

飛行原理

(上 冊)



中國人民解放軍空軍訓練部印

飛行原理

高敏茲 顧 著

夫聶列斯 維

編 譯 坤 乾 常

一九四九年十月

前言

飛行原理對飛行人員講起來是極關重要的一門科學，每一飛行人員對飛行原理中一些基本知識均應有一種初步了解，否則是盲目的掌握飛行技術，是機械式的掌握飛行技術，祇會扳一扳駕駛桿蹬一蹬方向蹬；爲甚麼要這樣動作，這樣動作會發生甚麼現象，講不出所以然來。這就是祇知其然而不知其所以然，對於這種高等科學化的飛行技術不能用這種粗野無知的態度去掌握。祇掌握了操縱技術而不懂基本操縱原理的人，不僅僅會在技術發展上受到限制，而且正因欠缺理論知識，動作不合理而會遭受很大危險。學飛行的人對飛行原理不可不特加注意。

飛行原理是比較難懂的一門科學，涉及數理很廣，尤其力學和氣體運動。力學是飛行原理的主要內容；爲了容易接受這門知識希望學飛行的同志，多多注意數學和物理。

我國空軍不發達，在航空各種理論上也非常落後，有系統的淺而實用的飛行原理幾乎不能找到，但這門知識學飛行的同志們又不能不學，因之特選蘇聯顧茲敏高及維斯列聶夫二氏所著飛行原理一書作基礎，編譯成中文，一來可以多少解決本校在教材方面的困難，二來也還可以供給飛行同志作參考用。

這冊書具有下列一些特點：

1、這本書理論系統上講起來還算編得比較成功。內容總共包括四個大問題，（一）有關空氣動力學上的一些基本問題，（二）飛機的安定性和操縱性，（三）有關發動機螺旋槳部的一些基本問題，（四）有關飛機怎樣在空中飛行（從平直飛行到特技飛行）的一些基本理論的說明。

2、合乎由淺入深的基本原則。一些初步理論都講到了，而且講的比較透徹，也容易懂些。書裏面雖然也用了許多數學公式來分析理論問題但不高深，具有初中程度的人可以了解。

3、編者從理論同實際結合的觀點出發，曾引證了很多實際材料來解釋理論問題，不過原書出版很久，所引證的一些材料比較陳舊了些，但對研究理論來說，是沒有多大妨礙的。

原書裏邊有幾節不關重要的（如空氣運動），或比較複雜而又為目前所不急需的（如油量消耗和航程計算法），暫時刪掉了，這些材料準備將來同另外一些材料編在一起作為單行本。

編譯此書的目的，主要是為了解決本校教材困難，因為需用甚急又無暇多在語句上下功夫，裏邊欠妥不通之處在所難免，望讀者多加指示，不勝感激。

編譯者 常乾坤

本書數理關係應用的代表符號如下：

P ——昇力	$\cos \theta$
Q ——阻力	γ
R_{α} ——迎力	L ——下滑距離
G ——重力	H ——飛行高度
α ——迎角	$\max$ ——最大
ρ ——空氣密度	$\min$ ——最小
S ——機翼面積	$V_{\text{平直}}$ ——平直飛行速
q ——翼荷重	$V_{\text{上昇}}$ ——上昇速
V ——飛行速度	$V_{\text{下滑}}$ ——下滑速
K ——昇阻比	$N_{\text{需用}}$ ——需用功率
C_y ——昇力係數	$N_{\text{發動}}$ ——發動機功率
C_x ——阻力係數	V_0 ——地面速
C_{α} ——迎力係數	V_h ——空中速
θ ——下滑角	ρ_0 ——地面密度
ϕ ——拉力	ρ_h ——空中密度
N ——功率	$V_{\text{着陸}}$ ——着陸速
$\Delta \phi$ ——剩餘拉力	$\phi_{\text{需用}}$ ——需用拉力
ΔN ——剩餘功率	$C_{\text{着陸}}$ ——着陸係數
m	$0.1, 0.2, 0.3, 0. \dots, $
η	$G_1, G_2, $
M	
V ——垂直速	
n ——轉數	
W ——風速	

飛行原理

目 錄

第一章 空氣動力學概論

1. 空氣動力學·····	1
2. 空氣的重量及比重·····	1
3. 氣壓及氣溫對空氣比重之影響·····	2
4. 空氣的慣性·····	4
5. 工業上所採用的質量單位·····	4
6. 空氣的密度·····	5
7. 空氣的成份·····	5
8. 大氣壓·高度表·····	6
9. 氣溫之變化·····	8
10. 世界共用標準大氣·····	9
11. 高度對於飛行的影響——飛行員的最高飛行限度·····	11
12. 氣流之壓力·伯努里定律·····	13
13. 根據速壓變化原理所製造的幾種儀器·····	17
14. 速度表(空速表)·····	18
15. 關於空氣阻力的主要定律·····	22
16. 不對稱的氣流·····	23
17. 迎力·····	26
18. 迎力的方向·····	28

19. 迎力之分力——昇力及阻力	29
20. 昇力及阻力之數值	31
21. C_y, C_x 二係數的物理意義	33
22. 迎角同 C_y 及 C_x 二係數之關係	34
23. 昇力和阻力中間的幾何關係	35
24. 空氣動力性能 (昇阻比)	36
25. 空氣動力試驗法	38
26. 試驗空氣動力的基本儀器	40
27. 李林達曲綫 (翼型性能曲綫)	45
28. 空氣動力相似性及雷諾數	50
29. 機翼的幾何特性	53
30. 機翼產生昇力的原因	57
31. 氣流邊界層的現象	62
32. 開縫翼	64
33. 機翼產生阻力的原因	68
34. 誘導阻力拋物綫	71
35. 由舊翼展轉求新翼展	73
36. 雙翼機, 單翼機及翼半機等優劣之比較	73
37. 壓力中心 (簡稱壓力點)	77
38. 壓力中心的橫側移動	82
39. 整個飛機在空氣中運動時所感受的阻力	85
40. 整個飛機的壓力中心	90
41. 駕駛員如何隨意變動飛機的壓力中心	95
42. 壓力中心如何自動發生變動	97
43. 怎樣用圖解法表示壓力中心的移動	100

第二章 飛機的操縱性及安定性

44. 飛機的平衡	103
-----------	-----

45. 飛機的重心	104
46. 飛機重心的特性	107
47. 飛機振動的主軸	107
48. 飛機的俯仰平衡	108
49. 上偏心的俯仰平衡	109
50. 下偏心的俯仰平衡	111
51. 螺旋槳氣流的作用	112
52. 飛機的俯仰操縱性	113
53. 怎樣利用升降舵變更飛機的迎角	115
54. 飛機的安定性	119
55. 俯仰安定性	119
56. 飛機的橫側安定性	122
57. 螺旋槳發動機部對橫側平衡的影響	122
58. 怎樣消除阻礙螺旋槳旋轉的反抗力	124
59. 橫側操縱性	125
60. 飛機的橫側安定性	126
61. 使用大迎角時會發生橫側不安定的現象	129
62. 方向平衡	131
63. 垂直安定面（直尾翅）裝置偏左或偏右	132
64. 方向舵的作用	133
65. 方向安定性	134

三章 螺旋槳發動機部

66. 螺旋槳發動機部的特性	138
67. 螺旋槳的工作	140
68. 螺旋槳的拉力	140
69. 阻礙螺旋槳旋轉的阻力	141
70. 螺旋槳上的慣力	142

71. 螺旋槳的流線譜	143
72. 螺旋槳排斥到後方的氣流對飛機各部的影響	145
73. 螺旋槳的形狀	145
74. 螺距	146
75. 等距螺旋槳	147
76. 不等距螺旋槳	150
77. 變距螺旋槳 (又名活葉螺旋槳)	150
78. 螺旋槳的運動	151
79. 槳葉各部的迎角	152
80. 螺旋槳的滑轉現象	153
81. 螺旋槳自動旋轉現象產生的原因	154
82. 螺旋槳怎樣產生拉力	155
83. 阻礙螺旋槳旋轉的阻力力矩及發動機需用功 率的變化	156
84. 螺旋槳發動機部的特性曲線	158
85. 螺旋槳的有效功率	159
86. 高度對螺旋槳發動機部工作的影響	162
87. 螺旋槳需用功率及拉力同轉數及飛行速度的 關係	166

第四章 平直飛行

88. 一般的說明	167
89. 平直飛行	167
90. 平直飛行速度	169
91. 飛機翼荷重之變化對飛行速度的影響	171
92. 迎角對平直飛行必需速所起之作用	172
93. 著陸速	174

94. 機頭高低對飛行速度的關係.....	175
95. 平直飛行所需用之拉力.....	176
96. 拉力賓騰曲線.....	178
97. 功率.....	182
98. 平直飛行之兩飛行性能範圍.....	186
99. 功率係數.....	191
100. 轉數曲線.....	193
101. 空中飛行.....	194
102. 空中飛行需用功率.....	197

第五章 上 昇

103. 飛機上昇.....	205
104. 飛機上昇速.....	207
105. 上昇角.....	208
106. 上昇垂直速.....	209
107. 上昇所消耗之功率.....	210
108. 上昇期間功率之平衡.....	211
109. 上昇軌跡指示線.....	212
110. 高度之變化對垂直速度之影響.....	215
111. 上昇曲線.....	217

第六章 下 滑

112. 飛機下滑.....	219
113. 下滑期間各力相互之作用.....	219
114. 下滑速度.....	221
115. 下滑角.....	222
116. 下滑距離.....	226
117. 下降垂直速.....	229

118. 俯衝.....	233
119. 下滑表.....	234
120. 下滑指示曲線.....	235
121. 用發動機作下滑.....	239
122. 側滑.....	239

本書數理關係應用的代表符號如下：

P ——昇力	$\cos. \theta$
Q ——阻力	γ
R_{α} ——迎力	L ——下滑距離
G ——重力	H ——飛行高度
α ——迎角	max ——最大
ρ ——空氣密度	min ——最小
S ——機翼面積	V 平直——平直飛行速
q ——翼荷重	V 上昇——上昇速
V ——飛行速度	V 下滑——下滑速
K ——昇阻比	N 需用——需用功率
C_y ——昇力係數	N 發動——發動機功率
C_x ——阻力係數	V_o ——地面速
C_{α} ——迎力係數	V_h ——空中速
θ ——下滑角	ρ_o ——地面密度
ϕ ——拉力	ρ_h ——空中密度
N ——功率	V 着陸——着陸速
$\Delta \phi$ ——剩餘拉力	ϕ 需用——需用拉力
ΔN ——剩餘功率	$C_{着陸}$ ——着陸係數
m	$0.1, 0.2, 0.3, 0. \dots, ,$
η	$G_1, G_2,$
M	
V ——垂直速	
n ——轉數	
W ——風速	

飛行原理

第一章 空氣動力學概論

1. 空氣動力學

空氣是一種氣體，具有氣體的各種特性。利用空氣的這些特性，人們可以乘着較重於空氣的飛機飛騰於空中。在研究飛行原理時，必須要深刻了解空氣的各種特性以及飛機在空中運動時與空氣的關係。研究空氣的特性及飛機在空中運動時所產生之力，這門科學，即稱為空氣動力學。空氣動力學分為兩部份。一為理論空氣動力學，是專一研究理論的。一為實驗空氣動力學，是專一在試驗室內進行試驗的。此二者在研究飛行理論上是互相為用的與互相補助的。

2. 空氣的重量及比重

空氣的最主要特性之一，且與大氣壓的來源有密切關係的，就是空氣的重量。空氣如同一般物體受地心吸力的作用。人們雖然不能以肉眼窺見其重量但借物理學上所發明的各種儀器，却能很正確的測量出空氣底比重，亦即空氣具有重量的特徵。空氣比重即空氣的重量被其所佔有之容積除得之值。在工業上物體之重量以公斤為單位，容積以立方公尺為單位，換言之，也就是一立方公尺的空氣底重量。故空氣比重，其單位為 $\frac{\text{公斤}}{\text{立方公尺}}$ 。空氣的比重，不是一個不變的常

數，而是與空氣的溫度及壓力有着密切的關係，因此在某種固定不變的條件下，空氣的比重也是不變的。空氣比重的符號爲：

$$\gamma = \frac{G}{V} \quad G \text{—重量；} \quad V \text{—容積。}$$

如在大氣壓計上所指出的大氣壓力爲 760 公厘而溫度爲 $+15^{\circ}\text{C}$ （攝氏表）則此時空氣底比重爲 $\gamma = 1.225$ $\frac{\text{公斤}}{\text{立方公尺}}$ 。即一立方公尺空氣之重量是 1.225 公斤。氣壓 = 760 公厘，氣溫 = 15°C 。此乃夏季的平均氣候。故普通以此條件爲標準條件。在計算空氣動力學上諸問題時。關於氣壓若無特別說明，則此種條件全係指標準條件而言。

5. 氣壓及氣溫對空氣比重之影響

氣壓變更時空氣的比重亦隨之而改變，且與氣壓之變更成正比。氣溫同空氣比重的關係從攝氏表 0 度起，溫度每增加或減少一度，則空氣底比重，較原來氣溫之比重即增加或減少 $\frac{1}{273}$ ，且氣溫增加，空氣底比重減少，氣溫降低，空氣底比重增大，即空氣的比重與氣溫的變更成反比。

按照給呂薩克定律，一定質量的氣體之容積在不變的壓力下，是和它的絕對溫度成正比的，即

$$\frac{V_1}{V_0} = \frac{T_1}{T_0}$$

按照波義爾及馬路特定律，一定質量底氣體，在不變溫度下，壓力和它的比重成反比，即

$$\frac{\gamma}{\gamma_0} = \frac{P_1}{P_0}$$

爲了容易瞭解此種關係，特舉幾例如下。

（一）氣壓 $P = 776$ 公厘，

溫度 $t=15^{\circ}\text{C}$ 問空氣底比重若干？

我們知道當 $P=760$ 公厘及 $t=15^{\circ}\text{C}$ 時，空氣比重，即

$$\gamma_0 = 1.225 \frac{\text{公斤}}{\text{立方公尺}}。$$

氣壓增高到 776 公厘，空氣比重增大的倍數應等於 776 大於 760 的倍數，故：

$$\gamma = 1.225 \frac{776}{760} = 1.258 \frac{\text{公斤}}{\text{立方公尺}}$$

假如氣壓增加 P 倍，則空氣底比重也應變動，

$$\gamma = \gamma_0 \frac{P}{760}$$

$$\frac{\gamma}{\gamma_0} = \frac{P}{P_0}$$

γ_0 爲標準條件時空氣比重。

(二) 氣壓 $P=760$ 公厘，溫度 $t=30^{\circ}\text{C}$ ，問此時空氣比重若干？

當每立方公尺內之空氣溫度增加到 15°C 時，其容積要增大到 $1 + \frac{15}{273} = \frac{288}{273}$ 立方公尺，如果氣溫增高到 30°C ，

其容積亦必須增加到 $1 + \frac{30}{273} = \frac{303}{273}$ 立方公尺。從物理學上

知道，氣體容積增大若干倍，則氣體底比重要減少若干倍。

所以 30°C 時之空氣比重爲：

$$\gamma = \gamma_0 \cdot \frac{288}{303} = 1.163 \frac{\text{公斤}}{\text{立方公尺}}$$

$$\frac{\gamma}{\gamma_0} = \frac{T_0}{T}$$

假若氣壓同氣溫同時發生變更的話，那計算空氣比重的公式應由上面所舉的兩公式歸納而成。即

$$\gamma = \gamma_0 \cdot \frac{P}{760} \cdot \frac{288}{273 + t}$$

$$\frac{\gamma}{\gamma_0} = \frac{P}{P_0} \cdot \frac{T_0}{T}$$

在非標準條件下計算空氣比重時，普通都是利用現成氣壓表，即所謂國際（或世界共用）標準大氣表。至於空氣中的水份及其他原素之變化對於空氣底比重，所發生的影響極其微弱，可以不必特加注意。但氣候的狀態對於空氣比重之變更，關係頗大，其影響之巨，幾乎達至20%。一般說來，冬季的空氣比重較大於標準的，天氣炎熱時，則空氣比重小於標準的。

假如將空氣的比重同水的比重比較一下，那水的平均比重，要比空氣底大八百倍。

4. 空氣的慣性

空氣的慣性即是空氣的第二種特性。也就是說空氣若無此種特性，要想使重於空氣的飛機飛騰於空中，却是很不容易的。從物理學上的觀點看來，一切物質，連空氣在內，經常保持原來狀態或動或靜，或作直綫及等速運動。要想改變這種狀態，方向或速度，必須加外力與此物質。同時因物質反抗此種外力的作用，便呈現出自己的慣性來。作用於靜止的物體之風壓力，及物質在空中運動時所感受的阻力，其主要原因就是空氣慣性的表現，所以飛機方有在空中飛行的可能。

5. 工業上所採用的質量單位

在工業上說來，質量的單位就是具有一定慣性的物質之數量。所以在工業上所採用的質量單位，就是若干數量之物質受到一公斤力的作用，能於每秒鐘發出一公尺的加速。此物質中所包含的質量，就是工業上所採用的質量單位。

若按重量來說，則在工業上所採用的質量單位中含有9.81公斤重的物質。為什麼呢？因為每一公斤重的物體，自

由落下時，其加速每秒鐘9.81公尺。爲簡便起見，作計算時，往往要將物質的重量單位公斤變爲質量單位。既然在工業上，每質量單位中含有9.81公斤重的物質，那麼要想把公斤變爲質量單位，就須要用9.81來除重量，所以由重量單位變爲質量單位的係數即物體從空中自由落下之加速度9.81。

6. 空氣的密度

計算航空理論上諸問題時，多不採用空氣的比重，而通常所採用的是空氣的密度。空氣密度，即每立方公尺空氣中所包含的空氣質量之數。由空氣比重變爲空氣密度時，則空氣比重亦必須被9.81除之方可。空氣密度的符號爲

$$\rho = \frac{m}{V} = \frac{G}{9.81 \cdot V} = \frac{\gamma}{9.81}$$

$$m = \text{質量} \cdot V = \text{容積} \cdot \text{所以 } \rho = \frac{\gamma}{9.81} \frac{\text{質量單位}}{\text{立方公尺}}。$$

試看空氣密度在標準條件下等於若干？

$$\rho = \frac{1.225}{9.81} = \frac{1}{8}。 \text{因 } \gamma_0 = 1.225, \text{ 因此可以說在標準條件下，每立方公尺空氣中含有 } \frac{1}{8} \text{ 個工業上的質量單位。}$$

當壓力和溫度同時發生變更時，空氣密度同空氣比重之變更法相同，在任何壓力和溫度下，空氣密度可由下列公式求得之。即

$$\rho = \rho_0 \cdot \frac{P}{760} \cdot \frac{288}{273 + t^{\circ}}$$

7. 空氣的成份

空氣的化學成份如下：

氮氣佔77.08%，氧氣佔20%，餘則爲水份，二氧化碳及其他各種氣體。飛機現時所能飛達之高空，其空氣之成份，雖略有變更，但極微弱，實際上可認爲這段空間底空氣層之成