

# 空軍氣象聯隊「空中人工增雨作業」演進說明與近年成效

藍尚鑫、呂崇華

空軍氣象聯隊第六基地天氣中心

## 摘要

回顧空軍執行人工增雨任務已長達七十年歷史，累計執行空中人工增雨飛行任務總計達295架次，因此空軍氣象聯隊對於空中人工增雨經驗與技術，在我國增雨作業上具有相當重要指標性與科學成果，同時近年來國際間人工增雨相關作業能力和數值模式均有顯著的進展，且對其雲物理過程也有更深的瞭解，也帶動相關設備和增雨技術等策略上的大幅改進。

近年空軍人工增雨重要調整分別為地面增雨設備改善、增雨作業的飛行架次、催化劑噴灑時間間隔及空域範圍等策略改變。當地面裝載作業效率提升，可縮短上機裝載整備時間完成待命，有效配合空軍氣象中心決策規劃伺機執行空中增雨任務，此外空中作業策略調整飛行架次增加、噴灑作業時間間隔縮短及縮小空域範圍靠近集水區，亦顯著增加整體降雨成效。統計人工增雨施作後成效，水庫平均降雨量與總累積水量均明顯成正相關情形，任務成效顯示於水庫集水區平均降雨量累計208.96毫米，主要水庫總計累積水量概算達1837.12萬噸，成效報告具體展現空軍氣象聯隊主導之人工增雨作業對於施作區產生最大效益。

**關鍵詞：**人工增雨、策略調整

## 1. 前言

臺灣地區四面環海，東臨太平洋，西接臺灣海峽，位於歐亞板塊及菲律賓板塊碰撞交界帶，地殼較不穩定，容易造成崗巒起伏、錯綜複雜的地形特色，同時位處歐亞大陸及太平洋邊界，為典型亞熱帶海島型氣候。氣候上，臺灣冬季天氣系統主要受乾冷西伯利亞高壓所帶來之東北季風影響，故於迎風面(北部及東北部地區)易造成綿綿細雨的降水型態；夏季天氣系統則受西南季風與颱風影響，5至6月間受太平洋高壓及大陸高壓兩大系統消長影響，導致經常有滯留梅雨鋒面存在，再加上午後熱對流旺盛，降水分布全臺各地區，然而根據歷年降雨資料顯示，臺灣年平均降雨量高達2,500毫米，卻由於地勢高

聳、河川坡陡流急，約有70%的雨水都流入大海，又或者當冬季至春季鋒面不顯著，春末至秋季颱風無法直接帶來充沛降雨，造成降雨在時間及空間上分布極不平均，因此當雨水保留不住同時又發生長期降雨量偏低時，臺灣地區即進入枯水年，導致乾旱災情，根據歷年豐枯年降雨量數據顯示(圖1)，即使每年降雨量互有增減，但豐水年(藍線)與枯水年(橘線)的雨量多寡差距則越來越大，也代表每年總雨量不是太多，就是太少。

臺灣一年也定義5至10月的豐水期和11月至4月的枯水期，豐水期是以梅雨、颱風為主要降雨來源。不過，109年臺灣由於夏季的副熱帶高壓異常強烈，不僅讓梅雨季提前結束，也使得7月沒有颱風生成，雖然8月之後

有颱風生成，但副熱帶高壓範圍太廣，颱風幾乎沿著高壓邊緣移動，也導致颱風移動範圍被限縮，當年竟沒有一個颱風侵襲臺灣，也創下臺灣地區56年來首次無颱風入境的紀錄，因此延續至110年初臺灣西半部地區發生乾旱事件，亦為有紀錄以來最嚴重之乾旱，此波災情除借助本軍連續數月施作空中人工增雨的努力下，以及自5月底至6月梅雨鋒面系統產生連續性降雨，才明顯解除旱情嚴峻之危機。事實上，這樣的情況不只發生在臺灣，與美國西部地區相比，臺灣災情算是相對緩和的，因此乾旱環境議題一直位於各國首要解決的問題之一，除了興建水壩、水庫之外，科學家們與其相關機構不斷尋求方法，因此就有了人工增雨研究與作業，以求紓解旱象，此成為世界氣象與水文領域處理乾旱問題的重點工作項目。



圖1 臺灣豐枯年雨量紀錄(摘自水利署)

## 2. 人工增雨作業原理與發展演進

人工增雨作業是以雲物理學之理論原理下透過加快水氣凝結至降水的時間，人為加速降水發生的過程，藉以提高降雨的機率或效率，這種加快降水的過程又被稱作種雲 (cloud seeding)，在水氣較為充足的天氣中適當的進行種雲，利用人為操作在空氣中釋放懸浮微粒，增加水氣的體積或是提供水氣可以凝結的表面(沒有下雨的天氣並不一定代表空氣中完全沒有水氣，也有可能是空氣中

的水氣沒有可以依附的表面，而無法凝結形成雲滴)，增加降雨機率。

不同類型的雲使用的人工增雨法也大有不同，依照降雨原理差異可區分為兩類：暖雲及冷雲。雲的溫度高於攝氏0度時稱為暖雲，低於攝氏0度時稱為冷雲(組成成分主要是由過冷水滴和冰晶形成的雲)。在暖雲中，小水滴經由碰撞與過程，變成大水滴，終至克服雲內浮力而掉離雲底，進而產生降水，讓暖雲中的水滴體積增大有三種方式，第一種方法是在雲中加入更多水滴，讓水滴與水滴產生更多碰撞；第二種方法為利用吸水粒子－氯化鈉，當氯化鈉進入雲中，可以迅速吸收雲中的水氣並且成長，當雲中的水滴開始相互碰撞後，即能產生降雨；第三種方法是利用硝酸鹽，硝酸鹽為一種可溶性粒子，跟氯化鈉一樣可以吸收水氣，也可促使雲中水滴碰撞。

在冷雲中，當過冷水滴吸附在冰晶上時，冰晶的重力越來越大，直到冰晶克服浮力落下即形成降雨。此時的人工增雨法，是透過提供冷雲內的過冷水滴擁有更多的冰晶可以附著，使被附著的冰晶因重力作用下落，隨著高度降低，冰晶溫度也越來越高，最終形成水滴而降雨。

在臺灣人工增雨作業經過多年科學與實務驗證下，最常使用的是「暖雲」人工增雨法。主要原因在臺灣上空的环境中，本就存在著自然或人工產生的冰晶核，此時的冷雲已經達到可以降雨的最佳狀態，如果繼續進行冷雲中的種雲，給予冷雲更多的冰晶核，則會造成雲中冰晶核過多，反而使降水機率減少。暖雲種雲法則是區分空中或地面增雨方式，空中人工增雨是利用空軍運輸機飛入暖雲雲層上空噴灑水滴，使暖雲中的水滴體積增加，加速雲滴的碰撞，進而產生降雨。利用飛機噴灑水滴的方式成果較為顯著，因可以直接抵達雲層附近，但其缺點為所耗費成本

高、高空作業危險性也較高。地面增雨則是在地面燃燒燃劑，增加雲中的凝結核，成為雲中水氣凝結的催化劑，增加水氣碰撞的機率。雖然在地面燃燒燃劑成本低，但當燃劑升空至雲層時，易受到環境氣流影響，不確定性相對增加，地面人工增雨單位(水利署)也會依照情況盡量機動性調整釋放燃劑的地點。

## 2.1 國外人工增雨發展歷史

使用人工方式來改變天氣(人工增雨)在國外已有百年歷史，1839年，艾士輩(Espy, J. P.)曾在溼潤空氣中，燃燒大火使之產生上升氣流，促成積雲而導致降雨。1911年，阿爾弗雷德·魏格納(Alfred Wegener)提出冰晶成雨的理論。科學家歐文·朗繆爾(Irving Langmuir, 1881-1957)發現單分子吸附層理論，亦被命名為Langmuir isotherm；現代人工增雨方法主要分為冷雲種雲以及暖雲種雲兩種類別，都是站在雲物理學的基礎上所做的應用，1946年朗繆爾指導文森·舍弗(Vincent Schaefer, 1906-1993)從事過冷雨滴的實驗，但冰箱的溫度卻一直降不下去，舍弗決定把乾冰(固態的二氧化碳)加到冰箱，意外發現乾冰可以把溫度降到攝氏-40度，促使冰晶同質核化過程發生，產生大量冰晶。同年稍晚，他們從飛機上對一片位於4公里高度、溫度約攝氏-20度的層雲灑下乾冰，大約5分鐘後，雲內大量冰晶形成並下降，下降至雲下約1公里才蒸發。舍弗發現乾冰種雲的技術，也啟發伯納德·馮內古特(Bernard Vonnegut, 1914-1997)，在1947年提出碘化銀種雲的技術，而這兩種種雲劑在現今人工增雨技術上仍被廣泛使用。

## 2.2 臺灣地區人工增雨發展歷史

臺灣地區平均每年有二千多毫米的雨量，應該是水資源不虞匱乏的國家；但因為臺灣地狹人稠、山坡陡峭、雨勢集中，再加上河川短促，故大部分的雨水都迅速地流入海洋。因此，以目前世界可用水量的標準來說，臺

灣是屬於缺水國家。因為全球變遷影響，使原有的降雨型態產生變化。一是時間上的改變，也就是說原來是分布在一整年的雨量，卻集中在很短的時間內下完，這樣的變化不但無法讓我們有效利用水資源，甚至會發生大洪水及乾旱；另一是空間上的改變，也就是說原來應該下在水庫集水區的雨水，卻下在水庫下游或海上，使我們無法有效的攔截利用。自然界的氣候變遷，是全球必須共同面對的課題，我們只能順應氣候的改變，而加以調整水資源的經營和管理方式。

自民國40年起，我空軍及臺灣電力公司長期在臺灣地區進行空中人工增雨作業(空軍氣象部隊於臺灣地區實施空中人工增雨作業統計表，如表1)，民國40年1月空軍首度以B25轟炸機在日月潭上空實施空中人工增雨，創亞洲先例，民國79年6至8月間，空軍動員三千餘人次以及C-119型運輸機109架次，實施北部地區空中人工增雨，其規模創下世界紀錄(空軍氣象聯隊早期支援空中人工增雨任務紀錄，如圖2)，然而當時其使用方法及設備不夠精確與自動化，且缺乏理論科學基礎，難以掌握成效，且人工增雨作業往往多在水庫儲水已嚴重不足時方才進行，作業時亦未考慮應在有利雲層大氣環境條件下時再增加降水量方才有效提高降雨效率。

民國81年後，中央氣象局開始接手進行人工增雨作業，以協助政府在水源上游區增加降雨。但仍缺乏設備及經驗，因此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臺執行作業，此為臺灣首次在有專業評估下進行人工增雨作業。然可惜計畫結束後，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，以致後來執行人工增雨作業方式仍和過去並無太大的改變，同樣不夠精緻也缺乏效率。

回顧空軍執行人工增雨任務已長達七十年歷史，累計執行空中人工增雨飛行任務總計達295架次，因此空軍氣象聯隊對於空中人工增雨經驗與技術，在我國增雨作業上具有相當重要指標性與科學成果，尤其近十年來國際間人工增雨相關作業能力和數值模式均有顯著的進展，且對其雲物理過程也有更深的瞭解，也帶動相關設備和增雨技術等策略上的大幅改進。現階段我國仍應持續著重發展數值模式、種雲粒子的研發、催化劑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。



圖2 空軍氣象聯隊早期支援空中人工增雨任務紀錄

### 3. 現行空軍人工增雨作業流程

#### 3.1 人工增雨作業啟動機制

當「一階限水」燈號亮時經濟部水利署將依旱象，建請行政院成立跨部會之應變中心(旱災中央災害應變中心)，召開人工增雨作業決策會議，並依旱情等級區分為地面及空中二種人工增雨作業。

##### 3.1.1 地面人工增雨作業

經濟部水利署(以下簡稱水利署)評估水源供應區有進水需求或有缺水之虞時，由水利署統籌發布施作時間、地點，並由各水庫管理單位負責執行地面人工增雨作業，包括水利署各區水資源局、臺灣自來水公司、臺

灣電力公司、農田水利會、臺北翡翠水庫管理局等單位。

##### 3.1.2 空中人工增雨作業

當旱象更趨嚴峻，於「旱災經濟部緊急應變小組」一級開設或「旱災中央災害應變中心」開設後，應即召開跨部會空中人工增雨作業決策會議，邀集交通部中央氣象局、民用航空局、經濟部、水利署、國防部、國防部空軍司令部等單位共同參與會議，並依會議決議辦理空中人工增雨施作時間、目標區、架次、空域、空層、航路及航(戰)管申請等分工作業。

#### 3.2 空中人工增雨作業流程

空中人工增雨作業決策作業日(D日)及作業目標區，將作業日區分為「守視」(D-5日)、「警戒」(D-3日)、「準備」(D-1日)、「作業」(D日)等四階段依序進行。

##### 3.2.1 守視(D-5日)階段

由空軍氣象中心守視有利天氣條件，研判可能之作業D日。

##### 3.2.2 警戒(D-3日)階段

召開空中人工增雨作業決策會議討論並決議下列項目：

- (1)施作時間、區域、高度、方式。
- (2)飛航架次需求及飛航公告申請。
- (3)飛航公告申請與發布。
- (4)與民航局飛航服務總臺相互協調航、戰管空域。
- (5)空軍第六基地天氣中心提報增雨器材之檢整現況。
- (6)空軍第六聯隊提報空中平臺之機務整備現況。
- (7)空中作業人員訓練安排與作業調度規劃。

##### 3.2.3 準備(D-1日)階段

- (1)研析最新天氣資料，再確認或調整施作時間與區域。
- (2)由水利署通報行政院災害防救辦公室、交通部、氣象局及民航局。

- (3)再次檢查及整備空中平臺與增雨器材。
- (4)再次確認飛航公告發布及航、戰管空域。

#### 3.2.4 作業(D日)

- (1)依作業是日天氣條件再次評估確認施作時間及區域。
- (2)作業前由水利署以傳真、簡訊或以其他方式通報行政院災害防救辦公室、交通部、氣象局、民航局及目標區水庫管理單位。
- (3)起飛1小時前進行勤前任務提示，如圖3。
- (4)由國防部及空軍司令部適時發布新聞稿。
- (5)遇緊急作業需求或天氣系統變化快速為掌握時效，得縮短或省略階段以縮短決策時程。



圖3 空中人工增雨起飛前勤前任務提示

### 3.3 空軍增雨作業策略規劃

人工增雨是藉由催化劑改變雲內的環境條件如氣塊溫度、水象粒子數量及大小等，創造適合雲滴凝結、成長之條件，同時改變雲內之動力條件，導致雲成長加厚、增加雲內水氣垂直傳送、增大雲的水平範圍，使得降水量增加以提高降雨之效率，因此大氣環境分析為執行空中人工增雨作業最重要步驟，空軍氣象中心逐日審慎研討天氣變化趨勢，在有利條件的大氣環境配合下進行，擬定最佳施作策略，施作策略運用包含規劃人工增雨施作時間、方法、目標區、執行架次、空域、空層及航路等，這些作業策略規劃運用往往是決定增雨是否有絕對成效的關鍵因子，必須正確嚴謹考量及判斷。

現行空軍氣象中心針對有利空中人工增

雨作業大氣環境分析依據：

- (1)大氣環境必須滿足有充沛的水氣、不穩定的大氣環境。
- (2)適當的舉升機制在於諸如鋒面或低壓系統等媒介。
- (3)低層風速需小於25哩/時，作業高度風速小於50哩/時。
- (4)目標區種雲附近大氣環境的相對溼度需夠大(70%以上)。
- (5)雲種的選取，一般多以積雲或層雲為主。

#### 3.4 增雨裝備架設整備

空中人工增雨作業為空軍第六基地天氣中心(以下簡稱六天中)例行性任務之一，故在每日人力規劃均有相對應待命人員，隨時可成立臨時任務編組，每次任務編組所需人力含督導及行政庶務人員計12員，當受令後六天中立即協調各項行政支援及人員召返，確認任務機後赴停機大坪執行裝備架設任務，一次任務架設3架次空中灑水裝置，並需於起飛前90分鐘內完成整備，每月六天中所屬人員均運用部隊訓練課程規劃裝備架設訓練，在標準作業下進行1架次增雨裝備架設可於30分鐘內完成，待任務機返場後，與作戰科及飛行隊協調裝備拆卸時間，依時上場執行裝備拆卸及維護保養。以下為六天中於機上執行增雨裝備架設程序：

- (1)鋪設防水塑膠墊布，並注意方向及機艙內之佔位與固定鈎環位置確認，如圖4。
- (2)鋪設木板底座，與機工長確認水桶置放位置。
- (3)協請檢接分隊利用適當機具搬運蓄水桶至飛機後艙，蓄水桶依木板位置放置妥當，如圖5。
- (4)機工長完成水桶固定作業、連接蓄水桶及排水管，並注意排水方向及接頭接合狀況，務必達成滴水不漏之要求，如圖6及7。
- (5)由基勤大隊消防分隊協助灌水，並再確認有無漏水狀況，如圖8。

經過多次任務的經驗累積，六天中於裝備上不斷精進優化，於民國108年透過經濟部水利署及空軍氣象聯隊共同完成空中人工增

雨設備改善案，主要內容為強化水管及蓄水桶搬運機具，有效提升整體作業效率及人員安全。

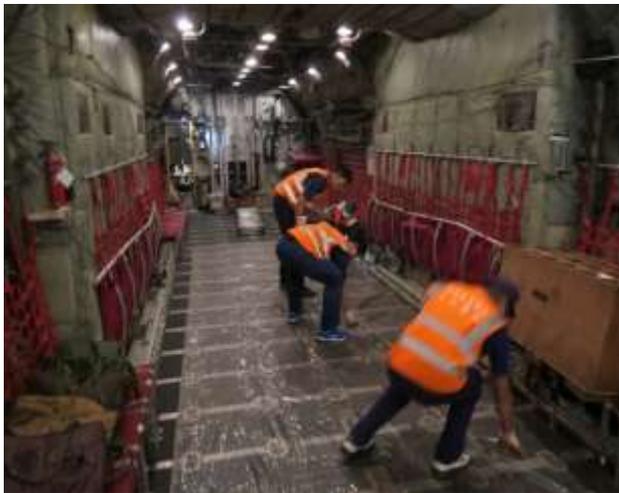


圖4 鋪設防水塑膠墊布與鈎環位置確認



圖6 連接蓄水桶及排水管



圖5 執行增雨裝備架設整備情況



圖7 確認管路接頭接合情況



圖8 基勤大隊消防分隊協助灌水情形

### 3.5 空中觀測作業執行要點

正所謂：「欲先做其事，必先利其器。」每執行一次空中人工增雨任務，所需耗費資源高，且屬於高風險任務，因此各項作業前中後整備工作甚為重要。由於空中人工增雨採「開艙不加壓」方式實施，難度高且具一定危險性，作業人員需在高空低壓及近乎攝氏0度低溫環境下執行任務，故上機人員需接受航空生理訓練，熟悉高空缺氧低溫對人體生理影響及防範方法，確保任務達成。

為使任務執行順遂，空軍氣象聯隊定期針對空中作業人員進行「空勤體檢」，檢驗結果通過後，需於空軍岡山醫院完成「航空生理訓練」測驗，符合標準即可列入空中作業人員規劃，同時空中作業氣象人員須具備氣象本職學能及經驗，故主要是由空軍氣象聯隊氣象軍官或資深士官組成，空中觀測作業執行要點如後：

- (1) 空中作業人員自接受命令執行任務起，依排定執行順序待命，並注意身體狀況及飲食。
- (2) 任務執行前90分鐘至天氣室掌握目標區天氣概況，六天中主任針對人員執行勤前任務提示。
- (3) 上機後瞭解呼吸面罩使用方式及確認面

罩是否正常運作。

- (4) 去氮作業(吸純氧)時，注意自身身體狀況及氧氣罩供氧情形。(飛航高度15,000至25,000 呎需去氮30分鐘，25,000至30,000 呎需去氮45分鐘)
- (5) 起飛後，隨時注意航路天氣狀況，進目標區後，立即通知機長及領航官最佳施放位置及路徑。
- (6) 到達最佳施放位置後，通知機長可開始灑水。
- (7) 隨時注意航路天氣情形，勿進入劇烈天氣區域，並隨時告知機長及領航官後續建議航行方向。
- (8) 返場落地後，與領航官確定各任務時間點，並親自歸還頭盔至個裝室。

### 4. 空軍人工增雨作業近年成效

空軍人工增雨透過每一次經驗累積優化調整運用策略以建立最佳作業模式，近五年來整體調整關鍵要素分別為地面增雨設備改善、增雨作業的飛行架次、催化劑噴灑時間間隔及空域範圍等策略改變。當地面裝載作業效率提升，可縮短上機裝載整備時間完成待命，有效配合空軍氣象中心決策規劃伺機執行空中增雨任務，此外空中作業策略調整飛行架次增加、噴灑作業時間間隔縮短及縮小空域範圍靠近集水區，亦將整體降雨成效顯著增加。

因此本文以近五年人工增雨相關資料進行初步統計(民國106至110年各年人工增雨成效統計表，如表2至6)，統計顯示逐年對於施作之水庫降水量及增加總累積水量概算情形，依各年資料加以比對及分析，平均近五年施作後水庫平均降雨量與總累積水量具明顯成正相關情形，自民國106至110年空中人工增雨執行18次任務，累計C-130型機飛行36架次、搭載催化劑(清水)144噸，任務成效顯示於水庫集水區平均降雨量累計208.96毫米，主要水庫總計累積水量概算達1837.12萬噸

(近五年年空中人工增雨主要水庫累計成效表，如表7)，成效報告具體展現空軍氣象聯隊主導之人工增雨作業對於施作區產生最大效益。

110年5月梅雨季，因太平洋異常增強且西伸，高溫偏少雨，梅雨鋒面偏北發展，影響臺灣梅雨遲到且偏少的情況，因此透過水利署、中央氣象局及空軍氣象聯隊相互研討後，於110年4月底擇一環境條件適當日期進行空中人工增雨作業，成效相當良好，使臺灣西半部地區解除長達1至2個月的旱象。空軍氣象聯隊在此旱象時刻，肩負著「空中人工增雨」任務主導決策之角色，除需主動掌握人工增雨最佳時機，就綜觀天氣形勢進行科學分析與診斷掌握外，對於人工增雨過程的掌握、空中施灑裝具的建製、催化劑的購補安排、空中施灑作業的執行以及作業完畢後的資料統計分析等，均需事先規劃妥善，並評估作業人員的訓練和風險管理。

## 5. 結論

國際間人工降水活動有增加的趨勢，全世界已有30多個國家進行人工增雨作業，且全球已面臨環境過度開發的問題，因此人口增加及水資源分配不均將是未來共通的問題。目前各研究所得到的數據，在人工增雨作業平臺中，施作最直接且範圍最廣的就是空中平臺，在飛機上掛載或施放最有效益的催化劑，保持雲上、穿雲或雲下飛行，效果最為顯著，若在任務執行與高空作業安全兼顧下，幾乎可於指定時間、空層及目標區達到施作目的。

近年來空軍氣象聯隊積極投入於人工增雨作業策略優化，改善程序及增雨裝備，整體執行成效為全體國民有目共睹，增雨裝備持續進行改善，使得上機前整備工作得以提升作業效率及人員安全；此外人工增雨作業前經由氣象中心審慎專業科學評估，瞭解整體環境因子及決策最佳施作時間及目標區，以致每次任務執行均能發揮最有效益之成果。空軍氣象聯隊針對人工增雨作業技術精益求精、不斷進步，從每一次的任務中吸取更多經驗，期許未來能規劃實施臺灣地區長期性、調節性的人工增雨作業，以紓解各地水資源不足所衍生的問題。

空中人工增雨任務攸關國家民生大計，空軍責無旁貸全力支援，未來將廣續主動掌握水情資訊與天氣條件，研判最佳增雨時機，並依國防部命令，配合經濟部等相關單位，支援執行增雨任務，紓解民困，落實「防災」、「救災」、「離災」及「減災」之目標。

## 6. 參考資料

- 朱炯光，2015，民國70年以後空軍人造雨紀實，空軍氣象聯隊甲子大慶史蹟文獻集，206-222。
- 楊忠權、吳啟雄、林裕豐，2015，民國104年空中人工增雨作業及策略運用，氣象預報與分析，225，9-20。
- 陳正平、李清勝、楊明仁、林博雄、鄭兆尊，2006，人造雨技術發展長期策略擬定-造雨研究發展成效模式評估，經濟部水利署研發計畫。

## 7. 表附錄

表1 空軍氣象部隊於臺灣地區實施空中人工增雨作業統計表

空軍氣象部隊於臺灣地區實施空中人工增雨作業統計表				
年份	日期	目標區	執行架次	種雲物質
民國 40 年	01 月 22 日	日月潭水源區	1 架次	乾冰、碘化銀、食鹽水
	09 月	北部農田	3 架次	乾冰、碘化銀、食鹽水
民國 40 年 11 月至民國 41 年 04 月		日月潭水源區	22 架次	乾冰、碘化銀、食鹽水
民國 43 年	06 月 22 日	西部平原	1 架次	乾冰、碘化銀、食鹽水
民國 66 年	03 月 24 日	臺中嘉南一帶(鋒面過境增雨)	2 架次	乾冰、碘化銀、食鹽水
	04 月 18 日	西部平原(鋒面過境增雨)	1 架次	
民國 66 年	05 月 07、08、13 日	中部平原、日月潭上空、新店溪上游、石門水庫	7 架次	乾冰、碘化銀、食鹽水
民國 67 年	08 月 05 日	新店溪上游	2 架次	乾冰、食鹽水
民國 69 年	06 月 23 日	嘉南地區	1 架次	乾冰、鹽粉、清水
	07 月 25 日至 08 月 25 日	新店溪上游(積雲造雨) 07 月 27 及 28 日嘉南平原	109 架次	乾冰、鹽粉、清水
民國 72 年	08 月 30、31 日	石門水庫上游(積雲增雨)	6 架次	乾冰、食鹽水(或清水)
民國 73 年	01 月 16 日	石門水庫上游(積雲增雨)	7 架次	乾冰、食鹽水(或清水)
	02 月 17、18 日			
民國 78 年	03 月 18 及 19 日	西部各水庫集水區 (鋒面前，潮溼西南氣流)	4 架次	乾冰、食鹽水(或清水)
民國 80 年	04 月 30 日	石門、德基及曾文水	2 架次	乾冰、食鹽水(或清水)
	05 月 01、02 日	庫等集水區	4 架次	乾冰、食鹽水(或清水)
	12 月 18、19 日	曾文及阿公店水庫	4 架次	乾冰、食鹽水(或清水)
民國 82 年	09 月 11、13 日	基隆新山水庫及翡翠水庫	6 架次	乾冰、食鹽水
民國 82 年	09 月 22、23 日	翡翠水庫(鋒面接近)	4 架次	乾冰、食鹽水
民國 83 年	02 月 15 日	石門水庫	3 架次	乾冰、食鹽水
民國 91 年	03 月 15、16 日	翡翠水庫、石門水庫、寶山水庫	8 架次	乾冰、食鹽水
	05 月 16 至 17 日	翡翠水庫、石門水庫(鋒面接 近，潮溼西南氣流)	16 架次	乾冰、食鹽水
	05 月 21 至 23 日			
民國 92 年	03 月 19 至 20、24 日	翡翠水庫、石門水庫	12 架次	乾冰、食鹽水
民國 99 年	04 月 02 日	曾文水庫	1 架次	清水
民國 100 年	05 月 04、12、16 日	石門、寶山、明德及鯉魚潭等集 水區等	5 架次	清水(加入紅色食用色 素)
民國 102 年	03 月 24 日	臺北以南至臺中以北任務區域	1 架次	清水

民國 103 年	03 月 21 日、 12 月 5 日	臺南及高雄上空	2 架次	清水
民國 104 年	01 月至 05 月	西部各水庫集水區	24 架次	清水
民國 105 年	11 月 04 日	新竹至臺中上空	1 架次	清水
民國 106 年	02 月 24 日至 04 月 13 日	新竹、苗栗(寶山、石門水庫集水區); 嘉義、臺南(曾文、南化水庫集水區)	12 架次	清水
民國 107 年	1 月 8 日至 6 月 2 日	嘉義、臺南(曾文、南化、烏山頭水庫集水區)	10 架次	清水
民國 108 年	3 月 6、7 日	新竹(寶山、永和山水庫集水區)	4 架次	清水
民國 109 年	5 月 7 日、 10 月 22 日、 12 月 9 日	臺南、高雄(曾文、烏山頭水庫集水區); 桃園(石門、翡翠水庫集水區)	6 架次	清水
民國 110 年	3 月 6 日、 4 月 29 日	桃園(石門、寶二水庫集水區); 臺中(德基、鯉魚潭水庫集水區)	4 架次	清水

表2 民國106年空中人工增雨成效表

水庫名稱	日期	施作後平均降雨量 (mm)	總累積水量 概算 (萬噸)
石門水庫	02 月 24 日	2.6	7.8
寶山水庫		5.5	18.6
翡翠水庫		7.5	6.9
石門水庫	03 月 06 日	1.7	19.8
寶山水庫		10.0	33.7
翡翠水庫		5.1	23.3
石門水庫	03 月 16 日	4.6	52.3
寶山水庫		4.1	13.9
石門水庫	03 月 23 日	1.4	16.4
寶山水庫		2.9	9.7
明德水庫		1.7	1.5
石門水庫	04 月 11 日	1.6	18.0
寶山水庫		18.0	60.7
明德水庫		7.9	7.2
蘭潭水庫	04 月 13 日	0.4	0
烏山頭水庫		0	0
南化水庫		0.3	0
曾文水庫		0.3	0
合計		75.6	289.8

表3 民國107年空中人工增雨成效表

水庫名稱	日期	施作後平均降雨量 (mm)	總累積水量 概算 (萬噸)
寶山水庫	01 月 08 日	50.4	2.4
永和山水庫		43.9	3.2
明德水庫		30.3	27.8
曾文水庫	05 月 03 日	0	0
烏山頭水庫		0	0
南化水庫		31.5	13.4
曾文水庫	05 月 08 日	12.4	89.1
烏山頭水庫		14.9	13.4
南化水庫		17.7	135.9
曾文水庫	06 月 01 日	35.5	15.1
南化水庫		79.5	55.5
曾文水庫	06 月 02 日	119.5	50.7
南化水庫		38.0	26.5
合計		473.6	433.0

表4 民國108年空中人工增雨成效表

民國 108 年空軍氣象聯隊主導空中人工增雨成效表			
水庫名稱	日期	施作後平均降雨量 (mm)	總累積水量概算 (萬噸)
寶山水庫	03 月 06 日 06-12 時	0.9	0.104
寶山水庫	03 月 07 日 06-12 時	14.6	51.52
合計		15.5	51.624

表5 民國109年空中人工增雨成效表

民國 109 年空軍氣象聯隊主導空中人工增雨成效表			
水庫名稱	日期	施作後平均降雨量 (mm)	總累積水量概算 (萬噸)
曾文水庫	05 月 11 日	74.0	19.67
烏山頭水庫		11.0	9.61
南化水庫		148.0	240.43
石門水庫	10 月 22 日	3.3	50.6
翡翠水庫		12.8	77.8
曾文水庫	12 月 09 日	1.4	13.5
合計		250.5	411.61

表6 民國110年空中人工增雨成效表

民國 110 年空軍氣象聯隊主導空中人工增雨成效表			
水庫名稱	日期	施作後平均降雨量 (mm)	總累積水量概算 (萬噸)
石門水庫	03 月 06 日	22.4	341.6
寶二水庫		23.6	106.3
石門水庫	04 月 29 日	4.7	71.97
鯉魚潭水庫		4.8	5.13
德基水庫		10.7	126.99
合計		66.2	651.09

表7 空中人工增雨主要水庫累計成效表

空軍氣象聯隊主導空中人工增雨 近五年水庫累計成效表		
水庫名稱	施作後平均降雨量 (mm)	總累積水量概算 (萬噸)
石門水庫 (763.4 km <sup>2</sup> )	5.29	578.47
翡翠水庫 (303 km <sup>2</sup> )	8.47	108.0
寶山水庫 (3.2 km <sup>2</sup> )	13.3	190.62
寶二水庫 (2.88 km <sup>2</sup> )	23.6	106.3
永和山水庫 (4.8 km <sup>2</sup> )	43.9	3.2
鯉魚潭水庫 (53.45 km <sup>2</sup> )	4.8	5.13
明德水庫 (61 km <sup>2</sup> )	4.8	36.5
德基水庫 (592 km <sup>2</sup> )	10.7	126.09
蘭潭水庫 (2 km <sup>2</sup> )	0.4	0
曾文水庫 (481 km <sup>2</sup> )	34.73	188.07
烏山頭水庫 (60 km <sup>2</sup> )	6.48	23.01
南化水庫 (512 km <sup>2</sup> )	52.5	471.73
合計	208.96	1837.12

\*備註:

水量概算值= $\lceil \frac{(\text{集水區面積} \times 1000000) \times (\text{平均降雨量} / 1000)}{10000} \rceil \times 20\%$

20%為人工增雨對實際降雨產生之效益比值，故總水量值須\*上0.2為實際增雨產生之概估值。

# The evolution and recent achievements of Air Force Weather Wing Cloud seeding operation

Shang-Hsin Lan 、 Chung-Hua Lu

The 6th weather squadron of Weather Wing, R.O.C.A.F.

## Abstract

Looking back on the 70-year history of the Air Force's cloud seeding missions, the total of 295 cloud seeding missions has been carried out. Therefore, the experience and technology of the Air Force Weather Wing in cloud seeding is quite important indicators and science achievements in our country. At the same time, in recent years, the international operational capabilities and numerical models in cloud seeding have made significant progress, and it also has a deeper understanding of cloud physical processes, which drives significant improvements in related equipment and techniques of cloud seeding strategically.

In recent years, the important adjustments in the Air Force Weather Wing to cloud seeding include the improvement of the ground equipment, the number of flight of cloud seeding missions, the time interval of catalyst spraying and the changes in airspace coverage. When the efficiency of ground loading is improved, the loading time of aircraft loading equipment can be shortened to complete the standby, and efficiently cooperates with decision-making planning of Air Force Weather center to prepare for implement cloud seeding missions. In addition, the flight of operation strategy in the air is adjusted to increase, the time interval of catalyst spraying is shortened, and the airspace coverage is narrowed to near the catchment area, which will also significantly increase overall precipitation effect. According to statistics on the results of cloud seeding, the average precipitation of the reservoir is obviously positively correlated with the total cumulative precipitation. The results of the missions show that the average precipitation in the catchment area of the reservoir is 208.96mm, and the total cumulative precipitation of the main reservoir is estimated to 1837.12 million tons. The results report specifically shows that the cloud seeding missions led by the Air Force Weather Wing has the greatest benefit for the operation areas.

**Keywords:** cloud seeding, strategy adjustment