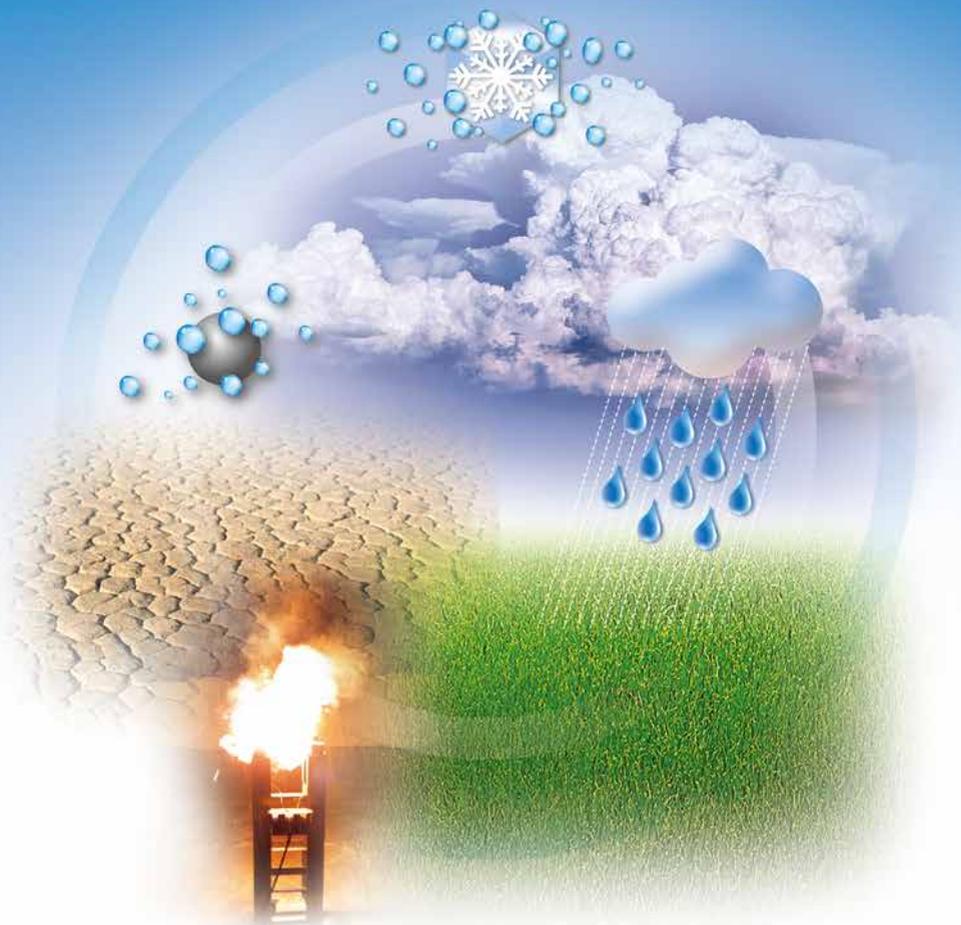


# 人工增雨

Q&A



經濟部水利署

Water Resources Agency, Ministry of Economic Affairs

Q:

## 甚麼是人工增雨？

**A:** 雲可能會造成降雨，若雲中的水氣全部變成雨（以及各種形式的水）且下到地面，則稱降水效率為百分之百；然而實際上，即使是對流性的積雲或積雨雲，降水效率也只有 10 至 20% 而已，並不是很高；而人工增雨主要目的，是設法透過各種方式，在雲中加入催化劑，以提高降水效率，讓原本就已經會下雨的雲，能夠多下一點雨。



人工增雨



自然降雨

Q:

「人造雨」和「人工增雨」一樣嗎？

**A:** 水當用時方恨少，每當乾旱時，大家總是會想，如果能夠靠人為的力量創造出一些雨水，讓水庫多蓄一些水，那該有多好啊；因此，「人造雨」一詞也就這樣自然地產生了。但近年，在比較嚴謹的討論中，越來越多專家學者建議，人的力量其實有限，科學能做到的，不過只是在原本就會下雨的情況下，再設法多下一點（~10%）而已。並不能在晴空之下創造出雨水來，為了避免詞義上的錯覺產生誤導，開始務實地推動將「人造雨」改成「人工增雨」，以符合事實。



Q:

## 如何施作人工增雨？

**A:** 可從空中或在地面上施作。常見的空中施作方式，就是運用飛行器，在適當高度潑灑清水、乾冰、鹽粒等，或掛載燄劑在雲下燃燒；而常使用的地面施作方式，則是在即將下雨的雲層來臨前，在地形迎風面等有利的位置上燃放燄劑，藉由自然的力量將催化劑送進雲中，以催化降雨的過程。

### 人工增雨施作方法示意



Q:

## 臺灣人工增雨技術的歷史演進是？

**A:** 台灣執行人工增雨已有超過半世紀的歷史。早期曾由台電、中油合組人造雨研究所；民國 40 至 70 年代，省政府、台電、氣象局及空軍等單位即經常合作，藉由空中潑灑乾冰、噴射碘化銀乳液及飽和食鹽水，或在地面廣泛燃燒浸泡碘化銀的木炭等方式，執行過多次任務。民國 80 年，省水利處、氣象局及空軍曾於曾文水庫聯合作業，使用工研院碘化銀造雨器，並邀請北美天氣顧問公司協助空中施作；民國 96 年起，水利署委託學術界進行研發，透過雲微物理環境調查與實作測試等程序，逐步擴建增雨作業站網，在地面燃放美製暖雲燄劑，必要時並協調空軍 C-130 於空中潑灑清水。



Q:

## 臺灣還在進行人工增雨嗎？

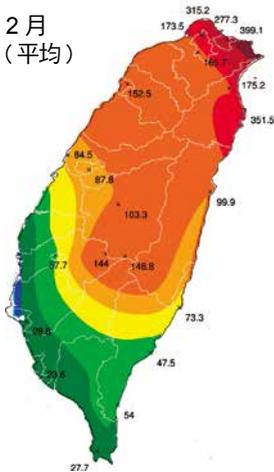
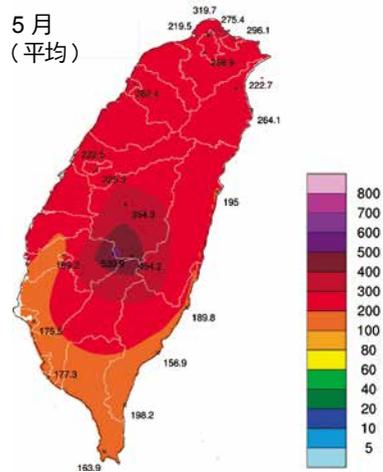
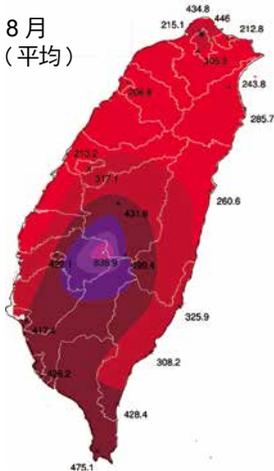
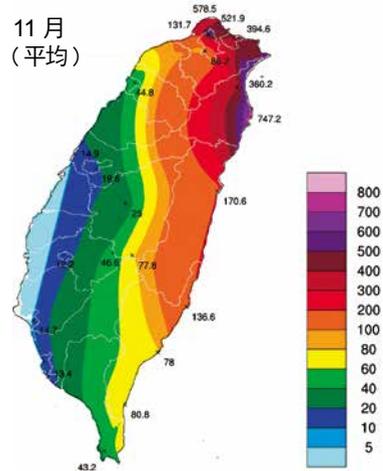
**A:** 水資源的調度運用，是水利署的重要業務之一；因應台灣時有所聞的旱象，水利署近年來已研發出一套具體可行的常態性作業流程，平時即密切監控各水庫的水情變化，並參考中央氣象局與其它國內、外作業單位提供的天氣預報，一旦遇到適合的天氣系統，即評估最佳時機與地點，並通知相關的工作人員燃放焰劑進行地面增雨，必要時，還會進行跨部會協調，啟動空中增雨作業。



Q:

## 臺灣什麼季節最適合進行人工增雨？

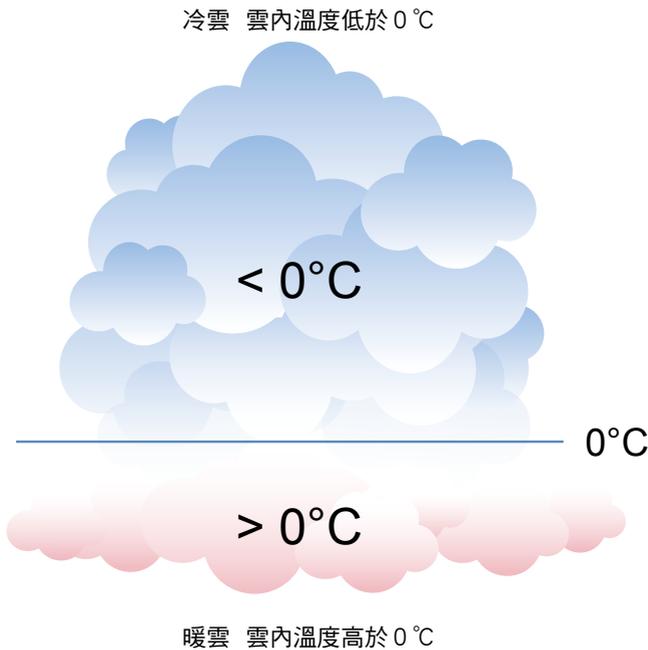
**A:** 台灣一年四季皆適合進行人工增雨，但各季節適合的區域有所不同。在冬季，由於降雨量較少且多半集中於東北部，所以較適合對北部集水區施作；在夏季，全台降雨量皆明顯，各集水區都適合進行增雨；而在春、秋兩季，只要是鋒面或厚實雲層影響所及之處，亦可進行人工增雨。

2月  
(平均)5月  
(平均)8月  
(平均)11月  
(平均)

Q:

## 人工增雨操作的環境類型有哪些？

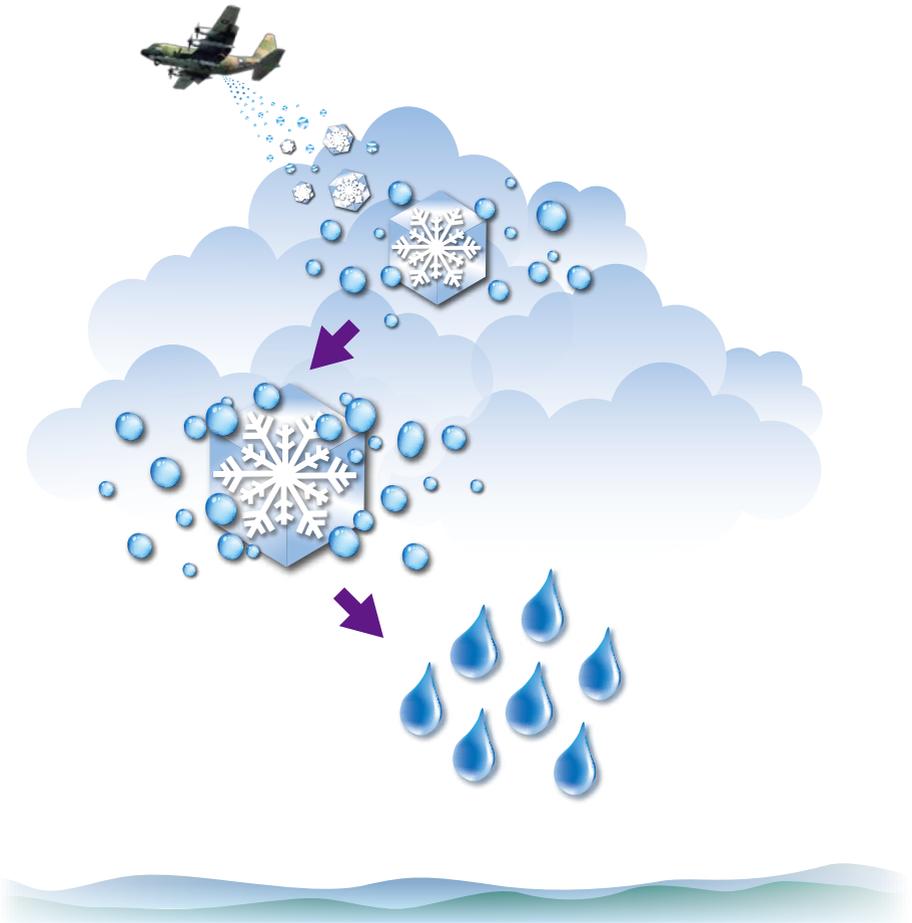
**A:** 人工增雨的目的是要增加降水效率，藉由將催化劑灑入雲中的動作，來增加大自然原本的降雨量，這個動作稱之為種雲；當雲內溫度低於  $0^{\circ}\text{C}$ ，稱之為冷雲，而雲內溫度高於  $0^{\circ}\text{C}$  則為暖雲。由於在冷雲和暖雲環境裡，降雨的原理並不相同，使得種雲環境也分為暖雲種雲和冷雲種雲兩類。在種雲之前，除了必須判斷天氣系統是否提供充足的雲量、夠厚的雲層之外，還需根據冷、暖雲環境的差異性，來決定最適當的催化劑。



Q:

**「冷雲種雲」的原理是甚麼？**

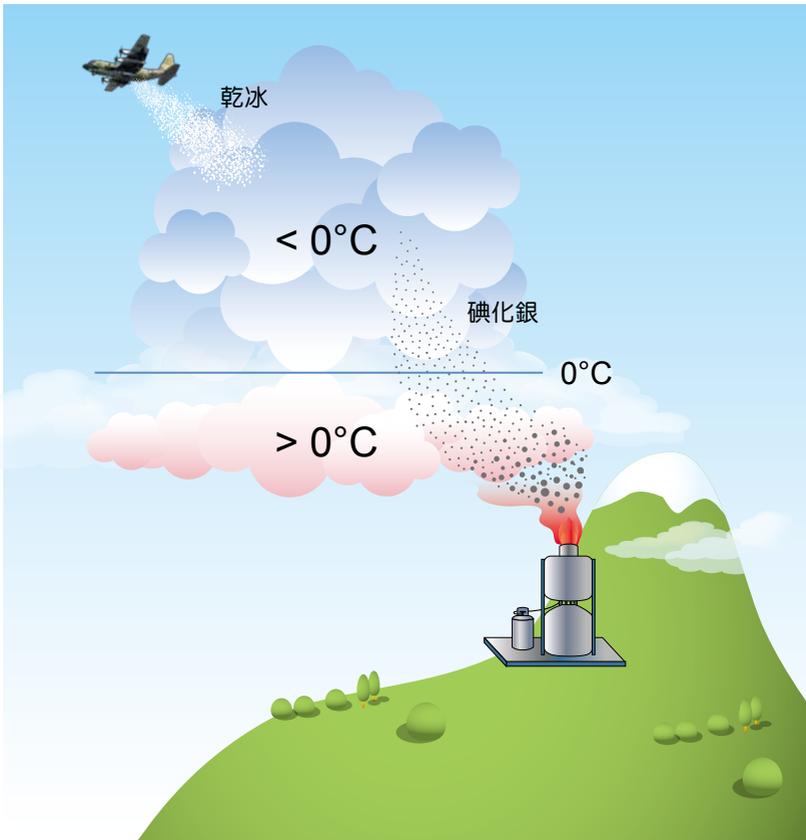
**A:** 在溫度低於  $0^{\circ}\text{C}$  的雲中，存在冰晶及過冷水滴（未結冰的水滴），當過冷水附著於冰晶上，冰晶便會增大，所以若在發展高度還不是很高的對流雲裡，灑下讓雲層降溫的乾冰，或灑下和冰晶具有同樣效果的物質（如碘化銀），便可以提高降雨效率，增加降雨量。



Q:

## 如何進行「冷雲種雲」？

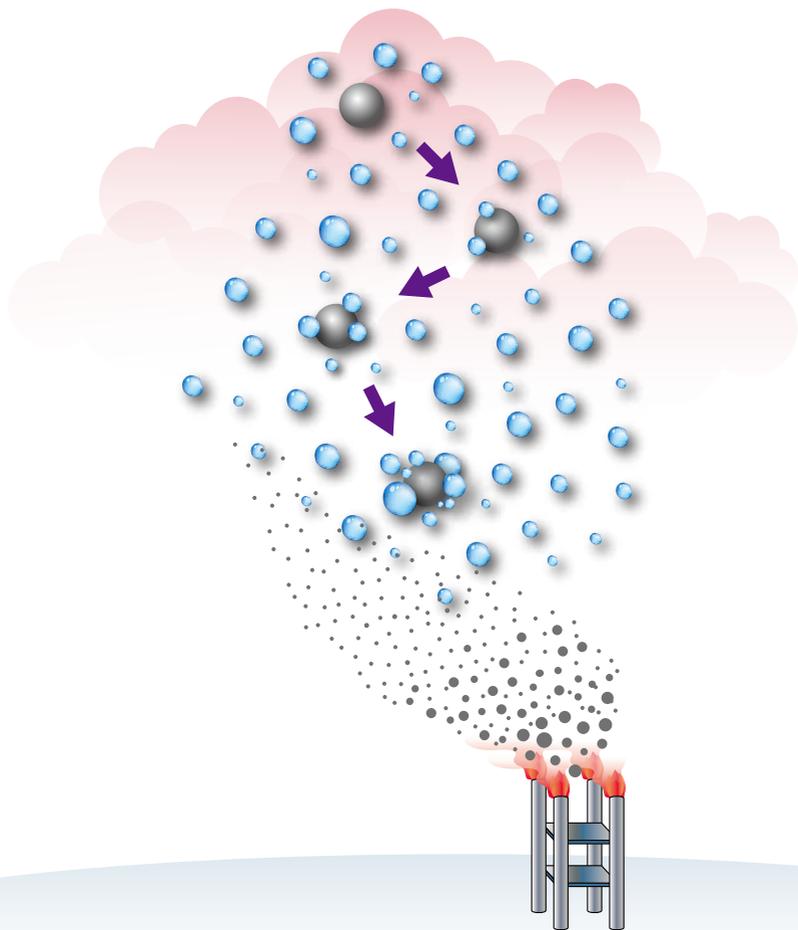
**A:** 常使用的方法有兩種，第一種方式是潑灑乾冰。乾冰溫度為 $-78^{\circ}\text{C}$ ，進入雲層內部之後，造成冷雲溫度進一步下降，使得過冷水滴直接變成冰晶，冰晶長大後就有機會加強降雨，尤其乾冰要以細顆粒型態灑入雲中，效果才會明顯；另一種方法為加入碘化銀，它的作用就像冰晶核一樣，過冷水滴蒸發後附著於碘化銀成為冰晶，進而成長增加降雨。



Q:

「暖雲種雲」的原理是甚麼？

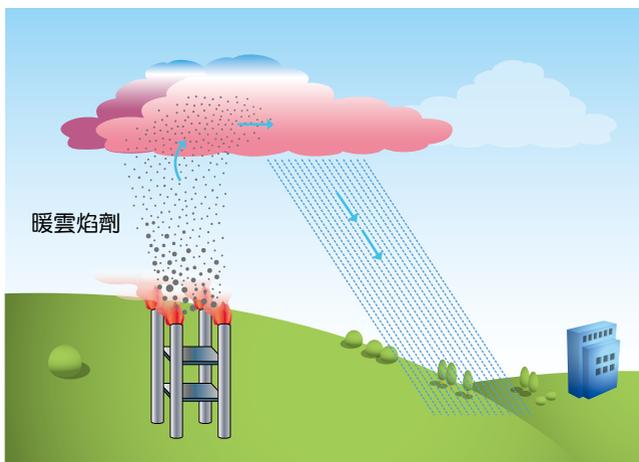
**A:** 在溫度高於  $0^{\circ}\text{C}$  的雲中，存在很多細小的水滴；此時噴灑大量的小水滴，或是設法讓吸水性粒子進入雲中吸收水氣，都可以增加雨胚的數量，進而增加雨滴碰撞成長的機會。



Q:

## 如何進行「暖雲種雲」？

**A:** 常使用的方法如以下兩種。第一種方式是大量潑灑尺寸約為 100 微米 (1 微米 =  $10^{-3}$  公釐) 左右的水滴，以激發水滴之間的碰撞成長；另一種方法為加入直徑為 10 微米的吸水性或可溶性粒子，均有利於雨胚成長，並增強降雨過程。

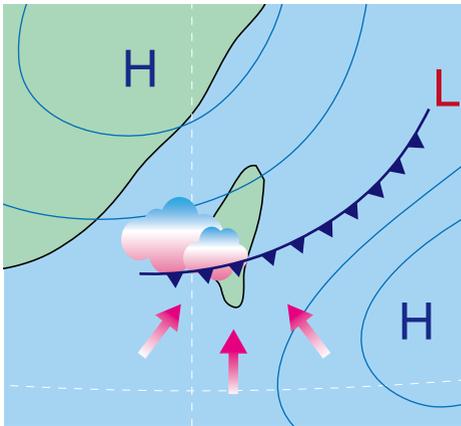


\* 1 微米 ( $\mu\text{m}$ ) =  $10^{-6}$  公尺

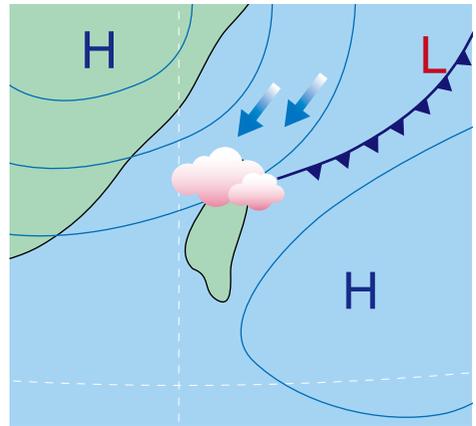
Q:

「暖雲種雲」和「冷雲種雲」哪一種類型適合臺灣？

**A:** 針對台灣冷、暖雲環境的調查指出，在夏季的對流雲裡，暖雲十分深厚，而即使是在冬季，純粹冷雲也很少見，仍包含一定厚度的暖雲，故只要有降雨的可能性，台灣一年四季都可以進行暖雲種雲來增加降雨。另一方面，就台灣的大氣環境而言，自然存在或人為活動所產生的冰核，已是最有利於冷雲過程降雨的濃度狀態，額外加入人工冰核，將使大氣中的冰核濃度過高，反而會因為過度種雲而使得降雨量減少；基於以上原因，冷雲種雲在台灣並不見得合適。



夏季



冬季

Q:

## 臺灣進行暖雲人工增雨的適合方法是？

**A:** 不論是在地面燃燒暖雲焰劑，或是在空中潑灑大量微小水滴，兩種都是適合台灣進行暖雲增雨的方法，且並不會有過度種雲的顧慮。焰劑釋放出微米的吸水性或可溶性粒子，可加速雲滴的碰撞收集，催化降雨的過程；而在空中潑灑 60 ~ 數百微米的霧狀雨胚，則會藉由碰撞碎裂，形成更多雨胚，進而透過連鎖反應增強降雨過程。目前水利署已建立完整的協調與決策機制，與國防部空軍司令部合作進行空中增雨，與自來水公司、農田水利會等合作進行地面增雨。



下載自軍聞社



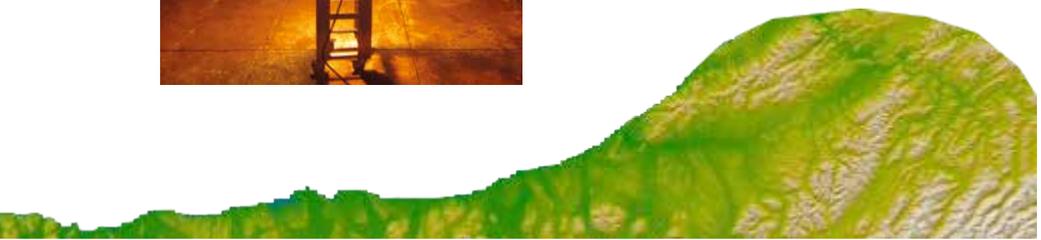
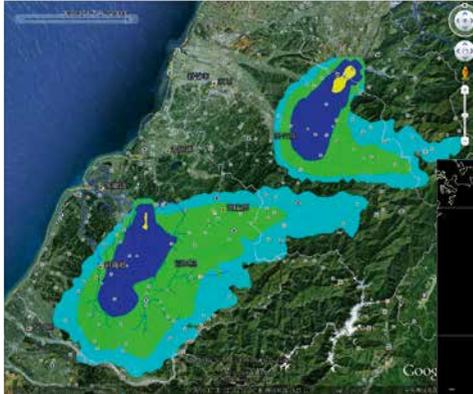
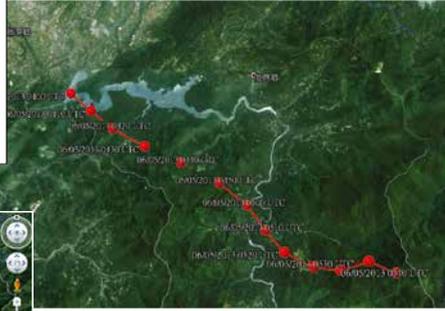
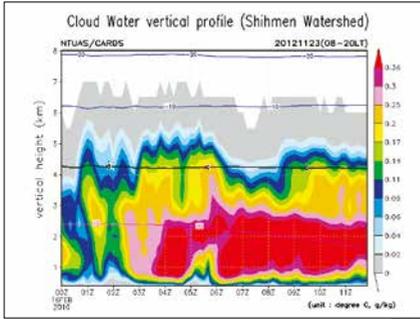


Q:

## 人工增雨施作的流程是如何？

**A:** 只要天氣條件合適，水利署即依以下的標準流程施作地面人工增雨：

1. 守視階段（五天前）：根據天氣預測資料，先掌握住最佳的施作日期及可能施作的區域，並通知相關人員。
2. 警戒階段（二至三天前）：根據最新的天氣預測，決定施作目標集水區、燃放時段及地點，並與相關人員確認。
3. 準備階段（施作日前一天）：參考模式對雲層最厚、雲水量最多時段的預測，估計出燄劑燃放後質點飄移的軌跡與擴散範圍，據以修訂燃放時間、地點及燄劑施放的數量。
4. 作業階段（施作當日）：再次參考最新的模式結果，以及即時的氣象衛星及雷達影像，於降雨發生前燃放燄劑。
5. 燄劑燃放後，順利進入雲層中的催化劑，經過 1 至 2 小時左右的作用，將促進雲層持續發展，並於經過集水區時，降下多一點的雨量；此時透過雨量記錄、雨水成份等物理及化學分析，便可驗證成效。

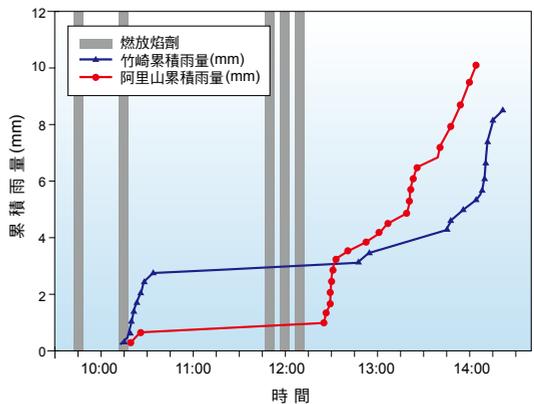
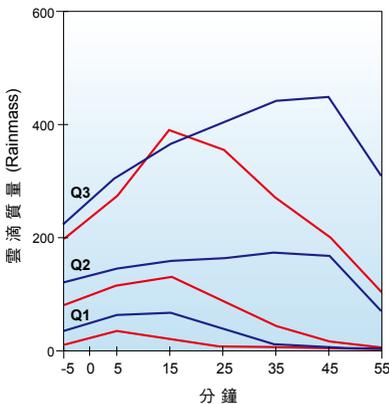


Q:

## 臺灣進行人工增雨成效如何？

**A:** 過去台灣人工增雨多在旱象出現後才進行，就時機點而言，常缺少深厚雲層，反而是最不適宜施作的時候，且過去所使用的方法及設備都不夠精確，成效難以掌握。水利署於近 10 年著手進行人工增雨技術發展長期策略之擬訂，並吸取國際經驗及技術，可算是為台灣人工增雨的常態性作業建立了基礎。而在科學上，並無法精確計算出來未施作增雨狀態下的降雨量，使得量化增雨成效十分不易，國際間也都還在發展可行的驗證方法，但就施作條件與時機的掌握而言已越來越有經驗，藉由施作前後雷達回波的增強，雨量的累積及雨水成份的化學驗證等方式，都足以定性地看出增雨作業應具一定之效果。

種雲（藍）和未種雲（紅）  
的降雨量時間序列



Q:

## 適合人工增雨施作的空中作業平台有哪幾種？

**A:** 空軍 C-130 潑灑清水，一直是國內空中人工增雨的主力。其他如定翼機掛載焰劑至雲下燃放，則是國際間常見的空中作業平台，其目的還包括了同時進行雲微物理觀測；水利署也對「遙控無人載具吊掛焰劑」進行過實測評估，在經過充分訓練的熟練人員操作下，此平台相當具有作業彈性。此外，國內學界曾與漢翔公司商討，藉由噴射機拖靶外掛焰劑，但尚未進行實測；而探空氣球可將焰劑攜帶至空中引燃，則是已進行過測試飛行。以上均為具有可行性的空中作業平台。



Q:

## 各種人工增雨作業平台優缺點如何？

**A:** 空中燃燒焰劑是最有效的方式，地面燃放焰劑雖然最經濟、安全，但卻非最有效，而空中潑灑清水，則效果、成本與安全性都介於兩者之間。在各種作業平台中，飛機掛載焰劑至雲下施放，是施作最直接、範圍最廣的方式，在安全無虞的情況下，幾乎可以指定目標區施作，因此其成效最為顯著，但缺點是成本太高；而於地面燃放焰劑，具有操作簡便、成本低廉的優勢，但容易受環境影響，且相對於移動快速的雲層略顯被動。至於以遙控直升機吊掛焰劑，雖然酬載及作業範圍均有限，但可將焰劑送至較接近雲底的高度，值得繼續研發。



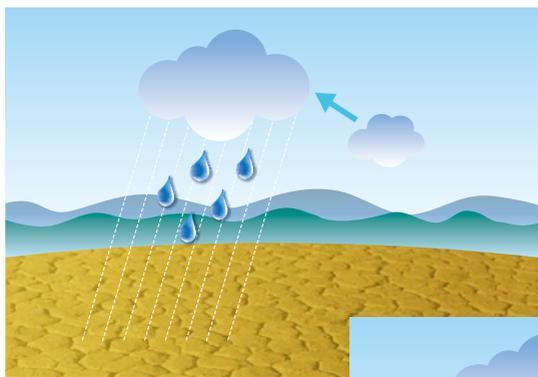
下載自軍聞社

下載自 <https://www2.ucar.edu/news/weather-modification-multimedia-gallery>

Q:

## 人工增雨對水資源管理很重要嗎？

**A:** 臺灣的年降雨量變化很大，而且每一年降雨的時間分布也很不均勻，加上全球暖化效應，強降雨發生機率越來越高，小雨發生頻率反而降低；降雨集中的結果，讓乾旱問題日益嚴重，這些問題都使得台灣的水資源相對不穩定。而進行人工增雨，催化或增強降雨過程，一方面在缺水時，可以作為增加水資源的方法之一，另一方面，若平時即利用適當的氣象條件施作，則是積極提高水源供應可靠度的方法。



自然降雨

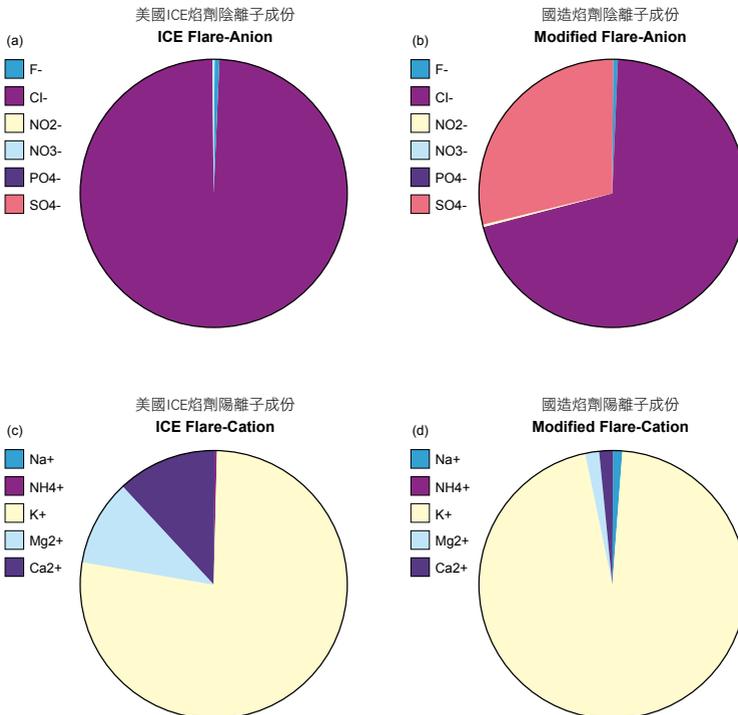


人工增雨

Q:

## 人工增雨對環境和人體健康會有影響嗎？

**A:** 在空中潑灑清水來進行增雨作業，對環境是不會有任何影響的。而地面作業所使用的燄劑，不論是美製或研發改良中的國產燄劑，其目的都是為了增加降雨效率而設計，因此採用原本就存在於成雲致雨過程中的自然成份，就足以達到最佳的效果；經臺灣大學及中研院等單位的分析，這些成分包含了陰、陽離子，其中陰離子如氯、硫酸根等最多，其他氟、亞硝酸根、硝酸根及磷酸根等皆微量，而陽離子以鉀最多，其他鎂、鈣、鈉及銨等之比例皆低；燄劑施放後，經過 1 至 2 小時的擴散、入雲、降雨等過程，其濃度已低到與自然界的背景值無異，對環境、人體或農作物亦無影響。



Q:

## 那裡可以查詢台灣人工增雨的記錄？

**A:** 從民國 98 年起，水利署就開始進行常態性的地面及空中作業，每年度內的所有作業，包括天氣條件的研判、作業過程的協調與聯繫，操作過程中的相關時、地、物，以及於作業結束後檢討成效與大氣環境的相關性等，都被完整記錄。此外，**水利署的人工增雨資訊網**（<http://drought.cook.as.ntu.edu.tw/>）也有完整的乾旱相關資訊可供查詢。



# 人工增雨

Q&A



經濟部水利署

Water Resources Agency, Ministry of Economic Affairs

台北辦公室 (出版)

地址：台北市信義路三段 41 之 3 號 9~12 樓

總機：(02)3707-3000

傳真：(02)3707-3166

免費服務專線：0800-212239

台中辦公室

地址：台中市黎明路二段 501 號

總機：(04)2250-1250

傳真：(04)2250-1628

免費服務專線：0800-001250

人工增雨服務團

國立臺灣大學大氣資源與災害研究中心

電話：(02)3366-3942

網址：<http://drought.cook.as.ntu.edu.tw/>