



陳大達（筆名：小瑞老師）●著

空氣動力學



概論與解析

二專、二技、大學、高考&民航特考用書
特別收錄101年民航特考航務管理試題詳解

本書四大特色！

- 1 條列式說明，內容簡明易懂。
- 2 結合航空界高考與民航特考的考題。
- 3 針對文科學生或初學者數理觀念不足的地方做重點加強。
- 4 適用於航空相關科系，如「空氣動力學」與「飛行原理」課程使用。

contents

目次

作者序	3
民航特考介紹	5
第 一 章 流體的基本概念	1 8
一、流體的定義	2 0
(一) 定義	2 0
(二) 特性	2 0
二、流體的黏滯性	2 1
(一) 影響因素	2 1
(二) 特性	2 1
三、流體性質	2 3
(一) 質量 (m)	2 3
(二) 密度 (ρ)	2 4
(三) 比容 (v)	2 5
(四) 單位重量 (比重量 : specific weight) γ	2 5
(五) 比重 S (specific gravity) S	2 5
(六) 壓力 (P)	2 6
(七) 溫度 (T)	2 8
四、內聚力與附著力	3 0
(一) 內聚力	3 0
(二) 附著力	3 0
五、牛頓流體	3 2
(一) 定義	3 2
(二) 絕對黏度與運動黏度	3 2
六、連續體之觀念	3 3
(一) 定義	3 3
(二) 不適用條件	3 3

七、流線、煙線及跡線之定義	3 4
(一) 流線 (stream line)	3 4
(二) 煙線 (streak line)	3 4
(三) 跡線 (path line)	3 5
八、常見單位轉換	3 7

第 二 章 微積分的基本觀念 3 8

一、常用的微積分公式表	4 0
二、公式表舉例說明	4 2
三、 $\frac{du}{dx}$ 型的微分	4 3
四、分部微分法	4 4
五、分部積分法	4 5
六、全微分與偏微分之差異	4 6

第 三 章 流體靜力學 4 8

一、靜壓理論 (壓力計原理)	5 0
(一) 公式	5 0
(二) 公式推導與說明	5 0
(三) 物理意義	5 1
二、壓力量測	5 4
(一) 水銀壓力計	5 4
(二) U 形管壓力計 (U-tube Manometer)	5 5
(三) 測壓管	5 6
三、帕斯卡原理 (千斤頂 & 飛機液壓的原理)	5 7
(一) 定義	5 7
(二) 千斤頂的原理 & 飛機液壓的原理	5 7
(三) 千斤頂的應用	5 7
四、浮力原理	6 0
(一) 沉體的浮力	6 0
(二) 浮體的浮力	6 0

第 四 章 空氣動力學的基本公式	6 2
一、理想氣體方程式	6 4
(一) 計算公式	6 4
(二) 特性	6 4
二、柏努利方程式 (Bernoulli's Equation)	6 8
(一) 存在條件 (假設)	6 8
(二) 公式定義	6 8
(三) 應用	6 9
三、音 (聲) 速與馬赫數	7 3
(一) 音 (聲) 速的定義	7 3
(二) 馬赫數的定義	7 3
(三) 利用馬赫數所做外部流場的分類	7 3
四、等熵過程及其特性	7 4
(一) 存在條件 (假設)	7 4
(二) 特性	7 4
五、雷諾數 (Reynolds number)	7 7
(一) 定義	7 7
(二) 物理意義	7 7
(三) 利用雷諾數所做內部流場的分類	7 7
第 五 章 流體流場性質之描述與分類	8 0
一、基本概念	8 2
(一) 系統、狀態及性質的定義	8 2
(二) 狀態的定義	8 2
(三) 性質	8 3
(四) 平衡狀態	8 3
二、向量介紹	8 4
(一) 向量表示法	8 4
(二) 向量的大小	8 4
(三) 向量的計算	8 4
三、直角座標的速度表示法	8 5
四、梯度函數	8 6

五、流體流場性質之描述	8 7
(一) 拉格蘭及恩 (lagrangian) 法	8 7
(二) 歐拉瑞恩 (eulerian) 法	8 7
(三) 評論	8 7
六、流體的分類	8 9
(一) 根據流體的壓縮性	8 9
(二) 根據流體流動時的黏滯性	8 9
(三) 根據流場性質隨時間變化的情形	8 9
七、流場之加速度	9 2
(一) 公式	9 2
(二) 公式證明	9 2

第 六 章 控制體積法 9 4

一、前言	9 6
(一) 積分控制體積法	9 6
(二) 微分控制體積法	9 6
二、積分控制容積法 (雷諾轉換定理)	9 7
(一) 目的	9 7
(二) 公式	9 7
(三) 公式所代表之物理意義	9 7
(四) 常見的應用	9 8
(五) 公式整合	1 0 5
三、微分控制體積法	1 0 6
(一) 目的	1 0 6
(二) 常用公式	1 0 6
四、邊界層效應	1 0 9
(一) 非黏滯性流體與黏性流體	1 0 9
(二) 邊界層厚度的定義	1 0 9
(三) 吹除厚度 δ^* 的定義	1 1 0
(四) 無滑流與無溫度跳動情況	1 1 0
五、流線函數、渦 (旋) 度與速度勢	1 1 2
(一) 流線函數 (stream function)	1 1 2
(二) 渦 (旋) 度 (vorticity)	1 1 4
(三) 速度勢 (velocity potential)	1 1 4

第 七 章 因次分析法	1 1 8
一、前言	1 2 0
二、產品設計流程	1 2 1
三、使用因次分析法的好處	1 2 2
四、常用的物理因次	1 2 3
(一) 基本因次的定義	1 2 3
(二) 導出因次的定義	1 2 3
(三) 常用的物理量因次表 (公制)	1 2 3
五、因次的齊次性	1 2 4
六、因次分析法 (π 定理)	1 2 5
(一) 目的	1 2 5
(二) 常用之無因次參數表	1 2 5
(三) 步驟	1 2 6
七、模型與實體的相似性	1 2 8
(一) 相似法則	1 2 8
(二) 風洞	1 2 8
第 八 章 機翼概論	1 3 2
一、飛機構造	1 3 4
(一) 垂直安定面 (Vertical stabilizer)	1 3 4
(二) 水平安定面 (Horizontal Stabilizer)	1 3 5
(三) 升降舵 (Elevator)	1 3 5
(四) 方向舵 (Rudder)	1 3 5
(五) 副翼 (Airelon)	1 3 5
(六) 襟翼 (又稱後緣襟翼 : Flap)	1 3 5
(七) 前緣襟翼 (leading edge slat)	1 3 6
(八) 擾流板 (Spoiler panel)	1 3 6
(九) 翼端小翼 (Winglet)	1 3 6
二、六個自由度的觀念	1 3 8
三、飛機控制面	1 4 0
(一) 副翼 (Airelon)	1 4 0
(二) 尾翼	1 4 0

四、控制面的制動機制	1 4 2
(一) 制動原理 (柏努利定律)	1 4 2
(二) 制動情形	1 4 2
五、機翼翼葉切面之各部名詞	1 4 4
(一) 弦線 (Chord line)	1 4 4
(二) 中弧線 (Mean camber line)	1 4 4
(三) 厚度 (Thickness)	1 4 4
(四) 相對厚度	1 4 4
(五) 彎度 (Camber)	1 4 5
(六) 攻角 (Angle of Attack : A.O.A)	1 4 5
六、翼型系列命名 (四位數與五位數翼型)	1 4 6
(一) 四位數翼型之範例	1 4 6
(二) 五位數翼型之範例	1 4 6
七、機翼的展弦比與梯度比的定義	1 4 8
(一) 展弦比 (Aspect Ratio) 之定義	1 4 8
(二) 展弦比對空氣動力特性的影響	1 4 9
(三) 梯度比之定義	1 4 9
八、機翼理論	1 5 0
(一) 升力、阻力與升力係數與阻力係數之間的關係式	1 5 0
(二) 二維機翼升力的計算 (也就是無限翼展狀況下 C_L 的計算)	1 5 0
(三) 有限機翼理論 (3D 機翼理論)	1 5 2
九、重心、壓力中心以及空氣動力中心	1 5 4
(一) 定義	1 5 4
(二) 穩定設計	1 5 4
(三) 民航機與戰機的考量	1 5 5

第 九 章 飛行速度區域 1 5 6

一、音 (聲) 速	1 5 8
(一) 定義	1 5 8
(二) 公式	1 5 8
(三) 公式證明	1 5 8
(四) 常用的音 (聲) 速值	1 5 9

二、馬赫數	1 6 1
(一) 定義	1 6 1
(二) 馬赫角	1 6 1
三、飛行器的飛行速度	1 6 3
四、利用馬赫數所做外部流場的分類	1 6 4
五、次音速流、穿音速流與超音速流流場之意義	1 6 5
(一) 次音速流 (Subsonic Flow)	1 6 5
(二) 穿音速流 (Transonic Flow)	1 6 5
(三) 超音速流 (Supersonic Flow)	1 6 5
六、重要名詞解釋	1 6 7
(一) 音障 (Sound barrier)	1 6 7
(二) 震波 (Shock wave)	1 6 7
(三) 臨界馬赫數 (critical Mach Number)	1 6 7
(四) (震) 波阻力 (Wave Drag)	1 6 7
七、在飛機上翼面之穿音速流的流場	1 6 9
八、次音速、穿音速與超音速飛機機翼的形狀	1 7 0
(一) 機翼形狀	1 7 0
(二) 後掠角機翼的優缺點	1 7 0
(三) 三角翼的優缺點	1 7 0
九、民航機延遲臨界馬赫數的方法	1 7 1
十、後掠翼延遲臨界馬赫數的原理	1 7 2
(一) 後掠角的定義	1 7 2
(二) 延遲臨界馬赫數的原理	1 7 2
十一、超臨界翼型機翼	1 7 3
(一) 特徵	1 7 3
(二) 功用	1 7 3
(三) 缺點	1 7 3
十二、穿音速面積定律 (Transonic area rule)	1 7 5
(一) 定律	1 7 5
(二) 實際應用的方式	1 7 5
十三、Prandtl-Glauert rule	1 7 6
(一) 目的	1 7 6
(二) 公式	1 7 6

第 十 章 飛機受力情況	1 7 8
一、飛機的升力	1 8 0
(一) 凱爾文定理 (Kelvin's Circulation Theorem)	1 8 0
(二) 庫塔條件 (Kutta-Condition)	1 8 1
(三) 利用庫塔條件解釋升力的形成	1 8 1
(四) 流體分離	1 8 2
(五) 飛機失速	1 8 5
(六) 升力與攻角的示意圖	1 8 7
二、提昇升力的裝置	1 8 9
(一) 襟翼 (Flap)	1 8 9
(二) 翼條 (Slat ; 又稱前緣襟翼)	1 9 1
三、飛機的阻力	1 9 3
(一) 一般物體所承受的阻力	1 9 3
(二) 飛機飛行時所承受的阻力	1 9 5
(三) 在次音速時寄生阻力及誘導阻力和速度之間的關係	1 9 7
(四) 誘導阻力所引發的現象	1 9 9
(五) 減少誘導阻力的方法	2 0 2
(六) 在穿音速與超音速時阻力係數與速度的關係	2 0 2
四、飛機的推力	2 0 4
(一) 發生原因 (牛頓第三運動定律)	2 0 4
(二) 渦輪噴射發動機之推力公式	2 0 4
(三) 影響噴射發動機推力之因素	2 0 5
(四) 飛機在平飛時不同的推力分類	2 0 6
五、飛機機動	2 0 8
六、負載因子 (Load Factor : LF)	2 0 9
(一) 定義	2 0 9
(二) 公式	2 0 9
(三) 飛機在轉圈時，負載因子的計算	2 0 9
(四) 飛機在做圓周運動時，負載因子的計算	2 1 0
七、G 力	2 1 1
(一) 定義	2 1 1
(二) G 力的正負	2 1 1
(三) G 力所造成的影響	2 1 1
(四) 抵抗或避免的方法	2 1 2
八、飛機起飛與降落的運動方程式	2 1 4

第十一章 飛機的平衡與穩定	2 1 6
一、飛機的配平 (Trim)	2 1 8
(一) 定義	2 1 8
(二) 配平的條件	2 1 8
二、穩定的定義	2 2 0
(一) 平衡狀況 (State of Equilibrium)	2 2 0
(二) 靜態穩定 (Static Stability)	2 2 0
(三) 動態穩定 (Dynamic Stability)	2 2 1
三、重心 (CG, Center of Gravity) 的定義	2 2 3
四、六個自由度的觀念	2 2 4
五、三軸穩定的定義	2 2 5
六、保持飛機三軸穩定的方法	2 2 7
(一) 縱軸 (俯仰) 穩定 (Longitudinal Stability)	2 2 7
(二) 側軸穩定 (Lateral Stability)	2 2 7
(三) 方向穩定 (Directional Stability)	2 2 7
七、保持飛機三軸穩定方法的原理	2 2 8
(一) 縱軸 (俯仰) 穩定 (Longitudinal Stability)	2 2 8
(二) 側軸穩定 (Lateral Stability)	2 2 9
(三) 方向穩定 (Directional Stability)	2 3 0
第十二章 航空發動機	2 3 2
一、航空發動機的功能	2 3 4
二、航空發動機的分類	2 3 5
(一) 分類	2 3 5
(二) 分類說明	2 3 5
三、發動機的性能參數	2 3 9
(一) 推力重量比 (Thrust-weight ratio)	2 3 9
(二) 燃油消耗率 (Specific thrust : SFC)	2 3 9
(三) 壓縮比 (Compression ratio)	2 3 9
(四) 平均故障時間 (Mean Time Between Failure : MTBF)	2 3 9
(五) 旁通比 (bypass ratio)	2 4 0

四、噴射發動機的效率	2 4 2
(一) 定義	2 4 2
(二) 降低燃油消耗率的方法	2 4 2
五、渦輪發動機 (Turbine Engine) 的基本元件	2 4 3
(一) 進氣道 (Inlet)	2 4 3
(二) 壓縮器	2 4 4
(三) 燃燒室 (Combustion Chamber)	2 4 6
(四) 渦輪 (Turbine)	2 4 7
(五) 噴嘴 (Nozzle)	2 4 7
六、其他主要元件	2 4 9
(一) 後燃器 (After Burner : 戰鬥機所使用之增加推力裝置)	2 4 9
(二) 推力反向器 (Thrust reversal)	2 4 9
(三) 向量噴嘴 (Vector Nozzle)	2 4 9

參考資料一 圓柱座標的向量介紹 2 5 2

(一) 圓柱座標與直角座標 (x, y, z) 之間的關係	2 5 4
(二) 速度的表示法	2 5 4
(三) 梯度函數	2 5 4
(四) 對流時間導數	2 5 4
(五) 不可壓縮流 (流線函數是否存在) 的判定式	2 5 4
(六) 非旋性流 (速度勢是否存在) 的判定式	2 5 5

參考資料二 民航人員三等考試航務管理「空氣動力學」歷年考古題 2 5 6

90 年民航人員考試試題 (空氣動力學第一試)	2 5 8
92 年民航人員考試試題	2 6 0
94 年民航人員考試試題	2 6 2
95 年民航人員考試試題	2 6 4
96 年民航人員考試試題	2 6 5
97 年民航人員考試試題	2 6 6
98 年民航人員考試試題	2 6 8
100 年民航人員考試試題	2 6 9
101 年民航人員考試試題	2 7 1

特 別 收 錄	101 年民航特考考試試題詳解	2 7 4
	101 年民航人員航務管理考試試題解答	2 7 6

陳大達（筆名：小瑞老師）●著

空氣動力學

概論與解析

作者序

- 一、在目前經濟不景氣的情況下，大學畢業學生薪資大概只有 22K，甚至更低。產業外流導致失業率高、無薪假的趨勢走向偏高以及大量與無預警式的裁員，造成就業學子的茫然，證照與學歷已不再是未來工作的保障，許多學生，紛紛轉投到軍公教的行列之中。
- 二、一般人都以為軍公教是鐵飯碗，但是國家大量裁軍、國防政策錯誤以及其他種種因素造成軍人的尊嚴與工作無法獲得保障，而社會的「少子化」造成流浪教師逐年升高；目前以公務人員的工作最穩定。
- 三、目前航空學校甚多，但證照考試分飛丙、飛乙、CAA 以及 FAA 等，飛丙證照由於獲得證照的人數太多，對求職幾乎是沒有任何幫助。但是飛乙、CAA 以及 FAA 等證照考到的機會比考公職考試還難，而且 CAA 與 FAA 單是受訓就要二、三十萬，結訓出來還不一定找到工作。
- 四、經過調查，民航特考所錄取的公職人員待遇遠較一般的公職人員高，而且由於其考試科目與特質的關係，文科學生只要掌握飛行原理與空氣動力學（二選一）之外，甚至錄取率比理科學生高。
- 五、目前坊間民航特考考試叢（套）書均註明缺空氣動力學與飛行原理的考試用書，且因民航特考的考題並未公布答案。因此作者結合民航考題利用簡明的文字描述飛行的各種原理、飛機結構的運用以及飛行現象的解釋，並針對文科學生相關數理觀念缺乏的部份做重點加強與解釋。
- 六、本書能夠出版首先感謝本人父母陳光明先生與陳美鸞女士的大力栽培，內人高瓊瑞小姐在撰稿期間諸多的協助與鼓勵。除此之外，承蒙秀威資訊科技股份有限公司惠予出版以及黃姣潔小姐的細心編排，在此一併致謝。

民航特考介紹

一、考試等別、類科組及暫定需用名額：

公務人員特種考試民航人員考試：

1. 考試等別：三等考試及四等考試。
2. 科別及暫定需用名額：民航特考三等設飛航管制、飛航諮詢、航空通信及航務管理等四個科別，四等設飛航諮詢、航空通信及航務管理等三個科別。

暫定需用名額得視考試成績及用人需要，擇優增減錄取。用人機關如有臨時用人需要，於典試委員會決定錄取標準前，經考試院核定，得增加需用名額。

二、考試日期：

1. 第一試：預計於每年 9 月左右招考
惟考試日期得視外語口試應考人數及試場設置情形需要予以延長。
2. 第二試：預計於每年 12 月左右舉行，實際日期須視典試委員會決議而定。

三、考試地點：僅設臺北考區。

四、其餘考試相關規定依「公務人員特種考試民航人員考試規則」之規定辦理。

五、報名有關規定事項：

- (一) 報名日期：預計於每年 6 月中下旬報名。
- (二) 報名方式：民航特考一律採網路報名，應考人請以電腦登入考選部全球資訊網，應考人進入前項系統登錄報名資料完成後務必下載列印報名書表，連同應考資格證明文件及繳款證明等，以掛號郵寄至指定地點。

六、應考人為身心障礙者、原住民、後備軍人或低收入戶、特殊境遇家庭，應繳規費予以減半優待。