

# 人工增雨技術精進研發計畫(1/2)

## The development and improvement of artificial rainfall enhancement techniques (1/2)

主管單位：經濟部水利署

陳正平<sup>1</sup>

龍世俊<sup>2</sup>

洪惠敏<sup>1</sup>

Chen, Jen-Ping<sup>1</sup>

Lung, Shin-Chun<sup>2</sup>

Hung, Hui-Ming<sup>1</sup>

<sup>1</sup>台灣大學大氣資源與災害研究中心

<sup>2</sup>中央研究院環境變遷研究中心

### 摘要

由於氣候因素造成降水型態的改變加上人為開發因素的影響，水資源不均已是全球性的問題，目前超過 25 個國家投入人工增雨之研究和作業。近一、二十年來，國際間人工增雨相關觀測能力和數值模式有了顯著的進展，同時由於進行人工增雨作業之愈趨頻繁，亦帶動了相關設備和施放技術等工具的改進。但人工增雨之方法與成效隨著地理、氣象條件會有相當大的變化，在某一地可行之方法不一定能適用在其他地方。因此有必要參考國外新發展的技術加上本土技術的發展，改進國內人工增雨的作業方式，期能發揮效益以紓解國內水資源的壓力，亦能推動國內相關基礎研究，建立技術自主的能力。

本計畫工作首先將使用含有本土發展之詳盡雲微物理的氣象模式，並研發與改進使其成為種雲模式，能納入凝結核、巨核、冰核之個別作用與交互影響等機制。然後模擬人工增雨個案，系統性評估其可能成效。

其次針對國內現行空中飛機種雲作業之執行方式進行改良規劃，包括設備與材料之設計選用，且進行實驗測試評估。此外並針對台灣幾個集水區的特殊地理條件，研發如照明彈種雲之準空中平台進行空中種雲之作業方式，評估其適用區域和時機，規劃應用於例行性增雨作業。

由於國外所產製的暖雲焰劑尚有改進的空間，本計畫將投入研發自製更有效的暖雲焰劑，並進行測試工作，包含評估最佳種雲粒子大小、化學成分，製造方法，以及施放方式等。同時協助水利署建置地面焰劑燃燒架以進行集水區佈屬。最後將研發成果配合人造雨作業進行實地測試，以評估其成效。另外也藉由舉辦人工增雨國際研討會，促進國內外學術與技術交流。

本期計畫成果包括：改進種雲模式，使具備定點定時播種之功能，以更真實模擬實際種雲狀況；辦理人工增雨國際研討會，蒐集國外人工增雨技術相關資料與專家意見，持續改進飛機空中種雲之技術；研發改良暖雲種雲劑以及地面燃燒、施放裝置；持續發展物理、化學驗證方法。

**關鍵詞：**種雲、人工增雨、人工增雨焰劑與平台

## **Abstract**

Water resource has become a major societal issue in many countries due to population explosion and rapidly changing climate. Over 25 countries invest time and money in artificial rainfall research. Artificial rainfall observation and modeling ability are improved in these days. This project aimed to develop the capability and technology on rainfall enhancement operation in Taiwan.

The main tasks include the development of cloud seeding numerical model, effective flare for warm cloud seeding, improvement of various seeding platforms suitable for domestic conditions, and propose physical and chemical methods to evaluate the effect of cloud seeding. In addition, a cloud seeding conference will be held to promote knowledge and technology transfer in the domestic and international levels.

We also proposed two solutions for spraying water droplets as rain embryos using the C-130H platform, and will further test these ideas for more effective airborne operation.

In the development of warm-cloud seeding flares, we identified several suitable recipes, including chemical materials and mixture proportion. Ion composition analysis shows that the domestic flare that we made has similar compositions as the imported ICE flare but is potentially more efficient and thus could be used for future operations.

In this year's project we also held a workshop on cloud seeding research and operation, invited international experts to provide experience and suggestions on the latest development of cloud seeding methodology and technique, so as to further improve cloud seeding research and operation capability in Taiwan.

**Keywords** : cloud seeding, artificial rainfall enhancement, cloud seeding flare and platform.

## 一、前言

目前全球都同樣面臨水資源不均的問題，且有超過25個國家已投入人工增雨之研究和進行常態作業，包括美國、以色列和中國大陸等。近十年來國際間人工增雨相關觀測能力和數值模式有顯著的進展，且對其物理過程也有更深的了解，因此各國政府進行人工增雨的作業越趨頻繁，此活動亦積極帶動相關設備和施放技術等工具的改進。國內過去數十年來亦曾多次進行人工增雨作業，以地面燃燒碘化銀進行冷雲增雨為主，緊急時以空軍飛機進行空中種雲，民國93年中央氣象局也曾雇用北美氣象顧問公司進行空中增雨，然都缺乏相關的在地研發工作，因此增雨的技術並無太多改變。目前的地面造雨器、增雨焰劑都仰賴國外進口，空中增雨的載具更是缺乏，僅地面造雨器自動化為國內成果。而以數值模式來探討增雨機制、協助判斷增雨時機，以及評估增雨成果，是國際間公認的重要人工增雨工具，但國內過去缺乏相關能力。這些不同的技術、工具彼此之間的良好搭配，更是提高人工增雨成效的要訣。因此有必要參考國外新發展的技術，改進國內人工增雨的方式和能力，包括發展數值模式、種雲粒子的研發、施放載具的改進和驗證方法的建立，期能發揮作業效益以紓解國內水庫供水的壓力，亦能推動國內相關基礎研究，建立此技術的自主能力。

## 二、研發並改進種雲模式

氣膠對降水過程的影響可區分為暖雲降水和冷雲降水兩種型態。針對暖雲降水的研究指出，CCN的數量濃度愈高，產生的小雲滴較多，會減弱暖雲降水機制，使降水減少 (cf. Cheng et al. 2007; Cheng et al. 2010)。而在冷雲降水研究中冰核的作用，Van Den Heever et al. (2006)指出IN數量濃度的增加有助於產生降水，但是Teller and Levin (2006)卻指出增加IN數量濃度反而會使地面降水減少，而且在乾淨(低CCN數量)的雲內加入IN的降水減少現象會較汙染雲來得明顯。因此CCN與IN對降水的影響十分複雜，仍需進一步探討各種環境因素。因此如何在模式中雲微物理參數法加入氣膠參與反應機制是必要的，並根據不同凝結核、巨核、冰核之自然狀況，對冷雲種雲與暖雲種雲之可能成效進行系統性之評估。

### 2.1 模式背景原理

計畫已針對國內目前暖雲種雲採用的兩種方式，空中噴灑雨胚和雲底燃放焰劑的增雨效果，分別使用簡易的Bowen理論模式和較詳盡的細格雲物理氣塊模式進行評估。Bowen理論模式的結果顯示，在作業時噴灑雨胚的粒徑若能控制在100微米以下，則預期會有超過1萬倍的增雨效果；若再搭配適當環境條件如適當上升氣流強度和足夠雲層厚度等，此作業方式之增雨效果最高可達10萬倍，即灑下4公噸的清水可增加40萬公噸的降水，此結果可作為改進現行C-130H空中灑水作業方式的參考。細格雲物理氣塊模式則顯示焰劑燃燒的種雲鹽粒在都會大陸型的氣膠環境下約有10%的增雨效果；至於有較好增雨效果之種雲鹽粒最佳尺寸，在海洋型氣膠環境為6至10微米，而在都會大陸型氣膠環境則為8至10微米，這些數值可作為未來使用與自製焰劑進行種雲作業之參考。最後使用具詳盡雲微物理過程之MM5氣象模式進行敏感度測試，模擬使用不同種類的冰核

和巨核及其不同濃度對降水的影響，推測在台灣的氣膠背景環境條件下，使用冷雲種雲恐有過度種雲的效果，故建議未來作業能採用巨核暖雲種雲的方式。

## 2.2 含詳盡雲物理過程之 MM5 氣象模式

### 2.2.1 模式介紹

目前的氣象模式裡，有不同的雲微物理參數法，各有雲微物理過程的物理描述和處理計算方法，所以造成在數值模式中選擇不同的參數法會得到不同雲物理量場，亦會和動力場相互影響。上一節之氣塊模擬僅能代表雲底和對流中心的狀況，而後續雲的整體結構發展將更為複雜，需要三維模式來解析。此計畫利用一具有詳盡雲物理過程之MM5氣象模式來進行更進一步分析。此模式係將Chen and Liu (2004) 所發展之暖雲雙矩量C&L方案取代MM5的暖雲微物理方案，並與Reisner 2冰相參數法結合，成為新的參數法，稱之為CLR參數法。

### 2.2.2 測試結果

圖1為MM5氣象模式所計算的地面降水量如何受空氣中巨型凝結核(GCCN)不同數量的影響，並測試在汙染和乾淨大氣中的結果，顯示只要自然界GCCN濃度低於每公升50個，不論是在汙染或乾淨的大氣環境中，GCCN皆能有效增加地面降水量，特別是在汙染的環境下，最高能增加超過20%的降水。巨核對影響降水之最佳濃度約在每公升50個單位，就算再增加巨核濃度至100倍，對整體的降水量也僅降低約5%，故使用巨核粒子來進行暖雲種雲，可避免在冷雲種雲時發生過度種雲現象。最後，環境中的巨核來源大多來自海沫拍打所產生的海鹽。一般來說，巨核在陸地上的濃度並不高，推測台灣空氣中既有的巨核濃度每公升應在0.5至50個之間，此範圍雖已剛好涵蓋暖雲種雲效果最好的巨核濃度值，但巨核種雲較不需擔心過度種雲之問題，且其在都會區汙染大氣的環境下有很好的增雨效果，故建議此方式應是國內未來人工增雨作業採用的方式。

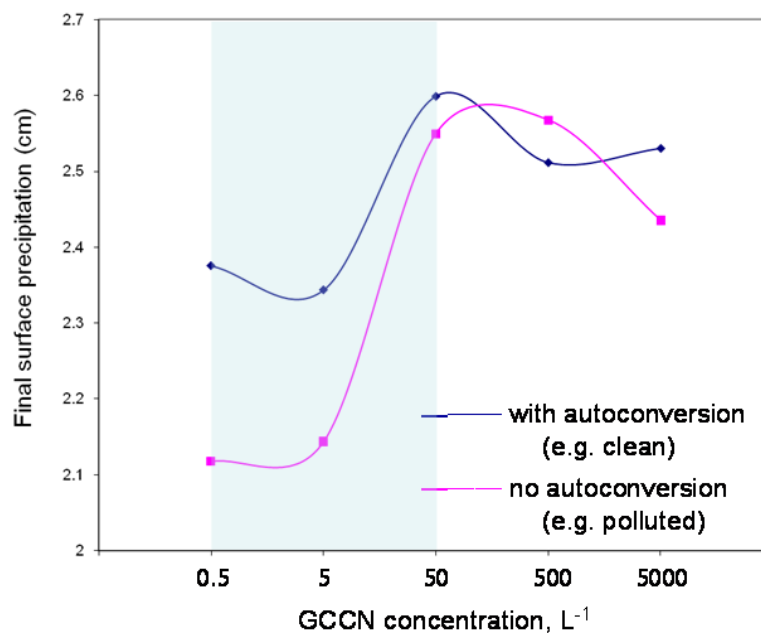


圖1、以三維雲微物理氣象模式所計算降水量與空氣中巨核數量的關係。

## 2.3 暖雲種雲 WRF 氣象模式數值模擬

本計畫將台大研發的詳盡雲物理模組植入WRF氣象模式中，可以在目標集水區種雲的地理位置所在網格、適當的時間與適當的施作高度在模式中模擬暖雲種雲作業的效果，並模擬比較暖雲種雲前後的參數變化。

測試模擬以2011年5月12日空軍協助人工增雨作業的個案進行，模擬飛機飛行路徑，結果如圖2(左)，選定個案在灑水前後無明顯變化，可能是雲水(圖2右)過少所致。會再選取其他個案模擬。

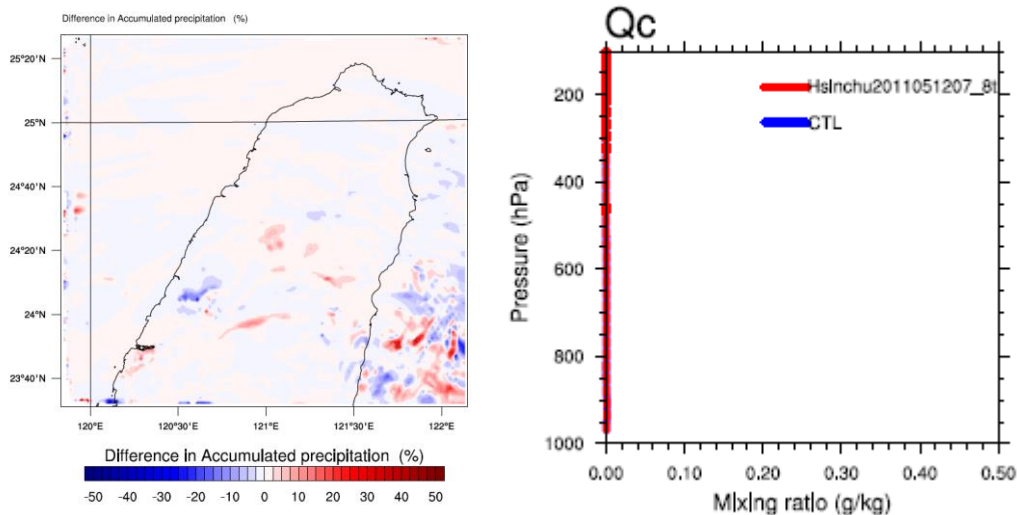


圖2、左圖為控制組與實驗組累積降水差異，右圖為灑水地點雲水(Qc)垂直剖面圖。

## 三、改進種雲作業執行方式

### 3.1 地面與準空中

人工增雨作業方式以地面平台燃燒焰劑最廣為人知，成本低廉與作業方便，配合適當地形及天氣條件選擇施作地點進行作業，是目前最常使用的作業方式。

準空中平台在以往作過的研究中，已發展相當多的形式，包含高空煙火、無人遙控直升機、無人遙控定翼機、探空氣球等方式。本期預計與國防部軍備局202廠展開合作計畫，研擬以施放照明彈進行種雲的可能性。

#### 3.1.1 地面焰劑燃燒架

地面燃燒焰劑進行人工增雨在台灣已行之有年，團隊也已研發出燃燒焰劑的燃燒架與點火的控制器，以方便作業。目前焰劑架設計是以直立方式向上燃燒，由於焰劑燃燒時可能會有噴濺之情形，噴濺的餘燼可能會回濺至正在燃燒的焰劑。經過實作測試後，發現仍有進步空間，考慮修改焰劑架設計，改為橫向或向下燃燒，以免焰劑回濺，可在未來有焰劑架新的需求時修改設計。

#### 3.1.2 準空中-國軍砲彈種雲

目前已與軍備局202廠取得聯繫，軍備局方面表示願意配合，發函至軍備局202廠，也獲得202廠回函，啟動合作計畫。本團隊會提供種雲微粒與鹽粒交由軍備局製作砲彈

(初步將採用81mm照明彈)，待申請流程通過，預計在明年年初壓製8顆照明彈，由本計畫支出費用，並在明年3月於國軍試驗場地進行測試。為確認國軍試驗場地狀況，團隊已實際走訪位於宜蘭縣的兩處試驗場地。

### 3.2 人機空中作業

針對模式評估的結果，若空中噴灑的雨胚尺寸能控制到300微米以下的大小，則預期會比現行的作業方式之增雨效益提升數百至數千倍，目前本計畫提出兩種方案說明如下。

#### 3.2.1 液態噴灑

目前已選定適合的噴頭、幫浦，電力需由發電機提供，而發電機耗油會產生廢氣，故可否應用在空軍C-130H運輸機尚待空軍協助評估。

#### 3.2.2 固態播灑

由於一般鹽粒可能造成機體腐蝕，噴灑鹽粒的方式必須特別謹慎。目前評估結果，可採用一般用來噴灑農藥的農業噴粉機，作為固態噴灑鹽粒的新選擇。其射程可達12公尺，噴灑量每分鐘1.8 kg，可將噴管加長方便機上作業，單價含運費約5000元。噴粉機之動力來源也有直接電力以及燃油發電馬達兩類；前者可能仍受C130內部配電之限制，後者則需考量廢氣排放的問題。

### 3.3 現行種雲平台作業評估

目前國內實施之種雲平台包含地面部份之冷雲及暖雲種雲，準空中部份之遙控直升機以及探空氣球，和空中部份C-130H噴灑雨胚。表3.1為上述各種平台之實行成本以及種雲效率評估，地面操作冷雲的單位成本300元/公升-小時最低，相對安全、成本低且易操作，但效果較差，且需有顯著上升氣流天氣條件或藉助地形始能傳送至冷雲高度。空中種雲，空軍C-130H運輸機搭載4噸清水以噴灑雨胚方式進行，單位成本最高約25萬/架次(油料)，或是漢翔改裝飛機燃燒焰劑，每小時43萬，效率最高，惟投入資源人力成本高且實際進行時缺乏作業彈性，其餘詳見表1。

表1、現行各種平台之施作成本和種雲效率評估表

種類	施作內容	單位成本	種雲效率 初步評估
地面	<b>燃燒暖雲焰劑(美國ICE)</b> 1. 暖雲焰劑每支3000元。 2. 每處造雨站每次4支。	12000元/次-處	效率尚可/安全成本低且易操作，需有上升氣流天氣條件或藉助地形
	<b>燃燒暖雲焰劑(本土)</b> 1. 每支造價約1000元。 2. 每處造雨站每次4支。	4000元/次-處	效率尚可/惟目前僅初步研發完成，無法像國外有廠商大量生產，可以隨時採購。
準	<b>遙控直升機</b>	約 10000 元/天人	效率尚佳/安全且成

空中	1. 操作費用：約7000元/天人次 (遙控直升機+控制器租金+人員費用) 2. 焰劑：3000元/支	次	本低，然最高僅能於距地面400公尺處燃放。
	<b>探空氣球</b> 1. 操作費用：約6000元/次(探空氣球+氬氣+控制器) 2. 焰劑：3000元/支	約9000元/次	效率尚可/安全且成本低，然無法控制方向和水平燃放。
	<b>種雲照明彈</b> 種雲照明彈：10000元/顆 在選定地點燃放照明彈。	約10000元/顆	效率高/可射擊至雲底甚至雲內高度。仍在研發階段，燃放效果有待明年測試。
空中	<b>空軍C-130H運輸機</b> 油料：約25萬/架次 載運4噸清水，以噴灑雨胚方式進行暖雲種雲	約25萬元/架次	效率高、機動性高/載重高且種雲面積大。惟投入資源人力成本高，實際進行時缺乏作業彈性
	<b>漢翔航空飛機</b> 依據氣象局追風計畫估算，不含焰劑費用每小時約434,580元	約43萬元/架-小時	效率高、機動性高/無空軍載重量大的問題，可搭配國外或本土研發焰劑，惟投入資源人力成本高。
	<b>日本DAS飛機</b> 1. 執行任務：126,000元/小時 2. 無飛行時滯留費：86,700元/日 設備載重、飛機停港費、額外協助、及稅需另外計算。	約126,000元/小時 + 86,700元/無飛行天	效率高、機動性高/為與民間公司合作的另一選項。DAS為日本的民間租用飛機公司，平時負責許多使用飛機進行的科學實驗。

#### 四、製作焰劑燃燒架與專利申請

##### 4.1 地面焰劑燃燒架製作

本團隊已設計一套適用於本地的地面焰劑燃燒架。為使地面作業團隊能順利部署地面造雨站，本期計畫完成10套地面焰劑燃燒架，目前燃燒架與控制器已完成製作，經水利署清點後數量無誤，支架部分已交由水利署，燃燒控制器暫放在本團隊，待水利署進行分配。

##### 4.2 遠端遙控點火裝置專利申請

地面造雨站之部署，必須考慮種雲點與降水目標區之相對位置。降水目標區通常指

的就是集水區，範圍固定，因此地面測站位置的主要考量因素就是主要風向與風速，以及不同種雲劑所需發生效力的時間。根據本團隊過去的分析，在考量以上因素後，許多地面站必須設置在偏遠的山區。欲在人員不易到達之處適時點燃焰劑，最好的方式就是以遙控點燃。因此前計畫已研發遠端遙控點火裝置。本年度進度為協助辦理專利申請作業，本團隊委託聖島國際專利商標聯合事務所，目前專利已立案，進入正式申請階段，會隨時掌握申請進度。

## 五、種雲焰劑研製

由細格模式的評估結果得知，暖雲焰劑燃放的鹽粒尺寸對種雲效率有很大的影響。根據國際間最新的模式研究，Tzivion et al. (1994)、Kuba and Murakami (2010)和Rosenfield et al. (2010) 都提出燃放粒徑尺寸至少大於5微米的巨核粒子(GCCN)或特巨核粒子(Ultra-Giant Cloud Condensation Nuclei, UGCCN) 能顯著增進降水效率，包括提早引發降水過程及增加地面降雨量。他們所提的論述原因在於較大的鹽粒能促進“雨胚碰撞效果(raindrop embryo effect)”。其增加焰劑種雲鹽粒尺寸的結論和本計畫模式評估的結果一致，然而國內目前使用美國ICE暖雲焰劑所燃燒的鹽粒尺寸，從過去量測結果顯示大都是2微米以下的過小鹽粒，尚有改進空間。加上自國外購買成本昂貴的因素，因此本計畫工作將研發本土自製種雲焰劑。

### 5.1 焰劑測試

如圖3可看到添加10%沙、10%鹽、10%鹽和沙的焰劑，有較多的巨核產生，驗證添加物質於焰劑中，有助於形成巨核。另外看到煙火焰彈(Bomb)的數據，不僅產生的細粒子相對較少，而巨核粒子相對較多。比較下來，煙火焰彈似乎是較為理想的焰劑形式。

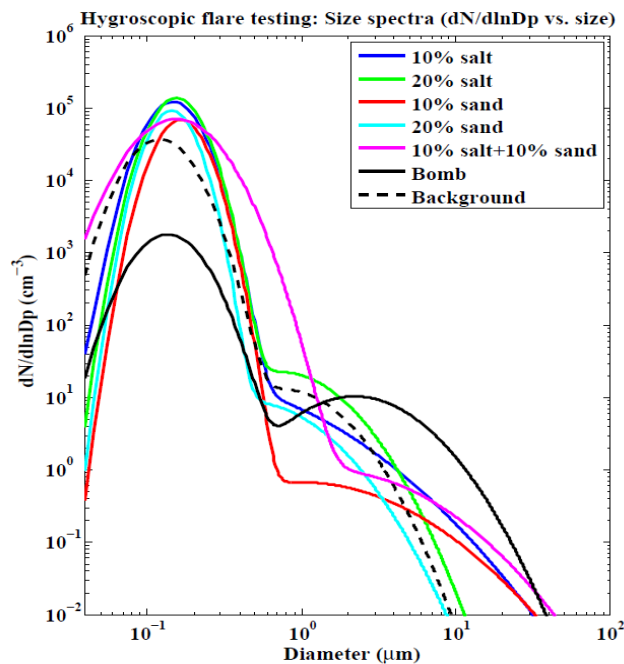


圖3、焰劑粒子粒徑與數量分布圖。



## 5.2 配方測試

### 5.2.1 火藥測試

團隊選擇在貨櫃調製焰劑配方，燃燒時移動到戶外，在鐵板或石塊上，取少量配方點火進行測試。首先實驗調製火藥，使用常用的黑火藥配方，將硝酸鉀+碳+硫或蔗糖以75:15:10比例混合。經由實驗測試後，加硫或蔗糖的兩配方燃燒效果相同，但加硫的配方會有臭味產生，所以選擇以蔗糖配方作為火藥。

### 5.2.2 加入細沙測試

加入細沙作為種雲粒子，細沙成分主要為二氧化矽。參考焰劑測試結果取細沙與火藥1:4混和，即細沙佔配方總重20%。實驗加入的細沙有四種，分別來自不同廠商與產地。此階段的實驗，半徑5  $\mu\text{m}$ 以上的粒子數量增加不明顯，可能是細沙的粒徑過大，質量較重，燃燒後不易擴散到大氣中

### 5.2.3 加入沙、礦物測試

採用100  $\mu\text{m}$ 細沙(E)、70  $\mu\text{m}$ 細沙(F)、重碳酸鈣(G)、矽酸鈣(H)、硫酸鋇(I)、食鹽(J)，上述成分，以比例20%與火藥混合，其中G、H、I粒徑為10  $\mu\text{m}$ ，食鹽則約為300  $\mu\text{m}$ 。詳細結果如表2。

表2、實驗結果紀錄

火藥成分	焰劑配方	平均粒徑	燃燒結果
硝酸鉀 + 碳 + 蔗糖 75:15:10	A沙20%	250 $\mu\text{m}$	1 $\mu\text{m}$ 以下粒子數量增加明顯
	B沙20%	250 $\mu\text{m}$	1 $\mu\text{m}$ 以下粒子數量增加明顯
	C沙20%	100 $\mu\text{m}$	1 $\mu\text{m}$ 以下粒子數量增加明顯
	D沙20%	100 $\mu\text{m}$	1 $\mu\text{m}$ 以下粒子數量增加明顯
	E沙20%	100 $\mu\text{m}$	5 $\mu\text{m}$ 以下粒子數量增加明顯
	F沙20%	70 $\mu\text{m}$	5 $\mu\text{m}$ 以下粒子數量增加明顯
	G重碳酸鈣20%	10 $\mu\text{m}$	數量增加不明顯
	H矽酸鈣20%	10 $\mu\text{m}$	1 $\mu\text{m}$ 以下粒子數量增加明顯
	I硫酸鋇20%	10 $\mu\text{m}$	1 $\mu\text{m}$ 以下粒子數量增加明顯
	J食鹽20%	300 $\mu\text{m}$	數量增加不明顯

## 5.3 照明彈配方規劃

照明彈初步規劃將加入焰劑配方所使用的細砂或鹽粒。照明彈內部有一個半徑4公分、高13公分的圓柱型罐體，原來是放置發光照明的化學物質，團隊會更換為細砂或鹽粒為主的內容物，預計在明年初壓製成彈藥，明年3月由國軍提供場地施放測試。

## 六、人工增雨之環境與社會影響

### 6.1 ICE 焰劑分析

如圖4和表3所示，顯示美國ICE暖雲焰劑燃放的粒子，陰離子主要為氯離子(99.2%)，另有微量的氟離子(0.51%)、硝酸根離子(0.16%)和硫酸根離子(0.13%)；陽離子則主要為鉀離子(77.59%)、鎂離子(10.23%)和鈣離子(11.87%)次之，另有微量的鈉離子(0.12%)和銨離子(0.18%)。故可判斷美國ICE暖雲焰劑主要的成份為氯化鉀(KCl)，氯化鈣(CaCl<sub>2</sub>)和氯化鎂(MgCl<sub>2</sub>)次之。這些成分在自然中皆可見，且焰劑燃燒後種雲粒子均勻擴散在大氣中濃度極低，無污染環境之虞。

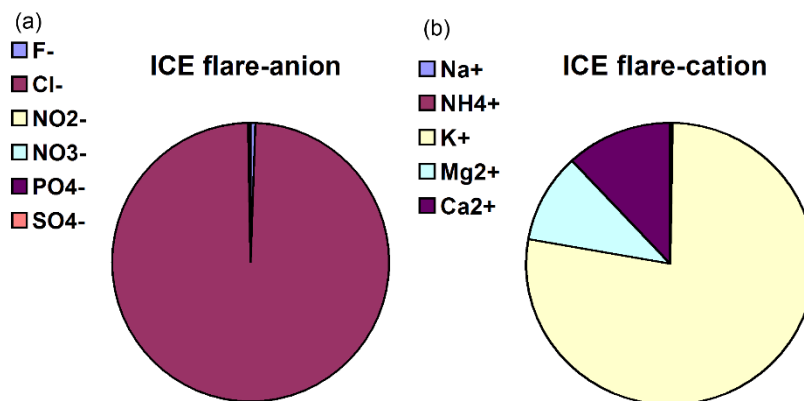


圖4、(a)和(b)為美國ICE焰劑之陰離子和陽離子分析結果。

表3、美國ICE焰劑燃放之陰陽離子分析組成比例。

陰離子	ICE 焰劑	陽離子	ICE 焰劑
氟	0.51%	鈉	0.12%
氯	99.20%	銨	0.18%
亞硝酸根	0.00%	鉀	77.59%
硝酸根	0.16%	鎂	10.23%
磷酸根	0.00%	鈣	11.87%
硫酸根	0.13%	離子組成比例百分比	

### 6.2 民眾申訴事件

101年11月底水利署接獲竹崎農民申訴，農民種植的山蘇葉片發現白斑，懷疑是101年11月17日進行人工增雨的焰劑燃燒後的沉降造成，以下分析當日天氣資訊、葉片白斑成分，並估計可能的沉降量。

根據團隊由天氣資訊、葉片成分、沉降量估計，推斷葉片白斑非由人工增雨造成。

### 6.3 社會影響

有熱心民眾在得知國內有進行人工增雨研究後，收集報章雜誌上人工增雨的相關資訊，提出「雷公台計畫」，立意良好但並不適合現實，仍然感謝熱心民眾的建議，民眾的關注，讓本計畫有更多的進步空間。

## 七、辦理人工增雨國際研討會

### 7.1 議程

本研討會於102年10月7日假台大集思會議中心B1米開朗基羅廳舉行，共有七個專題報告，以及綜合討論。研討會特別邀請到兩位國外教授，以色列臺拉維夫大學Zev Levin教授、日本氣象研究所村上正隆博士，兩位都是國外進行人工增雨研究的重量級人物。此外，還有台灣大學資源與災害中心的教授、國防大學理工學院教授與空軍氣象聯隊聯隊長等單位帶來演講。除了專題報告，也有相關海報在會場周圍展示。

講題包含「以色列人工增雨經驗」、「日本人工增雨計畫」、「臺灣人工增雨作業概況」、「臺灣人工增雨技術研發概況」、「空中人工增雨」、「利用分子動力學模擬凝結核吸附水之過程」與「人工增雨-焰劑研發」七個講題。



圖5、「102年人工增雨國際研討會」海報。

### 7.2 學者建議

兩位邀請到的國外學者，Levin教授和村上博士，除了帶來精彩的演講內容，也不吝對於台灣人工增雨作業提供建議：

- 1.以飛機進行人工增雨，以色列與日本進行人工增雨，皆以空中人工增雨為主，雖

成本較高，但能確實在目標區域種雲，減少天氣及其他因素干擾，相對有效。

2.選擇適合的雲種，並加入適當的粒子進行種雲，村上博士認為選擇層狀雲，並加入 $1\mu\text{m}$ 以上的粒子種雲較為有效(本團隊認為以 $10\mu\text{m}$ 以上粒子種雲較為有效，詳見報告22-24頁)

3.人工增雨驗證。Levin教授提出以隨機種雲方式，去除人為因素影響，以驗證人工增雨是否有效。村上博士則強調事後驗證的重要性，以雷達、飛機加裝儀器收集數據，確認人工增雨的效果。

## 八、工作總結與建議

### 8.1 工作總結

本計畫目前的完成的工作為：

1.模擬2011年5月12日增雨個案，發現此個案灑水無法有良好增雨效果。

2.與軍備局202廠建立合作關係，提供暖雲焰劑種雲成分交由202廠壓製種雲照明彈，預計明年1月進行壓製，3月進行施放測試。提供適合的噴霧設備，目前有粒徑 $300\mu\text{m}$ 左右的噴頭與足夠壓力與流量的高壓幫浦，惟須搭配發電機才能提供足夠功率，須視空軍意願架設器材。完成評估各平台執行人工增雨的效率評估表。

3.完成十套地面焰劑燃燒架與控制器，並驗收通過，等待水利署進一步部署。遠端遙控點火裝置專利已進入申請階段，定時與專利事務所掌握進度。

4.自製焰劑經過火藥測試階段，已加入種雲成分20%沙粒、鹽、礦物，其中以E沙、F沙，結果最理想。

5.完成ICE焰劑成分分析、農民申訴案件相關資料呈現以及熱心民眾建議說明。

6.人工增雨國際研討會已於102年10月7日舉行，邀請到2位國外學者來台分享人工增雨經驗，以色列台拉維夫大學Zev Levin教授與日本氣象研究所村上正隆博士，共計90人參加。

### 8.2 建議

1.本計畫完成的焰劑架與點火控制器，若部署完成後有需求，可再增加訂購，並將一部份配備遠端遙控點燃裝置，以利人工增雨作業進行。若各單位對裝置有任何的問題與建議，歡迎向團隊反應。

2.自製焰劑若研發成熟，可在申請專利後技轉給適合的廠商進行量產，取代向國外購買，做為未來我國人工增雨的本土焰劑。

3.各平台的人工增雨評估與國外學者皆建議，盡量加入飛機進行人工增雨，空中作業可作用在欲進行種雲的區塊上，較為直接且有效；團隊也提供許多方式做選擇。

4.人工增雨焰劑對環境的影響，國外研究甚少，也無相關案例報導。若要做更為詳細的評估，需要具生態環境背景的相關專家加入，或是改以空中作業的型態，除了減少民眾疑慮，也能提高成效。

## 參考文獻

中央氣象局，1992：台灣地區人造雨試驗計畫人造雨作業手冊。1-1~7-16。

中國氣象局科技教育司，1995年：人工影響天氣(七)。104頁。

中國氣象學會，1993：對人工影響天氣科學技術現狀和發展的看法和建議。全國人工影響天氣工作會議，中國氣象學會科技政策聲明，9頁。

王時鼎、陳泰然與謝信良，1983：台灣颱風降雨特性及其預報研究(一)。行政院國家科學委員會防災科技報告，72-13，54頁。

李湘鶴，2006：本土與區域沙塵揚起、傳送及物理效應之模擬。台灣大學碩士論文。

Abshaev, G.K., I.I. Sulakvelidze, L.M. Burtsev, M.K. Fedchenko, A.M. Jekamukhov, B.K. Abshaev, A.M. Kuznetsov, A.D. Malkarova, P.A. Tebuev, I.I. Nesmeyanov, I.N. Shakirov, and G.F. Shevela, Development of Rocket and Artillery Technology for Hail Suppression. Department of Atmospheric studies, Abu Dhabi (UAE), 109-127, 2006.

AMS, 1998: Scientific background for the AMS Policy Statement on Planned and Inadvertent Weather Modification. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, **79**, 2773–2778.

American Meteorological Society, 1992: Planned and inadvertent weather modification. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, **73**, 331-337.

American Society of Civil Engineers, 1995, Guidelines for Cloud Seeding to Augment Precipitation. ASCE Manuals and Reports on Engineering Practice No. 81

Bernard A. Silverman, Englewood, CO; and W. Sukarnjanaset, Results of the Thailand Warm Cloud Hygroscopic Particle Seeding Experiment, 15th Conference on Planned and Inadvertent Weather Modification