

流量管制雛型系統之建立與測試¹

PRELIMINARY DEVELOPMENT AND TESTING OF A FLOW CONTROL SYSTEM

戴佐敏 Melody D. M. Dai²

張淳智 Cheng-Chih Chang³

劉仲祥 Jong-Shyang Liou⁴

(91 年 7 月 30 日收稿，92 年 1 月 20 日第一次修改，92 年 3 月 20 日
第二次修改，92 年 12 月 31 日定稿)

摘 要

本研究根據國內特性，針對流量管制系統進行規劃，建立一即時流量管制系統雛形，此系統可預測及顯示松山、小港、馬公機場未來二小時內之航機離到場架次與機場容量，預測的時段乃根據台灣地區國內航線之飛行時間，將之訂為二個小時。此系統包含四個資料庫及五個模組，資料庫分別為靜態飛航資料庫、動態飛航資料庫、飛行時間資料庫、機場容量資料庫，模組則包括資料解讀系統、動態流量預測、機場容量預測、相關機場之離場班機時間間隔以及人機介面。本研究利用由台北區域管制中心實際錄回之電報資料，對本系統進行測試。其結果顯示，若輸入資料正確，本系統之運作效率良好，然而，電報輸入資料偶有不確實或錯誤產生，對於台灣地區航程短之飛行環境而言，將造成相當大之誤差，影響所及甚至無法以輸入資料進行精確的控制。因此未來若欲進行流量管理，如

-
1. 本研究為交通部民用航空局研究計畫「建立流量管制過渡系統之規劃」。
 2. 國立成功大學交通管理科學研究所副教授（聯絡地址：701 台南市大學路 1 號成功大學交通管理科學研究所）。
 3. 台中技術學院流通管理系副教授。
 4. 國立成功大學交通管理科學研究所博士班候選人。

何取得即時且精確之飛航資料，尤其是起飛前之航機資訊，將是一重要課題。因此未來航機離場許可若採資料鏈結方式，或許將可局部改善此一問題。此外本研究建議發展一系統模擬模式對相關機場之離場班機時間間隔進行進一步之探討。另可就本研究所建立之流量管制系統進一步發展，以提供航空公司進行實際班機調度及制定班表之用。

關鍵詞：即時流量管理；空中交通管制；人機介面

ABSTRACT

This study tries to develop an on-line flow control preliminary system for the Taiwan CAA (Civil Aeronautics Administration). This system can predict and display the estimated flight arrivals and departures in selected airports and the associated available airport capacities during the next two hours. The two-hour time window is determined based on the flight time duration of domestic flights in Taiwan. This system includes four databases and five modules: (1) static flow distribution database, (2) dynamic flow distribution database, (3) flight times database, (4) capacities database, (5) input, (6) flow estimation, (7) available capacities estimation, (8) suggested departure time intervals for each associated airport, and (9) user interface. This system has gone through a thorough field test. The results show that the overall system performs quite well with good quality of input data. However, the available input data is not precise enough and makes it difficult to conduct tight control. This problem is especially acute in Taiwan due to its short domestic flight times. A flow control system is still needed in the future, thus how to obtain real time and accurate flight data especially for pre flight information will be an important task. If pre-departure clearance is via datalink, it may be helpful for improving the data quality partially. Due to the constraints of the real world, it is suggested to develop a simulation model for further evaluating the performance of departure sequencing algorithm. This system could be extended to provide information for the airline to make decisions regarding real time flight dispatching and scheduling.

Key Words: *On-line flow management; Air traffic control; User interface*

一、前言

國內航線因應旅次需求，自民國七十六年天空開放政策以來，飛航流量不斷大幅成長，造成機場及飛航管制單位極大的負荷，近來飛航流量雖因航空公司減班而稍有減緩，然未來航空運量仍有持續增加的趨勢。機場在高負荷使用狀態下，為符合航機起降隔離要求、停機坪使用限制等，往往造成班機延誤，尤其當氣象異變，導致容量縮減時，更將造成空中秩序大亂、班機嚴重誤點，增加旅客不便，此外，班機的延誤，往往增加航機在空

中等待之機率，一方面增加管制員負荷，一方面由於額外油料耗損，增加航空公司成本，甚至影響飛航安全。有鑑於此，飛航流量管制系統實有其存在之必要性，所謂飛航流量管制系統係指當機場或空域由於壅塞、天候或其他因素導致容量不足時，有效地確保空中交通順暢的管理方式。

早期國內對於各機場或空域航行之預估並沒有一輔助工具，全憑資深班務督導經驗決定，此外管制單位或空域之負荷標準仍未有定論，且此負荷標準往往因當地之軍事演習、裝備故障或天候等因素而有所變異，因此流量管制實施時機及方式之決策實際上需整合相當多之資訊，然而由於並沒有良好的流量管制決策輔助系統，造成外界認為整個決策過程相當模糊，缺乏一明確客觀之標準，因此導致輿論交相攻擊，而忽略了實施流量管制之必要性。

本研究之目的在於根據國內特性，針對流量管制系統進行規劃，建立一流量管制系統雛形。此一流量管制系統雛形包含四個資料庫及五個模組，資料庫分別為靜態飛航資料庫、動態飛航資料庫、飛行時間資料庫、機場容量資料庫，模組則包括資料解讀系統、動態流量預測、機場容量預測、相關機場之離場班機時間間隔以及人機介面。本系統接收飛航報告與氣象報告，並以資料解讀系統負責民航電報與氣象資訊之接收與解釋；系統接收到即時資訊後，立即更新資料庫，其中航機動態資訊傳至動態流量預測模組，配合靜態飛航資料庫、飛行時間資料庫，用以更新航機起飛時間，並將更新後之資訊儲存於動態飛航資料庫；氣象資訊則傳入機場容量預測模組，此模組根據目前氣象預報資料，並由機場容量資料庫，即可估算可用容量；當需求高於容量時，此一系統即評估壅塞的嚴重程度，並推算相關機場之離場班機時間間隔；另以人機介面模組，將台北飛航情報區內重要機場與交管點之流量與容量以圖形及顏色方式顯示，可向航管單位發出警示，以作為流量管制作業實施之參考。

此外，本研究利用由台北區域管制中心實際錄回之電報資料，進行系統測試，除驗證所構建模組之功能外，亦探討輸入資料之正確性，以及台灣地區短航程之飛行環境下，在發展流量管制系統時應注意的問題。

以下首先探討國外之流量管制系統、國內流量管制之實施以及流量管理策略，而後說明本研究所提出之流量管制系統雛形，再由實際蒐集所得之資料，對此流量管制系統雛形進行測試，最後提出結論與建議。

二、流量管制系統與流量管理策略

2.1 國外流量管制簡介

「流量管制」為未來航管提供飛航服務作業方式之一，並為世界趨勢，在世界先進國家航管單位及國際航管組織如國際民航組織 (ICAO)、美國航管協會 (ATCA) 等均設有專

責機構做長期性之研究。以下就針對國外流量管制加以介紹：

1. 美國流量管理系統

美國在 Herdon 設有一流量管理中心 (Air Traffic Control System Command Center, ATCSCC)，負責美國境內所有航機之流量管理等問題。ATCSCC 有獲取即時資訊之能力，包括鄰近區域及當地之氣象資料、未來之氣象預測資料、及美國空域之即時交通狀況資料，並且推算每個機場在未來幾小時的需求交通量。ATCSCC 根據上述這些資訊，在飛機離場前數小時告知班機是否需做地面等候及地面等候之時間。

雖然 ATCSCC 應用電腦獲取資訊以分析航情並事先發出警告，儘量使空中交通在擁擠發生之前就能先得到紓解。然而 ATCSCC 也僅由資深管制員根據電腦所蒐集的最新飛行量資訊情報，以其專業知識來實施地面等候策略，而不是根據決策支援系統或最佳化模式運算結果來實施地面等候策略^[1]。

2. 歐洲流量管理系統^[2,3]

歐洲早在 1970 年代初期即實施流量管制，其方法是以地面等待取代空中等待，然而由於牽涉太多國家 (40 國) 與航管中心 (60 餘個)，流量管制措施或限制過於複雜，因此成效不彰，後期減為由 5 個航管中心負責 (倫敦、巴黎、法蘭克福、馬德里、羅馬) 但仍不理想。因此目前將所有流量管理作業集中至比利時布魯塞爾新成立之中央流量管理局 (CFMU)，中央流量管理局將依據收到之飛航計畫評估出確切之需要，並要求各航管中心須將其容量報給中央流量管理局，而後以電腦計算出時間帶 (slot times) 並自動傳送至航空公司，塔台即依據時間帶准許航空器開車。其重點在於蒐集飛行計畫資料，以預測飛航需求量，並將需求量與容量 (供給量) 作一整合，以計算時間帶之分配或航機配合改道，在整個過程中，需對整體空域現況作持續的監控與預測，並與各管制單位進行協調。

3. 日本流量管理系統^[2,3]

日本體認到流量管理之必要性，因此於 1994 年於福岡成立流量管理中心，其流量管理之優先次序亦是以航機地面等待為優先考慮，萬不得已才要求空中航機等待。其實施係依據飛航資料處理系統每 30 分鐘列印出之管制區預計航行量，當航行量持續超過 20 架時，即開始流量管制，如當航行量持續超過 25 架時，不僅實施流量管制，且加大航機之隔離。其重點在於從飛航資料處理系統 (FDP) 擷取飛行計畫資料；從輸入資料處理系統 (IDP) 所接收之國內外飛航業務電報中選取其中之飛行計畫及相關之起飛、落地、交管、修改、取消等資訊；並由雷達資料處理系統 (RDP) 擷取航機所在位置、高度、呼號等資訊，以完全掌握航機動態及空域現況。將上述資訊整合，以計算航機流量現狀，並預測未來航機需求量，且將這些資訊顯示出來，以供流量管理單位參考，此外並整合空域資訊、空域中各點容量 (即可接受交通量, Operational Acceptable Level of Traffic, OALT)，使流量管理單位可據以決定流量管制之方式，並將其決策傳輸至各管制單位。基本上日本的流量管理系統與歐洲的系統並無太大差異，主要重點皆在於需求量的預測，以及供給量的掌握，以能作出有效之決策。

4. 其他國家流量管理系統^[2]

加拿大亦實施流量管制，並獲得相當不錯之成果。其建議有效之流量管理系統應儘所有可能及早取得精準之航空器預計時間以作正確處置。

澳洲雪梨航管單位採用決策支援系統，並發展出兩套流量管理系統。包括人工智慧安排到場航機順序及航管單位與航空公司共用規劃系統以減少空中等待。

2.2 國內流量管制介紹

自民國 76 年天空開放後，國內航行量激增，因而遂有流量管制之實施。其實施時機為「當航行量已呈飽和狀態或軍事演習、裝備故障、天氣低於起降標準、跑道關閉時。以中正近場台為主導單位，為避免各機場起飛航機過度集中於近場空域，將限制所有以松山機場為目的地之到場航機需有一定之隔離。當預估航行量超過管制單位之負荷，且判斷此一情況於三十分鐘內無法獲得改善時，視為開始實施流量管制之時機」。此一原則雖與國外實施流量管制之原則不相悖離，然而在執行上卻有相當困難存在。例如各機場或空域航行量之預估並沒有一輔助工具，全憑資深班務督導經驗決定，此外管制單位或空域之負荷標準仍未有定論，且此負荷標準往往因當地之軍事演習、裝備故障或天候等因素而有所變異，因此流量管制實施時機之決策實際上需整合相當多之資訊，然而由於並沒有此一決策輔助系統，因此整個決策過程相當模糊，缺乏一明確客觀之標準，因此導致輿論之交相攻擊，而忽略了實施流量管制之必要性。此外民航局對於實施流量管制之方式，僅指出「視航行量增加情況管制後龍到場航機為每四分鐘一架，宜蘭到場航機為每五分鐘一架」，「若須較大時間隔離以管制流量時，應先獲單位主管或副主管同意後方得實施」，以及「流量管制應視當時航行量實際情況彈性調整」，並未明定何時該採取何種方式，因此整個管制方式之決策十分曖昧，有流於自由心證之嫌，易招致外界非議。近來飛航流量因航空公司減班而稍有減緩，而停止流量管制之實施。

美國麥特機構 (MITRE) 曾就國內的流量管理系統作一分析，並提出改善建議^[4]。在短期改善策略方面，強調對需求量的預測，以決定實施或解除流量管制之時機，此外，並需加強氣象資料的整合，以掌握容量的變化；在中期改善策略方面，則建議改善對系統狀況的監控、預測與評估；在長期改善策略方面，仍然強調對整體系統進行全面的容量與需求量更精確的預測與監控。總之麥特機構認為一良好的流量管理系統之先決條件是對需求量與容量的監控與預測，並將此一資訊顯示出來，以求有效的掌握系統的現況與未來變化，至於對未來的預測，在考量國內飛航特性，麥特機構建議以 2 小時為時窗，以進行預測之分析。

近來飛航流量雖因航空公司減班而稍有減緩，然未來航空運量仍有持續增加的趨勢，因此仍需及早發展適合台灣地區之流量管制系統。若欲充分發揮流量管制之功能並減少民怨，亟需建立一客觀明確之實施標準，且需發展一決策輔助系統，以預測未來各機場之起降架次，並整合氣象資料，隨時更新機場容量資訊，以提供班務督導實施流量管制決策之

參考。

2.3 地面等候策略

綜合以上敘述，可知「流量管理」已為飛航管制之世界趨勢，一般而言，若航行量未達壅塞標準卻實施流量管制，或雖達實施流量管制之標準，但卻採用較大之隔離策略時，將導致空域或機場未充分利用，以及班機不必要之延誤。然而若空域已過度壅塞卻未實施流量管制，或採用較小之隔離策略時，將使空域內航機架次過多，增加管制員負荷，造成航機空中等待，增加業者成本，甚至影響飛航安全。因此可知，一有效之流量管理系統，一定要能儘早取得管制區預計航行流量之資料，以做正確處置，包含流量管制實施之時機與方式，以及解除流量管制之時機。在流量管理策略方面，包括以地面等候 (ground holding) 取代空中等候 (airborne holding)、隔離策略、改道、速度控制與以高空程空中等候 (high-altitude holding) 取代低空程空中等候 (low-altitude holding)^[5]，其他還包括到場航機排序及航管單位與航空公司共用規劃系統等。這些策略中以地面等候之效益最佳，因其能有效的降低業者營運成本並改善飛航安全。

地面等候策略 (ground holding policy) 在流量管理中之所以為一重要的改善措施，乃在於其能有效的降低延滯成本，亦即以低成本的地面延滯取代高成本的空中延滯。此乃由於空中延滯較地面延滯需負擔額外之燃油成本且較不安全。因此地面等候策略問題之研究係嘗試在滿足容量與其他運作特性等限制下，發展一最適化模式，以決定那些航機需延遲起飛、延遲多久、其降落目的地機場之時刻，使其之延滯成本最低。

有關於地面等候策略問題之研究，可依其對問題特性之界定為靜態與動態、確定性與機率性等模式^[6]；如依問題之對象，則又可分為機場型網路與空域型網路。靜態意指地面等候策略僅在研究時段一開始時（如一天機場開始營運之時）決定^[6-8]；而動態則考量稍後有更準確之容量預測結果，因此將依據最新資訊調整地面等候策略，使其更能配合實際需求^[9]。確定性之地面等候問題則假設容量之預測為百分之百的準確；至於機率性之地面等候問題則考量在現實世界裡，實在無法完全掌握容量之預測，因此列出幾種未來可能之容量，並以機率表示其發生之可能性^[6-8]。事實上，在現實世界中，地面等候策略為一動態且隨機之問題。機場型網路假設容量不足點僅發生於機場；空域型網路則假設容量不足點可能發生於空域中^[10,11]，如航道交會處等。一般而言，美國所面臨的多為機場型網路問題，歐洲則還包括空域型網路問題。

地面等候策略之主要目的在於以低成本的地面延滯取代高成本的空中延滯，並進而促進飛航安全，其實施之策略若過於保守，使用過多之地面等候，將導致空域容量的流失，此外，亦將造成停機坪壅塞，動線不良等後果，然而若地面等候策略過於樂觀，將導致空域中有過多航機而產生大量的空中延滯並進而影響飛安。由於國內航線航程極短，因此相當適合機動使用地面等候策略，然而若欲地面等候策略充分發揮其績效，需求與供給預測之準確性及停機坪使用之安排等皆為相當重要之環節。此外，地面等候策略之擬定不能僅

針對單一機場進行分析，需由整體系統、多機場、甚至整體空域一併考量。

三、系統程式之發展

此一流量管制系統包含四個資料庫（靜態飛航資料庫、動態飛航資料庫、飛行時間資料庫、以及機場容量資料庫）及五個模組（電報解讀模組、動態流量預測、機場容量預測、相關機場之離場班機時間間隔以及人機介面），其運作流程如圖 1 所示。

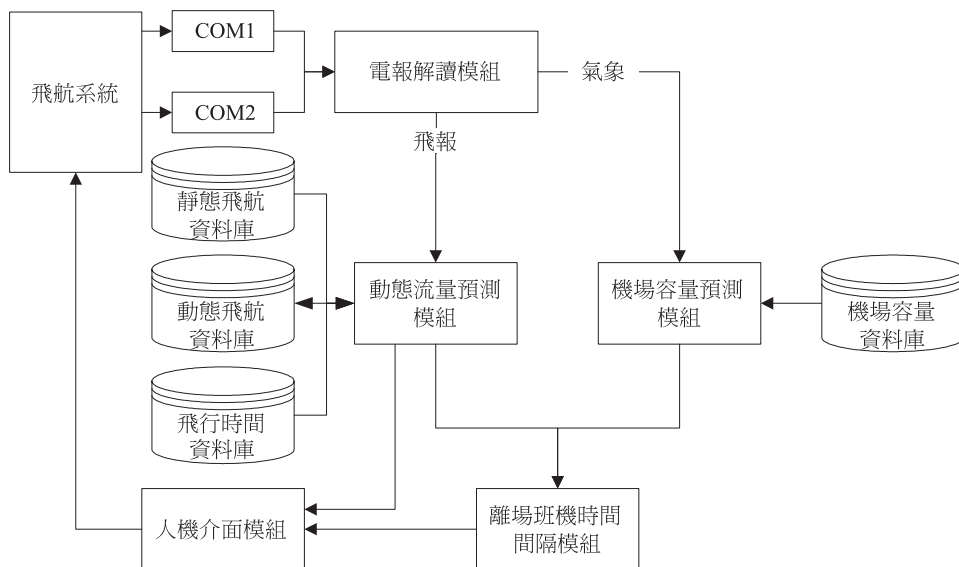


圖 1 本系統運作流程圖

在本研究中需要動態即時接收的資料為起飛航報資料與氣象資料。本研究係透過 RS232-C 介面（即圖 1 中的 COM1 與 COM2 兩個電腦上的通訊埠）來接收此兩項資料，為了增進架構上的彈性，本研究利用兩個執行緒 (thread) 同時監督 COM1 與 COM2 的通信狀態，故這兩項資料可以混合在一起只由其中一個通訊埠接收，也可以分散在兩條不同的線路中，個別由 COM1 與 COM2 接收。接收到的飛報與氣象報告，交由電報解讀模組負責民航電報與氣象資訊之接收與解譯；系統接收到即時資訊後，立即更新資料庫，其中航機動態資訊傳至動態流量預測模組，配合靜態飛航資料庫、飛行時間資料庫，用以更新航機起飛時間，並將更新後之資訊儲存於動態飛航資料庫；氣象資訊則傳入機場容量預測模組，此模組根據目前氣象預報資料，並由機場容量資料庫，即可估算可用容量；當需求高於容量時，此一系統即評估壅塞的嚴重程度，並透過「人機介面模組」以音效與顏色向航管單位發出警示，航管人員收到警示後可以向系統要求提供建議的管制措施，此時系統

會呼叫「離場班機時間間隔」模組，計算並提出各機場離場班機時間間隔的建議，並藉由「人機介面模組」展示此建議的管制結果，以提供航管人員作為實施流量管制作業之參考。以下為各資料庫及模組之詳細說明。

3.1 資料庫

資料庫共計有四個，包括靜態飛航資料庫、動態飛航資料庫、飛行時間資料庫、以及機場容量資料庫，茲說明如下：

1. 靜態飛航資料庫

此資料庫記載各班機之使用機型、預計起飛時間、起迄點、預計之總飛行時間及飛行航路等資料。本研究由長期飛航計畫書 (RPL) 得知上述資料。

2. 飛行時間資料庫

本研究利用記錄於系統分析磁帶 (System Analysis Record Tape, SAR Tape) 中之資料，建立班機飛行時間資料庫，分別依目前之航線，分別計算出經過大林、馬公、後龍、西港、TINHO 及到達目的地機場之平均飛行時間。

SAR Tape 之資料分為 pending (尚在機場等待起飛之班機) 與 active (已起飛之班機) 兩類，本研究在研究之初，先行比較此二類資料所求算之飛行時間，發現 active 之飛行時間較 pending 之飛行時間為長，其差異範圍由 -25% 至 3%，推測此原因為航機於進場時受管制員引導而增加了飛行距離，或為擁擠時段航機於空中等候之故，由於 active 之資料較能反映現況，故 active 以計算飛行時間較為準確可靠。此處所計算之時間為飛行時間，僅計算航機在空中飛行之時間，不為整個旅行過程包括後推、滑行、起飛、降落之旅行時間。因此在計算飛機落地時間時，除了飛行時間外仍須再加上一個起飛與落地時間，由於 SAR Tape 上無法得到此一部分資訊，經諮詢民航局之意見後，除松山機場此一時間差距為 2 分鐘外，其餘機場均可忽略不計。

將航線經過本研究之管制點之時間依各航空公司之類別加以整理。以金門—高雄航線而言，途中所經之管制點依次為馬公固定通報點 (MKG)、西港 (TNN) 最後抵達高雄 (RCKH)。表 1 即針對所有金門—高雄之班機，依其航空公司分類，計算其飛行時間，並算出平均值、最大值、最小值與標準差。

由表 1 遠航與瑞聯之飛行時間相對接近且標準差相當小，經檢視班機時刻表發現二者使用之機型相近，此外立榮之標準差相當大，係由於其當時使用兩種以上之機型，因此確有必要蒐集機型資料，以對飛行時間作更進一步之分析。表 2 為金門高雄航線使用不同機型之飛行時間，由表可知飛行於此航線之機型包括：MD80、BA46、EA32、AT72 等，而 MD80 由金門至馬公通報點 (MKG) 之飛行時間為 12.53 分鐘，飛至西港 (TNN) 之飛行時間為 17.63 分鐘，飛至高雄之飛行時間為 22.43 分鐘，此外，本研究並將飛行時間相近之機型歸為同一類，以金門高雄航線而言共分為兩大類，其飛行時間見 I、II 兩列。結果發現所得各類機型之飛行時間的標準差小，表示機型確為影響飛行時間之一重要因素，故

本研究採用以機型分類所得之飛行時間為構建模組之數據。

3. 機場容量資料庫

流量管理的重點在於管理需求與容量，因此了解飛航系統中的設施容量是相當重要的工作，容量為某設施在一段時間內所能處理的航機數量，一般以單位小時的起降架次表示。此外，機場的容量並非固定之值，而具有高度的變動性，其中又以氣候因素對機場容量的影響最大。

表 1 金門－高雄航線經過各管制點之飛行時間

單位：分鐘

金門－高雄					
金門－馬公固定通報點 飛行時間統計資料					
	平均	最大值	最小值	標準差	架數
遠東航空	12.8	13.7	12.4	0.3	26
立榮航空	18.6	27.9	12.3	6.1	18
復興航空	21.3	22.6	20.6	0.6	24
瑞聯航空 ^{註1}	12.7	13.2	12.4	0.3	24
所有航空公司之平均	16.1	27.9	12.3	4.6	92
金門－西港固定通報點 飛行時間統計資料					
	平均	最大值	最小值	標準差	架數
遠東航空	18.3	19.2	17.7	0.5	12
立榮航空	26.8	40.7	18.6	9.2	9
復興航空	30.6	32.2	29.7	0.8	12
瑞聯航空 ^{註1}	18.1	18.6	17.7	0.3	12
所有航空公司之平均	23.2	40.7	17.7	6.9	45
金門－高雄 飛行時間統計資料					
	平均	最大值	最小值	標準差	架數
遠東航空	23.3	24.2	22.6	0.5	12
立榮航空	34.4	52.8	24.4	12.1	9
復興航空	39.4	41.2	38.2	1.0	12
瑞聯航空 ^{註1}	23.1	23.6	22.6	0.4	12
所有航空公司之平均	29.7	52.8	22.6	8.9	45

註 1：此為民國 86 年之資料，瑞聯航空現已停航。

表 2 金門高雄航線使用不同機型之飛行時間

單位：分鐘

起點—通報點時間			
機型	馬公固定通報點	西港固定通報點	高雄
MD80	12.53	17.63	22.43
BA46	14.33	20.14	25.70
EA32	13.43	19.17	24.60
AT72	20.40	29.20	37.45
所有機型之平均	15.02	21.86	27.99
I	17.36	24.67	31.58
II	12.98	18.40	23.52

在不同的天候條件下，跑道的使用方向與航機之離到場程序、隔離標準不盡相同，因此單位時間內可起降的最大航機數亦不相同。此機場容量資料庫，在於記錄不同天候狀況下機場容量，由於此一資料相當複雜，限於時間因素，本研究採諮詢方式，由民航局提供各機場在不同的風向、風速、起飛能見度、落地能見度及雲幕高之氣候條件下，各機場跑道之使用方向與起降容量限制，如表 3、表 4 所示。本研究根據所接到之氣象資訊，即可由此機場容量資料庫，得知各機場之容量，並於離場班機時間間隔模組中比較預計之需求與容量，預先安排航機起飛間隔，以避免可能之壅塞。

表 3 機場容量資料庫

	使用之跑道	風向 風速	容量 架次／小時	起飛 能見度	落地 能見度
松山機場	10 跑道		40	500 公尺	800 公尺
	28 跑道	170° ~ 350° 大於 10 海浬	如表 4 所示		
高雄機場	09 左跑道		32	500 公尺	600 公尺
	27 右跑道	170° ~ 350° 大於 10 海浬	22	500 公尺	3600 公尺
馬公機場	02 跑道		20	500 公尺	800 公尺
	20 跑道	170° ~ 350° 大於 10 海浬	20	500 公尺	1600 公尺

表 4 松山機場 28 跑道容量

雲幕高 能見度	3000 呎以上	3000 呎以下
大於 5000 公尺	40	20
4800 ~ 5000 公尺	20	20
小於 4800 公尺	0	0

4. 動態飛航資料庫

此資料庫記錄航機之運作動態，包括目前航機呼號、起迄機場、目前所在位置、起飛時間、預計抵達目的地機場時間等。當系統接收到航機動態資訊後，動態流量預測模組即根據靜態飛航資料庫與飛行時間資料庫，推算判斷班機之起飛時間是否變更，若有所變更則從飛行時間資料庫依機型、航線之分類，讀出此班機之預計飛行時間，配合靜態資料庫之原始資料，修正其起飛時間及預計到達迄點時間，並加以預估到達各管制點之時間，如此便可建立一動態飛航資料庫。

3.2 系統模組

本系統共有五個模組，包括電報解讀、動態流量預測、機場容量預測、相關機場之離場班機時間間隔以及人機介面等。

1. 電報解讀模組

本研究曾嘗試由雷達資料處理系統 (Radar Data Processing, RDP) 擷取航機動態資料，然而由雷達資料處理系統額外傳送資料，需更動原本系統的設定，而此可能會對飛安產生不良的影響，因而航管單位不敢貿然採用。故本研究無法由雷達資料處理系統擷取航機動態資料，而由飛行計畫、起飛航報、取消航報、修改航報、延遲航報等預測班機到場時間。由系統測試結果發現，電報偶有不確實之情形產生，但與接收 RDP 資料相較之下，其誤差僅有 2% 左右，故電報並非完全準確，然應仍有相當之可信度，不確實電報之探討，詳見第四節之說明。

本研究所構建之電報解讀模組係從民航電報中的飛行計畫、起飛航報、延遲航報、取消航報、修改航報及氣象電報中的飛行定時天氣報告與飛行選擇特別天氣報告中擷取所需資料，以動態更新飛航資料庫，預測未來兩小時內每 15 分鐘之機場供給及需求狀況。

本系統所參照之電報格式為 ICAO 之標準格式，但由於所擷取之電報資料中發現有些報文並不依 ICAO 之規格輸入，因此本研究為儘可能擷取資訊，因而提供除錯解讀邏輯，本研究可處理之報文，請見 4.1.1 節。

(1) 飛行計畫、起飛航報、延遲航報、取消航報、修改航報之解譯

本研究所撰寫之通訊介面程式先將所接收到的每一通電報利用物件導向的特性分別

予以封裝，再由此一民航電報解讀模組逐次讀取並解析其內容。民航電報內容包含項目繁多，本模組僅擷取起飛機場、降落機場、起飛時間等相關資料作為預測各機場流量的依據。此外，由於報文內容中僅班機呼號欄位具有唯一性，因此在更新飛航資料庫時將用其當作索引的鍵欄 (key field)。民航電報解讀之處理流程如圖 2。

因報文種類的不同或是某些資料屬於選擇性編報項目，故本模組可由程式自行判斷每一通電報所需顯示的資料。

(2) 飛行定時天氣報告與飛行選擇特別天氣報告

其中飛行定時天氣報告以 METAR 起始；飛行選擇特別天氣報告以 SPECI 起始。這兩類的氣象電報格式完全相同，差別僅在於前者係定時發報，後者則在有特殊天氣變化時發報。報文內容則包括測站名稱組、觀測時刻組、風向風速組、能見度組、跑道視程組、現在天氣組、綜觀現在天氣組、雲組、溫度露點組、高度表撥定值組、低空風切與過去天氣現象組、天氣轉變組等數個組別。

由於氣象電報格式複雜，本研究依據研究需要僅擷取報文中之測站名稱、平均風向、平均風速、能見度及雲幕高度等資料，即可預測機場之起降供給狀況。茲舉一例說明如下：

<u>METAR</u>	<u>RCKH</u>	261130Z	<u>24006KT</u>	9999	FEW013	<u>SCT025</u>
報文種類	測站名稱		風向風速	能見度		雲量雲高
<u>BKN060</u> 27/20 Q1 006(A2971) NOSIG(I) =						
雲量雲高						

1. 測站名稱以國際民航組織 (ICAO) 訂定之國際航用地名編報。
 2. 風向風速組之前三碼為風向，後兩碼為風速，KT 指風速單位以海裡表示。
 3. 能見度以公尺為單位，9999 表示能見度超過十公里。
 4. 雲量按照疏雲 (1/8 ~ 4/8)、裂雲 (5/8 ~ 7/8) 或密雲 (8/8) 分別以三個字母之簡字 SCT、BKN 或 OVC 表示之。其後以三碼表示雲高，單位為百呎。雲組可重複編報不同之雲層，除非有顯著性對流雲—積雨雲 (CB) 或塔狀積雲 (TCU)，否則不超過三組。詳細準則如下：
 - 第一組：最低之個別雲層，可編報為 SCT、BKN 或 OVC。
 - 第二組：次高之個別雲層，其雲量須超過 2/8 才予以編報，可編報為 SCT、BKN 或 OVC。
 - 第三組：更高之個別雲層，其雲量須超過 4/8 才予以編報，僅能編報為 BKN 或 OVC。
- 附加組：觀測到顯著性對流雲，且其尚未編報於上述任一雲組內時。

本研究所採用之「雲幕高度」資料係以報文中所出現最低層 BKN 雲之高度為準。飛行定時天氣報告與飛行選擇特別天氣報告之解譯流程見圖 3。

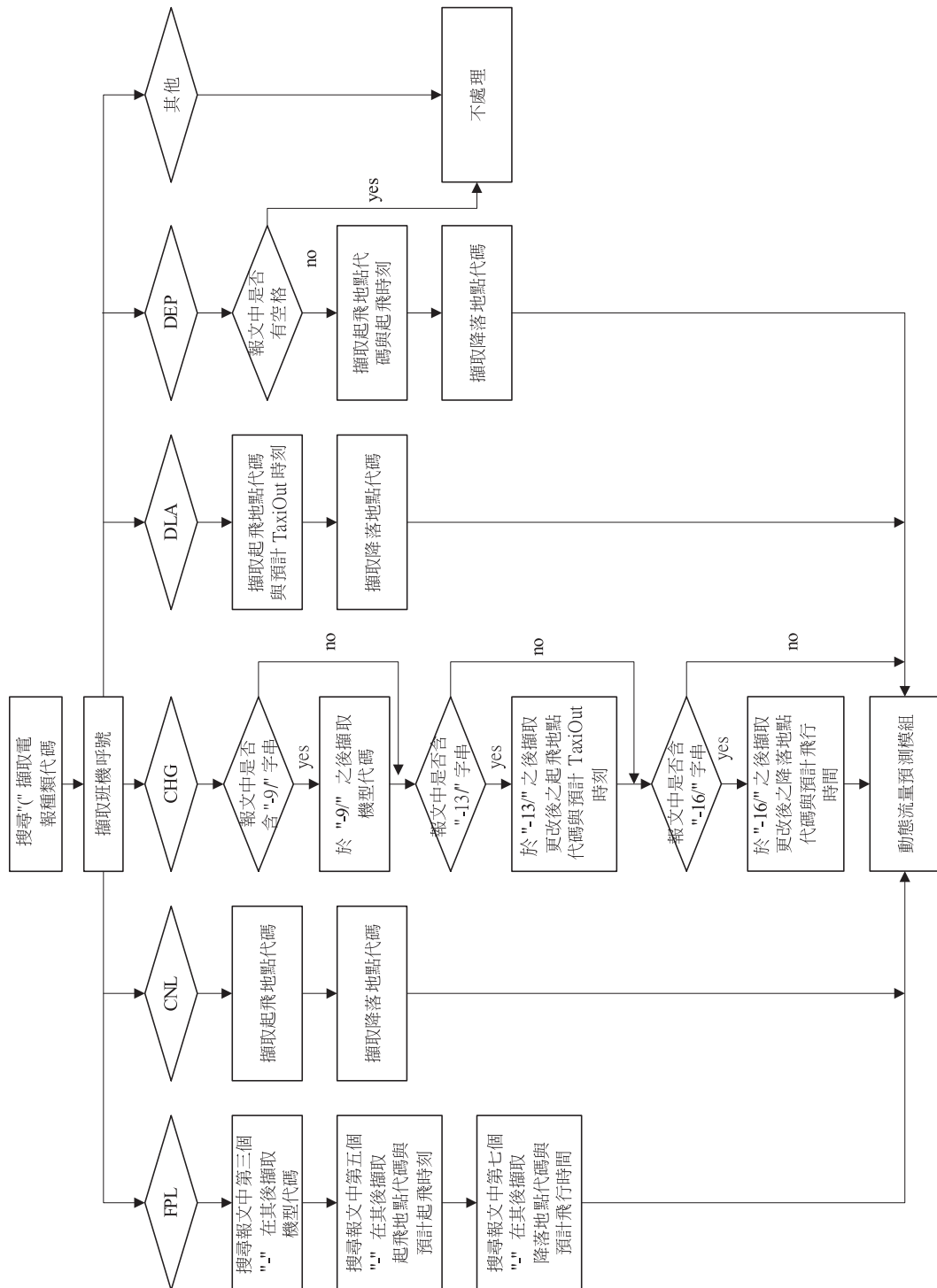


圖 2 民航電報解讀處理流程

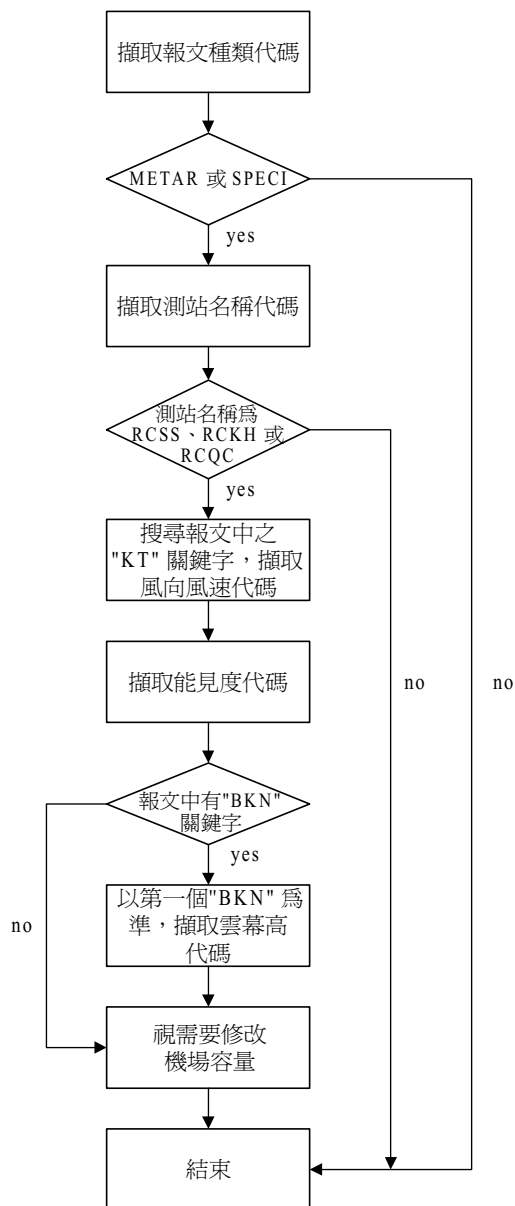


圖 3 飛行定時天氣報告與飛行選擇特別天氣報告之解譯流程

2. 動態流量預測模組

動態流量預測模組之流程如圖 4 所示，並說明如下：

- (1) 由電報碼所擷取之飛航計畫、起飛航報、修改航報、取消航報與延遲航報等，將靜態飛航資料庫予以更新。
- (2) 得知班機資訊：包括班機呼號、使用機型、起飛時間、起迄機場等。

- (3) 飛行時間之決定：依機型、航線之分類，由飛行時間資料庫得知此班機之飛至各管制點與目的地機場之預計飛行時間。
- (4) 預測抵達時間：若班機之起飛時間變更，則將更新後之起飛時間，加上該班機預計飛行時間，即可推算其抵達各管制點及目的地機場之時間，並將資訊存於動態飛航資料庫中。
- (5) 計算預計起降架次：由更正後之資料，推算 15 分鐘、30 分鐘…時段內，在欲觀察之管制點及機場的預計起降航機架次。

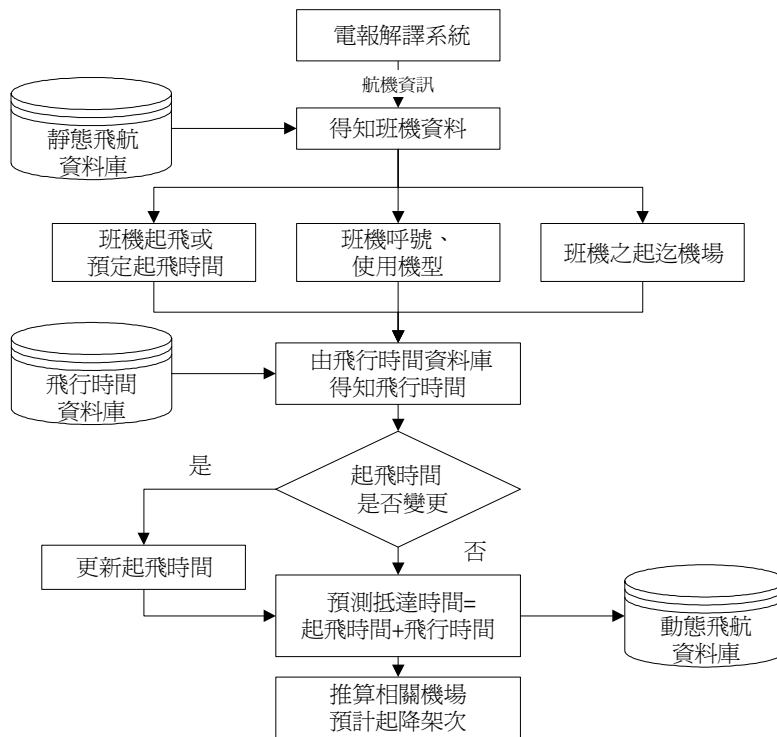


圖 4 動態流量預測模組流程

3. 機場容量預測模組

不同的天候狀況將導致使用不同的跑道與容量，這些天候因素中包括風向、風速、能見度與雲幕高等，本研究之機場容量資料庫即記錄跑道的使用方向、容量與其相對應之天候條件資料，而機場容量預測之流程則如圖 5 所示，並說明如下：

- (1) 由電報線讀取相關之氣象資料，如風向、風速、能見度與雲幕高等。
- (2) 根據所得之氣象資料，決定所使用之跑道，進而決定其容量。雖然由氣象狀況資料可以預測未來所使用之跑道與容量，然而在實務上，跑道轉換的確切時間係由管制員決定，為增加此一流量管制系統之準確性，建議由塔台透過電話或其他方式，告

知跑道轉換之確切時間，並以人工輸入。

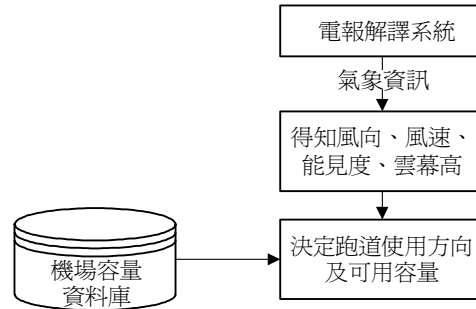


圖 5 機場容量預測模組流程

4. 相關機場之離場班機時間間隔

本研究將依據機場容量及需求之相對關係，以地面等候策略之理論為基礎，彈性推算出台灣地區相關機場之離場班機時間間隔，使航管單位作為實施流量管制作業之參考。以下針對符號定義、處理原則、以及相關機場之離場班機時間間隔之流程加以說明。

(1) 符號定義

- D_{at}^k : 預計在 t 時段由 k 機場離場且已起飛之班機架數；
- D_{pt}^k : 預計在 t 時段由 k 機場離場仍未起飛之班機架數；
- A_{at}^k : 預計在 t 時段降落於 k 機場且已起飛之班機架數；
- A_{pt}^k : 預計在 t 時段降落於 k 機場仍未起飛之班機架數；
- C_t^k : t 時段 k 機場之起降容量；
- TD_N^k : N 時段起 k 機場之航機等候線消散時間；
- Q_t^k : t 時段 k 機場之等候線長度；
- L_N^k : N 時段起消散時間內 k 機場之最長等候線長度；
- T_N^k : N 時段起消散時間內起降於 k 機場航機之總等候時間；
- \bar{T}_N^k : N 時段起消散時間內起降於 k 機場航機之平均等候時間；
- I : 各時段之長度，例如 15 分鐘。

(2) 處理原則

使負效用最小化為原則安排離場班機時間間隔，並考慮離到場航機與機場狀況間之調配，發展出一演算法以建議流量管制實施之時機。本模組所界定之事件如下說明：

a. 壅塞情況發生

當機場之起降需求量大於機場容量，表示機場已發生擁擠之情形，則必須以地面等候或其他策略加以處理。式(1)表示 t 時段 k 機場之已起降以及預計起降之總架次大於其容量，因此表示將有壅塞發生。

$$D_{at}^k + D_{pt}^k + A_{at}^k + A_{pt}^k > C_t^k \quad (1)$$

b. 等候線長度 Q_t^k

機場於擁擠時段，未能於該時段起降，而需留待下一時段處理之航機總數。式(2)表示若有壅塞發生，已起降以及預計起降之總架次與容量的差值，即為等候線長度。

$$Q_t^k = \max(D_{at}^k + D_{pt}^k + A_{at}^k + A_{pt}^k - C_t^k, 0) \quad (2)$$

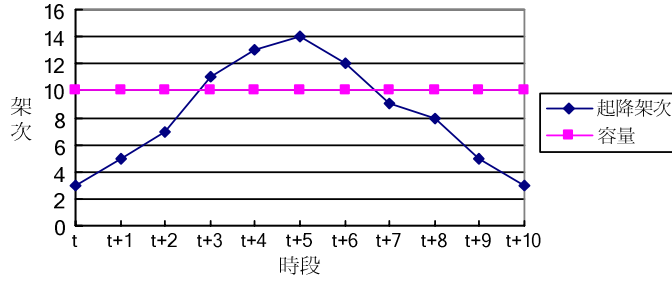
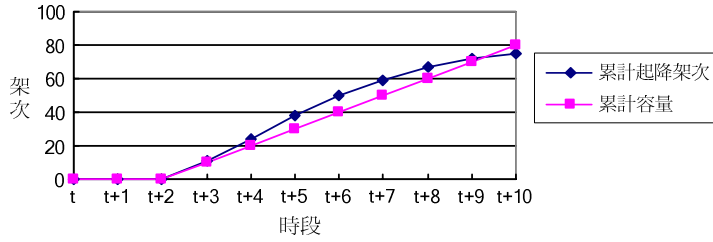
c. 壅塞情形之消散時間 TD_N^k

機場發生擁擠，因限於機場之起降容量限制，則有班機必須延誤起飛或降落之時間，當所有受延滯班機均疏解完畢，其所花用之時間訂為消散時間。假設 k 機場由 t 時段至 $t+10$ 時段之預計架次分布如表 5 所示，並繪圖如圖 6。由表 5 可知， k 機場將於 $t+3$ 時段開始產生壅塞，此時段之等候線長度為 1 架次，表示有一架班機至少必須等到 $t+4$ 時段才能運作，且由 $t+3$ 時段起至 $t+7$ 時段，連續四個時段之預計起降架次皆超過容量，而壅塞情形之消散時間，可由壅塞時段起，將其後各時段之起降架次與容量分別加以累計之，如圖 7 所示。

表 5 k 機場由 t 時段至 $t+10$ 時段之預計架次分布表

時段	起降架次	容量	累計起降架次	累計容量	等候線長度
t	3	10			
$t+1$	5	10			
$t+2$	7	10			
$t+3$	11	10	11	10	1
$t+4$	13	10	24	20	4
$t+5$	14	10	38	30	8
$t+6$	12	10	50	40	10
$t+7$	9	10	59	50	9
$t+8$	8	10	67	60	7
$t+9$	5	10	72	70	2
$t+10$	3	10	75	80	0

由 $t+3$ 時段開始，即有航機必須延後起降，而 $t+4$ 時段原本即預計有 13 架次，再加上前一時段無法處理的航機，表示 $t+4$ 時段需處理 14 架次，而容量為 10 架次的情形下，因此將有 4 架次必須延後，以此類推， k 機場必須等到 $t+10$ 時段才能將所有受延滯的航機處理完畢，因此其消散時間共 7 個時段。


 圖 6 k 機場由 t 時段至 $t+10$ 時段之預計架次分布

 圖 7 k 機場由 $t+3$ 時段至 $t+10$ 時段之累計預計架次分布

消散時間可以式(3)表示之，其中 N 表示壅塞開始之時段，而由 N 時段起，累積起降架次於 $N+TD_N^k$ 時段恰小於累積容量，則消散時間為 TD_N^k 個時段。而自壅塞開始時段 N 至消散時間 TD_N^k 結束前，皆為擁擠時段。

$$\sum_{t=N}^{N+TD_N^k} A_{at}^k + A_{pt}^k + D_{at}^k + D_{pt}^k \leq \sum_{t=N}^{N+TD_N^k} C_t^k \quad (3)$$

d. 最長等候線 L_N^k

表示在擁擠時段中必須延滯起飛或降落時間班機總數最長者。式(4)中之 m 為由壅塞開始時段 N 起，其後之時段，因此式(4)即為比較由壅塞開始 N 至壅塞結束 $N+TD_N^k$ 各時段之等候線長度，其中等候線長度最大者即為最長等候線。

$$L_N^k = \max_m \left[\sum_{t=N}^{N+m} (A_{at}^k + A_{pt}^k + D_{at}^k + D_{pt}^k - C_t^k) \right] \quad m = 1, 2, \dots, TD_N^k \quad (4)$$

e. 總等候時間 T_N^k

表示在擁擠時段中，必須延滯起飛或降落時間班機延滯時間之加總。

$$T_N^k = \sum_{t=N}^{N+TD_N^k} (A_{at}^k + A_{pt}^k + D_{at}^k + D_{pt}^k - C_t^k) \times I \quad (5)$$

f. 平均等候時間 \bar{T}_N^k

表示在擁擠時段中，每架必須延滯起飛或降落時間班機之平均延滯時間。

$$\bar{T}_N^k = T_N^k \div \sum_{t=N}^{N+TD_N^k} (A_{at}^k + A_{pt}^k + D_{at}^k + D_{pt}^k) \quad (6)$$

g. 負效用最小化

當機場產生壅塞，即產生等候線，而等候線越長，航機等候之時間亦隨之增加，因此班機即可能發生誤點，增加旅客不便。此外，班機的延誤，往往增加航機在空中等待之機率，一方面增加管制員負荷，一方面由於額外油料耗損，增加航空公司成本，甚至影響飛航安全。如上所述，機場產生壅塞之負效用為造成班機誤點、增加旅客不便、增加管制員負荷、增加航空公司成本、影響飛行安全等，而等候線越長，所導致的負效用越大，因此本研究在進行相關機場之離場班機時間間隔計算時，以等候線長度為主要考量。

(3) 相關機場之離場班機時間間隔模組流程

首先得知各機場於各時段之容量與預計起降架次，搜尋各機場起降需求大於機場容量之時段，分別計算超額需求時段之消散時間及等候線長度，當某一時段之需求大於容量時，則該時段將以紅色顯示，倘若壅塞之情形達連續 3 個時段以上，則啟動超額需求警示模組。此處以連續 3 個時段做為啟動超額需求警示模組之門檻值，此乃考量若壅塞在 2 個時段 (30 分鐘) 內即可疏解完畢，此時多數之航機僅有一個時段的延滯，表示壅塞之情形並不是十分嚴重，因此無須進行管制；若壅塞已達 3 個時段 (45 分鐘) 以上，部分航機可能需進行較長之等候，因此本研究在此情況之下，乃進行進一步之管制。為增加系統之彈性，此一啟動警示之門檻值可於人機介面模組進行設定，使用者可依需要加以變更。

當超額需求警示模組啟動後，此時於人機介面之畫面上，該機場會以紅色顯示。此時本系統亦將計算相關機場之離場班機時間間隔以供參考，其計算方式首先係針對擁擠時段內尚未起飛之航機，依序計算每一航機若延後一時段起飛所導致之負效用，而後選擇負效用最小之航機予以延後一個時段，此所謂之負效用最小之航機，為延後一個時段後，對其起飛機場及降落機場之等候線長度增加幅度最小者。若所有尚未起飛之航機皆予以延後一個時段而需求仍大於容量時，則以起飛之航機依先到先服務之原則予以落地優先權，其餘航機則以空中等候方式予以延後一個時段，並重複此步驟，直至各時段各機場之需求均在容量限制之下。將所得需延後起飛時間之班機資料更新，並依此資料計算相關機場離場時間間隔，離場班機時間間隔模組流程見圖 8。

本系統亦將模擬依據所建議之離場時間間隔進行管制後各時段之預計離到場架次供管制員參考，管制員若對建議方式不滿意，可自行輸入所欲施行之管制方式，本系統亦將

模擬其結果以供參考。此一功能可減輕管制員評估管制方式成效之負擔，協助管制員迅速的決定一適當之管制方式。

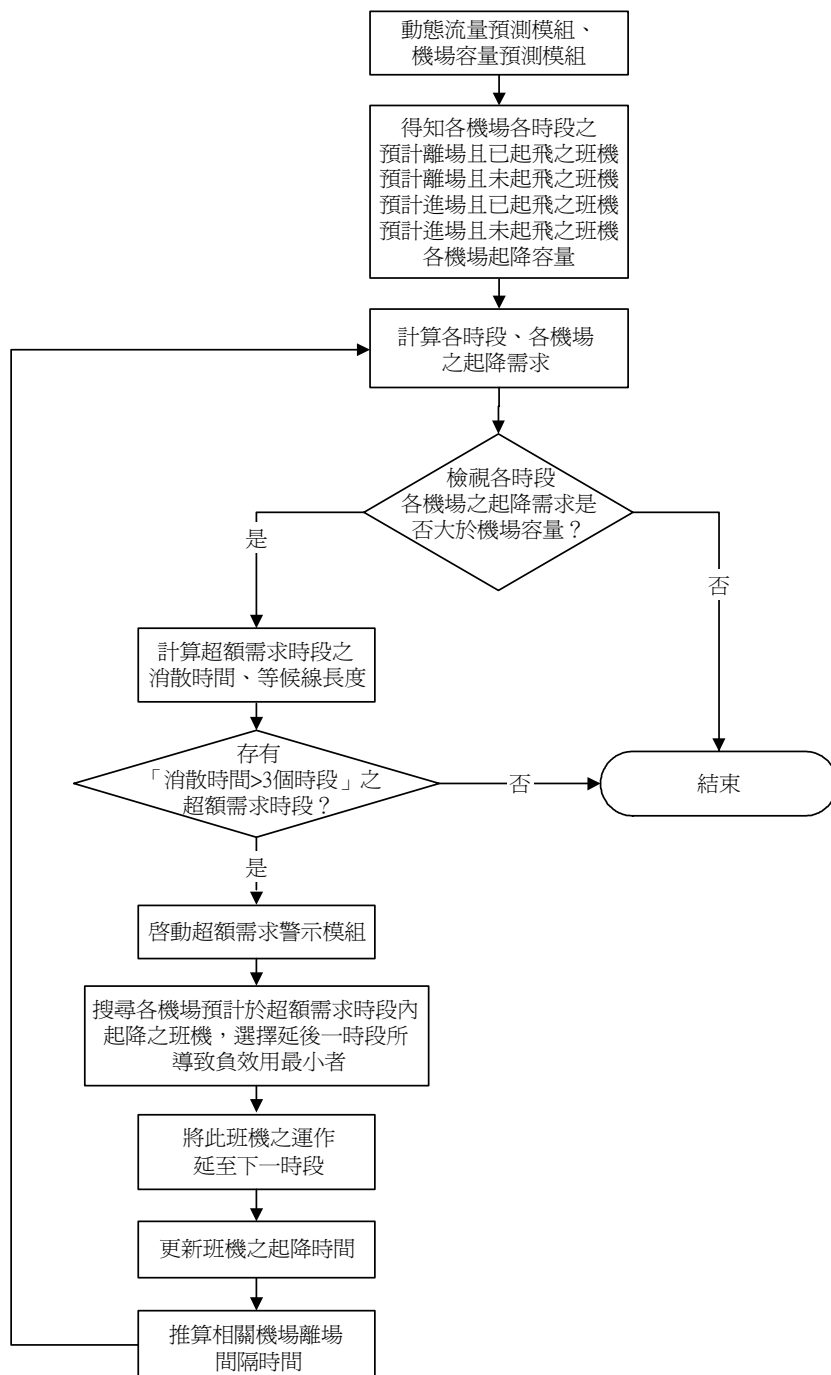


圖 8 離場班機時間間隔模組流程圖

5. 人機介面控制模組

本研究應用 VISUAL C++ 程式語言發展此一人機介面模組，模組之主要功能如下：

- (1) 顯示重要機場與管制點之流量預測：建立台北松山、高雄、馬公等三機場之流量預測分析顯示系統，預先顯示此三機場未來二小時之航機離到場架次，並配合氣象資料，隨時更新機場可使用容量資訊，以提供管制員實施流量管制之客觀參考依據。基於國內飛航管制作業特性，後龍、西港、馬公、大林、TINHO 等各管制點之飛行量攸關流量管制之方式，故而本研究將一併預測此五管制點之飛行量，以供流量管制作業參考。
- (2) 參數設定：包括更換監督視窗、基本容量設定、使用者介面（設定音效、顯示之效果）、控制參數（壅塞時段門檻值、起飛時間、氣象等參數）、修改動態容量等功能，可依使用者之需要逐項修改上述參數。

圖 9 中 RCSS、RCKH 等為各機場之代碼，按下按鈕便會顯示此機場於某時段內班機起降情形，並可依尚未起飛或已起飛之分類，以不同顏色顯示班機為何種狀態，包括：尚未起飛之進場班機（黃色）、已起飛之進場班機（紅色）、已起飛之離場班機（淺藍色）以及尚未起飛之離場班機（藍色）等四類。並且可以看到一水平線，此線為此機場在此時段內之起降容量。起降架次超出此線表示需求超出容量，此時該時間長條圖下方所顯示該一時段之起始時間將以紅色顯示，當需求超過容量且於連續 3 時段內無法消散完畢，則此機場之按鈕將以紅色顯示，用以警告。

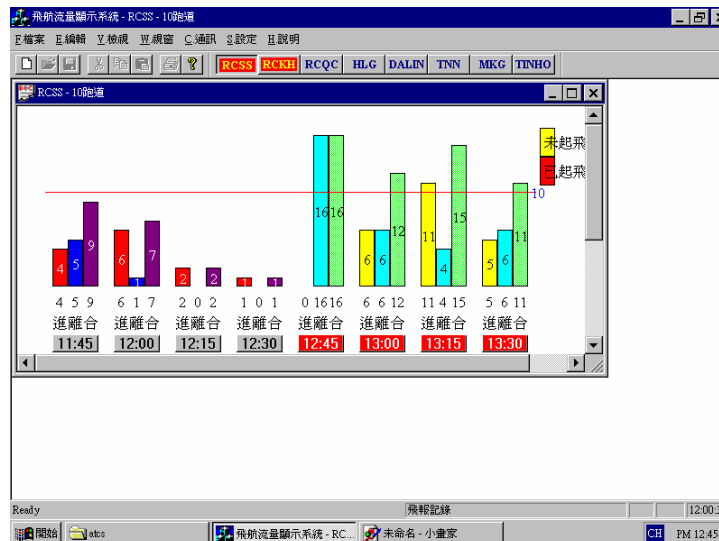


圖 9 松山機場 (RCSS) 每 15 分鐘之起降情形



AID	起點	迄點	機型	離場	進場	事件	時間	延遲
TNA561	RCSS	RCKH	EA32	12:45	13:13	離場	12:45	0
TNA560	RCKH	RCSS	EA32	12:20	12:46	進場	12:46	10
FEA120	RCKH	RCSS	B757	12:20	12:47	進場	12:47	10
ULA892	RCBS	RCSS	MD90	12:15	12:48	進場	12:48	0
FAL265	RCSS	RCKH	FK10	12:50	13:21	離場	12:50	0
CAL264	RCKH	RCSS	B73F	12:25	12:53	進場	12:53	10
ULA381	RCSS	RCBS	MD80	12:55	13:18	離場	12:55	0
GCA9555	RCSS	RCKU	BA46	12:55	13:07	離場	12:55	0
FEA123	RCSS	RCKH	B757	12:55	13:23	離場	12:55	0
GCA9554	RCKU	RCSS	DH8	12:30	12:57	進場	12:57	0

圖 10 於 12：45 時段內欲起降之航機資料

若按下每個時間長條圖下顯示每一時段起始時間之按鈕時，會出現此時段內起降班機之資料，包括起飛機場、落地機場、機型、預計起飛或降落之時間。圖 10 是按下『12：45』所產生之視窗。若有特殊事件發生，例如班機將延後起飛或將進行流量管制等，而使原訂班表發生變化，可在圖 10 之視窗內欲做變更之欄位處進行編輯。

當有機場發生壅塞情形時，除了於顯示畫面上機場名稱會以紅色顯示之外，尚可選擇功能表中之「管制」項目，此項目下有人工控制與自動控制兩個選擇，當選擇人工控制時，可選擇發生壅塞機場之控制時段、每分鐘起降架次，亦可直接套用本研究所計算之建議值。而管制下的各機場流量變化，可按下「模擬」鍵，本系統則依據所輸入之控制時段長度、每分鐘起降架次數等資訊，將班機起降之時間重新調整，鍵入機場名稱後於畫面上可顯示出未來各時段在受管制下之情形，如圖 11。此外，此一功能為模擬未來時段於管制下之情形，並不為未來時段之實際起降情形。

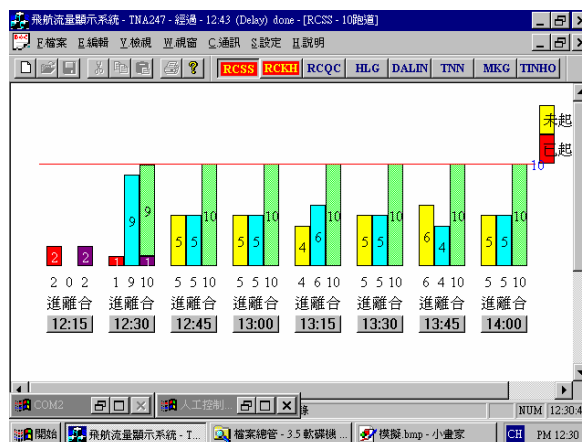


圖 11 模擬未來各時段受管制之起降情形

四、系統測試結果分析

本系統為避免於測試過程中，對實際管制作業造成影響，並考量使實驗之測試結果具有重現性，以方便進行各種不同測試項目及結果之深入分析，因此本研究係利用由台北區域管制中心實際錄回之電報資料（民國八十六年八月八日與九月十四日），而後本研究利用另一部電腦模擬電報資料之傳送，以進行系統測試。以下將就此二次內部測試結果於本章後續兩小節予以詳述之。

4.1 測試結果一（民國 86 年 8 月 8 日之資料）

利用民國 86 年 8 月 8 日之電報資料與管制條進行分析，分析項目包括檢視電報之格式、電報與管制條資料比對、松山機場容量與實際起降架次比對等，由測試結果發現以下問題：

4.1.1 電報輸入資料不確實或錯誤

電報輸入之資料是否確實與正確，攸關系統運作績效甚大，假若輸入資料與實際狀況不吻合，將會導致系統無法即時反映實際狀況，而於測試過程中發現電報報文中會有不確實與錯誤之資料，故本研究將電報不確實與錯誤之電報輸入資料均概分成三類，並詳述如下：

1. 電報不確實之輸入

若電報輸入資料與實際狀況不符合，將導致系統無法有效反映現況，以下將電報不確實之輸入概分成三類並加以詳述之：

- (1) 第一類：航機確實已起飛，卻未發起飛航報 (DEP) 報文。
- (2) 第二類：於長期班表中排定航機起飛，然而，實際上卻無任何起降資料，亦未發取消航報 (CNL) 報文。
- (3) 第三類：當日測試時段實際起飛時間與預定起飛時間差超過六十分鐘，卻未發延誤航報 (DLA) 報文。

經整理後，此方面之測試結果如表 6 所示。其中若接收 RDP 資料，可避免第一類之錯誤，然而第二類與第三類之不確實資訊，並無法由 RDP 中取得。RDP 為航機行經雷達所記錄之資料，因此航機確實已起飛，在 RDP 中必定有紀錄，對於未起飛之航機，無法由 RDP 中獲得資訊。因此電報資料雖有不確實之情形，然比較與接收 RDP 之情形，其誤差僅有 2.10%，因此電報仍具相當的可信度。

表 6 不確實電報輸入資料測試結果

資料類型 \ 測試結果		數量	比率
確實資料		242	84.62%
不確實資料	第一類	6	2.10%
	第二類	24	8.39%
	第三類	14	4.90%

2. 錯誤之電報輸入

由於本系統需接收民航電報，故發展一電報解讀模組，所參照之電報格式為 ICAO 之標準格式。但由所擷取之電報資料中發現有些報文並不依 ICAO 之規格輸入，本研究所發展之電報解讀模組雖亦致力於發展除錯解讀邏輯，然由於錯誤方式眾多，類型不一，電報解讀模組無法完全涵蓋於內，以下依本系統處理之方式將此類輸入錯誤概分為三類：

- (1) 第 A 類：系統可處理之電報。
- (2) 第 B 類：系統可利用程式自動刪除。
- (3) 第 C 類：系統無法處理之電報 (可能含有重要資訊)。

經整理後，此方面之測試結果詳述如下：

(1) 可處理之電報

- a. 將多種資訊於同一電報發出，例如：

BZD227 260717
 FF RCTPZRZX
 260716 RCKHZZTX
 (DEP-TNA228-RCKH0709-RCQC)
 (DEP-FEA1063-RCKH0713-RCBS)

- b. 依 ICAO 規定電報種類代碼欄為應由 3 個字元所組成，故 VFRFPL 僅需鍵入 FPL 即可。

(VFRFPL-FAL7316-VS
 -DO82/L-SD/C
 -RCGI0950
 -N0180VFR C14
 -RCFN0010 RCYU
 -REG/B12252 RMK/RCGI RCFN)

(2) 程式自動刪除

- a. 機場代碼應由四個字母組成，當僅鍵入兩個字母時系統將無法辨識，例如：

(DEP AP016 QC/KH 0648)

- b. 未含完整之電報資料，則程式將這些電報視為錯誤而予以刪除。報文是由數種不同的欄位所組成，每個欄位由‘-’符號分隔，而通常此類資料欄位間不以‘-’符號分隔。

(DEP-FAL722-RFCLG E E E

DEP BH1903 AY-SS CR-71 0831Z

- c. 無法處理之電報 (可能含有重要資訊)

(CHG-TAC679-B11152-RCFN0710-18 REG/B11118-RCGI)

(CNL-FAL768/FAL7818/FAL7822)

(QTAFPL-CR71-I

-BE02/M-SD/C

-RCAY0820

-N01 QTA QTA)

4.1.2 結果整合分析

本節利用松山機場 8 月 8 日 10：50 至 15：50 之氣象電報資料求得之機場容量與當時之管制條資料加以比對，發現實際起降架次低於容量，如表 7 所示。

表 7 松山機場容量與實際起降架次之比較

時間	使用跑道	容量	實際起降架次	班表預計起降架次
11:00	28	40	27	36
12:00	28	40	35	36
13:00	28	40	29	35
14:00	28	40	26	41
15:00	28	40	27	37

經整理後，實際起降架次低於容量之可能原因詳述如下：

1. 航班延滯使實際起降架次與預計起降架次之型態不一致

由實際起飛時間與班表預計起飛時間比較，發現實際起飛時間通常較班表之時間為晚，並幾已呈常態，因此造成實際起降架次與預計起降架次之型態並不一致。故本研究將馬公機場起飛航機之起飛時間由班表預計起飛時間加 10 分鐘，台北松山機場與高雄小港機場則加 15 分鐘。

2. 班機延誤時間於一小時內航空公司並不需發延遲航報，因此將造成預測的不準，其最大誤差為 59 分鐘。

3. 天氣預報的限制

在機場容量方面，因天氣預報為 30 分鐘定時更新，然其中並未提供長時間之氣象預測資訊，也並未說明此 30 分鐘定時更新之天氣預報資料適用時間，在資訊不足之情況下，本系統在未接收到新的氣象資料時，假設在 30 分鐘內之氣象依天氣預報資料設定機場容量，30 分鐘之後的氣象狀況則使用系統內定之正常天候，因此，當天氣變化多端時，即可能產生誤差。

4. 機場容量資料庫之準確性

實際起降架次低於容量之結果，可能為實際起降之需求即是如此，或為機場實際可供使用之容量不足 40，故有必要檢討機場容量資料庫準確性，亦即容量 (capacity) 與產量 (throughput) 之間之關係。

4.2 測試結果二 (民國 86 年 9 月 14 日之資料)

4.2.1 系統測試項目

此次測試之項目包括：

1. 電報是否依照航管系統規定之格式輸入資料。
2. 測試流量管制系統是否依照系統原先之設計邏輯運作。
3. 系統於不同時點預測同一時段之預測起降架次需求是否穩定。

4.2.2 測試流程

由上述所蒐集之各項資料，進行系統模擬測試，詳述如下：

1. 更新靜態班表

由於長期班表每月更新兩次，為符合實際運作情況，系統於重新啟動時必須更新靜態資料庫，以防止系統一開始之內部資料錯誤。

2. 錄製測試資料

將台北區域管制中心所錄製電報資料，送入傳訊之電腦中。

3. 輸入與輸出電腦連線

將 RT 線一端連接裝置有流量管制系統之電腦，另一端則連接電傳之電腦。

4. 輸入與輸出系統時間對時

為實際模擬系統之運作，即電報資料為其發報之時間逐一傳送入流量管制系統，故必須使裝置有流量管制系統之電腦時間與電傳電腦之系統時間一致。

5. 資料傳送

當上述步驟一一完成後，即可進行測試。

4.2.3 結果整合分析

利用電腦模擬資料之傳送並依據上述流程進行測試，並將其結果分述如下。

1. 電報輸入資料不確實或錯誤

(1) 電報不確實之輸入

依照 4.1.1 節中對於電報不確實之輸入經整理後之分類，此方面之測試結果如表 8 所示。由於本系統之模式邏輯為當航機於預定起飛時間尚未收到起飛航報時，系統便自行將預定起飛時間延後十分鐘，並偵測延滯是否超過九十分鐘，假若此架航機延滯超過九十分鐘仍未收到起飛航報時，系統方才自動刪除此架航機，故此法將會導致每架不確實輸入電報之航機於系統中保留多達六個時段（本研究採用十五分鐘為一時段）。本研究將此三類不確實之電報報文所造成系統預測能力之影響整理如表 9 所示，可知因輸入不確實所造成系統於運作時共高估 58 航機·時段，如此將導致於所有測試時段（四小時：16 個時段）中平均每一時段高估 3.6 架航機。由於一時段之容量最多 10 個起降，因此，不確定的電報將造成系統相當大的誤差。

有鑑於此，本研究乃針對實際運作狀況進行資料分析，發現大多數之飛機於實際運作過程中至多延遲 30 分鐘起飛，故於後續之系統測試時，本研究採用之改善方法係將原本內定之延滯容忍限度由九十分鐘改為六十分鐘，如此將可減少因電報報文輸入之缺失所影響系統之準確性與穩定性。

表 8 不確實電報輸入資料測試結果

不確實資料類型 \ 測試結果	數量 (架)	缺失資料 (AID)
第一類	6	1. CAL257 2. FAL259 3. TNA013 4. FEA115 5. FEA055 6. FAL265
第二類	1	1. TNA201
第三類	3	1. FEA183 2. GCA9483 3. TNA559

(2) 錯誤之電報輸入

於此次測試中所擷取之電報資料中發現共有 11 個電報報文並非依 ICAO 之規格，均屬於第二類，可利用程式之修正即可處理之電報格式。

表 9 不確實電報輸入資料之影響

不確實資料類型 \ 測試結果	增加系統高估航機・時段數 (架・時段)
第一類	36 (6×6)
第二類	6 (1×6)
第三類	FEA183 : 4 GCA9483 : 8 TNA559 : 4
總 計	58

2. 長期班表輸入資料錯誤

此種錯誤多為航機之起迄點為同一機場，而於航路經過點資料中之起迄點卻為不同機場，因此判斷可能為資料錯誤，表 10 即為此種輸入錯誤之一範例。

表 10 長期班表輸入資料錯誤範例表

項目 \ 班機呼號	起點	迄點	經過點
FAL737	RCLG	RCLG	RCSS・W4・RCL
FAL7456	RCYU	RCYU	RCLG・W4・HLG

由於此種錯誤將導致系統搜尋飛行時間時，無法於飛行時間資料庫中找到同一起迄點之飛行時間，因此，本研究於進行長期班表之分析整理時，亦增加核對此種錯誤之功能，並提出警示，使航管單位及早發現並予以修正。

3. 班機實際運作延誤之影響

由於航管作業中之航機運作程序，若延誤十五分鐘視為正常，而此延誤情形將導致於測試結果中直接影響到系統之穩定性，故為增加系統運作之效率，本研究於測試結果分析與評估後，隨即進行輸入資料分析，發現班機預定起飛時間與實際起飛時間有一差距存在，松山機場大多數離場航機其實際起飛時間與長期班表之預定起飛時間相差十五分鐘，而高雄及馬公則相差十分鐘，加上實際航管系統運作時，航機延誤十五分鐘之內視為正常，故本研究考量於後續之系統測試時，修正原本長期班表之表定時間。本系統採用之修正方法為，若起飛機場為松山機場，將其長期班表之預定起飛時間增加十五分鐘，而高雄及馬公則增加十分鐘，其他機場則不改變原始資料。

4.3 電報資料正確下之預估起降架次

本研究以民國 89 年 8 月 24 日之 SAR Tape 分析航機各時段之實際起降架次，並假設電報輸入皆正確無誤，包括起飛航報於起飛時準時發送，修改航報與取消航報皆能在航機起飛前取得，以及延遲航報之延遲時間能夠準確預估。因此在起飛時間能正確掌握的情況下，各時段之預估起飛架次與實際起飛架次可視為相同，另由預估起飛時間加上飛行時間，則可預估其降落時間。

以松山機場為例，其每 15 分鐘之實際起降架次與預計起降架次相當接近，如圖 12 所示。由於航機在飛行途中仍有許多不確定性因素影響其飛行速度與飛行時間，事實上即使是同機型之航機，其性能未必完全相同，且依駕駛員操作的習慣，亦可能造成些微的差異，此亦造成實際起降架次與預估起降架次之差異。

由上述之分析可知，當電報輸入正確時，預估流量與實際流量相當接近，因此人機介面模組可顯示正確之離到場航機資訊，且離場班機時間間隔模組亦能提供良好之建議。事實上，電報輸入資料不確實之現象為現有系統設施與作業程序之限制，圖 12 之結果為一理想狀況，現階段之系統不易達成。對於電報輸入資料不確實之現象非本研究所能克服，因此本研究建議必要時針對其特性，調整離場時間間隔演算法及其輸出格式。

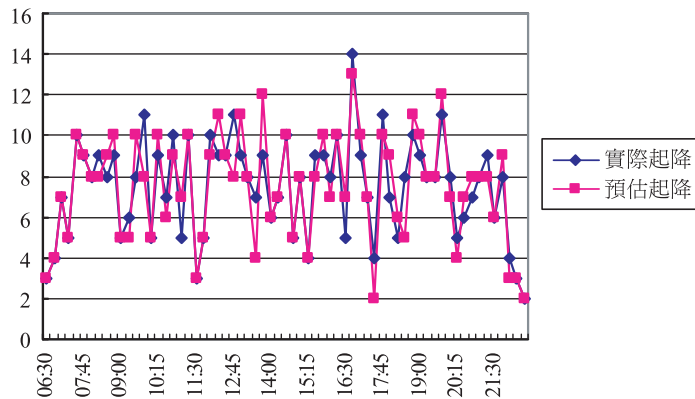


圖 12 松山機場每 15 分鐘實際起降架次與預估起降架次圖

4.4 小結

測試之結果可歸納以下幾點：

電報輸入資料不確實或錯誤：電報輸入之資料是否確實與正確，攸關系統運作績效甚大，由測試結果發現航空公司有時並不依照規定發電報文，這種狀況包括航機已起飛，卻未發起飛報、航機已取消卻未發取消報以及航機延誤超過六十分鐘，卻未發延誤報。此外，

航空公司所發電報文中亦有不遵照規定格式填寫，造成流量管制系統無法處理之情形。雖然現階段遭遇輸入資料不確實或錯誤之困擾，然由於流量管制乃潮流趨勢，因此建議一方面積極呼籲並要求航空公司配合，一方面發展一電報輸入軟體，以提高航空公司輸入資料之正確性。

容量與產量之關係確認：現階段所使用之容量資料係諮詢民航局而得，然實際上，實際起降架次卻未必與容量一致，因此有必要加以澄清，並檢討機場容量資料庫之準確性。

未來天氣預報資料不足，僅提供未來 30 分鐘之氣象資訊，缺乏長期（至少未來兩小時）之氣象預測資料。

長期班表輸入錯誤：此種錯誤主要是起迄點為同一機場，為避免因此種錯誤導致系統無法運作，本研究於進行長期班表分析整理時，將主動偵測此種錯誤，並將之顯示以提醒管制單位及早處理。

班機實際運作延誤現象之影響：經由實驗中發現班機預定起飛時間與實際起飛時間有一差距存在，加上實際航管系統運作時，航機延誤十五分鐘之內視為正常，故本研究將馬公機場起飛航機之起飛時間由班表預計起飛時間加 10 分鐘，台北松山機場與高雄小港機場則加 15 分鐘，使系統運作時可以符合實際運作狀態。

五、結論與建議

5.1 結論

1. 良好的流量管理系統將有以下效益：

- (1) 減輕航管人員之工作負荷：可提供航管人員未來預計之流量與機場容量，可得知未來時段可能產生的問題，並提供建議策略，可供航管人員及早準備、調整休息時間、調派人手或實施流量管理，可減輕其精神壓力與工作負荷。
- (2) 提供實施流量管理之客觀依據：本研究之即時流量管理系統，乃根據即時資訊，事先對壅塞時段之航機運作提出建議，因此有助於決策過程透明化，建立一實施流量管理之公信力。
- (3) 改善飛航安全：本系統事先對壅塞時段之航機運作提出建議，因此可使空域不致湧入過多航機而產生擁擠，造成航管人員心理壓力。如此可使管制作業在安全、有序的情況下進行。
- (4) 增進效率：有效的流量管理，將可充分運用空域及機場容量，盡可能減少航機等候時間，可增加航機之運轉率，並減少旅客等候成本。
- (5) 降低航空公司營運成本：以地面等候取代部分之空中等候，由於空中等候需消耗額外之燃油，若以地面等候取代空中等候，則可減少燃油消耗，降低營運成本。

2. 本研究已建構一流量管制系統雛形

此流量管制系統雛形包括飛航資料庫、機場容量資料庫、班機飛行時間資料庫、資料解讀系統、動態流量預測模組、相關機場之離場班機時間間隔、以及人機介面控制模組等。可接收與解譯民航電報與氣象資訊，預測未來之流量與容量，當需求高於容量時，此一系統即計算相關機場之離場班機時間間隔以及壅塞結束時間的預測，可作為流量管制作業實施之參考；另以人機介面模組，將台北飛航情報區內重要機場與交管點之流量與容量以圖形及顏色方式顯示。

3. 本研究蒐集電報資訊，測試此流量管制系統

本研究利用由台北區域管制中心實際錄回之電報資料，進行系統測試。由測試結果顯示，此系統可接收即時電報資訊，並顯示台灣地區重要機場與交管點未來時段之流量預測情形，並可預先對壅塞時段提出流量管制策略，供管制單位實施流量管制之參考。

4. 國內航線航程短，流量管制系統對於航機起飛時間之正確性要求較高

由於台灣地區國內航線航程短，此特性與國外有相當大的不同。在國外之飛航環境下，即使航機在起飛前已產生延誤，然而其航線航程較長，因此可在飛行途中及時修正其預定降落時段，對未來時段流量之估算影響較小，因此較易進行流量管制策略之研擬，對於起飛時間之正確性要求較低。

台灣地區國內航線航程短，航機起飛前之延誤時間占總飛行時間的比率很高，航機起飛後，不易修正起飛前的延誤。例如預計某班次應起飛而實際上卻未起飛，系統將視此班機已起飛，因而將高估未來時段流量；反之，某班次已起飛而卻未知其已起飛，系統因未知此班機已起飛，因而將低估未來時段流量。且因台灣地區國內航線航程短，航機於起飛後短至 30 分鐘，長至 60 分鐘即降落於目的地機場，若高估未來流量，將使航機離場間隔加大，實際流量偏低，致使飛航系統運作無效率，若低估之，則實際流量偏高，航機可能需進行空中等候。因此在航線航程短之運作環境下，對於航機起飛時間之正確性要求較高，此乃未來發展流量管制系統首應克服的課題。

5.2 建議

電報輸入之資料是否確實與正確，攸關系統運作績效甚大，由測試結果發現航空公司有時並不依照規定發電報文，這種狀況包括航機已起飛，卻未發起飛報、航機已取消卻未發取消報以及航機延誤超過六十分鐘，卻未發延誤報。此外，航空公司所發電報文中亦有不遵照規定格式填寫，造成流量管制系統無法處理之情形。建議一方面積極呼籲並要求航空公司配合，一方面發展一電報輸入軟體，以提高航空公司輸入資料之正確性。

本研究初步不擬由雷達資料處理系統 (RDP) 擷取航機動態資料，而由飛行計畫、起飛航報、取消航報、修改航報、延遲航報等預測班機到場時間。由系統測試結果發現，電報偶有不確實之情形產生，但與接收 RDP 資料相較之下，其誤差僅有 2% 左右，故電報並非完全準確，然應仍有相當之可信度。若能由 RDP 擷取航機動態資料，並加強民航電

報的正確性，將可使流量預測的精確性大幅提高。然因國內航線航程短，除採用 RDP 資訊外，亦應針對航機起飛時間之正確性進行研究。

由於氣象的變更直接影響到機場起降容量之限制，故確切轉換跑道之時間，有賴於塔台及時通知流量管制人員。

一般而言，班機延誤時間於一小時內並不需發延遲航報，因此將造成預測的不準，此一因素對系統之影響將視其發生頻率與差異而定，倘若其影響程度嚴重，將降低後續所計算之離場時間間隔的可信性。由於此一現象為現有系統設施與作業程序之限制，非本研究所能克服，因此本研究建議必要時針對其特性，調整離場時間間隔演算法及其輸出格式。

由測試結果顯示，若輸入資料正確，本系統之運作效率良好，然而，電報輸入資料偶有不確實或錯誤產生，對於台灣地區航程短之飛行環境而言，將造成相當大之誤差，影響所及甚至無法以輸入資料進行精確的控制。因此未來若欲進行流量管理，如何取得即時且精確之飛航資料，尤其是起飛前之航機資訊，將是一重要課題。因此未來航機離場許可若採資料鏈結方式，或許將可局部改善此一問題。

本研究建議發展一系統模擬模式對相關機場之離場班機時間間隔進行進一步之探討。另可就本研究所建立之流量管制系統進一步發展，以提供航空公司進行實際班機調度及制定班表之用。

參考文獻

1. Terrab, M. and A. R. Odoni, "Strategic Flow Management for Air Traffic Control", *Operations Research*, Vol. 41, No. 1, 1993, pp. 139-153.
2. "Air Traffic Flow Management Symposium", *The International Federation of Air Traffic Controllers' Associations*, Fukuoka, Japan, Feb. 1995.
3. 周光燦，「參加日本空中交通流量管理研討會報告書」，*飛航管制季刊*，15 卷，2 期，民國八十四年四月，頁 18-21。
4. Benel, R. A., "Taipei FIR Flow Management System Planning Report Summary", MITRE, March 1996.
5. Odoni, A. R., "Issues in Aircraft Flow Management", *Advanced Technologies for Air Traffic Flow Management*, 1994, pp. 41-63.
6. 周雅蕊，「流量管理之地面等候策略研究」，國立成功大學交通管理科學研究所碩士論文，民國八十五年六月。
7. Vranas, P. B., Bertsimas, D., and Odoni, A. R., "The Multi-Airport Ground-Holding Problem in Air Traffic Control", *Operations Research*, Vol. 42, No. 2, 1994, pp. 249-261.
8. Terrab, M. and Odoni, A. R., "Strategic Flow Management for Air Traffic Control", *Operations Research*, Vol. 41, No. 1, 1993, pp. 139-153.
9. Vranas, P. B., Bertsimas, D. J., and Odoni, A. R., "Dynamic Ground-Holding Policies for a

- Network of Airports”, *Transportation Science*, Vol. 28, No. 4, 1994, pp. 275-290.
10. Bertsimas, D. and Patterson, S. S., “The Air Traffic Flow Management Problem with Enroute Capacities”, *Transportation Science*, Vol. 46, No. 3, 1998, pp. 406-422.
 11. Bertsimas, D. and Patterson, S. S., “The Traffic Flow Management Rerouting Problem in Air Traffic Control: A Dynamic Network Flow Approach”, *Transportation Science*, Vol. 34, No. 3, 2000, pp. 239-255.

