

相對運動中－渦流與升阻力之研究

國中組物理科第二名

台北市立金華國中

作者：吳智偉、盧瑾辰、吳 緯、吳英如

指導教師：楊莉莉、沈嘉祥

一、研究動機

每見飛機翱翔於天際，便對飛機飛行產生無比之關注與興趣，為何能飛行？飛機的機翼又為何如此多種？飛行中由於飛行的角度不同，在潮濕的天空中，機翼及機尾會產生許多的渦流，在不斷地觀察中令我沈迷不已！也試著製作機翼，產生各種煙霧，探討飛機在飛行中相對運動、渦流是否會造成飛機之阻力或升力、失速或災難等。藉由一連串之實驗、設計、測試與改良，我們獲得許多寶貴之經驗及紀錄。希冀對物體運動學有所助冀，且對飛機機翼的未來發展有所助益。

二、研究目的

- (一)基本渦流之觀察與研究
- (二)相對運動中流體阻力之研究
- (三)流體性質不同相對運動影響之研究（末速 V ，密度 ρ 與阻力 R 之相關研究）
- (四)壓力改變下，渦流與阻力之研究
- (五)飛機飛行時，機翼相對流體運動之研究。
 - 1.機翼展弦
 - 2.翼形
 - 3.攻角
- (六)升阻力測量裝置之研究發展

三、研究器材

(一)儀器：

三用電表、風洞、水洞、電源供應器、水準儀、電子秤

(二)器材：

熱敏電阻、電動機、保麗龍板、風扇、螺旋槳、色素、乾冰、線香、蚊香、吹風機、電線、油土、膠帶、木條、量角器、鎳鉻線、木片、卡紙、鋁箔膠帶、雙面膠、滴管、磁片盒、黑絨布、壓克力板、吸管、三角架、海綿、水管、橡

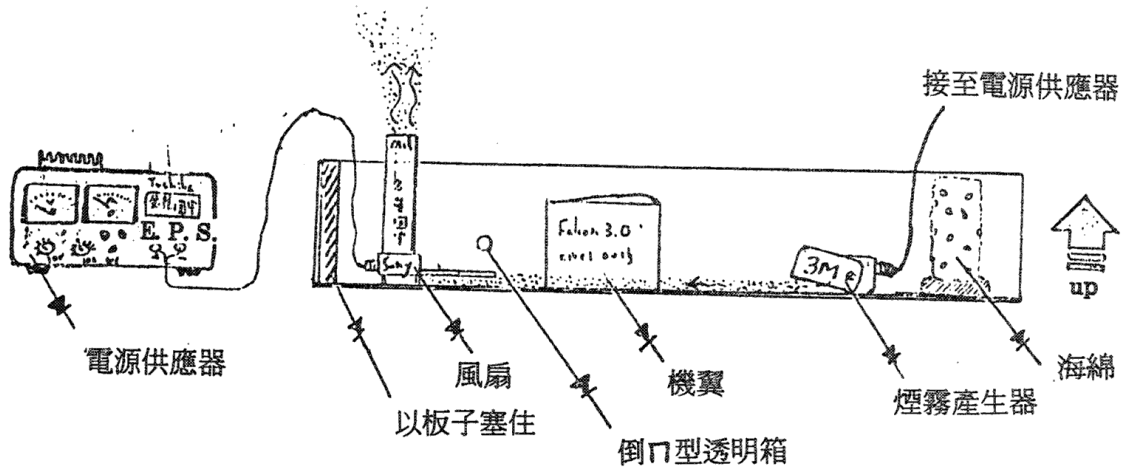
皮管。

四、實驗設計

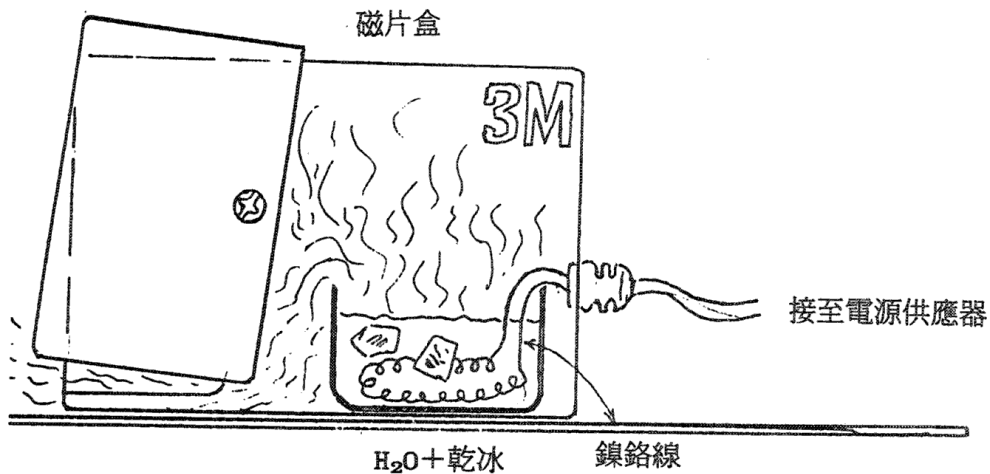
(一)風洞水洞實驗

1. 自行設計之裝置

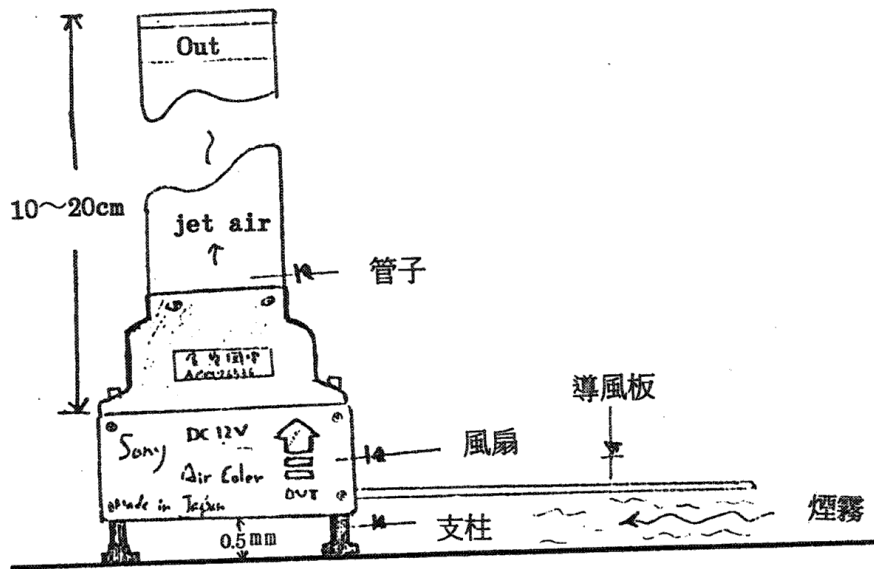
(1)剖面型風洞裝置圖：



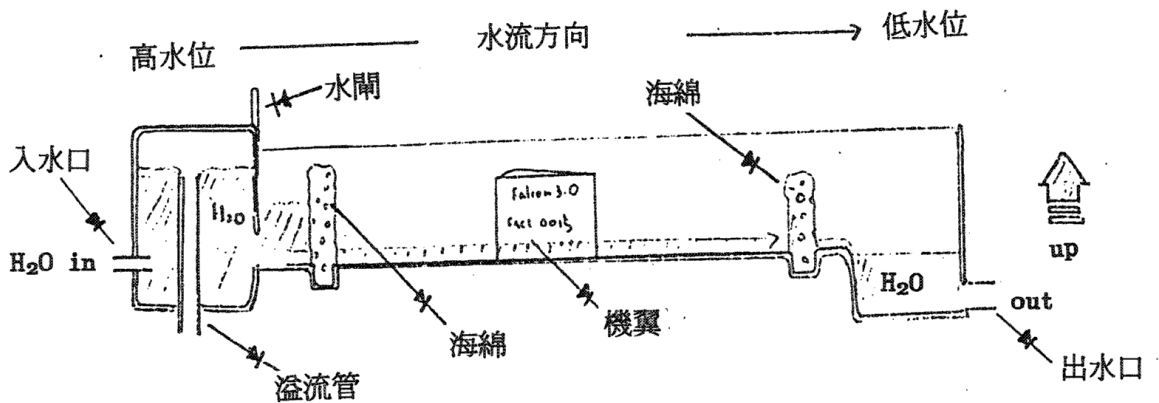
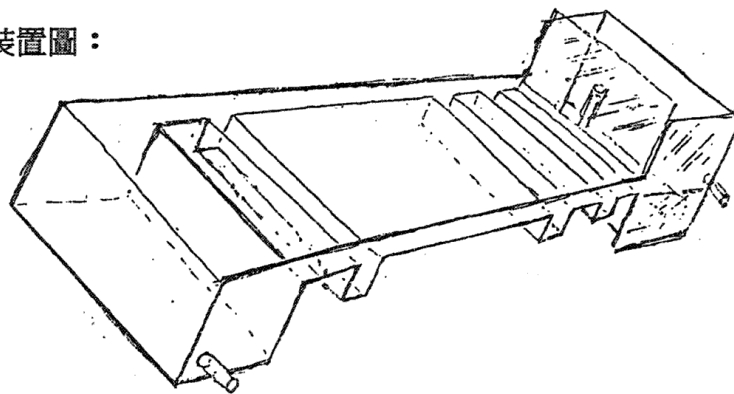
煙霧產生器，外殼以3M公司的3.5吋軟碟片之盒製作，裡面加入一個小杯子（金屬製）加入水和乾冰，並將鎳鉻線通電後沈入。鎳鉻線並串上可變電阻，以加熱水，控制水溫即可控制煙霧之量（溫度愈高愈多）。



風扇：直徑約四至五公分之散熱用小風扇，出風口加上一段管子，並將入風口以支柱架高約半公分。最好能控制供給電流以控制風速。最重要的是加上一片與之平行的「導風板」。



②水洞裝置圖：



2. 研究方法

(1) 基本渦流的實驗：（風洞：藉調整電壓大小可改變風速）

- ㄅ、使機翼、汽車、飛機等各型袋測體與流體方向垂直，觀察所產生之渦流，測量渦流各部分的流速、壓力。
- ㄆ、改變機翼的角度，由0度至90度：每次增加10度，並比較各種角度產生渦流的大小及速度差、壓力差。
- ㄏ、改變流體流速，並觀察渦流之大小。
- ㄏ、將機等待測體垂直放入洞中，固定流速。

(2) 各種幾何形狀的實驗：將各種幾何形分別放入風洞中，觀察其尾部渦流的大小。

(3) 流線形的研究

ㄅ、展弦的研究

- ①將弦3公分，展由3公分至15公分，每次增加3公分的機翼分別放入風洞中，並比較尾部渦流的大小。
- ②將展3公分，弦由3公分至15公分，每次增加3公分的機翼分別放入風洞中，並比較尾部渦流的大小。

ㄆ、流線形弧度大小的比較，利用前面實驗中產生尾部渦流最小的展、弦為長、寬，再以鋁片彎出，研究渦流情形。

(4) 機翼之研究

ㄅ、基本機翼

- ①將機翼垂直放入（風）水洞中。
- ②調整其攻角（機翼與水流方向之夾角），從0度至60度每次增加15度，觀察是否會產生渦流。
- ③改變流速的快慢，並觀察渦流的大小。
- ④在升力測定裝置中，改變風速，並測量升阻力的大小。

ㄆ、凹槽在翼面上的機翼

- ①將凹槽的數目、深度、寬度及流速固定，攻角固定為0度。
- ②改變凹槽的位置，分別放入凹槽距機翼前緣1至11公分不等之機翼，每次退後2公分。測量翼面上下的速度差和升力的大小。同時，在（風）水洞中觀察其凹槽渦流的大小。
- ③同上法，依次改變凹槽的數目、深度、寬度、流速和攻角，並做測量和觀察。

ㄏ、有阻板的的機翼

步驟同上

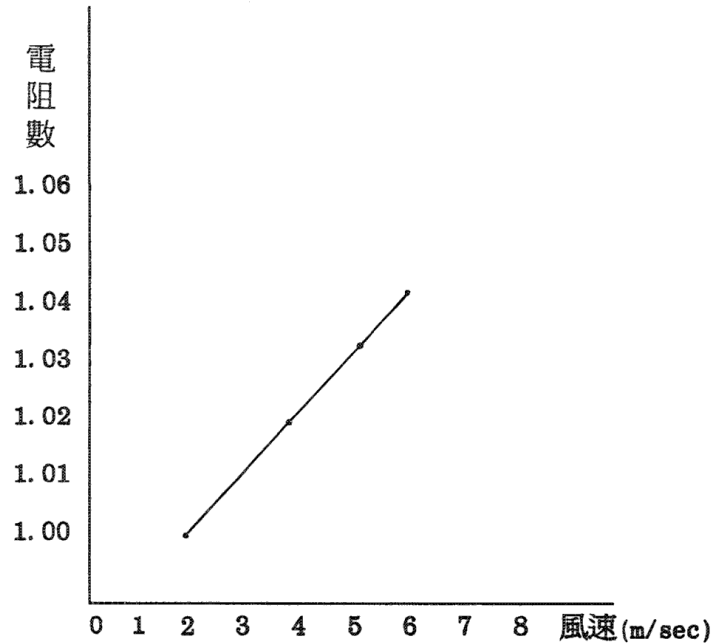
ㄱ、凹槽在翼面下的機翼

步驟同上

(5)實體模型之研究

3.數據與圖表

熱敏電阻風速對照圖



(1)風速與熱敏電阻串聯三用電表之電阻數成正比。

(2)以熱線測速器測風速迅速又便捷。

4.研究結果

(1)

ㄅ、汽車阻流板使汽車尾流減小，降低汽車前後之壓力差，減低汽車前進之阻力。

ㄆ、流線形及球形所產生之尾流

ㄇ、飛機模型所產生之渦流與尾流

(2)機翼上下凹槽產生渦流之觀察及討論：

ㄅ、從改變機翼下凹槽深度和寬度的實驗中得知，在速度一定的情況下，凹槽的深度和寬度增加到一定限度時，渦流的大小就不會隨著它而有所改變。而凹槽內部除了渦流本身外的其它部分，流體是停滯不動的。

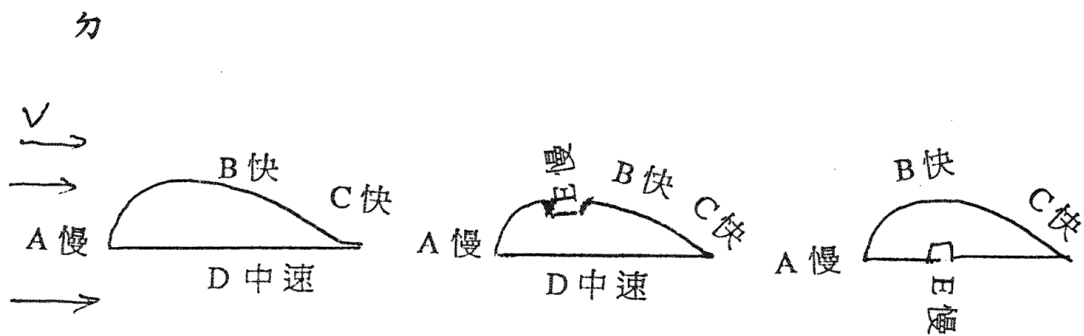
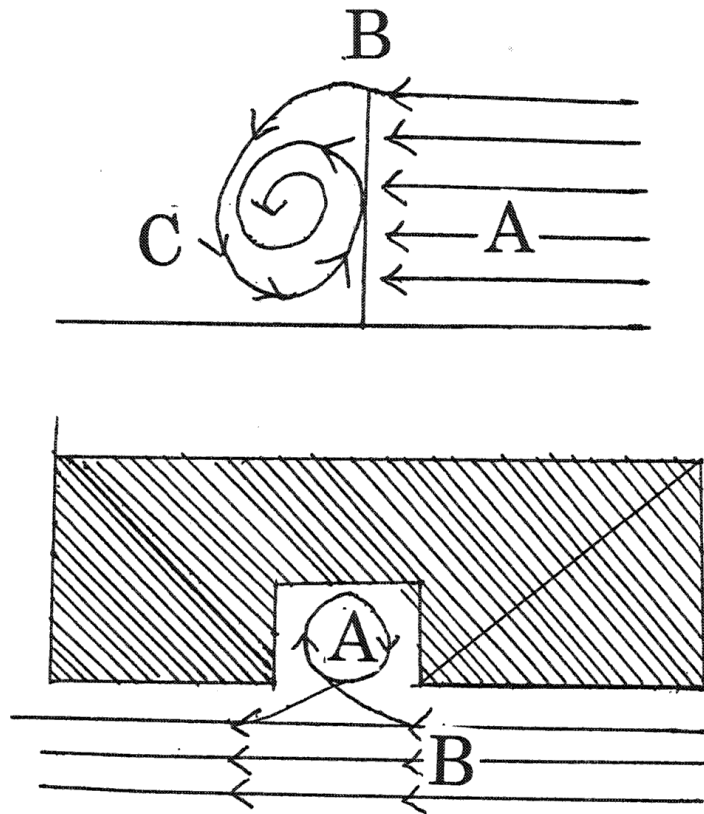
ㄆ、凹槽愈多，渦流亦愈多。

ㄇ、在翼面上加阻板，阻板愈高則渦流愈大。

但這種提高升力的方法也會增大阻力。而阻板的位置應在機翼最厚的地方，因為此地正是氣流由高壓流向低壓的地方。

ㄱ、當流體流經凹槽旁，附著在壁面的流體會將A區的流體分子帶出產生低

壓區。A區的低壓區由B區的常壓區替補，於是就在槽中產生渦流。這渦流會和槽內壁和槽外的流體分子摩擦，因此附著在地面上的流體、流速會減慢。



(二) 槓桿測定升阻力實驗：

1. 研究目的：

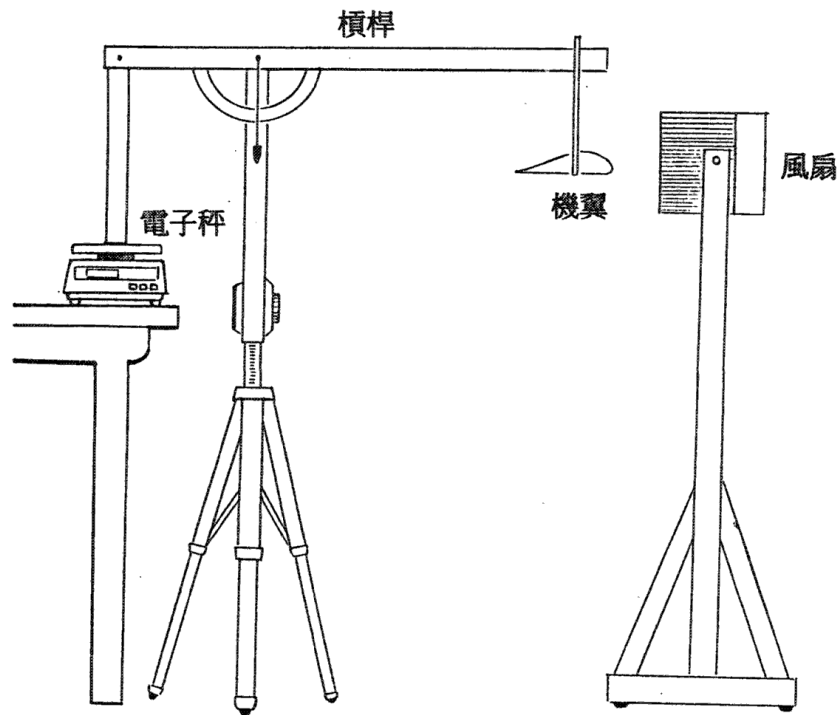
設計槓桿升力測定裝置，探討機翼等物體受風相對運動中升力之大小研究。

2. 研究原理：

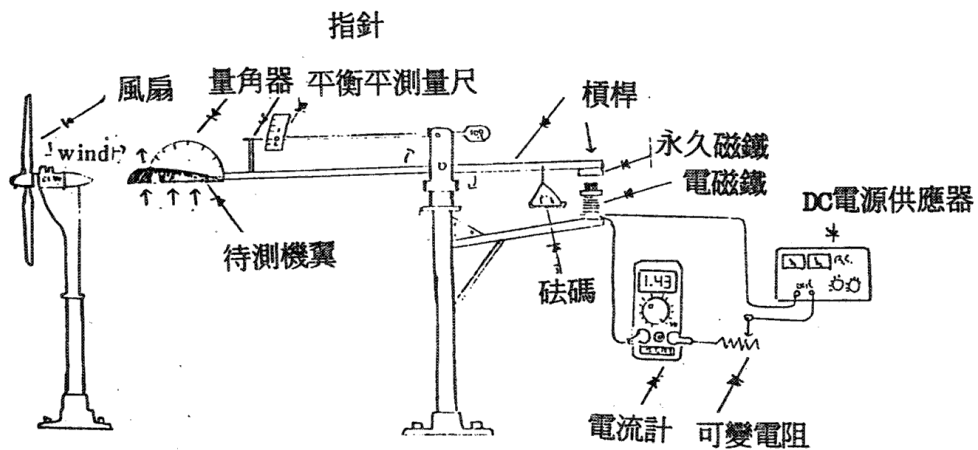
槓桿測定升阻力裝置是應用整流計可調整電壓，控制固定於槓桿上之風力大小，來水平吹動置放在槓桿長桿上之機翼，使槓桿附機翼那端上升於槓桿另一端欲使槓桿平衡，則使施等升力於電子秤，則可經換算測得升力之大小。若

欲測得機翼阻力，則改變機翼角度90度，使風扇往上（或下）吹。

3. 研究裝置圖：



電流天平升阻力測定裝置



研究原理：當風吹到機翼，產生一股升力，便將槓桿向順時針轉動，此時調整供給電磁鐵的電流，使它將天平回復與風平行（註1）此時讀出供給電流以公式或停止風扇後掛砝碼再依槓桿原理操作。

4. 研究方法：

- ①將待測物（機翼等）依次置於可調風力大小之強力風扇前，以吸管控制風力均勻。
- ②調整槓桿成水平，電子秤歸零。
- ③逐次調整風扇電壓，以風力計測定風速大小，並記錄升力（電子秤受壓量度）。

(4)風由下向上吹可測阻力。

5. 研究結果：

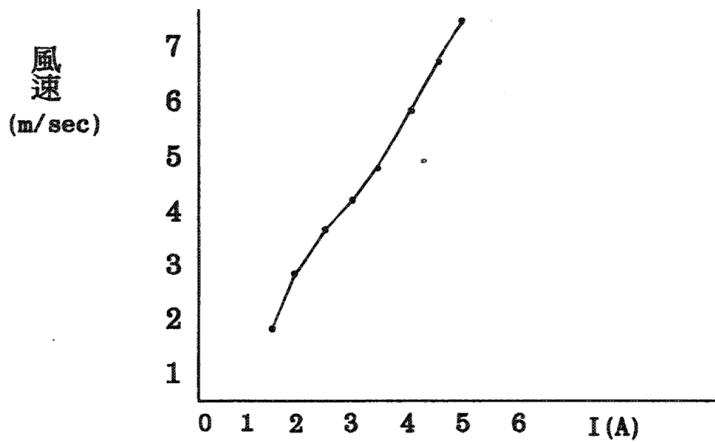
(1)此項實驗設計功能靈敏，可測升力、阻力。

(2)風速愈大，升力愈大。

(3)凹槽在機翼下方的升力最大。

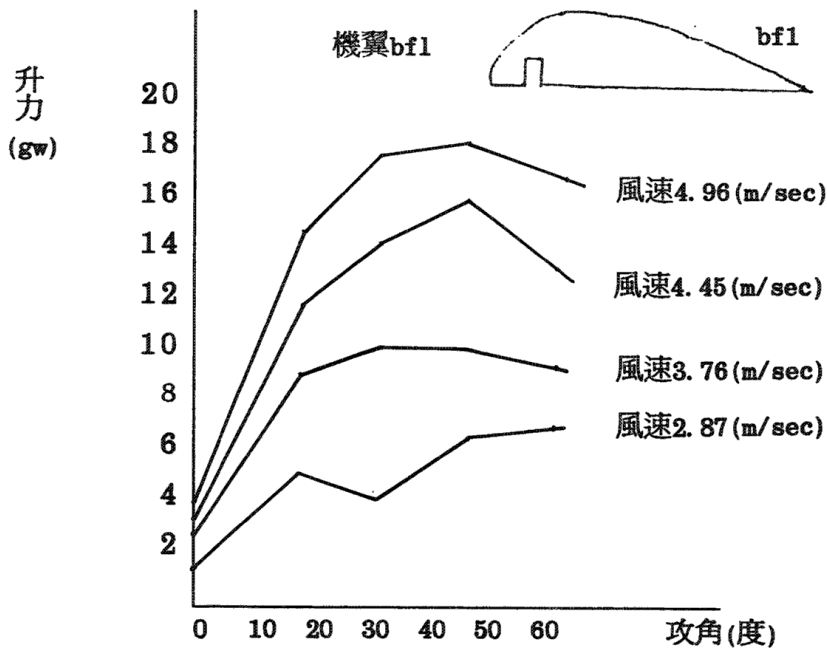
(4)凹槽1cm深，2cm寬者升力最大。

槓桿測定升阻力風速對照圖



1. 風扇風速大小與整流器調壓後電流強度成正比

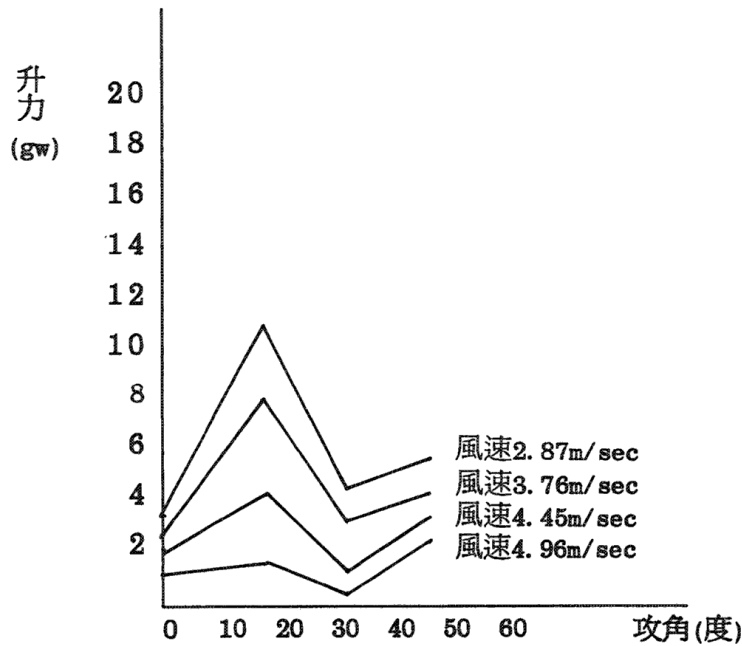
2. 改變整流器電壓大小可獲穩定不同風速



機翼bf1在攻角45° 以後風速轉弱

機翼bf1在攻角0° →45° 內升力隨攻角增大而升力增大，在0° →45° 風速愈大升力愈大。

普通機翼bo

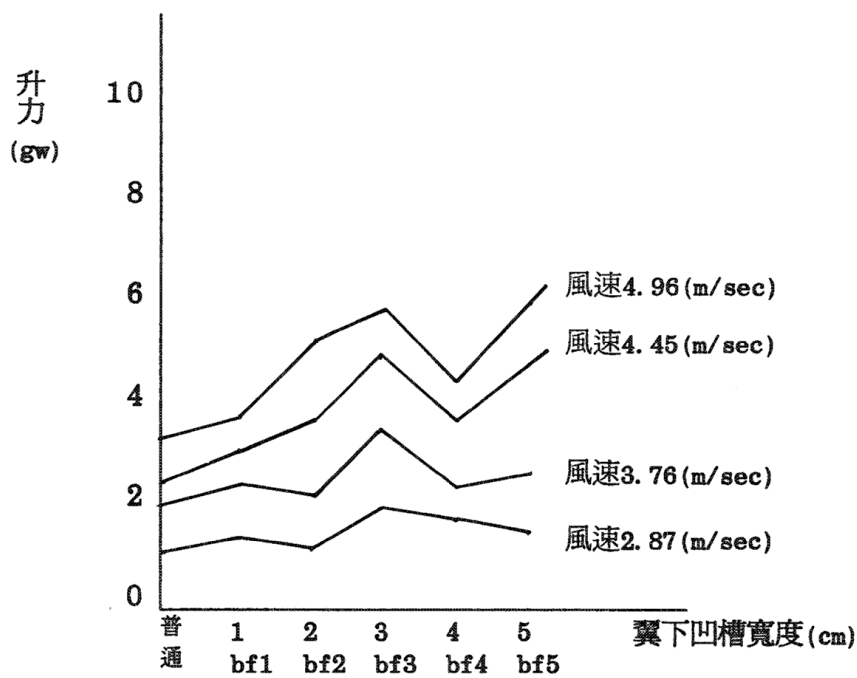


bo機翼在攻角 $15^{\circ} \rightarrow 30^{\circ}$ 間升力減弱。

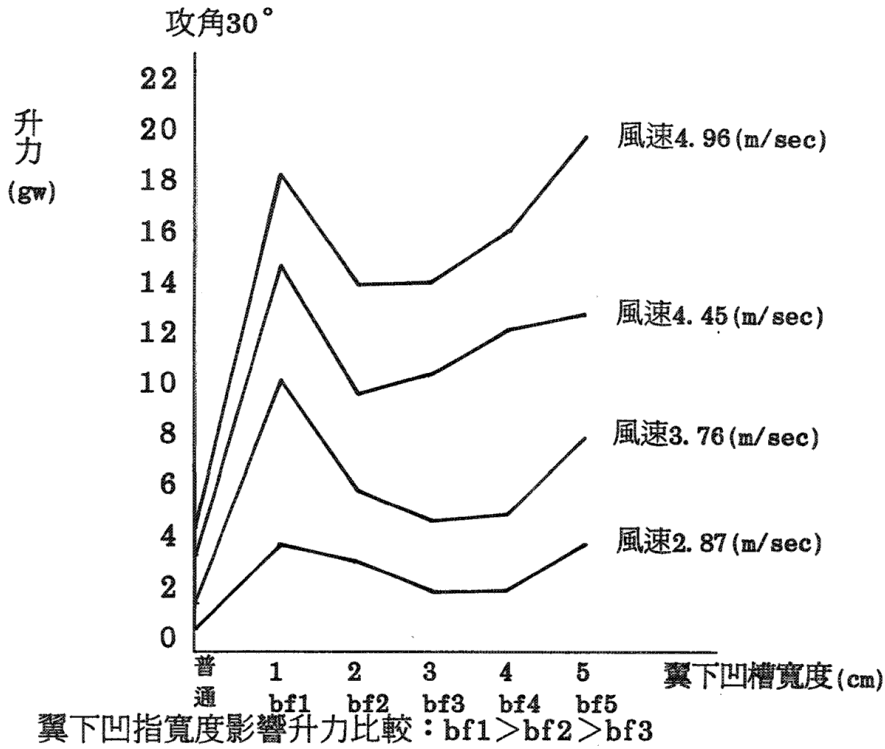
但在攻角 30° 以後升力又增加在攻角 $0^{\circ} \rightarrow 15^{\circ}$ 間升力隨風速及攻角而增加。

升力與機翼質量之比值在風速 7.09m/sec bF_5 達到6倍以上，機翼愈長升力愈強，兩側之機翼既能達到平衡，且可帶升機身。

攻 角 0°



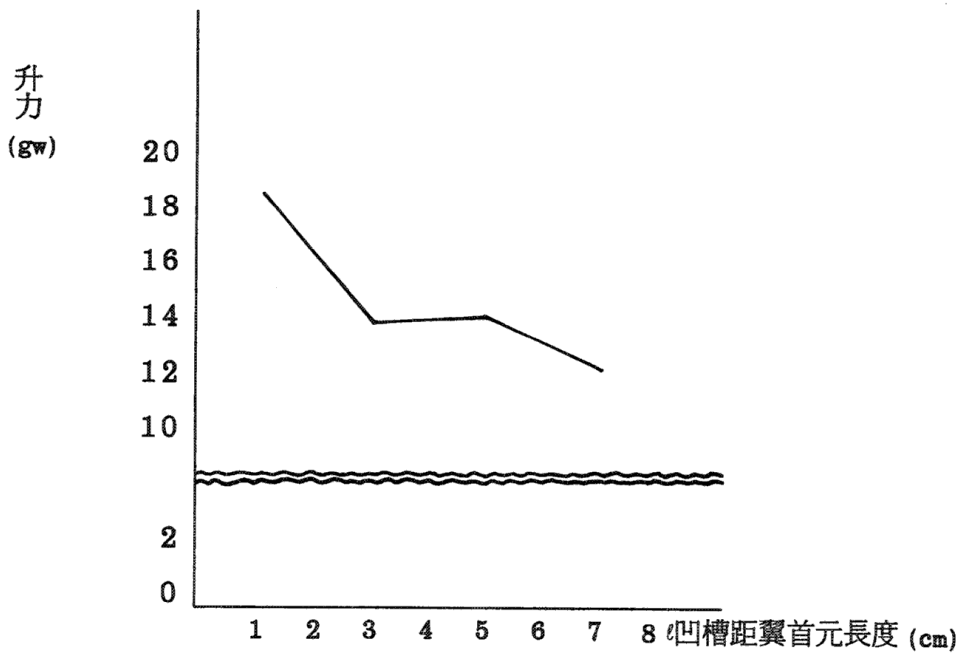
攻角 0° 、翼下凹槽以3cm寬升力最大。



0位




A=49cm b=108cm 風速=7.09m/sec 攻角=0°

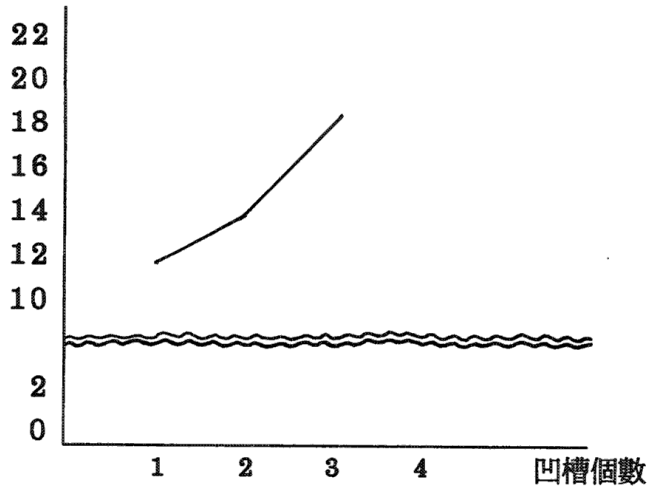
機翼型式	凹槽寬2cm, 深1cm 距翼首1cm	凹槽寬2cm, 深1cm 距翼首3cm	凹槽寬2cm, 深1cm 距翼首5cm	凹槽寬2cm, 深1cm 距翼首7cm
機翼型號	0位1	0位2	0位3	0位4
升力 L	18.5	14	14	12



0位型機翼以距翼首1cm長度附凹槽升力最佳，升力L與凹槽距翼首之長度成反比。

ba a=49cm b=108cm 風速=7.09m/sec 攻角=0°

機翼			
型式	凹槽寬2cm, 深1cm	凹槽寬2cm, 深1cm	凹槽寬2cm, 深1cm
機翼型號	ba1	ba2	ba3
升力 L	12	15	19



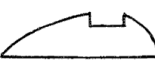
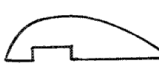
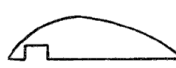
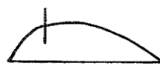
ba型機翼隨凹槽個數之增加而升力增加。

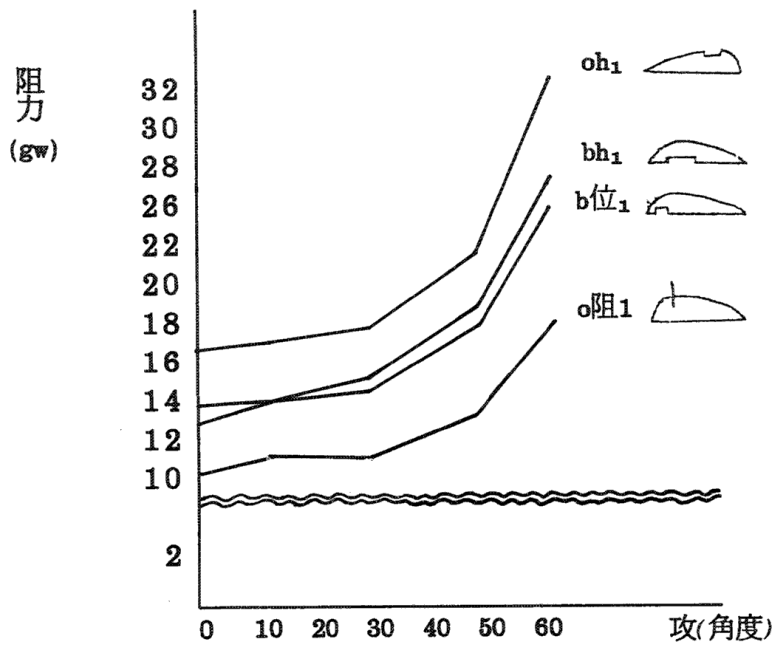
各型機翼阻力測試比較：a=49cm

b=108cm

風速=7.09m/sec

$$FB = \frac{a}{b} \times k = 0.45 \times k$$

機翼型式				
機翼型號	oh1	bh1	b位1	o阻1
攻角 阻力FB (度) (gV)				
0°	16.65	12.6	13.05	10.35
15°	17.1	13.95	13.95	10.8
30°	18	15.75	14.85	11.25
45°	22.95	20.25	18.9	13.95
60°	31.5	25.65	24.75	18.45



阻力大小比較

- (1) oh1 > bh1 > b位1 > o阻1 (2) 阻力大小隨著攻角增加而增加

各型機翼阻力大小比較

型 式	風 速 v(m/s)	阻 力 $F_D = \frac{a}{b} k$ (gw)			
		1	2	3	平均 值
1	7.09	普通	41g	43g	42g
2	7.09	bf	40g	41g	40.5g
3	7.09	ba	40g	41g	40.5g
4	7.09	o阻4	49g	50g	49.5g
5	7.09	bh4	40g	41g	40.5g
6	7.09	oh4	45g	46g	42.5g

阻力大小比較

型4 > 型6 > 型1 > 型2 = 型3 = 型5

各型機翼數據圖表分析

機翼型	t = 2.8cm	t = 5.6cm	t = 2.8cm	t = 2.8cm NACA-00h
翼型	三角翼	流線型 完全對稱	(流線型 不對稱)	流線型 對稱
(平均值) 阻力(g _w)	26	41.5	29	28

阻力大小比較

對稱型統線機翼 > 流線型不對稱機翼 > 流線型對機翼 > 三角翼

(t=5.6cm) (t=2.8cm) (t=2.8cm) (t=2.8cm)

(三) 探討流體性質與相對運動阻力之研究：

1. 研究目的：

- (1) 探討液體密度與機翼阻力之關係。
- (2) 探討機翼截面積大小不同（質量相同）與液體阻力之關係。
- (3) 探討機翼弦展相同，但長度不同，與液體阻力之研究。

2. 研究器材：

量筒（50ml）、金屬片（銅、鋅、鉛、鋁片）、礦油、甘油、水、酒精、標準機翼模型。

3. 研究方法：

(1)

ㄅ、以金屬片（銅、鋅、鉛、鋁片）裁製成美國標準機翼模型（長皆3.5公分）。

ㄆ、分別將同一種機翼由盛裝不同液體（礦油、水、甘油、酒精）之量筒的液面放下，測量落至量筒底部之時間t。

ㄏ、將所得數據畫成液體密度與機翼下滑時間之關係圖。

ㄏ、改變量筒與桌面之夾角，測量時間t，求末速V與密度d之關係。

(2)

ㄅ、以同一種機翼改變不同的截面積，控制機翼質量相同。

ㄆ、分別垂直置入不同液中，測時間t及末速V。

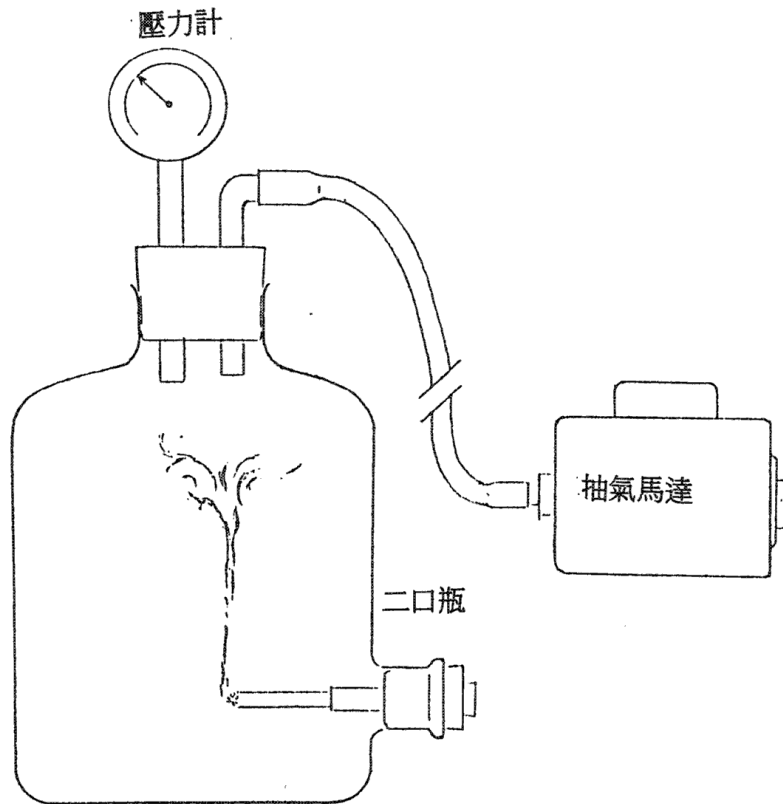
ㄏ、求機翼截面積大小與阻力之關係。

3. 機翼展弦相同但長度不同（取 l 、 $2l$ 、 $3l$ 、 $4l$ ）分別自液面上投下，測t，求出末速V。

(四) 壓力改變是否影響煙上升阻力之大小研究：

1. 研究目的：探討壓力改變與煙上升阻力之影響。

2. 研究裝置：

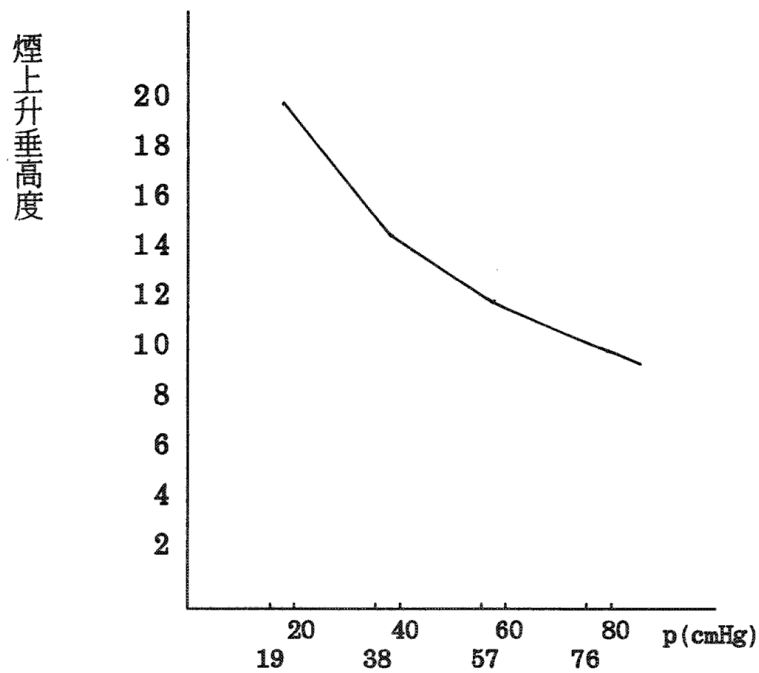


3. 研究步驟：

- (1) 實驗裝置如圖
- (2) 將燃煙置入二口瓶中，以瓶塞封入下對口以抽氣機抽氣。
- (3) 隨時記錄壓力 P 及煙之上升情況。

4. 研究結果：

(1) 數據曲線圖



- ②煙上升之筆直長度隨壓力之減少而增加。
- ③煙筆直長度上呈散開，是受空氣阻力致煙分子產生之渦流之故。
- ④下瓶口留一橡皮管開口可隨時補充氧氣。

六、結 論

(一)飛機前進上升平恆之關係式：

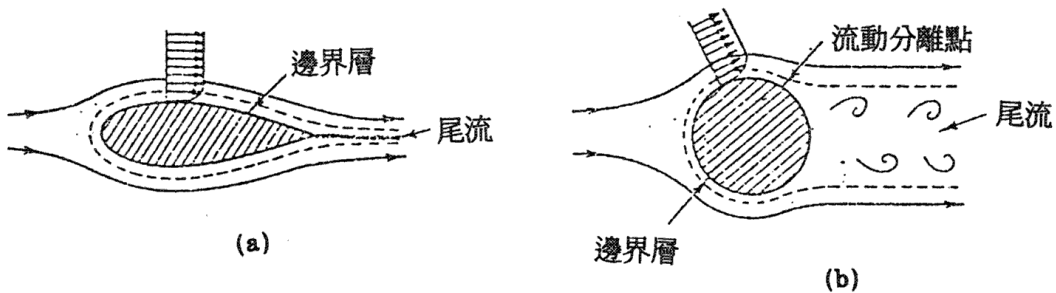
$$P \text{ (升力)} = L \text{ (揚力)} - W \text{ (重力)}$$

$$F \text{ (前進力)} = T \text{ (推力)} - R \text{ (阻力)}$$

(二)揚力L可與動壓 $(1/2)\rho V^2$ 及翼面積S成正比。

(三)與前進方相反的力量為阻力D。

$$D = (1/2) \rho V^2 S C_D \circ$$

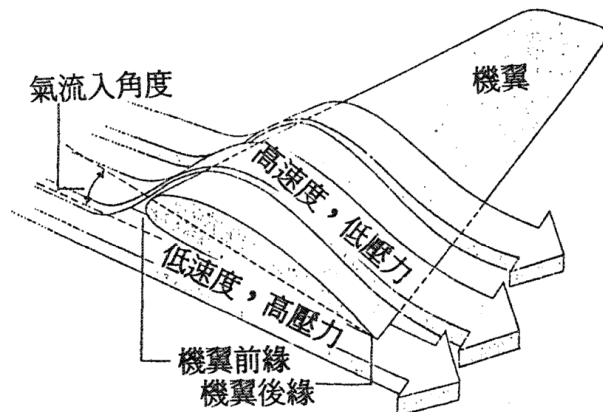


流體對於(a)一流線型物體(b)一非流線型物體之運動。

(四)了解空氣動力學原理：

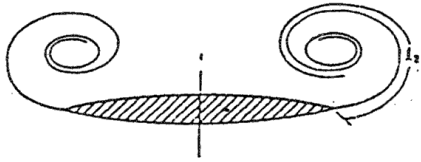
圖上的箭頭代表機翼（圖示為其橫幾面）移動時，空氣相對運動的方向。機翼上下表面曲線的不同和氣流射入時的舉升角度變化，都會使得機翼上下表面氣流的速度和壓力大小產生差異。

▲圖上的箭頭代表機翼（圖示為其橫斷面）移動時，空氣相對運動的方向。機翼上下表面曲線的不同和氣流射入時的舉升角度變化，都會使機翼上下表面氣流的速度和壓力大小產生差異。

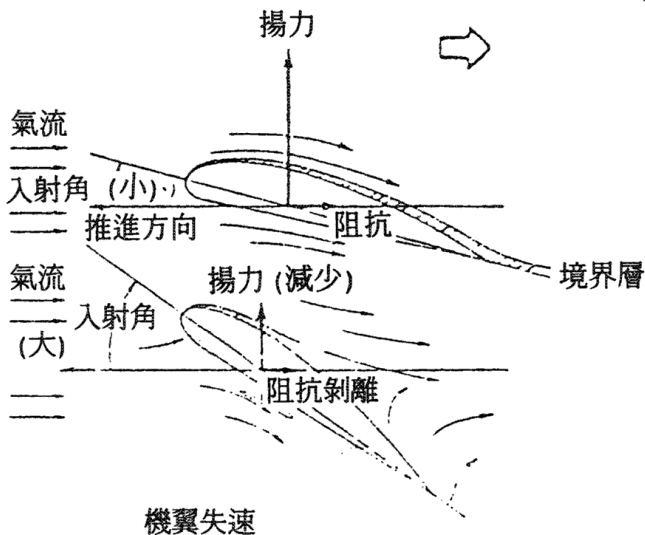
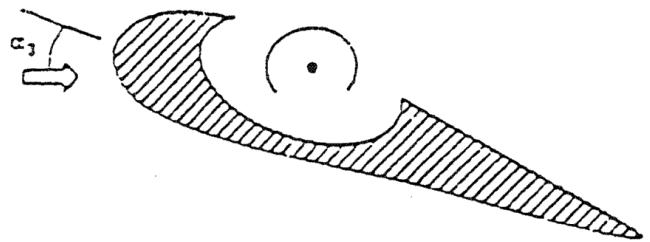
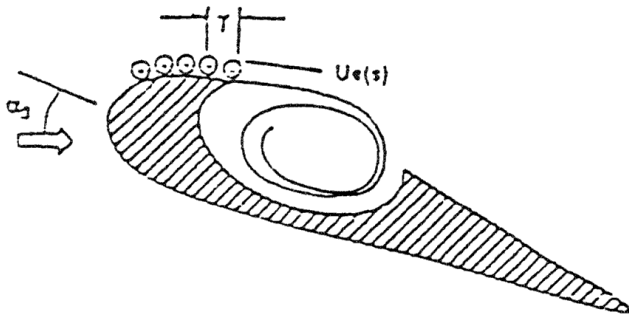


(五) 飛機仰角增加上下翼附著流的壓力差隨著增加，飛機的升力跟著增加，但當上升之角度使附著流離開機翼上方，則翼面下壓力小於翼面上壓力，飛機便會失速。

(六) 附著流額外升力是由於邊緣渦流往上捲。

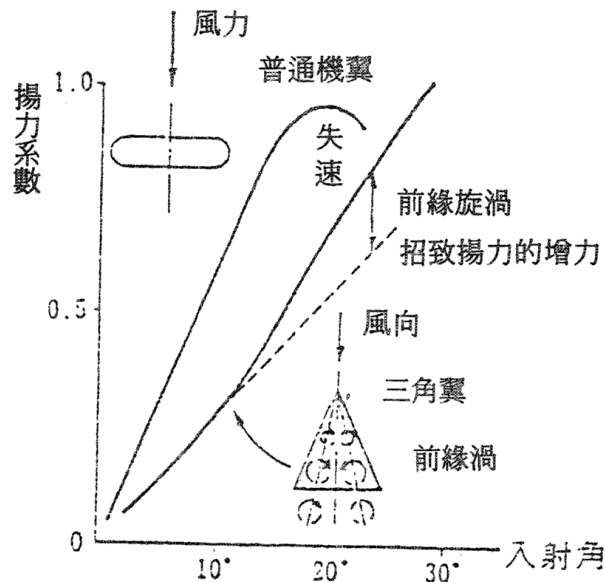


(七) 於翼面上方挖孔如圖，可使向上捲之渦流層儘量拉長，形成較大之渦旋於孔中，可避免飛機突然失速。



(v) 適應的對策是將機翼由底部到尖端小幅度地扭曲改小傾斜，減小翼端部的入射角以防翼端失速。不過，在飛行中避免失速才是最基本的安全對策。

(vi) 要獲得更大的揚力，機翼的平面最好有側長形。將機翼比喻成長方形，將其橫豎長度比稱之為縱橫比(Asspect ratio)。一般普通客機的機翼縱橫比大約在7或8。



三角翼不容易失速

(vii) 直升機旋轉翼(Helicopter rotor blade)以與飛機機翼相同的工作原理，但是由於它會旋轉，因此能在機身靜止時產生提升力。這個特性使得直升機能夠垂直起落，也能夠在空中停滯不動。

七、參考資料

- (一) 飛機總論，陳俊安，銀禾文化公司
- (二) 流體力學，Richard.H.FPAO，復漢出版社
- (三) 形與流—阻力之流體力學，中華書局
- (四) 第三十二屆科展專輯
- (五) 牛頓雜誌Vol.10 No.9
- (六) 牛頓現代科技大百科 現代技術(II)

評語

自行設計，製作風洞、水洞以及槓桿升力測定裝置，研究渦流以及流體阻力對各種不同機翼之影響。作品中，不論對文獻探討、實驗設計、數據分析或結果討論均相當仔細，嚴謹，顯示作者已能初步掌握研究之要訣。作品結果對瞭解飛機機翼構造所依據的原理，亦有所幫助。