

目錄

中文摘要.....	i
英文摘要.....	ii
誌謝.....	iii
目錄.....	iv
圖目錄.....	viii
表目錄.....	ix

第一章 緒論.....	1
1.1 研究動機.....	1
1.2 研究目的.....	1
1.3 研究內容.....	2
1.4 研究流程.....	3
1.5 研究架構.....	7

第二章 文獻回顧.....	8
2.1 延誤與流量管理.....	8
2.1.1 延誤類別.....	8
2.1.2 延誤管理.....	9
2.1.3 延誤擴散及預測.....	10
2.1.4 延誤擴散之控制.....	11
2.2 機場與跑道容量.....	12
2.2.1 容量定義.....	12
2.2.2 容量推估.....	12
2.2.3 容量提高.....	13
2.3 SIMMOD模擬模式.....	15
2.3.1 SIMMOD模擬模式簡介.....	15
2.3.2 SIMMOD模擬模式應用.....	16
2.4 SIMMOD模擬模式與等候理論及其他模式之比較.....	19
2.4.1 SIMMOD模擬模式與等候理論比較.....	19
2.4.2 SIMMOD模擬模式與其他模式比較.....	19
2.5 飛航管制作業.....	20
2.5.1 到場管制.....	20

2.5.2 離場管制	21
2.5.3 航路管制	22
第三章 模擬系統構建與資料輸入及輸出	24
3.1 空邊模式構建	26
3.1.1 空邊資料	26
3.1.2 松山機場空邊模式構建	34
3.1.3 小港機場空邊模式構建	35
3.2 空域模式構建	35
3.2.1 空域資料	35
3.2.2 松山機場空域模式構建	39
3.2.3 小港機場空域模式構建	46
3.3 北高空運走廊空域模式構建	49
3.4 事件資料	49
3.5 連結資料	51
3.6 資料輸出說明－書面資料報告	52
3.6.1 資料輸入回應報告	53
3.6.2 模擬過程的紀錄報告	53
3.6.3 標準報告	54
3.6.4 深度報告	54
3.7 資料輸出說明－圖形與動畫顯示	55
3.7.1 圖形顯示	55
3.7.2 動畫顯示	55
第四章 模式校估與驗證	57
4.1 模式校估	57
4.1.1 校估指標	57
4.1.2 校估資料來源	57
4.1.3 校估方式	58
4.1.4 整體校估之校估結果	58
4.1.5 個體校估之校估結果	60
4.1.6 校估預測延誤能力結果	63
4.2 起降方向改變時之過渡運作方式	64
4.2.1 松山機場 28 跑道起降程序	64

4.2.2 起降方向改變時航管處理方式.....	68
4.2.3 起降方向改變時SIMMOD模擬方式.....	69
4.3 模式驗證.....	70
4.3.1 驗證指標.....	70
4.3.2 驗證資料之來源.....	70
4.3.3 驗證方式.....	70
4.3.4 驗證結果.....	71
第五章 模擬結果分析.....	72
5.1 起降方向改變下航機之起降延誤.....	72
5.1.1 機場起降方向改變持續時間一小時.....	72
5.1.2 機場起降方向改變持續時間半小時.....	73
5.2 延誤時間統計.....	75
5.3 減少航機延誤擴散之策略與應用性探討.....	79
5.4 改變進場航機隔離對改善延誤擴散的效果.....	80
5.4.1 進場航機隔離設定為 5 海浬.....	80
5.4.2 進場航機隔離設定依時段予以不同設定.....	81
第六章 延誤預測模式之推估與驗證.....	83
6.1 航機延誤預測模式之推估邏輯.....	83
6.1.1 案例分析.....	83
6.1.2 後推延誤時間之推估邏輯.....	84
6.1.3 離（進）場等候延誤—首架離、進場航班延誤時間之推估邏輯.....	86
6.1.4 離（進）場等候延誤—後續離、進場航班延誤時間之推估邏輯.....	88
6.2 航機延誤預測模式之推估.....	88
6.2.1 起降方向改變下之航機延誤模式.....	88
6.2.2 機場關閉情境下之航機延誤模式.....	91
6.3 航機延誤預測模式之驗證.....	92
6.3.1 航機流量增加 20%，起降方向改變時間 30 分鐘.....	93
6.3.2 航機流量增加 40%，起降方向改變時間 40 分鐘.....	95
6.3.3 航機流量增加 60%，起降方向改變時間 25 分鐘.....	98
6.3.4 航機流量不變，機場關閉時間 30 分鐘.....	101
6.3.5 航機流量增加 40%，機場關閉時間 40 分鐘.....	102
6.4 實例驗證.....	107

第七章 結論與建議	109
7.1 結論	109
7.2 建議	110
參考文獻	112



圖目錄

圖 1-1 研究流程圖.....	6
圖 1-2 研究架構圖.....	7
圖 5-1 一般正常情況與起降方向改變一小時比較結果.....	73
圖 5-2 一般正常情況與起降方向改變比較結果.....	74
圖 5-3 各時點平均延誤時間的分佈圖.....	78
圖 5-4 進場航機隔離標準為 5 海浬時各時點平均延誤時間分佈圖.....	80
圖 5-5 依時段設定進場航機隔離標準時各時點平均延誤時間分佈圖.....	82
圖 6-1 個別航機延誤時間分佈圖.....	84
圖 6-2 後推延誤時間示意圖.....	85
圖 6-3 起降方向改變下首架使用新起降方向離、進場航機延誤時間示意圖.....	86
圖 6-4 調回原起降方向後首架離、進場航機延誤時間示意圖.....	87
圖 6-5 機場關閉情境下首架離、進場航機延誤時間示意圖.....	87
圖 6-6 後續離、進場航機延誤收斂時間示意圖.....	88



表目錄

表 2-1 SIMMOD 模擬模式可使用分析之相關策略整理.....	17
表 2-2 航路上適用之最低前後隔離標準.....	23
表 3-1 SIMMOD 模擬模式輸入資料整理.....	24
表 3-2 松山機場機門分配表.....	34
表 3-3 空域航段的分類.....	38
表 3-4 松山機場起降航空器之 INM 航空器分類.....	46
表 3-5 小港機場起降航空器之 INM 航空器分類.....	49
表 3-6 連結資料之處理邏輯簡例.....	52
表 4-1 空域校估指標之比較結果.....	59
表 4-2 松山機場空邊校估指標之比較結果.....	59
表 4-3 小港機場空邊校估指標之比較結果.....	60
表 4-4 北高航線航班運行時間之校估結果.....	60
表 4-5 空域模式檢定表.....	61
表 4-6 松山機場空邊模式檢定表.....	62
表 4-7 小港機場空邊模式檢定表.....	63
表 4-8 模式延誤預測能力檢定結果.....	64
表 4-9 模式驗證結果.....	71
表 5-1 一般正常情況與起降方向改變比較結果.....	73
表 5-2 計算各時點平均延誤時間的樣本數.....	77
表 6-1 情境一之進場班機比較表.....	94
表 6-2 情境一之離場班機比較表.....	94
表 6-3 情境二之進場班機比較表.....	96
表 6-4 情境二之離場班機比較表.....	96
表 6-5 情境三之進場班機比較表.....	98
表 6-6 情境三之離場班機比較表.....	99
表 6-7 情境四之進場班機比較表.....	101
表 6-8 情境四之離場班機比較表.....	101
表 6-9 情境五之進場班機比較表.....	103
表 6-10 情境五之離場班機比較表.....	104
表 6-11 情境一至情境五預測數值檢定結果.....	105
表 6-12 各情境延誤統計分析.....	106
表 6-13 實際驗證之進場班機比較表.....	107
表 6-14 實際驗證之離場班機比較表.....	107

第一章 緒論

1.1 研究動機

航空交通需求不斷地成長，勢必使得大量的航機飛航於有限的空域內，造成飛航空域擁擠，航空交通管理不易。目前台灣民用、軍用機場總共有二十五座，大多位於台灣西半部，造成台灣西半部空中交通非常繁忙，且其中部份機場相當接近，造成航空交通管制與飛航操作上的困難。又雖然目前各主要機場之容量尚未飽和，但主要機場在尖峰時段起降航班過多，容易造成離到場航機地面與空中的延誤。如果又發生緊急突發事件或天候情況不佳，造成機場起降方向改變，甚至是機場關閉而停止運作，常常都會發現航空公司因為無法有效得知航班可以起飛時間，影響後續機隊之運用與機組人員之安排；航管人員無法立即採取適當策略引導航機，導致航機常常在空中盤旋等候，不但造成飛航成本提高，甚至於危害到飛航安全。因此，如何能在發生突發事件或是天候情況不佳時，迅速且準確地評估延誤情況，供相關單位參考，是值得研究的一個課題。

回顧國內外對於延誤之相關研究，不論是使用數學規劃之最佳化或系統模擬方式，多半都著重於一般正常情況下航機之運作，或僅加入相關作業內容之機率分配或隨機模式，且為了問題之簡化，常常設定不符合實際情況之假設，而使模式失真。特別針對天候異常事件，進行評估航機延誤課題的研究仍屬少數。故本研究擬針對天候異常事件，推估航機延誤模式，並藉由SIMMOD (Airport and Airspace **Simulation Model**) 模擬模式，構建所要研究之機場空域 (Air Space) 與空邊 (Air Field) 系統，當作驗證模式之工具，討論衡量當天候狀況不佳，造成機場起降方向改變或關閉時，機場容量的改變，以及所造成機場之間相關航機延誤的情形，以供航空公司、航管人員以及機場人員作業時之參考。至於研究的對象則包括在松山機場與高雄機場起降之航班。

1.2 研究目的

本研究之目的在於提供一個適當的分析工具，以進行航機與機場運作，與相關機場容量及延誤狀況之評估，了解並分析延誤之特性。並藉此驗證航機延誤模式之適用性。並以延誤推估之結果，提供航空公司、航管單位以及機場人員做相關作業時之參考。期望藉由此研究，能提供一個適當地分析工具，以便於深入考

量各種不同的情境，更全面性地來探討機場空側之整體運作情況。

1.3 研究內容

本研究預計的工作內容如下：

一、機場容量、流量管理與衡量航機延誤相關文獻探討

為了衡量航機於機場起降之延誤，本研究首先了解國內外相關研究文獻中，對於機場容量推估之方法、機場空域流量管理之方式，以及對於航機延誤之定義與分類，衡量航機延誤及其延滯擴散效果之原因與方法。

二、模擬模式探討

國內及國外所發展之空域模擬模式相當的多，也都各有其利弊。為達成最佳之模擬結果，本研究了解國內外使用之相關模擬模式，探討比較其輸出與輸入資料特性、運作原理、空域與空邊模擬邏輯及空域結構。由於不同模擬式各有其優缺點，對於不同的模擬目的可選用不同之模擬模式，因此必須加以了解不同的模擬模式，以及相關文獻中之使用方式，以期達成最佳之模擬結果。

三、空域及空邊資料之蒐集與分析

為分析國內空域路網特性，本研究蒐集台北飛航情報區（Taipei Flight Information Region；Taipei FIR）內各機場與航路的實際飛航資料，並至相關之航空交通管制單位訪談，以了解其實際運作管制之情形。其所需蒐集之資料包括航機起降資料、空域結構特性資料以及採取之管制隔離方式等。

四、構建使用之模擬模式並校估與驗證

選定欲採用之模擬模式後，依據所蒐集到的相關資料，以節點節線方式構建研究之空域路網，並依據國內空域路網特性，決定節點與節線的相關屬性及其功能。除此之外，關於航空公司起降航班與管制方式等資料也一併輸入。之後，使用實際資料與模擬資料，透過模式校估、模式驗證等嚴謹步驟，以期達成完整之模式構建。

五、分析模擬結果，並推導延誤模式

模式完成構建並通過驗證後，以此模式為分析工具，在模式中加入風向

改變使起降作業改變，或使機場停止起降之相關情境，衡量後續起飛航機延誤的情形，並提出減少延誤之策略。之後並推導航機延誤預測式，與模擬模式之結果作比對，以此分析探討機場容量、機場間航機延誤情形及延誤擴散之程度。

1.4 研究流程

在確定研究方向後，首先進行相關文獻回顧與資料蒐集分析，其次展開機場設施能量、標準離到場作業程序分析，以及進行模式構建與驗證，最後進行延誤模式之推估與驗證。各階段之研究重點如下：

一、相關文獻回顧

- (1) 機場容量分析、機場模擬、航空管制及機場空域之相關文獻蒐集與回顧。
- (2) SIMMOD 模擬模式應用之相關文獻蒐集與回顧。

二、資料蒐集與分析

本研究蒐集下列相關資料：

(一) 機場空域、空邊佈設與容量資料

1. 各機場停機坪、跑道、滑行道等佈設情況
2. 各機場設施能量資料
3. 空域航線設施能量資料

(二) 航機特性資料

4. 機型分類
5. 各類航機飛行速度與地面滑行速度
6. 各類航機運作性能，如跑道佔用時間分配、登機門佔用時間分配

(三) 飛航管制作業程序與起降班表

7. 各機場標準離到場程序
8. 航機隔離標準
9. 航機起降班表
10. 航機調度運用資料

(四) 氣象資料

11. 各機場能見度與雲幕高等資料
12. 各機場跑道與跑道上空之風向與風速資料
13. 使模擬機場運作方式改變之天氣類型

三、航管單位實地訪談

本研究與航管單位訪談中，獲得下列資料：

1. 各機場航機實際起降班表，以及航機在空域與空邊運作與延誤之情形，以作為模式驗證時之實證資料。
2. 航空公司使用機場跑滑道、停機坪，以及實際航機調度運用之方式
3. 正常情況下，管制作業實際隔離航機之方式
4. 在天候狀況改變下，航機操作性能改變與管制員管制航機之方式

四、模式構建

本模式採用節點與節線型態架構機場空域與空邊路網。接著輸入所獲得之班機起降資料與相關之管制方式，模擬每一架次航班在登機門上客貨、後推、滑行、起飛、沿核定航線飛行至目的地機場降落、滑行及至登機門下客貨為止。

五、模式校估與驗證

模式建構完成後，選取模式驗證之指標與模式驗證之方式，以進行模式合理性之確認，並適當修正模式參數。

驗證分為模擬能力驗證與預測延誤能力驗證。模擬能力方面又分為總體驗證與個體驗證。指標選取方面，空域部份選定航班之空中時間（Air Time）作為空域部分之驗證績效指標。其中空中時間為空中旅行時間（Air Travel Time）和空中延滯時間（Air Delay Time）的總和；在空邊部份則為航空器之離場地面時間（Ground Time，表示航機自機門後推至起飛中間所花的時間，包含滑行時間與正常情況下之離場等候時間），原因在於離場等候延滯為發生於空邊之最主要延滯。另外，本研究也對北高線航班，進行飛行時間的驗證。在預測延誤能力驗證方面，選取航機在機場之後推、起飛、落地與靠門等四個時間點，進行模擬時間與實際時間的比對。

校估與驗證方法如下：

- （一）選取非週末例假日之一天，在模式之基礎條件之下，利用向航管單位所索取之管制紀錄條，並配合實地調查，進行應用模式之校估。
- （二）選取其他非週末例假日之一天，在配合起降運作方向改變的情況下，利用向航管單位所索取之管制紀錄條，並配合實地調查，進行應用模式之驗證。

(三) 適當修正模式參數。

六、分析模擬結果，並推導延誤預測模式

在模式中改變起降方向之運作與使機場關閉，以分析航機產生延誤程度之大小，並提出減少延誤之方式。並推導起降方向改變下與機場關閉情境下航機延誤預測模式，分析航機延誤模式與模擬模式計算個別航機延誤之差異，並探討造成其差異之原因。

七、提出結論與建議

針對本研究之結果提出結論與建議，以供後續相關研究之參考。
研究流程如圖 1-1 所示。





圖 1-1 研究流程圖

1.5 研究架構

本研究之研究架構如圖 1-2 所示。

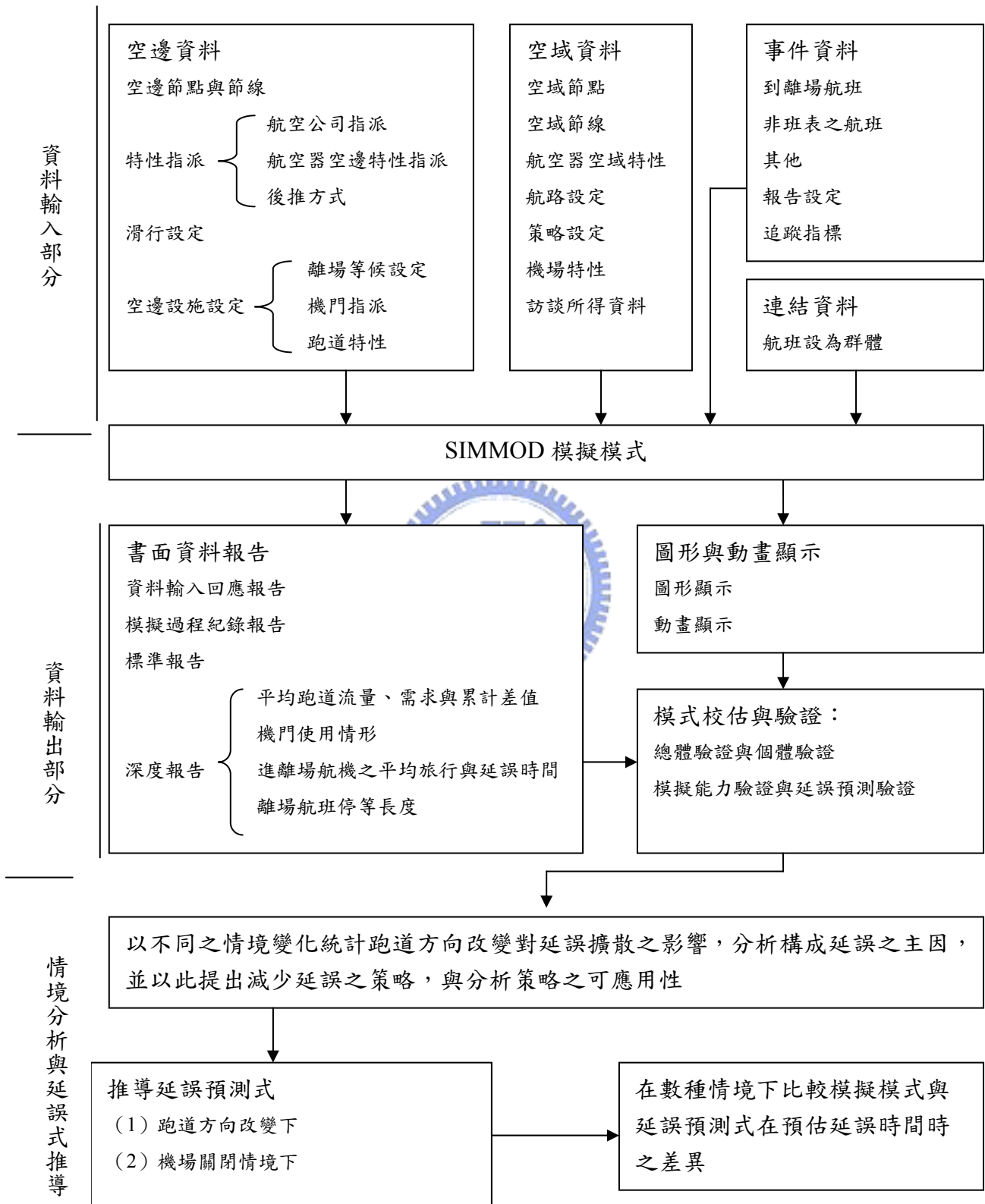


圖 1-2 研究架構圖

第二章 文獻回顧

2.1 延誤與流量管理

近年來，航空旅客人數與航班數的快速成長，對原本已呈現擁擠狀態的空域與空邊系統，更是造成一大負擔。伴隨而來的便是不可避免的延誤現象。對航空公司而言，因航機延誤所產生的額外成本，往往是個很大的支出。以美國國內線機場為例，每日總延滯達數千個小時，花費成本達一年兩億美金〔41〕。奧地利航空公司（Austrian Airlines）估計在 1999 年，因為航空交通管制而造成的額外成本支出約為五千二百萬美元，其中 54% 來自於因航機接續航班所產生的連鎖延誤效應，22% 為因延誤而產生的直接額外操作成本，而高達 24% 是由於顧客的流失〔4〕。研究也顯示航空公司的表現（包括航機準點率、服務品質與飛安紀錄）與市場占有率之間有密切的關係，一旦旅客不滿某航空公司的表現時，就會選擇改搭乘其他航空公司〔28〕。

2.1.1 延誤類別

航機延誤計有五類，包括旅客處理延誤（Traffic handling delays）、航機地面作業延誤（Aircraft turnaround delays）、航空器技術延誤（Aircraft technical delays）、流量管制與機場延誤（Air traffic control and airport delays）及天候影響之延誤（Weather delays）〔27〕。其中，流量管制所造成的航機延誤，係指因空域或空邊之容量限制，以致航管單位必須以某一流量管制規則對航機起降進行管制，使得航機於正常運作狀況下要用額外的時間才能起飛或降落地面的延誤，也就是所謂的技術性延誤（Technical delays），包括因流量管制或流量管理所造成航路管制點的進離場延誤及機場設施容量（如跑道）不足的延誤，但並不包括航空公司因自身問題所造成的航空器或服務作業之延誤。另美國聯邦航空管理局將延誤分為兩種，第一種為有效的到達延誤（Effective delays），即實際到達時間與班表預定抵達時間之差，為直接影響旅客延誤多寡之衡量指標，第二種則為航機之技術性延誤〔11〕。然而就上述航機延誤類型而言，相關空域與空邊設施系統容量不足與航空交通流量管制，是產生航機延誤的兩大主因。英國倫敦蓋特威（Gatwick）機場的研究發現，該機場 30% 的航機延誤來自於航空交通流量管制，另外的 25% 航機延誤來自於航空器與航空公司的地面作業延誤〔10〕。就台灣地區的機場來說，國內航線班機載客以台北-高雄航線之載客量最多，台北-台南航線之載客量次之，其中就台北-高雄航線的市場占有率高達 32.59% 的現象中不難

發現，台北松山機場與高雄小港機場班機起降頻繁〔34〕，因而造成南北主要航路擁擠，航機延誤或變更屢見不鮮，造成航空公司巨額的損失。因此，如何降低航機延誤成本便顯得非常重要。

2.1.2 延誤管理

在以往的研究中，為了降低航機延誤時間或延誤成本，而採取的手段，可分為直接手段與間接手段兩大類〔8、14、15〕。直接手段乃指以減少飛航班次數，或採取時間帶分配與管理的方式來降低延誤，如將部份航班調整至非尖峰時段或非主要機場，或以較大的航機替代較小的航機服務於擁擠的機場，而減少飛航班次數。Abeyratne〔1〕探討美國航空公司藉著到達時間帶分配系統來減低機場擁擠所造成班機延誤之擴散效應，應用此網路最佳化系統在飛航管制的限制下，重新調整班機之起降時間，以取消某些班次而善加利用這些空出之時間帶將班次重排，使延誤擴散效應的不良影響減至最低，達到減少總延誤，增加航空公司利潤，並提高航空公司可靠度的目的。李穗玲〔36〕則認為航管人員有能力運用跑道空檔原則於較小時點長度的剩餘緩衝時間使用，來調整航機起降的先後以降低航機延誤，因此在規劃班表時點長度時，除了發揮跑道容量之最大使用外，更應選擇適當易控制的時點長度，來提升實務上流量管理技術的效能。並且，班表時點航機架次安排愈均勻，相對的總延誤將愈小。

間接手段乃指當航機停留在空中時，由於油料的消耗，延誤成本遠高於留置地面的成本，因此乃採取將航空器留置於地面上，避免航機盤旋於空中，此種策略稱為地面等候策略（Ground Holding Policy）。一般來說，旅客比較偏好飛航班次密集的航空公司，且時間帶安排為航空公司獲利之重要關鍵因素，航空公司若改採取大型航機飛航，放棄若干之機場時間帶，該時間帶也許會被其他航空公司使用，直接手段所達成減少機場延誤的效果較為有限。因此，以間接手段（也就是採取地面等候策略）來降低延誤成本的研究居多。

Andreatta 和 Romanin-Jacur〔11〕在地面等候策略中，加入考量進場航機降落先後順序因素以減少機場擁擠的成本。其模式乃假設進場航機降落順序為已知，且皆以相同之飛航速度降落，同時將機場容量值設為定數，不隨時間而改變。以動態規劃演算法求解尚未起飛之航機是否需要在地面等候。

Richetta 等人〔25〕認為靜態地面等候策略僅能指出是哪一架航機需作地面等候，若要解決等待多久則需轉換為最小成本流量問題。模式中考量實務上到達

航機之接續限制，並以四種演算法進行延誤績效的評比。由於不同機型之航機有不同的延誤成本，導致小型航機雖然只占總飛機數的 45%，卻吸收了約 90% 的地面等候，此種演算法並不公平。

周雅蕊 [39] 延續國外已發展的靜態、確定性模式構建單一機場之地面等候策略，引入航機延誤對其續接飛航任務影響的限制，以整數規劃方法分別構建確定性與隨機性模式，自行發展一個啟發式演算法進行模式的求解。模式中並以松山機場為例，進行機場天候情況良好、風向改變而變換跑道使用方向及機場關閉三種情境之地面等候策略分析。然而對於航機等候公平性的處理上，由於使用航機等候之懲罰成本，易於強迫成本較高的航機進行等候。

動態方面，Vranas 等人 [32] 引進多機場動態地面等候模式，亦即航機之地面等候策略，能隨著最新資訊（如天氣預測）的取得，以及現場情況（如等候成本）的改變而動態修正，分為動態確定性與動態隨機性兩種。該研究並在模式中，考慮多機場之到離容量相互影響情況，及實際航機到達時間能早於預定航機到達時間，使得模式之使用價值提高。但因模式中機場之天氣情況皆為同質性，故模式僅在距離非常近，且天氣情況也相近的機場才能成立，是其缺點。

Mohleji [22] 提出航路導向的規劃控制概念（Route-Oriented Planning and Control, ROPAC），以動態調整空中流量，達到機場容量最佳化。其研究結果顯示運用 ROPAC 之概念將可使每架次航機平均延誤減少 3 分鐘，燃油節省 54 加侖，跑道之航機起降頻次增加 14%，航管人員與機師之間通話的次數下降 30%。

2.1.3 延誤擴散及預測

航機延誤之擴散效應，主要來自四個因素 [46]。第一種為同一架飛機，相鄰班次間之推擠性誤點延滯，當一架航空器在一天之中有多個航段之飛航任務時，只要前面航段發生延誤，且航段與航段之間沒有足夠的地面航機回頭作業時間（aircraft turnaround time）與巡航緩衝時間（airborne buffer time），則後續航段班機也會跟著延誤，此種延誤稱為連鎖延誤（knock-on delay）。第二種為不同架飛機，相鄰班次間之推擠性誤點延滯，如使用相同登機門之前後兩架航機，後架航機有可能因為前架航機延誤離開機門而延誤。第三種為班機因轉運所造成之推擠性誤點延滯，當航空公司採取輻軸路網（Hub and Spoke）之航線配置時，只要有任一個到場航班發生延誤，則該班機上旅客所要轉接之班機，在容許的延誤範圍內，也會跟著延誤。目前世界上大型航空公司大多採用輻軸路網設計，因此在

轉運機場常發生此類延誤。第四種為多層次班機誤點延滯擴散情形，也就是前述三種延誤可能會兩種或兩種以上同時發生之情形。

Hall 等人 [16] 研究分析旅客在軸輻機場轉機過程，並構建其相關模式。分析主要有四種因素影響轉機，分別為 (1) 班機的到站隨機誤點延滯 (2) 等候進場及空跑道 (3) 兩架班機間轉機班表誤點延滯，及轉機作業延誤 (4) 離場產生之誤點延滯。並依據上述四種情形構建轉機誤點延滯模式，推算出轉機誤點延滯時間。

Wu 等人 [6] 發展了一個能模擬航機在多個機場的環境中飛航的模擬模式，包含了航機在機場回頭作業模式與航機空中巡航兩個副模式。藉由加入隨機變數與航機準點不確定性的機率密度函數，來預測航機之擴散延誤。研究發現航機的準點性與航機飛航班表的排定及在機場回頭作業的效率有關。應用這個模式，航空公司可以用來衡量航機飛航班表改變，對後續航機準點性的影響。此模式對低成本航空公司格外重要，因為他們的營運策略通常都是在航機的飛航班表中，預留很短的航機作業時間，以提升飛機的使用率。

廖上萱 [44] 則以機場作為研究對象，探討國內之空中交通流量及其延誤擴散效應之影響。採用網路流量模式建立起降航機之管制最佳化模式。此研究之模式可提供現行班表檢驗，以避免航機潛在延誤的發生，未來可再以此為基礎擴展至多個機場，實際討論延誤效應的影響，進而作為國內空中交通流量管理之實際參考。

2.1.4 延誤擴散之控制

為了減少因航機延誤而產生之擴散延誤，Ahmad 等人 [2] 提出了兩個網路模型，作為幫助航機調度員在作決策時輔助之用。航空公司若發生航機機械故障或來機延誤等情況，使得可使用航機數量短缺時，航機調度員必須依據最新的即時資訊，以延誤航班、取消航班、交換使用飛機的執行班次，或是使用備用航機等方式，妥善安排班表，使得總延誤（損失）達到最小。此研究可作為改善航機調度員調度航機決策支援系統的基礎。

Dusan 等人 [9] 則是使用以動態規劃為基礎的啟發式演算法，來處理航機數量不足時，飛航班表與航機排程的問題。不過，機場營運時間與機組員飛航限時的問題沒有考量在模式中，所以在使用演算法排班結束之後，還要人工手動調

整。未來可嘗試將這些限制加入限制式中。另外，航機調度員可以藉由本身的經驗，來改變航班飛航機型、估計班機起飛時間以及是否取消某些航班。若把航機調度員的能力加入模式中，可以更快及更有效地排出新的飛航班表與航機排程。

汪進財等人〔38〕之研究分析臨時飛航事件之特性與發生原因，構建一臨時飛航事件分類與因應架構，以作為因應臨時飛航事件之決策輔助工具。並針對各種情形之因應方式、因應程序與可行因應策略提出說明，說明可行策略之產生與評選，以構建整個臨時飛航事件之因應架構。另外特別針對班機對調此一方式構建數學規劃模式及啟發式解。

鍾惠存〔46〕從班機延誤擴散的角度，建立一套臨時飛航事件的誤點延滯因應策略。以不影響既定飛航排程下，藉由誤點延滯擴散的控制策略，將臨時飛航事件所帶來之誤點影響降至最小。再由誤點延滯擴散所增加成本及時間兩方面加以衡量，由航空公司角度探討應採取何種即時誤點延滯因應策略以及該如何縮小班機誤點延滯擴散影響範圍，且重新規劃安排班機間最適緩衝時間。



2.2 機場與跑道容量

2.2.1 容量定義

有關機場容量的定義，FAA〔11〕定義為一小時內機場可運作之最大航機架次量。美國航空運輸協會（Air Transport Association of America）〔3〕就航機起降隔離標準及混合比率，按照跑道設置的幾何型態，訂出不同型態跑道在目視飛行規則（Visual Flight Rule，VFR）及儀器飛行規則（Instrument Flight Rule，IFR）下跑道所容許之起降架次數，以作為機場容量之參考準則。在相關研究中對於機場容量之界定，Newell〔24〕定義為一設施在足夠、但有限長的時間內，可以容納的最大平均流量。Gilbo〔14〕定義為在一個固定時段內，在既有運作的狀況（如跑道設定及天候狀況）下，航機能完成起降作業運作最大數量。Mitre 公司則定義為當假設降落及起飛動作是連續不斷在進行的、管制員及駕駛員都有注意到所有的航管規則，且都處於最佳狀態、在一般正常的操作狀態下，沒有誤失進場（miss approach）或在跑道上取消起飛時，每小時操作航班數（包括起飛與落地）的平均值。

2.2.2 容量推估

在推估機場容量的文獻中，大部份均以等候理論為基礎，以估計不同種類機

型個別之跑道佔用時間與隔離間距，發展出機率分配函數，採機率分配模式來分析不同機型組合下之實際機場容量〔12、19、24〕。Newell〔24〕依完全起飛、完全到達、起飛與到達比率相同混合及起飛與到達比率不相同混合等四種狀況，來加以分析航機之隔離時間，在不同機型之連續起飛、連續降落及起飛降落混合等三種型態下，分析不同服務法則之航機平均到達與起飛比率。Gilbo〔14〕認為機場起降容量必定大於實際的航機流量，在起降相互影響的過程中，以實證資料構建外凸之到離場容量包絡曲線（Capacity Curve），並考慮機場航機起降需求，於此曲線上尋求機場容量之最佳起降量。此結果不僅提供航管人員在每一個時間帶內，進場與離場容量的最佳配置情形，亦可藉此得知機場跑道容量的上限值。Tofukuji〔29〕則是從航段容量估計（Sector Capacity Estimation）的觀點，來評估機場系統容量。

國內對機場容量之相關研究，包括王慶瑞〔33〕藉由跑道系統作業特性，建立可描述實際作業情形之數學模式及電腦模擬模式來推估跑道容量，並找出系統瓶頸之處，以供未來運量增加時，擬定改善措施之參考。劉韻珠〔45〕使用 FAA 所發展之跑道容量推估規範圖表，以等候理論建立數學模式和實際調查所建立之模擬模式來分析跑道容量。李穗玲〔36〕針對尖峰時段航空器隔離間距進行調查，以數學規劃方式，求取最佳之起降組合及相對應之跑道容量。李昀諭〔35〕參考周立偉之平行獨立跑道機場模擬模式，針對其所提出之各模組邏輯深入探討，配合實地訪談結果，建立一套空邊模擬模式，探討不同跑道使用策略、跑道方向改變、不同滑行路徑下之機場運作情形，並藉以分析跑道容量。

2.2.3 容量提高

「跑道系統」往往為機場設施容量最為瓶頸之處，如何提高跑道容量，增加機場設施之使用效率，實為目前各國擁擠機場亟待解決之課題。「跑道系統」係由跑道、終端空域（Terminal Airspace）以及航機三個次系統所組成，各有影響其容量之因素。然而，主要的影響因素還是天氣：能見度不良時需實施儀器飛行規則，因而降低終端空域容量；雨、雪等造成跑道表面潮濕，影響航機之煞車性能，因而延長降落航機之佔用跑道時間；太強之橫向風力將迫使跑道關閉，由以跑道表面光滑時為然；狂風提高航機之進場速率因而影響佔用跑道時間。此外，機場附近之發展也可能阻制航機之進場與離場航道。

黃承傳〔43〕分別對上述三項次系統，提出提高跑道容量之方法，包括：（1）跑道次系統方面，縮短進場或離場航機佔用跑道之時間。作法包括變更進出滑行

道之幾何佈置以提高航機之滑行速率，改造航機之性能以提高落地後之減速率及滑行速率，甚至是利用曲線坡度或斜坡之滑行道以加速起飛航機進入跑道（2）終端空域次系統方面，設法提高終端空域 IFR 容量是最急切需要的，作法包括減少航機到達最終進場航道（Final Approach Path）進口處之時間變異（Time Variability），然後或視需要減少最小隔離標準（3）航機次系統方面，包括加強「控制準確性」及航機之設計應朝向全天候性能之方向邁進以增進作業上的安全。

Tosic [30] 則是運用不同儀降設施在直線進場（one-way approach）與曲線進場（multi-way approach）上航機飛行速度與垂直及水平隔離之差異，指出微波降落系統（Microwave Landing System, MLS）的曲線進場路徑將比儀器降落系統（Instrument Landing System, ILS）之直線進場方式更易增加跑道到達容量，建議改善儀降設施以增加機場容量。

Hamzawi [17] 則針對機場容量不足問題，提出四點解決方法，包括：（1）增建新機場或擴建現有機場（2）移轉部份旅運需求到其他鄰近機場，或由其他替代運具取代（3）透過管理方式，將尖峰的需求量分散，使容量得以滿足需求（4）應用新技術和創新，以達成機場營運及設施使用之最佳化。

總結有關機場容量方面之研究，一般在研究機場跑道容量時，都是假設系統在正常情況下，固定時間內可以處理的航班數目，但是特別對於天候異變現象，而造成機場容量減少，以致於航機產生延誤的課題，卻很少見。由於台灣位於亞熱帶地區，夏季盛行西南風，冬季盛行東北風。特別在夏季常受颱風的影響，風向與風速與一般正常之天候情況有所差異，有時風向與風速改變過大，使得機場跑道使用方向必須改變。或者當天候不佳，尤其在夏季午後常會出現雷暴雨，以致機場雨勢太大，造成能見度不足或雲幕高太低，航機無法維持安全起降運作，造成機場關閉，都是台灣機場常見之天氣型態，而往往也造成相當多航機的延誤。一般來說，當機場之跑道使用方向改變，機場運作通常都需要一段過渡時間做調整，即機場使用原跑道方向起降之運作路徑必須反向調整，而在地面運作航機必須接受塔台管制人員之管制，重新安排滑行路徑，以避免與其他航機產生對向衝突。相同的，在機場空域準備進場之航機亦須接受管制，重新安排進場程序，而使用新跑道方向進場。另外，當機場臨時關閉時，地面航機必須停止運作等待機場再次開放或甚至取消飛行；而在空中等待準備降落之航機，必須在空中盤旋等待機場再次開放，或轉降至備降機場，甚至折返回原機場。不論是上述何種情況，皆會造成機場跑道容量的減少，一旦又遇到尖峰時段，往往使得航班延誤，連續影響到後續離到場航機之運作。有時甚至機場關閉使用，航機必須轉降至備

降機場或折返回原起飛機場，會使得相關機場，以及航空公司後續航班調度上出現連鎖延誤的現象。另外，航管人員工作量的增加，更加影響空域與機場之運作。因此，本研究欲針對異變天氣下之機場容量與航機延誤現象，作一詳細之討論。

對於參數設定方面，在跑道風向改變，導致航機起降方向改變時，在 SIMMOD 模擬模式中，對於地面上欲離場之航機，可給予指定新的滑行路徑，改用新的跑道方向起飛。對於到場航機，已作最後進場階段的航機執行誤失進場程序，飛向新跑道方向進場的待命點，其他欲進場之航機則依 ATP 之規定，循既定航路執行新跑道落地程序。在氣候不佳方面，可更改 SIMMOD 模擬模式中能見度、雲幕高、風向及風速值等設定，甚至可以存在有低空風切，當這些參數設定值若低於機場起降標準時，機場就會關閉。機場若因下雨，導致跑道濕滑，或是因順風風切與逆風風切過大時，可以更改 SIMMOD 模式中之航機降落與起飛滑行距離分配。此外，若管制員因為下游空域之天氣因素，而採取流量管制時，可以更改 SIMMOD 模擬模式中之節點與節線之容量來模擬，若重新指派離場或到場航路時，則也需同時將改變之路徑設定給該航班，以期 SIMMOD 能模擬出真實世界之現象。其他常見事件之調查與相關參數設定，亦將於與管制員採訪中得知。



2.3 SIMMOD 模擬模式

2.3.1 SIMMOD 模擬模式簡介

SIMMOD 機場與空域模擬模式為美國 FAA 於 70 年代所發展之模擬模式，運用此套模擬模式，可以有效且完整地分析機場與空域相關之政策與課題。不論是從單獨機場的航空公司停機坪作業、機場地面交通管理作業、終端區域空中交通作業、乃至數個機場的空域航路網路交通作業，皆能透過 SIMMOD 模擬模式進行分析與研究。SIMMOD 可對於班表中的每一架航空器的行進路程，或是航行及滑行路徑的每一個階段，進行時間和油料消耗的追蹤，甚至對航機未來出現衝突點之預測。基於上述之功能，機場管理當局或是相關航管單位可透過 SIMMOD 預測出任何空中交通作業改變對系統所造成的影響，並將機場作業、航空器延誤、旅行時間和油量消耗等資料，以數量方式表示之。

SIMMOD 模擬模式為以事件導向方式模擬空域運作，採用節點節線方式構建空域飛航路網。每一個節點或節線具有各自的屬性，節點具有高度屬性，因此航機在節線上的推進僅需考慮前後航機隔離，並以停留在節點上作為模擬航機於空中等候的方式。

航機定義方面，航機分為四種機型類別，於不同節點節線類型上各有不同的表現，包括速度範圍與隔離距離。

在空域邏輯方面，航機循路徑上的節點節線續進。航機是否可以續進至下一節點，取決於節點等候策略與下一節線、席位的容量。此外，模式有 QFIFO、SpeedFit 及 MultiFit 三種節點到達管制方式，作為計算航機與其他航機之間的到達時間、到達隔離以決定到達節點的順序。其中，QFIFO 表示先到先服務；SpeedFit 表示新到航機可以較其他前機提早或稍晚，不一定只能排在最後一個位置，同時，可調整此一航機速度以達到保持隔離之要求；MultiFit 與 SpeedFit 類似，MultiFit 除了可調整此一新到航機速度外，還可嘗試調整排序中的前後各一架航機的抵達時間，使新到航機能符合隔離要求而能安插於其中。另外，模式並提供有初步的流量管制功能。

2.3.2 SIMMOD 模擬模式應用

目前已知 SIMMOD 模擬模式可應用之分析課題如表 2-1 所示。且國內外已有許多成功之應用實例，不論在學術上或實際應用上，其價值皆獲得肯定。

美國柏克萊大學 Kanafani [19] 等人以 SIMMOD 模擬模式探討機場系統複雜特性，以及如何重新規劃干擾現行航空器作業之結構建築。在研究中提出空邊重新規劃管理之模型方法論的新觀念，進行干擾之分析，並以舊金山機場 (SFO) 為個案，進行操作與設施構建之情境評估。

德國航太研究署導航部門 Knabe 等人 [21]，藉由 SIMMOD 模擬模式之構建基礎與理論邏輯，完成德國法蘭克福機場 (FRA) 容量增加之細部報告。報告中收集了建立法蘭克福機場之相關資訊，並對 SIMMOD 模擬模式提出一些觀點。

美國 FAA 垂直飛航小組的 Rakas 等人 [26] 應用 SIMMOD 模擬模式進行 Tiltrotor 與傳統航空器在相同終端管制區內之干擾分析，研究中以波士頓與紐約終端管制區作為模擬區域，探討兩種航空器之間的干擾行為。根據航管人員評估，未來每小時約有 2-12 架 CTR (Civil Tiltrotor) 營運，然而模擬結果顯示在每小時未超過 20 架 CTR 運作的情況下，將不會增加傳統航空器延誤的模擬結果。

Ricondo & Associates 公司 [18] 協助 Washington National Airport (DCA)、Washington Dulles International Airport (IAD) 及 San Francisco International Airport

(SFO) 的機場營運者，建立及更新 SIMMOD 模擬模式之資料庫，以便於分析如增建新跑道、滑行道等工程建設之效益分析。

表 2-1 SIMMOD 模擬模式可使用分析之相關策略整理

研究類型	相關之策略改變	
航空運量	新航空公司的加入 航班增減之影響	航線之增減
機場設施	現存設施之擴充或移位 新設施之衝擊	機門重新指派
機場結構設計和 航管程序	地面路線計畫之修正 跑道和滑行道之型態 新跑道之構建 高速跑道之分析 跑道和滑行道之待命行為	平行與密集起降 助航設施配置 停機坪作業 等候策略與離場規則 降低跑道佔用時間
空域設計和航管 程序	隔離標準之修正 速度與高度限制	航路與空域之重新組合 空域外型與航線之更新
航空管制操作項 目	輻軸網路之操作 交通需求與混合機隊 尖峰小時離場順序重新分配 普通航空與商用航空之隔離	目視與儀器飛航程序 機場間之交互影響 航管程序修正 排班修正

[40、41]

Mumayiz 等人 [23] 應用模擬模式進行芝加哥大湖區之空域模擬與分析，主要目的在於評估新機場建立之替選區位，並在研究中選定航班延誤為其績效之衡量指標。在模式構建步驟中，省略了機場空邊之完整結構，而直接建構空域基本結構模式，而後收集連續七日之航空器飛航管制條（約 80,000 張），藉由資料的分析，挑選出一個代表日，進行模式之修正工作，並利用 SIMMOD 模擬模式之動畫功能，進行模式驗證的工作。

Kleinman 等人 [20] 則結合 SPSA (Simultaneous Perturbation Stochastic Approximation) 之數學規劃模式，來處理衡量每一架次地面等候時間的問題。並應用 SIMMOD 模擬模式自行構建簡化機場結構之航空網路，對地面留置策略進行分析，以期改善航空網路的延誤成本。其研究成果顯示延誤成本約可降低 10.3%。

至於國內應用 SIMMOD 之研究，陳朝文 [42] 首先針對國外廣泛使用之 SIMMOD 模式，探討其理論基礎與構建邏輯，包括機型定義、空域路網構建原則、航機在空中移動原則、空邊路網之構建、空邊運作等；並蒐集松山機場及其鄰近空域之特性資料，包括跑道、滑行道、登機門、航空公司、飛航班表、使用機型、起降航管程序等；而後據以進行 SIMMOD 模擬模式之參數校估與模式驗證，以瞭解其於國內之適用性。此外，亦進行跑道容量分析，探討在不同隔離、混合指數及到場百分比下之跑道容量。

戚文豪 [40] 應用 SIMMOD 模擬模式透過松山機場個案之建立，進行模式構建、修正、驗證與發展情境之應用，以確實瞭解該系統之適用性。研究內容分為兩部分：第一部分藉由模擬邏輯與模式執行之探討，得到正確且完整之模擬執行與分析資訊；第二部分則以松山機場作為模擬模式應用分析之個案，進行模擬模式之構建、修正與驗證，並配合國內空運之發展現況，完成發展情境之建立與分析。透過空域停留時間與空邊離場等候時間之驗證，顯示其研究所建立之松山機場模擬模式與松山機場現況之差異比例在 5% 以下，證實其所建立之松山機場模擬模式能正確地表現出松山機場之航班作業情形。

郭權鋒 [41] 運用 SIMMOD 模擬模式構建國內北高空運走廊之雙機場系統 (台北松山機場與高雄小港機場) 應用模式，藉此對 SIMMOD 模擬模式在實際多機場系統應用之可行性上進行評估與探討。在模式驗證部分，對空域與空邊分別選取航機空中時間與離場等候時間作為驗證指標，經驗證結果顯示其所構建之雙機場系統模擬模式與松山機場、高雄機場、台北-高雄航線航班的實際運作狀況之誤差皆在 7% 以下，證實該模式可以正確表現航班實際運作的情形。此研究為國內首次將 SIMMOD 模擬模式應用於多機場系統的規劃研究上，透過北高空運走廊之個案研究，證實 SIMMOD 模擬模式於國內之應用確實可行。

由於 SIMMOD 之應用，需要大量的輸入資料，且其編輯器因撰寫年代久遠，極欠缺親和性，且 SIMMOD 模擬模式所能夠提供之輸出資料繁多，使之在實際應用上有相當多的選擇，但也增加了許多困難。戚文豪與郭權鋒將 SIMMOD 模

擬模式之運作邏輯與操作功能作一詳細探討，並對 SIMMOD 模擬模式於國內適用性、輸出資料之可用性與應用方向提出許多建議。唯威文豪僅針對單一機場及鄰近空域作模式構建，郭權鋒雖針對雙機場構建，但僅討論一般正常情況下航機之運作情形，對於在機場運作方式改變，甚至於關閉時，航機運作與延誤延滯之情形，於文中皆付之闕如。因此本研究對此作一較為完整之補充。

2.4 SIMMOD 模擬模式與等候理論及其他模式之比較

2.4.1 SIMMOD 模擬模式與等候理論比較

等候理論在延誤的預測方面，是一個很不錯的工具，但是對於整個航空路網而言，因為路網的複雜性、節點與節點都各有不同的屬性、航機有不同的性能及要考量到轉接旅客的需求，這些變數不易考量在等候模式之中，因此對於整個路網的預測並不精準。

Velazco [31] 同時利用模擬模式與等候模式對航管系統作高低流量的衝擊分析，在該研究中曾比較多種用來分析容量和延滯的電腦模擬模式，如 ADSIM、RDSIM 及 SIMMOD 等，結論則是關於地區性空中流量改變之影響，仍以 SIMMOD 之數據較為精確。針對 SIMMOD 模擬模式與等候模式的比較，該研究則提出 SIMMOD 模擬模式較能看出機場系統內機場間交互影響的效果；等候模式則在發展情境分析時，較可以節省資料輸入、參數設定及系統運作之時間。

2.4.2 SIMMOD 模擬模式與其他模式比較

Bushey 等人 [5] 在其對美國國家空域系統 (National Airspace System, NAS) 所作的研究中，比較四種不同模擬模式，並將其分為精細 (Fine-Grained) 與粗糙 (Coarse-Grained) 兩類。前者著重在分析特定機場的營運狀況，後者則著重在整體空域系統內多機場間的交互影響，其中 RAMS (Reorganized ATC Math Simulator) 與 SIMMOD 屬於前者，NASPAC (National Airspace System Performance Analysis Capability) 與 DPAT (Distributed Policy Assessment Tool) 屬於後者。

茲比較此四種模式如下：

- (1) RAMS 可以模擬不同的空中流量需求以評估航管人員的操作能力，以此指標來估算空域航段的容量。
- (2) SIMMOD 可用來評估一特定空運中心 (Hub) 的營運能力，然而若要

用 SIMMOD 來分析美國整體空域系統 (NAS) 時，便需要航管資料庫提供各終端管制區 (Terminal Control Area, TCA) 內航路與機場的詳細資料。

(3) NASPAC 則是從巨觀的角度來分析航機延滯的影響，該系統和 SIMMOD 一樣，都是由 SIMSCRIPT IL5 所撰寫完成。

(4) DPAT 則是以 NASPAC 架構為基礎，用 C++ 程式語言來撰寫，增加系統平行處理的能力，以改善執行效率。

2.5 飛航管制作業

不論是飛航管制規則 (ATP)、飛航及管制辦法或台北飛航情報區飛航指南 (Taipei FIR AIP)，都對台北飛航情報區內各個航路及各個機場之離到場管制方式，做了相當詳盡的規定。以下僅針對與預估航機延誤時間有關之部分作摘要。

2.5.1 到場管制

當到場航機進入最後進場點時，塔台管制員必須確定跑道頭以及跑道上已無任何離到之航機。因此，根據 ATP 之規定，到場航機須於前一航機已落地並脫離跑道，或前一航機已起飛並通過跑道末端時，方可取得進場許可。前後航機之隔離必須避免機尾亂流現象。

此外，AIP 上亦明確規定，當航機進入外信標台 (即最後進場點) 時，管制員必須先清除跑道，即前一到場航機已脫離跑道，或前一離場航機已起飛，否則該到場航機必須執行誤失進場程序。根據 ATP 與 AIP 之規定，本研究到場航機隔離設定為 3 海浬之隔離標準。

對於速度之規定，所有民用航空器在管制空域內高度 10,000 呎 (MSL) 以下飛航時，指示空速每小時不得超過 250 浬。另外，對於台北終端區到場航機空速限制，雷達導引之航空器距機場 20 浬時，應保持指示空速 210 至五邊 12 浬，航機於開始轉彎攔截 ILS 或已加入 ILS 航道後需逐漸減速至指示空速 160-180 (浬/時) 直至五邊 4 浬。

一般而言，管制員對於同時進場的多架航機，均採取先到先服務 (first come, first serve) 的方式。但是在飛航與管制辦法中，對於降落航機之飛航優先權，有

以下之規定：

- (1) 航空器在飛航中或地面或水面作業時，均應避讓其他正在降落或在進場最後階段之航空器。
- (2) 兩架或兩架以上重於空氣之航空器，同時接近同一機場準備降落時，其高度較高者應避讓高度較低者，但高度較低之航空器亦不得據此而擅自切入或超越在進場降落最後階段之航空器。
- (3) 動力推動重於空氣之航空器之降落仍應避讓滑翔機。
- (4) 航空器發現另一航空器有緊急迫降情事時應儘速避讓之。

除此之外，對於緊急危難之航空器有最高飛航優先權，即航機中有人受傷，或油料不足必須儘快降落時，航管員都會給予最優先的落地權利。依據上述之規定，配合航機之巡航速度，利用決策輔助系統，可預估各航機之預計到場時間。

2.5.2 離場管制

為確保使用同一跑道之離場航機與前一架離場或到場航機之間的隔離，根據ATP之規定，前一離場航機起飛並通過跑道末端，或已轉彎無任何衝突，以及前一到場航機已脫離跑道，方可取得離場許可。

此外，AIP亦明確規定，當離場航機與前一架離場航機使用相同跑道時，須待前一離場航機已起飛並通過跑道末端，或者前一離場航機程序轉彎而無任何衝突，方可進入跑道頭準備離場。至於離場航機與前一架到場航機使用相同跑道時，須待前一到場航機脫離跑道，方可進入跑道頭準備起飛。

對於離場航機而言，管制方式一般也是先到先服務。在飛航及管制辦法中，對於離場之航機優先權也有如下之規定：

- 對於起飛之航機，機場操作區內滑行之航空器應避讓正在起飛或即將起飛之航空器。

對於滑行之優先權，則包括：

- (1) 當兩航空器對頭或近乎對頭接近時，兩方均應停止前進或視情況許可應向右方偏讓以保持足夠之間隔。
- (2) 當兩航空器交叉接近時，其右方有另一航空器者應避讓之。左方應讓

右方。

- (3) 當航空器欲超越另一航空器時，被超越之航空器有優先權，超越者應避讓，以保持足夠之間隔。
- (4) 航空器於操作區滑行時，除獲得塔台許可，應在所有停止滑行等待線後停止並等待。
- (5) 航空器於操作區滑行時，應在所有停止滑行指示燈亮時停止並等待，於滑行指示燈熄滅後繼續滑行。

除此之外，若跑道的起點有設置離場等候區，在情況允許下，執行不同離場程序之航機可先行離場，管制員不一定會執行嚴格之先進先出，如此做法可增加跑道之使用效率，及降低航機之延誤程度。

上述乃一般正常狀況下之離場管制規則。然而對於機場關閉之後的重新開放，地面上有一堆航機準備離場之時，管制員會如何決定其離場順序，進而預估其延誤之情況，則無法得知。目前此部分之資訊預計未來由與管制員的訪談中獲得。

2.5.3 航路管制

航路管制包括航空器間之垂直隔離、水平隔離及前後隔離，但與航空器延誤分析較有關係的為前後隔離，因此在此並不對垂直隔離及水平隔離標準多加贅述。依據 ATP 之規定，採用雷達隔離且距雷達天線小於 40 哩時，航空器最低之前後隔離標準為 3 哩。另外，依據機尾亂流程序規定，產生機尾亂流之航空器與可能受到機尾亂流影響之航空器之間，應加大最低前後隔離。表 2-2 為航路上適用之最低前後隔離標準。

依據 ATP 之規定，管制員應該盡量少用速度調整去取得航空器所需之隔離。當運用速度調整時，應先對後一航空器減速，或先對前一航空器加速，並且不可對於正在等待航線的航空器指定調整速度。

對於航空器超越之飛航優先權，在飛航及管制辦法中，規定當超越之航空器從後方接近另一航空器，且與被超越之航空器在對稱面構成之角度小於七十度時，亦即由該位置在夜間無法看到被超越航空器之左右航行燈。被超越之航空器有飛航優先權。超越航空器無論升降或平飛，均應向右方避讓，在未完成超越至足夠隔離前，無論該兩航空器相關位置如何改變，超越之航空器仍應負避讓之責。

表 2-2 航路上適用之最低前後隔離標準 單位：海浬

後行航機 前行航機	重型機 或 B757	大型機	小型機
B757	4	4	5
重型機	4	5	5
大型機	3	3	3
小型機	3	3	3

[資料來源：ATP]

航機於等待航線上運行時，除非有緊急意外事件發生，而取得落地優先權之外，一般先抵達之航機會最先安排在較低之空層，後來抵達之航機與前機垂直隔離 1,000 呎等待，當下個節點容量空出時，較低空層之航機有優先離開該等待航線之權利，航機盤旋於等待航線上會造成航機操作之延誤。

對於匯入航路的優先順序，當兩航機同時進入交管範圍，並且加入相同航線時，以先到先服務的原則安排航機優先順序。此外，為了達到作業效率及隔離，可令速度較快的航機超越、後機雷達導引及空中等候等方式建立優先順序。另外，基於最低隔離標準的考量，若航機必須航行於高於最大速度與低於最小速度時，管制員會採取雷達引導 (vectoring path) 帶離航空器。空域中的航路雷達附加管制空域係用於雷達引導，在航路的邊緣向左 (或右，或左右兩邊) 伸展 15 浬，連同原航路寬約有 25 浬至 40 浬。航機接受管制員引導於空域中曲折繞行，會因此增加航機運行時間，而可能造成延誤。

總之，在正常情況下，航管員均會依照作業標準，以先到先服務的方式來引導航機。然而，對於在異常狀況下航機出現延誤，航機無法依照原定班表運作時，除了遵守有明文規定的管制方法外，管制員通常都有一套既定的處理方式。然而，我們無法得知此種處理方式是否能使航機延誤擴散的情形達到最小。因此，本研究欲以常見之異常狀況，參考管制員之處理方式，以更真實的資料輸入，進行延誤模式的分析，並提出較佳之管制方式。

第三章 模擬系統構建與資料輸入及輸出

構建 SIMMOD 模擬模式需輸入編輯器的資料，主要可分為空邊資料 (Airfield)、空域資料 (Airspace)、事件資料 (Events) 與連結資料 (Banks) 等四類。每一類又可分為必要性資料 (一定要輸入的資料) 與非必要性資料 (選擇性輸入的資料) 兩種。若沒有輸入必要性資料，或必要性資料出現前後不一致之矛盾現象，系統會出現錯誤訊息，無法得出模擬結果。非必要性資料一般僅用來指定部分事項之運作，因此若加以省略，並不會造成模式的錯誤，只是最終之模擬結果也許會改變。因此，本章依輸入資料類別分別討論於構建機場系統時之資料輸入，主要也以必要性資料為主。

輸入資料之綜合整理，如表 3-1 所示。

表 3-1 SIMMOD 模擬模式輸入資料整理

主選單	副選單	用途說明
Aircraft Model	AC_GROUP_SIZE	航空器分群類別
	AC_GROUP_SIZE_MODELS	分群中實際航空器種類
	AC_MODEL	航空器種類
Airfield Link	AFLINK_SPEED_TYPES	空邊節線種類
	GND_LINK	空邊節線名稱
	TAXIPATH_LINK	滑行道設定
Airfield Node	GND_NODE	空邊節點名稱
	GND_NODE_AIR_LINK	陸空交界點
	TOWING	航空器拖放點
Airline	AIRLINE	航空公司名稱
	GATE_AIRLINE	使用特定機門之航空公司
Airport	AIRPORT	機場名稱
Airspace Link	AIRLINK	空域節線名稱
	AIRLINK_TYPE	空域節線種類
Airspace Node	AIRSPACE_NODE	空域節點名稱
	METER_POST_NODE	空域中等待節點之容量

Banks	BANK	連結資料種類
	FLIGHT_BANK	與連結資料有關之航班
Choice Tables	ALN_TYPE_CHOICE	航空公司種類
	CONTROL_START_CHOICE	抵達等候策略
	GFLAG_CHOICE	是否能尋找替選機門
	GTE_HOLD_TYPE_CHOICE	離場等候點若容量飽和是否在機門等待
	MAX_SIZE_AC_CHOICE	航空器種類最大重量
	OVERTAKE_FLAG_CHOICE	後方航機是否能超越前機
	PASSING_FLAG_CHOICE	航機於空邊節線是否能執行超越之動作
	PUSH_TYPE_CHOICE	後推方式選擇
	SFLAG_CHOICE	離場航班是否等待進場航班
	TOUCH_AND_GO_FLAG_CHOICE	是否執行touch-and-go
	UNITS_CHOICE	單位選擇
	WAKE_TURB_FLAG_CHOICE	輕型航機是否避免在重型航機之後
Departure Q	DEPARTURE_Q	離場等候名稱
	DEPARTURE_Q_AIR_LINK	與此離場等候有關之空邊節線
	DSTAGING_AREA	離場等候位置
Control Events	TRACE	追蹤資料之開啟或關閉
Flights	FLIGHTS	航班資料設定
	MULTI_ARRIVAL	非班表之進場航班
Flights	MULTI_DEPARTURE	非班表之離場航班

Gate	ALN_MDL_GTE_AIRCRAFT	機門可停靠之航空器種類
	GATE	機門設定
	GATE_LINK_BLOCKED	機門之空邊節線淨空
Global	PROBABILITY_DISTRIBUTION	各種機率分配之設定
Group	AIR_AC_GROUP	各類航空器之最低雲幕與最低能見度
	AIR_AC_GROUP_AIR_LINK_TYPE	航空器於節線之速度
	AIR_AC_GROUP_SEPARATION	各類航空器在空域節線之隔離
	GND_AC_GROUP	各類航空器於地面作業時間之機率分配選擇
Route	PRIMARY_ROUTE	設定離到場航線之節線順序
	ROUTE	離到場航線名稱
	ROUTE_SEPARATION	航線隔離標準
Runway	RUNWAY	跑道名稱
	RUNWAY_EXITS	跑道出口
	RUNWAY_EXITS_MODELS	可使用跑道出口之航空器種類
	RUNWAY_LINK	構成跑道之節線

[資料來源：本研究整理]

3.1 空邊模式構建

3.1.1 空邊資料

構建空邊模式所需輸入的資料，主要有空邊節點 (Afnodes)、空邊節線 (Aflinks)、特性指派 (Assignments)、空邊設施特性 (Structures) 及滑行設定 (Taxiing) 等五大項。在空邊節點與節線的產生，可採用兩種不同的輸入方式，一種是將座標直接輸入編輯器內，另外一種則是以 Pre-process Editor 所附的點圖功能，參考 AutoCAD 所繪製之機場圖將節點節線在螢幕上點出，編輯器會直接轉換為模擬所需的資料。之後再以編輯器輸入節點節線的特性，如容量、高度、

滑行速度及允許之行進方向等。本研究以後者為空邊節點與節線的產生方式。

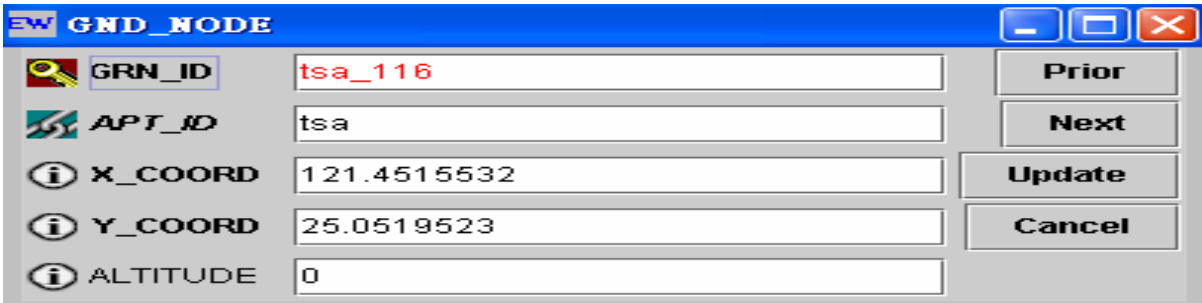
建構步驟如下：

- (1) 以 AIP 之松山機場與小港機場圖為底圖，首先利用 AutoCAD 軟體，繪製副檔名為 DWG 之圖形檔，之後再利用 AutoVue 軟體，將其轉換為副檔名為 CAD 之圖形檔。
- (2) 使用 SIMMOD 事前編輯器之轉圖功能，按底圖比例之大小，輸入適當之規格參數，使圖形放大至機場實際尺寸，並利用移圖功能將松山機場跑道中心點置於 (0,0) 座標點，將 CAD 檔轉換為 SIMMOD 使用之 DFX 檔案。
- (3) 配合小港機場跑道中心點經緯度，得知其與松山機場跑道中心點之相對座標為 (-402538,-908222)，利用移圖功能將小港機場跑道中心點置於 (-402538,-908222) 座標點，並亦將 CAD 檔轉換為 SIMMOD 使用之 DFX 檔案。
- (4) 使用 Pre-process Editor 所附的點圖功能，進行空邊結構之構建，範圍包括兩機場之跑道、滑行道、機門及停機坪。

(一) 空邊節點

在空邊節點方面所需輸入的資料包括名稱、座標、容量及所屬機場名稱等，其檔案格式內容如下：

GND_NODE



GRN_ID	tsa_116	Prior
APT_ID	tsa	Next
X_COORD	121.4515532	Update
Y_COORD	25.0519523	Cancel
ALTITUDE	0	

(1) 節點編號

- (2) 節點所屬機場名稱（於建構節點之前就必須設定）
- (3) 節點 X 座標
- (4) 節點 Y 座標
- (5) 節點高度

(二) 空邊節線

在空邊節線方面所需輸入的資料包括名稱、長度、方向、滑行航機大小、容量、航機超越策略等，其檔案格式內容如下：

GND_LINK

The screenshot shows a software window titled "GND_LINK" with a blue header bar. The window contains a list of fields on the left and their corresponding values in text boxes on the right. On the far right, there are four buttons: "Prior", "Next", "Update", and "Cancel".

Field Name	Value
GRL_ID	khh_102-TO-khh_103
GRN_INITIAL_ID	khh_102
GRN_FINAL_ID	khh_103
LENGTH_FLOAT	121.1939392
HEADING	179
A_D_FLAG	AD
MAX_AC_ON_LINK	1
PASSING_FLAG	PASSING_IN_BOTH_DIRECTIONS
HI_SPEED_EXIT_TF	F
DIRECTION_USED	EITHER
TAXI_SPEED	15

- (1) 節線名稱
- (2) 節線起點
- (3) 節線迄點
- (4) 節線長度 (FEET)
- (5) 節線方位角
- (6) 針對到離場航機的通行策略，A 表示只允許到場航機使用，D 表示只允許離場航機使用，AD 表示到離場航機皆可使用
- (7) 節線容量
- (8) 航機於該節線可否執行超越之動作，NO_PASSING 表示否，PASSING_IN_ONE_DIRECTION 表示單向超越，

PASSING_IN_BOTH_DIRECTION 表示可雙向超越

(9) 是否為快速滑行道

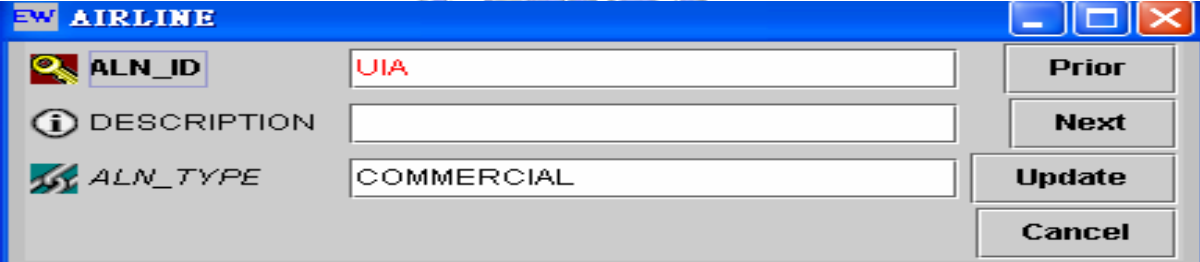
(10) 節線速度上限 (海裡)

(三) 航管特性

在航管特性方面，必須輸入航空公司指派、航空器特性指派與後推方式。航空器要離開機門進行滑行前，往往需要進行後推的動作，除了以引擎推力自行後退 (Powerback) 外，也可用曳引車將航空器後推 (Pushback)。由於 SIMMOD 有計算油耗的功能，故可自由選擇模擬時的後推方式。以松山機場與小港機場來說，因全採用 Pushback 之後推方式，故模擬時皆做相同之設定，此處就不再多作介紹。

航空公司指派 (Airline) 中定義所有使用該機場之航空公司，包含普通航空、航空貨運與軍機，其檔案格式內容如下：

AIRLINE



ALN_ID	UIA	Prior
DESCRIPTION		Next
ALN_TYPE	COMMERCIAL	Update
		Cancel

(1) 航空公司名稱

(2) 航空公司敘述，如 UIA 表示立榮航空

(3) 航空公司的型態，本研究包含 COMMERCIAL 與 GNAV，前者表示定期班表上排定之航空公司，後者表示軍用航機。

航空器特性指派 (GND_AC_GROUP) 主要是依據航空器在地面操作的特性予以分類，並將該群航空器的起降滑行距離分配、上下客貨作業時間分配等資料輸入。這些資料都必須調查才能獲得。其檔案格式內容如下：

GND_AC_GROUP

Parameter	Value
GRG_ID	GRG_ID#1
INITIAL_SEP	30
RESOLVE_CONFLICT_SEP	15
PRB_POWER_BACK_ID	
PRB_PUSH_BACK_ID	
PRB_LANDING_ROLL_ID	LANDING_ROLL_1
PRB_TAKE_OFF_ROLL_ID	TAKEOFF_ROLL_1
PRB_ARRIVAL_GATE_SERVICE_ID	ARR_SERVICE_1
PRB_DEPARTURE_GATE_SERVICE_ID	DEP_SERVICE_1
PRB_ARRIVAL_GATE_TOW_TIME_ID	ARR_TOW_TIME_1
PRB_DEPARTURE_GATE_TOW_TIME_ID	DEP_TOW_TIME_1

- (1) 航空器群編號
- (2) 滑行航空器與前後航空器的隔離時間（秒）
- (3) 等待相衝突航空器滑離衝突點的隔離時間（秒）
- (6) 航機降落所需的跑道範圍選項
- (7) 航機起飛所需的跑道範圍選項
- (8) 到場航機於機門下客、卸貨所需之服務時間選項
- (9) 離場航機於機門載客、裝貨所需之服務時間選項
- (10) 到場航空器脫離機門所需時間選項
- (11) 離場航空器脫離機門所需時間選項

關於上述之參數設定，有以下幾點加以說明。一、此航空器群所包含的實際機型之種類，在 Aircraft model→AC MODEL 選項內，輸入航空器機型時，就必須加以分類。二、INITIAL_SEP 表示航機在滑行時，前後航機的時間隔離，而 RESOLVE_CONFLICE_SEP 表示若航空器滑行路徑有互相衝突，當前架航空器滑過衝突點後，後架航空器才可以開始滑行之間的隔離時間，此處設定為一般經驗值。三、輸入（6）至（11）項所需之時間分配，在 Global→PROBABILITY DISTRIBUTION 選項內，可輸入實際調查後所統計各項之時間分配，大型機所需之跑道長度與機門服務時間，通常都會長於小型機。另外，有些到場航機很久之後才有下個航班任務，或是有些離場航機是使用備用航機飛行，此時必須將到場航機脫離機門至停機坪停放，或是將停機坪之飛機拖到機門上客貨，因此有輸入（10）與（11）項時間分配之需要。

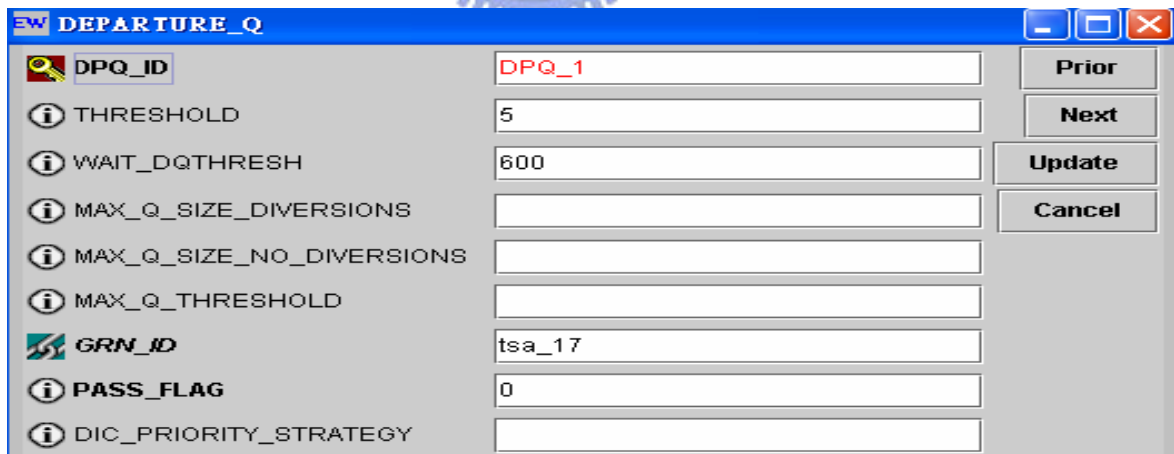
(四) 滑行設定

滑行路徑對離場航班而言，為機門滑行至離場等候區的路徑，對進場航班則為跑道出口滑行至機門的路徑。在滑行設定上，不同的航空器或許有不同的路線，由於尖峰或離峰時間的不同，也可能有不同的滑行與等候策略，藉由這些滑行的設定，可將真實情況顯現出來。為選擇性輸入資料，若未設定，系統會依照當時節線特性、滑行時間以及阻塞狀況等因素下，自行判斷與指派。因為松山機場與小港機場離場航班滑行方式皆為固定，僅到達松山機場之小型航空器會使用快速滑行道脫離跑道，故本研究將兩機場之離場滑行設為固定方式，而到達松山機場之小型航空器（包括 FK50、DH8-300 及 ATR72 型飛機）使用快速滑行道脫離，減少使用跑道時間。此現象可在 Runway→RUNWAY_EXIT_MODELS 選項下設定之。

(五) 地面設施特性

在地面設施特性上，必須輸入離場等候點、機門與跑道三種資料。由於航管隔離因素，一般而言機場產生壅塞情況最為嚴重的地方，莫過於離場等候點 (Depart-Que)。這部分的資料主要在定義該等候點的特性，包含有等候點的位置、離場航路、等候點容量及等候策略等。其檔案格式內容如下：

DEPARTQ



Parameter	Value	Action
DPQ_ID	DPQ_1	Prior
THRESHOLD	5	Next
WAIT_DQTHRESH	600	Update
MAX_Q_SIZE_DIVERSIONS		Cancel
MAX_Q_SIZE_NO_DIVERSIONS		
MAX_Q_THRESHOLD		
GRN_ID	tsa_17	
PASS_FLAG	0	
DIC_PRIORITY_STRATEGY		

- (1) 離場等候點之名稱
- (2) 離場等候點之容量
- (3) 離場等候點可允許之等待時間 (秒)
- (7) 離場等候點之節點編號
- (8) 可允許後面航機超越前機之航機數

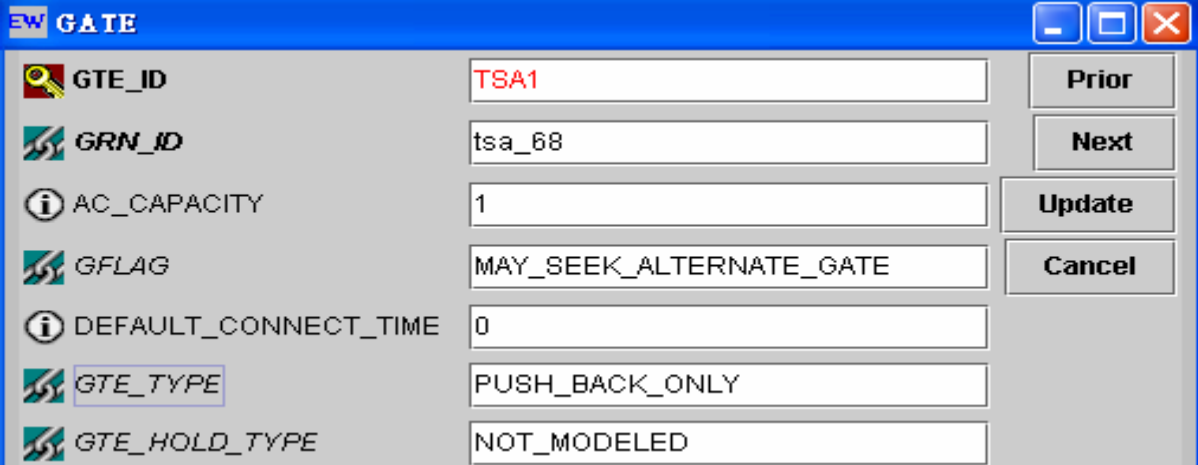
關於離場等候點可允許之等待時間，若等待離場之航機等待時間超過此數值時，到場航機將會被加大隔離間距，使得離場航機可以先行起飛。此外，(4) 選項皆表示若此離場等候點已達此容量值，將有航機被指派至其他離場等候點，(5) 選項表示若此離場等候點已達此容量值，將不會再有航機被指派至此離場等候點，此兩選項因為機場之離場等候方式皆為固定，故不加以設定上限值。

至於可使用此離場等候點之離場航線編號，在 Route→route 選項下輸入離到場航線時，即可設定使用之離場等候點名稱。

所有在空邊的航機都會被指派一個特定之機門，旅客或貨物依賴每架航班所指派之機門來進行裝卸 (Loading or Uploading) 的動作，這段裝卸所使用的時間則被稱為機門佔用時間 (Gate Occupancy Time)，這段時間通常是由一個使用者定義的時間分配來隨機產生。

機場在分配機門 (Gates) 給予航空公司時，常以歷史優先權為考量，將某些機門完全交予某些航空公司使用，所以在此必須要對機門進行指派，定義機門的容量和能使用該機門之航空公司。其檔案格式內容如下：

GATES



Field	Value	Action
GTE_ID	TSA1	Prior
GRN_ID	tsa_68	Next
AC_CAPACITY	1	Update
GFLAG	MAY_SEEK_ALTERNATE_GATE	Cancel
DEFAULT_CONNECT_TIME	0	
GTE_TYPE	PUSH_BACK_ONLY	
GTE_HOLD_TYPE	NOT_MODELED	

- (1) 機門編號
- (2) 代表該機門的節點編號
- (3) 機門容量
- (4) 此機門壅塞時是否有替選機門
- (5) 設定轉機連結 (bank) 的時間，預設值為 0
- (6) 機門種類，此處設定為僅使用 PUSH BACK 的後推方式

(7) 停留機門的種類，若設定為

HOLD_UNTIL_DEPARTURE_Q_AVAILABLE，航機必須在機門等待離場等候點有容量空出為止。若作此設定，一旦離場等候點容量飽和，航機必須在機門停留時，會增加機門延誤的時間。此處不加以設定

機門若有航空器停放時，連接地面節線至此節點間之節點必須淨空，此現象可在 Gate→GATE_LINK_BLOCKED 選項下加以設定。另外，機門延滯的產生，通常是在航機等待滑行道淨空 (Taxipath Clear) 或者是在模擬軸幅路網 (Hub-and-Spoke) 時，因等待轉機旅客所產生的延滯。

SIMMOD 處理機門選擇的邏輯如下：

- 1.SIMMOD 先檢查該航班是否有使用者設定的特定機門停靠
- 2.如果 (1) 為否，SIMMOD 檢查可使用的機門，並將航機指派到最近使用的機門
- 3.如果 (1) 為是，SIMMOD 檢查該機門是否目前有航機使用
- 4.如果該機門可使用，則將會被保留給該航機使用
- 5.如果該機門不可使用，SIMMOD 將檢查是否有替選機門
- 6.如果沒有替選機門可使用，SIMMOD 將會將原定機門保留給該航機使用
- 7.如果有替選機門可使用，SIMMOD 將會選擇最近的一個，且保留給該航機使用

跑道被定義為一頭尾相連的節線串 (List of Links)，而每一個節線的端點都能被定義為跑道出口 (Runway Exits)。當一架航空器於跑道上進行起飛或降落的滑行 (Takeoff or Landing Roll) 時，其它航空器的起飛或降落是不被允許的，這樣的管制稱為跑道封閉 (Runway Block)。此外當進場航班將抵達機場時，管制員也會封閉跑道，此時穿越跑道與起降操作都是不被允許的，而封閉時間的長短則依據使用跑道的航空器機型、天候狀況與使用類型的不同，而有不同之時間規定。

在建立空邊基本架構時，若是以點圖方式產生，構成跑道 (Runways) 之節線編號資料就已設定，之後再輸入跑道的滑行速度及降落著地點等資料。其檔案格式內容如下：

RUNWAYS

- (1) 跑道編號
- (2) 航機降落點距主跑道頭之距離 (FEET)
- (3) 穿越跑道所需時間 (秒)
- (4) 航機降落所需的跑道範圍選項
- (5) 航機起飛所需的跑道範圍選項

因為目前兩機場主要使用的跑道都僅有一條，因此把穿越跑道所需時間設定為 0。至於起飛 (或降落) 所需之跑道範圍，則因航機種類不同而不同，在 Global → PROBABILITY SET 的選項下，可在 Global → PROBABILITY DISTRIBUTION 內設定之各型航機佔用跑道時間，組合成一個機率集合，供模擬模式執行時讀取。

3.1.2 松山機場空邊模式構建

台北松山機場目前僅有一條跑道，跑道方位為 10/28，跑道長度為 2605 公尺，另有 5 條滑行道。在機門設定方面，在松山機場營運之固定翼航空公司共有四家，其機門使用情況如表 3-2 所示。

表 3-2 松山機場機門分配表

航空公司	使用機門
復興航空	1、2、3、4、5、21、22、31、32
華信航空	6、14、15、21、22、31、32
遠東航空	7、8、9、23、24、33、34
立榮航空	10、11、12、13、25、26、35、36

[資料來源：民航局]

至於滑行道速度限制方面，根據航空公司本身之規定，航空器在一般滑行道之滑行速度約為每小時 15 海浬，然而實際上航空器在中央滑行道、東西滑行道以及東快速滑行道上，由於其設計目的之不同，滑行速度往往會超過每小時 15 海浬。基於上述之原因，本研究在滑行道的速度上，將東滑行道速度設定為每小時 25 海浬，東快速滑行道速度設定為每小時 25 海浬，中央滑行道速度設定為每小時 20 海浬，西滑行道設定為每小時 20 海浬，在靠近跑道頭處則設定為每小時 10 海浬。

3.1.3 小港機場空邊模式構建

高雄小港機場目前共有 2 條跑道，跑道方位為 9L/27R 與 9R/27L，跑道長度分別為 3150 公尺與 3050 公尺。唯 9R/27L 因長期作為滑行道使用，目前已不提供航機起降服務，故高雄機場相當於只有一條 9L/27R 跑道。除 9R/27L 跑道作為滑行道使用外，另有七條南北向之滑行道。在機門設定方面，目前國內四家航空公司均進駐小港機場，其機門並不依特定航空公司做分配，主要使用之國內線機門為 11-18，與機坪 5-8，國際航空公司則有中華航空、長榮航空、日亞航空、泰國航空、澳門航空等，國際線機門為 21-32，機坪 33-37。國內四家航空公司亦有小港機場出發之國際航線定期與包機航班。

3.2 空域模式構建

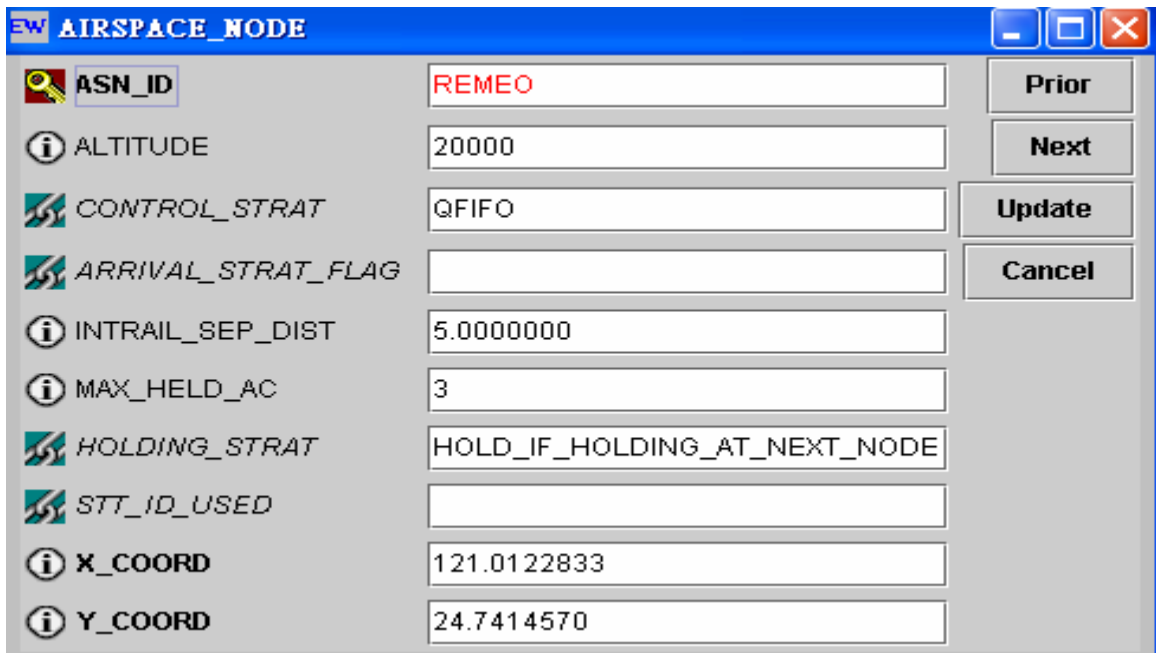
3.2.1 空域資料

建構空域模式所需的資料，主要有空域節點 (Node)、空域節線 (Link)、航空器特性 (Aircraft)、航路 (Route)、其他設定 (Other)、策略設定 (Strategy) 及機場特性 (Airport) 等。和空邊部分相同，空域節點與節線的產生，可採用點圖或座標輸入的方式，再以編輯器輸入節點節線的特性，如容量、高度、隔離距離與節線分類設定等。

(一) 空域節點

在空域節點方面所需輸入的資料包括節點名稱、高度、節點容量、節點留置策略與隔離標準。其檔案格式內容如下：

AIRSPACE_NODE



Field	Value
ASN_ID	REMEO
ALTITUDE	20000
CONTROL_STRAT	QFIFO
ARRIVAL_STRAT_FLAG	
INTRAIL_SEP_DIST	5.0000000
MAX_HELD_AC	3
HOLDING_STRAT	HOLD_IF_HOLDING_AT_NEXT_NODE
STT_ID_USED	
X_COORD	121.0122833
Y_COORD	24.7414570

- (1) 節點名稱
- (2) 節點高度 (FEET)
- (3) 節點到達管制方式，有三種：QFIFO 表示先進先出，SPEED_FIT 表示依速度調節，MULTI_FIT 表示多航機間速度調節
- (5) 隔離距離 (海哩)
- (6) 該節點可留置航機之容量
- (7) 節點留置策略，有四種：HOLD_IF_APP_ONLY_AC_FILL_NEXT 表示即將有航班抵達下個節點時，HOLD_IF_ARRIVING_AC_FILL_NEXT 表示下一個節點上已有留置航班時，HOLD_IF_HOLDING_AT_NEXT_DODE 表示下一個節點的留置容量已達飽和時，HOLD_IF_HOLDING_QUEUE_AT_NEXT_NODE 表示下一個節點上之留置航班與將抵達該節點的航班總合已超過該節點的留置容量時
- (9) 節點的 X 座標
- (10) 節點的 Y 座標

SIMMOD 在空域邏輯方面，航機是否可以續進至下一個節點，取決於節點等候策略與下一節線或席位的容量。關於 QFIFO、SPEED_FIT 與 MULTI_FIT 三種節點到達管制方式，是作為計算航機與其他航機之間的到達時間、到達隔離以決定到達節點的順序。其中 QFIFO 為嚴格之先進先出；SPEED_FIT 表示新到航機

可以較其他前機提早或稍晚，並不一定只能排在最後一個位置，同時，可調整此一航機速度以達到保持隔離之要求；MULTI_FIT 與 SPEED_FIT 類似，除了可調整此一新到航機速度外，還可嘗試調整排序中的前後各一架次航機的抵達時間，使新到航機能符合隔離要求而能安插於其中。至於本研究中之設定，除了航線匯集之節點實施 MULTI_FIT 之外，其他節點均實施嚴格之先進先出。

(二) 空域節線

在空域節線方面，所需輸入的資料包括節線名稱、節線長度、節線容量、航機超越策略等。其檔案格式內容如下：

AIR_LINK

EW AIR_LINK		Prior
ASL_ID	O-TO-A1	Next
ASN_INITIAL_ID	0	Update
ASN_FINAL_ID	A1	Cancel
LENGTH_FLOAT	4.2546272	
HEADING	67	
ALT_ID_USED	1	
SCT_ID_USED		
WDS_ID_USED		
OVERTAKE_FLAG	PROHIBIT_PASSING	
WAKE_TURB_FLAG	AVOID_LIGHT_TRAILING_HEAVY	
MAX_AC_ON_LINK	2	

- (1) 節線編號
- (2) 節線之起點
- (3) 節線之迄點
- (4) 節線之長度 (海哩)
- (5) 節線之方位角
- (6) 節線型態，SIMMOD 共分 9 類，與節線之速限有關
- (7) 節線所屬航段
- (8) 受到風相同影響的節線分群
- (9) 是否允許後方之航機超越前機，ALLOW_PASSING 表示可，PROHIBIT_PASSING 表示否
- (10) 是否避免輕型機尾隨重型機之後，NO_SEQUENCING_TEST 表示否，

AVOID_LIGHT_TRAILING_HEAVY 表示是
(11) 節線容量 (航機數)

關於節線之型態，SIMMOD 依據四類航空器在航段上的最大、最小及正常速度，將節線型態分為九類，分類標準如表 3-3 所示。

表 3-3 空域航段的分類 單位：KNOTS

類	速度	GA	SML	LAG	HAV	類	速度	GA	SML	LAG	HAV
1	MAX	220	310	380	380	6	MAX	180	240	260	240
	NOR	200	300	360	360		NOR	160	220	230	220
	MIN	180	260	340	340		MIN	140	200	200	200
2	MAX	220	290	440	350	7	MAX	160	180	200	210
	NOR	200	270	400	330		NOR	140	160	180	190
	MIN	180	250	360	310		MIN	120	140	160	170
3	MAX	220	260	340	330	8	MAX	140	180	200	180
	NOR	200	250	290	310		NOR	120	160	160	160
	MIN	180	240	250	290		MIN	100	140	140	140
4	MAX	200	250	340	300	9	MAX	130	110	110	160
	NOR	180	240	320	280		NOR	110	100	100	140
	MIN	160	230	300	260		MIN	100	90	90	130
5	MAX	200	220	260	270						
	NOR	180	200	240	250						
	MIN	160	180	220	230						

[資料來源：SIMMOD MANUAL]

(三) 航空器特性

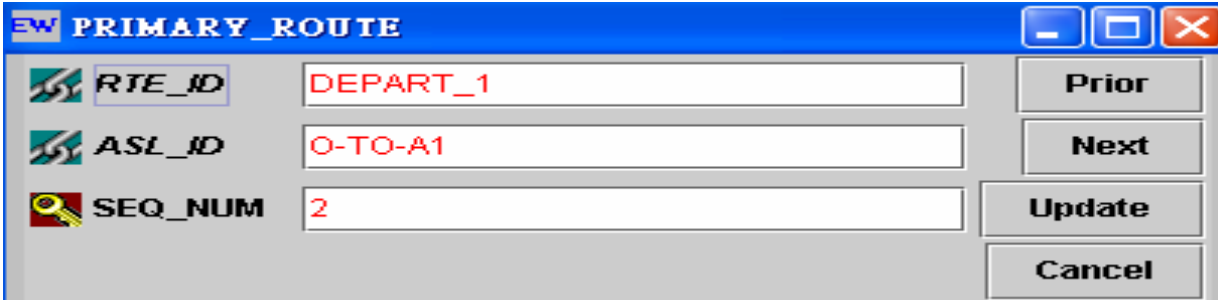
在航空器特性方面，由於不同種類的航空器會有不同的特性，首先要先對航空器進行分類，並在 Group→AIR_AC_GROUP 選項內，輸入各類航空器允許降落的最小視距 (MIN_VIS_RANGE) 與最小雲高 (MIN_CEILING)，當機場天氣

標準低於此標準時，將不允許該類航空器起降。之後再分別對各群航空器定義其航段上的速度限制（由表 3-3 之所屬之航段及航空器分類得知）與航空器群之間的隔離標準（AIR_AC_GROUP_SEPARATION）。根據飛航管制程序手冊之規定，本研究將各類航空器空中隔離標準設定如表 2-2 所示。

（四）航路設定

在航路設定方面，為參考 AIP 內之機場離到場程序，分別將其使用之節線，以排列順序之方式表示。離場航路為自跑道頭開始，進場航路為至跑道頭為止。在對各離到場航路作設定時，必須先在 Route→ROUTE 的選項下，將離到場程序名稱輸入，再到 PRIMARY_ROUTE 選項下，依照順序設定使用之航線。其檔案格式內容如下：

PRIMARY_ROUTE



- (1) 離（到）場航路名稱
- (2) 使用節線
- (3) 此航路使用此節線之順序

（五）其他與策略設定

在其他與策略設定方面，大部分皆為非必要性資料，故省略不提。至於程序設定（Procedures）一項，則為必要性資料，主要是設定航空器間的離場時間隔離標準。此處所指的隔離為跑道上之起降隔離，非航路上的隔離。此資料可由 AIP 中取得。本研究所設定之離場時間隔離標準分為以下兩類：使用相同之離場路徑者，兩機至少隔離 3 分鐘，若使用不相同之離場路徑者，兩機至少隔離 1 分鐘。

3.2.2 松山機場空域模式構建

由於松山機場以 10 號跑道為主要之使用方向，因此針對 10 號跑道，以近場空域（Terminal Airspace）為構建範圍，參考 AIP 之飛航程序，構建 3 條離場路

徑（標準儀器離場程序）、6 條到場路徑（標準儀器到場程序）及 3 條終端進場路徑（儀器進場程序）。構建時以松山機場跑道中點（北緯 25° 04' 47" 東經 121° 32' 36"）為原點，配合 AIP 提供之定位點座標，計算各點與原點之相對位置。

標準儀器離場程序

松山機場共有三條標準儀器離場程序，分述如下：

(1) MUCHA 二號離場 (MU2)

本離場程序所需最低爬昇梯度：每哩 450 呎爬升至離開 4,000 呎。起飛後右轉航向 120 爬高

A. 保持航向 120，加入下項過渡：

NANAO 過渡：（最低儀航高度 8,000 呎）

攔截並沿 AP142 磁方位/APU142 幅向至 NANAO 定位點（AP142 磁方位/APU142 幅向 46 哩），以飛航空層 200 或以下之高度通過 APU42 哩定位點，右轉攔截並沿 GID019 幅向/199 磁方位定向 GI，加入 B591 航路，爬高保持航管指定高度。

B. 離開 2,500 呎後右轉攔截 SW255 磁方位定向 SW，加入下列過渡航路爬昇：

Houlung 過渡：（最低儀航高度 4,000 呎）

通過 SW 後沿 243 磁方位定向 HL/HLG063 幅向至 HL NDB/HLG VORTAC，爬高保持航管指定高度。

ROMEO 過渡：（最低儀航高度 10,000 呎）

通過 SW 後定向 HL/HLG 攔截並沿 APU218 幅向/AP218 磁方位加入 W4 航路，以飛航空層 200 或以下之高度通過 ROMEO 定位點（APU223 幅向/AP223 磁方位 40 哩），爬高保持航管指定高度。

TONPU 過渡：（最低儀航高度 FL140）

通過 SW 後定向 HL/HLG 攔截並沿 APU218 幅向/AP218 磁方位至 TONPU 定位點（APU218 幅向/AP223 磁方位 70 哩），以 8,000 呎或以上之高度通過 APU30 哩定位點，以飛航空層 200 或以下之高度通過 XEROX 定位點（APU218 幅向或 AP218 磁方位 40 哩），攔截並

沿 MKG060 幅向加入 W4 航路或至 MKG，爬高並保持航管指定高度。

C. 離開 4,000 呎後，加入下項過渡航路爬昇：

TINHO 過渡：(最低儀航高度 6,000 呎)

右轉航向 180 加入 B591 航路，以飛航空層 200 或以下之高度通過 AP/APU40 湮定位點，爬高並保持航管指定高度。

(2) SITZE 二號離場 (ST2)

本離場程序所需最低爬昇梯度：每湮 400 呎爬昇至離開 4,000 呎。起飛後沿 SG100 磁方位 (航向 100 爬高)

A. 離開 2,500 呎後，加入下列過渡航路爬昇：

Houlung 過渡：(最低儀航高度 4,000 呎)

右轉定向 SW，通過 SW 後沿 243 磁方位定向 HL/HLG063 幅向至 HL NDB/HLG VORTAC，爬高保持航管指定高度。

ROMEO 過渡：(最低儀航高度 10,000 呎)

右轉定向 SW，通過 SW 後沿 243 磁方位攔截並沿 APU223 幅向/AP223 磁方位加入 W4 航路，以飛航空層 200 或以下之高度通過 ROMEO 定位點 (APU223 幅向/AP223 磁方位 40 湮)，爬高保持航管指定高度。

Keelung 過渡：(最低儀航高度 6,000 呎)

左轉攔截並沿 067 磁方位定向 LU，以 4,000 呎或以上之高度通過 LU 後，右轉沿 LU185 磁方位加入 B591 航路，以飛航空層 200 或以下之高度通過 AP/APU40 湮定位點，爬高保持航管指定高度。

B. 離開 4,000 呎並且通過 ITSG 6DME 後，加入下列過渡航路爬昇：

TINHO 過渡：(最低儀航高度 6,000 呎)

右轉航向 180 加入 B591 航路，以飛航空層 200 或以下之高度通過 AP/APU40 湮定位點，爬高並保持航管指定高度。

NANAO 過渡：(最低儀航高度 8,000 呎)

右轉航向 180 攔截並沿 AP142 磁方位/APU142 幅向至 NANAO 定位點 (AP142 磁方位/APU142 幅向 46 湮)，以飛航空層 200 或以下之高度通過 APU42 湮定位點，右轉攔截並沿 GID019 幅向/199 磁方位定向 GI，加入 B591 航路，爬高保持航管指定高度。

Anpu 過渡：(最低儀航高度 5,000 呎)

左轉定向 APU/AP 加入航路，以 5,000 呎或以上之高度通過 APU/AP，爬高保持航管指定高度。

C. 離開 4,500 呎並且通過 ITSG 6DME 後，加入下項過渡航路爬昇：

TONPU 過渡：(最低儀航高度 FL140)

右轉攔截並沿 247 磁方位定向 HL/HLG067 幅向，再攔截並沿 APU218 幅向/AP218 磁方位至 TONPU 定位點 (APU218 幅向/AP223 磁方位 70 哩)，以 8,000 呎或以上之高度通過 APU30 哩定位點，以飛航空層 200 或以下之高度通過 XEROX 定位點 (APU218 幅向或 AP218 磁方位 40 哩)，攔截並沿 MKG060 幅向加入 W4 航路或至 MKG，爬高並保持航管指定高度。

(3) Sungshan 二號離場 (SS2) [雷達引導]

本離場程序所需最低爬昇梯度：每哩 400 呎爬昇至離開 4,000 呎，起飛後航向 100 爬高至航管指示高度，由雷達引導至指定航路或定位點或過渡。

各項過渡航路：

Houlung 過渡：(最低儀航高度 4,000 呎)

攔截並沿 243 磁方位定向 HL/HLG063 幅向至 HL NDB/HLG VORTAC，爬高保持航管指定高度。

ROMEO 過渡：(最低儀航高度 10,000 呎)

攔截並沿 APU223 幅向/AP223 磁方位加入 W4 航路，以飛航空層 200 或以下之高度通過 ROMEO 定位點 (APU223 幅向/AP223 磁方位 40 哩)，爬高保持航管指定高度。

TONPU 過渡：(最低儀航高度 FL140)

攔截並沿 APU218 幅向/AP218 磁方位至 TONPU 定位點 (APU218 幅向/AP223 磁方位 70 哩)，以 8,000 呎或以上之高度通過 APU30 哩定位點，以飛航空層 200 或以下之高度通過 XEROX 定位點 (APU218 幅向或 AP218 磁方位 40 哩)，攔截並沿 MKG060 幅向加入 W4 航路或至 MKG，爬高並保持航管指定高度。

Anpu 過渡：(最低儀航高度 5,000 呎)

定向 APU/AP 加入航路，以 5,000 呎或以上之高度通過 APU/AP，爬高保持航管指定高度。

TINHO 過渡：(最低儀航高度 6,000 呎)

攔截並沿 AP154 磁方位/APU154 幅向加入 B591 航路，以飛航空層 200 或以下之高度通過 AP/APU40 湮定位點，爬高並保持航管指定高度。

NANAO 過渡：(最低儀航高度 8,000 呎)

攔截並沿 AP142 磁方位/APU142 幅向至 NANAO 定位點 (AP142 磁方位/APU142 幅向 46 哩)，以飛航空層 200 或以下之高度通過 APU42 湮定位點，右轉攔截並沿 GID019 幅向/199 磁方位定向 GI，加入 B591 航路，爬高保持航管指定高度。

Keelung 過渡：(最低儀航高度 6,000 呎)

攔截並沿 067 磁方位定向 LU，以 4,000 呎或以上之高度通過 LU 後，右轉沿 LU185 磁方位加入 B591 航路，以飛航空層 200 或以下之高度通過 AP/APU40 湮定位點，爬高保持航拐指定高度。

標準儀器到場程序

松山機場共有六條標準儀器到場程序，分述如下：

(1) ILAN 二號到場 (IL2)

通過 TINHO 定位點 (APU R154/57 DME, GID R-019/105 DME)，沿鞍部多向導航臺 (APU VOR) 154 幅向至宜蘭測距儀定位點 (APU R-154/30 DME)，攔截並沿林口定位臺 (LK) 138 磁方位至林口定位臺。

(2) ZONLI 一號到場 (ZL1)

離開後龍 HL VORTAC/NDB 後，沿 HLG VORTAC 052 幅向/HL NDB 052 磁方位至中壢定位點 ZONLI (HLG R-052/30 DME, HL BRG. 052/30 DME)。

(3) JONHO 一號到場 (JO1)

離開 HLG/HL 後，沿 HLG 063 幅向/HL063 磁方位，攔截並右轉沿 APU/AP 19 湮圓弧至 PINSI 定位點 (APU119 幅向/AP119 磁方位 19 哩)。

(4) FUSIN 一號到場 (FI1)

離開 HLG/HL 後，沿 HLG 076 幅向/HL076 磁方位至 FUSIN 定位點 (HLG076 幅向/HL076 磁方位 48 哩)，攔截並沿 APU/AP19 湮圓弧至

PINSI 定位點 (APU119 幅向/AP119 磁方位 19 浬)。

(5) PINSI 一號到場 (PS1)

通過 TINHO 定位點 (APU154 幅向/AP154 磁方位 57 浬)，沿 LU 定位台 348 磁方位至 PINSI 定位點 (APU119 幅向/AP119 磁方位 19 浬)。

(6) PARDU 一號到場 (PD1)

離開 APU/AP 後，沿 APU090 幅向/AP090 磁方位至 PARDU 定位點 (APU090 幅向/AP090 磁方位 16DME)。

儀器進場程序

松山機場共有三條儀器進場程序，分述如下：

(1) NDB/DME Runway 10

以 5000 呎或以上高度通過 LK 定位台，向 LK 定位台 275 磁方位飛離下降，在 LK 定位台 10 浬以內，以 3,500 呎或以上高度，完成左轉程序轉彎，沿 LK 定位台 275 磁方位飛向 LK 定位台，TAZAN (APU R-242/LK Brg 275) 開始下降至 2000 呎，以 2000 呎或以上通過 LK 定位台，沿 LK 定位台 095 磁方位進場，最低下降高度 1,120 呎，誤失進場點為 ITSG 1.8DME。

誤失進場：以每浬 320 呎之最低爬昇率，直飛 O 定位台，沿 O 定位台 066 磁方位至 LU 定位台，保持 4,000 呎在 LU 定位台等待。

(2) ILS Runway 10

(a) 自 LK 定位台進場

以 5000 呎或以上通過 LK 外定位台/外信標台，向 LK 定位台/外信標台 275 磁方位飛離下降，以 3500 呎或以上高度，在 LK 定位台/外信標台 10 浬內完成左轉程序轉彎，完成程序轉彎後攔截左右定位台航道，通過 TAZAN 後下降至 2000 呎，以 2000 呎攔截滑降台航道進場，決定高度 263 呎。

(b) 自中壠定位點進場

以 4000 呎或以上之高度通過中壠定位點 (HLG R-052/30 DME)，繼續沿 HLG052 幅向下降至 3500 呎，攔截左右定位台航道，通

過 TAZAN 定位點後，下降至 2000 呎攔截滑降台航道進場，決定高度 263 呎。

誤失進場：以每哩 260 呎之最低爬昇率，直飛 O 定位台，沿 O 定位台 066 磁方位至 LU 定位台，保持 4,000 呎在 LU 定位台等待。

(3) NDB/DME-A

- a. 航空器自 PARDU 定位點 (APU090 幅向/AP090 磁方位 16DME) 進入：

保持高度 5,000 呎或以上通過 PARDU 定位點，沿 APU/AP16 哩圓弧攔截 O 定位台 066 磁方位進場，通過 HC 9 哩 4,000 呎或以上，通過 HC 6 哩 3,100 呎或以上，通過 HC 4 哩 2,700 呎或以上，通過 HC 1 哩 2,100 呎或以上，通過 O 定位台後繼續沿 O 定位台 276 磁方位下降至最低下降高度，最低下降高度 1,160 呎，誤失進場點為 HC 3 哩。

- b. 航空器自 PINSI 定位點 (APU119 幅向/AP119 磁方位 19 哩) 進入：

- (a) 自 JONHO 一號到場及 FUSIN 一號到場進入：

保持高度 5,000 呎或以上通過 PINSI 定位點，沿 APU/AP19 哩圓弧攔截並沿 APU104 幅向/AP104 磁方位至中間進場點 (O 066 磁方位 HC 9 哩)，左轉攔截 O 定位台 066 磁方位進場，通過 HC 9 哩 4,000 呎或以上，通過 HC 6 哩 3,100 呎或以上，通過 HC 4 哩 2,700 呎或以上，通過 HC 1 哩 2,100 呎或以上，通過 O 定位台後繼續沿 O 定位台 276 磁方位下降至最低下降高度，最低下降高度 1,160 呎，誤失進場點為 HC 3 哩。

- (c) 自 PINSI 一號到場進入：

保持高度 5,000 呎或以上通過 PINSI 定位點，沿 LU348 磁方位攔截 O 定位台 066 磁方位至中間進場點 (O 066 磁方位 HC 9 哩)，通過 HC 9 哩 4,000 呎或以上，通過 HC 6 哩 3,100 呎或以上，通過 HC 4 哩 2,700 呎或以上，通過 HC 1 哩 2,100 呎或以上，通過 O 定位台後繼續沿 O 定位台 276 磁方位下降至最低下

降高度，最低下降高度 1,160 呎，誤失進場點為 HC 3 哩。

誤失進場：直飛 LK 定位台，爬高保持 5,000 呎並等待。

離場等候

目前松山機場塔台在離場航班的管制上，對於地面上連續離場之航空器，起飛之順序基本上按照先到先服務的原則來頒發離場許可，並依據其機型之不同，給予不同之離場時間隔離。然而為了達到跑道的最大使用效率，管制員可以允許離場優先權較低之航空器提前離場。另外，對於不同離場航路之航空器管制，則採取經驗上的判斷，在空中的離場航班未飛抵安全區域前，管制員將會對跑道進行封閉動作，即對下一個離場航班進行地面留置。

為了讓模式能夠表現出松山機場離場航班的實際航管程序，將松山機場的離場等候程序設定為西南向離場航路與東向離場航路兩種離場等候程序。

航空器設定

SIMMOD 依據 Integrated Noise Model (INM) Data Base No.9 之定義，將航空器依照最大起飛重量分為四個群體。在松山機場起降之航空器可分類如表 3-4 所示。

表 3-4 松山機場起降航空器之 INM 航空器分類

最大起飛重量	航空器群	機型
10000 至 100000 磅	Small/Twin Engine	DH8、FK50、ATR72
100000 至 300000 磅	Large/Commercial Jet	A320、A321、B757、MD82、MD83、MD90、FK100

[資料來源：本研究整理]

3.2.3 小港機場空域模式構建

因高雄小港機場以 9L 跑道為主要之使用方向，故針對 9L 跑道，同樣以近場空域為構建範圍，根據 AIP 所提供之高雄小港機場飛航程序，構建 5 條離場路徑（標準儀器離場程序），7 條到場路徑（標準儀器到場程序）以及 2 條終端進場路徑（儀器進場程序）。構建時以松山機場跑道中點為原點，配合 AIP 提供之定位點座標，計算出高雄近場空域點各點與原點之相對位置。

標準儀器離場程序

小港機場共有五條標準儀器離場程序，分述如下：

(1) OCEAN ONE 離場 (OC1)

起飛後右轉航向 230，攔截並沿西港 TNN172 輻向/NN172 磁方位至 OCEAN 交叉點或定位點 (TNN R-172/60DME HCN R-300/28 哩或 TNN172 輻向/NN172 磁方位與恆春 HCN300 輻向/KW300 磁方位)，再沿恆春 HCN300 輻向/KW300 磁方位至恆春，保持航管指定高度。

(2) EMILY ONE 離場 (EM1)

起飛後右轉航向 250，攔截並沿 CO 定位台 220 磁方位，再攔截並沿 TNN191 輻向至 PARPA 交叉點，保持航管指定高度。

(3) SIKAN TWO 離場 (SK2)

起飛後右轉直飛 CO 定位台，通過 CO 定位台 2000 呎或以上，沿 CO 定位台 330 磁方位攔截並沿西港 TNN184 輻向/NN184 磁方位至西港 TNN/NN，保持航管指定高度，如果加入 W4 航路，通過西港東北 20 哩 (SINYI DME fix) 到達航管指定高度或飛航空層 230 以上。

(4) LIUCU TWO 離場 (LC2)

起飛後右轉航向 210，爬升至離開 5000 呎後，右轉直飛西港 TNN/NN，保持航管指定高度，如果加入 W4 航路，通過西港東北 20 哩 (SINYI DME fix) 到達航管指定高度或飛航空層 230 以上。

(5) HENGCHUN ONE 離場 (HC1)

起飛後右轉航向 200，攔截並沿恆春 HCN315 輻向/KW315 磁方位爬升至恆春，保持航管指定高度。

標準儀器到場程序

小港機場共有七條標準儀器到場程序，分述如下：

(1) KIZIN ONE 到場 (KZ1)

通過 TNN VORTAC，沿 TNN194 輻向至 KIZIN。

(2) OASIS ONE 到場 (OA1)

通過 HCN VORTAC，沿 HCN305 輻向至 OASIS，然後經由 ORION 並沿 TNN194 輻向至 KIZIN。

(3) PORCH ONE 到場 (PC1)

G581 航路航空器：通過 PORCH 定位點，攔截 TNN194 輻向，並沿 TNN194 輻向經由 ORION 至 KIZIN。

(4) PARPA TWO 到場 (PR2)

A577 航路航空器：通過 PARPA 定位點，航向 350 攔截 TNN194 輻向

至 KIZIN。

(5) FENGSHAN ONE 到場 (FS1)

通過 TNN VORTAC，沿 TNN168 輻向至 SK 定位台，再沿 SK 定位台 146 磁方位至 KARMA 定位點 (SK 定位台 146 磁方位/IKAS12 哩)。

(6) TUNGKANG ONE 到場 (TK1)

通過 HCN VORTAC，沿 HCN326 輻向至 KARMA 定位點 (HCN326 輻向/36 哩)。

(7) DANNY TWO 到場 (DN2)

通過 PARPA 定位點，沿 029 磁方位飛向 SK 定位台至 IKAS12 哩，右轉加入 IKAS12 哩圓弧至 KARMA 定位點 (SK 定位台 146 磁方位/IKAS12 哩)

儀器進場程序

(1) NDB/RUNWAY 09L

以 3,000 呎或以上高度通過 CO 定位台，沿 CO 定位台 270 磁方位飛離電台，在 CO 定位台 12 哩內向左作程序轉彎，以 3,000 呎或以上之高度完成程序轉彎，攔截 CO 定位台 270 磁方位飛入，通過 CO 定位台 700 呎或以上，最低下降高度 600 呎，誤失進場點為 SK 定位台。

誤失進場：通過 SK 定位台，經由 CO 定位台 090 磁方位爬升至 IKHG 東面 1.5 哩並且離開 800 呎後，右轉航向 210 至離開 3,000 呎，直飛至 CO 定位台，保持 4,000 呎等待。

(2) ILS/DME Runway 09L

航空器自 KIZIN 定位點進場，以 3,000 呎或以上之高度飛入左右定位台航道，攔上左右定位台航道後，下降至 1,700 呎攔截滑降台航道進場，決定高度 224 呎。

航空器自 CO 定位台進場，以 3,000 呎或以上高度通過 CO 定位台，沿 CO 定位台 270 磁方位飛離電台，在 CO 定位台 12 哩內向左作程序轉彎，以 3,000 呎或以上之高度完成程序轉彎，攔截左右定位台航道後，下降至 1,700 呎攔截滑降台航道進場，決定高度 224 呎。

誤失進場：經由 CO 定位台 090 磁方位爬升至 IKHG 東面 1.5 哩並且離開 800 呎後，右轉航向 210 至離開 3,000 呎，直飛 CO 定位台，保持 4,000 呎等待。

離場等候

因為小港機場飛行往花蓮方向之航空器架次並不多，因此乃將小港機場設定為單一離場等候。

航空器設定

在小港機場起降之國內線航空器可分類如表 3-5 所示。

表 3-5 小港機場起降航空器之 INM 航空器分類

最大起飛重量	航空器群	機型
10000 至 100000 磅	Small/Twin Engine	DO228、DH8、FK50 ATR72
100000 至 300000 磅	Large/Commercial Jet	A320、A321、B737、B757、 MD82、MD83、MD90、FK100

[資料來源：本研究整理]

3.3 北高空運走廊空域模式構建

針對松山機場離場路徑，加入西港過渡，並根據 AIP 提供之台北飛航情報區航路圖，利用 W4 航路將松山機場航機離場（到場）路徑與高雄小港機場到場（離場）路徑連結成一完整之北高空域網路。

西港過渡

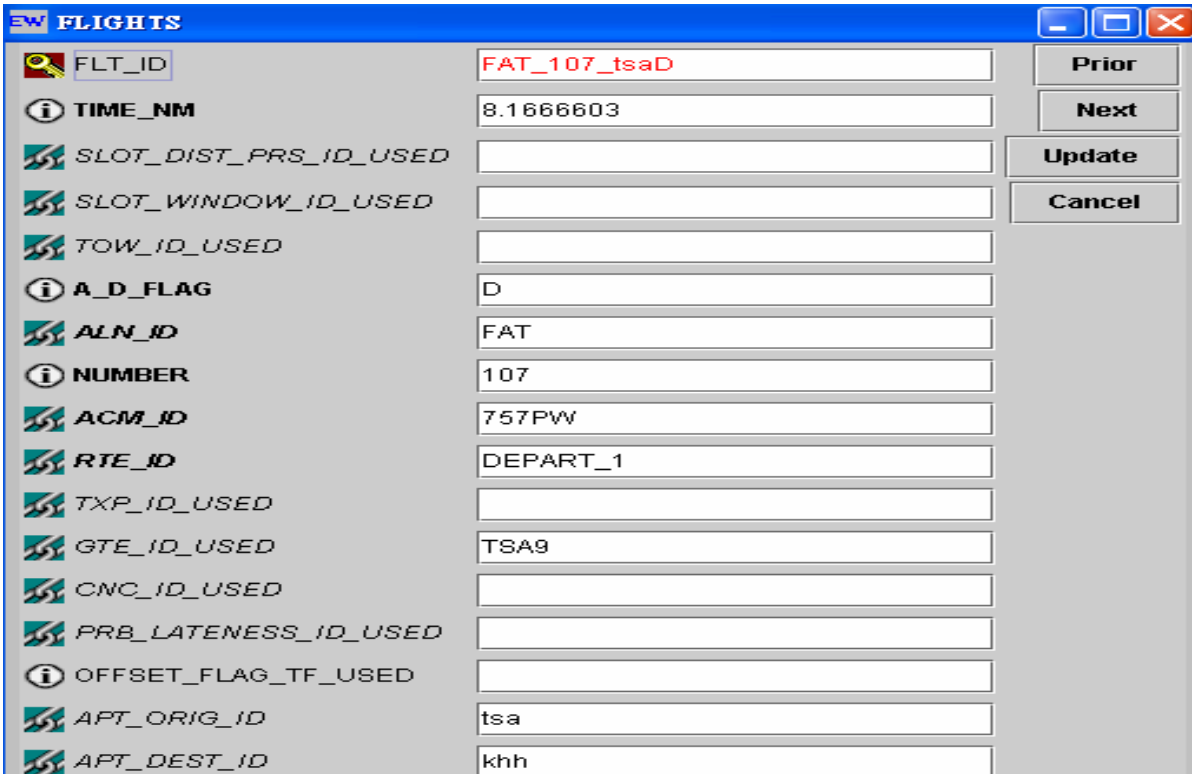
通過 TONPU 後，右轉航向 240 攔截西港多向導航台 022 輻向，加入 W4 航路。

3.4 事件資料

事件資料主要在設定航空器的起降班表，其輸入基本內容有七項，分別為到場航班（Arrival）、離場航班（Emplane）、非班表之到場航班（Mult-Arr）、非班表之離場航班（Mult-dep）、其他（Other）、報告設定（Report）及追蹤指標（Trace）等。由於事件資料的產生需要透過班表檔案的轉換，此班表檔案有一個既定之格式，因此在構建機場系統模式之事件資料時，必須自行製作班表檔案。其檔案格

式如下：

FLIGHTS



The screenshot shows a software window titled "FLIGHTS" with a search icon and a magnifying glass. The window contains a list of fields on the left and their corresponding values in text boxes on the right. On the far right, there are four buttons: "Prior", "Next", "Update", and "Cancel".

Field Name	Value
FLT_ID	FAT_107_tsaD
TIME_NM	8.1666603
SLOT_DIST_PRS_ID_USED	
SLOT_WINDOW_ID_USED	
TOW_ID_USED	
A_D_FLAG	D
ALN_ID	FAT
NUMBER	107
ACM_ID	757PW
RTE_ID	DEPART_1
TXP_ID_USED	
GTE_ID_USED	TSA9
CNC_ID_USED	
PRB_LATENESS_ID_USED	
OFFSET_FLAG_TF_USED	
APT_ORIG_ID	tsa
APT_DEST_ID	khh

- (1) 航班編號
- (2) 預計起飛（或抵達）時間
- (6) 離（到）場航班代號
- (7) 航空公司代號
- (8) 班機編號
- (9) 飛航機型
- (10) 使用之離（到）場程序編號
- (12) 預定使用機門
- (16) 預訂起飛機場
- (17) 預定到達機場

若到場航班時間相隔很久後才有下個飛航任務，必須先將航機托放置停機坪，或離場航班使用停機坪備用之飛機飛行，則必須在（5）欄內輸入托放飛機之時間分配。

另外，在此簡單地介紹非班表之到場航班、非班表之離場航班及追蹤指標的

使用。非班表之到場航班與非班表之離場航班是指對於除了固定班表之外的航空器，只需要設定允許進場或離場的時間範圍與次數，SIMMOD 會在時間範圍內隨機安插其起降時間。此功能除可用於航空貨運與普通航空的航班設定外，若安插之時間不至造成系統太大的延誤，也可用於尋找該班表內還能允許起降航班之時間帶。以松山機場來說，因為松山機場為軍民合用機場，除了固定班表之民航機外，尚有不固定班表的軍機起降。因此必須利用非班表到（離）場航班之功能來加以設定。另外，使用追蹤指標，可過濾不需要的資料，將焦點放在欲觀察的重點上，如模擬觀察的重點在起降的動作時，可把 Trace003 打開；想觀察油耗報告、圖形報告與動畫模擬時就必須使用 Trace182 等等。詳細的 Trace 功能可在 SIMMOD 使用者手冊中的第八章事件檔說明中找到。

3.5 連結資料

連結資料是非必要性之資料。以 SIMMOD 之模擬邏輯，模擬中的每班次航機都是獨立的個體，其離場時間並不會因為其他航班而有所變動。然而現今許多航空公司均以 Hub-and-Spoke 的模式經營，航機離場時間可能會因為其他到場航班延誤而延誤。若是以連結功能將相關航班設定為一群體時，群體中的離場航班將會在可接受的延滯情況下，等待群體中其他航班到達。藉由這項功能可模擬表現出軸幅機場航班的運作狀況。

離場航機是否會等待延誤之到場航機，是由以下三個值所決定的：

- 使用者所設定之航機最多可等待時間
- 轉機旅客所需要之轉機時間
- 到場航機中是否有足夠轉機旅客而必須延遲航機

SIMMOD 在處理連結資料時，會將以上三個條件視為判斷的依據。當同時滿足上述三項條件時，SIMMOD 才會對離場航機作出延遲起飛的命令。

以下將以一個簡單的例子說明 SIMMOD 處理連結資料的邏輯。表 3-6 是在一個轉運機場，有四個班機組成一個連結資料。其中 A 班機是離場班機，需要等待 B、C 及 D 班機上的轉機旅客。

表 3-6 連結資料之處理邏輯簡例

航機	最大延遲時間	是否有足夠轉機旅客	轉機時間	目前狀態
A	15 分鐘	是	10.2 分鐘	準備可以起飛
B	15 分鐘	是	10.9 分鐘	在開口，乘客已下機 2 分鐘
C	15 分鐘	是	11.0 分鐘	在開口，乘客已下機 15 分鐘
D	15 分鐘	是	11.6 分鐘	在 12 分鐘後抵達

[資料來源：SIMMOD MANUAL]

因為航機 B 的延遲，航機 A 必須延遲 8.9 分鐘 (10.9-2)，航機 C 並不會造成航機 A 的延遲，而航機 D 的延遲，會造成航機 A 延遲 23.6 分鐘 (11.6+12)，而這已經超過航機 A 最大可容忍的延誤時間，因此航機 A 不會等待航機 D 的到達，就會先行離場。因此航機 A 最後是延遲 8.9 分鐘起飛。

不過因目前國內之松山機場與小港機場均非航機之轉運站，除了使用同一航機之接續航班外，其餘個別航班仍可視為獨立，因此本研究對連結資料部份均不予以設定。

在模擬完成後，SIMMOD 模擬引擎會輸出檔案，供使用者檢查模式是否合理，及提供模擬之數據結果。不過，有些是直接的資料報告，有的則還需要再經過轉換才能提供資訊，而有些更只是模擬過程中的步驟紀錄而已，並非都是可供閱讀且極有價值的資料報告。因此，本節與下節欲只介紹書面資料報告 (Data Detail Report) 與圖形動畫顯示 (Presentation Graphics and Animation) 部分，整理其所能提供之資訊，並評述其使用價值所在。

3.6 資料輸出說明－書面資料報告

在 SIMMOD 模擬模式的資料輸出中，有四個主要在解析模擬過程與結果的資料報告，其產生順序依次為資料輸入回應報告 (Data Input Echo Report)，模擬過程的紀錄報告 (Simulation Log)、標準報告 (Standard Report) 與深度報告 (Extended Report)。由於 SIMMOD 是一種隨機模擬的模式，因此對同一個模擬案例而言，理論上模擬過程的紀錄報告、標準報告與深度報告的內容，都會因為

隨機種子選取的不同而有所差異，因此若欲得到較佳之模擬結果，必須重複選取不同的隨機種子來作模擬，以求得其平均值。以下將分別討論上述四種報告的形式與用途。

3.6.1 資料輸入回應報告

SIMMOD 模擬引擎所產生的資料輸入回應報告，產生於引擎讀取資料後而尚未開始模擬前，為引擎檢查模擬案例機場之輸入資料，所作出的回應檔案。主要功能為提供使用者關於輸入資料之校正，以交叉比對資料之方式，檢查資料輸入是否有合乎邏輯，或相互衝突之處。若輸入資料皆正確，就能開始執行模擬，若有錯誤，會將不合邏輯或不正確資料以 Warning 或 Error 的訊息告知使用者，並將輸入的資料以較易閱讀的格式表現出來，供使用者比對與檢查。

使用者藉由 Warning 與 Error 兩種訊息的判讀，可發現哪些資料輸入不正確，或未輸入必要性之資料。針對 Echo 檔所提出的訊息，可幫助使用者發現錯誤，予以改正。需特別注意的是，檔案中出現 Warning 的訊息時，代表輸入的資料違背模式的邏輯，但並不一定會影響模式的運作，但是當 Error 的訊息超過兩個時，就無法進行模擬了。



3.6.2 模擬過程的紀錄報告

SIMMOD 模擬引擎所產生的模擬過程紀錄報告，是在進行模擬時，按照模擬時間依序產生之模擬事件的紀錄。雖然紀錄報告能夠包含模擬中每一個事件的發生，然而分析者可能僅欲探討少數的主題，因此使用者可透過對事前編輯器內事件目錄之追蹤指令的開關，來控制選取需要紀錄的事件型態。基於包含所有事件的報告可能資料非常龐大，通常一開始會先關掉所有的追蹤指令以節省檔案空間，再逐步依所欲討論之主題，開放所需之追蹤指令。

對於每一個不同的追蹤指令，模擬模式都給予其不同的指令代碼，而相關的追蹤指令又會將其群組化，再給予一個群組的指令代碼。常用的追蹤指令如將 Trace003 打開時，所有攸關起飛與降落的事件訊息都會紀錄在報告中。通常第一次模擬時，會使用 Trace182 以開啟動畫功能，來檢查模擬模式的合理性，而後的每次模擬，都應使用 Trace181 以使用 Report 的功能。

3.6.3 標準報告

標準報告是 SIMMOD 在完成模擬後，直接產生的模擬結果報告，主要功能為提供模擬案例初步之相關統計資料。藉由標準報告可判讀出容易造成該機場容量產生瓶頸之處，以及何時的流量最大或甚至超過機場容量負荷等。透過標準報告的資料，可初步了解該模擬案例內空邊與空域的大致運作情形。惟詳細的分析還是需要透過深度報告所提供之資料，才能探討與了解。

標準報告檔之報告內容依產生之先後次序分別為：地面延滯與旅行時間統計資料(Ground Delay and Travel Time Statistics)、空中延滯與旅行時間統計資料(Air Delay and Travel Time Statistics)、整體延滯與旅行時間統計資料(Overall Delay and Travel Time) 與航段使用統計資料 (Sector Occupancy Statistics) 等四部份。且整體延滯與旅行時間統計資料為空中延滯與旅行時間統計資料與地面延滯與旅行時間統計資料之總計。

在地面延滯與旅行時間統計資料中，SIMMOD 將統計對象由上至下分為進場航班 (Arrival)、離場航班 (Departure)、過境航班 (Transit) 與總航班，而統計項目由左至右則分別為其航班數量、地面延滯 (Ground Delay) 之平均與總時間、地面旅行 (Ground Travel) 之平均與總時間以及地面之停留時間 (Ground Time) 等四項，且停留時間等於旅行時間加上延滯時間。

空中延滯與旅行時間統計資料與整體延滯與旅行時間統計資料的資料結構大致上與地面部分統計資料相同，僅將統計項目由地面分別更改為空中與整體。另外，在航段使用統計資料部分的統計資料則有：航段流量統計、航班延滯的總計資料 (如多少航班的延滯少於五分鐘、多少航班的延滯是介於五至十分鐘等等)、各跑道之延滯統計以及隨機種子之數值變化等資料。

3.6.4 深度報告

上節所介紹的報告，都是隨著模擬的結束而產生的。然而深度報告的產生方式並不相同，他必須要在 DOS 系統下，才能得到。若以模擬一次為例，SIMMOD 引擎在模擬結束後，會產生 INPREP.xxx 的檔案，藉由事後編輯器內的報告產生器 (Report Generator) 讀入上述檔案，方可產生深度報告 (其檔名為 OUTREP.xxx)，以供使用者分析之用。

深度報告可依照使用者的需求，以 15、30 或者 60 分鐘的時間間距，提供多種項目的報表。其項目分述如下：

- (1) 航機群離場與進場流量 (Aircraft Group Arrival and Departure Flow)
- (2) 平均跑道流量、需求與累計差值 (Average Runway Flow, Demand, and Cumulative Difference)
- (3) 機場陸空旅行及延滯時間 (Airport Air and Ground Travel and Delay)
- (4) 跑道陸空旅行及延滯時間 (Runway Air and Ground Travel and Delay)
- (5) 單次模擬之地面與空中延滯 (Iteration Air and Ground Delay)
- (6) 機門使用情形 (On-Gate Arrival/Off-Gate Departure Flow)
- (7) 各航空公司的進場離場流量 (Airline Arrival and Departure Flow)
- (8) 進場航機之平均旅行與延滯時間 (Average Arrival Travel and Delay)
- (9) 離場航機之平均旅行與延滯時間 (Average Departure Travel and Delay)
- (10) 離場航班停等長度 (Departure Queue Length Summary)

3.7 資料輸出說明－圖形與動畫顯示

圖形與動畫顯示功能的使用，是能夠把模擬結果以動畫或統計圖形的方式在電腦螢幕上呈現出來，以作為使用者分析時之工具。



3.7.1 圖形顯示

圖形顯示功能是將 OUTCOME.xxx 的模擬結果檔作為輸入資料，依照使用者的需要，畫出多種不同變數的時間圖形，其中包含有空中與地面延滯的比較、不同航路上的延滯比較、不同節點上的延滯比較以及起飛與降落班次的數量比較等等。然而圖形顯示功能所提供之圖形大多只跟延滯有關，且圖形大多是以抽樣時點的延滯架數所構成之折線圖，所以僅能給予使用者一個機場使用情形的概要輪廓而已。

圖形顯示中較值得一提的是，使用者可藉由節點上航班延滯數量之時間分佈圖的功能，尋找出空邊上預期之航機衝突點，藉以作為改變機場動線之參考。此功能可作為機場管理當局在場站規劃時，所使用之具體分析工具。

3.7.2 動畫顯示

動畫功能的顯示，同樣是將 OUTCOME.xxx 的模擬結果檔作為輸入資料，把

模擬結果依照航班的不同來作分類與儲存，並同時將這個檔案與模擬之陸空網路進行數位化之動作，來完成動畫功能的顯示。

透過動畫顯示的功能，使用者能將模擬過程重現，藉由實際觀察航空器在空邊與空域、節點與節線之間的運作情形，來確認網路結構的正確性與航班模擬的合理性。其中，網路結構的錯誤有時並無法從數位圖中發現，必須只能依賴動畫功能的顯示才能發現。例如，正確建構跑道的點圖方向，應該是依照跑道上航空器的行進方向，從跑道前端依序建構至其尾端。若是構建時未依序其行進方向，或是相反方向構建，將會造成節線的重疊或方向錯誤，但這卻無法從圖形結構上看出來。使用動畫顯示功能時，就能因看出航空器的不正常前進，而發現這樣的錯誤。例如，航空器若在跑道上反向起降的現象，就代表著發生了上述節線方向的錯誤。另外，基於飛航安全的考量，航空器在飛航中必須遵守航管隔離的設定標準。然而當航管隔離標準設定錯誤時，若僅檢查輸入的資料，似乎也不容易發現這樣的錯誤。此時唯有仰賴動畫模擬之功能，透過實際觀察航空器的運作情形，以確認航班模擬的合理性，及發現如航班跟隨太密或突然消失於航路中等不合理之現象。



第四章 模式校估與驗證

4.1 模式校估

模式構建完成後，雖由資料輸入回應報告與圖形及動畫顯示，確認模式並無不合理或邏輯錯誤之現象，唯仍需進行模式校估與驗證的工作，始能確認模式對於真實現象的代表性。通過模式校估與驗證後，方表示模式具有適當描述實際現象的能力。本節分別說明模式校估指標之決定、校估資料之來源、校估方式以及校估結果。

4.1.1 校估指標

進行模式校估，首先需決定校估指標。一般探討空域或空邊運作效率，常以延滯程度作為評估的指標；延滯時間之長短會影響航機實際起降時間，進而反映機場運作效率。因此本研究選定航班之空中時間（Air Time）作為空域部分之校估指標。其中空中時間為空中旅行時間（Air Travel Time）和空中延滯時間（Air Delay Time）的總和；在空邊部份，本研究採用的校估指標為航空器於地面之離場地面時間（Ground Time），原因在於離場等候延滯為發生於空邊之最主要的延滯。不過，上述之兩種指標，皆為時間差之指標，因為不論是模擬時間或實際時間，都是採用兩點間的時間差距為計算依據，如此僅能校估模式對於航機之運行過程沒有問題，卻不能校估模式預測延誤的能力。因此，乃選取個別航機於機門之後推時間點（OUT）、跑道頭起飛時間點（OFF）、跑道頭落地時間點（ON）以及停靠機門時間點（IN）等四點（簡稱 OOOI），實際時間與模擬時間之差異，作為校估模式預測能力的指標。

除此之外，本研究也針對北高線航班飛行時間進行總體校估，以確定模式之適用性。

4.1.2 校估資料來源

校估樣本實際資料來源分為兩種，第一種為向交通部民用航空局飛航服務總台所索取之民國 93 年 1 月 30 日，於松山機場塔台、中正近場管制塔台及小港機場塔台所紀錄之飛航管制條，航班樣本總數在松山機場為離場航機 157 架與到場航機 139 架，在小港機場為離場航機 80 架與到場航機 80 架。資料用於驗證模式

空中停留時間與北高線航機飛行時間。第二種為自行於民國 93 年 4 月 27 日與民國 93 年 5 月 5 日於松山機場及小港機場紀錄之航機運行資料，航班樣本總數在松山機場為離場航機 69 架與到場航機 72 架，在小港機場為離場航機 39 架與到場航機 36 架。資料用於驗證航機地面停留時間，以及驗證模式預測延誤能力時 OOOI 四點之實際時間。

4.1.3 校估方式

本研究所採取之校估方式包括兩種：整體校估與個別校估。整體校估乃以當日所有實際離到場航機的平均資料，與 SIMMOD 模擬模式的平均資料作比對，計算兩者的相對誤差比例，再訂定一個可接受的相對誤差比例（如 5%）。此種方式在計算上比較容易，但因為無法顯示出個別航空器的運行狀況，且整體資料可能會因為個體間的差異而抵銷，不易看出真正誤差的大小，因此也將模擬航機中共 456 架航次的個別資料加以比對。

個別校估方式有兩種：第一種乃將模擬結果與實際觀察資料，採用齊一性檢定。第二種乃將航機於 OOOI 各點，實際時間與模擬時間，作個別差異的計算，再利用假設檢定之方式，校估兩者的分配為相同。不過，因為檢定的前提必須假設母體為常態分配，因此此處之檢定項目，以後推時間為例，（實際後推時間 - 模擬後推時間）之差異乃假設為常態分配。

4.1.4 整體校估之校估結果

（一）空域校估

在空域部份的校估，根據所收集到的實際資料，與 SIMMOD 模擬模式模擬 30 次結果之平均，比較兩者差異如表 4-1 所示。

根據表 4-1 結果所示，發現本模式之模擬值與實際觀察的資料兩者在空中時間相對誤差比例的絕對值，均在誤差 3% 以內，因此空域部份之校估可算是完成。不過，雖然誤差不大，但模式的模擬時間均稍微大於實際時間，似乎模式存在系統性之錯誤。與管制員交換意見之後發現，管制員實際在引導飛機的時候，會視航情的許可，引導其飛航較短之路徑，而不一定都會依照既定之航路飛航。因此模擬之結果才會都略大於實際飛航之時間。

表 4-1 空域校估指標之比較結果

航路		空中時間 實際值 (分)	空中時間 模擬值 (分)	相對誤差 比例
離場航路	西部	25.34	25.73	1.54%
	東部	11.32	11.46	1.24%
到場航路	西部	26.83	27.54	2.65%
	東部	14.08	14.11	0.21%

(二) 空邊校估

對松山機場空邊部分的校估，根據所收集到的實際資料，與 SIMMOD 模擬模式模擬 30 次結果之平均，比較兩者差異如表 4-2 所示。在此要特別提出的是，此處所定義之地面時間，包括自航機於停機坪後推之後，至跑道頭起飛中間所花的時間。因此地面停留時間包括航機所需之滑行時間，與正常情況下地面延滯時間之總合。

表 4-2 松山機場空邊校估指標之比較結果

離場等候區	地面時間 實際值 (分)	地面時間 模擬值 (分)	相對誤差 比例
西部離場等候區	11.47	11.72	2.18%
東部離場等候區	10.52	10.38	1.33%

由表 4-2 的結果可以得知，不論是西部離場等候區或東部離場等候區，其班機平均離場地面時間，實際調查值與模擬值之相對誤差比例的絕對值，均在 3% 以內。由此可知本模擬模式在松山機場空邊部分之模擬結果與現況的差異不大，可以正確地表現出松山機場航機作業之情形。

對小港機場空邊部分的校估，根據所收集到的實際資料，與 SIMMOD 模擬模式模擬 30 次結果之平均，比較兩者差異如表 4-3 所示。

表 4-3 小港機場空邊校估指標之比較結果

離場等候區	地面時間 實際值（分）	地面時間 模擬值（分）	相對誤差 比例
離場等候區	10.54	10.77	2.18%

由表 4-3 的結果可以得知，小港機場班機平均離場地面時間，實際調查值與模擬值之相對誤差比例之絕對值，也在 3% 以內。由此可知本模擬模式在小港機場空邊部分之模擬結果與現況的差異不大，可以正確地表現出小港機場航機作業之情形。

（三）北高線航班飛行時間校估

本研究特別針對北高線航班進行飛行時間的比對。依據資料，松山機場往小港機場的航機總數為 50 架次，小港機場往松山機場的航機總數亦為 50 架次。比較模擬飛行時間與實際飛行時間之結果，如表 4-4 所示。

表 4-4 北高航線航班運行時間之校估結果

起訖機場	航班數	空中時間實際 值（分）	空中時間模擬 值（分）	誤差比例
松山往小港	50	30.86	31.79	3.01%
小港往松山	50	30.93	31.56	2.04%

經由整體航班空域、空邊，以及北高航線航班飛行時間模式的校估結果顯示，本研究所構建之模擬模式與實際運作狀況之誤差皆在 5% 以下，證實本研究建立之模擬模式可以正確地表現出航班實際運作的情形。不過基於前述總體比對可能存在的缺點，下一小節乃以齊一性檢定的方式，將個別航班資料再做一次比對，以使模擬模式之模擬結果更富說服力。

4.1.5 個體校估之校估結果

（一）空域校估

在空域校估部分，由於模擬資料與實際資料航機的空中停留時間，都介於 10-30 分之間，因此乃以這兩者為最小值與最大值，每 2 分鐘為一單位，共可分成 10 組。詳細分組與齊一性檢定結果，如表 4-5 所示。

表 4-5 空域模式檢定表

空中時間 分組 (分)	模擬次數	實際觀察次數	總計
10~12	15.3 (17.65)	20 (17.65)	35.3
12~14	14.3 (13.65)	13 (13.65)	27.3
14~16	14.4 (12.7)	11 (12.7)	25.4
16~18	0 (0)	0 (0)	0
18~20	0 (0)	0 (0)	0
20~22	6 (9)	12 (9)	18
22~24	57.8 (61.9)	66 (61.9)	123.8
24~26	120.4 (121.7)	123 (121.7)	243.4
26~28	47.2 (44.1)	41 (44.1)	88.2
28~30	20.6 (15.3)	10 (15.3)	30.6
總計	296	296	592
統計量	$\chi^2 = 7.8214$		

空中時間之計算基準，乃依據管制條上紀錄點之時間與松山機場跑道頭之時間差為準，而非航機實際整段飛行之時間。故使用不同離到場程序與不同機型之航機，採計之時間會有所差異。東部航機多數採用 WADER 點，而西部航機則採用 HLG、DAL 等點。

由表 4-5 計算後可得知 χ^2 值為 7.8214，小於 $\chi_{0.95,7}^2$ 為 14.0617，通過 $\alpha = 0.05$ 時之齊一性檢定。

(二) 空邊校估

在對松山機場空邊校估的部分，由於離場地面時間都介於 6-16 分之間，因此乃以這兩者為最小值與最大值，每 1 分鐘為一單位，共可分成 10 組。詳細分組次數與齊一性檢定結果，如表 4-6 所示。同樣要說明的是，此處所定義之離場地面時間，乃為自航機於停機坪後推之後，至跑道頭起飛中間所花的時間。另外，因為部份組別之次數少於 5 次，故進行齊一性檢定時，把 6~7、7~8、8~9 與 13~14、14~15、15~16 合併為一組計算。由表 4-6 計算後可得知 χ^2 值為 0.5498，小於 $\chi_{0.95,5}^2$ 為 11.0705，通過 $\alpha = 0.05$ 時之齊一性檢定。

表 4-6 松山機場空邊模式檢定表

離場地面時間 分組 (分)	模擬次數	實際觀察次數	總計
6~7	0.2 (0.6)	1 (0.6)	1.2
7~8	1.8 (2.4)	3 (2.4)	4.8
8~9	6.8 (6.4)	6 (6.4)	12.8
9~10	11.9 (10.95)	10 (10.95)	21.9
10~11	13.7 (14.35)	15 (14.35)	28.7
11~12	16.5 (17.25)	18 (17.25)	34.5
12~13	10.9 (9.95)	9 (9.95)	19.9
13~14	5.7 (4.85)	4 (4.85)	9.7
14~15	1.1 (1.55)	2 (1.55)	3.1
15~16	0.4 (0.7)	1 (0.7)	1.4
總計	69	69	138
統計量	$\chi^2 = 0.5498$		

在對小港機場空邊校估的部分，由於離場地面時間都介於 7-15 分之間，因此乃以這兩者為最小值與最大值，每 1 分鐘為一單位，共可分成 8 組。詳細分組次數與齊一性檢定結果，如表 4-7 所示。同樣地，把 7~8、8~9 與 11~12、12~13、

13~14、14~15 等次數小於 5 次之組別合併計算。

表 4-7 小港機場空邊模式檢定表

離場地面時間 分組 (分)	模擬次數	實際觀察次數	總計
7~8	1.1 (1.55)	2 (1.55)	3.1
8~9	3.8 (4.4)	5 (4.4)	8.8
9~10	5.4 (5.7)	6 (5.7)	11.4
10~11	16.7 (14.85)	13 (14.85)	29.7
11~12	7.8 (7.9)	8 (7.9)	15.8
12~13	2.5 (2.75)	3 (2.75)	5.5
13~14	1.4 (1.2)	1 (1.2)	2.4
14~15	0.3 (0.65)	1 (0.65)	1.3
總計	39	39	78
統計量			$\chi^2=0.9032$

由表 4-7 計算後可得知 χ^2 值為 0.9032，小於 $\chi_{0.95,3}^2$ 為 7.8147，通過 $\alpha = 0.05$ 時之齊一性檢定。

經過整體校估與個體校估之後，顯示本研究所建構之模式已能適切反應航機運作狀況。下一小節乃針對航機預測延誤的能力予以校估。

4.1.6 校估預測延誤能力結果

校估結果如表 4-8 所示。進行完模式校估，確認模式可模擬正常情況下空域與空邊的運作之後，還必須作模式驗證的工作，以確認模式在模擬不同參數條件設定下的模擬結果，都會符合實際運作的情況。基於此，以下首先介紹起降方向改變時，機場起降程序改變、航管人員引導航機的方式以及 SIMMOD 模擬模式的模擬邏輯。接著依據此構建好之模擬模式，驗證所輸出之結果與真實情況無異。

表 4-8 模式延誤預測能力檢定結果

	松山 後推	松山 起飛	松山 落地	松山 靠門	小港 後推	小港 起飛	小港 落地	小港 靠門
樣本數	69	69	72	72	39	39	36	36
\bar{D}	0.41	0.42	0.48	0.48	0.48	0.49	0.51	0.5
S_D^2	3.97	4.26	4.64	4.6	3.38	3.44	3.09	2.97
檢定統計量	1.71*	1.69*	1.89*	1.9*	1.63*	1.65*	1.74*	1.74*

註：加 * 者表示檢定結果接受兩者平均數為相同之虛無假設；樣本數大於 30 時，t 分配可視為常態分配，故在 95%信心水準下之決策臨界值 $Z_{0.05}$ 為 1.96。

4.2 起降方向改變時之過渡運作方式

由於台灣位於亞熱帶地區，夏季盛行西南風，冬季盛行東北風。特別在夏季常受颱風的影響，風向與風速與一般正常之天候情況有所差異，有時風向與風速改變過大，使得機場起降方向必須改變，有時甚至出現短時間內變化多次的情形。一般來說，當機場之起降方向改變，機場運作通常都需要一段過渡時間做調整，即機場使用原起降方向起降之運作路徑必須反向調整，而在地面運作航機必須接受塔台管制人員之管制，重新安排滑行路徑，以避免與其他航機產生對向衝突。相同的，在機場空域準備進場之航機亦須接受管制，重新安排進場程序，而使用新起降方向進場。在此狀況之下，單位時間內能起降的航機架次也會跟著減少，且變換次數越多，減少的架次也越多。在需求不變的情況下，航機就會出現延誤的情況。

本小節首先根據 AIP 的內容，說明松山機場在起降方向改變時，航機過渡的運作方式；接著說明 SIMMOD 模擬模式如何模擬此種情況的改變。

4.2.1 松山機場 28 跑道起降程序

根據 AIP，松山機場共有 4 條 28 跑道標準儀器離場程序，分述如下：

(1) PEITO 二號離場 (PE2)

本離場程序所需最低爬昇梯度為每哩 450 呎爬昇至離開 4,500 呎。

起飛後通過 SG 定位台，沿 SG310 磁方位爬高，離開 4,500 呎後，加入航路或下列過渡航路爬昇：

Anpu 過渡（最低儀航高度 5,000 呎）

右轉定向 APU/AP 加入航路，以 5,000 呎或以上之高度通過 APU/AP，爬高保持航管指定高度。

TONPU 過渡（最低儀航高度 FL140）

右轉攔截並沿 APU218 幅向/AP218 磁方位西南向至 TONPU 定位點（APU218 幅向/AP218 磁方位 70 哩），以 8,000 呎或以上之高度通過 APU30 哩定位點，以飛航空層 200 或以下之高度通過 XEROX 定位點（APU218 幅向/AP218 磁方位 40 哩），右轉攔截並沿 MKG060 幅向加入 W4 航路或至 MKG，爬高保持航管指定高度。

NANAO 過渡（最低儀航高度 8,000 呎）

右轉攔截並沿 AP142 磁方位/APU142 幅向東南向至 NANAO 定位點，以飛航空層 200 或以下之高度通過 APU142 哩定位點，右轉攔截並沿 GID019 幅向/199 磁方位定向 GI，加入 B591 航路，爬高保持航管指定高度。

(2) **SULIN 二號離場 (SL2)**

本離場程序所需最低爬昇梯度為每哩 450 呎爬昇至離開 4,000 呎。

起飛後通過 SG 定位台，沿 SG260 磁方位爬高，

a. 加入下列航路或過渡航路爬昇：

A1/W4 航路

攔截並沿 235 磁方位定向 HL/HLG055 幅向至 HL NDB/HLG VORTAC，加入 A1/W4 航路，爬高保持航管指定高度。

ROMEO 過渡（最低儀航高度 10,000 呎）

攔截並沿 APU223 幅向/APU223 磁方位西南向加入 W4 航路，以飛航空層 200 或以下之高度通過 ROMEO 定位點（APU223 幅向/AP223 磁方位 40 哩），爬高保持航管指定高度。

TONPU 過渡（最低儀航高度 FL140）

攔截並沿 APU218 幅向/AP218 磁方位西南向至 TONPU 定位點（APU218 幅向/AP218 磁方位 70 哩），以 8,000 呎或以上之高度通過 APU30 哩定位點，以飛航空層 200 或以下之高度通過 XEROX 定位點（APU218 幅向/AP218 磁方位 40 哩），右轉攔截並沿 MKG060 幅向加入 W4 航路或至 MKG，爬高保持航管指定高度。

b. 離開 2,000 呎後，加入下列過渡航路爬昇：

Houlung 過渡（最低儀航高度 4,000 呎）

左轉航向 200 攔截並沿 243 磁方位定向 HL/HLG063 幅向至 HL

NDB/HLG VORTAC，爬高保持航管指定高度。

TINHO 過渡[限螺旋槳航機使用] (最低儀航高度 6,000 呎)

左轉定向 SW 電台，沿 SW110 磁方位加入 B591 航路，以 3,500 呎或以上之高度通過 SW，以飛航空層 200 或以下之高度通過 APU40 湮定位點，爬高保持航管指定高度。

(3) TAZAN 二號離場 (TA2)

本離場程序所需最低爬昇梯度為每湮 400 呎爬昇至離開 4,000 呎。

起飛後通過 SG 定位台，沿 SG275 磁方位爬高

- a. 離開 2,000 呎後，左轉加入下列過渡航路爬昇：

Houlung 過渡 (最低儀航高度 4,000 呎)

左轉航向 200 攔截並沿 243 磁方位定向 HL/HLG063 幅向至 HL NDB/HLG VORTAC，爬高保持航管指定高度。

TINHO 過渡 (最低儀航高度 6,000 呎)

左轉定向 SW 電台，沿 SW110 磁方位加入 B591 航路，以 3,500 呎或以上之高度通過 SW，以飛航空層 200 或以下之高度通過 APU40 湮定位點，爬高保持航管指定高度。

- b. 繼續沿 SG275 磁方位加入下列航路或過渡航路爬昇：

A1/W4 航路

攔截並沿 235 磁方位定向 HL/HLG055 幅向至 HL NDB/HLG VORTAC，加入 A1/W4 航路，爬高保持航管指定高度。

ROMEO 過渡 (最低儀航高度 10,000 呎)

攔截並沿 APU223 幅向/APU223 磁方位西南向加入 W4 航路，以飛航空層 200 或以下之高度通過 ROMEO 定位點 (APU223 幅向/AP223 磁方位 40 湮)，爬高保持航管指定高度。

- c. 離開 3,500 呎並且通過 ITSG 6 DME 後，加入下列過渡航路爬昇：

TONPU 過渡 (最低儀航高度 FL140)

右轉航向 250 攔截並沿 APU218 幅向/AP218 磁方位西南向至 TONPU 定位點 (APU218 幅向/AP218 磁方位 70 湮)，以 8,000 呎或以上之高度通過 APU30 湮定位點，以飛航空層 200 或以下之高度通過 XEROX 定位點 (APU218 幅向/AP218 磁方位 40 湮)，右轉攔截並沿 MKG060 幅向加入 W4 航路或至 MKG，爬高保持航管指定高度。

NANAO 過渡 (最低儀航高度 8,000 呎)

右轉定向 APU/AP 並沿 AP142 磁方位/APU142 幅向東南向至 NANAO 定位點，以飛航空層 200 或以下之高度通過 APU142 湮定

位點，右轉攔截並沿 GID019 幅向/199 磁方位定向 GI，加入 B591 航路，爬高保持航管指定高度。

Anpu 過渡（最低儀航高度 5,000 呎）

右轉定向 APU/AP 加入航路，以 5,000 呎或以上之高度通過 APU/AP，爬高保持航管指定高度。

(4) Sungshan 二號離場 (SS2) [雷達引導]

本離場程序所需最低爬昇梯度為每哩 400 呎爬昇至離開 4,000 呎。

起飛後航向 275 爬高至航管指示高度，由雷達引導至指定航路或定位點或過渡。

各項過渡航路：

Houlung 過渡（最低儀航高度 4,000 呎）

攔截並沿 243 磁方位定向 HL/HLG063 幅向至 HL NDB/HLG VORTAC，爬高保持航管指定高度。

ROMEO 過渡（最低儀航高度 10,000 呎）

攔截並沿 APU223 幅向/APU223 磁方位西南向加入 W4 航路，以飛航空層 200 或以下之高度通過 ROMEO 定位點（APU223 幅向/AP223 磁方位 40 哩），爬高保持航管指定高度。

TONPU 過渡（最低儀航高度 FL140）

攔截並沿 APU218 幅向/AP218 磁方位西南向至 TONPU 定位點（APU218 幅向/AP218 磁方位 70 哩），以 8,000 呎或以上之高度通過 APU30 哩定位點，以飛航空層 200 或以下之高度通過 XEROX 定位點（APU218 幅向/AP218 磁方位 40 哩），右轉攔截並沿 MKG060 幅向加入 W4 航路或至 MKG，爬高保持航管指定高度。

Anpu 過渡（最低儀航高度 5,000 呎）

定向 APU/AP 加入航路，以 5,000 呎或以上之高度通過 APU/AP，爬高保持航管指定高度。

TINHO 過渡（最低儀航高度 6,000 呎）

攔截並沿 AP154 磁方位/APU154 幅向加入 B591 航路，以飛航空層 200 或以下之高度通過 AP/APU40 哩定位點，爬高保持航管指定高度。

NANAO 過渡（最低儀航高度 8,000 呎）

攔截並沿 AP142 磁方位/APU142 幅向東南向至 NANAO 定位點，以飛航空層 200 或以下之高度通過 APU142 哩定位點，右轉攔截並沿 GID019 幅向/199 磁方位定向 GI，加入 B591 航路，爬高保持航管指定高度。

Keelung 過渡（最低儀航高度 6,000 呎）

攔截並沿 067 磁方位定向 LU，以 4,000 呎或以上之高度通過 LU 後，右轉沿 LU185 磁方位加入 B591 航路，以飛航空層 200 或以下之高度通過 AP/APU40 湮定位點，爬高保持航管指定高度。

松山機場 28 跑道之儀器進場程序（LDA/DME RWY28）為

- a. 航空器自 PARDU 定位點（APU090 幅向/AP090 磁方位 16DME）進入：
保持高度 5,000 呎或以上通過 PARDU 定位點，沿 APU/AP16 湮圓弧攔截 ITLU 左右定位輔助台，通過 REFON 定位點（ITLU13 湮）4,000 呎或以上，通過 ITL9 湮 3,100 呎或以上，通過 ITLU7 湮 2,500 呎或以上，通過 ITLU5 湮 1,800 呎或以上，最低下降高度 800 呎，誤失進場點為 ITLU1.5 湮。
- b. 航空器自 PINSI 定位點（APU119 幅向/AP119 磁方位 19 湮）進入：
 - (a) 自 JONHO 一號到場及 FUSIN 一號到場進入：
保持高度 5,000 呎或以上通過 PINSI 定位點，沿 APU/AP19 湮圓弧攔截並沿 APU112 幅向/AP112 磁方位至 REFON 定位點（ITLU13 湮），保持高度 4,000 呎或以上攔截 ITLU 左右定位輔助台，通過 ITLU9 湮 3,100 呎或以上，通過 ITLU7 湮 2,500 呎或以上，通過 ITLU5 湮 1,800 呎或以上，最低下降高度 800 呎，誤失進場點為 ITLU1.5 湮。
 - (b) 自 PINSI 一號到場進入
保持高度 5,000 呎或以上通過 PINSI 定位點，沿 LU348BRG 攔截 ITLU 左右定位輔助台，通過 REFON 定位點（ITLU13 湮）4,000 呎或以上，通過 ITLU9 湮 3,100 呎或以上，通過 ITLU7 湮 2,500 呎或以上，通過 ITLU5 湮 1,800 呎或以上，最低下降高度 800 呎，誤失進場點為 ITLU1.5 湮。

誤失進場：直飛 LK 定位台，爬高保持 5,000 呎並等待。

4.2.2 起降方向改變時航管處理方式

當跑道風向或風速達到需要改變運作方向的標準時，塔台航管人員會與近場台人員討論，決定在空中的哪架班機是最後使用原方向降落之班機。同時，塔台管制人員會計算，在該架班機落地之前，還可以放行哪些在地面上的班機，使用原方向起飛。近場台人員也會開始導引其他欲降落的航機至另一起降方向的儀器進場程序航路上，將這些航機等候在等待點上，等待最後一架離場的班機完成起飛程序。至於地面上的航機也會後推且滑行至新起降方向，等待最後一架進場班

機落地。等到全部航機的運作都不再彼此衝突時，起降方向改變完成，塔台可以放行起飛的航機，而近場台也會開始讓空中等待的航機作最終進場程序。整個程序必須要塔台人員與近場台人員作密切的討論與協調，依據當時氣候改變的情形，以及地面上與空中航機數量與運作狀況，在基於飛航安全的標準上，作最有效率的決定。

起降方向改變之航管處理方式，依發生之時間順序，以列點方式整理如下：

1. 塔台與近場台討論最後使用原方向之進場班機
2. 塔台計算在該班機落地前還可起飛之班機
3. 近場台將後續之進場班機帶至另一起降方向的飛航路線上，並將班機等候在等待點上，等待最後一架起飛班機完成離場程序
4. 地面之離場班機將滑向新的起降方向，並等待至最後一架反向之進場班機落地
5. 完成上述程序後，起降運作方向改變，離場班機可起飛，進場班機開始作最終進場程序

4.2.3 起降方向改變時 SIMMOD 模擬方式

起降方向改變時，對於整個空域與空邊運作，都會發生顯著的改變。在 SIMMOD 模擬模式中，此類與原先設定狀況不同的情境，都可以透過改變模擬參數設定的方式，來評估此類改變之後的運行結果。使用者只要在“EVENTS”的選單中，以外部事件的方式輸入欲改變的參數資料，以及所發生的時間，SIMMOD 即可依照所設定的改變情境，模擬當時狀況下空邊與空域運作的情形。此類設定對於評估臨時事件所帶來的衝擊情況，是很不錯的一項工具。

新的運行計畫可能包括在特定時間內改變空中航路，或是將航機導引至過渡航線及新航線上。當然，航路的改變是有選擇性的，不一定要整個空域都加以改變。SIMMOD 的計畫改變過渡邏輯 (Plan Change Transition Logic) 允許每條航路都有自己的過渡路徑，以提供在該航路上的航空器遵循。同時，在空域內，他也設定了一個“不可回頭點” (point of no return)，已經通過此節點的飛機，就必須要完成原先設定的飛航路徑，無法作航路過渡轉換。除此之外，在地面上欲離場之航機，必須等待空域中的飛機都完成了航路過渡或離開該模擬空域之後，才可執行起飛之動作。

另外，對於地面上的航機，SIMMOD 提供了「PrePlanTime」的功能。此功能

可以在該轉變計畫發生的時間點前，就先依據當時跑道使用的狀況，將欲離場的航空器導引至新的離場等候點，以供之後利用新的起降方向起飛。提供這項功能的原因是，一旦新的跑道使用計畫執行之後，仍停留在舊有離場等候點中的航空器並不會被導引至新的離場等候點，會直接消失在模擬的環境中。所以必須事先就先將航空器導引至新的離場等候點，以免發生不符合實際情況的模擬結果。

比較 SIMMOD 模擬邏輯與航管處理方式，可以發現兩者的做法是幾乎相同的。在空域中的航機必須先在新的進場航路上作等待，而機場內的航機必須等待最後一架班機落地後，才可起飛，以避免彼此衝突的狀況發生。因此 SIMMOD 可以正確地模擬起降方向改變時之系統運作情形。

4.3 模式驗證

進行模式驗證之目的在於確認模式可應用在任何情況下之模擬。本節分別說明模式驗證指標之決定、驗證資料之來源、驗證方式以及驗證結果。

4.3.1 驗證指標

因為模式之模擬能力已做過校估，因此，只選取起降方向改變的機場與時段內，受到影響航機之 OOOI 四點實際時間與模擬時間之差異，作為驗證模式預測能力的指標。



4.3.2 驗證資料之來源

驗證樣本實際資料，為民國 93 年 4 月 29 日，於松山機場實際紀錄之資料。選取該日之原因，乃在於松山機場於該日下午 16:27 分時，起降方向由 10 號跑道更改為 28 號跑道使用。此現象持續了 41 分鐘，於該日下午 17:08 分時又再度更換回 10 號跑道。選取驗證之航班為表定 12:00-18:00 起降之航班，在此時段中，有效樣本數為停機坪後推時間點計 68 架次、跑道頭起飛時間點計 69 架次、跑道頭落地時間點計 68 架次，以及停靠機門時間點計 68 架次。

4.3.3 驗證方式

採用個別驗證的方式，將該時段起降航機之 OOOI 四點，實際時間與模擬時間，作個別差異的計算。對起飛的航班，計算其停機坪後推時間點 (OUT) 與跑道頭起飛時間點 (OFF)；對降落的航班，計算其跑道頭落地時間點 (ON) 與停靠機門時間點 (IN)。同樣地，以後推時間為例，乃假設實際後推時間與模擬後

推時間之差異為常態分配。

4.3.4 驗證結果

驗證結果如表 4-9 所示。

表 4-9 模式驗證結果

	機門後推 時間點	跑道起飛 時間點	跑道落地 時間點	停靠機門 時間點
樣本數	68	69	68	68
\bar{D}	0.58	0.57	0.66	0.65
S_D^2	15.62	14.82	10.01	8.39
檢定統計量	1.21*	1.23*	1.72*	1.85*

註：加 * 者表示檢定結果接受兩者平均數為相同之虛無假設；樣本數大於 30 時，t 分配可視為常態分配，故在 95%信心水準下之決策臨界值 $Z_{0.05}$ 為 1.96。



第五章 模擬結果分析

5.1 起降方向改變下航機之起降延誤

此部分之分析，主要是探討當機場起降方向改變，機場空邊與空域系統必須實施過渡運作的情況下，對於機場實際起降架次數，以及造成相關航機起降延誤的影響。

5.1.1 機場起降方向改變持續時間一小時

與航管人員的訪談中發現，松山機場在夏日的午後，常常會發生風向與風速急促的變化，持續時間通常都在一個小時左右，即回復為正常狀態。因此，此處所假設之情境為：

- 松山機場於 17:00 起降方向由 10 轉變為 28，並於 18:00 恢復正常狀態

選擇 17:00 至 18:00 的原因，是因為此時段為松山機場下午最尖峰的時段，在此時間內，共有 13 架班機預定落地，14 架班機預訂起飛。選擇尖峰小時航機起降較密集的時段，可以更有效地發現氣候對機場起降運作的影響情形。

在原班表運量之下，每 15 分鐘之航機起降架次分配如圖 5-5 所示。由圖 5-1 可以發現，當起降方向於 17:00 發生改變時，在 17:00 至 17:15 之間，此時段之航機起降架次數，由原來的 10 個架次明顯地減少到只剩 3 個架次。顯示航機起降運作因為路網改變而產生延滯。而剩餘航機延遲至下個時段以後起降，使得其後的 17:15-17:30 及 17:30-17:45 的兩個時段內，起降架次數都比正常情況下多。也就是起降方向改變使得機場運作受到影響，在此時段內預計起降的航機都會受到延誤，擾動正常班表的情形一直持續到此時段的結束，系統才處理完所有欲起降之航機。同樣地，當 18:00 起降方向又再次改變時，在 18:00-18:15 時段內起降的航機數目也明顯地減少，顯示航機同樣受到影響而延後起降，使得在其後 18:15-18:30 及 18:30-18:45 兩個時段內起降的航機數目大幅度地增加。擾動正常班表的情形此時持續了 45 分鐘之久，才因為起降架次需求的減少，而回復為正常狀態。

由於空域中之航機需要一段時間來調整與適應路網的改變，空中時間必定增加，而機場內離場航機之離場地面時間，也因為需要等待空域中之航機落地而增

加，故航機運作明顯地產生延滯。由表 5-1 可知，起降方向發生改變情況下，其離、到場航機之總時間與離場地時間較一般正常情況來得大，而發生起降方向改變之時段內，起降架次數整體來說卻與一般正常情況時相同。

在起降方向改變的情況下，單位小時內能夠處理的航機數目應該會減少，但是依據松山機場的情境，卻看不出這個現象，起降方向改變後與一般正常情況下可以處理的航機數目相同，都是 27 架次。推究其原因，雖然在 17:00-17:15 的時段內，航機起降受到影響，使得多數航機都延遲至接下來的三個時段內起降，但整體而言仍未超過機場容量負荷，因此所有航機仍可在 18:00 前起降完畢，不會影響到下一個小時的航班操作。

表 5-1 一般正常情況與起降方向改變比較結果

情境	17:00 至 18:00 離場總時間 (分)	17:00 至 18:00 到場總時間 (分)	17:00 至 18:00 離場地時間 (分)	17:00 至 18:00 起降航機架次 數
一般正常情況	25.48	26.81	13.14	27
起降方向改變	32.97	33.76	20.68	27

註：離場總時間為自航機後推起至飛行至 HLG 為止，到場總時間為自 HLG 至落地靠門為止

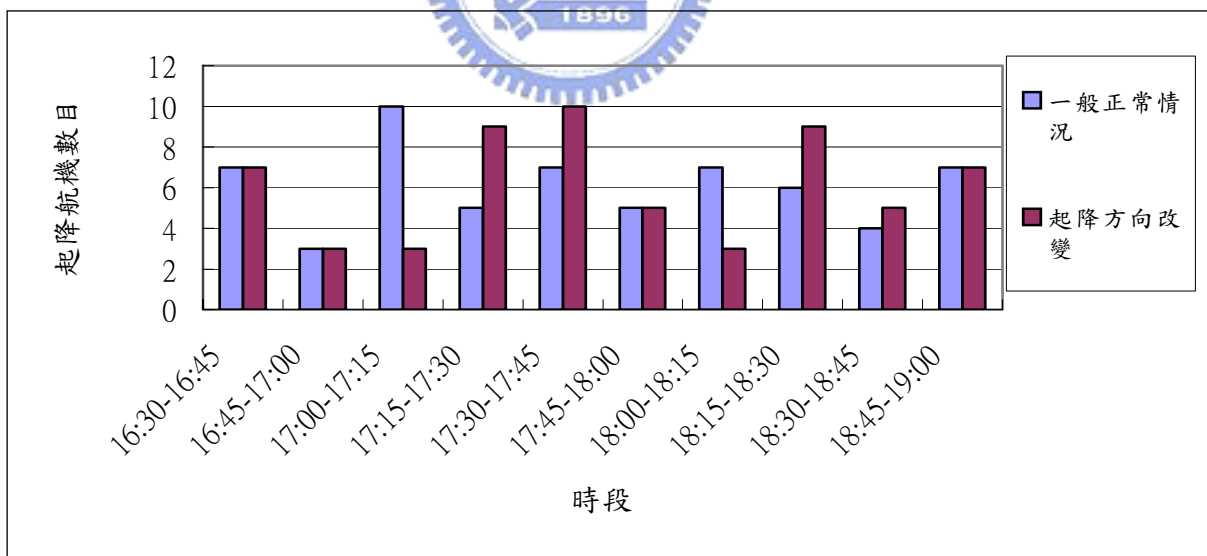


圖 5-1 一般正常情況與起降方向改變一小時比較結果

5.1.2 機場起降方向改變持續時間半小時

有時風向風速改變的太快，會發生在一個小時裡面起降方向改變兩次的情況。也就是說，起降方向改變後，大約只維持了半小時左右，就又更改為原來使用的方向。在單位小時內發生兩次運作不正常的現象，對於航機起降延誤的影響

響，應該更是顯著。因為就上小節的例子來看，以目前松山機場下午尖峰小時的運量，起降方向改變時所造成的航機起降延滯，必須要一個小時的時間才可消化。若一個小時中就發生了兩次運作方向改變，則擾動正常班表的情況理論上會持續更久。本小節假設之情境為：

- 松山機場於 17:00 起降方向由 10 轉變為 28，並於 17:30 恢復正常狀態

在原班表運量之下，每 15 分鐘之航機起降架次分配如圖 5-2 所示。由圖 5-2 可以發現，當起降方向於 17:00 發生改變時，在 17:00 至 17:15 之間，此時段之航機起降架次數，由原來的 10 個架次明顯地減少到只剩 3 個架次。顯示航機運作因為路網改變而產生延滯。而剩餘航機也因此延後起降，使得其後的 17:15-17:30 內，起降架次數比正常情況下多。理論上，受影響的情況應該持續到下個時段，不過當 17:30 起降方向又再次改變時，使得在 17:30-17:45 時段內起降的航機數目也減少到只剩 3 個架次，航機再次受到影響而延後起降，使得在其後 17:45-18:00 與 18:00-18:15 的兩個時段內起降的航機數目大幅度地增加。擾動正常班表的情形幾乎持續了一個半小時左右，才因為起降架次需求低於系統處理能力，而回復為正常狀態。

在此時段受影響航機個別延誤時間與延誤原因，在第六章中會有詳細討論。

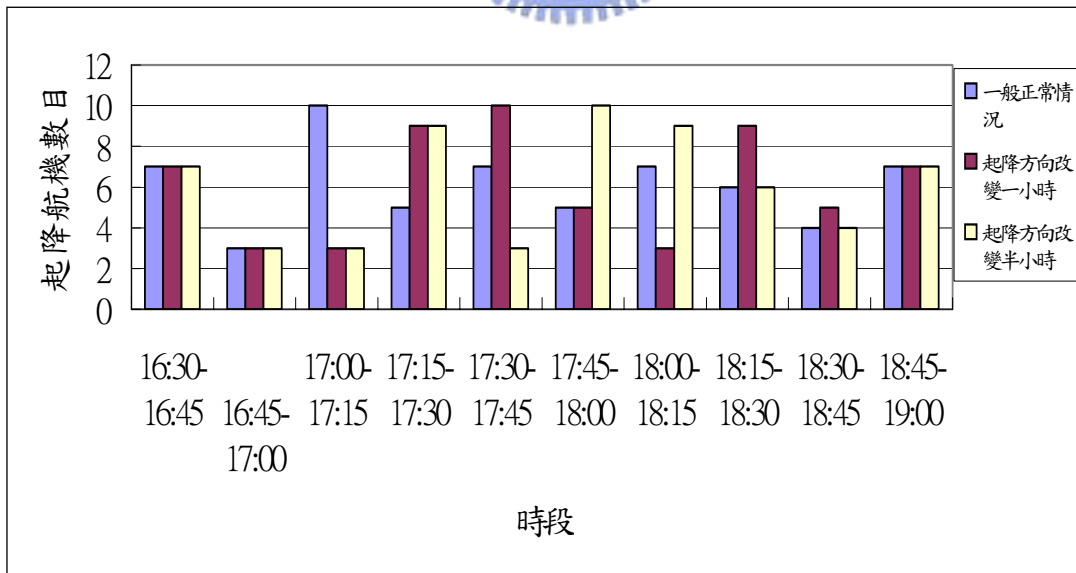


圖 5-2 一般正常情況與起降方向改變比較結果

由以上的分析可以發現，當起降方向出現改變的時候，在最初的 15 分鐘內，

因為航機於空域與空邊的運作必須轉換，因此在這個時段內，能夠起降的航機都僅維持在 2-3 架次左右，其他的航機都必須要順延至下個時段，甚至當下個時段航機需求量仍高的時候，還必須要經過好一陣子才能夠回復到正常的狀態。發生延誤時間最多的航班，也多半是表定在此時段起降的班機。起降方向發生改變的次數越多次，對於整個系統造成的衝擊也就越高。當然，航機在短時間內於空域與空邊做兩次的方向轉換，對駕駛員或是管制員來說，也都產生不小的時間壓力。不過，只要再沒有改變狀況發生，延誤的情況會因為航機起降需求量的減少，或是因為航機接續航班緩衝時間的安排得宜，而逐漸收斂。當然，航空公司或航管單位也可以採取一些方法，用人為的方式來縮短收斂的時間。這也是接下來主要探討的主題。

5.2 延誤時間統計

從上一節模擬的兩個情境，可以明顯地看出起降方向改變時，該時段航機起降發生延誤，且延誤會一直擴散至之後的好幾個時段。假設之後的營運不再發生臨時性之飛航事件，而航機仍發生延誤擴散的原因，可歸納為下列三點：

- 一、起降方向改變時，空域與空邊系統有一段時間屬於過渡時期，在此時期，航空交通管制單位必須安全地引導空中及地面的航空器完成起降方向改變作業，因此，在此時段內航空器起降架次較少，多數航班必須延後至下個時段起降。而原定在下個時段可以準時起降的班機，也因為前面班機的延誤，而必須等待，因而產生延誤擴散。
- 二、在實際營運中，航空公司為了充分利用班機資源，在飛機抵達迄點航站，且尚不需要進行維修時，通常會立即再安排下一班次讓飛機繼續上線營運，因此若班機在前一班次發生延誤，而此架飛機仍尚須擔負下一個班次上線營運時，則下一個班次就會因前一班次的延誤而被迫也發生延誤，進而產生延誤擴散。
- 三、原定在起降方向改變時段內落地之航機，延至下個時段落地後，可能會導致同時有太多航班落地，以致發生機門不敷使用的情況。在沒有替選機門或可供使用機門的情況之下，航機必須在滑行道上等待機門之空出，以致於航機之後的接續航班也發生延誤擴散。另外，原定在起降方向改變時段內起飛之航機，延至下個時段起飛後，可能會導致同時有太多航機等待起飛，以致於停滿了整個離場等候區，使得後續準備離場之班機必須在機門等待。在原班機佔用機門的情況下，原定使用該機門的

後續班機需等候此架已發生誤點之班機駛離機門後，方能使用該機門，使其也無法按照既定的班機時間表運行，進而產生延誤擴散。

綜合以上三項因素，可以得知航機延誤擴散的種類，包括班機間關連性延誤（或稱為班表系統性延誤），以及班機間推擠性延誤（或稱為機場技術性延誤）。不過，相較於研究延誤擴散的種類與成因，航空公司與航管單位更甚於得知延誤擴散的程度，也就是後續航班的運作情形。航管單位可以依據延誤的概況，事先安排航機離到場次序與機門設備的使用，使空域與空邊的運作更加流暢；航空公司可妥善地調度機隊與機組人員，甚至對於旅客的詢問與抱怨，也能較有明確的交代。因此，如何能得知後續航班延誤時間，是比較關心的課題。

本小節藉由上一章所構建好之模式，進行統計與推測航機延誤時間。由上一節的結果可以得知，在下午的尖峰時段內改變起降方向，且持續時間半小時的情境下，航機延誤擴散的情形會在一個半小時左右後收斂。因此，此處所欲討論的時段，乃為針對起降方向初次改變後的二個半小時內，討論航機延誤出發的情形（假設多數航機到站後一個小時內會有接續任務）。簡而言之，也就是以預計在起降方向改變當時出發之航機為第一個時間點之樣本，此後對表定每五分鐘離場之航班作一次延誤時間統計，一直持續到起降方向改變後的兩個半小時為止。

另外，在模擬樣本的選取方面，為了避免因為少數起降需求較少的時段，而影響整體現象的平均結果，在參考飛航時刻表後，本研究只選取早上 7 時至晚上 7 時這段時間進行每個小時的情境模擬，不考慮清晨及夜晚起降需求比較小的時段。

模擬的方式乃針對早上 7 時至晚上 7 時的 13 個小時整點與各小時 30 分的半點，分別以跑道方向改變 20 分鐘、30 分鐘、45 分鐘、60 分鐘與 75 分鐘等五個情境，計算後續起飛航機平均延誤時間。若以起降方向改變 20 分鐘為例，樣本取得的方式如下：

1. 假設上午 7 時起降方向由 10 轉變為 28，並於 7:20 恢復，統計預計在 7:00、7:05、7:10、.....、9:00 時出發之航機的延誤時間
2. 假設上午 7 時 30 分起降方向由 10 轉變為 28，並於 7:50 恢復，統計預計在 7:30、7:35、7:40、.....、9:30 時出發之航機的延誤時間
3. 假設上午 8 時起降方向由 10 轉變為 28，並於 8:20 恢復，統計預計在 8:00、8:05、8:10、.....、10:00 時出發之航機的延誤時間

4. 持續上述之動作，直到假設晚上 7 時起降方向由 10 轉變為 28，並於 19:20 恢復，統計預計在 19:00、19:05、19:10、.....、21:00 時出發之航機的延誤時間，將可得到 25 組情境
5. 將情境 1 中預定於 7:00、情境 2 中預定於 7:30、情境 3 中預定於 8:00、..... 與情境 25 中預定於 19:00 出發之航機的延誤時間作平均，乃可得到起降方向改變後，預計於第一個時點（也就是該起降方向改變時間點）起飛之航機的平均延誤時間。
6. 重複上述之動作，以每 5 分鐘為一個單位，將可得到原定在起降方向改變之該時點至起降方向改變後的兩個小時內，航機出發時間平均延誤的情形。

計算各時點平均延誤時間的樣本數如表 5-2 所示。

表 5-2 計算各時點平均延誤時間的樣本數

時點	樣本數	時點	樣本數	時點	樣本數
該轉換點	32	5 分鐘後	16	10 分鐘後	28
15 分鐘後	22	20 分鐘後	26	25 分鐘後	15
30 分鐘後	32	35 分鐘後	17	40 分鐘後	27
45 分鐘後	21	50 分鐘後	25	55 分鐘後	15
60 分鐘後	32	65 分鐘後	16	70 分鐘後	28
75 分鐘後	22	80 分鐘後	24	85 分鐘後	15
90 分鐘後	30	95 分鐘後	16	100 分鐘後	27
105 分鐘後	22	110 分鐘後	28	115 分鐘後	15
120 分鐘後	32	125 分鐘後	18	130 分鐘後	18

由表 5-2 可得知，用來計算各時點平均延誤時間的有效樣本數均介於 15-32 架次之間，雖然有些時間點的樣本次數偏低（15-18 架次），不過也代表預定在該時間點出發的班次本來就不多，因此此樣本數仍在可接受的範圍之內。

此處需要稍加說明本研究計算航班延誤時間的方式。因為時刻表上之預定出發時間，乃為航機關閉機門，準備後推之時間，而非航機在跑道頭起飛之時間，因此會有時間計算上的差距。除此之外，因為離場航機即使準時後推出機門，為了等待之前系統未處理完之班次，或遭遇起降方向再次改變的過渡時期，有可能需要在滑行道上或離場等候區內，等待進場航機降落或在其之前起飛的班機，也會造成後續運作的延誤，但若只以後推時間點來看的話，並沒有辦法發現這個現

象。因此，航機實際在跑道頭起飛的時間也要考量進來。

綜合以上的討論，本研究計算個別離場航班延誤時間的公式如下：

$$(\text{實際起飛時間}-\text{實際後推時間}-\text{離場地面時間})+(\text{實際後推時間}-\text{表定後推時間}) \quad (5.1)$$

(5.1)式中之離場地面時間，乃設定為第四章模式校估時所求得之離場地面時間模擬值，也就是西部離場等候區之航機設定為 11 分鐘，東部離場等候區之航機設定為 10 分鐘。離場地面時間已將正常情況下航機可能面臨之離場等候延滯考量在內，因此延誤時間只計算額外所需之離場等候時間部份。

根據以上之計算標準與所得樣本，各時點平均延誤時間的分佈如圖 5-3 所示。

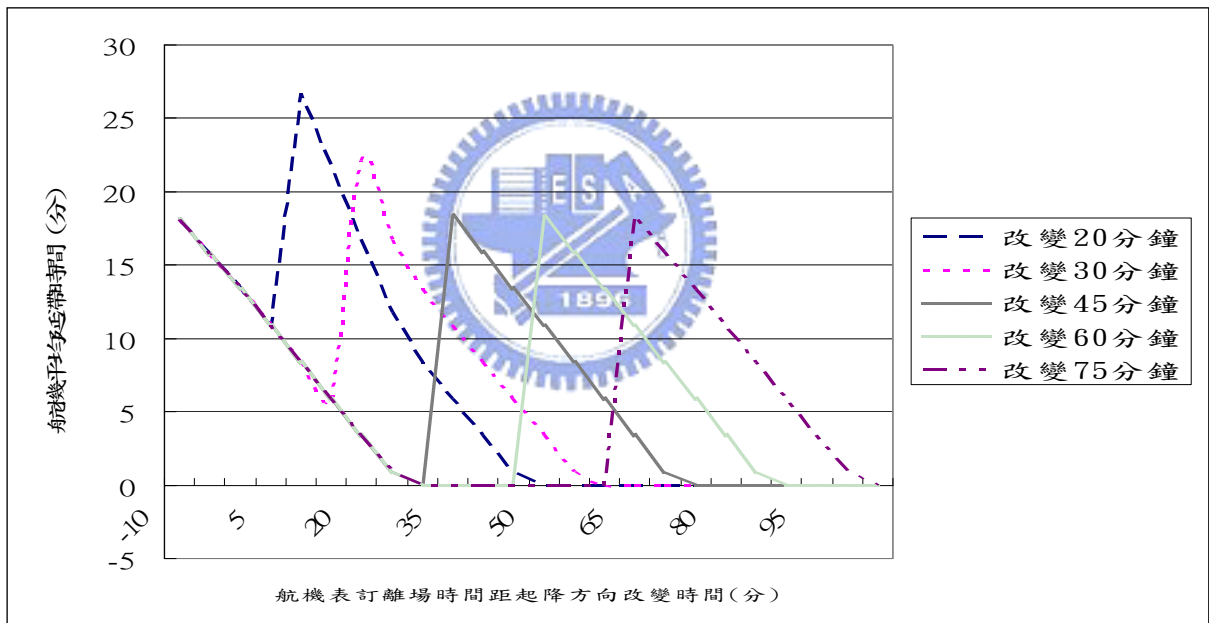


圖 5-3 各時點平均延誤時間的分佈圖

由圖 5-3 可以得知，在最初起降方向改變的時候，因為離場航機必須等待反方向進場航機落地的需要，首架離場航機延誤時間為 18.07 分鐘，之後才因為離場航機可以依序起飛，且跑道容量大於表定的起降航機數，而漸漸地消化後續離場航機的延誤時間。以改變 20 分鐘為例，大約在起降方向改變後 45 分鐘左右，航機出發延誤時間已剩 0.86 分鐘，且若不再有意外事件發生，航機就不再延誤。延誤情況最嚴重的航班是在改變 20 分鐘的情境下，預計在第一次起降方向改變 10 分鐘後出發的航班，延誤高達有 26.7 分鐘之久，推測其原因，是因為第一次

起降方向改變，使得後續離場航機遭受延誤，然而當該班機即將出發時，又受到起降方向第二次改變，使得其必須在等待反方向落地之飛機落地後才可以起飛，造成其延誤的情形最為嚴重。

5.3 減少航機延誤擴散之策略與應用性探討

航機發生延誤擴散的原因，主要可分為班機間關聯性延誤與班機間推擠性延誤兩種。相關文獻對於減少此類延誤之策略甚多。不過，有些並不適合在起降方向改變的情境下使用。以減少班機間關聯性延誤的策略來說，因為延誤最嚴重的情況也只延誤 27 分鐘，且之後的營運狀態又逐漸趨於穩定，因此並不特別需要加以改變航班的運作方式，如重新訂定緩衝時間、重新安排機隊運用或取消及合併班次等。延誤的情況多在回程航班時就已經獲得改善，即使還有延誤也不明顯。況且，不論是訂定航班間的緩衝時間，或者動態調整航班，都與航空公司本身的機隊運用、機組人員的工作負荷與航空公司的營運政策有關，有些決策更會牽扯到航空公司的成本與收益面向，與對顧客服務的誠信問題，這些因素並不容易以模擬的方式予以量化評估。另外，有些策略必須要配合助導航設施的改善，或先進航管計畫系統的引進，在現階段面臨延誤擴散問題時，也無法立即實施，以達到減少延誤擴散的目的。

多數航機同時落地的結果，也造成了少數航班面臨沒有停機坪使用的情況。但同樣地，這也是屬於短暫的現象，機場管理單位無法因應此種臨時性的飛航意外事件，而刻意加大航班間使用機門的緩衝時間。因此，在起降方向改變下，為了減少航機延誤的擴散，目前可行的策略可著重在航管技術方面。本研究目前進場航機之間的隔離依據 ATP 設定為 3 海浬，而 3 海浬正是離場航機停止起飛，等待進場航機落地的標準，因而造成進場航機連續落地，而離場航機無法起飛，以致花了許多時間等待在離場等候區的情況。如此一來，不但影響了跑道使用的效率，更使得離場航機的延誤情況更加嚴重。因此，要改善起飛航機延誤情況，勢必將此 3 海浬的隔離標準加以改變。

依據與塔台管制員討論的結果，離場航機在進場航機離進場端跑道頭 5 海浬之內若還沒進跑道，就不可以放行；距離 4 海浬左右還尚未滾行的話，進場航機就必須進入重飛程序。因此，本研究將依據此標準，加大進場航機之間的隔離至 5 海浬的標準，讓離場航機能利用進場航機之間的空餘時間起飛。依據此設定標準，以及足量等待之進場與離場航機，雖然無法設定 SIMMOD 模擬模式的航機起降順序，也能達到李穗玲所提之最適跑道利用原則為 AD 與 DA 之起降模式。

5.4 改變進場航機隔離對改善延誤擴散的效果

本小節將以改變進場航機的隔離標準，以評估改善延誤擴散的效果。模擬方式與各時點之有效樣本數與 5.2 節相同，計算延誤的方式也如 (5.1) 式所示。

5.4.1 進場航機隔離設定為 5 海浬

將進場航機隔離設定由 3 海浬增加為 5 海浬時，各時點平均延誤時間的分佈如圖 5-4 所示。

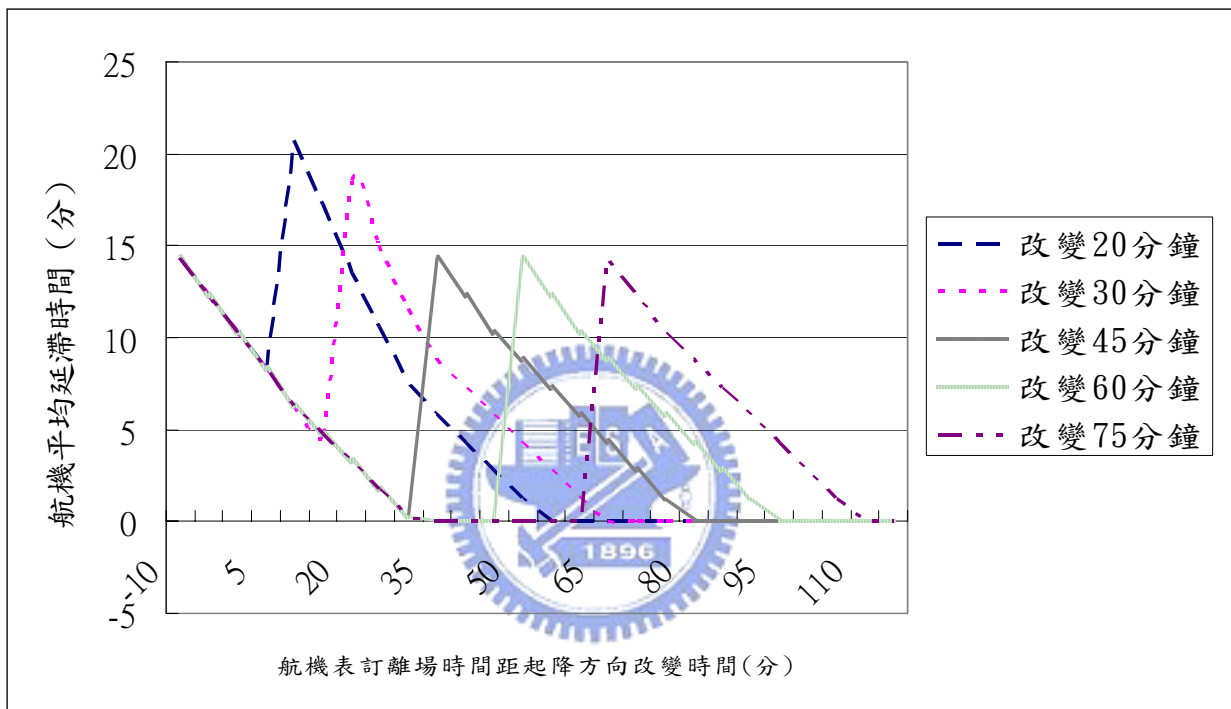


圖 5-4 進場航機隔離標準為 5 海浬時各時點平均延誤時間分佈圖

比較圖 5-3 與圖 5-4 可以發現，在進場航機隔離標準由 3 海浬增加為 5 海浬時，因為離場航機可以緊跟著進場航機起飛，又不會影響到後架進場航機的操作，以致於大大地減少了離場航機的延誤時間。在原來隔離標準為 3 海浬的情況下，首架離場航機延誤時間為 18.07 分鐘，隔離標準增加為 5 海浬後，首架離場航機延誤時間只剩 14.27 分鐘，時間約節省了 21%。延誤情況最嚴重的航機，延誤時間也由 26.7 分鐘降為 20.7 分鐘。因此，加大進場航機間的隔離標準有助於減少出發航班的延誤時間。

不過仔細比較圖 5-3 與圖 5-4 後，還發現一個現象，值得提出討論。在進場航機隔離增加為 5 海浬後，雖然離場航機的延誤程度大幅減少，但是受到延誤影

響的航班，不但與改變隔離之前沒有差別之外，反而更延長了延誤擴散的時間。以起降方向改變 20 分鐘為例，在起降方向改變 45 分鐘後出發的航機，改變隔離前平均延誤時間為 0.86 分鐘，改變隔離後平均延誤時間反而增加到 2.78 分鐘，而在起降方向改變後 50 分鐘出發的航班，在原本是可以準時出發的情形下，改變隔離後卻反而延誤了 1.27 分鐘。換句話說，改變隔離之前，受到風向改變而造成延誤擴散現象持續約一個半小時左右，改變隔離之後，此現象仍然存在，除了沒有因此縮短延誤擴散收斂的時間之外，還增長了其收斂時間。推測其原因，乃因為進場航機加大隔離後，也會因此增加其空中旅行的時間，而造成進場航機的延誤。若該航機在地面沒有額外的緩衝時間，則接下來的離場班次也會跟著延誤，而造成延誤範圍擴大。增加進場航機隔離的原因，在於希望航管單位在起降方向改變作業完成後的一段時間內，當進場航機與離場航機使用跑道的需求都很高時，能夠適時放行離場的航機，而避免離場航機的地面延誤。但是在起降方向改變一段時間，離場航機與進場航機的需求變得較小時，就不需要對進場航機維持 5 海哩的隔離，而能夠適時地將進場航機隔離改為原本 3 海哩的標準，以減少航機在空中的旅行時間。

基於此現象，下一小節以進場航機隔離標準依時段的不同，設定為兩類：在起降方向改變後的 30 分鐘內，進場航機間的隔離設定為 5 海哩，其餘時間進場航機間的隔離仍依據 ATP 之規定設定為 3 海哩，將依此不同的隔離設定再次探究改變隔離對控制延誤擴散的效果。設定 30 分鐘的原因，是根據前一次的模擬結果，發現起降方向改變後的 25-30 分左右，等待離場與進場的航機數目已漸漸地回到了平時的數量，而沒有壅塞的情況出現。

5.4.2 進場航機隔離設定依時段予以不同設定

起降方向改變後的 30 分鐘內，進場航機間的隔離設定為 5 海哩，其餘時間進場航機間的隔離仍設定為 3 海哩時，各時點平均延誤時間的分佈如圖 5-5 所示。

比較圖 5-4 與圖 5-5 可以發現，以起降方向改變 20 分鐘為例，在單一進場航機隔離標準設定下，原本使航機延誤擴散收斂的時間，需要 60 分鐘，在改為依時段設定進場航機隔離標準後，使航機延誤擴散收斂的時間，可以大幅縮短為 50 分鐘左右（在 45 分鐘時平均延誤時間已小於一分鐘）。可見得管制員若能夠依照不同時段的進場與離場航機架次比例，設定不同的進場航機隔離標準，除了可以減少離場航機的平均延誤時間外，也可以有效地縮短航機延誤擴散的收斂時間。

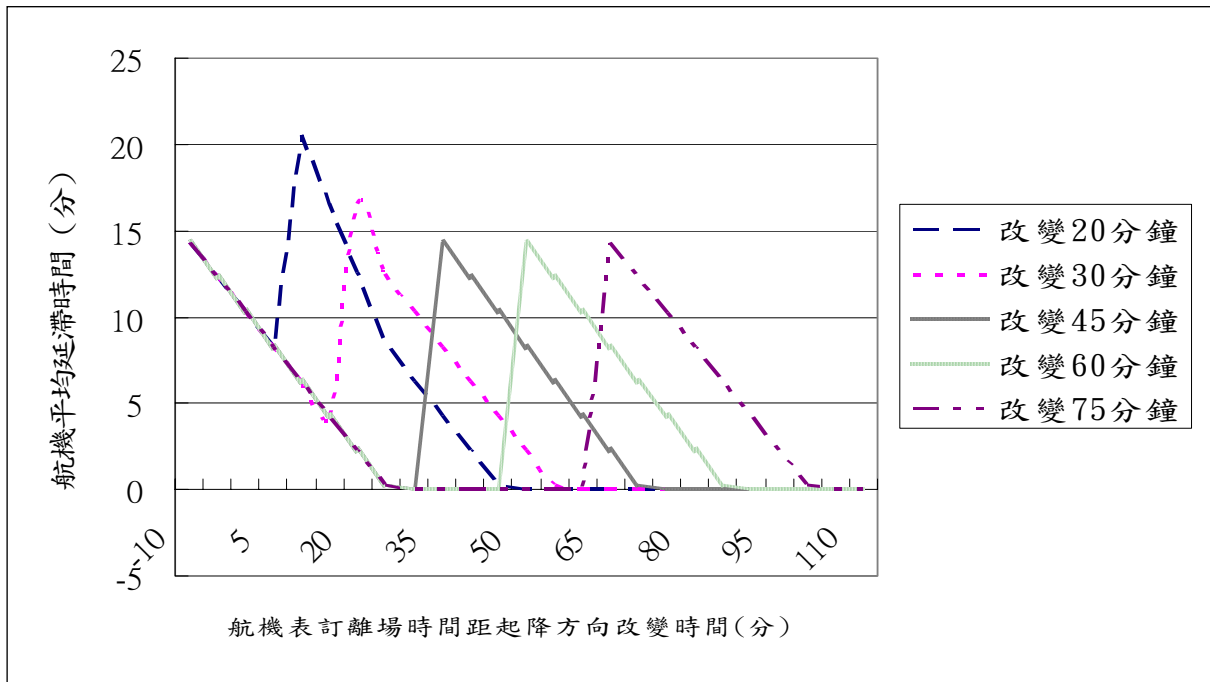


圖 5-5 依時段設定進場航機隔離標準時各時點平均延誤時間分佈圖



第六章 延誤預測模式之推估與驗證

第五章已對起降方向改變時，航機總體的延誤概況，作了詳細的統計與分析，以及提出有效減少延誤的策略。不過，因為所有數值皆為總體航機之平均資料，並不容易看出各架航機實際受到的延誤狀況，以及造成其延誤的主因。因此，本章在所有情境中，選出其中一種情境，分析各次航班延誤的狀況，並說明推估延誤模式之邏輯；之後並依此分別推導起降方向改變與機場關閉下之航機延誤預測模式，並以 SIMMOD 模擬模式之模擬結果加以驗證。

6.1 航機延誤預測模式之推估邏輯

6.1.1 案例分析

本研究在 5.2 節分析延誤統計時，曾提到模擬的時段為早上 7 點至晚上 7 點的 13 個小時整點，以及各小時 30 分的半點，因此共有 25 個模擬時段。在每個時段又分別以起降方向改變 20 分鐘、30 分鐘、45 分鐘、60 分鐘以及 75 分鐘等五種情境，因此可以得到 125 個案例。本小節選出 1700 起降方向改變，改變時間為 45 分鐘，亦即在 1745 起降方向恢復正常的案例，作為本小節分析之案例。

在 1700 起降方向改變，並於 1745 恢復正常的情境下，各次航班延誤時間與累積總班次數（包括累積離場班次數與累積進場班次數）、累積機場容量及與前架到場班次之間的地面作業時間，如圖 6-1 所示。

圖 6-1 之橫向座標為根據第一次起降方向改變後，預計離場航班之表訂離場順序別所構成。縱向座標分別表示地面作業時間與延誤時間（單位為分）、累積班次數與累積機場容量（單位為架次）。在起降方向改變之初，因為累積總班次數大於跑道可以處理的班次數，造成航機的延誤。之後才漸漸地隨著跑道作業量的提升，而使得航機的延誤時間呈現減少的趨勢。一直到起降方向第二次改變時，才又出現大幅度增加的情況。因此，起降方向改變後出發的航機，會因為起降方向改變作業的原因，造成延誤，但會隨著時間的增加，且跑道處理量大於航機需求量，而使得延誤的時間漸漸收斂。因此，延誤時間的擴散與機場容量及航機需求量的差值有關。

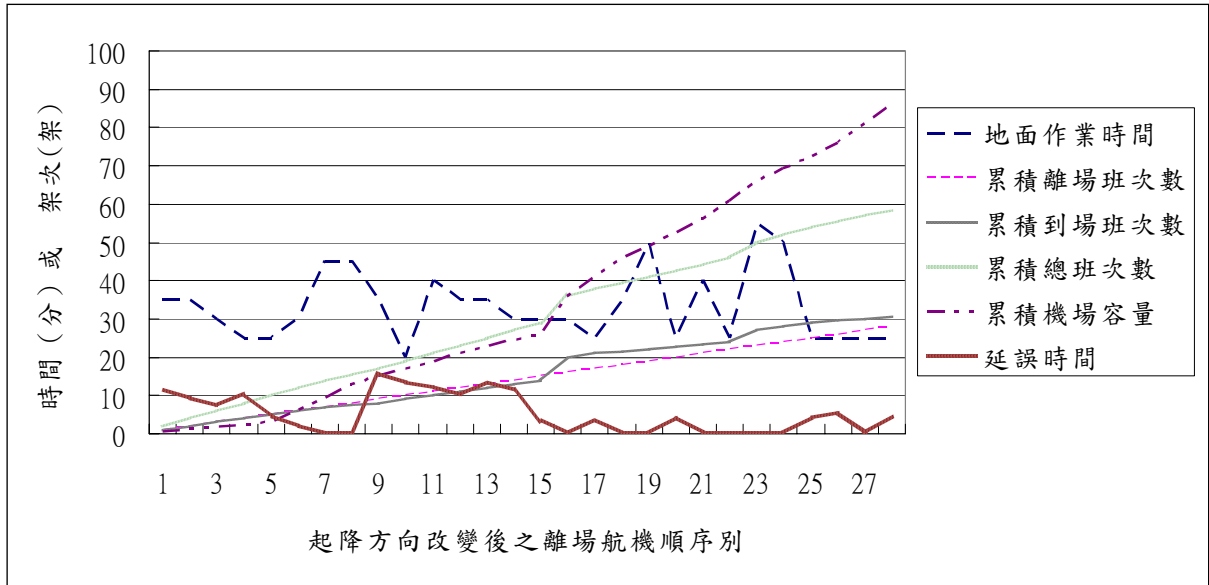


圖 6-1 個別航機延誤時間分佈圖

另外，隨著時間的增加，累積機場容量大於累積總班次數時，航機延誤的情況應該已不存在，但圖 6-1 之第 17 架、第 20 架、第 25 架、第 26 架及第 28 架航班，還有 2-3 分鐘的延誤，且第 4 架與第 13 架航班的延誤時間也有比之前航班還多的情況。參考班機時刻表後，發現這些航班與之前到場航班之間的地面作業時間均較少，使得地面作業時間不足，而造成之後回頭班機的出發延誤。因此，依據這些現象，可以得到延誤時間與機場容量及航機需求量的差值，以及與前架進場航班之間的地面作業時間有關。基於此，下小節將根據此三種因素，以圖示之方式，說明航機延誤模式的推估邏輯。

6.1.2 出發（後推）延誤時間之推估邏輯

相關符號說明如下：

T ：表示起降方向改變或機場關閉之時點（絕對時間）

N ：跑道容量

I ：表示起降方向改變維持的時間或機場關閉的時間長短

t ：表示距起降方向改變時間點或機場關閉時間點的相對時間，如在起降方向改變下預定在起降方向改變後 5 分鐘出發（或抵達）之航機，令其 $t=5$ 。

a_1 ：表示航機自後推至起飛過程中所花的時間，也就是本研究所定義之離場地面時間

a_2 ：表示航機自跑道落地後至滑行到機門為止所花的時間，為進場地地面時間

D_K ：表示在K時間點的離場航機流量

A_K ：表示在K時間點的進場航機流量

航機出發（後推）延誤時間之長短，如圖 6-2 所示。

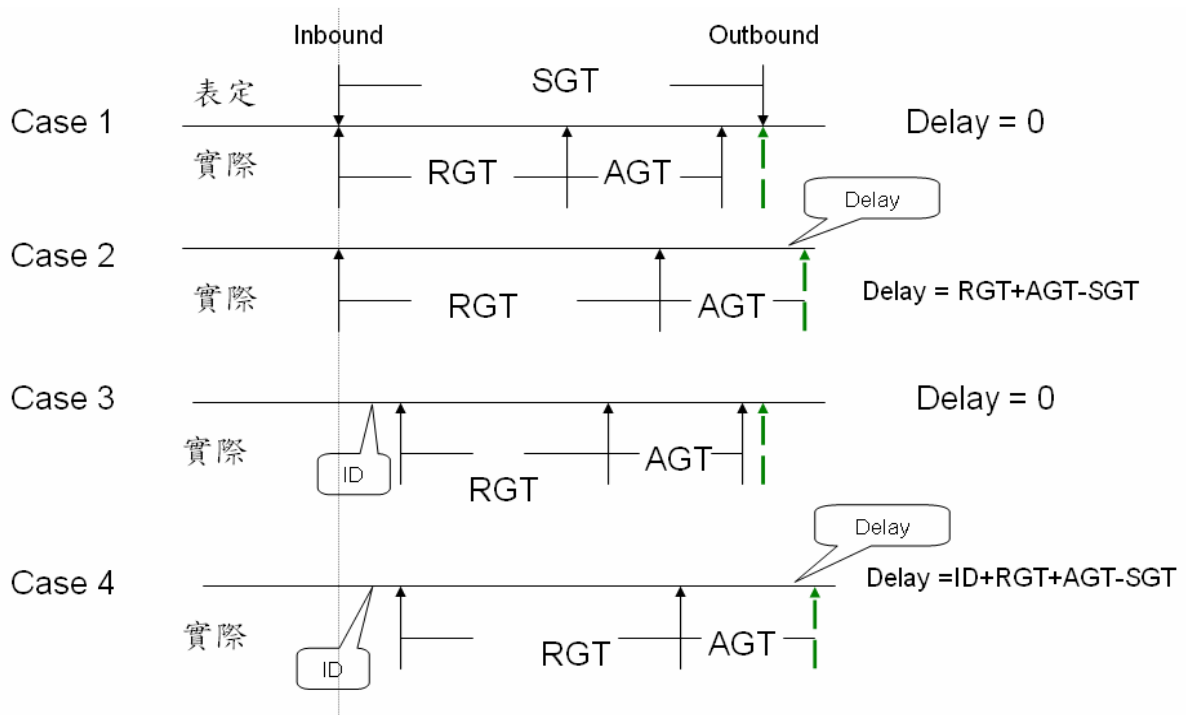


圖 6-2 後推延誤時間示意圖

圖 6-2 表示離場航機出發的準時與否，主要與四項因素有關：是否有進場延誤 (ID)、航機實際地面作業所需時間 (RGT)、因未意料之偶發事件所產生之額外等待時間 (AGT) 以及表訂地面作業時間 (SGT)。若航機沒有進場延誤，且表訂地面作業時間大於實際地面作業時間與額外等待時間之總合 (case1)，則離場航機沒有延誤。若航機沒有進場延誤，但表訂地面作業時間小於實際地面作業時間與額外等待時間之總合，兩者的差異就是離場航機的出發延誤時間 (case2)。航機若有進場延誤，但表訂地面作業時間足夠，則離場航機不會有延誤 (case3)。相反地，若航機有進場延誤，表訂地面時間又不足彌補其進場延誤，則離場航機後推時也會有延誤 (case4)。RGT 表示航機實際地面作業時間，實務上為旅客流 (passenger flow) 與貨物流 (cargo flow) 處理時間中之最大值，在 SIMMOD 模擬模式中則以航機在停機坪內上下客貨的時間機率分配表示，不同機型有不同的機率分配。SGT 表示航機表訂地面作業時間，其數值可由航班時刻表與航機運用班表中求得。AGT 則表示因為發生未意料之偶發事件所產生的額外等待時間，如班機故障必須等待班機修復，或航管單位實施流量管制，航機必須停留在地面等候等，在一般正常情況下可將其視為 0。

6.1.3 離（進）場等候延誤—首架離、進場航班延誤時間之推估邏輯

(1) 起降方向改變下，首架離、進場航機延誤時間推估邏輯

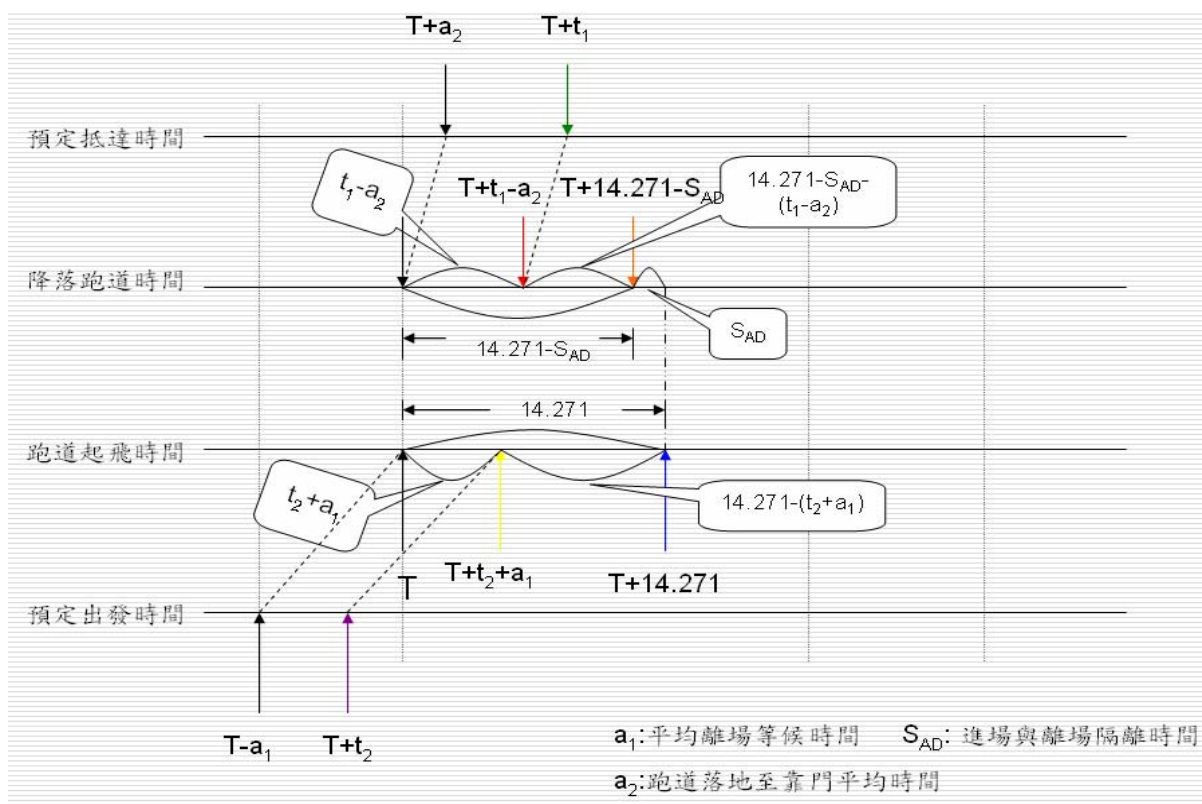


圖 6-3 起降方向改變下首架使用新起降方向離、進場航機延誤時間示意圖

圖 6-3 中，依據延誤統計的結果，在 $T - a_1$ 時點離場航機的平均離場等候延誤時間為 14.271 分鐘。不過，若首架離場航機是距 T 時點 t_2 分鐘才出發（ $t_2 > 0$ 若 t_2 在 T 之後； $t_2 < 0$ 若 t_2 在 T 之前），那原本預計使用跑道的時間是 $T + t_2 + a_1$ 分，其離場等候延誤就會減少至 $14.271 - (t_2 + a_1)$ 分鐘。在進場航機部份，若管制員採取 ADAD 之方式使用跑道，則首架進場航機延誤時間是 $14.271 - S_{AD}$ （ S_{AD} 表示進場航機與離場航機之間的平均隔離時間）。同樣地，若首架進場航機是距 T 時點 t_1 分鐘才抵達，那首架進場班機的延誤就會減少至 $14.271 - S_{AD} - (t_1 - a_2)$ 分鐘。

不過，若航機預定使用跑道的時間，是在第二次起降方向改變之後，也就是航機回到原來起降方向，則其首架使用原起降方向的航機延誤時間如圖 6-4 所示。

圖 6-4 中，在起降方向改變 I 分鐘的情況下，首架使用原起降方向起飛的離場航機，會等待到系統再次過渡作業完成後才起飛，因此其延誤時間為 $(I + 14.271) - (t_2 + a_1)$ 分鐘。同樣地，首架使用原起降方向落地的進場航機，其延誤時間為

$(I + 14.271 - S_{AD}) - (t_1 - a_2)$ 分鐘。

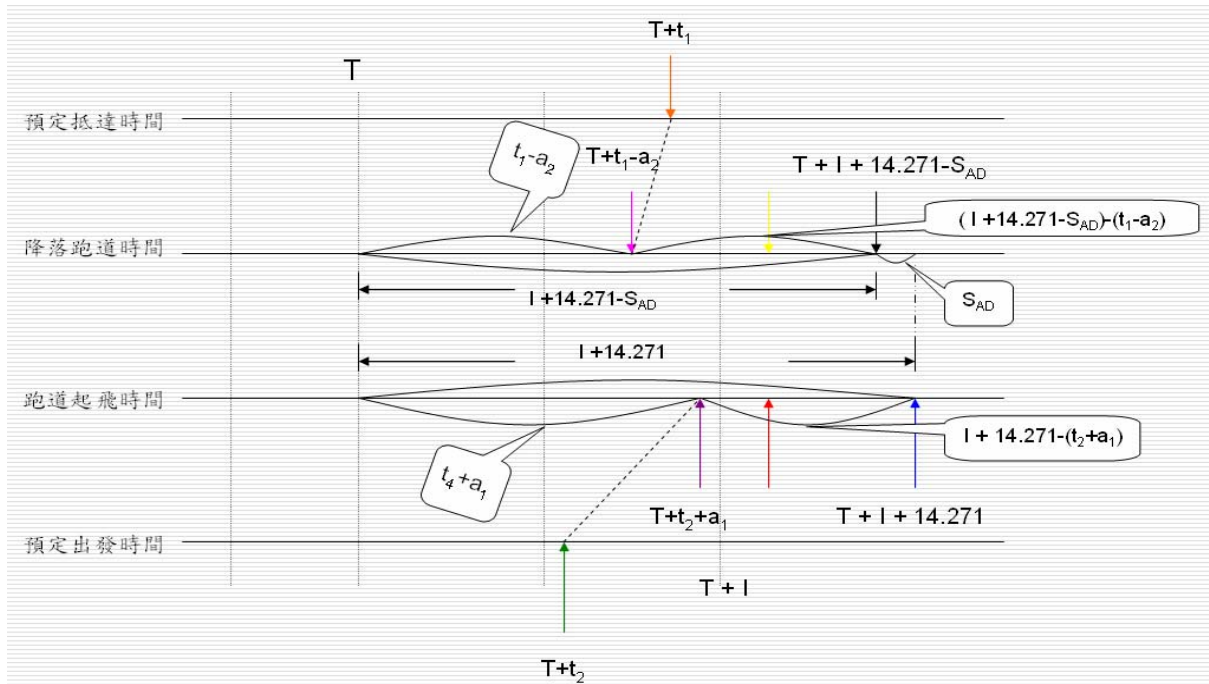


圖 6-4 調回原起降方向後首架離、進場航機延誤時間示意圖

(2) 機場關閉情境下，首架離、進場航機延誤時間推估邏輯

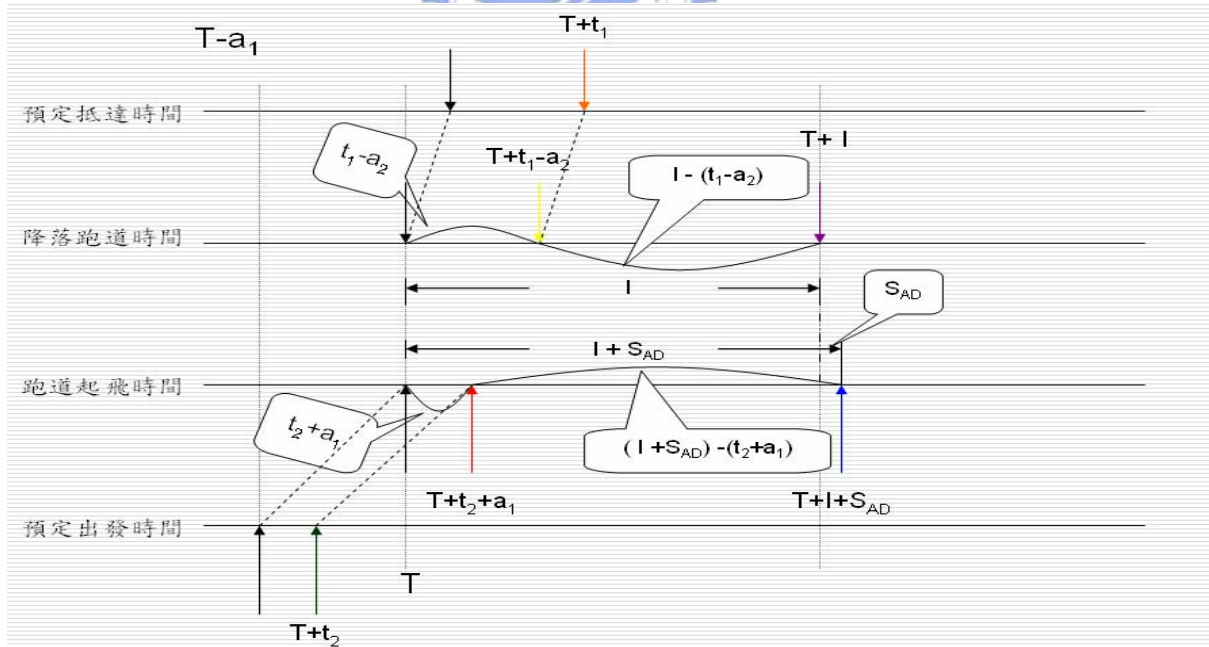


圖 6-5 機場關閉情境下首架離、進場航機延誤時間示意圖

圖 6-5 中，在機場關閉 I 分鐘的情況下，首架受影響的進場航機會延遲至 $T+I$ 時點落地，而其原本落地的時間為 $T+t_1-a_2$ 分，因此其延誤時間為 $I-(t_1-a_2)$ 分鐘。同理，首架受影響的離場航機會延遲至 $T+I+S_{AD}$ 時點起飛，而其原本起飛

的時間為 $T + t_2 + a_1$ 分鐘，因此其延誤時間為 $(I + S_{AD}) - (t_2 + a_1)$ 分鐘。

6.1.4 離（進）場等候延誤—後續離、進場航班延誤時間之推估邏輯

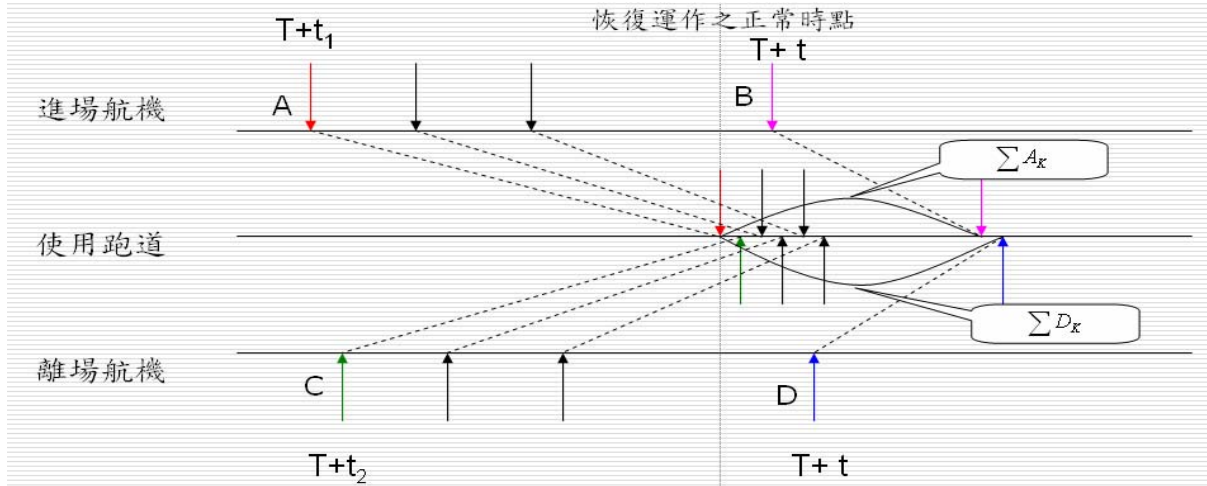


圖 6-6 後續離、進場航機延誤收斂時間示意圖

圖 6-6 中，對後續進場航機B 來說，其與首架進場航機A之間，原本有 $t - t_1$ 分鐘的時間差，但是系統僅需 $\frac{60}{N}(\sum D_k + \sum A_k)$ 的時間就可以處理完之前所累積的航機量（ $\frac{60}{N}$ 為系統處理一架航機平均所需要的時間），故對航機B來說，相較於航機A之延誤而言，其可減少之延誤時間為 $(t - t_1) - \frac{60}{N}(\sum D_k + \sum A_k)$ 分鐘。同樣的邏輯也適用在後續離場航機部份。

6.2 航機延誤預測模式之推估

6.2.1 起降方向改變下之航機延誤模式

本小節分成兩部份，分別推估進場航機與離場航機在起降方向改變下之航機延誤模式。文中所有之出發時間與抵達時間，均為班機時刻表上所列之時間。

(1) 起降方向改變下進場航機延誤

進場航機準時與否，與該班機在起飛機場出發時是否有起飛延誤、排定的巡航時間中是否加入緩衝時間，以及進場時是否受到航管限制有關。假設航機在原起飛機場並無起飛延誤，且實際巡航時間等於班表巡航時間的情況下，航機之預

定抵達時間 (ETA) 會等於班表抵達時間。

ETA減去 a_2 的意義，表示該進場班機預計使用跑道落地的時間。若該時間在機場跑道方向第一次改變之前，表示該班機能夠使用原跑道方向落地，不會產生延誤。但是若ETA減去 a_2 的時間，在機場跑道方向第一次改變之後，則因為系統過渡運作的需要，會有以下的延誤：

$$\max\left\{0, [(14.271 - S_{AD}) - (t_1 - a_2)] - \left[(t - t_1) - \frac{60}{N} (\sum D_K + \sum A_K) \right] \right\} \dots\dots\dots (6.1)$$

其中， t_1 表示首架使用新起降方向落地航機的ETA距起降方向改變時間的時間差； $\sum A_K$ 累積的範圍從首架使用新起降方向落地的航機開始，至該班機（不含）為止； $\sum D_K$ 累積的範圍從首架使用新起降方向起飛的航機開始，至該班機ETA前 a_1+a_2 分鐘為止之航機。

(6.1) 式的第一項表示首架進場航機的延誤時間，第二項表示系統處理至該班機時所節省的延誤時間，因此第一項減去第二項就代表該班機所延誤的時間。

利用 (6.1) 式計算航機延誤的時間後，加上ETA，就可以得知航機因起降方向改變，實際延後抵達的時間。不過，若此時間減去 a_2 ，落在機場起降方向第二次改變之後，也就是航機會再次更改回原起降方向起降，則航機會有下式之延誤：

$$\max\left\{0, [(I + 14.271 - S_{AD}) - (t_1 - a_2)] - \left[(t - t_1) - \frac{60}{N} (\sum D_K + \sum A_K) \right] \right\} \dots\dots\dots (6.2)$$

其中， I 表示起降方向改變持續的時間； t_1 表示首架再次使用原起降方向落地航機的ETA距起降方向第一次改變時間的時間差； $\sum A_K$ 累積的範圍從首架再次使用原起降方向落地的航機開始，至該班機（不含）為止； $\sum D_K$ 累積的範圍從首架再次使用新起降方向起飛的航機開始，至該班機ETA前 a_1+a_2 分鐘為止之航機。

因此，對進場航機之延誤可整理如下：在航機無起飛延誤，且實際巡航時間等於表訂巡航時間的條件下，使用新起降方向落地航機的進場延誤為 (6.1) 式；

再次使用原起降方向落地航機的進場延誤為 (6.2) 式。

(2) 起降方向改變下離場航機延誤

離場航機出發時的延誤如下所示：

$$\max\{0, ID + RGT + AGT - SGT\} \dots\dots\dots (6.3)$$

其中，ID 表示該班機前架進場班次的進場延誤，其數值可由 (6.1) 式或 (6.2) 式中求得，RGT 表示航機實際地面作業時間，SGT 表示航機表訂地面作業時間，AGT 表示因發生未意料之偶發事件所產生之額外等待時間。

離場航機求得出發延誤後，加上其表訂出發時間，即可得到預計出發的時間 (ETD)。ETD 加上 a_1 ，表示此離場航班預計使用跑道的時間。若其使用跑道的時間在第一次起降方向改變前，且在沒有額外離場等候的情況下，其總延誤時間就如 (6.3) 式所示。不過，若其使用跑道的時間在第一次起降方向改變後，則因為系統過渡運作的關係，會有以下的離場等候延誤：

$$\max\left\{0, [14.271 - (t_2 + a_1)] - \left[(t - t_2) - \frac{60}{N} (\sum D_k + \sum A_k) \right] \right\} \dots\dots\dots (6.4)$$

其中， t_2 表示首架使用新起降方向起飛航機的 ETD 距起降方向改變時間的時間差； $\sum A_k$ 累積的範圍從首架使用新起降方向落地的航機開始，至擬進行延誤預測航班（預定於 $T + t$ 時點出發）後 $a_1 + a_2$ 分鐘內之航機； $\sum D_k$ 累積的範圍從首架使用新起降方向起飛的航機開始，至該班機（不含）為止。

(6.4) 式表示使用新起降方向起飛的航機，因為系統過渡運作關係而會額外造成的離場等候時間。若離場航機之 ETD 加上 a_1 再加上此延誤時間，落在第二次起降方向改變之前，則 (6.3) 式與 (6.4) 式之總合可代表其離場航機總共延誤的時間。不過，若離場航機之 ETD 加上 a_1 再加上此延誤時間，落在第二次起降方向改變之後，表示其會回到原來起降方向起飛，此時航機因過渡運作而產生的離場等候時間如下：

$$\max\left\{0, [(I + 14.271) - (t_2 + a_1)] - \left[(t - t_2) - \frac{60}{N} (\sum D_k + \sum A_k) \right] \right\} \dots\dots\dots (6.5)$$

其中， I 表示起降方向改變持續的時間； t_2 表示首架再次使用原跑道方向起飛航機的ETD距起降方向第一次改變時間的時間差； $\sum A_k$ 累積的範圍從首架再次使用原跑道方向落地的航機開始，至擬進行延誤預測航班（預定於 $T+t$ 時點出發）後 a_1+a_2 分鐘內之航機； $\sum D_k$ 累積的範圍從首架再次使用原起降方向起飛的航機開始，至該班機（不含）為止。

因此，對離場航機之總延誤整理如下：預定使用新起降方向起飛的航機，其總延誤時間為（6.3）式與（6.4）式之和；預定再次使用原起降方向起飛的航機，其總延誤時間為（6.3）式與（6.5）式之和。

6.2.2 機場關閉情境下之航機延誤模式

本小節也分成兩部份，分別推估進場航機與離場航機在機場關閉情境下之航機延誤模式。文中所有之出發時間與抵達時間，均為班機時刻表上所列之時間。

當機場的天氣狀況低於規定之起降標準時，機場必須關閉，航機停止起降。在此情況下，勢必也會造成航機的延誤擴散。在機場關閉的情形下，本研究假定航機皆以原定排程運作，也就是進場航機不會發生在原起飛機場之地面留置、轉降與取消班次等情形發生，離場航機也不會有交換飛行任務與使用備用航機飛行等現象。

（1）機場關閉情境下進場航機延誤

假設航機在原起飛機場並無起飛延誤，且實際巡航時間等於班表巡航時間的情況下，航機之預定抵達時間（ETA）會等於班表抵達時間。若ETA減去 a_2 的時間，在機場關閉時間之前，表示該班機能夠落地，不會產生延誤。但是若ETA減去 a_2 的時間，在機場關閉時間之後，表示該班機必須等到機場重新開放後，才能夠落地。

進場航機因機場關閉而產生之延誤可表示為：

$$\max\left\{0, [I - (t_1 - a_2)] - \left[(t - t_1) - \frac{60}{N}(\sum D_k + \sum A_k)\right]\right\} \dots\dots\dots (6.6)$$

其中， I 表示機場關閉持續的時間； t_1 為機場開放後首架進場航機ETA距機

場關閉時間的時間差； $\sum A_k$ 累積的範圍從機場開放後首架落地的航機開始，至該班機（不含）為止； $\sum D_k$ 累積的範圍從機場開放後首架起飛的航機開始，至該班機ETA前 a_1+a_2 分鐘為止之航機。

(2) 機場關閉情境下離場航機延誤

離場航機出發時的延誤如(6.3)式所示。航機之ETD加上出發延誤時間，等於實際出發的時間。若實際出發時間加上 a_1 的時間，在機場關閉時間之前，表示該班機能夠在機場關閉前起飛，其總延誤時間則為後推時之延誤時間。但是若實際出發時間加上 a_1 的時間，在機場關閉時間之後，表示該班機必須等待機場重新開放後，才能夠起飛。

離場航機因機場關閉而產生之延誤可表示為：

$$\max\left\{0, [(I + S_{AD}) - (t_2 + a_1)] - \left[(t - t_2) - \frac{60}{N} (\sum D_k + \sum A_k) \right] \right\} \dots\dots\dots (6.7)$$

其中， t_2 為機場開放後首架起飛班機ETD距機場關閉時間的時間差； $\sum A_k$ 累積的範圍從機場開放後首架落地的航機開始，至擬進行延誤預測航班（預定於T+t時點出發）後 a_1+a_2 分鐘內之航機； $\sum D_k$ 累積的範圍從機場開放後首架起飛的航機開始，至該班機（不含）為止。

機場關閉情境下離場航機之總延誤為(6.3)式與(6.7)式之和。

推估完航機之延誤模式後，下一節以五個案例分析，分別增加航機流量與以不同的起降方向改變持續時間或機場關閉持續時間，比較以航機延誤模式所計算之航機延誤時間，與已驗證完成的 SIMMOD 模擬模式所輸出的延誤時間，探討航機延誤模式之適用性。

6.3 航機延誤預測模式之驗證

本節以松山機場為模式驗證之情境，故相關數值之設定說明如下：

- (1) $\frac{60}{N}$ ，乃參考李穗玲[36]所調查之松山機場最佳跑道使用模式AD（1.48分鐘）與DA（1.08分鐘）起降組合之平均隔離時間，故設定為1.28分鐘。另外，進場航機延誤式中之 S_{AD} ，也因此設定為1.48分鐘。

- (2) 依據實際調查的平均數據，航機自後推至起飛中間所需時間的平均值約為 11 分鐘，故 a_1 設定為 11；航機自跑道落地後滑行至停機坪所需時間平均約為 4 分鐘，故 a_2 設定為 4。也因為如此，各情境中之進場航機，只列出預定在改變時點 4 分鐘後抵達的部份（表示之前的航機均會在改變之前正常抵達），而各情境中之離場航機，只列出預定在改變時點前 11 分鐘後出發的部份（表示之前出發的航機均會在改變之前正常起飛離場）。
- (3) 關於航機地面實際作業時間分配方面，本研究依實際調查結果，僅依機型之不同概分為兩類：B757 / MD82 / MD83 / MD90 / A321 / A320 / F50 等機型之地面作業時間平均設定為 28 分鐘；DHC8-200 / DHC8-300 / ATR72 / F50 等機型之地面作業時間平均設定為 24 分鐘。

另外，在驗證航機延誤模式之前，先簡單介紹 SIMMOD 模擬模式改變班表流量的功能。SIMMOD 提供複製航班（CLONING）的功能，能夠在特定的航線上，依據使用者事先所輸入的離到場航班型態，增加或減少使用該航線的航班數目。航班複製是機場管理當局在航班規劃時期，以航班增減量預測航機延誤程度相當好的工具。航班複製功能可設定在任意航線或任意時段發生，例如可在早晨的尖峰時段設定某條航路增加 20% 的航班數，另一條航路減少 10% 的航班數，以分析航機運作與延誤的情況。此功能可複製高達 500% 的航機數目，以供使用者逐步增加系統內的航機數，藉由航機延誤的情況，來推估機場容量。

6.3.1 航機流量增加 20%，起降方向改變時間 30 分鐘

情境一：將現時松山機場的進場與離場航機流量各增加 20%，並假設 14:00 起降方向由 10 轉為 28，並於 14:30 回復為正常運作。

松山機場在 14:04 至 15:15 時段內，增加流量後之進場航機班機時刻表，以航機延誤模式計算之航機延誤時間與以 SIMMOD 模擬模式計算之延誤時間比較，如表 6-1 所示。另外，松山機場在 13:49 至 15:15 時段內，增加流量後之離場航機班機時刻表、以 (6.3) 式計算之預計後推時間，以及以航機延誤模式計算之航機延誤時間與以 SIMMOD 模擬模式計算之延誤時間比較，如表 6-2 所示。

表訂地面作業時間，乃為該架班機在松山機場表訂之抵達時間與表訂離場時間之差。真實航班的地面作業時間可由班機時刻表得到，虛擬航班則必須先在 SIMMOD 中輸入航機地面作業時間的範圍，然後 SIMMOD 會考量機型的不同，

以及班表的狀況，安插虛擬之進場航班與離場航班在班機時刻表中。之後只要依航班序號，找出對應之 arrival→departure，就能夠找出虛擬航班在松山機場的表訂地面作業時間。

表 6-1 情境一之進場班機比較表

進場班次別	預定抵達時間 ETA	累積流量		模式計算 延誤時間	SIMMOD 延誤時間
		進場	離場		
AR001	1405	0	1	13.071	12.569
AR002	1410	1	2	10.631	10.472
AR003	1415	2	4	9.471	9.508
AR004	1420	3	4	5.751	5.894
AR005	1420	4	4	7.031	7.512
AR006	1425	5	6	5.871	5.526
AR007	1430	6	7	3.431	3.171
AR008	1435	0	2	14.351	14.062
AR009	1445	1	4	8.191	7.856
AR010	1445	2	4	9.471	9.428
AR011	1445	3	4	10.751	10.965
AR012	1450	4	4	7.031	7.308
AR013	1455	5	5	4.591	4.375
AR014	1500	6	5	0.871	1.258
AR015	1505	7	7	0	0
AR016	1505	8	7	0.991	0.604
AR017	1510	9	11	2.391	1.708
AR018	1515	10	11	0	0

表 6-2 情境一之離場班機比較表

離場班次別	表訂離場時間	調整離場時間	累積流量		模式計算 延誤時間	SIMMOD 延誤時間
			進場	離場		
DE001	1350	1350	1	0	14.551	14.537
DE002	1355	1355	2	1	12.111	12.124
DE003	1400	1400	3	2	9.671	9.526
DE004	1400	1400	3	3	10.951	12.273
DE005	1408	1408	5	4	6.791	6.748
DE006	1410	1410	6	5	7.351	7.361
DE007	1415	1415	0	0	18.271	18.268
DE008	1420	1420	1	1	15.831	15.607

DE009	1425	1425	1	2	12.111	12.195
DE010	1430	1430	4	3	12.231	11.862
DE011	1435	1446	7	5	13.631	13.517
DE012	1440	1440	6	4	6.571	6.343
DE013	1440	1451	9	7	13.751	13.608
DE014	1442	1453	9	8	13.031	13.267
DE015	1445	1449	7	6	4.911	4.953
DE016	1450	1455	10	10	8.871	8.615
DE017	1450	1454	9	9	6.311	6.218
DE018	1455	1502	11	11	7	7.026
DE019	1500	1518	13	12	18	17.816
DE020	1505	1519	13	13	14	14.038
DE021	1510	1524	14	16	14	14.057
DE022	1515	1522	14	15	7	6.891
DE023	1515	1521	14	14	6	6.194

註：調整離場時間 = 表訂離場時間 + (ID + RGT+AGT-SGT)

由表 6-2 可以看出，延誤預測模式與 SIMMOD 模擬模式所預測航機之延誤時間，差異最大的是編號 DE004 的航班，兩者差異為 1.323 分鐘。探究其原因，乃因為在該時點預計有兩架航機出發，但因為航管隔離的要求，並無法使兩架航機同時出發。本研究使用之隔離值 ($\frac{60}{N}$) 為在 ADAD 起降模式下之平均隔離值，兩架連續離場航機之實際隔離值較平均值大，故其有較明顯之差異。由此看來，若機場管理單位在安排航班時刻表時，能錯開其時間，即能改善航機之技術性延誤。

整體來看，延誤預測模式與 SIMMOD 模式所預測離場航機延誤時間之誤差平均僅為 0.172 分鐘，顯示延誤預測模式能有效地預測多數航機的延誤時間。

6.3.2 航機流量增加 40%，起降方向改變時間 40 分鐘

情境二：將現時松山機場的進場與離場航機流量各增加 40%，並假設 16:00 起降方向由 10 轉為 28，並於 16:40 回復為正常運作。

松山機場在 16:04 至 17:15 時段內，增加流量後之進場航機班機時刻表，以航機延誤模式計算之航機延誤時間與以 SIMMOD 模擬模式計算之延誤時間比較，如表 6-3 所示。另外，松山機場在 15:49 至 17:15 時段內，增加流量後之離

場航機班機時刻表、以 (6.3) 式計算之預計後推時間，以及以航機延誤模式計算之航機延誤時間與以 SIMMOD 模擬模式計算之延誤時間比較，如表 6-4 所示。

表 6-3 情境二之進場班機比較表

進場班次別	預定抵達時間 ETA	累積流量		模式計算 延誤時間	SIMMOD 延誤時間
		進場	離場		
AR001	1604	0	0	12.791	12.406
AR002	1610	1	2	10.631	10.217
AR003	1610	2	2	11.191	12.846
AR004	1615	3	3	9.471	9.819
AR005	1620	4	7	10.871	10.336
AR006	1625	5	8	8.431	7.165
AR007	1625	6	8	9.711	9.472
AR008	1625	7	8	10.991	11.788
AR009	1627	8	8	10.271	11.735
AR010	1630	9	10	11.111	10.897
AR011	1635	10	10	7.391	7.108
AR012	1635	11	10	8.671	9.334
AR013	1640	0	2	19.351	18.716
AR014	1642	1	2	18.631	18.734
AR015	1645	2	2	16.911	17.032
AR016	1649	3	2	14.191	14.584
AR017	1650	4	2	14.471	14.906
AR018	1652	5	2	13.751	14.836
AR019	1655	6	2	12.031	13.192
AR020	1700	7	3	9.591	9.703
AR021	1700	8	3	10.871	11.346
AR022	1705	9	5	9.711	10.094
AR023	1710	10	6	7.271	7.088
AR024	1710	11	6	8.551	8.717
AR025	1712	12	6	7.831	7.568
AR026	1715	13	9	9.951	9.744

表 6-4 情境二之離場班機比較表

離場班次別	表訂離場時間	調整離場時間	累積流量		模式計算 延誤時間	SIMMOD 延誤時間
			進場	離場		

DE001	1550	1550	1	0	14.551	14.718
DE002	1555	1555	3	1	13.391	13.694
DE003	1555	1558	3	2	14.671	14.513
DE004	1600	1603	4	3	12.231	12.368
DE005	1600	1604	4	4	13.511	14.017
DE006	1605	1605	5	5	11.071	10.835
DE007	1605	1605	5	6	12.351	13.504
DE008	1610	1610	8	7	12.471	12.426
DE009	1610	1613	9	8	15.031	15.113
DE010	1615	1615	10	9	12.591	12.379
DE011	1620	1624	0	0	23.271	23.508
DE012	1625	1625	1	1	20.831	21.304
DE013	1629	1645	9	2	28.531	28.461
DE014	1633	1649	9	3	25.631	25.911
DE015	1635	1650	10	4	26.191	25.746
DE016	1640	1653	10	5	22.471	22.813
DE017	1645	1658	13	6	22.591	23.016
DE018	1650	1659	13	7	18.871	19.462
DE019	1650	1702	14	9	22.711	22.695
DE020	1655	1700	14	8	16.431	16.374
DE021	1700	1708	15	11	16.551	16.338
DE022	1700	1703	14	10	13.991	14.127
DE023	1705	1726	18	14	21	21.298
DE024	1705	1710	15	12	12.831	12.614
DE025	1710	1710	15	13	9.111	10.319
DE026	1710	1729	18	15	19	18.765
DE027	1712	1730	19	16	18	17.816
DE028	1715	1732	19	17	17	17.773

註：調整離場時間 = 表訂離場時間 + (ID + RGT+AGT-SGT)

由表 6-4 的結果可以看出，延誤最嚴重的航班為編號 DE013 的班機，延誤時間接近 29 分鐘。該班次原定 16:04 分抵達，在地面作業 25 分鐘之後，於 16:29 分離開。導致其延誤的原因在於該班次來機 (AR001) 受到風向轉換的影響，已有 13 分鐘的延誤 (16:04→16:17)，該班機地面作業時間比平均作業時間少 3 分鐘 (28-25)，所以調整在 16:45 分才能出發 (16:29 + 0:13 + 0:03)。出發時又受到之前累積流量的影響，依據 (6.5) 式的計算結果，增加了 12.531 分鐘之離場等候時間，故總共延誤時間為 28.531 分鐘。

在情境二之下，延誤預測模式與 SIMMOD 模擬模式所預測整體航機延誤時間之誤差平均僅為 0.329 分鐘。扣除在同時點後推之航機外，其餘之誤差皆能控制在一分鐘之內，顯示航機延誤預測模式能有效地預測航機的延誤時間。

6.3.3 航機流量增加 60%，起降方向改變時間 25 分鐘

情境三：將現時松山機場的進場與離場航機流量各增加 60%，並假設 16:00 起降方向由 10 轉為 28，並於 16:25 回復為正常運作。

松山機場在 16:04 至 17:15 時段內，增加流量後之進場航機班機時刻表，以航機延誤模式計算之航機延誤時間與以 SIMMOD 模擬模式計算之延誤時間比較，如表 6-5 所示。同樣地，松山機場在 15:49 至 17:15 時段內，增加流量後之離場航機班機時刻表、以 (6.3) 式計算之預計後推時間，以及以航機延誤模式計算之航機延誤時間與以 SIMMOD 模擬模式計算之延誤時間比較，如表 6-6 所示。

表 6-5 情境三之進場班機比較表

進場班次別	預定抵達時間 ETA	累積流量		模式計算 延誤時間	SIMMOD 延誤 時間
		進場	離場		
AR001	1604	0	0	12.791	12.633
AR002	1610	1	2	10.631	10.517
AR003	1610	2	2	11.911	12.346
AR004	1613	3	3	11.471	11.528
AR005	1615	4	3	10.751	10.662
AR006	1617	5	3	10.031	9.843
AR007	1620	0	4	26.911	26.569
AR008	1620	1	4	28.191	27.619
AR009	1621	2	4	28.471	28.033
AR010	1625	3	5	27.031	26.824
AR011	1625	4	5	28.311	28.691
AR012	1625	5	5	29.591	30.268
AR013	1627	6	5	28.871	29.417
AR014	1630	7	7	29.711	29.562
AR015	1632	8	8	30.271	30.01
AR016	1635	9	8	28.551	28.176
AR017	1635	10	8	29.831	29.749
AR018	1638	11	8	28.111	28.297
AR019	1640	12	10	29.951	30.263

AR020	1642	13	10	29.231	29.742
AR021	1645	14	10	27.511	27.896
AR022	1646	15	10	27.791	28.342
AR023	1650	16	10	25.071	24.603
AR024	1655	17	10	21.351	21.674
AR025	1655	18	10	22.631	23.492
AR026	1700	19	11	20.191	19.768
AR027	1700	20	11	21.471	21.394
AR028	1705	21	13	20.311	20.847
AR029	1707	22	14	20.871	21.653
AR030	1710	23	16	21.711	21.873
AR031	1710	24	16	22.991	23.406
AR032	1712	25	16	22.271	22.697
AR033	1715	26	16	20.551	20.704

表 6-6 情境三之離場班機比較表

離場班次別	表訂離場時間	調整離場時間	累積流量		模式計算延誤時間	SIMMOD延誤時間
			進場	離場		
DE001	1550	1550	1	0	14.551	14.812
DE002	1555	1555	3	1	13.391	13.516
DE003	1555	1558	4	2	15.951	15.704
DE004	1600	1603	0	0	28.271	28.623
DE005	1600	1604	0	1	29.551	29.753
DE006	1605	1605	2	2	28.391	28.112
DE007	1605	1605	2	3	29.671	31.147
DE008	1610	1610	6	4	30.451	30.204
DE009	1610	1613	7	5	33.631	33.519
DE010	1615	1615	8	6	31.191	31.203
DE011	1617	1617	9	7	31.751	31.725
DE012	1620	1624	12	8	33.871	34.016
DE013	1625	1625	13	9	31.431	31.591
DE014	1629	1645	21	10	38.951	38.815
DE015	1633	1649	21	11	36.231	36.047
DE016	1635	1650	22	12	36.791	36.591
DE017	1638	1653	23	14	37.631	37.864
DE018	1640	1654	23	15	36.911	37.012
DE019	1640	1651	22	13	33.071	33.498

DE020	1645	1716	30	17	43.431	44.176
DE021	1645	1717	31	18	45.991	46.385
DE022	1647	1718	31	19	45.271	46.017
DE023	1650	1715	30	16	37.151	37.238
DE024	1650	1720	32	21	46.111	45.816
DE025	1655	1719	32	20	39.831	39.782
DE026	1655	1727	34	23	46.231	47.068
DE027	1700	1729	35	26	46.351	46.812
DE028	1700	1722	33	22	38.671	38.175
DE029	1702	1731	36	27	46.911	46.725
DE030	1705	1737	37	28	46.471	46.513
DE031	1705	1728	34	24	37.511	37.418
DE032	1710	1728	34	25	33.791	33.856
DE033	1710	1740	38	29	40.031	40.296
DE034	1713	1742	38	30	42.311	43.074
DE035	1715	1746	40	31	44.151	43.919

註：調整離場時間 = 表訂離場時間 + (ID + RGT + AGT - SGT)

表 6-6 中，在起降方向改變 25 分鐘，且航班增量 60% 的情境下，離場航機延誤超過 40 分鐘的航機，總共有 11 架次。造成其嚴重延誤的原因，是因為最初來機受到起降方向改變過渡運作影響，已造成 20 分鐘至 30 分鐘不等的延誤，且地面作業時間又不足，再加上離場時需等待系統處理之前累積的流量，造成其更嚴重的延誤。延誤最嚴重的航班甚至延誤了 47 分鐘左右。另外，由表 6-6 中可以看出，由於增量 60% 的因素，預定在起降方向改變後一個小時內出發的航機，其累積的離進場架次流量達到 61 架次之多，導致延誤時間有一直增加的現象。在此情境下，75 分鐘後離場的航班 (DE035) 還延誤達 44 分鐘之久，其延誤擴散的情況甚為嚴重。在此情境之下，延誤預測模式與 SIMMOD 模擬模式所預測整體航機延誤時間之誤差平均僅為 0.305 分鐘。

由以上三個情境驗證的結果可以得知，只要給定機場條件與影響條件（如跑道容量、預定航機時刻表、起降方向改變時間等），本研究之延誤預測模式均能有效計算出之後某架航班預期的延誤時間。雖然有些數值的設定會因為機場與環境的不同而改變（如最初的影响時間、離場等候時間及落地至靠門之間的時間等），但只要依實際經驗或模擬模式的結果，適時調整此類數據，本研究所推估之延誤模式還是能夠有效地預測個別航機延誤擴散的情況。

6.3.4 航機流量不變，機場關閉時間 30 分鐘

情境四：以現時松山機場的進場與離場航機流量，並假設 14:00 機場關閉，並於 14:30 回復為正常運作。

松山機場在 14:04 至 15:05 時段內，進場航機之班機時刻表，利用航機延誤模式計算之延誤時間與 SIMMOD 模擬模式模擬之延誤時間比較，如表 6-7 所示。

松山機場在 13:49 至 16:00 時段內，離場航機之班機時刻表、調整後預計之出發時間，利用航機延誤模式計算之延誤時間與 SIMMOD 模擬模式模擬之延誤時間比較，如表 6-8 所示。

表 6-7 情境四之進場班機比較表

班次別	原定到達時間 ETA	累積流量		模式計算 延誤時間	SIMMOD 延誤 時間
		進場	離場		
AR001	1405	0	0	29	29.57
AR002	1410	1	0	25.28	25.74
AR003	1420	2	2	19.12	19.68
AR004	1420	3	2	20.4	21.47
AR005	1425	4	3	17.96	17.63
AR006	1435	5	5	11.8	11.29
AR007	1445	6	6	4.36	4.04
AR008	1445	7	6	5.64	5.79
AR009	1445	8	6	6.92	7.57
AR010	1450	9	6	3.2	2.84
AR011	1455	10	7	0.76	0
AR012	1500	11	7	0	0
AR013	1505	12	7	0	0

表 6-8 情境四之離場班機比較表

班次別	原定離 場時間	調整離 場時間	累積流量		模式計算 延誤時間	SIMMOD 延誤時間
			進場	離場		
DE001	1400	1400	2	0	23.04	22.66
DE002	1400	1400	2	1	24.32	24.47
DE003	1410	1410	5	2	19.44	19.58
DE004	1415	1415	5	3	15.72	16.01
DE005	1420	1420	6	4	13.28	13.14
DE006	1425	1425	6	5	9.56	9.78

DE007	1435	1502	14	7	27	27.35
DE008	1440	1440	11	6	0	0
DE009	1440	1504	14	9	24.4	24.34
DE010	1445	1503	14	8	18.28	18.76
DE011	1450	1507	15	10	17.12	17.39
DE012	1450	1507	15	11	16.96	16.65
DE013	1500	1515	16	12	14.8	14.91
DE014	1505	1515	16	13	9.64	9.38
DE015	1510	1520	17	16	9.92	9.47
DE016	1515	1517	18	15	2.36	2.39
DE017	1515	1517	16	14	2.2	2.34
DE018	1520	1524	17	17	3.76	3.66
DE019	1525	1525	18	18	0	0
DE020	1530	1533	18	19	3	3.018
DE021	1530	1533	18	20	3	2.979
DE022	1540	1543	20	21	3	2.986
DE023	1550	1550	21	22	0	0

註：調整離場時間 = 表訂離場時間 + (ID + RGT + AGT - SGT)

由表 6-8 的結果可以看出，在機場關閉 30 分鐘的情況下，延誤時間最多的是 DE007 班機，延誤時間為 27 分鐘。該班機原定 14:05 分抵達，14:35 分離開，但是因為機場關閉 30 分鐘，故延遲至 14:34 分抵達，並於 15:02 分離開。在原本班表的航機流量之下，並沒有發生太嚴重的延誤擴散。關閉 30 分鐘所累積的進場航機數，大都能在再次開場後的 30 分鐘內處理完畢，而累積的離場航機，也大都能在開場後的 40 分鐘左右處理完畢。比較延誤式與 SIMMOD 模式模擬結果，誤差最大的為 0.48 分鐘，平均誤差僅為 0.17 分鐘，顯示延誤式有準確預估航機延誤的能力。

6.3.5 航機流量增加 40%，機場關閉時間 40 分鐘

情境五：將現時松山機場的進場與離場航機流量各增加 40%，並假設 16:00 機場關閉，並於 16:40 回復為正常運作。

松山機場在 16:04 至 18:00 時段內，進場航機之班機時刻表，利用延誤模式所計算之航機延誤時間與 SIMMOD 模擬模式模擬之延誤時間比較，如表 6-9 所示。

表 6-9 情境五之進場班機比較表

班次別	原定到達時間 ETA	累積流量		模式計算 延誤時間	SIMMOD 延誤 時間
		進場	離場		
AR001	1604	0	0	40	40.63
AR002	1610	1	1	36.56	36.38
AR003	1610	2	1	37.84	38.36
AR004	1615	3	3	36.68	36.17
AR005	1620	4	5	35.52	34.89
AR006	1625	5	7	34.36	34.77
AR007	1625	6	7	35.64	36.88
AR008	1625	7	7	36.92	38.83
AR009	1627	8	7	36.2	38.57
AR010	1630	9	8	38.76	38.42
AR011	1635	10	9	33.32	34.94
AR012	1635	11	9	34.6	36.47
AR013	1640	12	10	32.16	32.79
AR014	1642	13	10	31.44	32.18
AR015	1645	14	10	29.72	30.46
AR016	1650	15	10	26	26.78
AR017	1655	16	10	22.28	23.09
AR018	1700	17	10	18.56	19.37
AR019	1700	18	10	19.84	20.69
AR020	1705	19	10	16.12	16.29
AR021	1710	20	10	12.4	11.76
AR022	1710	21	10	13.68	13.92
AR023	1712	22	10	12.96	13.08
AR024	1715	23	10	11.24	10.66
AR025	1720	24	10	7.52	7.04
AR026	1730	25	12	1.36	0
AR027	1735	26	14	0.2	0
AR028	1740	27	16	0	0
AR029	1745	28	18	0	0
AR030	1750	29	21	0	0
AR031	1755	30	24	0	0

松山機場在 15:49 至 18:00 時段內，離場航機之班機時刻表、調整後預計之出發時間，利用延誤模式所計算之航機延誤時間與 SIMMOD 模擬模式模擬之延

誤時間比較，如表 6-10 所示。

表 6-10 情境五之離場班機比較表

班次別	原定離場時間	調整離場時間	累積流量		模式計算 延誤時間	SIMMOD 延 誤時間
			進場	離場		
DE001	1550	1550	1	0	41.76	42.09
DE002	1600	1600	4	1	36.88	37.14
DE003	1600	1600	4	2	38.16	38.23
DE004	1605	1605	5	3	35.72	35.47
DE005	1605	1605	5	4	37	36.91
DE006	1610	1610	8	5	37.12	36.48
DE007	1610	1610	8	6	38.4	38.65
DE008	1615	1615	10	7	37.24	37.19
DE009	1620	1620	12	8	36.08	36.37
DE010	1625	1625	13	9	33.64	33.74
DE011	1629	1712	25	10	43.28	43.65
DE012	1633	1715	26	12	42.68	42.81
DE013	1635	1716	26	11	42.68	42.39
DE014	1640	1720	27	13	41.36	41.02
DE015	1645	1723	27	14	38.36	38.68
DE016	1650	1724	27	15	33.76	33.97
DE017	1650	1727	28	17	38.28	38.54
DE018	1655	1726	28	16	31.72	31.66
DE019	1700	1734	29	20	33.6	33.51
DE020	1700	1729	28	18	29	29.07
DE021	1705	1739	30	22	33.72	33.68
DE022	1705	1737	30	21	31.76	31.85
DE023	1710	1732	29	19	22.32	22.69
DE024	1710	1741	31	24	31.44	31.75
DE025	1720	1747	33	28	28.12	27.88
DE026	1720	1744	32	25	24	23.91
DE027	1725	1740	31	23	15.16	15.26
DE028	1730	1745	33	26	16.28	16.63
DE029	1732	1749	36	30	22.92	23.11
DE030	1735	1749	36	31	21.36	21.27
DE031	1735	1750	36	32	22.76	22.75
DE032	1740	1748	34	29	10.96	10.86

DE033	1745	1746	33	27	2.68	2.68
DE034	1745	1752	37	33	14.76	14.82
DE035	1750	1756	40	35	16	16.07
DE036	1750	1754	39	34	15.28	15.33
DE037	1755	1759	41	36	14.24	14.19

註：調整離場時間 = 表訂離場時間 + (ID + RGT + AGT - SGT)

由表 6-10 的結果可以看出，機場關閉 40 分鐘的情況下，延誤時間最多的是 DE011 次班機，延誤時間為 43 分鐘。該班機原定 16:04 分抵達，16:29 分離開，但是因為機場關閉 40 分鐘，故延遲至 16:44 分抵達，並於 17:12 分離開。在流量增加 40% 的情況下，機場關閉 40 分鐘所累積的進場流量，一直要到開場後的一個小時左右才有辦法舒緩，而所累積的離場航機流量，一直到 18:00 為止都還有延誤的情況。以 DE037 次航班為例，為了處理之前累積的航機數，造成其在離場等候區多等候 10.04 分鐘。流量增加越多，其延誤擴散現象會越持久。比較延誤式與 SIMMOD 模式模擬結果，誤差最大的為 0.64 分鐘，平均誤差僅為 0.18 分鐘，顯示延誤式有準確預估航機延誤的能力。

因此，由以上兩個情境可以得知，只要給定機場條件與影響條件（如跑道容量、預定航機時刻表、機場關閉時間等），本研究所推估之航機延誤模式均能預測出之後某架航班預期的延誤時間。同樣地，雖然有些數值的設定會因為機場的不同而改變，但只要依實際經驗或模擬模式的結果，適時調整此類數據，延誤模式還是能夠有效地預測機場關閉時，航機延誤擴散的情況。

情境一至情境五由 SIMMOD 模擬模式與延誤預測模式預測航機延誤時間平均數之統計檢定結果，如表 6-11 所示。

表 6-11 情境一至情境五預測數值檢定結果

	情境一	情境二	情境三	情境四	情境五
樣本數	23	28	35	23	37
\bar{D}	0.00422	0.17939	0.1462	0.0201	0.0492
S_D^2	0.1076	0.3866	0.3263	0.0746	0.1037
t 值	0.061*	1.5267*	1.5141*	0.3535*	0.9291*

註：加 * 者表示檢定結果接受兩者預測延誤時間平均數為相同之虛無假設

各情境之延誤統計分析，如表 6-12 所示

表 6-12 各情境延誤統計分析

類別 情境	影響時間	最大延誤 航機	最大延誤 時間	回復正常後 15 分之航機 延誤時間(分)	回復正常後 30 分之航機 延誤時間(分)
情境一	起降改變 30 分鐘，航機 增加 20%	進場 t = 35	14.351	t = 45，10.751	t = 60，0.871
		離場 t = 15	18.271	t = 45，4.911	t = 60，18
情境二	起降改變 40 分鐘，航機 增加 40%	進場 t = 40	19.351	t = 55，12.031	t = 70，8.551
		離場 t = 29	28.531	t = 55，16.431	t = 70，19
情境三	起降改變 25 分鐘，航機 增加 60%	進場 t = 32	30.271	t = 40，29.951	t = 55，22.631
		離場 t = 62	46.911	t = 40，36.911	t = 55，46.231
情境四	機場關閉 30 分鐘，航機 量不變	進場 t = 5	29	t = 45，6.92	t = 60，0
		離場 t = 35	27	t = 45，18.28	t = 60，14.8
情境五	機場關閉 40 分鐘，航機 增加 40%	進場 t = 4	40	t = 55，22.28	t = 70，13.68
		離場 t = 29	43.28	t = 55，31.72	t = 70，31.44

由表 6-12 可以看出，在起降改變的情境下，進場航機延誤最大的是預定在再次改變起降方向後七分鐘內抵達的航機，延誤時間隨著航機量的增加而顯著增加（由 20% 情境下的 14.351 分鐘增加至 60% 情境下的 30.271 分鐘）。離場航機延誤最大的是預定在再次改變起降方向前 15 分鐘內出發，或在來機延誤嚴重之對應的後續離場航機。延誤時間也隨著航機量的增加而顯著增加（由 20% 情境下的 18.271 分鐘增加至 60% 情境下的 46.911 分鐘）。在起降改變的情境下，回復正常運作後 30 分鐘航機的延誤情況，也是隨著航機量的增加而顯著增加。以離場航機來說，增加 20% 的情境下，離場航機延誤為 18 分鐘，但增加至 60% 後，延誤時間會增加至 46.231 分鐘。

另外，在機場關閉情境下，進場航機延誤最嚴重的為預定在機場關閉後五分鐘內抵達之航機，因為其受到關閉影響的時間最久，使得盤旋等待的時間最久，造成延誤最為嚴重。回復正常運作後 30 分鐘航機的延誤情況，也是隨著航機量的增加而顯著增加。以離場航機來說，航機量不變的情境下，離場航機延誤為 14.8 分鐘，但增加至 40% 後，延誤時間會增加至 31.44 分鐘。

6.4 實例驗證

以上雖然以五種情境說明延誤模式與 SIMMOD 模式輸出結果之一致性，卻不一定能夠代表實際運作之情況。本節以第四章模式驗證時所收集到之實際航機延誤資料，與延誤模式及 SIMMOD 模式輸出之延誤時間做比對，確認延誤模式之計算結果與 SIMMOD 模式之輸出結果能有效地呈現實際航機延誤的情況。

依據所收集到的資料，松山機場在當日下午 16:27 分，起降方向由 10 改為 28，並在 17:08 分改回原起降方向。當日下午 16:10 至 17:50 實際離到場航機之延誤時間，與延誤模式所計算延誤時間及 SIMMOD 模式所模擬延誤時間之比較，如表 6-13 與 6-14 所示。

表 6-13 實際驗證之進場班機比較表

進場班次別	預定抵達時間 ETA	累積流量		模式計算 延誤時間	SIMMOD 延誤時間	實際航機 延誤時間
		進場	離場			
AR001	1625	0	0	0	0	0
AR002	1625	0	0	0	0	0
AR003	1630	0	0	0	0	0
AR004	1635	0	1	10.071	9.658	11
AR005	1635	1	1	11.351	10.714	13
AR006	1640	2	2	8.911	9.264	9
AR007	1645	3	2	5.191	3.719	5
AR008	1650	4	2	1.471	0.883	2
AR009	1700	5	4	0	0	0
AR010	1700	6	4	0	0	1
AR011	1710	7	6	0	0	0
AR012	1710	8	6	0	0	0
AR013	1715	0	0	9.791	10.178	11
AR014	1720	1	1	7.351	7.779	6
AR015	1730	2	4	2.471	2.364	3
AR016	1740	3	6	0	1.006	0
AR017	1745	4	7	0	0	0

表 6-14 實際驗證之離場班機比較表

離場班次別	表訂 離場	調整 離場	累積流量		模式計算 延誤時間	SIMMOD 延誤時間	實際航機 延誤時間
			進場	離場			
DE001	1610	1610	0	0	0	0	0

DE002	1610	1613	0	0	0	0	0
DE003	1620	1624	2	0	12.831	11.757	14
DE004	1625	1625	3	1	10.391	9.284	11
DE005	1640	1640	5	2	0	0	0
DE006	1645	1648	7	3	3	3.216	4
DE007	1650	1650	7	4	0	0	1
DE008	1655	1659	1	0	17.551	18.607	17
DE009	1700	1709	2	3	17.671	17.416	17
DE010	1700	1705	2	1	15.011	16.088	17
DE011	1705	1718	3	4	15.231	15.193	16
DE012	1705	1708	2	2	11.391	10.706	11
DE013	1720	1720	3	5	1.511	2.419	3
DE014	1725	1725	4	6	0	0	0
DE015	1730	1730	5	7	0	1.262	2
DE016	1735	1746	7	9	11	10.513	12
DE017	1735	1735	5	8	0	0	1
DE018	1740	1751	8	12	11	11.273	13
DE019	1745	1749	8	11	4	5.016	5
DE020	1745	1748	7	10	3	3.478	3
DE021	1750	1753	9	13	3	2.691	4

註：調整離場時間 = 表訂離場時間 + (ID + RGT+AGT-SGT)

由於管制條上所紀錄之時間均只至分為止，故實際航機延誤時間也僅能精確至分，無法統計至更小單位。由表 6-13 的結果可知，進場航機中實際航機延誤時間與模式計算之延誤時間最大誤差為 1.646 分鐘，平均誤差僅為 0.44 分鐘；另外，由表 6-14 的結果得知，離場航機中實際航機延誤時間與模式計算之延誤時間最大誤差為 2 分鐘，平均誤差為 0.84 分鐘，顯示本研究所推導之航機延誤模式，不但符合 SIMMOD 模式之模擬結果，也能夠有效地預測實際運作時的航機延誤現象。

第七章 結論與建議

7.1 結論

本研究之目的在於應用 SIMMOD 模擬模式，建構松山機場與高雄機場之空邊與空域系統，並以此為工具，驗證本研究所推估之航機延誤模式。本研究所得之結論整理如下：

- 一、在 SIMMOD 資料輸入部分，本研究詳細解釋每個輸入參數所代表之實際意義，與改變參數對輸出結果造成的影響，確認其可深入考量各種不同的情境，更全面性地來探討機場空側之整體運作情況。
- 二、國內相關文獻中對於 SIMMOD 模擬模式之適用性分析，均只針對正常情況下探討，未考慮機場起降方向改變與機場關閉等異常情境。本研究以改變機場風向，航機必須轉換起降方向運作下，以不同之離到場程序，加上系統運作過渡轉換的要求，比較 SIMMOD 模擬模式在此條件下之運作邏輯，與實際航管作業中之處理方式，並以實際所觀察之資料加以校估與驗證。結果發現不論是採總體方式或個體方式，模式均能夠有效地呈現航機實際運作狀況，以及對延誤之情形加以預測。模擬結果均能通過統計檢定，顯示本研究所建構之模式能夠有效地呈現航機在正常狀況以及異常狀況下之運作。
- 三、本研究以模擬 25 個時段，統計延誤時間的方式，得到起降方向改變後，航機延誤的樣貌。為減少航機延誤，本研究發現，進場航機在依照 ATP 所規定的 3 海浬標準隔離時，因為 3 海浬也是進場航機進入最終進場階段，跑道必須淨空的標準，導致離場航機無法起飛，跑道無法達到最佳的使用效率。在此情況下，最初離場航機的平均延誤時間約為 13 分鐘。在與管制員討論後發現，若將進場航機隔離標準放大至 5 海浬，離場航機能穿插在進場航機中起飛，使跑道之起降順序為 ADAD 模式時，最初離場航機平均延誤時間能減少至 10 分鐘左右。不過，卻會增長延誤擴散的時間。但管制員若能依照航機需求量之不同，適時更改進場航機的隔離標準，除了能夠有效降低最初離場航機的平均延誤時間，也能夠縮短航機延誤擴散的時間。
- 四、在起降方向改變最初 15 分鐘內，因為系統過渡運作的需要，使得實際

在該時段起降的航機數目減少至 2-3 架次。剩餘的航機均延遲至下個時段之後才能起降，造成航機的起降延誤。另外，在起降方向改變下，不論是離場航機或到場航機之空中旅行時間，與離場航機之離場等候時間，均比一般正常情況下來得長。顯示在起降方向改變下，航機必須花費比一般正常情況下還長的時間才能完成運作。

五、在推估航機延誤模式方面，本研究依據航管單位之作業實況，及時間遞延之邏輯，在起降方向改變與機場關閉情況下，分別推估進場航機與離場航機的延誤。並就不同的航班數量與影響時間等五種情境，比較延誤模式所預估之延誤時間與 SIMMOD 模擬模式模擬延誤時間的差異。結果發現不論在何種情境下，本研究所推估之航機延誤模式均能有效地預測航機的延誤時間。此預計延誤時間之資訊，可供航空公司或航管單位在作相關決策時之參考。

六、雖然相關參數之設定會因為不同機場而改變，但只要依據實務經驗或統計資料予以修正，本研究所推估之航機延誤模式均能有效預測在異常狀況下，個別班機的延誤情況。

7.2 建議

一、在機場關閉的情況下，本研究均假定航機仍舊依照既定班表運行，不會有臨時取消班機、轉降其他機場或使用備用航機飛行，以減少來機延誤所產生之離場延誤等。但是如果關閉時間較久，航空公司因為飛航安全、飛航成本以及機隊運用的考量，是有可能採取相關措施應變的。建議後續研究能夠討論在機場關閉時間較長的情況下，航空公司所可能採取之應變策略，以及這些應變策略對減少因天候不佳所導致之延誤擴散的影響。

二、在機場關閉的情況下，本研究假定氣象單位所預計之開場時間準確，故離場航機能夠事先滑出，等待機場開放後即能馬上起飛。但在現實狀況中，預計開場時間不一定準確，故航空公司為了成本與旅客考量，有時不敢輕言滑出，會等到機場確定開放後，才會要求旅客登機。依管制員的經驗，在天氣詭譎多變的時候，通常開場後的二十分鐘內都只有進場航機落地，而離場航機必須有二十分鐘的時間準備，才有辦法起飛離場。建議後續研究能夠適時地對此情況加以修正。

三、機場發生天氣異常現象，造成航機延誤擴散所需之收斂時間，與該異常現象的持續時間、機場表訂航機流量，以及班機間安排的緩衝時間有關。異常現象持續時間越久、機場航機流量越多，或安排的緩衝時間越短，所需之收斂時間也就會越長。建議後續研究能對此三項因素影響之收斂時間進行探討。



參考文獻

1. Abeyratne, I. R., 2000. Management of airport congestion through slot allocation. *Journal of Air Transport Management*, 6, 29-41.
2. Ahmad I. Z. Jarrah, Gang Yu, Nirup K. and Ananda R., 1993. A decision support framework for airline flight cancellations and delays. *Transportation Science* Vol. 27 No. 3, 266-280.
3. Air Transportation Association, 1976. Runway capacity criteria for airport planning purposes. Air Transport Association of America, Report No. 118, 5th edition.
4. *Airline Business*, 1999. Capacity crisis hits European skies, 36-38.
5. Bushey, D. E. and Brian A. M., 1997. A study of dynamic traffic re-routing in the national airspace system. *Proceedings of Simulation Symposium*, 104-113.
6. C. L. Wu and R. E. Caves, 2002. Modelling of aircraft rotation in a multiple airport environment. *Transportation Research Part E* 38, 265-277.
7. Cheslow, Melvyn, 1990. Analysis of national delay and throughput impacts of a new Denver airport. *Transportation research record* 1296, 1-12.
8. D. W. Hutchison and S. D. Hill, 2001. Simulation Optimization of Airline Delay using Simultaneous Perturbation Stochastic Approximation.
9. Dusan T. and Goran S., 1990. Model for operational daily airline scheduling. *Transportation Planning and Technology*, Vol. 14, 273-285.
10. European Civil Aviation Conference, 1996. ECAC Guidelines on Monitoring and Analysis of Delays at Airports.
11. FAA, 1983. Airport capacity and delay report.
12. Fan, Henry S. L., 1992. Effect of local operational constraints on runway capacity- a case study. *Journal of Advanced Transportation*, Vol. 26 No. 2, 169-184.
13. G. Andreatta and G. Romanin-Jacur, 1987. Aircraft flow management under congestion. *Transportation Science* Vol. 21 No. 4, 249-253.
14. Gilbo, E. P., 1993. Airport capacity: representation, estimation, optimization. *IEEE Transactions on Control Systems Technology*, 1:144-154.
15. Gilbo, E. P., 1997b. Optimizing airport capacity utilization in air traffic flow management subject to constraints at arrival and departure fixes. *IEEE Transactions on Control Systems Technology*, 490-503.
16. Hall, R. W., 1985. Vehicle scheduling at a transportation terminal with random delay en route. *Transportation Science*, Vol. 19, No. 3, 308-320.
17. Hamzawi, S. G., 1992. Lack of airport capacity: exploration of alternative solutions. *Transportation Research* Vol. 26A No.1, 47-58.
18. James Z., 1997. Micro use of SIMMOD for on-airport problem solving. *Proceedings of International Conference on Airport Modeling and Simulation*,

- 64-81.
19. Kanafani, A. S. and Manar, 1996. Decision support system for minimizing the disturbance of airfield construction (FFIA case study) . Proceedings international air transportation conference, 234-245.
 20. Kleinman, N. L., Hill, S.D., and Ilenda, V. A, 1997. SPSA/SIMMOD optimization of air traffic delay cost. Proceedings of the American control conference, Vol. 2, 1121-1125.
 21. Knabe, F., 1991. Airport and Airspace Simulation Model SIMMOD of the FAA. Features, Examples and Experiments. Deutsche Forschungs-und Versuchsanstalt Fuer Luft-und Raumfahrt E. V., Cologne.
 22. Mohleji, S. C., 1996. A route-oriented planning and control concept for efficient flight operations at busy airport. Control Eng. Practice Vol. 4 No. 8, 1143-1151.
 23. Mumayiz, S., 1993. Analysis and simulation of regional airspace. Transportation Research Record, n 1423, 8-17.
 24. Newell, G. F., 1979. Airport capacity and delay. Transportation Science Vol.13 No. 3, 201-241.
 25. O. Richetta and A. R. Odoni, 1993. Solving optimally the static ground-holding policy problem in air traffic control. Transportation Research Part A Vol.28 No.3, 167-185.
 26. Rakas, J., Mondoloni, S. and Pernigotti, N.M., 1995. Civil Tiltrotor Terminal Area Route Development Study, CSSI, INC., Washington, DC, FAA.
 27. Shaw, Stephen (Eds), 1987. Airline marketing and management. Bath Press, 164-165.
 28. Suzuki, Y., 2000. The relationship between on-time performance and airline market share: a new approach. Transportation Research Part E 36, 139-154.
 29. Tofukuji, N., 1993. An en-route ATC simulation experiment for sector capacity estimation. IEEE Transactions on Control System Technology, Vol. 1 No. 3, 138-143.
 30. Tasic, V. and Robert H., 1976. Effect of multiple path approach procedures on runway landing capacity. Transportation Research Vol. 10 No. 5, 319-329.
 31. Velazco E. E., 1995. Air traffic management: high-low traffic intensity analysis. European Journal of Operational Research, Vol. 80, 45-58.
 32. Vranas, P. B., Dimitris, J. B. and A.R. Odoni, 1994. Dynamic ground-holding policies for a network of airport. Transportation Science Vol. 28 No. 4, 頁數
 33. 王慶瑞，台北國際機場跑道及航空站作業系統之模擬模式，運輸計畫季刊，第三卷第三期，民國六十三年，頁 10-43
 34. 交通部統計處，中華民國九十年交通統計要覽，民國九十一年六月
 35. 李昫諭，空邊模擬模式之研究，國立成功大學交通管理科學研究所碩士論文，

民國九十年六月

36. 李穗玲，機場跑道容量推估與延誤分析模式之研究，國立交通大學交通運輸研究所博士論文，民國九十年五月
37. 李穗玲，韓復華，汪進財，松山機場跑道容量推估，運輸學刊，第十卷第四期，民國八十六年，頁 113-126
38. 汪進財、盧清泉，臨時飛航事件班機調度因應策略之研究，運輸計劃第二十五卷第二期，民國八十五年，頁 255-288。
39. 周雅蕊，流量管理之地面等候策略之研究，國立成功大學交通管理科學研究所碩士論文，民國八十六年七月
40. 戚文豪，機場與空域模擬模式 SIMMOD 之應用研究：以松山機場為例，國立交通大學運輸工程與管理學系碩士論文，民國八十八年七月
41. 郭權鋒，臺灣地區機場與空域系統模擬模式分析--以北高空運走廊為例，國立交通大學運輸工程與管理學系碩士論文，民國八十八年六月
42. 陳朝文，SIMMOD 模擬模式於跑道容量分析之研究—以松山機場為例，國立成功大學交通管理科學研究所碩士論文，民國八十八年六月
43. 黃承傳，航空站跑道容量之提高，運輸計畫季刊，第三卷第四期，民國六十三年，頁 74-79
44. 廖上萱，單一機場起降流量控管模式之研究，國立海洋大學航運技術研究所碩士論文，民國九十年六月
45. 劉韻珠，機場跑道作業系統之容量分析，國立成功大學交通管理科學研究所碩士論文，民國六十七年六月
46. 鍾惠存，航空公司班機誤點延滯擴散與控制之研究，國立交通大學運輸工程與管理學系碩士論文，民國八十九年六月