

空軍實驗人造雨報告

REPORT ON THE CLOUDS SEEDING
EXPERIMENT(1977) OF CHINESE
AIR FORCE

曲 克 恭

空軍氣象聯隊

摘 要

從民國六十六年三月廿四日至五月十三日止，空軍先後實驗四次人工造雨，使用C-119型飛機在雲中撒佈乾冰及飽和鹽水；主要造雨地區在台灣中部與北部山區地帶，共撒佈乾冰5640公斤及鹽水600介侖。

本文除概略報告造雨之氣象狀況與實施經過外，並以四次造雨之經驗檢討造雨技術應該改進之處，但未能校驗造雨之成效，此次造雨發現在鋒前積狀雲中之效果較鋒後層雲中為佳，尤其是在台灣中部地區，鋒後層狀雲很快的因下沉作用而趨消散，如不能把握鋒面通過之短時間，則種雲之效果遠不敵消散雲之下沉作用。

一、前 言

民國六十六年春季台灣地區乾旱，水源逐漸短缺，尤以中部最為嚴重，空軍乃奉令配合糧食局與台灣人造雨研究所，並請中央氣象局提供雨量及氣象雷達觀測，實驗空中人造雨。最初乃以中部地區為主，後來台北地區自來水源銳減，已開始實施輪流停水，乃又加入北部地區，從三月廿四日起至五月十三日止，先後實驗四次。

空軍雖然早在民國四十年至四十一年曾協助台

灣電力公司在日月潭地區派遣飛機試驗人造雨廿二次，後來由地面造雨器替代，即再未繼續實施。人造雨自1946年 LANGMUIR 及 SCHAEFER 首次空中造雨試驗以來，迄今已經三十餘年，世界上許多國家皆在不斷的嘗試，不斷的研究分析，根據WMO在1973年及1976年先後兩次天氣改造科學會議中所發表的論文與其他有關的實驗報告，人造雨之方法以及效驗結果，甚至於其成效，仍然是未成定論的一個大氣問題。空軍此次協助造雨，其目的僅在使用人造雨之方法，配合適宜的天

本文摘自「台灣地區災變天氣研討會論文彙編」1968年5月

氣狀況，希望增加降雨量，能解除部份的乾旱，在複雜的地形影響下，更難應用常用的校驗方法分析成效。

本報告除概述實驗的情形以外，也在經驗中獲得造雨方法之改善與適宜山區造雨之天氣狀況，一併提出報告，尚請諸先進不吝指正。

二、造雨經過

去年三月下旬，蔣院長巡視中南部時鑒於旱象日亟，乃指示空軍研究實施人造雨之可行性，空軍接獲命令後，即協調台灣人造雨研究所及糧食局尋求乾冰來源與初步交換造雨意見，並積極準備，注意有利天氣條件，希望連續不斷的造雨，適時解除旱象，在短短兩天內一切準備就緒，選定三月廿四日冷鋒過境後在中部首次造雨，以後又實施三次，如表一所示：

(表一) 六十六年空軍人造雨實驗次數

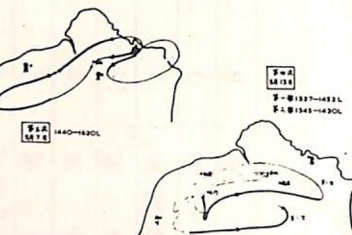
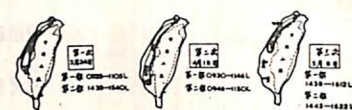
次 數	日 期	飛 機		每架所攜乾冰及鹽水	
		架次	飛行時間	乾冰(公斤)	鹽水(公升)
1	三月廿四日	2	1時40分	240	50
			1時05分	400	50
2	四月十八日	2	2時16分	500	50
			2時04分	500	50
3	五月七八日	1	1時40分	1000	100
			1時34分	1000	50
			1時37分	1000	50
4	五月十三日	2	1時25分	500	100
			1時45分	500	100
總計		9		5640	600

各次造雨時之部份雨量如下表二：

(表二A) 第一次3月24日0900-2000L雨量(mm)

台中	雲林	彰化	苗栗	斗六	玉山	阿里山	日月潭	嘉義
T	T	T	T	1.1	7.0	2.0	7.5	2.0

四次造雨之航線示意圖一
(粗線部份表空投區)



(圖一) 造雨航線圖

(表二B) 第二次4月18日1000-1400L雨量(mm)

台中	埔里	竹山	雲林	嘉義	台南	岡山	屏東	水社	萬大	霧社	天輪	武界
0.8	6.1	9.0	12.8	2.7	0.5	1.3	0.8	9.9	4.3	5.3	7.0	13.6

(表二C) 第三次5月7日之日雨量(mm)

石門	霞雲	玉峯	巴陵	基隆	宜蘭	新店	安坑	四十份
2.5	8.3	16.8	17.0	0.3	21.4	22.5	22.0	72.0

(表二D) 第三次5月8日之日雨量(mm)

安坑	雙連坡	龜山	日月潭	萬達	霧社	櫻社	新店	霞雲	玉峯	巴陵
6.6	11.0	9.0	0.4	0.3	7.4	4.4	5.2	7.8	0.9	8.7

(表二E) 第四次5月13日之日雨量

霞雲	安坑	台北	新店
(1626-1700)	(1700-2000)		
2.6	0.9	1.0	1.8

第三次以後未能蒐集到每小時之山區雨量，只

以造雨當日之雨量以做參攷。

各次造雨撒佈乾冰之飛行高度皆在12000呎至14500呎間，根據當時台灣地區探空資料之積冰高度如表三：

(表三) 飛行高度與積冰高度

次數	造雨時間(L)	飛行高度(FT)	積 冰 高 度			
			桃園	東港	馬公	台北
1	24/3 0900-1105 1435-1545	14000 12000	240800L (12000)	240800L (15500)	240800L (11500)	
2	18/4 0930-1146 0946-1150	11600 13000		180800L (14800)		172000L (14000)
3	7/5 1440-1620 1438-1612 1445-1622	14000-14500 13000-14500 12000-13500	070800L (13700) 080800L (13800)	070800L 072000L (14500) 080800L (15400)		072000Z (14700)
4	13/5 1327-1452 1345-1430	14500 11000-13000	130800L (13600)	130800L (15800)		122000L (15400)

由上表可知歷次造雨之飛行高度在台灣北部多在0°C線以上，越向南部在0°C線以下飛行，由於飛機之性能及安全之考慮，造雨時不能嚴格限制在-5°C線以上之雲中撒佈乾冰，這也是同時攜帶飽和鹽水之理由。

乾冰之撒佈量，(如表一所示)，第一架次飛機僅攜帶240公斤，成效不著，後來又參攷各種文獻之研究，飛行每公里可撒佈數克至一公斤，甚至一個單獨的積雲可用100磅之乾冰，撒佈面積與乾冰數量並無確定的研究，所以在第一次成效不著之後，立即增加撒佈量，不再考慮過量撒佈反而可減少雨量之抑制作用。

因為擊碎乾冰無法控制其大小，故乾冰為各種大小之混合群，大部份約為1-2CM(概略估計其最大長度)之不規則體，另外尚有微小之顆粒體。乾冰撒佈器為一漏斗狀之圓形筒，由加入圓筒之

乾冰控制撒佈量。

飽和鹽水亦由漏斗及皮管撒佈於機體外，由空氣動力自由飄散，如以下二圖即為在機艙中工作之情形與撒佈裝備，如果從事研究，此種裝備必須另加量之控制器，而且擊碎乾冰之設備亦需改進，使

能控制其一定之大小。

下面二張照片為3月24日1500L在後龍地區所攝者，為冷鋒後之雲層，在此雲層中造雨，飛行高度10000呎，雲頂溫度在0°C以上，乾冰失去效用，只有飽和鹽水可用，故獲得失望的效果，另一張圖片為5月7日在新店宜蘭間所攝，飛行高度14500呎，積雨雲發展良好，且有砧狀雲發生，機上觀測人員估計撒佈乾冰後雲頂高度伸達30000呎，當然雲層仍在自然的發展中，乾冰之作用有多少，無法判斷，但是出乎意料之外的雨量却於造雨後發生，是否巧合，亦不能肯定。

五月七日及八日之造雨，使石門水庫之進水量由每秒4立方公尺增加為5立方公尺，小粗坑發電所原有發電機只有一部運轉，但至八日起五部機同時發電，台北自來水廠之蓄水由7公尺突增至22公尺，供水量由每天60萬噸恢復至86萬噸，立



(圖二) 撒佈乾冰及飽和鹽水



(圖三) 五月七日 1523L 撒佈乾冰之積雨雲

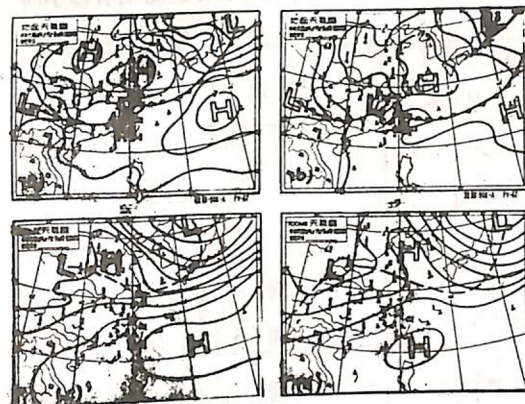
(圖三) 三月廿四日 1500L 撒佈鹽水之層雲

即取銷分區停水。

三、造雨時之天氣圖形勢

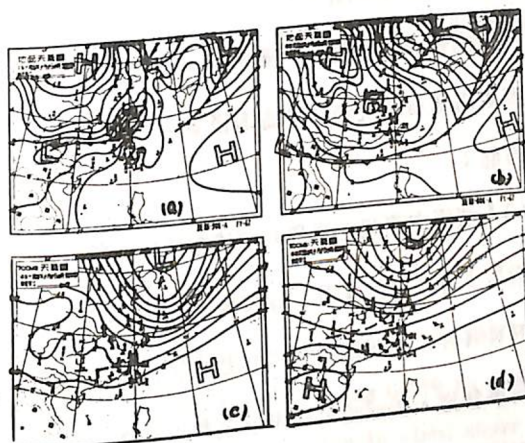
第一次三月廿四日及第二次四月十八日皆為鋒後造雨，且為移動迅速之冷鋒，六小時即由華南通過台灣，在華南形成分裂高壓中心，台灣之天氣有立即轉佳之趨勢，圖四為四月十七日 18Z 及十八日 00Z 之地面圖與十七日 12Z 700MB 與 500MB 高空圖。第三次五月七日在鋒前造雨，五月八日

在鋒後造雨，第四次五月十三日為各報記者之請求，選定不太適宜之鋒前造雨。五月七日鋒面向南移動緩慢，造雨時鋒面正由北部向南推移，圖五為五月七日 00Z 及八日 00Z 之地面圖及七日 00Z 與八日 00Z 之 700MB 圖，東西向之橫槽及台灣東南方之高壓使台灣地區有偏西南之高空風。以台灣地區之探空資料研判，各次造雨時之雲頂高度及溫度如表四：



4月17日18Z 地面圖 4月18日00Z 地面圖
4月17日12Z 700MB 圖 4月17日12Z 500MB 圖

(圖四) 天氣圖概況



5月7日00Z 地面圖 5月8日00Z 地面圖
5月7日00Z 700MB 圖 5月8日00Z 700MB 圖

(圖五) 天氣圖概況

由表四所列資料與四次造雨之成效(姑以雨量之大小為造雨之成效)比較，第一次及第二次在鋒後造雨，第二次之成效較佳，第三次在北部極為(?)成功，第四次仍在北部，在鋒前造雨，但距鋒較遠，成效不佳，似乎指示雲頂高，溫度低易於造雨，GRANT與ELLIOTT(1974)研

究強的降雨雲頂在18000呎，冰粒之增加確會增加雲頂之高度2000-3000呎，BISWAS與DENNIS(1971)用鹽粒造雨，雲底9000呎，雲頂15000-18000呎，雲頂溫度-2°C，上升流在雲底為3M SEC⁻¹，造雨成功，台灣似乎亦可應用此標準，以做造雨機會之選擇，尤其上升流對LANGMUIR連環反應之效果極為重要，否則若無冷雲，只憑BERGERON THEORY作用，僅應用冷雲造雨方法，成效可能不大。

比較各次造雨時500MB層(可能種雲雲層)以下之水汽含量，積算地面至500MB之平均混合比如表五，初步研判，似乎歷次降雨量之多寡與水汽含量無直接之影響，是故必須有其他動力以及微物理程序使之降落於地面。

四、檢討及建議

此次人造雨之嘗試，經過一個半月之時間，因為籌備匆促，經驗不足，值得檢討之處甚多，但在四次造雨，九架次C-119飛機空投乾冰及飽和鹽水中獲得一些寶貴的經驗，茲將檢討及今後如何發展人造雨之淺見建議分述如下：

檢討方面：

- (一)鋒後造雨，尤其對中南部地區成效不大，北部也許由於地形之影響，在持久性的地形抬升雲系中可以造雨，但是在中南部鋒過後雲系立即有開始消散之趨勢，對消散中之雲系造雨，不易收效。
- (二)鋒前積雲中造雨較為有效，但對飛機之安全有潛在的危險，應該利用適當的風向將造雨劑撒入雲中，不可直接穿入雲中。

(表四) 雲頂高度與雲頂溫度

內造雨時除空軍及中央氣象局之測站有每小時

造雨地區	次數	雲 頂 高 度 (呎)			雲頂溫度 (°C)			根據探空資料
		北 部	中 部	南 部	北 部	中 部	南 部	
中 部	1	16000	11500	11000	-7	0	2	桃園, 馬公, 東港 (3月24日 00Z)
中南部	2	15500	(15000)	14000	-2	(-1)	1	台北(4月17日 12Z) 東港(4月18日 00Z)
北 部	3	15000 11000			-3.5 6.5			桃園(5月7日 00Z) 雲頂增高中 桃園(5月8日 00Z)
北 部	4	14000			-1			桃園(5月13日 00Z)

(表五) 地面至500MB之平均混合比(G/KG)

次數	桃 園	馬 公	東 港	台 北	根據資料時間
1	4.8	6.9	8.4		24/3 00Z
2			9.9	9.0	東港4月18日 00Z 台北4月17日 12Z
3	6.3 8.2		6.1 9.0		5月7日 00Z 5月8日 00Z
4	9.1		6.7		5月13日 00Z

白飛機造雨較地面噴撒器為有效，因為可以選擇適當的雲；但費用及人力較大。

四山區中造雨直接使水滴經微物理程序降落地面，但是間接的（或為動力的）影響也許更大，正如ELLIOTT(1966)認為種雲使雲團間減少蒸發，增加平均溫度，浮力相對增加，促成較大範圍之上升運動，因之凝結而增加雨量，也許雲團之混合作用而促成第三次五月七日及八日造雨時台北東方山區中之大雨量。

五乾冰與飽和鹽水之空中撒佈器仍不理想，現在應用的撒佈器不能控制撒佈量，無法紀錄每飛行時間之撒佈量以供研究之用，亦無合適的碎冰器。

之雨量觀測外，其他單位者不易獲得。

六正確的造雨航線及飛行人員之經驗以及事先瞭解空中風向風速之狀況，在造雨時始可將適量的造雨劑撒入可造之雲團中。

七未攜帶適當的觀測裝備及高性能照像機以及配合氣象雷達有系統的測量造雨後雲的變化狀況。建議方面：

八人造雨之研究在世界各國皆在積極進行，WMO於1973及1976年分別在蘇俄的TASHKENT與美國的BOULDER舉行天氣改造科學會議，美國國家科學基金會也在支助天氣改造之進行，我們雖然在此一方面落後極多，但可以引進其技術及研究成果，直接運用於乾旱之解救，以經驗而獲得改進，但是在實際作業時必須有各種正確的紀錄。

九造雨之裝備以及空中與地面之測量裝備亦需改善及密切的配合。

十嚴重的乾旱已經發生以後，匆忙準備造雨，很難在短期內有適合的天氣條件，而且土質極度乾燥，初期之降雨量消耗大，水庫及農田難在短期內有充足的水量，乾旱期間雲的性質及此期間造雨之

效用，應該分析研究，造雨成效在山區中如何可信的校驗，造雨劑之撒佈量應該是多少，在何種情況下撒佈最為有效，凡此種種皆應該研究確定，但最重要的還是能早期預測乾旱之發生，在乾旱未發生前先行造雨以增水庫之蓄水量及節省水庫之水量。

參考文獻

1. Elliott, R. D. 1966: Effects of Seeding on the Energy of Systems, JAM 5, 663-668.
2. Biswas, K. R. & A. S. Dennis 1971: Formation of a Rain Shower by Salt Seeding, JAM 10, 780-784.

3. Chappell, C. F. et al 1971: Cloud Seeding Effects on Precipitation Intensity and Duration of Wintertime Orographic Clouds, JAM 10, 1006-1010.
4. Gaivoronsky, I. I. et al 1973: Technical Devices for the Artificial Modification of Cloud and Fog, Proceedings of the WMO/LAMAP Scientific Conference on Weather Modification, 319-324.
5. Grand, L. O. & R. E. Elliott 1974: The Cloud Seeding Temperature Window, JAM 13, 355-363.
6. 造雨研究總報告第一集(1953), 台灣人造雨研究所。

REPORT ON THE CLOUDS SEEDING EXPERIMENT (1977) OF CHINESE

AIR FORCE

CHU KO - KUNG

ABSTRACT

From March 24th to May 13th 1977, Chinese Air Force has engaged in the experiment of artificial modification of cloud by using C-119 to seed dry ice and saturated salt water in cloud above north and central mountain area of Taiwan. We have seeded 5640 kgs of dry ice and 600 gals of salt water in total for four times of experiment. This is a brief report about the cloud seeding experiment and of some suggestions of the improvement of cloud seeding technique, but we could not evaluate its effects. It seems that seeding the cu-

mulus before cold front may be more effective than seeding the stratus behind it and especially for the central area of Taiwan where the stratus dissipates quickly due to subsidence of air over the mountain range. The effects of cloud seeding can not match the dissipation of subsidence if we start the seeding in central area of Taiwan too long after the passage of front. The more important thing which we have to try our best to do is to improve our seeding technique and to find reliable evaluation method.