

國立交通大學
運輸科技與管理學系碩士班

碩士論文

機場航站大廈出境作業流程
延滯擴散及控制之研究

Departure Process-Delay Propagation and Control
Strategies in Airport Passenger Terminals



研究生：許乃文

指導教授：許巧鶯 教授

中華民國九十三年六月

機場航站大廈出境作業流程延滯擴散及控制之研究
Departure Process-Delay Propagation and Control Strategies in
Airport Passenger Terminals

研究生：許乃文
指導教授：許巧鶯

Student : Nai-Wen Hsu
Advisor: Chaung-Ing Hsu

國立交通大學
運輸科技與管理學系
碩士論文

A Thesis

Submitted to Department of Transportation Technology & Management

College of Management

National Chiao Tung University

in Partial Fulfillment of the Requirements

for the Degree of

Master

in

Transportation Technology and Management

June 2004

Hsinchu, Taiwan, Republic of China

中華民國九十三年六月

機場航站大廈出境作業流程延滯擴散及控制之研究

研究生：許乃文

指導教授：許巧鶯

國立交通大學運輸科技與管理學系碩士班

摘要

機場航站大廈為航空運輸空側、陸側交會運作核心，回顧世界各主要國際機場發展過程，皆曾發生設施使用提早達飽和，卻因機場週邊土地發展強度增加及噪音限制標準提高，使得機場硬體向外擴充不具可行性，故如何在有限資源下，透過作業效率之提升以增加機場容量實為一重要課題。出境作業單位甚多且流程繁瑣，在緊密的航班安排、高相依作業銜接配合特性下，出境作業流程中航班可能因臨時性作業事件產生延滯，除了對相鄰航班作業時間造成影響，對該航班之接續作業亦會產生影響。航空運輸延滯與控制研究中，多為空側航機誤點延滯之探討；航站陸側作業研究則多針對個別作業流程作業績效進行探討；研究方法多以模擬模式為主，然此類方法未能透明闡述延滯於出境作業流程中對航班間與作業間之擴散影響機制。

本研究以解析性方法，依據航空運輸場站之延滯特性，針對出境作業流程延滯發生原因與特性進行探討；首先就流程中不同作業服務類型與作業間接續影響關係進行歸納與分析；而後，以確定性等候理論為基礎，構建作業等候模型與延滯時間推估模式，以探討作業發生延滯後對航班間、作業間之延滯擴散影響範圍。繼而，以標籤校正演算法為基礎，針對航班出境作業時間網路評估航班出境作業時間最大之關鍵作業流程，以瞭解航班於所有出境作業流程上所受之影響及求算此流程上航班之作業所需時間。進一步，針對延滯擴散影響狀況構建延滯成本函數，以探討旅客、作業單位、航空公司與航站等產生之延滯成本；同時藉由對延滯原因與作業機制之分析，擬定固定作業完成時間、增加作業櫃檯與使用特定櫃檯服務等三種延滯控制方案以降低延滯擴散影響。此外本研究亦就不同作業配置方式如 911 事件、SARS 疫情等配置下可能之延滯擴散情形進行分析。

本研究以中正國際機場出境作業流程為例進行範例分析；結果顯示所構建之模式可有效推估航站出境作業延滯擴散影響範圍與成本；同時透過採用所提出之控制方案並可降低延滯擴散影響；此外，於不同流程配置分析中亦發現作業接續關係為延滯擴散影響關鍵，當兩作業為非直接進入式關係，因空間緩衝作用可紓解上游延滯對下游作業之擴散影響。而當出境作業因提高安檢或檢疫層級而改變流程配置，延滯擴散所形成之影響將較原配置方式嚴重；另航空公司於 911 事件流程配置下，建議旅客提早 3 小時開始進行出境作業，確實能降低櫃檯報到作業對後續出境作業之影響。最後，經由對時間價值、設備使用費、登機門時間帶懲罰成本等成本參數進行敏感度分析，發現控制方案中成本比例變動幅度之變動方向與成本改善效益變動方向呈負相關，成本改善程度大小與成本比例變動幅度呈正相關。綜上，本研究進一步釐清航班於出境作業流程中，各項因素對航班作業產生之影響，可供航空公司、航站營運單位於未來面對不同作業延滯與流程配置情況下改善出境作業流程之參考。

關鍵字：航站；出境作業流程；作業延滯；延滯擴散；延滯控制；流程配置

Departure Process-Delay Propagation and Control Strategies in Airport Passenger Terminals

Student: Nai-Wen Hsu

Advisor: Chaug-Ing Hsu

Department of (Institute) Transportation Technology and Management
National Chiao Tung University

Abstract

Airport passenger terminal is an interface of airside and landside operations. Tightly scheduled flights and processes are its significant characteristics. The demand for air transportation increases rapidly with the trend of globalization and international trade, while the expansions of airport terminals are usually limited due to the constraints of land and noise abatement. Therefore, how to increase the efficiency of passenger processing in the existing terminals has become an important issue. The departure process in the passenger terminal is very important as it is complicated and related to the punctuality of departure flights and the connectivity of connecting flights. Once there occur any incidents or additional requirements on any of departure process frequently incur delay and delay propagation on interrelated process in the terminals, even blocked the whole air transportation system. The security check due to 911 events and passenger health investigation due to SARS are the recent examples.

This study develops models on analyzing the delay propagation and control strategies in the departure process of passenger terminal. First, the study develops analytical queuing models on process delay propagation on different types of servers and connections classified by serving single or multiple flights. The study further examines the relationships of consecutive servers and processes to analyze the evolution of the delay propagation. Second, the study further develops an algorithm based on label correcting algorithm to find the critical departure process, which shows the longest process path and time of each flight. Furthermore, the study formulates delay cost functions for passengers, airline, and airport operators and proposes control strategies to minimize delay and delay propagation in the passenger departure process. The proposed strategies include set up the close time for each flight in each process, providing the extra server, and the initiating priority service for the emergent flight. The study also analyzes the degrees of delay propagation for different types of process layout, such as 911 and SARS, etc.

Finally, the study uses CKS passenger terminal as an example to demonstrate the application and feasibility of the developed models. The results show that delay can be dispersed between un-consecutive servers due to spatial buffer, and to advance the open time for half an hour in departure process would alleviate the possible delay propagations. Moreover the study further conducts sensitive analyses of cost parameters on control strategies. The results show that the ration of delay cost decreases with delay-improved benefit increasing, and the degree of the ration of delay cost increases with the scale of delay-improved benefit increasing. The results of this study provide guidances on designing airport passenger terminal process and controlling process delay in practice.

Key Words : *Airport Passenger Terminal, Departure Process, Process Delay, Delay Propagation, Control Strategies, Process Layout*

誌謝

本論文得以完成，首先感謝指導教授許巧鶯老師於論文、學業上的指導，老師治學、做事嚴謹的態度，讓學生習得往後面對挑戰的能力與態度。感謝逢甲大學林良泰老師於學術研究與生活上的啟發，讓我知曉作學熱忱與耐心的重要，尤其是生活上引人省思的教誨，更是畢生受用。感謝長榮航空公司周政毅先生與趙清成學長於論文研究期間給予的協助，使本研究能更貼近實際狀況。論文口試期間，感謝台灣大學羅永光老師與海洋大學顏進儒老師撥冗審閱與指正，使本研究謬誤之處得以斧正。

研究室的生活讓我在新竹有家的感覺，慧潔學姊的指導與鼓勵對本論文的完成更是重要，也不忘找富加再游日月潭；佳紋的大神經讓我沒齒難忘，「吃與運動」的快樂平衡點望你找到；同是雙魚性格的科技新貴偉哲，有好玩的別忘通知；論文後期一同努力的鵬先，好男人性格會讓你找到幸福；新新女性的心攻，成功考上教師；研究室好幫手剛伯、美好，讓研究室不愁斷糧；明年 LAB 唯一的畢業生易呈，保重；感謝幼屏學姊的溫馨接送與鼓勵；志青學長得女滿月快樂；美珠學姊博士研究順利；還有畢業的學長：創造「A 彭障礙」的 A 彭，遠在米國的咪咪，熱心、憨厚的聖峰，一起做學與運動的日子真是有趣；亦感謝高老師對生活上的照顧；還有交大的小宇、耀楨、依潔及 93 級畢業的同學，以上種種讓我的研究所生活豐富、快樂。另外，明鴻與屏東的朋友讓我回家都能有人聊天；陳永穎、大嫂，你們是我在北部最南部的朋友，感謝在台北溫馨的款待。生活中少不了的逢甲交管的朋友：大展、Anon、龔凱、霸子、小明...等等，一起玩耍與成長；還有所有未列之名，更是感謝。同時謝謝交大門口土地公的保佑，讓我順遂、平靜。

最後僅將本論文獻給爸爸、姑姑、爺爺、阿姨、家人及在另一個世界的阿嬤、媽媽，你們的鼓勵是我完成論文的動力。還有最重要的怡伶，沒有妳的照顧與相伴，這一頁將不會成立，感謝妳的體恤與付出，也望妳順利、快樂完成學業，也謝謝妳家人的照顧。

我覺得我是一個幸運的人，一路上總有人不吝幫忙、為伴，讓我生活精采、豐富，也望我能成為一個發光體，努力回饋這一切付出，再次謝謝你們，謝謝。

許乃文
於新竹交大綜合一館十樓研究室
民國九十三年七月 盛夏

目 錄

| | |
|----------------------------|------|
| 中文摘要..... | i |
| 英文摘要..... | ii |
| 誌謝..... | iii |
| 目錄..... | iv |
| 圖目錄..... | vi |
| 表目錄..... | viii |
| 符號說明..... | ix |
| 第一章 緒論..... | 1 |
| 1.1 研究背景與動機..... | 1 |
| 1.2 研究目的..... | 3 |
| 1.3 研究範圍..... | 5 |
| 1.4 研究方法與架構..... | 6 |
| 第二章 文獻回顧..... | 11 |
| 2.1 航站作業分析文獻回顧..... | 11 |
| 2.2 時間誤點延滯問題文獻回顧..... | 17 |
| 2.3 生產計畫排程文獻回顧..... | 18 |
| 2.4 小結..... | 19 |
| 第三章 航站出境作業延滯擴散..... | 20 |
| 3.1 航站出境作業特性分析..... | 20 |
| 3.2 航站出境作業等候模型..... | 23 |
| 3.2.1 單航班使用式作業等候模型..... | 23 |
| 3.2.2 多航班共用式作業等候模型..... | 25 |
| 3.2.3 作業接續關係等候模型..... | 30 |
| 3.3 航站出境作業延滯影響..... | 31 |
| 3.3.1 模式假設與基本分析..... | 31 |
| 3.3.2 航班間作業延滯擴散影響..... | 35 |
| 3.3.3 作業間作業延滯擴散影響..... | 46 |
| 3.3.4 多層次出境作業系統延滯擴散影響..... | 49 |
| 3.4 航站旅客、行李出境作業時間分析..... | 52 |
| 3.5 航班關鍵作業流程評估..... | 54 |
| 3.5.1 航班出境作業時間網路..... | 55 |
| 3.5.2 航班關鍵作業流程評估演算法..... | 57 |
| 第四章 航站出境作業延滯擴散之控制..... | 62 |
| 4.1 航站出境作業延滯擴散成本..... | 62 |
| 4.1.1 旅客延滯成本..... | 62 |

| | |
|-----------------------------------|-----|
| 4.1.2 營運單位延滯成本..... | 63 |
| 4.1.3 航空公司延滯成本..... | 64 |
| 4.1.4 航站延滯成本..... | 65 |
| 4.1.5 延滯擴散成本..... | 67 |
| 4.2 航站出境作業延滯擴散控制策略..... | 68 |
| 4.2.1 方案一、設立固定之航班作業完成時間..... | 69 |
| 4.2.2 方案二、增加作業櫃檯..... | 71 |
| 4.2.3 方案三、依航班作業警示時間，使用特定作業櫃檯..... | 72 |
| 4.2.4 小結..... | 73 |
| 4.3 航站旅客出境作業流程配置對出境作業延滯擴散之影響..... | 73 |
| 4.3.1 出境作業流程配置等候模型分析..... | 74 |
| 4.3.2 因應臨時航空事件之作業要求改變之出境作業流程..... | 76 |
| 第五章 範例分析..... | 78 |
| 5.1 基本參變數設定..... | 78 |
| 5.2 出境作業延滯擴散影響分析..... | 82 |
| 5.2.1 出境作業延滯時間與擴散影響分析..... | 82 |
| 5.2.2 航班關鍵作業流程評估..... | 87 |
| 5.2.3 出境作業延滯擴散成本分析..... | 89 |
| 5.3 出境作業延滯控制策略分析..... | 91 |
| 5.3.1 設立固定之航班作業完成時間..... | 92 |
| 5.3.2 增加作業櫃檯..... | 94 |
| 5.3.3 依航班作業警示時間，使用特定櫃檯服務..... | 95 |
| 5.3.4 延滯控制策略分析..... | 97 |
| 5.4 不同出境作業流程配置對出境作業延滯擴散之影響..... | 99 |
| 5.4.1 不同出境作業流程配置之基本參變數設定..... | 99 |
| 5.4.2 不同出境作業流程配置之延滯擴散影響分析..... | 100 |
| 5.5 敏感度分析..... | 104 |
| 5.5.1 時間價值變動之敏感度分析..... | 104 |
| 5.5.2 作業設備費變動之敏感度分析..... | 106 |
| 5.5.3 登機門時間帶懲罰費變動之敏感度分析..... | 107 |
| 5.5.4 敏感度分析小結..... | 109 |
| 5.6 小結..... | 109 |
| 第六章 結論與建議..... | 110 |
| 6.1 結論..... | 110 |
| 6.2 建議..... | 112 |
| 參考文獻..... | 114 |

圖目錄

| | |
|--|----|
| 圖 1.1 研究範圍示意圖..... | 6 |
| 圖 1.2 研究流程圖..... | 9 |
| 圖 1.3 研究架構圖..... | 10 |
| 圖 3.1 基本出境作業流程..... | 21 |
| 圖 3.2 航站出境作業系統延滯影響分類示意圖..... | 22 |
| 圖 3.3 單航班使用式作業等候模型..... | 24 |
| 圖 3.4 航空公司服務之多航班共用式作業等候模型..... | 26 |
| 圖 3.5 航站服務之多航班共用式作業等候模型..... | 28 |
| 圖 3.6 直接進入式接續作業關係等候模型..... | 31 |
| 圖 3.7 航班作業時間關係示意圖..... | 32 |
| 圖 3.8 旅客延遲抵達作業之作業等候模型示意圖..... | 33 |
| 圖 3.9 服務延遲之作業等候模型示意圖..... | 34 |
| 圖 3.10 單航班使用式作業時間示意圖..... | 35 |
| 圖 3.11 當 $T_{i,j}^{Ds} - T_{i,j}^s < t_{i,j}^b$, 單航班使用式作業延滯影響示意圖..... | 36 |
| 圖 3.12 當 $T_{i,j}^{Ds} - T_{i,j}^s = t_{i,j}^b$, 單航班使用式作業延滯影響示意圖..... | 37 |
| 圖 3.13 當 $T_{i,j}^{Ds} - T_{i,j}^s > t_{i,j}^b$, 單航班使用式作業延滯影響示意圖..... | 38 |
| 圖 3.14 單航班使用式作業延滯影響等候模型..... | 39 |
| 圖 3.15 航班出境作業時間網路圖..... | 55 |
| 圖 3.16 出境旅客作業流程..... | 56 |
| 圖 3.17 出境作業時間網路之邏輯關係(AND)..... | 56 |
| 圖 3.18 出境作業時間網路之邏輯關係(OR)..... | 57 |
| 圖 3.19 關鍵作業流程..... | 57 |
| 圖 3.20 航班關鍵作業流程評估演算法流程圖..... | 61 |
| 圖 4.1 設立固定之航班作業完成時間之作業等候模型..... | 69 |
| 圖 4.2 增加 M 個作業櫃檯之作業等候模型..... | 71 |
| 圖 4.3 依航班出發時間, 排定航班作業順序之作業等候模型..... | 72 |
| 圖 4.4 原航站出境作業流程配置等候模型..... | 74 |
| 圖 4.5 先安檢後證照查驗之出境作業流程配置等候模型..... | 75 |

| | |
|--|-----|
| 圖 4.6 前端式出境作業流程配置之等候模型..... | 75 |
| 圖 4.7 衛星式安檢作業航空出境作業流程配置..... | 76 |
| 圖 4.8 大型機場出境作業流程配置之等候模型..... | 76 |
| 圖 4.9 因應 911 事件高安檢要求之出境作業流程配置等候模型..... | 77 |
| 圖 4.10 因應 SARS 事件檢疫要求之出境作業流程配置等候模型..... | 77 |
| 圖 5.1 各航班於各出境作業之總推擠性延滯時間..... | 84 |
| 圖 5.2 各航班於各出境作業之延滯成本..... | 91 |
| 圖 5.3 固定作業完成時間下，航班於各出境作業改善之總推擠性延滯時間..... | 93 |
| 圖 5.4 增加作業櫃檯下，各航班於各出境作業改善之總推擠性延滯時間..... | 95 |
| 圖 5.5 使用特定櫃檯服務下，航班於各出境作業改善之總推擠性延滯時間..... | 96 |
| 圖 5.6 不同出境作業流程配置下，作業之延滯成本示意圖..... | 101 |
| 圖 5.7 不同出境作業流程配置下，航班之延滯成本示意圖..... | 102 |
| 圖 5.8 不同時間價值下，各控制方案成本改善效益與旅客延滯時間成本比例變動 幅度關係示意圖..... | 106 |
| 圖 5.9 不同作業設備費下，各控制方案成本改善效益與超時作業設備成本比例變 動幅度關係示意圖..... | 107 |
| 圖 5.10 不同登機門時間帶懲罰費下，各控制方案成本改善效益與登機門時間帶 懲罰成本比例變動幅度關係示意圖..... | 108 |

表目錄

| | |
|--|-----|
| 表 2.1 航站作業分析研究特性與方法..... | 15 |
| 表 2.1 航站作業分析研究特性與方法(續)..... | 16 |
| 表 3.1 作業類型與作業時間影響差異比較..... | 29 |
| 表 5.1 範例分析之基本參變數設定..... | 79 |
| 表 5.2 航班資訊..... | 81 |
| 表 5.3 無延滯狀況下之航班作業時間..... | 82 |
| 表 5.4 各航班於各出境作業延滯時間推估..... | 85 |
| 表 5.4 各航班於各出境作業延滯時間推估(續)..... | 86 |
| 表 5.5 各航班於各出境作業實際作業時間與關鍵作業流程評估結果..... | 88 |
| 表 5.6 各航班於各出境作業之各項延滯成本..... | 90 |
| 表 5.7 各航班於各出境作業之延滯成本..... | 91 |
| 表 5.8 固定作業完成時間下之延滯成本（可退票）..... | 93 |
| 表 5.9 固定作業完成時間下之延滯成本（不可退票）..... | 93 |
| 表 5.10 增加作業櫃檯下之延滯成本..... | 95 |
| 表 5.11 使用特定櫃檯服務下之延滯成本..... | 96 |
| 表 5.12 出境作業延滯擴散成本與延滯控制方案成本比較..... | 98 |
| 表 5.13 延滯控制方案各項成本比例..... | 98 |
| 表 5.14 不同出境作業流程配置下，各作業之延滯成本..... | 101 |
| 表 5.15 不同出境作業流程配置下，各航班之延滯成本..... | 102 |
| 表 5.16 時間價值變動對延滯控制方案成本之敏感度分析..... | 106 |
| 表 5.17 作業設備費變動對延滯控制方案成本之敏感度分析..... | 107 |
| 表 5.18 登機門時間帶懲罰費變動對延滯控制方案成本之敏感度分析..... | 108 |
| 表 5.19 各變數與控制方案成本改善效益之影響關係..... | 109 |

符號說明

| 符 號 | 意 義 |
|--|---|
| $A_{i,j}(t)$ | 航班 i 於作業 j 時點 t 之累積到達旅客數 |
| $T_{i,j}^{As}$ | 航班 i 於作業 j 第一位旅客到達時間 |
| $T_{i,j}^{Af}$ | 航班 i 於作業 j 最後一位旅客到達作業時間 |
| $A_{i,j}(t T_{i,j}^{As} \leq t \leq T_{i,j}^{Af})$ | 航班 i 於作業 j 上累積到達旅客曲線 |
| $\lambda_{i,j}(t)$ | 航班 i 於作業 j 時點 t 之累積到達率函數 |
| $\mu_{i,j}(t)$ | 航班 i 於作業 j 時點 t 之累積服務率函數 |
| $T_{i,j}^{Ds}$ | 航班 i 於作業 j 第一位旅客作業完成時間 |
| $T_{i,j}^{Df}$ | 航班 i 於作業 j 最後一位旅客作業完成時間 |
| $A_{i,j}^{-1}(x)$ | 航班 i 於作業 j 累積 x 位旅客到達時間 |
| $D_{i,j}^{-1}(x)$ | 航班 i 於作業 j 累積 x 位旅客作業完成時間 |
| $D_{i,j}(t T_{i,j}^{Ds} \leq t \leq T_{i,j}^{Df})$ | 航班 i 於作業 j 累積作業完成旅客曲線 |
| $x_{i,j}(t)$ | 航班 i 於作業 j 時點 t 之作業旅客數 |
| N_f | 航空公司 f 於作業上之共同作業航班數 |
| m | 作業櫃檯數 |
| $A_{f,j}(t K \leq t \leq L)$ | 作業 j 時區 $[K,L]$ 中航空公司 f 之總累積到達旅客曲線 |
| $D_{f,j}(t K \leq t \leq L)$ | 作業 j 時區 $[K,L]$ 中航空公司 f 之總累積作業完成旅客曲線 |
| $A_{f,i,j}^{-1}(x)$ | 航空公司 f 航班 i 於作業 j 上累積 x 位旅客之到達時間 |
| $D_{f,i,j}^{-1}(x)$ | 航空公司 f 航班 i 於作業 j 上累積 x 位旅客作業完成時間 |
| $D_{f,i,j}(t T_{f,i,j}^{Ds} \leq t \leq T_{f,i,j}^{Df})$ | 航空公司 f 航班 i 於作業 j 上之累積作業完成旅客曲線 |
| N | 航站作業之共同作業航班數 |
| $A_j(t K \leq t \leq L)$ | 作業 j 時區 $[K,L]$ 中之作業總累積到達旅客曲線 |
| $\mu_j(t K \leq t \leq L)$ | 作業 j 時區 $[K,L]$ 中航站作業服務率函數 |
| $D_j(t K \leq t \leq L)$ | 作業 j 時區 $[K,L]$ 中之作業總累積作業完成旅客曲線 |
| $t_{j,j+1}^w$ | 作業 j 至作業 $j+1$ 間之連通時間 |
| $T_{i,j}^s$ | 航班 i 於作業 j 之表定作業起始時間 |

| 符號 | 意義 |
|---|--|
| $T_{i,j}^f$ | 航班 i 於作業 j 之表定作業完成時間 |
| $t_{i,j}^p$ | 航班 i 於作業 j 之航班最短作業時間 |
| $t_{i,j}^b$ | 航班 i 於作業 j 之作業緩衝時間 |
| $t_{i,j}^A$ | 航班 i 於作業 j 之自發性延滯時間 |
| $t_{i,j}^{pd}$ | 航班 i 於作業 j 之作業延滯時間 |
| $t_{i,j}^G$ | 航班 i 於作業 j 之總推擠性延滯時間 |
| $t_{i,j}^d$ | 航班 i 於作業 j 推擠性延滯時間 |
| $x_{i,j}^d$ | 航班 i 於作業 j 之延滯旅客數 |
| $T_{f,i,j}^s$ | 航空公司 f 航班 i 於作業 j 表定起始作業時間 |
| $t_{f,i,j}^{Ds}$ | 航空公司 f 航班 i 於作業 j 實際作業起時時間 |
| $t_{f,i,j}^{Df}$ | 航空公司 f 航班 i 於作業 j 最後一位旅客作業完成時間 |
| $t_{f,i,j}^A$ | 航空公司 f 航班 i 於作業 j 之自發性作業延滯 |
| $t_{f,i,j}^b$ | 航空公司 f 航班 i 於作業 j 之作業緩衝時間 |
| $t_{f,i,j}^d$ | 航空公司 f 航班 i 於作業 j 之推擠性延滯時間 |
| $t_{f,i,j}^{pd}$ | 航空公司 f 航班 i 於作業 j 之作業延滯時間 |
| $t_{f,i,j}^p$ | 航空公司 f 航班 i 於作業 j 之航班最短作業時間 |
| $t_{f,i,j}^G$ | 航空公司 f 航班 i 於作業 j 之總推擠性延滯時間 |
| $x_{f,j} [D_{f,i,j}^{Df}, T_{f,i,j}^f]$ | 航空公司 f 航班 i 於作業 j 之於延滯時區 $[T_{f,i,j}^{Df}, T_{f,i,j}^f]$ 內之累積作業完成旅客數 |
| $t_{f,(i,n_i),j}^G$ | 受航空公司 f 航班 i 延滯影響之航班 n_i 產生之總推擠性延滯時間 |
| $T_{f,n_i,j}^{Df}$ | 受航空公司 f 航班 i 延滯影響造成之實際作業完成時間 |
| $S_{i,(j,j+1)}$ | 下游作業 $j+1$ 受上游作業 j 影響之作業起始延滯時間 |
| $F_{i,(j,j+1)}$ | 下游作業 $j+1$ 受上游作業 j 影響之作業完成延滯時間 |
| $t_{i,j+1}^x$ | 每位旅客於接續作業 $j+1$ 上之最短作業時間 |
| $T_i^{Pushback}$ | 航班 i 之出發時間 |
| $T_i^{D-Pushback}$ | 航班 i 之實際出發時間 |
| J | 登機作業 |
| $N_{i,j}$ | 多層次延滯影響擴散範圍，即受影響航班 $n_{i,j}$ 之總和 |

| 符號 | 意義 |
|--------------------------|--|
| $n_{i,k}$ | 作業 k 上受航班 i 延滯擴散影響之航班 |
| $PT_{i,a}$ | 出境旅客作業 |
| $TPT_{i,b}$ | 轉機旅客作業 |
| $BT_{i,c}$ | 出境行李作業 |
| $TBT_{i,d}$ | 轉機行李作業 |
| $Pt_{i,x \rightarrow y}$ | 航班 i 所有出境旅客由作業 x 開始至完成作業 y 之串聯環節所需作業時間 |
| T_h | 所有作業時間節點中可直接連結至節點 h 之子集合 |
| $I_i(h)$ | 航班 i 於作業時間節點 h 上之累積作業流程時間運算值 |
| $S_i(h)$ | 作業時間節點 h 之累積關鍵作業流程 |
| $C_i(h)$ | 作業時間節點 h 上之作業時間 |
| V_i | 航班 i 平均旅客時間價值 |
| $C_{i,j}^{D-P}$ | 旅客因延滯造成之延滯時間成本 |
| $L_{i,j}$ | 超時作業員工數 |
| S | 作業員工每小時超時作業薪資 |
| $C_{i,j}^{D-L}$ | 超時作業工時成本 |
| $E_{i,j}$ | 超時作業設施數 |
| $H_{i,j}$ | 每作業設施每小時超時作業費用 |
| $C_{i,j}^{D-E}$ | 航班 i 於作業 j 之超時作業設施成本 |
| t^c | 機票運送契約規定之可容許延滯時間 |
| P_i | 航空公司對每位旅客之賠償金 |
| $C_{i,j}^{D-U}$ | 旅客行程延滯賠償成本 |
| Y_j | 每小時時間帶分配損失之懲罰成本 |
| $C_{i,j}^{D-Y}$ | 登機門作業時間帶懲罰成本 |
| F_j | 每小時航機空轉機會成本 |
| $C_{i,j}^{D-F}$ | 航班 i 於登機作業 J 之航機空轉機會成本 |
| $Z_{i,j}$ | 航班 i 於作業 j 之作業警示時間 |
| $M_{(j,j+1)}$ | 作業 j 至作業 $j+1$ 間平均每位旅客消費金額 |
| $C_{i,j}^{D-M}$ | 航班 i 於作業 j 之特許營收損失成本 |

| 符 號 | 意 義 |
|----------------------------|-------------------------|
| $C_{i,j}^D$ | 航班 i 於一般作業 j 之延滯成本 |
| $C_{i,J}^D$ | 航班 i 於及登機作業 J 之延滯成本 |
| $C_{i,j}^{D(i)}$ | 航班 i 本身產生之延滯擴散成本 |
| $C_{(i,N_{i,j}),(j,J)}^D$ | 出境作業系統中受航班 i 延滯擴散影響成本 |
| $CP_{i,j}^D$ | 航班 i 於作業 j 之延滯擴散成本 |
| $X_{i,j}^{Con}$ | 固定航班作業完成時間方案之繼續行程旅客數 |
| $X_{i,j}^{Cancel}$ | 固定航班作業完成時間方案之取消行程旅客數 |
| $C_{i,j}^{Con-Airline}$ | 固定航班作業完成時間方案之安置轉搭成本 |
| G_i | 航班 i 之旅客票價 |
| $C_{i,j}^{Cancel-Airline}$ | 固定航班作業完成時間方案之旅客退票損失成本 |
| $CS_{i,j}^{D-S}$ | 固定航班作業完成時間方案之航站特許營收損失成本 |
| $CS_{i,j}^{(T_{i,j}^f)}$ | 固定航班作業完成時間方案之總成本 |
| $C_{i,j}^{(+m)-L}$ | 增加 m 個作業櫃檯服務方案之人員成本 |
| $C_{i,j}^{(+m)-E}$ | 增加 m 個作業櫃檯服務方案之設施使用成本 |
| $CP_{i,j}^{D(+m)}$ | 增加 m 個作業櫃檯服務方案之延滯擴散成本 |
| $CS_{i,j}^{(+m)}$ | 增加 m 個作業櫃檯服務方案之總成本 |
| $CP_{i,j}^{D(tZ)}$ | 採用特定櫃檯服務方案之延滯擴散成本 |
| $CS_{i,j}^{(tZ)}$ | 採用特定櫃檯服務方案之總成本 |

第一章 緒論

1.1 研究背景與動機

機場航站大廈為航空運輸服務樞紐，航站服務由機場營運單位與航空公司輔以其他駐站單位如地勤服務、特許商店等共同組成。航站是旅客從事航空運輸的介面，除提供旅客、行李出、入境及轉機服務，更是航空運輸空側、陸側交會運作核心；緊密的航班安排、高相依之作業銜接配合為航站出境作業網路特性，亦顯示航站於航空運輸系統中的重要性。隨著國際貿易的快速發展及供應鏈全球化之潮流下，航空運輸需求也隨之快速成長，Airline Business (2003) 指出，911 事件以前航空運輸業還在設法解決因需求成長快於容量增加之機場擁擠問題；2002 年航空運輸平均延滯在到達五年來最低紀錄之後，面對開始復甦之航空需求，航站延滯情形也將日益惡化。尤其是在面臨安檢、檢疫甚或是因臨時航空事件而改變之作業流程，更可能使航站成為航空運輸服務瓶頸所在。回顧世界各主要國際機場的發展，都發生設施使用提早達到飽和，而須進行擴建之現象。但因機場開發初期並未預留足夠之用地，或機場週邊土地發展強度增加及噪音限制標準提高，使得機場向外擴充不具可行性（交通部運輸研究所，民 88）。故各國政府在面對環保問題及因應未來運量的進一步成長時，莫不積極尋求解決方案。美國波音公司曾就 1996 年~2010 年全球航空客運需求進行預測分析，除了國民生產毛額與國際貿易的成長會對航空運輸需求造成影響；機場航站作業效率也將成為影響市場需求的主要因素。由此可知，如何在有限資源下提升航站作業效率更是航空運輸界努力的目標。

航站作業系統中，尤以出境作業對航站運作之影響最為顯著，Odoni and de Neufville(1992)研究指出，出境作業時間除直接影響航班出發時間，旅客於航站辦理出境作業所需時間較入境作業長，且出境航班的運作同樣包含轉機旅客的服務，可知出境作業服務比重實較入境作業大，改善航站擁塞問題以出境作業最為重要。航站出境作業流程中參與作業單位甚多，包含航站營運單位、航空公司、地勤公司、航警局、境管局等。出境旅客抵達航站後依序接受櫃檯報到、證照查驗、安全檢查、登機等作業，出境行李也依序接受行李分揀／打櫃、裝機等作業，另外還包含轉機旅客及行李等作業，可知出境作業流程之複雜；因此若航班於出境作業任一流程中因偶發性事件如櫃檯設備故障、旅客延遲抵達等因素影響而產生作業延滯；或為了因應特殊航空事件出境作業要求如 911 事件、SARS 疫情等，出境作業流程的改變而產生作業延滯，不但將影響該航班接續作業的進行，增加航班出境作業所需時間，亦可能對其他出境作業航班之作業時間造成延

滯擴散影響。

此外，航空公司通常建議旅客於班機起飛前二至三小時開始接受服務，在航行時間、機場聯外系統時間已知情況下，出境作業時間實為空運旅途中之關鍵，旅客在接受出境服務時，往往未能確切掌握出境作業所需時間而需提早抵達航站大廈，過多的等候時間實屬浪費。為方便旅客的接駁轉運，空運中心的航機經常在同一時段內密集到達，又同時段飛離，故航站勢需有足夠設施容量方能在短時間內處理轉機旅客；而航站作業因擁擠產生之等待、延滯情形，更將會影響航空公司進一步利用該機場營運及旅客至該機場轉機之意願（交通部運輸研究所，民 88）。況且出境作業時間更為影響航站特許收益的主要原因，許巧鶯、趙清成（民 92）研究指出航站特許營收與旅客消費時間預算有關，出境作業時間增加將進而減少旅客消費時間預算。作業延滯的擴散更會對作業相鄰航班及接續出境作業造成延滯影響，嚴重的作業延滯擴散會使整體航站服務系統堵塞，使出境作業形成航站服務瓶頸，造成作業服務績效的下降。尤其是對出境作業時間更為敏感的軸幅機場(Hub-and-Spoke Airport)，其密切的班次鏈轉乘配合，影響範圍更可能擴及整體航空運輸網路，進而影響整體服務網路營運的可靠度。

作業時間為機場競爭力重要指標之一，同樣為旅客最易感受之服務水準指標；為提升作業效率與減少作業延滯於航站所造成之影響，各國機場於出境作業上也開始採用諸如自動報到櫃檯（Self-Service Kiosk）、市區報到作業等作業方式，分散旅客於航站集中到達之尖峰服務特性，避免航站出境作業因壅塞而產生作業延滯；同時，透過自動化服務系統的連線，航空公司可以在遠端機器即時清楚掌握航班報到與作業情況。國內民航局也正積極推動機場自動化計畫，期藉由自動化技術提升機場各項作業效率；不僅增加航站作業能量，亦可減少旅客或行李的作業時間。綜上，可知航站作業準點績效控制的重要；而在分秒必爭的航空運輸環境下，如何有效利用航站資源、減少作業延滯更是機場管理當局與航空公司努力的目標。

為能減少機場擁擠產生的延滯問題，世界各國航空業近年來的發展多將機場容量改善視為首要目標，以新建航站、提升機場空側跑道容量等改善方式最為常見(Hebert and Dietz, 1997; Odoni and de Neufville, 1992)。也有以作業研究、模擬等方法研究改善航站作業效率之研究(Brunetta et al., 1999; Setti and Bruce, 1994; Tomic, 1992)；但多僅考量單一作業。以往航空運輸相關延滯研究中，多以等候理論探討旅客、班機的等候狀況(Chung and Nyakman, 1996; Chung and Sodeinde, 2000; Hansen, 2002; Hebert and Dietz, 1997)，然並未針對航站內不同作業類型作業延滯影響與作業流程間之延滯

擴散行為作深入討論。而在時間延滯之相關研究中，大多為探討交通工具抵達場站誤點延滯之問題，許巧鶯等人(民 92)針對航空空側班機運作誤點情形，探討航機於班次轉換、機門使用和轉運所造成之班機誤點延滯影響。在延滯控制研究中，則大多為於航空運輸空側航機班表安排上的改善 (Teodorovic and Guberinic, 1984; Teodorovic and Stojkovic, 1990)。針對上述研究，Jim and Chang(1998)更進一步指出傳統航空運輸的研究多集中於航空運輸空側運作的發展與作業分析上，較少著力於陸側航空之研究。綜上，可知過去航空作業研究中多針對航空個別作業流程進行探討，對於航空運輸延滯及控制之研究中，則多為偏向空側航機運行延滯進行探討，然而較少針對航空整體出境作業流程中，不同作業類型下，作業延滯對相鄰航班與接續作業之延滯擴散現象進行分析。在航空作業產生延滯後，航班間及作業間之相互影響機率甚高的情況下，極易產生延滯擴散之情形，因此有必要對航空作業流程延滯擴散與改善策略作深入之研究。

本研究針對航空出境作業流程作業延滯問題進行探討，分析航班旅客、行李於不同作業類型與作業接續關係下，作業延滯形成之擴散影響與成本；繼而，藉由分析不同作業類型之作業特性與現有航空之出境作業機制，就各種延滯狀況探討可行之延滯控制方案，以降低延滯擴散影響，同時，並就不同出境作業流程配置方式與因應臨時航空事件所造成出境作業流程之改變等進行延滯擴散分析，以探討延滯於不同流程配置上之影響。研究結果在學術貢獻上可補過去航空陸側作業延滯研究之不足，以期供相關之學術領域參考；實務上，構建航空出境作業延滯時間推估模式，及分析延滯對旅客航空公司航空作業單位所造成之各項成本，可釐清航班於出境作業流程中，各項因素對航班作業時間之影響及產生之延滯成本，以供航空公司、航空營運單位於未來不同作業延滯與流程配置情況下，改善出境作業流程之參考。

1.2 研究目的

本研究以解析性之方法，依據航空客運站出境作業與延滯特性，分析出境航班旅客、行李於出境作業流程中，不同作業類型與作業間接續關係上之作業時間，並構建數學模式，由主要變數間之關係探討形成延滯之原因，以及延滯之擴散情形。進一步，探討航班於出境作業流程中遭逢偶發性臨時事件下，所產生之延滯於航班間與作業間形成之擴散影響，分析延滯擴散對旅客、營運單位、航空公司與航空可能造成之延滯成本。繼而，根據針對不同延滯原因與作業機制，擬定可行之延滯控制方案，探討航空公司與航空營運單位在面臨臨時作業延滯事件時，可立即採取應變措施之

決策。同時，為瞭解不同旅客出境作業流程配置下產生之出境作業延滯擴散影響，本研究亦針對不同作業配置方式下可能之延滯擴散情形進行分析。本研究之主要內容分述如下：

1. 收集與回顧相關文獻，釐清航空出境作業延滯狀況與相關問題，並深入瞭解實務上亟待解決及操作問題。參考相關文獻並確立研究流程、架構與研究價值。
2. 構建航空出境作業等候模型。航空出境作業流程係由不同作業類型與作業間接續關係組成，作業類型依負責單位與服務對象的不同可分為單航班使用式作業、航空公司服務之多航班共用式作業與航空服務之多航班共用式作業等三種。作業間之接續關係依流程配置方式可區分為直接進入式接續關係與非直接進入式接續關係。為瞭解航班於出境作業流程中，不同作業類型與作業接續關係上作業時間所受之影響，本研究分別針對其作業類型與作業接續關係構建等候模型以進行分析。
3. 構建航空出境作業延滯時間推估模式。航班於出境作業流程中可能遭逢偶發性作業事件影響造成作業延滯，根據作業等候模型之分析，延滯原因可分為旅客延遲抵達與服務延遲等兩種。延滯除了對該作業相鄰航班造成影響之外，更可能對航班接續作業造成影響，依據出境作業流程中不同作業類型與作業接續關係之等候模型，分別對其構建延滯時間推估模式，並探討延滯可能之擴散影響範圍。
4. 構建航班關鍵出境作業流程評估演算法。為瞭解航班於所有出境作業流程上作業時間所受之影響，及航班完成所有出境作業所需之作業時間，本研究引入網路模式分析(Network Model Analysis)中，求解最短路徑(Shortest Path)之標籤校正演算法(Label Correcting Algorithm)，針對航班出境作業時間網路進行分析，並構建航班關鍵出境作業流程評估演算法，以評估航班出境作業時間最大之關鍵作業流程，及求算此流程上航班之作業所需時間。
5. 構建作業延滯擴散成本函數。針對不同作業延滯原因與延滯擴散影響範圍，構建出境作業流程延滯擴散成本函數，以瞭解旅客、營運單位、航空公司與航空因延滯所造成之成本影響。
6. 針對各種作業延滯狀況研擬可行之延滯控制方案。依據出境作業流程特性與可能之作業控制機制，針對不同作業延滯原因擬定可行之延滯

控制方案，以減少作業延滯擴散影響範圍與時間，並降低作業延滯擴散成本；同時，透過對控制方案所造成之成本之分析，以供航空公司與航站營運單位於面臨臨時作業延滯事件時，可立即採取應變措施之參考。

7. 針對航站出境作業流程設施佈設方式與因應 911 事件、SARS 檢疫事件產生之相關出境作業要求情況下進行延滯擴散影響分析，探討延滯於不同出境作業流程配置方式與出境作業要求上對航站出境作業之影響，以作為對航空公司與航站營運單位在未來航站規劃或制定出境作業規則之參考。
8. 以中正國際機場出境作業流程為例進行範例分析，以驗證本研究所構建之航站出境作業延滯擴散與控制模式於實際應用之可行性，並說明模式於實際應用之求解過程與效果。
9. 敏感度分析。針對出境作業延滯控制方案中重要參變數進行敏感度分析，以探討重要參變數變動對出境作業延滯控制策略之影響。

1.3 研究範圍



本研究之航站出境作業系統，以機場航站大廈國際線出境作業流程為主題，作業對象包含出境旅客、轉機旅客、出境行李、轉機行李，其中旅客作業流程包含：櫃檯報到、證照查驗、出境安全檢查、轉機安全檢查、登機等作業。行李作業包含分揀／打櫃、轉機行李機邊直轉、裝機等作業。考慮旅客作業之代表性，研究對象為一般經濟艙旅客，特殊艙等配置與作業狀況不在本研究討論範圍。本研究依據不同作業類型與作業接續關係，分析航班旅客、行李於不同作業上作業時間所受延滯之影響；並針對兩出境作業延滯擴散狀況進行分析，包含第一，航班間之延滯擴散影響；第二，作業間之延滯擴散影響等；同時，並就不同延滯原因及參考可行之作業機制，擬定可行之延滯控制方案；研究範圍如圖 1.1 所示。

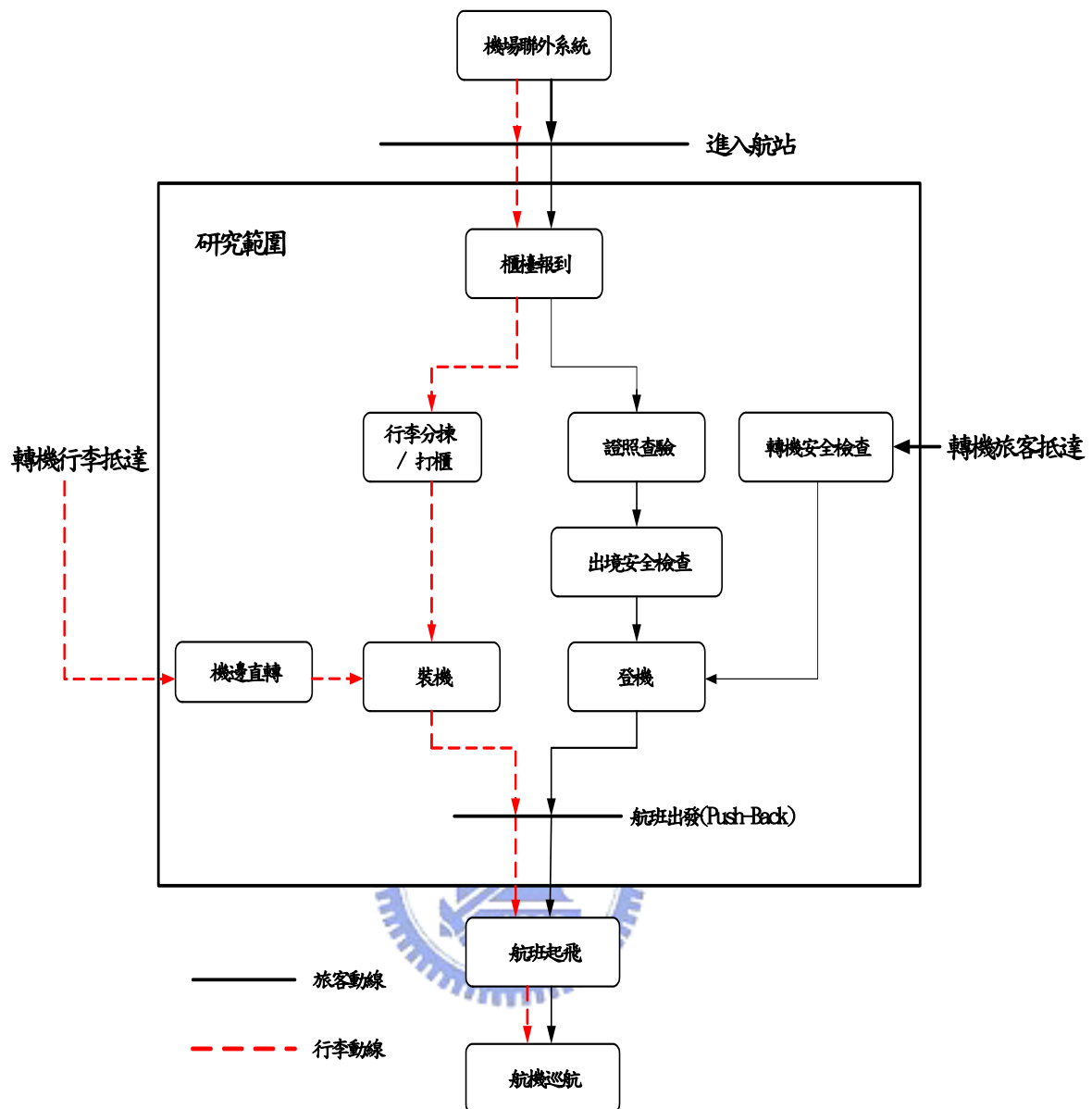


圖 1.1 研究範圍示意圖

1.4 研究方法與架構

本研究依據航空運輸場站之延滯特性，針對航站出境作業流程作業延滯發生原因與特性進行探討，以瞭解作業流程中形成延滯之原因及延滯擴散造成之影響。研究首先針對研究問題作深入瞭解，透過相關之學術文獻及實務報告之回顧，確定本研究之研究背景、動機以及定位本研究學術創新與實務應用之價值與貢獻，而後擬定研究方法及研究架構。圖 1.3、圖 1.2 分別為本研究之研究流程及研究架構。

航空出境作業系統實為複雜之作業網路，研究首先依實際調查中正國際機場航空陸側出境作業流程，構建航空出境作業網路。出境作業系統中各作業可視為一節點，而於節點上接受服務之作業對象可分為出境旅客、轉機旅客、出境行李與轉機行李等四種作業對象，本研究目的即在於探討此四種出境作業對象於航空出境作業網路中作業延滯時間之影響狀況。進一步，分析航空各出境作業可能遭逢偶發性作業事件而產生之作業延滯於作業網路中之擴散影響產生之條件與影響範圍。藉由對延滯擴散之控制，將臨時作業事件之影響降至最低。

出境作業流程中，作業可能因臨時性作業事件產生作業延滯；依據出境作業網路特性，作業延滯除了對相鄰航班作業時間造成影響，於同一航班鏈上，對其接續出境作業之作業時間亦會產生影響。為瞭解作業延滯於出境作業系統中之擴散狀況，本研究首先針對出境作業系統中不同作業服務類型特性，與不同作業間接續影響關係進行歸納與分析。繼而依據各種作業類型的作業特性與接續關係，以等候理論為基礎，構建各作業類型之等候模型，探討航班作業時間於出境流程上各航班間、作業間之影響。而後針對航班各出境等候模型之航班作業延滯情況，構建作業延滯時間推估模式，並針對航班表定作業完成時間上，尚未完成作業之延滯旅客進行求算；以瞭解作業發生延滯後，對出境系統各作業航班作業時間影響與延滯擴散情形。而後，為瞭解航班於所有出境作業流程上作業時間所受之影響，及航班完成所有出境作業所需之作業時間，本研究引入網路模式分析中求解最短路徑之標籤校正演算法，針對航班出境作業時間網路進行分析，以評估航班出境作業時間最大之關鍵作業流程，及求算此流程上航班之作業所需時間。

透過對出境作業系統航班作業延滯擴散之分析可知，航空出境作業延滯狀況，依不同作業類型與作業間接續關係而有所差異；透過作業延滯擴散推估模式，可以預估作業延滯之影響範圍。作業延滯擴散除了對出境航班作業時間造成影響，更對航空出境作業系統中旅客、航空公司與航空營運單位造成相關延滯成本。本研究針對作業延滯擴散產生之相關影響，構建延滯擴散成本函數，以瞭解旅客、作業單位、航空公司與航空等之影響，航班延滯造成之成本包含：旅客延滯時間成本，航空公司之旅客行程延滯賠償成本、超時作業工時成本、超時作業設備成本、登機門時間帶懲罰成本、航機空轉機會成本，與航空之特許營收損失成本等。

為降低延滯對相鄰航班、接續作業之擴散影響，本研究進一步分析延滯擴散所產生之延滯擴散成本，針對出境作業機制與作業特性，擬定即時之出境作業延滯控制策略，讓航空公司與航空營運單位在面臨臨時作業延

滯事件時，可立即採取應變措施，使出境作業系統中之延滯擴散影響降至最低。

最後，本研究擬以中正國際機場航空出境作業流程為例進行實例分析。探討航空出境作業系統中航班作業時間之影響，並分析於實際出境作業系統中發生作業延滯情況下，作業延滯對作業航班間與作業間產生之延滯擴散影響範圍，及對旅客、航空公司、航空營運單位產生之延滯成本，並探討延滯控制方案之可行性與應用性。依航空出境作業流程特性可知，旅客出境流程之作業配置型態為影響航空出境作業系統延滯擴散之關鍵，為瞭解不同旅客出境作業流程配置方式下產生之出境作業延滯擴散影響，本研究亦針對不同作業配置方式下可能之延滯擴散情形以敏感度分析方法進行分析。同時，本研究希冀透過所建立之出境作業流程延滯擴散分析架構，對近年來影響航空運輸作業流程之兩重要航空事件：911 恐怖攻擊事件與 SARS 防疫事件所衍生之相關作業要求與流程變更進行分析，探討於該作業事件下之延滯擴散情況。透過敏感度分析歸納關鍵參數對出境作業延滯擴散範圍之影響程度，結果可提供旅客航空公司與航空營運單位在面對不同作業服務類型與出境流程變動狀況下，擬定出境作業相關決策時之參考。



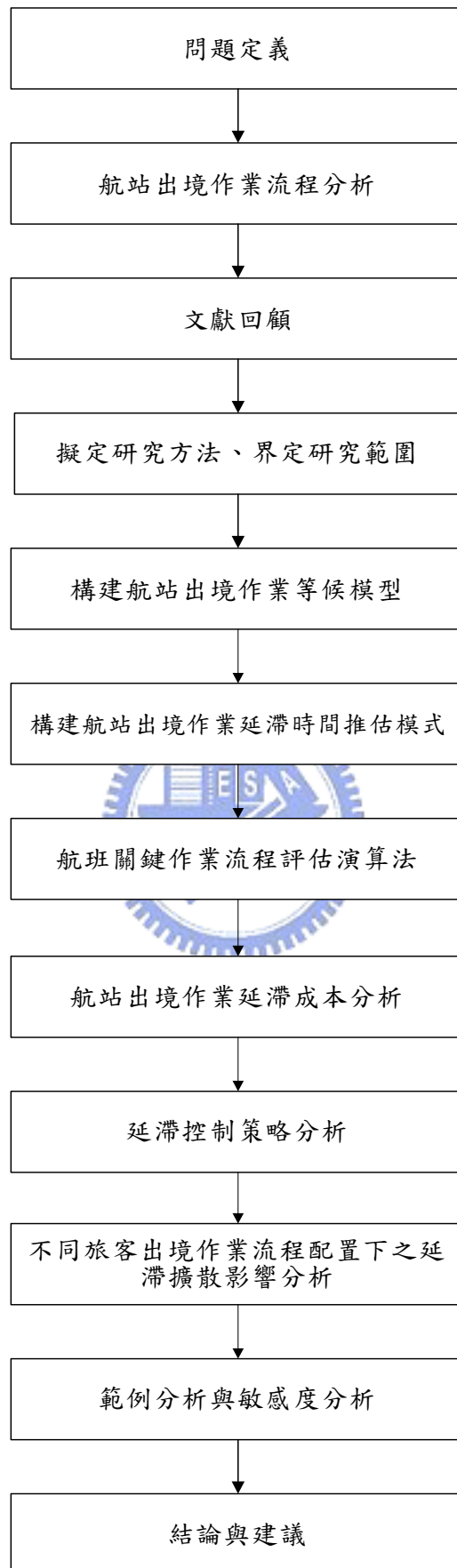


圖 1.2 研究流程圖

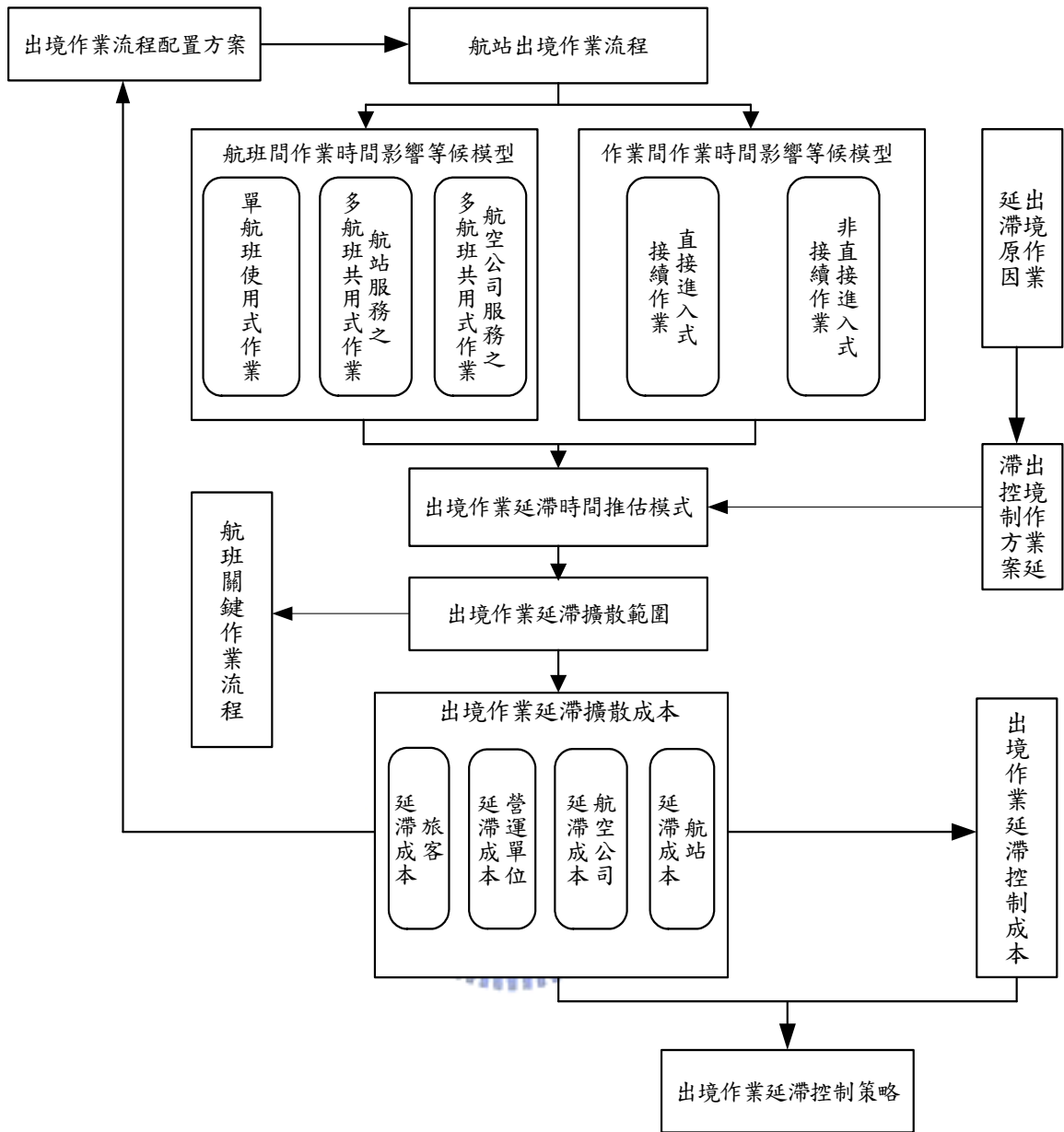


圖 1.3 研究架構圖

第二章 文獻回顧

本研究以機場航站大廈出境作業流程為主題，探討航班發生作業延滯後對航班間與作業間之延滯擴散影響情形，並依出境作業特性擬定延滯控制策略，因此本章將回顧航站作業分析、時間誤點延滯與控制問題之相關研究。同時，航站出境作業流程延滯問題與工業工程學上生產排程問題之研究類似；因此本研究將對回顧生產排程等相關研究，以期改善航站之出境作業延滯問題。

2.1 航站作業分析文獻回顧

本研究屬於航站作業分析之研究，傳統航站作業分析之相關研究中，多探討個別作業之運作與改善；在研究方法上，多使用等候模式(Queueing Model)與網路流量理論(Network Flow Theory)等方法針對航站作業系統進行分析(Transportation Research Board, TRB, 1987)，表 2.1 整理過去有關航站作業分析之研究及其研究主題與分類。

Tosic(1992)回顧了航站作業分析之相關研究，將航站作業相關研究區分為下列七種類型，包含：1. 航站作業空間需求研究；2. 航站單一服務設施作業研究；3. 航站等候區與特許商店區研究；4. 航站行李處理、運送、儲存、提領等設施作業研究；5. 航站機坪、登機門指派之研究；6. 航站作業設施、行人設施與旅客導向設施等設施佈設之研究；7. 航站大廈整體作業流程之研究等。大部分研究使用確定性等候理論以分析航站大廈內各作業流程作業狀況。另外，考量作業隨機性之作業模擬模式同樣為分析航站作業的方法之一；研究指出因模擬模式需複雜且詳細的作業資料方可進行，且模擬模式之相關假設與實際作業現況尚存差距，因此較不普遍使用。該研究並指出旅客於航站內的作業時間，與航班班表、航程特性、旅客特性有關。

航站作業研究中多針對單一作業進行探討，Chung and Sodeinde (2000)針對出境旅客於櫃檯報到所需之細項作業：購票、劃位，行李貼標、秤重等動作，探討航空公司服務人員對排隊等候服務之旅客進行同步服務之可行性分析；藉由分散等候線旅客數以減少旅客等候時間，並提升服務滿意度。研究首先分析各細項動作及設備使用特性，繼而，對各動作進行分類，比較可能之同步服務動作組合。研究以 ARENA 模擬軟體模擬比較同步作業組合績效以求得最適同步作業組合方案。於安檢作業上，Chung and

Nyakman (1996)探討航站因應安檢作業流程改變後之最適作業人員配置，以確保旅客能快速通過。研究同樣使用系統模擬方法，首先收集旅客於安檢區之作業時間資料輸入模擬模式，以個別旅客通過安檢最短所需時間為目標，比較不同作業人員安排方案之優劣。de Neufville et al. (2002)針對登機門使用，透過設施共用之作業方式增加航站作業效率及彈性。實務上因為旅客使用空間區隔、國內線／國際線服務及特定航空公司使用等限制使得設施未能共用；然而發展設施共用之作業方式可使航站尖離峰作業資源有效使用，並可減少航站擴建投資及營運單位成本。研究依據航站服務的尖離峰特性與流量的變異性，將設施共用使用環境劃分為：每小時尖峰特性；每日尖峰特性；每日變動不確定性；長期變動之不確定性等四種作業狀況。在比較非共用狀況時設施使用成本與共用式設施可能產生之作業延滯成本後，即可獲得不同作業狀況下設施共用策略。於登機作業上，Landeghem and Beuselinck (2002)以系統模擬方式擬定最適旅客登機組合，以減少登機作業時間。Hebert and Dietz (1997)針對航站空側跑道作業流程進行分析，收集既有航機起飛作業時間資料，求算航機起飛服務率與到達率，並以等候理論構建跑道使用等候模型，研究結果可供求取機場航站空側容量與預測起飛延滯時間使用。

於機場航站整體作業績效評估之研究中，同樣多以模擬方法進行分析；交通部運輸研究所(民 82)以隨機性等候理論為基礎構建航站作業模擬模式，探討台灣地區國際機場作業效率。以調查並收集旅客於各出、入境作業之作業時間、旅客群體數量、各作業之到達率、服務率後等資料為輸入參數，模擬分析各作業現況及開放櫃檯數改變對作業效率的影響，並探討各項硬體作業設施空間配置的改變對出境作業的影響。航站作業模擬套裝軟體同樣為作業研究的主要工具，Setti and Bruce (1994)以航站模擬套裝軟體 TERMSIM 針對航站出境作業進行分析。該軟體以流體力學觀念發展而成，將航站作業網路分為作業、儲存、流通等三種模組，構建一航站作業模擬模式，針對旅客於各作業之到達、服務、等候等航站內各作業流程旅客人數與時間的變化進行模擬求解。於多航班共用式作業上航班間影響，該研究以航班旅客佔作業服務比例為基準分配服務容量關係表示之；研究並指出旅客於特許商店消費時間，與航班出發時間預算長短有關。Odoni and de Neufville (1992)將旅客航站大廈區分為作業設施、等候區、通路等三大部分，依各部分特性進行分析並探討其對航站設計階段的重要影響；研究指出旅客於航站內到達各作業時間分佈的變異程度大，是造成航站過度投資的主因。旅客於航站內之作業剩餘時間，為旅客於航站內總花費時間減去作業時間、作業等候時間與步行時間候剩餘之可利用時間。研究發現旅客作業剩餘時間約佔於航站內總時間 75%，且依旅客特性及搭乘航班特性的不同，作業剩餘時間也有所差異。研究並指出因入境旅客之作

業剩餘時間較出境作業旅客短，可知出境作業流程對航站績效評估的重要。研究提出減少旅客作業剩餘時間的方法，即減少旅客到達服務時間的變異，如此可提升航站作業效率及減少作業服務率開櫃服務時間。

航站資源的有效使用，同樣為提升作業效率之主要方法，Parizi (1995) 探討機場航站資源配置計畫，以航站作業、最佳營運作業模式、與流量管理與控制模式等三種航站資源配置模式進行分析。透過即時流量管理及控制技術，可達航站資源的動態的最佳配置。研究求得時間—資源配置計畫與最佳營運成本模式；研究發現航站資源配置於實務運用上的效果差異，取決於航站設施佈設的彈性及流量管理與控制策略的能力。另 Brunetta et al.(1999) 構建簡單航站陸側作業流程分析模式，根據不同營運狀況探討航站作業之容量與服務水準評估。Gulewicz and Browne (2001) 以電腦模擬方式分析不同設施設置績效。Saffarzadeh and Braaksma(2000) 指出造成航站擁塞及無效率作業的主要原因包含：資源配置不當、尖峰特性、缺少營運計畫。研究以三種不同模式分析航站作業：以物件導向模擬模式分析旅客於航站內作業；以最佳化模式求解航站設施最小使用成本；以流量管控模式針對實務上航站作業操作問題建立航站控制及管理決策系統。透過三種航站模式的構建，可提供航站設計與營運時最佳之改善策略。

於作業空間與旅客特性研究上，洪偵嘉(民 83) 針對航站出境設施單元空間設置準則進行探討，考慮空間需求主要影響因素，構建設施空間模擬模式，以分析不同航廈運作情況下各作業單元對應之尖峰小時旅客流量、空間需求以及櫃檯數目需求變化。結果顯示依航線特性、尖峰班機承載率與團體旅客比率、設施服務特性、旅客到達時間型態、班機延誤等因素差異各分區之設施空間需求也有所不同。鄭銘章 (民 82) 針對中正國際機場出境旅客探影響旅客到達機場時間之因素與特性、停留時間長短與到達型態進行研究。以機率分配之觀念分析總體旅客到達型態之特性，分析實際抵達時間與預估正常抵達時間之差的分佈，並建立各種旅客到達型態迴歸模式。許峯源 (民 80) 針對航站設施旅客分佈進行探討，以確定性等候理論分析旅客於航站設施之分佈狀況，分佈空間包含櫃檯報到、櫃檯報到外一樓大廳、休息大廳、證照查驗等區，研究並進一步比較班機延誤與否及旅客到達型態之變動對各設施旅客數量分布之影響，結果顯示旅客數量會因班機延誤與不同旅客到達型態而有所差異。榮德璘(民 82) 針對中正國際機場航站出境服務設施、航站出境設施使用者行為及需求，建立一微觀模擬模式，以評估航站出境設施作業人數與服務水準；並分析不同團體旅客和班機延誤的情形下航站出境設施使用狀況。鄧忠祥(民 89) 以隨機性等候理論，求算平均旅客於報到櫃檯所需之作業時間與等候時間，並以此作業時間資訊就航站旅客服務水準進行評估與分類。陳姿琦(民 91) 以國際機場出

境安全檢查作業為對象，探討可有效降低風險同時維持服務效率之安全檢查作業程序，並構建安檢系統績效衡量模式，尋求在保安水準及服務效率間最佳化之安檢策略。於求算旅客作業時間分析中，該研究同樣以隨機性等候理論為基礎進行估算，並以旅客分類方法，將旅客依危險性分類管理。廖一勳(民 89)針對航空出境證照查驗作業，根據旅客出境流量，歸納出境尖、離峰時段以分析機場旅客流量，並探討現行出境證照查驗流程及旅客排隊等候查驗之問題；同時以實證研究方式來探討證照查驗櫃檯數量與查驗員服務時間對服務水準效率之影響；研究並採用現場觀察蒐集旅客到達間隔時間與櫃檯服務時間資料，最後藉由隨機性等候理論模式建立證照查驗等候模式，並以系統模擬實驗求解。根據模擬結果分析證照查驗櫃檯設置數量與旅客等候時間之間的動態關係，及評估旅客等候時間之長短。該研究結果可供於不同旅客流量時，證照查驗櫃檯設置評估使用，以作為提昇服務效率及規劃證照查驗勤務決策參考。Jim and Chang(1998)以一般性之航空模擬軟體 SLAM II 針對航空設施佈設進行模擬分析。



表 2.1 航站作業分析研究特性與方法

| 作者 | 研究主題 | 研究對象 | 研究方法 | 特點與內容 |
|---------------------------------|---------------|---------------|-------------------------|---|
| Chung and Sodeinde (2000) | 以同步作業減少旅客等候時間 | 出境旅客，櫃檯報到 | 模擬 | 藉由同步服務作業組合，改善作業效率，以分散旅客等候時間 |
| Chung and Nyakman (1996) | 最適作業人員配置 | 出境旅客，安檢作業 | 模擬 | 蒐集作業時間資料輸入模擬模式，以個別旅客通過作業最短時間為目標進行求解 |
| de Neufville et al. (2002) | 設施共用 | 出境航班，登機門使用 | 模擬 | 依據尖離峰特性，比較設施共用成本與可能產生之作業延滯成本，以獲得設施共用策略 |
| Landeghem and Beuselinck (2002) | 旅客登機順序組合 | 出境旅客，登機作業 | 模擬 | 針對不同旅客登機順序特性，評估最適登機順序組合，以減少登機作業時間 |
| Hebert and Dietz (1997) | 跑道容量分析 | 出境航班， | 確定性等 候理論 | 針對航站空側跑道出境作業流程進行分析，並求算航站跑道容量與預測起飛延滯時間 |
| Setti and Bruce (1994) | 航站出境作業模擬分析 | 出境旅客，所有出境作業流程 | 航站套裝 模擬軟體 TERMSIM | 以流體力學觀念構建之套裝模擬軟體，針對航站出境作業時間進行分析 |
| Odoni and de Neufville (1992) | 航站設計 | 旅客、行李，所有出入口作業 | 等候理論 | 將航站分為作業設施、等候區、通路等三大部分，針對各部分對航站運作之影響進行分析 |
| Parizi (1995) | 最佳化航站資源使用 | 旅客，所有出入口作業 | 數學規劃 | 以航站作業、最佳營運作業模式、流量管理與控制模式等三種航站資源配置模式進行分析 |
| Brunetta et al.(1999) | 航站作業容量與服務水準評估 | 旅客、行李，所有出入口作業 | 航站套裝 模擬軟體 SLAM | 以模擬軟體跟不同營運狀況分析航站作業容量與服務水準 |

資料來源：本研究歸納整理

表 2.1 航站作業分析研究特性與方法(續)

| 作者 | 研究主題 | 研究對象 | 研究方法 | 特點與內容 |
|--------------------------------|---------------|---------------|------------------|--|
| Gulewicz and Browne (2001) | 設施設置績效評估 | 旅客，所有出入境作業 | 模擬 | 以電腦模擬分析設施設置績效 |
| Saffarzadeh and Braaksma(2000) | 航站最佳化設計與營運分析 | 旅客、行李，所有出入境作業 | 模擬 | 以最佳化模式求解航站設施最小使用成本，提供航站設計與營運之改善策略 |
| 洪偵嘉(民 83) | 航站空間設置準則 | 旅客，所有出入境作業 | 模擬 | 構建設施空間模擬模式，以分析旅客流量、空間需求及櫃檯數目變化情形 |
| 鄭銘章 (民 82) | 中正機場出境旅客特性分析 | 旅客，櫃檯報到 | 統計分析 | 以統計機率分配之觀念分析旅客到達型態特性 |
| 許峯源 (民 80) | 出境旅客空間分布分析與應用 | 旅客，櫃檯報到、證照查驗 | 確定性等候理論 | 以等後理論分析出境旅客於航站出境空間之分布特性，並就不同航班到達時間狀況進行應用分析 |
| 榮德璘(民 82) | 出境旅客作業模擬分析 | 旅客，所有出境作業 | 模擬 | 以模擬分析方法針對出境旅客作業時間進行分析 |
| 鄧忠祥(民 89) | 航站旅客服務水準評估 | 旅客，櫃檯報到、行李提領 | 隨機性等候理論 | 以隨機性等候理論求算航站旅客作業時間，並依此進行服務水準評估 |
| 陳姿琦(民 91) | 安檢作業績效之評估 | 旅客，安檢作業 | 隨機性等候理論、模擬 | 並構建安檢系統績效評估模式，尋求在保安水準及服務效率間最佳化之安檢策略 |
| 廖一勳(民 89) | 證照查驗櫃檯設置策略 | 旅客，證照查驗 | 隨機性等候理論、模擬 | 分析機場旅客流量現況，並探討現行出境證照查驗流程及旅客排隊等候查驗之問題 |
| Jim and Chang(1998) | 航站設施佈設 | 旅客，所有出入境作業 | 航站套裝模擬軟體 SLAM II | 以模擬方法針對航站設施佈設方式進行分析 |

資料來源：本研究歸納整理

2.2 時間誤點延滯問題文獻回顧

回顧時間誤點延滯之研究，多針對運具抵達場站之誤點延滯研究；Hall (1985)探討運具延滯與指數分配之關係。模式依據運具平均延滯時間和路線各班車間距求算旅客延滯時間的期望值及最佳包容時間。胡思繼(1996)定義列車後效晚點時間、必要列車運行圖緩衝時間和列車運行工作時間質量指標等概念，推導相對應的列車誤點延滯理論計算公式。並透過對某一區間內各運行列車間第一層次與多層次列車誤點延滯傳播過程及其傳播規律進行研究。

在傳統航空運輸延滯研究中，多探討空側航機運作延滯。許巧鶯等人(民 92)針對航空空側航機、機門使用，探討班機誤點延滯擴散情形，以及在機門使用和轉運上所造成之班機誤點延滯影響，分別構建同一航機不同班次間之推擠性誤點、同一機門不同航機在班次間之推擠性誤點、班機因轉運所造成之推擠性誤點等三種不同誤點延滯時間推估模式，並探討在班次鏈下可能之班機推擠性誤點延滯擴散範圍。最後，針對誤點延滯時間擴散範圍，探討各種誤點延滯情形之立即性與經常性之控制方案。

於延滯控制方法之研究中，多藉由取消或以加班機等方式使整個飛航運作能在短時間內恢復正常。Filar et al. (2001) 針對航空公司與航站因航機臨時維修作業、氣候因素、組員短缺等原因造成之班表干擾(Schedule Perturbations)問題，回顧探討解決排程延滯之相關方法。航空運輸空側航機運作延滯，可透過調整航空公司航班、航機、機組員班表等方法進行延滯控制。航班調整策略參考變數包含：航站跑道到達離開容量曲線、轉機航班於軸輻機場的航班接續協調、軸輻機場的時間帶、航機重新排程運行等因素，針對航班之延滯影響程度權重進行探討。研究說明航機運作在面臨延滯的情況下，考量成本與安全性等因素多傾向使延滯擴散至陸側航站作業上，較不會選擇將延滯擴散至空側航機運行，這也說明了改善陸側延滯作業效率可提升航空運輸系統運作績效。研究並將航站運作情形，依延滯影響時間區分為數種情境，一般狀況 (BAU, Business As Usual)，容量可能縮減狀況 (GR, Get Ready for reduced capacity)，容量縮減狀況 (RC, Reduced Capacity state)，復原狀況 (R, Recovery state)。而 Teodorovic and Stojkovic(1984)以航空公司所有航班總旅客延滯最小化為目標，求解航班干擾狀況下之排程問題。進一步，Teodorovic and Stojkovic(1990)依航機預計出發時間預算，以多目標方法首先求解最小取消航班數，之後針對最小航班總旅客延滯成本進行求解。因為航空公司的班機排程都相當緊湊，常會造成班機調度人員作業上困難。

Jarrah et al. (1993)探討在飛機短缺情況下，如何調整飛航排程以使得航空業者損失最小，以網路流量模式，最小航機儲存成本為目標求解航機最適排程；其中排程成本包含：航班延滯或取消成本、損失旅客收益成本、接續航站錯失轉機航班成本、旅客不滿意成本(III-Will)；航班延滯與取消成本包含：航班旅客數、航班上轉機旅客數、接續航站可能取消航班、機組員等成本。而 Rietveld and Brons (2001)針對航空運輸軸輻網路航班排程，以時間表調整方式減少等候時間與重新排班時間。Yang and Young (1996)以最小流量成本方法針對航空公司利潤最大化為目標求解航班排程。Argullo et al. (1997)考量到機組員的互換性，針對航機延滯擴散問題，引入低度使用航機以解決延滯問題。Hansen(2002)，以微觀模式針對跑道作業以確定性等候模式探討航機延滯與其他航機的影響，探討較常忽略的航機於跑道上的時程延滯 (Schedule Delay)；結果發現短程高密度航班造成的等候延滯，較其節省的時程延滯時間高出許多。

2.3 生產計畫排程文獻回顧

不同於以往對航空延滯擴散之研究，延滯於航站內出境作業的擴散影響關係又可區分為單一航班式延滯擴散影響與多航班共用式延滯擴散影響。為瞭解此兩不同延滯傳遞關係，本研究亦回顧了於工業工程學上生產計畫排程之相關理論基礎，以期建立本研究延滯擴散推擠模式與航班關鍵作業流程評估演算法。劉水深(民 71)指出作業浮時為作業最早完成時間與最遲完成時間之差，其中包含可以延遲完成而不影響任何後續作業之自由浮時，與干擾浮時。

本研究引入標籤校正演算法(Label Correcting Algorithm) (Ford and Fulkerson 1962; Moore 1957)，針對航班出境作業時間網路之關鍵作業流程進行評估。標籤校正演算法主要概念有二：第一，網路中任兩點 r 、 s 之間的距離(d)，必須符合以下判斷式，以求取最短路徑： $d(s) \leq d(r) + C_{rs}$ ，所有 $(r, s) \in \{\text{節線的集合}\}$ 。第二，隨著以循獲之最短路徑前置點的改變，最短路徑也隨之更新，直到找到較佳之最短路徑解。演算法中， $d(\cdot)$ 表示路徑距離， $d(s)$ 表示從前置點到節點 s 之路徑長度； $d(s) = \infty$ ，表示該節點尚未被選取為最短路徑， $pred(j)$ 表示節點 s 之前置點， U 代表流程之起始節點， C_{rs} 為節點 r 至節點 s 之節線距離， N 為整個網路所有節點之集合， $\forall r, s \in N$ 。標籤校正演算法之流程如下：

Begin

$$d(U) = 0 \text{ and } pred(U) = 0$$

$$d(s) = \infty \text{ for each } s \in N - \{U\}$$

While some edge (r,s) satisfies $d(s) > d(r) + C_{rs}$ do

Begin

$$d(s) = d(r) + C_{rs}$$

$$pred(s) = r$$

End

End

2.4 小結

航站作業可能因偶發性事件影響造成作業延滯，作業延滯不僅對航班接續作業造成影響，更可能對航站其他出境作業航班造成影響。回顧上述各航站研究相關文獻，多針對個別作業流程作業績效進行探討，對於整體航站作業研究上，多以模擬模式分析不同作業狀況下航站作業之績效，使用模擬方法多為在隨機性之模式分析架構下進行，對本研究問題延滯擴散影響，使用模擬方法將未能透明闡述延滯於出境作業系統中，於航班間、作業間之擴散傳播機制。而航空運輸作業延滯與控制之研究中，則多僅探討航站空側航機誤點延滯的影響進行探討；較無航站陸側作業流程延滯之分析。

上述研究可作為本研究在構建延滯擴散模式與控制策略上之參考。航站出境作業流程作業對象與類型甚為複雜，過去研究尚未針對不同作業類型、作業接續關係上作業延滯之影響關係構建模式深入探討。故本研究針對不同出境作業類型與作業接續關係構建等候模型，進而分析航班於不同作業類型及作業接續關係上作業延滯時間之擴散影響，繼而透過對出境作業系統作業特性之分析，擬訂相關之延滯控制策略以降低延滯擴散影響範圍。本研究結果在學術貢獻上可補過去航站陸側作業延滯研究之不足，以期能提供其他相關之學術領域參考。實務上，構建航站出境作業延滯時間推估模式，及分析延滯對旅客航空公司航站作業單位所造成之各項成本，可釐清航班於出境作業流程中，各項因素對航班作業時間之影響及產生之延滯成本。最後，透過航站作業延滯模式所推導之各項延滯成本與敏感度分析，可協助旅客、航空公司與航站大廈，在面對各不同類型之作業流程變動下，擬定出境作業相關決策時之參考。

第三章 航站出境作業延滯擴散

航站出境作業系統服務對象包含出境及轉機旅客、行李，不同作業服務類型與作業間接續影響關係，使得航班作業時間所受之影響更顯複雜 (TRB, 1987)。出境作業流程中延滯原因可分為旅客延遲抵達作業與作業服務延遲等兩種；依據出境作業網路特性，延滯除了對相鄰航班作業時間造成影響，於同一航班鏈上，對其接續作業之作業時間亦會產生影響。為瞭解作業延滯於出境作業系統中之擴散狀況，本研究首先針對出境作業系統中不同作業服務類型，與不同作業間接續影響關係特性進行歸納與分析。繼而，依據各種作業類型與接續關係，以等候理論為基礎，構建各作業等候模型，探討航班旅客到達作業時間與作業完成時間特性間之影響。而後，針對航班各出境等候模型與延滯時間狀況，構建延滯時間推估模式；以瞭解作業發生延滯後，對出境系統各作業航班作業時間之影響與延滯擴散範圍。

最後，為瞭解航班於所有出境作業流程上作業時間所受之影響，及航班完成所有出境作業所需之作業時間，本研究引入網路模式分析(Network Model Analysis)中，求解最短路徑(Shortest Path)之標籤校正演算法(Label Correcting Algorithm)，針對航班出境作業時間網路進行分析，以評估航班出境作業時間最大之關鍵作業流程，及求算於航班於此流程上之作業所需時間。

3.1 航站出境作業特性分析

為瞭解作業延滯於出境作業系統中之擴散狀況，本研究首先針對出境作業系統中不同作業服務類型特性，與不同作業間接續影響關係進行歸納與分析。參考交通部運輸研究所(民 82)之出境作業流程及實際調查中正國際機場航站出境作業流程，構建基本出境作業流程，如圖 3.1 所示；其中出境作業對象包含出境旅客、轉機旅客、出境行李與轉機行李。

如圖中所示，依航站作業服務特性，可將作業單元區分為單航班使用式作業與多航班共用式作業兩種。單航班使用式作業於同一時間內僅針對單一航班進行作業服務，作業進行時不受其他航班影響，如旅客登機、行李分揀／打櫃、行李裝機、轉機行李機邊直轉等作業，此作業僅為特定航班之旅客、行李進行服務。

多航班共用式作業，於同一時段內可同時對多個航班進行作業服務；依作業單位與對象之差異，多航班共用式作業又可區分為航空公司服務與航站服務等兩種。航空公司服務之多航班共用式作業，由個別航空公司與其協同之地勤單位負責，作業對象以航空公司為區分，針對該航空公司所屬航班旅客、行李進行作業服務；包含櫃檯報到作業；旅客及行李均在航空公司指定之作業櫃檯接受服務。航站服務之多航班共用式作業，由航站作業單位負責，對所有出境航班旅客、行李進行作業服務，於該作業上旅客可於任何櫃檯接受服務，包含證照查驗、出境安全檢查、轉機安全檢查等作業。

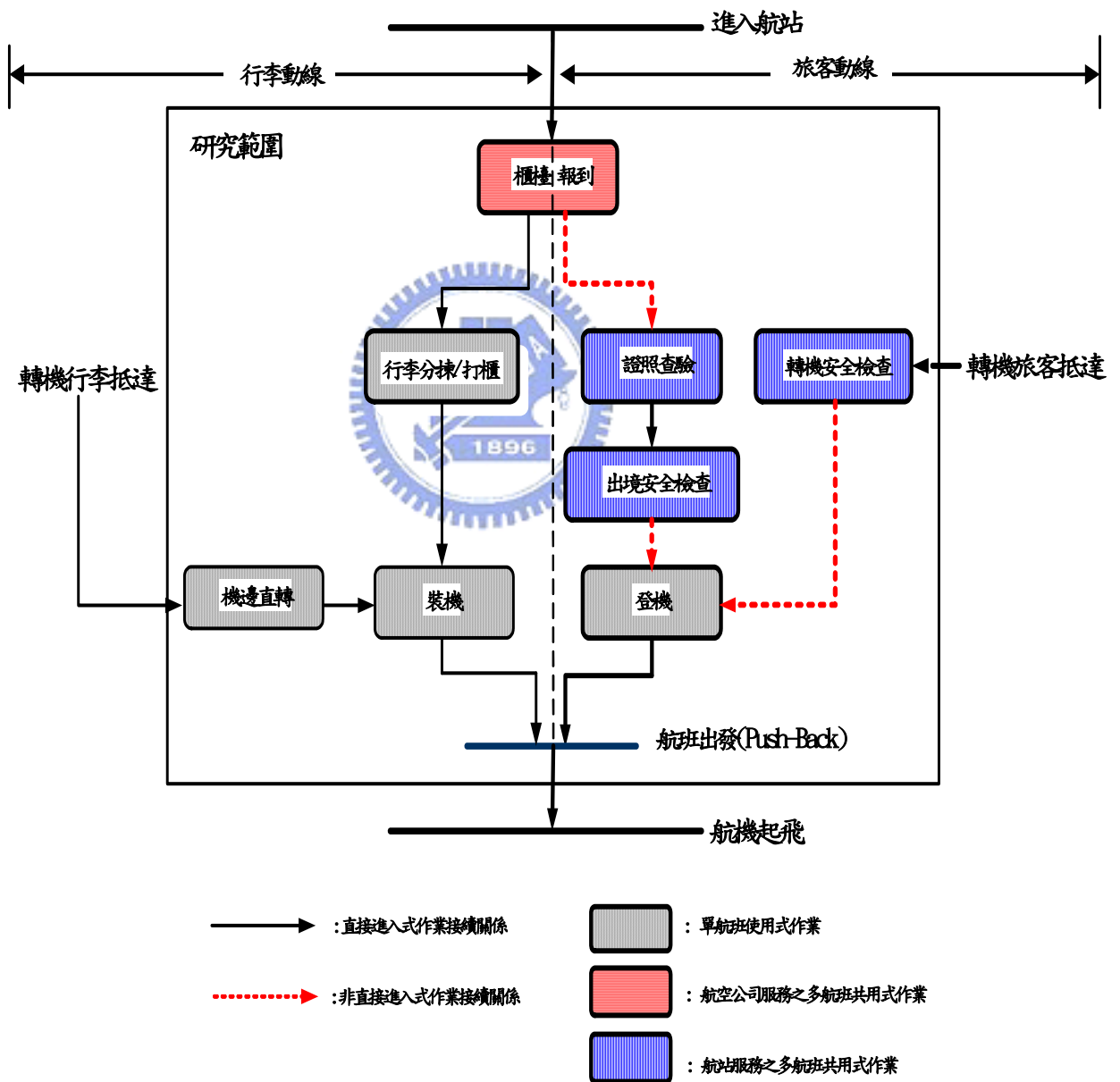


圖 3.1 基本出境作業流程

作業接續關係意指旅客或行李完成本項作業後，是否直接進入下游作業接受服務之作業間接續安排差異，與航站出境作業流程佈設方式有關。作業間之接續關係，依作業佈設方式可分為直接進入式作業接續關係與非直接進入式作業接續關係兩種。於直接進入式作業接續關係下，旅客於完成上游作業後將直接進入下游接續作業接受服務，或行李於完成本項作業後直接運送至下游作業進行作業服務，此作業接續關係包含出境旅客完成證照查驗後直接進入安全檢查作業進行作業服務、出境行李於完成分揀／打櫃作業或轉機行李完成機邊直轉作業後，直接運送至機坪裝機。另外，出境航班航機後推之出發時間，為受航班旅客登機作業完成時間與行李裝機作業完成時間所決定，依此接續關係定義，可將航班出發時間視為上游旅客登機與行李裝機兩作業後之直接進入式接續作業。非直接進入式接續關係之時間安排較為寬裕，旅客、行李於接受完作業服務後不需直接進入下游作業接受服務，依旅客偏好、行李作業特性選擇時間進入接續作業，包含出境旅客櫃檯報到作業至出境安全檢查作業，出境、轉機旅客安全檢查作業至登機作業。

根據上述航站出境作業流程特性，則當航班作業發生延滯狀況，延滯可能對航班間與作業間造成延滯擴散影響，即作業延滯影響關係可分為：同一作業上相鄰航班之作業延滯影響，與同一航班不同出境作業間之作業延滯影響等兩種。如航班櫃檯報到作業產生延滯，除了影響同樣使用該作業之相鄰航班之作業，該延滯亦會對該航班於接續證照查驗作業上之作業時間造成影響，則航站出境作業系統延滯影響關係可由圖 3.2 表示。

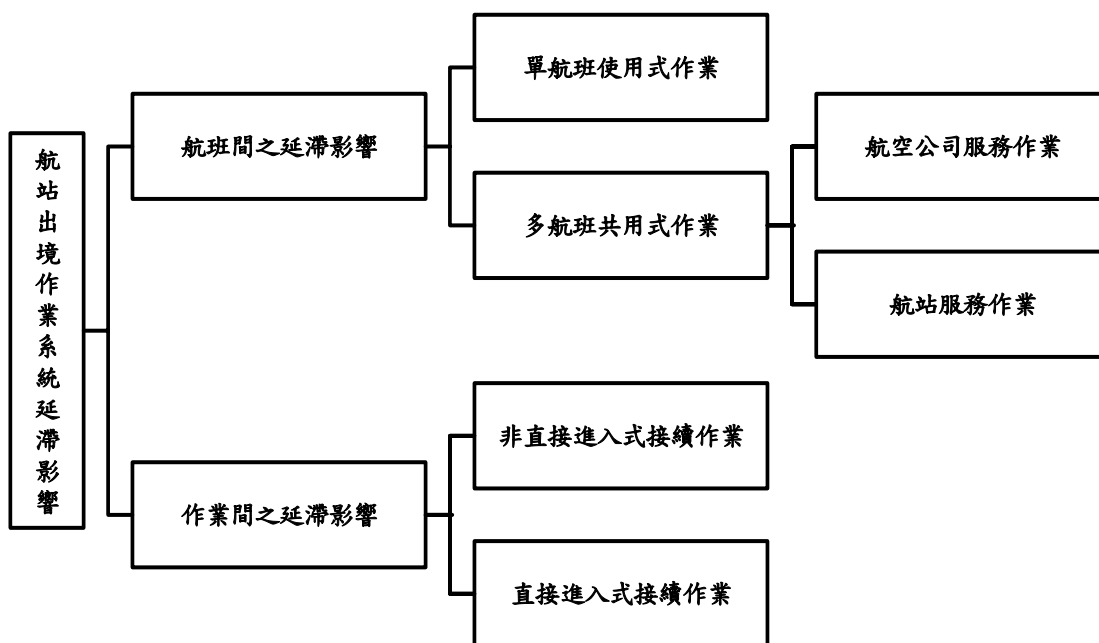


圖 3.2 航站出境作業系統延滯影響分類示意圖

為深入瞭解航班於各作業類型、作業間接續關係上作業時間之影響，下節針對各出境作業類型建立等候模型進行作業特性分析。

3.2 航站出境作業等候模型

由於航站作業服務對象之到達時間分佈無法準確預測，決定作業服務能量並非易事，以往航空運輸之作業研究多以等候理論為基礎，針對各作業流程如：報到櫃檯、入境行李提領、跑道容量等進行作業分析與管理（Chung and Nyakman, 1996; Chung and Sodeinde, 2000; Hansen, 2002; Hebert and Dietz, 1997）。然而，以往文獻中較少針對航站整體出境作業系統之延滯擴散行為進行分析探討。在航站出境作業等候系統之分析研究中，多以機率性等候理論之觀念求算旅客等候時間，對出境航班各作業旅客、行李於出境作業系統中，作業時間受其他出境航班延滯影響較少探討（TRB, 1987）。為深入瞭解航站出境作業延滯於不同航班、不同作業間之影響關係，本研究以確定性等候理論為基礎，並參考許巧鶯等人（民 92）對航機空側運作推擠性誤點延滯擴散之研究方法，針對旅客、行李於各出境作業的到達與服務特性，構建作業等候模型與延滯時間推估模式。希冀透過出境作業等候系統的分析，能深入瞭解旅客、行李於出境作業流程中各作業單元上之作業時間特性與作業服務行為，藉以瞭解延滯對出境作業系統中出境航班間、作業間之延滯影響。為簡化分析對象，首先將以旅客代表各作業服務對象；而後於 3.4 節將針對出境旅客、行李及轉機旅客、行李等作業對象進行整體航站出境作業流程延滯擴散影響分析。

3.2.1 單航班使用式作業等候模型

單航班使用式作業於同一時間內僅針對單一航班進行作業服務，為瞭解旅客到達與接受作業服務的時間特性，本研究以確定性等候理論為基礎構建作業等候模型，單航班使用式作業等候模型如圖 3.3 所示。

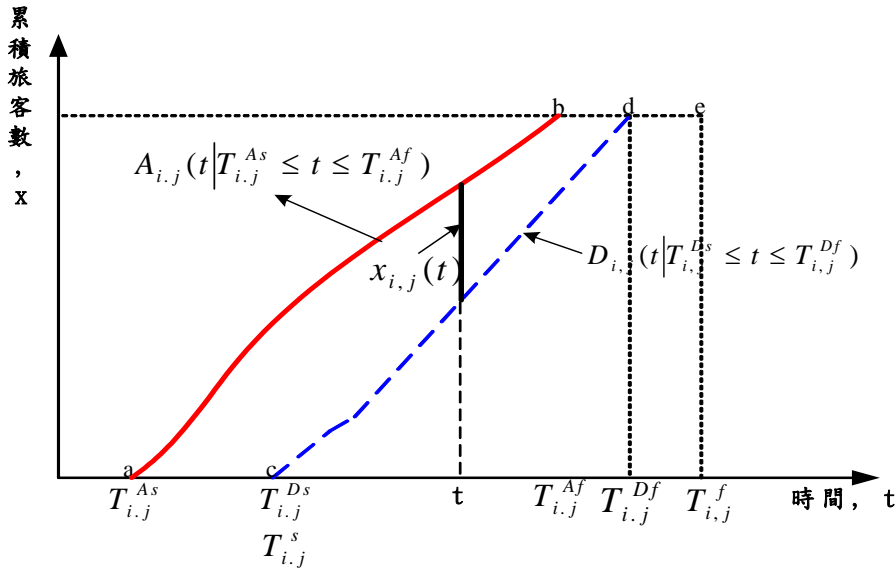


圖 3.3 單航班使用式作業等候模型

依據等候理論，航班旅客到達作業的時間特性，可由航班之累積到達旅客曲線獲得。令 $A_{i,j}(t)$ 為航班 i 於作業 j 時點 t 時之累積到達旅客數。則由航班第一位旅客到達作業時間，至最後一位旅客到達作業時間組成之曲線即為航班累積到達旅客曲線。如圖 3.3 所示，令 $T_{i,j}^{As}$ 為航班 i 於作業 j 第一位旅客到達時間，如圖中 a 點； $T_{i,j}^{Af}$ 為最後一位旅客到達作業時間，如圖中 b 點；則航班 i 於作業 j 上累積到達旅客曲線即為 $A_{i,j}(t | T_{i,j}^{As} \leq t \leq T_{i,j}^{Af})$ 。又航班累積到達旅客曲線即根據航班累積到達率函數 $\lambda_{i,j}(t)$ ，由 $T_{i,j}^{As}$ 時點至 $T_{i,j}^{Af}$ 時點積分組成之曲線，即如式 (3-1) 所示：

$$A_{i,j}(t | T_{i,j}^{As} \leq t \leq T_{i,j}^{Af}) = \int_{T_{i,j}^{As}}^{T_{i,j}^{Af}} \lambda_{i,j}(t) dt \quad (3-1)$$

依據等候理論，航班之累積作業完成旅客曲線代表航班旅客於作業上之作業完成時間組合。因此，根據第一位旅客到達作業時間 $T_{i,j}^{As}$ 與最後一位旅客到達作業時間 $T_{i,j}^{Af}$ 上，累積作業服務率函數 $\mu_{i,j}(t)$ 積分，則航班之累積作業完成旅客曲線 $D_{i,j}(t | T_{i,j}^{Ds} \leq t \leq T_{i,j}^{Df})$ 即可獲得，如式(3-2)所示。其中 $T_{i,j}^{Ds}$ 為第一位旅客作業完成時間，即航班開始作業時間，如圖中 c 點； $T_{i,j}^{Df}$ 為

最後一位旅客作業完成時間，即航班作業完成時間如圖中 d 點。

$$D_{i,j}(t|T_{i,j}^{Ds} \leq t \leq T_{i,j}^{Df}) = \int_{T_{i,j}^{As}}^{T_{i,j}^{Af}} \mu_{i,j}(t) dt \quad (3-2)$$

則航班 i 於作業 j 累積 x 位旅客到達之時間 $A_{i,j}^{-1}(x)$ ，與作業完成時間 $D_{i,j}^{-1}(x)$ ，可由航班累積到達旅客曲線 $A_{i,j}(t|T_{i,j}^{As} \leq t \leq T_{i,j}^{Af})$ 與累積作業完成旅客曲線 $D_{i,j}(t|T_{i,j}^{Ds} \leq t \leq T_{i,j}^{Df})$ 之反函數求得。據此，航班於單航班使用式作業之等候模型即可獲得，航班旅客之到達與完成作業時間之求算，可由等候模型中航班累積到達旅客曲線與累積作業完成旅客曲線獲得。

根據上述作業等候模型之分析，某時點上之作業旅客數，可由作業等候模型求得。如圖 3.3 所示， $A_{i,j}(t)$ 為航班 i 於作業 j 時點 t 上之累積到達旅客數， $D_{i,j}(t)$ 為航班 i 於作業 j 時點 t 上之累積作業完成旅客數，則在時點 t 上作業 j 之旅客數 $x_{i,j}(t)$ ，如下式 (3-3) 所示。據此，航班於任一時點上之作業旅客數，根據旅客到達與離開曲線即可求得；同理，於多航班共用式作業上之作業旅客數可以式 (3-3) 之計算觀念求算獲得。

$$x_{i,j}(t) = A_{i,j}(t) - D_{i,j}(t) \quad (3-3)$$

3.2.2 多航班共用式作業等候模型

多航班共用式作業於同一時段內可同時進行多航班之作業服務。依提供服務單位與作業對象航班差異，多航班共用式作業可區分為航空公司服務與航站服務作業。兩作業服務差異在於航空公司服務作業僅針對該航空公司所屬航班旅客進行作業服務；而航站服務作業則開放給所有航空公司出境航班旅客進行作業服務。為瞭解航班於兩不同作業類型下之作業時間特性，以下分別針對其作業類型構建多航班共用式作業等候模型。

1. 航空公司服務之多航班共用式作業

令 f 表示航空公司，假設於航站營運時間時區 $[K, L]$ 中，航空公司 f 於

作業 j 上共有 N_f 個出境航班旅客到達，根據等候理論，則該時區中航空公司之總累積到達旅客曲線 $A_{f,j}(t|K \leq t \leq L)$ ，可由航空公司 f ， N_f 個出境航班所有累積到達旅客曲線加總而成，如式(3-4)所示。航空公司服務之多航班共用式作業等候模型如圖 3.4 所示。

$$A_{f,j}(t|K \leq t \leq L) = \sum_{i=1}^{N_f} A_{f,i,j}(t|T_{f,i,j}^{As} \leq t \leq T_{f,i,j}^{Af}) \quad (3-4)$$

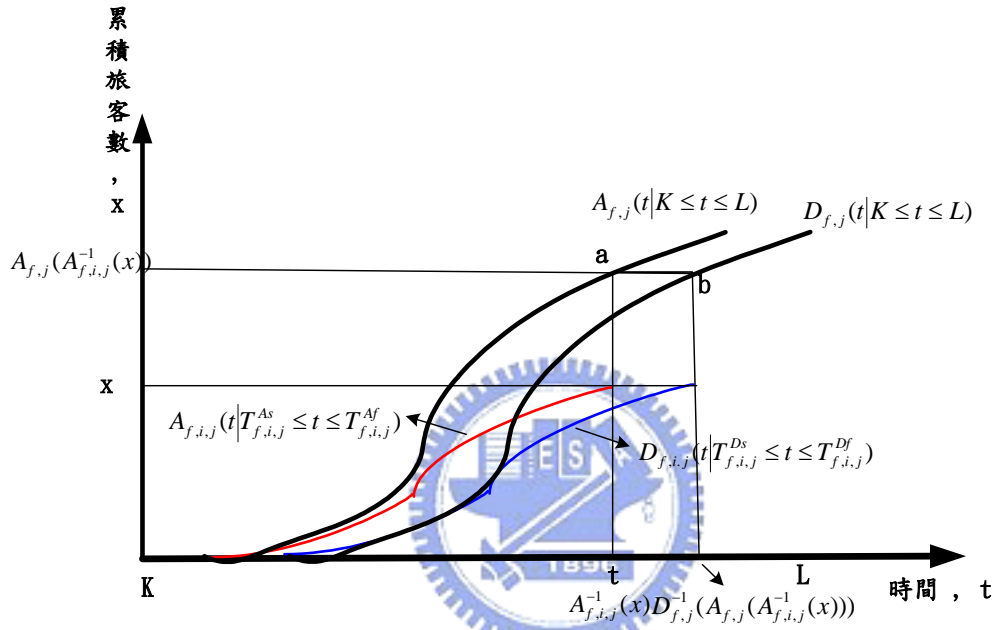


圖 3.4 航空公司服務之多航班共用式作業等候模型

令航空公司 f 於作業 j ，時區 $[K,L]$ 間時點 t 上共有 m 個航空公司作業櫃檯提供服務，各櫃檯的服務率皆為 $\mu_{f,j}$ 。若到達作業旅客數 y 較服務櫃檯數 m 少時，此時至多僅有 y 個櫃檯進行服務，即作業總服務率為 y 個使用櫃檯服務率之和。若到達作業旅客數 y 較服務櫃檯數 m 多時，此時最多有 m 個櫃檯進行服務，則作業總服務率為 m 個櫃檯服務率之和；即時區 $[K,L]$ 中航空公司服務率曲線為：

$$\mu_{f,j}(t|K \leq t \leq L) = \begin{cases} y\mu_{f,j}(t|K \leq t \leq L), & \text{if } y < m \\ m\mu_{f,j}(t|K \leq t \leq L), & \text{if } y \geq m \end{cases} \quad (3-5)$$

假設航班旅客接受服務順序無特殊要求，航班旅客於到達作業後將與航空公司其他作業航班旅客共同等候並接受服務，依據等候理論之定義，

為先進先出（First-In First-Out）的服務規則式。根據航空公司總累積到達旅客曲線與服務率曲線，則航空公司 f 於作業 j ，時區 $[K, L]$ 內之總累積作業完成旅客曲線 $D_{f,j}(t|K \leq t \leq L)$ 即可獲得：

$$D_{f,j}(t|K \leq t \leq L) = \int_L^K \mu_{f,j}(t) dt \quad (3-6)$$

為瞭解航空公司所屬作業航班作業時間間之影響，依據單航班使用式作業等候模型之分析觀念，令航空公司 f 航班 i 於作業 j 上累積 x 位旅客之到達時間為 $A_{f,i,j}^{-1}(x)$ ；對應航空公司 f 作業 j 總累積到達旅客曲線 $A_{f,j}(t|K \leq t \leq L)$ ，當 $t = A_{f,i,j}^{-1}(x)$ ，此時作業上航空公司 f 總累積到達旅客數為 $A_{f,j}(A_{f,i,j}^{-1}(x))$ ，如圖 3.4 中 a 點。

根據總累積到達曲線與總服務率之求算，得航空公司總累積作業完成旅客曲線 $D_{f,j}(t|K \leq t \leq L)$ ，對應航空公司總累積作業完成旅客曲線在 $A_{f,i,j}^{-1}(x)$ 時點上；此時航班 i 累積 x 位旅客作業完成時間 $D_{f,i,j}^{-1}(x)$ ，即為 $D_{f,j}^{-1}(A_{f,j}(A_{f,i,j}^{-1}(x)))$ ，如圖 3.4 中 b 點；其代表航班 i 累積 x 位旅客作業完成時間 $D_{f,i,j}^{-1}(x)$ ，乃經由航空公司總累積到達旅客數為 $A_{f,j}(A_{f,i,j}^{-1}(x))$ 時，對應總累積作業完成旅客曲線求得之作業完成時間，即 $D_{f,j}^{-1}(A_{f,j}(A_{f,i,j}^{-1}(x))) = D_{f,i,j}^{-1}(x)$ 。

則航班於作業上之作業完成時間，根據式 (3-2) 累積作業完成旅客曲線之求算可知，如圖 3.4 所示，假設航班 i 共有 x 位旅客，則航班 i 於航空公司服務作業之累積作業完成旅客曲線 $D_{f,i,j}(t|T_{f,i,j}^{Ds} \leq t \leq T_{f,i,j}^{Df})$ ，即第一位旅客開始作業時間 $T_{f,i,j}^{Ds}$ ，至 x 位旅客作業完成時間 $T_{f,i,j}^{Df}$ 之時間曲線組成，即 $D_{f,j}(t|T_{f,i,j}^{Ds} \leq t \leq T_{f,i,j}^{Df}) = D_{f,i,j}(t|T_{f,i,j}^{Ds} \leq t \leq T_{f,i,j}^{Df})$ 。

透過上述分析可知，航班於航空公司服務作業之作業完成時間與累積作業完成旅客曲線，受同一航空公司出境航班到達旅客數與航空公司作業服務率的影響，即航班作業完成時間為最後一位旅客到達時間，對應航空公司總累積到達旅客數與作業服務率曲線，航空公司總累積作業完成曲線上時間求得。

2. 航站服務之多航班共用式作業

航站服務之多航班共用式作業作業對象為所有出境作業航班；任何航空公司航班旅客於到達航站服務作業後，可選擇任一作業櫃檯進行服務。依此特性，則航站服務之多航班共同式作業等候模型如圖 3.5 所示。

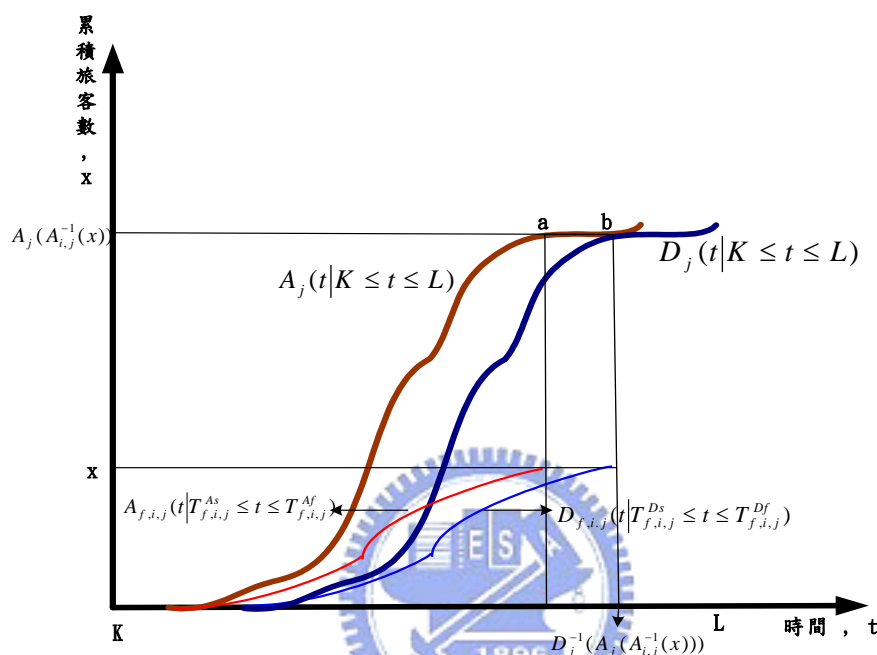


圖 3.5 航站服務之多航班共用式作業等候模型

令時區 $[K, L]$ 中共有 N 個出境航班接受服務，此 n 航班為任何航空公司之作業航班。則作業 j 之作業總累積到達旅客曲線 $A_j(t|K \leq t \leq L)$ ，即為 N 個出境航班累積到達旅客曲線加總而成，如下式所示。

$$A_j(t|K \leq t \leq L) = \sum_{i=1}^N A_{i,j}(t|T_{i,j}^{As} \leq t \leq T_{i,j}^{Af}) \quad (3-7)$$

假設航站服務作業同樣為先進先出（First-In First-Out）的服務規則，若作業 j 於時區 $[K, L]$ 中時點 t 上，共有 m 個航站作業櫃檯提供服務，各櫃檯的服務率皆為 μ_j ，航站作業服務率曲線為 $\mu_j(t|K \leq t \leq L)$ 。同航空公司服務等候模型分析觀念，根據作業總累積到達旅客曲線與作業服務率曲線，則航站服務作業 j 時區 $[K, L]$ 中，作業總累積作業完成旅客曲線 $D_j(t|K \leq t \leq L)$ 可以下式表示：

$$D_j(t|K \leq t \leq L) = \int_L^K \mu_j(t) dt \quad (3-8)$$

假設航班 i 共有 x 位旅客，航班 i 於時區 $[K, L]$ 中累積 x 位旅客到達作業，此時航空站作業總累積到達旅客數為 $A_j(A_{i,j}^{-1}(x))$ ，如圖 3.5 中 a 點。對應作業總累積作業完成旅客曲線 $D_j(t|K \leq t \leq L)$ ，則航班 i 累積 x 位旅客之作業完成時間 $D_{i,j}^{-1}(x)$ 即為 $D_j^{-1}(A_j(A_{i,j}^{-1}(x)))$ ，如圖 3.5 中 b 點，即 $D_j^{-1}(A_j(A_{i,j}^{-1}(x))) = D_{i,j}^{-1}(x)$ ，此時間即為航班之作業完成時間。根據式(3-2)航班累積作業完成旅客曲線之求算可知，則航班 i 於航空站服務作業之累積作業完成旅客曲線 $D_{i,j}(t|T_{i,j}^{Ds} \leq t \leq T_{i,j}^{Df})$ ，可由第一位旅客開始作業時間 $T_{i,j}^{Ds}$ ，至最後一位旅客作業完成時間 $T_{i,j}^{Df}$ 之時間曲線組成，即 $D_j(t|T_{i,j}^{Ds} \leq t \leq T_{i,j}^{Df}) = D_{i,j}(t|T_{i,j}^{Ds} \leq t \leq T_{i,j}^{Df})$ 。由航空站服務作業等候模型分析可知，航班於航空站服務作業之作業完成時間與累積作業完成旅客曲線，受所有抵達該作業出境航班旅客數與作業服務率影響，即航班作業完成時間為最後一位旅客到達時間，對應作業總累積到達旅客數與作業服務率後之總累積作業完成旅客曲線上時間獲得。



3. 小結

由上述三種不同作業服務等候模型分析可知，不同作業服務類型作業影響的差異可由表 3.1 表示。單航班使用式作業服務中作業時間不受其他航班影響，僅與該航班作業時間有關；多航班共用式作業依作業負責單位的差異，作業影響對象也會有所不同。航空公司服務作業僅受同航空公司其他作業航班影響，航空站服務作業，作業時間受所有出境作業航班影響。

表 3.1 作業類型與作業時間影響差異比較

| 作業類型 | 負責單位 | 作業對象—作業影響來源 |
|-----------------|------|-------------|
| 單航班使用式作業 | 航空公司 | 該作業航班 |
| 航空公司服務之多航班共用式作業 | 航空公司 | 同一航空公司作業航班 |
| 航空站服務之多航班共用式作業 | 航空站 | 所有作業航班 |

3.2.3 作業接續關係等候模型

作業接續關係為旅客或行李完成上游作業後，是否直接進入下游作業接受服務之作業安排差異。如 3.1 節所述，作業接續關係依作業對象與航站作業佈設特性而有所不同，可區分為兩種情形：直接進入式、非直接進入式接續關係，本節將對此關係進行分析。

根據實際出境作業流程之佈設方式與旅客或行李接受出境作業之流程安排，兩相鄰作業是否為直接進入式接續關係即可獲得，即當兩相鄰作業之旅客或行李於完成出境服務後即直接進入下游作業接受服務，此兩作業間之接續關係即為直接進入式作業接續關係；反之，當旅客或行李於完成上游作業後，可逗留於兩作業間之連通空間上從事非出境作業活動時，此作業接續關係即為非直接進入式作業接續關係；以中正國際機場為例，當旅客於完成櫃檯報到作業後，不需直接進入證照查驗接受服務，旅客可選擇至特許商店進行消費，作業間即屬於非直接進入式接續關係；當旅客於接受完證照查驗作業後，隨即進入安全檢查作業接受服務，此時作業間即為直接進入式接續關係。

令 $t_{j,j+1}^w$ 為作業 j 至作業 $j+1$ 間兩相鄰作業間之連通時間，作業連通時間為兩作業間旅客步行或行李運送之基本時間，則作業接續關係判斷如下式

$$A_{i,j+1}(t|T_{i,j+1}^{As} \leq t \leq T_{i,j+1}^{Af}) = \begin{cases} A_{i,j+1}(t|T_{i,j+1}^{As} \leq t \leq T_{i,j+1}^{Af}), & \text{if 作業 } j \text{ 與作業 } j+1 \text{ 為非直接進入式關係} \\ D_{i,j}(t+t_{j,j+1}^w|T_{i,j}^{Ds} \leq t \leq T_{i,j}^{Df}), & \text{Otherwise} \end{cases} \quad (3-9)$$

上式中，若兩相鄰作業為非直接進入式關係，則表示下游作業時間不受上游作業時間影響，接續作業 $j+1$ 累積到達旅客曲線 $A_{i,j+1}(t|T_{i,j+1}^{As} \leq t \leq T_{i,j+1}^{Af})$ 與上游作業 j 累積作業完成時間無關，為一獨立之時間函數。反之，當兩相鄰作業為直接進入式關係，則表示航班於下游作業之作業時間受上游作業時間影響，上游作業時間至下游作業時仍維持上游作業完成時間特性，旅客於上游完成作業後將直接進入下游作業接受服務，則接續作業 $j+1$ 之累積到達旅客曲線 $A_{i,j+1}(t|T_{i,j+1}^{As} \leq t \leq T_{i,j+1}^{Af})$ ，受上游作業累積作業完成旅客曲線

影響，為上游累積作業完成時間加上作業連通時間即 $D_{i,j}(t+t_{j,j+1}^w | T_{i,j}^{Ds} \leq t \leq T_{i,j}^{Df})$ ，航班直接進入式接續作業等候模型如圖 3.6 所示。

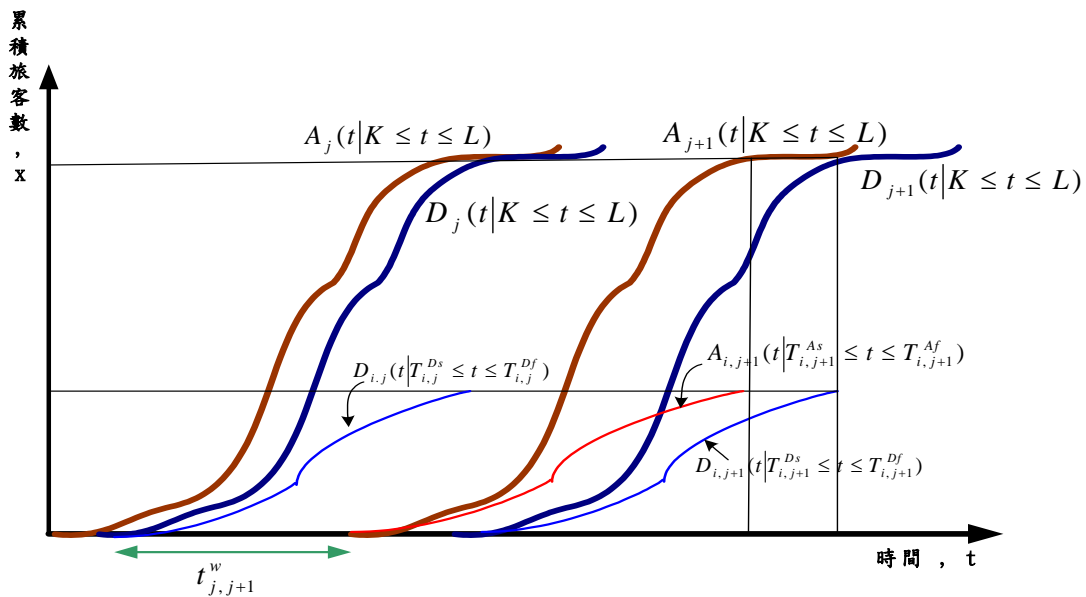


圖 3.6 直接進入式接續作業關係等候模型

3.3 航站出境作業延滯影響

航站出境作業可能因旅客延遲抵達或服務延遲等作業事件影響產生延滯現象，延滯除了對同作業上相鄰航班作業時間造成影響，更可能對航班接續作業造成延滯影響。除了造成航班作業時間延滯，於作業表定完成時間上尚未作業完成之延滯旅客數，同樣為航班作業績效評估之關鍵。為瞭解延滯於不同作業型態、作業間接續關係之影響，本節將根據 3.2 節之不同作業等候模型，參考許巧鶯等人（民 92）對航機空側運作推擠性誤點延滯擴散之研究方法，構建延滯時間推估模式。進一步並根據作業等候模型與延滯時間推估模式計算航班作業延滯旅客數，以完整獲得作業延滯產生之延滯時間與延滯旅客影響。

3.3.1. 模式假設與基本分析

本研究將航站出境作業流程每個作業均視為一個節點，出境旅客與行李則視為在出境作業網路上隨著時間流動之作業對象。航站出境作業網路特性如下：每一項作業可視為一個獨立節點，每項作業均設有一既定之表定起始作業時間與表定作業完成時間，每項作業所需之作業時間、緩衝時

間為已知，每項作業所需時間除前述已知之作業時間外，亦可能另外發生一作業延滯時間，每項作業均有可能因臨時作業事件導致無法於既定起始時間開始作業而產生自發性延滯，若作業間關係為並聯之情況下，時間較長的作業為關鍵作業。

根據上述出境作業網路特性，則航班作業時間關係可以圖 3.7 表示。令航班 i 於作業 j 上表定作業起始與完成時間分別為 $T_{i,j}^s$ 與 $T_{i,j}^f$ ；航班最短作業時間為 $t_{i,j}^p$ 、緩衝時間為 $t_{i,j}^b$ ；航班最短作業時間即作業未發生作業延滯狀況下，完成所有旅客服務之最短作業所需時間。航空公司於班表安排上除考量航班最短作業時間，通常會設置作業緩衝時間，吸收可能之作業延滯時間，以確保航班能順利完成作業，則航班 i 於作業 j 表定作業完成時間 $T_{i,j}^f$ ，為航班 i 表定作業起始時間 $T_{i,j}^s$ ，加上最短作業時間 $t_{i,j}^p$ 與作業緩衝時間 $t_{i,j}^b$ ， $T_{i,j}^f = T_{i,j}^s + t_{i,j}^p + t_{i,j}^b$ ，如下圖所示。

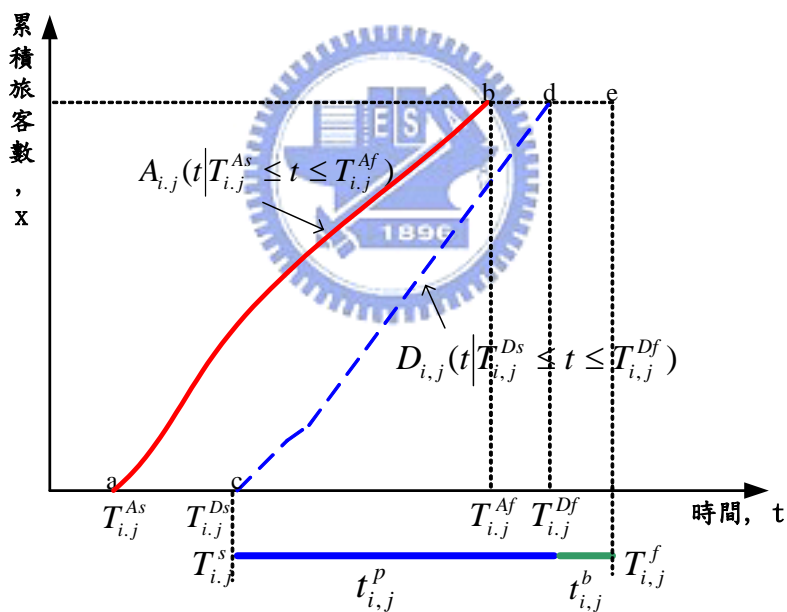


圖 3.7 航班作業時間關係示意圖

根據上述作業時間分析，最短作業時間為航班所有旅客一起抵達作業至完成所有旅客作業所需時間，航班所有旅客須於規定之同一時點到達作業進行服務，且各出境作業均會設置緩衝時間以吸收可能之延滯現象。然而於實際出境作業上，考量機場聯外運輸時間之不確定及服務櫃檯容量之限制，若航班所有旅客均於同一時間抵達作業，將使部分旅客產生等待時間過長之現象，因此作業單位多僅規定旅客之到達時間範圍，並未規定某一時點上抵達作業。如於櫃檯報到作業上，航空公司一般規定旅客之抵達

時間範圍為航班出發前兩個小時至出發前半小時間接受服務，而非規定於某特定時點上同時到達作業。

1. 出境作業延滯原因分析

出境作業延滯原因為航班延滯狀況產生之原因，根據 3.2 節出境作業等候模型與上述作業時間特性之分析可知，造成出境作業延滯的原因可區分為下列兩種：

- (1) **旅客延遲抵達作業**：航班之實際作業起始時間與作業完成時間，因旅客抵達時間超過表定時間影響造成延滯，此延滯原因之等候模型可以下圖表示，圖中，若航班 i 第一位旅客到達作業 j 之時間 $T_{i,j}^{As}$ 或最後一位旅客到達作業時間 $T_{i,j}^{Af}$ ，超過表定作業起始時間 $T_{i,j}^s$ 與作業完成時間 $T_{i,j}^f$ ，即 $T_{i,j}^{As} > T_{i,j}^s$ 或 $T_{i,j}^{Af} > T_{i,j}^f$ ；則航班之實際作業起始時間與作業完成時間受旅客延遲抵達影響並造成延滯，即 $T_{i,j}^{Ds} > T_{i,j}^s$ 或 $T_{i,j}^{Df} > T_{i,j}^f$ 。於此延滯原因下，超過表定作業完成時間抵達作業旅客須負擔延遲抵達所可能造成之行程延滯影響，如可能面臨被取消作業之狀況。又依旅客抵達時間狀況，旅客抵達延遲狀況可區分為受旅客本身抵達時間影響與上游作業完成時間影響造成等狀況，本研究並將於 3.3.3 節作業間延滯擴散影響中進行相關分析。

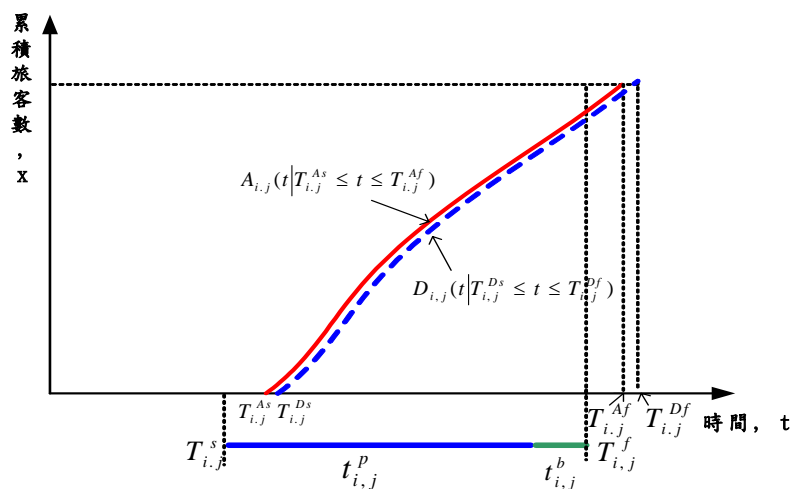


圖 3.8 旅客延遲抵達作業之作業等候模型示意圖

(2) **服務延遲**：航班旅客均於表定作業時間內抵達作業開始接受服務，航班之實際作業起始時間與作業完成時間受作業服務影響造成，如作業櫃檯容量不足或作業設備故障等狀況。此延滯原因之等候模型可以下圖表示；圖中，若航班 i 第一位旅客到達作業 j 之時間 $T_{i,j}^{As}$ 或最後一位旅客到達作業時間 $T_{i,j}^{Af}$ ，均未超過表定作業起始時間 $T_{i,j}^s$ 與作業完成時間 $T_{i,j}^f$ ，即 $T_{i,j}^{As} \leq T_{i,j}^s$ 或 $T_{i,j}^{Af} \leq T_{i,j}^f$ ；但航班之作業實際起始作業時間與完成時間又超過表定作業時間，即 $T_{i,j}^{Ds} > T_{i,j}^s$ 或 $T_{i,j}^{Df} > T_{i,j}^f$ ，此時航班之實際作業起始時間與作業完成時間即為受作業服務延遲影響造成延滯。於此延滯原因下，航空公司須負擔延滯所造成之影響，如旅客行程延滯賠償費。

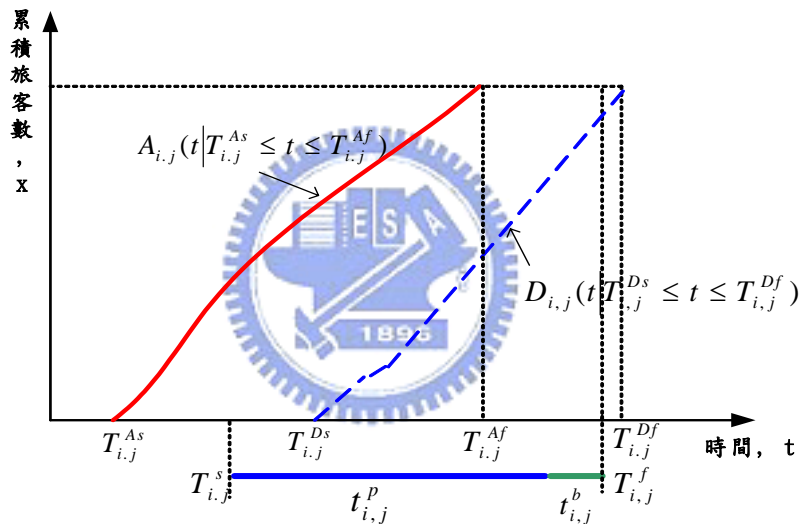


圖 3.9 服務延遲之作業等候模型示意圖

2. 出境作業延滯型態分析

出境作業延滯型態為描述各種延滯時間對航班作業時間之影響關係，航班延滯時間型態可分為下列四種：

- (1) **自發性延滯**：受作業或航班本身起始作業延滯影響，未能於表定作業起始時間開始服務之延滯；與作業本身未能順利起始服務時間有關。如旅客延遲抵達作業，使得於表定作業起始時間上沒有旅客開始接受服務；或作業發生故障未能於表定作業起始時間開始服務。
- (2) **作業延滯**：因作業設備、人員等服務特性或航班旅客之到達特性之

影響，造成旅客或行李未能於最短作業時間內完成作業之延滯，如作業中設備故障，使航班未能於最短作業時間內完成作業。

- (3) **推擠性延滯**：作業本身未發生作業延滯，但受上游航班、作業之自發性作業延滯造成之推擠影響，使作業未能於表定作業完成時間內完成作業之延滯，如上一使用登機作業航班發生延滯，致接續使用該登機作業航班造成延滯影響。
- (4) **總推擠性延滯**：作業本身發生作業延滯，並同時受自發性延滯影響，使得航班未能於表定作業時間完成作業之延滯，如航班最後一位旅客延遲到達。

為瞭解各出境作業延滯型態對航班作業時間之影響關係，以下將分別針對延滯對航班間、作業間之延滯擴散影響情況進行分析。

3.3.2 航班間作業延滯擴散影響

1. 單航班使用式作業延滯影響

單航班使用式作業上航班班表為接續式的安排方式，即若前段航班發生延滯狀況，除造成該航班作業完成時間延滯，更直接對接續使用作業之航班造成延滯擴散影響。如某航班於登機作業發生延滯，則將直接對下一使用該登機作業之航班造成延滯影響。單航班使用式作業上，航班之作業時間關係可以下圖表示：

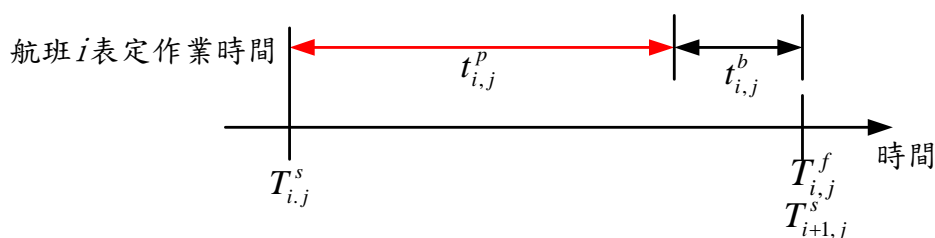


圖 3.10 單航班使用式作業時間示意圖

令航班 i 與接續航班 $i+1$ 於作業 j 上表定作業起始時間分別為 $T_{i,j}^s$ 與 $T_{i+1,j}^s$ ；航班最短作業時間為 $t_{i,j}^p$ ，緩衝時間為 $t_{i,j}^b$ 。如圖 3.10 所示，在無任何延滯狀況下，航班 i 於作業 j 表定作業完成時間 $T_{i,j}^f$ 與接續航班 $i+1$ 表定起始作業時間 $T_{i+1,j}^s$ 相同，即 $T_{i,j}^f = T_{i+1,j}^s = T_{i,j}^s + t_{i,j}^p + t_{i,j}^b$ 。

假設航班 i 於作業 j 上發生自發性延滯 $t_{i,j}^A$ ，使得航班 i 實際作業起始延滯時間推移至 $T_{i,j}^{Ds}$ ， $T_{i,j}^{Ds} = T_{i,j}^s + t_{i,j}^A$ ；且航班 i 發生作業延滯 $t_{i,j}^{pd}$ ，使得航班未能於最短作業時間 $t_{i,j}^p$ 完成作業；則接續航班 $i+1$ 之作業時間將受其前段作業航班 i 延滯推擠影響。判斷航班 i 於作業 j 是否對接續航班 $i+1$ 產生推擠性延滯影響，可分為下列三種情況：

- (1) $T_{i,j}^{Ds} - T_{i,j}^s < t_{i,j}^b$ ：如圖 3.11 所示，航班 i 於作業 j 之緩衝時間 $t_{i,j}^b$ ，可吸收因航班 i 起始作業時間 $(T_{i,j}^{Ds} - T_{i,j}^s)$ 所造成之延滯影響。根據航站出境作業延滯之定義，總推擠性作業延滯為作業同時發生推擠性延滯與自發性延滯對表定作業完成時間之影響。令航班 i 於作業 j 之總推擠性延滯為 $t_{i,j}^G$ ；航班之實際作業完成延滯時間 $T_{i,j}^{Df}$ 為表定作業完成時間 $T_{i,j}^f$ 受起始延滯 $(T_{i,j}^{Ds} - T_{i,j}^s)$ 與作業延滯 $t_{i,j}^{pd}$ 之和的影響。又接續航班 $i+1$ 於作業 j 上之自發性延滯 $t_{i+1,j}^A$ ，會使航班 $i+1$ 之實際作業起始時間推移至 $T_{i+1,j}^{SA}$ ；即航班 $i+1$ 產生之自發性延滯，可吸收部份航班 i 對航班 $i+1$ 產生之延滯推擠影響。則總推擠性延滯時間 $t_{i,j}^G$ 為：

$$t_{i,j}^G = t_{i,j}^b - [(T_{i,j}^{Ds} - T_{i,j}^s) + t_{i,j}^{pd}] - t_{i+1,j}^A, \text{ if } T_{i,j}^{Ds} - T_{i,j}^s < t_{i,j}^b \quad (3-10)$$

上式中，當起始延滯 $(T_{i,j}^{Ds} - T_{i,j}^s)$ 小於緩衝時間 $t_{i,j}^b$ ，則航班之總推擠性延滯時間 $t_{i,j}^G$ ，為緩衝時間 $t_{i,j}^b$ 扣除起始延滯 $(T_{i,j}^{Ds} - T_{i,j}^s)$ 與作業延滯 $t_{i,j}^{pd}$ 可吸收之延滯，再減去接續航班 $i+1$ 自發性延滯 $t_{i+1,j}^A$ 之互補影響。

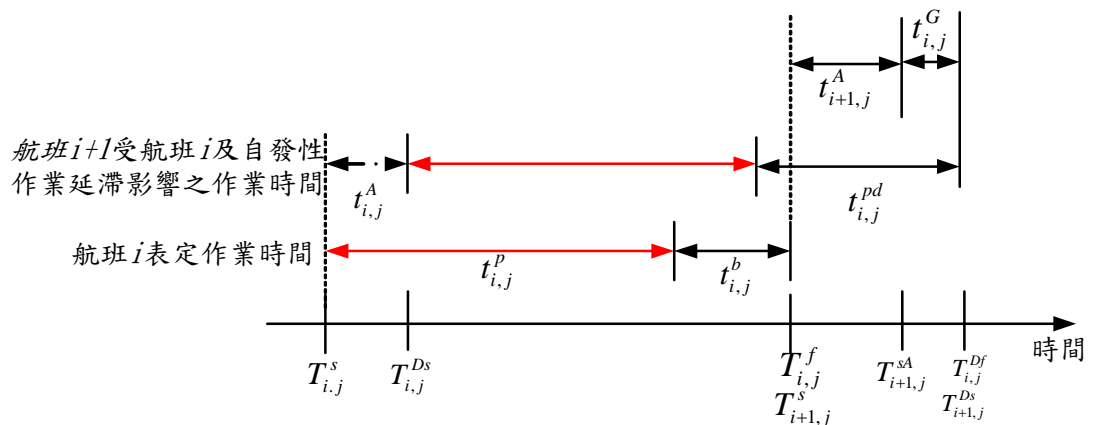


圖 3.11 當 $T_{i,j}^{Ds} - T_{i,j}^s < t_{i,j}^b$ ，單航班使用式作業延滯影響示意圖

(2) $T_{i,j}^{Ds} - T_{i,j}^s = t_{i,j}^b$: 如圖 3.12 所示，航班 i 於作業 j 之緩衝時間 $t_{i,j}^b$ ，恰可吸收因航班 i 起始延滯 ($T_{i,j}^{Ds} - T_{i,j}^s$) 所造成之延滯影響，則總推擠性延滯時間 $t_{i,j}^G$ 為：

$$t_{i,j}^G = t_{i,j}^{pd} - t_{i+1,j}^A, \quad \text{if } T_{i,j}^{Ds} - T_{i,j}^s = t_{i,j}^b \quad (3-11)$$

式中，當緩衝時間 $t_{i,j}^b$ 恰可完全吸收起始延滯 ($T_{i,j}^{Ds} - T_{i,j}^s$)，則總推擠性延滯時間 $t_{i,j}^G$ ，為作業延滯 $t_{i,j}^{pd}$ 減去接續航班 $i+1$ 自發性延滯 $t_{i+1,j}^A$ 吸收之延滯影響。航班 i 之作業延滯 $t_{i,j}^{pd}$ 與接續航班 $i+1$ 自發性延滯 $t_{i+1,j}^A$ 同樣存有互補關係。

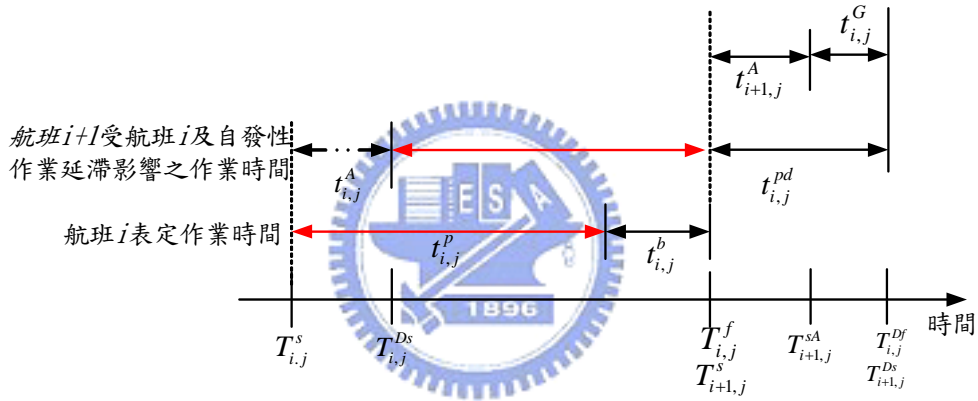


圖 3.12 當 $T_{i,j}^{Ds} - T_{i,j}^s = t_{i,j}^b$ ，單航班使用式作業延滯影響示意圖

(3) $T_{i,j}^{Ds} - T_{i,j}^s > t_{i,j}^b$: 如圖 3.13 所示，航班 i 於作業 j 之起始延滯 ($T_{i,j}^{Ds} - T_{i,j}^s$) 超過緩衝時間 $t_{i,j}^b$ 可吸收之延滯，使得航班 i 對航班 $i+1$ 產生推擠性延滯時間 $t_{i,j}^d$ 。又航班 $i+1$ 產生之自發性延滯，可吸收部份航班 i 對航班 $i+1$ 產生之推擠性延滯。則推擠性延滯時間 $t_{i,j}^d$ 為：

$$t_{i,j}^d = (T_{i,j}^{Ds} - T_{i,j}^s) - (t_{i,j}^b + t_{i+1,j}^A) \quad (3-12)$$

總推擠性延滯時間 $t_{i,j}^G$ 為

$$t_{i,j}^G = t_{i,j}^d + t_{i+1,j}^{pd}, \quad \text{if } T_{i,j}^{Ds} - T_{i,j}^s > t_{i,j}^b \quad (3-13)$$

上式中，當航班 i 於作業 j 之起始作業延滯時間 $(T_{i,j}^{Ds} - T_{i,j}^s)$ 超過緩衝時間 $t_{i,j}^b$ ，則總推擠性作業延滯時間 $t_{i,j}^G$ ，為推擠性作業時間 $t_{i,j}^d$ 與作業延滯時間 $t_{i,j}^{pd}$ 之和。

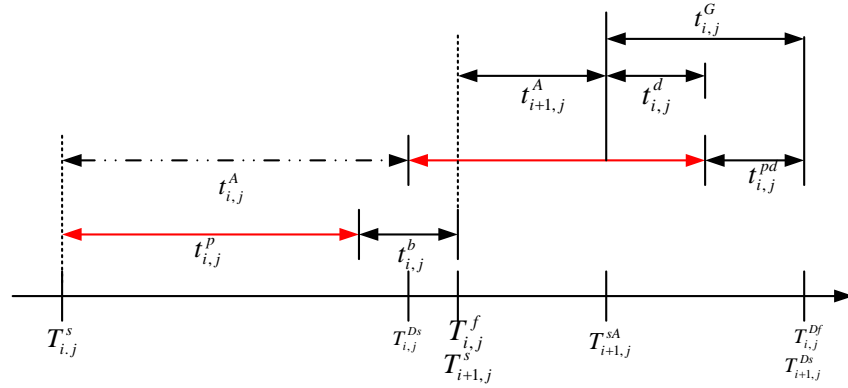


圖 3.13 當 $T_{i,j}^{Ds} - T_{i,j}^s > t_{i,j}^b$ ，單航班使用式作業延滯影響示意圖

綜合上述三種不同作業延滯狀況分析，則單航班使用式作業之總推擠性延滯時間推估模式可以下式表示：

$$t_{i,j}^G = \begin{cases} t_{i,j}^b - [(T_{i,j}^{Ds} - T_{i,j}^s) + t_{i,j}^{pd}] - t_{i+1,j}^A, & \text{if } T_{i,j}^{Ds} - T_{i,j}^s < t_{i,j}^b \\ t_{i,j}^{pd} - t_{i+1,j}^A, & \text{if } T_{i,j}^{Ds} - T_{i,j}^s = t_{i,j}^b \\ t_{i,j}^d + t_{i,j}^{pd}, & \text{if } T_{i,j}^{Ds} - T_{i,j}^s > t_{i,j}^b \end{cases} \quad (3-14)$$

於瞭解航班間延滯推擠影響後，經由航班 i 之總推擠性延滯時間 $t_{i,j}^G$ 與接續航班 $i+1$ 之自發性延滯時間 $t_{i+1,j}^A$ 之求算，則航班 i 之實際作業完成延滯時間 $T_{i,j}^{Df}$ ，與接續航班 $i+1$ 之實際作業起始延滯時間 $T_{i+1,j}^{Ds}$ 即可求得，其計算如式(3-15)所示：

$$T_{i,j}^{Df} = T_{i+1,j}^{Ds} = \begin{cases} T_{i+1,j}^s + t_{i+1,j}^A, & \text{if } t_{i,j}^G \leq 0 \\ T_{i+1,j}^s + t_{i+1,j}^A + t_{i,j}^G, & \text{if } t_{i,j}^G > 0 \end{cases} \quad (3-15)$$

上式中，若 $t_{i,j}^G > 0$ ，表示航班 i 表定作業完成時間 $T_{i,j}^f$ (或接續航班 $i+1$ 表定作業起始時間 $T_{i+1,j}^s$) 受總推擠性作業延滯時間 $t_{i,j}^G$ 影響。據此，則單航班使用

**航班 $i+1$ 受航班 i 及自發性
作業延滯影響之作業時間**

式作業上，兩接續航班間之延滯時間影響關係即可獲得。

作業延滯旅客數

延滯影響除了可由航班作業延滯時間求得，延滯造成之延滯旅客數，同樣可用於評估延滯對航班作業之影響情形。延滯旅客數為作業表定完成時間上，尚未完成作業服務之航班旅客數。圖 3.14 為單航班使用式作業延滯影響等候模型，假設航班 i 於作業 j 共有 $X_{i,j}$ 位旅客，令延滯旅客數為 $x_{i,j}^d$ ，表定作業完成時間為 $T_{i,j}^f$ 。航班累積作業完成旅客曲線為 $D_{i,j}(t | T_{i,j}^{Ds} \leq t \leq T_{i,j}^{Df})$ ，延滯旅客數 $x_{i,j}^d$ 之計算如下式(3-16)所示，即航班所有旅客數 $X_{i,j}$ ，減航班表定作業完成時點 $T_{i,j}^f$ 上，對應累積作業完成旅客曲線上，已作業完成旅客數 $D_{i,j}(T_{i,j}^f)$ 間之差。

$$x_{i,j}^d = X_{i,j} - D_{i,j}(T_{i,j}^f) \quad (3-16)$$

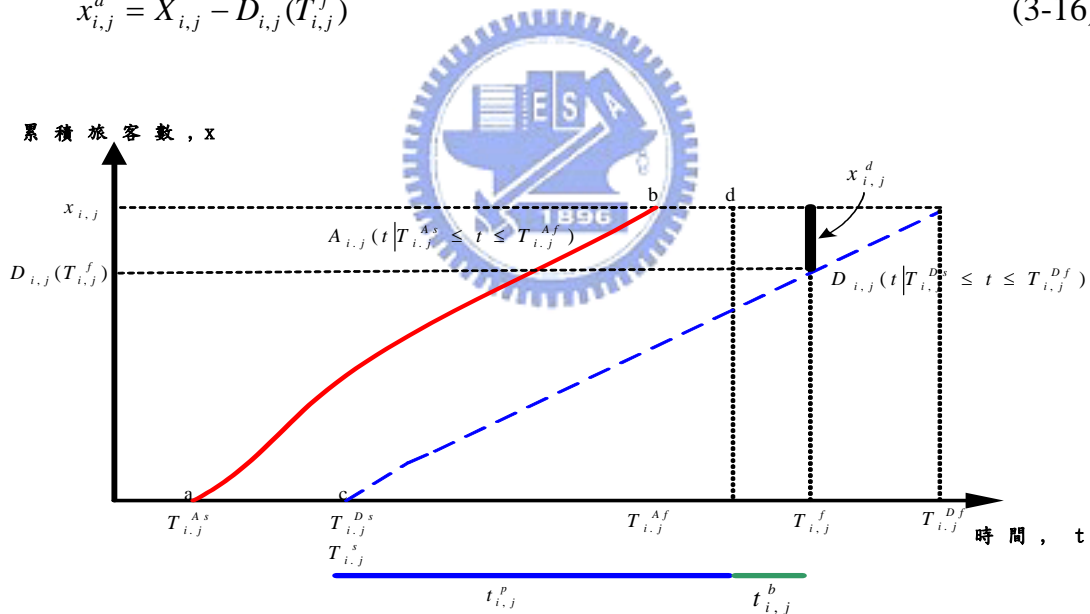


圖 3.14 單航班使用式作業延滯影響等候模型

延滯擴散影響

出境作業系統中，作業航班為一系列之班表安排，故當航班因臨時作業事件引發作業延滯後，通常會造成一系列航班產生作業延滯情形，即作業延滯形成擴散，如使用同一登機門作業航班間之延滯擴散影響。假設第

1、2、3 航班分別發生自發性延滯 $t_{1,j}^A$ 、 $t_{2,j}^A$ 、 $t_{3,j}^A$ ，第 1、2 航班分別發生作業延滯 $t_{1,j}^{pd}$ 、 $t_{2,j}^{pd}$ ；且第 1 航班之自發性延滯 $t_{1,j}^A$ 使得起始延滯 $(T_{1,j}^{Ds} - T_{1,j}^s)$ 超過緩衝時間 $t_{1,j}^b$ ，並產生推擠性延滯 $t_{1,j}^d$ ，由(3-13)式可知，則第 1 航班對第 2 航班產生之總推擠性延滯時間 $t_{1,j}^G$ 為

$$t_{1,j}^G = t_{1,j}^d + t_{1,j}^{pd} = t_{1,j}^A - (t_{1,j}^b + t_{2,j}^A) + t_{1,j}^{pd} \quad (3-17)$$

則第 2 航班之實際作業起始時間 $T_{2,j}^{Ds}$ 為

$$T_{2,j}^{Ds} = T_{2,j}^s + t_{2,j}^A + t_{1,j}^G \quad (3-18)$$

續之，又第 2 航班之自發性延滯 $t_{2,j}^A$ ，使得起始延滯 $(T_{2,j}^{Ds} - T_{2,j}^s)$ 超過緩衝時間 $t_{2,j}^b$ ，並產生推擠性延滯時間 $t_{2,j}^d$ ；則第 2 航班對第 3 航班所造成之總推擠性延滯 $t_{2,j}^G$ ，為第 2 航班之推擠性延滯 $t_{2,j}^d$ 加上作業延滯 $t_{2,j}^{pd}$ ，即

$$\begin{aligned} t_{2,j}^G &= t_{2,j}^d + t_{2,j}^{pd} = (T_{2,j}^{Ds} - T_{2,j}^s) - (t_{2,j}^b + t_{3,j}^A) + t_{2,j}^{pd} \\ &= t_{2,j}^A + t_{1,j}^G - (t_{2,j}^b + t_{3,j}^A) + t_{2,j}^{pd} \end{aligned} \quad (3-19)$$

將第 1 航班之總推擠性延滯 $t_{1,j}^G$ 帶入上式中，則(3-19)式可表為

$$\begin{aligned} t_{2,j}^G &= t_{2,j}^A + t_{1,j}^A - (t_{1,j}^b + t_{2,j}^A) + t_{1,j}^{pd} - (t_{2,j}^b + t_{3,j}^A) + t_{2,j}^{pd} \\ &= t_{1,j}^A - t_{3,j}^A - t_{1,j}^b - t_{2,j}^b + t_{1,j}^{pd} + t_{2,j}^{pd} \\ &= t_{1,j}^A - t_{3,j}^A - \sum_{i=1}^2 t_{i,j}^b + \sum_{i=1}^2 t_{i,j}^{pd} \end{aligned} \quad (3-20)$$

依此類推，在第 n_i 航班發生之自發性延滯超過緩衝時間情況下，且第 n_i 航班同時發生作業延滯狀況下，第 n_i 航班對第 n_{i+1} 航班產生之總推擠性延滯時間 $t_{n_i,j}^G$ 可構建為

$$t_{n_i,j}^G = t_{i,j}^A - t_{n_{i+1},j}^A - \sum_{i=1}^{n_i} t_{i,j}^b + \sum_{i=1}^{n_i} t_{i,j}^{pd} \quad (3-21)$$

其中 $t_{i,j}^A$ 為航班 i 之自發性延滯時間； $t_{i,j}^b$ 為航班 i 之緩衝時間； $t_{i,j}^{pd}$ 為航班 i 之作業延滯時間。

當 $t_{n_i,j}^G > 0$ ，表示第 n_i 航班於作業 j 上之延滯對第 n_{i+1} 航班產生延滯擴散影響。若 $t_{n_i,j}^G \leq 0$ 且 $T_{n_i,j}^{Ds} - T_{i,j}^s > t_{n_i,j}^b$ ，則表示第 n_i 航班於作業 j 上不會對第 n_{i+1} 航班產生總推擠性延滯影響，總推擠性延滯僅止於對第 n_i 航班之影響。

若僅有第 1 航班產生自發性延滯，其後接續作業航班並無產生自發性延滯之情況下，則(3-21)式可改寫成式(3-22)

$$t_{(1,n_i),j}^G = t_{1,j}^A - \sum_{i=1}^{n_i-1} t_{i,j}^b + \sum_{i=1}^{n_i-1} t_{i,j}^{pd} \quad (3-22)$$

其中 $t_{(1,n_i),j}^G$ 表示第 1 航班對第 n_i 航班產生之總推擠性延滯。由上式可知，當 $t_{1,j}^A + \sum_{i=1}^{n_i-1} t_{i,j}^{pd} < \sum_{i=1}^{n_i-1} t_{i,j}^b$ ，且 $t_{(1,2),j}^G, \dots, t_{(1,n_{i-1}),j}^G$ 皆 > 0 時，表示第 1 航班之延滯不會影響到第 n_i 航班，亦即第 1 航班所產生之總推擠性延滯影響範圍僅止於第 n_{i-1} 航班。

據此，則單航班使用式作業上之航班間延滯擴散範圍即可求得，其可根據兩航班間之自發性延滯時間、作業延滯時間與緩衝時間推算出延滯可能造成之擴散範圍。

2. 多航班共用式作業延滯影響

本節以 3.2.2 節多航班共用式作業等候模型為基礎，對單航班使用式航班延滯時間推估模式進行修正與分析，並構建航班於多航班共用式作業上之延滯時間推估模式，以求得延滯擴散影響航班與範圍。

(1) 航空公司服務之多航班共用式作業延滯影響

單航班使用式作業航班為接續式安排，根據式(3-13)總推擠性延滯分析，航班於作業產生之總推擠性延滯，將直接影響接續航班之起始作業時間。接續航班於作業所受之延滯影響，可由前一航班之總推擠性作業延滯時間求得。然而，對航空公司服務之多航班共用式作業而言，因同一時間上航空公司有多個航班進行作業，航班安排為相鄰關係，航班間之作業延滯時間非兩兩加總求得。根據 3.2.2 節航空公司服務作業之等候模型分析可知，航班作業時間受該作業上相鄰航班之總累積到達旅客曲線與作業服務率所影響；因此，為瞭解航班於作業上所受之延滯時間影響，可經由航空公司服務等候模型分析獲得。

假設航空公司 f 之航班 i 於作業 j 共有 $X_{f,i,j}$ 位旅客，航班 i 表定起始作業時間為 $T_{f,i,j}^s$ ，根據航空公司服務之多航班共用式作業等候模型，航班 i 之累積作業完成旅客曲線為 $D_{f,i,j}(t | T_{f,i,j}^{Ds} \leq t \leq T_{f,i,j}^{Df})$ 。令航班 i 於作業 j 之自發性延滯為 $t_{f,i,j}^A$ ，其即為實際作業起始時間 $T_{f,i,j}^{Ds}$ 與表定作業起始時間 $T_{f,i,j}^s$ 之差：

$$t_{f,i,j}^A = T_{f,i,j}^{Ds} - T_{f,i,j}^s \quad (3-23)$$

同 3.3.1 節觀念，推擠性延滯時間為航班作業完成時間受自發性延滯影響產生之延滯時間。若作業發生自發性延滯 $t_{f,i,j}^A$ ，並超過緩衝時間 $t_{f,i,j}^b$ 可吸收之延滯，則推擠性延滯時間 $t_{f,i,j}^d$ 為：

$$t_{f,i,j}^d = t_{f,i,j}^A - t_{f,i,j}^b, \quad \text{if } T_{f,i,j}^{Ds} - T_{f,i,j}^s > t_{f,i,j}^b \quad (3-24)$$

令 $t_{f,i,j}^{pd}$ 為航班 i 於作業 j 發生之作業延滯，其為航班實際作業完成所需時間 $(T_{f,i,j}^{Df} - T_{f,i,j}^{Ds})$ 減最短作業時間 $t_{f,i,j}^p$ ：

$$t_{f,i,j}^{pd} = T_{f,i,j}^{Df} - T_{f,i,j}^{Ds} - t_{f,i,j}^p \quad (3-25)$$

在不受其他航班影響狀況下，則航班 i 之實際作業完成時間 $T_{f,i,j}^{Df}$ ，即為表定作業完成時間 $T_{f,i,j}^f$ 受推擠性延滯 $t_{f,i,j}^d$ 與作業延滯 $t_{f,i,j}^{pd}$ 之和的影響，為

$$T_{f,i,j}^{Df} = T_{f,i,j}^f + t_{f,i,j}^d + t_{f,i,j}^{pd} \quad (3-26)$$

根據上述不同延滯時間類型所構建之延滯時間推估模式，則航班於航空公司服務作業之各延滯時間即可求得。

延滯旅客數

同 3.3.1 節觀念，作業延滯除了造成航班作業時間延滯，更會使航班產生延滯旅客，令延滯旅客數為 $x_{f,i,j}^d$ ，根據航空公司服務作業等候模型，航班 i 之累積作業完成旅客曲線為 $D_{f,i,j}(t | T_{f,i,j}^{Ds} \leq t \leq T_{f,i,j}^{Df})$ ，則航班於航空公司服務作業之延滯旅客數 $x_{f,i,j}^d$ 即為：

$$x_{f,i,j}^d = X_{f,i,j} - D_{f,i,j}(T_{f,i,j}^f) \quad (3-27)$$

延滯擴散影響

由於航空公司服務之多航班共用式作業航班為相鄰之作業關係，與單航班使用式作業之接續式航班安排不同，航班作業延滯對相鄰航班之擴散影響範圍，須透過對等候模型進行分析方可求得。假設航空公司 f 航班 i 於作業 j 發生總推擠性延滯時間 $t_{f,i,j}^G$ ，延滯發生在表定作業完成時間 $T_{f,i,j}^f$ 至實際作業完成時間 $T_{f,i,j}^{Df}$ 之延滯時區內，則航班之延滯作業時區為 $[T_{f,i,j}^{Df}, T_{f,i,j}^f]$ 。航班 i 於延滯時區內之累積作業完成旅客數為 $D_{f,i,j}(T_{f,i,j}^{Df}) - D_{f,i,j}(T_{f,i,j}^f)$ 。於航班 i 延滯時區內，航空公司 f 於作業 j 之總累積作業完成旅客數即為 $D_{f,j}(T_{f,i,j}^{Df}) - D_{f,j}(T_{f,i,j}^f)$ ，其包含航班 i 於該延滯時區內之累積作業完成旅客數，與航空公司其他共同作業航班旅客數。根據等候模型可知，作業 j 上航空公司 f 其他作業航班，於航班 i 延滯時區 $[T_{f,i,j}^{Df}, T_{f,i,j}^f]$ 內之累積作業完成旅客數為 $x_{f,j}[T_{f,i,j}^{Df}, T_{f,i,j}^f]$ ，其即為總累積作業完成旅客數，減航班 i 於延滯時區內之累積作業完成旅客數：

$$x_{f,j}[T_{f,i,j}^{Df}, T_{f,i,j}^f] = D_{f,j}(T_{f,i,j}^{Df}) - D_{f,j}(T_{f,i,j}^f) - D_{f,i,j}(T_{f,i,j}^{Df}) - D_{f,i,j}(T_{f,i,j}^f) \quad (3-28)$$

則航空公司服務之共用式作業上，其他相鄰作業航班受航班 i 作業延滯擴散影響範圍，根據航班 i 延滯時區內，所受影響之航空公司其他作業

航班旅客即可獲得：令航班 n_i 旅客屬於航班 i 延滯時區內之影響旅客 $x_{f,j} [D_{f,i,j}^{Df}, T_{f,i,j}^f]$ 中，則此航班 n_i 為受延滯擴散影響航班；延滯擴散影響範圍即為此受航班 i 延滯影響航班 n_i 的集合。

$$\text{航班 } n_i \text{ 受航班 } i \text{ 之延滯擴散影響, if 航班 } n_i \text{ 旅客 } \in x_{f,j} [D_{f,i,j}^{Df}, T_{f,i,j}^f] \quad (3-29)$$

延滯除了對相鄰作業航班旅客作業造成影響，更可能使受影響航班之作業完成時間受到影響。令 $t_{f,(i,n_i),j}^G$ 為受航班 i 延滯影響之航班 n_i ，產生之總推擠性延滯時間，其如下式所示

$$t_{f,(i,n_i),j}^G = T_{f,n_i,j}^{Df'} - T_{f,n_i,j}^{Df} \quad (3-30)$$

上式中， $T_{f,n_i,j}^{Df}$ 為受航班本身自發性延滯與作業延滯影響造成之實際作業完成時間， $T_{f,n_i,j}^{Df'}$ 為受航班 i 延滯影響造成之實際作業完成時間。當 $t_{f,(i,n_i),j}^G > 0$ ，表示航班 n_i 之作業完成時間受相鄰航班 i 之延滯擴散影響；當 $t_{f,(i,n_i),j}^G \leq 0$ ，表示航班 n_i 作業完成時間不受相鄰航班 i 之延滯擴散影響。

經由上述總推擠性延滯時間 $t_{f,(i,n_i),j}^G$ 之求算，則航空公司服務之多航班共用式作業上之航班間延滯擴散影響範圍即可求得，其可根據作業上航班數與旅客數推算出延滯可能造成之影響航班與範圍。

(2) 航站服務之多航班共用式作業延滯影響

同上節航空公司服務作業延滯影響分析，根據航站服務作業等候模型，則航班於航站服務作業之延滯時間，與航站服務作業總累積到達旅客曲線與作業服務率曲線有關，航班延滯時間可由航班累積作業完成旅客曲線求得。根據式(3-23)~(3-26)，則航班於航站服務作業之自發性延滯 $t_{i,j}^A$ 、推擠性延滯 $t_{i,j}^d$ 、作業延滯 $t_{i,j}^{pd}$ 、實際作業完成時間 $T_{i,j}^{Df}$ 等延滯時間推估模式如下式(3-31)~(3-34)所示。則航班之延滯旅客數 $x_{i,j}^d$ ，根據航班總累積作業完成旅客曲線 $D_{i,j}(t | T_{i,j}^{Ds} \leq t \leq T_{i,j}^{Df})$ ，於表定作業完成時間 $T_{i,j}^f$ 上，尚未作業完成旅客數之求算獲得，如式(3-35)所示。

$$t_{i,j}^A = T_{i,j}^{Ds} - T_{i,j}^s \quad (3-31)$$

$$t_{i,j}^d = t_{i,j}^A - t_{i,j}^b, \quad \text{if } T_{i,j}^{Ds} - T_{i,j}^s > t_{i,j}^b \quad (3-32)$$

$$t_{i,j}^{pd} = T_{i,j}^{Df} - T_{i,j}^{Ds} - t_{i,j}^p \quad (3-33)$$

$$T_{i,j}^{Df} = T_{i,j}^f + t_{i,j}^d + t_{i,j}^{pd} \quad (3-34)$$

$$x_{i,j}^d = X_{i,j} - D_{i,j}(T_{i,j}^f) \quad (3-35)$$

延滯擴散影響

同上節航空公司服務之多航班共用式作業航班作業延滯擴散影響分析，則於航站服務作業上，受航班 i 作業延滯擴散影響之旅客、航班等擴散範圍，可由下式(3-36)~ (3-38)求算獲得。令 $t_{(i,n_i),j}^G$ 為受航班 i 延滯影響之航班 n_i 產生之總推擠性延滯時間，同上節分析，當 $t_{(i,n_i),j}^G > 0$ ，表示於作業 j 上，航班 n_i 之作業完成時間將受相鄰航班 i 之延滯擴散影響；當 $t_{(i,n_i),j}^G \leq 0$ ，表示於作業 j 上，航班 n_i 之作業完成時間不受相鄰航班 i 之延滯擴散影響。

$$x_j [T_{i,j}^{Df}, T_{i,j}^f] = D_j(T_{i,j}^{Df}) - D_j(T_{i,j}^f) - D_{i,j}(T_{i,j}^{Df}) - D_{i,j}(T_{i,j}^f) \quad (3-36)$$

$$\text{航班 } n_i \text{ 受航班 } i \text{ 之延滯擴散影響,} \quad \text{if 航班 } n_i \text{ 旅客} \in x_j [T_{i,j}^{Df}, T_{i,j}^f] \quad (3-37)$$

$$t_{(i,n_i),j}^G = T_{n_i,j}^{Df'} - T_{n_i,j}^{Df} \quad (3-38)$$

根據多航班共用式作業之等候模型，及航班作業延滯時間、延滯旅客推估模式可知，航班之實際作業完成時間，依不同作業服務類型同時段上共同接受作業服務航班之總累積到達旅客曲線及服務率有關。航空公司服務作業，航班作業時間與航空公司其他出境航班作業時間有關，航班作業時間受航空公司總累積到達旅客曲線與航空公司服務率曲線影響。而於航站服務作業上，航班作業時間與所有接受服務航班作業時間有關；即航班作業時間受作業總累積到達旅客曲線與航站服務率影響。

3.3.3 作業間作業延滯擴散影響

1. 接續作業延滯影響

航班作業延滯除了對同一作業上接續或相鄰航班造成延滯擴散影響，更可能對航班接續作業流程造成影響。由式(3-9)作業接續關係判斷式分析可知，當兩作業間為直接進入式作業接續關係下，上游作業完成後旅客將直接進入下游作業接受服務，即航班於上游作業完成時間，將直接對旅客到達下游作業時間造成影響。為求得旅客到達下游作業時間受上游作業完成時間之延滯推擠影響，可由實際旅客到達時間是否超過表定作業起始與完成時間獲得，此作業間延滯擴散影響原因即為旅客延遲抵達作業造成。

依作業起始、完成時間受上游作業之影響關係，作業延滯可區分為受上游作業影響之作業起始延滯與作業完成延滯等兩種影響狀況。受上游影響之作業起始延滯，為受上游作業完成時間影響，下游作業起始時間受航班第一位旅客到達作業時間影響之延滯時間；如：當證照查驗作業與安全檢查作業為直接進入式作業接續關係，航班第一旅客到達安全檢查作業時間若超過安全檢查作業表定起時服務時間，則將造成安全檢查作業閒置，使得安全檢查作業受上游證照查驗作業完成時間影響，並產生作業時間延滯。同理，受上游影響之作業完成延滯，為下游作業完成時間，受航班最後一位旅客到達作業時間，減每位旅客之最短作業時間後造成影響之作業完成延滯時間，如航班最後一位完成證照查驗作業旅客對航班安全檢查作業完成時間之影響，為此旅客完成證照查驗作業時間加上步行時間與接受安全檢查服務時間，與安全檢查作業表定作業完成時間間之差。

令航班 i 於作業 $j+1$ 上表定作業起始、完成時間分別為 $T_{i,j+1}^s$ 、 $T_{i,j+1}^f$ ，作業連通時間為 $t_{j,j+1}^w$ ，作業 $j+1$ 為作業 j 之直接接續作業。根據式(3-9)作業接續關係判斷式，當兩作業屬於直接進入式接續關係時，則下游作業 $j+1$ 之累積到達旅客曲線，為上游作業累積作業完成旅客曲線加上作業連通時間組成，即： $A_{i,j+1}(t | T_{i,j+1}^{As} \leq t \leq T_{i,j+1}^{Af}) = D_{i,j}(t + t_{j,j+1}^w | T_{i,j}^{Ds} \leq t \leq T_{i,j}^{Df})$ 。

根據 3.2.3 節接續作業等候模型之分析可知，航班第一位旅客與最後一位旅客於上游作業 j 之作業完成時間分別為 $T_{i,j}^{Ds}$ 、 $T_{i,j}^{Df}$ ；第一位旅客與最後一位旅客到達下游作業 $j+1$ 時間 $T_{i,j+1}^{As}$ 、 $T_{i,j+1}^{Af}$ ，為旅客於上游作業完成時

間加上作業連通時間，即 $T_{i,j+1}^{As} = T_{i,j}^{Ds} + t_{j,j+1}^w$ 、 $T_{i,j+1}^{Af} = T_{i,j}^{Df} + t_{j,j+1}^w$ 。

令 $S_{i,(j,j+1)}$ 、 $F_{i,(j,j+1)}$ 分別為航班 i 於下游作業 $j+1$ 受上游作業 j 影響之作業起始延滯時間與完成延滯時間，當航班 i 第一位旅客與最後一位旅客到達下游作業時間 $T_{i,j+1}^{As}$ 、 $T_{i,j+1}^{Af}$ ，超過表定起始時間 $T_{i,j+1}^s$ 與表定作業完成時間 $T_{i,j+1}^f$ ，則上游作業 j 對下游作業 $j+1$ 產生作業起始延滯時間 $S_{i,(j,j+1)}$ 與作業完成延滯時間 $F_{i,(j,j+1)}$ ，即如下式所示：

$$\begin{aligned} S_{i,(j,j+1)} &= T_{i,j+1}^{As} + t_{i,j+1}^x - T_{i,j+1}^s \\ &= T_{i,j}^{Ds} + t_{j,j+1}^w + t_{i,j+1}^x - T_{i,j+1}^s \end{aligned} \quad (3-39)$$

$$\begin{aligned} F_{i,(j,j+1)} &= T_{i,j+1}^{Af} + t_{i,j+1}^x - T_{i,j+1}^f \\ &= T_{i,j}^{Df} + t_{j,j+1}^w + t_{i,j+1}^x - T_{i,j+1}^f \end{aligned} \quad (3-40)$$

上式(3-39)、(3-40)中， $t_{i,j+1}^x$ 為每位旅客於接續作業 $j+1$ 上之最短作業時間；當作業不發生任何作業延滯時，旅客能以最短作業時間完成作業，即

$t_{i,j+1}^x = \frac{t_{i,j+1}^p}{X_{i,j+1}}$ 。式中之 $T_{i,j}^{Ds} + t_{j,j+1}^w + t_{i,j+1}^x$ 、 $T_{i,j}^{Df} + t_{j,j+1}^w + t_{i,j+1}^x$ ，分別表示上游作

業 j 之實際作業起始時間與完成時間為 $T_{i,j}^{Ds}$ 、 $T_{i,j}^{Df}$ 時，航班 i 第一位與最後一位作業旅客於作業 $j+1$ 之最快作業完成時間；而上游作業對下游作業之延滯影響，亦即為表定時間扣除最快作業完成時間之差，即作業連通時間與每位旅客最短作業時間與作業間之延滯擴散影響存有互補關係，該作業連通時間或每位旅客最短作業時間愈長，則作業間之延滯擴散影響愈小。則作業 j 對作業 $j+1$ 造成之作業起始延滯時間與作業完成延滯時間 $S_{i,(j,j+1)}$ 、 $F_{i,(j,j+1)}$ 即可求得，其即為最快作業完成時間減表定作業時間間之差。據此，根據作業起始延滯時間與作業完成延滯時間之求算，即可瞭解下游作業時間受上游作業完成時間之延滯影響。

延滯擴散影響

假設航班 i 於作業 j 之實際作業起始與完成作業時間分別為 $T_{i,j}^{Ds}$ 、 $T_{i,j}^{Df}$ ，航班 i 於作業 $j+2$ 之表定作業起始與完成時間為 $T_{i,j+2}^s$ 、 $T_{i,j+2}^f$ ，旅客於作業 $j+1$ 與 $j+2$ 上之最短作業時間為 $t_{i,j}^x$ 、 $t_{i,j+2}^x$ 。則作業 $j+2$ 受作業 j 影響產生之作業起始延滯時間 $S_{i,(j,j+2)}$ 與作業完成延滯時間 $F_{i,(j,j+2)}$ 為：

$$\begin{aligned} S_{i,(j,j+2)} &= T_{i,j}^{Ds} + t_{j,j+1}^w + t_{j+1,j+2}^w + t_{i,j+1}^x + t_{i,j+2}^x - T_{i,j+2}^s \\ &= T_{i,j}^{Ds} + \sum_j^2 t_{j,j+1}^w + \sum_j^2 t_{i,j+1}^x - T_{i,j+2}^s \end{aligned} \quad (3-41)$$

$$\begin{aligned} F_{i,(j,j+2)} &= T_{i,j}^{Df} + t_{j,j+1}^w + t_{j+1,j+2}^w + t_{i,j+1}^x + t_{i,j+2}^x - T_{i,j+2}^f \\ &= T_{i,j}^{Df} + \sum_j^2 t_{j,j+1}^w + \sum_j^2 t_{i,j+1}^x - T_{i,j+2}^f \end{aligned} \quad (3-42)$$

依此類推，作業 j 對接續作業 n_j 產生之作業起始延滯時間 $S_{i,(j,n_j)}$ 與作業完成延滯時間 $F_{i,(j,n_j)}$ 可構建為

$$S_{i,(j,n_j)} = T_{i,j}^{Ds} + \sum_j^{n_j-j} t_{j,j+1}^w + \sum_j^{n_j-j} t_{i,j+1}^x - T_{i,n_j}^s \quad (3-43)$$

$$F_{i,(j,n_j)} = T_{i,j}^{Df} + \sum_j^{n_j-j} t_{j,j+1}^w + \sum_j^{n_j-j} t_{i,j+1}^x - T_{i,n_j}^f \quad (3-44)$$

當 $S_{i,(j,n_j)} > 0$ ，表示航班 i 於作業 j 之作業延滯將傳遞至下游作業 n_j 上，並產生作業起始延滯時間。當 $S_{i,(j,n_j)} \leq 0$ ，且 $S_{i,(j,n_{j-1})} > 0$ ，表示航班 i 於作業 j 之作業延滯影響止於作業 n_{j-1} 上，對作業 n_j 及後續作業不造成延滯擴散影響。同理，當 $F_{i,(j,n_j)} > 0$ ，表示航班 i 於作業 j 將對作業 n_j 產生作業完成延滯時間。當 $F_{i,(j,n_j)} \leq 0$ ，且 $F_{i,(j,n_{j-1})} > 0$ ，表示航班 i 於作業 j 之延滯影響僅止於作業 n_{j-1} 上，不對作業 n_j 及後續作業造延滯擴散影響。

2. 作業延滯對航班出發時間之延滯擴散影響

令航班最後一項作業—登機作業 J 之表定作業完成時間與航班表定出發時間相同， $T_{i,J}^f = T_i^{Pushback}$ 。當 $F_{i,(j,J)} \leq 0$ ，表示航班 i 於第 j 項作業之作業延滯時間對航班出發時間 $T_i^{Pushback}$ 不造成延滯影響。當 $F_{i,(j,J)} > 0$ ，即表示航班 i 於第 j 項作業延滯，對航班出發時間 $T_i^{Pushback}$ 造成擴散影響，並產生作業完成延滯時間 $F_{i,(j,J)}$ 。

3.3.4 多層次出境作業系統延滯擴散影響

航站出境作業系統由緊密的航班安排與連貫之接續作業組成，任一作業上航班產生之延滯時間，均可能對出境作業系統，造成一系列之延滯擴散影響。由上述 3.3.1 與 3.3.2 節之分析，可分別求得延滯對航班間或作業間之擴散影響關係，本節將針對航班間與作業間之延滯擴散交互影響狀況進行分析，以瞭解延滯對出境作業系統產生之多層次延滯擴散影響情形。

多層次出境作業系統延滯擴散影響由航班間延滯擴散與作業間延滯擴散之交互影響構成。出境作業系統中，嚴重之航班延滯狀況即可能發生多層次之作業延滯擴散影響，如：航班 a 於櫃檯報到作業發生延滯，延滯並對同樣於櫃檯報到作業之相鄰作業航班 b 形成航班間延滯擴散影響，造成航班 b 發生延滯；因航班 a 對航班 b 之延滯影響極大，此受影響之航班 b 又將延滯傳遞至其接續證照查驗作業上，使航班 b 於證照查驗作業時間受到影響。另一方面，航班 a 作業延滯又對航班 a 本身接續證照查驗作業造成作業間延滯擴散影響，除了影響航班 a 於證照查驗作業上之作業時間，更對證照查驗作業上之相鄰航班 c ，產生延滯擴散影響，則此航班 a 對航班 b 、 c 產生之延滯擴散影響現象，即為多層次出境作業系統延滯擴散影響。由上述簡例可知，多層次出境作業延滯擴散影響乃由航班間、作業間等影響關係構成。根據多層次出境作業系統延滯擴散影響來源，可將其區分為航班延滯擴散與作業延滯擴散等兩種，以下即就其擴散影響範圍進行分析。

1. 多層次航班間延滯擴散

假設航班 i 於作業 j 發生總推擠性延滯 $t_{i,j}^G$ ，航班 i 於作業 j 之總推擠性延滯並使得航班實際作業完成時間由 $T_{i,j}^f$ 推移至 $T_{i,j}^{Df}$ ，航班 i 之延滯時區為

$[T_{i,j}^f, T_{i,j}^{Df}]$ 。依航站出境作業類型的不同，延滯產生之航班間延滯擴散影響又可區分為單航班使用式作業，與航空公司服務及航站服務之多航班共用式作業等三種情形。根據 3.3.1 節之分析，當 $t_{(i,n_{i,j}),j}^G > 0$ ，若此作業 j 為多航班共用式作業，則表示航班 i 於作業 j 之延滯對作業 j 上相鄰航班 n_j 造成延滯擴散影響，延滯影響擴散範圍即為此受影響航班 $n_{i,j}$ 之總和 $N_{i,j}$ ($N_{i,j} = 1_{i,j} + 2_{i,j} + \dots + n_{i,j}$)。若此作業 j 為單航班使用式作業，表示航班 i 於作業 j 對接續航班 $n_{i,j}$ 造成延滯擴散影響。

當航班 i 於作業 j 發生總推擠性延滯 $t_{i,j}^G$ 極大時，會使得受影響航班 $n_{i,j}$ ，對其接續作業造成延滯擴散影響，根據 3.3.2 節之分析，可由式(3-44)推估航班於接續作業上之作業完成延滯時間，針對作業間延滯擴散範圍進行求算。

令出境作業共有 J 個作業，作業 k 為作業 j 之接續作業， $\forall j, k \in J$ ；當 $t_{(i,n_{i,j}),j}^G > 0$ 且 $F_{n_{i,j},(j,k)} > 0$ ，表示作業 j 上受航班 i 延滯影響之航班 $n_{i,j}$ ，將對其接續作業 k 造成延滯擴散影響。當 $t_{(i,n_{i,j}),j}^G > 0$ 且 $F_{n_{i,j},(j,k)} \leq 0$ ，表示航班 i 作業延滯僅止於對作業 j 上航班 $n_{i,j}$ 之影響，並不對航班 $n_{i,j}$ 接續作業 k 造成延滯擴散影響。

同理，於作業 k 上，航班 $n_{i,j}$ 也可能對其相鄰航班造成延滯影響， I_k 為作業 k 上所有航班，航班 $n_{i,k}$ 為作業 k 上受航班 $n_{i,j}$ 延滯影響之航班。當 $t_{(n_{i,j},n_{i,k}),k}^G > 0$ ，表示作業 j 上受航班 i 影響之航班 $n_{i,j}$ ，於其接續作業 k 上，將對相鄰航班 $n_{i,k}$ 造成延滯擴散影響。

依此類推，則當航班 i 於作業 j 發生總推擠性延滯狀況下，因航班間延滯擴散影響造成之多層次航班間延滯擴散影響，透過總推擠性延滯時間與作業完成延滯時間之求算即可獲得。

2. 多層次作業間延滯擴散

假設航班 i 於作業 j 發生總推擠性延滯 $t_{i,j}^G$ ，延滯對航班 i 接續作業之延滯擴散影響，根據式 (3-44) 作業完成延滯時間求算觀念即可求得：當 $F_{i,(j,k)} > 0$ 且 $t_{(i,n_{i,k}),k}^G > 0$ ，表示作業 j 上航班 i 之延滯將影響航班 i 於接續作業 k 之作業時間，且對於作業 k 上之相鄰航班 $n_{i,k}$ 造成延滯擴散影響。當 $F_{i,(j,k)} > 0$ 且 $t_{(i,n_{i,k}),k}^G \leq 0$ ，表示作業 j 上航班 i 之延滯將影響航班 i 於接續作業 k 之作業時間，但對於接續作業 k 上之相鄰航班 $n_{i,k}$ 作業時間，不造成任何影響，即作業延滯僅止於對接續作業 k 上航班 i 之作業時間。

依此類推，則當航班 i 於作業 j 發生總推擠性延滯狀況下，因作業間之延滯擴散影響產生之多層次作業間延滯擴散影響，透過航班於作業間產生之作業完成延滯時間與作業上之總推擠性延滯時間之估算即可獲得。

3. 多層次出境作業系統延滯擴散影響

多層次出境作業系統延滯擴散影，可由多層次航班間作業延滯擴散與多層次作業間作業延滯擴散等兩維度進行求算獲得。假設航班 i 於作業 j 發生總推擠性延滯 $t_{i,j}^G$ ，即根據航班 i 於作業 j 對航班 $n_{i,j}$ 產生之總推擠性延滯 $t_{(i,n_j),j}^G$ ，與對航班接續作業 k 造成之作業完成延滯 $F_{i,(j,k)}$ 等兩延滯擴散影響進行估算。

根據上述分析可知，出境作業系統中任一航班之延滯時間，可能為同作業上相鄰航班之延滯擴散影響造成，亦可能受航班本身上游延滯時間擴散影響造成；即航班延滯時間可能同時受航班間延滯擴散與作業間延滯擴散影響，多層次出境作業系統延滯擴散影響範圍並可能產生重複計算之狀況，則航班於受多層次延滯影響作業上之延滯時間，以航班間、作業間等兩擴散影響中最為嚴重之狀況決定。如：航班 b 於作業 $j+1$ 上之作業完成延滯時間，可能由航班 b 上游作業 j 之作業延滯時間擴散影響造成；亦可能為在作業 $j+1$ 上，受相鄰作業航班 a 之延滯擴散影響造成，航班 b 於

作業 $j+1$ 上之作業完成延滯時間以兩延滯時間最大值決定。

假設航班 i 於作業 j 發生總推擠性延滯 $t_{i,j}^G$ ，當 $t_{(i,n_{i,j}),j}^G > 0$ 且 $F_{n_{i,j},(j,k)} > 0$ ，表示作業 j 上，航班 i 將對航班 $n_{i,j}$ 造成延滯擴散影響；且航班 $n_{i,j}$ 之延滯將擴散至其接續作業 k 上。令 $t_{(n_{i,j},n_{i,k}),k}^G$ 為作業 k 上，航班 $n_{i,k}$ 受航班 $n_{i,j}$ 影響產生之總推擠性延滯時間； $t_{(i,n_{i,k}),k}^G$ 為受航班 i 影響航班 $n_{i,k}$ 產生之總推擠性延滯時間。則作業 k 上，航班 $n_{i,k}$ 受相鄰航班影響造成之實際作業完成時間 $T_{n_{i,k},k}^{Df'}$ ，可由航班本身發生延滯造成之作業完成延滯時間 $T_{n_{i,k},k}^{Df}$ ，加上兩種總推擠性延滯之最大值求得：

$$T_{n_{i,k},k}^{Df'} = T_{n_{i,k},k}^{Df} + \text{Max}(t_{(n_{i,j},n_{i,k}),k}^G, t_{(i,n_{i,k}),k}^G) \quad (3-45)$$

令 $F_{n_{i,k},(k,J)}$ 為作業 k 上航班 $n_{i,k}$ 對其接續作業 J 產生之作業完成延滯，如式(3-46)所示，當 $F_{n_{i,k},(k,J)} > 0$ ，表示航班 $n_{i,k}$ 於作業 k 上之作業延滯將對接續作業 J 造成延滯擴散影響。

$$\begin{aligned} F_{n_{i,k},(k,J)} &= T_{n_{i,k},k}^{Df'} + \sum_{j=k}^{J-k} t_{(j,j+1)}^w + \sum_{j=k}^{J-k} t_{n_{i,k},j+1}^p - T_{n_{i,k},J}^f \\ &= T_{n_{i,k},k}^{Df} + \text{Max}(t_{(n_{i,j},n_{i,k}),k}^G, t_{(i,n_{i,k}),k}^G) + \sum_{j=k}^{J-k} t_{(j,j+1)}^w + \sum_{j=k}^{J-k} t_{n_{i,k},j+1}^p - T_{n_{i,k},J}^f \end{aligned} \quad (3-46)$$

據此，根據上述多層次出境作業系統延滯擴散影響之分析，則於出境作業系統中，航班延滯產生之多層次出境作業系統延滯擴散影響範圍即可求得。

3.4 航站旅客、行李出境作業時間分析

為簡化航站出境作業系統中不同作業類型與作業接續關係上等候模型與延滯影響分析，上述 3.2 與 3.3 節均以出境旅客為探討對象。本節將

針對所有出境作業對象作業時間進行探討。

依出境作業對象的差異，可將 3.2 與 3.3 節中出境作業時間代數 $T_{i,j}$ 轉換為：出境旅客作業 $PT_{i,a}$ ，共 A 項作業， $a = 1, \dots, A$ ；轉機旅客(Transfer Passenger)作業 $TPT_{i,b}$ ，共 B 項作業， $b = 1, \dots, B$ ；出境行李作業 $BT_{i,c}$ ，共 C 項作業， $c = 1, \dots, C$ ；轉機行李(Transfer Baggage)作業 $TBT_{i,d}$ ，共 D 項作業， $d = 1, \dots, D$ 等四種作業時間代數。依據航站出境作業特性，航班出境作業中之作業時間關係可分為串聯式作業環節與並聯式作業環節。串聯式作業環節如出境旅客由櫃檯報到作業至登機作業之連貫式作業關係，作業所需時間可由串聯作業環節上所有作業上累積作業時間加總而成。而航站出境作業系統中，並聯式作業環節則包含下述三種情形：旅客登機作業，作業包含出境旅客及轉機旅客之作業；行李裝機作業，作業包含出境行李及轉機行李作業；另外，航班出發時間亦為並聯式作業關係，即該時間由旅客完成登機作業與行李完成裝機作業等兩時間之最大值決定。

並聯作業環節之實際作業完成時間求算，以兩並聯作業完成時間最大值決定，如旅客登機作業實際作業完成時間，以出境旅客登機作業完成時間及轉機旅客登機作業完成時間等兩時間最大值為決定。假設航班 i 出境旅客作業 a 與轉機旅客作業 b 屬於並聯環節，則航班 i 旅客並聯作業之實際作業完成時間，即為出境旅客作業 a 與轉機旅客作業 b 之兩作業完成時間最大值決定，並以出境旅客作業 a 之作業完成時間 $PT_{i,a}^{Df}$ 表示環節作業完成時間之，如下式所示：

$$PT_{i,a}^{Df} = \text{Max}(PT_{i,a}^{Df}, TPT_{i,b}^{Df}), \text{ 若作業 } a \text{ 與作業 } b \text{ 屬於同一並聯環節} \quad (3-47)$$

同理，根據式(3-51)之觀念，則當出境行李作業 c 與轉機行李作業 d 屬於同一並聯環節，則航班 i 行李並聯作業 c 之實際作業完成時間 $BT_{i,c}^{Df}$ 即為

$$BT_{i,c}^{Df} = \text{Max}(BT_{i,c}^{Df}, TBT_{i,d}^{Df}), \text{ 若 } c \text{ 作業與 } d \text{ 作業屬於同一並聯環節} \quad (3-48)$$

令 $T_i^{Pushback}$ 為航班 i 表定出發時間， $T_i^{D-Pushback}$ 為航班 i 之實際出發時間，其即為出境旅客與出境行李等兩出境作業實際作業完成時間最大值決定：

$$T_i^{D-Pushback} = \text{Max}(PT_{i,A}^{Df}, BT_{i,C}^{Df}), \quad \text{若A作業與C作業屬於並聯關係} \quad (3-49)$$

於獲得航站出境作業系統中並聯環節作業時間之求算後，則航班於出境作業系統中，各作業對象於串聯環節上所需作業時間即可求得。航班出境旅客串聯環節所需作業時間一般式可以下式表示：

$$Pt_{i,x \rightarrow y} = PT_{i,y}^{Df} - PT_{i,x}^{Ds}, \quad \forall x, y \in A, \text{ 且 } x < y \quad (3-50)$$

式中 $Pt_{i,x \rightarrow y}$ 為航班 i 所有出境旅客由作業 x 開始至完成作業 y 之串聯環節所需作業時間，其即為作業 y 作業完成時間 $PT_{i,y}^{Df}$ ，減作業 x 開始作業時間 $PT_{i,x}^{Ds}$ 之值。

根據上式，則轉機旅客、出境行李、轉機行李由作業 x 至作業 y 之串聯環節所需作業時間 $TPt_{i,x \rightarrow y}$ 、 $Bt_{i,x \rightarrow y}$ 、 $TBt_{i,x \rightarrow y}$ 求算即如下式所示：

$$TPt_{i,x \rightarrow y} = TPT_{i,y}^{Df} - TPT_{i,x}^{Ds}, \quad \forall x, y \in B, \text{ 且 } x < y \quad (3-51)$$

$$Bt_{i,x \rightarrow y} = BT_{i,y}^{Df} - BT_{i,x}^{Ds}, \quad \forall x, y \in C, \text{ 且 } x < y \quad (3-52)$$

$$TBt_{i,x \rightarrow y} = TBT_{i,y}^{Df} - TBT_{i,x}^{Ds}, \quad \forall x, y \in D, \text{ 且 } x < y \quad (3-53)$$

3.5 航班關鍵作業流程評估

經由前述出境作業延滯原因與延滯擴散影響分析可知，航班出境作業時間受出境作業系統影響狀況極為複雜，為瞭解航班於所有出境作業流程上作業時間所受之影響，及航班完成所有出境作業所需之作業時間，本研究引入網路模式分析中求解最短路徑之標籤校正演算法，針對航班出境作業時間網路進行分析，以評估航班出境作業時間最大之關鍵作業流程，及求算此流程上航班之作業所需時間，並可瞭解出境作業系統中之多層次延

滯擴散影響。

3.5.1 航班出境作業時間網路

航班於各出境作業上所需之作業時間因延滯擴散影響因素的不同，可分為三種情形：第一，受航班本身旅客延遲抵達作業延滯影響造成之作業時間；第二，受航班旅客於上游作業時間影響發生之旅客延遲抵達作業現象造成之作業時間；第三，受作業服務延遲延滯影響造成之作業時間。

令航班出境作業時間網路為 $G(N,A)$ ， N (node)代表航班旅客、行李於不同作業延滯影響狀況下之作業時間節點組成之集合，航班之作業時間即發生於此節點上； A (arc)代表各節點間之連結節線所組成之集合，此連結僅代表作業間之接續關係，無任何實質作業時間存在於連結上。以中正國際機場出境作業流程為例，則航班旅客、行李於出境作業系統中，由不同作業時間狀況節點組成之網路圖可以下圖 3.15 表示。圖中，航班出境作業時間網路圖中分別有三個來源點(Source Node)：出境旅客／行李到達航站、轉機旅客到達航站、轉機行李到達航站，其分別代表航班旅客、行李進入出境作業系統接受服務之作業流程起始點，此三個來源點抵達航站之時間不在本研究範圍，故可知於櫃檯報到作業、轉機安全檢查作業、機邊直轉作業上之作業時間節點狀況僅為兩種，分別為受航班本身旅客延遲抵達作業延滯影響之作業時間與受作業服務延遲延滯影響之作業時間等狀況，不包含上游作業延滯影響之作業時間狀況。

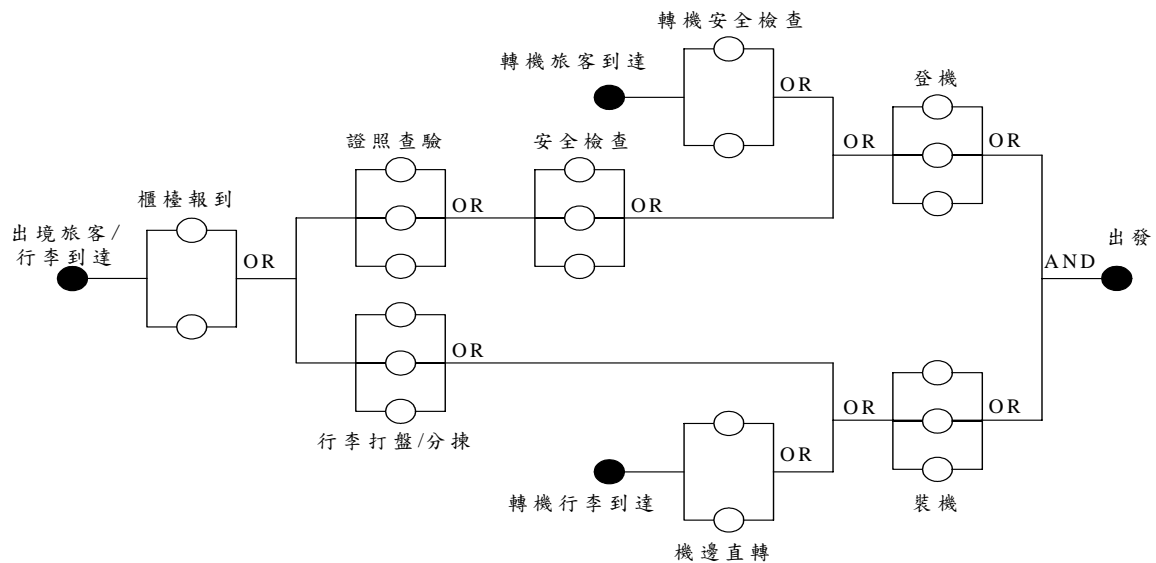


圖 3.15 航班出境作業時間網路圖

而由航班旅客、行李於不同作業上產生之作業時間節點，與作業間連結所構成之路徑，即稱為航班出境作業流程，此流程即代表航班於各作業上之作業時間狀況。如下圖所示，作業流程起點為出境旅客到達航站，終點為航班出發，此作業流程即代表出境航班旅客完成所有出境作業之狀況及所需作業時間。

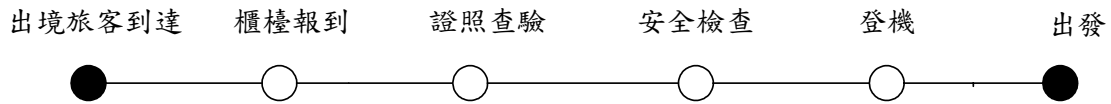


圖 3.16 出境旅客作業流程

出境作業時間網路中代表作業串、並聯關係之邏輯運算子，由 AND (包含)與 OR (選擇)等兩種關係基礎組成，其關係說明如下：

AND：表兩作業流程都必須成立，方能進行接續作業。如下圖所示，航班出發時間之決定，需同時完成旅客登機作業與行李裝機作業後方，航班方可出發；則航班之出發時間，以旅客登機作業與行李裝機作業等兩作業時間最大值決定。

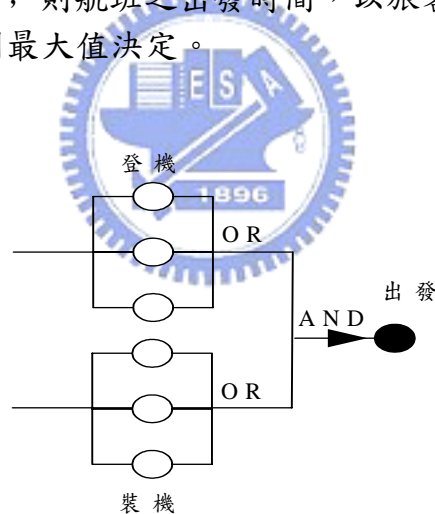


圖 3.17 出境作業時間網路之邏輯關係(AND)

OR：表作業流程可以是單一流程成立，也可以是多種流程同時成立之狀況下進行接續作業。如下圖所示，航班登機作業時間共有三種情形：N1，受航班本身旅客延遲抵達作業影響造成之作業時間；N2，受航班旅客於上游作業延滯影響造成之作業時間；N3，受作業服務延遲影響造成之作業時間。則航班登機作業時間以此三種作業時間狀況最大值決定之。

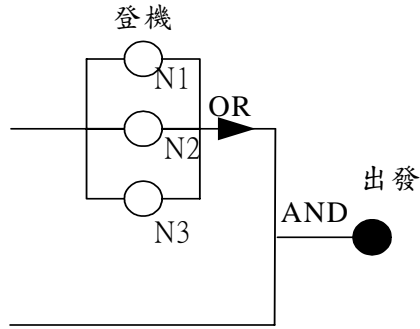


圖 3.18 出境作業時間網路之邏輯關係(OR)

3.5.2 航班關鍵作業流程評估演算法

由航班出境作業時間網路上之關鍵作業流程進行追蹤評估，可獲得航班於出境作業系統中各作業上作業時間受延滯影響情形。即針對航班於各作業上，受延滯影響最嚴重之作業時間情況進行追蹤，找出作業時間最長之流程，此流程即為航班關鍵作業流程。此流程並關係到航班完成所有出境作業之效率，藉由找出這條關鍵作業流程，針對航班於各作業上所受延滯影響之原因進行分析，即可瞭解航班作業時間之影響關鍵。下圖表示航班關鍵作業流程評估之結果，以虛線表示航班關鍵作業流程，每一節點上之數字代表作業時間。關鍵作業流程即由各作業上最長作業時間節點與連結共同組成。

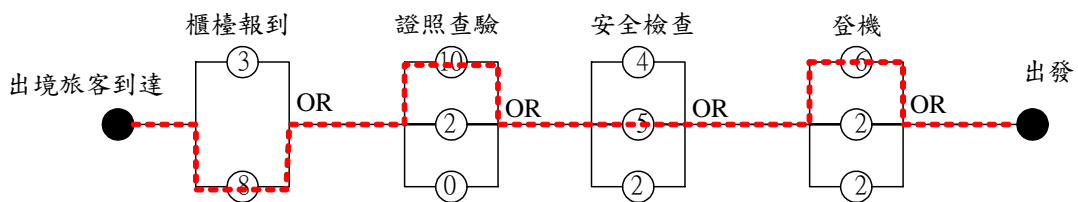


圖 3.19 關鍵作業流程

本研究引入標籤校正演算法，針對航班出境作業時間網路之關鍵作業流程進行評估，該演算法主要概念有二：

(1) 網路中任兩點 r 、 s 之間的距離(d)，必須符合以下判斷式，以求取

$$\text{最短路徑： } d(s) \leq d(r) + C_{rs}, \text{ 所有 } (r, s) \in \{\text{節線的集合}\}。$$

(2)隨著以循獲之最短路徑前置點的改變，最短路徑也隨之更新，直到找到較佳之最短路徑解。

演算法中， $d(.)$ 表示路徑距離， $d(s)$ 表示從前置點到節點 s 之路徑長度； $d(s)=\infty$ ，表示該節點尚未被選取為最短路徑， $pred(j)$ 表示節點 s 之前置點， U 代表流程之起始節點， C_{rs} 為節點 r 至節點 s 之節線距離， N 為整個網路所有節點之集合， $\forall r,s \in N$ 。根據 Ford and Fulkerson (1962)、Moore(1957)之研究，標籤校正演算法之流程如下：

Begin

$d(U)=0$ and $pred(U)=0$

$d(s)=\infty$ for each $s \in N - \{U\}$

While some edge (r,s) satisfies $d(s) > d(r) + C_{rs}$ do

Begin

$d(s) = d(r) + C_{rs}$

$pred(s) = r$

End

End



本研究以上述演算法為基礎，針對航班出境作業時間網路特性進行改良，發展一演算法以求解航班關鍵作業流程。首先，本研究建立一資料庫，根據 3.3 節所推導之延滯時間推估模式，計算並紀錄航班於各出境作業上之作業時間，包含因航班本身旅客延遲抵達作業造成之作業時間，及受航班旅客於上游作業延滯時間影響造成之作業時間，與受作業服務延遲影響造成之作業時間等三種延滯時間資訊。進一步，配合欲求解之航班關鍵作業流程評估之問題，代入本研究改良之標籤校正演算法判斷式：

$I_i(h) = \text{Max} \left[I_i(h), \text{Max}_{g \in T_h} (I_i(g) + C_i(h)) \right]$ ，即可得所欲求解之航班關鍵作業流

程。上式中， i 表示航班， g 、 h 表示作業時間狀況節點，節點 h 為節點 g 之下游節點， T_h 為所有節點集合中可以直接連結到節點 h 的子集合。 $I_i(h)$ 表示航班 i 於作業節點 h 上之累積作業流程時間運算值，其意義為至作業節點 h 上之累積航班作業流程所需時間； $I_i(h)=0$ 表示該節點尚未被選取

至關鍵作業流程之中或其值為 0。 $S_i(h)$ 表示至作業節點 h 之累積關鍵作業

流程。 $C_i(h)$ 表示作業節點 h 上之作業時間。上述判斷準則與最短路徑求解演算法相反，當 $I_i(h) \leq \text{Max}_{g \in T_h} (I_i(g) + C_i(h))$ ，則可將節點 g 之累積作業流程加入至節點 h 上，關鍵作業流程並可更新為 $S_i(h)$ 。

根據 3.3 節延滯時間推估模式，作業時間 $C_i(h)$ 如下式所示，為航班實際作業完成時間 $T_{i,j}^{Df}$ 與實際作業起始時間 $T_{i,j}^{Ds}$ 間之差；依不同延滯影響狀況，作業時間之計算可區分為下列三種情形：

$$C_i(h) = T_{i,j}^{Df} - T_{i,j}^{Ds} \quad (3-54)$$

- (1) **受航班本身旅客延遲抵達作業影響：**根據 3.3.3 節作業間延滯擴散影響分析可知，當 $S_{i,(j-1,j)} \leq 0$ 、 $F_{i,(j-1,j)} \leq 0$ ，則表示航班 i 於作業 j 之作業時間不受上游作業 $j-1$ 之作業時間影響。又當航班 i 第一位旅客到達作業 j 之時間 $T_{i,j}^{As}$ 或最後一位旅客到達作業時間 $T_{i,j}^{Af}$ ，超過表定作業起始時間 $T_{i,j}^s$ 與作業完成時間 $T_{i,j}^f$ ，即 $T_{i,j}^{As} > T_{i,j}^s$ 或 $T_{i,j}^{Af} > T_{i,j}^f$ ，則表示航班之實際作業起始時間與作業完成時間受航班旅客延遲抵達影響造成延滯，航班實際作業起始時間與完成時間分別為旅客到達時間加最短作業時間，即 $T_{i,j}^{Ds} = T_{i,j}^{As} + t_{i,j}^x$ 、 $T_{i,j}^{Df} = T_{i,j}^{Af} + t_{i,j}^x$ 。
- (2) **受航班旅客於上游作業延滯影響：**當 $S_{i,(j-1,j)} > 0$ 、 $F_{i,(j-1,j)} > 0$ ，表示航班 i 於作業 j 之作業時間將受上游作業 $j-1$ 之作業時間影響。且若航班 i 第一位旅客完成上游作業時間 T 到達作業 j 之時間 $T_{i,j}^{As}$ 或最後一位旅客到達作業時間 $T_{i,j}^{Af}$ ，超過表定作業起始時間 $T_{i,j}^s$ 與作業完成時間 $T_{i,j}^f$ ，即 $T_{i,j}^{As} > T_{i,j}^s$ 或 $T_{i,j}^{Af} > T_{i,j}^f$ ；則航班之實際作業起始時間與作業完成時間受旅客於上游作業 $j-1$ 上之作業延滯影響並造成延滯，航班實際作業起始時間與完成時間分別為旅客完成上游作業時間加兩作業連通時間與最短作業時間，即 $T_{i,j}^{Ds} = T_{i,j-1}^{Ds} + t_{j-1,j}^w + t_{i,j}^x$ 、 $T_{i,j}^{Df} = T_{i,j-1}^{Df} + t_{j-1,j}^w + t_{i,j}^x$ 。

(3) 受作業服務延遲影響：當 $S_{i,(j-1,j)} \leq 0$ 、 $F_{i,(j-1,j)} \leq 0$ ，且 $T_{i,j}^{As} \leq T_{i,j}^s$ 、 $T_{i,j}^{Af} \leq T_{i,j}^f$ ，又 $T_{i,j}^{Ds} > T_{i,j}^s$ 、 $T_{i,j}^{Df} > T_{i,j}^f$ ，則表示航班之實際作業起始時間與作業完成時間受作業服務延遲影響。

航班關鍵作業流程評估演算法之運算流程與運算流程圖如下所示：

Step 1 設定航班 i 初始累積作業流程時間運算值 $I_i(0)=0$ ；初始累積關鍵作業流程 $S_i(0)=\{\}$ 。

Step 2

Step 2.1 判斷有幾個接續作業節點，有一個則至 Step2.3；有兩個以上則至 Step2.2。

Step 2.2 計算同一作業上各節點之作業時間 $C_i(h)$ ，選取最大作業時間節點，至 Step2.3。

Step 2.3 將作業節點 h 放入節點 g 之累積作業流程中，計算航班 i 於作業節點 h 上之累積作業流程時間運算值 $I_i(h)=I_i(g)+C_i(h)$ ；航班 i 於作業節點 h 之累積關鍵作業流程更新為 $S_i(h)=\{S_i(g)\}$ 。至 Step3。

Step 3 判斷作業節點 h 所屬出境作業是否為航班 i 出境作業流程中之最後一項作業且所有作業流程皆已尋獲，至 Step4；若無，則將作業 h 更新為 $h+1$ ，回到 Step2。

Step 4 航班 i 出境作業流程中之關鍵作業流程已尋獲，為 S_i ；航班之關鍵作業流程作業流程時間運算值則為 I_i 。

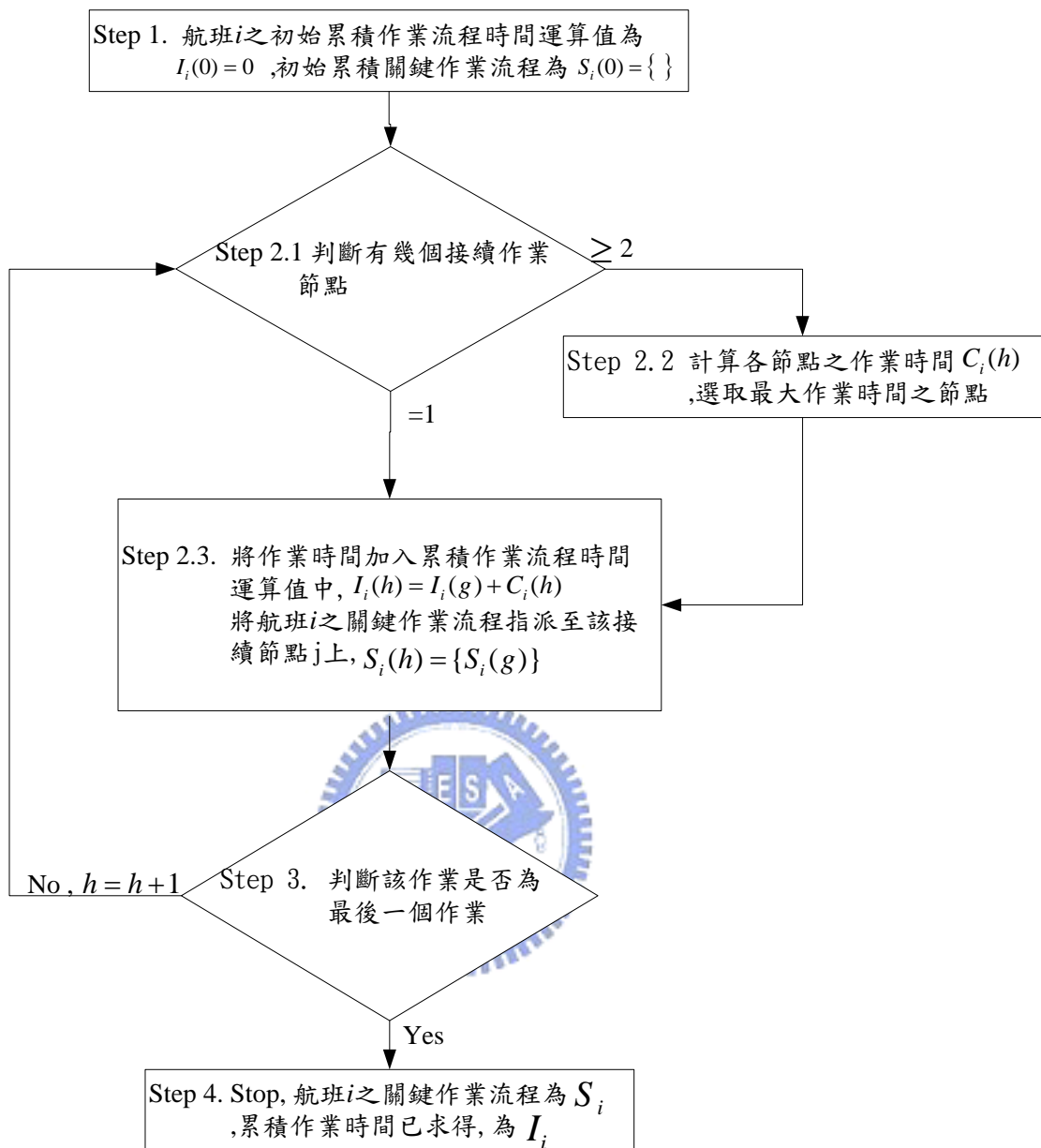


圖 3.20 航班關鍵作業流程評估演算法流程圖

第四章 航站出境作業延滯擴散之控制

根據第三章出境作業延滯擴散之分析可知，航站出境作業延滯狀況依不同作業類型與作業間接續關係而有所差異；透過延滯時間擴散推估模式，可以預估延滯之影響範圍。延滯擴散除了對航班作業時間造成影響，更將對航站出境作業系統中旅客、航空公司與航站營運單位等造成相關延滯成本；依延滯形成原因的不同，延滯成本之賠償責任也有所差異。本研究首先針對不同延滯擴散形成原因及產生之影響，構建延滯成本函數，以瞭解旅客、航空公司與航站營運單位於不同延滯原因下所產生之延滯成本與影響。為降低航班間、作業間之延滯擴散影響情形，本研究進一步分析延滯擴散所產生之延滯擴散成本。繼而，針對出境作業機制與延滯特性，分別就旅客延遲抵達與服務延遲等延滯原因，擬定出境作業延滯控制策略，以利航空公司與航站營運單位在面臨臨時作業延滯事件時，可立即採取應變措施之參考，使出境作業系統中之延滯擴散影響降至最低。為瞭解不同旅客出境作業流程配置方式下產生之出境作業延滯擴散影響，本研究亦針對不同作業配置方式下可能之延滯擴散情形進行分析。最後，希冀透過所建立之出境作業流程延滯擴散分析架構，對近年來影響航空運輸作業流程之兩重要航空事件：911 恐怖攻擊事件與 SARS 防疫事件所衍生之相關作業要求與流程變更進行分析，探討於該作業事件下出境作業流程改變所造成之延滯擴散影響。

4.1 航站出境作業延滯擴散成本

根據第三章出境作業延滯擴散影響分析，經由對不同延滯時間之推算可以求得航班延滯擴散影響之範圍與程度。依出境作業單位與延滯影響對象的不同，出境作業延滯成本可區分為旅客延滯成本、營運單位延滯成本、航空公司延滯成本、航站延滯成本等四類。又根據航站出境作業流程特性，影響航班出發時間之關鍵作業為登機作業；故可將延滯成本區分為一般出境作業延滯成本與登機作業延滯成本等兩種，茲將各延滯成本說明於下：

4.1.1 旅客延滯成本

旅客延滯時間成本

旅客因服務延遲狀況，作業時間超過預定作業完成時間而產生之延滯時間成本，依延滯影響情形可分為一般作業延滯狀況與登機作業延滯狀況。當延滯發生於一般作業上，令航班 i 於作業 j 共有 $X_{i,j}^d$ 位旅客發生延滯現象，根據 3.2 出境作業流程等候理論之分析可知，每位旅客之等候時間為旅客實際作業完成時間 $D_{i,j}^{-1}(x)'$ 減表定作業完成時間 $D_{i,j}^{-1}(x)$ 間之差，即 $D_{i,j}^{-1}(x)' - D_{i,j}^{-1}(x)$ ；平均旅客時間價值為 V_i ；則航班 i 於作業 j ，旅客因延滯造成之延滯時間成本 $C_{i,j}^{D-P}$ 為

$$C_{i,j}^{D-P} = \sum_{x=1}^{X_{i,j}^d} [x \cdot (D_{i,j}^{-1}(x)' - D_{i,j}^{-1}(x)) \cdot V_i] \quad (4-1)$$

若延滯發生於登機作業上，令航班 i 於登機作業 J 發生總推擠性延滯 $t_{i,J}^G$ ，航班所有旅客數為 $X_{i,J}$ ， $X_{i,J}^d = X_{i,J}$ ，平均旅客時間價值為 V_i ，則航班旅客於登機作業因延滯造成之延滯時間成本 $C_{i,J}^{D-P}$ 為

$$C_{i,J}^{D-P} = t_{i,J}^G \cdot X_{i,J} \cdot V_i \quad (4-2)$$



4.1.2 營運單位延滯成本

出境作業流程中作業單位甚多包含航空公司、地勤作業公司、航警局、境管局等，當出境作業上發生延滯狀況，將對作業營運單位產生相關延滯成本，本研究將此成本歸納並視為「營運單位延滯成本」，茲將成本函數說明如下：

1. 超時作業工時成本

為完成航班所有作業旅客、行李作業，當航班作業發生延滯狀況時，營運單位將因員工超時作業而產生超時作業工時成本。令航班 i 於作業 j 發生總推擠性延滯 $t_{i,j}^G$ ，因延滯狀況而需超時作業員工數共為 $L_{i,j}$ 位，每位作業員工每小時超時作業薪資為 S 。則航班 i 於作業 j 上，營運單位須負擔之超時作業工時成本 $C_{i,j}^{D-L}$ 為

$$C_{i,j}^{D-L} = t_{i,j}^G \cdot L_{i,j} \cdot S \quad (4-3)$$

2. 超時作業設施成本

超時作業除對營運單位產生工時成本，為了使用作業設施服務延滯航班，尚須負擔超時作業設施成本。令超時作業設施共有 $E_{i,j}$ 個，每個作業設施每小時超時作業費用為 $H_{i,j}$ ，則營運單位須負擔航班 i 於作業 j 之超時作業設施成本 $C_{i,j}^{D-E}$ 為

$$C_{i,j}^{D-E} = t_{i,j}^G \cdot E_{i,j} \cdot H_{i,j} \quad (4-4)$$

4.1.3 航空公司延滯成本

當航班於登機作業發生延滯狀況，航空公司除了須負擔超時作業造成之延滯成本，對於造成航班行程延滯同樣需擔負相關之賠償與懲罰成本，包含旅客行程延滯賠償成本、登機門作業時間帶懲罰成本與航機空轉機會成本。

1. 旅客行程延滯賠償成本

航空運輸具密切航班轉乘銜接之特性，出境航班旅客通常包含起訖旅程旅客與轉機旅客，當航班出境作業發生嚴重的延滯狀況，將可能使旅客錯失接續轉機航班搭乘造成行程延誤之損失。依 3.3 節出境作業延滯原因分析，若航班之出發時間延滯為服務延遲引起，此時根據機票運送契約規定，超過規定之延滯時間航空公司須賠償旅客行程延滯費用。令航班 i 於登機作業 J 發生總推擠性延滯 $t_{i,J}^G$ ，總推擠性延滯時間並超過運送契約規定之可容許延滯時間 t^c ， $t_{i,J}^G > t^c$ ；航班共有 $X_{i,J}$ 位旅客，此時航空公司對每位旅客之賠償金為 P_i ，則航空公司因服務延遲原因造成登機作業延滯所需負擔之旅客行程延滯賠償成本 $C_{i,J}^{D-U}$ 為

$$C_{i,J}^{D-U} = X_{i,J} \cdot P_i, \quad \text{if } t_{i,J}^G > t^c \quad (4-5)$$

2. 登機門作業時間帶懲罰成本

航空公司於登機作業上為取得作業班表時間帶，除須負擔作業時間帶使用費，尚依航班作業之準點績效予以分配時間帶。因此，若航班作業發生延滯，航空公司將面臨潛在時間帶分配權益損失之懲罰成本。令航班 i 於登機作業 J 發生總推擠性延滯 $t_{i,J}^G$ ，每小時時間帶分配損失之懲罰成本為 Y_J ，則航空公司須負擔航班 i 於登機作業 J 之作業時間帶懲罰成本 $C_{i,J}^{D-Y}$ 為

$$C_{i,J}^{D-Y} = t_{i,J}^G \cdot Y_J \quad (4-6)$$

3. 航機空轉機會成本

本研究定義之航站出境作業流程終點為航機後推出發，故當航班於登機作業發生延滯狀況，除了造成登機門使用延滯之外，也將對航機運行產生相關之延滯成本。假設航機空側運作未發生任何延滯，則當陸側航班登機作業發生延滯狀況，將對航機於等待時間上造成閒置之空轉機會成本。令航班 i 於登機作業 J 發生總推擠性延滯 $t_{i,J}^G$ ，每小時航機之空轉機會成本為 F_J ，則航空公司須負擔航班 i 於登機作業 J 之航機空轉機會成本 $C_{i,J}^{D-F}$ 為

$$C_{i,J}^{D-F} = t_{i,J}^G \cdot F_J \quad (4-7)$$

4.1.4 航站延滯成本

特許營收損失成本

航站營運收入大致可分為降落費 (Landing Fees)、特許費 (Concessions)、租金 (Rent)、機場服務費 (Airport Service Charge)、設備及地勤場地費 (Grand Service Fees)、及其他 (Others) 等六種。許巧鶯、趙清成 (民 92) 研究指出，旅客於航站內之時間預算多寡為影響特許商店

收益之關鍵。由此可知，若旅客因作業延滯導致辦理出境作業手續時間增加，將減少其從事特許商店消費活動之時間，並進一步對航站造成特許營收減少之損失。

作業警示時間為航空公司實務上用於判斷作業是否能順利完成及採取相關控制策略之決策時點，一般航空公司均會設立一航班作業完成旅客比例估計值，以判斷是否可能因旅客延遲抵達作業而對航班作業時間造成延滯影響，同時及早準備延滯因應措施。令航班 i 於作業 j 之作業警示時間為 $Z_{i,j}$ ，則於 $Z_{i,j}$ 時點以後到達旅客因可能造成航班出發時間延滯，航空公司會催促旅客儘速完成接續出境作業；根據上述假設，旅客須放棄於特許商店消費之時間儘快完成接續出境作業，此舉將對航站之特許商店產生營收損失，本研究將此特許商店營收損失視為航站負擔之延滯成本。令航班 i 於作業 j 超過作業警示時間以後到達作業因而未能進行特許消費之旅客數為 $X_{i,j}^d$ ；於作業 j 至作業 $j+1$ 間平均每位旅客之消費金額為 $M_{(j,j+1)}$ 。則因航班 i 於作業 j 作業延滯而造成之特許營收損失成本 $C_{i,j}^{D-M}$ 為

$$C_{i,j}^{D-M} = X_{i,j}^d \cdot M_{(j,j+1)} \quad (4-8)$$



小結

綜上，則延滯將造成旅客之旅客延滯成本，營運單位之超時作業工時成本、超時作業設施成本，航空公司之旅客行程延滯賠償成本、登機門作業時間帶懲罰成本、航機空轉機會成本，與航站之特許營收損失成本等。依延滯影響作業之差異，則航班 i 於一般作業 j 及登機作業 J 上所產生之延滯成本 $C_{i,j}^D$ 、 $C_{i,J}^D$ 可以下式表示

$$C_{i,j}^D = C_{i,j}^{D-P} + C_{i,j}^{D-L} + C_{i,j}^{D-E} + C_{i,j}^{D-M} \quad \text{if 作業為一般作業} \quad (4-9)$$

$$C_{i,J}^D = C_{i,J}^{D-P} + C_{i,J}^{D-L} + C_{i,J}^{D-E} + C_{i,J}^{D-U} + C_{i,J}^{D-Y} + C_{i,J}^{D-F} \quad \text{if 作業J為登機作業} \quad (4-10)$$

4.1.5 延滯擴散成本

嚴重之延滯擴散狀況可能使出境作業系統中其他作業航班受到影響，同樣的受延滯擴散影響之航班也將產生延滯成本；本節將就出境作業系統中，多層次出境作業延滯擴散產生之延滯成本進行分析。

根據 3.3.3 節多層次出境作業系統延滯擴散影響分析，經由對不同延滯時間之估算可以求得延滯對航班間、作業間造成之延滯擴散影響範圍。假設出境作業共有 J 項作業，第 J 項作業為登機作業；則當航班 i 於作業 j 發生總推擠性延滯 $t_{i,j}^G$ ，此延滯並擴散影響至航班 i 登機作業 J 上，則屬於航班 i 本身產生之延滯擴散成本 $C_{i,j}^{D(i)}$ 為

$$C_{i,j}^{D(i)} = C_{i,j}^D + \sum_j^{J-1-j} C_{i,j+1}^D + C_{i,J}^D \quad (4-11)$$

式中，航班 i 本身產生之延滯擴散成本 $C_{i,j}^{D(i)}$ 包含航班 i 於作業 j 產生之作業延滯成本 $C_{i,j}^D$ ，與航班 i 於本身接續作業 $j+1, j+2, \dots, J-j$ 上共 $J-1-j$ 個作業上產生之延滯成本 $\sum_j^{J-1-j} C_{i,j+1}^D$ ，及於登機作業上造成之延滯成本 $C_{i,J}^D$ 。

假設延滯對作業上相鄰航班造成擴散影響，航班 $n_{i,j}$ 為作業 j 上受航班 i 延滯擴散影響之航班，即 $t_{(i,n_{i,j}),j}^G > 0$ ，作業 j 上共有 $N_{i,j}$ 個航班受航班 i 延滯擴散影響；又航班 i 之多層次作業間延滯擴散影響至接續作業 J 上，即 $F_{n_{i,j},(j,J)} > 0$ ；則於出境作業系統中受航班 i 延滯擴散影響之成本 $C_{(i,N_{i,j}),j}^{D(j,J)}$ 為

$$C_{(i,N_{i,j}),j}^{D(j,J)} = \sum_{n_{i,j}}^{N_{i,j}} \sum_j^{J-j} C_{n_{i,j},j}^D + \sum_{n_{i,j}}^{N_{i,j}} C_{n_{i,j},J}^D \quad (4-12)$$

上式中， $N_{i,j}$ 為作業 j 上受航班 i 延滯擴散影響之航班數；則受航班 i 延滯擴散影響之延滯成本 $C_{(i,N_{i,j}),j}^{D(j,J)}$ 包含：受影響航班 $N_{i,j}$ 於 $j, j+1, j+2, \dots, J-j$ 共 $J-j$ 項作業上之延滯成本 $\sum_{n_{i,j}}^{N_{i,j}} \sum_j^{J-j} C_{n_{i,j},j}^D$ ，及於登機作業 J 上之延滯成本 $\sum_{n_{i,j}}^{N_{i,j}} C_{n_{i,j},J}^D$ 。

令 $CP_{i,j}^D$ 為航班 i 於作業 j 發生延滯產生之延滯擴散成本，其包含本航班之延滯成本 $C_{i,j}^{D(i)}$ ，與受航班 i 延滯擴散影響航班 N_j 之延滯成本 $C_{(i,N_{i,j}),(j,J)}^D$ ，即：

$$\begin{aligned} CP_{i,j}^D &= C_{i,j}^{D(a)} + C_{(i,N_{i,j}),(j,J)}^D \\ &= C_{i,j}^D + \sum_j^{J-1-j} C_{i,j}^D + C_{i,J}^D + \sum_{n_{i,j}}^{N_{i,j}} \sum_j^{J-j} C_{n_{i,j},j}^D + \sum_{n_{i,j}}^{N_{i,j}} C_{n_{i,j},J}^D \end{aligned} \quad (4-13)$$

4.2 航站出境作業延滯擴散控制策略

於瞭解延滯擴散對出境作業系統產生之延滯擴散成本後，本研究進一步依據各出境作業類型與作業接續關係特性，參考實務上可能之作業控制機制，針對不同作業延滯影響原因，擬定可行之作業延滯控制方案，以減少航班作業延滯時間，並降低延滯擴散成本。出境作業延滯控制策略為當航班面臨臨時作業事件產生延滯情況下，航空公司與航站營運單位欲使這航班之作業延滯狀況盡量不影響其他作業航班，或減少此航班延滯擴散之範圍所能立即採取之措施。在決定採取相關之延滯擴散控制策略，本研究同時考量旅客、營運單位、航空公司、航站等四方產生之延滯成本，比較延滯擴散成本與控制成本之優劣，航空公司與航站營運單位將可選擇較為有利之控制方案進行延滯控制，以減少延滯擴散可能產生之損失，使得作業延滯情況能在短時間內獲得紓解。以下延滯控制策略分析，將以旅客作業為例針對出境作業控制方案進行分析，若需進行控制之作業為行李作業時，可依下述分析觀念就延滯控制成本進行調整獲得。

根據第三章出境作業延滯擴散分析與航班關鍵作業流程評估可知，造成出境作業延滯之原因可區分為旅客延遲抵達作業與服務延遲等兩種，不同延滯原因造成之延滯狀況其所衍生之延滯成本也有所不同：若延滯原因屬於旅客延遲抵達作業造成，則航班延滯即為旅客抵達作業時間超過表定作業服務時間造成，與航空公司提供之服務無關，延遲抵達作業旅客須負擔被取消作業之風險；於此延滯原因下，航空公司可針對延遲抵達旅客擬定延滯控制方案。若延滯原因為服務延遲所造成，此時航空公司須負擔所有延滯賠償成本，如行程延滯賠償費用等。出境作業延滯控制方案，依控制對象與機制之不同，可區分為下列三種控制方案。

4.2.1 方案一、設立固定之航班作業完成時間

為能有效降低出境作業延滯擴散影響範圍，實務營運上航空公司於面對旅客延遲抵達作業狀況下，多以設立固定之航班作業完成時間為延滯控制策略，如航空公司規定櫃檯報到作業關櫃時間為航班出發前 30 分鐘，超過此時間到達作業旅客將被拒絕服務。為降低延滯擴散之影響，延滯控制方案同樣也會產生相關控制成本，茲將控制成本說明如下。

根據 3.2 節出境作業等候模型之分析可知，此控制策略之作業等候模型如圖 4.1 所示；當最後一位旅客抵達作業時間 $T_{i,j}^{Af}$ 超過表定作業完成時間 $T_{i,j}^f$ ， $T_{i,j}^{Af} > T_{i,j}^f$ ，則航班作業完成時間將受此延遲抵達旅客所影響。由圖中可知，在採用設立固定航班作業完成時間 $T_{i,j}^f$ 為控制方案後，於表訂作業完成時間以後抵達之旅客 $X_{i,j}^d$ 將被拒絕服務，則航班之實際作業完成時間將可被有效控制在此表定作業完成時間上。

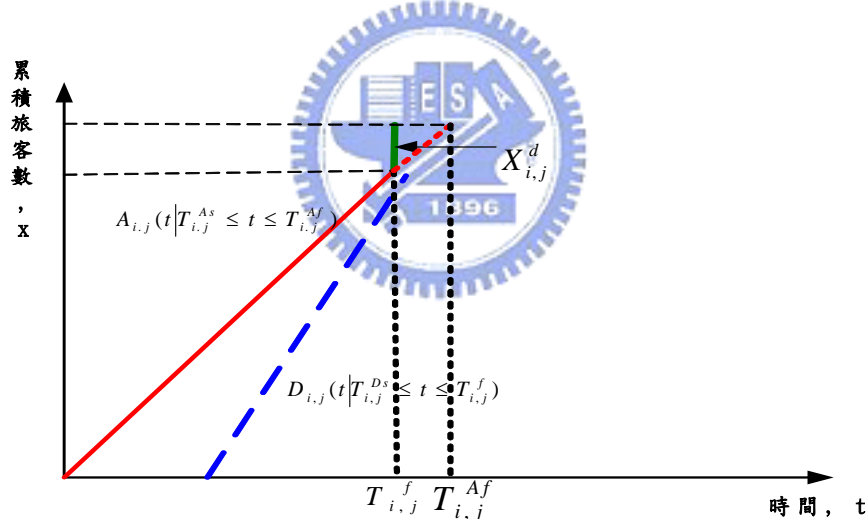


圖 4.1 設立固定之航班作業完成時間之作業等候模型

以固定航班作業完成時間為控制方案，將產生拒絕旅客作業之相關控制成本。根據式 (3-18) 延滯旅客數推估式，設立固定航班作業完成時間之延滯控制成本與延滯旅客數 $X_{i,j}^d$ 相關；又被取消作業之延滯旅客中，依後續行程安排可區分為繼續行程旅客 $X_{i,j}^{Con}$ 與取消行程旅客 $X_{i,j}^{Cancel}$ 等兩類，則此延滯控制方案產生之延滯成本如下所述：

1. 航空公司安置轉搭成本

對繼續完成行程之延滯旅客，航空公司須安排轉搭航班服務。令安排每位旅客轉搭費用為 R_i ，則航班 i 於作業 j 上航空公司負擔之安置轉搭成本 $C_{i,j}^{Con-Airline}$ 為

$$C_{i,j}^{Con-Airline} = X_{i,j}^{Con} \cdot R_i \quad (4-14)$$

2. 航空公司旅客退票損失成本

根據台灣地區航空公司機票契約規定，航空公司因取消延滯旅客繼續作業，被取消行程旅客不論是否因本身延遲抵達作業影響造成，均可要求進行退票。令航空公司採用固定作業完成時間為控制方案後，航班 i 取消行程旅客數為 $X_{i,j}^{Cancel}$ ，旅客票價為 G_i ，則航班 i 於作業 j 上航空公司負擔之旅客退票損失成本 $C_{i,j}^{Cancel-Airline}$ 為

$$C_{i,j}^{Cancel-Airline} = X_{i,j}^{Cancel} \cdot G_i \quad (4-15)$$



3. 航站特許營收損失成本

航站特許營收損失成本 $CS_{i,j}^{D-S}$ 之計算概念與式 (4-8) 相同，其中減少從事特許商店消費活動之旅客數為取消行程之旅客數。

$$CS_{i,j}^{D-S} = X_{i,j}^{Cancel} \cdot M_{(j,j+1)} \quad (4-16)$$

則採取設立固定航班作業完成時間之延滯控制成本 $CS_{i,j}^{(T_{i,j}^f)}$ 為

$$CS_{i,j}^{(T_{i,j}^f)} = C_{i,j}^{Con-Airline} + C_{i,j}^{Cancel-Airline} + CS_{i,j}^{D-S} \quad (4-17)$$

4.2.2 方案二、增加作業櫃檯

根據 3.2 節航站出境作業等候模型分析，航班作業完成時間之乃由航班累積作業完成旅客曲線決定，而航班累積作業完成旅客曲線又與航班累積到達作業旅客曲線與作業服務率函數有關。由此可知，在考量作業設施與人員取得取許可之情況下，因增加作業櫃檯提高之服務率將可有效紓解延滯情形。此方案之控制變數為增加作業櫃檯，作業等候模型如圖 4.2 所示；由圖中可知，增加作業櫃檯後，航班之累積作業完成旅客曲線將因服務率之增加而變陡，而航班之作業完成時間並由 $T_{i,j}^{Df}$ 提早至 $T_{i,j}^{Df'}$ 上。

令航班 i 於作業 j 上作業警示時間為 $Z_{i,j}$ ，判斷是否加開作業櫃檯可以作業警示時間上尚未完成作業旅客進行分析，以櫃檯報到作業為例，根據本研究對航站作業實際訪談結果得知，航空公司所設立之警示時間為關櫃前 30 分鐘，於警示時間時作業完航班 70% 旅客。依此，若於此警示時間上作業完成航班旅客百分比低於 70%，則航空公司將加開若干作業櫃檯進行服務，以避免旅客集中抵達作業而造成延滯。

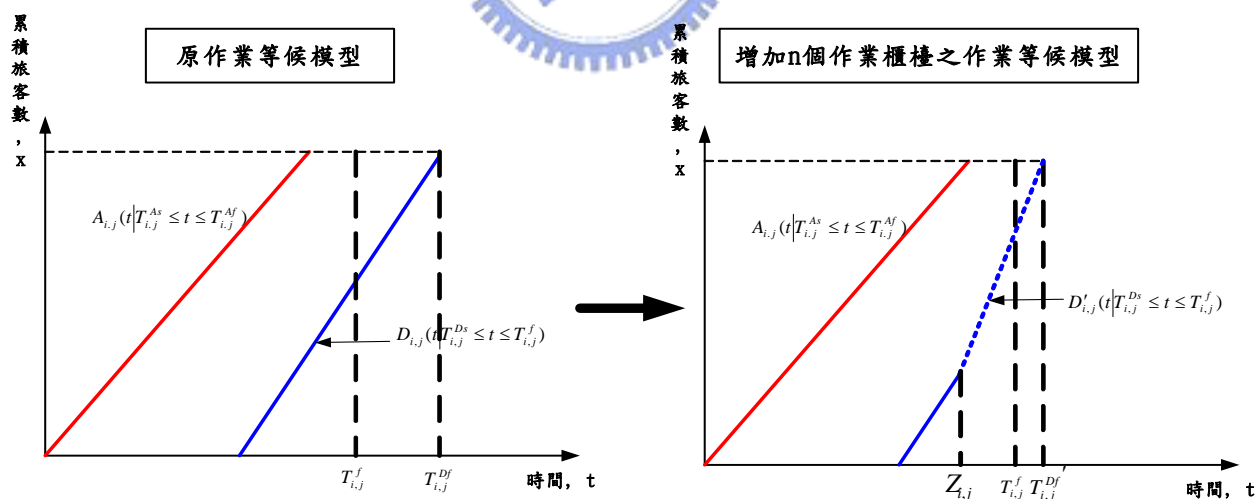


圖 4.2 增加 m 個作業櫃檯之作業等候模型

令 $CS_{i,j}^{(+m)}$ 為增加 m 個作業櫃檯營運單位所需負擔之控制成本，其包含增加櫃檯作業之超時作業工時成本 $C_{i,j}^{(+m)-L}$ 與設施使用成本 $C_{i,j}^{(+m)-E}$ ，加上採行此控制方案後可能之延滯擴散成本 $CP_{i,j}^{D(+m)}$ ；根據式(4-3)、(4-4)超時作業

工時成本與設施使用成本，與式(4-13)延滯擴散成本之求算，則增加 m 個作業櫃檯所需之控制成本 $CS_{i,j}^{(+m)}$ 即為

$$CS_{i,j}^{(+m)} = C_{i,j}^{(+m)-L} + C_{i,j}^{(+m)-E} + CP_{i,j}^{D(+m)} \quad (4-18)$$

4.2.3 方案三、依航班作業警示時間，使用特定作業櫃檯

於 3.2.2 節多航班共用式作業等候模型分析中，本研究假設航班旅客接受服務之順序為一般排隊規則(First-In, First-Out)之方式接受服務，對於距作業完成時間較為緊迫之航班旅客並無優先接受服務之權限。在考量加開櫃檯服務設施與人員取得不易之情況下，為使作業時間距出發時間較為緊迫之航班能接受較快速之作業服務，及有效利用作業櫃檯資源，本控制方案研擬針對航班作業警示時間，依其航班作業時間之緊迫程度，排定航班作業順序，以使距出發時間較為急迫之航班能優先接受作業，降低延滯對航班出發時間造成之擴散影響，其等候模型如圖 4.3 所示。由圖中可知，若航班於作業警示時間上開始使用特定作業櫃檯接受服務，航班之累積作業完成旅客曲線將因服務率之增加而變為陡峭，而航班之作業完成時間並可由 $T_{i,j}^{Df}$ 提早至 $T_{i,j}^{Df'}$ 上。

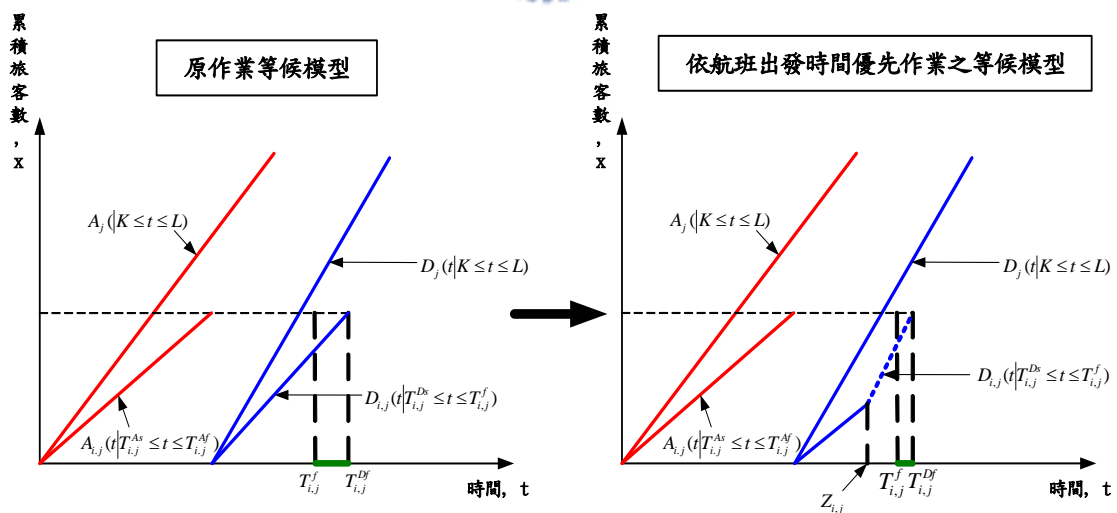


圖 4.3 依航班出發時間，排定航班作業順序之作業等候模型

本方案同樣假設作業警示時間為判斷航班是否接受優先服務之依據，於此時間上航空公司將依旅客累積作業完成旅客百分比進行判斷，如

前述控制方案二中所述，於作業警示時間上有超過 70% 旅客尚未作業完成，則營運單位將從現有作業櫃檯中劃設若干櫃檯專為此特定航班進行服務。由於此方案乃透過營運單位對作業資源作有效利用之安排，在不加開櫃檯狀況下，採用此控制方案將不會產生額外之櫃檯操作成本；而控制方案之成本 $CS_{i,j}^{(iZ)}$ ，即為在此控制方案下產生之延滯擴散成本 $CP_{i,j}^{D(iZ)}$ ，延滯擴散成本之估算可根據式(4-13)求得，即

$$CS_{i,j}^{(iZ)} = CP_{i,j}^{D(iZ)} \quad (4-19)$$

4.2.4 小結

本研究針對第三章出境作業延滯擴散分析之相關變數進行分析以擬定延滯控制方案，根據上述三種不同延滯控制方案之分析可知，設立固定之作業完成時間乃針對航班旅客延遲抵達作業造成之延滯進行延滯控制。在考量加開櫃檯設備與人員取得許可狀況下，營運單位可採用增加作業櫃檯之方法，同時因應旅客延遲抵達作業與服務延遲等兩延滯原因進行延滯控制；而第三方案，依航班作業警示時間排定特性作業櫃檯方式，則針對多航班共用式作業上之作業資源作最有效之安排利用，目的在於避免出發時間較為緊迫之航班造成延滯影響。於瞭解上述三種不同控制方案與控制成本後，透過比較無進行任何控制時之航班作業延滯擴散成本 $CP_{i,j}^D$ ，與各種控制成本 $CS_{i,j}^{(T_{i,j}^f)}$ 、 $CS_{i,j}^{(+m)}$ 、 $CS_{i,j}^{(iZ)}$ 之大小，可供航空公司與航站營運單位於面臨面臨作業延滯擴散時，擬定延滯擴散控制策略之參考。

4.3 航站旅客出境作業流程配置對出境作業延滯擴散之影響

航站出境作業流程係由不同作業類型與作業接續方式組合而成，流程配置方式除影響航班作業的順暢度，不同流程配置方式所產生之延滯擴散影響也有所差異；為瞭解不同出境作業流程配置對出境作業的影響，本研究將以中正國際機場旅客出境作業流程為例，在假設旅客到達航站時間特性與航班出發時間固定之條件下，針對不同旅客作業流程配置方式比較延滯擴散影響範圍與程度。為因應臨時航空事件，航站出境作業流程需進行適度調整以達作業要求，如近年來影響航空運輸運作至深的 2001 年 911

恐怖攻擊事件與 2003 年之 SARS 疫情等。為瞭解因臨時航空事件而改變之出境作業流程，於面臨作業延滯狀況下所產生之影響，本研究將以此兩臨時航空事件為例進行分析。期透過本研究所構建之航站出境作業延滯擴散分析方法，對作業流程改變之影響進行分析。本節將對各出境作業流程配置方式進行進型歸納與分析，進一步，依據各航站配置條件與特性，構建出境作業等候模型以進行作業時間分析；而後，於第五章範例分析中，透過對中正國際機場出境作業流程作業單位之訪談與調查，及參考相關航站出境作業文獻與世界各主要國際機場之出境作業流程配置為依據，將以一假設之延滯狀況為例進行分析，以探討延滯於不同旅客出境作業流程配置上之延滯擴散影響。

4.3.1 出境作業流程配置等候模型分析

1. 原航站出境作業流程配置

本研究以中正國際機場旅客出境作業流程為例進行分析，原航站出境作業流程配置之等候模型可以由下圖表示。由圖中可知，屬於直接進入式作業接續關係僅有證照查驗作業至安全檢查作業間，其餘之作業接續關係均為非直接進入式之作業接續安排。根據 3.2.3 節作業等候模型分析可知，當作業接續關係屬於直接進入式，則下游作業之累積旅客到達曲線與上游作業之累積旅客作業完成曲線有關。

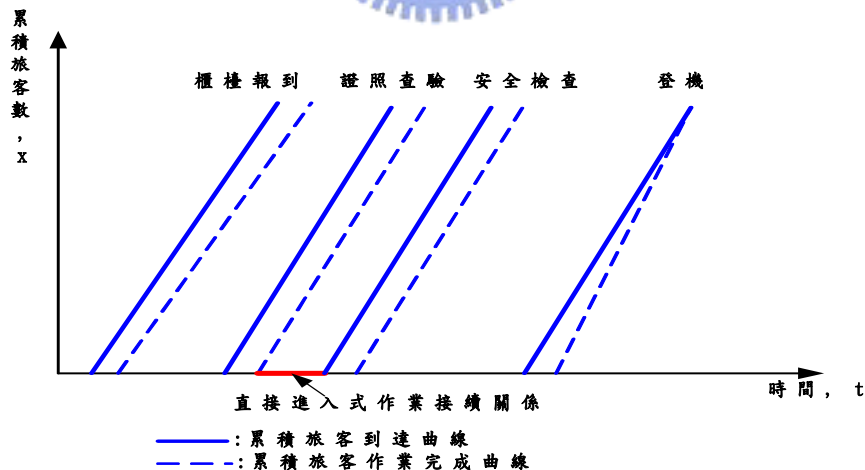


圖 4.4 原航站出境作業流程配置等候模型

2. 先安檢後證照查驗之出境作業流程配置

與中正國際機場不同，考慮到管制區內安全檢查的優先順序，世界各主要國際機場之證檢作業安排，多為先安全檢查後證照查驗為配置以確保

管制區內之安全性，如東京成田國際機場（NRT）。依此流程配置方式，則出境作業之等候模型中可將原航站配置方式之證照查驗作業與安全檢查作業互換獲得，作業間之接續關係仍屬直接進入式，其等候模型如圖 4.5 所示。

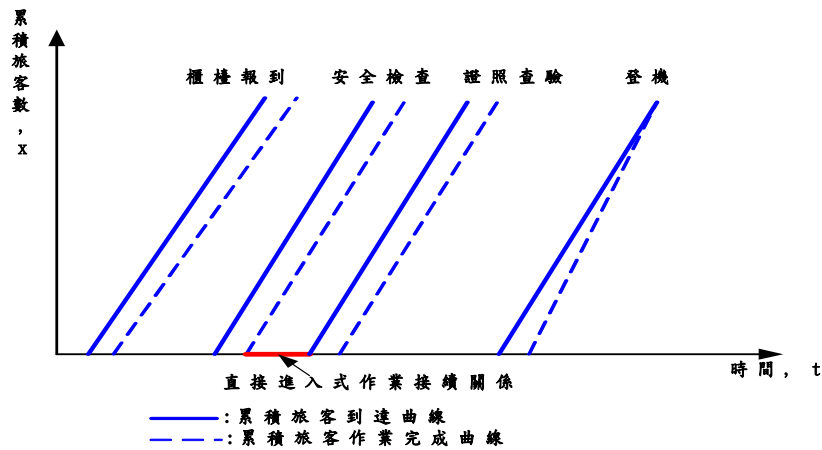


圖 4.5 先安檢後證照查驗之出境作業流程配置等候模型

3. 前端式出境作業流程配置

由原航站出境作業流程配置可知，旅客於完成櫃檯報到作業後因不需直接進入管制區而逗留於出境大廳上，此舉將提高證照查驗作業上旅客抵達時間的不確定性，因此證照查驗作業多採開放式的服務，而無設置規定之開關櫃服務時間。為降低此一現象，可將櫃檯報到作業與證照查驗作業以直接進入式接續關係配置，則此配置方式之等候模型即如圖 4.6 所示。

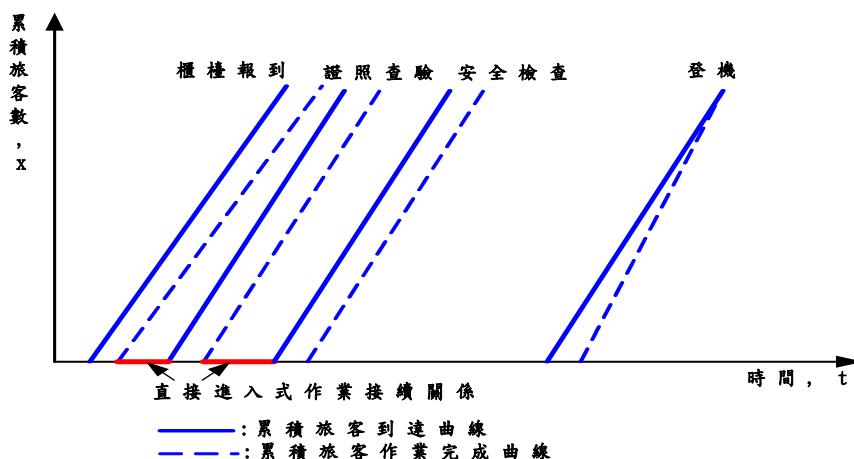


圖 4.6 前端式出境作業流程配置之等候模型

4. 衛星式安檢作業之出境作業流程配置

為確保旅客進入航機前之保安程度，部分國際機場採用將安全檢查作業配置於各航班登機候機室上，如：中正國際機場二期航站啟用初期之運作，則此配置方式之等候模型如圖 4.7 所示，由圖中可知，安檢作業至登機作業上屬於直接進入式作業接續關係。

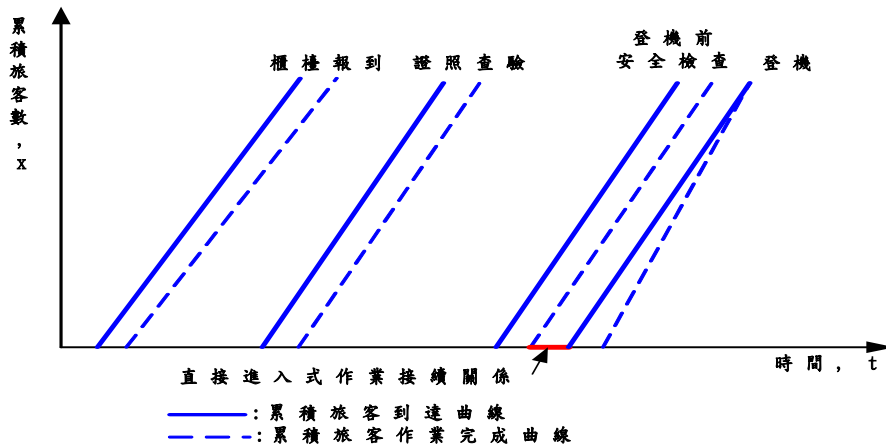


圖 4.7 衛星式安檢作業航空出境作業流程配置

5. 大型機場之出境作業流程配置

為瞭解機場規模對航班出境作業時間之影響，本研究針對由安檢作業至登機作業間之連通時間增加對航班出境作業時間之影響進行探討。此流程配置方式之作業等候模型與原配置方式相同，差異在於由安全檢查作業至登機作業之連通時間增加，則此配置之等候模型可由圖 4.8 所示，圖中由安全檢查作業至登機作業之連通時間較原配置方式大。

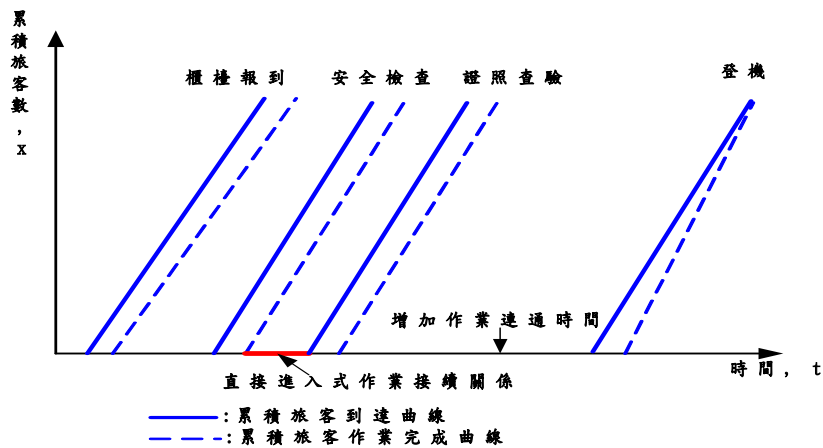


圖 4.8 大型機場出境作業流程配置之等候模型

4.3.2 因應臨時航空事件之作業要求改變之出境作業流程

1. 因應 911 事件之高安檢作業要求下之出境作業流程配置

為因應 911 事件高安檢作業要求，航站出境作業流程將於櫃檯報到作業上增加托運行李安檢作業，並於航班登機作業前加入「登機前安檢作業」。根據 3.2 節等候模型之分析，在其他作業條件不變下，可將增加托運行李安檢作業狀況視為櫃檯報到作業服務率降低之現象；而所增設之登機前安檢作業，可視為一獨立作業，其作業類型屬於單航班使用式作業，與登機作業間屬於直接進入式作業接續關係，同時為避免可能之延滯狀況，櫃檯報到作業並提早至出發前 3 小時開櫃；則因應 911 事件高安檢要求下改變之作業流程配置，其作業等候模型可以由圖 4.9 表示。

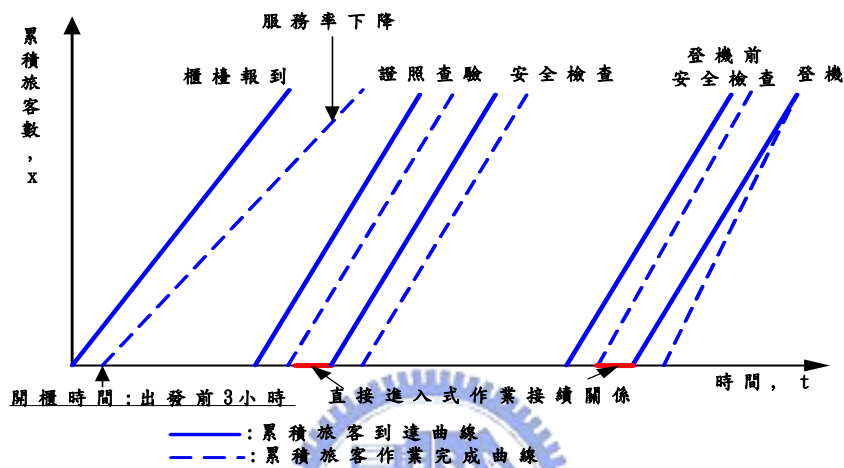


圖 4.9 因應 911 事件高安檢要求之出境作業流程配置等候模型

2. 因應 SARS 疫情之檢疫作業要求下之出境作業流程配置

為避免 SARS 疫情擴散及提高檢疫層級，出境作業流程並於旅客進入管制區前加設檢疫作業進行體溫量測，以篩檢高危險旅客進入管制區。出境作業流程中屬於非管制區之作業僅有櫃檯報到作業，因此為篩檢高危險旅客進入管制區，可將體溫量測作業設置於櫃檯報到作業上。同上分析，可將體溫量測作業視為櫃檯報到作業服務率降低之現象。則因此作業要求下改變之作業流程配置方式之等候模型可以由圖 4.10 所示。

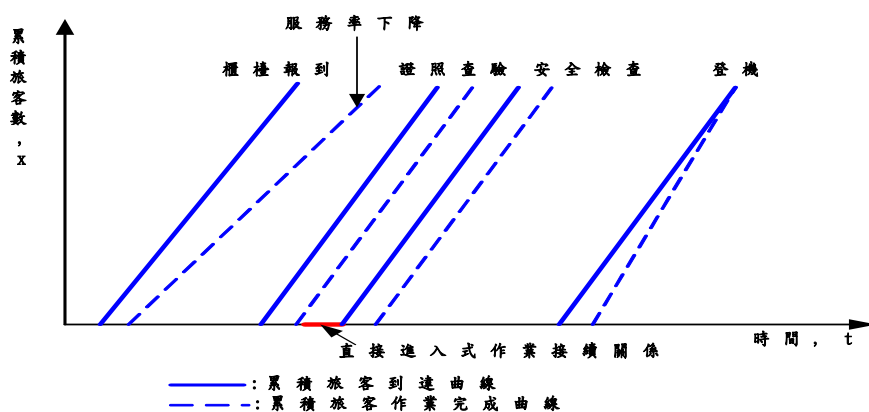


圖 4.10 因應 SARS 事件檢疫要求之出境作業流程配置等候模型

第五章 範例分析

為驗證本研究所構建之航站出境作業流程延滯擴散與控制模式於實際應用之可行性，本章以中正國際機場實際出境作業流程為例進行範例分析。由於蒐集資料的困難，無法取得航班旅客、行李細部作業時間相關資訊，故在範例分析上，將以航站作業流程研究相關文獻與本研究調查所得之資料為依據進行設定；於成本資料蒐集，由於部份航站作業成本屬業務機密，成本資料不易取得，故一些成本資料在不失一般性之前提與假設下進行合理推估。透過對所構建模式之求解結果，說明本模式之操作方法及在實務上之應用與可行性，並藉由對模式中重要成本參數進行敏感度分析，探討各成本參數變動對出境作業延滯控制策略之影響。本範例分析運用試算表軟體 Excel 2000 構建航站出境作業流程等候模型，以求解延滯時間推估模式與相關延滯成本。

5.1 基本參變數設定

在資料蒐集方面，本範例分析需蒐集之資料可分為兩個部分，一，航站出境作業時間與作業開櫃準則等資料，包含各出境作業航班之累積到達旅客曲線、累積作業完成旅客曲線等時間特性、櫃檯服務率、開櫃準則、作業員工數等，本研究考量經費及時間因素未進行大規模調查，無法取得實際出境作業航班相關作業時間資料，故本研究透過對現場實務作業單位之訪談與調查，並參考中正國際機場相關航站作業研究文獻（交通部運輸研究所，民 82；洪偵嘉，民 85；許巧鶯等人，民 92；陳姿琦，民 91；許峰源，民 82；廖一勳，民 89；鄧忠祥，民 89）之資料為依據進行設定。第二，出境作業相關成本資料，包括旅客時間價值、超時作業之設備與工時成本、旅客平均特許營收貢獻、登機門時間帶懲罰成本、航機空轉機會費等，由於部分資料涉及業務機密，故在範例分析上，本研究透過對營運單位之訪談及合理之假設下進行設定，相關參變數列於下表 5.1，茲將各參變數選取原則說明如下。

櫃檯服務率為作業櫃檯每櫃每分鐘可作業完成之旅客數，本研究參考交通部運輸研究所（民 82）調查資料進行設定。作業連通時間為上游作業至該作業所需之步行或運送時間，此數值由本研究於中正國際機場實際調查獲得。平均旅客特許營收貢獻為完成該作業至下游作業間，旅客進行特許商店消費對航站特許營收之貢獻金額，本研究參考許巧鶯與趙清成（民 92）之研究進行設定，其中航站因作業延滯而產生之特許營收損失僅發生

於完成櫃檯報到作業與完成安檢作業等兩作業上。航機空轉機會費為航機停靠機坪上等候後推之每小時之耗油成本，參考許巧鶯等人（民 92）之研究進行設定。航班表定作業起始時間與作業完成時間，以航班出發時間為基準（ $t=0$ ）向前估算，由於實務上證照查驗與安檢作業上並無航班表定作業時間之設定，因此本研究根據作業連通時間與對現場作業調查對該時間值進行設定。開櫃準則與櫃檯數與實務上作業班表安排有關，本研究依對實際出境營運單位訪談結果進行設定。

表 5.1 範例分析之基本參變數設定

| 參數 作業 | 表定 作業 起始 時間 (t) $T_{i,j}^s$ | 表定 作業 完成 時間 (t) $T_{i,j}^f$ | 作業 連通 時間 (分鐘) $t_{j,j+1}^w$ | 櫃檯 服務 率(人 /分鐘) μ | 每櫃 員工 數 (人/ 櫃) | 最短旅 客作業 時間 (分鐘 /人) $t_{i,j}^x$ | 超時作 業設備 費(元/ 小時) $H_{i,j}$ | 超時 作業 薪資 (元/ 小時) S | 平均旅 客特許 收入貢 獻(元/ 人) $M_{(j,j+1)}$ | 航機 燃油 費(元 /小時) F_j |
|-------------|--|--|---|----------------------------------|----------------------------|---|--|-----------------------------------|--|----------------------------------|
| 櫃檯報到 | -150 | -30 | - | 0.508 | 1 | 0.46 | 60 | 300 | 10 | - |
| 證照查驗 | -145 | -25 | 5 | 1.255 | 1 | 0.46 | 60 | 300 | - | - |
| 安全檢查 | -144.5 | -24.5 | 0.5 | 7.246 | 4 | 0.46 | 60 | 300 | 10 | - |
| 轉機安全 檢查 | -30 | - | - | 7.246 | 4 | 0.46 | 60 | 300 | - | - |
| 登機 | -30 | 0 | 10/5 | 20 | 4 | 0.1 | 60 | 300 | - | 10,000 |
| 行李分揀 /打櫃 | -145 | -25 | 5 | M | 1 | 0.3 | 60 | 300 | - | - |
| 機邊直轉 | -30 | - | 0 | M | 1 | - | 60 | 300 | - | - |
| 裝機 | - | -5 | 10/10 | M | 1 | - | 60 | 300 | - | 10,000 |

註：(-)表無需設定之參變數；(t)表時點，以出發時間為基準（ $t=0$ ）

資料來源：相關出境作業研究文獻與本研究調查整理

為瞭解航班出境作業時間受延滯之影響，首先須透過構建航站出境作業等候模型以進行分析，其中需蒐集進行輸入等候模型之資料包含：航班旅客抵達時間型態、開櫃準則等，茲將各出境作業等候模型相關參變數之設定準則說明如下：

1. **櫃檯報到**：由於目前機場聯外交通及旅客可選擇之運具並無重大改變，出境旅客到達機場時間型態，可由過去對中正國際機場研究所得出境旅客到達機場型態進行設定。根據許峯源(民 82)之研究，每 5 分鐘報到櫃檯之累積到達旅客數，則航班於櫃檯報到作業之累積旅客到達時間曲線如下式所示

$$A(t) = 8.5195 + 0.0112039 \cdot t^2 + 0.0002828 \cdot t^3 + 1.8118 \cdot (t - 50)D - 0.111475 \cdot (t - 50)^2 D \quad (5-1)$$

其中 D 為虛擬變數，當 $0 \leq t \leq 50$ 時， $D = 0$

當 $50 \leq t \leq 130$ 時， $D = 1$

本研究並假設櫃檯報到作業為航空公司服務之多航班共用式作業，而航班於作業上之表定作業起始時間為航班出發前 150 分鐘，表定作業完成時間為航班出發前 30 分鐘，作業之開櫃準則為作業開始後前 30 分鐘開啟 2 個作業櫃檯，超過 30 分鐘後開啟 6 個作業櫃檯，每櫃均設 1 人進行服務。

2. **證照查驗**：由櫃檯報到至證照查驗作業上兩作業間屬於非直接進入式作業接續關係，則旅客抵達作業之時間型態為獨立之時間函數；又依中正國際機場實際出境作業流程特性，本研究假設旅客到達型態與櫃檯報到作業相同，即旅客抵達時間介於航班出發前 145 分鐘至 25 分鐘。根據實際作業調查可知，由櫃檯報到至證照查驗作業之連通時間為 5 分鐘，因此本研究假設作業之表定起始作業時間與完成作業時間各為航班出發前 145 分鐘至 25 分鐘。開櫃準則依營運單位班表設定，每櫃各 1 人服務。
3. **安全檢查**：本作業與證照查驗作業屬於直接進入式作業接續關係，則旅客抵達作業時間型態與旅客完成證照查驗作業時間型態有關，累積旅客到達曲線為證照查驗作業累積作業完成旅客曲線加上作業連通時間。由證照查驗作業至安檢作業之連通時間為 0.5 分鐘，本研究並假設作業之表定起始作業時間與完成作業時間各為航班出發前 144.5 分鐘至 24.5 分鐘，開櫃準則為全時段時間開啟 2 櫃，每櫃檯各 4 人進行安檢服務。
4. **登機**：本研究假設航班之累積到達旅客曲線為獨立之時間函數，航班出發前 30 分鐘將有 200 位旅客抵達作業，至關櫃時共有 259 位旅客抵達，作業上共有 4 人進行服務。
5. **轉機安檢**：旅客抵達時間型態與轉機航班抵達航站之時間有關，為瞭解緊密轉機航班安排方式對出境作業之影響，本研究假設轉機航班均於出發前 30 分鐘抵達。由登機口至轉機安檢作業需步行 5 分鐘，開櫃準則為全時段開啟 1 櫃服務，每櫃各 4 人進行轉機安檢服務。

6. 行李作業：由於出境行李作業間均屬於直接進入式作業接續關係，因此行李抵達作業之時間型態與作業間之連通時間有關；根據實際行李作業現況之調查，由證照查驗作業至行李分揀／打櫃作業間連通時間為 5 分鐘，行李分揀／打櫃與機邊直轉作業至裝機作業為 10 分鐘。本研究並假設於行李作業上，作業單位將完成航班所有行李作業後方將行李櫃運送至下游作業，因此於等候模型服務率之設定可將其視為無限大(M)，即所有行李於作業完成時間上一一起送出作業。

本研究所探討之出境作業航班作業類型包含航空公司服務與航站服務之多航班共用式作業，因此範例分析所探討之對象需同時包含出境系統中多個航空公司之航班；又經由調查可知，一島式櫃檯報到作業可同時服務 3~4 個航班，因此透過對中正國際機場出境作業班表之觀察，可選取 C 航共用櫃檯報到作業航班 CI673、CI603、CI677 為例進行航空公司服務之多航班共用式作業分析；並加入同時段作業航班，J 航之 EG200，以探討不同航空公司間延滯之影響。各選取航班之出境旅客數與轉機旅客數假設均為相同：出境旅客數為 239 位、轉機旅客為 20 位；又根據交通部運輸研究所（民 82）之研究假設每位旅客有 1.6 件行李（美洲航線），則航班之班機資訊參變數可由下表 5.2 表示。

表 5.2 航班資訊

| 資訊 航班 | 目的地 | 表定出發時間 | 出境旅客數 (人) | 轉機旅客數 (人) | 總旅客數 (人) | 出境行李數 (件) | 轉機行李數 (件) | 總行李數 (件) | 票價 (元) | 安置轉搭費 (元) |
|----------|-----|--------|--------------|--------------|-------------|--------------|--------------|-------------|-----------|--------------|
| CI673 | 檳城 | 08:10 | 239 | 20 | 259 | 383 | 32 | 415 | 10,000 | 0 |
| CI603 | 香港 | 08:25 | 239 | 20 | 259 | 383 | 32 | 415 | 10,000 | 0 |
| CI677 | 雅加達 | 08:45 | 239 | 20 | 259 | 383 | 32 | 415 | 10,000 | 0 |
| EG200 | 東京 | 08:45 | 239 | 20 | 259 | 383 | 32 | 415 | 10,000 | 0 |

根據表 5.1、5.2 及 3.1 節出境作業等候模型之分析，可構建航站出境作業等候模型；假設航班出境作業無發生任何延滯狀況下，根據本研究所構建之出境作業等候模型與相關參變數之設定，可推算航班於各出境作業之作業時間，包含起始與結束時間，則各航班於各出境作業之作業時間求解結果如表 5.3 所示，表中之數值表示時間，其中 5:55 為研究起始時點， $t=0$ ；比較表 5.1、5.3，可知各航班均能於表定航班出發時間完成所有出境作業，顯示本研究構建進行範例分析之出境作業等候模型與相關參變數假設實屬合理，並可供後續延滯擴散影響分析使用。

表 5.3 無延滯狀況下之航班作業時間 (5:55, t=0 分鐘)

| 時間 (t) | 表 定 | 櫃檯 報到 | | 證照 查驗 | | 安全 檢查 | | 轉機 安檢 | | 登機 | | 行李分 揀/打櫃 | | 機邊 直轉 | | 裝機 | | |
|-----------|--------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|-----|-----|
| | | 出 發 時 間 | 起 始 時 間 | 結 束 時 間 | 起 始 時 間 | 結 束 時 間 | 起 始 時 間 | 結 束 時 間 | 起 始 時 間 | 結 束 時 間 | 起 始 時 間 | 結 束 時 間 | 起 始 時 間 | 結 束 時 間 | 起 始 時 間 | 結 束 時 間 | | |
| 航班 | CI673 | 135 | -15 | 105 | -10 | 113 | 0.5 | 113.4 | 110 | 113 | 105 | 135 | -10 | 110 | 105 | 105 | 130 | 130 |
| | CI603 | 150 | 0 | 120 | 5 | 125 | 5.5 | 125.5 | 125 | 128 | 120 | 150 | 5 | 125 | 120 | 120 | 145 | 145 |
| | CI677 | 170 | 20 | 140 | 25 | 145 | 25.5 | 145.5 | 145 | 148 | 140 | 170 | 25 | 145 | 140 | 140 | 165 | 165 |
| | EG200 | 170 | 20 | 140 | 25 | 145 | 25.5 | 145.5 | 145 | 148 | 140 | 170 | 25 | 145 | 140 | 140 | 165 | 165 |

5.2 出境作業延滯擴散影響分析

本節假設出境作業發生延滯狀況並進行延滯擴散影響分析，以瞭解各航班作業時間於出境作業流程中受延滯之影響。出境作業流程延滯形成狀況極為複雜，且實際作業延滯狀況不易調查取得，故假設以一延滯情境輸入構建之出境作業等候模型中進行求解。本研究假設出境作業系統中同時發生旅客延遲抵達與服務延遲等兩延滯狀況，延滯情境如下：一、航班 CI603 於櫃檯報到作業發生旅客延遲抵達作業之延滯狀況，航班最後 11 位報到旅客發生延遲 10 分鐘抵達櫃檯報到作業之狀況；二、於證照查驗作業中，7:20~7:45 (t=85~110) 發生櫃檯故障事件之服務延遲狀況，原 8 個查驗櫃檯中共有 4 個櫃檯發生故障。以下將對上述延滯產生之影響進行分析。

5.2.1 出境作業延滯時間與擴散影響分析

將上述延滯狀況輸入 5.1 節構建之等候模型，並透過於第三章構建之延滯時間推估式，估算各航班於各作業相關之延滯時間；本研究是以出境航班旅客、行李在某時點到達與完成作業代表本研究所欲討論之航站出境作業延滯狀況，所進行之延滯時間推估步驟如下：

1. 依假設之延滯情境，將航班累積旅客到達曲線 $A_{i,j}(t | T_{i,j}^{As} \leq t \leq T_{i,j}^{Af})$ 、服務率函數 $\mu_{i,j}(t)$ 輸入構建之等候模型中，根據等候模型之輸出結果，可獲得航班之累積作業完成旅客曲線 $D_{i,j}(t | T_{i,j}^{Ds} \leq t \leq T_{i,j}^{Df})$ 。則航班之實際作業起

始時間 $T_{i,j}^{Ds}$ 與作業完成時間 $T_{i,j}^{Df}$ ，即為航班之累積作業完成旅客曲線上第一位與最後一位旅客之作業完成時間。

2. 依據航班之表定作業起始時間 $T_{i,j}^s$ 、表訂作業完成時間 $T_{i,j}^f$ 、最短作業時間 $t_{i,j}^p$ 、緩衝時間 $t_{i,j}^b$ ，透過於 3.3 節所構建之延滯時間推估式，針對航班實際作業起始與完成時間 $T_{i,j}^{Ds}$ 、 $T_{i,j}^{Df}$ ，估算航班之自發性延滯 $t_{i,j}^A$ 、作業延滯 $t_{i,j}^{pd}$ 、推擠性延滯 $t_{i,j}^d$ 與總推擠性延滯 $t_{i,j}^G$ 等延滯時間，及延滯旅客數 $x_{i,j}^d$ 。
3. 依據接續作業之表定作業起始時間 $T_{i,j+1}^s$ 、作業完成時間 $T_{i,j+1}^f$ ，與表 5.2 所列之作業連通時間 $t_{j,j+1}^w$ 、旅客最短作業時間 $t_{i,j+1}^s$ ，根據 3.3.3 節之作業間延滯擴散影響推估式，針對航班實際作業起始與完成時間 $T_{i,j}^{Ds}$ 、 $T_{i,j}^{Df}$ ，估算上游作業延滯對接續作業造成之起始延滯時間 $S_{i,(j,j+1)}$ 與完成延滯時間 $F_{i,(j,j+1)}$ 。
4. 根據上述延滯擴散影響推算結果，就航班間與作業間之延滯擴散影響進行分析。



則航班於各出境作業之作業時間、延滯時間與延滯擴散影響，可根據上述出境作業延滯時間之推估獲得，求解結果如下表 5.4 所示，而各航班於各出境作業之總推擠性延滯時間如圖 5.1 所示。

就航班間延滯擴散影響而言，由於櫃檯報到為航空公司服務之多航班共用式作業，由表中可知，C 航之 CI603 因旅客延遲抵達產生之延滯狀況，對共同作業航班 CI673、CI677 而言，因作業服務容量充足，未受航班 CI603 影響產生航班間之延滯擴散影響。對作業間延滯擴散影響而言，由表中完成延滯時間 $F_{i,(j,j+1)}$ 可知，航班 CI603 於櫃檯報到作業因旅客延遲抵達產生之延滯狀況，將擴散影響至該航班之安檢作業上，並產生總推擠性作業延滯時間；此外由於安檢作業至登機作業間屬於非直接進入式接續關係，因此航班 CI603 由櫃檯報到產生之作業間延滯擴散影響於此關係上可獲得紓解，即登機作業未受上游作業延滯影響。同時，僅航班 CI603 於行李作業流程之裝機作業產生 10 分鐘之總推擠性延滯時間 ($t_{i,j}^G$)，該值同時與由櫃檯報到作業對裝機作業產生之完成延滯時間 ($F_{i,(j,j+1)}$) 相同，此顯示裝機

作業之延滯狀況乃受櫃檯作業延滯狀況影響。由於登機作業表訂完成時間為出發時間前 5 分鐘，故航班出發時間將因登機作業之總推擠性延滯影響產生 5 分鐘之延滯時間。

而證照查驗發生櫃檯故障之服務延遲狀況，由於該作業屬於航站服務之多航班共用式作業，由表中作業航班之總推擠性延滯時間求解結果可知，因作業服務率因延滯狀況而嚴重降低，延滯將對所有作業航班造成擴散影響。作業間之延滯擴散影響並可由表中完成延滯時間結果獲得，即就航班 CI673、CI603 而言，延滯並擴散至登機作業上，使得航班出發時間受形成延滯；對航班 CI677、EG200 而言，延滯僅擴散至安全檢查作業上。觀察圖中各作業之總推擠性延滯時間可知，當作業間屬於直接進入式接續關係，則上游作業之延滯將直接擴散影響至接續作業上，如證照查驗對安檢作業之延滯影響；反之，若為非直接進入式關係，則因作業流程時間與空間之緩衝銜接安排，上游作業延滯對接續作業之擴散影響並可獲得紓解，如安檢作業對登機作業之延滯影響。

由上述對延滯狀況形成之航班間、作業間延滯擴散影響分析可知，本研究所構建之作業等候模型與延滯時間推估模式，可順利推估出境作業航班於各作業之延滯時間與延滯擴散影響；同時由求解結果並進一步瞭解，作業接續關係為造成作業間延滯擴散影響範圍之關鍵，非直接進入式作業接續安排，可有效紓解上游作業延滯對下游作業之擴散影響，此結果並說明本模式之假設實屬合理。

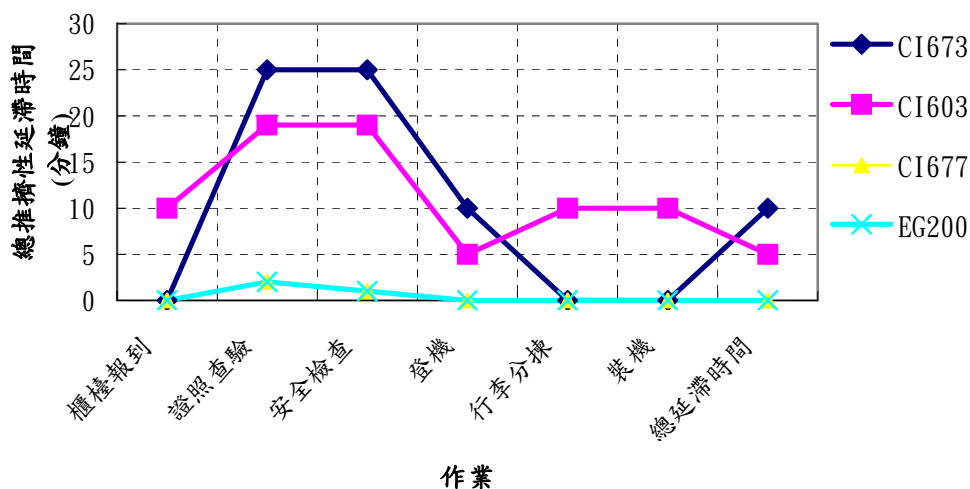


圖 5.1 各航班於各出境作業之總推擠性延滯時間

表 5.4 各航班於各出境作業延滯時間推估

(單位：分鐘)

| 作業 | 航班 | 表定 | 表定 | 最短 | 緩衝 | 實際 | 實際 | 自發 | 作業 | 推擠 | 總推 | 延滯 | 起始延滯時間 $S_{i,(j,j+1)}$ | | | | | 完成延滯時間 $F_{i,(j,j+1)}$ | | | | |
|----------|-------|-------------|-------------|-------------|-------------|----------------|----------------|-------------|----------------|-------------|-------------|-------------|------------------------|------|------|------|----|------------------------|-------|-------|-------|-------|
| | | 作業 | 作業 | | | 作業 | 作業 | | | | | | 性作 | 性作 | 性作 | 證照 | 安全 | 登機 | 行李 | 裝機 | 證照 | 安全 |
| | | 起始 | 完成 | 作業 | 時間 | 起始 | 完成 | 性作 | 延滯 | 性作 | 性作 | 旅客 | 查驗 | 檢查 | 登機 | 分揀 | 裝機 | 查驗 | 檢查 | 登機 | 分揀 | 裝機 |
| | | (t) | (t) | $t_{i,j}^p$ | $t_{i,j}^b$ | (t) | (t) | 延滯 | $t_{i,j}^{pd}$ | 延滯 | 延滯 | 數 | | | | | | | | | | |
| | | $T_{i,j}^s$ | $T_{i,j}^f$ | | | $T_{i,j}^{Ds}$ | $T_{i,j}^{Df}$ | $t_{i,j}^A$ | | $t_{i,j}^d$ | $t_{i,j}^G$ | $x_{i,j}^d$ | | | | | | | | | | |
| 櫃檯 報到 | CI673 | -15 | 105 | 110 | 10 | -15 | 105 | 0 | 10 | 0 | 0 | 0 | 0.48 | 0.96 | 0 | 0.32 | 0 | 0.48 | 0.96 | 0 | 0.32 | 0.32 |
| | CI603 | 0 | 120 | 110 | 10 | 0 | 130 | 0 | 20 | 0 | 10 | 11 | 0.48 | 0.96 | 0 | 0.32 | 0 | 10.48 | 10.96 | 0 | 10.32 | 10.32 |
| | CI677 | 20 | 140 | 110 | 10 | 20 | 140 | 0 | 10 | 0 | 0 | 0 | 0.48 | 0.96 | 0 | 0.32 | 0 | 0.48 | 0.96 | 0 | 0.32 | 0.32 |
| | EG200 | 20 | 140 | 110 | 10 | 20 | 140 | 0 | 10 | 0 | 0 | 0 | 0.48 | 0.96 | 0 | 0.32 | 0 | 0.48 | 0.96 | 0 | 0.32 | 0.32 |
| 證照 查驗 | CI673 | -10 | 110 | 110 | 10 | -10 | 135 | 0 | 35 | 0 | 25 | 17 | - | 0.48 | 0 | - | - | - | 25.48 | 11.08 | - | - |
| | CI603 | 5 | 125 | 110 | 10 | 5 | 144 | 0 | 29 | 0 | 19 | 17 | - | 0.48 | 0 | - | - | - | 19.48 | 5.08 | - | - |
| | CI677 | 25 | 145 | 110 | 10 | 25 | 147 | 0 | 12 | 0 | 2 | 6 | - | 0.48 | 0 | - | - | - | 2.48 | 0 | - | - |
| | EG200 | 25 | 145 | 110 | 10 | 25 | 147 | 0 | 12 | 0 | 2 | 6 | - | 0.48 | 0 | - | - | - | 2.48 | 0 | - | - |
| 安全 檢查 | CI673 | -9.5 | 111 | 110 | 10 | 1 | 135 | 10.5 | 24 | 0 | 24.5 | 22 | - | - | 0 | - | - | - | - | 10.10 | - | - |
| | CI603 | 5.5 | 126 | 110 | 10 | 6 | 145 | 0.5 | 29 | 0 | 19.5 | 27 | - | - | 0 | - | - | - | - | 5.10 | - | - |
| | CI677 | 25.5 | 146 | 110 | 10 | 26 | 147 | 0.5 | 11 | 0 | 1.5 | 6 | - | - | 0 | - | - | - | - | 0 | - | - |
| | EG200 | 25.5 | 146 | 110 | 10 | 26 | 147 | 0.5 | 11 | 0 | 1.5 | 6 | - | - | 0 | - | - | - | - | 0 | - | - |
| 轉機 安檢 | CI673 | 110 | 110 | 0 | 0 | 110 | 111.4 | 0 | 1.4 | 0 | 1.4 | 0 | - | - | 15.1 | - | - | - | - | 0 | - | - |
| | CI603 | 125 | 125 | 0 | 0 | 125 | 126.4 | 0 | 1.4 | 0 | 1.4 | 0 | - | - | 15.1 | - | - | - | - | 0 | - | - |
| | CI677 | 145 | 145 | 0 | 0 | 145 | 147.8 | 0 | 2.8 | 0 | 2.8 | 0 | - | - | 15.1 | - | - | - | - | 0 | - | - |
| | EG200 | 145 | 145 | 0 | 0 | 145 | 147.8 | 0 | 2.8 | 0 | 2.8 | 0 | - | - | 15.1 | - | - | - | - | 0 | - | - |

表 5.4 各航班於各出境作業延滯時間推估(續)

(單位：分鐘)

| 作業 | 航班 | 表定 | 表定 | 最短 | 緩衝 | 實際 | 實際 | 自發 | 作業 | 推擠 | 總推 | 延滯 | 起始延滯時間 $S_{i,(j,j+1)}$ | | | | | 完成延滯時間 $F_{i,(j,j+1)}$ | | | | |
|---------|-------|-------------|-------------|-------------|-------------|----------------|----------------|-------------|----------------|-------------|-------------|-------------|------------------------|----|----|----|----|------------------------|----|----|----|----|
| | | 作業 | 作業 | | | 作業 | 作業 | | | | | | 性作 | 性作 | 性作 | 性作 | 性作 | 性作 | 性作 | 性作 | 性作 | 性作 |
| | | 起始 | 完成 | 作業 | 時間 | 起始 | 完成 | 業 | 延滯 | 性作 | 性作 | 性作 | 證照 | 安全 | 登機 | 行李 | 裝機 | 證照 | 安全 | 登機 | 行李 | 裝機 |
| | | 時間 | 時間 | 時間 | | 時間 | 時間 | 延滯 | 延滯 | 延滯 | 延滯 | 旅客 | 查驗 | 檢查 | | 分揀 | | 查驗 | 檢查 | | 分揀 | |
| | | (t) | (t) | $t_{i,j}^p$ | $t_{i,j}^b$ | (t) | (t) | $t_{i,j}^A$ | $t_{i,j}^{pd}$ | $t_{i,j}^d$ | $t_{i,j}^G$ | $x_{i,j}^d$ | | | | | | | | | | |
| | | $T_{i,j}^s$ | $T_{i,j}^f$ | | | $T_{i,j}^{Ds}$ | $T_{i,j}^{Df}$ | | | | | | | | | | | | | | | |
| 登機 | CI673 | 105 | 135 | 25 | 5 | 105 | 145 | 0 | 15.3 | 0 | 10.3 | 0 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| | CI603 | 120 | 150 | 25 | 5 | 120 | 155 | 0 | 9.6 | 0 | 4.6 | 0 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| | CI677 | 140 | 170 | 25 | 5 | 140 | 170 | 0 | 5 | 0 | 0 | 0 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| | EG200 | 140 | 170 | 25 | 5 | 140 | 170 | 0 | 5 | 0 | 0 | 0 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| 行李分揀/打櫃 | CI673 | -15 | 110 | 120 | 5 | -10 | 110 | 5 | 0 | 0 | 0 | 0 | - | - | - | - | 0 | - | - | - | - | 0 |
| | CI603 | 5 | 125 | 115 | 5 | 15 | 135 | 10 | 5 | 0 | 10 | 0 | - | - | - | - | 0 | - | - | - | - | 10 |
| | CI677 | 25 | 145 | 115 | 5 | 28 | 145 | 3 | 2 | 0 | 0 | 0 | - | - | - | - | 0 | - | - | - | - | 0 |
| | EG200 | 25 | 145 | 115 | 5 | 28 | 145 | 3 | 2 | 0 | 0 | 0 | - | - | - | - | 0 | - | - | - | - | 0 |
| 機邊直轉 | CI673 | 105 | 105 | 0 | 0 | 105 | 105 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | - | - | - | - | 0 | - | - | - | - | 0 |
| | CI603 | 120 | 120 | 0 | 0 | 120 | 120 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | - | - | - | - | 0 | - | - | - | - | 0 |
| | CI677 | 140 | 140 | 0 | 0 | 140 | 140 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | - | - | - | - | 0 | - | - | - | - | 0 |
| | EG200 | 140 | 140 | 0 | 0 | 140 | 140 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | - | - | - | - | 0 | - | - | - | - | 0 |
| 裝機 | CI673 | 130 | 130 | 0 | 0 | 130 | 130 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| | CI603 | 145 | 145 | 0 | 0 | 155 | 155 | 10 | 0 | 0 | 10 | 0 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| | CI677 | 165 | 165 | 0 | 0 | 165 | 165 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| | EG200 | 165 | 165 | 0 | 0 | 165 | 165 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |

5.2.2 航班關鍵作業流程評估

上節之延滯時間與擴散影響分析乃針對航班間、作業間之擴散影響進行分析，本節根據 3.5 節航班關鍵作業流程評估演算法，透過 5.2.1 節出境作業延滯時間進行求解，對各航班於各出境作業上之延滯狀況、作業時間與關鍵作業流程評估結果進行分析，求解結果如表 5.5 所示，表中實際作業時間為根據式 (3-54) 求解獲得，作業時間影響原因依不同延滯影響狀況可區分為下列三種情形：受航班本身旅客延遲抵達作業影響、受航班旅客於上游作業延滯影響、受作業服務延遲影響；而由關鍵流程評估結果即可瞭解多層次之作業延滯擴散影響狀況。

由表中評估結果可知，航班於各出境作業實際作業時間所受延滯影響原因。由於系統中，同時發生航班 CI603 旅客延遲抵達櫃檯報到作業，及證照查驗作業之服務延遲等兩延滯狀況，其中航班 CI603 因同時受兩延滯狀況影響，並將產生多層次延滯擴散影響現象；由表中可知，該航班於證照查驗作業上受服務延遲狀況影響之延滯時間，較航班本身旅客延遲狀況大，故該航班於接續旅客作業流程上（安檢、登機作業）之關鍵流程，均為受證照查驗服務延遲影響所致。又由上節作業間延滯擴散影響分析可知，該航班出發時間受登機作業與裝機作業之延滯影響程度相同（5 分鐘），故可得知，航班 CI603 於出境作業之總作業時間所受之影響，為同時受此兩延滯狀況影響所致。

表 5.5 各航班於各出境作業實際作業時間與關鍵作業流程評估結果

| 作業 | 航班 | 表定作業 時間(分鐘) | 實際作業 時間(分鐘) | 總推擠性 延滯時間 (分鐘) | 作業時間影響原因 |
|--------------|-------|----------------|----------------|----------------------|--------------------|
| 櫃檯報到 | CI673 | 120 | 120 | 0 | - |
| | CI603 | 120 | 130 | 10 | 旅客延遲抵達 |
| | CI677 | 120 | 120 | 0 | - |
| | EG200 | 120 | 120 | 0 | - |
| 證照查驗 | CI673 | 120 | 145 | 25 | 服務延遲 |
| | CI603 | 120 | 139 | 19 | 服務延遲 |
| | CI677 | 120 | 122 | 2 | 服務延遲 |
| | EG200 | 120 | 122 | 2 | 服務延遲 |
| 安全檢查 | CI673 | 120 | 134 | 14 | 上游作業影響 |
| | CI603 | 120 | 139 | 19 | 上游作業影響 |
| | CI677 | 120 | 121 | 1 | 上游作業影響 |
| | EG200 | 120 | 121 | 1 | 上游作業影響 |
| 登機 (出發時間) | CI673 | 30 | 40 | 10 | 上游作業影響 |
| | CI603 | 30 | 35 | 5 | 上游作業影響 |
| | CI677 | 30 | 30 | 0 | - |
| | EG200 | 30 | 30 | 0 | - |
| 行李分揀 ／打櫃 | CI673 | 120 | 120 | 0 | - |
| | CI603 | 120 | 135 | 10 | 上游作業影響 |
| | CI677 | 120 | 117 | 0 | - |
| | EG200 | 120 | 117 | 0 | - |
| 裝機 | CI673 | 10 | 10 | 0 | - |
| | CI603 | 10 | 20 | 10 | 上游作業影響 |
| | CI677 | 10 | 10 | 0 | - |
| | EG200 | 10 | 10 | 0 | - |
| 總作業 時間 | CI673 | 150 | 160 | 10 | 證照查驗作業影響 |
| | CI603 | 150 | 155 | 5 | 同時受證照查驗與 登機作業影響 |
| | CI677 | 150 | 150 | 0 | - |
| | EG200 | 150 | 150 | 0 | - |

5.2.3 出境作業延滯擴散成本分析

本節根據 5.2.1 節出境作業延滯時間與延滯擴散範圍，針對不同出境作業延滯原因，估算航班於各出境作業上之延滯成本，透過 4.1 節所構建之延滯擴散成本函數，可計算航班於各出境作業之延滯成本如表 5.6 所示。由表中可知，依本研究假設之延滯狀況將產生 17,470 元之總延滯成本，其中，僅航班 CI603 於行李作業流程中產生延滯成本。比較各項延滯成本所佔之比例，以旅客延滯時間成本最高（71.5%），其次為登機作業造成之延滯成本，即登機門時間帶懲罰成本（14.5%）、航機空轉機會成本（8.5%），可知本研究假設之延滯狀況，對旅客時間價值的損失與登機作業上之影響比例最為嚴重。

根據出境作業延滯擴散成本之估算，則航班於各出境作業之延滯成本與總延滯成本可由下表 5.7 與圖 5.2 表示，由求解結果可知，不同出境作業上，以登機作業延滯成本比例最高（46.5%），此乃因登機作業延滯將產生登機門時間帶懲罰成本與航機空轉機會成本，此兩成本值較其他成本值高所致。出境航班中，以航班 CI673、CI603 所受之影響最嚴重，所佔之延滯成本各為 36.5%與 25.6%，此乃因兩航班於登機作業發生延滯狀況所致。由圖中可知，總作業延滯擴散成本隨著延滯擴散影響作業增加而遞增，其顯示延滯擴散於接續作業上之影響狀況。

由表中可知，雖航班 CI677、EG200 所產生之航班總延滯成本較於登機作業發生延滯狀況之航班 CI673、CI603 低，然比較表 5.6 與航班於各出境作業延滯成本可發現，航班 CI677、EG200 於證照查驗作業及安檢作業產生之延滯成本較航班 CI673、CI603 為高，此乃因航班於該作業上所受延滯影響旅客較多，產生之旅客延滯時間成本較高所致；由此可知，於進行出境作業延滯成本分析時，各航班於各出境作業之延滯成本隨影響狀況不同而有所差異，若僅就延滯成本比例最大之航班或作業進行探討，將因此產生忽略影響狀況之現象。

表 5.6 各航班於各出境作業之各項延滯成本 (單位：元)

| 作業 | 航班 | 旅客延滯時間成本 $C_{i,j}^{D-P}$ | 超時作業設備成本 $C_{i,j}^{D-E}$ | 超時作業工時成本 $C_{i,j}^{D-L}$ | 特許營收損失成本 $C_{i,j}^{D-M}$ | 航機空轉機會成本 $C_{i,j}^{D-F}$ | 登機門時間帶懲罰成本 $C_{i,j}^{D-Y}$ | 作業延滯成本 |
|---------|-------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-------------------------------|--------|
| 櫃檯報到 | CI673 | 0 | 0 | 0 | 0 | - | - | 0 |
| | CI603 | 0 | 10 | 50 | 390 | - | - | 450 |
| | CI677 | 0 | 0 | 0 | 0 | - | - | 0 |
| | EG200 | 0 | 0 | 0 | 0 | - | - | 0 |
| 證照查驗 | CI673 | 432 | 0 | 0 | - | - | - | 432 |
| | CI603 | 710 | 0 | 0 | - | - | - | 710 |
| | CI677 | 1637 | 6 | 30 | - | - | - | 1673 |
| | EG200 | 1637 | 6 | 30 | - | - | - | 1673 |
| 安全檢查 | CI673 | 308 | 0 | 0 | 0 | - | - | 308 |
| | CI603 | 706 | 0 | 0 | 0 | - | - | 706 |
| | CI677 | 1604 | 2 | 30 | 0 | - | - | 1635 |
| | EG200 | 1604 | 2 | 30 | 0 | - | - | 1635 |
| 登機 | CI673 | 2670 | 10 | 206 | - | 1718 | 1031 | 5635 |
| | CI603 | 1181 | 5 | 91 | - | 760 | 456 | 2494 |
| | CI677 | 0 | 0 | 0 | - | 0 | 0 | 0 |
| | EG200 | 0 | 0 | 0 | - | 0 | 0 | 0 |
| 行李分揀/打櫃 | CI673 | - | 0 | 0 | - | - | - | 0 |
| | CI603 | - | 10 | 50 | - | - | - | 60 |
| | CI677 | - | 0 | 0 | - | - | - | 0 |
| | EG200 | - | 0 | 0 | - | - | - | 0 |
| 裝機 | CI673 | - | 0 | 0 | - | 0 | 0 | 0 |
| | CI603 | - | 10 | 50 | - | 0 | 0 | 60 |
| | CI677 | - | 0 | 0 | - | 0 | 0 | 0 |
| | EG200 | - | 0 | 0 | - | 0 | 0 | 0 |
| 總延滯成本 | | 12489 | 61 | 567 | 390 | 2478 | 1487 | 17470 |
| 比例 | | 71.5% | 0.3% | 3.2% | 2.2% | 14.2% | 8.5% | 100.0% |

表 5.7 各航班於各出境作業之延滯成本 (單位：元)

| 作業 航班 | 櫃檯 報到 | 證照 查驗 | 安全 檢查 | 登機 | 行李 分揀/ 打櫃 | 裝機 | 航班 總延滯 成本 | 比例 |
|-------------------|----------|----------|----------|-------|-----------------|------|-----------------|--------|
| CI673 | 0 | 432 | 308 | 5635 | 0 | 0 | 6375 | 36.5% |
| CI603 | 450 | 710 | 706 | 2494 | 60 | 60 | 4480 | 25.6% |
| CI677 | 0 | 1673 | 1635 | 0 | 0 | 0 | 3308 | 18.9% |
| EG200 | 0 | 1673 | 1635 | 0 | 0 | 0 | 3308 | 18.9% |
| 總作業 延滯擴 散成本 | 450 | 4487 | 4284 | 8129 | 60 | 60 | 17470 | 100.0% |
| 比例 | 2.6% | 25.7% | 24.5% | 46.5% | 0.3% | 0.3% | 100.0% | - |

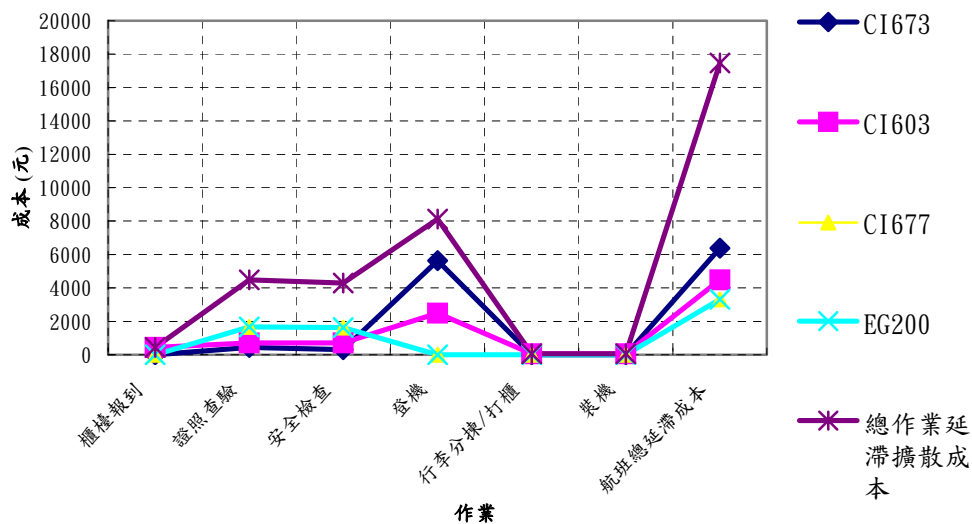


圖 5.2 各航班於各出境作業之延滯成本

5.3 出境作業延滯控制策略分析

本節以 5.2.1 節出境作業延滯時間與擴散影響之推估結果，根據 4.2 節建立之出境作業延滯控制策略分析，針對各種延滯原因擬定不同之延滯控制方案以進行延滯控制；進一步，透過對原延滯擴散狀況與各延滯控制方案之延滯成本分析，可供航空公司與營運單位於面臨不同延滯狀況下擬定控制決策之參考；控制方案依作業機制的差異可分為：固定作業完成時間、增加作業櫃檯與使用特定作業櫃檯等三種。

5.3.1 設立固定之航班作業完成時間

由 5.2.2 航班關鍵作業流程評估可知，航班 CI603 於櫃檯報到作業上發生旅客延遲抵達狀況，將對該航班之作業時間造成延滯影響，因此航空公司可考慮採用固定作業完成時間為延滯控制方案，透過取消延遲抵達旅客之作業，以降低延滯對接續作業之影響。採用本方案之控制成本為取消旅客作業須負擔之旅客退票成本；於實務退票操作上，依機票契約協定不同退票處理方式也有所差異，即若機票於國外開票，則當旅客因延遲抵達櫃檯報到作業而被取消作業後，將不可要求退票，僅可接受航空公司安排轉搭其他航班繼續行程或取消行程；反之，若為國內開票，則被取消作業之旅客可要求退票處理；由於航空運輸票價甚高，接受退票與否將直接影響航空公司採用本控制方案之決策，因此本研究將分別探討可退票與不可退票狀況下，航空公司採用固定作業完成時間為控制方案之成本。

本研究假設本方案之轉搭航班班距為 60 分鐘，於可退票狀況下，被取消服務之旅客其轉搭接續航班之比例為 50%；不可退票狀況下，所有被取消作業旅客均將轉搭航空公司安排之接續航班，無取消行程之情形發生。與原延滯擴散狀況下各出境作業之總推擠性延滯時間比較，則採用本方案下，航班於各出境作業所能改善之總推擠性延滯時間結果可以圖 5.3 表示，而採用本方案之成本經估算之結果如下表 5.8、5.9。由圖中可知，採用固定旅客作業完成時間，航班 CI603 因取消延遲抵達旅客作業，接續出境作業上之延滯時間能進一步獲得控制，尤其是櫃檯報到與行李作業上延滯時間的改善。

比較表 5.8、5.9 可知，可退票方式下，將較不可退票之方式多出 $82,581-16,631=65,950$ 元之費用；該方式中，延滯成本以航班 CI603 所佔比例最高（84.5%），此乃因航空運輸票價金額高，取消航班 CI603 延遲抵達旅客作業所造成之退票成本高；又於該方式下，就各出境作業延滯成本而言，相對於控制成本甚高之情況下，各作業所佔延滯成本比例均低，此顯示退票成本對延滯成本比重之影響甚高。綜上，可知航空公司若要採用固定作業完成時間以控制延遲抵達旅客所產生之延滯狀況，以規定旅客不可退票方式對航空公司較為有利。

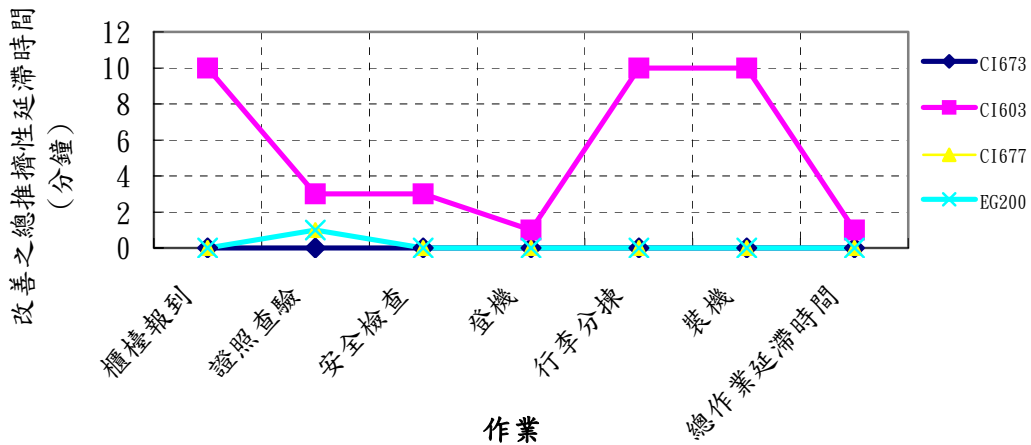


圖 5.3 固定作業完成時間下，航班於各出境作業改善之總推擠性延滯時間

表 5.8 固定作業完成時間下之延滯成本（可退票）（單位：元）

| 作業 航班 | 櫃檯 報到 | 證照 查驗 | 安全 檢查 | 登機 | 行李分 揀/ 打櫃 | 裝機 | 控制 成本 | 總航班 延滯 成本 | 比例 |
|-------------------|----------|----------|----------|------|-----------------|------|----------|-----------------|--------|
| CI673 | 0 | 432 | 308 | 5635 | 0 | 0 | 0 | 6375 | 7.7% |
| CI603 | 390 | 710 | 706 | 1895 | 0 | 0 | 66060 | 69761 | 84.5% |
| CI677 | 0 | 1624 | 1599 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3223 | 3.9% |
| EG200 | 0 | 1624 | 1599 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3223 | 3.9% |
| 總作業 延滯擴 散成本 | 390 | 4390 | 4211 | 7530 | 0 | 0 | 66060 | 82581 | 100.0% |
| 比例 | 0.5% | 5.3% | 5.1% | 9.1% | 0.0% | 0.0% | 80.0% | 100.0% | — |

表 5.9 固定作業完成時間下之延滯成本（不可退票）（單位：元）

| 作業 航班 | 櫃檯 報到 | 證照 查驗 | 安全 檢查 | 登機 | 行李分 揀/ 打櫃 | 裝機 | 控制 成本 | 總航班 延滯 成本 | 比例 |
|-------------------|----------|----------|----------|-------|-----------------|------|----------|-----------------|--------|
| CI673 | 0 | 432 | 308 | 5635 | 0 | 0 | 0 | 6375 | 38.3% |
| CI603 | 390 | 710 | 706 | 1895 | 0 | 0 | 110 | 3811 | 22.9% |
| CI677 | 0 | 1624 | 1599 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3223 | 19.4% |
| EG200 | 0 | 1624 | 1599 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3223 | 19.4% |
| 總作業 延滯擴 散成本 | 390 | 4390 | 4211 | 7530 | 0 | 0 | 110 | 16631 | 100.0% |
| 比例 | 2.3% | 26.4% | 25.3% | 45.3% | 0.0% | 0.0% | 0.7% | 100.0% | — |

5.3.2 增加作業櫃檯

由於證照查驗屬於航空服務之多航班共用式作業，根據 5.2 節之分析，作業於 7:20~7:45 發生櫃檯故障事件所產生之延滯狀況，將對該時段所有作業航班造成延滯影響；為降低服務延遲延滯對航班接續作業的影響，考量作業設備與人員取得許可下，可採用增加作業櫃檯方式以紓解延滯現象。本研究假設此方案為於證照查驗作業上 7:25~7:45 間之 20 分鐘內加開 4 櫃服務以恢復原有之服務率；則各航班於各出境作業所改善之總推擠性延滯時間經計算如圖 5.4 所示；控制方案之延滯成本經計算如下表 5.10。

由圖中可知，採用本方案後，各航班於接續作業之延滯時間均能大幅減少，尤其在登機作業上，各航班均未發生任何延滯。對作業間延滯擴散影響所改善之延滯而言，由於證照查驗與安檢作業間屬於直接進入式接續關係，安檢作業延滯時間改善程度與上游證照查驗作業相當，此結果顯示對直接進入式作業接續關係而言，上游作業延滯若獲得控制，對下游接續作業所產生之改善效果與上游作業相當。

由表 5.10 可知，本方案之總延滯成本包含：增加證照查驗作業櫃檯須負擔之超時作業設備與工時成本 480 元，及增加作業櫃檯後仍發生之延滯擴散成本 3,437 元，共 3,917 元。比較各航班之延滯成本比例，由原延滯擴散狀況下最嚴重之航班 CI673 轉移至 CI603 上，此乃因航班 CI673 於登機作業之延滯，因控制方案的採用而紓解消散，故航班之延滯成本明顯下降。又比較出境作業中延滯成本比重最大之作業，由原延滯擴散狀況之登機作業轉移至證照查驗作業上 (37.3%)，同理，採乃因採用本方案可進一步降低後續作業之延滯時間，故延滯成本會集中於延滯起始發生之作業上，即轉移至證照查驗作業上。

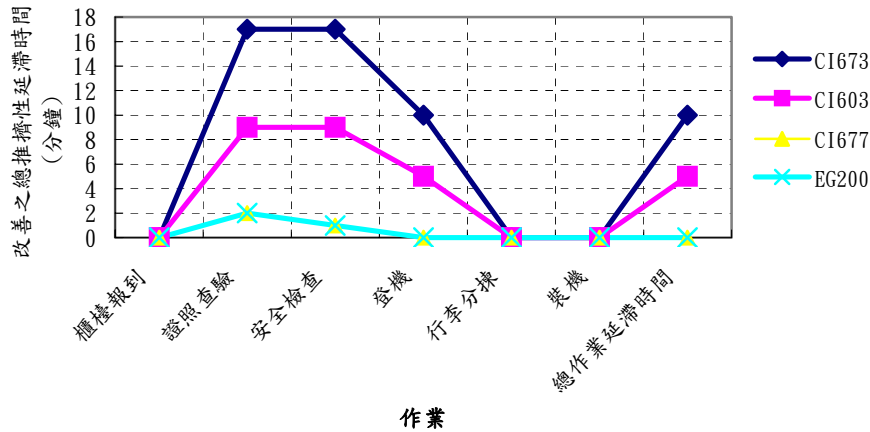


圖 5.4 增加作業櫃檯下，各航班於各出境作業改善之總推擠性延滯時間

表 5.10 增加作業櫃檯下之延滯成本 (單位：元)

| 作業 航班 | 櫃檯報到 | 證照查驗 | 安全檢查 | 登機 | 行李分揀/ 打櫃 | 裝機 | 控制成本 | 總航班延滯成本 | 比例 |
|-----------|--------|--------|--------|-------|-------------|-------|--------|---------|---------|
| CI673 | 0 | 179 | 146 | 0 | 0 | 0 | 0 | 326 | 8.39% |
| CI603 | 450 | 282 | 278 | 0 | 60 | 60 | 0 | 1131 | 29.11% |
| CI677 | 0 | 499 | 475 | 0 | 0 | 0 | 0 | 974 | 25.07% |
| EG200 | 0 | 499 | 475 | 0 | 0 | 0 | 0 | 974 | 25.07% |
| 增加櫃檯 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 480 | 480 | 12.36% |
| 總作業延滯擴散成本 | 450 | 1460 | 1374 | 0 | 60 | 60 | 480 | 3885 | 100.00% |
| 比例 | 11.58% | 37.58% | 35.37% | 0.00% | 1.54% | 1.54% | 12.36% | 100.00% | — |

5.3.3 依航班作業警示時間，使用特定櫃檯服務

為了使距出發時間較為緊迫之航班能優先完成服務，於多航班共用式作業上可採用使用特定櫃檯服務之方式進行延滯控制，此方案為在設備與人員不可取得之限制下採用，由於本方案乃針對現有作業櫃檯之資源作有效之安排就櫃檯服務對象進行調派，因此方案產生之成本為使用特定櫃檯服務所造成之延滯擴散成本。本研究假設於作業時間 8:10~8:20 間之 10 分鐘，將原有之 8 個證照查驗櫃檯，調撥其中 2 個櫃檯專供航班 CI603 使用，其餘航班 CI677、EG200 使用剩餘之櫃檯；經計算則此控制方案下，航班於各出境作業改善之總推擠性延滯時間與延滯成本如圖 5.5、表 5.11 所示。

由圖中可知，本方案可有效降低使用特定櫃檯服務航班 CI603 之延滯時間；然而，因航班 CI677、EG200 所使用之剩餘櫃檯服務率較原延滯擴散狀況低，卻因此增加了此兩航班之延滯時間；又由表 5.11 中之總延滯成本可知，此兩航班所增加之延滯成本，較航班 CI603 減少之延滯成本低，此結果顯示採用本方案之延滯成本，仍較原延滯擴散狀況為佳，採用本方案仍可降低延滯成本。比較各作業、航班所佔延滯成本比例，與原延滯擴散狀況相似，仍以航班 CI677（38.3%）與登機作業（42.1%）最為嚴重。綜上，可知對距航班出發時間較為緊迫航班採用使用特定櫃檯服務，雖可能因此增加其餘共同作業航班之作業時間，然卻因使用特定櫃台航班能及早完成作業，降低了該航班之延滯時間，並對整個系統而言，減少可能之延滯擴散影響；因此整體而言，採用透過本控制方案之採行，成本改善效益仍較原延滯擴散狀況佳。

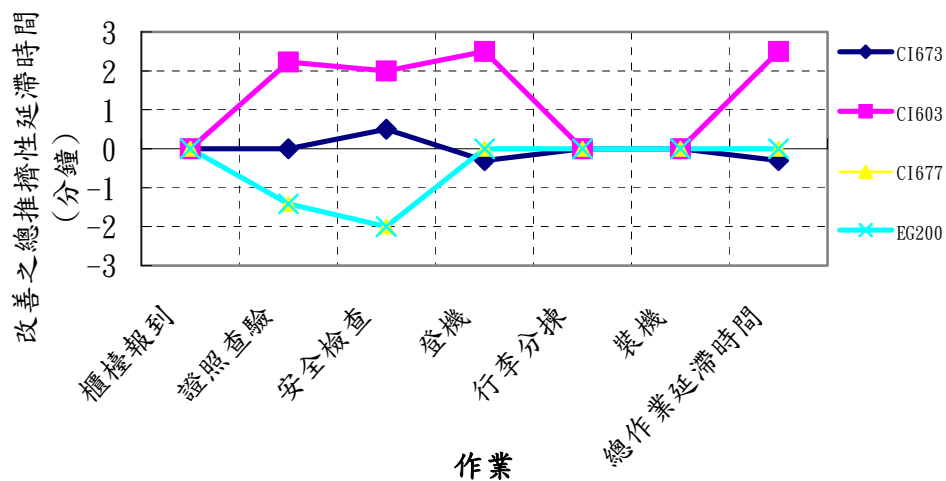


圖 5.5 使用特定櫃檯服務下，航班於各出境作業改善之總推擠性延滯時間

表 5.11 使用特定櫃檯服務下之延滯成本 (單位：元)

| 作業 航班 | 櫃檯 報到 | 證照查 驗 | 安全 檢查 | 登機 | 行李分 揀/ 打櫃 | 裝機 | 控制 成本 | 總航班 延滯 成本 | 比例 |
|-------------------|----------|----------|----------|-------|-----------------|------|----------|-----------------|--------|
| CI673 | 0 | 432 | 308 | 5635 | 0 | 0 | 0 | 6375 | 38.3% |
| CI603 | 450 | 684 | 683 | 1367 | 60 | 60 | 0 | 3304 | 19.9% |
| CI677 | 0 | 1745 | 1736 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3480 | 20.9% |
| EG200 | 0 | 1745 | 1736 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3480 | 20.9% |
| 總作業 延滯擴 散成本 | 450 | 4605 | 4463 | 7002 | 60 | 60 | 0 | 16639 | 100.0% |
| 比例 | 2.7% | 27.7% | 26.8% | 42.1% | 0.4% | 0.4% | 0.0% | 100.0% | |

5.3.4 延滯控制策略分析

根據上述三種控制方案之延滯成本求解結果，則原延滯擴散狀況與各控制方案之延滯成本，及各控制方案之各項延滯成本比例如表 5.12、5.13 所示，其中表 5.12 之成本改善效益計算如下式

$$\text{成本改善效益} = \frac{\text{原延滯擴散成本} - \text{控制方案成本}}{\text{原延滯擴散成本}} \cdot \% \quad (5-2)$$

由表 5.12 可知，在不採用任何延滯控制狀況下，讓延滯形成擴散所產生之延滯成本為 17,470 元；考慮設備與人員取得許可之狀況下，採用增加作業櫃檯之成本（3,885 元），將優於其他控制方案；當針對延遲抵達作業旅客採用固定作業完成為控制方案，則僅在不可退票之狀況下其延滯控制成本（16,631 元），較原延滯擴散狀況為佳；在考量作業設備與人員無法取得之狀況下，則以採用使用特定作業櫃檯服務出發時間較為緊迫之航班，其成本（16,639 元）仍較原延滯擴散狀況下優。由表 5.13 可知，比較各項成本於各控制方案所佔之比例，除了採用可退票方式下固定作業完成時間方案外，其餘控制方案中均以旅客延滯時間成本所佔之比例最高，此乃因該方案之退票成本佔總成本比例甚高（80.0%）所致。

綜上，可知本研究所擬定之延滯控制方案，可有效紓解延滯狀況並降低延滯擴散成本；航空公司與航站營運單位於面臨臨時性之出境延滯狀況時，可參考本研究構建之延滯控制方案分析方法，針對不同延滯原因與作業資源取得狀況採用可行之控制方案。本節對出境作業延滯控制之範例分析係在旅客時間價值之初始值設為 1 元/分鐘下進行，然考慮航空旅客實際時間價值較高，及延滯發生時旅客時間價值之差異將影響延滯成本進而對後續控制決策產生影響，故本研究於 5.5 節中，將針對旅客時間價值進行敏感度分析，以探討不同旅客時間價值下之出境作業延滯控制決策。同時，並對模式中其他成本參數值進行敏感度分析，以瞭解重要成本參數變動對延滯控制決策之影響。

表 5.12 出境作業延滯擴散成本與延滯控制方案成本比較 (單位：元)

| 控制方案 成本 航班 | 原延滯擴散 狀況 | 固定作業 完成時間 (不可退票) | 固定作業 完成時間 (可退票) | 增加作 業櫃檯 | 使用特定 作業櫃檯 |
|------------------|-------------|------------------------|-----------------------|------------|--------------|
| CI673 | 6375 | 6375 | 6375 | 326 | 6375 |
| CI603 | 4480 | 3701 | 3701 | 1131 | 3304 |
| CI677 | 3308 | 3223 | 3223 | 974 | 3480 |
| EG200 | 3308 | 3223 | 3223 | 974 | 3480 |
| 延滯擴散成本 | 17470 | 16521 | 16521 | 3405 | 16639 |
| 控制成本 | 0 | 110 | 66060 | 480 | 0 |
| 總延滯成本 | 17470 | 16631 | 82581 | 3885 | 16639 |
| 成本改善效益 | (0%) | 4.80% | -372.70% | 77.76% | 4.76% |

表 5.13 延滯控制方案各項成本比例 (單位：元)

| 控制方案 | 旅客延 滯時間 成本 | 超時作 業設備 成本 | 超時作 業工時 成本 | 特許營 收損失 成本 | 登機門時 間帶懲罰 成本 | 航機 空轉 機會 成本 | 控制 成本 | 總延滯 成本 |
|------------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|--------------------|----------------------|----------|-----------|
| 原延滯 擴散狀況 | 12488 | 60 | 567 | 390 | 1487 | 2478 | - | 17470 |
| 比例 | 71.5% | 0.3% | 3.2% | 2.2% | 8.5% | 14.2% | - | 100.0% |
| 固定作業 完成時間 (不可退票) | 12125 | 18 | 316 | 390 | 1377 | 2296 | 110 | 16631 |
| 比例 | 72.9% | 0.1% | 1.9% | 2.3% | 8.3% | 13.8% | 0.7% | 100.0% |
| 固定作業 完成時間 (可退票) | 12125 | 18 | 316 | 390 | 1377 | 2296 | 66060 | 82581 |
| 比例 | 14.7% | 0.0% | 0.4% | 0.5% | 1.7% | 2.8% | 80.0% | 100.0% |
| 增加作業 櫃檯 | 2835 | 110 | 550 | 390 | 0 | 0 | - | 3885 |
| 比例 | 73.0% | 2.8% | 14.2% | 10.0% | 0.0% | 0.0% | - | 100.0% |
| 使用特定 櫃檯服務 | 12137 | 69 | 628 | 390 | 1281 | 2135 | - | 16639 |
| 比例 | 72.9% | 0.4% | 3.8% | 2.3% | 7.7% | 12.8% | - | 100.0% |

5.4 不同出境作業流程配置對出境作業延滯擴散之影響

本節根據 4.3 節不同出境作業流程配置作業時間之分析，針對各出境作業流程配置方式進行延滯擴散影響分析，以瞭解延滯於不同出境作業流程配置上之擴散影響。首先，在開櫃準則及作業條件不變情況下，根據不同出境作業流程配置特性，構建各作業流程配置下之出境作業等候模型，進一步，以 5.2 節之延滯狀況為例，將延滯狀況輸入各流程配置之等候模型中，求解相關延滯時間、延滯擴散影響範圍與延滯成本，並針對延滯擴散影響範圍與延滯擴散成本進行分析，比較各流程配置上之延滯擴散影響。

5.4.1 不同出境作業流程配置之基本參變數設定

於構建各出境作業流程配置之等候模型上，本研究透過對中正國際機場出境作業流程之訪談與調查，及參考相關航站出境作業文獻與世界各主要國際機場之出境作業流程配置為依據進行設定，並以中正國際機場出境作業流程為原配置方式，擬定各流程配置規則；茲將各出境作業流程配置參變數設定準則說明如下：

1. **先安檢後證照查驗之出境作業流程配置**：參考世界各主要國際機場之出境流程配置（NRT），以中正國際機場出境作業流程為依據，將證照查驗作業與安全檢查作業順序對調，兩作業間之連通時間仍維持 0.5 分鐘，並為直接進入式接續關係。
2. **前端式出境作業流程配置**：考慮降低旅客於非管制區上逗留時間的變異性，在旅客抵達櫃檯報到作業時間型態不變情況下，將原櫃檯報到至證照查驗作業間之連通時間由 5 分鐘縮短至 1 分鐘，使旅客完成櫃檯報到作業後隨即進入證照查驗作業；而後續證照查驗作業與安檢作業間仍維持 0.5 分鐘之連通時間；即將證照查驗與安檢作業往櫃檯報到作業方向配置，此三個作業間之接續關係，經變更後均為直接進入式接續關係。
3. **衛星式安檢作業之出境作業流程配置**：以中正國際機場二期航站啟用初期之安檢作業配置方式為依據，將安全檢查作業配置於登機候機室上，同時，並取消原配置上之出境安全檢查作業與轉機安檢作業；登機前安檢作業之表定起始與結束時間為航班出發前 40 分鐘

至 10 分鐘；該作業與登機作業並形成直接進入式接續關係。

4. **大型機場之出境作業流程配置：**參考大型國際機場之配置，將原配置方式之安全檢查至登機作業間之連通時間，由 10 分鐘增加至 15 分鐘，即增加旅客由安全檢查至登機作業間之步行時間。
5. **因應 911 事件之高安檢作業要求下之出境作業流程配置：**當反恐層級提升及因應高安檢作業要求，航站將於櫃檯報到作業上增加一托運行李之安檢、翻查動作，並於登機候機室上增設登機前安檢作業。在作業條件不變情況下，托運行李翻查動作可視為櫃檯報到服務率下降之現象；根據對現場作業調查結果，本研究假設此增加之動作將導致櫃檯報到服務率較原流程配置方式下降至 70%。另外，為因應出境作業流程之改變，於此作業情境下，航空公司並將公告建議旅客提早至出發前 3 小時開始接受作業；此時櫃檯報到作業由表定航班出發前 150 分鐘開櫃提早至出發前 180 分鐘開櫃。最後，登機前安檢作業之表定起始與結束時間之設定，為航班出發前 40 分鐘至 10 分鐘。
6. **因應 SARS 疫情之檢疫作業要求下之出境作業流程配置：**為提高出境作業檢疫層級，出境作業流程中將於櫃檯報到作業上增加體溫量測之動作，此舉同樣可視為櫃檯報到作業服務率下降之現象；根據現場作業調查結果，本研究假設此增加之動作將導致櫃檯報到服務率較原流程配置下降至 80%。

5.4.2 不同出境作業流程配置之延滯擴散影響分析

本研究以 5.2 節所擬定之延滯狀況為例，將延滯狀況輸入各流程配置方式之等候模型中並求解相關延滯成本，以瞭解延滯狀況於不同出境作業流程配置下之影響；由於延滯成本可間接說明延滯影響狀況，因此本節未列出相關延滯時間求解結果，而以延滯成本進行分析，求解結果如表 5.14、5.15 及圖 5.6、5.7 所示。表 5.14 與表 5.15 分別表示不同流程配置下，各作業與各航班之延滯成本；表中效益值代表流程改變後，所增加之延滯成本與原航班配置下延滯成本之比，該值計算與式(5-2)觀念相同，正值表改變配置流程之延滯成本較原配置方式低，反之，負值表延滯成本增加。

表 5.14 不同出境作業流程配置下，各作業之延滯成本（單位：元）

| 作業 流程 配置 | 櫃檯 報到 | 證照 查驗 | 安全 檢查 | 登機 前安 檢 | 登機 | 行李分 揀/ 打櫃 | 裝機 | 總延滯 擴散 成本 | 效益 |
|----------------|----------|----------|----------|---------------|-------|-----------------|-----|-----------------|---------|
| 原航站 配置 | 450 | 4487 | 4284 | - | 8129 | 60 | 60 | 17470 | 0% |
| 先安檢 後證檢 | 450 | 4281 | 0 | - | 8129 | 60 | 60 | 12979 | 25.7% |
| 前端式 | 450 | 4683 | 4644 | - | 8001 | 60 | 60 | 17898 | -2.4% |
| 衛星式 | 450 | 4487 | - | 13553 | 23553 | 60 | 60 | 41963 | -140.2% |
| 大型 機場 | 450 | 4487 | 4284 | - | 13596 | 60 | 60 | 22938 | -31.3% |
| 911 | 440 | 4487 | 4284 | 13978 | 28146 | 50 | 50 | 51434 | -194.4% |
| SARS | 1332 | 9861 | 12172 | - | 28576 | 115 | 115 | 52172 | -198.6% |

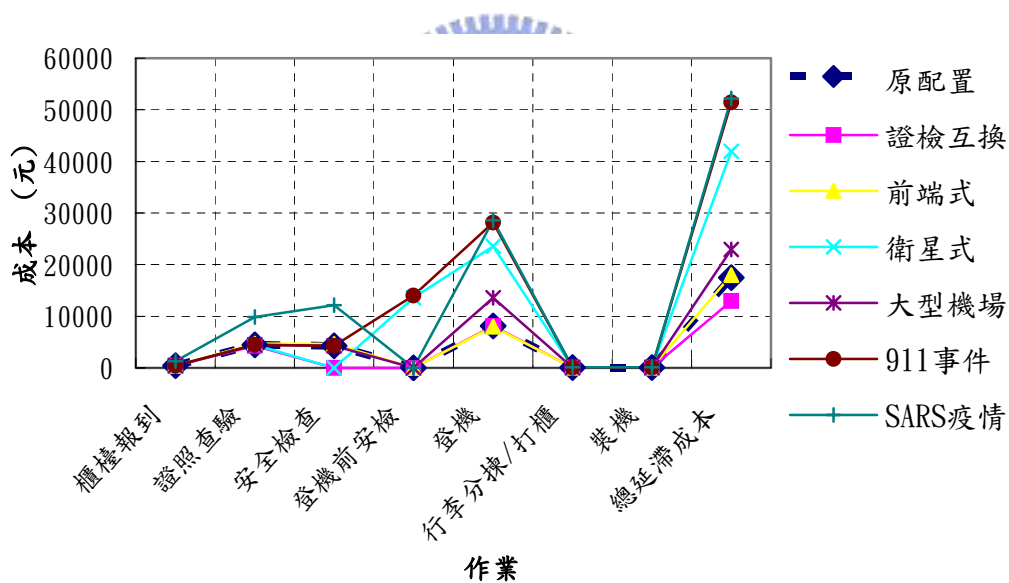


圖 5.6 不同出境作業流程配置下，作業之延滯成本示意圖

表 5.15 不同出境作業流程配置下，各航班之延滯成本（單位：元）

| 出境作業流程配置 | | CI673 | CI603 | CI677 | EG200 | 總延滯擴散成本 |
|----------|-------|---------|---------|---------|---------|---------|
| 原航站配置 | 成本（元） | 6375 | 4480 | 3308 | 3308 | 17470 |
| 先安檢後證檢 | 成本（元） | 5939 | 3763 | 1639 | 1639 | 12979 |
| | 效益 | 6.8% | 16.0% | 50.5% | 50.5% | 25.7% |
| 前端式 | 成本（元） | 6397 | 4285 | 3663 | 3553 | 17898 |
| | 效益 | -0.3% | 4.4% | -10.7% | -7.4% | -2.4% |
| 衛星式 | 成本（元） | 6219 | 8933 | 13397 | 13414 | 41963 |
| | 效益 | 2.4% | -99.4% | -305.0% | -305.5% | -140.2% |
| 大型機場 | 成本（元） | 9109 | 7213 | 3308 | 3308 | 22938 |
| | 效益 | -42.9% | -61.0% | 0.0% | 0.0% | -31.3% |
| 911 | 成本（元） | 6893 | 7931 | 18305 | 18305 | 51434 |
| | 效益 | -8.1% | -77.0% | -453.4% | -453.4% | -194.4% |
| SARS | 成本（元） | 17005 | 15272 | 10351 | 9544 | 52172 |
| | 效益 | -166.7% | -240.9% | -212.9% | -188.5% | -198.6% |

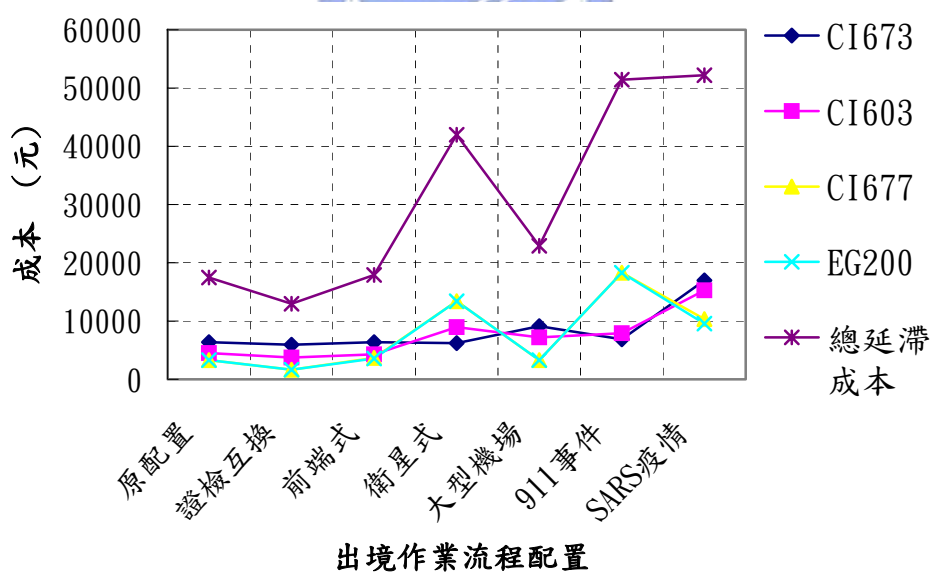


圖 5.7 不同出境作業流程配置下，航班之延滯成本示意圖

由表 5.14 中可知，於同一延滯狀況下，除先安檢後證照查驗之流程配置產生之延滯成本較原配置方式低，其餘作業流程配置方式所產生之延滯成本均較原配置方式高，以下並就各流程配置之延滯擴散成本進行分析：

1. 先安檢後證照查驗之出境作業流程配置：本範例假設之延滯狀況為

證照查驗作業上發生服務延遲，因此當安檢作業提早至證照查驗作業前方時，將不受證照查驗作業延滯影響，故其配置方式之延滯成本較原配置方式低。本配置於登機作業產生之延滯成本與原配置方式相同，此結果顯示本配置下，證照查驗作業延滯仍對航班 CI673、CI603 之登機作業形成擴散影響。

2. **前端式出境作業流程配置：**因櫃檯報到至證照查驗作業間之連通時間，由原非直接進入式接續關係之 5 分鐘，變更為直接進入式關係之 1 分鐘，航班 CI603 旅客延遲抵達櫃檯報到作業產生之延滯，對接續作業造成之延滯擴散影響將更形嚴重（證照查驗、安檢作業），由此可知，當作業間為較緊密之銜接配置時，上游作業延滯對下游接續作業所造成之擴散影響將更為嚴重。同時，由表 5.14 可知，此流程配置方式之總延滯成本較原配置方式增加 2.4%，又表 5.14 卻顯示航班 CI603 之延滯成本較原配置方式下降 4.4%，此結果顯示該航班於登機作業之延滯時間，因安檢作業往前端配置，延滯於安檢至登機作業間之緩衝現象增加所致。綜上可知，對兩接續作業而言，在接續作業表定時間不變，且上游作業表定作業時間提前之情況下，隨著作業間連通時間之增加，上游作業對接續作業之延滯擴散影響會因空間緩衝現象而隨之下降。
3. **衛星式安檢作業之出境作業流程配置：**由於此配置下，安檢作業由原多航班共用式作業變更為單航班使用式，該作業之延滯成本將隨各航班延滯時間增加而增加，即安檢作業延滯成本由原 4,284 元增加至 13,553 元。此外，登機前安檢作業之延滯更將擴散至登機作業上，致登機作業延滯成本較原配置方式高。由此可知，若將原多航班共用式作業以單航班使用式方式配置，因作業之設備、人員成本僅隸屬於單一作業航班，故當作業受上游作業影響而產生延滯時，延滯擴散所造成之成本將較原配置方式嚴重。
4. **大型機場之出境作業流程配置：**本配置方式之總延滯擴散成本並較原配置方式增加 31.3%。由表 5.14 可知，安檢作業對登機作業產生之延滯擴散影響，在航班出發時間不變之情況下，隨著兩作業間之連通時間增加而增加；即航班旅客於上游作業之延滯狀況相同時，若與下游作業間之連通時間增加，下游作業所受之延滯擴散影響亦隨之增加。
5. **因應 911 事件之高安檢作業要求下之出境作業流程配置：**由表 5.14 可知，此配置因櫃檯報到作業較原配置方式提早 30 分鐘進行，故

該作業因旅客延遲抵達造成之延滯成本，將較原配置方式低。同時，受上游作業延滯影響，登機前安檢作業將產生極高之延滯成本（13,978 元），並連帶加深登機作業之延滯狀況。由此可知，相較於原流程配置，當出境作業流程因提高作業安檢層級改變並增加相關之安檢作業，延滯擴散所形成之影響將更形嚴重；由求解結果可知，於該配置下航空公司建議櫃檯報到作業提早至出發前 3 小時開始作業，確實能降低櫃檯報到作業延滯對後續作業所造成之擴散影響。

6. 因應 SARS 疫情之檢疫作業要求下之出境作業流程配置：於同一延滯情況下，櫃檯報到作業增加之體溫量測動作，將增加後續所有旅客、行李作業之延滯成本，總延滯成本並較原出境作業配置方式增加了 198.6%；可知，因應 SARS 疫情而於櫃檯報到作業增加之體溫量測動作，延滯擴散影響將較原流程配置方式嚴重；為降低延滯影響，航空公司可比照高安檢作業要求方式，提早櫃檯報到作業之開櫃時間，以降低該作業對後續作業之延滯擴散影響。

綜上分析可知，透過本研究所構建之航站出境作業延滯擴散分析方法，可成功應用於不同出境作業流程配置下之延滯擴散影響評估，經由對不同出境作業流程配置之條件與環境設定，構建出境作業等候模型，輸入可能發生之延滯狀況，可求解延滯擴散影響範圍與延滯成本；同時，並可瞭解於不同出境作業流程配置方式與延滯擴散影響之關係。

5.5 敏感度分析

航空公司與航站營運單位於進行延滯控制決策過程中，需就原延滯擴散狀況及各控制方案所造成之延滯成本進行評估，以瞭解各方案之可行性；本節將就模式中重要成本參數變動，對總延滯擴散成本之影響進行敏感度分析，以瞭解成本參數變動對延滯控制決策之影響。

5.5.1 時間價值變動之敏感度分析

旅客延滯時間成本為作業發生延滯後，對旅客時間價值之損失，本節藉由時間價值之高低變動，探討旅客時間價值變動對延滯控制成本所產生之影響。表 5.16 與圖 5.8 為時間價值增加，各控制方案總成本改善效益及旅客延滯時間成本比例變動幅度求解結果與示意圖；成本改善效益計算

如式(5-2)，成本比例變動幅度計算如下式所示。其中，成本比例為旅客延滯時間成本佔總成本之比，而成本比例變動幅度值所代表之意義為隨著時間價值增加，相對於原延滯擴散狀況，成本比例於各方案上之變動幅度；正值表原狀況成本比例>控制方案比例，負值表原狀況成本比例<控制方案比例。值愈接近0表控制方案與原延滯擴散狀況成本比例愈為相似，值越大表控制方案與原延滯擴散狀況成本比例相差幅度越大。而圖中之陰影區塊表控制方案之成本改善效益仍為負值，即坐落於該區塊之方案將不被採用。

$$\text{成本比例變動幅度} = \frac{\text{原延滯擴散成本比例} - \text{控制方案成本比例}}{\text{原延滯擴散成本比例}} \cdot \% \quad (5-3)$$

由表 5.16 可知，隨著旅客時間價值增加，原延滯擴散狀況與各控制方案之延滯成本皆隨之增加，在延滯控制決策上，仍以採用增加作業櫃檯為最優之控制方案。若採用固定航班作業完成時間為控制方案，在考量旅客可退票之操作下，則因成本改善效益仍為負值，航空公司將考慮使延滯狀況擴散而不採用取消旅客服務之控制方式，此結果與實務上航空運輸票價甚高，取消旅客作業所須負擔之退票成本高之現象吻合。

由圖 5.8 中可知，隨著時間價值增加，各方案之成本改善效益變動方向也有所不同，僅於可退票下採用固定航班作業完成時間方案之延滯成本改善效益隨時間價值增加而增高，其餘控制方案成本改善效益卻隨之遞減。又觀察表 5.16 可知，成本比例變動幅度之變動方向與成本改善效益變動方向呈負相關，即當成本比例變動幅度為正趨近 0，成本比例愈為相似，成本改善效益隨之增加。負趨近 0，成本比例愈為相似，成本改善效益隨之下降。

由圖中同樣可知，隨著時間價值增加，成本效益改善程度大小（各方案橫軸截距），與成本比例變動幅度呈正相關，即隨著成本比例變動幅度愈大，成本改善效益值也愈大，反之亦然。各方案中，以可退票下之固定作業完成時間方案成本改善效益幅度最大，當時間價值由 1(元/分鐘)增加至 20(元/分鐘)時，成本比例變動幅度由 79.4%下降至 21.0%，成本改善效益由-372.2%提升至-22.8%。

表 5.16 時間價值變動對延滯控制方案成本之敏感度分析

| 時間價值(元/分鐘) | 原延滯擴散狀況 | | 固定航班作業完成時間(不可退票) | | 固定航班作業完成時間(可退票) | | 增加作業櫃檯 | | 使用特定櫃檯服務 | |
|------------|---------|--------|------------------|------|-----------------|---------|--------|-------|----------|------|
| | 變動幅度 | 效益 | 變動幅度 | 效益 | 變動幅度 | 效益 | 變動幅度 | 效益 | 變動幅度 | 效益 |
| 1 | 100.0% | 100.0% | -2.0% | 4.8% | 79.4% | -372.7% | -2.1% | 77.8% | -2.0% | 4.8% |
| 5 | 100.0% | 100.0% | -0.5% | 3.4% | 50.1% | -94.4% | -0.5% | 77.4% | -0.5% | 3.3% |
| 10 | 100.0% | 100.0% | -0.3% | 3.2% | 34.3% | -47.6% | -0.3% | 77.4% | -0.3% | 3.1% |
| 15 | 100.0% | 100.0% | -0.2% | 3.1% | 26.1% | -31.2% | -0.2% | 77.3% | -0.2% | 3.0% |
| 20 | 100.0% | 100.0% | 0.1% | 3.0% | 21.0% | -22.8% | -0.1% | 77.3% | -0.1% | 2.9% |
| 變動方向 | * | * | + | - | - | + | + | - | + | - |

註：(*)表無關聯性，(+)表正相關，(-)表負相關

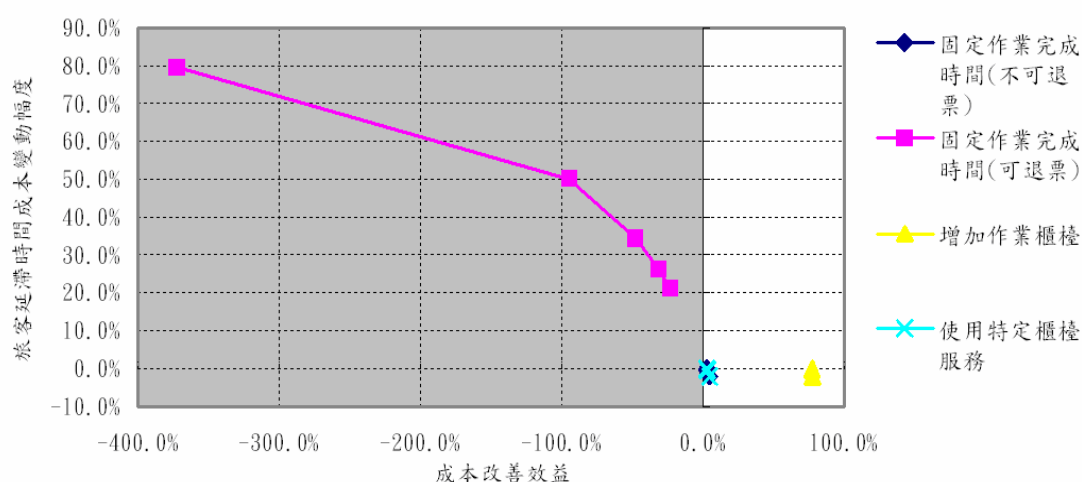


圖 5.8 不同時間價值下，各控制方案成本改善效益與旅客延滯時間成本比例變動幅度關係示意圖

5.5.2 作業設備費變動之敏感度分析

表 5.17 與圖 5.9 為作業設備費增加，各控制方案總成本改善效益及超時作業設備成本比例變動幅度求解結果與示意圖。由表中可知，隨著設備費的增加，成本改善效益最優之控制方案均仍為增加作業櫃檯方式；此外，隨著作業設備費之增加，各控制方案成本改善效益變動方向有所不同，除增加作業櫃檯與使用特定櫃檯服務方案外，採用固定作業完成時間方案之成本改善效益，隨著設備費之增加而增加，其中，當作業設備費達

15 元/分鐘時，採用不可退票之固定航班作業完成時間方案成本，將低於使用特定櫃檯服務方案。同時價值敏感度分析結果，由表中可知，成本改善效益變動方向與成本比例變動幅度呈負相關；成本改善效益變動幅度與成本比例變動幅度呈正相關。

表 5.17 作業設備費變動對延滯控制方案成本之敏感度分析

| 作業設備費 (元/分鐘) | 原延滯 擴散狀況 | | 固定航班作業 完成時間 (不可退票) | | 固定航班作業 完成時間 (可退票) | | 增加作業 櫃檯 | | 使用特定 櫃檯服務 | |
|-----------------|-------------|--------|--------------------------|------|-------------------------|---------|------------|-------|--------------|------|
| | 變動 幅度 | 效益 | 變動 幅度 | 效益 | 變動 幅度 | 效益 | 變動 幅度 | 效益 | 變動 幅度 | 效益 |
| 1 | 100.0% | 100.0% | 70.8% | 4.8% | 100.0% | -372.5% | -726.2% | 77.8% | -21.5% | 4.8% |
| 5 | 100.0% | 100.0% | 67.5% | 5.7% | 93.4% | -366.6% | -652.4% | 75.6% | -21.1% | 4.5% |
| 10 | 100.0% | 100.0% | 67.1% | 6.7% | 93.3% | -359.3% | -578.8% | 72.9% | -20.7% | 4.1% |
| 15 | 100.0% | 100.0% | 66.8% | 7.8% | 93.2% | -352.3% | -520.1% | 70.4% | -20.3% | 3.8% |
| 20 | 100.0% | 100.0% | 66.4% | 8.7% | 93.1% | -345.5% | -472.2% | 67.9% | -19.9% | 3.5% |
| 變動 方向 | * | * | - | + | - | + | + | - | + | - |

註：(*)表無關聯性，(+)表正相關，(-)表負相關

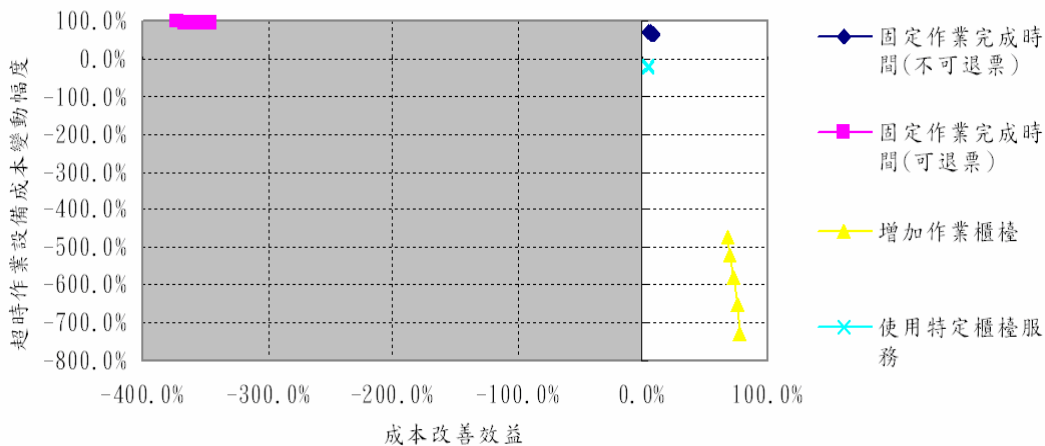


圖 5.9 不同作業設備費下，各控制方案成本改善效益與超時作業設備成本比例變動幅度關係示意圖

5.5.3 登機門時間帶懲罰費變動之敏感度分析

表 5.18 與圖 5.10 為登機門時間帶懲罰成本增加，各控制方案總成本

改善效益及登機門時間帶懲罰成本比例變動幅度求解結果與示意圖；由表中可知，隨著登機門時間帶懲罰費的增加，各控制方案之成本改善效益均呈正向變動，即各方案之改善效益均隨之增加，其中，仍以增加作業櫃檯為最優之控制方案。同上述敏感度分析結果，由表中可知，成本改善效益變動方向與成本比例變動幅度呈負相關；成本改善效益變動幅度與成本比例變動幅度呈正相關。由表中結果顯示，航空公司於登機門時間帶取得費用較高之機場，面對臨時性之出境作業延滯狀況時，若能採用本研究擬定之延滯控制方案，避免於登機作業上產生延滯，其所帶來之延滯成本改善效益亦極為可觀。

表 5.18 登機門時間帶懲罰費變動對延滯控制方案成本之敏感度分析

| 登機門 時間帶 懲罰成 本(元/ 分鐘) | 原延滯擴散 狀況 | | 固定航班作 業完成時間 (不可退 票) | | 固定航班作 業完成時間 (可退票) | | 增加作業 櫃檯 | | 使用特定 櫃檯服務 | |
|----------------------------------|-------------|--------|------------------------------|------|-------------------------|---------|------------|-------|--------------|-------|
| | 變動 幅度 | 效益 | 變動 幅度 | 效益 | 變動 幅度 | 效益 | 變動 幅度 | 效益 | 變動 幅度 | 效益 |
| 100 | 100.0% | 100.0% | 2.7% | 4.8% | 80.4% | -372.5% | 100.0% | 77.8% | 9.6% | 4.8% |
| 500 | 100.0% | 100.0% | 2.0% | 5.5% | 75.4% | -276.1% | 100.0% | 94.2% | 7.3% | 7.1% |
| 1,000 | 100.0% | 100.0% | 1.5% | 5.9% | 69.9% | -207.8% | 100.0% | 97.0% | 5.7% | 8.7% |
| 1,500 | 100.0% | 100.0% | 1.3% | 6.2% | 65.2% | -166.0% | 100.0% | 98.0% | 4.6% | 9.7% |
| 2,000 | 100.0% | 100.0% | 1.0% | 6.4% | 61.0% | -137.8% | 100.0% | 98.5% | 3.9% | 10.4% |
| 變動 方向 | * | * | - | + | - | + | * | + | - | + |

註：(*)表無關聯性，(+)表正相關，(-)表負相關

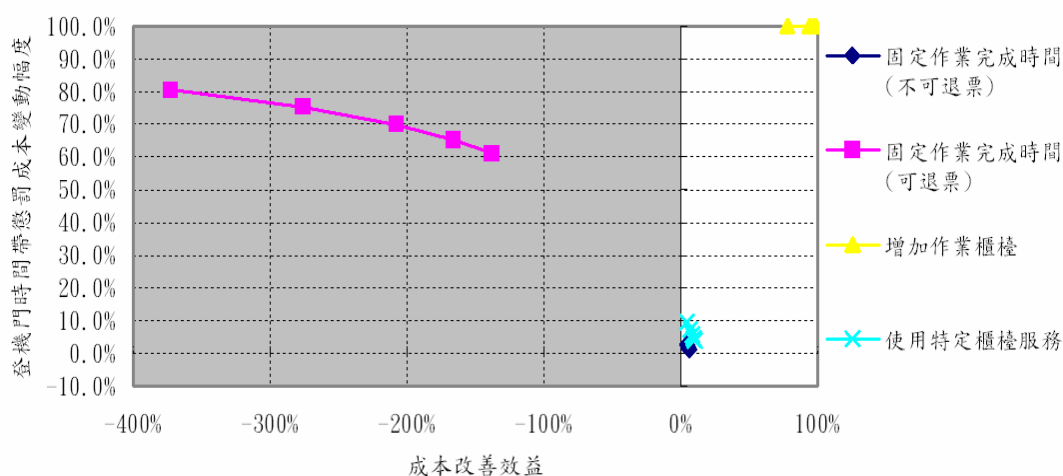


圖 5.10 不同登機門時間帶懲罰費下，各控制方案成本改善效益與登機門時間帶懲罰成本比例變動幅度關係示意圖

5.5.4 敏感度分析小結

透過上述對模式重要參變數之敏感度分析，則各參變數的變動對控制方案造成之影響關係可由下表 5.19 表示，由表中可知各變數增加與控制方案成本改善效益變動方向之關係；同時由敏感度分析結果可進一步得知，成本改善效益變動方向與成本比例變動幅度呈反向關係；成本改善效益變動幅度與成本比例變動幅度呈正向關係。根據本研究對航空出境作業流程重要參變數之敏感度分析，可提供航空公司與航空營運單位於面對不同變數環境下，擬定延滯控制策略決策之參考。

表 5.19 各變數與控制方案成本改善效益之影響關係

| 控制方案 成本 變數 | 原延滯擴 散狀況 | 固定航班作業 完成時間 (不可退票) | 固定航班作 業完成時間 (可退票) | 增加作業 櫃檯 | 使用特定 櫃檯服務 |
|------------------|-------------|--------------------------|-------------------------|------------|--------------|
| 時間價值 | — | + | + | — | — |
| 設備使用費 | + | + | + | — | — |
| 登機門時間 帶懲罰成本 | + | + | + | + | + |

5.6 小結

本章主要針對第 3、4 章之出境作業延滯時間推估模式，及出境作業延滯控制進行範例分析；由前述分析結果可得知，本研究所構建之模式可順利的推估出相關延滯時間、延滯擴散影響範圍與延滯擴散成本，並藉由延滯控制方案之成本分析，探討面臨不同出境作業延滯狀況下可採行之控制方案優劣。對不同出境作業流程配置方式，本章首先就各配置方案構建等候模型，並以一假設之延滯狀況為例，說明不同出境作業流程配置下延滯擴散之影響狀況。最後，本研究並就出境作業流程延滯擴散分析模式中重要成本參數進行敏感度分析，以說明成本參數變動對延滯控制策略決策之影響。

第六章 結論與建議

本研究依據航空客運站出境作業延滯特性，分析出境、轉機航班旅客及行李於出境作業流程中之延滯擴散影響，並進一步針對不同延滯狀況擬定可行之延滯控制方案，以降低延滯擴散影響。綜合前面各章所述，以下提出本研究之結論與建議。

6.1 結論

出境作業流程中，航班可能因臨時性作業事件產生作業延滯；依據出境作業網路特性，延滯除了對相鄰航班作業時間造成影響，對該航班之接續作業而言亦會產生影響。以往文獻多針對個別作業流程作業績效進行探討，使用之研究方法，多以模擬模式或隨機性等候理論為基礎進行，然此類方法未能透明闡述延滯於出境作業系統上之擴散傳播機制。於航空運輸延滯與控制研究中，則多探討空側航機誤點延滯，較無航站陸側作業流程延滯之分析。為瞭解作業延滯於出境作業系統中之擴散狀況，本研究以解析性方法，首先針對出境作業系統中不同作業服務類型特性，與不同作業間接續影響關係進行歸納與分析，並以確定性等候理論為基礎，構建作業等候模型，探討航班作業時間於出境流程上之影響。而後，針對航班各出境等候模型之航班作業延滯情況，構建延滯時間推估模式，以瞭解作業發生延滯後對航班間、作業間之延滯擴散影響。繼而，本研究引入網路模式分析中求解最短路徑之標籤校正演算法，針對航班出境作業時間網路進行分析，評估航班出境作業時間最大之關鍵作業流程，以瞭解航班於所有出境作業流程上作業時間所受之影響及求算此流程上航班之作業所需時間，並探討出境作業流程中不同延滯狀況之多層次延滯擴散影響。

於瞭解延滯擴散影響後，本研究進一步針對延滯擴散影響狀況構建延滯成本函數，以探討旅客、作業單位、航空公司與航站等產生之延滯成本。同時，並就不同延滯原因與作業機制，擬定可行之出境作業延滯控制方案以降低延滯擴散影響。此外，為瞭解不同旅客出境作業流程配置下產生之出境作業延滯擴散影響，本研究亦針對不同作業配置方式下可能之延滯擴散情形進行分析。最後，以中正國際機場出境作業流程為例進行範例分析，結果顯示，本研究所構建之模式可順利推估出航站出境作業延滯擴散影響，透過採用可行之控制方案並可降低延滯擴散影響。

本研究於學術貢獻上，可補過去航站陸側作業延滯研究之不足，以期

供相關之學術領域參考；實務上，構建航空出境作業延滯時間推估模式及分析延滯對旅客航空公司航空作業單位所造成之各項成本，可釐清航班於出境作業流程中，各項因素對航班作業產生之影響，以供航空公司、航空營運單位於未來面對不同作業延滯與流程配置情況下，改善出境作業流程之參考。

綜合上述分析結果，本研究所得之重要結論如下：

1. 實務航空作業中，出境作業延滯為影響航空公司與航空營運操作順暢之關鍵，傳統航空作業研究中未有文獻針對出境作業流程之延滯狀況進行探討；據此，本研究同時針對出境與轉機旅客、行李之出境作業流程，構建數學模式，由主要變數間關係探討延滯形成原因及延滯之擴散情形，並釐清航班於各種作業服務類型與作業間接續關係上之相互影響及延滯擴散影響。此外，實務上作業單位於面臨延滯狀況時所採取之延滯控制方法多依作業人員經驗擬定，本研究透過對延滯狀況與作業機制之分析，將實務之延滯控制操作規則以解析性數學分析方法進行轉換，分析並說明控制機制變數間之影響關係；並透過對延滯擴散影響與控制方案構建相關成本函數，進一步釐清延滯所造成成本之影響。
2. 本研究以範例分析說明模式之可行性，結果顯示本模式可就某一時段內，航班於各作業上之相關延滯資訊與延滯對相鄰航班、相鄰作業之擴散影響及成本進行求解，求解結果符合模式假設，並能解釋模式構建之合理性；另發現，作業接續關係為造成作業間延滯擴散影響範圍之關鍵，即非直接進入式作業接續安排，可有效紓解作業間之延滯擴散影響。
3. 於範例分析中透過對不同延滯形成原因與可用作業資源之評估，採用延滯控制方案可有效降低延滯擴散影響，並得諸點結果：(1). 因退票成本佔延滯成本比重甚高，針對延遲抵達旅客，航空公司可採用不可退票方式下之固定作業完成時間控制方案，以降低延滯擴散影響。(2). 考慮作業設施與人員取得許可下，採用增加作業櫃檯方案可有效降低延滯成本，該方案之改善效益並顯示，於直接進入式作業接續關係上，上游作業延滯若獲得控制，接續作業之延滯連帶改善效益將與上游作業相當。(3). 在作業設施與人員取得不易情況下，對距航班出發時間較為緊迫航班採用使用特定櫃檯服務，雖因此增加其餘作業航班之作業時間，然卻因使用特定櫃檯航班能及早完成作業，降低了該航班之延滯時間減少可能之延滯擴散影響，整體而言，本控制方案之採行成本改善效益仍較原延滯擴散狀況佳。

4. 由範例分析結果可知，本研究所構建之航空出境作業延滯擴散分析方法，可成功應用於不同出境作業流程配置下之延滯擴散影響評估，並獲得以下諸點重要結果：(1).對兩接續作業而言，若航班於上游作業發生延滯但未對下游作業形成擴散影響，則航班之延滯時間將隨著作業連通時間之增加，因空間緩衝現象而隨之下降。(2).若將多航班共用式作業以單航班使用式方式配置，因作業之設備、人員成本僅隸屬於單一作業航班，故當航班作業受上游作業影響而產生延滯時，所造成之成本將較原配置方式嚴重。(3).當航班於上游作業對接續作業形成延滯擴散影響時，因作業連通時間之增加，所產生之延滯擴散影響亦隨之增加。
5. 相關航空研究中，尚無對近年來影響航空作業極為重要之 911 事件與 SARS 事件改變之作業流程進行分析，由本研究範例分析結果可知，當出境作業流程因提高安檢層級而改變，延滯擴散所形成之影響將較原配置方式更形嚴重；此外該配置下，航空公司建議櫃檯報到作業提早至出發前 3 小時開始，確實能降低櫃檯報到延滯對後續作業之擴散影響。就提高檢疫層級而改變之流程配置方式，於櫃檯報到作業增加之體溫量測動作，延滯擴散影響將較原配置方式嚴重；另為降低延滯影響，航空公司可比照 911 事件之流程配置方式，提早櫃檯報到作業之開櫃時間，並可降低作業時間增加對後續作業之影響。上述結果可供航空公司與航空營運單位於面臨各航空事件時，進行出境作業流程配置評估之參考。
6. 由敏感度分析結果可知，各項成本參數佔總成本之成本比例變動幅度變動方向與成本改善效益變動方向呈負相關，即當成本比例變動幅度為正趨近 0，成本比例愈為相似，成本改善效益隨之增加；負趨近 0，成本比例愈為相似，成本改善效益隨之下降。此外，成本效益改善程度與成本比例變動幅度呈正相關，即隨著成本比例變動幅度愈大，成本改善效益值也愈大。由敏感度分析結果亦發現，隨著航空空側登機門懲罰費的增加，陸側出境作業流程延滯擴散影響對航空公司所造成之成本也隨之增加，可知陸側航空出境作業延滯控制的重要。根據本研究之敏感度分析結果，可供航空公司與航空營運單位於面對不同參變數環境下，擬定延滯控制決策之參考。

6.2 建議

針對本研究之後續研究可進行的改善，提出以下建議：

1. 本研究以旅客接受服務之作業時間代表航班旅客流程作業時間，將旅客

接受出境服務之時間特性視為同質性；然而實際上依不同旅客型態，如航線、旅次（商務、旅遊）等特性，旅客抵達作業之時間型態與排隊等候服務之行為也有所差異，未來研究可針對不同旅客型態對出境作業延滯之影響進行探討。

2. 本研究視同一作業上各櫃檯服務率均為相同，然實際航空出境櫃台服務並非如此，如依艙等分櫃服務（商務艙、經濟艙）或自動報到櫃檯等服務方式安排，未來研究可針對同作業上不同櫃檯服務種類進行討論。
3. 本研究假設航空出境作業於面臨臨時性延滯狀況時，各作業服務率仍維持一般作業狀況下之服務水準，以推估作業延滯時間，未考慮在現實狀況中存在之行為反應現象；未來研究可就模式中作業服務率之限制進行放鬆，並探討現實作業狀況中存在之行為反應現象，以瞭解作業速度之變動對延滯擴散之影響。
4. 本研究針對延滯形成原因與作業機制，透過航空作業等候模型分析結果擬定延滯控制方案，雖可避免複雜之控制決策計算過程，且控制方案成本求解容易，但對航空公司與航空營運單位而言，未提供一最適之延滯控制方案組合；未來航空出境作業流程延滯控制之研究中，可考慮以數學規劃方法，構建延滯控制目標式，針對實際作業限制條件進行最適延滯控制方案組合進行求解，以提升延滯控制改善效益。
5. 本研究構建之延滯控制方案為事後之評估模式，而動態規劃方法能快速反應並求解問題，故本研究所未探討之即時資訊及動態控制部分，可為後續研究進行之重要方向，將延滯資料、班表輸入即可求解獲得相關之延滯訊息，方便推估延滯擴散影響範圍、時間與成本，使航空公司與航空營運單位能更快速的採取相關因應策略。
6. 本研究所構建之延滯擴散成本函數僅針對可量化之成本進行分析，未就非量化之影響進行探討，如旅客不耐煩等候、空間過度擁擠等旅客負面感受；未來可對此非量化影響以 Logit 模式或門檻指標評估方法，將非量化轉成量化分析之。
7. 本研究於範例分析中，以同一延滯狀況對不同旅客出境作業流程配置方式進行延滯擴散影響分析，然考慮到實務上各種流程配置方式有其特有之配置條件與作業特性，未來研究可參考本研究對延滯擴散影響分析方法，針對不同流程配置方式與延滯狀況進行交叉分析，並研擬可行之延滯控制策略。

參考文獻

1. 交通部運輸研究所，「台灣地區國際機場作業效率之研究」，民國八十二年。
2. 交通部運輸研究所，「發展空運中心客貨運作業系統之規劃」，民國八十三年。
3. 交通部運輸研究所，「亞太地區國際機場競爭力分析與發展趨勢研判」，民國八十八年。
4. 林信得、凌鳳儀，「航空運輸學」，文笙書局，民國八十六年。
5. 胡思繼，「區段內列車晚點傳播理論之研究」，北方交通大學，北京，中國，1996。
6. 洪偵嘉，「航站大廈出境設施空間設置準則之研究」，國立交通大學交通運輸研究所碩士論文，民國八十五年。
7. 許巧鶯、趙清成，「國際機場航站大廈空間分配之研究-以中正國際機場為例」，中華民國運輸學會第十六屆學術論文研討會論文集，民國九十二年，頁773-782。
8. 許巧鶯、鍾惠存、黃惠如，「航空公司班機誤點延滯擴散與控制之研究」，運輸計畫季刊，第32卷，第3期，民國九十二年，頁447-478。
9. 張有恆，「航空運輸管理」，鼎漢國際工程顧問股份有限公司，民國八十七年。
10. 陳姿琦，「機場出境旅客安檢系統績效之研究」，國立交通大學交通運輸研究所碩士論文，民國九十一年。
11. 許哲彰，「行為反應下航機誤點延滯擴散之研究」，國立交通大學運輸科技與館理學系碩士論文，民國九十一年。
12. 許峰源，「航站設施旅客分布分析模式及應用」，國立交通大學交通運輸研究所碩士論文，民國八十二年。
13. 榮德璘，「中正國際機場航站出境旅客作業模擬與應用」，國立交通大學交通運輸研究所碩士論文，民國八十四年。
14. 鄭銘章，「正國際機場出境旅客特性與到達型態之研究」，國立交通大學交通運輸研究所碩士論文，民國八十四年。
15. 劉水深，「生產管理-系統方法」，專案規劃與時序安排，華泰出版社，民國七十三年。
16. 廖一勳，「證照查驗櫃台設置之研究-以桃園中正國際機場為例」，國立中央警察大學資訊管理研究所碩士論文，民國八十九年。

17. 鄧忠祥，「台灣地區航空站旅客服務水準之研究」，國立海洋大學航運管理學系碩士論文，民國八十九年。
18. 顏上堯、張凱程、陳宣宏，「因應臨時事件機場共用櫃檯即時指派之研究」，行政院國家科學委員會專題研究計畫，民國九十一年。
19. Arguello, M. F., Bard, J. F. and Yu, G., "A Grasp for Aircraft Routing in Response to Grounding and Delays," *Journal of Combinatorial Optimization*, Vol. 5, pp. 211-228, 1997.
20. Baker, C., "Delays Climb after Hitting Five-Year Low," *Airline Business*, March, pp. 20, 2003.
21. Bandara, S. and Wirasinghe, S. C., "Walking Distance Minimization for Airport Terminal Configurations," *Transportation Research A*, Vol. 26, No. 1, pp. 59-74, 1992.
22. Brunetta, L., Righi, L. and Andreatta, G., "An Operations Research Model for the Evaluation of an Airport Terminal: SLAM (Simple Landside Aggregate Model)," *Journal of Air Transport Management*, Vol. 5, pp.161-175, 1999.
23. Chung, C. A. and Nyakman, H., "Operation of Airport Security Checkpoints under Increased Threat Conditions," *Journal of Transportation Engineering*, Vol. 122, No. 4, pp. 264-269, 1996.
24. Chung, C. A. and Sodeinde, T., "Simultaneous Service Approach for Reducing Air Passenger Queue Time," *Journal of Transportation Engineering*, Vol. 126, No. 1, pp.85-88, 2000.
25. Filar, J. A., Mahyem, P. and White, K., "How Airlines and Airports Recover from Schedule Perturbations: A Survey," *Annals of Operations Research*, Vol. 108, pp. 315-333, 2001.
26. Ford, L. and Fulkerson, D., *Flows in Networks*. Princeton Univ. Press, NJ, 1962.
27. Gulewicz, V. and Browne, J., "Designing an Improved International Passenger Processing Facility: A Computer Simulation Analysis Approach," *Transportation Research Record*, Vol. 1273, pp. 21-30, 1990.
28. Hall, R.W., "Vehicle Scheduling at a Transportation Terminal with Random Delay en Route," *Transportation Science*, Vol. 19, No. 3, pp. 308-320, 1985.
29. Hansen, M., "Micro-Level Analysis of Airport Delay Externalities Using Deterministic Queuing Models: A Case Study," *Journal of Air Transport*

- Management*, Vol. 8, pp. 73-87, 2002.
30. Hebert, J. E. and Dietz, D. C., "Modeling and Analysis of an Airport Departure Process," *Journal of Aircraft*, Vol. 34, No. 1, pp. 43-47, 1997.
 31. Higgins, A. and Kozan, E., "Modeling Train Delays in Urban Network", *Transportation Science*, Vol. 32, No. 4, pp. 346-357, 1998.
 32. Jarrah, A. I. Z. and Yu, G., "A Decision Support Framework for Airline Flight Cancellations and Delays", *Transportation Science*, Vol. 27, No. 3, pp. 266-280, 1993.
 33. Jim, H. K. and Chang, Z. Y., "An Airport Passenger Terminal Simulator: A Planning and Design Tool," *Simulation Practice and Theory*, Vol. 6, pp. 387-396, 1998.
 34. Kazda, A. and Caves, R. E, *Airport Design and Operation*, Pergamon, UK, 2000.
 35. Landeghem, H. V. and Beuselinck, A., "Reducing Passenger Boarding Time in Airplanes: A Simulation Based Approach," *European Journal of Operational Research*, Vol. 142, pp. 294-308, 2002.
 36. Lemer, A. C., "Measuring Performance of Airport Passenger Terminal," *Transportation Research A*, Vol. 26, No. 1, pp. 37-45, 1992.
 37. Luo, S. and Yu, G., "On the Airline Schedule Perturbation Caused by the Ground Delay Program," *Transportation Science*, Vol. 31, No. 4, pp. 298-311, 1997.
 38. Moore, E., "The Shortest Path through a Maze," *Proceedings of the International Symposium on the Theory of Switch*, Part II, pp. 285-292, 1957.
 39. de Neufville, R. and Belin, S. C., "Airport Passenger Buildings: Efficiency through Shared Use of Facilities," *Journal of Transportation Engineering*, Vol. 128, No. 3, pp. 201-210, 2002.
 40. Odoni, A. R. and de Neufville, R., "Passenger Terminal Design," *Transportation Research A*, Vol. 26, No. 1, pp. 27-35, 1992.
 41. Parizi, M. S. and Braaksma, J. P., "An Optimum Resource Utilization Plan for Airport Passenger Terminal Building," *Transportation Research Record*, Vol. 1506, pp. 34-43, 1995.
 42. Ray, C. and Claramunt, C., "A Distributed System for the Simulation of People Flows in an Airport Terminal," *Knowledge-Based Systems*, Vol. 16, pp. 191-203, 2003.

43. Rietveld, P. and Brons, M., "Quality of Hub-and-Spoke Network; the Effects of Timetable Co-Ordination on Waiting Time and Rescheduling Time," *Journal of Air Transport Management*, Vol. 7, pp. 241-249, 2001.
44. Robuste, F. and Daganzo, C. F., "Analysis of Baggage Sorting Schemes for Containerized Aircraft," *Transportation Research A*, Vol. 26, No. 1 pp. 75-92, 1992.
45. Rutner, S.M., Munday, R. A. and Whitaker, J., "Alternatives for Reducing Delays at the United States' Busiest Airport," *Transportation Journal*, Vol. 36, No. 3, pp. 18-25, 1997.
46. Saffarzadeh, M. and Braaksma, J. P., "Optimum Design and Operation of Airport Passenger Terminal Buildings," *Transportation Research Record*, Vol. 1703, pp. 72-82, 2000.
47. Setti, J. R. and Bruce, G., "Passenger-Terminal Simulation Model," *Journal of Transportation Engineering*, Vol. 120, No. 4, pp. 517-535, 1994.
48. Suzuki, Y., "The Relationship between On-Time Performance and Airline Market Share: A New Approach," *Transportation Research E*, Vol. 36, pp. 139-154, 2000.
49. Talley, W.K. and Becker A. J., "On-Time Performance and the Exponential Probability Distribution," *Transportation Research Record*, Vol. 1108, pp. 22-26, 1987.
50. Teodorovic, D. and Stojkovic, G., "Model for Operational Daily Airline Schedule Disturbances," *Transportation Planning and Engineering*, Vol. 121, No. 4, pp. 273-285, 1990.
51. Teodorovic, D. and Guberinic, S., "Optimal Dispatching Strategy on an Airline Network after a Schedule Perturbation," *European Journal of Operational Research*, Vol. 15, pp. 178-182, 1984.
52. Tasic, V., "A Review of Airport Passenger Terminal Operations Analysis and Modeling," *Transportation Research A*, Vol. 26, No. 1, pp. 3-26, 1992.
53. Transportation Research Board (TRB), *Measuring Airport Landside Capacity*, TRB, National Research Council, Washington, DC, 1987.
54. Yan, S. and Young, H., "A Decision Support Framework for Multi-Fleet Routing and Multi-Stop Flight Scheduling," *Transportation Research A*, Vol. 30, No. 5, pp. 379-398, 1996.

簡歷

姓名：許乃文

籍貫：台灣省屏東縣

生日：民國 69 年 03 月 06 日

學歷：

民國九十三年六月 國立交通大學運輸科技與管理學系碩士班

民國九十一年六月 私立逢甲大學交通工程與管理學系

民國八十七年六月 台灣省立屏東高級中學

聯絡方式：

casper.tem91g@nctu.edu.tw

casper37.tw@yahoo.com.tw