

美空軍氣象勤務部天氣改造計劃介紹 編輯室

The Air Weather Service Weather Modification Program

一、前言

肇始於1950年代，美空軍 AWS 人員曾偶爾在天氣改造方面完成些小型的天氣試驗工作，然而在作業方面却未能有何有效運用。第一個正式計劃「冷霧計劃」(Project Cold Fog)，係與空軍劍橋研究實驗室合作，發軔於1965年。於1967年初，美空軍官方為軍事作業需要，指定 AWS 擔任天氣與環境改造任務。由之，「太陽改造室」，在AWS本部之「太空科學參謀組」內應時建立。

在天氣改造試驗上的嚴重問題之一，乃為天氣現象的天然巨大變化，故欲取決此可察得之影響是否由於天然或人為的原因而造成時，一般需行許多試驗。此種問題尤因一地之天氣試驗僅偶有少數幾次之事實，而有被加強或增多實驗的需要。所以，一真正有意義的計劃，係一行之多年，而後始可獲致適當的資料和樣品的計劃。進言之，並非所有含有試驗目的的天氣類型皆可出現於一個單站，故將一試驗團體置於一地行長時期之試驗計劃，在人力和經費上均非善策。

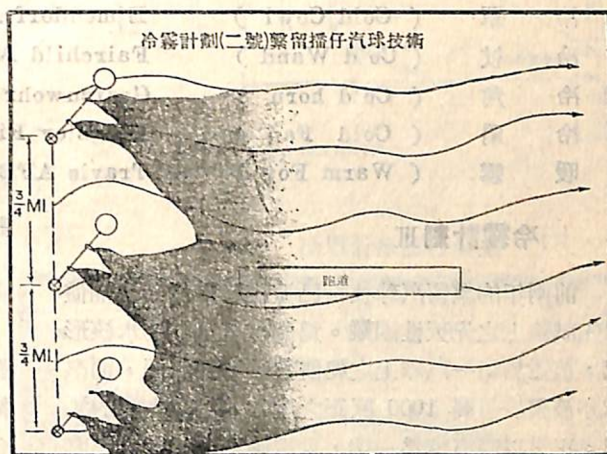
AWS 在這方面乃居於獨特的有利地位，它已擁有一世界性站網，充滿氣象專家，人才濟濟。此外，還有一以特殊儀器裝備的颱風和海上風暴的飛機偵察聯隊，亦分駐兩洋地區，致使其有從空撒放雲仔和地面觀測的能力。由之，AWS總部一小部份的雲物理學家可由其分隊級單位及飛機之協助，以最少的人力和經費，從事與完成此有最大意義的野外試驗計劃。

甚多的民間機構和大學，目前亦主動從事天氣的改造和發展，因 AWS 對此為一主要的作業機構，故被決定集中其天才和資源以處理其作業，而那些作業的技術已由研究與發展的社會，引入科學的藝術化境地。氣象問題最有害空軍作業者當推霧；抑且，藉碎乾冰的方法去消散過冷霧之能力多年來已被證明有效，雖然其最宜條件或標準作業程序尚未發展成功。所以，過冷霧的消散是由 AWS 所要解決的首一問題。

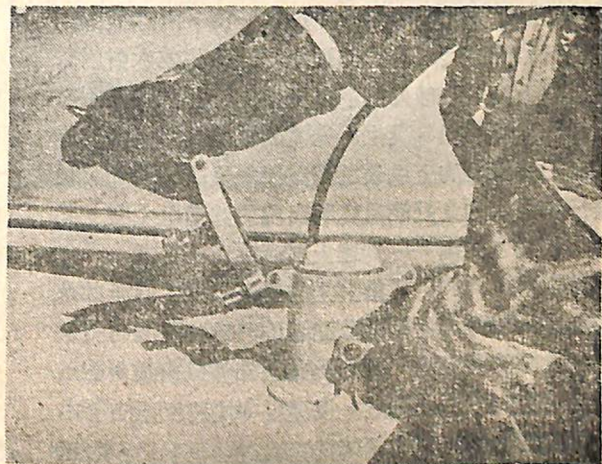
二、冷霧計劃(I 與 II)

冷霧計劃之發軔茁壯，係基於以地面基礎系統去消散過冷霧之需而被擬訂者。空軍劍橋研究實驗室所建議之技術是將小型乾冰餅附於飛行汽球上，結果，有不足的過冷霧出現於波士頓區，說明可行區域性試驗。因之，決定由 AWS 之人員和地點去試驗其程序。所選定之位置共有六處有二處在德國，一處在阿拉斯加，三處在美國北部。然後由AWS及空軍劍橋研究實驗室的雲物理學家們去擬定試驗計劃。首次計劃(冷霧一號)於1965—66年完成；其後之試驗(冷霧二號)於翌年冬完成。

冷霧計劃係用一排由三個汽球各繫於每隔 $\frac{1}{4}$ 哩之處垂直於風向的一條直線上，且從目標區向上風頭約相隔45分鐘時位移一次(參見圖一)。從液體



圖一 冷霧計劃雲仔結構圖



圖二 雪人機所示之乾冰餅圖

的二氧化碳可產生三盎司的乾冰餅之雪人機 (Snowman Machine) (參見圖二) 亦被用於此計劃。每一汽球上在離地100呎及150呎高度上皆另有一個這樣的乾冰餅，就這總共有25次可用試驗被相繼完成。(有少數試驗係以用汽球拖拉或用緩慢上升的自由汽球等之另繫方式所完成) 試驗結果中有一例，其霧之消散使能見度變的十分良好，在其他數例中則為試驗後慢慢的變好，但一般僅當周圍之能見度亦變為良好時。在多數的例證中能見度終歸並未轉佳。其所以有此現象之原因，不是所用乾冰太少而使冰餅被置之空間過大，即為大氣之擴散力過小，致不足以在整個目標區大氣柱中遍撒冰

三、現行之六大計劃 (1967—1968)

在 AWS 系統下現行之天氣改造共有下述六大計劃

計劃	地點	技術
冷霧 III (Cold Fog III)	Wiesbaden AB, Germany	乾冰餅，汽球
冷罩 (Cold Cowl)	Elmendorf AFB, Alaska	碎乾冰，飛機
冷杖 (Cold Wand)	Fairchild AFB, Washington	液體丙烷，地面
冷角 (Cold horn)	Grafenwohr AI, Germany	液體二氧化碳，地面
冷扇 (Cold Fan)	Kingsley Field, Oregon	液體二氧化碳，扇
暖霧 (Warm Fog)	Travis AFB, California	引擎廢氣熱

(一) 冷霧計劃 III

前兩年的繫留汽球技術已被改造為據信可補償原先試驗上之先天性困難。為保證有足夠的水核形成，被置於每一汽球上之乾餅數已增到四個，而汽球亦被繫於每隔 1000 呎距之比數，而非先前的 1/4 哩。正常以四汽球為一排，且根據霧之厚度，乘直向將汽球繫於不同之高度。而乾冰餅即被均勻的沿直線等距離懸掛着。為減少反應時間，汽球被繫掛的接近和乘直於風向的跑道上風頭。將乾冰餅附着於汽球上後，汽球列的下風區即需被監視其是否有被雲仔激發的現象發生。先前的試驗程序所需的是在有足夠距離的上風頭選定雲仔之位置，如此，被雲仔所促成的良好能見度將出現於跑道之上空。此種所被加之重擔——到達上風頭之正確位置——，已被取消，俾利各「壘」上的雲仔位置，直至此技術開始發生作用。如此改造過的汽球列證明有效於產生良好的能見度，那麼此問題即被保留為更佳或更正確的汽球拋列位置，以發展一快速反應法。本年的試驗站是德國的韋斯貝登航空站，不幸，因無霧發生，故對汽球之新排列究竟是否得宜，尚無法

晶。故被決定重新改造技術，並於1967—1968年期的冬季予以重新試驗。(參見下述冷霧計劃三之說明)

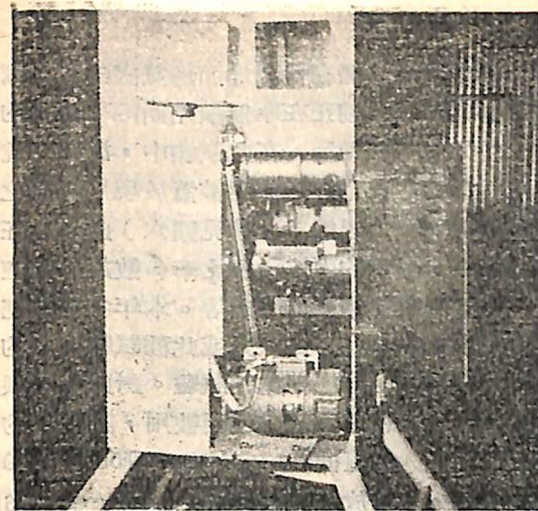
不論冷霧計劃一、二之失敗如何，然却獲得某些有用之知識。經發現乾冰餅可大量產生，僅當溫度在-28 F 以下，且播雲仔層的風向之決定亦甚重要，至當官方所用程式之風速儀指示為靜風，而實際1—2哩之風速對特主目標區產生良好能見度而克維持45分鐘時亦十分重要。所獲得之最佳風向觀測，係以 100 克氣球繫於固目標區，其中之充氣需足，然後加以其他重量以消除其自由上升力，並供給可抵銷最小風速升降波動之標準。

試驗。

(二) 冷罩計劃

阿拉斯加的安克雷契 (Anchorage) 附近的愛勒孟德爾夫空軍基地，是美國及太平洋區間軍事運輸之重要基地。然其作業常受過冷霧妨礙，尤於冬令之十二月和一月為最。去歲六月，阿拉斯加空軍指揮部(AAC)請求 AWS 援助建立驅霧計劃，空軍當局並會核定此項請求為適當，然後即由 AWS 促成此冷罩計劃(有關該計劃細節請參見 AWS TR2 05 技術報告中之討論)。此計劃中所被應用之最可靠技術，是用飛機投下碎乾冰。數次的商業播雲機，支援航空公司在作業上有關其裝備及程序的疑問解決，而全部合作良好並供給所需之情報。但很快此一問題即變得十分清楚，即該區無任何單一方法可被一般所接受，例如，在選擇最宜的播雲型式，比率及高度以及丸散之大小等，均不一致。故AWS為適應其本身需要而發展成一升縮適度之計劃。

所獲得之乾冰碎水器(參見圖三)，每分鐘有碎75磅以上乾冰之能力。丸散之大小其範圍從粒狀至38吋直徑不等。所購入之乾冰約為重25磅之塊狀



圖三 被用於冷罩計劃之乾冰碎水器圖。在試驗初期塊狀物成於飛機起飛前就在地面破碎，但目前此碎冰機已被裝載到播雲機上。碎冰之被散播係藉繫於飛機底部之「投放探空儀傘」(Dropsonde Chute) 而完成者。為作業任務初選之播雲比率為每哩25磅，但較此為多為少之試驗亦均經嘗試。

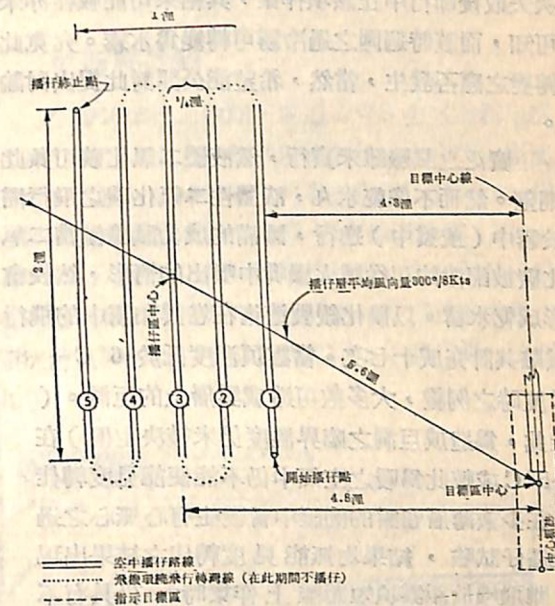
AWS 曾派一架 WC-130 機試行播雲，該機之大的續航力可允許其在空中作長久之停留，以完成所需之多種播雲努力，如當愛勒孟德爾夫之試驗因無霧不能進行而需另覓其他區域作補充試驗，或當其有霧而需另外在副目的地落地時等。

作業的播雲型態，共分五路直線型進行，每路長2哩，每兩路相距1500呎，故約成 $2 \times 1 \text{ mi}^2$ 的矩(參見圖四)。此播雲區平行於目標區，飛機在目標區之上風端(播雲區)作平行集中飛行30鐘(加航跡飛行時間)。目標中心點係沿跑道中線介於跑道上飛機觸地點和中心標誌間之中段區。所飛行之播雲型態，乃以假想，設其風速為靜風，可使飛機與播雲區皆隨風而偏航。播雲飛機之飛行恰位霧頂以上之高度，除非霧之厚度大於 500 呎。在這種情形下，飛機於霧中仍穿過此高度。

除播雲飛行可使飛機實際作業外，一部份的補充試驗亦被完成。普通所飛行的 L 型或長方型，每一邊均以不同比率，不同高度，或不同藥劑以比較其所成就之結果。播雲藥劑被試驗於補充飛行上，除碎乾冰外，是液體的二氧化碳和一部份由「海軍武器中心」根據軍火製造所供給之碘化銀。

於1967年12月11日至1968年2月16日期間共舉

行作業播雲試驗87次，由對試驗結果之初步分析，說明其成績：成功25次；失敗9次，而其中有3次乃為自然轉佳所致，而該25次屬於成功者，其可信程度可由不能在另外或相反情形下所完成的態勢，能使 185 次起落順利完成。圖五為開始播雲36分鐘後所出現轉佳能見度圖。



圖四 冷罩計劃雲仔型態圖



圖五 一九六八年一月二十八日出現於愛勒孟德爾夫空軍基地上空之雲洞圖

幾乎是全部的失敗發生於1968年1月8日。1月5日和6日曾飛完部份作業任務，然後在1月7日發生一次濃而持久的霧，該霧一直停留二天。首日之播雲作業圓滿成功，且其最後一次飛行於地方時2246 完成。然而在翌日的0009時開始作播雲飛行，且於

整個上午不斷進行，但卒未成功。於1100後播仔作業暫時中斷，而該大霧於次晨始漸消散。一切象徵皆說明乃因此過冷霧於一月七日的最後一次播仔後變成水霧之事實所致。這種結論可由地面觀測所支持。此種變型可能由於天然原因，但亦可能係因早幾日的播仔太多而形成。事後檢討如於八日首次失敗後即行中止該項作業，其結果可能較佳亦未可知，而該時週圍之過冷霧可轉變為水霧。究竟此轉變之應否發生，當然，希望能公開對此提出討論。

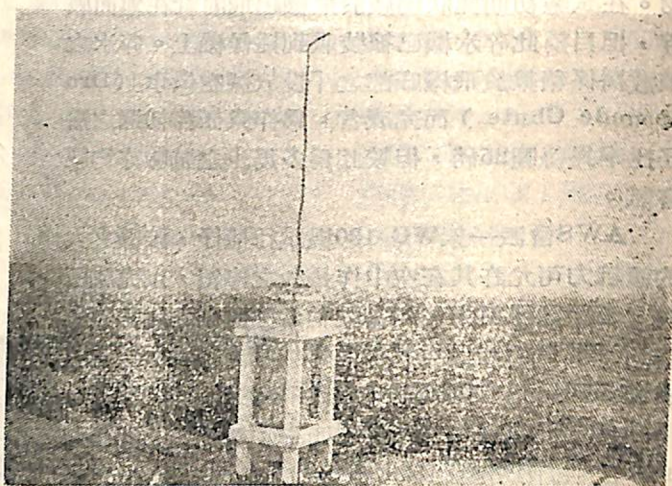
廣泛之試驗雖未實行，然液體二氧化碳可負此期望。然而不像乾冰丸，液體性二氧化碳之飛行需於霧中（或雲中）進行，圓滿的成功試驗僅當二氧化碳被配置的可從滅火機嘴中噴出的情形，然後會形成乾冰雪。以碘化銀製造術在雲和霧中的飛行試驗共計完成十七次。當雲頂溫度低於 -6°C — -8°C 度時之例證，大多數可造成雲層上的巨洞。（雖此，為造成巨洞之臨界溫度仍未被決定但）在 -5°C 或較此為暖之空氣中仍不能使能見度轉佳。在少數薄層卷雲的例證中曾發生有心無心之過量播仔試驗，結果均無能見度轉佳之結果出現。雖飛機於距雲頂短距離上作業時，仍具有不少的成功指徵，然仍假定碘化銀在霧內播仔最有效。

顯然，就作業基礎從飛機上投下之碎乾冰，可成功的將過冷霧予以驅散。數次相機順滑放入飛行可用以說明這些作業之成效。最宜選擇的播仔比率，如以丸散等，尚未獲得決定，且其作業效果亦不如從飛機上散播碘化銀和液體性二氧化碳來得強大。對於這些問題，下年度冬季之更多試驗將能予以答覆。

所仍存在之主要問題是決定最佳播仔層之風向和風速。官方的風速儀讀數可能為靜風，而當輕微的重力引起風壓流之存在，在播仔作業上，1或2哩之誤即很嚴重。在愛勒孟德爾夫，另有風速裝備按裝於塔台頂端和一附近150呎高的山頂上。目前，尚未發現有何種儀器令人完全滿意。（一般所給之值均有廣泛的差異）目前所行之試驗係在播仔工作開始前為便於地面雷達追蹤起見，播仔飛機在目標區上空先投下假東西。直至更有代表性的風資料可用，飛機即將需準備其重複的播仔型飛行，如首次的能見度轉佳在目標區錯過。

三、冷杖計劃

冷杖計劃是一潛在性以地面為基礎的過冷霧消散系統試驗，而目前正在華盛頓州斯波干附近的費爾却特空軍基地被執行。在此試驗中，液體丙烷從散放器注入霧中，而該散放器被置於現用跑道之進場及觸地點區之上風端。（參見圖六）此計劃在設計上即要決定最宜的丙烷通風比率，散放器的空間及與允許有風偏流相關的問題等。本年冬季僅完成三次這種試驗，故此不足以完成此種試驗之目的。故下年度同時仍可能繼續此種試驗。對此試驗根據性質將有三或四種不同的散放器被用，其配好的劑量分別被放置入垂直低空風向的相距750—1500呎不同距離間。其散放率為每分鐘每一散放器3—6磅，而通風之時間為10—30分鐘之試驗。



圖六 冷杖計劃之丙烷散放器圖

先二次此種試驗曾舉行於1967年12月29日。首次試驗是將三個散放器位於相距750呎，以每一圓筒每一分鐘散放6.5磅之比率通風10分鐘之方式完成者。地面溫度為 31°F ，在通風開始後30分鐘，形成 $1 \times 1\frac{1}{2}$ 哩的洞，以1哩的風速而偏向飛行線。第二次試驗之通風率和所用時間與首次者同，但却用了四具散放器，結果亦有大小相同的洞被形成，然而却未見移動。散放器被置於跑道進場區，有四架飛機曾享落地時良好能見度之利。在全試驗期盛行能見度為 $\frac{1}{2}$ 哩以下，但由於人為所引起之洞，飛行員報告在進場區其能見度為 $\frac{1}{4}$ 哩。一次不成功的試驗亦於1968年1月23日在氣溫 33°F 時完成之。

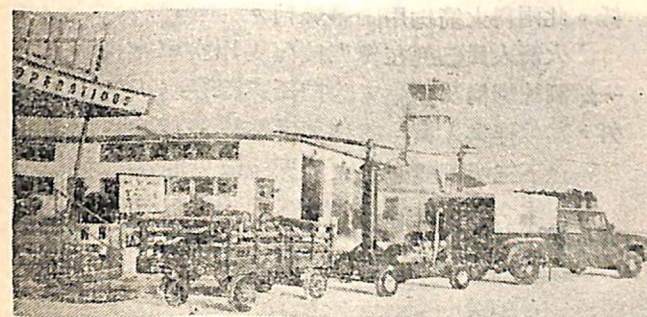
四、冷角試驗

冷角試驗是另一以地面為基礎的試驗系統，試驗地點為德國葛利芬溫爾空軍基地。在這項作業中係將液狀二氧化碳從一個裝於輕型貨運卡車背上的油箱中使其通風進入霧中。這種試驗將被成就於比較方式的駐留與移動性的散放器配置法。其通風率不同，從每分鐘1.5磅通風15分鐘，到每分鐘15磅通風12分鐘，被行之於相同範圍之風和氣溫狀況下。

在1968年1月20—21的夜間曾舉行試驗一次，不幸，該次之二氧化碳僅通風15分鐘，且其釋放點位於能見度儀之上風端，致使如有任何結果所形成之洞，主要將位於下風端。然而，能見度所指示之能見度仍由1200呎增至2000呎，在第一次二氧化碳釋放後約30分鐘開始，並歷時15分鐘。此為集中出現於三小時為期播仔時間的僅有能見度增加。

五、冷扇計劃

冷扇計劃被行之於俄勒岡州之金斯萊基地，以液狀二氧化碳為播仔物，全部所用者為一13呎的垂直向扇（參見圖七）。此扇至少可產生以其他地面



圖七 冷扇計劃之雲仔器械圖

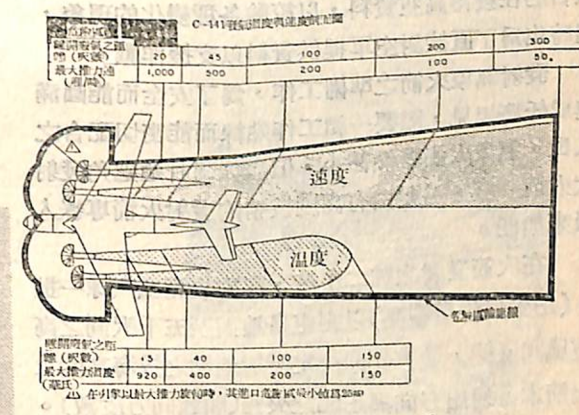
基礎技術所不能供給的二種作用。牠可發動有效的垂直運動（從地面至200呎平均每秒10呎）克透過最安定狀況使冰胎（或原始冰）上升，牠亦可阻止生長於成熟期前（或早熟）的冰晶之降落，能使牠們較以其他方法除去更多之過冷水滴。

1968年3月16日有五個獨立性的試驗在過冷的濃霧中執行完成（ $\text{Vis} < 500$ 呎）。液狀的二氧化碳以10秒之脈動被注入扇的空氣調節器中，其比率為每分鐘平均5—10磅，注射時間最多為15分鐘。有四次試驗涉及單點注射（扇在同一位置）。在每一

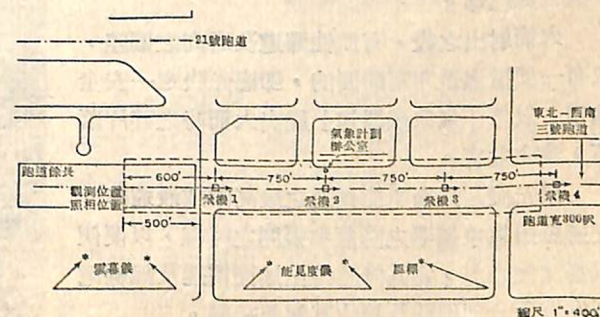
試驗中，於開始播仔時間35—50分鐘內，出現有長6000呎，寬4000呎那麼大一塊地區之晴天。其餘試驗舉行於主跑道區，且由每分鐘注射10磅液態二氧化碳，每隔1,000呎到10,000呎為止之間隔距離的組成下完成之。在此機動作業中，扇以70%的電力旋轉着。此法所造成之晴空面積，於播仔時間開始後30分鐘內，約為 7500×1500 呎。

六、暖霧計劃

在1960年代之中期所驅迫AWS去考慮利用從噴射引擎所排出之廢氣熱以驅散熱霧之方式，原屬法國式試驗。於1968年1月有三次這種試驗在加州之荷威斯空軍基地執行完成，在有地面濃霧（ $\text{Vis} < \frac{1}{4}$ miles）期間，有時速5哩的側風，有四架C-141噴射運輸機被置於相隔750呎處。飛機以最大馬力撥定值之99%試車5分鐘為期限。（參見圖八及圖九）



圖八 C-141機後之氣溫與風速分佈圖



圖九 暖霧計劃試驗溝造圖 (下接第8頁)