

科學圖書大庫

飛機設計基本原理

編譯者 趙先寧 校閱 王石生

徐氏基金會出版

徐氏基金會

科學圖書大庫

引介世界科技新知
協助國家科學發展

發行編號 1315

科學圖書大庫

飛機設計基本原理

編譯者 趙先寧 校閱 王石生

徐氏基金會出版

李 序

近年，我國政府與空軍正積極發展航空工業，國人已可在聞聲抬頭之際，看到甚多自製的飛機，翱翔於天空，此對國力的增強和民心士氣的鼓舞，有其不可磨滅的貢獻。

這些飛機在生產製造之前，都要經過一段漫長而艱苦的設計階段，這一階段又可區分為二：

1. 初步設計 (Pre-liminary Design)。
2. 細節設計 (Detail Design)。

前者為概念的確定，數據與方程式的運用，打樣 (Lay-out)，外形 (Configuration) 與裝設的決定，及進行風洞試驗等。後者則根據初步設計，進而繪製藍圖，並不斷地從事工程更改 (Engineering change)。

趙先寧先生畢業於國內一著名之理工學院，並在美辛辛那提大學獲航空工程碩士學位，又在國內外飛機設計部門從事實際設計工作有年，學識與經驗均甚豐富。他在公餘之暇，執筆譯述名著“飛機設計基本原理” (Fundamentals of Aircraft Design)，對上述初步設計時所應涉及的問題作了基本和原則性的敘述，有助於國內青年同好之處，必不在少，用特簡略介紹，提請讀者參考。

李永炤 謹誌

66. 7. 7. 於台中
航空工業發展中心

原 序

本書寫著的對像是大學部及研究所之高年級優秀學生及實際從事設計工作之工程師。全書中廣泛的討論到有關民航及軍用飛機的成型設計 (Conceptual design)，從任務需求的考慮到另一設計階段開始前所有決定之完整過程。本書的一切解說均甚完整，讀者可不必另尋參考資料。

本書章節安排的順序是在引導讀者能了解成型設計的步驟與全貌為主。同時其也可以提供給從事於性能，氣動，推進系統，材料選擇，重量，穩定與控制及成本估算工程師們尋求最新方法與資料的一本參考書。除此之外其尚可做為設計工程負責人或經理對更進一步的了解與認識一些導引設計參數及其間相互作用的參考。

飛機設計的過程是在綜合協調各種不同科技為本書之主要宗旨。能將氣動，推進系，飛操，結構與材料，空用電子與次系統等適切的組合在一起發揮各別的功能以達整體之功用為一有效的設計。在本書內的各章節中均一直強調此一主旨。

同時本書亦強調一位從事飛機設計工程師設計一架低成本，耗油量小，對環境污染低的飛機所應負有的責任，即滿足人類意願的設計。低成本省油的設計原則略為述及。第廿四章中同時對一些成本估算的方法亦有說明。

在有關材料選擇的章節中論及一般材料的系統，新高級複合材料的系統，製造成本低的材料諸如玻璃纖維，ABS 塑膠與木材。在重量估計的章節裡分別對由不同材料所製造出之高或低性能飛機各部份重量的估算方法，予以很完整的介紹。

本書的完成得力衆多，吾學生多人對早期資料的整理與修正貢獻良多，同事們的建議與鼓勵亦功不可沒，尤其是Dayton大學的Jay Pinson博士。提供十八章以及第十章中一部份的美國空軍軍官學校的Thomas Pilsch少校。飛機工業界均十分熱忱的提供觀念，飛機資料與照片，尤其是波音公司Bdt Nelson先生。

最後由衷的感謝內子Caralyn，兒子Jeff，女兒Debra，由於他們的鼓

勵，了解而犧牲了他們所應享有的家庭時間以使此書得以完成，特將此奉獻給他們。

Dayton, ohio

June 1975

Leland M. Nicolai

譯 序

國內航空工業方興未艾，各學校航空工程系亦紛紛成立，但有關中文的書籍却十分有限，因此筆者以有限的知識與經驗，嘗試著將此書譯為中文，以就教於各專家學者。

翻譯一本介紹飛機設計概念的書，是我多年的心願；由於本身的工作環境及社會上的需要，更堅定了這份芹曝的心意。寫書的心願，早已耿耿於懷，但僅有的學理基礎却教我考慮再三。直到去年，由於職務的需要，在美國諾斯羅普飛機製造公司實際參與一飛機設計工作近一年的時間，獲得了相當的實務經驗後，才奠定了執筆的信心。

國內大學，普遍介紹了足夠的知識基礎，大學生對理論知識，莫不琅琅上口，應答如流，談到它的應用，却往往手足無措。“飛機設計基本原理”主要即在引導學習者運用學理知識，發揮理論基礎達設計目的的功能。

如何用流暢的中文使讀者易於了解，是我編譯這本書時懷抱的理想。國內航空術語，不如機械、土木等有較普遍的譯名；中國航空太空學會雖有統一譯名，但部份仍付闕如。對於這類術語，音譯較簡便但讀者無從「望文生義」；意譯固然確實，却很難以兩、三個字簡潔、適切地表達出其涵意，權商之下決定將一部份國際語言“符號”參雜在敘述文中，儘量使得文句能以流暢。

本書在付印之前承航發中心航空研究院華院長錫鈞，中正理工學院機械系賀主任俊暨航空研究院梁鎮宇先生多方之鼓勵與協助，特此致謝，同時全書草稿之抄謄工作佔據了內子梅華女士僅有的閒暇時間，她對本書能順利付印的貢獻，筆者在此亦致以最誠摯的敬意。

本書完成，就個人而言，固已嘔心瀝血，竭盡所得，鑒於自己才疏學淺，經驗有限，且倉促付印，其中錯誤遺漏在所難免，祈專家學者不吝指正。

最後對原作者Dr. Nicolai 允許將原著譯為中文並再提供該書之修正及最新資料申致謝意。

66. 10. 25.

符誌說明

A	展弦比 b^2/s
A	成本估算時之 AMPR 重量 (Airframe Manufacture Proposal Report Wt.) 與 DCPR (Defanded Contrator Proposal Report) 重量相同
A_c	進氣道之捕捉面積
A_e	出口面積
A_v	喉 (Throat) 面積
A^*	馬赫數為 1 處之面積
A_∞	自由流之捕捉面積
A_F	螺旋槳旋翼之活動係數 (Activity factor)
A_R	展弦比
a	音速
B	螺旋槳翼尖損失係數
B	翼切形尖銳前緣修正係數
BP	傍通條件
b	翼展
c	弦方向外力
C	推力與燃油消耗率之比
$\bar{c}$	平均氣動力弦
C_B	分供修正係數
C_C	弦向外力係數
C_C	前翅體積係數
C_D	三度空間阻力係數 $D/q S_{ref}$
C_{DA}	加增阻力係數
$C_{D_{ADD}}$	理論加增阻力係數
C_{DB}	基本阻力係數

C_{DF}	蒙皮磨擦阻力係數
C_{DL_i}	有限翼展因升力而產生之阻力係數
$C_{D_{LS}}$	整流罩前緣吸力係數
$C_{D_{LV}}$	因流體分離導至升力產生之阻力係數
C_{D_0}	三度空間零升力之阻力係數
$C_{D_{p_{min}}}$	因流體之黏滯性而產生分離，由於分離而導致壓力差，由壓力差而產生之阻力係數。
C_d	剖面阻力係數（二度空間）， $D/q\bar{c}$
C_{d_0}	剖面零升力阻力係數
C_{d_w}	剖面波阻係數
C_F, C_f	蒙皮磨擦係數
C_{HT}	水平尾翼體積係數
C_j	噴射係數
C_L	三度空間升力係數
C_{LB}	分叉升力係數
C_{LG}	地面滑行升力係數
$C_{L_{MAX}}$	最大升力係數
$C_{L_{min}}$	最低阻力時之升力係數
$C_{L_{opt}}$	最佳升力係數
C_{L_α}	升力曲線斜率， $dc_L/d\alpha$
C_l	剖面升力係數， $L/q\bar{c}$
C_{l_p}	滾翻阻尼係數 $dc_l/d(Pb/2V)$
C_{l_β}	側向靜態穩定率 $dc_l/d\beta$
$C_{l_{\delta_a}}$	襟翼控制率 $dc/d\delta_a$
C_M	三度空間力矩係數， $M_A/qS_{Ref}\bar{c}$
C_{M_0}	零攻角時之力矩係數
C_{M_α}	縱向靜態穩定率 $dc_M/d\alpha$
$C_{M_{\alpha_c}}$	前置小翅控制率， $dc_M/d\alpha_c$
C_{M_δ}	水平尾翼控制率， $dc_M/d\delta_l$
C_m	剖面力矩係數， $M_A/q\bar{c}^2$
C_{m_q}	俯仰阻尼係數， $dc_M/d(qc/2V)$
C_N	垂直力係數

C_{N_α}	垂直力曲線斜率
C_{N_β}	方向靜態穩定率 $dc_n/d\beta$
$C_{N_{\delta_r}}$	方向舵控制率 $dc_n/d\delta_r$
C_p	螺旋槳馬力係數
C_p	壓力係數 $(p - p_\infty)/q$
C_{PB}	基本壓力係數
C_T	推力係數
C_{VT}	垂直尾翼體積係數
C_1	非線性升力係數
C_2	非線性力矩係數
D	阻力
d	直徑
d_e	出口直徑
E	耐航性
e	翼平面形效率係數
F	機翼與機身升力相互干擾係數
H_T	喉高
h	高度
h_e	比能
I_{sp}	比衝
I_{xx}, I_{yy}	慣性力矩
I_{zz}, I_{xy}	
i_T	推力角
J	前進率
K	對稱翼切形機翼因升力係數而產生之阻力係數
K'	有限翼展影響升力阻力係數之因數。
K''	黏滯分離影響升力阻力係數之因數
K_{ADD}	加增阻力係數修正因數
K_B	加增阻力係數修正因數之分叉因數
K_D	流體擾動參數
k''	剖面分離升阻力因數
L	升力
L_D	擴散器長度

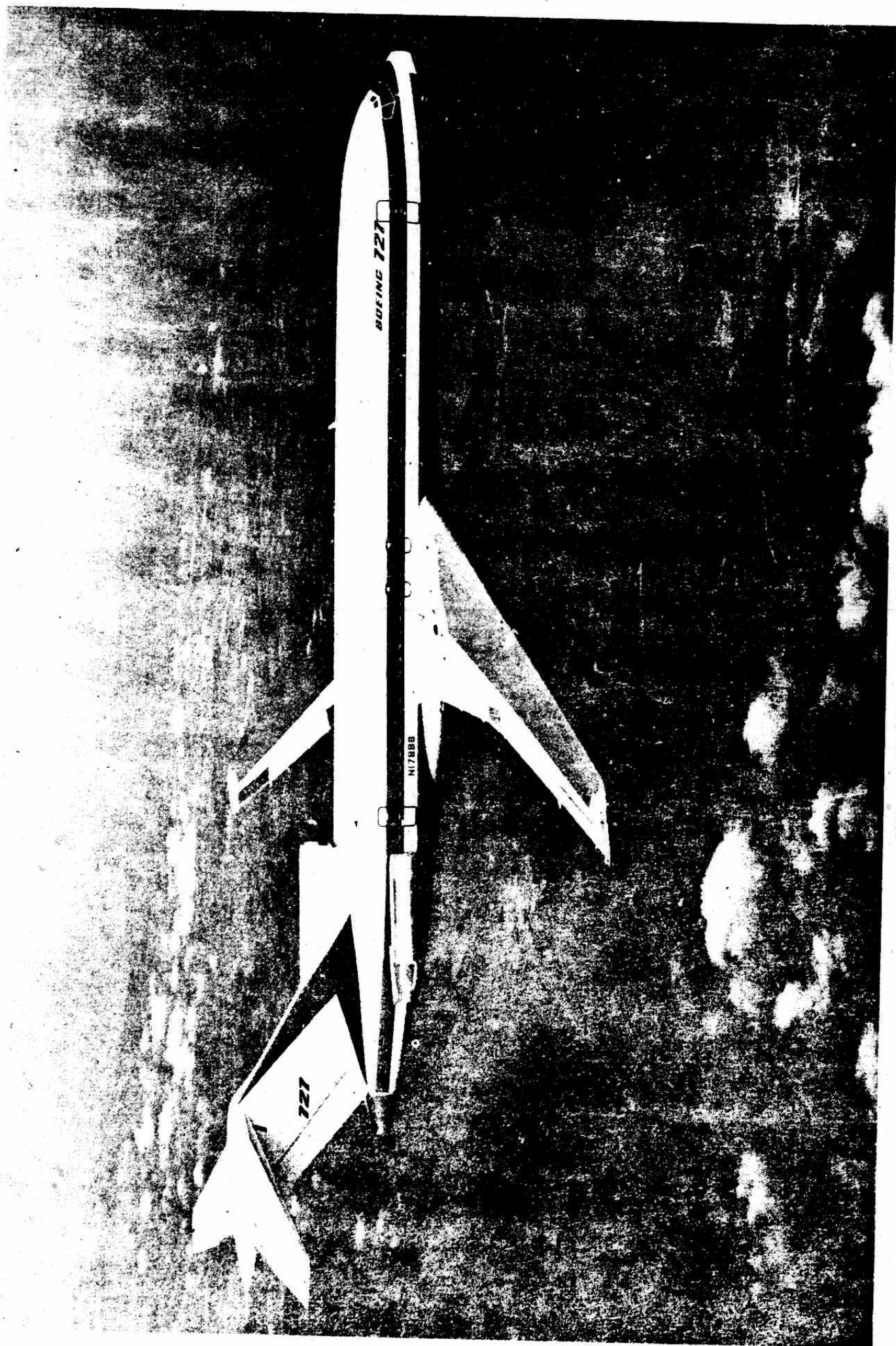
l	長度
M	馬赫數
M_A	對 A 點之力矩
M_c	臨界馬赫數
M_D	擴散馬赫數
M_N	垂直馬赫數
M_S	表面馬赫數
m	質量
m	三度空間升力曲線斜率
$\dot{m}$	質流率
m_o	剖面升力曲線斜率
N	垂直力
N	繞垂直軸之力矩 (如圖 20-2 所示)
n	負載因數 L/W
P	靜壓力
P	滾轉率
P_B	基本壓力
P_i	誘導馬力
P_R	需要馬力
P_S	超出比馬力
Q	$Q_D + Q_P$
Q_D	試飛飛機架數
Q_P	生產飛機架數
q	動壓力、 $\frac{1}{2} \rho V_\infty^2$
$\dot{q}$	加熱率
R	航程
R'	氣體常數
R	升力面修正因數
R_e	雷諾數
R_o	機鼻半徑
γ_{LE}	翼前緣半徑
S	最佳高度下之最大速率 (對成本估算而言)
S_A	降落前之空中距離

S_B	基地面積
S_B	刹車距離
S_c	前置小翅面積
S_e	曝露平面形面積
S_G	地面距離
S_{Ref}	氣動力導數之參考面積
S	水平尾翼面積
S_w	機翼總平面形之面積
SM	靜態限制
T	推力
T_A	可供使用推力
T_R	需要推力
t	時間
t	寬度
V	速度
$\bar{V}$	尾翼體積係數
$\bar{V}_c$	前置小翅體積係數
$\bar{V}_{FR}$	起飛時發現引擎故障時之速度
$\bar{V}_R$	旋轉速率
$\bar{V}_{stall}$	失速速率
$\bar{V}_{TD}$	降落落地時之瞬間速率
$\bar{V}_{To}$	起飛升空速率
$\bar{V}_{50}$	起越 50 呎障礙時之速率
$\bar{V}_\infty$	自由流速率
$\bar{W}$	重量
$\bar{W}_{empty}$	空重
$\bar{W}_L$	落地重量
$\bar{W}_{To}$	起飛重量
w	機翼下流速度
X_w	由重心到機翼氣動力中心之距離
Z_T	由重心到引擎推力線之距離
x, y, z	直線座標，如圖 20-2
α	攻角

α_c	前置小翅攻角
α_i	誘發攻角或傾角 (INCIDENCE ANGLE)
α_{OL}	零升力時之攻角
β	震波角，進入進氣道之上洗角，側滑角、螺距角
Γ	上反角
γ	航線角，水平參考線與 V_∞ 之夾角
γ, γ'	比熱比
Δ	後掠角
ΔN	翼前緣吸引參數
δ	非橢圓升力分佈修正因數
δ_e	升降舵轉角
δ_f	襟翼轉角
δ_r	方向舵轉角
δ_T	擾流邊界流層厚度
ϵ	機翼下洗角
ϵ	擴散器損失係數
ϵ	表面發散性
η	推進效率
η_i	理想效率
η_R	進氣道之總復原壓力
η_T	尾翼效率係數 q_{∞_T} / q_∞
θ	溫度
θ_w	機蒙皮平衡溫度
θ	流體轉折角
θ_{BLD}	邊界流層隔離器加壓面角
θ_c	圓椎等分角
θ_{CL}	爬升角
λ	漸縮比 C_T / C_R
μ	馬赫角 $\text{SIN}^{-1} \left(\frac{1}{M_\infty} \right)$
μ	黏滯係數
μ	磨擦係數

XVII

ν_{SB}	Stephan-Boltzman 常數 $48 (10^{-2}) \frac{BUT}{ft^2 - sec - ^\circ R}$
ρ	密度
σ	密度比，地面影響係數，側洗角
τ	方向舵效率 $d\alpha_{oL} / d\alpha_r$
ϕ	斜角 $\cos^{-1} (\frac{1}{n})$
$\dot{\Psi}$	圈轉率
Ω	旋轉速率



圖一 波音 727 中程次音速噴射客機

目 錄

李 序 原 序 譯 序 符誌說明

第一章 緒 論

1-1 設計協調·····	1
1-2 任務需求·····	1
1-3 規範、標準及準則·····	5
1-4 飛機設計過程·····	5
1-5 討論範圍·····	7
參考文獻·····	9

第二章 常用氣動力原理與公式

2-1 簡介·····	11
2-2 非壓縮性翼切形理論·····	12
2-3 次音速可壓縮性修正·····	14
2-4 有限翼展修正·····	15
2-5 後掠翼修正·····	16
2-6 綜合影響·····	17
2-7 非線性之機翼升力與轉矩·····	17
2-8 次音速飛機整體之氣動力係數·····	19
2-9 穿音速流體以及其影響·····	23

2-10 機翼厚度比·····	26
2-11 機翼後掠·····	26
2-12 超臨界機翼·····	27
2-13 適合穿音速飛行之機身——機翼安排·····	29
2-14 馬赫波·····	29
2-15 次音速與超音速之機翼前緣·····	29
2-16 超音速之蒙皮磨擦·····	32
2-17 超音速升力與波阻力·····	32
2-18 三度空間影響之修正·····	36
參考文獻·····	36

第三章 飛機性能

3-1 簡介·····	39
3-2 水平等速飛行·····	40
3-3 最低阻力與最高升力阻力比·····	42
3-4 需求推力隨高度、重量與外形的變化關係·····	43
3-5 耐航性·····	46
3-6 航程·····	50
3-7 等高等速度轉彎·····	52
3-8 能量近似法·····	54
3-9 能量操縱性對空戰之評估·····	56

3-10 爬升與下降速率..... 58

參考文獻..... 60

第四章 飛機操作範圍

4-1 飛行界限..... 62

4-2 最低動壓力..... 62

4-3 最大推力限..... 64

4-4 最大動壓力..... 64

4-5 氣動熱..... 67

4-6 音爆..... 69

4-7 噪音及污染限制..... 69

4-8 推力限制..... 71

4-9 最佳航行軌跡..... 73

參考文獻..... 80

第五章 初步起飛重量估計

5-1 簡介..... 82

5-2 初步重量分類..... 82

5-3 燃油消耗分配..... 85

5-4 起飛重量 W_{To} 之決定... 92

5-5 範例：高級複合材料輕重量戰鬥機之起飛重量估計..... 92

5-6 航程及酬載決定飛機設計..... 98

參考文獻..... 102

第六章 起飛翼載估計

6-1 簡介..... 104

6-2 最佳效率巡航之航程... 104

6-3 降落與起飛..... 106

6-4 空戰及加速..... 109

6-5 高空飛機..... 111

參考文獻..... 112

第七章 翼截面及機翼平面形狀之選擇

7-1 簡介..... 113

7-2 翼切形最大厚度比之影響..... 113

7-3 翼切形最大厚度位置之影響..... 116

7-4 翼切形前緣形狀之影響..... 116

7-5 翼切形弦弧之影響..... 121

7-6 翼平面形對空氣動力之影響..... 123

7-7 平面形對結構及燃油體積之影響..... 126

7-8 活動機翼..... 126

參考文獻..... 128

第八章 初步機身設計

8-1 機身形狀與大小尺寸之決定..... 131

8-2 機身之軸徑比..... 135

8-3 機身外形..... 135

參考文獻..... 142

第九章 高升力裝置之設計

9-1 簡介..... 144

9-2 機械式高升力裝置——後緣襟翼..... 144

9-3 機械式高升力裝置——延遲分離裝置..... 145

9-4 計算機械式高升力裝置