第七屆海峽兩岸航空氣象與飛行安全研討會

論文集

第七屆海峽兩岸航空氣象與飛行安全研討會議程

時間：2012年10月15日至16日
地點：馥敦大飯店國際廳

10月15日

08:30-09:00 報到

09:00-09:20 開幕式及貴賓致詞

09:20-09:30 大會合影

Session 1	**航空氣象服務與應用（Ⅰ）**	**主持人：王崑洲、張洪泰**	
09:30-09:45	臺北飛航情報區航空氣象服務之回顧與展望	陳海根	民用航空局飛航服務總臺
09:45-10:00	航空氣象綜合服務平臺設計與實現	張洪泰	民航氣象中心
10:00-10:15	航空器如何避免雷擊	黃承樞	中華航空公司
10:15-10:30	航空氣象決策服務在中國國際航空公司效益評估分析—CA901航班氣象分析服務效益評估	張　偉	民航華北空管局
10:30-11:00	**Coffee Break**		

Session 2	**航空氣象服務與應用（Ⅱ）**	**主持人：張偉、童茂祥**	
11:00-11:15	天氣與飛行決策	陳瑞棋	中華航空公司
11:15-11:30	對機場氣象情報交換方式的探討	劉雲霞	民航東北空管局
11:30-11:45	長榮航空公司防颱作業簡介	李正傑	長榮航空公司
11:45-12:00	用戶服務工作中氣象信息整合方案的分析與探討	李占睿	民航新疆空管局
12:00-14:00	午餐（3樓珍珠廳）		

Session 3	**顯著天氣分析與預報**	**主持人：蘇麗蓉、林博雄**	
14:00-14:15	世博航空氣象精細化集合預報系統介紹	邢　謙	民航華東空管局
14:15-14:30	2012年梅雨季(5月至6月)降雨分析	鄭明典	中央氣象局
14:30-14:45	由 WRF數值模式探討台北盆地松山機場低空風切消長之機制	林博雄	國立臺灣大學
14:45-15:00	機場終端區對流天氣臨近預報的初步研究	蘇麗蓉	民航中南空管局

15:00-15:15	**機場天氣預報（Terminal Aerodrome Forecasts）之校驗與改善**	**林雍嵐**	**民用航空局飛航服務總臺**
15:15-15:30	**利用 WRF 3DVAR 和 EAKF 探討 GPSRO資料同化對莫拉克颱風模擬之影響**	**巫佳玲**	**民用航空局飛航服務總臺**
15:30-16:00	**Coffee Break**		
Session 4	**臺北飛航情報區飛航服務現況與發展**	**主持人：余曉鵬、邢謙**	
16:00-16:15	**臺北飛航情報區廣播式自動回報監視系統（ADS-B）現況**	**金炳宏**	**民用航空局**
16:15-16:30	**臺北飛航情報區因應ICAO新飛航計畫格式執行現況**	**陳俐伶**	**民用航空局飛航服務總臺**
16:30-16:45	**2012年臺北飛航情報區與鄰區AIDC作業介紹**	**劉志仁**	**民用航空局飛航服務總臺**
16:45-17:00	**臺北飛航情報區航空固定通信服務(AFS)淺析**	**王世杰**	**民用航空局飛航服務總臺**
18:00-20:00	**聯誼餐會（3樓珍珠廳）**		

10月16日

Session 5	**機場天氣特性與分析（Ⅰ）**	**主持人：游政谷、靳英燕**	
09:00-09:15	**西安咸陽機場2011年對流天氣中高層垂直運動場初探**	**靳英燕**	**民航西北空管局**
09:15-09:30	**臺灣東南沿岸對流線的統計分析研究**	**游政谷**	**中國文化大學**
09:30-09:45	**瀋陽地區一次凍雨成因分析**	**扈寶奎**	**民航東北空管局**
09:45-10:00	**以類神經網路分析松山機場熱雷雨發生機率及其應用**	**陳心懋**	**民用航空局飛航服務總臺**
10:00-10:30	**Coffee Break**		
Session 6	**機場天氣特性與分析（Ⅱ）**	**主持人：李占睿、陳海根**	
10:30-10:45	**桃園機場霧季長度之年際變化分析探討**	**藍嘉偉**	**民用航空局飛航服務總臺**
10:45-11:00	**雙流機場2012年4月30日長時間雷雨過程分析**	**李 毅**	**民航西南空管局**
11:00-11:15	**如何做好凝凍天氣氣象觀測工作**	**李家文**	**民航西南空管局**
11:15-11:25	**閉幕式**		

目錄

臺北飛航情報區航空氣象服務之回顧與展望 1

航空气象综合服务平台设计与实现 9

航空器如何避免雷擊 16

航空气象决策服务在中国国际航空公司效益评估分析 —CA901航班气象分析效益评估 19

天氣與飛行決策 29

对机场气象情报交换方式的探讨 33

長榮航空公司防颱作業簡介 37

用户服务工作中气象信息整合方案的分析与探讨 41

世博航空气象精细化集合预报系统介绍 47

2012年梅雨季(5月至6月)降雨分析 60

由WRF數值模式探討臺北盆地松山機場低空風切消長之機制 65

机场终端区对流天气临近预报的初步研究 73

機場天氣預報(Terminal Aerodrome Forecasts)之校驗與改善 81

利用WRF 3DVAR與EAKF探討GPSRO資料同化 對莫拉克颱風模擬之影響 86

臺北飛航情報區廣播式自動回報監視系統(ADS-B)現況 94

臺北飛航情報區因應ICAO新飛航計畫格式執行現況 100

2012年臺北飛航情報區與鄰區AIDC作業介紹 105

臺北飛航情報區航空固定通信服務(AFS)淺析 107

西安咸阳机场2011年对流天气中高层垂直运动场初探 111

臺灣東南沿岸對流線的統計分析研究 120

沈阳地区一次冻雨成因分析 126

以類神經網路分析松山機場熱雷雨發生機率及其應用 133

桃園機場霧季長度之年際變化分析探討 145

双流机场2012年4月30日长时间雷雨过程分析 155

如何做好凝冻天气气象观测工作 164

臺北飛航情報區航空氣象服務之回顧與展望

陳海根
飛航服務總臺

摘要

航空氣象服務是飛航服務中保障飛安、增進飛航效率的重要一環，臺北飛航情報區除依據國際規範提供必要的航空氣象服務外，近年來並透過各項系統建置、裝備汰換更新及新科技的引入，提供符合使用者需求的客製化服務。本文回顧臺北飛航情報區迄今的各項裝備系統的更新及已經提供之客製化服務，並展望未來精緻化航空氣象服務的策略與規劃。

一、前言

臺北飛航情報區(以下簡稱本區)之航空氣象服務由民用航空局飛航服務總臺臺北航空氣象中心(以下簡稱氣象中心)負責，其作業係依據國際民航組織第3號附約(ICAO ANNEX 3；Meteorological Service for International Air Navigation)與該組織第8896號文件(ICAO DOC 8896；MANUAL OF AERONAUTICAL METEOROLOGICAL PRACTICE) 、民用航空局航空氣象規範及氣象中心暨所屬各航空氣象臺業務手冊等文件，提供民航機場氣象觀測及報告、航空器觀測之報告傳遞、機場及航空器起降預報、顯著危害天氣(SIGMET)與低空危害天氣(AIRMET)資訊發布、機場警報及風切警報發布、航空氣候資訊統計及供應航空器使用人及飛航組員相關氣象資訊等服務。

近年來透過各項氣象自動化系統之建置，及與其他飛航情報區之密切交流，使本區之航空氣象服務在各方面都有顯著的進步。但是隨著科技發展迅速，使用者的需求亦與時俱進，提供即時且符合使用者需求的服務，是航空氣象服務的終極目標。本報告將回顧臺北飛航情報區近年來之發展成果，並展望未來努力的方向。

二、回顧-客製化的航空氣象服務

本區之航空氣象服務近年來拜科技之賜，在作業上，業由以往人工實施之主觀預報，提升為利用自動化系統實施之客觀預報；在型態上，由以往於特定地點提供之靜態服務，提升為透過網際網路隨時隨地提供之動態服務；在觀念上，則由符合規範，進一步思考如何滿足顧客需求，並規劃辦理一系列客製化服務，茲將相關服務說明如下：

(一) 建置航空氣象服務網 - 整合全球航空氣象預報、觀測及警告資訊，建置本區航空氣象服務單一窗口，提供網際網路即時查詢功能。其網頁並能符合智慧型手機查詢及中英文雙語需求，便利使用者於全球移動中隨時查詢。首頁部分則開放一般搭機旅客查詢全球主要機場最新天氣資訊，並提供本區機場低於最低起降標準警示(如圖一)，以利旅客了解起飛及目地機場之天氣狀況。

圖一：航空氣象服務網首頁

(二) 長天期疏運預報服務：於民航局連續假期疏運計畫期間，提供長天期的天氣大勢預報，以為連續假期旅客疏運規劃之參考。預報內容除包含預報期間之天氣大勢，並將每日分為上午、下午及晚間三個時段，以符號提供各機場適航與否之天氣預報，讓使用者能迅速掌握各機場未來天氣情況(如圖二)。

飛航服務總臺連續假日期間民航機場天氣預報　發布時間：101.02.23 1200L

日期	疏運期間(2/23-2/29) / 連續假期(2/23-2/29) 天氣大勢
2/23	大陸冷氣團逐漸南下，氣溫偏低；中部以北、東半部迎風地區有短暫雨，局部地區雲量偏多易有低雲。
2/24	
2/25	受大陸冷氣團及華南雲系影響，中部以北氣溫較低，其他地區日夜溫差大；北部、東半部地區迎風面有短暫雨，短暫影響能見度及雲幕，高壓在韓國附近出海，出海緯度較高。
2/26	
2/27	大陸冷氣團逐漸減弱轉高壓迴流天氣，天氣不穩定，溫濕度增加；臺灣東北方經琉球至日本南方海域上，有低壓發生發展，鋒面有機會生成，持續影響北部、東北部及馬祖地區之能見度及雲幕。

各民航機場逐日適航狀況預報

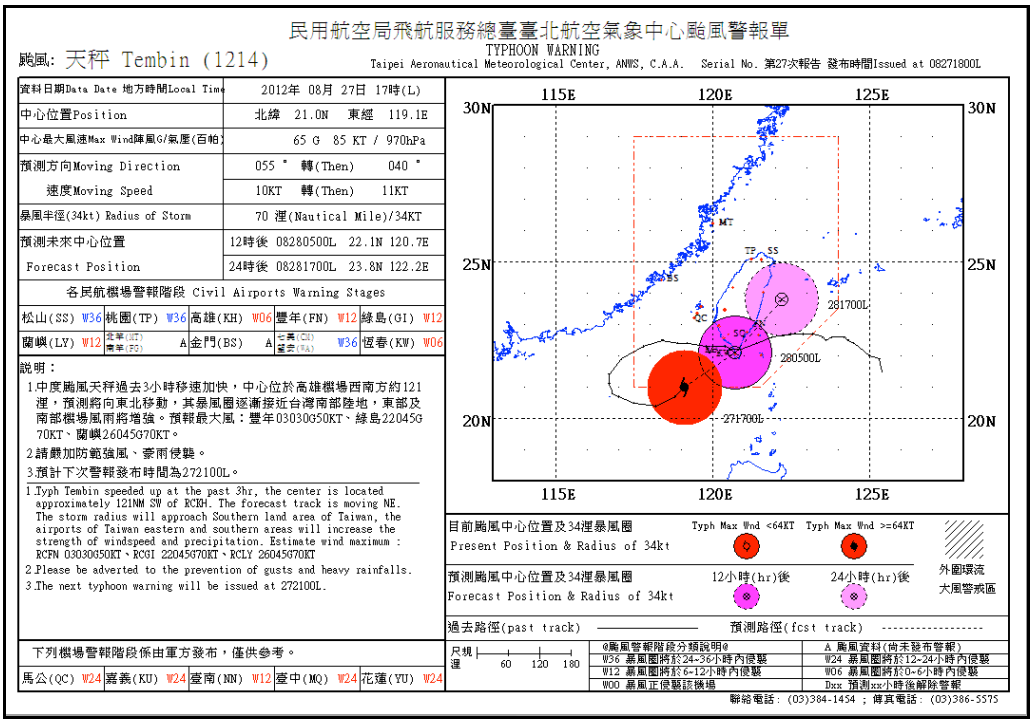
	桃園 RCTP			松山 RCSS			高雄 RCKH			豐年 RCFN			金門 RCBS			馬祖北竿 RCMT			馬祖南竿 RCFG			蘭嶼 綠島 RCLY RCGI			臺中 RCMQ			花蓮 RCYU			馬公 RCQC			嘉義 RCKC			臺南 RCNN			七美 望安 RCCM RCWA			恆春 RCKW		
時段	早	中	晚	早	中	晚	早	中	晚	早	中	晚	早	中	晚	早	中	晚	早	中	晚	早	中	晚	早	中	晚	早	中	晚	早	中	晚	早	中	晚	早	中	晚	早	中	晚	早	中	晚
02/23	○	○	○	○	○	○	○	○	○	X	X	X	○	○	○	○	○	○	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	○	○	○	○	○	○
02/24	○	○	○	○	○	○	○	○	○	X	○	▲	○	○	○	○	○	○	X	▲	○	X	▲	○	X	▲	▲	X	▲	▲	X	▲	▲	X	▲	▲	X	▲	▲	○	○	○	○	○	○
02/25	○	○	○	○	○	○	○	○	○	X	○	▲	○	○	○	○	○	○	▲	○	▲	▲	○	▲	▲	○	○	▲	○	○	▲	○	○	▲	○	○	▲	○	○	○	○	○	○	○	○	○
02/26	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	▲	○	○	X	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
02/27	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	▲	X	○	▲	▲	○	▲	▲	○	▲	▲	○	▲	▲	○	▲	▲	○	▲	▲	○	○	○	○	○	○

註1：時段：早（0600L-1200L）、中（1200L-1800L）、晚（1800L-翌日 0600L）。
註2：○代表天氣狀況高於最低起降標準、▲代表天氣狀況於最低起降標準上下起伏不定、X代表天氣狀況低於最低起降標準。
註3：若對本預報有任何問題，請洽飛航服務總臺臺北航空氣象中心管導席(03-384-1454)。
註4：臺中、花蓮、馬公、嘉義、臺南為單方預報資料。

圖二：連續假日期間民航機場天氣預報

(三) 雙語化颱風警報單：於颱風侵襲本區期間，針對民航機場發布颱風警報並供應中英文雙語颱風警報單(如圖三)，以傳真及網路方式提供給航空公司等飛航服務用戶，以利其實施

航機調度及避颱規劃。颱風警報發布後，氣象中心並錄製颱風動態及各機場風力預報影音檔上傳至航空氣象服務網，供使用者隨時下載使用。



圖三：颱風警報單

(四) 遠端視訊諮詢服務：透過視訊會議系統與桃園、松山及高雄飛航諮詢臺連線，提供航空公司最新顯著危害天氣系統動態說明、提問回覆與討論(如圖四)等服務。有效節省以往面對面實施簡報服務之人力，並將服務擴及桃園及高雄機場之航空公司與諮詢臺等使用者。

圖四：遠端視訊諮詢服務

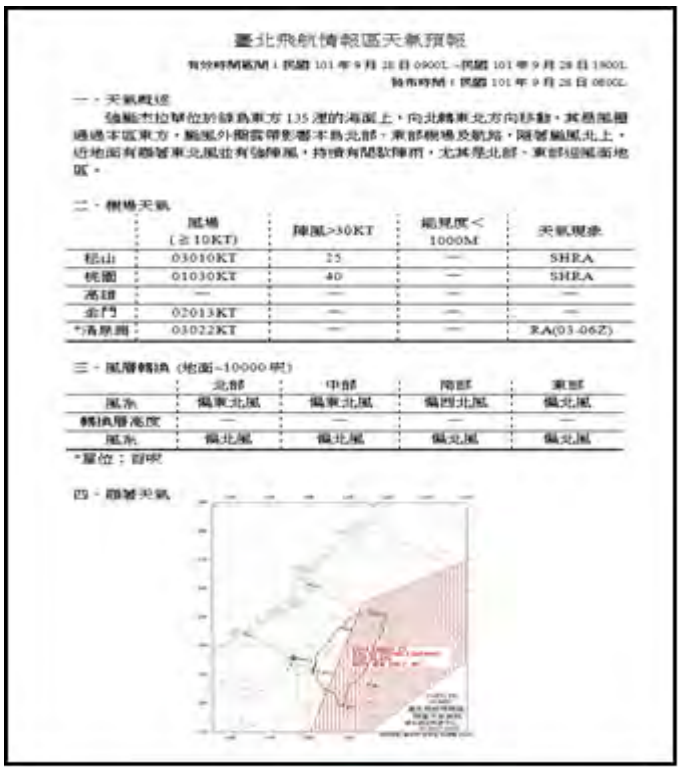
(五) 移動通信通報服務：隨著科技發展及e化來臨，手機已是人們隨身必備的工具，移動通信服務環境也因而成熟，為讓使用者即時獲悉機場天氣狀況與颱風警報階段，氣象中心目前於機場天氣低於航空器最低起降標準，及於颱風警報發布後提供相關簡訊通報服務(如圖五)。

□□機場至□□□年□□月□□日□□□□L 止因受(天氣現象)影響，能見度/雲幕低於最低起降標準已連續□□小時。臺北航空氣象中心；電話：03-3841454。
備註：松山、桃園、高雄及金門等機場為 1 小時，豐年、蘭嶼、綠島、南竿、北竿及恆春機場為 3 小時。

氣象中心10日09L發布天秤颱風第10次警報階段:W00:松山,桃園;W06:南北竿,金門;W12:高雄;W24:豐年;其餘A。TEL03-3841454。

圖五：簡訊通報服務

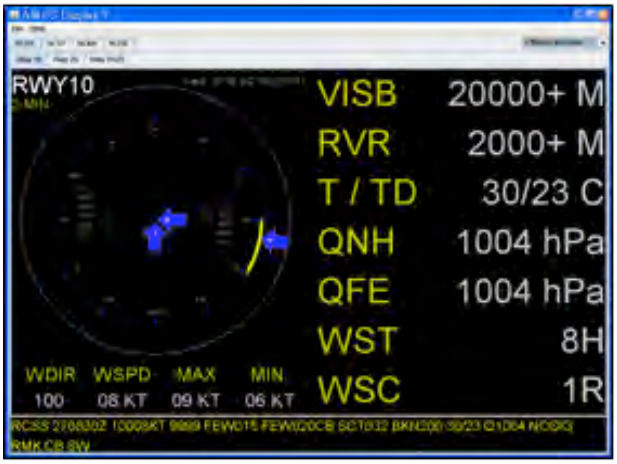
(六) 管制員交接班氣象簡報服務：每日兩次由氣象人員於雷達管制員交接班時，實施本區顯著天氣及各空層盛行風場等預報資訊簡報，以順遂管制作業之進行(如圖六)。


臺北飛航情報區天氣預報

圖六: 管制員交接班氣象簡報服務

(七) 航空氣象資料網路服務：提供使用者經由網際網路，取得可擴展標記語言(XML)格式之METAR、SPECI、TAF、SIGMET、AIRMET及AMDAR等航空氣象資料，供使用者依需求再製使用(如圖七)。本服務未來並可成為各航空公司進行AMDAR資訊交換的平臺，整合各航空公司的AMDAR資訊，進行分享。

圖七：航空氣象資料網路服務



圖八：AWOS網路即時服務

(八) AWOS網路即時服務：於航空氣象服務網提供松山、桃園、高雄及北竿機場自動氣象觀測系統(AWOS)即時資訊(如圖八)，讓航空公司可以利用網路遠端取得機場即時氣象資訊，其餘機場俟AWOS汰換時亦將納入。

三、 展望-精緻化的航空氣象服務

本區之航空氣象服務雖已具備現代化規模，亦已朝客製化方向邁進，但如何在現有的基礎上持續精進，則是我們努力的方向，因此，我們提出不但要有，而且要好，不但要好，而且要美的努力目標，並以下列策略及規劃，朝精緻化服務的方向前進：

(一) 裝備汰換更新：持續進行機場自動氣象觀測系統、低空風切警報系統軟硬體、都卜勒氣象雷達軟體、航管雷達氣象頻道引入等更新汰換及升級工作。

(二) 人員培訓交流：派員赴美國航空氣象中心(AWC)、大氣科學研究中心(NCAR)進行航空氣象預報與系統訓練，了解及引入全球最新預報技術與作業系統(如圖九)。另並持續進行兩岸及鄰區預報及觀測作業交流，透過作業交流，了解兩岸及鄰區在劇烈降水、颱風及大霧天氣的系統差異與預報技巧，相互學習顯著危害天氣預報經驗(如圖十)。

圖九：赴美國航空氣象中心受訓

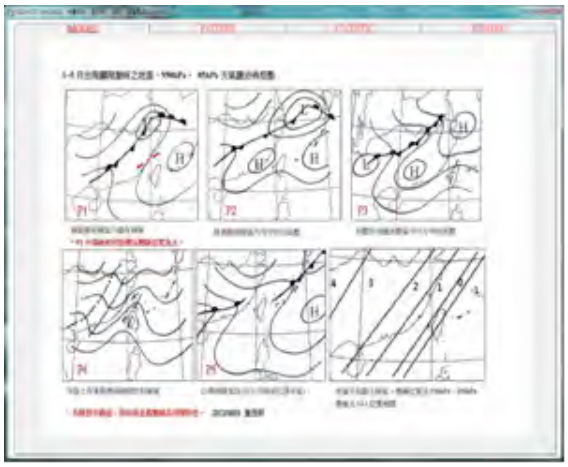
圖十：兩岸航空氣象預報交流

(三) 加強航空氣象宣導：提供航空公司航空氣象複訓課程，辦理用戶訓練(圖十一)，除教育外並了解使用者需求。另並持續辦理暑期航空氣象夏令營，將航空氣象之重要性向下扎根(圖十二)。

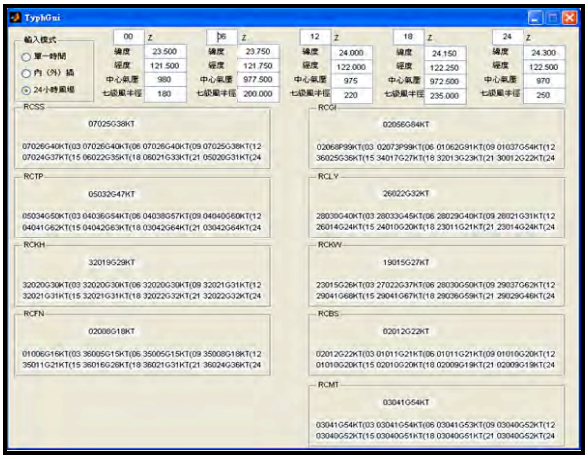
圖十一：航空公司用戶訓練

圖十二：暑期航空氣象夏令營

(四) 提升航空氣象預報準確率：持續開發顯著天氣預報工具，如霧季預報電子檢查表(圖十三)、各機場風力類神經網路分析系統(圖十四)等，以輔助預報作業。另並針對顯著天氣發生期間進行預報考核，了解顯著天氣之預報掌握度。

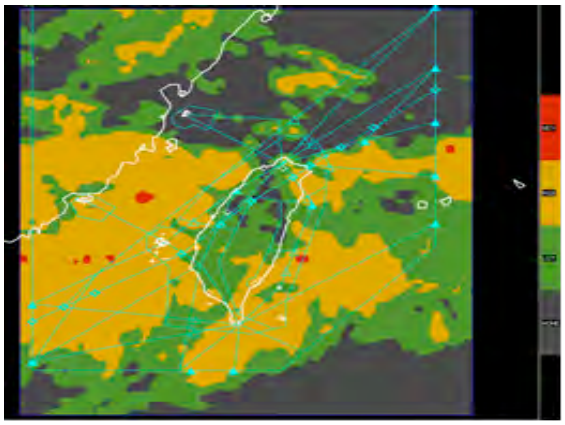


圖十三：霧季預報電子檢查表



圖十四：機場風力類神經網路分析系統

(五) 強化即時預報產品：與美國國家大氣科學研究中心合作，將地面報告、空中報告、雷達、衛星等觀測資料即時納入積冰、亂流、機場雲幕高及能見度等即時預報產品(圖十五、圖十六)，以提升相關產品之預報準確率，本項工作預計2014年底完成。



圖十五：現行亂流預報產品

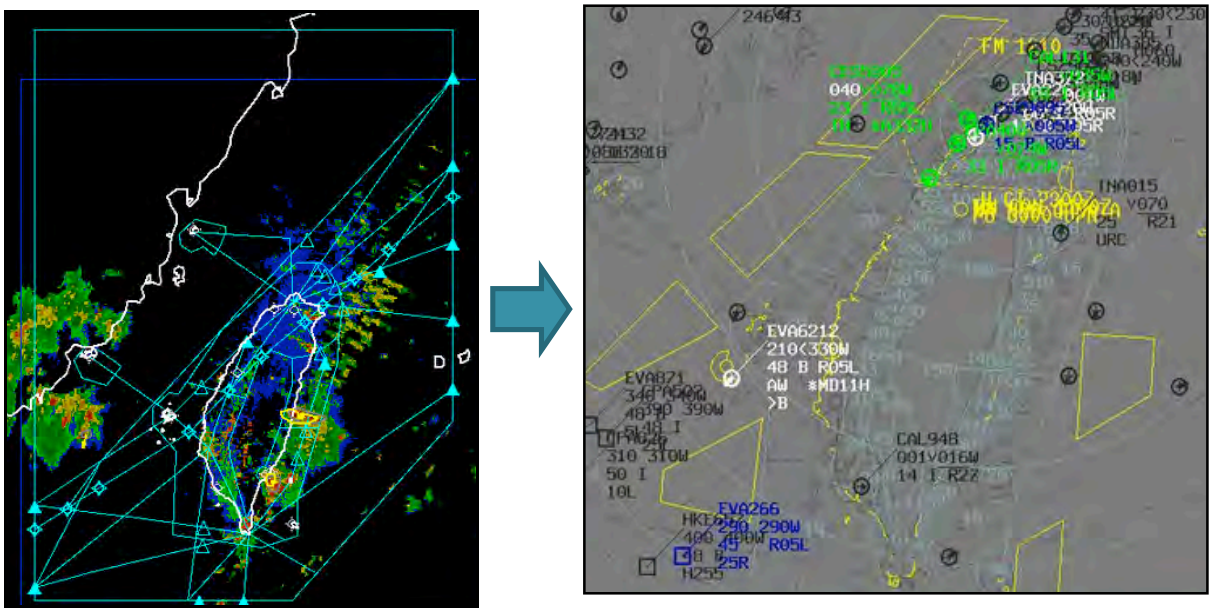
圖十六：現行積冰預報產品

(六) 強化網路客製化服務：依使用者類別(機師、簽派員..)，了解各類別人員對航空氣象產品之需求，提供分眾的網路專區服務。預計於2012年底完成機師專區(如圖十七)，再依機師使用意見並蒐集其他類別人員需求，進行相關專區設置。

圖十七：機師專區示意圖

(七) 提供行動通信服務：提供智慧手機用戶，下載APP程式，直接取得所需機場天氣資訊，不需以手機瀏覽器上網，預計在2012年底完成。

(八) 航管系統整合氣象資訊規劃：與美國國家大氣科學研究中心共同發展氣象資訊與航管系統整合方案，供下一代航管自動化系統建置參考(如圖十八)。



圖十八：航管系統整合氣象資訊規劃

四、 結語

回顧過去，臺北飛航情報區之航空氣象服務歷經作業方式、服務型態及服務觀念之蛻變，業具備現代化規模；展望未來，我輩仍將努力不懈，以「汰換及更新航空氣象設備」、「提升航空氣象預報準確率」及「提供多元化之航空氣象服務」等策略，持續提升臺北飛航情報區之航空氣象服務品質，朝「精緻化航空氣象服務」之方向大步邁進。

航空气象综合服务平台设计与实现

张洪泰
民航氣象中心

摘要

航空气象综合服务平台是为满足民航运行协调决策、航班流量管理和空管统一放行工作需求，集飞行气象文件提供、航空气象信息综合显示、告警信息推送、在线天气咨询等功能于一体的综合性服务平台。本文着重介绍如何面对民航运行方式转变而带来的多元化、客户化、精细化产品服务需求，结合先进的信息处理技术和目前的预警预报服务能力，设计了信息自动化服务和人工在线服务相结合的服务模式，并成功实现应用。

一、引言

随着航空运输量的不断增长，天气成为影响航班安全与正点的重要因素之一。特别当遇到复杂天气时，航班大面积延误或取消，候机楼内旅客严重积压，机场当局、航空公司、管制部门需要及时、准确的气象信息，作为下一步协同决策的依据；普通旅客对天气信息应有知情权，以便在航空公司作出取消或延误航班的决定时，可以作出继续等待、改变行程或取消行程等决定。而航空气象部门在努力提高预报准确率的同时，应设法为协同决策提供实时服务，让用户快速、方便地看到预警预报信息，充分发挥预警预报信息的效益。这些需求决定了需要一个统一、标准、权威的信息发布和服务平台，为各方提供共同的气象服务。因此我们设计并开发了航空气象综合服务平台（以下简称服务平台）。

二、航空气象服务现状与需求分析

(一)服务现状

1、人工现场服务

近年来，随着用户需求的增加，航空气象对用户的现场天气咨询服务由面向飞行机组的咨询讲解服务逐步扩展到面向飞行机组、航空公司签派运行和管制运行现场，应航空公司的要求在公司运行控制中心派驻了气象人员，应管制部门的要求，民航运行管理中心和区域管理中心分别设立了气象席位，为用户提供现场天气咨询服务。

这种服务方式的优点在于可以与用户面对面的沟通，服务及时有效，主要缺点在于分散式服务，对气象席位人员的个人能力相对要求较高，个体差异可能造成对天气形势的判断出现偏差，直接后果是各运行部门得到的天气结论不一致。

2、远程视频天气讲解

从为所有用户提供统一天气咨询结论的角度出发，航空气象部门开始尝试通过视频

会议方式对用户进行定时天气讲解咨询服务，既达到服务的目的，又节省了人力。其缺点在于服务不及时，针对同一幅天气背景互动性差，影响服务效果。

3、网络化信息服务

为解决航空气象信息及时传递和服务的问题，航空气象服务部门利用计算机网络技术为用户提供C/S或B/S信息服务，满足用户对气象信息的使用需求。由于缺乏统一的标准和规范，各地区各自为战，互不相连，造成用户在不同地区需使用不同系统，给用户的使用造成障碍。特别是各地区业务能力的差异，也导致用户在不同地区享受到的服务岑差不齐。

(二)需求分析

1、民航运行协调决策机制和空管系统统一放行工作的需求

民航运行协调决策机制和空管系统统一放行工作在对产品的精细化、准确性、及时性提出需求的同时，还对服务的及时性、有效性和统一性提出需求。在进行运行协调和统一放行时，参与的各方需要共同的天气背景，甚至在大面积复杂天气条件下，需要几地的预报服务人员进行共同的咨询服务。

2、航空公司集中运行控制的需求

航空公司集中运行控制需要及时掌握本公司航班所飞机场及备降场的自动观测系统资料、天气雷达资料和机场预警预报等气象信息，作为运行决策的依据。同时航空公司也需要在天气复杂时及时向航空气象部门进行咨询。

3、航空气象部门拓展服务渠道的需求

航空气象部门经过多年的努力，通过民航气象数据库系统已实现43个机场的自动观测资料和20多个机场天气雷达资料的收集工作，并通过与国家气象部门联网，实现地方天气雷达资料的接入。航空气象部门也针对用户的需求，有针对性开发了航路预报、极地航线预报等产品。由于网络的问题，多数用户得不到到这些资料和产品。

4、社会公众出行的需求

目前社会公众需要了解机场天气时，往往通过与目的地机场的亲朋好友联系进行获取，由于一般机场离城市均有一段距离，众所周知的原因，这种渠道并不可靠。还有通过因特网进行查询的，而因特网上的信息来源并不正规，准确性方面存在疑问。

综合以上需求分析，航空气象部门需要一定的手段，在将探测资料和服务产品快速发布给用户的同时，设法帮助用户正确理解和应用这些信息，提高气象信息使用效益；而空管、航空公司、机场和社会公众需要通过一个渠道尽快了解天气的影响，并得到航空气象部门的咨询服务。因此需要构建一个服务平台，使航空气象部门能为用户提供多元化、客户化、精细化的服务。

三、服务平台设计

(一)设计原则

1、权威性

民航气象数据库系统是民航气象业务的核心信息系统，服务平台的资料应来源于民航气象数据库系统，以保证提供的信息具有权威性。

服务平台应按照相关的业务规范进行资料加工处理，并按照规范要求展示给用户，以保证信息提供的规范性和权威性。

2、实用性

服务平台设计应遵循实用性原则，强调采用稳定、成熟的技术，兼顾人机界面友好、美观需求和信息服务及时性、可靠性要求，保证系统稳定可靠运行。

3、安全性

服务平台首先要确保民航气象数据库系统的安全，在民航气象数据库系统与服务平台之间采用单向数据传输设备，确保信息的单向传输；其次确保自身数据的安全和系统的安全，通过一系列网络安全设备和区域划分来保证应用服务器的系统安全。

4、兼容性

服务平台应支持多种图像格式、静态文本显示、动态数据显示和音视频流文件，能结合多种工具，实现在软终端、硬终端上的在线天气咨询讲解。

服务平台应兼容主流浏览器，支持多种主流移动设备，方便用户使用。

5、扩展性

服务平台采用模块化的三层体系架构设计，在方便系统功能扩展的同时，可随时根据用户访问数量的变化，在确定系统访问瓶颈后，对处于访问瓶颈的数据库服务器或应用服务器进行相应扩充。

(二)服务平台功能设计

考虑到服务对象的不同需求和专业背景，服务平台的功能对象按照公众用户和专业用户划分，针对公众用户提供机场的实况天气信息，针对专业用户，如空管、航空公司、机场，除可提供权威、全面、安全、直观、迅速的民航基础气象信息服务；也可根据用户需求处理、整合气象信息数据，提供客户化气象信息服务，为其运行决策系统提供数据服务支持；同时可根据用户的需要提供人工在线咨询服务和远程视频讲解服务。主要功能模块如图1。

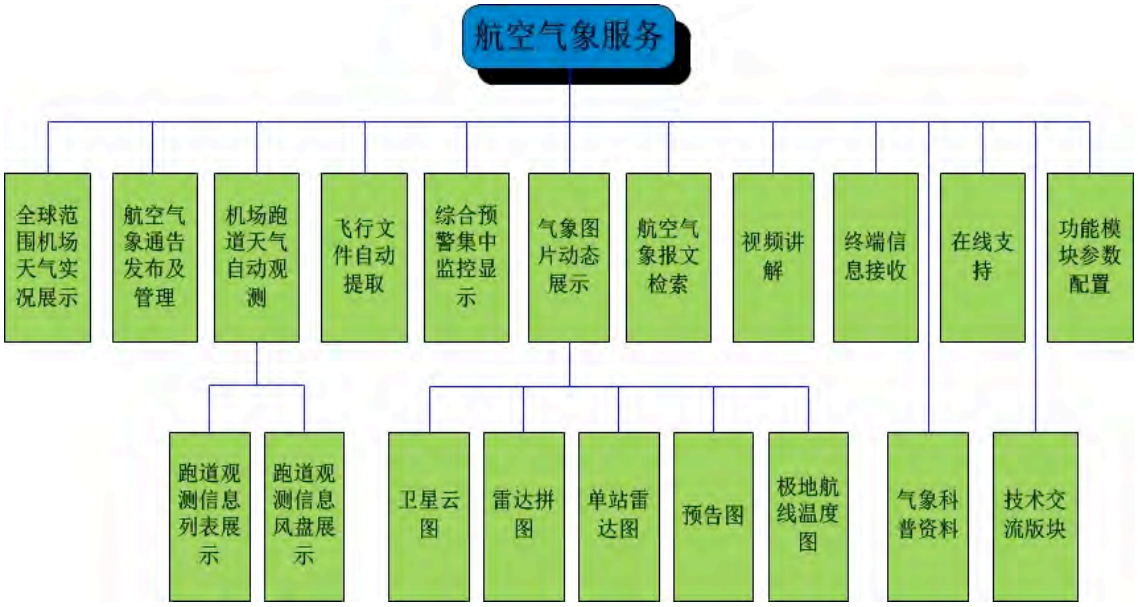


图1 主要功能模块

(三)数据库设计

服务平台数据库包括两大类数据：航空气象信息和管理配置信息。航空气象信息指航空气象情报资料、各种探测资料和对航空气象情报资料再处理后的信息，管理配置信息指与用户相关的登陆信息、机场筛选信息、告警阈值信息和航班定义信息等。

本数据库共设计20多个表，限于篇幅的原因，关于具体的表设计及表之间的关联关系就不赘述了。

四、服务平台实现

(一)服务平台网络结构

按照服务平台设计原则，将服务平台的网络划分为三部分，如图 2。第一部分为接入区，配备互联网接入路由器、防DDoS攻击、入侵检测等设备；第二部分为应用服务区，与第一部分出口用防火墙做安全隔离，配备网页防篡改服务器、审计服务器、负载均衡服务器和应用服务器；第三部分为停火区，与第二部分用防火墙安全隔离，配备unix集群数据库服务器。

用户使用PC机或iPad通过因特网即可访问服务平台。

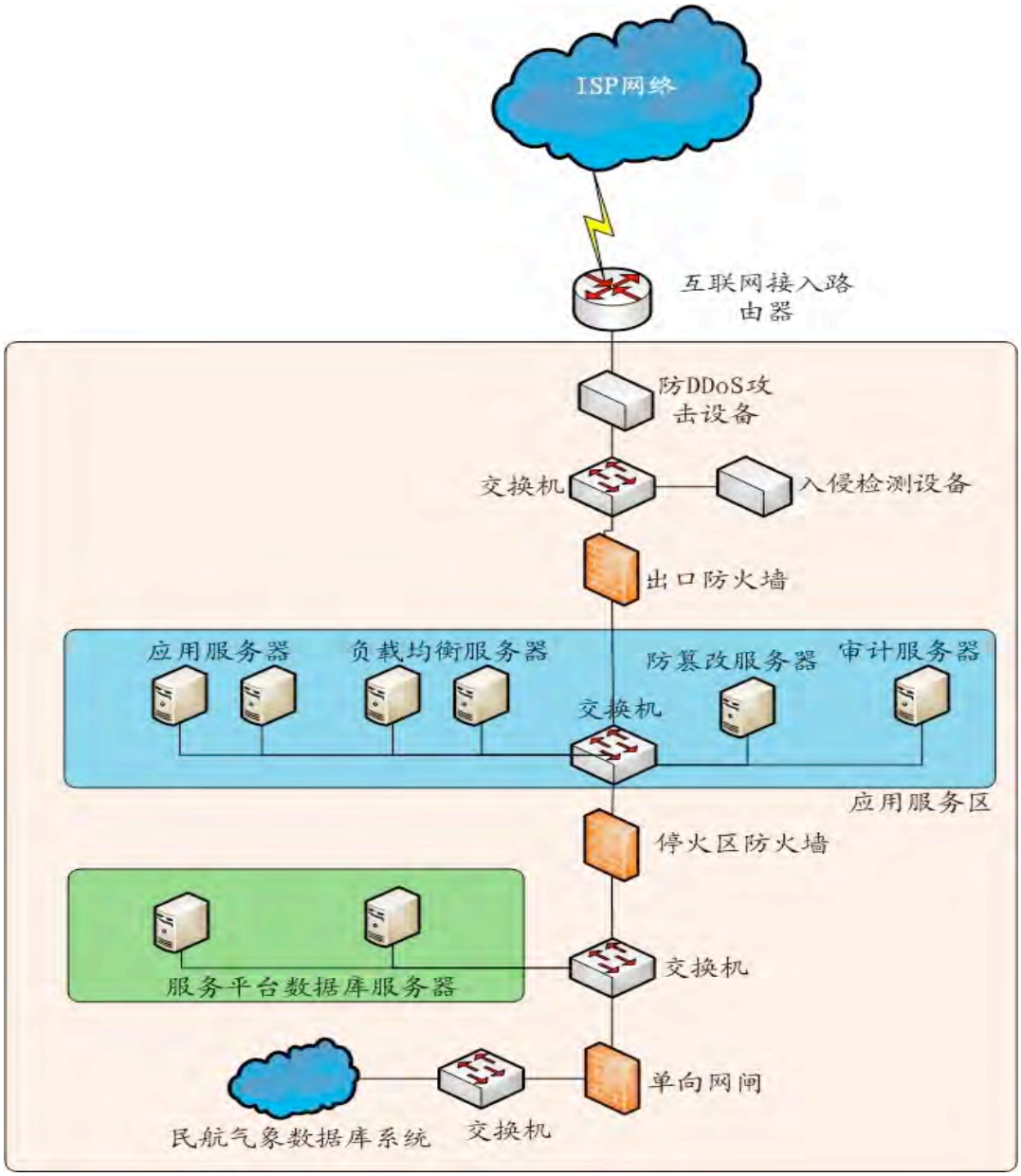


图 2 服务平台架构图

(二)服务平台功能

服务平台首页面是机场天气实况显示，展示模块采用FLASH地图技术，在动态缩放的世界地图中展现全球主要机场实况天气情况。按照服务对象的不同，功能划分为面向公众用户的无注册访问和面向专业用户的注册访问。下面分别介绍。

1、面向公众用户服务功能

公众用户无需注册即可以访问服务平台的机场天气综合预警显示、卫星云图显示、天气雷达显示拼图和科普资料栏目。机场天气综合预警显示对符合告警条件的机场实况资料进行筛选，在地图上以不同颜色进行警示。科普资料栏目主要向公众普及天气对飞行活动影响的相关知识，帮助公众正确面对因复杂天气而带来的航班延误或取消。

2、面向专业用户服务功能

用户需要预先申请注册账号，才能登陆访问专业版面。该版面提供飞行气象文件检索、机场天气综合预警、探测资料实时动态显示、机场天气报告检索、空间天气预警、极地飞行服务、远程视频讲解、告警信息推送、在线天气咨询和用户配置等功能。下面介绍本平台的特色功能。

（1）机场天气综合预警

该功能在地图上集成显示了对飞行影响较大的天气现象告警、飞行情报区告警、火山灰云及热带气旋告警等信息，如图 3。每个用户自己可以选定自己所关注的机场，默认告警显示的资料是当前时间的，资料的来源是机场天气实况。用户可以拖动界面下方的时间轴，系统会根据用户所选时间来显示未来的机场天气预警信息，资料的来源是机场预报。

图 3 机场天气综合预警

（2）远程视频讲解

该功能主要由气象专业人员定时提供远程视频天气讲解服务，可以针对某一特定的团体，也可以针对在线的所有用户。用户方也可以主动发起要求服务。用户方接受该服务可以配备专用网络会议终端，也可以利用软件终端。如用户需要回看以前的讲解服务，还可以通过相关功能页面播放视频讲解录像。

（3）告警信息推送

该功能主要由气象专业人员向指定用户发送的定制的告警信息信息。用户方需要安装专用的客户端软件，以便接收信息。

（4）在线天气咨询

该功能由气象专业人员为用户提供实时在线咨询服务，可以一对多，也可以多对多，即一个气象专业人员或几个气象专业人员共同在线为用户提供咨询服务。

五、结语

航空气象综合服务平台是在对各行业用户需求进行深入分析后，充分考虑网络信息安全，利用稳定、成熟的信息技术，采用三层体系架构，构建的信息自动服务和人工在线服务形结合的服务平台，满足了空管部门、航空公司的气象服务需求，同时也为公众提供了了解航空气象信息的渠道，增强公众认知极端天气对飞行活动危害的能力。相信随着服务平台功能的不断完善和使用范围的不断扩大，将在民航保障航班正常工作中发挥更大作用。

附作者简介：

张洪泰，民航气象中心业务管理室，从事民航气象信息系统的建设和管理，联系地址：北京市朝阳区十里河2272信息气象中心，邮编：100122，电话：861087922087，电邮：zhanghongtai@263.net。

航空器如何避免雷擊

黃承樞
中華航空公司

摘要

本文討論內容以飛行操作者的角度與氣象單位針對雷擊與航空器之影響，其中介紹雷擊與雷雨雲之關聯，分析及說明雷雨雲的種類，各類雷雨所造成的原因及出現月份，及持續時間;在臺灣發生雷雨雲的頻率及發生月份的分佈情形. 文中並闡述雷擊對於航空器及組員的威脅，將威脅分類為1.機體受損2.組員視覺暫時失能3.電子器材受損4.引擎熄火等情況，就各項情況下所造成的結果分析嚴重程度，及後續可能延伸的後果，並統計在各階段發生的次數及比例，並以圖像來介紹機上避雷裝備及遭遇雷擊後的畫面。

另外將建議組員因應之道，將建議作為分為內部及外部之因應之道，內部可依自有裝備之功能調整航線及分析嚴重程度，如何利用氣象圖資，建議安全避讓範圍，介紹機載氣象雷達之功能及效能範圍;外部可依能辨識的外在天氣情況主動申請避讓，及建議之避讓方式，及避讓距離。文末結論探討與氣象單位之資訊交流及傳遞，未來合作之遠景。

一、飛行員對於雷雨的認知

雷雨大體可分為兩類：一為「鋒面雷雨」，另一為「氣團雷雨」。臺灣發生雷雨的次數，每年自3月起開始增加，到 7、8月達最盛時期；其中3～6月間的雷雨多屬鋒面雷雨，7～9月間者多為氣團雷雨。⑴鋒面雷雨：主要是動力因素所造成，即暖溼空氣被鋒面抬升，引起強烈對流而產生。雷雨常出現在鋒面附近及鋒面前緣，臺灣在梅雨季節裏鋒面很活躍時，常出現大雷雨，且持續時間往往可長達數小時。⑵氣團雷雨：又稱熱雷雨，常發生在夏季午後2、3點鐘的時候，主要是因為熱力作用產生的。臺灣的夏天是在熱帶海洋性氣團控制之下，白天由於日射使局部地區空氣發生對流性不穩定現象，因而常發生雷雨，惟此種雷雨多屬局部性，造成災害的嚴重程度往往不如鋒面雷雨。

無論是何類雷雨，對飛行員來說，最重要的工作就是判別方位及避讓雷雨區，多數的雷雨雲形成與地表的熱效應有關，因此遭遇雷雨雲的機會將隨高度增加而遞減，高高度的巡航飛行，也有較寬裕的空間調整飛行航跡避開雷雨區，低高度受限於航機密度較高，航管人員規劃避讓空間就較為困難了！

現行的商務客機均具備機載氣象雷達，飛行員藉由該雷達能掃描出積雨雲的位置及疏密程度，進而申請適當的航線避讓，先進的氣象雷達除了能偵測積雨雲及亂流區域外，甚至還能辨識出閃電區域，多功能的氣象雷達也為航機適航不可缺少的裝備之一，在氣象雷達失效的情況，可能會影響航機的簽派，故氣象雷達為航機簽派的重要裝備。

多功能氣象雷達之功能選項

在辨識出危險天候後，飛行員將開始計劃避讓，在情況允許下，會以上風邊至少10浬距離避讓，若僅允許下風邊避讓，至少要間隔20浬的距離，受限於雷雨雲多為垂直對流擾動，通常不建議從上方以跨越雷雨區的方式通過。當遭遇大範圍的雷雨區域，無法避讓的情況下，飛行員將利用氣象雷達分析出威脅較低的區域穿越，此時將以航機操作手冊建議的穿越速度通過，並通知組員及乘客就坐並繫好安全帶，以減低意外發生的機率。

二、雷擊對於航空器及組員的威脅

(一)機體受損:判斷出雷雨雲後飛行員要進入的機會不大，若須穿越也會選擇影響最低的區域，故要遭致雷擊直接襲擊機體因而造成的受損並不常見，較明顯的為放電留下的薰黑小洞(分進入孔及離開孔)多數發生機體遭遇雷擊處，現行商務客機均裝置雷達罩靜電釋放條及各操縱面外緣裝有數支靜電釋放條，致使機體遭受損傷機率大為降低。部分雷擊對於非操控系如鋼索，推桿也會造成影響，不過大多數為小型航機，商用航機較為少見。

(二)組員視覺暫時失能:短暫的閃電或雷擊所造成的瞬間強光有可能造成組員的暫時視盲，尤以夜間為甚，在當下將失去對航機的監控和操作能力，恢復視覺的時間取決於閃電強光與外界光線的差異，差異越大所需恢復的時間越長。

(三)電子器材受損:未有接地線的器材，導航系，通信系等皆有可能受雷擊危害，短暫或永久損壞，另外傳統羅盤也曾有報告顯示有可能受損而無法使用。

(四)引擎熄火:雷擊造成的瞬間空氣膨脹(由爆裂聲可佐證)有可能擾亂進氣順暢，造成引擎進氣衝擊甚至熄火。

三、飛航組員因應之道

機體為易導電體，雷擊一般透過靜電放電條放電後多能安然無恙，唯獨劇烈放電對機體及導航等類電子器材依然具備威脅，故飛行前檢查時須確證靜電放電條數量及其完整性，如有缺失應依航機最低裝備手冊規定紀錄及要求更新。

NUMBER INSTALLED	NUMBER REQUIRED FOR DISPATCH	REMARKS AND / OR EXCEPTIONS
36	26	A maximum of 10 (ten) static dischargers may be missing with no penalty. At least the following dischargers are required to be installed:

最低裝備需求對於靜電適放條之規範

建議飛航組員操作航機通過顯著天氣附近，應特別了解雷擊多為積雨雲伴隨產生之現象，可利用氣象雷達及目視避讓，但躲過積雨雲不代表能閃躲雷擊，若於夜間航行，可開啟機內燈光，減小閃電強光與外界光線的差異，可減小盲視的發生機率及減短回復視覺的時間。統計顯示雷擊報告，多發生在低高度，航機爬升及下降階段，但爬升及下降階段受進場及離場航機影響，組員工作量較大，組員較未積極要求避讓天氣，有可能也是此階段雷擊數字較高的原因之一。

建議飛航組員依據顯著天氣避讓原則操作航機，並特別注意於離場及穿降階段善用雷達，於情況許可的情況下要求由上風邊避讓天氣，如遭遇雷擊，也務請填寫航機機務維護本及安全報告。

四、結論

對雷雨雲充分認知及善用裝備為避免遭遇雷擊之最佳因應之方式，惟天候變化瞬息萬變，飛行員應隨時與地面航務及氣象單位建立溝通管道以掌握天候情況，適時調整航線或決定改降備用機場，另航管人員可利用在空機航資或氣象雷達之訊息，給予飛行員及時訊息，若情況許可，也可儘早規劃避讓航線，或發佈危險天氣報告，以利機長作出判斷及決定之參考資訊，飛行安全是為最高之追求目標，有賴相關同仁齊心協力，共同維繫飛行安全之完美境界。

航空气象决策服务在中国国际航空公司效益评估分析

—CA901航班气象分析效益评估

张强、张志凯
民航華北空管局

摘要

在为航空公司提供个性化气象服务中，对航空气象决策服务所产生的效益进行评估分析也是气象工作的一项重要内容。气象产品在航空运输生产中科学的应用可以使航空公司在节能减排，降低运营成本等方面取得良好的效益，特别是国际燃油价格居高不下的时期。如何将航空气象预报产品准确及时、科学合理地应用到航空公司航班飞行决策中是一个实践性很强的问题，当前航空气象决策服务现状和存在问题也需要对其经济效益进行定量的评估和分析。民航华北空管局气象中心为中国国际航空公司运行控制中心提供的航空气象技术支持、决策服务在实践中取得良好的成绩和经验。本文选取单一航线模型对航空气象工作的经济效益评估做了初步的尝试。

关键词: 气象服务　经济效益评估

一、引言

科学定量的评估航空气象服务所产生经济效益是航空气象服务的一项重要工作。认识航空气象服务的效益并核算出其价值有诸多好处。这种评估可以帮助气象管理部门认识、建立和提高气象部门的地位、作用和对社会的贡献，从而获得必要的投资和社会资源，并确立未来的发展目标，建立和实施气象业务、气象从业人员培养和航空气象研究项目。对于航空气象预报产品的提供者、使用者和规范政策制定者来说，认识了解航空气象服务的效益和价值会使他们在保障飞行安全之外更加关注航空气象的巨大经济价值。另外，因评估体系的建立引起的最优决策的制定过程也使民航相关部门、气象部门和气象信息用户之间保持对话，促进之间的相互了解。就目前现状而言航空气象服务的实际和潜在的经济价值是非常广泛的，可以科学合理的应用到航空运输的各个阶段，但这些价值还没有被充分开发出来，也没有被相关部门、用户以及社会充分认识到。

评估航空气象服务所产生经济价值是件庞大的工程，需要完善的数据支持。我们首先以单个机场、单个航班、单个航线运行的简单模型来试探建立一个评估办法。对于一个机场的气象台、一个地区的气象中心提供服务所产生的经济效益评估，因涉及的用户包括空管部门、不同航空公司、机场运行部门等对气象信息的使用情况，以及包括旅客在内的广泛的社会效益评估将会是一个复杂的数学模型。

二、定义

按照世界气象组织的定义以及对气象服务的效益评估方面工作的建议，为了便于对气象

服务效益（或效用）进行比较科学、客观地评估，将气象服务分为公众气象服务和行业气象服务两大类。行业气象服务是指为某个行业，某个部门或某个单位所提供的服务，其服务对象是单位、集体。我们属于航空交通运输这一子序列，涉及的用户也相当的复杂，本文我们定义的航空公司气象服务效益仅是指航空公司运行部门利用或使用气象服务，积极采取趋利避害有效措施，所获得的效益和效果。虽然气象科技的使用目前仅仅进入到航空公司运行的部分层面，但通过我们初步分析气象服务所带来的效益是相当可观的。

三、航空气象服务效益评估办法

气象信息的价值对于航空公司运行部门的决策者来讲，已经成为降低飞行决策中的不确定性和提高决策的经济效益需要考虑的一个重要因素。而评估气象服务的方法，不同的学者给出了从市场价值、决策制定、行为反映、偶然选择和一般平衡等不同的角度提出的各有利弊的方法。目前所有可用的气象服务经济价值的评估方法都受到某种限制，需要更为严格和具有更广泛基础的评估方法达到大家的普遍认可。

按照国际气象组织的气象效益评估方法，具体到航空运输业气象服务产生的收益我们可以认为是航空公司在运营中利用气象信息所带来的经济效益以及未采用气象信息而造成的损失。按照国际上一些国家的计算办法还包括旅客在内的广泛社会效益。为了计算方便并且考虑民航的效益我们采取简单的计算方法，即航空公司采用气象信息而降低的航班运营成本和减少的航空公司盈利损失。具体就是飞机、机组等资源的时间占用或者无效率运行导致经济效益损失以及燃油损失、盈利损失这三个方面。

我们就单一航线的航班数据作为分析模型，选取了2002年到2010年4月这不到9年时间的北京—乌兰巴托航线航班的运行数据，根据公司的总体成本、航班的固定成本和可变成本评估航空气象服务所产生的经济价值。

（一）航班的运行成本以及效益评估数学模型

航空运输企业通常把运营成本分为两种：一种为直接运营成本，指直接和飞机运行有关的成本。另一种为间接运营成本，指和客运服务有关的成本。具体到每一航班运行成本涉及的比较多，通常将其分为两大部分：固定成本和可变成本。

1、固定成本主要包括以下部分：

□人力成本：主要包括飞行员，乘务员，机务等相关人员的工资以及福利成本；
□飞机折旧：主要包括航材消耗件摊销，高价周转件摊销，飞发折旧，飞发大修理的分摊等；
□餐食及机上供应品费用：飞机上餐食和饮料等机供品的费用；
□民航基础建设基金：国家规定的用于民航基础建设的费用；
□销售费用：主要指代理人，为公司贡献销售后取得的提成；
□财务费用：财务费用主要指公司与银行或公司进行融资租赁时，产生的利息费用；
□驻外机构费用：驻外机构的各种费用（包括人员薪资和设备等费用）的分摊；
□管理费用：管理费用涉及的范围比较广泛，为保证公司正常运行的所涉及的所有费用都可以归到这一费用中来，包括：公司管理人员的薪资、福利、各种设备等；

□起降服务费：飞机在机场起落时，机场公司所收取的起降费用；

□外站航班代理费和航路费：主要指外站航班的航务代理费用和管制部门征收的航路费；

□其他杂项成本，如广告费等

对于航班运行在某个使用周期，其固定成本所包含的这些项目，对于固定的飞机执行相同的航段，其固定成本是可以固定和确定下来。可以得到单位时间航班运营成本C_{ph}：

$$C_{ph} = \frac{RF_a + T_a + SC_a + MC_a + PV_a + EL_a}{365 * VWT_{pd}} \quad (1)$$

其中，RF_a为平均每年 租赁费，T_a为平均每年税金，SC_a为平均每年场地费用，MC_a为每年维护费用，PV_a为每年航材费，EL_a为其他相关固定费用，VWT_{pd}为每天有效运行时间。

对于固定成本的具体计算，波音737系列飞机平均每架一年花费的租赁费、税金、停场费、飞机维护费、航材费和其它相关固定费用每年约为2500万元，按一年365天计算，每天的运营成本约为6.85万元。每架飞机按照每天的有效工作时间为12小时，则单位时间航班的运营成本5708元/小时。

2、可变成本：

可变成本主要指飞机执行航班时，实际航段耗油所需的费用，由于实际的航段耗油与当日具体的客货总重量（即业载）、当天的天气和飞机的性能衰减有关。我们通过历史资料得到平均油耗，再根据往年的航油价格，可以具体的算出燃油所需费用。

在国航乌兰巴托航线上主要使用波音737机型，偶尔会有波音767执行，737从北京飞往乌兰巴托耗油一般在4.8吨到5.7吨之间，767的耗油在9吨左右，在有西北大风的情况下逆风飞行耗油相应会多。本文选取波音737系列飞机作为分析航班运营的机型，耗油单程按照5吨计算，如果天气不达标返航则按照来回程总计10吨耗油计算。

（二）航空公司的盈利损失

飞机作为航空公司的主要生产工具，除了要为旅客提供优质的服务外最终还要为航空公司创造利润。因此当航班发生返航时，航空公司的盈利也会受到直接影响，造成航空公司的经济损失。

返航航班盈利损失的确定与航班载客人数、航班客座率和航空公司的净利润率密切相关。航班客座率是指航空器承运的旅客数量与航空器可提供的座位数之比，它反映航空器座位的利用程度，是航班效益的重要指标。航空公司的净利润率是航空公司的净利润与航空公司营业收入之比。

对于每个航班，航空公司从每名旅客那里获得的净利润为：平均票价×平均净利润率。因此，各航班每小时可为航空公司赚取的利润为：航班最大载客人数×航班客座率×平均票价×平均净利润率/平均飞行时间。那就可以计算航班单位时间利润PL_{ph}：

$$PL_{ph} = CPN_{max} * PLF * P_a * NPR_a/h \quad (2)$$

其中，CPN_{max}为航班最大载客人数，PLF为客座率；P_a为航班单程平均票价；NPR_a为净利润率；h为航班单程运营时间。

我们以B737系列飞机为研究对象，航线年平均航班客座率为75%，平均票价为2000元，平均飞行时间为2个小时。据测算我国主要航空公司的平均净利润率约为2.75%。，将已知参数代入（2）得：150×75%×2000×2.75%/2=3093.75元，单位时间盈利损失为3093.75元/小时。

（三）其他经济损失

1、航班返航引发的旅客经济损失

旅客花费高昂票价选择飞机这种交通工具，主要原因就是因为民航运输的快捷、舒适和安全。但是当发生返航后，就会给旅客造成一定的经济损失。这种经济损失可理解为航班延误的时间占用了旅客正常的生产工作时间，而这部分时间可用来创造更多的价值。

关于旅客时间价值的计算方法有很多，如：产品法、收益法、时间成本法等。结合航空运输的特点，通过计算平均每位旅客单位时间的延误损失可以得到总的经济价值。这部分价值计算需要根据国民生产总值、年平均就业人数、一年中有效工作时间的平均值、价值比例系数（对于商务旅客和休闲旅客而言，商务旅客的值要高于休闲旅客）来估算。在本文不再作具体分析计算。

2、航空公司的隐性损失

航班返航除了会造成有形的显性损失（航空公司经济损失和旅客经济损失）之外，还会导致隐性损失。比如航班延误对航空公司形象和声誉的损害。民航企业经过长期以来的努力所形成的良好品牌形象，一旦形象被破坏，在激烈竞争中就会丧失部分利益，此外还会造成很多间接的经济损失，如某些商务谈判或交易不得不因为航班的延误而延期或取消，很多旅客因为时间不得不改变行程安排。由于这些隐性损失的不确定性，很难定量的逐一对它们进行分析计算，因此本文在计算航班返航造成的经济损失过程中，也将不考虑这些隐性损失。

（四）航班效益评估数学模型

我们从单个航班固定成本、可变成本和公司的盈利损失三项来计算航空公司采取气象信息而带来的经济收益。具体表现在节约飞机无效占用、燃油价值和航空公司盈利损失这三个方面。由于气象服务的原因上述损失都可以节约或者减少，这就作为气象服务所产生的经济效益。

在实际运行中分为两种情况，由于当时天气不达标，没有气象预报服务无法确定天气何时转好造成飞机无效等待；另外就是当时天气良好，但当飞抵当地天气状况不达标航班返航。两者差别表现在是否有燃油损耗。

1、航班无效等待造成的经济效益损失

由于当时天气不达标，没有气象预报服务无法确定天气何时转好造成飞机无效等待，主要效益就表现在节约固定成本和减少公司的盈利损失两项。气象分析为航空公司增加盈利具

体就是：节约飞机运营总时间×单位时间飞机运营成本+节约飞行时间×单位时间盈利。气象服务所产生的盈利增加值E1计算方法就是：

$$E_1 = \sum_{i=1}^{9}(T_{pi} * C_{ph} + T_{Fi} * PL_{ph}) \quad (3)$$

其中T_{pi}为第i年节约飞机运营总时间，C_{ph}为单位时间飞机运营成本，T_{Fi}为第i年节约飞行时间，PL_{ph}为单位时间减少的盈利损失。

把（1）和（2）代入（3）得：

$$E_1 = \sum_{i=1}^{9}(T_{pi} * \frac{RF_a + T_a + SC_a + MC_a + PV_a + EL_a}{365 * VWT_{pd}} + T_{Fi} * \frac{CPN_{max} * PLF * P_a * NPR_a}{h}) \quad (4)$$

2、航班返航造成的经济效益损失

当时天气良好，但当飞抵当地天气状况不达标航班返航。但如果有效利用气象信息而减少了航班返航的发生，主要效益就表现在节约固定成本、可变成本和减少公司的盈利损失三项。具体就是节约飞机运营总时间×单位时间飞机运营成本+节约飞行时间×单位时间盈利损失+成功处理航班×单次返航消耗燃油价值。气象服务所产生的盈利增加值E2计算方法就是：

$$E_2 = \sum_{i=1}^{9}(T_{pi} * C_{ph} + T_{Fi} * PL_{ph} + N_{si} * C_f) \quad (5)$$

其中N_{si}为第i年成功处理航班数，C_f为单次返航消耗燃油价值。

把（1）和（2）代入（5）得

$$E_2 = \sum_{i=1}^{9}(T_{pi} * \frac{RF_a + T_a + SC_a + MC_a + PV_a + EL_a}{365 * VWT_{pd}} + T_{Fi} * \frac{CPN_{max} * PLF * P_a * NPR_a}{h} + N_{si} * C_f) \quad (6)$$

四、CA901航班气象分析效益统计分析

我们选取了2002年到2010年4月这几年的北京—乌兰巴托航线航班的运行数据进行分析，其中有年航班总数、经气象分析提出决策建议并避免返航的成功案例总数、因正确的决策而节约的燃油费用、飞机等无效占用而造成的收益损失等。统计分析的数据是从2002年到2009年的数据是全年的运行数据，2010年1月份至4月份的数据资料。

（一）乌兰巴托机场运行情况介绍

乌兰巴托机场位于乌兰巴托市区西南偏西方向，机场北面有图拉河经过，机场正北至东北一线均为山地，海拔在5000英尺以上，其中有一部分在6000英尺以上，东部和东南部同样也是山区，大部分在5000英尺以上。跑道东南延长线方向偏西有山峰一座，高度5692英尺。山体离跑道头很近，5000英尺高的部分离跑道南端只有8000英尺。由于地形的影响飞机降落

只能有西北向东南方向，起飞从东南向西北方向。机场西北方向和东南方向都各有一个与跑道方向基本一致的山谷，形成一个狭管通道，也是西北大风风向比较稳定的一个因素。

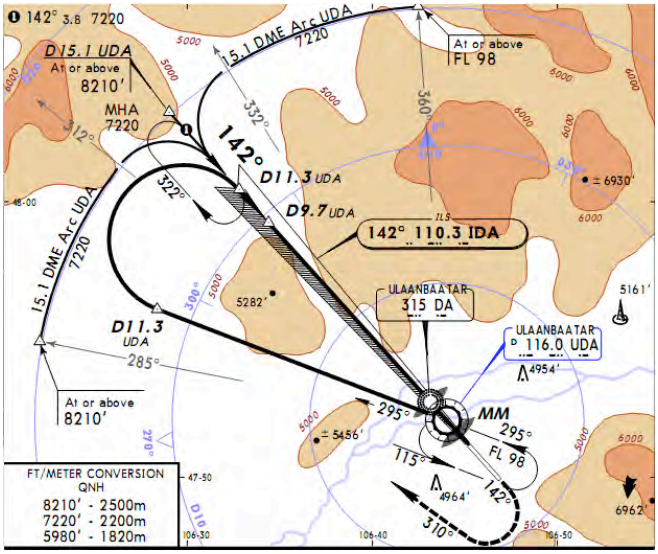


图1 乌兰巴托进场示意图及周边地形情况

而根据航空公司运行规范以及波音737系列机型起降的风力标准为，顺风风速不超过5米/秒，侧风不超过15米/秒，顶风不超过25米/秒。蒙古地区受大陆高压控制，西北大风比较频繁，常常会由于顺风超标引起航班返航。在我们提供气象分析服务之前，航班的返航、延误以及取消在实际运行中对于签派员以及公司来说都很棘手，对于航班处理起来缺乏科学依据，对于天气的认识仅停留在感性认识阶段。对于航班的运行处置偶然性很大，机组、旅客以及地面服务各个部门意见很大。例如当有大风时，运行部门只能每两小时两小时的延误，一直等到风力减小才会放行航班。但有时当风力变小了，机组由于超时没法继续再执行任务，飞机也闲置一整天，经济损失很大。而有了气象分析，在理论的指导下对于航班的处理水平明显提高。同时在理论和实践相结合的生产过程中我们的气象预报水平也有所提高，准确分析乌兰巴托机场的风向、风力大小并提供可操作性强的决策建议是我们气象服务工作取得了良好的实践经验之一，对于我们预报的准确主要是建立在长期实践基础之上，科学的进行分析，并且有很多航班事件处置的成功经验，使得我们关键时刻发布决策建议的信心充足。

（二）航班总数

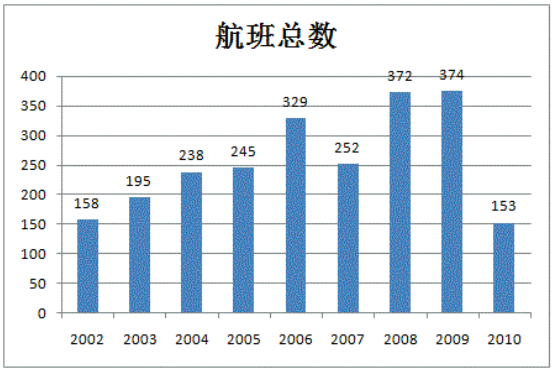
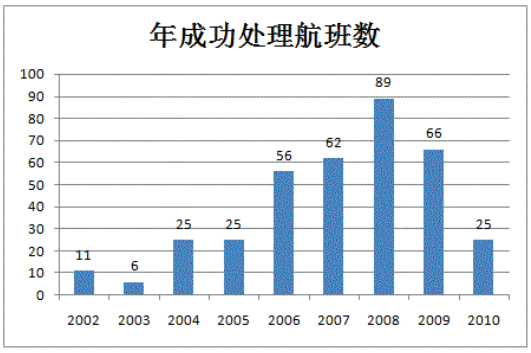


图2：年航班总数

图2描述的是从这几年来的北京飞往乌兰巴托航班CA901运行总数，和前几年比航班数量翻了一番左右，航班量增长较快。由最初的每周三、四班发展到目前的定期航班。在2007年略少是由于非定期航班CA955航班在旺季的执行。我们的统计仅是CA901单个航班。这几年的航班数都包括返航后然后再次执行飞行任务，所以要比计划的航班数要多，也就是2008和2009年航班量超过365班的原因。

（三）由于气象分析准确而主动推迟减少的航班返航数量



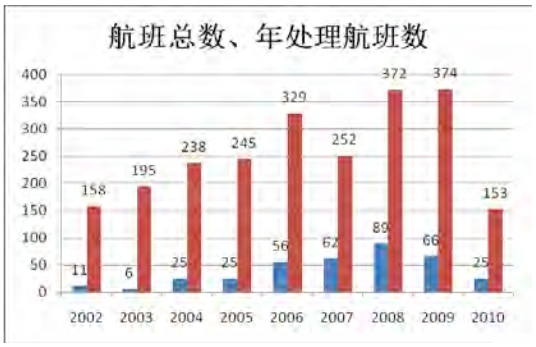


图3：年成功处理航班数量　　图4：年航班总数以及成功处理的航班数量

图3描述的是经过气象分析，乌兰巴托机场西北大风将会造成顺风超标，建议航班推迟到具体某一时刻执行（当然会造成主动延误），最终的决策建议是正确，并且得到航空公司采纳气象建议并执行完飞行任务的航班数量。从经济效益上来讲就是减少了飞机的返航无效率运行，达到节约燃油、提高飞机利用率的经济目的。前两年少的原因在于气象分析席位在2002年刚刚开始在候机楼放行室值班，气象服务仅限于飞行文件、气象告警以及气象咨询等方面。到了2004年气象分析席位搬到了公司的运行控制中心，这样参与的运行决策气象分析明显增多。气象分析更多的参与到运行决策工作上。之后我们通过总结研究乌兰巴托的天气特点，现在我们在新的数值预报工具的帮助下已经基本掌握当地的天气特征、预报的关键点等。此外还和每年的气候特点比如冷空气南下造成大风日数有关。

在不到9年时间共计处理了365班次的大风天气成功案例，相当于为航空公司增加一条航线一年的运力。

（四）由气象分析准确而取消的航班与主动推迟的航班

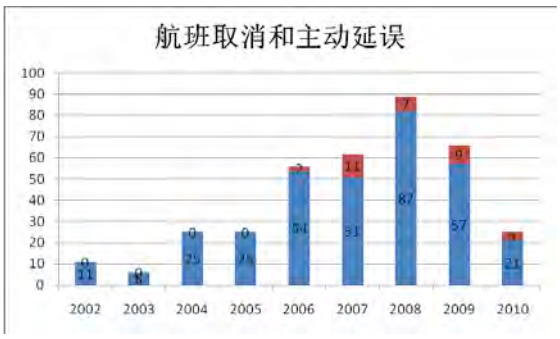


图5：取消与主动延误的航班(上为航班取消数量)

图5中包含了由预报准确而取消的航班数，原因在于由于通过气象分析当日全天风力超标，以及次日仍有大风天气航班还将无法正常执行，从而决定次日无法补班航班取消。

（五）飞机运营成本的经济效益

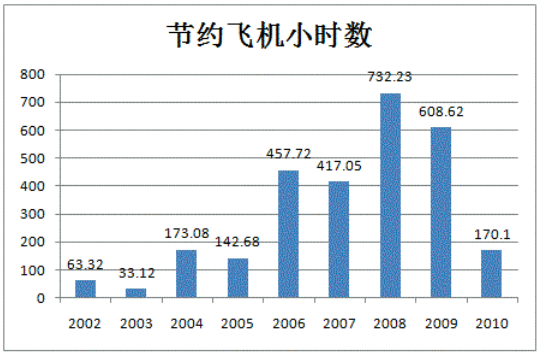


图6：飞机的无效占用时间

因采取气象分析建议推迟或取消航班而节约的飞机运营时间共计167875分钟，约产生了2797.9小时运力。

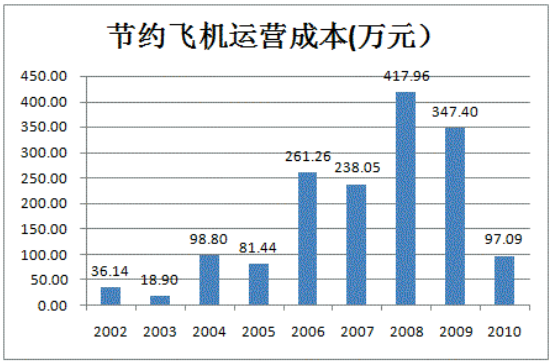


图7：飞机的运营成本损失

飞机在停场等待时间所造成的损失也是非常巨大的。按照波音737飞机为例，以每小时运营成本5708元计算，共节约飞机运营时间成本1597万余元

（六）减少盈利损失

由上述分析，以波音737飞机为例，如果飞机无谓空置或上客等待，单位时间盈利损失为3093.75元/小时。由此结合节约的飞机运营时间，可得出因气象服务而减少的盈利损失。图8为减少的盈利损失。

图8：减少的盈利损失

（七）燃油节约

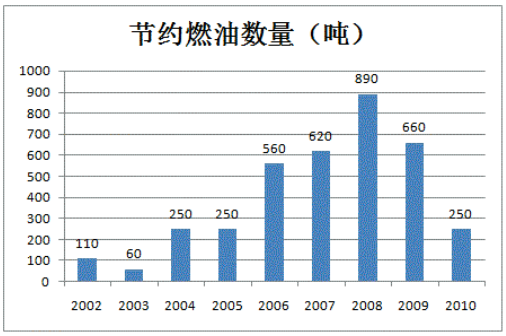


图9：节约燃油的数量

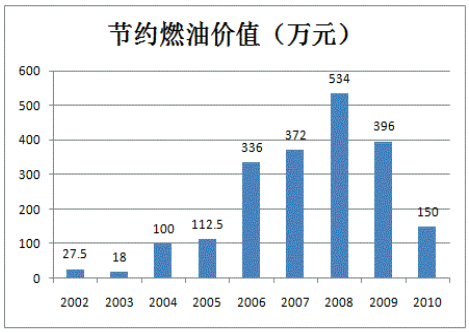


图10：每年节约燃油所产生的价值

CA901返航则按照来回程按照10吨耗油计算，由于采用气象信息而节约的燃油数量。根据各年燃油价格，按照2002年2500元/吨、2003年3000元/吨、2004年4000元/吨、2005年4500元/吨、2006年至今6000元/吨计算的每年节约燃油而产生的价值。合计节约燃油价值2046万元

（八）经济效益核算

根据公式（4）和（6）可以核算气象服务对于航空公司所创造的经济效益。可以从飞机的运营成本、公司盈利损失以及燃油损耗等可以计算2002年至2010年4月气象服务的总的经济效益。这样就得到气象服务的经济价值评估结果，在没有燃油损失情况下相当于创造盈利2462.64万元；当计算航班返航所造成的燃油节约时，增加的盈利约为4508.64 万元。按照实际运行情况航班的处置介于两者之间，这样可以得到气象服务对于单个航班的天气分析所产生的经济效益介于2462.64万元和4508.64 万元之间。

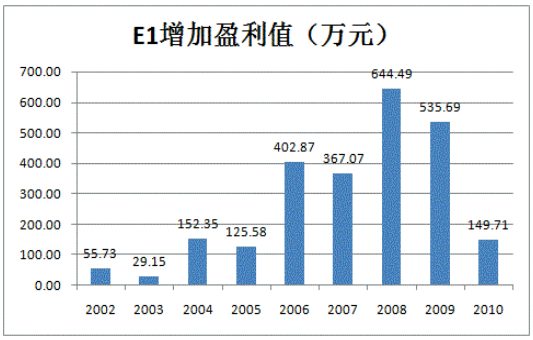


图12 增加盈利值E1

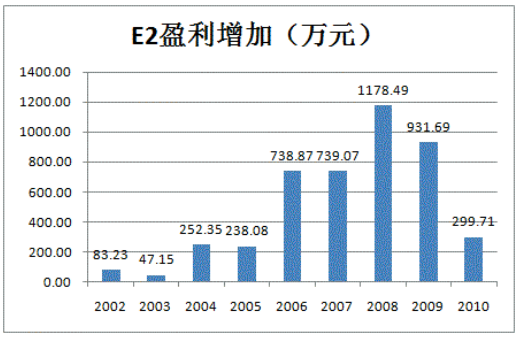


图13 考虑燃油节约盈利增加值E2

（九）减少二氧化碳排放量

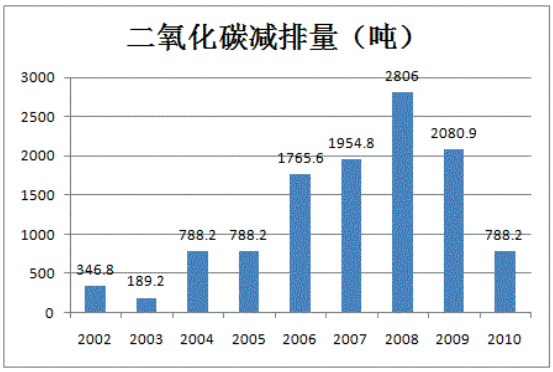


图11：二氧化碳减排计算

据统计，飞机每燃烧1吨航空燃油约排放二氧化碳3.15吨，因节约燃油而减排二氧化碳量总计约为11508吨。

五、结果和建议

（一）通过对单个航班的气象效益评估分析，我们不难发现航空气象服务为航空公司带来了相当可观的经济效益。从相应国家号召节能减排、建设民航强国方面的目标而言气象科技的使用水平直接关系到降低能耗目的以及实现民航由粗放型提升到精细化的高阶层次。

（二）气象部门可以通过气象服务经济效益的分析，运用定量分析来评估当前气象信息服务业务的结构现状，从而了解其所产生的普遍经济效益，从而发现问题进而改进，进一步有效合理分配气象资源。

（三）在航空气象工作中需要与用户有效的沟通交流，在航空公司决策人员面临气象分析航班处置的压力时，帮助他们完成与天气事件相关的决策，提供可操作性强的气象建议是很有必要的。这些工作直接关系到民航的整体效益、气象服务的经济价值和广泛的社会效益，也直接会影响航空气象用户未来使用气象信息的意向。从而保证气象业务在市场竞争中取胜进而增强自己的市场地位和社会地位。

（四）在未来的工作中，还需要从用户的角度出发去了解、归类和挖掘航空气象需求，甚至可以提供基础气象服务同时，引导和帮助用户发现气象与航空运输之间的更高层次需求;了解到需求，我们才可以针对需求进一步提高服务的质量。

参考文献：

[1] 刘光才，李雄，颜明池.航班延误与航空公司的经济损失研究.北京:交通运输，1999 .

[2] 贾朋群，任振和，周京平. 国际上气象预报和服务效益评估综述. 北京: 气象软科学2006年第4期.

[3] 罗慧，谢璞，薛允传.奥运气象服务社会经济效益评估.北京:气象，2008 .

[4] 2008年气象服务效益评估文集.北京: 气象出版社，2008.

天氣與飛行決策
(Weather and Decision Making)

陳瑞棋
中華航空公司

摘要

天氣與日常生活習習相關，重大/特殊天氣對飛航安全的影響尤其明顯，春天濃霧造成的低能見度，夏天的雷雨/颱風引起的風切變、強側風、大風大雨，冬天冰雪造成跑道濕滑、防冰除冰的決策，這些季節天氣就是飛行員的好朋友，既然是好朋友，它們一定會來看你，你也避不了它們。本文將介紹進場法規需求 (Approach Ban)及案例探討。工作要完成、任務要成功需要大家努力，非一人可完成，提供幾個方向供大家參考：天氣判讀、法規了解、安全考量(應變計畫)及組員合作。

一、前言

天氣與日常生活習習相關，重大/特殊天氣對飛航安全的影響尤其明顯。本報告主要探討與起降相關的天氣標準及季節性天氣型態、進場的法規規定。作者並以飛行經驗中的兩個實際案例：中東的清晨平流濃霧與侵擾臺灣北部的颱風，以顯示飛行員遭遇特殊天氣時的思考方向與處理模式。

正確的預報為飛行判斷的基礎，遭遇壞天氣時，及時正確的預報更形重要，飛行員遇壞天氣時心理壓力極大，此時除注意飛行狀態外，對油量的消耗，目的地與備降站的天氣掌握等等，都需組員的協調合作才能順利完成任務。

其實這些季節性的典型天氣型態是飛行中無可避免的，固然讓飛行增加了許多變數與挑戰，但也可將它們視為飛行員的人生好友，有了它們能讓飛行生涯更為豐富而精彩。這些人生好友包括：

(一)春天濃霧造成的低能見度
(二)夏天的雷雨/颱風引起的風切變，強側風，大風大雨
(三)冬天冰雪/跑道濕滑/防冰除冰的考慮
(四)秋天則是星星，月亮，太陽

二、進場法規需求 (Approach Ban)

(一)進場前的最新能見度報告必須大於/等於進場需求，才能實施該儀器進場。
(二)儀器進場時，不得飛越最後進場點(FAF)/精確進場 或低於1000呎標高(AAL)/非精確進場，除非能見度或RVR大於/等於最低需求(Reported Visibility or Controlling RVR)。
(三)當航機已在最後進場階段(Final Approach Segment)或低於1000呎，即使收到的天氣報告低於最低需求，航機仍可繼續進場直至最低決定高度DA(DH)/MDA(MDH)。
(四)到決定高度時，如有目視參考(進場燈/跑道環境)，可逕行落地，否則必須重飛(復飛)。

三、案例探討

(一)案例一：

目的地：阿布達比(中東)　　備降站：阿聯(內陸53海浬，不受海霧影響)

飛時：約8小時

天氣：到達時濃霧，日出後可能消散(早上六點到達，0200Z)

TAF OMAA 281330Z 2814/2920 30010KT 9999 NSC

FM282200 30002KT 0200 R31/0250 FG VV///

FM280200 31002KT 0250 R31/0300 FG VV///

FM280330 31005KT 2000 BKN005 OVC010

FM280500 31010KT 9000 BKN050=

到達前兩小時，臺北簽派依據最新天氣，用ACARS 發指示要航機轉降備降站，場站經理卻發指示要航班繼續前往目的地。

兩個不同的指示幾乎同時到達，確實對組員造成困擾，三位組員討論後，決定詢問其他航班的意向：一小時前的航班已轉降備降站，後面半小時的航班也決定轉降。

判讀最新TAF後，認為落地機會大，雖然資深機長與副機師都偏向轉降，仍以天氣型態與TAF預報及應變計畫向他們解說並說服，認為落地機會大，航機應繼續前往目的地。

應變計畫：

1、因距離備降站50浬，待命航線要求在15000呎(4500M)：考慮轉降或正常落地都方便也省油。
2、只做一次進場。
3、重飛即轉降 (不做第二次進場)。

實施操作/組員合作：(進入待命航線)

1、CM1：操控航機。 CM2：聽ATIS，並向塔臺詢問最新RVR。 CM3： Supervisor 綜觀全局，提供必要支援。
2、當時已有一架馬來西亞航空班機已先進入待命航線在較低高度盤旋待命。
3、每隔2-3分鐘詢問塔臺跑道最新RVR讀數。
4、約10-15分鐘後塔臺報出RVR 350m：此為合法執行第二類精確進場(CAT II)的最低RVR需求，表示飛機可合法執行進場。
5、向進場管制臺報告：“Dynasty 6441. We have the RVR reading 350m from tower. We are ready for the approach.”要求雷達引導，準備進場。
6、進場管制臺：雷達引導做第二類精確進場，(CAT II，第二類盲降)執行自動落地。
7、進場中：收到多次RVR 讀數報告，有低於350m，有高於350m，高於標準值的次數愈來愈多，表示趨勢確實變好。

(二)案例二

航機由舊金山經安克拉治(安克雷奇)到臺北：4人派遣。

飛時：舊金山到安克拉治約4小時30分，安克拉治到臺北約9小時。

當班機順利在PANC落地，滑行往停機位時，四人的心理是準備繼續往臺北飛行，但當飛機在機位停妥後，卻發現前面班機機門關閉且登機梯被撤離飛機，即判斷颱風對臺北影響重大，可能要在PANC暫停，果然做完停機程序，簽派即以無線電通知，要飛行組員離開飛機先到辦公室報到。

在辦公室研讀衛星雲圖與天氣預報後，與其他組員商討，認為預報天氣符合規定，繼續往臺北比停在PANC合適，隨即將我們意願向簽派表明，簽派也與臺北聯繫，認為天氣已好轉，可以簽派往臺北，同時將備降站改為香港並多帶30分鐘額外油量(extra fuel)。

考慮因素：

TAF RCTP 020500Z 0206/0312 35015KT 3200 SHRA SCT006 BKN011 OVC030 TEMPO 0206/0212 31025G38KT 1500 SHRA SCT003 BKN005 OVC025 BECMG 0212/0214 25015KT TEMPO 0214/0224 24025G40KT 1800 SHRA SCT003 BKN005 BKN030 BECMG 0300/0302 23015KT 4000 BR FEW010 BKN020 BKN040 TEMPO 0302/0312 7000 FEW012 BKN032 BKN050=

1、法規面：TAF、雲圖、額外油量…。

2、技術面：組員經驗與能力的考量，對不同場站/天候特性的了解。

3、心理面：要考慮每位組員的心理感受，尤其是年輕資淺組員常會表示自己沒意見，機長必須明白表示：此時每個人意見同等重要，不可說我沒意見，必須取得共識。

飛航中，再取得最新TAF，臺北預報天氣風雖大，幸多為頂風，符合起降標準。

●TAF RCTP 021100Z 0212/0318 23015KT 7000 SCT006 BKN014 OVC030 TEMPO 0212/0224 22020G32KT 2000 SHRA SCT004 BKN007 OVC025 BECMG 0300/0302 FEW012 BKN020 BKN050 TEMPO 0303/0312 01005KT FEW015 BKN032 BKN060=

●TAF AMD RCTP 021425Z 0214/0318 23018KT 6000 SCT005 BKN014 OVC020 TEMPO 0214/0224 25025G38KT 1000 SHRA SCT002 BKN004 OVC016 BECMG 0300/0302 33013KT FEW012 BKN020 TEMPO 0310/0318 01005KT FEW015 BKN032 BKN060=

應變計畫：備將站可為香港或日本的機場。油量消耗的考慮□(UPS 航機進場排隊第15架，決定轉降大阪)

實際操作：

1、進臺北飛航情報區即被要求減速；因天氣好轉，先前轉降航機大量飛回臺北。

2、進場時雨大，強陣風及頂風(在預料中)。

●METAR: RCTP 021430Z 23022G32KT 1600 +SHRA SCT002 BKN005 OVC015 25/24 Q0990 WS ALL RWY TEMPO 0800 SHRA

●METAR: RCTP 021600Z 23020G30KT 5000 SHRA SCT005 BKN009 BKN020 26/24 Q0991 WS ALL RWY TEMPO 1500 SHRA

四、結論

工作要完成，任務要成功，需要大家努力，非一人可完成，每個航班過程都不可重複。幾個方向供大家參考；

(一)預報關乎決策，關乎安全。

(二)天氣判讀：正確天氣的研判為飛行安全的基礎，同時也可為公司省下大量成本

(三)法規了解：適當運用法規。

(四)安全考量(應變計畫)：可行的緊急應變計畫。

(五)組員合作：積極正向的組員合作。

对机场气象情报交换方式的探讨

刘云霞
民航東北空管局

摘要

通过分析目前大陆地区机场气象情报交换现状，对比讨论各种情报交换方式优缺点，提出针对不同用户特点采用更恰当的情报交换手段，地区气象中心基本保持目前的方式，机场气象台采用向上级“订阅”的方式，这样可以保障信息及时性的同时，节省通信流量费。每个实时完整的气象资料通过公共网络或其它通信手段提供打包下载或推送，降低用户通信成本。

飞行气象情报发布与交换在民用航空气象服务中起着重要的作用。目前，大陆地区民航气象服务机构发布的飞行气象情报包括机场天气报告、机场预报、着陆预报、起飞预报、航路预报、区域预报、重要气象情报、低空气象情报、机场警报和风切变警报。其中，起飞预报、机场警报和风切变警报主要提供给所在机场的用户使用，其他的飞行气象情报需要与所在机场以外机构进行交换。

一、飞行气象情报交换现状

飞行气象情报的地区间交换是民航飞行气象服务能否正常的重要一环。目前，地区间飞行气象情报的交换主要是依靠民航气象数据库系统，未配备民航气象数据库系统的机场气象台需要的飞行气象情报，通常由民航地区气象中心通过航空固定电信网（AFTN）或者其他有效方式转发，或者根据规定由机场气象台向民航地区气象中心自行索取。

二、飞行气象情报交换的主要方式

（一）民航气象数据库系统

民航气象数据库系统是民航气象业务的核心信息系统，可以实时收集、处理、存储、交换民航国内、国际飞行所需的综合航空气象情报信息。通信方式为民航专用异步传输网络（ATM），信息及时可靠，资料种类丰富，资料交换量不受限制，没有通信成本。

（二）AFTN和其他有效方式

对于未配备气象数据库系统的机场，需要通过AFTN和其他有效的方式交换气象情报。以电码格式和缩写明语形式制作与发布的飞行气象情报可以通过AFTN方式交换，而以图形形式制作的飞行气象情报则需通过传真或其他方式进行交换。

1、AFTN+人工传真方式

通过AFTN方式接收电码格式和缩写明语形式的报文，高空风温预告图和重要天气预告图等利用传真方式接收。

这种交换方式由于报文量大，通信费用较高。人工传真接收图形产品，没有实现

情报传输自动化，占用人力资源。由于情报传输方式限制，获取资料种类只能保证业务运行最低标准。

2、AFTN+WEB方式

通过AFTN方式接收电码格式和缩写明语形式的报文，高空风温预告图和重要天气预告图利用网站WEB服务，可以获取网站提供的卫星云图、其它机场自动气象观测系统和天气雷达实时资料等。

该方式相对“AFTN+人工传真方式”实现了情报传输自动化，不占用服务提供方人力资源，资料种类更丰富。但是AFTN报文量大，通信费用高问题依旧存在。此外，由于技术条件限制，网站信息更新的及时性和准确性问题、使用互联网服务是否符合资料本地提取原则等问题，这些问题决定了这种运行模式不能纳入正式的业务运行规范。

（三）自行索取

由于航班量少，机场气象台不用地区气象中心通过AFTN方式转发，自己通过AFTN线路向本地区气象中心或民航气象中心索取机场天气报告和预报等。这种方式虽然减少了通信费用，但是不能保证资料的及时性和有效性，特别是降落机场或备降场的特殊天气报告、重要气象情报、风切变警报等容易遗漏，会带来安全隐患。

三、气象情报交换方式的探讨

针对未配备气象数据系统的机场，如何有效地保证信息的及时性和有效性，减少通信费用，增加资料内容，可从以下两种方式来探讨。

（一）订阅方式

1、配备气象数据库的机场

地区气象中心向本地区机场气象台转发所有资料，机场气象台可以不全部接收，通过修改控制数据，接收自己所需要的飞行气象情报。

2、未配备气象数据库的机场

机场气象台可以根据航班计划，向地区气象中心订阅所需气象情报，如降落场、备降场的机场天气报告、机场预报、重要气象情报等。地区气象中心根据机场气象台的需求，制作控制数据，通过AFTN向下转发相应情报。

（二）AFTN+云同步方式

通过AFTN方式接收电码格式和缩写明语形式的报文，气象数据库中通过MQ传输的内容可利用“云同步”技术实现。

云同步有很多不同的概念和类型，这里就是指云端文件同步。通俗地讲，云同步就是指在一个用户所拥有的两个或者多个地方的东西永远保持一模一样。

云同步功能，可以让同一个帐户下多台设备和网络端所储存的文件保持一致。用户在任何一个地方对文件做了添加、删除或修改，其他几个地方都会很快变为同样的修改结果。

如图1所示，利用云同步技术实现气象情报资料传输工作原理就是把报文落地文件、重要天气预告图、高空风温预告图、雷达图、自动观测数据等文件保存在一台为机场提供气象情报服务的服务器中，根据不同资料种类设置相应的自动同步时间。这样，各种资料文件的增加、删除和更新就会自动同步到云端，云同步服务就会立即更新机场客户端中的文件，这样就实现了气象情报资料的传输。

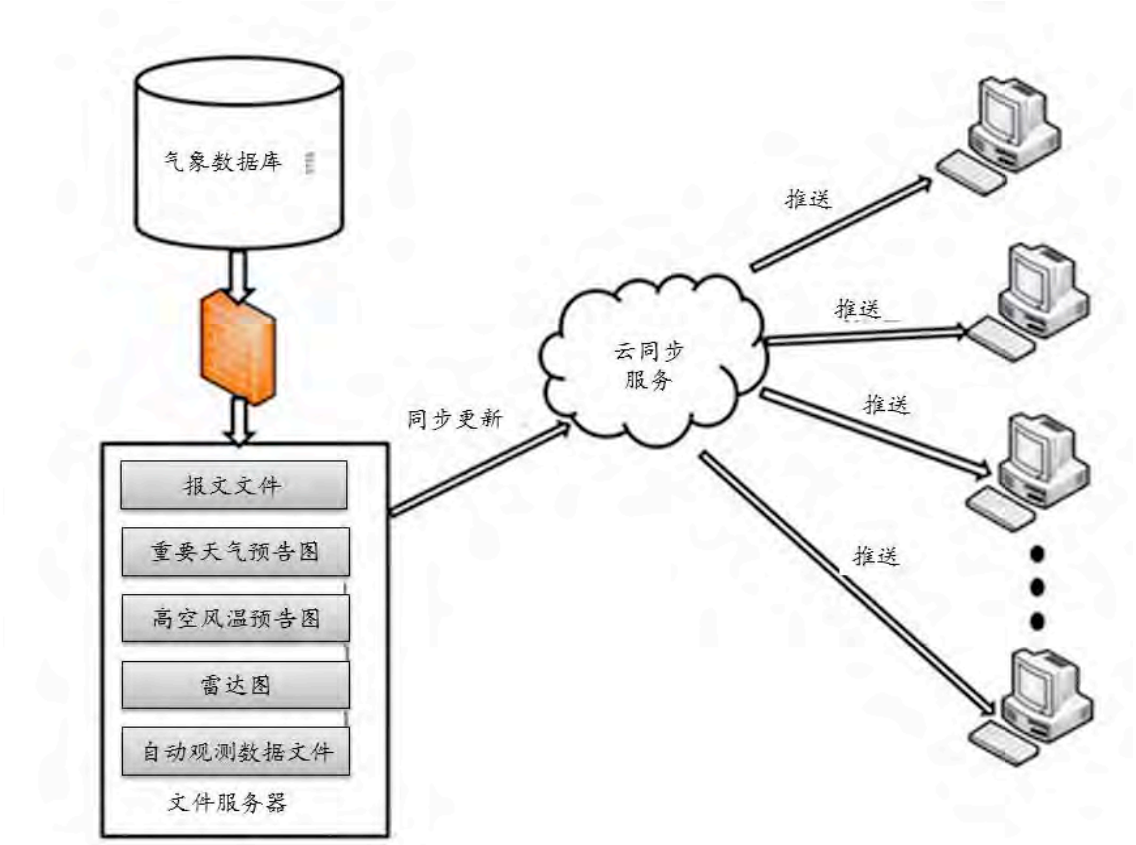


图1 气象资料云同步传输图

国内外有多家提供云同步服务的服务商，可选择一个服务稳定可靠的服务提供商。有的云同步服务的服务商采用了比较先进的文件同步优化技术，比如自动对文件分块，减少了同步数据传输量，加快了文件同步速度。

气象情报云服务的文件提供端和机场客户端需要一些软件开发工作，来保证文件提供和机场客户端使用这些气象情报资料。

四、结论

（一）利用云同步技术传输气象情报资料，保障了信息传输的及时性和资料的完整性，AFTN通信量下降到配备气象数据库系统机场同等水平，节省了通信费用，机场客户端从本地提取气象资料用于航空服务也符合资料本地提取原则。

（二）应大力发展气象网络建设，各机场气象台应逐步接入民航气象网络系统，对于还没部署气象数据库系统的机场来说，利用云同步技术传输气象资料，也是一个与时俱进的解决方案。

作者简介:
刘云霞，民航东北地区空中交通管理局气象部，从事气象技术装备保障管理工作
通信地址：辽宁省沈阳市大东区小河沿路3号，民航东北空管局气象部
邮　编：110043　　电　话：024-88293917
E-mail: caaclyx@yahoo.com.cn

長榮航空公司防颱作業簡介

李正傑
長榮航空公司

摘要

由於臺灣地理位置特性使然，每年夏、秋兩季常會有颱風侵臺。侵臺颱風對臺灣帶來的危害，除了造成水災的暴雨外，伴隨而來的強風亦會引起風害，這兩種現象不僅會造成人民財產的損失，對民眾的生命安全也常帶來嚴重威脅。此外，對於民眾賴於通行的陸上及空中交通運輸系統，亦常因安全考慮而停擺，造成民眾行的不便及運輸業者的營運損失。實際上，颱風來臨前的外圍環流會使得機場附近出現低空風切及亂流的機會提高，加上環流雲雨帶常造成機場低能見度與低雲幕現象，對於航班起降安全造成潛在的威脅。

因此主基地在臺灣之長榮航空，針對會造成航班起降延誤、甚至影響安全之颱風，製作了長榮航空防颱作業準則。

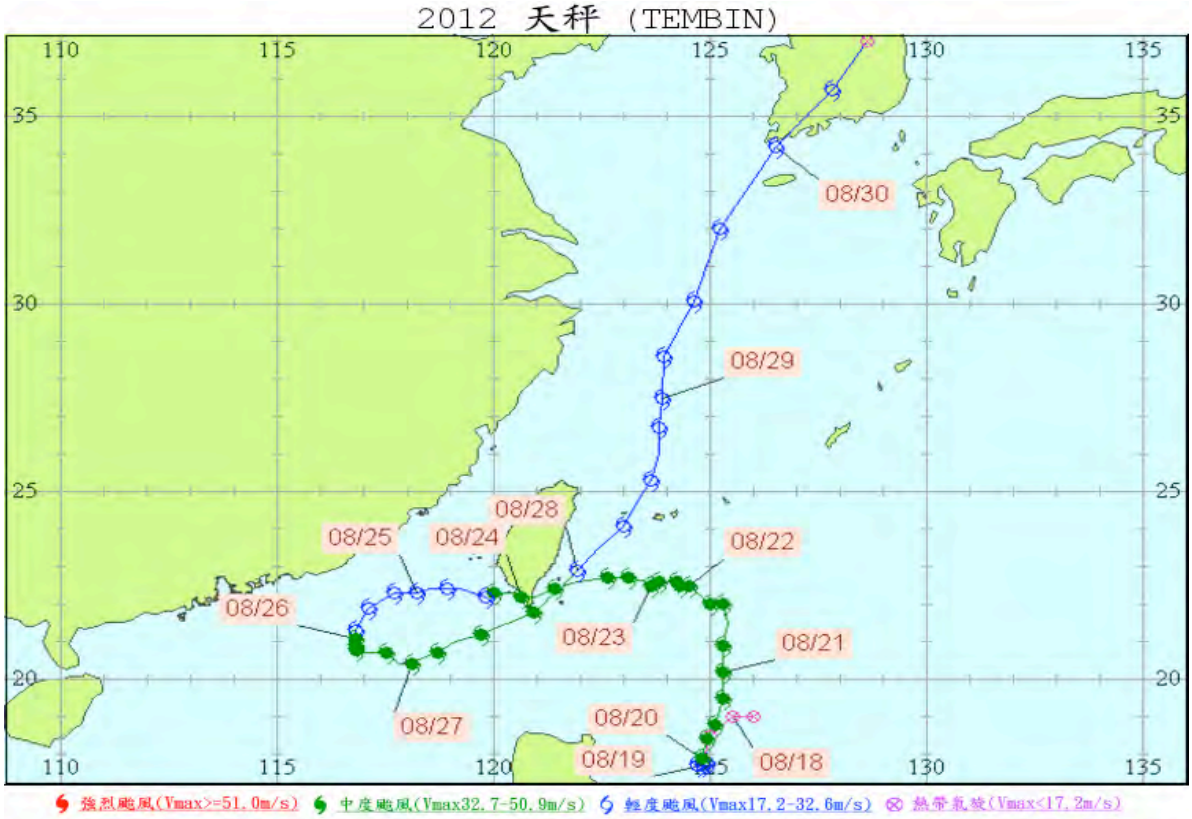
一、2011年1月~2012年8月侵襲颱風資料：(有發佈海上或陸上警報者)

(一)2011全年氣象局共發佈5個颱風警報：艾利、桑達、米雷、梅花、南瑪都。

以上颱風針對臺灣地區而言，只有梅花颱風對本公司國際線航班作業造成延誤的影響；而南瑪都颱風則對立榮國內線航班造成影響。

(二)2012年至8月底止，氣象局已發佈6個颱風警報：泰利、杜蘇芮、蘇拉、海葵、啟德、天秤。

以上颱風針對臺灣地區而言，泰利、蘇拉、海葵等3颱風對本公司國際線航班作業造成延誤的影響；而泰利、蘇拉、天秤則對立榮國內線航班造成影響。



二、長榮航空公司防颱作業簡介:

(一)目的

長榮航空防颱作業。其目的是為了當颱風接近本公司運航機場或飛機停靠場站時，除應盡量維持可能之運航外，為確保飛航安全，並使因颱風導致之損害減至最低限度，對可能受颱風影響之航機，採取事先疏散、轉降、進廠或繫留等各種防颱措施，使能待颱風完全通過後，迅速恢復航機之正常運航

(二)定義

1、颱風：凡中心最大持續風速在34knots及以上之熱帶風暴悉稱為颱風，並可按風力之強弱加以分類，其標準如下表所示：

類 別	風 速(knot)	風速(m/sec)	風 級
輕 度 颱 風	34 - 63	17.2 - 32.6	8 - 11
中 度 颱 風	64 - 99	32.7 - 50.9	12 - 15
強 度 颱 風	99 以上	51.0 以上	16 以上

2、疏散：指本公司之航機，為避免遭受颱風侵襲所造成之損害，而使航機空機飛渡至其他安全機場之運航作業。

3、轉降：指本公司之航機，以遭受颱風侵襲場站為為目的地之飛航時，為避免颱風將造成之侵害，而使航機改降其他安全機場之運航作業。

4、進廠：指本公司之航機，為避免颱風侵襲可能造成之損害，而使航機進入棚廠停放之運航作業。

5、繫留：指航機停放於停機坪時，為避免颱風侵襲可能造成之損害，而依飛機維修手冊規定將航機加以栓繫之作業程序。

6、防颱機場：即將或正遭受颱風侵襲之機場。

(三)颱風警報階段分類

依據民航局颱風警報發佈規定，各機場警報階段如下

類 別	定 義
W 36	颱風將於未來 24 至 36 小時之間來襲，簡稱 W 36 警報
W 24	颱風將於未來 12 至 24 小時之間來襲，簡稱 W 24 警報
W 12	颱風將於未來 06 至 12 小時之間來襲，簡稱 W 12 警報
W 06	颱風將於未來 06 小時來襲，簡稱 W06 警報
W 00	颱風正在侵襲，簡稱 W 00 警報
D 06	機場已進入暴風圈預測在6小時內將脫離

(四)防颱指揮中心之設立

1、民航局颱風警報W24發佈後，由航行管制部為協調單位通知有關部門主管準備防颱事宜。

2、於W24至W12之間，航行管制部視情況需要報請防颱指揮中心召集人(運航管理部)成立防颱指揮中心，通知各有關單位派員進駐航行管制部展開24小時作業，監守颱風動態及處理航機相關事宜。

3、依據民航局氣象中心發佈之颱風解除警報，防颱指揮中心於完成後續班機調度後解散。

(五)颱風警報發佈程序

航行管制部依據民航局每六小時發佈之颱風警報，通知本公司高級主管及各相關單位；並於颱風影響結束後，發佈颱風解除通報。

(六)班機運航作業防颱處理程序

長榮航空遇颱風時之班機運航作業，係根據颱風預計侵襲之時間，從遠的W36(24~36小時內侵襲)至近的W00(颱風正在侵襲)，採取不同之因應方案。

1、W36階段

(1)通知相關作業單位，準備防颱工作，並密切注意颱風動態。

(2)除開始密切注意颱風之行進路徑外，此階段偏重於後勤單位之整備。例如：總務部之發電設備/排水溝渠/花圃樹木/儲備用水/車輛等之檢視及加強。還有機場現場單位之辦公區域之預檢，例如：將原放置於機坪之空盤櫃拖進室內、貨物先作防雨措施等。

2、W24階段

(1)分析颱風對本公司各離到班次與航機可能之影響預作規劃。

(2)依實際情況預作航機進廠、轉降、疏散、繫留等行動方案並通知有關部門主管準備防颱事宜。

(3)掌握執勤組員服勤時間限制與規定，列印待命可供派遣之空勤組員名單以供參考，並保持密切聯繫。

(4)根據颱風動態，預先模擬各種可能發生之狀況及可能因應之道。如班機之時間更改、取消或餐點部份之餐型改變、調整及取消等。

3、W12階段

(1)陳報防颱指揮中心召集人成立防颱指揮中心，並通知各有關單位派員進駐緊急協調中心(ERC)，處理有關班機調度等事宜，並開始24小時作業。

(2)分析颱風對本公司離到班次與航機可能之影響。並視情況修正航機進廠、轉降、疏散、繫留等行動方案，並正式對外通知相關單位及場站有關航機疏散資料。

(3)各機型開始加壓艙油/壓艙盤(MD-11型飛機)因應。航機進廠或繫留，原則上以停放於棚廠為主，若無棚廠可供停放，而需停放停機坪時，航機應加以栓繫，並遵照程序規定，執行航機繫留作業。

4、W06階段

(1)視實際情況需要，簽派航機至預定疏散場站或決定有關班機之越站飛行，取消或延後，航機疏散或有關班機之越站飛行，取消及延後之決定，必要時得儘早為之。因疏散而影響後續班機時間表時，應協調有關單位預作妥善安排計劃。

(2)通知鄰近機場做好班機轉降準備，包括MNL、HKG、MFM、KHH、OKA、KIX等機場。

(3)桃園機場正式成立機場應變指揮中心，開始24小時作業，並提供場站資訊供航行管制部決定參考用。

(4)視需要協調公關與電算部門，經由媒體及網頁對外發佈有關班表異動訊息。

(5)巡視機坪有無遺漏之貨物、空裝備及附屬品。確認各倉儲公司將非作業之貨物與裝備集

中於庫區。確認出口貨物加強之防雨措施，通知各作業倉庫，所有盤櫃貨物應依颱風來襲時執行防雨布及櫃套鋪置，以防雨水滲漏，造成貨物濕損。

(6)班機延誤到達/起飛/回航/轉降時之機上餐點之保鮮、更換之預作規劃。

(7)班機延誤時櫃檯於開櫃前應先填寫通告資料，並張貼告示週知旅客班機延誤事由，預計之起飛時間等，並依延誤時間於櫃檯劃位時，開具餐飲券供旅客使用。對轉機之旅客，協助代訂轉機行程或將旅客轉往外家班機。此外，亦須提供旅客延誤通知書，代發電報通知旅客親友。

5、W00階段

(1)持續掌握颱風行進路線、速度、方向、風向、風速與對本場影響及發展趨勢等資料，按颱風發佈程序通知相關作業單位，注意防範。此階段著重於警戒及搶救工作，作好應付任何緊急情況之準備，注意颱風動態，尤其是颱風轉向或滯留之影響。

(2)著手準備狀況解除後所須建立之各項資料(如上餐型態、餐數及相關人力之安排...等)。

(3)視需要協調公關與電算部門，經由媒體及網頁對外發佈有關班表異動訊息。

6、D06颱風警報解除階段

(1)按民航局颱風警報發佈規定，通知相關單位颱風警報解除。

(2)了解颱風侵襲場站各項有關航行設施之實際情況，包括跑道、滑行道積水情形，助航通訊及燈光等設施損壞情形，並作復航之準備。

(3)了解避風航機之情況並安排航機調度返場作業，依場站設施恢復正常之情況，調整並安排班機返場時間。

(4)視需要協調公關與電算部門，經由媒體及網頁對外發佈有關班表異動訊息。

(5)防颱指揮中心在此階段解散。

(七)檢討會議之召開

颱風過境後，防颱指揮中心召集單位運航管理部應視情況召集會議，檢討相關防颱作業，擬訂改善方案，並針對參與防颱作業卓有成效者，或防颱措施不當導致人員傷亡或公司重大損失者，報請人事室按公司規定予以獎勵或懲處。

三、颱風預報與防颱作業–航空公司需求

(一)桃園機場起風時間與風向及風速，藉以判斷側風是否影響航機起降。

(二)颱風登陸與出海時間與地點，藉以判斷桃園機場風向與風速變化及其側風是否影響航機起降。

(三)桃園機場最強風速及發生時間，藉以判斷是否影響航機地面作業，作業現場陣風達55Kts時停止航機地面作業。

(四)桃園機場風向與風速變化，藉以判斷側風是否影響航機起降，例如預報風向風速為09040/G50航機可能仍可正常運作，若預報風向風速為11040/G50，航機可能全面停航，故風向之預報至關重要。

用户服务工作中气象信息整合方案的分析与探讨

李占睿
民航新疆空管局

摘要

在向用户提供及时、有效的气象信息的同时，注重气象服务效果，在共同的气象服务情景意识下，从信息资源的收集、处理和服务入手，进行气象信息的整合，按照协同的理念，参与运行全过程的决策支持，实现个性化服务，不断提高气象服务水平。

关键词：气象数据库系统 服务方式 内容管理 协同 综合信息服务系统

一、引言

民航气象数据库系统正式投入业务运行后，向用户提供24小时不间断的气象报文、图表、机场警报、区域预警等信息，同时各气象服务机构还开发建设了气象业务系统，提供本区域（机场）的雷达、卫星云图产品、视频天气讲解、中长期天气预报、数值预报等资料。航空气象信息的特点是种类多，数据量大，收集方式复杂多样。而用户则是在这些数据资源的基础上，提出不同的需求内容和服务方式。基于以上现状，在建设气象信息服务系统向用户服务时:

●必须注重现有气象资料的深化应用,提供更多的气象服务产品;
●建设信息网络，整合利用各类气象资源;
●通过信息系统，实现与气象用户之间互联互通，资源共享;
●通过内容管理，定制与满足不同用户服务需求。

下面将从气象信息资源收集、处理和服务的角度，探讨气象信息如何整合，向用户提供个性化服务。

二、收集气象信息

目前，气象服务信息大部分来自民航气象数据库系统。各气象服务机构的探测系统、数值预报系统等也接入了数据库系统网络，同时与气象服务用户之间建立了专网连接。目前收集的气象信息主要有各机场的报文（包含SA、SP、FC、FT、WS等）、图表产品（重要天气预告图、高空风温度预告图等）、探测资料（雷达、卫星云图、AWOS等）、各类辅助资料（自动站、数值预报产品等）、多媒体资料、格点资料、机场警报、区域预警等。作为气象信息整合的基础，在收集气象信息时，需要考虑：

（一）气象信息的数据格式

气象报文类的资料一般具有固定的格式，而对于气象图表资料来说，为了便于使用和共享，一般采用下面两种数据格式：

1、标准格式的图像文件

主要采用JPEG或者PNG格式，JPEG格式以24位颜色存储单个光栅图像，是与用户操作系统平台无关的格式，图像压缩率高，文件一般不大，便于在通信环境不好、文件质量要求不高的环境下使用。PNG格式图片因其高保真性、透明性及文件体积较小等特性，被广泛应用于网页设计，便于在用户使用浏览器等工具查看。

2、矢量格式的图形文件

矢量格式的图形是使用数学方法描述的图，无论放大、缩小、旋转都不会失真，因此，在对图形数据进行叠加等二次开发时，将非常方便。

（二）气象信息的传输协议

气象信息的数据传输协议，一般选择UDP和TCP/IP两种。其中，UDP是User Datagram Protocol的简称，提供面向事务的简单不可靠信息传送服务。主要应用于传输实时视频天气会商时，以更高的画面帧刷新速率，牺牲一定的可靠性（例如，画面质量）而不影响用户使用。当传输报文、图表及警报信息时，一般使用TCP/IP协议传输数据，在信息整合的应用层，使用FTP、SOCKET或者消息中间件MQ等方式进行数据的接收和发送。

（三）天气雷达基数据的共享

多普勒天气雷达基数据产品是将雷达以各种探测方式获取的数据，在不改变属性的前提下，在多种不同的坐标上显示出他们的分布情况。这些产品具有实时性强、直观和形态特征明显等优点。这类产品主要有平面位置显示【PPI】、距离高度显示【RHI】、等高平面位置显示【CAPPI】、任意垂直剖面显示【VCS】、组合反射率因子显示【CR】。天气雷达基数据可以用于雷达拼图或者对雷达数据进行线性外推。因此在提供给用户雷达数据时，不仅提供标准图像格式的雷达回波产品，而且需要提供雷达基数据。

（四）历史数据的共享

随着新机场、航线的开发和建设，地区气象历史资料成为必不可少的决策信息。在气象数据库系统上开发的气象历史资料归档系统，可以将常规高空、地面天气图、地方航空气象报、气候志等资料进行收集、处理和电子化保存，为用户查询、使用历史天气资料提供了基础。

（五）格点数据的共享

气象数据库系统目前有EGRR（伦敦）和KWBC（华盛顿）两个中心的I、J区域格点数据，提供了6个时效和8个层次的最大风速、对流层顶、相对湿度、垂直速度和高度等格点场资料，同时提供BUFR格式中高层的急流轴、晴空颠簸、积云区、对流层顶高、锋面系统、热带气旋、风暴、火山灰。这些信息数据可以为运行控制部门提供决策信息支持。

三、处理气象信息

（一）气象报文要素的分解

气象报文要素的分解，是指按照报文编发的规范，对民航SA、SP、FC、FT及地方民

航报等数据进行气象要素分解。目前气象数据库中的气象要素表格中，存储的就是报文分解后的各个气象要素。气象要素分解后，可以按照用户要求的格式予以显示；对阵风、CB、雷暴等威胁航安全的天气现象进行警示；还可以在RVR、低云等天气要素变化剧烈、超过运行标准阈值时，进行告警。

（二）气象雷达数据的处理

在获取了多普勒天气雷达数据后，可以对雷达数据进行深度开发处理，以提高服务质量，指导航班运行。

1、天气雷达组网拼图

要求在拼图区域内有多部雷达，其定量探测范围互相衔接，且所有雷达按照统一时间、统一探测模式观测、存储原始数据，及时通过传输线路传送至拼图中心，经计算机处理，形成区域回波拼图。

2、天气雷达回波跟踪及短时的客观外推预测

因为强对流天气尺度小、发展变化快，因此可以根据雷达在先前几个时刻和当时观测到的回波图象，计算出回波的移速和移向，然后依此移速和移向外推而预告未来时刻回波位置。目前常用的是回波矩心跟踪法和交叉相关法。雷达回波线性外推方法主要应用于甚短期（ 0－12小时）和临近（ 0－2小时）降水预报及风暴监测。在时间较短（几小时以内）及天气系统变化不大的情况下，这种方法可得到较好的效果。但在天气系统变化显著时，简单的线性外推预报方法会出现较大的预报误差。这就需要根据当地的情况和经验，恰当的设定有关可调整的算法参数，以取得较好的效果。

3、气象雷达与航管雷达数据或GIS数据融合

融入方案有两种，一种是将航线数据或GIS（地理信息）数据与实时天气雷达回波产品叠加，用于管制员指挥飞机绕飞雷雨等天气或应急救援；另一种是将天气雷达回波进行外推，预测雷雨可能出现的地点与范围，再将航线数据与之叠加，进一步指导飞机的运行。

4、雷达资料与中尺度数值预报模式结合

将雷达资料与中尺度数值预报模式结合起来,可以合理、有效地利用多普勒雷达径向风和反射率资料对初始场信息进行调整，这种调整增加了实况中心区的风场辐合,削弱了控制试验中偏离中心的虚假动力中心强度,使流场辐合中心与实况中心更加接近。模拟的降水和降水对比分析表明,利用雷达资料改进后的初始场能明显改进降雨的落区,使降雨中心与实况中心更加一致。

（三）气象数据的交换与共享

气象用户从气象服务机构获取各类气象数据，进行资料的二次开发和使用。为了方便与用户之间数据的交换，采用XML（可扩展标记语言）格式是一种可行的方式。使用XML格式可以将各种信息，例如报文文本、表格甚至图形，以原始数据的方式储存。但在储存过程中，加入一些可以识别的标记，凭借这些标记，可以在用户端的服务器上做进一步的

处理。为了实现数据的安全性和一致性，可以对XML数据进行数字签名（XML-SIG）,实现气象数据的交换和共享。

四、气象信息服务

服务是气象工作的根本。随着技术的发展，需要在服务平台、服务方式、标准、内容等方面开展工作。

（一）服务平台

用户目前通过网络接入的终端设备类型非常多，因此，在设计用户服务平台及数据交换时候，采取与平台无关的设计语言及标准数据格式成为必不可少的要素，普遍采用的是JAVA 设计语言及标准图像格式和XML数据格式的资料，这样，用户服务界面可以显示在IPAD、PC等用户终端设备上。

（二）服务方式

对于服务方式，可以采用“推”、“拉”的机制，它能够提供及时、主动地定制数据资源服务技术。所谓“推”，就是服务器根据事先规定的设置，而不是根据用户实时要求，主动向用户发送数据资源的技术；而“拉”则是根据用户需求，有目的性的按时将用户需要的数据资源发送给用户。通过网络服务时，专业的气象应用，使用CLIENT/SERVER结构的服务方式将会给用户以更多的选择，例如图形的叠加、预警信息的推送、用户数据处理流程的定义和执行等；BROWSER/SERVER模式优点是在客户端基本不需要安装太多的应用，便于部署，易于维护。可以应用于常用的气象报文检索、标准图像格式的文件显示、动画。随着通信方式的增加，还可以通过电话、短信等方式提供服务。

（三）配置用户服务环境:

1、用户身份管理：用户身份是服务工作的基础，首先必须定义与用户身份，然后定制相关的服务内容，服务方式、服务标准，个性化服务。

2、用户服务标准管理：服务标准相关的是不同用户业务运行标准、服务范围、服务方式和业务标准阈值。服务标准管理要求各项内容可以进行动态配置，随需应变。结合前面所述的数据处理，为用户提供个性化的服务。

3、加强信息处理的流程管理：注重服务的效果，随需应变，开放配置，对关键的业务能够从信息的触发开始，按照“协同”的理念，根据不同用户的服务需求，设计从气象信息发布—信息接收--信息处理一系列流程，特别是关键角色、岗位对气象信息的处理意见和执行情况反馈，确保气象信息真正转化为决策服务信息。

（四）服务内容【需要进一步开展的工作】

1、气象信息与航班动态的结合

将机场的四字代码与要素分解后的气象实况、预报相结合，按照航班动态数据，面向旅客和运行控制人员，提供实时更新的气象服务。

2、XML数据格式的RVR、雷达、AMDAR资料与FOC的结合

将联网的机场AWOS、雷达和高空风、温度的格点场资料以标准的数据格式，与航空公司的FOC(飞行运行控制部门)进行资料交换，将气象数据输入用户运行管理系统中，对运行决策提供支持。

3、气象要素告警服务

在用户的服务环境配置好后，每个用户需要的告警信息标准、内容和就确定了下来，采用电话、短信、网络服务等用户选择方式或主动推送的方式，将信息发送到用户桌面。当采用网络方式时，按照“协同”的理念，可以通过预先业务流程的定义，全程跟踪信息是否被用户处理的状态，采取继续推送或者催办等操作，确保气象告警信息指导飞行运行。

4、点播、直播天气讲解

通过增加视频会议终端数量的方法，气象服务用户可以参与气象服务机构组织的天气会商，并发表意见或者直播天气讲解过程；当对天气会商过程进行录像形成数字格式的视频文件后，可以架设流媒体服务器，按照时间、区域进行分级索引，便于用户对感兴趣的内容进行点播。

5、历史资料的分析与服务

为了将气象数据库系统中存储的历史气象资料更好地利用，在不影响现有系统的数据处理和服务功能的前提下，将数据库系统的历史数据迁出到历史资料归档系统中，同时将观测月报表、纸面填图等资料进行数字化保存。在历史资料归档系统上，可以完成月报表、年报表、气候志报表查询统计、生成打印、批量导出操作，满足用户对气象历史资料的综合应用。

6、进行气象信息的整合，建立气象综合信息服务系统

随着探测系统的增加，各气象服务机构对用户关注机场的重要天气预报、航路天气、机场温度、闪电定位、风廓线（气象激光）雷达等服务产品，也提供的也越来越多。在对各类气象资料按照用户需求进行个性化处理后，为了便于资料的使用、维护和共享，需要对气象资料进行整合，在综合信息服务平台上，以图形化的界面显示、提供给不同的用户。

五、总结

综上所述，民航气象数据库和各类探测系统投入运行，为用户提供了丰富、及时的气象信息资料。在此基础之上，按照协同的理念，在数据收集、处理时，从服务内容、流程以及方式上进行用户定制，充分利用数据库系统和网络服务技术，为用户提供个性化的气息信息服务，使气象信息贯穿于运行全过程，提高服务效果，更好的保证飞行安全。

参考文献

1、《JSP应用开发详解》.北京：电子工业出版社，2004:592

2、叶至军.《JAVA2自学教程》.北京：人民邮电出版社，2004:434

3、（美）普里斯.《Oracle Database 10g SQL开发指南》. 北京:清华大学出版社,2005:475

4、胡明宝编著.《天气雷达探测与应用》.北京：气象出版社，2007:355页。

5、周建华.《航空气象业务》.北京:气象出版社,2011:216页。

作者简介:

李占睿，中国民航新疆空中交通管理局，从事气象信息应用与开发，中国新疆乌鲁木齐市迎宾路、830016，0991-3804293。

世博航空气象精细化集合预报系统介绍

邢 謙
民航華東空管局

摘要

基于高分辨率的中尺度数值模式ARPS、WRF-ARW和WRF-NMM，并采用多初值、多模式物理过程的集合方法构建集合成员，建成了包含15个成员的区域精细化集合预报系统。系统由六个分系统组成，即资料收集与处理、资料同化、控制预报和集合预报、产品诊断与显示、检验评估和运行监控六个分系统。输出的产品包括观测产品、再分析产品和预报产品三大类。其中预报产品分为控制预报和集合预报产品。基于精细化的模式预报结果，通过相应的诊断方法，研制了一系列特色产品如积冰指数、颠簸指数、强对流概率和落区、大风、雾、能见度、云底云顶高度以及航线剖面产品等。相对于单一确定性预报而言，该系统提供的多种集合预报产品对暴雨等强天气的预报提供了更科学的指导性产品，从而为决策部门的决策服务提供了更客观的依据。

一、引言

随着民航事业的迅猛发展，航空用户要求更充分、更有效地使用空域资源，因而对航空气象服务的要求不断提高；而在全球气候变暖的大背景下，极端天气气候事件，特别是严重影响飞行安全的危险天气频繁发生、强度增强，从而对航空气象服务提出了更新更高的要求[1]。航空气象也已不再停留在过去那种研究气象条件对飞行的影响上面，而是解决如何在各种复杂气象条件下保障飞行安全的问题，这就大大提高了航空气象保障的难度，要求气象必须做到精细探测、精细化预报和精细化服务，发展以数值预报为基础的气象要素的精细化预报，已经成为航空气象预报技术发展的主要方向[2]。

事实上，中尺度数值预报模式在航空气象领域的已有的应用表明，由于模式预报提供了精细化和直观的预报指导产品，航空用户及管制员可以根据这些精细化和直观的航空预报产品，避开恶劣的气象条件，来指配和灵活选择更加优化的飞行高度层，有效地保障飞行安全，而且可以大大减少航空器地面延误和空中等待时间，提高航空运行效率，以降低航空器燃油消耗，最大程度地提高经济效益[3]。

然而，由于初始场的不确定性和数值模式本身的不确定性，靠传统单一的确定性预报来提高数值预报的水平变得越来越困难。而集合预报主要用来描述大气状态的不确定性。一个好的集合预报系统可滤去预报中某些不可预测的部分，减少预报误差，同时在一定程度上也为判断预报的可信度提供了依据，基于集合预报技术的数值天气预报系统在一定程度上提高了预报准确率[4]。

目前，集合预报理论已成功地应用于中期数值天气预报和短期气候预测中，并向大气科学各个空间和时间尺度渗透。Stensrud等[5]同时采用基于初值和物理过程的集合预报方法开展了中尺度对流系统短期集合预报的研究。陈静等[6]等用MM 5模式采用基于物理过程的方式进行了华南中尺度暴雨数值预报的集合预报试验,指出通过扰动物理过程得到的集合预报效果相对较

好。纪飞等[7]运用基于物理过程的集合方法对一个典型的夏季东北冷涡型降水天气过程进行了集合预报，结果显示集合预报对降水和形势预报在总体预报效果上比各个集合成员预报效果都好。在多模式短期集合预报试验研究方面，周兵等[8]和陈超辉等[9]进行了预报试验及其分析与检验，得出了有指导意义的结果。

2010年上海世博会展期为2010年5月1日至10月31日，这期间上海及华东地区正值梅雨季节，是台风、暴雨、强对流天气、高温和秋季大雾等危险天气的多发季节。华东空管部门面临航班量急增和空域紧张的突出矛盾。如何减少天气原因对空中交通管理和航班运行造成的不良影响，对气象中心的预报服务水平提出了更高的要求。为圆满完成世博会航空气象保障服务，华东空管局气象中心引进先进技术，在曙光TC5000A高性能服务器上开发建立了一套世博航空气象精细化集合预报系统（AMEFS，Aviation Meteorology Ensemble Forecast System）。本文介绍该系统的组成、功能、主要产品及其初步应用。

二、 系统组成及功能

AMEFS采用高分辨率的中尺度区域数值预报模式ARPS（Advanced Regional Prediction System)[10-12]、WRF-ARW[13](the Advanced Research WRF)和WRF-NMM[14]（the WRF Nonhydrostatic Mesoscale Model），利用多模式、多初值和不同模式物理过程构建集合成员，建成了由15个集合成员组成的区域精细化集合预报系统[15]。AMEFS具有高度模块化结构，自动实现了从初始场资料的获取和预处理，多源观测资料的同化融合，不同集合成员的并行运算以及控制预报和集合预报产品的诊断输出和网络分发与显示等功能。系统输出的产品分为三类:（1）经质量控制后的实况观测，（2）融合分析场，和（3）模式预报场。模式预报产品分为控制预报和集合预报产品，同时根据民航气象服务需求，依据精细化数值模式预报输出结果，采用合适的诊断方法，研发了一系列航空特色产品如区域积冰、颠簸、低云、大雾、雷暴落区、大风等灾害性天气的预报产品。系统流程参见图1。AMEFS系统由以下六个分系统组成:（1）资料收集及预处理分系统，（2）资料同化分系统，（3）控制预报和集合预报分系统，（4）产品诊断与显示分系统，（5）评估检验分系统，和（6）系统运行管理分系统。

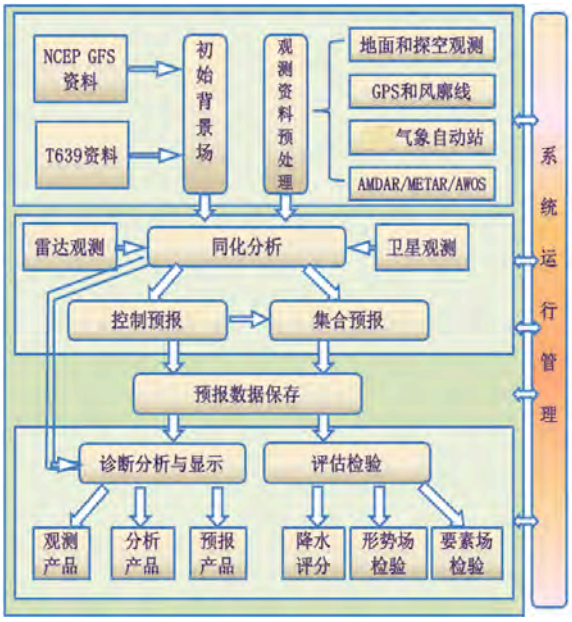


图1　AMEFS系统流程示意图。

(一)资料收集和预处理

模式初始场精确与否决定着模式预报结果的好坏。为了充分利用现行业务下发的各种观测资料，改进模式的初始场，本系统中设计研制了资料的收集与预处理功能模块，主要功能是收集整理多种观测资料，包括常规地面和探空、气象自动站、机场观测（METAR）、航空器下传资料（AMDAR）、船舶、GPS、风廓线、机场自动站（AWOS）、卫星和雷达，以及用于模式背景场的全球实时预报场资料，如NCEP的GFS、国家气象中心的T639资料等。对收集来的各类资料进行分类整理和报文解译，并统计资料文件大小、资料数目、资料时间、资料收集时间信息及资料缺失情况等，调用日志处理模块，保存统计信息到日志文件中。同时，进行格式转换，输出为资料同化系统所需的数据格式，预处理后的标准化输出的观测数据按日期和时间分目录存放。特别注重地面观测和METAR报中云信息的解析与处理，为下面资料同化系统中复杂云分析做准备。

(二)资料同化和云分析

AMEFS系统中采用ADAS（ARPS Data Analysis System）资料同化模块来实现多源观测资料的实时分析与同化。ADAS是由美国Oklahoma州立大学强风暴分析与预报中心（CAPS, the Center for Analysis and Prediction of Storms）开发的一套气象资料分析与同化系统，目的主要是为ARPS模式（Advanced Regional Prediction System）提供初始场[10-12]。ADAS包含有复杂云分析（Complex Could Analysis System）功能。复杂云分析是根据云热力-动力学原理以及辐射传输理论，利用卫星、雷达、地面、机场观测（METAR）等有关云的观测资料，对云（主要是积云和层云）发展状况及其可能导致的大气湿度、温度、垂直及水平风场的变化和调整作各种分析和诊断计算；引入湿度-动力-热力初始化方法，对大气初态进行深入调整（物理初值化），最大程度地把云区、云量、云高、云厚、云状、云发展状况、云中各种水物质含量、云中温度扰动、云中水平和垂直风速及切变等信息客观地加入模式初始场中，使初始状态尽可能地接近大气的真实状况[16-18]。这样模式带着一定的云物理过程启动，保持天气系统发展的连续性，消除数值预报普遍存在的预报振荡和临近预报盲区现象，提高模式的可用预报时效。

同化的资料来自资料收集和预处理系统，包括常规地面和探空、气象自动站、机场观测（METAR）、航空器下传资料（AMDAR）、船舶、GPS可降水量、风廓线、机场跑道自动站（AWOS）、卫星和雷达（参见图2）。并统计同化资料的种类、资料数目等信息写入日志模块，同时以ASCII格式输出经质量控制后的实况观测资料到指定目录，按日期和时间以文件形式存放。为下面控制预报（ARPS）和集合预报（ARPS、WRF-ARW，WRF-NMM）系统提供初始场。

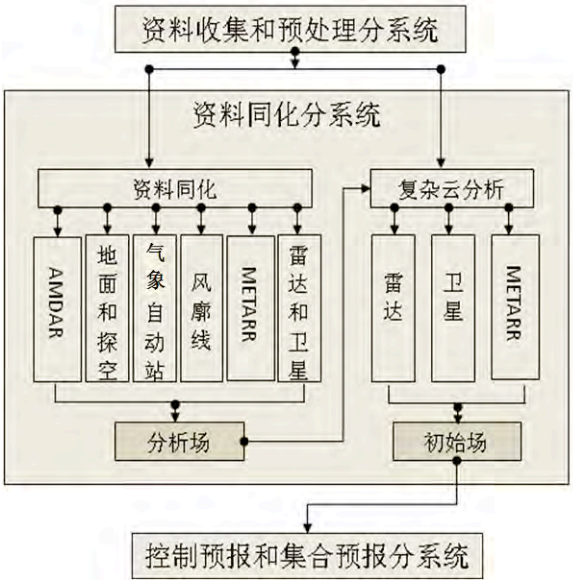


图2　资料同化与复杂云分析示意图。

(三)控制预报和集合预报系统

采用的模式ARPS、WRF-ARW和WRF-NMM，均为完全弹性、三维非静力大气预报模式，模式适用的尺度范围可以从几十米到几百公里，包含各种不同的物理过程，不仅可以预报各种对流风暴，而且适用于其它尺度的天气预报，是进行基础和应用研究以及业务天气预报的有效工具。

控制预报基于ARPS模式而建立，以资料同化分系统输出的分析场为初始场，以全球模式预报场（GFS、T639）或上一重嵌套区域预报场为侧边界条件。采用三重嵌套网格，预报区域参见图3，网格基本设置如下：36 km分辨率的格点数为367×243，中心点位置100°E，35°N；12 km分辨率的格点数为471×459，中心点位置120°E，31°N；4 km分辨率的格点数为471×459，中心点位置120°E，30°N。垂直最高空间分辨率50 m，模式垂直分53层。模式所用地形资料为10分的分辨率，模式地表特征包含土壤特征（分为13种类）、植被特征（为14种类）、叶面指数（Leaf Area Index）和地表粗糙度等，其中植被特征具有月际变化，这些模式基本数据都以BINARY 或HDF格式的单个文件存储。以1小时（48小时内）、3小时（49～84小时）为输出间隔。模式结果以HDF的格式输出到指定目录，按日期和时间以文件方式存放。

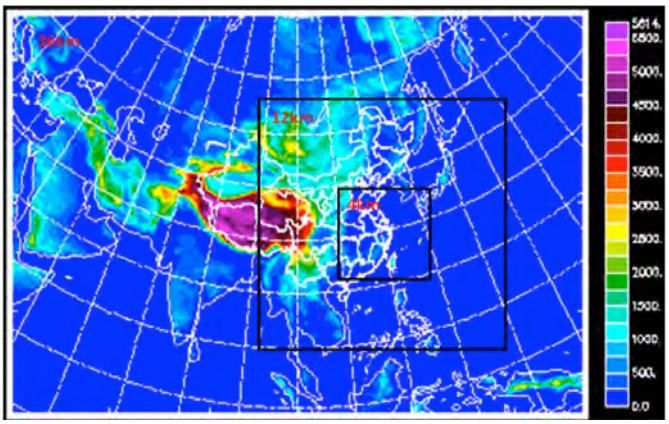


图3　控制预报区域和地形，其中36km亦为集合预报的区域。

集合预报选用的中尺度模式为ARPS、WRF-ARW和WRF-NMM，分别选取纬向风u、经向风v、位温和气压，四个基本量作为用于扰动的物理量，在同化分析场的基础上应用增长模繁殖（Breeding of growing mode）扰动方法产生多个初始场，同时选用不同模式物理过程，即通过采用不同模式、不同初值和不同模式物理过程的集合方法构建了15个集合成员，建成中尺度集合预报系统[15]。对36 km分辨率的欧亚区域每天在00和12 UTC两个时次定时运行，积分时长为84 h。

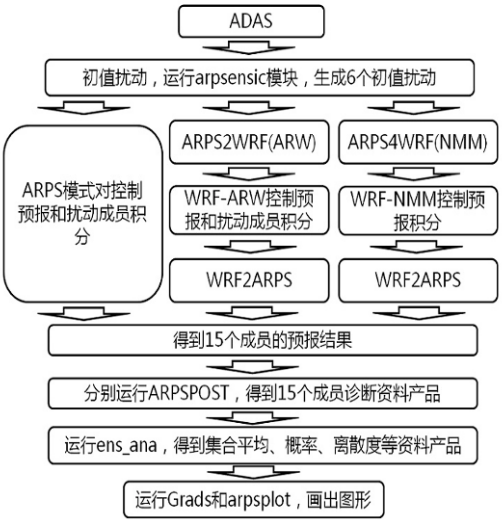


图4　集合预报流程图。

(四)产品诊断与显示

产品诊断与显示分系统主要功能为将模式的预报场和分析场进行格式转换和可视化处理，利用图形制作软件制作成各种图形图表产品，实现数据提取、物理量诊断计算、航空气象数值预报指导产品图形化的自动输出，并通过WEB页面的方式，自动快捷地将各种图形图表产品在内部网上进行分发与显示。产品表现形式为各种航空气象要素预报产品在不同时刻、不同高度上的二维等值线图和/或填色图、航线剖面图、时序图，以及雷暴、颠簸、积冰等危险复杂天气的预报图等。

1、产品概述

本系统提供的产品分为三大类，即实况观测、融合再分析和预报产品。其中，实况观测产品是经过质量控制后的观测产品；分析产品是将通过资料预处理分系统处理过的多种观测资料经同化分系统进行同化调整后，得到更加接近实际大气状态的三维分析场；预报产品分为控制预报和集合预报产品。控制预报产品包含地面量基本量、表示稳定度及对流触发维持机制的各种物理量、对流发展相关物理量、高空基本量、单站探空曲线和单站要素预报等，以及航空特色产品积冰指数、颠簸指数、雷暴、大风、能见度、雾以及航线剖面图形产品等。并制作出华东区域12个航站的时序预报图，输出地面要素预报，即温度、相对湿度、气压、逐小时降水量和10米风向风速。集合预报产品包括集合平均、概率预报、离散度和面条图[15]（图6）。

本系统提供的多种集合预报产品，有效地克服了单一模式不确定性带来的预报误差，使得预报结果更加可信和有效。初步的应用和个例研究表明[15]，相对于单一确定性预报而言，该集合预报能显著提高预报时效，能比控制预报提前24-36小时捕捉到强降水信息。并且基于多模式的集合预报优于单一模式或者单一物理过程参数化的集合预报。

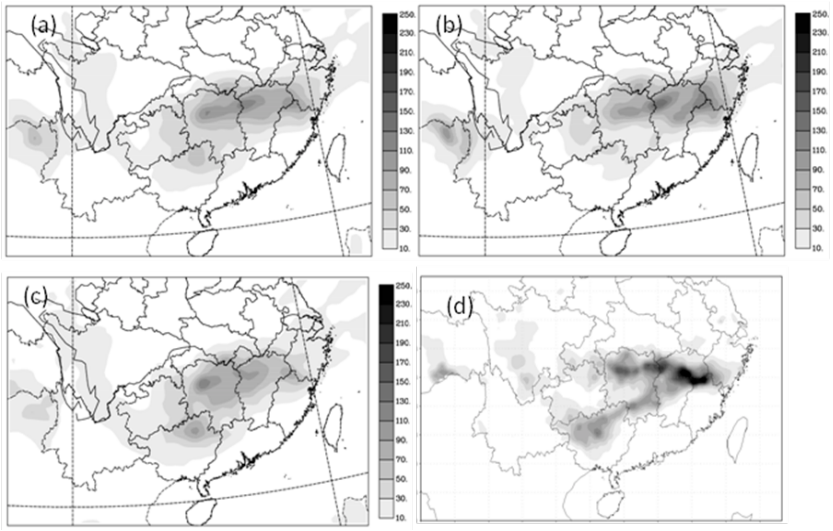


图5 多模式集合预报与单模式子集合预报对19日00时-20日00时24小时降水集合平均对比图（19日00时起报）

（a）ARPS/WRF超级集合；（b）隶属于ARPS的成员集合；（c）隶属于WRF的成员集合，（d）19日00时-20日00时24小时降水实况。

（图引自参考文献15）

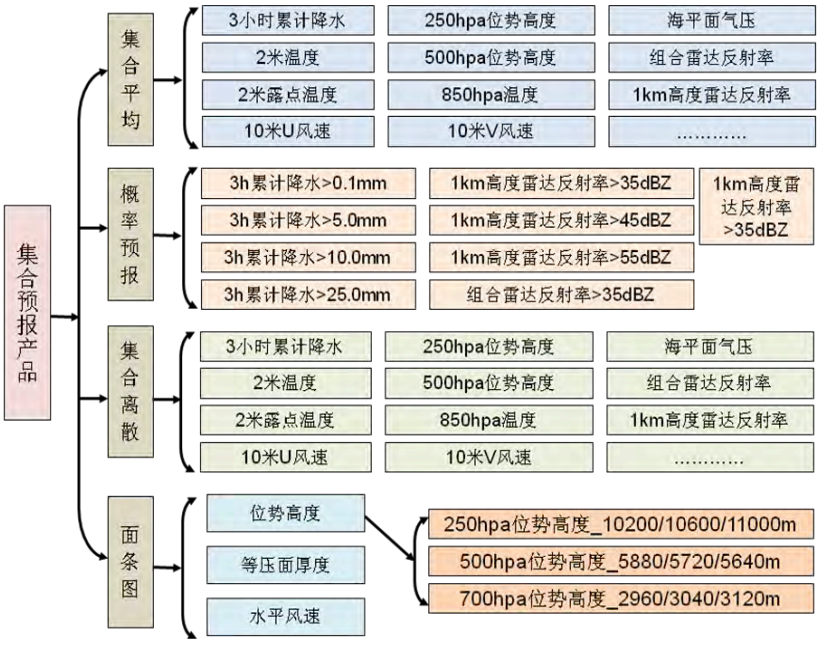


图6 集合预报产品。

2、航空特色产品

基于精细化数值模式预报输出，采用适合的诊断方法，计算输出了一系列针对航空气象服务需求的特色产品，如颠簸指数，积冰指数、雾、能见度、对流层顶高度、强天气概率和落区预报、大风、垂直风切变等。主要产品算法如下：

颠簸指数(%)：前苏联科学家提出利用L指数计算晴空颠簸的算法较具代表性。计算方法如下[19]：首先计算出L，然后根据L指数计算晴空颠簸概率P。

$$L = 7.268\frac{\partial u}{\partial z} + 0.718\frac{\partial T}{\partial n} + 0.318\frac{\partial u}{\partial n} - 2.52$$

$$p = \frac{1}{1 + e^{-0.59L}}$$

其中，$\frac{\partial T}{\partial n}$为等压面上的水平温度梯度（℃/100km），$\frac{\partial u}{\partial n}$为等压面上沿气流方向的风速梯度（（m/s）/100km），$\frac{\partial u}{\partial z}$为风速的垂直切变（（m/s）/100m）。当70%>P≥50%，预报有轻度颠簸或发生颠簸概率较低；当85%>P≥70%，预报有中度颠簸；当P≥85%，预报有严重颠簸或发生颠簸概率高。

积冰指数[19]：指的是当-14℃＜T≤0℃时，结冰概率的百分数。具体计算公式如下：

$$Ice = ((RH - 50) * 2) * (T * (T + 14)/(-49))$$

其中：RH为相对湿度百分数（取值0-100），T 为摄氏温度。Ice 取值0-100， Ice值越大，代表积冰概率越高。

能见度（m）：根据Kunkel (1984)[20]的理论，水平能见度Vis（km）计算公式Vis= -ln(0.02)/β，其中：β是消光系数（km^{-1}），β与模式输出的各类水物质的体积浓度C（$g \cdot m^{-3}$）有关，β=β1+β2+β3+β4，具体关系如下：云水 β1=144.7C0.88，雨水β2=2.24C0.75，云冰β3=327.8C1.00，雪β4=10.4C0.78。

0℃层高度（m）：T-lnp图中，大气层结曲线与0℃度等温线交点对应的高度。零度层高度对某些对流天气（如冰雹）的分析较重要，某些强对流参数的中（如大风指数）也用到了该高度值。0℃温度所在高度和冰雹的出现密切相关，有研究指出，90%的降雹出现在0℃层高度距地面高度为1524～3658m时；当0℃层高度距地高度为2134～3353m时，最可能出现大雹块。

对流层顶高度（m）：从地面开始，模式连续三层的大气层结递减率的平均如果小于0.002，则最上层和次上层层顶高的平均值定义为对流层顶高度。

强天气概率和落区预报采用的是综合叠套法[21]。强对流天气发生在对流活跃区域，对流发生的基本条件为存在条件不稳定层结、充分的水汽供应和一定的启动机制。从不同尺度系统的相互作用来考虑，大尺度系统对中小尺度系统的发生起着控制作用，因而我们可以综合各种大尺度条件来预报对流天气的发生，而这些基本条件是否满足可以通过对数值预报模式产品的进一步诊断来判别。基于这种思想，基于高分辨率的数值模式预报输出，设计制作区域强对流天气预报的综合多指标叠套方法，提供未来一段时间内

强对流天气发生的概率和落区预报。设计思路是选取若干个强天气发生的必要条件即各种对流参数或指标，通过综合判断，得出强天气发生的概率和落区预报。

基于高分辨率的数值模式预报输出，设计制作的各种航空特色产品（参见图7-8），为决策服务提供了客观、定时、定点的精细化预报指导产品，为航线天气预报提供了直接的精细化预报产品，明显改进了灾害性天气精细化预报能力。

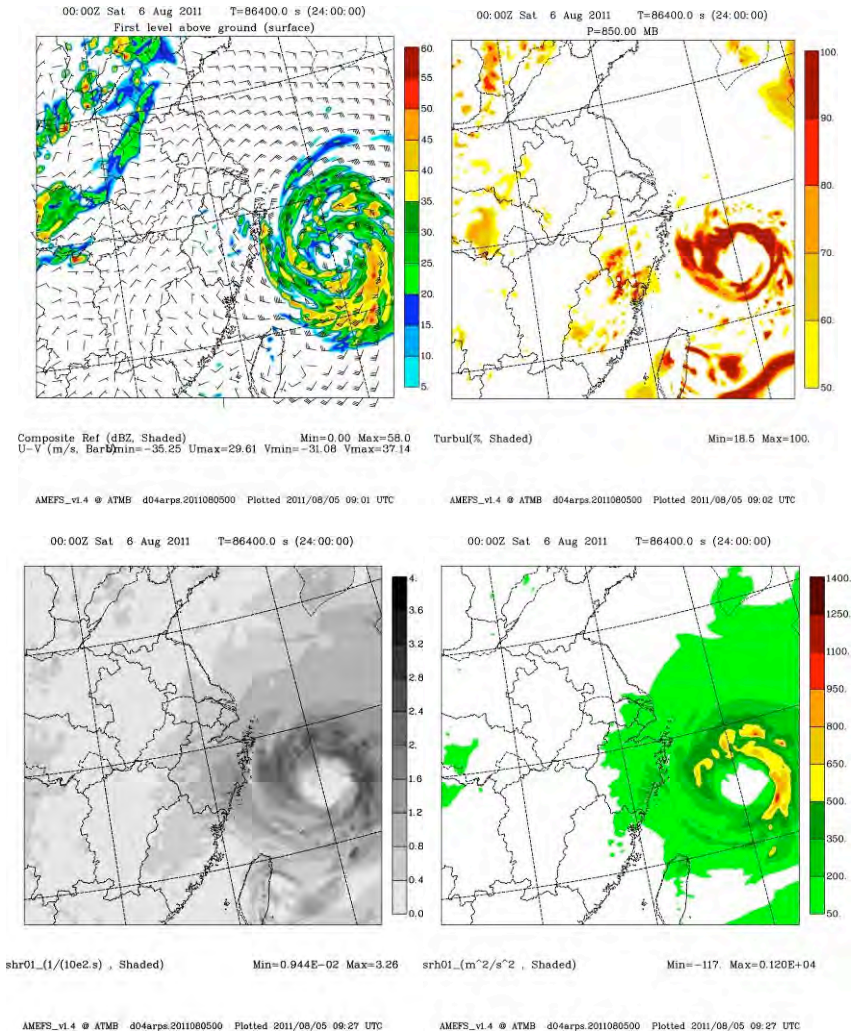


图7　2011年8月5日00UTC起报的24小时预报产品。

(a)雷达组合反射率（dBZ），(b)850hPa的颠簸指数（%），(c)0-1km垂直风切（$0.01 \cdot s^{-1}$）(d)0-1km相对风暴螺旋度（$m^2 \cdot s^{-2}$）

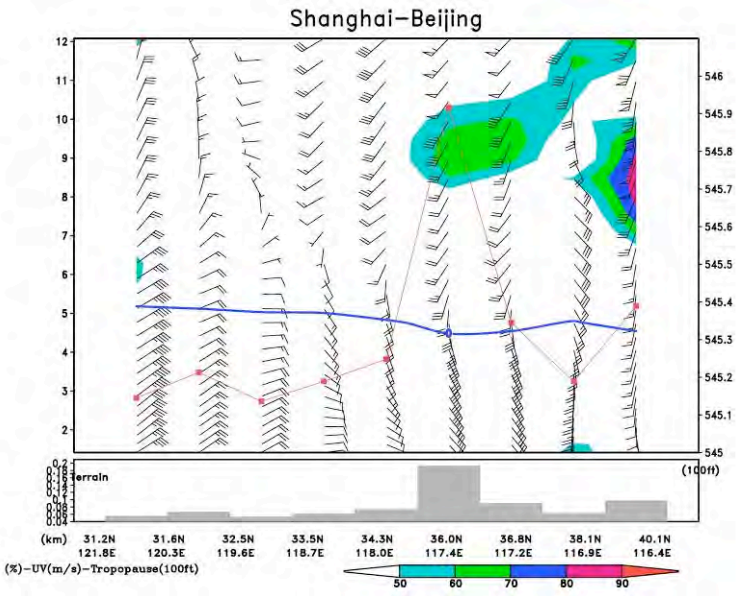


图8　2011年8月5日00UTC起报的上海－北京航线垂直剖面24小时预报图：阴影为颠簸指数（%），蓝实线为0°层高度（km），红实线为对流层顶高度（100ft）。

3、产品检索与显示

基于web显示技术，用于AMEFS输出产品的检索与显示，提供对多类预报产品的综合检索显示功能，支持按产品类别、预报区域、预报时次和按时间检索预报产品，支持同一时次同类产品的连续动画显示（参见图9）。系统运行平台为Linux操作系统， web服务器采用Apache HTTP Server。可以在华东空管局气象中心内网通过 http://172.23.7.65 访问。

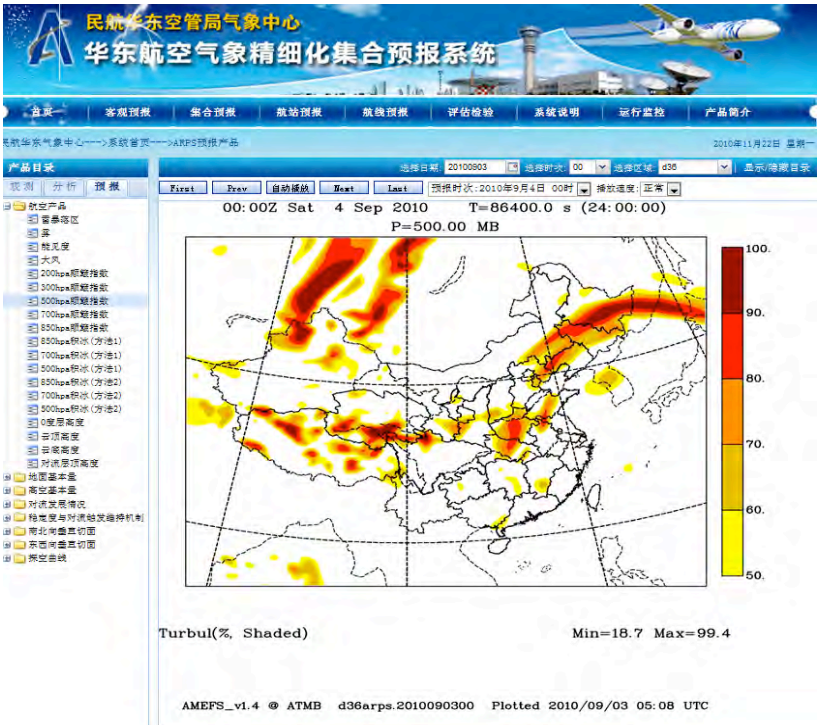


图9　产品检索与显示。

(五)检验与评估

检验与评估分系统的主要功能是实现对模式预报结果的检验。通过交互方式和事先制定条件方式，利用多种检验方法对模式输出结果进行检验，用图、表、文本等形式表现检验结果，输出至显示系统以WEB页面形式显示。

降水检验模块对模式降水预报进行评估和检验，具体对空报率、漏报率、预报效率、预报偏差、TS评分和ETS评分进行检验。检验区域包括长江下游地区和上海地区。在检验降水过程中，将降水分为两种情况，一种是介于两个级别降水量之间检验，包括0.1~10 mm，10~25 mm，25~50 mm, 50~100 mm共5个分级；另一种是大于某个级别降水量的评分，≥0.1 mm，≥10 mm，≥25 mm，≥50 mm，≥100 mm共5个级别。检验预报时效包括24小时，36小时和48小时降水的检验。

形势场检验模块对850 hPa，700 hPa，500 hPa，250 hPa和100 hPa标准气压层上，模式24小时，36小时和48小时形势场的检验。具体形式是将预报场和分析场相叠加。

要素场检验，参加检验的要素场为 u、v、pressure（气压）、θ（位温）和qv（水汽混合比），分别对地面观测资料（或其他单层观测资料）、探空观测资料（或其他多层观测资料）、雷达反演资料以及雷达资料进行均方根误差和偏差的检验。

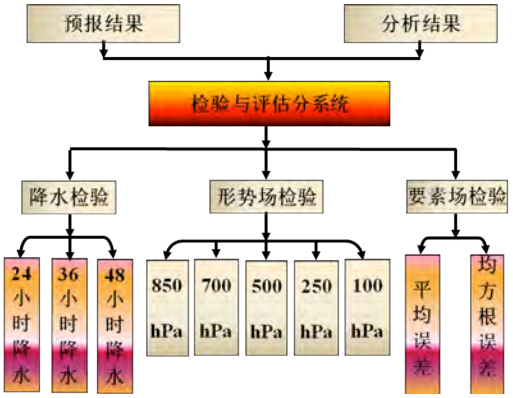


图10　检验评估示意图。

(六)系统运行监控

系统运行监控分系统是一套监控整个系统内各主机硬件运行状态和作业调度管理，控制各节点作业任务，并根据各分系统运行情况自动进行错误报警功能的系统管理软件。

硬件运行状态监控模块主要监控数值预报系统相关的硬件及网络情况，对符合告警条件的情况进行告警，包括网络连接情况、CPU使用情况、内存使用情况和磁盘空间使用情况。作业调度管理模块主要进行各分系统模块进程的管理调度监控，并对运行异常情况进

行告警，包括作业调度及运行状态监控、数据的及时性和完整性监控、产品输出的完整性监控，实现作业任务的定时启动、挂起、暂停、取消或重启等功能。

AMEFS系统的运行监控管理是采用监控管理调度系统（Supervisor Monitor Scheduler，简称SMS）来实现上述功能的。SMS是为欧洲中心数值天气预报（ECMWF）系统制作的产品，由气象应用（MetApps）与数据服务部门编写。SMS（在其各种形式中的）在ECMWF已经使用了三十余年，用来运行中心的ECMEF气象业务系统（EMOS）。

SMS是一个多线程的工作监控管理调度系统，在一个控制环境下使用户能够运行大量的程序（相互关联）。它合理的包容了硬件和软件故障，并且有良好的重新启动能力。

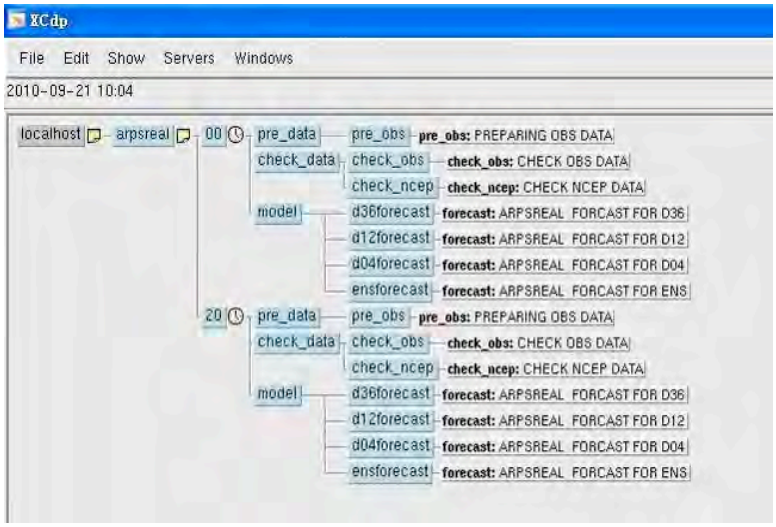


图11　系统运行监控界面。

三、结语

航空气象精细化集合预报系统（AMEFS）的研制源于2010上海世博对航空气象服务提出了更高更精细化的需求。世博会的到来使华东空管部门面临着航班量急增和空域紧张的突出矛盾。如何减少天气原因对空中交通管理和航班运行造成的不良影响，对民航气象预报服务水平提出了更高的要求，如缩小垂直间隔（RVSM，垂直间隔300m）实施的天气条件的预报、恶劣天气条件下空域流量管理和航路绕飞的需要、1-3小时临近危险天气的预报等等。

AMEFS系统于2010年5月1日起在民航华东空管气象中心投入业务应用，初步的应用表明该系统具有较强的稳定性和实用性，对连续性强降水、局地强对流等天气均表现出较强的预报能力。AMEFS系统实时同化了现行业务下发的多种观测资料，为模式提供了更为准确的初始场，提升了模式对中小尺度灾害性天气的预报能力。系统提供了丰富的预报产品，控制预报和集合预报产品使确定性预报与概率预报相结合，初步的应用和研究表明相对于单一确定性预报而言，该集合预报能显著延长预报时效，并且基于多模式的集合预报优于单一模式或

者单一物理过程参数化的集合预报。同时针对航空气象服务需求研发的一系列的特色产品，为航路天气预报提供了直接的精细化预报产品，明显改进了灾害性天气精细化预报能力，提高了上海及周边地区的航空危险天气预报水平，对今后华东地区的航空气象预报技术水平的提升产生较深远影响。

参考文献

1．胡家美，李萍，国际航空气象预报的发展趋势，广东气象，2009，31（4）：11-19。

2．赵永聚，民航气象业务发展趋势探讨，航空气象，2009，3: 34-40。

3．刘开宇，王世权，中尺度数值模式在西南地区航空气象中的应用，空中交通管理，2007，(B11)：69-71。

4．王太微，陈德辉，数值预报发展的新方向——集合数值预报，气象研究与应用，2007，28（1）：6-12。

5．Stensurd D. J., J. bao, and T. W arner, Using initial condition and model physics perturbation in short range ensemble simulation of mesoscale system，Mon. Wea. Rev.，2000，128: 2077-2107。

6．陈静,薛纪善,颜宏．华南中尺度暴雨数值预报的不确定性与集合预报试验,气象学报，2003，61 (4) : 432-444。

7. 纪飞，董佩明，齐琳琳，一次短期集合预报试验，气象科学，2005，25 (1) ： 32-38。

8. 周兵，赵翠光，赵声蓉，多模式集合预报技术及其分析与检验，应用气象学报，2006，17（8）：105-109。

9. 陈超辉，王铁，谭言科等，多模式短期集合降水概率预报试验，南京气象学院学报，2009，32（2）：206-214。

10. Xue, M., K. K. Droegemeier, and V. Wong, The Advanced Regional Prediction System (ARPS) – A multiscale nonhydrostatic atmospheric simulation and prediction tool. part I: Model dynamics and verification, 2000, Meteorol. Atmos. Phys., 75, 161– 193.

11. Xue, M., K. K. Droegemeier, V. Wong, A. Shapiro, K. Brewster, F. Carr,D. Weber, Y. Liu, and D. Wang. The Advanced Regional Prediction System (ARPS) – A multi-scale nonhydrostatic atmospheric simulation and prediction tool. part II: Model physics and applications, 2001, Meteorol. Atmos. Phys., 76: 143–166.

12. 冯涛, 沈新勇, 刘英, 王东海. 精细数值预报在60周年国庆天气服务中的应用. 气象与环境科学, 2010 33(3)：2-5。

13. Skamarock, W. C., J. B. Klemp, J. Dudhia, D. O. Gill, D. M. Barker,W. Wang, and J. D. Powers (2005), A description of the Advanced Research WRF Version 2, NCAR Tech. Note 468+STR, 88

pp., Boulder, Colo.

14. Janjic, Z., T. Black, M. Pyle, E. Rogers, H.-Y. Chuang, and G. DiMego, 2005: High resolution applications of the WRF NMM. Extended abstract, 21st Conference on Weather Analysis and Forecasting/17th Conference on Numerical Weather Prediction, American Meteorological Society, July 31 August 5, 2005, Washington, DC, 21 pp.

15. 吴政谦，徐海明，王东海，杜军，冯涛，刘英，尹金方，中尺度多模式超级集合预报对2010年6月19-20日中国南方大暴雨过程的分析，热带气象学报，2011，待刊。

16. Xue, M., D.-H. Wang, J. –D. Gao, K. Brewster, and K. K. Droegemeier, The Advanced Regional Prediction System (ARPS): storm-scale numerical weather prediction and assimilation. 2003: Meteor. Atmos. Physics, 82, 139-170.

17．Zhang J, Carr F, Brewster K. ADAS cloud analysis. Preprints, 12th Conf. on Num. Wea. Pred. Amer. Met.Soc., Phoenix, AZ, 1998, pp 185–188.

18. Ming Hu1 and Ming Xue, Implementation and evaluation of cloud analysis with WSR-88D reflectivity data for GSI and WRF-ARW, GEOPHYSICAL RESEARCH LETTERS, 2007, VOL. 34, L07808, doi:10.1029/2006GL028847.

19. 翟菁，周后福，申红喜等，航空气象要素预报算法和个例研究，气象研究与应用，2010，31（1）：31－34。

20. Kunkel B A. Parameterization of droplet terminal velocity and extinction coefficient in fog models. J Appl Meteor, 1984, 23: 34-41.

21．刘英，柳崇健，周海光，突发性强灾害天气预警系统：理论与应用，地球科学进展，2008，23（11）：1141-1149。

作者：邢谦

工作单位：民航华东空管局气象中心

学科领域：航空气象

联系地址：上海市虹桥机场内空港三路35号

邮编：200335

电话：8621-22327501

Email：xingq@atmb.cn

2012年梅雨季(5月至6月)降雨分析

鄭明典
中央氣象局

摘要

臺灣今年梅雨季肇始時間較早，結束較晚，梅雨期長度較氣候平均長。大尺度環流主要特徵如下：5月印度洋跨赤道流先出現，副高弱，脊場指向菲律賓，臺灣位於低壓帶內；6月副高持續偏弱，南海及菲律賓東方海面對流旺盛，季風槽及西南氣流偏強。5月影響臺灣的天氣系統主要為5波鋒面，6月臺灣則受西南氣流、滯留鋒面以及3個颱風外圍環流影響，全臺雨量僅梧棲站少於氣候平均值，整個梅雨季雨量及雨日皆較氣候平均值偏多，宜蘭氣象站創下該站設站以來同期最多雨紀錄，而蘇澳、梧棲和蘭嶼站亦分別達到該站設站以來同期雨日最多的紀錄。以13個平地站統計資料來看，今年梅雨季雨量為1950年以來最多的一年。

一、臺灣梅雨季天氣概述

根據季風指標顯示，臺灣今年梅雨期肇始時間提早，結束時間較晚，梅雨期長度較氣候平均長。因此今年梅雨季雨量、雨日均較氣候值偏多，從13個平地站平均雨量來看，今年是自1950年以來雨量最多的一年，雨日亦為近10年來較為偏多的一年(圖1)。分月來看，5月鋒面系統活躍，臺灣陸續受5波鋒面影響，6月因西南氣流偏強，加上滯留鋒面及3個颱風外圍環流影響，全臺降雨較為劇烈，尤其6月中旬降雨強度強且時間連續(圖2)。累積雨量分布圖顯示，全臺雨量為正常至偏多雨(圖3)，整個梅雨季僅梧棲站雨量少於氣候平均值，其餘24個站的雨量及雨日皆較氣候平均值偏多，其中雨量以阿里山站多於氣候平均值1399.1毫米為最多，約為氣候平均值的2.2倍，雨日則以成功站多於氣候平均值13日為最多，另外宜蘭站達到設站以來同期最多雨紀錄，而蘇澳、梧棲和蘭嶼站亦分別達到該站設站以來同期雨日最多的紀錄(表1)。

二、東亞及臺灣地區環流概況

環流概況顯示，5月於日本北方有阻塞高壓，南方為割離低壓，而太平洋副熱帶高壓偏弱，臺灣位於一個大低壓帶內。北方系統偏強、鋒面過境頻繁，因此臺灣東部及東北部有明顯的極端豪大雨發生，另外印度洋、南海至菲律賓亦有旺盛對流，致使臺灣地區於5/16-5/20受西南氣流略微增強影響，於南部有明顯的降雨發生(圖4)。6月太平洋副熱帶高壓持續偏弱，臺灣位於低壓距平中心，高層至低層大氣均為低壓結構，西南氣流強。另外，南海及菲律賓東方海面對流旺盛，季風槽偏強。6月期中和期末臺灣分別受到泰利及杜蘇芮颱風外圍環流影響，西南氣流對臺灣的影響加劇，造成中南部降下連續豪大雨(圖5)。由候平均的水汽傳送及發展亦可明顯看出，6月西南氣流強，尤其6/11-6/25水汽輸送帶直接影響臺灣，帶來充沛雨量(圖6)。風場及海溫距平配置顯示，今年6月赤道印度洋海溫偏高，中南半島西方的南風距平偏強，恰巧經過溫暖的海水帶來豐沛的水汽，增強了原本的西南氣流。

三、結論

由於今年梅雨期肇始時間提早，結束時間延後，拉長梅雨期的長度。於梅雨期間，除梅雨鋒面影響外，加上颱風外圍環流以及西南氣流的加乘作用，臺灣梅雨季雨量因此較氣候平均值偏多，但各月份雨量集中區域仍不盡相同，5月降雨主要受鋒面影響，降雨以東北部及東部為主；6月降雨主要受西南氣流及颱風外圍環流影響，降雨以中南部為主。整體而言，以13個平地站的雨量統計資料來看，今年梅雨季雨量為1950年以來最多的一年。

表1：2012年臺灣梅雨季24個局屬站之累積降雨及降水日數統計資料。

2012年5月~2012年6月									站名
累積雨量					降水日數				
觀測值	距平值	降雨比	類別	排名	觀測值	距平值	類別	排名	
497.9	100.6	125.3	＋		**28.0**	1.6	○		彭佳嶼
742.6	155.9	126.6	＋		**39.0**	7.3	＋		基隆
944.0	518.1	221.7	＋	1	**36.0**	2.6	○		宜蘭
1094.6	586.8	215.5	＋	2	**45.0**	11.2	＋	1	蘇澳
1065.0	398.1	159.7	＋	5	**34.0**	2.2	○		鞍部
896.0	313.9	153.9	＋	10	**33.0**	3.3	○		竹子湖
856.8	296.5	152.9	＋		**34.0**	3.6	○		臺北
678.5	158.2	130.4	＋		**32.0**	8.6	＋		新竹
599.5	36.8	106.5	○		**32.0**	5.2	○		臺中
405.5	-27.3	93.7	○		**31.0**	9.9	＋	1	梧棲
1451.5	686.3	189.7	＋	4	**40.0**	0.8	○		日月潭
2542.3	1399.1	222.4	＋	3	**41.0**	2.6	○		阿里山
1445.6	543.4	160.2	＋	9	**43.0**	5.8	＋		玉山
691.0	200.8	141.0	＋	9	**30.0**	6.2	＋	10	嘉義
1208.0	662.9	221.6	＋	3	**31.0**	8.7	＋		臺南
1116.0	503.3	182.1	＋	6	**34.0**	10.9	＋	8	高雄
751.0	333.9	180.1	＋	4	**40.0**	11.9	＋		花蓮
695.6	324.8	187.6	＋	8	**43.0**	13.3	＋	6	成功
690.3	306.5	179.9	＋		**37.0**	10.4	＋		臺東
1383.6	827.0	248.6	＋	2	**41.0**	12.3	＋	3	大武
1251.8	719.3	235.1	＋	3	**33.0**	7.0	＋		恆春
962.1	425.4	179.3	＋	3	**43.0**	12.0	＋	1	蘭嶼
418.7	146.5	153.8	＋		**22.0**	2.2	○		澎湖
432.2	113.2	135.5	＋		**26.0**	8.3	＋	3	東吉島

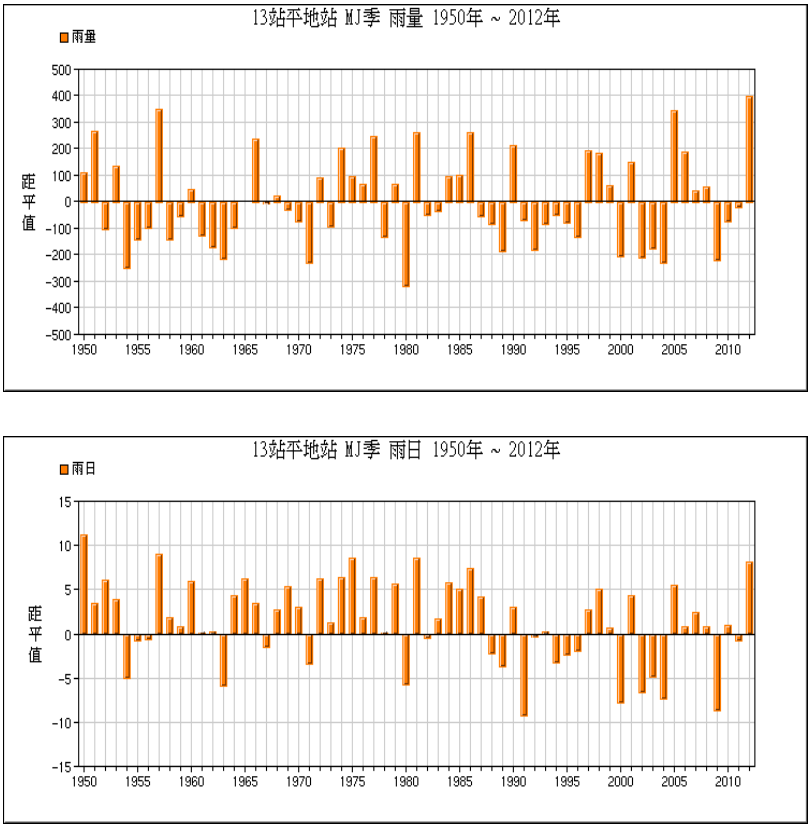


圖1：1950-2012年13站平地站梅雨季(5-6月)之雨量及雨日。

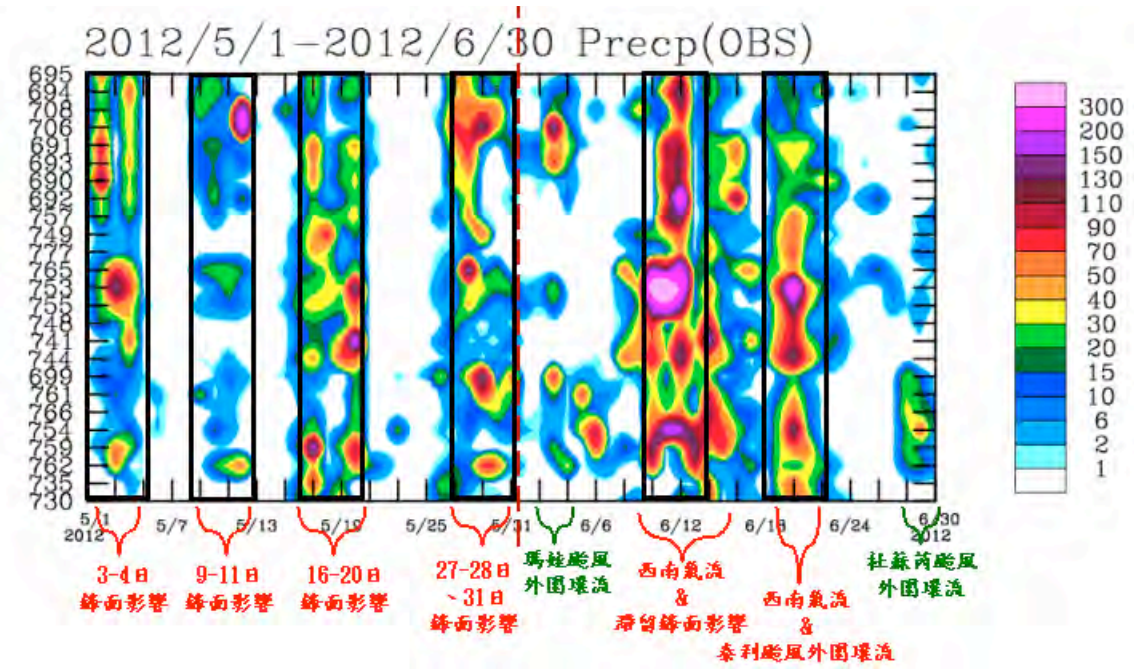


圖2：臺灣梅雨季日雨量，縱軸為25個氣象站代碼（由上往下分別代表東北部、北部、中部、南部、東部及東南部）。

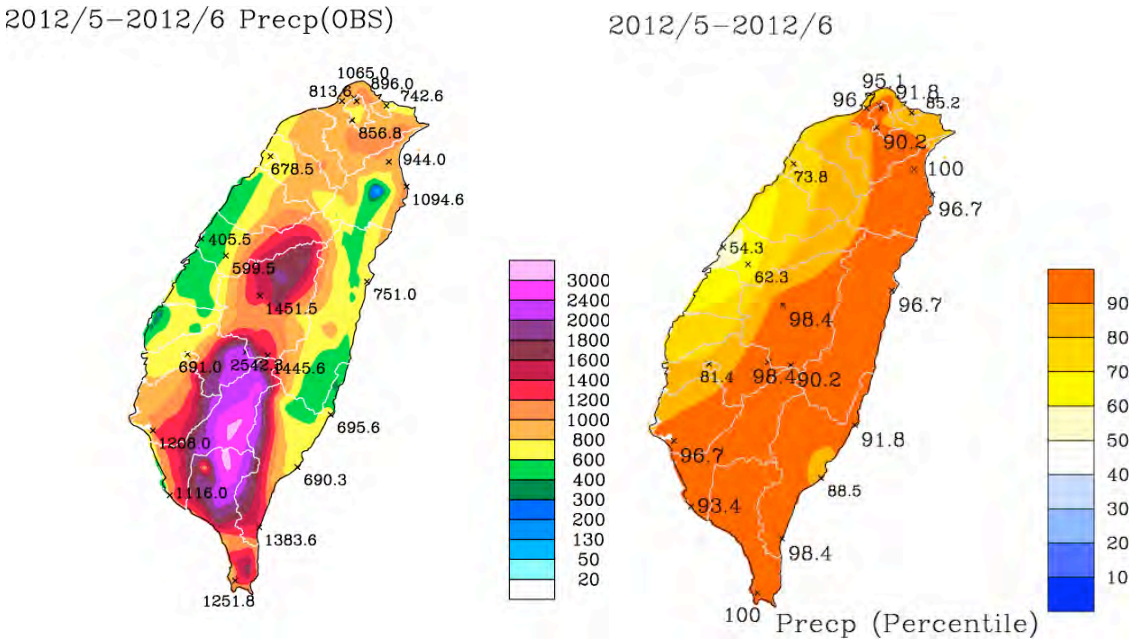


圖3：臺灣梅雨季累積雨量(左)觀測圖(右)百分化圖。

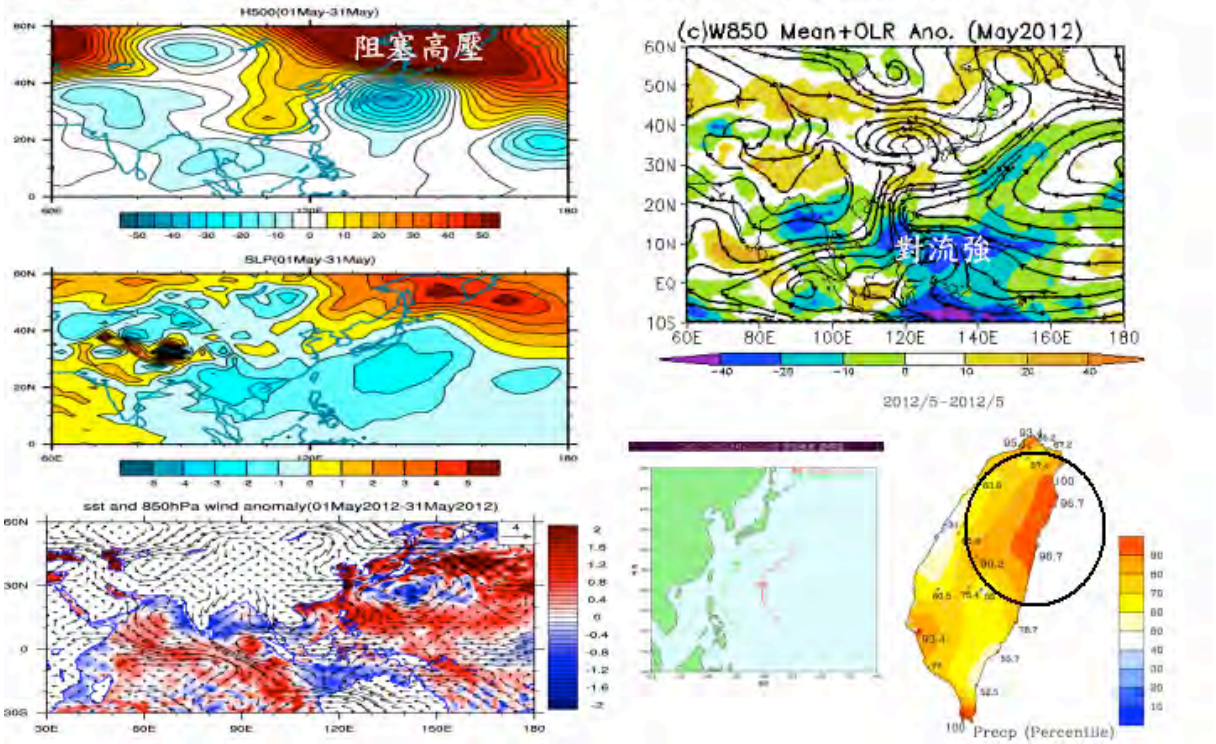


圖4：2012年5月份平均環流場：(左)500hPa、SLP、850hPa風場及海溫距平(由上至下)，(右)850hPa平均流場及OLR距平、西北太平洋颱風路徑圖及累積雨量百分化圖。

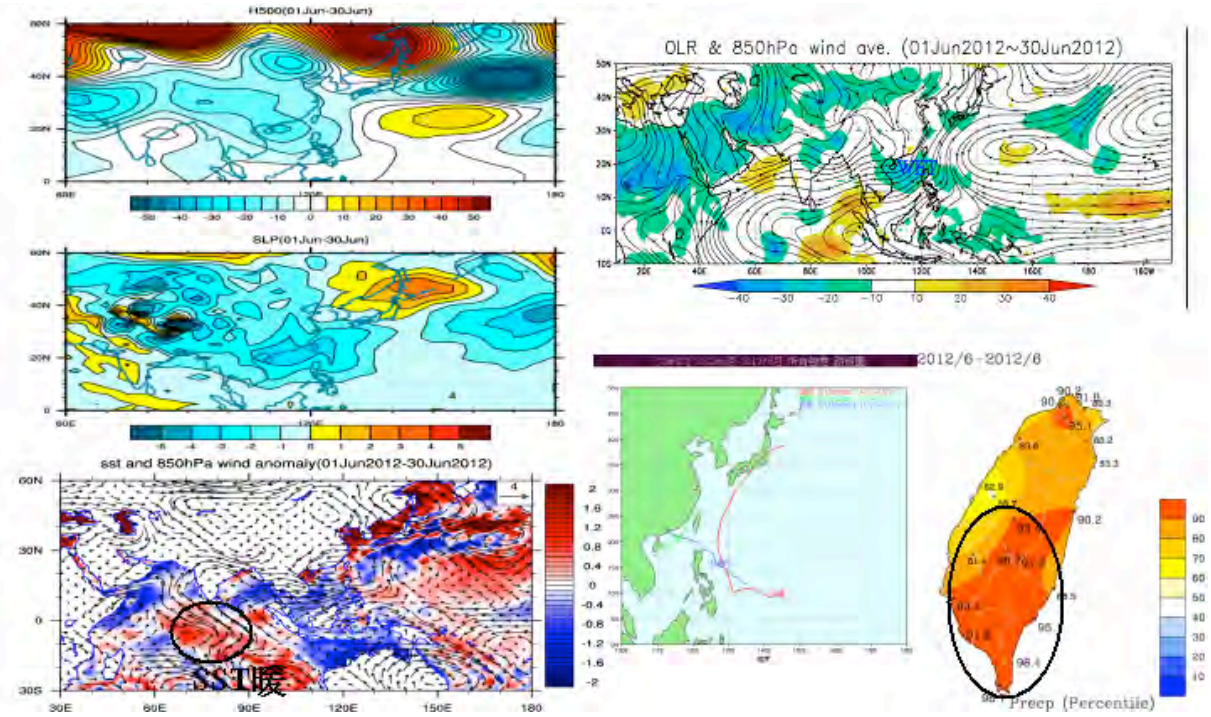


圖5：2012年6月份平均環流場：(左)500hPa、SLP、850hPa風場及海溫距平(由上至下)，(右)850hPa平均流場及OLR距平、西北太平洋颱風路徑圖及累積雨量百分化圖。

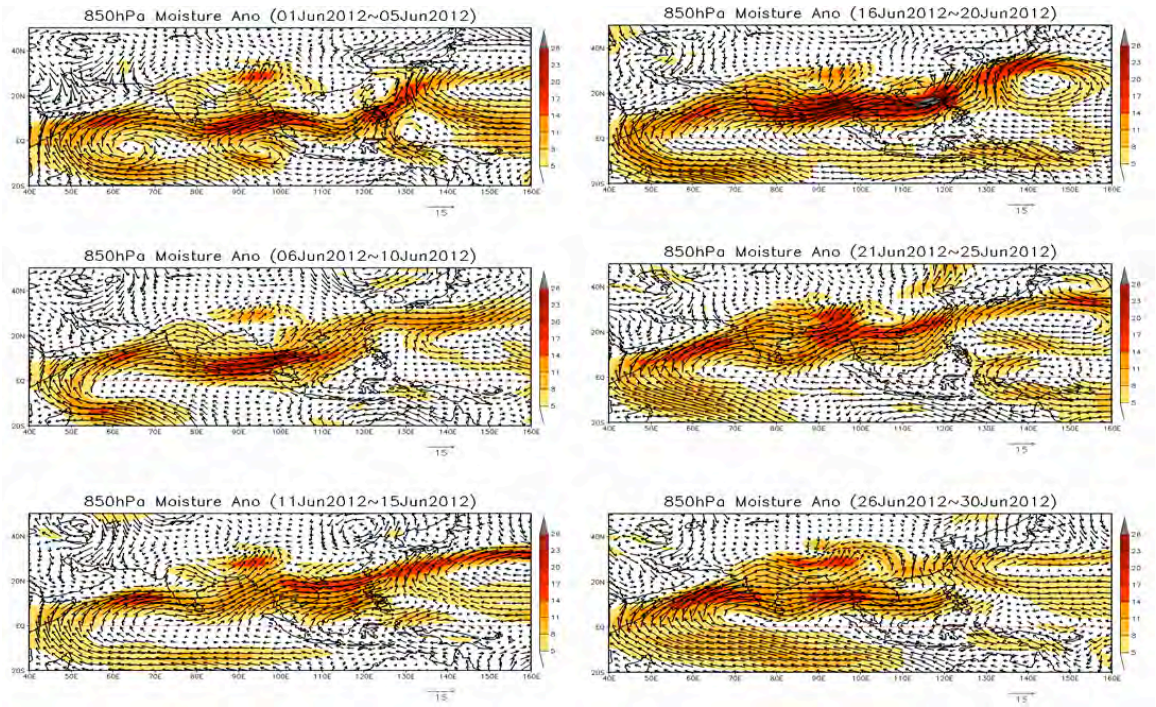


圖6：2012年6月份850hPa水汽距平候平均場。

由WRF數值模式探討臺北盆地松山機場低空風切消長之機制

林博雄　劉沛滕　王嘉瑋
國立臺灣大學大氣科學系

摘要

本文透過WRF模式三層巢狀網格(最內層1 km水平解析度) 以及結合30m 數位地型資料(DTM)，來診斷夏季午後雷雨以及秋季東北季風逐漸盛行等兩種天氣型態下，臺北盆地低空(250m ~ 850hPa)與周遭地形的風場與渦度場時空分布特徵。

午後對流個案日期時間是2007年6月28日06:00~09:00UTC，該期間衛星雲圖顯示大範圍熱力對流系統在臺灣西北部山區發展，閃電偵測系統資料顯示該時段雷暴正從三峽地區向大漢溪下游以及林口臺地移動，甚至通過松山機場飛機下滑道區域。WRF模擬結果顯示出林口臺地東側斜坡850hPa高度發生地形渦漩，250m高度水氣場模擬相當吻合雷暴空間位置。

秋季東北季風個案日期時間是2010年10月25日，當日臺灣全島有雲覆蓋，北部海面有顯著東北季風吹拂；松山機場氣象資料顯示，當日臺北地區在08:00UTC之後開始降水，風向由東風轉東北風，風速稍有增強。WRF的1000 feet高度風場模擬結果顯示，海面東北風繞行陽明山山區，沿臺北盆地西北向的淡水河河道和東向的基隆河河道，在盆地內會合後在士林、三重到林口臺地之間產生東北西南走向帶狀渦度區，並在林口臺地東側斜坡上產生顯著的駐留型渦漩，甚至向上傾斜到2000 feet。松山機場低空風切警告系統(LLWAS)在當日10:00~12:15UTC之間四度發出低空風切警告。

一、前言

舉凡影響航機飛行之性能及穩定之大氣環境，總稱為航空氣象之危害天氣，常見之危害天氣，比如陣風、風切、亂流、積冰、大雨大霧等。由於臺灣地理與氣候特徵，季節性鋒面、颱風與伴隨的西南氣流，以及雷暴系統，都容易引發臺灣上空時間空間尺度大小不等的風切亂流現象，加上部份機場周遭地形引起之地形風，造成航機於近場階段的風切擾動，增加航機起降操作的壓力。根據行政院飛航安全委員會2012年飛安統計報告指出(行政院飛安會，2010)，天氣因素造成全球航空器飛安事故近1/3 (30.9%)。

現今全球大氣科學的研究與實務發展，已經能掌握中尺度到綜觀尺度(200~2000 公里、12~96小時)氣象觀測和電腦模式模擬能力，目前大氣科學領域正朝向氣候尺度(20000公里以上)以及小尺度(20公里)兩種方向研發與精進，而後者正是解決航空氣象危害天氣問題所必要的能力。以臺北盆地和松山機場為例，桃園都普勒氣象雷達向東觀測臺北盆地，以及中央氣象局五分山C波段雷達都受到盆地四周山脈地形所遮蔽(圖1)，臺北盆地1000呎以下高度風切擾動與降水回波都無法掌握，造成航空器起降安全守視的死角。雖然松山機場低空風切警告系統(LLWAS；蒲，2003；童，2009)能偵測跑道外延3海哩的低空風切擾動，但是其中較顯著風切擾動個案也尚未和天氣數值模擬加以融合運用。民用航空局氣象中心在1997~2002年透過美國UCAR所建置的AOAWS系統，初期提供MM5天氣數值模式產品1小時3公里時空解析度預報能力，2006~2010年再推出的AOAWS-ES JMDS網路平臺的WRF天氣預報系統(陳，2007)，雖有

一小時1~10公里時空解析度預報能力，但是它適用在越洋飛行航路以及Tiapei FIR航管區天氣守視，對於松山機場這類低空範圍的天氣守視仍仰賴觀測員主觀經驗判斷。

松山機場營運量在兩岸民航直航和臺灣-日本-南韓之間的城市對飛，飛機起降頻率再度升高，跟據民航局發布的2011年8月的月報統計資料，松山機場起降達5476架次，高於高雄機場3647架次，僅次桃園國際機場的14096架次。過去有關臺北盆地危害天氣診斷的文獻報告，大都止於盆地全區性的定性討論與診斷(陳等，2009；Chen et al.,2007)，這些文獻論述不同天氣系統接近臺灣北部所產生的天氣現象，以及雷暴天氣系統發展的中尺度特徵，機場觀測員可以透過天氣雷達監看臺北盆地周遭山區和海面的降水回波位置與移動，但是對於飛機航道下滑起降區的風切紊流，僅能倚靠LLWAS系統守視。相對於香港赤鱲角機場的低空風切數值預報和Lidar守視，松山機場LLWAS性能尚未達到理想程度，跑道外延3海哩的風速風向計受到都市建築物干擾以及儀器逐年老舊等待汰換，參考性降低許多。松山機場西側下滑航道(10號跑道進場)通過林口臺地-觀音山-大屯山，28號跑道進場通過汐止南港基隆河道進入臺北盆地。民航局飛航指南(AIP)儀器進場所提及的定位點和松山機場跑道頭的距離範圍，大於LLWAS監控範圍許多(圖1)，一旦劇烈天氣系統接近臺北盆地周遭，小尺度與低空氣流擾動是無法透過機場天氣觀測員眼睛所目視，造成飛安天氣守視與預報的困難和壓力。

二、研究工具與資料

本研究使用WRF(Weather Research Forecast)數值模式來測試探討臺北盆地松山機場低空風切消長之機制，WRF數值模式廣為全球氣象界採用，國內使用者包括中央氣象局、民航局氣象中心以及各大專院校。本研究作者人也採用這一模式進行人工增雨、雷暴閃電、積冰和晴空亂流等議題(吳等，2009; 林等，2010)的綜觀環境場分析，表1與表2是本研究設定WRF模式的資訊，

數值模式之外，我們採用內政部30m解析度DTM (Digital Terrain Model)數位地形資料做為數值模式輸出場的底圖，以便精確辨識低空風切空間位置；民用航空局公告的儀器進場圖也被引用貼在DTM圖形上，並透過行政院飛行安全委員會公告的飛安事故調查報告，確認民航機從10號與28號跑道進場的空中三度空間軌跡航點。此外，民用航空局飛航服務總臺也提供了2009年1月至~2011年5月期間松山機場LLWAS顯著訊息的日期與時間36份(余與童，2011)。此外，本研究也引用臺灣電力公司全閃電偵測系統（Total Lightning Detection System，TLDS）資料加以分析臺北盆地周遭對流系統的時空發展(戴等，2012)。

三、個案分析概要

（一）夏季午後雷暴天氣個案

本個案特徵是當日臺灣北部下午衛星雲圖顯示大範圍熱力對流系統在山區發展；松山機場氣象資料顯示，當日臺北地區在06:00~08:00UTC之間風向由東風(10 Knots)逆轉為北風(3 Knots)再轉為西風(9 Knots)，沒有降水發生。然而從臺灣電力公司全閃電偵測系統(TLDS)資料顯示，該時段雷暴正從三峽地區向大漢溪下游以及林口臺地移動，甚至通過10號跑道下滑道區域(圖2a)。WRF模式模擬模擬結果顯示林口臺地東側斜坡850hPa高度發生地形渦漩，250m高度水氣場模擬相當吻合雷暴空間位置(圖2b)。此一個案天氣特徵是典型臺灣北部夏季弱綜觀環境下的熱力對流系統(戴等，2008; 林等，2012)，對於松山機場以及桃園機場有潛在性威脅。

（二）秋季東北季風天氣個案

這一個案綜觀天氣特徵是當日臺灣全島有雲覆蓋，北部海面有顯著東北季風吹拂，松山機場氣象資料顯示臺北地區在08:00UTC之後開始降水，風向由東風轉東北風，風速稍有增強(10 Knots)。低空1000 feet高度氣流渦度場模擬結果顯示(09:10~09:40UTC)，海面東北風繞行陽明山山區，沿臺北盆地西北向的淡水河河道和東向的基隆河河道，在盆地內會合後在士林、三重到林口臺地之間產生東北西南走向帶狀渦度區(圖3a)，尤其在林口臺地東側斜坡上產生顯著的駐留型渦漩，甚至向上傾斜到2000 feet依然可見(圖3b)。松山機場LLWAS系統當日10:17、11:36、11:48、12:15UTC等時間發布低空風切警告，顯然這一駐留型渦漩從盆地邊緣往盆地中央的機場移行。

四、結論與展望

本研究透過WRF模擬臺北盆地周遭低空風切消長之個案，顯示WRF模式高解析度三度空間高解析度模擬與DTM數位地形資訊結合下，可建構出臺北盆地低空風切擾動的空間分布特徵。因此，持續分析更多低空風切天氣個案來診斷臺北盆地小尺度天氣特徵，應有其守視和預報參考價值。

本研究也將再進一步運用能反應地形地物氣流擾動的計算流體動力(CFD) 數值模式CRADLE Stream Model，將1km空間解析度提高到50公尺，來檢視飛機進入松山機場周遭20 km(東西)*10 km(南北)範圍，航道周遭建築物和柏油路面的地表高於草地10℃所產生的熱對流現象，在不同天氣系統影響下的風切擾動消長過程，以做為松山機場起降的天氣守視參考。圖4是在穩定西北風1.5 ms^{-1}風場下的近地表風場模擬結果；我們將釐清有無建物和地表熱力效應，對於航道下方近地面紊流的貢獻程度。

參考文獻:

行政院飛航安全委會，2012: 2012飛安資訊交流研討會。
http://www.asc.gov.tw/asc_ch/data_list_4.asp

余曉鵬、童茂祥，2011: 臺灣桃園與松山機場低空風切警告系統(LLWAS)介紹。2011年飛行安全秋季刊，64-73。

林品芳、張保亮、周仲島，2012: 弱綜觀環境下臺灣午後對流特徵及其客觀預報。大氣科學，40，77-108。

林博雄、鄭凱元、王璿瑋、王寶貫、蘇世顥，2010: WISCDYMM雲模式對於飛機積冰與晴空亂流之模擬診斷。2010年海峽兩岸航空氣象與飛航安全研討會，臺北民用航空局。

吳依璇、林博雄、王寶貫，2009：臺灣西南海域總閃電頻率之診斷與模擬。天氣分析與預報研討會，中央氣象局，臺北。

陳海根，2007: 航空氣象現代化作業系統簡介。2007年飛行安全夏季刊，62-68。

陳泰然、周鴻祺廖珮娟、楊進賢，2009: 暖季弱綜觀強迫下中北臺灣午後對流的氣候特徵。大氣科學，37，155-194。

童茂祥，2009：淺談低空風切警示系統。2009年飛行安全冬季刊，63-68。

蒲金標，2003：臺灣松山機場低空風切警告系統與低空風切診斷分析。大氣科學，31，181-193。

戴志輝、林得恩、賴世運，2008:臺灣北部午後對流閃電與綜觀氣流風向之關係。大氣科學，36，179-196。

戴志輝、林博雄、張培臣，2012: 臺灣地區午後對流閃電空間特性初步分析。天氣分析與預報研討會，中央氣象局，臺北。

Chen, T. C., S. Y. Wang and, M. C. Yen, 2007:Enhancement of Afternoon Thunderstorm Activity by Urbanization in a Valley: Taipei. Journal of Applied Meteorology and Climatology, 46, 1324-1340.

表 1: 本計畫WRF 之設定資訊。

	Case	2010/10/25	2007/06/28
	initial time	2010/10/24 00UTC	2007/06/27 00UTC
	forecast hour	2010/10/26 00UTC	2007/06/28 18UTC
		13.3 N ~ 33.3 N	15.3 N ~ 30.8 N
		108.5 E ~ 130.3 E	115.9 E ~ 135.3 E
Domain-1	grid	150 x 150	100 x 87
	resolution	15 km	20 km
	output interval	3 hr	3 hr
Domain-2	grid	181 x 206	113 x 97
	resolution	3 km	5 km
	output interval	1 hr	1 hr
Domain-3	grid	199 x 178	166 x 136
	resolution	1 km	1 km
	output interval	10 min	10 min
	vertical Layer	28 layers	28 layers

表 2: 本計畫WRF 之參數化設定資訊。

micro_physic	Thompson 7-class 與Lin et al. scheme
PBL	Mellor-Yamada-Janjic (Eta) TKE
cumulus_physic	no cumulus 與Kain-Fritsch (new Eta) scheme
SW rad	Goddard short wave
LW rad	rrtm scheme
Sfcly	Monin-Obukhov(Janjic Eta)
surface	Noah land-surface

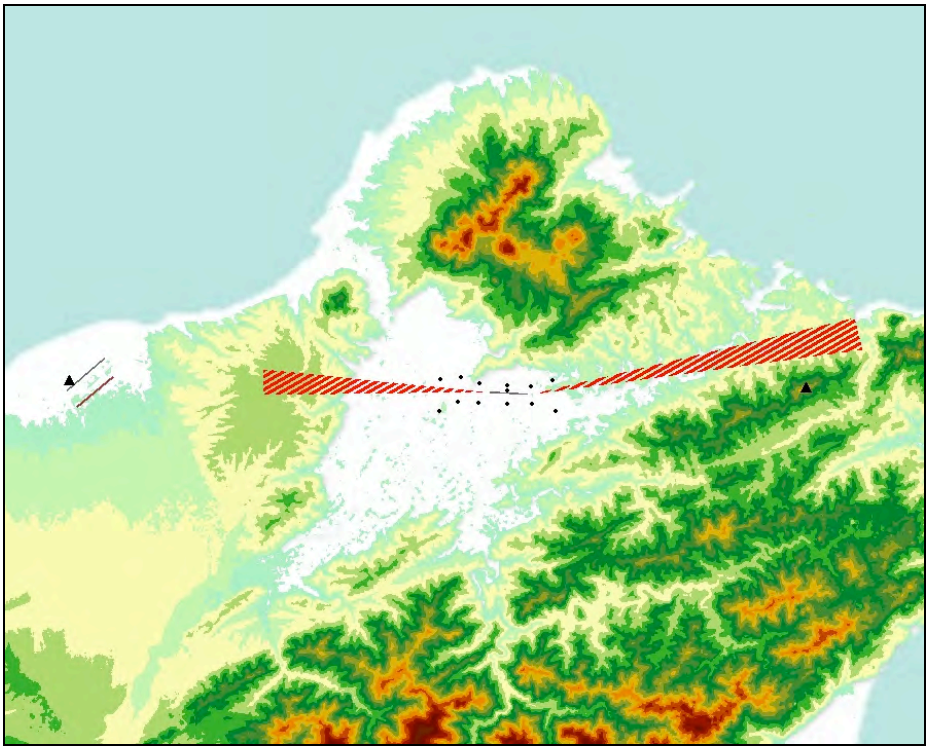


圖1: 臺北盆地地形與民航局公告的10號、28號跑道儀器進場區域(紅色斜線區)；松山機場跑道兩側LLWAS測風塔位置以黑點標示。黑色三角形符號分別是桃園機場氣象雷達站和中央氣象局五分山雷達站。

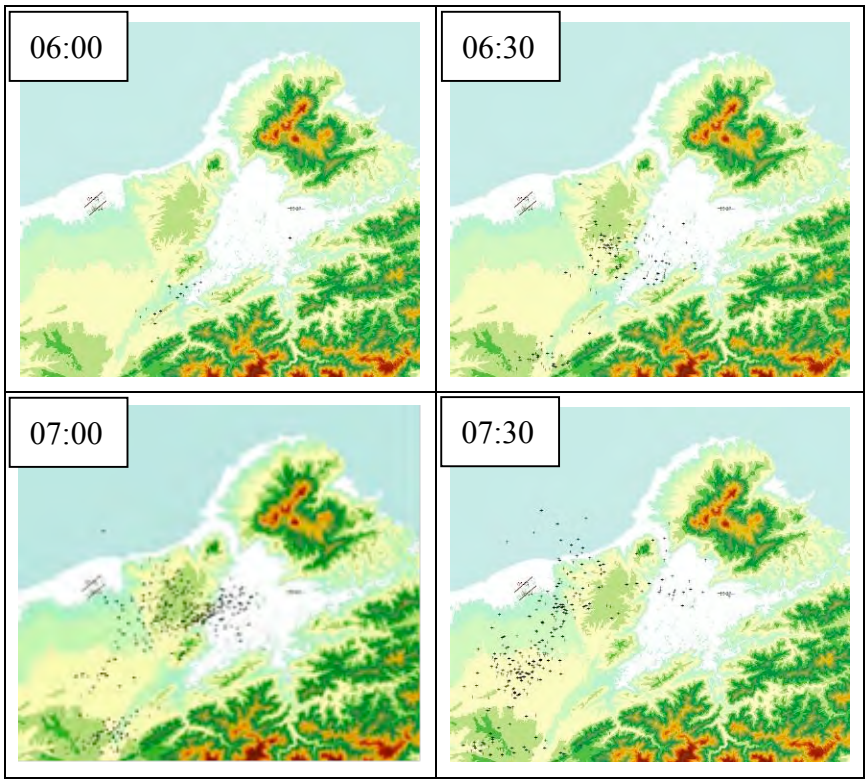


圖2a: 2007年6月28日 06:00~07:30UTC每30-min間距TLDS閃電空間位置。

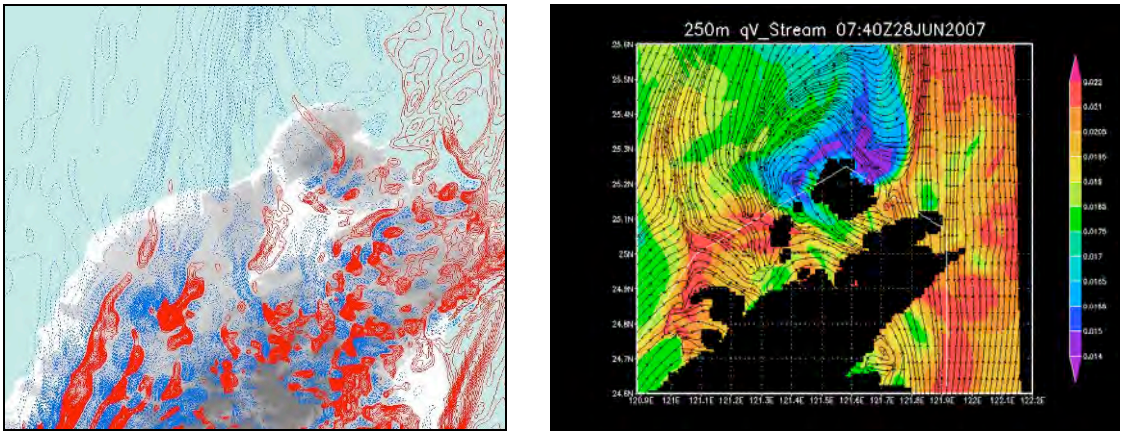


圖2b: 2007年6月28日 07:40UTC 850hPa WRF模擬之渦度場與地形(左)和250m水氣與氣流場(右)。

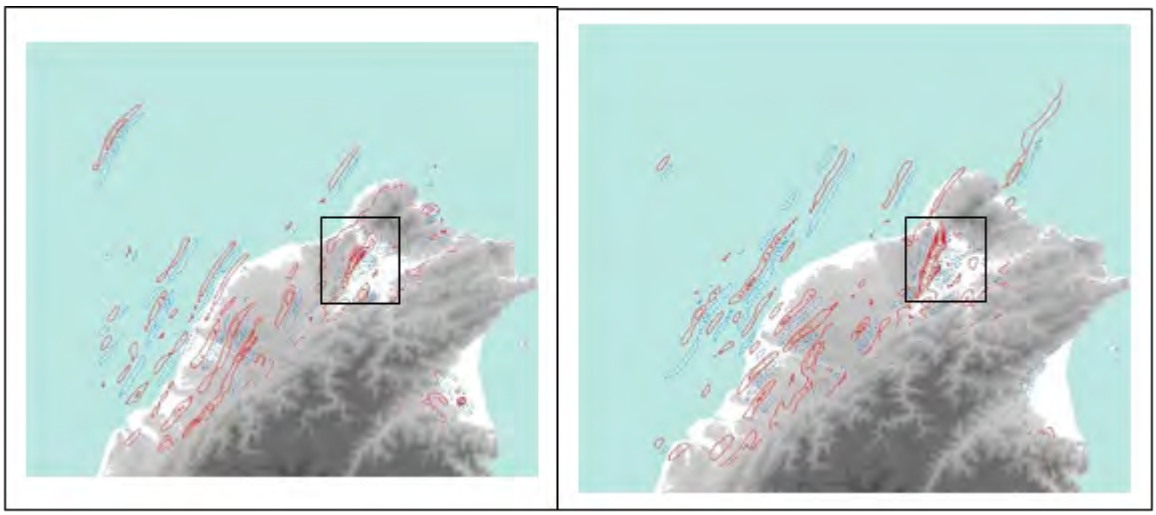


圖3a: 2010/10/25 09:10UTC(左) 09:40UTC(右) 1000-feet渦度場和地形。

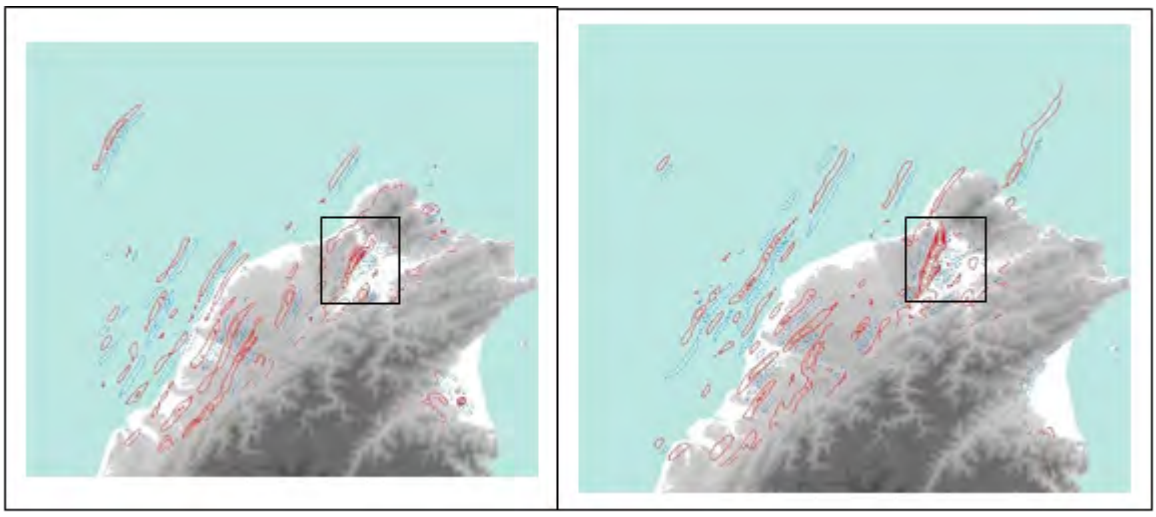


圖3b: 2010/10/25 09:10UTC(左) 09:40UTC(右) WRF模擬之2000-feet渦度場和地形。

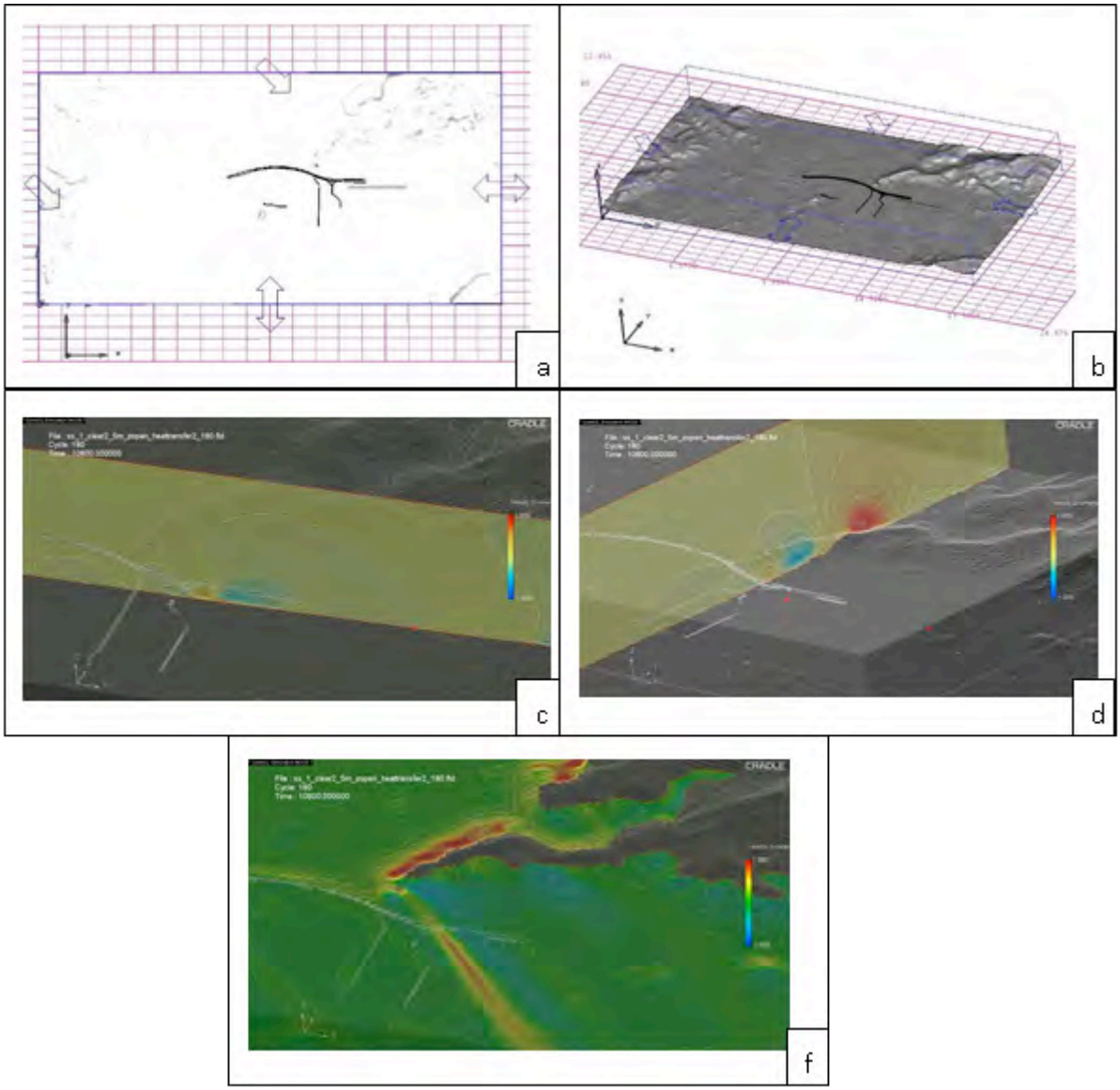


圖4: Stream Model模擬松山機場(a)20 km*10 km範圍俯瞰圖與(b)地表河道建物道路橋樑地表立體圖，在穩定1.5 ms^{-1}西北風情境下的(c)東西剖面風場與(d)南北剖面風場以及(f)離地100m高度的垂直風場。

机场终端区对流天气临近预报的初步研究

王 刚　黄奕铭　曹 正　苏丽蓉
民航中南空管局

摘要

本文主要介绍广州白云机场终端区对流天气临近预报技术的初步研究。它是基于多部多普勒天气雷达的3KM高度CAPPI强度回波拼图产品，利用交叉相关法得到移动风矢量，通过一系列的质量控制和平滑处理，包括抑制地物回波和噪声的影响，奇异值的剔除与补充和CRESSMAN客观分析等多个步骤，并在移动预测的差分外推过程采取补偿方案，以及对预测回波采取图像控制技术，最终得到1小时内的雷达回波预报产品。利用该技术对2012年三个典型个例进行临近预报试验，结果表明，该算法较好地应用于大范围雷雨和台风等复杂天气的临近预报。另外，本文还采用一种空间检验算法评估预报的准确性，尝试建立适合民用航空运行特点的机场终端区对流天气预报客观检验模型。

关键词：交叉相关法 对流天气 临近预报 机场终端区

一、引言

为了在对流天气发生时有效利用有限的空域资源、合理安排飞行流量及高效安全地实施空中交通管理，终端区管制人员需要掌握机场终端区对流天气的发生、发展和变化情况。而目前的机场预报仅代表覆盖机场周围半径8公里范围的天气情况，而且从内容到格式都无法满足用户的需求，有必要研究、建立终端区对流天气预报系统和服务体系，填补机场与航路之间天气预报的空白。

按照目前研究计划，机场终端区对流天气预报初步分为临近预报（0-1小时）和短时预报（1-6小时）。针对这个时段的预报，雷达回波是十分重要的参考资料。雷达回波的移动问题是临近预报技术研究中的关键问题之一。一般有两种算法可以确定雷达回波的移动，即交叉相关追踪算法[1-4]和回波特征追踪算法[5-10]。交叉相关追踪算法主要是通过计算雷达回波等资料在连续时次的空间最优相关,得到对流系统不同位置的移动矢量特征,并基于这些移动矢量对雷达回波等进行外推,得出预报结果。该算法既考虑了回波移动矢量大小和方向的变化,也考虑了整个回波在移动过程中的形变,所以,基于该算法的外推临近预报具有一定的物理意义。交叉相关追踪算法目前已被广泛应用于许多临近预报系统,如NCAR/ANC[11]，麻省理工大学林肯实验室（MIT-LL）开发的综合终端气象系统（ITWS）[12]，英国的Nimrod预报系统[13]等。

对临近预报结果进行科学而客观的检验是一项有意义而复杂的工作。传统点对点对比的检验评分没有考虑空间信息，所以不能很好反映预报结果的质量[14]。近年来，国内外发展了许多新的空间检验方法，如邻域空间检验方法[15,16]，尺度分离检验方法[17]，场变形法[19,20]和基于对象或特征的检验方法[19]，都比传统的检验方法更好地反映预报结果的质量。

二、资料处理及方法

（一）资料处理

雷达数据为广东省气象局9部WSR-98D多普勒天气雷达的单站3公里CAPPI数据格式产品（广州、深圳、阳江、湛江、韶关、汕头、梅州、河源、汕尾），该数据的分辨率为1KM，时间分辨率为6分钟1次。将数据转换为0.01°×0.01°分辨率的格点数据后，对多部雷达数据进行拼图。在重叠部分，采取最大值法，最终得到广东省范围的3KM高度CAPPI强度回波数据格式产品。

（二）对流临近预报算法

1、交叉相关追踪算法(TREC)

交叉相关追踪算法是国际上许多临近预报系统的主要算法之一。其基本原理[1,3]是，利用相邻两个时次T_1和T_2的雷达回波图，对T_2时刻的雷达回波某一小区域a，在T_1图上以该区域的中心位置为圆心扫描半径R内寻找与a相关最好的同面积b，认为雷达回波从b的位置到a的位置就是雷达回波b在ΔT时间内的平均移动距离。移动距离除以移动时间ΔT即可得到移动速度。

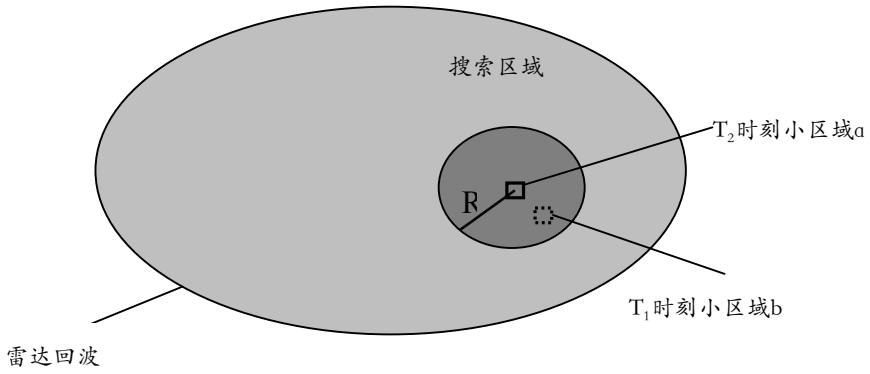


图1 交叉相关法原理示意图

将天气雷达拼图产品的区域等分出一系列小区域，使用TREC方法，获取回波移动的矢量场。对于每个小区域，以其为中心定出一个搜索半径，在前一时次的雷达产品中，寻找与其相关的阵列。计算相关系数，并找出相关系数最大的像素阵列。本文小区域取7KM×7KM格点，搜索半径为10KM。

2、风矢量场订正和分析

交叉相关法得出的矢量场，会不同程度地存在散乱和失真的现象，使外推的回波发生离散，影响预报效果。因此有必要对TREC风矢量场进行剔除奇异点和平滑的处理。相关系数R阈值取为0.25，最大相关系数小于该阈值，则将风矢量赋值为0。首先，对TREC矢量值的进行误差订正，然后，利用Cressman加权函数对TRCE矢量场进行客观分析，得到较为平滑的TREC矢量分布。

3、雷达回波外推及外推图像处理

利用经过处理的TREC风矢量场，进行雷达回波外推。一般情况下，1小时内环境引导风场的演变是可以忽略的，因此，可以假设得到的TREC风矢量场就是随后1小时的雷达回波移动矢量。采用向后外推格式对雷达回波进行外推计算[21]。

$$Z_{i,\ j}(t+n) = Z_{i-\Delta i,\ j-\Delta j}(t+n-1), \qquad \Delta i = u_{t,i,j}\cdot\Delta T,\ \Delta j = v_{t,i,j}\cdot\Delta T \quad \text{公式（1）}$$

其中Z是雷达回波，t是移动风矢量场的计算时刻，n是每隔ΔT时间的外推次数，ΔT取6分钟。

由于不同小区域的移向和移速有差别，小区域间有时会发生合并和分离的现象，在回波外推时，在两个区域的边界处，可能会产生短线状或短矩形状的空值，此时我们采取图像控制方法，即识别出这样的短线或者短矩形空值，利用CRESSMAN客观分析，对空值点进行填充，保证图像质量稳定。

三、临近预报试验及检验

强对流天气临近短时预报的检验是促进对流天气临近短时预报技术发展的重要方面。为了客观反映临近预报的水平，利用邻域空间检验方法，制定广州白云机场终端区对流临近预报检验方法。首先雷达回波分为三级，40dbz（含）以上（红色），30（含）-40dbz（黄色），10（含）-30dbz（绿色）。在对预报结果检验时，某点的实况或预报结果并不仅由该点的值来表示，由以该点为中心半径10Km区域的雷达回波决定。如区域内达到40dbz以上的点，达到区域总点数的10%，则认为该点为红色，同理得到实况和预报为黄色、绿色的格点。如果预报和实况结果一致，则认为命中，反之，认为未命中。使用临界成功指数CSI对预报能力进行检验。

CSI（红)=红色命中数/（红色漏报数+红色空报数+红色命中数） 公式（2）

CSI（总）=总命中数/（总漏报数+总空报数+总命中数）公式（3）

采用前述的对流天气临近预报算法和检验方法，对2012年严重影响广州白云机场运行的三个典型天气过程进行临近预报试验和分析检验。

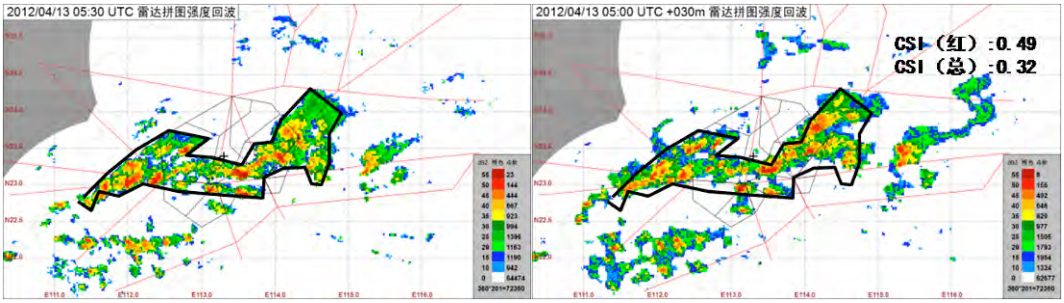
	起止时间	天气形势	影响情况
个例1	2012.04.13 00 -10 UTC	冷空气,切变线	广州白云机场雷暴天气:0304-0330 UTC,0630-0830 UTC，机场航班大面积延误
个例2	2012.06.21 00-12 UTC	低涡，切变线	广州白云机场雷暴天气:0300-0730 UTC，机场航班大面积延误
个例3	2012.07.23 12-2012.07.24 06 UTC	1208号热带气旋“韦森特”	广州白云机场阵风17m/s，深圳机场3起风切变报告

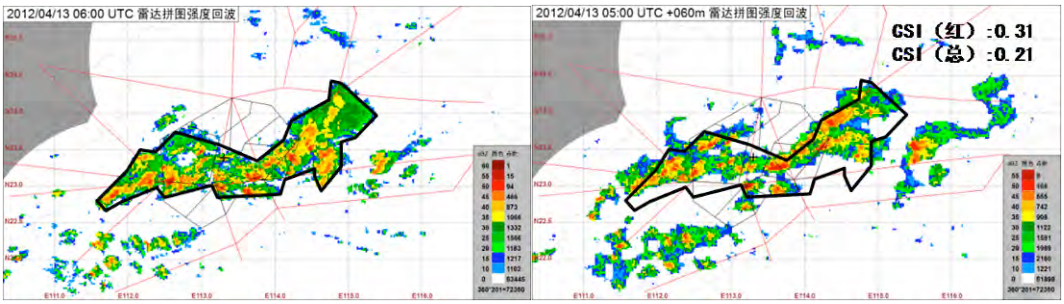
（一）个例一：2012年4月13日雷雨天气过程

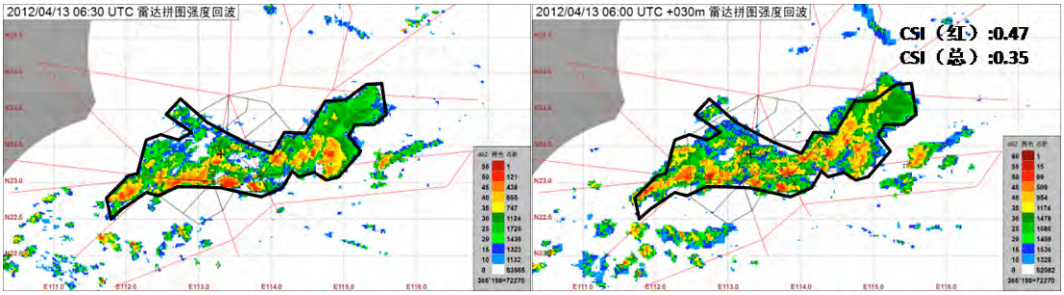
2012年4月13日，受弱冷空气和切变线影响，广东省区域范围自北向南出现了一次强对流天气过程。广州白云机场从03:04－03:30UTC及06:30－08:30UTC出现雷雨天气，白云机场航班出现大面积延误。

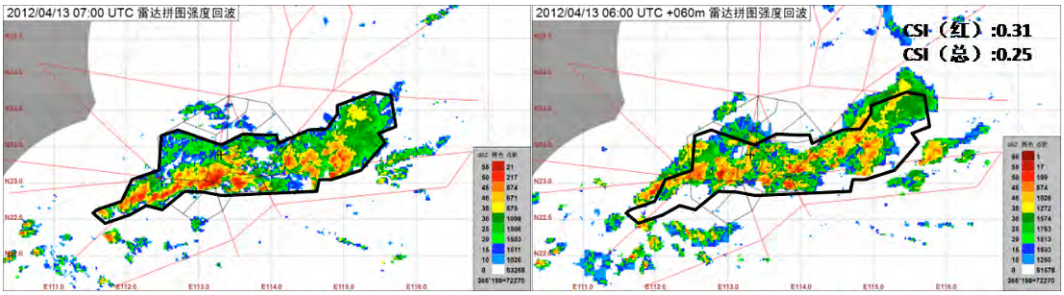
图2是4月13日05:00UTC、06:00UTC起报的30分钟和60分钟外推预报与雷达回波实况的对比，方框为雷达回波实况范围。05:00UTC起报的30分钟外推预报，回波整体位置较实况偏北，而强回波单体与实况比较接近，红色CSI指数达到0.49，大于总CSI指数；60分钟的预报偏北的误差更加明显，强回波单体的预报也较实况偏北，60分钟红色预报CSI指数和总CSI指数都不高。这说明红色CSI指数能够反映强对流天气的预报水平，而总CSI指数能够一定程度反映整体回波位置的预报水平。06:00UTC起报的外推预报整体位置更为接近，总CSI指数也较05:00UTC的得分更高。

这次过程的预报，整体位置偏北，效果不算特别理想。从天气形势分析，这次过程属于切变线快速南压引起的，风场处于快速调整过程中，而外推预报建立未来1小时引导气流不变的假定上，风矢量场不能反映出引导气流发生的变化（切变线南压），出现对流单体趋向东北移动，对流系统整体趋向东南方向，使得预报位置偏北。

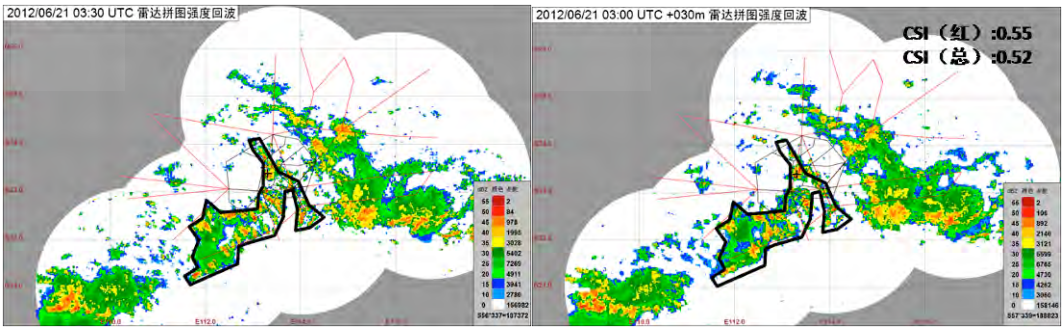


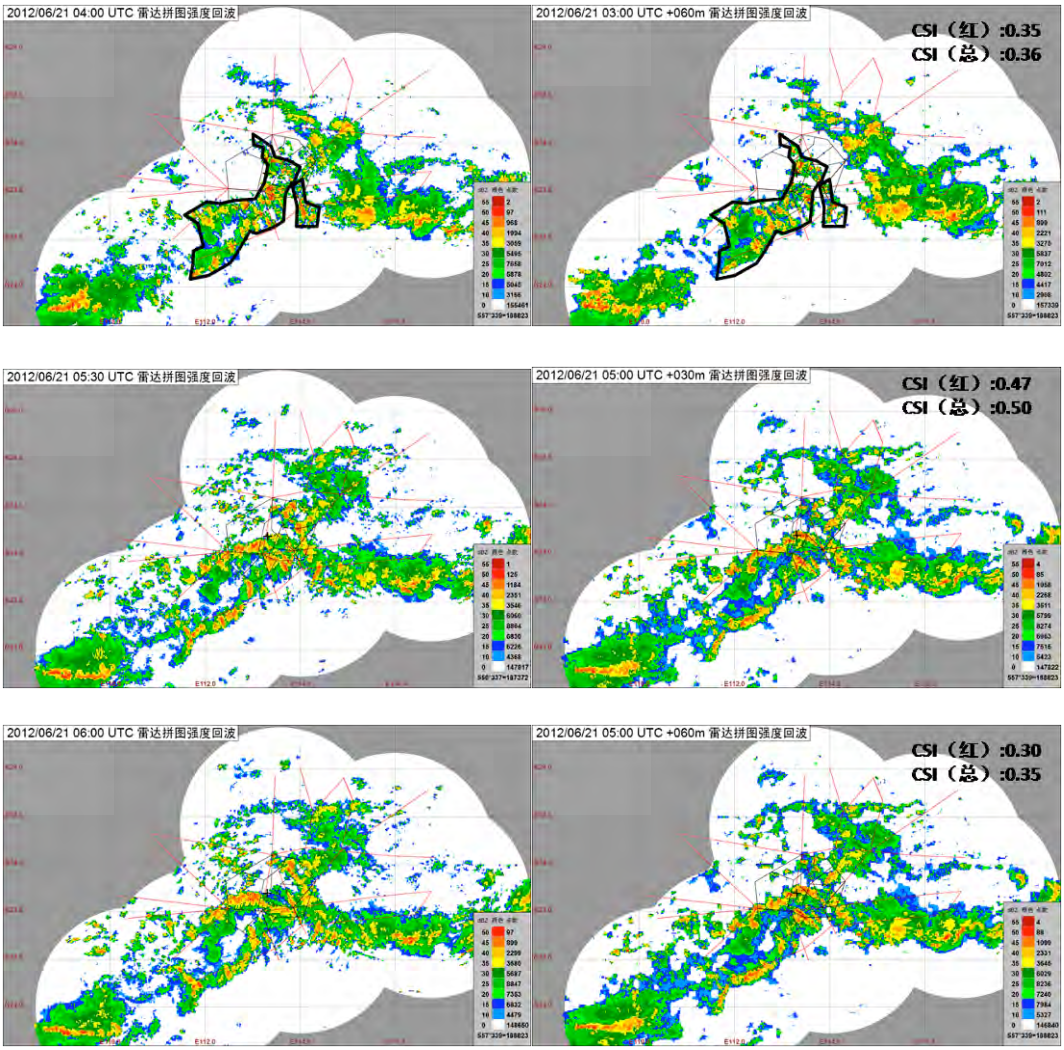






（二）个例二：2012年6月21日雷雨天气过程



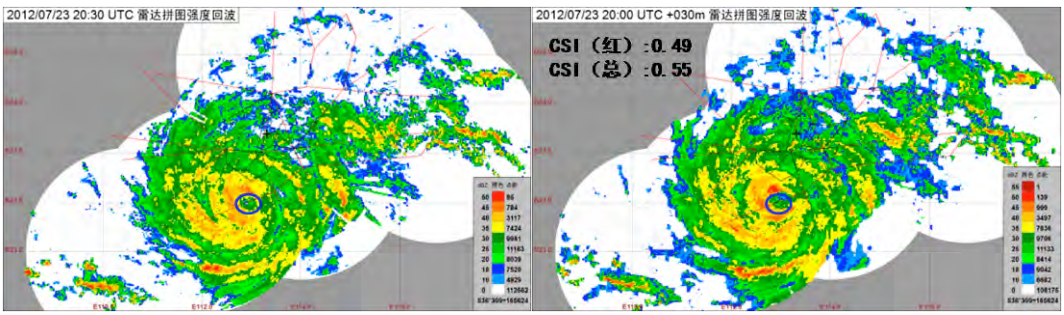


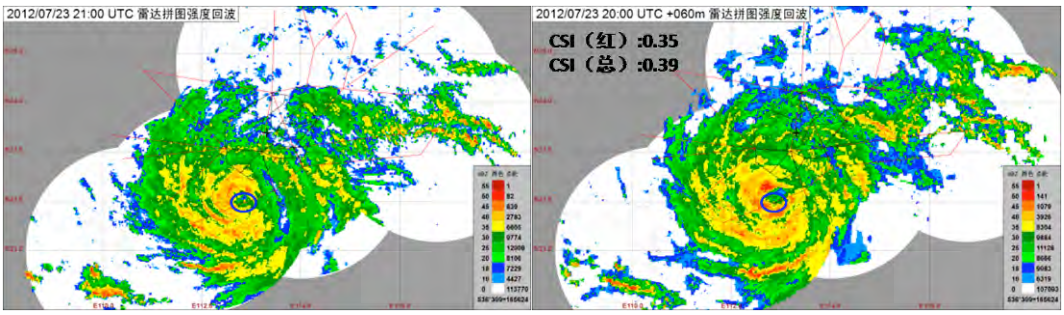
2012年6月21日，受切变线和热带扰动加强北上影响，广东省区域内自南向北出现了一次大面积雷雨过程，广州白云机场03:00－07:30UTC出现雷雨，持续4.5小时，白云机场航班出现大面积延误。

图3是6月21日03:00UTC、05:00UTC的30分钟和60分钟外推预报与雷达回波实况的对比。可以看出，两个时次的预报结果都很好反映了回波的移动趋势，回波的整体位置与实况误差很小，30分钟预报的CSI指数达到0.5以上，60分钟的CSI指数在0.3以上，说明预报效果较好，比个例一的得分明显提高，这可能是由于这次过程的引导气流较为稳定的缘故。

（三）个例三：2012年7月23到24日8号台风“韦森特”

2012年7月23日20:15UTC，8号台风“韦森特”在广东省台山市登陆，23日晚至24日白天，珠三角地区受台风影响，出现强降水及大风天气。其中广州白云机场短时阵风17m/s，深圳机场收到3起机组风切变报告，进出港航班受严重影响。





国内外的学者已有研究表明[4]，交叉相关法（TREC）能够应用在台风天气过程。图4是23日20:00UTC起报的30分钟和60分钟外推预报和实况的对比。可以看出，外推预报的台风具有明显的螺旋结构，台风眼清晰可见。而台风过程的临近预报试验，也很好的反映了台风螺旋雨带以台风眼为中心涡旋运动，台风眼的位置也与实况接近。30分钟的总CSI指数达到0.55，60分钟预报的总CSI达到0.39 ,预报得分在三次个例中最高，说明预报比较成功。基于改进交叉相关法的终端区对流临近预报算法，也能够在台风天气过程中得到很好的应用。

（四）三次典型个例的临近预报检验

针对个别时次的临近预报的检验结果不具有代表性，因此需要对三个典型个例进行了持续的临近预报试验。我们对每个个例进行连续的预报，每个个例试验的起止时间如表1所示，每6分钟进行一次预报，得到连续的临近预报样本。利用前述的检验方法对预报结果进行检验。

表2给出三次个例的预报检验结果，可以看出个例二和三的预报得分较高，1小时的预报得分在0.3以上，个例一的预报得分相对较低。这个结果与前面的分析一致，说明CSI能够反映预报结果的准确性，并且该改进交叉相关法对夏季热带天气系统的预报效果优于春季切变线系统；针对类似个例一的天气形势，有必要完善该改进临近预报算法，如采取时间步长为30分钟的TREC风矢量场进行雷达回波外推。

通过三次典型个例的临近预报试验及检验，说明这种基于交叉相关法，并进行一系列处理和改进后的终端区对流临近预报算法，能够较好地应用于大范围雷雨和台风等复杂天气的临近预报。提出的空间检验算法能够客观反映预报水平，可以用于评估和检验临近预报的准确性。

	20120413过程		20120621过程		20120723-24过程	
预报时长	CSI(红)	CSI(总)	CSI(红)	CSI(总)	CSI(红)	CSI(总)
6	0.76	0.67	0.77	0.80	0.75	0.79
12	0.65	0.55	0.68	0.71	0.64	0.68
18	0.58	0.48	0.6	0.65	0.56	0.61
24	0.52	0.42	0.54	0.59	0.51	0.55
30	0.46	0.37	0.48	0.54	0.46	0.50
36	0.41	0.33	0.44	0.50	0.42	0.46
42	0.37	0.29	0.39	0.46	0.39	0.43
48	0.33	0.27	0.36	0.43	0.36	0.41
54	0.29	0.24	0.33	0.40	0.33	0.38
60	0.26	0.22	0.30	0.38	0.31	0.36

四、结论与讨论

本文介绍了基于交叉相关法的终端区对流天气临近预报算法，并针对我国民用航空运行特点，设计机场终端区对流天气预报客观检验模型，对2012年的3次典型天气过程进行预报试验和评估。

（一）设计了一套终端区对流天气临近预报算法。在交叉相关法得到的移动风矢量基础上，进行一系列的质量控制和平滑处理，包括抑制地物回波和噪声的影响，奇异值的剔除与补充和CRESSMAN客观分析等多个步骤，并在移动预测的差分外推过程采取补偿方案，以及对预测回波的采取图像控制技术，最终得到1小时内的雷达回波预报产品。

（二）3次典型个例的临近预报试验，能够较好地预报0-1小时的雷达回波移动趋势和方向，预报结果与实况较为一致，表明该终端区对流天气临近预报算法能够应用于大范围雷雨和台风等恶劣天气的临近预报中。其中个例二和个例三的预报效果优于个例一，这可能与不同个例的引导风场差异有关。针对类似个例一的天气形势，有必要完善该临近预报算法。

（三）基于邻域空间检验法的机场终端区对流天气预报客观检验模型能够客观体现临近预报水平。通过对三次个例长时间连续进行临近预报试验，并对预报结果进行统计检验。

对流天气的临近预报是一项具有挑战性的工作，国内外学者从各个角度出发，提出了许多对流临近预报算法。Wilson[22]指出对流临近预报的最佳途径是混合方法，即综合利用多种方法。交叉相关法与回波特征追踪算法各有特点。交叉相关法的优点在于能够得到更加准确的移动速度和方向，而且可以适用于层状云降水和对流性降水，缺点是不能够识别和追踪单体的移动。回波特征追踪算法的优点在于能识别和追踪单体，并且可以获得单体的三维信息，但是在层状云降水中效果不佳。因此发展多种临近预报手段，综合不同预报方法的优点，是提高临近预报水平的手段，也是我们接下来深入研究的方向。

参考文献

[1] Rinehart, R. E., and E. T. Garvey, 1978: Three-dimensional storm motion detection by conventional weather radar. Nature, 273,287–289.
[2] Tuttle, J. D., and G. B. Foote, 1990: Determination of the boundary layer airflow from a single Doppler radar.
J. Atmos.Oceanic Technol., 7, 218–232.
[3] Li, L., W. Schmid, and J. Joss, 1995: Nowcasting of motion and growth of precipitation with radar over a complex orography. J. Appl. Meteor., 34, 1286–1300.
[4] Lai, E. S. T., 1999: TREC application in tropical cyclone observation. Proc. ESCAP/WMOTyphoon Committee Annual Review,Seoul, South Korea, The Typhoon Committee, 135–139.
[5] Bjerkaas, C. L., and D. E. Forsyth, 1979: Real-time automotive tracking of severe thunderstorms using Doppler weather radar. Preprints, 11th Conf. on Severe Local Storms, Kansas City, MO, Amer. Meteor. Soc., 573–576.
[6] Crane, R. K., 1979: Automatic cell detection and tracking. IEEE Trans. Geosci. Electron., 17, 250–262.
[7] Austin, G. L., and A. Bellon, 1982: Very-short-range forecasting of precipitation by objective extrapolation of radar and satellite data. Nowcasting, K. Browning, Ed., Academic Press,177–190.
[8] Rosenfeld, D., 1987: Objective method for analysis and tracking of convective cells as seen by radar. J. Atmos. Oceanic Technol.,4, 422–434.
[9] Dixon, M., 1994: Automated storm identification, tracking and forecasting—A radar-based method. Ph.D. dissertation, Department of Civil, Environmental, and Architectural Engineering,University of Colorado, 181 pp.
[10] Handwerker, J., 2002: Cell tracking with TRACE3D—A new algorithm.Atmos. Res., 61, 15–34.
[11] Mueller, C., T. Saxen,R.Roberts, J.Wilson, T. Betancourt, S.Dettling, N. Oien, and J. Yee, 2003: NCAR Auto-Nowcast system.Wea. Forecasting, 18, 545–561.
[12] Evans, J. E., and E. R. Ducot, 1994: The integrated terminal weather system. Lincoln Lab. J., 7, 449–474.
[13] Golding, B. W., 1998: Nimrod: A system for generating automated very short range forecasts. Meteor. Appl., 5, 1–16.
[14] Casati, B. and Coauthors, 2008: Forecast verification: Current status and future directions. Meteor. Appl., 15, 3–18.
[15] Ebert, E. E., 2008: Fuzzy verification of high resolution gridded forecasts: A review and proposed framework. Meteor. Appl.,15, 51–64.
[16] Yates, E. S., S. Anquetin, V. Ducrocq, J.-D. Creutin, D. Richard,and K. Chancibault, 2006: Point and areal validation of forecast precipitation fields. Meteor. Appl., 13, 1–20.
[17] Briggs, W. M., and R. A. Levine, 1997: Wavelets and field forecast verification. Mon. Wea. Rev., 125, 1329–1341.
[18] Davis, C. A., B. G. Brown, and R. G. Bullock, 2006: Object-based verification of precipitation forecasts. Part I: Methodology and application to mesoscale rain areas. Mon. Wea. Rev., 134,1772–1784.
[19] Alexander, G. D., J. A. Weinman, V. M. Karyampudi, W. S. Olson, and A. C. L. Lee, 1999: The effect of assimilating rain rates derived from satellites and lightning on forecasts of the 1993 Superstorm. Mon. Wea. Rev., 127, 1433–1457.
[20] Hoffman, R. N., Z. Liu, J.-F. Louis, and C. Grassotti, 1995: Distortion representation of forecast errors. Mon. Wea. Rev., 123,2758–2770.
[21] Germann, U., and I.Zawadzki,2002: Scale-dependence of the predictability of precipitation from continental radar images. Part I: Description of the methodology. Mon. Wea. Rev., 130, 2859-2873
[22] Wilson, J. W.,E. E. Ebert, M. Sleigh, C. E. Pierce, T. R. Saxen, R. D.Roberts, C. K. Mueller, and A. Seed, 2004: Sydney 2000 forecast demonstration project: Convective storm nowcasting.Wea. Forecasting, 19, 131–150.

作者简介
苏丽蓉　民航中南空管局气象中心，从事航空天气预报与航空气象服务工作。
联系地址：中国　广东省广州市机场路南云东街3号　民航中南空管局气象中心
邮编：510405　　电话：86－020－86128718　　E一mail：lrsu@atmb.org

機場天氣預報(Terminal Aerodrome Forecasts)之校驗與改善

林雍嵐
民用航空局飛航服務總臺

摘要

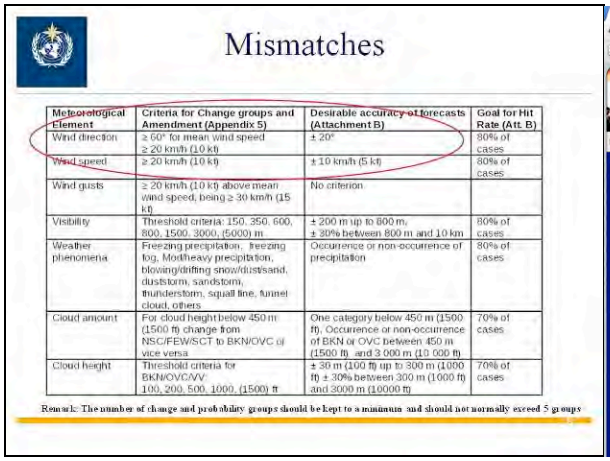
2010年WMO開始檢視ICAO機場天氣預報(TAF)校驗相關規範，可能不夠完備之處進行探討，進而提出改善方向。主要參考美國國家氣象局TAF分級制度的預報校驗表，建立顯著天氣時段的校驗標準，以求評量分數能反映不適航天氣時段之預報技術優劣，以供內部技術檢討參考使用。統計顯示，高準確率預報產品亦可能導致偏高的誤報率，所以為求評量的客觀性，以計算預兆得分(Threat score, TS)為評量指數。建立完善的校驗客觀標準才能適切比較不同預報指引產品的優缺點，提供數值預報技術需要努力改進的方向。

一、預報為何需要校驗

天氣預報過程就像做實驗般進行著，有一套理論假說，認為未來天氣系統如何演進，影響局地的天氣變化。預報校驗的過程即是檢驗假說理論是否正確的方法之一，檢視預報是否符合局地實測的天氣要素。至於為何需要校驗呢？根據聯合國世界氣象組織 (World Meteorological Organization, WMO)JWGFVR網頁(Joint Working Group on Forecast Verification Research, www.cawcr.gov.au/projects/verification/)的提示，主要原因有三點：(i)監測預報品質，了解本質的預報能力。(ii)進而發現哪些環節總是預報錯誤，來改善預報品質。(iii)比較不同預報系統的品質，探討哪一系統是可以得到較好預報品質及彼此優劣差異為何。

二、ICAO與NWS校驗標準之比較

為符合國際民航組織(International Civil Aviation Organization, ICAO) Annex 3規範，臺北航空氣象中心現行參考Annex 3 Attachment B之TAF校驗標準(圖1)進行校驗考核作業。相關目標門檻(Goal for hit rate)雲冪高為70%和風向風速、能見度和天氣現象為80%。



Mismatches

Meteorological Element	Criteria for Change groups and Amendment (Appendix 5)	Desirable accuracy of forecasts (Attachment B)	Goal for Hit Rate (Att. B)
Wind direction	≥ 60° for mean wind speed ≥ 20 km/h (10 kt)	± 20°	80% of cases
Wind speed	≥ 20 km/h (10 kt)	± 10 km/h (5 kt)	80% of cases
Wind gusts	≥ 20 km/h (10 kt) above mean wind speed, being ≥ 30 km/h (15 kt)	No criterion	
Visibility	Threshold criteria: 150, 350, 600, 800, 1500, 3000, (5000) m	± 200 m up to 800 m, ± 30% between 800 m and 10 km	80% of cases
Weather phenomena	Freezing precipitation, freezing fog, Mod/heavy precipitation, blowing/drifting snow/dust/sand, duststorm, sandstorm, thunderstorm, squall line, funnel cloud, others	Occurrence or non-occurrence of precipitation	80% of cases
Cloud amount	For cloud height below 450 m (1500 ft) change from NSC/FEW/SCT to BKN/OVC or vice versa	One category below 450 m (1500 ft), Occurrence or non-occurrence of BKN or OVC between 450 m (1500 ft) and 3 000 m (10 000 ft)	70% of cases
Cloud height	Threshold criteria for BKN/OVC/VV: 100, 200, 500, 1000, (1500) ft	± 30 m (100 ft) up to 300 m (1000 ft) ± 30% between 300 m (1000 ft) and 3000 m (10000 ft)	70% of cases

Remark: The number of change and probability groups should be kept to a minimum and should not normally exceed 5 groups

圖1 ICAO Annex 3 Attachment B

圖2　NWS預報產品校驗網頁。

美國國家氣象局(NWS, National Weather Services)在美國各地設有122個WFO，WFO 負責一般天氣預報、水文監測，危害天氣如龍捲風、雷暴雨、暴風雪、洪水之守視(watch)、警報(warning)、公告(advisory)，以保障民眾的生命財產安全，此外，還負責空氣品質監測以及乾旱季節之火災天氣預報，並且負責編報機場天氣預報(TAF,Terminal Aerodrome Forecasts)，每6小時編報一次，每次預報時間為24小時。故WFO為編發全美各地主要機場天氣預報TAF的負責單位，因此由國家氣象局建立TAF 預報的輔助軟體AVNFPS和預報校驗系統(Performance Management Homepage,https://verification.nws.noaa.gov; 圖2)，提供NWS 及NOAA所屬機構之預報員進行線上查詢。可供查詢校驗的預報產品涵蓋TAF、龍捲風警報、劇烈雷暴警報、颶風路徑預報、冬季風暴警報、洪水警報、高低溫預報、海象預報。

TAF 預報校驗的考核標準方面，發現NWS 並非採用ICAO Annex 3 Attachment B 的校驗標準，而是另外制定。ICAO Annex 3Attachment B 校驗包含好壞天氣資料。TAF 預報與實際METAR 觀測，能見度大於800m，雲冪大於1000ft，其預報誤差不得大於正負30%。因此顯著天氣發生期間，所能允許的預報誤差範圍相對會縮小許多。2010年WMO航空氣象委員會(Commission for Aeronautical Meteorology, CAeM)於香港天文臺年度會議討論ICAO Annex 3的校驗標準。認為此標準雖然簡單易懂，很方便的建立全球一致性的期望標準值。但是過於簡化，校驗標準無法反應預報技術準確性。尤其對於嚴重影響機場運作的顯著天氣事件，無法適切的描述當時TAF的準確性。此外WMO也提出，ICAOAppendix 5 Amendment (與TAF修正門檻有關)與顯著天氣發生有顯著相關，但Attachment B的校驗標準卻與Appendix 5 Amendment的關聯性很低，頗為矛盾(圖3)。意即，當校驗所有好壞天氣，預報準確度(hit rate)將會大部分落在天氣良好的時段。而通常天氣佳的時段遠大於壞天氣的總時段，所以長期利用ICAO標準統計的考核分數，可能僅是在反映該機場發生好天氣的頻率。對於鮮少發生壞天氣的機場，得到的考核分數可能無法反映壞天氣時TAF的準確性。所以WMO建議正確的TAF校驗並非無所不包的檢驗所有好壞天氣的時段，且應該採分區分類建立分級制度的預報校驗標準。同時，顯著天氣發生時，過度預報是不被鼓勵的，所以校驗標準除了要可以反應顯著天氣時TAF的準確度，還要能評量過度預報發生的頻率(False Alarm Ratio, FAR)。

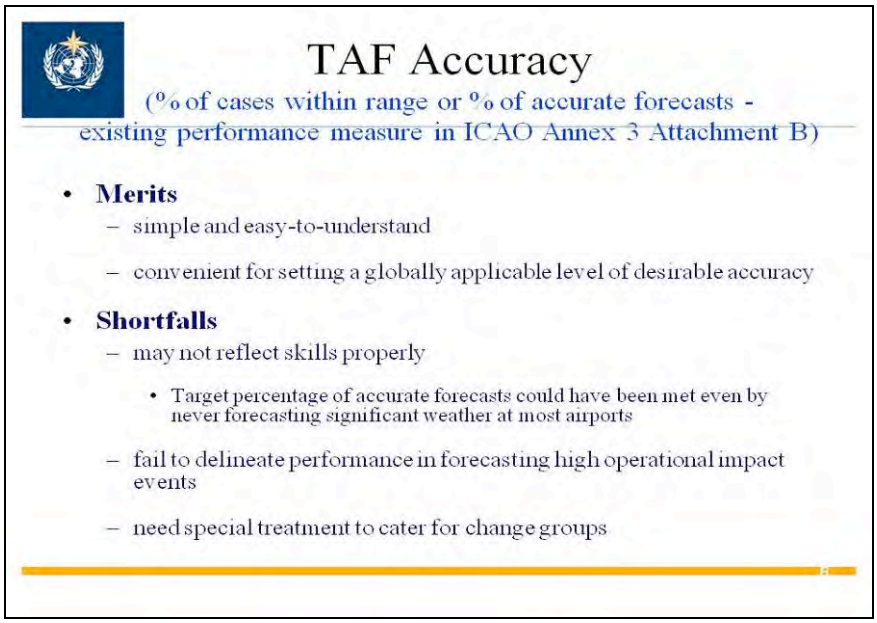


圖3 WMO CAeM 2010年文件報告，取自http://forum.14.caem.wmo.int/14web/ppts/。

美國氣象局現行TAF預報校驗，即採用分級制度的預報校驗標準，如表一為雲冪和能見的校驗分級標準表。而ICAO Annex 3 Attachment B的準確度目標(Hit of goal)高達0.7至0.8，而美國氣象局的目標(national goal)卻只有0.65，略低的原因與僅校驗顯著天氣有關。

三、官方TAF與數值模式輸出TAF之準確度比較

NWS校驗自2006年到2011全美3至6小時預報時效之TAF預報準確度(Probability of detection, POD)，而且僅校驗雲冪低於1000ft，能見度低於3英哩之顯著天氣時段。自2006年起，校驗成績POD近乎常數般地維持在0.61至0.63間，距離national goal 0.65還有一點距離；但誤報率FAR卻有明顯的自0.42下降至0.36，即使2011年略為提高，但仍然維持低於national goal的0.41(圖4)。壞天氣的誤報對機場和航管運作都有很大的影響，所以在顯著天氣時，低雲冪和低能見度已發生，應該盡可能減少誤報率。在NWS校驗網頁可以呈現官方TAF和多個數值模式自動編發TAF之間的校驗分數比較，而且對24小時有效預報時效分段為每6小時校驗(圖5)。藉由數值模式建立預報指引(Model Guidance)，且長期統計可定量得到模式TAF的可預報度，建立客觀的考核標準，更能客觀探討不良天候時段TAF的預報水準。

表一 NWS制定之TAF校驗分級表(a) 雲冪高，(b)能見度，取自National Weather Service Instruction (NWSI) 10-1601 2011年版(http://www.nws.noaa.gov/directives/)

Table A-6. Ceiling categories used in contingency tables.

- Less than 200 feet
- 200 to 400 feet
- 500 to 900 feet
- 1000 to 1900 feet
- 2000 to 3000 feet
- Greater than 3000 feet (including situations with no ceiling)

Table A-7. Visibility categories used in contingency tables.

- Less than ½ statute mile
- ½ to less than 1 statute mile
- 1 to less than 2 statute miles
- 2 to less than 3 statute miles
- 3 to 5 statute miles
- Greater than 5 statute miles

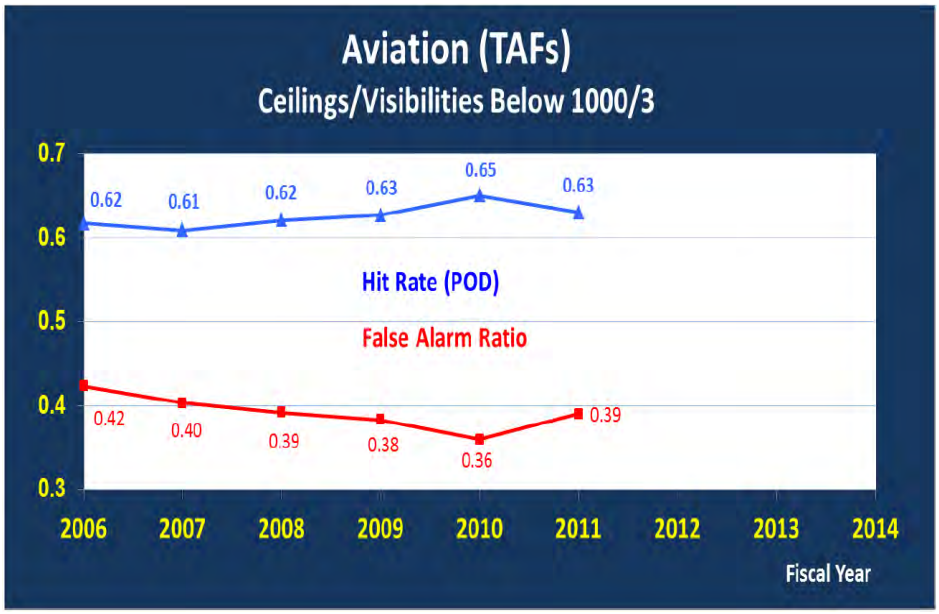


圖4 2006至2011年全美官方TAF預報校驗之平均準確度(藍:POD)和誤報率(紅:FAR)之變化。摘自NWS 2011年度預報校驗報告(GPRA Metrics National Yearly Trends, https://verification.nws.noaa.gov/services/gpra/NWS_GPRA_Metrics.pdf)

Absolute Ceiling Errors

Period	FWC	MAV	TAF
1	0.49	0.42	0.33
2	0.57	0.47	0.45
3	0.60	0.49	0.48
4	0.62	0.53	0.49

Figure 2. Mean absolute errors by category for ceiling at KTUL. FWC and MAV are model guidance. TAF is the official forecast. Periods indicate four 6-hour groups.

圖5 官方TAF預報和2個數值模式FWC和MAV 24小時預報之雲冪平均誤差值。Period 1為第1個6小時預報。故值愈小代表預報育準確，隨預報時間增長，誤差值愈大。

據統計全美各主要國際機場，其中以紐約紐瓦克國際機場(KEWR)和舊金山國際機場(KSFO)的航班誤點率位居一和二，其中天氣因素也是造成誤點的主要原因，而舊金山機場又以濃霧影響最鉅。利用NWS校驗網頁查詢統計KSFO在過去十年曾發生能見度低於1英哩時段，其官方TAF預報的POD約0.25。值得注意的是，KSFO這段濃霧期間甚至出現全球模式(Global Forecast System, GFS)表現優於官方TAF的趨向。Ghirardelli and Glahn (2010)也發現GFS MOS統計模式和LAMP(The Localized Aviation Model Output Statistics Program)模式在雲冪低於1000ft，能見度低於3英哩時之準確度(POD)也優於官方TAF。但是模式卻有較高的誤報率(FAR)；所以評量預兆得分(TS)，官方TAF仍然略高於模式預報。

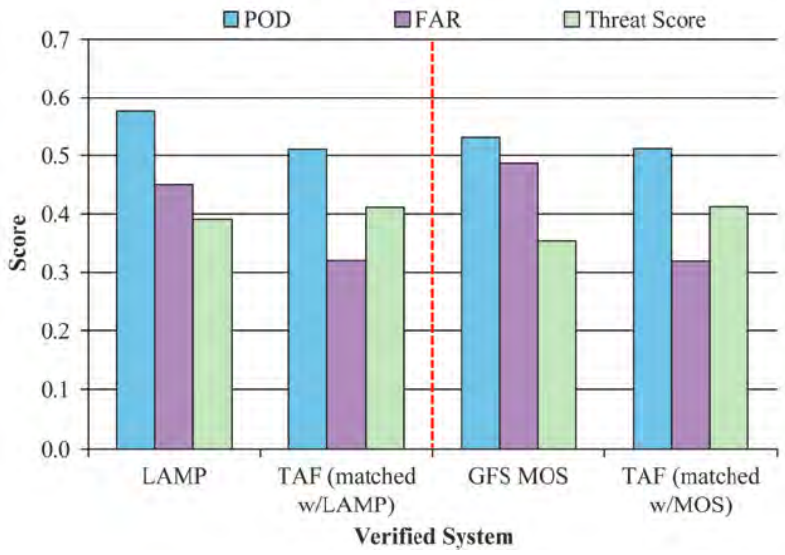


圖6 摘自Ghirardelli and Glahn (2010) FIG. 17,數值模式LAMP或GFS MOS與官方TAF之準確度比較。

四、結語

依據WMO CAeM 2010年的建議，未來可參考NWS TAF分級制度的預報校驗表，建立於顯著天氣時段的校驗標準，以求評量分數能反映不適航天氣時段之預報技術優劣，以供內部技術檢討參考使用。目前臺北航空氣象中心WRF MOS地面預報產品未來將與NCAR合作改善，延長有效預報時。將可比照相同TAF校驗標準進行考核，了解WRF MOS在TAF預報的準

確性和穩定性，定量得到數值模式的可預報度，建立模式的預報指引(Model Guidance)和校驗的客觀標準。再藉由模式預報指引和官方TAF準確度的比較，以求客觀地探討不良天候時段TAF的預報。此外，中央氣象局自今(101)年開始發布鄉鎮天氣預報，由原本臺灣22分區擴展到368鄉鎮格點天氣預報，同時建立臺灣地區數值模式格點預報資料庫(National Digital Forecast Database, NDFD)，提供更細緻的小區域預報產品。而美國氣象局已經使用NDFD資料庫(圖7)，再透過AvnFPS軟體的轉譯，進行TAF的自動編發(圖8)。因此，未來可透過與中央氣象局合作協議取得臺灣地區NDFD資料庫，輔助預報員TAF的編發。

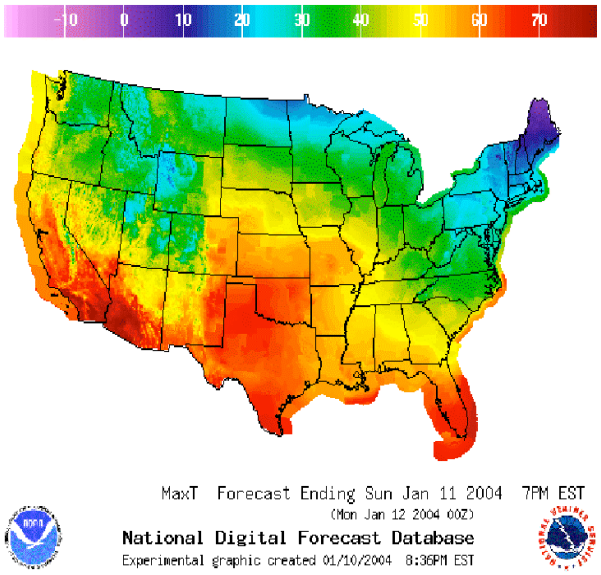


圖7 NDFD數值模式格點預報資料庫

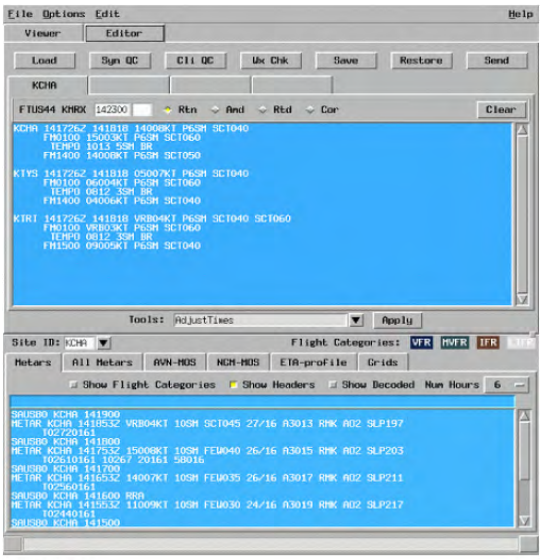


Figure 3: TAF Editor.

圖8 AvnFPS TAF預報編發軟體

五、參考文獻

National Weather Service, 2011: Verification procedures. NWS Instruction 10-1601, 100 pp.

Ghirardelli, J. E and B. Glahn, 2010: The meteorological development laboratory's aviation weather prediction system. Wea. Forecasting, 25, 1027–1051.

利用WRF 3DVAR與EAKF探討GPSRO資料同化對莫拉克颱風模擬之影響

巫佳玲
民用航空局飛航服務總臺

摘要

本研究利用WRF之三維變分資料同化系統(3DVAR)和系集調整卡爾曼濾波器(EAKF)同化FORMOSAT-3 GPS掩星(以下稱GPS RO，GPS Radio Occultation)觀測和GTS資料，針對2009年侵臺的莫拉克颱風探討GPSRO資料在不同資料同化系統下對颱風預報路徑、降水、颱風結構及環境場等之影響。本研究四個實驗組名稱為GTS、GPS、GTSe及GPSe，前兩個使用3DVAR同化GTS資料和GPSRO+GTS資料，後兩個使用EAKF。11個資料同化預報週期的平均路徑誤差顯示GPS在預報前24小時的平均路徑誤差比GTS小，EAKF無論有無同化GPSRO觀測在預報48小時內的平均路徑預報皆比3DVAR好。預報降水與觀測24小時累積降水的比較中，發現GPS和GTS能提早12小時預報到臺灣西南部強降水，而EAKF可提早30小時。使用EAKF同化系統時，GPSRO增量大部分都是貢獻在颱風環流，對颱風結構有正的作用，因此雖處於較不利的環境仍能預報得到較小的路徑誤差、較好的降水預報及颱風結構。由深層大氣的駛流得知3DVAR預報的颱風路徑通常在最佳路徑的右側、EAKF在最佳路徑的左側，原因為3DVAR的東風駛流較快減弱加上南風增強，造成颱風較快往北移，預報路徑就在最佳路徑的右側，EAKF則是駛引的東風維持較久，把颱風往西帶後再北轉，因此得到的預報路徑就在最佳路徑左側。

一、前言

傳統觀測資料大部分集中陸地，臺灣特殊的地理位置除西方中國大陸有密集的傳統探空觀測資料外，洋面上的觀測資料並不多，使用衛星觀測資料來彌補資料稀少的海洋觀測是個不錯的選擇。之前研究結果皆證實了GPS RO資料的精確程度(Ware et al. 1996、Kuo et al. 2004、吳，2008等)。

模式的預報能力也受限於初始場的準確度，全球模式提供的初始場除解析度不夠外，在資料缺乏區也很難反應出真實大氣的狀態，故欲藉著資料同化來改善數值天氣預報的初始條件。目前較常使用的資料同化技術為三維變分(Barker et al.2004)、四維變分(Zou et al. 1995)及系集卡爾曼濾波器(Evensen,1994)等。從過去的研究結果(Huang et al. 2005、林等，2010、Kuo et al. 2009等)可知GPS掩星觀測資料應用在改善氣象預報的潛力。而過去的研究多採用3DVAR及4DVAR，少有使用與EAKF相關的同化系統，因此本研究實驗設計中會採用由系集卡爾曼濾波器發展來的EAKF。另外，相對於4DVAR需要透過數值預報模式和其伴隨模式(adjoint model)不斷積分，3DVAR所耗費的電腦計算能力節省很多，所以，本研究利用不同的資料同化技術(3DVAR、系集調整卡爾曼濾波)，探討FORMOSAT-3 GPS RO資料在WRF 3DVAR和EAKF資料同化系統下對莫拉克颱風預報的影響。

二、模式模擬與實驗設計

本研究使用的模式版本為WRF v3.1.1、3DVAR使用WRFDA_V3.1.1及EAKF資料同化系統為v 3.1版。模式使用單層巢狀網格(圖1)，水平網格點數為301x253，網格間距為15km，垂直使用σ座標，共31層，模式層頂為50hPa。模式的初始場使用NCEP AVN資料及模式預報場，並以NCEP GFS全球模式分析場資料作為模式邊界場。

WRF 3DVAR的設定採用氣象局的設定，背景誤差統計值為NCEP全球模式所計算出的統計值(CV3)，在資料同化過程中此統計值都是固定不變。EAKF資料同化系統可隨時間同化當時的可獲得之觀測資料並更新背景誤差統計值，因此EAKF分析後的分析場較趨近實際大氣狀態。

本研究共有四組實驗，以兩種不同的同化系統(即3DVAR和EAKF)同化GTS資料和FORMOSAT-3 GPSRO資料，實驗設計名稱如表1，本研究資料同化時間窗區為6小時，也就是採用同化時間前後三小時內的觀測資料來進行同化，GPSRO觀測資料筆數可參考表2。

NCEP GFS全球模式在2007□5月1日已宣布將FORMOSAT-3 GPSRO觀測資□加入模式的初始場分析，所以本研究取得的NCEP GFS資料已包含GPSRO訊息，因此本研究資料同化的預報實驗設計在前48小時做只同化GTS資料的循環式資料同化，目的為先讓同化系統warm up及減弱NCEP AVN所提供初始場中GPSRO的影響，透過同化系統分析之後得到最佳初始場，再從8月6日00Z至8月8日12Z每六小時分別以3DVAR和EAKF進行GTS或GPSRO+GTS的循環式資料同化，且每個資料同化週期(共有11個資料同化週期)都會進行72小時預報，實驗設計概念圖請參考圖2。此外，在EAKF同化系統實驗中，本研究採用32組系集成員作資料同化與短期預報，受限於電腦運算資源，採用32組的系集平均進行72小時預報。

研究實驗選取2009年8月的莫拉克颱風個案，分析時間為2009年8月6日00Z到8月8日12Z。為了比較四組實驗的預報效益，將EAKF和WRF3DVAR的預報結果與EC分析場資料進行校驗，主要以高度場、溫度場、濕度場及風場進行校驗，也將全臺382個自動雨量站雨量資料內插到同樣解析度的模式網格點上，驗證預報累積降水量和實際觀測累積降水量。探討FORMOSAT-3 GPSRO資料在WRF 3DVAR和EAKF資料同化系統下對莫拉克颱風預報的效益。

三、模擬結果討論

（一）颱風路徑預報

從8月6日00Z到8月8日12Z(共11個資料同化預報週期)每個3DVAR資料同化週期的72小時颱風路徑預報及颱風最佳路徑圖(圖3-圖6)中可看出使用EAKF資料同化系統每個DA (data assimilation)週期的早中期路徑預報比使用3DVAR資料同化預報週期的72小時颱風路徑預報接近颱風最佳路徑、後期GPSe和GTSe皆比GPS和GTS差。比較圖3至圖6，發現使用經3DVAR分析後的初始場預報得到的預報後期颱風路徑比較偏最佳路徑右側，使用EAKF分析後的預報颱風路徑則偏向最佳路徑的左側。11個DA預報週期平均路徑預報誤差圖(圖7)中可清楚看到除了初始時間GPSe誤差較大外，在預報前48小時內，使用EAKF資料同化系統無論是同化GTS或GTS加GPSRO資料，都比3DVAR好。

（二）降雨預報結果

將8月6日00Z至8月8日12Z間觀測24小時累積降水預報極值最大(1367mm)的8/8 06Z-8/9 06Z累積降水圖(圖8)與四組實驗的預報降水結果比較，發現使用3DVAR的GTS和GPS(圖9和圖10)， 從8/8 06Z開始預報24小時累積降水圖(圖9i及圖10i)可看出3DVAR同化系統仍在spin up造成此DA周期預報的累積降水分布很像，但值偏低，分別為674mm、658mm。而由圖9(g)和圖10(g)看出使用3DVAR時兩組實驗可以提前12小時就預報出與觀測8/8 06Z-8/9 06Z相似的累積降水分布，GPS預報的累積降水強度比較接近觀測，而GTS在臺中的位置會預報出與實際降水分布不符的降水大值。使用EAKF同化系統下，GPSe和GTSe可提早30小時(圖11d、圖12d)就預報出臺灣西南部強降水的情形，除了在中部地區也有一個極值外，降水分布已開始有實際觀測降水分布的雛形，因此可明顯看到EAKF的預報能力比3DVAR好，EAKF可以比3DVAR更早預報到與實際觀測相似的累積降水分布及降水強度。

由前面討論知道GPS和GPSe的颱風路徑和降水預報通常較好，因此探討8/6 00Z資料同化週期中，颱風侵臺期間對本島的降水分布和強度的影響。圖13可以看出GPS和GPSe預報的颱風登陸位置都比最佳觀測北邊，但GPSe的路徑誤差較小，GPSe颱風出海位置和最佳路徑相當接

近。由於GPSe颱風位置偏南，在臺灣西側約23.5N處有明顯的北風轉西風風向改變的情形，而GPS颱風中心位置偏北，臺灣西側北風分量較小，與西南風輻合的區域較小(圖14)，真實分析場和GPSe的輻合區域範圍很廣，而GPS的南北風分量較小，主要都是西風分量，故由三小時累積降水時間序列圖(圖15)中可以看到在緯度23度使用3DVAR同化系統累積降水都只發生在受到地形抬升造成的山區降水，海面上的輻合和降水都很少，而EAKF則在外海和陸地區域從8月7日00Z開始就有明顯的輻合降水和地形抬升所造成的降水，將兩組實驗登陸前和出海後的預報降水累積起來後(圖16(b)(c))與真實累積降水(圖16a)比較可以發現GPSe在臺灣西南部地區及山區降水的分布與真實降水分布相似，可預報到雲嘉南地區強降水的情形而GPS預報的累積降水則是低估的，因此可知道GPSe所預報的颱風路徑誤差比較小，有較好的風場及颱風強度預報，較明顯的南風和北風分量使得西南部的輻合較為顯著，造成較多的降水及且與觀測較一致的降水分布。

四、同化GPSRO對颱風環境場及環流的影響

颱風的移動速度與路徑會受到內、外力影響而改變，尤其是颱風的駛流場，在此節本研究將討論莫拉克颱風所處的環境場在使用不同的同化系統同化GPSRO資料後的差異。先將原始場拆開變成颱風的環境場E和渦旋部分(Kurihara et al. 1993)。

將GPSRO資料對環境和颱風環流的重力位高度場、溫度場、濕度場、風場的改變量取850hPa、500hPa、200hPa各層的平均(表3)發現，GPSRO在3DVAR同化系統下對環境場和颱風環流的改變量數量級都差不多，在EAKF同化系統時，對颱風環流的改變比對環境的改變數量級通常超為2~3倍或甚至更多。表3中同化GPSRO對不同同化系統環境場的改變量可以看出使用EAKF對環境場的改變大部分都比3DVAR稍微大了一些，而由11個DA預報週期的分析及預報場與EC分析場比較知道使用EAKF同化系統的RMSE比使用3DVAR大(圖17)，可知EAKF對環境場大部分修正都過多或太少。而比較不同同化系統下颱風環流改善的程度會發現EAKF在同化GPSRO對颱風環流的改變量數量級明顯大於3DVAR，幾乎都是五倍以上，由之前的討論知道同化GPSRO觀測對預報是有正面的影響，因此可看出雖然GPSRO在環境場不同高度有著利於和不利於颱風的改變量，整體來說，利用3DVAR同化GPSRO對颱風環流和環境場是有正的改善，但改善量很小，而使用EAKF同化系統下除了溫度場和風場，大部分氣象場會因為同化GPSRO對環境場有負的作用，不過GPSRO對颱風環流貢獻較大，對颱風環流的重力位高度、濕度和風場都有正面的改善，造成EAKF預報的颱風雖然處於不利發展的環境，但颱風結構夠強，颱風路徑預報、降水及颱風結構都比3DVAR好。

由深層大氣的駛流(圖18)知道EAKF預報的颱風移速比較快是因為有較強的東風駛流，而3DVAR預報的颱風路徑通常在最佳路徑的右側、EAKF在最佳路徑的左側，原因是因為3DVAR的東風駛流較快減弱，且南風增強，造成颱風較快往北移，預報路徑就在最佳路徑的右側，EAKF則是駛引的東風維持較久，把颱風往西帶後再北轉，因此得到的預報路徑就在最佳路徑左側。

五、結論

本研究利用3DVAR和EAKF兩種資料同化技術，探討FORMOSAT-3 GPS RO資料在不同資料同化系統下對莫拉克颱風路徑與降水預報的影響並討論同化GPSRO在 WRF 3DVAR與EAKF的效益及對環境場造成的差異。

從11個DA預報周期的平均路徑誤差顯示GPS在預報前24小時的平均路徑誤差比GTS小，EAKF在預報36小時的路徑誤差最小，在預報48小時內的平均路徑預報使用EAKF無論有無同化GPSRO觀測都比3DVAR好。將11個DA預報週期的重力位高度、溫度、濕度和風場與觀測的分析場比較發現使用EAKF同化系統的RMSE比使用3DVAR大，且四組實驗的誤差都會隨時間增加而變大，除了濕度場，大部分氣象變數場多同化了GPSRO觀測後均方根誤差會變大，可能原

因為GPSRO觀測資料太少，修正量太小或是負的，造成和真實大氣差很多。比較預報降水與觀測8/8 06Z-8/9 06Z 24小時累積降水，發現GPS和GTS能提早12小時預報到臺灣西南部強降水，而EAKF的預報能力更好，可以提早30小時預報到西南部降水強度。

比較8/6 00Z預報週期GPS和GPSe預報的颱風在侵襲臺灣造成臺灣西南部強降水情形可看到由於GPS預報的颱風路徑誤差較大且偏北，讓臺灣西南部地區主要為西風、輻合較小，造成GPS只在地形抬升時才有降水，而GPSe在臺灣西南部地區有很強的偏北風和西南風作用，在外海地區就開始有很強的垂直上升速度及輻合區，讓西南部不只有地形抬升降水也有輻合降水，因此預報的累積降水分布及強度與實際降水位置較一致。

由850hPa、500hPa、200hPa各層重力位高度、溫度、濕度和風場的平均看到同化GPSRO對3DVAR環境和颱風的環流改變量級數差不多，使用EAKF同化系統時，GPSRO增量大部分都是貢獻在颱風環流，對颱風結構有正的作用，因此雖處於較不利的環境仍能預報得到較小的路徑誤差、較好的降水預報及颱風結構。由深層大氣的駛流知道3DVAR預報的颱風路徑通常在最佳路徑的右側、EAKF在最佳路徑的左側，原因為3DVAR的東風駛流較快減弱，且南風增強，造成颱風較快往北移，EAKF則是駛引的東風維持較久，把颱風往西帶後再北轉，因此得到的預報路徑就在最佳路徑左側。

參考文獻

吳家苓，2008：FORMOSAT-3 GPS RO 觀測資□之校驗及其對東亞地區梅雨季天氣分析與預報之系統性影響。國立中央大學，大氣物理研究所，碩士論文。

林昀瑱，劉輝，馮欽賜，「SoWMEX實驗EAKF系集資料同化系統初步分析」，中央氣象局天氣分析與預報研討會暨美華海洋大氣學會第五屆國際海洋大氣研討會，203-208頁，交通部中央氣象局，臺北市，2010年，6月。

Barker, D., W. Huang, Y.-R. Guo, A. J. Bourgeois,and Q. N. Xiao, 2004: A three-dimensional variational data assimilation system for MM5: Implementation and initial results. Mon. Wea. Rev., 132, 897–914.

Evensen, G., 1994: Sequential data assimilation with a nonlinear quasi-geostrophic model using Monte Carlo methods to forecast error statics. J. Geophys. Res., 99, 10,143-10,162.

Huang, C.-Y., Y.-H. Kuo, and S.-H. Chen, 2005: Improvements on Typhoon Forecast with Assimilated GPS Occultation Refractivity. Weather and Forecasting, 20, 931–953.

Kuo, Y.-H., T.-K. Wee, S. Sokolovskiy, C. Rocken, W. Schreiner, D. Hunt, and R. A. Anthes, 2004: Inversion and error estimation of GPS radio occultation data. J. Meteor. Soc. Japan, 82 , 507-531.

Kuo Y.-H., H. Liu, Y. R. Guo, C. T. Terng, and Y. T. Lin, 2009:Impact of FORMOSAT-3/COSMIC Data on Typhoon and Mei-yu Prediction, Recent Progress in Atmospheric Sciences: Applications to the Asia-Pacific Region,Editors: K.N. Liou, M.D. Chou, and H.H. Hsu, World Scientific Press, pp.458-483.

Ware, R., M. Exner, D. Feng, M. Gorbunov, K. Hardy, B. Herman, Y.-H. Kuo, T. Meehan, W. Melbourne, C. Rocken, W. Schreiner, S. Sokolovskiy, F. Solheim, X. Zou, R. A. Anthes, S. Businger, and K. Trenberth, 1996: GPS sounding of the atmosphere from low earth orbit: Preliminary results. Bull. Amer. Meteor. Soc., 77, 19–40.

Zou, X., Y.-H. Kuo, and Y.-R. Guo, 1995: Assimilation of atmospheric radio refractivity using a nonhydrostatic adjoint model. Mon. Wea. Rev., 123, 2229-2249.

表1 實驗設計名稱

Experiments	DA schemes	Assimilated data
GTS	3DVAR	the conventional data from CWB
GPS	3DVAR	FORMOSAT-3 GPS RO
GTSe	EAKF	the conventional data from CWB
GPSe	EAKF	FORMOSAT-3 GPS RO

表2 每個資料同化週期初始時間GPSRO資料的觀測點數，為涵蓋初始時間前後3 小時的資料，表中也有距離當時實際颱風中心位置500公里以內、500公里至1000公里及大於1000公里的GPS RO觀測點數。

GPS RO number	ALL	≤500km	500-1000km	>1000km
08/06 00Z	6	1	0	5
08/06 06Z	11	0	2	9
08/06 12Z	12	0	2	10
08/06 18Z	16	0	2	14
08/07 00Z	6	0	0	6
08/07 06Z	5	0	1	4
08/07 12Z	12	0	0	12
08/07 18Z	16	1	0	15
08/08 00Z	12	0	2	10
08/08 06Z	5	0	1	4
08/08 12Z	9	1	1	7

表3 分析增量的GPSRO分量對環境場和颱風環流的改變量。

		850		500		200	
		3DVAR	EAKF	3DVAR	EAKF	3DVAR	EAKF
環境場	H	0.4060	-0.6047	0.2266	3.3023	0.5169	0.3061
	T	0.0024	0.0650	-0.0278	0.1841	-0.0371	-0.2461
	RH	0.5695	-0.2801	1.3335	-0.3369	0.8762	0.9179
	U	0.0025	-0.0284	-0.0058	-0.0090	-0.0295	-0.0007
	V	0.0076	-0.0164	0.0108	0.0153	-0.0164	-0.0009
	wspd	0.0139	0.0208	0.0167	-0.0275	0.0227	-0.0007
颱風環流	H	-0.6802	1.3539	0.1698	-9.8738	0.3486	-1.1061
	T	0.0002	-0.2537	0.0851	-0.5778	0.0973	0.8456
	RH	0.1091	0.9646	-1.2452	0.8623	-4.4070	-3.3908
	U	0.0111	-0.0149	0.0076	-0.3674	-0.0026	0.0165
	V	-0.0046	0.0262	-0.0067	-0.0441	0.0008	0.0057
	wspd	0.0140	-0.0357	0.0116	0.3340	-0.0053	0.0068

圖1 本研究模式設定的單層巢狀網格，水平網格點數為301x253，網格間距為15km。

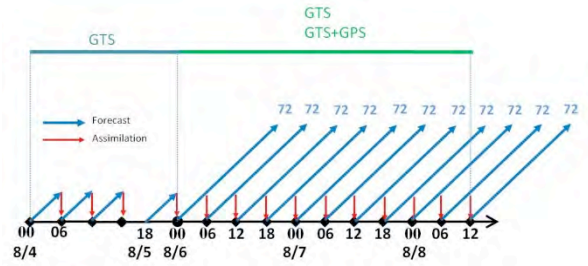


圖2　本研究實驗設計概念圖，藍色箭頭為預報，紅色箭頭為作資料同化。

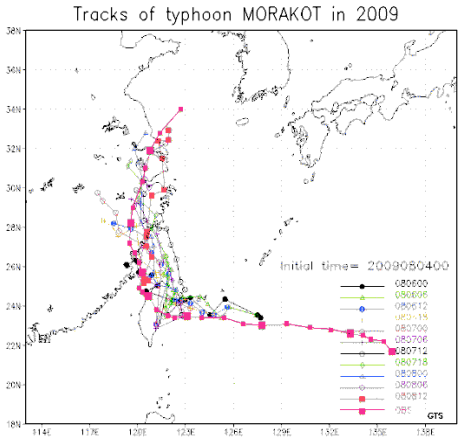


圖3　8/6 00Z-8/8 12Z(共11個資料同化週期)每個3DVAR資料同化週期的72小時颱風路徑預報及颱風最佳路徑圖，圖中每個點間隔為6小時，洋紅色線為從8/4 00Z 開始的颱風最佳路徑，其餘為經3DVAR同化GTS資料後每個同化週期72小時得颱風預報路徑。

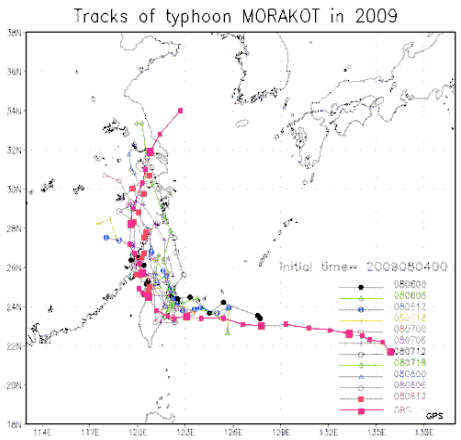


圖4　圖說同圖3，除了最佳觀測路徑外，其餘為經3DVAR同化GPS RO和GTS資料後每個同化週期72小時得颱風預報路徑。

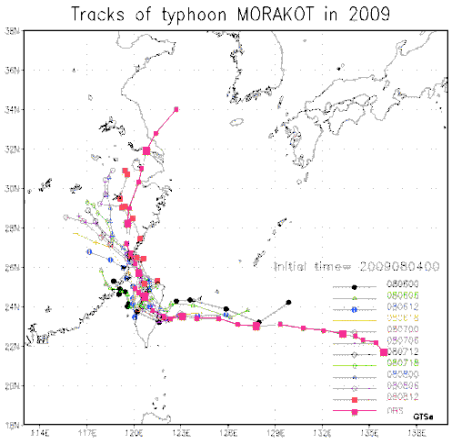


圖5　同圖3，除了同化系統為WRF　EAKF。

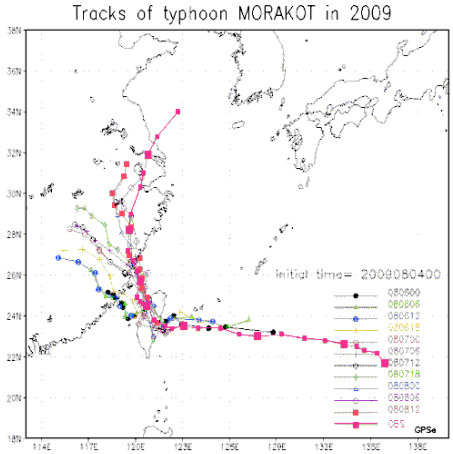


圖6　同圖4，除了同化系統為WRF　EAKF。

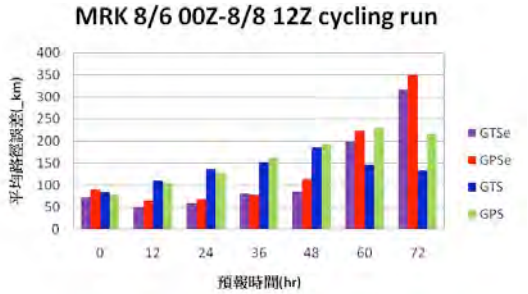


圖7　8/6 00Z-8/8 12Z每隔十二小時平均11個資料同化週期的颱風預報路徑誤差圖。

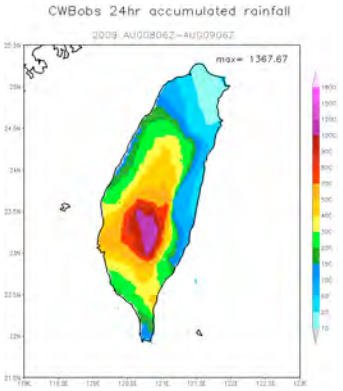


圖8　2009年8月6日06Z至8月9日06Z 24小時實際觀測累積降水圖，圖中右上角max為24小時累積降水極大值。

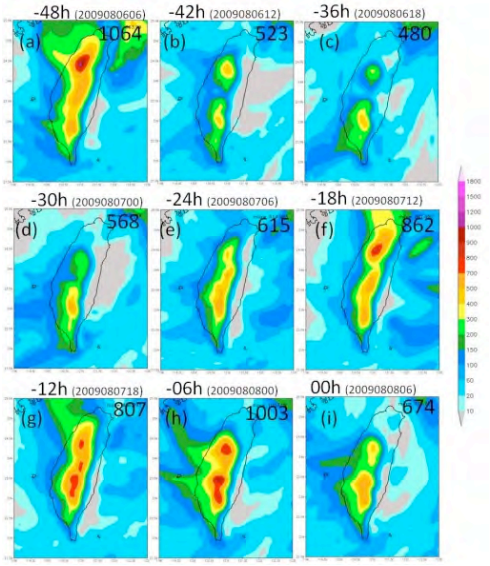


圖9　利用3DVAR同化GTS的11個資料同化週期中有預報到2009年8月8日06Z至8月9日06Z 24小時累積降水的圖，初始時間為(a)8/6 06Z (b)8/6 12Z (c)8/6 18Z (d)8/7 00Z (e)8/7 06Z (f)8/7 12Z (g)8/7 18Z (h)8/8 00Z (i)8/8 06Z，右上角的值為累積降水極大值。

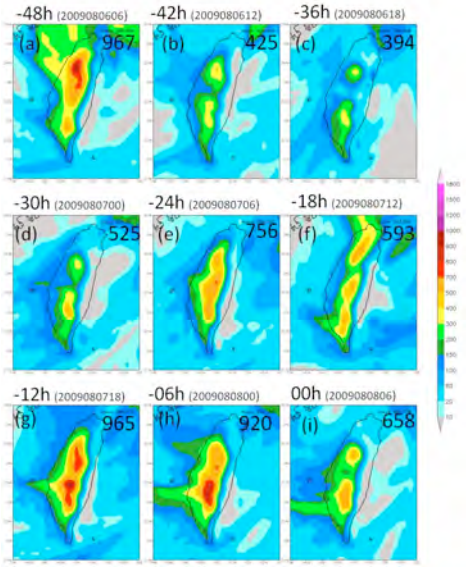


圖10　同圖9，除同化資料為GPSRO和GTS。

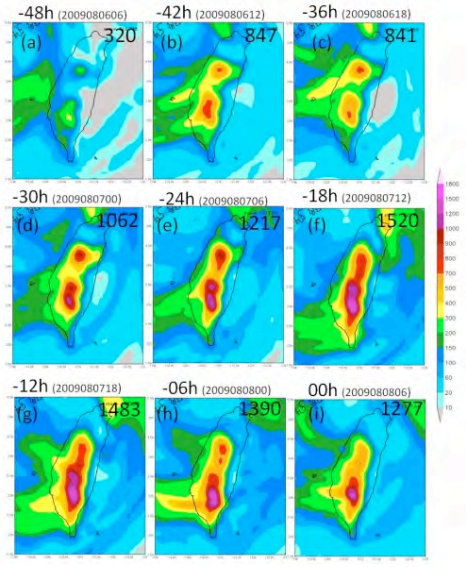


圖11　同圖9，除同化系統為EAKF。

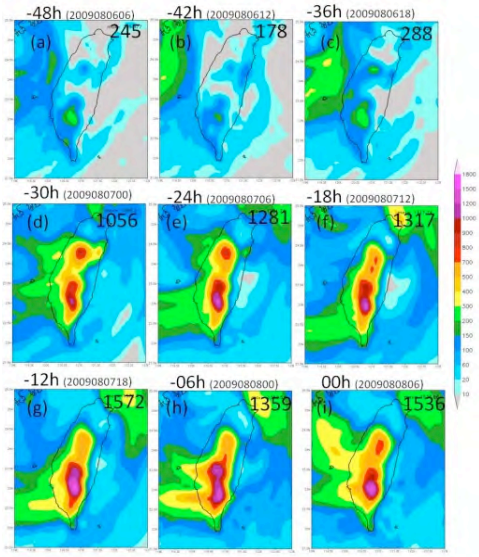


圖12　同圖10，除同化系統為EAKF。

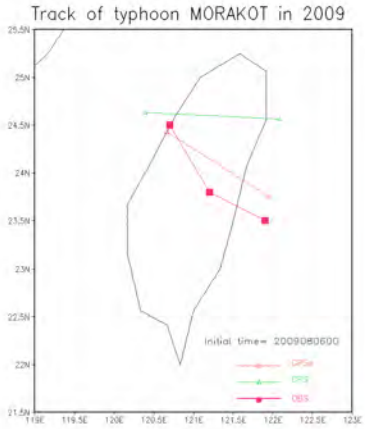


圖13　8/6 00Z資料同化預報週期中颱風登陸前和出海後的位置圖，紅色線為GPSe，綠色線為GPS，洋紅色線為最佳路徑。

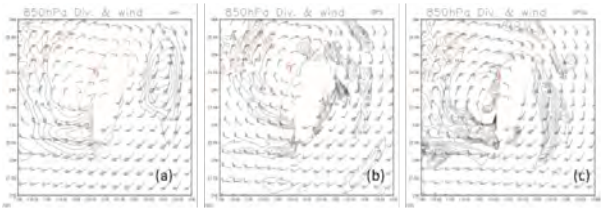


圖14　颱風出海後的輻合輻散場及10公尺風場，(a)為分析場、(b)GPS的預報場(c) GPSe的預報場，單位為10^{-5}1/s。

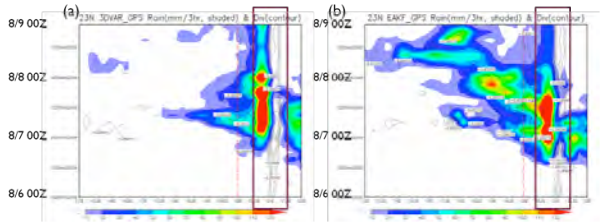


圖15　8/6 00Z資料同化預報週期從東經115度到122度、緯度23度，每三小時累積降水隨時間的變化。(a)為GPS，(b)為GPSe，圖中紅色虛線為海岸線。

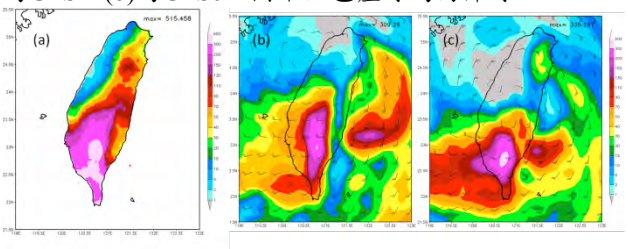


圖16　8/6 00Z資料同化預報週期颱風登陸前至出海後的累積降水圖(a) 實際觀測累積降水圖，(b)GPS預報的累積降水，(c)為GPSe預報的累積降水圖，圖中風標為颱風出海後10公尺風場。

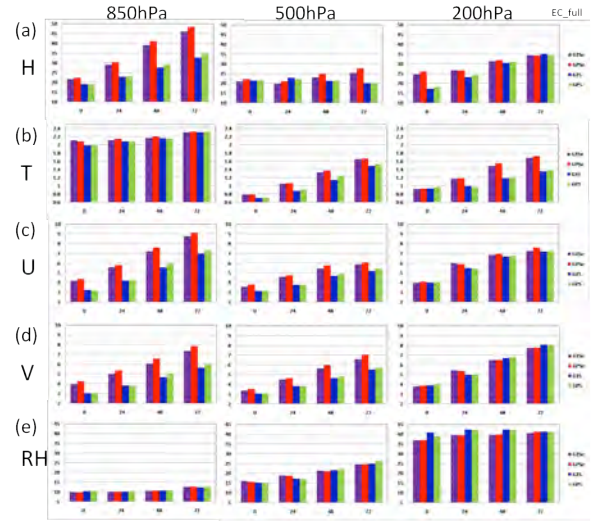


圖17　與EC分析場full domain校驗之平均11個資料同化週期高度場(H)、溫度場(T)、風場(U,V)和濕度場(QV) RMSE時間序列圖，由左而右分別為850hPa、500hPa和200hPa。

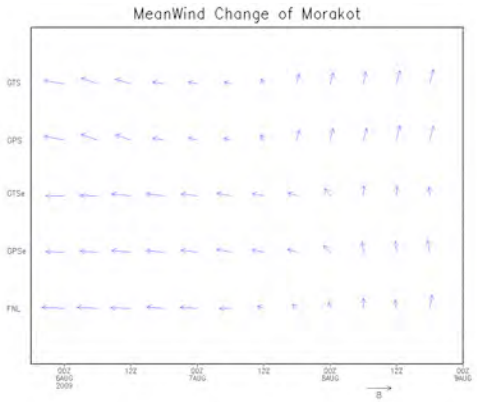


圖18　8/6 00Z資料同化預報週期莫拉克颱風每六小時風向風速之FNL分析場與四組實驗GTS、GPS、GTSe和GPSe於預報時間的駛流，箭頭方向與大小分別代表風向風速，單位為m/s。

臺北飛航情報區廣播式自動回報監視系統(ADS-B)現況

金炳宏
民用航空局

摘要

廣播式自動回報監視(Automatic Dependent Surveillance Broadcast, ADS-B)為一監視系統，它利用全球導航衛星系統(Global Navigation Satellite System, GNSS)、機載電子設備，以及地面基礎設施，以準確並快速交換航機和飛航管制單位間的訊息。

此系統已被國際民航組織(ICAO)認可為新一代飛航管理監視(Surveillance)技術發展方向之一，並認為其對降低飛航成本及提高飛航效益有所助益，包括：可提供更精確的航機位置資訊，提高航機駕駛員與管制人員間對於航情之體認、擴展航情監視範圍，縮減航管程序隔離、降低航機營運成本、提升飛行效率等。

美國聯邦航空署(Federal Aviation Administration, FAA)，亦將ADS-B納為NextGEN計畫之基石，並認為此科技最終將取代現行雷達，成為未來全球飛航管理之主要航情監視方案。

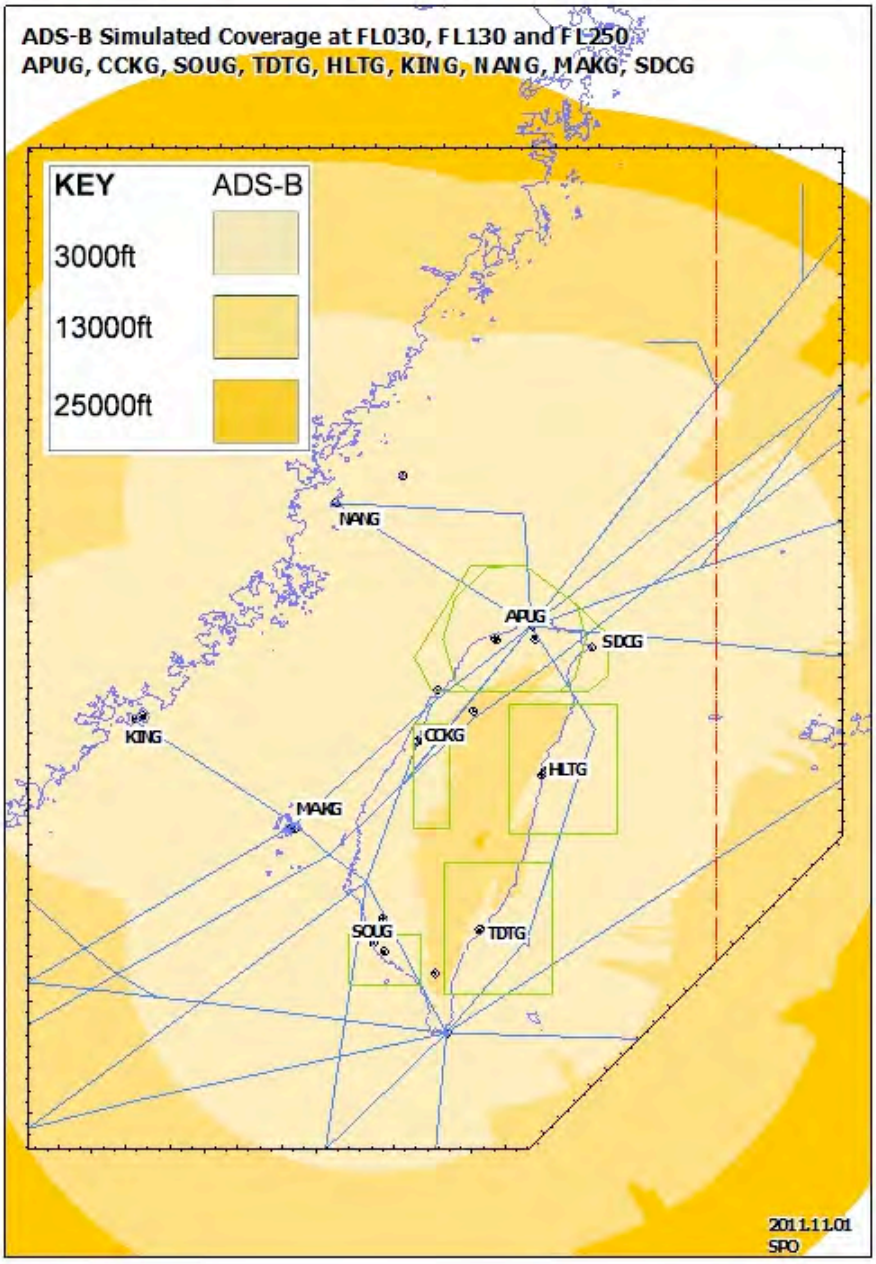
同時，世界各飛航情報區亦已開始對ADS-B之建置與運用進行規劃。民用航空局飛航服務總臺(以下簡稱總臺)針對臺北飛航情報區(以下簡稱本區)，新一代飛航監視服務涵蓋之需要，業已完成相當數量ADS-B站臺之設置，並即將於2012年12月起開始分區域逐步實施「ADS-B飛航監視服務」，期望未來本區可達成「全區、全空層」之ADS-B服務目標。

一、前言

為因應未來民航運輸成長之需求，突破傳統地面助導航設施架設之限制，並有效提昇飛航安全，交通部民用航空局推動「臺北飛航情報區通訊、導航、監視與飛航管理(CNS/ATM)發展建置計畫」，期藉由新一代科技與嶄新技術來有效改善飛航服務系統之效率與品質，並同時提升我國航空競爭力。

CNS/ATM計畫包含通訊、導航、監視與飛航管理四大子計畫；其中監視(S，Surveillance)子計畫，係建置廣播式自動回報監視(ADS-B)系統。依據該項子計畫，總臺業於2009年起建置ADS-B系統，並於大屯山頂、花蓮機場、臺東機場、臺中機場、高雄壽山及金門機場等6個地點架設ADS-B接收站臺。另為擴大ADS-B監視涵蓋範圍以及彌補前階段建置之監視缺口，於2011年中完成馬公機場、南竿機場及三貂角雷達站等3座ADS-B接收站臺之增設。

前述9座站臺之建置，經初步分析，涵蓋範圍可及於本區各主要航路，亦可涵括部分終端區域監視需求。例如：大屯山站臺可接收包括松山機場，甚或桃園機場場面未受地形/障礙物遮蔽區域，並裝設有ADS-B OUT機載裝備之航機動態。ADS-B之涵蓋分析如下圖：



二、 雷達系統

雷達能主動提供搜索、追蹤飛機的能力，為現階段飛航監視的主要系統。雷達裝備分為航路及終端雷達，提供初級和次級雷達訊號，經由數據鏈路傳送到區管中心及各近場臺，提供飛航管制作業使用。另外依據監視系統獲得航機資料(位置、距離、呼號等)的方式，可略分為1).獨立式(independent)監視；以及2).非獨立式(dependent)監視。

獨立式監視系統，可以自行經由解算取得航機資料，而無須航機配合發送。其中，初級搜索雷達(Primary Surveillance Radar; PSR)就是此類監視系統的最佳範例。初級搜索雷達(PSR)

僅需解算被本身發射電磁波所掃描到航機的「回音」，即可判斷該航機的位置及距離。因為無須航機配合偵測作業，故亦可稱為主動式監視系統。然而初級搜索雷達(PSR)仍有1.無法識別航機的身分(敵或友)；2.設備價購及後續維護的成本高昂；3.易受天氣及地形的影響，從而縮減其可用偵測範圍；以及4.對於低高度(如場面滑行)航機難以偵測等缺點。

非獨立式監視系統，須要航機配合設備之詢問提供航機資訊答覆，可以(或無須)經由解算取得航機資料。其中，次級搜索雷達(Secondary Surveillance Radar; SSR)可稱是此類監視系統的範例。次級搜索雷達(SSR)依靠航機回答雷達設備詢問之時間差，以判斷該航機的位置及距離，又因雙方詢答之內容，得以確認目標航機之身分(電碼)及高度。因為與航機互相密切配合，以達成偵測目的，故又可稱為互動式監視系統。次級搜索雷達雖可用電碼識別航機的身份，並有發射功率較初級搜索雷達低的優點，但卻也有與初級搜索雷達同樣地面臨1.地形影響；2.建置成本過高，無法全面設置的缺點，使得搜索雷達的運用受到了限制。

因為傳統的雷達監視系統存在上述的問題，所以新一代飛航監視系統必須朝向提高涵蓋範圍、降低建置成本、設置便利之方向發展，其中整合利用全球導航衛星系統(Global Navigation Satellite System, GNSS)以及數據通訊鏈路的自動回報監視系統(Automatic Dependent Surveillance, ADS)便因應而生。

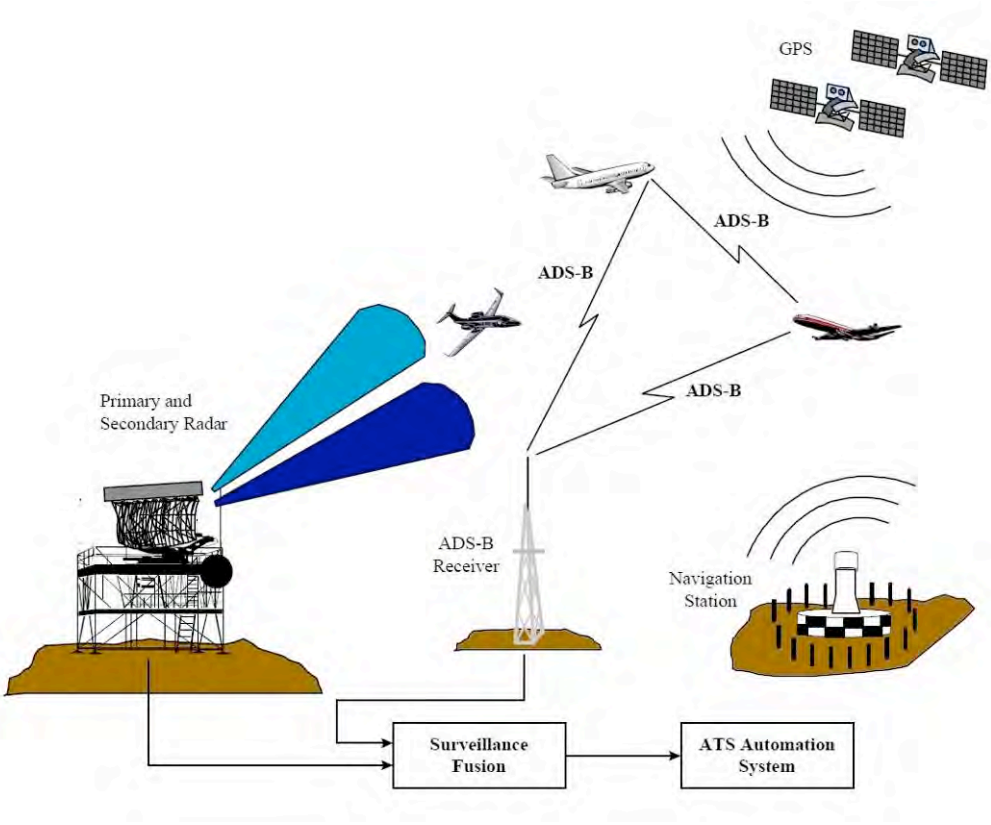
三、 ADS-B

自動回報監視(ADS)乃是指航機利用全球導航衛星系統(GNSS)計算航機位置、高度、航向、航速等相關資訊，並透過標準之數據通訊鏈路及格式來傳遞，提供航機動態資訊給所有的飛航管理單位。

自動回報監視系統又可分為：

‧定址式自動回報監視(ADS-Address)：航機利用全球導航衛星系統得知自己的位置之後，藉由已對航機定址(Addressing)之通訊衛星(SATCOM)或特高頻資料鏈路(VHF Datalink, VDL)，將自己的位置傳送到地面管制站。

‧廣播式自動回報監視(ADS-Broadcast)：ADS-B也是利用全球衛星導航系統及數據鏈路(1090ES)來廣播航機的識別、位置、高度、速度及方向等資訊，而且這些廣播資訊可由其他飛機或地面系統來加以接收及處理，可以用來改善各項航情狀況的察覺及達成防撞、監視與空域管理等各項目的。



（一）國際進展

由於ADS-B已無須像傳統雷達般，必須依賴轉動笨重的機械天線，來偵測航機所在位置之角度，亦無需發射高功率電磁波，來計算航機與電臺間距離。故單一ADS-B站臺之系統組件重量、體積以及消耗功率均可大幅減少，進而大幅降低設立單一ADS-B站臺之成本，從而使得全太陽能供電之遠端ADS-B站臺設立成為可行。亦因為ADS-B監視站臺成本低廉，於沙漠地區或大洋中群島區域設立全面航情監視網絡之構想可行。

下為亞太地區各國對其ADS-B施行策略之發展現況：

1、澳洲Air Services Australia

(1)高空層涵蓋計畫(Upper Airspace Project)已實施並作業中。

(2)運用5浬之ADS-B隔離。

(3)全澳洲大陸均在ADS-B涵蓋之下，包括澳洲自有之29座站臺及印尼的4座站臺。

2、美國FAA

(1)正進行全國800餘座ADS-B站臺之建置。

(2)為接引ADS-B訊號，正進行航管系統之升級，而下列地區系統已經完成升級：Houston Center、Houston TRACON、New York TRACON、Philadelphia TRACON。

3、大陸

(1)已建置下列站臺：

■於成都及九寨設置2座測試站臺。

■於成都至拉薩間之航路設置5座站臺。

■於三亞設置1座站臺。

(2)規劃於三亞地區再新增3座站臺。

4、香港

(1)建置1座站臺。

(2)已發布航空公報(AIC)，強制自2013年12月12日起飛航於L642及M771航路FL290以上之航空器應裝置ADS-B OUT機載裝備。

(3)已發布AIC，強制自2014年12月31日起飛航於香港FIR全區FL290以上之航空器應裝置ADS-B OUT機載裝備。

5、印尼

(1)已建置27座站臺，並與澳洲及新加坡簽訂協議，進行資訊分享。

(2)先於Makassar Air Traffic Service Center作為航情提示(Situational Awareness)使用，待航情提示階段完成後，提供隔離服務。

6、新加坡

(1)建置1座站臺。並分享來自印尼之訊號。

(2)於2011年第2季購買一套獨立ADS-B作業系統進行作業測試。

(3)預計2013年新ATM系統完成建置後得以處理ADS-B訊號。

(4)已發布AIC，強制自2013年12月12日起飛航於N891、 M753、L642、M771、L644及 N892航路FL290以上之航空器應裝置ADS-B OUT機載裝備。

（二）臺北飛航情報區

本區ADS-B實施策略依下列步驟研提：

1、確認本區運用ADS-B之需求重點

本區雷達涵蓋堪稱完整，因此航管作業對ADS-B之需求，可依近程、中程、遠程需求予以分類探討：

(1)近程需求

本區三貂角長程雷達對於B576航路SALMI點附近及B591航路KASKA點附近空域有涵蓋不足之情形，為提升安全，臺北區域管制中心對該區域使用ADS-B有較為迫切之需求。

(2)中程需求

ADS-B訊號與雷達訊號融合可提升監視目標位置之精準度，亦可作為次級雷達之替代裝備。本區僅有二座民用航路長程雷達，高高度空域若引用ADS-B訊號除可提升民用航路長程雷達訊號之精準度，並於本區二座民用航路長程雷達停工時發揮適當之備援功能，此一效益可設為中程之需求。

(3)遠程需求

ADS-B對於雷達低高度涵蓋受限制之區域，能提供相當助益之監視效果，然需所有航空器均裝設機載ADS-B OUT裝置，且另需依作業面需求評估增設ADS-B地面接收站臺；全區不限高度強制使用ADS-B於短期間內不僅尚難達成，且整

體效益仍不明確，惟可列為遠程之需求。

2、就實施ADS-B監視服務之區域方面，本區係參採香港及ICAO 南中國海ADS-B計畫模式，作如下之規劃：

(1)近程：飛航於本區B576及B591航路FL290以上航空器應裝置ADS-B OUT機載裝備，並於該特定區域提供ADS-B飛航(隔離)服務。

(2)中程：飛航於本區FL290以上航空器均應裝置ADS-B OUT機載裝備，並於該區域提供ADS-B飛航(隔離)服務。

(3)遠程：將視機載裝備普及性及是否具有明顯效益，再行考量。

3、有關ADS-B監視服務實施日期及機載裝備需求方面，本區規劃如下：

(1)近程：飛航於本區B576及B591航路FL290以上航空器應裝置ADS-B OUT機載裝備，日期為2013年12月12日。

(2)中程：飛航於本區FL290以上航空器均應裝置ADS-B OUT機載裝備，日期為2014年12月31日。

(3)有關航空器機載裝備規範部分：航空器若配置ADS-B Out機載設備，應符合EASA AMC 20-24或符合澳洲民航安全署民航規則20.18附錄XI設備配置標準，並取得認證。

四、結語

ADS-B已被國際民航組織(ICAO)認可為新一代飛航管理監視(Surveillance)技術發展方向之一，並認為其對降低飛航成本及提高飛航效益有所助益，包括：可提供更精確的航機位置資訊，提高航機駕駛員與管制人員間對於航情之體認、擴展航情監視範圍，縮減航管程序隔離、降低航機營運成本、提升飛行效率等。

美國聯邦航空署(Federal Aviation Administration, FAA)，亦將ADS-B設定為NextGEN計畫之基石，並認為此科技最終將取代現行雷達，成為未來全球飛航管理之主要航情監視方案。

民用航空局即將於2012年12月起開始分區域逐步實施「ADS-B飛航監視服務」，期望未來本區可達成「全區、全空層」之ADS-B飛航監視服務目標。

臺北飛航情報區因應ICAO新飛航計畫格式執行現況

陳俐伶
民用航空局飛航服務總臺

一、緣由

(一)飛航計畫:

航機執行飛行任務前，駕駛員或航空公司簽派人員必須於各飛航情報區管理單位規定之時間內交付「飛航計畫」，使飛航服務提供者及管理單位瞭解該班航機執行本次飛行任務之各項資料，俾利提供飛航服務。飛航計畫記載航空器識別、飛行種類、機型及數量、尾流等級、機載裝備及巡航能力、真空速、指定空層、起落目的地、航路及預計通過交管單位管轄區之最後位置報告點時間等相關訊息，這些訊息透過航管自動化系統的處理，得於該班航機起飛前送達沿途經過的每一個飛航服務單位，使各飛航服務單位預先得知相關資訊並據此提供適當之管制服務，因此，飛航計畫對管制作業具有相當之重要性。

(二)飛航計畫改版之原因:

為增進航機於航線上飛航的準確性以解決空域擁塞之問題並達到節省燃油之目的，衛星通訊、導航、監視(CNS)技術已為廣泛使用於現今航太工業，各空域管理者亦紛紛提出需衛星輔助定位導引飛行之航路，各航空公司業者為求航機能飛行於該等航路上，航機機載裝備亦配合置入相關設備，以提升航機之通訊及巡航能力。因應航機機載裝備的提升，現行飛航計畫使用之機載裝備代字無法用以涵蓋新一代的機載裝備，ICAO因此針對飛航計畫之機載裝備相關欄位代字進行更新，並 於2008年5月 27日發布PANS-ATM Doc. 4444 Amendment 1，俾能充分於飛航計畫完整顯示航機之通訊、監視及導航能力。

(三)ICAO建議之轉移策略及時程(即3階段方式):

因飛航計畫的改版將導致各飛航服務業者(ANSP)航管系統的報文處理受到影響，為使各飛航情報區飛航作業單位能在不影響航機飛行安全的前題下，將系統可處理的報文格式由現有格式改變為新格式，ICAO提出3階段報文格式轉移策略:

第一階段(2012/01/01~03/31):

各ANSP進行軟體修改及內部測試

第二階段(2012/04/01~06/30):

各ANSP間之報文測試

第三階段(2012/07/01~11/15):

各ANSP與航空公司進行測試，並於2012/11/15全面使用新格式

二、面臨之影響及挑戰

(一)各系統修改軟體

因新格式代字不為現行作業系統接受，修改系統軟體為不可避免且迫不及待之工作，惟修改之前，須先檢視可能受影響之相關系統，並針對不同系統逐一擬定軟體修改方式, 並規劃個別系統軟體測試、系統間之整合測試 ，以檢視處理機制是否能符合ICAO規範、產生之報文是否能相容於本區相關系統以及鄰區FIR之新軟體。

(二)人員作業方式改變

臺北飛航情報區處理ICAO報文的主要單位有臺北飛航情報中心及臺北航空通信中心，係依據現行ICAO格式進行對鄰區及航管系統的報文拍發及處理後，再由本區航管作業單位人員依據飛航計畫提供相關飛航管制服務, 前述3單位作業人員對於新格式代字及其意義必須相當熟稔，方能持續提供飛航服務；新飛航計畫格式的使用將對本區作業人員帶來的影響如下:

飛航情報中心(負責對外飛航計畫及相關ICAO ATS報文之派發):

需審核及派發航空公司提交之新格式飛航計畫，並在新格式與現有格式併行時期處理對外發送報文格式之轉換。

航空通信中心(負責本區飛航管理系統內部之ICAO ATS報文處理):

負責處理因報文格式不符而遭飛航管理系統剔除之ATS報文，使飛航管制員能於航機飛抵管轄空域前獲取飛行計畫。

飛航管制員:

需熟悉飛航管理系統新軟體介面，並處理因格式不符而遭系統剔除之AIDC報文。

有鑑於飛航計畫格式的改版對人員的作業方式產生相當程度的影響，相關的訓練亦需同步規劃。

(三)各FIR時程差異

ICAO僅規定新格式啟用日期為2012年11月15日，但對於各階段轉移日期並未定有確切的日期，以致於各飛航情報區開始接受新格式的日期不一致，例如：香港業於7月23日開始接受新格式、臺北業於8月23日開始接受新格式、日本預計於10月18日開始接受新格式，因各區啟用新格式的日期不同，各ANSP在發送報文時，就必須特別注意報文接受地是否能受理新格式報文。

三、本區因應方式

新飛航計畫格式的改變，將帶來系統面及作業面的影響，經本區審慎判斷前述影響層面後，擬定各項因應方式，力求2012年11月15日前，本區各項系統、內部及外部人員皆能做好準備，以順利轉移至新飛航計畫格式。以下分項說明各因應方式:

(一)系統軟體變更與驗測

本區受影響的系統有航管系統及情報系統，必須先行對此二系統進行軟體變更及驗測:

1、航管系統:

包括飛航管理系統(ATMS)、航管獨立備份系統(IBAS)，軟體變更及驗測方式如下:

(1)軟體修改:

ATMS:

由原廠修改軟體，新軟體可接受3種報文處理模式設定(Pre_Transition、Transition、Post_Transition)，以分別因應ICAO不同階段的轉移策略。

IBAS:

由本區航電人員自行研發前置處理器，將接收到的新格式報文先行於前置處理器轉存為現有格式報文後，再送至IBAS系統內；對於將由IBAS送出的現有格式報文，則經前置處理器於報文內加入新格式必備欄位後再送出。

(2)驗測之方式:

ATMS:

先就新軟體的報文處理功能進行測試，再與本區內部相關系統進行連線測試，確認內部系統間的運作正常後，再協調鄰區進行模擬報文交換測試；最後，為確認新軟體並無影響現行管制作業方式，亦需協調管制單位派員至測試系統進行作業擬真測試。

IBAS:

因IBAS對於報文的接收及傳送僅發生於本區內部系統之間, 無直接對外發送報文之需要，因此，僅需進行前置處理器測試，確認處理結果即可。

(3)時程及進度:

ATMS:

2012年1月進行軟體測試

2012年4月完成軟體驗收

2012年5~7月完成內部系統間的整合測試、與鄰區進行報文交換測試、作業擬真測試

IBAS:

預計2012年11月初完成前置處理器測試及內部系統整合測試

2、情報系統

主要負責飛航計畫、長期飛航計畫、ICAO飛航服務報文(ATS message)的發送，其軟體變更及驗測方式如下:

(1)軟體修改:

由原廠修改軟體，新軟體可接受3種報文處理模式設定(Present、New、New_only)，以分別因應ICAO不同階段的轉移策略。

(2)驗測方式

先就新軟體的報文處理功能進行測試，再與本區內部相關系統進行連線測試，確認內部系統間的運作正常後，再協調鄰區進行模擬報文交換測試。

(3)時程及進度

2012年4月進行軟體測試

2012年6、7月完成內部系統間的整合測試及與鄰區進行報文交換測試

(二)人員訓練

為使本區報文使用與處理單位之作業人員熟悉新格式及系統的改變，本區對於相關人員進行訓練，以下說明各類人員實施訓練之時程及方式:

1、飛航管制員

訓練目的主要著重於新機載裝備代字的介紹及系統使用介面的改變，如飛航計畫視窗的改變、機載裝備告警代字的改變，另外，亦宣導ICAO及本區各階段轉移時程，使管制員對於系統的改變能及早作準備。本區已於2012年7月完成對全體管制員(包括塔臺管制員、雷達管制員)之訓練。

2、報務員

因本區報務員需同時兼任飛航資料席之工作，訓練目的主要著重於新機載裝備代字的介紹及新格式填寫規則，使能順利處理被航管系統剔退之報文。本項訓練業於2012年8月執行完成。

3、航詢員

航詢員需負責報文的審核及拍發，新格式對其作業影響最大，因此，訓練目的除著重於新機載裝備代字的介紹及新格式填寫規則外，亦加強對AISS系統使用介面改變的介紹，例如: 線上發送新格式報文的方式等。本項訓練業於2012年5月執行完成。

4、系統維護人員

系統維護人員雖不是報文的使用者，然因其負維護系統運作正常之責，對於新飛航計畫格式之改變亦需有所認知，爰此，本區對系統維護人員亦施以相關訓練，

訓練目的除新機載裝備代字的介紹及新格式填寫規則外，主要著重於系統處理機制的改變。本項訓練業於2012年3月執行完成。

(三)相關公告之發布

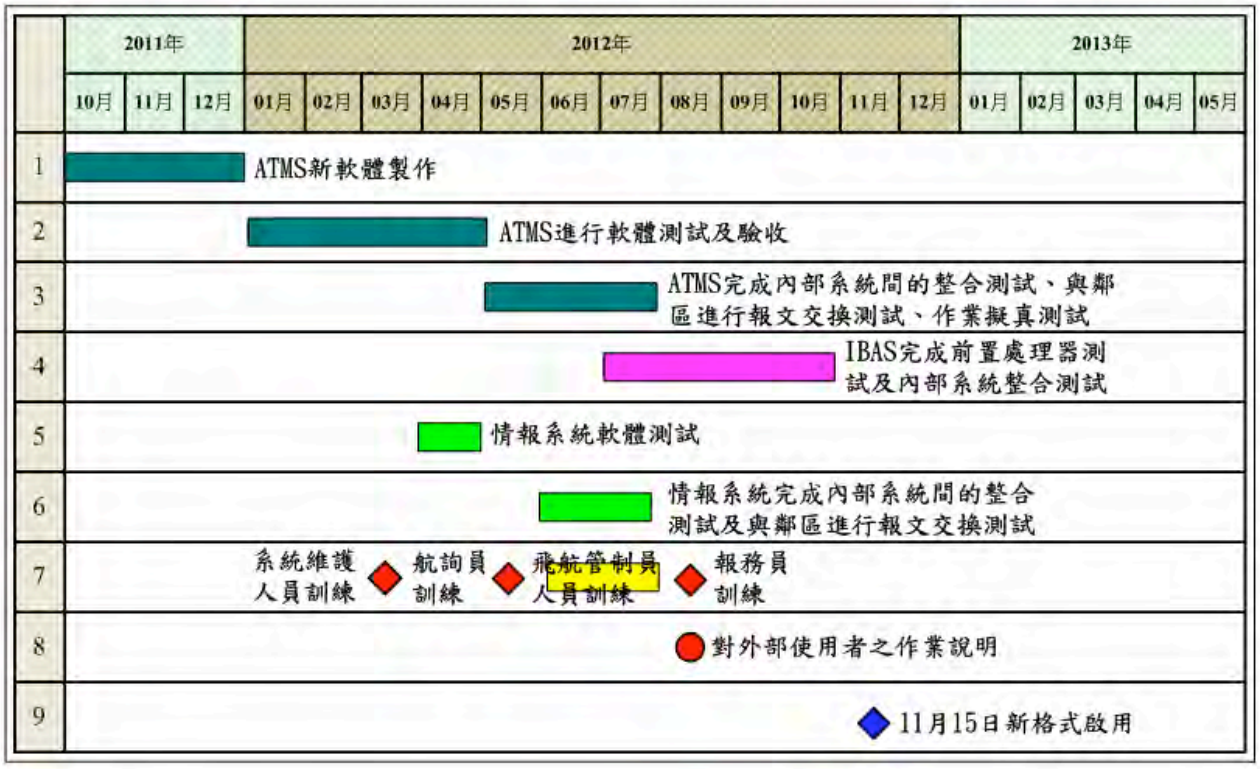
如前述，各FIR對於開始接受新格式的時間並不相同，為使相關空域使用者作業有所依循，各FIR對於新格式啟用日期皆以AIC之方式發布，本區亦於2012年7月19日對外發布本區新格式報文啟用之時程。

(四)對外部使用者之作業說明

為使航空公司填寫正確之新格式飛航計畫及瞭解本區的轉移策略，2012年8月臺北飛航情報中心特針對航空公司分梯次於臺北及高雄進行說明會，俾減少飛航計畫為系統剔退之機率。

四、時程規劃及執行進度

各項軟體修改、測試、訓練等事項之執行時程如圖示:



2012年臺北飛航情報區與鄰區AIDC作業介紹

劉志仁
飛航服務總臺

摘要

本文介紹2012年臺北飛航情報區（Taipei Flight Information Region，以下簡稱本區）新增之飛航服務單位間數據通訊作業(ATS Interfacility Data Communications 以下簡稱AIDC)進度及發展。

一、ICAO AIDC作業規劃說明

(一)ICAO亞太區域飛航服務單位間數據通訊介面控制文件{Asia/Pacific Regional Interface Control Document(ICD) ATS Interfacility Data Communications (AIDC)}目的是要確保在亞太地區裝置有供空中交通管理使用的自動化系統之單位間的數據資料交換能夠統一在一個共通的標準基礎之上，並且其演進發展能集中透過APANPIRG協調與導入，使空中交通服務於亞太地區以及其鄰近地區的飛航服務單位間的數據交換作業通知、協調以及管轄轉移作法一致。

(二)AIDC設計為使用於現役航空固定通訊網路(AFTN)以及未來的航空通訊網路(ATN)，目前使用文件版本為2007年9月APANPIRG/18決議採納之亞太地區AIDC ICD 3.0版。

(三)亞太地區AIDC的運用係基於通知、協調及交管三個階段逐步的資料發佈作業;

1、通知報文：例如ABI(Advance Boundary Information) 預先邊境資訊
(ABI-THA179-EGLL-15N0090E/0700F330-VTBD
-8/IS-9/B747/H-10/S/C-15/14N093W 13N097W YAY T-18/0)

2、協調報文：例如EST(coordination ESTimate)邊境預計資訊
CPL(Current flight Plan)現在飛行計畫
CDN(coordination)協調
MAC(coordination cancellation)取消協調
ACP(acceptance)
REJ(rejection)

3、交管報文：例如TOC(transfer of control)
AOC(assumption of control)

4、其他尚有一般資訊報文：例如EMG(emergency)緊急

5、應用管理報文：例如LAM(logical acknowledgement message)邏輯領知，LRM(logical rejection message)邏輯拒絕

6、監視資料傳遞服務報文：例如ADS(surveillance ADS-C)

二、相鄰區域AIDC建置規劃

(一)日本與韓國仁川

1、2010年2月開始

2、使用飛行資料處理伺服器(FDPS)，AIDC V1.0訊息溝通

3、邊境前15分鐘送CPL訊息，之後送EST，然後在邊境前5分鐘會送TOC給對方

(二)日本與美國安哥拉治以及奧克蘭

1、使用越洋航管資料處理系統(ODP)，AIDC V2.0溝通

2、前60分鐘送ABI訊息，邊境前33分鐘送CPL訊息，之後就開始雙方的協調(CDN、REJ、ACP、MAC) 不需要再使用語音溝通，協調、再協調都是透過AIDC。

(三)三亞與香港

1、由於三亞與香港AIDC設備及操作程序之差異，故雙方協議僅使用EST及ACP採行ICAO AIDC ICD V2.0格式傳送。

三、2012年本區新增之AIDC作業

(一)本區與日本

1、於2012.3.22與日本開始實施(包含福岡區管中心及那霸區管中心)

2、使用X.25專線

3、初期使用報文ABI、EST、ACP、LAM、LRM

(二)本區與香港

1、預計於2012年底前啟用

2、初期使用報文EST、ACP、LAM、LRM

3、EST傳送時機為16分鐘，ACP等待時間為4分鐘，交管訊息最晚傳送時間為9分鐘

4、AMHS Flight plan related messages received/sent-香港。

(三)本區與上海已於2012.8.14於宜蘭礁溪達成開始推動之共識。

四、AIDC於管制工作效益

(一)減輕人工傳遞交管訊息所產生之工作負荷，人力更能有效運用。

(二)交接管資料正確性增加，減少漏交管的比率。

(三)減少人為聽說讀寫的錯誤，增加安全效益。

五、AIDC之研議與展望

(一)因應兩岸逐漸增加的航班來往與上海、廣州ACC推動AIDC。

(二)規劃與馬尼拉ACC的ATS訊息傳遞方式。

(三)開發其他AIDC訊息於本區的適用性。

臺北飛航情報區航空固定通信服務(AFS)淺析

王世杰
民用航空局飛航服務總臺

一、前言

為因應全球資訊化發展，讓航空相關電報即時、準確傳送及交換至相關地區，臺北飛航情報區（以下簡稱本區）爰參照國際民航組織建議，並評估航空通信未來發展及營運成本，於2007年正式啟用飛航訊息處理系統(ATS Messages Handling System,AMHS)，推動及落實航空固定通信服務，以符飛航安全及為民服務所需。

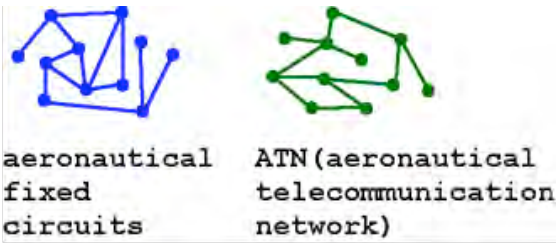
二、全球新技術典範(Paragidm)出現

由於1970年代電傳通訊與網路技術的發展，大大提昇了網路處理能力，透過共同的數位性語言，經由網際網路的應用，使資訊的產生、儲存、檢索、處理、傳送、交換更具穿透性(beyond all borders)全世界資訊化發展方式(informational mode of development)-資訊全球化，促成新的資訊技術典範(Paradigm)，並推動了網路社會的出現，並徹底改變全世界生產、消費、知識、文化、溝通及生活方式等。

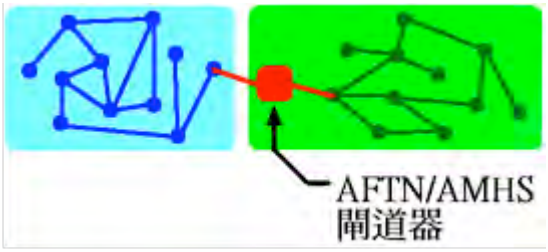
全球化(Globalization)讓人與人、社會與社會、地區間的溝通更形密切，咫尺天涯，全世界成為無疆界市場，無論資訊、知識、資本、科技、大眾傳播等皆透過網路快速流通。但在自由流動的網路年代裏，為了人類全體利益與公共安全，仍有必需加以分配與管理，規範(Regulation)與秩序(Order)仍是維繫人類社會發展不可或缺的因素。

三、航空固定通信服務(Aeronautical Fixed Service,AFS)

航空固定通信服務，係指在特定固定點間，主要為飛航安全與提供正常、有效、經濟之空中服務作業，更通俗的說，航空固定通信服務就是地對地間的數據通信服務。航空固定通信服務主要有二項，分別為航空固定通信網(Aeronautical Fixed Telecommunication Network, AFTN)與飛航訊息處理服務(Air Traffic Services Message Handling Services,ATSMHS)。上述二項服務是分別建構在不同的二個網路上，AFTN係建構在全球性的航空固定電路(Aeronautical Fixed Circuits,AFC)上運作；ATSMHS服務則在全球性的航空通信網(Aeronautical Telecommunication Network,ATN)上運作。



為了讓訊息在上述二個不同的網路之間互相流通，於是要有所謂的“AFTN/AMHS閘道器”(AFTN/AMHS gateway)作為二者之間溝通的橋樑。AFTN/AMHS閘道器屬於ATSMHS服務的一部分。



航空固定通信網(AFTN)是以實體線路相構連而成的通信網，臺北航空通信中心（以下簡稱通信中心）主要工作係負責本區所有飛航服務單位之航空電報的傳送與交換工作，通信中心就是本區的轉報中心(Center for the transmission of messages)，就像是郵局，簡單解讀航空通信的業務不外乎就是訊息的傳遞與交換，如以此種業務特性看待通信中心，報務員就像是郵差，將寄往不同地方郵件轉發至相關收信地址，目前在國內係透過AMHS系統，在國外則透過AFTN系統，進行電報的傳遞與交換。

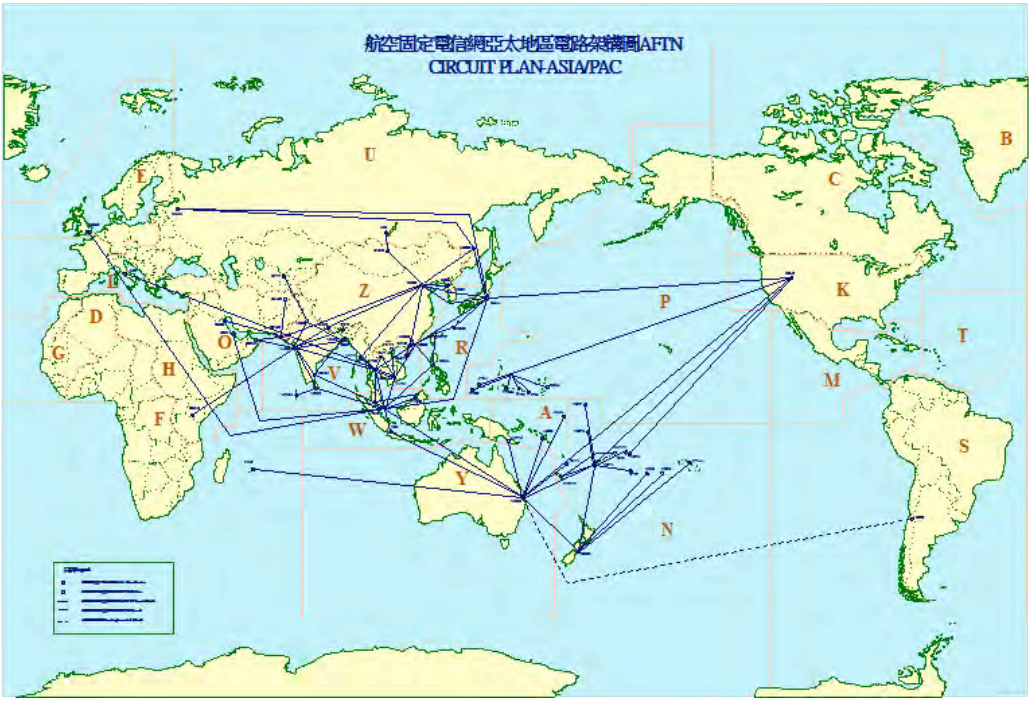


圖1: 全球航空固定通信網共分為22個轉報路由區(routing areas)

四、 建置飛航訊息處理系統(ATS Messages Handling System,AMHS)

本區為因應未來民航運輸成長之需求及有效提昇飛航安全，參考國際民航組織(International Civil Aviation Organization,ICAO)於1989年提出一套以衛星及數位化技術為基礎之通訊、導航、監視系統(Communication、Navigation、Surveillance,CNS)，來支援建立一個全球均通行適用的飛航管理(Air Traffic Management,ATM)機制，此一新系統可藉由先進的科技與嶄新的飛航程序，克服傳統飛航服務系統先天條件之限制，有效改善飛航服務系統效率與

品質並實現計畫擴展至全球，以獲致整體性的利益。飛航訊息處理系統(ATS Messages Handling System,AMHS)便是屬於通訊子計畫之一。

建置新航空通訊網路之目的，係為取代舊有之航空固定通信網路(AFTN)，使各發報單位能以一致標準相互連接及處理飛航服務訊息，以強化全球航空通訊網路之品質及效率，並提升飛航訊息處理之容量及效能。

本區於2005年完成飛航訊息處理系統(AMHS)建置，2007年正式上線使用該系統進行航空電報傳送與交換工作，本區為亞太地區第一個使用AMHS系統傳送航空電報之飛航情報區，對外則以飛航訊息處理系統國際經由橋接器(AMHS Bridge)連接日本、香港、菲律賓等相鄰飛航情報區之航空固定通訊網路，用以傳遞及交換國際間之飛航服務訊息。

五、 飛航訊息處理系統(ATS Messages Handling System,AMHS)架構

AMHS系統之主機硬體架構乃採用叢級（CLUSTER）架構控管，由二臺伺服器級電腦持續服務運作及主機監控，分別採取ACTIVE主機、STAND BY主機角色模式控管，若出現ACTIVE主機異常狀況，叢集系統會自動將系統服務切換至STAND BY主機，於最短時間完成服務主機角色互換，近百分之百保證系統服務不中斷、電報訊息資料不遺漏，穩定性佳及服務運作安全性高。

AMHS係以新式網路通訊技術與裝備將訊息以封包傳送，有效提升接收、儲存、處理速率及準確性，並轉發飛航動態、航空氣象、航機位置報告、飛航計畫及飛航公告等各類飛航訊息，使各發報單位能相互交換及傳遞飛航服務訊息，且於用戶未即時收取訊息時，可將訊息儲存於系統，用戶不會遺漏任何訊息。

圖2: 資料以封包方式傳送示意圖

AMHS為本區飛航作業單位如航空公司、軍方、機場公司、航空站、中央氣象局等，提供了即時且可靠之飛航訊息交換服務，大幅減少專線租用費用，並提升飛航訊息處理之容量及效能，也達成節能減碳的效果。

交通部民用航空局飛航服務總臺飛航訊息處理系統(AMHS)用戶架構圖

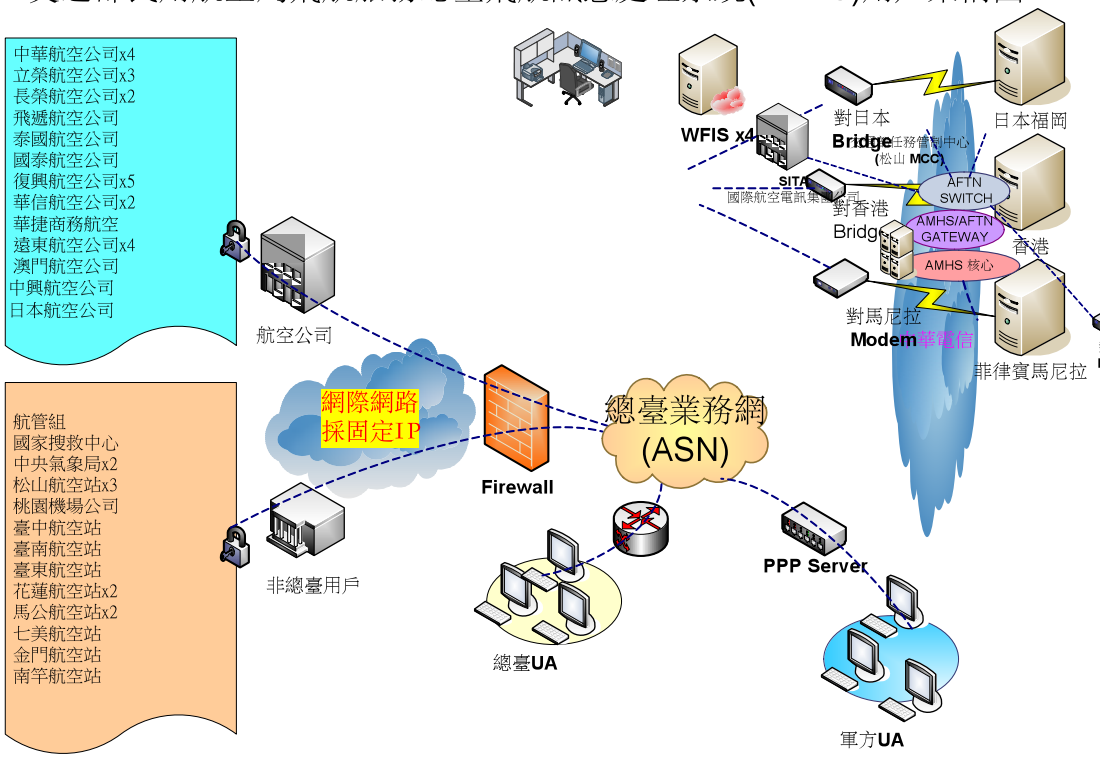


圖3: 飛航訊息處理系統(ATS Messages Handling System)用戶連線圖

六、結語

本區將視鄰區飛航訊息轉報系統建置及連線情況，與其進行測試與連線，並提昇系統功能，期以更穩定更友善人機介面提供各類航空電報傳送及交換工作，提供使用者更多選擇性及更多元化服務，從業人員也可藉由系統的功能改善， 強化人員管理資料的能力及提昇本區航空固定通信服務品質。

民用航空局飛航服務總臺已於100年1月1日正式成為民用飛航服務組織正式會員，CNS/ATM計畫也已完成，飛航服務管理系統(ATMS)正式啟用，開啟本區飛航服務新紀元。本著「飛航安全，世界一流」,「飛航服務，顧客滿意」目標，通信中心會在航空固定通信服務繼續努力，並參照國際規範及鄰區作法、要求同仁落實作業規定，確保飛航安全、提昇航空通信服務品質，朝顧客服務導向目標邁進。

西安咸阳机场2011年对流天气中高层垂直运动场初探

巩敏莹　靳英燕　崔竹囡　高 洁
民航西北空管局 陕西 西安 710082

摘要

本文通过对2011年西安咸阳国际机场所有雷暴日雷暴发生时间附近的NCEP1°×1°再分析资料的400hPa垂直速度场进行分析，发现雷暴发生时多对应中高层的上升气流区，或在发生前后由下沉气流区转变为上升气流区,但在高温高湿的盛夏季节则在中高层为下沉气流时仍可以爆发雷暴，研究认为中高层上升气流区有利于雷暴天气的发生,但低层的高温高湿条件和辐合运动条件优先于中高层垂直气流环境的作用,研究结果为雷暴天气的预报提供了新思路。

关键词：雷暴、垂直速度场、高温高湿

一、引言

雷暴天气是影响民航安全正常飞行的主要天气现象之一，较之冬季主要影响机场的大雾天气，夏季的雷暴天气对航路飞行影响巨大。由于雷暴云中常常伴有闪电、强烈的颠簸和积冰，不利于飞机的安全飞行，为了避免遭遇雷击、强烈的颠簸和积冰，飞机需要绕开雷暴云飞行，造成空管指挥程序复杂化,调配压力增大，飞行间隔加大，空域容量不足等情况，这对于非常脆弱的正常飞行链条会产生一系列影响，特别是在一些主要航路受到影响时会造成全国范围航班的不正常。而且雷暴天气同样对机场也会造成严重的影响，伴随雷暴出现的低云、低能见度、下击暴流、低空风切变等都对起降的飞机构成巨大威胁，雷电、冰雹、强风、强降水对机场设施设备会造成损坏。所以雷暴天气是民航重点研究的对象。

雷暴是由较强发展的对流云引发，经典理论认为雷暴的发生需要具备三个环境条件，一则低层有充沛的水汽，二则有大量的不稳定能量的累积，三则需要有抬升作用[1]。对于第一和第二条件，我们可以通过分析温度对数压力图来判断大气的温湿层结是否有利于对流的发生。而在温湿环境方面前人也做出了许多令人瞩目的研究成果，例如干暖盖的存在，会致使低层的不稳定能量得到大量的累积，从而在干暖盖受到破坏时引发雷暴天气[2]；但对于雷暴发生的动力条件由于大气运动的复杂性研究似乎更为困难，从天气系统方面来讲，冷锋、高空槽、切变线、低涡、台风等均能产生抬升运动，从而引发雷暴。研究认为雷暴发生时低层为辐合而高层为辐散的环境场有利于雷暴的发生[3]；环境风的垂直切变越强，越有利于对流的发生[4]。在实际工作中，笔者发现，雷暴天气表现非常复杂，K指数和沙氏指数在雷暴预报中有重要的指示作用，但雷暴的强度和落区与K指数和沙氏指数的对应关系有时也有异常；常规天气图表在预报中非常重要，反应了实际大气状况 但当天气尺度强迫较弱，细微的物理条件变化在常规高低空天气图上很难表达出来，预报员很难捕捉到影响雷暴发生发展的有利条件和触发机制；数值预报在近年来发挥了越来越重要的作用，对稳定性降水的预报效果较为理想，但对雷暴这种对物理条件非常敏感的对流天气而言，预报与实况仍有较大出入。所以由于雷暴天气影响巨大而精确预报非常困难，雷暴一直是航空气象研究的重点，在此方面还有许多的研究工作需要深入开展。

二、资料和方法

本文选取咸阳机场2011年雷暴过程的NCEP1°×1°再分析资料，使用客观分析的方法，对400hPa 的垂直速度场进行研究。题目中的“中高层垂直运动场”所指即为400hPa的垂直运动场（以下同），之所以选取该层作为研究对象，是因为笔者认为雷暴天气的发生与各个层次的环境场均有关系，以往的研究多侧重于低层，而对于中高层的研究还显欠缺，而400hPa高度在7000米左右，夏季其温度在-20℃左右，民航气象航站重要天气评分规则中CB云的评定标准为顶高为8000米以上的对流云，在以往的研究中也认为当云顶温度低于-20℃则出现雷电的可能性较大。所以笔者认为400hPa的物理量场对雷暴的研究也非常重要，对流云若能到发展到该层次，则出现雷电的可能性大。

三、2011年雷暴日介绍

2011年咸阳机场共出现雷暴日为11天，其中4月份发生1天，6月份发生2天，7月份发生4天，8月份发生4天，其中8月15日和16为一次雷暴过程，因跨1600UTC日界（以下时间均采用世界时UTC），记为两个雷暴日，实际雷暴过程为10次。2011年咸阳机场的雷暴出现时间、结束时间及持续时间见表1。

表1：2011年咸阳机场雷暴过程开始时间、结束时间、持续时间统计表

月日	4月16日	6月6日	6月9日	7月15日	7月17日	7月21日	7月28日	8月15日	8月25日	8月28日
发生时间	1408	0945	1832	1224	1200	2242	1239	1319	1011	2200
结束时间	1500	1018	2100	1400	1500	0100	1400	1800	1400	2300
持续时间	0.52	0.32	2.28	1.36	3.05	2.18	1.21	4.41	3.49	1.08

通过该表可以看出2011年咸阳机场雷暴多发生在夜间，平均持续时间在2小时左右，其中以8月15日持续时间最长，达到4小时41分钟，且观测记录该次雷暴过程伴随出现了29米/秒的地面阵风，是咸阳机场建场以来最大的雷暴大风。

四、中高空（400hPa）垂直速度场分析

第一次雷暴过程开始于2011年4月16日1408UTC，分析当日1200UTC 400hPa垂直速度场（见图1），可以看到河套东部为明显的上升气流区，咸阳机场位于上升气流区的南部。

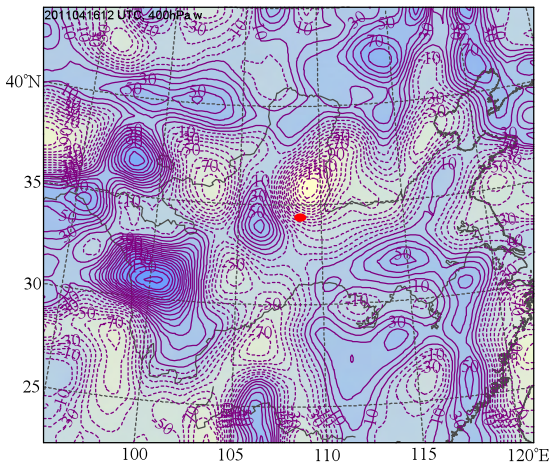
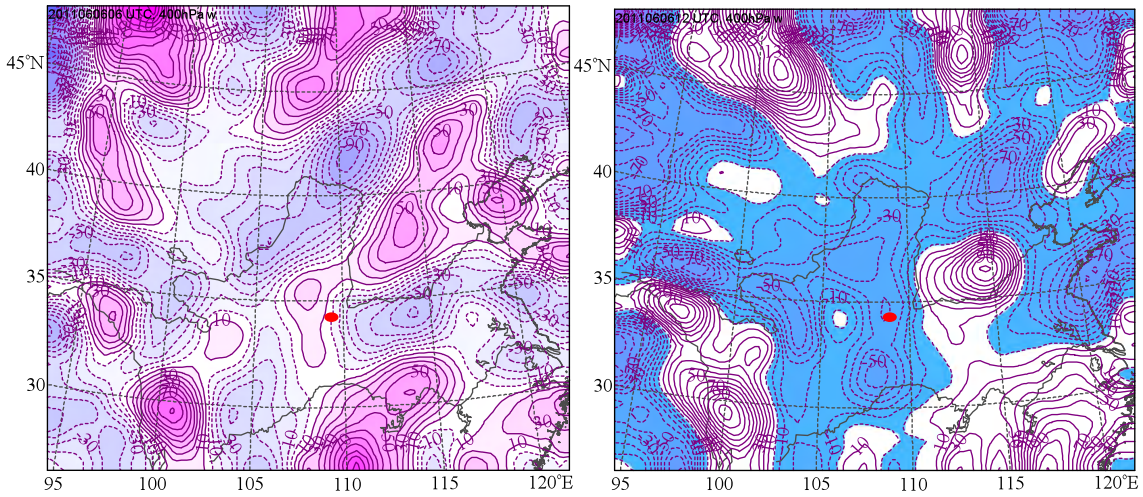


图1：2011年4月16日1200UTC 400hPa垂直速度场，（● 为咸阳机场位置，下同）

第二次雷暴过程开始于2011年6月6日0945UTC，分析当日0600UTC400hPa垂直速度场（见图2a），关中地区为下沉气流区。而到1200UTC时其400hPa垂直速度场（见图2b）表现为整个河套区域均转变为上升气流区，咸阳机场所处位置在关中的中部，0600UTC并未发生雷暴，而在0945至1018发生了雷暴天气，1200UTC400hPa垂直速度场已经由下沉气流区转变为上升气流区。



(a)　　(b)

图2：2011年6月6日400hPa垂直速度场，（a：0600UTC；b：1200UTC）

第三次雷暴过程开始于2011年6月9日1832UTC，分析当日1800UTC400hPa垂直速度场（见图3），同样可以看到在咸阳机场雷暴发生之时，河套区域为上升气流区，咸阳机场处于上升气流区的中心位置。

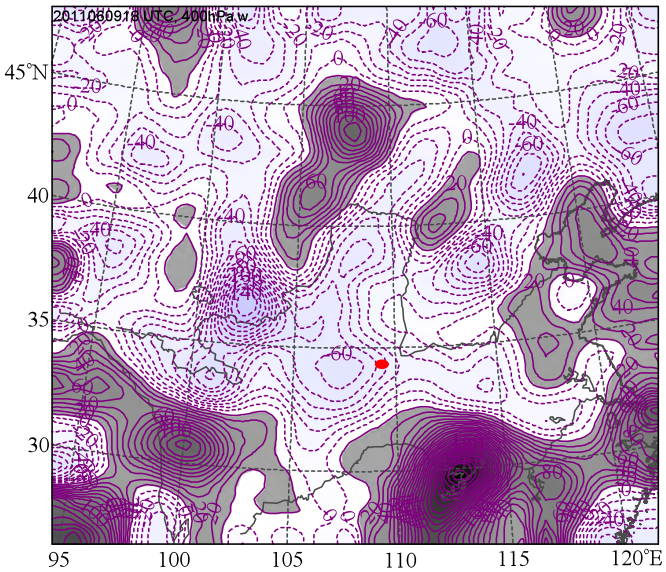


图3：2011年6月9日1800UTC 400hPa垂直速度场

第四次雷暴过程开始于2011年7月15日1224UTC，分析当日1200UTC400hPa垂直速度场（见图4），同样可以看到在咸阳机场雷暴发生之时，河套区域同样为上升气流区，咸阳机场正处于上升气流区中。

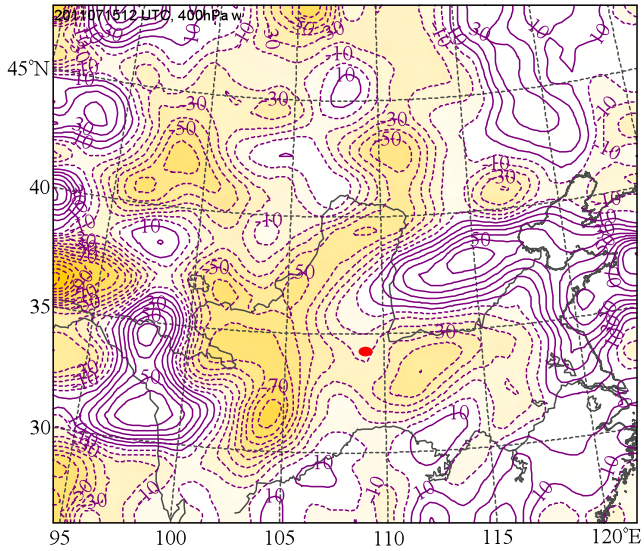


图4：2011年7月15日1800UTC 400hPa垂直速度场

第五次雷暴过程开始于2011年7月17日1200UTC，分析当日1200UTC400hPa垂直速度场（见图5），同样可以看到在咸阳机场雷暴发生之时，河套区域同样为上升气流区。咸阳机场正处于上升气流区中，但较弱。

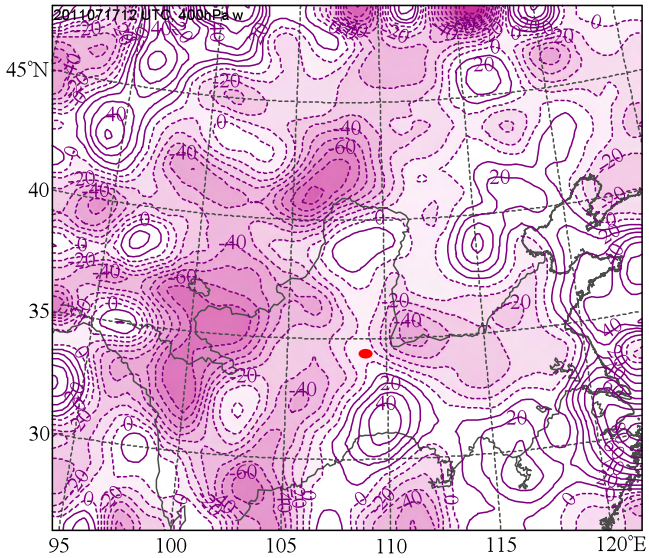
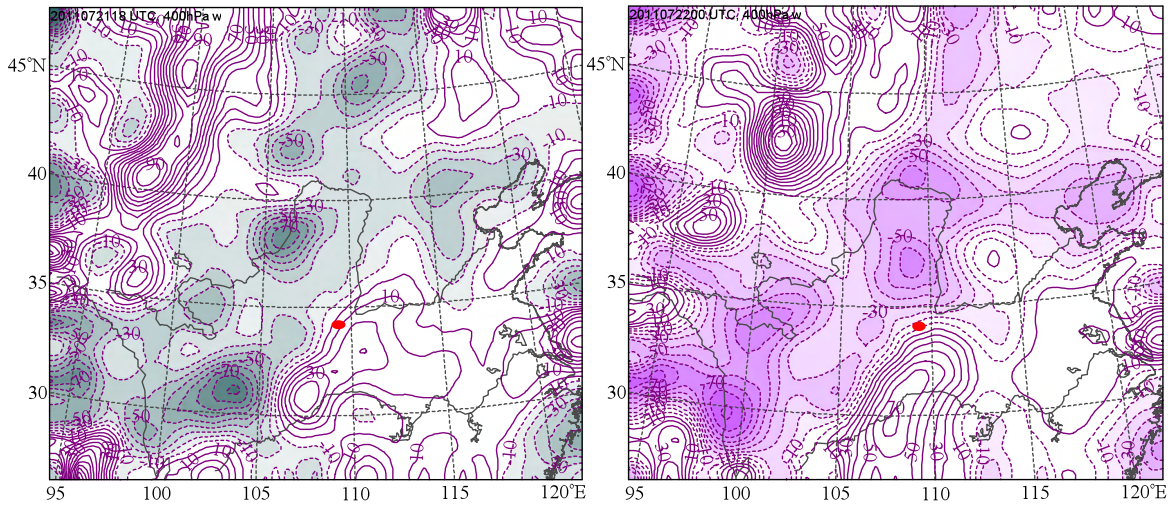


图5：2011年7月17日1800UTC 400hPa垂直速度场

第六次雷暴过程开始于2011年7月21日2242UTC至0100UTC，分析当日1800UTC400hPa垂直速度场（见图6a），河套中北部为上升气流区，中心位于河套西部，河套东南角为下称气流区，咸阳机场基本处于垂直速度0线附近；而到22日0000UTC400hPa垂直速度场（见图6b）河套大部转化为上升气流区，有一上升气流中心移至河套中部，咸阳机场中高空上升气流区有所加强。

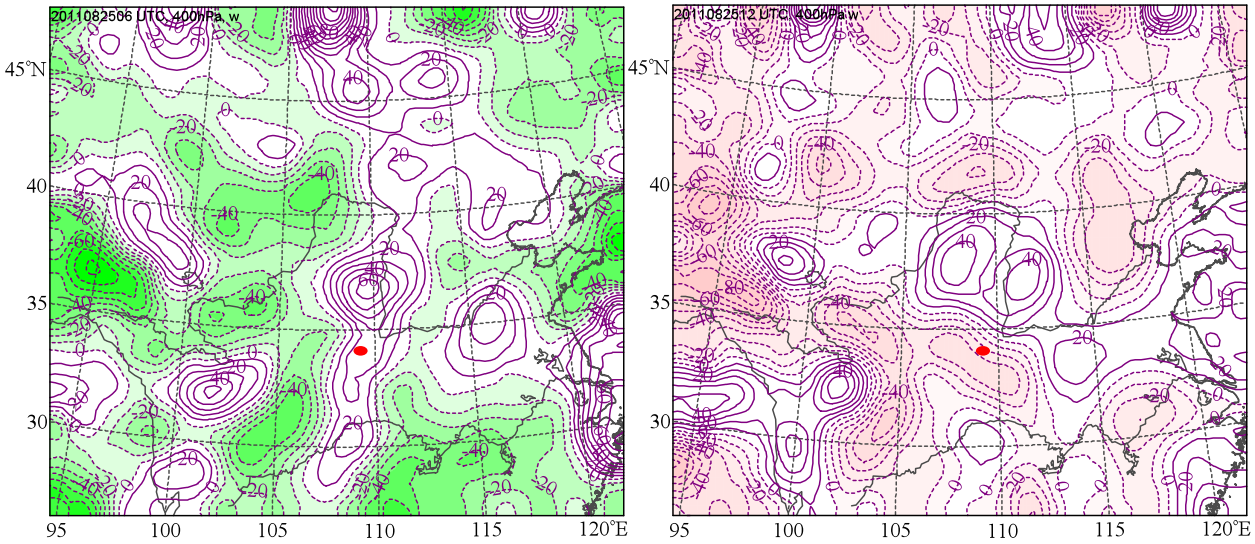


（a）　　（b）

图6 a：2011年7月21日1800UTC400hPa垂直速度场

图6 b：2011年7月22日0000UTC400hPa垂直速度场

第九次雷暴过程开始于2011年8月25日1011UTC至1400UTC，分析当日0600UTC 400hPa垂直速度场（见图7），同样可以看到在河套东部为下沉气流区，中心位于陕北南部到关中北部，咸阳机场处于中高层下沉气流区中；而至1200UTC河套北部仍为下沉气流区但强度减弱，陕南的上升气流区较六小时前向东向北扩展，咸阳机场处于上升气流区中。



（a）　　（b）

图7：2011年8月25日400hPa垂直速度场，（a：0600UTC；b：1200UTC）

第十次雷暴过程出现在2011年8月28日2200UTC至2300UTC，分析29日0000UTC400hPa垂直速度场（见图8），同样河套区域同样为上升气流区，咸阳机场正处于上升气流区中，但较弱。

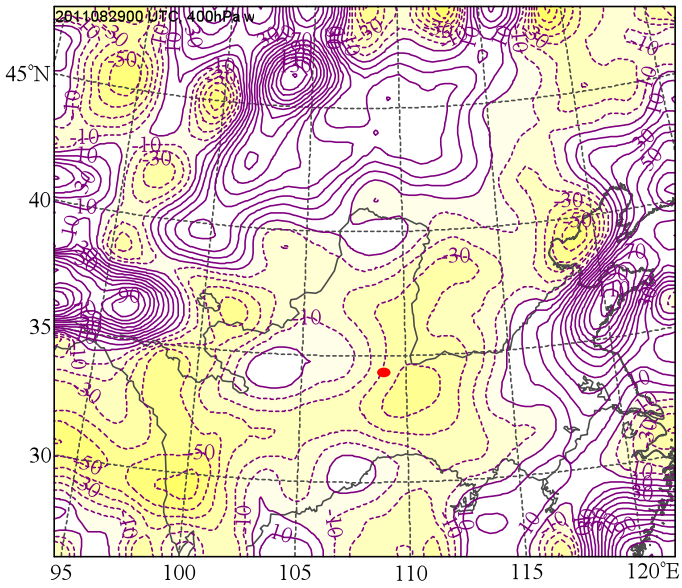
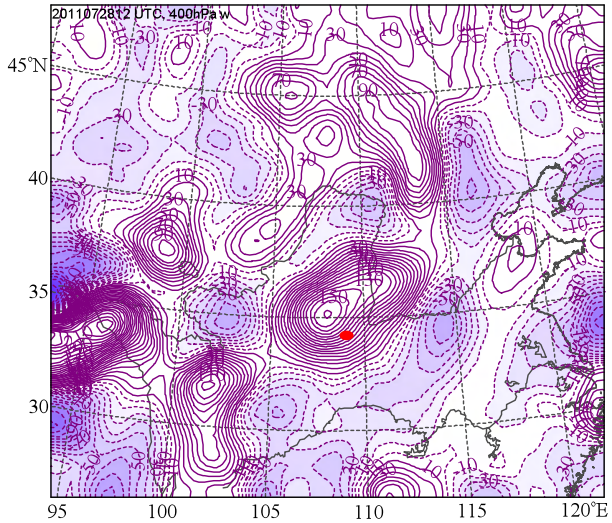


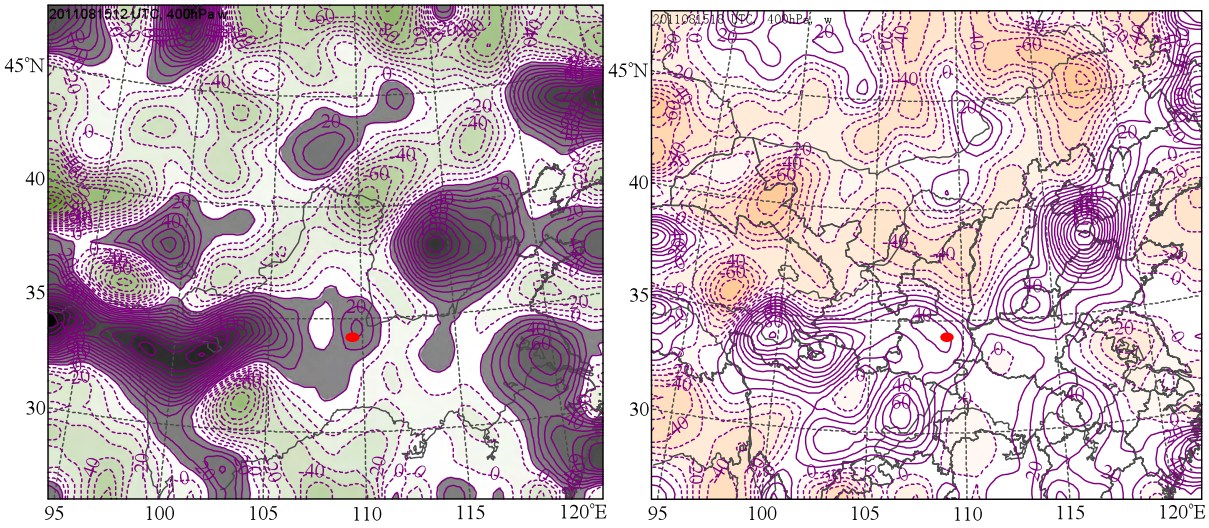
图8：2011年8月29日0000UTC 400hPa垂直速度场

以上八个例子均表明在雷暴发生时，中高空为上升气流区环境，占到了10次过程的十分之八，比率非常高，这些例子表明为中高层上升气流区有利于对流活动向上发展，但也有不同的情况。

第七次雷暴过程发生于2011年7月28日1239UTC至1400UTC，分析当日1200UTC400hPa垂直速度场（见图9a），关中中南部均为较强的下沉气流区，咸阳机场接近下沉气流中心位置。第八次雷暴过程发生在2011年8月15日1319UTC至1800UTC，分析当日1200UTC 400hPa垂直速度场（见图9b）和1800UTC 400hPa垂直速度场（见图9c）均发现河套中南部为下沉气流区，也包括咸阳机场所处位置



（a）



（b）　　（c）

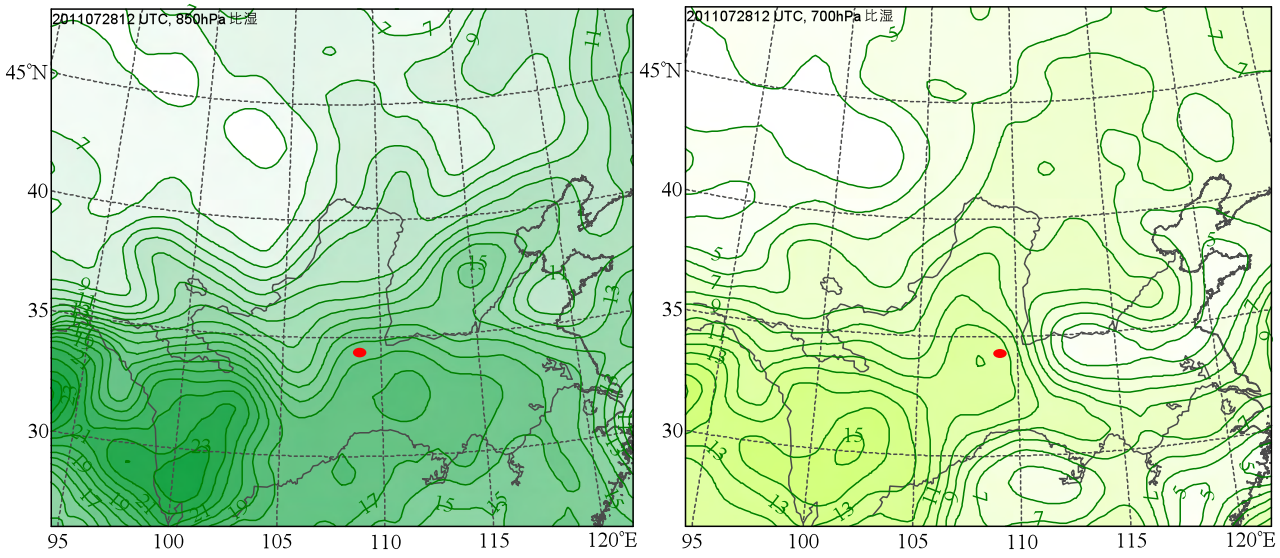
图9a：2011年7月28日1200UTC 400hPa垂直速度场

图9b：2011年8月15日1200UTC 400hPa垂直速度场

图9c：2011年8月15日1800UTC 400hPa垂直速度场

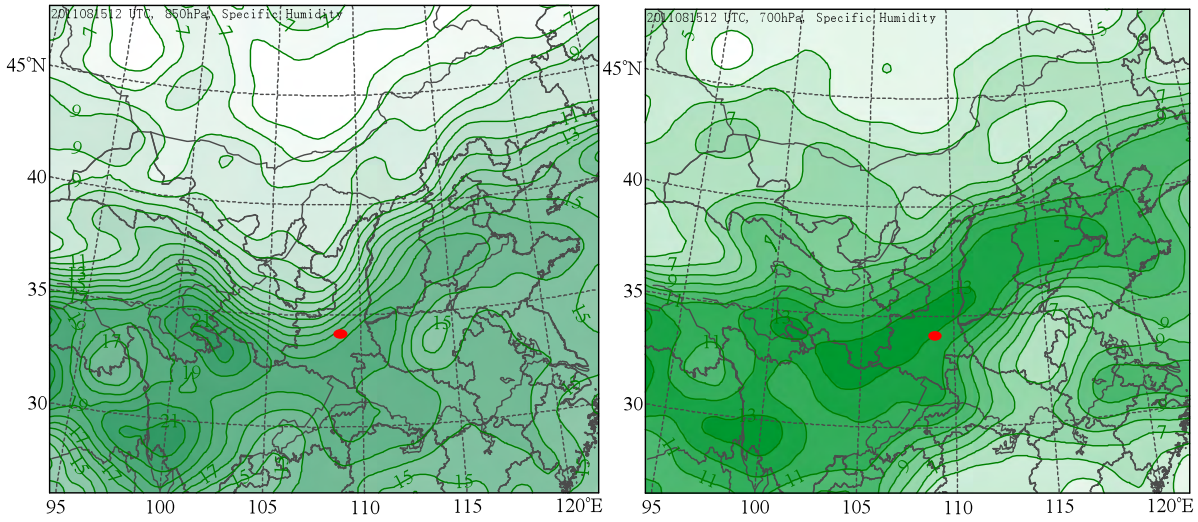
笔者认为这是由于该两次雷暴过程均发生在盛夏，形势上均处于西太平洋副热带高压的西北侧（图略），低层水汽条件理想，且气温高，即低层为高温高湿的不稳定大气，在此条件下，当西部有低槽东移或风场上较弱的辐合均能诱发雷暴天气。

表现在水汽的物理量场上可以看到两次过程低层大气的比湿都很大（见图10、11），850hPa比湿均在17g左右，700hPa比湿在11g以上，为非常理想的水汽条件。



(a)　　（b）

图10：2011年7月28日1200UTC低层比湿图（a：850hPa；b：700hPa）



（a）　　（b）

图11：2011年8月15日1200UTC低层比湿图（a：850hPa；b：700hPa）

在散度场的分析中可以看到两次雷暴过程中在关中地区850hPa存在有明显的辐合区（见图12），且都表现为850hPa辐合较700hPa辐合（图略）明显，而7月28日过程，850hPa散度中心达到34*（10-6）s-1，表现辐合运动很强；8月15日850hPa散度中心也达到了12*10-6s-1。辐合运动有利于空气中的水汽发生凝结，造成潜热释放，产生热浮力，有利于对流的发展。

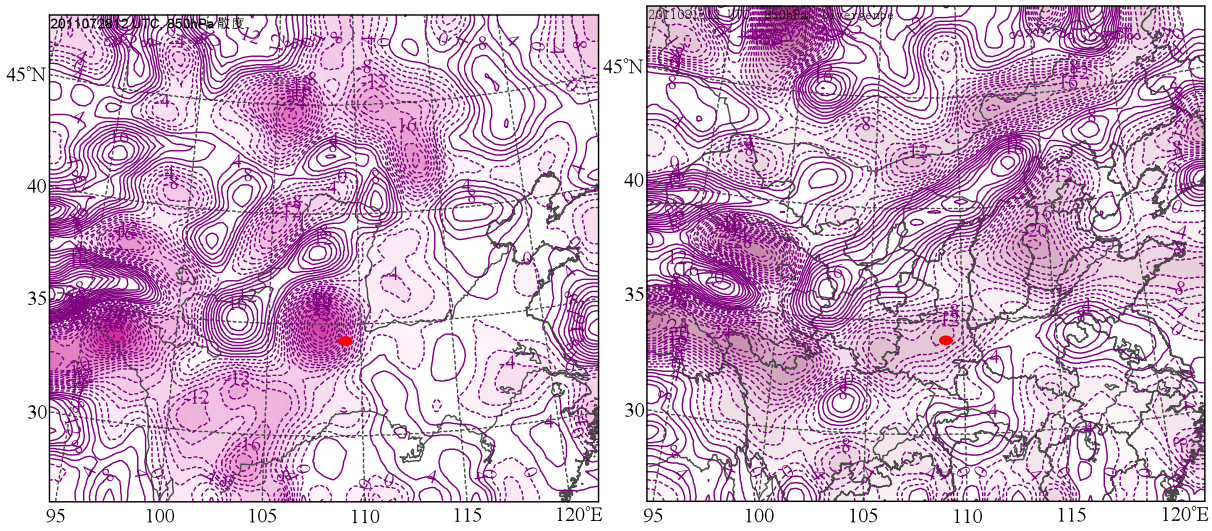


图11：2011年7月28日和8月15日1200UTC850hPa散度场

（a：7月28日；b：8月15日）

通过以上的分析可以得知，在高温高湿的条件下，即使中高层为下沉气流区仍有可能有雷暴发生，也同时说明，在对流活动中，低层温湿条件、辐合条件比中高层垂直速度场更为重要。

五、结论

（一）通过对咸阳2011年雷暴过程的物理量场进行分析，10次过程中有8次过程对应400hPa的上升气流区，说明中高层的上升气流区对雷暴天气的发生具有正向的作用。

（二）在低层为高温高湿的大气环境下，低层大气因为低槽等天气系统的影响，发生辐合运

动或由于热力的作用引发热对流，即使在中高层为下沉气流区，对流活动仍能够得以强烈发展，表明在对流活动中，低层温湿条件、辐合条件比中高层垂直速度场更为重要。

（三）本文所选样本数量有限，深入研究还需收集更多的资料，且由于雷暴的发生是非常复杂的温湿动力条件有效配合的自然产物，本文的研究只涉及到一个方面，有一定的局限性。另外所使用的NCEP1°×1°再分析资料在时间和空间分辨率还很不足，为研究工作也带来了许多困扰。

六、猜想

（一）当对流活动发展到500hPa以上时，如果从动力条件考虑，中高层为上升气流区则有利于该对流活动继续向上发展，如果中高层为下沉气流区则由于下沉气流的压制而不利于对流向上发展，当该层次达到400hPa高度，则根据前人的研究，云顶温度低于-20℃，容易产生雷暴天气。

（二）当低层为高温高湿的条件，不论是由于天气系统移动造成的系统性的雷暴还是由于热力增温造成的局地性对流活动，其热浮力作用会较为明显，能够克服中高层的下沉运动，并由于中高层环境气流的下沉运动造成与上升气流的摩擦作用增强，并由于中层环境干冷空气水平切入造成的干冷入流加强，从而引发较强的雷电现象。

参考文献

[1] 丁一汇. 高等天气学310
[2] Carlson TN,李法然.“干暖盖”在强风暴形成中的作用.[J].气象科技，1982.（5）：46-48
[3] 丁一汇. 高等天气学329-330
[4]Newton C W. Severe Convective Storm. [J] . In Advances in Geophysics, 1967.12:257-308

第一作者：巩敏莹 1974年4月 女 民航西北空管局气象中心 高工 从事航空气象预报工作

臺灣東南沿岸對流線的統計分析研究

游政谷　林哲佑
中國文化大學大氣科學系

摘要

近年來研究顯示，臺灣東南沿海可觀測到平行於海岸走向的對流線，這些對流線經常發生，且有時會伴隨著強烈對流降水，可預期它對於東部沿海地區船舶與飛機的航行安全有一定程度的影響。有鑑於此，本研究利用坐落於臺灣東南沿海地區的綠島都卜勒雷達(C-band)資料來探討1998~2004年間發生於臺灣東南方海域對流線的統計特性，且針對其生成位置與時間來加以分析，本研究在這段期間內共定義出了211個對流線個案。分析顯示，不同季節(月份)對流線皆會發生，平均每個月至少有5個個案發生。對流線發生位置可從近海岸至離海岸100公里處，而離沿岸約30公里處則是對流線最常發生的區域。此外，我們的研究也發現沿著海岸方向的對流線生成頻率與沿岸的地形起伏變化有著密切的關係。這些對流線在夜間發生的頻率遠高於白天，最常發生的時間是在晚上8點到10點，而中午12點到2點發生的次數最少；另外，我們研究發現有相當多的對流線也會發生於傍晚及早晨。超過70%的對流線個案(約150個)生命期皆小於4小時，而所有對流線個案的平均生命期為3.5小時。最後，本研究也分別對於近海與外海地區的對流線做了統計分析比較，分析顯示近海與外海對流線生成的物理機制可能有顯著的不同。

一、前言

臺灣為一個多山的島嶼，不僅地勢複雜陡峭，東部更有緊鄰於沿岸的高山。先前的研究指出在沒有顯著天氣系統(如颱風、梅雨等)影響下，海陸風對於臺灣地區降水的發展時常扮演著相當重要的角色(陳與楊 1988；紀與陳 1989；陳等 2001)。當大氣環境屬於弱綜觀時，臺灣東南沿海的對流系統與海陸差異、地形效應所引發的局部環流也有密切的關聯(Johnson and Bresch 1991；Sun and Chern 1993)。在臺灣地區附近海域時常會發生由局部環流所引起之線狀對流系統，尤其是在臺灣東南部沿海附近，經常可觀測到狹窄、細長且約略平行於海岸之對流線。而這些對流線有時會伴隨著強烈對流降水，可預期它對於東部沿海地區船舶與飛機的航行安全有一定程度的影響。

Yu and Jou (2005)針對1998年5月14~15日的近海對流線個案進行分析，結果顯示伴隨夜間陸風之離岸風與大環境之向岸風所產生的輻合為此對流線個案生成的主要機制。此外，Yu and Hsieh (2009)分析2004年1月3日位於臺灣東南外海的對流線個案後發現，受到地形影響所形成的阻塞氣流(blocked flow)對於外海對流線的生成扮演著重要的角色。本研究主要目的是藉由長時間之綠島都卜勒雷達資料來選取大量的對流線個案，並針對這些個案的生成位置與時間進行統計分析，期望對於此中尺度現象能有更進一步的了解。

二、資料來源與對流線個案選取方法

(一)資料來源

本研究使用的資料包含: (1)由中華民國空軍氣象聯隊所提供的1998~2004年綠島都卜勒雷達(C-band)資料。(2)由中央氣象局所提供的地面觀測站資料。(3)美國國家環境預報中心(NCEP)的再分析資料。資料分佈位置標示於圖1中。

(二)對流線個案選取方法

首先將1998~2004年綠島都卜勒雷達(C-band)資料繪製成雷達PPI回波圖(~15-60分鐘時間間距), 藉由主觀檢視回波圖並搭配三項客觀條件: 1. 對流線發生期間環境條件須為弱綜觀; 2. 線狀結構最完整時, 長度需大於50公里; 3. 對流線維持線狀的時間要長達一個小時以上。經由這些條件, 我們選取出211個對流線個案。

三、統計結果

圖2為1998~2004年211個對流線個案生成位置的次數分佈圖。圖中可以看到大多數的對流線皆發生在離岸30公里以內的近海地區, 其中在成功測站近海附近的次數最多。此外, 雖然在離岸40公里以外的海域生成次數較少, 但仍有一定數量的對流線會在此處生成。圖3為平行於臺灣東南沿岸內陸5公里以內的地形最高處與離海岸40公里內出現次數最大值之南北剖面圖。圖中顯示在沿岸地形較高處(成功測站附近), 對流線發生的次數也相對較高, 此結果隱含臺灣東南沿岸地形對於對流線的發展可能有顯著影響。接著我們將對流線發生期間內, 沿岸地區三個地面觀測站(成功、臺東與大武)的風向風速資料進行逐時平均, 藉此來了解海岸風場隨時間的變化情形。分析顯示近海地區的風向皆呈現明顯的日夜變化, 傍晚與夜間為離岸風, 白天為向岸風, 其中又以成功測站的離岸風發生時間最早(~16 LST)且風速較強, 此情形與成功測站緊鄰海岸山脈有關, 而大環境的平均風場則皆為向岸風(圖4)。

更進一步分析各個對流線個案所伴隨的環境風場, 發現大多數個案的環境風為向岸風(圖5), 而當環境風為東北風與東北東風時有較多的對流線生成。然而, 仍有少數個案的環境風為離岸風, 且風向多集中在北北西風與南南西風。在其他統計方面, 不同季節(月份)對流線皆會發生, 10月~5月較多, 6月~9月較少, 平均每個月至少有五個個案發生(表1), 一天之中對流線較常發生在夜間至清晨的這段時間, 白天到下午則相對較少(圖6)。而對流線平均生命期約為3.5個小時, 且70%以上的對流線個案生命期皆小於4個小時(圖7)。

四、近海與外海對流線之比較

圖8為生成在近海地區與外海地區對流線個案之發生時間統計, 圖中顯示近海地區之對流線生成時間集中在18 LST ~ 8 LST。然而, 在外海地區的對流線生成時間則沒有集中在上述時段, 反而在中午左右的時間也有不少對流線會生成, 此結果顯示近海與外海地區對流線的生成機制可能有所不同。圖9為對流線個案在不同時間與離岸距離之發生次數統計。圖中可發現離岸10~30公里之對流線在18~20 LST有發生次數最大值, 而在4~6 LST也有局部次數最大值, 此發生時間與近海地區離岸風開始時間(~18 LST)以及離岸風達到最強之時間(~5 LST)大約一致, 顯示離岸風對於近海地區之對流線發展有著一定的貢獻。然而, 離岸40公里以上的對流線在各個時段皆會發生, 顯示外海地區的對流線受離岸風(或陸風)之影響較不顯著。

接著我們選取生成於近海地區的15個對流線個案與外海地區14個個案, 針對其線狀結構最完整時段之徑向風場資料進行對流線內部低層風場分析。分析結果顯示生成於近海地區對流線, 其內部左側之平均低層風場為離岸風, 右側則為向岸風。不同於近海地區對流線之低

層風場結構，外海地區對流線之內部低層風場則無觀測到離岸風，而是僅觀測到向岸風，且向岸風從對流線右側至左側有明顯的減速情形。上述結果可說明近海地區對流線之生成與發展與離岸風有關，離岸風與向岸風所產生的輻合可能是大部分近海地區對流線之生成機制；而外海地區對流線內部低層風場之減速可能是由於環境風受到地形所產生的阻塞作用(blocking)而造成，當阻塞氣流(blocked flow)遇到大環境之向岸氣流所產生的低層輻合，對於外海地區對流線之發展與維持應該是相當重要的。

五、結論

本研究透過綠島雷達資料與NCEP/NCAR再分析資料並配合地面觀測資料分析1998~2004年211個對流線個案之基本特性。統計結果顯示，離臺灣東南沿岸30公里以內之近海地區為對流線較常發生之位置，其中又以成功測站近海地區最常發生，其次為臺東與大武測站間的近海地區。此分佈情形與臺灣東南沿岸之地形高度成正相關，暗示著對流線較常發生之地區可能是由於沿岸的較高地形所產生之夜間山風加強了離岸風，導致比其他地區有較多的機會與大環境的向岸風產生輻合，更有利於對流線的生成與發展。此外，對流線在夜間較常發生，而白天發生的次數較少。對流線之平均生命期為3.5個小時，其中大部分的對流線個案之生命期皆在4個小時以內。

進一步比較近海與外海地區之對流線特性後，發現近海地區之對流線大多發生在傍晚至清晨。然而，在外海地區的對流線生成時間則較無日夜變化情形。此外，對流線內部風場分析顯示，離岸氣流對於近海地區對流線的生成相當重要，離岸風與向岸風所產生的輻合可能是大部分近海地區對流線之生成機制；相反的，透過地形阻塞效應所產生的屏障氣流(barrier flow)，與大環境之向岸氣流相遇所產生的低層輻合，對於外海地區對流線之發展與維持應該較為重要的。

參考文獻

紀水上與陳泰然，1989：第一階段TAMEX密集觀測之個案對流系統與降水研究。大氣科學，17，15-75。

陳泰然與楊進賢，1988：臺灣梅雨期豪雨之時空分佈特徵。大氣科學，16，151-162。

陳泰然、周鴻祺、張子琦及劉志信，2001：梅雨季臺灣北部地區鋒面型與非鋒面型午後對流研究。29，37-52。

Johnson, R. H., and J. F. Bresch, 1991: Diagnosed characteristics of precipitation systems over Taiwan during the May-June 1987 TAMEX. Mon. Wea. Rev., 119, 2540-2557.

Sun, W. Y., and J.- D. Chern, 1993: Diurnal variation of lee vortices in Taiwan and the surrounding area. J. Atmos. Sci., 50, 3404-3430.

Yu ,C.- K. and B. J. D.Jou,2005: Radar Observations of Diurnally Forced Offshore Convective Lines along the Southeastern Coast of Taiwan, Mon. Wea. Rev., 133,1613-1636.

Yu, C.- K., and Y.- H. Hsieh, 2009: Formation of the Convective Lines off the Mountainous Coast of Southeastern Taiwan: A Case Study of 3 January 2004. Mon. Wea. Rev., 137, 3072–3091.

表1 1998~2004年每個月發生的對流線個案數與可用之綠島雷達資料天數。

Season	Spring			Summer			Autumn			Winter		
Month	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec	Jan	Feb
No. of cases	20	33	21	5	6	9	9	20	25	29	18	16
Available radar observations (days)	82	120	107	114	153	124	74	71	96	118	88	106

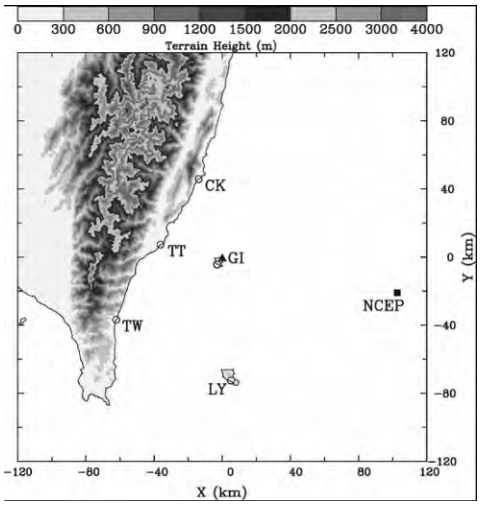


圖1 臺灣東南部地形。圖中地形高度以灰階表示，間距顯示在圖上方。三角形表示綠島都卜勒雷達所在位置(GI：Green Island)，空心圓圈表示地面觀測站所在位置(CK：成功、TT：臺東、TW：大武、LY：蘭嶼)，NCEP表示本研究所使用之NCEP/NCAR再分析網格點資料。

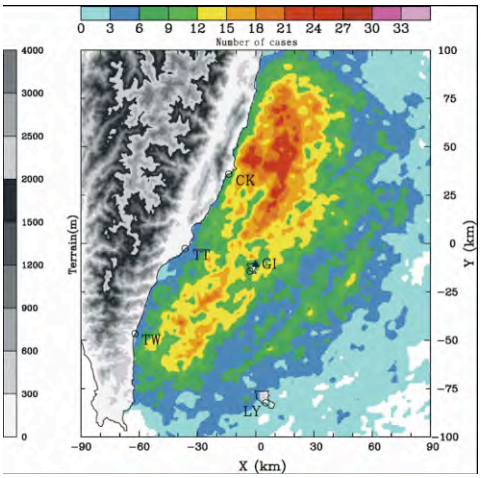


圖2 1998~2004年211個對流線個案之生成次數分佈圖，色階部分為個案發生次數，間距顯示在圖上方，灰階部分表示地形高度(單位為公尺)，間距顯示在圖左方，圖中CK、TT、TW、LY分別代表成功、臺東、大武與蘭嶼地面觀測站所在位置，GI代表綠島雷達之位置。

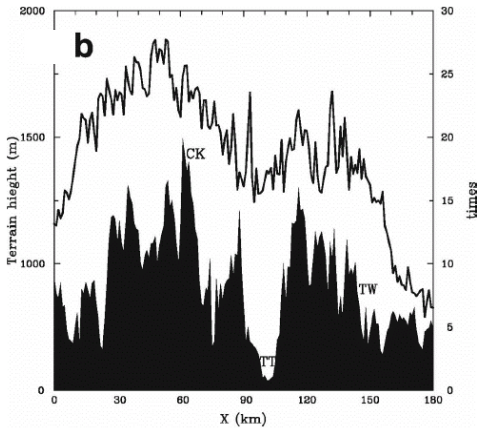


圖3平行於臺灣東南沿岸內陸5公里以內的地形最高處與離海岸40公里內對流線出現次數最大值之南北剖面圖，黑色區域為地形最高高度，黑色實線表示出現次數最大值，圖中CK、TT、TW分別代表成功、臺東與大武地面觀測站之位置。

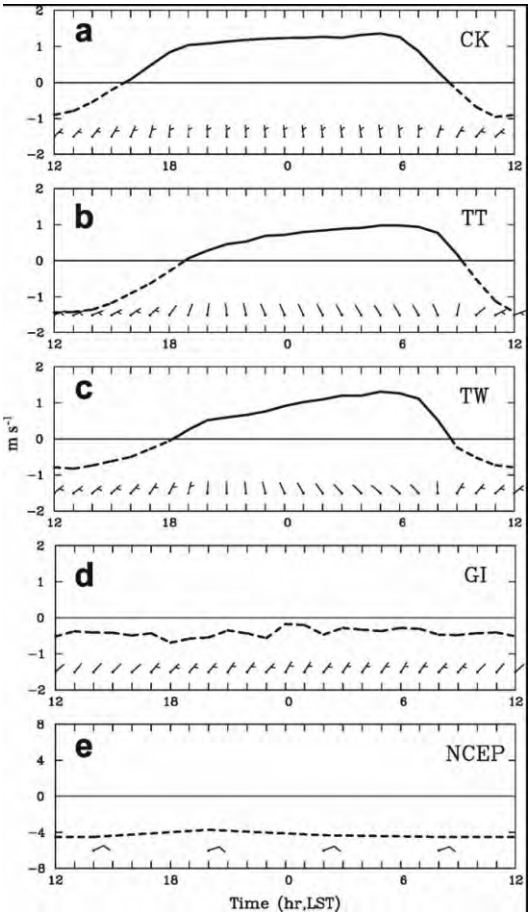


圖4對流線發生期間成功(CK)，臺東(TT)、大武(TW)、綠島(GI)地面觀測站與NCEP海平面再分析資料每小時之平均離岸風與向岸風之變化圖，黑色實線表示離岸風(單位為ms^{-1})，虛線表示向岸風(單位為m s^{-1})，風標為各個測站實際的風向風速 (half bar = 2.5 m s^{-1}，full bar = 5 ms^{-1})。

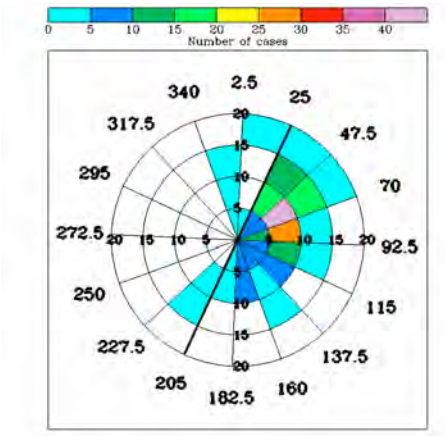


圖5 1998~2004年211個對流線在不同的環境風場生成之次數統計圖，色階部分為個案發生次數，間距顯示在圖上方。

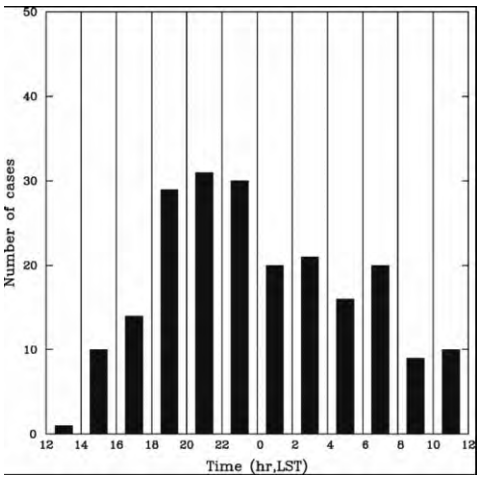


圖6 1998~2004年211個對流線個案在不同時間之發生次數統計圖，黑色粗實線表示在各個時間對流線發生之次數，時間間距為2個小時。

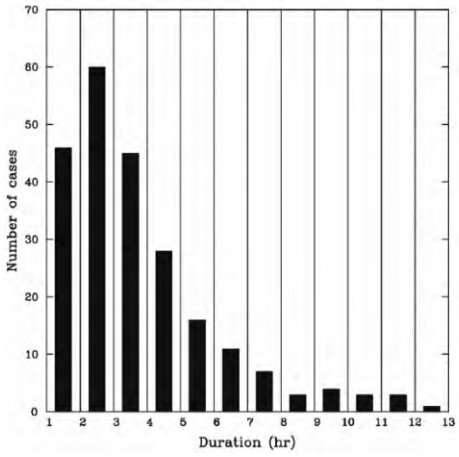


圖7 1998~2004年211個對流線個案之生命期統計圖, 黑色粗實線表示在每個小時內對流線生命期發生之次數，時間間距為1個小時。

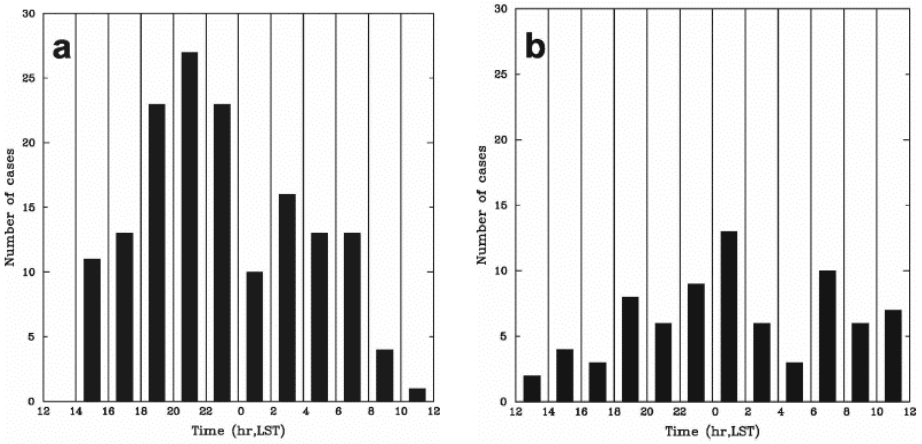


圖8 1998~2004年 (a)近海地區與(b)外海地區對流線個案在不同時間之發生次數統計圖，黑色粗實線表示在各個時間對流線發生之次數，時間間距為2個小時。

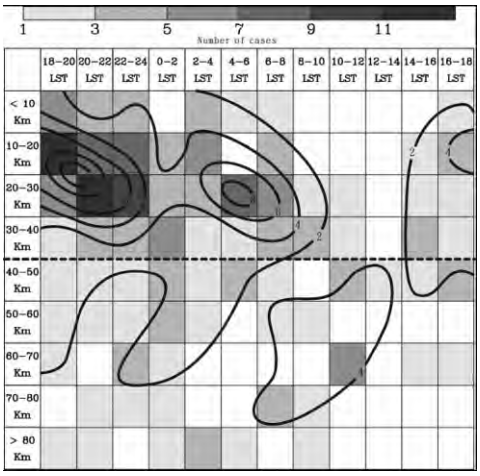


圖9 1998~2004年211個對流線個案在不同時間與離岸距離之發生次數統計，灰階部分為個案發生次數，間距顯示在圖上方，等值線同樣表示個案發生次數。

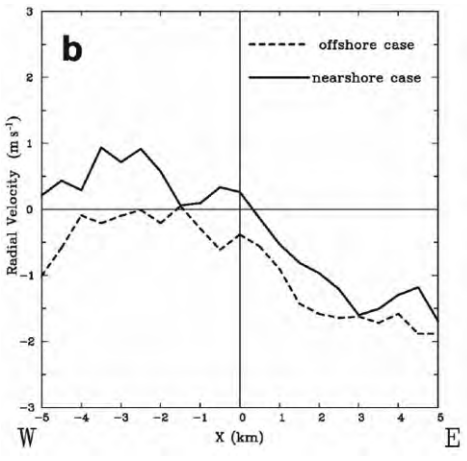


圖10 近海地區15個個案(以實線表示)與外海地區14個個案(以虛線表示)之平均內部低層徑向風場分佈情形，正值為離岸風，負值為向岸風，X軸為0處表示對流線中心，W表示對流線西側，E表示對流線東側。

沈阳地区一次冻雨成因分析

扈宝奎　方纯纯
民航東北空管局

摘要

利用NCEP的全球数据同化系统（GDAS）1°×1°分析资料、NOAA的2.5°×2.5°全球格点资料和原始气象观测资料等，对2010年2月24日沈阳地区大范围冻雨灾害进行分析。分析表明，冻雨发生前期沈阳地区的明显增温是导致大范围雨雪冰冻灾害的重要原因; 925-750hPa存在的t＞0℃温厚暖层是冻雨形成的必要条件；西南气流的建立有利于大量暖湿空气向东北地区输送，并决定了低温冰冻灾害发生的区域。中层厚暖层的建立与破坏时间对冻雨的预报具有一定的指示意义。

一、引言

冻雨是由过冷水滴组成，与温度低于0℃的物体碰撞立即冻结的降水，是初冬或冬末春初时节常见的一种灾害性天气。中国大陆最常出现冻雨的地区为贵州，其次为湖南、江西、湖北等地。目前，国外对冻雨天气及其形成机理有较多研究，Berstein[1]对美国冻雨的分布和其发生条件进行了总结，指出地形和水汽对冻雨的形成起关键作用，在冻雨的预报中应考虑天气系统、局地因素、过冷却水的厚度和层结廓线等；。Bourgouin[2]指出预报冬季降水类需要考虑的因子包括: 层结曲线图大于和小于0℃层结的面积, 1000-850 hPa 和1000-700 hPa 的平均温度, 地面的温度和露点。国内的吕胜辉等【3】利用常规气象资料，对天津机场1979-2002年出现的3次冻雨天气进行对比分析，找出了冻雨发生的天气形势；张端禹【4】等对2008年武汉市4次冰雪天气过程特征进行分析，指出了低层逆温与冰雪发生之间的关系。

文中利用美国环境气象中心NCEP基本物理量场以及实况资料分析了2010年2月24日发生在沈阳地区的冻雨天气过程。通过分析大尺度环流异常，揭示冻雨形成的冷空气来源，通过垂直温度分布和水平温度平流输送阐述温度结构对冻雨形成的指示意义，为今后冻雨天气预报提供参考依据。

二、天气概况

2010年2月24日，辽宁地区出现了自1999年以来最严重的一次冻雨天气过程。其中阜新、义县、黑山、新民、沈阳、营口、章党、大连等多地均受到不同程度影响。冻雨是辽宁地区少见的一种天气现象，有气象记录的近60年共观测到22次，出现时间多集中在11月份，2010年2月24日的冻雨是除1955年以外，第二次出现在2月份的冻雨。持续53分钟的冻雨造成沈阳多条供电线路中断, 省内多条高速公路关闭, 沈阳桃仙国际机场大量航班取消延误。表1为2010年2月24日沈阳地区天气实况。

表1 2010年2月24日沈阳地区天气实况

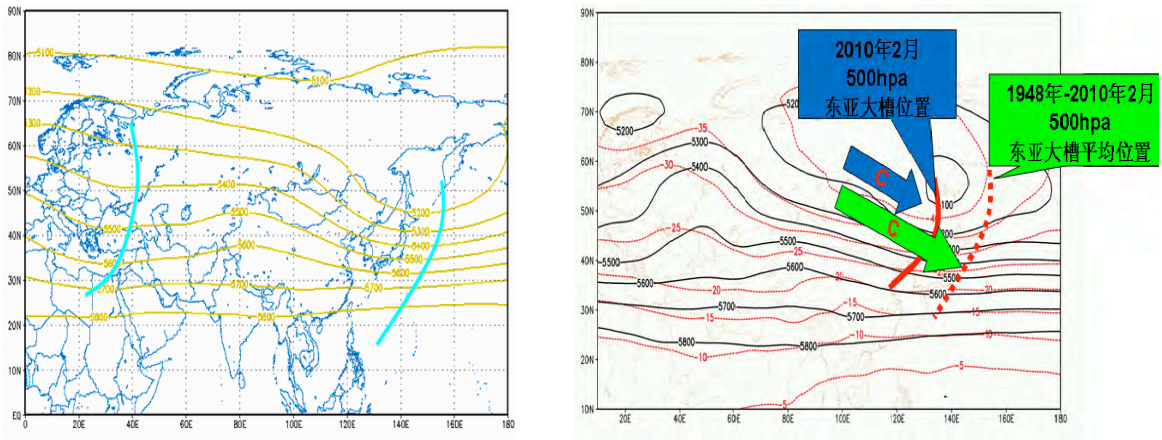
时间(UTC)	天气现象
04：57-14：57	-RA
08：30-09：00	FG
09：00-14：57	BR
14：57-15：50	-FZRA
15：50-次日17：00	-SN

三、环流形势

东亚地区大气环流异常，尤其是东亚冬季风的异常，为本次辽宁地区大范围雨雪冰冻灾害提供了冷空气来源。欧亚地区出现罕见、持续、稳定的大气环流异常形势，这种大气环流异常形势主要表现在下面几个方面。

（一）500hpa环流形势异常

图1a为1948年-2010年2月500hPa平均环流形势场,欧亚地区中高纬为两低一高的位势高度场分布，即乌拉尔山地区为乌拉尔山大槽，日本岛以东的西太平洋地区为东亚大槽，两槽之间为宽广的高压脊区，冷空气经脊前西北气流进入日本岛地区，对日本影响较大。 图1b为2010年2月500hPa平均环流形势场，欧亚地区中高纬为西高东低的位势高度场分布，即乌拉尔山地区位势高度场异常偏高、中亚至蒙古直至俄罗斯远东地区高度场异常偏低，东亚大槽位于我国东北地区东部，较多年平均位置明显偏西，这种环流形势使冷空气经脊前西北气流直接进入我国东北，对东北地区的影响较大。这种异常型环流在2010年2月份持续出现21天，是多年平均出现日数的3.3倍左右[5]，为1948年以来该环流持续日数最长的一次。环流异常导致沈阳地区2月份降水日数比常年平均多2天，平均气温较常年同期偏低0.9℃，降水量为常年同期的2倍。2010年2月500hPa环流形势场有利于极涡不断分裂冷空气，使冷空气经西伯利亚进入我国北方地区，这种环流也为本次冻雨提供了冷空气来源。



a 1948-2010年2月平均环流场　　b 2010年2月平均环流场

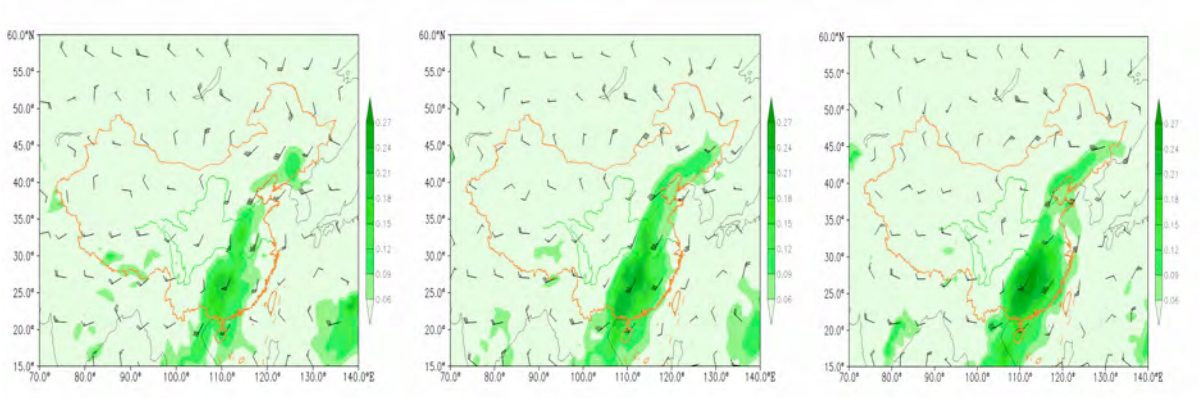
图1 500hPa环流形势场

（二）高低空环流形势分析

2010年2月24日00时欧亚500hPa、850hPa均表现为西高东低的大气环流形势，即乌拉尔山地区位势高度场异常偏高、中亚至蒙古直至俄罗斯远东地区高度场异常偏低。24日00时500hPa上冷空气进入内蒙古地区，东北地区受槽前西南气流控制,槽后冷平流较强。850hPa上（图略）沈阳受槽前西南气流控制，一直维持强暖平流输送，直到24日12时以后才逐渐转为冷平流。这种持续的暖湿空气输送为本次降水提供了暖空气来源。随着冷空气的不断东移南压，在850hPa上出现了横槽转竖过程。22—24日850 hPa上连续多日的西南气流为辽宁地区带来源源不断的水汽，为24日降水过程提供了充足的水汽供应，使整层大气中水汽含量迅速增加。24日00时地面图上冷空气南压到内蒙古，到12时冷锋已经移到沈阳西部。锋后等压线密集，冷空气较强。

四、水汽条件

23日—24日东北地区受西南气流控制，850hPa上存在宽广的西南气流水汽输送带，并且存在西南低空急流，急流核的最大风速达到20m/s,说明降水前期和降水期间都存在明显的水汽输送。 23日12时，850hPa上沈阳地区的水汽通量为0.09—0.12g·cm^{-1}·hpa^{-1}·s^{-1},18时已经增大到0.12—0.15 g·cm^{-1}·hpa^{-1}·s^{-1}，并且这种持续的水汽输送一直维持。这与天气图上分析基本一致，水汽通量的大值区是沿850hPa西南气流方向输送到辽宁境内的，700hPa与850hPa水汽输送大值区基本重合。从中低层的水汽通量可以看出此次过程中低层水汽条件较好，这也是此次天气过程降水量达到14.4mm的主要原因。沿沈阳所在纬度作相对湿度剖面图可以发现，在冻雨产生前后，1000hPa以上各层始终维持90%以上的相对湿度大值区（图略）。表明此次冻雨天气是在空中充沛的水汽输送及近饱和状态中产生的。图2a、图2b、图2c为23日12时、18时，24日00时水汽通量图。

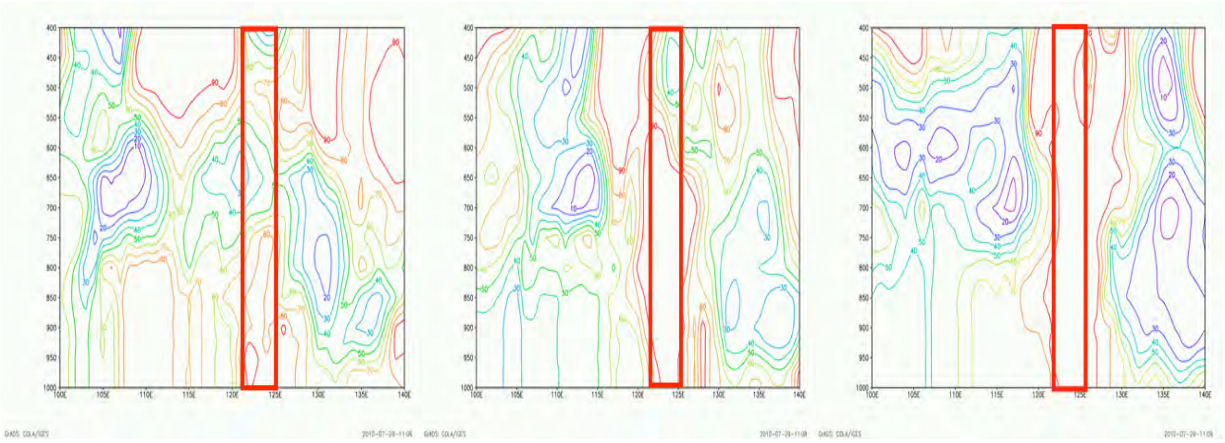


a 23日12时850hPa　　b 23日18时850hPa　　c 24日00时850hPa

图2 850hPa水汽通量图

沿沈阳所在纬度作相对湿度剖面图，可以看出24日00时沈阳上空750hPa以下相对湿度大于80%。24日06时，沈阳上空550hPa以下直至1000hPa相对湿度均在90%以上，到24日12时，沈阳上空整层大气的相对湿度均在90%以上，可以看出在西南气流对水汽的输送过程中，本地区空气中的水汽有累积过程。充足的水汽输送和长时间的水汽累积是造成本次降水的主要原因。图3a、图3b、图3c分别为24日00时、06时、12时“N42°”相对湿度剖面图，图中方框区域

为沈阳所在区域。



a 24日00时　　b 24日06时　　c 24日12时

图3 N42°相对湿度剖面图

五、大气温度的垂直和水平结构分析

（一）温度垂直结构

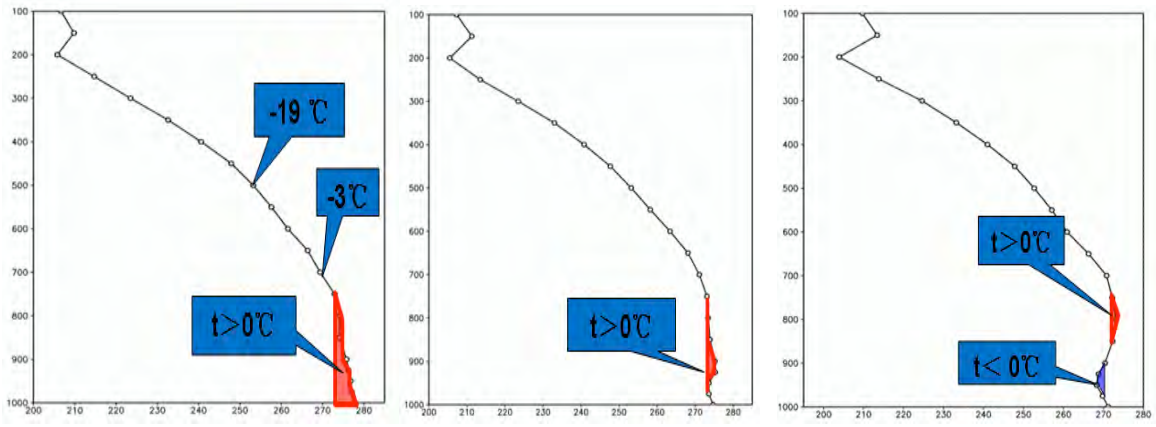
23日00UTC-24日00UTC，也就是冻雨出现前24-36小时沈阳站空中的风向、风速及温度有明显变化[6]，如表2。风向自西北转为西南，风速有所减小。500 hPa、700hPa、850 hPa增温均在5℃或以上。

表2　23、24日00时各层风向、温度变化情况表

层次	850hPa	700 hPa	500 hPa
23日00时风向	WWS	WWS	WWN
风速（m/s）	18	24	32
24日00时风向	WWS	WS	WS
风速（m/s）	12	24	22
23日00时t（℃）	0	－10	－24
24日00时t（℃）	5	－1	－19

图4a、图4b、图4c分别为24日06时、12时、18时沈阳上空温度垂直分布图，红色区域为温度大于0℃的暖层，蓝色区域为温度小于0℃的冷层。分析可以看出，24日06时700hPa温度大约为－3℃，600hPa温度为－7℃，500hPa温度大约为－22℃，即700hPa以上气温随高度递减，在这种温度下降水云系一般由冰晶或雪花组成，这次过程降水云中形成冰晶层的高度在700-500 hPa之间，此时地面温度为6.7℃。12时虽然冷空开始入侵，但1000-750hPa仍

为t＞0℃的温厚暖层，此时地面温度为7.8℃。18时由于强冷空气入侵，暖层厚度明显变薄，缩小至750-850 hPa之间，850 hPa以下为温度低于0℃的冷层，此时地面温度降到零下。到25日00时整层大气的温度都在0℃以下，地面温度降至-1.7℃。由此可以看出，沈阳上空的温度垂直分布为冷、暖、冷层结构，高层为冷的冰晶层，中层有温度大于0℃的暖层可使冰晶融化为水滴，低层有气温小于0℃的冷层使水滴转化为过冷水滴，同时地面气温降到0℃以下，这种大气温度垂直结构具备了产生冻雨的天气条件[7]。



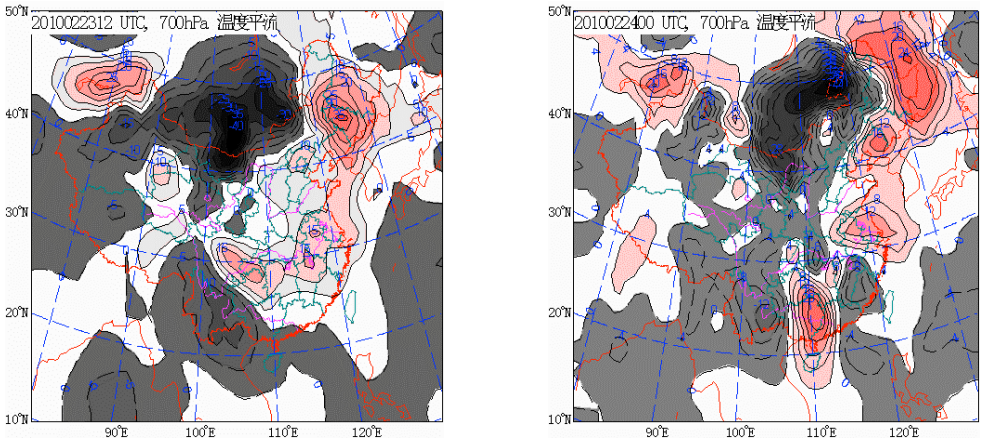
a 2月24日06时　　b 2月24日12时　　c 2月24日18时

图4沈阳站上空温度垂直分布图

以上分析表明，中层暖层的存在是冻雨发生的必要条件。为此分析沈阳站上空暖层的形成与破坏时间是预报冻雨开始和结束的关键所在。

（二）温度的水平结构

水平方向上暖平流的输送是维持中层暖层的重要原因。图5a、图5b为23日12时和24日00时700hPa的温度平流。由图可见，23日12时沈阳上空存在强暖平流，暖平流中心为28×10-5℃/s。24日00时沈阳上空暖平流明显减弱，中心值下降为16×10-5℃/s，但仍然维持暖平流输送。700hPa上持续的强暖平流输送是维持沈阳上空中层暖层结构的重要原因，也是冻雨过程必不可少的条件[8]。



a 23日12时　　b 24日00时

图5　700hPa的温度平流

这次冻雨过程沈阳地区24小时地面气温下降9.5℃，接近中央气象台定义的寒潮标准，本文将此次过程定义为准寒潮天气。

六、结论

（一）2010年2月东亚大槽位置较多年平均偏西，冷空气通过脊前西北气流直接进入东北,造成东北地区持续的低温雨雪天气。这种环流形势为24日辽宁地区的冻雨灾害提供了冷空气来源。

（二）700hpa、850hpa持续多天的西南气流为东北地区降水输送了大量暖湿空气，为降水提供了暖空气来源，并决定了冷暖空气的交汇地点和低温冻雨灾害发生的区域。

（三）辽宁上空的冷、暖、冷层分布是此次冻雨出现的必要原因。700-500hpa是温度低于-3℃的冰晶层，925-750hpa为t＞0℃的温厚暖层，可使冰晶融化为水滴，950-850hpa之间有温度低于-3℃的冷层，使融化的冰晶再次转化为过冷水滴，这种大气温度的垂直结构具备了产生冻雨的天气条件。

参考文献

[1] Cortinas J r JV , Bernstein B C , Robbins C C , et al . Analysis of freezing rain , freezing drizzle , and ice pellets across the United States and Canada : 1976 - 90. Weather Forecasting , 2004 , 19 : 377～390

[2] Bourgouin P. A method to determine precipitation types.Wea. Forecasting , 2000 , 15 : 583～592

[3] 吕胜辉，王积国，等.天津机场地区冻雨天气分析[J]，气象科技，2004，32（6）：1050—1061

[4] 张端禹，王明欢，等.2008年初武汉冰雪天气过程特征研究，气象与环境学报，2010，2（1）：2-3

[5] 丁一汇，王遵娅，等.中国南方2008年1月罕见低温雨雪冰冻灾害发生的原因及其与气候变暖的关系，气象学报，2008，66（5）7-9

[6] 杨向东.桃仙机场一次冻雨天气分析，辽宁气象，1999，2，1-2

[7] 高辉，陈丽娟，等.2008年大范围低温雨雪冻害分析□.成因分析，气象，2008，34（4）：1-3

[8] 赵培娟，邵宇翔，等.冻雨形成的天气条件分析，气象与环境科学，2008，31（4）：2-3

作者简介：扈宝奎，方纯纯（民航东北地区空中交通管理局气象中心），从事航空气象预报工作。

通信地址：辽宁省沈阳市大东区小河沿路民航东北地区空中交通管理局气象中心

邮　　编：110043

电　　话：024-89392281　　15840566119

电子邮箱：yyfangyang117@gmail.com

以類神經網路分析松山機場熱雷雨發生機率及其應用

陳心懋
民用航空局飛航服務總臺

摘要

臺灣地區在夏季午後常發生劇烈的熱對流，可能嚴重影響航空器在航路飛行及起飛降落時的安全。若能準確地研判當日發生午後熱雷雨的機率，並即時表現在終端機場天氣預報、各種顯著天氣報文以及顯著天氣圖之中，便能為飛航管制人員、航空公司調度人員與航空器的駕駛等使用者提供更精確有效的預報資訊，讓他們對此類劇烈天氣預作準備。然而臺灣的地形非常複雜，再加上海陸風等因子的影響，以數值模式模擬午後熱雷雨的發生位置和移動方向等與實際情況往往有相當大的誤差。雖然預報人員長時間來累積了許多經驗法則，但在還未經過系統性的統計分析之前，往往只能做定性的討論而無法將這些因素與熱雷雨發生機率之間的關係數值化，容易造成預報員在使用上的困擾。

近年來各界對航空氣象服務的品質要求逐漸提升，建立客觀、準確的午後熱雷雨預報參考工具刻不容緩。氣象中心過去參考許多論文和研究報告完成了紙本熱雷雨檢查表，將各種與熱雷雨有關的因子紀錄於表中，後來更進一步將其電子化並加入了迴歸分析，成為目前作業的重要參考。然而，由於熱雷雨的各項因子之間存在複雜的非線性關係，以傳統統計迴歸所得到的結果仍有進一步研究分析的空間；而類神經網路在許多文獻中都證實擁有對非線性系統進行非線性迴歸的能力。爰此，氣象中心進行本「北部地區熱雷雨類神經網路分析系統」研究，以期達到以下目標:

1. 依熱雷雨因子分析松山機場與桃園機場發生午後熱雷雨的機率。
2. 與原有的熱雷雨檢查表配合，進一步測試類神經網路系統在此類問題的適用性。
3. 建立新的電子熱雷雨檢查表，將訓練完成的類神經網路應用在熱雷雨檢查系統之中。

在系統建置過程中特別著重配合原「熱雷雨檢查表」之迴歸分析結果，將電子化之後的資料重新分析，完成當初建立檢查表之目標，並進一步結合兩種分析技術的優勢以建立一套客觀準確的熱雷雨預報參考工具。

一、前言

在航空氣象現代化作業系統(AOAWS)研究計劃執行初期，民用航空局為有效提高預報準確率，特別聘請技術顧問汪庭安博士會集臺北航空氣象中心專長於雷達、衛星、數值分析及天氣圖分析且具多年預報經驗之同仁，參考國內外論文、分享彼此的研判理論與經驗法則，建立一套客觀預報方法，並製作成檢查表(check list)供預報員填製後參考使用。這些檢查表經過5年 實際作業之後，依統計結果進一步研篩選預報因子，並在2008年升級為電腦輸入版本，以軟體自動分析天氣預報因子之權重，導出客觀預報結果供預報員作為機場天氣預報參考使用。其中包含了專為北部地方松山機場及桃園機場在7月至9月午後發生熱雷雨機率設計的熱雷雨檢查表。

2011年臺北航空氣象中心開始進行另一個自行研究計畫，以類神經網路系統分析颱風接近臺灣時各機場所測得的風向風速與颱風位置和強度之間的關係。這個研究計畫獲得了令人滿意的成果，以颱風的位置、強度和半徑作為輸入因子用以預測臺灣各機場的風向和風速，可以達到70%到80%的正確率。這個計畫也證實了類神經網路系統對此類傳統上必需依賴預報人員經驗的問題的確能有效的發揮其特色及優勢。

因此，結合電子化熱雷雨檢查表這8年來所累積的資料與颱風侵臺期間機場風場預估系統計畫中對類神經網路系統的分析經驗，臺北航空氣象中心正在進行一個以類神經網路系統分析臺灣北部地區熱雷雨發生機率的研究計畫。若能達成計畫目標，則可做為臺北氣象中心預報人員在未來預報夏季北部機場發生午後熱雷雨時的客觀預報工具。

二、研究背景

（一）電子化熱雷雨檢查表預報因子

利用檢查表將與某類特殊天氣相關的概念模式參數化，並用來對該類特殊天氣的預報作業提供客觀預報工具的方式在實際作業單位已經行之有年。在由日間太陽加熱所產生的熱力作用引發的強對流與雷雨胞的預報這個項目中，一般以評估條件不穩定性和氣團的可用位能為主，另外由工作經驗上累積得到關於高空風與太平洋副熱帶高壓的勢力範圍也同樣會影響到午後熱雷雨的發生機會。因此臺北航空氣象中心在2008年將檢查表電子化的過程中也重新整理所使用的參數如下:

1、連續性: 經驗上顯示在7月及8月中，當連續性為1或以上的時候相對發生熱雷雨的機率也提高; 9月因為逐漸進入秋季，太平洋副熱帶高壓是利開始減弱，所以連續性要到達2，才有利熱雷雨發生。

2、KI (K Index)：測量雷雨胞的位能(POTENTIAL)，計算公式

K = T850 - T500 + Td850 - (T700 - Td700)

K < 15氣團雷雨發生的機率為0%，21-25氣團雷雨發生的機率為20-40%，26-30氣團雷雨發生的機率為40-60%，31-35氣團雷雨發生的機率為60-80%，36-40氣團雷雨發生的機率為80-90%, K > 40氣團雷雨發生的機率為>90%。現行電子檢查表的判斷門檻為: KI≧35.0為「是」。

而在文獻中美國實驗值分類為:

0~15　No thunderstorms

18~19 Thunderstorm unlikely

20~25 Isolated thunderstorms

26~30 Widely scattered thunderstorms

30~35 Numerous thunderstorms

36~39 Thunderstorms very likely

40+　100% chance of thunderstorms

3、TO(Total Index)：測量雷雨胞的位能(POTENTIAL ENERGY)。計算公式為：

Total index（TO）：TT = T850 + Td850 - 2T500

臺灣地區文獻中的分類：

44-45 Isolated moderate thunderstorms

46-47 Scattered moderate / few heavy thunderstorms

48-49 Scattered moderate / few heavy / isolated severe thunderstorms

50-51 Scattered heavy / few severe thunderstorms and isolated tornadoes

52-55 Scattered to numerous heavy / few to scattered severe thunderstorm / few tornadoes

> 55 Numerous heavy / scattered severe thunderstorms and scattered tornadoes

目前臺北航空氣象中心使用的判斷門檻為：TO ： 45.0≦TO≦55.0為 yes。

美國實驗值分類為：

<43　Thunderstorms unlikely

43-44 Isolated thunderstorms

45-46 Scattered thunderstorms

47-48 Scattered Thunderstorms/isolated severe

49-50 Scattered Thunderstorms/few severe/isolated tornadoes

51-52 Scattered-numerous thunderstorms/few-scattered severe/ isolated tornadoes

53-55 Numerous thunderstorm/scattered tornadoes

56+　You don’t want to know.

4、SI (Showalter Index)：大氣局部「靜力穩定度（static stability）」之一種量度，用數值表示。此指數由一上升氣塊自850hPa循乾絕熱上升至飽和點，再循飽和絕熱線至500hPa面決定之。在500hPa面上，氣塊溫度和周圍溫度相比較，此兩溫度之差值即為SI之大小。假定氣塊較其新環境為冷，指數為正；反之，則為負。

當SI指數＜＝3的時候，該區域內可能有陣雨並預期有雷雨。

當-2≦SI≦1的時候，下雷雨的機會迅速增加。

當SI≦-3的時候，有劇烈雷雨發生。

當SI≦-6的時候，預報員應考慮發生龍捲風的可能性。

現行電子檢查表判斷門檻為：SI≦1為 yes。

美國實驗值分類為：

>4　Thunderstorms unlikely

1~4　Thunderstorms possible-trigger needed

1~-2　Increasing chance of Thunderstorms

-2~-3　High potential of heavy Thunderstorms

-3~-5 Getting scary

-5~-10 Extremely unstable

<-10 Head for the storm shelter

5、SWEAT index：此項目在現行電子檢查表中尚未納入評分。檢查低層大氣的濕度、對流不穩定、噴流核心及暖平流量度雷雨位能。

SWEAT < 300 不會有雷暴發生

300 < SWEAT < 400 有劇烈雷暴發生的機會

SWEAT > 400 有劇烈雷暴甚至龍捲風發生的機會

美國實驗值分類為:

<272 Thunderstorms unlikely

273~299 Slight risk-general Thunderstorms

300~400 Moderate risk- approaching severe limits

401~600 Strong risk-few severe-storms/isolated tornados

601~800 High risk of severe t-storms/scattered tornados

801+ High wind damage, but not favorable for severe weather

6、LI (Lifted Index)：此項目在現行的電子檢查表中尚未納入評分。舉升指數(LI)是一種表示自由對流高度以上不穩定能量大小的指數。它表示一個氣塊從抬升凝結高度出發，沿濕絕熱線上升到500百帕(海拔5200米左右高度)處所具有的溫度被該處實際大氣溫度所減得到的差值。比如，某一氣塊沿濕絕熱線上升到500百帕時的理論值為－14°C, 而該處的實際溫度為－18°C, 那麼抬升指數就是-4。 當差值為負數時，表明氣塊比其環境溫度更暖，因此將會繼續上升。該差值的絕對值越大，出現對流天氣的可能性也越大。差值為正數時，表示大氣層結穩定。

美國實驗值分類為:

>0 Thunderstorms unlikely

0~-2 Thunderstorms possible-trigger needed(若有其他動力來源或舉升作用，有陣雨或雷暴發生的可能)

-3~-5 Thunderstorms probable(有雷暴發生的機會)

-5~-7 Strong/severe thunderstorms. Tornadoes possible

-7~-9 Move to Alaska

<-9 Yikes

7、500hPa 等壓面天氣分析圖上的5880等高線東西向脊線及西伸位置: 這一個項目緣自資深預報員的經驗法則。依經驗太平洋副熱帶高壓的勢力範圍及其消長會影響臺灣地區發生熱雷雨的機率。現行電子檢查表中的判斷門檻為：115°E以東為「是」。

8、700hPa風向風速：這一個項目緣自資深預報員的經驗法則。7~9月盛行西南季風，當風向為西南風時配合暖濕平流，則大氣變的不穩定，有利對流發展。現行的電子檢查表判斷門檻為：0~90°≦5KTS、136~180°≦25KTS、91~135°≦25KTS及181~270°等範圍內判為yes。

9、700hPa溫度露點差：這一個項目緣自資深預報員的經驗法則。700 hPa的溫度與露點之

間差距愈小，代表著此高度層的空氣愈接近飽和狀態，相較於溫度露點差大的空氣(較不飽和)而言，空氣愈接近飽和狀態，愈容易產生對流，所以當700 hPa的溫度露點差距較小時，環境較適合對流發展。現行電子檢查表判斷門檻為:（T-Td）700hPa:（T-Td）700hPa≦9℃為 yes。

10、地面露點：露點為定壓下，溫度下降至飽和時的溫度。地面露點越高，則相對的地面溫度越高，地表炎熱高溫，愈有利午後熱雷雨的產生和發展。

（二）類神經網路

類神經網路已經發展超過50年，在許多領域都有相當成功的應用案例，到1986年類神經網路發展出成熟的非線性工具之後，愈來愈多人開始試著將其運用在預報作業上。類神經網路能在未知機制的情況下分析關聯性的能力可以補足傳統數值模式的缺陷，最近若干文獻(Pasini et al. 2001, Nugroho et al. 2002, Tasadduq et al. 2002, Fabbian and de Dear 2006)也證實了引入類神經網路的確有助於提高我們對這類天氣的預報能力。

目前作業用的數值預報模式主要是運用物理控制方程式對時間積分外推各種量場。在牽涉的物理過程較複雜時，這些模式的預報能力就會大幅下降。經過長期的訓練，預報員可以靠經驗補足數值模式在這方面的缺陷。人類的大腦就是一個由數以億萬計的神經元組成的神經網路，每一個神經元都擁有數個能接受或輸出訊號的的突觸。這些神經元在長期的運作中會根據後端傳回的迴饋逐漸改變其各突觸的敏感程度，藉此調整神經網路中的聯結強度或建立新的聯結。動物和人類藉由這樣的過程能夠逐漸形成直覺和經驗。

類神經網路是一種模仿生物神經系統累積經驗的過程設計出的電腦數值網路，它可以經由大量資料的訓練，調整網路中各個節點的連結敏感度，讓網路產生的預測結果與實際情況之間的誤差減小到最低。相較於生物神經網路，類神經網路的訓練過程更方便有效率。最重要的是：它可以很容易的被複製、保存。這些特性對「經驗模式」的客觀化和永續化有非常大的幫助。儘管如此，類神經網路仍有其限制與尚未解決的問題。首先，為了能更完整的實現生物神經系統對複雜訊號的學習能力，許多學者仍不斷提出新的網路結構。即使設計出能完全模擬生物的類神經系統，正如同真實的學習過程一般，訓練的成敗仍決定於所使用的資料與訓練方式。

三、研究方法

（一）接受者操作特徵分析(receiver operating characteristic)

在過去要評估熱雷雨檢查表中的各項參數在預報作業中的準確率是很困難的。由於大部份的參數都是代表氣團某一特定物理特徵的指標，若要將這些指標實際用在作業上，就必需依經驗值指定一個門檻，當指標高於門檻值時就預報該事件會（或不會）發生。然而，這造成在評估參數的表現是否良好時，就會受到所選擇的門檻值是否適當的影響，很難獨立的計算這個參數本身與要預報的事件之間是否存在良好的對應關係。

在信號檢測理論中，接收者操作特徵（receiver operating characteristic，或者叫ROC曲線）是一種可以描述參數與預報事件之間靈敏度的功能圖像。ROC曲線是由真陽性率（TPR）和假陽性率（FPR）所構成的。因為它是經由比較兩個操作特徵（TPR和FPR）作為標準，ROC

曲線也被稱為相關操作特徵曲線。

ROC曲線首先是由二戰中的電子工程師和雷達工程師發明的，他們用這類分析來檢測電達訊號與實際戰場中的敵軍的關聯性，由此發展出信號檢測理論。ROC分析可以將門檻值的影響排除在外，直接表現出某參數與實際事件之間的關聯性是否良好。因此很快被引入了心理學以進行信號的知覺檢測。ROC分析最近在機器學習和數據挖掘領域也得到了很好的發展。

在本研究中首先針對現行電子化熱雷雨檢查表中有紀錄的各項參數進行ROC分析。將門檻值由最低開始逐步調高，並計算各不同門檻值所對應的ROC矩陣，矩陣分類方式如下:

		真實結果 p	真實結果 n	
預測輸出	p'	真陽性	假陽性	P'
	n'	假陰性	真陰性	N'
		P	N	

繪出矩陣之後，計算真陽性率，又稱命中率:

$$TPR = TP/P = TP/(TP + FN)$$

以及假陽性率，又稱報錯率:

$$FPR = FP/N = FP/(FP + TN)$$

而ROC空間就是以FPR定義為x軸，TPR定義為y軸，描述真陽性與假陽性之間的平衡。也就是說，若為了報中所有事件的發生而將門檻值調到最低，這時雖然命中率會達到100%，但報錯率同樣也會接近100%。隨著門檻值的逐漸提高，報錯率會逐漸降低，但命中率也會降低。若一個參數能在這個逐漸提高門檻值的過程中讓報錯率降低的速度遠大於命中率降低的速度，那麼這個參數對於所要預報的事件就是一個表現較好的參數。以這樣的方式逐一檢查電子化檢查表在最近8年所累積的資料, 就可以計算出各參數的ROC曲線及能代表其表現優劣的AUC面積。

將所有參數的資料分為2組：第一組為地方時早上8時所紀錄的參數值，與當日下午的午後熱雷雨事件相對應。第二組為地方時晚上20時所紀錄的參數值，與隔日下午的午後熱雷雨事件相對應。

（二）類神經網路系統

在以ROC曲線分析電子化熱雷雨檢查表中的所有參數之後，我們就能了解各參數在預報熱雷雨時表現的優劣。之後，利用這個分析結果可以選出較適合用在熱雷雨預報的參數6到8個，繼續以類神經網路系統的方式分析，建構出線性多項式權重型組合，或甚至以2個隱藏層

的類神經網路為這些參數建立出非線性的類神經結構組合。

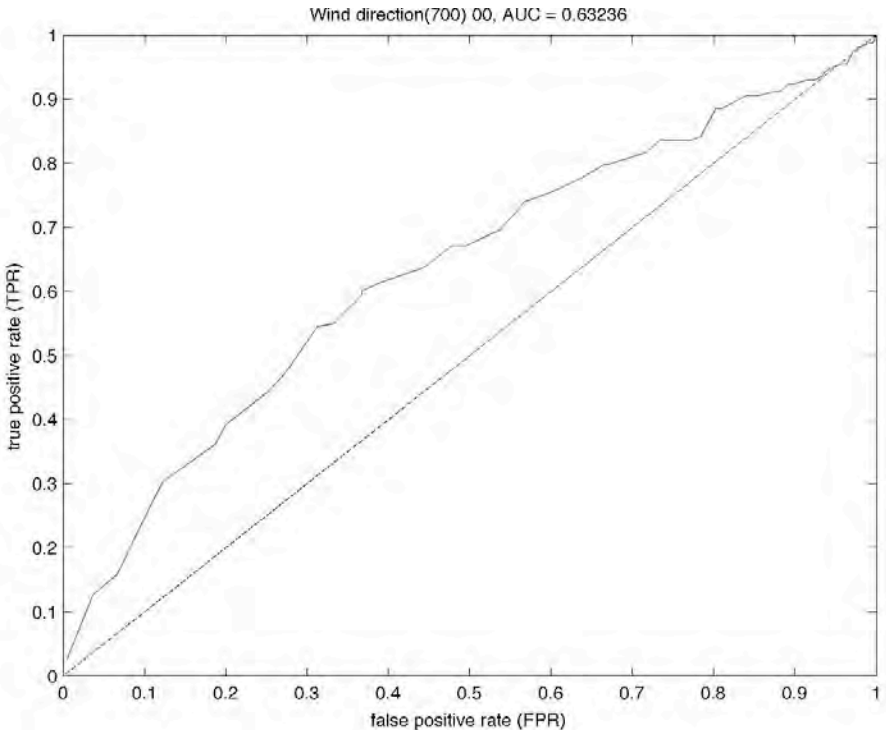
本研究將松山機場或桃園機場在地區時間中午12時至下午7時之間在該機場觀測到雷暴定義為午後熱雷雨事件，並以前文中所述各項熱雷雨參數預測6小時後的天氣現象觀測資料中午後熱雷雨事件的發生。以在氣象作業中最常使用的多層倒傳遞網路設定進行訓練。

（三）研究結果

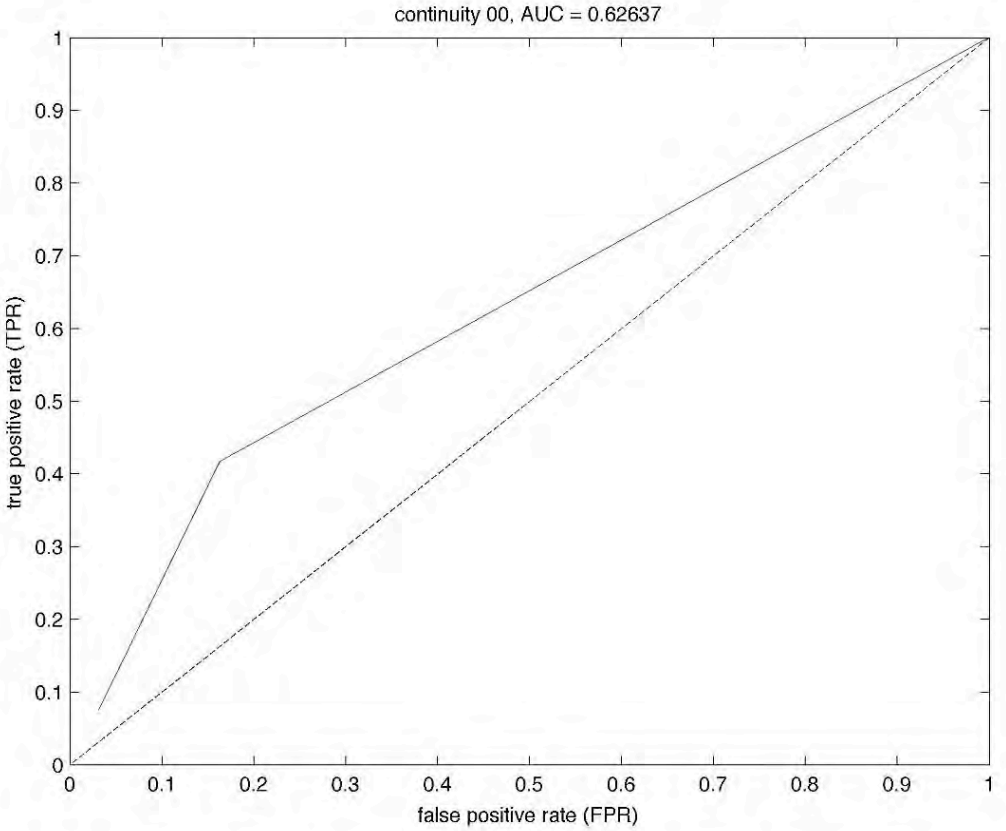
利用ROC曲線分析，我們得到各參數的ROC曲線圖與相對應的AUC面積評分:

在ROC曲線圖中，中央由(0,0)畫至(1,1)的虛直線代表進行亂數猜測所繪出的ROC曲線，當某參數所繪出的曲線位於這條直線的左上方時，代表其預測能力高於亂數猜測，若曲線愈貼近左上方，其表現就愈好。AUC面積則代表該曲線下方所圍面積，同樣的道理，當所圍面積愈大，表示該參數在預報上表現愈好。

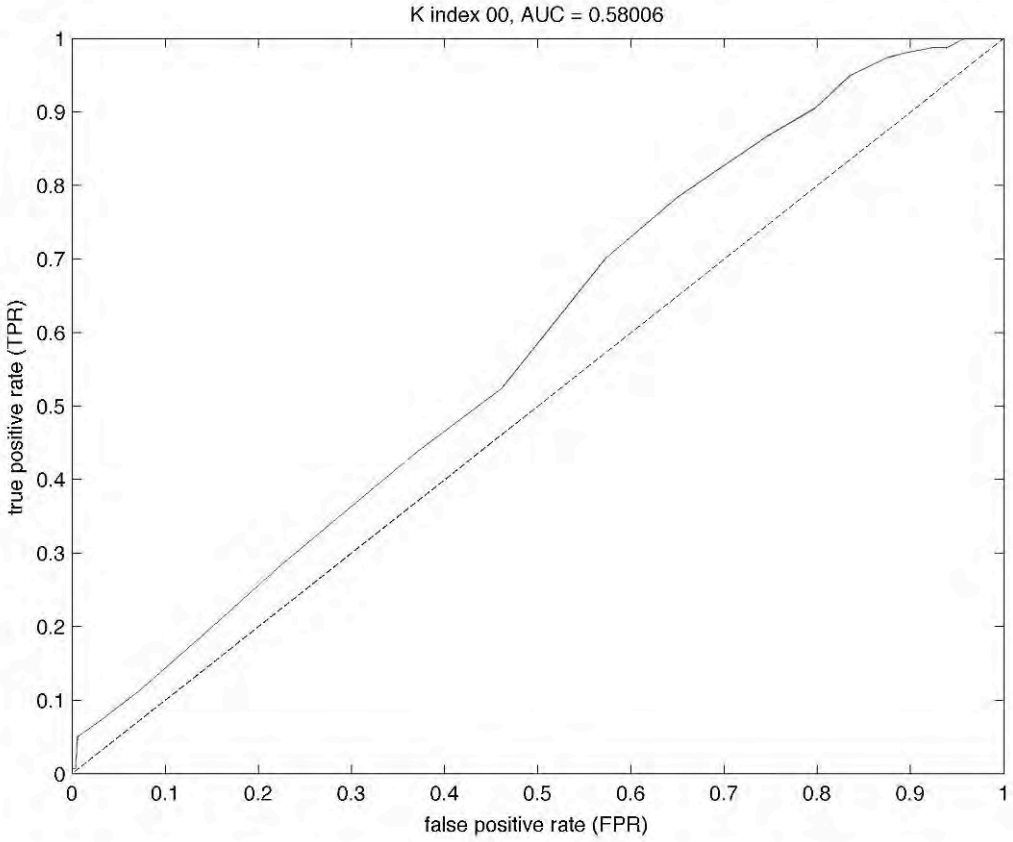
由於桃園機場在夏季實際發生午後熱雷雨進入機場範圍的次數並不高，因此本研究先以松山機場午後熱雷雨的發生作為檢驗參數表現的標準。當然，在進入類神經網路建構階段時，仍會另外針對桃園機場的午後熱雷雨進行分析，期望能對兩個機場分別建立起獨立的預報參數組合以及分析。

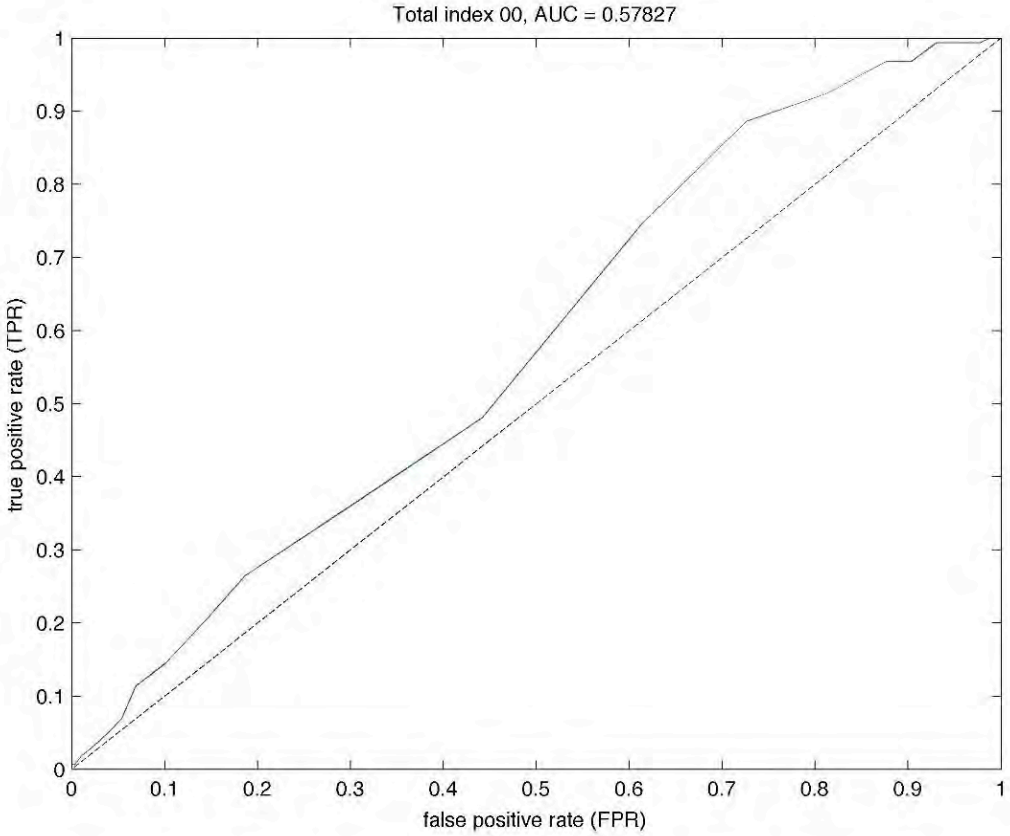


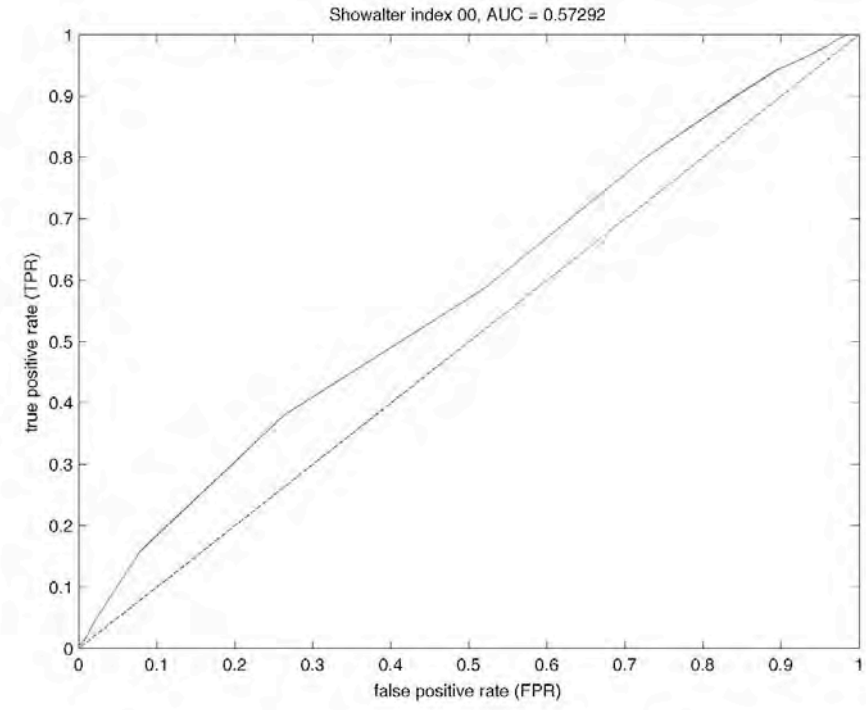
上午8時（世界時0時）這一組中，表現最好的是700hPa的風向這項參數，當風向愈接近225度時，發生雷雨的機率愈高，所圍AUC面積達到0.63，為所有參數中最高的。



居次的為連續性參數，當連續發生雷雨的天數愈多，接著繼續發生午後熱雷雨的機會也就愈高。連續性參數的AUC面積為0.626，為所有參數中第2高的。



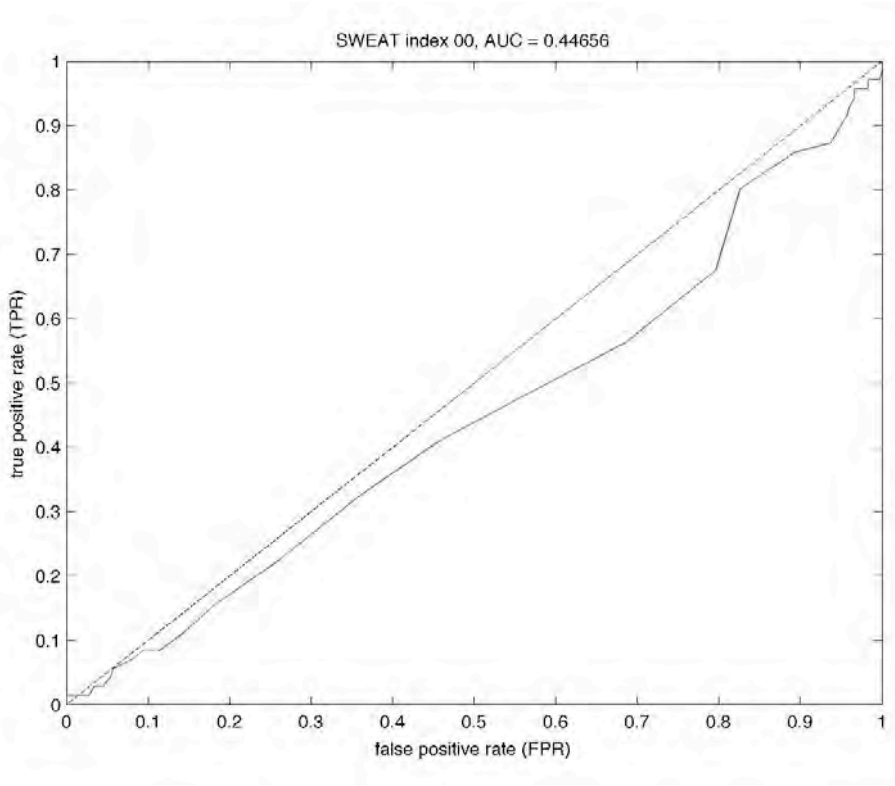




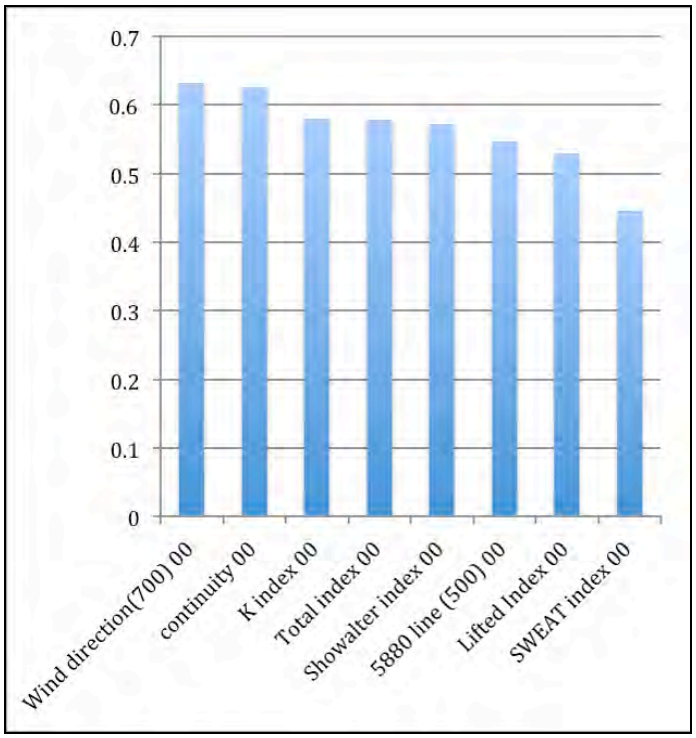
接下來是K index，Total index和Showalter index，這三個美國預報作業所使用的參數在AUC面積得分分別為：0.58，0.578和0.572，彼此之間相差不多，都是表現仍算不錯的指標。

接下來的5880線東西位置與舉升指數Lift index，在AUC所圍面積得分為0.54與0.52，已經非常接近亂數猜測的結果。這說明了這兩個參數在預報午後熱雷雨時的參考幫助不大，若將

這兩項參數考慮在內的話容易在預報上出現誤差。



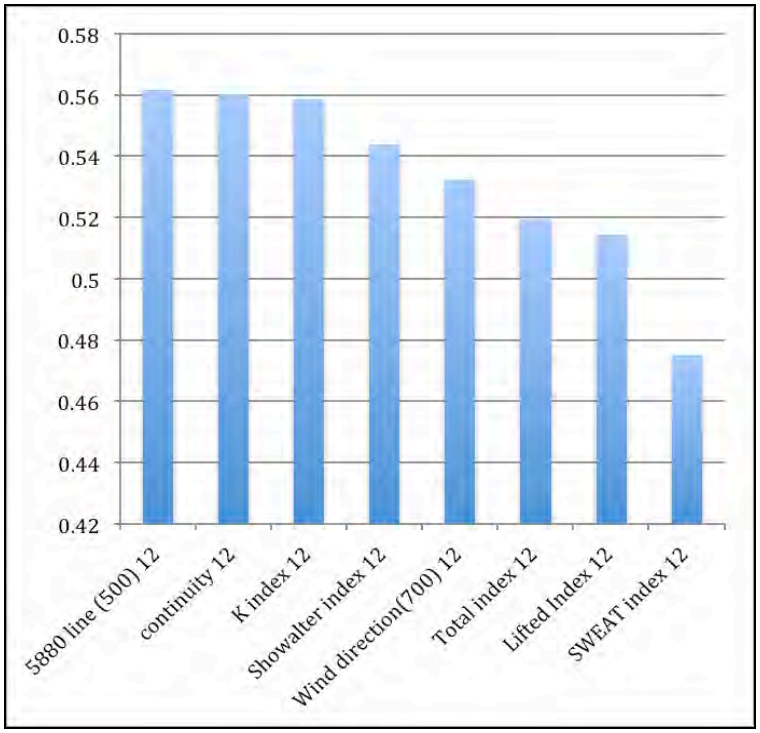
最後是SWEAT index，它所圍出的AUC面積為0.446，為所有參數中最差的，甚至低於亂數猜測，可以說是一個反向指標。



所有參數在AUC所圍面積得分如上表。

而在下午8時所紀錄的參數值對應到隔日午後熱雷雨發生機會的表現普遍低於上午8時所

紀錄的參數。這是由於上午8時日間加熱開始，且與所預報的時間相差只有6到10小時，而下午8時所紀錄的參數經過一個晚上的冷卻，與隔日下午的環境熱力條件的關聯性降低。



所有下午8時所紀錄參數在AUC所圍面積得分如上表。5880線的位置反躍居第一，這主要是因為太平洋副熱帶高壓勢力的消長較其他熱力參數更不容易受到夜間冷卻的影響。連續性參數的表現仍然不錯，而700hPa風向的預報表現就大幅下降。

經過ROC分析與AUC面積評分之後，將表現較好的參數輸入類神經網路之中，實驗何種組合表現較佳。在先期實驗中初步取得不錯的成果，有些組合所產生的AUC面積得分甚至達到0.7以上，但由於類神經網路的訓練深受所輸入的資料數目和品質的影響，這些初期的實驗成果還不穩定，在獨立專為測試所保留的資料測試中，得分就又不如預期，仍需要進一步調整。

四、 結論

午後熱雷雨的預報常被視為較複雜的預報項目，由於牽涉到綜觀尺度、中尺度和地區因子的交互作用，包含了許多複雜的機制與過程，而且針對單一機場範圍預測雷雨是否會進入該區域很難達到理想的準確性和一致性。目前的理論發展與數值模式已經可以幫助預報人員估計其發生的概率，然而在實際編發機場終端預報或短期預報時仍需要靠預報員依自己對地區性因子的了解和過往的經驗做出最後結論。臺北航空氣象中心首先以電子化檢查表的方式將其量化，更進一步建立起客觀性的參考工具。

在各國作業單位的研究文獻中，應用類神經網路預報這類飛航惡劣天氣的效果相當好，而他們在建立網路和訓練過程的經驗也非常值得我們參考。類神經網路在適當的設定和訓練之後，可以模仿人類累積經驗建立經驗模式的過程，而多層類神經網路處理非線性問題的能力，正適合搭配民航局氣象中心現有電子檢查表，進一步將表現較佳的參數組合成類神經網路結構。以目前的研究成果，這個研究所使用的方法和計畫已取得初期的成功，在細緻化類

神經網路系統之後，應能將原本電子化熱雷雨檢查表的功能和準確率進一步提升，成為雷雨預報的重要客觀參考。

參考文獻

Bergot, T., Carrer, D., Noilhan, J., and Bougeault, P., 2005: Improved Site-specific Numerical Prediction of Fog and Low Clouds: a Feasibility Study, Weather and Forecasting, 20, 627-646.

Demuth, H., and M. Beale, 2001: Neural Network Toolbox: For Use with MATLAB. 4th ed. The MathWorks, 844 pp.

Fabbian, D., de Dear, R., Lellyett, S., 2006: Application of Artificial Neural Network Forecast to Predict Fog at Canberra International Airport. Wea. Forecasting, 22, 372–381.

Hall, T., H. E. Brooks, and C. A. Doswell III, 1999: Precipitation forecasting using a neural network. Wea. Forecasting, 14, 338–345.

Marzban, and G. J. Stumpf, 1996: A neural network for tornado prediction based on Doppler radar–derived attributes. J. Appl. Meteor., 35, 617–626

Nugroho, A. , Kuroyanagi, S., Iwata, A., 2002: A Solution for Imbalanced Training Sets Problem by CombNET-II and Its Application on Fog Forecasting. IEICE Trans Inf Syst, E85-D.7, 1165-1174.

Pasini, A., V. Pelino, and S. Potestà, 2001: A neural network model for visibility nowcasting from surface observations: Results and sensitivity to physical input variables. J. Geo-phys. Res., 106, 14 951–14 959.

Tasadduq, I., S. Rehman, and K. Bubshait, 2002: Application of neural networks for the prediction of hourly mean surface temperature in Saudi Arabia. Renewable Energy, 25, 545–554.

Tseng, and Chan, 2008: 利用倒傳遞類神經網路模式預測臺灣成霧現象之研究. CWB97-1A-16研究發展專題.

臺北航空氣象中心作業手冊.松山機場熱雷雨預報檢查表 2006.12.10

http://twister.sbs.ohio-state.edc/severe/

桃園機場霧季長度之年際變化分析探討

藍嘉偉

民用航空局飛航服務總臺

摘要

桃園機場於每年一至三月間，從西南進帶來的暖濕氣流與臺灣附近冷海面所造成之平流霧經常使得機場低於起降標準。因此，能夠了解每年霧季長度的影響因素便顯得格外重要。本研究利用每年桃園機場霧季長度與各大氣相關因子進行相關性分析，其中分析因子包含有大氣條件及地表邊界條件兩大類。

在過去的氣候統計中，桃園機場主要的霧季為每年的一至三月，且有霧時的風向以西北至東北風為主，風速約3~4kt。此時臺灣地區附近的海水溫度較低，而底層1000hPa及925hPa風場主要以東北風為主，而850hPa則以西南風為主。影響霧季長度的原因中，地表邊界的冷卻作用使得空氣溫度降低成霧，850hPa的南北向風場帶入南方空氣，兩者搭配形成有利成霧的條件，接著低層的風場將海面上的霧吹入桃園機場之中，使能見度降低進而影響飛機起降。

充分了解每年霧季長度的影響原因後，便可以在霧季來臨前預做準備，使低能見度對飛航的影響降到最低，以減少經濟上的損失。

一、前言

桃園國際機場位處於近海位置，在每年霧季時所帶來的平流霧總是造成航班起降大亂，影響時間短則一兩小時小時長則半天一天，但每年霧季長度皆不相同，有些年份會特別嚴重有些年則較輕微，在此研究便是欲探討造成此差異的原因。

關於霧的研究探討，前人主要以個案分析探討為主，鮮少有針對長期氣候統計結果進行探討，而過去在長期氣候統計上也主要針對大尺度的環流場或地表邊界條件加以探討，而非與單一測站氣候資料進行分析。Chou and Lan（2012）利用GPCP降水觀測資料與CMIP3 Model Output資料進行全球降水分析，提出在全球平均降水則會乾季越乾濕季越濕的論點，並藉由水氣能量方程來探討造成此結果的原因，至於各區降水趨勢分布則會有差異。此為降水長期趨勢結果，然而每年霧季長度的年際變化趨勢又是如何？霧季長度差異的原因又為何？這是此篇研究要探討的方向與重點。

二、資料

本研究使用的資料有以下三種：

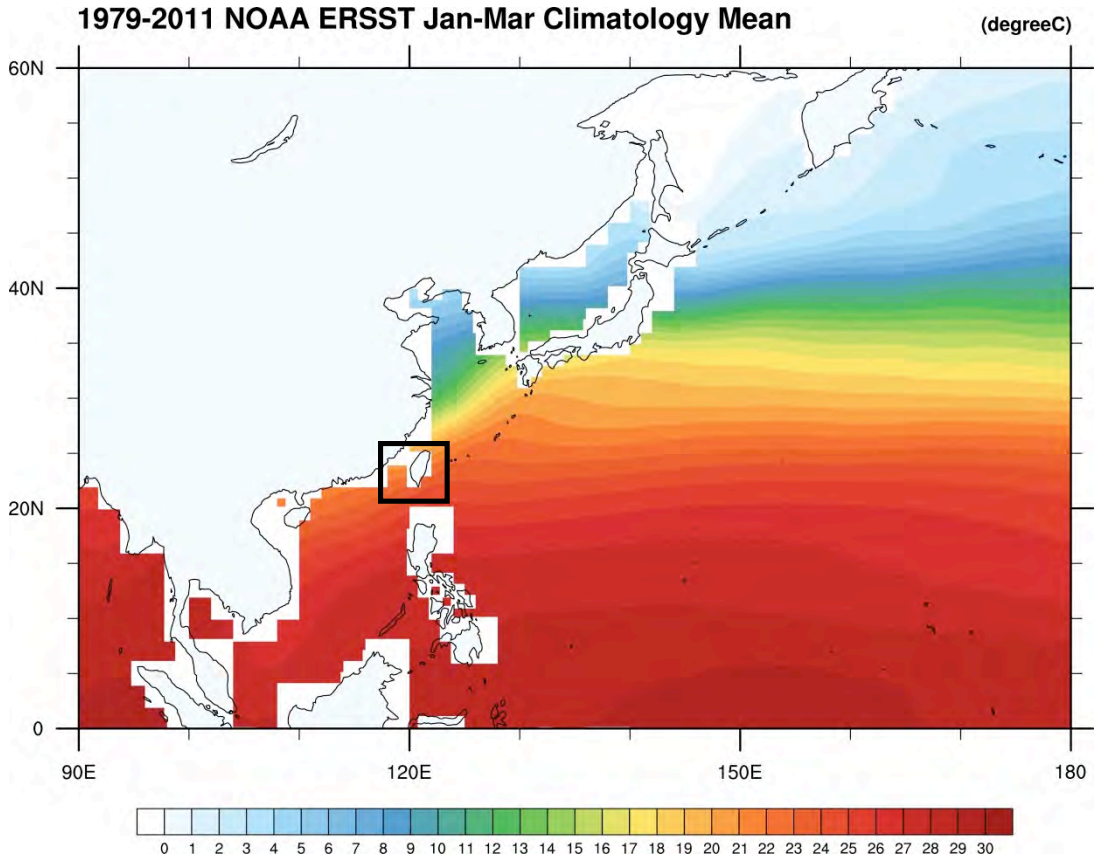
（一）1979~2011桃園機場例行天氣及特別天氣觀測報告資料，利用此資料可以統計出桃園機場每年霧季時間長度，及瞭解霧季時桃園機場的平均天氣狀態。

（二）1979~2011 NCEP R2再分析月平均資料，其中包含有近地表通量及其他氣象參數，此資料可用以分析出每年霧季長短與何種氣象要素有間接或直接相關。

（三）1979~2011 NOAA海表溫度資料ERSST（Extended Reconstructed Sea Surface Temperature），因桃園機場以平流霧為主，海水溫度為霧形成的關鍵要素，且在前人研究中此海表溫度資料不但時間長度足夠，且資料可信度也佳，因此本研究選擇此海溫資料進行分析探討。

三、研究方法

本研究欲建立任一大氣參數與桃園機場霧季長度年際變化相關性，且霧屬於一個小尺度的天氣現象，因此先把各大氣參數進行區域平均（20N~26N，116E~122E），此為臺灣附近區域如圖（一）黑色方框區域所示。且又因桃園機場（RCTP）霧季主要為每年的1~3月，如圖（二）所示，因而再進行每年1~3月的平均，便可得到任一大氣參數的時序資料，接著再與桃園機場霧季長度年際資料進行相關性分析及迴歸分析，藉以瞭解何種大氣要素是影響每年霧季長短的主要因素。



圖（一）1979~2011年1~3月NOAA的ERSST氣候平均場，其中黑色方框為區域平均區域（20N~26N，116E~122E）

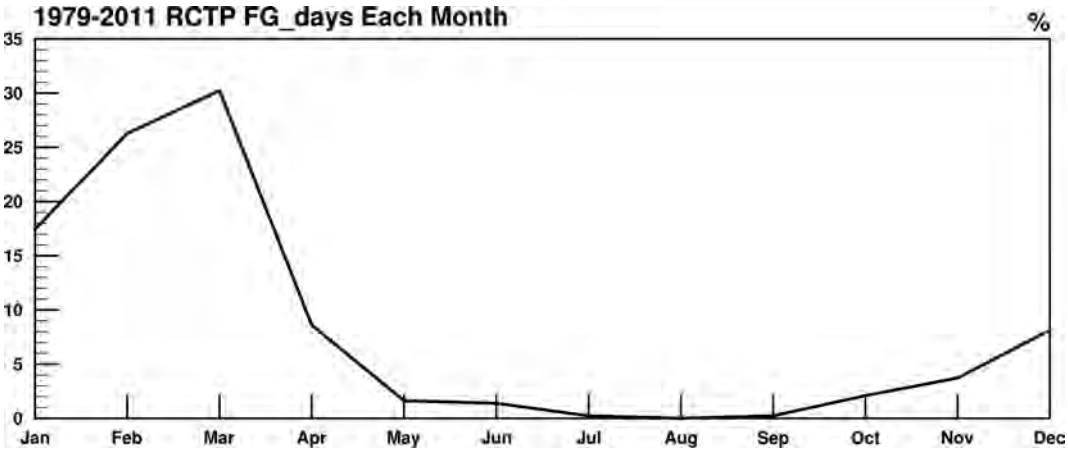
四、氣候分析

在探討影響霧季長度年際變化前，必須先瞭解桃園機場霧季的大氣參數統計結果及臺灣附近區域平均的氣候特性。圖（二）為1979~2011年RCTP每月有霧天數佔整年比例，可以清楚瞭解主要霧季為每年的春季1~3月，而6~9月極少機會有霧產生，在10~12月秋冬季時則有些許霧產生。圖（三）為1979~2011年RCTP有霧時風向分佈比例及平均風速，可以發現當桃園機場有霧時，風向主要以西北至東北風為主，至於風速則非常微弱約3.58 kt。圖（一）為1979~2011年1~3月NOAA的ERSST氣候平均場，從圖上可發現在臺灣海峽附近海表溫度比起

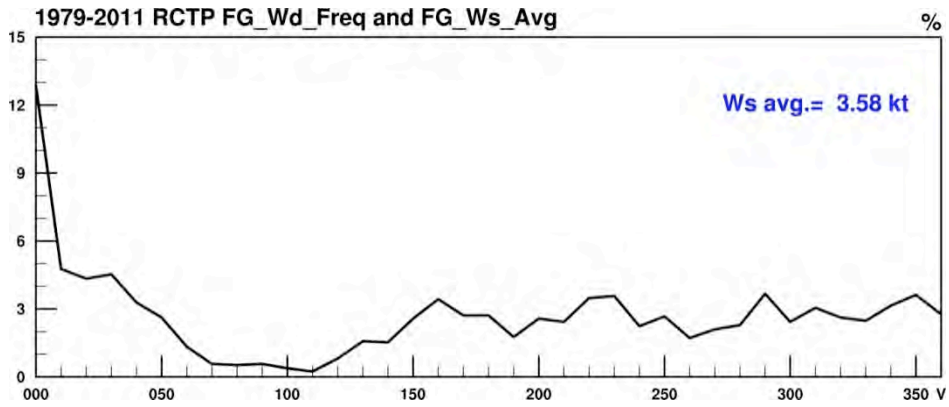
同緯度地區都還要來的低一些，主要因為此時盛行風仍然為東北風，使得海表溫度較低。圖（四）為1979~2011年1~3月NCEP R2再分析風場資料平均（1000hPa、925hPa、850hPa），從圖中可發現在風場1000hPa及925hPa低層主要以東北風為主，但到了850hPa則以西南風為主。在圖（一）及圖（四）並配合過去個案分析，可以瞭解此時較低的海溫及850hPa西南盛行風的環境場是有利於臺灣附近霧的形成。

從圖（一）~圖（四）的分析結果可知桃園機場的霧主要是從海上移入，當有霧發生時風向主要以西北至東北風為主且風速微弱，此風向有利於將海上形成的霧吹入機場，至於850hPa風場則提供暖濕空氣，而每年的霧季主要在1~3月。這樣的結果與前人的眾多個案研究結果及觀測經驗一致。

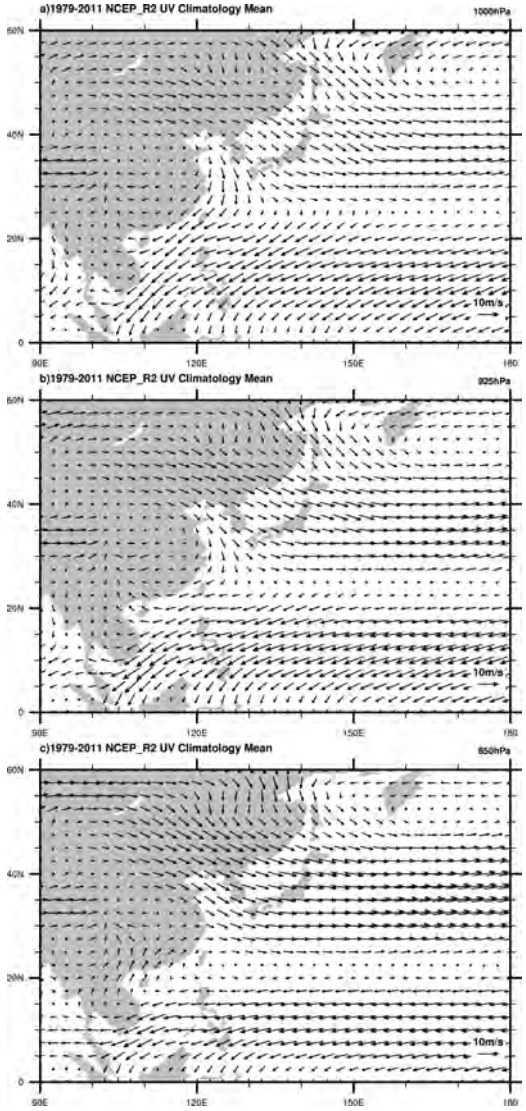
圖（五）則為1979~2011年RCTP霧季長度年際變化，圖中可以發現每年的霧季時間長短皆不一致，1987年可以高達6000分鐘，而有些年份則少於1000分鐘，儘管線性迴歸趨勢線仍有每十年約增加10分鐘的趨勢，但是並沒有通過統計檢定，因此不足以判定隨時間霧季長度有增加的情形，但可確定有某些大氣條件影響著每年霧季長度，後面一節則是要針對此問題加以探討。



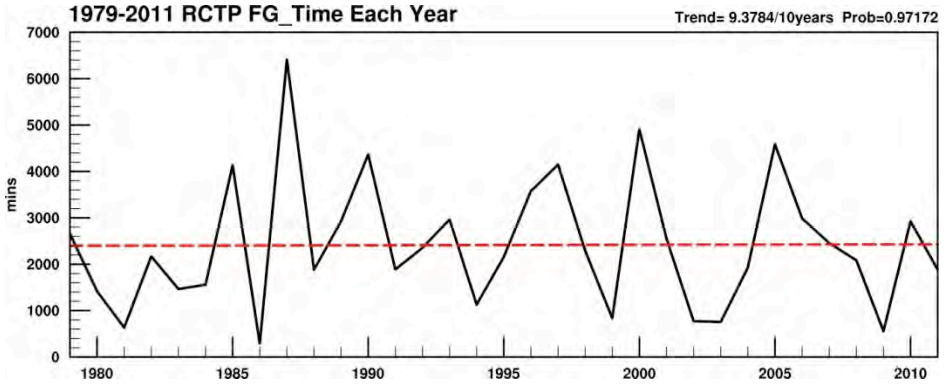
圖（二）1979~2011年RCTP每月有霧天數佔整年比例



圖（三）1979~2011年RCTP有霧時風向分佈比例（%）及風速平均（v：風向不定）



圖（四）1979~2011年1~3月NCEP R2再分析風場資料平均，a）1000hPa，b）925hPa及c）850hPa



圖（五）1979~2011年RCTP霧季長度年際變化
（紅線為趨勢分析線，每十年增加9.3784分鐘）

五、結果分析與討論

霧季長度隨年不同，在本節利用NCEP R2再分析資料的各種大氣參數與之進行相關性分析探討，以找尋哪一大氣條件是決定每年霧季長度的主因。在此節主要分成三部分來探討，地表邊界條件、大氣條件及各大氣要素的相關性分析:

（一）地表邊界條件

從前一節的氣候分析知道桃園機場的霧的主要是從海上移入，因此海表溫度扮演成霧很重要的角色，首先探討海表溫度對於霧季長度的相關性，圖（六）為1979~2011年RCTP霧季長度與NOAA的ERSST，其中兩曲線相關性僅管只有-0.091，但在許多年份有明顯的反相位關係，也表示海表溫度越低則霧季長度越長，反之亦然，至於相關性不足的原因可能在某些年受到其他大氣條件影響使得海表溫度的影響程度降低，因此無法得到高相關性。除海表溫度外，我們也必須知道地表溫度的情形，海水可以降低空氣溫度造成凝結成霧，而地表也能夠達到此效果，如圖（七）所示，也可發現地表溫度與海表溫度有類似的反相位關係，但一樣無法獲得較高的相關係數。

圖（八）為1979~2011年RCTP霧季長度與NCEP R2再分析資料的SHF（Sensible Heat Flux，可感熱通量）及LHF（Latent Heat Flux，潛熱通量），其中圖（八）之a）發現可感熱部分與霧季長度相關性並不好，但也是呈現負相關性，當SHF通量減少表示大氣能量往下至地表分量較大，使得空氣溫度下降水氣凝結，反之則空氣溫度上升相對濕度下降。至於負相關性不佳的原因是SHF利用Bulk Formula計算而來，而其中風速與霧季長度相關性極差，如表（一）所示，因而造成SHF與霧季長度相關性也隨著不佳。圖（八）之b）為LHF部分，圖中顯示表層濕度與近地空氣層濕度差值與霧季長度相關性佳，主要原因在於Qs-Qa為LHF的主要計算方式，Qs於海面近似飽和，而會改變的只有Qa，一旦Qa增加，表示近地空氣層水氣較多，成霧的機會則自然較大。因此，當LHF越低則霧季時間越長，反之亦然。

（二）大氣條件

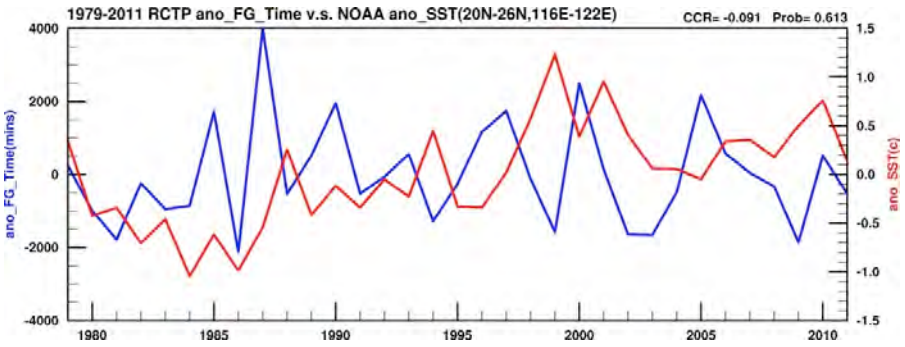
圖（九）為1979~2011年RCTP霧季長度（黑線）與NCEP R2再分析資料風場V方向分量，其中可清楚發現低層的1000hPa及925hPa南北風場分量與霧季長度並沒有很好的相關性，反而850hPa的則有較佳的相關性，主要於此季節時在850hPa有南風時會帶來南方的空氣，遇到冷海面會產生霧，因此與霧季長度有正相關性。

圖（十）為1979~2011年RCTP霧季長度（黑線）與NCEP R2再分析資料相對濕度，明顯發現只有在近地層的1000hPa有較佳相關，其他兩層相關性都不好，此結果與成霧的原因相符合。至於850hPa的相對濕度卻是與霧季長度負相關，造成此負相關結果原因有二：1.南方移入的溫暖空氣儘管帶了較多的水氣，但因空氣溫度較高會使得相對濕度降低。2.當相對濕度升高降水機率增加，一旦降水則成霧機率則會降低。基於以上兩個原因使得會有些微的負相關。

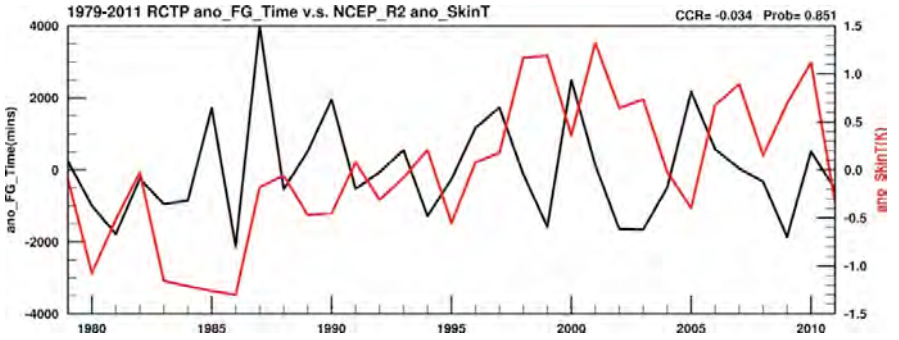
（三）各大氣要素相關性分析

表（一）為1979~2011年RCTP霧季長度與各大氣參數相關係數及各參數分類多重迴歸（Multi-Regression）後相關係數，可發現相關性較高的變數為地面通量的LHF，而其次為850hPa的V場，至於925hPa的各變數場都無法得到較佳的相關係數，為了探討各類大氣要素對於霧季長短的影響，因此進行了多重迴歸分析，從表（一）可以明顯發現有較高的相關性為地表的邊界條件及850hPa的大氣條件，但再深入細部探討850hPa大氣條件時發現主要高相關性來源為南北向風場的貢獻，而非其他大氣條件貢獻，因此真正影響桃園機場霧季

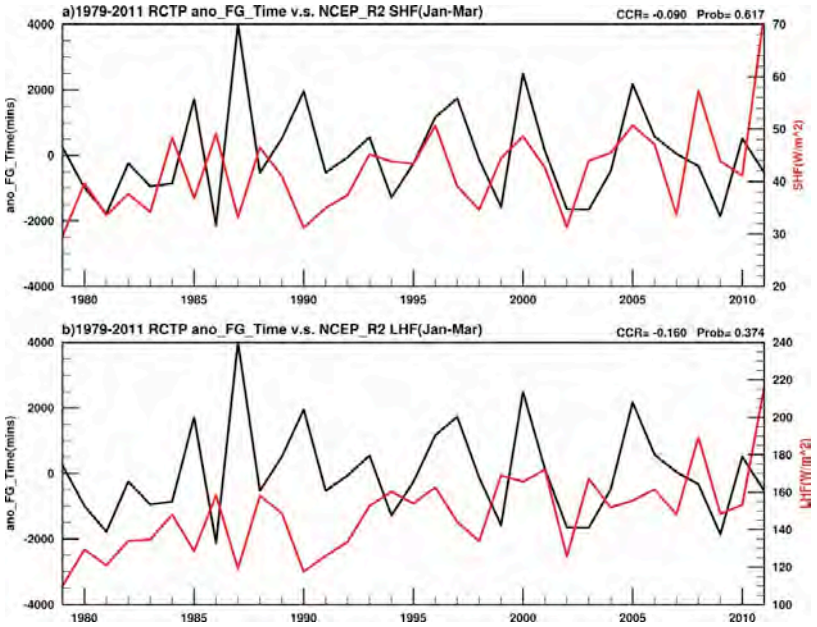
長度變化的最主要要素為二：地表邊界條件的冷卻作用及850hPa南北向風場帶入的是南方或北方空氣。



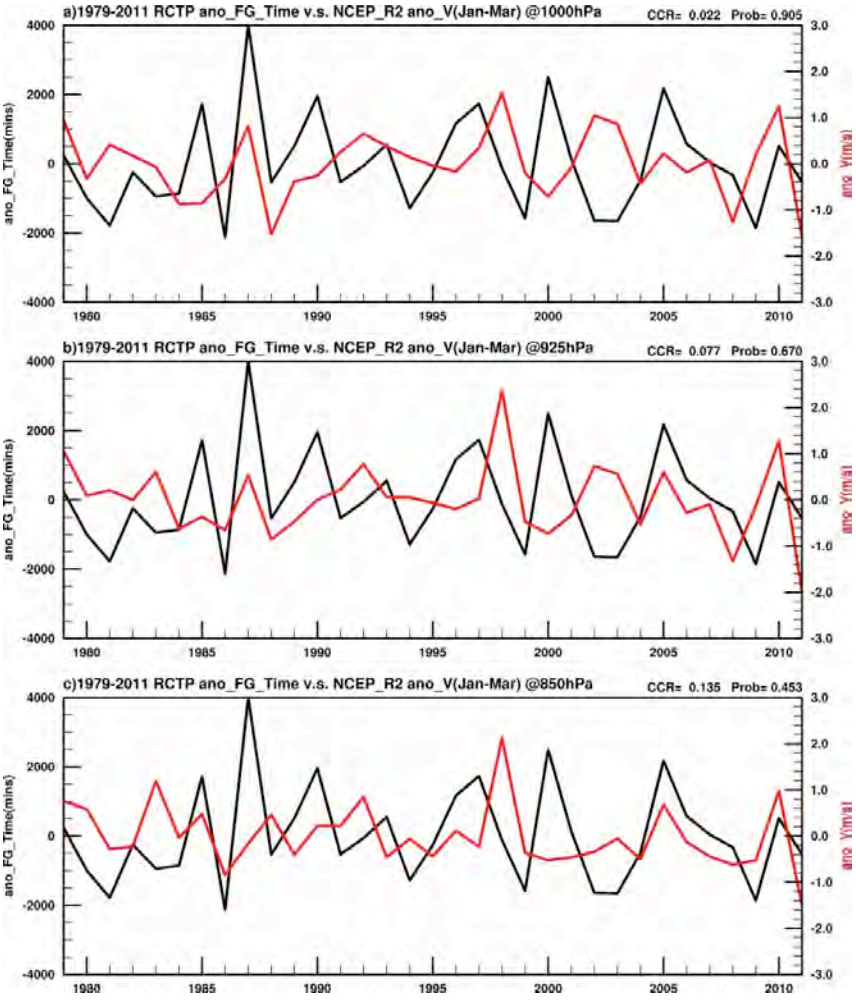
圖（六）1979~2011年RCTP霧季長度（藍線）與NOAA的ERSST（紅線），相關性為-0.091



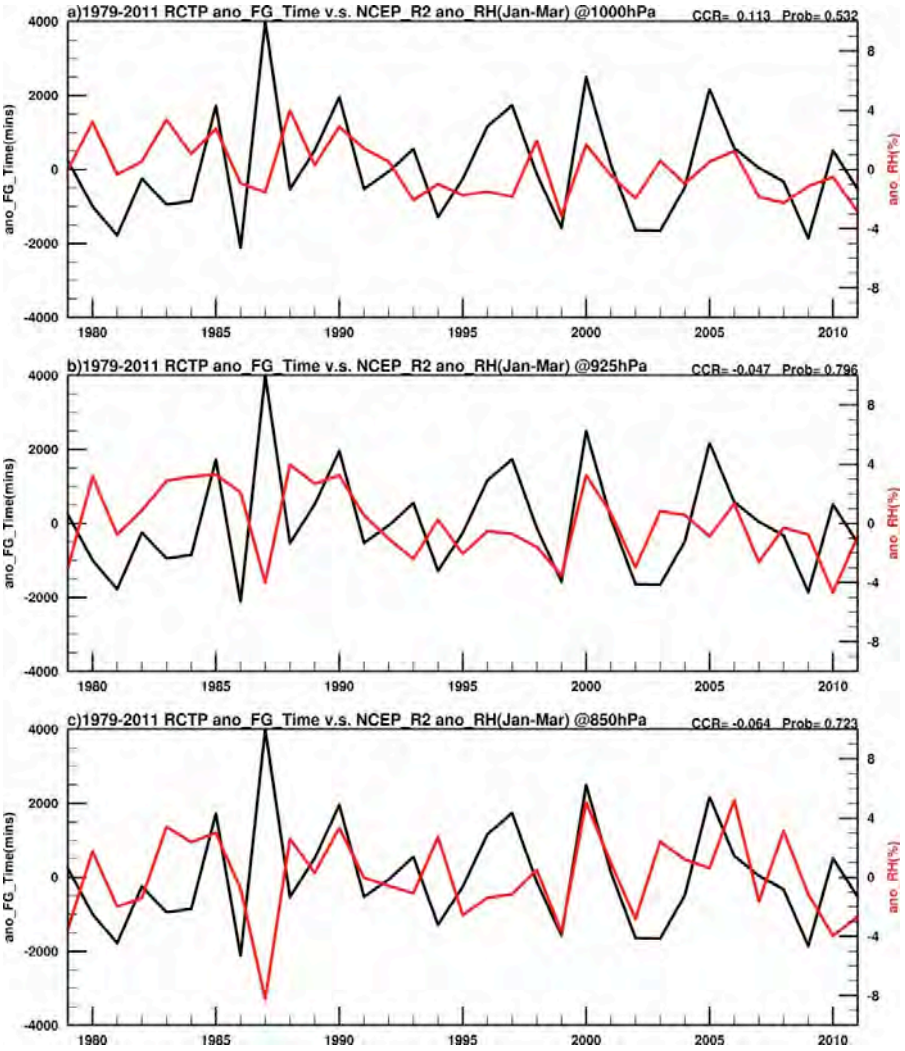
圖（七）1979~2011年RCTP霧季長度（黑線）與NCEP R2再分析資料表層溫度（紅線），相關性為0.034



圖（八）1979~2011年RCTP霧季長度（黑線）與NCEP R2再分析資料a）SHF（紅線）相關性為-0.90及b）LHF（紅線）相關性為-0.16



圖（九）1979~2011年RCTP霧季長度（黑線）與NCEP R2再分析資料風場V方向分量a）1000hPa（紅線）相關性為0.022，b）925hPa（紅線）相關性為0.077及c）850hPa（紅線）相關性為0.135



圖（十）1979~2011年RCTP霧季長度（黑線）與NCEP R2再分析資料相對濕度a）1000hPa（紅線）相關性為0.113，b）925hPa（紅線）相關性為-0.047及c）850hPa（紅線）相關性為-0.064

表（一）1979~2011年RCTP霧季長度與各大氣要素相關係數及各類大氣要素多重迴歸（Multi-Regression）後相關係數

Level	Variable	Correlation	Correlation (Regression)
1000hPa	T	-0.036	0.146
	RH	0.113	
	U	0.106	
	V	0.022	
	Ws	-0.081	
925hPa	T	0.013	0.083
	RH	-0.047	
	U	0.079	
	V	0.077	
	Ws	-0.088	
850hPa	T	0.085	0.262
	RH	-0.064	
	U	0.022	
	V	0.135	
	Ws	0.089	
Surface	MSLP	0.130	
Surface Flux	SST	-0.091	0.257
	Skin T	-0.034	
	SHF	-0.090	
	LHF	-0.160	

六、結論與未來展望

桃園機場主要的霧季為每年的1~3月，其他月份有霧的機會相當小，且有霧時的風向主要以西北至東北風為主，風速大小約3~4kt。而此時臺灣地區附近的氣候場條件，海表溫度相較於其他同緯度地區都還要來的低一些，主要因為此時盛行風仍然為東北風，使得海表溫度較低，至於底層1000hPa及925hPa風場主要以東北風為主，到了850hPa則以西南風為主。

每年霧季長度受到大尺度環流及地表邊界條件影響下時間長度皆不相同，在長期趨勢沒

有受到全球暖化影響而有明顯增加或是減少的情形。至於從地表邊界條件及大氣條件分開探討結果裡，可以明顯發現地表邊界的冷卻作用使空氣溫度降低相對濕度升高，而850hPa的南北向風場條件則是帶入南方空氣，兩者搭配形成有利成霧的環境，接著低層的風場將海面上的霧吹入桃園機場中，使得影響飛機的起降。

每年霧季長度受到的影響因素很多，在此研究只能針對前人所探討過的大氣參數來進行相關性及迴歸分析，而在空間平均也沒有進行敏感度測試，因此所得到的相關性並沒有很好。每年霧季桃園機場總是受到大霧的影響而航班大亂，如果在未來可以提早推估明年的霧季時間長度，及早因應準備，必能減少航班受大霧影響的經濟損失。

參考文獻

Chou, Chia, and Chia-Wei Lan, 2012: Changes in the annual range of precipitation under global warming. J. Climate , 25, 222-235.

Chou, Chia, Chia-Wei Lan, 2011: Enhancement of annual precipitation range under global warming. AMS 2011, American Meteorological Society Annual Meeting, 23-27 Jan 2011, Seattle, Washington.

Lan, Chia Wei, Chia Chou, 2010: Changes of Seasonal Cycle in Precipitation Under Global Warming. WPGM 2010, Western Pacific Geophysics Meeting, 22-25 June 2010, Taipei, Taiwan.

双流机场2012年4月30日长时间雷雨过程分析

林莉　李毅　柯宝学　胡壮
民航西南空管局

摘要

利用NCEP再分析资料、常规观测资料，对2012年4月30—5月1日发生在四川地区的雷雨天气过程进行了分析。从临近预报的角度，对预报服务进行总结。结果表明，水汽输送主要集中来自孟加拉湾，强对流天气发生的时间滞后于垂直速度及涡度所表现的强烈上升区出现的时间。临近预报中，环境风场对雷暴持续时间的影响，结合本场现有的雷达资料，初步给出一些经验的预报结论。

关键词:中尺度对流系统；不稳定层结；垂直风切变

一、引言

雷暴是影响双流机场夏季航班正常运行的主要天气。雷暴过程伴随的颠簸，积冰，风切变，冰雹，大风，强降水等恶劣天气对航空安全有很大影响。双流机场由于地形等诸多因素的影响，夏季天气复杂，中小尺度天气较多，雷暴等强对流天气发生概率较高。2012年4月30日晚到5月1日凌晨。四川省出现了一次强雷雨天气过程。双流机场于4月30日下午20:46分第一次闻雷，21:30出现雷暴伴小阵雨，22:00雷雨结束。22:30出现第二时段的雷暴，且短时伴有中到大阵雨。23:00之后维持雷暴伴小阵雨，于次日凌晨04:00，本次雷雨过程才完全结束。此次雷雨过程，共持续6小时44分钟，过程降水量达到28.5mm。

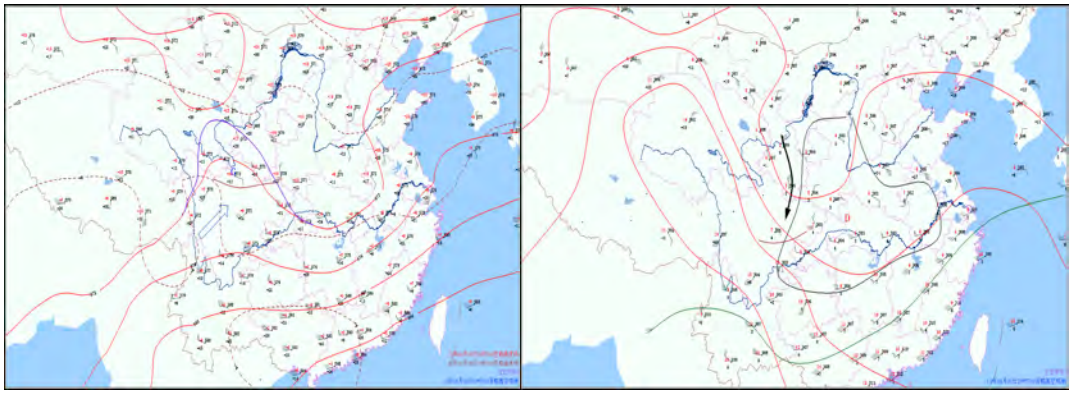
本次雷雨过程给五一长假出行的旅客带来了不便，造成40余架飞机备降，30余架飞机延误，给航空安全带来压力。此次雷雨过程，双流机场预报员预报雷雨的发生时间与实际雷暴出现时间仅相差12分钟，且对第一时段的雷暴开始和结束时间做了很好的预判，算是预报成功的方面。但随着本场第一时段雷暴的结束。预报员对本场的第二时段雷雨结束时间预判不够准确，雷雨实际结束时间比预报员估计时间长2小时左右。对持续时间超过4小时的雷暴，对其结束时间的预报上，还存在一个薄弱环节。本文利用常规资料、NCEP1º×1º资料，以及卫星，雷达资料对2012年4月30日影响双流机场的一次强对流天气过程进行探讨，以期提高对此类强对流天气的认识能力，特别是对持续时间超过3小时以上的雷暴，能得到一些有用得结论，为今后在实际预报中提供一些参考依据。

二、雷电分布概况和大尺度环流形势简介

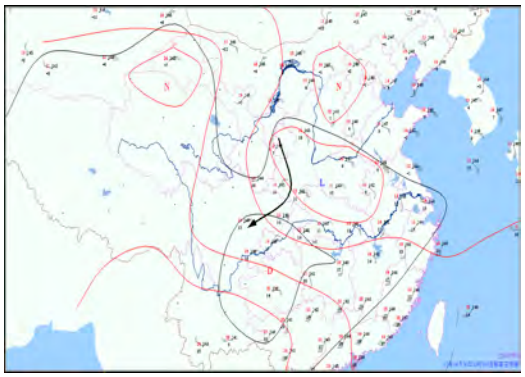
（一）雷电分布概况

从4月30日20：00至5月1日04:00四川省雷电分布图上（图略）看到，发生强对流的区域主要集中在成都市的西北，西南和东南，三个方向。其中正闪203，负闪678。

（二）大尺度环流形势



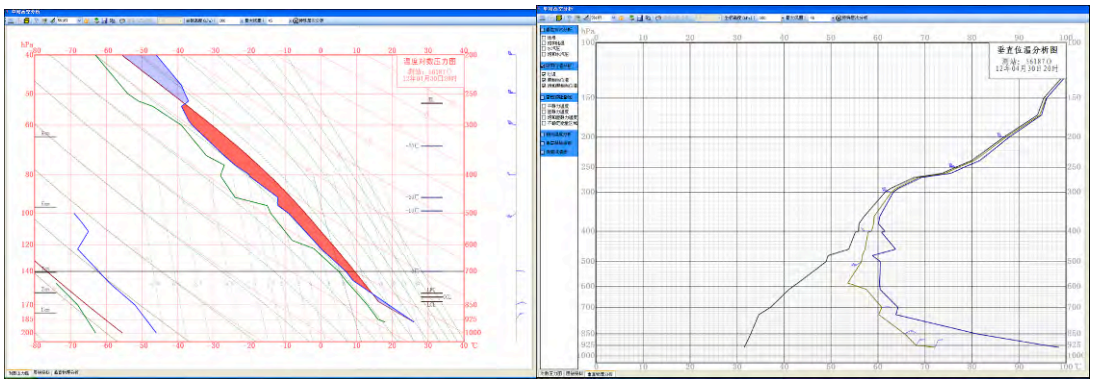
(a)　　(b)



(c)

图1　2012年4月30日20时500hPa(a)，700hPa(b)，850hPa(c)高度风温图

从4月30日20时500hPa实况图（图1a）来看，从高原东部到成都以北地区，维持一横切变，四川及高原南部为强偏西南气流，风速达到12m/s，有利于该层的水汽输送。700hPa以偏北风为主， 850hPa为偏东北气流，均伴有较为明显的冷平流。地面图上（图略）盆地北部已经有明显梯度及正变压，冷空气已到达盆地北部，开始南下影响。



(a)　　(b)

图2 2012年4月30日20时(a)t-lnP图和(b)V-3θ图

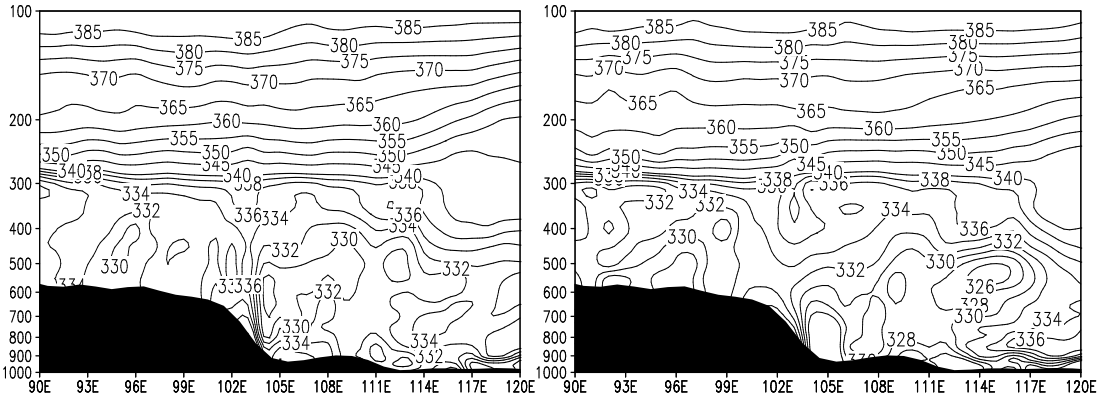
从2图看到 ，从30日08时（图略）和20时(图2a)的t-lnP图对比可以看出K指数从37到39，SI指数从-1.74到-2.14.CAPE值从0增大到1394.3。对流凝结高度明显下降等等。这些都有利于

强对流天气的发生。且整层大气的相对湿度较高，高温高湿的环境，以及大气的不稳定都利于出现强对流天气。从（图2b）V-3θ图上看，也能得到相似结论。从低层到500hPa风场随高度顺时针旋转，表示天气将转差。从双流机场多年的雷暴日统计得出，夏季当K达到37以上，比较有可能出现雷暴天气。

三、各物理量诊断分析

形成雷暴天气的三个基本要素：不稳定层结，充沛的水汽和抬升条件。目前对过程的预报，都从实况出发，结合形势预报和各家数值预报的要素场，均能对强对流天气发生的大致时间有较好的预测，临近预报则更多的需要结合云图和雷达图。为了更准确的对此次过程进行分析，下面从实况资料出发分析此次强对流过程，以便对后续的临近预报给出一定的指导意见。

（一）不稳定层结

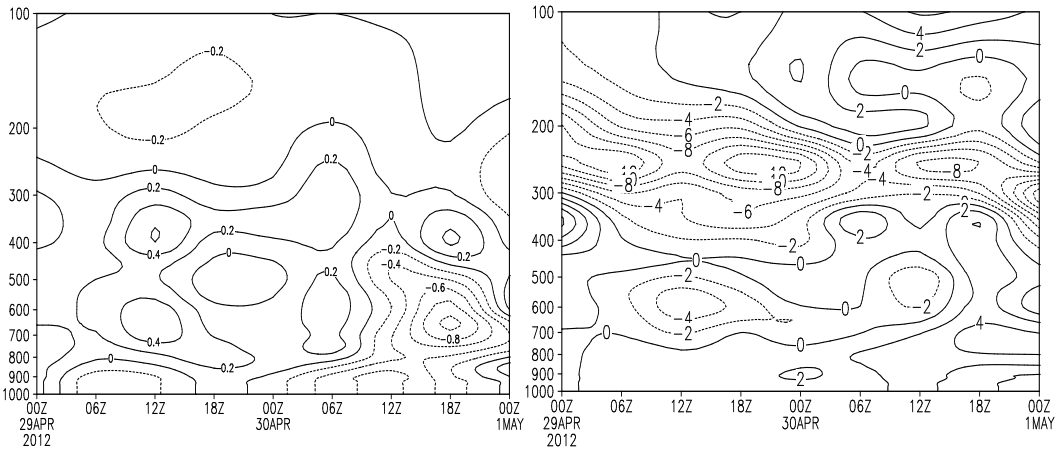


(a) (b)

图 3 a、2012年4月30日20时沿30°N 剖面的θse纬向高度剖面图；b、5月1日02时沿30°N剖面的θse纬向高度剖面图

假相当位温θse是在大气的干、湿绝热过程中都守恒的一个重要特征参数，它不仅与空气质块的温度有关，还与质块的湿度有关，它能很好的反映一个地区的热力学性质[1]。从4月30日20时的沿30°N剖面的θse纬向高度剖面图(图3a)上可以看出：在30日20时，102ºE开始到108ºE有一个从近地面向上延伸到800hPa的高能丘，其上θse值随高度减小，说明该地区对流层低层，处于对流不稳定状态。特别是在103ºE附近，300hPa上有一高能舌向下延伸到400hPa。低层的高能丘也是逐渐向上伸展到600hPa，说明103ºE附近的对流层低层处于对流不稳定状态。5月1日02时(图3b)，高能丘盆地东部106ºE，且向上伸展到600hPa，而在103ºE上300hPa的高能舌向下延伸到450hPa，且高能区均向东发展。这种高能量区分布以及逐渐向东的扩展，对比该时段的降水以及雷暴情况(图略)可知，双流机场在4月30日20:46分出现雷雨，之后，重庆机场也在5月1日凌晨02时20分左右出现雷雨天气。雷暴区正好位于高温高湿区内，由此可见，此次雷暴过程中对流不稳定状态对对流发展有一定的促进作用[2]。

（二）动力条件

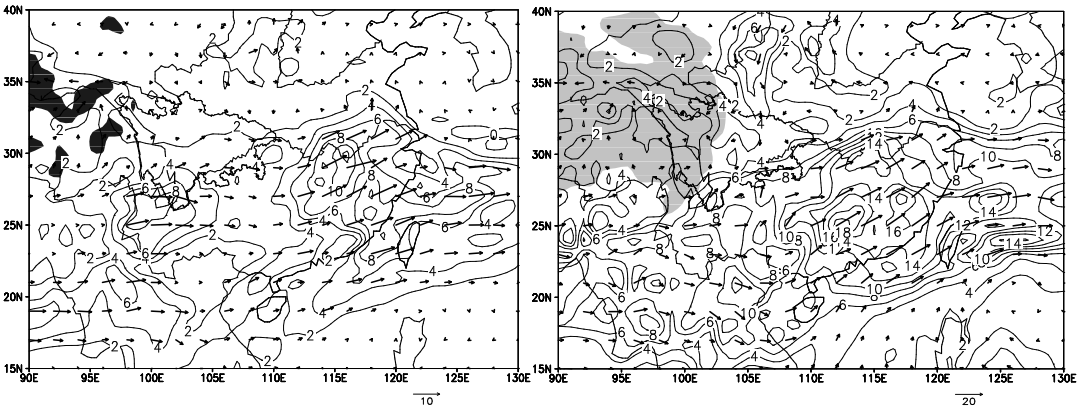


(a) (b)

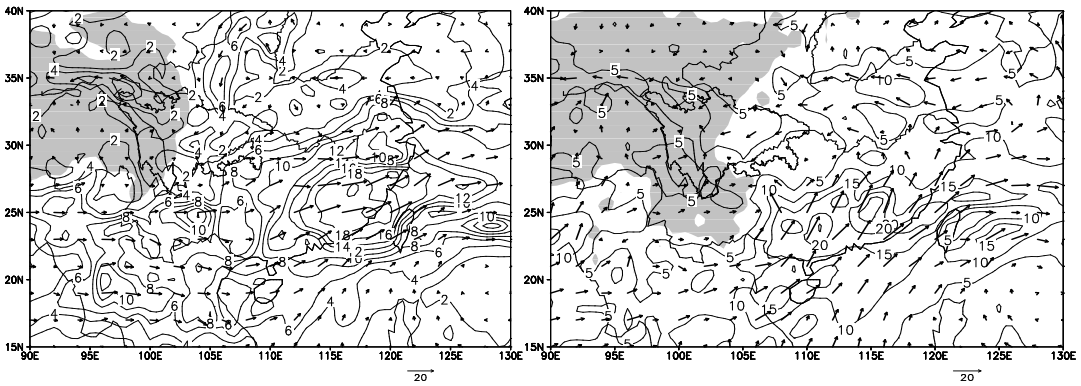
图4　2012年4月29日20时-5月1日08时103ºE、30 ºN点的垂直速度时间-高度剖面图(a，单位：10^{-2} hPa·s^{-1})和涡度时间平均的时间-高度图(b，单位：$10^{-5}s^{-1}$)（时间为世界时）

分析沿103ºE、30 ºN的垂直速度（图4a）和涡度的时间-高度剖面(图4b)，在强对流天气开始前，在20时前已有向上的垂直运动达到400hPa以上，5月1日凌晨02:00上升运动达到最大，最强上升运动中心位于600hPa附近，中心值大于10×10^{-5} s^{-1}。且在04:00上升运动的强度减弱，上升高度也开始降低。从涡度时间-高度剖面图(4b)上看，从20时开始，从地面到350hPa气层逐渐以正涡度区为主，正涡度中心位于850hPa到700hPa，中心值大于$4\times10^{-5}s^{-1}$，以上为负涡度区，对应低层正涡度中心在250hPa附近，负涡度中心值为$-8\times10^{-5}s^{-1}$。强对流天气的开始时间较出现垂直速度上升区的时间略滞后。中低层正涡度中心先于强对流系统发展（图略），而垂直上升运动是低层气流辐合抬升的结果，从涡度分布上看初始动力条件是高层有辐散下沉，低层有明显辐合上升运动，配合水汽输送，有利于强对流天气的发生[2]。

（三）水汽条件



(a) (b)



(c) (d)

图5 水汽通量图 (单位: $g\cdot cm^{-2}\cdot hPa^{-1}\cdot s^{-1}$): (a) 500hPa, 4月30日20时, 阴影地形高度>5000m; (b) 700hPa，4月30日20时; (c) 700hPa, 5月1日02时，阴影地形高度>3000m; (d) 850hPa，4月30日20时, 阴影地形高度>1500m。

为分析此次强对流过程的水汽供应情况，计算了4月30—5月1日川渝各层水汽通量输送的分布，在500hPa水汽通量分布(图5a)上，随着西南气流加强，来自孟加拉湾的部分水汽爬越云贵高原后继续向盆地输送，4月30日20时(图5a)开始，盆地南部地区有个水汽的集中区域，水汽通量大值区位于川南。从700hPa水汽通量分布图可以看到，30日20时（图5b）由于受青藏高原和云贵高原地形阻挡作用，来自孟加拉湾的水汽绕过云贵高原，在对流层中低层形成自西南到长江中下游地区的西南—东北向强水汽通量带。在西南地区，水汽通量大值区主要位于云贵地区，并且有向盆地地区输送的水汽通量，与从河套地区南下的冷湿空气在盆地中部交汇；相同的水汽输送情况在降水开始后700hPa上（图5c）更加显著，河套地区与川南地区都为水汽通量大值区，均向盆地有显著的水汽输送。从850hPa（图5d）上看，来自孟加拉湾的水汽绕过云贵高原，一路向北输送进盆地，水汽通量大值区在贵州以及长江中下游地区，在长江中游地区配合850hPa为一个辐合后边偏北气流，有一股向西的水汽输到达盆地，盆地为水汽输送的汇。因此，从低层850hPa到高层500hPa水汽的输送情况可以看到，川渝地区三层均有水汽输送进入盆地，此次强对流过程的水汽是来自孟湾，在对流层低层绕过云贵高原进入盆地或在对流层中层爬越高原，输送进入盆地。

从上述分析可知，此次强对流过程主要是由高温高湿的不稳定环境配合冷空气南下，及整层水汽的持续输送，共同作用造成。下面进一步分析对流天气发生以后，影响对流发展的环境因子。

四、影响对流风暴的因子

一般来说, “雷暴”和“对流风暴”(或“风暴”)之间并没有本质的差别, 只是强度上的差别。有时两者也常常混用。对流风暴一般分为以下四类: (1) 普通单体风暴; (2) 多单体风暴; (3) 线风暴（飑线); (4) 超级单体风暴。前三类可以是强风暴，也可以是非强风暴。而第四类一定是强风暴。大多数情况下，一个对流风暴包含了几个单体，一个单体达到成熟阶段，而另一个单体还处于新生发展阶段。在有利的环境条件下，其生命史可以维持数小时之久[3]。

观测和数值模拟研究表明: 风暴动力结构（风暴种类）及风暴潜在的影响力很大程度上取决于环境的热力不稳定（浮力)、风的垂直切变和水汽的垂直分布三个因子。下面分析风暴

的动力结构。

（一）热力（浮力）不稳定与CAPE

虽然CAPE并非唯一影响对流风暴中上升运动的因子，但在强风切变的环境中，动力效应也可以加强上升气流的强度，因为强烈上升运动也能够在较小至中等的CAPE中得以发展。气块在特定环境中绝热上升的最大垂直速度（Wmax）理论上取决于CAPE向动能的转换程度，并且由此可以求出Wmax[3]；

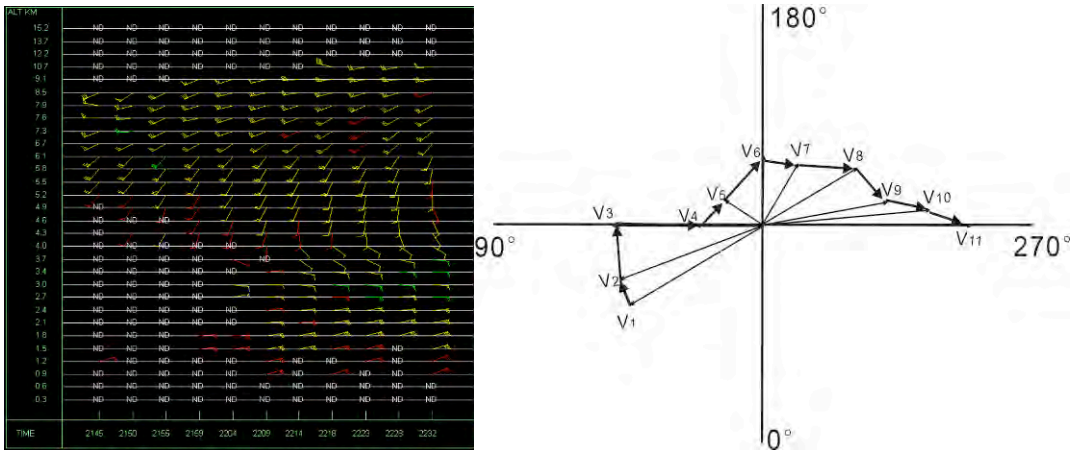
Wmax=（2CAPE）1/2

强风暴上升速度通常超过30m/s,而非强风暴中上升速度通常只有10m/s左右。

从2012年4月30日20时t-lnP图可以看出此时CAPE=1394J/Kg。从上式可以得出理论上绝热上升的最大垂直速度为53m/s。

（二）垂直风的切变

垂直风切变是指水平方向的风速随高度的变化，在给定的层次中，切变风矢指的是顶层和底层风矢量之差，切变风矢可以在所有风场资料层上绘出。速度矢端图是由各个层的切变风矢量组成。速度矢端图和形状与风暴发展的潜势有很大关系。在热力不稳定环境中，垂直风切变的加强通常能导致对流更新和生命史更长风暴的产生和发展[3]。



(a) (b)

图6 a、2012年4月30日22:32分省局VAD风廓线图；b、02:23分的风廓线随高度的风矢端图，从1公里到11公里，每隔1公里的风速矢端图合成。

对大范围雷暴，气流从低到高为顺时针旋转。对于中小尺度对流系统，从低到高为很强烈的顺时针旋转，从6a图上可以看出从4月30日22:04时刻开始，风廓线上出现“ND”的现象很少。风向相对整齐有规律。低层有很强的暖平流，空中存在很强的垂直风切变。

从图6a看出风向和风速随高度分布是有序的，风向随高度的变化较大。一般组织完善的多单体风暴的速度矢端图通常表现为基本上单一方向的风切变。这种风切变分布能促使新生单体在现存单体的有利一侧周期性地产生和发展，如果切变足够强，那么多单体风暴将会发展成为超级单体风暴。而产生普通单体风暴的环境风随高度的分布杂乱无章，基本上是一种

无序的分布，且风速随高度的变化也小[3]。

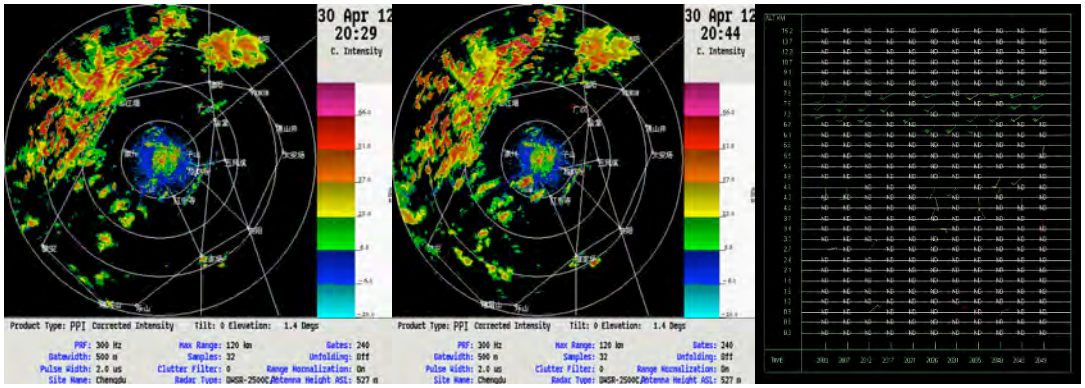
将22：32分的风向风速，从低层到高层每间隔1公里画出速度矢端图（图6b），可以分析出两个有利于强对流天气发展的因素：一是低层（0.9km-3km）为暖平流（风向随高度顺转），中高层（3km-6km）为冷平流（风随高度逆转），低层暖平流，中高层冷平流极大地增强了气层的不稳定性；二是低层到高层为强的垂直风切变，有利于有组织的强对流风暴的产生和发展[3]。

表 1　垂直风切变与CAPE值对风暴类型的判断

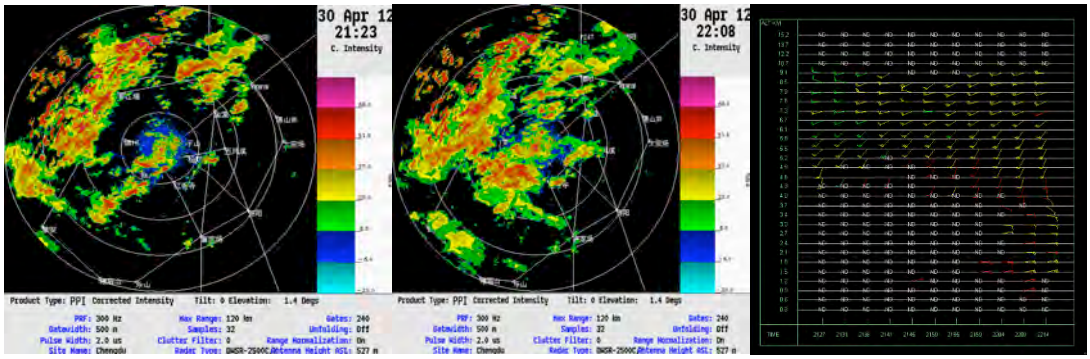
CAPE(J/kg)	0-6km 垂直风切变值（m/s）		
	<10	10-22	>20
<1000	普通单体	普通单体或多单体	普通单体或超级单体
1000-2500	脉冲风暴	多单体或强多单体	超级单体
>2500	脉冲风暴	多单体或强多单体	超级单体

从图6b可以得出0-6km的垂直风切变值大于10m/s，且CAPE值1394J/kg，参考表1此次对流过程为多单体风暴或者强多单体风暴。

五、多普勒雷达资料分析与临近预报



(a)　(b)　(c)



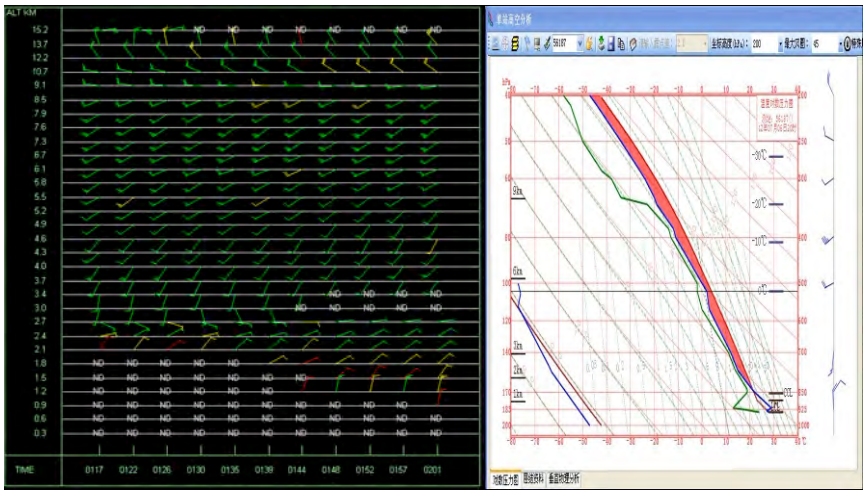
(d)　(e)　(f)

图7　成都双流机场雷达2012年4月30日1.4°仰角反射率因子图a20:39分、b20:44分、d21:23分和e22:08分；c，f分别为四川省局雷达的风廓线图，时间为20:35和22:14分

图7是2012年4月30日夜间至5月1日凌晨出现在双流机场的一次多单体风暴图。图7a是20:29分机场雷达1.4度的反射率因子图，在本场西南方向20到120km范围内，已经开始出现大量分散的单体回波，处于生成阶段，中心强度达到37dBZ。而从四川省局雷达上看（图7c），此时风廓线图上还未形成风向和风速随高度的有序分布，以“ND”为主。（特别需要指出的是，由于四川省局雷达和机场雷达的位置与各个参数设置的不同，省局雷达仅作为本场天气的参考。）20:38分预报员发布双流机场雷雨预报:本场西南方向20公里处有雷暴云团发展，预计20分钟后本场雷雨，持续时间1小时左右，后续区域内仍将受雷暴云团影响。实况SPECI报，在20: 46分出现TS，后续出现-TSRA，持续到22:00结束。从图7d和7e可以看出，第一阶段的雷暴暂时结束，后续还将有大面积雷暴发生的可能。在21:40分预报员持续发布了双流机场雷雨预报：机场西南方向仍有雷雨云团持续生成，发展北移，预计未来3小时将持续影响本场及进近区域。此时从省局雷达风廓线图上看（图7f），风向和风速在22:04分已经开始随高度的有序分布，从1KM左右开始到9.1KM风向随高度顺转，风速随高度逐渐增大。在热力不稳定环境中，垂直风切变的加强通常能导致对流更新和生命史更长风暴的产生和发展[3]。

从2012年4月30日20时的t-lnP图(图2b)上看，0℃线的高度大致在3000米左右，而-20℃的高度在6km处，当风暴发展高度大于6km时，且CAPE值大于1000J/kg，具有较大的上升垂直速度，极易出现多单体强风暴。从低层到9km风向和风速都随高度有序分布，开始的时间大致在22点左右。当雷暴结束时间为次日凌晨03:00至04:00。此次过程提供的经验值为5-6小时左右。

检验：在2012年7月7日凌晨02:00双流机场也出现了一次持续时间超过2小时的雷暴。



(a) (b)

图8　2012年7月7日凌晨02:01分省局VAD风廓线图(a) ；7月6日20时t-lnP图(b)

从图8a风廓线图上可以看出从北京时7月7日凌晨1点到2点之间，出现“ND”的现象逐渐减少，从低层到高层风向逐渐开始出现强烈的顺时针旋转，风向相对整齐有规律。中低层有很强的暖平流，空中存在很强的垂直风切变。

当天的t-lnP图（图8b）上看，0℃等温线的高度在6km，从风廓线上看上冲云顶的高度大致

达到9KM，从低层到9km风向和风速都随高度有序分布，CAPE值大于1000J/kg。从经验角度，可以判断此次雷暴将超过4小时。该雷暴过程于7月7日的凌晨06: 00结束，持续时间达到4小时。

六、结论

此次雷暴过程为多单体强风暴，持续时间超过4小时，给双流机场航班正常运行带来了极大的压力。本次过程主要是由于不稳定的大气层结配合南下冷空气，及持续的水汽输送造成。

（一）前期高温高湿的条件配合大气层结的不稳定，是强对流发生的重要条件。随着冷空气南下，为对流发展提供了抬升机制，持续的水汽输送为对流的发展提供了必要的水汽来源。

（二）在强对流天气的预报中，不仅要抓住形势场和各数值预报的要素场。在临近预报中，合理的使用雷达及卫星资料，对判断雷雨的开始、移动和发展有重要作用。但在判断雷雨持续的时间，特别是双流机场持续时间超过4小时的雷暴天气，在临近预报的过程中，还没有完整的资料和理论依据，未形成比较好的预报思路。本文在探讨长时间雷暴预报方法中，比较提倡使用风廓线资料，并且还需要结合数值产品，以及后期大量的统计资料来验证。下面给出强对流天气预报和预警的概念模型，以期为以后的预报工作提供一点参考。

□预报-天气背景的分析：□大尺度系统使大气层结不稳定；□触发抬升机制的中尺度的系统；□水汽条件的分析。

临近预报-卫星及雷达资料的应用：

本场雷达的PPI，省局雷达的回波顶高，垂直液态水含量，及VAD风廓线资料。

特别是VAD风廓线资料对环境风场的考察，是否存在有组织的垂直风切变。强的垂直风切变情况下可以出现多单体风暴、飑线和超级单体风暴等强风暴。速度矢端图利于分析气层的冷暖平流分布，及垂直风切变的强度。

当CAPE值达到1000J/kg以上时，环境风场出现有组织的强垂直切变，利于出现持续时间大于等于4小时的雷暴天气。

参考文献

[1]李跃春，孟庆磊.双流机场“7.24”雷雨过程成因简析及数值预报应用.高原山地气象研究，2010，30（1108）：18-22.

[2] 陆汉城，杨国祥.中尺度天气原理和预报.北京：气象出版社.2000.

[3] 俞小鼎，姚秀萍.多普勒天气雷达原理与业务.北京：气象出版社.2006.

如何做好凝冻天气气象观测工作

田永飞
民航贵州空管分局

摘要

初步分析和总结低温雨雪凝冻天气条件下可能遇到的问题，提出气象观测工作中的注意事项和工作要点。

关键词：凝冻；天气；气象观测

一、引言

近年来，由于大气环流异常，极端天气频发，严重干扰了人类正常的生产活动与日常生活，甚至危及人们生命财产的安全。短短几年时间，贵阳龙洞堡机场就先后遭遇了2008年1-2月、2011年1月两次持续时间较长的低温雨雪凝冻天气，正常飞行活动受到严重影响，大量航班延误或取消，众多旅客滞留，直接损失和间接影响难以估算。

如何做好凝冻天气条件下的气象观测工作？通过分析和总结，我们认为，至少有以下方面值得重视。

二、注意事项和工作要点

（一）霜

初冬时节，气温0℃左右，在微风、晴朗或少云的夜间和早晨，由于地面辐射较强，地面或地物温度低于0℃，易出现由水汽凝华或露水冻结而成的霜。结霜时，由于停场飞机和建筑物辐射的影响，在观测平台附近区域，不利于霜的产生，往往观测不到霜。工作中，应注意观测未受建筑物或人类活动影响的自然区域。

（二）积雪

积雪——降雪后，雪掩盖地面，达到测站视野面积一半或以上的现象。初冬时，如果降雪强度不大、持续时间不长，自然环境中往往只有薄薄的一层积雪，积雪深度一般不足1厘米。而在城市、机场等人类活动对自然影响较大的地区，雪降落到地面后，则不易积存。在机场范围，尤其是跑道、停机坪、办公区和公路等区域，人类活动的影响十分明显，很难出现积雪。

由于人的视觉误差，近的地方感觉大一些，远的地方感觉小一些。在判断是否达到积雪标准——雪掩盖地面达测站视野面积一半或以上时，往往把机场范围的面积估计得过大，而把远处的自然区域估计得过小。因此，在机场观测积雪，当降雪强度不大、持续时间不长，机场范围无明显积雪时，要注意观测自然区域，把非自然区域排除掉，并避免视觉误差。

（三）冻雾

冻雾——指气温低于0℃时的大雾。冻雾包括冻结的和过冷的两种。判定冻雾有两个基本条件：一、出现大雾，能见度＜1000M；二、气温低于0℃。只要其中一个条件消失，就应判定冻雾终止。

冻雾出现和终止均应发布特殊天气报告，而上述两个条件的出现和消失通常都不同步。因此，冬季观测工作中，要密切注意这两个方面的变化，及时发布SPECI报告。

（四）冻降水与雨淞的关系

出现冻降水时，是否应该记录地面凝结现象——雨淞？部分观测员的认识不是十分清晰。

冻降水——是指过冷却雨滴与地面或地物、飞机等相碰而即刻冻结的雨或毛毛雨；雨淞——是指过冷却液态降水碰到地面或地物，很快冻结的坚硬冰层，呈透明或毛玻璃状，外表光滑或有凸起。雨滴降落到地面后，是否迅速冻结，是否观测到冻结物，是判定冻降水的前提条件。而冻结物——呈透明或毛玻璃状，外表光滑或有凸起的坚硬冰层，就是雨淞。如果说冻降水是正在进行的天气过程，雨淞就是这一过程所产生的必然结果。所以，出现冻降水，必须记录雨淞。

冻降水停止后，由于气温和地温较低，冻结物——雨淞通常难以很快溶化，如果观测到雨淞，仍应记录。观测工作中，还要注意区分雨淞与地面结冰，两者有实质区别。雨淞主要是由于气温低于0℃，使降落后的过冷却雨滴很快冻结的现象；地面结冰则是地面低洼积水因地温低于0℃而逐渐冻结的现象。

（五）降雪强度的判定

《民用航空气象地面观测规范》附录十四——《天气现象强度判定标准表》中，列出雪、雨夹雪、毛毛雨等天气现象的强度判定标准为：小（轻）——主导能见度≥1000M；中常——主导能见度≥500M～＜1000M；大（浓）——主导能见度＜500M。

如何理解和把握这个强度判定标准？当有两种以上天气现象影响能见度时，如何判断和确定其强度？

1、雪的强度与降雪对能见度的影响程度相关，但能见度标准是判定降雪强度的必要条件，不是充分条件。观测工作中，应具体问题具体分析。

2、当只有雪影响能见度时，降雪强度应与能见度标准吻合。即小雪、中雪和大雪对应的主导能见度必须是≥1000M、≥500M～＜1000M和＜500M，如：0800　R19/0900D　SN。

3、当有两种以上天气现象影响能见度时，应首先分析和判断影响能见度的主要因素。当雪为影响能见度的主要因素时，降雪强度应与能见度标准吻合；反之，如果雪较小，对能见度影响小，影响能见度的主要因素是其他天气现象，则不能简单地用主导能见度值确定降雪强度，而应根据实际降雪情形并结合经验来判定。此时，降雪强度与能见度标准不吻合，如：0800　R19/0900D　-SN　FG。

（六）溶冰观测

气温、湿度等要素的观测一般使用自动观测设备。特殊情况下，需进行人工干、湿球温度表观测。当气温低于0℃、湿球纱布结冰时，观测前应进行溶冰，目的是使湿球表面保持一层厚度均匀的薄冰，便于水汽和热量交换与平衡。如果溶冰不当，会影响湿度测定的准确性。

人工观测，尤其是溶冰观测，是年轻观测员的弱项。在溶冰观测时要注意以下几个问题。

1、方法问题。结冰期间，湿球纱布下端也要扎紧，在球部下端约2—3毫米处剪断。溶冰时，将湿球球部浸在盛有温水的杯中，待冰完全融化，湿球示度升到0℃以上，取下水杯，用杯沿将聚集在纱布头上的水滴轻轻刮去。

2、水温问题。溶冰的水温通常以室温为宜，一般不超过20℃，过高过低都会影响溶冰效果。实际工作中，还要考虑到从值班室到观测场的距离、所需时间等因素。

3、时机问题。掌握溶冰时机很重要，过早过迟也会影响溶冰效果。当湿度很小、风速很大时，在观测前20分钟内进行；湿度、风速中常时，在观测前30分钟进行；湿度很大、风速很小时，要在观测前50分钟进行。

（七）跑道视程

低温雨雪凝冻天气常伴随低云低能见度以及跑道视程的急剧变化。由于跑道视程是机场运行最低标准中的关键指标，及时、准确报告其变化情况，直接关系到飞行正常与安全。

1、“极小值V极大值”问题

SPECI报告中，只报告正在使用的跑道接地地带（TDZ）跑道视程十分钟平均值。当其显示为跨越标准值的区间形式——“极小值V极大值”时，如R19/0500V0700D，如何确定是否发布SPECI报告呢？这个问题理论上分析起来较为复杂，工作中要把握好也有一定难度。它涉及跑道视程明显的不连续性、自动观测系统对这种明显不连续性的判别、以及行业规范对明显不连续性的界定比较模糊等问题，限于篇幅不展开讨论，以下几点认识供参考。

（1）跑道视程十分钟平均值显示为区间形式，自动观测系统AWOS2000较常见，而MIDAS IV则不存在。

（2）最好通过编发报辅助系统解决。即编发报辅助软件读取跑道视程1分钟平均值，计算并显示十分钟平均值，而编发报时则按规定用区间形式代替十分钟平均值。

（3）如没有编发报辅助系统，当跑道视程一分钟平均值接近或低于标准值时，就应密切监视其变化，并视具体情况确定是否发布SPECI报告。当跑道视程变化，十分钟内极大值等于或小于标准值时，应视为跑道视程低于标准，立即发布其转坏的SPECI报告；当跑道视程变化，十分钟内极小值等于或大于标准值时，应视为跑道视程达到标准，稳定十分钟后发布其转好的SPECI报告。

2、更换跑道引出的问题

某日早晨，贵阳机场受部分雾影响，正在使用的01号跑道视程低于600M，已发布

SPECI报告，而19号跑道视程一直很好，为P2000。0730塔台通知改用19号跑道。因为跑道方向的改变，TDZ跑道视程由低于标准变为高于标准，应该稳定十分钟还是立即发布跑道视程转好的SPECI报告?

通过分析和讨论，我们认为：应该立即发布。SPECI报告只考虑TDZ跑道视程的情况，“稳定十分钟”也无非是为了避免天气反复而设定。当前TDZ跑道视程良好且稳定，气象观测的任务就是及时用SPECI通报这一状况。观测员在理解和执行业务规定时，一定要在把握“有理有利”原则的基础上灵活掌握，不能过于教条僵化。“有理”，就是有依据、有道理；“有利”，就是有利于飞行、有利于服务。

(八)风向风速

风与飞行的关系十分密切，地面风向风速观测准确与否，直接影响飞机起降安全。当凝冻严重、风速较小或风向变化不大时，自动观测设备风传感器容易被冻住，影响风向风速测定的准确性。尤其是当风向突变或风速增大时，如不能及时发现，可能危及飞行安全。

风传感器被冰雪冻住的情况在高寒地区比较常见。贵阳机场2008年、2011年凝冻期间，都曾出现过自动观测系统、自动遥测站风向风速传感器被冻住的情况。当然，其他原因也可能导致类似故障现象，影响风向风速测定的准确性。因此，日常工作中，尤其是凝冻天气时，观测员应特别注意以下方面，发现异常及时处理。

1、观测记录和编发报时，要注意对前后各个时次的数据进行对比，如果风向风速较长时间无变化，应引起高度重视。

2、值班过程中，应随时监视自动观测设备运行状况和风向风速变化情况。一、观察自动观测终端瞬时风速及风向变化范围。如果瞬时风速较长时间无变化或无风向变化范围，就肯定有问题；二、查看自动观测系统实时风向风速变化曲线。如某条曲线平直无起伏，这个传感器就可能出故障了。

3.加强目力测风知识学习和经验积累，工作中养成用目测风向风速与器测数据对比的习惯。

三、小结

低温雨雪凝冻是冬季常见的灾害天气，对飞行活动和日常工作的影响都十分严重。做好凝冻天气条件下的气象观测工作，为航空气象用户及时提供准确的机场天气报告，为航空气象预报、机场气候分析和气象科学研究，准确、规范、完整地观测和记录气象资料，是民航气象观测的基本任务和职责所在。上述分析和总结，是我们对做好凝冻天气气象观测工作的初步认识，仅供参考。

作者简介：

田永飞，男，45岁，民航贵州空管分局气象台探测室主任。长期以来一直从事民用航空气象观测业务管理、技术及员工培训工作。

联系地址：贵阳龙洞堡机场民航贵州空管分局气象台。

邮编：550012　电话：0851-5498125

E—mail：gyatmqxt@126.com

中華航空氣象協會

Chinese Aeronautical Meteorological Association