



# 交通部民用航空局 民航通告

**主旨：飛航進入結冰時之駕駛員指導**

**發行日期：2003.12.20**

**編號：AC 91-001**

**發行單位：飛航標準組**

## 一、目的：

本民航通告（AC）為航空器於結冰狀況飛航時，那些狀況應該要避開及遭遇後應如何脫離以確保飛行安全重要資訊，參照美國聯邦法規第 14 章（14 CFR）第 91 部、121 部、125 部及 135 部相關法規，俾提供原則性的參考方針，但絕不可取代各機種特定之航空器飛航手冊（AFM）或飛航組員操作手冊（POH）。

飛航組員必須確認其航空器型式是否已獲得於結冰狀況中之飛航認證，若未取得認證，則必須更加留意其飛行計畫要避開可能結冰狀況。本民航通告敘述容易發生結冰狀況的時機與位置及其對飛行計畫的考量。應盡可能避開臨界冰點及冰點以下的雲系與降水中飛航，飛航組員必須監控所有可獲得的天氣資訊並參照「五、執行要點說明（五）飛航中操作」，隨時提高警覺，依不同的結冰狀況研擬必要的措施。如果有不預期的結冰，則飛航組員應立刻採取適當的改正措施，必要時得請求飛航管制單位（ATC）協助。多數飛航組員都具備於結冰狀況下之豐富飛航操作經驗；縱然相關的飛機系統均作用正常，仍應對大量的積冰或任何結冰狀況保持警覺；當一層薄薄的冰附著在緊要的操縱面上，於極短的時間就會對航空器失速速度、穩定性及操作產生極大的負面效應，依風洞測試的結果顯示：此類型的積冰再加上粗糙的表面，比起厚度更厚但表面光滑之積冰，影響甚至更大。

## 二、修正說明：

新訂。

### 三、背景說明：

- (一) 本通告係參考美國聯邦航空總署 2002.12.12「AC 91-74 Pilot Guide Flight in Icing Condition」民航通告擬訂，台北飛航情報區雖地處亞熱帶，然於飛航時仍時有遭遇結冰可能，飛航組員必須明瞭對結冰之狀況警覺，確保安全。
- (二) 統計國籍航空公司近十年來航空器失事肇因，人為因素 80%、CFIT 55%、ALAR/起飛/爬升 70%，而直昇機失事肇因之人為因素更高達 80% 以上，民航局致力改善飛安，於未來六年（2002-2007）內將飛機失事率逐年降低 20% 以上，如何消弭錯誤鏈；減低人為因素之誤失至最少，為航空界所有人員之共同決心與目標。
- (三) 飛航安全委員會 92 年 1 月 24 日期中飛安通告 ASC- IFSB- 03-01- 001 建議所有渦輪螺旋槳航空器使用人檢視訓練課程，確保其涵蓋駕駛員能辨識各種「結冰」情況及有效處置之訓練，並建議加強駕駛員對結冰狀況警覺之訓練。
- (四) 交通部公布 07-02A「航空器飛航作業管理規則」中已明訂遭遇不良天候相關結冰之飛航作業管制規定。

### 四、需求說明：

航空器使用人應負飛航安全及飛航作業管制責任，本通告僅將各項基本標準列出，以為諮詢參考之用，航空器使用人依其政策及營運需要，檢討增／修訂現有相關航務訓練及航務手冊，並落實執行。

本通告（AC）所述之相關法規、飛航計畫及氣象名詞等，為求精簡以原文列敘參考，有關各飛航情報區氣象資訊差異應依據各區發布飛航指南內程序及內容。

### 五、執行要點說明：

(一) 術語、縮略字、縮寫：

- 1、絕熱型態冷卻：一種氣團冷卻的過程，當一氣團上升，則壓力因高度增加而下降，此壓力下降造成氣團體積膨脹，因無能量增減，故氣團本身冷卻以維持能量平衡。
- 2、航空氣象資訊 Airman's Meteorological Information (AIRMET) :  
In-flight weather advisories concerning weather phenomena of operational interest to all pilots and especially to pilots of aircraft having limited deicing/anti-icing capability because of lack of equipment, instrumentation, or pilot qualifications. AIRMETs concern weather of less severity than that covered by significant meteorological information SIGMET or Convective SIGMET, AIRMETs may include moderate icing.
- 3、AUTOMATED SURFACE OBSERVING SYSTEM (ASOS)/AUTOMATED WEATHER OBSERVATION SYSTEM (AWOS) : A suite of sensors which measure, collect, and disseminate weather data to help meteorologists, pilots, and flight dispatchers prepare and monitor weather forecasts, plan flight routes, and provide necessary information for correct takeoffs and landings. The basic difference between these two automated weather systems is that the ASOS is comprised of a standard suite of weather sensors and is a product of a National Weather Service (NWS), Department of Defense (DoD), and Federal Aviation Administration (FAA) joint venture. The AWOS is a suite of weather sensors of many different configurations that are procured by the FAA or purchased by individuals, groups, airports, etc.
- 4、AVIATION WEATHER SERVICE PROGRAM : Aviation weather service provided by the National Weather Service (NWS) and the Federal Aviation Administration (FAA) that collects and disseminates pertinent weather information for pilots, aircraft operators, and ATC. Available aviation weather reports and forecasts are displayed at NWS offices and FAA Flight Service Stations (FSS).
- 5、CENTER WEATHER ADVISORY (CWA) :  
An unscheduled weather advisory issued by Center Weather

Service Unit meteorologists for use by ATC in alerting pilots of existing or anticipated adverse weather conditions within the next 2 hours. A CWA may modify SIGMET (顯著危害天氣)

- 6、透明狀積冰：表面光滑、透明或半透明的積冰，由大型超冷水微滴以相對緩慢的速率凍結而成，透明狀積冰或薄狀積冰都是同類型的積冰，但透明狀積冰特指較薄的，沒有尖角狀且與空氣動力面構形一致的積冰。
- 7、冷鋒：非囚錮鋒，氣團移動，由冷氣團取代暖氣團。
- 8、垂直對流：垂直的大氣活動，造成大氣的運動及其性質改變。
- 9、積雲：有個別所屬的半球形圓頂或塔狀之明顯特徵的雲系，積雲垂直地往上以圓丘狀發展，頂端突起與花椰菜類似，向陽面顯得特別的白，底部則顯得較暗沉，近乎水平狀。
- 10、凍冷毛滴雨：由過冷液態水滴形成，直徑小於 500 微米（0.5 毫米）大於 50 微米（0.05 毫米）。  
附註：凍冷細雨直徑上限學界大多數接受，但下限範圍究係 50 微米或 200 微米仍有爭議，航空器飛航遭遇凍冷細雨會形成積冰產生危害。
- 11、凍雨：由過冷液態水滴形成，直徑大於 500 微米（0.5 毫米），典型的直徑為 2 毫米。如果大於 6 毫米則往往會分裂為更小的微滴，航空器遭遇到凍雨，會形成積冰產生危害。
- 12、鋒面：兩氣團之間的界限，可分類為冷鋒、暖鋒、囚錮鋒或滯留鋒。
- 13、結冰範圍：參照 CFR 14 part 25 附錄 C 之定義，為航空器於結冰狀況中飛航取得認證之依據，詳列大氣結冰狀況之高度、溫度、液態水含量（LWC）及以中等體積直徑（MVD）表示微滴體積大小，通常以層狀雲系以連續最大值及積狀雲系中量值歸類二類結冰範圍。
- 14、撞擊：微滴碰撞後附著於航空器表面，撞擊率為某一尺寸大小之微滴撞擊特定之表面的速率，通常較大型的微滴及較小型

附件（如天線）碰撞速率較高。

- 15、輕度積冰：積冰的速率緩慢但長時間暴露在此種環境仍會對飛行產生危害，必要時使用除冰／防冰裝置以除或防冰。
- 16、液態水含量（LWC）：某一定單位體積雲內所含的液態雲微滴之總質量，一般以公克／立方公尺為單位。
- 17、中等體積直徑（MVD）：樣本雲層中，直徑大雨滴及直徑小雨滴各為半數。
- 18、混成積冰：同時有霜狀冰和透明狀冰外觀或同時具有二者構形及特性。
- 19、中度積冰：短時間暴露於此積冰速率的環境下即有潛在危險，必須使用防冰／除冰裝置或脫離該環境區域。
- 20、囚錮鋒：此種鋒面的形成是由一冷鋒超越一暖鋒，且將暖鋒抬升離開地球表面，囚錮（或稱鋒面性囚錮）則為一氣團被另兩個冷氣團夾擠而持續抬升。
- 21、山岳雲：山岳雲是空氣受地形影響流向上坡並經由冷卻而成形。
- 22、霜狀積冰：特性為表面粗糙、牛奶色澤、不透明，由小型超冷水微滴瞬時凍結而成。
- 23、嚴重積冰：積冰形成的速率快至無法以除冰／防冰裝置來排除其對飛行所造成之危害，必須即刻脫離該環境區域，以免更惡化。
- 24、靜滯點：某表面上之一點其局部空氣的速度為零，該點附近為最容易積冰的區域。
- 25、滯留鋒：一靜止或幾乎靜止的鋒面，兩氣團之對向力呈平衡狀態。
- 26、層雲：外觀為層狀且底部均勻平整，表面塊狀且參差不齊，可能產生細雨、雨或雪。

- 27、昇華作用：積冰未經液態過程，直接形成水氣。
- 28、過冷細雨滴：高空存在於過冷雲中的細雨滴，此術語目前少用。
- 29、過冷大型雨滴〈SLD〉：過冷微滴其直徑大於 50 微米（0.05 毫米），以凍細雨滴或凍雨滴型態出現。
- 30、過冷液態水〈SLW〉：溫度為 0°C 以下之液態水、雲中、凍細雨及凍雨都可發現過冷液態水的存在，超冷雲中偶而可發現冰晶的存在，大部分航空器結冰發生在有過冷液態水的過冷雲中，會凍結在航空器表面。
- 31、暖鋒：非囚錮鋒氣團移動，由暖氣團取代冷氣團。

（二）伴隨結冰的大氣狀況（參照附件四：Figure 1-11 之附圖說明）

- 1、航空器結冰狀況：幾乎所有航空器結冰都在過冷雲中發生，雲中水微滴以 0°C(32°F)以下的型態出現，當溫度接近 0°C(32°F)時，雲全數由微滴所組成亦可能有少數的冰微粒混雜其中，當溫度持續下降，則冰微粒數目驟升，固態冰與液態水相互成消長之勢，所以冰微粒一旦增加，水微粒就會減少。當溫度-20°C（-4°F）以下時，所有的雲幾乎都是由冰微粒所組成。

一般來說冰微粒越多，水微滴越少，則附著在機身上的積冰越少。因冰微粒的特性是會自機身表面彈開，不同於過冷微滴會凍結附著在機身，所以積冰最常發生在溫度 0°C（32°F）上下且含豐富水氣，而-20°C（-4°F）以下積冰的機率微乎其微。不過也有例外，就是經由加熱來提供防護的表面（或空速約 250knots 以上之航空器靜滯點附近，因局部空氣摩擦生熱）冰微粒可能溶化在這些表面上，又附著於後端溫度較低的區域，再度凍結。

航空器在溫度稍低於 0°C（32°F）的雲中，不見得有積冰的產生，有時僅有些微積冰，合理的解釋是即使這些雲主要是液態水微滴組成，但有時卻完全由冰微粒組成，此時就不容易有積冰產生。航空器表面積冰的速率與雲中液態水含量成正比。比起小型微粒，大型微粒慣性較大，受航空器週遭氣流影響相形

之下較小；所以，大型微粒與機身表面產生碰撞的機率較大。過冷雲中所含微滴尺寸介於 1 到 10 微米不等，通常不大於 50 微米(人類毛髮粗細約略為 100 微米)，故以中等體積直徑(MVD)術語表示微滴尺寸，在結冰狀況下飛航之航空器認證條件為：層狀雲中等體積直徑 (MVD) 不大於 40 微米，積狀雲中等體積直徑 (MVD) 不大於 50 微米，中等體積直徑 (MVD) 之統計分布條件為液態水微滴不得大於 100 微米，此假設條件下仍有發生的機率，故有一些航空器於經認證狀況下仍發生意外事故，乃係雲中飄浮之凍細雨或過冷大型雨滴 (SLD) 所致。本通告 17-18 頁提供飛航組員協助判斷；雲中是否存在有此種航空器機身積冰具危害性的微滴徵候，尤其對傳統無動力輔助飛操系及氣動除冰靴之航空器更為重要。雲層下方飛航出現的凍雨及凍細雨中亦常見過冷大型雨滴的存在，此類型的微滴遠比航空器所認證之還大，有些意外事故即肇因於長時間處於此種不利之環境。

- 2、雲系種類與航空器積冰：空氣上升的原因有下列數種：垂直性對流、地形抬升及鋒面抬升等，氣團上升時即伴隨膨脹，絕熱性冷卻，一但達到飽和，氣團內水氣便開始凝結成為水滴，開始形成雲。雲微滴一般平均直徑很小只有 20 微米，質量亦小，雲系裡輕度的氣流便可將其抬升。升氣流含豐富水氣加上強烈的抬升作用，即形成含有大量液態水或大型微滴的雲系，液態水越豐富，積冰的速率就越快；同樣的，微滴越大，積冰速率也越快。雲頂的微滴抬升的能量最大，所含液態水及大型微滴也最多，雲頂夠冷的話 ( $-15^{\circ}\text{C}$  ( $5^{\circ}\text{F}$ ) 以下)，便開始形成冰微粒，當然液態水的數量也就減少，下述探討雲的種類以及危害航空器安全的結冰狀況。

- (1) 層雲：亦稱層狀雲，外形為層狀，涵蓋面積廣大。抬升作用緩緩漸進，幾乎不含大量液態水，產生結冰狀況的部分厚度不超過 3,000 英尺，只要改變高度通常可以脫離結冰的狀況。但由湖泊效應所形成的層雲就不同了，地處湖面上方故含大量水分，美國大陸中以大湖地區之層雲為典型；初冬時期吹拂過尚未凍結的湖面時，對其形成特別有利，層雲中也常有

毛細雨大小之雨滴的存在，飛行組員隨時要注意此種雨滴存在的徵候（參考 17-18 頁傳統式無動力操縱系及氣動除冰靴航空器應注意的結冰徵候）。

- (2) 積雲：積雲是由富含液態水的旺盛垂直性對流所形成，穿越積雲的航空器通常會遭遇快速的積冰。一般來說，橫向面積不大，採取偏航措施就可以避開，具有垂直向上發展的特性，所以結冰層的厚度可達數千英尺；與層雲的橫向發展大異其趣。積雲分為積雨雲及雷雨雲，其上升氣流強烈且伴隨非常大型的液態水，大量積冰只是積雲的重大危害之一，雷雨的砧狀雲有時自中心部位向外綿延好幾海哩，且主要是由冰晶所組成，冰晶無法附著在未經加熱的機體表面，但會在經加熱的機體表面溶化後，向後附著凍結。砧狀雲之冰晶含量高，發動機吸入後推力表現將不如預期。
- (3) 山岳雲、波形雲、捲雲：山岳雲的形成是空氣受地形影響流向上坡，經由絕熱型冷卻而成，通常伴隨大量水氣，或是大型微滴。波形雲的特徵是頂端成波紋狀，含有大量液態水，長時間持續在波形雲中飛行將導致機身積冰。只有在非常高且冷的高度才會有捲雲的存在，全是由冰微粒所組成。產生結構性積冰的可能性甚微，但可能會在經加熱過的表面或經空氣摩擦升熱後溶化而往後附著凍結。
- (4) 凍雨與凍細雨：雨滴下落穿過冰點以下的空層其性質轉為過冷，係凍雨的成因，通常溫度隨高度增加而遞減，但溫度逆轉為凍雨形成要件，暖鋒接近時暖氣團覆疊在冷氣團之上即符合此要件。下凍雨時空氣通常 0°C (32°F) 以上，直徑大於 500 微米 (0.5 毫米) 或以上為凍雨滴定義，其直徑通常 2 毫米以上少數達 6 毫米以上，則易分裂成小直徑的雨滴。通常以直徑 20 微米 (0.02 毫米) 微滴是此類型雲的代表。雨滴大小約略是雲滴的 100 倍；體積及質量則為 1,000,000 倍，參照附件四 Figure 1. 雨滴與微滴體積比較。凍雨的質量是雲滴的 1,000,000 倍，其質量影響靜滯點（表面前緣）的範圍故凍雨的積冰範圍比超冷雲更往後延伸，凍細雨的某些成因與凍雨相似，所含的過冷水滴直徑小於 500 微米 (0.5 毫米) 大於



50 微米 (0.05 毫米)，凍雨主要成因為透過碰撞結合作用，當雲中的微滴凝結之直徑發展至 30 微米 時，於快速落下時碰撞其他較小較慢的微滴，便結合成大一點的微滴，此時再度與其他較小微滴的機率又大了些。碰撞-結合有利外在條件作用可在過冷雲的頂端產生毛細雨般大小的水滴。根據統計數據，凍細雨成因一半以上是因為碰撞-結合作用；遭遇凍細雨時爬升至較高高度，進入暖氣層 0°C (32°F) 以上的機率並不大。細雨滴直徑是雲滴的 10 倍；體積質量則為 1000 倍。因此，細雨的慣性大，撞擊效率佳，故較一般的雲微粒更易產生積冰。過冷雲中的細雨滴，導致積冰量大，因而航空器阻力增大或飛操系產生反常現象，可能導因為積冰的粗糙程度、形狀或嚴重程度，其情形與過冷大型雨滴 (SLD) 積冰十分類似 (參照 17-18 頁傳統無動力操縱系及氣動除冰靴航空器應注意的結冰徵候)。

- (5) 鋒面：因氣團溫度、壓力或相對濕度的差異形成鋒面。由冷氣團取代暖氣團移動稱冷鋒。氣團移動由暖氣團取代冷氣團，稱暖鋒。囚錮 (或稱鋒面性囚錮) 則為一氣團被另兩個冷氣團夾擠而持續抬升。以上三種鋒面接伴隨顯著的抬升活動，如配合充足水氣、冰點以下溫度，則有利於結冰狀況的形成。暖鋒鋒面，暖氣團滑過冷氣團上緣處，通常易形成積冰的層雲，參照附件四 Figure 2。冷鋒鋒面，冷氣團由暖氣團下緣貼地表而過。抬升活動較劇，若暖氣團濕氣重，則生成富含液態水的積雲，參照附件四 Figure 3。凍雨和凍細雨以過冷大型雨滴 (SLD) 的型態出現的例子也常出現在鋒面週遭。鋒面帶來積冰以及種種危險，應盡可能避開鋒面影響所及的區域，穿越鋒面應選擇最短距離穿越，不可延著鋒面飛行，以利縮短處於結冰狀況的時間。

### (三) 積冰效應、保護及偵測

- 1、積冰的型態：飛航中航空器積冰可分為結構性積冰或進氣系積冰，附著航空器表面或附件的積冰稱為結構性積冰，發動機進氣系統的積冰則稱為進氣系積冰。

- (1) 結構性積冰：過冷微粒撞擊機身結構或表面後，經凍結就可能有積冰產生，微滴特別容易附著在細小的物體表面後方產生積冰，通常有突狀物裝設在飛航組員目視所及之處稱為‘冰跡探針’，此亦為航空器最先也最易產生積冰之處。尾翼通常較機翼的厚度薄亦易產生積冰。結構性積冰隨著大氣飛行的狀況，依其特性外觀產生不同型態的積冰，分為透明狀積冰、霜淞積冰或混成積冰。
- (2) 透明狀積冰：表面光滑、透明或半透明的積冰。由大型過冷水微滴以相對緩慢的速率凍結而成，透明狀積冰或薄狀積冰都是同類型的積冰，與霜淞積冰比較其透明狀積冰更為緊實堅硬更透明，參照附件四 Figure 4。附著量大則會有尖角狀的積冰產生，透明冰生成有利條件為溫度接近冰點、大量水氣、航空器速度大及大型微滴，參照附件四 Figure 5。
- (3) 霜淞積冰：特性為表面粗糙、牛奶色澤、不透明，由小型過冷水微滴瞬時凍結而成，參照附件四 Figure 6。因瞬時凍結，積冰內有氣泡，外觀光澤，易碎裂通常都沿表面形狀附著，霜淞積冰生成有利條件為低溫、液態水滴較少、速度較小及小微滴。
- (4) 混成積冰：同時具霜淞冰和透明狀冰的外觀或同時具有二者構形及特性，以空氣動力學角度其積冰的外形與粗糙程度是探討積冰影響安全重點。
- (5) 進氣系積冰：進氣系統結冰將減少發動機燃燒的氣體量，往複式發動機之化油器積冰最常見濕空氣通過化油氣文氏管時冷卻，此作用文氏管壁及油門閥上產生積冰，造成進入發動機的空氣量減少，當溫度介於 $-7^{\circ}\text{C}$  ( $20^{\circ}\text{F}$ ) 與  $21^{\circ}\text{C}$  ( $70^{\circ}\text{F}$ ) 之間最容易發生，為防止結冰，利用發動機的高溫廢氣導入化油氣外壁可除冰並防止再度結冰。  
採噴射注油式之航空器發動機較無積冰的困擾，但仍有因積冰而堵塞進氣口的可能，製造廠商通常設計另一套替換進氣口道解決問題。採渦輪噴射發動機之航空器，發動機進氣口空氣吸入，使壓力溫度比周圍的空氣低，當外界環境近形成

有利結冰狀況條件時，降溫的作用符合結冰形成，於是積冰開始附著於發動機進氣口周圍，干擾進入發動機的氣流，運轉中的發動機吸入碎裂的積冰可能損傷風扇葉片或造成壓縮器失速、燃燒熄火等。

當使用防冰裝置時，積冰溶化後回流至無加熱表面再度凍結，如超出負荷，進氣量將減少，進入發動機的氣流亦受到干擾，導致壓縮器或風扇葉片震動進而損害發動機。積冰對渦輪發動機另一種影響，係發動機壓力探針提供參數作為推力設定的參考（例如發動機進氣溫度探針、壓縮比探針），如探針積冰，則造成發動機儀表的讀數有誤（參照附件一結冰相關之航空器失事事件有關佛羅里達航空 B-737 事件）。

發動機進氣段及低壓壓縮段一、二級均可能生成積冰。對軸流直式發動機影響不大，但採用彎道式進氣之渦輪螺旋槳航空器則會產生問題，進氣道轉彎處之靜滯點一旦積冰，若再吸入發動機則運轉將出現問題或馬力損耗，應根據不同發動機的設計適時參照飛航手冊，使用除冰／防冰系統裝置。

## 2、翼面之積冰對空氣動力面的效應：參照附件四 Figure 7 附圖。

（翼面指機翼或尾翼之縱切面），說明了積冰如何影響空氣動力面的升力係數。特別注意當攻角很小時，亦即巡航階段，積冰對空氣動力面幾乎沒有影響。但  $CL_{max}$  卻受積冰影響大幅消減，失速攻角同樣變小。進場階段空速減低，攻角變大時，飛航組員要特別警覺正常狀況下的失速攻角此時已經變小，失速速度也提高許多。翼前緣的積冰若很粗糙，即使是薄薄的一層，仍大會提高失速速度。如伴隨尖角狀的大量積冰，即使攻角很小亦對升力有顯著的影響。

參照附件四 Figure 8 附圖。說明翼面受到積冰污所衍生效應，空氣動力之阻力係數，無論於任何攻角都顯著增加，特別注意阻力，即使小量結冰，足以使  $CL_{max}$  大幅減少，失速攻角變小。 $CL_{max}$  減少 30% 極常見，而尖角狀積冰更將減少  $CL_{max}$  40% 至 50%。隨著積冰增加，阻力也不斷增加，如果有大量的尖角狀積冰，阻力可增加 100% 甚或 200% 或以上，此外由多數操縱附件組成的機翼後緣於起飛、進場及落地等階段連接處，於空氣動力面尚未失速前對積冰亦產生不同的效應，可能已經有壓

力的改變，足以影響操縱。

### 3、機翼積冰之效應：積冰對機翼的影響，視提供保護與否及保護的程度與種類而有不同。

- (1) 無保護機翼：完全無積冰保護的機翼，該航空器未取得於結冰狀況中飛行認證，但無預期進入結冰狀況除外。翼面為機翼的縱切面，積冰則沿著翼展附著而成，積冰使阻力增加，空速減少，為維持相同空速需更大馬力而暴露於結冰狀況越久，則積冰所造成的阻力也越大，甚至以全馬力都無法維持同樣的空速。長時間暴露於結冰狀況， $CL_{max}$  減少可達 30%；失速速度則增加約 15%，若增加油門配置，仍馬力不足，則將快速接近失速且急遽惡化，即使取得認證航空器，如防冰保護系統失效，亦遭遇同樣的困境。
- (2) 除冰機翼：FAA 建議一旦有積冰跡象即刻開啟除冰系統，除冰系統工作開關之後仍有積冰殘留或附著，不可能完全除冰。正確運用除冰系統，係控制最小量的積冰附著或殘留積冰，同時將阻力影響減到最小。巡航時，攻角對升力影響很小，而在進場或落地階段，因攻角增大而將失速速度提高，即使脫離結冰狀況後，仍需視需要繼續開啟除冰系統，直到機翼不再有殘留積冰為止。為減低可能失速的風險，如仍有一定量積冰存在，於開始進場後參照飛航手冊 AFM 或飛航操作手冊 POH 指示程序，適當地增加進場速度，以確保安全。
- (3) 防冰機翼：防冰系統目的旨在防止任何積冰附著機身表面，一般來說，利用發動機熱分氣導入機翼前緣內面作為機翼防冰保護，通常僅噴射客機或小型商用噴射機於重要部位採用，而渦輪螺旋槳或活塞式航空器不能使用發動機熱分氣。基於認證需求，在必要的部位須足夠的保護，無安全顧慮下，次要或不受積冰影響的部位則可有可無。

### 4、積冰對滾轉操控的效應：

- (1) 副翼積冰：與機翼積冰之操控效應關聯，副翼通常位於翼尖，機翼失速由翼根朝翼尖部位擴散，故失速發生之初始並不影

響副翼的作用，但翼尖通常較薄，容易有積冰附著，產生局部失速，進而影響滾轉操控。在除冰靴後緣，副翼前緣之機翼突起之積冰，因氣流受干擾，將影響副翼正常工作，此種積冰可能是過冷大型雨滴 (SLD) 於結冰狀況下飛航而附著，美國國家運輸安全委員會調查結果顯示這種效應就是 ATR-72 失事的原因，參照附件一結冰相關之航空器失事事件，有關渦輪螺旋槳航空器發生於 1994 年十月美國印第安那州 Roselawn 事件，失事後的試飛結果顯示，副翼前端的積冰可能以兩種方式影響副翼的作用，其一為操控傳統無動力輔助飛操系之航空器飛航組員於恆定狀態時，經由駕駛桿之操控份量得知副翼受力並不均衡且伴有驟然變化，此時飛航組員仍可調整此一不正常受力，副翼仍作用正常。其二為副翼操控作用雖明顯衰減，但不需以超出正常操作份量操縱。

- (2) 尾翼積冰：因重心在氣動壓力中心前緣，故大多數航空器受機翼影響而產生機頭往下力矩，尾翼積冰機尾之向下力抵消此一力矩，參照附件四 Figure 9。航空器伸放襟翼或加速時，尾翼負攻角適度增加，防止進入失速狀態，尾翼機冰可能於伸放襟翼進入失速狀態，參照附件四 Figure10。相較之下，尾翼的厚度比機翼薄了許多，更容易有積冰附著且飛航組員多數時候無法目視尾翼，所以尾翼是否除冰良好，不得而知，飛航組員必須保持高度警覺，特別是進場落地階段，注意是否有尾翼失速的徵候。P.29-30 機翼失速部份將會深入探討尾翼的失速。並非所有噴射客機配備有尾翼積冰保護系統，不過因噴射客機尾翼都有一定的厚度，並不容易產生積冰。且經更嚴謹全面認證測試分析；即使有大量的積冰，其尾翼不致失速。
- (3) 螺旋槳積冰：螺旋槳槳葉積冰，同樣會於空氣動力升力減少，阻力增加效應，使大部分積冰都附著在螺旋槳殼蓋與較內圈的範圍。靠近發動機進氣口範圍內通常附有防冰裝置而非除冰裝置，以減低剝離的積冰被吸入發動機內的機率。
- (4) 天線積冰：突出機體外的天線通常很細小，形狀又特別有利於積冰附著，所以積冰速率極快，亦無任何防冰或除冰的保

護。飛航中積冰會引發天線震動，導致信號失真，天線斷裂時，通信與導航裝備可能失效，斷裂的部分可能對機體造成損傷。

- (5) 冷卻口積冰：電子裝備產生大量熱氣，需要自外界導入專屬的冷卻氣源。冷卻口容易積冰但不見得有結冰保護。(參照飛航手冊可得知有何種形式結冰的保護)

## 5、重要系統的積冰效應：

- (1) 動壓管：衝壓空氣由開口進入，而少量的積冰就可堵塞動壓管開口，影響指示空速表的讀數，通常以加熱線圈包覆動壓管進行加熱。若動壓管堵塞：高於該被堵塞高度，則空速指示高於實際空速；低於該被堵塞高度，則空速指示低於實際空速。

- (2) 靜壓口：靜壓口也需要有結冰保護，若靜壓口堵塞：高於該被堵塞高度，則空速指示低於實際空速；低於該被堵塞高度，空速指示高於實際空速。靜壓器中不流通的空氣使高度表保持堵塞當時的高度，升降速度表則指示零，航空器的替用靜壓口若置於非加壓艙內，則選用替用靜壓口時，儀表讀數將有以下的誤差：

A、高度表讀數較實際高度高。

B、指示空速大於實際空速。

C、升降速率表短暫顯示正爬升率。

- (3) 失速警告系統：失速警告系統供給飛航組員重要的資訊，系統失效將使原已危急的狀況更加惡化，該系統可以複雜到採用失速警告翼板裝置，或簡單使用失速警告簧片，失速警告翼板（又稱攻角感測器，為該系統的組件之一）以攻角指示器直接顯示資訊或傳送資料到電腦加以整合，提供飛航組員不正常攻角訊號，攻角翼板看起來像 V 形的回力鏢，可以水平上下轉動，經由轉換器將翼板的位移傳送到航空器的電腦翼板，能以電加熱，防止積冰，轉換器亦有加熱裝置防止水

氣凝結。積冰使翼板傳送錯誤的訊號至駕駛桿震動器或失速警告裝置，如失速指示開口端或簧片因積冰堵塞、卡死，則失速蜂鳴警告器失去作用，即使失速警告裝置正常運作，但空氣動力面因積冰的關係，於失速警告未制動前，可能已先行失速。

- (4) 擋風玻璃：風擋防冰於結冰狀況下，可提供飛航組員良好的視野，高性能航空器擋風玻璃強度必須能承受鳥擊的衝撞或是加壓後應力，一般透過夾層內介質或電網膜通電加熱來達到目的，低高度操作及慢速的航空器除冰／防冰的方式則稍有差異，其一為於風擋適當位置設一電熱片，使飛航組員清楚地目視機外；其二為於風擋外下緣設一噴嘴，噴灑除冰劑防止積冰。

6、結冰狀況飛航認證條件：通過嚴謹的測試後，航空器始能取得結冰狀況飛航認證許可，以確保飛安。美 14 CFR part 25 附錄 C 認證程序包含以電腦輔助之統計分析、風洞測試、乾燥空氣測試、模擬結冰狀況操作及季節冰狀況操作，以確定防冰保護作用合於規定，亦於結冰範圍下確定航空器性能、操控性在合理設計要求範圍內。

- (1) 列入考量參數：結冰範圍線依據層狀及積狀過冷雲系來設計的，其假設條件為：設定某一溫度及高度範圍內的液態水之最大含量及水滴大小皆為定數的條件下探討，於 1950 年代所發展出來的，即使近年來研究數據仍依當時的理念而定，統計數據也顯示此一範圍統計以遭遇層狀及積狀雲時的準確度估計高達 99.9%。
- (2) 未列入考量參數：首先 99.9%並非 100%，飛航組員仍需視實際狀況予以適當處置。再者，結冰範圍設計之初並未包括過冷大型雨滴（SLD）狀況，（最新研究顯示在過冷雲中，過冷大型雨滴（SLD）甚至比預期的更常見），第三即使在雲下飛航亦可能遭遇凍雨或凍細雨。（以上三者並未列入結冰範圍設計參數內）
- (3) 經結冰認證的重要性：取得結冰認證過程嚴謹且所費不貲，

為符合結冰範圍參數條件進行測試，以了解航空器是否能長時間於該狀況下安全操作無虞。例如嚴重積冰的狀況下，航空器也需通過種種的測試、分析，證明其有至少 45 分鐘以上操作能力，航空器通過認證，飛航組員於結冰狀況下長時間飛行仍不可掉以輕心。少數狀況是無法取得認證的，如範圍參數外液態水質量其積冰速率快，造成積冰附著在保護面後方；過冷大型雨滴（SLD）撞擊保護面後方亦產生積冰。在未脫離該狀況範圍，則一直有積冰的情形發生，即使積冰以很快的速率附著，但仍可能未被發覺，例如積冰只需短短數分鐘就在重要的表面形成薄而粗糙的積冰，其對進場落地航空器有更大的危險。

- (4) 未經結冰認證的航空器結冰保護裝置：幾乎所有航空器動壓管都具加熱裝置，大部分航空器推力系統亦裝置結冰保護裝置，以備無預期進入結冰時使用，一般普通用航空器機翼及尾翼配置結冰保護裝置，提高安全系數。雖具結冰保護裝置，但未經認證之航空器，民航主管機關建議請求飛航管制單位協助，應盡速脫離結冰狀況。

7、防冰系統：防冰，顧名思義是防止積冰附著在航空器本身或特定的系統，防冰系通常使用電力、熱氣或化學藥劑。

- (1) 電力系統：小範圍防冰一般採用電力系統，如螺旋槳、天線、靜壓口、氣溫探針、動壓管及風擋等。有些螺旋槳採橡膠外層包覆內層加熱線圈的方式，去除附著在槳葉上的積冰，槳葉採間歇性且對稱性地局部加熱，避免造成積冰，或因剝落程度不等致配重不均而造成旋轉不順暢或震動，同時亦須加強周圍機身結構的強度，使其足以承受剝離槳葉積冰高速撞擊。槳葉若因積冰而受力不均發出異響，及上述剝離積冰撞及機身的聲響，均會造成乘客不適，甚至讓飛行組員分心。
- (2) 熱氣系統：發動機進氣口、機翼前緣之大面積結冰防護多採熱氣系統，噴射客機、商用噴射機多以發動機分氣為其熱氣來源，於蒙皮內鋪設孔狀歧管傳導熱氣，效用非常良好；缺點是減低可用推力分配，雙發動機航空器如遭遇發動機失



效，將大大減少其爬升性能。(參照飛航手冊之相關細節)

- (3) 化學溶劑系統：應用凝固點較水更低的化學藥劑特性，減低機身表面的摩擦係數，防止積冰附著，常用的有異丙基及乙烯乙二醇。參照飛航手冊或飛航組員操作手冊程序是正確操作防冰系統的不二法門，於易積冰大氣狀況下發現可見水氣，立刻啟動防冰系統以防止積冰附著。

8、除冰系統：除冰／防冰系統最大的不同之處在於：除冰系統啟用時機為有一定量的積冰附著之後才打開。除冰系統開關之間，少量積冰附著，或者關閉後仍有殘留的積冰，基本上都是在容許的範圍內，因機翼或尾翼不可能任何時候都無任何附著物。正確適當地運用除冰系統可以將這種附著量減至最低，同時也可有效地控制阻力的增加，受保護範圍外之表面，同樣會有積冰附著進而增加阻力，只要確實遵照經認證之飛航手冊或飛航組員操作手冊程序指示，風險就可以降至最低，系統開關之間的附著或關閉後的殘留，只於大攻角時，才有較顯著的負面效應，巡航時對升力幾乎沒有影響。進場落地時都有大攻角的特性  $CL_{max}$  減少，失速速度相對地提高。脫離結冰狀況後，於實施進場時，仍應繼續使用除冰系統，將失速速度提高的負面影響減至最小。落地前若仍未脫離結冰狀況或仍有嚴重積冰殘留，則應適度增加進場速度，以提高安全性，飛航組員此時應參照飛航手冊或飛航組員操作手冊程序指示。

- (1) 脈衝系統：應用電力之脈衝產生能量，快速伸縮去除表面積冰，經粉碎後的積冰隨氣流剝離。
- (2) 氣動除冰靴：參照附件四 Figure11。由埋設於航空器重要蒙皮內面的橡膠歧管所組成，常見於機翼、水平或垂直安定面的前緣。氣動除冰靴未啟動時與翼面平齊，避免干擾周圍的氣流。啟動時，由真空唧桶空氣使除冰靴面間歇性膨脹收縮，由氣流帶走剝離的積冰。積冰有可能附著且成形於除冰靴伸縮的空隙外圍，類似橋樑般形狀。更多的積冰將會附著在橋樑似的表面，除冰難度更形增加。避免此種情形發生的辦法是積冰達一定厚度後，再行啟動除冰靴，一般厚度為四分之

一吋、二分之一吋或一吋不等，近來研究所得結論顯示：先進之除冰靴幾乎沒有這項缺陷，大部分的實例都發生在二十幾年前老式設計。厚度四分之一吋積冰已經對航空器性能、穩定性及操縱性有很大影響，有些製造廠商建議一旦發現積冰，不管其厚度應即刻啟動除冰靴。既然除冰系統包括除冰靴均面臨開關之間的積冰附著或殘留積冰的難題，更應正確適當地使用除冰靴減低此效應，飛航組員須參照飛航手冊或飛航組員操作手冊程序。

- 9、維護考量：不一定所有的防冰／除冰系都很可靠。有的甚至需要更多的維修能量來保持堪用狀態，除冰靴便是其一，靴面橡膠易受空氣污染而硬化產生裂痕，進而效率不彰。亦易受場站等外物損傷撞擊，使橡膠薄層脫落。飛航組員應請維修人員詳細評估任何發現異常狀況。飛航組員應隨時注意航空器除冰／防冰系統是否堪用，符合規定，相關細節可參照最低裝備需求表詳述相關放飛或不可放飛的規範。

#### 10、積冰偵測：

- (1) 電子性：現代航空器均配置電子積冰偵測器，其原理是利用探針震動之固定頻率，一但積冰附著在探針上，改變原有頻率，致動駕駛艙內的積冰警示，該偵測器發出警示約一分鐘後，便自動啟動探針加熱裝置溶化積冰，此一過程不斷重複，只要持續在結冰狀況中飛行，探針上的積冰便一直致動駕駛艙內的警示。
- (2) 目視：特定的突狀物可協助飛航組員目視辨別積冰的存在，如風擋雨刷、發動機吊艙、落地燈等均為積冰最先附著的部位，可為目視參考。製造廠商也會刻意設計類似的突狀物，通常裝設於一般目視可及位置，稱為冰跡探針。因冰跡探針積冰速度較大型附件或表面附著速度為快，故為其他部位積冰的先兆，飛航組員應立即採取適當防護措施，該裝置不會致動任何警示，飛航組員應時常目視查察之。
- (3) 過冷大型雨滴（SLD）狀況的目視徵候：若遭遇過冷大型雨滴（SLD）狀況，傳統式無動力輔助飛操系及機翼配有氣動

除冰靴的航空器應請求改變航向、高度盡快脫離，其餘航空器亦應如此，以增加安全係數。基於過冷大型雨滴（SLD）狀況的目視徵候，液態水通常是造成積冰附著於有結冰防護表面後方的主因，過冷大型雨滴（SLD）卻會讓此種後部附著更為嚴重，有關徵候如下：

- A、除冰靴後方上下表面會有積冰附著，飛航組員應特別注意不規則或鋸尺狀積冰或積冰片片剝落的情形，夜間則需有充分的照明，以利辨識。
- B、如果積冰附著在未加熱的螺旋槳殼蓋後端，就是積冰已經超出正常範圍的警示。
- C、未加熱的側邊擋風玻璃如果發現佈滿顆粒狀冰晶、半透明或不透明的覆蓋層或伴隨突狀形的積冰，一旦進入過冷大型雨滴（SLD）狀況，幾秒鐘或半分鐘就會產生上述的積冰。
- D、通常不會積冰的附件，發現指狀或羽狀積冰時，機身結構會有大範圍積冰。
- E、航空器性能減退，任何與飛機性能相關的現象都要密切觀察，以利積冰判別，有關各航空器機型特有過冷大型雨滴（SLD）狀況之目視徵候應參考飛航手冊或飛航組員操作手冊程序之相關細節。

#### （四）飛航計畫

本節為美國飛航計畫所需資訊來源，及飛航組員可資利用的部分整理分析，部份以原文提供參考。

- 1、GENERAL AVIATION RESOURCES：The primary means available to general aviation pilots for obtaining preflight planning information is the FSS. An FSS briefer is available via telephone by dialing 1-800-WX-BRIEF (1-800-992-7433). The briefer will provide weather information that may include the location of frontal systems, available PIREPs（飛航組員天氣報告）, cloud coverage, temperatures, and wind direction and speed. Another

source of information is the Direct User Access Terminal (DUAT), which is an information system that enables pilots to conduct their own weather briefings. The computer-based system acquires and stores a number of NWS and FAA products commonly used in pilot weather briefings and can be accessed through the World Wide Web. Pilots also can file and amend flight plans while logged into the system. Further information about DUAT can be obtained from any FSS, Flight Standards District Office (FSDO), or on the Web.

- 2、AIR CARRIER DISPATCH SERVICES：U.S. air carriers that are authorized to conduct domestic or flag operations must have professional dispatch services that provide their pilots with relevant weather data for each flight. Sometimes these dispatchers rely on forecasts developed by the NWS, but some air carriers have an expanded capability, with their own meteorologists on staff who analyze raw data in addition to available forecasts to build a more detailed picture of existing and predicted weather conditions, including icing conditions.

**NOTE：**14 CFR part 121 supplemental and part 135 commuter/on-demand operations do not require dispatchers.

- 3、飛航組員天氣報告：飛航組員天氣報告是行經某區域航空器提供之最直接資訊的來源，對飛航計畫有極高的利用價值。

- (1) 飛航組員天氣報告有幾個主要部分：訊息種類、位置、時間、飛航空層、航空器型號及一種以上遭遇之天氣型態，除非另有標註所有高度以平均海平面高度表示，距離單位為海哩，時間採 UTC 時間。天氣型態以縮略字或符號表示，飛航組員天氣報告通常只是個別的報告，但也可以附加在航空天氣報告之後或與其他飛航組員天氣報告整合。飛航組員天氣報告之積冰等級如下：

- A、輕微：需偶而開啟除冰系統減少機身積冰附著之積冰速率，一般量化表示方法為：機翼外段積冰速率每小時 1 英吋(2.5 公分)或每 5 分鐘二分之一毫米，飛航組員需考慮脫離該狀況。

B、中度：需經常開啟系統減少機身積冰附著之積冰速率，一般量化表示方法為：機翼外段積冰速率每小時 1 至 3 英吋（2.5 至 7.5 公分）或每 20 至 60 秒二分之一毫米，飛航組員需考慮盡速脫離該狀況。

C、嚴重：無法以除冰系統清除之積冰速率；且積冰附著在平常不會附著的表面上，如保護部份之後端或製造廠商標明的部分，飛航組員必須設法立即離開該狀況。

(2) 飛航組員天氣報告注意事項：一般來說飛航組員天氣報告對飛航組員是極為受用的，但可能也會產生誤導如下：

A、航空器在飛航組員天氣報告無結冰區域遭遇結冰狀況，可能原因如下：

(a) 無航空器於先前飛越該區域。

(b) 先前有航空器飛越該區域但未遭遇結冰狀況，經常發生在空中交通稀少的區域，結冰狀況隨時隨地變動，高度稍有差異或時間不同狀況就可能有很大的不同，據記載幾乎在同高度同時間穿越某區域之航空器，卻經歷了積冰與無積冰完全不同的狀況的例子不少。

(c) 航空器遭遇積冰，但飛航組員未主動報告。

B、航空器遭遇之積冰較該區域飛航組員天氣報告所述及的更為嚴重，可能原因如下：

(a) 如前所述，結冰狀況隨時隨地都在變動。

(b) 飛航組員天氣報告對於航空器種類及結冰保護不同之航空器，有不等同意義，若航空器較小型、馬力較小、結冰防護稍差，同樣的狀況下則積冰附著可能較提出報告之航空器更為嚴重，如波音 747 遭遇輕微積冰，對 Mooney 可能會造成嚴重積冰。

(c) 飛航組員天氣報告是飛航組員主觀的認定，與其操作結冰保護系統之手法及結冰狀況操作經驗息息相關。據記載曾有飛航組員將冰跡探針每分鐘 1 英吋之積冰速率判

定為輕微積冰，夜間之觀察與判定難度更高。

- (d) 相近的機種相同處境關聯性高，但也不無盲點。例如提出報告之航空器是否以高攻角慢速飛行或爬升中（更容易有積冰附著），如何操作結冰保護系統或系統工作是否正常等等亦不得而知，結冰報告只能令飛航組員提高警覺，飛航組員提出飛航組員天氣報告其內容應越詳盡越好，且必須及時以供參考。

4、積冰預報：（美國資訊來源，提供參考）：積冰預報由 NWS、AWC、當地 FSSs、大型航空公司以及私人機構等航空氣象專家提供，並可藉由網路擷取相關資訊。AWC 提供之結冰航空氣象資訊涵括 6 小時之時段，一日更新 4 次。其廣泛之資訊涵蓋數個州的大小，且時段為 6 小時以上。當地 FSS 或 NWS 提供更詳盡之飛行前簡報，簡報員亦可個別解說，結冰預報的科技無時無刻不在進步，飛航組員天氣報告仍是最主要的結冰區域及嚴重度等主要來源，預報員整合飛航組員天氣報告與當地天氣特性推測天氣變化趨向，估計結冰所影響之區域，並推斷其程度與種類。取代預報員功能之自動化系統正在發展中，已有試驗性質之資訊發布。

- (1) 結冰預報使用之術語：AWC 使用之結冰強度預報術語與飛航組員天氣報告使用之術語相同。請參閱 AIM，預報的依據是以傳統方法或近年來研究單位發展出先進方法，做出之氣象分析資料及飛航組員天氣報告。結冰強度之定義隨航空器間之差異而有所不同，故 NWS 之結冰預報均採行統一標準，依航空氣象資訊標準輕度或中度積冰將對中型、平直翼之往複式發動機，會有操作上的影響；飛航組員應依照其駕駛之航空器對航空氣象資訊做正確之解讀，顯著危害天氣發布之嚴重積冰則未採行類似標準；顯著危害天氣若出現嚴重積冰之訊息，則所有等級之航空器皆不可等閒視之。預報員結冰報告的價值並不亞於對飛航組員的價值，氣象預報中只有飛航組員天氣報告是源自於實際天候的觀察，所以預報員必須仔細比對氣象分析資料與飛航組員天氣報告之間的異同，讓修正過之預報更為妥貼。除非區域內收到嚴重積冰之飛航組

員天氣報告，否則很少直接發布嚴重積冰之顯著危害天氣。積冰預報中積冰種類分成：透明積冰、霜淞積冰及混成積冰，預報通常以雲滴大小來預測積冰種類，但忽略其他參數如溫度、液態水含量、水滴大小及航空器速度等，因此預報霜淞積冰表示小型水滴，而混成積冰或透明狀積冰表示大型水滴，相互間並無嚴格之界定。結冰類降水（ICGIP）則表示高空之凍雨及凍細雨，即為過冷大型雨滴（SLD）。

（2）飛行前計畫資訊：不論是普通航空業或民用航空運輸業飛航組員，都有責任在離場前蒐集最詳盡的天氣資訊，包括結冰狀況，詳述與結冰相關的重要天氣資訊如下：

- A、鋒面位置：鋒面與積冰狀況形成有密切的關係，飛航組員對鋒面位置、種類、行進方向與速度應特別留意；並隨時以風向溫度的變化，作為觀察其行進路線進展之徵兆。
- B、雲層：預報中不一定提供雲系種類的資訊，但通常可以得知雲底及雲頂高度，由此飛航組員可以決定採取爬升或下降的措施來脫離結冰狀況。
- C、結冰空層：了解結冰空層之所在，有助飛航組員面對結冰狀況做出更有效的處置，如立即脫離結冰狀況，若有逆溫的現象，則採行的處置將因結冰空層不一，飛航組員處置應特別小心。

（3）航空氣象資訊（AIRMET）與顯著危害天氣〈SIGMET〉：航空氣象資訊之天氣危害程度通常低於顯著危害天氣，航空氣象資訊提供之資訊有助於飛航組員飛行前及飛航中規劃，顯著危害天氣則對有潛在性危害天氣狀況對飛航組員提出警訊，如嚴重積冰，小至普通航空業，大至噴射客機同樣受用。

- A、大氣溫度與壓力：積冰通常發生在相對低壓及溫度接近冰點的區域內。參照地表分析圖可得出相對低壓、結冰空層的資訊；高空風圖中除風向、風速外，尚且提供各空層之預測溫度。

- B、備用方案：企圖於可能結冰情況時駕駛經結冰認證之航空

器，或僅配備螺旋槳、擋風玻璃、機翼、安定面或其他表面除冰／防冰保護裝備及空速、高度、升降速率及姿態等儀表之航空器，如進入結冰狀況較預期嚴重，飛航前須預劃各類備用方案，包括改變高度、航向、空速或跑道長度足夠等之備降場。

## （五）飛航中操作

### 1、飛航中資訊之獲取：

- （1）飛航守望：飛航組員飛航中有許多獲取天氣資訊的管道，飛航守望是主要的管道之一，其資訊由飛航服務臺提供航路飛航服務，當飛航組員提出請求時，提供相關高度、航路之天氣資訊，能提供此類服務的 FSS 請參照機場／設施目錄或以無線電聯繫。
  - （2）飛航危害天氣諮詢服務：飛航危害天氣諮詢服務（HIWAS）藉由超高頻全方位信標臺（VOR）提供連續不斷預錄之飛航危害天氣預報，但僅限於 HIWAS 播送範圍內特定之 VOR。播送範圍由地理區域來劃分並由 FSS 所管轄，包含數個 HIWAS 播送臺（播送範圍為 HIWAS 播送臺 150 海浬半徑內）。
  - （3）預錄天氣廣播：預錄天氣廣播（TWEB）為連續不斷預錄之天氣與航空資訊，藉由低／中頻 VOR 設施撥放予飛航組員收聽。TWEB 相關資訊：包括各項不利之因素、航路預報、預測及含有結冰相關訊息之飛航組員天氣報告。
  - （4）民用航空運輸業之簽派單位：民用航空運輸業之組員利用公司無線電波道或機載之航空通訊諮詢回報系統（ACARS）與簽派單位連絡，聯管簽派單位則轉遞有關結冰狀況、鋒面動向／速度或近期之結冰之飛航組員天氣報告給予飛航組員。
- 2、飛航組員處置：未經結冰認證或無 FAR 91.527(b)規範「摘錄如下附註」規範所述裝備之航空器，應避免進入任何結冰狀況飛航，即使經結冰認證規範之航空器，於進入結冰狀況並不能保證飛航組員可以完全掌控一切突發狀況。



- (1) 層狀雲系之積冰：一般層狀雲厚度相對較薄，通常爬升或下降即可脫離有結冰狀況的雲系。爬升至溫度更低的空層只有冰微粒的存在，不易產生結構性積冰，因冰微粒附著在未加熱表面的機會很小；脫離雲系同時可讓積冰剝落或直接昇華，下降高度進入溫度高於冰點的空層，不論是否處於雲中都足以溶化積冰。
- (2) 積狀雲系之積冰：積狀雲中的積冰危害程度大，因其液態水含量高，穿越積狀雲或在其中待命是極不智，其水平範圍通常不廣，暴露於該積冰狀況時間短，但仍應繞道而過為上策。
- (3) 雪：雪只有在附著在機身表面才會造成危害，一旦雪附著在機身表面就有可能在積雪的底層開始形成積冰，故應視同積冰來處置。因為發生機率小，故航空器均未經驗證。遭遇該狀況，應盡速脫離，必要時請求飛航管制單位配合。
- (4) 凍雨及凍細雨：當雨水穿過低於冰點的大氣空層，受過冷效應形成凍雨，爬升至溫度較高的空層即可脫離凍雨。凍細雨的成因為碰撞-結合作用，爬升至較高空層並不見得溫度較低，故飛航組員應採縱向或橫向之脫離措施。可行方法如下：爬升至凍細雨輕微的空層；下降至溫度較高的空層，或保持高度轉向脫離凍細雨之區域。
- (5) 與飛航管制單位制單位間的聯繫：未經結冰認證之航空器或無 FAR 91.527(b) 規範所述裝備之航空器，一旦遭遇積冰，飛航管制人員無從得知該航空器認證與否及除冰／防冰裝備種類，更遑論積冰嚴重程度，必須盡快告知飛航管制單位請求脫離結冰狀況之高度航向。告知飛航管制單位的內容應包括結冰狀況、航向、高度之變更或預計之備降場。極度繁忙空域之無線電通線通話綿密，遭遇積冰時可能無法及時取得飛航管制單位許可來避讓天氣，此時可視需要宣告緊急情況與採行之處置措施。經結冰認證之航空器遭遇凍雨或凍細雨，應立即通知飛航管制單位，不得繼續暴露於該狀況中。機長對航機的安全有決定權並負完全之責任；當飛航管制單位指示與飛航安全牴觸時，飛航組員可以當機立斷，回絕飛

航管制單位任何指示。飛航組員應蒐集完整資料，考量航空器本身能力，對天氣現況及變化保持高度警覺，依此才能下達正確的判斷，做出適切之處置。

附註：摘錄 FAR 91.527(b)相關結冰情況中操作

『有下列情況時，飛航組員不得駕駛航空器起飛：

除航空器之防冰保護裝置符合 SFAR 23 Section 34 或運輸類航空器適航檢定，任何人不得於下列情況飛航：

A、於儀器飛行規則下進入已知或預報之中度結冰情況；或

B、在目視飛行規則下進入已知或預報之中度結冰情況，除非該航空器之螺旋槳、風檔、機翼或水平安定面或操縱面、或空速表、高度表、升降速率表、惑姿態儀系統之除冰或防冰裝置作用正常。

除航空器之防冰保護裝置符合 SFAR 23 Section 34 或運輸類航空器適航檢定，任何人不得進入已知或預報之嚴重結冰情況下飛航。

如提供給機長之即時氣象報告及簡報資料顯示，預報天氣情況已改變，其預報不致遭遇結冰情況，前第二項及第三項限制將不適用。』

#### (六) 結冰狀況下各階段飛航之考量：

經結冰認證之航空器，於結冰狀況下飛航的安全性考量及脫離結冰狀況的適切時機；下列原則是飛行前規劃必須列入之項目，飛航組員應參照飛航手冊或飛航組員操作手冊中檢查表。

1、飛行前：詳盡之天氣簡報，尤其有可能遭遇結冰狀況時更為重要，並註記簡報中下列項目：

(1) 結冰空層：飛航組員應將預報圖表結冰空層標定出來，方便遭遇結冰狀況時之處置。

(2) AIRMET 與顯著危害天氣：包含飛航組員應注意中度至嚴重積冰。

(3) 飛航組員天氣報告有關結冰區域／種類為最直接之資訊。

(4) 降水：降水的區域／種類預報有助避開可能產生積冰之區域。

遭遇結冰狀況時須注意之考量：

- A、規劃飛航路線時標定航圖中適用之備降場。
  - B、如有結構性積冰附著，則需選擇跑道長度較長之備降場並提高進場之速度。
  - C、準備使用 1 號電池之高亮度手電筒，便於夜間或低能見度時檢視機身積冰。
  - D、考量當無線電天線積冰或斷裂時，以備用手提無線電收發報機，收發無線電。
  - E、當航機以最大總重起飛爬升時，因性能減低，增加結冰狀況下之飛航時間。
  - F、積冰增加航機阻力，需要較大馬力致耗油增加，故需裝載額外燃油。
  - G、執行飛行前檢查時，清除機身表面積霜／積雪／積冰，少量積冰仍對空氣動力面有負面效應，飛行前可將航空器停放於有暖氣之廠棚，確認機身乾燥後再拖離棚廠以防表面水氣凝結。如果航空器稍早曾於冰點以下之環境操作，油箱之燃油降至冰點以下；即使氣溫在冰點以上，仍可能有積霜產生。如同冷凍飲料罐表面的積冰，某些航空器油箱設計更為容易發生此一現象。積霜／積雪／積冰可用摻有防凍成分之除冰劑清除。FAA AC 120-58 或 AC 135-17 有於不同環境下除／防冰劑使用及有效時間之探討。防冰劑通常在航空器達到仰轉空速時剝離，起飛後便不再提供任何保護，仰轉空速較小之航空器不適用 Type II 及 Type IV 除冰劑。檢查確認操縱面、煞車、鼻輪轉向之積冰、檢查動壓管加熱器／開口及失速警告等系統除冰／防冰系統工作正常。
- 2、滑行：遵循飛航手冊或飛航組員操作手冊程序於起飛前檢查除冰／防冰系統，地面有積冰或積雪時，加大各方向間隔，以慢速滑行；輕踩煞車，避免打滑。並預留較長之煞車距離。試車

時航空器可能滑動，前方需預留較大空間，測試煞車效能有無受積冰／積雪影響。機輪整流罩的積雪容易在空中凍結，確認操縱面全方向／全行程活動正常；檢查化油氣加溫正常。擋風玻璃若未配有除冰／防冰系統，則開啟並保留除霜熱氣，防止風擋於飛航中積冰。

- 3、起飛及爬升：依小型／輕型航空器飛航手冊或飛航組員操作手冊程序之建議爬升時，致動煞車及伸放起落架以清除起飛滾行時附著之積雪／雪泥／積冰。確認空速表指示正常，動壓管加熱器開啟，飛航管制單位指示或其他航機的限制，可能無法儘速爬高。慢速航空器爬升攻角較大容易產生積冰，平飛時機翼之積冰將更往後端／下側附著；飛航組員可能無法目視。
- 4、巡航：如果正確操作除冰／防冰保護系統，大部分經認證許可之航空器皆可在結冰狀況下飛行一段時間，但仍盡可能改變高度／航向以脫離結冰狀況。積冰產生時，飛航組員更須監控航空器性能，未保護的部分如積冰附著，一般來說不會影響航空器本身安全性，但產生的阻力會抵消部分馬力作用，殘留或除冰系統作用循環間的積冰亦有相同的負面效應。此時應該加大動力，保持原有空速，因較低空速對應較大之攻角，使機翼下側更容易產生積冰，如全馬力仍無法維持空速（可能原因在嚴重積冰狀況下除冰／防冰保護失效或使用不當），則應立刻脫離該結冰狀況。即使配備有除冰系統，殘留或除冰系統作用循環間的少量積冰是無法避免的。巡航時，空速快慢對積冰之附著效應不同，速度快則積冰附著速率快。速度增加至某一程度時，衝壓空氣與機身表面之熱效應使積冰不易附著，但只有高性能航空器可以達到此一速度。飛航中，隨時檢查測試除冰／防冰系統工作正常，也應隨時依不同狀況，擬定脫離結冰狀況之措施。

即使積冰時間短暫狀況輕微；飛航組員依然要保持高度警覺，積冰後改變構形，如伸放減速板／襟翼都要特別小心，巡航時不致產生影響，伸放構形後可能造成危害，一般構形巡航速度相對之機翼及尾翼攻角不大，不易失速。但構形改變，狀態動作變化時就可能攻角過大，即使殘留或系統作用間的積冰都可

能造成失速。

任何飛行階段，只要有積冰狀況存在，都需謹慎使用自動駕駛儀。一些手動操控可以察覺之因積冰而改變之空氣動力特性，無法由自動駕駛儀來替代；例如均衡之操縱面配平有些微變化時，立即可被以手動操控之飛航組員察覺。無動力輔助之操縱係，更會因自動駕駛儀超出工作負荷範圍自動跳脫而使飛航組員手忙腳亂，隨時解除自動駕駛儀，手動操作確認有無積冰引發操控性之異常，工作負荷量稍大時，則仔細觀察自動駕駛儀有無異常配平量／速率及航機姿態。

- 5、下降：下降前，飛航組員應盡可能保持在雲層上方。採用分氣氣源供應防冰系統之航空器可能因為發動機慢車轉速提高，以致推力加大無法保持應有之下降率，下降率小，故需提早下降，延長暴露於結冰狀況下時間。下降時改變構形需特別謹慎，航空器可能有不正常的動作變化。
- 6、待命：於低空待命航線中慢速操作，更容易有積冰產生。同前所述，謹慎使用自動駕駛儀。進入待命航線前／後，若有改變構形之必要，需提防不正常的動作或姿態改變，因改變構形時／後產生之不正常動作／姿態，則應立刻回復原有之構形。
- 7、進場及落地：進入結冰狀況時／後，調整進場／落地構形時，要提防航空器瞬間動作改變。巡航時機翼／尾翼攻角不大，故積冰附著之負面效應不大，起落架伸放後，若有積冰附著則阻力更大，襟翼／前緣縫翼應依次伸放，注意航空器對應之動作變化，如果伸放過程中，產生異常動作變化，則不應繼續伸放，甚或考慮收回。除冰靴應在進場前啟用，但因可能提高失速速度，故落地前最好關閉。落地後，起落架積冰可能造成無法控制方向，需有處置之準備。  
如進場／落地時可能會有視野上的問題，擋風玻璃之防冰／除冰失效或不及積冰附著之快，則以側面風擋目視外界應變；小型航空器則有人以信用卡或航圖尺規刮除積冰。自動駕駛儀可以減低進場／落地階段緊繃之工作負荷，但進入結冰狀況時／後應謹慎使用，低高度時自動駕駛儀突然跳脫其危險性更高。統計數據顯示，絕大多數積冰相關的意外事故發生在進場階

段；細分之下又可歸咎於構形改變、低高度、飛航組員負荷過重及低馬力設定；較常見的為航空器失控，積冰附著導致機翼失速，積冰污染尾翼失速（ICTS）或滾轉異常。各階段都可能發生機翼失速、滾轉異常；但現有統計數據則顯示 ICTS 於進場／落地階段外幾乎不曾發生，尾翼有積冰附著時，採無襟翼落地程序並提高適量之進場速度；因進場速度高，儘可能選用長度較長之跑道落地。

- 8、機翼失速：機翼受到積冰污染時，失速攻角減小，失速速度因而提高。少量積冰，特別是表面粗糙，也有同樣的負面效應。翼面有殘留積冰應提高適量之進場速度。增加湮數多寡則依據機型與積冰附著種類而決定，參照飛航手冊或飛航組員操作手冊程序。落地速度提高相對的滾行距離增長，飛航組員必須考慮以長度較長之跑道落地。

機翼失速並不比積冰污染尾翼失速（ICTS）少見，統計數據顯示因積冰污染機翼失速所衍生之意外事故較為常見，飛航組員有關機翼失速的訓練不可謂不多，但幾乎沒有安排尾翼失速訓練，雖尾翼失速之發生機率，於無附著物時極少，但積冰污染之尾翼失速時，應立即果斷推機頭。機翼失速之特性為滾轉操控困難，甚至無法操控，”結構性積冰效應”對左右兩機翼附著可能不平均；又因翼尖端較薄更容易有積冰附著，往往先行失速，副翼前端翼面積冰，也可能導致副翼操控性不佳。

- 9、積冰污染尾翼失速（ICTS）：“結構性積冰效應”亦述及 ICTS 之基本空氣動力原理，當尾翼有積冰附著且其負攻角過大，即行失速，通常伴隨襟翼部分伸放，方有可能發生。巡航階段幾乎無尾翼失速 ICTS（巡航時襟翼多在收回之定位）。襟翼伸放後，原本尾翼上幾無影響之積冰頓時使尾翼失速。在積冰狀況中飛行時／後，飛航組員應仔細觀察伸放構形時航空器之相對反應，是否引發抖震或其他失速現象。襟翼應依次伸放，若伸放後才發生抖震，應是尾翼失速的先兆。因為伸放襟翼後，機翼攻角隨之變小，但尾翼副攻角加大更接近失速。進場／落地階段，飛航組員更應特別留意積冰污染尾翼失速（ICTS）之徵候，使用自動駕駛儀時，很難於第一時間內立即發現這些徵

候。

- (1) 升降舵抖震。
- (2) 異常機頭向下之配平。
- (3) 異常俯仰變化（可能為飛航組員操作不當引發）
- (4) 升降舵操控性不佳。
- (5) 升降舵應力突然變化（若狀況許可，此時應推機頭）。
- (6) 突然間機頭下推。

如果有以上徵候出現，則下列為處置之參考。

- A、因襟翼把氣流導向尾翼，故應收回襟翼至先前之設定，並保持駕駛桿上適度機頭上仰之壓力。
- B、襟翼收回後，依襟翼角度採適當之空速飛行。
- C、馬力設定需相對應於當時之構形及外界狀況。某些航空器設計上，發動機馬力設定大，反而使積冰污染尾翼失速（ICTS）更形惡化，參照飛航手冊或飛航組員操作手冊程序之馬力設定。
- D、狀況許可下，推頭動作應柔和。
- E、使用氣動除冰系統時，應開啟該系統至尾翼積冰清除為止。

積冰污染尾翼失速（ICTS）改正程序中有部分與機翼失速之改正程序相反，故一定要明辨兩者間的差異。進場／落地時機翼與尾翼如有大量粗糙積冰，需要特別謹慎。襟翼的功能之一是減小機翼的攻角，使機翼免於失速，但尾翼之負攻角卻隨襟翼伸放而加大，對某一襟翼伸放角度而言，速度越小，則機翼越接近失速邊緣；而速度越大，尾翼卻更反而更接近失速邊緣。不同的襟翼角度有其對應的空速範圍，必須依機翼、尾翼兩者間之互動關係確實操作，飛航組員需熟讀飛航手冊或飛航組員操作手冊相關章節。一些航空器因設計不同，其馬力越大越容易進入積冰污染

尾翼失速 (ICTS)，參照飛航手冊或飛航組員操作手冊程序。懷疑積冰污染尾翼失速 (ICTS) 或機翼失速可能發生時，則航空器之非協調性動作如側滑或前滑應盡量避免；出現積冰污染尾翼失速 ICTS 或機翼失速徵候時，俯仰操控將出現反向效應，左右搖轉操控不易，故側風落地的限制應更為嚴格。落地時若有順風分量，應避免粗猛的推頭動作。機翼／尾翼有積冰附著時，飛航組員最好實施部分或無襟翼進場落地，但因進場速度提高，必須選擇長度較長之跑道。

10、滾轉異常：結冰狀況中，特別是過冷大型雨滴〈SLD〉，附著在副翼前端翼面上的積冰會造成滾轉異常，進場／落地階段航空器空速相對較慢，滾轉異常產生的問題極大，飛航組員可採取下列的改正措施：

- (1) 增加速度以減低攻角或低於最大襟翼伸放速度時伸放第一道襟翼。轉彎時則需立即改平機翼。
- (2) 調整必要的馬力，仔細觀察空速與攻角。
- (3) 假如襟翼已經伸放，確認機翼上方無積冰附著後再行收回。收回襟翼時，若保持相同空速則攻角加大。
- (4) 以目視確認兩側機翼結冰保護系統工作正常，如有故障，參照飛航手冊或飛航組員操作手冊之程序處置。

上述改正措施是針對機翼失速改正而言，積冰污染尾翼失速 (ICTS) 改正措施則有部分恰巧相反，採取錯誤的改正措施會使情況更加惡化。正確判別失速種類及採取正確的改正措施是維護安全之不二法門，飛航組員於結冰狀況時，應隨時保持全面性警覺。

11、摘要：積冰污染是許多航空器失事的肇因。起飛階段的事故大多與未確實執行地面機身表面除冰／防冰程序有關。防冰／除冰程序請參照 FAA AC 120-58 及 135-17。本通告內容詳述航行中形成的積冰，對定翼機飛航組員很實用，也幫助飛航組員了解空中結冰的潛在性危害及遭遇時之處置手段。未經結冰狀



況認證或無除／防冰系統之航空器應該避開所有結冰的狀況，在安全的前提下能避開，或脫離結冰狀況，亦為本通告之宗旨。經結冰狀況認證或有除／防冰系統之航空器所遭遇的結冰狀況，可能不包含其認證的範圍內，故飛航組員不可有絲毫懈怠。即便附著小量積冰時的短暫飛行都具有危險性。飛航組員需逐條逐項地仔細參閱飛航手冊或飛航組員操作手冊程序。結冰狀況中，正確適當地操作結冰保護系統，空速不得小於建議之速度。航空器目前尚無任何有過冷大型雨滴（SLD）狀況進雲或雲下飛行的認證，進入此種狀況是極端危險的。飛航組員應該參閱飛航手冊或飛航組員操作手冊程序，熟知其駕駛之航空器於雲中進入結冰狀況之特有徵候。

## 六、 相關規定及參考文件：

- （一）US Aeronautical Information Manual。
- （二）FAA AC 00-6A「Aviation Weather For Pilots and Flight Operations Personnel」。
- （三）FAA AC 00-45E「Aviation Weather Services」。
- （四）FAA AC 20-29B「Use of Aircraft Fuel Anti-icing Additives」。
- （五）FAA AC 20-73「Aircraft Ice Protection」。
- （六）FAA AC 20-113「Pilot Precautions and Procedures to be taken in Preventing Aircraft Reciprocating Engine Induction System and Fuel System Icing Problems」。
- （七）FAA AC 20-117「Hazards Following Ground Deicing and Ground Operations in Conditions Conducive to Aircraft Icing」。
- （八）FAA AC 23.143-1「Ice Contaminated Tailplane Stall（ICTS）」。
- （九）FAA AC 23.1419-2A「Certification of Part 23 Airplanes for Flight in Icing Conditions」。
- （十）FAA AC 91-51A「Effect of Icing on Aircraft Control and Airplane

Deice and Anti-Ice Systems」。

( 十一 ) FAA AC 135-9 「 FAR Part 135 Icing Limitations 」。

( 十二 ) NTSB ( 美國國家運輸安全委員會 ) Aircraft Accident Report  
AAR-96-01, In-flight Icing Encounter and Loss of Control  
Simmons Airlines, d.b.a. American Eagle Flight 4184 Avions de  
Transport Regional (ATR) Model 72-212, N401AM Roselawn,  
Indiana; October 31, 1994

( 十三 ) P-8740-24, Tips on Winter Flying -FAA Accident Prevention  
Program Publication

( 十四 ) P-8740-53, Introduction to Pilot Judgment-FAA Accident  
Prevention Program Publication

( 十五 ) For related reading materials, pilots are referred to the following  
publications :

- 1 、 Buck, Robert N., Weather Flying, McGraw-Hill, Fourth Edition;  
1998.
- 2 、 De Remer, Dale, Aircraft Systems for Pilots, Jeppesen Sanderson,  
Inc., 1996.
- 3 、 Flight Safety Digest, Protection Against Icing: A Comprehensive  
Overview, June-Sept. 1997, Flight Safety Foundation, 1997.
- 4 、 Hurt Jr., H.H., Aerodynamics for Naval Aviators, U.S. Navy, 1991.
- 5 、 Job, Macarthur, Air Disaster (Volume I), Aerospace Publications  
Pty Ltd., 1994.
- 6 、 Job, Macarthur, Air Disaster (Volume II), Aerospace Publications  
Pty Ltd., 1996.
- 7 、 MaChado, Rod, Instrument Pilot's Survival Manual, The Aviation  
Speakers Bureau, 1997.
- 8 、 Newton, Dennis, Severe Weather Flying, McGraw-Hill, 1983.
- 9 、 Wild, Thomas W., Transport Category Aircraft Systems, Jeppesen

Sanderson, Inc., 1990.

(十六) 92 年 9 月 30 日企法字第 09200282390 號含頒「航空氣象規範」，自 93 年 1 月 1 日起實施，頒布文號 92-科技-3 (8) 。

(十七) 民航局現代畫航空氣象網站：

<http://www.aoaws.caa.gov.tw/wmds/content/aoaws/wmds.html>

AOAWS - WMDS... the Advanced Operational Aviation Weather System (AOAWS) Web-based Multidimensional Display (WMDS) is a partnership between The National Center for Atmospheric Research (NCAR), the Institute for Information Industry (III) in Taiwan and the Civil Aeronautics Administration (CAA) in Taiwan to develop an advanced aviation weather system for Taiwan

簽署：\_\_\_\_\_

飛航標準組組長李萬里

## 結冰相關之航空器失事事件

### 一、美國老鷹航空 ATR-72（印第安那州 ROSELAWN）

1994 年 10 月 31 日 ATR-72 渦輪螺旋槳區間客機墜毀失事。該事件是近年來空中結冰事故中備受各界所爭議的。該航班由印州印第安那波里斯飛往芝加哥歐海爾國際機場，當時以自動駕駛儀操控航機於待命航線，準備下降至 8,000 英尺，穿越過冷雲及 過冷大型雨滴（SLD），美國國家運輸安全委員會估計當時該區域之過冷水滴大小介於 0.1 毫米至 2 毫米之間。

加入待命航線前，依據 ATR-72 飛航手冊指示結冰狀況其發動機螺旋槳轉速需設定至 86%（大氣總溫低過 7°C 且有可見水氣存在時）。加入待命航線後，未減低攻角伸放襟翼至 15 度位置，螺旋槳轉速調設至 77%。據推測約 30 分鐘後，飛航組員極可能認為已脫離結冰狀況，下降過程中為避免致動襟翼超速警告，遂將襟翼收上。

美國國家運輸安全委員會調查報告指出，該航機待命時，已有脊狀積冰附著在除冰靴後端而無動力輔助之副翼間的區域，故在到達 8,000 英尺時，攻角加大導致右副翼端氣流分離而進入無預期之副翼反向操作區，已非自動駕駛儀所能控制，故自行跳脫，航機立即於 1/4 秒內，改變成右翼垂直向下的姿態，接著導致升降舵發生結構性失效，飛航組員數次嘗試改正，仍未成功改正，最終以每秒 24,000 英尺的下降率撞毀在黃豆田中，造成 68 名乘客與機組人員全數罹難。

整個失事事故不能完全歸咎於單一原因，但美國國家運輸安全委員會仍朝其中主要的兩個方面繼續深入探討，以期找出日後再度發生類似事件的對策。

- （一）即便是取得認證許可之航空器，受不同的結冰狀況之效應仍無完整之對應數據。
- （二）飛航組員能力範圍所獲得之資訊仍不足以助其在遭遇結冰狀況時做出最適切的處置。

### 二、佛羅里達航空 B-737（哥倫比亞特區華盛頓）

眾所週知，本次失事事件肇因系該航機未遵循標準面除冰程序，也讓我們藉由該事件學到了一些寶貴的經驗，1982 年 1 月 13 日，該 B-737 自除冰一小時後，於華盛頓國際機場輕度至中度降雪中起飛，當時大氣氣溫低於冰點；滑行比預期更久，故機身到處累積冰及雪；包括兩具發動機之進氣壓縮壓力探針口已有積冰，顯然因飛航組員疏忽未啟動發動機防冰系統致未將熱氣導

入進氣壓縮氣口，探針口因而附著積冰，該探針口蒐集大氣進氣與排氣壓力參數比，為駕駛艙內測定發動機推力輸出之引擎排氣壓縮比（EPR）儀表。

因為當時 EPR 表顯示產生誤差，故實際之推力輸出小於飛航組員設定之起飛推力值，造成發動機推力不足，加上機翼表面積冰積雪，航機滾行仰轉勉強爬升兩三百英尺後，即進入失速狀態並墜毀第十四街一座橋邊附近。

### 三、西北旭日航空 B-727（紐約州 THIELLS）

此失事事故為空機運渡僅飛航組員三名罹難，故未引人太注目，但本事件凸顯本 AC 強調重要課題，足為借鏡，訓練有素飛航組員操作現代化航空器，因未啟用防冰裝置造成錯誤的儀表判讀之疏失。1974 年 12 月 1 日，該航機完成包機任務後，自紐約甘迺迪國際機場夜間空機運渡至紐約水牛城，起飛時一切正常，到達指定高度 31,000 英尺時，飛航管制單位收到一連串飛航組員發出有關航機失控及失速的無線電緊急通話與求救訊號；該機急速下降並於空中解體，墜毀於紐約大熊山的森林裡，隔天凌晨，美國國家運輸安全委員會調查員檢視殘骸，發現兩套動壓管加熱器的開關都置於 OFF 位置，飛航數據紀錄器及座艙通話紀錄器經解讀後發現，副駕駛並未確實執行起飛前檢查表，故未開啟動壓管加熱器。調查發現當通過 16,000 英尺時，推力不變，空速 305 海哩/時、上升率每分鐘 2,500 英尺；開始以超越該型機性能所不能達成速度及上升率持續爬升，造成飛航組員空間迷向疑惑，但通話顯示認為航機重量輕緣故，於高度 23,000 英尺時馬赫超速警告鈴響，飛航組員持續帶桿增加仰角，期能以換取高度的方法來減速，一連串警告訊號指示混淆致飛航組員無法適當處置，最後因攻角過大進入失速狀態，使航機進入無法改正的螺旋，其肇因為比對不同的空速並提供操縱感覺訊號之裝置尾翼上動壓管因結冰堵住，該操縱感覺儀作用的原理是比對空速予以飛航組員以相對性不同力量，操控升降舵的行程；當時空速因動壓管堵塞感覺儀輔助無從正常作用，致細微的駕駛桿行程變化產生巨大的姿態變化，加諸於航機的垂直加速應力也超出機械負荷，造成解體。儀器飛行訓練對動靜壓系失效之處置是必要課程，相關儀表讀數有誤雖不必然會產生警告，提醒飛航組員，但飛航組員應隨時注意保持警覺，必須以適當姿態飛航操控航機為要。

### 四、三菱 MU-2B-36（愛德華州 MALAD CITY）

1996 年 1 月 15 日該航機遵循 part 91 儀器飛航規則，自猶他州鹽湖城飛往艾德華州 Pocatello，保持高度 16,000 英尺飛航，平飛後遭遇結構性結冰狀況，依飛航管制單位雷達數據顯示：MU-2B-36 巡航空速自 190 海哩/時減少至 100 海哩/時，亦有偏離原有航向高度趨勢，飛航組員發出無線電緊急求救訊

號後，無線電失聯，該機開始右轉大角度向下俯衝墜毀，機上人員全數罹難，一架尾隨 MU-2 後約十二分鐘之 Beech 1900 型機飛航組員敘述當時該空層 16,000 英尺高度上下，有中度霜狀積冰，除冰靴共啟動過三次，隨後下降至 12,000 英尺脫離結冰。根據 MU-2 飛航手冊警告：結冰狀況失速警告可能不準確亦不可信賴，為減少積冰附著，穿越結冰區時最低空速不得小於 180 海浬/時或脫離結冰，機長當時已注意除冰靴計時器作用不良及其他維護缺點，然除目的地機場預報結冰狀況外，航路巡航階段並無預報任何結冰狀況。

美國國家運輸安全委員認為可能的失事原因如下：

- (一) 飛航組員對除冰靴作用不良，遭遇結構性結冰，並對航機故障情形十分清楚，卻未採取及時脫離。
- (二) 未保持建議之結冰最低穿越空速，導致墜毀。
- (三) 無航路結冰狀況預航，飛航組員無從適當處置。

## **五、PIPER PA-34-2005 (愛荷華州，DES MOINES)**

1996 年 1 月 9 日發生，飛航組員事故描述：

於通過跑道頭上方伸放襟翼至 25°時，飛機俯仰有推頭往下動作，立即收起襟翼加油門，但當時飛機基本係無法控制；再度收油門重新伸放襟翼的同時，已摔落跑道中心線並滑行 1,000 呎方停止，機上除單一飛航組員受傷外，無其他乘員。

美國國家運輸安全委員會調查員勘察飛機殘骸後，其前段機身、發動機及機翼因撞擊猛烈毀損嚴重，發現水平及垂直尾翼附著了近半吋霜狀積冰，判定失事肇因為飛航組員於結冰條件下飛航，未遵照指示啟動除冰系統，導致尾翼積冰失速。

---

## 美國結冰相關法規（FAA FAR原文）

---

Parts 91, 121, and 135 specify the responsibilities of flight-crews concerning flight in icing conditions. Pilots are advised to check the current regulations for revisions. They are noted here for reference only and to illustrate the degree of similarity between parts 91, 121, 125, and 135 with respect to regulation of flight into icing conditions. An important distinction in each of these regulations is the restriction on flight into “known or forecast” conditions. Because of the limitations of icing forecasts, it is admittedly difficult for pilots to be certain whether the conditions in which they are flying actually will result in an icing encounter, and it is even more difficult to determine the severity of the possible encounter. Pilots can get caught inadvertently in icing conditions that exceed these legal limits. General operating and flight rules for GA aircraft are found in part 91, but not all rules within part 91 are applicable to all GA aircraft. Section 91.501 states that the rules in subpart F apply only to large and turbojet-powered multiengine airplanes that are not covered by parts 121, 125, 129, 135, and 137. Section 91.527, Operating in icing conditions, falls within subpart F and thus is not applicable to all GA aircraft.

### 1. Part 91 Icing Regulations.

**a. IFR.** No pilot may fly an airplane under IFR into known or forecast moderate icing conditions unless one or more of the following apply:

- (1) The aircraft has ice protection provisions that meet the requirements in section 34 of Special Federal Aviation Regulation (SFAR) No. 23.
- (2) The aircraft has ice protection provisions that meet the requirements for transport category airplane type certification.
- (3) The aircraft has functioning deicing or anti-icing equipment protecting each propeller, windshield, wing, stabilizing AC 91–74 12/12/02 Appendix B B–2 surface, control surface, airspeed instrument, altimeter, rate of climb instrument, and flight attitude instrument system.

**b. VFR.** No pilot may fly an airplane under VFR into known light or moderate

icing conditions unless one or more of the following apply:

- (1) The aircraft has ice protection provisions that meet the requirements in section 34 of SFAR 23.
- (2) The aircraft has ice protection provisions that meet the requirements for transport category airplane type certification.
- (3) The aircraft has functioning deicing or anti-icing equipment protecting each propeller, windshield, wing, stabilizing surface, control surface, airspeed instrument, altimeter, rate of climb instrument, and flight attitude instrument system.

**c. Severe Icing.** No pilot may fly an airplane into known or forecast severe icing conditions unless:

- (1) The airplane has ice protection provisions that meet the requirements in section 34 of SFAR 23.
- (2) The airplane has ice protection provisions that meet the requirements for transport category airplane type certification.

**NOTE: See section 91.527, Operating in icing conditions, regarding the above regulations.**

**d. Aircraft Not Certificated for Flight in Icing Conditions.**

- (1) Aircraft certificated since the mid-1970s that are not certificated for flight in icing conditions will have a limitation in the AFM or POH and possibly a placard on the aircraft stating that flight into known icing conditions is prohibited. Such limitations are binding under section 91.9, Civil aircraft flight manual, marking, and placard requirements.
- (2) Aircraft certificated prior to the mid-1970s that are not certificated for flight in icing conditions may not have any prohibitions stated in the AFM or POH. If not, they are not covered by either section 91.527 or section 91.9. However, given that information on the dangers of aircraft icing has been widely



disseminated for many years, certain actions, such as taking off with wings coated with ice, could be interpreted as prohibited under section 91.13, Careless or reckless operation.

## **2. Part 121 Icing Regulations (see section 121.341, Equipment for operations in icing conditions).**

**a. Icing Conditions.** No person may fly an airplane in icing conditions unless one or more of the following apply:

- (1) The aircraft has functioning deicing or anti-icing equipment protecting each propeller, windshield, wing, stabilizing surface, control surface, airspeed instrument, altimeter, rate of climb instrument, and flight attitude instrument system.
- (2) The aircraft is type certificated under the transport category airworthiness requirements relating to ice protection.
- (3) The aircraft is a non-transport category airplane type certificated after December 31, 1964, which meets the provisions detailed below.

### **b. Non-Transport Category Airplanes Type Certificated After December 31, 1964.**

- (1) **IFR.** No pilot may fly a non-transport category airplane under IFR type certificated after December 31, 1964, into known or forecast light or moderate icing conditions unless one or more of the following apply:
  - (a) The aircraft has ice protection provisions that meet section 34 of appendix A to part 135.
  - (b) The aircraft has ice protection provisions that meet the requirements for transport category airplane type certification.
  - (c) The aircraft has functioning deicing or anti-icing equipment protecting each propeller, windshield, wing, stabilizing surface, control surface, airspeed instrument, altimeter, rate of climb instrument, and flight attitude instrument

system.

**(2) VFR.** No pilot may fly a non-transport category airplane under VFR type certificated after December 31, 1964, into known light or moderate icing conditions unless one or more of the following apply:

- (a)** The aircraft has ice protection provisions that meet section 34 of appendix A to part 135.
- (b)** The aircraft has ice protection provisions that meet the requirements for transport category airplane type certification.
- (c)** The aircraft has functioning deicing or anti-icing equipment protecting each propeller, windshield, wing, stabilizing surface, control surface, airspeed instrument, altimeter, rate of climb instrument, and flight attitude instrument system.

**(3) Severe Icing.** No pilot may fly a non-transport category airplane type certificated after December 31, 1964, into known or forecast severe icing conditions unless one or more of the following apply:

- (a)** The aircraft has ice protection provisions that meet section 34 of appendix A to part 135.
- (b)** The aircraft has ice protection provisions that meet the requirements for transport category airplane type certification.

**c. Nighttime Icing Conditions.** No person may operate an airplane in icing conditions at night unless:

- (1)** Means are provided for illuminating or otherwise determining the formation of ice on safety-critical parts of the wings.
- (2)** Any illumination used is of a type that will not cause glare or reflection that would handicap crewmembers in the performance of their duties.

**3. Part 125 Icing Regulations (see section 125.221, Icing conditions: Operating limitations).**

**a. Frost, Ice, and Snow Accumulation.**

No pilot may take off an airplane that has frost, ice, or snow adhering to any propeller, windshield, wing, stabilizing surface, control surface, power-plant installation, airspeed instrument, altimeter, rate of climb instrument, or flight attitude instrument system unless:

- (1) Frost adhering to the wings, stabilizing surfaces, or control surfaces has been polished to make it smooth.
- (2) The Administrator has authorized takeoffs with frost under the wing in the area of the fuel tanks.

**b. Anticipated Frost, Ice, or Snow Accumulation.** When conditions are such that frost, ice, or snow may reasonably be expected to adhere to the airplane, no certificate holder may authorize an airplane to take off, nor may any pilot take off, unless the pilot has completed the testing required under section 125.287(a)(9) and one or more of the following apply:

- (1) A pre-takeoff contamination check established by the certificate holder and approved by the Administrator for the specific airplane type has been completed within 5 minutes prior to beginning takeoff. A pre-takeoff contamination check is a check to make sure the wings and control surfaces are free of frost, ice, or snow.
- (2) The certificate holder has an approved alternative procedure under which the airplane is determined to be free of frost, ice, or snow.
- (3) The takeoff complies with the certificate holder's approved deicing/anti-icing program (which must comply with section 121.629(c)).

**c. IFR.** No pilot may fly an airplane under IFR into known or forecast light or moderate icing conditions unless one or more of the following apply:

- (1) The aircraft has ice protection provisions that meet appendix C of part 125.
- (2) The aircraft has ice protection provisions that meet the requirements for

transport category airplane type certification.

- (3) The aircraft has functioning deicing or anti-icing equipment protecting each propeller, windshield, wing, stabilizing surface, control surface, airspeed instrument, altimeter, rate of climb instrument, and flight attitude instrument system.

**d. VFR.** No pilot may fly an airplane under VFR into known light or moderate icing conditions unless one or more of the following apply:

- (1) The aircraft has ice protection provisions that meet appendix C of part 125.
- (2) The aircraft has ice protection provisions that meet the requirements for transport category airplane type certification.
- (3) The aircraft has functioning deicing or anti-icing equipment protecting each propeller, windshield, wing, stabilizing surface, control surface, airspeed instrument, altimeter, rate of climb instrument, and flight attitude instrument system.

**e. Severe Icing.** No pilot may operate into known or forecast severe icing conditions unless one or more of the following apply:

- (1) The aircraft has ice protection provisions that meet appendix C of part 125.
- (2) The aircraft has ice protection provisions that meet the requirements for transport category airplane type certification.

**4. Part 135 Icing Regulations (see section 135.227, Icing conditions: Operating limitations).** **a. IFR.** No pilot may fly an airplane under IFR into known or forecast light or moderate icing conditions unless one or more of the following apply:

- (1) The aircraft has ice protection provisions that meet section 34 of appendix A to part 135.
- (2) The aircraft has ice protection provisions that meet the requirements for transport category airplane type certification.

- (3) The aircraft has functioning deicing or anti-icing equipment protecting each propeller, windshield, wing, stabilizing surface, control surface, airspeed instrument, altimeter, rate of climb instrument, and flight attitude instrument system.

**b. VFR.** No pilot may fly under VFR into known light or moderate icing conditions unless one or more of the following apply:

- (1) The aircraft has ice protection provisions that meet section 34 of appendix A to part 135.
- (2) The aircraft has ice protection provisions that meet the requirements for transport category airplane type certification.
- (3) The aircraft has functioning deicing or anti-icing equipment protecting each propeller, windshield, wing, stabilizing surface, control surface, airspeed instrument, altimeter, rate of climb instrument, and flight attitude instrument system.

**c. Severe Icing.** No pilot may operate into known or forecast severe icing conditions unless one or more of the following apply:

- (1) The aircraft has ice protection provisions that meet section 34 of appendix A to part 135.
- (2) The aircraft has ice protection provisions that meet the requirements for transport category airplane type certification.

**d. Helicopters.**

- (1) **IFR.** No pilot may fly a helicopter under IFR into known or forecast icing conditions unless it has been type certificated and appropriately equipped to operate in icing conditions.
- (2) **VFR.** No pilot may fly a helicopter under VFR into known icing conditions unless it has been type certificated and appropriately equipped to operate in icing conditions.

**X C — ICING CHECKLISTS**

## 結冰檢查表

下列檢查表涵蓋進入可能之結冰狀況時或前後，應注意之事項，主要為一般性補充，不能取代飛航手冊或飛航組員操作手冊程序。

### 一、未經結冰狀況認證或無除／防冰系統之活塞式航空器：

#### （一）飛行前

- \* 詳閱及判讀氣象簡報，包括雲系種類、雲底／頂高度、降水種類、結冰高度、及飛航組員報告。
- \* 航行包內攜帶額外必備用品，如大型手電筒及備用電池。
- \* 於飛行前計畫中，針對不預期可能之惡劣氣候，規劃航路上各備降場，盡可能選定跑道長度較長之機場。
- \* 熟知脫離結冰狀況之要領（如改變高度或轉向 180°）。
- \* 於飛行前檢查時，清除航空器上所有積冰／積霜／積雪。
- \* 檢查動壓管加熱作用正常。
- \* 檢查動靜壓系開口、燃油排放口及失速警告感測器有否積冰。
- \* 清除煞車盤及機輪整流罩積冰。
- \* 檢查操縱面表面有無積冰／積雪。

#### （二）滑行／起飛／空中

- \* 慎用煞車，避免打滑。
- \* 檢查化油器加溫／備用氣源工作正常。
- \* 檢查操縱面全方向／全行程活動正常。
- \* 起飛後，遵照製造廠商建議：重複伸放起落架以清除輪艙中之積雪／雪泥。
- \* 飛航中，注意發動機轉速／化油器歧管壓力降低，是化油器進氣道積冰的徵兆。視情況啟動化油氣加溫／備用氣源。

- \* 如有積冰附著，立刻脫離該結冰狀況之環境。
- \* 依目視徵候推斷積冰附著程度／位置。如果機翼上有積冰附著，則尾翼有積冰附著的可能性亦大。
- \* 性能／操縱性減退是積冰附著的重要徵兆之一，不可輕忽。
- \* 熟記失速改正程序。尾翼失速改正動作先後次序與機翼失速改正動作相反。
- \* 即時解除自動駕駛儀，手動操作確認有無積冰引發之操控性異常。

### （三）進場及落地

- \* 改變構形時可能伴隨異常之姿態改變，如果航空器性能瞬間變化並超出預期，則回復先前之構形。
- \* 尾翼有積冰附著時，採無襟翼落地程序並適量提高進場速度。盡可能選用長度較長之跑道落地。
- \* 著陸後，輕採煞車以免打滑。

## 二、經結冰狀況認證或有除／防冰系統之活塞式航空器：

### （一）飛行前

- \* 詳閱及判讀氣象簡報，包括雲系種類、雲底／頂高度、降水種類、結冰高度、及飛航組員報告
- \* 航行包內攜帶額外必備用品，如大型手電筒及備用電池。
- \* 於飛行前計畫中，針對不預期可能之惡劣氣候，規劃航路上各備降場。盡可能選定跑道長度較長之機場。
- \* 熟知脫離結冰狀況之要領（如改變高度或轉向 180°等）。
- \* 於飛行前檢查時，清除航空器上所有積冰／積霜／積雪。
- \* 檢查動壓管靜壓口加熱作用正常。
- \* 檢查動靜壓系開口、燃油排放口及失速警告感測器有否積冰。
- \* 開關除冰／防冰系統確認工作正常。

- \* 清除煞車盤及機輪整流罩積冰。
- \* 檢查操縱面表面有無積冰／積雪。

## （二）滑行／起飛／空中

- \* 慎用煞車，避免打滑。
- \* 檢查化油氣加溫／備用氣源工作正常。
- \* 檢查操縱面全方向／全行程活動正常。
- \* 起飛後，遵照製造廠商建議：重複伸放起落架以清除輪艙中之積雪／雪泥。
- \* 飛航中，注意發動機轉速。轉速／化油器歧管壓力降低，是化油器進氣道積冰的徵兆，視情況啟動化油氣加溫／備用氣源。
- \* 正確之除冰／防冰系統操作程序請參照飛航手冊或飛航組員操作手冊程序，大氣溫度接近冰點並發現可見水氣，立刻啟動防冰系統防止積冰附著。
- \* 依目視徵候推斷積冰附著程度／位置，定時查看除冰／防冰範圍後端積冰附著；如果機翼上有積冰附著，則尾翼亦積冰附著的可能性亦大。
- \* 性能／操縱性減退是積冰附著的重要徵兆之一，不可輕忽。
- \* 熟記失速改正程序，尾翼失速改正動作先後次序與機翼失速改正動作相反。
- \* 即時解除自動駕駛儀，以手動操作確認有無積冰引發之操控性異常。

## （三）進場及落地

- \* 改變構形時可能伴隨異常之姿態改變，如果航空器俯仰或傾斜之變化超出預期，則回復先前之構形。
- \* 尾翼有積冰附著時，採無襟翼落地程序並提高適量之進場速度。盡可能選用長度較長之跑道落地。
- \* 著陸後，輕採煞車以免打滑。

## 三、渦輪螺旋槳航空器：



## （一）飛行前

注意：先進複雜航空器，其受專業訓練之飛航組員於結冰狀況下操作時，應參照飛航手冊或飛航組員操作手冊程序及公司政策。

- \* 地面除冰操作程序，需參照公司政策訂定之操作手冊或美 AC 135-17 及 AC 120-58 之指示。
- \* 詳閱及判讀氣象簡報，包括雲系種類、雲底/頂高度、降水種類、結冰高度、及飛航組員報告。
- \* 於飛行前檢查時，清除航空器上所有積冰／積霜／積雪。
- \* 檢查動靜壓系開口、燃油排放口及失速警告感測器有否積冰。
- \* 開關除冰／防冰系統確認工作正常。
- \* 清除煞車盤及機輪整流罩積冰。

## （二）滑行／起飛／空中

- \* 慎用煞車，避免打滑。
- \* 檢查操縱面全方向／全行程活動正常。
- \* 起飛後，遵照製造廠商建議：重複伸放起落架以清除輪艙中之積雪／雪泥。
- \* 正確之除冰／防冰系統操作程序請參照飛航手冊或飛航組員操作手冊程序，大氣溫度接近冰點並發現可見水氣，立刻啟動防冰系統防止積冰附著。
- \* 使用通氣氣源時，馬力設定需依據飛航手冊或飛航組員操作手冊程序。
- \* 依目視徵候推斷積冰附著程度／位置。定時查看除冰／防冰範圍後端積冰附著。
- \* 性能／操縱性減退是積冰附著的重要徵兆之一，不可輕忽。
- \* 如果有啟用機翼除冰系統之必要，則尾翼亦有積冰附著的可能性大。
- \* 熟記失速改正程序。尾翼失速改正動作先後次序與機翼失速改正動作相反。
- \* 即時解除自動駕駛儀，手動操作確認有無積冰引發之操控性異常。某些飛

行則將腿部輕靠配平轉盤，直接感受自動駕駛儀操縱時之配平量。

- \* 善用空速標示鍵觀察空速變化。

### （三）進場及落地

- \* 改變構形時可能伴隨異常之姿態改變，如果航空器俯仰或傾斜之變化超出預期，則回復先前之構形。
- \* 尾翼有積冰附著時，採無襟翼落地程序並提高適量之進場速度，盡可能選用長度較長之跑道落地。
- \* 最後進場前，啟用除冰靴。
- \* 著陸後，輕踩煞車以免打滑。

## 四、渦輪噴射航空器：

### （一）飛行前

注意：更先進繁複的航空器，經專業訓練之飛航組員於結冰狀況下操作時，應遵循飛航手冊或飛航組員操作手冊程序及公司政策訂定之操作程序。起飛前更應完成地面除冰；因起飛後，穿越或飛經有結冰狀況之區域前的反應時間更為短促。

- \* 地面除冰操作程序，需參照公司政策訂定之操作手冊或 FAA AC 135-17 及 AC 120-58 之指示。
- \* 除冰劑不得朝發動機、輔助動力系統、動壓管開口、探針開口或靜壓口噴灑。
- \* 加熱過之除冰劑不得朝低溫之擋風玻璃噴灑。
- \* 除冰劑之氣味具有毒性，若乘客登機後再行噴灑，需關閉所有外部通氣閥。
- \* 詳閱及判讀氣象簡報，包括雲系種類、雲底/頂高度、降水種類、結冰高度及飛航組員報告。
- \* 於飛行前檢查時，清除航空器上所有積冰／積霜／積雪。
- \* 檢查飛航資料相關之感測器：攻角器及動壓管／靜壓口加熱作用正常。

- \* 檢查動靜壓系開口、燃油排放口及失速警告感測器有否積冰。
- \* 開關除冰／防冰系統確認工作正常。
- \* 清除煞車盤及機輪整流罩積冰。

## （二）滑行／起飛／空中

- \* 慎用煞車，避免打滑。
- \* 檢查操縱面全方向／全行程活動正常。
- \* 起飛後，遵照製造廠商建議，重複伸放起落架以清除輪艙中之積雪／雪泥。
- \* 正確之除冰／防冰系統操作程序請參照飛航手冊或飛航組員操作手冊程序。大氣溫度接近冰點並發現可見水氣，立刻啟動防冰系統防止積冰附著。
- \* 使用環控氣源時，動力設定需依據飛航手冊或飛航組員操作手冊程序。
- \* 依目視徵候推斷積冰附著程度／位置，定時查看除冰／防冰範圍後端積冰附著。
- \* 性能／操縱性減退是積冰附著的重要徵兆之一，不可輕忽。
- \* 如果有啟用機翼除冰系統之必要，則尾翼亦有積冰附著的可能性大。
- \* 熟記失速改正程序，尾翼失速改正動作先後次序與機翼失速改正動作相反。
- \* 即時解除自動駕駛儀，手動操作以確認有無積冰引發之操控性異常，尤於待命航線中低速操作時更形重要。

## （三）進場及落地

- \* 改變構形時可能伴隨異常之姿態改變，如果航空器俯仰或傾斜之變化超出預期，則回復先前之構形。
- \* 最後進場前，啟用除冰靴。
- \* 參照飛航手冊或飛航組員操作手冊程序，於有積冰附著時，以較大之進場速度執行落地，盡可能選用長度較長之跑道落地。
- \* 著陸後，輕踩煞車以免打滑。

## 附圖說明

Figure 1：雨滴與微滴體積比較.

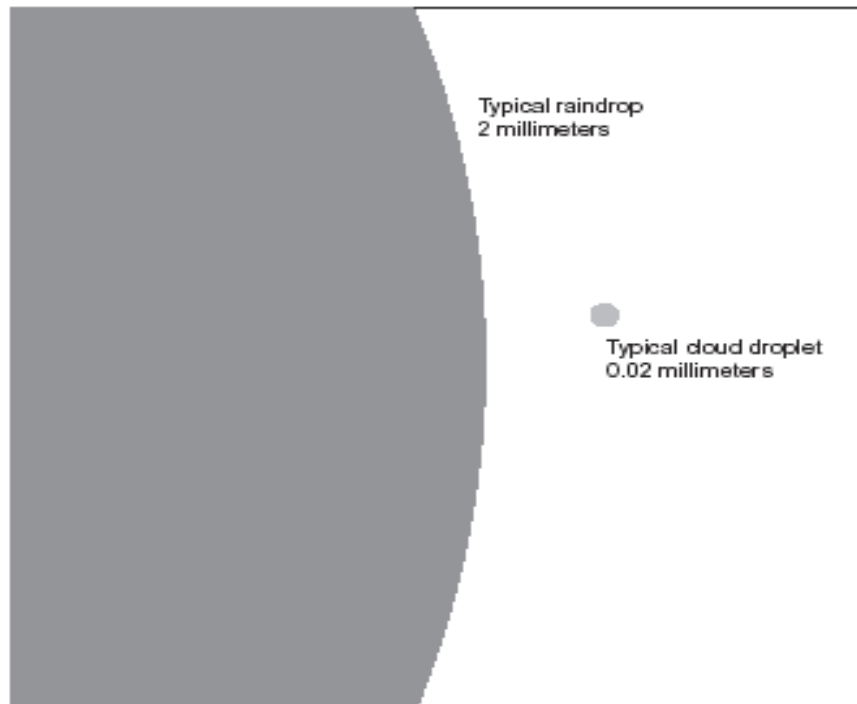


Figure 1. Droplet size comparison.

Figure 2：暖鋒鋒面，暖氣團滑過冷氣團上緣處，通常易產生積冰的層雲形成.

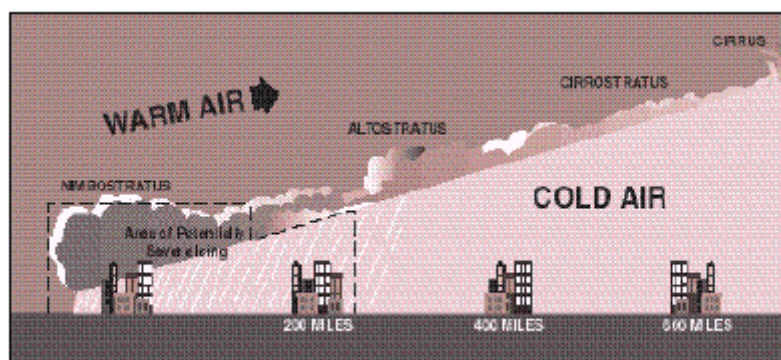


Figure 2. Warm front.

Figure 3：冷鋒鋒面，冷氣團由暖氣團下緣貼地表而過。抬升活動較劇，若暖氣團濕氣重，則生成富含液態水的積雲。

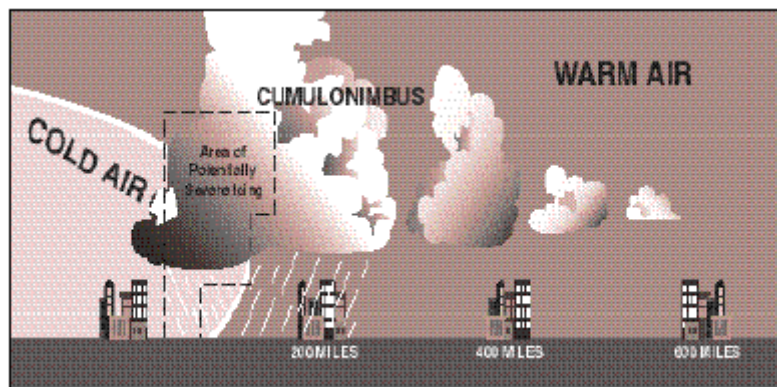


Figure 3. Cold front.

Figure 4：透明狀積冰表面光滑、透明或半透明的積冰。



Figure 4. Clear ice.

Figure 5：透明狀積冰更為緊實、堅硬更透明。如附著量大則會有尖角狀的積冰產生。



Figure 5. Clear ice buildup with horns.

Figure 6：霜淞積冰：特性為表面粗糙，牛奶色澤，不透明，由小型超冷水微滴瞬時凍結而成.



Figure 6. Rime ice.

Figure 7：說明了積冰如何影響空氣動力面的升力係數。特別注意當攻角很小時，亦即巡航階段，積冰對空氣動力面幾乎沒有影響。但  $CL_{max}$  卻受積冰影響大幅消減，失速攻角同樣變小.

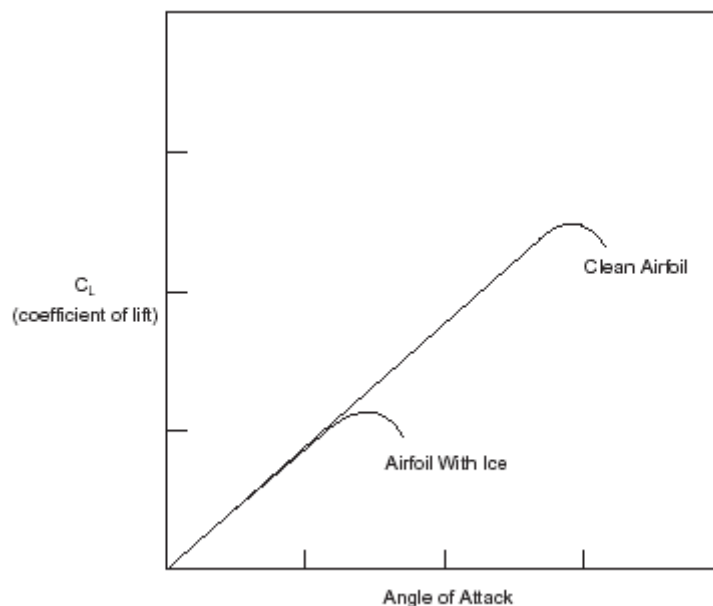


Figure 7. Lift curve.

Figure 8：說明了積冰如何影響空氣動力面的阻力係數，特別注意阻力無論在任何攻角都顯著增加.

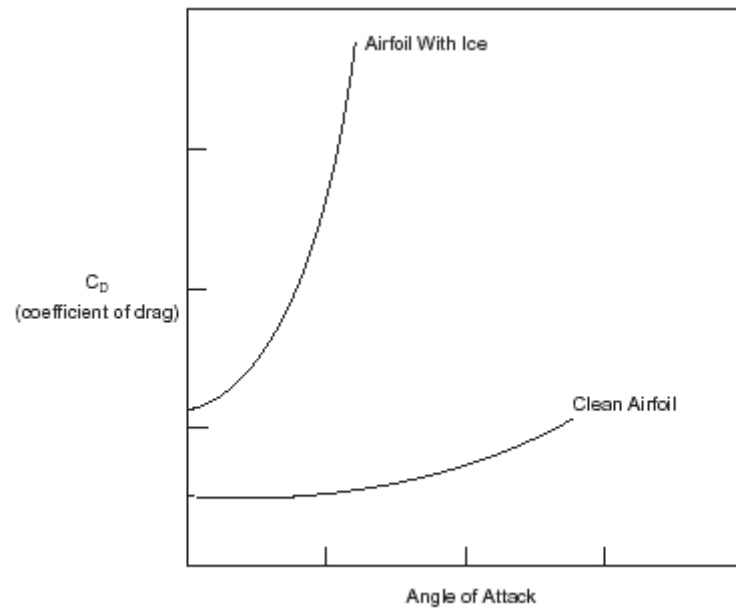


Figure 8. Drag curve.

Figure 9：重心在壓力中心的前緣，航空器機頭往下力矩，尾翼積冰之機尾向下升力，抵消此一力矩的角色.

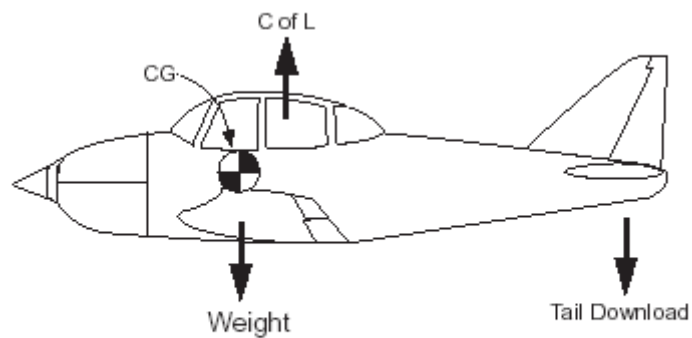


Figure 9. Tail down moment.

Figure 10：尾翼機冰，可能於伸放襟翼進入失速狀態.

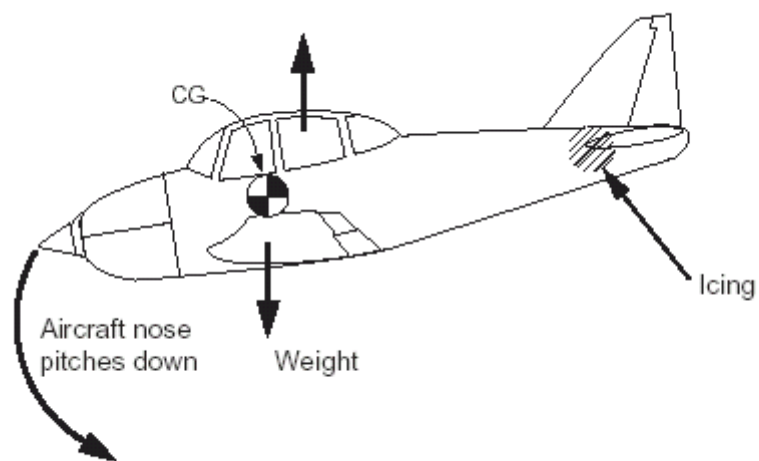
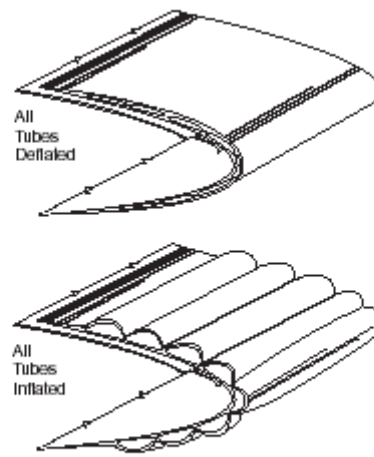


Figure 10. Pitchover due to tail stall.

Figure 11：氣動除冰靴埋設於航空器重要蒙皮內面的橡膠歧管所組成。常見於機翼，水平或垂直安定面的前緣.





*Figure 11. Wing boot.*