



直升模型飞机

苏联 Л·В·穆雷切夫著

目 录

前言.....	1
第一章 直升飞机和直升模型飞机發展的概要.....	2
第二章 直升模型飞机飞行的理論基础.....	8
第三章 直升模型飞机空气动力的計算.....	41
第四章 用橡筋作动力的直升模型飞机.....	48
第五章 帶活塞式發动机的直升模型飞机.....	51
第六章 直升模型飞机旋翼軸套的結構.....	63
第七章 有关設計直升模型飞机的几点意見.....	66
第八章 对航空模型爱好者新手的忠告.....	68
1955年1月1日前艙身直升模型飞机的世界航空 模型紀錄表.....	70

前 言

直升飞机的理想很早就产生了，但是它的发展和改善还只是在近几年来才开始的事。由于它那特殊的飞行性能，人们对这种飞行机器的兴趣继续不断地增长着。直升飞机不需要专门的场地起飞和着陆，能不动地悬浮在空中，能以非常小的速度飞行——所有这些都使得直升飞机便于和其他飞机区分开来。

但是直升飞机还有着许多缺点，这些缺点阻碍着它的广泛发展和使用。

在航空模型爱好者认真地和深思熟虑地进行制作和试验直升模型飞机的过程中，可以解决一些目前许多学者在致力研究的、有关直升飞机制造的问题。

由于直升模型飞机制作上的困难和不太好的飞行成绩到目前为止，直升模型飞机还制作得很少。

有关直升模型飞机的参考资料几乎没有，想制作这种模型的航空模型爱好者往往不能找到这方面的较好的设计材料。

这本小册子的主要内容是叙述直升模型飞机的理论和设计基础，以便帮助航空模型爱好者正确地制作这种模型。

第一章 直升飞机和直升模型

飞机發展的概要

直升飞机的第一个設計草图是偉大的俄罗斯学者米哈依尔·瓦西里耶維奇·罗蒙諾索夫(Михаил Васильевич Ломоносов)提出的“空气动力机”(Аэродромическая Машина)。罗蒙諾索夫不仅提出了設計图，而且在1754年制作了真正的模型，他想利用这个模型把一些不大的气象仪器送到空中去。

模型上安裝着两个向不同方向旋轉的同軸螺旋槳。它的發动机是鐘表發条作的。螺旋槳旋轉时模型即产生升力，但是这种力量要使模型起飞是不够的。当时还没有更輕的、更强大的發动机。当通过滑車將模型吊起並用小砝碼使其平衡的时候，由于螺旋槳的轉动模型將竭力向上升起(图1)。

罗蒙諾索夫提出的設計草图是以他的名字命名的，它被当代的苏联設計师們成功地运用着。

繼罗蒙諾索夫之后，制作直升飞机的試驗越来越經常了。

著名电气技师 А·Н·

罗台金(А·Н·Лодыгин)也热心于直升飞机的工作，並設計

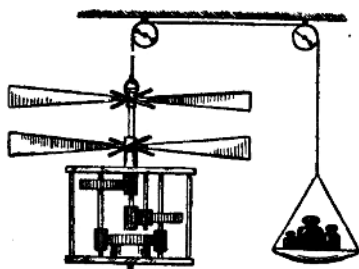


图1 М·В·罗蒙諾索夫設計的直升模型飞机的假想形狀

了帶有電動機的巨大直升飛機。

直升飛機的進一步發展和飛機螺旋槳的發展有着密切的聯繫，許多卓越的俄羅斯學者，如：Д·И·門捷列夫（Д·И·Менделеев）、К·Э·齊奧爾科夫斯基（К·Э·Циолковский）、С·А·切布雷金（С·А·Чаплыгин）都熱心於飛機螺旋槳的理論研究工作。

但是在空氣螺旋槳方面最偉大的工作，無論是飛機的，或者是直升飛機的，是由俄羅斯航空之父 Н·Е·儒考夫斯基（Н·Е·Жуковский）和他的許多學生們完成的。

儒考夫斯基的學生，現在的蘇聯科學院院士 Б·Н·尤里也夫（Б·Н·Юрьев）製造了一架直升飛機，這架直升飛機的設計圖是目前使用得最廣泛的，這個設計圖就用他的名字命名（圖 2）。

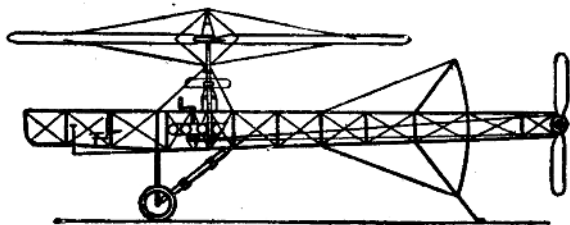


圖 2 Б·Н·尤里也夫設計的直升飛機

在這架直升飛機上最先安裝了自動傾斜裝置，這是一種機械，沒有這種自動傾斜裝置大多數直升飛機的操縱就無法想像。

但是沙皇政府並沒有給當時的俄國發明家以幫助，研究

工作不得不常常停止下来。

偉大的十月社会主义革命使得發展俄国的航空科学有了巨大的可能。远在 1930 年第一架实验用的直升飞机“ЦАГИ-19А”成功地进行了飞行试验，超过世界纪录好几十倍。

在以 Н·Е·儒考夫斯基的名字命名的中央流体动力研究院里进行着有关建立直升飞机理论和制造一系列实验性机器的巨大工作。

И·П·布拉杜辛 (И·П·Братухин) 设计的 ЦАГИ 直升飞机，在发动机功率、载重量和飞行性能方面都远远超过当时所有外国设计的直升飞机。

近年来设计师 М·Л·米里 (М·Л·Миль) 设计的直升飞机得到了巨大的声誉，他所设计的直升飞机在国民经济中广泛地使用着。

直升飞机的發展在某种程度上应归功于旋翼机 (автожир) (图 3)，旋翼机开始成功地飞行要比直升飞机早。

由于旋翼机上有旋翼的存在，就可以来研究一系列和升力的源泉有关的问题。同时，就设计来说，旋翼机比直升飞机更简单，并具有更好的安定性。这也就说明了为什么实用的旋翼机比直升飞机出现得早。设计旋翼机的工作使直升飞机的进一步改善容易了。苏联航空模型爱好者开始从事直升模型飞机的工作是从研究旋翼式模型飞机的飞行着手的。

在偉大衛国战争之前，航空模型爱好者 О·К·卡耶夫斯基 (О·К·Гаевский) 设计并放飞了用橡筋作动力的旋翼式模型飞机。

战后的几年来出现了带活塞式发动机的旋翼式模型飞

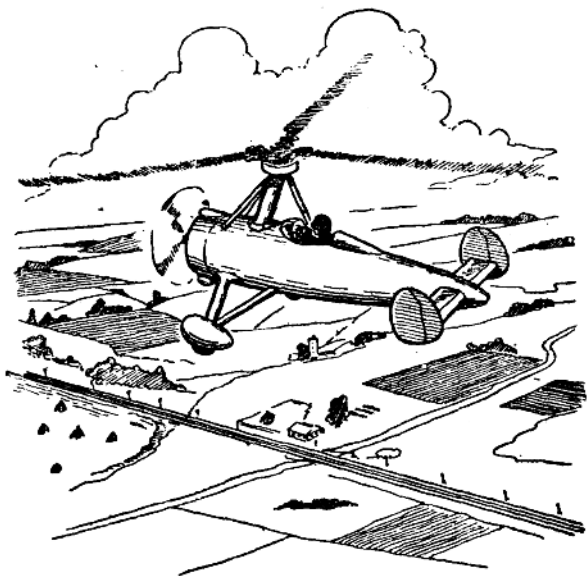


图 3 旋翼机

机。第一架飞行成功的旋翼式模型飞机是线操纵的旋翼机，它是喀山航空学院的航空模型爱好者制作的（图 4）。这架旋翼式模型飞机作了一系列成功的飞行，并于 1949 年创造了世界速度纪录。

在充分地掌握了线操纵旋翼式模型飞机的飞行以后，苏联航空模型爱好者就有可能取得这一级的全部世界速度纪录（隆柯夫——喀山，德伏洛可夫——莫斯科，亚齐柯夫——莫斯科），在提高自由飞的成绩方面也给了巨大的注意。

1949 年，在全苏航空模型竞赛大会上，喀山航空学院航空模型运动员所设计的旋翼式模型飞机升空自由飞行，但在

第二十秒鐘的时候，由于旋翼损坏，模型發生了事故。

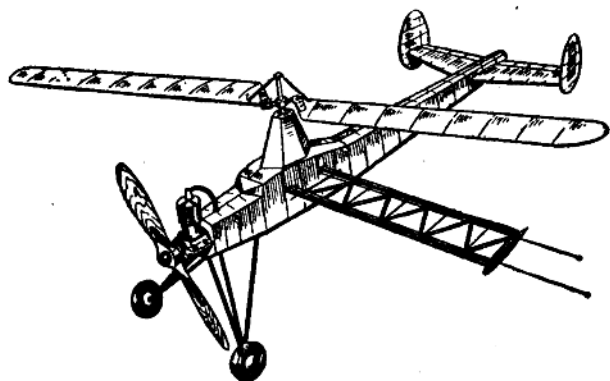


图 4 喀山航空学院学生制作的綫操縱旋翼式模型飞机

1950年，莫斯科的航空模型运动員 IO·呼赫拉实现了这种模型的自由飞行。他設計的旋翼式模型飞机（图 5）創造了世界的留空纪录。

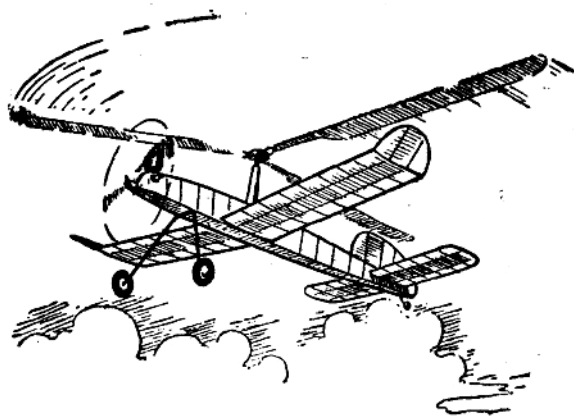


图 5 自由飞旋翼式模型飞机

1952年高尔基城的中学生，现在是航空学院学生B·莫洛佐夫的旋翼式模型飞机取得了飞行距离达22公里的成績。这次飞行被作为新的世界纪录記載了下来。

通过旋翼式模型飞机的研究工作使得苏联的航空模型运动员能够开始掌握更为复杂的模型——直升模型飞机。

最早出現的是用橡筋作为动力的直升模型飞机；这种直升模型飞机能飞好几分钟，並具有良好的安定性。但是用活塞式发动机作动力时，飞行就不是这样容易：这种模型不具备足够的安定性，它們的飞行只能延續几秒钟的时间，最后还發生了事故。

最完善的直升模型飞机是参加1952年全苏竞赛的列宁格勒人庫茲涅佐夫和格魯吉亞的航空模型运动员托巴捷的模型。这些模型有着現代直升飞机的一切主要机械，它們是按照布·尼·尤里也夫設計图制作的。但是他們沒有能取得良好的成績，因为机械經常损坏，模型的安定性不佳。

現在，苏联的航空模型爱好者們热心于直升模型飞机的制作工作，这些模型在設計方面不太复杂，但具有良好的安定性。1954年，在喀山市举行的航空学院航空模型竞赛会上，有許多这样的模型作了表演。

最有趣的是哈尔科夫航空学院学生Л·罗舍夫的直升模型飞机（图6），它作了一系列成功的飞行。

莫斯科航空学院学生M·契欣柯制作的模型具有最簡單的結構，飞行成績也不坏。他最近制作的直升模型飞机在1954年創造了飞行时间的全苏纪录和世界纪录，模型在空中逗留了2分49秒，爬高約600公尺。这架直升模型飞机装

有成批生产的“K-16”型发动机，在发动机上安装有定矩螺旋桨（图7）。

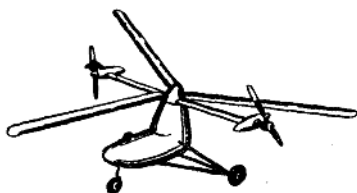


图6 哈尔科夫航空学院学生
Л·罗舍夫设计的直升模型飞机

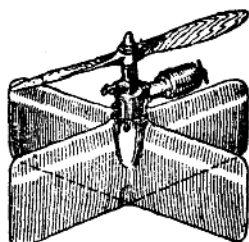


图7 M·契欣柯的直升模
型飞机简图

制作飞行良好的直升模型飞机是极其重要的事情，它可以给苏联的航空科学带来许多好处，所以苏联的航空模型爱好者现在对这种直升模型飞机非常重视。

第二章 直升模型飞机飞行的理论基础

为了学会正确地设计和制作直升模型飞机，必须多少知道一些有关直升模型飞机飞行理论的主要问题。

为了使直升模型飞机能垂直起飞，模型的螺旋桨就应该产生大于模型重量的升力。现在我们来研究，直升模型飞机螺旋桨的升力是怎样产生的。这种螺旋桨称为旋翼，通常是由安装在机身内的发动机带动旋转。直升飞机旋翼的叶片和普通飞机螺旋桨的桨叶有着很大的区别：第一，它们的安装角非常小；第二，它的安装角在叶片全长的距离上很少有改

变，也就是說，直升飞机叶片和普通飞机桨叶不同的地方是扭得很少。

所有这一切都可以把叶片看作是旋轉的長而窄的机翼。它和机翼的差別是：在机翼上，沉着机翼翼展流过的空气速度几乎是不变的，而在叶片上，速度將随着离旋轉軸的距离而加大。

物理学中有着确定旋轉体任何点上空气流速的簡單公式。

$$V = \omega r,$$

式中 V ——速度，公尺/秒；

r ——由旋轉軸到我們要确定速度的一点的距离，公尺；

ω ——旋轉的角速度。

如果已經知道轉速，那末角速度就容易計算出来了

$$\omega = \frac{\pi n}{30},$$

式中 $\pi = 3.14$ ；

n ——每分鐘的轉数。

根据这个公式就容易确定叶片每一部分的速度。

設在直升飞机旋翼的一支叶片上，离旋轉軸距离 r 处取寬度不大的一个小段（图 8）。这个小段已在图中用斜綫註明。因为这个小段的寬度不大，根据离开中心的距离，在这小段上的速度变化就不显著。当这小段寬度不大时，它的速度是固定的，相当于它中間的速度，也就是說，相当于 ωr 。

現在我們来研究这个小段的橫断面（图 9）。叶片的橫

断面，正如大家所知道的，是叶片的翼型，这种翼型和机翼的翼型一样。

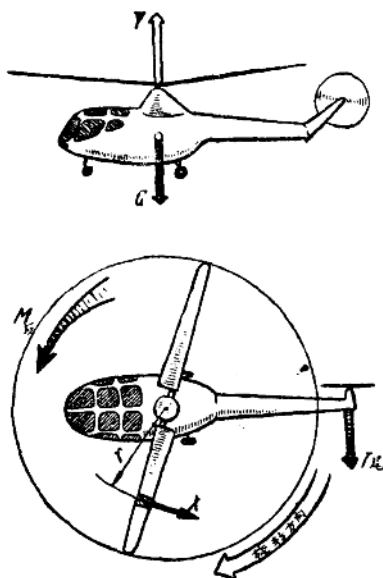


图 8 悬浮时作用在直升飞机上的主要力

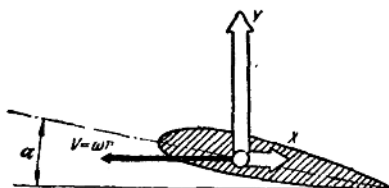


图 9 叶片上一个小段产生升力和阻力的情况

旋轉时，我們取的那一小段將以 $V = \omega r$ 的速度运动，

它和机翼一样；將产生升力 Y 和阻力 X 。

这些力可以用每个航空模型爱好者所知道的空气动力学公式来确定。

$$Y = C_y \rho S \frac{v^2}{2},$$

$$X = C_x \rho S \frac{v^2}{2},$$

式中 Y ——升力，公斤；

X ——阻力，公斤；

C_y ——翼型的升力系数（它决定于翼型的形状和迎角；普通翼型在悬浮状态时， $C_y = 0.7—1.0$ ）；

C_x ——翼型的阻力系数（它取决于翼型的迎角、形状和翼型表面最后加工的质量。对模型飞机来说， C_x 在0.05—0.1的范围内）；

ρ ——空气密度（当高度在25—100公尺时，和在地面差不多， $\rho = 0.125$ ）；

S ——所取小段的面积，平方公尺。

叶片分成若干小段后，可以先计算出每一小段的升力，再将各个小段的升力加在一起，就能够确定一支叶片的升力。用这种方法计算时，我们把叶片划分的小段愈多，得到的结果就愈准确。通常是把叶片划分成10—20个小段。

有多少支叶片，就应该把一支叶片的升力增加多少倍，以便确定整个旋翼的升力，因为在垂直飞行和悬浮时，每支叶片产生的升力是一样的。每一小段的阻力 X 都将妨碍旋翼的旋转，並造成绕旋转轴的阻力矩。

从物理学中可以知道，这个力矩将等于力 X 与它的力臂

(r) 的乘积

$$M = X \cdot r。$$

整个叶片的阻力力矩可以用下面的方法求得。首先計算出叶片各个小段的阻力，然后把每一小段的阻力乘以从这个小段的中心到旋翼旋轉軸的那段距离，这样即可得出各个小段的力矩。將这些力矩加起来，就可以知道叶片的阻力力矩。每支叶片的力矩和叶片数量的乘积就是整个旋翼的力矩，因为这时每一支叶片都将产生相同的阻力力矩。

为了使旋翼以规定的能保证必需升力的轉速旋轉，模型必须具备能产生和旋翼阻力力矩相等的扭轉力矩的發动机。發动机的扭轉力矩可用下面的公式算出。

$$M = \frac{716.2N}{n},$$

式中 M ——力矩，公斤公尺；

N ——發动机軸上的功率，馬力；

n ——發动机的轉速，轉/分。

如果旋翼的直徑大，它的轉速通常要比發动机的轉速小到 8—10 倍，这是由于安裝有特殊的傳动裝置——減速器而取得的。減速器是由几个減低發动机轉速的齒輪組成。

如果在減速器里沒有齒輪和軸承摩擦所引起的損失，那末減速器把轉速減少多少倍，發动机的扭轉力矩就將增大多少倍。但是，因为制造沒有摩擦力的減速器是不可能的，因此扭轉力矩的增加將比較小，因为有一部分功率要用来克服摩擦力。

有減速器时，計算旋翼軸上的力矩的公式如下：

$$M_{\text{旋翼}} = M_{\text{發}} \cdot \frac{n_{\text{發}}}{n_{\text{旋翼}}} \cdot \eta,$$

式中 $M_{\text{旋翼}}$ ——旋翼軸上的力矩；

$M_{\text{發}}$ ——發動機軸上的力矩；

$n_{\text{發}}$ ——發動機轉速，轉/分；

$n_{\text{旋翼}}$ ——旋翼的轉速，轉/分；

η ——減速器有效係數。

航空模型減速器，根據減速器製造的質量和型式，其有效係數 η 的範圍在 0.4—0.7 之間。

可用這個公式進行旋翼的最後計算，也就是說，最後地確定了它的升力和維持它在懸浮狀態而旋轉時所必需的功率。因為這種計算方法要用許多時間，為了進行不很精確的、近似的計算可以使用更快的方法。

懸浮狀態時可以用下述公式立即求得整個旋翼的升力：

$$Y = \sqrt[3]{(33.25\eta_0 \cdot ND)^2},$$

式中 Y ——旋翼的升力，公斤；

N ——傳到旋翼上的功率，馬力；

D ——旋翼直徑，公尺；

η_0 ——旋翼的相對效率。

相對效率 η_0 。取決於葉片的安裝角和寬度、葉片最後加工的質量和翼型的形狀。對直升模型飛機來說相對效率等於 0.3—0.6，但要精確地計算它是困難的，所以這個公式只對近似計算才有用。建議取 η_0 等於 0.4，以便有某些升力富餘。

在設計直升模型飛機的過程中，當最後要確定旋翼上所

有的尺寸时，最好利用下面举出的方法。利用这种方法。計算时需要求得下列数值：

1. $P = \frac{G}{F}$ ——在旋翼所扫过的面积上的單位載荷，
公斤/平方公尺，

这里：

G——直升模型飞机的重量，公斤；

F——旋翼所掠扫过的面积，平方公尺。

叶片末端所划的圆的面积称为旋翼扫过的面积。

从几何学中可知， $F = \pi R^2$ ，这里R——旋翼半径，公尺。

2. $q = \frac{G}{N}$ ——發动机功率的單位載荷，公斤/馬力，

这里：

G——直升模型飞机的重量，公斤；

N——發动机功率，馬力。

3. $\sigma = \frac{S_{\text{叶片}}}{S_{\text{翼扫}}}$ ——旋翼的充填系数，

这里：

$S_{\text{叶片}}$ ——旋翼所有叶片的面积，平方公尺；

$S_{\text{翼扫}}$ ——旋翼所扫过的面积，平方公尺。

4. $\alpha = 1.2\sigma \cdot C_{y0}$ ——旋翼的升力系数，

这里：

C_{y0} ——在整个旋翼所扫过的圓面中的升力系数平均值。

叶片安裝角为 $12-15^\circ$ 的时候，直升模型飞机的 C_{y0} 的最大值为 $0.6-1.0$ 。

現在就能够很快求得垂直起飞时所需的升力、轉速和功

率。

$Y = \alpha \rho D^4 n_s^2$ ——旋翼升力，公斤，

这里：

ρ ——空气密度（在地面 $\rho = 1/8$ ）；

D ——旋翼直径，公尺；

n_s ——旋翼转速，转/秒。

$n = \frac{150\sqrt{P}}{D\sqrt{\alpha}}$ ——旋翼的转速，转/分。

$N = \frac{G\sqrt{P}}{15}$ ——悬浮时必需的功率。

为了实现以每秒 1—1.5 公尺的垂直速度起飞，功率就需要增加 20—30%。

我們已經研究了悬浮状态和垂直起飞状态。但是为了直升模型飞机能以前进速度运动，或者说作水平飞行，对直升模型飞机就还要有所要求。要达到这一点，就要像在飞机上一样，安装一个拉进式螺旋桨，或者，像普通所作的一样，使旋翼的旋转面向前倾斜一些（图10）。当旋翼这样倾斜时，

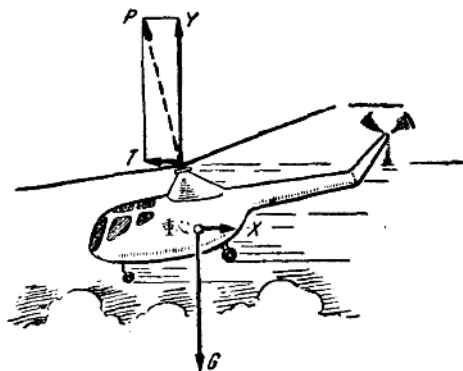


图 10 直升飞机的前进飞行