

高等学校教学用书

# 空氣螺旋槳

上 册

В. Л. АЛЕКСАНДРОВ 著  
王適存 王培生 彭炎午譯

高等教育出版社

校教學用書



# 空 氣 螺 旋 槳

上 冊

B. Л. 亞歷山大洛夫著  
王適存 王培生 彭炎午譯

高等教育出版社

本書係根據蘇聯國立國防工業出版社 (Государственное издательство оборонной промышленности) 出版的亞歷山大洛夫 (В. Л. Александров) 所著 “空氣螺旋槳” (Воздушные винты) 1951 年版譯出。原書經蘇聯高等教育部審定為航空學院教學參考書；也可供給飛機製造廠和航空發動機製造廠設計部門的工程技術人員作為設計螺旋槳的參考之用。

全書包括六個部份：螺旋槳的基本概念，螺旋槳的構造，螺旋槳空氣動力學，螺旋槳動力學，螺旋槳的製造，以及螺旋槳的使用。

中譯本分上下兩冊出版。

參加本書翻譯工作的有華東航空學院王適存、王培生、彭炎午等三位同志，參加校訂工作的為范緒箕同志。

## 空 氣 螺 旋 槳

上 冊

統一書號 15010.367

亞 歷 山 大 洛 夫 著

王 適 存 等 譯

高 等 教 育 出 版 社 出 版

北 京 琉 璃 廠 一 七 〇 號

(北京市書刊出版業營業許可證出字第〇五四號)

新 華 書 店 總 經 售

天 津 印 刷 一 廠 印

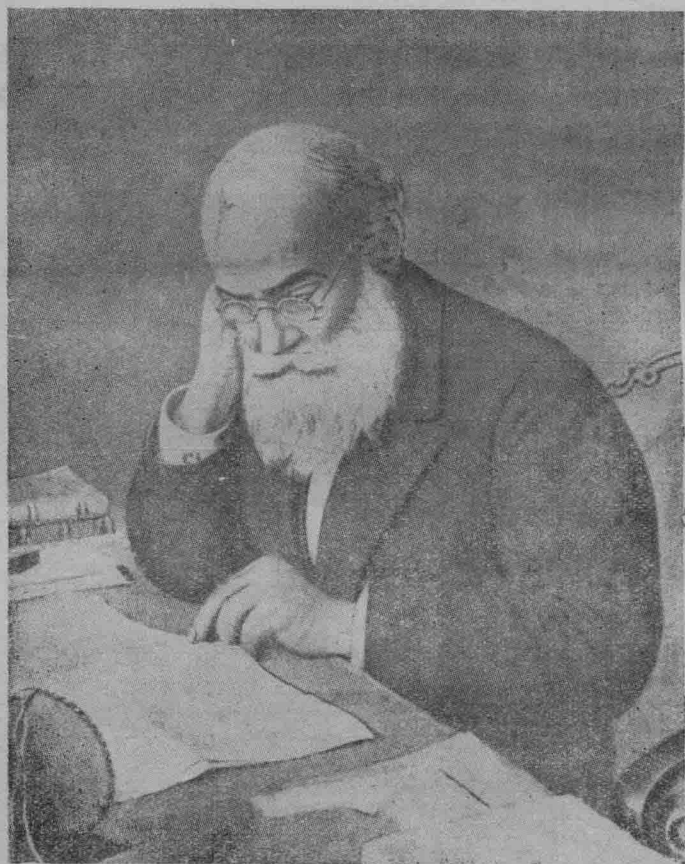
開本 850×1168  $\frac{1}{32}$  印張 11  $\frac{1}{16}$  字數 276,000

一九五四年七月北京第一版 印數 1,701—3,700

一九五七年一月天津第三次印刷 定價 (1957) 1.65 元

## 著者獻詞

本書爲紀念這位永誌不忘的老師尼古拉耶·葉沃洛維奇·儒柯夫斯基(Николай Егорович Жуковский)——第一個空氣螺旋槳合理化理論的創建人而作。



尼·葉·儒柯夫斯基

## 原 序

本書係根據著者多年來在以謝爾蓋·奧爾忠尼啓則(Серго Орджоникидзе)爲名的莫斯科航空學院內講授螺旋槳一課的講義爲基礎而編寫成的。

這一本書的目的，是作爲飛機設計專業和航空發動機設計專業的學生教學參考書之用。

除開本身的直接目的以外，這一本書還可以給予螺旋槳的設計人員，以及飛機製造工廠和發動機製造工廠設計部門的工程技術人員以極大的幫助。

到現在爲止，通常關於螺旋槳的書籍，大部分都只具有單方面的性質——主要地是研討關於螺旋槳在空氣動力方面的工作性質，而僅是附帶地研討強度和構造的問題。這種對於螺旋槳的觀點，是由於歷史的關係所造成的，因爲在航空萌芽的時期，螺旋槳都是用木材製成的，在構造上、生產上、以及使用上也都不太複雜，而在設計螺旋槳的時候，最大的困難是在於螺旋槳的空氣動力計算上面，以及如何選擇它來配合飛機和發動機的上面。所以，關於螺旋槳的空氣動力問題，就引起了我們的這些科學家們——空氣動力學家們，例如：儒柯夫斯基、維特契金(В. П. Ветчинкин)、尤利葉夫(Б. Н. Юрьев)等人的注意。隨着螺旋槳的發展，開始將它們用金屬來製造，而在它們的製造上，也就需要採用重型的、複雜的設備；嗣後，螺旋槳又變成爲一具機構(變距螺旋槳)，而這一具機構由於對螺旋槳的要求的增長，也就愈來愈複雜，今天，螺旋槳已經是成爲一具最複雜的機構了。現代的螺旋槳的設計問題，應該是包括構造方面的、空氣動力學方面的、動力學方面的、生產方面的、以及使用方面的各項問題。所有的這些問題，差不多都是同等重要的。

因此，在這一本書的裏面，著者也就從這五個觀點來考察螺旋槳的問題。尤其是在最近，關於動力學方面的問題，更有特別重大的意義。實際上，所有的航空工作人員都很清楚地認識到，在飛機的使用上，最令人關心的是飛機的顫動問題，而這一顫動的來源，可能是由於發動機，也可能是由於不平衡的螺旋槳；因此，關於螺旋槳的平衡問題，必須加以應有的注意。但是事實上，在所有的文獻中，涉及到螺旋槳平衡的這樣一個重大問題的，只有極少數的幾篇論文。由於這個緣故，在本書中，對於這一問題，給予了特別的注意。

爲了避免過分地增加書中的篇幅，在所敘述的每一部分裏面，著者只能談論到一些最重要的關鍵問題。

因爲螺旋槳的生產，是一個很大的技術範圍，所以，很自然地，著者就不可能詳盡地對它加以論述，而僅能局限於特別關係着螺旋槳生產的專門過程——槳葉的製造以及螺旋槳的平衡——的敘述。

在使用的這一部分中，主要是着重在螺旋槳的檢驗方面。

著者可以驕傲地說：空氣螺旋槳的問題，完全是由俄國的以及蘇維埃的學者們和工程師們所解決的。所以，這一本書也就是在祖國的工作成就的基礎上寫成的。螺旋槳理論的創建人，就是儒柯夫斯基；而螺旋槳理論的發展，也是由儒柯夫斯基學派——他的學生和他的學生的學生——所完成的。因此，空氣螺旋槳的問題，總是與儒柯夫斯基的名字緊密地連繫在一起。

在緒論的這一部分中，著者對於螺旋槳的發展史作了一段簡短的介紹，其中並不企圖對於整個的歷史加以完整的敘述，而只是指出有關空氣螺旋槳發展的一些主要的階段而已。

爲了立即引導讀者進入到本課程的內容，在第一章裏面，還對於空氣螺旋槳的一般知識、它們的用途、工作原理、以及主要特性，作了一個基本的介紹；僅是在這以後，才給出了關於螺旋槳的歷史的概述。

至於在本書中所採用的技術名詞，可惜由於有關螺旋槳的名詞迄

今尚未製定出來，所以著者只得採用在航空界最通用的一些名詞，以及儒柯夫斯基所採用過的一些名詞。關於本書中所採用的這些主要的文字符號，均列舉在附錄 8 裏面。

最後，著者認為是自己的一個愉快的責任，來向審查這一稿件以及提供極其實貴意見的各位評閱委員和有關同志，致以衷心的感謝；關於這些意見，著者已在其最後校訂這一文稿時，加以考慮了。

弗·納·亞歷山大洛夫

1951 年 6 月，莫斯科。

# 上 冊 目 錄

|                 |     |
|-----------------|-----|
| 著者獻詞.....       | i   |
| 尼·葉·儒柯夫斯基像..... | ii  |
| 原序.....         | iii |

## 第一部分 螺旋槳的一般知識

|                        |    |
|------------------------|----|
| 第 一 章 基本概念.....        | 1  |
| 第一節 空氣螺旋槳的效能和應用.....   | 1  |
| 第二節 空氣螺旋槳的工作原理.....    | 5  |
| 第三節 螺旋槳的基本特性.....      | 12 |
| 第四節 螺旋槳的槳型.....        | 18 |
| 第 二 章 螺旋槳的歷史知識.....    | 23 |
| 第一節 空氣螺旋槳發展史概述.....    | 23 |
| 第二節 空氣螺旋槳的進一步發展前途..... | 34 |

## 第二部分 空氣螺旋槳及其設備零件的構造

|                     |    |
|---------------------|----|
| 第 三 章 螺旋槳的構造.....   | 35 |
| 第一節 螺旋槳的基本構造類型..... | 35 |
| 第二節 定距螺旋槳.....      | 41 |
| 第三節 變距螺旋槳.....      | 48 |
| 第四節 順槳式變距螺旋槳.....   | 63 |
| 第五節 制動式變距螺旋槳.....   | 72 |
| 第六節 共軸式螺旋槳.....     | 75 |
| 第七節 螺旋槳的槳葉構造.....   | 75 |
| 第八節 螺旋槳的軸套構造.....   | 88 |
| 第九節 螺旋槳的槳葉轉角機構..... | 92 |

|     |                 |     |
|-----|-----------------|-----|
| 第十節 | 螺旋槳和槳葉的重量及轉動慣量  | 96  |
| 第四章 | 螺旋槳設備零件的構造      | 109 |
| 第一節 | 變距螺旋槳的操縱        | 109 |
| 第二節 | 調節器             | 130 |
| 第三節 | 順葉設備            | 145 |
| 第四節 | 螺旋槳的槳帽          | 150 |
| 第五節 | 防水設備            | 153 |
| 第六節 | 螺旋槳設備零件的重量      | 156 |
| 第七節 | 透平螺旋槳式發動機的螺旋槳設備 | 157 |
| 第五章 | 幾種空氣螺旋槳構造的描述    | 162 |
| 第一節 | 油缸在外面的三葉螺旋槳     | 162 |
| 第二節 | 油缸在內面的三葉螺旋槳     | 164 |
| 第三節 | 油缸在外面的順葉螺旋槳     | 165 |
| 第四節 | 過渡型式的順葉螺旋槳      | 169 |
| 第五節 | 空氣機械式的螺旋槳       | 174 |

### 第三部分 螺旋槳空氣動力學

|     |                            |     |
|-----|----------------------------|-----|
| 第六章 | 螺旋槳空氣動力理論的分類及概述            | 179 |
| 第七章 | 理想推進器和理想螺旋槳理論              | 181 |
| 第一節 | 理想推進器理論                    | 181 |
| 第二節 | 理想螺旋槳理論                    | 195 |
| 第三節 | 理想推進器理論和理想螺旋槳理論的實際應用       | 202 |
| 第八章 | 孤立的槳葉基素理論                  | 208 |
| 第一節 | 孤立葉素理論的基本概念                | 208 |
| 第二節 | 藉用孤立葉素理論而進行的有關螺旋槳的某些一般性的研究 | 211 |
| 第九章 | 沙比寧—尤利葉夫螺旋槳理論              | 219 |
| 第一節 | 理論的基本概念                    | 219 |
| 第二節 | 基本公式的推導                    | 220 |
| 第十章 | 儒柯夫斯基的螺旋槳渦流理論              | 224 |
| 第一節 | 理論的基本概念                    | 224 |

|           |                                  |     |
|-----------|----------------------------------|-----|
| 第二節       | 關於速度場的基本公式的推導                    | 225 |
| 第三節       | 拉力及功率的公式·連繫方程式                   | 233 |
| 第四節       | 儒氏螺旋槳渦流理論的進一步發展·槳葉理論             | 238 |
| 第十一章      | 螺旋槳與飛機的互相干涉作用                    | 253 |
| 第一節       | 螺旋槳與飛機的干涉作用的物理實質                 | 253 |
| 第二節       | 螺旋槳與飛機的干涉作用的計算                   | 254 |
| 第十二章      | 螺旋槳模型的空氣動力試驗                     | 261 |
| 第一節       | 空氣動力相似理論應用在螺旋槳上的情形               | 261 |
| 第二節       | 螺旋槳的空氣動力試驗的方法                    | 263 |
| 第三節       | 螺旋槳的空氣動力特性曲線                     | 269 |
| 第四節       | 基本參數對於螺旋槳工作的影響                   | 273 |
| 第五節       | 自轉的、被停的、順葉的以及制動的螺旋槳的阻力           | 285 |
| 第十三章      | 螺旋槳試驗所得的特性曲線對於飛機選擇螺旋槳的應用         | 289 |
| 第一節       | 對於飛機選擇螺旋槳的基本概念                   | 289 |
| 第二節       | 空氣的壓縮性以及螺旋槳與短艙的干涉作用對於螺旋槳特性的影響的計算 | 290 |
| 第三節       | 螺旋槳的特性曲線對於改變槳葉實度的換算              | 293 |
| 第四節       | 航空發動機的特性                         | 299 |
| 第五節       | 對於螺旋槳的傳動裝置的選擇和對於飛機的螺旋槳的選擇        | 308 |
| 第六節       | 螺旋槳發動機組合的特性曲線的繪製                 | 317 |
| 第十四章      | 螺旋槳槳葉的設計                         | 320 |
| 第一節       | 螺旋槳槳葉設計的基本概念                     | 320 |
| 第二節       | 螺旋槳的基本幾何特性的求法                    | 321 |
| 第三節       | 空氣螺旋槳的檢查計算                       | 328 |
| 第四節       | 槳葉的製圖                            | 330 |
| 技術名詞俄中對照表 |                                  | 1   |
| 專有名詞俄中對照表 |                                  | 8   |

# 第一部分 螺旋槳的一般知識

## 第一章 基本概念

### 第一節 空氣螺旋槳的效能和應用

爲了使得飛機在空氣中能保持不墜，並向其所需要的方向飛行，就必須消耗功率。滑翔機（планер）——無發動機的飛機——也可以憑藉上昇氣流的能量，在空氣中停留，然而這是一種比較偶然的情形；因此，滑翔機不能像“獨立的”運輸工具那樣得到普遍的推廣。爲了不依靠偶然的自然現象，人們就利用在飛機本身上所儲存的能量，並且藉發動機將這些能量使用出來。爲了產生飛機昇力，必須運動，而這種運動的獲得，又必須具有拉力（тяга）。在空氣中，拉力可以從螺旋槳所排棄的氣流的反作用力而得，或者從燃料燃燒時所產生的高速氣流的反作用力而得。

這樣，空氣螺旋槳（воздушный винт）一方面產生拉力，一方面將發動機的能量轉變成為飛機前進時所做的功。

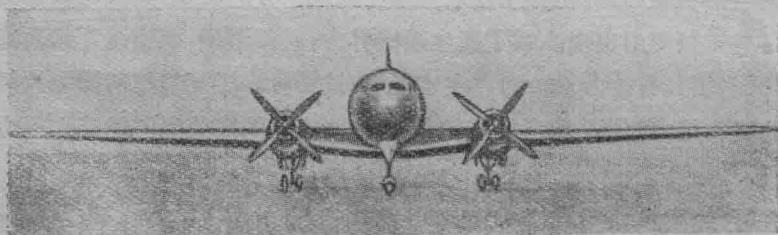
當在空氣中不能用其他方法獲得拉力時——正如在航空上當噴氣發動機（реактивная двигатель）出現以前時，或者當螺旋槳的使用較其他產生拉力的方法有利時，就要應用螺旋槳。因此，在航空方面，空氣螺旋槳有其最大的用途（參看第1圖）；而且所有關於它的發展和改進，都是與飛機的發展密切連繫着的。空氣螺旋槳又可以應用在飛艇

(дирижабль)上以及在旋翼機(вертолет)(直昇飛機 геликоптер)上,尤其在後者上面,它是產生昇力的一個基本構件。除此之外,螺旋槳還非常成功地應用在飛行橈(аэросани)上(參看第2圖)、遊艇(глиссер)上(參看第3圖),而且甚至在個別的情況下,又可以應用到所謂“空氣推進式的汽車”(аэромобиль)——藉空氣螺旋槳來推動的汽車——上。

飛機上的空氣螺旋槳,是由下列幾個部分所組成:

- 1) 槳葉(лопасть)數片。
- 2) 軸套(втулка),這是用來將發動機軸上的轉矩傳給槳葉的,槳葉就固定在它的上面。
- 3) 槳葉的轉角機構。
- 4) 螺旋槳的其他各種設備零件。

以後可以看到,爲了儘可能做最大的功,螺旋槳應該具有一種槳葉能够相對於葉軸而轉動的機構。這種槳葉的轉角,通常是用螺旋槳調節器(регулятор)自動地來實行的。其次,爲了使得螺旋槳的軸套對於



第1圖 飛機上的空氣螺旋槳。

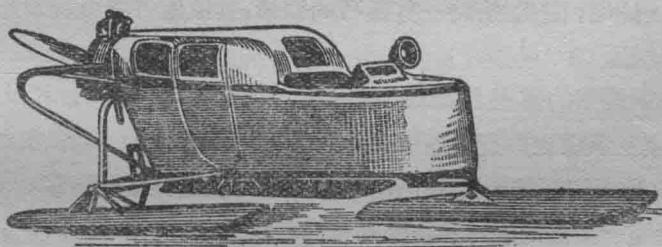
飛行所產生阻力較小,在它上面需要套上一個流線體,就是所謂之槳帽(кол),它是隨着螺旋槳一道旋轉的。此外,爲了使得槳葉在飛行時不結冰,在螺旋槳上還要採用一種特殊的裝置——防冰裝置(противо-леденитель)。

因此,空氣螺旋槳是一種非常複雜的機構,同時,空氣螺旋槳的研究又關係到一連串的問題,其中主要的如下:

1. 螺旋槳空氣動力學 螺旋槳的使命，是如何有效地利用發動機的功率來產生拉力；而這是與製造在空氣動力上的最佳型式的槳葉分不開的。

2. 螺旋槳動力學 以後可以看到，在螺旋槳上作用着有各種的力，而這些力就使得螺旋槳的各部分產生運動並發生變形。變形的發生，是與螺旋槳的強度有關的。關於螺旋槳的強度，應該給予最大的保證；因為在大多數的情況下，由於螺旋槳主要部分的損壞，即將引起不幸的事故和災難。

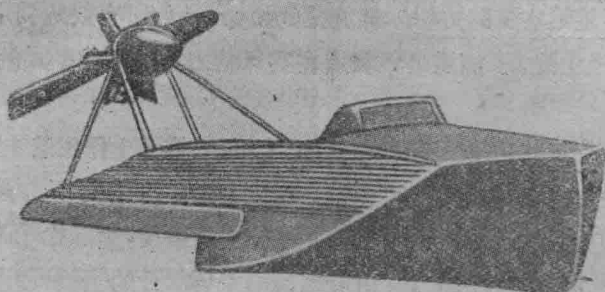
因此，螺旋槳的強度，關係着人們的生命。在蘇聯的飛機製造的實際過程中，尤其是在螺旋槳的製造過程中，飛行安全問題是佔着決定性的地位；因此，在螺旋槳的設計和施工方面，必須對於螺旋槳動力學特別加以注意，並且儘可能地運用所有的方法——計算、實驗、檢驗等等，以求達到在強度上的完全保證。



第2圖 在飛行槳上的空氣螺旋槳。

此外，力的作用在時間上不均勻，將會使螺旋槳的行程（ход）也不均勻。行程的不均勻，同樣也可以由於螺旋槳本身不平衡所產生的力而引起，在這種情況下，就將使得飛機發生顫動（тряска）。

最後，螺旋槳動力學還與它所發出的噪音（шум）有關。通常，螺旋槳的噪音是超過在飛機上的其他各種噪音的。飛機的噪音，不僅對於飛行人員有害，同時在戰爭的情況下還可以幫助敵人發現自己；所以，防止飛機的噪音，尤其是螺旋槳的噪音，是極其必要的，因此在設計



第3圖 在遊艇上的空氣螺旋槳。

螺旋槳的時候，應該總是力求將噪音減小到最低的限度。

3. 螺旋槳的構造 螺旋槳是一個非常複雜的機構，要求精確的和考慮週詳的設計；以使其不僅在施工上簡便，並在使用時簡單而且堅固。

4. 螺旋槳的施工 每一個螺旋槳的設計者，都應好好地明瞭螺旋槳的施工技術；因為，有時一些靈巧的結構，其價值可能由於製作上的複雜而減低。

5. 螺旋槳的使用 (эксплуатация) 所謂“螺旋槳的使用”，應該了解是指與空氣螺旋槳實際應用有關的各種問題的總合。新設計的螺旋槳（在試驗中的螺旋槳），其使用的第一步叫做螺旋槳的檢驗。在檢驗時，關於這一設計的優點和缺點都可以發現出來。

再者，如果需要查明或確定螺旋槳的某種特性，或者需要測定其個別項目的性質，也可以將以前在螺旋槳“使用”中曾經做過的工作，再進行一連串的檢驗。

在本課程內，我們所要詳細討論的，僅僅包括有關螺旋槳的研究方面的四個部分——螺旋槳的構造，螺旋槳空氣動力學，螺旋槳動力學以及螺旋槳的使用。至於螺旋槳的施工方面，因為具有較大的獨立性，而且所牽涉的問題較廣，特別是螺旋槳的施工基本上又接近於發動機製造的零件施工，所以我們談的較少。從許多螺旋槳的施工問題裏面，我

們只詳細地敘述螺旋槳平衡的這一個純粹螺旋槳問題。關於螺旋槳施工的這一部分，在其他資料上很少涉及，而實際上它在螺旋槳製造中是具有極其重大的意義的。

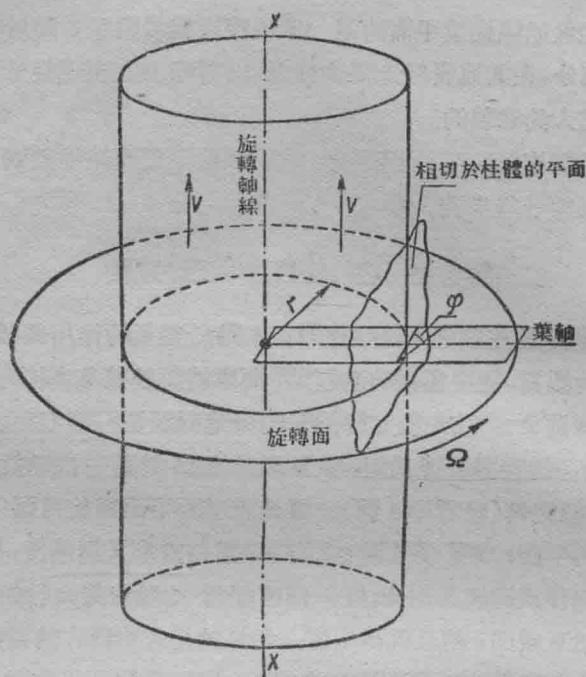
在講述螺旋槳的平衡問題時，我們順便還要簡略地談到有關槳葉施工技術上的一些步驟。

## 第二節 空氣螺旋槳的工作原理

空氣螺旋槳在空氣中產生拉力，它對於空氣的作用與機翼相似。只是飛機的機翼，通常僅做前進運動；而螺旋槳的槳葉，則又有前進運動又有旋轉運動。茲先假定螺旋槳的槳葉形狀是一狹長的長方形薄片，其中的一邊較另一邊為短，並且以角速  $\Omega$  圍繞一根貼近長方形一邊的  $x-x$  軸旋轉（參看第4圖）。這長方形的平面與旋轉面（即與旋轉軸相垂直的平面）成某一角度  $\varphi$ ；同時，這長方形又以速度  $V$  在旋轉軸線的方向作前進運動。如用一個半徑為  $r$ 、軸線與  $x$  軸相疊合的柱體將這一槳葉截開，結果就得出這一狹長的長方形薄片的截面。因為通常槳葉的寬度與其長度比較起來很小，所以我們可以將這一個由柱體所取得的截面，用一個與它相近似的而對於作圖來說是比較方便的截面來代替；這一代替的截面就是相切於柱體且垂直於葉軸的平面所造成的截面（參看第4圖）。現在，讓我們看這一截面對於槳葉的運動速度方向來說的位置如何，或者是說，氣流與這一截面相遇的情形如何。由於槳葉所做的運動是非常複雜——包括前進運動和旋轉運動，因此必須將這兩種運動相加起來。旋轉速度等於  $\Omega r$ ，前進速度（飛行速度）等於  $V$ ；而且這兩個速度相互垂直（參看第5圖）。這兩個速度的幾何和<sup>①</sup>為  $W$ ；而槳葉與氣流相遇的角度  $\alpha$ ，一般較角度  $\varphi$  為小。

如果再用一個半徑稍小或稍大的柱體切取一個另外的截面，則其前進速度  $V$  仍是相同，而環向速度  $\Omega r$  就將較小或者較大；後者是按

① 譯註：即矢量和。



第4圖 槳葉截面圖。

照直線關係而變化的，到槳軸處為零（參看第6圖）。由於我們所取的槳葉是一平面，所以角度  $\varphi$  在所有的半徑處都是一樣，但是氣流與槳葉截面相遇的角度  $\beta$ ，則在不同半徑的地方各有不同，這是由於  $\Omega r$  是沿半徑變化的緣故。因此，角度  $\beta$  隨半徑  $r$  的減小而增大；而角度  $\alpha =$



第5圖 槳葉截面的速度三角形。