

臺北飛航情報區積冰及亂流即時預報產品之建置

莊清堯

臺北航空氣象中心，桃園縣大園鄉，33742

摘要：積冰及亂流對於飛行中航機的危害甚大。如何準確的預報積冰及亂流的強度與區域，即是航空氣象預報一直以來重要的課題。模式預報為當今主要預報積冰及亂流的主要工具，其準確度與否，來自初始場資料品質及資料種類，其中空中資料部分，主要係以航機報告為主，所涵蓋區域不若地面觀測資料廣泛，資料也很難定時(routine)提供，因此，有效提昇航機航行中的積冰及亂流預報準確度，一直以來都是世界各國努力的目標。

飛航服務總臺（以下簡稱總臺）臺北航空氣象中心自 1997 年開始，經由航空氣象現代化作業系統(AOAWS)計畫，與美國國家大氣科學研究中心(NCAR)合作，持續與當時美國聯邦航空管理局(FAA)作業中的積冰及亂流預報技術接軌，並利用臺北飛航情報區歷史資料，調校強化運算規則，打造專屬於臺北飛航情報區的積冰及亂流預報產品。

自 2012 年起，AOAWS 引入美國積冰及亂流即時預報技術(Nowcasting)，強化短時間內的積冰亂流預報準確度及品質。本文針對臺北飛航情報區所建置的積冰及亂流即時預報技術進行介紹。。

關鍵詞：積冰、亂流、即時預報

1. 前言

隨著全球經濟發展，航空運輸的需求快速增長，如何使航空運輸安全，提升安全水平的需求日益重要。影響航機飛行安全的顯著危害天氣中，又以積冰及亂流影響程度最大。

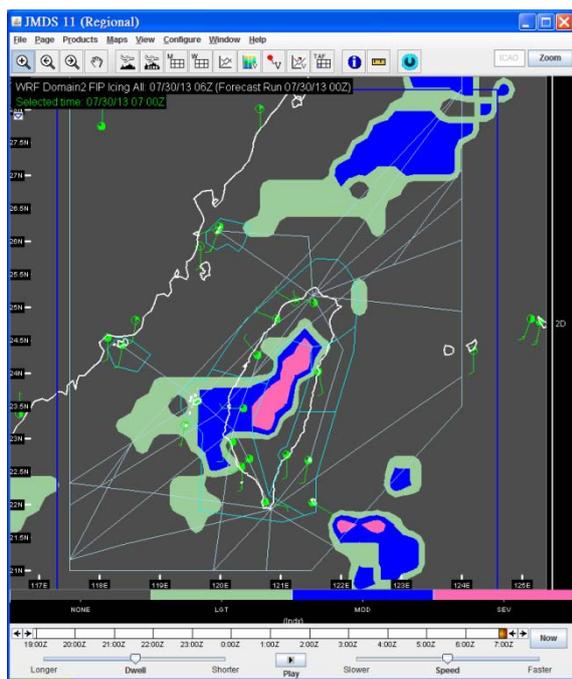
為了持續與國際間航空氣象預報系統及技術接軌，總臺透過「駐美國臺北經濟文化代表處與美國在臺協會間航空氣象現代化作業系統發展技術合作協議」，與美國國家大氣科學研究中心合作執行航空氣象現代化作業系統(AOAWS)計畫，自 1997 年起迄今已執行三期共 16 年計畫。經由與美方合作，持續引進 FAA 作業中的積冰及亂流預報技術與產品，藉以提升臺北飛航情報區積冰及亂流預報品質與準確度。而在 2012 年起，臺北飛航情報區將引入即時預報技術，利用即時觀測資料調整模式預報結果，使得過去氣象數值模式預報對於天氣系統移動速度及強度失準時，導致積冰及亂流預報結果參考性下降情況可大幅得到改善。正因如此，臺北飛航情報區的積冰及亂流預報技術將邁入另一新的里程碑。

2. 積冰及亂流預報產品的現況

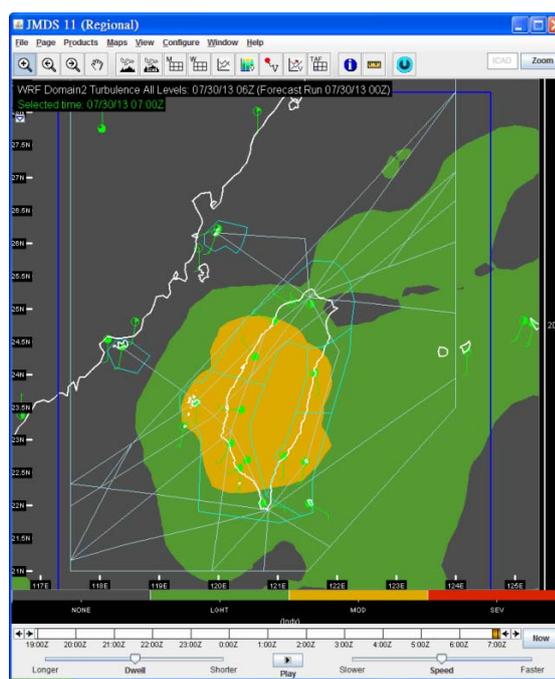
目前臺北飛航情報區所使用的積冰及亂流預報產品，歷經多次改變升級，其改版原因在於為引進更為準確的演算法則以及解析度更高的天氣數值模式資料。目前所使用的模式資料為來自臺灣中央氣象局的天氣研究與預報模式(WRF)輸出結果，再分別針對不同的預報產品，經過預報積冰演算法(FIP)及整合亂流演算法(ITFA)所得，無論是 FIP 或 ITFA 皆為利用各個 run 所執行產出的模式資料，與歷史實際發生積冰及亂流時的大氣因子情況，經過模糊邏輯演算(Fuzzy logic)比對，得知目前的模式資料中各項因子條件，其對於積冰及亂流發生的機率與強度進行預報。

所以模糊邏輯演算法，即是將歷史實際發生積冰及亂流時的大氣因子進行統計分析，將各項因子分別加以權重，因為各項因子加以個別權重後，最後將各因子加權後的分數相加，其主要目的在於使各因子相互之間得以互相牽制或助長，避免過去因為單項因子過高，主導了整個積冰及亂流的運算結果，出現預報失準情況。

目前臺北飛航情報區積冰及亂流產品(如圖一及圖二)。



圖一、積冰預報產品



圖二、亂流預報產品

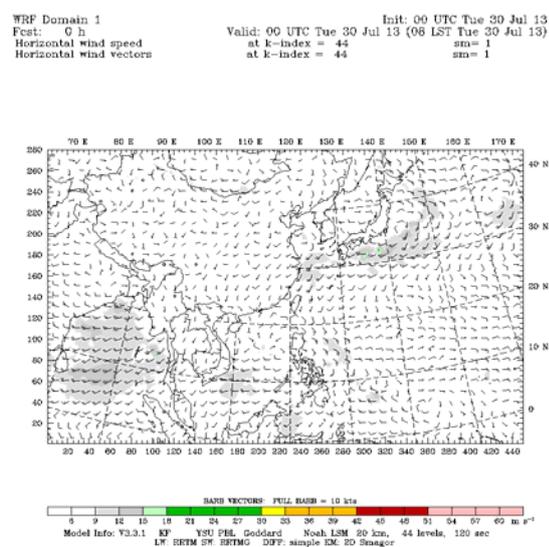
目前臺北飛航情報區所使用的積冰及亂流預報產品效能部分，目前偵測率(Probability of Detection; POD)高於 90%。

3. 模式預報產品的缺點

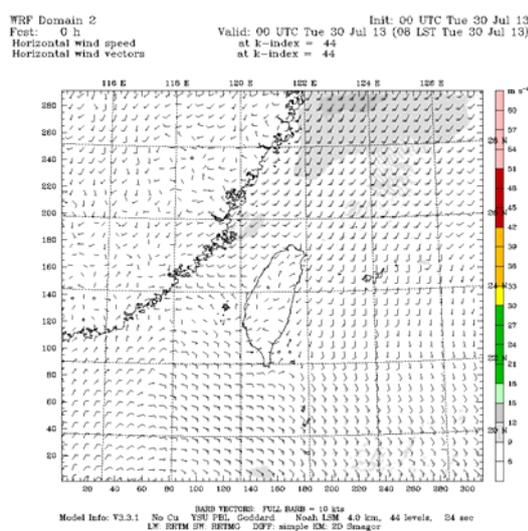
由於數值天氣模式多半僅納入初始時間的觀測資料(包含地面及高空資料)進行預報時間內的天氣演算，但由於天氣系統移動、消散及影響時間、強度，仍有技術上問題需要克服。因此僅

利用數值模式預報後續天氣變化上，容易出現系統抵達時間早晚、影響時間長短、影響強度等等誤差。

以目前臺灣地區所使用的 WRF 模式資料為例，每天共執行 4 個 run，每次產生預報時間長度依範圍大小分別有 72 小時及 48 小時不同，解析度部分同樣依預報範圍大小而分別為 20 公里及 4 公里兩種解析度。(如圖三及圖四說明)。



圖三、Domain1 範圍，預報長度 72 小時



圖四、Domain2 範圍，預報長度 48 小時

另單就積冰及亂流等顯著天氣時間尺度及空間尺度上，單就數值模式結果進行演算，可能會因積冰及亂流現象所發生的空間尺度小於數值模式解析度或時間尺度短於數值模式預報間隔時間，而使得預報產品無法診斷具有以上特性積冰及亂流的發生。但短時間、小尺度的積冰及亂流現象不代表對於飛行中航機無任何威脅，因此亟需要引入更為即時且具參考性的積冰及亂流預報產品。

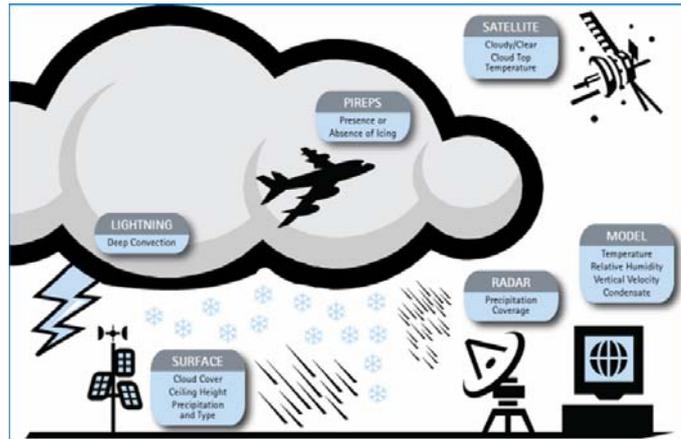
4. 臺北飛航情報區積冰及亂流即時預報產品之建置

4.1 積冰即時預報產品的建置

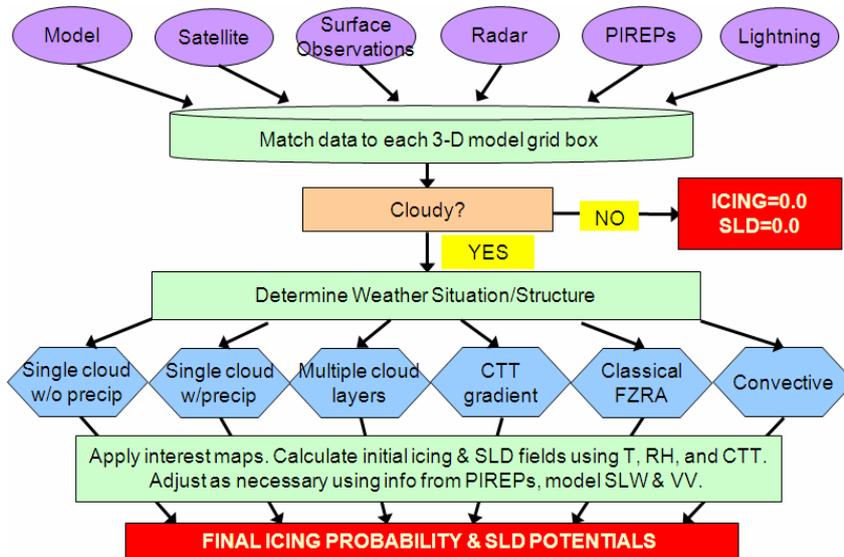
自 2012 年起，總臺臺北航空氣象中心與 NCAR 正式開始合作即時積冰產品 (Current Icing Product; CIP)。其演算方式主要結合氣象數值模式、衛星、雷達、地面觀測、閃電/落雷及飛機報告等資料(如圖五)，同樣利用與 FIP 雷同的決策樹演算方式(如圖六)，將各項資料中可能引發積冰的天氣因子條件，設立邏輯演算值。

舉例來說(如圖七)，依過去積冰發生的溫度環境研究結果，攝氏負八度至負四度為最容易發生積冰條件。所以在 CIP 演算法中，若得知溫度環境為前述溫度範圍時，其邏輯演算值將為 1。在此溫度以外的邏輯演算值將逐漸減少，至攝氏零下 25 度以下或零度以上時，其邏輯演算值將降為零。最後將不同天氣因子的分析結果加以綜整，得到最容

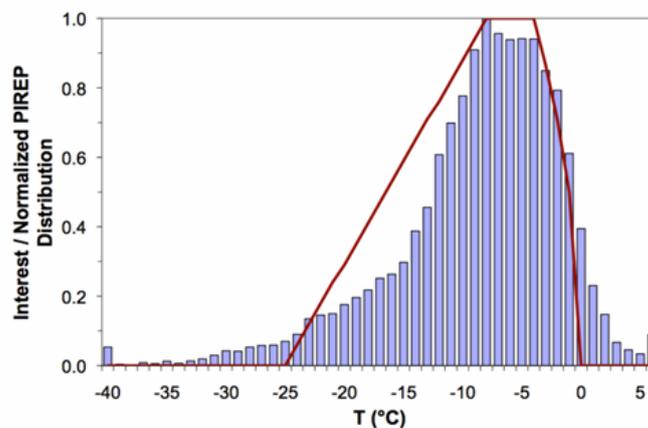
易發生積冰的空層。



圖五、CIP 所使用的資料



圖六、CIP 決策樹演算

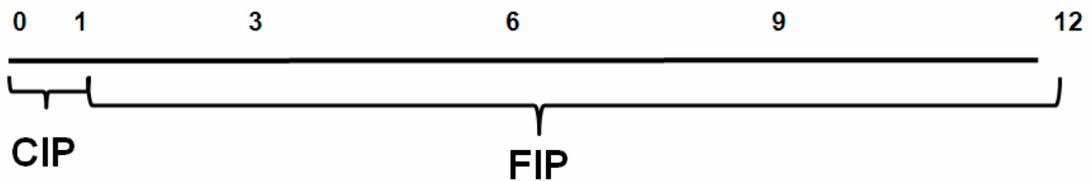


圖七、溫度演算決策圖

就新的積冰演算法而言，各項天氣因子必須適時適地，才能使運算結果更為準確。根據歷史研究得知，臺灣地區常於冬季及梅雨季發生積冰天氣，故為了引入 CIP 演算法，

臺北飛航情報區已於 2013 年 1 月(代表冬季氣候)及 5 月(代表梅雨氣候)商請長榮航空、中華航空、復興航空、立榮航空及遠東航空公司，進行為期 4 週密集的積冰資料蒐集程序，共蒐集 2500 份以上的飛機觀測資料。總臺氣象中心已於 6 月完成資料整理後，將結果送交 NCAR，由 NCAR 納入開發平臺，預計 CIP 演算法將於 12 月份正式上線。

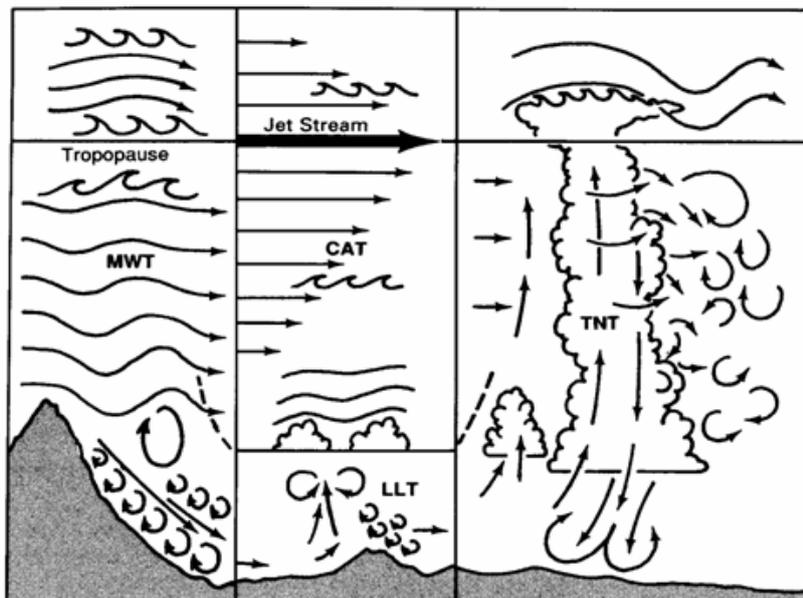
由於 CIP 的演算法利用多種資料來源，利用即時資料診斷方式，預報最可能發生積冰及過冷大水滴(直徑大於 2 μ m 的過冷水滴)的空層，再進而診斷發生空層中積冰強度。而未來臺北飛航情報區進行的積冰預報產品服務，將於今年年底上線後，因此強化為最近的 1 小時，使用經過即時資料診斷的 CIP 產品，而 1 小時以後的資料使用具長時間預報能力的 FIP 產品(如圖八)。



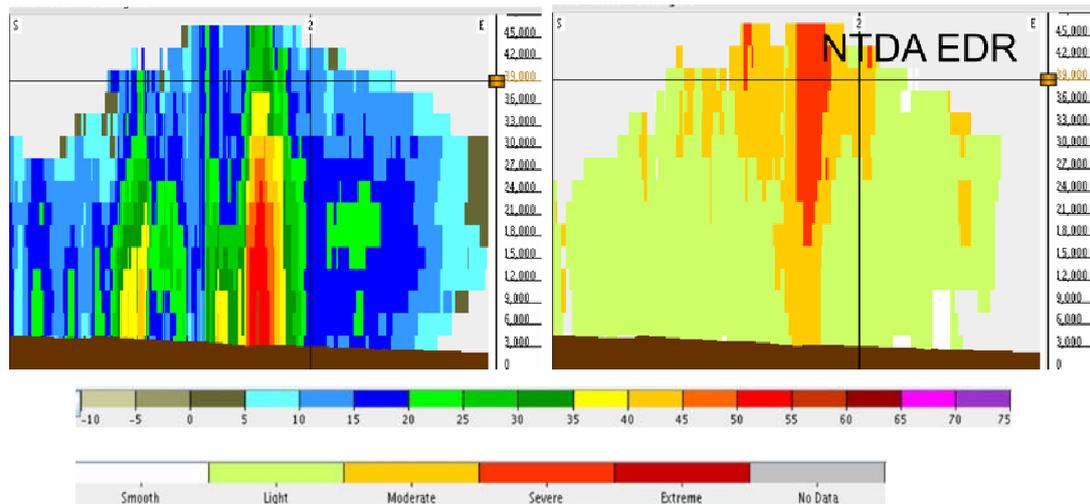
圖八、CIP 及 FIP 服務方式

4.2 亂流即時預報產品的建置

亂流可分成晴空亂流 (Clear Air Turbulence; CAT) 及雲內亂流 (In-cloud Turbulence) 兩大類(詳細分類如圖九)，其中由於晴空亂流無法直接經過觀測方式察覺，一般需要在航機遭遇後才能發現，所以過去的亂流預報產品，主要以 CAT 為主。而對於雲中亂流部分，特別是對流系統附近，航機多半採取避讓方式，避免遭遇假設的雲中亂流情況。但隨著空中航運量增加，如何增加空域的含量及可用性。因此亂流預報部分開始研究雲中可用的飛行空間，而過去常有雲中具有強烈回波處，即代表氣流極不穩定的觀念。但近期以雷達回波強度與消散係數關係比較(如圖十)，發現回波強烈區域與消散係數大的區域並不一致。所以若需於雲中尋找可用的飛航空域，發展雲中亂流偵測技術成為首要的項目。



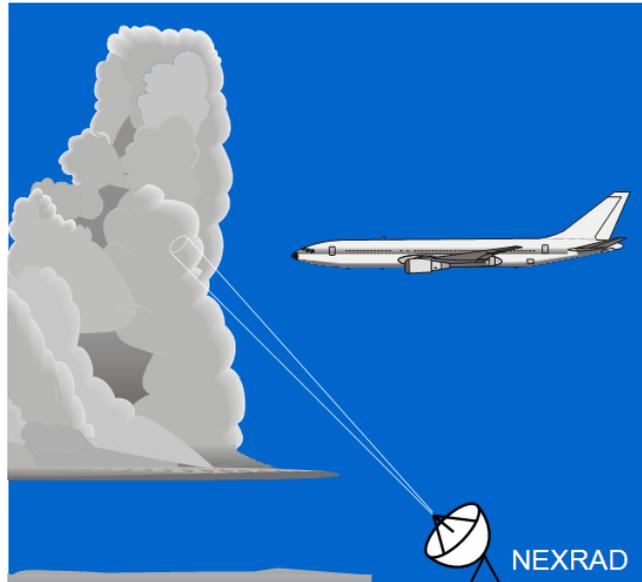
圖九、亂流分類



圖十、實際回波與 EDR 數值比較

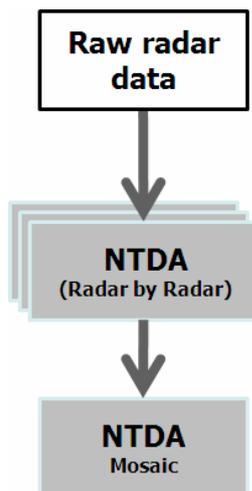
目前臺北飛航情報區所使用的亂流演算法為整合亂流演算法第 2.5 版 (ITFA 2.5)，其為美國 FAA 所使用的圖形化亂流演算法 (GTG) 所同系列產品。由模式資料中各項可能造成亂流的天氣因子，同樣利用過去發生亂流時的天氣因子情況，經過統計處理，將每個天氣因子訂下權重，最後由每個因子的數值與其權重相乘後，再將各項相加，最後得到 ITFA 分數。過去遭遇亂流時，多以感受程度為標準，但其與機型大小有相當大的關係。因此改由客觀的 ITFA 分數表示亂流的強度，可更加客觀的表示航機經過該區時，可能遭域的亂流強度。而 ITFA 預報能力隨著美國 GTG 演算法持續改進，過去預報空層已經由原本 20000 英尺以上下降至 10000 英尺以上，且過度預報情況也已經大幅改善。目前為臺北飛航情報區亂流預報產品的主力參考資料。但其依然以晴空亂流 (Clear Air Turbulence; CAT) 為主。

自 2012 年起為增加雲中亂流即時預報能力，開始引入 NTDA (NCAR Turbulence Detection Algorithm 或 NEXRAD Turbulence Detection Algorithm) 演算法工作。NTDA 演算方式以地面雷達偵測方式 (如圖十一)，由雷達資料得到雲中消散係數 (EDR)。

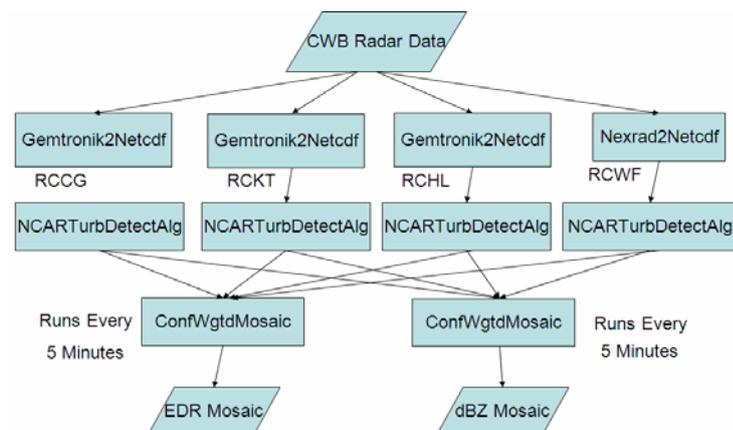


圖十一、雷達偵測雲中亂流示意

臺北飛航情報區所引入的NTDA 演算法將以臺灣中央氣象局所架設的四座氣象雷達(五分山、七股、墾丁及花蓮)資料進行個別處理演算，得到個別雷達的回波資料及個別的亂流運算結果，最後將所得的結果進行合成(mosaic)，得到最後即時預報產品(如圖十二及圖十三)。由於 NTDA 演算直接接收處理雷達原始資料，不預先進行資料處理，將可明顯強化資料即時性部分，特別針對生命期較短的對流系統，依然可有效的掌握其雲中不穩定氣流位置，使飛行中航機取得更為安全的空域位置。



圖十二、NTDA 處理流程



圖十三、NTDA 處理程序

5. 預期建置成效

5.1 積冰即時預報產品部分

臺北飛航情報區將於 2102 年底開始由具即時預報特性的 CIP 提供短時積冰預報，利用各項觀測資料，利用演算機制將氣象數值模式資料進行修正，由系統直接提供演算結果，而不再出現當系統移動或強度發生改變時，使原本預報結果失準，導致系統所產生的預報資料參考性降低的情況；而長時間部分，保持原本高 PO 值的 FIP 演算法，經由演算機制產生的結果，預報員將可掌握長時間積冰發生的可能區域及預期強度，儘早利用預報產品向航空氣象資訊使用單位發布預警資訊。

在此雙管齊下的積冰資料產品提供，可使總臺臺北航空氣象中心積冰預報作業水準更上一層樓。

5.2 亂流即時預報產品部分

臺灣地區每逢梅雨季時，常因為梅雨鋒面所帶來的大範圍對流系統，而使得航機飛行中因遭遇不穩定氣流，而增加飛行的不穩定性。為此臺北飛航情報區也將於 2012 年後引入 NTDA 雲中亂流即時預報技術，這在現今兩岸航班持續擴增的情況下，自然一大利多。因 NTDA 雲中亂流即時預報技術，可有效指出雲中亂流位置，故在航班面對廣大的對流系統且無法有效避讓時，得以藉此找到平穩安全的航路，自然更可因此增加臺北飛航情報區的空域容量。

6. 結論

總臺臺北航空氣象中心透過與 NCAR 合作，建置積冰及亂流等顯著天氣現象的即時預報產品。利用即時預報技術針對氣象數值模式無法在天氣系統發生改變後，進行適當修正的盲點。在預報員進行積冰及亂流預報上，可因此掌握積冰及亂流的即時狀況後，發布更為準確的顯著天氣資訊。此航空公司執行飛行任務時，可經由總臺臺北航空氣象中心所發布的顯著天氣資訊，研擬出更為安全舒適的飛行策略。此更是為增進臺北飛航情報區的飛航安全、效率、便捷邁出歷史性重要的一步。

參考文件

- [1] Cory A. Wolff, Frank McDonough, Marcia K. Politovich, Ben C. Bernstein, and Gary M. Cunning. FIP Severity Technical Document.
- [2] Ben C. Bernstein, Frank McDonough, Cory A. Wolff, Marcia K. Politovich, Gary Cunning, Steven Mueller and Stephan Zednik. THE NEW CIP ICING SEVERITY PRODUCT.

- [3] The Graphical Turbulence Guidance (GTG) Algorithm.
<http://www.ral.ucar.edu/projects/itfa/turbdesc.html>
- [4] Graphical Turbulence Guidance. <http://aviationweather.gov/exp/gtg/mdtter.php>
- [5] NCAR Turbulence Detection Algorithm (NTDA).
<http://www.rap.ucar.edu/projects/ntda/>
- [6] Turbulence Detection Algorithm (NTDA).
http://www.rap.ucar.edu/general/press/brochures/turbulence_9_06.pdf
- [7] 航空氣象現代化作業系統航空氣象產品手冊. 2012 年 11 月版.