

部定大學用書

空氣動力學

(上篇)

基本空氣動力學

柏實義 編著

國立編譯館出版
正中書局印行

部定大學用書

空氣動力學

基本空氣動力學

柏實義 編著

(美國麻省理工大學航空工程博士)

(中央大學航空工程系教授)

國立編譯館出版
正中書局印行



版權所有

翻印必究

中華民國三十六年九月臺初版
中華民國六十四年四月臺二版

基本空氣動力學

全一册 基本定價 一元九角八分

(外埠酌加運費匯費)

編著者	柏	實	義
發行人	黎	元	譽
發行印刷	正	中	書局

(臺灣臺北市泰安街一巷三號)

海外總經銷 集成圖書公司
(香港九龍油麻地北海街七號)

海風書店
(日本東京都千代田區神田神保町一丁目五六番地)

東海書店
(日本京都市左京區田中門前町九八番地)

新聞局出版事業登記證 局版臺業字第〇一九九號(2150)志
(500)

羅 序

夫操舟者必先知水，善騎者必先知馬，習航空者必先知空氣之性質，其理一也。自飛機之設計以至於駕駛，莫不需空氣動力學之學理爲之基補焉。

至空氣動力學之學理，則可區分爲理論與實驗兩途。Wright 兄弟首製飛機時，卽曾爲模型試驗，以求翼面之昇力，其飛行之所以成功，實得助於此不少，蓋當航空初創時期，理論之基礎未立，不得不借助於實驗也。繼起之試驗所，如 Eiffel, N. P. L., Göttingen, N. A. C. A. 等，貢獻宏富，成績昭顯，迄今猶爲航空界所推崇，目下飛機設計，則幾一以風洞及實飛之結果爲依據矣。

迨 Lanchester, Prandtl, von Karman, Glauert, Bairstow 輩出，或旁探水動力學之原理，或根據風洞試驗之結果，更進而爲數理上之探討，於是近人對氣體理論方面，乃漸予重視矣。雖然理論之推斷無試驗以證實之，則空言而不當，實驗之結果無理論以分析之，則徒勞而無據，兩者互爲依輔，固不可輕此而重彼也。

集理論試驗而爲一，空氣動力學之規模乃備；縱觀歐美空氣力學諸著作，或偏重理論，或偏重實驗，其完善而適合爲大學教材者，尤不多觀，我校柏教授實義有見於此，特綜合各家之長，參考 C. I. T., M. I. T. 及我校之教材，編成斯書，以餉學者，柏君從 von Karman 遊，

其學理精湛，自無庸贅辭，且斯書之收羅宏富，條目允當，尤足供一般飛機設計家之參考，非僅為課本已也。

④ 我國科學落後，航空工程尚未發達，柏君斯著介紹國外材料至為週詳，於我國內航空學術良多貢獻，特航空學術方興未艾，我人為迎頭趕上計，固當自行為理論及實驗之研究，斯書之作，僅其發端之基石而已。刻國立航空研究院及各大學之航空研究所均已次第成立，斯書再版時，能多見國人研究之成績，則固榮安之所厚望也。

羅榮安於中央大學

自 序

空氣動力學，分理論空氣動力學及實用空氣動力學兩門。惟一般航空工程師及飛行家所必需深切明瞭者，厥為實用空氣動力學。普通將實用空氣動力學簡稱為“空氣動力學”。實用空氣動力學之內容，主要者又可分三部，曰基本空氣動力學，曰飛機性能學，曰飛機動力學，此三部分間，雖有其密切關係，然各有其獨立性，教育部於大學教程中根據此種分部，而規定航空工程系之空氣動力學為三學期之課目，良有以也。

實用空氣動力學之分部，雖若是之明顯，然目前直接以此次序而成之教材殊鮮，即於歐美航空書籍中，亦少有合式者，編者特就最近美國加省理工大學(C.I.T.)及麻省理工大學(M.I.T.)兩校之實用空氣動力學之教材，而參以若干標準空氣動力學書籍，以編成是書。已於國立中央大學航空系試行教授，尚屬滿意，爰特再加整理，以公諸同好，惟其中遺誤之處，恐或不免，尚希海內明達不吝指示，以期完成一標準空氣動力學基本教材也。

編著是書目的，是着重於基本原理之闡明，以期學者對空氣動力學有深切明瞭之認識，而足以自立的追隨飛騰孟晉之航空事業，然於可能範圍內將實際應用之材料加入，故希望此書亦能為航空工程師實際設計時之一種有效之參考也。

編者承 家嚴 西泉老先生之鼓勵與督促，乃得於空襲頻仍期中完成是篇，此編者之最感幸運者，緣誌於此，以示敬也。

民國三十年九月

編 者 識

符 號

(1) 普通常用符號

a	昇力曲線坡度	D	阻力
A	最大斷面面積	D_i	感應阻力
$a. c. = n$	空氣動力中心係數	e	飛機效率因子
R	展弦比率	h	高度
b	翼展	HP	馬力
c	翼弦	K	迴流或阻力直線坡度
C_D	阻力係數	L	昇力
C_{D_i}	感應阻力係數	M	俯仰力矩
$C_{D_{o(min)}}$	最低翼形阻力係數	$NACA$	美國航空評議會
C_L	昇力係數	p	壓力
$C_{L_{max}}$	最高昇力係數	P	功率
$C_{L_{opt}}$	最佳昇力係數	q	動力壓力
C_M	力矩係數	RN	羅氏數字
C_{M_0}	無昇力矩係數	RN_C	臨界羅氏數字
$C_{M_{\frac{1}{2}}}$	繞 $\frac{1}{2}$ 弦點力矩係數	RN_e	有效羅氏數字
$C.P.$	壓力中心係數	r	半徑

S	翼面積	δ	邊界層厚度
u, U	向前流速	δ, τ	更正因子
v	向外流速	η	效率因子
V	速度	μ	黏性係數
W	重量	ν	運動黏性係數
α	衝角	ρ	密度
β	拖後角	ρ_0	在海平面標準情況下密度
γ	流體比重	σ	密度比率

(2) 積 次 分 析

a	聲速	Q	熱量或其他數量
c	比熱	t	週期
C_F	力係數	T	單位時間
F	力	v	速度
g	重力加速度	ρ	密度
l	長度	τ	剪應力
L	單位長度	μ	黏性係數
m	質量	ν	運動黏性係數
M	單位質量		

(3) 標 準 大 氣

p	壓力	T	絕對溫度
t	溫度	V	體積

符 號

$^{\circ}\text{C}$ 度(攝氏溫度標) $^{\circ}\text{F}$ 度(華氏溫度標) ρ 密度	μ 黏性係數 W 比重量 Δ 運動黏性係數
---	--

上述各符號之右下方加以 \circ 字表示相當於海平面標準情況下之值

(4) 翼剖面特性

a_0 昇力曲線坡度, $R = \infty$ a 翼弦 C_{d_0} 翼形阻力係數 $C_{d_{0(\min)}}$ 最低翼形阻力係數 C_l 昇力係數 dL 翼剖面上昇力, 翼展為一 dy 單位翼展長 C_{l_a} 附加昇力係數 $C_{l_{a_1}}$ 全翼昇力係數為一時, 附加 昇力係數 C_{l_b} 基本昇力係數 $C_{l_{max}}$ 最高昇力係數 $C_{l_{opt}}$ 最佳昇力係數 C_{m_0} 無昇力矩係數	$C_{m_{0.5}}$ 繞 0.5 翼弦俯仰力矩係數 h_x 離翼弦頂端向後 x_0 弦處中 弧曲線離翼弦高度 L_0 由中弧而生之昇力 L_{α} 由衝角而生之昇力 L 弧位 m 弧高 R_T 頂端圓半徑 y 沿橫翼軸之距離 α 幾何衝角 α_0 有效衝角 α_a 空氣動力衝角 α_i 感應衝角 α_{l_0} 無昇衝角
--	---

(5) 軍 翼 機

C_D	全翼阻力係數	G	全翼俯仰力矩因子(依剖面基本昇力者)
C_{D_i}	全翼感應阻力係數	H	全翼空氣動力中心因子
C_{D_0}	全翼翼形阻力係數	J	全翼感應衝角因子
C_L	全翼昇力係數	L_a	附加昇力因子
$C_{m_{l_a}}$	全翼由附加昇力而生之俯仰力矩係數	L_b	基本昇力因子
$C_{m_{l_b}}$	全翼由基本昇力而生之俯仰力矩係數	M	全翼俯仰力矩
C_{m_s}	全翼由剖面無昇力矩而生之俯仰力矩係數	m_0	當 $R=6$. 全翼之昇力曲線坡度
$C_{m_{a.c.}}$	全翼繞空氣動力中心俯仰力矩係數	p	壓力差, 即沿翼弦任意一處上下兩表面之壓力差
C_n	垂直力係數	P	垂直壓力係數
$(C_n)_{b_0}$	由 z 力而生基本垂直力係數	P_0	昇力爲零時垂直壓力係數
$(C_n)_{b_m}$	由力矩而生基本垂直力係數	P_a	附加垂直壓力係數
c_t	翼尖翼弦	P_b	基本垂直壓力係數
c_r	翼根翼弦	u	全翼感應阻力第一因子
C_z	z 方向力係數	v	全翼感應阻力第二因子
E	全翼俯仰力矩因子(依剖面無昇力矩者)	w	全翼感應阻力第三因子
f	全翼昇力坡度因子	x	翼縱軸方向座標
		$X_{a.c.}$	全翼空氣動力中心之 x 座標
		z	翼垂直軸座標
		$Z_{a.c.}$	全翼空氣動力中心之 z 座標

標	
α_i 翼根剖面幾何衝角	$\alpha_s(L=0)$ 當全翼昇力為零時， 翼根剖面幾何衝角
α_{as} 翼根剖面空氣動力衝角	α_{l_0} 翼剖面無昇衝角
α_{l_0s} 翼根剖面無昇衝角	ϵ 空氣動力扭轉
$\alpha_{l_{0t}}$ 翼尖剖面無昇衝角	

分析單翼中，遇有述任意一剖面之符號，以相當之小寫字母表示之。
例如：任意一剖面之昇力係數為 C_l ，而阻力係數為 C_d 等，餘類推。

(6) 襟 翼

a_1 主翼之昇力曲線坡度	$E = \frac{\text{襟翼弦}}{\text{全翼弦}} \text{ 或 } \frac{\text{襟翼面積}}{\text{全翼面積}}$
a_2 由襟翼作用而生全翼昇力 曲線坡度	H 鉸鏈力矩
C_{DF} 由襟翼作用時全翼阻力係 數	m 俯仰力矩因子
c_F 襟翼弦	S_F 襟翼面積
C_H 鉸鏈力矩係數	δ_F 襟翼下轉角度

(7) 雙 翼 機

b 翼展	M 俯仰力矩
c 翼弦	S 翼面積
C_L 昇力係數	X x 方向之力
C_D 阻力係數	x 縱翼軸座標
D 阻力	Z z 方向之力
L 昇力	z 垂直翼軸座標

上述符號右下方附加“1”代表翼“1”之相當值，附加“2”代表翼“2”之相當值。翼“1”為有較長翼展之翼面，翼2則為另一較短翼展者。如附加 u 則代表上翼面之相當值，附加 L 則為下翼面之相當值。

D_{12} 由翼1在翼2上感應而生之阻力…… D_{21}, D_{11}, D_{22} 等則仿此意

w_{12} 由翼1在翼2上感應而生之風速…… w_{21}, w_{11}, w_{22} 等亦仿此意

B	雙翼機昇力曲線坡度因子	s	翼參差
e	雙翼機昇力分配因子	γ	翼力比率
G	翼隔、翼間隔	μ	翼展比率
$k=K$	翼展因子	β	由流動曲度而改之衝角
n	雙翼機展弦比率因子	δ	翼差角

(8) 廢 阻 力

A	最大向前投影面積	D	阻力
A_s	相當平板面積	e	飛機效率因子
R_s	有效展弦比率	f	相當廢面積
C_D	阻力係數	K	工程阻力係數
C_{D_A}	適當阻力係數	n	指數
C_{D_π}	適當阻力係數	S_w	浸濕面積
C_{D_p}	廢阻力係數	S_π	適當面積
C_f	摩擦力係數	w	寬度
C_s	形態係數	σ	密察比率
d	直徑	θ	側轉角
D_{100}	在百哩/時風速中之阻力	ϵ	過剩排水面積

目 次

第一篇 基本空氣動力學

第一章 引言及術語	1
第一節 引言	1
第二節 航空器之種類	2
第三節 飛機的種類及其主要部份	4
第四節 翼剖面及翼組上之術語	6
第五節 習題	10
第二章 基本概念	11
第一節 流體	11
第二節 標準大氣	13
第三節 積次分析	16
第四節 繆氏數字	19
第五節 空氣動力學之基本公式	20
第六節 流體中行動之物體上的力及其係數	21
第七節 昇力及阻力	24
第八節 風洞試驗	25
第九節 習題	27
第三章 理論空氣動力學概述——近代的昇力原理	29
第一節 引言	29
第二節 流線	30

第六節	翼剖面形態之要素… ……	78
第七節	各種有系統試驗之翼剖面… ……	80
第八節	翼剖面特性與其形態關係… ……	86
第九節	翼剖面形態之小變更與其特性之關係… ……	95
第十節	尺度效應及氣流騷動之影響… ……	97
第十一節	常用的翼剖面… ……	101
第十二節	翼剖面選擇之又一範式… ……	110
第十三節	在異常大的衝角下翼剖面之特性… ……	111
第十四節	可壓縮性範圍內翼剖面之特性… ……	112
第十五節	習 題… ……	114
第五章	全機翼之性能… ……	119
第一節	引 言… ……	119
第二節	柏蘭圖氏有限翼展之機翼理論… ……	120
第三節	葛老兒解法… ……	122
第四節	翼展方向昇力分佈之基本概念… ……	124
第五節	雙錐形而有直線式扭轉之翼面的性能… ……	127
第六節	勞絲解法… ……	143
第七節	昇力分佈及總昇力… ……	145
第八節	翼尖端更正… ……	147
第九節	一般的結論… ……	149
第十節	沿翼弦方向之壓力分佈… ……	151
第十一節	習 題… ……	155
第六章	多翼機… ……	158
第一節	引 言… ……	158
第二節	蒙克氏定理… ……	159
第三節	雙翼機之感應阻力… ……	160

第四節	雙翼機之昇力曲線坡度…	170
第五節	雙翼機上兩翼間之昇力分配…	172
第六節	平均空氣動力翼弦…	179
第七節	雙翼機之俯仰力矩…	179
第八節	翼參差及翼差角…	184
第九節	三翼機…	184
第十節	縱翼機…	186
第十一節	習題…	187
第七章	黏性流體動力學概論…	190
第一節	黏性…	190
第二節	泊謨葉流動…	192
第三節	黏性係數…	194
第四節	邊界層概述…	195
第五節	層疊式邊界層…	197
第六節	凡卡門氏動量原理…	200
第七節	騷動氣流概論…	203
第八節	騷動式流動之理論…	206
第九節	阻力…	207
第十節	分流…	210
第十一節	翼剖面之最高昇力係數…	211
第十二節	有效樂氏數字…	214
第十三節	模型性能材料之氣流騷動及尺度之更正…	216
第十四節	習題…	218
第八章	增高昇力設備…	220
第一節	引言…	220
第二節	襟翼之種類…	222