

科學圖書大庫

新航空氣象學(上)

—飛航天氣概論—

編著者 林政宏

徐氏基金會出版

科學圖書大庫

新航空氣象學(上)

—飛航天氣概論—

編著者 林政宏

徐氏基金會出版

徐氏基金會科學圖書編譯委員會

監修人 徐銘信 發行人 王洪鎧

科學圖書大庫

版權所有



不許翻印

中華民國六十八年八月三日二版

新航空氣象學(上)

—飛航天氣概論—

基本定價 3.00

編著者 林政宏 美國密蘇里州聖路易大學碩士

本書如發現裝訂錯誤或缺頁情形時，敬請「刷掛」寄回調換。謝謝惠顧。

(67)局版臺業字第1810號

出版者 負責人 臺北市徐氏基金會 臺北市郵政信箱53-2號 電話 7813686號

發行者 負責人 臺北市徐氏基金會 郵政劃撥帳戶第15795號

承印者 千信照相製版有限公司 台北市環河南路2段90巷5弄4號
電話：3061路 3061276

自序

由於近年來航空事業與航空工業之不斷研究與發展，其對航空氣象之需求亦隨之增進，因此氣象科學中之航空氣象部門乃脫穎而出；諸如航空氣象儀器與測報方法之改良，理論與技術之進展等等，已令航空氣象在氣象事業中自然形成一專門性之獨特體系。茲將作者編著本書之動機、取材、內容與適用對象簡述如後：

1. 動機：

在國內，有關航空氣象學專書，十餘年前已有數位氣象界前輩介紹過，近年來亦有若干討論航空氣象問題之文章散見於報章雜誌；惟航空與氣象科學日新月異，迄今十多年尚無更新的航空氣象學專書問世以配合航空科學之迅速發展，令航空氣象科學在這段期間幾乎形成一個半真空狀態。作者有鑑於此，乃不揣淺陋，蒐集國內外各航空界先進國家之論著及最新資料，並根據作者多年來服務於民航氣象界之經驗，作成此書。

2. 取材：

作者曾於1974年間由交通部民用航空局選派赴美研習航空氣象學之最新理論與技術，透過美國國家海洋及大氣科學總署（National Oceanic and Atmospheric Administration, NOAA）之安排，進入密蘇里州聖路易大學地球物理及大氣科學系（Dept. of Earth and Atmospheric Sciences, Saint Louis University, St. Louis, Missouri, U. S. A.）研習航空氣象有關之課程（1974~75），如劇烈天氣（Severe Weather）、雷達氣象（Radar Meteorology）、熱帶氣象（Tropical Meteorology）、數值天氣預報（Numerical Weather Prediction）、微氣象（Micrometeorology）等等，並分赴美國國內各有關氣象機構作為期三個月之實習參觀旅行，包括①國家劇烈天氣預報中心（National Severe Storm Forecasting Center (NSSFC), Kansas City）、②國家氣象中心（National Meteorological Center (NMC), Washington D. C.）③國家颶風中心（National Hurricane Center (NHC), Miami）及④太平洋區天氣

HHH609/12

預測中心 (National Weather Forecasting center (NWFC) , Pacific Region , Hawaii) 等處，獲得不少寶貴的資料與經驗，將其整理並配合於本書之中，相信將有助於本書內容之完整與新穎。

3. 內容：本書共分上下兩冊。

(1) 上册內容概要——上册共分十八章，①前面八章討論大氣、溫度、風、氣壓與潮高術、水汽、穩定度、雲、氣團與鋒面等基本天氣要素及現象；②第九章至十二章討論亂流、積冰、雷雨、視障等影響飛航安全之特殊天氣現象；③第十三章至十六章討論高層天氣現象，北極區天氣、熱帶天氣、滑翔天氣等；④第十七章介紹遠東區各國際機場及航線上之氣象特性；⑤第十八章為“天氣電碼報告及天氣圖判讀”。其中，前面十六章以美國國家海洋及大氣科學總署 (NOAA) 與美國聯邦航空署 (Federal Aviation Administration , FAA) 所合編的“ Aviation Weather ” (1975) 為主要參考資料，第十七章中部份資料則由民用航空局氣象中心主任氣象員周明德先生提供。

(2) 下册內容概要——下册內容以曾任日本氣象大學校長伊藤博博士所編寫之“航空氣象 (1970) ”作為參考，內容稍着重於航空氣象學原理之探討。將於近期內出版。

4. 適用對象：

本書乃一本綜合理論與實際，而內容較為完整新穎之航空氣象學著作，深入淺出，頗適合於各種程度且從事於飛航與氣象之專業人員，並可做為全國各大專院校與學術機構從事大氣科學研究人員之專用參考書。

本書之完成，承蒙台灣大學大氣科學系亢玉璠教授及美國聖路易大學地球物理與大氣科學系教授林永哲博士的鼓勵並作序，特此申謝；又民用航空局氣象中心林銘作、楊正治、劉昭民、賴宗慶諸君，以及中央氣象局林民生、徐欣欽、謝信良君亦幫忙部份之翻譯與校閱工作，在此一併致謝。惟因本書編者倉促，而氣象科學之領域博大精深，掛一漏萬之處在所難免，作者謹以拋磚引玉之初衷，殷望諸位氣象界前輩能不吝賜教並予指正，使拙著更臻於完整與充實，是所至望！

林政宏 於交通部
民用航空局

1977年3月15日

目 錄

九 序

林 序

自 序

第一部份 你所應知道的 天氣

第一章 大 氣

- 第一節 大氣之組成…………… 2
- 第二節 大氣之垂直構造… 2
- 第三節 標準大氣…………… 4
- 第四節 密度與缺氧…………… 5

第二章 大氣溫度

- 第一節 溫度單位…………… 7
- 第二節 熱與溫度…………… 8
- 第三節 溫度之變化…………… 9
- 第四節 溫度與飛行…………… 11

第三章 大氣壓力與測高術

- 第一節 大氣壓力…………… 13

- 第二節 氣壓表…………… 14
- 第三節 氣壓單位…………… 15
- 第四節 氣壓之變化…………… 15
- 第五節 海平面氣壓與測站
氣壓…………… 17
- 第六節 測高術…………… 18
- 第七節 真高度與指示高度 19
- 第八節 高度表撥定值…… 20
- 第九節 修正高度…………… 23
- 第十節 氣壓高度…………… 23
- 第十一節 密度高度…………… 24
- 第十二節 結語…………… 25

第四章 風—大氣之流動

- 第一節 對流作用…………… 27
- 第二節 氣壓梯度力…………… 28
- 第三節 柯氏力…………… 30
- 第四節 大氣環流…………… 32
- 第五節 摩擦力…………… 36
- 第六節 噴射氣流…………… 38
- 第七節 地方風和小範圍之
風…………… 38
- 第八節 風切…………… 40
- 第九節 風、氣壓系統和天
氣…………… 41

第五章 水汽、雲和降水

- 第一節 水汽之測定…………… 44
- 第二節 狀態變化…………… 48
- 第三節 雲之形成與冷却過程…………… 50
- 第四節 雲和霧…………… 50
- 第五節 降水過程…………… 50
- 第六節 陸地與水面之影響 52
- 第七節 結語…………… 54

第六章 大氣穩定度

- 第一節 大氣之垂直運動與絕熱過程…………… 56
- 第二節 溫度之環境直減率與過程直減率…………… 57
- 第三節 穩定度之測定…………… 58
- 第四節 由雲狀看穩定度…………… 60
- 第五節 在穩定與不穩定大氣中之飛行…………… 62

第七章 雲

- 第一節 辨認雲種…………… 64
- 第二節 空中路線…………… 74
- 第三節 雲種與天氣…………… 74
- 第四節 雲中之飛行天氣狀況 74

第八章 氣團與鋒面

- 第一節 氣團之發源地…………… 76
- 第二節 氣團之變性…………… 77
- 第三節 氣團之穩定性…………… 77
- 第四節 鋒面的定義及其不連續性…………… 78

- 第五節 鋒之類型…………… 79
- 第六節 鋒波及綫綫…………… 82
- 第七節 鋒消及鋒生…………… 86
- 第八節 鋒面天氣…………… 87
- 第九節 不穩定線…………… 91
- 第十節 露點鋒或乾線…………… 92

第九章 大氣亂流

- 第一節 對流性亂流…………… 94
- 第二節 障礙物對氣流之影響 96
- 第三節 山岳波亂流…………… 98
- 第四節 山岳上飛行…………… 101
- 第五節 風切…………… 103
- 第六節 航跡亂流…………… 104
- 第七節 亂流強度之分類…………… 106
- 第八節 亂流中飛行注意事項 108

第十章 飛機積冰

- 第一節 結構積冰…………… 111
- 第二節 積冰強度…………… 116
- 第三節 進氣系統積冰…………… 117
- 第四節 儀器積冰…………… 118
- 第五節 積冰與雲型…………… 120
- 第六節 飛機積冰之其他因素 121
- 第七節 地面積冰…………… 123
- 第八節 霜…………… 123
- 第九節 積冰與飛行…………… 124

第十一章 雷 雨

- 第一節 雷雨發生之條件…………… 126
- 第二節 雷雨生命史…………… 127
- 第三節 雷雨胞…………… 128
- 第四節 雷雨之分類…………… 128

- 第五節 危險之劇烈雷雨天氣 130
 第六節 雷雨與雷達…………… 135
 第七節 雷雨中飛行應注意事項 137

第十二章 儀器飛行之天氣因素

- 第一節 霧…………… 140
 第二節 低空雲層…………… 143
 第三節 霾和烟霧…………… 144
 第四節 有礙能見度之高吹作用…………… 145
 第五節 降水…………… 145
 第六節 天空狀況不明…………… 146
 第七節 結語…………… 147

第二部份 進一步認識大氣現象

第十三章 高層天氣現象

- 第一節 對流層頂…………… 151
 第二節 噴射氣流…………… 152
 第三節 卷雲…………… 155
 第四節 晴空亂流…………… 158
 第五節 凝結尾…………… 160
 第六節 霾層…………… 161
 第七節 座艙罩靜電…………… 162
 第八節 高空積冰…………… 162
 第九節 雷雨…………… 162

第十四章 北極區天氣

- 第一節 氣候、氣團及鋒面… 165
 第二節 極區特性…………… 170
 第三節 極區危害天氣…………… 171

- 第四節 極區飛行天氣…………… 173
 第五節 結語…………… 174

第十五章 熱帶天氣

- 第一節 副熱帶高壓帶…………… 177
 第二節 信風帶…………… 178
 第三節 間熱帶輻合區…………… 180
 第四節 季風…………… 181
 第五節 風切綫…………… 183
 第六節 高空槽…………… 184
 第七節 熱帶波動…………… 185
 第八節 熱帶氣旋…………… 186
 第八節 熱帶低壓中之天氣… 188
 第九節 熱帶風暴和颱風之天氣…………… 188
 第十節 偵測和警告…………… 190
 第十一節 飛行…………… 190

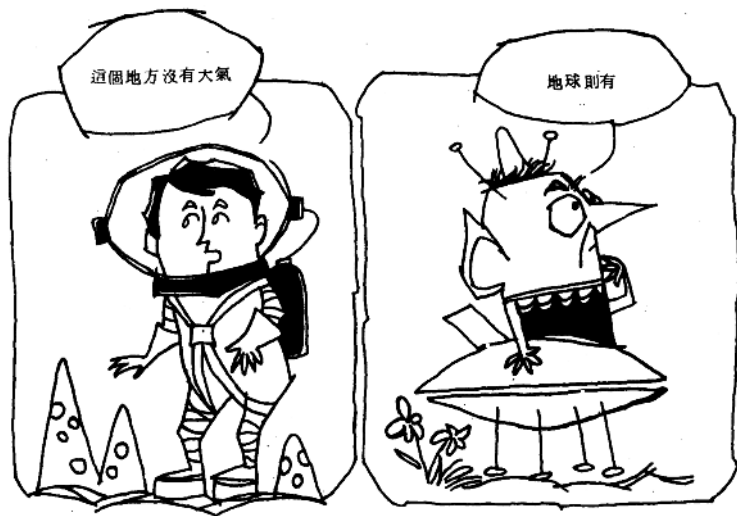
第十六章 滑翔天氣

- 第一節 熱力滑翔…………… 193
 第二節 鋒面滑翔…………… 215
 第三節 海風滑翔…………… 216
 第四節 山脊或山坡滑翔…………… 220
 第五節 山岳波滑翔…………… 224
 第六節 結語…………… 227

第十七章 遠東區各主要國際機場及航線上之氣象特性

- 第一節 各種氣壓系統對飛行之影響…………… 228
 第二節 各航線上之氣象概況 230
 第三節 各國際機場之氣象特

性	232
第四節 結語	264
第十八章 飛行天氣報告電碼及天氣圖判讀	
第一節 定時飛行天氣觀測報告——簡稱METAR	267
第二節 選播之特別飛行天氣報告	270
第三節 機場終端天氣預報電碼	279
第四節 飛機航路天氣報告	281
第五節 天氣圖判讀	282
第六節 結語	284
參考資料	286
索 引	292



第一章 大氣

我們都知道，目前地球是唯一有大氣維持生命的行星。天氣—大氣的狀態—無論何時何地，對我們日常生活都有很大的影響力。事實上，儘管人類如何的努力，他們的活動還是要受到天氣的影響，尤其是航空方面，受天氣的影響更是密切。天氣隨時間而改變，甚難捉摸，紛擾的大氣幾乎是不斷的在尋找整個大氣平衡而運動。由於空氣動能連續不斷的改變，因而造成各種天氣的改變。這本書的後面幾章將告訴我們，大氣的運動情形，而本章只解

釋大氣的組成、垂直構造、標準大氣、以及一些特別和飛行員有關的大氣密度和缺氧(hypoxia)。

第一節 大氣之組成

空氣是由幾種氣體混合而成，乾燥的空氣含有78%的氮和21%的稀有氣體(如氫、二氧化碳、氫、氬及其他等等)。大自然的空氣是永遠無法完全乾燥的，因此它每單位體積都保持幾乎零到5%的水汽；如果水汽含量增加，其他氣體就適當的減少。由於大氣不斷的運動和混合作用，所以氮、氧、氫等永久組成氣體間經常維持非常平均的比例；離地面越高(大約90公里)，則因擴散作用(diffusion)增強，混合作用越不顯著，則較輕的氣體比例也相對地增加。另外像水汽、二氧化碳、臭氣、二氧化硫、二氧化氮等稱為可變的組成氣體，可隨燃燒與海洋的吸收(如二氧化碳)、釋出及光合作用(photosynthesis)而變化，對大氣而言，紅外線之輻射和吸收亦有很重要的影響。懸浮於大氣中固態和液態的質點，對於雲物理也扮演著很重要的角色。

第二節 大氣之垂直構造

大氣按它所呈現的特性，大約可劃分為如圖1這幾層，而所有的天氣現象，幾乎都出現在對流層內，飛行也近乎都在這一層裡；因此我們討論的重點，就以對流層及平流層為主。

(A)對流層(The Troposphere)：對流層的平均高度，大約自地面向上到7哩，它所表現的特性是，溫度隨高度的增加而減少，對流層的高度又隨著緯度及季節而改變。它自極地約二萬呎，向赤道傾斜增厚至六萬五千呎，而夏天又比冬天為高。對流層頂是在對流層上部一個很薄的區域，它的高度和天氣的現象有很大的關係，在第十三章裡將仔細的討論對流層頂和飛行的重要關係。

(B)平流層(The Stratosphere)：對流層頂上方就是平流層，它最主要的特性是，溫度隨高度的變化很少，但在接近頂端則是向上增溫。

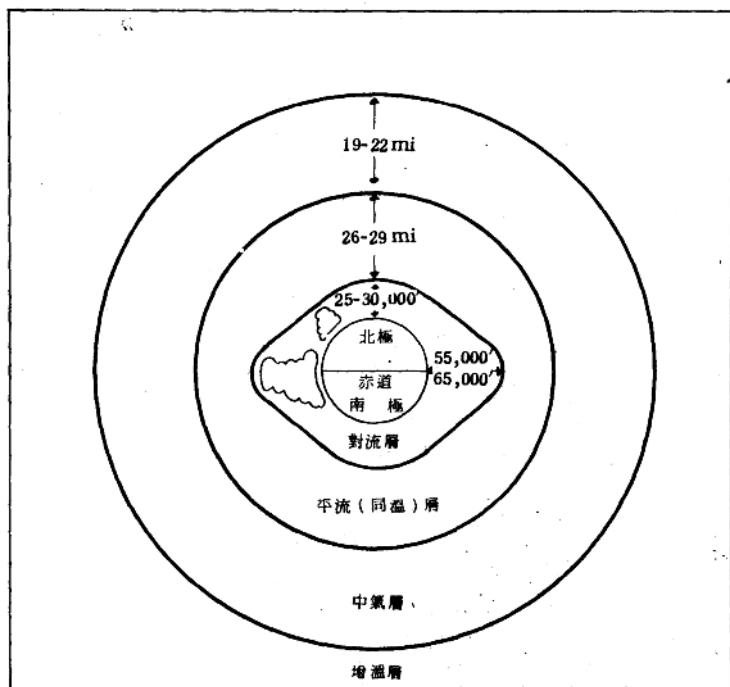


圖 1. 大氣層以溫度之差異分層，本篇只討論最低兩層（即对流層與同温層）

第三節 標準大氣

大氣溫度和氣壓不斷的在改變，沒有一個在任何緯度、季節、或高度都是定值的大氣，因此給氣象和工程人員帶來許多困難。為解決此一問題，唯有設定一個標準大氣；標準大氣有它特定的海平面氣壓和溫度場，以及特定的溫度和氣壓的高度直減率。利用標準大氣制定的氣壓高度表，是今日航空器常用的儀器，這本書往後會經常提到。標準大氣為一項假定之大氣，其溫度、氣壓及密度之垂直分佈情況，經國際所公認為氣壓高度表之刻度與校正、飛機操縱計算、飛機與飛彈之設計與檢驗、以及彈道表等用途上之大氣代表。現時之標準大氣為國際民航組織 (International Civil Aeronautical Organization 簡稱 ICAO) 在 1952 年 11 月 7 日所通過者，制定 ICAO 標準大氣時，採用之假設參數及物理常數如下：

- (1) 平均海面之溫度為 15°C (59°F 或 288.16°K)。
- (2) 平均海面之氣壓為相當於支持水銀柱高度 760 毫米 (mm) 之氣壓，此項氣壓定為 1.013250×10^8 達因 (dyne) / 平方公分 (Cm^2) 或 1013.25 毫巴 (mb)。
- (3) 對流層之溫度直減率為 $6.5^{\circ}\text{C} / \text{公里 (Km)}$ ($1.98^{\circ}\text{C} / 1000$ 呎 (ft)) 或 $3.6^{\circ}\text{F} / 1000$ 呎 (近似值)。
- (4) 平均海平面之密度為 1225 克 (gm) / 立方公尺 (m^3)。
- (5) 對流層頂之氣壓高度為 11 公里 (Km) 或 36,090 呎 (ft)。
- (6) 對流層頂之溫度為 -56.5°C 。
- (7) 重力加速度為 980.665 公分 (cm) / 平方秒 (sec^2)。
- (8) 一標準大氣壓力下之冰點為 273.16°K 。
- (9) 乾空氣之氣體常數為 2.8704×10^6 爾格 (erg) / 克 (gm) / $^{\circ}\text{K}$

國際民航組織 (ICAO) 標準大氣係根據全年氣壓、高度與溫度探空紀錄之平均數值，為核驗高度表之準則，標準大氣高度與氣壓溫度之關係可參閱下表。高度表讀數與實際高度如果相同，僅能基於下列條件：①海平面氣壓與溫度等於標準大氣所規定之假設氣壓與溫度。②溫度直減率等於標準大氣所規定之假設直減率，可是上列條件不可能出現，故欲求高度表讀數與實際高度數字相符時，必須施行高度校正，因此飛行員必須牢記，高度表之讀數係基於假定之氣壓與高度關係下之高度，而非實在高度。

國際民航組織標準大氣
(ICAO Standard Atmosphere)

地面氣壓：1013.25mb，地面氣溫：15°C (288.15°K)，重力加速度： 9.8066msec^{-2} ，氣溫直減率：0~11km：6.5°C/km，11~20km：0°C/km。

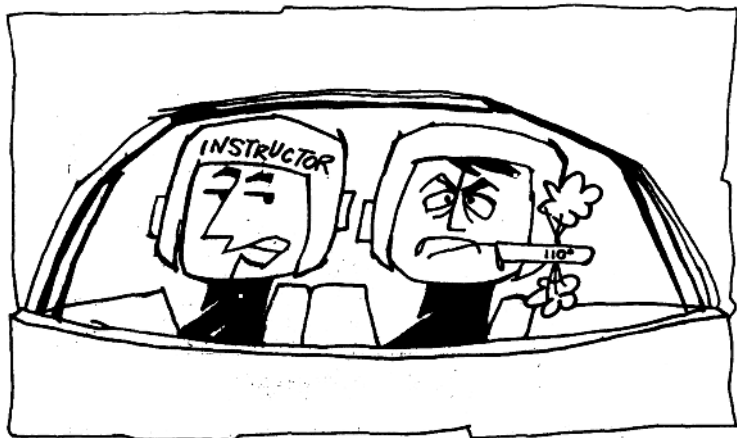
高度(公里) gpkm	氣溫 °C	氣壓 mb	密度 kgm ⁻³	ρ/ρ_0	音速 msec ⁻¹	重力加速度 msec ⁻²
0	15.00	1013.25	1.2250	1.0000	340.1	9.8066
0.5	11.75	964.27	1.1673	0.9529	338.4	9.8051
1.0	8.50	898.75	1.1116	0.9075	336.4	9.8036
1.5	5.25	845.56	1.0631	0.8637	334.5	9.8020
2.0	2.00	794.95	1.0065	0.8216	332.5	9.8005
3.0	-4.5	701.09	0.9091	0.7421	328.6	9.7974
3.5	-7.75	616.40	0.8191	0.6687	324.6	9.7943
4.0	-11.00	540.20	0.7369	0.6009	320.5	9.7912
4.5	-14.25	471.81	0.6599	0.5385	316.4	9.7881
5.0	-17.50	410.81	0.5882	0.4812	312.3	9.7850
5.5	-20.75	356.00	0.5212	0.4287	308.1	9.7789
6.0	-24.00	307.42	0.4584	0.3807	303.9	9.7758
6.5	-27.25	264.35	0.4127	0.3369	299.5	9.7758
7.0	-30.50	226.32	0.3639	0.2971	295.1	9.7727
7.5	-33.75	193.30	0.3108	0.2537	295.1	9.7697
8.0	-37.00	165.10	0.2656	0.2167	295.1	9.7666
8.5	-40.25	141.02	0.2268	0.1851	295.1	9.7635
9.0	-43.50	120.45	0.1937	0.1581	295.1	9.7604
9.5	-46.75	102.87	0.1655	0.1350	295.1	9.7573
10.0	-50.00	87.87	0.1413	0.1153	295.1	9.7543
10.5	-53.25	75.05	0.1207	0.0985	295.1	9.7512
11.0	-56.50	64.10	0.1031	0.0841	295.1	9.7481
11.5	-59.75	54.75	0.0880	0.0719	295.1	9.7450
12.0	-63.00	46.78	0.0749	0.0611	295.8	9.7420
12.5	-66.25	40.00	0.0637	0.0520	296.4	9.7389
13.0	-69.50	34.32	0.0543	0.0448	297.1	9.7358
13.5	-72.75	29.30	0.0463	0.0388	297.6	9.7327
14.0	-76.00	25.11	0.0395	0.0332	298.5	9.7297
14.5	-79.25	21.53	0.0337	0.0287	299.1	9.7266
15.0	-82.50	18.47	0.0288	0.0248	299.6	9.7235
15.5	-85.75	15.86	0.0246	0.0210	300.5	9.7204
16.0	-89.00	13.67	0.0210	0.0177	301.1	9.7174
16.5	-92.25	11.72	0.0180	0.0147	301.8	9.7143

第四節 密度與缺氧

空氣是具有重量的物質，氣態的空氣是可壓縮的，氣壓是由於空氣重量對地面所施壓力，因此低處空氣較高處稠密，空氣的密度和氣壓的遞減率將於下章討論。空氣密度隨高度之增加而減少所造成物理變化，我們不可忽視；吾人肺部吸收氧的比例，全視氧質點對空氣所施壓力的大小而定。大氣中約有 $\frac{1}{5}$ 氧，不管在任何高度，氧的壓力佔大氣壓力的 $\frac{1}{5}$ 。正常人肺部習於承受氣的壓力的是3磅/平方吋，氣壓和氧壓一樣，隨高度增加而減少，飛行員長期的高空飛行，除非有氧氣補充，否則將因缺氧而使人筋疲力盡，以致傷害視力，判斷力，最後造成神智不清。當飛行在10,000呎以上時，自己

要時時留心，身體的感覺昏昏欲睡，不正常的疲勞，可能就是由缺氧所造成的。如果你身邊無氧氣補充，可降高度，假若降低高度仍然感到疲勞昏沈，那麼可能是別的原因，而不是缺氣（hypoxia）所致。

當長期飛行於 10,000 呎以上，或短時超過 12,000 呎的飛行時，最好是備有氧氣筒，比較安全，超過 40,000 呎的微壓區更必須備有氧氣。



第二章 大氣溫度

吾人自孩童時期，對於天氣的感覺起於溫度；航空氣象也着重於溫度的變化。當你觀察飛行儀表時，許多儀表的指示值，都須經過溫度計算；事實上，溫度在飛行操作上是很重要的，它正是航空和氣象作業上的基礎。在這章裡，將描述常用的溫度單位，溫度和熱的關係，以及高度和地面溫度變化的測量等等。

第一節 溫度單位

攝氏和華氏是兩種常用的溫度單位，高空溫度習慣上都用攝氏度，而不同華氏度。地面溫度也漸漸的採用世界標準的攝氏度，傳統的攝氏度冰點是 0°C ，沸點是 100°C 。華氏度冰點是 32°F ，沸點是 212°F ；因此，從冰點至沸點之間距，攝氏是100度，華氏是180度，兩者的比例是 $100/180$ 或 $\frac{5}{9}$ ；而由一刻度換算至另一刻度時，其計算公式如下：

$$C = \frac{5}{9} (F - 32)$$

$$F = (\frac{9}{5} \times C) + 32$$

式中，C是攝氏度，F是華氏度，圖2是兩種刻度的比例表。目前很多飛行表上都有直接轉換表。

溫度是由溫度計的觀測而來，為什麼我們要造溫度計？它有什麼用呢？簡單的說，它可以指出熱的增與減；但熱和溫度並不完全相同，它們的關係又如何呢？

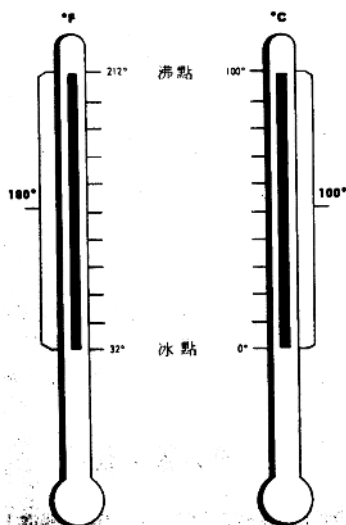


圖 2. 常用的華氏與攝氏溫度計，9度華氏相當於5度攝氏

第二節 熱與溫度

熱是能的型式，當一種物質言熱時，我們可從所量溫度的高低表示出來，一種物質的溫度升降數，表示該物質有效熱的吸收或散失。而且，溫度之改變視物質性質而定，每一種物質都有它獨特的溫度隨熱變化量〔比熱 (Specific Heat)〕。例如，地面和水面在同溫下，加相同的熱量，則地面比水面熱，反過來說，散發相同的熱量時，地面要比水面冷。

地面因太陽的輻射而得到能，太陽能中有55%被地球和大氣反射回去，只有45%被吸收轉為熱能。自地球輻射出去的能，稱為地面輻射 (terrestrial radiation)。顯然的，獲得的平均太陽能，應等於地面輻射 (或稱為長波輻射) 所散失的總熱能，而使整個地球大氣不致繼續變冷或變熱，然而我們仍要考慮區域性和地方性溫度的不平均變化。