

大众科学识丛

直升飞机

(苏联) 巴基夫著



科学技术出版社

大众科学译丛之17

直升飞机

[苏联] 巴叶夫著

张同济译

——修订再版——

科学技术出版社

1960年·北京

本書提要

直昇飞机是一种有趣的、具有特殊性能的航空运输工具，我国已投入成批生产。它向我们提出了许多新奇的问题，例如为什么能用螺旋桨代替机翼？自动倾斜器和螺旋桨起些什么作用？坐在直昇飞机里飞行的情景如何？这本书以通俗简明的文字叙述直昇飞机的简史、原理、构造和应用，还简单地介绍了喷气式直昇飞机、以及介于直昇飞机和普通飞机之间的一种航空器——变型飞机。

Л. К. БАЕВ

ВЕРТОЛЕТ

ГОСТЕХИЗДАТ, 1956

直 昇 飞 机

巴 叶 大 著

張 同 濟 譯

*

科学技术出版社出版

北京市西便門外大街

北京市書刊出版業營業許可證出字第 091 号

北京市通州区印刷厂印刷

新华書店科技發行所發行 各地新华書店經售

*

开本: $787 \times 1092^{1/32}$ 印张: $1^{11}/_{16}$ 字数: 31,000

1960 年 1 月第 1 版 1960 年 1 月第 1 次印刷

印数: 1,555

总号: 998 統一書号: 15051 144

定价: (9) 1 角 8 分

緒 言

現在我們的生活如果沒有航空是很难想像的。現代的快速飞机能把人員、各种重要的貨物以及不能長久儲存的产品等迅速地運送到很远的地方去，但是，只靠这种飞机还不能完全解决现实生活中的一系列任务。

飞机是速度很高的航空器。高速度是它的不可缺少的性能。它和气球不同，它不能中断自己的急进运动，“悬”在空中不动。飞机在起飞时必须先在跑道上滑跑数百米的距离。

但是，許多国民經济部門却需要另外一种在起飞和降落时不必滑跑的航空器，这种航空器要能慢慢地飞行，甚至能够停住，“悬”在离地面各种不同高度的上空。例如为了同艰險的山区建立交通联络，就一定要用这种航空器，因为普通的飞机是不能在这种地方降落和起飞的。以往把这种航空器叫做旋翼机，現在把它叫做直昇飞机①。

直昇飞机究竟是一种什么样的航空器？它怎样飞，为什么能够飞，它有什么用处？

这本书就要談談这个问题。

● 为了免得和普通的飞机混淆起見，也許还是把它叫做“直昇飞行器”或“直昇机”的好。——譯者

目 次

緒 言

直昇飞机簡史.....	1
昇力.....	3
用螺旋槳代替机翼.....	10
直昇飞机在空中.....	14
直昇飞机的構造.....	17
直昇飞机的操縱.....	21
苏联的直昇飞机.....	32
直昇飞机在国民經济中的应用.....	37
噴气式直昇飞机.....	44
变型飞机.....	47
結束語.....	51

直昇飞机簡史

直昇飞机的想法差不多是利用比空气重的器械来飞行的历史上最早的想法。意大利的天才学者里奥納多·达·芬奇在15世紀末所作的圖画就可以証明这一点。他在这些画上面画着比空气重的航空器，它装有一个在水平面上旋轉的螺旋槳。偉大的俄国科学家罗蒙諾索夫是世界上試制旋翼航空器的最早一个人。罗蒙諾索夫很注意研究大气，这件事促使他想去制造一种机器，这种机器能够把他所發明的自动記录气象^①的仪器帶到高空去。

那时（18世紀50年代）除了飞鳥和昆虫以外，誰也不能昇到空中去。罗蒙諾索夫坚决反对盲目地模仿鳥类的飞行。他走了另外一条道路。

这位科学家發明了一种構造很簡單的裝置，它是利用旋轉来产生昇力的。

1754年，罗蒙諾索夫在彼得堡科学院會議上宣布了他所發明的机器。科学院的記录員曾將这事記录如下：

“顧問兼教授罗蒙諾索夫先生在會議上介紹了一种能將溫度計及其他小型气象測量仪器帶到空中去的小机器，並提出了該机器的圖样；因此，出席會議的各位先生研究了一下他所介紹的机器后，就決定报請科学院办公厅准許在發明者本人的監督下，按照附圖試制所述的机器……”

不久，按照罗蒙諾索夫的圖样制成了这机器的活动模型。1754年7月1日，这位科学家就在科学院各位院士面前表演了

^① 气象学是研究地球大气、它的結構和性質以及在大气中所进行的各种过程的科学。

自己所發明的機器。

“可敬的顧問羅蒙諾索夫講解了他所發明的、被他叫做騰空機的機器，”——在雜事錄中這樣記載着。“這架機器掛在用兩個滑車拉着的繩子上，由掛在另外一頭的配重來保持平衡，只要彈簧一上緊，機器就開始上昇，這表示機器能夠達到所希望的目的。但是，發明人認為，如果增加彈簧的力量、增加各對機翼間的距離，而且裝彈簧的盒子改用木料來做，使重量減輕，那麼機器的效力將會更加增大。這一點，他（羅蒙諾索夫）答應設法加以改進。”

當時一般人還不懂得將螺旋槳用作推動運輸機器的裝置；就是水上運輸中，也還沒有採用這種推進器^①。羅蒙諾索夫是歷史上試用螺旋槳來保證比空氣重的航空器在空中運動的第一個人。羅蒙諾索夫的航空器模型是現代直昇飛機的最初雛形。

在上世紀的末期，空氣動力學^②方面特別是在航空螺旋槳方面，進行了大量的研究。

在20世紀10年代，研究和制成了輕型和重型的汽油發動機，出現了最初的飛機。這對從事研究直昇飛機問題的科學家、發明家和設計家，幫助很大。

俄國科學家尤里葉夫的研究工作對直昇飛機構造的發展具有重大的意義。在他的領導下，備成了一架直昇飛機，它的發動機功率是25—30馬力，不帶駕駛員的總重量為202.5公斤。

① 把發動機的功轉變為運輸工具在陸上、水上、空中和真空中的前進運動的專門裝置，叫做推進器。如螺旋槳式飛機、直昇飛機、飛艇、滑翔艇和飛行器等的推進器是航空螺旋槳；船舶的推進器是船用螺旋推進器；汽車和機車等等的推進器是輪子；火箭或噴氣式飛機的推進器是從噴氣發動機的噴口中噴出的氣流。

② 空氣動力學是研究空氣（和其他氣體）的運動和它流過固體時所起的動力作用的科學。

这架直昇飞机曾于1912年春在莫斯科第二届国际航空展览会上展出，尤里叶夫因而获得了金质奖章。

不久就举行了直昇飞机的初次试飞。遗憾的是，一个重要的零件——旋翼的主轴——偶然损坏了。以后，由于发明者资金缺乏，而沙皇政府对这种事业又不肯拨款支援，这个直昇飞机的试飞工作终于未能继续进行。

昇 力

要想懂得为什么直昇飞机能够飞，必须知道什么是总空气动力和昇力。

我们知道，风的速度愈大，风的力量也就愈大。速度接近每秒两米的微风只能使上升的烟柱稍微倾斜，可是速度为每秒15米的风就能使树木剧烈地摇动，妨碍人们的行走。平常往往把“风速”说成“风力”，并不是偶然的。

即使在没有一点风的时候，也就是空气并没有沿地面移动的时候，我们也时常讲到风和风力。例如，甚至在十分平静的天气，如果你坐在迅速前进的敞篷汽车上，那么你也会感到有强烈的风向你迎面吹过来。

不论是物体在空气中运动或是空气流过物体，这时迎面空气所加在物体上的力，就叫做总空气动力。

如果运动的物体具有对称的形状，并且它的对称轴的方向与气流一致，则总空气动力的作用方向也将顺着气流迎头朝向物体的“正面”。

如果物体不对称，或它的轴线不与气流方向一致，则总空气动力将与气流构成一个角度。

拿飞机的飞行来说，这一现象可以看作是加在飞机上的下述三种力的作用的结果：总空气动力、飞机的飞行重量(重力)

和拉力(圖1)。飞机作水平等速飞行时,这三种力是相互平衡的。为了明白这三种力是怎样平衡的,最好是先将总空气动力分成两种另外的力:与飞行方向相反的正向阻力及与飞行方向垂直的升力。这时正向阻力等于航空螺旋桨或喷气式发动机所产生的拉力,而升力则等于飞机的飞行重量。

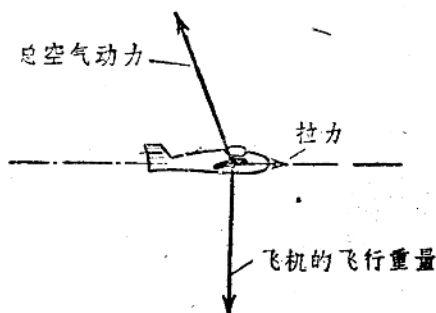


圖 1 作用在飞行着的飞机上的力。

于是,总空气动力的两个分力中,一个分力(正向阻力)顺着气流轴线方向而迎向物体,另一个分力(升力)则与气流垂直而向上。

我們每走一步路都要碰到正向阻力,也就是妨碍物体在空气中运动的那种阻力。例如,火车在迅速行驶时,如果你向车厢的窗外伸出一只手,那么就会立刻感到迎面而来的气流的压力。

用延时跳伞的例子也可以说明总空气动力的作用。

跳伞员跳出了飞机以后,有一段时间是不打开伞而自由落下的,也就是说只在重力作用下运动着。大家知道,物体自由降落的速度是不断增加的,但速度的增加并不是没有止境。现在已经确知,跳伞员不打开伞而自由降落的加速度只继续到第

11 秒鐘为止，第 11 秒鐘以后速度就不再改变了。例如，跳傘員在 1.5—2 公里的高度跳离飞机时，1 秒鐘后降落速度約为每秒 10 米，而第 3 秒鐘末的速度为每秒 27 米。第 11 秒鐘的速度大約达到每秒 50 米，以后速度就不再增加了。到这时为止，跳傘員大概已經降落了 380 米。跳傘員的降落速度之所以受到限制，是因为有兩個力同时对他起着作用的緣故。一个力迫使跳傘員以逐漸增加的速度朝向地面运动，这就是重力，也就是他本身的重量。另外一个力則是空气对他的运动的阻力。随着降落速度的增加，空气阻力也迅速增加；降落速度愈大，阻力也愈大。在第 11 秒鐘时，空气阻力的大小已經与跳傘員的重量一样，于是跳傘員的降落速度就不会再改变了。此后跳傘員的繼續降落並不是由于他体重的作用（因为他好像已被空气阻力平衡了），而是由于慣性作用。

現在，降落傘在自由降落着的跳傘員的头頂上張开了。跳傘員这时受到劇烈的振動，这是因为張开的降落傘受到空气急劇的阻擋，使下降速度一下子就減少了大約十分之九的緣故。由于空气拼命在阻止降落傘的运动，張开了傘以后跳傘員的降落便慢下来了。

我們已經知道，总空气动力对在空气中运动的物体产生阻力，阻碍物体的运动。可是这种力是从哪里来的呢？

空气阻力的产生有兩個原因。一个原因是运动物体前后的压力差。迎面气流在物体前面造成很大的压力，而在后面則造成稀薄現象，結果便产生一部分正面阻力，叫做压差阻力。气流吹向固定不动的物体时，也將發生同样的現象。另一个原因是物体表面同空气發生摩擦。

如同雪粒摩擦雪橇板一样，空气的微粒也碰触和“摩擦”着运动物体的表面。物体帶动粘附在它表面的空气微粒，而后

者又帶動相鄰的各層空氣。因此，物體必須克服阻碍它運動的空氣微粒的相互聯結力。物體在這方面要消耗掉自己的若干能量。

實驗證明，運動物體的正面阻力決定於三個因素，即物體朝向運動方向的正面面積、物體的運動速度和物體的形狀（在橫截面積相同的情況下）。物體在空氣中運動時的正面阻力定律正是說明這一點。根據這個定律，正面阻力與物體最大橫截面積和物體速度的平方成正比，並與物體的形狀有關^①。

試在烈風中迎風拿着一塊紙板。這時，風力和紙板面積越大，就越難拿住紙板。但是只要你將紙板轉過來，側面對着風，那麼馬上就會感到阻力小了很多倍。

經驗證明，輪廓平滑的物體在運動時受到的阻力比粗糙多角的物體受到的阻力小。這是很自然的，因為這樣的物體在移動時，對周圍空氣所引起的擾動比表面粗糙多角的物體所引起的擾動小得多。所以現代的一切快速運輸工具，如飛機、小汽車和滑翔艇等，都具有圓滑的外形。

橫截面積相等而受到的阻力最小的物體叫做流綫體。現在已經知道，伸長的水滴形的物體具有最小的阻力。這種物體在運動時，在它後面幾乎沒有渦流，而產生渦流是須要消耗物體的一部分能量的。

現在我們來看看空氣壓力在機翼上的分布情形。

假設在機翼上下兩面都鑽了小孔，在小孔里面接上細管，細管的另外一端接上微壓計^②甲和乙，微壓計里裝的是某一種液體（水銀和水等）。圖2上面的是機翼的剖面，也就是通常所謂的翼型。當飛機停在地面，即飛機對其周圍空氣不作相對

① 正面阻力也與空氣密度有關，空氣密度隨着高度而減小。

② 微壓計是一種測量微小壓力的儀器。

运动时，翼面上各处的空气压力都等于大气压力，这可以从甲、乙两个微压计的液面高度相等而得到证明。

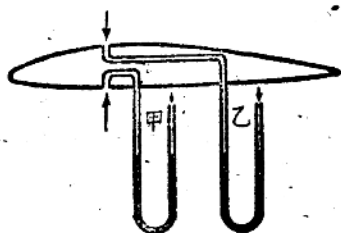


图 2 固定不动的机翼面上的压力各处都等于大气压。

现在再来看看飞行中的飞机（图 3）。这时迎面气流以很大的速度流过机翼，微压计甲和乙的液面高度就不相同。根据液面高低可以

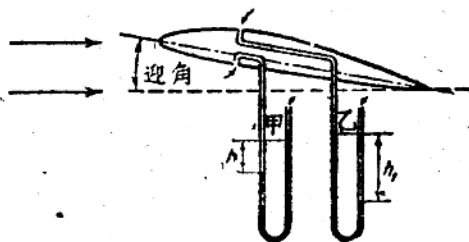


图 3 机翼运动时，翼下的压力大于大气压，翼上的压力小于大气压。

看出，机翼下表面受到空气的剩余压力，即大于大气压力的压力，而机翼上表面因空气稀薄，所受压力低于大气压力。

微压计甲中两液面的高度差 h 表明机翼下表面压力和大气压力之差。这个液面高度差说明，机翼下表面上具有剩余压力（大于大气压力的压力）。在微压计乙中两液面的高度差 h_1 则说明机翼上方形成空气稀薄现象。

飞机飞行时机翼表面受到的压力为什么会不同呢？

凡是与空气接触的物体都会受到空气的压力。这压力在每一点上都与物体表面垂直。这种压力通称为静压力，或简称为压力。大家都知道的大气压力就是一种静压力。

但是並非任何压力都是靜压力。18世紀傑出的科學家、彼德堡科學院院士伯努利所發現的一個空氣動力學的基本定律確定了气流中压力和速度之間的一定关系。这个定律說明，空氣运动的速度減小时，压力就会增大，速度增大时，压力就会減小。

机翼的上表面通常比下表面凸出一些。但是，气流是連續的，在同一時間开始流向机翼上下兩面的空氣微粒不能在半路上停住或者落后，它們一定要在机翼后面匯合。因此，为了使上下气流匯合，沿机翼上表面流过的空氣微粒不得不比沿下表面流过的空氣微粒通过更長的路程。于是，翼面上的空氣微粒便获得不同的速度。按照伯努利定律，气流的速度差会引起机翼上下的压力差。例如，如果流过机翼的气流的压力差为大气压力的1—2%（或每一平方厘米翼面上的压力为約20克），則当机翼表面积为10平方米时，机翼上的总压力就等于2吨。

这一个空氣压力朝哪个方向作用呢？

整个作用在机翼上的压力可以用一个合力来代替，这个合力的方向和数值决定于机翼的所謂迎角。机翼的位置一般都与迎面气流成一夾角，这个夾角就叫做迎角。迎角越大，机翼下面的空氣就越是受到阻滯，而机翼上面的空氣微粒通过的路程也就越長。为了使上下气流能在机翼后方匯合，空氣微粒必須具有不同的速度。机翼上面的空氣微粒的速度增大，而翼下的速度則減小；換句話說，翼上和翼下的气流速度差增大了。所以，随着迎角的增大，机翼上的压力差也增大。根据翼型和飞行条件的不同，迎角的数值可以是零至15—20度（迎角如再增大，升力就会迅速減小）。随着迎角的增大，总空氣动力不仅急剧增加，而且还稍微向后傾斜（圖4）。

在航空發展的初期，發明家和工程師在制造比空氣重的航

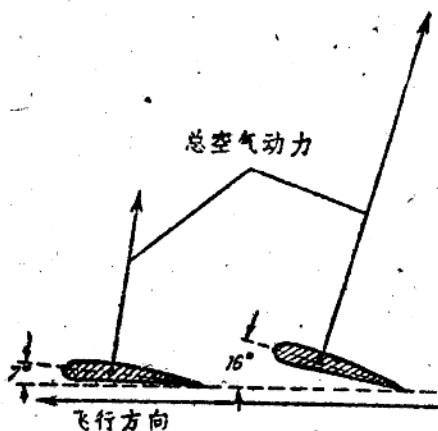


图 4 机翼迎角不同时的总空气动力。

空器时，沒有理論和計算依据，只憑猜測。甚至在第一次世界大戰時，航空虽已獲得普遍公認，但是飛機的設計還是缺乏严整的理論依据。

机翼理論是俄国人第一个研究出来的。儒柯夫斯基在这个理論的創立上起了主导的作用。他曾說过，飞机是与其他任何机器一样的机器，它可以根据科学和技术的数据、根据已由科学家發明和正在改进的公式来計算和制造。我們需要学会比其他任何国家更好地計算和制造航空器。

儒柯夫斯基的理論計算有助于了解机翼产生升力的原理。原来，升力产生的实际情形是更为复杂的。問題在于，飞机飞行时机翼产生空气旋渦，这个旋渦和流过机翼的空气配合起来便产生一个圍繞机翼的附加环流。这环流使机翼上方的气流速度增大，机翼下方的气流速度减小。翼上环流的方向与机翼迎面气流的方向一致，所以这里气流的速度等于两个速度之和。

翼下的情形則相反，环流与流过机翼的气流方向正相反，所以这里气流的速度等于两个速度之差。由此可見，飞机飞行时，机翼下面的空气受到的阻滯更加厉害，而机翼上方的空气則流动更快。既然上下的速度差增大了，則根据伯努利定律，产生机翼升力的剩余压力也必然会增大。

用螺旋槳代替机翼

机翼和机身的联結是固定不动的，然而能否使机翼做成不管机身而单独活动呢？我們知道鳥类和昆虫是怎样飞行的。鳥类的上下鼓动的翅膀，昆虫的迅速振动的小翅，都曾經是撲翼机（裝有活动机翼的比空气重的航空器）設計师們所模仿的标本。

这种向自然界模仿的尝试並沒有成功，在科学和技术的全部历史上从未制造成功一架結構比較可靠的撲翼机。但是裝有活动机翼的航空器畢竟制造出来了。

有一种有趣的兒童玩具，名叫“竹蜻蜓”，它是能够飞行的螺旋槳。竹蜻蜓是用不大的木片（或竹片——譯者）削成的双叶小螺旋槳，中間裝有一根小的圓棒。把圓棒放在手中一搓，使螺旋槳迅速旋轉，放手以后，竹蜻蜓就会很快地向上飞去。

另外还有一种类似的玩具，它是一个用塑膠制成的四叶螺旋槳，它有一根短軸帶兩枚銷釘，銷釘插在特制的發条裝置的槽孔里。我們將插在这个裝置中的螺旋槳轉动几下，擰紧發条，然后按下發条裝置下部的按鈕，使發条松开，这时發条就使螺旋槳迅速旋轉，于是螺旋槳就滑出槽孔，飞后上方，能飞数米高。

这一玩具是旋翼机的活动模型，試驗这种玩具是極有啓發的。我們仔細来看这个玩具，就会發覺螺旋槳的叶片並不在一

个平面上，而是稍微扭轉的。不难了解，螺旋槳旋轉时，槳叶会将空气向下排斥。这时每一个槳叶的作用就和机翼一样，它将空气推开；而空气也反过来排斥槳叶，把螺旋槳向上推。換句話說，每一个旋轉着的槳叶，都和机翼一样，受到昇力的作用，这一昇力比螺旋槳本身的重量大得多，因此就使它上昇。

由此可見，即使航空器本身处于靜止状态而使机翼运动起来，也会产生总空气动力，因而也就产生昇力。产生昇力的这一个原理，就被应用在直昇飞机上。在直昇飞机上，机翼已被旋轉的螺旋槳（旋翼）所代替。

直昇飞机螺旋槳的槳叶的剖面几乎与机翼的翼型沒有区别（圖 5 左）。因此，直昇飞机螺旋槳（旋翼）也就是两个或三个“机翼”（有时是四个，要看槳叶的数目而定）。这些“机翼”在水平面上繞軸旋轉（圖 5 右）。

我們知道，普通飞机上的螺旋槳在垂直面上旋轉时会产生拉力，拉力的方向与飞机的运动（前进）方向相同，並且当飞

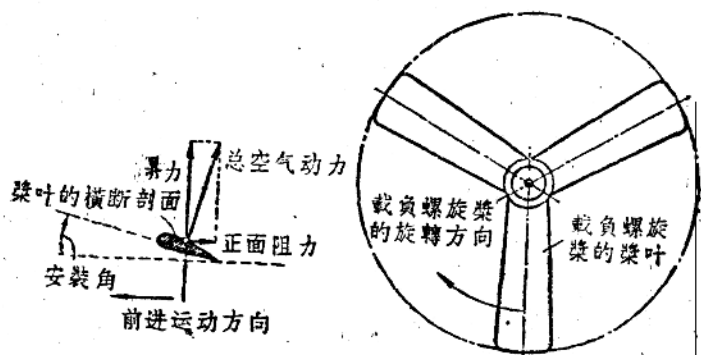


圖 5 左——螺旋槳槳叶的橫斷剖面和作用在槳叶上的力，
右——直昇飞机的三叶載負螺旋槳（俯視圖）。

机作等速水平飞行时，拉力与正面阻力平衡。

但是，也可使螺旋桨的拉力获得另外一种方向。如果使螺旋桨在水平面上旋转，则其拉力的方向将是垂直向上。直昇飞机上的情形就正是这样。直昇飞机的载负螺旋桨在水平面上旋转时，便产生足以平衡整个飞机重量的升力。不论直昇飞机是在前进或是“悬”在空中的某一位置上，载负螺旋桨旋转时产生的拉力都能把直昇飞机支持在空中。

直昇飞机的载负螺旋桨是由三、四片桨叶和一个桨毂构成。此外，还有双叶螺旋桨。但是载负螺旋桨的特点不仅表现在桨叶的数目上，而且也表现在桨叶的直径、宽度和安装角上面。

如果把桨叶沿横断面切开，我们就会看到，它的剖面形状同机翼的剖面一样（图5左）。桨叶的剖面弦线和螺旋桨的旋转面之间的夹角称为桨叶剖面的安装角。

为了了解载负螺旋桨的拉力是如何产生的，我们可把每一桨叶当作一个不大的机翼看待。螺旋桨旋转时，各桨叶就在空中运动，于是各个桨叶上都产生总空气动力。也就是说，载负螺旋桨的桨叶在旋转的时候，就像普通飞机飞行时的机翼一样，将受到空气的阻力。为了克服这一阻力，就需要消耗发动机的功率（图6）。

载负螺旋桨的拉力的大小究竟是由什么来决定的呢？

我们知道，机翼面积、迎角和飞行速度越大，机翼上的总空气动力也就越大。根据同样的道理，桨叶面积、安装角和旋转速度越大，载负螺旋桨上的总空气动力也就越大。所以，在大型直昇飞机上采用大直径的螺旋桨，装有大面积的桨叶。

当载负螺旋桨的升力与直昇飞机的飞行重量完全平衡时，直昇飞机便“悬”在空中，不上昇也不下降。只要一减小螺旋桨