



英國氣象局人造雨之試驗

般來朝譯

美國通用電氣公司為求實現改變人類過去的幻想為最新的科學，曾經設立了人造雨試驗室，這也可說是一種偶然的事，在二次大戰期間為了研究各種軍事問題，曾經聘請了許多優秀的研究員，由隆美爾(Irving Langmuir)和史開福(Vincent Schaefer)二位博士領導，擔任研究下雨對無線電的干擾，因而對於雲的構造和降雨的起源發生極大的興趣，在他們的各種發現被認為具有重大價值之後，更獲得政府的支持作進一步的研究，這個官方的研究工作就是有名的「卷雲計劃」(Project Cirrus)，他們的各種研究報告曾散見於各種氣象文獻中。

人造雨的理論係根據白裘蘭(Bergeron, 1932)關於降雨之起源的學說，構成雲層之小水點，直徑小於百分之一公厘(mm)，所以普通一滴直徑為一公厘的雨點就相當於百萬倍的雲點，這些雨點是怎樣將極大數目的小雲點聚集在一起，而且能聚成一團降落下來？為什麼在某一種雲裏能進行這種工作，而在另外一塊密度相似的雲中又不能進行，沒有雨降下來？白裘蘭曾研究各種可以產生降雨的作用，只有一種理由似乎可以解釋當時的事實，按照此種理論就是雨點的起源必須要在雲的溫度低於冰點若干度才行，我們必須假定有一小部份水點要凍結，現在再研究其理由，因為在同一溫度之下，冰上的平衡水汽壓力要較水上的為低，當水汽凝結出來的時候，冰點長大很快，而其附近水點則形退縮，在幾分鐘之後，冰點長大即迅速下降，遂發生「碰合」作用——那就是單純的和冰點或其他的水點因碰撞而結合在一起，因此便結成雪片，在降落到結冰層以下便溶解為雨點。

我們知道這種程序不僅是唯一的成雨理由，而且有強有力的證明，有許多雨——尤其是暖面附近的連續長期雨——是由白氏的程序而產生的，此種程序可以很簡便的在實驗室作成，甚至在家庭中只要有凍冷設備也可以照做，假如我們使冰箱裏的空氣達到飽和並慢慢使它冷卻，就可以看見形成霧一般的小水點，此種水點繼續不變一直要到溫度低降至臨界值約為 -20°C ，在此時即有極少數的冰晶出現，開始雖然很小，其直徑可能是 0.02mm 或更小，但可在射進去的燈光中看見是發亮的，而且可以看到這些點子開始下降得很快（表示它們已很快的長大了）直落到冰箱的底部，箱內則仍充滿着霧點，如將溫度再降低，則又結出一批新的冰點，重複下降，溫度愈降低則凝結的冰晶數愈增多，普通在 -20°C 時，每呎空氣中可能少於一顆，但在 -35°C 時則在每呎空氣中可能有幾千顆。

在雲層中的水點只能有小部份凝結成冰的理由，是因為水點只能在某種細小的分子叫做冰結核心的上面才能凍結之故，在自然中這些核子的作用尚未明悉，不過無論如何，它們之中極少數能在溫度 -16°C 以上可以冰結的，因此，如若雲頂的溫度較此為暖，則可能不致下雨，倘如雲頂溫度已低至 -25°C 以下，則一定要降落豐沛的雨量，因為在這樣的低溫之下凍結核之作用已大增了。

在極低溫度（ -40°C 以下）時就無需乎凍結核心，如在冰箱中在這種溫度造成雲點，則所有的雲點立即凍結，但在此種情況下不會有冰點降落到箱底，因為在此溫度不會再有液體的水滴存在，所以冰點也不會長大到可以降落的程度。

假如雲頂之溫度已達過冷卻但不會降雨或僅降點小雨，那我們就可以用誘導冰結的辦法來幫助它降雨，這就是人造雨的基本理論，最早而且最明顯的一種方法，就是用飛機在雲上拋下小顆的很冷的固體——乾冰(固體的二氧化碳)此方法可使溫度低降到 -40°C 以下，使水滴立即凍結而無需乎核心之助，每顆乾冰落下之後即隨着有一連串的冰晶產生。經許多次的試驗結果都是如此，不過在不久之後就證明此法所能降水的力量很有限，因為飛機飛過所能影響的範圍只是雲上的一狹條，不能使整個雲層發生作用。故此法普通僅應用於大塊積雲，雖能產生陣雨（在條件適合時常屬可能）但適當的條件總是不會常有的，陣雨量通常是微小或中等而降雨範圍不過數方哩而已，而且還有極可懷疑的是那塊雲本來自己就要降雨了，撒了雨種不過改變了陣雨的地區幾哩路而已，這種結果對於美國那些會計算過他們國內西部的幾百萬方哩乾旱之地的財源的專家們，一定是感到不足的，他們需要一種新方法不要飛機而能廣泛的長期的應用於各處，因此便建議凍結核心須能在地面散佈才好，假如能產生足量的凍結核，自會有一部份立即或相繼的上升到達需要的高度，如有適當的雲層存在便可誘導其降雨。

通用電氣公司的專家們解決了這個問題，首先製成了一種適用的核塵發生器可以產生大量的碘化銀(Silver iodide)的晶體核塵，對於凍結極為有效，（至少在新產生時是如此）而且此種設備簡單可以大量而廉價的生產，只需將碘化銀噴射到燃燒的火焰高溫中，即可由一克的碘化銀產生 10^{15} 個晶體。照算起來，這個數字是大有希望

的，假如只有百分之一的晶體結成雨點，每點的直徑為一公厘(mm)，那麼使用一公斤的碘化銀，費用不過十五鎊，即可在十萬英畝的面積上降落十公厘的雨量。

但仔細研究之後，這個估計是太樂觀的。困難之點還多，這裏不能細述，僅將兩點主要的提供如下：第一是碘化銀能否在被日光或其他的東西使成爲不發生作用之先，達到它們的有效冰結核心的高度（通常爲一萬至二萬呎），或許在途中已被雨水沖去，或許被擴散到範圍很廣而致影響極微。第二是有否足量的雲層可以播散雨種而獲降雨，我們已經知道除非是雲頂溫度已遠低於凍冰點（ -5°C 以下），此種雨種是無用的，但如雲頂溫度適合而雲層太薄也是無用的，因爲所成雨點太小，降至中途即被蒸發，不能到達地面。另一方面，如在已經自然降雨的雲下播種也是無用的。當我們除了上述各種場合之後，所遺留下的「可以用武之地」也就極爲有限了，所以前面的計算數字很可能不會獲得任何足量的降雨。但這些疑點，並沒有阻止大批商業化的造雨事業的發展，這些造雨商家在通用電氣公司發明之後，幾年工夫之內便成爲大企業。在美國最爲發達，一九五一年之中成立了許多人造雨公司，密西西比河以西有三分之二地區，都在播散「雨種」。此外，在加拿大、法國、西班牙、北非等國家均有大量的造雨工作，雖然也有的是一種嘗試性質。

人造雨成就的程度很難斷定，前面說過，除非雲頂溫度遠在冰點以下及其厚度有相當大——至少幾千呎，播種是不會降雨的，但是像這樣的雲，即使不用人工之助也能自行降雨，因爲通常有若干自然的結冰核心存在，不過有時候可能數量過少不足以使雲中水份凍結至最大量。所以老實的說來，人工造雨的願望乃是在補充雲層中天然雨種的不足以增加其降水量，而不是要在乾旱的日子使它下雨。但是這種計劃的成果也很難檢驗出來，誰可以有辦法決定某日有若干是天然雨，又有若干是人造雨呢？我們僅能由統計方法來做一種效驗的估計，但需要精細的長期有系統的工作才行，目前則尚缺乏可靠之資料。

世界氣象組織會指派專門委員會審查有關人造雨的證明，其報告書的結論是：「目前的技術，無論是『冷的』或『熱的』雲中佈種，價值甚微，假如有些價值的話，那只是在增加缺少雨量地區的降水量，或是增加普通中等雨量區域在乾旱期間的降水量。」（參閱 W.M.O. Technical Note No.1. "Artificial Inducement of Precipitation", 1954.）

但在此文件中又曾補述如下：「本篇的試驗結論，並不是反對去研究和試驗人工改造雲雨，相反的，他們是說明尚需作更進一步的繼續努力」。

英國的氣候並不經常缺少雨量，而近二三年來一般人對於人造雨之所以大感興趣者，乃是由於此種想像可望獲得實際之利益。無論如何，能增加雨量總是有用處的，英國也不例外。在英格蘭東部有很大的地區如每年能獲較多的雨量，收穫一定要更好，當天旱之年，則人造雨之利益將更屬廣大矣。

在一九五四年春天，英國氣象研究委員會認定這個题目的重要性及其發展後之利益，實有舉行試驗，以求獲得能適用於英國氣象條件的有效造雨辦法，如是遂決定開始現在正在進行中的試驗。

所用的核塵發生器係由化學戰防禦試驗所（屬後勤部）設計製造的，該所在沙里士堡（Salisbury）附近的普爾頓（Porton）地方。每個發生器主要的部份是一個噴生燈——外形猶如一隻大的打氣爐，將碘化銀溶解於木酮（Acetone）中溶液按一定的速度注入噴燈火焰中，其全套工具十分簡單，可參閱附圖。其產生量曾經使用一種「雲室」試驗，證明如前面所說的每消耗一克碘化銀便可產生冰結核塵約 10^{15} 個。但不曾直接證明這許多核塵分子都是碘化銀，也不會研究這些核塵曝露在空氣中，雨水中及日光中之後仍保留其原有性質的能力。

第二個問題就是計劃進行一個實驗，主要的原理是很明瞭的了，一方面要等待適當的雲層到達，另一方面便開放發生器。然後還要研究試驗時間的風向風速，以求儘量準確的指定播種地區——稱之爲 A 區，並指定二個以上的不會播種的地區（如 C、D、E 等）從各個不會播種地區，在此段試驗播種期間所得之雨量來比較，我們可以約略估計 A 區應得之天然雨量。此估計數與確實雨量紀錄的較差，有部份爲播種的效果，有部份爲估計的差誤，如將很多次數平均起來可望減少誤差至最小值，於是便可求得播種之效果。

近似值的計算須要有很多次數才可得到滿意的結果，應等待幾年試驗工作之後才行。爲求儘量減短此期間，乃決定僅在有廣大的西南氣流籠罩着，漢伯（Humber）以南的英格蘭全區時，才舉行播種，而且規定僅取富庶地區——沙里士堡平原——的雨量每次超過五公厘的紀錄加以分析。因爲這些條件使雨量分佈比較均勻，故可較易辨明局部的人工造雨所增加的雨量數值。雖然如此，倘如因播種所增之平均雨量只是百分之十四，則此種試驗須繼續三年，方能證實其有效。在較短的時間，如能獲得大量的增加，當然也可以得到佐證，但照以前的試驗情形看來，似屬尚不可能。

核塵發生器係儲藏在沙里士堡平原 (Salisbury Plain) 的普爾頓地方，化學戰防禦試驗所內。遇有適當雲層到臨上空時，便設立五處發生站，各處經常是在相同的地點建立的。這五個站排成一直線，每站之間約相距二十三哩，大概是從北北西至南東南——幾乎是與恒風方向成直角——其中點約在沙里士堡東北方十哩。每站有兩人及兩個發生器，其中一個發生器是作備份的。人和設備都是用汽車運去的。當界面相距二百五十哩之時，就將發生器燃起來，一直燒到界面過境二小時之後。每個發生器每小時約需費碘化銀兩盎司，平常每次使用十小時，約共需六又四分之一磅。

第一次試驗是在一九五五年十月五日，直至目前(一九五六年一月廿四日)僅舉行過六次試驗，因為在乾燥的秋季很少適當的機會。

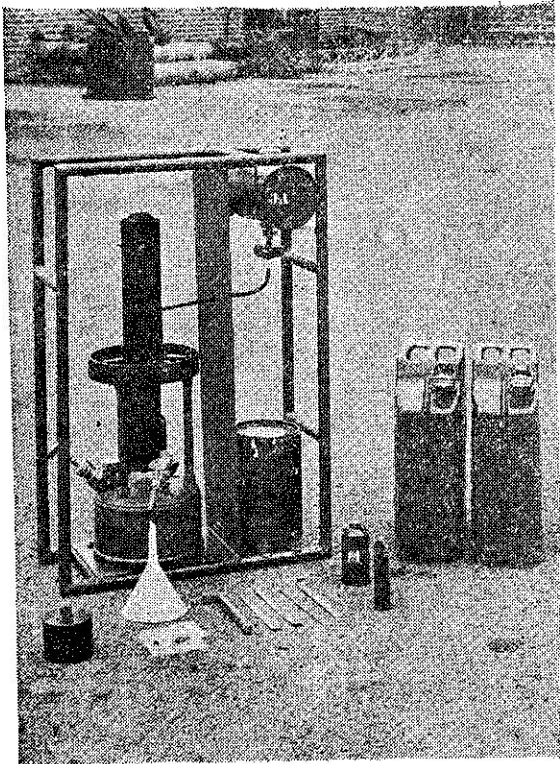
一個緊隨着的困難問題就是如何決定曾經播過雨種的地區位置，這是早先就在意料之中的，當開始研究成效的時候就會使人發生麻煩，碘化銀分子的有效高度須要達到六千呎至二萬呎，在這個階段上升中的擴散情形又極少知道。前面已經說過，沒有辦法可以斷定這些分子有多少升到某高度是有效的；不能億測它們的聚集濃度，僅可約略的估計它們在上升途中所需之時間，或播種地區的約略大小和位置。因此，必須還要實行研究各分子從地而上升中的擴散情形。不過所用的分子不是碘化銀，因為那是不易顯明察看出來的，而是用一種發亮光的粉末，硫化鋅或硫化鎘。試驗時從地面上等速的放出這種粉末。然後用一架飛機在此分子所散佈的各種高度及各種距離飛行多次，採取其標本。收集分子的方法是從飛機外面導進一股空氣吹在一條有黏附性的帶子上，在以後研究的時侯，用顯微鏡在紫外光照射下即可容易的看出各個發光的分子而計其數。曾經飛過若干次數，蒐集了若干有用的情報，不幸的是這種技術在雲層中或雨中是無用的——而這正是我們所最感興趣的狀況。現在正研究一種新的收集標本的方法中希望能克服此種困難。

這些擴散研究所得之結果，對於人造雨試驗的解釋非常重要，而且在將來還有許多其他地方可以應用，更可

證明其為此項研究中的最具有價值者。

過去幾星期曾有人建議在山岳地區作上述平原地區相似的造雨試驗。其目的在利用風吹向山地所形成的上升氣流。這些氣流中可獲有較豐的水份，而且可攜帶碘化銀上升。所選定的地區是第士河 (Tees) 唐河 (Tyne) 及衛爾河 (Wear) 的發源地，卡拉斯灰爾山嶺 (Crossfell Edge)。此條山嶺乃本地區之西方邊緣，距離適當——坡度峻，面對恒風，在三十哩以內到處高度都超過二千呎。

上述第二種造雨試驗是否實施尚未決定。因為在此種地區工作上有很大的困難，尤其是難以說明其效果，因山岳地區降雨量變率甚大。在此種場所也必需要幾年的工夫才可獲得有用的成果。在本地區的第一種先決試驗尚未獲得研究結論之先，似乎不必作更進一步之直接造雨試驗。吾人應深知專靠試試不能期望獲得控制雨種之技術——此外還有許多的未知數存在於此項方程式之內。如發生器中佈種物質的速度，其晶體的純度及其大小，空氣的穩定性，雲的密度及厚度，以及雲層中溫度的分佈，這些只是必須要影響效果的因素，但其影響至如何程度我們尚不能加以憶測，在我們以試驗求得各個變數之前，還須記得統計上所有的資料誤差，那是在數千萬次的觀測中在所難免的。因此，我們最好還是專力於研究大氣物理的主要應用，即雨的形成及雨種物質之作用，期望能够知道了此等問題



附圖：碘化銀核塵發生器

之後即可逐次的估計其餘的各項未知數。這不但是科學的方法，而且是成功的捷徑。

譯者註①原文：The Meteorological Office Experiments on Artificial Rainfall”

By B. C. V. Oddie, Meteorological Office, London.載 „Weather” March, 1956.

p. p. 65—71.

②附圖說明：英國化學戰防禦試驗所設計之碘化銀核塵發生器