

107-036-2305

MOTC-IOT-106-EDB002

構建空域模擬模式之研究-以臺北 北終端管制區域為例



交通部運輸研究所

中華民國 107 年 5 月

107-036-2305

MOTC-IOT-106-EDB002

構建空域模擬模式之研究-以臺北 北終端管制區域為例

著者：許書耕、賴威伸、胡智超、李宇欣、陳春益、林
東盈、李威勳、陳佑麟、袁永偉、盧立昕

交通部運輸研究所

中華民國 107 年 5 月

ISBN 978-986-05-5786-2



9 789860 557862

GPN : 1010700506

定價 200元

國家圖書館出版品預行編目(CIP)資料

構建空域模擬模式之研究：以臺北終端管制區域
為例 / 許書耕等著. -- 初版. -- 臺北市：交
通部運研所，民 107. 05

面；公分

ISBN 978-986-05-5786-2(平裝)

1. 航空運輸管理 2. 臺灣

557

107006374

構建空域模擬模式之研究-以臺北終端管制區域為例

著者：許書耕、賴威伸、胡智超、李宇欣、陳春益、林東盈、李威勳、陳
佑麟、袁永偉、盧立昕

出版機關：交通部運輸研究所

地址：10548 臺北市敦化北路 240 號

網址：www.iot.gov.tw (中文版>數位典藏>本所出版品)

電話：(02)23496789

出版年月：中華民國 107 年 5 月

印刷者：九茹印刷有限公司

版(刷)次冊數：初版一刷 63 冊

本書同時登載於交通部運輸研究所網站

定價：200 元

展售處：

交通部運輸研究所運輸資訊組•電話：(02)23496880

國家書店松江門市：10485 臺北市中山區松江路 209 號•電話：(02)25180207

五南文化廣場：40042 臺中市中山路 6 號•電話：(04)22260330

GPN：1010700506 ISBN 978-986-05-5786-2 (平裝)

著作財產權人：中華民國（代表機關：交通部運輸研究所）

本著作保留所有權利，欲利用本著作全部或部分內容者，須徵求交通部運輸
研究所書面授權。

交通部運輸研究所合作研究計畫出版品摘要表

出版品名稱：構建空域模擬模式之研究-以臺北終端管制區域為例			
國際標準書號（或叢刊號） ISBN978-986-05-5786-2（平裝）	政府出版品統一編號 1010700506	運輸研究所出版品編號 107-036-2305	計畫編號 106-EDB002
本所主辦單位：運輸工程組 主管：許書耕 計畫主持人：許書耕 研究人員：賴威伸、胡智超 聯絡電話：02-23496821 傳真號碼：02-25450427	合作研究單位：財團法人成大研究發展基金會 計畫主持人：李宇欣 研究人員：陳春益、林東盈、李威勳、陳佑麟、袁永偉、盧立昕 地址：臺南市大學路1號 聯絡電話：(06)2757575	研究期間 自 106 年 02 月 至 106 年 12 月	
關鍵詞：航空、模擬、機場空側、終端管制區域、決策輔助			
摘要： <p style="text-indent: 2em;">本研究之主要目的在掌握民航空域容量分析之重要組成單元與關鍵參數，據以構建臺北終端管制區域之空域模擬模式雛型。研究分別整理我國空域以及桃園國際機場關鍵資料與參數，並整理航管與航務之實務資料，本研究以上述資料與參數為基礎，構建模擬模式，而該模式包含了終端管制、跑滑道、停機坪等各主要單元。模式以管制員以及停機位指派人員之決策思考為實際模擬對象，亦即模式將各席位管制員與停機位指派人員視為實際模擬之對象，將航空器在空中或地面之移動，視為表現管制員與停機位指派人員意志之方法。依循不同席位管制員以及停機位指派人員所能掌握之資訊，以及其決策思考方式，模式開發不同之演算法予以模擬。所開發之軟體由數學演算模組、模擬模組、視覺呈現模組，以及統計模組所構成。經以真實資料測試結果發現可產生接近實況之模擬結果，所開發之演算法並可持續發展成為未來決策輔助系統之核心技術。</p>			
出版日期	頁數	定價	本出版品取得方式
107 年 5 月	170	200	凡屬機密性出版品均不對外公開。普通性出版品，公營、公益機關團體及學校可函洽本所免費贈閱；私人及私營機關團體可按定價價購。
機密等級： <input type="checkbox"/> 密 <input type="checkbox"/> 機密 <input type="checkbox"/> 極機密 <input type="checkbox"/> 絕對機密 （解密條件： <input type="checkbox"/> 年 月 日解密， <input type="checkbox"/> 公布後解密， <input type="checkbox"/> 附件抽存後解密， <input type="checkbox"/> 工作完成或會議終了時解密， <input type="checkbox"/> 另行檢討後辦理解密） <input checked="" type="checkbox"/> 普通			
備註：本研究之結論與建議不代表交通部之意見。			

PUBLICATION OF COOPERATIVE RESEARCH PROJECT ABSTRACTS
INSTITUTE OF TRANSPORTATION
MINISTRY OF TRANSPORTATION AND COMMUNICATIONS

TITLE: A study on aviation simulation model applied to the Taipei Terminal Area			
ISBN(OR ISSN) ISBN978-986-05-5786-2 (pbk)	GOVERNMENT PUBLICATIONS NUMBER 1010700506	IOT SERIAL NUMBER 107-036-2305	PROJECT NUMBER 106-EDB002
DIVISION: Transportation Engineering Division DIVISION DIRECTOR: Shu-Keng Hsu PRINCIPAL INVESTIGATOR: Shu-Keng Hsu PROJECT STAFF: Wei-Shen Lai, Chih-Chao Hu TELEPHONE: 02-23496821 FAX: DIVISION: 02-25450427			PROJECT PERIOD FROM February 2017 TO December 2017
COOPERATIVE RESEARCH AGENCY: NCKU Research and Development Foundation (NCKURDF) PRINCIPAL INVESTIGATOR: Yusin Lee PROJECT STAFF: Chuen-Yih Chen, Dung-Ying Lin, Yune-Wei Yuan, Ju-Lin Chen, Nai-Yun Hsu, Yusin Lee ADDRESS: No.1, University Road, Tainan, Taiwan (R.O.C.) PHONE: (06)2757575			
KEY WORDS: Aviation; Simulation; Airport air side; Terminal area; Decision Support			
ABSTRACT: <p>This work aims at developing a simulation model for the Taipei Terminal Area (Taipei TMA) that encompasses key elements and parameters required for analysis of airspace capacity for civilian air traffic. Based on actual flight control data and parameters on Taiwan's airspace configuration, the resulting model includes the Taipei TMA, as well as runway, taxiway, and bays of the Taiwan Taoyuan International Airport. The model simulates the decisions made by flight controllers and bay allocators and uses aircraft motion as a means to present their decision. Different algorithms are developed for various characters in the simulation. The software system consists of four major modules, namely mathematical algorithm, simulation, visual display, and statistic collection. Testing with real data produced results that are close to reality. Algorithms developed in this work can be further enhanced to become core technology for a future decision support systems.</p>			
DATE OF PUBLICATION May 2017	NUMBER OF PAGES 170	PRICE 200	CLASSIFICATION <input type="checkbox"/> RESTRICTED <input type="checkbox"/> CONFIDENTIAL <input type="checkbox"/> SECRET <input type="checkbox"/> TOP SECRET <input checked="" type="checkbox"/> UNCLASSIFIED
The views expressed in this publication are not necessarily those of the Ministry of Transportation and Communications.			

目錄

第一章 緒論.....	1
1.1 計畫緣起.....	1
1.2 研究對象與範圍.....	1
1.3 研究內容.....	1
第二章 文獻回顧.....	3
2.1 飛航管理領域模擬之類型.....	3
2.2 TAAM 回顧.....	4
2.3 SIMMOD 回顧.....	6
2.4 ANS 模式回顧.....	7
2.5 機場空側模擬模式回顧.....	10
2.6 前期研究回顧.....	11
第三章 我國空域與桃園國際機場空側.....	13
3.1 臺北飛航情報區.....	13
3.2 臺北終端管制區域.....	15
3.3 桃園國際機場空側.....	15
第四章 航管與航務.....	25
4.1 飛航管制服務簡述.....	25
4.2 近場管制服務.....	26
4.3 機場管制服務：隔離標準.....	53
4.4 機場管制服務：跑道與滑行道.....	63
4.5 停機位指派.....	66
第五章 模擬模式之建置.....	71
5.1 管制員之重要性.....	71
5.2 網路模型.....	72
5.3 演算法.....	78
5.4 事件模擬模式.....	81
5.5 模擬模式架構.....	81
5.6 重要基本假設.....	83
第六章 軟體雛型說明.....	87
6.1 軟體架構.....	87
6.2 視覺顯示.....	88
第七章 模擬分析比對.....	95
7.1 模擬測試資料.....	95
7.2 分析比對.....	95
7.3 與國內過去開發技術之比較.....	97
7.4 驗證方法初探.....	100
第八章 結論與建議.....	103

8.1 結論.....	103
8.2 建議.....	104
8.3 後續研究.....	104
附錄一：期中報告審查意見處理情形表.....	111
附錄二：期末報告審查意見處理情形表.....	125
附錄三：座談會紀要.....	135
附錄四：假設與後續研究列表.....	139
附錄五：期末簡報.....	143

圖目錄

圖 2.1 ANS 網路架構示意圖	9
圖 2.2 ANS 機場空邊路網結構示意圖	9
圖 3.1 臺北飛航情報區航路圖	14
圖 3.2 桃園國際機場全區配置圖	16
圖 4.1 RCTP 雷達引導離場程序 SP1 航圖	29
圖 4.2 RCTP 儀器離場程序 AJ1G/AJ1M 航圖	30
圖 4.3 RCTP 儀器離場程序 NP2G/NP2M/NP2R/NP2T 航圖	31
圖 4.4 RCTP 儀器離場程序 OT2G/OT2M/OT2R/OT2T 航圖	32
圖 4.5 RCTP 儀器離場程序 PA1A/PA1B 航圖	33
圖 4.6 RCTP 儀器到場程序 BK1A/BK1B/DR1A/DR1B/GR1A/GR1B 航圖	34
圖 4.7 RCTP 儀器到場程序 SA1A/SA1B/TG1A/TG1B 航圖	35
圖 4.8 RCTP 儀器進場程序 ILS RWY05L 航圖	36
圖 4.9 RCTP 儀器進場程序 ILS RWY05L(CAT II) 航圖	37
圖 4.10 RCTP 儀器進場程序 ILS RWY05R 航圖	38
圖 4.11 RCTP 儀器進場程序 ILS RWY05R(CAT II) 航圖	39
圖 4.12 RCTP 儀器進場程序 ILS RWY23L 航圖	40
圖 4.13 RCTP 儀器進場程序 ILS RWY23L(CAT II)航圖	41
圖 4.14 RCTP 儀器進場程序 ILS RWY23R 航圖	42
圖 4.15 RCTP 儀器進場程序 ILS RWY23R(CAT II)航圖	43
圖 4.16 RCTP 儀器進場程序 RNAV RWY05L 航圖	44
圖 4.17 RCTP 儀器進場程序 RNAV RWY05R 航圖	45
圖 4.18 RCTP 儀器進場程序 RNAV RWY23L 航圖	46
圖 4.19 RCTP 儀器進場程序 RNAV RWY23R 航圖	47
圖 4.20 起飛後可立即飛航於分歧航道之隔離	54
圖 4.21 起飛後 5 分鐘內可飛航於分歧航道之隔離	54
圖 4.22 兩跑道可同時起飛	55
圖 4.23 可同時實施離到場之規定	56
圖 4.24 前一離場航空器已起飛且通過跑道末端	57
圖 4.25 交叉跑道隔離示意	57
圖 4.26 RCTP 低能見度標準滑行路徑(05L/05R 跑道到場)	64
圖 4.27 RCTP 低能見度標準滑行路徑(23L/23R 跑道到場)	65
圖 5.1 GR1A 儀器到場程序及 ILS RWY05L 儀器進場程序	73
圖 5.2 雷達引導航路示例	74
圖 5.3 航路空域網路示意圖	75
圖 5.4 空域網路結構示意圖	76
圖 5.5 地面網路結構示意圖	77
圖 5.6 地面網路圖	78

圖 5.7 模擬模式架構.....	83
圖 6.1 模擬軟體架構.....	87
圖 6.2 空域顯示視窗.....	89
圖 6.3 場面顯示視窗.....	90
圖 6.4 跑道附近空域顯示視窗.....	90
圖 6.5 航班表列視窗.....	91
圖 6.6 航機起降順序視窗.....	92
圖 6.7 時間控制台視窗.....	92
圖 6.8 下拉式選單(1).....	93
圖 6.9 下拉式選單(2).....	93
圖 6.10 下拉式選單(3).....	93
圖 7.1 桃園國際機場 6 月 30 日每小時離到場航空器數量統計.....	97
圖 7.2 模擬結果每小時離到場航空器數量統計.....	97
圖 7.3 ANS 網路架構示意圖 (與圖 2.1 同).....	98
圖 7.4 ANS 機場空邊路網結構示意圖 (與圖 2.2 同).....	98
圖 7.5 本模擬模式地面網路圖(與圖 5-5 及圖 5-6 同).....	99
圖 7.6 本模擬模式空域網路結構示意圖 (與圖 5-4 同).....	100

表目錄

表 2-1 16 項里程碑.....	11
表 3-1 桃園國際機場機坪 A 各停機位.....	17
表 3-2 桃園國際機場機坪 B 各停機位.....	18
表 3-3 桃園國際機場機坪 C 各停機位.....	20
表 3-4 桃園國際機場機坪 D 各停機位.....	20
表 3-5 桃園國際機場貨機機坪各停機位(1).....	20
表 3-5 桃園國際機場貨機機坪各停機位(2).....	21
表 3-6 桃園國際機場遠距機坪各停機位.....	22
表 3-7 桃園國際機場機坪 8 個停機位.....	22
表 3-8 桃園國際機場客機地面作業時間.....	23
表 3-9 桃園國際機場貨機地面作業時間.....	23
表 4-1 桃園國際機場相關航點.....	27
表 4-2 主要航點剩餘飛行距離.....	48
表 4-3 桃園國際機場終端管制空域進出管制點.....	48
表 4-4 航空器起飛重量及等級.....	59
表 4-5 桃園國際機場使用第 1 航廈航空公司.....	68
表 4-6 桃園國際機場使用第 2 航廈航空公司.....	69

第一章 緒論

1.1 計畫緣起

近年來我國國際航空交通需求量大幅成長，大量的航機飛航於狹小的空域，造成國內飛航空域擁擠及飛航管制不易。以104年桃園國際機場為例，當年度起降架次合計即超過21萬架次，而105年則更超過24萬架次，顯示近幾年空域擁擠程度持續增加。如何在受到限制、難以擴充的空域容量中，增加空域利用之效率以滿足空中交通的需求，是值得深入研究之議題。

空域容量有效運用為提升我國機場容量重要因素之一，為此須有一專門工具進行分析，然而國外現有套裝軟體如 SIMMOD、TAAM (Total Airspace and Airport Modeller)等，動輒需數十萬至上百萬美元費用才能購得，且系統功能未必完全符合我國空域管理需求。為探討及分析我國空域容量，需建置符合我國空域以及桃園國際機場空側特性之模擬模式，以模擬空域航機的運作，同時提升我國自主分析民航空域容量之研究能量。

1.2 研究對象與範圍

本研究之範圍如下。

1. 蒐集國內外相關空域模擬之研究或現有應用軟體功能，包括探討運作原理、空域模擬邏輯、空域結構等。
2. 資料蒐集:蒐集桃園機場、終端管制區域實際航機作業情形資料，其中包括飛航管理程序作業、終端管制區域相關資料、機場跑滑道佈設與停機坪管理等現況資料，並蒐集航機運轉相關資料 (研究範圍以臺北終端管制區域為邊界，並以臺北近場管制塔臺-臺北塔臺為主)。
3. 建置空域模擬模式雛型，至少包含終端管制、跑滑道、停機坪管理等三個子單元，並進行初步模擬分析比對。

1.3 研究內容

本計畫之主要目的在掌握民航空域容量分析之重要組成單元與關鍵參數，據以構建臺北終端管制區域之空域模擬模式雛型，協助後續相關情境分析，並做為民航局及機場公司在空域容量改善之參據。

在機場空間、設施等均擴充不易，而旅客需求持續成長之狀況下，如何提升空域容量運用效率便成為最值得探討之課題。然而航空器使用空域容量資源，受到許多複雜因素之限制，因此欲達到高效率運用空域容量的目的，需要縝密、有系統、科學化的規劃，而這些複雜規劃模式的有效建立，又高度依賴高品質之參數。因此本研究建立適合我國空域狀況之模擬模式，用以識別並分析重要參數，即為日後建立數學化、科學化最佳化模型所必備之基礎工作。

雖然目前市面上已有具備類似功能之商用套裝軟體，然而此類軟體之費用甚高，而系統功能常不易客製化以符合我國需求，且核心技術全然掌握於各開發單位。我國在此類軟體所需之數學規劃、數據處理、資訊等技術方面實具有國際競爭力，而本計畫正可整合並開發我國自主擁有之相關技術，逐步開發我國分析民航空域容量之研究及實作能量。

第二章 文獻回顧

2.1 飛航管理領域模擬之類型

所謂模擬，指模仿某個真實系統或程序，在一段時間內之運作狀況。進行模擬時，常須先釐清模擬之目的，再經由抽象化之過程，識別欲達到該目的時，所應捕捉模擬對象之屬性，據以建立模擬模型。利用所建立之模型代表所模擬之對象，再利用該模型以進行模擬，達到模仿真實系統或程序之目的。模擬在許多廣域具有廣泛的應用，而近年來隨著資訊科技之快速發展，以電腦為主要工具進行系統模擬，幾乎已成了模擬的主要代表。本研究之主旨，亦在開發可代表我國空域運轉狀況之電腦模擬模式。

模擬模式之分類可依細緻程度（Level of Detail）、方法（Methodology）、與範圍（Coverage）等來分類，依其細緻程度，通常可分為微觀（Microscopic）、中觀（Mesoscopic）、巨觀（Macroscopic）等，然而三者之間並無明確而公認之劃分標準。

真實的飛航系統由許多元件所構成，亦受到許多因素所共同影響。受到資訊技術、工程知識、資訊取得、及其他現實條件之限制，現今並無任何一個模擬系統能夠同時涵括小至小幅度的氣溫變化，大至航班班表或管制員之決策之間的所有因素，並且在沒有任何假設之狀況下進行模擬而得到完整實況之重現。事實上各種模擬系統均有其特定目的，而在其目的下，往往亦沒有必要在模擬模式中涵括所有可能的因素。相反的，配合模擬之目的而在建立模式之抽象化過程中，適當選擇納入模式中之屬性，有助於以更少的資源達到更佳之效果。

若模擬的目的在模仿單一航空器受其機械性能、自身重量等內在條件，以及空氣密度、環境溫度、風力風向等外在條件之影響下之行為，則該模式需要納入相當微觀之屬性考慮。此類模擬之目的在模擬航空器由後推、經滑行、起飛、爬升、巡航、下降、落地、滑行、到進入停機坪之過程，而其中採用最基本之理論為牛頓力學。模擬結果可以得到各階段之飛航軌跡，以及過程中各階段之油耗、爬升率、下降率等。此類模擬之主要考慮航空器之操作性能，包括機身長度、翼展、最大重量落地跑道長度、引擎數、發動機型式、最大爬升推力、平飛推力、下降推力、航空器質量、最大載重、最大飛行高度、最大起飛

重量、最大飛行馬赫數、地面滑行速度參數、阻力係數、油耗參數等諸多因素。這種模式可用以得到航空器之航行軌跡。

在光譜的另一端，若模擬的目的在模仿多數航空器、甚至多數機場所共同形成之現象，則需要考慮其他截然不同的屬性。例如 MCM (Macroscopic Capacity Model)^[1]、LMI(Logistics Management Institute)^[2]以等候網路(Queuing Network)為基礎，建立模擬模式以探求多數機場所構成之飛航網路之容量與延滯。其模式中並無個別之航空器，而是以各機場之航空器到達率、服務時間之統計分布等，依等候理論進行模擬。

現今大部份模擬模式均介於上列二者之間，其中 TAAM (Total Airspace & Airport Modeller) 與 SIMMOD (Airport and Airspace SIMulation MODel) 均屬較偏微觀者，而本研究之目的亦適合採用較偏微觀之模擬。

2.2 TAAM 回顧

本節內容主要參考自 TAAM 之產品說明文件^[3]，為節省篇幅並易於閱讀，本節內容除特別註明外，均引用自該文件，不再逐一加註出處。

本節所介紹之 TAAM 為 Jeppesen 公司與澳洲民用航空局 (Australian Civil Aviation Authority, CAA) 合作開發之軟體產品，其主要功能在進行航空相關之模擬，所涵蓋之範圍包括航空器開車後自停機坪後推，經起飛、抵達下一機場、再進入停機坪之過程。

TAAM 可用以評估^[4]機場停機坪、滑行道、跑道之容量、規劃機場改善方案、除冰方式、噪音評估、不良天候影響評估、終端管制區域飛航程序設計輔助、管制範圍劃分設計、管制席位工作負荷評估、延滯評估、管制規則設計評估、本益比評估等。而軟體之目的在作為決策、規劃、與分析之輔助工具，此軟體可作為航管策略之規劃工具，亦可用於分析及可行性研究。以下分運作原理、空域模擬邏輯、及輸入資料之製備、輸出與操作等各方面，分項介紹之。

1. 運作原理

TAAM 之運作，主要是依條列式之規則為之，亦即該軟體允許 (要求) 使用者設定許多規則，再由軟體執行之。例如，TAAM 有能力依所設定之準則，自動選擇起飛跑道，或指派起飛跑道，其相關規則如下：

- (1) 第 1 優先規則：若最近之空中定位點在左側，指派左側跑道；若在右側，指派

右側跑道。

(2) 第 2 優先規則：若等候佇列長度超過 10 架，指派佇列較短者。

(3) 第 3 優先規則：若側風超過 20 節，指派側風較小者。

進場順序為 TAAM 最複雜的部份，原因在於 TAAM 均依所設定之規則執行模擬，而許多分屬不同項目之規則，都對進場順序造成影響。因此使用者需要注意檢查所設定之規則是否造成航空器隔離過大或過小。

2. 空域模擬邏輯

本軟體基本上使用標準儀器離場程序 (Standard Instrument Departure, SID) 與標準終端到場程序 (Standard Terminal Arrival Route, STAR)，同時亦可設定具有彈性之延伸路徑 (Stretched Path)，於進場時有需要吸收延誤量時使用。

3. 輸入資料之製備

由於本軟體之建模工作相當複雜，包括航班班表、機場及其週遭環境描述、各航班之飛航計畫、航管規則、航路與航點設定、航空器之航跡、航空器之參數、衝突偵測 (Conflict Detection)、衝突排除 (Conflict Resolution) 策略、以及輸出設定。一份基本的模擬之準備工作即需要 70 至 80 人天的工作量，而 TAAM 提供了圖形化的資料輸入操作界面，亦可依 TAAM 所指定之格式備妥數據檔後大批輸入。

4. 輸出與操作

TAAM 配有互動式圖形界面以供使用者操作縮時模擬，提供使用者對空域或機場的二維或三維視覺化界面。同時亦含有依模擬結果產生統計資料、圖表的能力。模擬可中斷或重跑，而衝突排除、機場資源運用等重要規則可由使用者設定。模擬亦可以無畫面的批次，僅蒐集統計資料的方式執行。

TAAM 的輸出基本上為各種統計表格，主要輸出項目有：系統延滯、衝突狀況、機場場面的活動、延滯、跑道與滑行道的使用狀況、航空器使用航路、航點等之狀況、噪音、油耗、管制員工作負荷、個別航空器的飛航紀錄、決策形成分析、模擬系統的錯誤訊息。此外亦可輸出圖形畫面，並可開啟多視窗同時觀察不同畫面，各畫面的範圍為 30 公尺至 4 萬公里。

2.3 SIMMOD 回顧

軟體 SIMMOD 為美國 FAA 所開發之模擬系統。該軟體之發展始於在 1970 年代，並於近年持續更新而成為 SIMMOD PLUS! 軟體，專供美國與加拿大境外使用；另 SIMMOD PRO! 軟體則專供美國與加拿大境內空域及機場模擬之用。SIMMOD 可涵蓋機場的跑道、滑行道、停機坪、空域以及終端管制區域、同一區域多處機場，其中完整的空域與空側系統，可用以模擬航空器在機場與機場間飛行之過程，以及在機場之各種操作，成果可用於機場規劃以及運轉管理策略之分析，因此具有相當廣大的使用者群^[4]。以下分運作原理、空域結構、空域模擬邏輯、輸入資料之製備、及輸出與操作等各方面分別說明之。

1. 運作原理

本軟體採用事件模擬，以離散之事件呈現航空器在網路中之推進狀況。而所謂「事件」定義為在瞬間發生，足以改變某種狀態之現象，例如有一架航空器加入等待起飛之佇列，即為一個事件。模擬過程中發生這個事件時，系統便依據既定之規則計算此一事件所帶來之影響，據以更新系統狀態。執行模擬時亦可經由參數之設定，達到模擬空中超越、變更起飛順序、以及其他航管作為之效果^[5]。

在模擬之過程中，SIMMOD 依所設定之空側配置、空域程序、隔離標準等資訊，運算模擬航空器在空中飛行、降落、滑行、進入停機坪、後推、滑行、起飛等全部過程，並可對每一階段進行追蹤與解析。

2. 空域結構

基本上 SIMMOD 所使用之基本模型為三維空間中之網路模型，使用節點與節線所構成的網路模型以代表空域與機場。網路由節點與節線所構成^[6]，節線的屬性包括^[7]航空器超越的規則與限制、長度、到（離）場專用或共用、航空器大小之限制、以及航空器移動之方向。

3. 空域模擬邏輯

在 SIMMOD 之網路模型中所有的節點與節線在任一時間最多僅可容納一架航空器，而在模擬的過程中，所有航空器在網路中流動，當有二架航空器擬進入同一節點或節線時，則由模式決定何者優先占用。而航空器在網路中移動的路徑，則可由事先設定，或由系統以最短路徑演算法於模擬之前求解之。需注意的是 SIMMOD 僅有沿航空器運行方向之一維隔離檢查^[4]，亦即僅檢查前後之隔離而無側向之水平隔離檢查，同時亦無高度隔離之檢查。因為所有航空器於空中及地面

之路徑均為模擬前事先設定，該軟體並無法模擬航管人員配合航情而機動調整航路之狀況。

4. 輸入資料之製備

建立空域及機場的網路模型為製備 SIMMOD 輸入資料工作量相當吃重的部份。例如，若使用者希望於模擬時採用具有較高彈性之航路，則必須在模擬前逐一建立所有可能之飛航路徑。

由於所需資料量相當大而繁複，文獻^[4]估計完成一座大型機場之網路模型即需要 2 人天的工作量，而完整準備一份基本的模擬則需要 50 人天的工作量^[5]。主要的輸入資料包括涵蓋模擬範圍內空域及機場的網路架構，以及對交通流量之描述，包括飛航航路以及在跑道與停機位間之滑行路線，均為需要之輸入資料。

5. 輸出與操作

在完成模擬後，該軟體可統計航空器延滯、油耗、排隊等候等狀況並輸出量化結果。而輸出之主要統計項目為航空器之飛行時間、流量、單位時間通過量、延滯、燃油消耗、停機位使用率等。其詳細程度可以到個別的航空器，且指定地點之通過流量

整體而言，若適當應用 SIMMOD 可用以進行較微觀之模擬，然而不易上手為其弱點。使用者需要相當熟悉航管及機場運轉，並受過相當之訓練方能熟悉，同時由於其無法處理水平及垂直隔離，因此設計航路、以及設定各航空器飛行路徑時需要特別注意。

2.4 ANS 模式回顧

ANS (Air Net Simulation) 為國內開發之模擬系統，其軟體分為 3 個主要模組：資料庫模組、網路模組、以及模擬模組^[8]，以下將簡介此一系統。

1. 運作原理

此模擬模式採事件模擬方式進行，系統在模擬的部份建有 7 個模組：航機產生模組、起飛等候模組、跑道管理模組、脫離跑道模組、離到場模組、進場模組、與接續班機模組。系統之運作係採事件模擬，為微觀之模擬模式，於執行模擬時，系統維持一「事件排程表」，據以管理過程中所使用之各事件。該系統有能力模擬由航空器之起飛機場停機坪，直至降落機場停機坪間之飛航過程^[7, 8]。

2. 模擬邏輯

模擬進行時，進場航空器由網路中之「進場點」移動至「跑道出口點」，再由預先設定之時間分佈中取一隨機滑行時間，並依此時間長度移動至「停機坪節點」。而離場航空器亦以類似之方式，依預先設定之時間分佈中取一隨機滑行時間後，依此時間長度由「停機坪節點」將航空器移動至「跑道入口點」。同時使用二條跑道時，則以隨機方式決定航空器所使用之跑道。然本軟體並未完整考量進場、離場、以及橫越跑道之狀況^[9]，至於航空器之滾行時間長度則依所預先設定之時間分佈隨機決定之。

ANS 的推進邏輯可分為國內航線與國際航線 2 種不同之規則^[8]。在國內航線部份，其規則摘錄如下。

- (1) 其他機場起飛之航機於離開離場交管點後，即依估計之時間推進至到場交管點。
- (2) 目的機場之跑道空閒時，航機即取得落地許可而獲得跑道使用權，再將之推進至進場點。
- (3) 航機隨後推進至跑道出口點再至停機坪，並釋放出跑道使用權。
- (4) 若航機仍有下一飛行任務，則加上地勤作業時間 (Turn Around Time)，排定下次任務並將之推進至登機門等候點。
- (5) 航機取得後推許可後，即可離開登機門等候點而推進至跑道入口點。
- (6) 於跑道空閒且隔離足夠時，等候起飛之航機即取得跑道使用權，而推進至跑道出口點。
- (7) 航機離開跑道後即放出跑道使用權，並推進至離交管點。
- (8) 離開離場交管點之航機經過一段飛行時間後推進至其他終端管制區域之到場交管點。

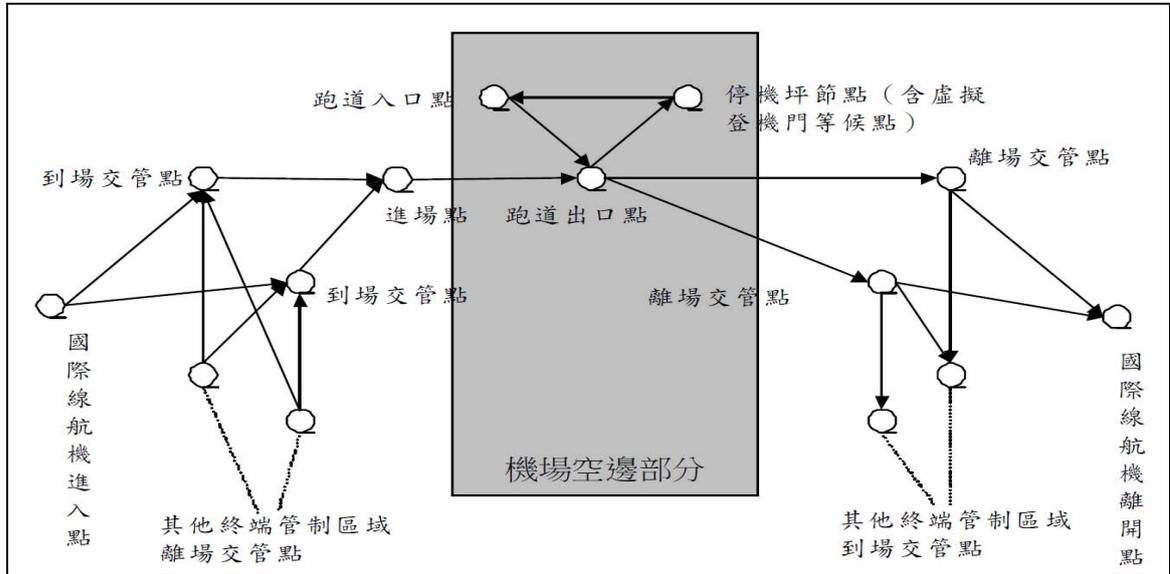
在國際航線部份，其規則摘錄如下^[8]。

- (1) 國際航線到場航機為由一國際線航機進入點產生，再推進至到場交管等候點。
- (2) 國際線航機在離開離場交管點後即離開本系統，而國際航線於終端管制區域內之運作方式皆與國內航線相同，不再贅述。

3. 空域結構

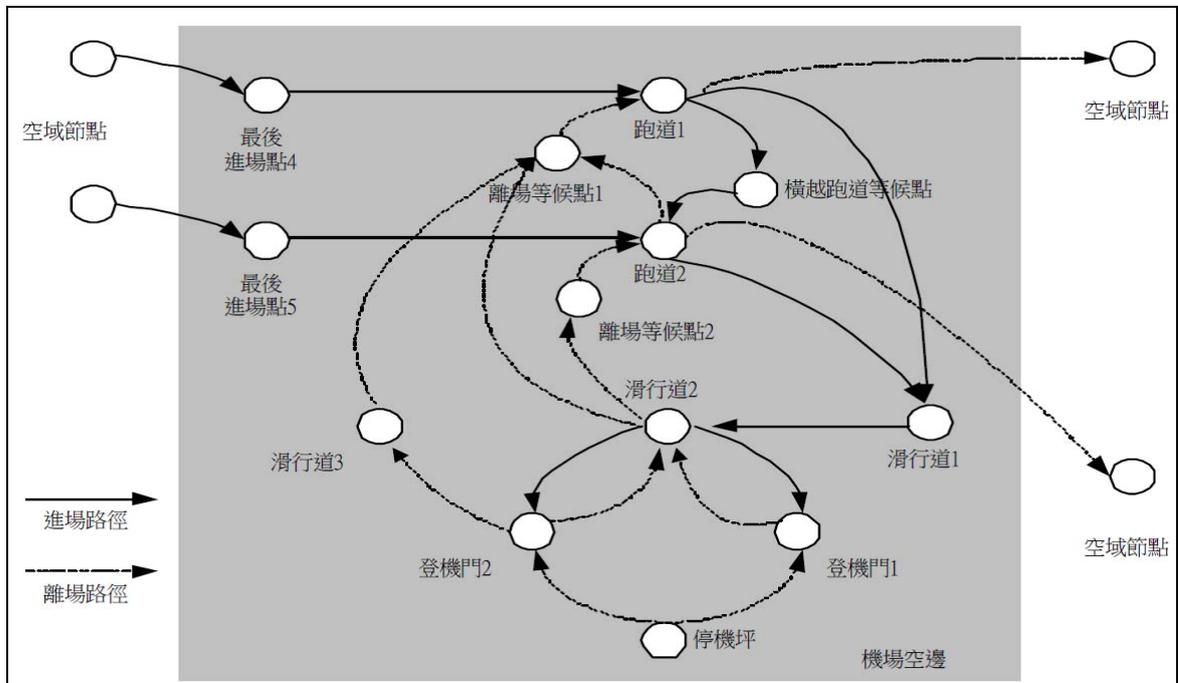
此模擬系統所建立之網路分為空域與機場空側，機場空側之網路如圖 2.1 所示，其中機場空側之網路由 3 個節點所構成，分別為：跑道入口節點、停機坪節點、

及跑道出口節點，此部份於後續針對機場空側之模擬而擴充時，添加了更多的元件，包括：最後進場點、跑道節點、橫越跑道等候點、滑行道節點節線、登機門節點、停機坪節點、離場等候點節點等，如圖 2.2 所示，其中所有停機坪合併以單一節點代表之，容量則設定為無限大。



資料來源：[7]

圖 2.1 ANS 網路架構示意圖



資料來源：[7]

圖 2.2 ANS 機場空側路網結構示意圖

2.5 機場空側模擬模式回顧

本節回顧國內所開發之機場空側模擬軟體^[9, 10]。該軟體係以前述 ANS 軟體為基礎，予以擴充而成，軟體由 6 個模組所組成，分別為航機產生模組、登機門模組、後推模組、滑行道模組、跑道管理模組、以及到場等候模組。

1. 運作原理

此模擬模式與 ANS 相同，均使用節點與節線所構成之網路為模擬之基礎。而模擬之推進，亦採用事件模式之方式，於模擬進行過程中，各航機於網路中依其路徑循序推進；當同時超過 1 架航機擬使用同一資源（例如跑道、最後進場節點等）時，則依既定之規則決定何者優先使用，以及未獲優先權之航機應如何等待。

2. 空側模擬邏輯

於執行模擬時，航機係產生於停機坪。產生航機之後，再決定其所使用之登機門，再依其所使用之登機門位置，使用 Dijkstra's algorithm 求解滑行路徑，亦可使用預先設定之固定滑行路徑。模擬時航機沿該路徑推進至跑道節點，再依納入隨機因素之計算方法決定滾行時間，用以推算該航機脫離跑道節點之時間點，而航機脫離跑道節點之後，即進入空域節點。

到場航機之模擬，則考慮機場是否開放、跑道方向、跑道是否可用、航機可否進入最後進場點等因素。若軟體檢查發現機場未開放，則設定航機進行空中等候、折返原起飛機場、或轉降備降機場。若機場有開放，則計算搜尋可用跑道，若無則進行空中等候，若有可用跑道則使航機進場。

3. 空側結構

模式所使用之空邊網路節點共有 8 種，為：最後進場節點、跑道節點、離場虛擬等候節點、橫越跑道虛擬等候節點、滑行道節點、登機門節點、登機門等候節點、與停機坪節點等。其中在跑道的部份，以節點形式代表實際跑道，而該節點 1 次僅容許 1 架航機占用，其節點屬性包括跑道長度、出口位置等。

4. 驗證方式

本模式之驗證方式，為紀錄模擬過程中之：離場延滯分配、到場延滯分配、起飛等候點等候時間分配、後推延滯分配、抵達滑行道節點之時間間隔分配、航機總滑行時間分配等，再與桃園國際機場及松山機場之觀察資料相比較。其中離場延滯與到場延滯依序分別指實際離或到場之時間與公告之班機時刻表間之差異，比較之對象資料來源為民國 89 年 8 月 24 日桃園國際機場（時稱中正機場）之管制

條、民國 89 年 8 月 25 日松山機場之管制條、以及同時期兩機場之公告班機時刻表。至於起飛等候點等候時間分配、後推延滯分配、抵達滑行道節點之時間間隔分配、航機總滑行時間分配等項目，則以民國 89 年 8 月 24 日桃園國際機場，以及民國 89 年 8 月 25 日松山機場之現地觀察資料為比較之標的。

2.6 前期研究回顧

本研究之前期為 105 年度所辦理之「臺灣國際機場引進機場協調整合決策(A-CDM)系統之研究」^[11]，其中機場協調整合決策(Airport-Collaborative Decision Making, A-CDM)為歐洲 Eurocontrol 長期推動之方案，目的在協助機場各部門增進對整體狀況之共同感知，以及提高所有單位對未來狀況之可預期性。此種作法成功之主要關鍵在透明的資訊共享，以及各相關部門之密切合作，該研究詳細介紹了 A-CDM 之 6 項基本元素以及構成其核心之 16 項里程碑，簡要整理於表 2-1。

表 2-1 16 項里程碑

里程碑	項目	說明
1	ATC Flight Plan Activated	由本場起飛之飛航計畫啟動
2	EOBT-2hrs	本場預計撤輪擋時間前 2 小時
3	Take Off Outstation	外站起飛
4	FIR Entry	進入飛航情報區
5	Final Approach	最後進場階段
6	Landed	航機降落
7	In-Blocks	上輪擋
8	Ground Handling Started	開始地勤作業
9	TOBT confirmation prior to TSAT issue	頒發許可開車目標時間前確認撤輪擋目標時間
10	TSAT Issued	頒發許可開車目標時間
11	Boarding Started	開始登機
12	Aircraft Ready	航機準備就緒
13	Start-Up Requested	請求開車
14	Start-Up Approved	許可開車
15	Off-Blocks	撤輪擋
16	Take-Off	起飛

資料來源：[11, 12]

對於桃園國際機場，前期研究指出短期內可建置之 6 項里程碑、後續應優先建置之項目、以及欲發揮充份資訊所能帶來效用所必須之 4 項重要的決策輔助系統。同時，該研究亦討論了桃園國際機場容量分析之重要性，以及容量分析與 A-CDM 之關聯。此外，本研究並建置桃園國際機場之 A-CDM 雛型軟體，以動畫方式顯示未來該機場完成 A-CDM 建置後之狀況，該雛型軟體並以簡化但真實之方式，內含數個重要的決策輔助功能。

前期研究之內容，與本案之內容有相當之差異，其主題及目的之差異分別說明如下。

1. 研究對象

雖然前期研究與本研究均屬飛航領域，然而前期研究之主要對象以機場各相關單位間之資訊流動為中心。而 16 項里程碑，即為航空器進場、地停、直至離場之間所需要經歷之各項狀態變化；同時由於 A-CDM 以協調整合為主軸，這 16 項里程碑亦涉及航管、航空公司、地勤業、及其他業者。本期研究則以終端管制區域空域，以及機場空側為研究對象，著重在建立模式以模擬航空器之行為與彼此間之影響，主要之研究對象設定為航管人員，與地勤等其他業者較無關聯。

2. 主題方向

於 A-CDM 之 16 里程碑中，超過半數屬地停過程，而本案則以航空器在空域與地面活動為主，並未涵蓋地停過程。

3. 研究目的

本研究之主要目的在掌握民航空域容量分析之重要組成單元與關鍵參數，據以構建臺北終端管制區域之空域模擬模式雛型；而前期研究之目的則在評估桃園國際機場發展 A-CDM 已有的條件與不足的單元，並建置機場協調整合決策系統雛型。

綜合考量本研究與前期研究可以發現二者具有互補性，以本研究之成果為基礎，結合前期研究成果將可用以評估桃園國際機場發展 A-CDM 所可能帶來之效益，達到良好之完整性。

第三章 我國空域與桃園國際機場空側

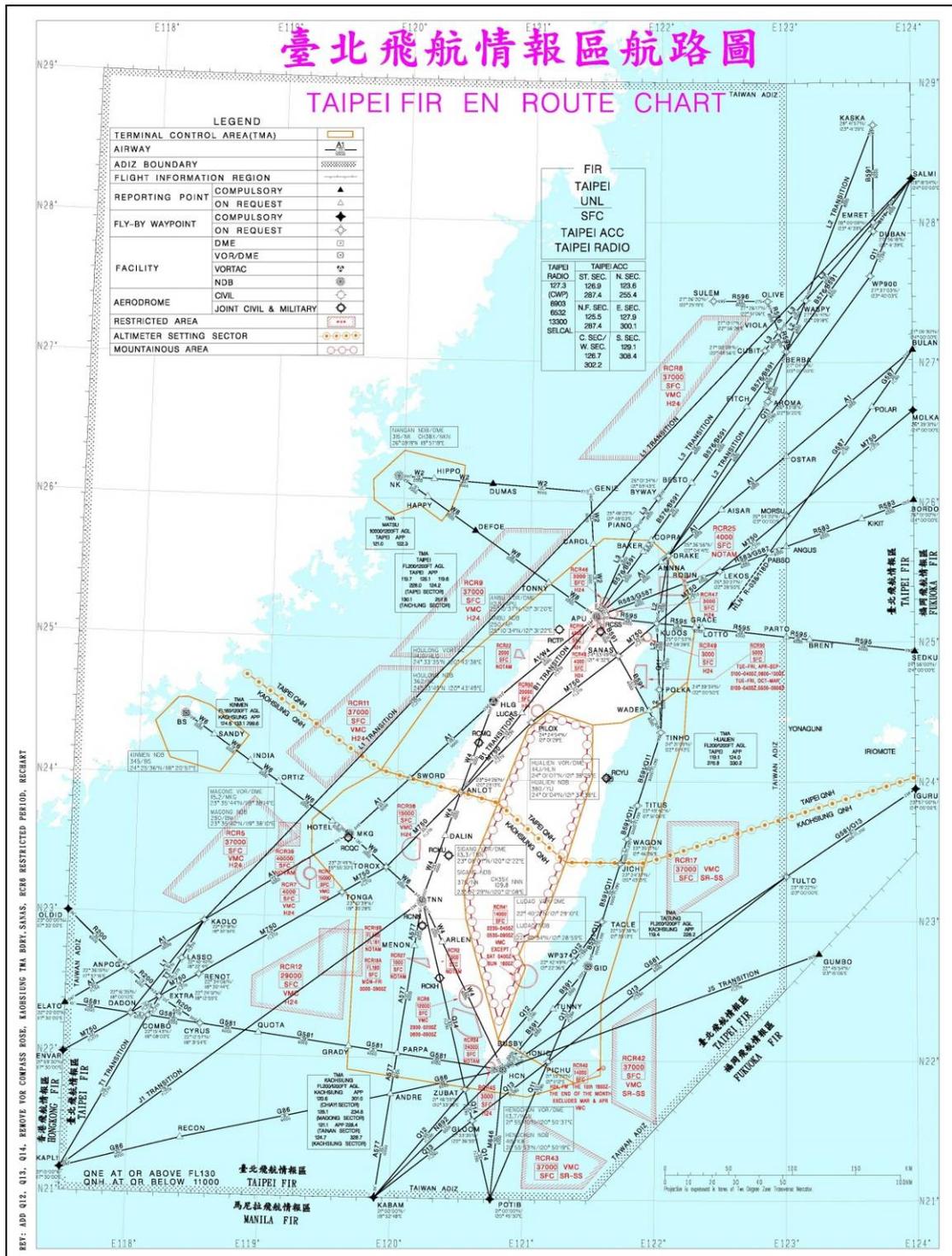
3.1 臺北飛航情報區

飛航情報區 (Flight Information Region, FIR) 係由國際民航組織所劃分，而臺北飛航情報區為我國提供情報服務及守助業務之空域，亦為我國惟一的飛航情報區，其劃分圖如圖 3.1 所示。

本飛航情報區最南界在北緯 21 度，最北界為北緯 29 度，最西與最東界分別為東經 117 度 30 分與東經 124 度 00 分。本區之幾何形狀為 5 邊形，5 個頂點經緯度分別為 (21°00'N, 117°30'E)、(21°00'N, 121°30'E)、(23°30'N, 124°00'E)、(29°00'N, 124°00'E)、以及 (29°00'N, 117°30'E)[13]。本區西側高約 494 浬 (約 889 公里)、東側高約 352 浬 (約 633 公里)、南側寬約 230 浬 (約 415 公里)、北側寬約 378 浬 (680 公里)，總面積約為 17 萬平方浬 (約相當於 54 萬平方公里)。

臺北飛航情報區西側鄰接上海飛航情報區，西南鄰接香港飛航情報區及廣州飛航情報區，南側鄰接馬尼拉飛航情報區，東側鄰接福岡飛航情報區。

通過臺北終端管制區之航路，在國內航路方面有 W2、W4、W6、與 W8，而屬國際航路者則分別為 A1、A577、B576、B591、G581、G86、G587、R583、R595，其位置如圖 3.1 所示。



資料來源：[13]

圖 3.1 臺北飛航情報區航路圖

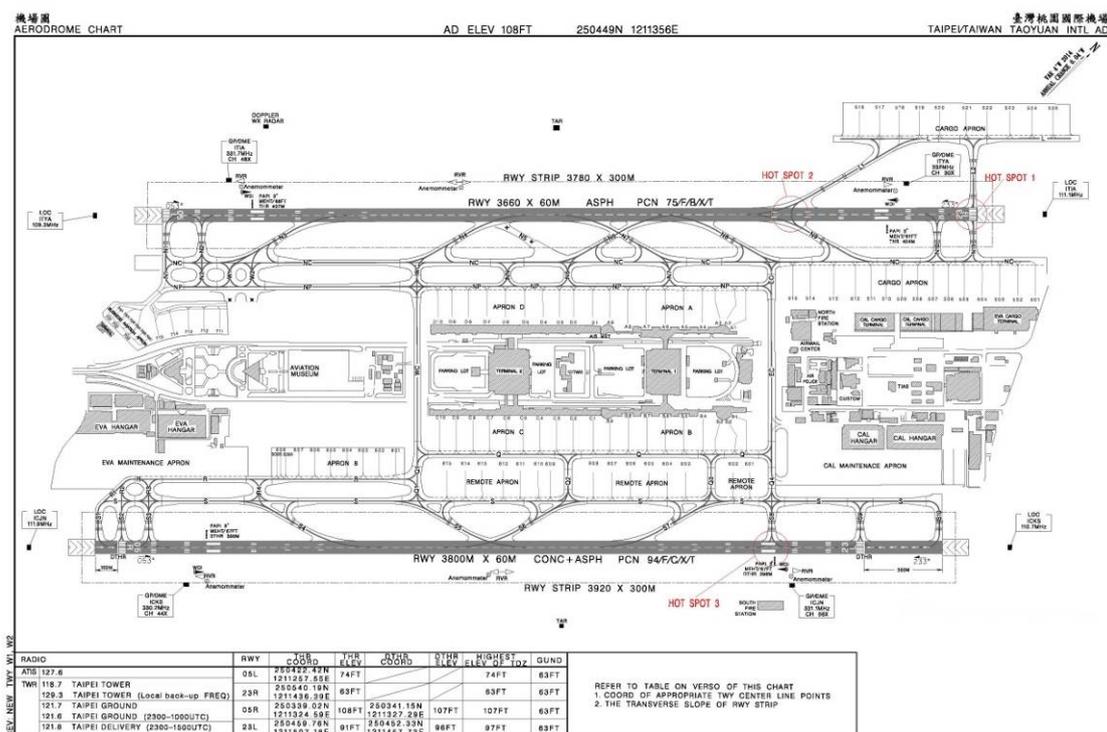
3.2 臺北終端管制區域

我國計有臺北、高雄、花蓮、臺東、馬祖、與金門等終端管制區域，其中臺北終端管制區域為本專案之範圍。早期的臺中終端管制區域已劃入臺北終端管制區域內。臺北終端管制區域之範圍，為下列各點經緯度連線以內之部份：(254407.33N, 1213417.35E)、(254332.06N, 1215636.06E)、(253656.02N, 1220440.61E)、(252509.00N, 1221228.00E)、(250622.00N, 1221723.00E)、(2442483.10N, 1221356.42E)、(243543.75N, 1220427.66E)、(243023.00N, 1215605.00E)、(242511.14N, 1214331.59E)、(242408.00N, 1213002.00E)、(242958.51N, 1211007.12E)、(242200.00N, 1210000.00E)、(235010.83N, 1204634.06E)、(240325.23N, 1195202.28E)、(244800.00N, 1202500.00E)^[13]。其地理置位在臺灣北部之空域，由臺北近場管制塔臺負責管制作業，其上限為飛航空層 FL200，下限為自地面 1200 呎，臺北終端管制區域東方連接花蓮終端管制區域，南方連接高雄終端管制區域，其區位亦示於圖 3.1。

本研究範圍之桃園國際機場，即位在臺北終端管制區域內。此外，區域內尚有松山機場、清泉崗機場、及新竹機場等 3 處軍機場，除軍機場本身之機場管制作業外，其它近場管制作業均由臺北近場管制塔臺負責管制作業，另早期之桃園軍機場則已停止使用。

3.3 桃園國際機場空側

桃園國際機場為我國最主要，也是最繁忙之機場，其 IATA 代碼 TPE，而 ICAO 代碼則為 RCTP。機場為空中運輸與地面運輸之銜接處，因此其設施亦涵蓋了空側與陸側。由於陸側並未涵蓋在本計畫範圍內，本節將由本案模擬模式之觀點，整理桃園機場空側之設施及其性質，其機場之配置圖則示於圖 3.2。



資料來源：[13]

圖 3.2 桃園國際機場全區配置圖

1. 位置

桃園國際機場位在臺北市西方約 16.7 哩(30.9 公里)之位置，其標高為 108 呎(32.9 公尺)，機場之參考點位置為 250449N、1211356E。

2. 塔臺

塔臺指為機場交通提供飛航管制服務而設置之單位^[14]，為桃園國際機場之重要設施，提供管制員以目視方式掌握轄內各航空器之狀態。塔臺之功能，在利用陸空通信、目視信號、以及其他各種設備，對於在機場附近空域，以及機場活動區內進行各種操作與活動之航空器，提供飛航管制服務。桃園國際機場目前使用之塔臺高度為 46 公尺，而正施工中，預計明（2018）年啟用之新塔臺，高度將為 62 公尺。

3. 跑道

桃園國際機場擁有 05L、23R、05R、23L 等跑道。其中前二者為同一實體設施，長 3660 公尺、寬 60 公尺。後二者亦為同一實體設施，長 3800 公尺、寬 60 公尺。其配置如圖 3.2 所示。

4. 滑行道

桃園國際機場之滑行道系統包含了：EC、N1、N2、N3、N4、N5、N6、N7、N8、N9、N10、N11、L1、L2、NC、L、NN、NP、S、S1、S2、S3、S4、S5、S6、S7、S8、S9、S10、R、R1、R2、R3、R4、Q、Q1、Q2、Q3、Q4、W1、W2 及 WC。圖 3.2 亦呈現了桃園國際機場滑行道之配置，以及 3 處易生衝突之熱點，包括東北角貨運機坪航機滑出穿越跑道影響滑行動線之點。實務上滑行道常需施工，對滑行動線亦造成影響。

5. 停機位

桃園國際機場設有多處機坪，共計有 86 處停機位，其名稱、經緯度、可容納之最大機型、以及相關規定整理於表 3-1 至表 3-7，而配置則示於圖 3.2。實務上停機位也亦常需施工，有時亦影響航空器之使用。

表 3-1 桃園國際機場機坪 A 各停機位

停機位編號	經度	緯度	最大機型	備註
A1	250504.72N	1211418.47E	A300	C 類(含)航機以下，禁停 MD 機型 禁停 B787 機型
A2	250504.81N	1211417.11E	B744	C 類航機為主 *若停 B744 機型則 A3 最大停 C 類機型 禁停 B787 機型
A3	250504.08N	1211416.12E	A330	C 類航機為主 禁停 B787 機型 與鄰近機坪衝突，禁停 B744 機型
A4	250501.88N	1211414.59E	B77W	
A5	250500.09N	1211412.32E	B748	
A6	250458.30N	1211410.05E	B748	
A7	250456.52N	1211407.78E	B748	禁停 B787
A8	250454.74N	1211405.51E	B748	
A9	250453.70N	1211402.64E	B77W	禁停 ERJ、MD。 禁停 B787 機型。 因縱深不足，亦禁停 A346 機型

資料來源：[13, 15]

表 3-2 桃園國際機場機坪 B 各停機位

機位編號	經度	緯度	最大機型	備註
B1	250454.52N	1211427.99E	A300	C 類(含)航機以下, 禁停 MD 機型 禁停 B787 機型
B2	250453.30N	1211427.94E	B744	C 類航機為主 *若停 B744 機型則 A3 最大 停 C 類機型 禁停 B787 機型
B3	250452.57N	1211427.04E	A330	C 類航機為主 禁停 B787 機型 與鄰近機坪衝突, 禁停 B744 機型
B4	250451.50N	1211424.46E	B77W	
B5	250449.73N	1211422.18E	B77W	
B6	250447.94N	1211419.92E	B77W	
B7	250446.16N	1211417.64E	B77W	
B8	250444.37N	1211415.38E	B77W	
B9	250441.98N	1211413.76E	B77W	因縱深不足禁停 A346 機型

註：客運停機坪

資料來源：[13, 15]

表3-3 桃園國際機場機坪C各停機位

停機位編號	經度	緯度	最大機型	備註
C1	250440.67N	1211411.46E	B77W	禁停 MD
C2	250438.79N	1211409.09E	A380	禁停 MD A380 使用 C3 備用停機位時，僅限 C 類(含)以下機型停放，且 C2 停機位僅安排到場航機
C3	250437.20N	1211407.06E	A380	C2 有 A380 機型停駐時，僅安排單獨到場 C 類(含)以下機型。
C4	250435.60N	1211405.03E	B77W	禁停 MD A380 機型使用 C3 備用停機位時，僅限 C 類(含)以下機型停放
C5	250434.01N	1211403.01E	B77W	禁停 B787 機型
C6	250432.42N	1211400.98E	B77W	禁停 MD
C7	250430.82N	1211358.96E	B77W	禁停 MD
C8	250429.23N	1211356.93E	B77W	禁停 MD
C9	250427.64N	1211354.91E	B77W	禁停 MD
C10	250426.04N	1211352.88E	B77W	禁停 MD 禁停 B787 機型

註：客運停機坪

資料來源：[13, 15]

表 3-4 桃園國際機場機坪 D 各停機位

停機位編號	經度	緯度	最大機型	備註
D1	250452.19N	1211400.56E	B77W	禁停 MD 機型
D2	250450.35N	1211358.22E	B77W	禁停 MD 機型
D3	250449.02N	1211356.49E	B763	C 類航機為主 禁停 B787 機型 禁停 MD 機型
D4	250447.42N	1211354.50E	B77W	禁停 MD 機型
D5	250445.73N	1211352.33E	B77W	禁停 MD 機型
D6	250443.86N	1211349.95E	A380	禁停 MD 機型
D7	250442.19N	1211347.63E	B77W	禁停 MD 機型
D8	250440.33N	1211345.47E	B77W	禁停 MD 機型
D9	250438.80N	1211343.40E	B77W	禁停 MD 機型
D10	250437.43N	1211341.77E	B763	D 類航機為主 禁停 B787 機型 禁停 MD 機型

註：客運停機坪
資料來源：[13, 15]

表 3-5 桃園國際機場貨機機坪各停機位(1)

停機位編號	經度	緯度	最大機型	備註
501	250536.74N	1211451.97E	B744	
502	250535.04N	1211449.82E	B744	
503	250533.30N	1211447.69E	B744	加油栓口與 B767 航機加油口距離太短不易操作，故不排放 B767 航機
504	250531.60N	1211445.53E	B744	加油栓口與 B767 航機加油口距離太短不易操作，故不排放 B767 航機
505	250529.76N	1211443.50E	B744	
506	250528.28N	1211441.62E	MD11	僅安排 D 類(含)以下機型
507	250526.79N	1211439.72E	B748	B748 停放期間，506 及 508 間裝備區限放空盤車。
508	250525.31N	1211437.83E	MD11	僅安排 D 類(含)以下機型
509	250523.82N	1211435.94E	B744	
510	250522.34N	1211434.05E	MD11	僅安排 D 類(含)以下機型

表 3-5 桃園國際機場貨機機坪各停機位(2)

停機位編號	經度	緯度	最大機型	備註
511	250520.85N	1211432.15E	B744	
512	250519.36N	1211430.27E	MD11	僅安排 D 類(含)以下機型
513	250517.48N	1211427.48E	B748	
514	250515.12N	1211424.87E	B744	可開鼻頭
515	250513.42N	1211422.71E	B748	可開鼻頭
516	250540.44N	1211411.21E	B748	可開鼻頭
517	250542.35N	1211413.64E	B748	可開鼻頭
518	250544.27N	1211416.07E	B748	可開鼻頭
519	250546.18N	1211418.50E	B748	可開鼻頭
520	250548.09N	1211420.93E	B748	可開鼻頭
521	250550.64N	1211424.17E	B748	可開鼻頭
522	250552.66N	1211426.74E	A380	可開鼻頭 臺北飛航情報區飛航指南 [13]目前最大機型為 B748， 將於下次修訂時變更為 A380
523	250554.78N	1211429.44E	A380	可開鼻頭
524	250556.90N	1211432.14E	A380	可開鼻頭
525	250558.92N	1211434.70E	B748	可開鼻頭

註：貨運停機坪
資料來源：[13, 15]

表 3-6 桃園國際機場遠距機坪各停機位

停機位編號	經度	緯度	最大機型	備註
601	250449.75N	1211435.99E	A330	
602	250448.16N	1211433.96E	A330	
603	250443.63N	1211428.20E	B77W	
604	250441.88N	1211425.98E	B77W	
605	250440.13N	1211423.75E	B77W	
606	250438.37N	1211421.52E	B77W	
607	250436.62N	1211419.30E	A380	A380 機型技降停機位
608	250434.86N	1211417.07E	B77W	607 有 A380 機型停駐時， 僅安排 B738(含)以下機型
609	250430.71N	1211411.79E	B763	限停 D 類(含)以下航機
610	250429.61N	1211410.40E	B763	限停 D 類(含)以下航機
611	250427.85N	1211408.15E	B77W	
612	250426.25N	1211406.12E	B77W	
613	250424.24N	1211403.56E	B77W	
614	250422.66N	1211401.55E	B77W	
615	250420.91N	1211359.32E	B763	限停 D 類(含)以下航機

註：遠距停機坪
資料來源：[13, 15]

表 3-7 桃園國際機場機坪 8 個停機位

停機位編號	經度	緯度	最大機型	備註
801	250418.35N	1211350.81E	B744	802 有 A380 機型停駐時， 僅安排 C 類(含)以下機型。
802	250416.81N	1211348.86E	A380	A380 過夜停機位
803	250415.27N	1211346.90E	B744	802 有 A380 機型停駐時， 僅安排 C 類(含)以下機型。
804	250413.73N	1211344.95E	B744	
805	250412.19N	1211342.99E	B744	
806	250410.65N	1211341.03E	B744	
807	250409.12N	1211339.08E	B744	
808	250407.42N	1211336.92E	B744	亦可同時停兩架 C 類

註：夜駐機停機坪
資料來源：[13, 15]

至於地面作業時間之規定，客機方面如表 3-8 所示，貨機方面則整理於表 3-9

。

表 3-8 桃園國際機場客機地面作業時間

	單獨離場航班	單獨到場航班	前後航班隔離
E 類以上航機	70-90 分鐘	60 分鐘	15 分鐘以上
D 類以下航機	60 分鐘	60 分鐘	15 分鐘以上

資料來源：[15]

表 3-9 桃園國際機場貨機地面作業時間

	單獨離場航班	單獨到場航班	前後航班隔離
貨機	120 分鐘	120 分鐘	60 分鐘以上

資料來源：[15]

第四章 航管與航務

4.1 飛航管制服務簡述

飛航管制服務簡稱航管服務，指為防止航空器間及在操作區內航空器與障礙物間之碰撞，加速並保持有序、暢通之飛航所提供之服務^[14]。而飛航規則^[16]亦有類似之定義：「飛航管制服務：簡稱航管服務，指為防止航空器間、航空器與障礙物間於航空站跑、滑道滑行時之碰撞及加速飛航流量並保持有序飛航所提供之服務」。

空中交通之安全、有序、暢通所提供之各種管制服務。目前國際上通用之飛航管制服務架構係分為3層，依其空層高度，由高至低為區域管制服務（Area Control Service）、近場管制服務（Approach Control Service）、以及機場管制服務（Aerodrome Control Service）3類，分別概述如下。其中近場管制服務與機場管制服務與本模擬模式直接相關，將再於本章後續，各以專節深入說明之。

1. 區域管制服務

指對管制區域內之管制飛航提供之飛航管制服務^[16]，由區域管制中心（Area Control Centre, ACC 或 Upper Area Control Centre, UAC）所提供，其管制範圍為臺北飛航情報區，空層 FL201 以上之航路以及航路附加空域（航路左右各 10 浬範圍）。而航路附加空域範圍之外，除少數區域外，大部份空域基本上由軍方管制。航空器進入臺北飛航情報區即由區域管制中心提供管制服務，此外亦有部份國內線航路，實務上授權近場管制臺進行管制。

2. 近場管制服務

指對離場或到場之管制飛航提供之飛航管制服務^[16]，由近場管制臺（Approach Control Unit, APP）所提供，其管制範圍原則上為空層 FL200 以下至距地面 1200 呎（約 366 公尺）之間。惟實務上此一劃分之高度並非一成不變，為了配合航空器順利降落所需，近場管制臺與區域管制中心會就部份空域訂定異於 FL200 之使用協議及交接管高度。一般而言，到場航空器於抵達交管點時，其管制權由區域管制中心移交（Handoff）至近場管制臺。

3. 機場管制服務

指對機場交通提供之飛航管制服務^[16]，由機場管制塔臺（Airport Traffic Control Tower）所提供。一般而言，到場航空器於最後進場定位點（Final Approach Fix,

FAF)，進入最後進場程序（Final Approach）時，其管制權由近場管制塔臺移交至塔臺。而離場之航空器則於目視消失，或起飛後距跑道 0.5 哩時，其管制權由塔臺移交至近場管制塔臺。

維持航空器之間適當之隔離，為飛航管制服務最重要的任務之一。航空器間之隔離可分為垂直隔離與水平隔離 2 項，分別略述如下。

1. 垂直隔離

在 29,000 呎以上，應維持 2000 呎以上之間隔，而在 29,000 呎以下則可縮減為 1,000 呎之間隔。

儀器飛航航空器垂直隔離之最低標準，在飛航空層 410 以下採 1000 呎隔離，飛航空層 410 以上採 2,000 呎隔離。但飛航空層 290 以上，非 RVSM(Reduced Vertical Separation Minima) 核准之航空器與其他航空品間採 2,000 呎垂直隔離。另於飛航空層 600 以上，於軍用航空器之間採 5,000 呎垂直隔離^[14]。

2. 水平隔離

在航空器位置非來自雷達資料時，應以時間為準（Time Separation）時，同高度應有 10 分鐘之隔離。以距離為準時則同高度應有 20 哩之隔離。但當航空器位置資料來自雷達時，可採雷達隔離^[14]，其標準為 5 哩之水平隔離。但雷達天線 40 哩內，由航管單位提報，並經民航局核准後得個案應用^[14]採 3 哩之隔離。

4.2 近場管制服務

所謂近場管制服務，為近場管制單位對終端管制區域內航空器之離場爬昇、到場下降時之提供進場隔離與管制之服務。我國設有臺北近場管制塔臺以及高雄近場管制塔臺，其中前者為本案範圍。本報告已在 3.2 節對臺北終端管制區域作基本介紹，在此不重複贅述。

民航局於空域設有航點（Waypoint），以精準導引航空器之飛行，航點為預劃之地理位置，供界定航線、航空器到場、航空器進場或位置報告使用，其中與桃園國際機場相關之航點計有 64 個^[13]，整理如表 4-1 所示。

表 4-1 桃園國際機場相關航點

名稱	緯度	經度	名稱	緯度	經度
AJENT	240018.00N	1195706.00E	ROBIN	252509.00N	1221228.00E
APRIL	250657.86N	1210608.29E	RW05L	250422.42N	1211257.55E
AUGUR	252358.15N	1212747.96E	RW05R	250341.15N	1211327.29E
BAGEL	250145.34N	1210937.62E	RW23L	250452.33N	1211457.73E
BAKER	253836.00N	1215248.00E	RW23R	250540.19N	1211436.39E
BOCCA	232846.24N	1194652.90E	SEPIA	252913.05N	1213431.73E
BRAVO	244027.24N	1203641.87E	SHAFU	250809.36N	1211907.93E
CANDY	242718.00N	1201800.00E	SUMER	250800.00N	1205630.00E
CHALI	244348.00N	1203030.00E	TINFU	250857.18N	1211846.62E
COPRA	254332.06N	1215636.06E	TINHO	242109.00N	1220143.00E
DECOY	251218.00N	1210106.00E	TNN	230807.10N	1201222.30E
DRAKE	253656.02N	1220440.61E	TONGA	231038.65N	1193527.96E
ELBER	240641.81N	1201305.84E	TP050	250742.00N	1211712.00E
FETUS	245825.89N	1205518.78E	TP051	245709.68N	1210348.01E
GABBY	230807.00N	1200342.00E	TP052	245352.53N	1205938.68E
GRACE	250621.55N	1221722.88E	TP053	245035.33N	1205529.49E
JAMMY	245508.77N	1205109.37E	TP060	250654.00N	1211736.00E
JUNTA	251726.34N	1211927.85E	TP061	245628.40N	1210417.81E
JUROR	252041.88N	1212337.15E	TP062	245311.25N	1210008.50E
KIKIT	255255.83N	1233531.91E	TP063	244954.06N	1205559.32E
KUDOS	250753.00N	1215928.00E	TP064	250648.00N	1211730.00E
MARCH	250142.90N	1205928.42E	TP065	251006.62N	1212137.65E
MAYOR	251211.75N	1211247.06E	TP230	250218.00N	1211018.00E
MEICH	234216.31N	1201627.02E	TP231	251253.01N	1212347.16E
MKG	233543.57N	1193814.15E	TP232	251609.41N	1212757.86E
MOLKA	263931.00N	1240000.00E	TP233	251925.68N	1213208.78E
NEPAS	251642.00N	1212854.00E	TP240	250136.00N	1211048.00E
NOVAS	251730.00N	1210742.00E	TP241	251205.14N	1212408.46E
OCTAN	252318.00N	1211654.00E	TP242	251521.54N	1212819.13E
PABSO	253820.80N	1225157.70E	TP243	251837.82N	1213230.02E
PARPA	220156.00N	1200211.00E	TP246	245826.34N	1210648.22E
PIANO	254822.91N	1214902.84E	YUPPY	250104.06N	1211007.38E

資料來源：[13]

以航點為定位基準，臺北終端管制區域設有各種到場、進場、與離場儀器飛航程序。所謂「儀器飛航程序」，指一系列預設且有順序性之飛航程序與航線，以供航空器自起飛機場飛航至目的地機場^[17]。基本上儀器飛航程序依飛行階段區分，可分為4類，分別對應飛行過程之起飛、航路、到場、與進場落地4個主要的階段，分別說明如下^[17]。

1. 標準儀器離場 (Standard instrument Departure, SID)

依飛航管理程序^[14]之定義，標準儀器離場指「頒訂之儀器飛航離場航線，連結機場或機場特定跑道與通常位於指定飛航服務航線上開始進行航路階段之特定重要點。」

2. 航路 (Airway)

依飛航管理程序^[14]之定義，航路指「於空中以通道形式設立之管制區域」。而其中心線係按無線電助航設施之導航信號訂定^[17]。

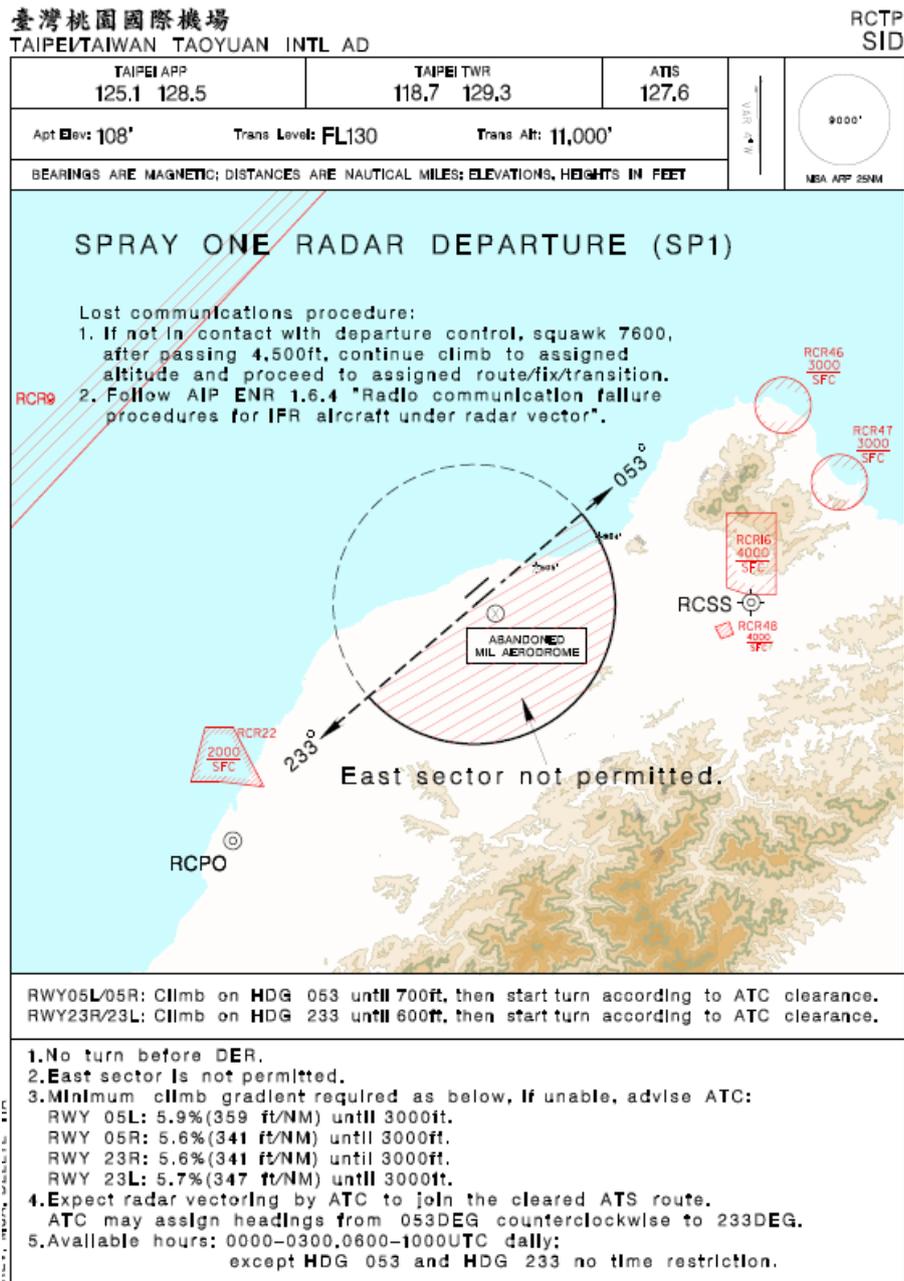
3. 標準儀器到場 (Standard Terminal Arrival Route, STAR)

或稱「標準終端到場」^[17]，依飛航管理程序^[14]之定義，標準儀器到場指「頒訂之儀器飛航到場航線，連結通常位於飛航服務航線上之重要點與已發布之儀器進場程序上之起始點」。其功能在提供由航路結構至終端區域內之儀器進場定位點之過渡程序^[17]。

4. 儀器進場程序 (Instrument Approach Procedure, IAP)

此程序為由最初進場定位點始，至落地或目視機場之間的一系列預設飛航程序^[17]。依飛航管理程序^[14]之定義，儀器進場程序指「根據飛航儀表並保持規定之障礙物間隔所進行之一系列預定飛航操作。該飛航操作自最初進場定位點或指定之到場航線起始點起至能夠完成降落之一點止，此後，如不能完成降落，則飛至等待航線或符合航路障礙物間隔之某點位置」。儀器進場程序又可分為3類：(1)非精確進場程序 (Non-Precision Approach, NPA Procedure)：使用水平指引但未使用垂直指引之儀器進場程序；(2)垂直指引進場程序 (Approach Procedure with Vertical Guidance, APV)：使用水平及垂直指引之儀器進場程序，但該程序未符合精確進場及落地操作之需求；與(3)精確進場程序 (Precision Approach, PA Procedure)：依據操作類別之最低標準並使用精確水平及垂直指引之儀器進場程序。

在以上 4 階段中，除航路用於航空器巡航階段外，其餘 3 類均與機場之離場與到場密切相關。桃園國際機場相關各程序之航圖整理於圖 4.1 至圖 4.19。這些航圖以精準、實用、而標準之方式，提供了執行各種標準程序操作所需要之資訊。實務上管制員為對航空器提供較佳品質之服務，並常於標準儀器程序之外，採用雷達服務引導。

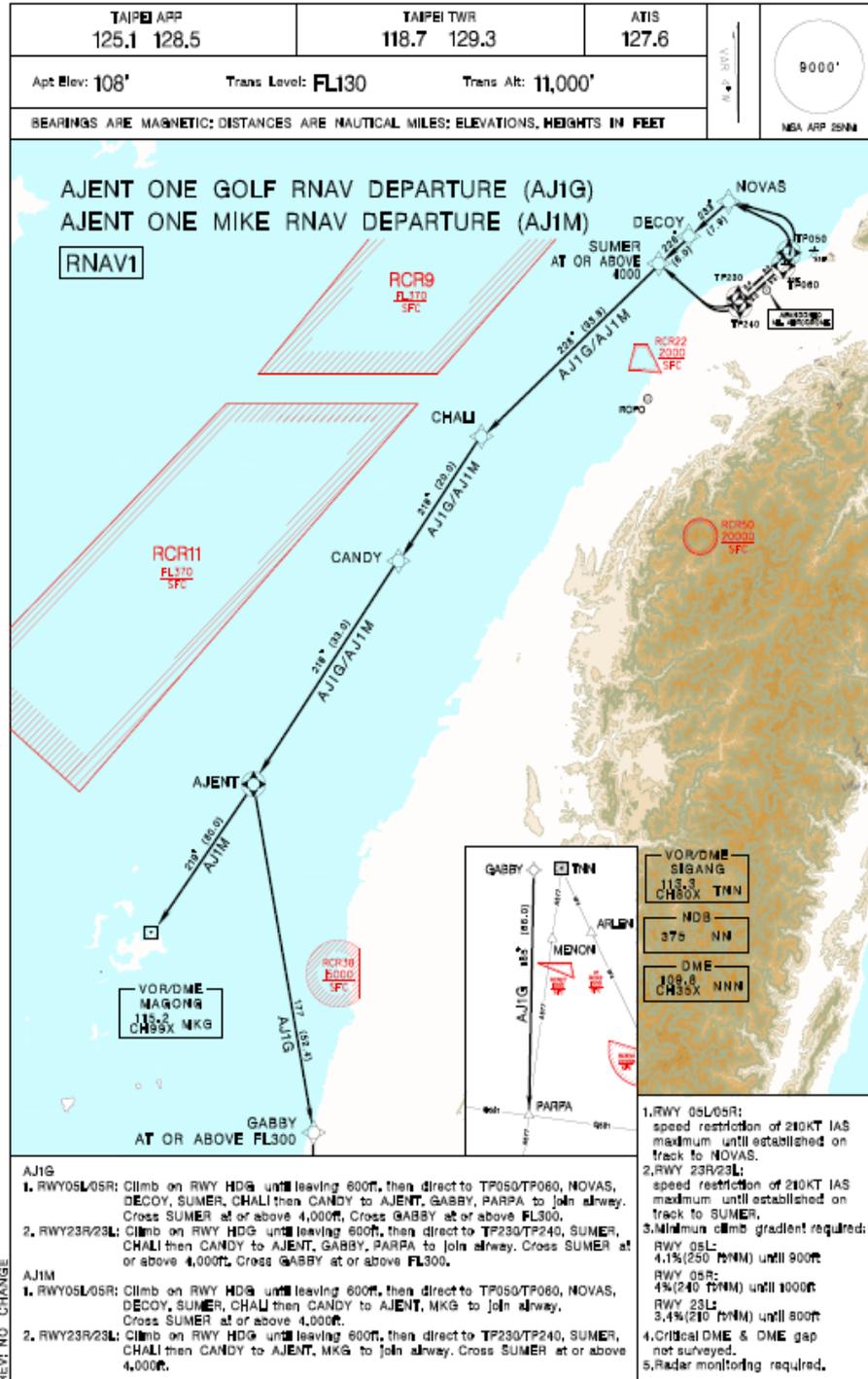


資料來源：[13]

圖 4.1 RCTP 雷達引導離場程序 SP1 航圖

臺灣桃園國際機場
TAIPEI/TAIWAN TAOYUAN INTL AD

RCTP
SID

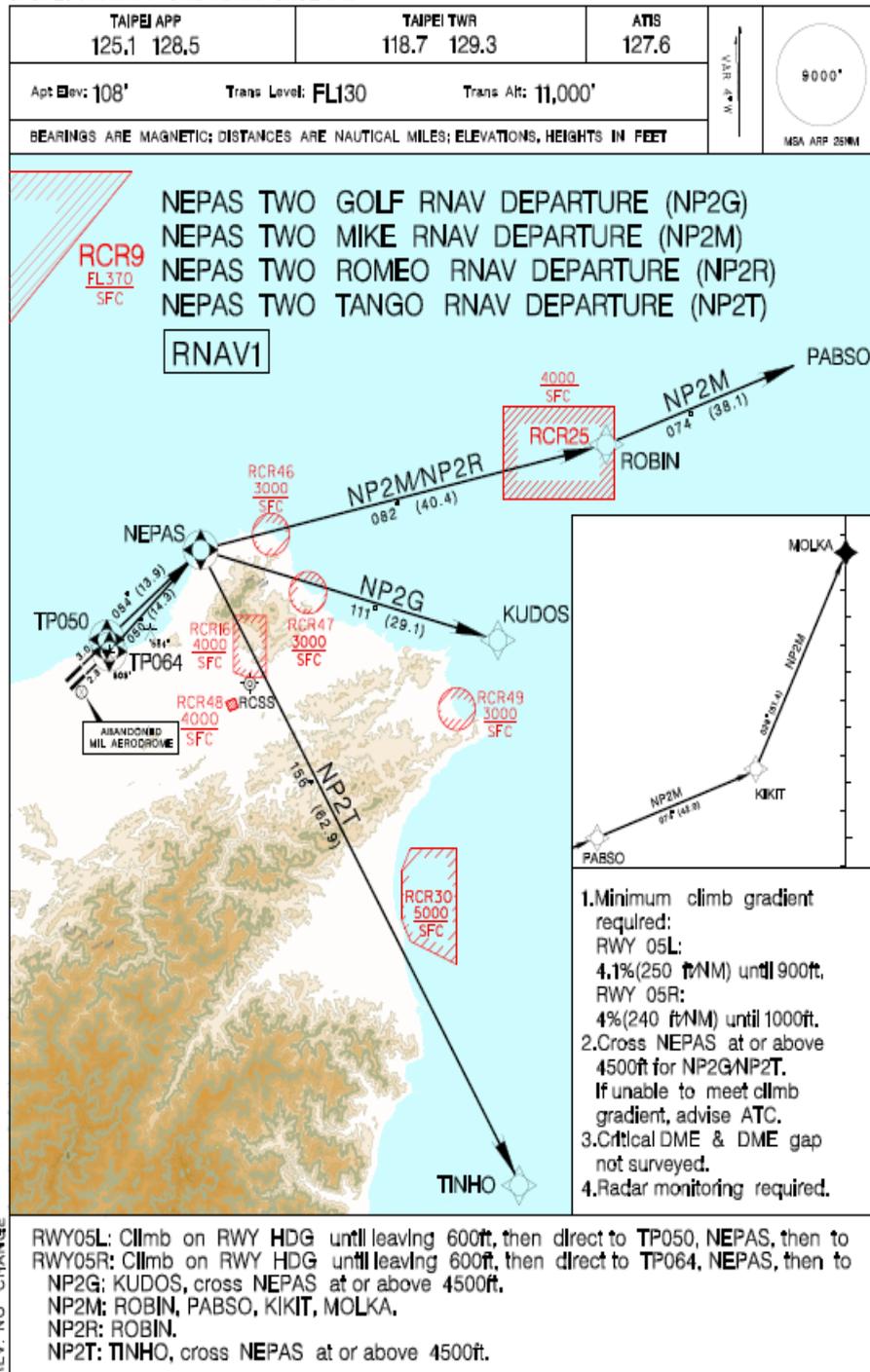


資料來源：[13]

圖 4.2 RCTP 儀器離場程序 AJ1G/AJ1M 航圖

臺灣桃園國際機場
TAIPEI/TAIWAN TAOYUAN INTL AD

RCTP
SID

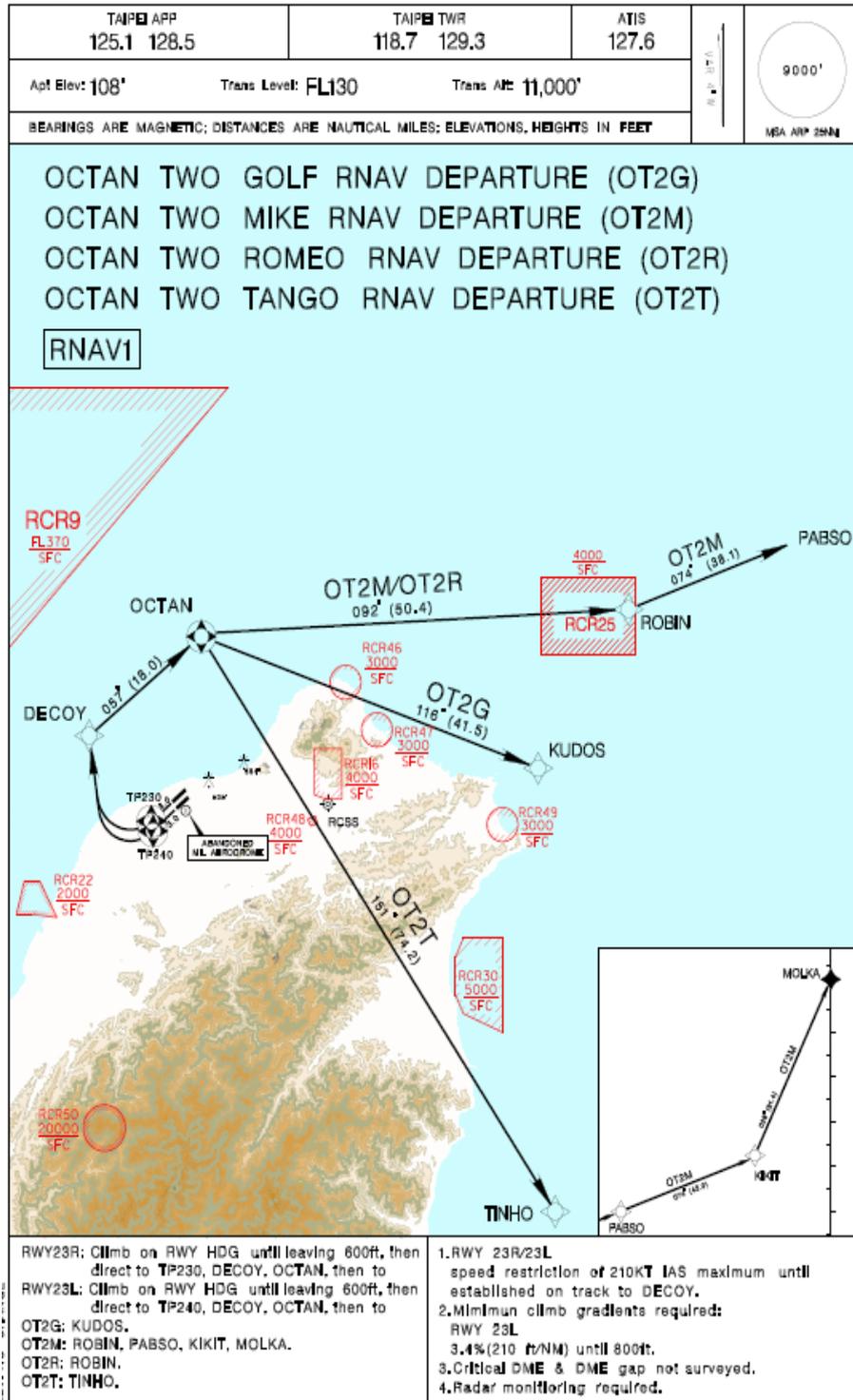


資料來源：[13]

圖 4.3 RCTP 儀器離場程序 NP2G/NP2M/NP2R/NP2T 航圖

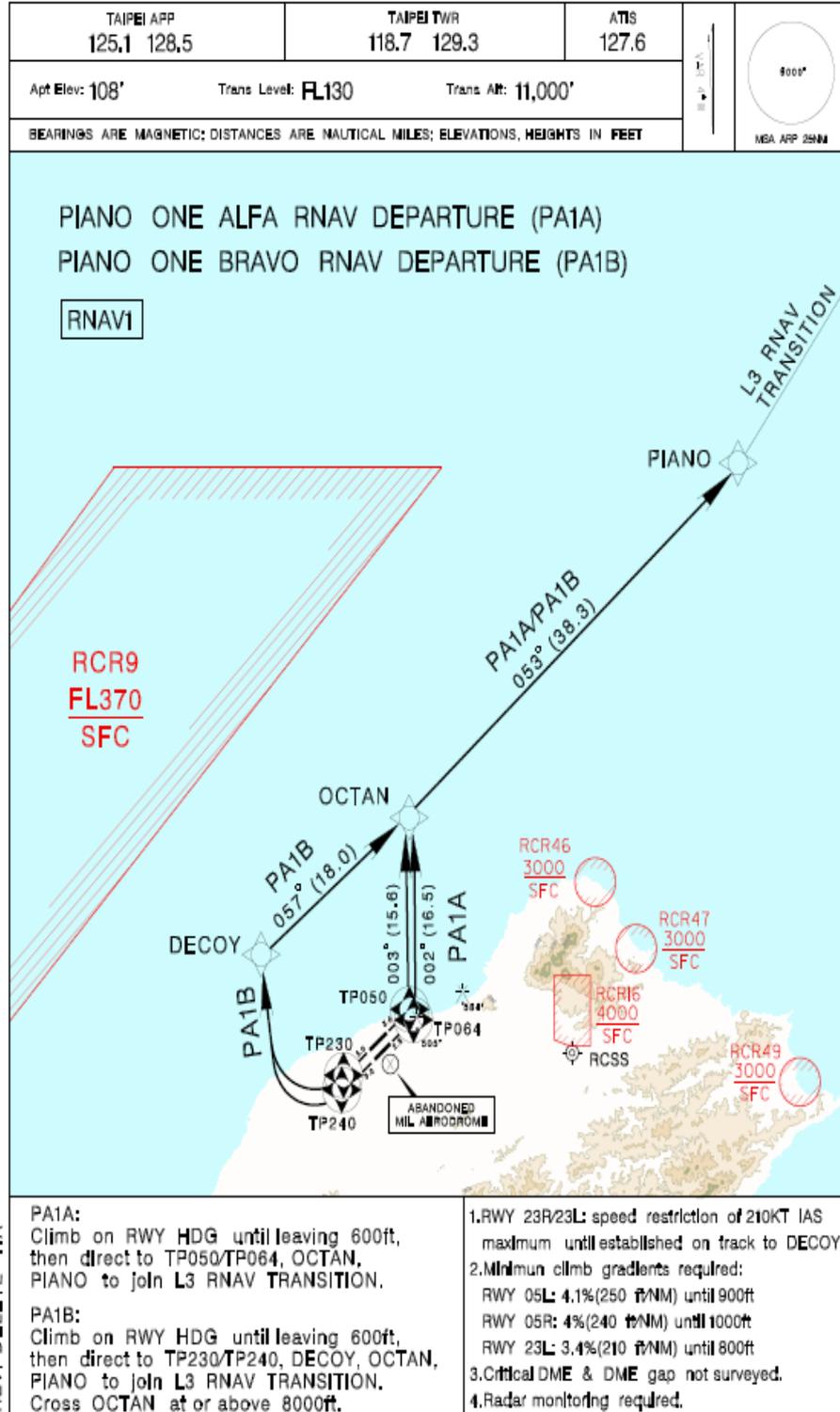
臺灣桃園國際機場
TAIPEI/TAIWAN TAoyuan Intl AD

RCTP
SID



資料來源：[13]

圖 4.4 RCTP 儀器離場程序 OT2G/OT2M/OT2R/OT2T 航圖

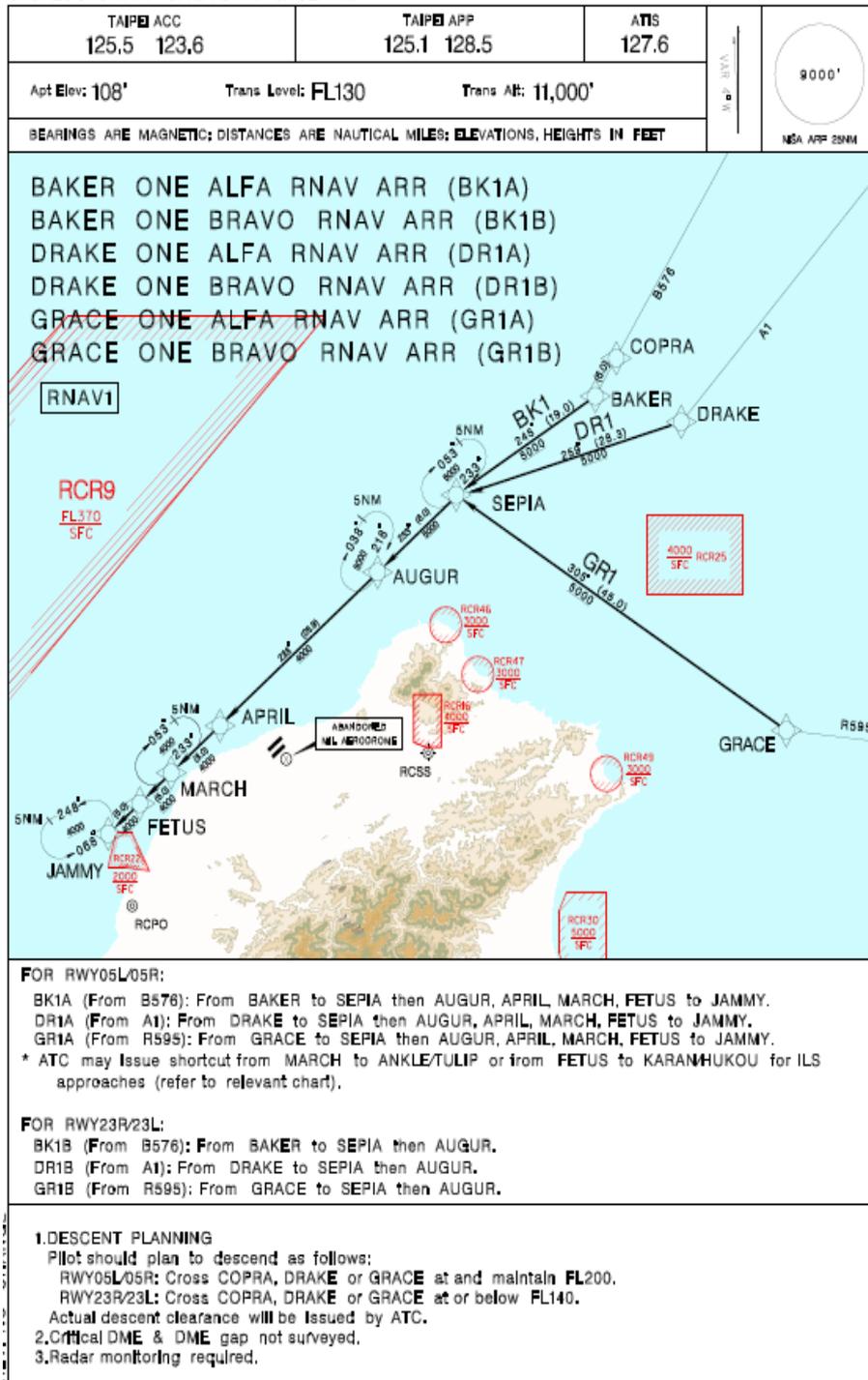


資料來源：[13]

圖 4.5 RCTP 儀器離場程序 PA1A/PA1B 航圖

臺灣桃園國際機場
TAIPEI/TAIWAN TAOYUAN INTL AD

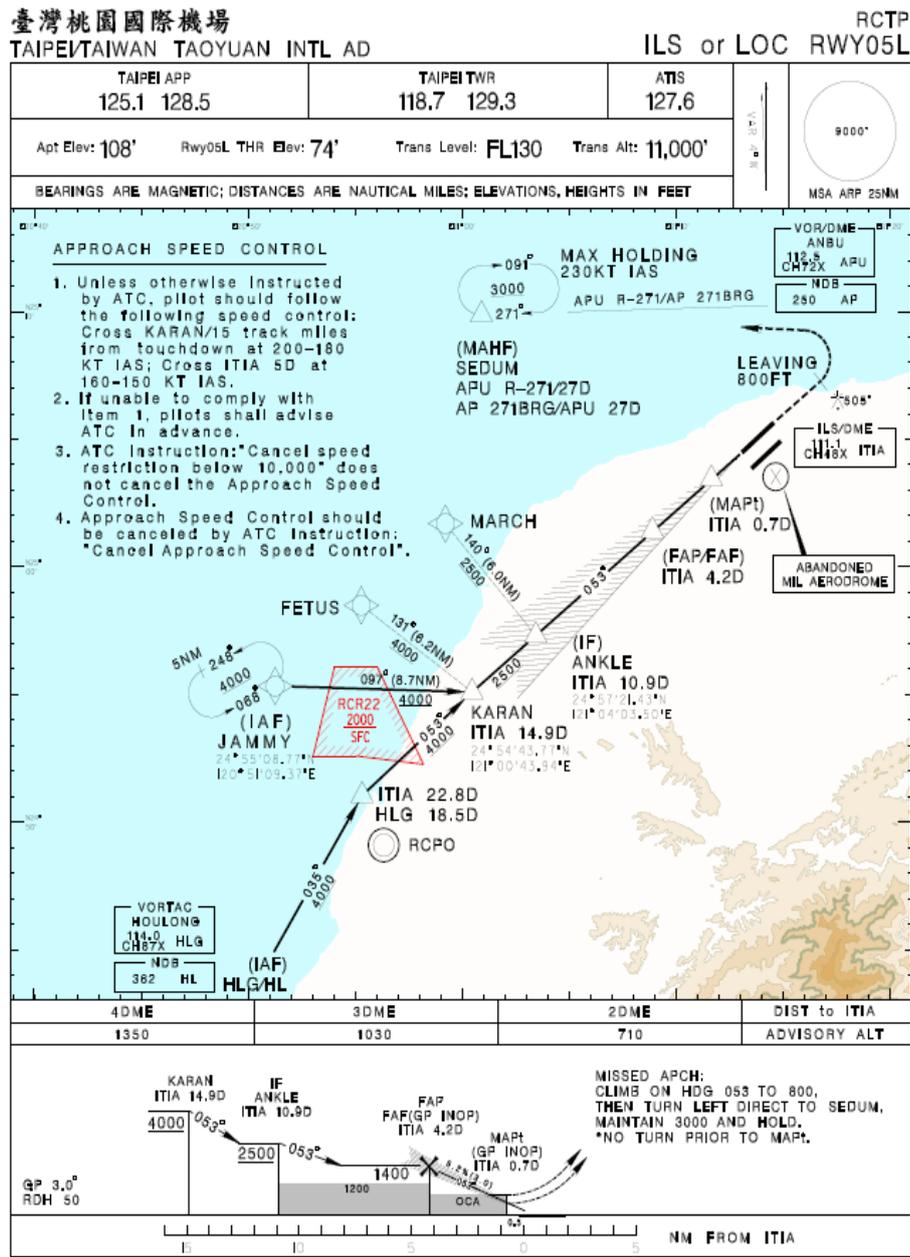
RCTP
STAR



資料來源：[13]

圖 4.6 RCTP 儀器到場程序 BK1A/BK1B/DR1A/DR1B/GR1A/GR1B 航圖

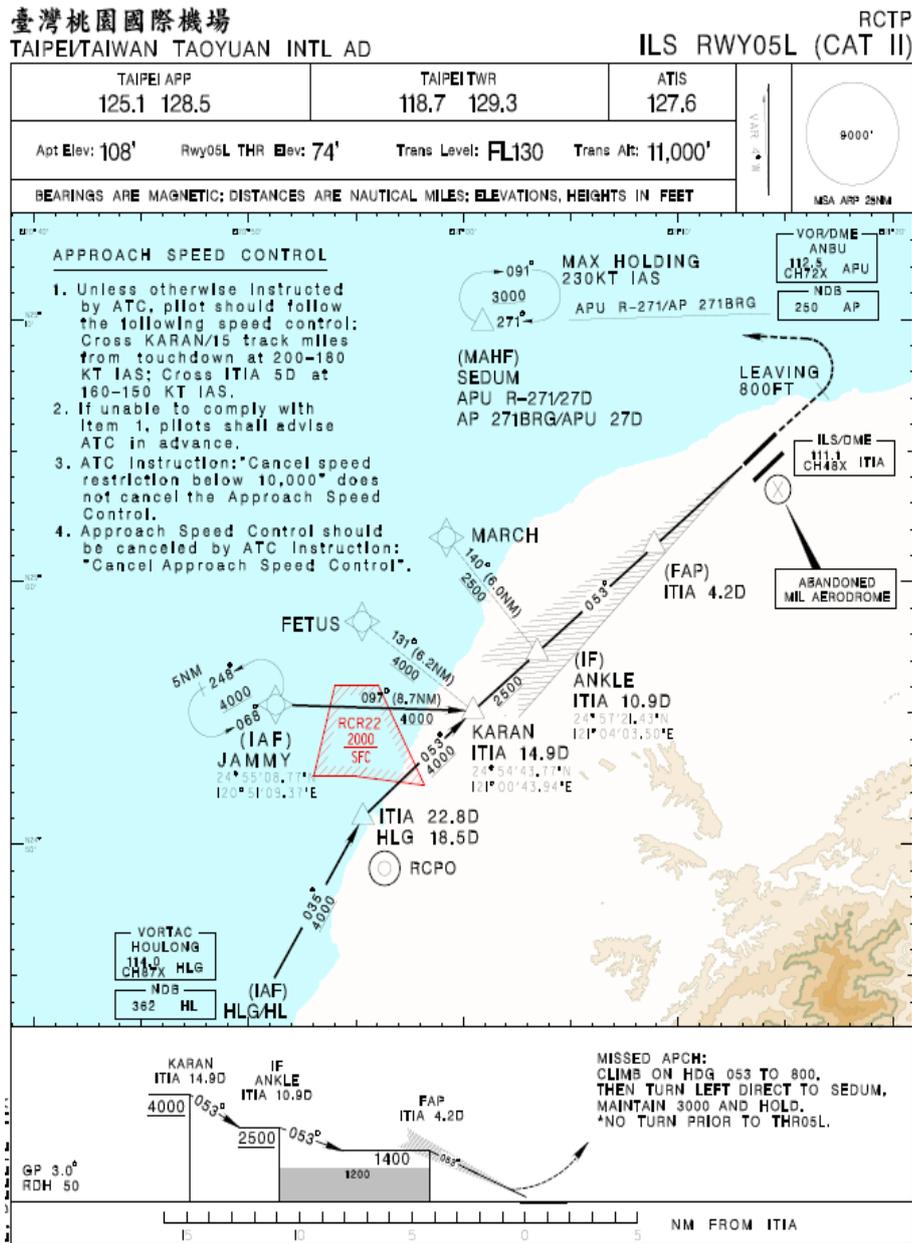
以下圖 4.8 所示為桃園國際機場 05L 跑道較常使用之儀器進場程序，可供儀降系統（Instrument Landing System, ILS）或左右定位臺（Localizer, LOC）之用。後續圖 4.10 與此類似，但對應於 05R 跑道。



資料來源：[13]

圖 4.8 RCTP 儀器進場程序 ILS RWY05L 航圖

以下圖 4.9 以及圖 4.11 所示依序為桃園國際機場 05L 跑道以及 05R 跑道於低能見度時所使用之儀降程序航圖，而相對應的，23L 跑道與 23R 跑道之低能見度儀降程序航圖依序示於圖 4.13 與圖 4.15。通常天候不佳或駕駛員請求時會使用本程序。

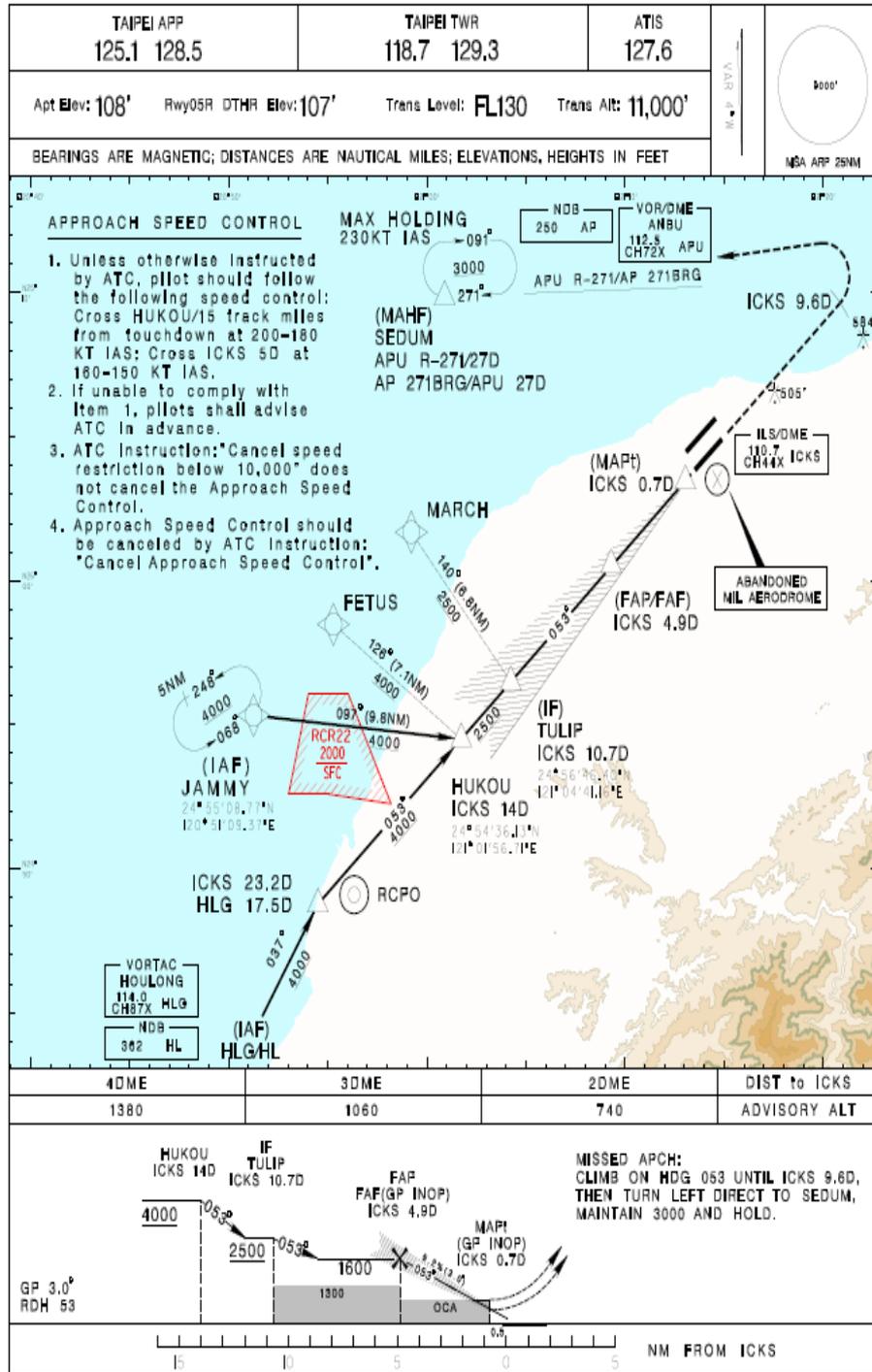


資料來源：[13]

圖 4.9 RCTP 儀器進場程序 ILS RWY05L(CAT II) 航圖

臺灣桃園國際機場
TAIPEI/TAIWAN TAOYUAN INTL AD

RCTP
ILS or LOC RWY05R

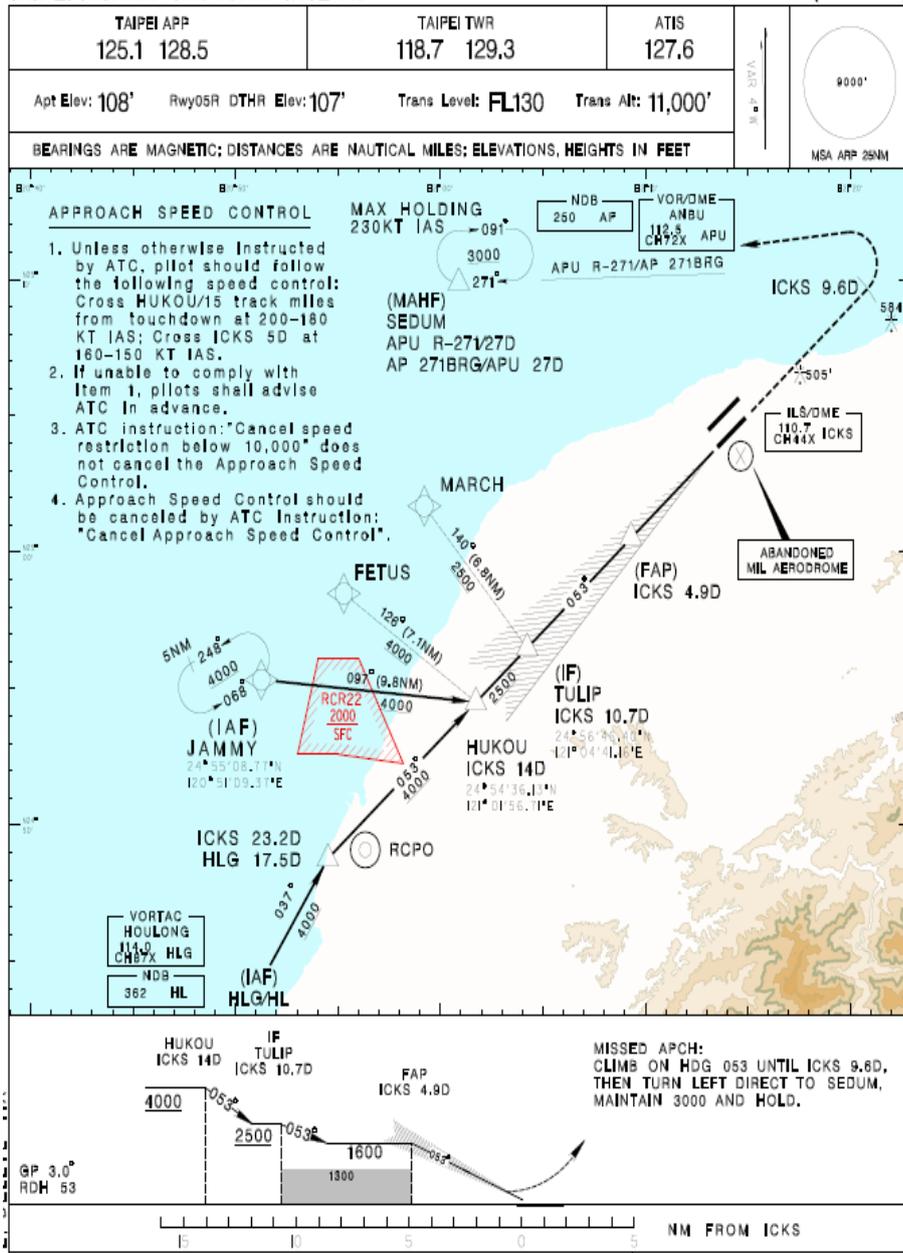


資料來源：[13]

圖 4.10 RCTP 儀器進場程序 ILS RWY05R 航圖

臺灣桃園國際機場
TAIPEI/TAIWAN TAoyuan Intl AD

RCTP
ILS RWY05R (CAT II)

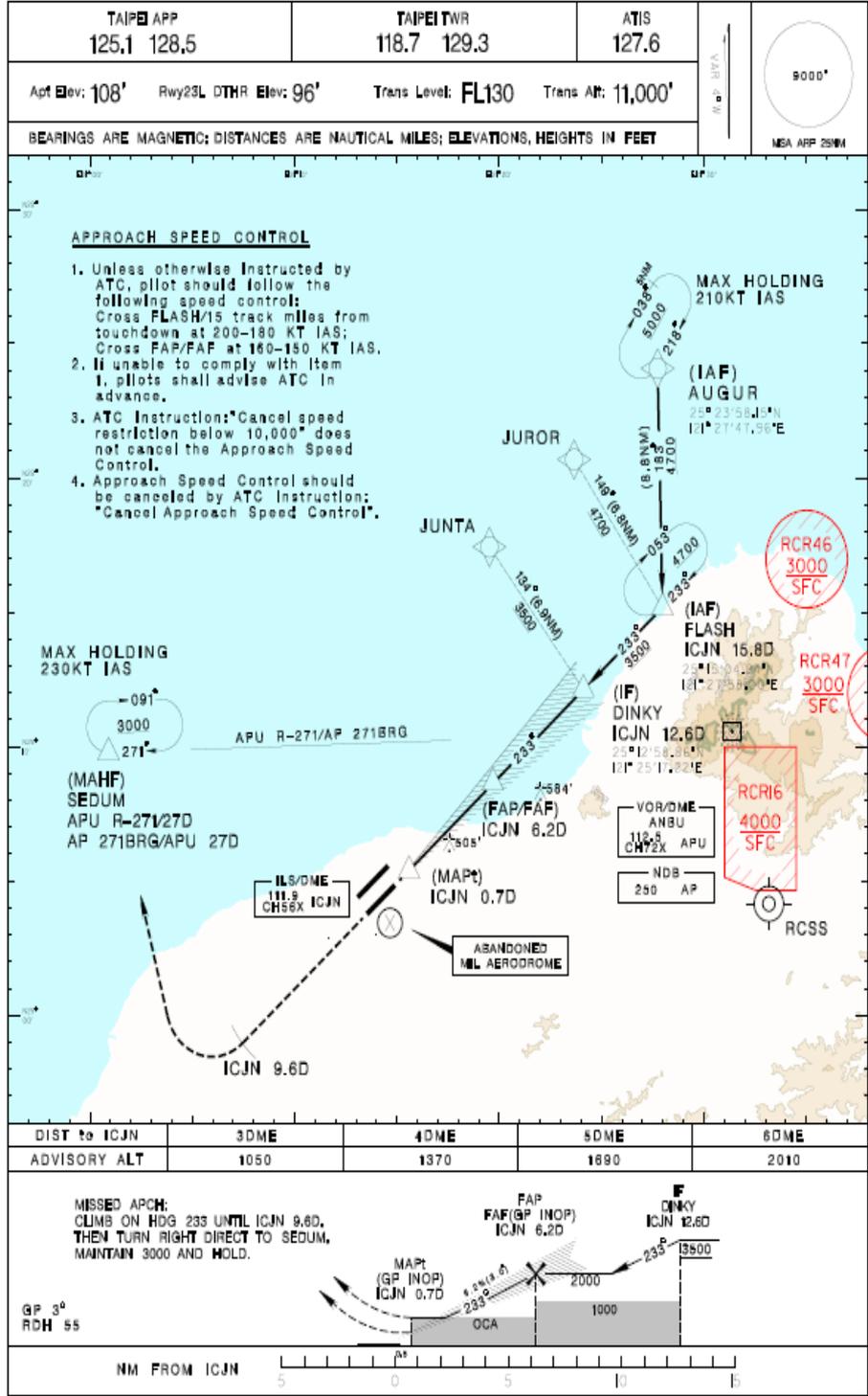


資料來源：[13]

圖 4.11 RCTP 儀器進場程序 ILS RWY05R(CAT II) 航圖

臺灣桃園國際機場
TAIPEITAIWAN TAoyUAN INTL AD

RCTP
ILS or LOC RWY23L

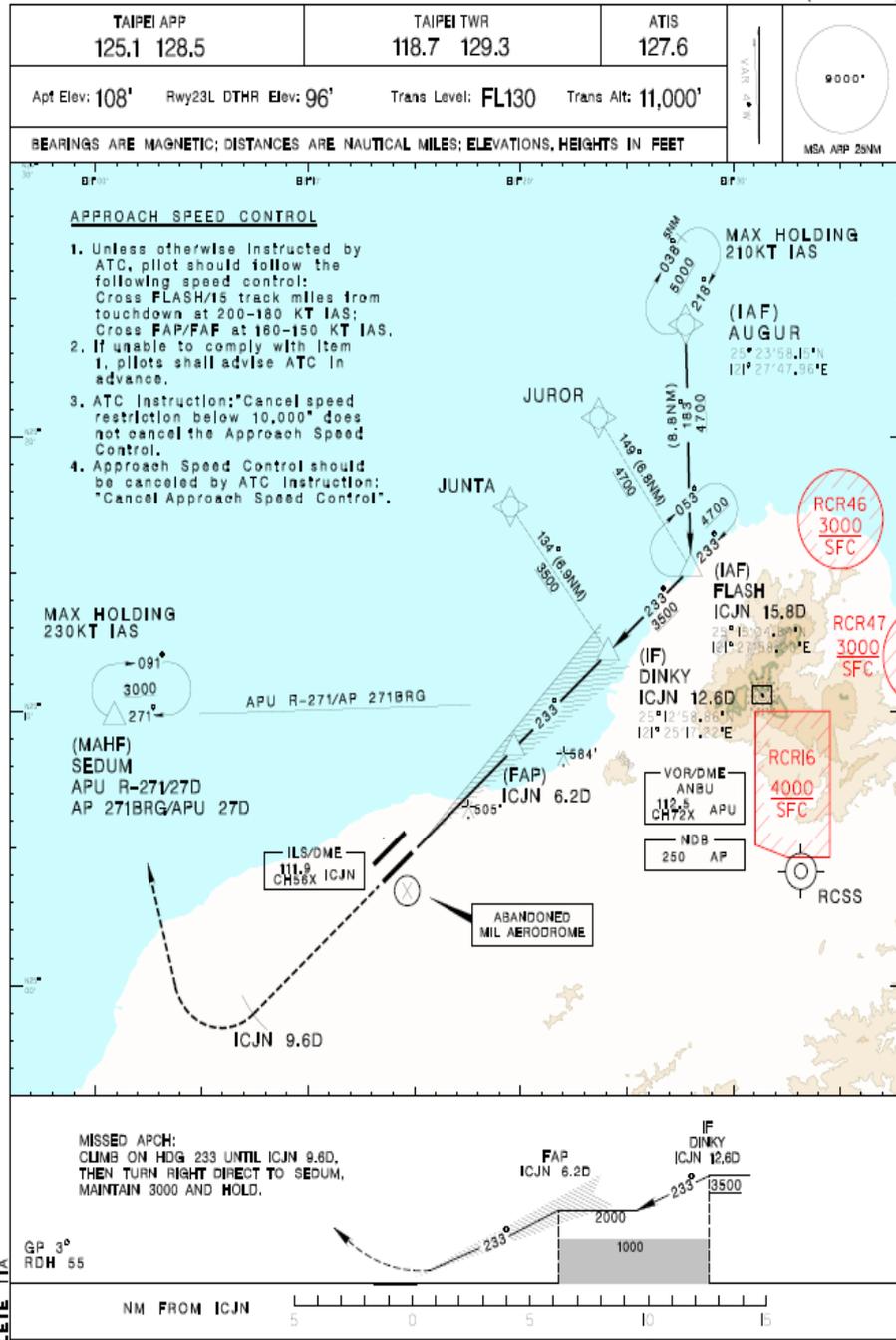


資料來源：[13]

圖 4.12 RCTP 儀器進場程序 ILS RWY23L 航圖

臺灣桃園國際機場
TAIPEI/TAIWAN TAOYUAN INTL AD

RCTP
ILS RWY23L (CAT II)

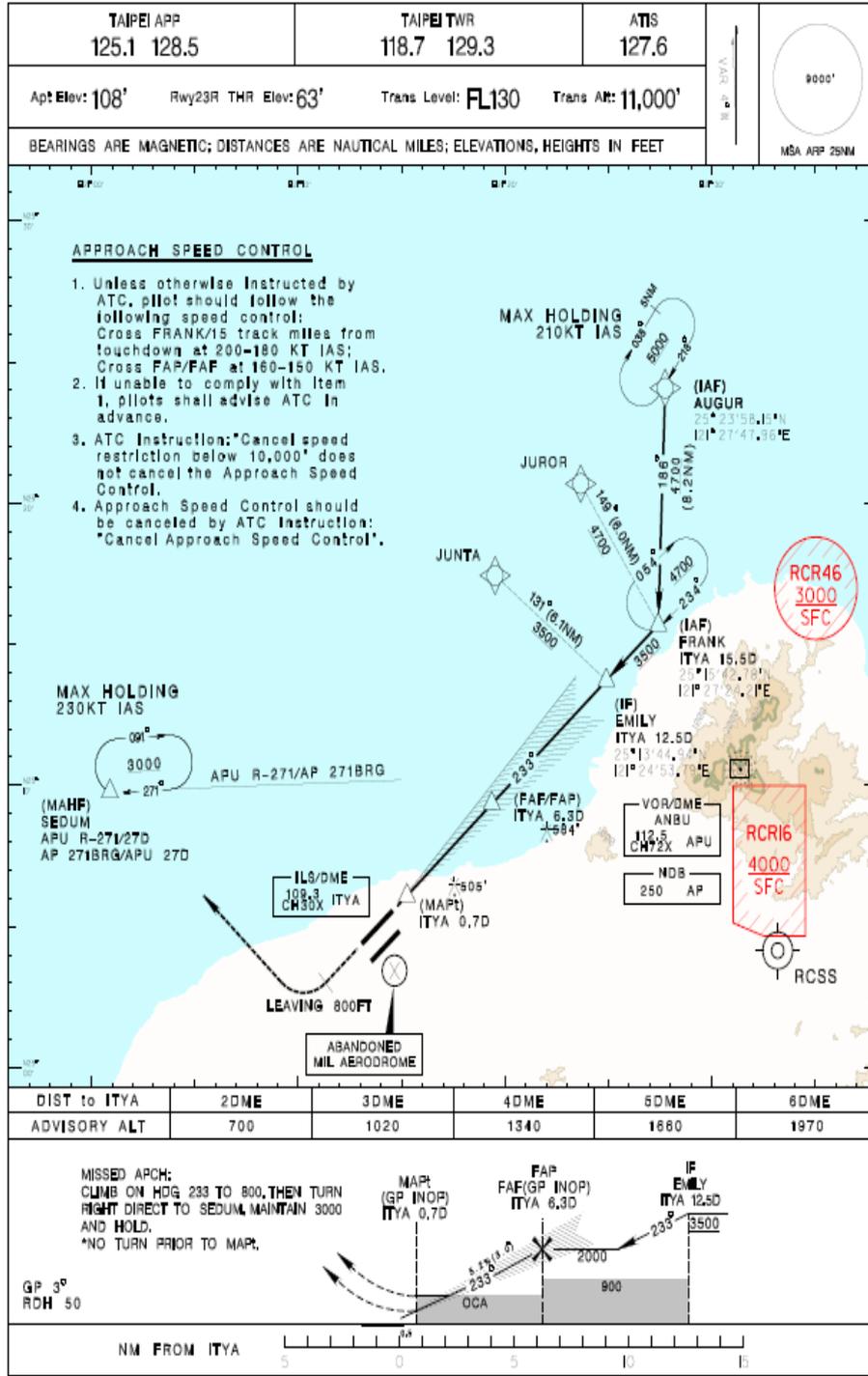


資料來源：[13]

圖 4.13 RCTP 儀器進場程序 ILS RWY23L(CAT II)航圖

臺灣桃園國際機場
TAIPEI/TAIWAN TAoyuan Intl AD

RCTP
ILS or LOC RWY23R

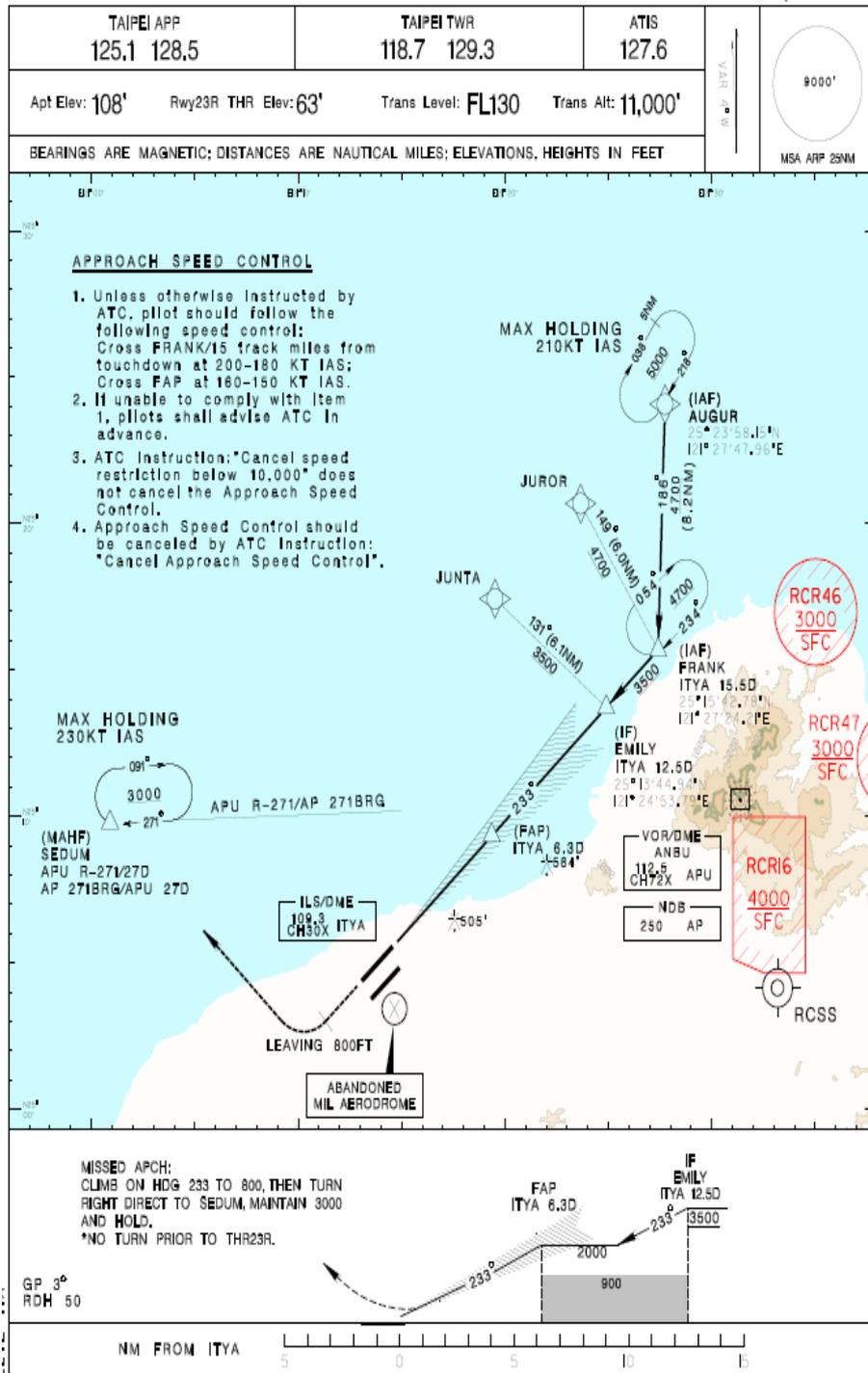


資料來源：[13]

圖 4.14 RCTP 儀器進場程序 ILS RWY23R 航圖

臺灣桃園國際機場
TAIPEI/TAIWAN TAOYUAN INTL AD

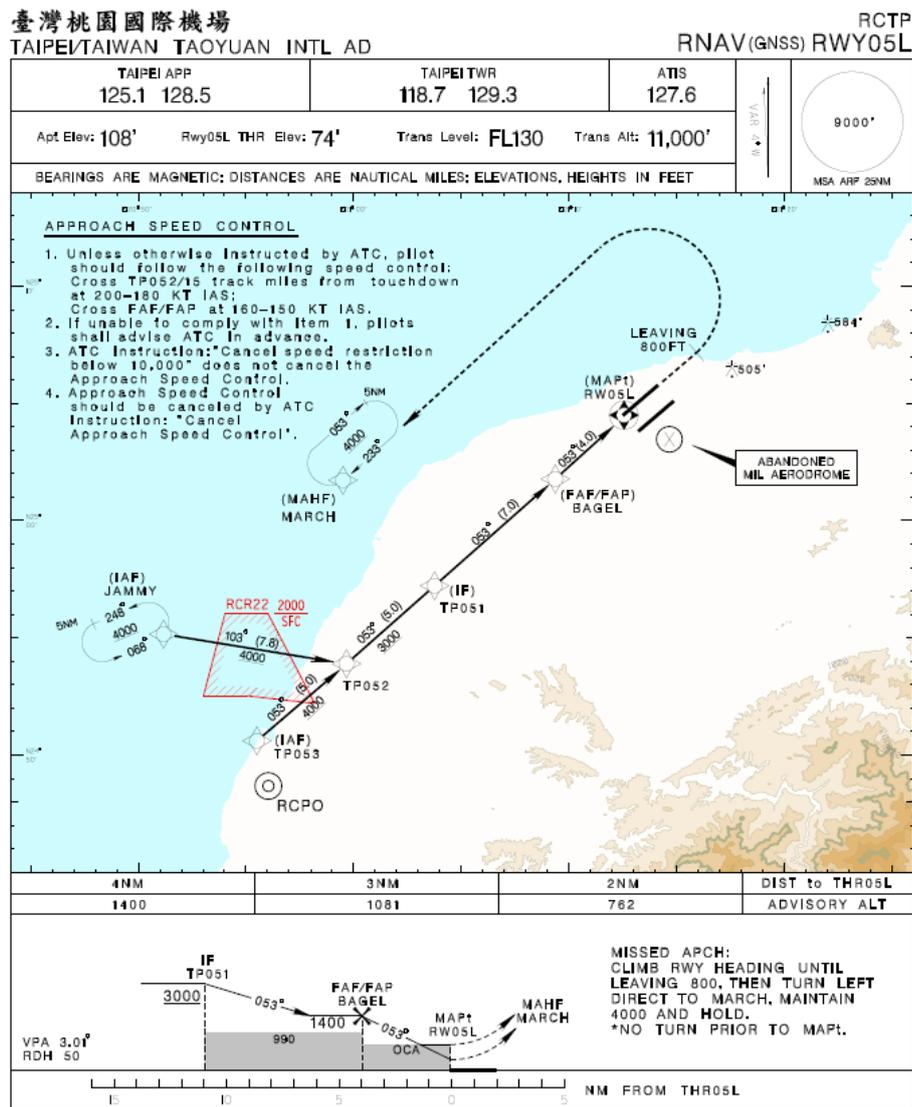
RCTP
ILS RWY23R (CAT II)



資料來源：[13]

圖 4.15 RCTP 儀器進場程序 ILS RWY23R(CAT II)航圖

以下圖 4.16 至圖 4.19 所示為桃園國際機場之區域航行 (Area Navigation, RNAV) 程序之航圖。這些程序利用慣性導航系統、全球定位系統 (GPS) 等機載導航裝備所設計，而非依賴地面助導航設施。此為未來趨勢，亦漸成為桃園國際機場所使用之主要程序。桃園國際機場並非僅提供到場航機可使用 RNAV 程序，離場亦有 RNAV 程序

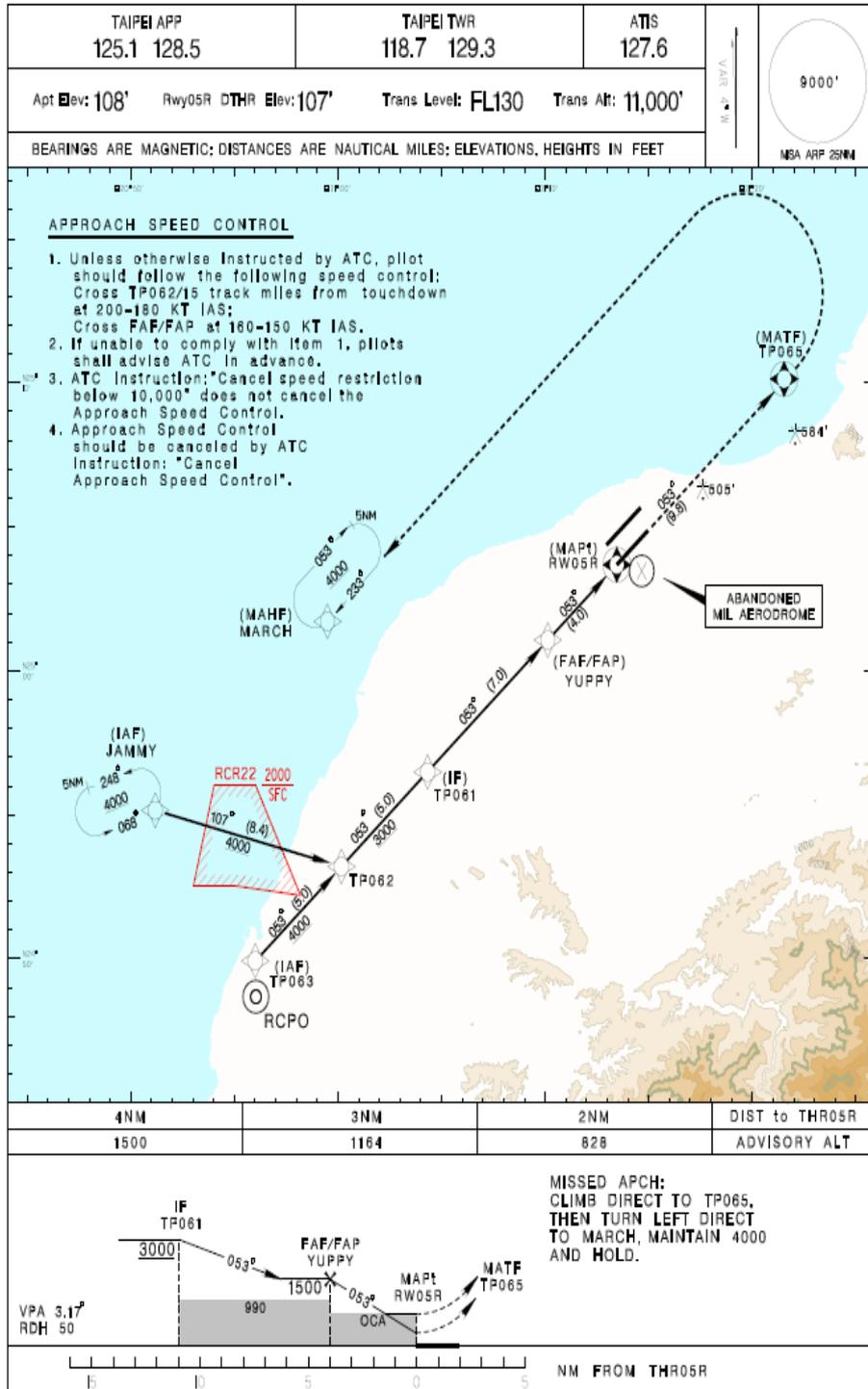


資料來源：[13]

圖 4.16 RCTP 儀器進場程序 RNAV RWY05L 航圖

臺灣桃園國際機場
TAIPEI/TAIWAN TAOYUAN INTL AD

RCTP
RNAV (GNSS) RWY05R

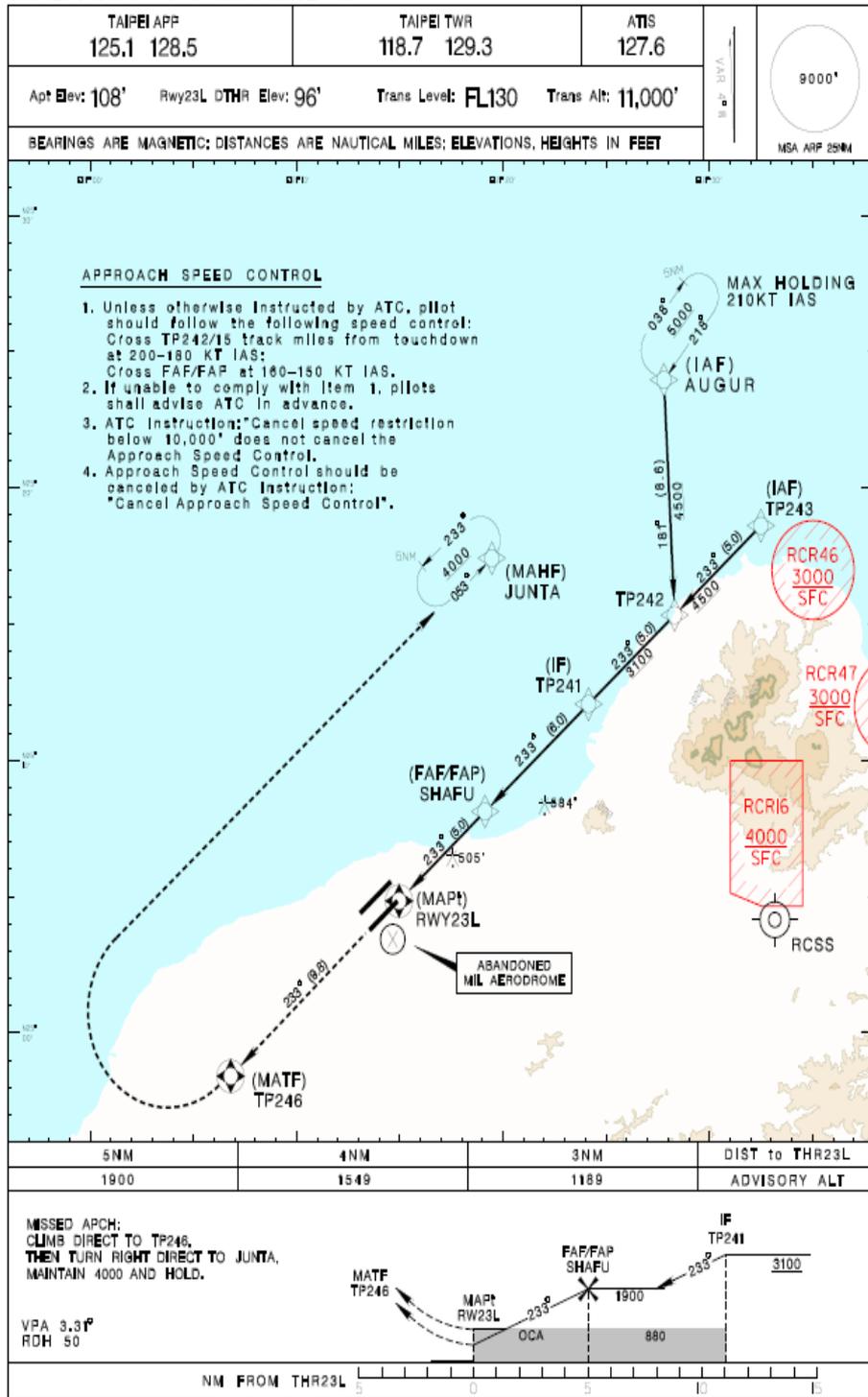


資料來源：[13]

圖 4.17 RCTP 儀器進場程序 RNAV RWY05R 航圖

臺灣桃園國際機場
TAIPEI/TAIWAN TAOYUAN INTL AD

RCTP
RNAV(GNSS) RWY23L

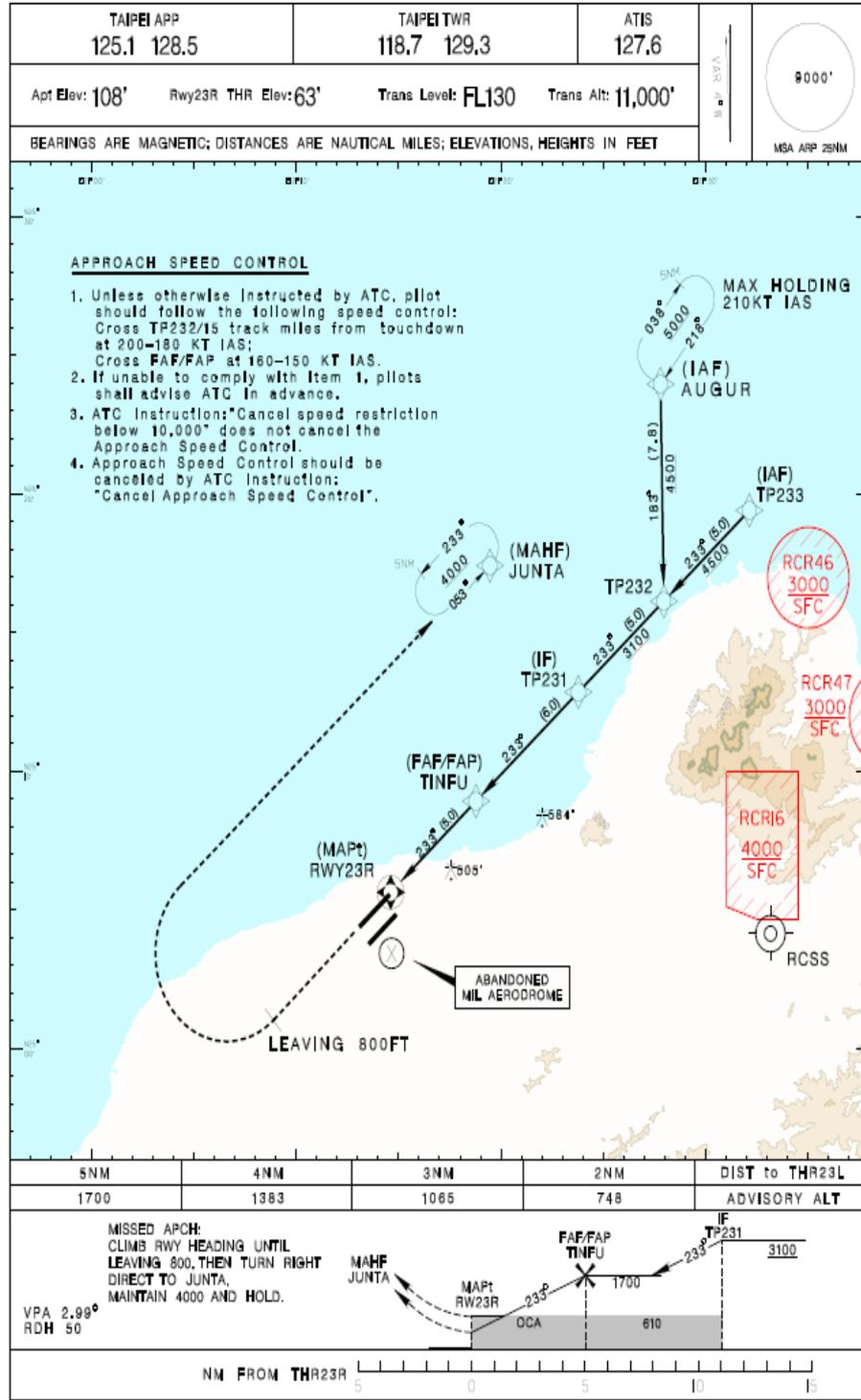


資料來源：[13]

圖 4.18 RCTP 儀器進場程序 RNAV RWY23L 航圖

臺灣桃園國際機場
TAIPEI/TAIWAN TAOYUAN INTL AD

RCTP
RNAV (GNSS) RWY23R



資料來源：[13]

圖 4.19 RCTP 儀器進場程序 RNAV RWY23R 航圖

航空器駕駛員於到場過程中，常需要掌握剩餘之飛行距離。桃園國際機場主要航點之剩餘飛行距離整理於表 4-2。

表 4-2 主要航點剩餘飛行距離

BK1A/DR1A/GR1A		BK1B/DR1B/GR1B		
WAYPOINT	DTG TO MARCH (NM)	WAYPOINT	DTG to THR 23R (NM)	DTG to THR 23L (NM)
BAKER	60.9	BAKER	50.5	51.4
DRAKE	70.2	DRAKE	59.8	60.7
GRACE	86.9	GRACE	76.5	77.4
SEPIA	41.9	SEPIA	31.5	32.4
AUGUR	33.9	AUGUR	23.5	24.4
APRIL	8			
SA1A/TG1A		SA1B/TG1B		
WAYPOINT	DTG to THR 05L (NM)	DTG to THR 05R (NM)	WAYPOINT	DTG TO JUNTA (NM)
TNN	138.2	138.4	TNN	148.8
MEICH	104	104.2	MEICH	114.6
TONGA	148.8	149	TONGA	159.4
BOCCA	127.9	128.1	BOCCA	138.5
ELBER	83.1	83.3	ELBER	93.7
BRAVO	43.1	43.3	BRAVO	53.7
JAMMY	23.4	23.6	JAMMY	34
			MAYOR	8

資料來源：[13]

航空器由各外站機場進出桃園國際機場終端管制空域之交管點與邊境點整理於表 4-3。

表 4-3 桃園國際機場終端管制空域進出管制點

機場	主要邊境點	次要邊境點	主要交管點	次要交管點
AFIL	none	none	none	none
CYVR	BULAN	SEDKU	DRAKE	GRACE
CYYZ	BULAN	none	DRAKE	none

表 4-3 桃園國際機場終端管制空域進出管制點

機場	主要邊境點	次要邊境點	主要交管點	次要交管點
EDDF	ENVAR	none	BRAVO	none
EDDK	none	none	none	none
EHAM	ENVAR	none	BRAVO	none
ELLX	ENVAR	none	BRAVO	none
ESSA	none	none	none	none
KIAH	BULAN	SEDKU	DRAKE	GRACE
KJFK	BULAN	none	DRAKE	none
KLAX	SEDKU	BULAN	GRACE	DRAKE
KORD	BULAN	SEDKU	DRAKE	GRACE
KPAE	BULAN	none	DRAKE	none
KSEA	BULAN	SEDKU	DRAKE	GRACE
KSFO	BULAN	SEDKU	DRAKE	GRACE
LFBO	none	none	none	none
LFBG	ENVAR	none	BRAVO	none
LIRF	ENVAR	none	BRAVO	none
LOWW	ENVAR	none	BRAVO	none
LTBA	ENVAR	KAPLI	BRAVO	BRAVO
NFFN	none	none	none	none
NWWW	none	none	none	none
OEDF	none	none	none	none
OEJN	none	none	none	none
OKBK	none	none	none	none
OMAD	none	none	none	none
OMDB	ENVAR	KAPLI	BRAVO	BRAVO
OMDW	ENVAR	KAPLI	BRAVO	BRAVO
PAFA	none	none	none	none
PANC	BULAN	SEDKU	DRAKE	GRACE
PGUM	SEDKU	none	GRACE	none
PHNL	SEDKU	BULAN	GRACE	DRAKE
PKMJ	none	none	none	none
PPLL	none	none	none	none
PTRO	SEDKU	POTIB	GRACE	BRAVO
RJAA	BULAN	SEDKU	DRAKE	GRACE
RJAF	none	none	none	none
RJAH	none	none	none	none
RJBB	BULAN	SALMI	DRAKE	BAKER
RJCB	none	none	none	none
RJCC	BULAN	SEDKU	DRAKE	GRACE
RJCH	BULAN	SEDKU	DRAKE	GRACE

表 4-3 桃園國際機場終端管制空域進出管制點

機場	主要邊境點	次要邊境點	主要交管點	次要交管點
RJCK	none	none	none	none
RJCM	none	none	none	none
RJCN	none	none	none	none
RJDC	none	none	none	none
RJEC	BULAN	none	DRAKE	none
RJFF	BULAN	SALMI	DRAKE	BAKER
RJFK	BULAN	none	DRAKE	none
RJFM	BULAN	none	DRAKE	none
RJFR	none	none	none	none
RJGG	BULAN	SALMI	DRAKE	BAKER
RJNA	none	none	none	none
RJNK	BULAN	none	DRAKE	none
RJNS	BULAN	SALMI	DRAKE	BAKER
RJNT	BULAN	none	DRAKE	none
RJNW	none	none	none	none
RJOA	BULAN	SALMI	DRAKE	BAKER
RJOB	BULAN	none	DRAKE	none
RJOC	none	none	none	none
RJOH	none	none	none	none
RJOT	BULAN	none	DRAKE	none
RJSA	none	none	none	none
RJSC	none	none	none	none
RJSF	none	none	none	none
RJSI	none	none	none	none
RJSK	BULAN	none	DRAKE	none
RJSN	BULAN	none	DRAKE	none
RJSS	BULAN	none	DRAKE	none
RJSY	none	none	none	none
RJTT	BULAN	none	DRAKE	none
RKJB	SALMI	none	BAKER	none
RKPC	SALMI	none	BAKER	none
RKPK	SALMI	none	BAKER	none
RKSI	SALMI	none	BAKER	none
RKSS	none	none	none	none
RKTN	SALMI	none	BAKER	none
RKTU	none	none	none	none
ROAH	SEDKU	none	GRACE	none
ROIG	none	none	none	none
RPLC	POTIB	SEDKU	BRAVO	GRACE

表 4-3 桃園國際機場終端管制空域進出管制點

機場	主要邊境點	次要邊境點	主要交管點	次要交管點
RPLL	POTIB	SEDKU	BRAVO	GRACE
RPVK	POTIB	none	BRAVO	none
RPVM	POTIB	SEDKU	BRAVO	GRACE
RPVP	POTIB	SEDKU	BRAVO	GRACE
ULLI	SALMI	none	BAKER	none
UTAK	ENVAR	none	BRAVO	none
UTAM	none	none	none	none
UUEE	SALMI	none	BAKER	none
VABB	none	none	none	none
VDPP	KAPLI	POTIB	BRAVO	BRAVO
VDSR	KAPLI	ENVAR	BRAVO	BRAVO
VGHS	none	none	none	none
VHHH	ENVAR	ELATO	BRAVO	none
VIDP	ENVAR	KAPLI	BRAVO	BRAVO
VMMC	ENVAR	none	BRAVO	none
VTBD	KAPLI	ENVAR	BRAVO	BRAVO
VTBS	KAPLI	ENVAR	BRAVO	BRAVO
VTCC	none	none	none	none
VTSB	none	none	none	none
VTSM	none	none	none	none
VTSP	none	none	none	none
VVCT	none	none	none	none
VVDN	KAPLI	ENVAR	BRAVO	BRAVO
VVNB	ENVAR	KAPLI	BRAVO	BRAVO
VVTS	KAPLI	ENVAR	BRAVO	BRAVO
VYHH	none	none	none	none
VYYY	ENVAR	KAPLI	BRAVO	BRAVO
WADD	POTIB	KAPLI	BRAVO	BRAVO
WARR	POTIB	none	BRAVO	none
WBKK	POTIB	none	BRAVO	none
WBSB	none	none	none	none
WIII	POTIB	KAPLI	BRAVO	BRAVO
WMKD	none	none	none	none
WMKJ	none	none	none	none
WMKK	POTIB	KAPLI	BRAVO	BRAVO
WMKP	POTIB	none	BRAVO	none
WSSL	none	none	none	none
WSSS	POTIB	SEDKU	BRAVO	GRACE
YBBN	POTIB	SEDKU	BRAVO	GRACE

表 4-3 桃園國際機場終端管制空域進出管制點

機場	主要邊境點	次要邊境點	主要交管點	次要交管點
YBCS	none	none	none	none
YMML	POTIB	none	BRAVO	none
YSSY	POTIB	none	BRAVO	none
ZBAA	KASKA	none	BAKER	none
ZBHH	SULEM	none	BAKER	none
ZBSJ	SULEM	none	BAKER	none
ZBTJ	KASKA	none	BAKER	none
ZBYN	SULEM	none	BAKER	none
ZGDY	SULEM	none	BAKER	none
ZGGG	ENVAR	SULEM	BRAVO	BAKER
ZGHA	ENVAR	SULEM	BRAVO	BAKER
ZGKL	OLDID	SULEM	BRAVO	BAKER
ZGNN	OLDID	SULEM	BRAVO	BAKER
ZGOW	OLDID	none	BRAVO	none
ZGSZ	OLDID	none	BRAVO	none
ZHCC	SULEM	none	BAKER	none
ZHHH	SULEM	none	BAKER	none
ZJHK	KAPLI	SULEM	BRAVO	BAKER
ZJSY	KAPLI	none	BRAVO	none
ZLIC	SULEM	none	BAKER	none
ZLLL	SULEM	none	BAKER	none
ZLXN	OLDID	none	BRAVO	none
ZLXY	SULEM	none	BAKER	none
ZPLJ	OLDID	none	BRAVO	none
ZPPP	OLDID	none	BRAVO	none
ZSAM	OLDID	none	BRAVO	none
ZSCG	SULEM	none	BAKER	none
ZSCN	SULEM	none	BAKER	none
ZSFZ	SULEM	none	BAKER	none
ZSHC	SULEM	none	BAKER	none
ZSJM	KASKA	none	BAKER	none
ZSNB	SULEM	none	BAKER	none
ZSNJ	SULEM	none	BAKER	none
ZSNT	SULEM	none	BAKER	none
ZSOF	SULEM	none	BAKER	none
ZSPD	KASKA	none	BAKER	none
ZSQD	KASKA	none	BAKER	none
ZSQZ	OLDID	none	BRAVO	none
ZSSH	SULEM	none	BAKER	none

表 4-3 桃園國際機場終端管制空域進出管制點

機場	主要邊境點	次要邊境點	主要交管點	次要交管點
ZSSS	none	none	none	none
ZSTX	SULEM	none	BAKER	none
ZSWH	KASKA	none	BAKER	none
ZSWX	SULEM	none	BAKER	none
ZSWZ	SULEM	none	BAKER	none
ZSXZ	SULEM	none	BAKER	none
ZSYA	KASKA	none	BAKER	none
ZSYN	KASKA	none	BAKER	none
ZSYT	KASKA	none	BAKER	none
ZSYW	SULEM	none	BAKER	none
ZUCK	OLDID	SULEM	BRAVO	BAKER
ZUGY	OLDID	none	BRAVO	none
ZUUU	OLDID	SULEM	BRAVO	BAKER
ZWWW	SULEM	none	BAKER	none
ZYCC	KASKA	none	BAKER	none
ZYHB	KASKA	none	BAKER	none
ZYTL	KASKA	none	BAKER	none
ZYTX	KASKA	none	BAKER	none

資料來源：飛航服務總臺

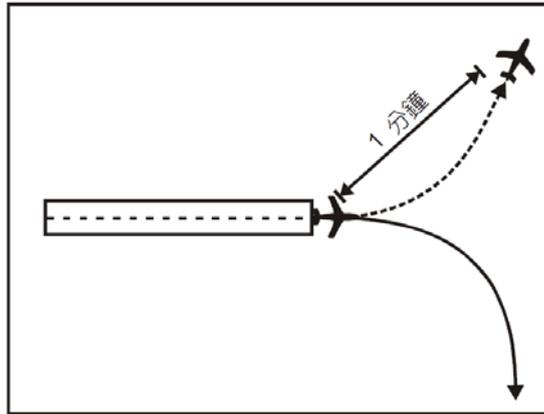
4.3 機場管制服務：隔離標準

機場管制服務，主要係由塔臺所提供。在機場附近空域以及機場活動區（Airport Movement Area）內，所有航空器之各種操作均受到塔臺之管制。這些操作包括了降落、滑行、開車、後推、起飛、拖機等均屬之。除此之外，機場活動區內非航空器之活動，例如勤務車輛之移動等，亦受塔臺之管制。

維持各航空器之間適當之隔離，為塔臺主要任務之一。以下將分平行跑道隔離、與單一跑道隔離等各面向分別說明桃園國際機場之隔離標準。這些標準係針對桃園國際機場之狀況而整理，因此並不一定完整呈現全部之規定。

1. 桃園國際機場平行跑道隔離標準：連續離場

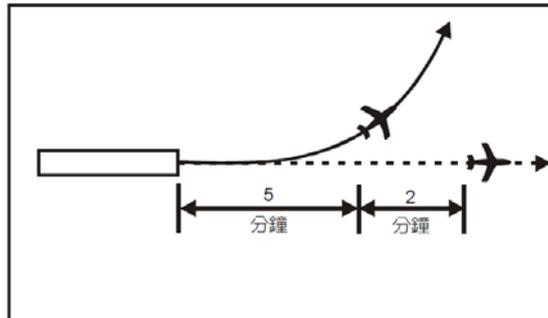
對於連續離場之航空器，桃園國際機場規定起飛後可立即飛航於分歧航道時，採 1 分鐘隔離，如圖 4.20 所示意。



資料來源：[14]

圖 4.20 起飛後可立即飛航於分歧航道之隔離

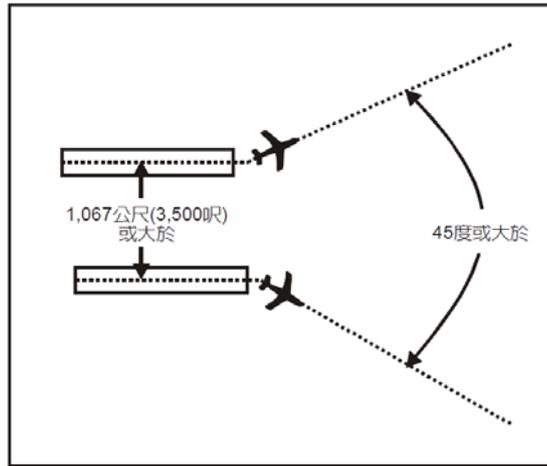
若起飛後 5 分鐘內可飛航於分歧航道時，則採 2 分鐘隔離，如圖 4.21 所示意。



資料來源：[14]

圖 4.21 起飛後 5 分鐘內可飛航於分歧航道之隔離

由於桃園國際機場二條平行跑道之中心線距離超過 3500 呎 (1067 公尺)，因此如航空器起飛後可立即飛航於分歧航道時，准許同時起飛，如圖 4.22 所示意。但因空域限制，桃園國際機場尚無法有此揭分歧航道之設計及運用，爰未能實施平行跑道相關作業。



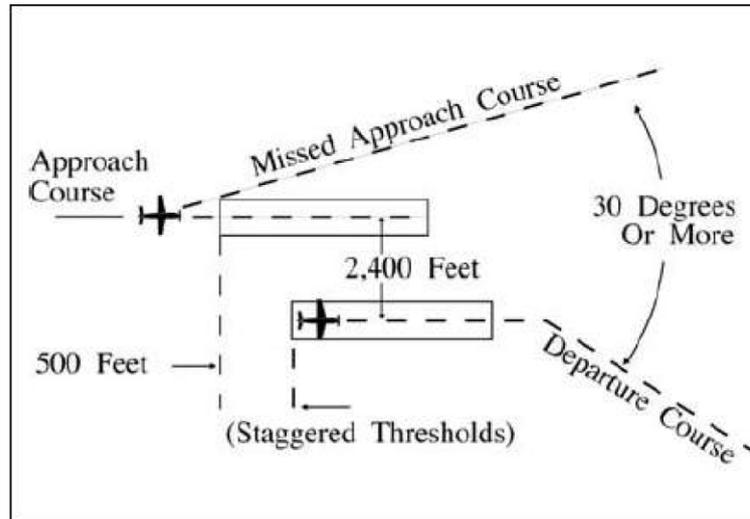
資料來源：[14]

圖 4.22 兩跑道可同時起飛

需要注意的是，桃園國際機場「降低噪音程序」之規定^[13]說明：「離場程序中有關沿跑道方向爬升至 3 哩後再轉彎之程序，除航管指示或緊急情況外，不得提前轉彎」。依據臺北飛航情報區飛航指南「RCTP 機場 2.21 降低噪音程序」係離場程序中有關沿跑道方向爬升至 3 哩後再轉彎之程序，除航管指示或緊急情況外，不得提前轉彎；前述有關「航管指示」乙節，係依臺北飛航情報區飛航指南「RCTP 機場 2.20 本場飛航規定」，為加速飛航流量，減少地面等待，每日 00:00-03:00，06:00-10:00 世界標準時間，將對部分航機頒發雷達離場(Spray One Radar Departure)。另有關離場航機間隔離，尚應考量機型限制。

2. 桃園國際機場平行跑道隔離標準：離場與到場

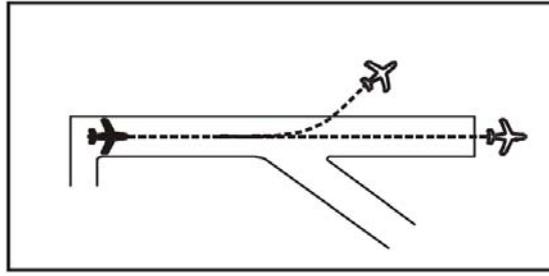
在平行跑道間，一條跑道有離場航空器，而另一條平行跑道 5 邊有到場航空器，如起飛航道能在起飛後立刻與另一條跑道之誤失進場航道至少有 30 度以上之分歧至取得隔離為止，且到場航空器自一較近之跑道進場時，可准許兩航空器同時實施離到場，如圖 4.23 所示意。但因空域限制，桃園國際機場尚無法有此揭分歧航道之設計及運用，爰未能實施平行跑道相關作業。



資料來源：[14]

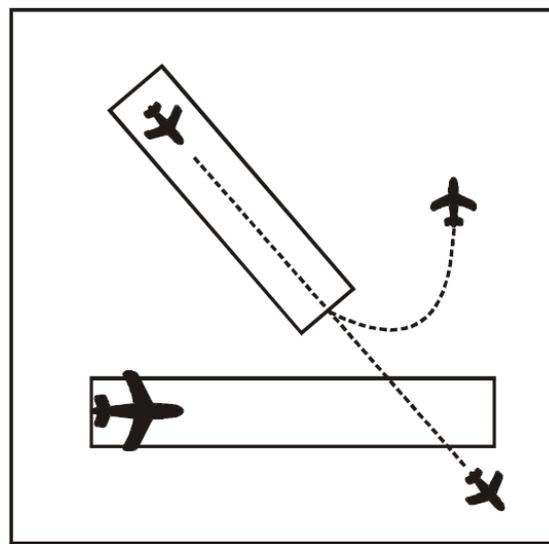
圖 4.23 可同時實施離到場之規定

除了上述規定外，如在起飛 1 分鐘內，航空器間之隔離可增加至 3 哩（距雷達天線 40 哩或以上時為 5 哩）時，離場與到場航空器間之最低隔離標準為 2 哩，惟此條文係指飛航管理程序 5-8-4「同跑道隔離」當到場航空器距跑道不低於 2 哩時，本程序准許放行離場航空器。此隔離由離場航空器開始起飛滾行算起。此外，桃園國際機場受到東面松山機場之限制，分歧角之使用僅限 053 度制 233 度間。中型或重型航空器誤失進場時，則應運用飛航管理程序^[14]3-9-7 節「同跑道隔離」或 3-9-9 節「交叉跑道之隔離」，以確保較重型之航空器不會超越或由前方交叉通過自鄰近平行跑道離場之較輕型航空器。其中前者規定須確保離場航空器未開始起飛滾行直到前一離場航空器已起飛且通過跑道末端，或已轉彎無任何衝突時，如圖 4.24 所示意。而後者則規定須待前一航空器已通過離場航空器使用之跑道，或已經轉彎而無任何衝突存在時，方得准許離場航空器起飛滾行，如圖 4.25 所示意。桃園國際機場並無交叉跑道，因此並不適用這些規定，然本報告書仍予以保留納入以維完整性。



資料來源：[14]

圖 4.24 前一離場航空器已起飛且通過跑道末端



資料來源：[14]

圖 4.25 交叉跑道隔離示意

3. 桃園國際機場平行跑道隔離標準：連續到場

於桃園國際機場不同跑道，航空器連續到場時，除飛航服務主管機關另行規定，使用雷達及/或 ADS-B 時航空器之最低水平隔離為 5 哩；航管單位提報並經民航局個案核准後得應用 3 哩隔離。

4. 桃園國際機場同跑道隔離標準

為確保到場航空器與使用同一跑道之其他航空器間之隔離，到場航空器不得越過降落跑道之跑道頭，除非前一離場航空器已通過使用跑道末端，或已開始轉彎。同時，使用同一跑道之離場航空器與前一離場或到場航空器間之隔離，須確保離場航空器未開始起飛滾行直到：前一離場航空器已起飛且通過跑道末端，或已轉彎無任何衝突時。

除了上述基本隔離標準外，飛航服務總臺亦訂有可接受到場率(Arrival Acceptance Rate, AAR)，為跑道在單位時間內可合理接受降落的架次數。在天候其他條件均正常之狀況下，雙跑道時每小時訂為 27 架，單跑道時則為 20 架。若天候不良、低能見度等不良狀況時，則訂有其他之較低標準。此外，於天候不良時，管制員亦會視狀況而適當增加航空器間之隔離。

航空器在飛行途中，會在所經過的路徑上留下機尾亂流(Wake Turbulence)。機尾亂流主要由二種氣流所組成：噴射流(Jetwash)與翼尖渦流(Wingtip Vortex)。其中前者為航空器發動機產生推力時向後所噴出之氣流，而後者則為機翼產生升力時，空氣由機翼下方之高壓區向上方之低壓區流動時所產生。通常噴射流會快速消散，而翼尖渦流則相對較穩定，存在數分鐘之久，並對其他航空器產生危險。機尾亂流之強度與航空器之重量與速度密切相關，重量愈重、速度愈高之航空器，其機尾亂流愈強，而存在之時間亦愈久。

避免機尾亂流產生之危險，最有效而簡單之方式為在前後航空器之間維持適當之隔離。我國飛航管理程序^[14]5-5-4 之規定如下：「在一航空器之後，或在一航空器之後且空層在其下方不足 1,000 呎時，或跟隨實施儀器進場之航空器時，採下列隔離：1. 重型跟隨重型—4 哩。2. 中型跟隨重型—5 哩。3. 輕型跟隨重型—6 哩。4. 輕型跟隨中型—5 哩。」其中飛航管理程序^[14]對航空器分為重型、大型、輕型 3 個等級，之定義如下。至於 ICAO 及 FAA 之等級定義，則整理於表 4-4。

- (1) 重型，航空器最大核定起飛重量 136,000 公斤（含）以上者。
- (2) 中型，航空器之最大核定起飛重量介於 7,000 公斤至 136,000 公斤者。
- (3) 輕型，航空器之最大核定起飛重量在 7,000 公斤（含）以下者。

另波音 757 最大核定起飛重量為 113,395 公斤，但提供機尾亂流隔離時，視波音 757 為重型航空器。規定之隔離標準如下：

- (1) 重型跟隨重型—4 哩。
- (2) 中型跟隨重型—5 哩。
- (3) 輕型跟隨重型—6 哩。
- (4) 輕型跟隨中型—5 哩。

兩平行跑道間之距離少於 760 公尺/2,500 呎時應視為同一跑道。

表 4-4 航空器起飛重量及等級

Type	MTOW [pounds]	MLW [metric tons]	TOR [m]	LR [m]	ICAO category	FAA category
Antonov An-225	1410958	591.7	3500		Heavy	Super
Airbus A380-800F	1300000	427			Heavy	Super
Airbus A380-800	1200000	391	2900	2050	Heavy	Super
Boeing 747-8	987000	306.175			Heavy	Heavy
Boeing 747-400ER	910000	295.742	3090		Heavy	Heavy
Antonov An-124-100M	893000	330	2520	900	Heavy	Heavy
Boeing 747-400	875000	295.742	3018	2179	Heavy	Heavy
Lockheed C-5 Galaxy	840000	288.417	2530	1494	Heavy	Heavy
Boeing 747-200	833000	285.764	3338	2109	Heavy	Heavy
Boeing 747-300	833000	260.37	3222	1905	Heavy	Heavy
Airbus A340-500	820000	240	3050	2010	Heavy	Heavy
Airbus A340-600	810000	256	3100	2100	Heavy	Heavy
Boeing 777-300ER	775000	251.29	3200		Heavy	Heavy
Boeing 777F	766800	260.816	2830		Heavy	Heavy
Boeing 777-200LR	766000	223.168	2800		Heavy	Heavy
Boeing 747-100	735000				Heavy	Heavy
Boeing 777-300	660000	237.683	3380		Heavy	Heavy
Airbus A350-1000	679000	233.5			Heavy	Heavy
McDonnell Douglas MD-11	602500	185	2990	1890	Heavy	Heavy
Ilyushin Il-96M	595000	195.04	3115	2118	Heavy	Heavy
Airbus A350-900	591000	175	2670	1860	Heavy	Heavy
Airbus A340-200	558968	181	2990		Heavy	Heavy
Boeing 787-10					Heavy	Heavy
Boeing 787-9	553000	193	2900		Heavy	Heavy
Boeing 777-200	545000	208.66	2450	1550	Heavy	Heavy
Airbus A350-800	571000	193			Heavy	Heavy
Airbus A340-300	610000	190	3000	1926	Heavy	Heavy
Boeing 787-8	502500	172	3300	1695	Heavy	Heavy
Lockheed	510000	166.92	2636		Heavy	Heavy

表 4-4 航空器起飛重量及等級

Type	MTOW [pounds]	MLW [metric tons]	TOR [m]	LR [m]	ICAO category	FAA category
L-1011-500						
Airbus A330-300	467460	185	2500	1750	Heavy	Heavy
Airbus A330-200	507150	180	2220	1750	Heavy	Heavy
Lockheed L-1011-200	466000				Heavy	Heavy
Ilyushin IL-96-300	551000	175	2600	1980	Heavy	Heavy
Ilyushin IL-86	458560	175			Heavy	Heavy
Boeing 767-400ER	450000	158.758	3414		Heavy	Heavy
Boeing 767-300ER	412000	136.08	2713	1676	Heavy	Heavy
Airbus A300-600R	379000	140	2385	1555	Heavy	Heavy
Airbus A300-600	360000	138	2324	1536	Heavy	Heavy
Airbus A310-300	346126	124	2290	1490	Heavy	Heavy
Concorde	408,000				Heavy	Heavy
Boeing 767-300	350000	136.078	2713	1676	Heavy	Heavy
Vickers VC10	334878	151.9			Heavy	Large
Airbus A310-200	312342	123	1860	1480	Heavy	Heavy
Airbus A400M	310852	122	980	770	Heavy	Heavy
Boeing 757-300	272500	101.6	2550	1750	Medium	Large
Tupolev Tu-154M	230000	80			Medium	Large
Boeing 757-200	255000	89.9	2347	1555	Medium	Large
Tupolev Tu-204SM	230000	87.5	2250		Medium	Large
Airbus A321-100	182983	77.8	2200	1540	Medium	Large
Boeing 737-900ER	187700	71.35	2804	1829	Medium	Large
Boeing 737-900	187700	66.36	2500	1704	Medium	Large
Boeing 737-800	174200	65.32	2308	1634	Medium	Large
Airbus A319	141090	62.5	1850	1470	Medium	Large
Airbus A320-100	149940	66	1955	1490	Medium	Large
McDonnell-Douglas MD-83	160000	63.28			Medium	Large
Boeing 737-700	154500	58.06	1921	1415	Medium	Large
McDonnell-Douglas MD-90-30	156000	64.41	2165	1520	Medium	Large

表 4-4 航空器起飛重量及等級

Type	MTOW [pounds]	MLW [metric tons]	TOR [m]	LR [m]	ICAO category	FAA category
Airbus A318	130071	57.5	1375	1340	Medium	Large
Bombardier CS300	144000	57.61	1890	1494		
Boeing 737-600	145500	54.66	1796	1340	Medium	Large
Boeing 737-400	149710	54.9	2540	1540	Medium	Large
Bombardier CS100	130000	50.8	1463	1356		
Boeing 737-300	138500	51.7	1939	1396	Medium	Large
Boeing 717-200HGW	121000	47.174	1950		Medium	Large
Boeing 737-500	133210	49.9	1832	1360	Medium	Large
Embraer 190	105359	43	2056	1323	Medium	Large
Boeing 717-200BGW	110000	46.265	1950		Medium	Large
Fokker 100	101000	39.95	1621	1350	Medium	Large
Avro RJ-85	93000	36.74			Medium	Large
Embraer 175	82673	32.8	2244	1304	Medium	Large
Embraer 170	79300	32.8	1644	1274	Medium	Large
Bombardier CRJ900	80500	33.345	1778	1596	Medium	Large
Bombardier CRJ700	72750	30.39	1564	1478	Medium	Large
Bombardier Q400	61700	28.01	1219	1295	Medium	Large
Saab 2000	50265	21.5	1300		Medium	Large
Bombardier CRJ200	51000	21.319	1918	1479	Medium	Large
Embraer ERJ 145	48501	19.3	2270	1380	Medium	Large
ATR 42-500	41005	18.3	1165	1126	Medium	Large
ATR 72-600	50265	22.35	1333	914	Medium	Large
Vickers Viscount 800	67005				Medium	Large
Douglas DC-4	73000				Medium	Large
Douglas DC-6	97200				Medium	Large
Douglas DC-6A	107200				Medium	Large

表 4-4 航空器起飛重量及等級

Type	MTOW [pounds]	MLW [metric tons]	TOR [m]	LR [m]	ICAO category	FAA category
Douglas DC-6B	107000				Medium	Large
Douglas DC-7	122000				Medium	Large
Douglas DC-8-32	310000				Heavy	Heavy
Douglas DC-8-51	276000				Medium	Large
Douglas DC-8-61	325000				Heavy	Heavy
Boeing 377	148000				Medium	Large
Boeing 707-120B	257000				Medium	Large
Boeing 707-320B	333600				Heavy	Heavy
Boeing 720B	234,000				Medium	Large
Boeing 727-100	170000				Medium	Large
Boeing 727-200	184800				Medium	Large
Hawker Siddeley Trident 2E	142500				Medium	Large
Caravelle III	101,413				Medium	Large
de Havilland Comet 1	110000				Medium	Large
de Havilland Comet 2	120000				Medium	Large
de Havilland Comet 3	150000				Medium	Large
de Havilland Comet 4	156000				Medium	Large
de Havilland Hercules	15600				Medium	Small
Handley Page Hermes	86000				Medium	Large
Convair 880	193000				Medium	Large

MTOW = Maximum take-off weight, MLW = Maximum landing weight, TOR = Take-off run (SL, ISA+15°, MTOW), LR = Landing run (SL, ISA+15°, MLW)

資料來源：[18]

4.4 機場管制服務：跑道與滑行道

跑道 (Runway) 為供航空器起飛與降落之設施，而所謂滑行道 (Taxiway)，指「陸上機場劃定供航空器滑行之路線，用以連接機場某一區域與其他區域」^[14]。滑行道除了一般之通道外，亦包括了以下各類^[14]。

1. 航空器停放滑行道

停機坪的一部分，指定為滑行道並用於航空器停放時的往返使用。

2. 停機坪滑行道

滑行道系統的一部分，供穿越停機坪之滑行使用。

3. 快速滑行道

與跑道相連接成銳角的滑行道，設計上允許落地航空器以比在其他脫離滑行道上較高的速度轉彎脫離跑道，以減少占用跑道的時間。

塔臺所提供之機場管制服務包含了航空器在滑行道之活動，這些活動主要可分為 3 類，分別說明如下。

1. 降落後滑行

本項指航空器降落、脫離跑道之後，移動至其停機位之滑行。

2. 起飛前滑行

本項指航空器起飛前，由其停機位至跑道頭之滑行。

3. 拖機

本項指航空器在停機位與停機位間，或停機位與維修棚廠 (Hangar) 間之移動。航空器由於任務之需求，有時需要在機場作較長時間之停留，或需要移入或移出維修棚廠。受到航空器機械性能之限制，或經濟與環保之考量，此種移動大都由拖車提供動力，而非以航空器自身動力為之。拖機作業經常使用滑行道，依規定亦在塔臺管制下進行。

而航機在滑行道滑行之路線，係由塔臺所指派，管制員在指派滑行路線時，通常依循以下原則為之。

1. 安全原則

確保滑行道上航空器之間無路徑衝突，能保持適當之隔離。

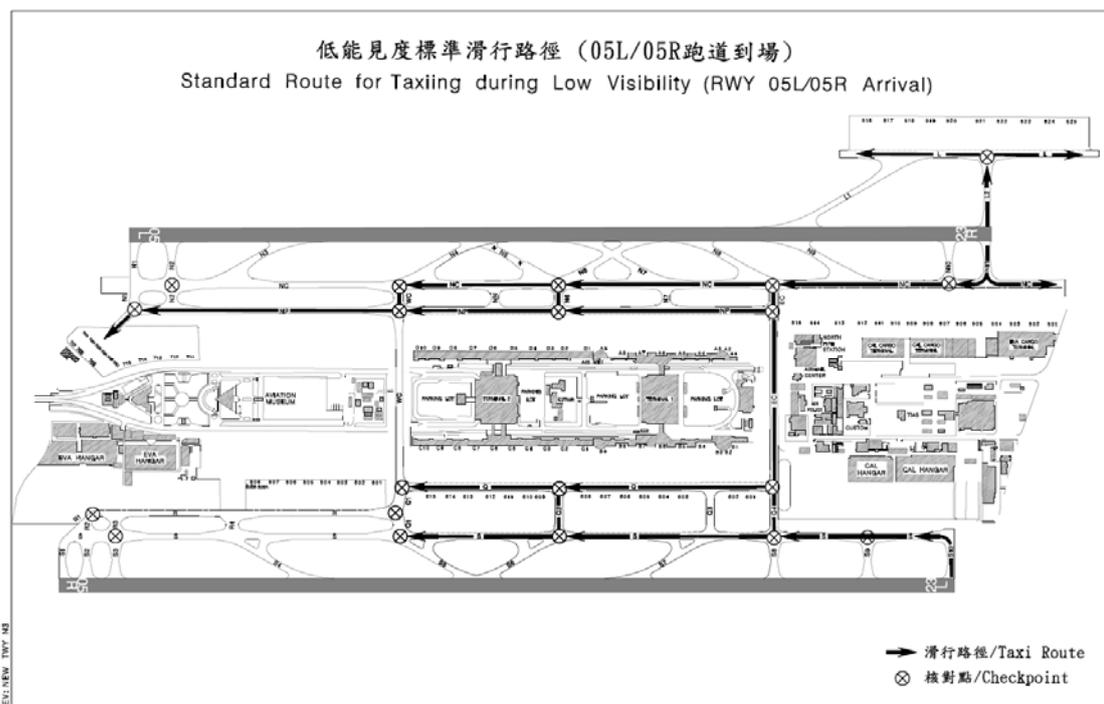
2. 目的原則

所指派之路徑可供航空器由其所在位置移動至目的地。

3. 效率原則

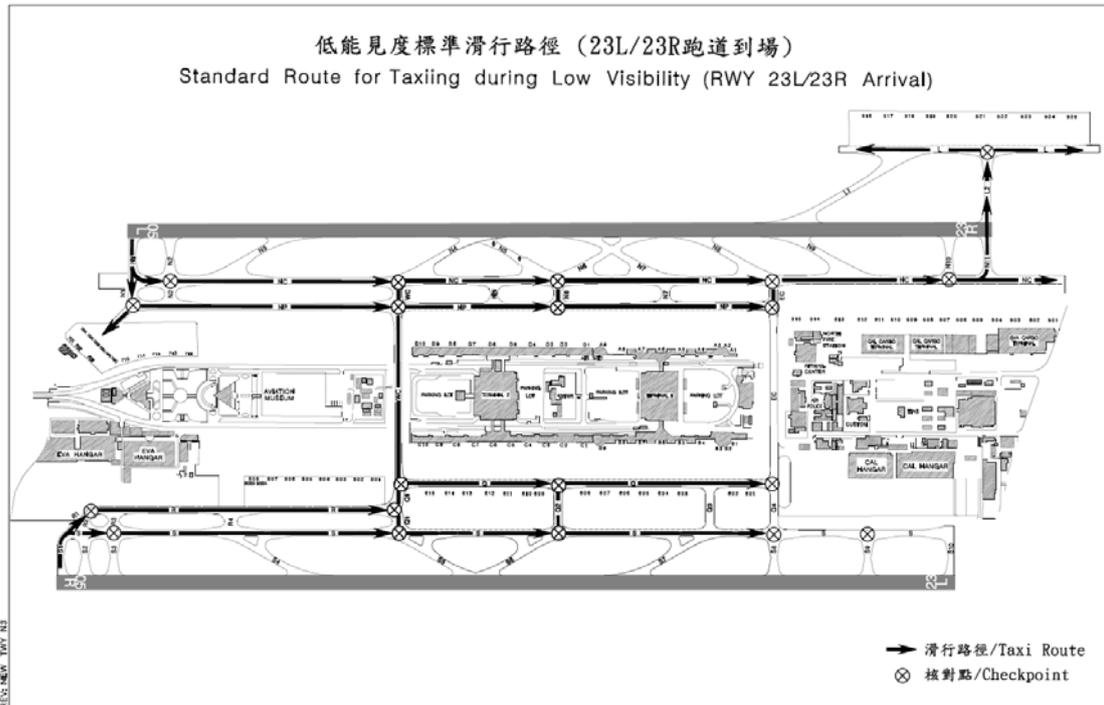
滑行之時間最節省。

於正常狀況下管制員可充份運用機場所配置之滑行道，然於能見度未達標準時，則改採相對應之標準滑行路徑。以下圖 4.26 與圖 4.27 依序為桃園國際機場使用 05 跑道與 23 跑道時之低能見度標準滑行路徑。



資料來源：[13]

圖 4.26 RCTP 低能見度標準滑行路徑(05L/05R 跑道到場)



資料來源：[13]

圖 4.27 RCTP 低能見度標準滑行路徑(23L/23R 跑道到場)

除了一般原則之外，桃園國際機場並對 Boeing B748 以及 Airbus A380 二型航機有特殊之作業規定^[13]，說明如下。

1. Boeing B748 型航機

- (1) 指定使用之停機位：A5-A8、507、513、151-525
- (2) 禁止使用滑行道：R（介於 R1（含）與 R4（不含）之間）

2. Airbus A380 型航機禁止使用下列滑行道

- (1) R（介於 R1（含）與 R4（不含）之間）
- (2) N6（介於 NP（不含）與 NC（不含）之間）
- (3) N7（介於 NP（不含）與 NC（不含）之間）
- (4) EC（介於 NC（不含）與 Q（不含）之間）
- (5) WC（不含 NP 與 WC 交叉口）
- (6) Q3、Q4 及 NN

桃園國際機場之 05L/23R 跑道與每日 06:00 至 06:30 世界標準時間（臺灣時間 14:00 至 14:30）關閉實施聯合巡場，而 05R/23L 跑道之聯合巡場時間則為 02:30 至

03:00 世界標準時間（臺灣時間 10:30 至 11:00），但每週二為 02:00 至 03:00 世界標準時間，臺灣時間 10:00 至 11:00。

4.5 停機位指派

停機位為機場之必備設施，航空器地停過程中之各項操作，以及地面停留，均於停機位進行。而停機位之指派工作，係指依各航空器之需求，分配航空器可使用之停機位以及可使用之時段。桃園國際機場之停機位指派係由桃園國際機場公司航務處負責，這項工作又可區分為指派次日停機位，以及指派當日停機位二大項，分別說明如下。

1. 指派次日停機位

次日停機位之指派，其目的是為次日有使用停機位需求之航空器適當指派可用停機位。航空公司或其代理須於每日下午 14 時之前完成次日需求之登錄，之後由航務處人員於 20 時之前完成停機位預排，而預排結果傳送到各航空公司複核並提出變更申請，再由工作人員進行調整，並於 23:59 之前全部定案發佈。

指派次日停機位分配需考慮很多複雜因素，主要為：每一停機位均有可容納之最大機型限制、部份停機位動線受限，航空器進入時必須關機拖入、大型航空器不可併排停放於相鄰停機位、無接飛航班（下客後拖離或由過夜機坪拖入）之特殊處理、最大型之 A380 需占用 2 個相鄰停機位及 2 個機門 2 小時、前後航空器間之寬裕時間、每晚約 130 架長時間停留（或過夜）機之安排、航空器所需地停時間長度（60 至 90 分鐘視機型大小而定）、主要航空公司使用機坪之偏好、同一航空公司所使用之停機位儘量相近、接飛旅客之移動距離等。空橋之有無，亦影響停機位之使用偏好，在桃園國際機場所擁有之 53 處停機位中，僅有 38 處設有空橋，其餘 15 處遠距停機位（編號 601 至 615，請參閱表 3-）則無空橋，因此實務指派停機位時，設有空橋之停機位其偏好程度優於無空橋之停機位。

2. 指派當日停機位

指派當日停機位之工作主要是為配合航空器之提早與延後，或本場、鄰場之流量管制。依經驗，航空器實際使用之停機位與前一日指派之停機位不同之機率相當

高，有時甚至可能達到半數。

指派當日停機位時所需遵守之限制與指派次日停機位時相同，但考慮因素則有所不同，主要之考慮因素為：儘量減少變動、需變動時原停機位與新停機位之所在位置儘量接近、儘量提早決定停機位變動以利航空公司配合等

除上述規定外，桃園國際機場航機停靠機坪原則^[15]尚有下列規定：

- (1) 第 1 航廈進出航班原則安排 A 和 B 機坪，第二航廈進出航班原則安排 C 與 D 機坪。
- (2) 跨航廈航班以安排 D3 至 A7 與 B7 至 C3，共 12 個停機位為原則。
- (3) 廣體型 E 類航機(B747、B777、B787、A330、A340、A350)：優先停放 A4-A9、B4-B9、C1-C9 及 D1-D2、D4-D9 等停機位。
- (4) 在空橋汰換完成前 MD 類航機禁止停放 A1、B1 及 D1-D10 停機位。
- (5) B747-8 營運客機安排 A5-A8 停機位。
- (6) 可停靠 B747-8F 機型停機位為 507、513、515 及東北角 516 至 525 停機位。
- (7) B748F 機型載運精密儀器貨物停放 507 停機位時，506 停機位淨空，作業時間以 2 小時為限。
- (8) 航機須開鼻頭進行裝(卸)載作業以 514 及 515 停機位為優先。
- (9) 兩架 C 類航機同時停放於遠端過夜接駁坪作業時，因航機左右翼加油孔之限制，進行加油作業時，仍須參照遵守油公司之相關作業程序。
- (10) 兩架 C 類航機停放於同一停機位時，僅限拖車拖進、拖出機坪，航機不得自滑進停機位。
- (11) 航機進、出 801 至 808 停機位時，須由航機拖車執行拖曳作業，航機不得自滑進入停機位。

為了方便管理及旅客與其他運具之配合，桃園國際機場對各航空公司所使用之航站大廈有一定之慣常方式。慣常使用第 1 航廈之航空公司整理於表 4-5，使用第 2 航廈之航空公司則整理於表 4-6。

表 4-5 桃園國際機場使用第 1 航廈航空公司

代碼	中文公司名	英文公司名	備註
CI	中華航空	China Airlines	往香港澳門、歐洲、亞洲（不含中國、日本）
CX	國泰航空	Cathy Pacific	
AE	華信航空	Mandarin Airlines	不含中國
KA	國泰港龍航空	Cathy Dragon	
FE	遠東航空	Far Eastern Air Transport	
3K	捷星航空	Jetstar	
3U	四川航空	Sichuan Airlines	
5J	宿霧太平洋航空	Cebu Pacific Air	
7C	濟州航空	Jeju Air	
9C	春秋航空	Spring Airlines	
AK	馬亞洲航空	Air Asia	
BL	捷星太平洋	Jetstar Pacific	
D7	全亞洲航空	Air Asia	
EK	阿聯酋航空	Emirates	
GA	印尼航空	Garuda Indonesia	
GK	捷星日本	Jetstar Japan	
HO	吉祥航空	Juneyao Air	
IT	台灣虎航	Tigerair Taiwan	
JW	香草航空	Vanilla Air	
KE	大韓航空	Korean Air	
LJ	真航空	Jin Air	
MH	馬來西亞航空	Malaysia Airlines	
MM	樂桃航空	Peach	
NX	澳門航空	Air Macau	
OD	馬印航空	Malindo Airways	
PR	菲律賓航空	Philippine Airlines	
QD	景成柬埔寨航空	JC Cambodia International Airlines	
TG	泰國航空	Thai Airways	
TR	虎航	Tiger Air	

表 4-5 桃園國際機場使用第 1 航廈航空公司

代碼	中文公司名	英文公司名	備註
TW	德威航空	T'way Air	
TZ	酷航空	Scoot	
VJ	越捷航空	Vietjet Air.com	
VN	越南國家航空	Vietnam Airlines	
XT	印尼亞洲航空長途	Indonesia AirAsia X	
XW	酷鳥航空	NokScoot	
Z2	菲亞洲航空	Philippines AirAsia	
ZE	易斯達航空	Eastar Jet	

資料來源：桃園機場公司網站

表 4-6 桃園國際機場使用第 2 航廈航空公司

代碼	中文公司名	英文公司名	備註
CI	中華航空	China Airlines	往美、加、澳、日、中 (不含香港、澳門)
BR	長榮航空	EVA Air	
AE	華信航空	Mandarin Airlines	往中國
B7	立榮航空	NUI Air	
AC	加拿大航空	Air Canada	
BX	釜山航空	Air Busan	
CA	中國國際航空	Air China	
CZ	中國南方航空	China Southern	
FM	上海航空	Shanghai Airlines	
HU	海南航空	Hainan Airlines	
HX	香港航空	Hongkong Airlines	
JL	日本航空	Japan Airlines	
KL	荷蘭皇家航空	Royal Dutch Airlines	
MF	廈門航空	Xiamen Airlines	
MU	中國東方航空	China Eastern	

表 4-6 桃園國際機場使用第 2 航廈航空公司

代碼	中文公司名	英文公司名	備註
	空		
NH	全日空	All Nippon Airways	
OZ	韓亞航空	Asiana Airlines	
SC	山東航空	Shandong Airlines	
SQ	新加坡航空	Singapore Airlines	
TK	土耳其航空	Turkish Airlines	
UA	聯合航空	United	
ZH	深圳航空	Shenzhen Airlines	

資料來源：桃園機場公司網站

第五章 模擬模式之建置

5.1 管制員之重要性

本計畫之目的在構建空域模擬模式，並以臺北終端管制區域為例。為此本節由模擬模式之觀點，剖析此一模擬模式所需處理之課題，至於與模擬模式較無直接關聯之部份則儘量簡化以免失焦。

航空器在空中之飛行，或在地面之滑行、滾行、拖機移動等作業，均在航空器或拖車駕駛員掌控下為之。然而依現行制度，所有民航航空器在空中或在地面之移動，均在管制員引導下進行。航空器所使用之停機位，亦為相關指派人員所決定，而非由航空器之操作人員自行決定。因此，由全系統立場觀之，管制員與停機位指派人員實為系統之實際主導者，而駕駛員則為管制員與停機位指派人員意志之執行者。至於非屬管制員與停機位指派人員管制範圍之操作，例如上撤輪擋、加油、靠退橋等，則均不在本模擬模式範圍內。

依以上論述，本模擬模式將以管制員之決策思考為實際模擬之對象，而在模擬系統中，航空器之移動則為表現管制員與停機位指派人員意志之方法。真實系統中，航空器於不同操作階段，由不同之管制席位負責管制。而真實管制員於執行管制航空器之任務時，除了必須遵守法規之規定外，最主要考量為安全與效率，以提供高品質服務，亦即在安全之前提下，以最快速之方式引導航空器達到其該階段之目的地。在此原則下，本模擬模式中，模擬之管制員設計有 4 項最主要之任務，以下將分別說明任務之內容；至於模式計算時所使用之演算法，則將於後續各節再分別說明之。

1. 到場航空器航路及降落順序之決定

本模擬模式以臺北終端管制區域為空域範圍，因此在模擬系統中，航空器係依預設之時間，出現在預設之交管點，此時模擬系統即以所設計之演算法，決定良好之航路以及降落順序。

2. 離到場航空器地面滑行路線之決定

本模擬模式在進場航空器脫離跑道前往其停機位、離場航空器由其停機位前往跑道頭、以及拖機時，模擬塔臺管制員之決策，為該航空器決定所需之滑行路線。

3. 離場航空器起飛順序之決定

真實狀況中，航空器之起飛順序受到許多因素之影響，其中對最終真正起飛順序最具影響力之二大因素為允許後推時間以及滑行路線。因此本模擬模式亦將依此

原則，當模擬系統中航空器地停程序準備就緒（Aircraft Ready）時，即如前述決定其滑行路線，再依航空器抵達跑道頭之順序起飛。

4. 安全隔離

維持航空器與航空器、航空器與人車、航空器與地障間之隔離為管制員之重要任務。雖然模擬模式為虛擬世界，但本模式仍在各演算法中納入安全隔離之規定，以力求模擬接近真實。

除了以上各項與管制員相關之模擬外，本模擬系統亦模擬桃園國際機場公司航務處相關人員對停機位之指派，其方法將於後續第 5.3 節說明之。

5.2 網路模型

本模擬模式使用網路模型以呈現系統中所有航空器可能之動線。網路為節點與節線之集合，於各種數學及模擬均有廣泛應用。以下將依空域與地面，分別說明本模擬模式之網路模型。

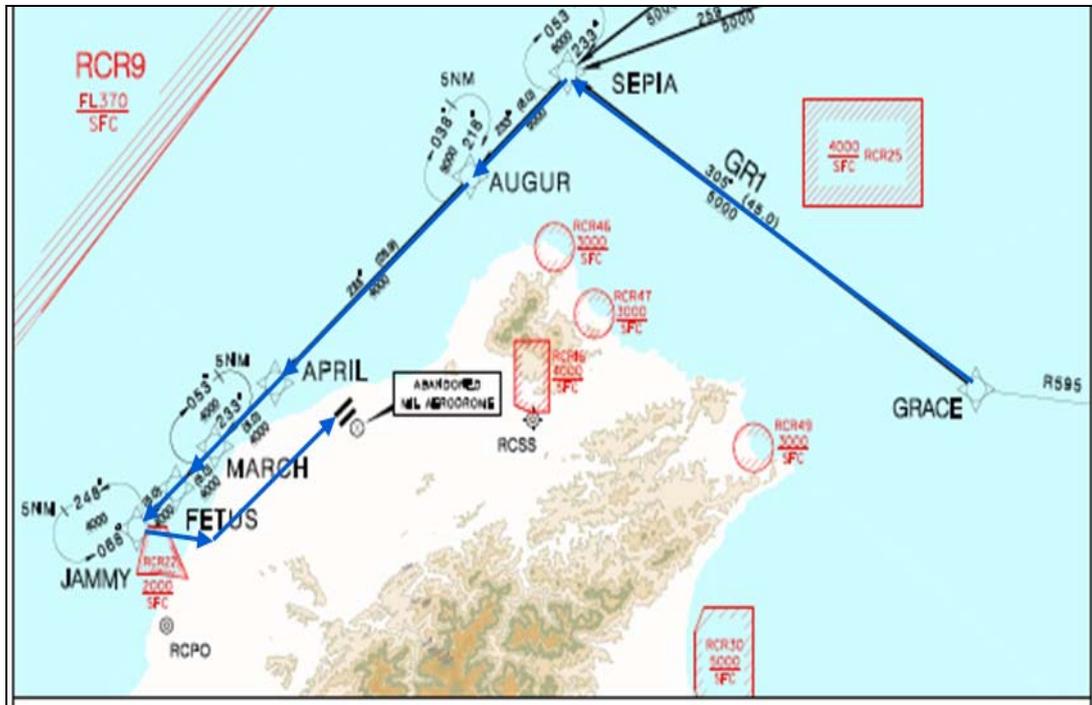
1. 空域網路模型

在終端管制區域部份，本模式將以節點與節線呈現所有到場與離場航路。而模擬模式中之網路將同時涵蓋標準儀器飛航航路以及雷達引導之航路。這些網路均為四維空間網路，亦即各節點帶有經度、緯度、高度、與速度之屬性。模擬時終端管制區域之空域網路將分二階段產生，於進入模擬前之初始化階段，模式將先產生所有節點之經度及緯度，而模擬進行中則在所模擬之各離場或到場航空器進入終端管制區域時之航情與其他需求，產生該航空器所使用之路徑上各節點之高度與速度屬性。

實務上管制員以儀降程序為基準，考量航情採用雷達引導與速度控制之方法以引導航空器之飛行路線，目的在調節航空器抵達跑道之時間。採用雷達引導時，所引導之飛行路線即非完全依循儀降程序之路線，而是有可能繞行略遠之距離，亦有可能截短其飛行距離。本模擬模式亦仿管制員之思考，於產生到場航路所對應之空域網路時，將雷達引導之各種可能性納入網路中。至於進場航路則將僅採儀器飛航航路，而網路中之節點則將涵括航點以及執行模擬時所需之其他節點。

以圖 4.6 所示之 GR1A 儀器到場程序，以及圖 4.8 所示之儀器進場程序 ILS RWY05L 為例說明之，GR1A 儀器到場程序依序經過 GRACE、SEPIA、AUGUR、

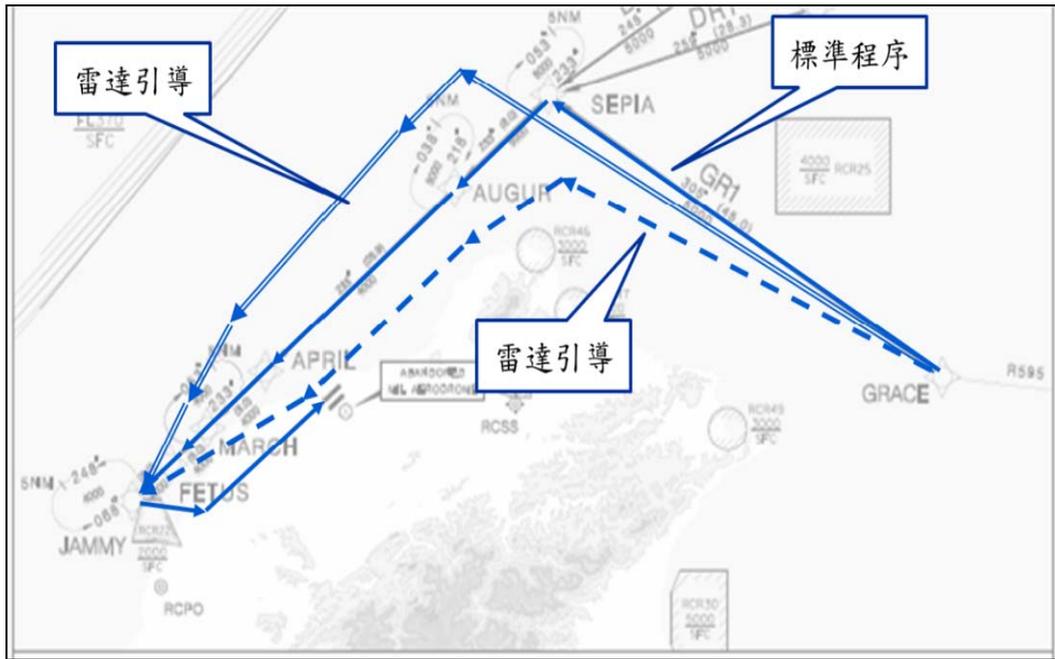
APRIL、MARCH、FETUS、JAMMY，而依圖 4.10 所示，其進場程序則經過 JAMMY、KARAN 進入 05L 跑道，若將二程序整合於同一圖中，則結果如圖 5.1 所示。



資料來源：[13]

圖 5.1 GR1A 儀器到場程序及 ILS RWY05L 儀器進場程序

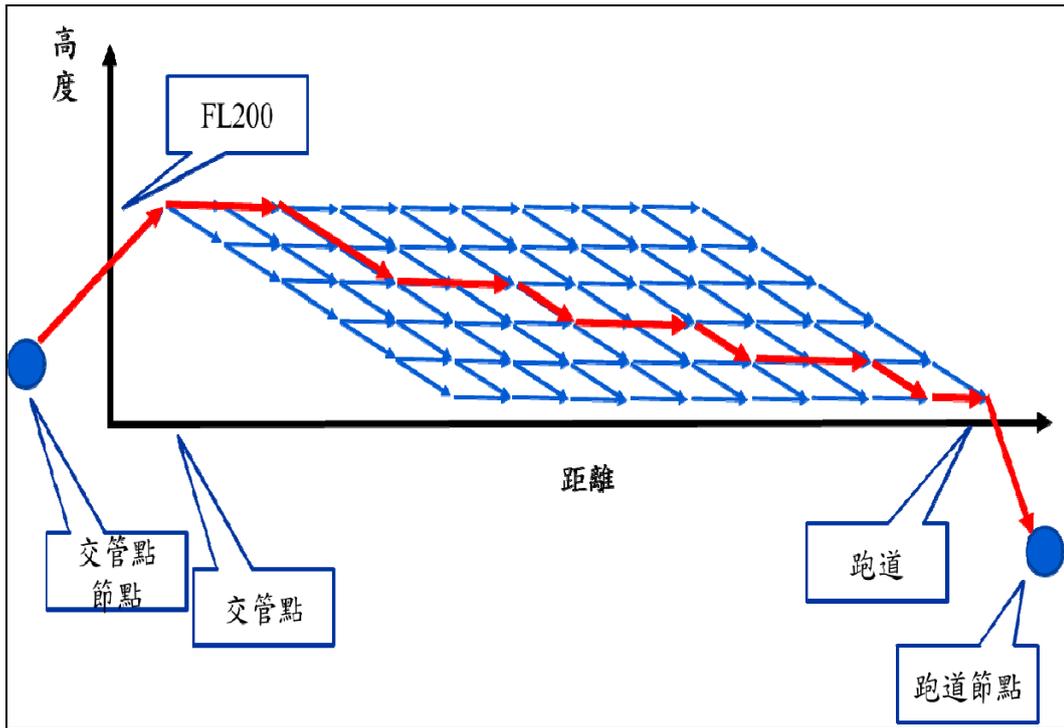
模擬系統於產生空域網路時，先以 GR1A 儀器到場程序為基準，產生多種可能之雷達引導飛行路線，如圖 5.2 所示。雖然該圖僅顯示 2 條雷達引導飛行路線；但實際進行模擬時，軟體產生之數量達數百條以上。



資料來源：[13]

圖 5.2 雷達引導航路示例

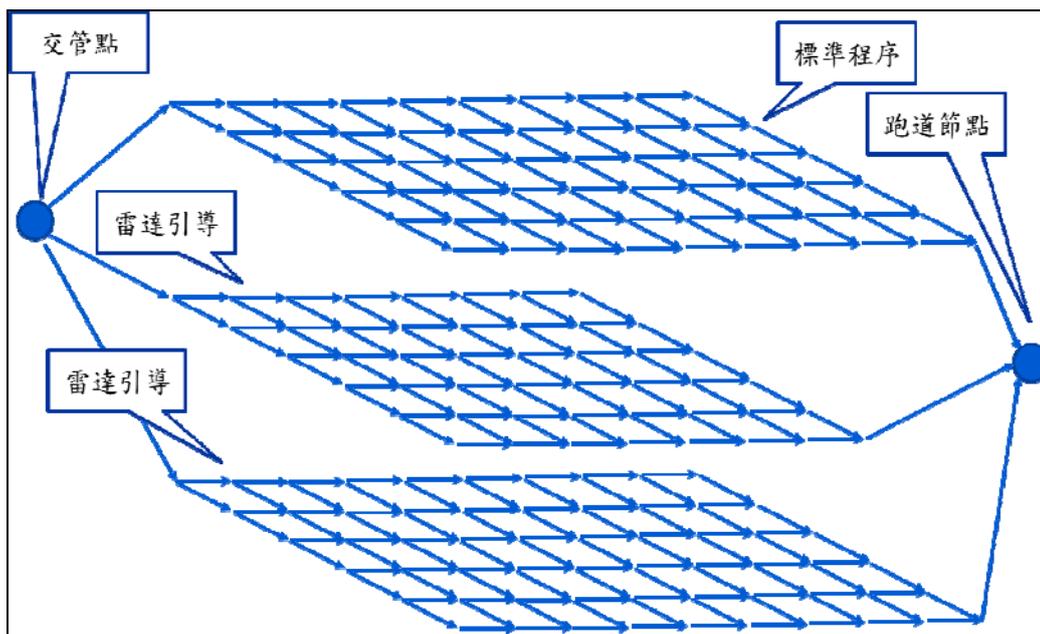
完成產生圖 5.2 所示之標準程序以及所有雷達引導航路之後，模式再對每一飛行路線產生空域網路，如圖 5.3 所示。此網路描述了航空器沿某一標準程序或雷達引導航路之飛行路線飛行時，於空間中之可能路徑。除了最左方之交管點節點，與最右方之跑道節點之外，網路中之其餘節點均有距離以及高度之屬性，因此可以在座標系統中標示節點位置。圖中橫軸即代表沿所對應的飛行路線之飛行距離，而縱軸則代表飛行高度。



資料來源：[13]

圖 5.3 航路空域網路示意圖

如前所述，模擬系統為每一到場航空器均產生多條可能之飛行路線，而每一飛行路線均可產生如圖 5.3 所示之空域網路。對同一飛行路線，演算法亦可以數種不同的配速方式產生數個不同的空域網路。以這些空域網路為子網路，組合之後即為該航空器在到場時所配予之空域網路，如圖 5.4 所示。由於圖 5.2 顯示 3 條飛行路線，因此圖 5.4 亦配合顯示 3 組空域網路之示意，且由於不同飛行路線之航程長度並不全然相同，因此各個子網路之寬度亦並不全然相同。



資料來源：[13]

圖 5.4 空域網路結構示意圖

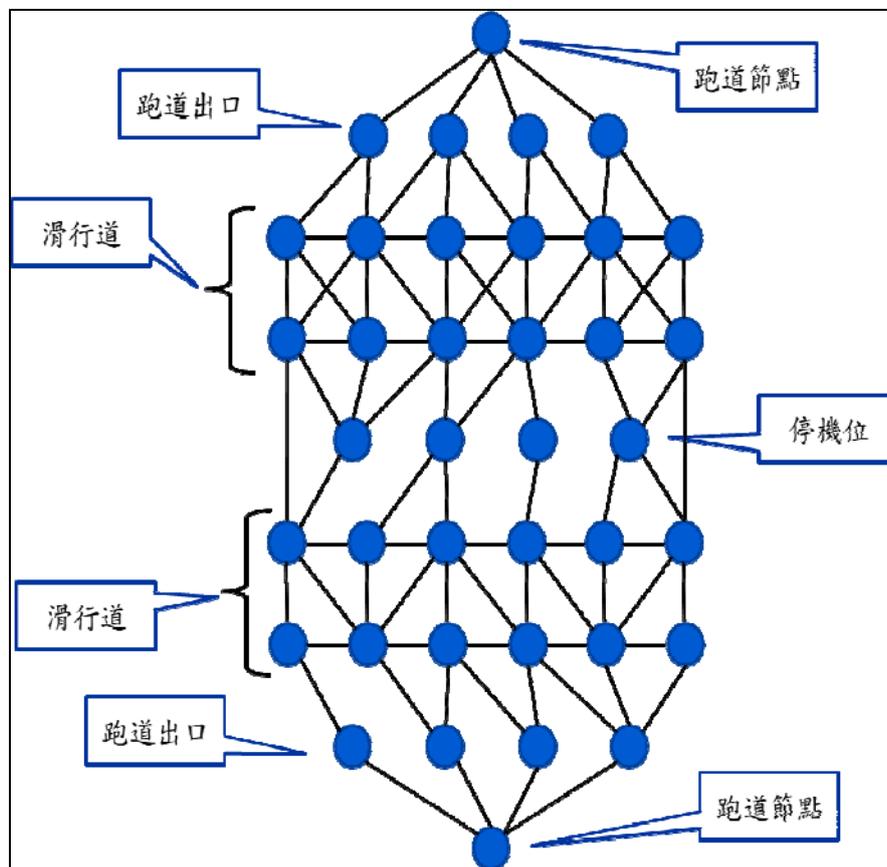
2. 地面網路模型

本模擬模式之地面網路主要呈現跑道、滑行道、及各停機位所形成之系統，由於在同一時間僅容許 1 架航空器使用跑道，因此模擬模式在邏輯上將跑道視為單一節點；而跑道節點亦為前述空域網路與地面網路之連接點，這種以單一節點代表跑道之方式與過去所作之研究相同。

於地面網路中所有停機位以及滑行道之連接、交叉處均為節點，其間依機場滑行道之實際佈設狀況以節線連接之。模擬時航空器依其移動與停留方式，循序占用其移動路徑上之各節點，而占用時間即依模擬時之需要而設定。例如航空器對跑道節點之占用時間為其起飛或降落時占用跑道之時間長度；對停機位節點之占用時間為其使用該停機位之時間長度等。

地面網路之結構以圖 5.5 之示意說明之，至於模擬系統依此結構與桃園國際機場設施狀況而佈設之地面網路，則於後續再說明。於圖 5.5 之示意圖中，最上端與最下端為跑道節點，每 1 節點對應 1 條實體跑道，而每 1 跑道節點，分別以若干個節點對應跑道之各出口，用以供模擬過程中呈現航機脫離跑道進入滑行道時之

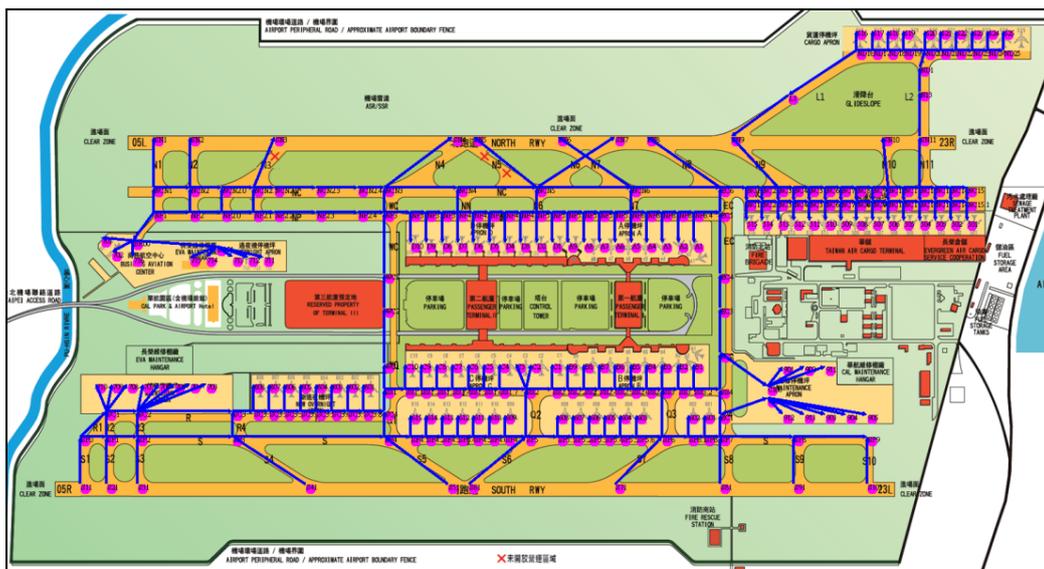
不同選擇。與跑道出口節點相連者為節點與節線所構成之網路，對應於滑行道系統，此滑行道系統在網路結構中之功能為連接跑道出口與停機位。



資料來源：[13]

圖 5.5 地面網路結構示意圖

基於圖 5.5 所示網路結構，模擬系統為桃園國際機場而產生之地面網路如圖 5.6 所示。機場之 2 條實體跑道各對應 1 個跑道節點，但因為跑道之幾何形狀為長條形，為保持圖 5.6 之圖面易讀易看，並未於圖中示出。至於機場之滑行道系統於地面網路中之對應方式、停機位之節點、以及地面網路中停機位與跑道之連接，均表現於圖 5.6 中。



資料來源：[13]

圖 5.6 地面網路圖

5.3 演算法

真實管制員依其知識與經驗做出判斷，而真實之物體亦依循物理定律而運行。然而模擬模式為虛擬世界，所有狀況之處理均係依循既定之邏輯，由軟體按演算法計算之，以下將分項說明本模擬模式之主要演算法。

1. 到場航空器飛行路線之決定

在模擬模式中，當到場航空器出現在交管點時，模式將模擬管制員之思考，為其決定後續之飛行路線，引導該航空器降落於適當之跑道。

於模式進行模擬時，其相對應之演算法先構建空域網路，再於該網路中全面檢視所有該航空器可納入考慮使用之所有可能飛行路線（包含雷達引導程序及速度控制），並為每一個別之可能飛行路線計算適當之飛行高度與速度。由此即可為每一可能飛行路線計算其降落時間。在此過程中，同時並逐一檢視每一可能飛行路線在飛行過程中，與其他在空之到場或離場航空器之間，是否能夠滿足所有的隔離規定。若發現某一可能飛行路線在任何一處無法滿足隔離規定，即淘汰該飛行路線不再予以考慮。在完成對每一可能飛行路線之計算後，再選取使降落時間最早之飛行路線，指派予該航空器。

由於本模擬系統所考慮之範圍均在飛航空層 200 以下，因此參考本報告第 4.1 節所說明之 RVSM 垂直隔離最低標準（飛航空層 410 以下採 1,000 呎隔離，飛航空

層 410 以上採 2,000 呎隔離)，以 1,000 呎為垂直隔離標準。在水平隔離方面，則不考慮雷達失效之特殊狀況，一律採用本報告第 4.1 節所說明之 5 哩水平隔離。

2. 航空器降落順序之決定

模擬系統以上述方式為每一到場航空器決定飛行路線之同時，已取得其降落時間點，以此排序即為所有航空器之降落順序。

3. 滑行路線之規劃

航空器在降落後脫離跑道時、起飛前後推時、或需要拖機時，產生規劃滑行路線之需求。於規劃滑行路線時，模擬模式係在地面網路中，考慮場面上所有其他滑行中之航空器預定占用與釋放節線之時間，依指定之路線起點、路線終點、以及最早可開始滑行時間，並用依時最短路徑 (Time-Dependent Shortest Path) 求解，規劃其滑行路線。演算法之核心為網路之深度優先搜尋 (Depth-First Search)，執行演算法時由路徑之起點開始，以節點不重複之原則對網路進行深度優先搜尋，並於檢視每一節點時，記錄可占用該節點之時間；若於深度優先搜尋時發現所檢視之節點已被占據，則可占用該節點之時間即為等候釋放之時間加上前往該節點之旅行時間。由於求解所得之路徑係用依時路徑，因此其中亦帶有航空器抵達與離開所有節點之時間。由於考慮了地面網路之全部範圍，因此所有航機於滑行道以及跑道之活動，均會納入考慮。

4. 起飛順序之決定

本模擬模式中，所有離場航空器均依其依時路徑執行起飛前由停機位至跑道頭之滑行。因此各航空器抵達跑道頭之時間，即自然形成起飛順序，不必另行設計演算法求解。

5. 停機位之決定

在實務上，於前一日預排次日停機位分配時，可同時全面掌握各航空公司所有提出之需求。而桃園國際機場公司航務處之人員即依據完整之需求資訊擬定停機位分配方式。配合此種狀況，本模擬模式使用混合整數規劃模式以求解次日停機位之分配，其模式說明如下。

集合與常數

AC 所有航空器之集合

A_i 航空器 i 預定開始占用停機位之時間

D_i 航空器 i 預定結束占用停機位之時間

- T_i 航空器 i 需占用停機位之最小時間
 W_{ik} 航空器 i 指派使用停機位之偏好權重，值愈小愈偏好
 α_i 航空器 i 可開始占用停機位之時間延遲量懲罰權重
 P 所有停機位之集合
 H_{km}^{ij} (i,j,k,m) 所成之集合，其中 i 與 j 為不可同時分別停靠於 k 、 m 停機位之航空器，而 k 與 m 可能相同，亦可能不同
 M 很大的正值常數

決策變數

- a_i 航空器 i 開始占用停機位之時間
 d_i 航空器 i 結束占用停機位之時間
 p_{ik} =1 航空器 i 指派使用停機位 k ，0 表示航空器 i 不指派使用停機位 k
 x_{ij} 當航空器 i 結束占用停機位之時間晚於航空器 j 開始占用停機位之時間時，本變數之值為 1
 y_i 航空器 i 可開始占用停機位之時間延遲量

$$\text{Minimize } \sum_{i \in AC, k \in P} W_{ik} p_{ik} + \sum_{i \in AC} \alpha_i y_i \quad (1)$$

$$a_i = A_i + y_i \quad \forall i \in AC \quad (2)$$

$$d_i \geq a_i + T_i \quad \forall i \in AC \quad (3)$$

$$d_i - a_j \leq M x_{ij} \quad \forall i, j \in AC \quad (4)$$

$$x_{ij} + x_{ji} + p_{ik} + p_{jm} \leq 3 \quad \forall (i, j, k, m) \in H_{km}^{ij} \quad (5)$$

$$p_{ik} = 0 \quad \forall i \text{ not allowed to use } k \quad (6)$$

$$\sum_{k \in P} p_{ik} = 1 \quad (7)$$

$$a_i \geq 0 \quad \forall i \in AC \quad (8)$$

$$d_i \geq 0 \quad \forall i \in AC \quad (9)$$

$$y_i \geq 0 \quad \forall i \in AC \quad (10)$$

$$p_{ik} \in \{0,1\} \quad \forall i \in AC \quad \forall k \in P \quad (11)$$

$$x_{ij} \in \{0,1\} \quad \forall i, j \in AC \quad (12)$$

在本模式中，式(1)為目標函數，追求延滯時間與停機位偏好權重總和最小；式(2)建立各航空器實際開始占用停機位時間、預定開始占用時間、與延滯時間三者之

關係；式(3)確保各航空器能分配到足夠的占用停機位時間；式(4)之目的在建立 2 航空器之時間先後關係。當航空器 i 結束占用停機位之時間晚於航空器 j 開始占用停機位之時間時，此限制式使得變數 x_{ij} 之值必須為 1。需要注意的是，航空器 i 結束占用停機位之時間不晚於航空器 j 開始占用停機位之時間時，本限制式並不控制變數 x_{ij} 之值。式(5)之作用在對於 H_{km}^{ij} 所列舉之組合，當航空器 i 與航空器 j 之占用時間有重疊時，禁止將航空器 i 安排於停機位 k ，同時又將航空器 j 安排於停機位 m ；式(6)則為某些航空器禁止停放於某些停機位之禁制條件；式(7)要求每一航空器均被分配到恰好一個停機位。最後之式(8)至式(10)為非整數決策變數之非負限制式，而式(11)與式(12)則為雙元整數決策變數之雙元限制式。

5.4 事件模擬模式

本模擬模式採用離散事件模擬，亦即在系統中，參數狀態變化係發生於特定、有限個數的時間點。模擬系統將這些時間點視為事件，在此種系統中，模擬時鐘之推進係以跳躍方式，由一事件之時間點跳到下一事件之時間點。在事件與事件之間，則系統不發生任何變化。若欲於模擬過程中之特定時間執行某種程序，例如於模擬某時觀測、紀錄某些值，或於處理某事件之後若干模擬分鐘時執行某種計算，則亦可利用安插額外事件之方式達到目的。

具體而言，實作模擬軟體時，系統將隨時維持一個事件清單，用以存放所有尚未執行之事件。每一事件均有明確之預定啟動時間，而清單則依此預定啟動時間排序。模擬程序啟動後，系統在每一回合之演算中取出啟動時間排序最早之事件並執行之。而每一事件於執行時均有可能產生新事件加入清單中、或修正已在清單中之其他事件、或甚至取消已在清單中尚未執行之事件。模擬時鐘則依所執行事件之啟動時間而推進。

5.5 模擬模式架構

於本模擬模式中設計了多種事件，架構如圖 5.7 所示，各事件之執行邏輯說明

如下。

1. 航空器進入模擬

於本模擬系統中，到場航空器於抵達交管點時進入模擬範圍內。對模擬軟體而言，則是各航空器依事前設定之時間，出現在模擬系統中。因此模擬系統於初始化時即會依所讀取之資料，為每一航空器之出現創造一個對應的事件，並納入事件清單中。

於執行本事件時，模擬系統將依前述方式規劃該航空器之降落順序以及所使用之航路，同時並依預定降落時間檢視、調整停機位。最後則是為該航空器產生最後進場事件並納入事件清單中。

2. 航空器最後進場

此事件所代表的，是航空器抵達最後進場定位點。執行本事件時，模擬系統將依前述演算法，為該航空器指派滑行路線，同時並推算該航空器沿其滑行路線滑行時，進入與脫離沿途各滑行道之時間。由此即可估算航空器進入停機位之時間。完成這些計算之後，模擬系統並將計算該航空器離開該停機位之時間。對於單獨到場航班，本事件將產生降落後拖機事件；否則將產生請求後推事件。

3. 航空器請求後推

此事件代表航空器駕駛員向塔臺請求後推的許可以便起飛。模擬系統執行本事件時，將使用演算法求解由停機位到跑道頭之滑行路線，以及該航空器沿其滑行路線滑行時，進入與脫離沿途各滑行道之時間。這些資訊將用以進一步推算該航空器抵達跑道頭加入排隊起飛之時間點，據以決定起飛順序。本事件將產生航空器爬升之事件，納入模擬系統的事件清單中。

4. 航空器降落後拖機

本事件代表航空器由其停機位移動到另一停機位作長時間停留。為此模擬系統需要為其指派停留機位，再依其原停機位與長時間停留機位求解拖機路線。完成拖機過程之模擬之後，系統再產生起飛前拖機之事件。

5. 航空器起飛前拖機

此一事件之目的在模擬航空器由長時間停留停機位，利用拖車拖往客運或貨運停機位之過程。執行本事件時，系統將依據其長時間停留停機位與目的地停機位，求解拖機路線。由於本項拖機之目的在進行起飛前之地停程序，因此在模擬系統中，完成本事件後將產生請求後推事件，納入事件清單中等待後續處理。

6. 航空器離場爬升

本事件代表航空器於起飛後，由近場臺管制員接手管制權之狀態。模擬系統將為該航空器規劃航路、執行模擬，之後產生航空器離開系統之事件。

7. 航空器完成模擬

此事件為航空器抵達臺北終端管制區邊界（近場管制臺與區域管制中心之交管點）時，離開本模擬系統之範圍。因此模擬系統將在留下所需之紀錄後，由系統中刪除本航空器。本事件並不產生任何後續事件。

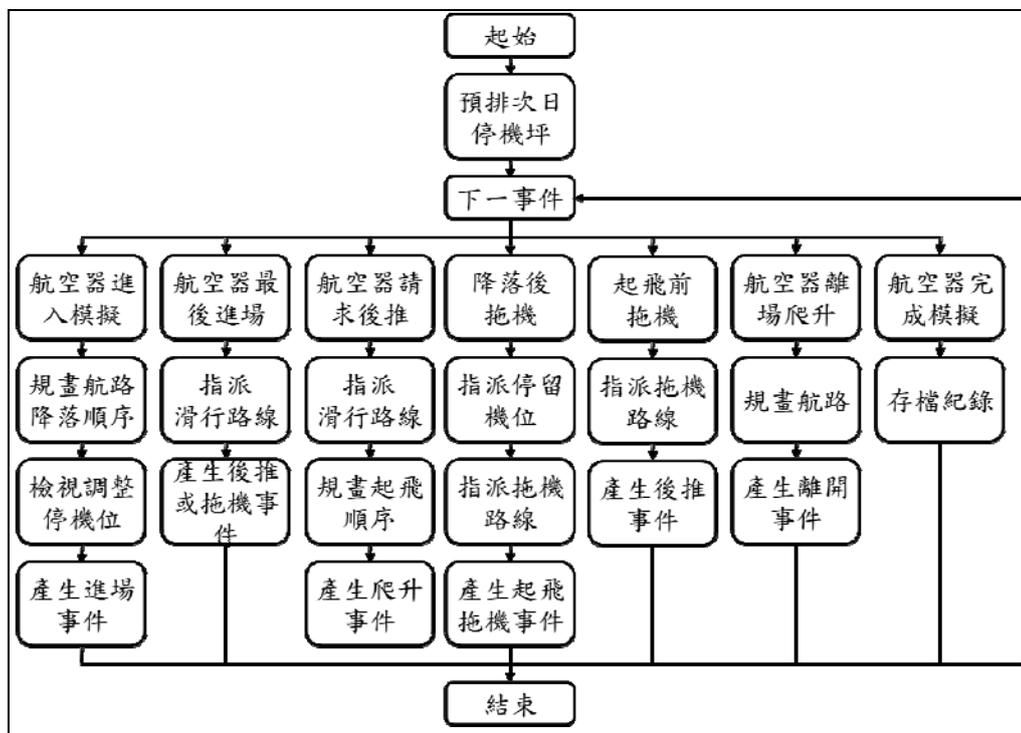


圖 5.7 模擬模式架構

5.6 重要基本假設

任何模擬模式均必有其假設，本計畫在構建臺北終端管制區域之空域模擬模式雛型時，亦有相關假設，以下為本模擬模式之重要假設。

1. 模擬時間

本模擬模式假設模擬之時間為 1 天，共計 24 小時。

2. 跑道方向

本模擬模式有能力模擬桃園國際機場使用 05 跑道起降之狀況，亦有能力模擬使用 23 跑道起降之狀況，然而臨時換跑道之過程，則未納入模擬中。

3. 風向風速之影響

風向與風速對航空器之飛行產生一定而不可忽略之影響。真實狀況下風對飛行之影響係依循流體力學之物理定律，然而流體力學之計算並不在本模擬模式範圍內，因此本模擬模式略過流體力學之計算。

4. 能見度之影響

能見度達到標準與否，對機場運轉有重大影響，然本模擬模式並未納入能見度之考量。

5. 航空器性能

實務上各種航空器之機械性能並不全然相同，甚至不同航空公司使用同型航空器時，偏好之操作方式亦可能有所不同。而航空器在地面以自身動力滑行時，其性能與利用拖車拖行亦有所差異。對此本模擬模式假設所有航空器之性能均相同，並未予以區分。

6. 航空器飛行高度與速度

本模擬模式假設所有航空器出現於交管點時，其高度為海面以上 20,000 呎，速度為 280 節；降落於跑道時，高度為海面以上 100 呎，速度為 160 節。在跑道上航空器以等加速運動降低速度，至 10 節時脫離跑道。於到場過程中假設航空器可完全配合管制員之指示飛行，而管制員對到場航空器不給予爬升高度之引導，亦不給予加速之引導。當航空器變換飛行高度時，假設其變換率為每湮 300 呎；變換飛行速度時，則假設為等加速度運動，其加速度絕對值為每秒每秒 1 公尺。

7. 航空器地面操作之速度

本模擬模式假設航空器於地面活動時，運行速度為時速 48 公里，約為 26.7 節，此速度相當於運行北跑道之長度費時 4.5 分鐘。於地面運行中轉向操作則假設無時間損失，另起飛離地之速度則假設為 160 節。

8. 航空器跨越跑道之停等

本模擬模式假設所有航空器在跨越跑道，或進出貨機坪時，均先停等。

9. 滑行路線之引導

本模擬模式假設塔管制員引導航空器滑行時，係給予可行、時間最節省之滑行路

徑。

10. 到場航空器之引導

本模擬模式假設近場臺管制員引導到場航空器時，大部份採用雷達引導之方式。

11. 航空器之進場

本模擬模式假設所有進場航空器最晚對正跑道之點為跑道頭外 10 哩處，而航空器在該處之高度設定為 3,000 呎。

12. 脫離跑道

本模擬模式假設進場航空器於運行超過跑道一半長度之後，以隨機方式選擇脫離跑道之位置。所有使用北跑道進場之航空器均由南方滑行道脫離跑道；所有使用南跑道進場之航空器均由北方滑行道脫離跑道。

13. 到場航空器出現位置

本模擬模式假設所有到場航空器進入模擬範圍之位置均在交管點，而交管點之選擇則依其前一機場，表 4-3 所設定之。出現於交管點之時間設定，則依各航空器之預定抵達時間，考慮航程推算之。

14. 拖車

實務上拖車於空車移動時所行駛之勤務道路與航空器之滑行路線並不相同，塔臺之管制方式、標準亦均不同。因此本模擬模式納入拖機之考量，但不考慮拖車之空車移動。排除拖車移動之模擬，亦可使模擬模式不必考慮拖車之車輛調度，有助聚焦於主題，同時本模擬模式假設拖車供給充足，無航空器等待拖車之狀況。

15. 滑行道之開放與關閉

實務上滑行道會因為施工或其他需求而作長時間或短時間之關閉。本模擬模式對此假設滑行道關閉時將會有適當之前置時間，同時管制員可取得精準資訊。在此假設下，若某段滑行道關閉時間涵蓋一整天，則可自模擬系統之輸入資料中取消該段滑行道。若在模擬過程中有開放亦有關閉，則在模擬系統中將關閉之時段視同該段滑行道被占用，在規劃滑行路線時，依時最短路徑演算法會自然避免使用該段滑行道。

第六章 軟體雛型說明

6.1 軟體架構

本模擬軟體係以 C++ 以及 C# 程式語言開發而成，其架構可分為模擬、數學演算、視覺呈現、與統計 4 個主要模組，分別執行不同之任務。這種劃分方式簡化了軟體各種不同功能間之界面，可加速開發並達到更高之彈性與擴充性。模組分工之架構如圖 6 所示。而主要模組之間，則以模擬結果檔傳遞資訊，以下將分別說明各模組之設計。

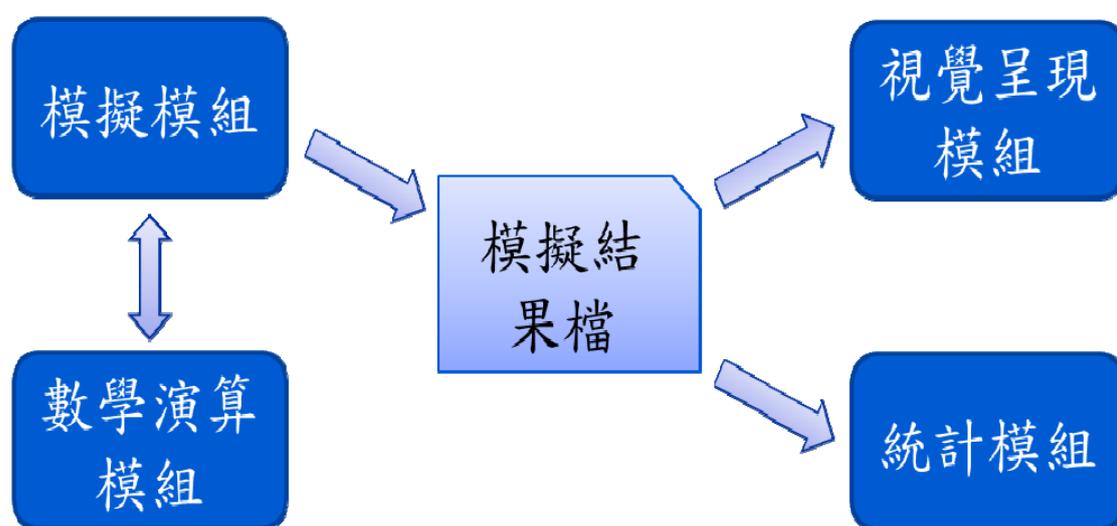


圖 6.1 模擬軟體架構

1. 模擬模組

本模組之功能在執行事件模擬，模組之具體任務有管理事件清單、呼叫數學演算模組、產生空域網路、計算航空器在空中之隔離、以及輸出到模擬結果檔。而模擬結果檔之內容，主要為各航空器在各時間點時所位在之位置。

2. 數學演算模組

本模組提供 2 項數學演算能力，包括在空域網路中求解最佳之路徑，以及在地面網路中尋找滑行或拖機路徑與時間。當有 1 架到場航空器進入模擬時，模擬模組即為其產生空域網路，之後呼叫數學演算模組以求解其在空域網路中之路徑。航空器降落於跑道時，模擬模組呼叫數學演算模組以求解其滑行路徑以及停機位。此外，航空器需要由其停機位移置，或前往跑道準備起飛時，亦呼叫數學演算模

組以求解其滑行路徑。

3. 視覺顯示模組

本模擬軟體設有視覺顯示模組，以方便檢視模擬結果，並作為各種不同專長人員討論之共同平台。本模組讀取模擬結果檔並以視覺化方式顯示之，可視為模擬結果之播放器。該模組之主要功能在分析模擬結果之後，進行插補以避免顯示之動畫有中斷或跳躍之現象，同時並依使用者設定之推進速度，在各畫面上以適當之形式呈現模擬結果。此模組之功能與使用者有較為密切之互動，將在後續以專節說明之。

4. 統計模組

本模組之功能為由模擬結果檔之資訊，統計各項指標值，目前設定統計之指標有下列 4 項。

(1) 終端管制區域：到場航空器由交管點至降落間之時間長度。

(2) 跑滑道：由後推至起飛間之時間長度。

(3) 停機坪：前 1 日預排停機位未變動之比例。

(4) 整體容量：單位時間可起降之航空器數。

6.2 視覺顯示

本模擬軟體之視覺顯示模組主要以 C# 程式語言開發而成。此程式語言具有豐富之圖形元件，適合用以開發視覺顯示功能。本模組讀取模擬結果檔之後，依其中之資訊顯示航空器在空中、地面之位置及狀態。同時並具有時間插補之功能，可避免因事件模擬而在視覺上產生跳躍現象。軟體具有 6 個視窗，每個視窗均可以拖曳之方式獨立顯示，亦可收合在共用之框架內。各視窗所顯示之內容各不相同，但以統一推進之模擬時間維持同步。在播放過程中，使用者可隨時調整播放速度，亦可直接跳至所指定之時間點進行播放，容許之播放速度可在 0 至 60 之間任意設定；若大於 1 則為加快播放，若小於 1 則為慢速播放。本模組所提供之各種視窗及畫面功能，分別說明如下。

空域狀況之顯示如圖 6 所示，該視窗又分為上下二部份，上半部在地圖上顯示空中航空器之經緯度位置，並將到場與離場航空器依序分別以「A」及「D」標籤標示之；在下半部則為各航空器之高度顯示，每一航空器以一實心圓圈代表之。因

此同一航空器將以不同符號，同時顯示在上下二半部，而且在上半部與下半部符號之顯示位置亦會正確對應。上半部之地圖可由使用者控制其顯示區域；當顯示區域有所調整時，下半部則會配合自動調整顯示之範圍，不需另行操作。

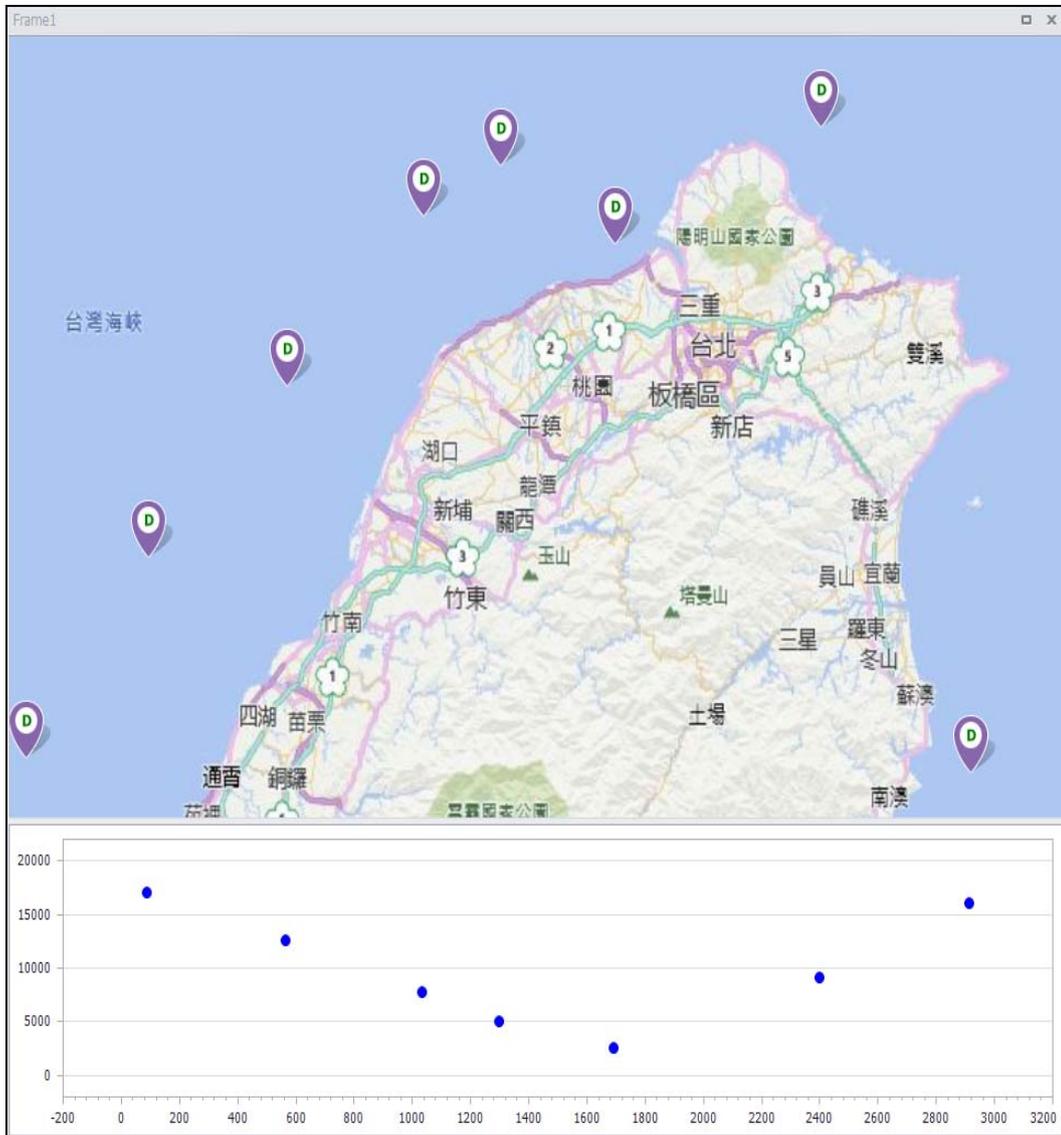


圖 6.2 空域顯示視窗

場面顯示視窗如圖 6.3 所示，其功能在顯示桃園國際機場之場面狀況。執行播放時，航空器以 3 種不同顏色之移動圓圈代表；紅色為離場航空器、綠色為到場航空器、而白色則為拖機中之場航空器。各停機位則以黑色表示占用中，藍色表示未被占用，且於顯示動畫時，移動中之航空器均伴隨顯示其航班編號。

CAL32 ^ Tail Numb: B18210 Call Number: CAL32 Coordinate: 22.84,120.05,18000 Line Type: Departure	JJP11 ^ Tail Numb: JA12JJ Call Number: JJP11 Coordinate: 25.09,121.07,4000 Line Type: Arrival
CAL924 ^ Tail Numb: B18215 Call Number: CAL924 Coordinate: 24.92,121.02,3688 Line Type: Arrival	CAL163D ^ Tail Numb: B18355 Call Number: CAL163D Coordinate: 25.39,121.46,9891 Line Type: Arrival
CAL61 ^ Tail Numb: B18051 Call Number: CAL61 Coordinate: 23.52,120.01,18000 Line Type: Departure	CAL5883 ^ Tail Numb: B18710 Call Number: CAL5883 Coordinate: 24.39,120.25,18000 Line Type: Departure
CAL928 ^ Tail Numb: B18210 Call Number: CAL928 Coordinate: 24.82,120.76,5000 Line Type: Arrival	CEB300 ^ Tail Numb: RP3274 Call Number: CEB300 Coordinate: 24.07,120.19,5433 Line Type: Arrival
CRK284 ^ Tail Numb: B-LNL Call Number: CRK284 Coordinate: 24.61,120.57,5000 Line Type: Arrival	TTW216 ^ Tail Numb: B50006 Call Number: TTW216 Coordinate: 25.41,122.16,17133 Line Type: Departure
CAL8 ^ Tail Numb: B18053 Call Number: CAL8 Coordinate: 23.85,119.97,18000 Line Type: Departure	VNL107 ^ Tail Numb: JA03VA Call Number: VNL107 Coordinate: 25.54,121.78,13046 Line Type: Arrival
SCO215 ^ Tail Numb: 9V-OFA Call Number: SCO215 Coordinate: 24.14,120.05,18000 Line Type: Departure	CEB310 ^ Tail Numb: RP3348 Call Number: CEB310 Coordinate: 0.63,0.69,0 Line Type: Ground

圖 6.5 航班表列視窗

為了方便使用者觀察航機起降排序，軟體提供圖 6.6 所示之起降順序視窗。該視窗將起飛與降落之航班，依其時間標示於尺標上，左側為降落航班以紅色顯示，右側則為起飛航班以綠色顯示。隨著播放之進行，所有航班之標示均持續向上移動，而位在中心不動之水平紅線則為「現在」時間。

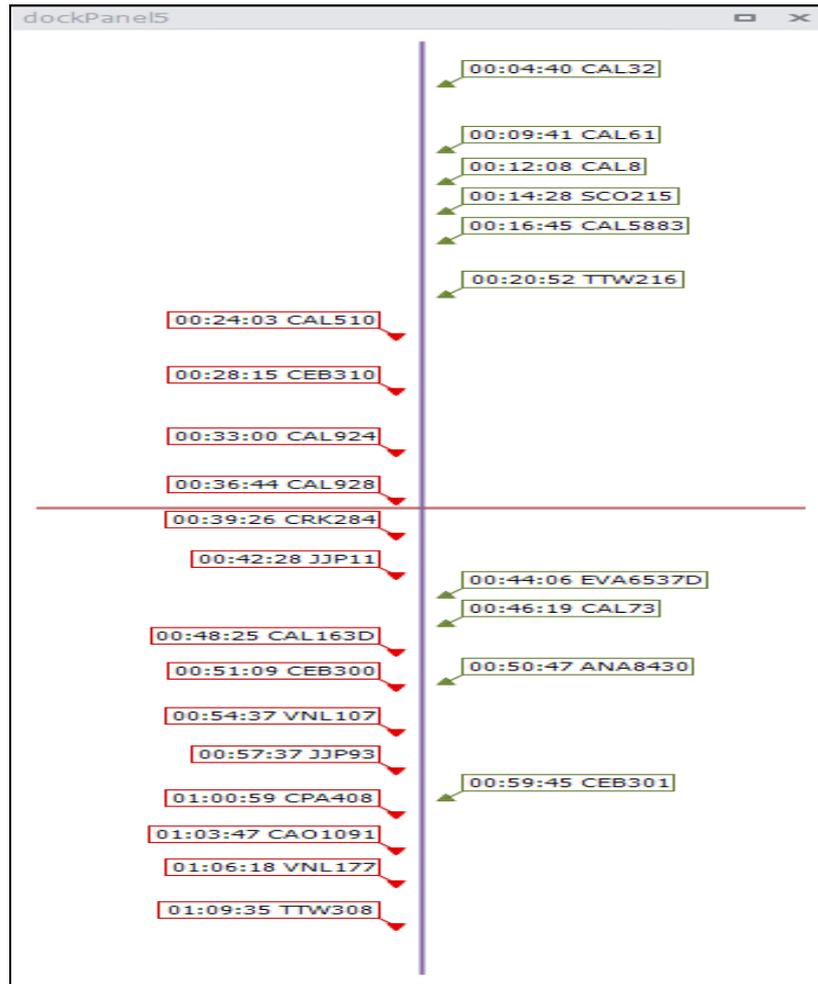


圖 6.6 航機起降順序視窗

除了上述模擬結果之播放功能外，視覺顯示模組亦提供播放控制功能，如圖 6.7 所示為時間控制台視窗，使用者可控制播放速度、觀看「現在」時間、並前後控制播放時間。

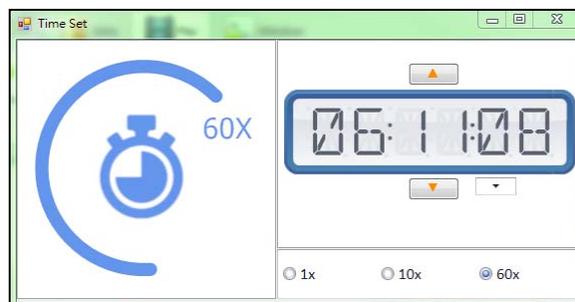


圖 6.7 時間控制台視窗

視覺顯示模組提供 3 組下拉式選單，其中圖 6.8 所示為資料控制選單，用以供使用者選擇所欲播放之模擬結果；圖 6.9 所示為播放控制選單，可用以開始、暫停、終止播放，並可用以叫出圖 6.7 所示之時間控制台；圖 6.10 則為視窗控制選單，可用以顯示所有上述各視窗，以及將圖 6.2 所示之空域範圍調整為顯示所有航空器之大小。



圖 6.8 下拉式選單(1)



圖 6.9 下拉式選單(2)



圖 6.10 下拉式選單(3)

第七章 模擬分析比對

7.1 模擬測試資料

本章使用本模擬雛型軟體，並以桃園國際機場真實資料為基礎進行模擬。該資料取自桃園國際機場 2017 年 6 月 30 日之紀錄，模擬設定當天全使用 05 跑道起降。各航空器在空中飛行時，速度之限制依循 AIP^[13]對各航點之速度限制，而進場接觸跑道時之速度則設定為 140 節。航空器最晚對正跑道、直線進場之點設定在 5 邊，距跑道頭 10 哩、高度 3,000 呎之位置。航空器下降與爬升之坡度之最大限制為每哩 300 呎，而航空器在地面移動位置時，設定其速度為 26.7 節。軟體完成模擬所費之時間約為 50 小時。

7.2 分析比對

配合本研究之範疇，雛型軟體建置了蒐集紀錄以下各項統計數據之能力。在模擬軟體中，電腦掌握了所有資訊，因此蒐集各種統計數據並不難。然而在真實世界中，統計數據之蒐集受到許多限制，包括數據之精準程度、完整性、統計之難度、定義之釐清，均為實務常見之障礙。

1. 終端管制區域

對於終端管制區域，本軟體蒐集紀錄到場航空器由出現在交管點，直至降落於跑道之間所經過的平均時間長度。由於航空器在此過程中之實際軌跡、高度、速度等均受到航情之影響，且由管制員所掌控，因此本項數據可反映模擬系統與真實狀況之差異程度。

本軟體模擬結果之統計，所有航空器自出現在交管點，到脫離跑道之間平均費時 27.01 分鐘；然在桃園國際機場方面，依訪談結果似乎並無專屬之統計，需要由龐大之雷達紀錄翻查整理。

2. 跑滑道

在本模擬系統所涵蓋之範圍內，航空器於地面之活動操作，主要在跑滑道系統中進行。起飛延滯為機場績效之重要指標，然而對此一指標卻不易予以精準且公認之定義。主要是因為假設某航空器於後推之後，在前往跑道起飛之滑行過程中，

因為另一航空器之某種操作而延遲 5 分鐘，於抵達跑道之後，起飛又等待 10 分鐘，此時可認定該航空器之起飛延滯為 10 分鐘；然而同一狀況亦有可能認定為 15 分鐘，因為若其滑行過程中未被其他航空器所延遲，則可能須等待 15 分鐘才能起飛；但若認定起飛延滯為 10 分鐘，即有可能因為實際有所延遲，反而產生提高跑道效率之假象；除了上述簡單狀況外，亦有許多更為複雜之狀況。為此本軟體基於明確之原則，蒐集紀錄各航空器由後推至起飛間之時間長度，以反映跑道滑道運轉之模擬狀況。

本軟體模擬結果，所有航空器自後推到起飛之間，平均費時 14.77 分鐘，而本項統計在桃園國際機場需要由機場場面雷達偵測系統（Airport Surface Detection Equipment, ASDE）之影像紀錄中逐一判識之。

3. 停機坪

桃園國際機場為每日航班之需求，均在前 1 日排定次日之停機坪。然而由於航空系統之高度變動性，所有航班均有可能延後或提前抵達機場，亦有可能延長或縮短其占用停機位之時間長度。因此實務上每日均有相當比例之航空器未能依其前 1 日所分配之停機位停靠，需要於執行之當日機動調整之。此種狀況並非桃園國際機場所獨有，而是普遍存在於所有機場之現象，為此本模擬軟體蒐集紀錄機場中，前 1 日預排停機位未變動之比例，以期反映在模擬系統中，規劃與實際之差異程度。

於 6 月 30 日當天，桃園國際機場紀錄顯示航空器依其前 1 日預排之停機位停靠者，占整體比例之 79.9%，而模擬結果為 68.9%，略低於實際紀錄。

4. 整體容量

機場常以單位時間內可起降之航空器數作為容量之重要指標，因此蒐集紀錄模擬過程中，每小時起降之航空器數量。依據訪談所得之資料，於 6 月 30 日當天桃園國際機場全天各小時到離場之航空器數量統計如圖 7 所示，全日當中，進場最高的 1 小時為 29 架次，離場最高的 1 小時為 30 架次；而兩者合計時，最高的 1 小時為 43 架次。模擬結果則如圖 7 所示，其中進場最高的 1 小時為 24 架次，離場最高的 1 小時為 27 架次，而兩者合計時，最高的 1 小時為 46 架次。

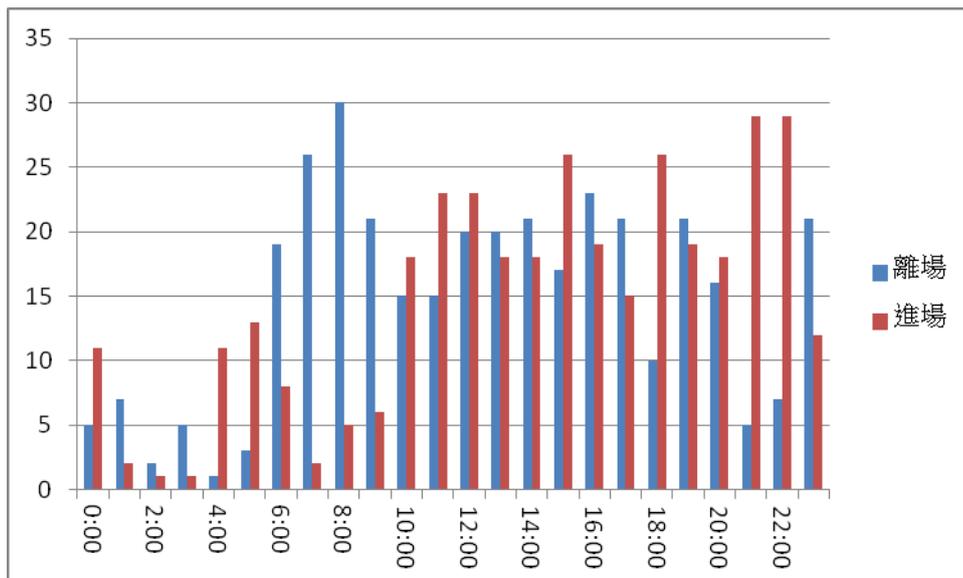


圖 7.1 桃園國際機場 6 月 30 日每小時離到場航空器數量統計

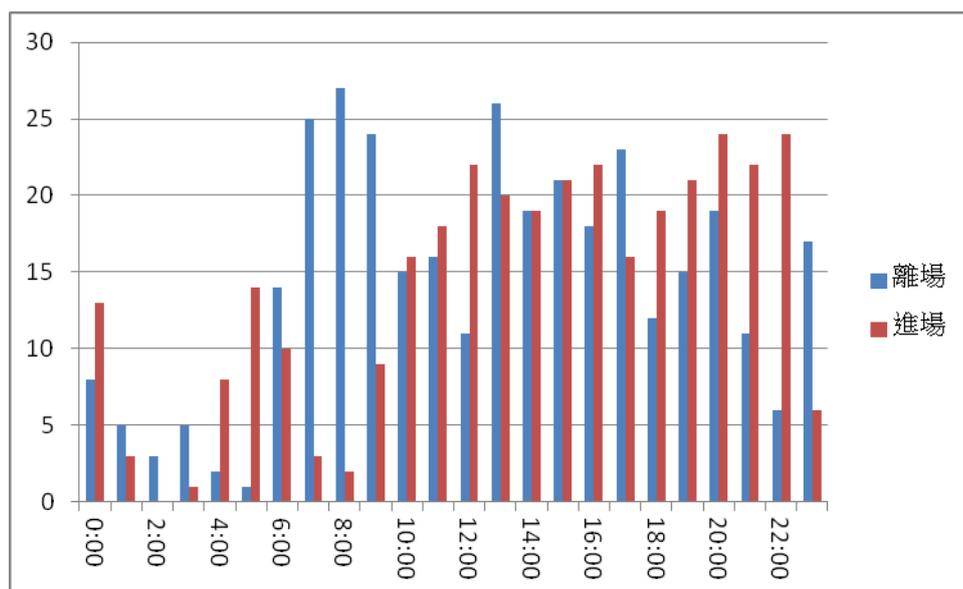


圖 7.2 模擬結果每小時離到場航空器數量統計

7.3 與國內過去開發技術之比較

本節將就本案所開發之模擬模式，與交通部於 2000 年委託開發之模擬系統 ANS^[8]、其後續功能提升研究^[7]、與再擴充之機場空側模擬軟體研究^[9, 10]作一比較，而以下之說明中均以 ANS 統稱上述系列成果^[7-10]。

在 ANS 與本模擬系統共同之部份，為二者均使用節點與節線所構成之網路作為模型之基礎，且二者均為事件模擬；而主要之差異則在網路模型描述真實系統之能力。如圖 7.3 與圖 7.4 所示，ANS 之網路模型中，所有跑道出口以及停機坪均各以單一節點代表之，且網路模型中無滑行道系統。而本模擬模式則對每一停機位(含長時間停留或過夜用之停機位)各以一節點代表，而跑道出口以及滑行道系統，亦以節點及節線呈現每一段滑行道及其交口，如圖 7.5 所示。

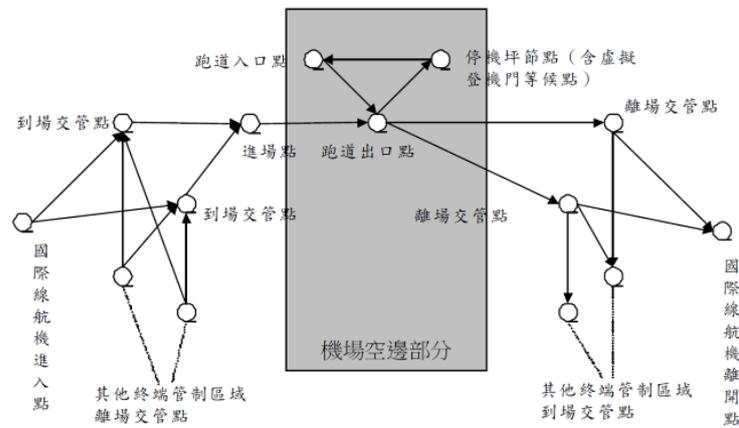


圖 7.3 ANS 網路架構示意圖 (與圖 2.1 同)

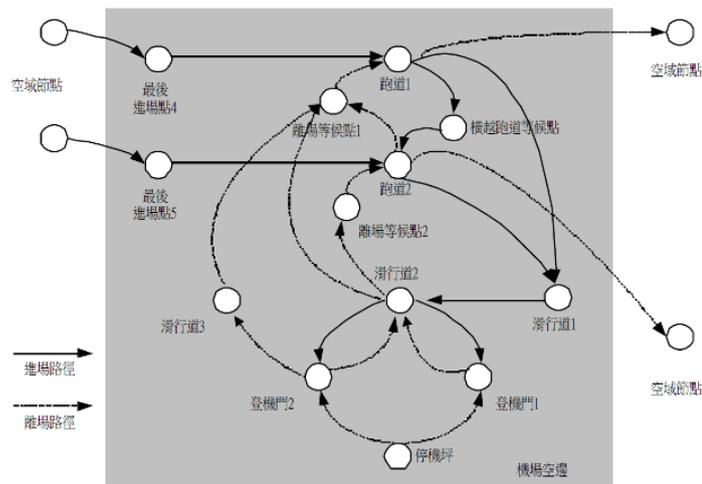


圖 7.4 ANS 機場空邊路網結構示意圖 (與圖 2.2 同)

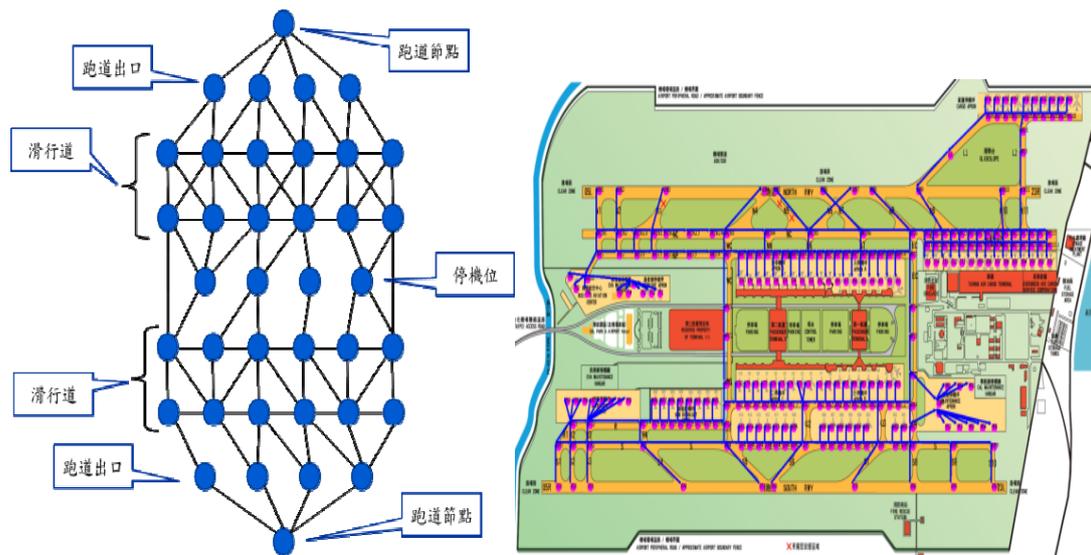


圖 7.5 本模擬模式地面網路圖(與圖 5.5 及圖 5.6 同)

由於網路模型構成了整個模擬系統之基石，因此上述網路結構之差異為二個模擬模式形成顯著之不同。在 ANS 之模型中因為所有停機位合併成為單一節點，因此模擬系統並未處理停機位指派之課題，亦因而未考慮各停機位在機場中之地理位置差異，以及與跑道距離差異所衍生之各種課題。同時，由於 ANS 模型中無滑行道系統，因此模擬中不必考慮滑行中以及拖機中之航空器相互干擾之課題，亦不必考慮排隊等候起飛之航空器阻擋其他航空器滑行路線之課題。

在空域的部份，如圖 7.3 所示，ANS 之網路模型中所有到場航空器均由交管點直接抵達最後進場點，其過程中之高度控制、速度控制、雷達引導等管制員重要作為均不在其中。因此該模擬模式並不需要考慮水平隔離、垂直隔離、對正跑道、爬升率、飛行速度、航空器滑行中橫越跑道等重要課題。

上述重要課題均對機場運轉形成重大影響，亦對本案之模擬系統電腦運算量帶來重大之負荷。而為了在使模擬模式得以在模擬之過程中自動納入這些考慮因素，亦必須開發新演算法(詳細說明請參考第 5.3 節)。其中滑行路線之自動求解具有相當之挑戰性，已觸及變動滑行時間估算技術之核心^[12]，為當前國際極待開發之新技術，另使模擬模式能夠自動指派停機位之技術，亦為未來桃園國際機場停機位運用邁向自動化、最佳化時不可或缺之最核心技術。

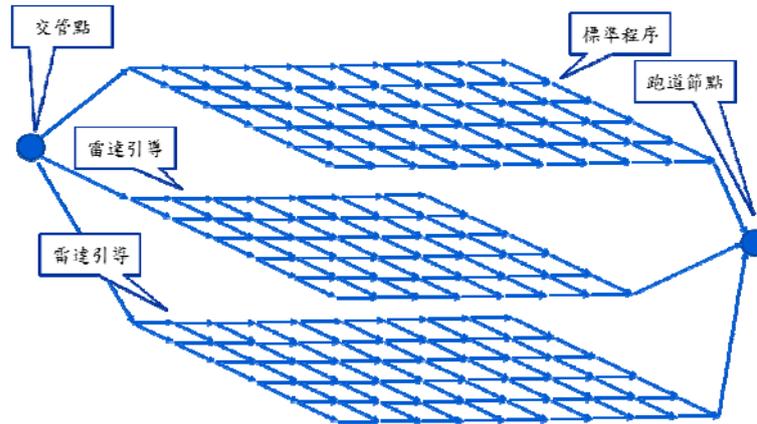


圖 7.6 本模擬模式空域網路結構示意圖（與圖 5.4 同）

整體而言，架構之完整性應為本案所開發之模擬系統與 ANS 之最重要、最根本差異所在。由於本模擬系統架構之完整性，使其能夠有更大之未來擴充彈性，同時也使得本模擬系統能夠開發視覺顯示模組。在本研究中發現，視覺顯示模組雖然並未直接使用於模擬之演算，卻為有效納入實務知識之重要工具。以視覺顯示模組為討論平台時，實務人員經由視覺化之檢視，能夠有效指出模式有待改進之處，並具體提供模型開發所需要之寶貴實務知識與經驗。在另一方面，視覺顯示模組亦為驗證之重要工具，使得模式開發人員以及實務人員能夠以極高之效率解讀、閱覽模擬所產生之大量數據，從而精準發現模擬結果之不合理處，並驗證合理之處。視覺顯示模組亦在國際領先軟體 TAAM 之驗證過程中扮演重要之角色^[5]，而能夠開發視覺顯示模組之最重要先決條件，即為模擬系統之完整性。

7.4 驗證方法初探

驗證為模擬系統取得信任的方式，然而驗證並無公認而一致性之方法。以在國際居領先地位之 TAAM 為例，過去 Eurocontrol 曾經對 TAAM 作過有系統的驗證評估^[5]以確認其有效性，該報告書指出，基本上系統模擬並無法完全反映真實機場每日常態運轉（Day-to-Day Airport Operations）的許多隨機因素，因此專家依其經驗評估，為驗證此類模擬系統之有效方式，且即便統計指標通過統計方法之檢定，模擬系統仍需經過專家之經驗評估方有可能投入應用。因此該報告^[5]即以專家對 TAAM 之主觀評估為主要驗證方法，其所評估之項目以敏感性測試(Sensitivity Test)為主，包括模擬系統之穩定性測試，以及增加流量測試 2 項，分別說明如下。

1. 模擬系統之穩定性測試

本項測試對於出發時間延遲量 (Estimated Time of Departure Lateness)、航空器參數值、以及降落點 (Touch-Down Point) 等 3 種隨機值，以不同亂數作多數測試，以觀察各次結果間之變異程度，作為模擬系統穩定性之評估。

2. 增加流量測試

本項測試以布魯塞爾機場為背景，以隨機方式增加模擬流量，其目的在瞭解 TAAM 系統在進行高流量狀況之模擬時，是否仍能產生合理之結果。該報告書說明經過測試，發現在高流量之情境下，TAAM 所需之運算時間並沒有顯著增加，而產生之模擬結果亦符合預期，且該報告書亦指出進行本項測試時製備輸入資訊之軟體工具仍有改進空間。

在另一方面，我國國內所開發之模擬系統 ANS 及其後續擴充亦有採用部分數據驗證。基本 ANS 模型^[7, 8]採用之驗證指標為航機飛行時間，以及航機到達松山機場最後進場點之時間間距。範圍包括 A1 與 W4 航路 (小港機場往返松山機場)，以及小港機場與松山機場。驗證時取國內飛航系統分析紀錄磁帶 (SARTape) 資料，取其飛行速度、節線距離、飛行路徑、飛航空層、航機產生時間等資料，輸入模式進行模擬。而驗證之指標，則為航機在松山、小港兩機場間之飛行時間，以及節點的單位時間航機通過率，而驗證結果顯示所有統計值均通過檢定。

至於 ANS 之後續擴充模型^[9, 10]則採用航機起飛分配與起飛等候點之等候時間分配作為地面延滯部份的驗證指標，空中部份則以降落延滯時間分配作為指標。其中起飛等候的部份，取民國 87 年 8 月 19 日桃園國際機場 (時稱中正機場) 之實際管制條及班機時刻表，用以計算實際起飛延滯時間以及降落延滯時間，再分別與模擬結果相比較。而起飛等候線等候時間，則取桃園國際機場民國 88 年 2 月 11 日 10:00 至 17:00 之間之實際等候時間作為比較標的，而驗證結果顯示所有統計值均通過檢定。

基於以上之探討，本研究認為未來本雛型進一步擴充成為更完整之模擬系統時，應先參酌過去經驗，與此領域之實務專家深入討論以確立可接受之驗證方法與標準，並於方法及標準確立之後，再依此設計執行驗證步驟。

第八章 結論與建議

空域容量有效運用為提升我國機場容量重要因素之一，為此須有一專門工具進行分析，然而國外現有套裝軟體如 SIMMOD、TAAM (Total Airspace and Airport Modeller)等，動輒需數十萬至上百萬美元費用才能購得，且系統功能未必完全符合我國空域管理需求。為探討及分析我國空域容量，需建置符合我國空域以及桃園國際機場空側特性之模擬模式，以模擬空域航機的運作，同時提升我國自主分析民航空域容量之研究能量。

8.1 結論

1. 因應我國國際航空交通需求量大幅成長，本計畫構建臺北終端管制區域之空域模擬模式雛型，以期協助後續相關分析作為施政參據。本模擬模式之範疇涵蓋臺北終端管制區域以及桃園國際機場空側。而模式本身則包含了終端管制、跑滑道、停機坪等各主要單元。至於位在桃園國際機場附近之松山機場與新竹機場之影響則未納入模擬範疇中。
2. 傳統之類似模擬模式多以航空器為被模擬之主體，航空器在系統中依既定之規則推進，例如到場航空器由模擬進入點開始，依序推進至到場交管點、跑道、停機坪等。航空器推進至下一位置時，即釋放前一位置，供後續其他航空器使用。在此過程中遇有衝突，則亦依一定之規則處理，以決定何者優先取得占用權，以及未獲占用權者如何等待。本研究經訪談以及與實務人員多次討論過程中，發現管制員以及停機位指派人員為航空器移動方式之實際主導者，實應在模擬模式中給予最重要之地位。
3. 本計畫最重要之突破成果，模式以管制員以及停機位指派人員之決策思考為實際模擬對象。亦即模式將各席管制員與停機位指派人員視為實際模擬之對象，將航空器在空中或地面之移動，視為表現管制員與停機位指派人員意志之方法。模擬模式則依循不同席位管制員以及停機位指派人員所能掌握之資訊，以及其決策思考方式，開發不同方法以模擬之。
4. 本計畫依所建立之模擬模式，開發軟體雛型，該軟體由數學演算模組、模擬模組、視覺呈現模組，以及統計模組所構成。經以真實資料測試結果發現可產生接

近實況之模擬結果。

8.2 建議

基於本研究之成果與結論，茲擬以下各建議：

1. 航管單位

在空域部分，航管單位可利用本系統評估既有以及新設計標準程序之效能。而經由多次之模擬，亦可用以尋求運用空域容量之更有效率方式。在機場空側方面，本模擬可結合本所於 105 年度辦理之「臺灣國際機場引進機場協調整合決策 (A-CDM) 系統之研究」^[11] 成果，利用更順暢之資訊流通以及決策輔助能力，評估計算精準後推時間（將航空器在跑道頭等待之時間移轉到停機位等待），利用更高的可預期性，提升機場營運效率、環保、噪音降低等效益。而本模擬系統所開發之滑行路徑尋優技術亦可進一步作為未來塔臺決策輔助系統核心技術之一。

2. 機場管理單位

對於機場管理單位，本模擬系統未來可用以評估不同之停機位運用及調度策略所可能帶來之影響，用以尋找更佳之停機位運用方式。此外，本模擬系統開發了自動化之停機位指派及線上調度之能力，未來若以此為基礎開發決策輔助系統，可望為機場公司帶來相當可觀之效益。

3. 政策評估

國家之飛航服務系統與設施常需隨社會之演進而調整，因此機場之擴建、遷移、合併、新建、廢除等重大政策，均需要縝密之評估，而本模擬模式，正為我國所亟需之政策評估工具。

8.3 後續研究

複雜的軟體，大都需要在過程中累積使用經驗，逐步修正以達到細緻化與成熟之境界。本模擬模式所開發之軟體雛型已納入最重要之考慮因素，初步達到模擬臺北終端管制區域以及桃園國際機場空側之功能，但後續研究若能納入下列項目，將更為細緻精準，茲建議如下：

1. 機尾亂流程序

本模擬模式採用統一隔離標準，然而視前後航空器之重量，應有不同之機尾亂流隔離標準^[14]。

2. 脫離跑道時間

本模擬模式以隨機方式決定進場航空器脫離跑道之位置及時間。然實務上航空器之重量、所屬公司、天候等許多因素，對於脫離跑道之位置及時間均有所影響。

3. 起飛航空器放行時間(Slot)

本模擬模式以統一之隔離標準決定離場航空器起飛放行之時間點。實務上於跑道忙碌時，管制員會考慮前後航空器之位置、狀態、速度等因素而決定放行時機。

4. 換跑道之過程

本模擬模式並未考慮換跑道之過程，未來持續精進時宜納入之。

5. 停機位安排模擬精緻化

本模擬模式對於停機位之安排僅納入大原則之考量。實務上則會考量其目的機場、習慣、旅客轉機等諸多複雜因素。

6. 航空器差異化

少數特殊航空器有其使用滑行道及停機位之限制，而各種不同航空器亦有不同性能，後續亦可納入考量。

7. 慣用滑行路線

本模擬模式使用演算法求解良好之滑行路線，但實務上管制員有其慣用滑行路線，亦可納入後續發展之考量。

8. 起降跑道之選擇

實務上桃園國際機場使用起降混合模式時，多會配合停機位分配起降之用之跑道，此將影響場面之運轉，後續可納入模擬系統之考量。

9. 後推後之等待

真實航空器在完成地停作業後，尚有卸耳機線、解開拖車聯結等程序須待執行，因此完成後推之後並無法立即開始滑行。其間之作業時間依機型而異，A321 為 3 分 52 秒，B777 為 4 分 05 秒，B744 為 4 分 52 秒，A330 為 4 分 59 秒，B738 為 4 分 31 秒，其他機型亦大都在 4 至 5 分之間。在本段時間中航空器可能會占用滑行道，後續可納入模擬系統之考量。

10. 滑行速度

本模擬模式中所有航空器之滑行速度均相同，實務上則各航空器因其載重、型式等而有所不同。而不同航空器在滑行過程中若有轉向，所損失之時間亦各不相同。

11. 拖車速度

實務上拖車之運行速度較航空器自行滑行之速度為低，未來可納入模擬模式中考量。

12. 停機位變動之資訊傳遞

停機位之安排影響進場跑道之指派，然停機位之安排與跑道指派，分由不同單位負責，其間之資訊傳遞應納入本模擬模式之後續發展。

13. 視覺顯示方式多元化

本軟體目前以較接近直觀之方式呈現模擬結果。未來若有需要，可針對不同人員之需求，開發更貼近作業習慣之不同視覺顯示方式，以擴大軟體之適用範圍。例如不同席位管制員所習慣使用之雷達影像等，均為未來可持續開發之顯示方式。

14. 寬裕量

本模擬模式雖有納入寬裕量之基本考量，但真實管制員於引導航空器時，在距離隔離、時間隔離等方面均有各種不同寬裕量之考量，以提高安全程度。

15. 其他機場之影響

本模擬模式以及軟體僅考慮桃園國際機場，並未納入鄰近機場之影響。然實務上松山機場對桃園國際機場有其影響，未來擴充模擬模式時可考慮納入多機場之相互影響。

16. 軟體演算效能提升

本軟體目前執行 1 日之模擬，須費時約 50 小時。後續可持續精進其演算效能。

17. 軟體彈性

本軟體未來持續精進時，勢必大幅擴充參數之範圍及項目，因此未來系統應具有充份之彈性以方便調整各種參數進行模擬。

18. 塔臺管制員決策輔助技術開發

本模擬模式包含了規劃機場內滑行路線之能力，此技術構成了塔臺管制員決策輔助系統所需要最重要核心之一。目前國際上尚未見到成熟之相關技術，此方向技術之開發為未來我國可能領先國際契機之一。

19. 停機位調度決策輔助技術開發

與前項類似，本模擬模式亦包含了前 1 日指派停機位，以及當日停機位調度之能

力。未來若沿此方向持續開發，本項技術可望開發成為桃園機場公司重要之決策輔助系統，對機場停機位之運用將有相當之助益。

20. 風向風速

風向與風速均對航空器之飛行造成影響，亦為本模擬模式後續應納入考慮之因素之一。

21. 實務單位之參與

本模擬模式以及軟體雛型已設置視覺顯示模組，可方便檢視模擬結果並作為各種不同專長人員討論之共同平台。後續研究可以此為基礎，由實務單位更深入參與新版本之開發。

22. 模擬驗證

建議後續應參考類似功能國際知名模擬軟體之驗證方法，並有系統建立實務專家認為可信之驗證方法與通過標準，再據以依此方法與標準進行模式驗證。

参考文献

1. Donohue, G. L. and Laska, W. D., "United States and European airport capacity assessment using the GMU macroscopic capacity model", PROGRESS IN ASTRONAUTICS AND AERONAUTICS.Vol 193, 2000, pp.61-76.
2. Dou, L., Jesse, J., Eric M, G. and Peter F, K., "Modeling air traffic management technologies with a queuing network model of the national airspace system", 1999.
3. Jeppesen, "Total Airspace and Airport Modeller (TAAM), Product Profile", 2015.
4. Odoni, A. R., Bowman, J., Delahaye, D., Deyst, J. J., Feron, E., Hansman, R. J., Khan, K., Kuchar, J. K., Pujet, N. and Simpson, R. W., "Existing and required modeling capabilities for evaluating ATM systems and concepts", 1997.
5. Eurocontrol, "TAAM Operational Evaluation", 2000.
6. FAA, "Simmod Manual, How Simmod Works".
7. Amedeo R. Odoni., et al., "Existing and Required Modeling Capabilities for Evaluating ATM Systems and Concepts", INTERNATIONAL CENTER FOR AIR TRANSPORTATION MASSACHUSETTS INSTITUTE OF TECHNOLOGY,1997.
8. Airport Modeling and Simulation, [http://ebooks.narotama.ac.id/files/Airport%20Engineering-Planning,%20Design,%20and%20Development%20of%2021st%20Century%20Airports%20\(4th%20Edition\)/Chapter%2015%20Airport%20Modeling%20and%20Simulation.pdf](http://ebooks.narotama.ac.id/files/Airport%20Engineering-Planning,%20Design,%20and%20Development%20of%2021st%20Century%20Airports%20(4th%20Edition)/Chapter%2015%20Airport%20Modeling%20and%20Simulation.pdf)
9. Jasenka Rakas., et al., "Airport-Airspace Simulations -A New Outlook", TRB 81st Annual Meeting Workshop,2002.
10. Antonio A. Trani ., "Descriptions of Airport and Airspace Simulation Models", Civil and Environmental Engineering Virginia Polytechnic Institute and State University,2008.
11. <http://ww1.jeppesen.com/industry-solutions/aviation/government/total-airspace-airport-modeler.jsp>
12. <http://ww1.jeppesen.com/documents/aviation/government/TAAM-FactSheet.pdf>
13. <http://ww1.jeppesen.com/documents/aviation/government/TAAM-product-profile.pdf>
14. http://www.tc.faa.gov/acb300/how_simmod_works.pdf
15. Jean-Baptiste Gotteland., et al., "Aircraft ground traffic optimization", ATM 2001, 4th USA/Europe Air Traffic Management Research and Development Seminar, Dec 2001.
16. Ludovica Adacher., et al., "Aircraft Ground Routing and Scheduling Optimization", UKSim-AMSS 16th International Conference on Computer Modelling and Simulation,2014.
17. T. J. DAVIS., et al., "THE FINAL APPROACH SPACING TOOL", 13th IFAC

Symposium on Automatic Control in Aerospace, Palo Alto, California, Sept., 1994.

18. 周立偉，「平行獨立跑道機場模擬模式之構建」，交通管理科學研究所碩士，民國 89 年。
19. 張淳智，戴佐敏，「台北飛航情報區模擬模式之建立-各終端管制區域模擬架構之建立」，民國 89 年。
20. 李昶諭，「空邊模擬模式之研究」，交通管理科學研究所碩士，民國 90 年。
21. 張仁達，「台北飛航情報區空域模擬模式之建立」，交通管理科學研究所碩士，民國 90 年。
22. 許書耕，賴威伸，胡智超，李宇欣，陳春益，林東盈，李威勳，陳佑麟，袁永偉，盧立昕，「臺灣國際機場引進機場協調整合決策(A-CDM)系統之研究」，民國 106 年。
23. 交通部運輸研究所，「國際間機場協調整合決策(A-CDM)發展現況初探」，民國 105 年。
24. 交通部民用航空局，「臺北飛航情報區飛航指南(20171207 有效)」，民國 106 年。
25. 民用航空局，空軍司令部，「飛航管理程序」，民國 105 年。
26. 桃園國際機場公司，「桃園國際機場航機停靠機坪原則」，民國 106 年。
27. 民用航空局，「飛航規則」，民國 103 年。
28. 董吉利，「台北終端管制區國際線離/到場航空器垂直飛航軌跡之探討」，碩士在職專班碩士，民國 94 年。

附錄一：期中報告審查意見處理情形表

交通部運輸研究所合作研究計畫

期中 期末報告審查意見處理情形表

計畫名稱：「構建空域模擬模式之研究-以臺北終端管制區域為例」

執行單位：財團法人成大研究發展基金會

參與審查人員及其所提之意見	合作研究單位 處理情形	本所計畫承 辦單位審查 意見
顏委員進儒		
1.請在報告書中適當說明本案之範疇及內容範圍，並修正計畫緣起以使內容貼近本研究之實際範圍。	謝謝指正，已在第 1.1 節之「計畫緣起」補充說明涵蓋之範圍及於桃園國際機場空側，同時並增列第 1.4 節，以專節說明本研究計畫之範圍。	同意辦理。
2.在本研究有限的資源下，請考量是否將複雜的研究範圍更聚焦。	謝謝指正，後續將以聚焦為重要考量。	同意辦理。
3.除了跑道在任一時間內最多僅能有一架航空器佔用之外，有些滑行道亦是如此。模擬模式是否有考慮各航空器對跑道或滑行道佔用時間之長度。	本模擬模式有能力考慮各航空器對跑道或滑行道佔用時間之長度。而各航空器所需之佔用時間長度，為模擬模式之參數。	同意辦理。
薛委員少怡		
1.有關第 4 章航管與航務之 4.1 飛航管制服務簡述，分別敘明飛航管制服務之架構，然 4.2 後續之說明，卻未將區域管制服務納入，如考慮本研究案係以臺北終端管制區域為例，是否應有相關說明。	謝謝指正。已於報告書第 4.1 節補充說明「其中近場管制服務與機場管制服務與本模擬模式直接相關，將再於本章後續，各以專節深入說明之」。	同意辦理。
2.報告 P51 有關「桃園國際機場平行跑道隔離標準：連續離場」，僅採用飛航管理程序(ATMP)之 1 分鐘隔離，但該機場有噪音管制程序，限制航機起飛後必須 3 哩才可轉彎，因此於連續離場仍需採 2 分	謝謝指正，已於報告書第 4.3 節補充說明，因為起飛後必須 3 哩才可轉彎，因此於連續離場仍需採 2 分鐘隔離。	同意辦理。

鐘隔離，請再補充此部分說明。		
3.報告 P69 有關「航空器到場降落順序之決定」，建議將使用不同跑道方向及受新竹軍機活動影響因素納入說明。另有關「起飛順序之決定」，亦建議將航機停留停機坪時間、降落航機終止任務拖離機坪或另一架航機拖入機坪、東北角貨運機坪航機滑出穿越跑道影響滑行動線，以及滑行道施工或機坪施工影響航機滑行動線等因素納入說明。	已於報告書第 5.3 節納入跑道之說明。至於新竹軍機活動之影響，衡量本專案僅考慮單一機場，建議暫不納入，較能聚焦。另考量第 5.3 節之主旨在說明演算法，因此將桃園國際機場之滑行道佈設與東北角貨運機坪之衝突、桃園國際機場滑行道及停機坪施工程之說明納入第 3.3 節中。	同意辦理。
航政司		
1.有關本研究係期望以管制員之決策為實際模擬對象，考量本報告書內容僅有文獻回顧、預估模擬模式參數條件相關資料介紹，雖也包含演算法之條件式(空中:到場降落順序與起飛決定)，惟針對本案之管制員主要任務闡述，於實際情況而言稍嫌薄弱；尤以到場降落順序部分，降落順序應為管制員完成決策後顯示之結果，實務上，管制員通常是應用「雷達引導」及「速度控制」來排列順序，而報告中對於上開因素均未提及，建議應予補充。	謝謝指正，報告書對於管制員之任務及其思考，說明於第 4.2 節，而模擬模式仿照管制員所使用之演算法則說明於第 5.3 節。二處均有提及「雷達引導」與「速度控制」之使用。	同意辦理。
2.本案文獻回顧資料係僅列入 TAAM 及 SIMMOD，因 TAAM 費用昂貴資料取得能量有限，且 SIMMOD 原始說明資料亦較老舊，鑑於目前國內外專家學長亦有進行相關研究，建議可多參考國內外相關專家學者研究資料以補充文獻之不足。	謝謝指正，已分別加強於第 2.2 節與第 2.3 節。	同意辦理。
3.考量本研究係為提升臺北終端管制空域之空域容量使用效率，爰針對後續將如何運用該研究成果，以	謝謝指正，已補充於結論與建議中。	同意辦理。

及對相關單位有何建議等，建議於報告內補充說明，以便未來可提供民航局與機場公司參考。		
民航局（現場及書面資料）		
1.請於第 5.1 節加強說明模擬模式如何導入安全隔離之考量。	1.第 5.1 節主旨在說明管制員對本模擬模式之重要性，以及模擬管制員之主要任務內容。有關模擬模式導入安全隔離之考量，已於第 5.3 節加強說明之。	同意辦理。
2.請在第 4.1 節，垂直隔離相關說明中納入有關 RVSM（Reduced Vertical Separation Minima）之說明。	2.謝謝指正，已依據飛航管理程序[14]第 4-5-1 節之內容，補充第 4.1 節之相關說明。	同意辦理。
3.第 4.1 節水平隔離之部份，建議本模擬模式不考慮雷達失效之特殊狀況，一律採用雷達隔離之標準。至於雷達天線 40 哩以內採 3 哩水平隔離之標準，必須由航管單位提報，並經民航局核准後始得個案應用，請註明於報告書中。	3.由於第 4.1 節之主旨在說明相關法規，因此仍維持有關航空器位置非來自雷達時之水平隔離標準之說明，但於第 5.3 節說明本模擬模式不考慮雷達失效之特殊狀況。至於 3 哩水平隔離標準之適用規定則補充於第 4.1 節。	同意辦理。
4.P12:圖 3-1 臺北區域管制中心管制區劃分圖係舊資訊，AIP 已無相關圖示，建議移除	4.謝謝指正，圖 3 已用臺北飛航情報區航路圖取代之。第 3.1 節相關文字亦已修正。	同意辦理。
5.P14：有關 3.2 臺北終端管制區域乙節，出現甚多過時且錯誤資訊，建議修正。(請參詳 AIP 航路 2.1、6)	5.謝謝指正。已取消原有之圖 3-3，第 3.2 節相關文字亦已修正。	同意辦理。
6.P15：有關「其中 NC 滑行道具有作為備用跑道之能力」乙節，請向桃機公司確認 NC 是否僅供離場使用。	6.經確認 NC 並無離場能力，已配合修正第 3.3 節內容。	同意辦理。
7.P24:區域管制中心所轄空域係空層 FL201 以上，請修正。	7.謝謝，已修正第 4.1 節內容。	同意辦理。
8.P24：近場管制服務部分，建議以「交管點」取代「過渡航線定位點」、「過渡航線」，以符實際作	8.謝謝，已全部修正。	同意辦理。

業。		
9.P24：機場管制服務部分，請修正：「到場航空器...，其管制權由近場管制塔臺移交至塔臺。而離場之航空器...，其管制權由塔臺移交至近場管制塔臺。」	9.已依指示修正第 4.1 節相關文字。	同意辦理。
10.P25：垂直隔離部分，本區業實施 RVSM 多年，請參考飛航管理程序(ATMP)第 4-5-1 節修正相關內容。水平隔離部分，「以時間為準 (Time Separation) 時，同高度應有 10 分鐘之隔離。以距離為準時則同高度應有 20 哩之隔離。」係指非雷達隔離，尚不宜作為本案研究之假設條件，建議刪除；另「但當航空器位置資料來自雷達時...其標準為雷達天線 40 哩內時採 3 哩之隔離，40 哩外時採 5 哩之隔離」，3 哩隔離須由航管單位提報，並經民航局個案核准後始得應用，請予補充調整。(請參詳 ATMP 第 5-5-4 節)	10.謝謝，已依飛航管理程序[14]之內容修正第 4.1 節垂直隔離之相關內容。另報告書第 4.1 節旨在說明相關規定，爰保留有關非雷達隔離之水平隔離規定。至於模擬系統之部份，則另於第 5.3 節說明「水平隔離方面，則不考慮雷達失效之特殊狀況」。	同意辦理。
11.P25：有關「無線電語音通訊」乙節，與本案研究主旨無涉，建議刪除。	11.依指示刪除。	同意辦理。
12.P72：有關 5.5 模擬模式架構乙節，終端空域內航機離、到航情交錯及雷達引導係兩常見之事件，惟未見於本節論述中，建議補充。	12.第 5.5 節之主旨在說明模擬軟體之架構。有關離、到航情交錯，以及雷達引導之考量，係說明於第 5.3 節，演算法之說明中，「逐一檢視每一可能飛行路線在飛行過程中，與其他在空之到場或離場航空器之間，是否能夠滿足所有的隔離規定」。	同意辦理。
13.文字修正部分如後。P29：圖 4-1.RCTP 雷達引導離場程序 SP1 航圖。P36-44：請於所有 ILS 程序航圖加註 ILS 字樣，例如：RCTP	13.謝謝，已依指示修正。	同意辦理。

<p>儀器進場程序 ILS RWY05L 航圖。P46-49：請於所有 RNAV 程序航圖加註 RNAV 字樣，並將雷達引導修正為儀器，例如：RCTP 儀器進場程序 RNAV RWY05L 航圖。P72：航空器完成模擬，此事件為航空器抵達臺北終端管制區邊界</p>		
<p>飛航服務總臺（現場及書面資料）</p>		
<p>1.報告書部份引用之資料過時，總臺後續將提供最近資料供參。</p>	<p>謝謝指正。</p>	<p>同意辦理。</p>
<p>2.後續若有航管或其他資料需求或作業面之疑問，總臺均樂意在可能範圍內提供協助。</p>	<p>謝謝。</p>	<p>同意辦理。</p>
<p>3.P11:原文為本區之幾何形狀為五邊形，五個頂點經緯度分別為(21.00N, 117.50E)、(21.00N, 121.50E)、(23.30N, 124.00E)、(29.00N, 124.00E)、以及(29.00N, 117.50E)。建議依「臺北飛航情報區飛航指南航路 2.飛航服務空域」修改為(2100N 11730E)、(2100N 12130E)、(2330N 12400E)、(2900N 12400E)、以及(2900N 11730E)。</p>	<p>謝謝，已遵照修正。</p>	<p>同意辦理。</p>
<p>4.P12:圖 3.1 錯誤，建議使用交通部民用航空局公布之臺北飛航情報區航路圖。</p>	<p>謝謝指正，已置換圖 3。</p>	<p>同意辦理。</p>
<p>5.P13:圖 3-2 錯誤，建議使用交通部民用航空局公布之臺北飛航情報區航路圖。</p>	<p>謝謝，已取消原圖 3-2，改以置換過後之圖 3 取代。</p>	<p>同意辦理。</p>
<p>6.P14:原文為我國共有臺北、臺中、高雄、花蓮、臺東、馬公、與金門等終端管制區域，……。建議修正為我國共有臺北、高雄、花蓮、臺東、馬祖、與金門等終端管制區域，……。</p>	<p>謝謝，已遵照修正第 3.2 節。</p>	<p>同意辦理。</p>
<p>7.P14:原文為其上限為飛航空層 FL200，約為自海平面 20,000 呎之</p>	<p>已依建議修正第 3.2 節。</p>	<p>同意辦理。</p>

<p>高度；下限為自地面 1,200 呎。建議修正為其上限為飛航空層 FL200；下限為地面 1,200 呎。</p>		
<p>8.P14:原文為臺北終端管制區域位在臺灣北部之空域，由臺北近場管制塔台負責管制作業。建議修正為臺北終端管制區域位在臺灣北部之空域，由臺北近場管制塔臺負責管制作業。</p>	<p>已將所有「塔台」全數置換為「塔臺」。謝謝。</p>	<p>同意辦理。</p>
<p>9.P14:原文為臺北終端管制區域位於我國飛航情報之最北端，東南方連接花蓮終端管制區域，西南方連接臺中終端管制區域。建議修正為臺北終端管制區域東連接花蓮終端管制區域，南連接高雄終端管制區域。</p>	<p>謝謝，已配合修正第 3.2 節。</p>	<p>同意辦理。</p>
<p>10.P14:原文為區域內尚有臺北的松山機場以及分別位於桃園及新竹之二處軍用機場，亦由臺北近場管制塔台負責管制作業。建議修正為區域內尚有松山機場及花蓮機場、清泉崗機場、新竹機場三處軍機場，除軍機場之機場管制作業，其餘機場及近場管制作業均由臺北近場管制塔臺負責。</p>	<p>謝謝，已配合修正第 3.2 節。</p>	<p>同意辦理。</p>
<p>11.P14:圖 3-3 錯誤，建議使用交通部民用航空局公布之臺北飛航情報區航路圖。</p>	<p>已取消原有之圖 3-3，第 3.2 節相關文字亦已修正。</p>	<p>同意辦理。</p>
<p>12.P14:原文為桃園機場空側，建議修正為桃園國際機場空側。</p>	<p>謝謝，已依此修正第 3.3 節標題。</p>	<p>同意辦理。</p>
<p>13.P15:原文為桃園國際機場之滑行道系統包含了：EC、N1、N2、N3、N4、N5（關閉中）、N6、N7、N8、N9、N10、N11、L1、L2、NC、L、NN、NP、S、S1、S2、S3、S4、S5、S6、S7、S8、S9、S10、R、R1、R2、R3、R4、Q、Q1、Q2、</p>	<p>遵照修正，謝謝。</p>	<p>同意辦理。</p>

<p>Q3、Q4、WC。建議依「臺北飛航情報區飛航指南機場2.8停機坪，滑行道及核驗點位置」公布相關資料修改為桃園國際機場之滑行道系統包含了：EC、N1、N2、N3、N4、N5（關閉中）、N6、N7、N8、N9、N10、N11、L1、L2、NC、L、NN、NP、S、S1、S2、S3、S4、S5、S6、S7、S8、S9、S10、R、R1、R2、R3、R4、Q、Q1、Q2、Q3、Q4、W1、W2及WC。</p>		
<p>14.P16:圖3-4錯誤，建議使用交通部民用航空局公布之臺灣桃園國際機場場面圖。</p>	<p>已置換，新編號為圖。</p>	<p>同意辦理。</p>
<p>15.P17-22:表3-1至表3-7，建議以經緯度表示方式依「臺北飛航情報區飛航指南機場2.8停機坪，滑行道及核驗點位置」公布方式撰寫。</p>	<p>謝謝，表3-1至表3-7已全數修正完成。</p>	<p>同意辦理。</p>
<p>16.P24:原文為飛航管制服務簡稱航管服務，指為防止航空器間及在操作區內航空器與障礙物間之碰撞與加速並保持空中交通之安全、有序、暢通所提供之各種管制服務。建議依「飛航規則」第二條「飛航管制服務簡稱航管服務，指為防止航空器間、航空器與障礙物間於航空站跑、滑道滑行時之碰撞及加速飛航流量並保持有序飛航所提供之服務」修正。</p>	<p>原文係引用自飛航管理程序，經查其文字與飛航規則略有出入。爰於報告書第4.1節二者並列。</p>	<p>同意辦理。</p>
<p>17.P24:原文為 1.區域管制服務:由區域管制中心.....。2.近場管制服務:由近場管制臺.....。3.機場管制服務:由機場管制塔臺.....。建議依「飛航規則」第二條修改如下:1.區域管制服務:指對管制區域內之管制飛航提供之飛航管制服務。2.近場管制服務:指對離場或到場之管</p>	<p>謝謝指正，已依飛航規則修正第4.1節相關內容。</p>	<p>同意辦理。</p>

<p>制飛航提供之飛航管制服務。3.機場管制服務：指對機場交通提供之飛航管制服務。</p>		
<p>18.P25:原文為 1.垂直隔離:.....。2.水平隔離:.....。建議依「飛航管理程序 4-5-1 垂直隔離之最低標準」及「5-5-4 最低標準」相關規定修改如下:1.垂直隔離之最低標準儀器飛航航空器垂直隔離之最低標準如下：(1)飛航空層 410 以下一採 1,000 呎隔離。(2)飛航空層 290 以上一非 RVSM 核准之航空器與其他航空器間採 2,000 呎隔離。(3)飛航空層 410 以上一採 2000 呎隔離，除非於飛航空層 600 以上，於軍用航空器之間採 5,000 呎隔離。2.最低標準:除飛航服務主管機關另行規定，使用雷達及 /或 ADS-B 時 航空器之最低水平隔離為 5 哩。如終端航管單位提報並經民航局個案核准後得應用 3 哩隔離。</p>	<p>謝謝，已依建議文句之要旨修正第 4.1 節相關內容。</p>	<p>同意辦理。</p>
<p>19.P26:原文為飛航管制服務高度依賴無線電語音通訊，.....。國際無線電通話拼寫.....。建議刪除因與本案無關。</p>	<p>遵照指示刪除。</p>	<p>同意辦理。</p>
<p>20.P26:原文為我國設有臺北近場管制臺以及高雄近場管制臺，其中前者為本專案範圍。建議修正為我國設有臺北近場管制塔臺以及高雄近場管制塔臺，其中前者為本專案範圍。</p>	<p>遵照修正。</p>	<p>同意辦理。</p>
<p>21.P26:原文為民航局於空域設有航點（Waypoint），以精準導引航空器之飛行。航點為預劃之地理位置，供界定航線、儀器進場或位置報告使用。建議修正為民航局於空域設有航點，供航空器於離到場、</p>	<p>原文係參酌飛航管理程序[14]對航點之定義。已將委員之建議併入第 4.2 節相關文句中。</p>	<p>同意辦理。</p>

進場或位置報告時使用。		
22.P27:表 4-2.桃園國際機場相關航點，建議以經緯度表示方式依「臺北飛航情報區飛航指南」公布方式撰寫。	已完成修正，謝謝。	同意辦理。
23.P36:原文為以下圖 4-8 所示為為桃園國際機場 05L 跑道於正常狀況下所使用之儀降程序。此為桃園機場最主要使用之程序，可應用於精準進場（instrument landing system, ILS）或非精準進場（localizer, LOC）。後續圖 4-10 與此類似，但對應於 05R 跑道進場之儀降程序。建議修正為以下圖 4-8 所示為桃園國際機場 05L 跑道較常使用之儀器進場程序，可供精確進場（instrument landing system, ILS）或非精確進場（localizer, LOC）。後續圖 4-10 與此類似，但對應於 05R 跑道。	謝謝，已修正。	同意辦理。
24.P37、40、45:原文為以下圖 4-9 以及圖 4-11 所示依序為桃園國際機場 05L 跑道以及 05R 跑道於低能見度時所使用之儀降程序航圖。正常狀況下並不使用本程序，當環境狀況不良導致能見度不良時，機場航管作業之安全標準（例如能見度限度）、助導航設施（例如燈光燈號）、儀航程序等，與正常狀況並不相同，且彼此間有所配套。使用圖 4-9 所示之程序的同時，所搭配之標準滑行路徑即如圖 4-12 所示。相對應的，23L 跑道與 23R 跑道之低能見度儀降程序航圖依序示於圖 4-14 與圖 4-16，而相搭配之標準滑行路徑則如圖 4-17 所示。建議修正為 1.以下圖 4-9、圖	<p>謝謝用心指正。本項意見較為複雜，爰分三部份處理，說明如下。</p> <p>(1)刪除圖 4-12 與圖 4-17：此二圖所示為桃園國際機場於能見度未達標準時之標準滑行路徑。與其他航圖混合編排確顯突兀，因此予以移置於第 4.4 節併同其他滑行路徑相關說明，並重新編為圖 4 與圖 4。</p> <p>(2)系統設計未涵蓋天氣因素：已補充於第 5.6 節，與其他假設項目一併說明。</p> <p>(3)相關文字依指示修正。</p>	同意辦理。

<p>4-11、圖 4-14 與圖 4-16 所示依序為桃園國際機場 05L 跑道、05R 跑道、23L 跑道與 23R 跑道之第二類儀器進場程序圖，通常天候不佳或駕駛員請求時會使此程序。2.因系統設計未涵蓋天氣因素，爰建議刪除圖 4-12 及圖 4-17 低能見度標準滑行路徑相關資料。</p>		
<p>25.P46:原文為以下圖 4-18 至圖 4-21 所示為桃園機場之區域航行 (Area NAVigation, RNAV) 程序之航圖。這些程序利用慣性導航系統、全球定位系統 (GPS) 等機載導航裝備所設計，而非依賴地面助導航設施.....。建議修正為桃園國際機場並非僅提供到場航機可使用 RNAV 程序，離場亦有 RNAV 程序。</p>	<p>謝謝，已將修正文字補充接續於原文之後。</p>	<p>同意辦理。</p>
<p>26.P50-55:建議有關本章節內容，雖採飛航管理程序 6-2-1「分歧航道之最低標準」、3-9-7「同跑道隔離」及 3-9-9「交叉跑道之隔離」等章節相關規定，惟桃園國際機場無交叉跑道，另相關隔離運用亦未考量以下狀況:1.地理位置:東面係松山機場，爰分歧角之使用僅限 053 度制 233 度間；另其使用時段因噪音管制亦限制於每日 08:00-11:00 及 14:00-18:00。2.裝備限制:航管作業尚無法提供平行跑道之隔離運用。另同跑道離到場隔離係指離到場航空器間據一條跑道隔離。</p>	<p>謝謝提供實務資料。已配合於第 4.3 節註明「桃園國際機場並無交叉跑道，因此並不適用這些規定」。同節亦說明噪音管制之時段。其餘部份係為桃園國際機場所不可能發生之狀況，均已於報告書相關部份配合刪除，或為維持完整性予以保留。</p>	<p>同意辦理。</p>
<p>27.P55:原文為規定之隔離標準如下。建議依「飛航管理程序 5-5-4 最低標準」改為機尾亂流程序係在一航空器之後，或在一航空器之後</p>	<p>謝謝，已修正於第 4.3 節。</p>	<p>同意辦理。</p>

且空層在其下方不足 1,000 呎時，或跟隨實施儀器進場之航空器時，採下列隔離		
28.P61:原文為 1.Boeing B748 型航機 b.有條件使用(需 FOLLOW ME 引導)之滑行道:NP(介於 N1(含)與 WC(不含)之間)。建議依「臺北飛航情報區飛航指南 2.20.3 BOEING B748 及 AIRBUS A380 型航機作業規定」刪除 b 項。	經確認臺北飛航情報區飛航指南[13]已刪除第 b 項規定，依指示配合修正本報告書。	同意辦理。
29.P62:原文為 2.Airbus A380 型航機禁止使用滑行道:WC、BC、NP.....。建議依「臺北飛航情報區飛航指南 2.20.3 BOEING B748 及 AIRBUS A380 型航機作業規定」修改為禁止使用滑行道:WC、EC、NP.....。	此係誤植，已配合修正。謝謝。 註：研究團隊特此感謝飛航服務總臺之悉心指正與資料提供。	同意辦理。
桃園國際機場股份有限公司		
1.由於桃機公司所提供為今年 6 月 30 日航班資料，建議其他相關資料、規定、作業方式(例如滑行道關閉狀況)，均同樣以 6 月 30 日之資料為基準，以求一致。本公司後續將提供相關資料予運研所進行研究。	謝謝，遵照辦理。	同意辦理。
2.桃園機場 NC 備用跑道在實務上並不可行，建議由報告書中刪除之。	已在第 3.3 節配合刪除相關文句。	同意辦理。
3.每日聯合巡場均在固定時段占用跑道，其他施工、拖機等特殊狀況亦有可能占用跑道，其實際狀況是否有可能納入報告中以利真實呈現。	謝謝，將在取得真實紀錄資料後依指示整理納入報告書中。	同意辦理。
4.桃園國際機場雖有 53 處停機位可供客運使用，但其中僅有 38 處有空橋。其餘 15 處為遠距停機位並無空橋，請在報告書中說明其使	謝謝指正，已說明於報告書第 4.5 節。	同意辦理。

用偏好。		
5.緊急航班、空機運渡、航機維修等當天向機場公司或向飛航服務總臺臨時申請之航班如何納入模擬模式中。	本模擬模式以航機起降之需求及操作過程為主，各航次之航班申請程序以及航班之任務型態並未納入模擬考慮。	同意辦理。
6.建議本研究聚焦於桃園機場之一天運轉，有關松山機場遷移之課題建議可暫不納入本研究中。	謝謝，遵照辦理。	同意辦理。
運研所許書耕組長		
1.本案經費有限，因此研究目的並不是建立與 TAAM 或 SIMMOD 等國際知名軟體相互競爭之模擬系統，而是作為未來分析工具的應用。	本研究之目的確非企圖與國際軟體相競爭，而是針對我國之需求，有系統整理相關知識並建立成為模擬軟體。	同意辦理。
2.目前模擬系統所模擬之對象為管制員及航務人員之決策過程。請於報告書中明確說明各子單元之演算規則。	謝謝指正，已加強說明於第五章各節。	同意辦理。
3.後續請說明如何在質與量兩方面驗證本模擬模式。	謝謝指正，已在第二章文獻回顧整理相關模擬模式之驗證方式，並參酌應用於本研究中。	同意辦理。
運研所陳天賜副所長		
1.請說明本模擬模式將用以進行驗證之統計資料為何。	已在第二章文獻回顧整理相關模擬模式之驗證方式及其取得方式，參酌應用於本研究中。	同意辦理。
2.對於模擬模式之假設及限制條件均請清楚說明。	謝謝指正，假設及限制條件均集中整理於第 5.6 節。	同意辦理。
3.可論述或建議未來可能對實務運作有幫助之最佳化決策輔助技術。	謝謝指正，已說明於第 8.3 節。	同意辦理。
4.事件模擬之方式，是否會影響視覺化顯示之效果？	本模擬系統之視覺呈現模組將具有插補功能，因此事件模擬之方式並不會造成視覺呈現之中斷或跳躍。已說明於報告書第 6.1 節。	同意辦理。
5.跑道長度以及航空器佔用跑道之時間長度是否納入模擬系統？	此二項目均納入模擬系統中，已說明於報告書第 5.2 節。	同意辦理。

運研所吳玉珍所長		
1.本研究之長遠方向，應為在瞭解問題、掌握重要組成單元與關鍵參數，並構建模擬模式雛型，後續以此為基礎，以最佳化技術協助提升空域利用之效率。	此確為本研究之長遠方向，已依此說明於報告書第 8.3 節。	同意辦理。
2.本所過去所執行之「臺灣國際機場引進機場協調整合決策(A-CDM)系統之研究」案，對於本案有何幫助，請補充說明之。	過去該研究之主題，與本案之主題具有相當之互補性。於 A-CDM 之 16 里程碑中，超過半數屬地停過程，而此為本案所未涵蓋者。未來若適當結合二者，將可達到良好之完整性。已補充說明於報告書第 2.6 節。	同意辦理。
本所運工組（書面意見）		
1. 桃園機場目前雖有制訂相關離到場儀降程序，但由於管制員仍可採用雷達服務引導，因此在實際操作上仍有近 80%偏向雷達服務引導，此部分於系統中要如何模擬，應於報告書中詳加說明。	已遵指示加強說明於第 5.3 節。	同意辦理。
2.第三章相關資料引用準確性應再重新檢核，相關專有名詞與管制區域劃定範圍等，須以民航局公布之電子式飛航指南（eAIP）及飛航管理程序為主。	第三章之資料確有相當之比重係引用自臺北飛航情報區飛航指南[13]，已再次校對修正。	同意辦理。
3.「儀器飛航程序」是一系列預設且有順序性之飛航程序與航線，以供航空器自起飛機場飛航至目的地機場，而儀器飛航程序依飛行階段可區分為 4 種程序，以構築航空器自起飛機場飛航至目的地機場之飛行路線，此 4 種程序依飛航順序為：標準儀器離場(SID, Standard instrument Departure)、航路(Airway)、標準終端到場(STAR, Standard Terminal Arrival Route)、標準儀器進場程序(SIAP, Standard	謝謝指正，已加強說明於第 4.2 節。	同意辦理。

Instrument Approach Procedure), 建議詳述於報告中, 以利閱讀及瞭解。		
4. 網路模型係以節點與節線(Node and Link)模擬, 建議應將網路模型以圖示畫表示, 並以桃園機場為案例, 方便理解整體網路模型運作模式。	謝謝指正, 已補充資料來源:[13] 圖 5 至資料來源:[13] 圖 5 以詳細說明之。	同意辦理。
5. 模擬上將跑道視為單一節點時, 但實際上不同大小航機脫離跑道進入快速滑行道時, 會有不同選擇, 在此研究中要如何模擬, 建議補述於報告中。	謝謝, 已加強說明於第 5.2 節。	同意辦理。
6. 有關客機地面作業時間請增列 F 類航機所需之時間。	表 3-係引用自桃園國際機場航機停靠機坪原則[15], 其中 F 類航機所需之時間應已包含於「E 類以上航機」項下。	同意辦理。
7. 後續模試驗證部分, 應具體說明驗證方式或對應指標, 以釐清模擬結果之合理性。	謝謝指正, 已在第二章文獻回顧整理相關模擬模式之驗證方式, 並參酌應用於本研究中。	同意辦理。
8. 報告中文字誤繕部分, 請於期末報告一併修正:P10:運用於機場規「劃」、P11:「互」助業務、P22:表 3-7「8」刪除、P24:管制權由「近場管制臺」移交至塔臺、P57:表 4-4□OW 應為 MTOW。	依教育部「重編國語辭典修訂本」之揭示, 「規畫」與「規劃」互通。本報告書配合統一採用「規劃」。 P11 之「守助業務」乙詞係引用自飛航管理程序[14]對飛航服務之定義, 應屬正確。 P24: 已修正 P57: 已修正	同意辦理。

附錄二：期末報告審查意見處理情形表

交通部運輸研究所合作研究計畫

期中 期末報告審查意見處理情形表

計畫名稱：「構建空域模擬模式之研究-以臺北終端管制區域為例」

執行單位：財團法人成大研究發展基金會

參與審查人員及其所提之意見	合作研究單位處理情形	本所計畫承辦單位審查意見
飛航服務總臺(現場+書面資料)		
1.基本假設中有關高度 20,000 呎，速度 490 節部分，航機在實際爬升或下降中是很難達到這個速度；在實際操作面上，航機從高高度下降是以滑行方式降低，以 B777 為例則是以 280 節空速下降。	謝謝指正，除配合修正本報告書外，並配合修正軟體，將 490 節之速率修正為 280 節。	同意辦理。
2.落地速度部分，一般飛機不會用到 190 節速度下降，空速一般為 140~160 節間，相對地速，如果是頂頭風時，速度會更低，如果是靜風或順風時，速度大概介於 160~180 節。另外起飛一開始速度與落地速度是差不多才對。	謝謝指正，除配合修正本報告書外，並配合修正軟體，將起飛與降落速率均設定為 160 節。	同意辦理。
3.本研究希望未來作為航管決策參考部分，因為無法實際瞭解模擬程式背後演算邏輯，且運作情況是否符合航管人員思路，在此前提之下，可能要先確認航機實際進入終端的時間點，再以此資料輸入系統，而後輸出資料再與實際狀況比對，如果吻合度較高時，代表其結果是可以參考的。	此為模擬系統驗證之一環，未來若持續精進本模擬系統，應為重要工作項目之一。已於報告書第 8.3 節納入本項建議。	同意辦理。
4.航管自動化系統儲存的資料大概有兩部分，一個是飛航資料，以時間方式記錄，如到交管點的時間與	未經專業處理之原始雷達資料含有相當大量之假訊號、軍機等額外資訊，以及不在分析範圍內	同意辦理。

<p>高度等，另一個則是雷達軌跡，這部分資料是相當龐大(每 5 秒記錄一次軌跡)，但從軌跡是可以瞭解當下航管人員引導航機的思維。</p>	<p>之其他資訊。後續研究若參考這些資料，可能需要相關單位協助以專業軟體工具進行資料處理，以提高模擬軟體開發效率。</p>	
<p>5.報告書 P8，原文:研究範圍以臺北終端管制區域為邊界，並以臺北進場管制塔臺-臺北塔臺為主。建議修正:研究範圍以臺北終端管制區域為邊界，並以臺北近場管制塔臺-臺北機場管制塔為主。</p>	<p>謝謝指正，遵照修正。</p>	<p>同意辦理。</p>
<p>6.報告書 P33，原文:為了配合航空器順利降落所需，亦有少部分空域將近場管制臺與區域管制中心之劃分高度設於 FL170 或 FL180 者。建議修正:為了配合航空器順利降落所需，近場管制臺與區域管制中心會就部份空域訂定異於 FL200 之使用協議及交接管高度。</p>	<p>謝謝指正，遵照修正。</p>	<p>同意辦理。</p>
<p>7.報告書 P62，原文:由於桃園國際機場二條平行跑道之中心線距離超過 3500 呎（1067 公尺），因此如航空器起飛後可立即飛航於分歧航道時，准許同時起飛，如圖 4-22 所示意。建議增加:因空域限制，桃園國際機場尚無法有此揭分歧航道之設計及運用，爰未能實施平行跑道相關作業</p>	<p>謝謝指正，遵照修正。</p>	<p>同意辦理。</p>
<p>8.報告書 P63，原文: 因此於每日 08:00 至 11:00，以及 14:00 至 18:00 的噪音管制時段，連續離場仍需採 2 分鐘隔離，與上述隔離之規定合併時將對允許之航空器飛行方式有所影響。建議修正:依據臺北飛航情報區飛航指南「RCTP 機場 2.21 降低噪音程序」係離場程序中有關沿跑道方向爬升至 3 哩後再轉彎之程序，除航管指示或緊急請況外，</p>	<p>謝謝指正，遵照修正。</p>	<p>同意辦理。</p>

<p>不得提前轉彎；前述有關「航管指示」乙節，係依臺北飛航情報區飛航指南「RCTP 機場 2.20 本場飛航規定」，為加速飛航流量，減少地面等待，每日 00:00-03:00，06:00-10:00 世界標準時間，將對部分航機頒發雷達離場 (SPRAY ONE RADAR DEPARTURE)。另有關離場航機間隔離，尚應考量機型限制。</p>		
<p>9.報告書 P63，原文：在平行跑道間，一條跑道有離場航空器，而另一條平行跑道五邊有到場航空器，如起飛航道能在起飛後立刻與另一條跑道之誤失進場航道至少有 30 度以上之分歧至取得隔離為止，且到場航空器自一較近之跑道進場時，可准許兩航空器同時實施離到場。建議增加：因空域限制，桃園國際機場尚無法有此揭分歧航道之設計及運用，爰未能實施平行跑道相關作業</p>	<p>謝謝指正，遵照修正。</p>	<p>同意辦理。</p>
<p>10.報告書 P64，原文：離場與到場航空器間之最低隔離標準為 2 哩。建議修正：離場與到場航空器間之最低隔離標準為 2 哩，惟此條文係指飛航管理程序 5-8-4「同跑道隔離」當到場航空器距跑道不低於 2 哩時，本程序准許放行離場航空器。此隔離由離場航空器開始起飛滾行算起</p>	<p>謝謝指正，遵照修正。</p>	<p>同意辦理。</p>
<p>11.本總臺於產官學座談會所表達意見，後續研究除可再就各樣參數進行更為合理之調整外，欲作為航管決策參考前，應有客觀方法驗證其模擬準確度與真實性。</p>	<p>未來若持續精進本模擬系統，驗證應為重要工作項目之一。已於報告書第 8.3 節納入本項建議。</p>	<p>同意辦理。</p>
<p>桃園機場公司</p>		

1.系統所使用的底圖，建議由機場公司網站取得最新資料。	謝謝指正。	同意辦理。
2.報告書 P74，航機 A380 及 B748 停放位置及動線已有修正，請由 AIP 取得最新資料；報告書 P75，聯合巡場時間有更正；報告書 P24，滑行道 N5 已開放，請一併修正。	謝謝指正，已配合修正為今年 12 月 7 日生效之最新版規定。滑行道 N5 之狀態亦已修正。	同意辦理。
3.航機起飛離地速度 140 節似乎太低，與實際狀況不符，請修正。	謝謝指正，除配合修正本報告書外，並配合修正軟體，將起飛速率設定為 160 節。	同意辦理。
4.簡報 P9，4.3 機場管制服務隔離標準部分，如果指的是塔臺，則隔離應只包括水平隔離，而垂直隔離就不在此範圍。	謝謝指正。	同意辦理。
顏委員進儒		
1.部分基本假設仍須納入考量，其結果方能貼近實際狀況，其中機型大小及風速數據為管制員操作所必須取得的，方能依其知識及意志安排航機路徑。	謝謝指正。航空器之差異化以及風向風速之因素均已納入報告書第 8.3 節後續研究中。	同意辦理。
2.航機有兩種速度，一種為地速 (Ground Speed)，另一種為空速 (Air Speed)，而實務上真正常用的是空速 (降落速度、起飛速度)，而空速就會與風速有密切關係，本研究模擬中用的速度應是地速，然而風速有可能影響航機速度 10~20%，因此這部分參數就不宜過分簡化。	謝謝，風向風速之因素均已納入報告書第 8.3 節後續研究中。	同意辦理。
3.有系統的驗證仍是必要的，後續才能應用於政策支援上，如跑、滑道改善的評估等，因此研究團隊仍要思考如何進行。	未來若持續精進本模擬系統，驗證應為重要工作項目之一。已於報告書第 8.2 節納入本項建議。	同意辦理。
4.目前模擬系統著重於雷達引導的部分，建議研究團隊釐清目前航機在桃園機場使用雷達引導與標準程序的比例，以思考每架航機於系	本研究之多次訪談及工作會議之討論中均指出雷達引導佔相當之比例。然實際之比例似並無正式之統計。	同意辦理。

統模擬中都使用雷達引導的必要性		
5.報告書 P109 期中審查意見中，航空器占用跑道時間是否有納入考量之回復，似乎於模擬狀況不符，建議修正；另參考文獻格式與規定不符，請一併修正。	本模擬模式之架構有能力考慮各航空器佔用跑道或滑行道之時間長度，而非僅佔用一瞬間。軟體之實作亦是如此。本軟體離型對跑道之佔用時間為隨機值，而對滑行道之佔用時間則視該滑行道路段之長度而定。	同意辦理。
許組長書耕		
1.本期研究主要是先建立一架構離型，並初步包含所有單元，而有些隨機性參數(如風速變化等)加入似乎是有困難，因數學模式要模擬類似問題有一定難度，可能必須再深入研究，但為使結果較符合實際，後續仍必須考慮處理。	謝謝，遵照辦理。	同意辦理。
2.驗證部分須要取得相當多的資料方能比對，其工作量預期與開發模擬系統相當，是一大負荷，因此後續如何取得航管資料進行驗證，將是未來研究重點項目之一。	已於報告書第 8.3 節後續研究納入本項意見。	同意辦理。
3.後續研究將持續與民航局航管組、總臺及機場航務處保持聯絡，且將以各個單位為單元，分別討論模擬結果，以期更精進地提升基本離型之功能。	已於報告書第 8.3 節後續研究納入實務人員參與之項目。	同意辦理。
4.風速及航機大小等重要物理性質，且會明顯影響模擬結果部分，後續要如何以隨機因素加入，則是未來研究重點之一。	風向風速之因素均已納入報告書第 8.3 節後續研究中。	同意辦理。
運安組		
1.後續研究包含決策輔助技術開發部分，如果未來再加入隨機因素參數之後，以目前系統運算超過 50 小時而言，勢必運算時間會再增加；另外這樣的決策輔助是偏向長	目前系統運算超過 50 小時，係指完全全天 24 小時模擬所需之時間。在此過程中，軟體執行停機位指派之演算，以及尋找滑行路線之演算各超過千次以上。因	同意辦理。

期或者是短期，是否可以吻合實務需求面，請研究團隊補充說明。	此若這些技術應用於決策輔助之用，其運算時間應可符合實務之需求。	
陳副所長天賜		
1.請研究團隊針對基本假設與後續研究部分，依據各委員與單位意見，列表說明處理方式，並以附錄方式呈現。	謝謝，遵照辦理。	同意辦理。
2.驗證部分於報告中仍應有一小節文章，補充說明其他模試驗證方式與專業看法，並建議未來如何處理，如統計項目等。	已遵照建議增設第 7.4 節討論之。	同意辦理。
3.假設模擬模式可用後，研究團隊可否提出構想、案例，供後續航管、決策單位、總臺利用的地方，如儀航程序對機場空污、噪音影響等。	已遵照建議增設第 8.2 節討論之。	同意辦理。
本所運工組(現場與書面)		
1.本研究已完成空域模擬模式離型，其中包含近場管制、塔臺管制、停機坪管理等三個子單元，並以 2017 年 6 月 30 日之航班資料進行模擬，然在終端管制區域驗證比對部分，受限於龐大雷達資料須進行處理，恐無法於本期進行比對，是否有其他資料或方式可供分析比對，建議再確認。	1.本研究建議後續應參考類似功能國際知名模擬軟體之驗證方法，並有系統建立實務專家認為可信之驗證方法與通過標準，再據以依此方法與標準進行模式驗證。此一論述已納入報告書第 8.3 節後續研究中。	同意辦理。
2.由跑滑道起飛延滯時間，可以瞭解跑滑道的利用率，本系統模擬結果為平均費時 14.77 分鐘，但實際狀況須由機場場面雷達偵測系統之影像紀錄逐一判識，該工作極為費時費力，建議研究團隊詢問桃機公司 FIDS 系統是否有完整電子紀錄供比對。	2.據悉桃園國際機場公司之 FIDS 系統尚無本項資訊。	同意辦理。
3.本研究相關模擬參數（如爬升率、下降率、起飛速度、進場速度、	3.謝謝建議，本項已納入報告書第 8.3 節後續研究中。	同意辦理。

<p>降落速度、加減速、地面滑行速度及地面拖機速度等)都會明顯影響模擬結果，建議後續須預留調整功能，方能依據實際情形進行修正。</p>		
<p>4.未來桃園機場第三航廈完成後，停機位安排及滑行道配置都會隨之修改，因此軟體設計此一部分應保持彈性，以模擬不同之安排策略所產生之差異性；另跑道運作模式也應該做為彈性調整的模擬。</p>	<p>4.謝謝建議，本項已納入報告書第 8.3 節後續研究中。</p>	<p>同意辦理。</p>
<p>5.第二章文獻回顧中，由於國外軟體取得較為困難，無法深入瞭解與分析，但應將國內過去發展之 ANS 模擬系統，與本期發展之模擬模式之差異性、困難性等，進行較詳細的說明，以利瞭解其發展之目的及現階段成果。</p>	<p>5.已遵照建議於報告書中增設第 7.3 節，專節論述本項議題。</p>	<p>同意辦理。</p>
<p>6.圖 6-4 為跑道航機到離場延伸線，由於桃園機場為雙跑道，因此應以兩條延伸線表示南北跑道，同時方便檢視跑道運用之效益是否平均。</p>	<p>6.視覺顯示方式之多元化為報告書第 8.3 節所整理未來可考慮進行後續研究之一部份。其目的在針對不同人員之需求，開發更貼近作業習慣之不同視覺顯示方式，以擴大軟體之適用範圍。</p>	<p>同意辦理。</p>
<p>7.第三、四章相關資料引用準確性請再重新檢核，相關專有名詞與管制區域劃定範圍等，須以民航局公布之電子式飛航指南 (eAIP) 及飛航管理程序為主。</p>	<p>7.遵照辦理。</p>	<p>同意辦理。</p>
<p>航政司(書面意見)</p>		
<p>1.查本案研究目的係在於掌握民航空域容量分析之重要組成單元與關鍵參數，據以構建臺北終端管制區域之空域模擬模式雛型，其中包含終端管制、跑滑道、停機坪管理等單元；研究團隊並期望以管制員之決策為實際模擬對象進行演算，並以研究仿真空域模擬系統能</p>	<p>1.謝謝建議，報告書已將本雛型不足之處整理於第 8.3 節後續研究，作為後續精進時之參考。</p>	<p>同意辦理。</p>

<p>以更有效率之方式，紓緩我國臺北近場空域及管制員所面臨之壓力；惟就本(106)年 11 月 24 日團隊所進行之空域模擬系統展示結果，其模擬系統之演示結果比對實際運作情況稍有不足，爰建議研究團隊可多參酌實際現場情況，瞭解工作人員操作邏輯，俾使本研究更具參考價值。</p>		
<p>2.另就地面及空中模擬部分研提意見如下，倘有條件上之限制致使演算結果無法同步之情況，建議補充說明：</p>		
<p>(1)地面部分：經觀察研究團隊之系統，其航機進出跑道與實際情況略有不同，建議可實際觀察機場之航情顯示器(ASD)相關訊號，先理解實務上工作人員對航機與地坪作業之運作方式納入演算模擬；例如為使跑道達到最大利用效能，航機於跑道等待起飛時，管制員可能已指示另一架航機進入滑行道預備起飛，待前架次航機離場後隨即跟上，以及航機進入跑道之節點設置等，均可由 ASD 上瞭解。</p>	<p>(1)有關航機陸續等待起飛乙節，本模擬離型確已可在全自動運算之狀況下達成此種效果，其能力已接近可作為塔臺決策輔助系統核心之需。至於其他相關不足之處，已整理於第 8.3 節後續研究。</p>	<p>同意辦理。</p>
<p>(2)空中部分：考量管制員在引導航機上，不僅限於一般所述垂直、水平隔離及儀航程序等變數，並依現有航管系統及安全因素等考量，在航機進場五邊之排序，有遠、近及定向(direct)之區別，而對航機之隔離方式，在實際情況上亦有高度與水平之區別(以航管角度而言，兩機未有水平隔離前，會先建立垂直隔離)，其邏輯均有脈絡可循，建議可參酌總臺內部飛航管理自動化系統之飛航動態相關資料，納入演算</p>	<p>(2)本模擬模式依第 5.3 節所述之演算法，已具備嚴謹達成水平、垂直隔離之能力。未來可以本系統之視覺顯示模組為共同平台，由實務單位更深入參與模式之精進，俾未來之發展可更貼近實際之狀況。此一論述已納入第 8.3 節後續研究中。</p>	<p>同意辦理。</p>

模擬，俾貼近實際航管作業及航機運作方式。		
----------------------	--	--

附錄三：座談會紀要

「構建空域模擬模式之研究-以臺北終端管制區域為例」

座談會會議紀錄

一、時間：106年11月24日（星期五）下午2時00分

二、地點：交通部運輸研究所10樓會議室

三、主持人：許組長書耕

記錄：李宇欣

四、出席單位及人員：(如簽到冊)

五、主持人致詞：(略)

六、財團法人成大研究發展基金會簡報及雛型軟體展示：(略)

七、討論：

(一)顏進儒教授

1. 任何模擬系統均有其假設，對各種考慮因素必有納入模擬與否之取捨。後續若持續精進本雛型系統，建議開發團隊與未來的使用者討論各種因素對模擬系統之相對重要性，以及應納入哪些考慮因素。
2. 建議本案在報告書中多說明模擬之邏輯，以利參考及傳承。
3. 有沒有可能簡化模擬模式之決策邏輯，或許將更貼近實際狀況。
4. 驗證對模擬軟體很重要，建議思考如何進行本模式之驗證。

(二)薛少怡組長

1. 未來A-CDM於桃園機場上線後應可帶來顯著之效益，建議未來之系統應提供更強大之警示功能，以便瞭解後續處理方式及因應策略。
2. 本模擬系統並未納入松山機場與新竹機場之影響，因此若用以推論空域容量，應謹慎具體說明其背景。

(三)王純婷經理

1. 航空器由停機坪後推之後，到開始滑行之間，尚有卸耳機線、解開拖車聯結等程序須待執行後推之後才能完成，因此完成後推之後並無法立即開始滑行。其間之作業時間因機型而異，大都在4至5分鐘之間。
2. 實務上於安排停機位時，會考量其目的機場、習慣、旅客轉機等諸多複雜因素。

(四)交通部民航局飛航服務總臺

1. 航空器在脫離跑道之前不會停等。而在跨越跑道前需要停等時，應停留在跑道外。
2. 未來若有離到場航路、航廈等之變動，軟體是否具有足夠之彈性可快速配合調整？
3. 使用05L跑道進場之航空器，若欲進入東北角之貨機機坪，通常會由左方脫離跑道。
4. 其餘意見書面提供。

(五)主席結論

1. 請研究團隊整理本模擬尚未充份考慮之因素納入報告中。
2. 請研究團隊思考如何進行驗證。
3. 未來可以本模擬系統探討桃園國際機場各擴建階段之運轉狀況。
4. 謝謝各單位寶貴意見的交流，請研究單位參考納入報告書中。

交通部民航局飛航服務總臺書面意見

1. 本案模擬模式成果曾於前幾次研討會議呈現，本總臺於研討會中雖能協助對觀察模擬不真實之處予以提出，惟模擬模式若僅以觀察方式驗證，恐尚難判斷其模擬真實程度。建議後續可進一步以其他方式驗證其模擬結果。倘若本案爾後要作為交通部民用航空局及桃園國際機場股份有限公司(以下簡稱桃機公司)在空域容量改善之參據，其基本模擬模式之真實性至關重要。
2. 目前本案僅有桃園國際機場且為05跑道方向之模擬，然而臺北終端管制區域內尚有松山機場及新竹機場，彼此在空域運用上都互有影響，建議後續在基本模擬模式之真實性確定後，可再納入其他機場及跑道方向之相互關係。
3. 如前次會議本總臺所提，模擬參數（爬升率、下降率、起飛速度、進場速度、降落速度、加減速、地面滑行速度及地面拖機速度等）參數會明顯影響模擬結果，建議未來可再檢視調整。航機飛行路徑(包含雷達引導路徑)亦可再依據實際情形調整。
4. 停機位安排涉及地面動態之模擬，目前係以航空公司作為機坪機位之安排，未來第三航廈完成後，桃機公司有一想法係以聯盟航空公司作安排，建議軟體設計此一部分保持彈性，以模擬不同之安排策略所產生之差異性。另跑道運作模式也應該做為彈性調整的模擬可能。
5. 建議時間軸分跑道呈現，可以檢視跑道運用之效益是否平均。

「構建空域模擬模式之研究-以臺北終端管制區域為例」
產官學座談會簽到單

- 一、時間：106年11月24日（星期五）下午2時0分
 二、地點：交通部運輸研究所
 三、主持人：許組長書耕
 四、出席單位及人員：

單位（人員）	職稱	簽名
顏進儒教授 國立海洋大學 航運管理學系		顏進儒
薛少怡組長 交通部民用航空局 管制組	組長 校正	薛少怡 陳俊羽
陳志嘉處長 桃園國機場場公司 航務處	值理 經理	王純婷
交通部航政司		
交通部民用航空局 飛航服務總臺		董吉利 張偉君 趙信
交通部運輸研究所		許書耕 紀威中 張明芸 胡育超 符玉梅
財團法人 成大研究發展基金會		林程 李宇欣 楊維杰

附錄四：假設與後續研究列表

表附-1 假設與後續研究

項次	假設與後續研究	審查意見	處理方式
1	模擬之時間為一天，共計 24 小時。	無	
2	換跑道之過程未納入模擬中。	無	
3	不考慮風向與風速之影響。	本項對模擬結果應有相當影響。	納入後續研究
4	不考慮能見度之考量。	無	
5	不考慮航空器之差異性。	未來應納入模式中。	納入後續研究
6	航空器於地面活動時，運行速率為 26.7 節。	無	
7	所有航空器出現於交管點時，其高度為海面以上 20,000 呎，速率為 490 節。	基本假設中有關高度 20,000 呎，速度 490 節部分，航機在實際爬升或下降中是很難達到這個速度；在實際操作面上，航機從高高度下降是以滑行方式降低，以 B777 為例則是以 280 節空速下降。	除配合修正本報告書外，並配合修正軟體，將 490 節之速率修正為 280 節。
8	降落於跑道時，速率為 190 節。起飛離地之速率假設為 140 節。	落地速度部分，一般飛機不會用到 190 節速度下降，空速一般為 140~160 節間，相對地速，如果是頂頭風時，速度會更低，如果是靜風或順風時，速度大概介於 160~180 節。另外起飛一開始速度與落地速度是差不多才對。	除配合修正本報告書外，並配合修正軟體，將起飛與降落速率均設定為 160 節。
9	所有航空器在跨越跑道，進出貨機機坪時，均先停等。	無	
10	塔管制員引導航空器滑行時，係給予可行、時間最節省之滑行路	無	

表附-1 假設與後續研究

項次	假設與後續研究	審查意見	處理方式
	徑。		
11	假設近場臺管制員引導到場航空器時，大部份採用雷達引導之方式。	收集實務上採用雷達引導之比例	納入後續研究
12	進場航空器最晚對正跑道之點為跑道頭外10哩處，而航空器在該處之高度設定為3000呎。	無	
13	進場航空器於運行超過跑道一半長度之後，以隨機方式選擇脫離跑道之位置。	無	
14	所有到場航空器進入模擬範圍之位置均在交管點。	無	
15	不考慮拖車之空車移動。	無	
16	假設拖車供給充足，無航空器等待拖車之狀況。	無	
17	滑行道關閉時將會有適當之前置時間，同時管制員可取得精準資訊。	無	
18	視前後航空器之重量，應有不同之機尾亂流隔離標準。	納入後續研究	納入後續研究
19	航空器之重量、所屬公司、天候等許多因素，對於脫離跑道之位置及時間均有所影響。	納入後續研究	納入後續研究
20	實務上於跑道忙碌時，管制員會考慮前後航空器之位置、狀態、速率等因素而決定放行時機。	納入後續研究	納入後續研究
21	未考慮換跑道之過程。	納入後續研究	納入後續研究

表附-1 假設與後續研究

項次	假設與後續研究	審查意見	處理方式
22	實務上停機位之安排考量其目的機場、習慣、旅客轉機等諸多複雜因素。	納入後續研究	納入後續研究
23	各種不同航空器有不同性能。	納入後續研究	納入後續研究
24	實務上管制員有其慣用滑行路線。	納入後續研究	納入後續研究
25	實務上桃園國際機場使用起降混合模式時，多會配合停機位分配起降之用之跑道。	納入後續研究	納入後續研究
26	真實航空器在後推之後可能會佔用滑行道進行整備程序。	納入後續研究	納入後續研究
27	實務上則各航空器可能因其載重、型式等而有所不同之滑行速率。	納入後續研究	納入後續研究
28	實務上拖車之運行速率較航空器自行滑行之速率為低。	納入後續研究	納入後續研究
29	停機位之安排與跑道指派，分由不同單位負責。其間之資訊傳遞應納入本模擬模式之後續發展。	納入後續研究	納入後續研究
30	可針對不同人員之需求，開發更貼近作業習慣之不同視覺顯示方式，以擴大軟體之適用範圍。	納入後續研究	納入後續研究
31	真實管制員於引導航空器時，在距離隔離、時間隔離等方面均有各種不同寬裕量之考量。	納入後續研究	納入後續研究
32	實務上松山機場對桃園國際機場有其影響，未來擴充模擬模式	納入後續研究	納入後續研究

表附-1 假設與後續研究

項次	假設與後續研究	審查意見	處理方式
	時可考慮納入多機場之相互影響。		
33	後續可持續精進模擬軟體之演算效能。	納入後續研究	納入後續研究
34	未來本軟體應具有充份之彈性以方便調整各種參數進行模擬。	納入後續研究	納入後續研究
35	未來可將規畫機場內滑行路線之能力開發成為決策輔助系統。	納入後續研究	納入後續研究
36	未來可將停機位調度之能力開發成為決策輔助系統。	納入後續研究	納入後續研究
37	風向與風速為本模擬模式後續應納入考慮之因素。	納入後續研究	納入後續研究
38	後續研究可由實務單位更深入參與新版本之開發。	納入後續研究	納入後續研究
39	後續應參考類似功能國際知名模擬軟體之驗證方法，並有系統建立實務專家認為可信之驗證方法與通過標準，再據以依此方法與標準進行模式驗證。	納入後續研究	納入後續研究

附錄五：期末簡報

構建空域模擬模式之研究- 以臺北終端管制區域為例 期末審查會

財團法人成大研究發展基金會
106年12月20日



簡報大綱

一、計畫背景

二、文獻回顧

三、我國空域與桃園國際機場空側

四、航管與航務

五、模擬模式

六、軟體雛型

七、模擬分析比對

八、結論與後續研究

2

一、計畫背景

1.1 計畫緣起

- 近年來我國國際航空交通量大長，飛航空域擁擠飛航管制不易
- 如何增加空域利用之效率以滿足空中交通的需求，值得深入研究
- 國外現有套裝軟體費用高昂，且系統功能未必完全符合我國需求
- 需建置符合我國空域及桃園國際機場空側之模擬模式，以模擬空域運作，同時提升我國自主研究能量

1.2 計畫目的

- 掌握民航空域容量分析重要單元與關鍵參數，據以構建臺北終端管制區域之空域模擬模式雛型，協助後續相關情境分析，並做為民航局及機場公司在空域容量改善之參據

1.3 計畫重要性

- 建立適合我國空域狀況之模擬模式為日後建立數學化、科學化最佳化模型所必備之基礎工作
- 我國在此類軟體所需之相關技術實具有國際競爭力，而本計畫正可整合並開發我國自主擁有之相關技術，逐步開發我國分析民航空域容量之研究及實作能量

1.4 計畫範圍

- 蒐集國內外相關空域模擬之研究
- 蒐集桃園機場、終端管制區域實際航機作業情形資料，研究範圍以臺北終端管制區域為邊界，並以臺北進場管制塔臺-臺北塔臺為主
- 建置空域模擬模式雛型

3

二、文獻回顧₁

2.1 飛航管理領域模擬之類型

- 模擬模式之分類可依細緻程度、方法、與範圍等分類
- 依細緻程度可分為微、中、巨觀等，然並無明確而公認之劃分標準
- TAAM與SIMMOD均較偏微觀，本研究亦適合採較偏微觀之模擬

2.2 TAAM回顧

- 為Jeppesen公司與澳洲民航局開發
- 功能涵蓋開車後推，起飛、抵達下一機場、再進入機位之過程
- 運作主要依條列式之規則為之，例如：若最近之空中定位點在左側，指派左側跑道
- 一份基本的模擬之準備工作需要70至80人天的工作量

2.3 SIMMOD回顧

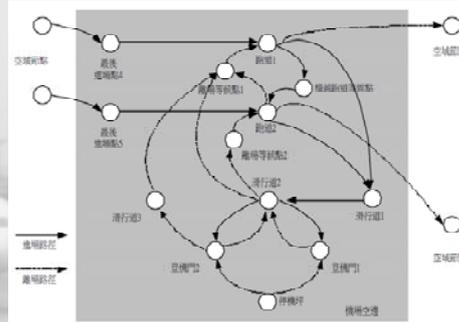
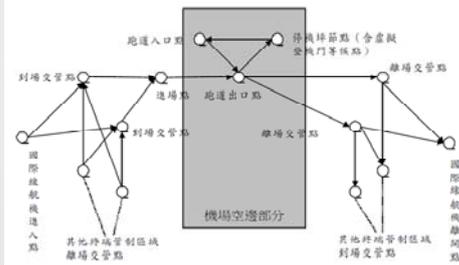
- 為美國FAA所開發
- 採事件模擬
- 使用三維網路模型，以節點與節線代表空域與機場
- 有二航空器擬進入同一節點或節線時，由模式決定何者優先佔用。而航空器在網路中移動的路徑，則事先設定，或以最短路徑演算法模擬前求解之
- 僅沿航空器運行方向之一維隔離檢查，無水平及高度隔離檢查

4

二、文獻回顧₂

2.4 ANS模式回顧

- Air net simulation為國內開發之模擬系統
- 採事件模擬方式
- 進場航空器由網路中之「進場點」移動至「跑道出口點」，再由預先設定之時間分佈中取一隨機滑行之時間，並依此時間長度移動至「停機坪節點」
- 離場航空器依預先設定之時間分佈中取一隨機滑行之時間後，依此時間長度由「停機坪節點」將航空器移動至「跑道入口點」。航空器之滑行之時間長度則依預先設定之時間分佈隨機決定之
- ANS的推進邏輯例如：
 - (1)其他機場起飛之航機於離開離場交管點後，即依估計之時間推進至到場交管點。
 - (2)目的機場之跑道空閒時，航機即取得落地許可而獲得跑道使用權，再將之推進至進場點。



2.5 機場空側模擬模式回顧

- 以ANS軟體為基礎擴充而成

二、文獻回顧₃

2.6 前期研究回顧

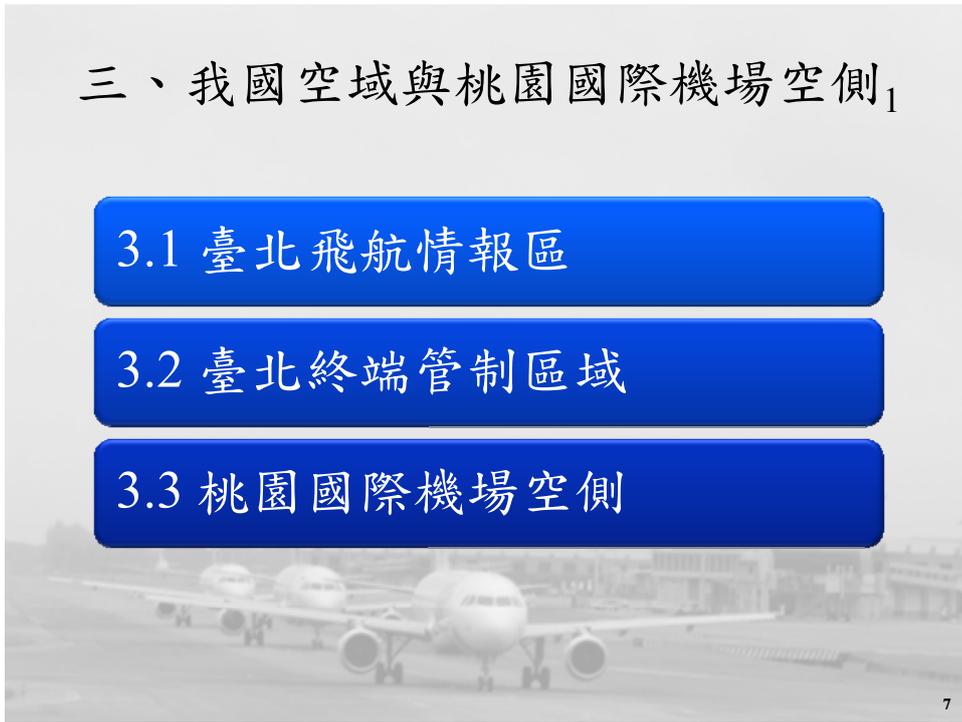
- 運研所105年「臺灣國際機場引進機場協整合決策(A-CDM)系統之研究」案
- 機場協整合決策為歐洲Eurocontrol長期推動之方案，目的在協助機場各部門增進對整體狀況之共同感知，以及提高所有單位對未來狀況之可預期性
- 成功之主要關鍵在透明的資訊共享，以及各相關部門之密切合作
- 該研究詳細介紹A-CDM之六項基本元素以及核心16項里程碑
- 對於桃園國際機場，前期研究指出短期內可建置之六項里程碑、後續應優先建置之項目、及四項重要的決策輔助系統
- 建置桃機A-CDM雛型，以動畫顯示完成A-CDM建置後之狀況
- 前期研究以機場各單位間資訊流動為中心。本期以終端管制區域空域及機場空側為研究對象，著重在模擬航空器之行為與彼此間之影響
- 於A-CDM之16里程碑中，過半數屬地停過程，而本案則以航空器活動為主，未涵蓋地停
- 本案主要目的在構建模擬模式雛型；前期研目的在評估桃機發展A-CDM已有的條件與不足的單元，並建置機場協整合決策系統雛型
- 本研究與前期研究具有互補性。以本研究之成果為基礎，結合前期研究將可評估桃機發展A-CDM之可能效益，達到良好完整性

三、我國空域與桃園國際機場空側₁

3.1 臺北飛航情報區

3.2 臺北終端管制區域

3.3 桃園國際機場空側



7

三、我國空域與桃園國際機場空側₂



8

四、航管與航務

4.1 飛航管制服務簡述

- 飛航管制服務簡稱航管服務，指為防止航空器間及在操作區內航空器與障礙物間之碰撞，加速並保持有序、暢通之飛航所提供之服務
- 目前國際上通用之航管服務架構分為三層，依其空層高度由高至低為區域管制服務、近場管制服務、機場管制服務

4.2 近場管制服務

- 對終端管制區域內航空器之離場爬昇、到場下降時之提供進場隔離與管制之服務

4.3 機場管制服務：隔離標準

- 維持航空器之間適當之隔離，為飛航管制服務最重要的任務之一。航空器間之隔離可分為垂直隔離與水平隔離二項

4.4 機場管制服務：跑滑道

- 跑道為供航空器起飛與降落之設施
- 滑行道指陸上機場劃定供航空器滑行之路線，用以連接機場某一區域與其他區域

4.5 桃園國際機場停機位指派

- 指派次日停機位，以及指派當日停機位

9

五、模擬模式

5.1 管制員之重要性

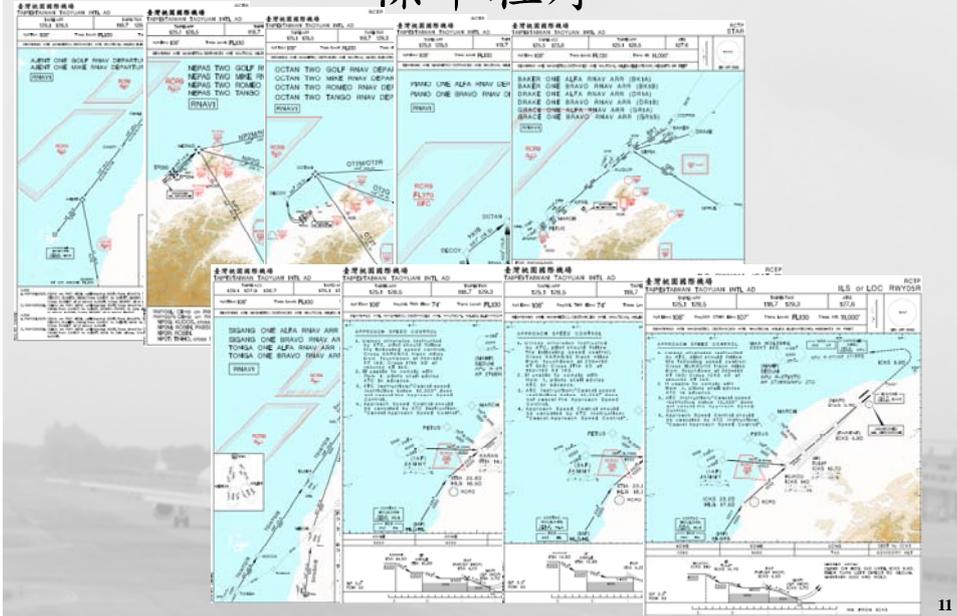
- 航空器於空中或在地面移動均受管制員引導，停機位亦由指派人員決定
- 管制員與機位指派人員實為系統實際主導者，駕駛員為其意志之執行者
- 本模擬模式以管制員之決策思考為實際模擬之對象，航空器之移動則為表現管制員與停機位指派人員意志之方法
- 模擬之管制員四項主要任務
 - 到場航空器航路及降落順序之決定
 - 離到場航空器地面滑行路線之決定
 - 離場航空器起飛順序之決定
 - 安全隔離
- 本模擬系統亦模擬桃園國際機場公司航務處相關人員對停機位之指派

5.2 網路模型

- 本模擬模式使用網路模型以呈現系統中所有航空器可能之動線
- 空域網路模型
- 地面網路模型

10

標準程序



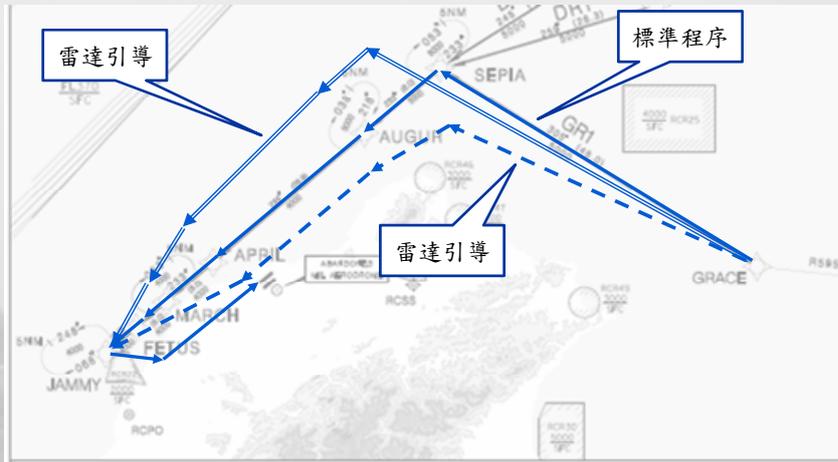
11

空域網路：GR1A到場及進場航路



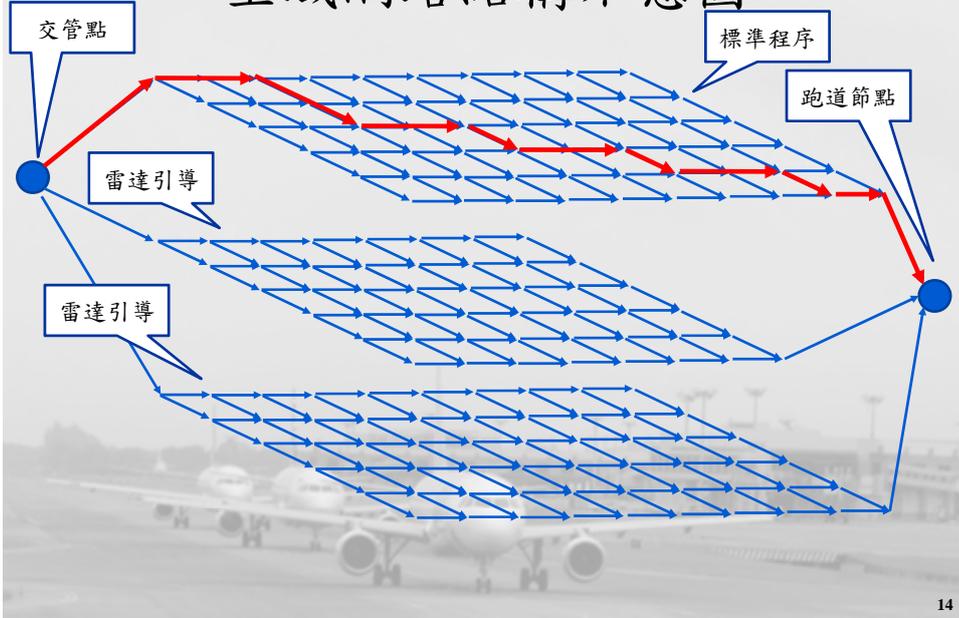
12

雷達引導航路示例



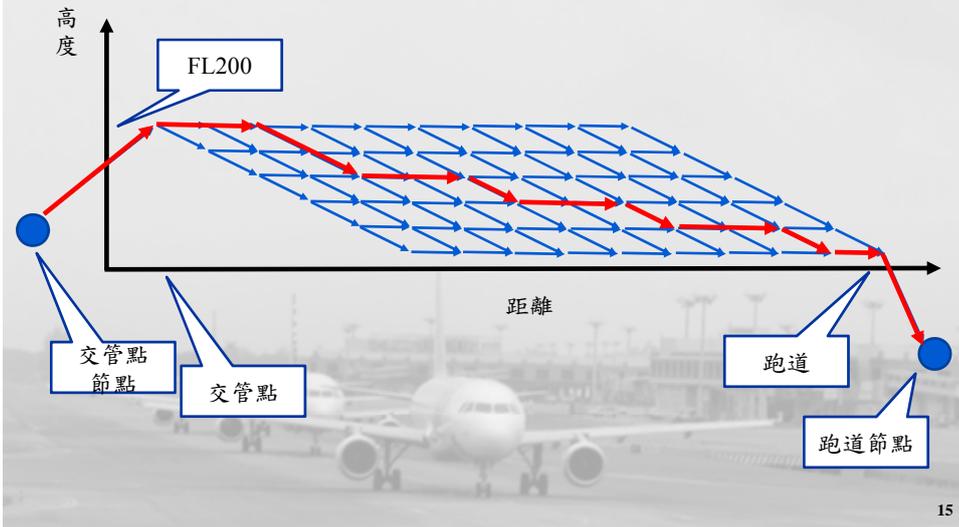
13

空域網路結構示意圖



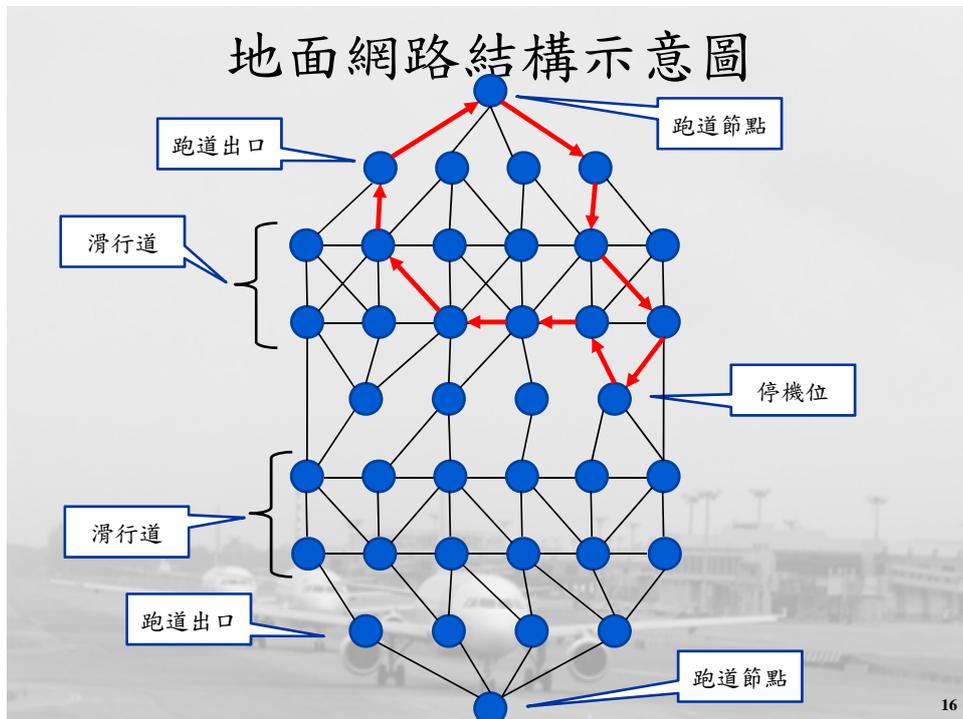
14

航路空域網路



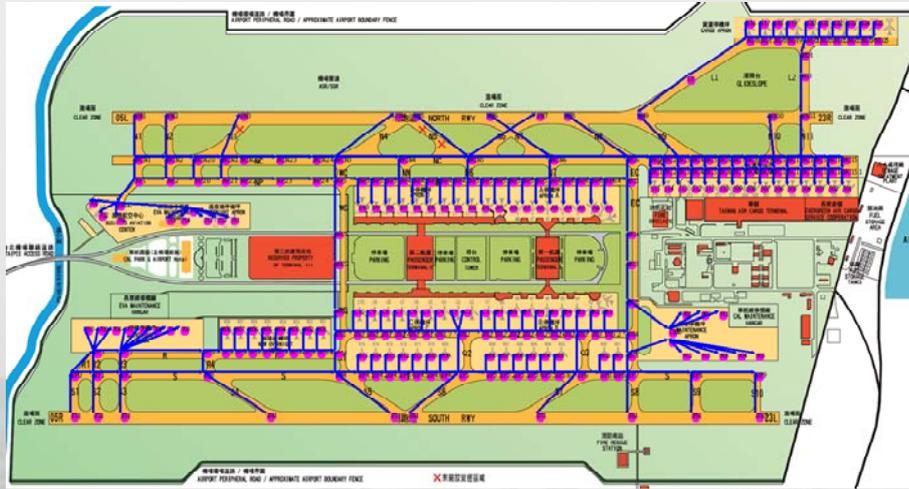
15

地面網路結構示意圖



16

地面網路



17

5.3 演算法₁

到場航空器飛行路線之決定

- 到場航空器出現在交管點時，模式模擬管制員之思考為其決定飛行路線
- 演算法先構建空域網路，再於網路中全面檢視所有該航空器可納入考慮使用之所有可能飛行路線（包含雷達引導程序及速度控制）
- 逐一檢視每一可能飛行路線是否能夠滿足所有的隔離規定。若無法滿足即不予考慮
- 完成對每一可能飛行路線之計算後，再選取使降落時間最早之飛行路線，指派予該航空器

航空器降落順序之決定

- 模擬系統以上述方式為每一到場航空器決定飛行路線之同時，已取得其降落時間點。以此排序即為所有航空器之降落順序

18

5.3 演算法₂

滑行路線之規劃

- 降落後脫離跑道、起飛前後推、或拖機時，產生規劃滑行路線之需求
- 模擬模式在地面網路中，考慮場面上所有其他滑行中之航空器預定佔用與釋放節線與節線之時間，依指定之路線起終點、最早可開始滑行時間，求解滑行路線
- 由路徑之起點開始，以節點不重複之原則對網路進行深度優先搜尋

起飛順序之決定

- 各航空器抵達跑道頭之時間即自然形成起飛順序，不必另行設計演算法求解

19

停機位指派模式

位置偏好

即時提供

$$\text{Minimize } \sum_{i \in AC, k \in P} W_{ik} p_{ik} + \sum_{i \in AC} \alpha_i y_i \quad (1)$$

$$a_i = A_i + y_i \quad \forall i \in AC \quad (2)$$

$$d_i \geq a_i + T_i \quad \forall i \in AC \quad (3)$$

$$d_i - a_j \leq Mx_{ij} \quad \forall i, j \in AC \quad (4)$$

$$x_{ij} + x_{ji} + p_{ik} + p_{jm} \leq 3 \quad \forall (i, j, k, m) \in H_{km}^{ij} \quad (5)$$

$$p_{ik} = 0 \quad \forall i \text{ not allowed to use } k \quad (6)$$

$$a_i \geq 0 \quad \forall i \in AC \quad (7)$$

$$d_i \geq 0 \quad \forall i \in AC \quad (8)$$

$$y_i \geq 0 \quad \forall i \in AC \quad (9)$$

$$p_{jk} \in \{0,1\} \quad \forall i \in AC \quad \forall k \in P \quad (10)$$

$$x_{ij} \in \{0,1\} \quad \forall i, j \in AC \quad (11)$$

提供適當地停時間

若 d_i 比 a_j 晚則 x_{ij} 必須為 1

禁止相鄰

禁止停放

非負限制

雙元限制

20

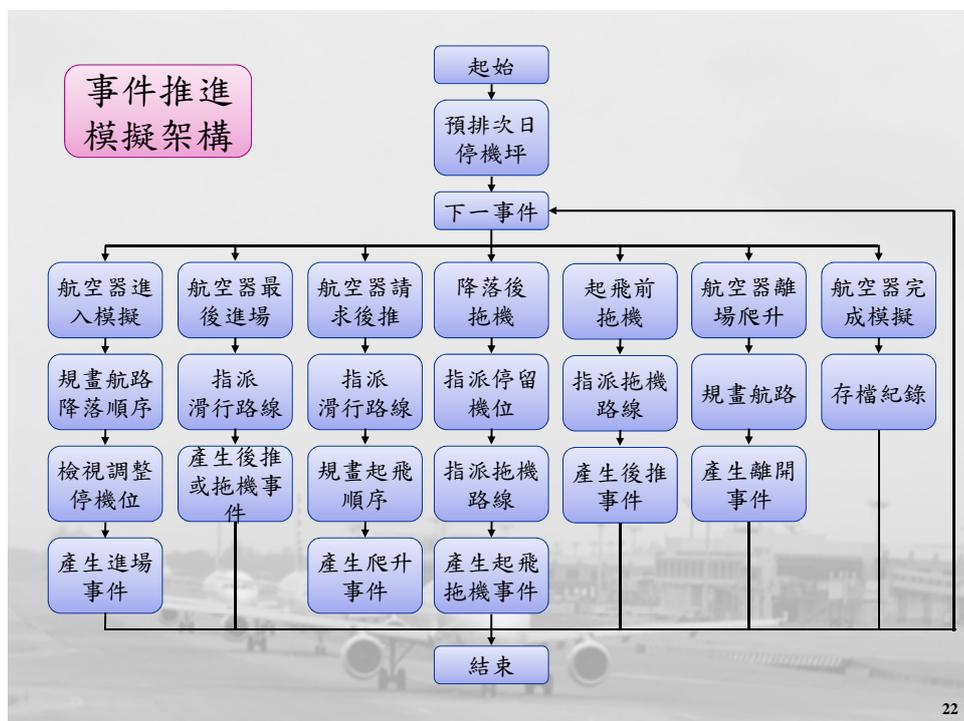
五、模擬模式

5.4 事件模擬模式

- 本模擬模式採用離散事件模擬
- 模擬時鐘之推進係以跳躍方式，由一事件之時間點跳到下一事件之時間點
- 模擬軟體系統維持事件清單，用以存放所有尚未執行之事件
- 每一事件於執行時均有可能產生新事件加入清單中、修正已在清單中之其他事件、或取消已在清單中尚未執行之事件
- 模擬時鐘依所執行事件之啟動時間而推進

5.5 模擬模式架構

21



22

5.6 重要基本假設₁

模擬時間

- 本模擬模式假設模擬之時間為一天共24小時

跑道方向

- 本模擬模式有能力模擬桃園國際機場使用05或23跑道起降之狀況，然換跑道之過程未納入模擬中

風向風速之影響

- 本模擬模式不納入風向風速之影響

能見度影響

- 本模擬模式未納入能見度考量

航空器性能

- 各種航空器之機械性能並不全然相同，甚至不同航空公司使用同型航空器時，偏好之操作方式亦可能有所不同
- 航空器滑行時，其性能與利用拖車拖行亦有所差異
- 本模擬模式假設所有航空器之性能均相同，並未予以區分

23

5.6 重要基本假設₂

飛行高度與速率

- 假設所有航空器出現於交管點時，其高度為海面以上20,000呎，速率為490節
- 降落於跑道時，高度為海面以上100呎，速率為190節
- 跑道上航空器以等加速運動降低速率，至10節時於適當出口脫離跑道
- 於到場過程中假設航空器可完全配合管制員之指示飛行
- 管制員對到場航空器不給予爬升高度之引導，亦不給予加速之引導
- 航空器變換飛行高度時，假設其變換率為每哩300呎；變換飛行速率時，假設為等加速率運動，其加速度絕對值為每秒每秒1公尺

航空器地面操作之速率

- 地面運行速率約26.7節，相當於運行北跑道之長度費時4.5分鐘
- 轉向操作假設無時間損失
- 起飛離地之速率為140節

航空器跨越跑道之停等

- 跨越跑道進出貨機機坪時均先停等

滑行路線之引導

- 假設塔管制員引導滑行時，係給予可行、時間最節省之路徑

到場航空器之引導

- 近場臺管制員引導到場航空器時，大部份採用雷達引導之方式

24

5.6 重要基本假設₃

航空器之進場

- 假設最晚對正跑道點為跑道頭外10哩，高度為3000呎處

脫離跑道

- 運行超過跑道一半長度之後，以隨機方式選擇脫離跑道之位置
- 所有使用北跑道進場之航空器均由南面出口脫離跑道

到場航空器出現位置

- 所有到場航空器進入模擬範圍之位置均在交管點
- 交管點之選擇依其前一機場而定
- 出現於交管點之時間設定，依各航空器之預定抵達時間推算

拖車

- 拖車之勤務道路與航空器滑行路線不同，塔臺之管制方式、標準亦均不同
- 模擬模式納入拖機考量，但不考慮拖車空車移動，使模擬模式不必考慮拖車之車輛調度，有助聚焦主題
- 假設拖車供給充足，無航空器等待拖車之狀況

滑行道之開放與關閉

- 假設滑行道關閉時有精準資訊
- 滑行道關閉一整天時，可自輸入資料中取消該段滑行道
- 部份時間關閉時，視同該段滑行道被佔用

25

6.1 軟體架構



26

6.2 視覺顯示

重要性

- 提供具體觀察模擬結果之能力
- 協助檢視模擬完整性
- 作為多方討論、精進、累積成果之共同平台

程式語言

- C#, 具有豐富圖形元件, 適合開發視覺顯示功能

基本功能

- 讀取模擬結果檔後播放
- 具時間插補功能以避免跳躍現象

視窗設計

- 每一視窗顯示不同內容
- 統一維持時間同步
- 各視窗可獨立拖曳放置並調整大小, 亦可收合於共用框架

播放控制

- 可隨時調整播放速度
- 可加快、暫停、或慢速播放
- 可直接跳至選定之時間點進行播放

27

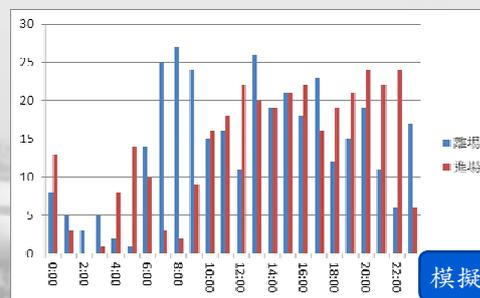
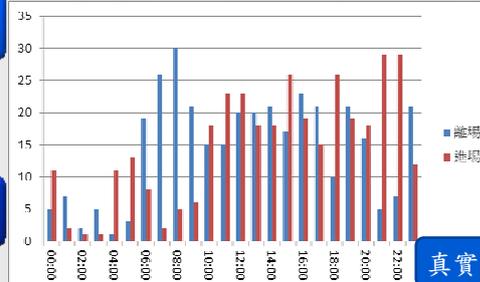
七、模擬分析比對

7.1 模擬測試資料

- 桃園國際機場2017年6月30日紀錄
- 設定當天全使用05跑道起降
- 軟體完成模擬所費時約為50小時

7.2 分析比對

- 終端管制區域：到場航空器由出現在交管點，直至降落於跑道之間所經過的平均時間為27.01分鐘
- 跑滑道：所有航空器自後推到起飛之間，平均費時14.77分鐘
- 停機坪：航空器依其前一日預排之停機位停靠者，佔整體比例之79.9%。模擬結果為68.9%
- 整體容量：進場最高一小時為24架次，離場最高一小時為27架次。兩者合計時，最高的一小時為46架次



28

八、結論與後續研究

8.1 結論

- 本計畫構建臺北終端管制區域之空域模擬模式雛型，以期協助後續相關分析作為施政參據
- 模式範疇涵蓋臺北終端管制區域以及桃園國際機場空側
- 模式本身包含終端管制、跑滑道、停機坪等各主要單元
- 松山機場與新竹機場之影響則未納入模擬範疇中
- 傳統之類似模擬模式多以航空器為被模擬之主體
- 本研究發現管制員以及停機位指派人員為航空器移動方式之實際主導者，實應在模擬模式中給予最重要之地位
- 本模式最重要之突破為，模式以管制員以及停機位指派人員之決策思考為實際模擬對象，將各席管制員與停機位指派人員視為實際模擬之對象，將航空器視為表現管制員與停機位指派人員意志之方法
- 模擬模式依循不同席位管制員以及停機位指派人員所能掌握之資訊，以及其決策思考方式，開發不同方法以模擬之
- 本專案依所建立之模擬模式，開發軟體雛型，包含數學演算模組、模擬模組、視覺呈現模組、以及統計模組

29

8.2 後續研究₁

機尾亂流程序

- 本模擬模式採用統一隔離標準，然而視前後航空器之重量，應有不同之機尾亂流隔離標準

脫離跑道時間

- 本模擬模式以隨機方式決定進場航空器脫離跑道之位置及時間。然實務上航空器之重量、所屬公司、天候等許多因素，對於脫離跑道之位置及時間均有所影響

起飛航空器放行時間窗

- 本模擬模式以統一之隔離標準決定離場航空器起飛放行之時間點。實務上於跑道忙碌時，管制員會考慮前後航空器之位置、狀態、速率等因素而決定放行時機

停機位安排模擬精緻化

- 模式對於停機位之安排僅納入大原則之考量。實務上則會考量其目的機場、習慣、旅客轉機等複雜因素

航空器之分類

- 少數特殊航空器有其使用滑行道及停機位之限制，後續亦可納入考量

慣用滑行路線

- 模式使用演算法求解良好之滑行路線，但真實管制員有其慣用路線，可納入後續發展考量

起降跑道之選擇

- 使用起降混合模式時多會配合停機位指派跑道。後續可納入模擬考量

30

8.2 後續研究₂

後推後之等待

- 真實航空器在完成地停作業後，尚有卸耳機線等程序待完成，於本模擬模式中，這些程序係在後推之前完成，後續可予修正

停機位變動之資訊傳遞

- 停機位之安排影響進場跑道之指派，然停機位之安排與跑道指派，分由不同單位負責。其間之資訊傳遞應納入本模擬模式之後續發展

滑行速率

- 本模擬模式中所有航空器之滑行速率均相同。實務上則各航空器因其載重、型式等而有所不同。而不同航空器在滑行過程中若有轉向，所損失之時間亦各不相同

視覺顯示方式多元化

- 本軟體目前以較接近直觀之方式呈現模擬結果。未來若有需要，可針對不同人員之需求開發不同之視覺顯示方式，以擴大軟體之適用範圍
- 例如不同席位管制員所習慣使用之雷達影像等，均為未來可持續開發之顯示方式

拖車速率

- 實務上拖車之運行速率較航空器自行滑行之速率為低，未來可納入模擬模式中考量

31

8.2 後續研究₃

寬裕量

- 本模擬模式雖有納入寬裕量之基本考量，但真實管制員於引導航空器時，在距離隔離、時間隔離等方面均有各種不同寬裕量之考量

塔臺管制員決策輔助技術開發

- 本模擬模式包含了規畫機場內滑行路線之能力。此技術構成了塔臺管制員決策輔助系統所需要最重要核心之一
- 目前國際上尚未見到成熟之相關技術，此方向技術之開發為未來我國可能領先國際契機之一

其他機場之影響

- 本模擬模式以及軟體僅考慮桃園國際機場，並未納入鄰近機場之影響
- 未來可考慮納入多機場之相互影響

停機位調度決策輔助技術開發

- 本模擬模式包含前一日指派停機位，以及當日停機位調度之能力
- 本項技術可望開發成為桃園機場公司重要之決策輔助系統，對機場停機位之運用將有相當之助益

軟體演算效能提升

- 本軟體目前執行一日之模擬，須費時約50小時。後續可持續精進其演算效能

32

構建空域模擬模式之研究-
以臺北終端管制區域為例
期末審查會

財團法人成大研究發展基金會

106年12月20日

謝謝