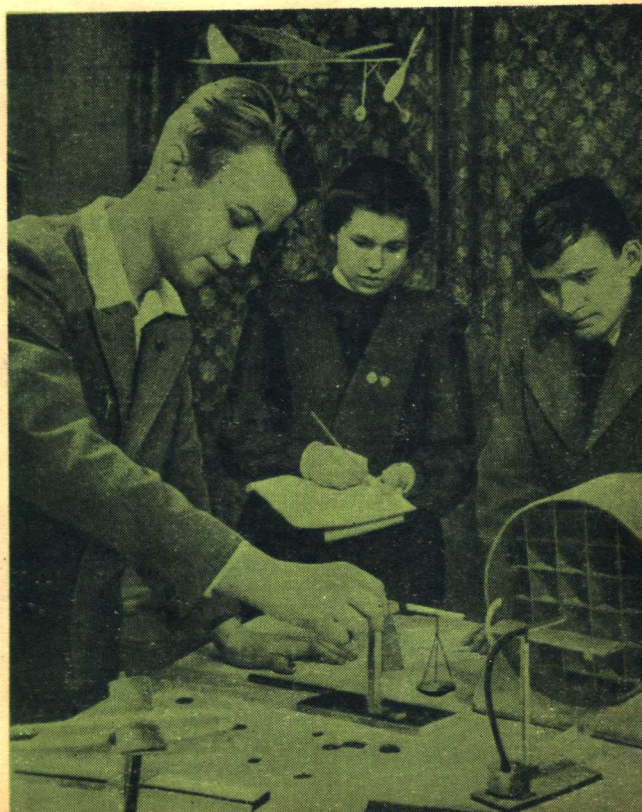


1457

# 昇力阻力和風洞

B·C·斯科貝爾琴著



人民體育出版社



# 昇力、阻力和風洞

B · C · 斯科貝爾琴著

|   |   |    |
|---|---|----|
| 朱 | 民 | 光譯 |
| 周 | 興 | 文  |
| 汪 | 子 | 興校 |
| 林 | 匯 | 川  |

人民體育出版社

一九五四年 · 北京

## 昇力、阻力和風洞

**內容提要** 本書原名空氣動力學小組輔導員參考資料，通俗的介紹了空氣的特性和飛機產生昇力阻力的原因，說明利用風洞可以測量出飛機空氣動力的性能，同時還介紹了一種簡單風洞的製作和實驗方法（製作這種風洞的器材也比較容易解決），通過風洞的製作和實驗，可以幫助我們瞭解風洞的基本知識以及更深刻地理解飛機產生昇力和阻力的原理。作者在說明以上問題時，廣泛地列舉了我們日常生活中的現象，敘述得淺顯而生動。本書可供各地航空模型小組的輔導員和組員作參考。

|             |                                                |
|-------------|------------------------------------------------|
| 原本說明書名      | Впомощь Руководителю<br>крьжка по аэродинамике |
| 著者          | В.С.Скобелъцын                                 |
| 出版者         | Учпедгиз                                       |
| 出版地點<br>及日期 | Москва 1953                                    |

書號111 軍體15 32開本 27千字 56定價頁

|     |                    |
|-----|--------------------|
| 著者  | В·С·斯科貝爾琴          |
| 譯者  | 朱民光                |
| 校者  | 周興文 汪子興 林匯川        |
| 編輯者 | 中央國防體育俱樂部          |
| 出版者 | 人民體育出版社<br>北京八面槽九號 |
| 發行者 | 新華書店               |
| 印刷者 | 北京新華印刷廠分廠          |

印數1—3,000冊 一九五四年十一月第一版  
每冊定價1,600元 一九五四年十一月第一次印刷  
(北京市書刊出版業營業許可證出字第〇四九號)

## 前 言

在這本小冊子中，介紹了列寧格勒日丹諾夫少先宮技術小組的工作經驗。

全書共分兩部分。第一部分說明空氣動力學的原理，並敘述如何進行空氣動力試驗。第二部分說明小組組員如何製作簡單的風洞和進行空氣動力試驗所需用的一些最簡單的儀器。

在研究和製作這本小冊子中各種儀器的問題上，列寧格勒少先宮的教師Е·Ю托馬車娃，И.А.柯爾松，И.А.卡西可夫，И.И.尼爾克及Н.М.奧斯特洛烏莫夫等人都參加了工作。

# 目 錄

## 前 言

### 第一部分 空氣動力試驗

|                        |    |
|------------------------|----|
| 1. 引言.....             | 1  |
| 2. 空氣.....             | 2  |
| 3. 空氣動力的阻力.....        | 3  |
| 4. 流線譜.....            | 7  |
| 5. 空氣的靜壓力，伯努利定律.....   | 10 |
| 6. 不對稱的流線。機翼昇力的產生..... | 13 |
| 結束語.....               | 17 |

### 第二部分 簡單的風洞和進行試驗所需的儀器

|                                |    |
|--------------------------------|----|
| 1. 簡單的風洞。.....                 | 18 |
| 2. 各種不同幾何形狀的物體和一套機翼剖面的製作。..... | 32 |
| 3. 在天秤上安裝被試驗的物體的方法。.....       | 34 |
| 4. “自行相合的平板”.....              | 36 |
| 5. “自行跳躍的平板”.....              | 38 |
| 6. “自行靠近的圓盤”.....              | 39 |
| 7. “氣流中的小球”。.....              | 40 |

## 第一部分 空氣動力試驗

### 一 引 言

許多科學和技術領域的開闢，都是和俄羅斯科學家和發明家的名字分不開的。從許多古老史冊上的神話和傳說中我們可以發現：人們是多麼希望實現自己的理想——掌握天空像鳥類一樣自由地在天空飛翔。

公元907年，神奇的奧列克軍隊突襲土耳其查雷格拉得城時（即現在的君士坦丁堡），奧列克使用了自己所謂的“空中軍隊”，他把一大羣風箏做成龍和其他各種可怕的怪物形狀去恐嚇敵人。結果打敗了敵人，獲得了有名的大勝利。

許多比較晚的傳說中，例如：貴族兒子魯伯托夫·尼基特克的奴隸曾乘着自己製造的飛翼，飛到亞歷山大城郊的上空；克拉庫特諾的第一個氣球；綽號為“黑雷雨”的鐵匠，曾企圖乘自製的飛翼飛行；此外還有其他許多傳說都談到俄國人勇敢而富於鑽研精神的卓越事蹟。

偉大的俄羅斯科學家M. B. 羅曼諾索夫是世界上第一個研究大氣規律和現象的人，他並為這方面的科學奠定了不可動搖的基礎。他為了要了解大氣上層的情況，於1754年卓越地設計出“能昇至大氣上層”的儀器，這就是近代直昇飛機的雛形。羅曼諾索夫所創立的氣體可壓縮性的學說，建立了氣體分子運動的學說。空氣動力學，即飛行的物理學，更精確的說，就是研究物體在氣體中運動的科學，也是由俄羅斯最偉大的科學家

如：Д·И門德雷也夫，Н.Е.儒考夫斯基和К.Э.齊爾科夫斯基等人創立起來的。

А·Ф莫札依斯基發明了世界上第一架飛機，並於1882年由他的助手駕駛飛機在列寧格勒近郊紅村軍事演習場試飛成功。莫札依斯基的研究工作是俄羅斯航空的最高榮譽。

## 二 空 氣

圍繞着地球的空氣構成了所謂大氣。空氣是由78%的氮，21%的氧和1%氫以及少許其他氣體所組成的混合物。空氣的比重，即是說每1立方公尺的空氣在溫度為+15°C，氣壓為760公厘時的重量是1.225公斤。這一數值也稱為空氣的重量密度，以 $r$ 表示， $r=1.225$ 公斤/立方公尺。

在空氣動力學中通常不用重量密度，而用空氣的質量密度。由力學中知道，物體的質量密度等於物體的比重除以重力加速度，即 $e = r / g$ ，

$$\begin{aligned} e = r / g &= \frac{1.225 \text{ 公斤/立方公尺}}{9.81 \text{ 公尺/秒}^2} = 0.125 \frac{\text{公斤/立方公尺}}{\text{公尺/秒}^2} \\ &= 0.125 \frac{\text{公斤} \cdot \text{秒}^2}{\text{公尺}^4} \end{aligned}$$

$$\text{即： } e = 0.125 \frac{\text{公斤} \cdot \text{秒}^2}{\text{公尺}^4}$$

大家知道，大氣的標準壓力是指在海平面上，溫度為+15°C水銀柱高為760公厘時的壓力。壓力和溫度隨高度而變化。因此，空氣的質量密度不是固定不變的，它隨高度而變化着。在計算空氣動力時，這一數值可從相當的表中查出來。它

與壓力，溫度以及濕度有着密切的關係。

那麼處在流動的空氣中的物體，或是以一定速度在空氣中運動的物體將會承受到甚麼呢？

### 三 空氣動力的阻力

如果把面積為 1 平方公尺的正方形平板放在氣流中，並使它與氣流方向垂直，那麼：

(1) 當氣流速度（即風的速度）為 20 公里/小時時，平板將受到 25 公斤的壓力。

(2) 當氣流速度增加一倍，即增到 40 公里/小時時，平板所受的壓力將增至 100 公斤。

(3) 當氣流速度再增加一倍到 80 公里/小時時，壓力將增到 400 公斤。

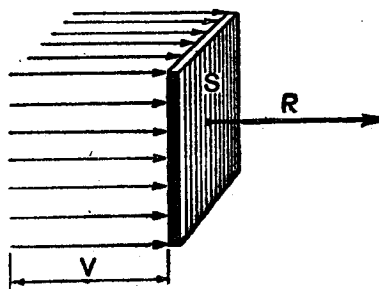


圖 1

由此可知：空氣氣流作用在平板上的壓力大小，或者說平板對於空氣氣流的阻力大小（按牛頓第三定律這兩種說法是相同的）是和速度的平方成正比。

與物體垂直方向的空氣壓力，在空氣動力學中叫做動壓力，即是由於有了速度而產生的壓力。動壓力是由運動中的氣體動能來決定。利用我們在力學中熟知的動能公式： $K = \frac{mv^2}{2}$

：並將式中物體的質量以“氣體的質量密度” $\rho$ 來代替，我們就

得出（動壓力） $q$ 的表示式

$$q = \frac{\rho v^2}{2}$$

空氣動力的阻力大小與處在氣流中的物體的橫截面面積，及其形狀有密切關係。

因此，物體在氣流中所承受的阻力可用下列公式來表示：

即 
$$R = C \cdot S \frac{\rho v^2}{2}, \text{ 式中}$$

$R$  = 阻力，單位是公斤；

$C$  = 阻力係數，與物體形狀有關；

$\rho$  = 空氣的密度，單位是公斤·秒<sup>2</sup>/公尺<sup>3</sup>；

$S$  = 與氣流成垂直的物體的最大橫截面面積，或最大迎風面積，單位是平方公尺；

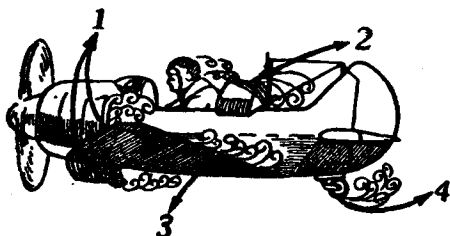
$V$  = 運動的速度，單位是公尺/秒。

不同幾何形狀的物體和不同大小的物體，在氣流中所受到的阻力不一樣。但是也可以做出各式各樣的物體而使它們受到同樣的阻力。如像：直徑為14.5公厘的小杯子、直徑為16.5公厘的圓板、直徑為20公厘高為20公厘的圓柱體、尖端朝前方而底面直徑為25.5公厘的圓錐體，以及直徑為37公厘的圓球等等，所受的阻力都是一樣大小。

阻力的大小也和物體表面加工的程度（表面光滑程度）有關係。物體表面愈光滑，空氣分子與物體表面的磨擦力就愈小，阻力也就愈小。例如，蘇聯“勝利”牌轎車（帶金屬頂蓬的）可達到105公里/小時的最大速度。然而同樣輕型的“勝利”牌敞

蓬汽車（帶帆布頂蓬的）儘管它的發動機馬力與“勝利”牌轎車一樣大，坐的人同樣多，甚至重量還輕些，它的最大速度也不能超過100公里/小時。造成這一差別的原因在於第二種汽車帆布頂蓬粗糙的緣故。

另一個例子：



(1) 45—50公里/小時      (2) 15—18公里/小時

(3) 18—20公里/小時      (4) 8—10公里/小時

如果飛行員忘記把座艙罩關上，那麼驅逐機的速度就會損失15—18公里/小時；如果飛行員忘記將尾輪收上，那麼速度就會損失8—10公里/小時；如果飛行員忘記把散熱器兩側的魚鱗片順氣流安裝，那麼速度就會損失45—50公里/小時。

驅逐機損失速度的原因，是飛行員把飛機的流綫程度弄壞了的緣故，因而增加了飛行時空氣動力的阻力。

這就是為什麼在設計和構造現代一切運輸工具時都很注意外表形狀的原因。

讓我們來研究一下，各式各樣形狀的物體在風洞氣流中的情況。

空氣動力學上所用的風洞。是一種由人工製造氣流的儀

器。在十九世紀末葉俄羅斯已經有了第一批風洞。這些風洞是我們偉大的科學家K·Θ·齊爾科夫斯基和H·E·儒考夫斯基所發明和創造出來的。他們是世界聞名的科學家，是理論空氣動力學和實驗空氣動力學的始創人。

**試驗1.** 將風洞垂直放置，將圓板固定在天秤上，使圓板正對氣流中心，並距風洞邊緣12至15公分（圖2）。

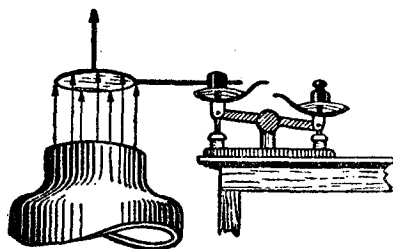


圖 2

將天秤平衡好了之後即開動馬達。氣流在途中遇到圓板，便把圓板向上舉起。繼續保持氣流的流動，用法碼重新將天秤平衡好。平衡後，關上馬達，就可計算出為平衡圓板的阻力，需要N克的重量。

**驗試2.** 以同樣大直徑的圓球，放入此氣流中。我們可以測出阻力相當於M克。

**驗試3.** 最後，做一個水滴狀的物體，使它最大橫截面等於圓板的大小。這時阻力為L克。

由這一實驗證明出：在相同速度的氣流下，不同形狀的物體，雖然他們最大橫截面積相同，但所受的阻力不一樣。

那麼這些差別的原因是什麼呢？

原因是：不同形狀的物體其阻力係數（C）也不相同，阻力係數不同，阻力大小的數值也就隨着改變了。

當物體“迎面”正對氣流時，或物體的對稱軸與氣流方向一

致時，物體所受的阻力叫做正面阻力，以字母 $Q$ 表示。這時阻力係數叫做正面阻力係數，以字母 $C_x$ 表示。

#### • 四 流線譜

如果將流過物體的空氣氣流用烟着上顏色，那麼我們就能清楚地看出氣流流動時的情形，這就稱為流線譜。

**驗試4.** 將一根上面繫有許多細絲綫的細棒放到風洞氣流當中，我們可以看出，絲綫是平行於氣流方向的。如果再放一

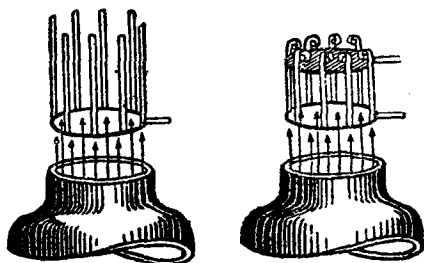


圖 3

個圓板在氣流當中，我們可觀察出細棒上的絲綫情況就大大的改變了，絲綫的情況告訴我們：圓板前後的氣流，特別是它後面的氣流已經受到擾動而產生旋渦了（圖3）。

如果以小球代替圓板，放入氣流中，旋渦的情形就較前減弱些。如果再把一個水滴形狀的物體放入氣流中，那時我們從細棒上絲綫的情況就發現不出什麼旋渦的現象了。

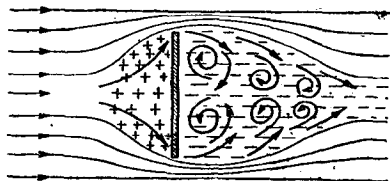


圖 4

讓我們來研究一下

平板的流線譜（圖 4）。

當氣流流經平板時，氣流因平板的阻擋而分開自四方繞過平板，這時氣流被擠緊，並依靠慣性繼續流動，最後離開平板。這種現象就叫做氣流的分離。由於氣流在平板之後分離，因而平板後面形成空氣稀薄地區，亦即低壓區。流入這一低壓區的空氣，企圖填充進去，所以就開始向相反方向運動，這樣便形成渦流和逆流（空氣呈旋渦運動或紊亂的運動）。遠離平板的渦流逐漸減小，氣流也逐漸平穩並繼續以它在平板前面流動的相同速度向前運動。

由此可知，由於動壓力所引起的正面阻力，因為渦流的產生（平板後面空氣稀薄的原因）而增加起來了。

當我們再去觀察流過圓球和水滴狀物體的流線譜時，可以看到這時的渦流要小得多，也就是說在它們後面空氣稀薄的程度減少了，因而它的正面阻力也就小得多。

經過以上的試驗，我們對於正面阻力係數  $C_x$  的意義和用途就了解得更清楚了。公式：

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

是用來

計算各式各樣的物體在氣流中所受的正面阻力。

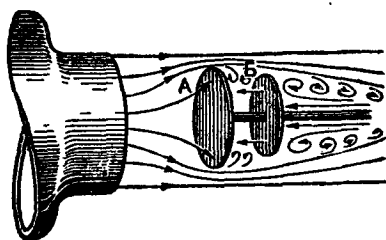


圖 5

**試驗5.** 將風洞水平放置（圖 5）。

在風洞的氣流中放入一件試驗物：一個固定不動的圓板 A

和一個質輕而可以滑動的圓板B。當馬達開動，風洞中產生氣流後，圓板B便沿着連接這兩個板的軸滑動。直到圓板B靠攏圓板A為止。這一簡單的試驗說明了由於“迎面”而來的氣流流過圓板A時，在圓板A後面氣流的壓力降低了（產生低壓區）。

試驗5的實例：

當我們注意地去觀察公共汽車、無軌電車或者流線型不大好的輕便汽車在塵埃很多的道路上或雪路上行駛時，可以發現被車輪掀起的塵土和雪花，總是貼附到後隔板上。

這現象的產生可用：在流線型不好的物體後面，會使空氣稀薄和產生渦流的理由來解釋。

公共汽車的後隔板通常是平直的，當開快車時便會在車的後面使空氣稀薄和產生渦流。塵埃或雪花被車輪由地上帶起之後就與渦流一道進入這一低壓區，而附貼於汽車後隔板之上。

現代的建築物和工業設備以及運輸工具上所用的通風裝置都是按照空氣動力學的原理設計和構造的。

仔細觀察近代公共汽車和無軌電車的通風裝置及其工作情況，我們可以看到：在公共汽車和無軌電車的頂上安裝有若干

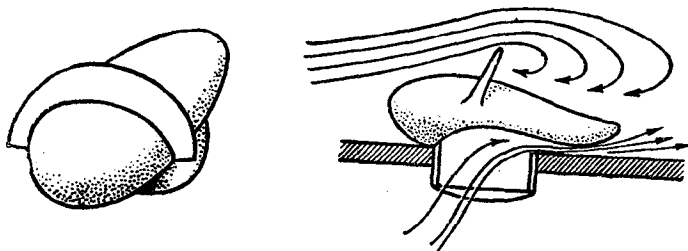


圖 6

帶小隔板的‘菌狀物’。

圖 6 即是這種通風裝置的略圖。

當公共汽車行駛時，氣流就會遇到車頂上面的隔板（渦流產生器）。氣流流過這些隔板後，氣流便立刻形成劇烈的旋渦，在隔板後面形成了低壓區。因為公共汽車內部的空氣壓力較高，因而車內的空氣便可以很方便地流出來了。

## 五 空氣的靜壓力。伯努利定律

空氣或氣體和任何物體一樣，當運動時它能夠作功，即是說它具有一定的動能（運動的能量）和位能（壓力能量）。

單位體積的運動氣體即 1 立方公分的氣體，它所具有的位能就叫做靜壓力，或簡稱為壓力。

運動氣體的靜壓力，是指當氣體沿物體表面運動時，作用在物體表面上的壓力，也就是與氣流流線方向相垂直的壓力。

那麼這一壓力與運動速度的變化有什麼關係呢？

**試驗 6.** 如果我們向掛在鐵絲框上的兩片彎形金屬板間吹氣，那末彎板就會緊緊地合起來。

當彎板在靜止的空氣中懸掛時，從各方面作用在板上的壓力是相等的。但是當我們開始吹氣時，兩片彎板之間的靜壓力立刻下降（在與流線垂直的方向上），

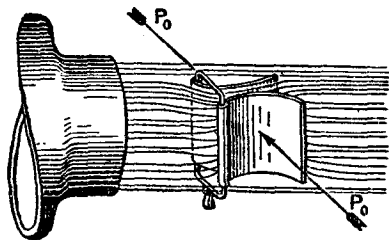


圖 7

而外面的壓力仍然保持和以前一樣，因此彎板被壓緊了。如果我們將這儀器放在風洞中，也能看到同樣的現象（圖 7）。

當氣流自四方吹過彎板時。由於彎板本身的形狀，使得流過其間的氣流被壓緊，因而與外界氣流相比起來，彎板中間的氣流速度大，速度增大的地方，靜壓力降低。這樣彎板便被緊壓在一起了。

**試驗 7.** 在一端固定有圓盤的管中，用勁吹氣，再將一塊質輕的金屬片（未固定的）放在與第一塊板相平行的位置。這時第二塊金屬片就會向上跳躍，貼附於第一塊圓盤上。作震動

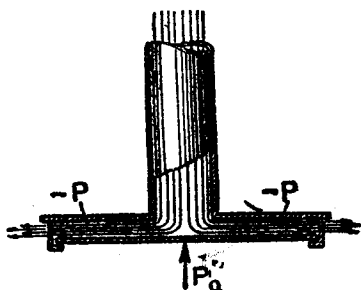


圖 8

式的運動。在這種情形下，如果在兩個平行板之間吹氣，那麼在其間也會使靜壓力下降（空氣稀薄），這時質輕的金屬片在和以前一樣大小的外界壓力的作用下，也會向低壓區運動而和第一塊板靠近（圖 8）。

**試驗 8.** 在一端封閉的金屬管壁上鑽一小孔，用嘴在開口的一端吹氣，如果準確地拿一個很輕的球狀小木塞放在這股細的氣流中（距小孔 3 至 4 公分遠），小球將會跳起來，並在氣流之中，作不規律的運動。

從小孔中出來的氣流向上的壓力將小球吹起來，小球受這股氣流正面阻力的作用，維持住不向下跌落。這時在小球周圍

的氣流被緊擠，並且流動的速度增大，靜壓力降低，圍繞在小球外界的空氣的壓力較大，所以也不使小球從旁邊跑出氣流

(圖 9)。

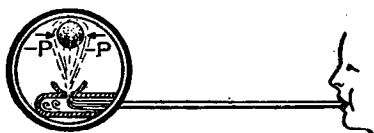


圖 9

試驗9. 如果我們把小球放在小孔中，那麼氣流的力量就

不會將小球推出。這是因為當氣流從小孔流出，在與小球表面之間的地區，氣流速度加快，靜壓力降低的原故(圖10)。

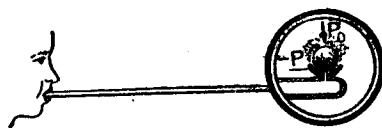


圖 10

這種現象——當液體和氣體流動時靜壓力降低的現象，是從彼得堡科學院院士但尼爾·伯努利的定律導出來的。在他的定律中指出：當氣流的

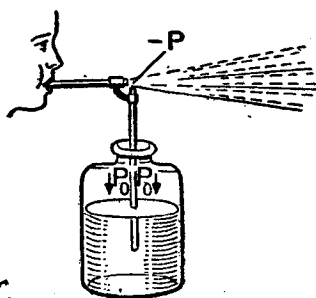


圖 11

速度增大時，則氣流的靜壓力隨即減小。

下面這些現象都可以用伯努利定律來說明：

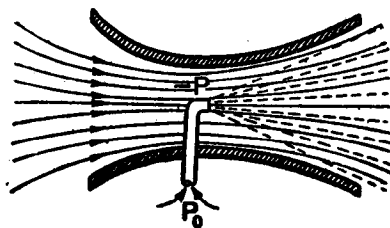


圖 12