

# 晴空能見度與大氣輻射之關係

杜嘉修 黃士軒

海軍蘇澳氣象台 空軍第六天氣中心

## 摘要

飄散在空中的懸浮微粒，除了對人體健康有害以外，也同時因為吸收或是散射可見光波段之太陽輻射而降低能見度。一般處理懸浮微粒散射問題，均建立於 Mie Scattering 基礎上。亦即假定輻射傳遞介質中，為均勻的介電圓球。利用其球型的邊界條件及給定輻射強度的初始條件，我們可得到簡易的級數解，也就是散射後的輻射強度。而晴空條件下的能見度，我們可視為懸浮微粒衰減可見光波段的太陽輻射之巨觀表現。

目前各機場的能見度的觀測，除了少數機場具備昂貴的能見度觀測儀具外，大多由目視觀測，而鮮有客觀之數據。若我們能將晴空下懸浮微粒的衰減量對應至能見度上，似可利用輻射觀測儀具客觀判斷能見度之多寡，而國外亦有類似研究。本文將簡介懸浮微粒散射太陽輻射之理論機制，並利用 2-Stream 輻射傳遞模式，以不同的懸浮微粒含量計算到達地面之太陽輻射量並引以說明能見度與大氣輻射之關係，再以不同的參數化法利用大氣輻射的衰減程度以估計能見度。最後則討論客觀能見度度量的困難性及改進意見。

## 一、前言

能見度是指人的肉眼所能辨識物體與背景差別的最大距離。在晴空的條件下，我們可忽略地球本身所具有的曲率來考慮局地間的能見度的變化。對晴空層化大氣條件及局地的距離是歐式幾何的直線，我們可以假定能見度的變化與這段範圍內的內容物削弱可見光的程度是成某種比例的。但是困難點在於可見光的來源雖然均來自太陽，但就局地水平直線距離來說，光源可能是物體本身反射或是光源穿透層化大氣多次散射的結果。不過很幸運的，

光的削弱可視為線性，我們可以將不同的削弱過程抽離。因此在晴空的條件下，內容物可區分為空氣分子與懸浮微粒兩類。我們可將僅具有空氣分子的大氣視為背景大氣，同時假定影響能見度的懸浮微粒均在 1 公里以下的大氣中均勻的分布。並藉由模式計算這一公里的大氣輻射衰減的程度，度量能見度的大小。

懸浮微粒可以吸收或散射太陽輻射，而懸浮微粒本身因具溫度也能放射。整體而言，懸浮微粒對太陽輻射是削弱的作用，這是懸浮微粒的輻射直接效應。而懸浮微粒亦可作為雲滴凝結核，進而影響雲的生成，間接的削弱太

陽輻射，這是懸浮微粒對輻射的間接效應。可見光是指太陽輻射可進入的窗區，一般說來其波長範圍是 400nm~700nm 之間，所對應的能級約在 1e.v.~0.01e.v.。在晴空條件下，大氣對太陽輻射的吸收主要是近紅外光區的水汽以及紫外光區的氧與臭氧。因此，在此範圍內，懸浮微粒對輻射的削弱作用以散射為主。

一般解釋懸浮微粒的散射作用，基礎均建立在 Mie Scattering 上。Mie Scattering 的假定是，均勻的電磁波碰撞一個中性的介電圓球，利用能量守恆及圓球的邊界條件，我們可以得到散射後的輻射強度。同時分子對光的散射亦適用於 Mie Scattering，不過是入射波長遠大於分子粒徑。換言之，Rayleigh Scattering 僅是 Mie Scattering 的一個特解。

## 二、研究方法

基於以上的認知，我們選用了 Modtran 3 ver. 1.5 來進行我們所需的輻射傳遞計算。此模式是繼美國空軍所發展的 Lowtran 後發展的新模式。提供的散射計算方程是離散方向法 (discrete ordinate method) 以及二流方向法 (two-streams method)，這兩種方法其實是一致的，離散方向法是指將輻射傳遞方程中，其中的積分項包括了相函數(phase function)。我們利用  $2n$  個數來表示相函數中相角的餘弦值，同時這  $2n$  個數恰為 Legendre 多項式的  $2n$  個解。依據這個選擇，我們可將該項積分用 Gaussian quadrature formula 離散化。二流方向法就是只取 2 個根，使得稍後的計算中，可利用對稱的性質來簡化矩陣並大大的加快輻射傳遞計算的時間，但缺點即為準確率較低。

而在模式中參數的設定，我們使用熱帶

大氣標準剖面的資料，利用能見度大小調整懸浮微粒含量，懸浮微粒的模式是由 Modtran 本身所提供，同時未對內建的懸浮微粒剖面作更動。我們所使用的大氣剖面為 0~100 公里不等間距分為 30 層，分別計算出地表與距地表 1 公里高處的輻射通量，行星反照率為 0.4。我們所使用的電腦為 PII-333，160MB 記憶體，作業系統為 Windows 2000，使用的 Fortran 編譯器為 Compaq Visual Fortran 6.1，C 編譯器為 Microsoft Visual C++ 6.0。因為模式本身只提供原始程式碼，故我們必須針對所使用的機器與作業系統作重新編譯及最佳化。我們所編譯出的程式，目前僅能就 32 位元組的視窗指令列下執行。根據以上的設定，我們執行了在能見度為 1 哩、2 哩、3 哩、7 哩等 4 種個案，並計算可見光部分 ( $14000\text{cm}^{-1}\sim 33000\text{cm}^{-1}$ ) 於近地面 1 公里的穿透率、波數間隔為  $100\text{cm}^{-1}$ 。所得結果為圖一。

## 三、結果與討論

由圖中我們可清楚的看到一些結果：

1. 能見度越高，穿透率也越高。
2. 隨著波數增加，也就是波長減少，穿透率也降低。
3. 穿透率的改變隨能見度的降低而越明顯。
4. 在我們計算的波譜範圍內，能見度越低，穿透率隨波譜的變化也越大。

限於篇幅，我們僅就目前的一些結果來討論。由模式計算結果可發現，短波長的可見光因懸浮微粒的影響衰減較快，這也告訴我們，若利用雷射來測量能見度大小時，藍光或綠光雷射的效果應該比紅光雷射好。其次，由這個概念性的試驗可以了解到，懸浮微粒的多

寡的確明顯的影響到能見度的變化。而日前報紙上曾刊載過一位本軍的飛行先進與台大氣科學研究所柳中明及陳正平教授討論一些拍攝的照片，內容大體是如岡山機場常受到能見度影響而關場，但在機場上空可明顯見到一團厚實的霾籠罩在機場上空，這些霾的高度大約只距地面約 1 公里左右。而據中研院院長李遠哲教授引用該院劉紹臣教授的研究指出，台灣地區的日照時數有逐年下降的趨勢。這些都是懸浮微粒影響能見度的具體結果。本文利用輻射傳遞模式簡略探討懸浮微粒對可見光的衰減影響。模式只能告訴我們懸浮微粒對晴空能見度的影響，而近一步的水汽對能見度的影響，同樣的也能透過相同的方式來處理，只是因牽涉到一些熱力的問題而稍微複雜一些。當然我們也可從另一個角度來考慮此問題，從懸浮微粒對光的複數反射率 (Reflection Index) 開始計算，來求得可見光與能見度的關係式。本文中所得的關係式為：

$$\text{能見度}_{18000} = 0.7713 e^{3.1031 \times \text{穿透率}_{18000}}$$

其中下標 18000 為波數，相當於 550nm。依據 Hansen 與 Lacis 於 1990 的研究指出，對流層內懸浮微粒光學厚度平均為 0.1，利用本文的關係式求得的對應的能見度為 23 公里。與 Modtran 本身提供的背景大氣能見度一致，故該關係式是可用的。

#### 四、參考文獻

Devaux, C., Grandjean, P., Ishiguro, Y. and C.E. Siewert, 1979: On Multi-Region Problems in Radiative Transfer, *Astrophys. Space Sci.* 62, 225-233

Dahlback, A. and K. Stamnes 1991: A new

spherical model for computing the radiation field available for photolysis and heating at twilight, *Planet. Space Sci.* 39, 671-683.

Garcia, R.D.M. and C.E. Siewert, 1985: Benchmark Results in Radiative Transfer, *Transport Theory and Statistical Physics* 14, 437-483

Hansen, J. and A. A. Lacis, 1990: Sun and dust versus greenhouse gases: an assessment of their relative roles in global climate change, *Nature*, 346, 713-719.

Kylling, A., and K. Stamnes 1992: Efficient yet accurate solution of the linear transport equation in the presence of internal sources: the exponential-linear approximation, *J. Comp. Phys.*

Kylling, A., K. Stamnes and S.-C. Tsay 1995: A reliable and efficient two-stream algorithm for radiative transfer; Documentation of accuracy in realistic layered media, in print, *Journal of Atmospheric Chemistry*.

Lenoble, J., ed., 1985: Radiative Transfer in Absorbing and Scattering Atmospheres: Standard Computational Procedures, Deepak Publishing, Hampton, Virginia

Nakajima, T. and M. Tanaka, 1988: Algorithms for Radiative Intensity Calculations in Moderately Thick Atmospheres Using a Truncation Approximation, *J.Q.S.R.T.* 40, 51-69

Ozisik, M. and S. Shouman, 1980: Source Function Expansion Method for Radiative Transfer in a Two-Layer Slab, *J.Q.S.R.T.* 24, 441-449

Stamnes, K. and R. Swanson, 1981: A New Look at the Discrete Ordinate Method for Radiative Transfer Calculations in Anisotropically Scattering Atmospheres, *J. Atmos. Sci.* 38, 387-399

Stamnes, K. and H. Dale, 1981: A New Look at

the Discrete Ordinate Method for Radiative Transfer Calculations in Anisotropically Scattering Atmospheres. II: Intensity Computations, J. Atmos. Sci. 38, 2696-2706

Stamnes, K., 1982: On the Computation of Angular Distributions of Radiation in Planetary Atmospheres, J.Q.S.R.T. 28, 47-51

Stamnes, K., 1982: Reflection and Transmission by a Vertically Inhomogeneous Planetary Atmosphere, Planet. Space Sci. 30, 727-732

Stamnes, K. and P. Conklin, 1984: A New Multi-Layer Discrete Ordinate Approach to Radiative Transfer in Vertically Inhomogeneous Atmospheres, J.Q.S.R.T. 31, 273-282

Sweigart, A., 1970: Radiative Transfer in Atmospheres Scattering According to the Rayleigh Phase Function with Absorption, The Astrophysical Journal Supplement Series 22, 1-80

Stamnes, K., S.C. Tsay, W. Wiscombe and K.

Jayaweera: A Numerically Stable Algorithm for Discrete-Ordinate-Method Radiative Transfer in Multiple Scattering and Emitting Layered Media, Appl. Opt. (June, 1988)

Stamnes, K., S.C. Tsay, W. Wiscombe and I. Laszlo: A General-Purpose Numerically Stable Computer Code for Discrete-Ordinate-Method Radiative Transfer in Scattering and Emitting Layered Media, to appear as NASA report (1990)

Van de Hulst, H.C., 1980: Multiple Light Scattering, Tables, Formulas and Applications, Volumes 1 and 2, Academic Press, New York.

Wiscombe, W., 1977: The Delta-M Method: Rapid Yet Accurate Radiative Flux Calculations, J. Atmos. Sci. 34, 1408-1422

