航空氣象學講義

第　二　回

624100-2

社團法人 考友社 出版發行

航空氣象學講義　第二回　目錄

第二回（1/2）

第二回（2/2）

第四講　大氣的運動

命題重點

壹、氣壓的變化和分布

一、氣壓隨高度的變化

二、氣壓系統

三、氣壓的時間變化

四、全球氣壓帶

貳、大氣的水平運動

一、作用於空氣的力

二、自由大氣中的空氣水平運動

三、摩擦層中空氣的運動

參、大氣環流

一、大氣環流的主要特徵

二、大氣環流的形成和維持

三、大氣環流的變化

重點整理

大氣時刻不停地運動著，運動的形式和規模複雜多樣，既有水平運動，也有垂直運動；既有規模很大的全球性運動，也有尺度小的局地性運動。大氣的運動使不同地區、不同高度間的熱量和水分得以傳輸和交換；不同性質的空氣得以相互接近、相互作用，直接影響著天氣、氣候的形成和演變。

大氣運動的產生和變化直接決定於大氣壓力的空間分布和變化。因而，研究大氣運動通常從大氣壓力的時空分布和變化入手。

壹、氣壓的變化和分布

一個地方的氣壓經常有變化，其變化的根本原因是其上空大氣柱中空氣質量的增多或減少。大氣柱質量的增減又往往是大氣柱高度和密度改變的反映。氣柱增厚、密度增大，則空氣質量增多，氣壓升高；反之則減少。

一、氣壓隨高度的變化

任何地方的氣壓總是隨高度增加而遞減的，這是因爲高度愈高，空氣柱便愈短、密度愈小，空氣質量愈少的緣故。如圖 4.-1 所示，甲氣柱，從地面到 1000 米和從 1000 米到 2000 米，雖然都是減短同樣長度的氣柱，但是低層的空氣密度大於高層，所以低層氣壓降低的數值大於高層。據實測，在近地面層中，高度每升高 100 米，氣壓約降低 9.5mmHg（12.7mb）；在高層則小於這個數值。

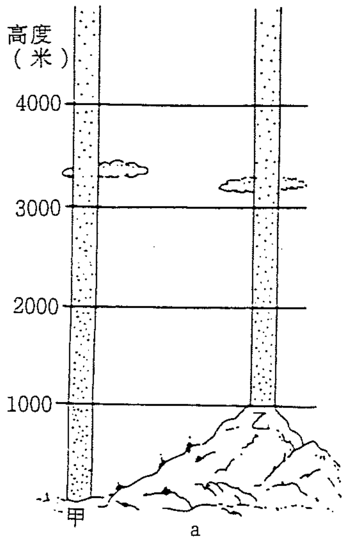
爲了確定氣壓隨高度遞減的定量關係，一般應用氣壓高度方程（簡稱壓高方程）。壓高方程是由靜力學方程引導出來的，因而應首先討論靜力學方程。

(一)靜力學方程

爲討論方便起見，假設大氣相對於地面呈靜止狀態，在大氣柱中取一無限小的立方體（圖 4－2）。圖中 dx、dy、dz 爲沿 x，y，z 坐標軸的三個邊，如果在水平方向立方體兩側都達到均衡狀態，那麼立方體氣柱在垂直方向上要受到兩個力的作用：一個是壓力；一個是重力。

作用在空氣柱下底面和上頂面的壓力是不相等的。下底面受壓力爲 $Pdxdy$，上頂面受壓力爲 $(P+dp)dxdy$，則氣柱上、下面的氣壓差爲：

$$[P-(P+dP)]\ dxdy=\left[P-\left(P+\frac{\partial P}{\partial z}dz\right)\right]dx\ dy$$
$$=-\frac{\partial P}{\partial z}dx\ dy\ dz$$



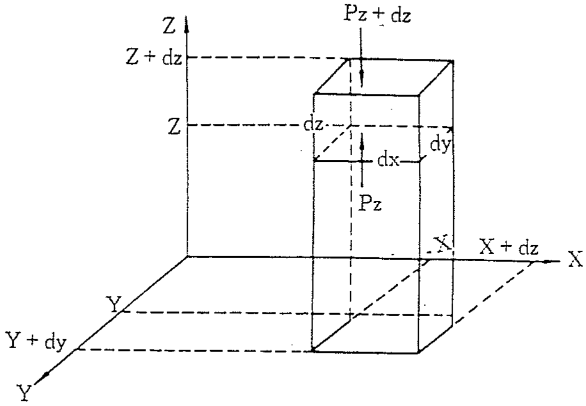


圖 4－1　氣壓隨高度遞減的快慢和空氣密度的關係　　圖 4－2　空氣靜力平衡關係

立方體氣柱所受重力爲：$\rho g dx\ dy\ dz$
當達到靜態平衡時，壓力等於重力，即：

$$-\frac{\partial P}{\partial Z}dx\ dy\ dz=\rho g dx\ dy\ dz$$
$$-\frac{\partial P}{\partial z}=\rho g$$

在不考慮水平方向變化的情況下，上式可寫成：

$$-\frac{dp}{dz}=\rho g$$
$$dp=-\rho g dz \qquad (4-1)$$

（4－1）式就是氣象上廣泛應用的大氣靜力學方程。式中負號表示氣壓值隨高度增高而降低，方程式説明了氣壓隨高度遞減的快慢取決於空氣密度（ρ）和重力加速度（g）的變化。重力加速度（g）隨高度的變化量一般很小，因而氣壓隨高度遞減的快慢主要決定於空氣密度，在密度大的氣層裡，氣壓隨高度遞減得快；在密度小的氣壓裡，氣壓遞減得慢。

如果用有限增量來代替微分，（4－1）式可寫爲：

$$\Delta P = -\rho g \Delta z \qquad (4-2)$$

上式兩邊同除以 Δz，則得：

$$\frac{\Delta P}{\Delta z} = -\rho g$$

令 $Gz = -\frac{\Delta P}{\Delta z}$，利用狀態方程，則：

$$Gz = \rho g = \frac{g}{R_d}\frac{P}{T}$$

以 $g = 980.6$ 厘米/秒^2，$R_d = 2.87 \times 10^6$ 爾格/克·度代入上式得：

$$Gz = 0.000342\frac{P}{T}\text{百帕/厘米} = 3.42\frac{P}{T}\text{百帕/100 米}$$

Gz 稱爲垂直氣壓梯度或單位高度氣壓差。當溫度不變時，Gz 值隨氣壓（P）的增大而增大；當氣壓不變時，Gz 值隨氣溫（T）的升高而減小，這是因爲氣壓高或氣溫低時空氣密度比較大，致使同樣厚度（100 米）的單位截面積空氣柱的質量比氣壓低或氣溫高時爲大。

日常工作中還經常用單位氣壓高度差（h）來表示氣壓隨高度增加而降低的快慢程度。

$$h = -\frac{\Delta z}{\Delta P} \qquad \text{代入（4－2）式}$$

$$h = \frac{1}{\rho g} \qquad (4-3)$$

此式也説明了單位氣壓高度差是隨密度（ρ）的改變而變化的，在密度大的氣層裡只要上升很小的高度，氣壓就降低某數值，而在密度較小的氣層中則要上升較大的高度才能使氣壓也降低某數值。因而 h 值的大小也表示了氣壓隨高度變化的快慢程度。實際大氣中密度總是隨高度而遞減的，因而高空的單位氣壓高度差總比低空爲大。

由於空氣的密度不易直接測量，通常利用狀態方程把上式中的密度（ρ）用氣壓（P）和氣溫（T）來表示，並以 $g = 9.8$ 米/秒^2，$R = 287$ 米^2/秒^2·度，$T = 273\,(1 + \alpha t)$

代入（4－3）式，得：

$$h=\frac{1}{\rho g}=\frac{RT}{\rho g}$$

$$\therefore h=\frac{8000}{P}(1+\alpha t) \qquad (4-4)$$

式中 t 爲氣層攝氏溫度，$\alpha=\frac{1}{273}$

（4－4）式説明：(1)在同一氣壓下，氣柱的溫度愈高，密度愈小，氣壓隨高度遞減得愈緩慢，單位氣壓高度差愈大；(2)在同一氣溫下，氣壓愈大的地方，空氣密度愈大，氣壓隨高度遞減得愈快，單位氣壓高度差愈小；氣壓愈小的地方，情況則相反。表 4－1 是根據（4－4）式求出的不同氣壓、氣溫情況下單位氣壓高度差的數值（米/百帕）。

以上是把大氣近似地看作處於靜力平衡條件下，對一個無限小氣柱的討論。實踐證明，這個規律與實際情況基本相符。在研究的氣層不太厚和對精度要求不太高時，可用此式進行海平面氣壓訂正或計算海拔高度。如果研究的氣層高度變化範圍很大，大氣柱中的上、下層溫度、密度變化顯著時，（4－4）式就難以直接運用，這就需要用適合於較大範圍的氣壓隨高度變化的關係式——壓高方程了。

表 4－1　不同氣溫（℃）及氣壓（mb）下的單位氣壓高度差（m/mb）

t（C） P（mb）	－40	－20	0	20	40
1000	6.8	7.4	8.0	8.6	9.2
500	13.7	14.8	16.0	17.2	18.3
100	68.3	74.1	80.0	85.9	91.7

㈡壓高方程及其應用

壓高方程是由靜力學方程推導而來。設 P_1 和 P_2 爲 Z_1 和 Z_2 高度上的氣壓值。對（4－1）式積分，得：

$$\int_{P_1}^{P_2} dP=-\int_{Z_1}^{Z_2}\rho g dZ$$

$$P_2-P_1=-\int_{Z_1}^{Z_2}\rho g dZ \qquad (4-5)$$

（4－5）式指出任意兩個高度上的氣壓差等於這兩個高度間的單位截面積空氣柱的重量。（4－5）式中 ρ 不易測出，一般利用狀態方程把 ρ 用 P、T 代換。即：

$$\rho=\frac{P}{RT}$$ 代入（4－1）式，得：

$$\frac{dP}{P}=-\frac{g}{RT}dZ$$

對上式積分，得：

$$\int_{P_1}^{P_2}\frac{dP}{P}=-\int_{Z_1}^{Z_2}\frac{g}{RT}dZ$$

$$\ln\frac{P_2}{P_1}=-\int_{Z_1}^{Z_2}\frac{g}{RT}dZ$$

$$P_2=P_1e^{-\int_{Z_1}^{Z_2}\frac{g}{RT}dZ} \quad (4-6)$$

（4－6）式即通用的壓高方程，它說明了壓力隨高度的增加而按指數規律降低的情況。此式指數上的式子中，g 和 T 都隨高度而有變化，而且 R 由於不同高度上空氣組成的差異也會隨高度有變化，因而進行積分是很困難的。為了實際應用，需要對方程作某些特定假設。比如，忽略了重力加速度的變化和水汽影響，並假定氣溫不隨高度變化（即 T（Z）＝常數）條件下的壓高方程，稱為等溫大氣壓高方程。由（4－1）式，並考慮到狀態方程，則：

$$dP=-\frac{P}{RT}gdZ$$

$$\frac{dP}{P}=-\frac{g}{RT}dZ$$

對上式進行積分，即

$$\int_{P_1}^{P_2}\frac{dP}{P}=-\frac{g}{RT}\int_{Z_1}^{Z_2}dZ$$

$$\ln\frac{P_2}{P_1}=-\frac{g}{RT}(Z_2-Z_1)$$

$$P_2=P_1e^{-\frac{g}{RT}(Z_2-Z_1)} \quad (4-7)$$

將 T 換成 t，自然對數換成常用對數，並將 g、R 值代入，則（4－7）式就變成了氣象上常用的等溫大氣壓高方程。

$$Z_2-Z_1=18400(1+\alpha t)\lg\frac{P_1}{P_2} \quad (4-8)$$

（4－8）式指出了在等溫大氣中，氣壓也是按指數規律遞減的。實際大氣雖然不是等溫的，但是若把大氣分成若干層次，分別求出各層的平均溫度（t_m），再用這些平均