

112-059-2333
MOTC-IOT-111-ECB002

應用模擬模式建立國際機場 空側容量評析方法之研究(2/2)- 桃園機場空側容量評估與分析



交通部運輸研究所

中華民國 112 年 9 月

112-059-2333
MOTC-IOT-111-ECB002

應用模擬模式建立國際機場 空側容量評析方法之研究(2/2)- 桃園機場空側容量評估與分析

著者：李宇欣、陳佑麟、盧立昕、陳蓉萱、袁永偉、
林東宏、賴威伸、許修豪、呂蕙美

交通部運輸研究所

中華民國 112 年 9 月

國家圖書館出版品預行編目(CIP)資料

應用模擬模式建立國際機場空側容量評析方法之研究(2/2)
-桃園機場空側容量評估與分析 / 李宇欣、陳佑麟、盧立
昕、陳蓉萱、袁永偉、林東宏、賴威伸、許修豪、呂蕙美著
-- 初版. -- 臺北市：交通部運研所, 民 112.09
面；公分
ISBN 978-986-531-531-3 (平裝)

1.CST: 機場 2.CST: 機場規劃 3.CST: 航空運輸管理
557.9533 112015146

應用模擬模式建立國際機場空側容量評析方法之研究(2/2)-
桃園機場空側容量評估與分析

著 者：李宇欣、陳佑麟、盧立昕、陳蓉萱、袁永偉、林東宏、賴威伸、
許修豪、呂蕙美

出版機關：交通部運輸研究所

地 址：105004 臺北市松山區敦化北路 240 號

網 址：www.iot.gov.tw (中文版>數位典藏>本所出版品)

電 話：(02)2349-6789

出版年月：中華民國 112 年 9 月

印 刷 者：全凱數位資訊有限公司

版(刷)次冊數：初版一刷 70 冊

本書同時登載於交通部運輸研究所網站

定 價：250 元

展 售 處：

交通部運輸研究所運輸資訊組•電話：(02)2349-6789

國家書店松江門市：104472 臺北市中山區松江路 209 號•電話：(02)2518-0207

五南文化廣場：400002 臺中市區中山路 6 號•電話：(04)2226-0330

GPN：1011201187 ISBN：978-986-531-531-3 (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：應用模擬模式建立國際機場空側容量評析方法之研究(2/2)-桃園機場空側容量評估與分析			
國際標準書號(或叢刊號) ISBN 978-986-531-531-3 (平裝)	政府出版品統一編號 1011201187	運輸研究所出版品編號 112-059-2333	計畫編號 111-ECB002
本所主辦單位：運輸工程組 主管：賴威伸 計畫主持人：賴威伸 研究人員：許修豪、呂蕙美 聯絡電話：(02)23496825 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：陳佑麟、盧立昕、陳蓉萱、袁永偉、林東宏 地址：臺南市大學路 1 號 聯絡電話：(06)2757575		研究期間 自 111 年 2 月 至 111 年 12 月
關鍵詞：空側、容量、模擬			
摘要： 機場從服務功能上可以劃分為空側和陸側兩大部分。空側包括跑道、滑行道、停機位等，屬於機場管制區域。空側容量分析為民航機場規劃及營運相當重要之一環，有必要掌握自主研發之核心技術，以利提供機場航管、航務及政策擬定單位加以應用。本計畫第 1 年期(110 年)已釐清影響空側容量之核心因素，接續於第 2 年期(111 年)進行參數項定義及軟體雛型開發，研發以模擬為基礎之多跑道機場空側容量評析技術。 此評析技術係以系統模擬技術為基礎，結合飛航與機場空側運作、等候理論、數學規劃排點與排程等模式，並以桃園機場公司真實運轉數據進行驗證，確認技術邏輯可反映真實狀況與相關規定，具備後續發展人機介面軟體之可行性，將可做為政策評估工具，分析機場空側容量，並可模擬機場平日營運或營運期間變動結果，進行不同方案比較，釐清航空器在不同情境下之延滯情形。 本案所開發分析技術後續將可進一步發展為人機介面軟體，提供民航局、桃園機場公司應用，以強化規劃評估能力與優化營運管理，使機場空側設施管理朝數據化及模式化發展，進而提升我國國際門戶機場營運效能，以符合機場長期發展需求。			
出版日期	頁數	定價	本 出 版 品 取 得 方 式
112 年 9 月	218	250	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。
備註：本研究之結論與建議不代表交通部之意見。			

**PUBLICATION ABSTRACTS OF RESEARCH PROJECTS
INSTITUTE OF TRANSPORTATION
MINISTRY OF TRANSPORTATION AND COMMUNICATIONS**

TITLE: A study on Establishing Airside Capacity Evaluation and Analysis Methods of International Airports Using Simulation Models (2/2) - Airside Capacity Evaluation and Analysis of Taoyuan International Airport			
ISBN(OR ISSN) ISBN 978-986-531-531-3 (pbk.)	GOVERNMENT PUBLICATIONS NUMBER 1011201187	IOT SERIAL NUMBER 112-059-2333	PROJECT NUMBER 111-ECB002
DIVISION: Transportation Engineering DIVISION DIRECTOR: Lai, Wei-Shen PRINCIPAL INVESTIGATOR: Lai, Wei-Shen PROJECT STAFF: Hsiu-Hao Hsu; Leu, Huey-Meei PHONE: 8862-23496825 FAX: 8862-25450427			PROJECT PERIOD FROM February 2022 TO December 2022
RESEARCH AGENCY: NCKU Research and Development Foundation (NCKURDF) PRINCIPAL INVESTIGATOR: Yusin Lee PROJECT STAFF: Chen, Ju-Lin, Lu, Li-Shin, Chen, Rong-Shiuan, Yuan, Yune-Wei, Lin, Tong Hung ADDRESS: No.1, University Road, Tainan, Taiwan (R.O.C.) PHONE: 8866-2757575			
KEY WORDS: Airside, Capacity, Simulation			
ABSTRACT: The airport can be divided into two parts in terms of service functions: airside and landside. The airside includes the runways, taxiways, and aircraft stands and belongs to the airport control areas. Airside capacity evaluation and analysis is a vital component of airport for planning and operation. It is necessary to master self-developed core technology to support the application for air traffic control, airside operations and management, and policy-making units. This plan is a 2-year study. In the first year (2021), the Institute of Transportation, MOTC clarified the primary factors contributing to airside capacity. In the second year (2022), the parameter definitions and software prototype development were completed to research and develop simulation-based technology for evaluating the airside capacity of multi-runway airports. Using system simulation technology as a foundation, this study combines flight and airport airside operations, the queueing theory, and mathematics planning scheduling models, thereby completing the validation of operational data of Taoyuan International Airport Corporation. The Corporation confirms that the technology logic accurately reflects the actual situation and related provisions, and possesses the feasibility of subsequent development of human-machine interface software as policy evaluation tools in the future. It can be used as a policy evaluation tool to analyze the airside capacity of the airport, and it can simulate the results of the airport's daily operation or changes during the operation period, compare different projects, and clarify the delay of aircraft under different scenarios. The analytical technology developed can be expanded into human-machine interface software, which can be utilized by the Civil Aviation Administration (Taiwan) and Taoyuan International Airport Corporation to strengthen planning evaluation and optimize operation management, so that the airside facility control of the airport will develop towards digitization and modulization, thereby enhancing our international operational efficiency of the gateway airport to meet the long-term development needs of the airport.			
DATE OF PUBLICATION September 2023	NUMBER OF PAGES 218	PRICE 250	
The views expressed in this publication are not necessarily those of the Ministry of Transportation and Communications.			

目 錄

目 錄.....	III
圖目錄.....	VI
表目錄.....	IX
第一章 緒論.....	1
1.1 計畫緣起.....	1
1.2 計畫重要性.....	2
1.3 研究範圍.....	2
1.4 計畫工作項目與內容.....	2
第二章 文獻回顧.....	5
2.1 運研所歷年相關研究成果.....	5
2.2 本計畫第 1 年期成果.....	6
2.3 空側模擬技術.....	7
2.4 國內文獻.....	10
2.5 國際文獻.....	11
2.6 飛航管理程序.....	13
第三章 容量評析整體架構.....	25
3.1 基本概念.....	25
3.2 與第 1 年期之差異.....	26
3.3 參數架構.....	28
3.4 分析之空間範圍.....	30
3.5 演算流程概述.....	30
3.6 應用流程.....	35
第四章 跑道模擬方法.....	37
4.1 基本說明.....	37
4.2 桃園國際機場跑道.....	37
4.3 跑道使用及間隔時間長度.....	38
4.4 單一跑道.....	41
4.5 多跑道.....	43
4.6 跑道運轉之模擬.....	47
4.7 跑道相關參數.....	50
第五章 停機位模擬方法.....	63

5.1	基本說明.....	63
5.2	桃園國際機場停機位系統.....	64
5.3	停機位運轉之模擬.....	64
5.4	停機位相關參數.....	67
第六章	滑行道模擬方法	73
6.1	基本說明.....	73
6.2	桃園國際機場滑行道系統.....	73
6.3	滑行道運轉之模擬.....	74
6.4	滑行道相關參數.....	77
第七章	航空器行程設定方法	83
7.1	基本說明.....	83
7.2	航空器行程相關參數.....	83
7.3	航空器分類.....	84
第八章	空側容量評析系統運用	87
8.1	基本說明.....	87
8.2	情境構想.....	87
8.3	場面設定.....	88
8.4	航空器行程之設定.....	89
8.5	參數之設定.....	89
8.6	應用簡例.....	90
第九章	雛型軟體開發	95
9.1	基本說明.....	95
9.2	前端模組.....	96
9.3	後端模組.....	101
第十章	模擬系統驗證	103
10.1	驗證原則.....	103
10.2	跑道參數.....	105
10.3	跑道驗證數據.....	105
10.4	停機位參數.....	106
10.5	滑行道參數.....	107
10.6	滑行道驗證數據.....	107
10.7	驗證結果.....	111
第十一章	機場應用實例分析	113
11.1	桃園國際機場應用實例.....	113

11.2 其他機場之適用性.....	126
第十二章 結論與建議.....	129
12.1 結論.....	129
12.2 建議.....	131
參考文獻.....	135
附錄 A：訪談紀錄.....	139
附錄 B：專家學者座談會紀錄.....	141
附錄 C：期中報告審查意見處理情形表.....	143
附錄 D：期末報告審查意見處理情形表.....	173
附錄 E：期末簡報.....	191

圖目錄

圖 2.1	抽象網路示意圖.....	7
圖 2.2	模擬網路示意圖.....	8
圖 2.3	航空器模擬移動過程網路簡例.....	9
圖 2.4	航空器模擬移動過程簡例時空圖.....	10
圖 2.5	德國 Munich 機場之複雜滑行道.....	12
圖 2.6	機尾亂流最低隔離標準.....	14
圖 2.7	不需使用機尾亂流隔離者.....	14
圖 2.8	機尾亂流隔離之群組.....	14
圖 2.9	進跑道等待相關規定.....	15
圖 2.10	同跑道隔離相關規定(a).....	15
圖 2.11	同跑道隔離相關規定(b).....	16
圖 2.12	同跑道隔離相關規定(c).....	16
圖 2.13	機尾亂流隔離標準相關規定.....	16
圖 2.14	同跑道隔離相關規定.....	17
圖 2.15	同跑道或大間隔平行跑道機尾亂流相關規定.....	17
圖 2.16	連續或同時離場相關規定.....	18
圖 2.17	連續或同時離場相關規定附圖.....	18
圖 2.18	平行跑道離場相關規定.....	19
圖 2.19	離場與到場最低隔離標準.....	19
圖 2.20	平行跑道之離場與到場相關規定(a).....	20
圖 2.21	平行跑道之離場與到場相關規定(b).....	20
圖 2.22	平行跑道之離場與到場相關規定(c).....	20
圖 2.23	平行跑道之離場與到場相關規定(d).....	21
圖 2.24	分歧航道之最低標準相關規定(a).....	22
圖 2.25	分歧航道之最低標準相關規定(b).....	22
圖 2.26	分歧航道之最低標準相關規定(c).....	23
圖 2.27	時間間隔最低標準相關規定.....	23
圖 3.1	機場空側容量評析方法發展歷程架構圖.....	27
圖 3.2	容量評析參數架構圖.....	29
圖 3.3	滑行道部分圖示.....	31
圖 3.4	航空器於網路中移動示意圖.....	31
圖 3.5	演算流程簡例(一).....	32
圖 3.6	演算流程簡例(二).....	34
圖 3.7	模擬分析應用流程圖.....	36

圖 4.1	桃園國際機場場面圖.....	38
圖 4.2	單跑道使用跑道時間及間隔時間關係圖.....	42
圖 4.3	航空器逐一使用跑道示意圖.....	48
圖 4.4	模擬時航空器擬使用跑道時間示意圖.....	48
圖 4.5	模航空器使用跑道模擬流程圖.....	49
圖 4.6	模擬系統分配航空器使用跑道時間示意圖.....	50
圖 4.7	跑道參數項目之說明(單跑道).....	51
圖 4.8	跑道參數項目之說明(雙跑道).....	51
圖 5.1	桃園國際機場主要機坪位置.....	64
圖 5.2	桃園國際機場貨機坪位置.....	64
圖 5.3	航空器使用停機位模擬時間示意圖.....	65
圖 5.4	航空器選用停機位模擬流程圖.....	66
圖 6.1	桃園國際機場場面圖(同圖 4.1).....	74
圖 6.2	桃園國際機場滑行道系統網路圖.....	74
圖 6.3	廣義距離示意圖.....	75
圖 6.4	滑行路徑演算流程圖.....	76
圖 8.1	場面設定示例(原網路).....	88
圖 8.2	場面設定示例(移除節線後).....	88
圖 8.3	應用簡例模擬過程之一.....	94
圖 9.1	軟體雛型主畫面截圖.....	97
圖 9.2	軟體雛型場面編輯畫面截圖.....	98
圖 9.3	軟體雛型參數維護畫面截圖.....	99
圖 9.4	軟體雛型航空器行程清單畫面截圖.....	100
圖 9.5	軟體雛型動畫顯示畫面截圖.....	100
圖 9.6	後端模組示意圖.....	101
圖 10.1	各種到離比例之跑道容量分析.....	106
圖 10.2	離場到場小時架次分布真實紀錄(8/10-12 數據)	108
圖 10.3	離場到場小時架次分布模擬結果(8/10-12 數據)	108
圖 10.4	離場到場小時架次分布比較(8/10-12 數據)	108
圖 10.5	各小時到場架次比較(8/10-12 數據)	108
圖 10.6	各小時離場架次比較(8/10-12 數據)	108
圖 10.7	各小時離到場架次比較(8/10-12 數據)	109
圖 10.8	到場滑行時間分布比較(8/10-12 數據)	109
圖 10.9	離場滑行時間分布比較(8/10-12 數據)	109
圖 10.10	離場到場小時架次分布真實紀錄(8/22-24 數據)	109
圖 10.11	離場到場小時架次分布模擬結果(8/22-24 數據).....	109

圖 10.12	離場到場小時架次分布比較(8/22-24 數據)	110
圖 10.13	各小時到場架次比較(8/22-24 數據)	110
圖 10.14	各小時離場架次比較(8/22-24 數據)	110
圖 10.15	各小時離到場架次比較(8/22-24 數據)	110
圖 10.16	到場滑行時間分布比較(8/22-24 數據)	111
圖 10.17	離場滑行時間分布比較(8/22-24 數據)	111
圖 10.18	桃園機場現行雙跑道實際運作包絡線套疊模擬結果	112
圖 11.1	桃園國際機場場面圖	113
圖 11.2	桃園國際機場運轉紀錄示意圖	115
圖 11.3	桃園國際機場跑道容量分析	116
圖 11.4	桃園國際機場跑道容量分析(使用時間 120%)	116
圖 11.5	桃園國際機場跑道容量分析(使用時間 140%)	117
圖 11.6	桃園國際機場 05L 跑道頭附近	117
圖 11.7	桃園國際機場 05R 跑道頭附近	118
圖 11.8	05L 跑道頭附近滑行道小時通過量	118
圖 11.9	05R 跑道頭附近滑行道小時通過量	119
圖 11.10	桃園國際機場跑道容量分析(間隔時間 120%)	121
圖 11.11	桃園國際機場跑道容量分析(間隔時間 140%)	121
圖 11.12	到場滑行時間分布(108 年 8 月 10 日)	122
圖 11.13	離場滑行時間分布(108 年 8 月 10 日)	122
圖 11.14	到場滑行時間分布(108 年 8 月 22 日)	123
圖 11.15	離場滑行時間分布(108 年 8 月 22 日)	123
圖 11.16	到場滑行時間分布(109 年 1 月 12 日)	124
圖 11.17	離場滑行時間分布(109 年 1 月 12 日)	124
圖 11.18	高雄小港機場場面圖	126
圖 11.19	高雄國際機場主要機坪位置	126
圖 11.20	高雄國際機場停機位 24-29 後推路線示意圖	127
圖 11.21	臺中清泉崗機場場面圖	128
圖 12.1	本計畫與各界合作模式	129
圖 12.2	本計畫所結合之技術	130

表目錄

表 1-1 本計畫主要工作項目與內容	3
表 2-1 事件清單簡例	8
表 3-1 航空器於模擬系統中出現及消失之位置	25
表 3-2 參數架構表	29
表 3-3 演算流程簡例(一).....	32
表 3-4 航空器行程主要態樣	33
表 3-5 演算流程簡例(二).....	34
表 3-6 式(1)各項之定義.....	35
表 4-1 桃園國際機場跑道基本資料	38
表 4-2 跑道使用時間之界定定義	39
表 4-3 跑道使用時間之界定簡例	40
表 4-4 跑道使用時間參數定義	50
表 4-5 跑道使用時間參數各欄位	52
表 4-6 虛擬機場使用跑道時間過往統計結果	53
表 4-7 虛擬機場案例跑道使用時間參數值	53
表 4-8 跑道間隔時間參數各欄位	54
表 4-9 虛擬機場跑道間隔時間過往統計結果	54
表 4-10 虛擬機場案例跑道間隔時間參數值	58
表 5-1 桃園國際機場停機位設施表	64
表 5-2 停機位相關參數定義	68
表 5-3 停機位參數說明虛擬簡例	69
表 5-4 停機位參數說明虛擬簡例之航空器分類	69
表 5-5 停機位參數說明虛擬簡例之停機位分類	70
表 5-6 停機位參數說明虛擬簡例之參數設定	70
表 5-7 停機位參數說明虛擬簡例之機率參數設定說明	71
表 6-1 虛擬簡例滑行速率參數設定例	78
表 6-2 虛擬簡例滑行速率參數設定例(簡化).....	79
表 6-3 虛擬簡例滑行速率參數設定例(詳細).....	79
表 6-4 虛擬簡例轉向參數設定例(不考慮轉向影響).....	80
表 6-5 虛擬簡例轉向參數設定例(考慮轉向影響).....	80
表 6-6 虛擬簡例塞車權重參數設定例(不考慮延滯影響).....	81
表 7-1 行程資訊輸入項目表	84
表 7-2 虛擬簡例航空器分類設定例	85

表 8-1	應用簡例停機位情境需求	90
表 8-2	應用簡例之停機位分類參數值	91
表 8-3	停機位相關參數項目	91
表 8-4	應用簡例之停機位使用參數值	91
表 8-5	應用簡例之滑行速率參數值	92
表 8-6	應用簡例之跑道使用時間參數值	92
表 8-7	應用簡例之跑道間隔時間參數值	93
表 8-8	應用簡例之行程參數值	94
表 9-1	雛型軟體之各主要模組	96
表 10-1	跑道使用參數設定例	104
表 10-2	跑道間隔參數設定例	104
表 10-3	跑道使用時間參數值	105
表 10-4	跑道間隔時間參數值	105
表 10-5	每架次占坪時間統計	106
表 10-6	滑行速率參數值	107

第一章 緒論

1.1 計畫緣起

機場空側容量受到許多複雜因素影響，要達到高效率運用目的，需利用專門分析工具進行系統評析與規劃，以確認機場空側運作瓶頸，並可減少延滯時間。本所近年已陸續開發完成相關模擬技術，可做為機場空側容量評析方法之基礎。107 年完成「空域模擬模式功能擴充之研究」^[1]，包括民航空域及機場空側模擬模式研發及軟體建置，可微觀模擬航機運行狀況，包括航機離場、到場、拖機及停機坪使用情況，並進行相關情境分析，為我國可自主掌握之關鍵技術。108 年 4 月將該系統模擬技術移轉桃園國際機場股份有限公司(以下簡稱桃機公司)使用，該公司並於 109 年完成航機滑行時間初步驗證^[2]，做為比對跑道起降量與滑行時間應用。

本計畫為 2 年期程，在第 1 年期(民國 110 年)以臺北松山國際機場為研究對象，研發單跑道機場空側容量評析方法，釐清影響機場空側容量之最核心因素，並經分析後設計出一套參數項，可供機場營運者做為長期收集、累積統計值之用，並完成分析情境之容量評估^[3]；第 2 年期(民國 111 年)以較臺北松山國際機場更大規模、更複雜之桃園國際機場為研究對象，研發多跑道機場空側容量評析方法。係以前述系統模擬技術為基礎，結合飛航與機場空側運作模式、等候理論、數學規劃，創新研發我國機場空側容量評析之核心技術。

本計畫所建立之容量評析方法，可供我國機場單位做為空側規劃及營運之政策評估工具，除可評估掌握機場跑道、滑行道、停機位等空側設施及空側整體容量，並可評估不同情境下之空側容量。研究成果可提供民航局、桃機公司強化規劃評估與營運調度，使機場空側設施管制作為朝數據化及模式化發展，進而提升我國國際門戶機場營運效能，並符合機場長期發展需求。

1.2 計畫重要性

機場為航空運輸系統中最重要設施，需投入可觀之社會資源方能建設。而機場之維運成本亦甚高，因此提高運轉效率為機場維運之重要課題。機場空側運轉效率與容量是一體兩面，因此深入評析機場容量，以利機場單位進一步評估、改善機場空側運轉效率，其重要性不言可喻。目前國際上已有商業化成熟套裝軟體，可進行相當完整之空側容量分析，然其價格高昂，技術具商業價值通常不公開，無法掌握核心技術便於應用，且非為我國需求而客製化，因此有必要系統性深入研發本土核心技術。

桃園國際機場為我國最主要之國際空運門戶，隨著運量持續成長，大量航空器起降活動以及於空側滑行與停放，對機場空側運轉帶來相當之壓力與挑戰，有待深入評估機場空側容量，以因應未來成長需求。

另我國交通部民航局每 5 年均辦理「臺灣地區民用機場整體規劃」；桃機公司亦每 5 年更新「臺灣桃園國際機場園區綱要計畫」，均需對機場空側容量及運作瓶頸進行有系統之深入評估。本計畫建立國際機場空側容量評析方法，對我國機場相關規劃及政策評估均有其重要性，有利相關單位進行機場空側規劃與營運精進參考應用，同時提升我國自主分析民航空側容量之研究能量。

1.3 研究範圍

本研究為 2 年期計畫之第 2 年期，研究對象為桃園國際機場，研究範圍為該機場空側，以本所 107 年完成之空域模擬模式^[1]為基礎，建立我國國際機場空側容量評析軟體雛型工具，並進行桃園國際機場在既有條件及情境下之空側容量分析，俾供空側規劃評估與營運優化所需。

1.4 計畫工作項目與內容

本計畫主要工作項目與內容如表 1-1 所示：

表 1-1 本計畫主要工作項目與內容

項次	工作項目
1	訪談桃園機場公司 確認需研析之桃園國際機場空側分析情境及方案 確認模式驗證程序 確認模式驗證標準
2	完成核心技術開發 確認空側容量影響因素 考量桃園與臺北松山兩機場相互關係 完成桃園國際機場空側容量評估工具建立 進行機場空側容量事前/事後或預測/實際之比對驗證 發展多跑道機場空側容量評析方法 研提包含跑道、滑行道、停機位及空側整體容量分析所需完整參數架構
3	完成文獻回顧與參數相關研析 文獻回顧 設定本研究之航空器分類 設定參數預設值 說明參數 作業參數蒐集
4	確認天氣因素及容量干擾因素對容量之影響 桃園機場不同天氣下之跑道容量變化 確認空側場面變動下之航機延滯變化 釐清敏感度較高之容量干擾因素對空側容量之影響
5	完成桃園機場空側容量及瓶頸分析 跑道容量分析 滑行道容量分析 停機位容量分析 整體空側容量分析
6	研提桃園機場空側之精進建議
7	完成雛型軟體及相關文件 完成國際機場空側容量評估套裝軟體雛型 撰寫技術報告 製作成果展示動畫 實務操作案例展示
8	研提後續研究規劃 後續研究研究架構 後續研究主要工作項目 後續研究重要議題
9	研提臺中清泉崗及高雄小港機場之適用性評估
10	舉辦專家學者座談會

第二章 文獻回顧

本章先回顧本所歷年以系統模擬為主要技術之相關空域、空側模擬及容量研究，說明本計畫第 1 年期研究成果，回顧與本計畫相關之空側模擬技術，並蒐整國內文獻與國際間之機場空側容量評估程序、技術等相關文獻。另外，針對與本計畫相關之飛航管理程序之文獻資料，亦納入回顧說明。

2.1 運研所歷年相關研究成果

本所於 106 年辦理「構建空域模擬模式之研究-以臺北終端管制區域為例」計畫^[4]，其目標在航空器模擬技術之開發。該計畫主要成果在確立航空器模擬模式。雖以航空器移動為模擬結果之表現，但不論是在空域或在機場空側，該模式係模擬空域、空側管制員以及停機位指派人員之指派，航空器移動僅為其指派之結果。該研究同時亦開發了以動畫呈現模擬結果之技術，為我國自主掌握空域與空側模擬技術奠定重要基礎。

本所並於 107 年持續辦理「空域模擬模式功能擴充之研究」計畫^[1]，持續精進核心技術，使其更為精準並提高運算效能，該計畫於 108 年 4 月由本所移轉桃機公司應用，該公司應用上述研究成果，以 2 種不同場面布設形式進行模擬，與真實紀錄相比對後，發現所得之最大小時起降航次數與真實紀錄相當接近，且觀察到起飛前滑行時間大於降落後滑行時間之現象，與真實紀錄一致。

上述 2 項計畫開發了我國可自主掌控之模擬技術，為本計畫最重要之技術基石，使得本計畫得以更進一步開發空側容量評析技術，後續將以專節回顧該模擬技術。

本所接續於 107 年辦理「國際機場空側設施容量評估方法初探」^[5]、108 年辦理「國際機場陸側設施容量評估方法初探」^[6]等 2 項自行研究計畫。前者蒐整了國外空側設施容量分析方法，提出適合我國國際機場空側容量評析方法之建議及應注意課題；而後者則以陸側為範疇，探討未來發

展機場陸側容量評析方法之方向。

2.2 本計畫第 1 年期成果

本計畫之第 1 年期研究^[3]以臺北松山國際機場為範疇，建立國際機場空側容量評析方法。其最主要研究成果整理如下：

1. 容量評析方法

該計畫將機場空側容量分析區分為跑道、滑行道及停機位等單元設施，以系統模擬為基礎各開發其容量分析方法，再設計整體分析方法以評估機場空側容量。

2. 基本假設

(1) 穩定態

所謂穩定態(steady state)係指不隨時間之推進而變化之狀態。在此假設下，模擬時間之起始與終止並無意義，亦無尖離峰之概念。分析所得之容量，可解讀為該機場、該設施之容量，而非在尖峰時段或離峰時段之容量。

(2) 容量以小時平均架次為單位

以平均每小時可服務之架次為容量之單位。

(3) 停機位分組使用

本計畫第 1 年期所提出之方法，將機場中之所有停機位視為分組使用，同一停機位不可同時屬於多個分組，亦不可不屬於任一組。而每一架需要使用停機位之航空器則均僅可使用一組，但在該組中允許使用其中任一席停機位。

3. 參數項

本計畫第 1 年期研究釐清了評析跑道、滑行道及停機位等機場空側單元設施容量時，最重要之核心使用者參數項。

(1) 跑道容量參數項

評析跑道容量所需要之參數項目有：前後使用跑道航空器之間所需要之時間淨距、航空器使用跑道之時間長度、離到場航空器之數量比例以及

各類航空器之數量比例。

(2) 停機位容量參數項

評析跑道容量所需要之參數項目有：各航空器使用跑道之時間長度、停機位數量、各類航空器數量比例、各類航空器數量占機場該類航空器整體需求之比例以及最大容許使用率。

(3) 滑行道容量參數項

評析滑行道容量所需要之參數項目有：場面配置、航空器運行之起迄點以及系統模擬所需要之其他參數。

本計畫第 1 年期所開發之容量評析方法係以上述假設為基礎。對照第 2 年期之工作項目可發現，與上述基本假設並不完全一致。第 2 年期計畫對基本假設，以及前期所開發之容量評析方法與參數項已有所修正。

2.3 空側模擬技術

本節綜合回顧本所於 106 年辦理之「構建空域模擬模式之研究-以臺北終端管制區域為例」研究計畫^[4]，以及於 107 年持續辦理之「空域模擬模式功能擴充之研究」研究計畫^[1]中，與本計畫相關之空側模擬技術。

本研究所使用之模擬技術，是以網路為基礎。網路為一種相當廣為使用之抽象資料結構，為節點與節線所成之集合，如圖 2.1 所示，為一個抽象網路之示意圖。該圖中有 6 個節點，分別編號 1 至 6，另有 8 條節線。

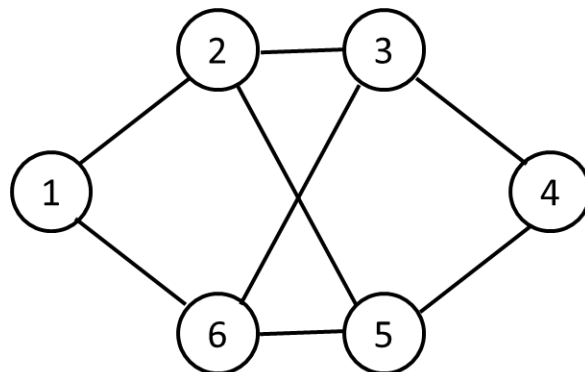


圖 2.1 抽象網路示意圖

該模擬模式運用網路以描述機場場面之跑道、滑行道及停機位之間的

相對幾何位置，以及航空器之可能移動方式。因此網路中大部分節點與節線均對應到跑道、滑行道或停機位。如圖 2.2 所示，為描述桃園國際機場場面之網路的一部分。該圖取自桃園國際機場之 A 與 D 停機坪至北跑道間之區域，呈現了一部分的停機位。由此網路模型圖可觀察到，停機位係對應到節點。

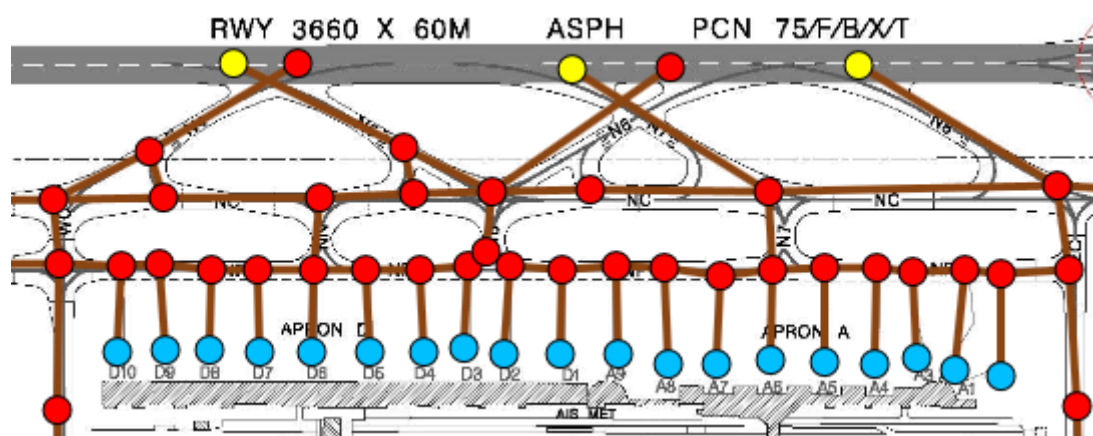


圖 2.2 模擬網路示意圖

在模擬系統中主要之模擬對象物件為航空器，而模擬則採用事件模擬，亦即將航空器於模擬範圍內之推進動作視為離散之事件，再使用離散之模擬方法來呈現這些事件隨時間而演進之狀況。所謂事件，定義為在瞬間發生，足以改變某種狀態之現象。例如在模擬過程中有某航空器開始使用某節點、使用某節線、脫離某節點、脫離某節線等，均為事件。在此種模擬系統中，軟體中之模擬時鐘係以跳躍方式推進，亦即由一事件之時間點跳到下一事件發生之時間點。而在兩事件之間，系統則不發生任何變化。為了達到此目的，模擬系統內部隨時維持一個依未來將發生之時間點而排序之事件清單。如表 2-1 所示，為一個虛擬簡例，用以示意模擬軟體內部所使用的事件清單之內容。

表 2-1 事件清單簡例

	事件	發生時間	說明
1	航空器 X 自停機位 A1 後推	12:34:56	離開節點
2	航空器 X 使用節點 N	12:35:41	進入滑行道
3	航空器 Y 於跑道 05L 降落	12:36:03	開始使用跑道
4	航空器 Y 脫離跑道 05L	12:36:51	脫離跑道
5	航空器 X 離開節點 N	12:41:09	開始滑行

該模擬模式同時考慮時間與空間等不同維度，先模擬塔臺管制員場面上航空器以自身動力或拖車拖行時在空間中之軌跡，再於時間維度模擬航空器駕駛員或拖車司機於執行其駕駛任務時，與同時在場面上活動之其他航空器之互動過程。而模擬過程中，系統在任一時間僅允許一架航空器使用一個節點或一個節線。亦即若某航空器欲進入某節點而該節點當時已有其他航空器使用，則後到者必須等待先到者離開之後方可進入使用該節點。茲以一簡例說明之。如圖 2.3 所示，為一個簡化的網路，其中有 4 個節點，編號為 A 至 D。其中節點 A 代表停機位，而節點 B、C 及 D 為滑行道上之節點。

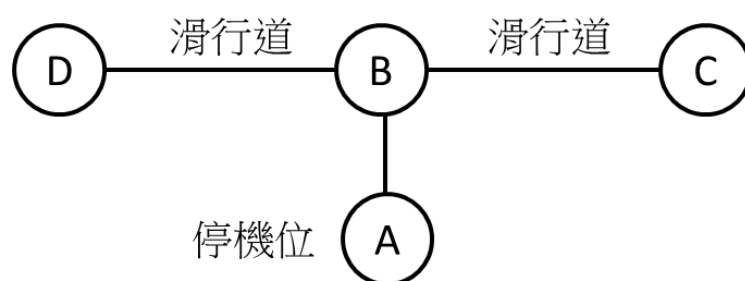


圖 2.3 航空器模擬移動過程網路簡例

今假設有 2 架航空器在圖 2.3 所示之空間範圍內活動。其中航空器 X 自停機位後推之後，進入節點 B 進行卸耳機線、卸拖車等操作，之後向節點 C 滑行。則其在時間空間中之軌跡可示如圖 2.4 中之虛線。進一步假設此時有另一航空器 Y 自節點 D 滑行，欲經過節點 B 到節點 C，其在時間空間中之軌跡示如圖 2.4 中之實線。此時因為節點 B 為航空器 X 所使用，因此航空器 Y 先在節點 D 等待一段時間，待航空器 X 離開節點 B 之後再進入之，再於航空器 X 之後面進入節點 C。

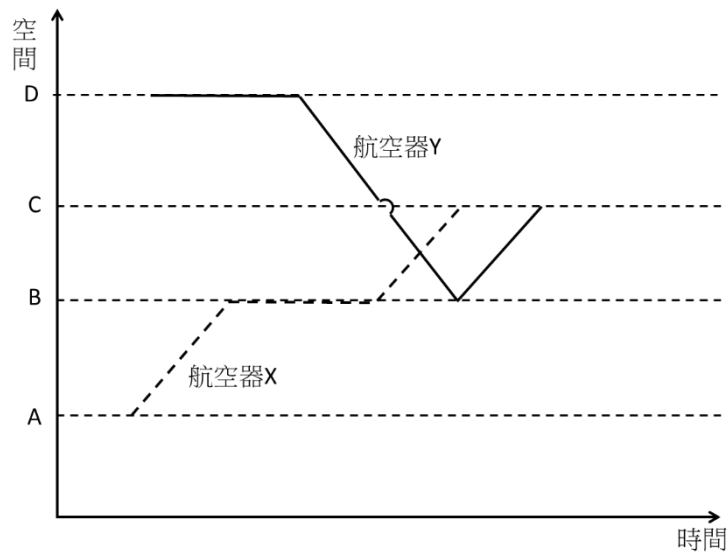


圖 2.4 航空器模擬移動過程簡例時空圖

2.4 國內文獻

國內對於空域與空側模擬之相關研究並不多，其中又以碩士論文為主。這些論文均各有其特定之分析主題。其中張仁達^[7]自行開發軟體，以離散事件模擬方式進行臺北飛航情報區之空域模擬，同時並探討其餘各終端管制區域之模擬架構；郭權鋒^[8]使用 SIMMOD 軟體模擬北高空運走廊之運作；彭冠儒^[9]使用 SIMMOD 進行桃園機場與松山機場之多機場模擬，用以分析臺北終端管制區之離到場隔離標準；周立偉^[10]使用 ANS (Air Net Simulation)以建立平行獨立跑道運作之微觀模擬模式；李昀諭^[11]使用 ANS 為基礎，進一步納入天候之考量；俞瑞華^[12]使用 ANS 探討三種飛航管制策略之績效；吳世偉^[13]則使用 SIMMOD 商用軟體進行延誤在航機之間擴散現象之研究。

以上各論文之研究，以使用商業套裝軟體者為多。這些套裝軟體，其內部所使用之模式等核心技術屬商業機密，並不公開。開放參考之部分僅能取得有限之使用方法說明(例如教學手冊 AirportTools^[14] 等)，或軟體使用經驗(例如 Bertino^[15] 等)。

在國內研究成果中亦有自行研究開發模擬技術者，如 ANS(Air net simulation)模擬模式^[10~12]。上述研究使用臺北飛航情報區與終端管制區域

之模擬模式^[16]。此模擬模式採事件模擬方式進行，屬微觀之模擬模式。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。其軟體分為資料庫模組、網路模組、以及模擬模組等 3 個主要模組^[16]。系統在模擬模組下，再建 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。

此模擬模式有能力模擬個別航空器在空域與空側之狀態變動，但模式中並未真實表現滑行道系統，因此亦無能力表現航空器在具體跑道、滑行道及停機位之間的活動。因以上限制，本計畫爰無法參採其所開發之技術。

2.5 國際文獻

模式為真實系統的抽象表現，而模擬系統為模式之軟體實作^[17]。在機場運轉與規劃方面，模擬系統重要功能之一是供機場營運者設定尚不存在的情境，甚至當前科技尚難以達到之情境，以評估是否應投入資源建置^[18]。因此模擬系統必須具有充分之設定彈性，以避免不必要的使用限制。

機場各種設施之容量評析方法可大略分為 5 類^[19,20]：查表法、查圖及試算表法、解析法、容量模擬法以及航空器模擬法。較早期之方法^[21]所建議之方法即屬於前二者。本計畫所使用之方法屬於航空器模擬法，為 5 類方法中之最先進者^[20]。而系統模擬之方法及範疇又有多種不同之變化。在方法方面，一般而言，以較複雜之數學模式為基礎之模擬系統可達到較佳之精準度，而在範疇方面，多數系統將空側與陸側分開模擬^[22]。

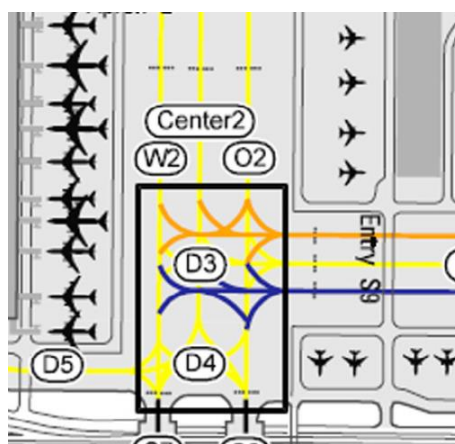
國際軟體 SIMMOD 及 TAAM 亦使用模擬法^[17,23]。這些系統均允許使用者設定所欲分析之機場的場面布置以及航空器分類、隔離標準等各項參數，並由使用者輸入一組描述航班相關資訊之數據，於軟體中則使用網路以描述機場場面之航空器之可能移動方式^[17]。

在機場空側最主要設施：跑道、滑行道及停機位中，跑道具具有相當重要之關鍵，亦為三者中被研究最多者。而跑道亦為 3 類主要設施當中最具有一致性者；其餘 2 類具有較高之地域性，亦即於不同機場之間可能有很大的差異性^[23]。例如 Tascón 與 Olariaga^[24]探討預估空中交通之方法，而研究中亦涉及其與跑道容量之關係。而 Tee 與 Zhong^[25]則研究新加坡樟宜

國際機場之跑道容量，其使用之方法與本計畫類似。

停機位容量之問題，在某些方面比跑道容量之評析更為複雜，而且不同機場間之差異更大。複雜性主要來源之一在於所有航空器共用相同的跑道與滑行道系統，受航班型態影響不大。但同一機場中的不同停機位，有可能服務不同的航班型態。除了機型大小之外，停機位亦常視各不同航空公司，甚至飛航不同目的地之航班而有不同之分配使用原則。在調度方面，停機位亦常受到較多之限制。例如機場臨時變更某航班所分配使用之跑道，或臨時變更某航班於降落後所使用之滑行道固然均有其限制，但所涉及之影響層面，可能均小於臨時變更該航空器到場後所使用之停機位所帶來之連帶影響。文獻中有關停機位容量問題之研究成果相對較少，如 Mirkovic 提出解析方法^[26]，以及後續之進一步強化^[27]，均嘗試建立解析模式以描述停機位之週轉。然而文獻並未見考慮後推空間影響之研究成果。

過往公開發表之文獻中，研究滑行道容量評析方法之成果更少。略早 Anderson 與 Milutinović^[28] 開發最佳化滑行路線之數學模式，可延伸應用於容量分析。而晚近亦可見系統模擬被用於研究分析複雜的滑行道問題，例如 Mirković 與 Tošić^[29] 以系統模擬分析德國 Munich 機場複雜的滑行道問題。圖 2.5 所示為該論文所研究之滑行道，該論文提出解決方案之後，以航空器模擬之方式評估解決方案之可能成效。



資料來源：[29]

圖 2.5 德國 Munich 機場之複雜滑行道

在過往文獻中，大部分公開發表之研究成果均針對某特定機場或某特定主題，以商用軟體進行模擬研究，例如 Mascio 與 Carrara^[30] 使用 AirTOP

探討塔臺管制員之工作負擔以及場面布設對機場容量之影響、Özdemir 與 Çetek^[31] 使用 SIMMOD 分析土耳其 Istanbul Ataturk Airport 之空側容量。Stephens 與 Ot^[32] 利用等候理論分析 Murtala Muhammed International Airport 之跑道容量。所有這些文獻均未說明其所使用之套裝軟體之容量分析原理。

此外，並有相對較少之文獻對機場空側之容量進行學理探討，如 Mascio 等學者^[20] 提出理論分析跑道容量的方法，指出理論分析不易納入所有的考慮因素。而 Mascio 與 Moretti 所發表之文獻^[33] 則使用 AirTOP 探討配置交叉跑道之機場的空側容量。

在套裝軟體之公開文件方面，擁有 TAAM 之 Jeppesen 公司公開一份產品簡介文件^[34]，其中說明了使用該軟體所可能帶來之效益、主要功能等，但並未揭露任何容量分析原理或核心技術。至於 AirTOP 亦類似，雖有公開文件^[36]，但亦未揭露任何容量分析原理或核心技術。

2.6 飛航管理程序

飛航管理程序第 15 版^[36] 為國內航管業務執行標準之重要依據，其內容涵蓋廣泛。本節簡要回顧其中與本研究相關之部分。該文獻計分為 9 章，依序為第 1 章緒論、第 2 章一般管制、第 3 章機場管制、第 4 章儀器飛航、第 5 章飛航服務監視、第 6 章非雷達、第 7 章目視、第 8 章特種飛航及第九章緊急程序。其中與本研究直接相關之內容分布於第 2、3、5、6 章，分別概述如下。為方便閱讀，本節所引述資料中，出處為〔36〕者將不逐一註明。

1. 機尾亂流

本項主要參考飛航管理程序第 2-1-20 節。該節規定機尾亂流最低隔離標準應依航空器之最大核定起飛重量分為超重型、重型、中型及輕型等 4 類。其原文如圖 2.6 所示。

- a. 除 2-1-20 e 項之規定外，機尾亂流最低隔離標準應基於航空器機型依最大核定起飛重量分為下列四類：
1. 超重型航空器 (J) — 國際民航組織 8643 號文件所列之超重型航空器類型。
 2. 重型航空器 (H) — 136,000 公斤或以上之所有航空器；
 3. 中型航空器 (M) — 介於 7,000 公斤與 136,000 公斤間之所有航空器；
 4. 輕型航空器 (L) — 7,000 公斤或以下之所有航空器。

圖 2.6 機尾亂流最低隔離標準

至於不需使用機尾亂流隔離者則規定如圖 2.7 所示。

- d. 不需使用機尾亂流隔離者：
1. 到場之目視飛航航空器在超重型、重型或中型航空器之後降落於同一跑道時。
 2. 到場之儀器飛航航空器，實施目視進場已報告目視前一航空器，且已被指示跟隨前一航空器自行保持隔離時。

圖 2.7 不需使用機尾亂流隔離者

飛航服務主管機關亦可基於形成機尾亂流及阻力之特性，規範應用機尾亂流隔離之群組，其分類相關規定如圖 2.8 所示。

- e. 經由適當飛航服務主管機關核可後，可以基於形成機尾亂流及阻力之特性，規範應用機尾亂流隔離之群組，上述群組之分類主要取決於最大核定起飛重量，機翼特性和速度；群組分類如下：
1. A 組—136,000 公斤或以上，且翼展大於 74.68 公尺但不超過 80 公尺之所有航空器。
 2. B 組—136,000 公斤或以上，且翼展大於 53.34 公尺但不超過 74.68 公尺之所有航空器。
 3. C 組—136,000 公斤或以上，且翼展大於 38.1 公尺但不超過 53.34 公尺之所有航空器。
 4. D 組—大於 18,600 公斤但小於 136,000 公斤，且翼展大於 32 公尺之所有航空器。
 5. E 組—大於 18,600 公斤但小於 136,000 公斤，且翼展大於 27.43 公尺但不超過 32 公尺之所有航空器。
 6. F 組—大於 18,600 公斤但小於 136,000 公斤，且翼展不超過 27.43 公尺之所有航空器。
 7. G 組—不超過 18,600 公斤(無翼展限制)之所有航空器。

圖 2.8 機尾亂流隔離之群組

由上述資料可觀察到航空器並無固定、單一之分類方式，而是需要為不同目的而有不同之分類方式。同時亦可觀察到此處所述之隔離，均僅與前一航空器有關。

2. 進跑道等待

本項主要參考飛航管理程序第 3-9-5。

依規定在符合規定條件時，航空器得進跑道等待，其目的在使航空器得以立即離場。其原文如圖 2.9 所示。

3-9-5 進跑道等待

- a. 進跑道等待(LUAW)係為使航空器得以立即離場而設。除 h 項所列情況外，如因航情影響無法頒發起飛許可時，當許可航空器進跑道等待，應提供相關航情予該航空器。如等待之航空器可清楚看到另一航空器已降落或正自跑道起飛時，得不提供航情資訊。勿使用條件式語句，如：「在降落之航空器後面」或「在離場之航空器之後」。

圖 2.9 進跑道等待相關規定

由此項規定可知，在某些特定條件下，離場航空器有可能在前一航空器脫離跑道之後，立即離場。

3. 同跑道之隔離

本項主要參考飛航管理程序第 3-9-7 節及 3-10-4 節。

此規定之原文示於圖 2.10。此規則明確表示同一跑道在同一時間僅可供一架航空器進行起飛、降落、滾行等動作。

3-9-7 同跑道之隔離

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：

- a. 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。(見圖 3-9-1)
- b. 前一落地之航空器已脫離跑道。(見圖 3-9-2)

圖 3-9-1 同跑道隔離

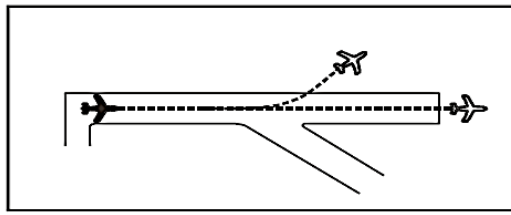


圖 3-9-2 前一落地航空器脫離跑道

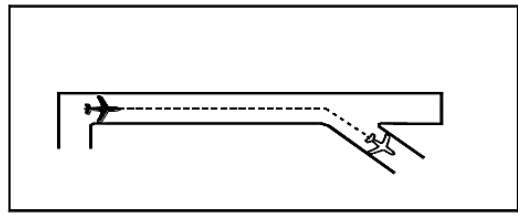


圖 2.10 同跑道隔離相關規定(a)

與此相關者為以下與機尾亂流相關之規定，其原文示於圖 2.11、圖 2.12 及圖 2.13。由此可觀察航空器為此目的之分類方式，同時亦可發現此處之重要參數為前後 2 架航空器之類別、離到組合以及其間之時間隔離。

機尾亂流程序

- c. 不可頒發暗示或准許超重型或重型航空器滾行起飛之許可。
- d. 不可頒發輕型航空器在同一條跑道離場之超重型或重型航空器之後進跑道等待之許可。
- e. 5-5-4「最低標準」所規定之最低標準可以取代下述 f.項、g.項與 h.項中的時間隔離規定。在運用 5-5-4「最低標準」之標準時，應確定航空器離地前或離地時已有適當的雷達隔離。

註一

駕駛員可提出額外的隔離需求，但必須在進入跑道前提出該申請。

- f. 當運用 2-1-20 a.項之機尾亂流類別及當航空器使用同一跑道(見圖 3-9-3)；平行跑道之間距低於 760 公尺／2,500 呎(見圖 3-9-3)時，應採用以下最小隔離：
 - 1. 重型航空器在超重型航空器之後離場—2 分鐘。
 - 2. 輕型或中型航空器在超重型航空器之後離場—3 分鐘。
 - 3. 輕型或中型航空器在重型航空器之後離場—2 分鐘。
 - 4. 輕型航空器在中型航空器之後離場—2 分鐘。

圖 2.11 同跑道隔離相關規定(b)

圖 3-9-3 同跑道或平行跑道低於 760 公尺／2,500 呎機尾亂流隔離

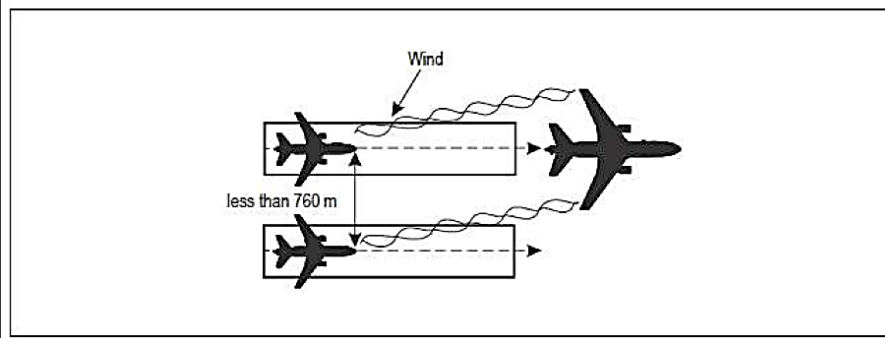


圖 2.12 同跑道隔離相關規定(c)

- g. 當運用 2-1-20 a.項之機尾亂流類別及當航空器於內移著陸區跑道操作，兩機之預計飛行路徑將交錯時，採用下列隔離標準：
 - 1. 離場重型航空器在到場超重型航空器之後—2 分鐘。
 - 2. 離場輕型或中型航空器在到場超重型航空器之後—3 分鐘。
 - 3. 離場輕型或中型航空器在到場重型航空器之後—2 分鐘。
 - 4. 離場輕型航空器在到場中型航空器之後—2 分鐘。
 - 5. 到場重型航空器在離場超重型航空器之後—2 分鐘。
 - 6. 到場輕型或中型航空器在離場超重型航空器之後—3 分鐘。
 - 7. 到場輕型或中型航空器在離場重型航空器之後—2 分鐘。
 - 8. 到場輕型航空器在離場中型航空器之後—2 分鐘。

圖 2.13 機尾亂流隔離標準相關規定

圖 2.14 之規定指示「到場航空器不得越過降落跑道之跑道頭」之概念，

亦即到場航空器是否進入使用跑道狀態之界定方式。

3-10-4 同跑道隔離

- a. 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，除非在下列任一情況，或 3-10-10「限制空層之低空通過」的准許下。
1. 前一航空器已落地並脫離跑道。(見圖 3-10-1)
 2. 前一離場航空器已通過使用跑道末端，或已開始轉彎。(見圖 3-10-2)
 3. 當後續的航空器是直昇機時，可運用目視隔離。

圖 3-10-1 同跑道隔離

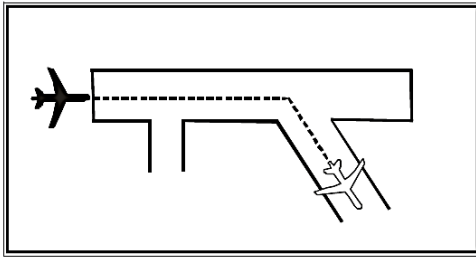


圖 3-10-2 同跑道隔離

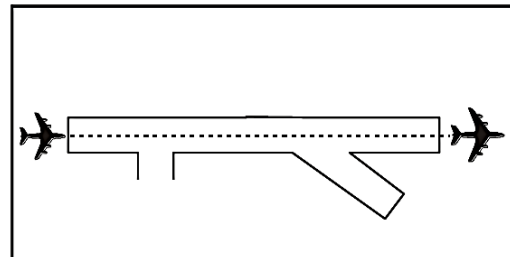


圖 2.14 同跑道隔離相關規定

以下圖 2.15 所示，與圖 2.14 之規定同為第 3-10-4 節對同跑道隔離之規定，但其內容及於大間隔平行跑道，亦即在符合規定之條件下，同跑道與平行跑道之隔離概念有其相似之處。

機尾亂流程序

- b. 應提醒駕駛員注意機尾亂流，並提供航空器之位置、空層(假如知道的話)，及飛行方向：
1. 對使用同跑道或跑道中心線間隔少於 760 公尺／2,500 呎的平行跑道之航空器在離場或到場超重型或重型噴射機之後落地時，

圖 2.15 同跑道或大間隔平行跑道機尾亂流相關規定

4. 連續或同時離場

本項主要參考飛航管理程序第 5-8-3 節。圖 2.16 節錄有關連續或同時離場之相關規定，而文中所指之圖則示於。其中與參數直接相關者為其「採 1 哩之隔離」之規定。此顯示於實務規則中，航空器於空域之隔離需要以距離為單位。

5-8-3 連續或同時離場

終端：

自同一機場/直昇機飛行場或鄰近機場/直昇機飛行場離場之航空器，於起飛跑道末端/直昇機起降區 1 浬內將建立航空器雷達識別，且其航跡將有 15 度或以上之分歧，依照下列最低標準，取得隔離。

- a. 航空器離場使用同一跑道/直昇機起降區，或平行之跑道/直昇機起飛航道，間隔不到 760 公尺/2,500 呎－離場後立即飛航於不同航向則採 1 浬之隔離。

(見圖 5-8-1，圖 5-8-2 及圖 5-8-3)。

註 -

需運用機尾亂流隔離時，本程序不適用。

圖 2.16 連續或同時離場相關規定

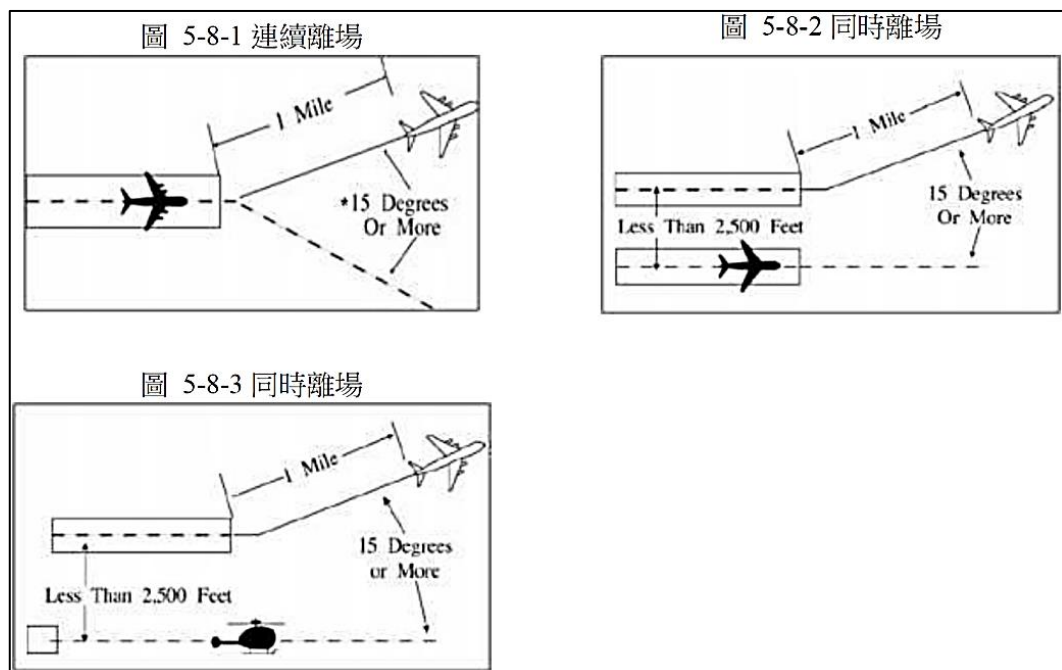


圖 2.17 連續或同時離場相關規定附圖

至於平行跑道離場之相關規定則節錄於圖 2.18。此處指出某些條件下，平行跑道可准許 2 架航空器同時起飛，亦即其最小時間隔離為 0。

- b. 自平行跑道/直昇機起飛航道間以同方向起飛—如平行跑道之中心線或直昇機起飛航道間至少有 760 公尺/2,500 呎以上之隔離，且起飛後航道立刻有 15 度或以上之分歧角，則可准許同時起飛。(見圖 5-8-4 及圖 5-8-5)。

圖 5-8-4 平行跑道離場

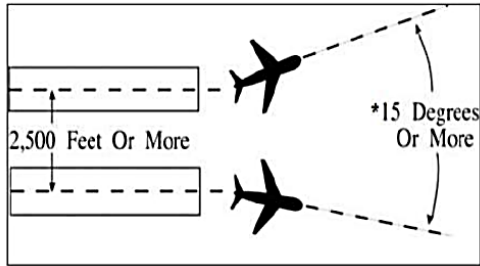


圖 5-8-5 平行直昇機離場航道離場

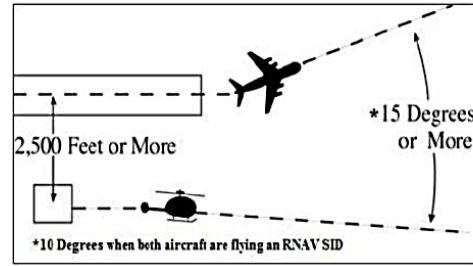


圖 2.18 平行跑道離場相關規定

5. 離場與到場

本項主要參考飛航管理程序第 5-8-4 節。離場與到場最低隔離標準之相關原文示於圖 2.19。其中之「最低隔離標準為 2 哩」顯示以距離作為在空機隔離標準之單位，而「此隔離由離場航空器開始起飛滾行算起」則顯示離場航空器開始使用跑道之時間點的適當定義方式。

5-8-4 離場與到場

終端：

除 5-8-5「平行跑道之離場與到場」之規定外，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。

註 -

①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。

②考慮跑道表面情況之影響，像冰、雪及降水都會影響航空器之操作特性。此種情況將影響駕駛員之操作，而影響起飛滾行之時效。

圖 2.19 離場與到場最低隔離標準

6. 平行跑道之離場與到場

本項主要參考飛航管理程序第 5-8-5 節。此處之主要內容在說明平行跑道之離場與到場相關規定，如圖 2.20 所示。而文中所指之「同時實施離到場」即為不要求兩架航空器使用跑道之時間之隔離，亦即容許時間重疊。適用條件則節錄於圖 2.21~圖 2.23。

5-8-5 平行跑道之離場與到場

終端：

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，且符合下列之一種條件，可准許兩航空器同時實施離到場：

圖 2.20 平行跑道之離場與到場相關規定(a)

- a. 當平行跑道頭互相齊平時，平行跑道之中心線間隔至少 760 公尺/2,500 呎以上。
(見圖 5-8-6 及 5-8-7)。

圖 5-8-6 平行跑道跑道頭齊平

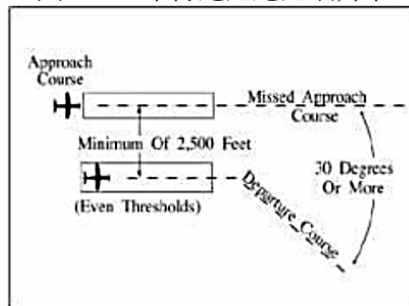


圖 5-8-7 平行跑道跑道頭齊平

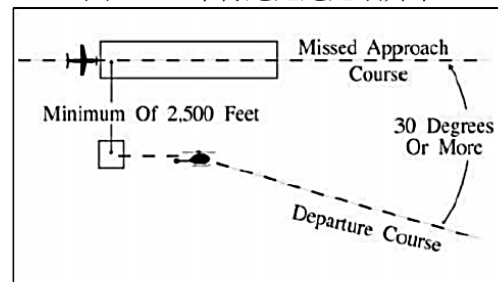


圖 2.21 平行跑道之離場與到場相關規定(b)

- b. 當平行跑道之跑道頭並不齊平且到場航空器自一較近之跑道進場：
1. 平行跑道之中心線應至少有 305 公尺/1,000 呎之距離，當平行跑道中心線距離少於 760 公尺/2,500 呎時，兩中心線之距離每少 30 公尺/100 呎，則兩落地跑道頭至少應相差 150 公尺/500 呎。(見圖 5-8-8 及 5-8-9)。
 2. 航空器誤失進場需運用機尾亂流隔離時，應運用 3-9-7「同跑道之隔離」或 3-9-9「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。

圖 5-8-8 平行跑道跑道頭非齊平

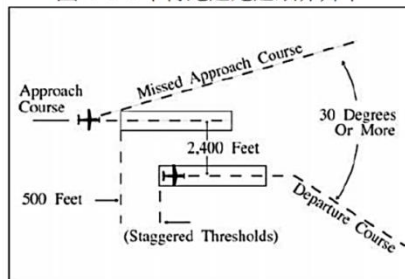


圖 5-8-9 平行跑道跑道頭非齊平

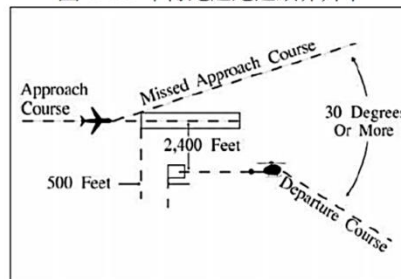


圖 2.22 平行跑道之離場與到場相關規定(c)

- c. 當平行跑道之跑道頭並不齊平且到場航空器自一較遠之跑道進場時：平行跑道之中心線間隔超過 760 公尺/2,500 呎，兩落地跑道頭每差 150 公尺/500 呎，跑道中心線之間距應增加 30 公尺/100 呎。(見圖 5-8-10)。

圖 5-8-10 平行跑道跑道頭非齊平

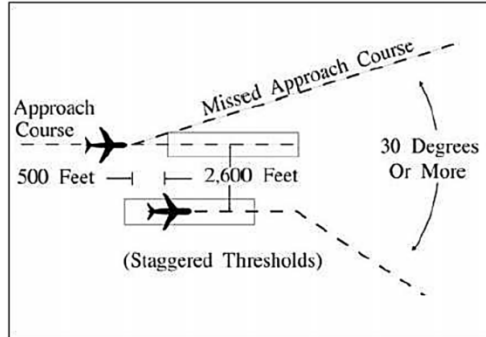


圖 2.23 平行跑道之離場與到場相關規定(d)

7. 分歧航道之最低標準

本項主要參考飛航管理程序第 6-2-1 節。本項規定之原文計有(a)、(b)及(c)等 3 項，分別節錄於圖 2.24~圖 2.26。其中圖 2.24 之(a)項說明前後自同一跑道起飛之航空器之間，在該規定之狀況下應「採 1 分鐘隔離」、「採 2 分鐘隔離」或「採 3 哩隔離」，此均為以時間長度或空間距離作為隔離標準之單位。

6-2-1 分歧航道之最低標準

航空器自同一或鄰近機場起飛後其航道間有 45 度以上之分歧角時，可使用下列最低標準之一：

a. 當航空器飛航於分歧航道：

1. 起飛後可立即飛航於分歧航道時，採 1 分鐘隔離。(見圖 6-2-1)
2. 起飛後 5 分鐘內可飛航於分歧航道時，採 2 分鐘隔離。(見圖 6-2-2)

圖 6-2-1 分歧航道之最低標準

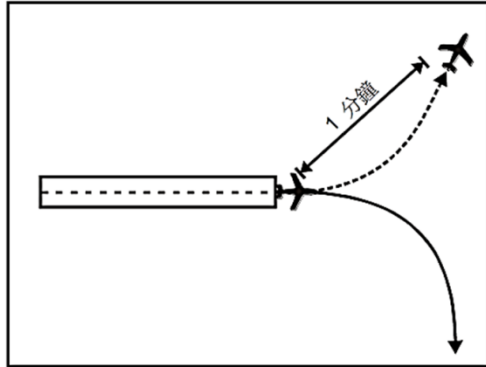
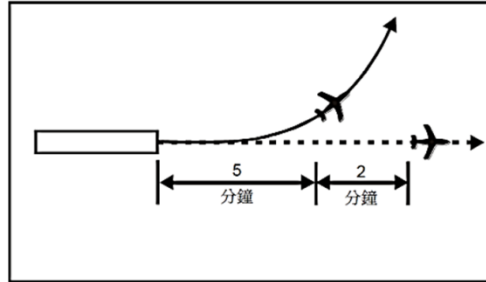


圖 6-2-2 分歧航道之最低標準



3. 起飛後 13 哩/航行距離內可飛航於分歧航道時，採 3 哩隔離。(見圖 6-2-3)

圖 6-2-3 分歧航道之最低標準

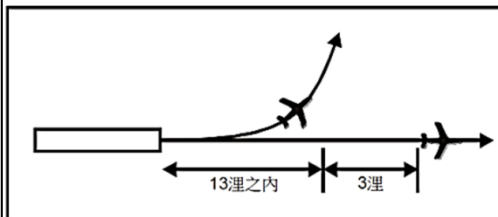


圖 6-2-4 分歧航道之最低標準

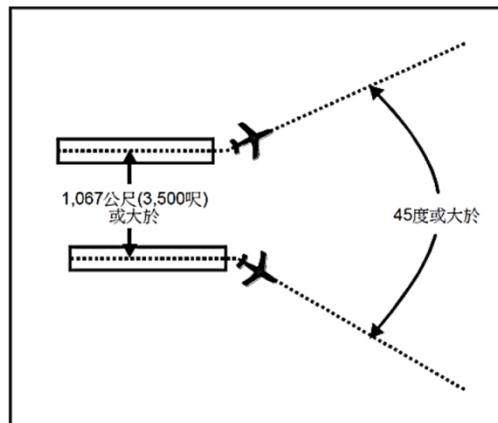


圖 2.24 分歧航道之最低標準相關規定(a)

自不同跑道起飛時，若符合一定標準，則可「准許同時起飛」，如圖 2.25 所節錄。此處係以時間作為兩航空器之間隔離之單位。

b. 終端：航空器自不同跑道同方向起飛時，其跑道中心線平行且相距 1,067 公尺/3,500 呎以上—如航空器起飛後可立即飛航於分歧航道時，准許同時起飛。(見圖 6-2-4)

圖 2.25 分歧航道之最低標準相關規定(b)

我國目前並無圖 2.26 所節錄之分歧跑道或相交跑道，但其相關規定顯示在符合規定之條件下，分別自兩跑道起飛之航空器，其間之隔離為「准許同時起飛」，亦即以時間作為兩航空器之間隔離之單位。

c. 終端：航空器自分歧跑道起飛後，可立即飛航於分歧航道：（見圖 6-2-5）

1. 不相交之跑道：如符合以下任一條件時，准許同時起飛。

(a) 兩條跑道分歧 30 度或以上。

(b) 兩條跑道之跑道中心線在起飛點的距離至少為：

(1) 如兩條跑道之分歧角為 15 至 29 度，距離為 610 公尺／2,000 呎。

(2) 如兩條跑道之分歧角小於 15 度時，距離為 1,067 公尺／3,500 呎。

2. 相交之跑道：如前一航空器已通過跑道之交叉點並符合以下任一條件時，准許同時起飛。

(a) 兩跑道分歧角為 30 度或以上。（見圖 6-2-6）

(b) 如前一航空器開始轉彎，且跑道之分歧角為 15 至 29 度，（見圖 6-2-7）

圖 6-2-7 分歧航道之最低標準

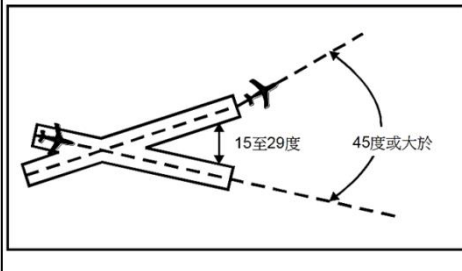


圖 6-2-5 分歧航道之最低標準

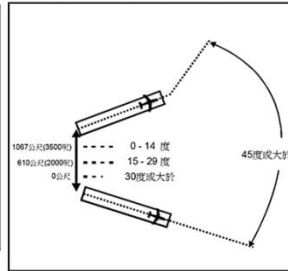


圖 6-2-6 分歧航道之最低標準

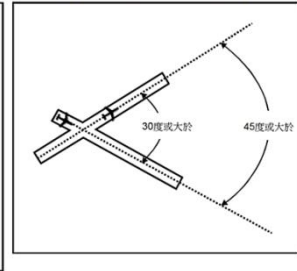


圖 2.26 分歧航道之最低標準相關規定(c)

8. 時間間隔最低標準

本項主要參考飛航管理程序第 6-7-5 節。圖 2.27 節錄有關時間間隔之最低標準相關規定，其中顯示前後航空器之間之時間係以時間為單位、在不同情境下需要設定不同之間隔時間，而且在必要時加大時間間隔係由相關人員自行判斷，並無硬性而規格化之參數值。

6-7-5 時間間隔最低標準

在進場航空器間使用 2 分鐘或 5 哩雷達間隔(除機尾亂流隔離所需外)為最低標準並應考慮下列情況，在必要時，將間隔時間加大：

- 相關航空器間之相關速度。
- 當時天氣情況。
- 進場點與機場間之距離。
- 使用之進場種類。

圖 2.27 時間間隔最低標準相關規定

9. 分析歸納

觀察上述各項規則，可作以下歸納，作為容量評析參數設計之重要考

量。首先在航空器分類方面，資料顯示在不同狀況下有不同之分類方式。例如，第 2-1-20 節規定機尾亂流最低隔離標準應依航空器之最大核定起飛重量分為超重型、重型、中型及輕型等 4 類，各有其定義如圖 2.6 所示。同時，亦規定飛航服務主管機關可基於形成機尾亂流及阻力之特性，規範應用機尾亂流隔離之群組，依最大核定起飛重量、機翼特性及速度將航空器分類為 A 組至 G 組計 7 類，如圖 2. 所示。由此可觀察到航空器之分類實無單一之標準分類方式，同時亦可觀察到同一架航空器為不同目的，確有可能分到不同之類別。

在隔離標準方面，通常在空機以距離為隔離之單位，而在地面則以時間為隔離之單位，不論是同跑道或不同跑道均是如此。同時在某些狀況下，隔離之最低量亦有彈性而非硬性之規定。而規範隔離之考慮因素，則為前後航空器之起飛降落組合、前後航空器之分類組合，以及同跑道或不同跑道。由此可以觀察到不論機場之跑道數量，規範隔離之考慮因素均為前後航空器之起飛降落組合、前後航空器之分類組合、以及同跑道或不同跑道。而雖然不同組合之下規範所要求之隔離標準不同，但其間之隔離均是以時間為單位。

在使用跑道時間長度方面，則在此文件中並未有航空器使用跑道時間之最小值或最大值之規範。

第三章 容量評析整體架構

3.1 基本概念

機場之容量基本上取決於空側之容量^[23]，而機場之空側容量大部分又由跑道容量控制之。本計畫之主要目的在開發一套技術，以應用模擬方法而建立國際機場空側容量評析之方法。其中系統模擬之核心技術將以本所過往研究成果為基礎，說明回顧詳如第 2.1 節及第 2.3 節。

本系統所模擬之實體空間範圍為機場空側，包含跑道、滑行道以及停機位。在模擬過程中，航空器之出現及消失之位置可有數種組合，如表 3-1 所示。

表 3-1 航空器於模擬系統中出現及消失之位置

	出現	消失	說明
1	跑道	停機位	航空器降落之後進入停機位，至模擬結束均未離場
2	停機位	跑道	航空器在模擬開始前即已存在該機場中，於模擬過程中離場
3	停機位	停機位	航空器在模擬開始前即已存在該機場中，於模擬過程中執行拖機，至模擬結束均未離場
4	跑道	跑道	航空器降落之後進入停機位，之後再離場

整個模擬系統之基本概念，是由使用者以設定參數之方式描述其所分析之機場以及情境，再由軟體依此進行模擬，並將模擬之演算結果整理予使用者使用。在模擬系統中，機場空側之跑道、滑行道及停機位等 3 項主要設施均各建有專責模組，依既定之邏輯以及使用者所設定之參數進行模擬。至於三者間之彼此關聯性則由模擬系統在協調 3 個模組的過程中達成之。茲舉一簡例以說明之。考慮一架航空器自跑道降落之後，經滑行道而運行至停機位之過程。在模擬系統中，在時間推進的過程中，該航空器可使用跑道以及脫離跑道之時間點由跑道模組依其既定之邏輯以及使用者所設定之參數模擬之。降落後脫離跑道之同時，該航空器必須以不與其他

滑行中航空器相衝突之狀態進入滑行道，因此即須由跑道模組與滑行道模組依既定之邏輯以及使用者所設定之參數，在模擬系統的協調下由此二模組共同決定一個脫離跑道之時間點。而這協調之過程中，即會表現跑道出口之配置等跑道與滑行道系統彼此關聯之現象。之後該航空器在滑行道中運行之過程即由滑行道模組單獨為之，與跑道模組無關。待抵達其停機位之後，若可立即進入該停機位，則模擬系統將該航空器交予停機位模組，依既定之邏輯以及使用者所設定之參數，模擬該航空器於該停機位所使用之時間長度；設若在模擬時，該航空器抵達其停機位之時，該停機位尚有其他航空器(暫稱為 X 航空器)使用中，則模擬系統將主導協調滑行道模組與停機位模組，依既定之邏輯以及使用者所設定之參數，共同決定一個可進入停機位之時間，以及該航空器可在滑行道系統中，不會妨礙 X 航空器後推離去之等待位置。在這協調之過程中，即會表現出停機位擁擠對滑行道系統之影響，以及停機位與滑行道之配置方式對滑行道系統運作之影響。

本章將以數個小節說明所開發技術之整體架構。模擬技術是一套邏輯與規則，具有相當之複雜性，不可能以人工計算之方式進行之。因此不論目的是要進行測試，或是要提供給真實的使用者在真實世界中使用，這些邏輯與規則必須實作成為軟體，才有可能達到目的。然而對不同之目的，所開發實作之軟體並不相同。本計畫所開發者為離型軟體，其目的偏重於測試。有關軟體之說明將於後續以專章說明之，本章僅說明容量評析方法之整體架構。

3.2 與第 1 年期之差異

本計畫以過往所開發之機場空側模擬技術為基礎，開發機場空側容量評析方法。其技術發展歷程之架構示如圖 3.1。圖中最左側之單元為過往成果已完成開發之機場空側航空器活動模擬技術，為我國首次擁有、具主主性之此類模擬技術。其後為與空側容量相關之主要核心因素之識別，為本計畫第一年期之最重要成果。而本計畫在期中階段之前最重要之成果為以前期所識別之核心因素為基礎而設計之具體參數項，並將這些參數項組織成為具體之參數架構。本年期之研究，於期中階段確認參數項以及參數架構之正確性後，即以此為基礎開發軟體，完成機場空側模擬技術之開發。

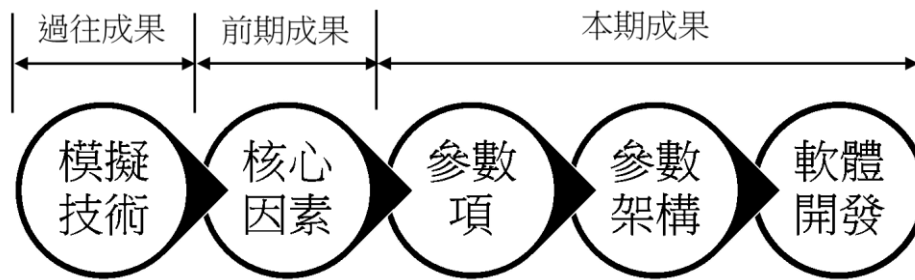


圖 3.1 機場空側容量評析方法發展歷程架構圖

雖然本計畫第 1 年期所識別之空側容量主要核心因素為第 2 年期之重要基礎，但其餘部分並無完整之連貫性。主要原因在於前後 2 年期研究之基本假設有所不同，因此第 1 年期研究無法完整應用於第 2 年期之研究。其中第 1 年期研究之主要基本假設為下列 3 項：

(1) 穩定態

本計畫第 1 年期依文獻〔37〕所指出，容量為機場設施之獨立基本性質的觀點，設計方法以分析機場、設施之容量。

(2) 容量以小時平均架次為單位

本計畫第 1 年期依文獻〔37,38〕所提出之觀點，以平均每小時可服務之架次為容量之單位。

(3) 停機位分組使用。

本計畫第 1 年期依文獻〔38〕所提出之方法，將機場中之所有停機位視為分組使用，同一停機位不可同時屬於多個分組，亦不可不屬於任一組。而每一架需要使用停機位之航空器則均僅可使用一組，但在該組中允許使用其中任一席停機位。

其中第(1)及第(3)項之基本假設與本年期研究之預設工項並不相容。為此，本年期研究於 3 月工作會議討論後，確認變更研究基本假設。

具體來說，前期之專案目標在開發技術以對跑道、滑行道及停機位分別評析其容量。穩定態假設之優點在可明確聚焦於各設施容量之分析；然亦有無法考慮尖離峰等時間因素，且與實務人員溝通不易之缺點。而本期

之目標則在跑道容量方面，變更為評估空側場面變動下之航機延滯影響，以及在不同延滯下之跑道容量變化。

至於第 1 年期停機位分組之基本假設，原作法之優點為貼近容量基本性質，直接探討停機位之服務能力、避免管理策略之干擾、避免機場其他設施之影響。缺點是實務人員不易理解，溝通不易。而本年期則變更為同一停機位可同時屬於多於一類。原因是要論及停機位之周轉時間。以系統模擬技術為基礎，航空器可使用多組，並可各自定義優先順序，某組全滿時，改由下一優先組選用。

3.3 參數架構

參數之目的在供使用者描述其擬分析之機場空側狀況以及情境。因此本計畫設計一組參數以達到此目的。參數之架構可分為描述航空器、描述分析標的之機場以及描述分析之情境設定 3 類，其中描述機場之參數又可分為跑道參數、停機位參數以及滑行道參數 3 組，分別對應到跑道、停機位、滑行道等 3 類納入模擬系統之主要機場設施，而各組之下又有不同之參數項。其整理如表 3-2 所示。

表 3-2 參數架構表

	參數類別			說明
1	航空器行程			所有航空器之行程，包括時間、起終點以及各行程之所屬類別
2	機場	跑道	使用時間	航空器起飛或降落時使用跑道之時間長度
			間隔時間	航空器於相同或不同跑道起飛或降落時，前後航空器之間的間隔時間
		停機位	機位分類	停機位本身之類別歸屬
			機位參數	各類航空器使用各類停機位之偏好、時間長度等
		滑行道	場面布置	機場空側之跑道、滑行道、停機位等設施之相對位置以及航空器之可能移動方式
			滑行速率	各類航空器於滑行時之速率
			後推時間	各類航空器於後推之後，執行卸耳機線、卸拖車等操作所使用之時間長度
			轉向參數	各類航空器於滑行過程中轉向時所額外耗費之時間長度
			塞車權重	各類航空器因延滯而損失之時間，與正常滑行所耗費之時間，二者之相對重要性
3	情境			進行模擬分析時之目標情境

所有參數之架構可示意如圖 3.2。其中航空器參數位於最基礎之位置，而描述標的機場之參數又可分為跑道、停機位及滑行道 3 項，各以數組不同的參數描述之。最後則為描述使用者所欲分析之標的情境之參數。各項參數分別在後續以專屬小節說明之。

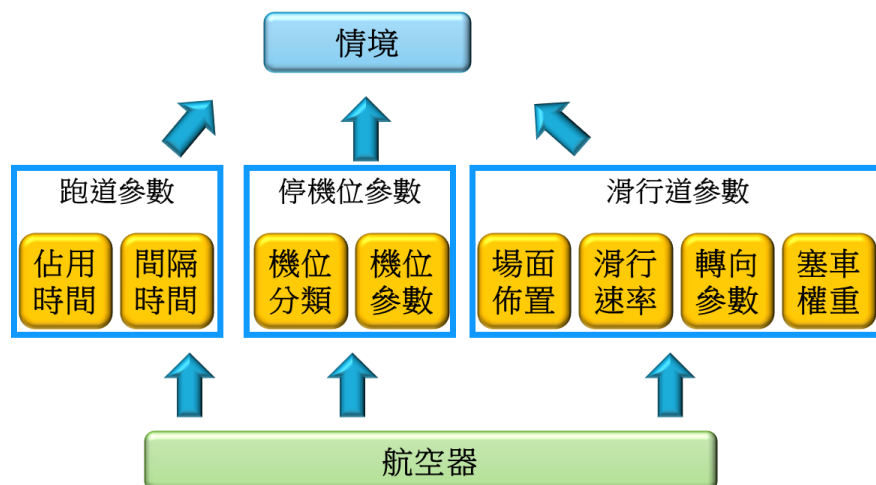


圖 3.2 容量評析參數架構圖

為達到最大的彈性與適用範圍，本架構之設計均儘量提供使用者依其

需求而自由設定參數之數值，非必要儘量不予限縮，更不予固定。如此方能允許未來之使用者擁有高度自由度來構想其所擬分析之對象，再用參數來描述之。

3.4 分析之空間範圍

模擬航空器出現至消失之間的活動。分析範圍為機場空側。因此航空器出現於系統中，以及自系統中消失之位置，均在機場空側。本系統之設計，航空器之出現與消失之位置必為跑道或停機位，亦即不會在滑行過程中突然消失。航空器出現與消失位置之可能組合及說明如表 3-1 所示。同時，航空器起飛脫離跑道後，以及在降落時飛越跑道頭前之狀況，均未納入分析架構，亦未納入參數中。

3.5 演算流程概述

如前所簡述，系統之使用者利用參數來描述所擬分析之機場及其情境。在模擬之過程中，機場場面上很可能有多數航空器同時活動。而模擬系統則依事件模擬之原則，模擬這些航空器在節點與節線所構成之網路中進入使用節點或節線，與離開釋放節點或節線之過程，據以模擬航空器之移動。以下使用一個虛擬簡例說明之。圖 3.3 顯示了一小段滑行道及相對應之網路模型，而圖 3.4 則為其網路之部分。為了方便說明，圖 3.4 中將節點編為 A 至 F，共計有 6 個節點。再進一步假設於模擬之某階段中有一航空器沿該滑行道移動如圖 3.4 所示意。此時於相對應之網路模型中，該航空器即依序使用節點 A、釋放節點 A 同時使用 A-B 間之節線、釋放 A-B 間之節線同時使用節點 B 等等，如圖 3.4 中虛線所示。

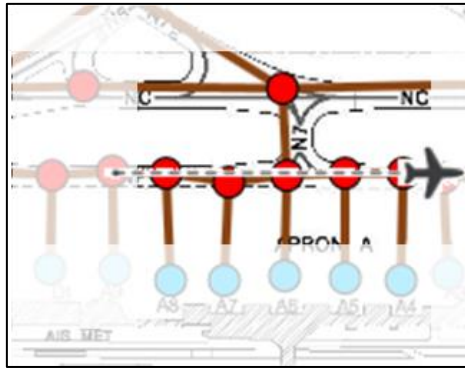


圖 3.3 滑行道部分圖示

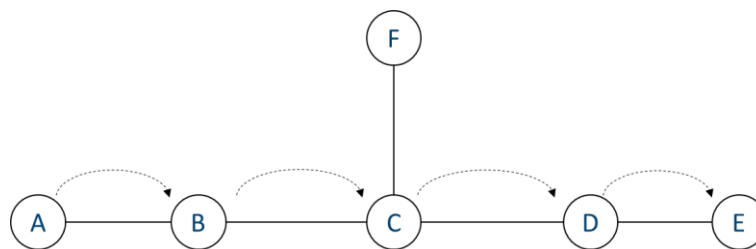


圖 3.4 航空器於網路中移動示意圖

如表 3-2 所說明，航空器之行程資訊為重要參數之一部分。行程資訊描述了航空器之預定起始時間、起點以及終點。而模擬系統即以此進行航空器由出現在系統中直至由系統中消失之過程的模擬。以下表 3-3 表 3-所示為一個虛擬簡例，其中之值，含機尾號等，均為虛擬值而非真實值。亦即，表中顯示之機尾號 B01 並不表示確實有此航空器存在，而是僅為說明方便而虛擬之編號。表 3-3 所示簡例之流程圖示於圖 3.5。

表 3-3 演算流程簡例(一)

	航空器行程			運算動作	系統時間	說明
	機尾號	起點	終點			
1	B01	跑道	A1 停機位	航空器進入模擬系統		
				依設定選擇跑道		
				依參數值決定與使用相同或不同跑道之前機在跑道之間隔時間		
				決定開始使用跑道之時間點		
				依參數值決定降落時使用跑道之時間長度	T_1	
				依運行距離及場面延滯狀況決定滑行路徑		
				進入事件模擬模組	T_2	與場面上其他航空器之相互等待避讓等於此處執行
				經滑行進入停機位並紀錄時間點		

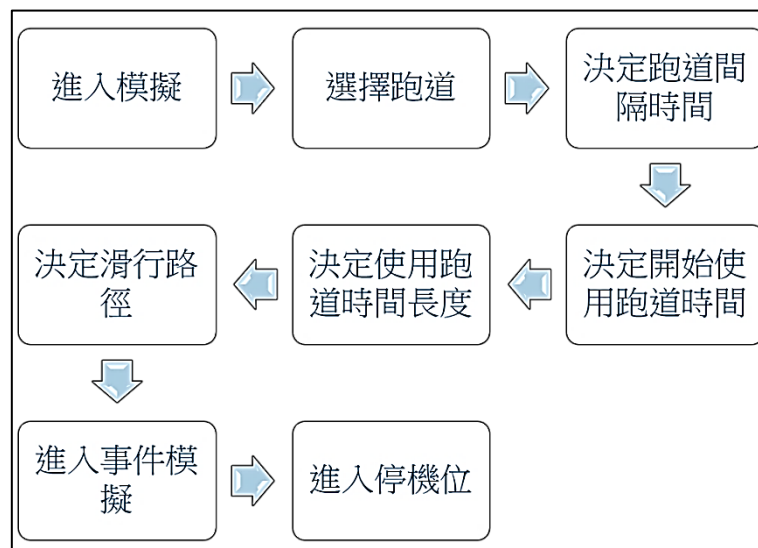


圖 3.5 演算流程簡例(一)

在模擬過程中，每一架航空器可能有多於 1 趟之行程，而是可能由 2 趟或多趟行程，常見樣態如表 3-4 所示。

表 3-4 航空器行程主要態樣

	行程數量	說明
1	1	降落後進停機位
2	1	後推後起飛
3	2	降落後進停機位，再後推後起飛
4	2	拖機進入停機位，再後推後起飛
5	2	降落後進停機位，再拖機到另一停機位
6	3	降落後進停機位，拖機到另一停機位，再後推後起飛
7	4	降落後進停機位，拖機到第 2 處停機位，再拖機到第 3 處停機位，再後推後起飛

當同一航空器在參數中具有多於一趟行程時，每一行程均在模擬過程中個別處理。例如，表 3-3 所示虛擬尾號 B01 航空器若有第 2 趟行程，其演算流程即可能如表 3-所示例，其流程圖示於圖 3.6。

表 3-5 演算流程簡例(二)

	航空器行程			運算動作	系統時間	說明
	機尾號	起點	終點			
2	B01	A1 停機位	跑道	依設定選擇跑道		
				依運行距離及場面延滯狀況決定滑行路徑		
				進入事件模擬模組	T_5	與場面上其他航空器之相互等待避讓等於此處執行
				航空器後推		
				於路徑之第 2 個節點停留(卸耳機線等後推程序時間)	T_4	
				經滑行進入跑道頭節點		
				依參數值決定與使用相同或不同跑道之前機在跑道之間隔時間		
				決定開始使用跑道之時間點		
				依參數值決定起飛時使用跑道之時間長度	T_6	
				完成起飛、脫離跑道並紀錄時間點		

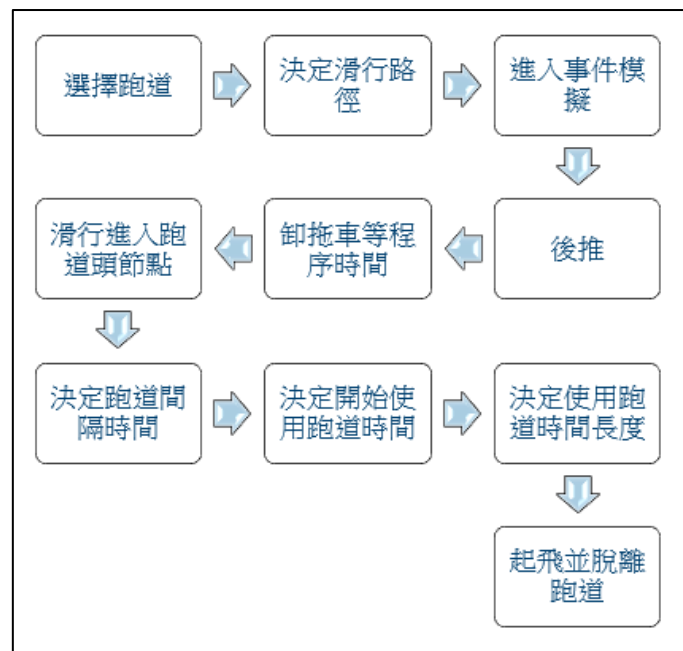


圖 3.6 演算流程簡例(二)

以表 3-3 與表 3-5 所示之簡例中，機尾號 B01 之航空器，其在模擬系統中存在之模擬時間始於進場，終於離場，其間經歷降落、滑行、地停、後推、滑行、及起飛。因此航空器 B01 在系統中所存在之時間 T 可表示如式(1)，而式中各變數則說明如表 3-6。

$$T = T_1 + T_2 + T_3 + T_4 + T_5 + T_6 \quad (1)$$

表 3-6 式(1)各項之定義

	變數	定義
1	T	在模擬系統中存在之總模擬時間
2	T_1	降落時使用跑道時間長度
3	T_2	降落後滑行之時間長度
4	T_3	使用停機位之時間長度
5	T_4	後推程序之時間長度
6	T_5	起飛前滑行之時間長度
7	T_6	起飛時使用跑道時間長度

3.6 應用流程

本系統之應用流程如圖 3.7 所示。使用者在進行分析之前，必須先釐清其分析之目的及情境。可能的情境例如機場滑行道全開或關閉某些滑行道、良好天候或不良天候等等。釐清目的及情境之後，再依其分析目的及情境，設定擬分析機場之空側配置，設定其場面布置資訊。其內容包括了跑道、滑行道及停機位之幾何配置資訊。本項資訊可重複使用，亦即除非場面有變動，否則僅設定 1 次即可多次使用。但若有停機位變更、滑行道關閉或其他變動，則需要配合調整之。

完成機場場面資訊之設定後，即需要設定表 3-所示之所有參數，包括跑道、停機位相關參數，以及滑行道參數中，場面布置以外之部分。完成參數設定之後，再設定航空器行程之清單。完成上述所有資訊之設定後，即可令系統開始執行模擬，待完成後再進行統計整理。

上述各類參數將於後續各以專章說明之，而本計畫所開發之離型軟體

則在其後亦以專章說明。

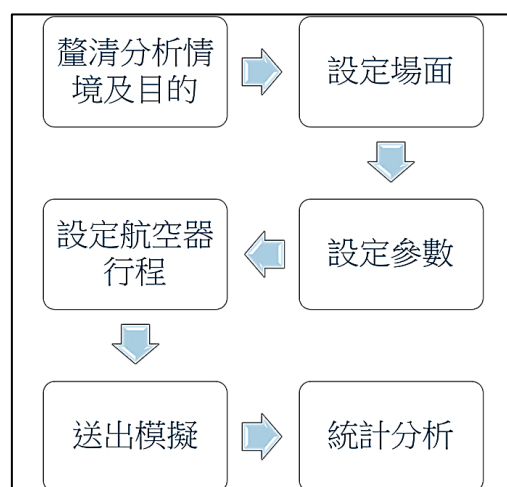


圖 3.7 模擬分析應用流程圖

第四章 跑道模擬方法

4.1 基本說明

跑道為機場中最重要的設施之一，主要供航空器起飛或降落之用。跑道之容量，可用其在單位時間內允許之起降次數(吞吐量)來衡量之。實務運轉時，在任一時間點僅可容許一架航空器在跑道上執行起飛或降落之操作。飛航管理程序^[36]允許某些狀況下航空器先行進跑道等待(line up and wait, LUAW)，因此確有可能出現同一時間有 2 架航空器實體進入跑道範圍之狀況，但仍不允許 2 架航空器同時執行起飛或降落之操作。而衡量跑道容量之單位，為單位時間(例如 1 小時)內可服務之最多之起飛降落架次數^[23]。

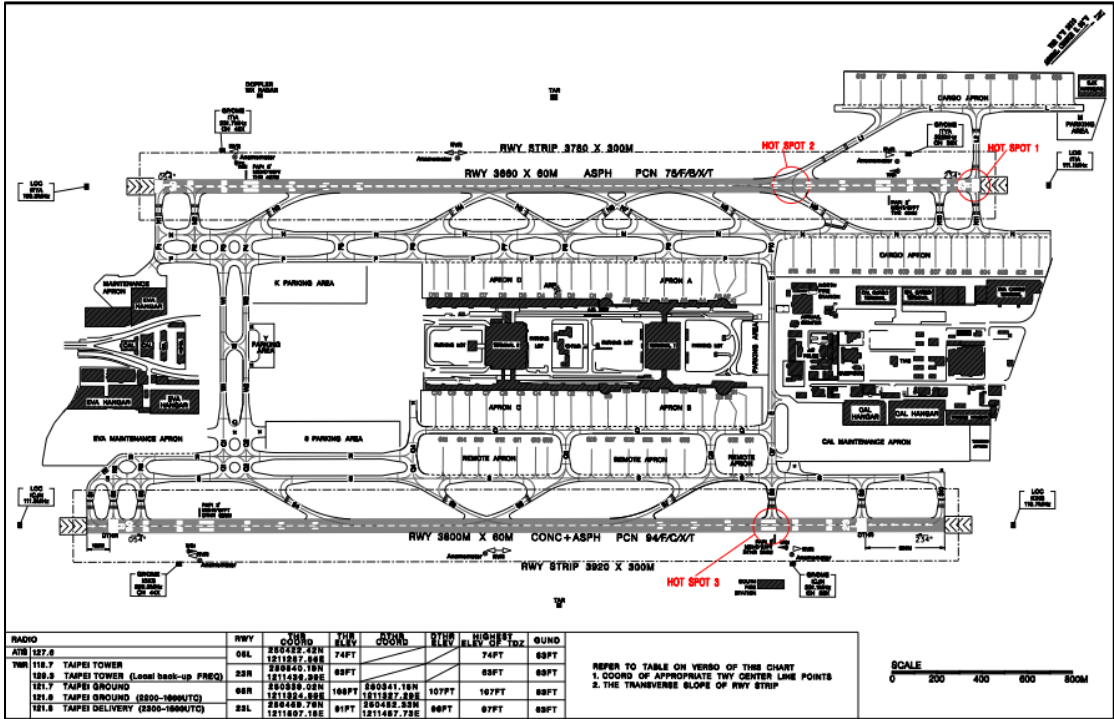
文獻〔37〕指出，影響跑道容量之最主要因素為跑道之運轉狀況、跑道之不良狀況以及天候因素，而進一步影響機場容量之主要因素則有空側設施之幾何布置方式、機尾亂流之考量、天候、起飛降落分離或混合等跑道運用模式、航空器於執行起飛或降落操作時使用跑道之時間長度、平行跑道之相互影響等，以及部分機場對跑道之可能的使用限制(例如大型航空器僅可使用兩條跑道其中之一條等)亦會帶來對機場容量之影響。此外，文獻〔39〕則認為空域對機場容量有所影響，而在空域之主要影響因素則有最後進場階段(Final Approach Segment)、緩衝時間(Buffer)、航點流量限制、起飛後轉向以及鄰近機場之影響。

4.2 桃園國際機場跑道

桃園國際機場為我國最主要之國際機場，目前配置有 2 條實體跑道。其布設方向大略為東北東-西南西向(真方位約為 49/229 度)。其中位在北側之跑道為 05L/23R，而位在南側之跑道則為 05R/23L。二條跑道之布設示如圖 4.1。

該機場 2 條跑道長度約略相同，位在北側之 05L/23R 跑道長度為 3660

公尺，而位在南側之 05R/23L 跑道則略長，為 3800 公尺。2 條實體跑道寬度均為 60 公尺，中心距約為 1500 公尺。跑道基本資料整理如表 4-1。



資料來源：〔40〕

圖 4.1 桃園國際機場場面圖

表 4-1 桃園國際機場跑道基本資料

	位置	名稱	真方位	長度(公尺)	寬度(公尺)
1	北側	05L	49.08	3,660	60
2		23R	229.08		
3	南側	05R	49.07	3,800	
4		23L	229.07		

資料來源：〔40〕

4.3 跑道使用及間隔時間長度

為了安全，跑道在任一時間均不允許多於一架航空器使用。使用與實體進入不同。依飛航管理程序^{〔36〕}第 3-9-5 節之規定，離場航空器在符合某些規定時，管制員得許可離場航空器在前機尚未完全脫離跑道之前，即先

行進跑道等待。例如，當有連續 2 架航空器擬在同一跑道先後起飛時，在前機離場開始滾行離開跑道頭之時，雖已開始加速但尚未離地之前，管制員即允許第 2 架航空器進入跑道頭等待。或者，1 架降落航空器在通過跑道頭之後，管制員即有可能不待其完全脫離跑道，即先許可後續之 1 架離場航空器進入跑道頭等待。但不論如何，進跑道等待之航空器在管制員尚未頒發起飛許可之前並不可開始滾行。因此當前機尚未脫離跑道，而後機已進跑道等待時，後機雖已實體進入跑道，但跑道仍由另一航空器所使用，此處於進行分析時並不視為該跑道同時由 2 架航空器使用。因此於模擬分析之過程中，不會有多於 1 架航空器同時使用同一跑道之狀況。

於飛航管理程序^[36]第 3-10-4 節對航空器使用跑道之規定如下：「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頭，除非在下列任一情況，或 3-10-10「限制空層之低空通過」的准許下，前一航空器已落地並脫離道；或前已離場航空器已通過使用跑道末端，或已開始轉彎(以下略)」，其原始內容可參見圖 2.14。此外該規章第 3-9-7 節亦規定「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離，須確保離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(見圖 3-9-1)；前一落地之航空器已脫離跑道(見圖 3-9-1)」。

依據上述各項規定之精神，以及本系統對使用跑道之界定，設計如下。對降落航空器，以越過跑道頭至脫離跑道之間為使用跑道時間，對起飛航空器則以開始滾行至起飛後通過使用跑道末端，或開始轉彎之間為使用跑道時間。而介於前後航空器的使用跑道時間之間的一段時間則界定為間隔時間。此定義整理於表 4-2。

表 4-2 跑道使用時間之界定定義

	起或降	開始	結束
1	起飛	開始滾行	起飛後通過使用跑道末端，或開始轉彎
2	降落	越過跑道頭	脫離跑道

茲舉一虛擬簡例說明跑道使用時間與跑道間隔時間之界定。虛擬假設在某機場觀察某一條跑道上之航空器活動狀況，在觀察期間共有 6 航次使

用該跑道，依序為 A(降落)、B(起飛)、C(降落)、D(降落)、E(起飛)、F(起飛)。則該 6 航次先後使用該跑道以及其間之間隔時間之界定如表 4-3 所示。例如，A 航空器之跑道使用時間起算點為該航空器越過跑道頭之時，而其結束點則定義為該航空器脫離跑道之時。而 A 與 B 兩航空器之間的跑道間隔時間，依定義則為 A 航空器脫離跑道起算，至 B 航空器開始滾行之間的這段時間。而 B 航空器開始滾行之時間點亦為 B 航空器跑道使用時間之起算點。其餘依此類推。

表 4-3 跑道使用時間之界定簡例

	航班	起或降	狀態	時間界定
1	A	降落	越過跑道頭	A 之跑道使用時間
			脫離跑道	
2	B	起飛	開始滾行	B 之跑道使用時間
			通過跑道末端	
3	C	降落	越過跑道頭	C 之跑道使用時間
			脫離跑道	
4	D	降落	越過跑道頭	D 之跑道使用時間
			脫離跑道	
4	E	起飛	開始滾行	E 之跑道使用時間
			通過跑道末端	
5	F	起飛	開始滾行	F 之跑道使用時間
			通過跑道末端	

如上所說明，表 4-3 所示之所有各航班之越過跑道頭、脫離跑道、開

始滾行等狀態發生之時間點，均來自對機場跑道之觀察與紀錄，因此航空器使用跑道之時間長度以及前後航空器之間的間隔時間的長度，均是來自統計自觀察與紀錄(或專業人員經長時間之觀察而累積經驗所估計之經驗值)，而非來自飛航管理程序^[36]或其他規章之規定。事實上規章並未規定航空器於起飛或降落之過程中，使用跑道時間長度之最小下限或最大上限。而前後航空器之間的間隔時間，其最小值會受到規章之限制，但最大值亦無規章之規定。例如，設若某虛擬機場僅服務上下午各一班航班，則其兩航班之間的跑道間隔時間將長達數小時之久。但若另一處虛擬機場極為繁忙，則前後兩航班之間的跑道間隔時間很可能常態性均在 5 分鐘以下。

於本系統中，跑道之使用時間以及間隔時間，均設計有對應之輸入參數。基於以上論述可以歸納，規章對於航空器在執行起飛或降落操作時，使用跑道的時間長度並無上限或下限之規定，因此相關參數值之設定亦與規章之規定無關，而是應來自觀察與紀錄，或專業人員經長時間之觀察而累積經驗所估計之經驗值。至於前後航空器之間的間隔時間長度亦是類似。雖然實務運轉時，管制員會依相關規章之規定引導航空器之活動，使得間隔時間受到規章相關規定之影響，但進行模擬分析時，本項參數值亦應來自觀察與紀錄，或專業人員經長時間之觀察而累積經驗所估計之經驗值。而各不同機場在不同情境下觀察時，這些值均可能不同，而模擬分析之使用者亦有可能有其自訂之目標情境，與實際觀察之情境亦可能不同。有關參數之說明，將於本章後續以專節說明之。

4.4 單一跑道

如前所述，航空器於起飛或降落之過程中均將使用跑道一段時間，而前後使用跑道之航空器的跑道使用時間之間，亦有間隔時間。本節說明僅使用單一跑道時之狀況。當機場僅使用單一跑道進行起飛及降落活動時，其時間之關係如圖 4.2 所示。

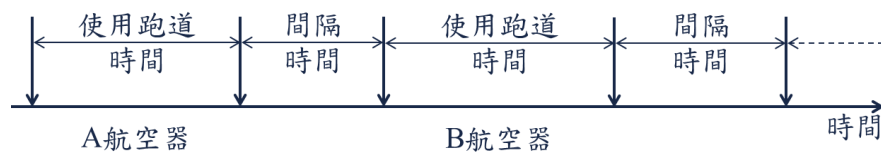


圖 4.2 單跑道使用跑道時間及間隔時間關係圖

規章對航空器起飛降落時使用跑道時間之長度並無規定。而間隔時間則與航管實務之隔離時間有關。兩航空器使用同跑道時，依飛航管理程序^[36]第 3-9-7 節之規定為：「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；前一落地之航空器已脫離跑道。」，其原文及圖示可參見圖 2.10。而當運用機尾亂流程序時，飛航管理程序^[36]對使用同跑道起飛及降落之前後航空器之間亦有最小隔離之規定，可參見圖 2.11~圖 2.13。

使用本系統時，使用者應依其既定之分析情境與目的而設定跑道間隔時間。最基本之狀況是依實務統計資料，或專業人員經長時間之觀察而累積經驗所估計之經驗值而設定之。例如，假設使用者所擬分析之情境為良好天氣之狀況，則可利用在良好天氣狀態下所紀錄之真實數據，統計出各航空器於起飛或降落時使用跑道之時間長度，以及前後航空器之間的間隔時間長度，以此設定分析時之參數。又如，假設使用者所擬分析之情境為不良天氣之狀況，則可利用在不良天氣狀態下所紀錄之真實數據，統計出各航空器於起飛或降落時使用跑道之時間長度，以及前後航空器之間的間隔時間長度，以此設定分析時之跑道使用以及間隔時間參數。

若在統計上述真實數據紀錄之過程中發現使用該機場之航空器可區分為不同之「族群」，則可先依所觀察到之現象而定義航空器之分類，再對各類航空器做不同之參數設定即可。例如，某機場可能在統計其真實數據紀錄時，發現某公司 A 之航空器與其化公司之航空器使用跑道時間長度之分布有差異：公司 A 之航空器於進場時，其使用跑道時間多介於 60 秒至 80 秒之間，而其他所有公司之航空器於進場時，其使用跑道時間則多介於 50 秒至 70 秒之間。此時即可將公司 A 之航空器歸於一類、將其他所有公司之航空器歸於另一類，再對此 2 類航空器依上述觀察統計之結果個別設定其使用跑道時間長度之範圍。若所分析之機場缺乏明確而完整之真實數

據紀錄，則可使用專業人員所判斷之經驗值。在前後航空器之間的間隔時間之參數設定方面亦以類似方式為之。

在另一方面，倘若使用者擬利用模擬分析之方法瞭解與現況不同之假設情境，則應以其所設定之情境來設定參數數值。例如，若使用者欲瞭解跑道間隔時間長度縮短 10% 之可能影響，則可先依上述過程由真實數據紀錄統計或經驗值得到其跑道間隔時間長度，之後再將該跑道間隔時間減少 10% 作為參數數值。又如，若使用者欲瞭解跑道使用時間之長度增加 15% 之可能影響，則可將由真實數據紀錄統計或經驗值得到之跑道使用時間長度增加 15% 作為參數數值。

由以上論述可發現，跑道使用時間以及間隔時間參數之設定，應配合使用者所擬分析之情境而設定之。相關規章對於航空器起飛或降落的過程中使用跑道的時間長度並無最短或最長時間之規定，但卻有一些規定將對於前後航空器之最小間隔時間有所影響，其最主要之著眼點在維持飛航安全，亦即若允許之最小間隔時間過小，則將有損及飛安之顧慮。然而在電腦中執行模擬，不論參數如何設定，均與飛安並無任何關聯。反之，模擬系統為進行各種分析之利器，對有可能發生，以及嘗試性之不可能情境均是如此。正因無涉飛安，所以使用者可用以進行不可能在真實世界中測試之大膽、前瞻情境分析。例如，倘若使用者為了分析某種新導航技術所可能帶來之影響，可設定比規章要求更低之跑道間隔時間，用以分析該項新技術之可能效益。因此，本模擬系統之設計，係允許使用者設定任何跑道使用及跑間隔時間之參數值，而不受規章規定之限制。

至於參數設定之操作則將於後續詳細說明之。

4.5 多跑道

飛航管理程序^[36]對多跑道之狀況有完整而複雜之規定。本節將說明本系統如何以參數設定之方式反映這些規定。於飛航管理程序第 5-8-3 節規定自平行跑道起飛航道間以同方向起飛時，若平行跑道之中心線之間有 760 公尺或更大距離之隔離，且起飛後航道立刻有至少 15 度之分歧角，則可准許同時起飛。於使用本系統時，若所分析之機場並無中心線之間有 760

公尺或更大距離隔離之平行跑道，則飛航管理程序之本項規定與該機場無關。反之，若所分析之機場存有中心線之間有 760 公尺或更大距離隔離之平行跑道，則使用者可檢視分析時所使用之所有航空器行程(參閱表 3-2)，找出其中起飛後航道立刻有至少 15 度之分歧角之航班行程，並將這些航班設定於不同分類，再設定這些分類可在不同跑道上同時起飛。

茲以一虛擬簡例說明之。假設所擬分析之機場有 X 與 Y 兩條跑道，其中心線間之距離超過 760 公尺。再假設於其航空器之行程數據中，有 A、B 兩趟離場航班行程，與 C、D 兩趟離場航班行程，其起飛後航道立刻有至少 15 度之分歧角；亦即 A 航班行程與 C、D 航班行程，其起飛後航道立刻有至少 15 度之分歧角，而 B 航班行程與 C、D 航班行程，其起飛後航道亦立刻有至少 15 度之分歧角。此時可利用本系統可自由定義航空器分類，以及每一航空器之各趟行程可歸於不同類別之設計，將 A、B 定義為類別 α ，並將 C、D 定義為類別 β ，再定義若 α 類與 β 類之航空器在不同跑道起飛時，其間可不必要維持時間間隔。有關參數之進一步說明將在本章後續以專節說明之。

若航空器自不同跑道同方向起飛，而跑道中心線平行且相距達到 1,067 公尺或更大，且航空器起飛後可立即飛航於分歧角達到 45 度或更大之航道時，則可同時起飛。於本系統應用之方式與前述類似，不再重複贅述。

機尾亂流亦為飛航管理程序^[36]所規範重要考慮因素之一。依該文件之規定，當運用 2-1-20a.項之機尾亂流程序時，若平行跑道的中心間距未達 760 公尺則應採用之最小隔離為：重型航空器在超重型航空器之後離場時，最小隔離為 2 分鐘、輕型航空器或中型航空器在超重型航空器之後離場時，最小隔離時間為 3 分鐘、輕型航空器或中型航空器在重型航空器之後離場時，最小隔離時間為 2 分鐘、輕型航空器在中型航空器之後離場時，最小隔離時間為 2 分鐘。

依此規定，若模擬分析時所設定之情境不運用機尾亂流程序，則這些規定與模擬分析無關。反之，若模擬分析時所設定之情境有運用機尾亂流程序，則可以此標準作航空器分類^[36]：最大核定起飛重量在 7,000 公斤或以下之所有航空器設定為輕型航空器、最大核定起飛重量介於 7,000 公斤與 136,000 公斤之間的所有最大核定起飛重量設定為中型航空器、最大核

定起飛重量達到或超過 136,000 公斤之所有航空器設定為重型航空器、而若屬國際民航組織 8643 號文件所列之超重型航空器(例如 Airbus 之 A380 型航空器)則設定為超重型航空器。

由於本系統可自由定義航空器分類，而且每一航空器之各趟行程可歸於不同類別，因此若有航空器為不同目的而同時歸屬於另一類別亦無礙本項航空器分類之完成。以下以一虛擬簡例說明本系統之設計方式。此虛擬簡例假設相關航空器已依前述方式完成分類。假設所擬分析之機場有 X 與 Y 兩條跑道，其中心線間之距離不足 760 公尺，而所擬分析之情境有運用機尾亂流程序。此時即可設定當屬於「重型航空器」類別之航空器於其中一條跑道離場，而其前機使用另一條跑道且屬於「超重型航空器」類別時，前後機之最小間隔時間設定為 2 分鐘。同理，屬於「輕型航空器」類別之航空器於其中一條跑道離場，而其前機使用另一條跑道且屬於「超重型航空器」類別時，前後機之最小間隔時間設定為 3 分鐘；屬於「中型航空器」類別之航空器於其中一條跑道離場，而其前機使用另一條跑道且屬於「超重型航空器」類別時，前後機之最小間隔時間設定為 3 分鐘；屬於「輕型航空器」類別之航空器於其中一條跑道離場，而其前機使用另一條跑道且屬於「重型航空器」類別時，前後機之最小間隔時間設定為 2 分鐘；屬於「中型航空器」類別之航空器於其中一條跑道離場，而其前機使用另一條跑道且屬於「重型航空器」類別時，前後機之最小間隔時間設定為 2 分鐘；屬於「輕型航空器」類別之航空器於其中一條跑道離場，而其前機使用另一條跑道且屬於「中型航空器」類別時，前後機之最小間隔時間設定為 2 分鐘。

上述虛擬簡例係假設使用者欲使用飛航管理程序^[37]所規範之各種隔離標準。在真實世界中飛航首重安全，而安全亦為該程序設定 2 分鐘、3 分鐘等標準之重要考量。然而模擬分析不論如何進行均無礙飛航安全。設若今使用者在評估某項新科技時，欲瞭解若新科技可將各種機尾亂流所需要之相關隔離時間縮短 10%所可能帶來之影響。這種探討當然不可能逕自於真實世界中試施行，但利用本系統則可將前述之 2 分鐘改設定為 $2 \times 0.9 = 1.8$ 分鐘、將 3 分鐘改設定為 $3 \times 0.9 = 2.7$ 分鐘，再進行模擬分析即可觀察其可能之影響。反之，若使用者今欲瞭解倘若將真實之規定的時隔延長 10%以

達到更高之安全性，對運轉將可能帶來之影響，則可將前述之 2 分鐘改設定為 $2 \times 1.1 = 2.2$ 分鐘、將 3 分鐘改設定為 $3 \times 1.1 = 3.3$ 分鐘，再進行模擬分析即可觀察其可能之影響。基於以上之虛擬簡例，可發現雖然飛航管理程序^[37]對各種時隔之長度有具體而嚴格之規定，但於本模擬系統實不可依此而於軟體中固定其值，否則將使得軟體無法進行上述新科技或更高安全性情境之探討分析。

依飛航管理程序^[36]之規定，運用 2-1-20a.項之機尾亂流類別以及當航空器於內移著陸區跑道操作，而且預計兩架航空器之飛行路徑將交錯時，則應採用另一組隔離標準，例如當屬於「重型航空器」類別之航空器於其中一條跑道離場，而其前機使用另一條跑道到場且屬於「超重型航空器」類別時，前後機之最小間隔時間設定為 2 分鐘(其餘規定項目之隔離標準省略)。若所欲模擬分析之情境並非飛航管理程序 2-1-20a.項之機尾亂流類別以及當航空器於內移著陸區跑道操作，而且預計兩架航空器之飛行路徑將交錯狀況，則於設定參數時可不必考慮本因素。反之，若使用者認為其模擬分析之目的需要納入本項考慮，則以利用與前述類似之方式，以設定參數之方式達到目的。試以一虛擬簡例說明之。假設於其航空器之行程數據中，有 A、B 兩趟離場航班行程，其航空器屬於「重型航空器」類別，另有 C、D 兩趟離場航班行程，其航空器屬於「超重型航空器」類別，則可將 A、B 定義為類別 α ，並將 C、D 定義為類別 β ，再定義若 α 類與 β 類之航空器在不同跑道起飛時，其間可不必有時間間隔。本系統並未限制航空器之分類方式、允許同一航空器之不同行程屬不同分類、且同一航空器之同一行程同時屬於數個不同之分類，因此航空器 A 屬於「重型航空器」類別，且又歸屬於類別 α ，甚至為其他目的而又同時另屬其他分類，均為系統所允許。

飛航管理程序^[36]第 5-8-3 節規定，航空器使用間隔不到 760 公尺之平行跑道離場時，未運用機尾亂流隔離，且離場後立即飛航於具有至少 15 度分歧之不同航向，則應採 1 哩之隔離。桃園國際機場之兩條跑道中心線距離約為 1,500 公尺，因此與本項規定無關。

當兩條平行跑道互相齊平，而平行跑道之中心線至少有 760 公尺之間隔時，飛航管理程序^[36]第 5-8-5 節在下列條件下兩航空器同時實施離到場

(亦即同時離到)：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，而離場航空器之起飛航道在起飛後立刻與另一條跑道之誤失進場航道有 30 度或更大之分歧角至取得隔離為止。若使用者所分析之機場具有中心線至少有 760 公尺間隔之跑道，且有部分離場航空器之起飛道在起飛後立刻與另一條跑道進場航空器之誤失進場航道有 30 度或更大之分歧角至取得隔離為止，並認為其模擬分析之目的需要納入本項考慮，則可使用與前述類似之方式，以設定參數之方式達到本項目的。

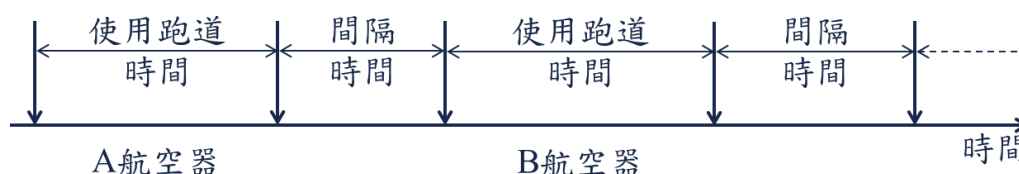
方法是將其分析時所使用之航空器行程清單中，適當挑選並定義二類航空器行程，使其中一類在起飛後立刻與另一類之誤失進場航道有 30 度或更大之分歧角至取得隔離為止。完成挑選並定義此 2 類航空器於不同跑道離到時可不必維持時間間隔。本系統並未限制航空器之分類方式、允許同一航空器之不同行程屬不同分類、且同一航空器之同一行程同時屬於數個不同之分類，因此本項分類必為系統所允許。

4.6 跑道運轉之模擬

真實跑道於開放使用時，其狀態為某航空器使用中與無航空器使用輪流交替變化。由於跑道在任一時間僅可允許一架航空器使用，因此跑道於運轉時必為各航空器依航管人員之引導而以一次一架之方式逐一使用跑道。同時，前一航空器脫離跑道之後，後一航空器必不可能在同一瞬間接續使用跑道，因此前後航空器之間必定有某種長度之間隔時間。茲以一虛擬之假設簡例說明之。假設某機場之某真實跑道可能在某時間點為 A 航空器所使用中，以執行滾行起飛或進場降落之操作。該航空器脫離跑道之後，經過一段間隔時間之後，下一架航空器 B 即使用該跑道並執行其起飛或降落之操作。其概念如圖 4.3。

圖 4.3 中之橫軸為時間，於時間軸顯示了在某機場空側之某跑道，A 航空器使用跑道、B 航空器使用跑道、及兩者之間的時間間隔之概念。對於圖 4.3 中各航空器使用跑道時間界定之定義可參見表 4-2。本系統容許在前後航空器使用跑道之間，存有間隔時間，而其長度的分布則為可由使用者自行定義之參數。實務上在正常天氣條件下，不考慮低雲高、低能見度

作業等特殊限制之情況時，當跑道繁忙時，規章允許此間隔時間長度可為 0。



註：本圖同圖 4.2

圖 4.3 航空器逐一使用跑道示意圖

本系統對於跑道之模擬亦循上述邏輯為之。模擬系統在運算的過程，於其資料結構中維護一個擬使用跑道之航空器清單，以及各航空器使用跑道之預擬時分。此清單在模擬系統中隨事件模擬之推進而動態維護之。該清單可示意如圖 4.4。



圖 4.4 模擬時航空器擬使用跑道時間示意圖

於圖 4.4 中顯示 3 架航空器，在此分別以 A、B 及 C 稱呼之以方便說明。於真實的模擬系統中，則由軟體系統以 2 進位方式自動編予唯一識別碼供軟體內部使用。依事件模擬之原則，模擬軟體依其發生之順序對各航空器執行模擬，因此圖 4.4 所示之各航空器將以 A、B、C 之順序模擬之。於執行 B 航空器使用跑道過程之模擬時，A 使用跑道過程之模擬已經完成並在資料結構中留下開始使用跑道以及脫離跑道之時分紀錄，而該紀錄於後續模擬過程中將不再變動。軟體於執行 B 航空器使用跑道之模擬時即在軟體內部查詢前述紀錄以取得 A 航空器脫離跑道之時分。之後再依使用者

所設定之參數，查詢得到 A 航空器與 B 航空器之間應達成之最小間隔時間長度。

依此最小間隔時間長度即可判斷 B 航空器是否可依其原擬使用跑道之時分進行使用跑道過程之模擬，方法是將 A 航空器之脫離跑道時分與 A 航空器與 B 航空器之間應達成之最小間隔時間長度相加，再與 B 航空器之原擬使用跑道之時分相比較。若前者較小則 B 航空器可依其原擬使用跑道之時分進行使用跑道之模擬，反之則需要在模擬系統中延後 B 航空器開始使用跑道之時分。亦即，若 D_A 為 A 航空器之脫離跑道時分、 S_{AB} 為 A 航空器與 B 航空器之間應達成之最小間隔時間長度， T_B 為 B 航空器之擬使用跑道時分， T_B^* 為 B 航空器模擬結果開始使用跑道之時分，則模擬系統必須遵守以下限制：

$$T_B^* = \begin{cases} T_B & \text{if } D_A + S_{AB} \leq T_B \\ D_A + S_{AB} & \text{if } D_A + S_{AB} > T_B \end{cases}$$

以上之模擬過程可圖示於圖 4.5 所示之流程圖。在該圖中以實線箭頭表示運算過程之流程，而虛線箭頭則表示資訊流動之路徑。

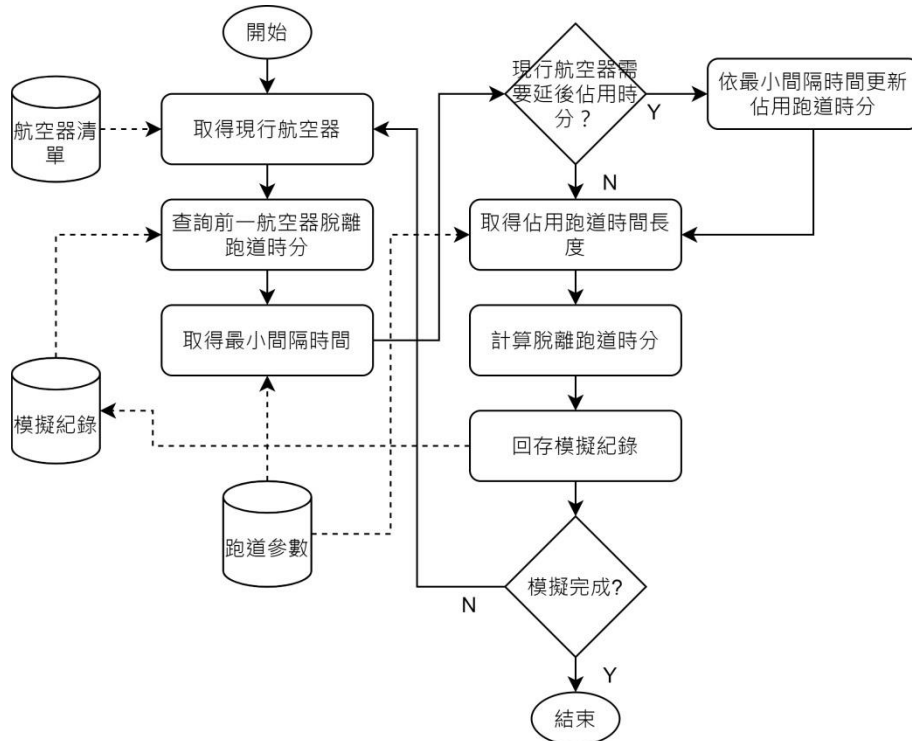


圖 4.5 模航空器使用跑道模擬流程圖

前述虛擬簡例中所使用之 A、B、C 等 3 架航空器，其在模擬過程中，

模擬系統分配其使用跑道、脫離跑道等事件發生之時分，先後相關性圖示於圖 4.6。

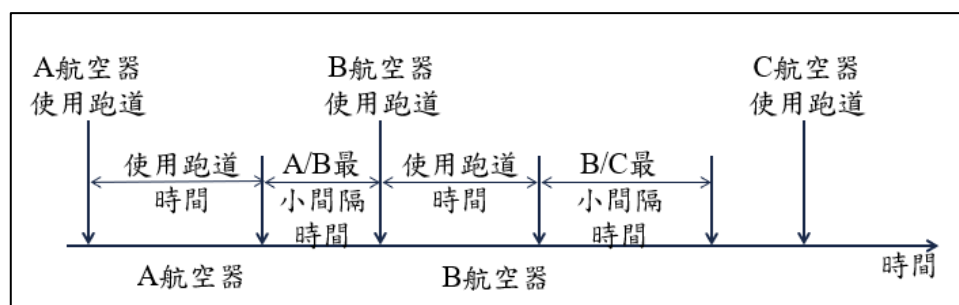


圖 4.6 模擬系統分配航空器使用跑道時間示意圖

4.7 跑道相關參數

實務上諸多因素對跑道容量之影響，可轉成為跑道使用時間與跑道間隔時間 2 項參數，前者代表航空器使用跑道之時間長度，而後者則為前後航空器，使用跑道時間之間的最小時間間隔長度。對起飛航空器而言，其跑道使用時間之起點定義為開始滾行之時分。因此若有飛航管理程序^[36]允許某些狀況下將起飛之航空器先行進跑道等待之狀況，則其在先行進跑道等待但尚未開始滾行之時間並不計入其跑道使用時間。而起飛航空器使用跑道時間之終點在航空器起飛後通過使用跑道末端，或開始轉彎時。在另一方面，對降落航空器而言，其跑道使用時間起點定義為越過跑道頭之時，而跑道使用時間之結束則在其脫離跑道之時。綜合上述，同時配合本容量評析方法不考慮空域之事實，本系統對跑道使用時間之定義可整理如表 4-4 所示，並圖示於圖 4.7。

表 4-4 跑道使用時間參數定義

	起或降	使用跑道開始	使用跑道結束
1	起飛	開始滾行	起飛後通過使用跑道末端，或開始轉彎
2	降落	越過跑道頭	脫離跑道

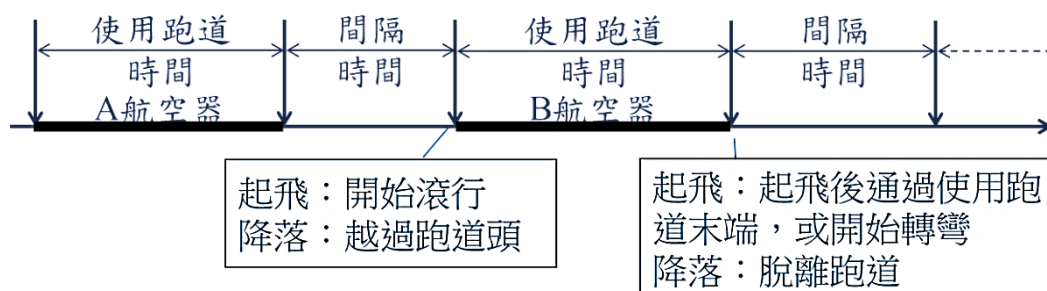


圖 4.7 跑道參數項目之說明(單跑道)

當所分析之機場有多於 1 條跑道時，狀況相對複雜。兩航空器使用相同跑道或不同跑道起飛或降落時，飛航管理程序^[36]對其間之隔離訂有不同之標準。因此模擬系統必須針對不同之起飛、降落、同跑道、不同跑道等，均各有其對應之參數項，使用者方能於運用模擬系統時依其所規劃之情境給予不同之參數值。其狀況組合可示意於圖 4.8。該圖顯示 2 條跑道之狀況，其中個別跑道之使用時間及間隔時間與前述單一跑道之參數相同，在此不重複贅述。而在 2 條跑道之間則圖示其間隔時間之定義。至於飛航管理程序^[36]中有關平行跑道同時起飛或同時離到之規定，於圖 4.8 亦有對應之考慮。然而須注意圖 4.8 之定義係配合跑道使用時間之開始與結束之定義(說明於圖 4.7)，以及軟體之性質、本容量評析方法之需求而設計，因此跑道間隔時間與飛航管理程序^[36]中之各種隔離時間，雖然概念有其類似之處，但並不能簡單一對一而對應之。

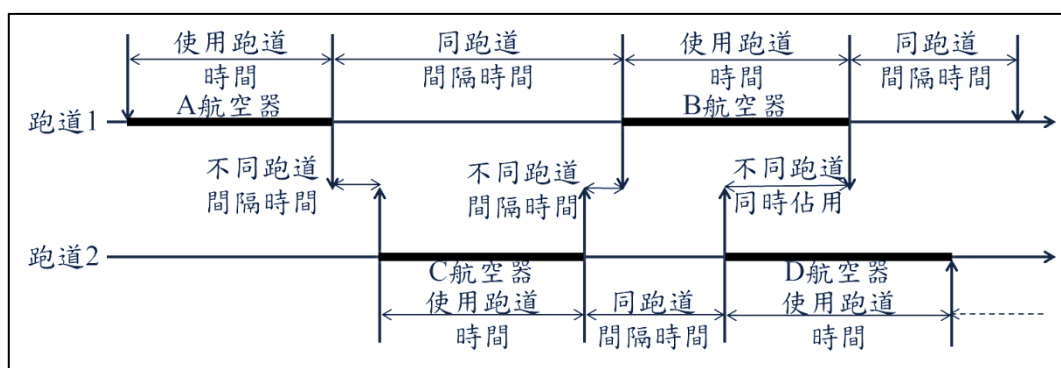


圖 4.8 跑道參數項目之說明(雙跑道)

基於以上之說明，跑道參數之目的即在供容量分析之使用者描述其所

分析之情境下，航空器跑道使用時間長度以及前後航空器之間，所應維持之最小間隔時間長度。由於這些參數之數值均可能因航空器之分類、所使用之跑道、起飛或降落而異，且真實系統具有相當之隨機性，因此 2 項跑道參數均設計允許依上述各項因素而設定不同值。至於跑道間隔參數則又與前後航空器之起飛或降落組合、所使用之跑道相同或不同以及前後航空器之種類組合有關，因此其參數設定較為複雜。對跑道使用參數而言，每一筆參數數值均含有 6 個欄位，說明於表 4-5。

表 4-5 跑道使用時間參數各欄位

	欄位名稱	說明
1	航空器分類	該航空器之分類
2	跑道	本參數所描述之跑道
3	起或降	起飛或降落
4	機率	本參數之發生機率
5	下界(分鐘)	跑道使用時間之最小長度
6	上界(分鐘)	跑道使用時間之最大長度

以上表 4-5 所說明為每一筆跑道使用時間參數所含有之 6 個欄位。茲以一虛擬簡例說明之。假設所欲分析之虛擬機場配置有 2 條跑道，名稱分別為 RW1 與 RW2。再假設依過往之運轉紀錄進行統計結果，該機場所服務之航空公司，其本國籍航空公司與外國籍航空公司，在起飛與降落時，於兩跑道之使用時間並不相同，其過往紀錄統計結果整理如表 4-6 所示。

今若有使用者欲以表 4-6 所示之統計結果，設定跑道使用時間參數之數值，則其可定義「本國籍」與「外國籍」兩種航空器類別，再予定義各對應之參數數值如表 4-7 所示。

表 4-6 虛擬機場使用跑道時間過往統計結果

	航空公司	跑道	起或降	使用跑道時間統計結果
1	本國籍	RW1	起飛	有 70% 介於 1.0 至 1.1 分鐘之間，另 30% 介於 1.1 至 1.2 分鐘之間
2			降落	有 60% 介於 0.7 至 0.8 分鐘之間，另 40% 介於 0.8 至 1.0 分鐘之間
3		RW2	起飛	有 70% 介於 1.1 至 1.2 分鐘之間，另 30% 介於 0.9 至 1.1 分鐘之間
4			降落	有 60% 介於 0.7 至 0.8 分鐘之間，另 40% 介於 0.8 至 1.0 分鐘之間
5	外國籍	RW1	起飛	有 70% 介於 1.1 至 1.2 分鐘之間，另 30% 介於 1.2 至 1.3 分鐘之間
6			降落	有 50% 介於 0.8 至 0.9 分鐘之間，另 50% 介於 0.9 至 1.0 分鐘之間
7		RW2	起飛	有 70% 介於 1.2 至 1.3 分鐘之間，另 30% 介於 0.9 至 1.2 分鐘之間
8			降落	有 40% 介於 0.8 至 1.0 分鐘之間，另 50% 介於 1.0 至 1.1 分鐘之間，最後 10% 則介於

表 4-7 虛擬機場案例跑道使用時間參數值

	航空器分類	跑道	起或降	機率	下界	上界
1	本國籍	RW1	起	0.7	1.0	1.1
2	本國籍	RW1	起	0.3	1.1	1.2
3	本國籍	RW1	降	0.6	0.7	0.8
4	本國籍	RW1	降	0.4	0.8	1.0
5	本國籍	RW2	起	0.7	1.1	1.2
6	本國籍	RW2	起	0.3	0.9	1.1
7	本國籍	RW2	降	0.6	0.7	0.8
8	本國籍	RW2	降	0.4	0.8	1.0
9	外國籍	RW1	起	0.7	1.1	1.2
10	外國籍	RW1	起	0.3	1.2	1.3
11	外國籍	RW1	降	0.5	0.8	0.9
12	外國籍	RW1	降	0.5	0.9	1.0
13	外國籍	RW2	起	0.7	1.2	1.3
14	外國籍	RW2	起	0.3	0.9	1.2
15	外國籍	RW2	降	0.4	0.8	1.0
16	外國籍	RW2	降	0.5	1.0	1.1
17	外國籍	RW2	降	0.1	1.1	1.2

跑道相關之另一項參數為前後航空器在跑道執行起飛或降落時所需要之間隔，其參數設定較跑道使用時間略為複雜。對跑道使用參數而言，

每一筆參數數值均含有 9 個欄位，說明於表 4-8。

表 4-8 跑道間隔時間參數各欄位

	欄位名稱	說明
1	本機航空器分類	目前正在模擬之航空器之所屬分類
2	本機所使用之跑道	目前正在模擬之航空器所使用之跑道
3	本機起或降	目前正在模擬之航空器起飛或降落
4	前機航空器分類	前一航空器之所屬分類
5	前機所使用之跑道	前一航空器所使用之跑道
6	前機起或降	前一航空器起飛或降落
7	機率	本參數之發生機率
8	下界(分鐘)	跑道間隔時間之最小長度
9	上界(分鐘)	跑道間隔時間之最大長度

以上表 4-8 說明為每一筆跑道間隔時間參數所含有之 9 個欄位。茲延續前述之虛擬簡例說明之。進一步假設所欲分析之該虛擬機場，依過往之運轉紀錄進行統計結果，發現前後航空器在先後使用跑道之間的時間與航班的航向有關，而為簡化本虛擬簡例，假設該機場所服務之航道可區分為東側與西側 2 類，亦即降落之航空器可能來自東側或西側，而起飛之航空器亦有可能來自東側或西側。該虛擬機場過往運轉紀錄統計結果如表 4-9 所示。

表 4-9 虛擬機場跑道間隔時間過往統計結果

	起降組合	本機 航向	前機 航向	跑道分配	間隔時間統計結果
1	本機降落、 前機降落	來自 東側	來自 東側	本機 RW1、前機 RW1	有 30% 介於 1.3 至 1.4 分鐘之間，另 70% 介於 1.4 至 1.5 分鐘之間
2	本機降落、 前機起飛	來自 東側	飛向 東側	本機 RW1、前機 RW1	有 20% 介於 1.8 至 1.9 分鐘之間，另 80% 介於 1.9 至 2 分鐘之間
3	本機起飛、 前機降落	飛向 東側	來自 東側	本機 RW1、前機 RW1	有 40% 介於 0.5 至 0.6 分鐘之間，另 60% 介於 0.6 至 0.7 分鐘之間
4	本機起飛、 前機起飛	飛向 東側	飛向 東側	本機 RW1、前機 RW1	有 60% 介於 0.9 至 1 分鐘之間，另 40% 介於 1 至 1.1 分鐘之間
5	本機降落、	來自	來自	本機 RW1、前機	有 50% 介於 0.5 至 0.6 分鐘之間，另

表 4-9 虛擬機場跑道間隔時間過往統計結果

	起降組合	本機 航向	前機 航向	跑道分配	間隔時間統計結果
	前機降落	東側	東側	RW2	50%介於 0.6 至 0.7 分鐘之間
6	本機降落、 前機起飛	來自 東側	飛向 東側	本機 RW1、前機 RW2	有 30%介於 0.3 至 0.4 分鐘之間，另 70%介於 0.4 至 0.5 分鐘之間
7	本機起飛、 前機降落	飛向 東側	來自 東側	本機 RW1、前機 RW2	有 40%介於 0.3 至 0.4 分鐘之間，另 60%介於 0.4 至 0.5 分鐘之間
8	本機起飛、 前機起飛	飛向 東側	飛向 東側	本機 RW1、前機 RW2	有 70%介於 0.2 至 0.3 分鐘之間，另 30%介於 0.3 至 0.4 分鐘之間
9	本機降落、 前機降落	來自 東側	來自 東側	本機 RW2、前機 RW1	有 40%介於 0.5 至 0.6 分鐘之間，另 60%介於 0.6 至 0.7 分鐘之間
10	本機降落、 前機起飛	來自 東側	飛向 東側	本機 RW2、前機 RW1	有 40%介於 0.3 至 0.4 分鐘之間，另 60%介於 0.4 至 0.5 分鐘之間
11	本機起飛、 前機降落	飛向 東側	來自 東側	本機 RW2、前機 RW1	有 60%介於 0.3 至 0.4 分鐘之間，另 40%介於 0.4 至 0.5 分鐘之間
12	本機起飛、 前機起飛	飛向 東側	飛向 東側	本機 RW2、前機 RW1	有 60%介於 0.2 至 0.3 分鐘之間，另 40%介於 0.3 至 0.4 分鐘之間
13	本機降落、 前機降落	來自 東側	來自 東側	本機 RW2、前機 RW2	有 40%介於 1.3 至 1.4 分鐘之間，另 60%介於 1.4 至 1.5 分鐘之間
14	本機降落、 前機起飛	來自 東側	飛向 東側	本機 RW2、前機 RW2	有 60%介於 1.8 至 1.9 分鐘之間，另 40%介於 1.9 至 2 分鐘之間
15	本機起飛、 前機降落	飛向 東側	來自 東側	本機 RW2、前機 RW2	有 40%介於 0.5 至 0.6 分鐘之間，另 60%介於 0.6 至 0.7 分鐘之間
16	本機起飛、 前機起飛	飛向 東側	飛向 東側	本機 RW2、前機 RW2	有 50%介於 0.9 至 1 分鐘之間，另 50%介於 1 至 1.1 分鐘之間
17	本機降落、 前機降落	來自 東側	來自 西側	本機 RW1、前機 RW1	有 40%介於 1.2 至 1.3 分鐘之間，另 60%介於 1.3 至 1.4 分鐘之間
18	本機降落、 前機起飛	來自 東側	飛向 西側	本機 RW1、前機 RW1	有 50%介於 1.7 至 1.8 分鐘之間，另 50%介於 1.8 至 1.9 分鐘之間
19	本機起飛、 前機降落	飛向 東側	來自 西側	本機 RW1、前機 RW1	有 30%介於 0.4 至 0.5 分鐘之間，另 70%介於 0.5 至 0.6 分鐘之間
20	本機起飛、 前機起飛	飛向 東側	飛向 西側	本機 RW1、前機 RW1	有 40%介於 0.8 至 0.9 分鐘之間，另 60%介於 0.9 至 1 分鐘之間
21	本機降落、 前機降落	來自 東側	來自 西側	本機 RW1、前機 RW2	有 60%介於 0.4 至 0.5 分鐘之間，另 40%介於 0.5 至 0.6 分鐘之間
22	本機降落、	來自	飛向	本機 RW1、前機	有 70%介於 0.2 至 0.3 分鐘之間，另

表 4-9 虛擬機場跑道間隔時間過往統計結果

	起降組合	本機 航向	前機 航向	跑道分配	間隔時間統計結果
	前機起飛	東側	西側	RW2	30%介於 0.3 至 0.4 分鐘之間
23	本機起飛、 前機降落	飛向 東側	來自 西側	本機 RW1、前機 RW2	有 60%介於 0.2 至 0.3 分鐘之間，另 40%介於 0.3 至 0.4 分鐘之間
24	本機起飛、 前機起飛	飛向 東側	飛向 西側	本機 RW1、前機 RW2	有 50%介於 0.1 至 0.2 分鐘之間，另 50%介於 0.2 至 0.3 分鐘之間
25	本機降落、 前機降落	來自 東側	來自 西側	本機 RW2、前機 RW1	有 60%介於 0.4 至 0.5 分鐘之間，另 40%介於 0.5 至 0.6 分鐘之間
26	本機降落、 前機起飛	來自 東側	飛向 西側	本機 RW2、前機 RW1	有 50%介於 0.2 至 0.3 分鐘之間，另 50%介於 0.3 至 0.4 分鐘之間
27	本機起飛、 前機降落	飛向 東側	來自 西側	本機 RW2、前機 RW1	有 40%介於 0.2 至 0.3 分鐘之間，另 60%介於 0.3 至 0.4 分鐘之間
28	本機起飛、 前機起飛	飛向 東側	飛向 西側	本機 RW2、前機 RW1	有 30%介於 0.1 至 0.2 分鐘之間，另 70%介於 0.2 至 0.3 分鐘之間
29	本機降落、 前機降落	來自 東側	來自 西側	本機 RW2、前機 RW2	有 70%介於 1.2 至 1.3 分鐘之間，另 30%介於 1.3 至 1.4 分鐘之間
30	本機降落、 前機起飛	來自 東側	飛向 西側	本機 RW2、前機 RW2	有 40%介於 1.7 至 1.8 分鐘之間，另 60%介於 1.8 至 1.9 分鐘之間
31	本機起飛、 前機降落	飛向 東側	來自 西側	本機 RW2、前機 RW2	有 60%介於 0.4 至 0.5 分鐘之間，另 40%介於 0.5 至 0.6 分鐘之間
32	本機起飛、 前機起飛	飛向 東側	飛向 西側	本機 RW2、前機 RW2	有 50%介於 0.8 至 0.9 分鐘之間，另 50%介於 0.9 至 1 分鐘之間
33	本機降落、 前機降落	來自 西側	來自 東側	本機 RW1、前機 RW1	有 50%介於 1.2 至 1.3 分鐘之間，另 50%介於 1.3 至 1.4 分鐘之間
34	本機降落、 前機起飛	來自 西側	飛向 東側	本機 RW1、前機 RW1	有 60%介於 1.7 至 1.8 分鐘之間，另 40%介於 1.8 至 1.9 分鐘之間
35	本機起飛、 前機降落	飛向 西側	來自 東側	本機 RW1、前機 RW1	有 40%介於 0.4 至 0.5 分鐘之間，另 60%介於 0.5 至 0.6 分鐘之間
36	本機起飛、 前機起飛	飛向 西側	飛向 東側	本機 RW1、前機 RW1	有 30%介於 0.8 至 0.9 分鐘之間，另 70%介於 0.9 至 1 分鐘之間
37	本機降落、 前機降落	來自 西側	來自 東側	本機 RW1、前機 RW2	有 70%介於 0.4 至 0.5 分鐘之間，另 30%介於 0.5 至 0.6 分鐘之間
38	本機降落、 前機起飛	來自 西側	飛向 東側	本機 RW1、前機 RW2	有 80%介於 0.2 至 0.3 分鐘之間，另 20%介於 0.3 至 0.4 分鐘之間
39	本機起飛、	飛向	來自	本機 RW1、前機	有 50%介於 0.2 至 0.3 分鐘之間，另

表 4-9 虛擬機場跑道間隔時間過往統計結果

	起降組合	本機 航向	前機 航向	跑道分配	間隔時間統計結果
	前機降落	西側	東側	RW2	50%介於 0.3 至 0.4 分鐘之間
40	本機起飛、 前機起飛	飛向 西側	飛向 東側	本機 RW1、前機 RW2	有 40%介於 0.1 至 0.2 分鐘之間，另 60%介於 0.2 至 0.3 分鐘之間
41	本機降落、 前機降落	來自 西側	來自 東側	本機 RW2、前機 RW1	有 20%介於 0.4 至 0.5 分鐘之間，另 80%介於 0.5 至 0.6 分鐘之間
42	本機降落、 前機起飛	來自 西側	飛向 東側	本機 RW2、前機 RW1	有 70%介於 0.2 至 0.3 分鐘之間，另 30%介於 0.3 至 0.4 分鐘之間
43	本機起飛、 前機降落	飛向 西側	來自 東側	本機 RW2、前機 RW1	有 60%介於 0.2 至 0.3 分鐘之間，另 40%介於 0.3 至 0.4 分鐘之間
44	本機起飛、 前機起飛	飛向 西側	飛向 東側	本機 RW2、前機 RW1	有 50%介於 0.1 至 0.2 分鐘之間，另 50%介於 0.2 至 0.3 分鐘之間
45	本機降落、 前機降落	來自 西側	來自 東側	本機 RW2、前機 RW2	有 40%介於 1.2 至 1.3 分鐘之間，另 60%介於 1.3 至 1.4 分鐘之間
46	本機降落、 前機起飛	來自 西側	飛向 東側	本機 RW2、前機 RW2	有 50%介於 1.7 至 1.8 分鐘之間，另 50%介於 1.8 至 1.9 分鐘之間
47	本機起飛、 前機降落	飛向 西側	來自 東側	本機 RW2、前機 RW2	有 70%介於 0.4 至 0.5 分鐘之間，另 30%介於 0.5 至 0.6 分鐘之間
48	本機起飛、 前機起飛	飛向 西側	飛向 東側	本機 RW2、前機 RW2	有 50%介於 0.8 至 0.9 分鐘之間，另 50%介於 0.9 至 1 分鐘之間
49	本機降落、 前機降落	來自 西側	來自 西側	本機 RW1、前機 RW1	有 40%介於 1.3 至 1.4 分鐘之間，另 60%介於 1.4 至 1.5 分鐘之間
50	本機降落、 前機起飛	來自 西側	飛向 西側	本機 RW1、前機 RW1	有 70%介於 1.8 至 1.9 分鐘之間，另 30%介於 1.9 至 2 分鐘之間
51	本機起飛、 前機降落	飛向 西側	來自 西側	本機 RW1、前機 RW1	有 30%介於 0.5 至 0.6 分鐘之間，另 70%介於 0.6 至 0.7 分鐘之間
52	本機起飛、 前機起飛	飛向 西側	飛向 西側	本機 RW1、前機 RW1	有 60%介於 0.9 至 1 分鐘之間，另 40%介於 1 至 1.1 分鐘之間
53	本機降落、 前機降落	來自 西側	來自 西側	本機 RW1、前機 RW2	有 40%介於 0.5 至 0.6 分鐘之間，另 60%介於 0.6 至 0.7 分鐘之間
54	本機降落、 前機起飛	來自 西側	飛向 西側	本機 RW1、前機 RW2	有 50%介於 0.3 至 0.4 分鐘之間，另 50%介於 0.4 至 0.5 分鐘之間
55	本機起飛、 前機降落	飛向 西側	來自 西側	本機 RW1、前機 RW2	有 60%介於 0.3 至 0.4 分鐘之間，另 40%介於 0.4 至 0.5 分鐘之間
56	本機起飛、	飛向	飛向	本機 RW1、前機	有 20%介於 0.2 至 0.3 分鐘之間，另

表 4-9 虛擬機場跑道間隔時間過往統計結果

	起降組合	本機 航向	前機 航向	跑道分配	間隔時間統計結果
	前機起飛	西側	西側	RW2	80%介於 0.3 至 0.4 分鐘之間
57	本機降落、 前機降落	來自 西側	來自 西側	本機 RW2、前機 RW1	有 30%介於 0.5 至 0.6 分鐘之間，另 70%介於 0.6 至 0.7 分鐘之間
58	本機降落、 前機起飛	來自 西側	飛向 西側	本機 RW2、前機 RW1	有 40%介於 0.3 至 0.4 分鐘之間，另 60%介於 0.4 至 0.5 分鐘之間
59	本機起飛、 前機降落	飛向 西側	來自 西側	本機 RW2、前機 RW1	有 50%介於 0.3 至 0.4 分鐘之間，另 50%介於 0.4 至 0.5 分鐘之間
60	本機起飛、 前機起飛	飛向 西側	飛向 西側	本機 RW2、前機 RW1	有 50%介於 0.2 至 0.3 分鐘之間，另 50%介於 0.3 至 0.4 分鐘之間
61	本機降落、 前機降落	來自 西側	來自 西側	本機 RW2、前機 RW2	有 60%介於 1.3 至 1.4 分鐘之間，另 40%介於 1.4 至 1.5 分鐘之間
62	本機降落、 前機起飛	來自 西側	飛向 西側	本機 RW2、前機 RW2	有 30%介於 1.8 至 1.9 分鐘之間，另 70%介於 1.9 至 2 分鐘之間
63	本機起飛、 前機降落	飛向 西側	來自 西側	本機 RW2、前機 RW2	有 50%介於 0.5 至 0.6 分鐘之間，另 50%介於 0.6 至 0.7 分鐘之間
64	本機起飛、 前機起飛	飛向 西側	飛向 西側	本機 RW2、前機 RW2	有 40%介於 0.9 至 1 分鐘之間，另 60%介於 1 至 1.1 分鐘之間

今若有使用者欲以表 4-9 所示之運轉紀錄統計結果，設定該虛擬機場之跑道間隔時間參數之數值，則其可依前述各航班之飛航方向，定義「東側」與「西側」兩種航空器類別，再依表 4-9 之統計值，定義各對應之參數數值如表 4-10 所示。

表 4-10 虛擬機場案例跑道間隔時間參數值

	本機			前機			機率	下界 (分鐘)	上界 (分鐘)
	航空器分類	跑道	起或降	航空器分類	跑道	起或降			
1	東側	RW1	降	東側	RW1	降	0.3	1.3	1.4
2	東側	RW1	降	東側	RW1	降	0.7	1.4	1.5
3	東側	RW1	降	東側	RW1	起	0.2	1.8	1.9
4	東側	RW1	降	東側	RW1	起	0.8	1.9	2
5	東側	RW1	起	東側	RW1	降	0.4	0.5	0.6

表 4-10 虛擬機場案例跑道間隔時間參數值

	本機			前機			機率	下界 (分鐘)	上界 (分鐘)
	航空器分類	跑道	起或降	航空器分類	跑道	起或降			
6	東側	RW1	起	東側	RW1	降	0.6	0.6	0.7
7	東側	RW1	起	東側	RW1	起	0.6	0.9	1.0
8	東側	RW1	起	東側	RW1	起	0.4	1	1.1
9	東側	RW1	降	東側	RW2	降	0.5	0.5	0.6
10	東側	RW1	降	東側	RW2	降	0.5	0.6	0.7
11	東側	RW1	降	東側	RW2	起	0.3	0.3	0.4
12	東側	RW1	降	東側	RW2	起	0.7	0.4	0.5
13	東側	RW1	起	東側	RW2	降	0.4	0.3	0.4
14	東側	RW1	起	東側	RW2	降	0.6	0.4	0.5
15	東側	RW1	起	東側	RW2	起	0.7	0.2	0.3
16	東側	RW1	起	東側	RW2	起	0.3	0.3	0.4
17	東側	RW2	降	東側	RW1	降	0.4	0.5	0.6
18	東側	RW2	降	東側	RW1	降	0.6	0.6	0.7
19	東側	RW2	降	東側	RW1	起	0.4	0.3	0.4
20	東側	RW2	降	東側	RW1	起	0.6	0.4	0.5
21	東側	RW2	起	東側	RW1	降	0.6	0.3	0.4
22	東側	RW2	起	東側	RW1	降	0.4	0.4	0.5
23	東側	RW2	起	東側	RW1	起	0.6	0.2	0.3
24	東側	RW2	起	東側	RW1	起	0.4	0.3	0.4
25	東側	RW2	降	東側	RW2	降	0.4	1.3	1.4
26	東側	RW2	降	東側	RW2	降	0.6	1.4	1.5
27	東側	RW2	降	東側	RW2	起	0.6	1.8	1.9
28	東側	RW2	降	東側	RW2	起	0.4	1.9	2
29	東側	RW2	起	東側	RW2	降	0.4	0.5	0.6
30	東側	RW2	起	東側	RW2	降	0.6	0.6	0.7
31	東側	RW2	起	東側	RW2	起	0.5	0.9	1.0
32	東側	RW2	起	東側	RW2	起	0.5	1	1.1
33	東側	RW1	降	西側	RW1	降	0.4	1.2	1.3
34	東側	RW1	降	西側	RW1	降	0.6	1.3	1.4
35	東側	RW1	降	西側	RW1	起	0.5	1.7	1.8
36	東側	RW1	降	西側	RW1	起	0.5	1.8	1.9
37	東側	RW1	起	西側	RW1	降	0.3	0.4	0.5
38	東側	RW1	起	西側	RW1	降	0.7	0.5	0.6
39	東側	RW1	起	西側	RW1	起	0.4	0.8	0.9
40	東側	RW1	起	西側	RW1	起	0.6	0.9	1
41	東側	RW1	降	西側	RW2	降	0.6	0.4	0.5
42	東側	RW1	降	西側	RW2	降	0.4	0.5	0.6
43	東側	RW1	降	西側	RW2	起	0.7	0.2	0.3
44	東側	RW1	降	西側	RW2	起	0.3	0.3	0.4

表 4-10 虛擬機場案例跑道間隔時間參數值

	本機			前機			機率	下界 (分鐘)	上界 (分鐘)
	航空器分類	跑道	起或降	航空器分類	跑道	起或降			
45	東側	RW1	起	西側	RW2	降	0.6	0.2	0.3
46	東側	RW1	起	西側	RW2	降	0.4	0.3	0.4
47	東側	RW1	起	西側	RW2	起	0.5	0.1	0.2
48	東側	RW1	起	西側	RW2	起	0.5	0.2	0.3
49	東側	RW2	降	西側	RW1	降	0.6	0.4	0.5
50	東側	RW2	降	西側	RW1	降	0.4	0.5	0.6
51	東側	RW2	降	西側	RW1	起	0.5	0.2	0.3
52	東側	RW2	降	西側	RW1	起	0.5	0.3	0.4
53	東側	RW2	起	西側	RW1	降	0.4	0.2	0.3
54	東側	RW2	起	西側	RW1	降	0.6	0.3	0.4
55	東側	RW2	起	西側	RW1	起	0.3	0.1	0.2
56	東側	RW2	起	西側	RW1	起	0.7	0.2	0.3
57	東側	RW2	降	西側	RW2	降	0.7	1.2	1.3
58	東側	RW2	降	西側	RW2	降	0.3	1.3	1.4
59	東側	RW2	降	西側	RW2	起	0.4	1.7	1.8
60	東側	RW2	降	西側	RW2	起	0.6	1.8	1.9
61	東側	RW2	起	西側	RW2	降	0.6	0.4	0.5
62	東側	RW2	起	西側	RW2	降	0.4	0.5	0.6
63	東側	RW2	起	西側	RW2	起	0.5	0.8	0.9
64	東側	RW2	起	西側	RW2	起	0.5	0.9	1
65	西側	RW1	降	東側	RW1	降	0.5	1.2	1.3
66	西側	RW1	降	東側	RW1	降	0.5	1.3	1.4
67	西側	RW1	降	東側	RW1	起	0.6	1.7	1.8
68	西側	RW1	降	東側	RW1	起	0.4	1.8	1.9
69	西側	RW1	起	東側	RW1	降	0.4	0.4	0.5
70	西側	RW1	起	東側	RW1	降	0.6	0.5	0.6
71	西側	RW1	起	東側	RW1	起	0.3	0.8	0.9
72	西側	RW1	起	東側	RW1	起	0.7	0.9	1
73	西側	RW1	降	東側	RW2	降	0.7	0.4	0.5
74	西側	RW1	降	東側	RW2	降	0.3	0.5	0.6
75	西側	RW1	降	東側	RW2	起	0.8	0.2	0.3
76	西側	RW1	降	東側	RW2	起	0.2	0.3	0.4
77	西側	RW1	起	東側	RW2	降	0.5	0.2	0.3
78	西側	RW1	起	東側	RW2	降	0.5	0.3	0.4
79	西側	RW1	起	東側	RW2	起	0.4	0.1	0.2
80	西側	RW1	起	東側	RW2	起	0.6	0.2	0.3
81	西側	RW2	降	東側	RW1	降	0.2	0.4	0.5
82	西側	RW2	降	東側	RW1	降	0.8	0.5	0.6
83	西側	RW2	降	東側	RW1	起	0.7	0.2	0.3

表 4-10 虛擬機場案例跑道間隔時間參數值

	本機			前機			機率	下界 (分鐘)	上界 (分鐘)
	航空器分類	跑道	起或降	航空器分類	跑道	起或降			
84	西側	RW2	降	東側	RW1	起	0.3	0.3	0.4
85	西側	RW2	起	東側	RW1	降	0.6	0.2	0.3
86	西側	RW2	起	東側	RW1	降	0.4	0.3	0.4
87	西側	RW2	起	東側	RW1	起	0.5	0.1	0.2
88	西側	RW2	起	東側	RW1	起	0.5	0.2	0.3
89	西側	RW2	降	東側	RW2	降	0.4	1.2	1.3
90	西側	RW2	降	東側	RW2	降	0.6	1.3	1.4
91	西側	RW2	降	東側	RW2	起	0.5	1.7	1.8
92	西側	RW2	降	東側	RW2	起	0.5	1.8	1.9
93	西側	RW2	起	東側	RW2	降	0.7	0.4	0.5
94	西側	RW2	起	東側	RW2	降	0.3	0.5	0.6
95	西側	RW2	起	東側	RW2	起	0.5	0.8	0.9
96	西側	RW2	起	東側	RW2	起	0.5	0.9	1
97	西側	RW1	降	西側	RW1	降	0.4	1.3	1.4
98	西側	RW1	降	西側	RW1	降	0.6	1.4	1.5
99	西側	RW1	降	西側	RW1	起	0.7	1.8	1.9
100	西側	RW1	降	西側	RW1	起	0.3	1.9	2
101	西側	RW1	起	西側	RW1	降	0.3	0.5	0.6
102	西側	RW1	起	西側	RW1	降	0.7	0.6	0.7
103	西側	RW1	起	西側	RW1	起	0.6	0.9	1.0
104	西側	RW1	起	西側	RW1	起	0.4	1	1.1
105	西側	RW1	降	西側	RW2	降	0.4	0.5	0.6
106	西側	RW1	降	西側	RW2	降	0.6	0.6	0.7
107	西側	RW1	降	西側	RW2	起	0.5	0.3	0.4
108	西側	RW1	降	西側	RW2	起	0.5	0.4	0.5
109	西側	RW1	起	西側	RW2	降	0.6	0.3	0.4
110	西側	RW1	起	西側	RW2	降	0.4	0.4	0.5
111	西側	RW1	起	西側	RW2	起	0.2	0.2	0.3
112	西側	RW1	起	西側	RW2	起	0.8	0.3	0.4
113	西側	RW2	降	西側	RW1	降	0.3	0.5	0.6
114	西側	RW2	降	西側	RW1	降	0.7	0.6	0.7
115	西側	RW2	降	西側	RW1	起	0.4	0.3	0.4
116	西側	RW2	降	西側	RW1	起	0.6	0.4	0.5
117	西側	RW2	起	西側	RW1	降	0.5	0.3	0.4
118	西側	RW2	起	西側	RW1	降	0.5	0.4	0.5

表 4-10 虛擬機場案例跑道間隔時間參數值

	本機			前機			機率	下界 (分鐘)	上界 (分鐘)
	航空器分類	跑道	起或降	航空器分類	跑道	起或降			
119	西側	RW2	起	西側	RW1	起	0.5	0.2	0.3
120	西側	RW2	起	西側	RW1	起	0.5	0.3	0.4
121	西側	RW2	降	西側	RW2	降	0.6	1.3	1.4
122	西側	RW2	降	西側	RW2	降	0.4	1.4	1.5
123	西側	RW2	降	西側	RW2	起	0.3	1.8	1.9
124	西側	RW2	降	西側	RW2	起	0.7	1.9	2
125	西側	RW2	起	西側	RW2	降	0.5	0.5	0.6
126	西側	RW2	起	西側	RW2	降	0.5	0.6	0.7
127	西側	RW2	起	西側	RW2	起	0.4	0.9	1.0
128	西側	RW2	起	西側	RW2	起	0.6	1	1.1

觀察比較前述表 4-6 與表 4-7，以及表 4-9 與表 4-10，可以看到如何依航空器之性質而定義其分類以方便參數值之設定。由於本系統並非為特定機場而開發，而各機場之狀況不盡相同，因此本系統設計允許使用者自由定義航空器分類方式而不予任何限制。此外由上述各表亦可觀察到同一航空器之同一行程有可能同時歸屬於不同分類。例如，在前述虛擬簡例中，同一航空器行程若由本國籍航空公司所營運，而該行程係來自西側而降落該虛擬機場，則該航空器之該行程即歸屬於「本國籍」與「西側」兩種航空器類別。而此種同時歸屬多數類別之操作方法亦為本系統所允許。

在上述虛擬簡例中，係假設用者欲比照其運轉紀錄之統計結果來設定各參數數值。本系統運用時並不限制必須如此。例如，使用者亦可測試倘若可利用某種方法以縮減前後航空器先後使用跑道之間的間隔時間，其可能之影響如何；此時即可依其構想之情境，適當縮小表 4-10 中相對應的數值。

第五章 停機位模擬方法

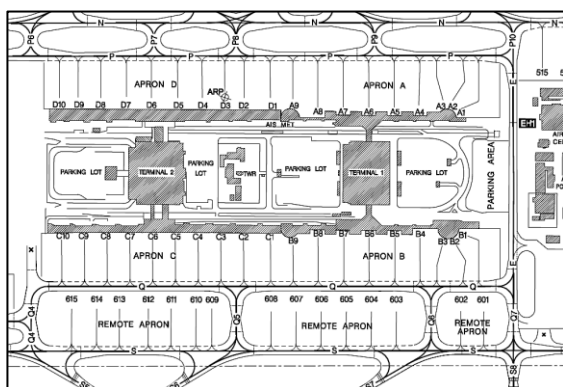
5.1 基本說明

在民用機場之空側，停機坪為供航空器執行上下乘客、裝卸貨物、加油、加水、清潔等地停工作之空間區域，而停機位是停機坪上供航空器停放之指定區域^[42]，以「座」或「席」為計數單位^[42]。在此停機位容量可用一定時間內平均可服務之架次數表示之。一般而言，航空器使用停機位停放之位置均由機場維運單位指派，因此管理運用停機位之規則將影響停機位之容量。此外，每一架次之航空器使用停機位之時間長度亦對停機位容量具有重大影響；每一架次之航空器使用停機位之時間愈長，一定時間內平均可服務之架次數愈少，反之亦然。由此可知影響停機位容量之直接核心因素為使用時間長度，而航空器於停機位所進行之地停工作之效率、停機位所配置之設備、地勤單位之支援能力等則為間接因素，經由影響使用時間長度而間接影響停機位容量。

影響停機位容量之另一重要因素為管理運用停機位之規則及作為。例如，倘若機場維運單位嚴格要求航空器使用有配置空橋之停機位的時間長度，要求完成乘客下機、行李卸載等必要操作之後即儘快拖離；同時並要求航空器必須在起飛前一定時間之內才可拖入執行裝載行李、乘客登機等作業，則必對提高該等停機位之容量有所助益。然而這種嚴格要求需要一定之配套條件，例如充足之拖車支援、適當之長時間或遠端機坪、航空公司之配合等等，因此必須由機場維運單位多方衡量為提高停機位容量而在其他方面之配套代價、其可行之程度、維運單位之策略以及外界環境之期待等。本計畫之目的在開發評估機場空側容量之技術方法，而上述這些因素除了與空側容量相關外，其實與維運管理策略更為相關。因此本計畫將航空器使用停機位之時間直接納入為充分考量之因子，而將停機位維運管理策略作間接考量之因子。其詳細設計將於本章後續各節說明之。

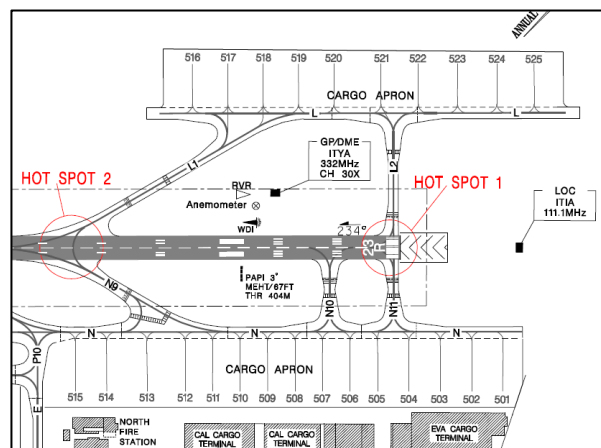
5.2 桃園國際機場停機位系統

桃園國際機場計有 86 席停機位，整理如表 5-1。其中客機使用之最主要位置示如圖 5.1，而貨機坪則位於機場之東北角，分別位於跑道之兩側，示如圖 5.2。實務運轉時，航空器進出位東北角、跑道北側編號 516 至 525 之貨機坪時，常需要跨越跑道，形成易生衝突之熱點，亦示於圖 5.2。



資料來源：〔40〕

圖 5.1 桃園國際機場主要機坪位置



資料來源：〔40〕

圖 5.2 桃園國際機場貨機坪位置

表 5-1 桃園國際機場停機位設施表

停機坪	停機位
A	A1 至 A9
B	B1 至 B9
C	C1 至 C10
D	D1 至 D10
貨機坪	501 至 525
遠端機坪	601 至 615

資料來源：〔40〕

5.3 停機位運轉之模擬

停機位為航空器停放之空間。因此模擬停機位之運轉時，必須考量停機位與航空器二者間之互動。而此一互動，可以由停機位以及航空器二種視點觀之。

由停機位為出發點，可將其狀態歸納為「被使用」與「未被使用」二種。真實狀況下，一架航空器離開停機位之後，下一架航空器不可能瞬間進駐，其間必須留有一段必要之轉換時間。在轉換時間長度固定不變之假設下，於模擬時可將該轉換時間之前半歸於前一航空器之使用時間、將後半歸於使用同一停機位之後一航空器所使用之時間，其概念如圖 5.3 所示。

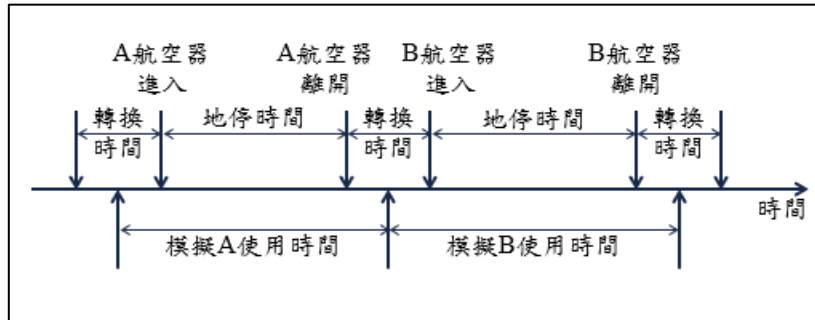


圖 5.3 航空器使用停機位模擬時間示意圖

真實機場中，通常一架航空器有可能使用之停機位並非唯一，但亦非整個機場中任一停機位均可使用。亦即將停機位配予某航班時，係由其可使用之停機位當中擇一配予之。某航空器不可使用某些停機位之狀況，可能是出於技術原因，亦有可能出於管理原因。其中前者例如翼展較大之航空器無法停入寬度不足之停機位係出於空間以及安全之考量而非出於管理規則與策略，而後者則例如實務上常見某些航空公司之班機，固定分配於某些停機位，或機場維運單位規定國內線與國際線所使用之停機位有所區隔。亦即，同一架實體航空器，可能用以執飛國內航線服務時，所可以使用之停機位與執飛國際航線時並不相同。

由航空器之出發點，在模擬系統中配予所需停機位之過程可視為是依其偏好之優先順位，自允許使用之停機位當中選用其中未被使用者。而若所有允許使用之機位均已被使用中，則自這些允許使用之停機位中，擇其將最早空出者配予該航空器。此時即發生等待之現象。茲以一虛擬簡例說明之。假設在某虛擬機場，有某航空器 A 需要配予停機位。並假設在該虛擬機場有 20 席停機位，編號名稱為 F1 至 F20。在這 20 席停機位中，A 航空器允許使用者為 F1 至 F10，而其偏好之優先如下：第一優先為 F1 至 F3，第二優先為 F4 至 F8，最後第 3 優先為 F9 與 F10。於模擬時，演算法會先

檢視第一優先之 3 席停機位 F1 至 F3，判斷其中是否有未被使用之空間停機位。若有則將航空器 A 指派予該停機位，即完成本項演算。若停機位 F1 至 F3 均被其他航空器使用中，則檢視第二優先之 F4 至 F8 停機位，並進行類似之判斷。若該 4 席停機位均被其他航空器使用，則檢視第 3 優先之 F9 與 F10 停機位。若此 2 席停機位仍被其他航空器所使用，則將航空器 A 指派予所有 F1 至 F10 停機位中，將最早被空出者。此一模擬演算邏輯可用圖 5.4 所示之流程圖顯示之。

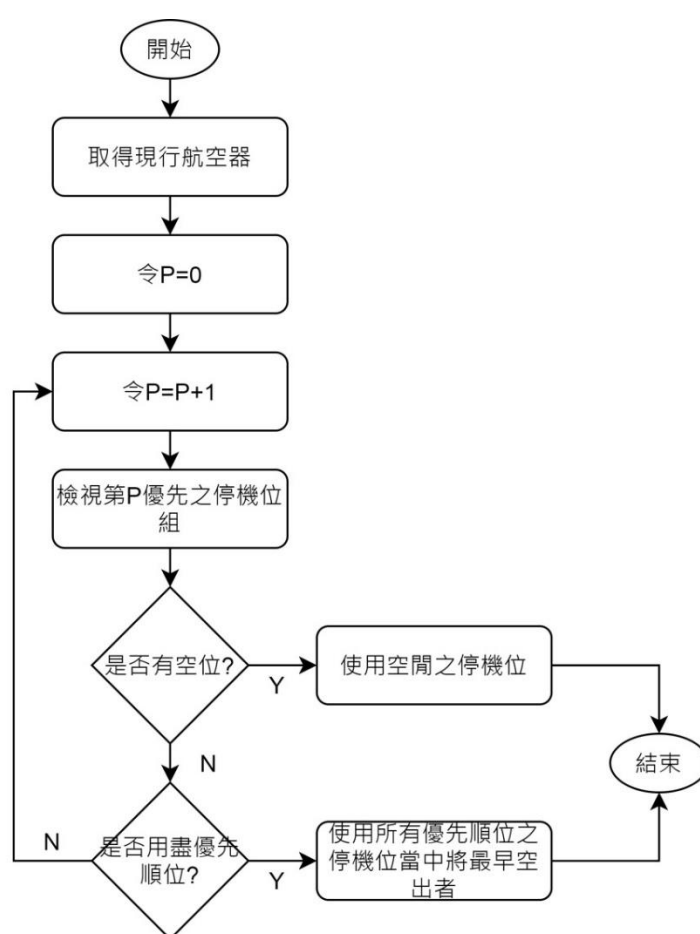


圖 5.4 航空器選用停機位模擬流程圖

以上之說明為模擬系統為評估停機位可服務航空器能力而進行演算之流程。此流程與真實機場之維運機構在管理、指派與調度其停機位之邏輯並不相同。於真實世界中，維運機構之考慮項目遠多於模擬系統所能取得之參數，而需求亦不同，因此演算邏輯亦自然不同。真實維運機構對其所管理之停機位，自前一日指派到當日指派之過程具有相當之複雜性，而

以有系統之演算法為核心之決策支援系統亦能提供極有助益之協助，但其技術與此處之模擬系統並不相同。由此真實機場對停機位之調度並非本計畫之範圍，在此不再深入論述之。

5.4 停機位相關參數

基於以上之論述可以觀察到，實務上各種因素對停機位容量之影響，可轉化為航空器與停機位之指派關係之 3 個參數項描述之：航空器之分類、停機位之分類以及各組停機位對各類航空器對之優先順序。而這些參數項亦為定義使用時間長度之基礎。至於使用時間長度，則為影響停機位周轉率(指在單位時間內，每一停機位被不同航空器停用之平均使用次數^[44]之最重要參數。除了航空器翼展等對停機位之實體、技術性需求之外，如國內線、國際線、所屬公司等均為航空器與停機位相關之常見分類。由於本系統對航空器之分類並無任何限制亦無預設之分類方式，且又允許同一航空器之不同行程具有不同分類，亦容許同一航空器之同一行程同時具有超過一種分類，因此使用者可依其需要而對航空器之各趟行程予以分類，且不會受到預設值或其他考量因素之干擾與限制。

停機位之分類亦與此相似，使用者可配合其所擬分析機場之運轉狀況而依其需求自由將停機位予以分類。由於真實機場之停機位運用方式並無一致性之統一作法，本系統不限制使用者對停機位之分類方法，同時亦允許同一停機位同時被歸屬於多個分類。

在真實機場中，停機位之運用規則常隨需求以及實體設施之變化而常態調整。未來桃園國際機場將新增衛星廊廳，其停機位之實體數量、配置將因而產生變化，而運用規則不可避免亦將有所調整。本系統之未來使用者亦有可能需要對各種可能之境進行模擬分析以探討其運轉狀況。如前所說明，在此部分之航空器分類以及停機位分類均與停機位設施以及運用規則習習相關，因此本系統有必要提供最高之分類自由度而不宜在未來停機位之實體數量、配置以及運用規則均未確定之前即先行預先分類之，以避免對未來模擬分析之使用者形成不必要之使用障礙。

基於以上之論述，可歸納停機位具有 3 項相關參數，分別為停機位之

分類、各類航空器對各類停機位之使用時間及優先順位，分別表列於表 5-2。其中停機位分類參數之目的在允許使用者將其所分析之機場所配置之多數停機位，依其性質分類之；其餘參數則在描述各類航空器與各類停機位間之關係。停機位分類之原則如下。

1. 不限制分類之定義方式，概由使用者自由定義。
2. 同一實體停機位可同時屬於多種分類。

表 5-2 停機位相關參數定義

	參數項	說明
1	停機位分類	定義各類停機位以及所包含之各席停機位
2	使用時間	各類航空器在各類停機位之使用時間長度
3	優先順位	各類航空器使用各類停機位之優先順位

茲以一虛擬簡例說明以上之參數設計概念。假設某虛擬、真實世界中不存在之機場，服務 X 與 Y 兩家航空公司。該機場配置 10 席停機位，編號為 F1 至 F10。機場維運機構對停機位之運用係將 10 席停機位分配予兩家航空公司運用，其中航空公司 X 配得停機位 F1 至 F6，而航空公司 Y 則使用 F7 至 F10 之停機位。而於機位不足時，又得相互支援。假設依現場狀況以及運轉經驗統計，於正常狀況時，航空公司 X 之航空器於停機位 F1 至 F6 進行地停程序時，所需要之使用時間為 70 至 80 分鐘，而航空公司 Y 之航空器於停機位 F7 至 F10 進行地停程序時，所需要之使用時間則為 60 至 70 分鐘。如前所說明，當航空公司 X 發生機位不足時，若停機位 F7 或 F8 正好有空，亦可使用之，但於此進行地停程序時，其所需之時間則略長，為 75 至 90 分鐘。與此類似，當航空公司 Y 發生自有之 F7 至 F10 機位不敷使用時，若停機位 F2、F3 或 F4 正好有空，亦可使用之，但於此進行地停程序時，其所需之時間亦略長，為 65 至 80 分鐘。上述說明表列於表 5-3。

表 5-3 停機位參數說明虛擬簡例

	航空公司	正常狀況使用		機位不足時可使用	
		停機位	使用時間	停機位	使用時間
1	X	F1 至 F6	70 至 80 分鐘	F7、F8	75 至 90 分鐘
2	Y	F7 至 F10	60 至 70 分鐘	F2、F3、F4	65 至 80 分鐘

對於上述說明之虛擬簡例，其相對應之停機位參數可依下列方式設定之。在航空器分類方面，可將航空公司 X 與航空公司 Y 之航空器各自歸於類別 X 與類別 Y。由於本系統並不限制航空器之分類方式，同時又允許同一航空器之行程同時歸屬於多種分類，因此若同一行程為了跑道或其他目的同時又歸於其他分類，亦不影響此處為停機位之目的而作之分類。而本系統對航空器之分類亦無預設，因此並不會對使用者造成干擾。上述說明表列於表 5-4。

表 5-4 停機位參數說明虛擬簡例之航空器分類

航空器類別	說明
X	航空公司 X 之航空器歸屬之
Y	航空公司 Y 之航空器歸屬之

在停機位之分類方面，則依該虛擬機場之 10 席停機位定義 4 類停機位，分別稱為類別 A 至類別 D，並表列於表 5-5。其中 A 類停機位含有 F1 至 F6 各席停機位，係供航空公司 X 於正常時運用；B 類停機位含有 F7 至 F10 各席停機位，係供航空公司 Y 於正常時運用。而 C 類停機位含有 F7 與 F8 之 2 席停機位，為航空公司 X 於機位不敷使用時運用，最後 D 類停機位含有 F2 至 F4 之 3 席停機位，係供航空公司 Y 於機位不敷使用時運用。由於本系統允許同一實體停機位可同時屬於多種分類，因此雖然 F7 與 F8 之 2 席停機位同時歸於 B 類及 C 類，而 F2 至 F4 之 3 席停機位亦同時歸於 A 類及 D 類，但均為本系統所容許。

表 5-5 停機位參數說明虛擬簡例之停機位分類

	停機位類別	所含停機位	說明
1	A	F1 至 F6	航空公司 X 第一順位
2	B	F7 至 F10	航空公司 Y 第一順位
3	C	F7、F8	航空公司 X 第二順位
4	D	F2、F3、F4	航空公司 Y 第二順位

依上述各項說明，即可為此虛擬簡例設定停機位相關參數，如表 5-6 所示。其中 X 類航空器(即航空公司 X 之航空器，如表 5-4 所列)之第 1 順位為 A 類停機位(即停機位 F1 至 F6，如表 5-5 所列)。當航空器使用這些停機位時，其地停程序需要使用停機位 70 至 80 分鐘(如表 5-3 所列)。而如圖 5.4 所示之模擬演算流程，在模擬過程中當 X 類航空器在第 1 順位之 A 類停機位無法取得有空位之停機位時，將檢視其第 2 順位之停機位，亦即 C 類停機位(即停機位 F7 及 F8，如表 5-5 所列)。當 X 類航空器使用這些停機位時，其地停程序需要使用停機位 75 至 90 分鐘(如表 5-3 所列)。同樣的，Y 類航空器之第 1 順位為 B 類停機位，而其第 2 順位則為 D 類停機位，其邏輯與前述相同，不再贅述。

表 5-6 停機位參數說明虛擬簡例之參數設定

	航空器分類	順位	機位分類	機率	下界(分)	上界(分)
1	X	1	A	1.0	70	80
2	X	2	C	1.0	75	90
3	Y	1	B	1.0	60	70
4	Y	2	D	1.0	65	80

對於前述之停機位相關參數設計，以及表 5-6 所示之虛擬簡例，補充說明如下。

1. 真實世界中，航空器所實際使用停機位之時間長度往往具有相當隨機性，而非固定值。例如，真實機場中若某航空器表訂將使用某停機位 70 分鐘進行其加油、清艙等地停程序，但因某種原因而延後一段時間(例如 15 分鐘)或提前一段時間(例如 10 分鐘)離開，實屬真實機場中極

為常見之現象。為此本系統允許使用者於參數中設定使用時間長度之下界與上界。如前節所說明，此一設計之目的並不在得到可真實運用之停機位指派規劃，而是在使模擬系統具有足夠的彈性以在使用者欲納入這種不確定性考量時能夠使用。設若使用者認為其在進行模擬時可不考慮這種不確定性，則可以上界與下界設定為同一值。例如，若將上界與下界均設定為 75 分鐘，則模擬系統將依此於模擬過程中，視為所對應的該類航空器使用該類停機位時，其使用時間均為 75 分鐘。

2. 在真實世界中，航空器所實際使用停機位之時間長度往往受到可用機具及設備之影響。有時因空橋或其他設備妥善狀況之影響而使其使用時間發生變化。例如(參照表 5-6)，假設 X 類航空器(即航空公司 X 之航空器，如表 5-4 表 5-所列)於使用 A 類停機位時，若某項設備故障則將增加 20 分鐘之作業時間，依過往經驗該項設備故障之機率為 5%，而使用者於進行模擬分析時，欲納入本項考慮。此時即可將表 5-6 之第 1 列予以擴充為 2 列，如表 5-7 所示。該表所呈現為，進行模擬過程中，當 X 類航空器使用 A 類停機位時，有 0.95 之機率，其使用時間介於 70 分鐘與 80 分鐘之間，而另有 0.05 之機率，其使用時間介於 90 至 100 分鐘之間。

表 5-7 停機位參數說明虛擬簡例之機率參數設定說明

	航空器分類	順位	機位分類	機率	下界(分)	上界(分)
1	X	1	A	0.95	70	80
2	X	1	A	0.05	90	100

3. 上述虛擬簡例將航空器依其所屬公司定義為 X 與 Y 兩類。真實機場之狀況可能更為複雜，例如同一公司之不同航線，各使用不同之停機位類別。此時若需要納入模擬中考量，可依與上述相同之邏輯，依其使用方式不同而對航空器作更細緻之分類，例如區分為「X-美國線」、「X-歐洲線」、「X-國內線」等等，均為本系統所容許。

第六章 滑行道模擬方法

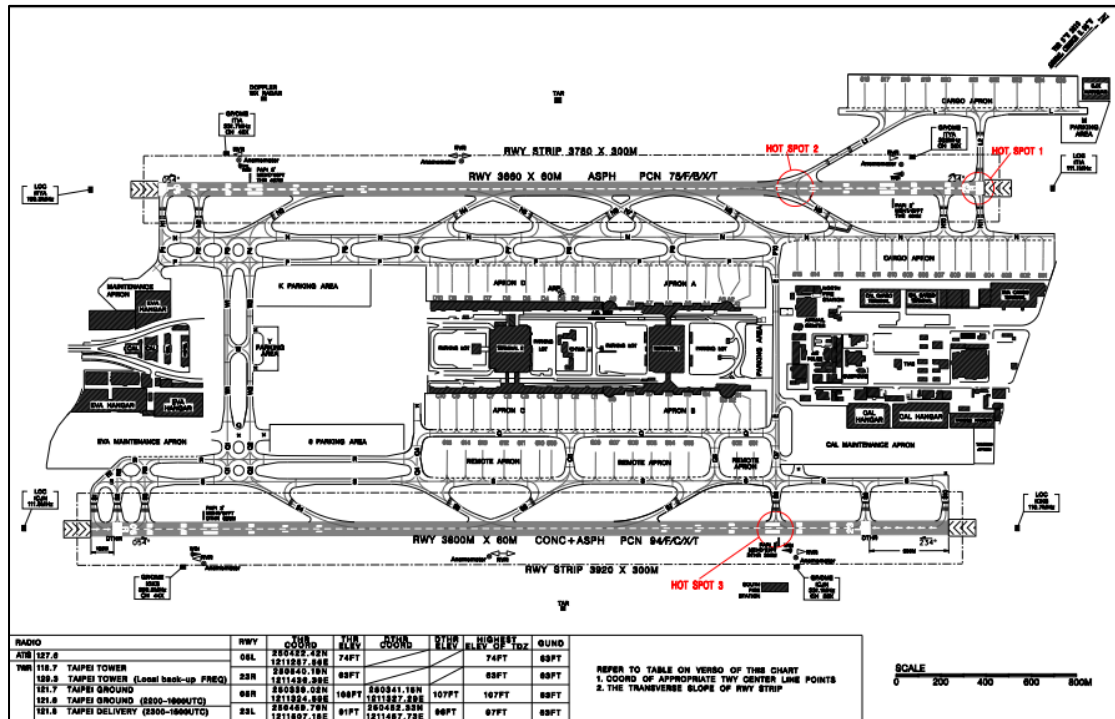
6.1 基本說明

滑行道系統連接機場各處之區域，為機場空側供航空器滑行之路線^[41]。依 111 年 10 月 29 日工作會議結論，滑行道並無獨立之容量，亦無專用之容量指標，而是應觀察特定區段之每小時航班通過數量。係依飛航管理程序^[36]之規定，航空器之開車、後推、滑行及其他活動，均須在管制員引導下為之。而航空器不論是以自身動力滑行，或由拖車拖行，於滑行道系統活動時，其路線亦均受到管制員之引導而不可由航空器或拖車駕駛員自行任意決定。因此在機場空側，所有航空器之活動狀況較接近「中央控制」而與一般道路或高速公路有相當之差異。

管制員在引導航空器於滑行道系統中之活動時，通常均對其路徑給予明確之指示，而航空器之駕駛人員亦均充分配合。然而對於滑行時間則由駕駛人員自行依空側航情而自行控制，管制員並不會明確指示航空器必須在某時某分某秒抵達滑行道之某路口。本系統於模擬演算法之設計，亦納入此種時間與空間分別由不同人員決策之實務狀況。

6.2 桃園國際機場滑行道系統

桃園國際機場配置之滑行道計有：E、L、L1、L2、N、N1、N2、N3、N4、N5、N6、N7、N8、N9、N10、N11、P、P1、P2、P3、P4、P5、P6、P7、P8、P9、P10、Q、Q1、Q2、Q4、Q5、Q6、Q7、R、R1、R2、R3、S、S1、S2、S3、S4、S5、S6、S7、S8、S9、S10、W、W1、W2，其空間布置如文獻〔41〕所示。絕大部分滑行道均布設於南北 2 條跑道之間。這些滑行道中有部分為剛性鋪面(水泥混凝土)，其餘則為柔性鋪面(瀝青混凝土)。



資料來源：〔40〕

圖 6.1 桃園國際機場場面圖(同圖 4.1)

6.3 滑行道運轉之模擬

本系統在其演算過程中利用節點與節線所構成之網路表現滑行道系統，如圖 2.2 所示，而依桃園國際機場所建置之網路則示於圖 6.2。在模擬系統內相關演算法之設計，亦以網路模式為基礎。

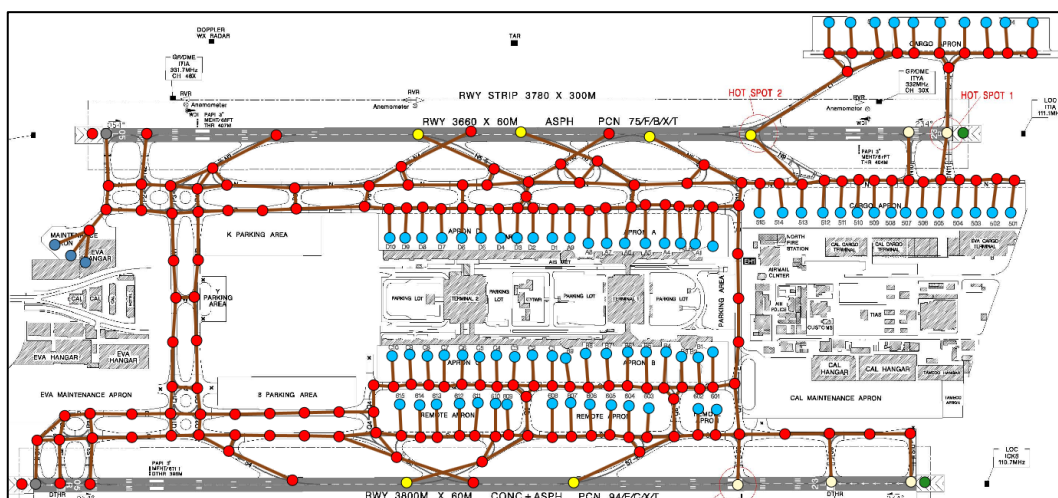


圖 6.2 桃園國際機場滑行道系統網路圖

如前所說明，航空器於滑行道系統活動時，其路線之選擇係接受管制員之引導，而滑行速率及時間則由駕駛人員自行依空側航情而自行控制。配合此種性質，於本模擬系統中計算滑行過程之演算法亦將空間與時間維度作一定程度之區隔。以下將先說明「廣義距離」，再說明計算滑行路徑之演算法流程。

圖 6.3 所示為表現滑行道系統網路之一部分，圖中呈現有 A、B、C 共 3 個節點，以及(A,B)與(B,C) 2 條節線。假設模擬系統正在處理某航空器滑行過程之模擬。該航空器由節點 B 經節線(B,C)而運行到節點 C 所需要之最短運行時間可由該航空器之速率與節點 B 至節點 C 之實體距離計算得之。另假設模擬系統可偵測得當時節線(B,C)之延滯時間，同時亦能由節點 A、B、C 之座標計算得到航空器之轉向度 T 。則定義節線(B,C)之廣義距離為其最短運行時間、延滯時間與塞車權重參數之乘積、以及轉向角度與轉向參數之乘積，三者之和。其中塞車權重參數為使用者所設定之參數值，用以表現在其進行模擬分析時所主觀認知延滯時間與正常運行時間之相對重要性，而轉向參數亦為使用者所設定之參數值，用以代表航空器在滑行過程中每轉向 90 度所損失之時間長度。有關塞車權重參數與轉向參數將在後續說明滑行道模組之相關參數時再詳細說明之。

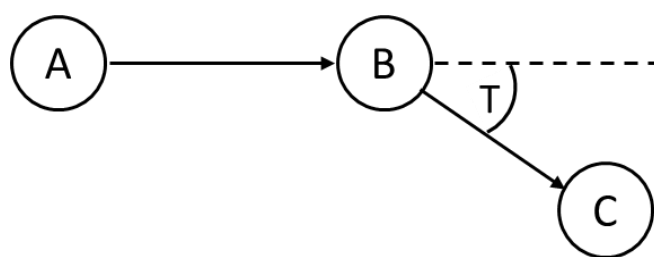


圖 6.3 廣義距離示意圖

本系統計算滑行路徑之演算法流程示於圖 6.4，該演算法係屬常用之標籤式演算法，在求解過程中演算法為每一個節點維持 1 個布林值(boolean value)標籤。於求解之初演算法先清除所有節點之標籤，再於回合演算之過程中以每次 1 個節點的方式逐一設定之。在標籤之外，演算法並對每一節點均設置一距離值，用以記錄在演算過程中所發現該節點距起點最近之廣

義距離。此距離值在演算之初先設定為一大值，再於求解過程中逐步縮小之。在每回合的演算中，演算法均選定一個節點並稱之為「現行節點」，之後逐一檢視現行節點之相鄰節點，並依現行節點與其相鄰節點之間的距離、轉向角度及延滯狀況，計算相鄰節點之廣義距離。完所有相鄰節點之檢視後，再依廣義距離挑選下一個現行節點。該演算法於抵達終點節點時結束，並產出所發現之路徑供模擬系統之其他模組運用。

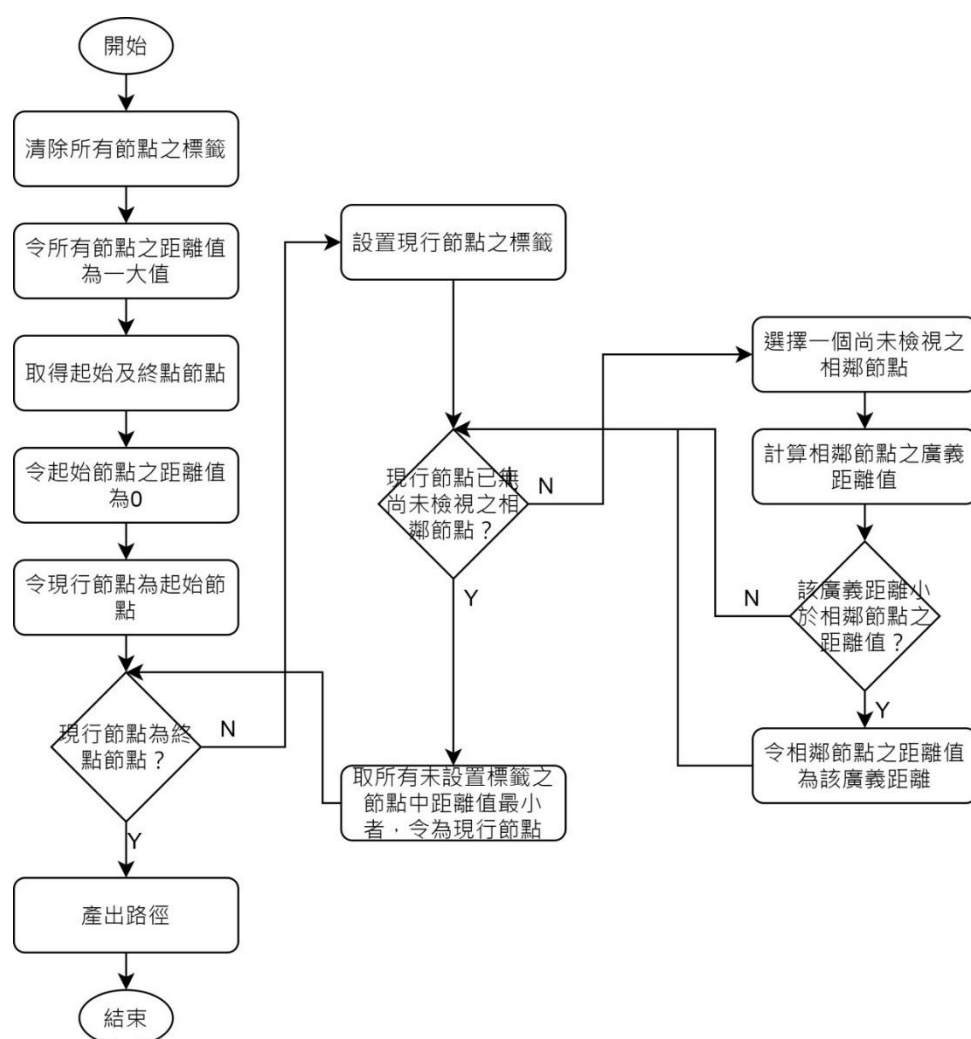


圖 6.4 滑行路徑演算流程圖

航空器於模擬系統中的行程可能由跑道移動至停機位、由停機位移動至跑道、或由停機位移動至另一停機位。所有這些可能的組合在模擬過程中均是用相同的演算法計算其路徑。模擬系統依前述演算法求解得到航空

器之路徑後，即可模擬該航空器由跑道至停機位之過程。在此過程中，系統將進一步處理不同航空器之間相互避讓的問題。如果 2 趟航空器行程的路徑並無重疊，則該 2 航空器即不可能在模擬過程中發生衝突，因此亦無需處理避讓。如果路徑有所重疊，則在重疊的部分，若該 2 航空器之運行方向相同，則系統將對重疊部分的節點與節線，維持先行之航空器必須完全離開之後，續行之航空器方可進入該節點或節線，亦即維持在任一時間，每一個節點或節線均僅能由 1 架航空器使用。反之，若在重疊的區域 2 航空器之運行方向相反，則系統以避免發生死結(Deadlock)之考量，安排此 2 航空器使用該節點或節線之順序。

6.4 滑行道相關參數

本系統與滑行道系統相關有 4 組參數，分別為場面布置、滑行速率參數、轉向參數及塞車權重參數，以下將分別說明之。在場面布置方面，其參數內容主要為各節點之座標與屬性，以及各節線連結節點之狀況，用以描述如圖 6.2 所示之網路。其中節點之座標指節點在圖中之位置，而節點之屬性則指該節點所代表之設施，如跑道頭、跑道出口、滑行道、停機位等。節線則無座標，悉以其兩端節點之座標決定節線之位置及長度。觀察圖 6.2 所示之網路可以發現其中含有數百項節點與節線資訊，若欲以逐一鍵入座標點及屬性資訊之方式建立本項資訊，不但工作量甚大而且其中含有誤植數據時將極難以發現。為此模擬系統以 data-view 之概念開發輔助功能，由使用者在圖形介面上以滑鼠點圖之方式建立及編修網路，再由軟體將所收到之數據轉化成為其內部格式供模擬系統使用。

滑行速率參數、轉向參數及塞車權重參數均以航空器分類為基礎。每一項參數對每一類航空器均可設定其下界與上界，並可依機率分組，其概念與表 5-6 所示者相接近。茲以一虛擬簡例說明之。假設在該虛擬機場中，以某種經驗判斷或以實地量測結果，發現航空器以其自身動力滑行時，其速率之上限值介於 8.3 節與 25 節之間；以拖車拖行時，速率之上限值則介於 4 節與 10 節之間，而使用者欲以此作為模擬分析時之參數。則此時該使用者可依此需要將各航空器之行程依其係以自身動力滑行，或由拖車拖

行而區分為 2 類航空器類別，分別稱為「自動力」與「拖行」。之後再依表 6-1 所列之方式設定滑行速率參數，亦即對於「自動力」類別設定其滑行速率介於 8.3 節與 25 節之間，而將「拖行」類別設定其滑行速率介於 4 節與 10 節之間。二者之機率均設定為 1.0，以使模擬系統將各類航空器之速率，全數由各自所定義之範圍內隨機設定之。

表 6-1 虛擬簡例滑行速率參數設定例

	航空器分類	機率	下界(節)	上界(節)
1	自動力	1.0	8.3	25
2	拖行	1.0	4	10

須注意表 6-1 所定義者，為系統在進行模擬時，在模擬過程中允許航空器達到之最高速率。因此表中之下界並非模擬過程中各航空器所應保持之最小速率，而上界亦非模擬過程中各航空器所應維持之最大速率。茲以一虛擬簡例說明之。以表 6-1 之內容為例，假設在模擬過程之某階段，有一架以自身動力滑行之航空器進入系統。此時軟體即依此表之定義，在 8.3 與 25 之間以隨機方式取得 1 個數值作為模擬該航空器之滑行過程時，該航空器可達到之最大速率。亦即，假使以隨機方式取得之值為 11.2，則軟體在模擬該航空器之滑行過程時，該航空器之移動速率即不可超過 11.2 節。然而模擬時，該航空器可能在滑行過程中受到其他航空器之影響而必須降速，亦有可能在模擬之滑行過程中需要過彎亦必須降速。因此若檢視模擬結果，在絕大部分狀況下，航空器滑行過程之平均速率(亦即滑行總距離除以滑行總時間所得之商值)均顯著低於其容許最大速率值。以上述虛擬簡例而言，其以隨機方式取得之最大速率值為 11.2 節，而若檢視模擬之結果，將其在模擬過程中所經歷之滑行距離除以模擬過程中所使用之滑行時間所得到之平均滑行速率，將顯著小於此 11.2 節。

真實世界中的航空器，其滑行速率必有所差異。設若上述虛擬簡例之使用者於模擬分析時，希望以較簡化之方式進行，亦即希望所有航空器之滑行速率均以單一平均值進行模擬分析，而該使用者衡量其模擬分析之目的之後，判斷以自身動力滑行之航空器，其滑行速率可使用 15 節為代表，而拖行時則可使用 7 節為代表。此即該使用者即可依表 6-2 所示之方式設定其滑行速率參數，亦即設定「自動力」類別之下界與上界均為 15 節，而

「拖行」類別類別之下界與上界均為 7 節。

表 6-2 虛擬簡例滑行速率參數設定例(簡化)

	航空器分類	機率	下界(節)	上界(節)
1	自動力	1.0	15	15
2	拖行	1.0	7	7

反之，設若該使用者於進行模擬分析時，觀察其實際量測數據或依經驗判斷，認為雖然「自動力」類別之航空器，其滑行速率確是介於 8.3 節至 25 節之間，但其分布並非平均分布，而是其中有 20%航空器之滑行速率較低，介於 8.3 節至 12 節之間、有 70%航空器之滑行速率居中介於 12 至 20 節之間、而有 10%航空器之滑行速率最快，介於 20 至 25 節之間。此時該使用者即可依表 6-3 之方式設定滑行速率參數，亦即將「自動力」類別航空器之滑行速率參數區分為該表之第 1 列至第 3 列，依序設定其機率值為 0.2、0.7 及 0.1，並依上述速率值設定其對應之滑行速率下界與上界。呈現在表 6-3 之虛擬簡例係將「自動力」類別航空器之滑行速率參數區分為 3 項並個別設定其相對應之機率值；本系統並未限制航空器之分類方式，亦未限制同一類航空器滑行速率參數區分為多項之最多數量。因此若使用者欲以更細緻之方式表現滑行速率之某種理想目標分布(例如類似高斯分布之鐘形分布，或類似指數分布之單側分布，或貼近實測所得之速率分布等)，均可依上述相同之方式，控制區分項數以達到其需要之貼近程度：區分項數愈多，模擬時所使用之滑行速率將愈貼近其理想目標之分布。

表 6-3 虛擬簡例滑行速率參數設定例(詳細)

	航空器分類	機率	下界(節)	上界(節)
1	自動力	0.2	8.3	12
2	自動力	0.7	12	20
3	自動力	0.1	20	25
4	拖行	1.0	4	10

轉向參數為本系統為滑行道所提供的參數之一，用以呈現所指定類別之航空器，在滑行過程中過彎時損失時間之狀況，以「每 90 度分鐘數」為單位；例如，若其值為 1.0 則表示每 90 度將損失 1 分鐘之時間，若為 45 度則損失 0.5 分鐘，依此類推。茲延續前述虛擬簡例說明之。今假設該模擬分析使用者於設想其分析情境時，認為在其所分析之虛擬機場中，塔臺管制員在引導航空器滑行時，並不考慮航空器在滑行路徑過程中轉彎之影響，因此於指派路徑予航空器時僅考量其路程距離。使用者欲模擬分析此種情境時，可將其轉向參數值之下界與上界均設定為 0 使其在模擬過程中所使用之值均為 0，如表 6-4 所示。該表中使用之航空器分類為 ALL，此為本系統預設之航空器類別，於進行模擬時，系統將自動定義此一類別，並將所有航空器全數歸入之。

表 6-4 虛擬簡例轉向參數設定例(不考慮轉向影響)

	航空器分類	機率	下界(節)	上界(節)
1	ALL	1.0	0.0	0.0

在另一方面，設若使用者於完成上述模擬分析之後，擬再進行另一不同情境之模擬：假設塔臺管制員於指派路徑予航空器時，除了考慮滑行距離之外，並一併考慮航空器在滑行過程中若遇轉彎可能會需要減速，於轉彎之後再加速等或許產生不方便之狀況，因而在指派路徑予航空器時，將會避免派予過多轉彎之滑行路徑。此時該使用者可對轉向參數作如表 6-5 所示之設定，將其轉向參數值之下界與上界均設定為 1.0 使其在模擬過程中所使用之值均為 1.0。由於本項參數之具體影響並不易預測，而使用者亦不易在分析之前先具體定義其預期效果，於使用時可利用試誤法找到其適合之參數值。

表 6-5 虛擬簡例轉向參數設定例(考慮轉向影響)

	航空器分類	機率	下界(節)	上界(節)
1	ALL	1.0	1.0	1.0

塞車權重參數為本系統為滑行道所提供之另一項參數，用以呈現使用

者在進行模擬分析時，在其所構想之分析情境中，塔臺管制員對於避免場面發生擁塞之重視程度。此參數定義為延滯時間與正常滑行時間之相對重要性。例如，若設定塞車權重參數之值為 0.2，則表示因延滯而損失之 1 分鐘，其重要性相當於正常滑行所耗費之 0.2 分鐘。因此，若此參數值愈高，則該航空器將愈傾向於繞遠路以避開塞車路段而降低所承受之延滯；反之，若此參數值為 0，則該航空器將一律選擇路程最短之滑行路徑，完全不考慮因路程中可能發生之延滯。茲延續前述虛擬簡例說明之。今假設該模擬分析使用者於設想其分析情境時，認為在其所分析之虛擬機場中，塔臺管制員在引導航空器滑行時，並不考慮滑行道上已經發生之擁塞，而均引導航空器採行距離最近之路徑。使用者欲模擬分析此種情境時，可將其塞車權重參數值之下界與上界均設定為 0 使其在模擬過程中所使用之值均為 0，如表 6-6 所示。該表中使用之航空器分類為 ALL，此為本系統預設之航空器類別，於進行模擬時，系統將自動定義此一類別，並將所有航空器全數歸入之。

表 6-6 虛擬簡例塞車權重參數設定例(不考慮延滯影響)

	航空器分類	機率	下界(節)	上界(節)
1	ALL	1.0	0.0	0.0

第七章 航空器行程設定方法

7.1 基本說明

本系統由使用者輸入一組描述航空器行程相關資訊之數據。在模擬分析過程中，系統即使依使用者所設定之其他參數，模擬這組航空器行程在機場空側之活動狀況。航空器行程描述了參與模擬各航空器於空側活動之起點與終點等空間資訊，以及預定起始時間。可能之態樣組合可參見表 3-4。應用時，使用者可利用設定航空器行程清單來精準反映使用者所設想之情境，不受預設之機隊組合等間接方式之限制。

7.2 航空器行程相關參數

每一筆航空器之行程資訊含有 13 個項目，其中 7 項為模擬分析所必須，屬必填資料，其他 6 項與模擬分析並無直接關聯，屬非必填資料。所有輸入項目說明於表 7-1。其中較特別者為「航空器分類」項。本項屬於必要資料，意指系統於進行模擬時必須取得本項數據。然而如前各章所說明，航空器分類必須配合每一次進行模擬分析時之需求而設計，不可能事先預設。為了方便使用，本系統於開始模擬之前，將自動定義 ALL 類別，並將所有航空器全數歸入之，因此使用者於進行模擬分析時，若認為恰當，亦可不提供分類，而默認所有航空器行程均同屬 ALL。

在表 7-1 所列之資訊項目中，起點(StartPos)與終點(EndPos)較為複雜。此 2 項可為停機位或跑道，允許二者均為停機位以描述拖機，但不可二者均為跑道。使用者可於本項填入「BAY」，此時模擬系統將依停機位參數以及其設計之模擬邏輯，為該行程指派停機位。若起點或終點填「RW」值，且該機場設定有多於 1 條跑道，則由系統隨機指派跑道。若填「RW2」值，則由系統依其停機位，指派到比較近的跑道。此外使用者亦可於起點或終點填入跑道名稱，此時系統將依指定的跑道供該行程使用。如果使用者指定的跑道不存在，則系統視為是填 RW。

表 7-1 行程資訊輸入項目表

名稱	說明	必要	備註
Project	專案名稱	是	
SN	流水號		同一專案中此為唯一碼
Group	航空器分類		
TailNum	機尾號		
StartPos	起點		必須為跑道或停機位
EndPos	終點		
StartTime	開始時間		0 至 N 分鐘
EndTime	抵達時間	否	
Operator	航空公司		
Type	機型		
CallNum	航班		
Mission	任務類型		
ICAO	ICAO 分類		

7.3 航空器分類

本節說明本系統使用者對航空器分類之基本概念。在實務上，為各種不同目的對航空器依不同方式分類為常見之作法。以第 2.6 節所回顧之飛航管理程序^[37]為例，在所回顧之範圍內即有超過一種航空器之分類方式，各有其不同之分類目的。對本系統而言，分類之目的在建立模擬過程中各航空器行程與各種參數組合間之關係。而這種關係相當多元。前述各章之虛擬簡例中所見之依本國籍或外國籍、依自動力或拖車拖行、依航空公司等各種不同之分類方式，於本系統真實運用時均有可能使用到，亦很可能以各種組合同時使用。為了滿足對航空器這種多元化之分類需求，本計畫設計高度彈性之機制，允許使用者依其需求以任何方式定義航空器之分類。此機制之原則如下：

1. 不限制分類之定義方式，概由使用者依其需求而自由定義。
2. 航空器於跑道與停機位，或停機位與停機位之間的一次移動稱為一趟行程。航空器之分類以行程為單位，亦即允許使用者將同一架實體航空器之不同行程定義為不同的類別。

3. 同一航空器行程，可同時屬於多個類別。

上述對於航空器分類設計提供了高度彈性的應用可能性。茲以一虛擬簡例說明之。在某次模擬分析中，使用者可能於設計所模擬的航空器行程中，含有某一本國籍航空公司所經營，來自美國線之實體航空器降落於其所分析之機場，由跑道滑行至其停機位(行程 1)並於在停機位停留 2 小時之後使用拖機拖往另一停機位(行程 1)。此時該使用者可能為了配合跑道相關參數之對應而將該實體航空器之行程 1 定義於「本國籍」(請詳表 4-5 之說明及表 4-6 之虛擬簡例)；同時又為了配合停機位相關參數之對應而將該實體航空器之該行程定義為「美國線」(請詳表 5-2 之說明)。

而為了配了滑行道相關參數之對應而將該實體航空器之該行程定義為「自動力」。至於該航空器之行程 2 為拖機行程，因此與跑道並無相關，因此可能僅需定義其屬於「拖行」之類別即可。以上之虛擬簡例說明整理於表 7-2。實際進行模擬分析時，使用者依其所構想之情境而設計適用之航空器分類類別，可能需要將普通航空業區分為不同之類別以使其適用其專屬之模擬參數，亦有可能依其航空器駕駛人員對本場熟悉程度分類為「生場類」與「熟場類」等等不一而足，必與表 7-2 之虛擬簡例有所差異，亦不宜在模擬系統之設計中以預設分類或其他方式限制之。

表 7-2 虛擬簡例航空器分類設定例

	航空器行程	行程說明	分類	分類說明
1	行程 1	降落後由跑道滑行至停機位	本國籍	配合跑道相關參數之對應
			美國線	配合停機位相關參數之對應
			自動力	配了滑行道相關參數之對應
2	行程 2	由停機位拖行至另一停機位	拖行	配了滑行道相關參數之對應

第八章 空側容量評析系統運用

8.1 基本說明

本章以前面各章對組成模擬系統之跑道模組、停機位模組、滑行道模組、航空器行程等之個別介紹為基礎，介紹機場空側容量評析系統之整合運用。

8.2 情境構想

使用者在開始進行模擬分析之前，必須先有明確的情境構想。所模擬之情境可以是在真實世界中常見之狀況，亦有可能是在真實世界中少見，甚至可行性不高之假想狀況。可能的情境範圍很廣，在環境面例如「正常良好天氣」、「雷雨」、「低能見度」等均為可能之構想情境；在設施面例如「滑行道關閉」、「增設滑行道」、「停用停機位」甚至「新建跑道」等亦為可能之構想情境。甚至在航管面「增大跑道隔離標準」、「縮小跑道隔離標準」等亦為可模擬的情境。

在另一方面，使用者必須明確釐清其所欲模擬分析之目的。在大部分狀況下，「進行模擬」是工作人員藉以更深入瞭解某系統之手段，而非目的。因此使用者必須明確化其模擬分析之目的。可能的目的很多，例如欲瞭解關閉某些滑行道對滑行時間之影響，或欲瞭解不同離場到場組合下跑道所能負荷的最大通過量等均為可能的分析目的。不同情境之比較與對照亦為進行空側容量分析的常見目的。此時應在實際進行模擬之前，規劃的同時就構想所欲比較對照之情境以及所擬比較之項目。

然而完全重現真實運轉過程並非可行的模擬分析目的。原因是凡是模擬必不可能與真實世界完全一致，而模擬系統中必有其簡化省略之處。以本系統而言，空域與陸側均不在系統範圍內，然空域與陸側對空側並非全無影響。在真實世界中，少數乘客登機延遲可能影響航空器後推時間，對空側活動發生或多或少之影響，但此點在本系統中即僅能以航空器使用時

間長度之隨機性，以機率表現之(詳參第 5.4 節對停機位相關參數之說明)，而無法將個別乘客之行為均納入模擬過程中。而隨機性之納入，即使得模擬系統不可能以任何模擬方式完全重現歷史；即便是僅模擬投擲一枚公正、兩面以等機率出現硬幣之過程這種高度簡化之系統，亦僅能納入其波生分布之邏輯而不可能完全重現真實投擲 500 次之歷史。

8.3 場面設定

在進行任何模擬分析之前，必須先依所構想之情境而設定網路以描述場面之跑道、滑行道及停機位設施。如第 6.4 節所說明，此類網路數據具有相當之量體以及複雜性，不易以人工方式直接鍵入各節點之座標以及相關數據。為此本模擬系統以 data-view 之概念，提供輔助功能方便由使用者在圖形介面上以滑鼠點圖之方式建立及編修模擬所需要之網路，再由軟體將使用者所編修之數據自動轉化成為其內部格式供模擬系統使用。例如，若某使用者欲模擬之情境為關閉「N」滑行道介於 P9 與 P10 間之路段，則自場面中移除之。

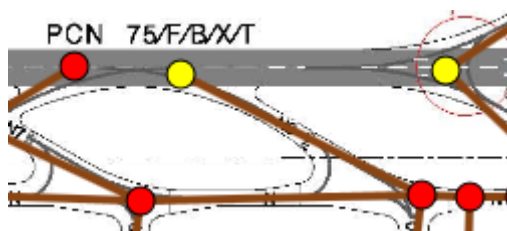


圖 8.1 場面設定示例(原網路)

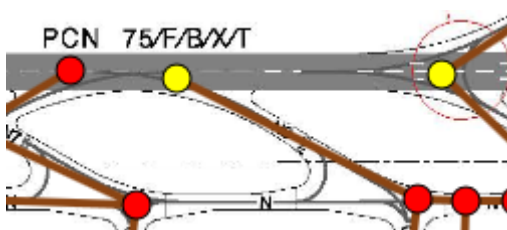


圖 8.2 場面設定示例(移除節線後)

8.4 航空器行程之設定

如前所說明，本系統由使用者依所構想之情境而設定航空器行程之清單。茲以一虛擬簡例說明之。假設使用者欲瞭解某機場起降比例為 2 比 8(亦即每 10 架次之起降中，起飛使其中 2 架次而降落使其中之 8 架次)時之狀況，則可在設定航空器行程時，編排其中有 20% 為起飛之行程，而 80% 為降落之行程。使用者亦可經由設定各航空器行程之「開始時間」欄(可參閱表 7-1 之說明)，而控制其出現於模擬系統中之順序為連續 2 架次起飛，之後連續 8 架次降落，或 1 架次起飛之後連續 4 架次降落，或其他之組合方式。由於模擬過程中有許多影響因素，因此不論使用者如何設定其起降之組合，模擬結果之起降組合順序均不太可能與原始設定完全一致，但使用者仍可由模擬結果觀察各種不同設定之影響。另一虛擬簡例，假設使用者欲觀察高度需求下之模擬結果，則可壓縮各航空器之行程開始時間，例如將原本分布於 20 小時之航空器行程，等比例壓縮於 18 小時，或 15 小時完成。

使用者在設定航空器行程之同時，亦可依其構想，配合各項參數而設定各航空器之各行程的分類。如第 7.3 節之說明，本系統提供高度彈性之機制，容許使用者依其需求以任何方式定義航空器之分類，以滿足模擬系統不同使用者之多元化之分類需求。

8.5 參數之設定

完成航空器行程之設計後，使用者即可依所構想之情境，配合其對航空器之分類，為各類航空器行程設定相對應的參數。參數數值將對模擬結果具有決定性之影響，因此使用者所設定之參數數值應能正確描述其所欲分析之情境。例如，倘若使用者欲模擬之情境為在不良天候下，關閉某條滑行道之狀況。此時除了需要依第 8.3 節之說明，依其構想而編修場面數據外，並可能需依其所設想之情境而適當設定跑道使用時間參數與跑道間隔參數數值(參閱第 4.7 節之表 4-5)，以反映在不良天候下航空器在起飛與降落的操作過程中所需要使用跑道時間較久、而航管人員亦以較保守之策略要求較大之跑道隔離時間。使用之參數數值可以是實際量測之結果、相

關人員之經驗值、訪談結果、或估計值。

8.6 應用簡例

本節呈現一個虛擬的應用簡例，目的在以較具體的方式展示進行一次模擬分析所需要製備的參數等輸入數據，以及經軟體求解之後所得到的模擬結果。

本簡例以桃園國際機場場面為基礎，設計 8 趟航空器行程。設想之情境，有 AC-1 與 AC-2 兩類航空器，其中 AC-1 類優先使用桃園國際機場之 A1 停機位，但若該停機位已被使用，可使用桃園國際機場之 C1、C2 或 C3 停機位其中之一。若使用 A1 停機位則其地停時間介於 60 至 100 分鐘之間；若使用 C1、C2 或 C3 停機位其中之一則其地停時間介於 60 至 120 分鐘之間。而 AC-2 類航空器則優先使用桃園國際機場之 B1 停機位，但若該停機位已先被使用，則可使用 C1、C2 或 C3 停機位其中之一。若使用 B1 停機位則其地停時間介於 60 至 100 分鐘之間；若使用 C1、C2 或 C3 停機位其中之一則其地停時間介於 60 至 120 分鐘之間。整理如表 8-1。

表 8-1 應用簡例停機位情境需求

	航空 器類	正常狀況使用		機位不足時可使用	
		停機位	使用時間	停機位	使用時間
1	AC-1	A1	60 至 100 分鐘	C1、C2、C3	60 至 120 分鐘
2	AC-2	B1	60 至 100 分鐘	C1、C2、C3	60 至 120 分鐘

設定參數時，先依需求進行停機位之分組設定。本系統對停機位之分組並無任何預設限制，因此使用者僅需考慮其情境之需求而設定其分組方式以及分組名稱即可，無其他限制。配合上述情境需求，並參考表 5-5 及相關說明，可將停機位分為 3 類。本例所將 3 類停機位，名稱設定為「Bay-A」、「Bay-B」及「Bay-C」。其中 Bay-A 含有之停機位為 A1、Bay-B 含有之停機位為 B1、而 Bay-C 則含有 C1、C2 及 C3 共計 3 席停機位。整理如表 8-2。

表 8-2 應用簡例之停機位分類參數值

	停機位類別	所含停機位	說明
1	Bay-A	A1	AC-1 類航空器之第一順位
2	Bay-B	B1	AC-2 類航空器之一順位
3	Bay-C	C1、C2、C3	AC-1 及 AC-2 類航空器之第二順位

之後再依表 5-2 之說明，設定停機位之分類、各類航空器對各類停機位之使用時間及優先順位停機位之分類、各類航空器對各類停機位之使用時間及優先順位，分別表列於表 5-2。需要建立表 8-3 所列各項資訊：停機位分類、使用時間及優先順位之間的關係。

表 8-3 停機位相關參數項目

	參數項	說明
1	停機位分類	定義各類停機位以及所包含之各席停機位
2	使用時間	各類航空器在各類停機位之使用時間長度
3	優先順位	各類航空器使用各類停機位之優先順位

具體的參數值則如表 5-6 及相關內文所說明，於本應用簡例之具體參數值則整理於表 8-4。

表 8-4 應用簡例之停機位使用參數值

	航空器分類	優先順位	機位分類	機率	使用時間下界	使用時間上界
1	AC-1	1	Bay-A	1	60	100
2	AC-1	2	Bay-C	1	60	120
3	AC-2	1	Bay-B	1	60	100
4	AC-2	2	Bay-C	1	60	120

在跑道方面，本情境假設所有航空器在使用跑道時之使用時間與間隔時間均相同，滑行速率之上下限亦相同，並無進一步區分之需求。因此將

所有航空器歸於一類即可，在本應用簡例中，將該分類之名稱設定為「AC-R」。因此，對同一航空器來說，於本應用簡例中即會同時屬於 2 個分類。例如，某航空器可能在表 8-4 中屬於 AC-1 之分類，亦即其使用停機位時，係優先選用 Bay-A 類之停機位，若無可用機位則可改選用 Bay-C 類之停機位；而同時，該航器於跑道進行起降操作時，則依 AC-R 之類別決定其所需要之跑道使用時間以及跑道間隔時間。

本應用簡例所使用之滑行速率參數值示如表 8-5。如前所說明，本情境假設所有航空器之滑行速率上下限均相同，並無進一步區分之需求。因此應用簡例中所有航空器之滑行速率均使用表 8-5 之參數值。

表 8-5 應用簡例之滑行速率參數值

速率單位：時速公里

機率	速率下限值	速率上限值
0.05	66	72
0.8	30	66
0.15	15	30

本應用簡例所使用之跑道使用時間參數值示如表 8-6。如前所說明，本情境假設所有航空器之跑道使用時間均相同，並無進一步區分之需求。因此應用簡例中所有航空器之跑道使用時間均使用表 8-6 之參數值。

表 8-6 應用簡例之跑道使用時間參數值

起或降	使用時間(分鐘)	起或降
起	1.06	起
降	0.86	降

本應用簡例所使用之跑道間隔時間參數值示如表 8-7。如前所說明，本情境假設所有航空器之跑道間隔時間均相同，並無進一步區分之需求。因此應用簡例中所有航空器之跑道間隔時間均使用表 8-7 之參數值。

表 8-7 應用簡例之跑道間隔時間參數值

跑道	本機起降	前機起降	間隔時間(分鐘)
同跑道	起	起	0.88
	降	降	1.32
	起	降	0.38
	降	起	1.82
不同跑道	起	起	0.1
	起	降	0.2
	降	起	0.2
	降	降	0.4

除了設定上述各項參數之數值外，還需要設定航空器行程。所需要之參數項目說明於表 7-1 及相關內文。本應用簡例為航空器行程所設定之參數值如表 8-8。如第 7.3 節所說明，本系統允許使用者自由定義航空器分類，且允許同一航空器同時歸屬於多個分類。於表 8-8，其中之「航空器分類」欄顯示所有航空器行程均屬於 AC-R 之類，而其中一部分同時亦屬於 AC-1 或 AC-2 之分類。其中 AC-R 分類使得該航空器在模擬過程中可得到表 8-6 之正確跑道使用參數值以及表 8-7 之跑道間隔參數值，而 AC-1 或 AC-2 之分類則使該航空器在模擬過程中可依表 8-4 之設定取得正確的停機位優先順序以及使用時間。由於流水號 2、4、6、8 之行程並不進入停機位，故其分類僅有 AC-R 即可，若使用者一併將其設定歸屬於 AC-1 或 AC-2 亦不影響模擬結果。

表 8-8 之起點與終點設定了該行程之起點與終點。此二項可為停機位或跑道。而「BAY」即使模擬系統依表 8-4 所設定之內容選定其停機位，其邏輯說明於圖 5.4 所示之流程圖及其相關內文。而起點或終點設定為「RW」時，模擬系統即隨機指派跑道。其他之選項可參見表 7-1 及相關內文之說明。

表 8-8 應用簡例之行程參數值

	專案名稱	流水號	航空器分類	機尾號	起點	終點	開始時間	航班
1	Example	1	AC-R;AC-1	1	05L	BAY	60	1
2	Example	2	AC-R	1	BAY	05R	120	2
3	Example	3	AC-R;AC-1	2	RW	BAY	70	3
4	Example	4	AC-R	2	BAY	RW	130	4
5	Example	5	AC-R;AC-2	3	05R	BAY	80	5
6	Example	6	AC-R	3	BAY	05R	140	6
7	Example	7	AC-R;AC-2	4	05R	BAY	85	7
8	Example	8	AC-R	4	BAY	05R	145	8

此應用簡例可在 1 秒之內完成模擬之運算。模擬結果，機尾 1 號之航空器準時到場之後，滑行進入其最偏好之 A1 停機位。其後到場之機尾 2 號航空器亦以 A1 停機位為最偏好，但因已被 1 號機使用而改使用第 2 偏好之 C1 停機位。之後機尾 3 號之航空器依相同邏輯進入 B1 停機位，而 4 號機則進入 C2 停機位。依表 8-4 所設定之使用時間停留於各停機位之後，4 架航空器再依其時間離場而結束模擬。以下圖 8.3 所示為模擬過程中之一個階段，當時機尾號為 1、2、3 之航空器均已進入停機位，而 4 號機則即將進入 C2 停機位。

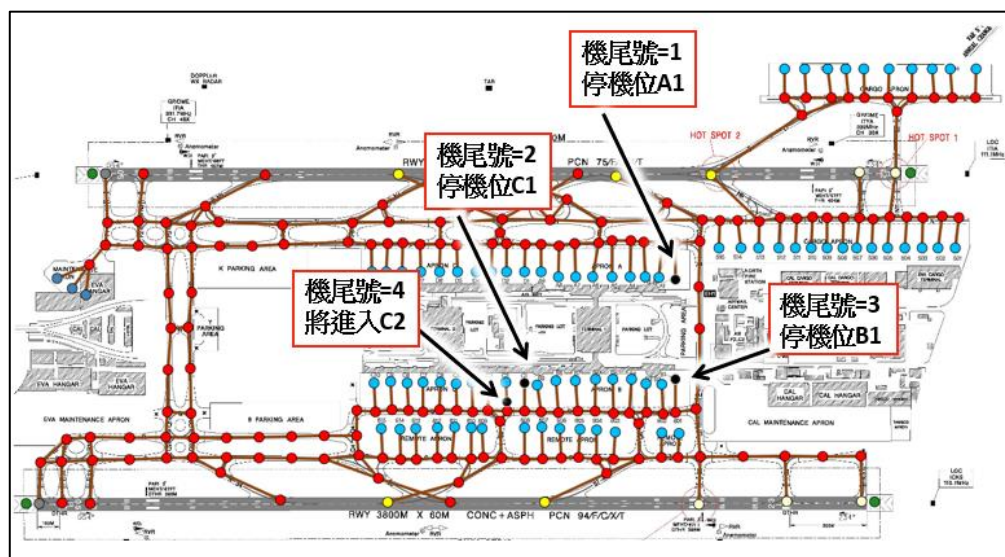


圖 8.3 應用簡例模擬過程之一

第九章 雛型軟體開發

9.1 基本說明

本計畫所設計之雛型軟體，其目的在研究成果測試及展示之用。而所開發之技術，主軸方向在以模擬技術進行機場空側容量之分析，並不在以模擬方法重現真實世界所發生之狀況；如前所述，模擬軟體實際上亦不可能完全重現在真實世界所曾經發生之歷史。依此，本計畫軟體設計之原則說明如下。

1. 軟體系統目的

測試以模擬方法進行機場空側容量之分析之技術並展示。為了達到測試之目的，軟體具有運算、模擬之能力。

2. 預設使用者

經本計畫 3 月工作會議討論及確認，本雛型軟體之預設使用者為技術開發之工作人員。因此軟體之操作方式、預設值、防呆功能及其他設計均以技術開發工作人員之需求為設計目標。

3. 涵蓋範疇

機場空側之航空器移動。模擬系統所涵蓋實體空間之邊界在跑道。所有航空器均由跑道降落，飛越跑道頭時進入本系統，由跑道起飛後，脫離跑道時消失於系統中。例外的狀況是使用者所提供之數據可能出現或消失於某停機位。

4. 軟體架構

主從式架構(Master-slave Architecture)，單機運行，無團隊協作。主要模組有前端模組以及後端模組。其中前端模組含有操作界面，而後端模組則具有模擬引擎及資料庫。在目前雛型軟體中所有前端與後端模組均合併編譯成為一套軟體以方便開發。未來若有需要，此軟體可經局部改寫而將前端之操作界面模組獨立編譯成為可執行

軟體，其餘之後端模組編譯成為另一可執行軟體，再於執行階段透過網際網路而共同完成模擬之求解演算。上述架構之各模組表列於表 9-1。

5. 開發軟體之工具

使用 C++、C#、SQL 等語言，Visual Studio 開發環境、Gurobi 數學求解核心工具、DevExpress 界面套件、MS-SQL 之 DBMS。

表 9-1 雛型軟體之各主要模組

	模組名稱		說明
1	前端模組		供使用者操作
2	後端模組	資料庫	管理所有數據
3		模擬引擎	進行模擬演算

9.2 前端模組

前端模組為含有與使用者互動操作功能之軟體模組，其中提供了場面編輯、參數維護、航班維護、模擬控制、動畫顯示等重要功能。使用者之工作以專案為管理基礎，而各種數據均是以版本作為管理基礎。軟體雛型之主畫面示如圖 9.1，使用者可在此畫面選取其所欲使用之專案，再於畫面右側區域進行該專案下各模擬項目之操作。



圖 9.1 軟體雛型主畫面截圖

如第 6.4 節所說明，描述場面之跑道、滑行道系統及停機位之網路含有相當數量之節點與節線資訊，若欲以逐一鍵入座標點及屬性資訊之方式建立本項資訊，不但工作量甚大而且其中含有誤植數據時將極難以發現。為此本軟體提供圖 9.2 所示之操作界面，供使用者以圖形化之方式建立跑道、各滑行道以及停機位之數據。軟體則依使用者所建立之資訊，轉化成為其內部格式供模擬系統使用。

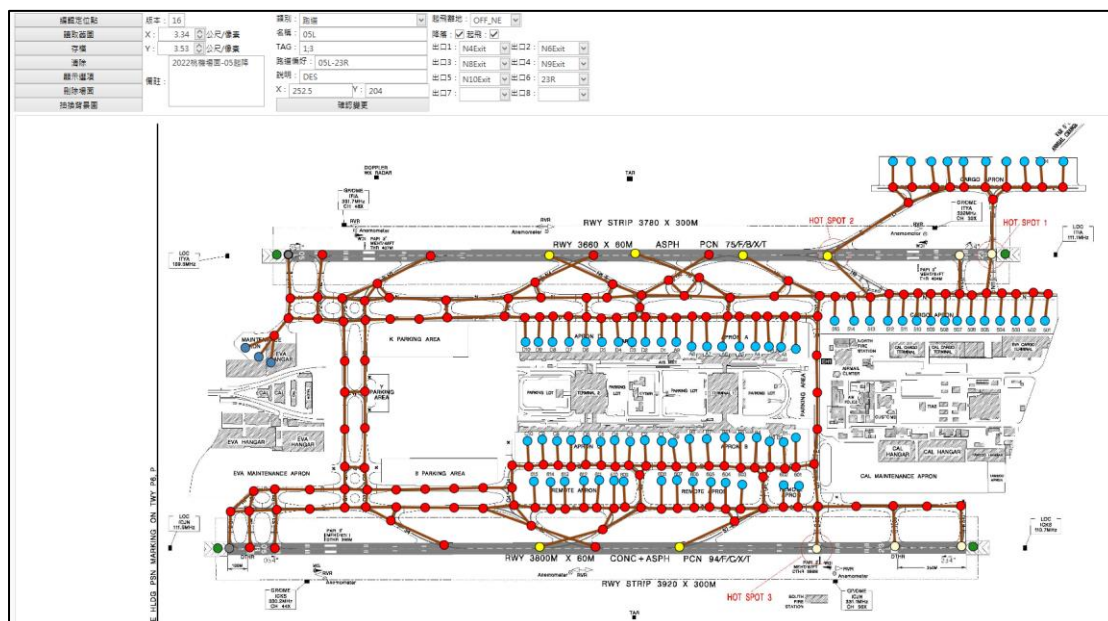


圖 9.2 軟體離型場面編輯畫面截圖

如本報告書各章所說明，本離型軟體系統定義了一組參數。除了描述滑行道系統之參數另以前面所說明之場面編輯畫面進行維護之外，本離型軟體對其餘參數均提供表格式之維護界面，如圖 9.3 所示。

場面
 專案
 參數

1情境		2航空器分類		3佔用跑道時間		4停機位分組		5跑道間隔時間		6滑行道		7停機位佔用	
版本	說明	參數群組碼	參數碼	分類碼	跑道	起或降	顯示順序	機率	參數1	參數2			
TP13	example	PY0001	PY0001	A	05L	起飛	1	1	1.06	1.06			
TP13	example	PY0002	PY0001	A	05R	起飛	1	1	1.06	1.06			
TP13	example	PY0003	PY0001	A	05L	降落	1	1	0.86	0.86			
TP13	example	PY0004	PY0001	A	05R	降落	1	1	0.86	0.86			
RCTP07	example	PY0001	PY0001	A	05L	起飛	1	1	40	60			
RCTP07	None	PY0001	PY0001	A	05R	降落	2	1	40	60			
test00	example	PY0001	PY0001	AR0001	23L	起飛	1	0.5	1	122			
RCTP06	example	PY0001	PY0001	A	05L	起飛	1	1	40	60			
RCTP06	None	PY0001	PY0001	A	05R	降落	2	1	40	60			
RCTP08	example	PY0001	PY0001	A	05L	起飛	1	1	40	60			
RCTP08	None	PY0001	PY0001	A	05R	降落	2	1	40	60			
RCTP09	example	PY0001	PY0001	A	05L	起飛	1	1	40	60			
RCTP09	example	PY0002	PY0001	A	05R	起飛	1	1	40	60			
RCTP09	example	PY0003	PY0001	A	05L	降落	1	1	40	60			
RCTP09	example	PY0004	PY0001	A	05R	降落	1	1	40	60			
RCTP10	example	PY0001	PY0001	A	05L	起飛	1	1	40	60			
RCTP10	example	PY0002	PY0001	A	05R	起飛	1	1	40	60			
RCTP10	example	PY0003	PY0001	A	05L	降落	1	1	40	60			
RCTP10	example	PY0004	PY0001	A	05R	降落	1	1	40	60			
TP11	example	PY0001	PY0001	A	05L	起飛	1	1	10	10			
TP11	example	PY0002	PY0001	A	05R	起飛	1	1	10	10			
TP11	example	PY0003	PY0001	A	05L	降落	1	1	10	10			

下載版本

上傳版本

複製版本

刪除版本

儲存

圖 9.3 軟體雛型參數維護畫面截圖

在航空器行程數據的部分，本雛型軟體之輸入方式是以 comma separated value (CSV)格式之數據檔進行上載，其內容欄位說明如表 7-1。同時軟體亦提供查詢清單以及下載之功能。圖 9.4 為航空器行程之版本清單畫面。

版本	名稱	資料筆數	說明
2214	22Aug.0827C70	2198	0822壓縮70%
2215	22Aug.0827C50	2198	0822壓縮50%
2216	22Aug.0827C30	2198	0822壓縮30%
2223	10Aug	2301	8/10航班
2224	10Aug	2301	8/10航班(勿刪)
2225	22Aug	2198	8/22航班(勿刪)
2226	10Aug-C90	2301	0810壓縮90%
2227	22Aug-C90	2198	0822壓縮90%
2228	10Aug-C70	2301	0810壓縮70%
2229	22Aug-C70	2198	0822壓縮70%
2230	10Aug-C50	2301	0810壓縮50%
2231	22Aug-C50	2198	0822壓縮50%
2232	10Aug-C50-BK	2301	0810壓縮50%航班打斷
2233	22Aug-C50-BK	2198	0822壓縮50%航班打斷
2234	TakeoffOnly1RWY	200	僅起單跑
2235	LandingOnly1RWY	200	僅落單跑
2236	TakeoffOnly	200	僅起1班/分
2238	TakeoffOnly	100	僅起0.5分/班
2239	LandingOnly	100	僅落1班/分

圖 9.4 軟體雛型航空器行程清單畫面截圖

完成模擬之後，使用者可使用雛型軟體之動畫功能觀看模擬結果，其畫面如圖 9.5 所示。

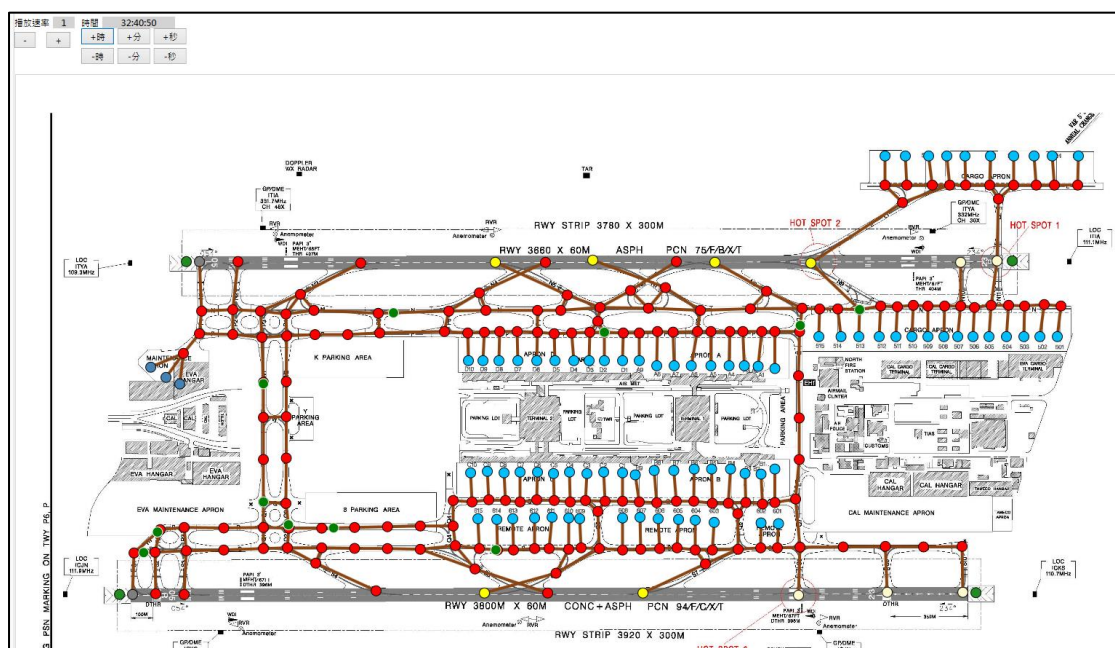


圖 9.5 軟體雛型動畫顯示畫面截圖

9.3 後端模組

在整個模擬系統中，後端模組之功能在提供模擬運算之能力，以及數據收納與管理之能力。其中前者由模擬引擎模組達成，而後者則由資料庫模組所達成，二者共同組成整個模擬系統之後端模組，其架構如圖 9.6 所示意。如該圖所示，其中模擬引擎模組含有模擬控制與 Gurobi 數學求解核心兩部分，前者之功能在由資料庫取得數據，予以拆解後重新組裝成為 Gurobi 數學求解核心工具所需之格式，再傳入該工具中進行求解，並取得運算結果。模擬過程之事件控制與模擬推進亦均由該模擬負責。完成模擬之後，成果數據亦由模擬控制模組傳入資料庫模組中收存。

至於資料庫模組則居於全系統之中樞位置。使用者經前述前端模組所提供之所有參數數據均收納於資料庫模組，由此模組提供予後端模擬模組進行模擬演算時使用。而模擬完成後之所有數據亦非直接傳送到前端模組，而是收納於資料庫模組中，待使用者有需求時再以操作前端模組的方式自資料庫模組中取出，再由前端模組以適當之形式提供予使用者使用。

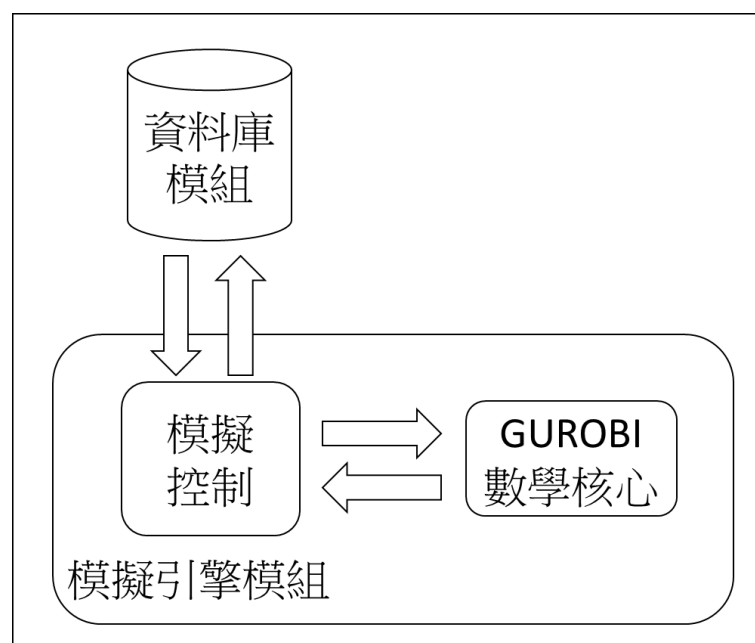


圖 9.6 後端模組示意圖

第十章 模擬系統驗證

10.1 驗證原則

本計畫經本所、桃機公司及研究團隊於 111 年 3 月 25 日、9 月 8 日及 9 月 29 日經 3 次討論，共同確定以下驗證原則：

1. 跑道使用參數：依表 3-1 之主要內容提供跑道使用參數，起飛與降落各 1 列，共計 2 列參數數值。
2. 跑道間隔參數：依表 3-2 之主要內容提供跑道間隔參數，包括本機起或降、前機起或降、同跑道與否之所有組合，共計 8 列參數數值。
3. 跑道容量：由研究團隊使用上述參數，模擬分析桃園國際機場跑道之最大通過量，參數設定如下：
 - (1) 使用雙跑道，一起一降模式。
 - (2) 測試到場與離場之比例為 1:9、2:8、3:7、4:6、5:5、6:4、7:3、8:2、9:1，共計 10 種狀況。
 - (3) 航空器不分類。
4. 停機位使用參數：由研究團隊由桃機公司所提供之 2 組真實紀錄數據中統計航空器使用停機位之時間長度。
5. 滑行道參數：由研究團隊提供參數，以桃機公司所提供之 2 組真實紀錄數據為基準進行模擬，並與真實紀錄比對。比對項目為到場及離場滑行時間分布，其餘說明如下。
 - (1) 請研究團隊提供所律定之滑行速率參數。
 - (2) 請研究團隊提供以小時離場量為橫軸、以小時到場量為縱軸之小時起降量統計圖。

- (3) 請研究團隊提供滑行時間分布模擬結果。
- (4) 真實紀錄中含有因外站流管及其他特殊因素而造成之長時間滑行現象，不納入比對範圍。於模擬過程中，這些航班與其他航班以一致性之方式處理。模擬所得之時間分布將因而略高於實際紀錄，為可預期之現象。驗證時將以分布型態為主要判斷依據。
- (5) 不考慮拖機。

表 10-1 跑道使用參數設定例

	航空器分類	跑道	起或降	機率	下界(秒)	上界(秒)	說明
1	重型	TP05R	起	0.7	45	85	高
2	重型	TP05R	起	0.3	60	95	高
3	重型	TP05R	降	0.6	35	75	低
4	重型	TP05R	降	0.4	50	85	低
5	中型	TP23L	降	0.2	85	110	通用
6	中型	TP23L	降	0.8	60	90	通用
7	中型	TP23L	起	1.0	100	140	通用

註：表中參數數值及文字全數均為虛擬值

表 10-2 跑道間隔參數設定例

	本機			前機			機率	下界(秒)	上界(秒)	說明
	航空器分類	跑道	起或降	航空器分類	跑道	起或降				
1	重型	TP05R	起	重型	TP05L	降	0.6	20	35	高
2	重型	TP05R	起	重型	TP05L	降	0.4	25	55	高
3	重型	TP05R	起	重型	TP05L	起	0.3	15	30	低
4	重型	TP05R	起	重型	TP05L	起	0.7	20	50	低
5	中型	TP23L	降	重型	TP23L	起	1.0	85	110	高
6	重型	TP05R	降	重型	TP05R	起	0.1	60	90	低
7	重型	TP05R	降	重型	TP05R	起	0.9	100	120	高

註：表中參數數值及文字全數均為虛擬值

10.2 跑道參數

本系統所使用之跑道相關參數說明於第 4.7 節。以桃園國際機場之狀況而律定之跑道使用時間參數值整理於表 10-3，而跑道間隔時間參數值則整理於及表 10-。如第 4.7 節所述，表 10-及表 10-之參數數值係供離型軟體進行模擬時所使用，而其值係配合圖 4.與圖 4.之定義而律定。跑道間隔時間與飛航管理程序^[36]中之各種隔離時間，雖然概念有其類似之處，但並不能簡單而直接以一對一對應之方式檢視之。

表 10-3 跑道使用時間參數值

起或降	使用時間(分鐘)	起或降
起	1.06	起
降	0.86	降

表 10-4 跑道間隔時間參數值

跑道	本機起降	前機起降	間隔時間(分鐘)
同跑道	起	起	0.88
	降	降	1.32
	起	降	0.38
	降	起	1.82
不同跑道	起	起	0.1
	起	降	0.2
	降	起	0.2
	降	降	0.4

10.3 跑道驗證數據

如前節所說明，表 10-3 及表 10-4 之參數數值係供離型軟體進行模擬時所使用。經以這些參數，利用離型軟體進行模擬測試，到場與離場之比例為 1:9、2:8、3:7、4:6、5:5、6:4、7:3、8:2、9:1，共計 10 種狀況下之最大通過量整理如圖 10.1。

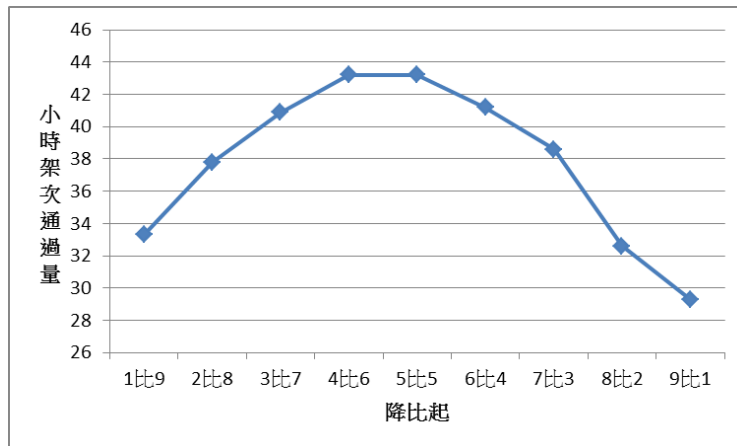


圖 10.1 各種到離比例之跑道容量分析

10.4 停機位參數

在停機位方面，最主要之參數項目為航空器使用停機位之時間長度。依第 10.1 節之說明，為進行驗證應由桃機公司所提供之 2 組真實紀錄數據中統計航空器使用停機位之時間長度。依 111 年 9 月 8 日及 9 月 29 日討論之結論，本項分析應將桃園國際機場之所有停機位區分為 501-525、601-615、A1-A9、B1-B9、C1-C10 及 D1-D10 共計 6 類，分別統計分析之。依此原則，桃園國際機場停機位設施表列於表 5-1，而統計所得之各組停機位之時間長度如表 10-5 所示。

表 10-5 每架次占坪時間統計

機位	8/10-12	8/22-24	合併計
501-525	326.7	229.2	270.7
601-615	125.0	155.5	137.3
A1-A9	92.3	100.5	96.4
B1-B9	98.6	99.2	98.9
C1-C10	111.1	119.2	115.3
D1-D10	112.8	108.0	110.4
平均	125.5	125.7	125.6

(單位：分鐘)

10.5 滑行道參數

本系統所需要之滑行道相關參數均說明於第 6.4 節。其中最主要之參數為滑行速率參數。以桃機公司所提供之 2 組真實紀錄而律定之滑行速率參數整理於表 10-6。依該表航空器之滑行速率，有 5%之航空器介於時速 66 公里至 72 公里之間，有 80%介於時速 30 公里至 66 公里之間，另有 15%介於時速 15 公里至 30 公里之間。須注意表中之下界並非模擬過程中各航空器所應保持之最小速率，而上界亦非模擬過程中各航空器所應維持之最大速率。此乃為離型軟體進行模擬時，允許航空器所能達到之速率之上限之分布區間，與模擬時之平均滑行速率有所區別，此已詳細說明於第 6.4 節中，與表 6-1 相關之內文中。

表 10-6 滑行速率參數值

機率	速率下界值	速率上界值
0.05	66	72
0.8	30	66
0.15	15	30

(速率單位：時速公里)

10.6 滑行道驗證數據

本節使用表 10-3、表 10-4、表 10-6 之參數，以桃園國際機場面進行模擬，並與真實紀錄相比較。其中 8 月 12-14 日數據之比較呈現於圖 10.2 至圖 10.9，而 8 月 22-24 日數據之比較則呈現於圖 10.10 至圖 10.17。2 組數據均依第 10.1 節所說明，提供小時起降量統計圖以及滑行時間分布。另再提供到場及離場之小時分布圖。

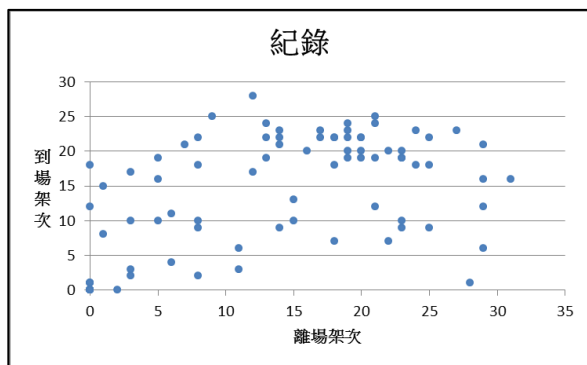


圖 10.2 離場到場小時架次分布真實紀錄(8/10-12 數據)

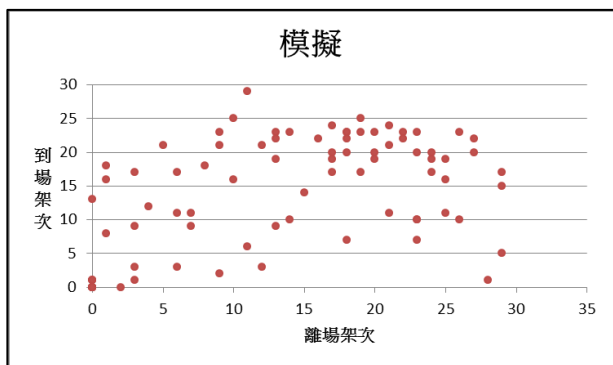


圖 10.3 離場到場小時架次分布模擬結果(8/10-12 數據)

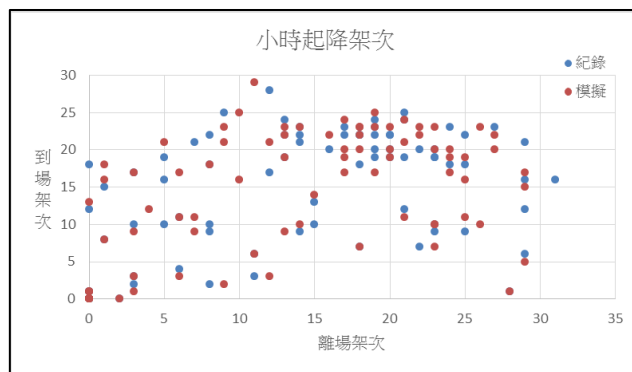


圖 10.4 離場到場小時架次分布比較(8/10-12 數據)

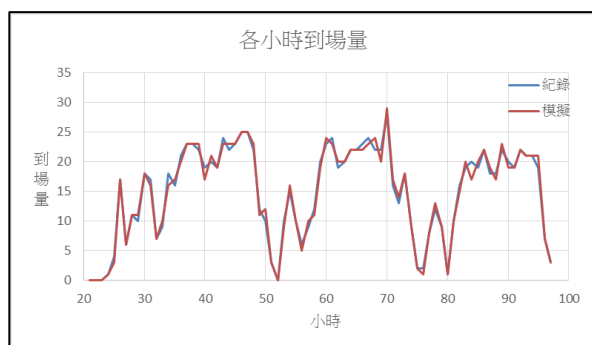


圖 10.5 各小時到場架次比較(8/10-12 數據)

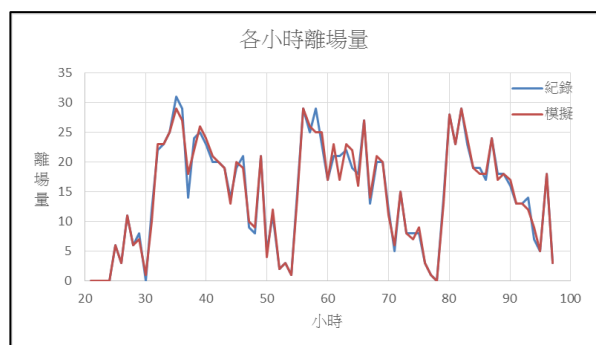


圖 10.6 各小時離場架次比較(8/10-12 數據)

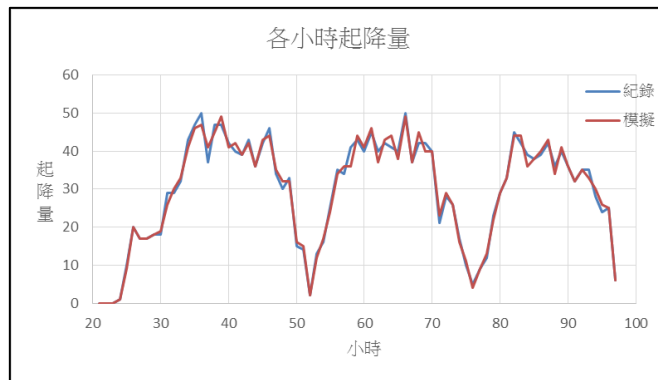


圖 10.7 各小時離到場架次比較(8/10-12 數據)

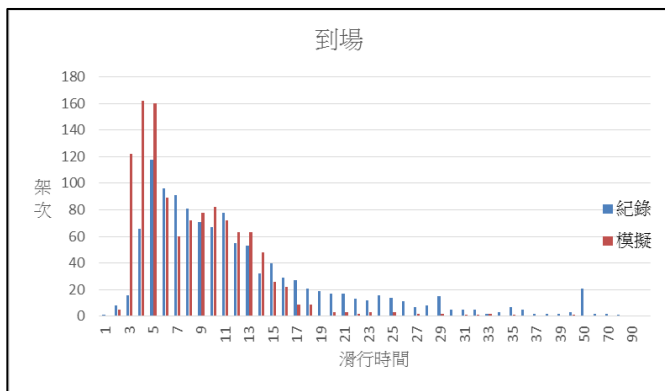


圖 10.8 到場滑行時間分布比較(8/10-12 數據)

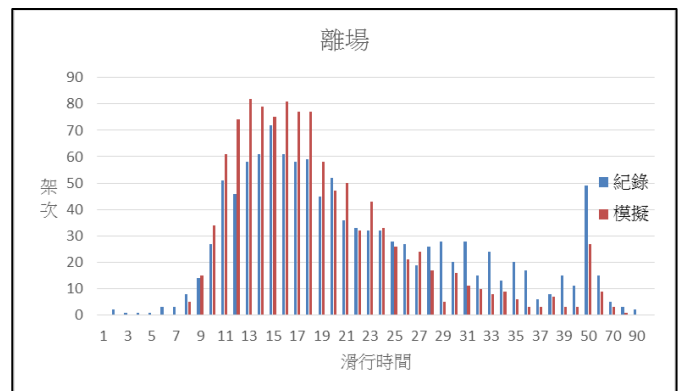


圖 10.9 離場滑行時間分布比較(8/10-12 數據)

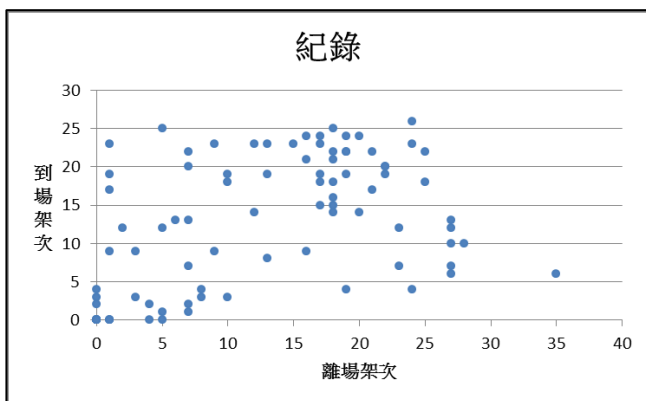


圖 10.10 離場到場小時架次分布真實紀錄
(8/22-24 數據)

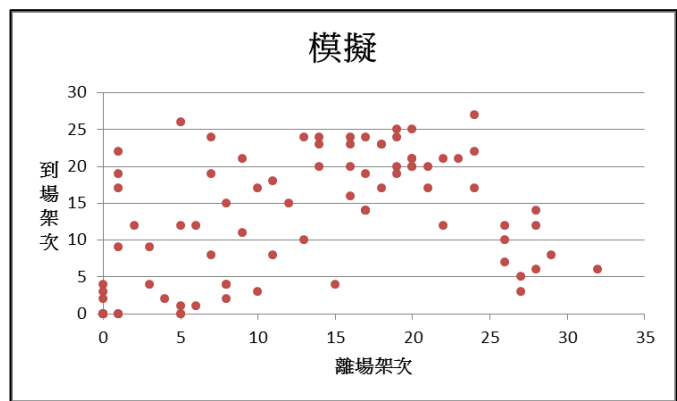


圖 10.11 離場到場小時架次分布模擬結果
(8/22-24 數據)

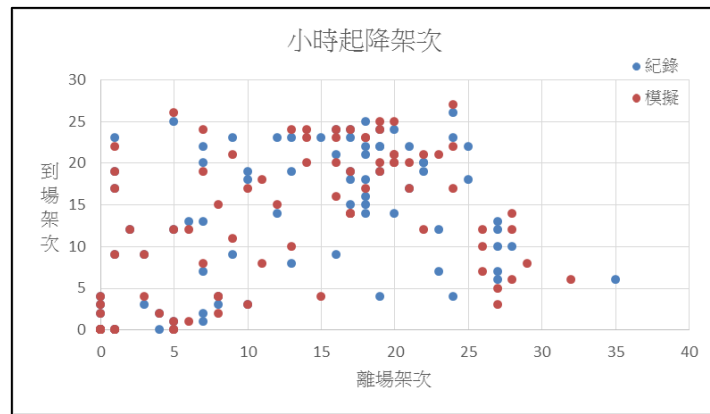


圖 10.12 離場到場小時架次分布比較(8/22-24 數據)

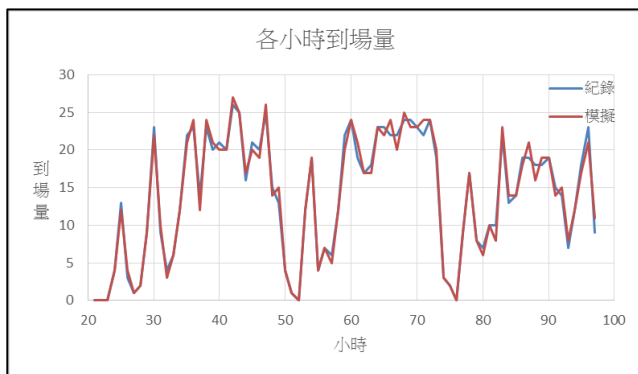


圖 10.13 各小時到場架次比較(8/22-24 數據)

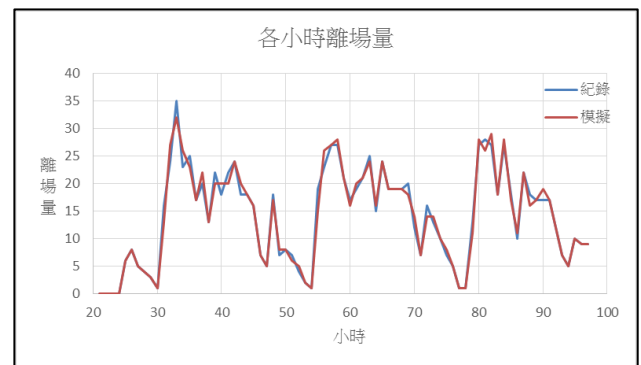


圖 10.14 各小時離場架次比較(8/22-24 數據)

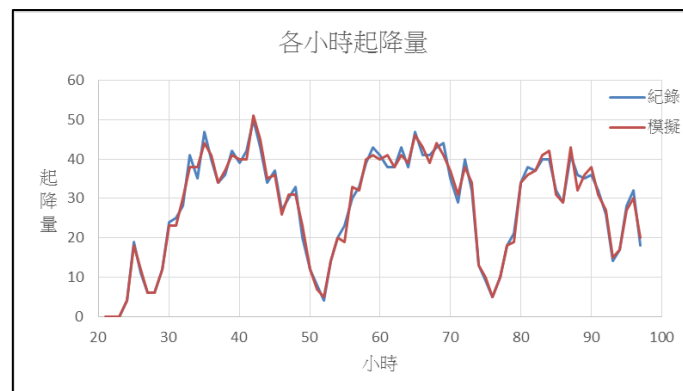


圖 10.15 各小時離到場架次比較(8/22-24 數據)

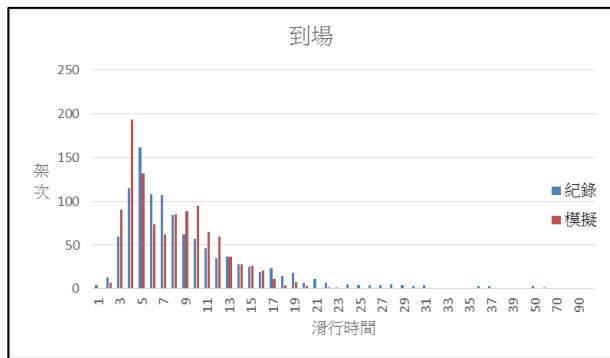


圖 10.16 到場滑行時間分布比較(8/22-24 數據)

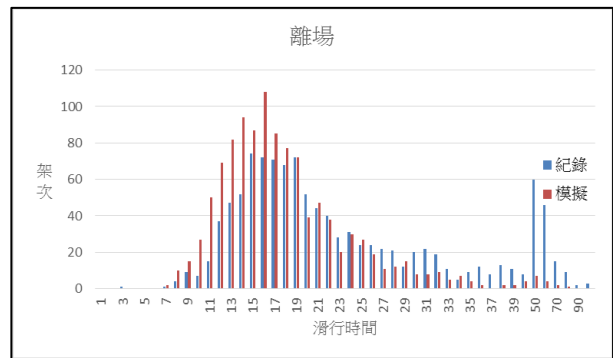


圖 10.17 離場滑行時間分布比較(8/22-24 數據)

10.7 驗證結果

本研究所開發機場空側容量評析方法之邏輯，以及跑道使用時間與跑道間隔時間之參數，驗證結果經 111 年 9 月 29 日會議確認如下。

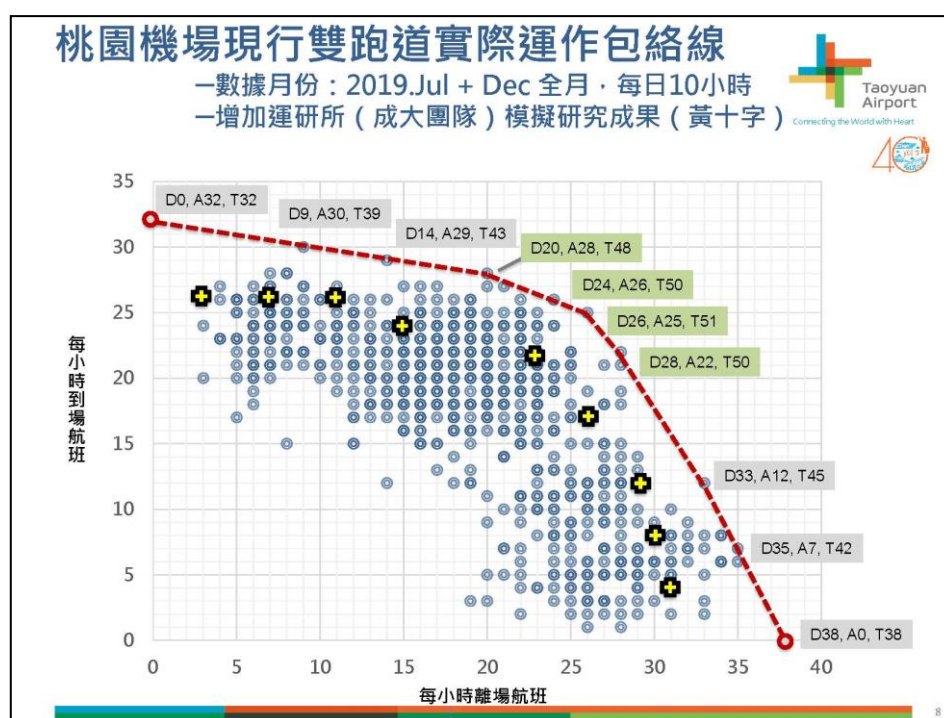
1. 連續起飛之驗證

- (1) 依表 10-3 及表 10-4 之參數數值參數換算，可達到每 116 秒一架次連續起飛。
- (2) 目前航管認可之標準為 120 秒。
- (3) 目前使用中之時間帶參數為單跑道連續起飛每小時 30 架次，亦相當於每 120 秒一架次。
- (4) 上述標準與 116 秒差異在 5%範圍內。

2. 連續降落之驗證

- (1) 依表 10-3 及表 10-4 之參數換算，可達到每 131 秒一架次連續降落。
- (2) 目前航管使用之跑道隔離參數為 144 秒。
- (3) 目前時間帶參數為單跑道連續降落每小時 30 架次，相當於每 120 秒一架次。
- (4) 每 131 秒一架次之參數，落在 120 秒與 144 秒之間，大約中間點之位置。

在跑道容量部分，經以圖 10.1 所示之數據，套疊「桃園機場現行雙跑道實際運作包絡線」，可得圖 10.18 所示之結果。該圖中之黑底黃色十字符號即為圖 10.1 所示之數據所套疊之位置，而紅色虛線即為實際運作包絡線。在實際運作之數據中，到場航班達到某數量之後即無法再增長、離到場混合比例達到 1:1 時容量包絡線產生轉折、到場航班減少時，離場航班可微幅增加；這些特徵亦同樣表現於模擬結果中。經 10 月 29 日於運研所辦理之會議檢視及討論，認為模擬所得之結果，與實際運作包絡線及其他真實數據在接近程度、表現之特徵等均符合相近。



資料來源：桃機公司提供

圖 10.18 桃園機場現行雙跑道實際運作包絡線套疊模擬結果

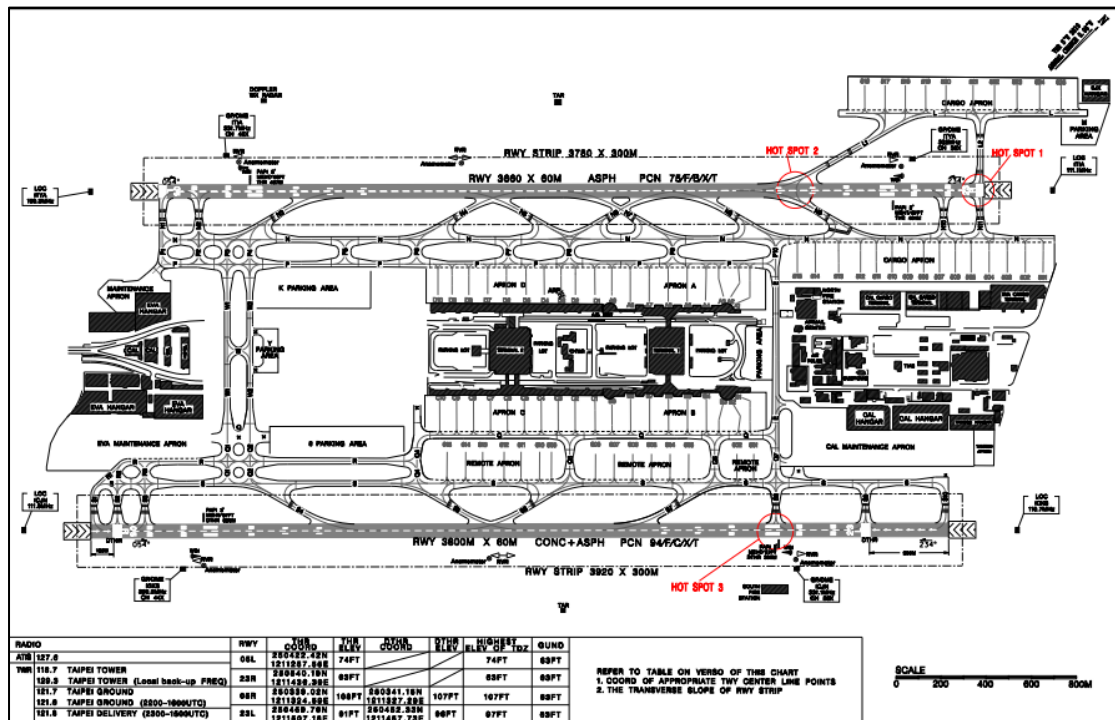
經 111 年 10 月 29 日工作會議各相關單位檢視本章各節所整理之參數數值、模擬結果及其他數據，並進行充分綜合討論之後，確認本容量評析方法之邏輯及成果通過模式驗證。

第十一章 機場應用實例分析

11.1 桃園國際機場應用實例

11.1.1 機場設施概述

桃園國際機場為我國最主要之國際機場，其位置在臺北市西方約 16.7 哩(30.9 公里)，標高為 108 呎(32.9 公尺)。機場參考點之經緯度為 250449N、1211356E。機場場面配置圖如圖 11.1 所示。位於圖上方之跑道為 05L/23R，長度 3660 公尺，寬度 60 公尺。另一位於圖下方之跑道則為 05R/23L，其長度 3800 公尺、寬度亦為 60 公尺。場面配置多數滑行道，包括 E、L、L1、L2、N、N1、N2、N3、N4、N5、N6、N7、N8、N9、N10、N11、P、P1、P2、P3、P4、P5、P6、P7、P8、P9、P10、Q、Q1、Q2、Q4、Q5、Q6、Q7、R、R1、R2、R3、S、S1、S2、S3、S4、S5、S6、S7、S8、S9、S10、W、W1、W2。除少數例外，大部分滑行道寬度均介於 25 至 30 公尺之間。



資料來源：〔40〕

圖 11.1 桃園國際機場場面圖

11.1.2 運轉紀錄數據集

本計畫取得桃園機場公司所提供之 3 組運轉紀錄，包括：

1. 2019/8/10-12 運轉紀錄，05 方向，共計 1,514 筆數據，其中含有起飛紀錄 1135 筆、降落紀錄 1166 筆，合計 2,301 筆起降紀錄。本組數據含有桃機極大流量之紀錄。
2. 2019/8/22-24 運轉紀錄，23 方向，共計 1,454 筆數據，其中含有起飛紀錄 1101 筆、降落紀錄 1097 筆，合計 2,198 筆起降紀錄。本組數據為機場連續一年運作期間內前 10 百分位之代表數據。
3. 2020/1/12-18 運轉紀錄，共計 3,451 筆數據，其中含有起飛紀錄 2588 筆、降落紀錄 2581 筆，合計 5,169 筆起降紀錄。本組數據含有桃機連續高流量運轉之期間。

每一筆數據均含有 1 項降落紀錄、或 1 項起飛紀錄、或二者均有。數據包含了 SIBT、SOBT、EIBT、EOBT、AIBT、AOBT、ALDT、ATOT 等 8 個時間點欄位，數據集示意圖如圖 11.2 所示。數據中並不含拖機，亦不含勤車輛活動之紀錄。經訪談認為勤務車輛之活動對航空器之活動之干擾甚小，並無納入空側容量模擬評析之必要。

所有這些原始數據在可供本計畫運用之前，必須先經過清理及補正。清理時數據檢查之項目，除了完整性之外，尚包含每一時間點之日期確認、降落、進坪、出坪、起飛等事件之先後關係、航空器各行程之合理接續、停機位運用之合理性、滑行時間長度之合理性、地停時間長度之合理性等。目前已完成其中第 1 項運轉紀錄之數據清理，補充及修正之數據項約達 10,000 項。清理完成之數據並已回饋桃機公司供其後續運用。第 2 項運轉紀錄則正在清理中。

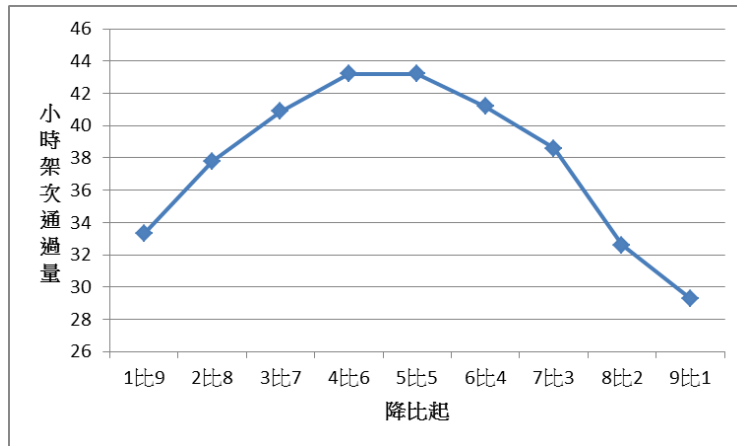
A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T
Date	Alt_Region	Alt_FltNo	Dep_FltNo	Reg No	ACFT Type	Alt Service	Dep Service	SBP	SCF	EBF	SCF	EBF	SCF	EBF	SCF	EBF	SCF	EBF	SCF
2018/8/10	KR2	7111	7112	HL7428	A321-200	PAX	PAX	11:30:00	12:55:00	11:34:00	12:55:00	12:36:00	13:55:00	RKSI	RKSI	11:56:00	14:24:37	C1	C1
2018/8/10	KR2	7113	7114	HL7428	A321-200	PAX	PAX	15:50:00	16:50:00	15:54:00	16:50:00	16:12:00	17:06:00	RKSI	RKSI	15:56:00	17:21:00	C1	C1
2018/8/10	KR2	7113	7123	HL7428	B767-300	PAX	PAX	15:50:00	16:50:00	17:04:00	18:10:00	17:25:00	18:22:00	RKSI	RKSI	17:14:00	18:50:47	C8	C8
2018/8/10	KR4	7905	7906	VP-BLC	B767-300	PAX	PAX	14:55:00	17:00:00	20:24:00	22:15:00	21:00:00	23:20:00	UUEE	UUEE	20:48:00	23:38:56	S07	S07
2018/8/10	KR4	7901	7902	HL7722	A321-200	PAX	PAX	00:50:00	02:05:00	01:05:00	02:05:00	01:14:00	02:03:00	RKTN	RKTN	01:06:03	02:21:00	D5	D5
2018/8/10	KR4	7907	7908	HL7210	A321-200	PAX	PAX	03:20:00	03:20:00	03:20:00	03:20:00	03:10:00	03:10:00	RKPK	RKPK	03:31:00	03:31:00	D3	D3
2018/8/10	KR4	7907	7907	HL6072	A321-200	PAX	PAX	12:30:00	13:20:00	08:57:00	10:00:00	09:05:00	10:40:00	RKPK	RKPK	09:00:13	11:11:00	S09	S09
2018/8/10	KR4	7903	7904	HL7210	A321-200	PAX	PAX	12:30:00	13:20:00	12:45:00	13:20:00	13:07:00	14:08:00	RKPK	RKPK	12:48:00	14:32:00	C1	C1
2018/8/10	KR4	7909	7910	HL7722	A321-200	PAX	PAX	12:45:00	13:20:00	12:49:00	13:50:00	13:07:00	13:57:00	RKTN	RKTN	12:50:00	14:36:00	C8	C8
2018/8/10	KR4	7907	7907	HL7211	A321-200	PAX	PAX	23:35:00	03:20:00	14:50:00	16:00:00	15:16:00	16:00:00	RKPK	RKPK	15:03:00	16:31:22	D3	D3
2018/8/10	KR4	7907	7907	HL7210	A321-200	PAX	PAX	22:35:00	22:20:00	22:20:00	22:20:00	22:47:00	22:47:00	RKPK	RKPK	22:27:10	22:27:10	D10	D10
2018/8/10	KR4	6005	6005	VQ-BWVW	B747-400	CGO	CGO	22:20:00	22:20:00	22:20:00	22:20:00	22:16:00	22:16:00	UUEE	UUEE	22:14:00	22:14:00	S07	S07
2018/8/10	CA2	0170	0170	C-FCOM	B767-300	PAX	PAX	14:15:00	15:55:00	11:25:00	12:00:00	11:34:00	14:02:00	CTVR	CTVR	14:02:00	14:02:00	D6	D6
2018/8/10	CA2	017	018	C-FCOM	B767-300	PAX	PAX	14:15:00	15:55:00	13:30:00	13:55:00	14:33:00	15:49:00	CTVR	CTVR	14:33:00	15:49:00	C3	C3
2018/8/10	KR4	680	680	B-LDM	A300-600	CGO	CGO	06:30:00	06:30:00	06:24:00	06:24:00	06:43:00	06:43:00	VHHH	VHHH	06:32:00	06:32:00	S10	S10
2018/8/10	KR4	681	681	B-LDM	A300-600	CGO	CGO	22:15:00	22:15:00	22:15:00	22:15:00	22:15:00	22:15:00	VHHH	VHHH	22:15:00	22:15:00	S10	S10
2018/8/10	TH4	2420	2430	HS-CBJ	A320-200	PAX	PAX	20:10:00	20:35:00	10:32:00	11:30:00	11:02:00	11:55:00	VTCC	VTCC	10:59:50	20:55:57	A3	A3
2018/8/10	TH4	242	243	HS-ABA	A320-214	PAX	PAX	18:25:00	19:10:00	18:57:00	19:10:00	19:11:00	19:59:00	VTCC	VTCC	18:59:50	20:55:57	A3	A3
2018/8/10	MD4	9612	9619	B-HCA	A321-200	EXP	PAX	08:55:00	09:20:00	08:30:00	09:20:00	09:12:00	10:05:00	VMMC	VMMC	08:44:00	10:28:00	B1	B1
2018/8/10	MD4	9620	9611	B-HCE	A321-200	PAX	EXP	22:30:00	11:00:00	09:15:00	11:00:00	09:23:00	11:17:00	VMMC	VMMC	09:18:00	12:06:17	S07	S07
2018/8/10	MD4	632	631	B-HCJ	A320-200	PAX	PAX	09:50:00	10:50:00	10:04:00	10:50:00	10:36:00	11:51:00	VMMC	VMMC	10:09:00	12:26:00	B4	B4
2018/8/10	MD4	638	627	B-HCI	A320-200	PAX	PAX	13:40:00	14:40:00	13:48:00	14:40:00	14:18:00	15:08:00	VMMC	VMMC	14:01:00	15:30:00	A3	A3
2018/8/10	MD4	618	615	B-HAQ	A321	PAX	PAX	19:15:00	20:05:00	20:16:00	20:30:00	20:35:00	21:25:00	VMMC	VMMC	20:24:13	21:40:38	B2	B2
2018/8/10	MD4	630	630	B-HCC	A321-200	PAX	EXP	22:30:00	22:40:00	22:44:00	22:50:00	23:25:00	23:25:00	VMMC	VMMC	23:01:19	23:01:19	A1	A1
2018/8/10	MD4	9622	9621	B-HES	A320-200	EXP	EXP	22:40:00	23:40:00	23:49:00	23:59:00	00:40:00	00:40:00	VMMC	VMMC	23:48:27	01:13:00	A1	A1
2018/8/10	JP2	8430	8430	JAG62F	B767-300	EXP	CGO	00:01:00	00:01:00	00:00:00	00:00:00	00:00:00	00:00:00	ROAH	ROAH	00:26:00	00:26:00	C1	S06
2018/8/10	JP2	824	824	JAB94A	B767-300	PAX	PAX	08:40:00	08:40:00	08:40:00	08:40:00	08:40:00	08:40:00	ROAH	ROAH	09:56:25	09:56:25	C10	C10
2018/8/10	JP2	923	923	JAB11A	B767-300	PAX	PAX	20:15:00	20:15:00	20:25:00	20:25:00	20:45:00	20:45:00	RJAA	RJAA	20:40:47	20:40:47	C10	C10
2018/8/10	KR2	077	078	2K-NDK	B767-300	PAX	PAX	17:00:00	18:30:00	18:16:00	19:15:00	18:43:00	20:15:00	NZAA	NZAA	18:18:00	20:45:00	C2	C2
2018/8/10	PH4	51200	51270	RP9077	A320-214	PAX	PAX	20:15:00	20:40:00	03:14:00	04:10:00	04:27:00	04:55:00	RPKC	RPKC	03:10:10	04:17:15	B5	B5
2018/8/10	PH4	71200	71270	RP9074	A320-214	PAX	PAX	20:05:00	20:30:00	03:47:00	04:30:00	04:10:00	04:56:00	RPVM	RPVM	03:57:24	05:04:19	B6	B6
2018/8/10	PH4	712	7129	RP9066	A320-214	PAX	PAX	01:30:00	01:55:00	02:29:00	03:40:00	03:30:00	06:17:00	RPVL	RPVL	05:31:36	06:43:45	A4	A4
2018/8/10	PH4	0040	0040	RP9064	A320-214	PAX	PAX	12:30:00	12:30:00	06:15:00	06:30:00	06:30:00	06:30:00	RPVK	RPVK	06:30:00	06:30:00	S13	S13
2018/8/10	PH4	7124	7125	RP9064	A320-214	PAX	PAX	09:50:00	10:15:00	09:17:00	10:15:00	10:00:00	10:40:00	RPVM	RPVM	09:36:06	11:16:16	A9	A9
2018/8/10	PH4	7124	7125	RP9227	A320-214	PAX	PAX	10:00:00	10:25:00	09:46:00	10:25:00	10:20:00	11:07:00	RPVL	RPVL	09:51:48	11:42:56	B9	B9
2018/8/10	PH4	725	726	JAB14F	A320-214	PAX	PAX	08:25:00	09:15:00	08:12:00	09:15:00	08:49:00	09:42:00	RJTT	RJTT	08:12:00	10:10:16	A3	A3
2018/8/10	PH4	923	924	JAB23P	A320-200	PAX	PAX	08:50:00	09:30:00	08:38:00	09:30:00	08:48:00	10:32:00	ROAH	ROAH	08:34:45	10:32:44	S10	S10
2018/8/10	PH4	923	924	JAB17P	A320-214	PAX	PAX	10:10:00	10:55:00	10:00:00	10:55:00	10:15:00	11:17:00	RJBB	RJBB	10:05:02	12:08:19	A6	A6
2018/8/10	PH4	925	926	JAB14F	A320-214	PAX	PAX	13:30:00	14:20:00	13:18:00	14:20:00	13:56:00	14:48:00	RJCC	RJCC	13:39:14	15:18:31	B7	B7
2018/8/10	PH4	925	926	JAB21P	A320-214	PAX	PAX	17:20:00	18:05:00	17:22:00	18:05:00	17:37:00	18:21:00	ROAH	ROAH	17:25:14	18:35:02	B3	B3
2018/8/10	PH4	927	928	JAB09P	A320-214	PAX	PAX	17:55:00	18:35:00	19:11:00	19:40:00	19:33:00	21:06:00	RJBB	RJBB	19:39:32	21:28:26	S10	S10
2018/8/10	PH4	775	769	JAB17P	A320-214	PAX	PAX	20:00:00	20:40:00	20:16:00	20:40:00	20:46:00	21:40:00	RJSS	RJTT	20:17:09	21:52:00	A1	A1
2018/8/10	PH4	927	927	JAB23P	A320-200	PAX	PAX	22:05:00	22:05:00	21:25:00	22:14:00	22:14:00	22:14:00	ROAH	ROAH	22:10:42	22:10:42	S15	S15
2018/8/10	PH4	1518	1511	9MAJN	A320-214	PAX	PAX	09:25:00	09:50:00	09:26:00	09:50:00	09:40:00	10:13:00	VBKK	VBKK	09:26:10	10:42:26	A8	A8
2018/8/10	VHA	5500	5510	VNA508	A321	CTP	CTP	12:05:00	13:05:00	13:09:00	13:59:00	13:50:00	20:38:00	VYON	VYON	19:42:13	21:10:59	B1	B1
2018/8/10	TW1	1310	0640	B18007	B777-300	PAX	PAX	18:10:00	22:35:00	00:37:00	01:40:00	00:58:00	06:43:00	RJCC	RJCC	06:56:00	06:56:00	D9	D9
2018/8/10	TW1	072	072	B18005	B777-300	PAX	PAX	00:10:00	00:10:00	00:10:00	00:10:00	00:51:00	00:51:00	EHAM	EHAM	02:08:00	02:08:00	A6	A6
2018/8/10	TW1	7993	818716	B747-400	CGO	CGO	CGO	00:20:00	00:20:00	00:20:00	00:20:00	00:20:00	00:20:00	ZNY	ZNY	00:37:00	00:37:00	S05	S05
2018/8/10	TW1	79180	818610	B777-300	CTP	PAX	PAX	16:20:00	16:20:00	00:30:00	01:20:00	01:20:00	01:20:00	VYYY	VYYY	01:16:00	01:16:00	A9	A9
2018/8/10	TW1	8370	818360	A320-300	PAX	PAX	PAX	22:35:00	22:35:00	00:30:00	00:30:00	00:30:00	00:30:00	VTBS	VTBS	00:30:00	00:30:00	A8	A8
2018/8/10	TW1	8384	818708	B747-400	CGO	CGO	CGO	01:00:00	14:00:00	00:45:00	01:29:00	01:29:00	03:30:00	VHHH	RJAA	01:29:00	03:54:29	S07	S07
2018/8/10	TW1	0250	8112	B18660	B777-300	PAX	PAX	16:55:00	17:15:00	00:49:00	04:30:00	01:37:00	04:35:00	PGUM	RJAA	01:31:00	04:51:00	D6	D6
2018/8/10	TW1	0250	8112	B18660	B777-300	PAX	PAX	16:55:00	17:15:00	00:49:00	04:30:00	01:37:00	04:35:00	PGUM	RJAA	01:31:00	04:51:00	D6	D6
2018/8/10	TW1	0270	818651	B777-300	CGO	CGO	CGO	21:45:00	21:45:00	01:47:00	01:47:00	01:55:00	01:55:00	PTRO	PTRO	01:53:03	01:53:03	S01	S01

圖 11.2 桃園國際機場運轉紀錄示意圖

11.1.3 跑道及整體空側容量分析

在機場空側之跑道、滑行道及停機位 3 類主要設施中，對整體空側容量最具影響力者為跑道^[20]，我國桃園國際機場亦不例外。因此本計畫 111 年 10 月 29 日工作會議認為桃園國際機場之跑道容量應足以代表該機場之整體空側容量。

本節說明以桃園國際機場之場面以及經驗證之參數數值，進行跑道容量分析之結果。本項分析將依 111 年 10 月 29 日工作會議結論，使用不同離到場比率進行模擬，以瞭解在各種起降混合比例下跑道所允許的通過量。模擬分析之結果示於圖 11.3。



註：本圖同圖 10.

圖 11.3 桃園國際機場跑道容量分析

航空器於起降時使用跑道之時間長度，以及前後航空器使用跑道時，二者之間所間隔的時間，均影響跑道容量。其中快速滑行道之設置或關閉，將影響到場航空器使用跑道的時間長度。以表 10-3 及表 10-4 之參數數值為基準，將跑道使用時間長度增加 20% 之後，模擬結果顯示跑道容量隨之下降，如圖 11.4 所示。

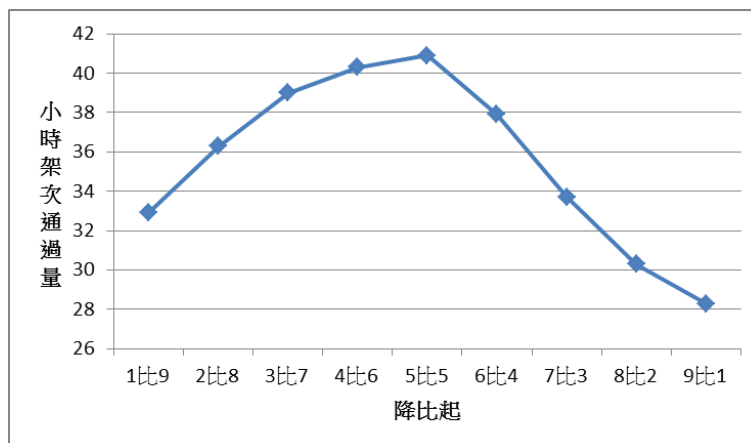


圖 11.4 桃園國際機場跑道容量分析(使用時間 120%)

若增加到場航空器之跑道使用時間長度 40%，則模擬結果之通過量如圖 11.5 所示。

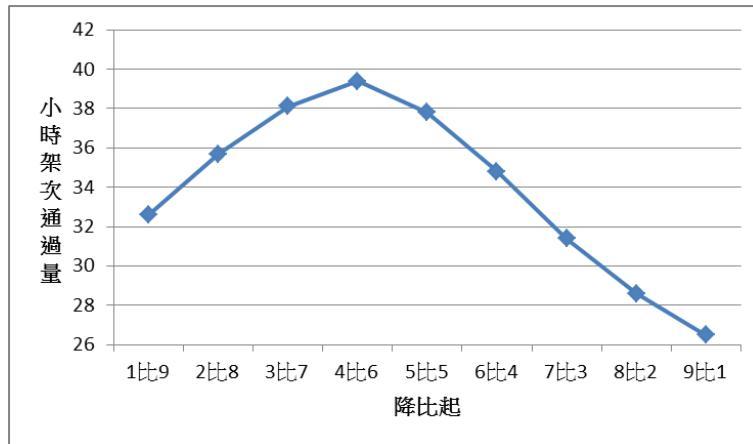


圖 11.5 桃園國際機場跑道容量分析(使用時間 140%)

11.1.4 滑行道容量

依 10 月 29 日工作會議結論，滑行道並無獨立之容量，亦無專用之容量指標，而是應觀察特定區段之每小時航班通過數量。經工作會議中以及會議後之多次討論，考慮使用 05 跑道時，桃園國際機場滑行道系統中需要特別觀察之特定區段有 2 處，分別位在 05L 跑道之跑道頭附近，N 滑行道與 P 滑行道之 N1 至 N4 範圍，以及 05R 跑道之跑道頭附近，R 滑行道與 S 滑行道之 S1 至 S5 範圍。前者示於圖 11.6，而後者則示於圖 11.7。

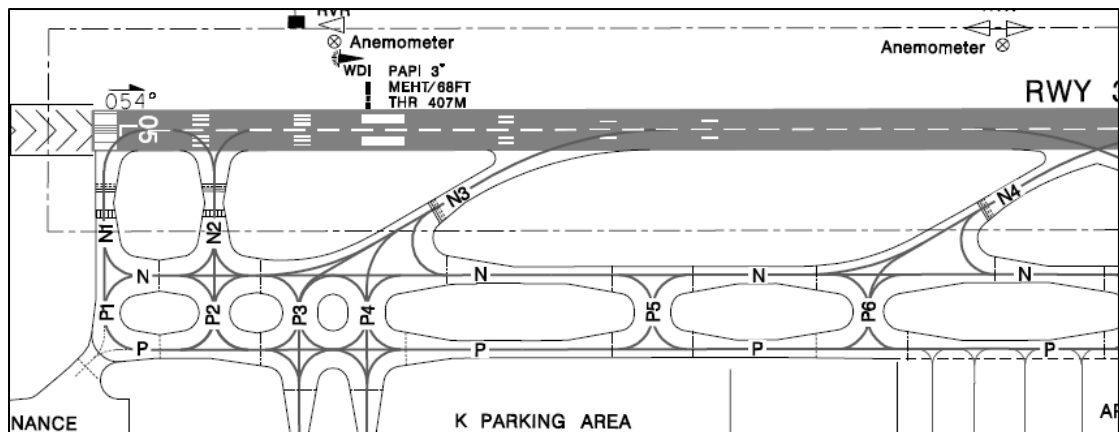


圖 11.6 桃園國際機場 05L 跑道頭附近

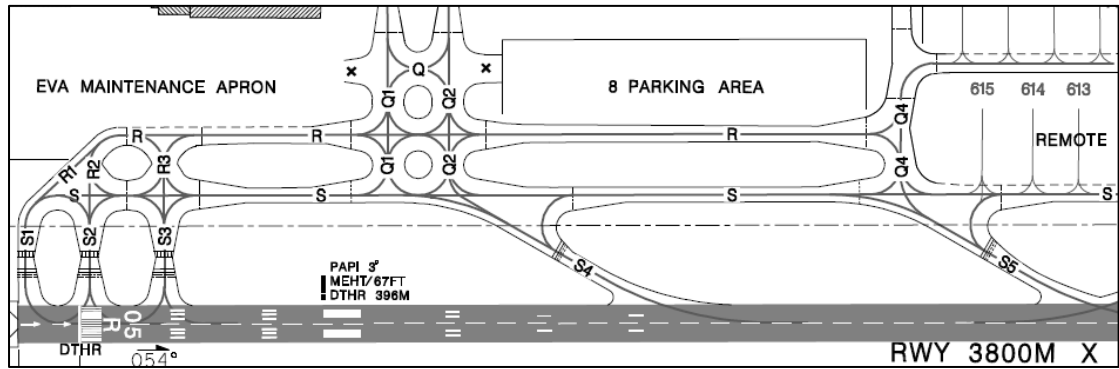


圖 11.7 桃園國際機場 05R 跑道頭附近

使用真實紀錄進行模擬後，特定區段所觀察到的每小時航班通過數量整理於圖 11.8 與圖 11.9，其中前者對應圖 11.6 所示區域，而後者則對應圖 11.7 所示區域。

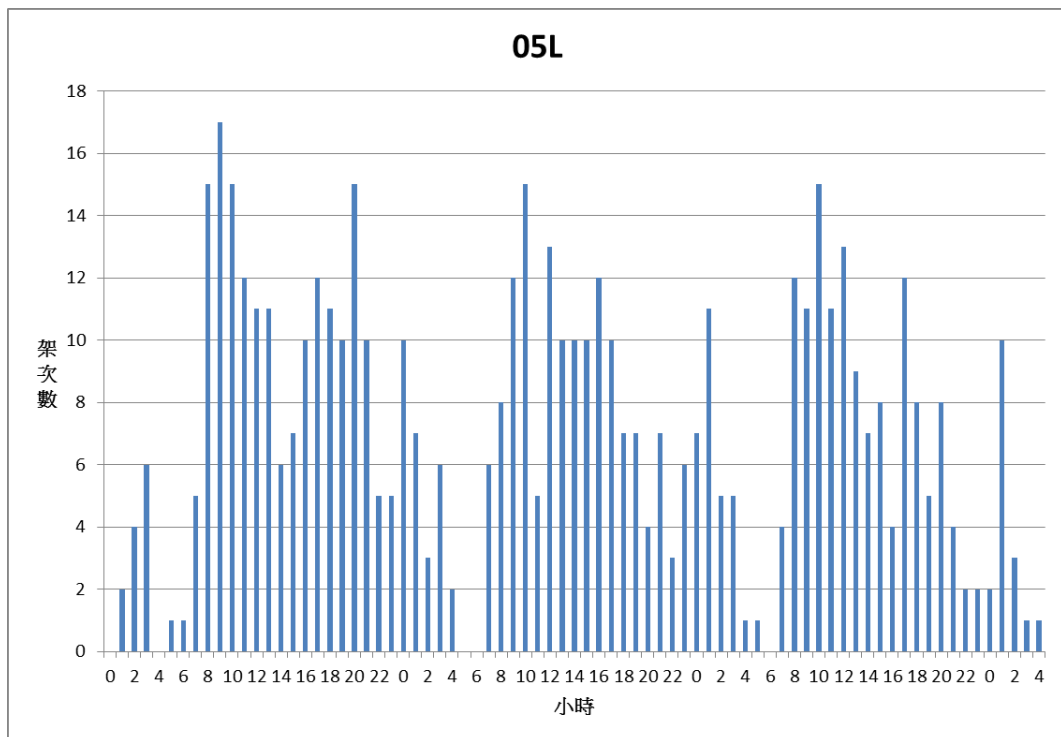


圖 11.8 05L 跑道頭附近滑行道小時通過量

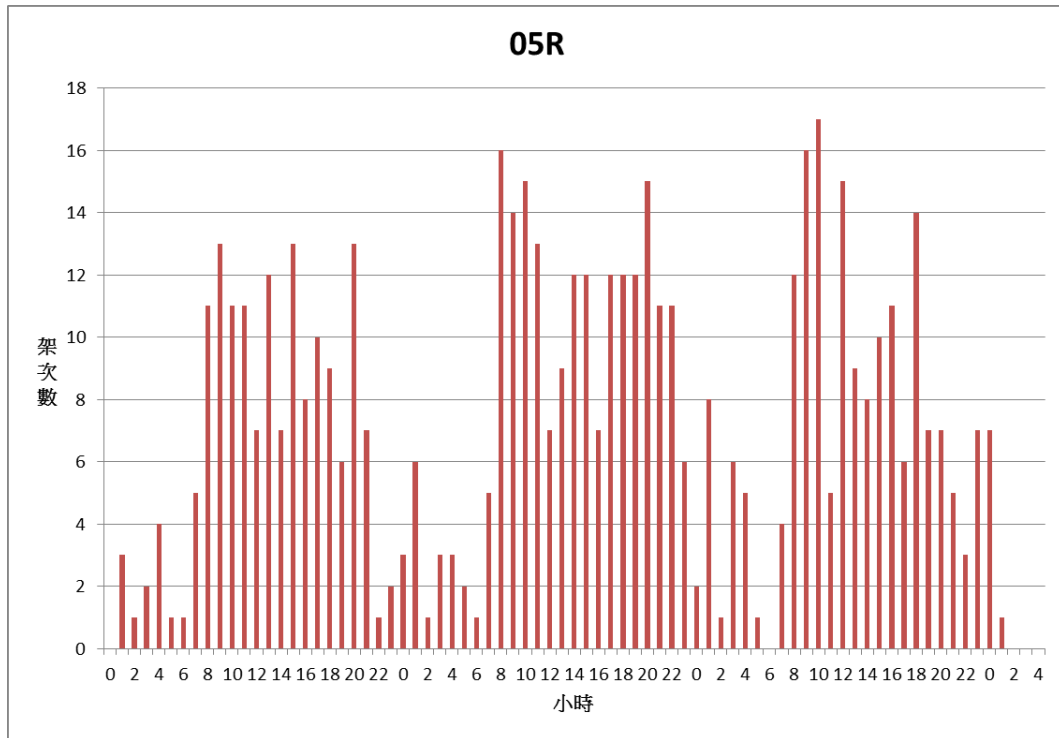


圖 11.9 05R 跑道頭附近滑行道小時通過量

11.1.5 停機位容量

航空器在前後飛航任務之間，需在在停機位執行上下乘客、裝卸貨物、加油、加水、清潔等地停工作。而影響停機位容量之直接核心因素為使用時間長度。每一架次之航空器使用停機位之時間愈長，一定時間內平均可服務之架次數愈少，反之亦然。相關論述可參閱第五章之相關說明。

依 111 年 9 月 8 日及 9 月 29 日討論之結論，桃園國際機場之停機位容量分析應以停機位之空間區位作為分類基準，亦即將所有停機位區分為 501-525、601-615、A1-A9、B1-B9、C1-C10 及 D1-D10 共計 6 類，分別統計分析真實紀錄之使用時間長度。統計結果發現停機位使用時間長度在類別之間有所差異，以 A1-A9 平均每架次使用 96.4 分鐘最短，而最長者為 501-525(主要供貨機使用)之 270.7 分鐘最長。至於 B1-B9、C1-C10、D1-D10 及 601-615，平均每架次使用時間則依序為 98.9 分鐘、115.3 分鐘、110.4 分鐘及 137.3 分鐘，而總平均則為 125.6 分鐘。由這些數據可觀察到各客機停機位之間的差異較小，而貨機停機位則有顯著較長的使用時間長度。詳細數據可參見表 10-5。

另外比較不同時期之停機位使用時間長度統計可發現，在 A1-A9、B1-B9、C1-C10 及 D1-D10 停機位，其不同時期之平均使用時間長度變化均不大，但 601-615 在 2019 年 8 月 10 日至 12 日之間的平均使用時間為 125.0 分鐘，而在 111 年 8 月 22 日至 24 日之間的平均使用時間長度則為 155.5 分鐘，相差 30.5 分鐘，約略為平均使用時間的 4 分之 1。而在相同期間，以服務貨機為主的 501-525 停機位，其每架次平均使用時間之差異更接近 100 分鐘。這些數據顯示桃園國際機場應無一體適用之標準參數數值。因此於分析停機位容量時，應允許分析人員視所擬分析之情境而設定相關參數之數值，並不宜以單一固定之參數數值作為一體適用之標準值。

11.1.6 容量影響因素分析

依 111 年 10 月 29 日工作會議結論，建議本案以天氣與場面變動影響進行分析。其中受天氣影響最大者為跑道容量，而受場面變動影響最大者為滑行過程之延滯。因此會議認為在跑道容量變動分析之部分，建議以不同離到場比率進行模擬比較。而桃園國際機場與松山機場雖然地理位置相近，但此 2 座機場於空側之活動並不相互影響。

由跑道使用時間以及前後航空器的間隔時間觀之，天氣不良時，受影響最大者為連續到場時所需要之間隔時間。以下呈現以不同情境進行模擬分析之結果。首先，若因天氣(或其他因素)而使得連續到場之間隔時間增加 20%，模擬結果如圖 11.10 所示。對照圖 11.3 所示之容量，可發現在各種離到場比率下，跑道容量均有下降，但到場航空器之比率愈高，下降幅度愈大，與預期相符。

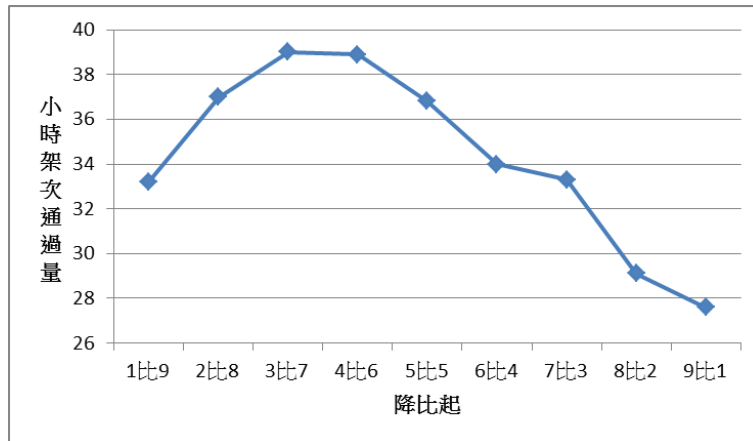


圖 11.10 桃園國際機場跑道容量分析(間隔時間 120%)

若進一步設定連續到場之間隔時間增加 40%再進行相同的模擬，可得圖 11.11 所示之曲線。與圖 11.10 之曲線相比較可發現相同之趨勢仍然延續，亦與預期相一致。

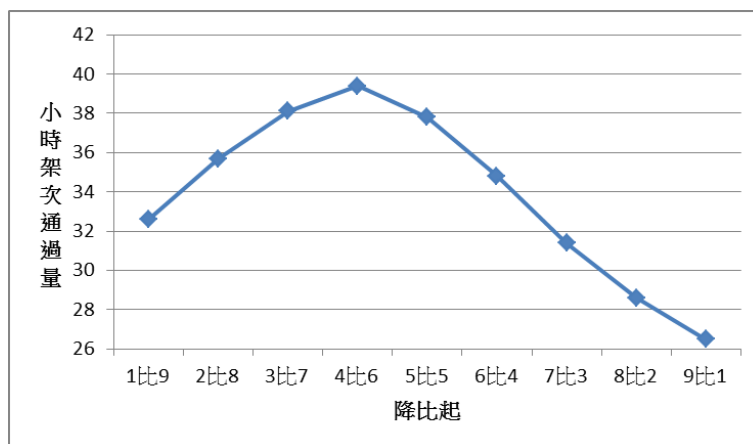


圖 11.11 桃園國際機場跑道容量分析(間隔時間 140%)

11.1.7 分析結果之建議

依 111 年 3 月 14 日及 10 月 29 日工作會議結論，建議本項嘗試在瞭解桃園國際機場空側運作之後，在本計畫範圍內指出容量不足之處。若將機場空側區分為跑道與跑道以外(滑行道與停機位)觀察，可發現桃園國際機場確有提升跑道容量之需要，然該機場之跑道容量深受空域之限制。

在滑行道方面，經以桃機公司之 3 組真實運轉紀錄進行分析，並分別觀察到場與離場之真實滑行時間長度分布，可得以下結果。圖 11.12 顯示

108 年 8 月 10 至 12 日到場航空器之滑行時間長度分布，橫軸為滑行時間，而縱軸則為該時間所觀察到之架次數量。圖中可見大部分到場航空器均在 15 分鐘以下完成滑行。統計顯示 15 分鐘以下之架次數占 $873/1165=74.9\%$ ，而 10 分鐘以下之架次數則占 $615/1165=52.8\%$ ，有超過半數之到場航空器均在 10 分鐘以內完成其滑行。

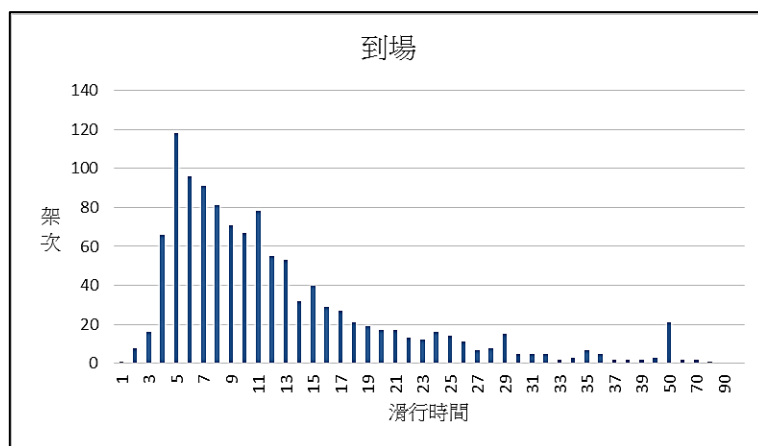


圖 11.12 到場滑行時間分布(108 年 8 月 10 日)

在離場方面，統計圖呈現於圖 11.13。該圖顯示之分布型態可分為 2 組，其中滑行時間較短者占多數，其中 $673/1135=59.3\%$ 介於 11 至 25 分鐘之間；同時，滑行時間較長者則為另一組，有 $226/1135=19.9\%$ 介於 30 至 70 分鐘之間。

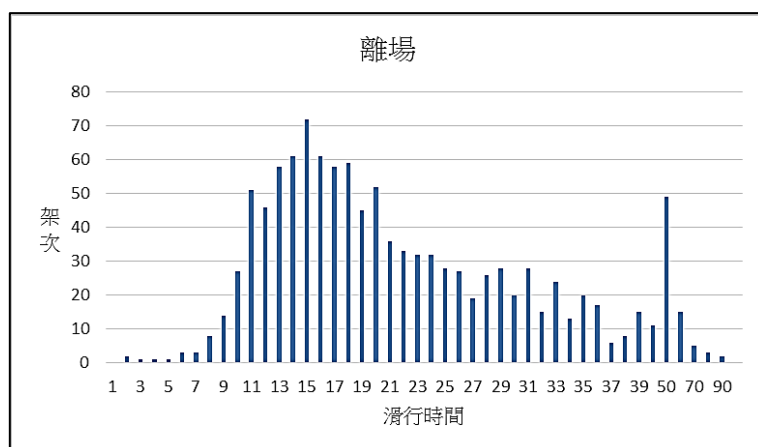


圖 11.13 離場滑行時間分布(108 年 8 月 10 日)

經以相同的方式檢視 108 年 8 月 22 至 24 日之真實紀錄，可發現到場

航空器之滑行時間在 15 分鐘以下者占 $943/1097=86.0\%$ ，而 10 分鐘以下者則占 $772/1097=70.4\%$ ，如圖 11.14 所示。

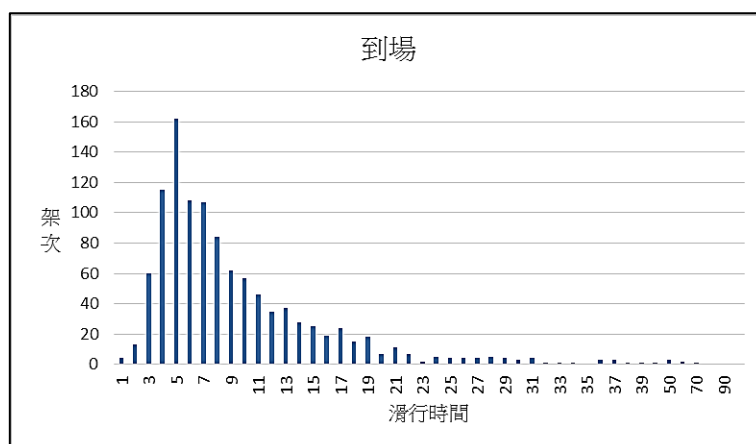


圖 11.14 到場滑行時間分布(108 年 8 月 22 日)

在 108 年 8 月 22 至 24 日之真實離場紀錄方面，圖 11.15 顯示介於 11 至 25 分鐘之間者占比為 $712/1101=64.7\%$ ，而介於 30 至 70 分鐘之間者則占了 $239/1101=21.7\%$ 。

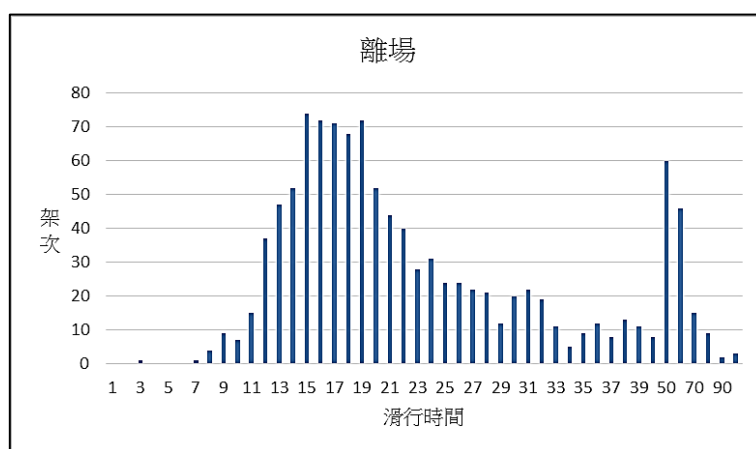


圖 11.15 離場滑行時間分布(108 年 8 月 22 日)

至於 109 年 1 月 12 至 18 日之真實紀錄則顯示在該段時間內，滑行時間低於 15 分鐘之到場航空器占有到場之 $2251/2551=88.2\%$ ，而 10 分鐘以下者則占了 $1739/2551=68.2\%$ ，如圖 11.16 所示。

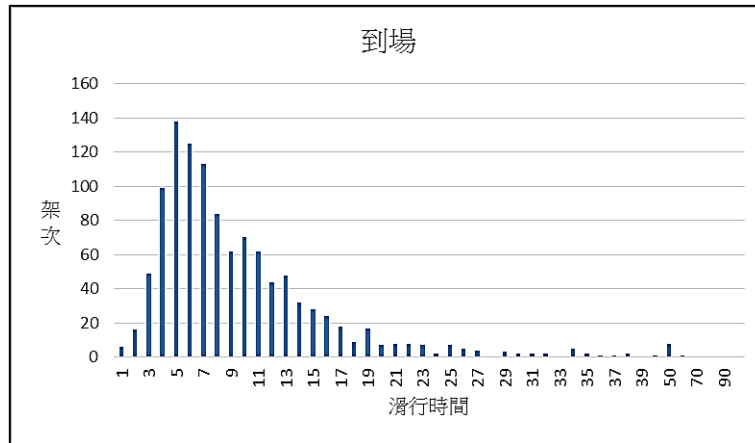


圖 11.16 到場滑行時間分布(109 年 1 月 12 日)

在離場方面，圖 11.17 則顯示滑行時間介於 11 至 25 分鐘者占 $2016/2562=78.7\%$ ，而介於 30 至 70 分鐘則占 $186/2562=7.2\%$ 。

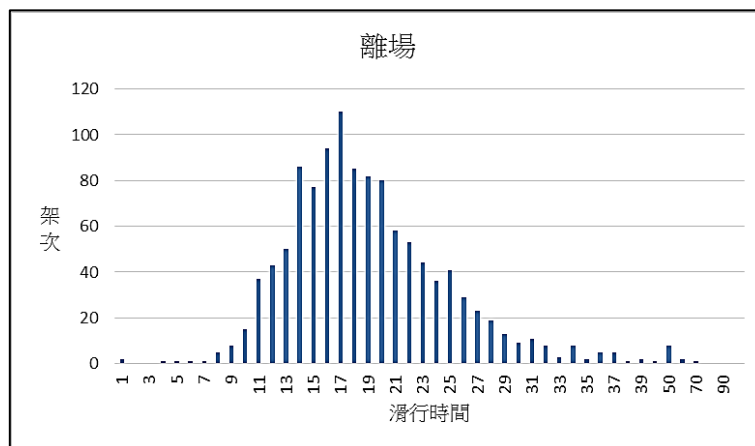


圖 11.1 離場滑行時間分布(109 年 1 月 12 日)

綜合以上真實運轉紀錄對滑行時間之整理，可歸納以下各點：

1. 離場與到場之分布型態不同

比較以上各組不同時間區間運轉紀錄之離場與到場滑行時間分布，可發現二者之時間分布型態有著顯著的差異。

2. 到場略有雙峰分布型態

觀察圖 11.12 與圖 11.16 可以發現略有呈雙峰分布之現象。前者之主峰與副峰以 10 分鐘滑行時間為界，而後者之主峰與副峰則以 9 分鐘為界。至於圖 11.14 則未呈現可明顯辨識之副峰。雖然圖 11.12

與圖 11.16 之副峰均不明顯，但模擬結果均呈現類似，但更明顯之現象如圖 10.8 及圖 10.16 所示。經分析模擬紀錄顯示此種現象之形成，似與跑道出口及停機位之相對位置有關。目前真實紀錄並無各航空器降落後使用之跑道出口相關紀錄，未來若有需要可進一步探討。

3. 離場延滯大於到場延滯

比較以上各組不同時間區間運轉紀錄之離場與到場滑行時間分布，可發現在每一組數據中，均呈現離場滑行時間顯著大於到場滑行時間之現象。考慮離場與到場之滑行距離並無顯著差異，可合理推論離場滑行之延滯量顯著大於到場滑行之延滯量。同時由圖 11.13、圖 11.15 及圖 11.17 亦可觀察到離場時間分布呈現明顯之雙峰狀態，其中前二者較為明顯，而圖 11.17 則不明顯。經訪談結果瞭解，其中位於較右側(滑行時間較長)之副峰與離場時受到外站流量管制而需要延遲起飛有關。另觀察模擬之過程，則可發現位於較左側(滑行時間較短)之主峰則與起飛前等待使用跑道有關。

4. 各時間區間分布不同

比較圖 11.12、圖 11.14 與圖 11.16 可發現三者之分布形狀雖然相似，但由量化觀之則實有所不同。在到場方面，除了前述圖 11.12 與圖 11.16 略呈雙峰分布之現象而圖 11.14 則不明顯外，圖 11.12 有 52.8% 之航空器可在 10 分鐘以內完成到場滑行，圖 11.14 之數據則為 70.4%，而圖 11.16 則為 68.2%，較接近圖 11.14 之數據。在離場方面，圖 11.13、圖 11.15 及圖 11.17 亦呈現差異性。除了前述圖 11.13、圖 11.15 可觀察到離場時間分布呈現明顯之雙峰狀態，而圖 11.17 則不明顯之外，圖 11.13 中可在 11 至 25 分鐘之間完成離場滑行者占 59.3%、圖 11.15 為 64.7%，而圖 11.17 之數據則為 78.7%，三者有著顯著之差異。

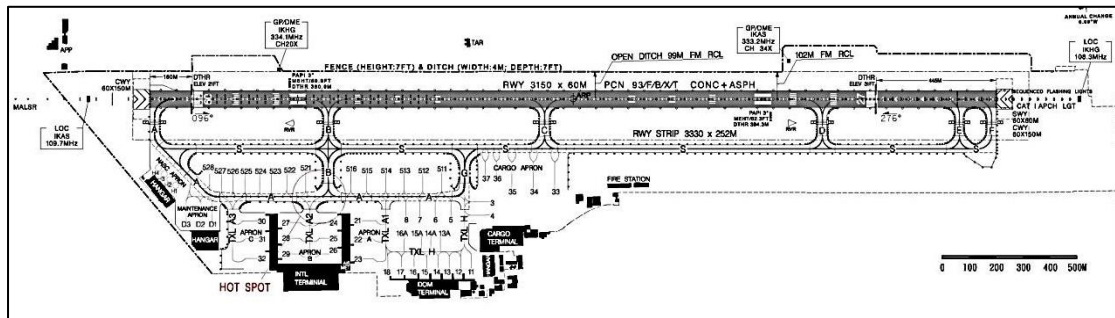
綜合歸納上述統計、分析、觀察及模擬，可發現當不受跑道所控制時(即到場後之滑行過程)，大部分航空器均能順暢完成其滑行操作。然而受到跑道影響時(即離場前之滑行過程)，則出現顯著之延滯。數據顯示於桃園國際機場，跑道為控制空側容量之最主要關鍵與預

期相符，而擴充跑道之容量，應為降低滑行延滯之最有效手段。

11.2 其他機場之適用性

11.2.1 小港機場設施概述

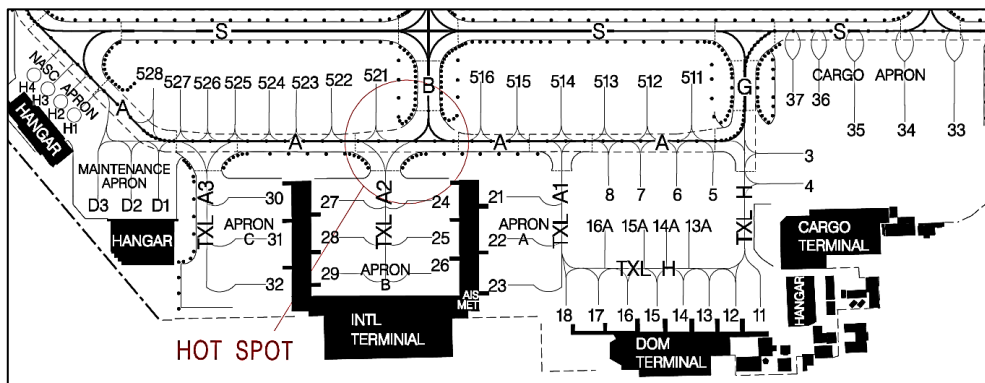
依高雄小港機場飛航指南^[44]之說明，高雄小港機場配置實體跑道1條，名稱為09及27。道長度為3,150公尺，寬度60公尺。滑行道則配置A至G以及S共計8條，寬度均為30至35公尺之間。機場空側場面配置如圖11.18所示。



資料來源：〔44〕

圖 11.18 高雄小港機場場面圖

高雄國際機場配置有停機位26席，另有貨物機位5席以及維修機坪3席。其配置區位如圖11.19所示。



資料來源：〔44〕

圖 11.19 高雄國際機場主要機坪位置

11.2.2 小港機場適用性評估

經實地參觀及訪談結果，發現第三章所說明之參數項，大致上可涵蓋該機場模擬所需，唯一不足處說明如下。於高雄國際機場供國際線使用，編號 24 至 29 停機位之空間 3 面受建築物包圍，如圖 11.20 所示。為了考慮航空器發動機噴出之氣流的影響，實務上於後推時均以拖車將航空器移動至「A」滑行道，再進行卸耳機線、卸拖車等作業，之後再由航空器以自身動力滑行。而在上述拖車後推之過程中，航空器所經過之路徑為數個不同停機位所共用。此種狀況並不見於松山機場或桃園國際機場，亦未納入軟體模擬之考量。因此若欲將本項空側容量評析技術與軟體應用於高雄國際機場，必須調整參數項，使之能夠描述各航空器自各停機位後推之後，進行上述卸耳機線、卸拖車等作業之位置點所在。同時亦需要調整軟體，使之能夠在模擬的過程中考量此項需求。

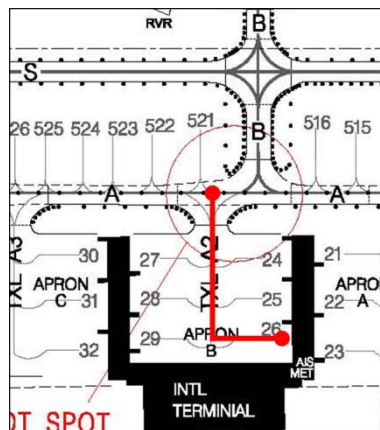


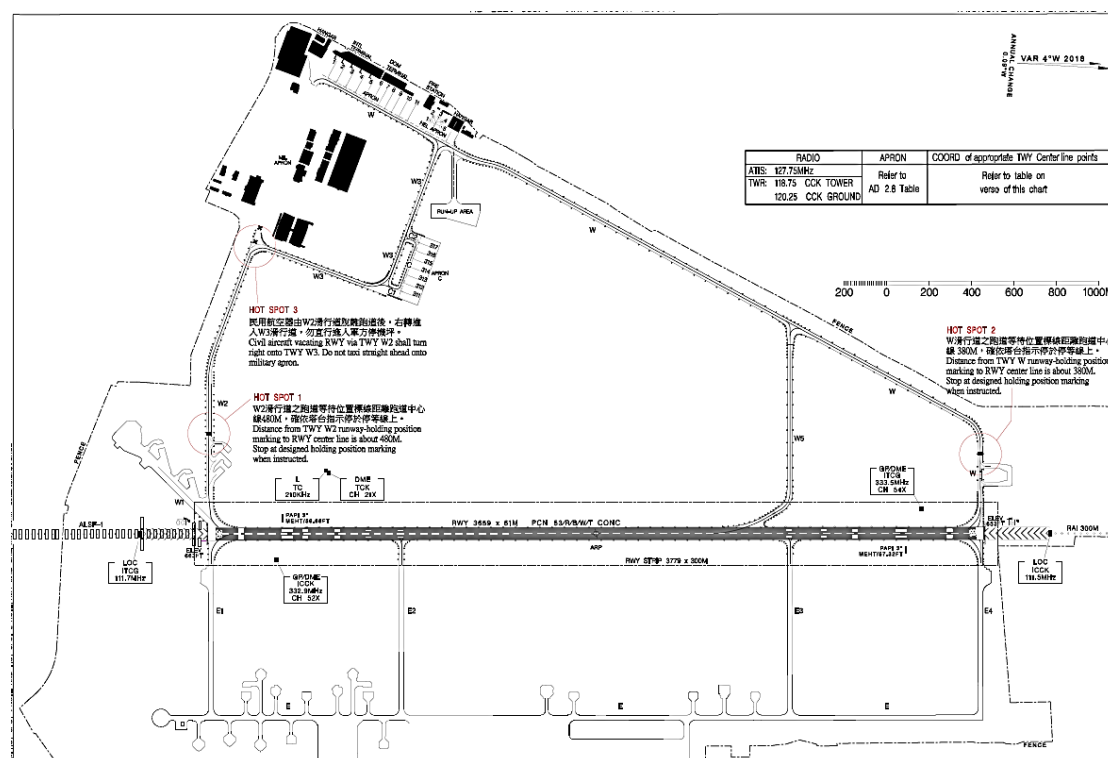
圖 11.20 高雄國際機場停機位 24-29 後推路線示意圖

在參數值之提供方面，於訪談過程中發現相關人員甚為熟悉機場運轉狀況，應有充分能力可提供有實用價值之經驗值，未來應用此套系統應無參數設定之困難。

11.2.3 清泉崗機場設施概述

依臺中清泉崗機場飛航指南^[45]之說明，該機場配置實體跑道 1 條，名稱為 18 及 36。跑道長度為 3659 公尺，寬度 61 公尺。滑行道計有 7 條，

分別為寬度 18 公尺之 C、C1 及 C2 滑行道，以及寬度為 23 公尺之 W、W2、W3 及 W5 滑行道。機場空側場配置如圖所示。該機場配置停機位 18 席，編號為 1 至 11 與 W 滑行道相鄰，以及 311 至 317 與 W3 滑行道相鄰；另有直升機之停機位 5 席。



資料來源：〔45〕

圖 11.21 臺中清泉崗機場場面圖

11.2.4 清泉崗機場適用性評估

臺中清泉崗機場為軍民合用，其容量由軍方與民航共享。軍用航空器與民航之航空器在性能、任務、需求等各方面均有相當之差異，而軍用機場及航空器之參數亦不宜納入本研究中。因此本研究所開發之容量評析方法並不適用於臺中清泉崗機場。

第十二章 結論與建議

本計畫以本所 107 年完成之空域模擬技術為基礎，結合飛航專業領域知識、等候理論與數學規劃等數學技術及資訊技術，創新研發本土國際機場空側容量評估方法。除可做為政策評估工具，評估掌握機場跑道、滑行道、停機位等空側個別設施及空側整體容量，並可評估機場在分析情境下之空側容量，提供民航局、桃機公司強化規劃評估與營運調度，使機場空側設施管制作為朝數據化及模式化發展，以利提升我國國際門戶機場營運效能，並符合機場長期發展需求。

12.1 結論

本所以開發完成之相關模擬技術，做為機場空側容量評析方法之基礎，於第 1 年期(民國 110 年)釐清影響空側容量之核心因素，接續在本年度(民國 111 年)完成參數項之定義以及軟體開發，成為我國第一套自主擁有，以模擬為基礎之機場空側容量評析技術。以下整理本計畫重要結論如後：

1.結合各界努力及技術能力

本計畫採產官學合作模式，在本所主導下結合了民航局(含飛航服務總臺)、桃機公司、專家學者及財團法人成大研究發展基金會共同推動(此一合作模式示意於圖 12.1)，有效結合了專業領域知識、數學技術與資訊技術，開發機場空側容量評析方法所需要技術(如圖 12.2 所示)，成為本計畫得以順利推動之重要關鍵。



圖 12.1 本計畫與各界合作模式

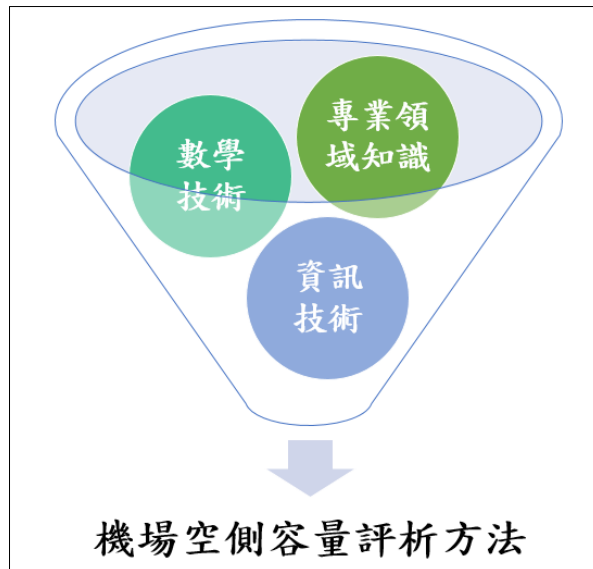


圖 12.2 本計畫所結合之技術

2.創新研發關鍵技術

為了驗證所發展技術之正確性及可用性，並為達成展示之目的，本研究依此套技術開發成為軟體，並使用桃園機場公司所提供之真實運轉數據進行驗證。在嚴謹設計之驗證原則下確認這套技術之邏輯，確實可反映真實狀況以及相關規章之精神與規定。

本研究之研發成果可歸納為下列 3 項：

- (1) 一組具有充足彈性，可完整描述現在、未來各種分析情境之參數。
- (2) 一套有能力描述真實運轉狀況之邏輯。
- (3) 一套可操作、可執行之軟體，以參數為輸入資訊，在邏輯規則下計算、推演機場空側隨著時間的推進而發生之各種變動，達到模擬的目的。

3.未來成果應用

此套方法雖係以桃園國際機場及松山機場為主要研究標的，但並未限制其可用之場域。本研究成果使得未來使用者可在參數規範下適當表達所擬分析之情境，並利用軟體依所設計的邏輯進行模擬，再觀察、統計模擬結果而得到更瞭解其情境之目的，對航空器在不同空側設施延滯原因等根本問題釐清有其助益。

本計畫所開發之方法，可利於評估機場空側中長期計畫性工程

之影響，相關單位可應用本計畫研發成果做為機場規劃與營運之輔助工具。依本計畫所設計之成果應用方法，未來可依實際應用需要先製備各種不同設定狀況下各種設施單元之容量數據，再於需要為特定機場之特定情境分析空側容量時，再查詢取用。這種應用方法將有利未來朝機場空側容量套裝軟體開發。

12.2 建議

1.後續研究之架構

依本計畫 111 年 10 月 31 日工作會議，後續發展應以桃園國際機場運轉模擬分析工具之開發做為研擬研究架構、主要工作項目及重要議題之主軸。此一主軸已明確點出後續發展成果之應用場域為桃園國際機場，亦明確顯示該軟體工具之開發屬性為量身定做。因此，後續發展建議之研究架構應包含以下 4 項：

(1) 整體環境之瞭解

如前所論述，後續發展成果之應用場域為桃園國際機場，因此有必要在釐清未來使用者之後，瞭解此系統應如何配合使用者執行其業務、此系統上線運轉之資訊環境、外部數據之介接方式以及本系統之運算結果是否將有其他系統承接運用等整體環境之狀況。

(2) 使用者需求之瞭解及確認

如前所論述，該軟體工具之開發屬性應為量身定做性質，因此在釐清未來使用者之後，必須充分瞭解使用者之需求，並在將使用者所提供之需求予以組織化、系統化之後，經過使用者確認，以做為後續系統建置之最重要依據。後續之所有開發及建置，悉以經過確認之需求為準。

(3) 測試

測試軟體系統目的在檢驗軟體之功能是否符合經過確認之需求。

(4) 移轉

系統之移轉包括軟體、文件之交付，以及教育訓練。

2.後續研究之主要工作項目

後續發展之主軸為桃園國際機場運轉模擬分析工具之開發。而欲開發高品質、使用者所樂用之軟體，工作項目必須緊扣主軸，以期集中研究資源而避免力量分散。以下各工作項目之設計均以緊扣主軸為最重要考量。

(1) 參數項目之檢討

本計畫已完成國際機場空側容量評析方法之開發，其中最重要的成果之一是一組可描述機場狀況的參數項目。在以此為基礎進行後續發展之前，須要先檢討本計畫所設計之參數項目是否有檢討修正之必要。

(2) 模式參數項與實務參數項之銜接

本計畫所開發之參數，其設計均是源自於實務規章與需求，但在模式建立之過程中，配合抽象化以及模擬邊界而經過轉化，與實務慣用之參數雖可相互轉換，但其定義並不盡相同。後續發展須探討如何銜接模式參數項與實務參數項，以方便運轉模擬分析工具之實務運用。

(3) 停機位指派實務狀況之瞭解

本計畫由容量評析之出發點，設計模擬過程中各航空器指派停機位之邏輯。此套邏輯與真實之停機位指派規則以及實務作法並不相同。後續發展應在桃機公司協助下深入瞭解實務狀況，以評估是否有修正模擬系統相對應邏輯之必要及可能之效益。

(4) 釐清可取得之真實紀錄

模擬結果受到參數值之影響，而參數值之律定則須要以真實紀錄為本。模擬系統的重要價值在於其可用以評估多種假設情境，但律定多組情境須要大量真實紀錄。然而在桃園國際機場這種高度複

雜的場域，真實紀錄之完整取得並不容易，而且各種數據各有其紀錄目的，轉換使用目的時常無法達到新目的之需求。後續發展須要以務實的方式，在桃機公司的協助下，釐清在真實狀況的限制下所可能穩定取得、長期累積的真實紀錄。

(5) 使用者需求訪談

任何軟體之開發，必有其預設之目標使用者，而使用者則透過深入的訪談提供其需求，來型塑該軟體。因此後續發展須要在工作展開之初便確定未來之使用者，並在使用者與軟體設計者緊密的配合下，共同完成軟體架構之設計。

(6) 設計貼近機場實務思維模式之操作方法

專業而精密設計的軟體包裝，是核心技術得以充分應用的重要條件。這些包裝橋接了使用者與核心模式，允許使用者以其所熟悉的思維方式，來運用其所陌生的抽象模式，亦即強化軟體之使用者體驗(User Experience)。此為成熟軟體所必備的部分，亦為後續研究的重要方向。

本研究完成了核心技術的基礎，後續研究應朝向實用化之目標發展。愈接近實用化階段，未來使用者之深度參與將愈重要。而欲達到使用者體驗提升後，必須瞭解使用者運用本項新工具之方式，例如機場規劃、時間帶或營運管理等，均為重要的方向，亦為未來應與各相關單位可深入密切合作之處。建議本軟體後續在進一步開發過程中，應導入使用者實質參與的機制。在後續發展時，在民航局機場單位與桃機公司人員配合協助下，設計貼近機場實務思維模式之操作方式、預設值、防呆功能及其他設計，以使未來使用者能得到更好的體驗(User Experience)。

3.後續研究之重要議題

後續發展工作係以桃園國際機場運轉模擬分析工具之開發為主軸。由於軟體之開發須耗費相當資源，因此過程中所探討之議題必須緊扣主軸以避免力量分散。以下所列之議題為對開發高品質機場運轉模擬軟體有幫助之重要研究議題。

(1) 軟體系統之運轉環境規劃

任何軟體系統對其運轉之資訊環境均有其需求。後續發展係以桃園國際機場運轉模擬分析工具之開發為主軸，於配合桃園國際機場之分析需求而開發軟體工具之同時，亦應協助該機場相關單位規劃可行之資訊環境。

(2) 桃機公司蒐集數據規劃

如前節所說明，後續發展須要以務實的方式，在桃機公司的協助下，釐清在真實狀況的限制下所可能穩定取得、長期累積的真實紀錄。在此同時，亦應探討是否有配合這項新工具而增加蒐集、累積更多數據之可能，做為對新工具長遠發展之重要指南。

4.其他後續擴充建議

建議可更具體研議人機介面套裝軟體規劃與建置，以及如何充分運用現代資訊技術提高使用者操作之方便性，為後續實務應用預做準備。

此外，一座機場除了空側之外，尚有陸側與空域，上述二者均影響機場整體容量。未來倘容量評析方法已完成套裝軟體之研發，建議可進一步對於陸側與空域因素影響空側容量之變因，進行更大範圍之研究。

參考文獻

- 1.許書耕, et al. , 空域模擬模式功能擴充之研究, 交通部運輸研究所, 2019 年。
- 2.桃園國際機場股份有限公司, 機場模擬軟體功能調整, 2020 年。
- 3.李宇欣, et al. , 應用模擬模式建立國際機場空側容量評析方法之研究 (1/2)-臺北松山機場空側容量評估與分析, 交通部運輸研究所, 2022 年。
- 4.許書耕, et al. , 構建空域模擬模式之研究-以臺北終端管制區域為例, 交通部運輸研究所, 2018 年。
- 5.呂蕙美, 國際機場空側設施容量評估方法初探, 交通部運輸研究所, 2018 年。
- 6.呂蕙美, 國際機場陸側設施容量評估方法初探, 交通部運輸研究所, 2019 年。
- 7.張仁達, 臺北飛航情報區空域模擬模式之建立, 交通管理科學研究所, 國立成功大學, 2001 年。
- 8.郭權鋒, 臺灣地區機場與空域系統模擬模式分析-以北高空運走廊為例, 國立交通大學, 2000 年。
- 9.彭冠儒, 運用 SIMMOD 分析台北終端管制區離到場隔離, 國立成功大學, 2014 年。
- 10.周立偉, 平行獨立跑道機場模擬模式之構建, 國立成功大學, 2000 年。
- 11.李昀諭, 空邊模擬模式之研究, 國立成功大學, 2001 年。
- 12.俞瑞華, 飛航管制策略在空域模擬模式上之應用, 國立成功大學, 2003 年。
- 13.吳世偉, 航機延誤擴散之預測-SIMMOD 模擬模式之應用分析, 國立交通大學, 2004 年。
- 14.AirportTools, Basic SIMMOD Study Creation Tutorial Featuring Visual SIMMOD, 2005. 。

15. Bertino, J., E. Boyajian, and N. Johnson, 21st Century, Fast-time Airport and Airspace Modeling Analysis with Simmod. 2011, FAA Managers Association.
16. 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, 交通部科技顧問室, 2000 年。
17. Ashford, N.J., S. Mumayiz, and P.H. Wright, Airport engineering: planning, design, and development of 21st century airports. 2011: John Wiley & Sons.
18. Fishburn, P.T. and M.S. Stoupe. Simulation: a powerful planning tool. in Airport Modeling and Simulation. 1997. ASCE.
19. ACRP, Defining and Measuring Aircraft Delay and Airport Capacity Thresholds. 2014.
20. Mascio, P.D., G. Rappoli, and L. Moretti, Analytical method for calculating sustainable airport capacity. Sustainability, 2020. 12(21): p. 9239.
21. Federal Aviation Administration, F., Airport Capacity and Delay, AC 150/5060-5. 1983, U.S. Department of Transportation.
22. Mumayiz, S.A. and P. Schonfeld. Airport modeling and simulation. 1998. ASCE.
23. de Neufville, R. and A. Odoni, Airport Systems. Planning, Design And Management. 2003.
24. Tascón, D.C. and O.D. Olariaga, Air traffic forecast and its impact on runway capacity. A System Dynamics approach. Journal of Air Transport Management, 2021. 90: p. 101946.
25. Tee, Y. and Z.W. Zhong, Modelling and simulation studies of the runway capacity of Changi Airport. The Aeronautical Journal, 2018. 122(1253): p. 1022-1037.
26. Mirkovic, B., Airport apron capacity estimation—model enhancement. Procedia-Social and Behavioral Sciences, 2011. 20: p. 1108-1117.
27. Mirkovic, B. and V. Tasic, Airport apron capacity: estimation, representation, and flexibility. Journal of Advanced Transportation, 2014. 48(2): p. 97-118.
28. Anderson, R. and D. Milutinović, An approach to optimization of airport

- taxiway scheduling and traversal under uncertainty. Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part G: Journal of aerospace engineering, 2013. 227(2): p. 273-284.
- 29.Mirković, B., V. Tošić, P. Kanzler, and M. Höhenberger, Airport apron roundabout—Operational concept and capacity evaluation. Transportation Research Part C: Emerging Technologies, 2017. 80: p. 439-453.
 - 30.Mascio, P.D., R. Carrara, L. Frascio, E. Luciano, A. Ponziani, and L. Moretti, Influence of Tower Air Traffic Controller workload and airport layout on airport capacity. Journal of Airport Management, 2021. 15(4): p. 408-423.
 - 31.Özdemir, M., C. Çetek, and Ö. USANMAZ, Airside Capacity Analysis and Evaluation of Istanbul Ataturk Airport Using Fast-Time Simulations. Anadolu University Journal of Science and Technology A-Applied Sciences and Engineering, 2018. 19(1): p. 153-164.
 - 32.Stephens, M. and A.A. Ot, Airside Capacity Utilization in a Nigerian Airport: A Case Study of Murtala Muhammed International Airport. American International Journal of Multidisciplinary Scientific Research, 2019. 5(3): p. 1-8.
 - 33.Mascio, P.D. and L. Moretti, Hourly capacity of a two crossing runway airport. Infrastructures, 2020. 5(12): p. 111.
 - 34.Jeppesen, Total Airspace and Airport Modeller (TAAM), Product Profile. 2015, Jeppesen.
 - 35.Airtop. 2021; Available from: <https://airtopsoft.com/overview/>.
 - 36.交通部民用航空局、空軍司令部，飛航管理程序，2021 年。
 - 37.O'Flynn, S., Airport Capacity Assessment Methodology—ACAM Manual. Technical Report 1.1, Eurocontrol, 2016.
 - 38.Federal Aviation Administration, F., Airport Capacity and Delay, AC 150/5060-5. 1983, U.S. Department of Transportation.
 - 39.Fisher, L., Landrum, Brown, A.C.R. Program, and U.S.F.A. Administration, Evaluating Airfield Capacity. Vol. 79. 2012: Transportation Research Board.
 - 40.交通部民用航空局，桃園國際機場飛航指南，2022 年。

41.交通部民用航空局，民用機場設計暨運作規範，2021 年。

42.桃園國際機場公司．機場建設藍圖，2021 年

Available from: <https://www.taoyuan-airport.com/2042vision/about/fly.html>.

43.交通部，交通工程規範，2015 年。

44.交通部民用航空局，高雄國際機場飛航指南，2022 年。

45.交通部民用航空局，臺中清泉崗機場飛航指南，2022 年。

附錄 A：訪談紀錄

訪談對象：桃機公司

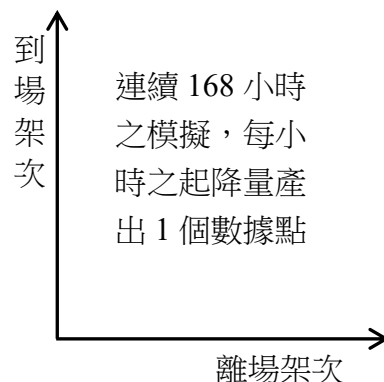
日期：111 年 3 月 25 日上午 11:00~12:00

地點：線上

人員：鄭羽哲、吳思嬋、李宇欣

訪談內容與結論：

1. 本計畫整體概況介紹。
2. 同意 3 月 14 日本案 3 月工作會議結論對於容量分析方法之開發方向規劃。
3. 本年度需研析之桃機分析情境
 - (1) 航班：由桃機公司提供連續 168 小時之數據，其中含有航空器、起降時間、使用機位等資訊。
 - (2) 場面變動：數種不同之滑行道關閉狀態。
 - (3) 天氣影響：將由桃機提供參數。
 - (4) 敏感度較高因素之釐清：原則上以上述各項分析為範疇。
4. 本案工作項目之各項桃機相關容量分析目標產出項目：
 - (1) 跑道容量分析，產出分時起降分布圖如下圖所示。



- (2) 滑行道容量分析，產出 168 小時中，各小時中航空器之滑行時間。各停機坪、到場、離場各產出一張圖。
- (3) 停機位容量分析，產出所設定情境下航空器於停機位之延滯時間，後續再討論具體內容。
- (4) 整體空側容量分析，為上述各項之綜合，後續再討論具體內容。
5. 系統參數之律定部分，桃機公司將全力配合提供所需之數據。

日期：111 年 9 月 8 日下午 2:00~5:30

地點：線上

人員：許修豪副組長、呂蕙美、鄭羽哲、吳思嬋、李宇欣

訪談內容與結論：

1. 提供桃機公司協助本計畫進行驗證之資料共有以下 3 項：
 - (1) 期中報告書表 3-1(跑道使用參數)，起飛與降落各 1 列，共計 2 列參數數值。
 - (2) 期中報告書表 3-2(跑道間隔參數)，本機起或降、前機起或降、同跑道與否之所有組合，共計 8 列參數數值。
 - (3) 期中報告書表 3-4，停機位使用時間參數。須由桃機公司所提供之運轉紀錄數據統計歸納之。統計時建議將桃園國際機場之停機位區分為 A、B、C、D、500 及 600 共計 6 組。若有更佳之區分方式亦可。運轉紀錄數據中，單純離場之航班可假設其提前 90 分鐘進停機坪，而單純到場之航班，則可假設其於 60 分鐘之後拖離。
2. 有關驗證之其他事項說明如下。
 - (1) 所提供進行驗證之 3 項資料中，不需考慮航空器分類。
 - (2) 預定於 9 月底之前提供第 1 版之 3 項驗證資料。桃機公司相關人員將於收到後儘快提供驗證判斷結果以及修正建議。
 - (3) 律定參數時使用桃機公司所提供，2019 年 8 月 10 至 12 日以及同年 8 月 22 至 24 日之運轉紀錄數據。
 - (4) 滑行相關之滑行速率參數、轉向參數及塞車權重不納入驗證範圍內。
 - (5) 於完成驗證之後，再以經過驗證之參數，經模擬產出小時起降量分布圖(期中報告書圖 4.7)、到場滑行時間分布圖(期中報告書圖 4.11)、離場滑行時間分布圖(期中報告書圖 4.12)。
3. 敏感度較高之容量干擾因素主要有天氣以及空側場面變動。於完成驗證之後，再進行以下工作項目。
 - (1) 由桃機公司協助設定不同天氣下之參數數值，據以分析不同天氣下之容量變化。
 - (2) 分析在不同空側場面變動下之變化。
4. 本期研究不需考慮拖機。
5. 實務上 2 架航空器先後使用同一停機位時，應至少間隔 15 分鐘。

附錄 B：專家學者座談會紀錄

採購案編號：MOTC-IOT-111- ECB002

採購案標的名稱：應用模擬模式建立國際機場空側容量評析方法之研究(2/2)-桃園機場空側容量評估與分析

時間：111 年 11 月 14 日下午 2:00

地點：交通部運輸研究所

主持人：賴組長威伸

出席者：如簽到表

紀錄：財團法人成大研究發展基金會李宇欣

討論議題：

1. 本空側容量評析方法在實務應用上是否合理且可行？
2. 本評析方法後續將對我國國際機場進行延續研究，請就未來研究方向提供指教或建議。
3. 本容量評估方法後續發展為應用軟體之開發方向與實務應用建議。

綜合討論：

1. 建議補充說明本研究的研究動機。
2. 本研究所開發之技術與及據以開發之軟體，應可供民航局及機場公司等相關單位使用。
3. 本研究在基本邏輯、成果精準度等各方面均達到可接受之程度，應予肯定。
4. 建議後續可以容量分析為基礎，研究服務水準之訂定標準。
5. 本系統應可用以分析跑道所配置之平行滑行道、滑行道施工等對容量應有影響。
6. 機場空側容量之最核心關鍵在跑道，而隔離時間則為跑道可容納之吞吐量之最核心關鍵。本研究所開發之技術，其邏輯應屬正確。至於各項參數數值則為變動值，反映了航管作業在規章允許範圍內之實際作為，隨運用模擬工具進行分析時之情境而異。
7. 以真實運轉紀錄以及其他數據進行測試結果，所見分析成果與真實狀況相接近，落在可接受範圍內。

主要結論：

請研究團隊將各項意見納入參考。

**111 年度「國際機場空側容量評析方法建立與後續應用」
專家學者座談會
簽到單**

時間：111 年 11 月 14 日(星期一)下午 14:00

地點：交通部運輸研究所 5 樓會議室

主持人：賴組長威仲

出席單位及人員：

賴威仲

出席單位	簽名
國立陽明交通大學運輸與物流管理學系 馮教授正民	馮正民
桃園國際機場股份有限公司 李前副總經理建國	李建國
桃園國際機場股份有限公司 鄭工程師羽哲	鄭羽哲
交通部民用航空局 陳技正俊羽	陳俊羽
交通部航政司	請假
交通部民用航空局	周鳳霖 謝柏楷 詹國伯 張博涵
交通部民用航空局飛航服務總臺	徐佳倫 古明石
桃園國際機場股份有限公司	請假
交通部運輸研究所	呂吳美
成大軌道運輸中心	李宇心 陳若瑋

附錄 C：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

編號：MOTC-IOT-111- ECB002

計畫名稱：應用模擬模式建立國際機場空側容量評析方法之研究(2/2)-桃園機場
空側容量評估與分析

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
(一)桃園機場公司		
1.目前期中報告已經提出「跑道隔離時間」之範例，但對於「滑行道使用邏輯」以及「停機位使用邏輯」，請再清楚敘明。	1.將納入期末報告書加強說明。	1.同意辦理。
2.有關第 37 頁「3.5 滑行道參數」與第 44 頁「4.1 機場設施概述」，圖 3.3 與圖 4.1 是舊的桃園機場配置圖，請留意桃園機場目前已經沒有 WC 滑行道，且已經新增 W1、W2 滑行道，本案相關模擬內容請務必使用新的圖資實施模擬。	2.遵照辦理。	2.同意辦理。
3.「三、容量評析參數架構」 (1)第 39 頁「3.7 行程資訊」，模擬模式建議要以「單一航班之整體航班生命週期」來計算，例如航機自進場降落、滑行、進入機坪再後推、滑行、再離場之生命週期中，各項模擬參數、跑道/滑行道/停機	3. (1)模擬模式確是以「單一航班之整體航班生命週期」來計算。 (2)模擬模式本身為一組邏輯及演算法，未來導入機場或任何實用單位時，必定是以軟體形式提供之。至於未來軟體之資料輸入、設定等操作方式，則配	3. (1)請於報告書補充說明跑道/滑行道/停機位各模擬參數之計算與互動情形，請以桃機公司建議方式加以呈現。 (2)請補充機場使用單位提供資料予

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
位之計算與互動情形為何?呈現方式如降落航機是T分進入模擬系統並開始使用跑道，T+Y分進入滑行道系統、T+Y+Z分進入停機位。 (2)第41頁「3.8 應用方法」，截至期中報告為止，尚未能看得出來模擬模式未來如何導入於機場之應用方式，機場未來應提供模擬模式甚麼內容的資料？應進行甚麼設定？如果模擬模式已經有一套模擬的參數可使用，機場使用單位應如何提供資料予模擬模式進行工作？請補充說明。	合使用者之需要以及工作環境而設計。依據本計畫工作會議已確認之決定，本計畫軟體雛型係以技術開發之工作人員為預設使用者進行各項設計，並說明於期中報告書第3.9節。未來開發套裝軟體時可依其使用者之需求而設計前述各項操作功能。	本模擬模式進行容量評析？需提供何種資料？應進行甚麼設定？請補充說明。
4.「四、桃園國際機場」之「4.4 模擬分析初步成果」 (1)第47頁，因本案為「應用模擬模式建立國際機場空側容量評析方法」，目前以桃園機場為案例之初步模擬分析中，應於4.4章將所有與模擬驗證相關之參數全數列出，例如： a.跑道使用參數是否有分為離場或到場？還是無論離場或是到場均使用48秒為使用參數，跑道間隔時間均為45秒？(亦即平均跑道容量為每小時38-39架次？但是實際容量並非如此)，請補充說明。	4. (1)本案已於3月25日與桃機公司相關人員會議討論模式驗證方式，並於4月工作會議中與運研所完成確認。此方向已作為所有軟體開發之基準。後續尚待確認驗證標準。 a.跑道使用參數有分為離場或到場。可參考期中報告書表3.1之「起或降」欄，該表下方第二段本文，亦對該欄以專段說明之。於期中報告書第4.4節所呈現之初步成果中，其離場及到場之跑道使用時間均設定為48秒，其目的在呈現使用真實運轉紀錄之模擬，並非呈現真實參數之結果。而該節之目的亦	4. (1)有關驗證標準，將於111年9月工作會議進行討論。 a.4.4節說明該節之目的在呈現使用真實運轉紀錄之模擬，並非呈現真實參數之結果，由於估算之平均跑道容量與實際跑道容量有所差異，後續參數如何設定以得出合理跑道容量，請再補充說明。 b.同意辦理，請補充說明於適當章節。

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
b. 停機位參數採用本機場所提供之停機位資料，但如何將現有資料放入模擬之參數項？抑或是如何輸入於系統中？請補充說明。 c. 滑行道參數除了滑行速率(應僅能設定為15節)之外，後推使用時間、以及是否使用相鄰停機位或滑行道參數，其互動關聯為何？請補充說明。 (2) 第49頁，有關「在到場航空器部分，真實紀錄在1166筆到場紀錄中，有62筆之滑行時間超過30分鐘。…模擬結果則為所有到場航空器均在15分鐘以內完成滑行」及「在離場航空器部分，真實紀錄在1,135筆離場紀錄中，有231筆之滑行時間超過30分鐘。…模擬結果則為所有離場航空器均在30分鐘以內完成滑行」等，到離場滑行真實紀錄筆數及分鐘，與模擬相差甚多，因滑行時間會影響場面其他航機起降狀況，此部分在模擬分布圖應該會呈現與真實分布圖不一樣的狀況。在比較圖(圖4.7)中，此影響部分呈現為圖中哪部分？請補充說明。	非在獲得任何結論。以上說明可參見期中報告書第4.4節第一段內文。 b. 將停機位之配置輸入到模擬系統中之操作方式係在期中報告書圖3.3所示之圖形界面中操作，可參見期中報告書第3.5節第一段之相關說明。將現有資料放入模擬之參數項之方法，是依所欲分析之機場及情境，先由停機位使用之立場設計航空器分類。由於本系統對航空器分類並無任何限制，使用者可依其需要而設計之。之後再依期中報告書第3.4節，表3-3及其相關說明內文之說明而設定停機位之分類；再依表3-4及其相關說明內文之敘述而設定航空器分類使用停機位之狀況。例如，假設某航空公司Y使用A、B、C、D三個停機位，而該公司服務美國與日本航線。其中美國線之地停時間介於90至120分鐘之間，而日本線之地停時間則介於60至100分鐘之間。美國線使用A、B、C停機位，而日本線則使用B、C、D停機位。此時即需要定義二種航空器分類：「Y公司美國線」，以及「Y公司日本線」(參見期中報告書第3.2節)。同時，將停機位定義為B1	c. 同意辦理，請補充說明於適當章節。 (2) 同意辦理。

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
	與 B2 二類，其中 B1 含有 A、B、C 停機位；B2 含有 B、C、D 停機位(參見期中報告書第 3.4 節表 3-3)。之後再設定「Y 公司美國線」之航空器分類可使用 B1 停機位、「Y 公司日本線」之航空器分類可使用 B2 停機位(參見期中報告書第 3.4 節表 3-4)。 c. 於模擬過程中，航空器後推之後可能阻擋滑行道以及相鄰停機位同時後推等現象均有納入模擬模式中。後推時直接使用相鄰停機位則無。本計畫並未開發模擬技術，而是應用運研所過往開發相關技術之成果(請參見期中報告書第 2.1 節之說明)，後續將於期末報告書中對模擬技術作較多之回顧。 至於將所有航空器之滑行速率僅設定為 15 節，經核對與本計畫已取得之真實運轉紀錄並不一致。 (2) 此處之差異主要在滑行時間，因此差異最明顯之比較圖為期中報告書之圖 4.11 及圖 4.12。	
5. 「六、後續工作」之「6.1 桃機容量及瓶頸」 本案後續將定義「容量」，目前現有文獻對於跑道容量、停機位容量尚未看到清晰定義，請定義當模擬系統完成模擬之後，「容量」與「通過量(最大	5. 機場之容量並無公認之唯一定義。本計畫將依前期之研究成果(請參閱期中報告書第 2.2 節之回顧)，每單位時間可服務之航次數作為跑道容量之衡量單位，以單位時間可服務之航空器架次數作為停機位	5. 請補充說明「容量」與「通過量(最大停駐量)」之關聯性，以及本案未來產出之績效指標為何。

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
停駐量)」之關聯性為何？未來本案所產出之績效指標又為何？請加以補充。	容量之衡量單位。	
(二)民航局		
1.與航管作業相關的跑道參數部分，「跑道使用時間」與「間隔時間」二者在不同情境之間的關係，如「先起後起」、「先起後降」、「先降後起」、「先降後降」4種情境之間隔參數之差異應該很大，建議列表說明。	1.確可預期此4種情境之參數數值彼此不同。因此於參數架構中亦予區分，可參見期中報告書第3.3節之說明，以及表3-1及表3-2之示例。其中表3-2之示例中，即將該4種狀況其中之3種組合列於表之示例中。	1.同意辦理。
2.考量機場建設多以年容量或尖峰小時之概念評估空、陸側設施供給與平衡是否符合使用需求，爰本案之模擬模式是估算何種時間範疇內之空側容量，如單日即時或一週、一季、一年間之平均值？請補充說明。	2.本計畫之模擬技術係使用運研所過去研究成果，其方法是逐一模擬每一航班之各行程。因此使用是係以單日之模擬為原則。本計畫在開發軟體時已納入模擬連續數日航班之機制，但並未及於一週、一季、一年之模擬。	2.同意辦理，請補充說明於適當章節。
3.模擬模式能否針對相關飛航時間管制措施估算空側容量？如宵禁時間之限制或放寬、一月之中平均關場日數、跑滑道維修暫時關閉等情形。	3.宵禁時間直接控制機場之運轉時間長度，模擬時可經由期中報告書第3.7節，表3-8所列各項參數之「開始時間」控制之。關場時應無航空器起降，而本計畫並未針對關場時之空側容量進行探討。跑道及滑行道關閉之狀況，可在期中報告書圖3.3所示之圖形界面中操作，由模型中刪除該跑道即可，請參見期中報告書第3.5節。至於跑道及滑行道之短時間關閉	3.同意辦理。

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
	(例如僅關閉2小時後即復開放)則未納入機場空側容量評估之範圍中。	
4. 能否將普通航空業之營運對機場空側容量之影響納入考量?例如以每日普通航空業平均起降架次及使用跑滑道時間等做為輸入參數。	4. 本計畫所設計之參數架構中，並未限制或預設任何航空器分類方式，因此對於有針對普通航空業予特別分析之機場或情境，可將普通航空業予以獨立分類，再依其特性針對該分類設定使用跑滑道時間等各參數數值即可。至於其起降架次數則可依需要精準設定於行程資訊中，可參見期中報告書第3.7節。	4. 同意辦理。
5. 本案模擬模式能否針對機場未來建設或管制之放寬予以估算空側容量?例如新建雙跑道、跑滑道幾何配置改變或軍民合用機場民航額度放寬等。	5. 欲評估機場新建跑道、滑行道等未來建設之影響時，可在期中報告書圖3.3所示之圖形界面中操作，請參見期中報告書第3.5節。 欲評估管制放寬對容量之影響，亦可經由參數之設定而達成。例如若欲評估航空器於跑道隔離標準之放寬或收緊，可調高或調低期中報告書表3-2中，相對應之跑道間隔參數(請參見期中報告書第3.3節之說明)。而達到這種分析，亦為本計畫對各參數值均設計高度彈性，未以規章之標準、慣例或其他方式予以限制使用者可設定之值的考量所在。 至於「軍民合用機場之民航額度」之考量，並未見於松山機場或桃園國際機	5. 可於評估本模式應用於臺中國際機場之適用性時補充說明。

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
	場，因此亦未納入本計畫考量中。	
6. 「3.4 停機位參數」 (1) 報告書第 35 頁有敘明參數包含停機位分類及各類航空器對各類停機位之使用時間，並針對停機位分類原則說明為：「1. 不限制分類之定義方式，概由使用者自由定義。2. 同一實體停機位可同時屬於多種分類。」由表 3-3 及表 3-4 觀之(第 36 頁)，舉例之分類似以機場管理者之角度分類，然各家航空公司亦有特定航線或特定機型偏好特定停機坪之需求，桃機航務處停機位安排過程實務上均會通盤考量，航空公司之偏好分類是否亦能納入分析參數？請補充說明。 (2) 相關之參數分析技術，未來能否導入桃機公司之停機位管理系統？請補充說明，俾利每日預劃隔日之停機位。	6. (1)由於不限制分類之定義方式而概由使用者自由定義，因此航空公司之偏好分類亦可納入之。 (2)本計畫對停機位所設計之模擬邏輯與實務運轉時決策輔助之目的及考量因素均不相同，已略述於期中報告書第 3.4 節最末段。後續將於期末報告書作更詳細之說明。	6.同意辦理。
(三)民航局飛航服務總臺		
1.依據報告書第 7 頁「確認空側影響因素」與「空側容量評估工具建立」是為本案工作項目之核心技術開發，爰簡報 p.7 以下討論之「跑道參數」，本總臺就實務層面提出以下建議：	1. (1)此處應指期中報告書第 2.5 節「進跑道等待」之狀況。航空器依管制員之引導而進跑道等待時，已實體進入跑道，但進跑道等待之航空器在管制員尚未頒發起飛許可之前並不可	1.同意辦理，請補充說明於適當章節。

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
(1) 簡報第 7 頁附圖，描述跑道參數係由兩航空器之「使用跑道時間」與「間隔時間」加總而得，惟實際作業上，航空器「使用跑道時間」與「間隔時間」往往是重疊的。如牽涉兩架離場或到場後接續離場，在前機空出跑道等待位置後，離場航空器即可進入跑道，如為兩架到場或離場後接續到場，兩機之「使用跑道時間」即同時為最小之「間隔時間」。 (2) 簡報第 9 頁「間隔時間參數」 a. 本案似以航空器重量為判斷依據，但卻未提及兩機離場間之「機尾亂流程序」，例如前機為重型，後機為中型之組合，於此情況，依據「飛航管理程序」3-9-7 同跑道之隔離 f. 項，「間隔時間」的下界，應為 2 分鐘，此情況在桃園機場頗為常見。 b. 實務上，若先不論「機尾亂流程序」，連續離場之「間隔時間參數」，本總臺建議以更精細之分類方式定義，如離場後飛行路徑(儀器離場程序)相同者，會要求較大之「間隔時間」，爰離場航空器之「間隔時間」，建議「航空器分類」係以儀器離場程序做為依據。	開始滾行，因此本系統並不視為已使用跑道。故應無時間重疊之顧慮。 (2) a. 本計畫所設計之參數架構中，並未限制或預設任何航空器分類方式，因此航空器重量、是否屬普通航空業、「生/熟場」等多樣性之考量均可利用設定航空器類別之方式納入分析之中。此亦為在參數架構中，設計高度彈性之航空器之分類機制目的所在。如期中報告書第 2.5 節對機尾亂流相關程序之整理所示，機尾亂流程序影響前後航空器在跑道之隔離時間長度。而該長度於參數中即反映在期中報告書第 3.3 節所說明之間隔時間長度中，其參數架構並示例於期中報告書表 3-2。至於本項參數之數值，則視使用者分析時所設定之情境而定。例如若使用者欲評估航空器於跑道隔離標準之放寬或收緊，可調高或調低期中報告書表 3-2 中，相對應之跑道間隔參數。	

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
2.簡報第 11 頁「滑行道參數」部分，似以「滑行速率」與「轉向參數」為判定準則，惟實務上，就航空器延誤造成空側容量受影響之角度，停機位配置造成之影響更大、更為顯著，建議研究參數納入因停機位配置使航空器後推造成之延遲。	2.因停機位在幾何上之配置而使得航空器後推時造成延遲，主要表現在航空器後推時擋住其他航線器之活動空間。於模擬過程中，航空器後推之後可能阻擋滑行道以及相鄰停機位同時後推等現象均有納入模擬模式中。	2.同意辦理，請補充說明於適當章節。
3.總臺認同本報告書所述，建立自主空側容量評析工具對本地航空發展至為重要，但就工具核心技術開發，除與桃機人員交流外，建議可多與航管實務層面作業交流，應有助於本案空側容量評析工具研發。	3.運研所先完成模擬技術之開發，再賡續進行空側容量評析技術之開發，目的均在建立我國立主之技術。多年來航管實務相關先進專家均多方協助提供知識經驗，影響至為重大。如期中報告書圖 1.2 及相關內文所說明，本計畫之技術領域重心已由飛航實務知識逐漸轉移至系統分析(設計參數架構)與資訊技術領域(開發軟體雛型)。後續則將更側重於資訊領域以期於未來建置良好可用之軟體系統。	3.同意辦理。
(四)顏委員進儒		
1.模擬模式所模擬的實體空間範圍，宜清楚定義。	1.模擬模式所模擬之實體空間範圍為機場空側，包含跑道、滑行道以及停機位。	1.同意辦理，請補充說明於適當章節。
2.容量分析的方法或邏輯，宜清楚說明。	2.將於期末報告書以專節說明之。	2.同意辦理。
3.根據報告書內容，本期為前期研究(松山機場)模擬模式的延續。值得注意的是，單跑道空側的運作與多跑道差異極大，尤其桃	3.依「飛航管理程序」之說明，不論機場之跑道數量，規範隔離之考慮因素均為前後航空器之起飛降落組合、前後航空器之分類組	3.有關本模式擴建為多跑道的關鍵，請依 111 年 9 月工作會議結論辦理。

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
園國際機場未來將有 3 條跑道，因此建議研究團隊的新模擬模式擴建為多跑道的關鍵，宜清楚說明。	合、以及同跑道或不同跑道。而雖然不同組合之下規範所要求之隔離標準不同，但其間之隔離均是以時間為單位。可詳參期中報告書第 2.9 節最末之分析歸納。基於以上之分析歸納，乃設計期中報告書第 3.3 節所說明之參數架構，納入上述前後航空器之起飛降落組合、前後航空器之分類組合、以及同跑道或不同跑道等因素，而由參數數值表現各種不同組合下，所擬分析容量之機場以及所擬分析之情境下，具代表性之間隔時間範圍。	
4. 建議模擬模式中部分參數的設定，除了盡量提供使用者彈性之外，仍需與國際標準或慣例接軌。	4. 本計畫對各參數值均設計高度彈性，未以規章之標準、慣例或其他方式予以限制使用者可設定之值，這種設計之考量在使得本系統能夠評估管制放寬或收緊之影響。例如若欲評估航空器於跑道隔離標準之放寬或收緊，可調高或調低期中報告書表 3-2 中，相對應之跑道間隔參數(請參見期中報告書第 3.3 節之說明)。	4. 同意辦理。
5. 機場降落費對桃園國際機場而言是最重要的收入來源，建議未來規劃團隊可以利用所開發的模擬模式，模擬不同飛機起降情境(可能是收費機制改變的結果)。	5. 機場降落費之收費機制並未納入本計畫探討範圍中。	5. 同意辦理。

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
(五)蕭委員傑諭		
1. 「1.3 工作項目」 (1) 第 7 頁之 2(5)提及「多跑道容量評估方法已完成」，惟於內容中未見相關方法之介紹，尤其 2 個非獨立跑道間之相互影響如何納入，請補充說明。 (2) 第 8 頁之 3(2)、3(3)，工作項目要求「設定航空器分類」，惟本研究不設定即稱完成，建議至少設定基本樣態(Default)。再供使用者變更，至於其他參數亦建議要有建議數值。	1. (1)依「飛航管理程序」之說明，不論機場之跑道數量，規範隔離之考慮因素均為前後航空器之起飛降落組合、前後航空器之分類組合、以及同跑道或不同跑道。而雖然不同組合之下規範所要求之隔離標準不同，但其間之隔離均是以時間為單位。可詳參期中報告書第 2.9 節最末之分析歸納。基於以上之分析規納，乃設計期中報告書第 3.3 節所說明之參數架構，納入上述前後航空器之起飛降落組合、前後航空器之分類組合、以及同跑道或不同跑道等因素，而由參數數值表現各種不同組合下，所擬分析容量之機場以及所擬分析之情境下，具代表性之間隔時間範圍。 (2)如期中報告書圖 3.1 及相關內文說明，於本計畫所開發之技術中，航空器分類之目的在供分組設定參數之用。而實務上所需要之分類方式極為多元，例如是否屬普通航空業、「生/熟場」、航空公司對停機位之偏好分類等均屬之。而本計畫對於「設定航空器分類」乙項，確實已針對上述之多元且不可能完整	1.有關「多跑道容量評估方法」及「設定航空器分類」，請依 111 年 9 月工作會議結論辦理。

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
	預知之分類需求，設計一套具有高度彈性之機制。該機制容許使用者可依其需求而自由分類，同時又能對任何之類別設定方式，運用一體適用之參數項目。本架構下航空器類別之設定雖然具有高度自由度，但仍有其規範與原則，可參見期中報告書第3.2節之說明。而類別如何作為分組設定參數之用，則說明於期中報告書第3.3節至第3.5節。各趟個別之航空器行程如何對應到類別，則說明於期中報告書第3.7節。 至於在軟體中，應以「普通航空業」、「生場」、「熟場」或其他項目作為軟體操作界面上所顯示之初始內定值，再供使用者於操作軟體過程中變更之，則宜與未來軟體使用者深入討論之後，配合使用者作業需求而設定之，以方便使用者之操作。本計畫所開發者為軟體雛型，而使用者則設定為技術開發之工作人員，目前階段在軟體操作界面上顯示之初始內定值均配合開發當時測試便利之需要而設定之。	
2. 「2.4 國際文獻」之第18頁，建議加入「機場設計與規劃」相關教科書於機場容量分析相關之內容，例如 de Neufville &	2. 將參考 de Neufville, R. & A. Odoni (2003). "AIRPORT SYSTEMS. PLANNING, DESIGN AND MANAGEMENT."一	2. 同意辦理。

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
Ordoni。	書中與本研究較為相關之部分。	
3. 第 33 頁「3.3 跑道參數」 (1)機隊組合如何在系統中呈現、模擬，宜加強說明。 (2)跑道使用參數受滑行道配置及使用與停機坪使用之影響，系統中如何呈現其關聯性?請補充說明。 (3)表 3-1、表 3-2 及相關表格之「機率」呈現，宜再考慮，目前僅表達不同狀況下之比例。 (4)上下界如何決定?機率分布如何決定?請補充說明。	3. (1)本系統使用行程資訊清單而非機隊組合，說明於期中報告書第 3.7 節。與機隊組合相較，本機制提供使用者更為精準控制真實進入模擬航空器之機制。 (2)滑行道配置及使用與停機坪使用對跑道使用之間接影響應在跑道出口。若系統運用時，該機場有此需求，可依該機場之歷史紀錄或專業判斷，對使用該機場之航空器作適當分類之後，取得各類別之航空器使用各出口之比例，以及各類型航空器使用各出口時其對應之使用跑道時間長度範圍。利用上述數據，使用上述比例設定機率、使用上述時間長度範圍作為使用跑道時間長度之上下界，即可建立所需之關聯性。 (3)將再考慮之。 (4)上下界以及其他參數數值可依該機場之真實紀錄統計，或專業判斷之經驗值，如期中報告書第 3.8 節所說明。本系統所使用之機率分布均為均勻分布，原因在於任何既定之機率分布，均可利用均勻分布逼近之，反之不必然。	3. (1)同意辦理。 (2)同意辦理，請補充說明於適當章節。 (3)請補充說明。 (4)請於適當章節補充說明設定上下界之原因及機率分布之設定。
4. 第 37 頁「3.5 滑行道參數」	4. (1)航空器於滑行道之衝突	4. 同意辦理。

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
(1) 如何考量滑行道之航空器衝突與停等，請補充說明。 (2) 本研究非「使用手冊」，建議詳細說明數位數據。	避免以相互停等屬於模擬核心技術的一部分，並非本研究之成果。此部分將於期末報告書之文獻回顧相關章節加強回顧之。 (2) 有關滑行道參數之數位數據，絕大部分均為使用者於期中報告書圖 3.3 所示之操作畫面上操作之後，由軟體自動產生之二進位值(亦即由多數 0 與 1 所組合之數位數據)，為 MS-SQL 之 DBMS 在 C# 程式控制下於其內部運算所自動產生。	
5. 第 47-48 頁「4.4 模擬分析」 (1) 該結果是基於哪些參數設定，宜詳細說明。否則比較「紀錄」與「模擬結果」沒有意義。例如航空器不分類都能得到與「現實相近」之結果，何以致之？請補充說明。 (2) 起降需求 (Demand Profile) 如何設定？時間與起降優先順序為何？與結果高度相關，宜詳細說明。	5. (1) 該內容為使用軟體離型測試之結果，而測試所使用之輸入數據則完整說明於期中報告書第 4.2 節及第 4.4 節。 由該結果期中報告書圖 4.5 至圖 4.10 觀察之，小時起降量以及各小時到、離場量確實模擬結果與真實紀錄相當接近。推論此現象顯示，這二方面之性質對航空器分類方式並不敏感(請參考期中報告書第 3.8 節有關參數之數值敏感性相關說明)。此與一般認為各型航空器使用跑道時間長度差異並不大可能相一致。 (2) 起降需求係以行程資訊清單表現之，說明於期中報告書第 3.7 節。本機制提供使用者精準控制起降需	5. 請於適當章節補充此詳細說明。

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
	求之方法。 於模擬系統中，離場與到場優先權為相同。	
6.建議加強說明本期與上期工作成果之差異。	6.期中報告書第 2.2 節已摘要回顧上期工作成果，並說明基本假設、容量評析方法以及參數項均有差異。將於期末報告書加強說明其中與本計畫之差異處。	6.同意辦理。
7.起降時間(使用、分隔)分布有其規定，有最小值(安全要求)，故參數設定與分布有其重要性，宜詳加設計與說明。	7.經查「飛航管理程序」對於起降過程中，航空器使用跑道之時間長度，應無時間長度分布之規定，亦無時間長度最小值之規定。在隔離標準方面，「飛航管理程序」確有其規定，其中與本計畫相關部分可參考期中報告書第 2.5 節之回顧整理，以及該節最末，以本計畫為出發點之分析歸納。 機場真實運轉時，必須確實遵守「飛航管理程序」或其他規章中所規定之隔離標準，殆無疑義。然模擬系統與飛航安全並無任何直接關聯，提供使用者寬廣之設定自由度，可使得本系統亦能測試管制標準之放寬或收緊所可能帶來之影響。	7.有關參數設定與分布，請依 111 年 9 月工作會議結論辦理。
8.容量分析之邏輯架構與方法，宜加強說明。	8.將在期末報告書加強說明之。	8.同意辦理。
9.建議研究團隊於報告書中詳細說明各部分(跑道、滑行道與停機坪)模擬架	9. (1)將於期末報告書中加強說明。 (2)依「飛航管理程序」之說	9. (1)同意辦理。 (2)有關雙跑道間之關聯性，請依 111

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
構與方法，尤其需著重於： (1)各部分之關聯性如何考量、模擬，請補充說明。 (2)桃園機場的雙跑道並非兩個獨立跑道，雙跑道系統如何考量、模擬，研究架構如何處理兩個跑道間之關聯性，宜詳細說明。	明，不論機場之跑道數量，規範隔離之考慮因素均為前後航空器之起飛降落組合、前後航空器之分類組合、以及同跑道或不同跑道。而雖然不同組合之下規範所要求之隔離標準不同，但其間之隔離均是以時間為單位。可詳參期中報告書第 2.9 節最末之分析歸納。基於以上之分析歸納，乃設計期中報告書第 3.3 節所說明之參數架構，在參數中納入上述前後航空器之起飛降落組合、前後航空器之分類組合、以及同跑道或不同跑道等因素，而由參數數值表現各種不同組合下，所擬分析容量之機場以及所擬分析之情境下，具代表性之間隔時間範圍。	年9月工作會議結論辦理。
(六)蘇委員崇義		
1.「計畫背景分析」第5頁，完全支持自研自發之分析軟體，請聚焦、符合機場需求。	1.此亦為本計畫推動方向。本計畫並已於4月工作會議中明確將所有工作項目中，將「以桃園國際機場為標的，使用系統模擬技術而建立空側容量評析方法」之目的所不可缺者，劃分為主要工作項目。此一劃分原則以及具體劃分項目並已於工作會議中得到運研所之同意。	1.同意辦理。
2.「文獻回顧」第17頁，停機位周轉率與地安事件相關，建議多予著墨。	2.利用模擬結果，應可計算得到各停機位之周轉率。其具體計算方式將於後續	2.有關周轉率具體計算方式，請搜尋性質相近之周轉率公

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
	工作會議中與桃機公司人員討論。	式或規範加以計算。
3.「容量評析參數架構」第32頁，建議縮小分析範圍至航機起飛前、落地後之運作數據(再加上停機位間之拖行)。	3.此與本計畫之參數架構設計一致。航空器起飛後，以及在降落前之狀況，均未納入分析架構，亦未納入參數中。	3.同意辦理。
4.第49頁桃園國際機場數據之差異巨大或極端因素部分，可排除考量。	4.排除極端狀況或觀測數據之離群值確為常用之正確作法，本計畫後續將研議採用之。	4.同意辦理。
(七)林委員信得		
1.建議先以去年松山機場案例，說明模擬軟體在空側容量評析之結果與實際差異，然後再導入說明如何調整設定桃園國際機場空側容量之參數設定。	1.去年之成果已摘要回顧於期中報告書第2.2節，將於期末報告書增加回顧內容。	1.同意辦理。
2.期中報告中說明本研究之開發雛型軟體之主要目的應為研究結果測試及展示之用。此點與研究主題與重點要求之預期成果與應用有落差，請解釋說明。	2.開發套裝軟體雛型為本計畫主題與重點中所列工作項目之一，應與主題與重點中所列之預期成果與預期應用相一致。	2.同意辦理。
3.4.2節桃機公司所提供之運轉紀錄，必須經過清理及修正，原因為何？請說明。	3.其原因在於該真實紀錄中之數據有錯誤及不完整之處。	3.同意辦理。
4.第53頁，清泉崗機場是軍用機場，大部分參數不同於民用機場，且涉及機密，請問如何模擬？請補充說明。	4.本計畫並未探討模擬清泉崗機場之方法。	4.同意辦理。

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
(八)張委員國揚 (書面意見)		
1.本報告部分名詞與通用的航空術語定義不同(例如「航空器」)，閱讀起來容易產生誤解，建議請依航空術語的慣用定義選用合適的名詞。	1.「航空器」一詞應係通用的專業術語無誤。	1.同意辦理。
2.1.1 節計畫緣起第 3 段所述：「分析空側容量…，目前國際上已有商業化之成熟套裝軟體，可進行相當完整之容量分析。」不知所指之套裝軟體為何？如果是指後續 2.4 節國際文獻中提及之電腦模擬軟體 (Simmod, TAAM,或是 Air Top)，該等軟體皆為機場空側及空域之作業(Operation)模擬軟體，並非針對機場空側容量進行分析之套裝軟體。	2.這些軟體確非針對機場空側容量進行分析之專用軟體，而期中報告書之第 1.1 節或第 2.4 節，亦未指稱 Simmod、TAAM 或 AirTop 為針對機場空側容量分析專用之套裝軟體。	2.同意辦理。
3.文獻回顧(包含參考文獻)中，並未引用全球民航界慣用之國際民航組織(ICAO)所出版的規範；另外國際航空運輸協會(IATA)出版之 Airport Development Reference Manual 也有極具參考價值的資料，建議請納入參考。	3.本計畫之主軸在以桃園國際機場為標的，使用系統模擬技術而建立空側容量評析方法。後續若發現這些文獻中對本計畫具有參考價值之處將納入參考。	3.同意辦理。
4.第 3.2 節航空器分類中述及「航空器並無固定之分類方式」(註：ICAO 及 FAA 對於航空器(Aircraft)皆有明確的分類方式)，而	4.期中報告書第 3.2 節該句之原意，是指航空器之分類方式極為多元而非固定。例如 ICAO 及 FAA 之分類方式即不完全相同，	4.建議修改文字呈現方式。

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
第 32 頁對於航空器分類機制之原則說明例中，包含了機型、航線、航空公司、停機位、跑道等，這些航空器分類內容似乎是一般所謂的航班屬性 (Flight Attributes)，即一個飛航旅次中所包含的資訊，類似 3.7 節「行程資訊」。	而進行容量分析時亦有可能需要更為多元之分類方式，例如「普通航空業」、「生場」、「熟場」或其他之類別。	
5. 機場之營運是根據旅運需求及設施供給條件下，所產生之航班表 (Flight Schedule) 按表操作下之結果。營運期間固然因許多因素造成航班未能按照航班表安排之時刻準時起飛/降落，但是在跑道使用、停機位安排、飛航管制等容量分析的過程中，通常是依固定班表並假設準時作業 (On-Time Operation) 情況下的最大服務流量定義為容量，盡量降低考慮隨機性而產生的「機率」數值。因此，在大多數的運輸系統規劃中，容量通常是一個「理論值」而非一個「絕對值」。	5. 機場之營運均儘量按表操作，但真實機場亦存在許多隨機性。例如桃園國際機場日常營運中，航空器所實際使用之停機位，即常態性有相當比例與前一日預排之停機位不同，此即為不可預知之隨機變動所造成。又如航空器實際使用跑道之時間長度亦有隨機性，而非事前所能精準預知。前後航空器在使用跑道時，其間的真實間隔時間長度亦具有隨機性，而非完全依照規章所訂之最小隔離時間。由於真實機場之營運受到隨機性影響甚大，因此評估容量時必須納入此一考量。然而各機場在各情境下之隨機性大小並不固定。為此本系統之參數設計即納入可由使用者依其情境而設定隨機範圍之機制。	5. 同意辦理。
6. 表 3-1 至 3-7 均加註「表中參數數值及文字全數均為虛擬值」，無法清楚	6. 所想表達者為參數之架構。以期中報告書表 3-1 為例，該表上方之內文說明，	6. 建議於適當章節補充說明。

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
了解其所列資料所想表達的代表意義。例如表 3-1 之前兩列，航空器分類、跑道、起或降資料皆相同，兩個資料機率值相加為 1.0 似乎是做為某種區別的意義，但是上界和下界的時間範圍卻高度重疊，又失去了作為區別之目的。這兩列資料似乎可用列 7 的表達方式予以合併為：上界 45、下界 95，機率 1.0，其餘資料相同。同樣情形發生在 3-1 表列其他資料及表 3-2 至表 3-7 各項資料。	該表中所填入之數值及文字，其唯一作用在方便說明。而該下方之內文則利用表中之數值及文字說明了表 3-1 中每一欄之意義、各欄之間的關係以及該表之解讀方式。 續以表 3-1 為例，其第 1 至 4 列描述屬於名為「重型」之類的航空器使用跑道之時間。而「跑道」欄則顯示這 4 列均在描述航空器在名為「TP05R」之跑道之狀況。(以上文字均取自期中報告書，表 3-1 下方之說明內文) 於參數架構中，允許上下界所劃出來之範圍相重疊，有其必要性。例如，設若某使用者統計其運轉紀錄之後，觀察到使用其機場之航空器中，外國籍航空器有 30% 使用跑道之出口 A 脫離跑道，而在脫離跑道之前的滑行時間介於 45 與 60 秒之間，另 70% 之外國籍航空器則使用出口 B 脫離跑道，而在脫離跑道之前的滑行時間則介於 55 與 75 秒之間。同時，本國籍航空器則有 40% 使用跑道之出口 A 脫離跑道，而在脫離跑道之前的滑行時間介於 40 與 55 秒之間，另 60% 之本國籍航空器則使用出口 B 脫離跑道，而在脫離跑道之前的滑行時間則介於 50 與 70	

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
	秒之間。若該使用者欲將上述狀況納入模擬，則可設定「本國籍」與「外國籍」二種航空器類別。對「外國籍」類別，則設定其跑道使用時間有 0.3 之機率，上下界各為 45 與 60 秒；另有 0.7 之機率，上下界各為 55 與 75 秒(此時，45 至 60 與 55 至 75 兩個區間即有相當之重疊)。同時，對「本國籍」類別，則設定其跑道使用時間有 0.4 之機率，上下界各為 40 與 55 秒；另有 0.6 之機率，上下界各為 50 與 70 秒。 在以上之簡例中，所有「30%」、「70%」、「55 秒」、「75 秒」及其他數字，均係為方便說明而使用之虛擬值。如果不使用這些虛擬值，則以上之簡例將變得難以說明亦難以閱讀理解其義。此即為表 3-1 及其他各表中使用虛擬值之原因。	
7. 報告中多處提到，以訪談相關人員取得既有條件之作業參數。根據調查經驗顯示，人員往往根據自身習慣或者某項特殊經歷而有的印象，對於作業參數的估計與實際情況往往有很大的出入。建議在可能的範圍內，盡量以現地調查的方式實際量測參數資料。	7. 此亦為期中報告書第 3.8 節所論述之狀況。若參數可來自真實紀錄當然最佳，但真實紀錄往往取得及清洗不易，因此經驗值可能是最重要的參數來源。	7. 同意辦理。

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
8.本報告中評估空側容量的3項最核心的因素是：跑道、滑行道、停機位。通常跑道和滑行道受到人為作業的影響相對較少，二者也無法在短期擴充其容量；但是停機位的容量則受到人員作業和器材設備數量的影響甚巨，若有需要也可在短期內增加人員與設備數量而擴增停機位容量。在3.4節對於停機位參數的設定，似乎並未考慮此一因素，不清楚評估方法中，對於此人員與設備的考慮為何？請補充說明。	8.本計畫並未考慮停機位相關作業人員之調度以及設備之指派。但若因為人員、設備之數量、能力等因素而影響航空器在停機位之地停時間，將可藉由期中報告書第3.4節所述之停機位使用時間參數而反映在模擬分析之中。	8.同意辦理。
(九)張委員自立 (書面意見)		
1.有關本計畫主要的評估工作，如桃園機場既有條件及分析情境之空側容量及運作瓶頸，及提出桃園機場空側運作及配置精進建議等部分，涉及硬體面如跑滑道與機坪等幾何條件配置改變，與軟體面如跑道模式、機坪指派等運作方式調整。建議後續與桃機公司、航管單位密切討論現況與未來作業面應用需求及呈現方式，以利計畫進行。	1.本計畫已於111年3月25日與桃機公司相關人員會議討論這些後續評估工作之方向、項目及原則，並於4月工作會議中與運研所完成確認。而計畫之推進，亦均配合這些已確認之方向、項目及原則而進行。	1.請持續與桃機公司、航管單位密切討論現況與未來作業面應用需求及呈現方式。
2.桃園機場目前為雙跑道，軟硬體環境相對前期計畫複雜，未來3跑道運作及北側新增衛星廊廳與滑行道等設施；本計畫如	2.本計畫所開發之方法並未限制跑道之數量，亦即單跑道、雙跑道或3跑道均可以相同方法適用之。惟雖方法、參數項目相同，但	2.同意辦理，請補充說明於適當章節。

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
何反映未來機場空側配置式運作環境，建議再補充說明。	跑道數量愈多，參數內容將愈形複雜。 在新增衛星廊廳方面，其對陸側之影響將不在本計畫範圍內。而對空側之影響(例如停機位數量與位置之變化)則可納入分析之。其方法是利用期中報告書第 3.5 節，圖 3.3 所示之軟體操作界面，在軟體之輔助功能下設定停機位之配置，再依未來情境而設定期中報告書第 3.4 節所述之停機位參數。至於未來空側配置(滑行道系統)之評估亦與上述類似。	
3. 參數設定部分，目前模擬邏輯雖以評估容量為目的，但仍應與實務面運作有一定的關聯性，以增進作業單位未來之應用： (1) 跑道：本計畫並不進行空域模擬，有關跑道模式交通量之設定，現況有航機到離站時間、機型等統計資料可參，未來運量成長及 3 條跑道運作如何考量設定(依目前峰態等比例放大或依航點趨勢假設…)，建請補充說明；另行程資訊輸入與模擬邏輯上，以系統隨機指派跑道之方式，與機場實務運作不同，是否影響模擬結果的合理性？請補充說明。 (2) 停機坪參數原則中，同一實體停機位可同屬於多	3. (1) 本系統之設計，在航機需求的部分係允許使用者設定航空器行程清單，可精準反映使用者所設想之情境，不受預設之機隊組合等間接方式之限制。其詳細說明可參見期中報告書第 3.7 節。在此設計下，若欲進行桃園國際機場未來運量成長之相關分析，可依預設之情境編擬未來情境之虛擬航空器行程清單，而編擬之方式究應採取等比例放大或其他假設，對本系統均為可行，端視未來進行分析時之目的而定。 本系統之設計容許使用者為航空器行程清單中之每一行程，個別設定其跑道之指派方式。若行程之起	3. 同意辦理，請補充說明於適當章節。

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
種分類之原則，與目前機場運作方式不同，另不同類機型使用機坪時間不同，同一機坪屬多種分類是否影響評估結果？請補充說明。 (3) 滑行道實務運作上，有航廈與地勤等考量，轉向參數以最短路徑設定，且不考慮延滯的方式，建議再進一步與作業單位討論。	點或終點填「RW」值則由系統隨機指派跑道；若填「RW2」值，則由系統依其停機位，指派到比較近的跑道。此外使用者亦可於航空器行程之起點或終點填入跑道名稱，此時系將依指定的跑道供該行程使用。請參見期中報告書第3.7節之說明。 (2) 模擬系統之參數設計，其目的在使系統之使用者可經由這些參數而描述其心目中的機場空側情境，同時又使軟體能以系統化之方式設定演算法。因此模擬系統之參數設計，與機場維運者之思維必有若干差異。本計畫所開發的是軟體雛型；未來若持續發展，假以時日進入成熟階段時，將可在模擬參數之外層套上輔助功能，以拉近參數與操作人員思維模式之距離。 停機坪參數原則中，同一實體停機位可同屬於多種分類之原則，其必要性可說明如下。假設某航空公司Y使用A、B、C、D三個停機位，而該公司服務美國與日本二類航線。其中美國線之地停時間介於90至120分鐘之間，而日本線之地停時間則介於60至100分鐘之間。美國線使用A、B、C停機位，而日本線則使用B、C、D停	

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
	機位。此時即需要定義二種航空器分類：「Y 公司美國線」，以及「Y 公司日本線」(參見期中報告書第 3.2 節)。同時，將停機位定義為 B1 與 B2 二類，其中 B1 含有 A、B、C 停機位；B2 含有 B、C、D 停機位(參見期中報告書第 3.4 節表 3-3)。之後再設定「Y 公司美國線」之航空器分類可使用 B1 停機位、「Y 公司日本線」之航空器分類可使用 B2 停機位(參見期中報告書第 3.4 節表 3-4)。在本例中，停機位 B 及 C 即同時屬於 B1 與 B2 等 2 類。 (3)經訪談及實地觀察，於場面活動時，相對於勤務車輛，航空器應具有近似絕對之優先順位；勤務車輛之活動對機場空側容量應無重大影響，因此本系統並未納入勤務車輛之考量。 轉向參數之目的在反映航空器於滑行過程中，因轉向而耗費之額外時間，可參見期中報告書第 3.5 節表 3-6 以及該表上方之內文說明。至於滑行道系統中之延滯則以「塞車權重」描述之。其意義為滑行程過程中，因延滯而損失之時間與正常滑行所耗費之時間，二者之相對重要性。可參見期中報告書第 3.5	

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
	節表 3-7 以及該表上方之內文說明。	
4. 應用方法章節，系統相關設定上保留相當彈性，確可增進模式的應用性。但部分文字不易理解，建議與相關單位討論實務上慣用的詞語。例如：評估現況空側之容量，「壓縮行程資訊」或「不同壓縮強度」等；另有關本系統目的雖以模擬技術進行空側容量分析，但亦應能反映實務運作情形，驗證模式的合理性與提高預測結果的參考價值。	4. 高度彈性確為本系統之重要特色，而其中航空器分類之自由而無限制尤為關鍵。 有關航空器行程之壓縮，係指壓縮其行程開始時間(請參見期中報告書第 3.7 節表 3-8)，例如將原本分布於 20 小時之航空器行程，等比例壓縮於 18 小時，或 15 小時完成。此時後者(15 小時完成)之壓縮強度即高於前者(18 小時完成)。以壓縮過後之航空器行程進行模擬，即可觀察到機場容量極限所帶來之限制。 整個系統之設計，確是希望能以一組具有高度彈性之參數來描述使用者心目中之機場空側情境，而模擬演算法之設計則是希望能以一組複雜的數學模式，其演算結果能貼近真實狀況。然而模擬與真實必有差異，而本系統之目的亦不在重現過去之歷史。實際上此種含有高度隨機性系統，原本即不可能以任何模擬方式重現歷史。例如，若模擬投擲一枚公正硬幣之過程，則任何模擬方式均僅能納入其邏輯(兩面以等機率出現)，而不可能重現某人真正去投擲 100 次之歷史紀錄。	4. 同意辦理，請補充說明於適當章節。

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
5.針對評估結果的呈現方式，如輸入項目與輸出圖、表等，建議從應用者觀點探討研提具體的格式，以利應用者快速解讀相關評估結果。	5.依本計畫已於 111 年 3 月 25 日與桃機相關人員會議討論，以及於 4 月工作會議中與運研所完成確認之結果，所需要之模擬結果輸出為期中報告書第 4.4 節，圖 4.5 至圖 4.7 之內容。而本系統之雛型軟體開發亦配合此目標進行。	5.同意辦理。
(九)本所運工組 (書面意見)		
1.本空側容量分析方法之前期研究假設、模擬邏輯與研究成果，以及本期研究假設、模擬邏輯與前期之差異處，請補充說明。尤其是前期為單跑道空側運作，與本期桃園國際機場多跑道運作有極大的差異，如何評估多跑道容量，並考量多跑道之間容量相互之影響，請加以說明。	1.前期研究最重要之基本假設有(1)穩定態、(2)容量以小時平均架次為單位以及(3)停機位分組使用，請參見期中報告書第 2.2 節之說明。 本計畫係使用運研所於 106、107 年所開發之模擬技術，並非於本期或前期所開發，請參見期中報告書第 2.1 節之說明。後續於期末報告書中將納入較多之回顧。 多跑道容量評析方法，依「飛航管理程序」之說明，不論機場之跑道數量，規範隔離之考慮因素均為前後航空器之起飛降落組合、前後航空器之分類組合、以及同跑道或不同跑道。而雖然不同組合之下規範所要求之隔離標準不同，但其間之隔離均是以時間為單位。可詳參期中報告書第 2.9 節最末之分析歸納及 4 月工作會議資料。基於以上之分析歸納，	1.有關多跑道容量分析與相互影響，請依 111 年 9 月工作會議結論辦理。

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
	乃設計期中報告書第 3.3 節所說明之參數架構，在參數中納入上述前後航空器之起飛降落組合、前後航空器之分類組合、以及同跑道或不同跑道等因素，而由參數數值表現各種不同組合下，所擬分析容量之機場以及所擬分析之情境下，具代表性之間隔時間範圍。	
2. 有關桃園國際機場空側之分析情境、方案、模式驗證方式與誤差許可範圍，請研究團隊先於 9 月工作會議前洽桃機公司航務處討論初定，後續將於 9 月工作會議定案，以利計畫可以順利完成。另模式驗證方式，請儘量採用統計理論、學理或容量模式曾驗證之方式，以增加可信度。	2. 本計畫已於 111 年 3 月 25 日與桃機公司相關人員會議討論分析情境、方案、模式驗證方式，並於 4 月工作會議中與運研所完成確認。而計畫之推進，亦均於確認後配合這些已確認之方向、項目及原則而進行。若欲予變更，建議仍充分討論，並考慮對照數據供應、整體工作時程等因素。	2. 本項請依 111 年 9 月工作會議結論辦理。
3. 空側容量評析參數架構圖，業經工作會議確認可行，惟第 4 章之參數項及參數值(含範圍)尚未完整呈現，請列表補充。倘需桃機公司再提供資料，請儘速於 9 月工作會議前提出明確需求。	3. 第四章初步測試所使用之參數數值，均說明於期中報告書第 4.4 節。其中除情境外，對所有參數項目之設定值均有說明。目前尚無需桃機公司再提供航班資料。	3. 請依 111 年 9 月 8 日討論會議結論補充內容。
4. 本研究案例使用之參數值，請儘量以桃機公司所提供數據進行設定，並列表說明。倘無法獲取，請研究團隊與桃機公司先深入討論，確認合理之參數值範圍，以利符合機場	4. 真實紀錄取得及清洗不易(請參考期中報告書第 3.8 節)，後續將與桃機公司相關人員討論有關參數值之取得及設定課題。	4. 本項請依 111 年 9 月工作會議結論辦理。

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
實際運作。		
5.本空側容量分析方法未來如何提供機場使用單位應用?機場使用單位應如何提供資料以進行容量評析?請先與桃機公司討論確定資料輸入與輸出格式,以確保後續之可應用性。	5.模擬模式本身為一組邏輯及演算法,未來提供機場或任何實用單位時,必定是以軟體形式提供之。機場或其他使用單位所提供之資料,均須輸入到軟體中供軟體運算。而資料輸入、設定等操作方式,則配合使用者之需要以及工作環境而設計。依據本計畫工作會議已確認之決定,本計畫軟體雛型之設計開發方向,以及以技術開發之工作人員為預設使用者之原則係依據3月工作會議之決議進行各項設計,並說明於期中報告書第3.9節。未來開發套裝軟體時可依其使用者之需求而設計前述各項操作功能。	5.本項請依111年9月工作會議結論辦理。
6.報告內容有幾處需修正為航空專業用語,以及錯漏字、其他文字呈現方式須修正或補強部分,將另行溝通,請配合修正。另期末報告之撰寫,請依本所出版品印製相關規定格式辦理。	6.將配合溝通結果修正。	6.同意辦理。
六、主席結論		
1.本研究之參數設定部分,請研究團隊先與桃機公司深入討論,分別列出在既有條件與分析情境下之參數項與參數值,並分	1.遵照辦理。	1.同意辦理。

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
析其容量與延滯等結果。也因參數資料量甚多，建請桃機公司惠予配合提供參數相關資料，以利計畫進行。		
2. 期末報告請加入前期(110年)報告之假設、模擬邏輯與重要結論，以利與本期研究進行比較，並能完整呈現研究成果。	2. 遵照辦理。	2. 同意辦理。
3. 審查會議各委員及與會單位研提之口頭及書面意見，請研究團隊整理「審查意見處理情形表」，且逐項說明回應辦理情形，並充分納入報告之修正。	3. 遵照辦理。	3. 同意辦理。
4. 本計畫經徵詢審查委員意見，期中審查原則通過，請研究團隊後續依本所出版品印製相關規定撰寫報告，並納入每月工作會議查核事項進行追蹤。	4. 遵照辦理。	4. 同意辦理。

附錄 D：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

編號：MOTC-IOT-111- ECB002

計畫名稱：應用模擬模式建立國際機場空側容量評析方法之研究(2/2)-桃園機場
空側容量評估與分析

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
(一)桃園機場公司		
1.非常感謝運研所這幾年持續自主研發空側模擬系統技術，這也是本公司過去在進行機場模擬時所欠缺的。本計畫研究團隊將桃園機場航班數據進行清洗與純化，處理了資料不一致的問題，光是建立「機場模擬所需之標準航班時間表」，就已經是研究的重大貢獻。後續本公司可將本計畫清理後之標準航班時間表，提供其他研究團隊做為同樣基礎時刻表，成為未來模擬作業(包含發展模擬航班)之輸入項，並用以檢視過去其他計畫模擬結果中不合理之處。	1.謝謝肯定。	1.感謝桃機公司持續提供協助並支持本計畫。
2.本研究之模擬初步成果已驗證本空側模擬系統具備後續發展的可行性，懇請運研所基於厚植國家航空運輸研究能量之考量，持續為本模擬系統注入資源。	2.厚植國家航空運輸研究能量確有其必要性，而持續為本模擬系統注入資源亦為後續發展所必需。	2.本所後續將進行 2 年期之國際機場運作模擬分析軟體系統規劃與建置研究計畫，繼續研發機場空側運作模擬分析之人機介面軟

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
3.對於民用航空局或本公司而言，過去委託進行機場空域或空側模擬評估，通常是為了特定研究專案(例如桃園機場第3跑道、東空域，或者機場鄰近障礙物禁限建管制放寬等)，但對於機場既有整體空側配置或不到十億元以上工程變動，則欠缺科學評估的輔助工具可供評估方案是否可行。本空側模擬系統之研發，提供我國機場單位進行決策時之評估工具，可預為模擬機場平日營運或營運期間工程變動之結果，並進行不同方案比較。本公司將全力支持運研所未來在機場空側模擬案之發展，俾做為機場營運管理之重要輔助決策工具之一。 4.本期模擬案基本上已完成機場於乾淨場面(暫無考量拖機之情境)下之跑道容量與滑行時間等相關成果，期待後續研究可納入拖機或關閉場面部分設施之模擬，以利成為機場實務作業之參考案例。	3.機場公司之持續支持，確為發展本項我國自主重要技術不可或缺之要素。 4.本團隊高度認同本項發展方向之建議。	體，並進行實際案例測試與教育訓練，以利提供民航局與桃園機場公司落地應用。 3.感謝桃機公司持續提供協助並支持本計畫。 4.同意辦理。

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
(二)民航局飛航服務總臺		
1. 身為機場運作的執行單位，飛航服務總臺很認同我國自主研發機場空側容量評析方法對於空運發展之重要性，也看到本期末報告增加許多飛航管理程序規章的研究，總臺認同規章並不等同於參數，我們能理解參數是一種設計，是可以調整的。 2. 認同第 13 章「後續發展」所提，後續研究需探討模式參數項與實務參數項的銜接，以方便模擬分析工具之實務運用。預期未來的研究計畫將花費許多功夫在此部分。 3. 謝謝研究團隊花費心思進行模擬模式之構建，如果有一套機場空側容量評估工具提供桃機公司運用，將較現行狀況有很大的改進，總臺也可以有	1. 確是如此，規章為國家所制定，供所有相關人員與機構所共同遵循之界限，實務人員於執行任務時，必須在此界限所容許之範圍內為之，但常因各種考量而留有寬裕量，亦不一定必然貼著規章容許之界限，因此實務執行時所真實發生之各種隔離值等等，亦不必然與規章所訂之最小或最大值完全一致。 在另一方面，模擬參數則是用以呈現模擬系統使用者心目中之情境。電腦模擬時無論如何設定參數值，均不可能發生任何涉及安全之事件，亦與真實運轉無直接連動，更無是否遵循規章之慮。因此模擬參數與規章並無必然關係。 2. 此部分雖然不屬核心技術，但其重要性以及挑戰性實不下於核心技術之發展。而發展此部分技術時，對實務知識之倚賴將更甚於開發核心技術時之需。 3. 高度認同此一看法，本計畫執行時與桃機公司密切合作，期間該公司人員亦多表次表達類似之看法。至於拖機、東北角貨機坪之航空器穿越跑道、不同	1. 同意辦理。 2. 同意辦理。 3. 同意辦理。

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
依據。建議未來可以納入拖機、東北角貨機坪的貨機穿越跑道、跑道配置等對空側容量之影響加以分析。 4.簡報第 24 頁，第 10.7 節「驗證結果」中之連續起飛參數之 116 秒(1.94 分)與跑道隔離參數之 120 秒(2 分)，二者之差距原因？離開跑道頭或是開始轉彎都是特殊條件，在一般作業實際觀察也有 2 分多鐘。雖然 116 秒與 120 秒僅差距 4 秒，但是否存在系統程式錯誤(Bug)的問題？請確認。 5.第 45 頁「4.3 跑道使用及間隔時間長度」，建議在歸納出「表 4-2 跑道使用時間之界定定義」時，除參考飛航管理程序 3-10-4，仍可同時列出飛航管理程序 3-9-7，以完整涵蓋離場程序與到場程序，俾利法規完備引用。 6.第 52 頁「4.6 跑道運轉之模擬」，依前述「表 4-2 跑道使用時間」之定義(前一航空器脫離跑道之後，後一航空器必不可能在同一瞬間接續使用跑道，因此前後航空器之間必定有某種長度之間隔時間)，降落結束於「脫離跑道」，起飛始於「開始滾行」，因此在同一跑道前降後起的例子裡，按「表 4-2」，	跑道配置(含三跑道機場)等功能，均已納入本系統。 4.如第 10.7 節之說明，「目前航管認可之標準為 120 秒」，而 116 秒為以桃機真實紀錄而校估之參數值，二者有些許差異為預期中之現象。設若至機場現場精密量測，亦可預期量測所得之真實發生值將與航管認可之標準存有些許差異。此處可確認並非程式錯誤所造成。 5.謝謝提醒，已在報告書第 4.3 節完整引述飛航管理程序節 3-9-7 之規定。 6.謝謝，已依建議納入第 4.6 節之相關說明論述中。	4.同意辦理。 5.同意辦理。 6. 同意辦理。

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
前後航空器間未必要有間隔時間(間隔時間可為0)。 7. 第 95 頁表 8-7，以桃園國際機場為例時，跑道間隔時間參數修正建議為：「根據本報告之起飛/降落之定義，同跑道前降後起時，間隔時間應為或可為 0(報告參數為 0.38)；不同跑道時，前起後起、前降後降應視為同跑道作業，分別為 0.88、1.82(或至少 1.5)；而前降後起、前起後降，則參數設定應為或可為 0」。以上建議值為正常天氣條件下，不考慮低雲高、低能見度作業等特殊限制之情況。	7. 表 8-7 之目的在說明此應用簡例之參數設定值，而 0.38、0.88 等數值確為進行該模擬時之設定值，故予以保留未作更動，以使該表之值與進行該簡例模擬時所使用之數值一致。本項建議甚有參考價值，已併入第 4.6 節之相關說明論述中。	7. 同意辦理。
(三)民航局		
1. 比較技術性的問題，本局已在歷次工作會議提供意見供參。本計畫在跑道、滑行道、停機位已各建立細緻的容量評析方法，綜合歸納也已識別跑道為空側容量之關鍵影響因素，但是跑道、滑行道、停機位三者之間彼此關聯性，其他二者的變動對另一空側設施之容量影響為何，建議應強化論述，以利對實務應用有所助益。 2. 認同簡報第 29 頁對高雄小港機場與臺中清泉崗機場之適用性評估，建議	1. 在模擬系統中，跑道、滑行道及停機位間之彼此關聯性係由模擬系統在協調 3 個模組的過程中達成之。已在報告書第 3.1 節補充說明，並設計虛擬簡例說明之。 2. 謝謝，認同本項意見之看法。	1. 同意辦理。 2. 同意辦理。

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
空側容量評析應先就桃園國際機場這種比較複雜運作之機場先進行深入研究，前述 2 機場僅 1 條跑道，滑行道配置也比較簡單，對於容量評析工具建立比較沒有價值性。 3. 請研究團隊務必確保模擬系統各項參數設定保持後續彈性修改空間，因桃園機場第 3 航廈、第 3 跑道、衛星廊廳等重大建設陸續竣工後，場面營運管理方式將產生重大變化，既有參數設定未來須大幅調整，俾利機場空側容量評析方法未來可有效應用。	3. 參數設定之彈性空間為本系統至為重要的一環，殆無疑義。本系統除了設計可供使用自行設定之場面布置外，對航空器之分類不作任何分類之限制、對參數值之上下界不由系統干涉使用者設定之值、對跑道使用及間隔間不由系統限縮使用者可設定最大與最小值之彈性、機率之分布採均勻分布等，均為預留最大彈性之具體設計。系統容許使用者依國際標準或我國慣例設定各項參數值，但同時亦允許使用者超脫這些框架而依任何未來情境設定之。在此彈性設計下，未來桃園機場第 3 航廈、第 3 跑道、衛星廊廳等重大建設陸續竣工後之變化，將可充分納入本系統模擬分析之(不含航廈之陸側)。	3. 同意辦理。
(四)張委員自立		
1. 本計畫模組架構、參數設定及模擬程序，均已將機場運作特性納入；模擬成果經過實務面統計資料驗證，亦可反映實務作業	1. 謝謝。	同意辦理。

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
狀況。 2.後續建議持續與各單位討論本評析方法模組適用的領域或範疇，如機場規劃、時間帶或營運管理者需求與友善的應用介面，以增進本評析方法的研究價值。 3.第4~6章，跑道、停機坪與滑行道模組的架構均已考量機場空側運作特性，並納入模式。 4.第7章，空側容量評析過程，透過參數與場面設定以及航機運作面的行程設定，亦可反映實務面運作狀況。 5.第10章，模擬結果透過實際統計資料驗證，與機場實際運作情況一致。 6.第13章，建議後續持續與機場規劃與營運單位討論，歸納各系統容量模擬最適用的領域/範疇，以及透過何種介面，讓此模式未來應用更友善，以增加本評析方法的研究效益與價值。例如機場規劃單位可探討配置調整設計；營運單位可探討瓶頸點與改善/提升效率的運作方式等。	2.謝謝寶貴意見，已納入第14.2節「建議」中。 3.確是如此，謝謝。 4.謝謝。 5.謝謝。 6.謝謝，本項見解至關重要。機場空側模擬核心技術之開發尚可以規章作為主要依據，後續開發成為應用軟體時，使用者之實質參與即至關重要。需求及友善性往往是使用者之主觀看法，因此使用者將實質形塑應用軟體之架構及系統設計。後續開發應用軟體過程中，使用者除了提供諮詢外，更重要的是在開發過程中，全程參與測試與確認，軟體才有符合需求、友善使用之可能。	

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
(五)許委員書耕		
1.總體評論 (1)從第 2 章至第 7 章各機場單元研究方法的說明，到第 8 章的簡例以淺顯易懂的方式介紹所開發模擬模式的應用方式，顯示本研究團隊係以非常積極謹慎之態度，想清楚介紹本研究成果。 (2)在應用方面，本研究之成果已有機場場面布設的圖形化操作介面，以及模擬過程的動畫顯示功能，已有相當程度的實用性。 (3)驗證結果部分，由圖 10.5.6 及圖 10.13.14 之各小時到離場架次分布，模擬分常逼近紀錄，滑行時間尖峰時段到離場航班模擬的滑行時間高於紀錄的現象已事前預知(因紀錄已扣除外站流管或其他特殊因素造成長時間滑行者)；跑道在起降比 4-6,5-5 時達最高(容量)的每小時 43 架(未說明桃機的紀錄為何)；將跑道容量模擬結果置於桃園機場現行雙跑道實際運作包絡圖上，亦均落在包絡線範圍內。均顯示驗證成果可以接受。本研究結果值得肯定。 2.尚需修改部分 (1)第 52 頁圖 4.3 與圖 4.2	(1)謝謝，此確為本報告書寫作時之基本想法。 (2)謝謝，此亦為技術及軟體開發之目的。 (3)謝謝肯定。 (1)遵照辦理。	同意辦理。

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
同，應比照第 120 頁圖 11.3，加註本圖同圖 10.1。 (2)第 81 頁滑行路線演算法，在某一節點計算與其他節點間的距離(以廣義距離定義)，再挑選下一個現行節點，依圖 6.4 的邏輯，似以最短路徑為選擇原則，但在計算下一節點時，是否先列舉起點(某一節點)至預定迄點間的各路徑?選定最短路徑後，再決定其與起點(某一節點)最近的點為下一步移動點?請補充說明。 (3)第 106 頁之 10.1 節所列驗證原則。 a.第 1、2 點提及依期中報告書表 3-1,3-2，惟期中報告並不出版，故此種參照無效，請將該兩表移列至本節下，另予編號 b.第 3 點提及航空器不分類。容量分析似需指定某一類航空器為標準航空器(如單走道的 A320 或 737，像公路容量中的小客車)，無論有無定義標準航空器，在驗證時，要指出是統一用那一類航空器。	(2)此演算法係以 Dijkstra 所提出之標籤設定法為基礎，但納入廣義距離之概念。其在計算某節點之下一節點時，僅考慮兩節點之間的廣義距離而未考慮至預定迄點間的各路徑。 a.此處為忠於運研所、桃機公司及研究團隊於 3 月 25 日、9 月 8 日及 9 月 29 日經 3 次討論結果之原文，保留「期中報告書表 3-1」及「期中報告書表 3-2」等字樣用語。為顧及期中報告書並不出版，已在該處重現當時之表 3-1 與表 3-2，並在表之標題以及相關內文適當說明之。 b.分析公路容量時所常用之「小客車當量」概念，其立論基礎在於：由容量分析的立場觀之，各型車輛之行為類似，但使用道路面積(亦即道道長度)不同。而當各型車輛行為不同時(例如爬坡車道之相關計算)則不再適用小客車當量之概念。衡量於機場空	

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
c.第 3 點提及使用雙跑道，一起一降模式。第 115 頁說明，將跑道容量模擬結果(9 個樣本點)置於桃園機場現行雙跑道實際運作包絡圖上，但該包絡線圖是否亦為雙跑道，一起一降模式?請說明之。 (4)第 123 頁圖 11.8,11.9 滑行道小時通過量，其量測位置是否是 N、R 間與 R、S 間的屏柵線?此外，模擬模式應該可以顯示模擬過程中，滑行道系統內那一段是熱點(最忙碌或最壅塞)，以數段加總的交通量來表示似嫌粗略。 (5)本報告的結論太精簡，應綜整模式組成單元的精	側活動之各型航空器，基本上其行為各不相同(例如除了航空器本身之型式外，對跑道出口之選擇、滑行度率、對停機位之需求與偏好、駕駛員對機場之熟悉程度等均可能有影響)，因此難以引用當量概念。同時本系統亦因為其多樣性而納入航空器不限制、不預設分類方式之設計。至於在模擬驗證時不對航空器分類，用意模糊化航空器之個別差異，而聚焦於本模擬系統之能力觀察與驗證，並無指定為某種代表航空器之用意。 c.如該圖標題所說明，該圖確為雙跑道運轉之紀錄。至於是否限於一起一降模式或是否有可能區分，則需進一步翻查原始資料。 (4)本項數據係取 N 滑行道與 S 滑行道接近跑道頭處，以屏柵線之概念計算通過屏柵線之航空器數量，並非以數段加總。而該位置係於驗證進行過程中由桃機公司指定，其考量為該處為經常發生壅塞之位置；而在模擬過程中亦有同樣之觀察。 (5)謝謝，已依此原則重寫該章，並重新下標題為「結論	

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
要內容，與最重要的驗證結果，及最後機場組成各單元的容量評估結果等。	與建議」。	
(六)林委員信得		
1. 本報告書強調軟體之預設使用者為技術開發之工作人員。因此軟體之操作方式、預設值、防呆功能及其他設計均以技術開發工作人員之需求為設計目標…，如此排除實務上如天氣因素、場面變動、拖機、地勤作業等可能之變動參數，而且所模擬之運算已經事先參考桃機公司所提供之運轉紀錄數據，則經過多次之參數調整後，驗證結果與實際紀錄數值接近，應可預期。惟假設本研究所設計之軟體係用來評估與分析一個新建機場之跑道容量(或空側容量)，換言之，本研究如果沒有桃機公司提供之運轉紀錄數據供參考，各項參數之設定均未知，請問作法上有何不同？請補充說明。	1. 本軟體之開發確是以技術開發之工作人員作為預設使用者，此作法實為無法覓得可深入實質參與開發之使用者情形下，經 3 月工作會議討論及確認之處理方式。在此狀況下，軟體之操作方式、預設值、防呆功能及其他設計均以技術開發工作人員之需求為設計目標，但並未因而排除天氣因素、場面變動、拖機等之考量。這些考量均在本系統所設計之參數彈性範圍內。至於加餐、加水、清潔等地勤作業則自始未納入研究範疇，與預設使用者無關。 而本研究因為運轉紀錄數據有其重要性，而桃機公司自始即表示可提供，並且確實如期如質提供，因此並未設想沒有桃機公司提供運轉紀錄數據之假設狀況下將有何不同之作法。	同意辦理。
2. 第 98 頁雛型軟體 9.1...本計畫所設計之雛型軟體，其目的在研究成果測試及展示之用。此點與研究主題與重點之要求似有落差，請於簡報時展示說明。	2. 經查本案研究主題與重點第 7 項原文為「...完成國際機場空側容量評估套裝軟體雛型...」，並未指定軟體雛型之設計目的。由於軟體之設計目的高度影響架構，本項設計目的以及前項之預	

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
3. 第 130 頁有關精進建議之最後一段，「... 數據顯示於桃園國際機場，跑道為控制空側容量之最主要關鍵與預期相符，而擴充跑道之容量，應為降低滑行延滯之最有效手段」，此項論述與研究主題與重點之「研擬桃園國際機場空側運作及配置精進相關建議」之要求，稍嫌不足，請再補充。 4. 律定參數時，請桃機公司所提供 2019 年 8 月 10 至 12 日以及同年 8 月 22 至 24 日之運轉紀錄數據。為何不是 2018 年或其他年月之數據？該數據具有代表性或關鍵性嗎？請補充說明。 5. 報告書中許多誤繕(或錯別字)，主要如後 (1) 第 43 頁「4.2 桃園國際機場跑道」第 2 行「...其布設方向大略為東西向...」，實際上跑道應為東北西南向。 (2) 第 59 頁第 1 行「..所含有之 6 個欄位」應係 9 個欄位。 (3) 第 74 頁第 1 段第 4 行「...其中航空公司配得停機	設使用者係於 111 年 7 月 27 日工作會議中由運研所、桃機公司及研究團隊共同討論定案，並以 111 年 8 月 4 日成大研基建字第 1110001582 號函報所。 3. 研究主題與重點之「研擬桃園國際機場空側運作及配置精進相關建議」之要求之達成方式有甚大之彈性及解釋空間。為此，本研究經 3 月 14 日及 10 月 29 日 2 次工作會議討論，共同決定本項之工作範疇及方式。 4. 該數據為桃機公司用以進行機場空側模擬與分析時使用之標準，除提供予本研究使用外，亦曾提供予其他專案應用，其代表性應無疑義。 (1) 謝謝，已修正為「大略為東北東-西南西向」。 (2) 謝謝，已修正。 (3) 謝謝，已修正。	

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
位 F1 至 F6」，應改為其中 X 航空公司；第 9 行「60 至分鐘..」應改為「60 至 70 分鐘..」。 (4)第 81 頁第 1~2 行「...該演算法係屬常用之標式式演算法...」，請更正。 (5)第 89 頁表 6-7，是否係表 7-2 之誤?請釐清。 (6)第 123 頁圖 11.8 及圖 11.9，請補充縱座標的單位。	(4)謝謝，此處應為「標籤式演算法」，已更正。 (5)確是如此，已修正，謝謝。 (6)謝謝，已補充。	
(七)馮委員正民		
1.本研究報告內容完整，有條理。 2.報告最重要的是結論與建議，第 137 頁之第 14 章「結論」太過簡短，對於 2 年期研究之豐碩成果，如此結論太過可惜，建議摘整各章節之精華加以呈現。通常讀者不會再回去看第 1 年期報告，而是直接看第 2 年期報告，並且主要是看結論與建議內容。 3.建議結論之撰寫可參考管理上常說的 5W1H 加以表達，包括為何要進行本研究、為何要建立本土化空側容量評析方法、與國外容量分析軟體之差異、軟體使用者為何(初期與進階使用者)、本評析方法適用之機場、本方法如何應用在機場的規劃階段/營運階段、本軟體之運作	1.謝謝。 2.謝謝，已依此原則重寫第 14 章，並重新下標題為「結論與建議」。 3.謝謝指點，已依此原則改寫第 14 章。惟與國外容量分析軟體形成差異並非本研究之目標。	同意辦理。

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
邏輯、模式架構、輸入參數項與輸出項、驗證結果、以何種方法建立本評析方法及本研究之貢獻。 4. 本報告篇章是以「一、二、三…」呈現，建議以運研所出版品印製相關規定格式加以編排。 5. 國內與國外文獻回顧部分，建議加一小節加以評析，並呼應本研究之研究目的，以增加讀者想細讀報告之興趣；請比較國內外文獻與本研究之異同處，即可凸顯本研究之貢獻所在；有 et al 部分，宜寫出全名。	4. 謝謝，已全面修改為「第一章」、「第二章」等。 5. 謝謝，國內文獻已回顧於第 2.4 節、國際文獻於第 2.5 節。至於參考文獻之作者列名，亦已修正為全數列出。	
(八)本所運工組		
1. 感謝民航局、飛航服務總臺、桃機公司及各位委員持續積極參與提供寶貴意見，使本研究可以累積相關知識加以精進，期待後續可以增加實務應用性。 2. 第 2.1 節，請補充本研究與本所 106 年辦理「構建空域模擬模式之研究-以臺北終端管制區域為例」與 107 年辦理「空域模擬模式功能擴充之研究」等計畫研究目的與成果之差異說明。	1. 謝謝。 2. 運研所 106 年辦理「構建空域模擬模式之研究-以臺北終端管制區域為例」專案，致力於航空器模擬技術之開發。該專案經深入之研究，確立不論是對空域或對機場空側，航空器模擬模式雖以航空器之移動為模擬結果之表現，但在抽象的模式中實應給予空域、空側管制員以及停機位指派人員最重之地	同意辦理。

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
3. 第 2.2 節、第 3.2 節提及本計畫之第 1 年期與第 2 年期並不完全一致，請於該節補充說明第 2 年期之基本假設、二者基本假設差異，以及預設工項不相容之處。	位。該研究同時亦開發了以動畫呈現模擬結果之技術。至於 107 年辦理之「空域模擬模式功能擴充之研究」專案，則持續精進核心技術，並對桃園國際機場多有探討。而本研究之主要目的則在以桃園國際機場為標的，使用系統模擬技術而建立空側容量評析方法。以上說明均分別說明於本計畫之計畫目的，以及過去研究成果之回顧中。 3. 第 1 年期之主要基本假設為(1)穩定態、(2)容量以及(3)小時平均架次為單位以及停機位分組使用。其中第(1)及第(3)項之基本假設與本年期研究之預設工項並不相容。具體來說，前期之專案目標在開發技術以對跑道、滑行道及停機位分別評析其容量。為此目的，穩定態假設之優點在可明確聚焦於各設施容量之分析；然亦有無法考慮尖離峰等時間因素，且與實務人員溝通不易之缺點。而本期之目標則在跑道容量方面，變更為評估空側場面變動下之航機延滯影響，以及在不同延滯下之跑道容量變化。 至於第一年度停機位分組之基本假設，原作法之優點為貼近容量基本性質，直接探討停機位之服務能	

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
4. 第 2.4 節「國內文獻」請補充民航局與桃機公司近幾年在桃園機場進行空域或空側模擬相關委託計畫之研究方法回顧。 5. 第 6.3 節「滑行路徑演算法」，請補充說明路徑選擇之原則。	力、避免管理策略之干擾、避免機場其他設施之影響。缺點是實務人員不易理解，溝通不易。而本年則變更為同一停機位可同時屬於多於一類。原因是要論及停機位之周轉時間。以系統模擬技術為基礎，航空器可使用多組，並可各自定義優先順序，某組全滿時，改由下一優先組選用。以上說明已呈現於第 3.2 節。 4. 民航局與桃機公司之相關委託計畫，雖有些報告書中有部分章節之標題為「研究方法」，但其實質內容多針對各該專案，說明其專案數據之處理步驟、專案之研究範圍、專案之資料來源、專案所使用之工具、專案研究之步驟等等，與本計畫之研究並無直接關聯。 5. 路徑選擇之原則係依圖 6 所示之演算流程，在每回合的演算中，演算法均選定一個節點並稱之為「現行節點」，之後逐一檢視現行節點之相鄰節點，並依現行節點與其相鄰節點之間的距離、轉向角度及延滯狀況，計算相鄰節點之廣義距離。完所有相鄰節點之檢視後，再依廣義距離挑選下一個現行節點。該演算法於抵達終點節點時結束，並產出所發現之	

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
6. 第 14 章「結論」部分過於精簡，且無「建議」章節，請摘整各章節重要議題精華加以呈現；「建議」章節請包含後續發展容量評估套裝軟體之完整研究架構、主要工作項目及重要議題。 7. 附錄 D 請列出各專家學者及與各會單位意見，以及主持人會議結論，以利後續研究參考。 8. 報告內容有幾處錯漏字、文字呈現方式須修正或補強部分，將另行溝通，請配合修正；期末修正報告之編排與撰寫，請依本所出版品印製相關規定格式加以調整。 9. 技術報告(包含軟體操作手冊)、套裝軟體雛型、成果展示動畫及實務操作案例展示，請於驗收前提送本所。	路徑。 6. 謝謝，已依此原則重寫第 14 章，並重新下標題為「結論與建議」，同時加入「建議」乙節。 7. 遵照辦理。 8. 謝謝，將配合修正，報告書格式亦已調整。 9. 遵照辦理。	
主席結論		
1. 感謝成大研究發展基金會研究團隊辛苦研發本空側評析方法，包括眾多航班資料的清洗。桃機公司已表示本研究成果可提供該公司未來委託案之基礎航班資料輸入、檢視與釐清其他研究異常輸出原因、辦理日常規劃與營運改善作業評估，不	1. 謝謝。	同意辦理。

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
僅有運用之需要，且期待本研析方法後續可再加以發展。 2. 未來本評析方法之核心技术需再持續精進，且有加入拖機模擬、釐清航機在不同空側設施延滯原因、發展人機介面軟體等必要，可列為未來研究之建議。 3. 期末修正報告之編排與撰寫，請依本所出版品印製相關規定格式加以調整。 4. 本計畫經徵詢審查委員意見，期末審查原則通過，請成大研究發展基金會依審查意見研提處理情形答覆意見，送本所審查後，做為修正報告之依據，並請於 111 年 12 月 28 日(三)前完成修正定稿之提送。	2. 謝謝，除拖機之模擬已經納入本系統外，其餘均已整理融入第 14 章中。 3. 遵照辦理。 4. 謝謝，遵照辦理。	

附錄 E：期末簡報



報告內容

- | | |
|------------|--------------|
| 一、計畫背景 | 八、空側容量評析系統運用 |
| 二、重要文獻回顧 | 九、雛型軟體 |
| 三、容量評析整體架構 | 十、驗證 |
| 四、跑道模組 | 十一、桃園國際機場 |
| 五、停機位模組 | 十二、其他機場 |
| 六、滑行道模組 | 十三、後續發展 |
| 七、航空器行程 | 十四、結論 |

一、計畫背景

1.1 計畫緣起

- 運研所辦理「應用模擬模式建立國際機場空側容量評析方法之研究(2/2)-桃園機場空側容量評估與分析」，針對桃園國際機場建立國際機場空側容量評析方法
- 本計畫為二年期計畫之第二年期
- 分析空側容量有其重要性，惟技術均不公開，我國欲在有限之資源下擁有可自主之核心技術，唯有自行發展一途
- 目前最先進之容量評析均以系統模擬為基礎，本計畫亦採此方法

1.2 計畫目的

- 使用系統模擬技術而建立空側容量評析方法

1.3 工作項目

- 14大項、44小項

3

二、重要文獻回顧

2.1 運研所過去研究成果

- 106年「構建空域模擬模式之研究-以臺北終端管制區域為例」
- 107年「空域模擬模式功能擴充之研究」
- 107年「國際機場空側設施容量評估方法初探」
- 108年「國際機場陸側設施容量評估方法初探」

2.2 本計畫第一年期成果

- 將機場空側區分為跑道、滑行道及停機位等單元設施，以系統模擬為基礎各開發其容量分析方法，再設計整體分析方法評估機場空側容量

2.3 空側模擬技術

2.4 國內文獻

2.5 國際文獻

2.6 飛航管理程序

- 與本計畫相關之內容分佈於第二、三、五、六章
- 不同狀況下航空器分類方式不同
- 在空機以距離、於地面以時間為隔離之單位，相同或不同跑道均如此
- 規範隔離之考慮因素為前後航空器之起飛降落組合、分類組合，以及同跑道或不同跑道

4

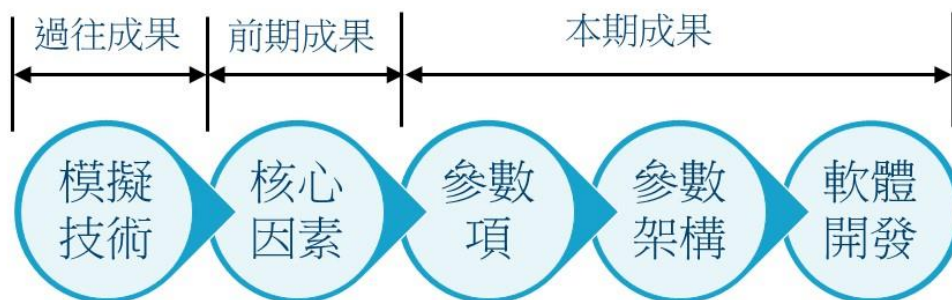
三、容量評析參數架構

3.1 基本概念

- 本計畫之主要目的在開發應用模擬而建立國際機場空側容量評析之方法
- 使用者設定參數以描述其所分析之機場以及情境，再由軟體依此進行模擬

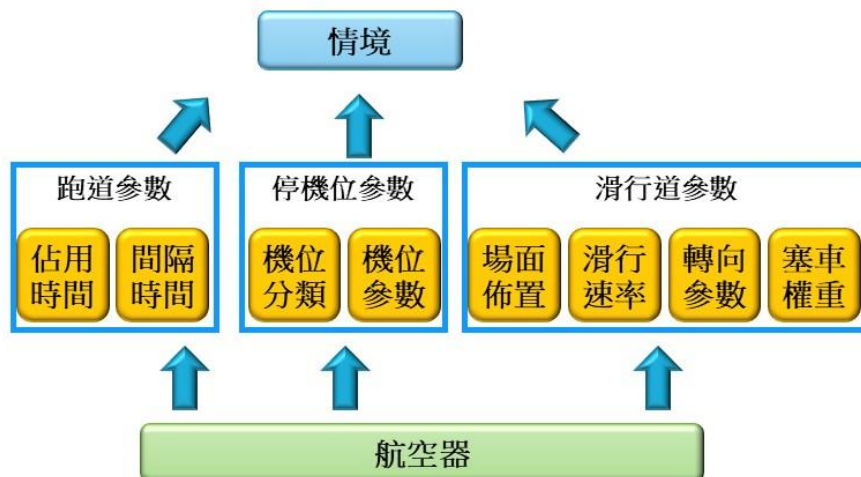
3.2 與第一年期之差異

- 技術開發階段不同
- 基本假設連貫性不同



5

3.3 參數架構



6

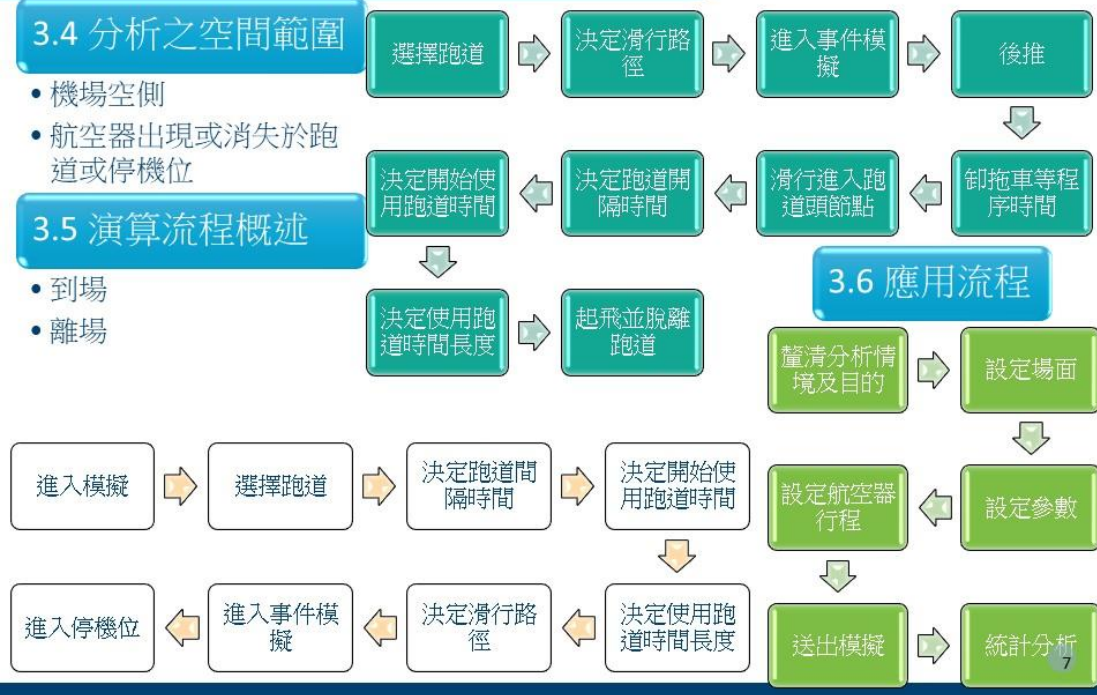
三、容量評析參數架構

3.4 分析之空間範圍

- 機場空側
- 航空器出現或消失於跑道或停機位

3.5 演算流程概述

- 到場
- 離場



四、跑道模組

4.1 基本說明

- 跑道為機場中最重要的設施之一
- 跑道之容量，可用單位時間內允許之起降次數（吞吐量）衡量之
- 跑道容量受多種因素之影響

4.2 桃園國際機場跑道

4.3 跑道使用及間隔時間長度

- 將諸多因素轉化成為各航空器使用跑道時間，以及前後航空器之間的時間
- 使用時間及間隔時間性質不同

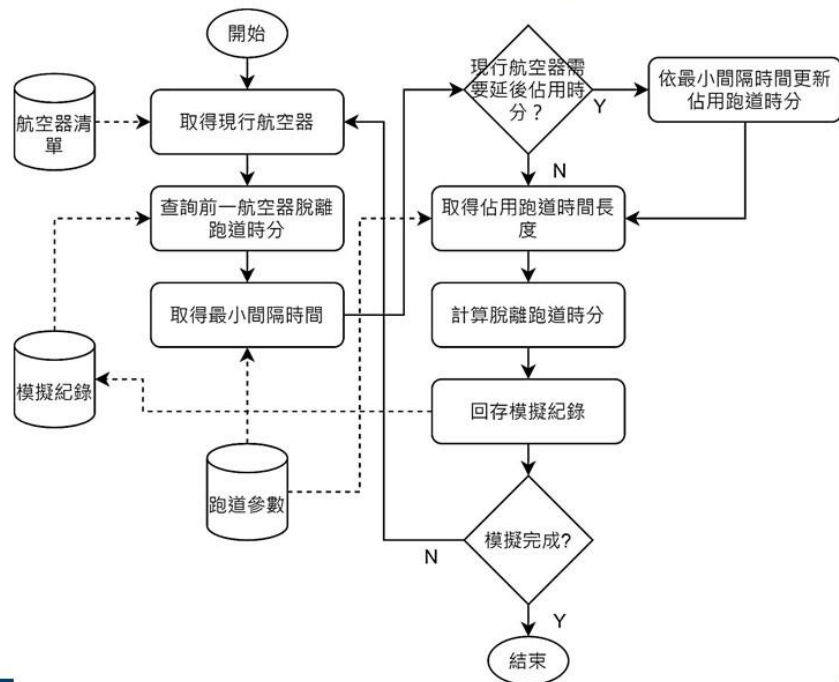
4.4 單一跑道

- 使用-間隔-使用-間隔，交替出現

4.5 多跑道

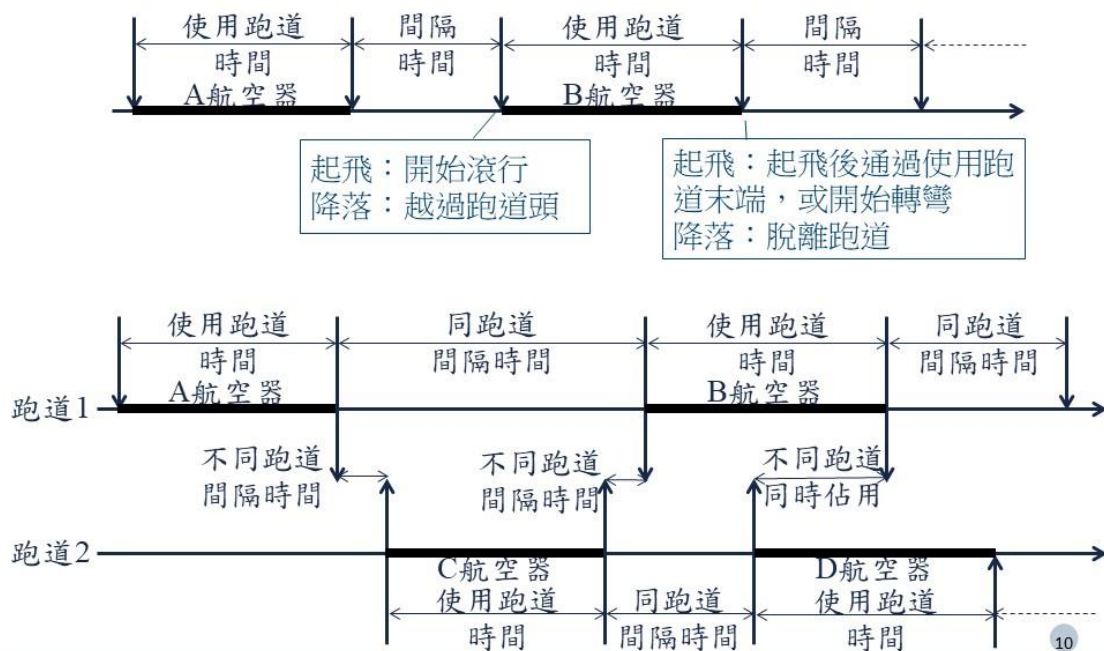
- 基本邏輯與單一跑道相同
- 考慮因素較複雜但均可納入間隔時間

4.6 跑道運轉之模擬



9

4.7 跑道相關參數



10

五、停機位模組

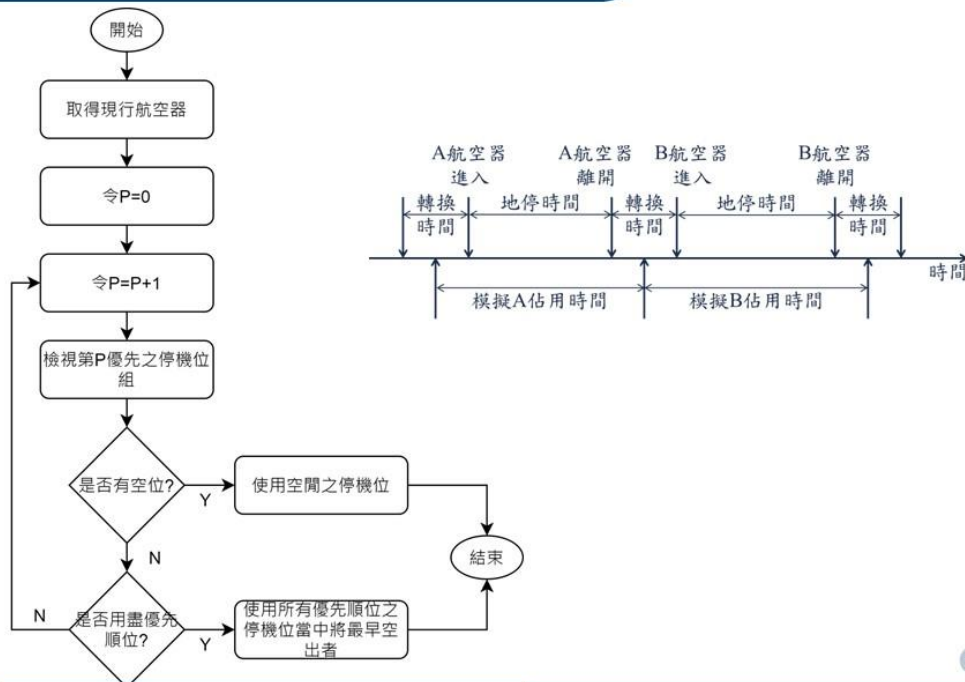
5.1 基本說明

- 停機坪為供航空器執行上下乘客、裝卸貨物、加油、加水、清潔等地停工作之空間區域，而停機位是停機坪上供航空器停放之指定區域
- 停機位容量可用一定時間內平均可服務之架次數表示之
- 影響停機位容量之直接因素為佔用時間長度以及管理作為

5.2 桃園國際機場停機位系統

11

5.3 停機位運轉之模擬



12

5.4 停機位相關參數

航空器與停機位之指派關係

- 航空器之分類
- 停機位之分類
- 各類停機位對各類航空器之優先順序

停機位分類原則

- 不限制分類之定義方式，概由使用者自由定義
- 同一實體停機位可同時屬於多種分類

參數項

- 停機位分類
- 各類航空器之佔用時間
- 各類航空器選用時之優先順位

13

六、滑行道模組

6.1 基本說明

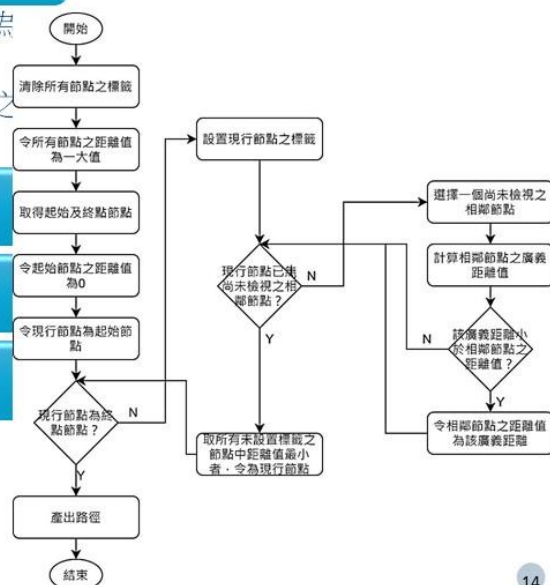
- 滑行道系統連接機場各處之區域，為機場空側供航空器滑行之路線
- 滑行道並無獨立之容量，亦無專用之容量指標

6.2 桃園國際機場滑行道系統

6.3 滑行道運轉之模擬

6.4 滑行道相關參數

- 場面佈置
- 滑行速率參數
- 轉向參數
- 塞車權重參數



14

七、航空器行程

7.1 基本說明

- 由使用者輸入一組描述航空器行程相關資訊之數據
- 系統即使依使用者所設定之其他參數，模擬這組航空器行程在機場空側之活動狀況

7.2 航空器行程相關參數

7.3 航空器分類

- 不限制分類之定義方式，概由使用者依其需求而自由定義。
- 航空器於跑道與停機位，或停機位與停機位之間的一次移動稱為一趟行程。航空器之分類以行程為單位，亦即允許使用者將同一架實體航空器之不同行程定義為不同的類別。
- 同一航空器行程，可同時屬於多個類別

表7-1 行程資訊輸入項目表

名稱	說明	必要
Project	專案名稱	
SN	流水號	
Group	航空器分類	
TailNum	機尾號	是
StartPos	起點	
EndPos	終點	
StartTime	開始時間	
EndTime	抵達時間	
Operator	航空公司	
Type	機型	
CallNum	航班	否
Mission	任務類型	
ICAO	ICAO分類	

15

八、空側容量評析系統運用

8.1 基本說明

8.2 情境構想

- 使用者必須先有明確的情境構想。可以是在真實世界中常見之狀況，亦有可能是在真實世界中少見，甚至可行性不高之假想狀況
- 使用者必須明確釐清模擬分析之目的。「進行模擬」是進一步瞭解系統之手段，而非目的
- 完全重現真實運轉過程並非可行的模擬目的。凡是模擬必不可能與真實世界完全一致

8.3 場面設定

- 依所構想之情境設定網路以描述場面之跑道、滑行道及停機位

8.4 航空器行程之設定

- 依構想情境設定航空器行程清單
- 依其構想，配合各項參數而設定各航空器之各行程的分類

8.5 參數之設定

- 使用者依所構想之情境，配合航空器之分類，為各類航空器行程設定相對應的參數

8.6 應用簡例

16

九、雛型軟體

9.1 基本說明

- 系統目的：測試分析之技術並展示
- 預設使用者：技術開發之工作人員
- 涵蓋範疇：機場空側之航空器移動
- 軟體架構：主從式架構，單機運行
- 開發工具：C++、C#、SQL等語言，Visual Studio 開發環境、Gurobi數學求解核心工具、DevExpress界面套件、MS-SQL之DBMS

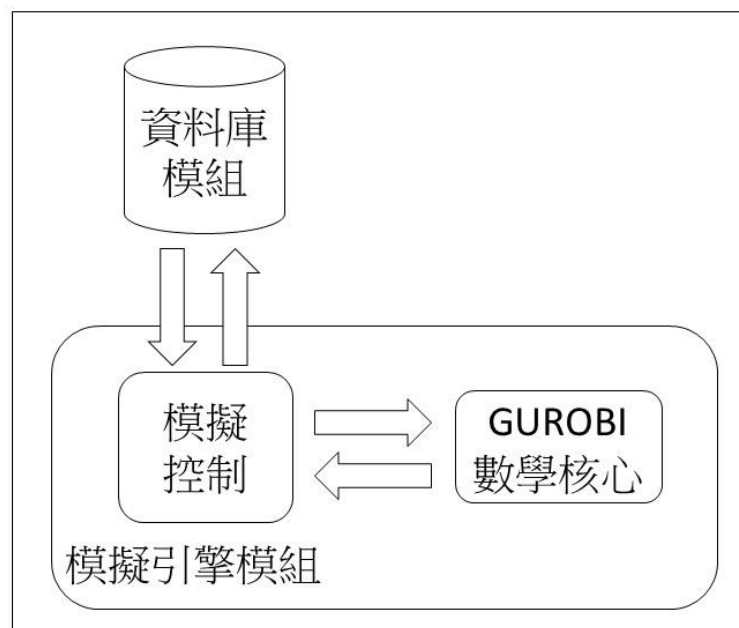
9.2 前端模組

- 前端模組為含有與使用者互動操作功能之軟體模組，其中提供了場面編輯、參數維護、航班維護、模擬控制、動畫顯示等重要功能

9.3 後端模組

17

9.3 後端模組



18

十、驗證

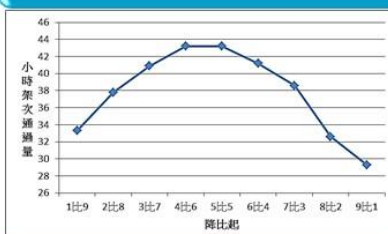
10.1 驗證原則

- 經運研所、桃機公司及研究團隊於3月25日、9月8日及9月29日經三次討論，共同確定

起或降	佔用時間(分鐘)
起	1.06
降	0.86

10.2 跑道參數

10.3 跑道驗證數據



跑道	本機起降	前機起降	間隔時間(分鐘)
同跑道	起	起	0.88
	降	降	1.32
	起	降	0.38
	降	起	1.82
不同跑道	起	起	0.1
	起	降	0.2
	降	起	0.2
	降	降	0.4

19

十、驗證

10.4 停機位參數

每架次佔坪時間統計			
機位	8/10-12	8/22-24	合併計
5	326.7	229.2	270.7
6	125.0	155.5	137.3
A	92.3	100.5	96.4
B	98.6	99.2	98.9
C	111.1	119.2	115.3
D	112.8	108.0	110.4
平均	125.5	125.7	125.6

單位：分鐘

10.5 滑行道參數

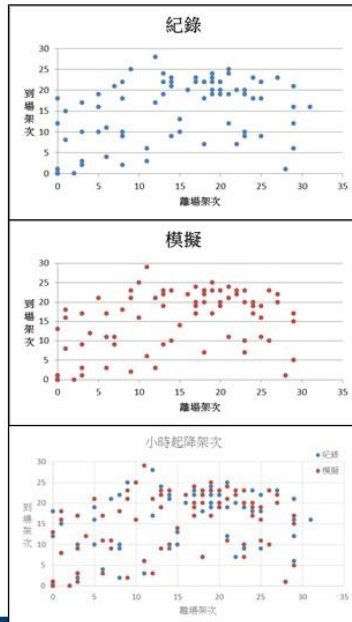
滑行速率參數值		
機率	速率下限值	速率上限值
0.05	66	72
0.8	30	66
0.15	15	30

速率單位：時速公里

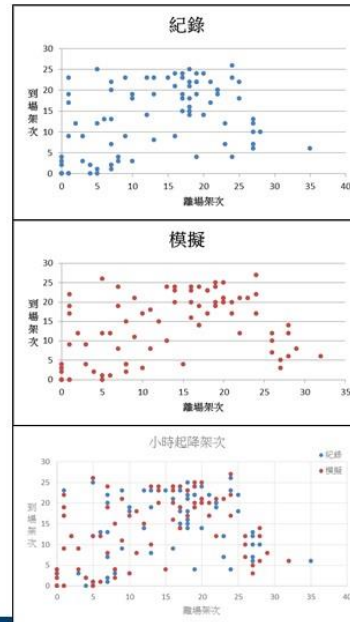
20

10.6 滑行道驗證數據

8/10-12



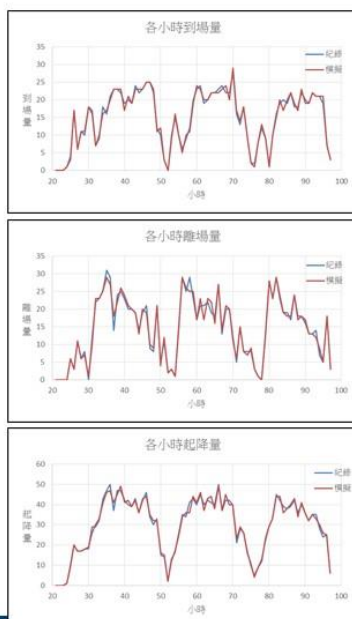
8/22-24



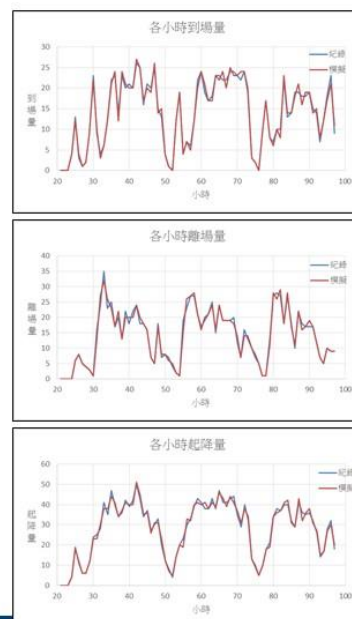
21

10.6 滑行道驗證數據

8/10-12



8/22-24



到

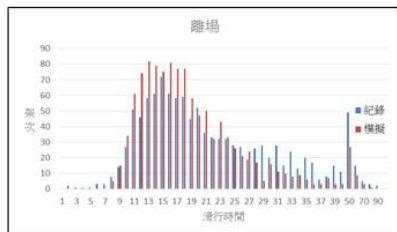
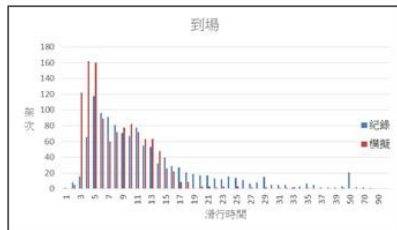
離

到+離

22

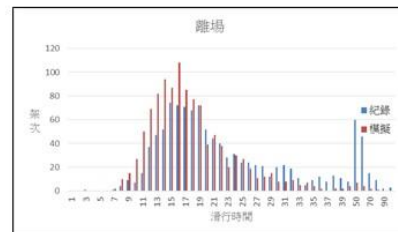
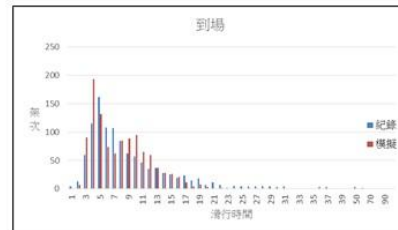
10.6 滑行道驗證數據

8/10-12



到

8/22-24



離

23

10.7 驗證結果

連續起飛參數

- $1.06\text{分} + 0.88\text{分} = 1.94\text{分} = 116\text{秒}$ ，目前跑道隔離參數（航管）為120秒，120秒正負5%為114-126秒，116秒有落在這個正負5%的範圍內
- 另目前時間帶參數為單跑道連續起飛每小時30架次（120秒1架次），116秒有落在這個範圍。

連續降落參數

- $1.32\text{分} + 0.86\text{分} = 2.18\text{分} = 131\text{秒}$ ，目前單跑道之跑道隔離參數（航管）為144秒，144秒正負5%為137-151秒，落在正負5%的範圍外
- 另目前時間帶參數為單跑道連續降落每小時30架次（120秒1架次），131秒的確是有落在120-144秒之間

24

10.7 驗證結果

桃園機場現行雙跑道實際運作包絡線

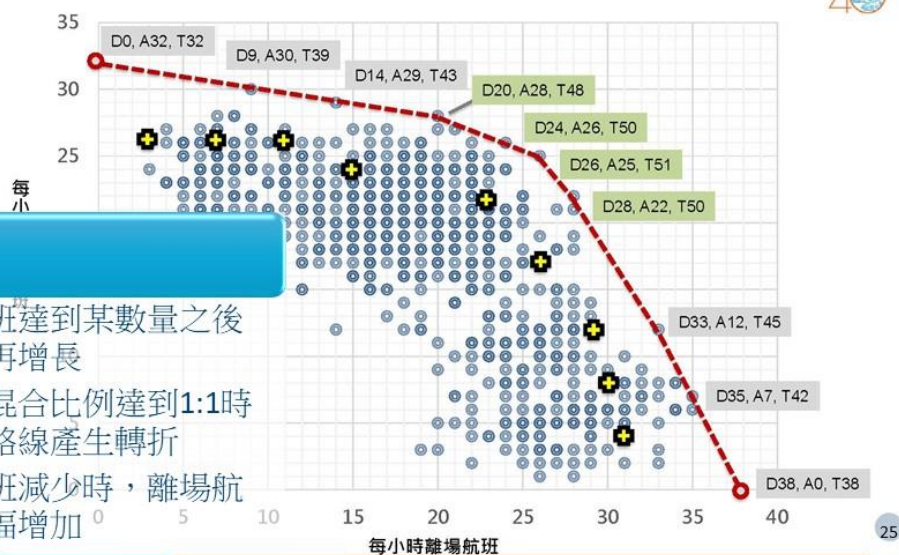
—數據月份：2019.Jul + Dec 全月·每日10小時

—增加運研所（成大團隊）模擬研究成果（黃十字）



特徵

- 到場航班達到某數量之後即無法再增長
- 離到場混合比例達到1:1時容量包絡線產生轉折
- 到場航班減少時，離場航班可微幅增加

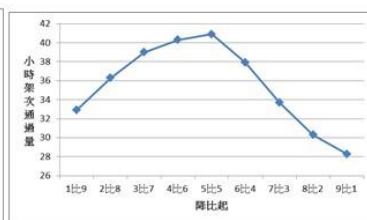
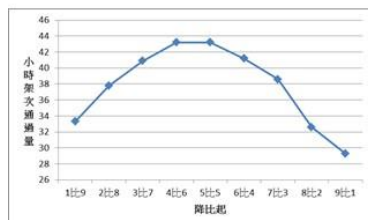


十一、桃園國際機場

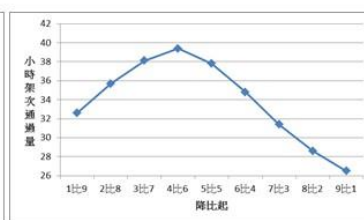
11.1 機場設施概述

11.2 運轉紀錄數據集

11.3 跑道及整體空側容量分析



跑道使用時間120%



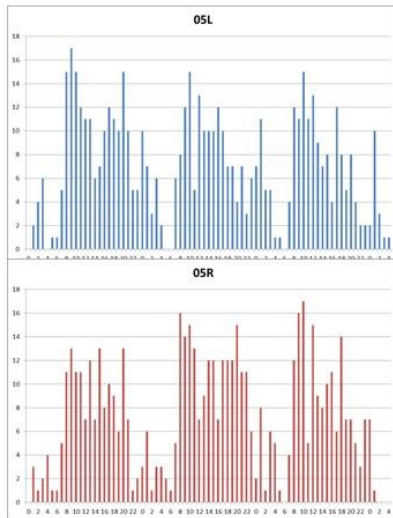
跑道使用時間140%

26

十一、桃園國際機場

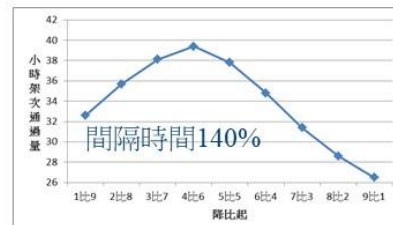
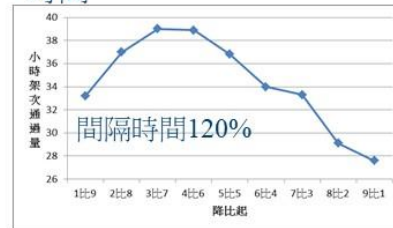
11.4 滑行道容量

- 觀察特定區段之每小時航班通過數量



11.6 容量影響因素分析

- 天氣不良時，受影響最大者為連續到場時所需要之間隔時間



27

11.7 精進建議

數據觀察結果

- 離場與到場之滑行時間分佈型態不同
- 到場滑行時間略有雙峰分佈型態
- 離場延滯大於到場延滯
- 各時間區間滑行時間分佈不同

綜合歸納

- 到場後之滑行過程，大部份航空器均能順暢完成
- 離場前之滑行過程顯著受跑道影響
- 數據顯示跑道為控制空側容量之最主要關鍵與預期相符
- 擴充跑道之容量，應為降低滑行延滯之最有效手段

28

十二、其他機場

12.1 小港機場設施概述

12.2 小港機場適用性評估

- 參數項大致上可涵蓋小港機場模擬分析所需
- 後推相關參數項須擴充但無技術障礙
- 未來應用此套系統應無參數設定之困難

12.3 清泉崗機場設施概述

12.4 清泉崗機場適用性評估

- 臺中清泉崗機場為軍民合用
- 軍用航空器與民航之航空器在性能、任務、需求等各方面均有相當之差異
- 軍用機場及航空器之參數亦不宜納入本研究中
- 本研究所開發之容量評析方法並不適用於臺中清泉崗機場

29

十三、後續發展

13.1 研究架構

- 後續發展應以桃園國際機場運轉模擬分析工具之開發為主
- 整體環境之瞭解：釐清未來此系統應如何配合使用者執行其業務、上線運轉之資訊環境、外部數據之界接方式以及是否將有其他系統承接運用等整體環境狀況
- 使用者需求之瞭解及確認：將需求予以組織化、系統化後，經使用者確認，作為系統建置之最重要依據
- 測試
- 移轉

13.2 主要工作項目

- 參數項目之檢討
- 模式參數項與實務參數項之銜接：模式與實務慣用之參數可相互轉換但定義不同
- 停機位指派實務狀況之瞭解：評估是否有修正邏輯之必要及可能效益
- 釐清可取得之真實紀錄：釐清可能穩定取得、長期累積的真實紀錄
- 使用者需求訪談
- 設計貼近機場實務思維模式之操作

13.3 重要議題

- 軟體系統之資訊環境規畫
- 桃機公司收集數據規畫

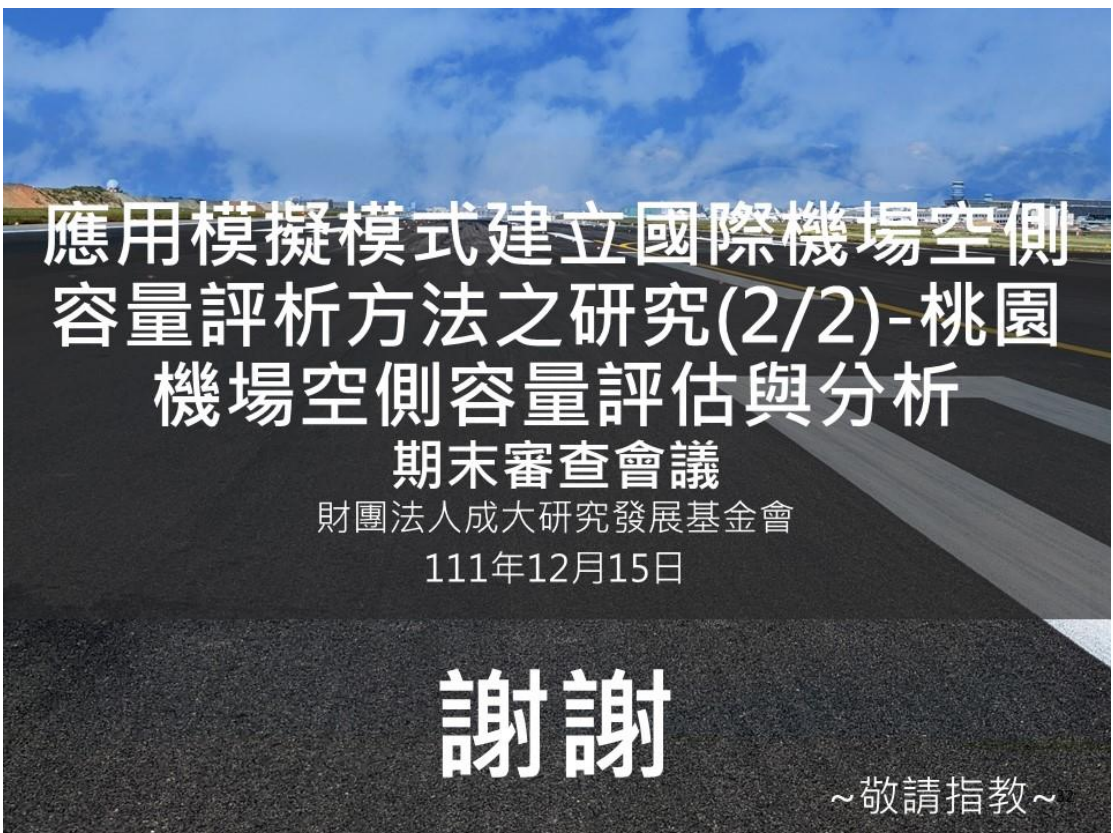
30

十四、結論

結論

- 擁有自主之機場空側容量分析核心技術可帶來相當之效益，但在維護商業利益之原則下，達到此目標唯有自行開發一途
- 國內相關單位累積了豐富的成果運用經驗，但少有機會體驗、檢視層層包裝下的核心技術。專業而精密設計的軟體包裝，是核心技術得以充份應用的重要條件。這些包裝橋接了使用者與核心模式，允許使用者以其所熟悉的思維方式，來運用其所陌生的抽象模式
- 本二年期計畫之主軸即在建立國際機場空側容量評析方法，開發我國自有的技術。在交通部運輸研究所的主導下，產、官、學密切合作完成發展自有軟體過程中最困難的部份，使我國躋身技術擁有者之林。成功開發關鍵技術之後，在為使用者所願意接受之前，仍有待產、官、學持續努力

31



應用模擬模式建立國際機場空側 容量評析方法之研究(2/2)-桃園 機場空側容量評估與分析

期末審查會議

財團法人成大研究發展基金會

111年12月15日

謝謝

~敬請指教~