

凝結尾修正天氣的可能性

黃啓明

提要

凝結尾修正天氣的可能效應，由於在阿拉斯加地面層凝結尾資料的獲得而又倍事重提。由噴射機無意產生的種雲行為似乎可與商業上有意種雲的雲量相當。進一步的研究自然需要，但當估計種雲的結果時，不要忘了凝結尾污染的可能性。

一、前言

凝結尾開始引起大家注意是在二次大戰期間，到今天空運頻繁，凝結尾現象也愈多，因而乃劃為環境問題的一部份。但在二次大戰期間，即由大型轟炸機所形成的雲遮，也少人去注意它對於天氣可能的影響，而現在却引起廣泛的注意，不止一般大眾，就在科學家們之間也談論紛紛，認為凝結尾正有增無減的在某些區域製造雲層，持此觀點的人如佛萊契 (Kleteher 1969)、瑞肯 (Rienking 1968) 李文斯登 (Livingston 1969)、司凱弗 (Schaefer 1969) 等，即作者本人也曾親眼目睹一單一凝結尾發展而為遮滿全天雲層的事實，若非凝結尾本身發展而成，以當時情況實難尋求其它原因，故該情況可為影響當地天氣確切的證明，若此情形頻繁而廣大，則勢將影響環球氣候，據此，似更值得進一步從量的方面去查考它，證明它對天氣是否有重大影響的可能性。

二、有關凝結尾構造方面的觀察

談到量，自然應從凝結尾本身談起，一種如波音七二七中型飛機，在飛行時每小時能燒掉燃料逾三千一百公斤，由此產生的水差不多有三千一百公斤的一點二倍。換言之，每秒產生的水在一公斤以上，這些水就是凝結尾形成的根本原因。在一九五三年阿勃里曼 (Appleman) 曾對此種基本程序作過討論，他對凝結尾形成的情形，說得很明白，他說是由冰晶構成的，不過凝結尾分子的性質方面，他沒有提到。後來有些人為了明白究竟，雖曾於飛行中蒐集了很多凝結尾分子的樣品，但是這些樣品，能否真正代表該情況下凝結尾的分子呢？當然也是問題，好在阿拉斯加內陸，有好些冬天，噴射機只要試車，起飛，降落都常能產生凝結尾現象，因而對凝結尾的研究便增加不少方便，（在地面言

，凝結尾叫水霧，它對飛行常有嚴重威脅），阿塔克 (Ohtake 1967) 曾領導小組對各種水霧從事過研究，後來霍克曼 (Halfman) 在一九六八也曾作過類似的研究。根據這些觀測研究結果，於是可大胆假定：飛機在巡航時造成的凝結尾與這種水霧之間差別不會太大。

對於短暫出現的凝結尾，例子雖多，本文不討論，本文討論的範圍只限於在飛行中，空氣至少對水面言是接近飽和的，在飛行中空氣溫度是在負四十度以下的，如此，當噴射機產生的水汽進入大氣中後，就會因膨脹與擾動混合而迅速冷卻，水汽隨即凝結成微細水滴，由於水滴冷卻迅速，過飽和空氣中可能有均勻核子產生，經電子顯微鏡攝得的照片，又沒有發現這種水晶的存在，水滴凝結靠凝結核，凝結核從那兒來呢？結果發現，大多可由噴射機供應，因而縱使無其他提供凝結核的源地也不會感到潰乏，通常液態時間很短，都以秒作單位，原因是四週空氣都在零度以下，當水滴凍結而成雲，主要包含微細，粗糙的冰晶，這種水晶，史丹佛研究組第一次報告中稱作「Droxtal」〔由休曼 (Thuman) 與羅賓遜 (Robinson) 1954 領導〕。雲全部凍結前，時間短促，水滴與水滴間，水滴與冰晶間不可能容許有物質轉換，但環境處於水與冰面飽和下，容或有冰晶成長，最後，主要仍依四周溫度而定，對排洩物的如何進入大氣是無關緊要的，通常由汽車排出廢氣所形成的冰霧，可作為噴射引擎排出物形成凝結尾的一個具體實驗，因而可信其對地面冰霧的觀察，其結果也如在高空對凝結尾的觀測相當。

由機場蒐集冰晶中，百分之八十，其直徑為四 μ ，但蒐集的方法，多偏向於浮懸空中的大形原子，太小的則從未捕捉到了。在蒐集的水晶中，可發現水晶凍結時，有好些在由外向內凍結時都有破裂或像水噴射的現象（柏苗多塞效應，柏蘭契 1951）

這可能造成太小的冰晶而難於偵測，雖則這種效果無事實證明，但我們可設想這種冰晶為圓球形，有二 μ 的直徑，每克的平均交換質量約為 3×10^{10} droxtal 應為相當保守的較低數值。

三、作為凝結核的凝結尾冰晶

如果一架波音七二七的汽油燃燒產生的水汽，能全部形成冰晶，則每秒可生成 3×10^{13} 個的冰晶，如果只有三分之一的水汽凍結，則有「 10^3 」個冰晶，（作者却認為，事實上冰晶的生產數可能為每秒「 10^4 」甚或每秒「 10^5 」個，此似可由凝結尾的面積與光學厚度而判得。）當然除非由於電的鎮壓操作，大規模天氣改造引用地面產生器製造凍結核進入大氣，只在此情形下，如應用不潔物質—碘化銀—其冰晶的平均數方為每克 10^3 個，在更樂觀的情形下，或可達每克「 10^5 」個，有時也會一粒俱無，因當碘化銀進入空氣後其效用會很快受到抑制。然而一架中型噴射機所形成的持久凝結尾，即可和一架地面產生器每秒燃燒一克的碘化銀所產生的冰晶數目相當，因為碘化銀乃用在過冷水滴上以形成冰晶，而顯然由碘化銀能產生的效用，凝結尾冰晶都能，反之，凝結尾冰晶能的，碘化銀則似有所不能。比如，除在水飽和外，凝結尾能在空氣對冰面為過飽和下，吸取水份，（碘化銀似只能在沒有水滴出現時有效。開始是凝結，然後才變成凝結核，但這種效果如何，是值得懷疑的）。

顯而易見，無論何時何地有持久的凝結尾生成，就飛機言，即在遂行一次種雲的行動，而每架飛機的此種行動所產生而儲存在空中的核，至少可與種雲的企圖相當，而此種飛行是環球性的，它也不是有計劃的在作種雲行動，也不會考慮種雲的氣象條件，只是因緣而成。有時飛行受天氣影響，像氣壓型航行引起的航道偏差，在適當氣象條件下，又會在偏差的航道上引起凝結尾，這也就是飛機能在任何時候，任何地方因緣而成無意的造成凝結尾的現象。

四、種雲以外的改造程序

凝結尾的冰晶十分細小，在寧靜空氣中降落甚緩，如在噴射機巡航高度或有微弱上升氣流中，它們就無法降落地面，條件許可，它們能在交通繁忙的航道上集累而成高雲，或大小面貌維持原狀，這種高雲由第一架飛機飛過形成時就可能生存。以目

前而言，單一的累積，或甚而是中等強度的發展，還不會有重大影響，但無論何結構的存在而促成冰晶的累生，却是理由充足，無可置疑的。

通常，在仔細對凝結尾觀察後，可發現其冰晶的生長率很高，而且總是如此，少有靜止，但在某些情形下，好些凝結尾融合而成一整體，欲僅以一中度存長的冰晶加以解釋，則似有難處，除非是一種粗略的估計，在這種凝結尾中的冰晶則顯然生長迅速，因其頗大陣雨常在不到半小時即自空而降，因而其在空中對於冰為超飽和乃為顯見（自然大氣對冰而言可變得比對水的飽和還要飽和得多，因為核的數目很低，一當空氣低於水的飽和度即可能有水汽自空氣中移出），也顯然的，若凝結尾冰晶真如前面所講的發展成蓋滿全天的雲遮，則迅速有效冰晶製造程序必已冥冥然予以安排。（很顯然，對的凝結尾作有系統與量的觀測，除本文所敘主題外，必能對雲物理及二百與三百毫巴範圍的氣象知識增益不少。）

五、一般討論與推論

從上面的敘述中，我們有充足理由相信，由飛機製造的凝結尾會在近於飛行高度產生卷雲而對天氣有可觀的修正，也顯然的，凝結尾或能由於侵入雲中而影響積雲的發展此等雲或伸展達於噴射機巡航高度，或在其高度以外，據此，可使人相信，凝結尾冰晶的種雲行為或可產生與有意的凍結核種雲行為相當的全部效果。從卷雲中降落的冰晶，經過中度乾燥空氣能維持相當距離的冰晶狀態，這已是實際觀測到的。（如一九六七年柏雷漢與司匹斯，丟靈 Braham and Speers-Duran），凝結尾冰晶降落前必須長得相當大，但有時從觀測中發現，在它們形成後幾分鐘內，即以不大不小的速度下降，不管它們在穿過長長的乾空氣中是否可能生存，但有一點則似乎可知，它們在自形成而至雲底的距離中，空氣對冰而言應是飽和，這對冰晶而言往往是生存的必要條件，在此條件下，它們自然能在融解層以上生存而發展，當此情況下，他們自可進入任何在凝結層以上的雲中，也或許能進入低於凝結層以下若干距離（此處問題是，這些冰晶進入雲後，如何能恰好具有一種情況與有意的種雲相當，又和碘化銀在雲中散開的情形相若，但對凝結尾冰晶是否能產生與有意種雲的效果相當的問題，則似無疑問。）此處自不擬一一討論凝結尾冰晶種雲的

各種可能影響，現僅舉一二事件略述如下——

濕空氣越山而過形成的雲是認為最適合碘化銀種雲以增加降水的有利情景，此情景乃使氣團上升冷卻，越過山脊，而展伸至上風處相當距離，或遠超過噴射機巡航高度以上。因此，從雲底而上，空氣似在或近於飽和，至少對冰面而言為飽和。若凝結尾形成，則能或會對雲增多冰晶的數目，於是，當我們想到某區飛行頻率的時候，則立會對於飛機造雲的數字泛起驚異之色，蓋它們的影響不亞於有意的商業行為例！

不過，這裡須指出的是，在真正降雨量方面，作者無意對它們有何褒貶，只在說明一點，二者不可偏廢，均當注意及之。

美國大平原區，航路紛忙，夏季，塔狀積雲屢見，噴射機也常往來其間，但由於雲中電陣與亂流，穿雲飛行，也常引為禁忌，然就整區而言，空氣對冰面似乎是飽和的，其中也似蘊藏着可觀的天然冰晶，因此，對凝結尾冰晶的引入，似不致顯著引起任何效果，然而，當飛機穿越此區域，即會看到無數其它飛機留下的凝結尾，飄留空際，由此也可證明沿航路自然冰晶的集中必然過度，而且此情況常經久不消，司凱佛 (Shaefer: 1969) 曾提到這種情形以討論無意造成的天氣改造問題，從而暗示過種雲的可能性，不過未作較詳討論。在此種高冰晶集中區域，如有雷雨雲進入，強度的增加是十分可能的，由此也令人想起：如法國氣象學家們的實驗正確，對摧毀性的電陣，是可以抑制的。

有時凝結尾冰晶也像乾冰種雲發生相反效果，那就是使雲消霧散。但這也毋須懷疑種雲的可能性，甚至還有很多具體的照片加以證明，這些均非動搖種雲可能性的鐵證，原因是大部資料，並不可採

信，它們是如何形成的？究竟還伴有什麼其他條件？沒有交待清楚，而不少乾冰種雲成功的照片以及其物理原因的描述，可以肯定指出，也可以作為凝結尾種雲的最佳例證，這是值得我們深思的。事實上，一個由佛來契（一九六五）擬定的全球氣候改造的計劃，實際上也就是對於北極盆地用種雲而修改其雲遮的計劃已在着手進行，雖然規模較之他想像的還有一段距離。

六、結 論

縱上所述，我們可得一結論：所有可能用冰晶種雲的方法，也同樣可由例行飛行的飛機造成。而且飛機的頻率與乎涵蓋面積的廣大，在適於種雲的氣象環境下，造成冰晶引起種雲的效果，則遠超過現在有意種雲之上。雖然經過慎選人工造雲的成雲也不惡，但那究竟需要慎選而後可，不似飛機的任意與自由。

自然，我們也不強調一定可由種雲而影響地方的平均氣候，雖則種雲的行為已遂行了。這原因是，各種種雲的究竟結果如何，我們尚未能完全明瞭，更由於頻頻大規模的種雲行為，甚也可能適得其反，效果不著，因此，有關種雲真正對天氣發生影響，在量與結果方面，仍有再分析再研究的必要。此文目的，只在指出，確有足夠憑證，不得不使我們相信凝結尾對天氣產生影響的可能性，果爾，則自當值得我們去發掘了。

最後要指出的，天氣縱有可觀變化，確可令人不快，但凝結尾的影響天氣，也不必一定是壞方面的，如蘇聯對於一個沒有冰凍的北極海當然鼓掌叫好，但若因此在中加拿大造成中冰期，則美、加兩國便會愁眉不展了。