

一九六九年四月華中塵暴

容國治譯

近年來，空氣污染已經成為人們討論的熱門題目。雖然人類一般被認為是空氣污染的作俑者，但自然界很多時候也能大規模污染大氣。最聞名一次大氣污染是1983年Krakatoa火山劇烈爆發所造成，這次火山爆發，將灰塵和其他夾雜物帶進平流層，被帶進平流層的灰塵和夾雜物，懸浮在大氣中包圍了地球好幾年。較小規模的塵暴和沙暴污染空氣，亦達好幾十萬平方公里（Jalu及Dettwiler 1965）。一九六九年四月，華中 30° — 45° N， 100° — 122° E之間，發生一次這樣的塵暴（參見圖一），整個華中廣大範圍到日本南部，甚至塵暴在中國最初被觀測到七天以後，遠離中國海岸外2500公里太平洋上的船隻，都有含塵空氣的報告。



圖一、東亞地圖

應用人造衛星照片及地面，梯度層（1km）與700 mb（3km）的等壓線和流線分析，追蹤和鑑定這個四月塵暴重大的天氣特徵；繪製遞減率圖，用以檢驗華中大氣層的穩定度。除了鑑定塵暴重要的天氣特徵外，還需要作塵埃在大氣中可能的垂直擴展估計。因為沒有關於塵埃粒子的大小和降落率，與足夠計算垂直速度的探空資料，故比較精密的定量研究是不可能的。

本研究採用資料，獲自環境技術應用中心（Environmental Technical Applications Center），國家環境人造衛星社（National Environmental Satellite Service），及日本氣象廳（Japan Meteorological Agency）。

塵埃的來源：

氣象學辭典（Glossary of Meteorology）解釋，「塵暴」是一種異常的嚴重天氣情況，其特徵為：（1）強風，（2）含塵空氣覆蓋一個廣大範圍的地方。華中塵暴最常發生於早春雨量稀少，地面風

伴隨冷鋒逐漸增強，以及為了種植而新耕的土壤，以上情況皆促成塵暴的發生。

中國塵暴源地，是在 32° — 47° N， 75° — 115° E之間廣闊的不毛之地。這地區內有著名的大戈壁（Taklamakan）沙漠，戈壁（Gobi）沙漠，和鄂爾多斯（Ordos）沙漠，以及中國黃土地區（參見圖一）。在這地區內，大多數地方是赤裸岩石表面，或者是被沙或沒有植物生長保護的鬆土所覆蓋，由於受強風侵襲，使得地表脆弱減縮（Cressey 1955），估計每年被風帶走的泥土，至少有好幾千噸。為強風帶進天空的塵埃，順風吹達幾千公里以外，常使地平線朦朧不清，並且使得整個中國遠至南方的香港，日落時分成爲深紅色（Bell et al 1970）。

天氣討論：

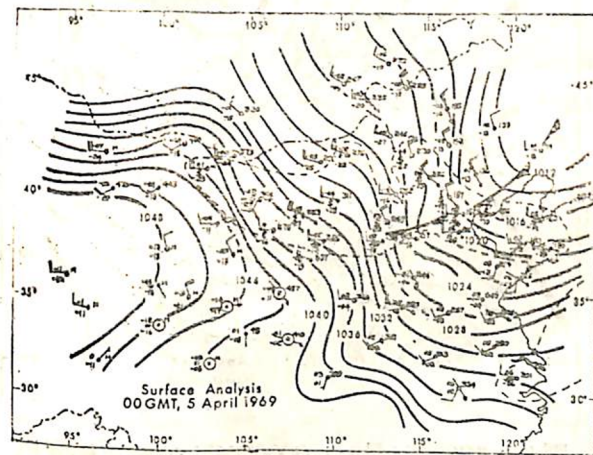
一九六九年四月塵暴，是由三條冷鋒，先後在六天的期間內，迅速移動通過鄂爾多斯沙漠和黃土地區所觸發。四月三日第一條冷鋒（在人造衛星照片上標註有井1者）越過黃土地區，四月四日早上移出中國海岸。跟隨着這條鋒後面，黃土地區出現強烈的北到西北風，持續風速多爲每秒8—13公尺。這些強風就是從地面上，將塵埃揚起進入大氣層裡的原動力。四月四日下午稍晚，在中國海岸以外的一艘船隻，報告有含塵的空氣。下面一段文字，是引自The Marine Observer, 1970, pp. 61—62：

「m.v. Glenogle 號，船長 R. C. Riseley，船在停泊中。目擊者，船主和副長 Mr J. A. Matthews。」

一九六九年四月二至四日，當時停泊在吳淞外，經驗到一些和華北高氣壓有關係的惡劣天氣。起初氣壓下降，吹東南風，接着靜風有濃霧和降雨。然後，氣壓開始不斷上升，但天空完全爲層雲所遮蓋，西北風逐漸變強。四月四日0900 GMT 第一個高壓峯過去後，風仍然增加，並且最大風力達到八級（蒲氏風級，相等於每秒17—21公尺）。當氣壓再開始上升時，風力減退，這時期空氣非常乾燥，有濃霧，並且有紅色的塵埃洒落船上。因為是吹西北風，所以我們推測塵埃來自中國內地。稍後一星期抵達東京，報紙報導證實東京有塵埃降落。四月四日0830 GMT：氣溫 7.2°C ，濕球溫度 4°C ，露點溫度 1.1°C 。

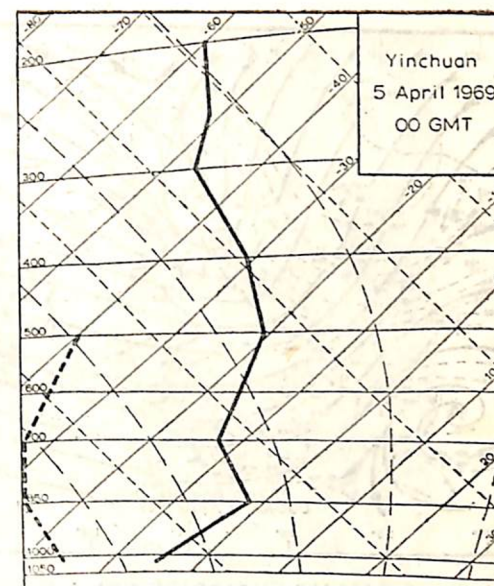
船的位置： $31^{\circ}42'\text{N}$ ， $121^{\circ}31'\text{E}$ 。」

四月五日，另外一條極鋒（井2）移離中國進入東海。這條第二次爆發的鋒比較弱，隨伴着鋒雖然有顯著的地面風變，溫度和密度的改變却很微，鋒面僅伸達1.5公里（850mb）高度。探空資料顯示鋒的濕度很小，人造衛星照片（圖八）裡缺少可見的雲系，顯示含塵空氣在中國靠近 100°E 朝東向東海進行。這張和接連的幾張人造衛星照片裡顯示，塵埃和雲是很有區別的，呈現出陰暗、模糊、像薄膜組織的巨大灰色塊團。從中國測站的探空資料顯示，對流下層和中層沒有濕度，也證實人造衛星照片中顯示的雲與塵埃之間的差異。注意大戈壁和戈壁沙漠暗灰色的陰霾（在圖八中各別註記有A和B）。人造衛星照片判斷研究（Conover 1962；Air Weather Service 1969）曾提起注意，沙漠常常看起來像雲，使用者應該熟知它們在照片中的位置，和恆久性的出現。

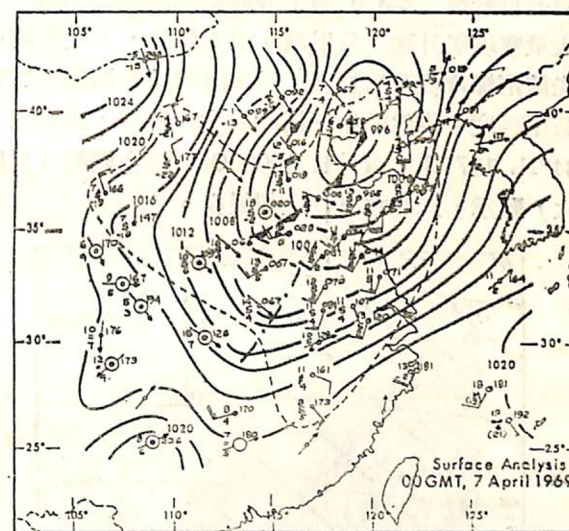


圖二、1969年4月5日 0000 GMT 地面等壓線分析圖，虛線封閉地區測站均報告吹塵或吹沙，地面風按慣常填製，風矢指示梯度層（一公里高）風向。

在圖八中塵埃大量集中在鋒（井2）後面 35° — 40°N ， 100° — 110°E 黃土地區及鄂爾多斯沙漠，這區域全部測站均報告吹沙或吹塵（見圖二）。注意四月五日0000 GMT 銀川（ 38°N ， 106°E ）氣溫遞減率（見圖三），在這地區大氣層是穩定的。注意從地面到1.5公里（850mb）高度非常強的逆溫，雖然這次探空測量剛在日出之後，但懷疑它在稍後的白晝，太陽對地面加熱，是否可以強得足夠去完全破壞逆溫層，特別是自從塵埃進入大氣層，地面會減少對太陽輻射的收入。因此之故，斷定四月五日黃土地區的塵埃層，是在逆溫層之下，而且不會伸展



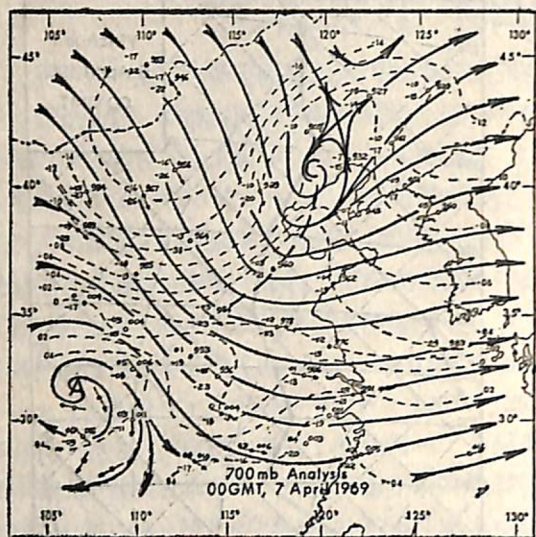
圖三、1969年4月5日 0000 GMT 銀川溫度（實線）露點（虛線）圖。乾絕熱遞減從右下向左上，彎曲斷線爲飽和絕熱線。



圖四、1969年4月7日 0000 GMT 地面等壓線分析圖。說明同圖二

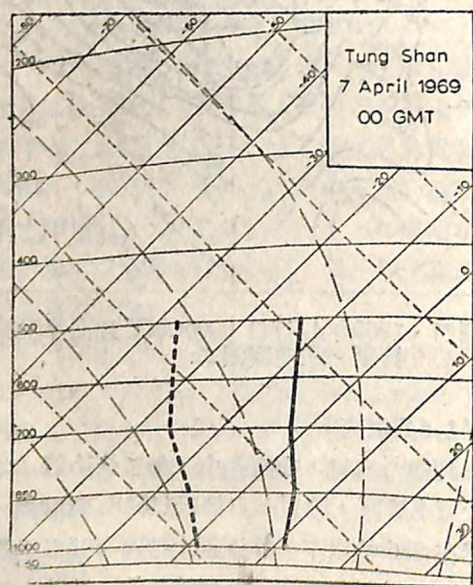
超過1.5公里高。

到四月六日，在圖九中，第三條冷鋒（井3）移近黃土地區，四月七日接近 115°E 時增強，地面氣壓在996mb以下，靠近黃土地區有強風記錄（見圖四）。從顯著的穿越等壓線氣流，及強烈的水平風切（見圖四），可以看出這是條十分強的鋒；由溫度狀況判斷，鋒的特徵伸達三公里高，700mb分析槽前有強烈的暖平流（見圖五）。這些分析指示，鋒前強烈的斜壓情況直達三公里高。Petterssen (19



圖五、1969年4月7日 0000GMT 700mb 流線分析圖，虛線為間隔2°C 之等溫線。

56) 和另外一些人留意到，強烈的暖平流發生在巨大的正渦旋趨勢區內，而且和上升運動區相符。四月七日鋒前（#3）的上升運動供給機械作用，將大量塵埃舉升到三公里高。這天以前，大量塵埃被先前兩條鋒後面的強風，從地面機械的揚起到1.5公里高度。雖然這第三條鋒強度非常強，由銅山（34°N, 117°E）四月七日0000GMT探空觀測（見圖六）顯示，鋒的水汽含量却很少。



圖六、1969年4月7日 0000GMT 銅山溫度露點圖。

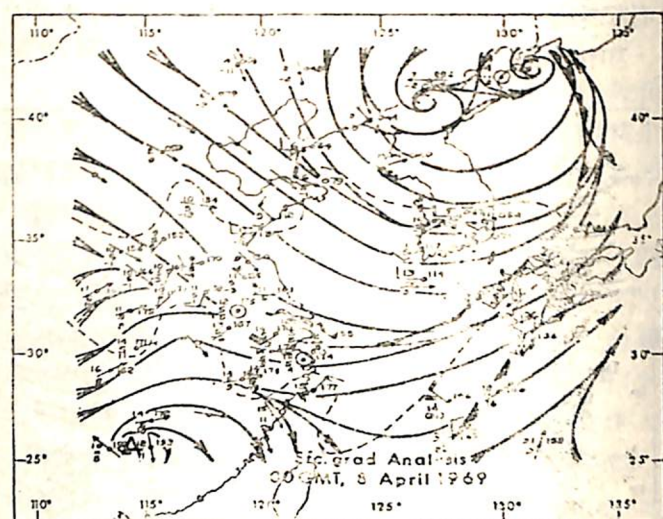
注意圖四內虛線封閉的區域（測站均報告塵埃），和在這分析大約五小時後所攝得的人造衛星照

片（見圖十）裡所顯示，含塵空氣區域大略相符。下面是從The Marine Observer引述的另外一段文字：

「m.v. Hallvard號，船長H.M. Ynestad，日本門司到曼谷。

一九六九年四月五日到七日。在五日黃昏離門司航站不久，船走進強烈的西風裡，西風一直吹了二十四小時，風力增加到七級（蒲氏風級，相等於每秒14—17公尺），風向自西南到西北西改變。六日1300GMT（2200LMT）以後風逐漸緩和，七日早上發現船從桅樓到水線，完全被一層棕灰色的塵沙薄膜所蓋。這段期間的天氣朦朧，能見度小於八公里。

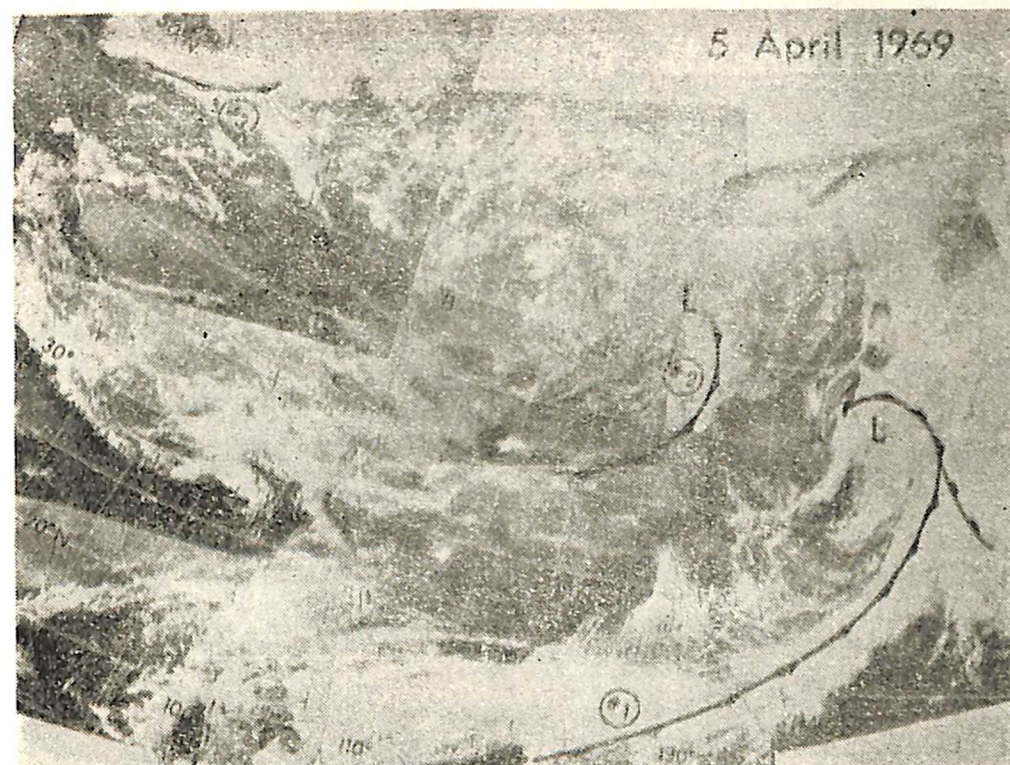
六日2130GMT（七日 0530LMT）船的位置：28°45'N, 127°18'E。」



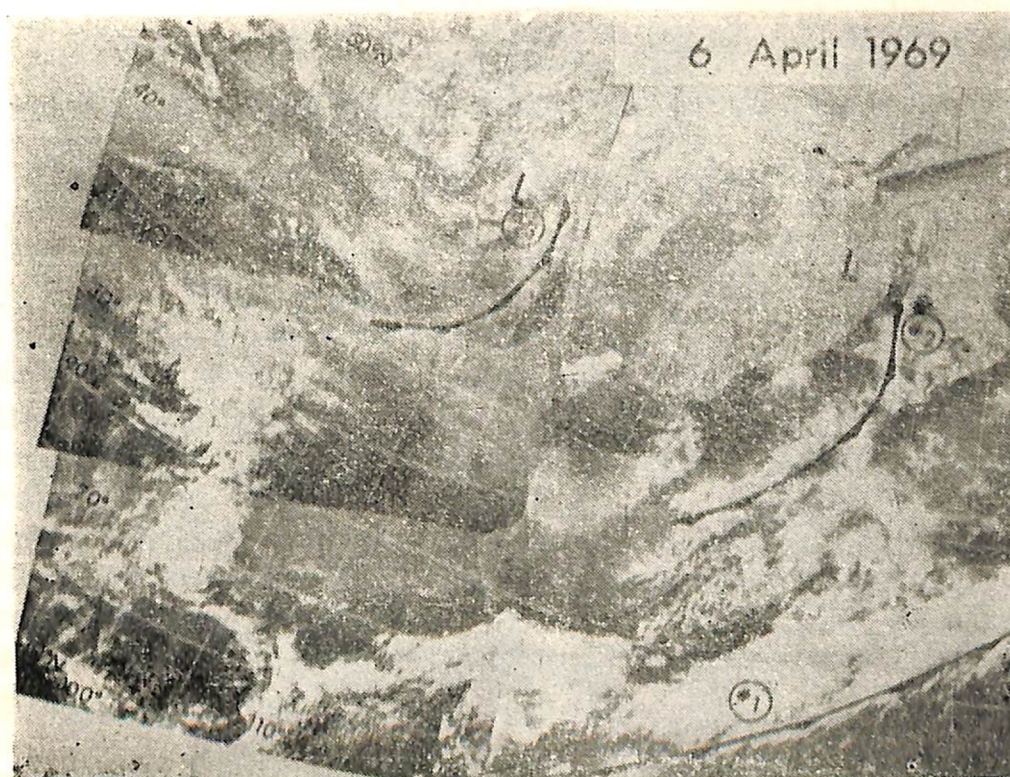
圖七、1969年4月8日 0000GMT 地面及梯度風層分析圖，虛線封閉地區測站均報告吹塵沙。測站上之風矢指示梯度風（高度一公里）層之氣流，流線依此繪製，地面風如慣常填製。

四月八日0000 GMT，鋒（#3）移至130°E以東（見圖七），在人造衛星照片（圖十一）裡顯示，含塵空氣向東伸展到133°E。接着四月九日，日本南部至140°E 都有塵埃的記載，琉球羣島附近（26°—28°N, 127°—130°E）飛機報告，到三公里高度都有塵埃的記錄。四月九日1200 GMT，緊靠35°N, 145°E東邊，一艘船隻報告有含塵空氣。直到四月十四日，日本南部仍有塵埃的記載。

這篇實例研究裡特饒趣味的是圖八、圖九和圖十所顯示，最大量的塵埃集中，首先出現在110°—115°E 之間的鄂爾多斯沙漠和黃土地區，遠超過大



圖八、1969年4月5日0500GMT ESSA 9號人造衛星照片，註記A為大戈壁沙漠，註記B為戈壁沙漠。



圖九、1969年4月6日0500GMT ESSA 9號人造衛星照片。



圖十、1969年4月7日 0600GMT ESSA 9號人造衛星照片，注意靠近#3號鋒廣大範圍的塵埃。



圖十一、1969年4月8日0500GMT ESSA 9號人造衛星照片。

戈壁和戈壁沙漠。

前面已經說過的刊物 The Marine Observer 中另外一則記述是這樣刊出來的：

「s. s. Theseus 號，船長 I. Webster，香港到橫濱。

一九六九年四月十日及十一日。在 $26^{\circ}18'N$ ， $123^{\circ}06'E$ 到 $29^{\circ}54'N$ ， $130^{\circ}48'E$ 之間，船被蒙上薄薄一層塵埃，這期間風向從東北東順轉為南南西，又逆轉為東南向，風力三到四級（每秒3—8公尺），能見度受薄霾限制。十一日0001 GMT：氣溫 $23.2^{\circ}C$ ，濕球溫度 $21^{\circ}C$ ，海水溫度 $23^{\circ}C$ 。

注意，雖然大約在這段時間，菲律賓羣島有火山爆發，但它的噴出物被描述是灰白色的。當然，火山是在 Glenogle 號，Hallvard 號，和 Theseus 號船報告位置遙遠的南方。所有那些船隻上的塵埃，最可能的來源為從中國隨風吹來的泥土，正如 Glenogle 號所觀測的。」

結論：

四月華中塵暴，是被三條先後通過黃土地區，和鄂爾多斯沙漠的冷鋒所觸發，跟隨在前兩條鋒後的強風，機械的將塵埃從地面揚起，舉升至1.5公

里高度大氣低層運行。四月七日，第三也是最有力的一條鋒，強烈的向上垂直運動，將塵埃舉升到三公里高。值得注意的是在最初的鋒通過後，中國大陸氣層非常乾燥，並且一直維持到四月九日。

由這個實例研究，可能說明兩種塵暴：

(1)被鋒後的風，因機械作用而舉起的塵埃，如果局限於1—1.5公里高度範圍之內，則影響所及為當地，或風向下游有限範圍的地方（例如#1和#2號鋒）。

(2)塵埃如被鋒前垂直運動舉升得更高，約到三公里高（例如#3號鋒），則可被吹送到很遠的距離，例如遠至2500公里。

第一種型式塵暴的必要條件，是強烈的地面和低層風，以及濕度小。但是第二種塵暴形成前，需要有一條強有力而且乾燥的鋒，鋒前需有強烈的上升運動。

本論文為夏威夷大學氣象系NO.71—3號研究報告，在F19628—69—C—0156號合約下，由空軍劍橋研究所（Air Force Cambridge Research Laboratories）支助。

（譯自The Royal Meteorological Society 1972年4月出版WEATHER Vol.27 NO.4 136—145頁）

氣象預報與分析稿約

1. 以促進氣象學術研究為宗旨，園地絕對公開，歡迎賜稿，凡有關氣象理論，工作經驗，應用問題以及新知介紹等類稿件，不論創作或譯述，均竭誠歡迎。
2. 來稿請附英文篇名，創作稿並請自撰200字左右之英文提要。
3. 稿中引用文獻，請註明作者姓名、書名、頁數及出版日期。
4. 凡屬譯稿，務請詳註原文出處。
5. 來稿請以稿紙自左至右橫書清楚，文字務求簡明，並請加標點。
6. 附圖請以墨筆描繪，以便製版。
7. 本刊對來稿有刪改權，不願刪改者，請預先聲明。
8. 來稿請註明作者真實姓名，服務單位及通訊處，俾便奉寄稿酬。
9. 來稿如需退還者，請預先聲明，並請附足額退件郵資。
10. 惠稿請寄交淡水郵政7096號信箱「氣象預報與分析」季刊社收。