

中國人工增雨發展概要與兩岸合作的最佳模式

戴志輝 林博雄

國立台灣大學大氣資源與災害研究中心

一、簡介

台灣與中國大陸進行人工增雨作業皆已有60年左右的歷史。台灣自1950年代初起，在需求導向目標下，台電、水利事業、中油、地方政府、氣象局及國防部等各單位，已合作進行過數百次地面、空中增雨作業，其中包括於1991年引進北美天氣顧問公司及工研院的空中及地面種雲技術；2007年起，則由水利署統一事權，從事本土種雲理論研發並標準化增雨實作，滿足增雨理論的流程已盡可能地落實於常態作業。而中國大陸於1958年首次飛機增雨作業起，持續以防減災(減雹、減汙、消霧、滅火)及空中水資源開發(增雨)為目的，除了就理論與實作領域，成立多處分工細密的國家級研究中心以外，也建立了四級(國家-省-市-縣)人(工)影(響天氣)體系，依法開展飛機、火箭、高砲及地面燃燒爐的人影作業。

雖然因目標不同導致規模、方法各異，但在人工增雨部分，兩岸的歷程則頗有相似之處。本文將概述中國大陸在人工增雨實作與驗證兩部分的發展歷程，並以各自擅長之領域為基礎，在取長補短的前提下，探討兩岸人工增雨的可能合作方式。

二、中國人工增雨發展概要

以緯度相近的台灣及福建而言，自1990年迄今，都在增雨環境、增雨對策、校驗方法及成效討論等投入甚多。台灣著重於本土環境下的最適種雲策略開發，以及種雲平台的測試，尤其近年偏極化雷達觀測網及詳盡雲物理模式的發展漸具規模，在各種法令與社會條件規範下，除繼續進行實作之外，將朝向物理與模擬驗證發展；福建則很早即展開系統性的調查及實作，除曾以模式對旱季雲降水的人工影響進行驗證之外，也執行過多項增雨效果檢驗方法研究、增雨環境的調查，以及飛機人工降雨條件分析和效果分析，今年起福建氣象局在中國氣(象)科(學研究)院的支持與協助下，在福建省古田水庫開闢實驗區進行大規模空中、地面觀測實驗與校驗。以下依發展時間，簡述中國氣科院(中央)與福建氣象局(地方)在人工增雨議題上的重要歷程。

(一)中國氣科院人影所

1960 ~ 1980年代期間，氣科院人(工)影(響天氣研究)所及其前身的組織架構雖然經常改變，但仍執行了許多觀測及實作測試，運用多數由中國自行研製的地面或機載儀器，配合雲室測量，對大氣核、雲/雨水量、雲滴譜等，在多省山區及空中進行觀測，並且透過南方夏季對流雲實驗，了解種雲環境中的過冷水及水氣分布、雲/雨滴譜結構，以及可能有效的催化劑粒徑與種類，並估計出雲/雨滴被催化的效果。

為了多方面了解增雨自然條件選擇的方式，以得到增雨技術的進展，1980 ~ 2000年間，同時推動(1)引進其他國家或改進中國自製的機載觀測儀器、並組織北方層狀雲實驗，(2)探討效果檢驗方法的適用性，及(3)發展數值種雲實驗等三方面的努力。重要的進展包括得到十多省的氣溶膠與冰核分布特徵，確立地形性層狀雲/對流雲的作業條件選擇依據，雲模式的作業化等，並在這些基礎上，建立火箭或高砲發射種雲劑的作業機制。

2000年以後，開始著重於技術整合；包括在完成機載探測/作業之設備/技術整合之後，廣泛地繼續從事多省、市的降水物理調查，都卜勒(偏極化)或衛星反演雲物理參數用於(條件選擇或)成效驗證，繼續改進及推動業務化增雨雲模式，增雨技術整合平台及施作技術的輸出(古巴、沙烏地阿拉伯、智利等國)等。而在作業制度及成效檢驗上，開始更為嚴謹的推動。

圖1概要性綜整了氣科院層級，在過去近60年內所推動與達成的進展。

(二)福建氣象局人影辦

中國大陸各省、市的人工增雨業務與技術發展，需求導向迫切，早期因組織架構經常變動，雖然基本上仍是依循國家級的政策方向進行，但多半談不上的嚴謹的作業與驗證流程。不過，少數單位仍然在明確的作業目標下，累積相當多對人工增雨後續發展具有意義的成果與經驗，福建氣象局即為其一(圖2)。

在1960 ~ 1980年代，除了在有限的理解基礎上，持續增雨、防霜、引雷的作業之外，福建氣象局人(工)影(響天氣)辦(公室)的前身單位，已在古田試驗區進行過為期長達12年的隨機種雲實驗，透過作業前後雨滴譜、冰核、AgI含量、雷達回波特徵分析及暖雲降雨數值實驗等，得到作業效果的驗證；據中國大陸內部文獻(蔡等，2009)指出，此部分研究成果曾多次參與國際交流與國際論文發表，在當時應具相當科學性。

1980 ~ 2000年期間，在都卜勒雷達網建立，以及氣科院的協助下，透過基礎或應用研究(表一)，不論在人工增雨業務推動或在成果校驗上，福建氣象局都有相當的進展幅度與寬度。技術成果甚至輸出至其他省、市，漸形成人工增雨發展的指標性省份(其他重點省份尚包含山東、吉林及海南)。

2000年以後，基於上述基礎，進行專門人員培訓(證照化)，法制化人影作業管理，並投入普及至縣級(最基層行政層級)的作業基地建設(氣2008年為止，共計68個縣市級作業單位、553處作業點、141台火箭發射架、都卜勒雷達4部)，至此福建氣象局人影指揮組織架構確立。鑑於過去的實驗及作業的嚴謹性不足，為滿足國際上普遍對增雨驗證的要求，氣科院及福建氣象局計畫於2015年起合作，重新於古田實驗區規劃隨機種雲實驗(圖3)，同時亦已開始根據區域經濟活動特性發展特色人影作業，但這兩個部份的成果尚不具體。

三、兩岸合作

國際上普遍認可之人工增雨效果檢驗，必須包括長期隨機種雲實驗(降雨統計驗證)及雲觀測(物理驗證)等流程(Mather et al. 1997)，數值種雲實驗則可在種雲策略制定上扮演重要角色(經濟部水利署，民99，人工增雨作業評估計畫；黃家傑，2014)。受限於地理條件，台灣很難找到適合作為實驗與對比區的環境，且在需求導向的社會環境裡，也難嚴格落實長期性的隨機種雲，這使得具可信度的成效分析，在台灣但並不易完整取得。不過自2014年起，在人工增雨成效檢驗的議題上，福建氣象局與台灣大學開始有所接觸。

台灣和福建緯度相當，適合作為種雲實作對象(在非汛期內能造成較顯著區域降雨)的天氣系統多自福建東移而來(經濟部水利署，2014)。既然台灣推動隨機種雲不易，藉由福建氣象局在增雨操作上的規模優勢，在古田水庫流域所重新展開的隨機實驗，以及都卜勒雷達與密集的空中、地面雲觀測資料，配合台灣大學擅長的種雲數值實驗，有機會為台灣較難推動的種雲成效驗證，提供論述的基礎。此外，由於偏大陸型的氣膠背景、大氣環境的季節特性(經濟部水利署，民96)，以及降低對環境影響等因素，台灣近年全力發展暖雲種雲，此顯與福建

氣象局以火箭投射冷雲催化劑為主的概念(圖4)不同，因此，福建隨機種雲個案觀測資料及數值實驗結果的比對，亦可間接評估冷、暖雲種雲效果的差異性，同時也提供了解東移台灣降雨系統雲物理環境變化的機會。

透過兩岸在古田隨機種雲實驗議題上的合作，台灣有機會在人工增雨成效校驗議題上，得到足以支撐結論的論述依據，也有機會了解自福建東移影響台灣天氣系統的雲微物理特徵，福建氣象局則可能在雲模式/種雲模擬領域獲得進展，對於雙方而言，將會是一次互惠的合作，前景應可期。

四、參考文獻

黃家傑，2014：增加吸濕性氣膠和雨胚對雲微物理及降雨影響之數值模擬：針對暖雲人工增雨。國立台灣大學大氣科學研究所碩士論文，89頁。

經濟部水利署，民96，「人工增雨技術發展長期策略擬定-造雨研究發展成效模式評估(3/3)」。

經濟部水利署，民99，「人工增雨作業評估計畫」。

經濟部水利署，民103，「103年人工增雨計畫」。

蔡義勇、林長城、夏輝，2009：福建人工影響天氣50年簡要回顧。中國人工影響天氣事業50周年紀念文集，

Mather, G. K., D. E. Terblanche, F. E. Steffens, and L. Fletcher, 1997: Results of the South African cloud-Seeding experiments using hygroscopic flares. *J. Appl. Meteor.*, **36**, 1433–1446.

表一 1987年以後福建氣象局人工增雨科研項目(部分)

項 次	項 目 名 稱
一	人工降雨作業效果檢驗方法研究(1996年福建省科技進步二等獎)
二	人工降雨試驗方案及其成果統計分析方法研究
三	南方夏季對流雲人工增雨效果檢驗方法研究(夏季對流雲人工增雨效果檢驗方法研究子專題)
四	福建省空中水資源分布及開發對策研究
五	福建省飛機人工降雨條件和效果分析
六	人工降水區域外效應(1998年福建省科技進步三等獎)
七	利用雲模式研究我省旱季雲的降水人工影響機制
八	多普勒雷達資料在雲和降水物理學中的應用研究

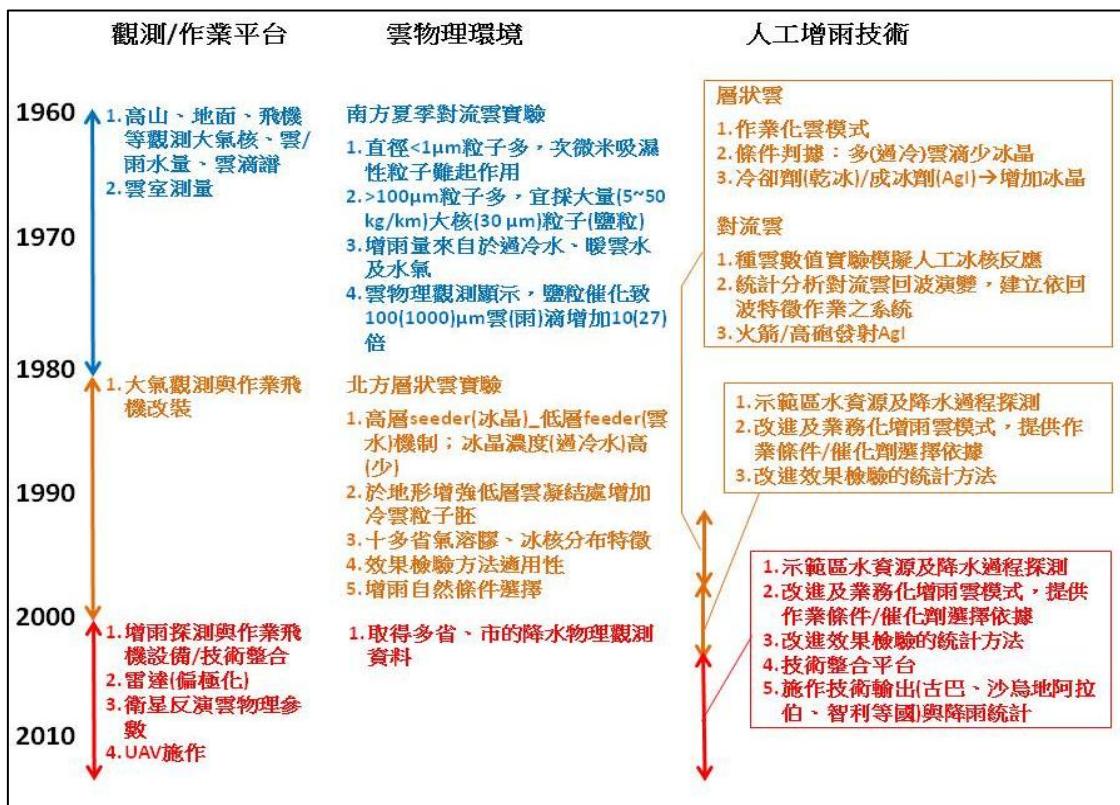


圖1 中國氣科院人工增雨發展簡歷

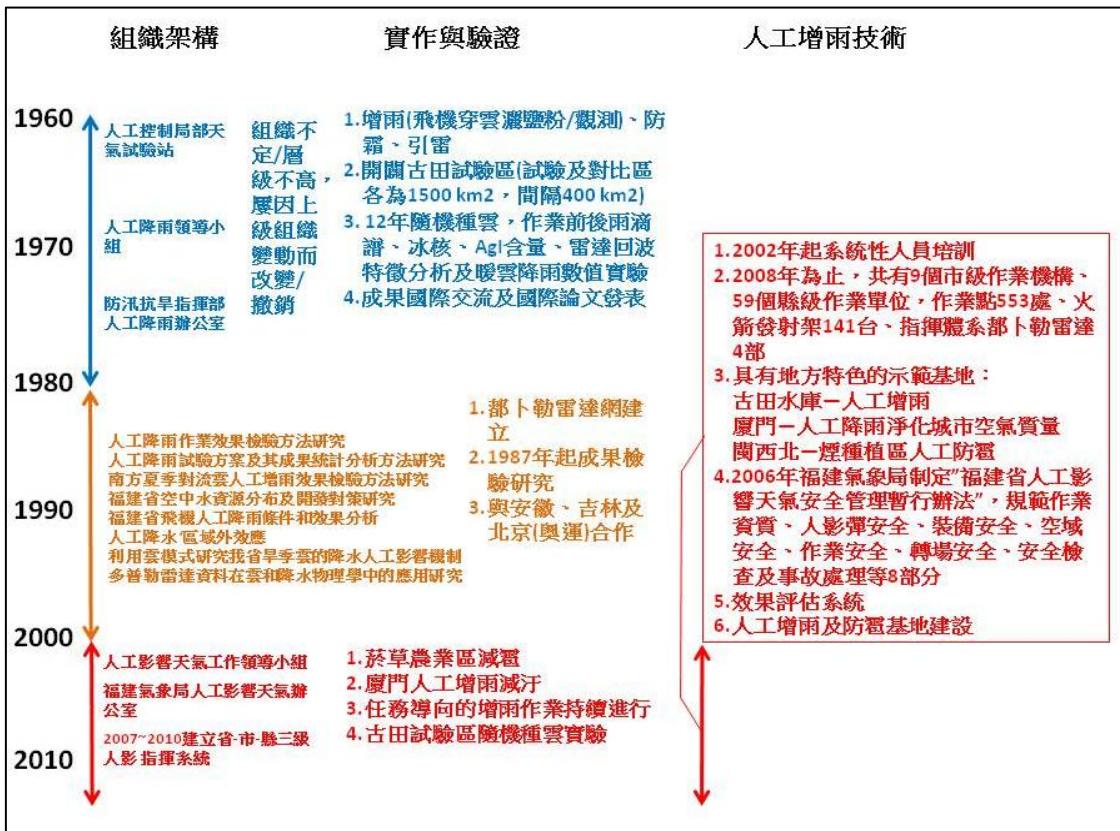


圖2 福建氣象局人工增雨發展簡歷

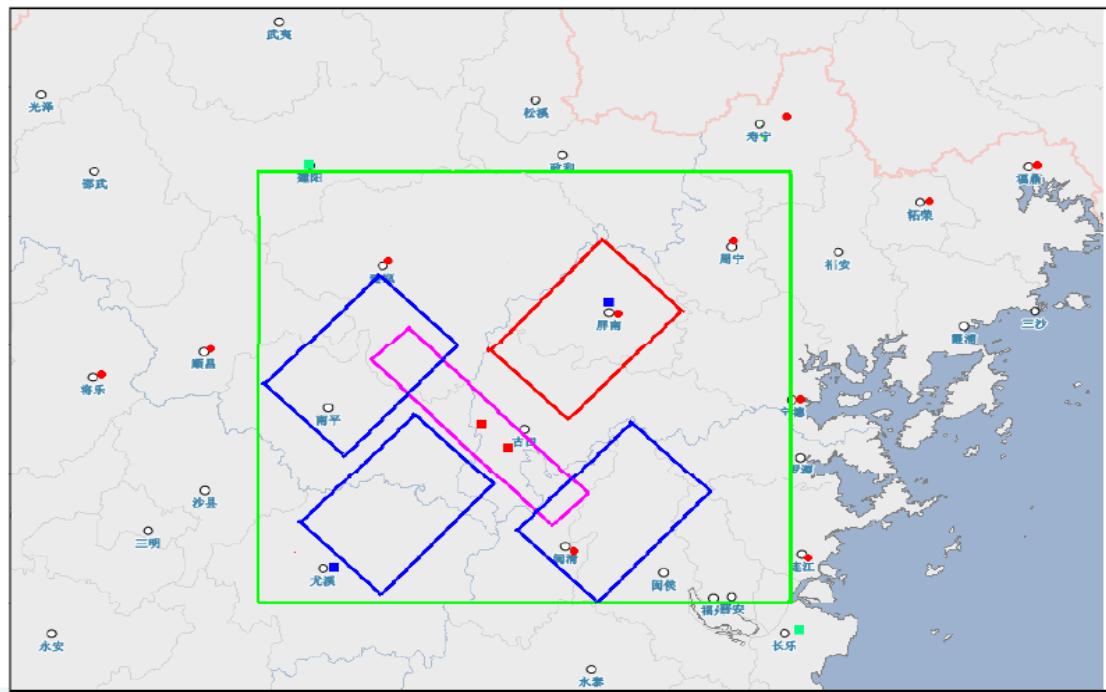


圖3 古田水庫試驗區(綠色方框)圖。紅色方塊為火箭作業點，藍色方塊為雨滴譜儀觀測點，綠色方塊為雷達觀測點，白色圓圈為自動氣象站；紅色方框為作業影響區，藍色方框為待定對比區。資料由中國氣科院姚展予博士提供。



圖4 福建氣象局人工增雨火箭發射車(左)外觀(右)發射管仰視