

# 漫談大氣物理學的新進展\*

朱 崗 崑

(中國科學院地球物理研究所)

(一) 火箭探測高空 尋常大氣球所能抵達的高度,不過 35 公里左右,但利用火箭 (The V-2 Rocket) 發掘高空祕密,現已達及 150 公里,來日自更可向上發展。按火箭攜帶儀器上昇,可研探高空氣壓、氣溫、太陽光譜、宇宙線及遊離層諸問題。據 H. E. Newell 氏 (1948) 發表,在新墨西哥 (New Mexico) 白沙場 (White Sands) 放測結果: 氣壓在 25 公里處為  $20 \pm 3$  mm. Hg, 至 52 公里為  $0.50 \pm 0.05$  mm., 而在 120 公里左右, 僅為  $3.5 \times 10^{-5}$  ( $\pm 1 \times 10^{-5}$ ) mm.; 溫度在 20 公里處約為  $215^\circ\text{K}$ , 至 50 公里昇至  $320^\circ\text{K}$ , 至 70 公里復降至  $180^\circ\text{K}$ , 再上, 便又逐漸上昇。太陽輻射抵達地面, 因受高空臭氧層等吸收作用, 太陽紫外短波部分僅限於 2900Å 左右, 但利用火箭攜帶光譜儀在極高高空攝影, 現已展及 2100Å, 將來改進, 尚可望研討太陽光譜之極紫外部份, 即 500—2000Å 是。關於臭氧層之分佈, 除在 25km 處一最高點外, 在 17km 處似尚有一次高點, 而在 48km 以上, 則無臭氧踪跡云。

(二) 有關人工造雨 空中水份的凝結及降水過程, 自 T. Bergeron (1933) 及 W. Findeisen (1938—39) 二氏先後提出“冰粒效應 (The ice-crystal effect)”的意見後, 近年來各國學者更進行研究, 頗著成績。英國牛津大學由 G. M. B. Dobson 教授領導, 施作 Wilson Chamber 實驗, 藉以測定各項凝結開始時的溫度, 及與各種不同凝結核的關係。例如 B. M. Cwilong (1947) 的結果: 純淨空氣在  $-41.2^\circ\text{C}$  時除有水滴濃霧外, 始獲見冰粒的形成, 但戶外空氣因多少含有凝結核, 故此項臨界溫度, 提高至  $-32^\circ\text{C}$  左右。美國 V. J. Schaefer, I. Langmuir 及 B. Vonnegut 諸氏的研究, 也證實這種試驗, 並指出在過冷卻的濕空氣中, 如加以少許粉狀的固體二氧化碳, 則可促成多量冰粒凝結; 若此“刺激劑”改以 AgI 代之, 則效應更為顯著。在實用方面, 澳、加、美等國亦均熱心試驗, 即派遣飛機飛行於雲層 (尤以積雲及積雨雲) 附近, 散佈粉狀乾冰即固體  $\text{CO}_2$ , 藉以刺激過冷雲層析出冰粒, 造成局部的降水。據澳洲 E. B. Kraus 及 P. Squires 二氏的報告 (1947) 在八次試驗中, 已有六次獲有成效。其次,

在熱帶地方，雲層雖未至結冰高度，亦可有大量降水發生。此因雲層內水滴大小不同，各有不同的下降速率，大雲滴速快體大，往往兼併較小雲粒。I. Langmuir 氏 (1948) 曾計算在不同情況下，大雲滴衝擊較小雲滴的兼併效率 (Collection efficiency)。麻省理工 H. G. Houghton 氏 (1950) 最近比較二種降水機構，即“冰粉效應”和“衝併步驟 The gravitational accretion Process”，指出雲粒的增長過程，一般雖以“冰粒效應”為快為要，然當雲滴增大至一定體積後，“衝併步驟”即可反較“冰粒效應”為速。

(三) 雷達和氣象學：雷達在上次世界大戰發明後，不獨可以應用於各種氣象觀測，例如測風，雷雨，颱風和其他雲雨現象，而且其本身的效用，亦與低層各種氣象要素的分佈完切相關。近年來，特別是在英國，對於所謂“無線電氣象學 Radio meteorology”研究，頗不遺餘力，其具體表現，例如英國皇家氣象學會曾與物理學會聯合舉行會議，出版專書 (1947)。據 H. G. Booker 氏 (1948) 的報告：在近地面 15 至 150 公尺內，如溫度逆溫大至  $10^{\circ}\text{C}/100\text{m}$ ，或水汽壓的垂直坡度大至  $2.6\text{ mb.}/100\text{m}$ ，或較弱的逆溫和較小的水汽壓坡度相結合時，則微波無線電傳播可有超屈折 (Superrefraction) 現象發生；其時雷達在這個“Radio Duct”層內，可測距離增大，所用波長愈短，其效亦愈顯明。此外：無線電氣象學中另一課題，為研究空中懸浮物，例如雲、水滴及冰粒等對於微波無線電的吸收和擴散 (Absorption and Scattering) 作用，據實驗室和理論計算的結果，可知在一定範圍波長和懸浮物的條件下，微波無線電能量的減弱與擴散，均隨所用波長減短而增加；相反，若量測雷達的回波強 (Echo intensity)，並利用現所知實驗和理論的結果，自亦不難推究空中各種懸浮物的特徵。

(四) 自然蒸發：這個問題，因關係農林水利，在理論方面，又和大氣擾動密切聯系，故各國學者研究頗衆。蘇聯 M. N. Bodeko 氏曾著“自然蒸發”一書，1948 年在列寧格勒出版。英國 H. L. Penman 氏亦有綜合討論之作，發表於英國物理學會出版的“物理學進展報告”。研究這個問題，在理論方面，或從空氣動力學看手，或從熱量平衡出發，其著者例如 O. G. Sutton, H. V. Sverdrup, K. L. Calder, F. Pasquill 等人。在量測和計算方面，美國 C. W. Thornthwaite 和 B. Holzman 二氏 (1942) 就空氣動力學觀點尋出計算蒸發量的公式，若已知二高度的風速和比較濕度，即可進行計算。在美國，H. L. Penman 氏 (1948) 聯系擾動傳輸和能量平衡所得的結果，亦發表一實用計算公式，藉測站的氣溫，日照、水汽壓力及風速的紀錄，便能從事自然蒸發量的估計。但 F. Pasquill 氏近年來的研究 (1949-50) 曾討論在不同情況下，水汽、熱量和動量傳輸擴散係數間的關係，一方面指出桑郝二氏的公式，僅適用於絕熱大氣情況，並估計該式應用於非絕熱情況時所生的誤差；另一方面又批評彭氏的論點，並指出由彭氏公式所得的蒸發量，往往失之過高云。

(五) 大氣臭氧及其相反關問題 第二次世界大戰前，國際氣象協會 (Association of Meteorology, I.U.G.G.) 曾擬在世界各地設立十九個臭氧觀測站，但未久大戰爆發，該項計劃僅在西歐方面勉強實現 (例如美國設有四站，同時觀測，為期二年)。據 G. M. B. Dobson 氏較近的報告 (1947)，大氣臭氧含量與界面移行有密切關係：冷鋒過後， $O_3$  量增多，暖鋒未來之前，即可有  $O_3$  量降低的預兆，錫面附近  $O_3$  量的增多或減少，視錫面的高度和性質而定。又雷雨時  $O_3$  含量增加頗速 (一次由 0.27 cm 增至 0.48 cm，雷雨過後，復降至原值)，但這不由於平流層中  $O_3$  的增加，實由於雷雨雲中有大量  $O_3$  的生成。第二次大戰期間，G. M. B. Dobson 與 A. W. Brewer 又設計成功能在極低溫度下準確測定的霜點濕度計 (The Dobson - Brewer Frost-Point Hygrometer)，由飛機在平流層底部量測的結果，發現該高度濕度低至 2-3%，殊出前人想像所及。在以上已引及的同一文中，Dobson 氏又討論大氣的熱力平衡，修正和補充 G. C. Simpson 氏著名的圖解，並證實 Lindemann 氏今致稱 (Lord Cherwell) 的建議，即在平流層輻射平衡中，水汽，二氧化碳和臭氧約各佔同等重要位置，實際的平衡溫度，則須視這三氣體的相對濃度 (Relative Concentrations) 所決定。此外 R. M. Goody 氏 (1949) 應用類似 Emben 的理解和方法，討論平流層底部的熱力平衡和溫度變化，其結果甚符合 Dobson 氏所得的結論。E. H. Gowan 氏過去計算高空臭氧層在輻射平衡下的溫度，假定  $O_3$  含量在 45km 高度為最多，具後  $O_3$  觀測記錄增多，該高度應在 22km 左右，Gowan 氏即據此重行計算，其修正結果發表於 1947 年。在測量  $O_3$  的技術方面，近年來亦有改進。J. Strong 氏 (1941) 曾建議測定  $O_3$  高度的新法，藉補尋所謂 Gotz Inversion 法的不足。Strong 法係同時量測直接日光紫外部份和紅外線  $9.7\mu$  處的吸收，由前者計算大氣中臭氧的含量，由後者藉  $\sqrt{p}$  關係式推求平均的高度。在牛津，Dobson 氏不斷改進其臭氧儀，由於光電管多級放大的應用，已使該儀的靈敏度增大 20 至 50 倍，非特能在有雲天氣使用，即在月夜，如月亮接近天頂，亦能施行  $O_3$  的量測。

(六) 談談能見度 能見度為航行安全的重要因素，但其物理的考查和測量的方法，迄今尚未趨完善的階段。H. Koschmieder 氏 (1924) 殆為最先研究這個問題具有成績者，渠曾利用擴散係數 (Scattering Coefficient)，導出白天與晚間能見度的公式。W. E. K. Middleton 氏在 1935 年出版氣象學中的能見度書中搜羅文獻不少。近年來，由於空航發達，研究各種能見度的需要更強迫切。舉例來說，英國 W. R. G. Atkins 氏現努力實驗，設計適當的儀器，藉能精確量測斜能見度 (Slant visibility)，及夜間能見度。H. J. Aufm Kompe 氏過去在德國研研雲層中的能見度和水份含量，最近在美發表論文 (1950)，其內容約有以下諸要點：一：依據在華盛頓山 (Mt. Was-

hington) 所作實驗的記錄, 已證實 Koschmieder 能見度公式大致正確無誤。二: 飛機在雲層中實驗飛行, 利用附諸機翼的探照光, 及由光電流表量測擴散係數, 依據 Koschmieder 公式可求得雲層中的能見度值。三: 大積雲中的能見度, 僅約為 10 至 20 公尺, 晴天積雲 40 公尺, 層積雲 100 公尺, 層雲 140 公尺, 高層雲 150 公尺左右。四: 雲滴大小, 用飛機可藉 V. Hagemonn 氏及 M. Diem 氏的微照相法量測, 晴天積雲及層積雲的雲粒半徑, 約為  $4\mu$ , 層雲狀雲約為  $7\mu$ , 至大積雲, 增大至  $10\mu$ , 左右。五: 已知雲層中的能見度, 和雲滴的半徑, 藉 Trabert 氏 (1901) 著名的公式, 可計算雲層中的水份含量, 平均大積雲約為每立方公尺 2.5 克, 晴天積雲 0.5, 層雲, 層積雲及高層雲, 均約在 0.2 克左右。

### 參 考 文 獻

- (1) Bergeron, T., 1933. Proces-Verb. Assoc. Met. U. G. G. I., Part 2, 156.
- (2) МИБУДЬКО (Bodeko) 1948. 221 p. p.
- (3) Booker, H. G., 1948. Q. J. 74, 277.
- (4) Cwilong, B.M., 1947. Proc. Roy. Soc. A, 190, 137.
- (5) Dobson, G. M. B., with A. W. Brewer & B. M. Cwilong, 1946. Proc. Roy. Soc. 185, p. 144.
- (6) Findeisen, W., 1938. M. Z. 55, 121.
- (7) Findeisen, W., 1939. M. Z. 56, 453.
- (8) Goody, R. M., 1939. Proc. Roy. Soc. A, 197, p. 487.
- (9) Gowan, E. H., 1947. Proc. Roy. Soc. A, 190, p. 219.
- (10) Houghton, H. G., 1950. J. Meteor. 7, 363.
- (11) H. J. Aufm. Kampe, H. J., 1950. J. Meteor. 7, 54.
- (12) Koschmieder, H., 1924. Beitr. fre. Atmo. 12, 33 and 171.
- (13) Kraus, E. B., and Spusires, P., 1947: Nature 159, p. 489.
- (14) Langmuir, I., 1948. J. Meteor., 5, 175.
- (15) "Meteorological Factors in Radio Wave Propagation" 1947. Report by the Physical Society and the Royal Meteorological Society, 325 p.p.
- (16) Middleton, W. E. R., 1941: Visibility in Meteorology, 2nd edition, The University of Toronto Press.
- (17) Newell, H. E. Jr., 1948. Reprint of NRL Report R-3294.
- (18) Pasquill, F., 1949a Proc. Roy. Soc. A, 198, 116.  
1949b Q. J. 75, 249.  
1950 Q. J. Roy. Met. Soc., 76 287.

- 
- (19) Penman, H. L., 1948. *Proc. Roy. Soc. A*, **193**, 120.
- (20) Penman, H. L., 1948. *Reports on Progress in Physics* XI (1946-1947) P. 366.
- (21) J. Strong, 1941. *J. Frank. Inst.* **231**, 121.
- (22) Thornthwaite, C. W. & Holzman, B., 1942. *Tech. Bull. U. S. Dept. Agrrc.*  
No. 817.
- (23) Trabert, W., 1901. *M. Z.* **18**, 518.