

台灣地區人造雨之回顧

劉廣英

中國文化大學

徐天佑 李紀恩

空軍氣象聯隊

摘要

民國三十八年春台灣中部乾旱，導致日月潭水位下降，發電量不足，實施全面限電達一個月之久。當時，美國加州電力公司實施空中人造雨實驗(1946-1947)成功才三年，流行風正在美國狂吹，因而當年即有在台灣實施人造雨研究的建議。三十九年底雨量又不足，擬議立即成爲行動，空軍於次年元月二十二日首次派機到日月潭上空實施人造雨。自此以後，不但於同年四月九日設立的「台灣人造雨研究所」實施例行的高山地面人造雨，空軍亦經常應有關單位申請執行空中人造雨任務。算起來本省人造雨已有四十六年歷史，業務也已轉到中央氣象局，其中值得大書特書者甚多，本文謹將部分要點羅列如下，供大家參考。

一、前言：

明朝末年甘肅境內的喇嘛就曾利用火炮轟擊濃密積雲以求消災。這應該算是人造雨技術之濫觴（劉，1980）。不過，真正的人造雨應自二十世紀初中葉，「霧室」（Cloud chamber）發明後算起，那時人造雨找到了科學依據，而任職加州電力公司的 Henderson 在聽了 Schaefer 與 Vonnegut 的簡報後，簽請公司核准在 1946-1947 年間實施空中人造雨，當時該公司購入一架 P-38，將機頭射擊艙改裝成工作室，實驗中 Henderson 親自坐在那間斗艙中，把碎乾冰撒在內華達山（Sierra Nevada）地區的高空，五分鐘後他看到雲的變化，跟著發生了「冰晶過程」，而後，雨真的下了！於是「人造雨」宣告成功。

後來 Henderson 籌組了「大氣公司」（Atmospherics, Inc.）業務最輝煌時他擁有三十位員工，十架飛機與十座氣象雷達，每年大約可接到六、七個美金二至四百萬的計畫。以時間算，台灣地區開始實施空中人造雨的時間（民國四十年元月二十二日），正當美國人造雨或該公司業務最熱門之時。當時使用一架略改裝過的 B-25 轟炸機執行任務。據盧禎先生（原「台灣人造雨研究所」負責人）提及，那次造雨還花了總統府五十美元的外匯。自此以後，空軍先後在民國四十一、四十三、六十六、六十七、六十九、七十二、七十三、七十八、八十、及八十二年執行空中人造雨任務。中央氣象局接辦是項工作後，曾於八十三年四、七月間與北美洲氣象諮詢顧問公司（North American

Weather Consultant, NAWC) 合作, 利用該公司的 Cessna 421 型飛機實施空中人造雨任務十七次(丘, 1995)。

除了空中造雨外, 「台灣人造雨研究所」自成立以來即實施經常性的山區地面人造雨。期間並曾做過空飄氣球式的空中人造雨及火車頭造雨, 這個任務幾乎可以說是盧禎先生一個人獨挑大樑。如果說先後寄身於台灣省糧食局與台灣電力公司的「台灣人造雨研究所」就是盧老先生的化身, 實不為過。本文即在簡要回顧一下這段近五十年的歷史。

二、空軍執行空中人造雨概況

在民國八十三年及以前, 空軍實施人造雨, 基本透過下述過程完成:

(一) 台灣地區發生乾旱時, 由省政府(後來又增加台北市政府)向行政院提出申請(大多是口頭提報), 而後由國防部交空軍總部辦理。空軍總部則立即成立臨時任務編組, 由氣象聯隊長負責納編氣象、作戰、航務、飛行、基勤、新聞等業務單位與部隊相關人員而成。編組中有四大主體, 即(1)天氣預報組; (2)飛行特遣組; (3)戰航管組; (4)支援組。

(二) 任務簡報。上述任務編組通常受命當天就會組成, 並立即召開第一次簡報。會中依申請實施造雨地區, 先規畫航線並納入戰航管系統。

(三) 天氣研討與預報。簡報後由空軍氣象中心負責之天氣預報組即展開相關天氣分析與預報作業。此時的工作實際上很沈重, 因為即在乾旱中, 下雨機率當然小, 但造雨新聞已上報, 如何充分掌握最

有利時機, 就成了嚴酷的預報問題: 預報需掌握重點, 一方面要能在任務機出動後有雨可下, 另一方面亦不能下了雨卻未執行任務。兩者都會引起任務「失敗」的誤解。作者等身歷其境多年, 每次都在極大壓力下執行相關工作, 雖有外在的質異, 但如僅就天氣預報而言, 歷次任務都可以稱得上圓滿。

(四) 特遣機組進駐松山與出航。為了各方面方便, 任務機都是先進駐松山機場進行任務提示與裝載後起飛。一駕任務機由基地起飛時通常配有正(機長)副駕駛、領航官、通信官、機工長與其所領導之技術士官, 合計約九人左右, 加上預備機組, 可說動用人力頗大, 在例行作戰任務中抽調出來並非一蹴可及, 因而每次都是氣象人員掌握到最佳時機才請戰管人員下令飛機北上, 而後利用最短時間完成裝載起飛, 此時會有氣象官士隨機執行協調與各項資料記錄工作。

(五) 空中協調與機動調整任務實施區。執行任務的飛機升空到達任務區空域, 通常有「自由飛行」的特權, 也就是說, 在任務中的飛機, 機長或機組長機的機長, 可根據當時空中雲區實際狀況, 經與氣象官討論後改變航線, 以使任務圓滿。

(六) 歸詢與檢討。經由航管聯絡, 以及派赴任務區(或協調當地水利單位)實施地面觀測氣象人員的回報, 基地工作人員於飛機落地前即可完成初步的天氣與降水資料分析, 所以機組人員下飛機後, 立即召開歸詢與檢討會, 由機長與氣象官分別提出報告, 並做檢討。此時氣象組人員已做好下次任務的天氣預報。如次日繼續執行任務, 機組會留駐松山, 否則即回防, 以便擔任其他任務。

由以上簡述可知，任何一次空中人造雨任務都是各方面緊密結合辛勤工作下完成的，一切都按部就班，也相當有效率。這應該是空軍各級長官均極重視這份工作，而且是以作戰任務看待，以及所有參與值勤人員共同努力的結果。自民國四十年元月二十二日，至八十二年九月二十三日，空軍共有十年奉命執行空中人造雨任務（表一），其中民國六十九年更自當年六月二十三日至八月二十五日間連續工作二十八天，合計出動飛機 109 駕次（北部 103 駕次，南部 6 架次），參與作業空地勤人員近三千人次，動員之大應為全球之冠。該次任務最初是台北市因飲水供應有中斷之慮而提出，後因嘉南亦發生旱災，而將任務擴及南部，至於一直延續二十八天之久，則是基於任務後均有成果出現，而且市長（今李總統登輝先生）亦於慰勞工作人員時提示：「有成效，可以持續下去，直到水荒解除。」老實說當時的壓力極大，但根據作者之一劉廣英隨機飛行一百小時以上的親眼目視觀察，對流性積雲實施摧化，確可達到增雨目標（有關評估見後文），因而總能克服身心雙方面的疲勞，堅持完成了最艱困的一次造雨任務。當年陳泰然教授亦曾登機觀察工作情形，並有隨從同學以 V-8 拍下部份記錄，惜因當時國內缺放演設備而未能面市。有關該年人造雨之天氣條件與經過，請參閱俞（1981）與劉（1980）的分析報告。

歷次空中人造雨，都有詳細記錄（曲，1968；林與梁，1981），表二是民國六十六年四月十八日一次個案所留下的一覽表，因篇幅有限，其他圖表均略，但有興趣者可參考有關文獻。另外，亦可由劉（1980），潘（造雨機長，1977），謝（造

雨氣象官，1977）的報導瞭解參與作業人員的工作熱誠與心情。

三、地面人造雨概述

台灣地區在地面以燃燒碘化銀方式造雨是成立「台灣人造雨研究所」的主要目的，亦是該所成立以後即一直默默耕耘的一片幾乎無人涉入的園地，這中間最重要的一位英雄就是高齡逾八十的盧禎老先生。說他是英雄絕非誇大之詞，而是基於他（一）獨立維繫台灣地區人造雨工作於不墮；後期的人造雨研究所就如同風中之燭，火不足，油更少，能留住很不容易；（二）他自己設計委託製造的燃燒爐（見圖 1），簡易實用，架在深山，委由林務局森林瞭望工作人員燃放碘化銀煙，得心應手；（三）每次實施造雨工作，均依下述程序（人造雨研究所，1978），合乎科學要求：

（1）根據空軍氣象中心每日晨八時所提供，包括盛行風、積雲可能發展區及雲高之氣象資料，研究當日是否適宜實施造雨，如適宜則擬定作業地區及時間；

（2）通知作業區燃燒站，並請該站工作人員將現況回報，以確定研判之正確性；

（3）作業時有關站開爐升火，燃燒以碘化銀液適當浸泡之木炭，煙火順風飄至下風區上空；

（4）任務後作業人員回報經過及可能效果與現象；

（5）水文分析並檢討得失。

上述工作在氣象條件適當且持續時，可達 3-4 小時，短時則僅數十分鐘或一小

時。對地面造雨工作「人造雨研究所」有完整之記錄，請參考（詳見劉，1985）。

實際上，人造雨研究所地面造雨工作不僅只用燃燒一法，在民國四十五、四十八、五十七與五十九年還曾用空飄法以探空氣球將碘化銀送入高空（見圖2），總共做了113次，大都集中在台南地區。效果如何，以及為何未見相關文獻提及則代查。另外，更特別的是「火車造雨」即利用火車頭燒煤的同時，燃燒碘化銀，形成活動造雨站（圖3），以增加沿線雨量。

四、中央氣象局人造雨實施概況

民國八十一年，在前局長蔡清彥博士積極主導下，台灣地區人造雨不但更為科學化，亦納入氣象局業務範疇。根據該局研發專題報告（丘，1995）指出：「民國八十一年至八十三年實施地面人造雨作業期間，在曾文水庫地區共四十次，在石門水庫共計十七次，在基隆地區四次，在德基水庫三次，以及澎湖地區三次。」所選定之作業天氣要件則為：「鋒面南下、深厚東北季風、梅雨鋒面、以及活躍的午後對流，其中又以在滯留鋒及活躍的午後對流系統進行最多。」至於空中造雨則做了十七次，均在鋒面與活躍對流條件下實施。基本上，此時地面人造雨仍以燃燒碘化銀方式進行，但有一項大改變，那就是改用燒煤氣與碘化銀液混合燃料（圖4）。至於空中人造雨則有三大改變，一是改以租用之NAWC所屬CESSNA造雨專機執行任務；二是改用噴燒碘化銀，而不再用乾冰；三是增加六氟化硫（SF₆）追蹤劑，以便追蹤。在以上變更下，台灣人造雨更科學，表三是民國八十三年地面及空中人造

雨任務期間統計表（部份）。其他狀況可參閱該局專題報告（中央氣象局，1995；丘，1995；陳等，1996）。

五、已存在之造雨效果評估

人造雨的科學基礎是存在的，但問題在於如何才能客觀而又準確的評定其成果與投資效益。以美國長期累積結果看，人造雨平均可增加降水量10%以上。至於對台灣地區人造雨效益評估結果有二，其一是利用氣候值比。即

$$\text{造雨效益} = \frac{\text{造雨期區內各測站平均雨量} / \text{相鄰測站同一時段平均雨量}}{\text{造雨區測站長期平均降雨量} / \text{相鄰測站長期平均降水量}}$$

評估所得結果為空中人造雨約有15%至20%之增雨功效（劉，1978）。其二則是對地面人造雨效益的評估（Hsu，1985）：

$$D = 100(OT - PT) / PT$$

式中OT是實際觀測到造雨區施行造雨後的雨量，PT則是利用先行找出之迴歸方程計算出之預報雨量，D為造雨效益，結果得到平均約為12%的增雨效果，大致與美國認定的效益相符，更重要的是，兩種方法，兩組（地面與高空）資料，所得結果量級一致，大小相符，應可認定其可靠性。這也就是說，人造雨對台灣地區降水平均會有10%至20%間的正貢獻，如以經常性工作進行，約可增加十億立方公尺左右的天然水。

六、結語與建議

在作業與支援單位共同努力下，台灣地區自民國四十年起所實施的人造雨，不但

歷久不衰，而且有很不錯的效果----地面造雨效益約 12%，高空造雨效益則當在 15-20%間。由以上簡要回顧可見，我們這裡的人造雨在美國剛興起之時即已開始，期間財團法人「台灣人造雨研究所」一直扮演很重要的角色，而盧禎老前輩的堅守崗位、辛勤協調以及努力功不可沒。就歷史事實論，台灣地區人造雨已達成很重要任務，今後如何維繫應深入研究。以下就是本文的結語與建議：

1. 引進最尖端的大氣科學技術，並能紮根成長：

2. 地面、氣球、飛機三種方式都做過；

3. 執行過程中雖因設備不足，未經嚴格規範、慎密觀測、妥加分析，但均力求符合科學要求，且保留了很好的資料可供評估；

4. 空軍在分外長期負責執行造雨抗旱任務，個中艱辛（劉，1970；潘，1977；謝，1977）非局外人所可想像。工作精神令人佩服：

5. 民國六十二年後，海外學成新一代年輕氣象科學家多曾投入六十九年大規模人造雨與後續的研究（陳，1981；劉，1981、1985；柳，1987），貢獻良多；

6. 中央氣象局接掌人造雨業務後，無論在科學上，或實際作業上，均有立竿見影的貢獻。在民國八十一至八十三年，引進氣象飛機以及各項作業中，林民生與丘台光兩位博士，以及其他參與工作者均全力以赴，績效優異願今後仍不斷努力，再創新猷。

7. 台灣地區降水時空過於集中，致流失量大，加以人口密度大，個人平均用水量隨生活水準不斷上升，缺水實屬無可避免之事。因而如何整合有關部門，以「水資源開發」觀點規畫並執行人造雨，應深入研究。

以歷史看，人造雨仍是新生科技，但以內容看，台灣地區人造雨相當豐富，本文僅提及筆者等所知之要者，不週之處，尚望參與者與讀者原諒。

參考文獻

丘台光，1985：建立台灣地區人造雨作業技術規範之研究。中央氣象局。

曲克恭，1968：空軍實驗人造雨報告。台灣地區災變天氣研討會論文彙編。

林則銘、梁瑞禎，1981：我國空中人造雨之回顧與展望。氣象預報與分析，86期。空軍氣象聯隊。

俞家忠，1981：民國69年夏季烏來坪林自來水集水區實施人工造雨成效之研究。氣象預報與分析，86期。空軍氣象聯隊。

柳中明，1987：臺灣北部地區人工造雨研究。國科會防災科技報告76-18。

陳泰然，1981：天氣改造與人造雨。氣象預報與分析，86期。空軍氣象聯隊。

陳泰然、柳中明、陳正平，1996：臺灣地區人造雨評估與規劃。中央氣象局，CWB-84-2M-10。

潘頤，1977：撒冰之旅。中國的空軍449期。空軍總司令部。

劉昭民, 1980: 中華氣象史。台北商務印書館。

劉廣英, 1978: 人造雨成效評估。人造雨研究總結報告第八集。台灣人造雨研究所。

, 1980: 造雨記。中央日報副刊。

, 1981: 暖雲降水的形成與改造。氣象預報與分析, 86 期。空軍氣象聯隊。

, 1985: 台灣人工造雨的先導研究。行政院國科會防災科技研究報

告 73-49 號

謝維權, 1977: 高空人造雨甘霖濟蒼生。中國的空軍 449 期。空軍總司令部。

Hsu, Chin-Fei, 1985: Weather modification Activities in Taiwan, 1951-1978。(見「台灣地區人工造雨之先導研究」, 國科會)。

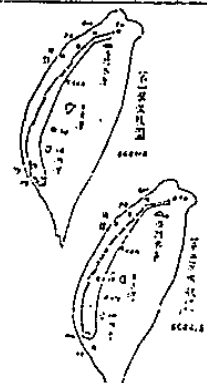
人造雨研究所, 1978: 台灣人造雨總結報告第八期。

表一、民國 40-82 年空軍奉命執行空中人造雨任務統計表

序號	時 間	造 雨 目 標 區	實 施 次 數	備 註
1	40 年 1/22	日月潭水源區上空	1	
2	40 年 9 月	台灣北部農田地區上空	3	
3	40 年 11 月至- 41 年 4 月	日月潭水源區上空	22	
4	43 年 6/22	台灣西部平原地區	1	
5	66 年 3/24、 4/18、5/7-8、 5/13	台灣西部平原、北部農田、 新店溪上游、台中及日月 潭、石門水庫	5	
6	67 年 8/5	新店溪上游集水區	2	
7	69 年 6/23—8/25	台北新店溪水源集水區、 嘉南、高屏地區	109	
8	72 年 8/30,8/31	石門水庫	2	
9	73 年 1/16,2/17, 2/18	石門水庫	3	
10	78 年 3/18 -3/19	台灣西部水庫集水區	2	
11	80 年 4/30 5/1-2 6/12 12/19	石門、德基及曾文水庫集 水區、阿公店水庫	5	
12	82 年 9/11 9/13 9/23	基隆地區翡翠水庫、雙溪 一帶	3	

表二、民國 66 年 4 月 18 日空中人造雨實施一覽表

次	序	時間	起飛地點	飛機	高度	溫度	濕度	高度系型				飛機上設備	行經地點			備註		
								台北	基隆	桃園	新竹		台北	基隆	桃園		新竹	
第一階段	0910		台北	起飛		17°												
	0941	0910	台北	起飛	13500'	11°			089	19	1900'	150	06	As	台北 5.5	基隆 6.0	台中 0.5	
	0943		台北	起飛	7300'	"	11°		050	19	2000'	200	07	As	基隆 14.0	宜蘭 3.0	彰化 0.4	
	0950		新竹	起飛	11000'	"	8°		073	16	3000'	200	07	AsAc	新竹 3.3	苗栗 3.0	苗栗 0.1	
	0955		桃園	起飛	11500'	"	8°		010	16	4000'	220	08	AsAc	桃園 7.4	桃園 0.0	鹿港 2.1	
	1003		桃園	起飛	11600'	"	8°		310	10	5000'	210	11	AsAc	台中 2.5	台北 3.0	南投 0.4	第一次空中造雨
	1006		桃園	起飛	11000'	"	9°		240	12	6000'	230	12	AsAc	台中 4.1	新竹 3.0	埔里 0.1	第二次空中造雨
	1012		新竹	起飛	11000'	"	11°		240	12	7000'	240	13	AsAc	台中 6.3	台中 7.0	竹山 9.0	第三次空中造雨
	1023		新竹	起飛	10000'	"	8°		270	23	8000'	270	14	"	竹山 1.5	日月潭 32.0	丹戎 12.8	第三次空中造雨
	1034		新竹	起飛	10000'	10000'	10°		270	33	9000'	280	16	"	竹山 1.9	玉山 31.0	嘉義 0.8	
	1036		新竹	起飛	10000'	"	10°		240	40	10000'	270	20	"	竹山 3.6	阿里山 17.0	朴子 0.7	第四次空中造雨
	1038		新竹	起飛	9000'	"	10°		240	37	10000'	280	15	"	嘉義 6.0	嘉義 0.4	第五次空中造雨	
	1123		新竹	起飛	8300'	"			270	40	11000'	280	24	AsAc	台中 12.0			
	1122		新竹	起飛	7000'	"			270	47	10000'	250	24	AsAc	嘉義 1.0			
	1131		新竹	起飛	3000'	"												
1140		新竹	起飛	3700'	"													
1146		台北	起飛															
第二階段	0946		台北	起飛		17°												
	0953		台北	起飛	7100'	13500'	12°											
	0958		新竹	起飛	11000'	"	8°											
	1004		新竹	起飛	12000'	"	0°											
	1009		新竹	起飛	13000'	"	0°											
	1013		桃園	起飛	17500'	"	1°											
	1016		新竹	起飛	"	"	"											
	1025		台中	起飛	"	"	"											
	1033		新竹	起飛	"	"	"											
	1040		新竹	起飛	12700'	"	0.5°C											
	1051		台中	起飛	11000'	"	"											
	1054		台中	起飛	"	"	"											
	1104		新竹	起飛	7000'	"	10°											
	1131		新竹	起飛	"	"	"											
	1139		新竹	起飛	"	"	"											
1147		新竹	起飛	3500'	"	12°												
1150		台北	起飛															



表三、民國 83 年地面及空中人造雨任務執形成果表 (部份)

5/24	曾文地區	大湖53公厘，小公田21公厘，馬頭山11公厘，表湖 7公厘。	地面
5/25	曾文地區	草嶺 2公厘，表湖 1公厘，玉井 1公厘。	地面
5/26	曾文地區	瀨頭17公厘，大棟山 3公厘，關山 3公厘。	空中
5/27	曾文地區	環湖61公厘，大內51公厘，王爺宮41公厘。	地面及空中
5/30	澎湖地區 曾文地區	馬公 1公厘。 表湖67公厘，樂野27公厘。	地面及空中
6/18	曾文地區	龍美50公厘，馬頭山46公厘，大棟山40公厘，表湖16公厘。	地面
6/19	澎湖地區	澎湖 1公厘。	地面
6/20	曾文地區	澎湖 6公厘。	地面
6/20	曾文地區	馬頭山39公厘，表湖39公厘，水山38公厘，曾文36公厘，里佳33公厘。	地面
6/29	曾文地區	大內73公厘，王爺宮65公厘，關山52公厘。	空中
7/05	曾文地區	北寮110公厘，楠西102公厘，玉井99公厘。	空中
7/13	曾文地區	大棟山 1公厘。	地面
7/15	曾文地區	大棟山69公厘，草嶺62公厘，表湖62公厘。	空中

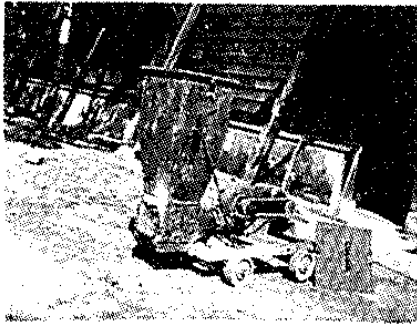


圖 1、盧禎先生設計之地面造雨燃燒器。

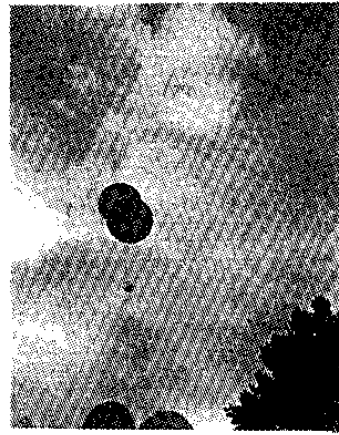


圖 2、民國 45 年 7 月雨種隨氣球升空進雲前照片。

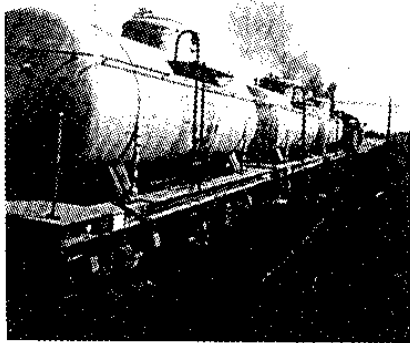


圖 3、民國 41 年 5 月「火車造雨」；
雨種利用燃煤升入空中的照片。

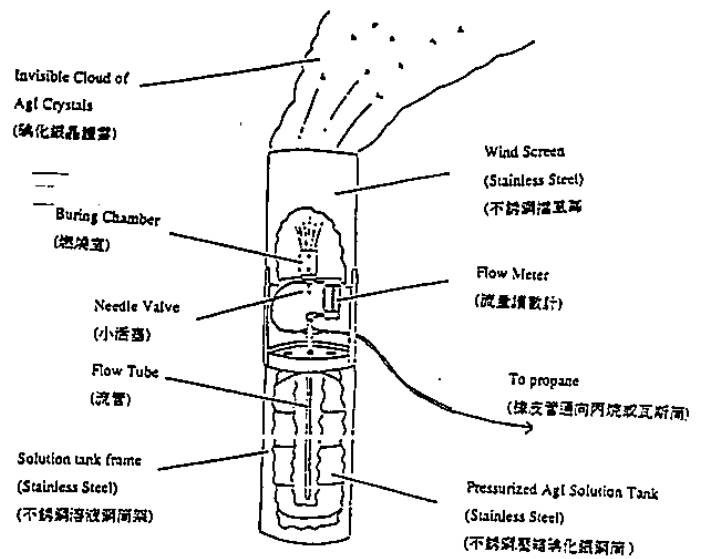


圖 4、中央氣象局民國 81-83 年地面造雨使用之燃燒器。