

## 由人工增雨技術探討國軍防救災應有之精進作為

蔡世樵<sup>1</sup>、鄭育昆<sup>2</sup>、魏志憲<sup>3</sup>、王中鼎<sup>4</sup>、葉南慶<sup>5</sup>、毛正氣<sup>6</sup>

<sup>1,2,3,5</sup> 國防大學理工學院環境資訊及工程學系

<sup>4</sup> 日月光半導體製造股份有限公司

<sup>6</sup> 海軍大氣海洋局

### 摘要

人工增雨原理為利用工具在雲霧厚度較大的中低雲中播散催化劑(碘化銀、乾冰、鹽粒、膨潤土及矽藻土等)，以增加雲中的凝結核數量及碰撞次數，達到降雨之目的；其作業方式主要有三種，一是在地面燃燒碘化銀，二是以高砲和火箭將催化劑打入雲層，三是利用飛機播撒催化劑。目前全世界約有 25 個國家從事人工增雨計畫，主要以紓解旱象，增加降水量或增加水力發電之收益；以中國大陸為例，中共氣象部隊於 2008 年北京奧運及 2009 年 60 周年國慶日，發射消雨火箭彈實施人工消雨作業，確保當日活動順利進行，達到良好的成效。而由於全球暖化效應，劇烈降水漸趨頻繁導致降水過度集中，未來在極端天氣的影響下，水資源不敷分配及暴雨成災的問題只會日益嚴重；我國軍將支援天然災害防救災列為主要任務之一，未來應配合國內相關單位，研究評估能發揮種雲最佳效應之凝結核，並以現有之雙偏極化微波輻射計進行實驗觀測，驗證人工增雨作業之實際效益，以有效達成支援防救災之任務目標。

**關鍵詞：**人工增(消)雨，凝結核，種雲，雙偏極化微波輻射計。

### 一、前言

颱風、豪雨、寒害和乾旱為臺灣地區的四大氣象災害，雖然乾旱未必每年發生，但是由於臺灣地形落差大儲水有限，若降雨時間和空間分配不均，極易發生乾旱缺水或豪雨成災現象。由於全球暖化效應，許多分析降水歷史資料之研究顯示雖然總雨量不變，但劇烈降水漸趨頻繁，中小雨的出現頻率卻有降低的趨勢(Shiu et al. 2009)[1]，在區域、全球暖化的趨勢下，降水將愈集中在強烈降水等級(Liu et al. 2009)[2]。降水過度集中，導致乾旱問題日趨嚴重，尤以臺灣中南部地區春秋季，發生頻繁且顯著，進一步影

響到農工業的發展及國民生計；若能進行人工增雨增加降水量，除了能做為緊急因應乾旱之防救措施，亦為提高水源供應可靠的方法，因此，人工增雨的研究與作業有必要為處理乾旱的重點工作項目(陳等，1995)[3]。

臺灣地區可追溯到 1951 年就開始有人工改造天氣的紀錄，由台灣電力公司長期實施人工增雨目的在於發電，1977~1980 及 1990~2002 年間數度全臺大旱，由空軍支援執行空中人工增雨及中央氣象局支援在集水區作地面人工增雨，目的在紓解民生及農業用水之不足；但由於乏設備及經驗，因此採取付費聘請北美氣象顧問公司(North American Weather Consultants, NAWC)來臺進行人工增

雨作業，該公司自行攜運飛機和地面器材等設備來執行作業，此為臺灣首次在較有科學評估下進行人工增雨作業。可惜計畫結束後，北美公司之相關經驗和設備並未移植國內，且國內也未繼續進行相關技術研發工作，以致後來所執行的人工增雨作業方式仍和過去無太大的改變，同樣不夠精緻也缺乏效率(陳等, 1995)[3]。

因此，雖然臺灣地區早在50多年前即開始實施人工增雨作業，但對於所需的各項雲物理觀測實驗、探測技術、播灑技術、最佳造雨催化劑、造雨方式技術…等，未長期持續研究，而近年來缺水的壓力增加，顯露在人工增雨的經驗技術累積明顯不足之問題，雖可藉國外先進研究成果和技術移植國內，但臺灣地區之特殊地形和天氣系統與雲水物理變化不盡相同，除了參考國外技術，仍需經過相當次數的實驗評估，才能了解實施人工增雨的效果，要達到增雨的目標尚有一段漫長的路。

我國軍平時除了執行各項戰演訓任務外，亦將天然災害防救災列為主要任務之一，近年來雖多次配合政府相關單位執行人工增雨作業，惟實際執行成效仍有待驗證。而以數值模式來探討增雨機制、協助判斷增雨時機及評估增雨成效，是國際間公認重要的人工增雨模擬工具，因此國軍未來應配合國內相關單位，改進國內人工增雨的方式和能力，包括種雲粒子的研發、數值模式的發展等等，進而利用現有之裝備(如無人飛行載具、雙偏極化微波輻射計等)驗證人工增雨作業實際成效，以達成有效支援防救災之目的。

## 二、理論基礎

### 2.1 人工增雨理論

1946年 Schaefer 及 1947年 Vonnegut 提出

乾冰(-78°C之固態二氧化碳)和碘化銀投進雲中，可以使過冷水或雲滴迅即凍結變成冰晶胚胎，低溫造成過飽和也會促成水氣直接凝華為冰晶，進而增加降水效率。1948年 Langmuir 提出暖雲凝結碰撞連鎖反應可加速降水之後，進入人工改造天氣的時代。科學家發現，碘化銀可以在地上撒播，利用氣流上升的作用，飄浮到空中的雲層裏，比乾冰降雨更簡便易行。後來，美國通用電氣公司的本加特再針對 Langmuir 的人工增雨方法進行了改良，使其更加簡便易行。人工增雨的發明，標誌著氣象科學發展到了一個新的水準。

雲是由水汽凝結而成；而雲的厚度以及高度通常由雲中水汽含量的多寡以及凝結核(Condensation nuclei)的數量、雲內的溫度所決定。一般來說，雲中的水汽膠性狀態比較穩定，不易產生降雨，而人工增雨就是要破壞這種膠性穩定狀態。通常人工增雨就是通過一定的手段，在雲霧厚度比較大的中低雲系中播散催化劑進而達到降雨目的；原理一是增加雲中的凝結核數量，有利水汽粒子的碰撞增大；二是改變雲中的溫度，有利擾動並產生對流。而雲中的擾動及對流的產生，將更加有利於水汽的碰撞增大，當空氣中的上升氣流承受不住水汽粒子的飄浮時，便產生了降雨。世界上許多國家普遍使用碘化銀做人工增雨的催化劑，而中國大陸則是採用乾冰和碘化銀穿插使用的方法(蔡等, 2011)[4]。

降落到地面的水，是來自雲中的不同高度，有可能是雲中較高部位的冰晶或過冷水，因降溫或加入人工冰核，增加冰晶數量而降落到地面的液態水或未溶化的固態雪等；也有可能是雲中較低部位的雲滴，因水氣增加或碰撞增大變成較大的水滴，而掉落到地面的液態水。一般來說，人工增雨可大致分為兩類，一是促成雲中較高部位的冰晶

或過冷水(雲中溫度低於0°C)，透過冰晶成長機制增加降水，稱為「冷雲增雨」；二是促成雲中較低部位的雲滴(雲中溫度高於0°C)，透過凝結碰撞合併增加降水，稱為「暖雲增雨」(圖一)。

#### 2.1.1 冷雲增雨

透過人工增加冰核，使冰晶成長增加降水，方式有兩種：一種是「同質核化」的方式，以人工投入「致冷劑」降溫到-40°C，使雲滴凍結變成冰晶胚胎，及造成過飽和加速形成冰晶數，進而達到降水的目的，使用的「致冷劑」如乾冰(-78°C固態二氧化碳)、LCD(液態二氧化碳 Liquid Carbon Dioxide)、液態氮(N)、丙烷(C3H8)。另一種是「異質核化」的方式，以投入「人工冰核」(ice nuclei)促使冰晶成長而達到增加降水目的，「人工冰核」可分為有機冰核(如四聚乙醛、細菌)和無機冰核(如碘化銀)兩類。

#### 2.1.2 暖雲增雨

透過人工增加水滴促使水滴碰撞成長碎裂(直徑3MM以上在下降時易碎裂)形成更多雨胚(rain embryo)，造成連鎖反應而達到增加降水目的，如在雲中灑水(水滴大小在60 μm~數百 μm)，或將直徑5~100 μm的吸水性粒子(如氯化鈉、氨、尿素、可溶性的硫酸鹽)或人工配方製作之強力吸水劑灑入雲中當作凝結核吸濕成長，促其碰撞增大而變成雨水。

### 2.2 人工消雨原理

所謂的人工消雨，主要是在即將影響本地的降雨雲系的上風方位進行一定規模的連續催化作業，設法改變自然雲的降雨狀態或過程。人工消雨並不是讓雨「化為烏有」，而是讓它提早下，原理其實和人工增雨一樣，只不過是讓本來要在需要避雨的區域下的雨提前下而已。一般而言，人工消雨有兩種方式，一是在需要消雨區域上風方向大約60至

120公里左右的位置，一旦發現哪塊雲要下雨，就使用人工增雨的方法，讓雨水提前降落，如此，需要防雨的區域自然也就是晴空萬里了；二是在目標區上風方，通常大約是30至60公里的距離，往雲層裡起量播撒冰核，使冰核含量達到降雨標準的3至5倍，冰核數量多了，每個冰核吸收的水分就少，也就無法形成足夠大的雨滴降下。此外，還可透過向雲層發射大量催化劑，使雲層中的雨滴「長不大」等雲飄過避雨區域才下雨，這樣也可起到人工消雨的作用。

### 2.3 人工增雨催化劑種類

天上有雲才會下雨，國際雲圖之四族十屬中，有些雲是不會下雨的，而最容易下雨的對流性濃積雲和積雨雲，降水效率也只在20%以下，人工增雨就是將增雨催化劑投入雲中適當部位，促使降水增加的技術，根據世界各國的人工增雨實驗估計，最有效的情況下，約可增加30%的降水。

透過對雲物理的了解、實驗，和不斷地研究發展出各種增雨劑，在不同性質的雲中，使用不同的增雨劑，期使能增加降水的效率，這些增雨劑中約可分為冷雲增雨劑和暖雲增雨劑(表一)。各種增雨劑有其適合的地區、天氣型態、雲類…等條件，各有優缺點，曾經被運用在人工增雨作業的主要增雨劑如下：

#### 2.3.1 四聚乙醛(CH3CHO)<sub>4</sub>

為有機性的物質，不需在很低的溫度就可有效的核化，在-0.4°C即可成核，價格也便宜，但四聚乙醛在未被細菌分解為水和二氧化碳時具有毒性，對環境和人體健康造成影響。

#### 2.3.2 碘化銀(AgI)

成核溫度為-4°C，但價格昂貴。碘化銀經燃燒產生微細粒子，在溫度低於-6°C時，1g可產生幾十億個以上有效冰核。

### 2.3.3 高效碘化銀焰劑 (BR-91-Y)

混合配方成核溫度高，美國WMI公司製成焰劑。

### 2.3.4 固態二氧化碳 (乾冰)

-78°C的乾冰投入雲中(-15°C時的乾冰氣化熱為 $2.73 \times 10^5$  J/kg)，可迅速降低附近的溫度，使雲滴迅速凍結產生冰晶胚胎，而低溫亦會造成氣態直接凝華形成冰晶，進而加速降水。1g的乾冰可產生(2~8)  $\times 10^{11}$ 個冰晶。

### 2.3.5 液態氮 (N)

液態氮的氣化溫度-195.8°C，氣化熱為 $9.96 \times 10^4$  J/kg，播灑在過冷雲中會產生大量的冰晶，液態氮價格低，易儲存、易運輸、易播灑，一般是用電加熱或加壓噴射的方式。2.3.6 吸水性粒子 5~100  $\mu$ m (氯化鈉 NaCl、氨、尿素 NH<sub>2</sub>CONH<sub>2</sub>、硝酸銨 NH<sub>4</sub>NO<sub>3</sub>、可溶性硫酸鹽)

要考慮若使用酸性物質隨著降雨造成的腐蝕問題；尿素和硝酸銨吸濕性強，腐蝕性小，是農作的肥料。

## 三、 世界各國人工增雨試驗

### 3.1 中國

2008年8月8日，北京奧運會開幕式上，氣象專家實施了中共有史以來最大規模的人工影響天氣作業，將一條來自西南的暴雨雲帶「化作無形」，為開幕式的成功舉辦奠定了堅實的基礎。事實上，從8日16時到23時，北京氣象部門採用了火箭攔截的方式進行人工消雨，共在21個作業點持續發射了1104枚火箭彈，對進犯北京奧運會的雲雨帶進行催化消雲作業，有效解除了北京境內降雨的可能，確保奧運會開幕式順利進行；2009年10月1日是中共慶祝建國60周年國慶，當天早晨北京上空原有雨雲，部分地區下微雨，為了確保閱兵活動圓滿進行，北京氣象

部門決定仿效北京奧運期間進行人工消雨，從10月1日7時30分開始，在北京、內蒙及山西等地連續實施四次人工消雨作業，共發射了432枚火箭彈，到閱兵進行時，北京萬里晴空，獲得明顯效果。

中國大陸發展人工影響天氣開始於1958年迄今，50年來在監測、指揮、數值模式、增雨催化劑研發以及作業技術各方面，已有顯著的進步，尤其是近十餘年來經濟發展快速，由過去目標放在減輕乾旱、防雹之類的作業，至今已拓展增加到水安全、生態、糧食和重大應急、重大社會活動的氣象需求的改變，各級地方政府有20多個省市設有常態性的「人工影響天氣辦公室」，利用30多架以上的專門造雨飛機、各式的增雨火箭和高砲設備，以各種的增雨方式作業，不論是人工增雨的面積、次數，均居全球之冠，可說是目前最大的人工增雨國家(張良等，2006)[5]。

### 3.2 美國

美國較具規模的天氣改造公司有WMI和NAWC，自1950年以來接受各州或其他國家委託執行的種雲計畫甚多，WMI執行過的增雨計畫有太浩湖(Lake Tahoe)附近地種雲計畫，美國愛德華州的增雪計畫，美國德州中西部的增雨計畫，印度南部各省的增雨計畫等等。NAWC執行過的增雨計畫遍佈美國科羅拉多州、猶他州、內華達州、加州、愛達荷州、德州、奧立岡州、喬治亞州等等，及希臘、瓜地馬拉、宏都拉斯和1992年和1994年在台灣曾文水庫集水區等等。近十餘年來的增雨計畫已充分運用飛機、雷達和衛星資料，冷雲造雨和暖雲造雨同時並行，發展各種配方的種雲劑。

### 3.3 英國

英國在人工降雨方面亦取得了非常好的成果，他們聲稱用人工方法可以控制半徑5000米範圍內的晴雨天氣，成功率達93%以

上。這個方法是沿英國西海岸設置一系列電極，向大氣層輸入電能使對流層中鎂原子電離，產生一個靜電屏蔽層；然後透過調節系統調整其密度，則可決定高、低壓天氣系統的生成和消失，進而達到控制天氣的目的(焦國力等，2001)[6]。

### 3.4 以色列

以色列水公司的電力部門於1961~1967年在Target Area實施第一期人工增雨約15%，於1969~1975年在以色列北部實施第二期人工增雨約13%，因第一和第二期實驗成功而進行1975~1995年為期20年的第三期人工增雨計畫。以色列因氣候及地形條件，無大型水庫可蓄水，每年都有缺水的問題，由科學上和統計上證實人工增雨成功而且成本低，所以人工增雨作業已列入政府例行之行政作業，迄今已有40餘年的歷史和經驗。

## 四、 人工增雨作業方式

關於人工增雨作業的大致流程，首先要對天氣狀況及其變化趨勢進行細緻的觀測和預測，確定是否存在降雨的可能。如果發現有降雨的可能，則需要進一步瞭解本次天氣系統對本地的可能影響趨勢，何時、何地可能產生降雨，之後就要設法將增雨劑播灑到雲中適當部位。作業方式有以下幾種：

### 4.1 地面燃燒增雨劑

依靠山區向陽坡燃燒增雨劑，利用某時段常有的上升氣流將增雨劑輸送入雲，是最低成本的增雨方式，但因天氣系統氣流變化不易掌控，要將增雨劑準確送到適當高度之雲中部位，結果較難控制，亦難以做增雨效果評估。地面增雨設備歷經半世紀之改進，過去由木炭浸泡碘化銀溶液後燃燒之最簡易方式增雨，目前發展改進到透過微處理器，利用數據機遠端遙控燃燒碘化銀丙酮混合溶液及燃燒焰劑等方式增雨。

### 4.2 高砲播撒增雨劑

高砲是以爆炸的方式播撒增雨劑，將碘化銀粉末和炸藥或紅磷充填在砲彈頭部，當砲彈發射到雲中時，由定時器引爆釋放大量之碘化銀微粒。爆炸產生的成核率低於焰劑產生的成核率，且爆炸只能產生點的播撒，影響區域較小。中國大陸近年來經常使用口徑37毫米的高砲增雨，最高可達6~7公里高空，最大射程8.5公里，以仰角55度，設定17秒在4公里高度上引爆，最大控制半徑約3.5公里(圖三)。

### 4.3 火箭播撒增雨劑

利用火箭播撒增雨劑是地面燃燒增雨效果不佳的另一種選擇，火箭播撒的方式類似拖曳式焰彈，焰火彈由碘化銀粉末、氧化劑和樹脂等製成藥柱的型狀，裝入燃燒室，燃燒室尾部有噴嘴和點火器，隨火箭升空到達預定高度點燃焰火劑，沿火箭飛行的軌跡透過噴嘴將催化劑釋放到雲中，通常發射的仰角角度在45度到65度，高度可達8公里(一般是在10公里以下)。火箭播撒增雨劑可根據需要佈點，覆蓋面積大，便於運輸，費用較低，效果比地面燃燒的方式好的多，可及時、準確、均勻地播撒在預定的雲區，中國大陸近年來大量使用WR-98和WR-1D型的增雨防雹火箭(圖四)。

### 4.4 探空氣球攜帶增雨劑

利用探空氣球作業優點是可以設定上升至有效高度再釋放增雨劑，缺點是無法控制氣球的水平移動方向，也無法掌握燃燒出來的粒子擴散進入最佳種雲區。且氣球一次只能攜帶燃燒一根焰劑，散佈範圍不夠寬廣且不均勻。

### 4.5 遙控無人飛機播撒增雨劑

無人飛機播撒增雨劑及觀測的優點是無人員生命安全之顧慮，成本比飛機低，缺點是負載量不高，無法一次附載多數量的焰劑和觀測儀器。臺大測計研究室設計無人遙控

飛機掛載焰劑之測試飛行，已成功驗證可以手動或自動之方式點燃焰劑。

#### 4.6 飛機播撒增雨劑

利用飛機將增雨催化劑直接灑入雲中適當的部位，可準確掌握增雨時機，使增雨劑發揮最大的效用，約有燃燒式、焰彈式和漏斗式三種，按需求透過改裝的飛機，可在機翼或機腹適當位置裝設掛載增雨劑，飛到目標雲區適當位置時，在雲中點火燃燒或噴灑液態氫，或發射投擲點燃焰彈的方式；或在機上設計有攪拌式的漏斗播撒乾冰、鹽粉和尿素等方式（圖五）。不過不是所有的雲都可以用來「播雨」的，一般說來低雲族中的雨層雲和層積雲，或中雲族中的高層雲較為適宜；少雲或者晴空條件下，就不能進行飛機人工增雨。

2010年4月2日，為解決南部地區旱象，經濟部、國防部及台灣大學聯合啟動了一波地空人工增雨作業，由空軍出動一架C-130型運輸機，飛行至水庫集水區上空進行約一小時的催化劑噴灑作業，同時由水利署啟動在曾文水庫的地面增雨站，點燃碘化銀增雨器進行地面催化下雨，這是首次從空中和地面，多管齊下實施人工增雨作業；但由於受到鋒面未能如預期移動到雲嘉南上空的影響，本次作業未能順利造成降雨。

### 五、臺灣地區人工增雨的綜觀氣象時機

臺灣地區為季風氣候區，冬半年和夏半年分別由不同秉性的氣團影響，因中央山脈高聳造成之地形影響，降水型態除了季節性的不同外，南部和北部也不同。冬半年以大陸乾冷氣團為主，中南部地區受山脈影響為乾季，大氣層較為穩定，只有極少較強鋒面系統南移帶來降水，適合人工增雨的條件的

日數少。入春之後，東北季風減弱，但西南季風又尚未建立，適合人工增雨的條件的日數也不多，直到5-6月西南季風逐漸穩定增強，對流性的強度增大，梅雨鋒面雲系發展較高，可選擇適合梅雨鋒面進行人工增雨作業的日數增加。梅雨期過後，中南部的天氣型態轉為暖濕的副熱帶高壓影響，是午後氣團性的降雨型態，暖雲的厚度大，平均約3-5公里，適合暖雲人工增雨的氣象條件機率增加，若有熱帶低壓系統或颱風接近或侵襲，是中南部主要降水來源。

入秋後冬半年的北部和東北部地區，適合人工增雨條件的時機為鋒面系統過境的雲系，日數雖不多，比起中南部地區機會相對較高。北部和東北部的春季3-4月，因東北季風開始減弱，西南來的暖濕空氣也弱，尚無明顯的對流發展，仍為鋒面降水型態。到了5-6月梅雨期，大氣逐漸不穩定，伴隨的鋒面有寬廣的雲帶和中尺度系統發展的機會增大，是主要的降水來源之一，也是適合人工增雨的機會（圖六）。梅雨期過後，台灣北部和東北部的天氣型態，轉為暖濕副熱帶高壓影響，午後氣團性對流強，適合實施暖雲人工增雨的氣象條件。

### 六、人工增雨成效評估

人工增雨作業是否有效果，評估檢驗是一個大難題，也是人工增雨作業各環節中較困難的一項，評估方法大約有統計評估、物理評估、化學評估、數值模擬檢驗等。統計評估需要大量的作業，短時間內較難獲致結果，且統計評估通常採用隨機試驗，也就是要保留一半作業的機會做為對比評估效果之用，但在需水孔急的抗旱期中，放棄增雨的機會是有相當困難的。中國大陸近年來在評估方面做了許多研究，發現透過飛機、雷達和衛星的物理評估，是可以呈現回波強度或

範圍的增長，但還需配合降水時間的比對（是否種雲後30分鐘-2小時間之降水量），和化學評估測量降水中的化學成分等，都僅能提供定性的分析，無法得到讓人完全信服的科學定量評估結果。

### 七、對國軍精進防救災能力之建言

由以上資料結果顯示，我國在人工增雨技術發展方面落後其他先進國家甚多，而在極端天氣之影響下，豪雨、乾旱等天然災害對於臺灣的影響也只會日益嚴重。國軍肩負支援天然災害防救災之重責大任，未來勢必須配合政府相關單位發展人工增雨技術，並協助進行實際作業。有鑑於此，針對國軍未來應有之精進作為提出以下幾點建言：

#### 7.1 研發高效率之增雨凝結核

美國氣象學會(American Meteorological Society, AMS)曾對人工改造天氣之課題發表政策聲明(AMS, 1992)[7]，認為近年來在雲物理觀測能力及數值模式上已有長足的進步；在人工降水的物理過程也有更深的了解。因此，對於人工增雨的技術還有很大的改進空間，但必須從微物理化學過程的基礎面上著手。為了解微觀尺度上雲物理現象，成核作用扮演很重要的角色，為了找出最有效的造雨凝結核，需使用分子模式針對分子或原子的微觀行為進行分析，以有效掌握凝結核吸附性質，將龐大的微觀數據做統計即可得到巨觀的介質特性量，增進微觀結構的掌握，也為將來更深入的分子模擬與分析建立基礎。

研究指出，吸水性粒子氯化鈉(NaCl)用於暖雲增雨具有不錯的成效，而氯化鈉團簇吸附實驗模擬，是被認為最能代表在大氣中凝結核吸附水分子行為的一種模擬方式。此方法首先要建立水分子模型及氯化鈉模型，再以氯化鈉模型製造半徑為10埃球型的氯

化鈉團簇模型（圖七）。以 Amorphous cell 模組將兩種非晶質材料結合，非晶質是一種不具規則晶體結構材料。這類材料無長程有序排列，但在短程內，原子排列仍然有些規律性。力場選用 COMPASS，密度 0.100 g/cm<sup>3</sup>，溫度 300 K，長程的庫倫作用力是利用 Ewald 方法。再來，用 Discover Minimize 模組能量最小化結構最佳化，最後 Forcite Dynamic 模組模擬動力過程，設定 300 K，1 大氣壓，NVT 系綜模擬物理條件下，溫度和體積保持不變，長程的庫倫作用力是利用 Ewald 方法，總模擬時間為 0 ps、50 ps、100 ps (picoseconds, 10<sup>-12</sup>S)，水分子質量比為總組成的百分比，分別為 10.2%、20%、30.1%、40.5%、50%，最後模擬結果見圖八。

吾人可以很清楚看到水分子質量比增加，吸附水分子現象愈明顯。在水分子質量比 30.1% 時，吸濕性的 NaCl 團簇已明顯被水分子包覆，水分子質量比 40.5% 時，因為吸附在團簇上第一層水分子的影響有額外的水分子凝結上來形成第二層的包覆，水分子凝結厚度愈來愈大，形成液滴機會也愈來愈大，這正是吸濕性凝結的特徵，使水分子依附在凝結核上，再以此不斷的讓水分子凝結上來，使液滴長大成為小水滴，這是傳統氣象模式在微觀尺度所看不到的現象(鄭，2012)[8]。

事實上，針對人工增雨的凝結核，仍有非常大的研究空間，不單只是氯化鈉，更有氯化鉀、碘化銀、氯化鈣、硫酸銨、沙子、細菌等等，未來甚至可仿效美國 ICE 公司發展客製化的凝結核，調配不同成分比例的凝結核，來達到最有效的人工增雨結果，這也是我國軍相關研發單位可努力追求之目標。

7.2 利用雙偏極化微波輻射計驗證人工增雨成效

根據前人的研究成果指出，地基微波輻射計可用來量測觀測路徑上的水氣、降雨及

液態水含量等參數，且具有極高時間解析度，有利於即時天氣系統的監測。其觀測之理論基礎為輻射傳送方程式，也就是輻射能守恆方程。輻射傳送的過程包含發射 (emission)、吸收 (absorption) 及散射 (scattering)，而輻射計之所以可用來偵測降雨，主要是因為雨滴放射率(約 0.9)遠高於晴空大氣分子的放射率。地基微波輻射計僅被動的接收大氣中的輻射，並沒有自行發射電磁波，其觀測值反映的是整個氣柱的液態水累積量，在雲滴形成雨滴造成降雨前，就可以反映出潛在降雨機率。

位於國防大學理工學院的雙偏極化微波輻射計 (圖九)，自 2009 年 2 月 24 日啟用，可觀測仰角範圍由 -90 至 +90，可觀測方位角由 0 至 360，資料時間解析度最佳為每秒 1 筆。輻射計的二個波段頻率分別為 18.7 GHz 與 36.5 GHz，其兩頻道的頻寬皆為 400 MHz，均包含垂直與水平線性極化頻道，可觀測兩頻率之偏極化 Tb 及雲中液態水含量。儀器會進行例行性的校正，包含 Dicke 開關校正、以液態氫為冷背景的校正及天空輻射校正 (sky tipping)，資料品質可信度高。本設備可利用 18.7 GHz、36.5 GHz 的水平及垂直極化等四個頻道所接收的輻射量估算大氣中的總液態水含量及亮度溫度 (Tb)；總液態水含量是利用 18.7 GHz、36.5 GHz 雙頻道透射率差異所求取，而降雨率則是利用亮度溫度與降雨強度所擬合的方程式所求取。其中總液態水含量包含雨水含量及雲水含量，雲水與雨水最主要的差異為粒徑的大小，雲水因為體積較小，會穩定地存在於天空中，而雨水則因體積較大，會受到重力影響而往地面降落；而雨滴在下降過程中，會受到重力、摩擦力及水平風速等因素的影響，呈現扁橢圓形，此時雨滴的水平發射輻射會大於垂直發射輻射，也就是水平極化 Tb 會大於垂直極化 Tb；因此藉由極化差值

(PD) 變化便可用來區分降水系統中的雲水及雨水。實際觀測結果得知，當有降雨現象發生時，降雨率與輻射計的 Tb 與 PD 值有一定的相關性(葉等, 2011)[9] (圖十)。

雖然此雙偏極化微波輻射計目前僅能做定點觀測，但若未來能順利獲得機動式載具，便可將此裝備移動至人工增雨作業地點，並朝施放造雨催化劑之方位觀測，如此應可觀測到施放凝結核前後總液態水含量及雲中液態水之變化，最後透過長期的觀測，建立不同凝結核、不同綜觀天氣條件與雲水變化之關聯性，如此應可彌補無法定量評估人工增雨成效之問題。

### 7.3 運用無人飛行載具 (UAV) 協助人工增雨作業

目前我國軍支援人工增雨作業主要方式，為由空軍派遣 C-130 運輸機，飛行至預劃增雨地點打開機艙門，以人力作業方式施放催化劑；但由於高空氣溫偏低且環境惡劣，此種方式不但耗費人力，且對於人員安全存在很大的風險。

事實上，我國軍近年來亦致力於研發無人飛行載具 (UAV)，例如中科院研製的中翔二號、天隼二型以及紅雀與藍鵲迷你 UAV；由於其具有重量輕、機動性高、適應性強、隱蔽性良好、無人員生命顧慮等特性，因此主要被用來作為戰場偵察監視、通信中繼及目標獲得、誘餌及電子作戰、反潛作戰、靶機及早期預警等軍用用途(于, 2012)[10]。未來若能嘗試將增雨劑掛載於無人飛行載具，以地面遙控方式協助至預劃地點實施人工增雨作業，應能有效提高增雨效率，並減少人力耗費及人員安全疑慮，惟實際成效仍有待驗證。

## 八、 結論

近年來由於全球暖化導致極端天氣現象

日益明顯，未來乾旱及劇烈降水等天然災害勢必更加頻繁，臺灣地區缺水及豪雨成災問題將隨著人口增加及氣候變遷的衝擊而越來越嚴峻，因此，除非已有其他更有效而可以解決未來缺水及暴雨的方法，長期投入人工增雨的研究和作業，是有投資價值的。國軍近年來秉持「救災視同作戰」原則，肩負支援天然災害防救災之重責大任，未來應積極配合國內相關單位發展人工增雨技術，研發最適合臺灣地區之增雨催化劑、撒播劑量及撒播增雨劑設備方法，並透過各類通信系統工具 (如衛星、雷達、GPS 系統等)，建構聯絡指揮平台，靈活而有效率地指揮調度支援增雨作業，期能運用有限資源達到有效支援天然災害防救災之目標。

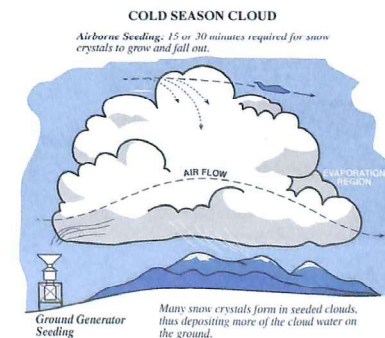
## 九、 參考文獻

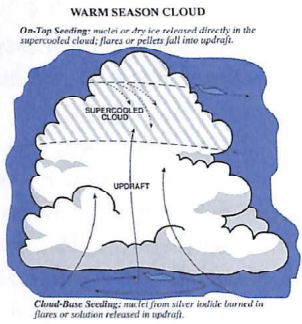
1. Shiu, C.-J., Liu, S. C., and Chen, J. P., "Diurnally asymmetric trends of temperature, humidity and precipitation in Taiwan," J. Climate, Vol. 22, NO. 21, 5635-5649, 2009.
2. Liu, S. C., Fu, C., Shiu, C. J., Chen J. P., and Wu, F., "Temperature dependence of global precipitation extremes," Geophys. Res. Lett., Vol. 36, L17702, doi:10.1029/2009GL040218, 2009.
3. 陳泰然、柳中明、周仲島、陳正平，台灣地區人造雨評估與規劃研究，中央氣象局委託計畫期末報告，CWB 84-2M-10，第159頁，1995。
4. 蔡世樵、毛正氣，"人工降(消)雨與軍事作戰"，海軍學術雙月刊，第四十五卷，第一期，第102-110頁，2011。
5. 張良、王式功、尚可政、楊德保，中國人工增雨研究進展，乾旱氣象，2006，24

(4) : 73-80.

6. 焦國力主編，環境武器新世紀武器裝備叢書，中國國防工業出版社、冶金工業出版社，2001。
7. American Meteorological Society, "Planned and inadvertent weather modification, A policy statement of the American Meteorological Society," Bull. Amer. Meteor. Soc., Vol. 73, 331-337, 1992.
8. 鄭育昆，"利用分子動力學模擬凝結核與水分子吸附之行為"，碩士論文，國防大學理工學院，桃園，54頁，2012。
9. 葉南慶、汪建良、蔡明達、陳萬金、胡仁基，"利用地雙偏極化微波輻射計估算降雨"，大氣科學，第三十九期，第三號，第215-242頁，2011。
10. 于世英，"無人飛行載具於艦艇單位之戰術應用"，海軍學術雙月刊，第四十六卷，第二期，第69-77頁，2012。

## 十、 圖表彙整





圖一 冷季與暖季種雲方式示意 (NAWC)。



圖二 北美天氣改造公司 (NAWC) 設計的地面造雨設備 (左)，水利署目前使用之地面造雨設備 (右)。



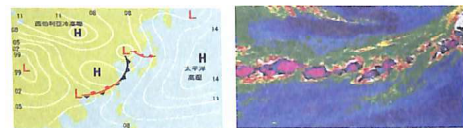
圖三 中國大陸高砲增雨作業



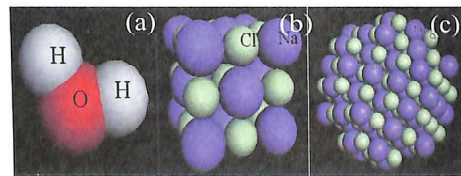
圖四 中國大陸發射增雨火箭作業



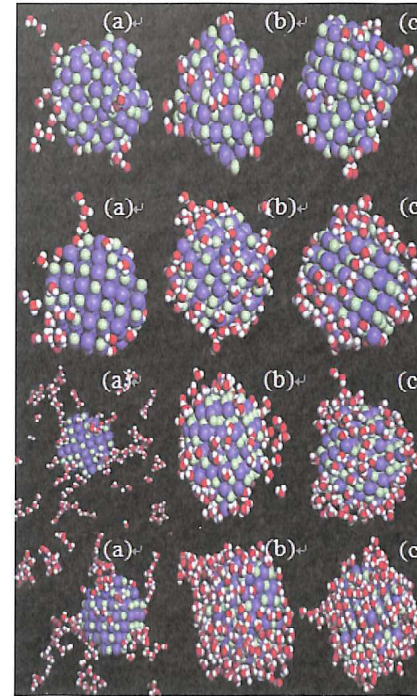
圖五 北美天氣改造公司 (NAWC) 設計在機翼下 (左) 或翼梢 (中) 固定架設燃燒碘化銀溶液器。



圖六 梅雨鋒面地面圖 (左) 及衛星雲圖 (右)



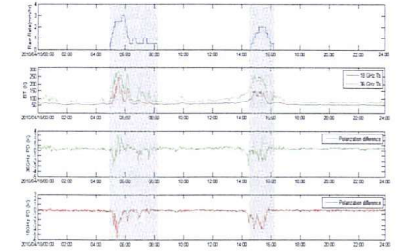
圖七 (a)水分子(b)氯化鈉(c)半徑為10埃的氯化鈉團簇模型 (摘自鄭, 2012)



圖八 水分子質量比10.2%、20%、30.1%、40.5%、50% (由上而下) 模擬結果(a)0 ps (b)50 ps (c)100 ps (摘自鄭, 2012)



圖九 地基雙偏極化微波輻射計外觀及各單元介紹 (摘自葉等, 2011)



圖十 2010/04/18各觀測參數時間序列圖，由上而下分別為：降雨強度，輻射計Tb，36.5 GHz PD值，18.7 GHz PD值。(摘自葉等, 2011)

表一 人工增雨催化劑簡表

性質	種雲催化劑	備註	
冷雲 增雨劑	有機物質	1. 四聚乙醛 (CH <sub>3</sub> CHO) 4 Metaldehyde	少用
		2. 安息香 benzoin	
		3. 細菌 Bacteria pseudomonas aeruginosa	
		4. 膽固醇 C <sub>27</sub> H <sub>46</sub> O · H <sub>2</sub> O	
		5. 雙氫氧基石油精 dihydroxynaphthalene	
	無機物質	6. SiO <sub>2</sub>	-19°C 成核
		7. Ag <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	-12°C 成核
		8. CuS <sub>2</sub> 硫化銅	-6°C 成核
		9. PbI <sub>2</sub> 碘化鉛	-6°C 成核
		10. AgI 碘化銀	-4°C 成核，價昂
		11. 丙酮碘化銀溶劑 (複合冰核)	
		12. BR-91-Y (高效碘化銀溶劑)	-5°C 成核，WMI 公司製成溶劑
同質核	13. 固態二氧化碳 (CO <sub>2</sub> ) (乾冰)	-78.2°C	
	14. 液態二氧化碳 (CO <sub>2</sub> )	-195.8°C	
	15. 液態丙烷 (C <sub>3</sub> H <sub>8</sub> )		
	16. 液態氮 (N)		
暖雲 增雨劑	17. 水 (水滴大小 60 μm-數百 μm)		
	18. 吸水性粒子 5-100 μm: 鹽粉 (氯化鈉)、氫、尿素、硝酸銨、可溶性硫酸鹽	可做成溶劑	
	19. 有機吸水劑 Dyn-O-Gel		

# Using The Artificial Enhancing Rain Technologies to Explore The Advancement for Disaster Prevention and Rescue by The Army of Our Country

Shih-Chiao Tsai<sup>1</sup> Yu-Kun Zheng<sup>2</sup> Zhi-Xian Wei<sup>3</sup>  
Zhong-Ding Wang<sup>4</sup> Nan-Ching Yeh<sup>5</sup> Zheng-Qi Mao<sup>6</sup>

<sup>1,2,3,5</sup> Environmental Information and Engineering,  
CCIT, National Defense University

<sup>4</sup> Advanced Semiconductor Engineering Inc.

<sup>6</sup> Naval Meteorological & Oceanographic Office, R.O.C.

## Abstract

The objective of this research is to analyze the correlation between meteorological factors variation and sector visibility in Taipei Metropolis. The effect of weather pattern on visibility via observation was studied first through analyzing the processed survey data. Then, using summer and winter half-season periods' intensive observation results from the top attic of the New Taipei City Government Building, analysis was performed on each visibility profile with respect to various meteorological factors and air pollution factors. Meteorological factors included the mixing high, the ventilation index, the atmospheric stability, the wind direction, the wind speed, the temperature, and the relative humidity. Air pollution factors included the suspended particulate matters PM10 and the ozone O3. Finally, analysis was performed on the correlation between meteorological factors variation and sector visibility in Taipei Metropolis for the summer and winter intensive observation periods.

In the Summer Case, heat island effect was significant to the Song-Shan direction. Around noon, the ozone concentration level that closely relates with temperature would increase proportionally when thermal convection is at its most exuberant. Conversely, the ozone concentration would decrease when solar intensity weakens near sunset. During midday when the sunshine is strong, relative humidity decreases due to water-vapor evaporation of the air. In the afternoon when the sunshine gradually weakens, the lift of moisture content in the air causes the relative humidity to increase, thereby decreased visibility. On the contrary to the Dai-Sui direction, due to the fact that local sea-land breeze brings in moisture from the ocean during daytime, the relative humidity was higher (approximately 80% ~ 90% on average). Coupled with condensation on air particles, the visibility level was lower. In addition, moisture absorption due to high relative humidity increases the enthalpy level and makes it harder to lower the temperature, which

makes it difficult to vary the ozone concentration. Due to local circulation of the valley-mountain wind in Hsin-Tien, increased temperature through subsidence at noon makes the moisture lower, causing the relative humidity to decrease. However, stable air current also makes suspended particles difficult to dissipate, thereby resulting in low visibility.

In the Winter Case, due to large amount of moisture that was brought in by the NE monsoon and the subsequent high relative humidity, the visibility to the Song-Shan direction was low. To the Dai-Sui direction, due to the fact that local sea-land breeze brings in moisture from the ocean during daytime, the relative humidity was higher (approximately 70% ~ 80% on average) and the visibility was lower. However, strong NE monsoon aided in the dispersion of suspended particles and made it difficult for particulates to accumulate. Affected by the local circulation of the valley-mountain wind in Hsin-Tien, it can be seen from the presented Charts that the early morning mist was due to high relative humidity. With increased daylight, the relative humidity decreased. However, drops of stable air current in the afternoon prevented the dissipation of suspended particles. The visibility decreased with the accumulation of particulates suspended in air.

**keyword: weather patterns, sector visibility, relative humidity, suspended particles.**