

新中學文庫

飛行原理

柏實義著

商務印書館發行

內 國

新中華
周 計 原 則
繪 畫 教 本



高 爾 基 著 魯 迅 譯

內 國

國防科學叢書

飛 行 原 理

柏 實 義 著

中華自然科學社主編
商務印書館印行

中華民國三十三年八月重慶初版
中華民國三十三年八月重慶初版
六月十一日上海初三版

(·61278滬報紙)

國防科學叢書
飛行原理 一冊

定價 國幣貳元

印刷地點外另加運費

翻印必究

發行人	朱經農	印刷所	商務印書館	發行所	商務印書館
編者	柏實義	印刷所	商務印書館	發行所	商務印書館
作者	中華自然科學社	印刷所	商務印書館	發行所	商務印書館
編者	上海河南山路	印刷所	商務印書館	發行所	商務印書館
作者	上海河南山路	印刷所	商務印書館	發行所	商務印書館
編者	上海河南山路	印刷所	商務印書館	發行所	商務印書館
作者	上海河南山路	印刷所	商務印書館	發行所	商務印書館

緣 起

科學與國防之關係，夫人而知之矣！戰略學，戰術學，彈道學，飛行學，航海學等，固為直接用於疆場之科學；機械工程學，航空工程學，造船工程學，化學工程學，電機工程學等，又莫不為兵器製造與運用中之基本工具。再如地理學，測量學，製圖學，交通學，土木工程學，採冶工程學，醫學，農學等，或為戰略決擇之繩準，或為資源給養之所利賴，或為士兵健康戰鬥力之所攸關。例如尚在進行中之德蘇大戰，希脫勒傾其全軍之師，操其最高度之科學兵器，據其偏面估計，滿心於閃擊三個月後直搗莫斯科。孰知經過兩年來之苦戰，遭遇了無可挽回之犧牲，而莫斯科猶可望而不可即，此何故歟？實蘇聯冬季零下三十度以下之風雪天氣為之也；亦即氣象學的障礙作用為之也。又如在我國抗戰期中，我砲兵部隊某次按圖發砲，屢發不中，事後研究，始發現由於地圖之失真，是即測量製圖工作之錯誤，而直接影響於作戰之效能也。諸如此類，例不勝舉。總之，今日之戰爭，乃科學之戰爭，戰爭之勝負，決於科學程度之高低。蔣委員長云：「無科學即無國防，無國防即無國家。」亦即我人欲立國於今世，必須建設國防，建設國防，又非從科學着手不為功，此所以國防科學之研究，為全國朝野之所提倡。

本社同人，原均各就性之所好，從事於各部門科學之專門研究，其工作範圍，雖未必盡標以國防之名，然皆直接或間接與國防科學密切相關。竊以百事之舉，必集多人之參加合作，其成功方臻偉大，何況今日之戰爭，不啻為國力之抗衡，國防

責任，應在全體國民，故今之談國防建設者，莫不倡全民國防之口號。至國防科學之研究，固無從亦不必全民參加，但對於國防科學基本智識之認識，確有灌輸於全民之必要；非如是國防科學究研之風氣無從養成，參加國防科學工作之中下級幹部無從徵集。是以我人一面從事專題之研究，同時尤應致力於國防科學智識之普及，本社編著國防科學叢書之旨趣，蓋在於此。尚希社會人士，賜以匡正，是所至幸！

編 者

目 錄

第一章	引言	1
第二章	空氣靜力學	7
第三章	空氣動力學基本概念	16
第四章	機翼及翼剖面	28
第五章	廢阻力	37
第六章	飛機發動機	46
第七章	飛機性能	56
第八章	飛機穩定性	67
第九章	飛機之控制及操縱	76
第十章	航空試驗	86

飛行原理

第一章 引言

引言 人類之航空思想何時發生，雖不可考，然以意度之。必極久遠也。蓋見飛鳥翱翔於空際，實足以啓發吾人之飛行願望。山海經所載奇肱氏之飛車，可視為國人對於航空思想之具體表現。至於飛箏之發明，尤為實際製造航空器之先河。惜乎繼起研究乏人，未克發揚光大之耳！歐西各國研究航空亦殊遼遠，其進展程度則隨科學進步而具體化。初期多注意於輕於空氣之航空器。法人 Montgolfier 兄弟於西曆一七八三年第一次完成氣球飛行。以後復經 M. Charles 之研究而更趨完善。至十九世紀末葉，歐美各國對於空氣之航空器開始努力研究。最初概為研究滑翔機之飛行，如德國之 Lilienthal 乃其中之較著者也。其後更作有發動機飛機之研究，於西曆一九零三年美國 Wright 兄弟使備有發動機之飛機第一次翱翔於空際。雖然此次飛行僅於空間停留十二秒鐘，但已予吾人一航空器之雛形矣。此後飛機之發展，一日千里，至今僅約四十年，已有橫渡大西洋及太平洋之定期航線，而空中會戰，動輒數千架飛機之惡烈爭鬪。所謂無空防即無國防之真理，固人人所熟知之矣。

觀乎飛機進展之速，工程界中建設鮮與倫比。其所以能如是者，一方面固由於科學之進步，足以協助之，然而主要者厥為航空學者對於飛行原理有深切明瞭之認識，知如何用最佳之方法應用現時之科學以完成其設計之功也。故研究航空學者及對於航空事業有興趣者。實不可不先知今日已成立之飛行原理也。

考諸飛行原理，不外乎空氣力學之應用。然偉大學者牛頓 (Newton) 亦曾有嚴重之錯誤，無怪乎一般人視此為畏途。幸經英人 Lanchester 闡明其理，而同時德人 Prandtl 及 Von Karman 諸氏更以解析公式作闡切表明，乃達今日明顯之地步而易於瞭解也。

現在主要之航空器為飛機。飛機之飛行原理為空氣動力學 (Aerodynamics)。故本書除第二章外，幾全部討論空氣動力學之問題。空氣動力學除尺度 (Scale) 問題外，與水動力 (Hydro dynamics) 完全相似。古典水動力學原理可應用於空氣動力學上。現有之空氣動力學理論相當美滿，而對於航空工程有顯著之貢獻。然而尚有若干問題，理論方法不能解答。此類問題，必需用試驗方法解決之。試驗方法有模型試驗及實飛試驗兩種。試驗結果，於空氣動力學中亦佔一重要之位置。

飛行原理中所探討之題目有二：其一是解明空氣反應力之物理特性，另一是關於該空氣反應力影響下，飛機行動之研究。前者是空氣力學之基本研究，後者是關於航空器上之特殊應用也。

飛機行動問題是與固體 (Rigid Body) 力學有密切關係，依其力量情形及固體行動方程式分析之。飛機性能 (Performance) 是從有規則飛行 (Steady Flight) 均衡中得之，若干

穩定 (Stability) 概念亦可從有規則行動中得到簡單結果。關於飛機全部穩定及控制 (Control) 特性之解釋，必需於空氣動力之外，而顧及慣性力 (Inertial Force) 也。

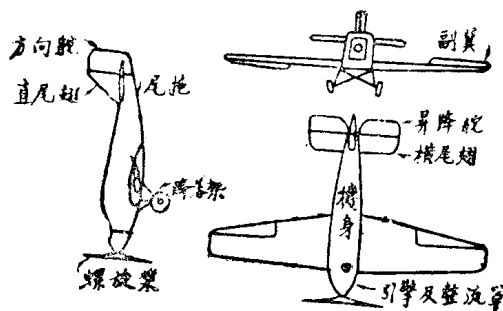
茲於討論基本空氣力學之先，將航空器之種類及各主要部份之術語，加以定義及解釋，以便對於將來之討論。

航空器之種類 凡空氣所支持之乘具，均可名之曰航空器 (Aircraft)。航空器分兩大類：第一類是輕於空氣之航空器。此類航空器是由空氣靜力反應，即浮力 (Buoyancy) 所支持於空際者。氣球 (Balloon) 及氣船 (Airship) 等屬之。因其性能遠不如飛機，目前此類航空器已非主要。故擬於第二章中約略述之。

第二類是重於空氣之航空器。此類航空器是由空氣動力反應所支持於空際者。該航空器中有一部份結構與空氣有相對行動而發生動力反應，足以支持該器於空際也。重於空氣之航空器之主要者有五種。(一) 旋昇機 (Helicopter)，是用一具或數具推進機旋轉於一垂直軸上，以支持該機於空際者也。(二) 自轉翼機 (Autogiro)，此機之機翼因動力作用，自然旋轉而支持該機於空際。其最初昇空情形與旋昇機相似，既昇空之後，機翼即自動旋轉。(三) 鳥式機 (Ornithopter)，其翼搏動如鳥然。(四) 滑翔機 (Glider)，是與普通飛機極相似，惟無發動機於其上耳。(五) 飛機 (Airplane)。

上述五種重於空氣之航空器中，僅有飛機進步可以實際應用之階段。前三者仍未脫離試驗時期，短時間內尚難大量應用。至於滑翔機之特性則與飛機完全相似。故以後討論之主題，厥為飛機；而於適當地地方，將其餘種類特性提出，互相比較之。

飛機之主要部份有五：機翼 (Wing)，支持飛機者也；發動機 (Power Plant)，推進飛機者也；控制面 (Control Surface)，控制飛機者也；機身 (Fuselage)，裝貨物及人員者也；降落架 (Landing Gear)，為降落安全而設者也。茲將此五項，約略述之如下。圖一指示各部份之名稱及地位。



圖一 飛機之三面圖

機翼用輕而堅固之木材或金屬做成，伸出於機身之兩旁。其橫斷面，或簡稱之為翼剖面 (Airfoil)，是細長形，圓頭而尖尾，其前部有很大曲度。經翼剖面後部之尖端並切於其下面之切線，或其他相當直線是為翼弦，此為翼剖面之基準線，所有尺度及角度均以此為準。全翼上各翼剖面之弦不一定相互平行。若不平行，則此翼為扭轉翼 (Twisted Wing)。

飛機之機翼可由一具或多數之翼面所組成。稱為單翼，雙翼或三翼等。多翼機中之翼面裝置有多種不同式樣；各翼面之弦不平行者，是為有『翼差角 (Decalage)』，各翼面不在二垂直平面間者，則為有『翼參差 Stagger』。沿翼弦方向之翼面長度，稱為翼弦長度，亦可簡稱為翼弦 (Chord)，垂直於飛行方向，左右兩翼端間之距離為翼展 (Span)。翼展與翼弦

之比率爲展弦比率 (Aspect Ratio)。有時翼尖兩端 (或垂直翼剖面之線) 至翼中部之直線成一角度。當此角位於水平面中時, 其半謂之拖後角 (Sweepback); 若位於垂直面中, 其半則爲上反角 (Dihedral)。此外翼面可分爲肱桿 (Cantilever), 半肱桿及非肱桿諸式, 是依翼外有無支持物而定之。

發動機包括引擎 (Engine), 螺旋槳 (Propeller), 以及燃料滑油冷涼諸系統。冷涼又分水冷與氣冷兩種。推進式飛機 (Pusher) 之發動機在機翼之後面, 而牽引式飛機 (Tractor) 之發動機則在機翼之前面云。

機身之主要任務是裝載駕駛員、乘客、及貨物等。此乃飛機主幹。機翼直接與機身相連, 有時降落架均亦置於其下。在單引擎牽引式飛機上, 亦將裝置引擎。其形狀是流線型 (Streamlined), 故阻力甚小。僅裝駕駛員或引擎而不連翼尾者, 稱爲引擎艙 (Nacelle)。有時飛機上有一根細長結構僅連尾翼用者, 名之曰尾柱 (Tail Boom)。

降落架通常包含一對大輪, 以長而空心之圓管架裝置於機身或機翼之下。在此主輪之外於機身後部裝置一支持物。此物爲尾輪 (Tail Wheel), 或爲尾拖 (Tail Skid)。另外有一種三輪降落架 (Tricycle Landing Gear), 於兩主輪之外在機身之前方置一大輪。此種裝置可避免降地時飛機向前傾覆之危, 而地面行動亦較方便。水上起落之飛機之降落架, 或用兩具浮筒 (Float), 或竟將機身造成船體 (Hull)。前者通常稱之爲浮筒式水上飛機, 後者則名之曰飛船或船身式水上飛機 (Flying Boat)。

控制面是由尾翼 (Tail) 及副翼 (Aileron) 所組成。其對於力量均衡雖不重要, 然因其距飛機重心很遠, 產生一相當大之

力矩 (Moment) 而能作有效控制。控制面常爲一固定小翼面和一可動小翼面之組合。尾翼之固定面可稱之爲翅，可動面則稱之爲舵。橫尾舵通常稱爲昇降舵 (Elevator)，控制飛機上下行動。直尾舵通常稱爲方向舵 (Rudder)，管理飛行水平方向轉動。橫尾翅 (Stabilizer)，昇降舵，直尾翅 (Fin)，及方向舵合而名之曰尾翼。副翼以鉸鏈附着於機翼近翼尖部份之尾端。當一邊副翼向下轉動時，則另一邊副翼向上轉動，故副翼控制『滾轉 (rolling)』行動。於曲線飛行中，必須利用方向舵及副翼之組合動作。控制面是由駕駛員以控制桿，或操縱輪，及腳踏鐙操縱之。另外有一種控制面，名曰襟翼 (Flap)，多用於起飛或降落時以增高機翼之昇力。其詳情後當另述之。

第二章 空氣靜力學 (Aerostatics)

流體 空氣力學分空氣動力學及空氣靜力學，與水力學相似。兩者併於一處討論乃名之曰流體力學 (Fluid Mechanics)。研究流體力學，須對流體之物理特性有概括之認識。

流體 可視為一種易於變形，完全連續，可以壓縮而有黏性物體。所有現實流體 (Real Fluid) 均具下列五種物理性。即

壓力 (Pressure) 體積 (Volume)

溫度 (Temperature) 密度 (Density)

黏性 (Viscosity)

上述項目中，僅黏性或需要解釋之。黏性是流體抵抗翦截 (Shear) 之性能，即在流體各層速度不相等時，各層間因黏性作用而發生翦力 (Shearing) Force)。黏性與翦力關係是如下：兩層隣近流體間之距離為 dy ，一層之流速為 u ，另一層

之流速為 $u + du$ 即 $u + \frac{\partial u}{\partial y} dy$ 。此兩層中之單位面積上之

翦應力 (Shearing Stress) 為

$$\tau = \mu \frac{\partial u}{\partial y} \dots\dots\dots (1)$$

μ 為該流體之黏性係數 (coefficient of viscosity)，各流體之 μ 不相同普通氣體之 μ 是與壓力無關而隨溫度增加。黏性僅

於流體行動中， $\frac{\partial u}{\partial y}$ 不等於零時，有相當作用，下章中當詳論

之。

一定質量之流體，其體積與密度成反比例。所有現實流體之體積，溫度及壓力有一定關係，若已知其中二項即可推算得其第三項焉。

研究理論流體力學時，常假設流體是理想流體，即是完全連續，無黏性，及不可壓縮者也。

大氣 (Atmosphere) 對於航空學者最感興趣之流體是空氣。一層薄薄空氣包着地球，宛如橘皮包着橘柑。該空氣層總稱為大氣。究竟該空氣層之厚度幾何，現在尙未能確知，然因大氣之密度隨高度增加而減低甚快，實際上所欲研究者僅近地面約一二十公里以下之大氣而已。

大氣是若干種氣體之混合物，該氣體等之成份隨高度變更。乾燥空氣近地面處之成份約有百分七十八為氮 (Nitrogen)，百分二十一為氧 (Oxygen)，及百分之一其他氣體。作空氣力學研究時，僅計算大氣之壓力，密度，溫度，及濕度 (Humidity) 對於空氣動靜力之影響。至於緯度等影響則可以略去。

空氣靜力學 空氣靜力學分析自由懸於大氣中物體均衡 (Equilibrium) 情形。該物體主要者為輕於空氣之航空器，氣球及氣船。空氣靜力學主要結果由於下列定律及原理所推得：

Archimedes 原理 物體浸入流體中所受到之浮力，等於所排開流體之重量。

Boyles 定律 在常值溫度下，氣體之體積與其壓力成反比例。

Charles 定律 在常值壓力下，氣體之體積與其絕對溫度 (Absolute Temperature) 成正比。

Dalton's 定律 在一定空間內數種氣體混合物之壓力等於每一氣體單獨在該空間中所生之壓力之和。

Joule's 定律 氣體自由膨脹時，不作內部工作(Work)。

Pascal's 定律 容器壁上外加壓力所生之流體壓力在全部流體中各點完全相同。

吾人將運用上述定律，以分析氣球及氣船之飛行原理。在分析之先，略述氣球及氣船構造及種類。

氣球(Balloon) 氣球及氣船均為輕於空氣之航空器，其中裝滿輕於空氣之氣體，如氫(Hydrogen)，或氦(Helium)等。排開相等體積之空氣而得有浮力，浮力大小由氣體容器之體積，氣體種類及其純度和大氣情況等決定之。氣球可分三種，即：

(一)自由氣球(Free Balloon)

(二)繫留氣球(Captive Balloon)

(三)可駕駛氣球或氣船(Dirigible ballon or Airship)

自由氣球是圓形舊式氣球。該氣球自由浮於大氣中，僅有靜力控制之。駕駛自由氣球，需研究影響自由懸於大氣中氣球均衡之靜力，及實際控制氣球重量方法，以求在所有時間下浮力與重量有適當之連繫。此可由調節氣球籃中之壓球物，沙囊或水袋重量，及利用氣瓣以調整氣囊中之氣體得之。

氣船 氣船，或「可駕駛氣球」，是一種流線型體(Stream line Body)之氣球，而有推進機構及操縱設備者。氣船從構造上可分三種不同式樣，即：

(一)非硬式氣船(Norigid Airship)

(二)半硬式氣船(Semirigid Airship)

(三)硬式氣船(Rigid Airship)

上述式樣完全依氣船構造，氣體容器和骨架組合情形而分。非硬式氣船之氣囊 (Envelope) 中既無龍骨 (Keel)，又無其他堅硬構造，僅藉內部氣體壓力以保持其形。半硬式則有一伸縮自如圓管氣囊，附屬於一硬直之龍骨上。非硬式或半硬式氣船之氣囊中有兩只或多數小袋，是為小空氣囊 (ballonets)。小空氣囊被氣船螺旋槳或附設鼓風器所鼓動之空氣膨大之，以維持一定內部壓力及體積，因此氣囊外形可以維持其硬度。

當氣球上昇時，大氣壓力及密度均減低，因此氣囊中氣體將膨脹。由於該膨脹，小空氣囊中之空氣必需排出若干。調整氣瓣能使上昇期中內部壓力保持常值。若氣船離開地面時內部裝滿氣體，則小空氣囊中無餘地再裝空氣，上昇時必需排去一部份氣體也。從高空中下降之情況完全相反。

小型氣船中重量集於一單籃中不適於移動重量，於降落或飛行中調整氣船之姿態，可移動小空氣囊中之空氣，因而改變氣囊之浮力中心。

硬式氣船構造中，其硬度及形狀由於蒙布硬殼固定之。因為不用內部壓力保持其形狀，此船中之氣室內無小空氣囊之設備。故氣室構造簡單。硬式氣船之運用也較簡單，蓋於不同高度下飛行，無需注意壓力也。

各式氣船均有控制及發動機籃，和控制面。小型非硬式氣船中，該籃等常為開口式而載發動機，及高度和方向等控制器。該籃常用纜懸於氣囊下。半硬式及硬式構造中，該籃等與龍骨相接。龍骨支持其負荷。發動機籃與控制籃則分開。

所有氣船之控制面，均包含固定之垂直及水平控制面，前者連接方向舵，後者連接昇降舵。非硬式及若干半硬式氣船上，控制面用索具連於氣囊上。意大利式 (Italian) 半硬式氣