

111-061-2324
MOTC-IOT-110-ECB007

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

中華民國 111 年 8 月

111-061-2324
MOTC-IOT-110-ECB007

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

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

交通部運輸研究所

中華民國 111 年 8 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(1/2)

-臺北松山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、許書耕、賴威伸、
呂蕙美著 -- 初版. -- 臺北市：交通部運研所, 民 111.08

面；公分

ISBN 978-986-531-429-3 (平裝)

1.CST: 機場 2.CST: 機場規劃 3.CST: 航空運輸管理

557.9533

111014518

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

著者：李宇欣、陳佑麟、盧立昕、陳蓉萱、袁永偉、林東宏、許書耕、
賴威伸、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 111 年 8 月

印刷者：全凱數位資訊有限公司

版(刷)次冊數：初版一刷 57 冊

本書同時登載於交通部運輸研究所網站

定價：180 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 臺中市中山路 6 號·電話：(04)2226-0330

GPN：1011101333

ISBN：978-986-531-429-3 (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(1/2)-臺北松山機場空側容量評估與分析			
國際標準書號(或叢刊號) ISBN 978-986-531-429-3 (平裝)	政府出版品統一編號 1011101333	運輸研究所出版品編號 111-061-2324	計畫編號 110-ECB007
本所主辦單位：運輸工程組 主管：許書耕 計畫主持人：許書耕 研究人員：賴威伸、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 110 年 2 月 至 110 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。機場空側包括跑道、滑行道、停機位等，屬於機場管制區域。機場空側容量影響機場營運效率甚大，但因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，以確認空側運作瓶頸，並可減少延滯時間。國外既有空側容量評估套裝軟體價格高昂，技術具商業價值通常不公開，無法掌握且應用所費不貲，系統功能也未必完全符合我國需求，因此有必要研發本土核心技術。 本計畫為 2 年期研究之第 1 年，以本所 107 年完成之機場空域系統模擬技術為基礎，跑道與停機位之模擬結合飛航與機場空側相關運作方式與等候理論；滑行道系統模擬則以數學規劃建立排程模式與排點模式，在反覆回合演算中以事件模擬做為時間推進之原則，創新研發我國可自主掌握之單跑道機場空側容量評析核心技術，釐清可表達容量評析情境之參數項，並完成臺北松山機場在既有條件及分析情境下之空側容量評估。 本計畫成果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，並可評估分析情境之空側容量，提供民航局、桃園機場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。			
出版日期	頁數	定價	本 出 版 品 取 得 方 式
111 年 8 月	164	180	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 (1/2) - Airside Capacity Evaluation and Analysis of Taipei Songshan Airport			
ISBN(OR ISSN) ISBN 978-986-531-429-3 (pbk.)	GOVERNMENT PUBLICATIONS NUMBER 1011101333	IOT SERIAL NUMBER 111-061-2324	PROJECT NUMBER 110-ECB007
DIVISION: Transportation Engineering DIVISION DIRECTOR: Hsu, Shu-Keng PRINCIPAL INVESTIGATOR: Hsu, Shu-Keng PROJECT STAFF: Lai, Wei-Shen ; Leu, Huey-Meei PHONE: 8862-23496825 FAX: 8862-25450427			PROJECT PERIOD FROM February 2021 TO December 2021
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, aircraft stands etc. which belongs to the airport's controlled areas. The airport's airside capacity greatly affects the airport's operational efficiency. As the airport's airside capacity is affected by many complex factors, it is therefore necessary to use specialized tools for analysis to achieve systematic evaluation and planning, identify airside operation bottlenecks and thus reduce delays in order to achieve highly efficient airside operations. Existing airside capacity evaluation software packages from abroad are expensive, and with the commercial value of these technologies usually not disclosed, we are therefore unable to comprehensively understand these software packages. Besides, these software packages are often exorbitantly priced and their functions may not fully meet our country's needs. We therefore must develop these core technologies locally. This project is the 1st year of a 2-year study. Based on the airport airspace system simulation technology which our institute completed in 2018, the simulation systems for both runways and airport stands integrate the operation methods and waiting theories related to flight operations and airside operations. The simulation system for the taxiways uses mathematical planning to set up both taxiway scheduling models and taxiway line up models with event simulations as the time advancement principle in repeated rounds of calculations. This innovative development allows our nation to independently master the core technologies pertaining to evaluating and analyzing the airside capacity of single-runway airports, thus clarifying and expressing the parameters under which the capacity evaluation scenario were completed under. We were therefore able to complete Taipei Songshan Airport's airside capacity evaluation under existing conditions through scenario analyses. The results of this study can be used as a policy evaluation tool to evaluate and comprehensively understand individual airside facilities such as the airport runways, taxiways, aircraft stands, and overall airside capacity. These could serve to analyze airside capacity across various situations and allow the CAA (Taiwan) and Taoyuan International Airport Corporation to improve their planning evaluation and make operation adjustments to allow the digitization and modular development of airport airside facility management, thereby improving the operational efficiency of our international gateway airport and meeting the long-term development needs of the airport.			
DATE OF PUBLICATION August 2022	NUMBER OF PAGES 164	PRICE 180	
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.....	V
表目錄.....	VII
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 計畫內容與工作項目.....	2
1.5 詞彙用語.....	3
1.6 研究流程.....	4
第二章 文獻回顧.....	5
2.1 概述.....	5
2.2 本所歷年相關研究成果.....	5
2.3 國際文獻：Airport Capacity and Delay	6
2.4 國際文獻：Airport Capacity Assessment Methodology	17
2.5 其他國際文獻.....	21
2.6 商用軟體.....	23
2.7 國內文獻.....	25
2.8 臺北松山機場資料.....	25
2.9 桃園國際機場資料.....	29
2.10 都柏林機場資料.....	29
第三章 影響空側容量核心因素.....	31
3.1 研究範疇.....	31
3.2 目標.....	31
3.3 容量基本論述.....	32
3.4 影響跑道容量之核心因素.....	32
3.5 影響停機位組容量之核心因素.....	36
3.6 影響滑行道容量之核心因素.....	38
第四章 空側容量分析方法.....	39
4.1 概述.....	39
4.2 基本假設.....	41

4.3	基本開發方向.....	42
4.4	跑道容量分析方法及評估指標.....	43
4.5	停機位容量分析方法及評估指標.....	44
4.6	滑行道容量分析方法及評估指標.....	47
4.7	機場空側容量評估流程.....	49
第五章 案例測試.....		53
5.1	概述.....	53
5.2	跑道容量.....	53
5.3	停機位容量.....	56
5.4	滑行道容量.....	60
5.5	機場空側容量.....	62
5.6	測試結果討論.....	63
5.7	臺北松山機場空側運作及配置精進相關建議.....	64
第六章 結論與建議.....		65
6.1	結論.....	65
6.2	建議.....	68
參考文獻.....		71
附錄 A：訪談紀錄.....		75
附錄 B：專家學者座談會暨成果發表會紀錄.....		79
附錄 C：期中報告審查意見處理情形表.....		83
附錄 D：期末報告審查意見處理情形表.....		107
附錄 E：期末簡報.....		143

圖目錄

圖 2.1	FAA 文件有關容量、需求及延滯關係之論述.....	7
圖 2.2	FAA 文件有關航空器之分類之說明.....	7
圖 2.3	跑道容量圖表.....	8
圖 2.4	跑道延滯時間圖表.....	8
圖 2.5	依跑道布設查詢參數.....	9
圖 2.6	原文件圖 3-2 說明局部放大.....	9
圖 2.7	跑道容量參數圖表 1.....	10
圖 2.8	跑道容量參數圖表 2.....	10
圖 2.9	跑道容量參數圖表 3.....	11
圖 2.10	跑道容量參數圖表 4.....	11
圖 2.11	對滑行道之說明.....	12
圖 2.12	滑行道容量估算步驟.....	12
圖 2.13	滑行道容量圖表 1.....	13
圖 2.14	滑行道容量圖表 2.....	13
圖 2.15	滑行道容量圖表 3.....	13
圖 2.16	滑行道容量圖表 4.....	13
圖 2.17	滑行道容量圖表 5.....	14
圖 2.18	滑行道容量圖表 6.....	14
圖 2.19	滑行道容量圖表 7.....	14
圖 2.20	滑行道容量圖表 8.....	14
圖 2.21	停機位小時容量圖表.....	15
圖 2.22	平行跑道端點位移示意圖.....	16
圖 2.23	Airport Capacity Assessment Methodology 對容量之定義.....	17
圖 2.24	Airport Capacity Assessment Methodology 容量與延滯之關係.....	18
圖 2.25	Airport Capacity Assessment Methodology 容量與效率之關係.....	18
圖 2.26	Airport Capacity Assessment Methodology 容量與延滯之關係.....	19
圖 2.27	跑道容量柏拉圖前緣示意圖.....	20
圖 2.28	FAA 所使用之跑道容量圖.....	20
圖 2.29	德國 Munich 機場之複雜滑行道.....	23
圖 2.30	臺北松山機場平面配置圖.....	26
圖 2.31	臺北松山機場停機坪 1 平面圖.....	27
圖 2.32	臺北松山機場停機坪 2 平面圖.....	27
圖 2.33	臺北松山機場停機坪 3 平面圖.....	27
圖 2.34	臺北松山機場直升機停機坪平面圖.....	27

圖 2.35	愛爾蘭都柏林機場平面配置圖.....	30
圖 3.1	前後航班於跑道時間間距示意圖.....	33
圖 4.1	容量分析系統架構示意圖.....	40
圖 4.2	機場空側容量分析流程圖.....	51
圖 5.1	跑道容量分析結果.....	55
圖 5.2	停機位平均等待時間(3 席).....	57
圖 5.3	停機位等待比例(3 席).....	57
圖 5.4	停機位組總容量(3 席).....	57
圖 5.5	停機位每席容量(3 席).....	57
圖 5.6	停機位平均等待時間(6 席).....	57
圖 5.7	停機位等待比例(6 席).....	57
圖 5.8	停機位組總容量(6 席).....	58
圖 5.9	停機位每席容量(6 席).....	58
圖 5.10	停機位平均等待時間(8 席).....	58
圖 5.11	停機位等待比例(8 席).....	58
圖 5.12	停機位組總容量(8 席).....	58
圖 5.13	停機位每席容量(8 席).....	58
圖 5.14	停機位平均等待時間(25 席).....	59
圖 5.15	停機位等待比例(25 席).....	59
圖 5.16	停機位組總容量(25 席).....	59
圖 5.17	停機位每席容量(25 席).....	59
圖 5.18	停機位平均等待時間(50 席).....	59
圖 5.19	停機位等待比例(50 席).....	59
圖 5.20	停機位組總容量(50 席).....	60
圖 5.21	停機位每席容量(50 席).....	60
圖 5.22	滑行道場面及網路圖.....	61
圖 5.23	滑行道容量(速率 15 節).....	61
圖 5.24	滑行道容量(速率 30 節).....	61
圖 5.25	滑行道場面及模擬網路圖.....	64
圖 6.1	本計畫與各界合作模式.....	65
圖 6.2	本計畫所結合之技術.....	66

表目錄

表 1-1 本報告詞彙用語出處表	4
表 2-1 臺北國際航空站動態紀錄資料整理	28
表 2-2 都柏林機場跑道容量分析參數	30
表 3-1 影響跑道容量之主要因素	36
表 5-1 跑道前後淨距參數	53
表 5-2 跑道占用時間參數	54
表 5-3 停機位模擬參數	56
表 5-4 停機位容量表	60
表 5-5 停機位容量分析結果	62
表 5-6 空側容量分析停機位結果	63

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。國外既有機場空側容量評估套裝軟體價格高昂，技術具商業價值通常不公開，無法掌握且應用所費不貲，系統功能也未必完全符合我國需求，因此有必要系統性深入研發本土核心技術。

本所 107 年完成「空域模擬模式功能擴充之研究」，包括民航空域及機場空側模擬模式研發及軟體建置，可 4D 微觀模擬航機運行狀況，包括航機離場、到場、拖機及停機坪占用情況，並進行相關情境分析，為我國可自主掌握之關鍵技術，模擬結果顯示與實際情況相似。本所並於 108 年 4 月同意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，做為比對跑道起降量與滑行時間應用。

本計畫為 2 年期程(110~111 年)，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。110 年建立臺北松山機場空側容量評析方法(單跑道)，並進行分析情境容量評估(以下簡稱本計畫)；111 年將進行桃園國際機場空側容量評析方法(多跑道)與容量評估。所建立之容量評析方法，可做為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，並可評估分析情境下之空側容量。研究成果將提供民航局、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。

臺北松山機場位居我國首都臺北市中心區位，各航空公司常需爭取該機場時間帶，因此審慎評估機場空側容量有其必要性。如何以更佳方式運用可用設施及資源達到更高空側容量，亦為臺北國際航空站亟待釐清及探討的課題；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，該機場於 108 年起降架次數已超過 26.5 萬架次，運轉壓力日增，大量航空器起降活動對機場空側運轉帶來相當挑戰，亦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，以供上述規劃參考。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營運效率精進參考應用。

1.3 研究範圍

本計畫主要研究對象為臺北松山機場，研究範圍在該機場空側，以本所 107 年完成之空域模擬模式為基礎，建立我國國際機場空側容量評析工具，並進行該機場在既有條件及各分析情境下之空側容量、航機運行熱點及運作瓶頸分析，俾供規劃精進空側配置所需，同時提升我國自主分析民航空側容量之研究能量。

1.4 計畫內容與工作項目

本計畫主要內容與工作項目條列如下：

- 1.蒐整臺北松山國際機場及桃園國際機場關鍵參數、作業模式及時間帶等資料。
- 2.蒐集國外類似臺北松山國際機場及桃園國際機場規模、限制之國際機場空側與航管運作方式。
- 3.蒐集國際間發展較成熟且適用於我國國際機場之空側容量評估程序與技術。
- 4.訪談民航局與臺北國際航空站，確認此空側容量評析方法與模式需具備之重要功能，以及確定分析情境與分析重點。
- 5.建立臺北松山國際機場空側容量評估程序與評析方法。
- 6.確定空側容量影響因素及相互關係，並考量桃園與臺北松山兩機場相互關係，建置臺北松山國際機場空側容量分析模式，並完成模式驗證。
- 7.訂定評估指標，評估臺北松山國際機場在既有條件及分析情境下之空側容量與運作績效，包含航機運行熱點與空側運作瓶頸。
- 8.研提臺北松山國際機場空側運作及配置精進相關建議。
- 9.訪談民航局與桃園國際機場股份有限公司，確認此空側容量評析方法後續(第2年)需具備之重要功能，以及確定分析情境與分析重點。
- 10.研究過程辦理專家學者座談會暨成果發表會。

1.5 詞彙用語

機場空側是相當複雜的區域，具有許多不同的設施。本節整理本報告使用較多之詞彙以方便閱讀。航空器以「架」為單位^[1]、航空器之起降或其他活動以「架次」為單位^[1]、機場以「座」為單位^[2]。在一座機場中通常具有多處停機坪，為供航空器上下旅客、裝卸貨物及執行勤務之地方^[1]。停機坪除了設置停機位^[1]之外，還應考慮勤務道路、操作區等所需之空間^[1]。停機坪以「座」為單位^[3]。停機位是停機坪上供航空器停放之指定區域^[1]，以「座」或「席」為單位^[4]。

跑道為機場內所劃定供航空器降落及起飛之矩形區域^[1]。跑道以「條」為單位^[4]；滑行道為供航空器滑行之路線，用以連接機場某一區域與其他區域^[1]。滑行道交叉處為二條或多條滑行道連接處^[1]。表 1-1 整理本報告常

用之用詞、其對應英文與出處。

表 1-1 本報告詞彙用語出處表

中文	英文	出處
機場	Aerodrome	[1, 5]
航空器	Aircraft	[5]
停機位	Aircraft stand	[1]
空側	Airside	[5]
停機坪	Apron	[1]
容量	Capacity	[5]
跑道	Runway	[1]
滑行道	Taxiway	[1, 5]

1.6 研究流程

本計畫工作主要包含實務訪談、模擬技術調整、容量評析技術開發、軟體開發、參數律定及情境設計分析，研究流程如圖 1.1 所示。

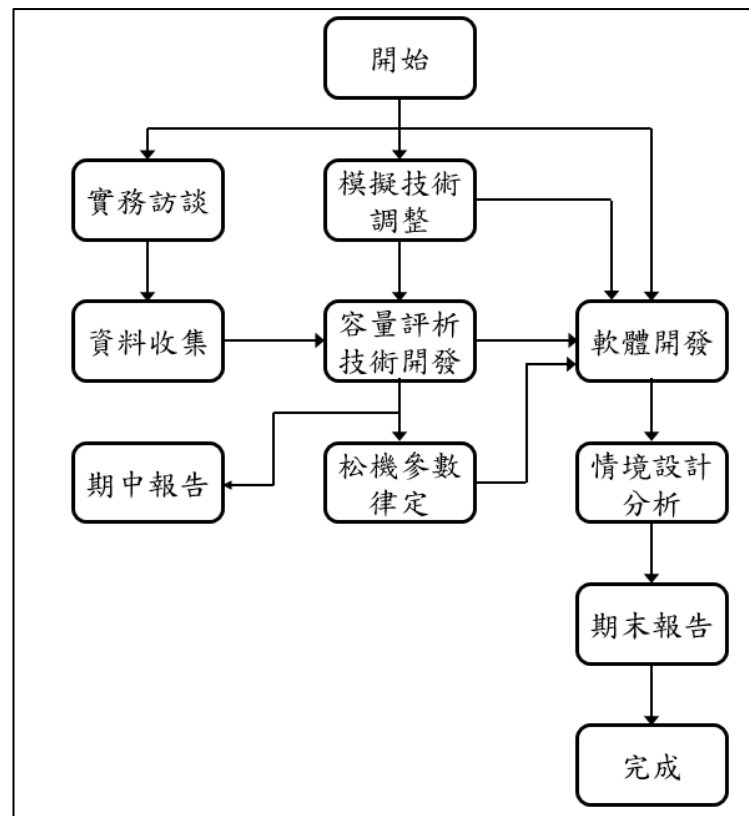


圖 1.1 本計畫工作流程圖

第二章 文獻回顧

2.1 概述

本章將先回顧本所歷年在航空領域以系統模擬為主要技術之相關研究，並蒐整國際間可能適用於我國國際機場之國際空側容量評估程序、技術等相關文獻，其中較重要之參考文獻為美國 FAA 所出版之 Airport Capacity and Delay^[6] 以及歐洲 Eurocontrol 所出版之 Airport Capacity Assessment Methodology^[7]，將各以一節說明之。其餘之國際文獻則合併於一節。國內亦有相關文獻，亦以一節說明之。

另外，與本計畫相關之臺北松山機場及桃園國際機場之實務資料，因為較為複雜且具多樣性，將各以一節說明之，最後則回顧國外機場之容量相關資料。

2.2 本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^[8]，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，但不論是對空域或對機場空側，抽象的模式實應給予空域、空側管制員以及停機位指派人員最重之地位；航空器移動僅為呈現上述人員之意志。該研究同時亦開發了以動畫呈現模擬結果之技術，最重要效益在為我國自主掌握空域與空側模擬技術立定重要基礎。

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^[9]，持續精進核心技術，使其更為精準並提高運算效能，同時並對桃園國際機場多有探討，所開發之模擬技術並在後續計畫中得到驗證^[10]，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量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，使得本計畫得以更進一步開發空側容量評析技術。

此外本所並於 107 年辦理「國際機場空側設施容量評估方法初探」^[11]，於 108 年辦理「國際機場陸側設施容量評估方法初探」^[12]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；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。

2.3 國際文獻：Airport Capacity and Delay

美國 FAA 於 1983 年出版 Airport Capacity and Delay^[6]，為機場空側容量分析方法之重要資料。該文獻出版年代相對較久遠，其中係反映當時相關規章與實務之運轉狀況，之後並未隨新規章與規則之問世而修訂^[13]，然而其方法仍具有相當參考價值^[14]。

該文獻主要目的在提供評估機場空側容量及延滯之評估方法，所分析之標的包括機場跑道、滑行道及停機位。空域並不在此文件之範疇中，而此文件對機場空側容量之論述，亦未及於空域之影響。該文件內容分為 5 章，分別擇其與本計畫相關者說明如下。

1. 第 1 章：Airport Capacity and Delay

本章為總論，以 4 頁篇幅整體介紹主要內容並定義名詞。其中明確指出機場空側之最主要設施包含跑道、滑行道系統及停機位，此觀點與本計畫一致。

對於機場空側設施之容量、需求及延滯三者間之關係，該文件認為需求接近容量，將導致個別航空器之活動發生延滯，而若在連續數小時中需求均高於容量，則將發生運轉不穩定之現象。另一方面，即使小時需求未超過小時容量，若在一小時中有短暫時間之需求超過當時之容量，航空器活動之延滯仍有可能發生。而在需求管控不易之現實狀況下，減少延滯之最有效手段為增加容量。相關原文呈現於圖 2.1。

1-4. CAPACITY, DEMAND, DELAY RELATIONSHIPS. As demand approaches capacity, individual aircraft delay is increased. Successive hourly demands exceeding the hourly capacity result in unacceptable delays. When the hourly demand is less than the hourly capacity, aircraft delays will still occur if the demand within a portion of the time interval exceeds the capacity during that interval. Because the magnitude and scheduling of user demand is relatively unconstrained, reductions in aircraft delay can best be achieved through airport improvements which increase capacity.

資料來源：[6]。

圖 2.1 FAA 文件有關容量、需求及延滯關係之論述

此外，本章並定義在本文件中航空器之分類區分為 A 至 D 共 4 級，如圖 2.2 所示。

Table 1-1. Aircraft classifications			
Aircraft class	Max. Cert. T.O. weight (lbs)	Number Engines	Wake Turbulence Classification
A	12,500 or less	Single	Small (S)
B		Multi	
C	12,500 - 300,000	Multi	Large (L)
D	over 300,000	Multi	Heavy (H)

資料來源：[6]。

圖 2.2 FAA 文件有關航空器之分類之說明

2. 第 2 章：Capacity and Delay Calculations for Long Range Planning

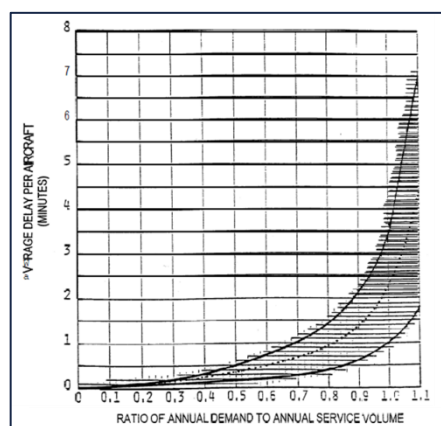
本章以 8 頁之篇幅介紹容量與延滯之分析程序，所提出之方法以跑道容量為分析範圍，並不及於滑行道以及停機位之容量分析。而所分析之內容則以全年為規劃期之長期容量分析，用以估計所分析之機場之全年起降容量以及預期之平均延滯量。其分析方法包含三步驟，說明如下。

- (1) 計算航機機型分布。C=最大起飛重量介於 12,500lb 到 300,000lb 間之航機百分比，D=最大起飛重量超過 300,000lb 間之航機百分比。計算跑道容量時使用 $Mix\ index = C + 3D$ 。
- (2) 依跑道布設以及機型分布之 C+3D 值，由原文件之圖 2-1 查得 ASV (Annual Service Volume，每年可起降架次)。該圖有部分轉錄顯示於圖 2.3。
- (3) 依起降需求以及 ASV，由圖 2.4(原文件之圖 2-2)查得每架班機之估計平均延滯量。

NO.	Runway-use Configuration	Mix Index #(C*30)	Hourly Capacity Ops/Hr		Annual Service Volume Ops/Yr
1.		0 to 20	98	59	230,000
		21 to 50	74	57	195,000
		51 to 80	63	56	205,000
		81 to 120	56	53	210,000
		121 to 180	51	50	240,000
2.		0 to 20	197	58	355,000
		21 to 50	146	57	275,000
		51 to 80	121	56	260,000
		81 to 120	109	55	285,000
		121 to 180	94	50	340,000
3.		0 to 20	197	62	355,000
		21 to 50	149	63	285,000
		51 to 80	126	65	275,000
		81 to 120	111	70	305,000
		121 to 180	103	70	345,000
4.		0 to 20	197	119	370,000
		21 to 50	149	113	320,000
		51 to 80	126	111	305,000
		81 to 120	111	109	315,000
		121 to 180	103	99	370,000

資料來源：[6]。

圖 2.3 跑道容量圖表



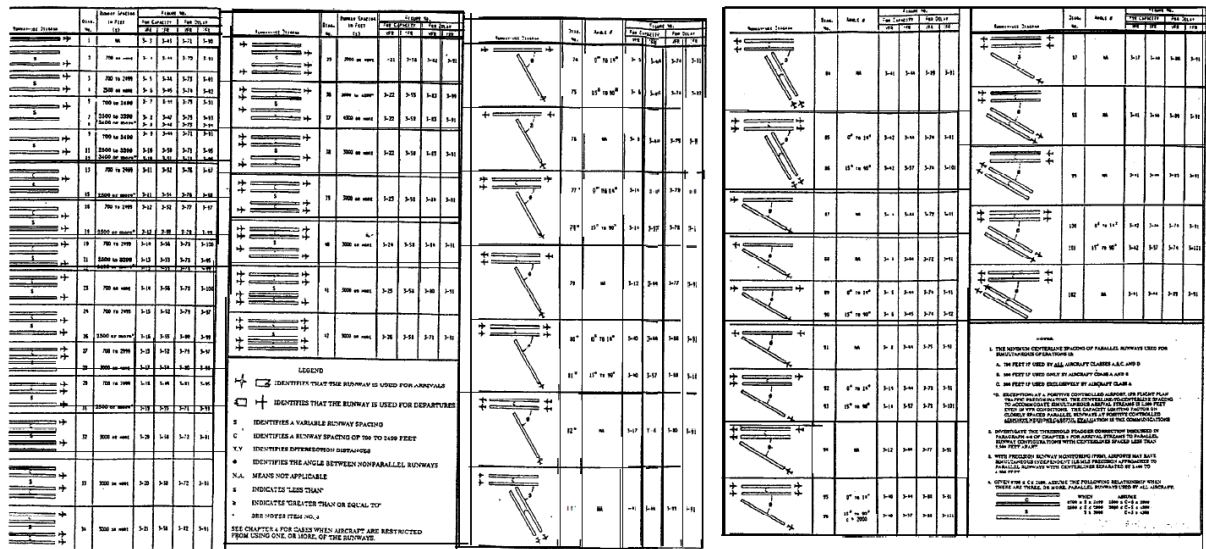
資料來源：[6]。

圖 2.4 跑道延滯時間圖表

3. 第 3 章：Airport Capacity and Aircraft Delay Calculations

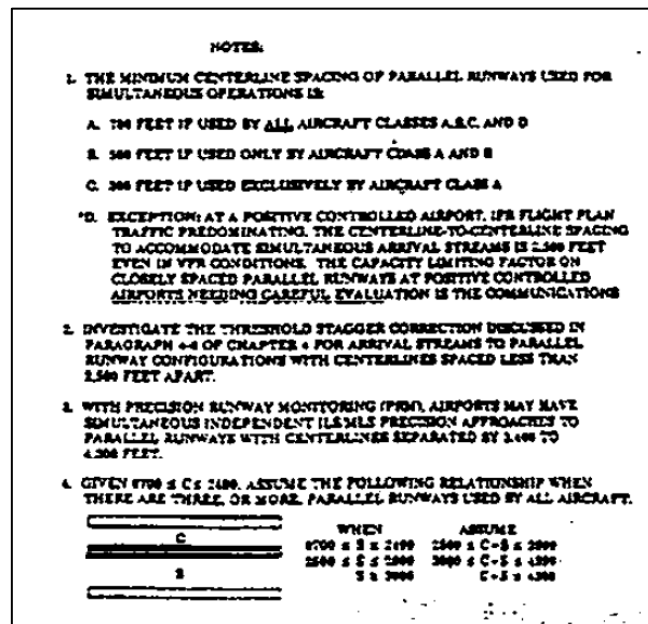
本章為全份文件中最最主要之一章，總共占 64 頁篇幅。其內容可分為 3 部分，依序介紹跑道、滑行道以及停機位之容量估算方法。以下將擇要回顧其重要內容。

在跑道容量計算方面，其方法是先由文件之圖 3-2(轉錄顯示於圖 2.5，該圖在原文件中即已模糊不易辨識，如圖 2.6 右下角說明文字局部放大所示)，依跑道之幾何布設，查詢得知所適用之圖表(例如圖 2.7、圖 2.8 圖 2.9、圖 2.10 所示，文件中另有其他類似圖表未一一轉錄於此)，再由這些圖中查得參數 C^* 、T&G、以及 E 之值。其中 C^* 為跑道容量參數、T&G 為連續起降(touch-and-go)航班之比例(百分比)，而 E 則為跑道出口形狀參數。最後，跑道之小時容量即為 3 者相乘之乘積。



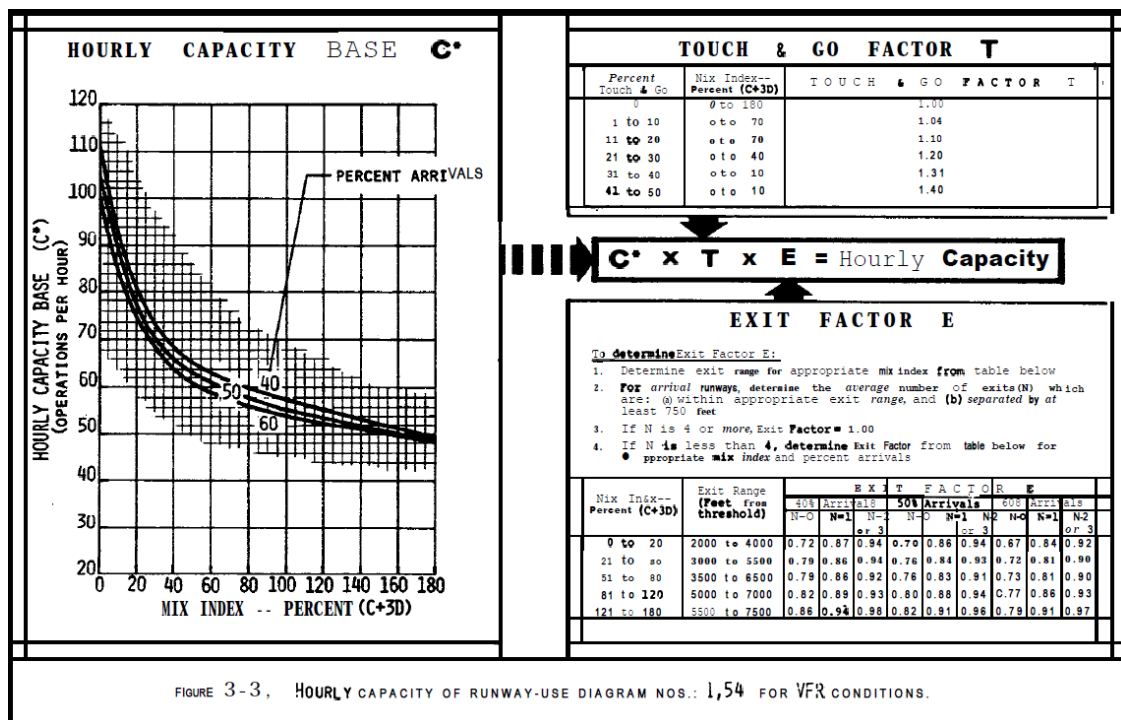
資料來源：[6]。

圖 2.5 依跑道布設查詢參數



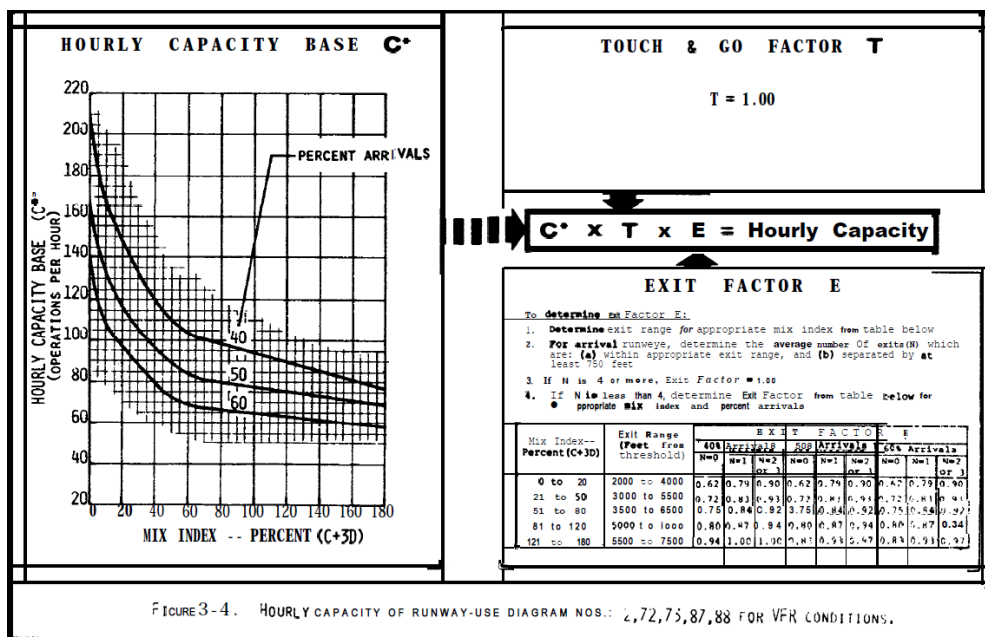
資料來源：[6]。

圖 2.6 原文件圖 3-2 說明局部放大



資料來源：[6]。

圖 2.7 跑道容量參數圖表 1



資料來源：[6]。

圖 2.8 跑道容量參數圖表 2

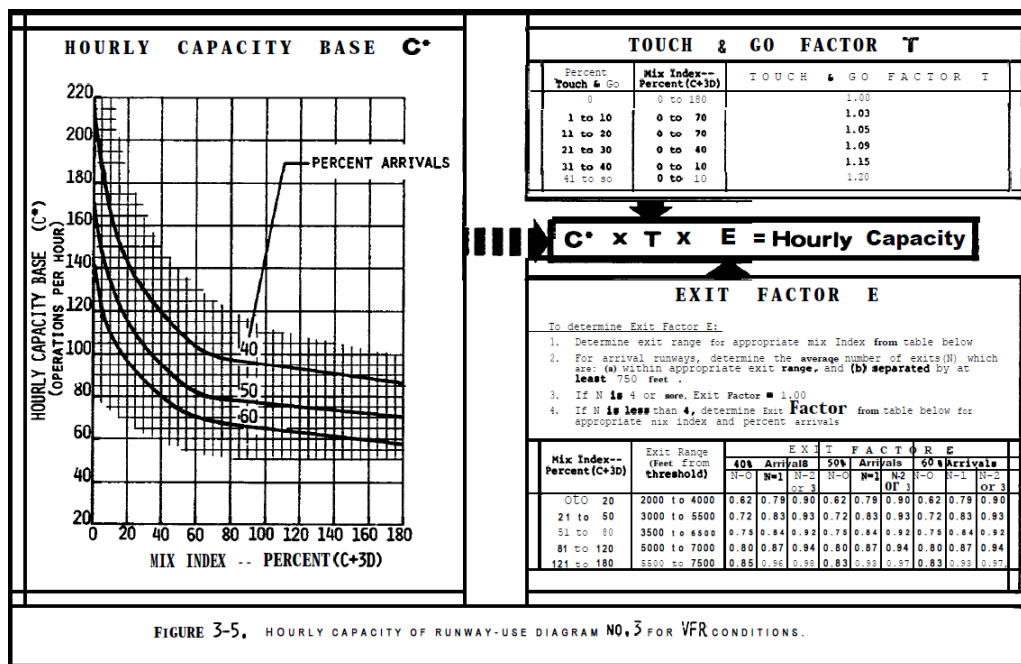


FIGURE 3-5. HOURLY CAPACITY OF RUNWAY-USE DIAGRAM NO. 3 FOR VFR CONDITIONS.

資料來源：[6]。

圖 2.9 跑道容量參數圖表 3

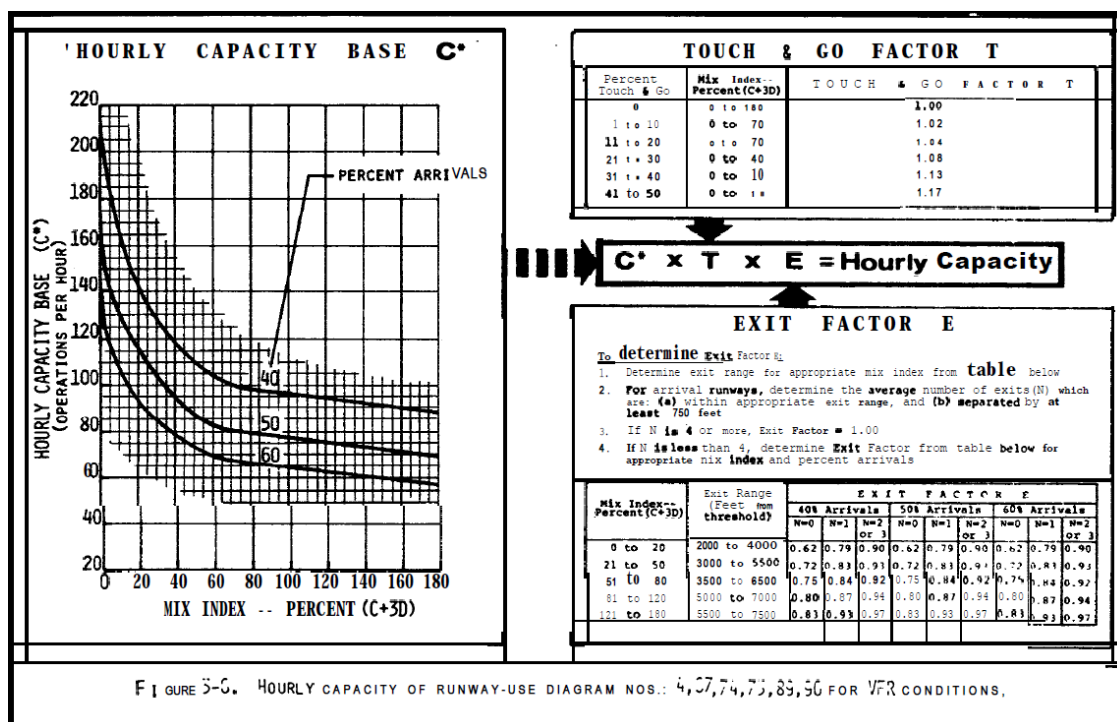


FIGURE 3-6. HOURLY CAPACITY OF RUNWAY-USE DIAGRAM NOS. 4, 5, 7, 8, 9 FOR VFR CONDITIONS.

資料來源：[6]。

圖 2.10 跑道容量參數圖表 4

在滑行道容量部分，該文件於第 1-2 節說明，所考慮範圍為平行跑道之滑行道、跑道之入口及出口滑行道以及跨越跑道之滑行道，其

中航空器必須跨越跑道時有可能會影響容量。其原文如圖 2.11 所示。

b. **Taxiway**. The term **taxiway** includes the parallel taxiways, **entrance-exit taxiways**, and crossing taxiways, recognizing that a capacity limiting condition may exist where an arriving or departing stream of aircraft must cross an active runway.

資料來源：[6]。

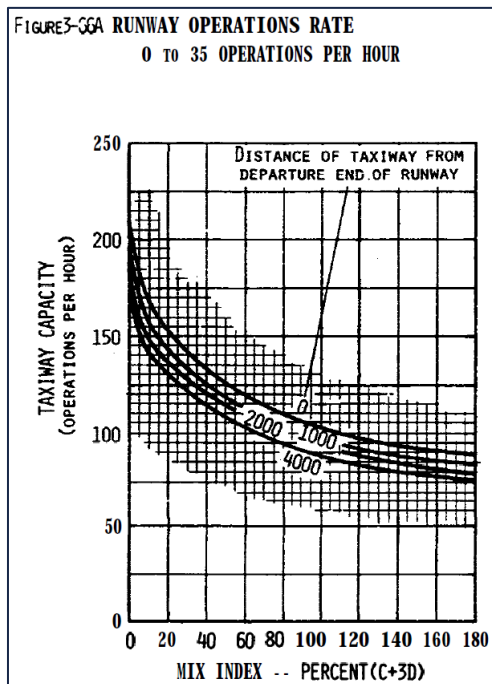
圖 2.11 對滑行道之說明

基於上述界定，該文件對滑行道容量估算係以跨越跑道處為準，其步驟如圖 2.12 所示，其中估算容量之標的特別標示之。其估算方法亦基於前述之 $Mix\ index = C + 3D$ ，再依被跨越之跑道之幾何布設與起降流量選擇適當之圖表，查得跨越跑道之容量。例如，若被跨越之跑道為降落專用或起降混合，則應使用圖 2.13、圖 2.14、圖 2.15、圖 2.16，若為起飛或連續起降專用則應使用圖 2.17、圖 2.18、圖 2.19、圖 2.20。

- a. Determine the distance from the runway end (start of takeoff roll) to the taxiway crossing.
- b. Determine the runway operations **rate**, i.e., the demand being accommodated on the runway being crossed.
- c. Calculate the mix index of the runway being crossed.
- d. Determine the hourly capacity of the **taxiway crossing**.
 - (1) Use figure 3-66 when the crossed runway accommodates arrivals or mixed operations.
 - (2) Use figure 3-67 when the crossed runway accommodates only departures and touch and go's.

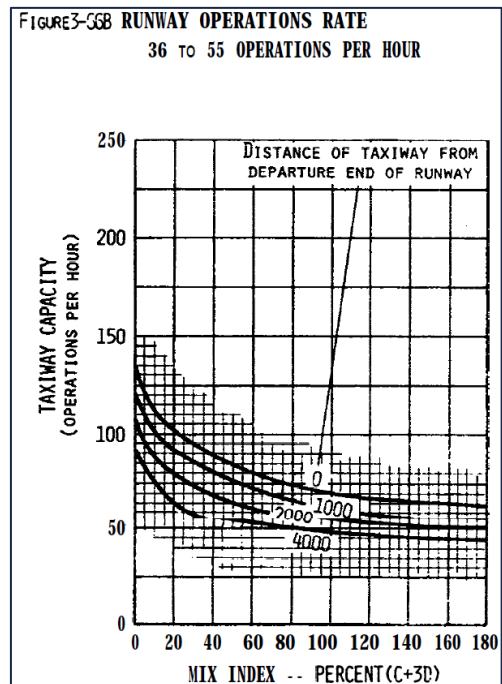
資料來源：[6]。

圖 2.12 滑行道容量估算步驟



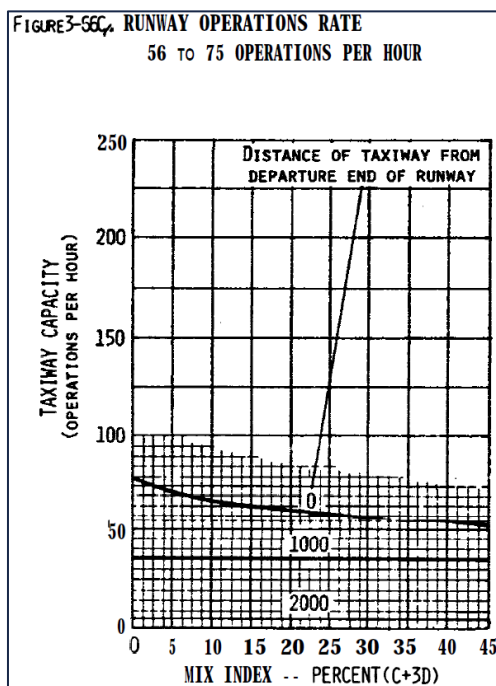
資料來源：[6]。

圖 2.13 滑行道容量圖表 1



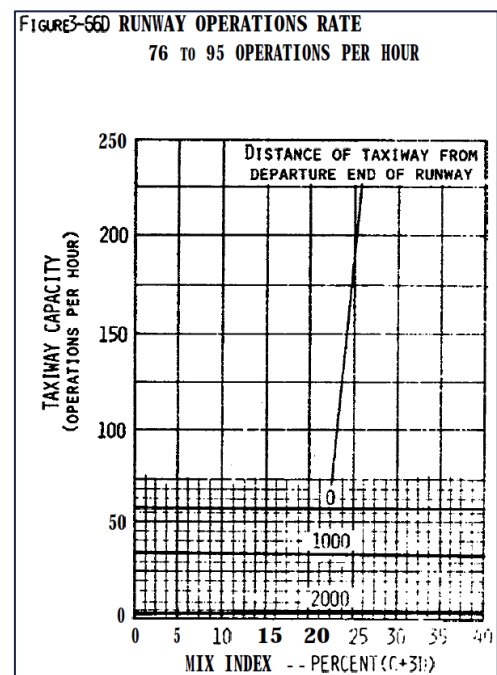
資料來源：[6]。

圖 2.14 滑行道容量圖表 2



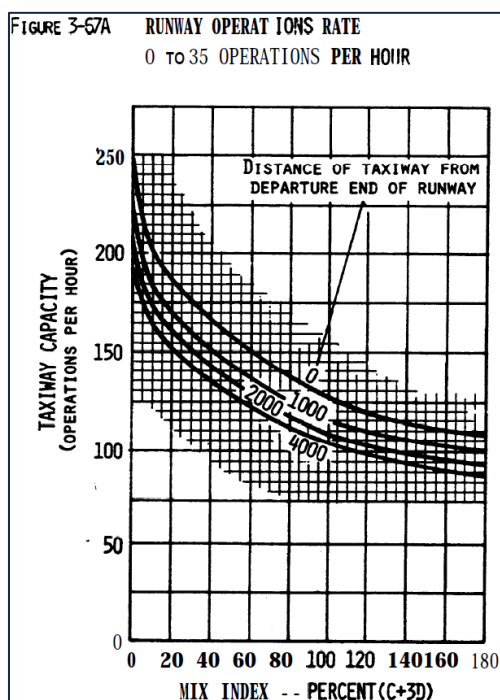
資料來源：[6]。

圖 2.15 滑行道容量圖表 3



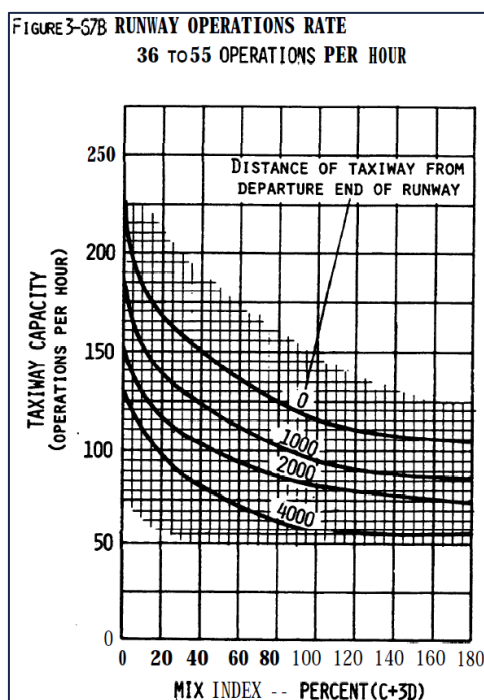
資料來源：[6]。

圖 2.16 滑行道容量圖表 4



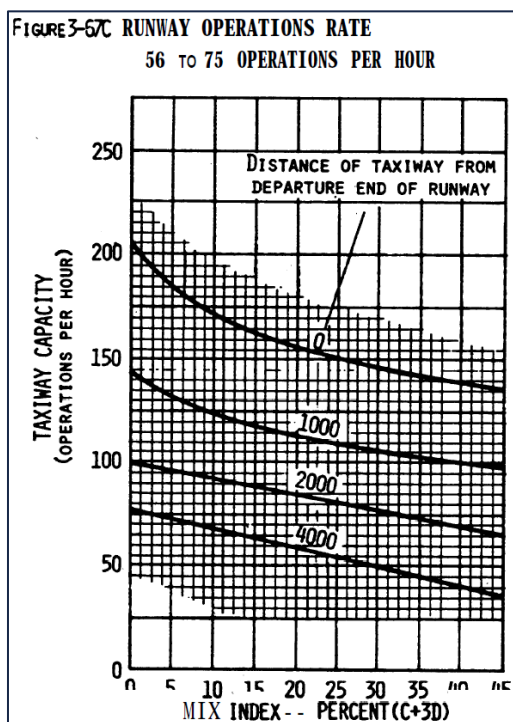
資料來源：[6]。

圖 2.17 滑行道容量圖表 5



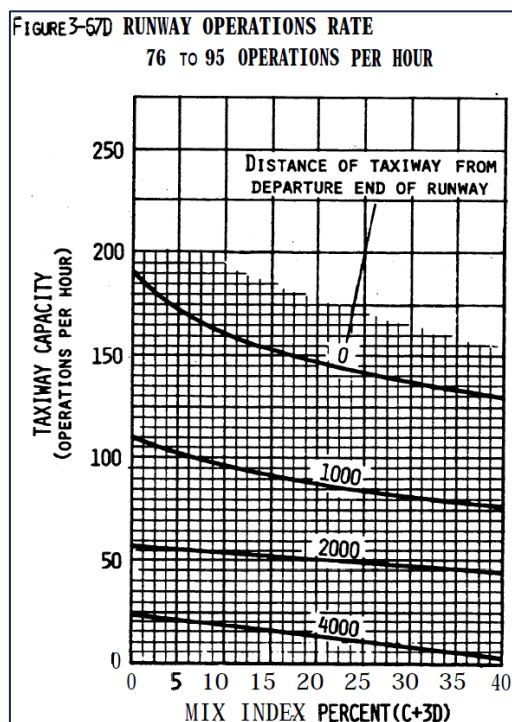
資料來源：[6]。

圖 2.18 滑行道容量圖表 6



資料來源：[6]。

圖 2.19 滑行道容量圖表 7



資料來源：[6]。

圖 2.20 滑行道容量圖表 8

停機位容量估算部分，該文件採分組計算方式為之。所使用數據包含：停機位數量(N)、非廣體客機之比例、可容納廣體機之停機位數

量百分比、廣體機與非廣體機每次占用停機位之平均時間及其比例 $R = \text{廣體客機平均每次占用時間} / \text{非廣體客機平均每次占用時間}$ (若無廣體機則 $R=1.00$)。最後再使用圖 2.21 查出該停機位群組之小時容量。

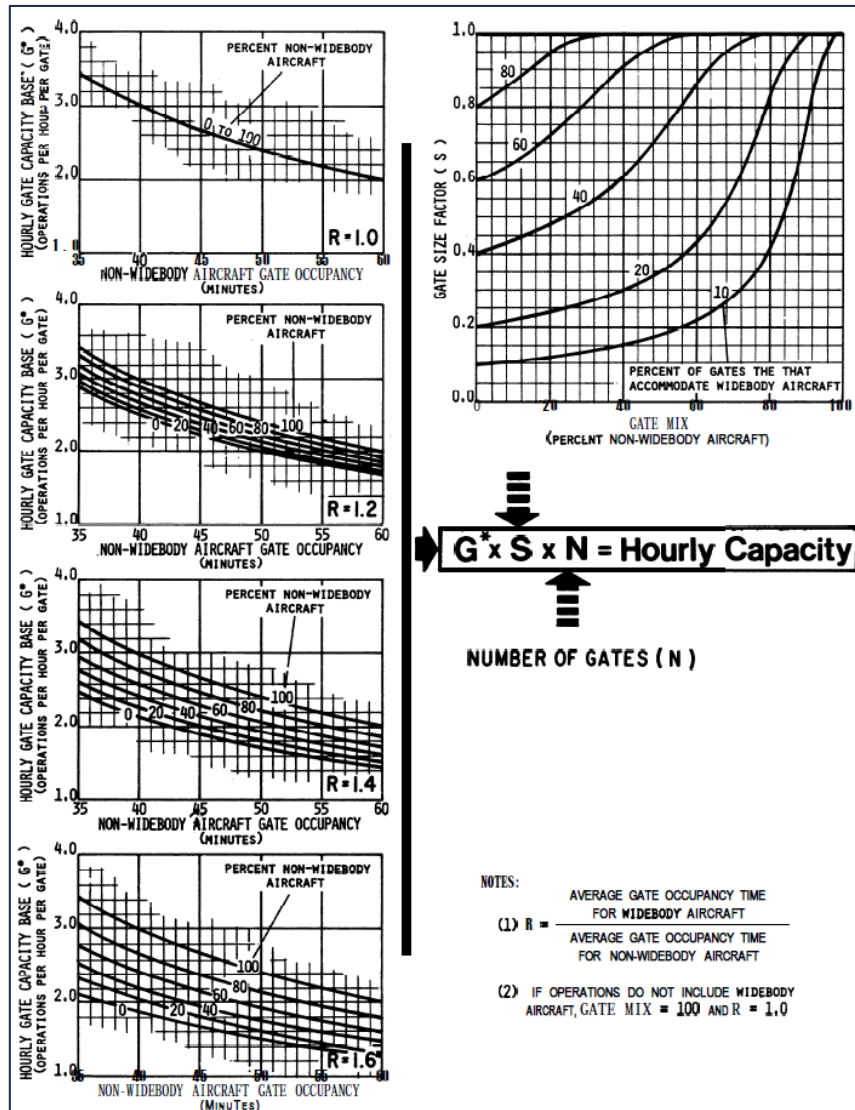


圖 2.21 停機位小時容量圖表

最後估算整體機場小時容量時，該文件所提出之方法為先個別計算跑道、滑行道、停機位之容量，之後換算成為「跑道容量等效值」，據以估算機場空側之整體容量。其方法歸納如以下步驟：

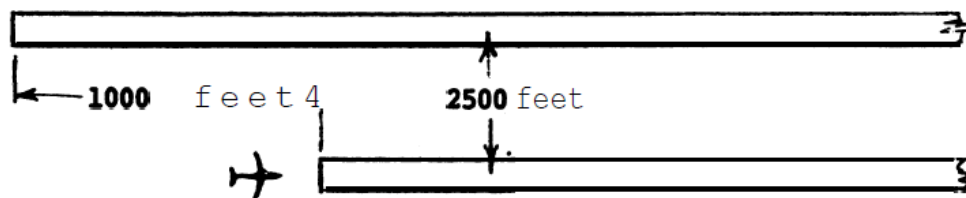
- (1) 對跑道、滑行道、停機位，分別以其需求量除以跑道之需求得到需求比(Demand Ratio)，亦即計算每一次之跑道起降，對應到滑行道與停機位各產生幾次之需求。

- (2) 將滑行道、停機位之容量除以其需求比，轉換成為跑道容量等效值。
- (3) 以跑道、滑行道、停機位之跑道容量等效值之最小者作為整體機場小時容量。

4. 第 4 章：Special Applications

本章之內容以介紹特殊狀況對機場空側容量之影響為主。所論述之項目計有 5 項，分別說明如下。

- (1) 能見度不良及低雲狀況。
- (2) 機場無雷達或無儀降之狀況。
- (3) 平行跑道之其中一條跑道僅限小型航空器使用之狀況。
- (4) 機場僅限小型航空器使用之狀況。
- (5) 平行跑道端點位移之狀況(如圖 2.22 所示)。



資料來源：[6]。

圖 2.22 平行跑道端點位移示意圖

5. 第 5 章：Computer Programs for Airport Capacity and Aircraft Delay

本章以 2 頁之內容介紹相關模式以及所開發之電腦軟體，其中提及 Simulation Model (SIMMOD)、Airport Model、Airfield Delay Simulation Model (ADSIM)、Airfield Capacity Model、Airport Design Computer Model 等。該文件對每一種模式均有所介紹，並提供其中部分模式開發者之郵遞地址、電話號碼、傳真號碼等聯絡資訊。

2.4 國際文獻：Airport Capacity Assessment Methodology

此文獻^[7]為歐洲 Eurocontrol 於 2016 年所出版。如文獻標題所示，其主旨在介紹機場容量(airport capacity)之評估方法。整體內容聚焦於機場空側，並未論及陸側相關課題。文件內容分 7 章，其中與本計畫相關者為第 3 章及第 4 章。所有 7 章之主要內容摘要如下。首先第 1 章(Introduction)為此文件之整體介紹，而第 2 章(Why Measure Airside Capacity)則指出評估機場空側容量之目的在需要瞭解機場因應需求成長之能力、配合規章要求而評估容量、以及因為內外環境變化而需要修正既有之容量估算。第三章與第四章依序分別為基本定義以及估算機場容量之方法，將於後續作更深入之介紹。文件第五章則指出提升機場空側容量之主要方法有釋出機場之潛在容量、改善跑道出口及滑行道等基礎建設、改進對空域之管理、改進航管系統以及改進各種作業程序等。文件對這些方法均僅有概念之說明而未有具體之實施步驟。第 6 章分別簡要介紹了英國倫敦希思洛機場(London Heathrow)以及瑞士日內瓦機場(Geneva)提升空側容量之案例。最後第七章則為參考文獻表。

此文件第 3 章為基本定義，文件以此勾勒其基本概念。其對容量之定義為在各種不同因素下，可被接受、可持續運轉之每小時活動次數。其原文呈現於圖 2.23。

Capacity is defined as the maximum number of sustained movements per unit of time that can be accepted during different local capacity factors (described in Section 4.3)

資料來源：[7]。

圖 2.23 Airport Capacity Assessment Methodology 對容量之定義

而在本章第 3.2.6 並以專節再次強調其基本觀念認為容量為機場設施之獨立基本性質，因此容量與延滯無關，亦與需求量無關。其原文呈現於圖 2.24。

3.2.6 Conclusion on delay and capacity

As a conclusion, acceptable delay has not been considered in the scope for this guidance material when referring to capacity assessments. Given differences in how delay is measured and reported across the stakeholders and modelling tools, the lack of standardisation means its use depends on local factors that cannot be included in a generic way.

Additionally, the inclusion of delay into capacity assessment interlinks the assumptions made on flight schedule predictions to the capacity of the airport, which should remain independent. As such a systematic capacity measurement process should not use delay calculations as a means to calculate capacity but more as a means for comparison.

資料來源：[7]，第 3.2.6 節

圖 2.24 Airport Capacity Assessment Methodology 容量與延滯之關係

此外本章並於第 3.2.1 節提出效率及需求與容量無關之概念，認為使用歷史紀錄進行過去的效率分析與容量分析無關，而容量與預估需求可用以評估未來的效率，但預估需求或評估可接受之延滯量，均不屬容量分析之範疇。其原文呈現於圖 2.25。

Efficiency could therefore be seen in both past tense (performance assessment) and future tense (predicted performance). The past tense efficiency performance is not in scope of this guidance material although it is referred to in 4.2.1 as a potential method for calculating capacity. The predicted efficiency performance is in scope, defined as the comparison of predicting demand with assessed capacity. Key Performance Area of efficiency includes an input on assumed future demand. However, this guidance material does not provide a method for predicting demand or setting acceptable delays, it merely assumes this process has been completed to enable a comparison to the capacity.

資料來源：[7]。

圖 2.25 Airport Capacity Assessment Methodology 容量與效率之關係

本章於第 3.2.2 節詳細說明需求與容量間之關係。其認為延滯是需求與容量不平衡之結果，因此觀測得到之延滯可用以衡量此種不平衡之狀況，但不應用以衡量容量。原因是機場空側所觀測到之各種延滯量受到機場運轉管理策略之影響(The Observed Delay is Actually Part of the Airport Performance Strategy)，亦即管制員或其他相關人員往往能夠經由管理或其他手段轉移延滯發生之時機與位置。其整段原文呈現於圖 2.26。

Reported delay metrics do not necessarily quantify an airport's (or network's) true airside performance as inefficient procedures, poor systems or airside design aspects may be impacting delay. The observed delay is actually part of the airport performance strategy. Indeed, an airport can choose whether to set up the constraints at the safe limits of its capacity even if it will lose traffic when the best conditions occur, or to operate at the limit of its capacity preferring potential delays when degraded conditions occur.

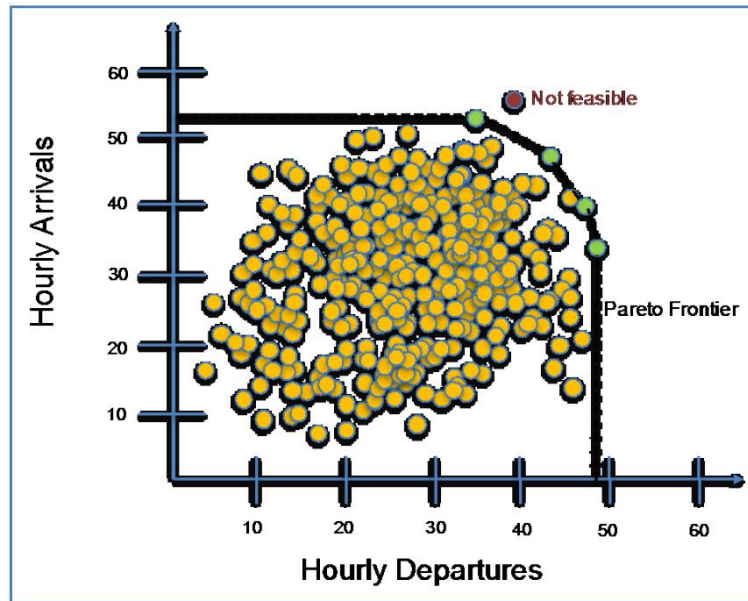
資料來源：[7]。

圖 2.26 Airport Capacity Assessment Methodology 容量與延滯之關係

本文獻第 3 章最後認為機場空側容量依其用途可分為 3 種：遠期規劃用之容量(Structural Capacity – Macro Strategic)、中期規劃(針對 18 個月或更遠之後預期將發生之狀況)用的容量(Planned Capacity – Strategic)以及短期運轉(針對數天後預期發生之狀況)用的容量(Operational Capacity – Pre-Tactical)。

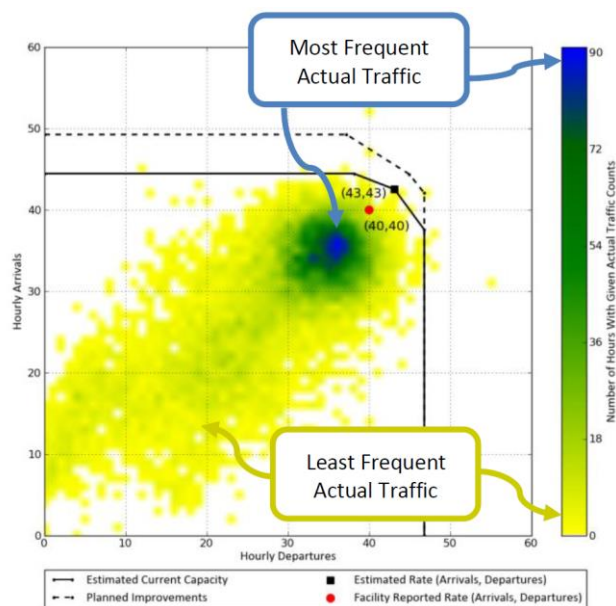
本文獻第 4 章(Measuring Airport Capacity)之主軸在說明衡量機場空側容量之概念，但並未提出具體之實施方法。文中說明評估機場空側容量時，應先釐清評估之目的(需要瞭解機場因應需求成長之能力、配合規章要求而評估容量或因為內外環境變化而需要修正既有之容量估算)以及所欲評估之容量種類(遠期規劃用、中期規劃用或短期運轉用)。而評估容量之方法則可由歷史紀錄歸納、利用查表或解析方法為之或使用系統模擬。其內容對 3 種方法均各以半頁以內之篇幅提供基本描述，但未進一步提出具體步驟或內容。

至於衡量容量之單位則可使用小時(或更短時段)、日或年之容量。在跑道容量方面，該文獻提出柏拉圖前緣(Pareto frontier)之概念，認為可用柏拉圖前緣表現機場之跑道容量，而跑道之容量亦受不同起降比例之影響，使用柏拉圖前緣比利用單一數字呈現更為恰當。其示意圖如圖 2.27 所示。而美國 FAA 亦使用類似之形式呈現其資料，如圖 2.28 所示。



資料來源：[7]。

圖 2.27 跑道容量柏拉圖前緣示意圖



資料來源：[15]

圖 2.28 FAA 所使用之跑道容量圖

最後，此文件第 4.4.2 節整理了影響跑道容量之 3 類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。其中跑道運轉模式包含起降航空器占用跑道之時間長度、機尾亂流所帶來之隔離需求、商務機之影響、降低噪音需求之影響、政策對小時起降數或機型之限制、以及空域狀況。

其中空域之狀況則具體以可接受之小時起飛或降落架次數概括代表之。跑道不良狀況則包括計畫性或非計畫性維修關閉、跑道燈故障或助航儀器故障等。

2.5 其他國際文獻

本節回顧與本計畫主題相關之其他國際文獻。基於對利益之保護，在公開領域可見之研究成果，若欲用以進行核心技術之開發，通常實用能力不高。在 2010 年所出版之 *Planning and design of airports* 專書^[16]認為影響跑道之小時容量之最主要因素為前後航班間之時間間隔^[16]，第 489 頁)。其餘之重要因素則有^[16]，第 514 頁)：能見度與雲層高度、跑道之實體布置、航管之隔離規則、跑道運用策略、航空器機型之組成、離到場航班比例、連續起降航班數量以及跑道出口之數量及空間布置。

出版於 2012 年之 *Evaluating Airfield Capacity* 文獻[14]第 1 章認為機場之容量可有 2 種不同定義：可持續之最大通過量，或實際可用之服務量。前者指在需求充裕之狀況下，機場在指定時間長度內可合理服務之量，而後者則指機場在指定的服務水準下可達到之服務量。其中服務水準多以年平均每架次之延滯量衡量之。

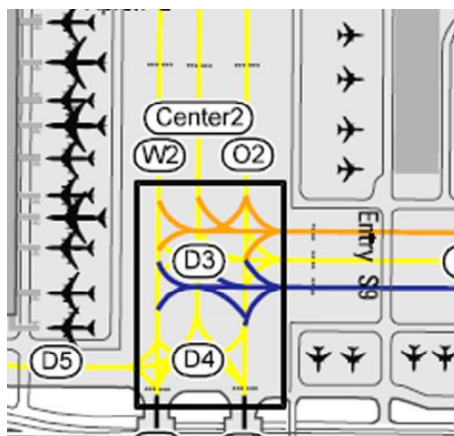
於 2014 年出版之 *Defining and Measuring Aircraft Delay and Airport Capacity Thresholds* 文獻^[13]以第 2 章專章說明延滯，提出較深入之說明。其中認為所謂延滯可有 2 種不同之定義。其中一種是將觀察值與表訂計畫相比較，觀察活動實際發生之時間與表訂時間之差異作為延滯量，而第 2 種則將觀察值與理想值相比較，觀察活動所實際耗用之時間長度與理想狀況下所需要之時間長度之差異作為延滯量。其中前者可以航班之表訂後推時間與實際後推時間的差異為代表，而後者則可用航空器由停機位移動到跑道入口之實際滑行時間長度與理想狀況下(不受任何外在因素干擾)之滑行時間長度之差異為代表。文獻指出不同單位所需要之延滯可能不同：FAA 為了監理之目的，可能需要注意航班之準點狀況，屬於前者；而機場營運單位為了維持機場之順暢運轉，則可能需要注意航空器之滑行時間長度，則屬於後者。

較晚近之文獻 Analytical Method for Calculating Sustainable Airport Capacity[13]將機場之主要設施區分為跑道、滑行道及停機坪，並指出機場各種設施之容量評析方法可大略分為五類：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^[6]所建議之方法即屬於前 2 者。本計畫所擬使用之方法則屬航空器模擬法，為 5 類方法中之最先進者^[13]。

在機場空側 3 類最主要設施：跑道、滑行道及停機位中，跑道具具有相當重要之關鍵，亦為 3 者中被研究最多者。例如 Tascón and Olariaga ^[17]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 and Zhong ^[18]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估算更為複雜，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 ^[19]提出解析方法，以及後續之進一步強化^[20]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，專書^[16]對此亦未予著墨。略早 Anderson and Milutinović ^[21]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, Tošić ^[22]用以分析德國 Munich 機場複雜的滑行道問題。圖 2.29 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：[22]。

圖 2.29 德國 Munich 機場之複雜滑行道

在個別機場方面，文獻^[15]說明了美國 30 座核心機場之跑道容量。該報告包括了目視、邊際以及儀器 3 種天氣條件，分別呈現各機場之每小時跑道起降次數容量。飛行路徑中、終端空域以及機場在跑道以外區域之影響則不在考慮範圍內。

2.6 商用軟體

市面上雖有功能強大之商用軟體，但基於對商業利益之保護，各公司均嚴密保護其各自開發之核心技術。文獻^[13]簡要介紹了 4 種以系統模擬為基礎之商用軟體，於本節依原著之順序摘要整理之，並再補充其他軟體之回顧。

1. SIMMOD^[13]

此軟體建立節點與節線所構成之網路，並使航空器在網路中沿節線由一節點移動到另一節點，據以模擬航空器在空間中移動之過程。該系統假設航空器在節線上移動時其速率必固定為其預設值，而若需要調整時間以滿足隔離需求時，則假設航空器在節點上等待。而系統即以此種等待時間作為延滯量。該系統之主要產出為到場航空器發生在空域之延滯、降落後滑行之延滯、起飛前排隊等候之延滯、以及離場後發生在空域之延滯。

2. TAAM^[13]

此名稱為 Total Airspace and Airport Modeler 之縮寫。該系統可計

算航空器由停機位出發直到抵達下一機場停機位的過程中各處所發生之延滯。本系統對延滯量之計算，是以觀測模擬過程所得之運轉時間長度與理想狀況(該航空器進行相同的運轉但無任何其他干擾)下之運轉時間長度兩者之差異作為延滯量。該系統可產出之延滯量包括：等候停機位之延滯、後推延滯、跑道延滯、等候起飛之延滯、滑行路程上之延滯、地停延滯、飛行過程中之延滯等多項，並可區分滑行過程中在每一段滑行道之延滯量。

3. ARCPort^[13]

此系統與 SIMMOD 同樣使用節點與節線所構成之網路為基礎，在進行系統模擬之後可產出航空器在空域、滑行過程、等待進入跑道起飛時之延滯，亦可產出等候停機位之延滯時間。

4. CAST^[13]

此一名稱為 Comprehensive Airport Simulation Technology 之縮寫。此系統可進行系統模擬，並產出航空器之滑行時間、等候時間、航空器排隊長度、準點狀況、延滯時間、跨越跑道次數、跑道被占用時間等基本數據。

5. RunwaySimulator^[23, 24]

此軟體為 MITRE 公司之產品，為中尺度解析度，專用以評估跑道容量之原型軟體(Prototype Software)。該軟體以 Java 語言寫成，並使用 AIXM-XML 作為輸入檔之格式。

6. Airtop^[25]

此系統為 Transoft Solutions 公司之商用產品，有能力進行航空器由一座機場之停機位出發，直至抵達下一座機場之停機位間過程之模擬。在模擬此一過程時，由使用者先設定解衝突之規則，再由軟體依此模擬。其模擬項目則包括了使用跑道順序、地面勤務車輛、航空器除冰、陸側乘客行為等。

2.7 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^[26]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^[27]使用 SIMMOD 軟體模擬北高空運走廊之運作；彭冠儒^[28]使用 SIMMOD 進行桃園國際機場與臺北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^[29]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^[30]使用 ANS 為基礎，進一步納入天候之考量；俞瑞華(2003)使用 ANS 探討 3 種飛航管制策略之績效；吳世偉^[31]則使用 SIMMOD 商用軟體以進行延誤在航機之間擴散之現象。

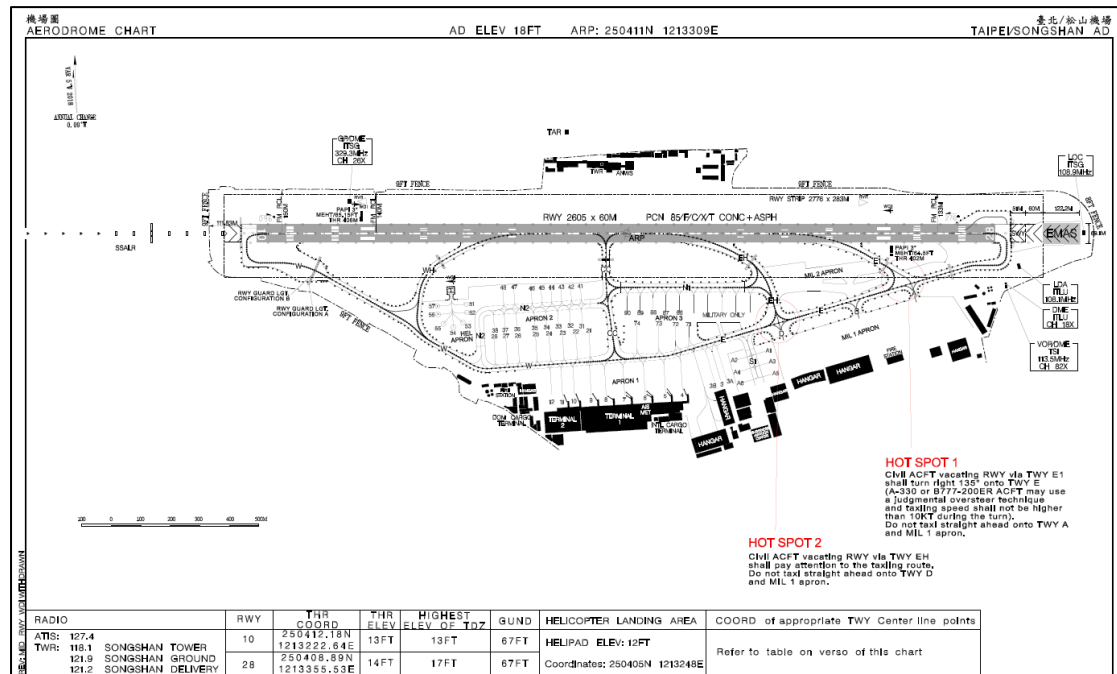
以上各論文之研究，其進行模擬之功能以使用商業套裝軟體者為多。在國內研究成果中亦有自行研究開發模擬技術者，如 ANS(Air Net Simulation)模擬模式^[29, 30, 32]。該研究使用於臺北飛航情報區與終端管制區域之模擬^[33]。此模擬模式採事件模擬方式進行，屬微觀之模擬模式。於執行模擬時，系統維持一「事件排程表」，據以管理過程中所使用之各事件。其軟體分為資料庫模組、網路模組、以及模擬模組等 3 個主要模組^[33]。系統在模擬模組下，再建有 7 個模組：航機產生模組、起飛等候模組、跑道管理模組、脫離跑道模組、離到場模組、進場模組、與接續班機模組。

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。此種限制使得本計畫無法參採其所開發之技術。

2.8 臺北松山機場資料

臺北松山機場位在臺北市，由臺北國際航空站所管理。機場之參考點為經緯度為東經 121 度 33 分 09 秒、北緯 25 度 04 分 11 秒，亦即在臺北市東北方距市中心約 4.8 公里處。機場之總面積為 213 公頃^[34]，其平面配置如圖 2.30 所示^[35]，呈現了該機場之跑道、滑行道、停機坪、停機位等資訊^[36]。

臺北松山機場具有 2 座航廈，其中第 1 航廈面積較大，以服務國際線為主^[34]，而第 2 航廈則面積較小，以服務國內線為主^[34]。

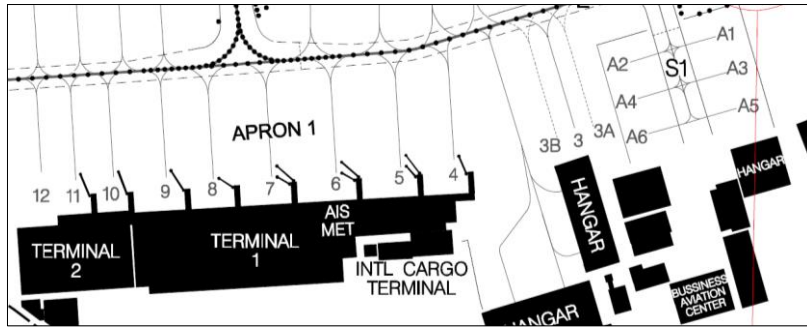


資料來源：[35]

圖 2.30 臺北松山機場平面配置圖

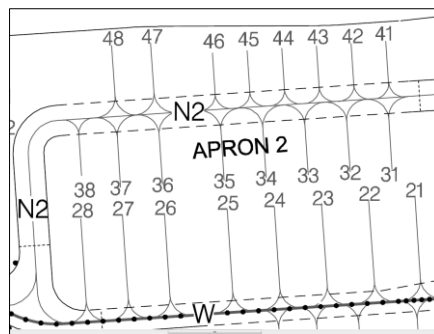
臺北松山機場共有 3 座停機坪，分別有 18、24 及 9 席停機位，共計 51 席^[37]。另有直升機停機坪 1 個，具有 7 席停機位。其詳細布設狀況如圖 2.31、圖 2.32、圖 2.33 及圖 2.34 所示。這些停機坪之一般停放原則如下^[38]。

1. 國際航線班機：停機坪 1 的 4~9 號停機位為運作坪。
2. 國內航線班機：停機坪 1 的 3(包含 3A 及 3B)、9~12 號停機位及停機坪 2、停機坪 3 的遠端接駁機坪(21-28、31-38、71-74、86-88)。
3. 9 號停機位國內線及際航班皆可使用。
4. 商務專機由航務組指定停機位，原則以商務機坪(A1、A2、A3、A4、A5 及 A6)為主，遠端接駁機坪(41-48)為輔助運作機坪。
5. 商務專機停留超過 3 天以上者，原則停放遠端接駁機坪(41-48)，商務機坪僅提供短暫停留以上下旅客使用。



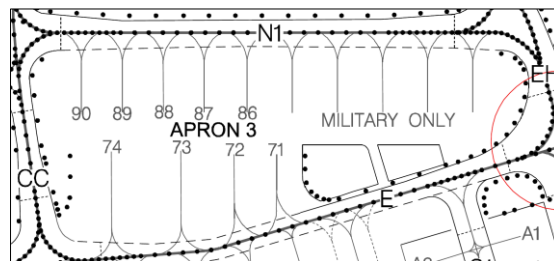
資料來源：[35]。

圖 2.31 臺北松山機場停機坪 1 平面圖



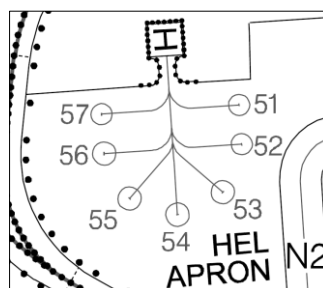
資料來源：[35]。

圖 2.32 臺北松山機場停機坪 2 平面圖



資料來源：[35]。

圖 2.33 臺北松山機場停機坪 3 平面圖



資料來源：[35]。

圖 2.34 臺北松山機場直升機停機坪平面圖

臺北松山機場因跑滑道配置之型態，有 2 處熱點(Hot Spot)常有航空器發生錯誤，錯過塔臺所指示之滑行道而誤入軍方機坪^[35]。其中之一是由 E1 滑行道脫離跑道之後，未立即右轉進入 E 滑行道而直行 A 滑行道，則將誤入軍用機坪。另一為航空器由 EH 滑行道脫離跑道後，直行 D 滑行道而誤入軍用機坪。

本計畫經訪談已取得臺北松山機場在 2019 年 8 月 9 日至同月 16 日之間，為期 7 日之真實動態紀錄資料。其中含有進場資料 738 筆、離場資料 720 筆。由於其中於 8 月 16 日下午約 18:30 時有 1 筆連續起降資料同時計於進場及離場，整體合計共有 1457 筆資料。這些資料涵蓋了 22 家航空公司、42 種不同之機型，其 ICAO 分類有大型機 6 型、中型機 28 型及小型機 8 型。以機尾號區分時，總計有 138 架不同之航空器於此段時間內使用過臺北松山機場。以上資料整理於表 2-1。

表 2-1 臺北松山機場動態紀錄資料整理

項目	數量	說明
進場	738 筆	
離場	720 筆	
整體	1457 筆	連續起降併計為一筆
航空公司	22 家	
重型機	6 型	
中型機	28 型	
輕型機	8 型	
機型合計	42 型	
機尾號	138 架	

註：2019 年 8 月 9 日至 16 日資料。

臺北松山機場 2020 年夏季時間帶協調參數^[39]，每一出境航班之最小隔離時間為 20 分鐘，如 2 航班中含 1 架 E 類航空器，其最小隔離時間為 30 分鐘；如 2 架均屬 E 類航空器，則最小隔離時間為 60 分鐘。入境航班之最小隔離時間亦同。此外，上午 7 時以前及晚上 8 時以後不再增加 A330 型航空器起降。

交通部民航局曾由 MITRE 公司進行臺北松山機場之跑道容量分析^[40]。該報告書說明其中使用模擬機 TARGETS，但並未說明其核心技術。

2.9 桃園國際機場資料

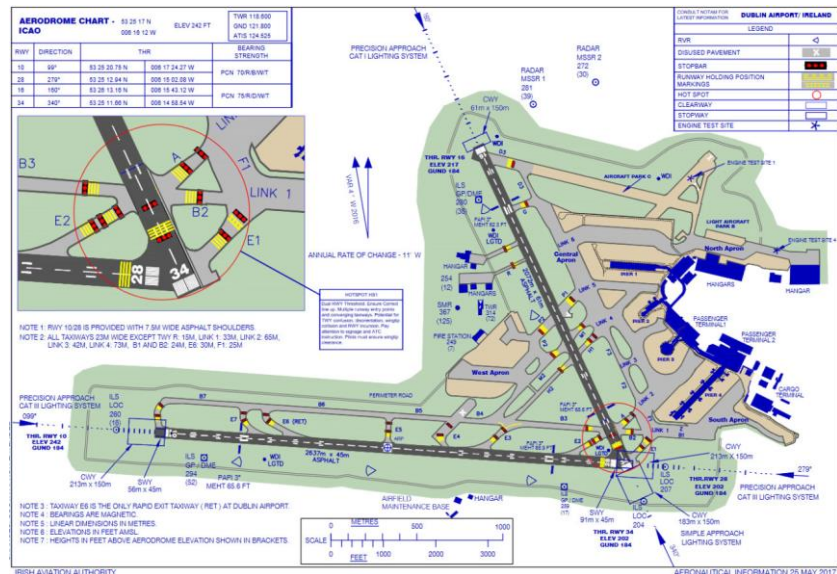
桃園國際機場 2020 年夏季時間帶參數^[39]，在跑道的部分起飛 06:00 至 09:59 時段為每小時 32 架次，其餘時段為每小時 30 次；降落則為每小時 30 架次。於 06:40 至 00:59+1 時段採雙跑道計，起降合計不超過每小時 50 架次，每 2 小時 90 架次。01:00 至 06:39 時段採單跑道計，起降合計不超過每小時 30 架次。全日時間帶上限為 830 架次。在停機坪部分，作業機坪於 00:00 至 04:59 時段客機為 24 個、貨機 9 個，其餘時段則為客機 57 個、貨機 17 個；另新增航班地停時間，ICAO A、B、C 類航機(窄體機)不超過 2 小時，ICAO D、E、F 類航機(廣體機)不超過 3 小時，A380 機型則須先取得桃園國際機場同意。

交通部民航局曾由 To70 公司進行^[41] 桃園國際機場未來 3 條跑道之相關研究。該報告書說明其中使用縮時模擬，但未揭露其核心技術。

2.10 都柏林機場資料

都柏林機場(Dublin Airport)位在愛爾蘭，由政府所營運。該機場每年旅客量約為 3,200 萬人次，大約介於臺北國際航空站與桃園國際機場年旅客量之間。

該機場配置有 T1 與 T2 等 2 座航廈，與我國臺北松山機場與桃園國際機場類似。在空側設置 2 條跑道，其中負擔 95%以上之主要跑道為 10-28，其方位與我國臺北松山機場之跑道相同。另一起降量較少之跑道為 16-34。空側另配置 92 席停機位以及 36 席之長時間停留停機位。機場之場面布設如圖 2.35 所示。



資料來源：[42]。

圖 2.35 愛爾蘭都柏林機場平面配置圖

該機場曾經於 2017 年使用 AirTOp 軟體進行空側及陸側容量分析。在其中 10-28 跑道容量分析的部分，其分析時係將所有航空器區分為螺旋槳、757、A-C 類以及 D 類以上，總共 4 類。而分析時則假設每一類航空器占用跑道之時間長度以及進場速率均為固定值如表 2-2 所示。在航管方面，則設定對於到場與到場航空器之間的隔離為 3.5 哩、離場與離場航空器之間的時間淨距為 84 秒、離場與到場之間的隔離則設定為 2 哩。分析結果發現該跑道之降落容量為 24 架次、起飛容量為每小時 41 架次；若以起降混合模式運轉時，則每小時的起降合計容量為 48 架次。在滑行道方面，該分析結論認為該機場之滑行道系統足以支持跑道之運轉而不會發生長時間的延遲，但亦指出無法分析出滑行道之容量。

表 2-2 都柏林機場跑道容量分析參數

	占用跑道時間(秒)		進場速率 (節)
	28 跑道	10 跑道	
螺旋槳	50.2	58.9	130
A-C 類	58.6	53.9	135
757	67.6	71.2	140
D 類以上	75.5	75.2	150

資料來源：[42]。

第三章 影響空側容量核心因素

3.1 研究範疇

本計畫聚焦於國際機場空側，以本所 107 年研發之航空器模擬技術為基礎，開發機場空側容量評析方法。第 1 年以臺北國際航空站為主要研究對象，而第 2 年則以桃園國際機場為研究對象。

機場空側之主要實體設施為跑道、滑行道及停機坪，為本計畫所探討之主要範圍，不包括空域。此一界定與國際文獻[6]及[7]一致。在此 3 項設施中，跑道為所有航空器到、離場所必經設施；滑行道為供航空器在地面移動之設施；而停機坪又劃分為多數停機位，為航空器停留以及執行加餐、加水、清艙及其他地停作業之空間。本計畫以系統模擬技術，在抽象模式中呈現航空器在機場空側活動狀況，並以此為基礎開發容量評析方法。

本計畫將以正常營運狀況做為評估空側容量之範圍，不包括極端氣候(例如颱風)、突發狀況(例如人員或動物入侵)、或其他特殊或相對罕見狀況下之容量評析。

3.2 目標

本計畫之主要目標有下列 2 項：

1. 開發空側容量評析方法

以學理為出發點，研發有系統之機場空側容量評析方法，產出一套可用之分析程序。

2. 開發成果應用方法

好的容量分析程序並不同於容易使用。本計畫之第 2 項目標在研發一套可供實務界易於使用之操作方法，以使第 1 項目標之成果能較易為使用者所應用。所開發方法以未來能夠持續精進成為電子式機場空側容量手冊便於查用，做為遠期目標。

3.3 容量基本論述

本計畫定義容量為機場整體，或機場之某設施，平均在一小時內能夠處理服務之航空器數量。此定義與文獻[6]第 2 頁之說明一致，亦為文獻[7]第 4.3 節所建議方法之一。若航空器每次使用時間有超過 1 小時，則每小時之容量可能小於 1。例如，假若航空器使用停機位時，其每架次占用時間均為 2 小時，則每席停機位每小時之容量為 0.5 架次。

本計畫假設機場空側各設施之容量相互獨立。此假設與文獻[6]第 2 頁之說明一致。在此假設下，機場空側之 3 種主要實體設施之容量是可以分別評估其容量的。之外，本計畫均以穩定態作為容量分析之基礎，此與民用機場設施能量表之基本概念^[45]不同。有關穩定態將於後續章節討論本計畫各項基本假設時再詳細論述之。

依上述論述，機場空側各設施可獨立各自評估其容量。其中機場空側容量係指機場空側每小時可服務之架次數；跑道容量指機場之跑道每小時可服務之最大架次數；停機位組容量指某一停機位分組平均每小時可服務之最大航空器架次數；最後，滑行道容量指滑行道系統可支持之最大小時起降量。

3.4 影響跑道容量之核心因素

機場空側之跑道、滑行道及停機坪 3 類實體設施中，以跑道最為關鍵。而影響跑道之小時容量之最主要因素為前後航班間之時間間距^[16]，其原因在於跑道運轉時必須嚴格遵守航空器使用跑道進行起飛或降落操作時不容許任何其他航空器同時使用跑道，以及前後使用跑道起降之航空器間必須有適當時間隔離之規則。

實務運作時，在任一時間點僅可容許一架航空器占用跑道，並不允許 2 架或多架航空器同時在同一跑道上進行起飛或降落之操作。為了達到更緊湊利用跑道之目的，實務上有時在連續放行 2 架離場航機時，第 1 架離場航機開始滾行離開跑道頭位置，雖加速但尚未離地，管制員即允許第 2 架航機進入跑道等待。同樣，降落航機後要放行 1 架離場航機，當降落航

機通過降落跑道頭以後，不需等降落飛機脫離跑道，就可允許離場航機進入跑道頭等待。但此時先行進入跑道頭等待之航空器，實質上並未占用跑道(也因此而為等待狀況)，也並未牴觸任一時間點僅容許一架航空器占用跑道之原則。

上述時間關係可用圖 3.1 說明之。該圖之橫軸為時間軸，呈現 A 與 B 之 2 架航空器先後使用跑道進行起飛或降落之操作。究竟各航空器是起飛或降落並不影響本圖之結構，而此圖之時間軸亦未定義比例尺，因此長度無意義，與數線不同。在該圖中航空器 A 比 B 要早使用跑道，因此依上述規則，B 必須待 A 脫離跑道，再經一段隔離時間之後才可占用跑道。因此圖中依序可見標示 4 個時間點：A 占用跑道、A 脫離跑道、B 占用跑道及 B 脫離跑道。本計畫將任一航空器占用跑道至脫離跑道之時段稱為占用跑道時間、將前一航空器脫離跑道至下一航空器占用跑道間之時段稱為淨距，而二者之和即為前後航空器間之時間間距。因此由本圖可以觀察到，時間間距直接影響跑道容量(此與文獻[16]之論點一致)，而航空器占用跑道時間及淨距則直接影響時間間距。至於各種時間之確實長度則視各航空器係起飛或降落、機型、當時天候及管制員作為而定，在此不予討論。

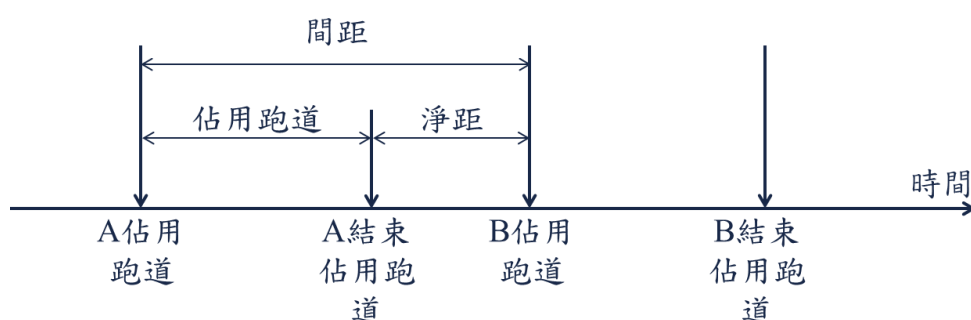


圖 3.1 前後航班於跑道時間間距示意圖

如前文獻回顧所述，影響跑道容量之 3 類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^[7]。以下將以此 3 類因素進行更深入之論述。

3. 跑道運轉狀況

此類因素廣泛指多種影響跑道運轉之狀況，包括航空器占用跑道之時間愈長，跑道容量將愈低、機尾亂流隔離時間愈長，跑道容量愈

低、航空器之機種組成影響所需要之時間間距等。此外，機場之降低噪音程序亦可能使航空器延後航空器脫離跑道而增加航空器占用跑道之時間長度。而機場亦可能受到政策或其他規定而必須降低每小時之起降次數，因而直接影響跑道之容量。此外，航空器之使用跑道進行起降操作，均在管制員之引導及許可下進行，因此管制員之人力充裕程度影響平均每小時可服務之航次數，因而亦將影響跑道之容量。最後，外站機場實施流量管制時，亦將有可能影響本場跑道每小時可放行之架次數，或由外站飛來之架次數。

4. 跑道不良狀況

此類因素指各種計畫性或臨時性，影響跑道運轉之狀況，包括預排之跑道關閉維護時段、突發之跑道關閉(例如發現跑道上異物)、跑道燈或監控系統故障等。如前所述，本項屬臨時干擾，本計畫並不考慮此類因素。

5. 天候因素

機場之運轉對天候狀況相當敏感。不良天候包括低能見度、低雲、強風或其他許多可能之狀況，對飛航造成之影響亦相當複雜，而儀器天氣與目視天氣亦有不同之容量。但由跑道容量之立場觀之，絕大部分之直接影響為航空器使用跑道時占用跑道時間長度之延長，以及前後航空器之間的時間間距之延長。二者均降低跑道容量。

由上述分析可觀察到，文獻[7]並未論及空域活動之狀況如何影響跑道容量。在另一方面 2012 年之文獻 Evaluating Airfield Capacity^[14]則認為空域對機場容量(Airfield Capacity)之影響因素有下列 5 項，說明於下。

1. 最後進場階段

在此所謂最後進場階段(Final approach segment)指航空器在進場過程中，通過最後進場定位點(Final approach fix, FAF)之後，到進入跑道之間的航程。該文獻指出此段航程之飛行速率及高度並非由管制員所指定，而是依航空器之性能及當時狀況由駕駛員控制，而且彈性相當有限。而管制員所能控制的，是到場航空器抵達 FAF 之順序、組成以及間隔。由於航空器在此階段之飛行速率可調整之彈性相當有限，因

此當慢速機在前而快速機在後時，管制員必須加大其間之間距以維持所需要之隔離。當航空器於起飛之後因故無法快速轉向時，離場航空器之間亦會有類似之現象，而此時空域因素亦會影響航空器使用跑道時之時間間距。

2. 緩衝時間

所謂緩衝時間(Buffer)指航空器之間依規章所要求之隔離外，管制員依其專業判斷所額外加入之時間間隔。依該文獻之分析，管制員納入緩衝時間之決定有多種考慮因素，例如維持更高的安全性，或為等待離場之航空器創造起飛空間等。

3. 航點流量限制

該文獻指出當連續多數離場航空器均在起飛之後通過同一航點(Waypoint 或 Fix)時，有可能會造成該航點之空域過於擁擠不利航情。此時管制員可採取之手段為加大起飛之間的間距。因此這種狀況下，空域航情影響跑道容量之機制為影響航空器使用跑道時之時間間距。

4. 起飛後轉向

通常若航空器於起飛後也快速轉向(例如右轉 30 度等等)，則有利後續起飛之航空器快速接續起飛，否則後續起飛之航空器即需要拉大其起飛間隔。因此本項因素對跑道容量之直接機制為影響航空器使用跑道時之時間間距。

5. 鄰近機場

地理位置相近之機場有可能在空域產生相互影響，例如我國之臺北國際航空站與桃園國際機場即是。相互影響之態樣相當複雜，但對跑道運轉之直接狀況為航空器無法在最有利的時間點使用跑道，而需要額外之等待，亦即增加了前後航空器之間的時間間距。

在非空域因素部分，文獻[7]則整理出影響機場容量(airport capacity)之因素有空側設施之幾何布置、機尾亂流、跑道使用限制(例如機場具有 2 條跑道，但大型航空器僅可使用其中 1 條因而造成其中之一暫時閒置)、進場速率、天候、跑道運用模式(例如起降分離或混合)、航空器占用跑道時間、平行跑道之互相影響等，在此不再逐一詳細說

明。

綜合以上不同文獻之論述，整理影響機場跑道容量之主要因素如表 3-1 所示。檢視該表可發現，影響跑道容量之因素相當多樣而複雜，但各種因素影響跑道容量之直接機制，大都為影響前後時隔(淨距)以及小時架次之上限。依前述圖 3.1 所示之概念及其相關論述，小時架次上限與使用跑道之平均時間間距下限具有一對一之對應關係，而在已知淨距之條件下，平均時間間距又進一步與占用跑道時間有一對一之對應關係。因此占用跑道時間與淨距為決定跑道容量之最核心因素，而表 3-1 所示之大部分項目，則間接影響此 2 因素。

表 3-1 影響跑道容量之主要因素

項目		影響容量機制
1	航空器占用跑道時間	影響前後時隔
2	降低噪音作為	影響占用跑道時間長度
3	政策對流量之限制	影響小時架次上限
4	塔臺或其他人力限制	影響小時架次上限
5	外站機場之流量管制	影響單位時間可放行之架次
6	天候	影響前後時隔
7	跑道運用模式	影響前後時隔
8	平行跑道隔離	影響前後時隔
9	亂流隔離需求	影響前後時隔
10	跑道使用限制	有時造成跑道閒置
11	進場速率	影響前後時隔
12	最後進場階段	影響前後時隔
13	緩衝時間	影響前後時隔
14	航點流量限制	影響前後時隔
15	起飛後轉向	影響前後時隔
16	鄰近機場	影響前後時隔

3.5 影響停機位組容量之核心因素

停機位是停機坪上供航空器停放之指定區域^[1]。影響停機位容量之最主要因素為每一架次使用之占用時間，以及管理運用之規則。其中前者偏

向停機位本身之性質，而後者則偏向使用方式對容量之影響，以下分別論述之。

停機位之基本功能是供航空器停放之用。任一架航空器停放於停機位必有其目的，例如進行加餐、清潔等地停所需之作業，或僅做為暫時停放之用等等。這些作業會影響航空器占用停機位之時間長度，而此時間長度則影響該停機位可供下一架航空器使用之時間點。如第 3.3 節之說明，停機位組之容量以每小時可服務之架次數為單位，因此下一架航空器使用之時間點將直接影響停機位之容量，而該時間點又直接由航空器占用停機位之時間長度所決定。基於以上論述，可知影響停機位組容量之核心因素為每一航空器占用停機位之時間長度，而於占用停機位時所進行之作業內容及其效率則為間接因素。而聚焦於此核心因素時，則可將航空器與停機位組視為顧客與伺服器之關係，亦即當航空器抵達停機位組時，若有可用空位則直接進入，否則即等待。

實務單位於管理運用停機位時，雖基本上與上述顧客-伺服器之模型相符，但必須考慮許多實務考量。實務運作時，停機位之指派多為兩階段作業：前一日之預派，以及當日之即時指派與即時預派，而兩階段所依循之規則不一定全然相同。同時，在某些條件下，不同組之停機位可相互支援。在預派制度存在之狀況下，航空器之預定抵達以及預定離開時間即對停機位容量造成影響，而此又直接受到航空器準點狀況之影響。這使得當航空器抵達停機位組時，其行為即不一定遵守前述有空位即直接進入之原則，而是受到即時指派與即時預派規則之影響。由此可推論，相同之停機位組，在不同之指派規則下可能會有不同之容量。

由上述論述之出發點檢視每一架次使用之占用時間，以及分組運用之規則兩項影響容量之最主要因素時，可發現前者偏向停機位設施本身，而後者則偏向負責停機位管理維運之航務人員之判斷及運用策略。基於第 3.1 節所確立之研究範疇，本計畫以探討機場空側 3 項主要實體設施為範疇。因此將採用前者，亦即以每一航空器占用停機位之時間長度為核心因素。

實務運作時，當一航空器離開某停機位時，下一航空器並不可直接進

入，而是必須間隔一段轉換時間。以分析容量為目的時，可將該轉換時間視為前一航空器占用停機位時間之一部分，對容量分析並無影響。

3.6 影響滑行道容量之核心因素

滑行道為供航空器滑行之路線，用以連接機場某一區域與其他區域[1]。依實務規則，航空器在滑行道活動(主要為滑行，但亦有拖機等其他活動)時必須維持安全，不可任意追越(在某段滑行道同向運行之航空器交換先後順序)或交會(在某段滑行道反向運行之航空器交換相對位置)。因此航空器在滑行道之行為可視為每一架航空器在任一時間必須占用某段空間，而物理定律則要求航空器在時間維度上，連續先後占用的空間，其所在位置亦必須為滑行道上之相鄰位置。

由上述觀點，可以導出影響滑行道容量之核心因素有 3：航空器之活動空間、航空器在滑行過程中占用了哪些位置，以及在每一位置占用之時間長度。這 3 項核心因素投射到真實機場之滑行道系統時，即成為滑行道之幾何布設、航空器滑行路徑以及其運行時間。其中第一項可用網路模型描述之，而後 2 項則為網路上之排程問題與排點問題。此 2 問題均具有相當之複雜性。

第四章 空側容量分析方法

4.1 概述

機場空側是一個複雜的場域，許多活動均同時發生並且相互影響。如前所述，本計畫之目標成果是開發機場空側容量分析之方法，以及開發應用這些成果的方法。本章之主要內容在介紹前者，亦即機場空側容量分析方法之開發；對於後者則將在適當位置做較大略之介紹。

本計畫將機場空側劃分為跑道、滑行道及停機位三種不同設施(與文獻[6]及[7]一致)，分別開發計算容量之方法，並綜合分析機場之整體容量。所開發之方法均允許3種設施個別獨立運用，亦允許綜合評估整體容量。

在此種基本架構下，最重要也是最難以處理的技術挑戰之一，是各設施之間相互影響之釐清。茲舉一例以說明其間之複雜性以及難以明確界定劃分之狀況。此例之目的僅在利用簡化的情境來凸顯機場各種設施之間複雜的相互影響以及難以劃分之容量評析；此例之目的並不在做任何個案之探討。針對此例進行個案探討是沒有意義的。

考慮一座運轉中之機場，並觀察一架離場航機由停機位後推，經滑行道前往跑道並起飛離場之過程。假設吾人已知若該機場空側僅有該航機之活動而無其他任何活動(亦即理想狀況)，則完成上述過程需要15分鐘。而實際觀察並量測則發現總共耗時25分鐘。因此可以很容易計算得到該航班之起飛活動過程中，發生了10分鐘之延滯。再假設進一步分析數據發現該航空器於抵達跑道入口之後，因故停等8分鐘才獲得許可進入跑道。

若基於上述情境之資訊，因為觀察到延滯發生在跑道入口，而歸納認為延滯是由於跑道容量不足所致，則顯然這種歸納之過程邏輯(非指歸納所得之結論)失之草率。原因是若已預見該航空器於抵達跑道入口之後可能會需要停等，塔臺管制員可以延後頒發該航空器在停機位之後推許可。此時延滯轉移到停機位而不在跑道入口，依相同之邏輯則可能認為跑道容量充

足，故未造成航空器延滯。但是實際上跑道容量並不會因為塔臺管制員調整頒發後推許可之策略而有所改變。

在另一方面，在相同情境下，若塔臺管制員維持相同之頒發後推許可策略，但該航班之機長操作航空器時，因故滑行速率較慢(例如因為管制員令其在滑行道之某路口停等另一架航空器先行通過)以致於較晚抵達跑道頭，則依相同邏輯，則可能認為跑道容量充足而滑行道容量不足，故造成航空器延滯。然而「滑行道容量不足有助跑道容量」之結論，亦顯然不合理。

上述簡例說明了文獻[7]所指出，管制員或其他相關人員往往能夠經由各種手段轉移延滯發生時機與位置之現象。而此一現象造成延滯可在各種不同設施之間轉移，又使得分別對各種設施設計容量分析方法時，不易釐清各種設施間之界限。

本計畫克服上述困難的策略，是將整座機場視為一個系統，並將跑道、滑行道及停機位三種不同設施各視為不同之模組，如圖 4.1 所示意。對每一模組，適當定義容量指標，再依其運轉之性質釐清其影響容量之外在參數。對整個系統而言，任一模組所需要之參數可能來自系統外，亦有可能來自其他模組，亦即以參數傳遞各模組對其他模組之影響。前者即為未來使用者利用本計畫所開發之方法對某真實存在，或虛擬情境之機場進行容量評估時所需要輸入之參數，而後者即為在分析過程中所使用之內部參數。

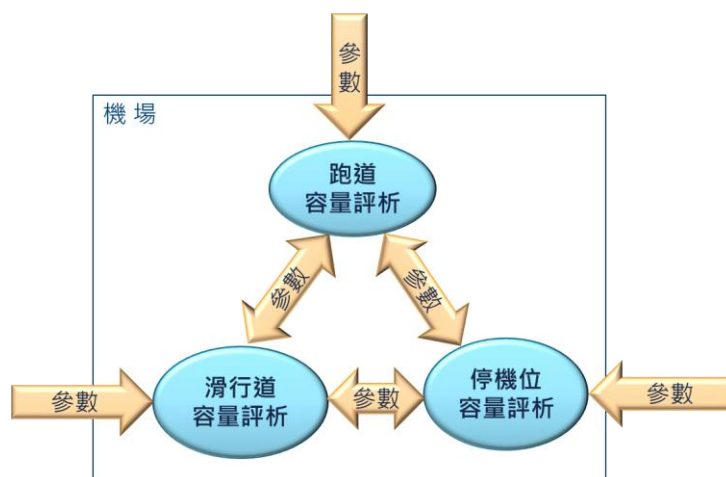


圖 4.1 容量分析系統架構示意圖

4.2 基本假設

本計畫所開發容量分析方法之基本假設說明如下。

1. 穩定態

所謂穩定態(steady state)指不隨時間之推進而變化之狀態。在此假設下，模擬時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。此種觀點與文獻[7]所指出，容量為機場設施之獨立基本性質相一致。

2. 容量以小時平均架次為單位

本計畫所開發之方法，評估所得之容量均以平均每小時可服務之架次為單位。此種設計與文獻[6]及[7]所提出之觀點一致。

3. 停機位分組使用

本計畫假設機場係以分組使用之方式管理其停機位，亦即機場中之所有停機位可區分為若干組，同一停機位不可同時屬於多個分組，亦不可不屬於任一組。每一架需要使用停機位之航空器均僅可使用一組，但在該組中允許使用其中任一席停機位。此種設計與文獻[6]之方法一致。真實機場對停機位之運用更為複雜^[38]，然此種設計已反映了真實機場常對其停機位依機型、航空公司、航線及其他性質而劃分組別分別運用之狀況。且本計畫之目的在評估停機位之容量，而不在產出真實可用之停機位運用計畫。若為評估、規劃之目的，則此種簡化之方法應已能產出具參考價值之容量評估結果[6]；若目的在產出機場維運單位真實可用之停機位運用計畫，或探討維運單位應如何調度分配使用以求高度發揮其可用之容量，則與容量評估之目的並不一致，所需要之技術亦不相同，二者無法兼得。

每個停機位組可能擁有 1 或多席停機位。本計畫假設每一席停機位在任一時間不可有多於 1 架航空器占用。若某停機位可常態性共多於 1 架航空器同時占用，則於進行空量分析時該停機位可視為多座停機位；若僅在特殊狀況下允許多於 1 架航空器同時使用，則依第 3.1 節之說明，不在本計畫範疇內。

4.空側航空器之位置

本計畫假設在任一時間點，機場空側所有航空器之所在位置必為以下 3 者之一：停機位(停放中)、滑行道(滑行中)、其他(例如進棚)。

5.航空器分類

本計畫假設所有航空器可依某種標準予以分類，各自設定其參數值。每一架航空器均屬於唯一的類別。而類別之數量至少為 1，上限無任何假設。分類之依據可依分析之目的採重量等級^[44]、起降速率^[46]、甚至翼展或其他任何標準，均不影響本分析方法之使用。

4.3 基本開發方向

如前所述，本計畫之目標成果是開發機場空側容量分析之方法，以及開發應用這些成果的方法。為了與這些目標趨於一致，本計畫所採之開發方向如下：

1.容量分析使用系統模擬技術

機場空側跑道、滑行道及停機位雖然相當複雜，但亦有研究提出分析容量之解析方法[16]。此外由歷史紀錄歸納出機場各種設施之容量亦為可行之作法[7]。然而基於系統模擬方法評估機場容量(airport capacity)之優越性[47]，且我國已掌握進行此類系統模擬之核心技術[9, 10]，本計畫將以系統模擬作為主要技術。

2.成果應用充份運用資訊技術

任何容量分析方法均不可能直接轉移給使用者即可方便、順暢自行依樣執行。完整的方法，須要適當軟體系統的承載，方有可能成為使用者可方便使用之工具。例如，若採用歷史紀錄歸納法，亦需要依歸納之方法將歷史紀錄整理成為方便查詢之圖表，而不能僅提出歸納之方法再期待使用者自行由原始之歷史紀錄中依樣進行歸納。使用解析方法，或者綜合二者所成之方法亦同，而此亦為文獻[6]之基本方向：提出方便直接查詢運用之圖表，而非將核心技術轉移予使用者。在另一方面，系統模擬具有相當之彈性，可依使用者所設定之各種情境而進行模擬分析。然而模擬系統操作複雜、資料準備耗時[48]，使用者往

往需要付出相當之經費或人力成本。綜合衡量上述狀況，並考慮我國民航機場數量並不多且相對單純(例如不預期未來出現交叉跑道之機場)，本計畫在成果應用方面，在方便查表的項目規劃利用模擬技術產生大量成果之後，製成方便使用之電子化圖表，配合資訊技術供使用者查詢；在不方便或不可能預先製表以借查詢之部分(例如滑行道系統之布設)則以互動方式提供使用者操作設定。開發成為可供使用者直接安裝利用之套裝軟體並不在本計畫範圍內，但本計畫將以此為目標方向，有利後續發展電子化之空側容量手冊。

4.4 跑道容量分析方法及評估指標

本節將說明跑道容量分析之容量指標、需要輸入之參數以及分析方法。而分析之標的為單跑道機場，因此並無雙跑道或多跑道之考量，且該跑道之運轉模式必定為起降混合。本項分析所需要之參數說明如下。

1. 最小時間淨距

前後航班間之時間間距為影響跑道之小時容量之最主要因素之一[16]。所需要之時間距除了受到前後航空器起飛或降落組合之影外，亦受到前後航空器類別之影響。使用時可依其分析之天候、儀航或目視等情境，設定對應各種航空器類別所需要之時間淨距。所欲分析之目標情境為機場之既有條件時，可使用歷史紀錄作為參數數值之來源。

2. 占用跑道時間長度之統計參數

實務上各航空器每次起飛或降落時占用跑道之時間長度需求受落地速率之影響[46]，而其實際占用時間長度則具有隨機性，並非一成不變，亦無規章之一致性規定。在每座機場，各種不同分類之航空器在起飛或降落時之占用跑道時間長度各有其規律性，可由歷史紀錄觀察統計以及專業判斷得到平均值、標準差甚至統計分布型態等統計量，以代表機場之既有條件。若欲分析其他目標情境則可依需求而設定本項參數。本項參數亦反映了進場航空器脫離跑道時所選用之出口與脫離跑道之出口速率，以及離場航空器起飛後轉向位置之遠近等因素之影響。此種設計之重要性在於本參數反映了這些複雜因素對跑道容

量發生影響之直接機制，可有效聚焦於跑道本身而大量簡化跑道容量分析之複雜性。

3.離到場航空器之數量比例

因為航空器在離場與到場時對跑道容量影響不同，因此分析容量時需要依分析者所設定之目標情境，提供此參數予模式進行分析。例如，若目標情境為機場之既有條件，則依既有條件而設定本項數量比例。

4.各類航空器之數量比例

不同類別之航空器在使用跑道時所使用之容量資源不同，因此分析時亦需要依分析者所設定之目標情境而設定本項參數。例如，若目標情境為機場之既有條件，則依既有條件而設定本項數量比例。

上述各項參數各有不同屬性。最小時間淨距除了受各種規章之規範外，亦受到航管作為之重大影響；占用跑道時間長度則主要受到航空器性能以及直接操作人員(航空器駕駛員)之影響，此 2 項屬於最核心之參數。而離到場航空器之數量比例與各類航空器之數量比例，則為需求面之參數。至於表 3-1 所整理，影響跑道容量之各項因素則屬更上層、透過核心參數而影響跑道容量。上層因素與核心參數間之數量化關係則有待後續研究持續釐清之。實際應用時，利用上述參數，模擬軟體可依參數所設定之起降比例、各分組之參數等輸入資訊，隨機產生起飛及降落之航空器清單，再模擬所有航空器使用跑道之狀況。而航空器在使用跑道時，其自身占用跑道之時間，以及前後航空器之間所需要之隔離時間，則依其所屬分類之參數設定而隨機產生。模擬完成之後再予統計即可得到跑道在所設定參數下之容量。容量之評估衡量指標為每小時可服務之架次數。

4.5 停機位容量分析方法及評估指標

本節將說明本計畫對停機位容量分析方法之設計。在前述停機位分組使用之基本假設下，如文獻[6]所指出，停機位之容量分析可對每一分組獨立進行，不同分組之間並不相互影響。因此以下之方法說明，均以單一停

機位組作為分析之標的，而所有納入考慮之航空器均允許使用該停機位分組中之任何停機位。至於如何同時考量所有停機位組之綜合容量，則將於評估機場空側整體容量時再說明之。

一個停機位組所能服務之航空器種類並非唯一。為此亦設計分析停機位容量時，其所服務之航空器亦可依類別各設定不同之參數。以下說明進行停機位容量分析時所需要之參數。

1. 占用時間需求長度

為了簡化說明、計算及資料製備，本計畫定義占用時間長度係包含前一航空器離開後，接續使用同一停機位之航空器可進入之間的轉換時間，併入前一航空器之占用時間中。每架航空器每次使用停機位時之占用時間長度(例如 40 分鐘^[10])對停機位容量亦具有重大影響。本方法預設每一類航空器之占用時間均為均勻分布，上下限已知。若欲分析之目標情境為機場之既有條件，則亦可使用歷史資料之統計分布；否則即依目標情境之狀況而設定本參數。

2. 停機位數量

所分析之停機位分組中，所擁有之停機位數量。此為本項容量分析之最基本參數，亦使用於文獻[6]之方法中。使用時可由分析者依所分析之目標情境而設定之。若欲分析之目標情境即為機場現況，則依既有條件設定之。

3. 各類航空器數量比例

此參數為使用本停機位組之所有航空器中，屬於各類航空器之數量比例。使用時可由分析者依所分析之目標情境而設定之。若欲分析之目標情境即為機場現況，則依既有條件設定之。

4. 各類航空器數量占機場該類航空器整體需求之比例

此參數定義了使用本停機位組之每一類航空器，其數量在該機場所有該類航空器中所占之比例，使用時可由分析者依所分析之目標情境而設定之。若欲分析之目標情境即為機場現況，則依既有條件設定之。例如，若在所分析之機場，在所有某 A 類航空器中，有 20% 會停放在該停機位組，則此參數為 0.2。若分析之目的僅在瞭解該停機位組

之容量而不在分析機場空側之容量，則本項參數不重要。

5.最大容許使用率

在此定義使用率為停機位之占用時間與總時間之比例。假設某停機位組含有 3 席停機位，則在 4 小時之運轉中，該組總共可提供 12 小時之停機位時間。若觀察到在這 4 小時當中，3 席停機位總共被使用了 8 小時，則使用率為三分之二，亦即 0.667。本項為使用者依其目標服務水準而設定，或依機場之既有條件設定之。

在上述各項參數中，占用時間需求長度為航空器在停機位完成下客、清艙、加油及其他地停程序所需之時間長度，主要反映技術面之因素；停機位數量則為該組停機位中所含有之停機位席次數，主要反映營運管理人員之資源運用策略，此 2 項於最核心之參數。在另一方面，各類航空器數量比例與各類航空器數量占機場該類航空器整體需求之比例則為需求面之參數；最後之最大容許使用率則反映了容量與服務水準先天上不可分割之事實，為相關之管理營運者對於停機位服務水準之主觀要求。至於停機位所在之地理區位、地停相關設施及人力之充裕程度及性能等影響停機位容量之因素則屬更上層、透過核心參數而影響停機位組之容量。上層因素之整理，以及其與核心參數間之數量化關係則有待後續研究持續釐清之。

停機位運轉時，上述各項參數共同影響了停機位之容量。試以一簡例說明之。假設某機場之某停機位組含有 3 席停機位、所有航空器每次使用均固定占用 1 小時(如上所說明係含轉換時間)、最大容許使用率設定為 0.8。則吾人可以簡單計算得到該組停機位在 10 小時之運轉中，可提供 24 小時之停機位時間，供 24 架航空器使用。因此容量為平均每小時可服務 2.4 架航空器。然而當考慮上述各種隨機性時，此種簡單計算即無法用以得到量化之分析結果，而需要使用系統模擬之方法為之。以質化之方式觀察分析時，則可推論所設定之最大容許使用率愈高，航空器抵達後無法立即進入停機位而需等待之狀況將愈高，但同時容量亦將愈高。

模擬過程中，航空器抵達停機位組時若有空位即進入，若無則等待。本項容量分析除了產出該停機位分組平均每小時可服務之最大航空器架次數做為容量評估指標之外，並可產出每小時服務之架次數、每架航空器

之平均等待時間、以及使用率 3 者間之關係。此關係將做為後續評估機場空側整體容量之重要參數。

4.6 滑行道容量分析方法及評估指標

本節將說明本計畫對滑行道容量分析方法之設計。本項分析所需要之參數說明如下。

1. 場面配置

分析情境之跑道、滑行道及停機位等硬體設施之幾何配置。若有多種不同之配置方案則須為每一方案獨立分析之。若欲分析之情境為機場現況則依既有條件設定之。

2. 航空器之起迄點

本分析方法假設所有在滑行道活動之航空器均有已知之起迄點，使用時可依該機場之歷史資料設定之，或依未來規劃之使用方式設定之。到場航空器則假設已知其選擇各跑道出口之機率分配，若欲分析之目標情境為機場現況，則其資料可由機場之歷史資料統計之，即為既有條件。若另有欲分析之目標情境則依該情境之條件設定之。通常到場航空器之起點為跑道而迄點為指定之停機位，而離場之航空器則反之。除此之外亦容許設定滑行道系統中之任何位置作為起點或迄點。

3. 其他參數

執行系統模擬所需要之其他參數，包括每一航空器之滑行速率(例如每秒 7.8 公尺[10])、拖機速率(例如每秒 4.2 公尺[10])、後推過程所需之時間長度、滑行中轉彎之時間損失、離場航空器在後推之後等待時間(例如 4.5 分鐘[10])、滑行路徑偏好參數等等。這些參數值可由場面活動之歷史紀錄統計而得到既有條件，亦可依所欲分析之目標情境而設定之。對演算法而言，拖機與一般依自身動力移動之航空器之差異僅在這些參數之不同，因此無須特別處理。

滑行道容量評析所需要之參數種類，遠多於跑道及停機位容量評析之

參數種類，亦反映出滑行道先天之複雜性。而此種複雜性亦使得滑行道容量之評析並無簡單的核心參數。上述參數亦各具有不同之屬性。其中場面配置屬於硬體之幾何布置，而航空器之滑行與拖機速率、後推過程所需之時間長度、滑行中轉彎之時間損失、離場航空器在後推之後等待時間等則屬於航空器性能與物理限制之影響。滑行路徑偏好參數則反映航管人員之作為，而航空器之起迄點則屬於需求面之參數。至於能見度、天候等各項因素對滑行道容量之影響則屬更上層、透過上述各項參數而影響滑行道系統之容量。上層因素之識別，以及其與已知參數之間的數量化關係則有待後續研究釐清之。

滑行道之運轉性質與跑道及停機位均有相當之差異。航空器在跑道與停機位均有獨占之性質，亦即跑道不容許二架航空器同時起飛或降落，而停機位亦以一機一位之方式運轉，但滑行道並非如此。同時，跑道及停機位均具有「排除於外」之性質，亦即不論機場繁忙與擁擠之程度如何，航空器於降落之後均須立即脫離跑道、於起飛之前才允許進入跑道。停機位亦類似：不論機場擁擠程度如何，在前一航空器離開之前，後續航空器均不得進入同一停機位。然而滑行道系統並無將航空器「排除於外」之能力。反之，航空器於離開跑道或停機位之後、進入跑道或停機位之前，均位在滑行道之範圍。因此，滑行道除了作為航空器來往於跑道、停機位或其他位置之運行通道外，實質上在機場之運轉中亦具有「儲機」之緩衝功能：被跑道、停機位「排除」之航空器，若非進入廠棚，均存在於滑行道系統中之某處位置。

滑行道之上述性質，再考量航空器使用滑行道移動時其起迄點之分布組合至為複雜，使得滑行道系統之容量分析無法，亦不宜簡單定義為每小時可服務之架次數。本計畫將滑行道之容量定義如下：

滑行道系統容量之評估指標，定義為在該機場之硬體布置、航空器型式種類分布、停機位參數下，可支持之跑道小時起降量。

上述定義使用了「可支持」之概念，與[46]相一致。在本計畫「穩定態」之基本假設下，所謂可支持可定義為滑行道系統中之航空器數量不會無限

制成長之狀態。例如，假設每小時降落於某機場之航空器數量高於起飛離場之航空器數量，且以穩定態之方式持續，則存在該機場空側之航空器總數將穩定持續成長，終而超過停機位之服務能力。此時停機位所無法容納之航空器將被停機位排除而累積在滑行道系統中，終將使得滑行道無法運轉。此即非滑行道之「可支持」狀態。當然整體觀察真實機場，其穩定態必為起降平衡。因此上述簡例之起降不平衡狀況雖可用於跑道之分析，但應用於機場整體容量分析則無意義。

另一簡單例子假設機場之起降平衡，但航空器使用停機位之時間甚長，使得停機位不足。此時在系統模擬中，將發生無法及時進入停機位之航空器數量增加，進而影響正常滑行，再導致航空器因滑行道擁擠而無法正常離開停機位等一連鎖反應。此亦為非滑行道「可支持」之狀態。

如上所述，滑行道在機場之運轉中具有緩衝功能，因此允許同時存在滑行道系統中之航空器數量是很有彈性的。然而同時存在滑行道系統中之航空器數量，將影響航空器滑行時之延滯量。在此所謂延滯量，指系統模擬時所觀察紀錄之滑行時間長度，與該航空器在無任何其他干擾之狀況下運行相同路程所需要時間長度，兩者之差。而在各種狀況下之延滯量為機場營運者所關心之項目，亦為系統模擬能夠產出之數據。

模擬時，系統以數學網路表現滑行道系統，並在網路中建立排程模式以求得航空器之滑行路徑、建立排點模式以求得航空器在滑行過程中到離各節點、節線之時間。容量分析之產出為該滑行道系統可支持之最大小時起降量，以及給定小時起降量與滑行時間延滯量之關係。

4.7 機場空側容量評估流程

整體分析機場空側容量之流程，可用圖 4.2 所示之流程圖說明之。流程圖中所使用之符號定義如下。

- A 為機場空側容量，亦即為機場空側每小時可服務之架次數。
- B_i 為第 i 分組停機位之容量，為該停機位分組平均每小時可服務之

最大航空器架次數。

- C_{ij} 為第 i 分組停機位所服務之航空器中，屬第 j 類者之比例。而 $\sum_j C_{ij}$ 即為第 i 分組所服務之航空器占整體總數之比例，而 $\sum_i C_{ij}$ 為第 j 類航空器占整體總數之比例。
- BR_{ij} 為第 i 分組停機位之第 j 類航空器占有所有航空器整體需求之比例，亦即 $BR_{ij} = \sum_i C_{ij} \times \sum_j C_{ij}$ 。例如，若在所有使用該停機位組之航空器中，其中第 3 類航空器之數量占該機場所有航空器總數量之 25%，則 $BR_{23} = 0.25$ 。此數據為輸入參數之一。
- K_i 為第 i 組停機位之容量等效值，作為將停機位容量轉換成為等效之跑道容量之比值，定義為 $K_i = \min_j \left(\frac{B_i C_{ij}}{BR_{ij}} \right) \times 2$ ，其意義如下：用第 i 組停機位之最大容量為 B_i ，在這些航空器中，第 j 類之航空器架次數為 $B_i C_{ij}$ ，而 $B_i C_{ij}$ 又占了該機場所有航空器數量之 BR_{ij} 。因此對第 j 類航空器而言，停機位之最大容量所對應之整體架次數為 $\frac{B_i C_{ij}}{BR_{ij}}$ ，而 K_i 為所有航空器類別中之最小者，即為該停機位組之容量等效值。若在第 i 組停機位，各類航空器所占之比例均與總比例相同，亦即 $C_{ij} = \sum_i C_{ij} \forall j$ ，則 $BR_{ij} = \sum_i C_{ij} \times \sum_j C_{ij} = C_{ij} \times \sum_j C_{ij} \forall j$ 。此時容量等效值即可簡化為 $K_i = \min_j \left(\frac{B_i}{\sum_j C_{ij}} \right) \times 2$ ，而此時 $\frac{B_i}{\sum_j C_{ij}}$ 與 j 無關，使得 K_i 之計算可不必為每一類之航空器逐一計算之。該公式最末與 2 相乘之作用在校正單位之差異：每架航空器每次使用停機位，均對應 2 次跑道起降。
- R 為跑道容量，亦即為該跑道在輸入參數所定義之情境下，跑道每小時可服務之架次數。
- T 為滑行道容量，亦即為滑行道系統可支持之最大小時起降量。

為了方便說明，圖 4.2 中每一步驟均以數字標示，可對應以下之文字說明。流程自編號 1 之「開始」處啟動，在步驟 2 讀取所有外部輸入之資料參數。之後於步驟 3，依前述方法計算跑道容量 R 。

流程由步驟 4 開始計算該機場之容量。首先令 $A=R$ 。之後在步驟 5，

利用前述方法對每一組停機位獨立計算其容量 B_i ，再於步驟 6 以 $K_i = \min_j \left(\frac{B_i C_{ij}}{BR_{ij}} \right)$ 計算各組停機位之容量等效值 K_i 。

接續之步驟 7 則檢查是否有停機位分組之等效值 K_i 超過跑道容量 R 。若有，則表示機場之整體容量將受到跑道容量之控制。可解讀為即使跑道滿載，該組停機位亦不會滿載，亦可解讀為在該組停機位滿載之前跑道會先滿載。此時即在步驟 8，使用所有停機位分組之最大等效值 $\max(K_i)$ 以公式 $A = \frac{R}{\max(K_i)}$ 修正機場空側容量 A 值。

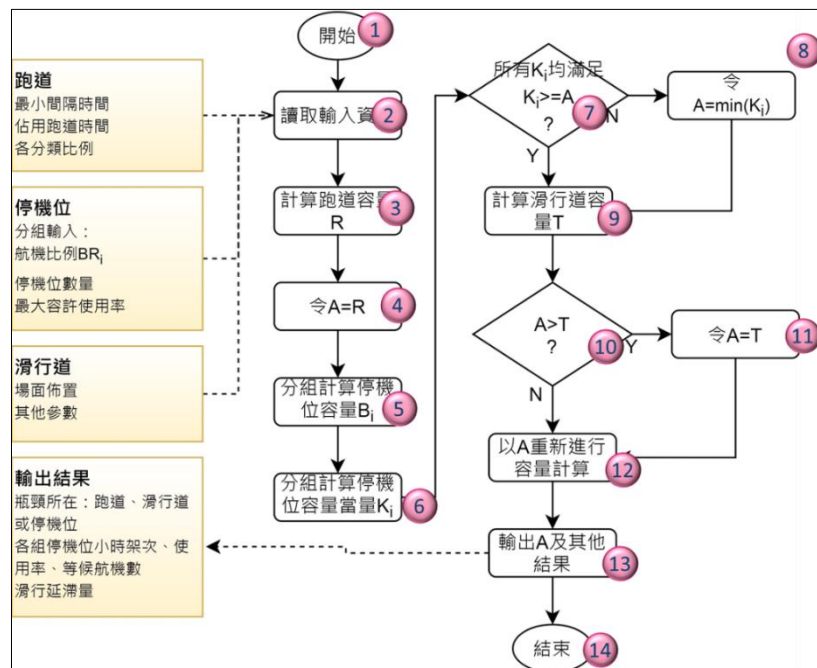


圖 4.2 機場空側容量分析流程圖

之後流程進入步驟 9，使用前述方法計算滑行道系統可支持之最大小時起降量 T 值，再於步驟 10 檢查 T 值是否超過整體容量 A 值。若有，即表示該機場之容量係由滑行道系統所控制，應於步驟 11 以 $A=T$ 修正之。

至此，已可取得該機場之容量 A 值。此時需要於步驟 12，以此 A 值為基準，使用前述停機位容量分析方法為每一組停機位計算在該組中，每架航空器之平均等候時間與使用率；並且為滑行道系統計算在此 A 值之起降量之下，滑行時間延滯量。所有容量計算至此完成，流程最後在第 13 步驟輸出所有數據並於步驟 14 結束。

第五章 案例測試

5.1 概述

本計畫將前章所說明之容量分析方法，以 C++ 以及 C# 語言實作成為軟體。本章參考臺北松山機場之既有條件，設計接近之參數以在所設計之情境下分別測試跑道、停機位、滑行道以及機場空側容量之計算。目的在測試本計畫所開發之容量評估方法之計算結果以及邏輯之合理性，以及整套方法之可操作性。本章之目的並不在預測臺北松山機場之真實容量。

在所有測試例中，均假設臺北松山機場使用 10 跑道，而航空器分 3 類，稱之為第 1 類、第 2 類與第 3 類。這 3 類航空器之數量比例依序設定為 1:16:3，亦即其百分比依序各為 5%、80% 與 15%。各項測試之參數設定則分別說明於所對應之各節中。

5.2 跑道容量

本節呈現跑道容量分析之測試結果。測試所使用之參數整理如表 5-1 及表 5-2 所示。其中表 5-1 呈現各種起降組合，前後連續使用跑道之航空器之淨距時間範圍。以「到到」之組合為例，即為連續 2 架航空器到場時，其間之淨距將介於 120 秒至 180 秒之間，為均勻分布。其餘 3 種組合則類推。

表 5-1 跑道前後淨距參數

組合	隔離時間(秒)
到到	120 - 180
離離	60 - 120
到離	5 - 30
離到	50 - 70

以下表 5-2 則呈現跑道占用時間之參數設定。如圖 2.30 所示[35]，臺

北松山機場 10 跑道計有 4 個出口，依到場航機抵達之先後順序為 CC、EH、E1 及末端之全跑道出口。因此，測試時為每一種航空器設計 4 種不同之占用跑道時間長度。以表 5-2 之第 1 類航空器為例，到場航空器之 4 種占用跑時間長度以及使用之機率分別為：65 至 80 秒(使用機率 0.5)、80 至 95 秒(使用機率 0.2)、95 至 110 秒(使用機率 0.2)以及 110 至 125 秒(使用機率 0.1)。在離場方面則為每一類航空器設定 2 種不同之占用跑道時間長度。同樣以表 5-2 之第 1 類航空器為例，離場航空器之 2 種占用跑時間長度以及使用之機率分別為：65 至 95 秒(使用機率 0.7)以及 95 至 125 秒(使用機率 0.3)。其餘之第 2 類與第 3 類航空器之設定參數亦在表中，不再逐一說明。

表 5-2 跑道占用時間參數

航空器類別	到離	占用時間(秒)	比例
第 1 類	到	65 - 80	0.5
	到	80 - 95	0.2
	到	95 - 110	0.2
	到	110 - 125	0.1
	離	65 - 95	0.7
	離	95 - 125	0.3
第 2 類	到	65 - 80	0.1
	到	80 - 95	0.4
	到	95 - 110	0.4
	到	110 - 125	0.1
	離	65 - 95	0.5
	離	95 - 125	0.5
第 3 類	到	65 - 80	0.1
	到	80 - 95	0.2
	到	95 - 110	0.2
	到	110 - 125	0.5
	離	65 - 95	0.3
	離	95 - 125	0.7

評估跑道容量時，軟體以各種不同之小時起降數需求之組合進行模擬，

例如每小時有 6 架次的降落需求以及 10 架次之起飛需求、或每小時有 12 架次的降落需求以及 18 架次之起飛需求等等，再於模擬進行之過程中，觀察記錄實際可起降之架次數。例如，當每小時有 2 架次的降落需求以及 3 架次之起飛需求時，因為需求低於跑道容量，故所有航空器均能依其需求起降；但當每小時之起飛與降落需求各為 30 架次時，即因跑道容量之限制，使得模擬時所觀察到的實際完成起降數較低。

以下圖 5.1 則為容量分析之結果。圖之橫軸為模擬過程中所觀察紀錄，實際可完成之每小時離場航班數，而縱軸則為每小時到場航班數。圖中之每一數據點為一次起降需求設定之模擬結果。其數據點之包絡線前緣形狀與圖 2.27 所示類似。模擬結果，該跑道只起不降之容量為 18.2 架次/小時、只降不起之容量為 14.4 架次/小時，而起降數量相等時，合計容量為 24.5 架次/小時。

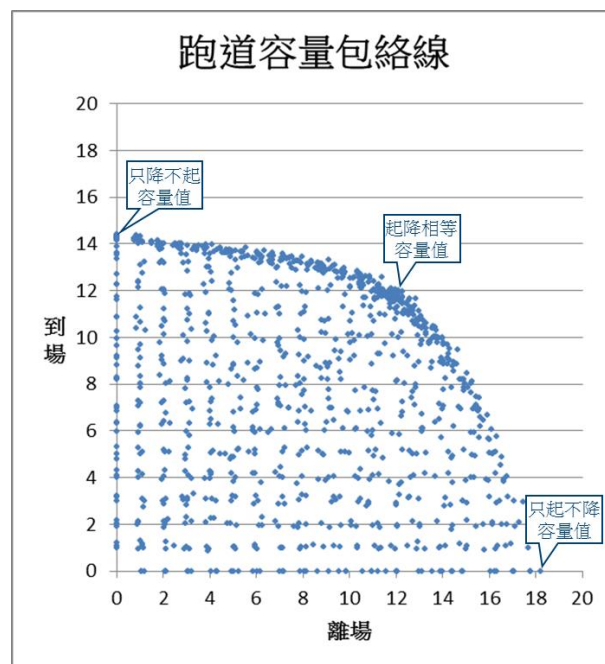


圖 5.1 跑道容量分析結果

5.3 停機位容量

本節整理停機位容量分析之測試結果。測試所使用之參數整理如表 5-3。該表以分鐘為單位，顯示所有航空器(不分類別)均有 50%之比例，其占用時間介於 60-120 分鐘之間(均勻分布)、有 30%之比例，其占用時間介於 120-180 分鐘之間、20%之比例，其占用時間介於 180-240 分鐘之間。如第 4.5 節所說明，所有這些時間長度均包含轉換時間。

表 5-3 停機位模擬參數

占用停機位時間 (分鐘)	比例
60-120	50%
120-180	30%
180-240	20%

註：含轉換時間

以下圖 5.2 至圖 5.21 為模擬結果。其中圖 5.2 所示為當停機位組含有 3 席停機位時，其利用率與平均等待時間之關係。之後圖 5.3 則為相同的設定下，等待比例與利用率之關係。在此所謂平均等待時間，定義為模擬所觀察之數據中，所有航班等待時間之總和除以航班總數之商數。而所謂等待比例，則定義為所有航班中，等待時間超過 5 分鐘之航班數除以航班總數之商數。之後圖 5.4 及圖 5.5 則依序為 3 席停機位所能提供之小時總容量，以及每一席停機位之平均每小時容量。

利用這些結果即可供相關人員估算停機位之容量。以圖 5.3 為例，可以觀察到若容許所有航空器中有 10%之航空器發生 5 分鐘以上之等待，則其利用率可達 0.73，亦即 73%。再以此對照圖 5.2，可查得此時平均等待時間為 2.6 分鐘。至於每小時可服務之架次數則可由圖 5.4 查得，當利用率為 0.73 時，此停機位組(共有 3 席位)合計每小時之容量為 0.99 架次，而圖 5.5 則顯示此時每一席位平均每小時之容量為 0.33 架次。

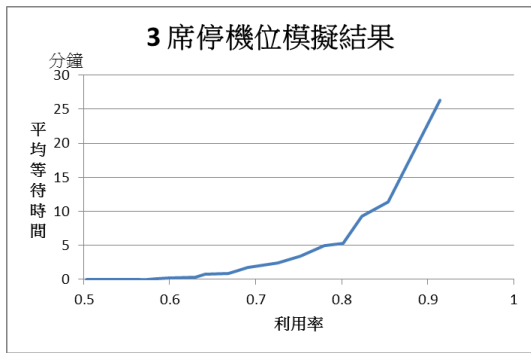


圖 5.2 停機位平均等待時間(3 席)

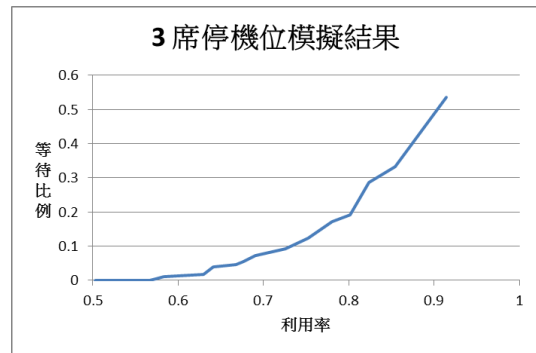


圖 5.3 停機位等待比例(3 席)

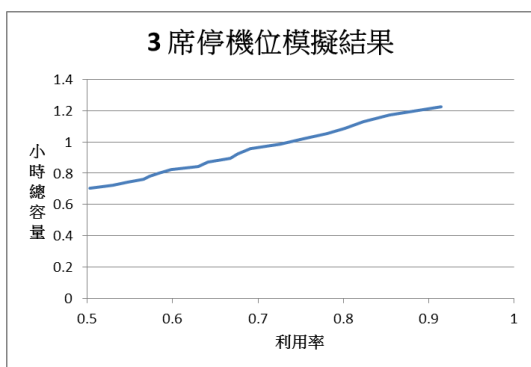


圖 5.4 停機位組總容量(3 席)

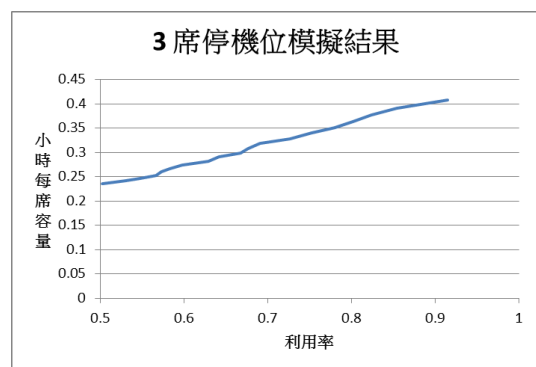


圖 5.5 停機位每席容量(3 席)

以下各圖則與上述類似，分別呈現 6 席、8 席、25 席及 50 席停機位之模擬結果。

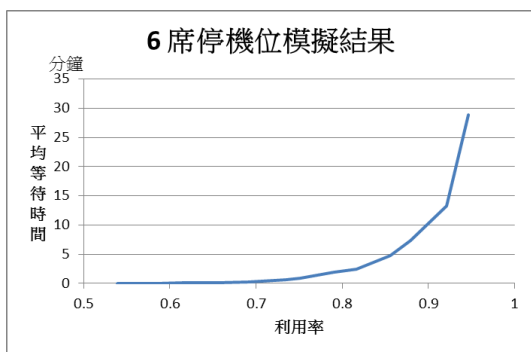


圖 5.6 停機位平均等待時間(6 席)

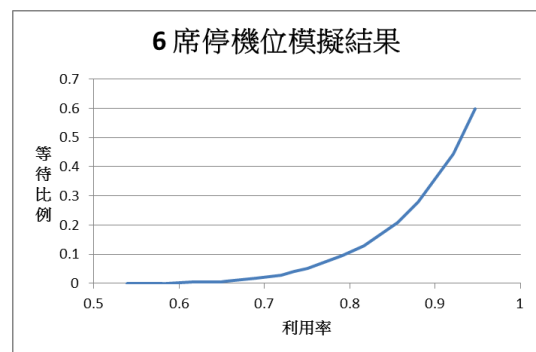


圖 5.7 停機位等待比例(6 席)

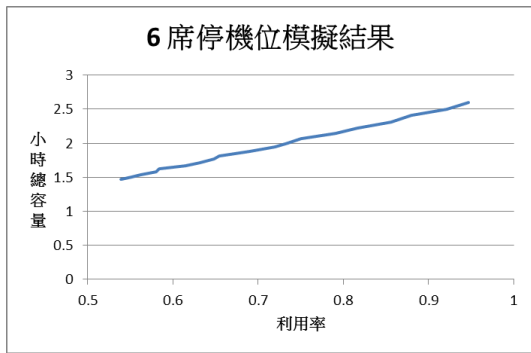


圖 5.8 停機位組總容量(6 席)

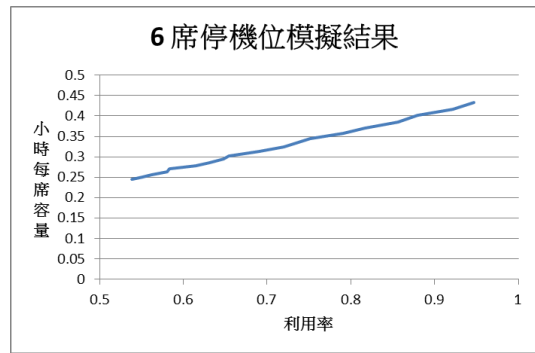


圖 5.9 停機位每席容量(6 席)

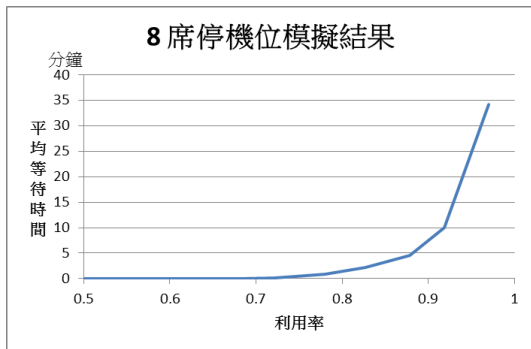


圖 5.10 停機位平均等待時間(8 席)

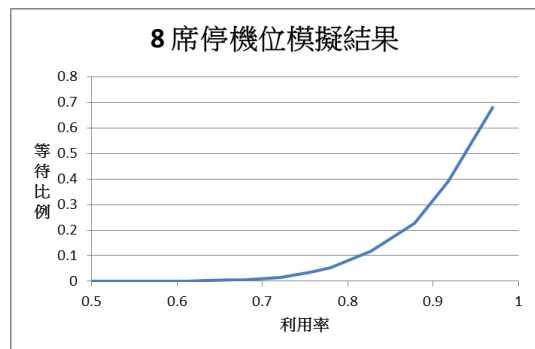


圖 5.11 停機位等待比例(8 席)

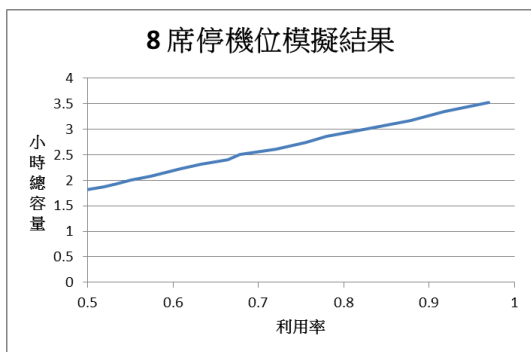


圖 5.12 停機位組總容量(8 席)

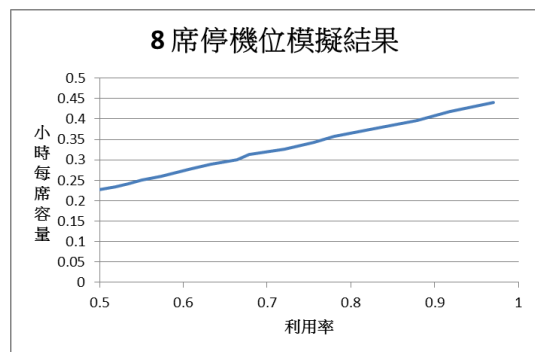


圖 5.13 停機位每席容量(8 席)

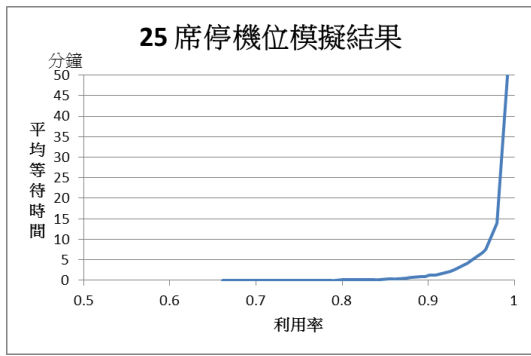


圖 5.14 停機位平均等待時間(25 席)

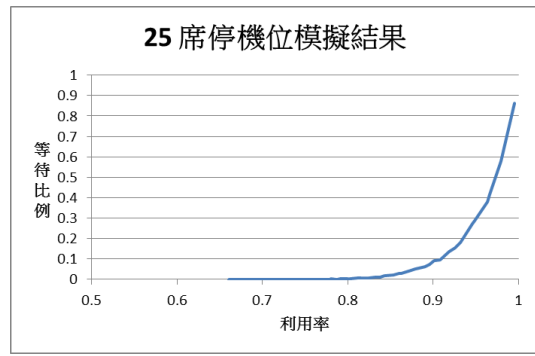


圖 5.15 停機位等待比例(25 席)

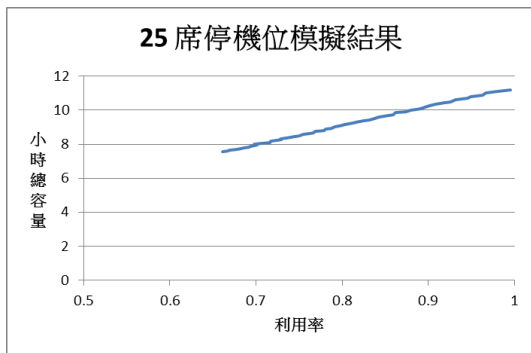


圖 5.16 停機位組總容量(25 席)

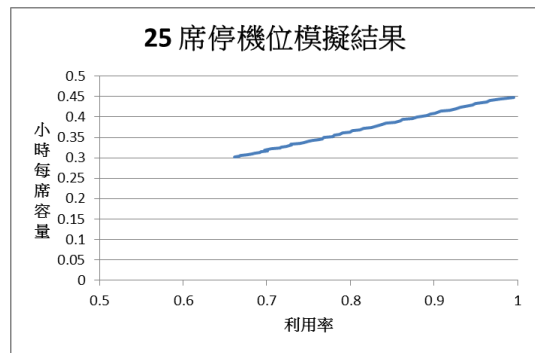


圖 5.17 停機位每席容量(25 席)

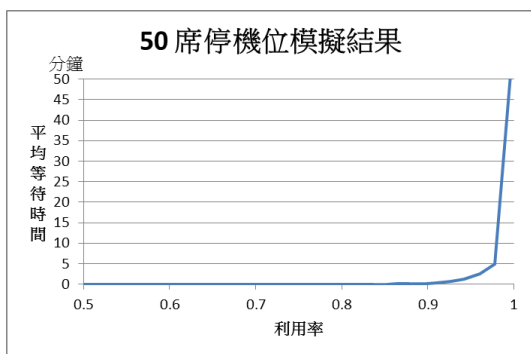


圖 5.18 停機位平均等待時間(50 席)

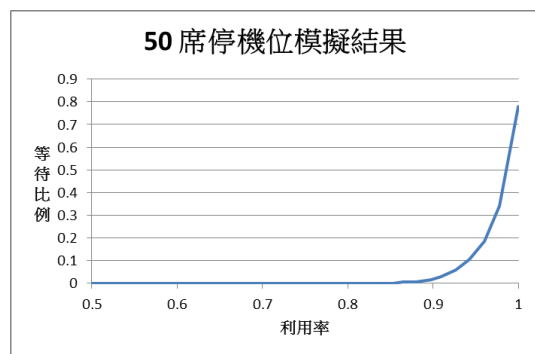


圖 5.19 停機位等待比例(50 席)

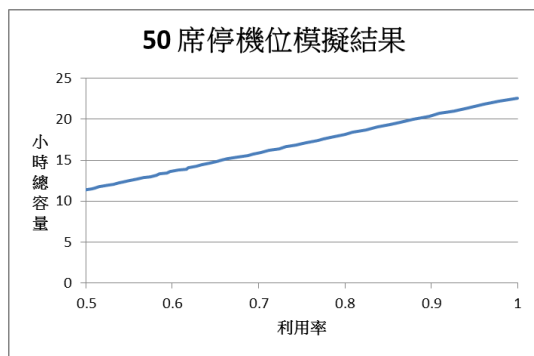


圖 5.20 停機位組總容量(50 席)

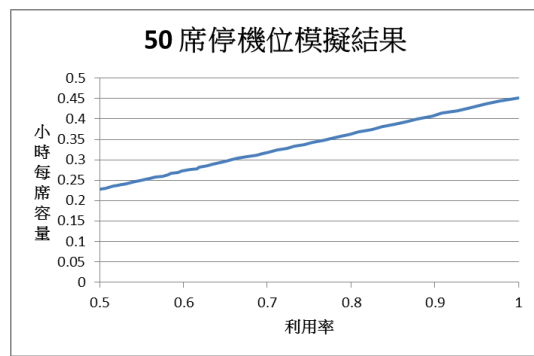


圖 5.21 停機位每席容量(50 席)

以下表 5-4 所示為以 10%以 20%之航空器有等待之條件，由圖 5.2 至圖 5.21 所查得之結果。觀察比較所這些數據可以發現席位愈多，運用效率愈高。例如在 10%之航空器有等待之條件下，若停機位組含有 3 席，則平均每席之小時容量為 0.33 架次；若含有 50 席，則可達到 0.43 架次之小時容量。

表 5-4 停機位容量表

每組席位數		3	6	8	25	50
10% 有 等 待	等待時間	2.6	2.0	1.8	1.3	1.2
	每席小時容量	0.33	0.36	0.37	0.41	0.43
	總小時容量	0.99	2.16	2.96	10.36	21.37
	利用率	73%	79%	81%	91%	94%
20% 有 等 待	等待時間	5.7	4.4	3.9	3.0	2.7
	每席小時容量	0.36	0.38	0.39	0.42	0.44
	總小時容量	1.09	2.30	3.12	10.63	21.84
	利用率	80%	85%	86%	93%	96%

5.4 滑行道容量

本節整理停機位容量分析之測試結果。如前所述，本測試使用臺北松山機場之滑行道，並假設使用 10 跑道起降。在進行模擬時，設定跑道以及停機位均具有極高之容量，用以測試滑行道系統之容量。圖 5.22 所示為臺北臺北松山機場之場面圖以及模擬時所使用之網路。軟體進行模擬時，則

以不同之每小時起降需求數量進行多次模擬。

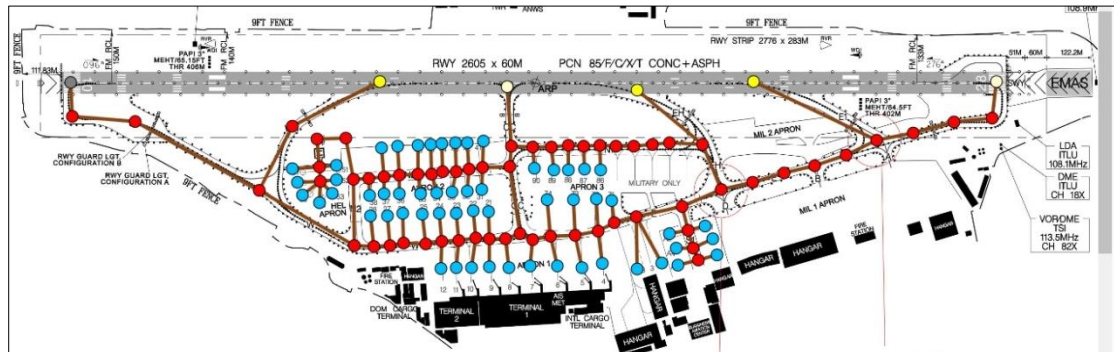


圖 5.22 滑行道場面及網路圖

以下圖 5.23 及圖 5.24 則顯示模擬之結果，橫軸為每小時架次數，而縱軸為航空器在滑行道之延遲時間。其中圖 5.23 為設定滑行速率為 15 節之結果，而圖 5.24 則為每小時 30 節滑行速率之結果。圖中之每一數據點均為一次模擬之數據。需注意橫軸為每小時可完成起降之架次數與需求之架次數不一定相同。此 2 圖顯示當每小時起降架次數達到某一門檻值時，平均每架次之延遲時間即開始快速成長，與預期一致。此外觀察比較此 2 圖亦可發現當滑行速率較高時，相同起降架次之延遲時間較低，亦即滑行道之容量較高，亦與預期狀況一致。

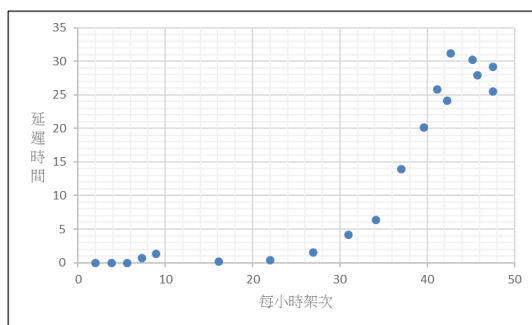


圖 5.23 滑行道容量(速率 15 節)

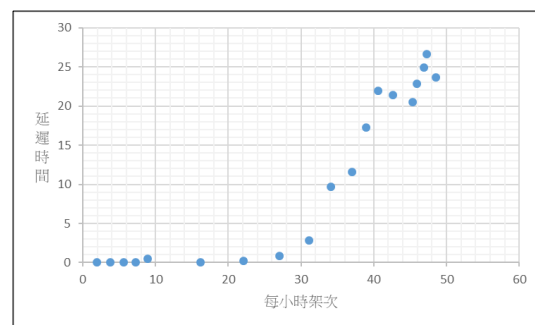


圖 5.24 滑行道容量(速率 30 節)

在上述分析測試之過程中，本計畫發現臺北臺北松山機場之滑行道布設相當良好，並不易發生阻塞之狀況。圖 5.23 及圖 5.24 之數據亦顯示每小時起降數達到 40 架或更多時才會發生顯著之延遲，然此一起降量已經

超過跑道之容量，並不易以穩定態之方式持續發生。因此在一般正常狀態下，臺北國際航空站之滑行道系統應無易發生擁塞之位置以及瓶頸。

5.5 機場空側容量

本節使用前述各節之分析結果，呈現依圖 4.2 所示之程序分析機場空側容量之過程。依該圖之流程，首先須先取用各項參數。之後計算跑道容量。依第 5.2 節之分析結果，該跑道在起降數量相等時，其容量為 24.5 架次/小時。在此階段，暫令機場空側容量 $A=24.5$ 。

假設機場有 50 席停機位，而管理者欲將這些停機位分為 6 組運轉，數量各為 25、8、8、3、3、3 席。規劃使用各停機位組之航空器數量，依序各占總數量之 53%、16%、16%、5%、5%、5%。而在使用各組停機位之航空器當中，3 類航空器所占之比例則假設與總比例相同，亦即 1:16:3。

再假設機場管理者可接受航空器在停機位等待之比例為 0.1。由表 5-4 可查得 25 席停機位一組時，其容量為每小時 10.36 架次、8 席一組時為每小時 2.96 架次、3 席一組時為每小時 0.99 架次。所有相關數據整理於表 5-5。

表 5-5 停機位容量分析結果

編號	1	2	3	4	5	6
席位數	25	8	8	3	3	3
航機比例	53%	16%	16%	5%	5%	5%
小時容量	10.36	2.96	2.96	0.99	0.99	0.99
利用率	<60%	<60%	<60%	<60%	<60%	<60%
K_i	39.10	37.00	37.00	39.60	39.60	39.60

由表 5-5 可發現所有各組停機位中，容量等效值 K_i 最低者為第 2 與第 3 組之每小時 37.00 架次。因此仍然維持 $A=24.5$ 。

在滑行道部分，假設滑行速率為 15 節，而管理者可接受之延遲時間為 5 分鐘。則由圖 5.23 可查得其容量為每小時 31 架次。由於滑行道之容量

大於 A 值，因此不必再修正，而可得機場空側之容量為每小時 24.50 架次之起降量。

依圖 4.2 之流程圖所示，最後可利用分析所得之機場空側容量 A 值，再重新計算相關值。在停機位部分，利用 $A=24.50$ 可計算得到第 1 組停機位平均每小時使用之航機數為 $A=24.50 \times 0.53/2=6.49$ 架次之停機位使用數，其餘各組停機位依此類推，結果整理於表 5-6。由圖 5.16 可查得，第 1 組停機位於每小時服務 6.49 架次時，其利用率小於 60%。其他各組停機位亦可依此方法查得利用率均在 60% 以下，亦整理於表 5-6。由圖 5.15 可查得當第 1 組停機位之利用率小於 60% 時，其航空器之等待比例為 0，而由圖 5.14 則可查得其平均等待時間亦為 0 分鐘。其餘各組停機位亦可依相同的方法由對應的圖查到對應之值。

至於滑行道之部分，則可由圖 5.23 查得當滑行速率為 15 節，而每小時服務 24.50 架次時，其延遲時間約為 1 分鐘。

表 5-6 空側容量分析停機位結果

編號	1	2	3	4	5	6
席位數	25	8	8	3	3	3
小時航機數	6.49	1.96	1.96	0.61	0.61	0.61
利用率	<60%	<60%	<60%	<60%	<60%	<60%
等待比例	0	0	0	0	0	0
等待時間	0	0	0	0	0	0

5.6 測試結果討論

本章參考臺北松山機場之狀態，設計數值案例以測試本計畫所開發之機場空側容量分析方法。在穩定態基本假設下，機場在單位時間內平均離場數必定等於平均到場數。而跑道容量之分析結果則為每小時 24.5 架次。在停機位方面則假設該機場將 50 席停機位區分為 6 組，其席位數各為 25、8、8、3、3、3。由此可分析得到各組之小時容量，而其合計則為每小時 24.5 架次。滑行道容量分析結果則可得其可支持之容量為每小時 31 架次。

完成 3 種設施之個別容量分析之後，再依本計畫所開發之方法進行機場空側容量之整體分析，可歸納得到該機場之空側容量係由跑道所控制，為每小時 24.50 架次。而停機位之容量則充裕。由此整體容量，並可進一步得到各組停機位在該容量下運轉時，預期平均每小時將服務之航班數以及其利用率、等待比例與等待時間。

5.7 臺北松山機場空側運作及配置精進相關建議

本計畫於第 5.4 節以系統模擬之方法進行滑行道系統容量評析時，發現於使用 10 跑道時，若跑道達到大約每小時 35 或 40 架次之起降量時，即容易發生滑行時間之延遲，而常發生之位置，則在圖 5.25 所標示之區域。至於發生延遲之肇因，又常為航空器自停機位後推對滑行道造成影響。若跑道之起降量維持在每小時 30 架次以下則滑行道系統運轉順暢，不易發生延遲。因此若臺北松山機場維持現況之跑道起降量，則空側滑行道之配置並無為了解決延遲而進一步精進之急迫性。

本計畫主要目標之一為開發分析滑行道系統容量之方法。由滑行道系統運轉之角度觀之，航空器後推之後，進行準備作業的期間均影響其他航空器在滑行道之運行，顯非最佳之配置。更佳之配置為調整停機位與滑行道之相對位置，消除上述干擾現象。惟是否可行，仍有待進一步全方位完整評估，並非空側容量評析單一因素所能做最終決定。在另一方面，若未來擬採取提高跑道容量之作為，則建議同時考慮如何降低航空器後推時直接影響滑行道之方法。

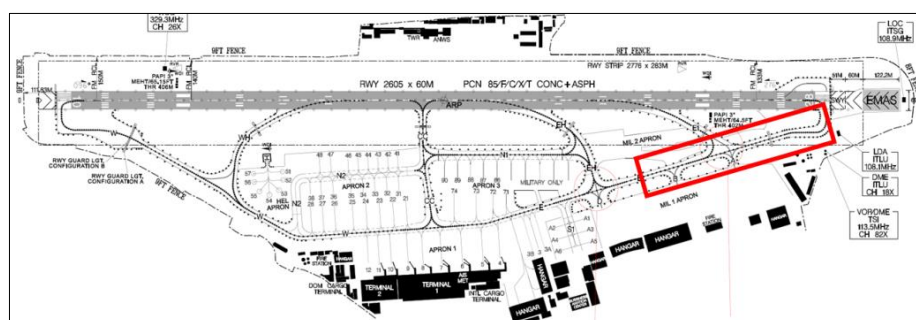


圖 5.25 滑行道場面及模擬網路圖

第六章 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。

6.1 結論

本計畫已進行國內外文獻蒐集整理，釐清機場空側容量分析可區分為跑道、滑行道及停機位等單元進行容量分析，並進而整體分析機場空側容量。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、臺北國際航空站)、專家學者、桃機公司，以及財團法人成大研究發展基金會之努力共同推動(此一合作模式示意於圖 6.1)，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 6.2 所示)，成為本計畫得以順利推動之重要關鍵。

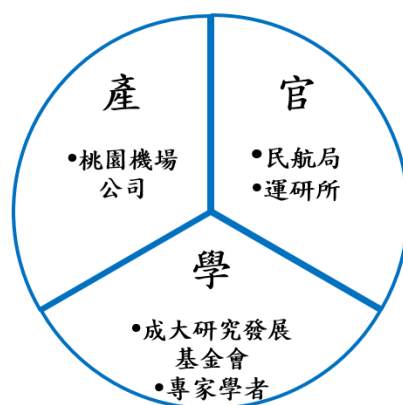


圖 6.1 本計畫與各界合作模式

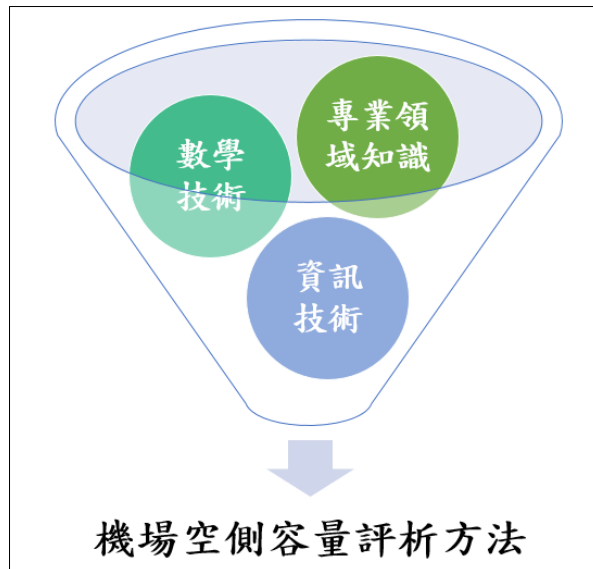


圖 6.2 本計畫所結合之技術

2.創新研發關鍵技術

本計畫以系統模擬技術為基礎，將複雜之飛航專業知識，以系統化方式釐清其邏輯，以 C++與 C#語言實做成為測試用軟體，並做成整體結構化技術，為我國自主開發及可掌握的核心技術。本評析技術包含跑道、滑行道、停機位容量分析方法之創新研發，並設計整體容量分析方法。其中跑道容量分析方法係針對單跑道狀況而設計，適用於臺北松山機場。本計畫研發之技術已完成驗證，並對臺北松山機場進行分析情境下之容量評估，可做為第 2 年期(111 年)計畫之研究基礎。

3.影響空側容量之參數項

確認影響空側容量之參數項為本計畫最重要成果之一。本計畫已釐清跑道、滑行道及停機位容量評析所需要之最核心參數。這些核心參數與上層影響因素之間的數量化關係，為後續之重要研究方向。

跑道容量分析方法之核心參數包括航空器占用跑道時間長度、前後使用跑道航空器之間最小時間淨距、離到場航空器之數量比例及各類航空器之數量比例；停機位容量分析方法之核心參數包括停機位分組方式與數量、各類航空器使用各組機位之優先順位及占用時間、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比例及最大容許使用率；滑行道容量分析方法之核心參數包括滑行道幾何布設、航空器滑行路徑，以及其他參數，如每類航空器之滑行速率、

拖機速率、後推過程所需時間長度、滑行中轉彎耗費時間、離場航空器在後推之後等待時間與滑行路徑偏好參數等。

4. 臺北松山機場空側容量評估

經以臺北松山機場為標的，使用本計畫所開發之空側容量評析方法，在穩定態之假設下，分別分析跑道、滑行道及停機位之容量，並綜合分析結果，發現該機場之空側容量係由跑道所控制，為每小時 24.5 架次；停機位容量則充裕足以支持跑道運作；滑行道容量亦高於上述之跑道容量。

5. 未來成果應用

整體觀察第五章所示之應用方法，可以發現本計畫所開發機場空側容量分析方法之應用可分為 2 階段。其中第 1 階段為第 5.2 節至第 5.4 節所述之部分；此部分係利用第四章之第 4.4 節至第 4.6 節所說明之方法，建立跑道、停機位及滑行道在各種不同設定狀況下所可達到之容量。

第 2 階段則是以第 4.7 節所說明之方法，綜合評估機場之空側容量。首先計算跑道之容量值，再依停機位之分組方式計算各組停機位之容量等效值，用以與跑道容量值相比較，取其較小者再與滑行道容量相比較。如此即可得到該機場空側容量值，同時亦可得知跑道、滑行道及停機位何者為控制因子。

在跑道、停機位的部分，未來應用本計畫成果時，可使用這些技術，依實際應用需要，先蒐集各種不同設定狀況下，如第五章所呈現之跑道、停機位各種容量分析所需之數據，並就該分析機場在某特定情境，依第 4.7 節所說明、第 5.5 節所示範方法，利用這些容量分析所需相關數據，評估計算得到機場空側容量及相關分析結果。在滑行道部分，考慮真實機場少有滑行道系統完全或幾乎相同者，因此實際應用時必須依所評析之標的機場、目標情境加以設定，再進行分析。

6.2 建議

1. 臺北松山機場空側配置精進建議

本計畫以系統模擬方法進行滑行道系統容量評析時，發現使用臺北松山機場 10 跑道時，若跑道之起降量維持在每小時 30 架次以下，則滑行道系統運轉順暢，不易發生延遲。因此若臺北國際航空站維持現況跑道起降量，則滑行道配置並無進一步精進之急迫性。

若達到大約每小時 35 架次以上起降量時，即容易發生滑行時間延遲，而常發生之位置，則在圖 5.25 所標示區域。至於發生延遲之原因，常為航空器自停機位後推，對滑行道造成延滯影響。

由滑行道系統運轉角度觀之，航空器後推之後，進行準備作業的期間均影響其他航空器在滑行道運行。更佳配置為調整停機位與滑行道之相對位置，消除上述干擾現象。惟是否可行，仍有待全方位評估，並非空側容量單一考慮因素。未來倘有提高跑道容量之改善規劃時，建議可一併考慮降低航空器後推對滑行道之影響。

2. 參數值須長時間蒐集

精準的容量估算有賴精準的參數值，而精準的參數值，必須來自長時間累積的歷史資料。跑道參數即為一具體例子。航空器占用跑道之時間長度以及前後航空器之間的時間淨距均受到天候條件及其他因素等外在條件之影響，從而直接影響跑道容量。然而外在條件與核心因素之間的具體、數量化關係卻因機場而異，須仰賴長時間之觀察統計，無法由學理推得。

除了跑道之外，停機位及滑行道之容量亦有類似現象。因此建議臺北國際航空站若能以常態性之方式，長期觀測並有系統整理各種參數項之數值，則機場管理維運單位可依其專業知識、經驗及法規，研擬各種可能的運作模式及設施配置方案，再以本計畫所開發之方法分析評估各種方案所可能達到之容量，做為持續精進之重要參考。

3. 持續深化技術研發

本計畫是以臺北松山機場為標的，進行空側容量評析方法之研發。而本計畫之第 2 年期研究對象-桃園國際機場，為我國最主要之空運國

際門戶，具有許多臺北松山機場所沒有之屬性，例如多條跑道、航空器於滑行過程中可能跨越跑道、拖機數量較多等。這些屬性均為本計畫開發技術過程中較少或無法考慮者。因此本計畫建議第 2 期研究可承續本計畫已開發成果，納入桃園國際機場各項屬性因素，加以擴充與深入研析。

4.後續發展

本計畫所開發之方法，可利於評估空側中長期計畫性工程之影響，建議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。這種應用方法有利未來朝機場空側容量套裝軟體之開發。

建議後續可再深化及擴充此容量評析方法，建立機場空側評析之完整參數架構、確認必要參數及蒐集參數項數值，精進此政策分析工具在我國其他機場之適用性，並更具體研議人機介面套裝軟體規劃與建置，以及如何充份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，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.交通部民用航空局，民用機場設計暨運作規範，2021 年。
- 2.交通部民用航空局，交通部民用航空局 109 年年報，2020 年。
- 3.臺灣桃園國際機場維基百科，zh.wikipedia.org/wiki/臺灣桃園國際機場，擷取時間 2021 年 6 月。
4. 桃園國際機場公司，
<https://www.taoyuan-airport.com/2042vision/about/fly.html>。
5. 交通部民用航空局，
<https://www.caa.gov.tw/BilingualVoca.aspx?a=744&lang=1>。
6. Federal Aviation Administration, F., Airport Capacity and Delay, AC 150/5060-5, U.S. Department of Transportation, 1983.
7. O'Flynn, S., Airport Capacity Assessment Methodology—ACAM Manual. Technical Report 1.1, Eurocontrol, 2016.
8. 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。
9. 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。
- 10.桃園國際機場股份有限公司，機場模擬軟體功能調整，2020 年。
- 11.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。
- 12.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。
- 13.Futterman Consulting, et al, Defining and Measuring Aircraft Delay and Airport Capacity Thresholds, Washington, DC: The National Academies Press, 2014.
- 14.LeighFisher, et al., Evaluating Airfield Capacity: Transportation Research Board Vol. 79, 2012.
- 15.Federal Aviation Administration, F., Airport Capacity Profiles. 2014.

- 16.Horonjeff, R., et al., Planning and design of airports. McGraw-Hill Education, 2010.
- 17.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.
- 18.Tee, Y. and Z.W. Zhong, Modelling and Simulation Studies of the Runway Capacity of Changi Airport. The Aeronautical Journal, 2018.
- 19.Mirkovic, B., Airport apron capacity estimation–model enhancement. Procedia-Social and Behavioral Sciences, 2011.
- 20.Mirkovic, B. and V. Totic, Airport Apron Capacity: Estimation, Representation, and Flexibility. Journal of Advanced Transportation, 2014.
- 21.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.
- 22.Mirković, B., et al., Airport apron roundabout–Operational Concept and Capacity Evaluation. Transportation Research Part C: Emerging Technologies, 2017.
- 23.RunwaySimulator,
https://www.faa.gov/airports/planning_capacity/runwaysimulator/.
- 24.MITRE, Runway Simulator Brochure, 2017.
- 25.Airtop, <https://airtopsoft.com/overview/>.
- 26.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。
- 27.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。
- 28.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。
- 29.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。
- 30.李昀諭，空邊模擬模式之研究，國立成功大學，2001 年。

- 31.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。
- 32.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。
- 33.張淳智、戴佐敏，臺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。
- 34.臺北國際航空站，臺北國際航空站 107 年年報，2018 年。
- 35.交通部民用航空局，臺北飛航情報區飛航指南，2020 年。
- 36.全國法規資料庫，航空站空側設施及作業認證辦法，2017 年。
- 37.交通部民用航空局，松山機場飛航指南，2021 年。
- 38.臺北國際航空站，松山機場停機坪安全管理規定，2020 年。
- 39.交通部民用航空局，參加國際空運協會第 145 屆時間帶協調會議報告，2020 年。
- 40.MITRE，桃園國際機場與松山機場空域現況分析及評估，2010 年。
- 41.交通部民用航空局，臺灣桃園國際機場未來三條跑道飛航作業研究與機場東面限建高度放寬影響評估，2016 年。
- 42.Helios, Capacity Assessment at Dublin Airport for the Purpose of Setting Slot Coordination Parameters, 2017.
- 43.董吉利，臺北終端管制區國際線離/到場航空器垂直飛航軌跡之探討，國立交通大學，2005 年。
- 44.交通部民用航空局，飛航管理程序，2021 年。
- 45.交通部民用航空局，民用機場設施與能量，2020 年。
- 46.ICAO, Aerodrome Design Manual Doc 9157, 2005.
- 47.Mascio, P.D., G. Rappoli, and L. Moretti, Analytical Method for Calculating Sustainable Airport Capacity. Sustainability, 2020.
- 48.AirportTools, Basic SIMMOD Study Creation Tutorial Featuring Visual SIMMOD, 2005.

附錄 A：訪談紀錄

訪談對象：臺北國際航空站

日期：110 年 3 月 24 日上午 10:10-12:00

地點：臺北國際航空站

人員：梁仲平組長、顧大偉臺長、張偉君主任管制員、李敏華管制員、呂蕙美研究員、李宇欣教授

主要議題

1. 桃機對松機起降之影響如何？

A：桃機與松機地理位置接近，緯度幾乎相同。松機 10 跑道之五邊幾乎對準桃機。因此松機離到場儀航程序之設計需要避開桃機空域。而程序受限，壓縮了松機之跑道容量。然依程序運轉時，松機與桃機並無相互干擾之狀況。惟某機場流量大的時候需要借用他方的空域，此時就會相互影響。受影響最大的是 10 跑道到場以及 28 跑道離場。

2. 松機之慣用滑行路徑？

A：通常使用最短之路徑。

3. 一般而言，到場航空器如何選擇跑道出口？

A：塔臺管制員會觀察到場航空器之減速狀況，並建議使用之出口。若有某出口因其他航空器之活動而不可使用，塔臺會先告知。

4. 松機的拖機狀況如何？

A：不多，且拖機距離近。因為機位較充裕，因此停留時間略長時不一定要先拖走，夜駐機也儘量排在隔天使用的停機位。較常見的是進出棚廠，或進出試車區(位在 N1 與 E 滑行道之間的軍方機坪)。中午 12 時至 14 時機場較忙，若有拖機就會有一些影響，但一般而言影響不大。E 類的大型航機可用的接駁機坪只有 2 個(73、

74)。而 E 類因為乘客超過 300 人，大都儘量安排空橋，否則接駁車每車僅能載 70 人，而松機僅有 4 輛，且常同時還有其他航班在使用。但 E 類又常停較久(例如上午 11 點多來，3 點多才走)因此會先拖到 73/74，下午再拖回來。而拖機時會跨過 E 滑行道。最近疫情期間飛機因為輪流飛，所以拖機相對略多。

5. 直升機如何影響跑道及空側其他區域？

A：直升機也依儀航程序進出場。進場時落在跑道，再以地面滑行或滯空滑行到直升機坪。直升機起降時跑道不可有其他航空器同時起降。因此直升機與定翼機一樣都使用跑道，但不使用滑行道也不使用停機位。直升機因為速度很慢，所占用之跑道容量甚至比定翼機多。

6. 軍方如何在跑道及空側其他區域與民航互動？

A：軍方具任務之航機(如 EMS、緊急傷患後送、行政專機、空軍 1 號)較民航機有較高的優先權，航管需視情況安排其優先離到場。由呼叫到起飛大約是 7 分鐘。專機中隊駐在松機，這些飛機可能一星期兩三次。但軍方的一般任務就沒有優先權。

7. 勤務車輛之活動如何影響空側之航空器活動？

A：基本上不影響。

8. 何謂機場之熱點？

A：熱點為容易犯錯之位置。

訪談對象：桃機公司

日期：110 年 9 月 9 日上午 10:00-12:00

地點：桃機公司

人員：航務處鄭羽哲助理工程師、企業發展處許家瑞處長、羅文惠資深管理師、張嘉琪工程師、總管理處畢金菱研究委員、呂蕙美研究員、符玉梅研究員、李宇欣教授

主要議題

1. 對於運研所開發之空側容量分析方法，桃機公司認為應需具備哪些重要功能？

A：容量是可接受的服務水準。產出機場的 Airport profile，可允許的容量邊界。將「起降合計容量」擴充到「起飛容量」以及「降落容量」。此外希望能看到達成容量之延遲、服務水準等，並探討 VFR/IFR 之容量各是如何。

2. 桃園國際機場停機位容量狀況如何？

A：多數狀況為離場前 90 分、到場後 60 分占用停機位，轉換時間 30 分，合計 3 小時。以 18 小時計，每席停機位每日約服務 12 航班。國際上常用之標準則為每日 8 至 9 航班。

訪談對象：民航局

日期：110 年 9 月 2 日下午 13:45-16:00

地點：交通部民用航空局行政大樓

人員：張自立專門委員、呂蕙美研究員、李宇欣教授

主要議題

容量分析工具之運用

1. 民航局對容量分析工具之預期使用方式(所需要之重要功能)、未來可能之分析情境如何以及未來容量分析工具應用之重點？

A：可參閱本局所辦理之「『桃園國際機場障礙物限制面劃訂及影響評估』委託技術服務」期末報告書(初版)。

2. 民航局過去使用國外工具之經驗或案例如何？

A：本局執行各種容量分析專案時常使用模擬。

3. 民航局對國外相關分析工具如何驗證？

A：工作小組集體認為合理。

附錄 B：專家學者座談會暨成果發表會紀錄

「國際機場空側容量評析方法建立與後續應用」 專家學者座談會暨成果發表會紀錄

採購案編號：IOT-110- ECB007

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(1/2)

時間：110 年 11 月 22 日 14:00

地點：交通部運輸研究所

主持人：許組長書耕

出席者：如簽到單

紀錄：財團法人成大研究發展基金會李宇欣

研究團隊簡報

略

主要結論

交通部民用航空局臺北國際航空站

1. 本場確是少有塞機問題，與模擬結果相符。
2. 本計畫所開發之工具若能協助分析本場未來若因施工或其他因素封閉部分滑行道，或未來若變更停機位運用模式，對容量會有何影響，將會很有幫助。

桃園國際機場股份有限公司

1. 本計畫開啟了有系統研究容量相關重要課題之方向，桃機表示肯定。
2. 建議加強說明 K_i 以及由非航空體系引入之研究成果。
3. 機場公司企發處期待使用本計畫成果協助設施配置之規劃，以及評估施工等變動對容量之影響。

交通部民用航空局飛航服務總臺

1. 造成滑行道延誤之重要原因有道面施工、交叉口、航機後推等，至於滑行速率與模擬結果一致，確非重大影響因素。
2. 模擬結果松山機場容量為 24.5 架次/小時，與民航局公布之容量相當接近。
3. 未來實際使用時，如何取得精準之參數將為重要課題。目前航空器占用跑道時間之數據，可能僅能由雷達原始資料去解析。
4. 未來更精進之方向建議可考慮跑道在不同時段使用運用模式之評估。
5. 可能待有雛形再討論空側容量手冊架構會更具體。
6. 本計畫成果用以評估滑行道變更或關閉、跑道關閉之影響，可用以協助流量管理。

交通部民用航空局

1. 桃機於實際運轉時，可能以 2 個較小停機位供一個大型機使用，未來可考慮納入研究範圍。
2. 各項容量分析之方法，建議說明其核心技術是來自何項國際文獻。
3. IATA 所出版之 Airport development reference manual 對本計畫應有參考價值。
4. 停機位之位置可能影響地停時間，可納入容量分析考慮。

汪教授進財

1. 松山機場應具有每小時 30 或 40 架以上之跑道容量，義大利 Costa Smeralda Airport 與松山機場類似，其跑道可達到每小時 50 架次之容量。
2. 機場空側容量之重點應在滑行路徑之衝突點，航機性能對容量亦有影響。
3. Air traffic technology 期刊、ICAO 之 9157 號文件、FAA 對航管的手冊均有容量分析相關資料、公式以及所需要之參數，建議可參考。
4. 參數之設定應考慮機場之設施以及航空器之間的時間隔離。
5. 機場之容量受到航管之影響。
6. 跑道每小時可起降之容量可由航機起降之間的時間間隔來推算。
7. 縮短航機在停機位之停放時間可提高每小時可服務之航機數。
8. 模擬不一定要使用數學模式，可考慮使用 Excel 來達成。
9. 機坪容量亦可用旅客數來估算，同時亦須考慮起降組合之影響。
10. 容量分析應該要考慮到異常狀況發生後處置之影響。

11. 容量手冊有其必要性。

朱前組長冠文

1. 機場容量之基礎研究有其重要性，而複雜度亦遠高於公路之狀況，高度肯定本計畫之成果。
2. 容量分析結果亦有助機場管理單位掌握預估機位之使用率。
3. 精準的參數對未來應用很重要，例如跑道濕滑狀態對各參數之影響等，均為未來相關單位需要掌握之數據。

張總工程司國揚

1. 高度肯定本計畫之成果。
2. 不論是 ICAO 或 FAA，目前均無完整、廣為接受之空側容量評析方法。IATA 之 ADRM 亦僅定義陸側容量而未定義空側容量。
3. 本計畫所提出之各種核心因素大致正確。
4. 跑道與滑行道相互影響密切，容量分析時建議考慮合併分析之。是否需要分析停機位容量亦可再思考。
5. 機場之管制措施以及營運條件，為影響容量兩項最主要之因素。
6. 跑道占用時間為影響跑道容量之核心因素，但其定義常因機場而異。本計畫開發容量分析方法時應予明確定義。
7. 分析跑道容量之目的，在根據跑道容量來規劃其他設施之設置與運轉方式。容量值本身之精準度並非關鍵。
8. 影響停機位需求數之二項最主要關鍵因素為對過夜機位之需求，以及最尖峰之需求量。而機場亦常見過夜機之數量超過停機位數量。

交通部運輸研究所
「國際機場空側容量評析方法建立與後續應用」
專家學者座談會暨成果發表會
簽到單

時間：110 年 11 月 22 日下午 2 時

地點：交通部運輸研究所 主持人：許書耕

出席		簽名
交通部民用航空局	林前局長志明	請假
國立陽明交通大學 運輸與物流管理學系	汪教授進財	汪進財
交通部民用航空局 航站管理小組	朱前組長冠文	朱冠文
中興工程顧問 股份有限公司	張總工程司國揚	張國揚
交通部航政司		請假
交通部民用航空局		陳俊佑 李依庭 張孝惠 陳俊羽 張城鈞
交通部民用航空局飛航服務總臺		張德良 修天浩
交通部民用航空局臺北國際航空站		郭世平 李敏華
桃園國際機場股份有限公司		郭羽哲 潘志強
交通部運輸研究所		符玉梅 吳志強
財團法人成大研究發展基金會		李宇欣 陳彥青

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-110- ECB007

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(1/2)-臺北松山
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 (依發言順序)	合作研究單位 處理情形	本所計畫承辦單位 審查意見
梁委員仲平		
1.建議於報告書中列表說明預期完成之工作項目中那些項目已完成即已完成項目對應之報告書中之章節位置。	1.已列表說明於期末報告初稿中。	同意辦理。
2.工作項目包含建置臺北松山機場空側容量分析模式，並完成模式驗證。期中簡報中說明目標成果包含「容量分析方法開發-產出一套可用之分析程序」及「成果應用方法開發-研發一套可供實務界易於使用之操作方法，以使成果較易使用，並以未來持續精進成為機場容量手冊為遠期目標」。前述「方法」、「程序」等所指是否包含「應用軟體」，請再釐清。	2.工作項目並未包含「應用軟體」。惟軟體之開發為開發容量分析方法過程之一部分。	同意辦理。
張委員自立		
1.目前所列影響容量機制如航機前後隔離(時隔)或跑道閒置…，是航管作業或機場營運的現象。有關表 3-1 的呈現方式，建議可從設施條件、天候與周邊障礙物環境、	1.若由本表之設置目的觀之，歸類並非必要。衡量各項目之影響廣泛性，可能並無真正妥切之歸類方式。為	同意辦理。

參與審查人員及其所提之意見 (依發言順序)	合作研究單位 處理情形	本所計畫承辦單位 審查意見
跑道模式、航機組成、航管作業等項，參考前述文獻酌予調整歸類方式。	避免誤導讀者已自該表移除此欄。	
2.現況民航界針對跑道、停機坪與滑行道運作，在實務或營運上有共通性定義，目前簡報第 15、16、17 頁各系統容量定義，彼此間與文字上似乎有不一致或不明確之處。 3.建議參考上述現況通用定義，檢視本計畫各系統定義，以及在空側容量系統評估過程，輸入的資料與成果呈現的數值/單位。說明如下： (1)跑道：民用機場設施能量表，是以尖峰小時起降架次，顯示(宣告)該機場跑道容量。例如：松山機場是 23 架次；桃園機場是雙跑道 50 架次、單跑道 30 架次 (2)停機坪：營運上主要以靠橋、遠端(含過夜)機位區分，呈現該機場供給能量的概念。在計算單位上會有跨越 1 小時的情況(單走道航機占用機坪時間為 40~120 分鐘、雙走道占用時間為 60~180 分鐘)。 (3)滑行道：目前沒有容量的定義。參考 ICAO 9157 文件：「滑行道系統應該是在沒有顯著延遲情況下，容納飛機離/到跑道需求的系統，同時應避免對機坪作業造成干擾。如果跑道使用率提高，滑行道系統應擴充，以免成為機場容量的限制。」因此本計畫對滑行道系統容量，建議可定義為可接受	2.期中簡報第 15 至 17 頁旨在說明跑道容量及停機位容量。此二種設施之運轉性質差異甚大，因此本計畫個別予以設計不同之容量衡量方法。 (1)瞭解，謝謝。 (2)瞭解，謝謝。 (3)此與本計畫看法一致，已納入第 4.6 節說明。	同意辦理。 同意辦理。

參與審查人員及其所提之意見 (依發言順序)	合作研究單位 處理情形	本所計畫承辦單位 審查意見
之服務水準/延滯下，可提供跑道之尖峰小時起降架次。		
(4)除了上述項目外，機場營運是採用夏、冬季時間帶，主要參數是跑道起降架次(尖、離峰不同)及停機位(使用單位如前述單、雙走道航機占用時間)。 4. 本計畫空側容量分析流程 (1)目前模式執行流程上，是從 $A=R$ 為起始，之後透過停機位 K 的結果修正 A，之後再透過滑行道 T 的運算結果再修正 A，以達到平衡之後的計算為基準。因此，起始值 A 的輸入值，相當重要。但在實務上，跑道與滑行道、機坪間運作一般是均衡的狀態。其中，跑道起降架次是最不易更動、或優先性最高的系統，不會因為滑行道或機坪參數變更，而調整跑道參數。 (2)目前跑道有關各項參數中採最小間隔時間，實務上不是一個固定數值，而是類似號誌路口不同尖離峰採用的時制表(視不同交通特性採不同套時制)，針對不同機型、前後到離、速度、儀器或目視、天候等因素，提供不同的航管隔離。 (3)跑道、滑行道與機坪之間，會有使用哪一條跑道起/降，之後使用哪一條滑行道(路徑)，指派到哪個機位的關係。一般來說同一航空聯盟會有大致固定路徑與機位(群組)。因此，目前模式是否有考量或能反映前述實務運作之特	(4)瞭解，謝謝。 (1)確是如此。也因為跑道容量不會因為滑行道或機坪參數受影響，因此本計畫能夠獨立分析之。而圖 4.2 之容量分析之方法中並無反覆修正以達平衡之設計，亦以此為基礎。 (2)本計畫所設計之跑道容量分析方法，係以不同機型、前後到離之最小間隔時間作為參數，因此具有高度彈性可容納此處所提，因各種因素而形成之最小間隔時間。 (3)本計畫以臺北國際航空站為標的，而該機場僅有一條跑道，因此尚未納入完整之起降跑道選擇機制。滑行路徑之選擇為模擬軟體功能之一部	同意辦理。

參與審查人員及其所提之意見 (依發言順序)	合作研究單位 處理情形	本所計畫承辦單位 審查意見
性，請考量。	分。 同一航空聯盟會有大致固定機位(群組)，與本計畫所開發之容量分析方法相容。	
5.建議目前模式架構、輸出參數與輸出成果，還是需參考實務統計資料進行檢視。未來應用上，才能針對所知系統瓶頸，藉由改變參數(如改變滑行道路徑、機坪配置)，產出新的模擬結果，作為改善機場運作或提供規劃發展的目的。	5.容量評估方法為達到在真實世界運用之可能，有必要適當設計納入實務統計資料之機制。至於利用改變參數進行敏感度分析以探求各種因素對容量之影響，確為容量分析之重要目的之一。	同意辦理。
蕭委員傑諭		
1.報告書第 2.3~2.4 節(第 9~25 頁)，建議引用文獻內容可再考量更結構化，擷取與討論與本計畫相關之部分，不重要的資訊可考慮刪除(例如文獻封面)。	1.謝謝。已依建議僅擷取與討論與本計畫相關之部分。所有封面圖示均已刪除，其他內容亦以僅討論與本計畫相關之部分為原則以利聚焦。	同意辦理。
2.報告書第 2.8 節(第 32 頁)，針對松山機場 7 日航班資料，可以統計圖表呈現航班運作相關統計值，以利讀者了解相關資訊。	2.已整理於表 2-1。	同意辦理。
3.報告書第 3.3 節(第 34~37 頁)		同意辦理。
(1)本節內容部分文字說明不精準，混淆跑道容量與機場容量，建議再次檢視修訂。	(1)已修正，謝謝。	
(2)文中提及影響跑道容量的三大類因素，其中第二類為「跑道容量降低」，以此為因素名稱可能不	(2)已修正為「跑道不良狀況」。	

參與審查人員及其所提之意見 (依發言順序)	合作研究單位 處理情形	本所計畫承辦單位 審查意見
妥，似乎是將「跑道容量」本身列為影響「跑道容量」的因素，建議再考量修訂。		
(3)圖 3.1 說明「究竟是起飛或降落並不影響本圖」，但實際上起降航機運作對系統影響明顯不同，建議將該圖改為時空圖(Time-Space Diagram)，能更清楚呈現航機之運作，尤其是能包含最後進場階段的時空問題，將該階段明確納入容量分析。	(3)起降航機運作對機場系統影響確是明顯不同。然而圖 3.1 所顯示資訊之範疇並非整個機場系統，而是站在系統模擬之立場，以抽象化之方式呈現跑道之占用與釋放事件之先後發生順序。跑道在模擬系統中視為一個點，因此圖 3.1 亦可視為僅有一個點之時空圖，其橫軸為時間，縱軸為空間(僅有一個點，即為跑道)。且因僅用以呈現事件之先後順序，本圖之時間軸並無刻度。至於文獻[16]所使用之時空圖則呈現之資訊範疇遠超過圖 3.1 之目的，易生混淆。	
4.報告書第 4.1 節(第 39 頁)，建議將圖 4.1 之內部與外部參數明確說明，有助於讀者理解本計畫分析方法。	4.圖 4.1 為容量分析系統架構示意圖，其中之參數分別於各模組說明之。	同意辦理。
5.報告書第 4.3 節(第 41 頁)，文中提及我國不預期未來出現 3 跑道機場，但桃園機場公司已規劃第三跑道，建議修訂相關討論。	5.謝謝，已修正相關討論。	同意辦理。
6.報告書第 4.4 節(第 41~43 頁)		同意辦理。

參與審查人員及其所提之意見 (依發言順序)	合作研究單位 處理情形	本所計畫承辦單位 審查意見
(1)目前國際上對於航機前後隔離多採用距離標準，且近年標準有所檢討與更動，建議解釋為何採用「最小時間間隔」，且將所採用之標準明確列出。 (2)「航空器重量等級之比例」宜檢討修訂，因為近年航空器起降分類標準，除了重量，還考慮機翼寬度(Wingspan)。	(1)速率已知時，距離與時間可相互換算。實務上航空器於空域多使用距離作為隔離標準之量度，但本計畫並不及於空域，爰使用時間作為隔離標準之量度。至於所使用之量，即為輸入之參數。 (2)本分析方法對於航空器之分類標準並不作任何假設，因此若除了重量之外還須考慮翼展(Wingspan)或任何其他項目，均不影響本分析方法之適用性。已加強說明於第 4.4 節。	同意辦理。
7.報告書第 4.5 節(第 43~44 頁)，宜詳加說明為何採用「最大容許使用率」，因為這個參數似乎是人為設定的限制，與航機運作特性無關，而且直接影響容量；另外，其計算單位為何(例如每小時或每天)宜明確定義。 8.報告書第 4.6 節(第 45~46 頁) (1)為何要設定「拖機數量」與「空側航空器之數量」參數來估計滑行道容量？通常估算容量乃估算該設施在其他條件都能配合的情況下所能提供之最大服務量，本計畫先限定拖機數量、空側航空器數量，恐無法估計出滑行道系統所能提供容量，建議詳加說明。	7.謝謝指正，本項已檢討取消。 (1)考慮拖機數量為配合招標文件之要求而納入。另本計畫並未限定拖機數量、空側航空器數量。	

參與審查人員及其所提之意見 (依發言順序)	合作研究單位 處理情形	本所計畫承辦單位 審查意見
(2)建議將本計畫採用之所有「其他參數」明確列出，不宜用「等等」帶過。 9.報告書第 4.7 節(第 47~49 頁) (1)模擬規則是否考量部分機型僅能停放特定停機位之情況?例如大型機無法停放小停機位，但小型機可以停放大停機位(當有需要時)。 (2)目前運作規則似乎將各組停機位視為獨立處理，然而機場實際運作可能非如此，各組可能相互支援備用，例如登機門的停機位都已被使用後，可能選擇使用遠端的停機位。若將各組視為獨立，恐低估整體停機位之容量。 (3)步驟 7 之解讀可再考量：停機位之滿載與否，除了受限於跑道容量以外，亦跟原本就停留於該組停機位之航機數量有關。	(2)配合辦理。 (1)本計畫所使用之模擬技術可處理此種狀況，但若納入容量分析方法中，勢必將增加使用者設定參數之複雜性。建議本項考量先予保留，日後若實有需要再予納入。 (2)本計畫目的在評估停機位容量，不在產出真實可用之停機位運用計畫。二者目的、技術不同，無法兼得。本計畫所使用之模擬技術可處理此種複雜狀況，但若納入容量分析方法中，勢必將增加使用者設定參數之複雜性。在精準度與易用性之間如何取捨，有待未來使用者之回饋。建議本項考量先予保留，日後若實有需要再予納入。 (3)若有停機位被長時間占用而不能計入容量中，可於容量分析時直接扣除。若雖被長時間占用但使用者認為仍須計入容量中，則於設定參數時	同意辦理。

參與審查人員及其所提之意見 (依發言順序)	合作研究單位 處理情形	本所計畫承辦單位 審查意見
	可假設並無長時間占用。	
(4)圖 4.2 之容量分析結果是否會受三個子容量(R、T、B)分析先後次序影響?如果不會，三個子容量似乎可以平行處理(包含各自的輸入參數)，最後才取三者最小值為機場容量;如果會影響，目前的分析次序要如何合理化、且能確保輸出結果是正確的，請補充說明。 (5)為何需要步驟 12? 如果本計畫模擬方式是以每一架飛機的移動(時間、空間)為基礎去模擬，所有飛機移動結束應該可以統計出流量、決定容量、延誤等統計值;如果後來決定的 A 會影響前面的步驟飛機移動與結果，整個流程似乎需要一直重複直到均衡為止。	(4)分析之先後順序不影響最後結論。但為了達到較高之演算效能，於分析滑行道容量時需要有適當之跑道起降量作為其參數。而此起降量若能參考跑道容量之分析結果，則可提高分析滑行道容量時進行模擬所需要之演算時間。 (5)該步驟之目的並非循環達到均衡，圖 4.2 之容量分析之方法中並無反覆修正以達平衡之設計。該步驟之目的在依容量分析之結果重新計算各設施在該容量水準下運轉之統計量。	同意辦理。
10.報告書第 4.4~4.7 節(第 41~49 頁) (1)第 4.7 節說明「利用前述方法」計算跑道容量(R)、停機位容量(B)或滑行道容量(T)，然而目前報告書中僅列出容量考量因素與輸入參數，並未有具體之計算方法描述，後續研究者無法據以產出相關計算結果。由於跑道容量(R)、停機位容量(B)、滑行道容量(T)之分析方法為本計畫之重要成果，建議詳加說明如何計算、產出三者之容量值。	(1)謝謝指正，已加強說明。	

參與審查人員及其所提之意見 (依發言順序)	合作研究單位 處理情形	本所計畫承辦單位 審查意見
(2)建議仔細說明各輸入參數之設定方式，期使所有假設之合理性得以檢驗。例如各隨機變數採用什麼統計分布進行抽樣模擬，以到場間隔標準差而言，採用常態分配就不合理，因為到場間隔只能大於規範的標準。 (3)抵達時間間隔、抵達時間及誤差分布、占用時間及誤差分布如何計算參採，建議詳加說明。若由實際營運資料計算而來，需特別小心個別觀察值是否是受限於系統容量之結果。	(2)謝謝指正，已加強說明。 (3)容量評估方法為達到在真實世界運用之可能，有必要適當設計納入實務統計資料之機制。本計畫之目標在開發容量分析之方法，對於未來使用者所輸入之參數來源並無是否應用實際營運資料統計之限制。	
11.報告書第 5.1 節(第 50 頁)		同意辦理。
(1)所謂「輸入之參數均為合理假設之值」，建議將實際使用之重要參數列表說明。	(1)謝謝，已加強說明。	
(2)為何將到離場架次均設定在 20 架以下進行模擬？此基本設定就已限定所估算的到、離容量，是否考慮到或離(可能其中一種)的架次超過 20 架次的情境？建請補充說明。	(2)每一次進行模擬結果之合理性測試必須設定其測試範圍，軟體才能運算。不論使用任何值作為測試範圍，均不會對該方法或軟體之可適用範圍產生影響。	
(3)為何需要特別排除三種「極端大量」之組合？照理這三個組合一樣可以模擬，而其結果也是會被壓抑在前緣斜線內，建請加以解釋。	(3)模擬軟體不但對這些組合完全可模擬，對於其他更高之值亦完全可模擬。關鍵並不在可模擬與否，而	

參與審查人員及其所提之意見 (依發言順序)	合作研究單位 處理情形	本所計畫承辦單位 審查意見
	是在模擬結果之參考價值。這些測試例之所以排除部分組合，其目的在呈現本系統排除使用者所指定之組合的能力。	
12.參考文獻(第 55~56 頁)，數個參考文獻引用格式或內容有誤(例如[8],[9]之作者)，建請再次檢查修訂。	12.謝謝，已修正。	同意辦理。
13.報告書中多處討論內容混淆流量與容量的概念，建請再次仔細檢視修訂。	13.容量與流量之含義並不同。已修正報告書中可能混淆之處。	同意辦理。
李委員建國		
1.第 3.3 節有關前後航班於跑道間隔示意圖，表示航機 A 與航機 B 進入跑道之時間間隔為間距乙節，因為降落航機在進場五邊最後進場點(尚未進入跑道)時，就已視為占用跑道，因此該項定義恐有誤差，請參考。	1.已將圖 3.1 中，「進入跑道」修正為「占用跑道」、將「脫離跑道」修正為「結束占用跑道」，以更接近原意。	同意辦理。
2.表 3-1 中影響容量機制欄內，所謂「影響前後時隔」、「影響占用跑道時間長度」及「影響小時架次上限」等，其代表內涵是否相同？	2.影響容量機制之內涵是否相同，應視「內涵」所指為何。若所指為：對跑道容量影響之有與無，則這三項之內涵確是相同。	同意辦理。
3.第 4.4 節跑道容量分析，是否可針對一條跑道，就 5 項參數可能的組合，尋找出該跑道理論值的最大容量？請補充說明。	3.有過往文獻探討如何用解析方法計算跑道最大容量理論值[47]。未來亦可嘗試利用本計畫所開發之方法，利用模擬探求之。	同意辦理。
4.第 4.5 節停機位容量分析，推論所	4.其直觀之概念可說明	同意辦理。

參與審查人員及其所提之意見 (依發言順序)	合作研究單位 處理情形	本所計畫承辦單位 審查意見
設定之最大容許使用率愈高，航空器抵達後無法立即進入停機位而需等待之狀況將愈高，但同時容量亦將愈高，請說明其相互影響原因為何？另請說明停機位中有關「每架航空器之平均等候時間」是如何計算？請補充說明。	如下。在航空器抵達與離開停機位之時間均存有隨機誤差(可能提前亦可能延後)之狀況下，停機位容許使用率高時，空閒時間比例愈低。因此航空器不準點抵達其預排之停機位時，該停機位之前一架航空器尚未離去而必須等待之機會愈高。然而因為有航空器等待之機會變高，所以前機離去之後，立即有後機進入之機會亦愈高。 另「每架航空器之平均等候時間」之計算方法，是在模擬進行過程中，若發生某航空器抵達其停機位時無法立即進入而必須等候之狀況，則紀錄其等候之分鐘數。模擬結束後，將上述分鐘數加總，再除以航空器總數，即可得到每架航空器之平均等候時間。	
5.於容量分析中，有關影響航空器滑行而產生「延滯量」之干擾因素主要有那些？請補充說明。	5.在模擬過程中，這種干擾主要來自航空器相互影響，亦即在滑行道交叉處二架航空器相互避讓所造成之延滯。另一種狀況為航空器等待跨越跑道	同意辦理。

參與審查人員及其所提之意見 (依發言順序)	合作研究單位 處理情形	本所計畫承辦單位 審查意見
	時所產生之時間延滯。若該機場並無航空器跨越跑道之操作則無本項。	
林委員信得		
1.第 1.1~1.3 節(第 6~7 頁)，計畫背景之內容裡面「機場空側營運效率」、「機場空側運轉效率」與「機場運轉效率」交互使用，建議統一用詞。	1.謝謝。機場空側之運轉效率，對於機場之運轉效率確有所影響。而這些節之目的在說明本計畫之緣起、目的及重要性，並不具有技術性質。這些詞之使用目的在使文章更為順暢，均非作為具嚴謹定義之專有名詞使用。	同意辦理。
2.第 2.3 節(第 9~19 頁)，美國 FAA 1983 年之 Airport Capacity and Delay，該文獻出版年代久遠，而且許多圖文模糊不易辨識，如何證明其仍具參考價值，請補充說明。	2.於文獻中雖有對該 FAA 文獻[6]之肯定[7]，但並未找到其參考價值之證明。而通常對於文獻之引用，並無需證明其參考價值。	同意辦理。
3.第 2.8 節松山機場資料(第 30 頁)，停機坪與停機位都以「處」為單位；第 4.7 節第 2 點「各組停機位」、最後一段 Bi 為「第 i 分組停機位之容量」，上述用詞請斟酌修正，建議統一用詞。	3.已在第 1.3 節以專節說明用詞，以及關鍵設施之單位。至於某分組之停機位容量等用詞，經查與原意相符，應無修正之必要。	同意辦理。
4.第 3.2 節(第 33 頁)，有關成果應用方法開發，如果未來以持續精進成為機場容量手冊為遠期目標，請說明「機場容量手冊」之定義。	4.所謂「手冊」一詞，指便於瀏覽的記事小冊，或介紹一般性或專業性知識的小冊子。該詞於數種不同之專業領域，用於作	同意辦理。

參與審查人員及其所提之意見 (依發言順序)	合作研究單位 處理情形	本所計畫承辦單位 審查意見
	為方便查閱之資料的名稱，例如「公路容量手冊」即是。本計畫尚未具體設計、定義未來之「機場容量手冊」，而是以電子化以及方便查閱作為遠期目標。後續若廣續進行「機場空側容量手冊」開發，自當予以明確設計。	
5.第 3.3 節 (1)第 35 頁第 2 點，「跑道容量降低」應係指「跑道不良狀況」。 (2)第 35 頁最後一段，係指「跑道容量」或「機場容量」？建議統一用詞。 (3)第 36 頁倒數第二段，係指「跑道容量」或「機場容量」？建議統一用詞。 (4)表 3.1，係指「跑道容量」或「機場容量」？建議統一用詞。 6.第 4.7 節 (1)第 47~48 頁，A、R 與 Bi 之定義敘述請再斟酌修正。 (2)第 48~49 頁，圖 4.2 步驟 10，究係 A>T 還是 T>A？請確認。 (3)第 47~49 頁，請確認「跑道容量」、「機場空側容量」或「機場容量」之差異，建議統一用詞。	(1)謝謝指正，已依建議修正。 (2)謝謝，已修正該段文字用語。 (3)該段內容整理綜合文獻[7]第 4 章之論述，而原始文獻確是討論機場容量無誤。 (4)該處係指跑道容量，已修正。 (1)已修正文字使其更易瞭解。 (2)確認 A>T 無誤。 (3)除直接引用自文獻處須忠於原文外，「機場容量」已統一修正為「機場空側容量」。至於「跑道容量」與	同意辦理。 同意辦理。

參與審查人員及其所提之意見 (依發言順序)	合作研究單位 處理情形	本所計畫承辦單位 審查意見
	「機場空側容量」為不同之意義，仍予保留。	
(4)請依所取得臺北松山機場之進場與離場 1,457 筆真實動態紀錄資料，進行演算說明。	(4)本計畫所開發之容量分析方法，其演算並非以動態紀錄資料為基準。	
民航局		
1.第 2.3 節國際文獻，本案跑道、停機位、滑行道、機場空側容量之分析方法主要係參考 FAA 於 1983 年出版之「Airport Capacity and Delay」，該文件除年代甚為久遠外，其中計算跑道理論容量主要係以下三者之乘積：跑道容量參數(C*)、連續起降(touch-and-go)航班比例，跑道出口形狀參數(E)；與當前複雜之空側作業環境或航空器特性顯有差異，例如：報告第 25-26 頁提及影響跑道容量因素包括：航機隔離、天氣、空側布置、機型比例、空域、跑道運作模式等因素，故 FAA 文件方法係一極簡化之理論評估。	1.FAA 文件[6]之方法確有其簡化之處。本案開發容量分析方法係以系統模擬作為主要技術，已加強說明於第 4.3 節。	同意辦理。
2.為解決此資訊不足致失真現象，近期國際間均採縮時模擬方式對於複雜之空域、空側環境進行容量評估，該模擬方法亦為本案產製容量數值之主要工具，有別於 FAA 文件之簡易做法，建議釐清說明，避免混淆。	2.本計畫所開發之方法確是以系統模擬作為主要技術，與 FAA 文件[6]之方法有相當之差異，已加強說明於第 4.3 節。	同意辦理。
3.第 2.3 節國際文獻，「以跑道、滑行道、停機位之跑道容量當量之最小者作為整體機場小時容量。」之「整體機場小時容量」，是否未	3.該節所回顧之文獻為 FAA 文件[6]。如回顧所述，該文獻之內容並未及於航廈。	同意辦理。

參與審查人員及其所提之意見 (依發言順序)	合作研究單位 處理情形	本所計畫承辦單位 審查意見
考慮航廈旅客容量?與一般認知「機場容量」係通盤考量空、陸側容量有所不同,請再予釐清。有關「原因是機場空側之各種延滯量受到機場運轉管理策略之影響,亦即管制員或其他相關人員往往能夠經由各種手段轉移延滯發生之時機與位置」一節,似與原文3.2.2 節(圖 2.28)所述不同,原文指出:機場單位可選擇是否設定於正常模式運作下且符合安全條件之容量(即便損失航行量),或於降等模式運作下且可接受延滯之容量,請再確認。	另有關圖 2.26 所擷取文獻[7]之原文,報告書相關文字確非該段原文之直譯,而是在論述「機場空側所觀測到之各種延滯量受到機場運轉管理策略之影響」之觀點。該觀點與文獻[7]所指出之「The observed delay is actually part of the airport performance strategy」出發點相近,因此擷取原文以方便對照。惟為避免僅取單一句子而造成斷章取義,圖 2.26 連同上下文一併擷取。此處本意並非該段原文之直譯。	
4.因本期研究主要係建置臺北松山機場空側容量分析模式,建請依該機場實際統計數據建立相關參數值,有利後續校估模式之合理性,以及便於使用者從需求面或實務經驗提供建議。 5.本計畫報告書聚焦於各項空側變因對跑道、滑行道、停機坪容量之影響,陸側變因雖非研究範圍,然機場空側容量實際仍會受其影響,建議報告內容可概述未來如何進一步將陸側變因整合,以產出完整之空側容量分析。 6.機場空側中長期計畫性工程,會影響機場空側容量長達數年以上,建議未來針對要研究之機場,	4.謝謝,將以此為進行之目標。 5.謝謝,將納入建議之後續研究項目中。 6.謝謝,容量分析方法將納入考量長期計畫性工程之機制。	同意辦理。 同意辦理。 同意辦理。

參與審查人員及其所提之意見 (依發言順序)	合作研究單位 處理情形	本所計畫承辦單位 審查意見
如有空側中長期計畫性工程即將進行，應將相關變因納入研究範圍，俾利航空站進行工程期間之空側管理。		
民航局飛航服務總臺		
1.第 3.3 節，並非所有情況航機在跑道上的占用時間都如圖 3.1。例如：連續放行 2 架離場航機，第一架離場航機開始滾行離開跑道頭位置，雖加速但尚未離地，就可以允許第二架航機進跑道等待，所以第二架離場班機占用跑道開始時間，並非第一架離場航機起飛離開跑道以後才開始。同樣，降落航機後要放行 1 架離場航機，當降落航機通過降落跑道頭以後，不需等降落飛機脫離跑道，就可允許離場航機進入跑道頭等待，因此離場航機占用跑道時間，也非從降落航機脫離跑道後才開始。究竟如何妥適決定占用跑道時間，前揭意見尚請考量。	1.謝謝指正。已依此在第 3.4 節加強論述。	同意辦理。
2.第 3.3 節，有關「管制員人力充裕程度影響平均每小時可服務航次數」部分，以本區而言並無因人力不足而影響服務架次及跑道容量情形。	2.謝謝，已確認本報告並無任何文句陳述飛航服務總臺任何單位之人力充裕狀況。	同意辦理。
3.第 3.3 節，機種組成對跑道容量亦有顯著影響。以臺北松山機場為例，尚有因前慢後快之離場組合(前離後離)或離到組合(前離後到預防重飛)，會明顯增加前後間隔。本年度既然以松山機場為研究標的，特別予以提醒。	3.謝謝提醒，開發容量分析方法時，將會納入前後間隔之考慮機制。因為前後速率之差異，或因為離到組合而影響前後間隔時可運用之。	同意辦理。
4.第 39 頁文字及圖 4.1 所提內部及	4.已在第四章設置專節	同意辦理。

參與審查人員及其所提之意見 (依發言順序)	合作研究單位 處理情形	本所計畫承辦單位 審查意見
外部參數指的是哪些？這個案子的模擬評估處理作法為何？以目前報告書看來似乎類似為黑盒子，請加以說明，俾協助審視相關參數及模擬處理過程之合理性。	說明之。	
5.第4.4節第3點：航管實務上運用跑道並無「降落優於起飛」之原則，基本上離場與到場優先權為相同，除非空中等待航機過多且過久，為減少航機轉降情形，方增加降落比例。	5.謝謝指正。本項資料引用自文獻[16]第492頁，原文為「The basic sequencing rules to service these aircraft are [...略...] Arriving aircraft have a priority in the use of the runway over departing aircraft」。本計畫所開發之分析方法已配合航管實務修訂為「無降落優於起飛」之原則。	同意辦理。
6.第46頁倒數第二段文字，滑行道部分應就滑行道關閉某一段之影響加以評估。滑行道似乎不應視為具有停機位延伸之「儲機」功能，而將航機等待停機位而占用滑行道時間，視為是滑行時間增加。應是將航機等待停機位而占用滑行道之情形，視為滑行道關閉，並評估其對機場運作所造成影響。	6.該處文句之意旨，在論述允許同時存在滑行道系統中之航空器數量很有彈性，因此滑行道系統在機場之運轉中，具有緩衝之功能。然而考量「緩衝」一詞易作多種不同聯想及解讀，因此於文句中再予明確化，說明所指為其「儲機」之緩衝功能，並再進一步闡述，其意為：被跑道、停機位「排除」之航空器，若非進入廠棚，均存在於滑行道系統中之某處位置。	同意辦理。

參與審查人員及其所提之意見 (依發言順序)	合作研究單位 處理情形	本所計畫承辦單位 審查意見
桃園國際機場股份有限公司		
1.建議機場相關資料可以參考「民用機場設計暨運作規範」之相關定義。依據臺北松山機場目前配置，目前應無單一機坪內有多停機位之情形，故建議「停機位」一詞除用於指派之外，其他敘述停放飛機之空間，皆以停機坪來表達。 2.建議明確定義空側容量，依據國際法規與文獻，機場空側容量原則是以跑道容量為主，但是停機位容量、滑行道容量(可容許的延滯下)可能對於跑道容量發生限制。 3.目標成果敘述為「機場容量手冊」，可參考美國 FAA NAS 目前現況，調整為「產出機場容量輪廓資料(Airport Capacity Profiles)」。 透過本計畫產生合理的研析方法，產生機場容量輪廓資料，目前的結果為機場容量輪廓，但是天候、跑道運用型式、空側、或者其他的限制式，都可能影響其結果。 4.第 3.3 節影響容量之主要因素有關「跑道容量降低」部分，機場在容量上限議題，可能需要加上「每日可運作航班上限數」，例如：桃園機場目前每日時間帶有 830 班次上限。在這種時候，機場跑道進	1.依「民用機場設計暨運作規範」[1]之相關定義，「停機坪」為供航空器上下乘客、裝卸郵件或貨物及執行勤務之地方，而「停機位」則為停機坪上供航空器停放之指定區域。本計畫於考慮容量分析時，並未納入乘客、貨物及其他勤務，僅聚焦於停機位指派相關課題。 2.本計畫將機場空側容量定義為：機場空側每小時可服務之架次數。已補充說明於第 3.3 節。 3.機場容量輪廓資料 [15] 系針對個別機場，以既有之容量分析方法予以評估其容量之結果，與開發容量分析之方法有相當之差別。第 3.2 節所說明之計畫目的屬後者。 4.本項屬表 3-1 第 3 項之限制，對跑道之容量確會造成限制，進而影響機場之容量。	同意辦理。 同意辦理。 同意辦理。 同意辦理。

參與審查人員及其所提之意見 (依發言順序)	合作研究單位 處理情形	本所計畫承辦單位 審查意見
行定期維護、或者是因為噪音宵禁之議題，可能會造成機場容量之影響。		
5.第 4.7 節機場空側容量分析要考慮到後續容量放大以測試容量限制的狀態，對於機場而言，「需求」輸入項往往是班表，班表指航班期望可以抵達、離開登機門的時間，研究團隊需要在這種情形，發展如何推估出使用跑道、或者是預估使用停機位的時段，然後再依據模擬系統去跑，才能知道在可行的延滯下之容量為何。	5.謝謝建議，將會在容量評估方法中納入輸入班表之機制。	同意辦理。
交通部航政司(書面意見)		
1.本計畫係運研所運用 107 年已完成之空域模擬模式為基礎，進一步結合相關參數資料，以系統模擬方式完成跑道、滑行道、停機位及機場空側容量分析方法之開發，所考量之層面及其功能與架構已具雛型並可參考應用，未來若欲有效應用在機場，建議可就本計畫假設之參數值，再予就實務狀況進行驗證，並確認設定參數及驗證程序的有效性及合理性，以期研究成果能更符合實際。	1.為了達到高度使用彈性，本計畫所開發之容量評估方法，將絕大部分之參數均開放允許使用者自行設定，系統內部不可調整之參數並不多。未來就這些系統內部參數將謹慎檢視其有效性及合理性。	同意辦理。
2.本計畫以「成果應用方法開發」作為重要目標成果(計畫書第 33 頁)之一，惟目前報告內容僅敘及會將「容量分析方法實作為可應用執行之軟體」列為後續工作，諸如各項參數之設定、輸入、輸出結果判斷等論述較為缺乏，建議再適予補充相關內容或更詳細的實務操作案例，以利使用者應用。	2.謝謝建議，遵照辦理。	同意辦理。

參與審查人員及其所提之意見 (依發言順序)	合作研究單位 處理情形	本所計畫承辦單位 審查意見
3.另本計畫(計畫書第 39 頁)提及之內外部參數之組成，建議具體敘明，以利識別可能造成空側場面活動之瓶頸，俾回應本計畫研究主題與重點中所設定「分析評估現行滑行道配置、班機後推延滯、機坪占用及滑行道混合使用(航機、拖機、或其他干擾地勤車輛等)等，評估是否為空側整體最適容量之最佳配置」、「分析遠端停機位與靠橋停機位之使用調度對空側容量之影響」及「研提臺北松山國際機場空側運作及配置精進相關建議」等研究主軸。	3.謝謝建議，遵照辦理。	同意辦理。
本所運資組(書面意見)		
1.本計畫採用模擬模式來建立我國國際機場空側容量分析，目前已回顧到之國外商用軟體(例如：TAAM 與 CAST)，雖然團隊認為可能未必符合我國需求，但仍建議再蒐集與回顧國際上使用 TAAM 或 CAST 進行之相關研究，藉以進一步掌握模擬模式在機場空側容量分析之內容與發展方式；另美國 FAA 在跑道容量分析與 Mitre 公司合作發展「runwaySimulator」軟體網站(https://www.faa.gov/airports/planning_capacity/runwaysimulator/)有相關文件說明，建議可一併納入探討。	1.謝謝建議，已將該軟體納入第 2.6 節回顧之。	同意辦理。
2.報告第 39 頁，將空側容量分析系統由跑道、滑行道、停機位等 3 個模組所組成，建議後續針對此以上 3 個模組間之互動模式進行探	2.直實機場中 3 類設施之間有複雜之互動。為了達到 3 類設施個別分析其容量之目	同意辦理。

參與審查人員及其所提之意見 (依發言順序)	合作研究單位 處理情形	本所計畫承辦單位 審查意見
討，並利用已蒐集松山機場資料來進行模式分析與驗證。	的，本計畫於釐清其間互動之後，予以參數化，利用參數來模化其間之互動。	
3.研究團隊業已蒐集臺北松山機場2019年8月份的7天紀錄資料，建議先針對資料進行前處理，及用於第五章跑道容量分析之驗證，以利後續模擬模式之構建與驗證。	3.謝謝，將參考辦理。	同意辦理。
本所運工組(書面意見)		
1.請再補充說明本計畫進行空側容量研究之主要應用目的。	1.機場空側容量影響機場營運效率甚大，但因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分析與規劃。本計畫進行空側容量研究之主要應用目的在作為政策評估工具，以評估在各種情境下我國國際機場之空側容量，包含航機運行熱點與空側運作瓶頸。	同意辦理。
2.請補充說明本所 106~107 年完成之「構建空域模擬模式之研究-以臺北終端管制區域為例」及「空域模擬模式功能擴充之研究」主要研究成果與效益，並補充說明該模式已於 108 年 3 月移轉供桃園機場公司實務應用，並經該公司實際驗證情形，以及該公司目前應用之實務案例。	2.已依意見補充說明於第 2.2 節。	同意辦理。

參與審查人員及其所提之意見 (依發言順序)	合作研究單位 處理情形	本所計畫承辦單位 審查意見
3.請補充回顧國際上常被應用之容量分析軟體，如 TAAM、AirTop、CAST 在機場空側容量分析之程序及應用概念，建議一併納入探討。	3.這些軟體已依意見補充於第 2.6 節。	同意辦理。
4.請補充一節精簡回顧民航局及桃園機場公司近年來使用空側容量套裝分析軟體所進行之空側相關規劃分析。	4.國內相關分析目前多由國外公司進行，模擬為常用之方法。已精簡補充於第 2.8 節及第 2.9 節。	同意辦理。
5.請補充機場空側配置變動下之航機延滯影響，以及在延滯下之跑道容量與整體空側容量變化。	5.空側配置、跑道容量、整體空側空量等之分析方法分別說明於第 4.4 節、第 4.6 節及第 4.7 節。	同意辦理。
6.請於後續研究階段，確認跑道、滑行道、停機坪及整體空側容量之關鍵參數，並完整補充空側容量評估程序及參數設定之明確說明，以利使用單位實務應用。	6.遵照辦理。	同意辦理。
7.本計畫雖不針對空域進行深入探討，惟仍請補充空域對機場空側容量影響，說明如何在本案設定空域相關參數。	7.機場空側之主要實體設施為跑道、滑行道及停機坪，亦為本計畫所探討之主要範圍，並不及於空域。此一界定與國際文獻 [6]及[7]一致。因此本案並無空域相關參數。至於空域之間接影響則論述於第 3.3 節及第 3.4 節。	同意辦理。
8.報告中航管、空側相關中文翻譯部分，請參考民航局網頁之「中英辭彙對照」及民航局飛航服務總	8.已補充於第 1.3 節以專節說明用詞及相關出處。	同意辦理。

參與審查人員及其所提之意見 (依發言順序)	合作研究單位 處理情形	本所計畫承辦單位 審查意見
臺網頁之「雙語詞彙」加以修正，並請將相同定義名詞予以統一，以利增加報告之可讀性與一致性。		
會議結論		
1.請研究團隊於後續研究階段，完整補充本案空側容量評估程序及參數設定之明確說明，以利使用單位後續應用。 2.本計畫經諮詢與會委員及機關、單位代表，本期中報告原則審查通過。 3.請研究團隊根據各委員及所有單位意見(含書面意見)，逐項研提處理情形答覆意見，參考納入修訂報告書，並請依契約規定辦理後續事宜。	1.遵照辦理。 2.謝謝。 3.遵照辦理。	同意辦理。 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-110- ECB007

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(1/2)-臺北松山
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
民航局		
1.本計畫之空側容量係分別計算跑道、停機位及滑行道之個別容量後，再取最小值做為機場空側容量之數值，似未考量跑道、停機位及滑行道三者間之相互影響，建請團隊釐清此推估邏輯是否與實際狀況相符。	1.三者間以傳遞參數之方式相互影響，如圖 4.1 所示。已加強該圖相關文字之說明。	同意辦理。
2.建議團隊可於圖 5.1 跑道容量分析結果圖上標示推估出跑道容量(如只起不降為 18.2 架次/小時、只降不起為 14.4 架次/小時、起降相等為 24.5 架次小時)之模擬觀察紀錄點。	2.已依指示標示。	同意辦理。
3.本計畫目前輸入之參數似非以松山機場實際狀況進行設定，建請團隊說明如非以實際參數進行設定，後續將如何驗證本計畫之評估程序與技術。	3.目前之輸入參數確非松山機場觀測之實際值。未來於取得觀測之實際值作為輸入參數之後，擬請民航局等實務單位協助提供近期內委託國外顧問公司進行之相關研究報告，參酌其中對於國外相關分析工具之驗證方法與標準，設計我國自行開發技術時之驗證	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
	程序。	
4.場站組主要業務內容之一為機場規劃，將定期滾動檢討及研提未來 20 年之機場配置藍圖，惟本計畫之方法似需事先建立機場配置之網路後始可求解，建請團隊說明本計畫未來預計產出之「機場空側容量手冊」中是否可應用於機場規劃。	4.如本報告第 4.3 節，規劃未來成果應用方式應充份運用資訊技術。因此對於滑行道系統之布設，將可開發互動式工作畫面供使用者設定之。已在該節加強相關說明。	同意辦理。
5.本案所使用之跑道容量分析參數，僅考慮航機隔離、占用跑道時間、離到航機數量比例及各類航空器數量比例等進行評估，其所產製之結果較類似「跑道理論容量」，因未考慮其他相關影響因素(包括場面配置、滑行道狀況、天氣、航管作業等)，亦未納入可接受延滯(服務水準)，故與「跑道實際容量」或「跑道宣告容量」尚有差異，為避免誤解，建議於「跑道容量」相關章節內容補充本案結果係一理論值，而非實際作業之容量值。	5.如表 3-1 及相關說明所述，天氣、航管作業等對跑道容量之影響，均透過本計畫所解析之核心因素而影響跑道容量。因此，若使用者所設定之各項核心參素值確實反映上述天氣、航管作業等因素，則所分析之結果則將為實際之容量值。亦即，本案所開發之分析方法，是產出理論值，或是產出實際作業之容量值，係取決於所設定之參數是否確實反映各項實務因素對核心參數值。	同意辦理。
6.表 5-1 跑道前後淨距參數，其中到離組合隔離時間 5-30 秒似與實務有差距。到場航機通過跑道頭起算，至落地後滑行至快速出口滑行道脫離跑道，至下一架已進入跑道等待之離場航機滾行起飛通過跑道末端為止，倘無其他因素影響，期間約需 45 秒左右(視機型或操作而定)。	6.該表所使用之 5-30 秒參數值為本計畫自行推估之值。未來取得精準參數之後，亦可應用本計畫所開發之容量分析方法得到更精準之分析結果。 另，如圖 3.1 所說明，	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
	此處之淨距係由前一航空器脫離跑道起算，至下一航空器占用跑道為止。若前一航空器為到場航機通過跑道頭起算，至落地後滑行至快速出口滑行道脫離跑道，至下一架已進入跑道等待之離場航機滾行起飛通過跑道末端為止期間約需 45 秒，則應可合理推估，其間淨距應落在 5-30 秒之範圍內。	
7.有關「停機位容量分析」表格，建議未來可以註記各組停機位之分類基準，例如依航線別、一般航班或商務專機、機型等，因停機位容量分析所需參數如「占用時間需求長度」等，將受其影響。	7.謝謝建議。表 5-4 為整理第五章測試例結果之用。未來若設計本容量分析方法所使用之正式表格，將參考本項意見。	同意辦理。
8.有關部分機型僅能停放特定停機位，因機場管理當局為使停機位數量最大化，會參考市場需求(機型種類)規劃大小不一之停機位，俾利增加空間利用率。故未來停機位容量分析之參數設定，建議將此納入為宜。	8.本案所開發之容量分析方法，對航空器之分類並未作任何假設，可依使用者之需求作任何方式之分類。	同意辦理。
9.本局前於期中審查意見：「民航局意見 5：陸側因素影響空側容量之變因、民航局意見 6：空側中長期計畫性工程之影響」，建請依主辦單位初步回應內容，納入後續之研究分析。	9.已依建議納入第 6.2 節「後續研究」中。	本所因每年研究經費相當有限，倘未來有足夠計畫經費可執行，將進一步考量是否納入陸側影響空側容量之變因。
民航局飛航服務總臺		
1.「松山機場因跑滑道配置之型態，有 2 處熱點（Hotspot）常有航空器發生錯	1.此確與空側容量評析技術關係較少，但為本	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
誤……。另一為航空器由 EH 滑行道脫離跑道後，直行 D 滑行道而誤入軍用機坪。」與本計畫之評估是否有關？建請補充說明。	案要求之工作項目之一，爰已補充說明。	
2.有關連續起降之統計方式，起降應為各 1 架次，爰 2019 年 8 月 9 日至同月 16 日間之總架次應為 1458(738+720)架次，而非「連續起降併計為一筆」之 1457 架次(含「表 2-1 松山機場動態紀錄資料整理」之說明內容)，建請釐清修正。	2.表 2-1 之目的在忠實呈現本計畫配合軟體內部運算所需，整理實務數據以供模擬軟體使用之方式。	同意辦理。
3.本章節為新增章節，建議比照「2.8 松山機場資料」描述方式，提供場面圖或停機坪平面圖等，以利參考。	3.本年期之研究係以臺北國際航空站為主，並未深入處理桃園國際機場之資料。而第五章測試例亦以臺北國際航空站為主要參考，故以第 2.8 節之各項資料呼應之。	同意辦理。
4.本章節資料及圖資相對飛航指南並不完全，本計畫如未就儀航程序進行評估，建請考量本章節於本報告之需要性。	4.本計畫聚焦於空側容量評析方法之開發，並未及於空域，亦未就儀航程序進行評估或分析。第 2.11 節為本案要求之工作項目之一，爰酌予納入部分儀航程序資料。	同意辦理。
5.「表 5-1 跑道前後淨距參數」之「到離」隔離時間(秒)設定為 5-30 秒，似與實際狀況有所差距，建請再予確認跑道模擬所類推之數據是否為實際觀察之紀錄？以及是否合理(本總臺已於 110 年 10 月份工作會議及 110 年 11 月 22 日專家學者座談會提出)。	5.該表所使用之 5-30 秒參數值為本計畫自行推估之值。未來取得精準參數之後，亦可應用本計畫所開發之容量分析方法得到更精準之分析結果。 如圖 3.1 所說明，此處之淨距係由前一航空	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
	器脫離跑道起算，至下一航空器占用跑道為止。若前一航空器為到場航機通過跑道頭起算，至落地後滑行至快速出口滑行道脫離跑道，至下一架已進入跑道等待之離場航機滾行起飛通過跑道末端為止期間約需 45 秒，則應可合理推估，其間淨距應落在本計畫所推之之 5-30 秒範圍內。。	
6.另有關「離到」之時間推估，建議可參考本總臺前於3月份工作會議後，所提供之「松山機場離到場管制作業規定」，推估相關數據，或自行觀察記錄(本總臺已於110年11月22日專家學者座談會提出)。	6.有關「松山機場離到場管制作業規定」第2.4.1條所訂之間隔，係以空間距離(湮)標準。然本計畫之容量分析方法需要以時間為標準。而二者之間並無標準之換算公式，故「松山機場離到場管制作業規定」第2.4.1條所訂之間隔，並無法作為本計畫之用。容量評析所需要之多數核心參數，確是需要由機場運轉之歷史紀錄觀察統計，或由具實務知識經驗人員專業判斷為之，已補充說明於第4.4節至第4.6節。至於若由未來分析機場空側容量之使用者自行觀察紀錄航空器占用跑道時間、前後淨距等參數，	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
	可能對大多數人員而言均有相當之技術障礙；如何進行並得到具有公信力之參數，有待後續再探討。	
7.表 5-2 與簡報第 14 頁應為相同表格，請說明三類航空器如何區分？是以大小、重量、進場空速、發動機型別或其他做分類？請補充說明。	7.本案所開發之容量分析方法，對航空器之分類並未作任何假設，可依使用者之需求作任何方式之分類。	
8.有關滑行道模擬結果部分，因造成航機在滑行道之延遲，通常會發生於滑行道有其他航機後推無法立即滑行、2 滑行道交叉口需等待其他航機先通過或道面施工等狀況，如以滑行速率快慢推論滑行道容量，較不具說服力，尤其一般機場均有訂定航機最大滑行速限狀況下，滑行速率是否為影響滑行道容量之主因，恐仍需斟酌(本總臺已於 110 年 11 月 22 日專家學者座談會提出)。	8.本計畫所開發之容量評析方法，主要目標在釐清跑道起降量與滑行道延遲兩者間之關係。本報告並未指出影響滑行道之主因，亦未以滑行速率快慢推論滑行道容量。	同意辦理。
9.有關本計畫所述之參考文獻「40.飛航管理程序.2017,交通部民用航空局，空軍司令部」，建議改參考交通部民用航空局所頒布 110 年 11 月 4 日生效之「飛航管理程序第 15 版」。	9.謝謝指正，已依建議修正。	同意辦理。
10. 附錄 A-訪談紀錄。 (1)原文:進場時落在跑道，再飄到直升機坪。 建議文字修訂為:進場時落在跑道，再以地面滑行或滯空滑行到直升機坪。	(1)謝謝，已依此修正報告書附錄 A。	同意辦理。
(2)原文:軍方（含特種任務例如 EMS、緊急傷患後送、行政專機、空軍 1 號）與民方之主要差異在於軍方擁有較高的	(2)謝謝，已依此修正報告書附錄 A。	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
優先，呼叫就要起飛可以插隊。 建議文字修訂為:軍方具任務之航機(如EMS、緊急傷患後送、行政專機、空軍1號)較民航機有較高的優先權，航管需視情況安排其優先離到場。		
11.技術文件部分，總臺為實務作業單位，無法就數學模式協助評估合理性。建議本案數學模式請相關專家協助驗證，或以其他評估工具驗證。	11.瞭解，感謝協助。	同意辦理。
12.簡報第22頁，既然評估結果整體容量由跑道容量控制為24.5架次/時，為何超過35架次/時才開始發生延遲？此部分與期末報告書P.64似未一致。	12.由於滑行道系統超過35架次/小時才會開始發生延遲，而跑道之容量僅為24.5架次/小時，因此整體容量由跑道控制。期末報告書初稿第64頁之論述本意亦為此。	同意辦理。
臺北國際航空站		
1.滑行道容量部分，從報告中僅可知道係場面滑行道進行軟體模擬，爾後航站實際使用時，若因施工或其它因素限制部分滑行道使用，使用單位應如何應用？建請補充說明。	1.若航站實際使用時，因施工或其它因素限制部分滑行道使用，則使用者可配合修正在軟體中所設定之滑行道系統，刪除停用之部分，再重新評估容量。	同意辦理。
桃園機場公司		
1.本公司於109年與成大研究發展基金會李教授進行合作，對運研所108年3月移轉給本公司的空域模擬模式進行驗證工作。本公司當時提供桃園機場現況班表資料進行空側容量計算，且不事先給予李教授答案，模擬驗證結果發現，跑道容量僅誤差5%，滑行時間只誤差10%，驗證成果已不下於國際套裝軟體	1.謝謝委員肯定。	感謝肯定與支持。

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
模擬結果之水準。本計畫是使用該模式之模擬技術繼續發展，因此本公司對於本計畫後續發展深具信心，相信明年在桃園機場進行更細緻研究時，我國自主分析民航空域容量之研究能量，必定有很大的進展。		
2.建議文字一致化。 (1)桃園國際機場正式定名「桃園國際機場」(若涉及到機場公司則應正式名稱為「桃園國際機場股份有限公司」，或是簡稱為「機場公司」)。 (2)目前國內機場有在使用「時間帶」規則者僅有桃園機場與高雄航空站，臺北航空站所使用的航班分配為「起降額度」。 (3)第 21 頁，「平行跑道端點錯開」應為平行跑道端點「位移」。 (4)第 22 頁，英國希思洛機場建議改為英國倫敦希斯洛機場（翻譯字較無妨，一致即可，但城市名稱不可少）。 (5)停機位與停機坪，請予以釐清其定義為何。	(1)謝謝，除少數直接引用處忠於原文外，已全面修正。 (2)配合修正。 (3)謝謝，已依此修正圖 2.22 之標題。 (4)已補充「倫敦」。 (5)在一座機場中通常具有多停機坪，依民用機場設計暨運作規範[1]第 3.13 節所述，停機坪為供航空器上下旅客、裝卸貨物及執行勤務之地方。停機坪除了設置停機位之外，依民用機場設計暨運作規範[1]第 3.13.6 節之「註」所述，還應考慮勤務道路、操作區等所需之空間。已說明於第 1.4 節。	同意辦理。
3.詞彙用語 第 7 頁，停機坪應以「座」為單位；停	3.謝謝指正，停機坪單位已修正為「座」。至於停	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
機位應以「處」或是「架次」為單位。例如：桃園機場目前位於 EC 滑行道西側之簡易停機坪，共有 632、633、634 共 3 座停機坪，正常停放時可同時放入 ICAO C 類機共 3 架次；但長時間緊密停駐時，可規劃為 5 處停機位，同時停入 5 架次之 Airbus A320 型機。	機位之單位為「座」，係依據園機場公司網頁[4]，原文為「機場現況停機位，目前營運停機位共 86 座，修護停機位共 30 座」。而以「席」為單位，亦依據相同網頁[4]，原文為「本計畫目標年可提供 177 席客運停機位之實際營運空間」。	
4.第 9 頁，第 1.5 節工作項目，建議可向 2022 年度運輸年會投稿相關研究成果。	4.謝謝建議，後續將與運研所討論考慮。	同意辦理。
5.第 12 頁，第 2.3 節國際文獻，該處定義重量為「最大起飛重量」。	5.已修正第 2.3 節相關文句。	同意辦理。
6.第 2.8 節松山機場資料(名稱請修正)	6.名稱已修正為「臺北國際航空站」。	同意辦理。
(1)第 31 頁，松山機場多為「1 座停機坪僅有 1 處停機位」之設計，並非計畫內寫的「3 個停機坪」，此為觀念之落差，請予以修正。	(1)臺北國際航空站共有 3 座停機坪，係依據民航局「松山機場飛航指南」[37]表 2.8.2 之說明。	同意辦理。
(2)第 31 頁，松山目前僅有 3 號機坪為多停機位設計，計算停機坪為「1 座停機坪」，但計算停機位時為「A333 型機 1 處停機位」或「ATR72 型機 2 處停機位」。	(2)此處資料係依據「松山機場停機坪安全管理規定」[38]。	同意辦理。
(3)第 33 頁，連續起降應分開計，僅需計算為連續起降	(3)表 2-1 之目的在忠實呈現本計畫配合軟體內部運算所需，整理實務數據以供模擬軟體使用之方式。	同意辦理。
(4)第 33 頁，表格為「細項資料」與「小計」者應於排版中進行差別處理。	(4)表 2-1 並無細項，亦無小計項。	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
(5)第 34 頁，松山機場應非為「時間帶」參數。	(5)第 2.8 節回顧之資料為民航局「參加國際空運協會第 145 屆時間帶協調會議報告」[39]第貳章，該資料應具有可信度。原資料含括了桃園國際機場、高雄國際機場及松山機場之「2020 年夏季時間帶協調參數」。	同意辦理。
7.第 34 頁，第 3.33 節「容量基本論述」，請說明「容量」與「通過量」之可能落差？以及如何以機場既有之「通過量」進行容量檢核。	7.本計畫聚焦於「容量」，並未及於機場實際通過量之調查。而使用機場實際通過量之紀錄進行容量檢核，其必須之步驟為利用真實通過之紀錄，統計得到第四章各節所說明之容量評析參數，其具有代表性之數值。	同意辦理。
8.第 39 頁，第 3.4 節「影響跑道容量之核心因素」，容量分析因素之跑道不良狀況，不應將「臨時干擾因素」放入預設之容量分析要素內，應將該因素視為「臨時干擾項目」。另外，天候因素建議分為「儀器天氣」與「目視天氣」簡述不同天氣類型即可。	8.第 3.4 節有關「跑道不良狀況」並非本計畫之考慮範圍，其原因確如委員所述。已在該節內文中補充其原因。而「儀器天氣」與「目視天氣」已補充納入文句中。	同意辦理。
9.第 45 頁，第 4.2 節「基本假設」，「停機位組」(停機坪組)之設定在容量上顯有不合理之處。機坪容量之選擇，應航機與停機位尺寸對應關係，以單一停機坪、搭配單一停機位之結構為設計，大機型不能放入小停機位，相反小飛機可以放入大停機位；故應以飛機尺寸為優	9.此處旨在說明基本假設：停機位係以分組分析之方式為之。至於分組之原則係依航空器之大小、所飛航之航線、所屬公司或其他，均不在容量分析方法	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
先考量要素，確認大停機位可足以因應大型航機之航班需求後，進一步推估「整體停機位」可因應「整體航班需求」；若以分組方式處理，將可能造成停機位組間置與容量浪費之情形。	之討論範圍內。而停機位資源應如何調度分配使用以求高度發揮其可用之容量，則與容量評估之目的並不一致，所需要之技術亦不相同，二者無法兼得。已在第 4.2 節加強上述論述之說明。	
10.技術文件「二、跑道容量分析方法」		
(1)第 4 頁，本次僅有提出單一跑道等候模型，請注意於第二年期之技術文件中，應先發展雙跑道之運用等候模型，再進行進一步之驗證措施。	(1)瞭解，謝謝委員提醒。	同意辦理。
(2)第 5 頁，起降混合模式時，應計算為 2 架次，離場架次與到場架次須分開計算，避免模式最後之架次數計算錯誤。	(2)已配合修正。	同意辦理。
(3)第 8 頁，跑道容量分析之輸入檔，除了機率輸入方式之外，若有取得之班表，能否以班表方式進行推估？或者是班表應如何換為機率資料？	(3)通常估算容量乃估算該設施在其他條件都能配合的情況下所能提供之最大服務量，若欲使用既有之班表，可能需要視使用真實班表之目的而予以適當轉換。	同意辦理。
11.技術文件「三、停機位容量分析方法」		
(1)第 9 頁，停機位分析方法之流程如審查意見「10」，不以分組方式考慮停機位容量，而是以機型大小、對應停機位大小考慮容量。另外，停機位之分組，到了桃園機場還要考慮「航班類型（客運航班、貨運航班）」，各自有對應之停機位區域。該如何透過分組、尺寸資料進行容量分析，請於技術文件與第二期報告	(1)停機位容量評析之方法對分組之原則並不作任何假設，亦即無論依航空器之大小、所飛航之航線、所屬公司或其他，均不影響容量分析方法。	已在本計畫第 2 年期之研究計畫與重點工作項目第 5 點第(3)項，請第 2 年期計畫之合作研究團隊進行停機位容量分析時，需列出停機位之分類基準。

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
中詳細說明。		
(2)第 10 頁，停機位分析之輸入檔，除了機率輸入方式之外，若有取得之班表，能否以班表方式進行推估？或者是班表應如何換為機率資料。	(2)通常估算容量乃估算該設施在其他條件都能配合的情況下所能提供之最大服務量，若欲使用既有之班表，可能需要視使用真實班表之目的而予以適當轉換。	同意辦理。
12.技術文件「四、滑行道容量分析方法」		
(1)滑行道容量與軌道系統之容量分析方式有其相同與不同之處。滑行道結構是節點與節線，然而對於管制員來說，並非每個節點區間都是可用區間，必須參考滑行道的結構、淨空等條件決定。	(1)確是如此，這些因素均可以參數形式容納於網路結構中。	同意辦理。
(2)因此，對於航空器在滑行道活動之行為，如果參考 A-SMGCS 之相關設定結構，可以設定為幾種邏輯： a.飛機被許可滑行：由管制員開通一段範圍之節點與節線，節點/節線被壓占後，一定時間後可供飛機再壓占使用。	a.本項係由排點數學模式中之 in_m^a 與 out_m^a 變數，在求解過程中之數值變化來達成。	同意辦理。
b.飛機停止(等候)：飛機壓占某一區域之節點與節線，附近必須設定一定距離之淨空保護區域不得被壓占；	b.本項限制係由排點模式之限制式(4)至(6)所達成。而其距離之大小則由路網參數所決定。	
c.飛機後推：飛機自停機位往指定方向之節線區域開通一定的區域壓占，後推時必須預留其他路徑之未來進路方向(避免逆向或發生衝突)，且壓占時會同步產生相臨滑行區域之壓占情形。其淨空時間與滑行速率之變化差異，於技術文件中並無相關之敘述，建請予以補充。	c.由模式觀點，後推時預留路徑，與壓占時同步占用其他區域，於抽象層次屬於相同之限制。本項限制亦由限制式(4)至(6)所達成。	

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
交通部航政司		
1.以一般學理而言，評析方法建立完成後應須輔以驗證，方有助於瞭解該方法或其參數是否合理。本報告既以松山機場跑道、滑行道及停機坪等設施作為研究對象，復考量松山機場近年來進行相關空側工程，均有封閉部分設施，建議可利用前開方法及所封閉機場設施，進行機場空側容量事前/事後或預測/實際之比對驗證，俾使本報告更臻完整，相關驗證成果亦能作為機場管理單位未來推動機場空側工程之規劃設計參考。	1.驗證確有其重要性。後續取得臺北國際航空站相關空側工程，事前與事後，第四章所說明進行容量評析所需要之各項核心參數具代表性之數值之後，應可進行測試及驗證。	已在本計畫第 2 年期之研究計畫與重點工作項目第 2 點，請第 2 年期計畫之合作研究團隊需進行機場空側容量事前/事後或預測/實際之比對驗證。
2.另從使用者的角度來看，評析方法參數易於瞭解，並可依實際情況進行調整，應較有助於評析方法之推廣運用。舉例而言，除松山機場外，其他機場屬軍民合用機場者，其跑道容量尚需考量民航機起降額度，另臺中機場有新增滑行道、過夜機坪等機場設施，桃園機場更在推動第三跑道前後，將分階段興建停機坪及滑行道，故倘前開評析方法參數能方便工作人員隨時依場面需要操作設定，應有利於提升該方法使用效益。	2.於軍民合用機場，跑道容量應如何協調分配額度，並非本計畫範疇。新增滑行道、過夜機坪、第三跑道等設施之變動，則可反映於本計畫所設計之各項參數中。使用者輸入正確數值之後應可利用容量評析方法得到相對應之容量值。至於操作之便利性則須未來開發實用軟體之階段，由於軟體操作之便利與否係使用者之主觀經驗，須與實際使用者訪談、瞭解其操作需求之後，再以專業資訊技術設計之。	同意辦理。
3. 機場空側容量影響因子相當繁複，各個因子間又彼此連動，致機場空側容量不易推估，常需研究單位長時間投入研議分析。本報告評析方法現階段主要針對	3.本團隊樂見未來進一步納入更多影響因子，充實我國可掌控、自有技術之能力。	本所因每年研究經費相當有限，倘未來有足夠計畫經費可執行，將進一步考量

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
機場跑道、滑行道及停機坪等設施進行研究，建議未來能進一步納入空域、鄰近機場、航管等影響因子，俾使評析方法可更符合實際。		是否納入空域、鄰近機場等影響因子。
蘇委員崇義		
1.桃園機場空側容量亟需進行相關規劃研究，本案第2年期將以桃園機場為研究對象，本公司可以提供許多參數資料與航機動態資料，建議可以先提早告知所需資料項目，桃園機場公司將全力配合。	1.感謝委員支持。	感謝委員支持。
2.第46頁，第4.3節「基本開發方向」敘及「任何容量分析方法均不可能直接轉移給使用者即可方便、順暢自行一樣執行…」，請再說明想要表達之含意。市售空側容量分析套裝軟體相當昂貴，好不容易可以有一個模式進行機場空側容量分析提供規劃依據，是否可以類似Google Earth以圖像化方式加以表達，以利後續應用。	2.此處要表達之看法為，容量分析之方法論與方便使用之軟體工具，兩者是不同的。即使是完整的方法，亦須要適當軟體系統的承載，方有可能成為使用者可方便使用之工具。研發分析方法過程中所開發之軟體以測試為目的，不可能達到使用者方便使用、樂於使用之境界；高品質的使用者軟體之開發，必須有使用者之深度參與及回饋，所設計之操作方法、工作模式才有可能融入使用者之工作環境中而成為理想的軟體工具。至於類似Google Earth以圖像化方式加以表達，亦為考慮選項之一。	同意辦理。
3.文獻參考資料宜再增列與目標機場類	3.已補充於第2.10節。	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
似之其他國際機場規劃資料，以茲完整。		
4.產出參數頗具參考價值，建議再深入研究。	4.謝謝，如前項所說明，使用者之回饋為開發軟體工具不可或缺之一環。	同意辦理。
5.後續建議參考香港機場第3跑道規劃之相關考量。	5.本計畫所開發之容量評析方法並不限於特定機場使用。若輸入其他機場之參數，應亦可得到相對應之容量值。然參數項目係本計畫依我國臺北國際航空站以及桃園國際機場之狀況而設計；香港機場是否具有我國機場所無之考慮項目，則有待深入分析。	同意辦理。
6.後續計算模式宜再簡化、實用，確實產出參數。	6.計算方式之複雜性無礙未來使用者之操作。適當的軟體系統可將複雜的運算過程封裝於軟體內部，使用者則透過經設計之操作界面控制之。此亦為容量分析方法研發過程中所開發，以測試為目的之軟體所不可能達到。	同意辦理。
梁委員仲平		
1.松山機場部分如能以實際狀況驗證，尤其現在松山機場有停機坪、滑行道工程持續進行，建議實際觀察量測調整各項參數，使模式愈加趨近真實情境，也比較符合該機場特性。	1.後續取得臺北國際航空站，第四章所說明進行容量評析所需要之各項核心參數具代表性之數值之後，應可進行測試及驗證。	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
2.松山機場若因施工或其它因素限制部分滑行道使用，也希望透過此評析方法了解空側容量之變化。	2.空側施工或滑行道限制使用，均可反映於第4.6節所述之參數項目中。使用者輸入正確數值之後應可利用容量評析方法得到相對應之容量值。	同意辦理。
3.松山機場為軍民合用機場，軍機在松山機場數量不少，但其作業模式與民航機有所差異，是否有納入考量，請補充說明。	3.本計畫並未納入軍機之作業模式。其影響是否能以第四章所述之各參數項表現之，有待進一步釐清之。	同意辦理。
蕭委員傑諭		
1.本計畫內容複雜，所需航空專業知識極多，對於研究團隊所付出的努力予以肯定。	1.謝謝委員的肯定。	感謝委員肯定。
2.本計畫第一期以松山機場為例建構容量分析方法與呈現結果，惟多數參數之設定並未針對松山機場做設定，以致無法藉由模擬結果協助判斷方法之可靠性，殊為可惜。建議：(1)以松山機場實際資料為主，設定相關參數，使產出可以得到部分驗證效果，並能對松山機場有實質貢獻；(2)請補充說明所有參數設定之方法、假設、原則與步驟(例如如何由現況或歷史資料計算得知相關參數)，以利後續使用者有所依循；(3)必要的參數原始設定要儘量合理(有所依據)，後續使用者若無更好的理由替換，則可使用建議之原始設定，毋需更動。	2.此問題可由參數項以及參數值二方向觀之。參數項之設計，為容量評析方法的一部分，在此本計畫考慮臺北國際航空站之狀況，針對跑道、滑行道、停機位以及機場空側整體，研究開發評析容量之方法，以及此方法所需要之一套完整核心參數項。 應用此套容量評析的方法，是依容量評析之目標情境(例如某種天候、某種滑行道停用狀況等等)設定評析方法所需要之參數值，再依該方法進行評析，以得	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
	到該目標情境下，機場空側容量之評估值，其過程如第五章所示例。 (1)未來可視臺北國際航空站所欲評析容量之目標情境（例如某種天候、某種滑行道停用狀況等等）而設定評析方法所需要之參數，依本計畫所開發之方法進行分析。 (2)已在報告書第 4.4 節至第 4.6 節，補充說明各參數項之數值如何取得。 (3)各項參數數值均係反映分析者所擬分析之目標情境。若未來使用時，有部分參數係所有分析情境所共用而鮮少變動，則可考慮依各機場之狀況，依第 4.4 節至第 4.6 節所說明之參數數值取得方法，設定適當之內定值。	
3.可多加補充國外空側容量分析方法，尤其以相關論文、技術報告及模擬軟體與分析方法有關之部分，目前多呈現國外分析之結果，尤其相關模擬軟體之原理與本計畫高度相關，建議多加補充。	3.航空器於機場空側活動之模擬技術，並非本計畫所首創；國外商用軟體多已使用模擬技術。然而基於商業利益，核心技術均不公開。此亦為我國需要自行開發之原因之一。	同意辦理。
4.模擬方法所提供之時間統計分布要合理，希冀由本計畫檢討過去歷史資料	4.本計畫在開發容量評析技術過程中，初步測	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
後，有明確之適當建議以供使用者選用。目前多處使用均一分布不甚合理，部分使用常態分布可能也不恰當，因為航機隔離有明確安全規範，不可能小於特定值，故分布左邊會受到限制。	試發現各種時間長度之統計分布對結論之影響不大。因此設計在無法取得各參數歷史統計值（例如航空器於進場時之占用跑道時間長度等等）之狀況下，分析方法可使用均勻分布為內定之分布。同時，本計畫所開發之容量評析方法亦有預留機制，若有參數之歷史統計值可用，則亦可直接改用真實分布，完全無相容性之慮。	
5.滑行道容量分析方法以學理上的最短路徑為主，似乎可再多參酌實務考量。通常不同機型降落後會由特定滑行道滑出跑道，然後依據指定之停機坪或機門安排滑行路線。各機場可能有慣用路徑需要考量；另外，模擬時遇到航機可能衝突時如何處理？停下來等候或者指派替代方案？建請補充說明。	5.航空器進場後之出口選擇，對跑道容量之影響反映在占用跑道時間長度，而此為輸入參數。因此如何選擇跑道出口，為分析模式之輸入參數之一，並非其計算結果。使用者可依機場之統計資料設定本項參數值，亦可依其進行容量分析之目標情境進行設定。 航空器滑行路徑之衝突，係由排點模式處理。該模擬求解結果均不含衝突。	同意辦理。
6.停機位容量分析為何需要設定最大使用率，這個參數的設定就直接影響容量結果，建議多加強相關論述。	6.機場管理單位實務上常面對航空器等候時間之要求，而等候時間直接關聯到使用率。此參數之設定確是直接	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
	影響容量。	
7.本計畫多處有關機型分類的定義很不一致(包括名稱與內容),建議重新檢視,統一相關用語。即使模式本身留有更動彈性,亦建議儘量遵行現行國際規範,當使用者有需要時才去做其他更動設定。	7.於實務上機型之分類,依其應用之不同,原本即有各種不同的分類定義。本計畫並未檢討分類方式之設定或變更。	同意辦理。
8.整體空側容量之估計(圖 4.2)是否採用每一航機通過所有設施之模擬方式?亦即使用完跑道就會使用滑行道、然後停機坪。還是三個部分完全分開模擬,然後取三者之極大值為空側容量?這部分方法之合理性值得詳加論述。	8.依圖 4.2 所示之步驟,流程於讀取所有外部輸入之資料參數之後,依序計算跑道容量、每一組停機位之容量、各組停機位之容量等效值、滑行道系統可支持之最大小時起降量,再予以綜合計算。該計算步驟已說明於第 4.7 節。 至於整體容側容量,基本上為跑道、停機位及滑行道三者之最小值。其相關論述已說明於第 4.7 節。	同意辦理。
9.表 5.1 與 5.2 之時間分布,建議考慮不同機型類別有不同隔離規範(基於飛安必須遵行),不僅僅只考慮航機到、離之特性。	9.由於缺乏機場之真實歷史統計資料,第五章所呈現測試例所使用之參數數值為推估而得。在分析方法方面,此分析方法對於航空器之分類方法並無任何假設,且可對各種不同類別之航空器設定不同之參數數值。已加強說明於第 4.2 節。	同意辦理。
10.圖 5.23 與 5.24 是否會因機型種類與比	10.此二圖為在測試例所	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
例不同、起降比不同而有不同結果？建議完整論述此部分分析架構與結果。	設定之情境下進行模擬分析之結果。不同情境將產生不同之結果，但其差異程度則視所設定之參數數值而定，無法一概而論。	
11.參考文獻格式與內容可再次檢視與修訂。	11.謝謝，配合辦理。	同意辦理。
李委員建國		
1.本計畫將機場視為一個系統，跑道、滑行道、停機位等機場3種主要設施視為系統內之不同模組，採用每一模組個別評估其容量，再取其中最小容量當成機場之空側容量。於分別計算個別評估其容量，再取其中最小容量當成機場之空側容量。於分別計算個別模組容量時，整理影響該組容量之內、外參數，其中計跑道4項、停機位5項及滑行道3項等，並於模擬時輸入各種參數模式組合，再進行演算，並就松山機場模擬結果與實際情況進行比對，其結果尚稱合理。本階段有關空側容量評析方法應符合目標成果。	1.委員對本計畫成果之深入洞察，確實切入其核心重點。謝謝支持。	同意辦理。
2.技術文件的空側容量評析流程與演算方法是本計畫最關鍵的部分，若能了解參數如何設定等細節，對於後續如何修訂參數及模式運用有很大的幫助，本計畫後續將會逐漸接近實務運作，建議桃園機場公司、飛航服務總臺可以在後續研究中從旁多了解。	2.本計畫已以臺北國際航空站之狀況，釐清空側容量評析所需要之參數項。技術文件所說明者為應用這些參數進行分析之基礎學理。至於實際應用時，各參數項之參數值，則由使用者依其擬分析之目標情境而設定之。各項參數數值均係反映分析者所擬分析之目標	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
	情境。參數數值必須接近實務狀況，分析結果方有可能接近實務狀況。而有多項參數數值之實際狀況均應來自機場營運過程中之長時間有系統累積統計。已於第 4.4 節至第 4.6 節所說明之參數數值取得方法，期待未來各機場可在有系統紀錄各項參數值之後建立一套我國自有之機場參數。	
3. 本案第 2 年期將以桃園機場為研究對象，桃園機場的空側運作是非常複雜的，建議後續研究可以將這些複雜運作都能加以納入考量。	3. 此亦為團隊之努力目標。	同意辦理。
4. 第 51 頁，第 4.6 節「滑行道容量分析」，系統以數學網路表現滑行道系統，其中排程求得滑行路徑，而排點求得到離各節點、節線之時間，是否有考慮航機種類與不同快速出口滑行道之關係？又離到場航機之比例是否會影響其模擬結果。	4. 航空器進場後之出口選擇，對跑道容量之影響反映在占用跑道時間長度，而此為輸入參數。因此如何選擇跑道出口，為分析模式之輸入參數之一，並非其計算結果。在第五章測試例中，配合臺北國際航空站 10 跑道配置 4 個出口之狀況，對每一類航空器均設定 4 種不同之占用時間。惟其真實之數值與比例並無法取得。又，除了離到場航空器之比例外，不同參數值之設定反映不同之分析目標情境，將	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
	產生不同之結果，但其差異程度則視所設定之參數數值而定，無法一概而論。	
5.第 62 頁，第 5.4 節「滑行道容量」，有關圖 5.22 松山機場滑行道場面及網路圖，請簡略補充說明其模擬時所採用之主要離、到場航機滑行路徑為何（或排程及排點模式）。	5.圖 5.23 及圖 5.24 中，每一數據點均為約 500 架航空器之模擬結果，於進行此測試例之演算時並未對各航空器之滑行路徑作有系統之紀錄。在模擬過程中觀察動畫時可發現配合 10 跑道之起降方向，場面上到場、離場航空器之動線大略均以逆時針方向移動，亦即大致上均採最短路徑運行。	同意辦理。
6.第 65 頁，第 6.1 節「結論」，提到於 5.2 節至 5.4 節所建立跑道、停機位及滑行道在各種不同設定狀況下可達到之容量，其設定狀況並不需要與任何特定機場之真實狀況有所關聯，惟機場場面之幾何布置是滑行道一個重要參數，所建立之評析方法如何供後續其他機場應用參考，請補充說明。	6.確如委員所指出。已配合修正第 6.1 節之說明，將可與特定機場分離之項目限縮於跑道及停機位，並對滑行道系統獨立說明之。	同意辦理。
7.技術文件第 5~6 頁，第 2.2 節演算法，圖 2.2 外層演算流程圖中，有關「均衡容量」及「起降混合容量」之演算，圖 2.3 內層演算法中「產生所有航班」方塊之意義，及有關各類航空器之數量比例在何處輸入等？建請補充說明。	7.各類航空器之數量比例，係由內層演算流程所達成。於進入回合演算之前，流程先依所設定之各類航空器比例以及每小時之起降數量，產生所有航班預定起飛或降落之時間點，之後再於回合演算中以每回合一架次之方	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
	式完成所有模擬。實際應用時亦可以歷史紀錄資料取代流程自行產生之航班進行模擬。已在技術文件加強相關說明。 此亦凸顯機場有系統留存其歷史紀錄之重要性。	
8.技術文件第 11 頁，第 3.2 節演算法，圖 3.4 所謂航空器持續抵達停機位之前後時間間隔的兩個參數，Headway.p1、Headway.p2 代表意義各為何？建請補充說明。	8.此為各類航空器占用停機位時間長度上限與下限 2 個統計分布參數，亦即為第五章測試例，表 5-3 左欄之各上下限參數。	同意辦理。
9.本計畫使用之方法屬航空器系統模擬法，有關參數之設定將影響評估之正確性，例如滑行道運作複雜且相互影響，航管的作為亦是影響的因素等，後續建議多蒐集國內其他機場實際運作資料，來驗證模式並調整參數，同時也建議能針對國內機場有關離場尖峰或到場尖峰等情境，進一步模擬探討其可用空側之容量，俾可供未來機場單位制訂時間帶之參考。	9.委員所指確係重點。若予細分，其實參數項又可分為直接參數與間接參數二類。其中直接參數占大部分，如各類航空器起時占用跑道時間長度等，最佳（也可能是唯一可用）之方法是由機場維運單位進行有系統的統計而取得。至於少數間接參數則如排程模式之控制參數等，必須由具模式操作能力之人員，與實務人員深入雙向討論之後設定適當之值。至於納入尖離峰之考量，確為重要之發展方向。本計畫第 4.2 節，「穩定態」之基本假設已實質排除尖離峰之	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
	因素。然而未來或可將任何依時之變化模化成為多數穩定態之疊加，或開發其他方法，而達到模擬評估尖離峰現象影響之目的。	
林委員信得		
1.上次期中報告審查會議，運研所運工組之意見：「請補充說明構建空域模擬模式已於 108 年 3 月移轉供桃園機場公司實務應用，並經該公司實際驗證情形，以及該公司目前應用之實務案例。合作研究單位答覆：「已說明於 2.2 節。」似乎過於簡略，建議應有更多量化數字之實際案例說明。	1.為了達到確實驗證之目的，該次驗證係由本團隊進行模擬分析，再於桃機公司內部比對真實狀況（未提供予模擬之用以求驗證確實）。而該專案係依契約書進行，其中並無授權公開之條款。	同意辦理。
2.上次會議提出之部分誤植或錯別字的段落仍未修訂更正，例如：圖 3.1 時間間距，4 個時間點如「A 進入跑道」已經修訂為「A 占用跑道」…，惟段落文字仍未修改；4.6 節滑行道容量分析，第一行仍誤植為停機位容量分析；第 33 頁，ICAO 分類有重型機、中型機、輕型機....，實務上應為大型機、中型機、小型機...等。	2.謝謝指正，圖 3.1 相關內文中，「進入跑道」已修正為「占用跑道」。第 4.6 節第一行「停機位」已修正為「滑行道」。第 33 頁，表 2-1 上方之文句，已修正為大型機、中型機、小型機。	同意辦理。
3.建請進一步說明第 41 頁表 3-1 影響跑道容量之 16 個主要因素，如何在容量分析過程中呈現。	3.表 3-1 之右欄即在說明各項因素影響容量之機制。而這些機制，大都為影響前後時隔（淨距）以及小時架次之上限。小時架次上限與使用跑道之平均時間間距下限具有一對一之對應關係，而在已知淨距之條件下，平均時間	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
	間距又進一步與占用跑道時間有一對一之對應關係。	
4.第 31 頁，松山機場平面配置圖無法清楚呈現相關跑滑道與停機坪之位置，建議改用較清晰之示意圖。	4.圖 2.30 所示之配置圖，目的在呈現臺北國際航空站之整體平面配置。而各停機坪之配置則如圖 2.31、圖 2.32、圖 2.33 及圖 2.34 所示。	同意辦理。
5.上次期中報告審查會議，民航局飛航服務總臺所提第 4.4 節第 3 點：航管實務上運用跑道並無「降落優於起飛」之原則，合作研究單位答覆：本計畫所開發之分析方法已配合航管實務修訂為「無降落優於起飛」之原則。惟期末報告中有些部分仍未考量實務修訂，而且為簡化研究也排除一些實務之複雜度(如跑道定期維護、噪音宵禁之議題…等)之參數，簡化之目的似乎是為了「容量分析」之產出，日後如由使用者自行設定參數，則是否衝擊系統模擬技術之準確度、穩定度與脆弱度，不得而知。亦即各項參數之設定、輸入、輸出結果等論述較為缺乏，建議再以更詳細的實務操作案例做說明。	5.本計畫開發容量評析方法時，確已未使用「降落優於起飛」之假設，第 4.2 節亦未納入本項假設。 跑道定期關閉進行維護工程以及宵禁，確非本計畫評析方法之考慮項目。在「穩定態」以及「容量以小時平均架次為單位」之假設下，跑道容量並不納入宵禁之影響。 本計畫所開發之方法，確是以產出「容量分析」為目的。 本計畫考慮臺北國際航空站之狀況，針對跑道、滑行道、停機位以及機場空側整體，研究開發評析容量之方法，以及此方法所需要之一套完整核心參數項。應用此套容量評析的方法，是依容量評析之目標情境(例如某種天候、某種滑行道停用狀	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
	況等等)設定評析方法所需要之參數值,再依該方法進行評析,如第五章測試例所示例。	
6.如同上次會議所提,實務上機場空側容量一般都是以跑道容量為主,停機位容量之限制當然會反映到跑道容量之評估計算,國際上甚少有滑行道容量之評析研究(參考美國 FAA 與 MITRE 公司在跑道容量分析之合作研究)。因此,除了從舊文獻上回顧探討外,更宜實務上再蒐集參考現階段國外之相關航空研究;尤其空運與陸運屬性不同,不盡然可等同比較,是否一定為「公路容量手冊」而命名為「機場容量手冊」。	6.國際上確是少有滑行道容量評析之相關研究。且滑行道與跑道關係密切,是否應分開分析或合併分析亦有討論空間。 空運陸運確是屬性差異甚大。 研究成果之命名並不影響其實質內涵,命名稱呼方便、有利推廣即可。	同意辦理。
7.技術文件似乎與報告書脫鉤,建議技術文件內所模擬演算之結果,另以文字論述方式併入報告書說明,以增加報告書內容之完整性。	7.本計畫先天上具有高度跨領域之特性。開發容量評析之方法,瞭解飛航相關領域知識只是其中之一;另一的挑戰是以由系統分析之角度檢視飛航領域知識,予以有系統組織化、正規化,並由其中萃取關鍵因子而建立模式、開發容量分析之演算法。以此二項為基礎方有可能設計開發機場空側容量評析方法;二者同等重要,缺一不可。這些成果大都安排於報告書中。而利用上述知識整理之結果以開發分析技術,則說明於技術文件中。二	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
	份文件之目標讀者並不相同。將技術文件之內容併入報告書中亦為另一種可行作法，未來可納入考慮。	
8. 結論內容建議將容量評析之方法與結果，以更具體量化之論述呈現，俾報告書有定性定量之結論章節。	8. 由於無法取得完整、具公信力之參數值，第五章測試例之計算結果並不宜作為定量化之結論。	同意辦理。
張委員自立（書面意見）		
1. 本計畫以數學模式建置跑道、滑行道、停機位容量模式，能反映 FAA 有關前述各系統容量理論，以及呈現松山機場空側運作特性，已屬不易。	1. 謝謝委員肯定。	感謝委員肯定。
2. 本計畫開發之應用模擬模式，有別於一般商用軟體，建議在報告書第一章前，增加「計畫摘要」述明本模式空側容量之定義、模式技術方法、程式、分析方式、模擬成果，是否有相關使用或應用限制，以及本期計畫之階段成果與建議等。	2. 已依委員建議之方向撰寫本報告書之摘要。	同意辦理。
3. 就模擬結果來看，目前建置之模擬模式，大致能反映松山機場跑道、滑行道、停機坪等空側運作特性，惟有關本計畫工作項目所謂完成模式驗證部分，是否需進一步與松山機場空側實務運作數據驗證，建議再考量。	3. 數據驗證為模式驗證之必要條件，必須基於正確之參數，模式驗證才有意義，因此參數數值數據之驗證，確為重要課題。報告書已於第 4.4 節至第 4.6 節所說明參數數值取得之建議方法，未來如何與臺北國際航空站合作，取得經驗證之參數數值，確為重要之努力方向。	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
4.機場容量除航管作業外，基本取決於空、陸側設施幾何條件與配置，此亦為本計畫工作項目(針對跑道與進出滑行道之配置差異、滑行道配置與航機後推機坪占用等是否為最佳配置，以及遠端近端停機位調度之影響)之一，建議仍應就松山機場跑、滑道與停機坪等設施之幾何條件與配置等，涉及機場設計規範部分，論述與本模式模擬成果之關聯。	4.已在第五章中增加第5.7節，由本計畫之主軸（亦即空側容量評析方法之開發）論述此課題。	同意辦理。
5.技術文件所示跑道、滑行道與停機位容量分析之輸入、輸出檔格式，使用之程式語言，以及模擬完成之資料庫等，是否有更具體之資料可供審視，相關技術與資料庫是否移轉予運研所，日後並由運研所自行維護運用，是後續實務應用之重點。(例如：技術文件第18頁4.6節：由於資料相對複雜，系統均直接自資料庫取用，並開發操作介面以維護資料庫中之各項資料。)	5.本計畫之主軸在開發容量評析的方法。這些方法在研究過程中必須實做成為軟體，方有可能測試、驗證其正確性與合理性。而委員此處所述之程式、資料庫等，即在說明這些程式。而如所說明，這些程式之目的在進行容量評析方法的測試，並非供使用者操作使用，這些程式、系統已移交予運研所。未來開發供使用者操作之套裝軟體時，亦必須依使用者之需求而重新設計、開發。	同意辦理。
6.針對本計畫目前模擬結果，建請提出對松山機場空側運作與配置精進之建議。	6.已在第五章中增加第5.7節，就測試例中所見提出論述。	同意辦理。
7.後續可持續探討本計畫模式可適用層面，如所模擬之容量適用於機場長期規劃或短期營運面，並進一步確認此模式的應用限制與範疇。	7.此確為有價值之後續探討方向，謝謝委員。	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
本所運工組許組長書耕		
1.本所於 106~107 年期間進行空域模擬模式之研究，感謝各位民航先進提供許多寶貴意見使本所累積相關知識，才得以開發出空域模擬模式之初步成果。也因此從今年起，本所開始有企圖心進行空側容量相關研究，明年是 2 年期研究之第 2 年，之後預計還要分很多年持續進行更深入研究，以利將機場特性的主要參數完整建立起來。	1.感謝運研所以及民航界先進。	
2.承蒙各位民航先進關注及熱心提供專業意見，並聽到機場實務單位表示本計畫對於機場實務推動確實很有幫助，並願意積極參與討論，這是很少見的，這樣的民航研究環境是非常難能可貴的，也是本所想再繼續深入進行本計畫之原因。本計畫的研究目的就是要提供實務應用，桃園機場是我國最重要的機場，未來幾年，本所將持續進行桃園機場空側容量的深入研究，期待各位民航先進繼續不吝提供協助以共同完成。	2.感謝運研所以及民航界先進。	
本所運工組（書面意見）		
1.第 3.5 節，影響停機位組容量之核心因素，除了「航空器占用時間長度」以外，建議加上航務人員之判斷因素，並請說明此判斷因素內容。	1.已補充說明於第 3.5 節倒數第二段。	同意辦理。
2.第 4.4 節~第 4.6 節已列出跑道、滑行道與停機位容量分析所需參數，請於報告中再補充說明這些參數之架構，以及核心參數與機場既有條件 (Prevailing Conditions)間之關係。	2.已在第 4.4 節至第 4.6 節補充說明之。	同意辦理。
3.有關第 4.7 節(第 52 頁)Ki「容量當量」一詞請再斟酌調整用詞；另該當量是屬於跑道容量當量，或是屬於停機位容量	3.已全數修正為「容量等效值」。該值為將停機位容量轉換成為等效	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
當量?請予以釐清。	之跑道容量之比值，因此並不屬於跑道，亦不屬於停機位。已補充說明於第 4.7 節。	
4.本計畫於第 5.4 節(第 62 頁)說明跑道起降量達到或超過 40 架次時，滑行道將發生顯著延遲，惟於期末簡報第 5.6 節(第 22 頁)說明每小時起降超過約 35 架次時開始發生延遲，請補充說明估算調整之原因，並修正報告內容。	4.分析結果，每小時起降超過約 35 架次時開始發生延遲，並於達到或超過 40 架次時，滑行道將發生顯著延遲。其間並無估算之調整。	同意辦理。
5.第 5.5 節機場空側整體容量估算，停機位停 1 次，但以跑道而言，需計算 2 架次，Ki 值應乘以 2 加以計算，此部分已在期末簡報第 21 頁予以修正，請一併修正報告內容。	5.謝謝指正，已修正第 4.7 節及相關內容。	同意辦理。
6.有關評估臺北松山國際機場在既有條件及分析情境下之空側容量與運作績效部分，請於報告中具體說明「分析情境」為何，以利閱讀及比較。	6.第五章測試例參考臺北國際航空站之既有條件，設計接近之參數以在所設計之情境下分別測試跑道、停機位、滑行道以及機場空側容量之計算。已補充說明於第 5.1 節第 1 段。	同意辦理。
7.本報告與技術文件請整體強化航空專業語言之表達方式及說明細緻度，以利增加可讀性，例如：有關訂定評估指標及模式驗證部分，雖均已完成，但報告本文並未明確書寫該用語，以致不易辨識，請再明確列出「評估指標」及「模式驗證」，並加強說明內容的細緻度，以利閱讀及提供後續參考。	7.謝謝指正，本計畫先天上具有高度跨領域之特性。其一為飛航相關領域知識，其二則為由系統分析之角度檢視飛航領域知識，予以有系統組織化、正規化，並由其中萃取關鍵因子而建立模式、開發容量分析之演算法。以此二項為基礎，方有可能設計機場空側容量之	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
	評析方法。 本計畫之所以撰寫技術文件，主要考慮之一為期中審查時所收集之回饋；考慮不同領域讀者之觀點，將飛航相關之部分整理於期末報告書，而模式、演算法之部分抽離集中於技術文件呈現，以助期末報告對飛航專業人員之可閱讀性。 已於第 4.4 節至第 4.6 節加強說明評估指標所指為何。 第五章測試例參考臺北國際航空站之既有條件，設計接近之參數以在所設計之情境下分別測試跑道、停機位、滑行道以及機場空側容量之計算。與實際情況進行比對，其結果尚稱合理。未來若可依第 4.4 節至第 4.6 節所說明之方式，取得可代表機場既有條件、具公信力之參數值，則可進行更精準之驗證。	
8.請補充小節，就本計畫之工作項目「研提臺北松山國際機場空側運作及配置精進相關建議」，提出具體之分析與建議。	8.謝謝指正，已補充於第 5.7 節。	同意辦理。
9.報告中部分詞彙用語定義仍尚未統一或容易混淆，如第 3.3 節「容量基本論述」中，「容量為機場整體或某設施，平均一	9.謝謝指正，已將第 3.3 節相關處統一使用「架次數」。	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
小時內能夠處理服務之『航空器數量』，是否是指「航空器架次數」？「滑行道容量指滑行道系統可支持之最大小時『起降量』」，是否是指「架次數」（起降量應為各 1 架次）？請檢視整本報告詞彙，予以統一修正。		
10.請於附錄加入本計畫於 110 年 11 月 22 日下午 2 時召開「國際機場空側容量評析方法建立與後續應用」專家學者座談暨成果發表會之會議紀錄，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。	10.遵照辦理，請參閱附錄 B。	同意辦理。
本所運管組（書面意見）		
1.本計畫蒐集國外國際機場航管運作方式及空側容量評估程序與技術，於本年度先行針對臺北松山國際機場空側容量建立評估程序，並完成模式驗證，提供相關單位進行機場空側營運效率精進參考，成果值得肯定。	1.謝謝肯定。	
本所運安組（書面意見）		
1.第 5 章之內容主要偏向各種情境設定與現實狀況的比對觀察，其目的如 5.1 節所敘為「測試結果合理性、方法可操作性，並非預測真實容量」，該章雖有探討松山機場的各種可能配置，惟並非實際運作配置的精進建議。	1.精進建議已補充於第 5.7 節。	同意辦理。
2.第 6 章，僅有 2 頁篇幅綜述整體計畫執行流程，對於建議部分，僅在第 6.1 節第 3 段敘及「松山機場若能以常態性之方式，長期觀測並有系統整理各種核心因素之數值變化...」。整體而言，本計畫成果似未見工作項目 8「研提臺北松山國際機場空側運作及配置精進相關建議」對應之研究成果，模擬模式強處即	2.精進建議已補充於第 5.7 節。 本計畫之目的在開發、建立國際機場空側容量評析方法，計畫目的並非在建立模擬模式。在另一方面，不論是模擬模式或容量評析之	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
在於模擬不同狀況下的最佳配置，即便目前確有各項參數未能精準了解的前提限制，仍應可從模擬結果提出在特定前提下的精進建議。	方法，均必然依據其輸入之參數進行演算。	
本所運資組（書面意見）		
1.第 29 頁，有關美國 FAA 與 Mitre 合作發展的 Runway Simulator，除摘要說明其開發程式語言與輸入檔格式外，建議後續可進一步探討相關文件說明之 MITRE systemwideModeler 與 FAA System-Wide Analysis Capability (SWAC) 等相關模式內容，以及驗證 (Validation) 處理方式，以為本案模擬模式構建進一步優化與驗證時之參考，以及後續可擴展為類似 FAA 應用於其機場容量機場基本資料(profile)量化的工具。	1.謝謝資訊。所述之軟體系統 MITRE systemwideModeler 以空域之模擬為主，機場空側之容量為其輸入參數。而 FAA System-Wide Analysis Capability (SWAC) 則以以等候模型，模擬多數航空器於飛航網路中流動之狀況，機場空側容量亦為其輸入參數。故此二文獻均未納入本計畫回顧之。	同意辦理。
2.第 54 頁，第 5.1 節說明本計畫目的在測試所開發容量評估方法之計算結果與邏輯合理性，以及整套方法之可操作性，目的並不在預測松山機場真實容量。建議補充說明在此思維下本計畫成果後續實務應用之使用時機與可能之效益。	2.第五章為測試例，此處所說明為設計測試例之思維。 本計畫之主要成果為機場空側容量評析方法。其實務應用時機，為有某種目標情境，欲分析瞭解對應的空側容量之時。使用者可依其目標情境之狀況，設定該情境之參數值，再應用這套方法以評析可能達到的空側容量。若欲分析目標情境為機場之既有條件，則可利用機場之相關歷史紀錄進行統計，以得到	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
	可代表既有條件之參數數值，應用這套方法以評析可能達到的空側容量。 可能之效益，為有助使用者評析其目標情境下，機場空側可能達到之容量。若使用機場之歷史紀錄進行統計而得到可代表既有條件之參數數值，進行容量評析之後可得到機場在既有條件下可能達到之容量，據以瞭解該機場在現實狀況下尚有之容量裕度。	
3.第 55~56 頁，建議探討在評估跑道容量時，當每小時之起飛與降落需求各為 30 架次時，為何因跑道容量限制，導致模擬時所觀察到的實際完成起降數較低。	3.每小時起飛與降落需求各為 30 架次時，合計即為每小時 60 架次之起降。此起降量已超過該跑道之容量限制，因此進行模擬分析之後，觀察模擬結果可發現，在模擬過程中，在模擬軟體裡，起降之數量比每小時 60 架次為低。	同意辦理。
主席結論		
1.本次審查會議之各委員及與會單位研提之口頭及書面意見，請成大研究發展基金會研究團隊整理「審查意見處理情形表」，且逐項說明回應辦理情形(請標註修正頁次)，並充分納入報告之修正。	1.遵照辦理。	同意辦理。
2.本報告與技術文件請整體強化航空專業語言之表達方式及說明細緻度，以利增	2.本計畫先天上具有高度跨領域之特性。其一	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
加可讀性。	為飛航相關領域知識，其二則為由系統分析之角度檢視飛航領域知識，予以有系統組織化、正規化，並由其中萃取關鍵因子而建立模式、開發容量分析之演算法。以此二項為基礎，方有可能設計機場空側容量之評析方法。本計畫之所以撰寫技術文件，主要考慮之一，為期中審查時所收集之回饋；考慮不同領域讀者之觀點，將飛航相關之部分整理於期末報告書，而模式、演算法之部分則予抽離，集中於技術文件呈現，以助報告書對飛航專業人員之可閱讀性。後續研究將於撰寫報告書時將二者合併以利增加可讀性。	
3.後續研究請參考國外技術文件進行航空器分類與參數預設(Default)值設定。	3.遵照辦理，將於後續研究研擬如何設定航空器分類以及參數之預設值。	同意辦理。
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研究合作團隊於 110 年 12 月 24 日(五)前提送期末修訂報告。	4.謝謝，遵照辦理。	同意辦理。
5.本計畫屬 2 年期計畫第 1 年期，已如期如質完成研究工作，研究成果業經本次會議審核通過，並認定符合繼續接辦 111 年度工作資格，將得優先與本所進	5.謝謝，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
行 111 年度合約議價。		
6.感謝各位委員及與會單位持續給予本計畫持續支持，也謝謝桃機公司對於本計畫發展深具信心，有助本所對於後續研究之推展。	6.謝謝，感謝委員指教。	

附錄 E：期末簡報



簡報內容

一、計畫背景

二、文獻與資料回顧

三、計畫概述

四、容量分析方法

五、測試例

六、結論與後續研究

一、計畫背景

1.1 計畫緣起

- 松山及桃園二座我國主要國際機場均亟待可自主之容量分析工具
- 運研所爰辦理二年計畫，建立我國自有技術，以作為臺北松山國際機場及桃園國際機場，乃至國內其他民用機場空側運轉規畫及評估之有力工具。本計畫為第一年期

1.2 計畫目的

- 在過去基礎上發展我國國際機場空側容量評析技術，以作為政策評估參考，釐清我國松山、桃園二大國際機場航機運行熱點、空側運轉瓶頸等重要因素

1.3 計畫重要性

- 國際機場空側容量及運作瓶頸仍有待確認，亟需進行有系統之深入評估作為規畫參考
- 機場空側運轉效率與容量是一體之兩面。分析技術具相當商業價值通常均不公開，我國必須自行開發核心技術

1.4 詞彙用語

1.5 工作項目

3

二、文獻與資料回顧

2.1 概述

2.2 運研所過往成果

2.3 Airport Capacity and Delay

2.4 Airport Capacity Assessment Methodology

2.5 其他國際文獻

2.6 商用軟體

2.7 國內文獻

2.8 松山機場資料

2.9 桃園國際機場資料

2.10 儀航程序資料

4

三、計畫概述_(1/2)

3.1 研究範疇

- 國際機場空側
- 跑道、滑行道、停機坪
- 正常營運狀況

3.2 目標成果

- 開發容量分析方法
- 開發成果應用方法

3.3 容量基本論述

- 容量為機場整體或某設施，平均一小時內能夠處理服務之航空器架次數
- 機場空側各設施之容量可獨立分析
- 跑道容量指跑道每小時可服務之架次數
- 停機位組容量指某一停機位分組平均每小時可服務之航空器架次數
- 滑行道容量指滑行道系統可支持之最大小時起降架次數

5

三、計畫概述_(2/2)

3.4 影響跑道容量之核心因素

- 前後航空器之間的時間間距
- 時間間距=佔用跑道時間+時間淨距

3.5 影響停機位組容量之核心因素

- 航空器佔用時間長度
- 停機位組所配置之席位數

3.6 影響滑行道容量之核心因素

- 滑行道之幾何佈設
- 航空器滑行路徑參數
- 航空器運行時間

6

四、容量分析方法

4.1 概述

- 機場空側劃分為跑道、滑行道及停機位三種不同設施

4.2 基本假設

- 穩定態
- 容量以小時平均架次為單位
- 停機位分組使用
- 空側航空器之位置
- 航空器分類

4.3 基本開發方向

- 容量分析使用系統模擬技術
- 成果應用充份利用資訊技術

4.4 跑道容量分析

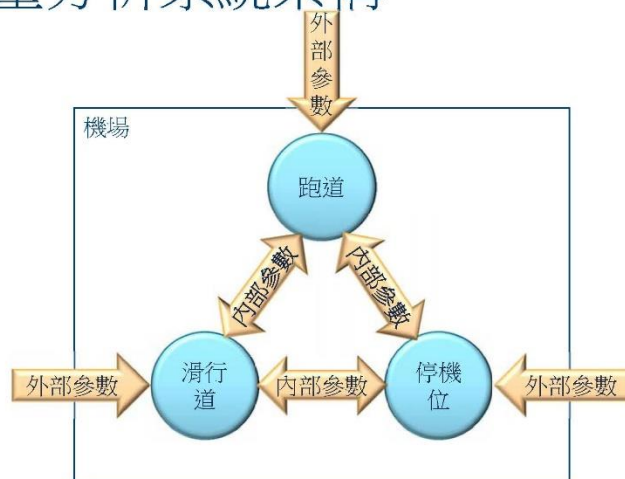
4.5 停機位容量分析

4.6 滑行道容量分析

4.7 機場空側容量評估程序

7

容量分析系統架構



8

4.4 跑道容量分析

參數

- 最小時間淨距：各種航空器類別、起降組合下之時間淨距需求
- 佔用跑道時間：可由歷史以及專業判斷得到。本參數反映進場脫離跑道出口與出口速率、起飛後轉向位置之遠近等，及其他複雜因素之影響，可有效聚焦於跑道本身而簡化容量分析之複雜性
- 離到場航空器數量比例
- 各類航空器數量比例

模擬

- 依參數及預設起降量隨機產生航班需求
- 依參數產生時間間距
- 模擬航機起降，完成後再予統計即可得到跑道在所設定參數下之容量
- 容量之衡量指標為每小時可服務之架次數

9

4.5 停機位容量分析

參數

- 停機位數量：所分析之停機位組所擁有之停機位數量
- 佔用時間需求長度：各航空器類別設定不同上下限，均勻分佈
- 各類航空器數量比例
- 各類航空器數量佔機場該類航空器整體需求之比例

模擬

- 航空器抵達停機位組時若有空位即進入，若無則等待
- 產出該停機位分組平均每小時可服務之最大航空器架次數
- 產出每小時服務之架次數、每架平均等待時間、以及使用率三者間之關係

10

4.6 滑行道容量分析

參數

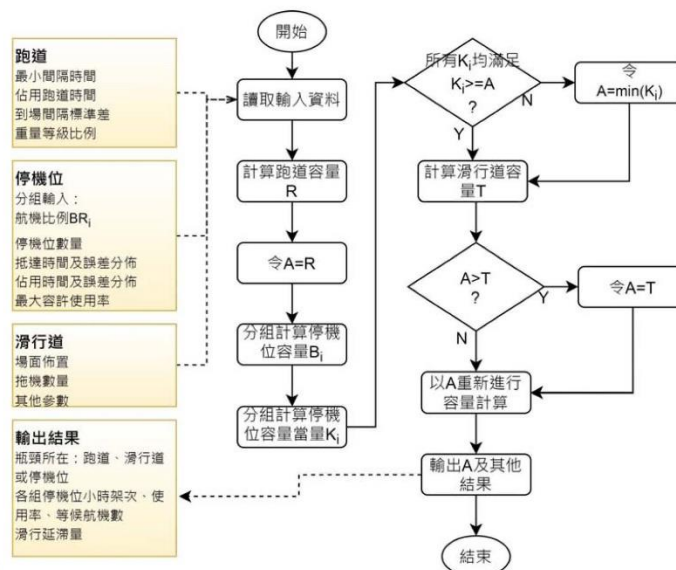
- 場面佈置：硬體設施之幾何佈置
- 航空器之起迄點
- 其他參數：滑行速率、後推過程所需之時間長度、滑行中轉彎之時間損失、滑行路徑求解控制參數等

模擬

- 以數學網路表現滑行道系統，並在網路中建立排程模式以求得航空器之滑行路徑、建立排點模式以求得航空器在滑行過程中到離各節點、節線之時間
- 產出小時起降量與滑行時間延滯量之關係

11

4.7 機場空側容量評估程序



12

五、測試例

5.1 概述

- 本研究將前章所說明之容量分析方法，以C++以及C#語言實作成為軟體
- 數值測試之目的在測試本研究所開發之容量評估方法之計算結果以及邏輯之合理性，以及整套方法之可操作性
- 假設航空器分為1、2、3類，數量比例1:16:3

13

5.2 跑道容量

時間淨距秒數	
組合	隔離
到到	120 - 180
離離	60 - 120
到離	5 - 30
離到	50 - 70

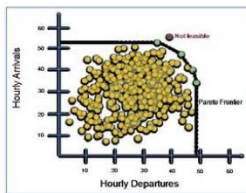
佔用跑道秒數			
分類	到離	佔用時間	比例
短時間 5%	到	65 - 80	0.5
	到	80 - 95	0.2
	到	95 - 110	0.2
	到	110 - 125	0.1
	離	65 - 95	0.7
	離	95 - 125	0.3
中時間 80%	到	65 - 80	0.1
	到	80 - 95	0.4
	到	95 - 110	0.4
	到	110 - 125	0.1
	離	65 - 95	0.5
	離	95 - 125	0.5
長時間 15%	到	65 - 80	0.1
	到	80 - 95	0.2
	到	95 - 110	0.2
	到	110 - 125	0.5
	離	65 - 95	0.3
	離	95 - 125	0.7

14

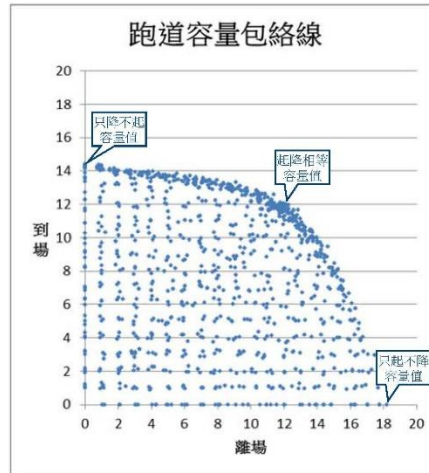
5.2 跑道容量

模擬結果統計

- 只起不降：18.2架次/小時
- 只降不起：14.4架次/小時
- 起降相等：24.5架次/小時

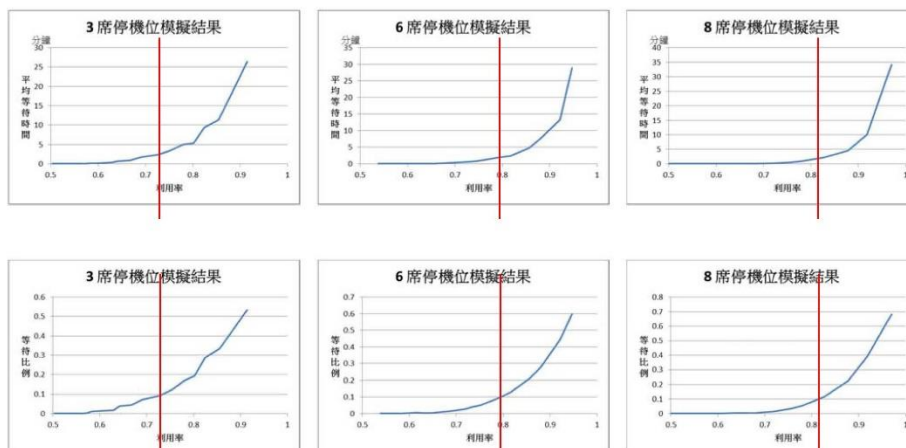


Airport Capacity Assessment
Methodology—ACAM
Manual. Eurocontrol, 2016



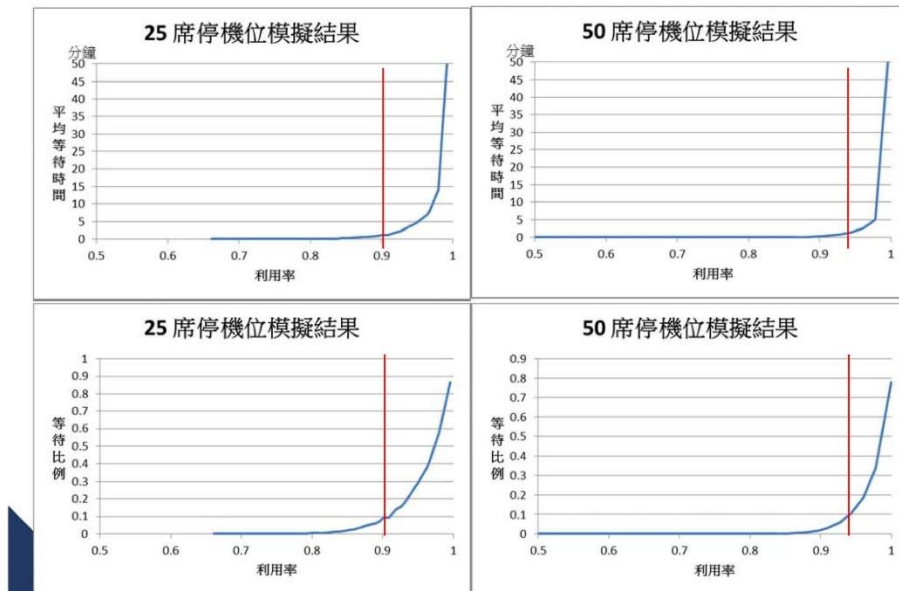
15

停機位模擬結果：3/6/8席

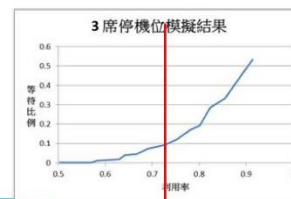


16

停機位模擬結果：25/50 席



5.3 停機位容量



停機位容量評估						
每組之席位數		3	6	8	25	50
10%有等待	等待時間	2.6	2.0	1.8	1.3	1.2
	小時容量	0.33	0.36	0.37	0.41	0.43
	總小時容量	0.99	2.16	2.96	10.36	21.37
	利用率	73%	79%	81%	91%	94%
20%有等待	等待時間	5.7	4.4	3.9	3.0	2.7
	小時容量	0.36	0.38	0.39	0.42	0.44
	總小時容量	1.09	2.30	3.12	10.63	21.84
	利用率	80%	85%	86%	93%	96%

註：等待時間=所有航班之平均等待時間
 註：小時容量=平均每席位每小時可服務之航班數

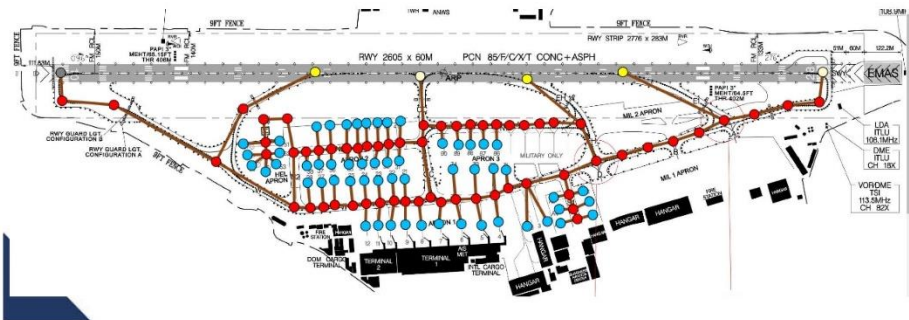
參數設定	
佔用停機位時間(分鐘)	比例
60-120	50%
120-180	30%
180-240	20%

註：含轉換時間

5.4 滑行道容量

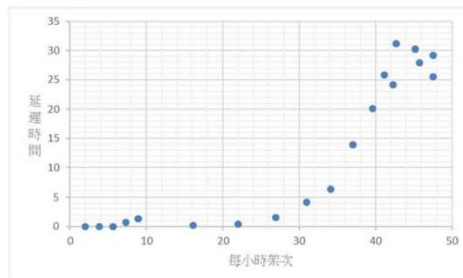
參數設定

- 滑行道：松山機場
- 跑道：10跑道，4出口
- 滑行速率：15節
- 跑道容量：很大
- 停機位容量：很大

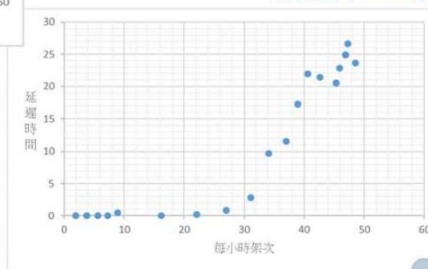


滑行道系統模擬結果

滑行速率：15節



滑行速率：30節



機場空側容量：停機位

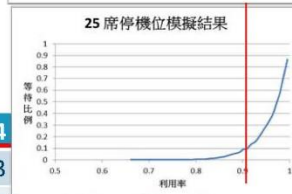
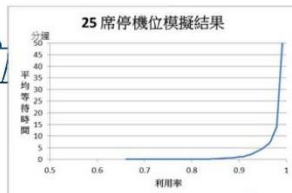
分組方式

- 假設總共50席
- 假設容許10%有等待
- 分組方式：25、8、8、3、3、3席

		停機位容量評估					
		3	6	8	25	50	
10% 有等待	等待時間	2.6	2.0	1.8	1.3	1.2	
	小時容量	0.33	0.36	0.37	0.41	0.43	
	總小時容量	0.99	2.16	2.96	10.36	21.37	
	利用率	73%	79%	81%	91%	94%	
20% 有等待	等待時間	5.7	4.4	3.9	3.0	2.7	
	小時容量	0.36	0.38	0.39	0.42	0.44	
	總小時容量	1.09	2.30	3.12	10.63	21.84	
	利用率	80%	85%	86%	93%	96%	

註：等待時間=所有航班之平均等待時間
註：小時容量=平均每座位每位每小時可服務之航班數

註：小時容量=平均每席位每小時可服務之航班數



	編號	1	2	3	4		
輸入參數	席位數	25	8	8	3		
	航機比例	53%	16%	16%	5%	5%	5%
查圖表	小時容量	10.36	2.96	2.96	0.99	0.99	0.99
	利用率	91%	81%	81%	73%	73%	73%
容量計算	K_i	39.10	37.00	37.00	39.60	39.60	39.60
	小時航機數	6.49	1.96	1.96	0.61	0.61	0.61
	實際利用率	<60%	<60%	<60%	<60%	<60%	<60%
查圖表	等待比例	0	0	0	0	0	0
	等待時間	0	0	0	0	0	0

21

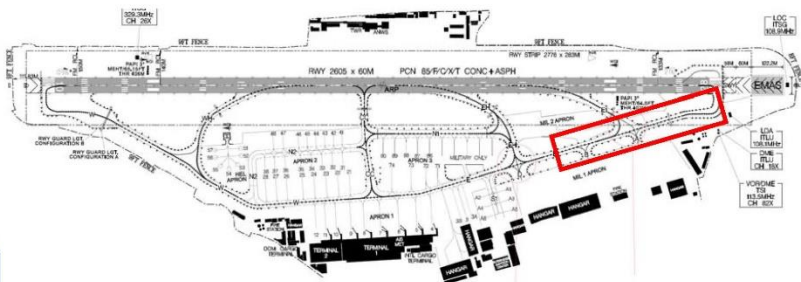
5.6 測試結果討論

整體容量

- 每小時24.5架次，由跑道控制
- 停機位容量充裕
- 滑行道順暢

每小時起降超過約35架次時

- 開始發生延遲



22

六、結論與後續研究

6.1 結論

- 本研究已開發機場空側容量評析方法
- 評析第一階段不需要與任何特定機場之真實狀況有所關聯，可事先製備數據待查
- 第二階段，對特定機場分析某特定情境下之容量時，則以查詢方式得到容量預估值

6.2 後續研究

- 桃園國際機場具有松山機場所無之屬性，建議持續技術開發
- 本研究之成果應用方法適合未來「機場空側容量手冊」之開發，建議後續可持續預先為後續開發該手冊作準備

23

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) 期末修正簡報

財團法人成大研究發展基金會

110年12月23日

謝謝

~敬請指教~