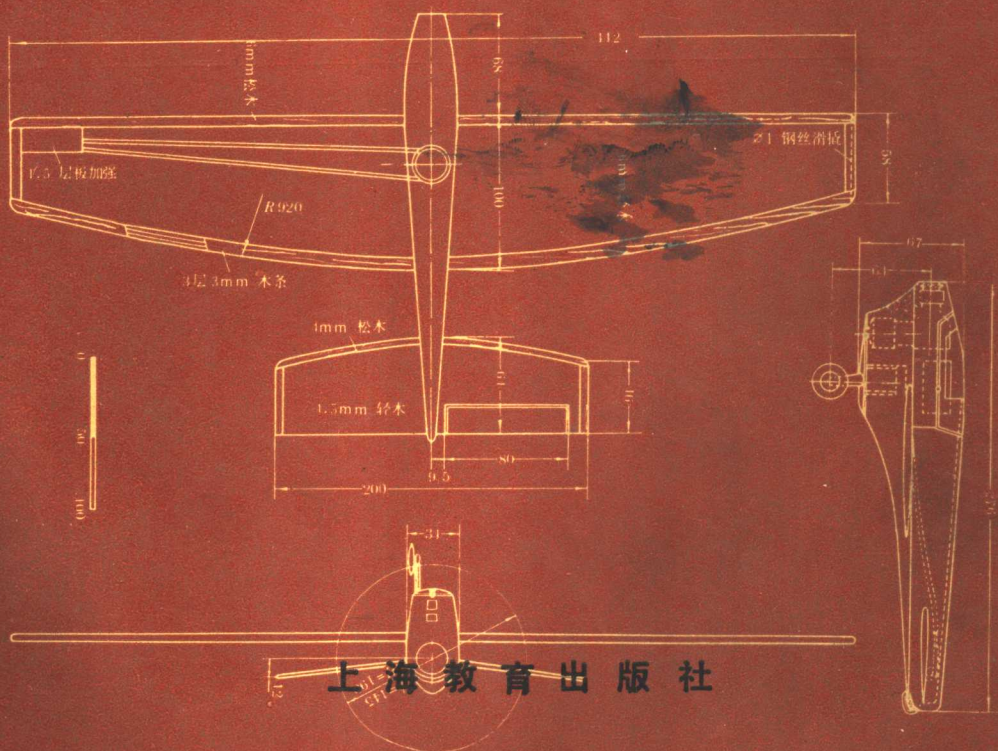


中学科技丛书



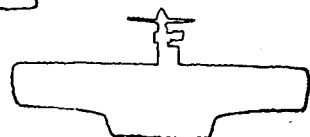
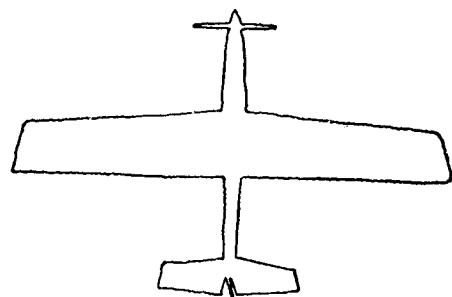
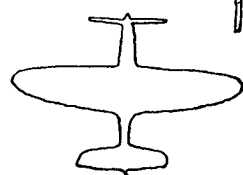
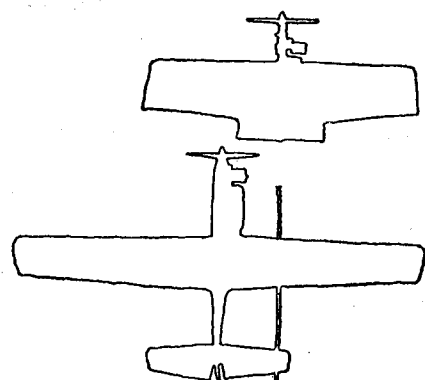
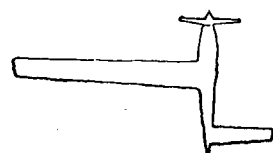
(4) 10 毫升发动机线操纵特技模型飞机

线操纵模型飞机



上海教育出版社

(10) 1.5 毫升发动机小组竞速模型飞机



· 中学科技丛书 ·

线操纵模型飞机

高国钧 编著

上海教育出版社

XIANCAOZONG MOXINGFEIJI

内 容 提 要

本书对目前国内外开展较为广泛的线操纵特技、竞速、小组竞速、空战等四种模型飞机作了比较详细的介绍。通过阅读本书可使广大青少年、航模爱好者了解和掌握线操纵模型飞机的设计、制作和飞行技术。书中运用中学物理课程中有关力学的基本知识来分析飞行现象,对培养青少年巩固和运用课堂知识,提高动手能力也有一定帮助。

本书以中学师生和航模爱好者为主要读者对象,也可供少年宫、少年科技站的科技活动辅导老师以及专业工作者作参考。

线操纵模型飞机

高国钧 编著

上海教育出版社出版

(上海永福路 123 号)

新华书店上海发行所发行 江苏太仓印刷厂印刷

开本 787×1092 1/16 印张 9 字数 218,000

1984 年 6 月第 1 版 1984 年 6 月第 1 次印刷

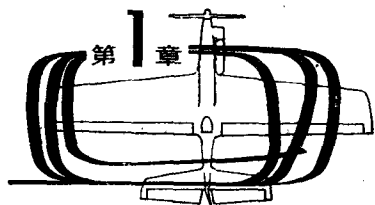
印数 1—9,800 本

统一书号: 7150·3143 定价: 0.97 元

目 录

第1章 线操纵特技模型飞机	1
第1节 线操纵特技模型飞机的飞行原理	2
第2节 线操纵特技模型飞机的设计	6
第3节 线操纵特技模型飞机的构造	13
第4节 线操纵特技模型飞机的动力装置	22
第5节 线操纵特技模型飞机的起落架	30
第6节 线操纵特技模型飞机的操纵系统	34
第7节 线操纵特技模型飞机的蒙皮、涂料和美化	41
第8节 线操纵特技模型飞机的飞行训练	43
第2章 线操纵竞速模型飞机	52
第1节 线操纵竞速模型飞机概述	52
第2节 线操纵竞速模型飞机的设计	53
第3节 线操纵竞速模型飞机的结构	58
第4节 线操纵竞速模型飞机的飞行训练	80
第3章 小组竞速模型飞机	83
第1节 小组竞速模型飞机概述	83
第2节 小组竞速模型飞机的设计	84
第3节 小组竞速模型飞机的构造	88
第4节 小组竞速模型飞机的飞行	95
第4章 线操纵空战模型飞机	102
第1节 线操纵空战模型飞机概述	102
第2节 线操纵空战模型飞机的设计	103
第3节 线操纵空战模型飞机的构造	106
第4节 线操纵空战模型飞机的动力装置	117
第5节 线操纵空战模型飞机的飞行	119
附 录	124
图纸介绍	124
(1) 1.5 毫升发动机线操纵特技模型练习机	124
(2) 5.8 毫升发动机线操纵特技模型飞机	125
(3) 6.5 毫升发动机线操纵特技模型飞机	126
(4) 10 毫升发动机线操纵特技模型飞机	127

(5) 初级竞速模型教练机	128
(6) 2.5 毫升发动机线操纵竞速模型飞机	129
(7) 5 毫升发动机线操纵竞速模型飞机	130
(8) 10 毫升发动机线操纵竞速模型飞机	131
(9) 1968 年线操纵竞速模型世界冠军机	132
(10) 1.5 毫升发动机小组竞速模型飞机	133
(11) 装前轴进气后排气发动机的小组竞速模型飞机	134
(12) 装侧排气发动机的小组竞速模型飞机	135
(13) 装后排气发动机的小组竞速模型飞机	136
(14) 1982 年线操纵空战模型飞机全国比赛冠军机	137
(15) 1982 年线操纵空战模型飞机全国比赛亚军机	138
(16) 1980、1982 年线操纵空战模型飞机世界比赛冠军机	139
主要参考资料	140



线操纵特技模型飞机

线操纵模型飞机飞行时，操纵员用操纵手柄操纵从模型飞机内机翼翼尖处引出的两根操纵线，使模型飞机围绕运动员作圆周飞

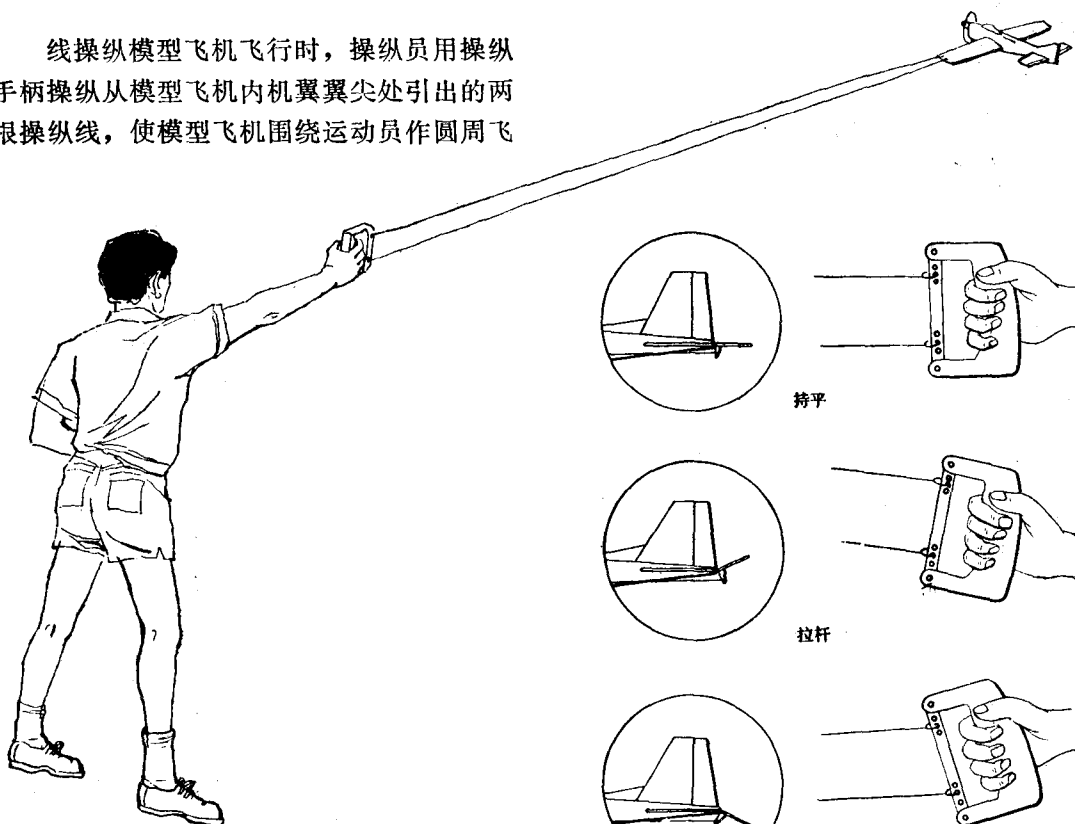


图 1-1 线操纵模型飞机的飞行

行(图1-1)。运动员用操纵手柄通过两根操纵线操纵升降舵上下转动，从而使模型飞机上升或下降(参看图 1-2)。由于受操纵线的限制，线操纵特技模型飞机实际上只能绕模型翼展方向的横轴作俯仰方向一个自由度的机动飞行。尽管如此，线操纵特技模型仍能做出各种圆、方、三角形的筋斗、8 字等优美而惊险的飞行动作。线操纵空战模型飞机的飞行动作大多数也属于特技飞行动作，因此本章所述的线操纵特技模型飞机的飞行原理及提高模型性能的措施，不少同样适用于线操

图 1-2 线操纵模型飞机的操纵原理

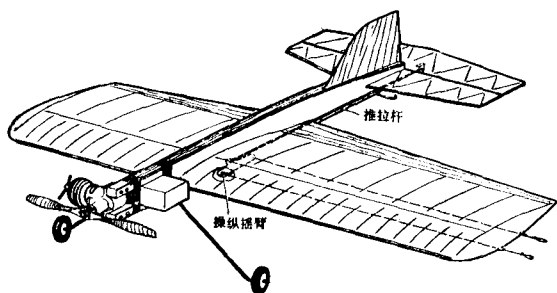


图 1-3 线操纵特技模型飞机教练机纵空战模型飞机。

图 1-3 是线操纵特技模型飞机的教练机。图 1-4 是国际级 (F2B) 线操纵特技模型飞机。

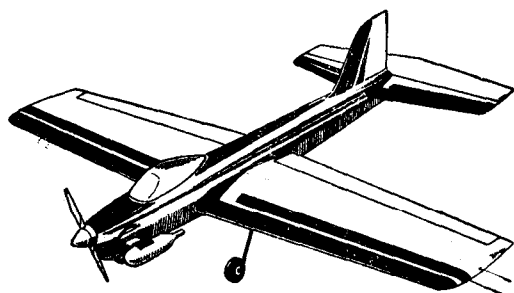


图 1-4 竞赛型线操纵特技模型飞机

第 1 节 线操纵特技模型飞机的飞行原理

由于线操纵模型飞机是用操纵线拉着作圆周飞行的,因此和其他模型飞机不同,当模型飞行时还有操纵线与模型之间的作用力。我们知道作圆周运动的物体要产生离心力(图 1-5),这个离心力的大小决定于物体运动的速度 V 和圆周半径 R ,还和运动物体的质量 m 有关,用公式表示就是:

$$F = m \frac{V^2}{R}$$

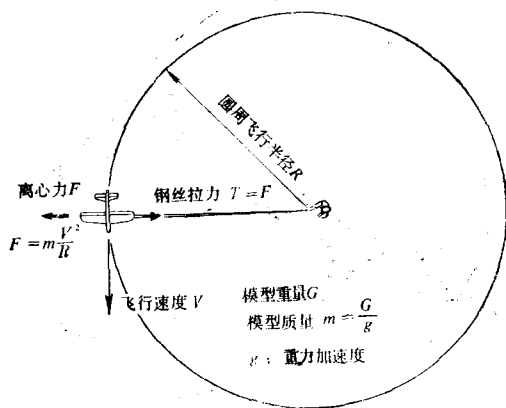


图 1-5 线操纵模型飞机飞行时的离心力

当线操纵模型飞机作水平圆周飞行时,模型的离心力正好和操纵线的拉力 T 相平衡。当模型高飞时,模型的离心力与模型重量的分力 ($G \sin \gamma$) 及操纵线拉力 T 相平衡(图 1-6)。

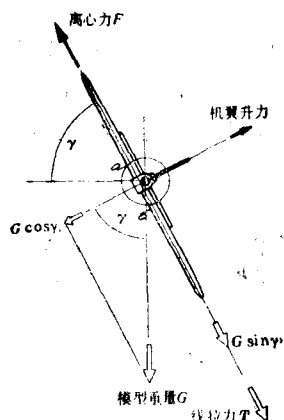


图 1-6 线操纵模型飞机高飞时力的分析

我们再进一步来看一下不同飞行姿态下模型飞机是怎样飞行的:

一、模型作水平飞行

由于模型既不加速又不减速,既不上升又不下降,所以作用在模型上的外力和力矩是平衡的(图 1-7),即有

$$Y_{\text{机翼}} = G + Y_{\text{平尾}}$$

$$P = X$$

$$Y_{\text{机翼}} \cdot l_{\text{机翼}} = Y_{\text{平尾}} \cdot l_{\text{平尾}}$$

式中 P 表示螺旋桨拉力, X 表示模型飞机的阻力, G 是模型的重量, $Y_{\text{机翼}}$ 和 $Y_{\text{平尾}}$ 分别表示机翼和水平尾翼产生的升力。

线操纵特技模型飞机要做正、倒两个方向的动作,因此大多采用对称翼型,整架模型飞机的升阻比 $(Y_{\text{机翼}} + Y_{\text{平尾}})/X$ 在 5~10 之间,因此即使加上操纵线的阻力,维持模型飞机平飞所需的最小拉力只要模型重量的几分之一就足够了。

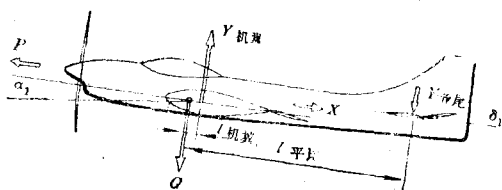


图 1-7 线操纵模型飞机的水平飞行

二、模型作爬高和俯冲飞行

操纵者通过操纵手柄使操纵线一松一紧带动模型飞机升降舵上下偏转，从而使模型作爬高或俯冲飞行。为什么随着模型升降舵的上、下偏转，模型会作俯仰机动飞行呢？我们用图 1-7 和图 1-8 来加以说明：假定图 1-7 表示作水平飞行时模型的迎角为 α_1 ，对应的升降舵上偏角是 δ_1 ，现在通过操纵拉杆，使模型升降舵上偏角增加到 δ_2 ，这时由于模型水平尾翼翼型弯度增加，水平尾翼向下升力增加，如果 $Y_{平尾2} > Y_{平尾1}$ ，因此产生了抬头力矩 M [图 1-8(a)]，改变模型原先的水平飞行

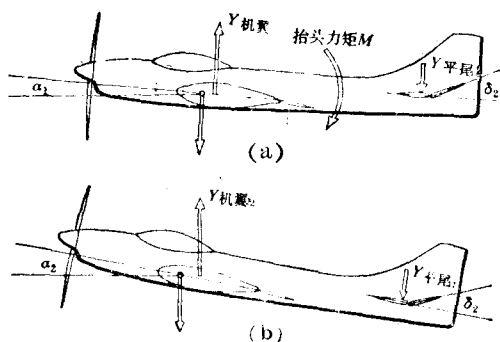


图 1-8 线操纵模型飞机的纵向操纵

状态，使模型抬头，机翼迎角增加，机翼升力大于重量。模型就开始爬升。但模型会不会机头越抬越高而不停止呢？一般只要偏转升降舵角度不大（偏角大到一定程度，模型就开始作筋斗飞行了）就不会抬头不止，而是对应一定的爬升角作爬升飞行。这是因为当模型抬头，迎角和机翼升力增大的同时，机翼升力对重心的低头力矩也增加了，另外随着迎角增加，水平尾翼负迎角减小，水平尾翼产

生向下的升力，由 $Y_{平尾2}$ 减小为 $Y_{平尾3}$ ，因此模型不会继续不停地抬头而是平衡在新的迎角 α_2 上作稳定的爬升飞行 [图 1-8(b)]。同样道理一定的推杆量对应模型一定的俯冲角度。

当模型飞机作稳定爬升飞行时（见图 1-9，为简化起见假定各外力都通过重心），其

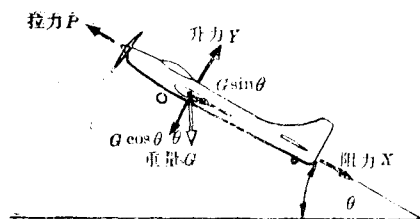


图 1-9 模型爬升时力的平衡

外力平衡关系如下：

$$P = X + G \sin \theta, \quad Y = G \cos \theta$$

其中 θ 是模型的爬升角， Y 为机翼升力， G 为模型重量， P 为螺旋桨拉力， X 为模型阻力。上面两关系式说明，模型飞机在爬升时，螺旋桨拉力除了克服模型的阻力外，还要抵消重量的一部分分力，而升力只需平衡掉重量的一部分。因此对要求能连续作垂直爬升动作（如过顶）的线操纵特技模型飞机，最好要求螺旋桨拉力要大于模型的重量，这是特技模型飞机相对于主要作水平飞行的模型飞机对动力要求显著不同的地方。

当模型作俯冲飞行时，其力的平衡关系

$$P = X - G \sin \theta$$

$$Y = G \cos \theta$$

其中 θ 是模型的俯冲角。上式证明模型在俯冲飞行时，模型重量的分力 $G \sin \theta$ 也起克服阻力的作用，因此当俯冲时模型将加速。当发动机停车后，模型飞机仍能顺利地作下滑飞行。

三、倒飞

线操纵特技模型飞机倒飞时，其飞行原理和正飞时完全一样。不过这时升降舵的偏

转方向及机翼迎角正好和正飞时的方向相反，机翼升力仍向上，平衡模型的重力。模型飞机以和正飞时相反的飞行方向作圆周飞行。

四、筋斗飞行

筋斗飞行是线操纵特技模型飞机的基本

特技动作。筋斗飞行时模型绕横轴作 360° 旋转（图 1-10）。为什么模型飞机可以作 360° 筋斗飞行而不在顶点掉下来呢？我们可以分析一下筋斗飞行时的几个典型情况：

在位置 A：这时模型在筋斗的最低点，螺旋桨拉力 = 模型阻力： $P = X$ ，机翼升力和模型重量加上模型圆周飞行时的离心力平衡；

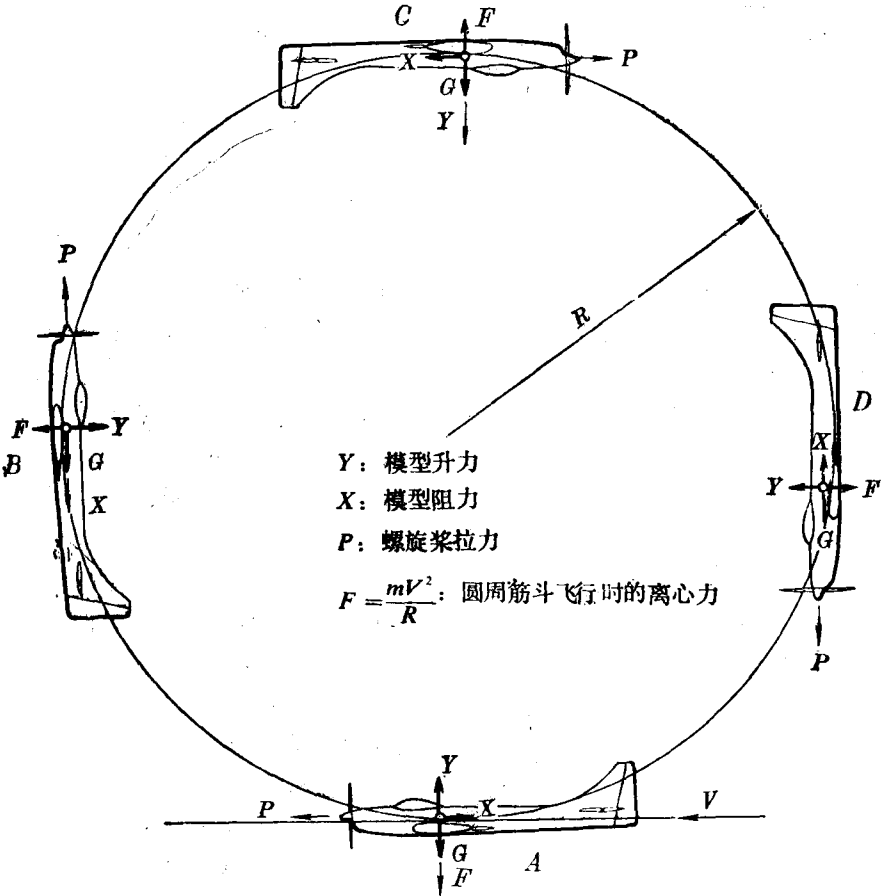


图 1-10 模型飞机的筋斗飞行

$Y = G + m \frac{V^2}{R}$ ，这里 R 是筋斗的半径。同样一架模型在作水平飞行时，机翼升力等于模型重量，而在作筋斗飞行时，在位置 A，虽然模型也呈水平姿态，但机翼升力还需平衡筋斗飞行时的离心力，因此模型在此时比水平飞

行时需要更多的拉杆量。

在位置 B：这时螺旋桨拉力要平衡模型的阻力和重量，即 $P = G + X$ ，因此在螺旋桨转速不变条件下，在此位置模型速度将比水平状态时下降。这时模型的升力仅和模型筋斗飞行时的离心力平衡；

$$Y = m \frac{V^2}{R},$$

在模型速度相同的条件下,筋斗半径越小,离心力就越大,因此要求更大的拉杆量来平衡。

在位置 C : 这时螺旋桨拉力克服模型的阻力, 即: $P = X$ 。

而离心力由模型重量和升力来平衡,

$$\frac{mV^2}{R} = G + Y,$$

因此只要模型飞机在筋斗动作的顶部 C 处有足够的飞行速度和比较小的筋斗半径, 那末模型就有足够大的离心力 F (方向向上) 来克服模型的重量而使模型不至于下掉, 此时机翼升力 Y 的大小, 可以通过操纵升降舵来调整。在飞行速度相同的条件下, 筋斗半径 R 越小, 离心力 F 就越大, 模型就越不容易掉下来。

在位置 D : 这时螺旋桨拉力和模型重量一起使模型加速, 所以模型速度增加。机翼的升力和模型圆周筋斗飞行时的离心力相平衡, 即

$$Y = \frac{mV^2}{R}$$

从以上几个筋斗飞行中的典型飞行状态的分析可以看到, 在筋斗飞行过程中模型的速度是变化的, 对机翼升力的要求也不同, 因此操纵升降舵偏转的杆量也需要变化。机械地保持某一杆量就不能作出完好的筋斗动作。

了解了以上几种飞行状态的飞行原理, 就不难明白其他特技动作的原理了, 譬如方筋斗是正飞、垂直爬升、倒飞、垂直俯冲等分解动作组合而成, 三角筋斗则由平飞、倒飞爬升、倒飞俯冲等分解动作组成, 而倒动作又是正动作反过来做, 对采用对称的机翼、尾翼翼型的特技模型飞机, 其飞行原理也是相同的。

五、风对线操纵模型飞机飞行的影响

从图 1-11 可见当线操纵模型飞机在上风区飞行时, 风对模型产生了附加作用力 Q , 分力 $Q \sin \gamma$ 使模型有上抬的趋势, 分力

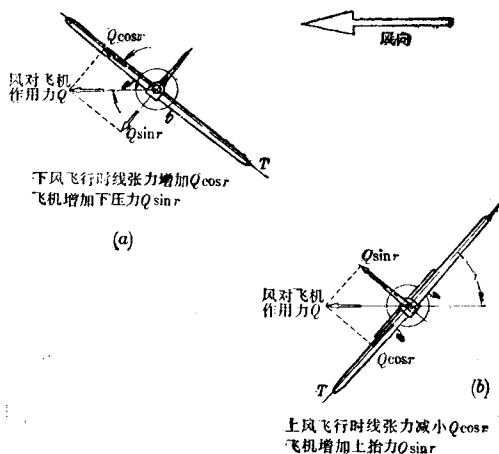


图 1-11 风对线操纵模型飞行的影响

$Q \cos \gamma$ 减少了操纵线的张力 [图 1-11(b)]。当模型在下风区飞行时, 附加作用力 Q 的分力 $Q \cos \gamma$ 使操纵线张力增加, 分力 $Q \sin \gamma$ 使模型有下压的趋势 [图 1-11(a)]。模型面积越大, 翼载荷越小, 飞行速度越小, 受风的这种影响就越大。考虑到风对模型飞行时的影响, 为了防止飞行时出现松线现象, 所以线操纵特技模型飞机几乎所有特技动作都选择在下风区进行。此外不稳定的阵风, 还会使模型在飞行中出现摇晃现象。

六、陀螺力矩对模型飞行的影响

模型飞机飞行时高速旋转的螺旋桨, 就象一个急剧旋转的陀螺那样产生陀螺效应。它一方面使模型飞机象陀螺那样有定轴性, 有利于提高模型的安定性, 不利于模型的操纵性。另一方面当我们操纵升降舵使模型俯仰姿态发生改变时, 就会产生陀螺力矩使模型出现牵连的偏航运动。图 1-12 表示一架水平飞行的模型飞机, 如果操纵推杆使模型突然低头, 这时陀螺效应产生的附加力矩是使模型机头向内偏航 (这就带来模型操纵线张力减小)。相反, 当操纵模型突然抬头时, 陀螺效应产生的附加力矩使模型机头外偏 (增加了线的张力)。陀螺力矩的大小和螺旋桨的转速、螺旋桨的重量和重量分布 (重量越靠

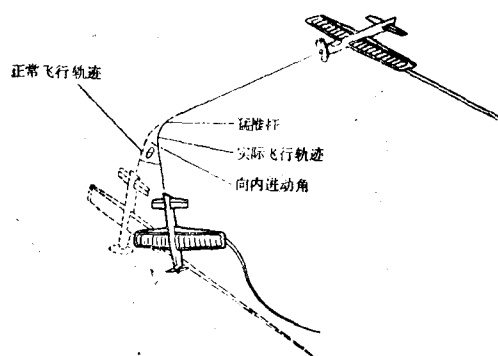


图 1-12 陀螺力矩对模型飞行轨迹的影响

近桨尖,影响越大)以及动作的剧烈程度成比例。陀螺力矩的作用使我们在操纵模型做角动作时,正动作在转角处感到操纵线瞬时特别紧,而倒动作在转角处瞬时线特别松。受陀螺力矩影响特别严重的动作是倒方筋斗(包括方8字动作中的倒方筋斗),三角8字动作中上边两个低头转角处。陀螺力矩的作用还使模型在上述转角处产生航向的摇晃。

为了减小陀螺力矩的影响,一般可以采用轻一些的材料做螺旋桨(如用桦木桨代替精制层板桨),使螺旋桨转速降低一些(如由12000转/分下降到9000转/分),做角动作时,手腕动作不要过猛等。近年来国内外有不少著名运动员采用了直径比两叶桨小得多的三叶桨,用轻的塑料桨代替重的层板桨,这都有利于减小陀螺力矩的影响。

第2节 线操纵特技模型飞机的设计

设计线操纵特技模型飞机时,除了要考虑设计其他模型飞机一样要遇到的某些空气动力和结构问题外,主要要抓住提高模型飞机的机动性和操纵性,确保随时随地能对模型进行有效操纵这两个特点来进行。

一、提高模型飞机的机动性和操纵性

线操纵特技模型飞机的机动性,是指模

型飞机本身的俯仰机动性能,例如筋斗的圆角半径的大小等。操纵性则是指模型飞机随操纵员动作作出反应的速度。机动性和操纵性好的模型飞机,动作灵活而听话。反之,模型的动作则迟钝。

为了提高模型的机动性和操纵性,采取的措施是:

1. 在空气动力布局方面

(1) 配置面积比较大的水平尾翼

模型在作俯仰机动飞行时,俯仰力矩主要靠水平尾翼的升力产生,较大的水平尾翼面积(包括水平安定面和升降舵)就能产生较大的俯仰力矩。所以水平尾翼面积应占机翼面积的15~22%。水平尾翼采用相对厚度7%左右的对称翼型代替平板翼型,也有利于提高水平尾翼的效率。

(2) 提高水平尾翼中升降舵所占面积的比例。升降舵面积小,舵面效应就差。为此,升降舵面积应占水平尾翼面积的40~60%左右。如果升降舵面积过小,想用增大升降舵偏转角(超过 45°)来增加舵面效应,结果反而会因舵面上气流分离,效率下降,阻力增加,使模型骤然减速,造成动作瞬时下沉的现象(图1-13)。

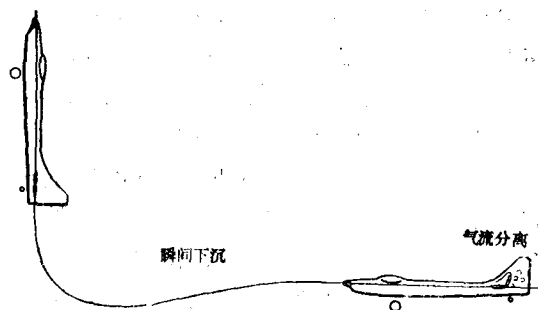


图 1-13 舵面偏角过大产生动作下沉

(3) 减小尾力臂和机头长度

提高俯仰机动性,也就是提高模型飞机机动飞行时的俯仰角加速度,除了增加俯仰力矩外,还应尽量减小模型的俯仰惯性矩。减小模型尾力臂和机头长度,在保证强度和刚

度的前提下,减轻各部分的重量,就能显著地减小模型俯仰转动时的惯性。机头长度往往是由配平全机重心位置的要求来决定的,所以最主要要减轻模型尾部重量和减小尾力臂长度。

(4) 在机翼上采用带襟翼的厚翼型

当模型飞机作典型机动飞行时,力的平衡关系如图 1-14 所示。先略去模型重量的

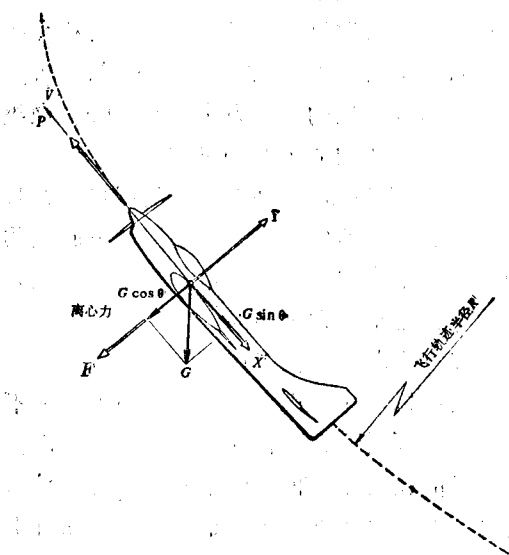


图 1-14 曲线飞行时力的平衡关系

影响来分析影响模型机动飞行时轨迹半径 R 的因素。由图 1-14 可见模型的离心力由机翼的升力 Y 来平衡,即有

$$Y = \frac{G}{g} \cdot \frac{V^2}{R}$$

再将升力的计算公式 $Y = \frac{1}{2} \rho V^2 S C_Y$ 代入上式,经变换后得模型机动飞行的轨迹半径,

$$R = 2G / \rho \cdot g \cdot S \cdot C_Y$$

上式中, G ——重量; g ——重力加速度; V ——飞行速度; ρ ——空气密度; S ——模型机翼面积; C_Y ——机翼翼型的升力系数。

在上式中, ρ 、 g 为常数,因此为提高模型的机动性能(即减小 R),则应减少 G/S , 提

高 C_Y 。线操纵特技模型飞机比其他线操纵模型飞机翼载荷取得小,约在 $15 \sim 30$ 克/(分米)² 左右。1.5 毫升发动机模型总升力面积在 $15 \sim 20$ (分米)² 左右,2.5 毫升发动机模型在 $25 \sim 30$ (分米)² 左右,5 毫升发动机模型在 40 (分米)² 左右,5.8 毫升发动机模型在 45 (分米)² 左右,6.5~7.5 毫升发动机模型在 $50 \sim 60$ (分米)² 左右。减轻模型重量,增加升力面积对减小翼载荷有好处,但减轻重量往往有限制。而机翼面积太大,模型受风的影响增加。所以有效的方法应是提高机翼翼剖面的最大升力系数。

因为线操纵特技模型飞机要完成正倒动作的机会几乎相等,所以广泛采用对称翼型。对称翼型的最大升力系数 (C_{Ymax}) 比中弧线有弯度的不对称翼型要小。但是相对厚度大的对称翼型其最大升力系数大,临界迎角大(图 1-15),对模型强度也有利,因此大多数

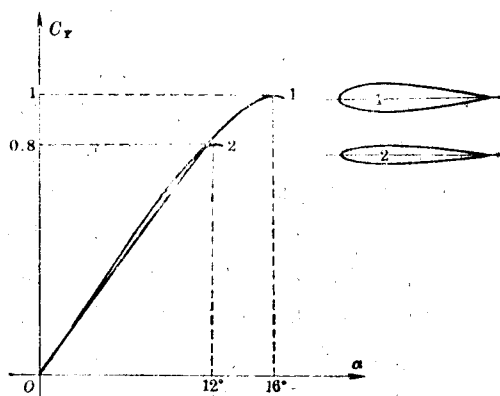


图 1-15 翼型相对厚度与最大升力系数的关系

线操纵特技模型上采用相对厚度 $\bar{c} = 18\%$ 左右的对称翼型。下面是几种不同相对厚度对称翼型,其最大升力系数和临界迎角的数据:

翼型	最大升力系数 C_{Ymax}	临界迎角 α_{kp}
NACA0009	0.85	7°
NACA0012	0.9	8°
NACA0015	1.00	10°
NACA0018	1.15	12°

在线操纵特技模型上最主要的提高机翼剖面最大升力系数的措施就是在机翼上安

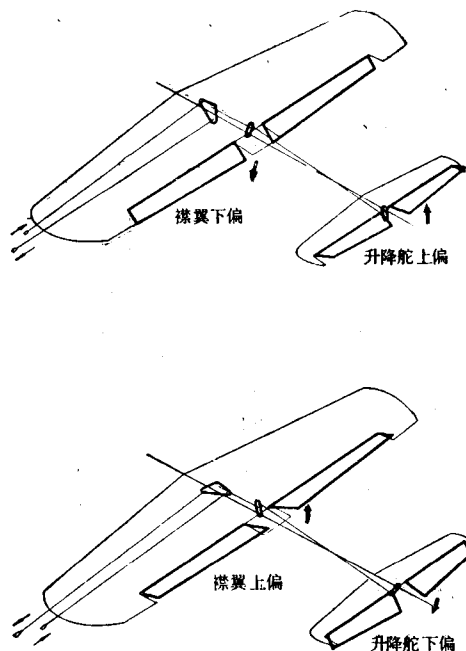


图 1-16 和升降舵连动的襟翼

装和升降舵连动的襟翼(图 1-16)。当操纵升降舵上偏时,襟翼连动向下偏转,当升降舵下偏时,襟翼则连动向上偏转。襟翼偏转时,翼型中弧线产生弯曲,因此提高了翼剖面在相同迎角下的升力系数,见图 1-17。一般襟翼面积占机翼面积的 10~15%,偏角 20~30°。就以上面列出数据的翼型 NACA 0012 为例,当采用襟翼后,其最大升力系数 C_Y 由 0.9 增大到 1.6,而临界迎角仍为 8°左右。

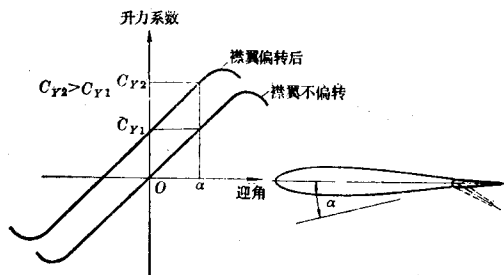


图 1-17 襟翼偏转后相同迎角下的升力系数

在线操纵特技模型飞机机翼和尾翼上常用的翼型见图 1-18。

(5) 采用偏后的重心位置

一般线操纵特技模型的重心位置在平均空气动力弦长度 25%左右的地方。

2. 在动力装置方面

(1) 采用具有较大剩余功率的发动机

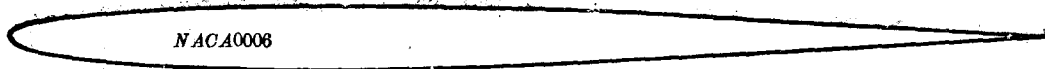
模型飞机在平飞时,发动机的拉力只要能克服平飞时的阻力,就能维持正常的飞行。当模型飞机在垂直上升时(图 1-19),发动机的拉力除了克服模型的阻力,还要平衡模型的重量。而对做过顶动作的模型飞机(图 1-20),过顶飞行时,机翼升力等于零,飞机重量全靠速度产生的离心力来平衡,此时,操纵线张力 T 等于离心力和模型重量之差: $T = F - G$ 。正因为如此,性能良好的线操纵特技模型飞机的发动机功率一般都要使螺旋桨的静拉力大于模型飞机的重量,这对于平飞来说功率肯定是大大过剩的。

(2) 要求发动机工作稳定

发动机工作不稳定,对特技模型来说不光是不能顺利地各项高难度动作,而且随时可能在动作过程中停车而造成“致命”的后果。要使发动机工作稳定,除了发动机本身的性能要稳定外,在使用时可适当提高发动机转速(在 7000~10000 转/分),并适当减小进气管内径,以加快进气流速提高吸油和汽化性能;另外要尽可能将油箱靠近发动机的后部安装,减小机动飞行时的油位差。不论哪种型式的线操纵特技模型飞机,在安装油箱或油箱舱时,应注意保持它们的中心线高度位置和发动机汽化器中心位置在一条直线上,以保证模型在做正倒动作时油位变化相同(图 1-21)。

3. 在保证足够强度和刚性的前提下,尽量减轻模型的重量

减轻重量不仅可以减小模型俯仰转动的惯性(这既可增加模型的操纵性,又可提高模型的安定性)。而且从图 1-10 已知当模型垂直爬升时,发动机拉力要克服阻力和重量,而当垂直俯冲时,拉力和重量都用来克服阻力。



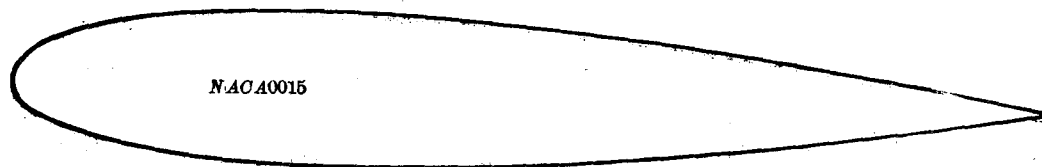
X	0	1.25	2.5	5	7.5	10	15	20	25	30	40	50	60	70	80	90	95	100
$Y_{\perp}$	0	0.95	1.31	1.78	2.10	2.34	2.67	2.87	2.97	3.00	2.9	2.65	2.28	1.83	1.31	0.72	0.40	0
Y_F	0	-0.95	-1.31	-1.78	-2.10	-2.34	-2.67	-2.87	-2.97	-3.00	-2.9	-2.65	-2.28	-1.83	-1.31	-0.72	-0.40	0



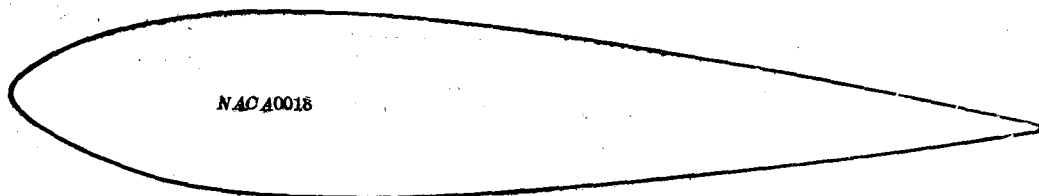
X	0	1.25	2.5	5	7.5	10	15	20	25	30	40	50	60	70	80	90	95	100
$Y_{\perp}$	0	1.30	1.74	2.40	2.70	3.00	3.50	3.80		4.00	4.00	3.70	3.30	2.70	2.00	1.15	0.69	0.20
Y_F	0	-1.30	-1.74	-2.40	-2.70	-3.00	-3.50	-3.80		-4.00	-4.00	-3.70	-3.30	-2.70	-2.00	-1.15	-0.69	-0.20



X	0	1.25	2.5	5.0	7.5	10	15	20	30	40	50	60	70	80	90	95	100
$Y_{\perp}$	0	1.894	2.62	3.56	4.20	4.68	5.35	5.74	6.00	5.80	5.29	4.56	3.66	2.62	1.44	0.81	0.13
Y_F	0	-1.894	-2.62	-3.56	-4.20	-4.68	-5.35	-5.74	-6.00	-5.80	-5.29	-4.56	-3.66	-2.62	-1.44	-0.81	-0.13



X	0	1.25	2.5	5	7.5	10	15	20	25	30	40	50	60	70	80	90	95	100
$Y_{\perp}$	0		3.3	4.4		5.9		7.2		7.5	7.3	6.6	5.7	4.6	3.3	1.8		0
Y_F	0		-3.3	-4.4		-5.9		-7.2		-7.5	-7.3	-6.6	-5.7	-4.6	-3.3	-1.8		0



X	0	1.25	2.5	5	7.5	10	15	20	25	30	40	50	60	70	80	90	95	100
$Y_{\perp}$	0		2.8	4.3		6.3		8.5		9.0	8.6	7.7	6.4	5.1	3.7	2.1		0
Y_F	0		-2.8	-4.3		-6.3		-8.5		-9.0	-8.6	-7.7	-6.4	-5.1	-3.7	-2.1		0

图 1-18 线操纵特技模型飞机常用翼型

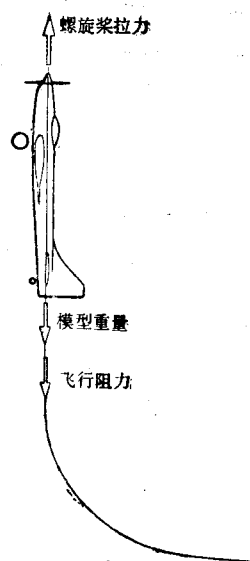


图 1-19 线操纵模型飞机的垂直上升

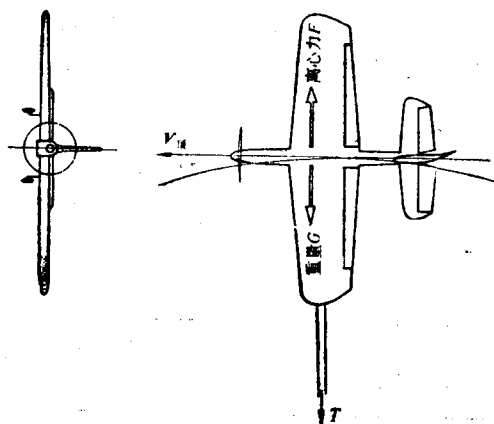


图 1-20 线操纵模型飞机的过顶动作

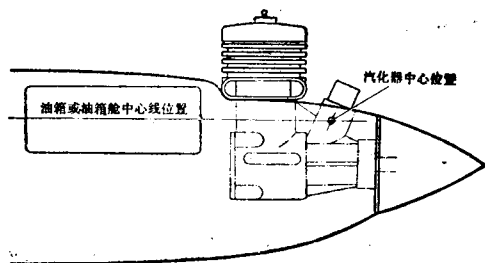


图 1-21 线操纵特技模型飞机的油箱位置
所以轻的模型有利于减小模型飞机爬升和俯

冲时的速度差。对做过顶的模型，轻的模型爬升过程中速度损失少，过顶时离心力克服模型重量后仍有富裕，所以不容易产生松线现象。

同样，采用较细的操纵线，也相当于减轻了模型飞机的重量。

二、确保对模型飞机的有效操纵

线操纵特技模型飞机在作动作时，一旦操纵钢丝张力不足（“松线”），或操纵系统卡阻，都有导致摔机的危险。只要注意减小整个操纵系统的摩擦和配合间隙，并在操纵系统附近的机体结构处留有足够的空隙，就可以有效地防止操纵系统的卡阻现象。于是，如何防止松线就成设计时主要考虑的方面。

假定一架 5.8 毫升发动机的线操纵特技模型飞机，重 1.1 千克，操纵线长 20 米，平飞时每圈飞行时间为 5.5 秒，这时由于离心力的作用，操纵线的张力可达 2.9 千克以上，已是足够大了，但当模型位于头顶位置时，飞行速度由于爬升而显著减小，这时线的张力等于离心力减去重量，显然要比平飞时小得多。

为了保证在任何飞行姿态下，操纵线要张紧，在线操纵特技模型飞机上主要采取以下措施：

1. 发动机轴线安装有 $1 \sim 3^\circ$ 的外拉角，方向舵有 $10 \sim 25^\circ$ 右偏角，操纵系统中三角摇臂轴置于重心之后，操纵线引出机翼的方向略带后掠，这些措施的目的都在使模型产生右偏航力矩（图 1-22）。

2. 机翼内侧（左侧）比外侧（右侧）翼展长度增加 5% 左右，以抵消圆周飞行时外翼速度高于内翼产生的机翼内倾斜现象（图 1-23）。

3. 在模型外翼（右翼）尖处加 20~40 克配重。加翼尖配重有两个作用，一是水平飞行时，翼尖配重平衡了操纵线的重量，因而在水平飞行时使机翼保持水平，另一作用是当模型高飞时，翼尖配重产生的离心力是水平

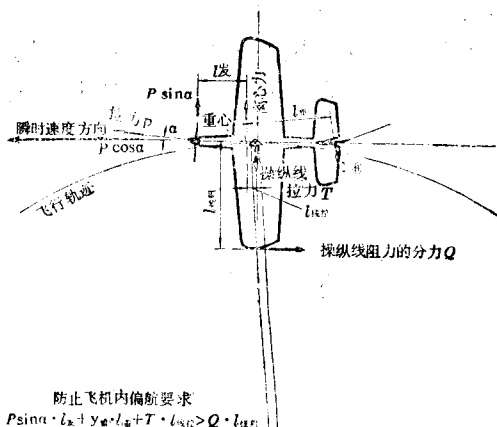


图 1-22 保持操纵线张紧的措施

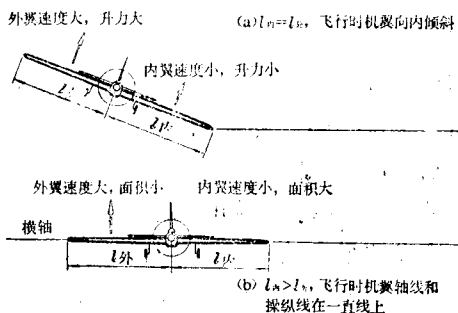
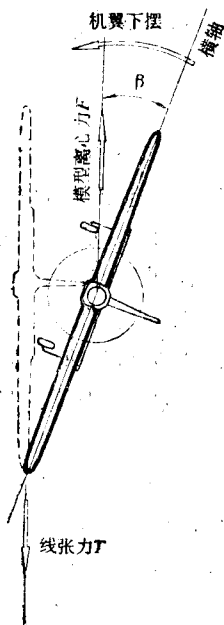
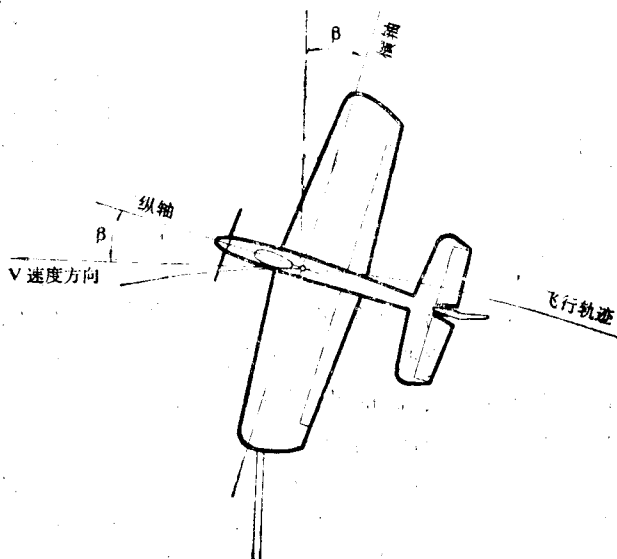


图 1-23 不等长机翼的作用



(b)



(a)

图 1-25 模型飞机的横向摆动

向外的,它对模型重心的力矩使外翼下沉,这有助于模型高飞时保持线的张力(图 1-24)。

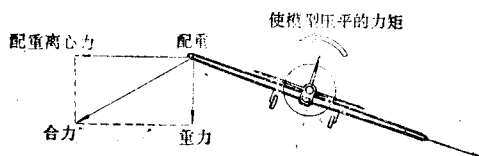


图 1-24 模型外翼配重使操纵线张紧

4. 采用差动襟翼

模型内外襟翼采用不同长度的摇臂分别和三角摇臂相连,内襟翼摇臂比外襟翼摇臂短 2~3 毫米。这样当襟翼偏转时,内襟翼偏角总比外襟翼大 3~5°。差动襟翼有利于在无风天飞行时增加操纵线的张力。

以上几项措施应该配合使用,彼此作用不能取代。各项措施又要注意适量,不可过分。譬如:第 1 项措施过分,平飞时模型机身过分外偏[图 1-25 (a)],当操纵模型猛抬头瞬间,模型绕横轴转动,模型抬头旋转 90°后在离心力 F 、操纵线张力 T 这一对力偶作用

下,机翼产生横向摆动[图 1-25 (b)]。当第 2 项措施过分时,模型平飞时机翼过分向外倾斜[图 1-26 (a)],猛拉杆时,模型仍按原倾

斜的横轴转动,抬头 90° 后[图 1-26 (b)],在离心力和操纵线张力这一对力偶作用下,模型将产生航向摆动。同样,如果外翼尖配重过

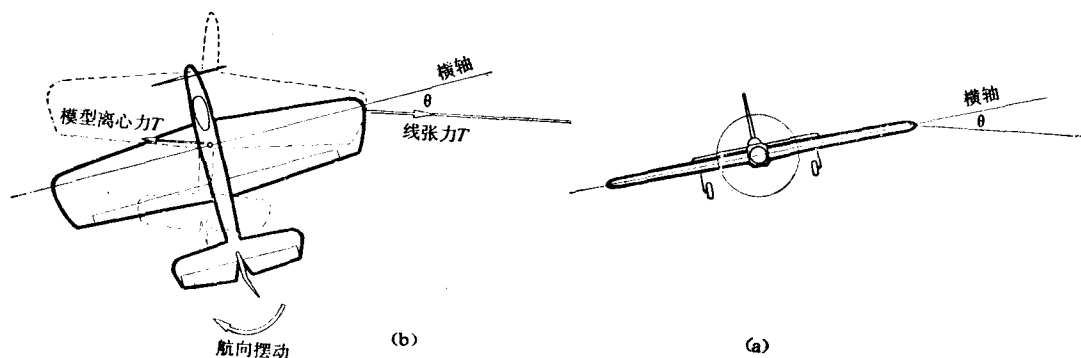


图 1-26 模型飞机的航向摆动

量,模型从平飞猛拉杆进入垂直爬升瞬间,在配重惯性力作用下,模型也会出现航向晃动[图 1-27 (a、b)]。

姿态时速度的变化要小。除了前面已提到要尽量减轻模型的重量外,还必须注意:

1. 选用低螺距螺旋桨

从图 1-28 可以看出低距螺旋桨在平飞时并未发挥最大效率,只有因爬升而减速时,才处于有利迎角下工作,这时产生的拉力最大。而俯冲时桨叶则在负迎角下工作,螺旋桨甚至产生负拉力(阻力)。这样就达到自动调节模型爬升和俯冲速度的目的。根据经验,可以取由水平飞行时的速度决定的理论螺距来制作螺旋桨。

2. 正确选择发动机的工作转速

我们知道二冲程航模发动机其转速和对应的功率关系如图 1-29 所示。发动机发出最大功率时的转速叫最大功率转速。线操纵特技模型飞机在水平飞行时发动机的工作转速应选择得比最大功率转速低得多,并且使发动机工作在富油状态。当模型抬头爬升时,油位降低,发动机转速增加,输出功率增加,螺旋桨拉力增大,因此飞行速度下降很少。同样当模型低头俯冲时,显得更加富油,发动机功率进一步下降,螺旋桨处于较大的负迎角状态,产生负拉力,因此飞行速度比平飞时增加不多,这样就能有效地控制模型在各种飞行姿态时速度变化达到最小。显然要做到这

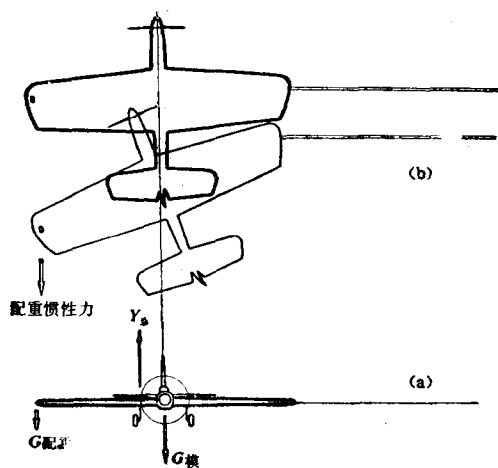


图 1-27 模型飞机的航向晃动

为了确保对模型飞机的有效操纵,控制模型的飞行速度也是极为重要的方面。飞行速度快的线操纵特技模型飞机,抗风性能好,但要求运动员有快的反应和适应能力。从使动作优美、清晰的要求出发,速度宜低些。但速度过低又会在做动作过程中造成操纵线张力不够。对装 6.5 毫升至 7.5 毫升发动机的竞赛模型,以每圈飞行时间 5~5.5 秒为宜。

重要的问题还在于控制模型在各种飞行