

# 利用氣象衛星遙測大氣垂直溫度之理論基礎

鍾 榮 興

## 摘 要

一切科學之研究必自觀察開始，而氣象科學之觀察對象沒有辦法在實驗室內，尤其是氣象觀測遠落於理論發展之後，於是氣象學家韋立德 (H. C. Willett) 在 1951 年說：「無論天氣預報之實務或理論，苟欲有所改善，惟一急欲在於觀測技術之突破，現在天氣預報之嚴重問題，乃在觀測網之過疏，必須對全球地表至高空有一普遍、簡單、可靠之觀測方法才能補救此一缺點。」於是乎才有氣象衛星之發現。本文乃介紹藉衛星上 SR (掃描輻射儀) 所賴以計算輻射強度之公式，經 TOVS (泰洛斯作業性垂直探空曲線) 多點測定後，並利用聯立方程而解出各高度上之溫度，而得大氣垂直溫度之分佈。

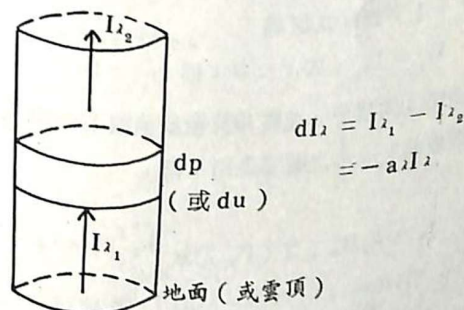
## 一、前 言

氣象衛星的最大應用價值之一，乃在於其具有探測地球表面及大氣中溫度及水汽分佈之能力。由於地球表面三分之二是海洋，因而嚴重影響氣象觀測之均勻分佈，當然也影響天氣預報之準確率，而此項限制，由於氣象衛星及衛星觀測設備之發展，已獲驚人之突破。

## 二、遙感理論

由於大氣中水汽分佈隨時隨地而異，更重要者，各地雲量、雲狀均有不同，輻射儀對所測得之輻射能量經過大氣層之吸收，已非發射體原來所發射之能量，其間又有再輻射 (Reradiation) 之複雜關係，故需運用說明吸收性質之比爾定律 (Beer's Law) 及加入再輻射修正後之輻射傳播方程 (Radiative Transfer Equation.)，以下茲作必要之推演：

考慮某一波長之輻射波束 (Beam)，穿過某一吸收層 (如大氣中之水汽)，如不計散射或反射，穿過該層後之輻射強度變化為  $dI_\lambda$  (如附圖)，



係由於 1. 吸收層內介質之吸收為  $-a_\lambda I_\lambda$ ，  
2. 該層內介質之再發射為  $a_\lambda B_\lambda dl_\lambda$ ，  
即  $dI_\lambda = a_\lambda B_\lambda - a_\lambda I_\lambda = a_\lambda (B_\lambda - I_\lambda) \dots \textcircled{1}$

式中  $a_\lambda$  為某一波長  $F$  介質之吸收率。  
 $I_\lambda$  為某一波長輻射之入射強度， $E_\lambda$  為某一波長輻射之再輻射強度，根據克希荷夫定律，氣層再發射之輻射強度  $E_\lambda$  應等於  $E_\lambda = \epsilon_\lambda E_{\lambda B}(T) = a_\lambda B_\lambda(T)$ ，式中  $\epsilon_\lambda$  為某一波長發射率， $E_{\lambda B}$  或簡寫成  $B_\lambda$  為黑體輻射強度，又

$a_\lambda = k_\lambda \rho dl = k_\lambda du \dots \textcircled{2}$   
式中  $k_\lambda$  為介質之吸收係數， $\rho dl = du$  為吸收介質之質量，以  $\textcircled{2}$  代入  $\textcircled{1}$  得  
 $dI_\lambda = (B_\lambda - I_\lambda) k_\lambda \rho dl = (B_\lambda - I_\lambda) k_\lambda du \dots \textcircled{3}$

按上式實際即 Beer's Law 吸收定律之應用，例：  
如不計式中右端之第二項即，

$$dI_1 = -I_1 k_1 \rho d\ell \quad (4)$$

積分得經由介質射出之輻射強度為

$$I_2 = I_1 e^{-\int_{\ell_1}^{\ell_2} k_1 \rho d\ell} = I_1 e^{-k_1 \int_{\ell_1}^{\ell_2} \rho d\ell} \quad (5)$$

又由(4)式可知

$$a = \frac{I_1 - I_2}{I_1} = 1 - \frac{I_2}{I_1} = 1 - e^{-k_1 \int_{\ell_1}^{\ell_2} \rho d\ell} \quad (6)$$

又因  $a + R + \tau = 1$  (對長波輻射之地射言  $R \sim 0$ )  
 $\therefore a = 1 - \tau \quad (7)$

由(7)式得  $\tau = e^{-k_2 \int_{\ell_1}^{\ell_2} \rho d\ell}$  (8)

故(5)式可寫成  $I_2 = I_1 \tau$  (9)  
上式之物理意義為：射出之輻射強度(例如衛星上所測得之輻射強度)係為原長之輻射強度經某輻射吸收體(如水汽)衰減後之最後結果，如透射率  $\tau = 1$ ，則(9)式成爲

$$I_2 = I_1, \text{ 如 } \tau = 0, \text{ 則 } I_2 = 0$$

同樣將(3)式積分，並應用於衛星偵測上，將波長以波數即  $\nu = \frac{1}{\lambda}$  之關係表出，得

$$I_\nu = \epsilon_0 B_\nu (T(P_0)) e^{-\int_{p_0}^{p_1} k_\nu dp} + \int_{p_1}^{p_2} B_\nu (T(P)) e^{-\int_{p_1}^p k_\nu dp} k_\nu dp \quad (10)$$

$$I_\nu = B_0 \tau_0 + \Sigma B \tau$$

(10)式中  $B_\nu (T(P_0))$  表於波數為  $\nu$  與地面氣壓  $P_0$  下之溫度  $T(P_0)$  之輻射強度，即 Planck 函數，同理  $B_\nu (T(P))$  為任一氣壓層之溫度下之單波輻射， $\epsilon_0$  為地面發射率，式中右端為

第一項——自地面發射之輻射強度，經大氣衰減後所餘之入射強度。

第二項——整個大氣再發射之輻射強度。

上兩項加起來之值即衛星上  $R$  所遙感到之輻射強

度值。如將吸收介質與空氣質量之比，或稱混合比表出

$$\text{即 } dp = -\rho g dh = -g dm \quad (dm = \rho dh \text{ 空氣質量})$$

$$q = w = \frac{du}{dm} = \frac{du}{dp} \frac{dp}{g}$$

$$\text{故 } du = -\frac{q}{g} dp$$

$$\text{(8)式可化為 } \tau = e^{\int_{p_0}^{p_1} \frac{q}{g} k_\nu dp} \quad (11)$$

對(11)積分得

$$d\tau = \frac{q}{g} e^{\int_{p_0}^{p_1} \frac{q}{g} k_\nu dp} k_\nu dp$$

$$\text{或 } d\tau = -e^{-\int_{p_1}^{p_2} \frac{q}{g} k_\nu dp} k_\nu dp \quad (12)$$

將(12)式代入(10)式得

$$I_\nu = \epsilon_0 B_\nu (T(P_0)) \tau(P_0) + \int_{p_0}^{p_1} B_\nu (T(P)) d\tau \quad (13)$$

(13)式右端最後一項  $d\tau$  可寫為  $\frac{d\tau}{dp} dp$ ，式中  $\frac{d\tau}{dp}$  可稱權重函數 (Weighting function) 故(13)式可寫成

$$I_\nu = \epsilon_0 B_\nu (T(P_0)) \tau(P_0) + \int_{p_0}^{p_1} B_\nu (T(P)) \frac{d\tau}{dp} dp \quad (14)$$

$I_\nu = B_0 \tau_0 + \Sigma B \tau$   
(14)式即衛星所賴以偵測地面溫度及大氣垂直溫度分布之基本方程式，然後經過 TOVS 多點測定，並利用上式所構成之聯立方程，可解出各高度層上之溫度，使我們獲得溫度垂直分布之探空曲線。

### 三、結語

利用衛星紅外線 (IR) 儀器，藉水汽或  $CO_2$  吸收帶之波譜來測定垂直溫度分布之方法，其基本原理如前節所述，地面溫度之偵測可用 10.5—12.5  $\mu$  波段則(10)式中之右端第一項中  $\tau_0 = 1$ ，亦即不吸收，即  $B_0$ 。或地表之輻射強度，而第二項則應為零，最後衛星感測之感測量即地表輻射。若用

14  $\mu$  波段時則(10)式右方第一項  $B_0 \tau_0 = 0$ ，故  $I_\nu = \Sigma B \tau$ ， $I_\nu$  為衛星上 SR (用 14  $\mu$  波段) 觀測到之輻射強度，而各氣壓層上之  $B$  為未知數。本高

乃筆者修習衛星氣象之心得，其中錯誤之處，尚冀長官先進教正。

### 參考文獻

- 王時鼎 (1975): 利用氣象衛星遙測大氣垂直溫度剖面。文化大學氣象系刊第三期。P7—12
- 陳鐵雷 (1978): 衛星氣象學。BYERS, General Meteorology, Fourth Edition, 2, 19—33
- HALTNER AND MARTIN, Dynamical and Physical Meteorology, 6, 74—84

## Remote Sensing Atmospheric Vertical Temperature Theoretical Basis On Meteorological Satellites

Jung-Hsing Chung

### Abstract

One of some severe problems as to weather forecasting is the extremely sparse net of observation stations scattered over the world. The progression of observing techniques is desirable to the improvement of weather forecasting, unless theoretical and practical aspects. We can hardly overcome this handicap, unless we obtain a universal, simple and reliable method in observing from surface to upperair. Meteorological satellites are designed and developed for this purpose. This article introduces the formula which we rely on to calculate radiance upon the SR (Scanning radiometer) of meteorological satellites. Furthermore, through various tests on different levels by TOVS (TIROS Operational Vertical Sounder) and the use of simultaneous equation, we can solve out the air temperatures of all heights, thus obtain its vertical distribution.