

國立交通大學

運輸科技與管理學系

碩士論文

航空公司客機艙位規劃之研究

The Study on Determining the Seat Allocation of
Aircraft Cabin for Airlines



研究生：吳維真

指導教授：許巧鶯 教授

中華民國九十七年七月

航空公司客機艙位規劃之研究
The Study on Determining the Seat Allocation of
Aircraft Cabin for Airlines

研究生：吳維真

Student：Wei-Jen Wu

指導教授：許巧鶯

Advisor：Chaug-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 and Management
College of Management
National Chiao Tung University
in partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of
Master
in

Transportation Technology and Management

July 2008

Hsinchu, Taiwan, Republic of China

中華民國九十七年七月

航空公司客機艙位規劃之研究

研究生：吳維真

指導教授：許巧鶯 教授

國立交通大學運輸科技與管理學系（研究所）碩士班

摘 要

航空公司營收大小深受其所提供之服務是否能捕捉市場需求的動態變化。航空客運業同時存在著不受高額票價影響，喜好奢華服務的商務旅客和有預算限制並追求廉價機票的旅遊旅客，不同旅次目的之旅客對各不同艙等選擇的結果以及航線旅次目的組成結構密切影響了艙等座位利用率，進一步決定航空公司的營收以及成本。由於航機可利用之樓地板面積的限制，艙等數、各艙等座位大小和數量實為一取捨關係，航空公司在規劃期間必須考量未來各航機營運年間航線市場變動情況，規劃機艙最適內部設計，以提昇整體的承載率，獲得最佳期望收益；除了艙位規劃外，因不同航線的成長率隨著起迄兩地的市場特性、旅客需求而有所變化，故如何在適當航線安排適當機型飛航亦相當重要。航空公司在進行營運規劃時，如何考慮起迄對航空運量和航線旅次結構的動態變化，並以供需互動角度考量機隊規劃、艙等座位配置對航空公司收益和營運成本的影響，制訂最適之機隊規劃和機艙內部空間設計實為一重要課題。

本研究拓展過去文獻以短期角度探討機艙座位管理問題，以長期角度進行艙等內部空間規劃，探討在各級艙等旅客運量成長幅度不同的航線下，各艙等之間的權衡取捨關係，期能提供航空公司於機艙座位管理之決策彈性。本研究應用解析性方法和數學規劃模式，深入考慮旅客需求面和航空公司供給面特性以及兩者間之供需互動關係，進行航空公司艙等需求量總計、機隊規劃以及機艙內部規劃設計。於需求面，將各艙等旅客需求視為外生，先根據各航線旅客運量歷史資料，以灰色拓撲模式預測各航線於規劃時程的未來年運量，再藉由各航線所屬國之經貿資料，估計各航線於不同艙等之旅客需求量；於供給面，構建能反映艙等規劃、各艙等座位利用率、營運航線和機隊規劃之航空公司營運成本函數。繼而，結合供給和需求面，以航空公司總規劃期間利潤最大化為目標，構建能反映供需之數學規劃模式，分析旅客動態變化、旅客需求和航空公司艙等規劃策略對成本的影響，求解航空公司最適機隊規劃和艙等內部空間規劃設計。

最後，本研究針對一實際航空公司相關資料進行實證分析，以驗證本研究模式在實務應用上之可行性與模式發展之潛力。研究結果顯示單一架新航機於規劃時程傾向營運於特定航線，不易出現隨時程更迭而替換航線執勤之情形；在選擇優先配置何種艙等之座位上，影響決策權衡主要之因素為各艙等的座位面積比例與利潤比例。本研究在學術貢獻上可補過去文獻之不足，亦期能提供相關問題供其他學術研究之參考。而在實務上，本研究結果可提供航空公司相關機隊規劃和機艙內部規劃設計之參考，及研擬相關行銷策略之參考。

關鍵字：艙位配置、機型指派、動態需求市場

The study on determining the seat allocation of
aircraft cabin for airlines

Student: Wei-Jen Wu

Advisor: Dr. Chaug-Ing Hsu

Department of Transportation Technology and Management
National Chiao Tung University

Abstract

The ability to match aircraft cabin service to dynamic market changes is one of the crucial factors deciding the profitability of an airline. There exist business travelers who prefer and are able to afford the high fare of luxurious first-class cabin as well as tourism travelers seeking for cheap air tickets due to budget limits. The cabin-class choice from different travelers and trip purpose on the route determine seat utilization, thereby the revenue and total cost of the airline. Because of the limited cabin floor area, there is a trade-off among cabin class number, the size, and the amount of the seat of different classes. The expected revenue of an airline is influenced by the passenger market characteristics and the aircraft cabin interior design. Though large aircraft is flexible in cabin interior design, the airline must explore the growth rate of routes, changes in market composition and passenger demand when assigning the fleet to each route. A profit-maximizing airline must investigate the impacts of dynamic economic changes and trip purpose compositions of various origin-destination (OD) pairs on the cabin seat allocation and trade-off between costs of providing the service and the revenue accordingly generated from different cabin seat allocation.

This study aims to explore the interior design problem of aircraft cabin from a long-term perspective. On the demand side, this study applies grey forecasting model to predict the demand of each class for each year. On the supply side, the study considers the airline operating cost as related to fleet planning, cabin seat allocation and utilization. A mathematical programming model is further formulated to determine the optimal fleet planning and cabin interior design including the number of cabin classes, the size, and the number of seats for each class. The objective function aims to maximize the total profit of a given airline taking demand-supply interactions into account.

Finally, a case study is provided to illustrate the results and the application of the model. The results show that a new aircraft tends to operate only on a single route for most of service period, and the main factor which significantly affects the decisions on allocating seats for different classes of cabin is the trade-off between the size of the area allocated for and expected profit generated from each class. The results of the model illustrate an integrated solution associated with airline fleet management and cabin design in a dynamic and competitive environment.

Keywords: aircraft cabin interior design, seat allocation, dynamic market changes

誌 謝

曾經讀過實驗室許多學長姐們至情至性的致謝辭，兩年的時間真的過地很快，此時此刻竟也輪到我，提筆為這厚厚一疊論文，完成她最後一頁的時刻。此篇論文能夠從無到有，累積成如今一篇完整的研究成果，最要感謝的就是恩師許巧鶯老師，感謝許老師從大學指導我做畢專以來，將近四年來悉心無私的教導，讓我有機會體會到做研究之美。感謝北交馮正民老師、系上高凱老師、黃寬丞老師，於論文審查期間，撥冗閱讀我的論文初稿，給予我許多寶貴的建議，讓此篇論文最後得以更完整的呈現。除了研究，也要感謝許老師平時對我生活上的關心，還有研究所兩年，能夠擔任高老師兩年的助教也是我最快樂的回憶，謝謝高老師一直以來對我們的照顧與關心。還有民航局於百忙之中幫忙提供相關實務數據，特此一並致謝。

再來就是實驗室的同袍們了，兩年的研究生生涯，除了重要的學位證書外，最寶貴而幸運的就是得以認識所有運輸系統實驗室的成員們。感謝大神經的好友法筑、聽到陽光宅男就會想起你的律陞，水深火熱的研二生活，謝謝你們陪我一起並肩作戰；感謝平時如同一位大姐姐般關心我的慧潔學姐，謝謝妳從我大三開始在學業上的諸多幫忙，和富加學長要永遠幸福；還有在研究上給過我許多建議的小宏學長，恭喜今年從一哥之位榮退，祝您新婚之路甜蜜幸福；總是不忘給我鼓勵的剛伯學長，去年的太魯閣路跑、圍爐，有您在的地方就有歡樂，祝您和美好學姐永遠這麼甜蜜；還有在我失意時總會溫暖地跟我說加油的佳紋學姐，希望畢業後也還能繼續跟妳一起去尋找、分享美食；此外也感謝志青學長、耀慶學長、憲梅學姐、維婷、已畢業的阿昌學長、國濬、昱樺，謝謝你們曾在研究上給我許多可貴的意見；也祝博班的你們在研究之路上一路順遂；還有兩位可愛的學妹子萱、惟茵，謝謝妳們平日跟口試當天的諸多幫忙。感謝愛耍冷但偶有佳作的家銘學長、好班底大菘、帥總、友維，香港好搭檔綠茵、小美，還有之音、小花、最後幾個月互相打氣的沂茹等各實驗室的同窗好朋友們，以及族繁不及備載，曾鼓勵過我的交大運管所有先進、學長姐、同學與學弟妹們，一並向你們說聲謝謝。謝謝互相扶持一起走過低潮的愛犬、我最愛的 573 室友群、超級好友陳都華、阿孟、顥瑾，一起在新竹奮鬥的清大好友捷茵、呂先生、佩琪，還有趣味大師老蔡，謝謝你們給予的鼓勵；當然還有交大之寶—北大門的土地公爺爺，在我的六年交大生涯，多次傾聽我、保佑我。

最要感謝的，當然還是最親愛的爸爸、媽媽、阿公、阿嬤、外公、在天堂的外婆，以及大姐、二姐，謝謝你們從小到大給我的鼓勵、相挺與扶持；家裡的兩隻愛貓米妮、布朗尼，看見你們就可以帶給我好心情；最後是永遠當我的避風港與跟我分享一切的 yu 超人，謝謝你一直以來給予我最大的包容，以及生活與課業上的幫忙與鼓勵。

最後，感謝交通大學所有的師長同仁，特別是一路栽培我的交大運管系，交大的一景一物、一草一木，都會是陪伴我走向未來最美好與珍貴的回憶。

吳維真 謹致
2008 年七月盛夏 於新竹

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.....	x
第一章 緒論.....	1
1.1 研究背景與動機.....	1
1.2 研究目的.....	11
1.3 研究範圍.....	12
1.4 研究方法與架構.....	13
第二章 文獻回顧與探討.....	17
2.1 航空公司之營運與機隊機艙規劃.....	17
2.2 旅客需求預測模式.....	20
2.3 航空公司艙位規劃與營收管理.....	22
第三章 模式構建.....	28
3.1 機艙容量與座位關係函數.....	28
3.2 旅客需求量與機隊容量.....	29
3.3 灰色預測模式.....	31
3.4 航空公司成本函數.....	33
3.5 機型內部艙等配置規劃模式.....	34
第四章 實例分析.....	40
4.1 灰色預測模式估計未來客運量.....	40
4.2 求解步驟說明.....	48

4.3 範例背景說明.....	51
4.4 範例結果	58
4.5 敏感度分析	74
4.5.1 各航線頻率.....	76
4.5.2 各航線各艙等票價比.....	79
4.5.3 候選機型座位面積比.....	81
4.5.4 各艙等營運成本比例.....	84
4.5.5 各艙等旅客屬性比例.....	86
4.5.6 各航線需求預測值.....	89
第五章 結論與建議.....	93
5.1 結論.....	93
5.2 建議	95
參考文獻.....	96



圖 目 錄

圖 1.1 研究流程圖.....	14
圖 1.2 研究架構圖.....	15
圖 3.1 本研究決策項目之模式示意圖.....	39
圖 4.1 台北飛往待預測之八條航線自民國 85 年至 91 年旅客總運量實際值.....	41
圖 4.2 台北-香港航線民國 85 年至 91 年旅客運量與 92 年至 105 年預測量.....	43
圖 4.3 台北-胡志明市航線民國 85 年至 91 年旅客運量與 92 年至 105 年預測量.....	44
圖 4.4 台北-新加坡航線民國 85 年至 91 年旅客運量與 92 年至 105 年預測量.....	44
圖 4.5 台北-洛杉磯航線民國 85 年至 91 年旅客運量與 92 年至 105 年預測量.....	45
圖 4.6 台北-布里斯班航線民國 85 年至 91 年旅客運量與 92 年至 105 年預測量.....	45
圖 4.7 台北-西雅圖航線民國 85 年至 91 年旅客運量與 92 年至 105 年預測量.....	46
圖 4.8 台北-澳門航線民國 85 年至 91 年旅客運量與 92 年至 105 年預測量.....	46
圖 4.9 台北-曼谷航線民國 85 年至 91 年旅客運量與 92 年至 105 年預測量.....	47
圖 4.10 演算步驟流程圖.....	50
圖 4.11 四航線民國 98 年至 105 年旅客總需求量預測值.....	55
圖 4.12 台北-胡志明市航線民國 98 年至 105 年各艙等旅客需求量預測值.....	55
圖 4.13 台北-洛杉磯航線民國 98 年至 105 年各艙等旅客需求量預測值.....	56
圖 4.14 台北-布里斯班航線民國 98 年至 105 年各艙等旅客需求量預測值.....	56
圖 4.15 台北-西雅圖航線民國 98 年至 105 年各艙等旅客需求量預測值.....	57
圖 4.16 各航線舊機隊達機齡使用限制待換新機隊示意圖.....	59
圖 4.17 胡志明市航線完成兩階段決策與舊配置總收益之結果比較.....	62
圖 4.18 胡志明市航線完成兩階段決策與舊配置總成本之結果比較.....	63
圖 4.19 胡志明市航線完成兩階段決策與舊配置總利潤之結果比較.....	63
圖 4.20 洛杉磯航線完成兩階段決策與舊配置總收益之結果比較圖.....	66
圖 4.21 洛杉磯航線完成兩階段決策與舊配置總成本之結果比較圖.....	66
圖 4.22 洛杉磯航線完成兩階段決策與舊配置總利潤之結果比較圖.....	67

圖 4.23 布里斯班航線完成兩階段決策與舊配置總收益之結果比較圖.....	69
圖 4.24 布里斯班航線完成兩階段決策與舊配置總成本之結果比較圖.....	69
圖 4.25 布里斯班航線完成兩階段決策與舊配置總利潤之結果比較圖.....	70
圖 4.26 西雅圖航線完成兩階段決策與舊配置總收益之結果比較圖.....	72
圖 4.27 西雅圖航線完成兩階段決策與舊配置總成本之結果比較圖.....	72
圖 4.28 西雅圖航線完成兩階段決策與舊配置總利潤之結果比較圖.....	73
圖 4.29 胡志明市航線在不同頻率下之總利潤比較圖.....	77
圖 4.30 布里斯班航線在不同頻率下之總利潤比較圖.....	78
圖 4.31 胡志明市航線在不同票價比下之總利潤比較圖.....	80
圖 4.32 布里斯班航線在不同票價比下之總利潤比較圖.....	81
圖 4.33 胡志明市航線在不同面積比下之總利潤比較圖.....	82
圖 4.34 布里斯班航線在不同面積比下之總利潤比較圖.....	83
圖 4.35 胡志明航線在不同營運成本比下之總利潤比較圖.....	85
圖 4.36 布里斯班航線在不同營運成本比下之總利潤比較圖.....	86
圖 4.37 胡志明航線在不同旅客屬性比例下之總利潤比較圖.....	87
圖 4.38 布里斯班航線在不同旅客屬性比例下之總利潤比較圖.....	89
圖 4.39 胡志明市航線在不同需求預測下之總利潤比較圖.....	90
圖 4.40 布里斯班航線在不同需求預測下之總利潤比較圖.....	91

表 目 錄

表 1.1 目前空中巴士所提供之機型與供參考之艙等與機位配置.....	4
表 1.2 目前波音所提供之機型與供參考之艙等與機位配置.....	5
表 2.1 航空公司之營運與機隊機艙規劃內容摘要.....	18
表 2.2 旅客需求預測模式內容摘要.....	21
表 2.3 航空公司艙位規劃與營收管理內容摘要.....	26
表 4.1 灰色預測模式預測結果與實際旅客需求量結果之配適度比較.....	47
表 4.2 國籍航空公司E之機隊狀況.....	51
表 4.3 機型及內部艙位配置參考情況.....	51
表 4.4 國籍航空公司E欲分析航線目前機型、頻次、艙位配置情況.....	52
表 4.5 國籍航空公司E欲分析航線之航程距離與各艙等票.....	53
表 4.6 國籍航空公司E欲分析航線於規劃時程內各年度之旅客量.....	53
表 4.7 各航線於規劃時程內各年度各艙等之旅客量.....	54
表 4.8 各航線於規劃時程舊航機汰舊之註銷時間.....	58
表 4.9 各航線於規劃時程內取代舊機購置新航機時間.....	58
表 4.10 各航線於規劃時程內既有舊機隊之容量.....	59
表 4.11 各航線於規劃時程內分派給新機隊之新運量.....	60
表 4.12 完成第二階段新置航機機隊最適內部配置.....	60
表 4.13 完成第三階段修正後之新置航機機隊最適內部配置.....	61
表 4.14 比較胡志明市航線於採新配置與舊配置之各艙等承載率情況.....	64
表 4.15 比較洛杉磯航線於採新配置與舊配置之各艙等承載率情況.....	67
表 4.16 比較布里斯班航線於採新配置與舊配置之各艙等承載率情況.....	70
表 4.17 比較西雅圖航線於採新配置與舊配置之各艙等承載率情況.....	73
表 4.18 胡志明市航線不同頻率下新置航機機隊最適內部配置.....	77
表 4.19 布里斯班航線不同頻率下新置航機機隊最適內部配.....	78
表 4.20 胡志明市航線不同票價比下新置航機機隊最適內部配置.....	79

表 4.21 布里斯班航線不同票價比下新置航機機隊最適內部配置.....	80
表 4.22 胡志明市航線不同座位面積比下新置航機機隊最適內部配置.....	82
表 4.23 布里斯班航線不同座位面積比下新置航機機隊最適內部配置.....	83
表 4.24 胡志明市航線不同營運成本比下新置航機機隊最適內部配置.....	84
表 4.25 布里斯班航線不同營運成本比下新置航機機隊最適內部配置.....	85
表 4.26 胡志明市航線不同旅客屬性比例下新置航機機隊最適內部配置.....	87
表 4.27 布里斯班航線不同旅客屬性比例下新置航機機隊最適內部配置.....	88
表 4.28 胡志明市航線不同需求預測下新置航機機隊最適內部配置.....	90
表 4.29 布里斯班航線不同需求預測下新置航機機隊最適內部配置.....	91



符 號 說 明

t	: 時程
T	: 總規劃時程
q	: 機型
Q	: 候選機型之種類
i	: 艙等
r	: 航線
l	: 參考的艙位配置情況
L	: 參考艙位配置情況之種類
Δ_q	: 機型 q 的總樓地板面積
s^{qi}	: 機型 q 採 l 型配置單位艙等 i 的座位大小
n^{qi}	: 機型 q 採 l 型配置艙等 i 的座位數
n^{si}	: 調整後的座位數
w	: 座位數之調整乘數
S^0	: 在 $t=0$ 時航空公司既有之機隊狀況集合
y	: 航機已使用之年限
y'	: 航機尚可使用之年限
m	: 既有舊航機之編號
m'	: 新航機之編號
Y	: 航機的可使用年限
S'	: 在 $t=0$ 時航空公司所新購入的機隊集合
M'	: 航空公司所新購入之航機數量
R	: 單一架新購入之航機所規劃可能使用的航線 r 的集合
S^t	: 時程 t 時航空公司所擁有之機隊狀況集合
g_t	: 0/1 變數, 若時程 t 時航機已屆使用年限則為 0, 否則為 1
f_r	: 航線 r 之年飛航頻次
A_i^r	: 航空公司於時程 t 航線 r 可提供的艙等 i 總容量
d_m^r	: 0/1 變數, 若航空公司於時程 t 指派航機 $s_{qr}^{m'}$ 值勤飛行航線 r 則 d_m^r 為 1, 否則為 0
d_i^r	: 航線 r 之艙等 i 在時程 t 時之預測需求量 (旅客數/年)
$d_i^{r'}$: 航線 r 之艙等 i 在時程 t 時欲分配給新購入機隊的需求量
$f_{m_i}^r$: 編號 m' 航機營運航線 r 艙等 i 在時程 t 時之承載率
$CP_m^{r'}$: 時程 t 時航機 n 營運航線 r 之單位航機單位航次之營運成本
k_r	: 航線 r 的航程距離

- R_i^r : 表航線 r 艙等 i 與最低費率艙等之成本比
- c_3 : 單一個經濟艙旅客座位的營運成本
- c_i : 單一個艙等 i 旅客座位的營運成本
- P_i^t : 時程 t 時航線 r 艙等 i 的票價
- $P_i^t(d_i^{rt})$: 各時程 t 各航線 r 於所分配之機型營運下，不同艙等 i 因為座位利用率的多寡所衍生的懲罰值
- a_i^t : 因多餘的座位呈現空置所產生的單位座椅的固定成本損失
- b_i^t : 因為運能不足而造成對單位旅客的期望收益損失
- CT_m^{rt} : 編號 m' 航機營運航線 r 於時程 t 時之單位航機之年營運成本
- C_m^{rt} : 編號 m' 航機營運航線 r 於時程 t 時之單位航機之總成本



第一章 緒論

1.1 研究背景與動機

航空公司為吸引不同旅次目的的旅客，規劃費率高低不同之艙等，各艙等機上服務水準、座位大小和座位數不盡相同。以旅遊為目的之旅客因旅遊預算的關係會較傾向選擇低廉費率之經濟艙，而商務旅次的旅客則偏好搭乘商務艙或是頭等艙。在一架航機機艙的底面積有限之條件下，各艙等之艙等座位數和艙等座位大小之間實為互相取捨的關係。各航線由於市場特性之關係，航空公司可針對不同航線之旅次目的結構安排不同大小的航機搭配不同艙等數和各艙等座位大小和數量，然受世界經貿影響，各航線旅客數除隨國家地區景氣成長率各異外，亦存在許多轉型中的航線，此市場動態的變化將影響原機隊規劃之各艙等座位利用率，進一步影響航空公司營收。此外，航空公司於規劃年間之期望營收和成本亦與市場需求預測準確與否有關，因此如何因應各航機有限之樓地板面積，考量動態市場特性以及供需互動關係，決策最適航機艙等數量、各艙等座位大小和數量為航空公司一重要的營運課題。進一步，雖航機可配合市場變動進行改裝，然需要大量成本，因此，航空公司在跟客機製造商下單時就必須決策該航機使用航線以及內部艙位配置決策，此決策亦與航機預期使用年限有關。航空客運各級艙等的營收管理於學術面、實務面均已發展久遠，惟營收管理為在內部各級艙等艙位都已固定下的營收規劃之短期課題，但如何以長期角度在航空公司選購客機機型、規劃內部艙位配置前就能估計出未來使用期限內之期望收益，無論在實務面與學術面，都少有學者探討過；且若航空公司在進行購買航機前就能做出最符合未來需求的最適決策，將較事後再做營收管理來得更有效益。

隨著全球經濟活動的熱絡，航空管制的放寬，以及航空工業的發展，空運成長快速，亦使得各國的旅遊業更加蓬勃發展。空中巴士公司在 2002 年預測，2000 至 2020 年，航空客運延人公里（Revenue Passenger-Kilometers, RPKs）平均年成長率 4.7%，2020 年之總 RPKs 將會是 2002 年的 2.5 倍，航空貨物延噸公里（Freight Tonne-Kilometers, FTKs）平均年成長率 5.5%。由於航空客貨運量的快速成長，航空業對於發展大型飛機也抱以樂觀態度。當時，800~1000 座位數飛機被大膽預測將於數年後問世。如空中巴士公司發展之 A300 型客機，其策略是長程、班次少、極高的載客量。2005 年一月，空中巴士正式推出號稱大小直逼「一個足球場」大的 A380 雙層巨無霸客機；A380 客機酬載若以典型的頭等、商務與經濟艙配置座位，可載客 555 人，若全部配經濟艙，載客數甚至達 840 人，最大酬載重量為 84 公噸。自 1975 年起開始成為全球商業運輸主力的波音 747 型客機，正常載客數為 416 人，與 A380 相形見絀。A380 機艙內的地板面積比波音 747 型多出 49%，空間寬裕，使得機內甚至可以設置商店、酒吧和賭場等休閒設施。然而空中巴士於 2006 年六月、十月，兩度推遲了 A380 的交機時間，也使得知名的美國聯邦快遞

FEDEX，以及世界最大的包裹遞送公司——美國聯合包裹服務公司 UPS 分別向空中巴士取消了 10 架的 A380 貨機訂單；交機的誠信問題也讓空中巴士 A380 的推出在原先的一片看好聲中蒙上了一層陰影，空中巴士也由於 A380 的延遲交機，使得公司被泰航等航空公司提出了巨額的罰款要求。所幸，第一架 A380 總算於 2007 年 10 月 15 日交付給了新加坡航空，且於同年 10 月 25 日首航營新加坡-雪梨航，所以 A380 實際交貨日比客戶合同中規定的日期大約晚了兩年。而除了空中巴士 A380 以外，波音公司甫於 2007 年 9 月正式出廠的全新的革命性噴射客機「綠色」B787 夢幻客機也掀起了航空市場廣泛的討論。當初 A380 的推出曾讓波音寢食難安，市場甚至傳出波音將在 2013 年全面退出航空業之說。為此波音一鼓作氣，祭出全新夢幻機種 -787 系列以應戰，787 特點在於大量採用複合材料，低燃料消耗，高循環速度，以及高效益又舒適的客艙環境。因其符合環保的設計概念，也讓 B787 被航空業美譽為「綠色噴射客機」。在訂單上，截至 2007 年 7 月，B787 已收到來自 47 家航空公司，將近 700 架的訂單，同一時間 A380 的訂單還不到 200 架；這也讓波音 B787 備受矚目，勢必將在未來的航空客運市場佔有一席之地。第一架 787 預計將在 2008 年 11 月底或 12 月交給日本的全日空航空，也稍較預定日期延遲了半年時間。

而有別於以奢華取勝的 A380，航空客運市場尚存在另一個以簡單、低價來吸引旅客的機隊——低成本航空。綜合美國、歐洲和亞洲的低成本航空公司的經營之道，他們的經營模式大致是低廉票價、統一機型、在二級機場起降、簡化服務和降低銷售費用等策略。憑著這個低成本概念，經過汰弱留強和重組合併，目前全球大概有 110 家低成本航空公司，共擁有上千架飛機，估計市場佔有率超過 12%，成為民航界一支不可忽視的力量。如甫於 2004 年 12 月才成立於新加坡的捷星亞洲航空 (Jetstar Asia) 於同年 12 月 16 日起正式首航台北—新加坡航線，票價單程最低只要台幣 2350 元，由於有效控制成本，所以能夠把機票降到這麼便宜。捷星亞洲航空的陽春，第一個表現在座椅空間。其主要機隊都是空中巴士 A320，但在這樣的飛機裡，沒有頭等艙或商務艙等分類，僅有一個經濟艙從機頭貫穿到機尾，座位數一共 180 個，與擁有相同機型的復興航空 162 個座位相比，總計多出 18 個，意即每個旅客所分配到的空間較狹窄，坐起來較不舒服，此外機上也沒有額外的餐飲等服務。

由以上 A380 與低成本航空兩極化的服務策略，可觀察到航空公司所購買的機型與其內部艙等的座位規劃與配置將會影響可服務的旅客數，進一步影響成本大小和收益；機票依機艙等位不同可分為下列七種：1. P：first class premium，收費比頭等艙昂貴，僅部份航空公司有此等位。2. F：first class 頭等艙。3. J：business class premium，如同商務艙，但收費比商務艙昂貴，緊接在 P 及 F 艙位後面，僅部分航空有此艙位。4. C：business class，商務艙，此等位有時票價與經濟艙票價相等，有時比經濟艙高，視各航空公司規

定而異，但比 J Class 為低。5. Y：economy class 經濟艙。6. M：economy class discounted 比經濟艙位票價低。7. K：thrift class 平價艙。一般航空公司通常將艙位分為頭等艙、商務艙與經濟艙三種等級，不同等級之座艙所佔比例將會因航線、機型、旅客需求特性等而有不同的規劃。不同等級的艙等將會有不同等級的服務品質，如座椅空間大小、走道寬度、餐飲、機上娛樂等。其他頭等與商務艙的附加服務尚包括專屬報到櫃檯、貴賓室的使用服務、優先登機及下機行李會被放在專用行李櫃(專業術語稱為 F1 櫃)，亦即第一個下飛機的行李櫃，在處理上也會特別小心。為招攬與爭取顧客，國內長榮航空頭等艙送名牌的過夜包，華航頭等艙在北部甚至還有賓士轎車送機。在此激烈的航空競爭市場下，航空公司必須謹慎觀察並預測旅客的需求變化，並依其偏好訂定營運策略，包含機型選擇、機型內部之機艙座位配置，而機型選擇、機艙座位配置由於決定了承載人數，為影響收益的重要因素。此外如座位大小、走道寬度、各艙等所提供之服務品質，亦會影響旅客的選擇。事實上，過去一些較為老舊的機型座椅位置大小與前後間距，也逐漸不符現代人的體格尺寸，在 2002 年初，英國交通部長 Lord Falconer 就要經濟艙座位間距必須加寬，使得英國民航局規定英國註冊班機經濟艙前後椅距不得小於 26 英吋。表 1.1、1.2 為空中巴士與波音目前所提供之機型與供參考之艙等與機位配置。



表 1.1 目前空中巴士所提供之機型與供參考之艙等與機位配置

	A300		A310		A320							
	A300-600		A310		A318		A319		A320		A321	
艙等數	1	1	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
座位數	298	247	247	240	117	107	134	124	164	150	199	185
	298Y	247Y	247Y	28F, 212Y	117Y	8F, 99Y	134Y	8F, 116Y	164Y	12F, 138Y	199Y	16F, 169Y
椅間距(in)	32/33	31/21	31/21	40/32	32	38/32	32	38/32	32	36/32	32	36/32

	A330				A340							
	A330-200		A330-300		A340-200		A340-300		A340-500		A340-600	
艙等數	2	3	2	3	2	3	2	3	2	3	2	3
座位數	293	253	300	261	300	261	335	295	359	313	419	380
	30B, 263Y	12F, 36B, 205Y	30B, 270Y	12F, 36B, 213Y	30B, 270Y	12F, 36B, 213Y	30B, 305Y	12F, 42B, 241Y	30B, 329Y	12F, 42B, 259Y	36B, 383Y	12F, 54B, 314Y
椅間距(in)	40/32	62/40/32	40/32	62/40/32	40/32	62/40/32	40/32	62/40/32	40/32	62/40/32	40/32	62/40/32

	A380
	A380
艙等數	3
座位數	555
	22F,96B,427Y
椅間距(in)	N/A

資料來源：空中巴士網站

表 1.2 目前波音所提供之機型與供參考之艙等與機位配置

	717			737													
	717-200			737-600		737-700		737-700ER			737-700C		737-800		737-900	737-900ER	
艙等數	2	2	1	1	2	1	N/A	1	2	Trad-2	1	2	1	2	2	1	2
座位數	106	110	117	132	110	149	N/A	48	76	126	149	120	189	162	177	215	180
	8F, 98Y	55F, 55Y	117	N/A	8F, 102Y	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	12F, 150Y	12F, 165Y	N/A	N/A
椅間距 (in)	36/32	34/32	32	N/A	36/32	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	36/32	36/32	N/A	N/A

	747														
	747-8	747-400		747-400ER		747-400 Combi			747-400 Domestic			747-100			
艙等數	3	2	3	2	3	1	3	3	1	3	3	1	2	3	
座位數	467	524	416	524	416	N/A	410	266	N/A	568	N/A	N/A	452	366	
	N/A	N/A	23F, 80B, 313Y	N/A	23F, 80B, 313Y	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	
椅間距 (in)	N/A	N/A	61/39/32	N/A	61/39/32	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	

	757	
	757-200	757-300
艙等數	2	2
座位數	200	243
	12,188	12,213
椅間距 (in)	36/32	36/32

表 1.2 (續)

	767									777									
	767-200ER			767-300ER			767-400ER			777-200			777-200ER			777-300			777-300ER
艙等數	3	2	1	3	2	1	3	2	1	1	2	3	1	2	3	1	2	3	3
座位數	181	224	255	218	269	351	245	304	375	440	400	305	440	400	301	550	451	368	365
	15F, 40B, 126Y	N/A	N/A	18F, 46B, 154Y	N/A	N/A	20F, 50B, 175Y	N/A	N/A	N/A	N/A	24F, 54B, 227Y	N/A	N/A	16F, 58B, 227Y	N/A	N/A	30F, 84B, 254Y	22F, 70B, 273Y
椅間距 (in)	60/ 38/ 32	N/A	N/A	60/ 38/ 32	N/A	N/A	60/ 38/ 32	N/A	N/A	N/A	N/A	60/ 38/ 31	N/A	N/A	61/ 39/ 32	N/A	N/A	60/ 38/ 31	61/ 39/ 31

	787 Dreamliner		
艙等數	787-3	787-8	787-9
座位數	290~330	210~250	250~290
	N/A	N/A	N/A
椅間距 (in)	N/A	N/A	N/A



資料來源：波音公司網站

根據 2007 年六月商業周刊的報導，現今由於國際燃油價格高漲，燃油佔總成本八成以上的航空業普遍呈現不景氣的低迷狀態。根據統計數據，在 2006 年，我國航空業兩大龍頭之華航在本業獲利衰退了 15%、而長榮航空本業甚至從獲利變成虧損。在全球航空業均處於如此惡劣的環境下，值得注意的是新加坡航空的優異表現；新航在 2007 年初打敗美國西南航空(Southwest)，登上全球市值第一大的寶座，並且在 2006 年的營收與獲利雙雙成長了 8% 以上。新航能有如此卓越的成績，可說是歸功於其「減少載客、增購新機」之經營策略。事實上，比機隊、比營業額，新航都不是世界最大的，然而，新航的成功秘訣在於『每架飛機載的客人要比同業少，越能夠賺錢；而且還要常常花錢買新飛機，才能夠更省錢。』亦即新航所打的是市場的高價策略—『客人少一點，而艙內豪華艙等的空間、品質卻升級』，寧可犧牲飛機的載客總人數，也要保住乘客的舒適度；因為新航知道高油價時代，有錢人只會更多而不會減少，新航的投資策略即是瞄準 M 型社會高消費額的一端，勇於拉抬票價，創造高品質服務與高承載率。新航一架飛機敢比同業少約 10% 的載客人數，等於犧牲了總載運人數，但自 2006 年年中開始，不管是在台灣還是在歐洲航線，即便同航線的豪華客艙售價都高於同業一成以上，但新航總體載客率卻提升了 8%，達到近八成，即是 2006 年成長的主因。新航致勝的第二秘訣為『飛機新一點，節省燃油成本、維修成本』；新航認為，快速更換飛機可以比同業省油、省成本，最新波音 B787、空中巴士 A380、A350，新航早已下了訂單，而國內長榮與華航至今還未決定新機採購計畫。同時新航也不將改裝的經費浪費在舊型飛機上；為省下維修成本，新航旗下超過五年的飛機就要更新，因為舊機所需進行的保養工程會越來越大，例如十年飛機的維修經費可能是三年飛機的一倍以上，所以新航將機隊機齡控制在六年左右。2006 年新航維修成本僅占 2%，遠低於其他航空公司平均約 5%，從維修省下三個百分點，換算在營業額超過新台幣三千億元的新航，就是多賺近一百億元。

我國行政院將二〇〇八、二〇〇九兩年定為「旅行台灣年」，計劃投入十億元新台幣，以二〇〇九年來台旅客四百二十五萬旅次為目標，預計創造觀光外匯收入一千九百二十一億元。然而，當局也曾於二〇〇四年推出「五年五百萬觀光客倍增計劃」，預定二〇〇八年來台旅次可達到五百萬人次，二〇〇七年的觀光目標人次則為四百萬；去年初，交通部將來台旅客下修為三百七十五萬人次。結果，去年來台旅次僅為三百七十一萬六千人次，修正後的觀光旅次目標仍未達成。有鑒於觀光產業在全球社經發展的重要性，世界經濟論壇二〇〇七年曾發佈一份包含全球一百二十七個國家及經濟體的觀光競爭力指標，台灣整體觀光競爭力指數名列第三十，屬中上波段，在亞洲地區次於香港、新加坡及日本；實具有水準之上的觀光潛力。觀光客大致可分為觀光及商務兩種旅次，因兩岸特殊情感，純為來台觀光，大陸客將是最大市場；而台灣經濟發展衰退，亞太空運中心、轉運中心、金融貿易中心等計劃尚無法實現，商務旅次減少，會展產業無法開展，附帶觀光效益不如預期。前交通部常務次長張家祝曾表示，兩岸通航、開放觀光，便捷交通，才

能吸引商賈雲集的北京、上海商務旅次到台灣觀光。我國由於當前的政治局勢轉變，延宕多年的兩岸三通議題漸露曙光，一般認為，三通的開放將能大幅帶動台灣的航空業市場與商機，一旦有足夠的成長空間，長榮與華航就有意願更換與選購新機。

在實務上，航空公司針對不同航線、不同機型所做的內部艙等規劃對航空公司的成本、營收、利潤大小有直接的影響。若航空公司所規劃之座位供給大於實際的旅客需求量，將導致空位過多，造成座位空置的情況，使得承載率下降，雖然機上旅客可能因而感覺服務品質提升，但將造成各個機位的平均成本提高；反之若某艙等機位規劃過少，造成超賣情形，容易使得旅客的延遲時間增加，造成旅客不滿，甚至轉移至其他家航空公司，將會減少營收，且降低旅客對航空公司的整體印象與忠誠度。

而除了艙位規劃外，在適當航線選擇適當機型飛航亦相當重要。不同航線的成長率隨著起迄兩地的經濟狀態而有所變化。如近年來由於世界景氣呈穩定復甦狀態，加上中國大陸經濟不斷強勢成長，由遠東至世界各地的航線，無論客運或者貨運的需求都急速成長。如東南亞開發國家，許多航線之型態就由旅遊航線轉變為商務航線；如我國高雄往返胡志明市之航線，由於台商與越籍新娘搭乘頻繁，市場有很大的成長空間，於是華信航空宣佈將於 2007 年十二月起增加每週七班往返越南胡志明市班機。航線性質的變化亦影響了此航行航線機型內部各級艙等的承載率。不同機型由於規格與設備有所不同，舒適度會有所差異，且有些機型適合短程飛行，有些則適合長程；通常長程、高所得的商務旅客對舒適度較為重視，因此偏向選擇高價位的機艙，反之重視價位的休閒旅客則傾向選擇低價艙等。因此航空公司於機型與內部艙等規劃時若能給予不同艙等旅客提供適當的不同服務等級，不僅能提高顧客忠誠度，也利於提升各艙等承載率，達到最佳營收的目的，如新航的首架 A380—SQ380 客機，據新航台灣區總經理卓嚴民表示，由於新航成為全球第一家擁有 A380 客機的航空公司，便是要提供給旅客更好的服務，透過與顧客的調查發現，搭機旅客無論選擇何種艙等，最在意的就是在飛機上可以使用的空間大小，所以特別把原本可容納 555 個經濟艙座位改為採取三艙等 471 人座的設計配置，分別為 399 個經濟艙座位、60 個商務艙，以及 12 間可放一整張單人床的頭等艙套房；至於波音公司尚未正式交機的 B787，在內部艙位規劃上，除有 223 個座位，採三級客艙的基本型號 787-8，也有以亞洲短途高密度航線為主要對象的 787-3，採兩級客艙，有 296 個座位，至於 787-9 則是加長型，有三級客艙共 259 個座位。在全日空的訂單當中，就有 30 架採僅提供經濟客位的 787-3 型，將供內陸航線使用，估計可載 300 人，另 20 架屬於 787-8 型，設商務及經濟客位，可供跨國長途航線使用，可載 230 人。上述航空公司在下單時要求飛機製造商設計內部艙位配置的現況，反映了在供給面所提供的各航線機型選擇、機型內各艙等的座椅配置數量和座位大小，會影響到需求面旅客的選擇和可服務的總旅客數，進而影響航空公司的營收數目；而航空公司在採買新機

型、決定其內部該如何配置艙等時，也亟需審慎考慮各航線在研究時程內旅客數量隨季節景氣、國家型態的變化。

以「營收管理」作為增加收入的想法，從很早以前就有了。表面上看似相同的產品和服務，由於對不同的顧客具有不同的價值，因而顧客願意支付的價格各不相同。若企業可使用一種方法，將賦予產品及服務不同價值的顧客分開，分別以不同的價格向他們出售產品和服務，企業就可以增加收入。簡單來說，營收管理的核心內容就是「以不同的價格，將座位出售給不同的旅客。」以營收管理作為原理也多應用在很多領域，如長途電話白天的價格與晚上的收費不同、時裝新上市的價格和即將過季的價格有很大差異，都是借用營收管理的概念。有關航空公司營收管理的範圍很廣，針對航空客運選擇機型與營收的研究，過去在學術界已有許多相關文獻就各種角度做過探討分析。如營收管理之艙位配置(seat allocation)為對一航班上可供訂位空間的管理，配置一班機上不同費率等級的訂位人數；亦即在機位已固定的情況下，決定是否接受或拒絕進入訂位系統要求以獲取最大營收。Beckmann(1958)最早提出了超額訂位問題最佳化模式，該模式為一簡單的靜態模式；在其所建立的模式中，將飛機起飛前的訂位過程僅視為一段時間，且僅限於求解一個固定的訂位數之限額，故該模式不具太大的實用價值。Thompson (1961)以 Beckmann (1958)之模式為基礎，發展出類似的模式，並以 Tasman Empire Airways 作實證研究；在該模式中不包含旅客訂位需求的機率分配函數，且忽略了未來可能的訂位要求，僅根據現有訂位數來計算發生機位超賣的機率值。Rothstein & Stone (1967)發展的模式結合了上述幾個模式，首先由管理決策者定出對於超賣旅客數期望值的限制水準，求出使該班機期望收益值為最大的超額訂位數。而在 Smith et al. (1992)以 American Airlines 作為研究對象的報告中指出，American Airlines 曾於 1976 年應用了 Rothstein and Stone (1967)的模式，保留對於超賣旅客數期望值的限制式，並且更為精確的計算實施超額訂位所帶來的收入與成本函數，以提高模式的準確性。營收管理艙位配置議題過去已有上述多位學者做過相關的研究，發展亦已趨成熟。而與機型大小相關議題有 Hansen and Wei (2005)進行過研究。而航空客運的服務頻率也有 Hansen (1990), Norman and Strandens (1990), Nikulainen (1992)等學者作過研究。整體而言，對於航空客運不同需求旅客，過去文獻多針對機型或頻次探討，而機艙內部艙位規劃，艙等的空間配置對航空公司可服務的旅客數、收益有直接的影響，但卻少有文獻做過深入討論。

有關航空運量預測的相關研究數量甚多，所應用的方法大多為多元迴歸模式與時間序列模式等。Horonjeff and Mckelvey (1994)曾歸納過去之文獻，將預測航空客運量之方法分為四類，第一類為判斷預測法 (Forecasting by judgment)，即利用專家判斷 (Professional Judgment)，針對未來的經濟發展趨勢做出判斷並且修正預測需求量。第二類為趨勢投影及推測法 (Trend projection and extrapolation)，應用線性推測、指數推測、

Logistics 曲線推測及 Gompertz 曲線推測等推測型態，以統計方法分析旅客需求量的趨勢。第三類方法為市場分析法 (Market analysis methods)，以市場佔有率模式預測區域性航空運量，或運用市場定義模式以旅客特性區分市場，藉此預測該市場之運量，主要分析旅客社經特性對旅運需求量之影響。最後一類方法為計量經濟法 (Econometric Modeling Method)，為航空旅客需求量預測中最廣為運用者，計量經濟為運用多元迴歸分析法，配合過去之旅客量資料，瞭解影響旅客需求量之因素間彼此的關係，藉以預測未來之需求量。而在探討旅客航線選擇或航空公司市場佔有率時，則多以羅吉特模式為基礎 (logit-based model)，如 Hansen and Kanafani (1990)、Hansen and Wei (2005)，研究結果顯示機型、頻次、費率與可提供座位數等因素，顯著地影響旅客對於不同航線航空公司的選擇。

許巧鶯、溫裕弘 (1997)之研究則是將灰色理論應用於航空客運量預測。研究結果證實以灰色模式預測國際航空客運量之結果，比起使用迴歸分析模式及 ARIMA 模式之預測更具解釋及預測能力。本研究將應用灰色理論之拓撲預測，應用 GM (1,1) 之模式，進行航線未來旅客需求量之波形變化預測。Hsu and Wen (2000)應用灰色理論發展航空運量預測模式，再以灰色聚類設計航空網路型態，並同時考量航空公司營運成本及旅客服務水準，構建多目標規劃模式，求解伯拉圖 (Pareto) 最佳解，分析多目標間之權衡取捨及航線頻次與機型。Hsu and Wen (2002) 將需求視為隨機變數，提出航空網路可靠度評估模式，評估航班頻次在面對短期需求擾動下是否可有效維持成本經濟性及服務水準，並提出可反應短期需求擾動且符合經濟效益之頻次調整法。由於運輸之不可儲存性，航空公司在設計航空網路、規劃航班頻次時，須考量旅客需求變動，才能作最有效益之運輸服務供給；另一方面，旅客主要以航空公司所提供的航班頻次、直航班次及最小飛行時間與延滯時間作為選擇航空公司之依據，因此旅客需求與航空公司航班頻次供給之間存有密切之供需互動關係。Hsu and Wen (2003)考慮個體旅客於時間價值、累計哩程會員之差異，分析個體旅客以一般化旅行成本為考量之航空公司-航班選擇，藉以分析航空公司航線市場佔有率，進而代入供給面航空網路設計模式中，藉由供需交互關係，進行供需互動之航空網路設計。

本研究有別於以往以短期觀點進行艙位管理的研究，而以長期角度進行機艙之艙等內部空間規劃，期能提供航空公司於機艙座位管理之決策彈性。本研究應用個體選擇模式、解析性方法和數學規劃模式，深入考慮旅客需求面和航空公司供給面特性以及兩者間之供需互動關係，進行航空公司艙等需求量總計和機隊規劃以及機艙內部艙等規劃設計。於需求面，將各艙等旅客需求視為外生，先根據各航線旅客運量歷史資料，以灰色拓撲模式預測各航線於規劃時程的未來年運量，再藉由各航線所屬國之經貿資料，估計各航線於不同艙等之旅客需求量，於供給面，構建能反映艙等規劃、各艙等座位利用率、

營運航線和機隊規劃之航空公司營運成本函數；成本函數將可反映各級艙等對旅客所提供之服務水準。繼而，結合供給和需求面，以航空公司總規劃期間利潤最大化為目標，構建能反映供需之數學規劃模式，求解航空公司最適機隊規劃和艙等內部規劃設計。本研究在性質上並非是一個傳統的營收管理問題，但模式中仍存在部分營收管理問題的精神。

1.2 研究目的

本研究之主要目的為，針對航空客運市場，探討旅客需求、航空市場之營收與成本和機艙內部艙位規劃之關係，訂定航空公司內部艙等配置規劃的長期經營策略。於需求面，蒐集一航空公司過去的旅客需求歷史資料，以灰色拓撲模式預測未來規劃時程年內的各艙等旅客需求量，分析特定航線之旅客起迄對變化，航線旅次結構變化；於供給面，建立航空公司客運相關之營運成本函數。同時蒐集、回顧目前航空公司不同機型之艙位配置現況及不同艙等可提供的服務差異，結合上述求得航空公司的營運收入，在儘可能滿足供需均衡的前提下，以航空公司的總規劃時程內利潤最大化為目標，構建研究期間內最適艙等的機型選擇與內部空間規劃模式。透過供需互動來求解在滿足旅客需求下，航空公司應在營業期間購入何種機型之飛機各幾架，內部應分為哪些等級之艙等，各艙等的總面積佔整架客機之比例為何；以及各機型之飛機各將用於哪些航線，各使用年限等。分析上述決策分別在空間與時間軸上的權衡取捨關係，並討論不同的艙等規劃將如何影響營收。最後，將以國內一航空公司進行實例分析，以及主要外生參數之敏感度分析，以驗證本模式於實務上之應用，並提供航空產業於機型選擇、內部艙位規劃決策時之參考依據。

本研究之具體目的如下：

(一) 蒐集並回顧歷年來與航機客運內部機艙配置相關之文獻，包括期刊論文與計畫報告、新聞雜誌報導，以了解航空客運機艙艙位規劃目前之進展情況。

(二) 蒐集現有飛行器製造商空中巴士、波音公司所生產之機型與艙位配置資料，以及國內各大航空公司歷年所購買之機型、艙等分級、各艙等座位數、使用航線、使用年限等數據資料，探討各艙等座位數對營運收益的影響。

(三) 於需求面蒐集欲分析航空公司過去各航線每年所服務的各艙等旅客數量，並建立「灰色預測模式」，配合過去景氣循環的歷史資料，分別估計航空公司營運網路內各起迄對不同艙等旅客需求量。並於供給面建立能反映艙等座位利用率、規模經濟特性、航機大小、艙等內部空間設計之航空公司供給成本函數。

(四) 在滿足供需互動及航空公司期望收益最大化的前提之下，規劃航空公司在研究時程內對所經營之客運航線選擇機型及內部的最適艙等、各艙等座位配置。提出一套適用於不同景氣市場、不同航空公司、不同航線均可適用之客機機型選擇與機艙內部艙位規劃策略。

(五) 考慮影響旅客需求與各航線、各機型之艙位配置成本等供需兩面的變數，構建航機之機型選擇與內部空間艙等配置的數學規劃模式。並分析不同旅客結構下，最適艙等配置的變化。分析影響供需成本間權衡取捨的關係，包括空間與時間兩方面；空間上討論在有限面積下，如何分配給不同等級的艙等，以提昇各時程整體的承載率，獲得最佳收益，另由於購買機型的經費有限，在各航線與各機型如何做搭配也屬於空間上的權衡取捨，在時間上因不同航線成長率各異、快慢幅度不同，在有限的經費下，模式將於適當時機決策於營運時程內所應購買的機型以及如何來設計內部艙位，並討論分別影響供需兩面的主要變數為何。

(六) 本研究以一國籍航空公司的客運市場為對象，蒐集相關實務資料進行實例分析與敏感度分析，說明並驗證本研究之模式於實務面的應用可行性，並比較經過考量供需互動之最適艙等規劃模式與未經規劃航空公司的成本大小與營收差異，討論本模式之可行性；其研究成果預計可提供相關業者做為未來規劃與行銷之參考依據。



1.3 研究範圍

本研究之研究對象為航空客運市場之航空公司，以及搭乘航機的旅客，討論不同旅次目的、不同所得結構之旅客的需求和航空公司各機型艙位、座位配置之關係，分析不同艙等旅客量的變化及未來發展趨勢。不同航線的成長性各不相同，本研究亦將對此予以分析。一般而言航空公司通常會經營多條航線，每個航線就為一個單一的市場，在考慮特定幾條航線下求航空公司的營運最佳化。本研究為避免模式過於複雜，將稍作簡化，以商務及旅遊旅客為主要收益來源，各針對旅遊航線與商務航線各擇1至2條航線進行分析。在航線上先針對特定路線之O-D pair起迄對做討論，未來再視情況擴充為包含過境之網路模式。另外所考慮之機隊為航空公司所自有之機隊，租賃不在討論範圍。機型選擇上將以目前航空業上運用較普及的幾種做為候選機型，討論航空公司所擁有之機型所適用的航線，及各機型航機可使用之年限，不同航線擾動下航機結構變化。研究期間參考航空公司機型採購現況，以及各航機之預期使用年限。本研究模式僅考慮航空客運問題，航空貨運不在討論範圍內。

1.4 研究方法與架構

本研究之研究流程，首先針對研究問題作深入之了解以確立研究動機、列出具體之研究目的。同時回顧與本研究議題相關之文獻，了解相關議題目前之研究進展與實務面之現況。並確定研究範圍為航空客運客機之機艙內部艙等規劃、機型選擇與使用航線、年限。在考量相關之參變數後，分別於供給面、需求面建立成本函數與旅客需求函數，並以航空公司利潤最大化為目標，建立最適機型與艙等配置之數學規劃模式。最後，蒐集實務相關資料進行實例分析並對模式中主要參數施以敏感度分析，驗證本研究之應用價值，提出本研究可提供航空公司於實務面參考的結論與建議。

在航空公司營運成本方面，一般可分為直接營運成本與間接營運成本。前者與飛航相關，包含購買、租賃飛機、維修、油料、機組人員薪資、機場費用之成本；直接營運成本與機型大小和航線起迄機場有關，後者則為與旅客相關之成本，包含旅客服務成本、場站地勤成本、行銷成本等，此項成本除了與總旅客數有關外，亦與各艙等旅客數有關係；上述幾項成本構成航空公司供給成本函數，然而本研究為避免模式過於複雜，將採過去研究一以結構與航程主要變數的成本函數計算成本。於需求面將先蒐集航空公司各航線歷史運量，再以灰色系統理論預測商務與旅遊目的之旅客數量，各航線的商務旅客成長幅度不一，由於商務旅次的增加幅度主要受國際貿易活動影響，故本研究將依據各航線所屬國與我國之海關進出口貿易概況估計不同航線商務客的成長速率。

綜上所述，本研究之流程圖如下：

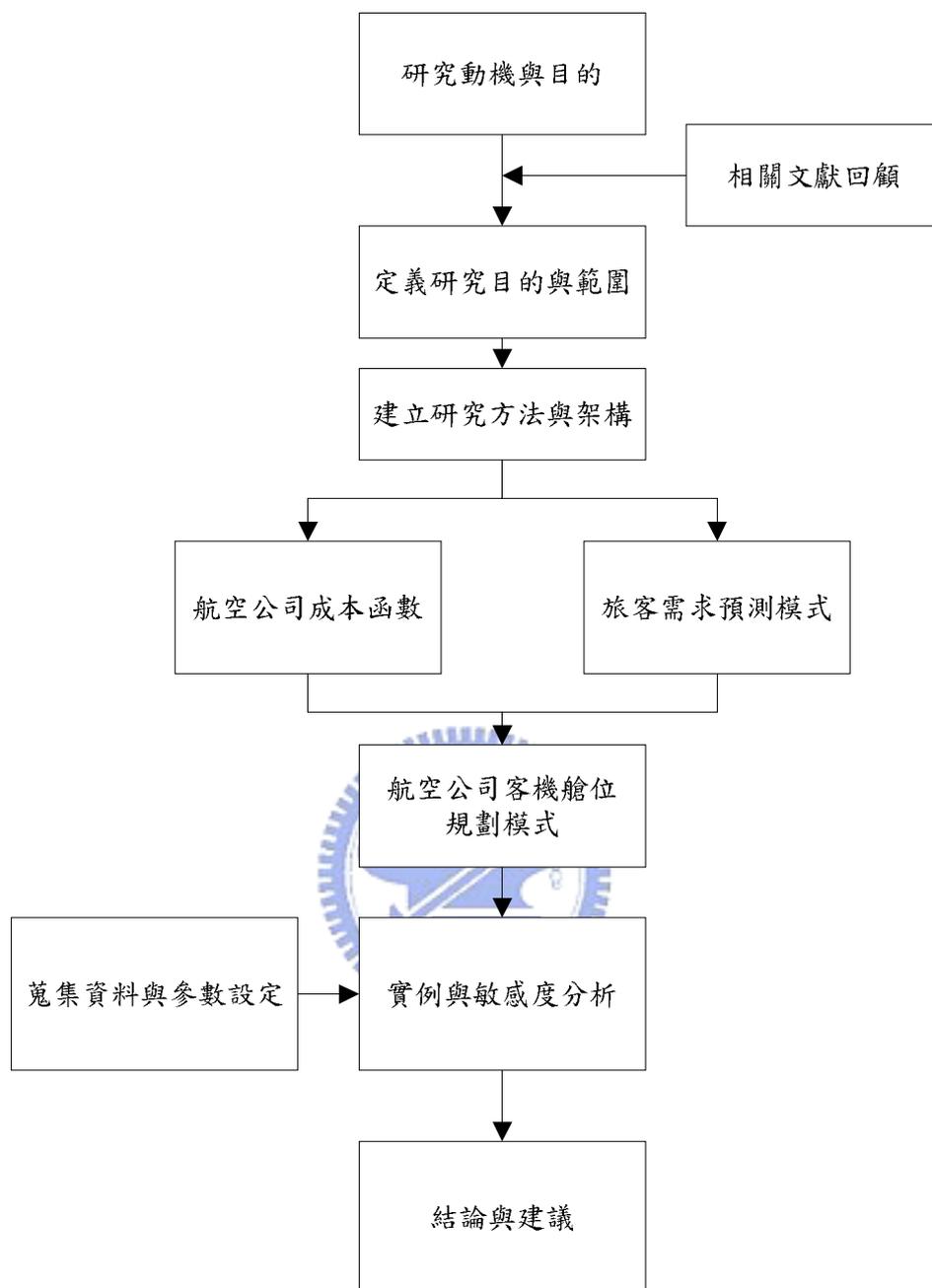


圖 1.1 研究流程圖

本研究之架構主要可分為需求面與供給面兩面；於需求面，首先將就所蒐集之航空公司各航線各年度歷史運量，以灰色拓撲模式預測各級艙等的旅客需求數量，在估計不同航線商務客的成長速率上，則參考各航線所屬國與我國之海關進出口貿易概況。而於供給面，本研究建立航空公司的供給成本函數，供給成本主要與機型大小、航線距離、航線迄點降落機場、各艙等服務水準、旅客數量有關。結合營運收入與成本函數後可求得航空公司之期望利潤，並以研究時程內之期望利潤最大化為目標，結合供需兩面之模

式，建立考量供需互動之航機機型選擇與各級艙等座位數之配置規劃模式，提供航空公司長期的經營策略分析，可提供航空公司包括各航線所應搭配之機型、各機型之艙位配置情況、各機型使用年限等決策。由於航空客運市場是一隨著景氣循環變化的動態市場，所以實際的旅客量與灰預測的估計值會有高估、均等、低估等情況，將會影響航空公司各航線各機型所配置艙等的承載率，進而影響收益。綜上所述，本研究之架構圖如下：

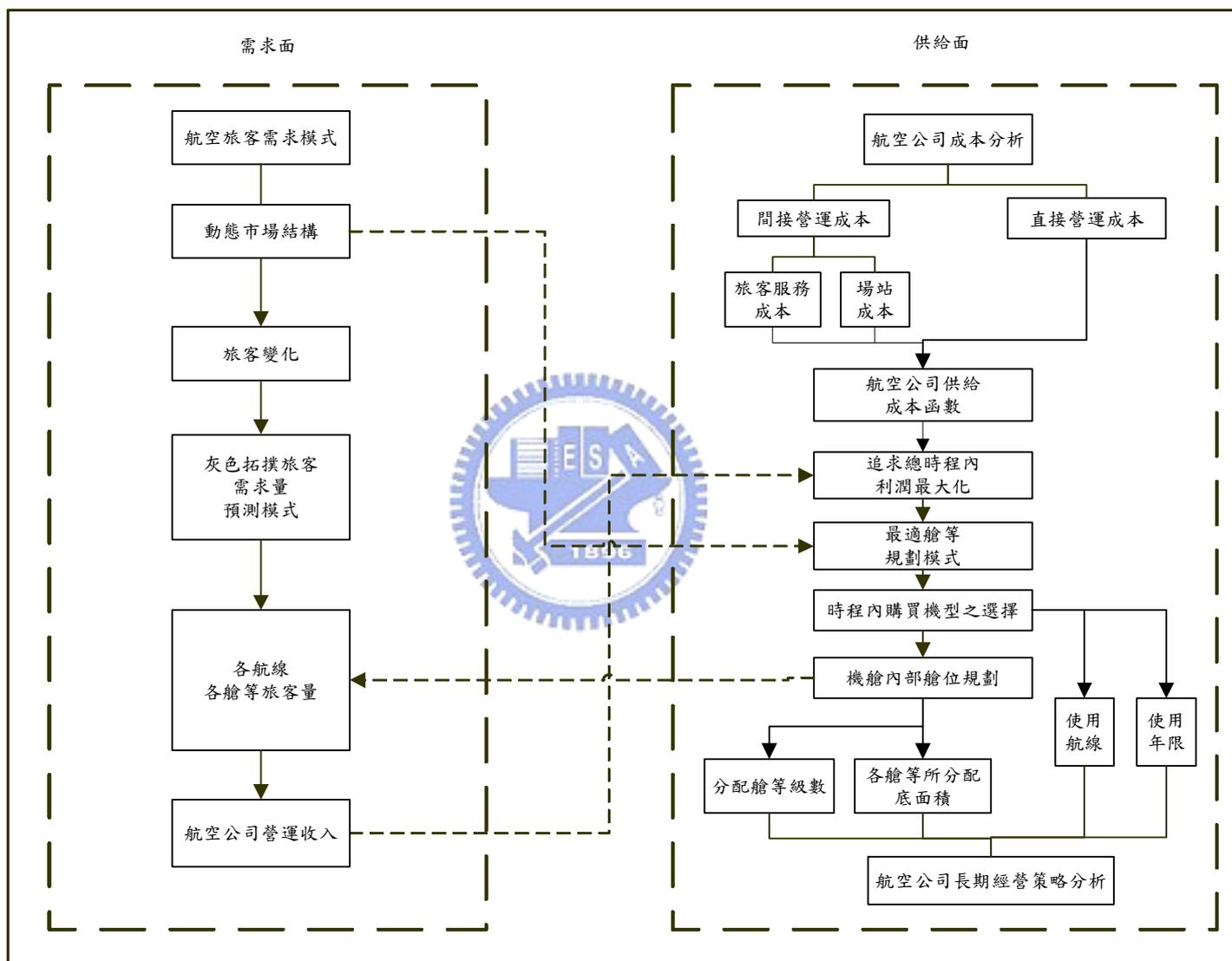


圖 1.2 研究架構圖

本研究進行步驟包括下列幾項：

1. 界定問題與研究架構，回顧過去相關航空產業之需求與供給議題之研究，並瞭解目前航空公司機隊規劃和各航線不同機型內部艙等設計之現況，以及因應不同航線景氣變動機隊調整機制，對於航空公司相關實務議題，分析現有研究尚未深入探討之部分，以確立本研究所探討之問題，界定本研究之學術與實務應用價值，並建立本研究之架構、方法與流程。
2. 於需求面，將航空公司所經營航線的各艙等旅客需求量視為外生，先根據範例航空公司過去所經營各航線旅客運量歷史資料，以灰色拓撲模式預測各航線各艙等於規劃時程的未來年需求運量，再藉由各航線所屬國之經貿資料，估計商務旅客的成長速率，以計算各航線於未來規劃時程內不同艙等之旅客需求量。
3. 於供給面，構建能反映規模經濟特性、機型大小、各艙等和航機整體座位利用率之總營運成本函數。繼而，以航空公司利潤最大化為目標，構建供需互動下之數學規劃模式，分析平均費率、機場等候時間、各艙等服務水準對不同旅客最適艙等選擇之影響，以及上述供給服務策略和對應座位利用率和需求量對成本的影響，以決策航空公司於新購飛機時應將航機配置在哪條航線以及內部應分為哪些艙等和各艙等座位數等。
4. 以航空公司特定數條航線為例，蒐集本模式中主要供給與需求面參變數之實際資料或進行合理之假設，以進行案例分析。最後並對模式中重要參變數進行敏感度分析，以瞭解各參變數值之改變對模式最適解的影響，並闡述本研究實務上應用的可行性與管理意涵。

第二章 文獻回顧與探討

本研究主要探討機艙內部空間設計規劃問題，討論艙等數、各艙等座位大小、座位數之競爭關係，結合需求面之旅客需求運量與供給面之航空公司成本函數，在供需互動下，求得機艙內部之艙位規劃配置最適解。在計算各時程各航線的旅客需求階段，將先蒐集各航線過去若干年所服務之旅客需求運量，再應用灰色預測模式先求得特定航線之總旅客數，再根據航空公司當前於各航線現有配置下的各艙等旅客座位數比例，將各航線的總旅客分配給各級艙等。在未來實際旅客量被高估、低估的機率性，將參考 Hsu and Wen (2002) 中估計可靠度的觀念架構。同時亦將參考整理與航空客運不同艙等營收管理相關之文獻。除了以上與機隊、艙位相關之文獻外，本研究亦將搜尋針對航空客運之需求面、供給面相關之文獻，作為構建旅客需求模式、航空公司成本函數之參考依據。本研究將文獻分類為 2.1 航空公司之營運與機隊機艙規劃、2.2 旅客需求預測模式、2.3 航空公司艙位規劃與營收管理三部份：

2.1 航空公司之營運與機隊機艙規劃

根據楊政樺 (民 90) 對航空公司營運概況的歸納與整理，航空公司的客運成本可分為固定成本與變動成本。其中航空公司對固定成本的支出，大致可分為機務維修費用(人事)、飛行員費用、空服員費用、保險費用、利息費用、折舊費用、租金費用、運務費用及行政費用等項目。變動成本則包括油料費用、機務維修費用(材料)、機上服務費、艙勤服務費、地勤代理費用等。而在本研究中，由於航空公司之實際成本項過於繁雜且一般多將成本資料視為機密而難以取得，故採用 Swan and Adler (2006) 所校估之參數來推估每班飛機之飛航成本，即航空公司某機型於特定航線之單一頻次飛航成本可以機位總數、航程等參數表示。過去與航空客運之機隊與機艙規劃相關之文獻，多著重在服務頻率、機型大小、營收管理的艙位配置等。許巧鶯、劉素妙(民 91) 在航空客機機隊規劃之採購/汰換時程之研究，顯示航空公司之機隊航機購置/汰換時程會對航空公司之營運成本造成影響，航空公司對未來需求所做的預測越準確，則其期望成本會較小。

在服務頻率上，早期研究 Teodorovic (1983, 1986) 利用單目標線性規劃及多評準模式求解最適頻次與機型。Teodorovic (1983) 將旅客需求時間間隔及旅客實際與期望出發時間的差值視為隨機變數，構建機率密度函數，以單一航線為研究對象，藉由頻次、平均旅客需求量、平均旅客延滯時間關係式，探討航空公司承載量與服務水準之關係。Teodorovic (1986) 計算可提供旅客最高服務水準下之頻次，並以之作為機型選擇時之輸入值，考量多項評估準則，藉由準則之重要性次序，決定機型選擇之順序。由於航空公司決定頻次時，除須衡量營運成本外，同時亦須考量旅客服務水準，且此兩項目標相互衝突，因此 Teodorovic and Krcmar-Nozic (1989) 以非線性整數規劃構建多目標模式，同

時考慮最大化航空公司利潤、最大化旅客數及最小化旅客航班延滯等目標，並應用 Monte Carlo 模擬法求解，規劃最佳航班頻次。Hansen (1990)則以服務頻率、費率、飛行距離表示旅客之效用函數。Norman and Strandens (1990)連結服務頻率與旅客的等候時間成本，構建一個機率性航空需求模式；而在機型大小方面，Hanson and Wei (2005)以巢式羅吉特模式研究機型大小與服務頻率、座位數與費率之關係，發現提升服務頻率比提升機型大小對於航空公司的市佔率較有影響。

至於在客機機型內部艙位數的規劃方面，過去研究多與隸屬於營收管理(Revenue Management)的艙位配置(seat allocation)相關。所謂「艙位配置」乃是指當旅客對某班次之機位需求超過機位容量時，將某一航班之艙位空間做最有效的管理，藉由決定是否接受或拒絕進入訂位系統要求，來求取最大的期望效益，所以艙位配置的主要問題乃在配置一架班機上不同費率等級的訂位人數。根據 Smith et al. (1992)在其研究中的估計，American Airlines 在 1989 年由於對艙位配置的有效控制，帶來的收益高達 4.5~5 億美元，提升了 5%的營運收入比例；United Airlines 所帶來的淨收益也高達 1~2 億美元。根據張有恆 (民 92)之研究，艙位配置又可分為靜態巢式、動態巢式、Lee and Hersh (1993)等模式。若採用靜態巢式(static nested)策略在事前做配置，因為對艙位做事前的區隔限制，無法因應與配置情況不同訂位需求到達情況，產生配置決策的僵固性。而動態巢式(dynamic nested)策略雖改善此問題，但採取一天一次的決策更迭，使得隨起飛日期而變化之訂位需求到達形態無法被完整考慮。Lee and Hersh (1993)模式採用了動態規劃來處理此問題，但是當所處理問題規模擴大時，較容易產生求解困難之問題。表 2.1 整理過去針對航機機隊與機艙規劃重要結論。

表 2.1 航空公司之營運與機隊機艙規劃內容摘要

文獻	研究主題與結果發現
Backmann (1958)	最早提出超額訂位之最佳化之靜態模式，探討單一航段與單一費率之情況
Teodorovic (1983)	以機率密度函數，以單一航線為研究對象，藉由頻次、平均旅客需求量、平均旅客延滯時間關係式，探討航空公司承載量與服務水準之關係
Teodorovic (1983; 1986)	利用單目標線性規劃及多評準模式求解最適頻次與機型
Teodorovic (1986)	計算可提供旅客最高服務水準下之頻次，作為機型選擇時之輸入值，考量多項評估準則，藉由準則之重要性次序，決定機型選擇之順序

表 2.1 (續)

文獻	研究主題與結果發現
Teodorovic and Krcmar-Nozic (1989)	以非線性整數規劃構建多目標模式，同時考慮最大化航空公司利潤、最大化旅客數及最小化旅客航班延滯等目標，並應用 Monte Carlo 模擬法求解，規劃最佳航班頻次
Hansen (1990)	以服務頻率、費率、飛行距離表示旅客之效用函數
Hansen (1990)	某機型於特定航線之單一頻次飛航成本可由機位總數、航程等參數表示
Norman and Strandens (1990)	連結服務頻率與旅客的等候時間成本，構建一個機率性航空需求模式
Smith et al. (1992)	American Airlines 在 1989 年由於對艙位配置的有效控制，帶來的收益高達 4.5~5 億美元，提升了 5% 的營運收入比例；United Airlines 所帶來的淨收益也高達 1~2 億美元
Lee and Hersh (1993)	模式採用動態規劃處理，但是當所處理問題規模擴大時，較容易產生求解困難之問題
Andersson (1998)	研究斯堪納維亞航空系統(SAS)，研究當旅客所偏好的艙等售完時，有 buyup 或向其他家航空購買的機會，發現價格為主要的選擇影響控制變數
Hanson and Wei (2005)	以巢式羅吉特模式研究機型大小與服務頻率、座位數與費率之關係，發現提升服務頻率比提升機型大小對於航空公司的市佔率較有影響
許巧鶯 與 劉素妙 (2002)	航空公司之機隊航機購置/汰換時程會對營運成本造成影響，航空公司對未來需求所做的預測越準確，則其期望成本會越小
王彥超 (1999)	透過成本效率的觀點，使用符合全面凹性更具彈性之對稱性一般化影子成本函數來檢視國內各航空公司民國 78-86 年期間之分配扭曲對密度報酬、投入要素需求量（勞動、燃油、固定要素及其他）及成本的影響，以了解各航空公司無效率之所在
張有恆 (2003)	艙位配置可分為靜態巢式、動態巢式、Lee and Hersh 等模式。若採用靜態巢式策略，將產生配置決策的僵固性。動態巢式策略雖改善此問題，但隨起飛日期而變化之訂位需求到達形態無法被完整考慮

表 2.1 (續)

文獻	研究主題與結果發現
楊政樺 (2001)	航空公司的客運固定成本大致可分為機務維修費用、飛行員費用、空服員費用、保險費用、利息費用、折舊費用、租金費用、運務費用及行政費用。變動成本則包括油料費用、機務維修費用、機上服務費、艙勤服務費、地勤代理費用等
張有恆 (2003)	艙位配置可分為靜態巢式、動態巢式、Lee and Hersh 等模式。若採用靜態巢式策略，將產生配置決策的僵固性。動態巢式策略雖改善此問題，但隨起飛日期而變化之訂位需求到達形態無法被完整考慮
汪坤發 (2005)	研究低成本航空公司在台灣營運之可行性，研究基礎主要是來自 AirAsia 航空公司的訪談以及台灣地區相關要素之研究，認為台灣是一個營運低成本航空業務的高潛市場區域

小結：

過去已有文獻構建數學模式探討航空公司最適機型、頻次等問題，以及建立頻次、平均旅客需求量、平均旅客延滯時間關係式，探討航空公司承載量與服務水準之關係。另一方面，以短期角度，探討超額訂位問題和旅客需求以及航空公司收益關係的研究亦有許多，研究結果發現艙位配置的有效控制，可提升航空公司收益。然以長期角度，將動態市場和供需互動納入考量之航空公司最適機隊規劃和機艙內部空間設計的研究則較少見。

2.2 旅客需求預測模式

過去文獻中有關航空運量預測的相關研究數量甚多，所應用的方法大多為多元迴歸模式與時間序列模式等。Horonjeff and Mckelvey (1994)曾歸納過去之文獻，將預測航空客運量之方法分為四類，第一類為判斷預測法(Forecasting by judgment)，即利用專家判斷(Professional Judgment)，針對未來的經濟發展趨勢做出判斷並且修正預測需求量。第二類為趨勢投影及推測法(Trend projection and extrapolation)，應用線性推測、指數推測、Logistics 曲線推測及 Gompertz 曲線推測等推測型態，以統計方法分析旅客需求量的趨勢。第三類方法為市場分析法(Market analysis methods)，以市場佔有率模式預測區域性航空運量，或運用市場定義模式以旅客特性區分市場，藉此預測該市場之運量，主要分

析旅客社經特性對旅運需求量之影響。最後一類方法為計量經濟法(Econometric Modeling Method)，為航空旅客需求量預測中最廣為運用者，計量經濟為運用多元迴歸分析法，配合過去之旅客量資料，瞭解影響旅客需求量之因素間彼此的關係，藉以預測未來之需求量。而在探討旅客航線選擇或航空公司市場佔有率時，則多以羅吉特模式為基礎(logit-based model)，如 Hansen and Kanafani (1990)、Hansen and Wei (2005)，研究結果顯示機型、頻次、費率與可提供座位數等因素，顯著地影響旅客對於不同航線航空公司的選擇。

許巧鶯、溫裕弘 (1997)之研究則是將灰色理論應用於航空客運量預測，該研究運用 GM(1,1)之時間數列預測模式及 GM(1,N)系統預測模式，並引入馬爾可夫殘差修正模式。先以灰色航空運量預測模式求得運量變化趨勢，再結合以馬爾可夫鏈預測模式與 GM(1,1)殘差修正模式，修正原數列模式預測值，以此兩種方法之結合提高 GM 數列預測模式之精確度。研究結果證實以灰色模式預測國際航空客運量之結果，比起使用迴歸分析模式及 ARIMA 模式之預測更具解釋及預測能力。本研究將應用灰色理論之拓撲預測，應用 GM(1,1)之模式，進行航線未來旅客需求量之波形變化預測。Hsu and Wen (2000)應用灰色理論發展航空運量預測模式，再以灰色聚類設計航空網路型態，並同時考量航空公司營運成本及旅客服務水準，構建多目標規劃模式，求解伯拉圖(Pareto)最佳解，分析多目標間之權衡取捨及航線頻次與機型。Hsu and Wen (2002)將需求視為隨機變數，提出航空網路可靠度評估模式，評估航班頻次在面對短期需求擾動下是否可有效維持成本經濟性及服務水準，並提出可反應短期需求擾動且符合經濟效益之頻次調整法。

由於運輸之不可儲存性，航空公司在設計航空網路、規劃航班頻次時，須考量旅客需求變動，才能作最有效益之運輸服務供給；另一方面，旅客主要以航空公司所提供的航班頻次、直航班次及最小飛行時間與延滯時間作為選擇航空公司之依據，因此旅客需求與航空公司航班頻次供給之間存有密切之供需互動關係。Hsu and Wen (2003) 考慮個體旅客於時間價值、累計哩程會員之差異，分析個體旅客以一般化旅行成本為考量之航空公司-航班選擇，藉以分析航空公司航線市場佔有率，進而代入供給面航空網路設計模式中，藉由供需交互關係，進行供需互動之航空網路設計。表 2.2 整理旅客需求預測相關文獻。

表 2.2 旅客需求預測模式內容摘要

文獻	研究主題與結果發現
Hansen and Kanafani (1990)	以羅吉特模式為基礎探討旅客航線選擇與航空公司市場佔有率，顯示機型、頻次、費率與可提供座位數等因素，顯著影響旅客對於不同航線航空公司的選擇

表 2.2 (續)

文獻	研究主題與結果發現
Horonjeff and Mckelvey (1994)	歸納過去之文獻，將預測航空客運量之方法分為判斷預測法、趨勢投影及推測法、市場分析法、計量經濟法等四類
Hsu and Wen (2000)	應用灰色理論發展航空運量預測模式，以灰色聚類設計航空網路型態，構建多目標規劃模式，求解伯拉圖 (Pareto) 最佳解，分析多目標間之權衡取捨及航線頻次與機型
Hsu and Wen (2002)	將需求視為隨機變數，提出航空網路可靠度評估模式，並提出可反應短期需求擾動且符合經濟效益之頻次調整法
Hsu and Wen (2003)	考慮個體旅客於時間價值、累計哩程會員之差異，分析航空公司航線市場佔有率，藉由供需交互關係，進行供需互動之航空網路設計
Hsu and Wen (1998)	將灰色理論應用於航空客運量預測，證實以灰色模式預測國際航空客運量之結果，比起使用迴歸分析模式及 ARIMA 模式之預測更具解釋及預測能力
呂錦隆 (1998)	蒐集國內客運航空旅客之顯示性偏好數據與敘述偏好數據，透過選擇模式之建立，探討影響旅客選擇航空公司之因素
許巧鶯 與 陳雅妮 (2000)	以個別旅客的客位需求、個別旅客對機票效期所感受之不便成本價值，與航空公司所制定各票價之時間限制、票價間之關係為基礎，構建訂位艙等規劃模式

2.3 航空公司艙位規劃與營收管理

本研究雖與過去航空客運機位的營收管理之研究領域不相同，屬於一長期時程下，規劃航空公司在動態市場下各航線出最適艙位配置，以增加整體承載率，求得市場需求與機艙內部設計、組成的最佳均衡以得到最佳收益；故於模式中仍存在部分營收管理的精神。本節中就過去營收管理的票價產品規劃、產品需求預測、座位庫存管理、超額訂位控制作討論。

一般公司營運目標種類包括：利潤最大、容量使用率最大、平均顧客營收最大、營收最大、最小化顧客不滿意度、淨現值最大、每位顧客之實際接受價格最大等，而在航空公司營收管理系統，其目標函數特別強調座位資源總營收為最大。營收管理之概念源起於差別訂價(price discrimination)，差別訂價是以相同資源在邊際成本之上，對不同旅客收取不同之票價以吸取消費者剩餘。差別訂價可分為三種型態：第一程度之差別訂價假設航空公司能完全分辨且區隔每一位潛在旅客，迫使其對產品付出之價值等於其最大

願意付出之金額，因此使航空公司獲得最大利潤且無任何消費者剩餘存在；但由於必須對不同旅客收取不同費率，故實務上並不可行，其分析僅能代表航空公司所能獲得利潤之上限。第二程度之差別訂價稱為自我選擇(self-selecting)，經由旅客購票行為來分辨其願意付出之金額，為目前航空業最主要之產品規劃方法，其常用之機制包括：事先購票、無法退票、來回票等，其實施成效則在於航空公司是否有能力掌握旅客間的相對敏感度，設計及實施不同票價產品結構強迫旅客按照其願付之金額進行區隔，在實務運用上以此類方法最為有效。第三程度的差別訂價同時又稱指標分類(index sorting)，是以外在旅客特性來分辨旅客償付意願並據以進行事前之區隔，由於這些分類多屬於概略性、原則性之事先分類，在應用上過於粗略，且為考量旅運者之目的及所得水準等特性，因此若規劃不當將造成航空公司收益之減少。由於第二、第三程度差別訂價間彼此並不衝突，在產品規劃上常合併使用，借助產品區隔來設定藩籬，防止原屬高票價旅客轉而使用次等級票價產品，以減少單純使用第三程度差別訂價所可能產生之負面影響。

以營收的觀點，座位資源應優先分配給票價最高之旅客，而旅客之價值則要從飛航服務對旅客所產生之效用來分析。飛航服務對旅客所產生之效用，在產品部份來自於機票價格、使用期限、航空公司服務品質，若將旅客認知之價值差別轉換為價格區別之概念，建立獨占市場之旅客自我選擇分類模型，則經由飛航服務對旅客所產生之效用分析，航空公司可運用產品區別來進行市場區隔，所謂產品區別(product differentiation)是指依旅客特性及選擇行為，規劃設計不同之票價產品，以進行第二、第三程度之差別訂價並防止旅客發生垂直移轉之購票行為，因此其必須要將能自動區分旅客特性之機制，以限制條件方式附加於不同之票價產品結構中。然不同之限制條件會造成旅客之旅行成本增加，產生降級的效果。Botimer (1999)將降級成本整合入票價產品模式，併考量旅客轉移(diversion)與訂位限額之效應，提出一般化成本模式。

理論上產品區隔越細，越能達到差別訂價之目的，惟實際上分辨及區隔旅客之機制常不完全，且價格變化在國內可能會受到航空主管機關之管制，即使在一般放寬管制之航空市場，為避免發生價格戰爭，使業者在營運上會採取配合主要業者費率產品之策略，因此無法單獨達到吸引對手需求提高市場佔有率之目的，即航空公司在競爭激烈的市場中，採取降低價格之策略將很難達成其收益最大之企業目標，且會造成市場上價格的紊亂。

產品需求預測即為經由外在環境趨勢評估與歷史資料之統計分析，準確預測航空網路各起迄市場之航班在各開放訂位時段之特定票價旅客需求數及可能之變動。航空公司旅客需求預測主要可分成總體需求預測、旅客選擇模式、訂位需求預測等三種。Lee (1990)研究顯示在高需求航班中，營收管理系統之需求預測能力將增加 10%，將改善 0.5% 至

3.0%之期望營收，因此旅客需求預測亦是營收管理其中一項成功關鍵。總體需求預測部分多運用於長期之營運管理，如機隊數量、飛航班表等之規劃，對營收管理之影響較少；Kanafani (1983)討論以旅客目的、起迄、旅程長度、服務型態等特性，分階層量測各種航空活動如：旅客量、航機運轉、乘客哩程營收數之總計量，並簡單說明運用票價型態進行預測之可能性。

旅客選擇模型應用在旅客需於多服務方案中進行選擇時，Kanafani (1983)研究空運市場所發生之選擇型態類別包括：路線、機場、航空公司、票價型態，再以多項羅吉特模式評估旅客選擇模型。Morrison and Winston (1986)以旅行時間、轉機延滯、票價、服務頻次、航機型式、旅程型態等向量，定義特定航空公司在特定路線所提供之服務特性，且假設旅客在起迄市場，選擇航空公司特定路線之機率為羅吉特模式。而在航空公司之訂位需求預測方面，Littlewood (1972)曾以單一航班不同起飛時間之歷史資料，建立簡單預測總訂位數之模式；Lee (1993)為能清楚描述訂位需求特性，運用隨機過程建立訂位需求累計量與旅客出現訂位或取消訂位之關係式，並利用時間序列迴歸分析預測任何時點的訂位需求，過程中除考慮訂位容量對需求之影響，並整合前期及歷史資料。國內石豐宇(民88)之研究，則引用了非均值 Poisson 分布，針對同旅客到達率，以反映實際訂位需求動態變化情形；Poisson 到達率依時段及票價等級而有不同，此情形較能描述票價產品差異對旅客訂位行為所產生之影響。

而在座位庫存管理的議題上，可被分為最佳座位配置與動態訂位控制兩部份。所謂座位庫存管理即為航空公司善用各航班中飛機座位資源，分配及控制開放訂位期間各起迄不同票價產品間之銷售數，使航空公司能獲得最大之收益。航空公司訂位管理問題具有隨機需求、固定容量、多重費率、單純網路資源的多階段決策問題，在隨機及動態部份，訂位管理人員根據歷史資料分析所得需求預測，決定最佳座位銷售分配作為決定是否接受旅客訂位要求之依據，當達下一個預測更新點時，再觀察新的需求資料重新進行最佳座位分配，據以進行制訂位控制直到訂位截止。營收管理的座位配置問題一般可被分為兩類，第一類依據假設限制條件，發展簡單易行之啟發式解法，第二類方法則利用數學規劃與網路模型來解決相關問題。自 1972 年 Littlewood 以期望邊際報酬觀念，用各航段座位潛在銷售與其費率之乘積，決定接受或拒絕航段訂位要求以來，後續相關研究均以潛在銷售座位之期望報酬處理需求不確定性問題。大多數探討多地停靠的艙位規劃研究，對於不同行程間艙位數量的分配多採「固定配置」(full-assignment)方式，即各行程間分配所得之艙位數量為一固定值，加總即為各區段之訂位容量限制。

所謂超額訂位控制為處理旅客訂位後可能無法登機之不確定性問題，根據過去歷史預測資料與處理超額旅客之成本方案，預設超額訂位接受訂位之比例，降低航空公司可

能之受益損失。航空公司處理超額訂位問題主要是在飛機旅客票價收益與拒絕已訂位旅客登機成本間進行取捨，以決定超額訂位之比例或訂位水準。航空公司在超額訂位部份，一般侷限於單一費率之超額訂位問題上，對於多費率問題較少研究，並且對於影響取消訂位和未報到機率因素，也並未作完整之探討。此外，絕大部分僅考慮單一超賣成本值，未考慮超賣成本函數，與航空公司實際作業有所出入。過去已有相當多文獻針對超額訂位進行探討，概括可分為靜態模式與動態模式兩種：

1. 靜態模式

Beckmann (1958)是最早提出超額訂位之最佳化之靜態模式的學者，探討單一航段與單一費率之情況，在其模式中，將飛機起飛前的訂位過程視為一段時間，但此模式中僅能求解一固定的訂位數，並要求接受的訂位數以不超過此一限額為原則。而訂位限額與已接受訂位數(狀態)、及目前所處時間(階段)無關。Thompson (1961)以 Beckmann (1958)之模式為基礎，建構一網路形態為單一航段，兩艙等兩費率之超額訂位模式，但其模式並非引入需求的機率函數，忽略對未來可能訂位之考慮，而利用已知訂位數求超賣的機率，若發生超賣的機率及其超賣成本的期望值太高，則不再接受旅客訂位。並以 Tasman Empire Airways 作為實證研究。Belobaba (1989)將「超額訂位因子」運用至巢式多費率艙位配置之模式中，考慮取消訂位與未報到的將被重新估計。Gerbracht(1979)的模式，乃針對旅客未報到之機率與旅客訂位人數是否成函數關係的假設提出決策規劃。在其模式中，假設兩者間並無關係，再推導出最大訂位限額之決策準則。

2. 動態模式

Rothstein (1971)為最先將超額訂位的問題建構成動態規劃(Dynamic Programming)的模式。此模式的特點在於將其訂位過程的動態性質在模式中表現出來。在模式中將起飛前的時間分割成一連串的階段(stage)，再假設有關於訂位要求、取消訂位、及未報到的機率皆符合馬可夫性質(Markovian property)，並與距離起飛的時間相關，再利用動態規劃求解。此模式是根據每個階段當時的狀態來決定最佳的訂位策略，並使營收及利潤之期望值最大。然而雖然此模式已考慮到訂位需求之動態特性，但卻也面臨了動態規劃的求解問題，因此航空公司可能要耗費更多的時間與成本在求取最佳策略。Chatwin (1993)探討單一停靠線，分別對票價的固定與否做建構模式，其中證明了最佳訂位策略是在每一個階段中求得預期營收最大之訂位限額。

以往之文獻多將艙位配置與超額訂位分開各別探討，而在各自探討的假設上又不盡相同，致使研究結果無法連貫做有效應用。對於超賣成本的計算常視為常數或將其忽略，一旦發生超額訂位便得考慮超賣所引起的成本，而此超賣成本不應為一常數，可能

為一函數。表 2.3 整理航空公司艙位規劃與營收管理相關文獻。

表 2.3 航空公司艙位規劃與營收管理內容摘要

文獻	研究主題與結果發現
Beckmann (1958)	最早提出超額訂位之最佳化之靜態模式
Thompson (1961)	Beckmann(1958)之模式為基礎，建構一網路形態為單一航段，兩艙等兩費率之超額訂位模式
Rothstein (1971)	最先將超額訂位的問題建構成動態規劃(Dynamic Programming)的模式
Littlewood (1972)	以單一航班不同起飛時間之歷史資料，建立簡單預測總訂位數之模式
Gerbracht (1979)	針對旅客未報到之機率與旅客訂位人數是否成函數關係的假設提出決策規劃
Kanafani (1983)	討論以旅客目的、起迄、旅程長度、服務型態等特性，分階層量測各種航空活動如，並簡單說明運用票價型態進行預測之可能性
Kanafani (1983)	研究空運市場所發生之選擇型態類別，再以多項羅吉特模式評估旅客選擇模型
Morrison and Winston (1986)	以旅行時間、轉機延滯、票價、服務頻次、航機型式、旅程型態等向量定義特定航空公司在特定路線所提供之服務特性，假設旅客在起迄市場，選擇航空公司特定路線之機率為羅吉特模式
Belobaba (1989)	將「超額訂位因子」運用至巢式多費率艙位配置之模式中，考慮取消訂位與未報到的將被重新估計
Lee (1990)	高需求航班中營收管理系統之需求預測能力增加 10%，將改善 0.5% 至 3.0% 之期望營收，旅客需求預測是營收管理其中一項成功關鍵
Chatwin (1993)	探討單一停靠線，分別對票價的固定與否做建構模式，證明最佳訂位策略是在每一個階段中求得預期營收最大之訂位限額
Lee (1993)	運用隨機過程建立訂位需求累計量與旅客出現訂位或取消訂位之關係式，並利用時間序列迴歸分析預測任何時點的訂位需求

表 2.3 (續)

文獻	研究主題與結果發現
Botimer (1999)	將降級成本整合入票價產品模式，併考量旅客轉移(diversion)與訂位限額之效應，提出一般化成本模式
石豐宇 (民 88)	引用了非均值 Poisson 分布，針對同旅客到達率，以反映實際訂位需求動態變化情形



第三章 模式構建

本研究所構建的模式包含機艙容量與座位關係函數，探討在機艙固定空間下，亦即有限樓地板面積限制下，如何做出取舍分配給各級艙等，在候選機型中選出最適機型以及決策分別各艙等應當有多少座位，以提高整體的承載率，得到最佳收益；在旅客需求量首先根據航空公司過去各航線的旅客運量歷史資料，再應用灰色拓撲模式，對未來各時程各起迄對旅客總需求量進行預測，再根據航空公司於該航線當前所值勤之機型各艙等現有配置資料合理推估各級艙等的旅客需求量，分配各時程旅客之總需求量給各級艙等，算出航空公司各航線不同時程各級艙等的承載率，求出航空公司的客運收益；在航空公司成本函數項目，一般可分為直接營運成本與間接營運成本，直接營運成本是與飛行相關之成本，如飛行成本、折舊成本、維修成本、油料、機組人員薪資、機場費用，間接營運成本是與載客數量相關之成本，有旅客服務成本、場站地勤成本、行銷成本等；但由於航空公司之實際成本項過於繁雜且一般多將成本資料視為機密而難以取得，故採用Swan and Adler (2006)所校估之參數值來推估每班航機之飛航成本。最後以一數學規劃模式來反映研究規劃時程內各航線所應搭配之機型與規劃之艙等配置受到景氣循環等影響而超過、滿足或低於預測需求量時之收益，來做長期之航線、機型、機型內部艙等規劃之最適決策。

以上模式構建可分為：3.1節、機艙容量與座位關係函數，3.2節、旅客需求量與機隊容量，3.3節、灰色預測模式，3.4節、航空公司成本函數，以及3.5節、機型內部艙等配置規劃模式，以下小節分別敘述：

3.1 機艙容量與座位關係函數

本研究在選擇機型上目前將參考國內外各大航空公司現有機型與訂單狀況，選出 Q 種近年來最常被用做客運使用之機型，並參考現行市場上之航空公司所提供現有的機型內部艙位配置情形，各種機型參考現有的配置情況，各艙等所決策出的實際之座位數將以一調整因數作一個比例上的調整。候選機型 $q=1,2,\dots,Q$ ，以 l 表參考的艙位配置情況， $l=1,2,\dots,L$ ，艙等 i 至多可分為三級艙等、二級艙等、一級艙等三種， $i=1,2,3$ ，一般而言以三級艙等表票價最便宜，提供服務最少之艙等。以 Δ_q 表示機型 q 的總樓地板面積，其再乘以一個容量利用率百分比 l 後即為扣除走道等公共設施以及機頭、機尾外，表可作為安排旅客座椅之面積：

$$\Delta_q \cdot I = \sum_i s^{qi} \cdot n^{qi} \quad (1)$$

其中 s^{qi} 表機型 q 採 l 型配置單位艙等 i 的座位大小，為外生值， n^{qi} 表機型 q 採 l 型配置艙等 i 的座位數。由式(1)可知，若一艙等之座位越大或座位數越多，則可配置給其他艙等的空間就越少，亦即座位越小、數量越少。

以上為各家航空公司所提供現有的艙位安排配置形式，然而本研究為達到最理想之艙位規劃，需再將各艙等的座位數加以調整，機型 q 採 l 型配置艙等 i 的調整乘數為 w ，所以調整後的座位數可表示為 $n'^{qi} = w \cdot n^{qi}$ 。因此式(1)即為：

$$\Delta_q \cdot I = \sum_i s^{qi} \cdot n^{qi} = \sum_i s^{qi} \cdot n'^{qi} = \sum_i s^{qi} \cdot w \cdot n^{qi} \quad (2)$$

3.2 旅客需求量與機隊容量

由於本研究之航空公司並非新成立，即各航線原先已有排定固定數目之各種機型之舊機隊營運；故以集合 S^0 表示在 $t=0$ 時航空公司既有之機隊狀況：

$$S^0 = \{s_{qyr}^{0,1}, s_{qyr}^{0,2}, \dots, s_{qyr}^{0,M} \quad \forall q, r\} \quad (3)$$

q 代表機型， y 代表已使用年限，假設航空公司原先所有的舊機隊 S^0 在當初購入時即已排定其未來使用年的營運航線，故 r 即代表其所經營的航線，另外 $m=1, 2, \dots, M$ 則代表機隊中單一架航機之編號，故於時程起始時航空公司計有 M 架航機。為確保服務品質，假設航空公司將每架航機之機齡設定為不超過 Y 年，亦即航機的可使用年限定為 Y 年，則 y' 為可使用年限減掉該航機於時程 t 時之已使用年限，即 $y' = Y - y$ ，表於時程 t 時尚可使用之年限；集合 S' 則表示在 $t=0$ 時航空公司所決策新購入的機隊：

$$S' = \{s_{qyR}^{t,0,1}, s_{qyR}^{t,0,2}, \dots, s_{qyR}^{t,0,M'} \quad \forall q, R\} \quad (4)$$

$m'=1, 2, \dots, M'$ 為新購入機隊中單一架航機之編號， M' 為航空公司規劃後向飛機製造商所新訂之航機數量，故航空公司於 $t=0$ 新訂購新航機後未來規劃時程內共計有 $M+M'$ 架航機，至於各架新置航機實際開始投入營運航線視各航線舊機遭淘汰時程而定。集合 R 表單一架新購入之航機所規劃可能使用的航線 r 的集合， $r \in R$ ；而航空公司所新增添的機隊 S' 在未來各時程內可視各航線需求的變化情況調整改飛不同航線。由於航機機齡

將逐年接近其使用壽命，故以 S^t 定義為 $t=0$ 時航空公司已有之機隊加上新購入的機隊，再扣除既有舊機隊中在時程 t 已達使用年限的機型，為時程 t 時航空公司所擁有之航機機隊狀況：

$$S^t = g_t \cdot (S^0 + S^t) \quad (5)$$

其中 g_t 代表一 0/1 變數，若時程 t 時航機已屆使用年限則為 0，否則為 1。本模式中以 $f_{m'i}^r$ 表示編號 m' 航機於時程 t 時在航線 r 艙等 i 的承載率。

而航空公司於時程 t 內航線 r 可提供的艙等 i 總容量 A_i^r 為：

$$A_i^r = \sum_m d_m^r \cdot n^{qi} \cdot f_r \quad (6)$$

其中 f_r 表示各架航機飛行航線 r 之年飛航頻次，是一外生的給定值； d_m^r 代表一 0/1 變數，若航空公司於時程 t 指派航機 $S_{QVR}^{m'}$ 值勤飛行航線 r 則 d_m^r 為 1，否則為 0。

而各飛行航線需由新航機值勤的新增運量在各時程僅搭配某一架編號之航機營運，故 d_m^r 必須滿足：

$$\sum_m d_m^r = 1 \quad (7)$$

同時各架編號之航機在單一時程僅能服務單一航線，故 d_m^r 亦必須滿足：

$$\sum_r d_m^r = 1 \quad (8)$$

d_i^r 為時程 t 航線 r 艙等 i 的旅客需求量； $d_i^{r'}$ 表示時程 t 時扣除現有舊航機的承載運量後所新增的運量，為有可能分配給新機隊的運量：

$$d_i^{r'} = d_i^r - A_i^r \quad (9)$$

3.3 灰色預測模式

航空客運的總旅客需求量將以各航線過去幾年之旅客運量、景氣循環歷史資料，應用灰色預測模式，推估所欲分析航線之未來流量。灰色系統理論分析(Grey System Theory)是由鄧聚龍學者於1982年所發表，是一種特別適用於預測當系統模型之不明確性、資訊不完整性時的理論方法，過去曾用於水利、氣象、機械工程、生態系統等。許巧鶯、溫裕弘在「臺灣地區國際航空客運量之預測—灰色預測模式之應用」(1997)中證實以灰色模式建構之航空客運運量預測模式確實比傳統回歸分析與ARIMA模式較具解釋與預測能力。灰色理論認為所有客觀系統儘管表象複雜或數據雜亂，但均存在某內在規律，可依此建立微分方程構建灰色模式(grey model, GM)。灰色理論假設任何隨機過程都是在一定幅值範圍變化的灰色量，稱隨機過程為灰色過程，利用將原始數據經累加生成運算產生的明顯指數規律性以模擬灰色過程；亦即將離散不規則的原始數據列，經累加生成產生指數規則，此為光滑離散函數的一種性質，可從數學上得到證明。因此灰色預測理論以累加生成數建立微分方程，本質上具有所需數據量較少之特性。灰色理論假設GM模式為一階線性常微分方程式，透過一階微分方程之求解，建立GM模式，故模式不受自由度之限制，而GM模式雖不需取原始數據列所有數據建構模式，然而模式本質上要求數據等間隔，且至少四筆以上數據的限制。

本研究首先建立時間數列預測模式，此模式以GM(1,1)模式擬合運量數據，由數據表徵狀態進行預測。令運量為 x ，原始運量數據列為 $x^{(0)}$ ，為由 n 年運量數據所構成， $x^{(0)} = \{x^{(0)}(1), x^{(0)}(2), \dots, x^{(0)}(n)\}$ (10)

原始運量數據經累加生成運算AGO後得到生成數列 $x^{(1)}$ 為

$$x^{(1)} = \{x^{(1)}(1), x^{(1)}(2), \dots, x^{(1)}(k)\} \quad (11)$$

其中 $x^{(1)}(1) = x^{(0)}(1)$ ，

$$x^{(1)}(k) = \sum_{t=1}^k x^{(0)}(t) \quad k = 2, 3, \dots, n \quad (12)$$

再將此運量生成數列建構GM(1,1)微分方程式，如下式：

$$\frac{dx^{(1)}}{dt} + a x^{(1)} = b \quad (13)$$

求解微分方程式得到之時間(離散)近似關係式為：

$$x^{(1)}(k+1) = \left[x^{(0)}(1) - \frac{b}{a} \right] e^{-ak} + \frac{b}{a} \quad (14)$$

參數列 $[a, b]^T$ 之值以最小平方法求得，即：

$$[a, b]^T = (\mathbf{B}^T \mathbf{B})^{-1} \mathbf{B}^T \mathbf{x}_N, \quad (15)$$

$$\mathbf{B} = \begin{bmatrix} -\frac{1}{2}(x^{(1)}(1) + x^{(1)}(2)), & 1 \\ -\frac{1}{2}(x^{(1)}(2) + x^{(1)}(3)), & 1 \\ \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot \\ -\frac{1}{2}(x^{(1)}(n-1) + x^{(1)}(n)) & 1 \end{bmatrix}, \quad (16)$$

$$\mathbf{x}_N = [x^{(0)}(2), x^{(0)}(3), \dots, x^{(0)}(n)]^T, \quad (17)$$

然而因生成序列與原始序列層次不同 所以最後再以累減生成IAGO還原，得時間數列預測模式為：

$$\hat{x}^{(0)}(k+1) = \left[x^{(0)}(1) - \frac{b}{a} \right] (1 - e^{-a}) e^{-a(k-1)}, \quad k = 2, 3, \dots \quad (18)$$

其中 $\hat{x}^{(0)}(1) = x^{(0)}(1)$ 。

而 $\hat{x}^{(0)}(1), \hat{x}^{(0)}(2), \dots, \hat{x}^{(0)}(n)$ 擬合原始運量數據之模式值， $\hat{x}^{(0)}(n+1), \hat{x}^{(0)}(n+2), \dots$ 即為未來運量預測值。

3.4 航空公司成本函數

一般而言航空公司與客運相關之營運成本可分為直接營運成本(Direct Operating Cost, DOC)與間接營運成本(Indirect Operating Cost, IOC)。直接營運成本是與飛行相關之成本，如飛行成本、折舊成本、維修成本、油料、機組人員薪資、機場費用，而間接營運成本是與載客數量相關之成本，有旅客服務成本、場站地勤成本、行銷成本等。因考量航空公司實際成本項目過於繁瑣，又部分屬機密資料不易取得，且部分項目非本研究討論重點，故目前參考Swan and Adler (2006)的航機營運成本模式，此篇文獻以工程設計及實務上之營運資料加以分析成本函數，避免了航空商業機密的限制。該研究根據航程距離、座位數多寡建構成本模式，符合本研究以機型、座位數、頻率、距離、旅客量等作為影響成本大小的變數，故新置航機編號 m' 在航線 r 於滿載情況之單一班次成本可由下式(19)表示：

$$C_m^n = \begin{cases} (k_r + 722) \cdot (n' + 104) \cdot 0.019, & 1000km \leq k_r < 5000km \\ (k_r + 2200) \cdot (n' + 211) \cdot 0.0115, & 5000km \leq k_r \end{cases} \quad (19)$$

式中 C_m^n 表以新置航機編號 m 營運航線 r 之單位航機單位航次之營運成本(\$/頻次)， k_r 表航線 r 的航程距離， n' 表機型 q 採 l 型配置各級艙等的座位數總和。

由於上式中之座位數 n' 僅表示個別航機的座位數總和，並無區分不同艙等，故本研究再以個別艙等的空間、服務水準加以調整；假設在Swan and Adler的模式中， n' 全為費率最低之經濟艙 ($i=3$)，則以 c_3 表示單一個經濟艙旅客座位的營運成本。 R_i^r 為一成本比例，表艙等 i 與最低費率艙等 ($i=3$) 之成本比，一般而言各艙等成本與各艙等之費率呈現正向關係，故此比例可以各艙等之票價比表之，即：

$$\begin{aligned} c_i &= R_i^r \cdot c_3 \\ &= \frac{P_i^n}{P_3^n} \cdot c_3 \end{aligned} \quad (20)$$

$$\text{所以 } n' = \sum_i \frac{P_i^n}{P_3^n} \cdot n'_i \quad (21)$$

$R_i^r \cdot n'_i$ 代表艙等 i 以經濟艙作為當量後換算的經濟艙座位數； n' 則表示以經濟艙作為當量後所換算的加總各艙等座位數後的總當量座位數。由於上式表示之航機單一頻次成本為滿載之情況，故需再將時程 t 時之各艙等 i 的承載率 $f_{m'_i}^n$ 乘入上式，即可求得新置航

機編號 m' 營運航線 r 之單位航機單位航次之營運成本，其座位數是以經濟艙做當量，如下式：

$$CP_{m'}^{rt} = \begin{cases} (k_r + 722) \cdot \left[\sum_i \left(f_{m'_i}^{rt} \cdot \frac{P_i^{rt}}{P_3^{rt}} \cdot n'_i \right) + 104 \right] \cdot 0.019, & 1000km \leq k_r < 5000km \\ (k_r + 2200) \cdot \left[\sum_i \left(f_{m'_i}^{rt} \cdot \frac{P_i^{rt}}{P_3^{rt}} \cdot n'_i \right) + 211 \right] \cdot 0.0115, & 5000km \leq k_r \end{cases} \quad (22)$$

由於為避免模式過於複雜，本研究計算收益、利潤、成本時均以年為單位表示，故以 CT_m^{rt} 表示將頻率乘入式(22)後時程 t 時航機 n 營運航線 r 之單位航機之年營運成本：

$$CT_{m'}^{rt} = \begin{cases} f_r \cdot (k_r + 722) \cdot \left[\sum_i \left(f_{m'_i}^{rt} \cdot \frac{P_i^{rt}}{P_3^{rt}} \cdot n'_i \right) + 104 \right] \cdot 0.019, & 1000km \leq k_r < 5000km \\ f_r \cdot (k_r + 2200) \cdot \left[\sum_i \left(f_{m'_i}^{rt} \cdot \frac{P_i^{rt}}{P_3^{rt}} \cdot n'_i \right) + 211 \right] \cdot 0.0115, & 5000km \leq k_r \end{cases} \quad (23)$$

3.5 機型內部艙等配置規劃模式

本研究目標是在航空公司滿足規劃總時程(T)內所經營航線的各級艙等預期旅客需求量之情況下，最大化各時程(t)、各航線(r)加總之利潤。航空公司在選購未來機隊中各種機型的航機數目、航線間不同的決策選擇將導致各航線各艙等不同的承載率與收益，所付出的成本大小也會有所影響，因而造成不同結果的利潤。故計算航空公司各時程 t 、各航線 r 的利潤時，以加總新舊機隊各架航機的利潤值表示。實務上航空公司各航線淡季旺季各艙等旅客需求幅度不同，票價亦有可能調整，但如將各航機收益細分為各月份載客量將過於繁瑣；為讓模式不過於複雜及方便計算，本研究計算各架航機的利潤時以年利潤表之，故承載率、可提供座位數均以年為單位表示以方便計算。

時程 t 時，新機隊 $S' = \{s_{qyR}^{0,1}, s_{qyR}^{0,2}, \dots, s_{qyR}^{0,m'} \forall q, R\}$ 集合中單一編號為 m' 航機的收益為：

$$\sum_r \sum_i d_{m'}^{rt} (P_i^{rt} \cdot f_{m'_i}^{rt} \cdot f_r \cdot n^{m'_i}) \quad (24)$$

時程 t 時，所有新機隊 S' 的收益為：

$$\sum_{m'=1}^{M'} \sum_r^R \sum_i d_m^{rt} \cdot S_{\text{qyR}}^{0,m} \left(P_i^{rt} \cdot f_{m_i}^{rt} \cdot f_r \cdot n^{m_i} \right) \quad (25)$$

故航空公司於總規劃 T 內 ($t=1,2,\dots,T$)，加總各時程 t 時的所有新機隊 S' 的收益可表示為：

$$\sum_{t=1}^T \sum_{m'=1}^{M'} \sum_r^R \sum_i d_m^{rt} \cdot S_{\text{qyR}}^{0,m} \left(P_i^{rt} \cdot f_{m_i}^{rt} \cdot f_r \cdot n^{m_i} \right) \quad (26)$$

由於各航機內部艙位規劃於期初 ($t=0$) 向飛機製造商下單選購時內部各艙等座位數即已固定，且本研究假設規劃總時程 T 內，因應需求變化的改裝費用不敷成本；故航空公司不考慮艙等改裝。所以在各時程實際上指派給各航線之航機，其內部的各級艙等座位數可能出現對某艙等的旅客量預期過高，出現容量過剩、座位空置之收益損失；同時亦有可能出現對另一艙等的旅客預期過低，即實際的旅客需求較可銷售的座位數多，出現座位數不夠用的情形，此時就可能會有因為機票難求、客機班次延誤、服務水準降低而造成對旅客的不便成本。故各機型與航線間的配對就在各級艙等的利用率及座位數過多、過少所分別造成的期望收益損失、期望旅行不便成本間作權衡取捨。

本研究參考 Hsu and Wen (2002) 之模式，建構一個懲罰函數 $P_i^n(d_i^n)$ 分別表示各時程 t 各航線 r 於所分配之機型營運下，不同等級艙等 i 因為座位利用率的多寡所衍生的懲罰值，表示如下：

$$P_i^n(d_i^n) = \begin{cases} (A_i^n - d_i^n) \cdot a_i^n, & \text{for } A_i^n > d_i^n \\ (d_i^n - A_i^n) \cdot b_i^n, & d_i^n > A_i^n \end{cases} \quad (27)$$

其中 a_i^n 表當航機之艙等 i 可提供之座位容量大於航線 r 之艙等 i 在時程 t 時之預測需求量時，航空公司因有多餘的座位呈現空置所產生的單位座椅的固定成本損失，其大小為各架航機單一頻次的總固定成本除以總座位數當量再乘以艙等 i 與最低費率艙等 ($i=3$) 之成本比 R_i^r ：

$$a_i^r = \begin{cases} \frac{(k_r + 722) \cdot 104 \cdot 0.019}{\sum_i n_i'} \cdot R_i^r, & 1000km \leq k_r < 5000km \\ \frac{(k_r + 2200) \cdot 211 \cdot 0.0115}{\sum_i n_i'} \cdot R_i^r, & 5000km \leq k_r \end{cases} \quad (28)$$

將其乘上座位數與實際旅客量的差異後即為總收益損失； b_i^r 則表當編號 m' 航機之艙等 i 可提供之容量小於航線 r 之艙等 i 在時程 t 時之預測需求量，亦即機位供不應求時，因為運能不足而造成對單位旅客的期望收益損失，即該賺卻未賺到的部份。 b_i^r 的估計方式可表為各航線各級艙等旅客的票價減去變動成本，為該座位淨賺的部份：

$$b_i^r = \begin{cases} P_i^r - (k_r + 722) \cdot \frac{P_i^r}{P_3^r} \cdot 0.019, & 1000km \leq k_r < 5000km \\ P_i^r - (k_r + 2200) \cdot \frac{P_i^r}{P_3^r} \cdot 0.0115, & 5000km \leq k_r \end{cases} \quad (29)$$

同理將其乘上座位數與實際旅客量的差異後即為總旅客收益損失的懲罰成本。



所以式(27)可改寫為：

$$P_i^r(d_i^r) = \begin{cases} (A_i^r - d_i^r) \cdot \left[\frac{(k_r + 722) \cdot 104 \cdot 0.019}{\sum_i n_i'} \cdot R_i^r \right], & 1000km \leq k_r < 5000km, A_i^r > d_i^r \\ (A_i^r - d_i^r) \cdot \left[\frac{(k_r + 2200) \cdot 211 \cdot 0.0115}{\sum_i n_i'} \cdot R_i^r \right], & 5000km \leq k_r, A_i^r > d_i^r \\ (d_i^r - A_i^r) \cdot \left[P_i^r - (k_r + 722) \cdot \frac{P_i^r}{P_3^r} \cdot 0.019 \right], & 1000km \leq k_r < 5000km, A_i^r < d_i^r \\ (d_i^r - A_i^r) \cdot \left[P_i^r - (k_r + 2200) \cdot \frac{P_i^r}{P_3^r} \cdot 0.0115 \right], & 5000km \leq k_r, A_i^r < d_i^r \end{cases} \quad \text{for} \quad (30)$$

故將航空公司各時程 t 所營運的各架新置航機的營運成本 CT_m^r 與各不同艙等機位過多或過少所衍生的懲罰成本 $P_i^r(d_i^r)$ 加總後即可得到航空公司各時程 t 所營運的各架新置航機所付出之總成本 C_m^r ：

$$C_{m'}^{rt} = CT_{m'}^{rt} + \sum_i P_i^{rt} (d_i^{rt}) \quad (31)$$

故規劃總時程 T 中加總各時程 t、新置航機編號 m' 之總利潤可表示為：

$$\max_{q, l, w} p = \sum_{t=1}^T \sum_{m'=1}^{M'} \sum_r^R \sum_i \left[d_m^{rt} \cdot s_{\text{qyR}}^{0,m'} \left(P_i^{rt} \cdot f_{m'_i}^{rt} \cdot n_i^{q_i} \right) - \sum_{t=1}^T \sum_r^R C_{m'}^{rt} \right] \quad (32a)$$

s.t.

$$\Delta_q \cdot l = \sum_i s^{q_i} \cdot n^{q_i} = \sum_i s^{q_i} \cdot n^{q_i} = \sum_i s^{q_i} \cdot w \cdot n^{q_i} \quad (32b)$$

$$S^t = g_t \cdot (S^0 + S') \quad (32c)$$

$$A_i^{rt} = \sum_{m'} d_m^{rt} \cdot n_i^{q_i} \cdot f_r \quad (32d)$$

$$\sum_{m'} d_m^{rt} = 1 \quad (32e)$$

$$\sum_r d_m^{rt} = 1 \quad (32f)$$

$$d_i^{rt} = d_i^{rt} - A_i^{rt} \quad (32g)$$

$$CP_{m'}^{rt} = \begin{cases} (k_r + 722) \cdot \left[\sum_i \left(f_{m'_i}^{rt} \cdot \frac{P_i^{rt}}{P_3^{rt}} \cdot n_i' \right) + 104 \right] \cdot 0.019, & 1000km \leq k_r < 5000km \\ (k_r + 2200) \cdot \left[\sum_i \left(f_{m'_i}^{rt} \cdot \frac{P_i^{rt}}{P_3^{rt}} \cdot n_i' \right) + 211 \right] \cdot 0.0115, & 5000km \leq k_r \end{cases} \quad (32h)$$

$$CT_{m'}^{rt} = \begin{cases} f_r \cdot (k_r + 722) \cdot \left[\sum_i \left(f_{m'_i}^{rt} \cdot \frac{P_i^{rt}}{P_3^{rt}} \cdot n_i' \right) + 104 \right] \cdot 0.019, & 1000km \leq k_r < 5000km \\ f_r \cdot (k_r + 2200) \cdot \left[\sum_i \left(f_{m'_i}^{rt} \cdot \frac{P_i^{rt}}{P_3^{rt}} \cdot n_i' \right) + 211 \right] \cdot 0.0115, & 5000km \leq k_r \end{cases} \quad (32i)$$

$$n_i' = \sum_i \frac{P_i^{rt}}{P_3^{rt}} \cdot n_i \quad (32j)$$



$$C_m^r = CT_m^r + \sum_i P_i^r(d_i^r) \quad (32k)$$

$$P_i^r(d_i^r) = \begin{cases} (A_i^r - d_i^r) \cdot a_i^r, & \text{for } A_i^r > d_i^r \\ (d_i^r - A_i^r) \cdot b_i^r, & d_i^r > A_i^r \end{cases} \quad (32l)$$

其中式(32a)-式(32m)為數學規劃式，主要決策變數為時程開始之前($t=0$)航空公司所購買適用的機型、各機形內部的配置情況，含艙等數量、各艙等所配置的位置數。式(32a)為航空公司之營運策略以目標利潤最大化，追求加總各時程、各航線最大利潤之函數；式(32b)表各艙等的座位數總和在固定之底面積限制內，各艙等的座位數以現有的艙位安排配置形式再加以調整；式(32c)表航空公司所擁有之航機於各時程時扣除已達退休年限之機隊狀況；式(32d)表示航空公司各時程於各條航線上可提供的各艙等容量；式(32e)表各飛行航線在各時程僅搭配某一機型航機營運；式(32f)各機型在單一時程僅能服務單一航線；式(32g)表各時程扣除現有舊航機的運量後所須分配給新機隊的運量；式(32h)表各別機型營運不同航線之單一頻次的營運成本；式(32i)表各別機型營運不同航線之年營運成本；式(32j)表計算各機型營運成本時，將較高費率之艙等座位數換算為最低費率艙等座位數；式(32k)表各時程之總成本由營運成本及懲罰成本所構成；式(32l)表示各時程各航線於所分配之機型營運下，不同等級艙等因為座位利用率的多寡所衍生的懲罰值。

本研究各項決策項目之示意圖可由以下圖 3.1 所示：

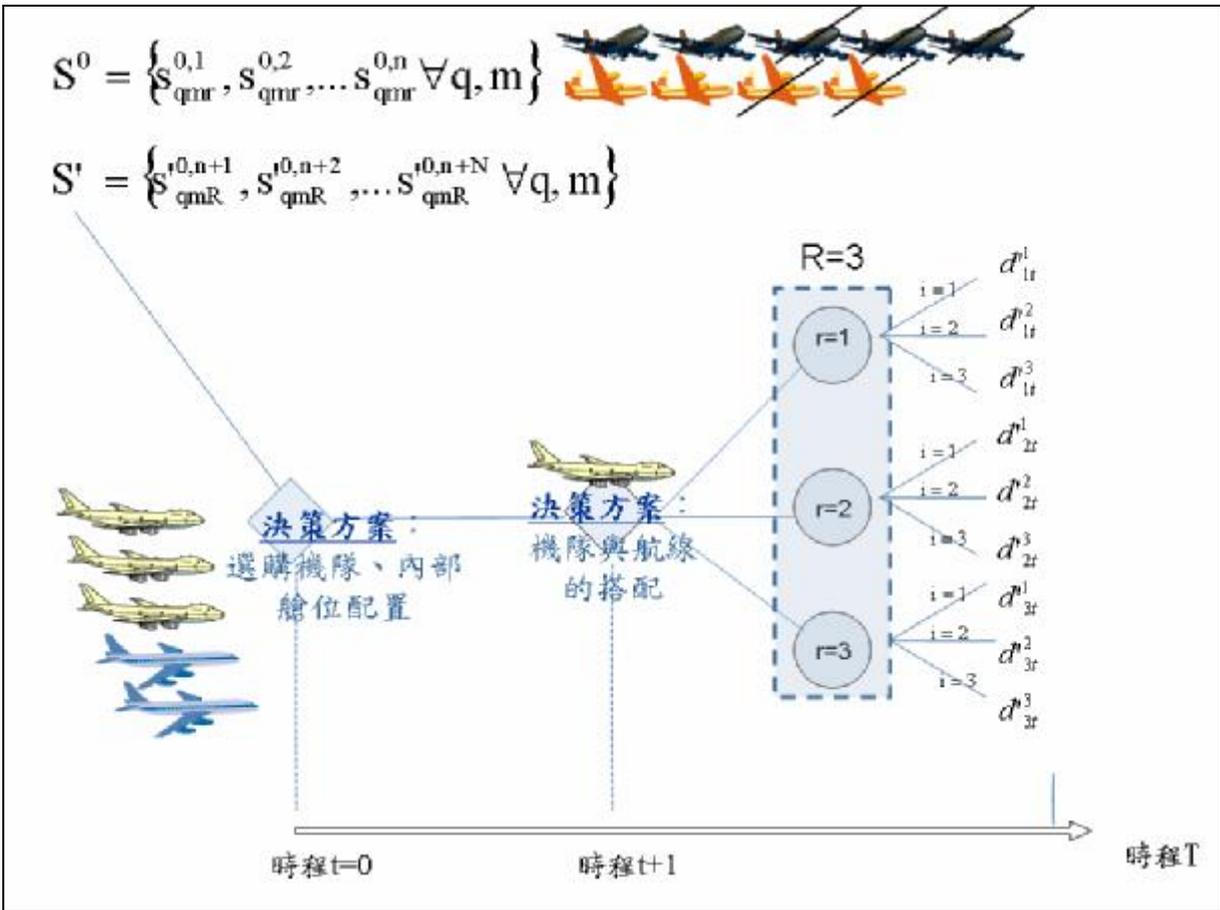


圖 3.1 本研究決策項目之模式示意圖

第四章 實例分析

本研究以航空客運作為討論對象，分析航空業者在各航線、各級艙等的旅客需求量多寡隨經濟成長、景氣循環、國際貿易活動等變動而起伏程度互異的情況下，於一定時間長度之規劃時程內，航空公司之策劃人員該如何決定何年應以何種機型擔任各航線任務較為適宜，進一步，決策各機型內部之各級艙等、艙位數之規劃；為一整數非線性規劃問題。為驗證本研究所構建之模式於實務應用之可行性，本章將針對一國籍國際航空公司E為對象進行實證分析，在分析中之航機機隊、頻次、票價等資料及相關變數儘可能以所蒐集之E航空公司之實務資料為主，唯部分資料因牽涉商業經營機密，或因該航空公司目前無法提供相關訊息，故本研究對此部分資料在合乎合理性及一般性之前提下，參考過去相關文獻或書籍資料，對此些變數進行假設與推估。本研究之範例分析使用LINGO 8.0版搭配Microsoft Excel 2003，進行數學規劃模式之求解，透過所求得之求解結果，說明本模式之操作方式與實務上之應用可行性。

以下將在4.1節為本研究中以灰色模式預測對候選之數條航線的未來規劃時程的年旅客量預測，4.2節為模式求解步驟解析，4.3節說明範例背景，4.4節為應用本研究所構建之數學規劃模式的實證分析結果說明，4.5節為模式中重要變數的敏感度分析。

4.1 灰色預測模式估計未來客運量

本研究應用灰色預測模式，對航空公司未來規劃時程內之各航線旅客量進行預測。目前國內E航空公司乃屬定期經營國際航線之最重要國籍航空之一，故以其作為案例，並選定運量持續蓬勃發展且運量穩定之台北往返香港、胡志明市、新加坡、洛杉磯、布里斯班、西雅圖等六條航線國際航線分析。根據民航局之台灣地區各機場國際航線班機載客率、載客人數的年度統計資料(按航線及航空公司分)，台北分別往返香港、胡志明市、新加坡、洛杉磯、布里斯班、西雅圖、馬尼拉、澳門、曼谷，由民國八十五年至九十一年之歷年旅客運量分別如圖4.1所示：

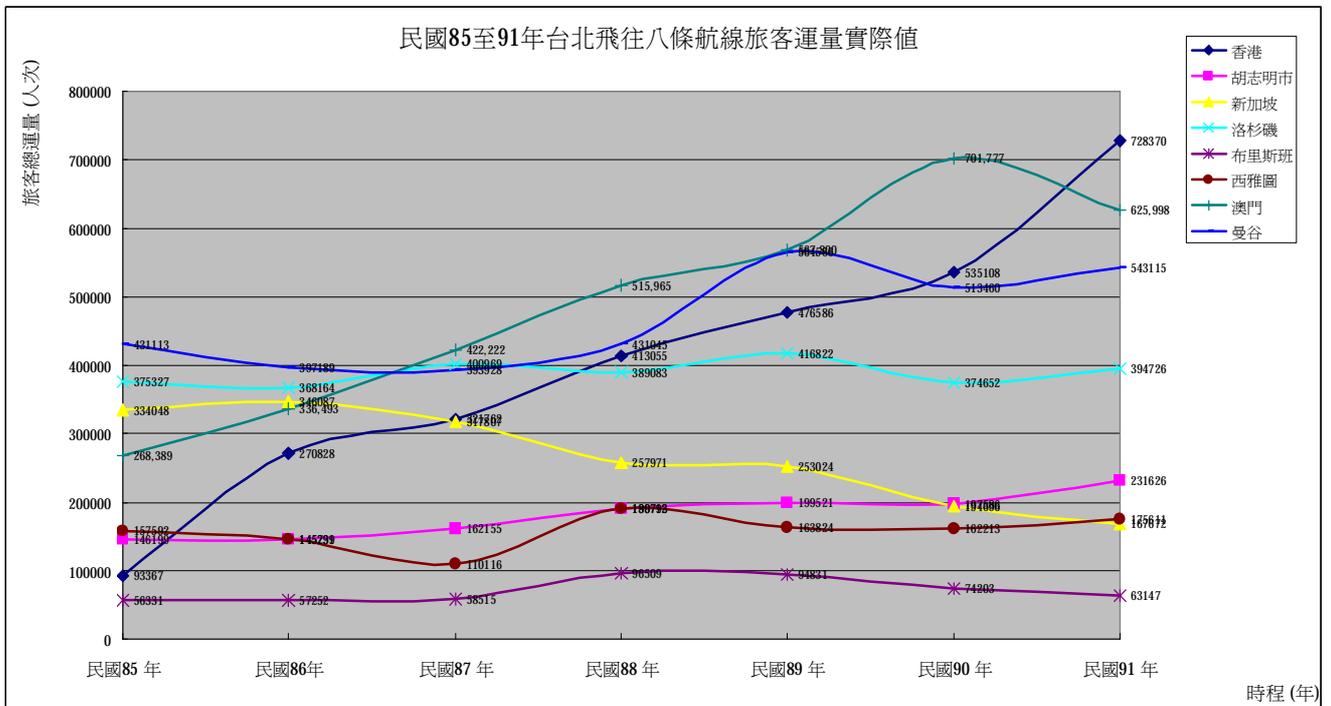


圖 4.1 台北飛往待預測之八條航線自民國85年至91年旅客總運量實際值

根據統計資料，E航空公司由台北往返香港航線自民國八十五年至九十一年之總載客人次分別為 93,367、270,828、321,762、413,055、476,586、535,108、728,370。以下以台北飛香港之航線為例說明進行灰色預測模式實際執行之各詳細步驟：

1. 原始序列做累加生成運算 AGO：

$$x^{(1)}(k) = \sum_{m=1}^k x^{(0)}(m) = (93367, 364195, 685957, 1099012, 1575595, 2110706, 2839076)$$

2. 求均值：

$$z^{(1)}(k) = \frac{1}{2} \cdot x^{(1)}(k) + \frac{1}{2} \cdot x^{(1)}(k-1)$$

$$\begin{aligned} z^{(1)}(k) &= \frac{1}{2} \cdot (93367, 364195, 685957, 1099012, 1575595, 2110706, 2839076) \\ &\quad + \frac{1}{2} \cdot (93367, 364195, 685957, 1099012, 1575595, 2110706) \\ &= (-----, 228781, 525076, 892485, 1337305, 1843152, 2474891) \end{aligned}$$

3. 最小平方法則：

(a) 求數據矩陣 B 及數據向量 Y_N

$$B = \begin{bmatrix} -228,781 & 1 \\ -525,076 & 1 \\ -892,485 & 1 \\ -1,337,305 & 1 \\ -1,843,152 & 1 \\ -2,474,891 & 1 \end{bmatrix} \quad Y_N = \begin{bmatrix} 270,828 \\ 321,762 \\ 413,055 \\ 476,586 \\ 535,108 \\ 728,370 \end{bmatrix}$$

(b) 解出 \hat{a} 之值

$$\hat{a} = (B^T B)^{-1} B^T Y_N$$

$$\text{求出 } \hat{a} = \begin{bmatrix} -0.192826192 \\ 222958.6694 \end{bmatrix}$$

4. 確定模型：



$$x^{(1)}(k+1) = \left[x^{(0)}(1) - \frac{b}{a} \right] e^{-ak} + \frac{b}{a} \quad \text{代入上述 } \hat{a} = \begin{bmatrix} -0.192826192 \\ 222958.6694 \end{bmatrix} \text{ 值,}$$

則

$$\begin{aligned} x^{(1)}(k+1) &= [93367 - (-1156267.554)] e^{0.192826192k} - 1156267.554 \\ &= (1249634.554) e^{0.192826192k} - 1156267.554 \end{aligned}$$

再以累減生成 IAGO 還原，得時間數列預測模式為：

$$\begin{aligned} \hat{x}^{(0)}(k) &= \left[x^{(0)}(1) - \frac{b}{a} \right] (1 - e^{-a}) e^{-a(k-1)} \\ &= (1249634.554) (1 - e^{-0.192826192}) e^{0.192826192(k-1)} \end{aligned}$$

由以上可預測求得 E 航空公司在民國九十二年之後台北飛東京的運量分別為：

$$\hat{x}^{(0)}(8), \hat{x}^{(0)}(9), \hat{x}^{(0)}(10)\dots,$$

$$k = 8, \hat{x}^{(0)}(8) = 574,734$$

$$k = 9, \hat{x}^{(0)}(9) = 696,964$$

依此類推可求得 E 航空公司於此航線未來十四年之預測運量；以下圖 4.2 表示：

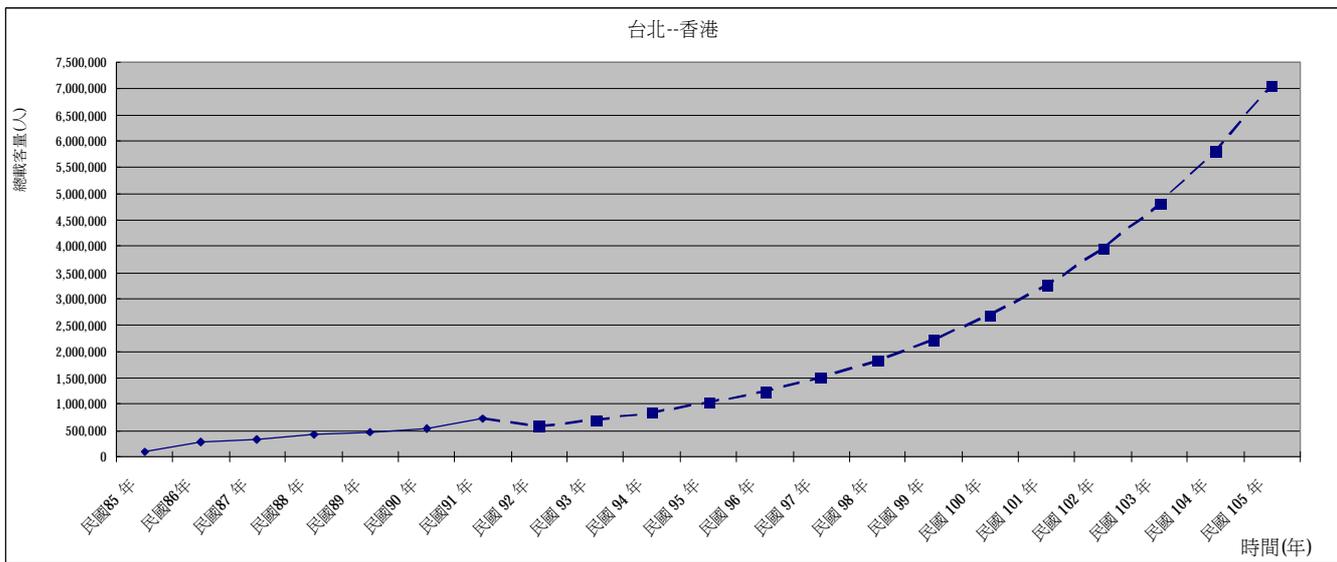


圖 4.2 台北-香港航線民國 85 年至 91 年旅客運量與 92 年至 105 年預測量

而 E 航空公司於胡志明市、新加坡、洛杉磯、布里斯班、西雅圖、澳門、曼谷航線未來十四年之灰色預測運量則分別以下圖 4.3、4.4、4.5、4.6、4.7、4.8、4.9 所示：

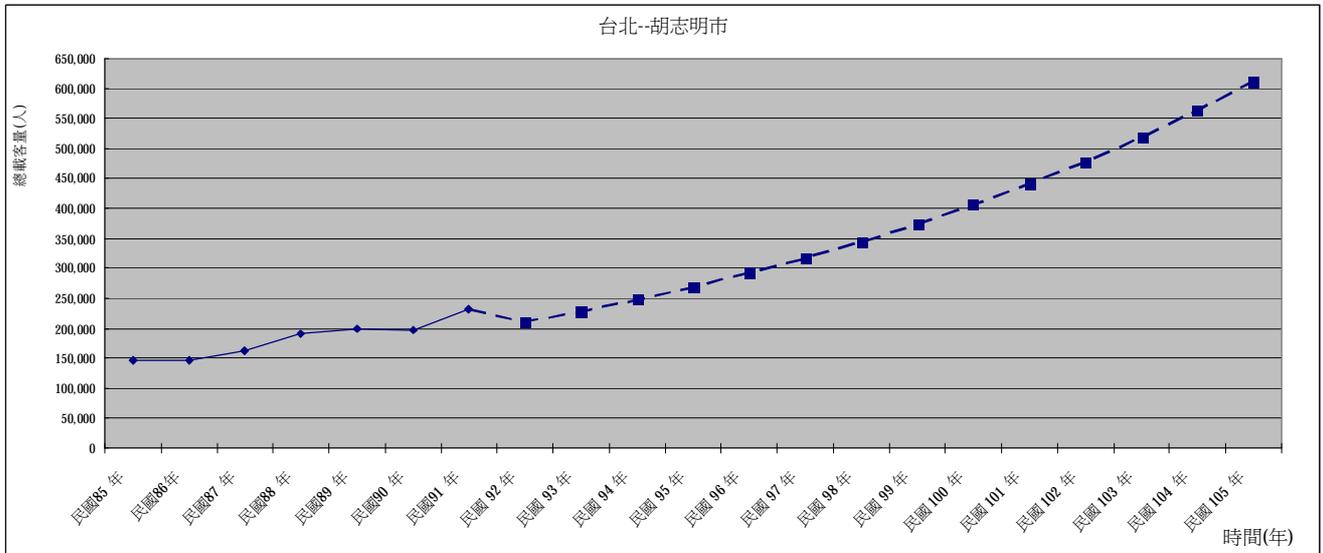


圖 4.3 台北-胡志明市航線民國 85 年至 91 年旅客運量與 92 年至 105 年預測量

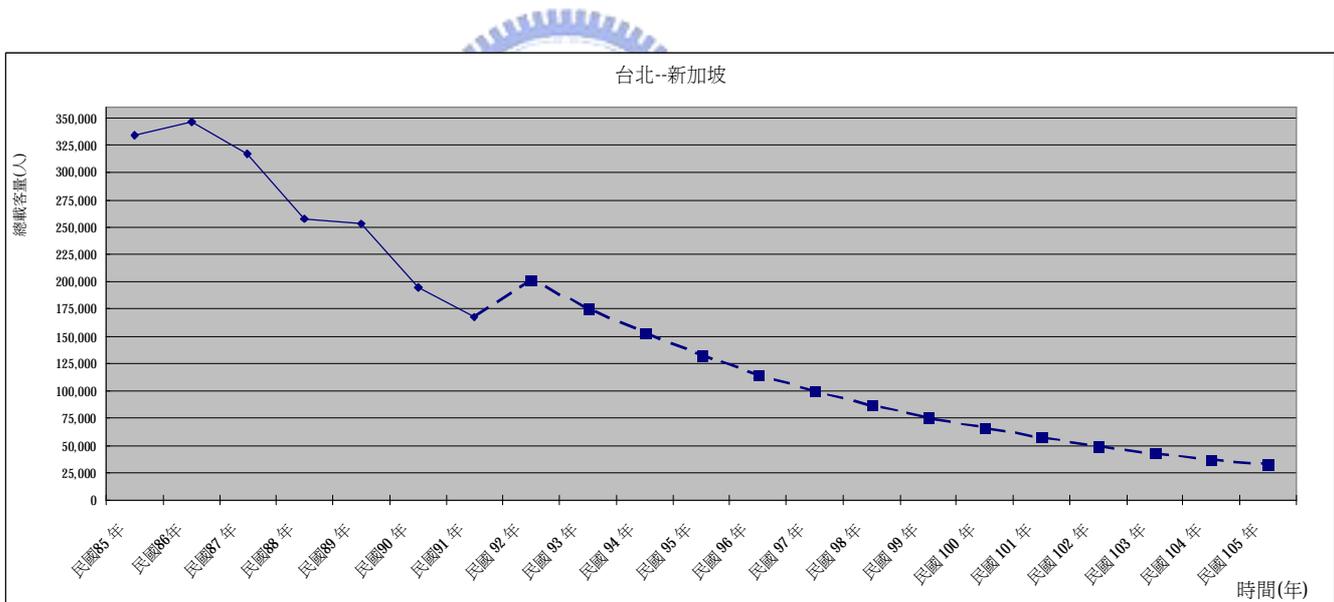


圖 4.4 台北-新加坡航線民國 85 年至 91 年旅客運量與 92 年至 105 年預測量

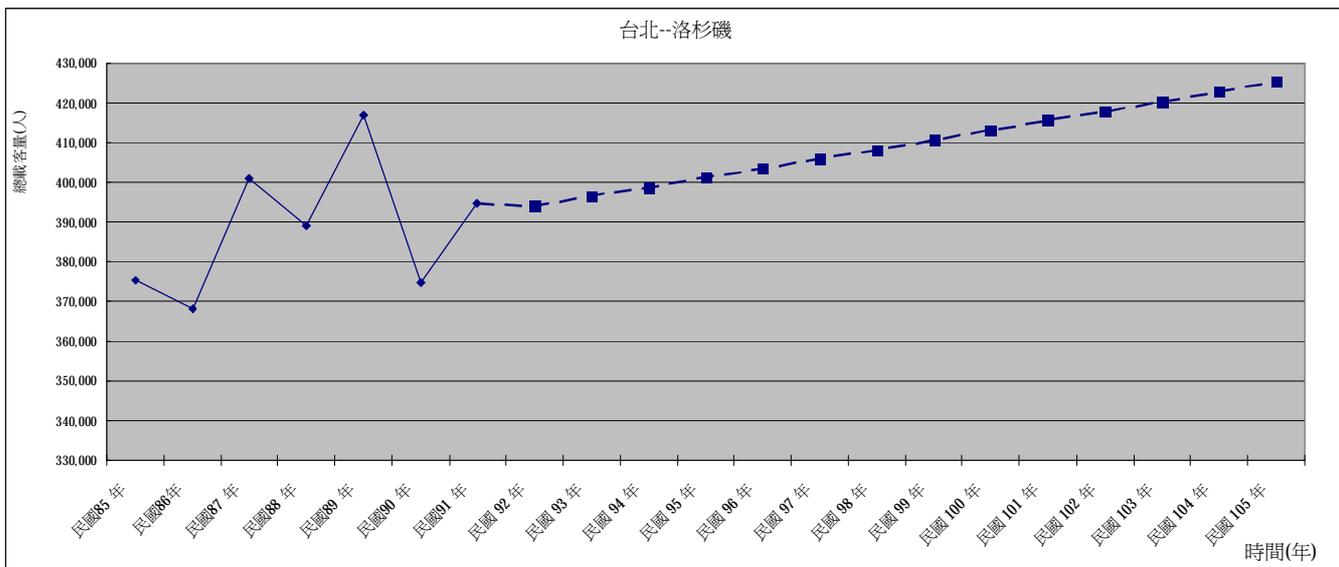


圖 4.5 台北-洛杉磯航線民國 85 年至 91 年旅客運量與 92 年至 105 年預測量

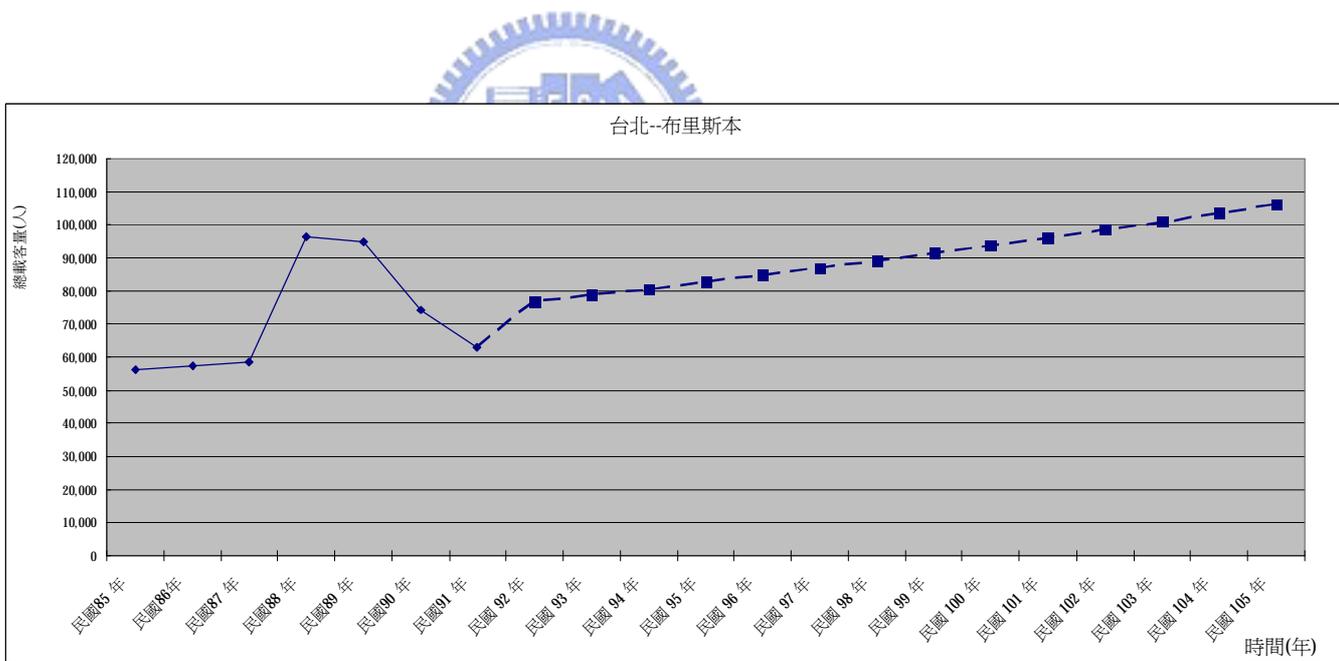


圖 4.6 台北-布里斯班航線民國 85 年至 91 年旅客運量與 92 年至 105 年預測量

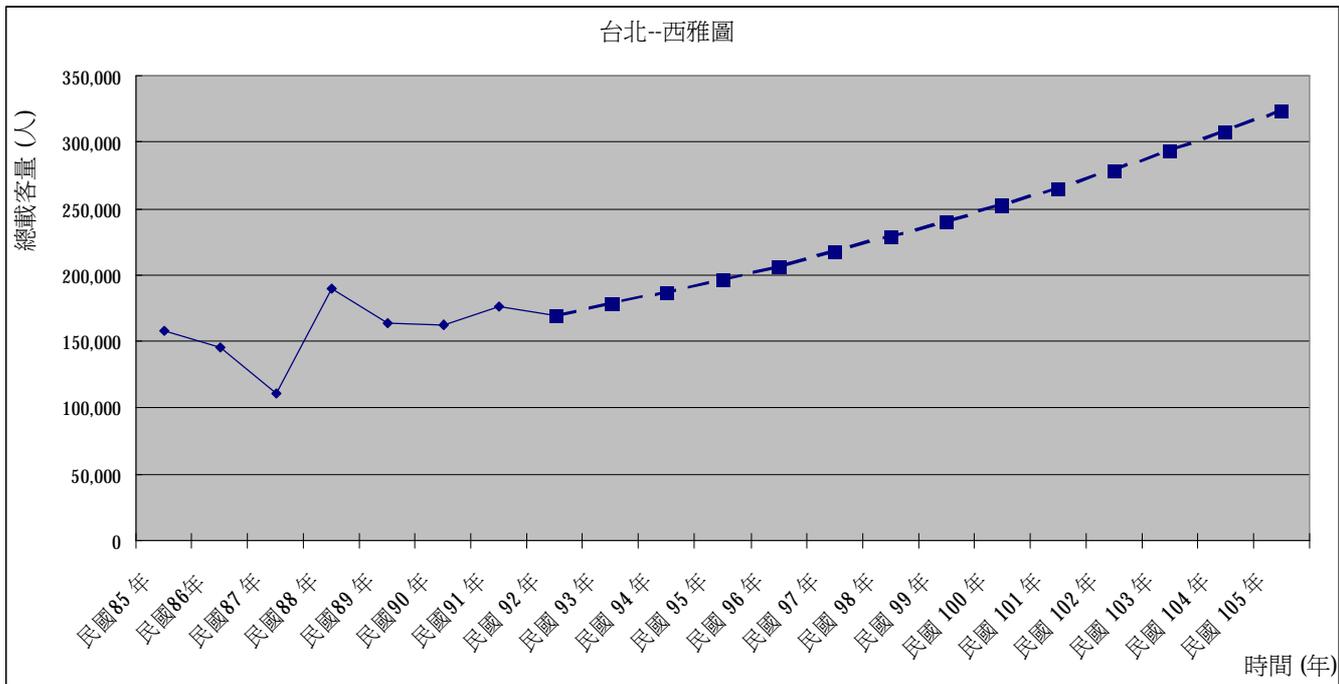


圖 4.7 台北-西雅圖航線民國 85 年至 91 年旅客運量與 92 年至 105 年預測量

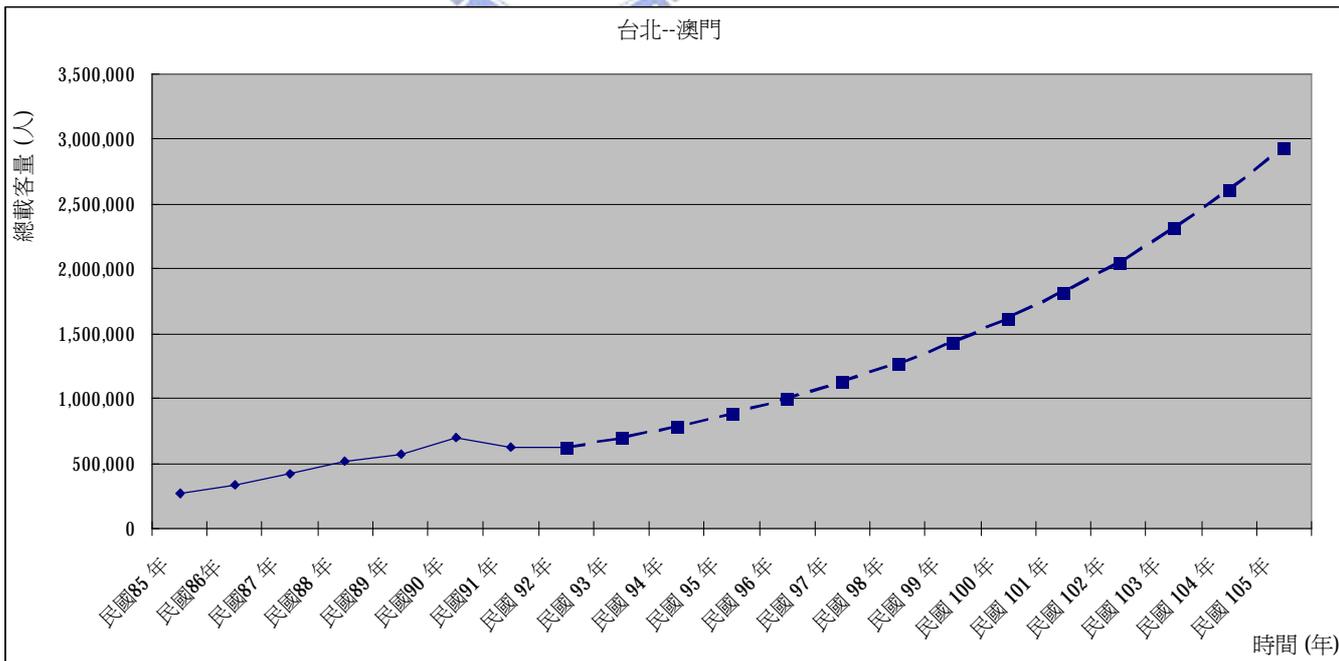


圖 4.8 台北-澳門航線民國 85 年至 91 年旅客運量與 92 年至 105 年預測量

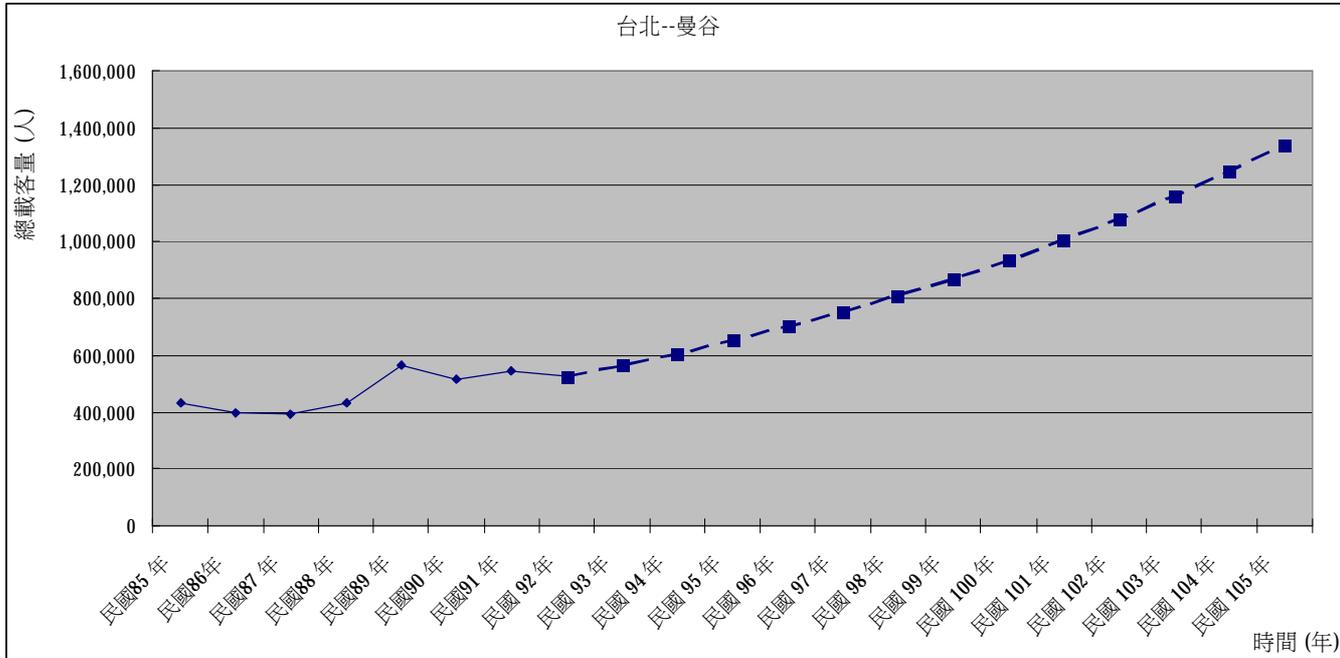


圖 4.9 台北-曼谷航線民國 85 年至 91 年旅客運量與 92 年至 105 年預測量

為檢定灰色預測模式之擬合能力，將民國 92 至民國 95 年之模式預測值與實際值之間的差距狀況進行檢驗，各航線預測年間的平均差距值如下表 4.1 所示：

表 4.1 灰色預測模式預測結果與實際旅客需求量結果之配適度比較

航線	時程	實際旅客量	預測旅客量	平均差距值
台北-香港	民國 92 年	661,400	574,734	17.32%
	民國 93 年	913,648	696,964	
	民國 94 年	1,080,024	845,188	
	民國 95 年	1,148,212	1,024,936	
台北-胡志明市	民國 92 年	209,733	210,342	5.93%
	民國 93 年	260,052	228,312	
	民國 94 年	271,915	247,816	
	民國 95 年	275,448	268,987	
台北-新加坡	民國 92 年	135,341	201,803	19.43%
	民國 93 年	171,385	175,440	
	民國 94 年	172,972	152,521	
	民國 95 年	171,164	132,597	
台北-洛杉磯	民國 92 年	351,932	394,166	10.77%
	民國 93 年	412,774	396,482	
	民國 94 年	434,035	398,813	
	民國 95 年	495,285	401,157	

表 4.1 (續)

台北-西雅圖	民國 92 年	167,188	169,446	16.11%
	民國 93 年	185,858	178,123	
	民國 94 年	154,055	187,244	
	民國 95 年	116,029	196,832	
台北-澳門	民國 92 年	485,123	620,576	26.24%
	民國 93 年	569,333	699,357	
	民國 94 年	562,931	788,138	
	民國 95 年	568,701	888,190	
台北-曼谷	民國 92 年	459,201	524,068	23.39%
	民國 93 年	451,032	563,332	
	民國 94 年	420,215	605,537	
	民國 95 年	451,426	650,904	

資料來源：民航局資料、本研究預測

由以上比較表可觀察出，香港、澳門、曼谷與新加坡由於灰預測輸入之歷史資料運量與其他航線相較，前三者運量呈巨幅上揚，而後者呈下降趨勢，臆測此四條航線可能與當地其他更複雜之社經變數及E航空公司內部決策相關，而本研究之灰預測模式僅考慮時間序列，故平均差距值在20%左右，預測值可能較不準確；至於胡志明市的差距值小於6%，洛杉磯與西雅圖差距值也分別在10%與16%上下，尚在合理的誤差範圍內，故4.4節進行之實際範例將選擇旅客運量之灰色預測值誤差較小的航線進行分析以符合現況。

4.2 求解步驟說明

本研究於需求面應用灰色預測模式求得所欲分析之航線於未來年之總旅客量，再配合各航線所屬國家之經貿活動、景氣概況等資訊，以合理的推估將各年度各航線的總運量分配至各級艙等，以上即可取得未來年之各航線各艙等的旅客需求量。於供給面，航空公司透過所經營航線當前營運機型之使用年限以計算出於規劃時程內將淘汰的舊機數目，並根據所推估出之各航線旅客運量的成長數據，決定航空公司所要購買之新航機數目。再將以上需求面之旅客運量數據代入本研究所構建之模式求解，加總未來之規劃時程內所欲分析之航線新舊機型的收益及成本，在追求總利潤最大化的情況下，分析出航空公司於總規劃時程期初所應購買的新機數目、機型、內部艙等數、各艙等座位數，以及各時程內新航機所應搭配值勤的航線。

各步驟詳細說明如下：

Step1:

收集E航空公司所欲分析航線之歷年旅客運量，透過灰色拓撲模式，建立各航線航空旅客運量預測模式，配合實際旅客需求量資料作未來年需求量預測；並以實際資料比較其差距，以驗證灰色預測之準確度。

Step2

根據所欲分析航線起迄點當地之社經特性資料及經貿活動、進出口貿易額等數據，將各年度各航線總旅客量分至不同等級之艙等，求得不同航線不同艙等旅客量於規劃時程內之成長趨勢。

Step3:

由E航空公司所欲分析航線當前值勤之機型、使用年限數據，計算出未來規劃時程內淘汰的舊機架數，並搭配Step1中所求出之各航線運量預測值，求得所應新購取代舊機隊之新航機數目。

Step4:

進行第一階段之新航機內部艙位配置決策。將Step2中所求得之各時程不同航線、不同艙等旅客量需求值代入本研究建立之規劃式中，以0/1變數 d_m^n 決策各架新機是否指派給當初購機時指定之候選航線；加總規劃時程內欲分析航線之舊機與新機的營收及利潤後，以最大化總利潤為目標，可得到新機內部各艙等的最佳配置情況，以及各架新機於各規劃年所應搭配的航線。

Step5:

進行第二階段之是否加入新航機決策。將Step4中得到之新機內部艙等的最佳配置座位數搭配各航線運量預測值，計算各時程各航線不同艙等的承載率，計算各時程各航線多餘的旅客運量，判斷於何年始可繼續再購入新航機；此一階段購入之新航機為負擔各航線成長的新增旅客運量。

Step6:

將Step5中各時程各航線多餘的旅客運量繼續代入本研究之規劃式，以最大化總利潤為目標，決策各架新機於指定航線之內部各艙等的最佳配置情況；加總此階段與Step4所求得之最適配置下的總利潤，即為E航空公司於規劃時程內所得到之最佳利潤與最適機隊配置。

Step7:

將Step5中第二階段所加入之新航機與Step4中的第一階段新航機作營運相同航線的機隊內部各級艙等座位數調整；依據不同機型的底面積大小，將兩階段所決策出之各艙等座位數分配至各架新航機，此階段目的為減少因同艙等配置於同架航機所可能造成的其他艙等旅客選擇班次時的等候時間。下圖4.10為上述之演算步驟流程圖：

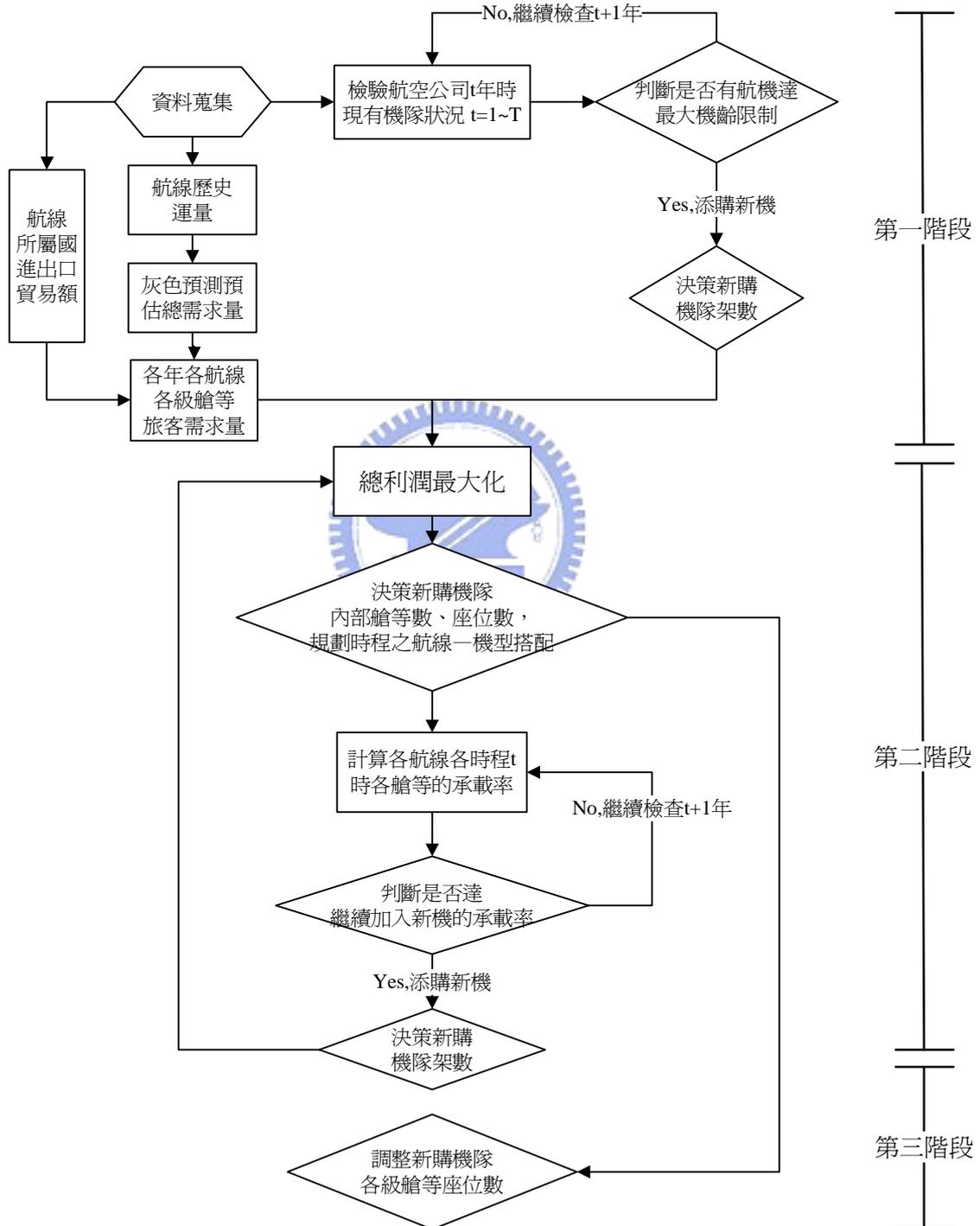


圖 4.10 演算步驟流程圖

4.3 範例背景說明

本研究以一國籍國際航空公司作為實證分析對象，該公司目前所擁有機隊規模為45架航機，平均機齡為7.46年；其機型、架數、平均機齡如下表4.2所示。

表 4.2 國籍航空公司E之機隊狀況

機型	架數	出廠年份	平均機齡	自有/租賃架數
MD-11	9	1994/8~1999/8	10.53	8/1
A-330-200	11	2003/6~2006/5	3.34	3/8
B-747-400	17	1992/11~2002/7	11.39	6/11
B-777-300ER	8	2005/7~2007/12	1.30	5/3

資料來源：E 航空公司資料、本研究整理

在所欲分析之營運航線上，本研究根據灰預測模式與其他相關考量，擇定胡志明市、洛杉磯、布里斯班、西雅圖四條航線進行後續規劃年間之機型選擇與艙等配置，選擇指標是各大洲儘可能有至少一條航線、E 航空公司於過去十年內於該航線不間斷地營運、包含長短程航線、我國國民搭乘率較高，且航線各艙等旅客量、成長幅度互異，亦即航線同時包含新興市場與穩定性較高的市場。在各航線運量預測上，取民航局所提供之台灣地區各機場國際航線班機載客率的年度統計資料，以民國 85 年至民國 91 年的運量歷史資料作為灰色模式預測未來運量的原始數據列；再藉由灰色後驗差精度檢驗進行民國 92 年至 95 年之模式預測值與實際值之間的統計情況進行檢驗，以驗證模式在建模上之精確程度。最後以民國 96 年至民國 105 年所預測出的十年間各航線運量值作為本研究範例航空公司規劃時程的旅客預測需求量。

在參考的候選機型上，將根據 E 航空公司目前在欲分析航線上已安排之既有機型及參考近年國內外航機訂單中較熱門之機種。其內部艙位配置參考依據則為空中巴士與波音官網公佈之配置情況及各大航空公司現有之內部配置。模式中供選擇的機型及內部艙等配置如表 4.3 所示。而範例中各艙等實際所分配到之座位數將以表 4.3 的配置情況透過一調整參數再做調整。

表 4.3 機型及內部艙位配置參考情況

候選機型 q		配置情況 l	艙等數	總座位數	各級艙等座位數	椅間距 (in)	寬度 (in)
q = 1	A330-200	l = 1	2	332	24/228	61/33	22/17
		l = 2	2	219	40/179	61/32	21.5/18
		l = 3	2	278	27/251	60/32	18/17.5
		l = 4	3	196	12/42/142	83/55/32	22/20/17.3
q = 2	A380	l = 1	1	853	853	N/A	N/A
		l = 3	3	471	12/60/399	81/55/32	35/34/19

表 4.3 (續)

q = 3	B777-300	$l = 1$	1	550	550	N/A	N/A
		$l = 2$	2	382	59/323	45/32	20/17.5
		$l = 3$	2	434	49/385	46/34	20.5/17
		$l = 4$	3	332	18/49/265	64/50/32	21/20/18
		$l = 5$	3	380	18/42/320	69/46/34	20.5/20.5/17
		$l = 6$	3	316	42/63/211	61/38/33	22/18/17
q = 4	B767-300	$l = 1$	1	351	351	N/A	N/A
		$l = 2$	2	203	30/173	60/31.5	20.5/17.5
		$l = 3$	2	244	9/235	42/32	18.5/18
		$l = 4$	2	250	24/226	40/31.5	18.5/17
		$l = 5$	3	244	34/56/154	38/35/31	19/18/18
		$l = 6$	4	193	10/32/67/84	64/55/35/31	20/19/18/18
q = 5	B747-400 Combi	$l = 1$	2	278	42/236	60/31	20/17.5
		$l = 2$	3	276	28/86/162	45.5/38/33.5	20.5/18/17
		$l = 3$	3	280	12/32/236	83/50/34	20.5/20/17

資料來源：空中巴士、波音公司、座艙配置網站、本研究整理

在 E 航空公司於欲分析的四條航線當前所使用的機型、頻次、可提供座位數及航程距離與各艙等票價等相關資訊分別如下表 4.4、表 4.5 所示：

表 4.4 國籍航空公司 E 欲分析航線目前機型、頻次、艙位配置情況

航線	當前營運機型	每週頻次 (單程)	每年頻次 (單程)	當前艙等配置		每週各艙等 提供座位數	每年各艙等 提供座位數
				艙等	座位數		
胡志明市	A330-200	5	270	桂冠艙	24	120	6,480
				經濟艙	228	1,140	61,560
	B777-300	5	270	桂冠艙	24	295	15,930
				經濟艙	228	1,615	87,210
	B777-300	5	270	桂冠艙	42	210	11,340
				菁英艙	63	315	17,010
經濟艙	211	1,055	56,970				
洛杉磯	B777-300	7.74	418	桂冠艙	42	325	17,556
				菁英艙	63	488	26,334
				經濟艙	211	1,633	88,198
布里斯班	A330-200	5.93	320	桂冠艙	24	142	7,680
				經濟艙	228	1,351	72,960
西雅圖	B777-300	6.50	351	桂冠艙	42	273	14,742
				菁英艙	63	410	22,113
				經濟艙	211	1,372	74,061
	B747-400	6.50	351	桂冠艙	36	234	12,636
				菁英艙	56	364	19,656
				經濟艙	280	1,820	98,280

資料來源：E 航空公司資料、本研究整理

表 4.5 國籍航空公司E欲分析航線之航程距離與各艙等票價

航線	航程距離 (公里)	各艙等之票價 (含稅, US\$)	
		艙等	票價
胡志明市	2,219	經濟艙	394
		菁英艙	412
		桂冠艙	716
洛杉磯	10,902	經濟艙	751
		菁英艙	1,099
		桂冠艙	1,717
布里斯班	6,754	經濟艙	697
		菁英艙	293
		桂冠艙	1,476
西雅圖	6,754	經濟艙	992
		菁英艙	1,356
		桂冠艙	1,731

資料來源：E航空公司資料、本研究整理

各航線在規劃時程內每一年的總旅客量如下表 4.6 所示：

表 4.6 國籍航空公司E欲分析航線於規劃時程內各年度之旅客量 (單位：人次)

年 \ 航線	胡志明市	洛杉磯	布里斯班	西雅圖
民國 98 年	343,981	408,272	89,179	228,643
民國 99 年	373,367	410,671	91,421	240,351
民國 100 年	405,264	413,085	93,719	252,658
民國 101 年	439,885	415,513	96,075	265,595
民國 102 年	477,464	417,955	98,489	279,195
民國 103 年	518,253	420,412	100,965	293,492
民國 104 年	562,527	422,883	103,503	308,520
民國 105 年	610,583	425,368	106,105	324,318

資料來源：民航局、本研究預測

求得各航線在規劃時程內各年度之旅客運量後，本研究進一步藉由各航線所屬國家之進出口貿易額、國家成長等經貿活動的資料將總旅客運量推估至各艙等旅客量，一般而言國際貿易活動影響最明顯的就是商務旅次的增加。各航線各艙等之分配結果如下表 4.7 所示：

表 4.7 各航線於規劃時程內各年度各艙等之旅客量（單位：百分率、人次）

航線 年	胡志明市			洛杉磯			布里斯班			西雅圖		
	經濟艙	菁英艙	桂冠艙	經濟艙	菁英艙	桂冠艙	經濟艙	菁英艙	桂冠艙	經濟艙	菁英艙	桂冠艙
民國 98 年	81.456%	4.730%	13.814%	66.772%	19.937%	13.291%	66.772%	19.937%	13.291%	71.366%	17.297%	11.337%
	280,193	16,270	47,518	272,612	81,396	54,264	272,612	81,396	54,264	163,174	39,547	25,922
民國 99 年	81.136%	4.940%	13.924%	66.40%	20.037%	13.561%	66.40%	20.037%	13.561%	71.158%	17.357%	11.486%
	302,935	18,444	51,988	272,695	82,285	55,692	272,695	82,285	55,692	171,028	41,717	27,606
民國 100 年	80.026%	5.280%	14.694%	66.05%	20.132%	13.814%	66.05%	20.132%	13.814%	70.900%	17.466%	11.635%
	324,316	21,398	59,549	272,858	83,164	57,063	272,858	83,164	57,063	179,134	44,128	29,396
民國 101 年	79.776%	5.530%	15.814%	65.65%	20.237%	14.112%	65.65%	20.237%	14.112%	70.571%	17.583%	11.846%
	350,922	24,326	69,563	272,788	84,086	58,639	272,788	84,086	58,639	187,433	46,701	31,461
民國 102 年	78.166%	6.020%	16.497%	65.17%	20.537%	14.294%	65.17%	20.537%	14.294%	70.372%	17.604%	12.024%
	373,214	28,743	78,767	272,380	85,834	59,741	272,380	85,834	59,741	196,476	49,150	33,569
民國 103 年	77.333%	6.170%	16.523%	65.01%	20.687%	14.303%	65.01%	20.687%	14.303%	70.137%	17.678%	12.185%
	369,237	29,460	78,891	271,713	86,464	59,779	271,713	86,464	59,779	205,846	51,885	35,761
民國 104 年	77.120%	6.358%	16.657%	64.78%	20.765%	14.453%	64.78%	20.765%	14.453%	69.870%	17.856%	12.274%
	368,218	30,355	79,531	270,762	86,786	60,407	270,762	86,786	60,407	215,562	55,089	37,869
民國 105 年	76.886%	6.457%	16.984%	64.52%	20.955%	14.524%	64.52%	20.955%	14.524%	69.683%	18.012%	12.305%
	367,105	30,828	81,094	269,672	87,581	60,702	269,672	87,581	60,702	225,995	58,417	39,906

資料來源：民航局、本研究推估

以上四條航線的規劃時程旅客總運量與各航線之旅客組成如下圖 4.11 至 4.15 所示：

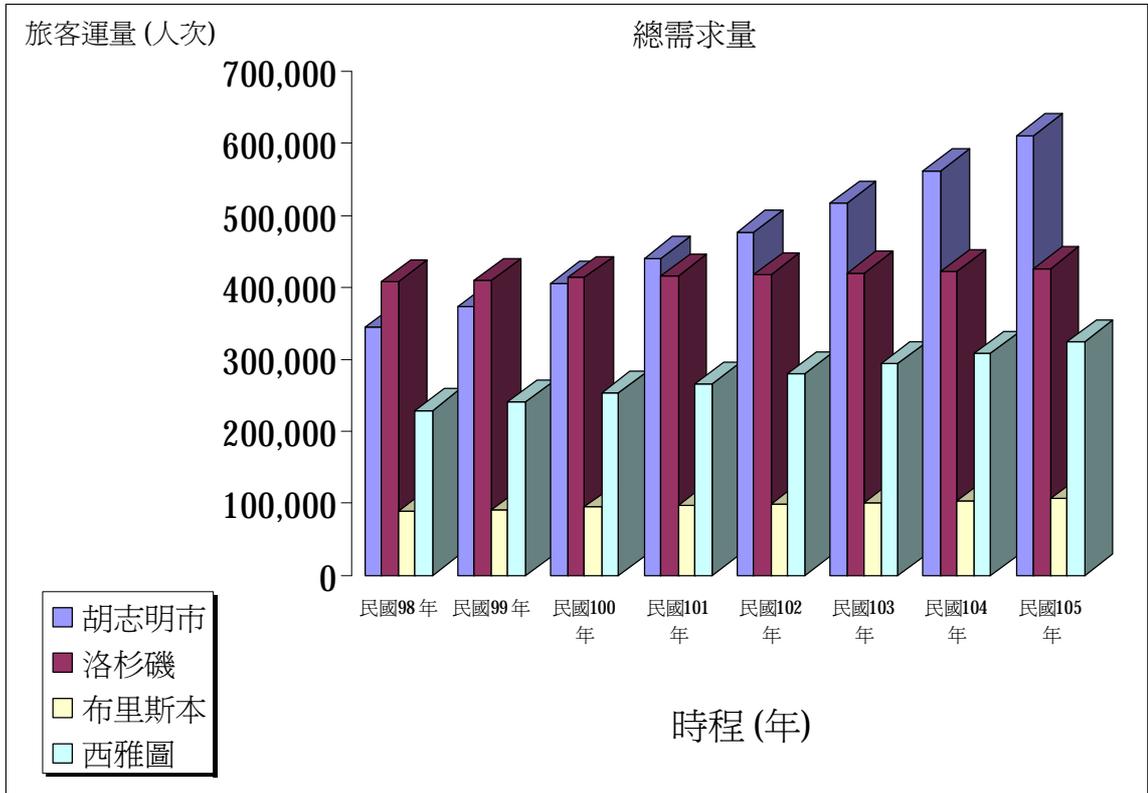


圖 4.11 四航線民國 98 年至 105 年旅客總需求量預測值

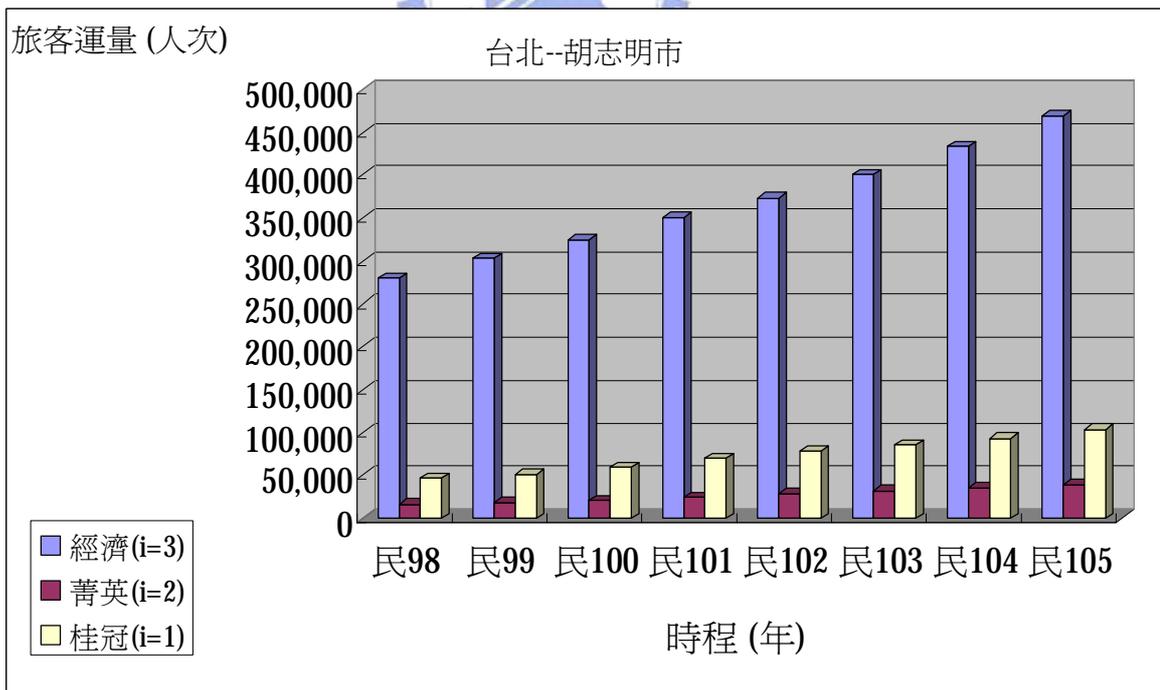


圖 4.12 台北-胡志明市航線民國 98 年至 105 年各艙等旅客需求量預測值

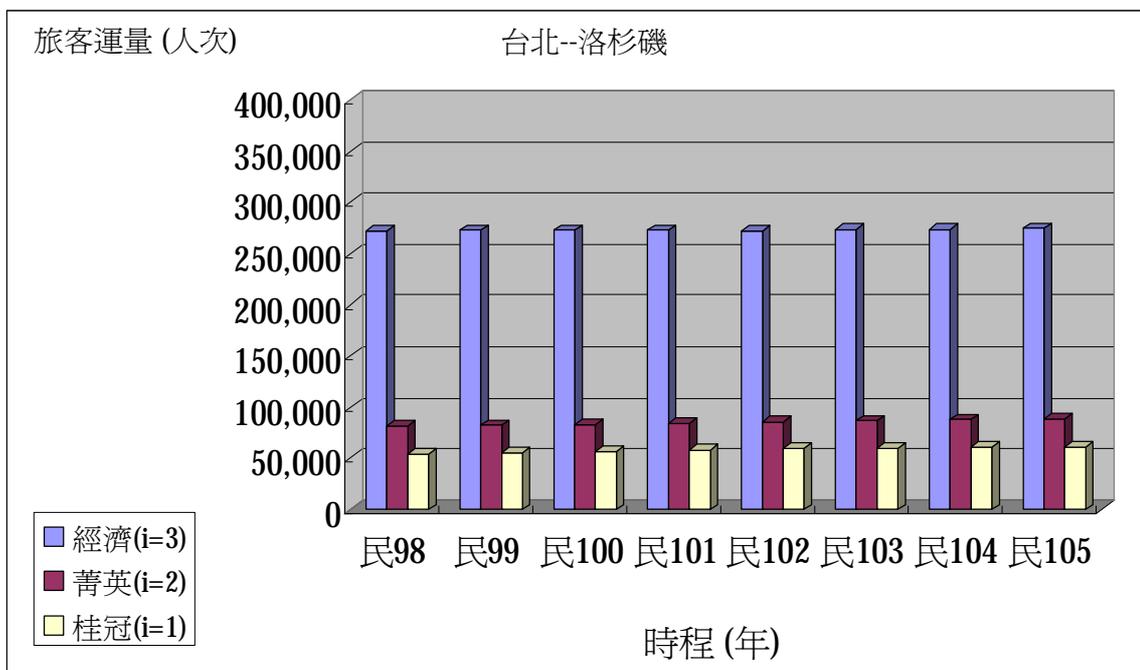


圖 4.13 台北-洛杉磯航線民國98年至105年各艙等旅客需求量預測值

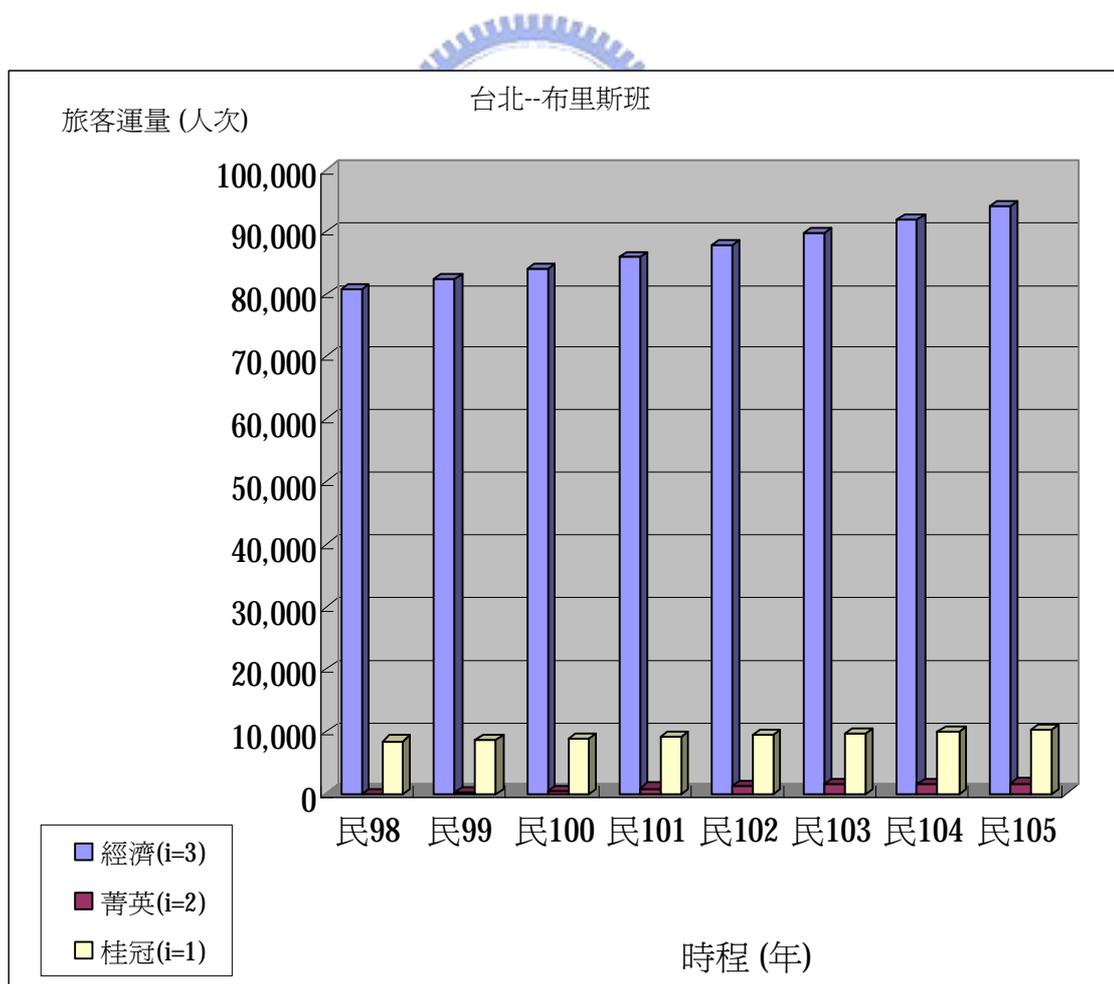


圖 4.14 台北-布里斯班航線民國98年至105年各艙等旅客需求量預測值

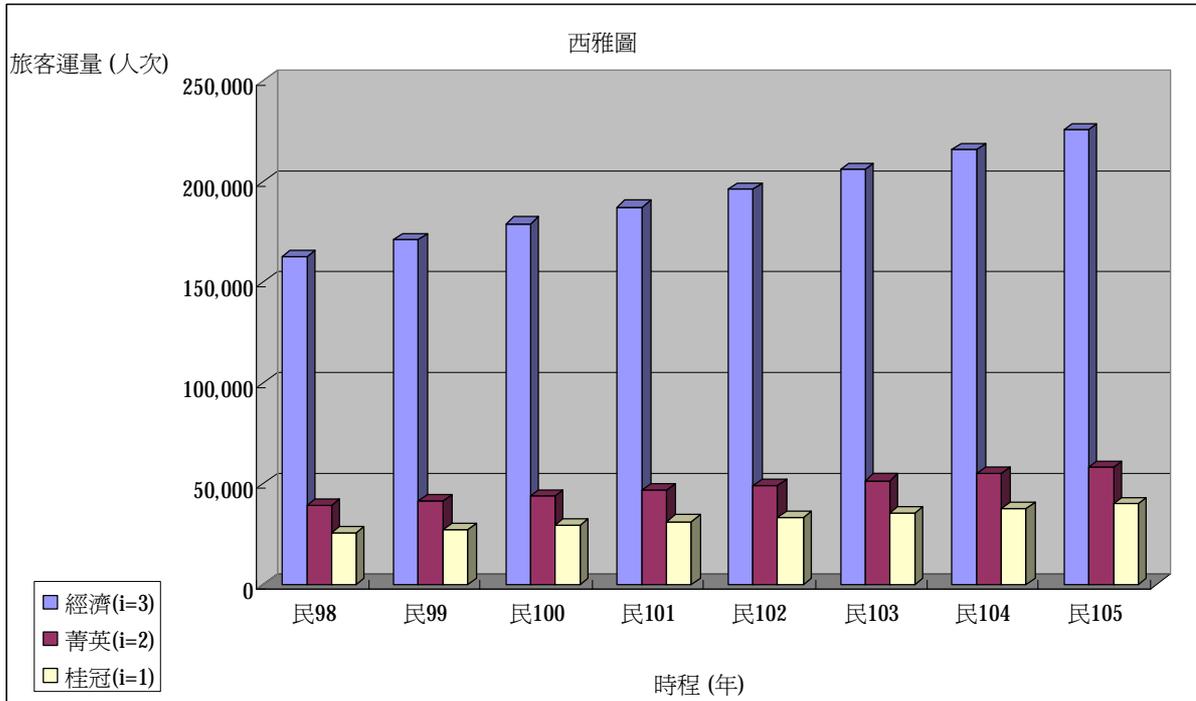


圖 4.15 台北-西雅圖航線民國98年至105年各艙等旅客需求量預測值

從圖4.11之四條航線的旅客總需求量可看出台北飛胡志明市與洛杉磯，屬高運量的航線，且旅客組成有較多商務旅客，其中尤以胡志明市的商務旅客成長最為明顯。而台北飛布里斯班航線屬中低運量，旅客屬性以休閒旅客為主，至於西雅圖航線則屬中高運量，旅客組成與洛杉磯類似，均以經濟艙旅客為主，與洛杉磯相較西雅圖航線的商務旅客略少於洛杉磯。總旅客量的成長以胡志明市之旅客成長幅度最為顯著，從民國101年後甚至超越洛杉磯航線之需求量達到高峰，其次為西雅圖航線，從民國98年至100年約成長了十萬人次。而洛杉磯航線與布里斯班航線旅客總需求量在規劃時程內均有成長，惟成長幅度較不明顯。根據圖4.12可觀察出台北飛胡志明市航線之菁英艙與桂冠艙旅客均有顯著之逐年上升之趨勢，而經濟艙旅客從民國98年至101年上升趨勢較快，民國102年至105年變化幅度不大；而從圖4.13可觀察出台北飛洛杉磯航線各艙等成長幅度差異不大，菁英艙與桂冠艙旅客需求量小幅上升，經濟艙旅客需求量則小幅滑落；從圖4.14則可觀察出台北飛布里斯班航線經濟艙旅客與商務艙旅客需求比例差異甚大，這是因為布里斯班航線主要以旅遊屬性旅客所致，商務旅客需求原本就較少，其成長趨勢也不明顯。至於布里斯班航線之經濟艙旅客的上升趨勢以民國98年至101年上升幅度較快，民國102年以後則呈現小幅下滑趨勢。至於西雅圖的各艙等旅客變化由圖4.15可看出各級艙等的漲幅較為平均，各艙等的旅客需求量在規劃時程八年均有成長。

4.4 範例結果

根據4.3節灰色預測模式所得之各航線旅客需求量預測值，從中擇定胡志明市、洛杉磯、布里斯班、西雅圖四條航線為例，規劃時程則為民國98年至民國105年之八年為總研究時程。胡志明市航線目前使用一架A330-200、三架B777-300營運，其航機編號分別為設定為1,2,3,4；洛杉磯航線目前則使用三架B777-300營運，其航機編號分別為5,6,7；至於布里斯班航線由於運量較低，僅由一架A330-200營運，航機編號為8，西雅圖航線由一架B777-300航機、一架B747-400航機營運，航機編號分別為9,10。根據E航空公司對其內部擁有機隊的機齡限制乃設定為平均12年以下，故模式中設E航空公司以機齡12年定為舊機淘汰限制，經過模式計算後可知營運於胡志明市、洛杉磯、布里斯班、西雅圖的舊有機隊之航機其達使用年限遭註銷之時間及購入新航機之時間如下表4.8、4.9所示：

表 4.8 各航線於規劃時程舊航機汰舊之註銷時間

航線	當前營運航機	航機編號	註銷時間
台北-胡志明市	A330-200	1	t=3；民國 100 年
台北-洛杉磯	B777-300	5	t=1；民國 98 年
台北-布里斯班	A330-200	8	t=6；民國 103 年
台北-西雅圖	B747-400	10	t=5；民國 102 年

資料來源：E 航空公司資料

表 4.9 各航線於規劃時程內取代舊機購置新航機時間

航線	新置航機編號	購入時間
台北-胡志明市	A	t=3；民國 100 年
台北-洛杉磯	B	t=1；民國 98 年
台北-布里斯班	C	t=6；民國 103 年
台北-西雅圖	D	t=5；民國 102 年

資料來源：本研究規劃

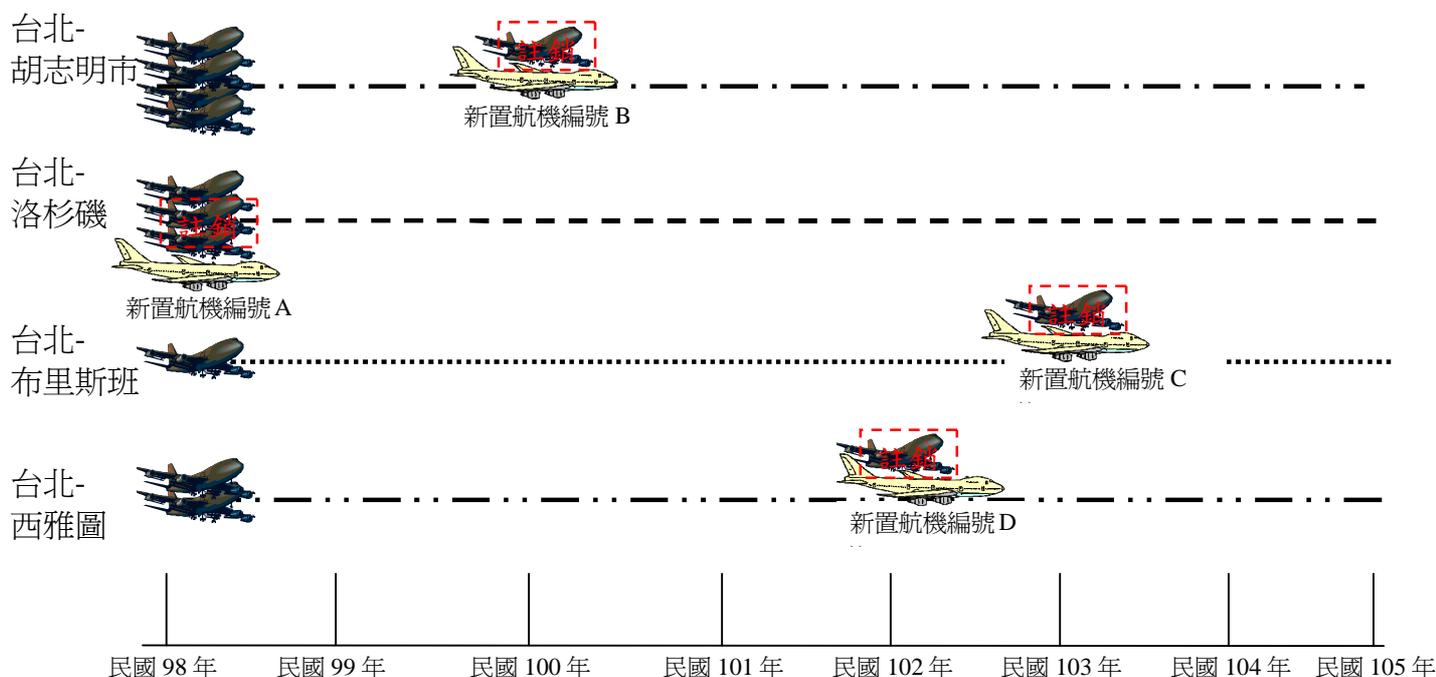


圖 4.16 各航線舊機隊達機齡使用限制待換新機隊示意圖

上圖 4.16 為各航線舊機達使用機齡限制遭淘汰並以新航機取代之示意圖。各時程內需分派給新航機營運之運量為灰預測模式所預測出總預測需求量扣除該航線於各時程目前舊有機隊之可使用營運容量，各時程舊有機隊之可使用營運容量如下表 4.10 所示。各時程內各航線將由新航機營運的各級艙等的旅客需求量則如下表 4.11 所示：

表 4.10 各航線於規劃時程內既有舊機隊之容量 (單位：座位數)

航線 \ 時程	台北-胡志明市			台北-洛杉磯			台北-布里斯班		台北-西雅圖		
	經濟艙	菁英艙	桂冠艙	經濟艙	菁英艙	桂冠艙	經濟艙	菁英艙	經濟艙	菁英艙	桂冠艙
民國 98 年	263,655	15,309	44,712	158,757	47,401	31,601	65,664	6,912	155,107	37,592	24,640
民國 99 年	263,655	15,309	44,712	158,757	47,401	31,601	65,664	6,912	155,107	37,592	24,640
民國 100 年	208,251	15,309	38,880	158,757	47,401	31,601	65,664	6,912	155,107	37,592	24,640
民國 101 年	208,251	15,309	38,880	158,757	47,401	31,601	65,664	6,912	155,107	37,592	24,640
民國 102 年	208,251	15,309	38,880	158,757	47,401	31,601	65,664	6,912	66,655	19,902	13,268
民國 103 年	208,251	15,309	38,880	158,757	47,401	31,601	0	0	66,655	19,902	13,268
民國 104 年	208,251	15,309	38,880	158,757	47,401	31,601	0	0	66,655	19,902	13,268
民國 105 年	208,251	15,309	38,880	158,757	47,401	31,601	0	0	66,655	19,902	13,268

資料來源：E 航空公司資料、本研究整理

表 4.11 各航線於規劃時程內分派給新機隊之新運量 (單位：人次)

航線 時程	台北-胡志明市			台北-洛杉磯			台北-布里斯班			台北-西雅圖		
	經濟艙	菁英艙	桂冠艙	經濟艙	菁英艙	桂冠艙	經濟艙	菁英艙	桂冠艙	經濟艙	菁英艙	桂冠艙
民國 98 年	16,538	961	2,806	113,855	33,995	22,663	15,022	0	1,581	8,067	1,955	1,282
民國 99 年	39,280	3,135	7,276	113,938	34,884	24,091	16,713	296	1,836	15,921	4,125	2,966
民國 100 年	116,065	6,089	20,669	114,101	35,763	25,463	18,465	605	2,072	24,027	6,536	4,756
民國 101 年	142,671	9,017	30,683	114,031	36,685	27,039	20,286	898	2,315	32,326	9,109	6,821
民國 102 年	164,963	13,434	39,887	113,623	38,433	28,140	22,118	1,216	2,580	129,821	29,249	20,301
民國 103 年	160,986	14,151	40,011	112,956	39,063	28,178	87,515	1,464	9,511	139,191	31,983	22,493
民國 104 年	159,967	15,046	40,651	112,005	39,385	28,806	87,417	1,513	9,560	148,907	35,188	24,601
民國 105 年	158,854	15,519	42,214	110,915	40,180	29,101	87,325	1,577	9,587	159,340	38,516	26,638

資料來源：E 航空公司資料、本研究預測

由 4.2 節之求解步驟，經過 LINGO8.0 求解最適化後，可得以下 E 航空公司於規劃時程內營運於胡志明市、洛杉磯、布里斯班、西雅圖等四條航線之各架新置航機機型選擇、內部配置、指派航線等決策結果；完成第二階段與第三階段之配置結果分別如下表 4.12、4.13 所示：

表 4.12 完成第二階段新置航機機隊最適內部配置

航機編號	選擇機型	選擇參考配置	劃分艙等數	各艙等座位數調整參數			各艙等最適座位數			各艙等單位座位大小(平方公吋)		
				經濟艙	菁英艙	桂冠艙	經濟艙	菁英艙	桂冠艙	經濟艙	菁英艙	桂冠艙
A	B777-300	Singapore	1	1.4792	0	0	392	0	0	576	1000	1344
B	A380	Singapore	3	0.6817	0.6167	4.5	272	37	54	608	1870	2835
C	B777-300	Singapore	3	1.1057	0.1020	1.7778	293	5	32	576	1000	1344
D	A380	Singapore	2	0.9925	1.3	N/A	396	78	0	608	1870	2835
E	B777-300	Singapore	2	0.8038	N/A	4.2222	213	0	76	576	1000	1344
F	A330-200	Swiss	2	N/A	1.0909	1.4167	0	60	17	553.6	1100	1826

資料來源：本研究規劃

表 4.13 完成第三階段修正後之新置航機機隊最適內部配置

航機編號	選擇機型	選擇參考配置	適用航線	劃分艙等數	各艙等最適座位數		
					經濟艙	菁英艙	桂冠艙
A	B777-300	Singapore	胡志明市	2	303	0	38
B	A380	Singapore	洛杉磯	3	181	65	47
C	B777-300	Singapore	布里斯班	3	293	5	32
D	A380	Singapore	西雅圖	2	396	78	0
E	B777-300	Singapore	胡志明市	2	303	0	38
F	A330-200	Swiss	洛杉磯	3	91	32	24

資料來源：本研究規劃

第二階段所決策出的各航線機型選擇與艙等配置再經由模式第三階段的相同航線機隊的同艙等座位平均調整後，可讓兩架航機擁有相同的艙等、座位數配置，此調整機制主要可讓該航線不同艙等的旅客均可在相同的班表上搭到航機，降低原先第二階段所造成特定艙等配置在同一航機上所可能產生讓其他艙等旅客必須選擇下一班次的延滯感。

以下分別就四條航線之購機與配置決策做詳細討論：

1. 胡志明市

胡志明市航線屬於高運量航線，規劃時程起始時商務旅客比例約佔總率客量 2 成，而由於經貿發展，商務旅客之成長有明顯的攀升趨勢，至民國 105 年以達將近二成五。但由於胡志明市屬短程航線，票價較長程航線低廉，菁英艙與桂冠艙票價僅分別為經濟艙票價的 1.05 倍、1.82 倍。在民國 100 年至民國 105 年的規劃時程內，根據模式第一階段之決策結果，選擇一架全配置經濟艙的 B777-300，主要原因為胡志明市航線旅客運量的成長高，需要一架較大型航機以負擔需求量，A380 由於不適用於短程航線，故不加以考慮。且由於在 B777-300 之參考配置上，單位菁英艙與桂冠艙對單位經濟艙的的面積比值都較單位菁英艙、桂冠艙對單位經濟艙的利潤比值來地大，故選擇優先配置經濟艙可得到較大的利潤。

因胡志明市航線根據灰色模式之預測程大幅成長，即使配置一架 B777-300 仍造成大量的需求大於供給之懲罰成本，表示新增之運量可考慮再添置一架航機，故繼續進行第二階段之購機。在第二階段根據新運量模式續配置了另一架 B777-300，共配置了 213 個經濟艙、76 個桂冠艙，不作商務艙配置。主要原因為第二階段之購機乃配合第一階段所未能滿足之旅客，且第一階段之延滯成本主要來自經濟艙與桂冠艙旅客，故此階段之航機仍採優先安排較好賺的經濟艙位，滿足經濟艙旅客需求之決策後，多餘空間才繼續安排桂冠艙旅客。

另外為證明本研究決策結果所採用之新機型及其內部配置艙等座位數較過去 E 航空公司於該航線舊有機型及配置擁有較佳之利潤，亦計算將各時程新增之運量由舊機 A330-200 值勤，配置兩艙等所得到之成本與收益，結果發現胡志明市完成第一階段新型配置航機後及第二階段加入第二架航機後之結果均較舊型配置佳。證明胡志明市運量成長迅速，航空公司位未來規劃時程內於此航線宜加入新航機值勤以負擔新運量。胡志明市採用本研究決策之第一階段、第二階段與過去就配置的總收益、總成本、總利潤比較圖分別如圖 4.17、4.18、4.19 所示：

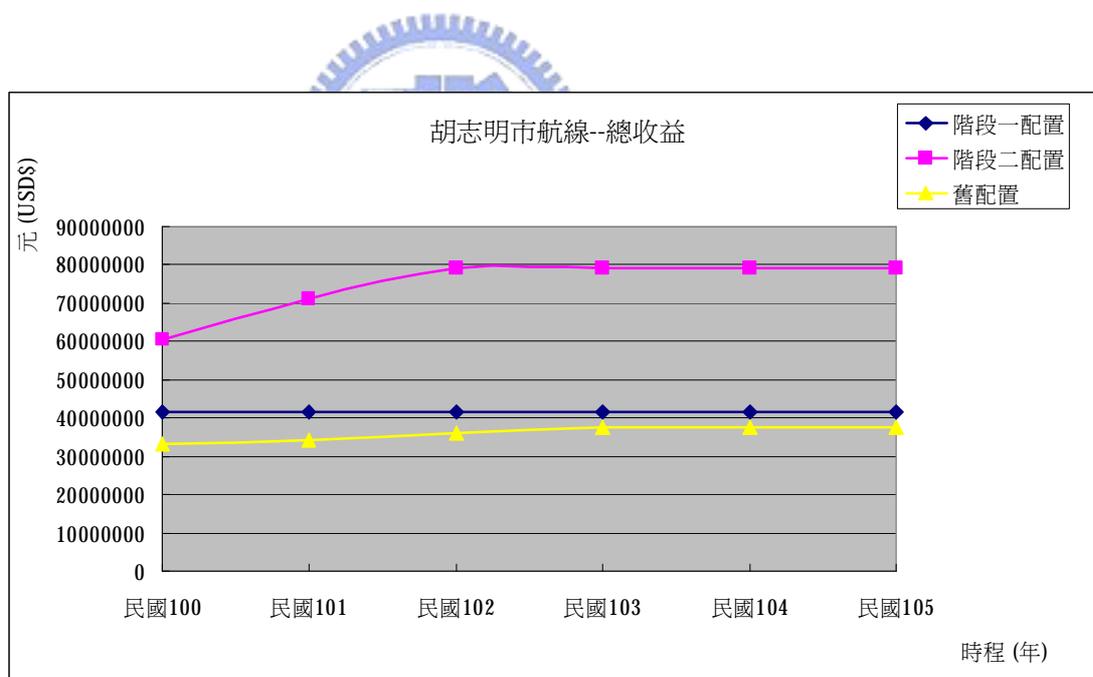


圖 4.17 胡志明市航線完成兩階段決策與舊配置總收益之結果比較

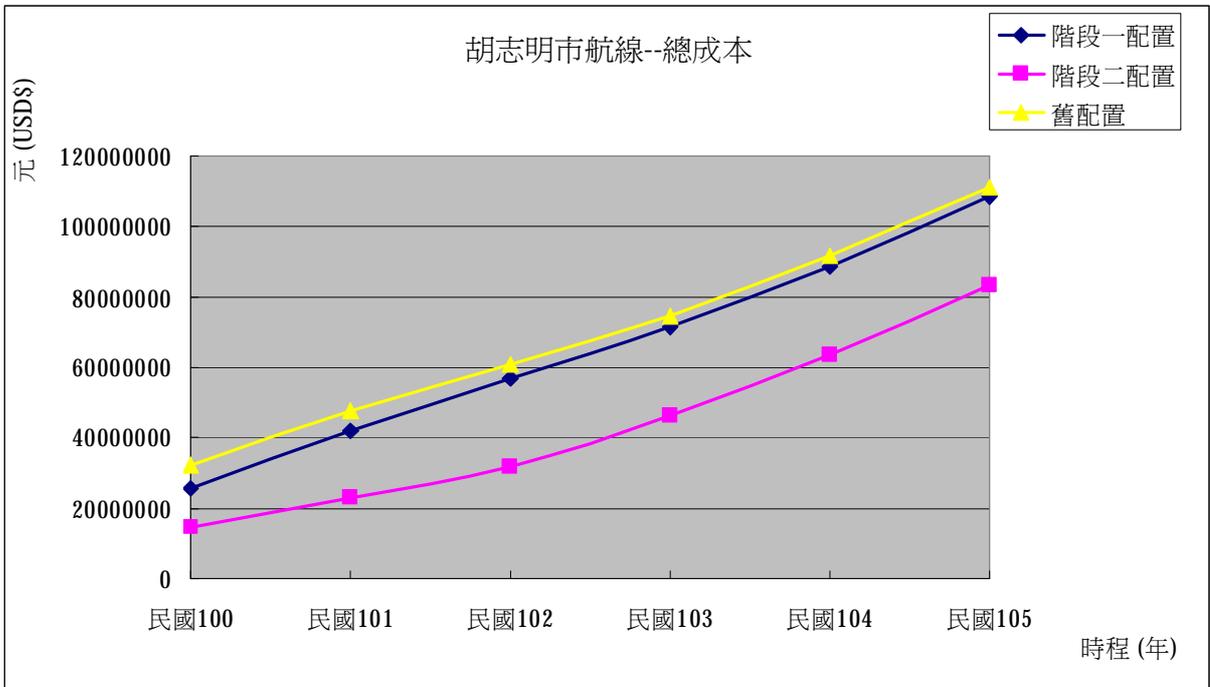


圖 4.18 胡志明市航線完成兩階段決策與舊配置總成本之結果比較

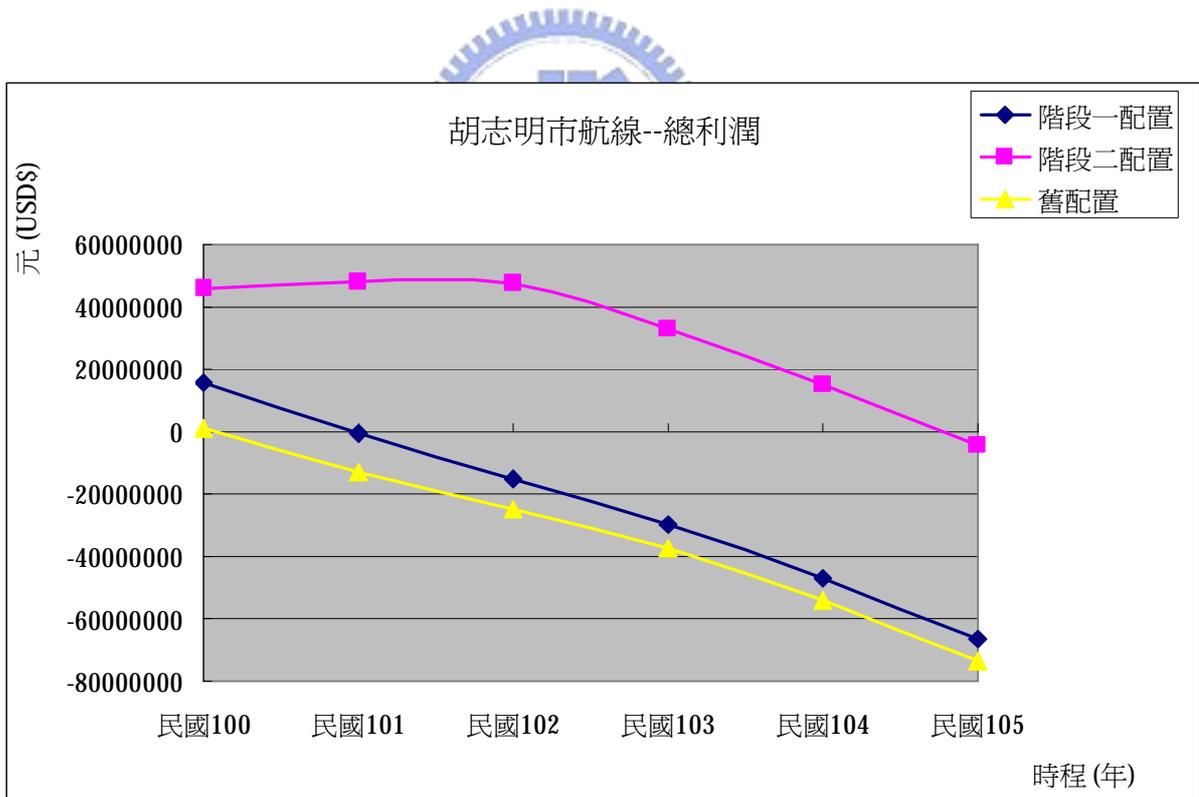


圖 4.19 胡志明市航線完成兩階段決策與舊配置總利潤之結果比較

另比較新型配置與舊型配置之各級艙等旅客的載客狀況後，可發現過去舊機型配置分配過多空間給菁英艙旅客，實際上菁英艙旅客需求量並不高；而在民國102年後胡志明市航線旅客運量明顯驟升，更顯示原舊航機之容量除菁英艙外已明顯不足。新置航機A主要為滿足經濟艙旅客需求，而新置航機E主要承載桂冠艙旅客與階段一所未能滿足的經濟艙旅客；在做了階段三平均兩新航機座位數後，各時程經濟艙旅客在民國102年後達到滿載。而桂冠艙旅客由於單位面積的利潤不如經濟艙座位，在滿足經濟艙旅客後之剩餘面積才安排給其需求。部份供給所未能滿足之需求則以該賺而未賺的懲罰成本表示。至於菁英艙因為旅客需求較少，在面積有限之情況下不做安排。各時程各航線採新舊配置的詳細各艙等承載率如下表4.14所示：

表 4.14 比較胡志明市航線於採新配置與舊配置之各艙等承載率情況 (單位:%)

		新配置		舊配置
		編號 A 航機	編號 E 航機	編號 1 航機
民國 100 年	經濟艙	71.05%	71.05%	203.73%*
	菁英艙	N/A	N/A	35.80%*
	桂冠艙	100.73%*	100.73%*	182.27%*
民國 101 年	經濟艙	87.34%	87.34%	250.43%*
	菁英艙	N/A	N/A	53.01%
	桂冠艙	149.53%*	149.53%*	270.57%*
民國 102 年	經濟艙	100.99%*	100.99%*	289.56%*
	菁英艙	N/A	N/A	78.98%
	桂冠艙	194.38%*	194.38%*	351.74%*
民國 103 年	經濟艙	117.86%*	117.86%*	337.95%*
	菁英艙	N/A	N/A	97.98%
	桂冠艙	227.83%*	227.83%*	412.27%*
民國 104 年	經濟艙	138.09%*	138.09%*	395.94%*
	菁英艙	N/A	N/A	120.25%*
	桂冠艙	267.15%*	267.15%*	483.42%*
民國 105 年	經濟艙	159.90%*	159.90%*	458.49%*
	菁英艙	N/A	N/A	141.76%*
	桂冠艙	315.90%*	315.90%*	571.63%*

(註：由於各艙等最大承載率為100%，故上表中有註記*表其超越最大承載率，超過部分即為座位數不足之延滯旅客，帶有一未能滿足需求之懲罰成本)

2. 洛杉磯

洛杉磯航線同胡志明市，屬於高運量之航線，且其航程距離達一萬公里以上，屬長程之航線。旅客總需求量與其他三條航線比較成長相對小，從規劃時程起始時的四十萬八千人次持續穩定成長，在民國 105 年成長到四十二萬五千人次。洛杉磯航線之商務旅

客佔總旅客約三成二，在民國 105 年成長到三成五，是四條航線中商務旅客比例所佔最多的航線。菁英艙與桂冠艙票價分別為經濟艙票價的 1.46 倍、2.29 倍。由模式第一階段之決策結果，選擇一架 A380 客機，各級艙等配置座位數由低至高分別為 272 個座位、37 個座位、54 個座位；優先配置經濟艙座位原因同胡志明市，以單位面積而言，經濟艙的利潤較其他兩個艙等大。在滿足經濟艙旅客需求後，剩餘的座艙面積繼續安排桂冠艙，推測除因桂冠艙的單位面積利潤仍較菁英艙高外，未能滿足桂冠艙旅客需求的單位旅客懲罰成本較高亦為原因。因此在第一階段的配置後，有較多的菁英艙旅客未能被滿足，產生大量的懲罰成本。因此模式在第二階段考量是否繼續加入新機以承載第一階段所剩餘之旅客需求。

根據第二階段決策結果，加入一架 A330-200，屬較小型之客機，而其內部共配置了 60 個菁英艙、17 個桂冠艙，是為滿足第一階段所未能滿足之旅客需求。第三階段按兩航機面積大小權重調整各級艙等座位數後，A380 客機單一頻次共可運送 181 名經濟艙旅客、65 名菁英艙旅客、47 名桂冠艙旅客，而 A330-200 客機則可運送 91 名經濟艙旅客、32 名菁英艙旅客、24 名桂冠艙旅客。

將完成第一階段配置、第二階段及原值勤洛杉磯航線的舊航機相較，發現從民國 100 年開始，採第二階段配置下的利潤值開始大幅超越第一階段及原配置，主要原因除第二階段的收益始終較高外，第二階段各年的總成本從一開始略高於第一階段，民國 101 年後便開始下降，顯示雖然階段二起始兩年之座位雖有部分空置座椅形成空置的懲罰成本，但在 101 年後的五年各艙等座位都可獲得充分利用，可顯示總規劃時程內完成第二階段的配置確實較原先即第一階段之結果為佳。至於原配置因舊有座位數不敷新成長的運量，除總收益較小外，亦產生大量未能滿足顧客需求的懲罰值，故利潤逐年降低；顯示洛杉磯航線新運量在規劃年間亦達一定之幅度，需新購較大型航機以汰換舊有機型。洛杉磯航線採用本研究決策之第一階段、第二階段與過去就配置的總收益、總成本、總利潤比較圖分別如圖 4.20、4.21、4.22 所示：

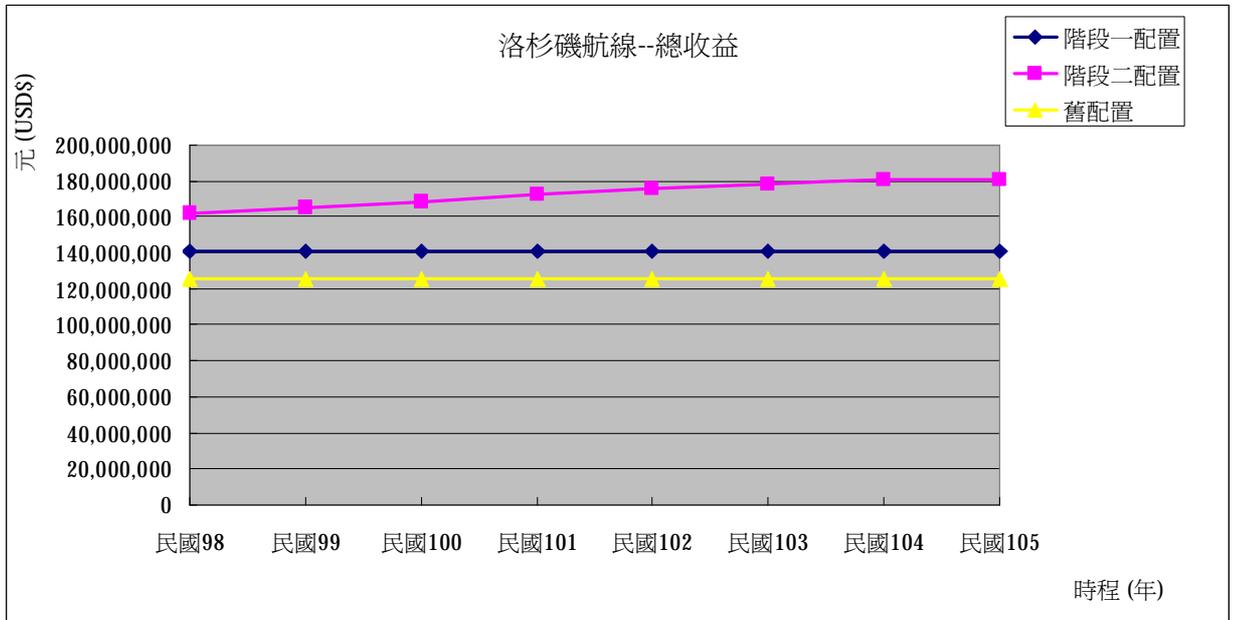


圖 4.20 洛杉磯航線完成兩階段決策與舊配置總收益之結果比較圖

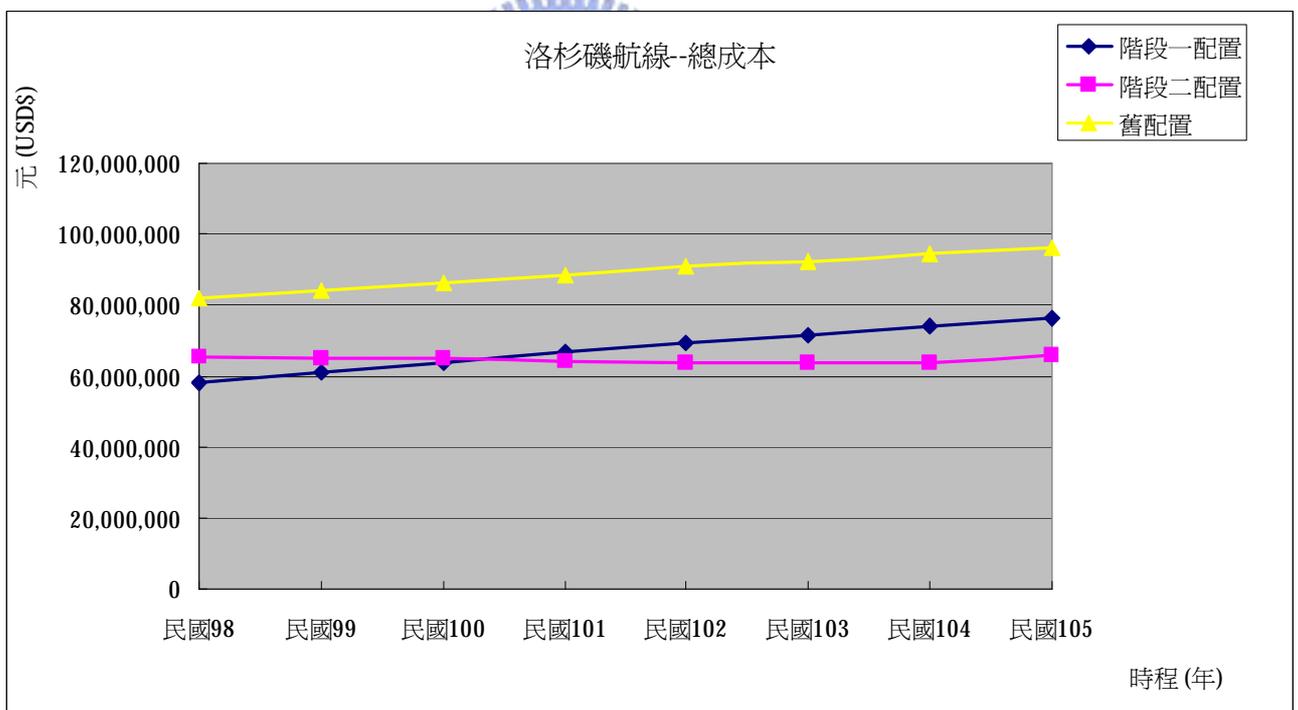


圖 4.21 洛杉磯航線完成兩階段決策與舊配置總成本之結果比較圖

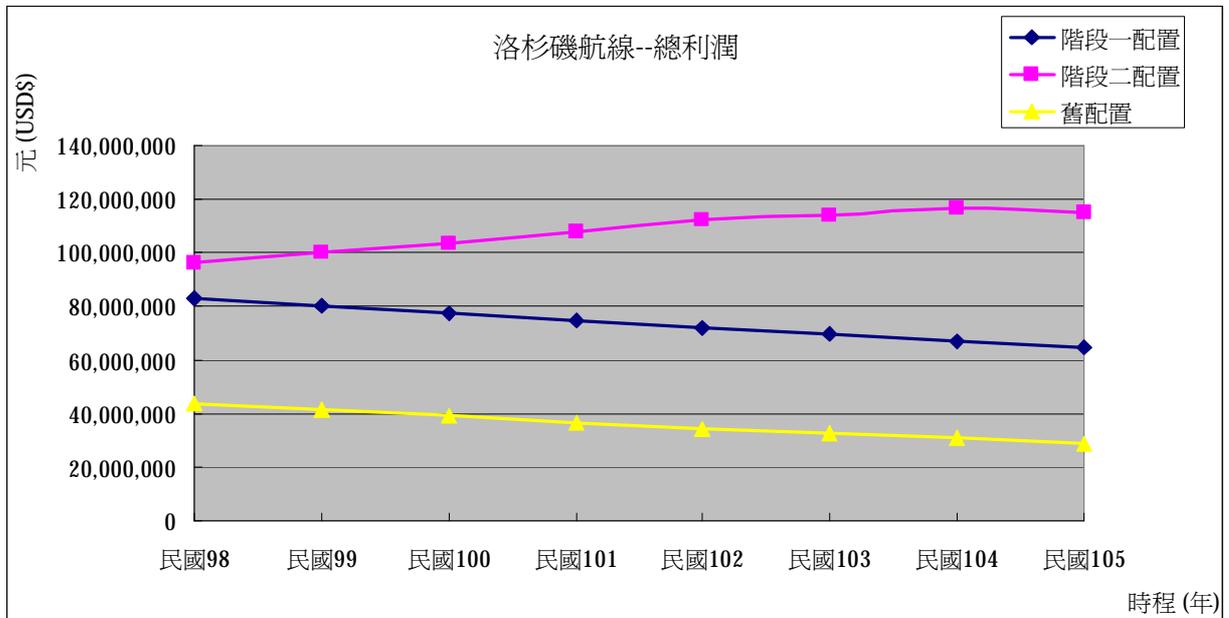


圖 4.22 洛杉磯航線完成兩階段決策與舊配置總利潤之結果比較圖

在比較洛杉磯航線的新舊配置比較表後可發現，新配置的經濟艙旅客承載率從規劃時程內均十分接近滿載，每年均只有 1% 至 2% 的預測旅客需求未能被滿足，而商務旅客部分也從民國 98 年的八成承載率持續穩定上升，在民國 104 年接近滿載，僅在民國 105 年時有 2% 的旅客未能被滿足。至於舊配置經濟艙旅客在規劃時程內大約都有接近三成需求未能滿足，商務旅客未被滿足的比例更是從起始年的將近三成一路成長為六成左右，顯示舊配置絕大部分的損失來自所未能滿足之票價較高的商務旅客。各時程各航線採新舊配置的詳細各艙等承載率如下表 4.15 所示：

表 4.15 比較洛杉磯航線於採新配置與舊配置之各艙等承載率情況 (單位:%)

		新配置		舊配置
		編號 B 航機	編號 F 航機	編號 5 航機
民國 98 年	經濟艙	100.140%*	100.140%*	129.090%*
	菁英艙	83.843%	83.843%	129.092%*
	桂冠艙	76.363%	76.363%	129.090%*
民國 99 年	經濟艙	100.213%*	100.213%*	129.184%*
	菁英艙	86.036%	86.036%	132.468%*
	桂冠艙	81.175%	81.175%	137.224%*
民國 100 年	經濟艙	100.356%*	100.356%*	129.369%*
	菁英艙	88.204%	88.204%	135.805%*
	桂冠艙	85.798%	85.798%	145.039%*
民國 101 年	經濟艙	100.295%*	100.295%*	129.290%*
	菁英艙	90.477%	90.477%	139.307%*
	桂冠艙	91.108%	91.108%	154.016%*

表 4.15 (續)

民國 102 年	經濟艙	99.936%	99.936%	128.827%*
	菁英艙	94.789%	94.789%	145.944%*
	桂冠艙	94.818%	94.818%	160.287%*
民國 103 年	經濟艙	100.754%*	100.754%*	129.882%*
	菁英艙	97.595%	97.595%	150.266%*
	桂冠艙	96.128%	96.128%	162.503%*
民國 104 年	經濟艙	101.320%*	101.320%*	130.612%*
	菁英艙	99.660%	99.660%	153.444%*
	桂冠艙	99.461%	99.461%	168.136%*
民國 105 年	經濟艙	101.761%*	101.761%*	131.180%*
	菁英艙	102.928%*	102.928%*	158.476%*
	桂冠艙	101.685%*	101.685%*	171.896%*

(註：由於各艙等最大承載率為100%，故上表中有註記*表其超越最大承載率，超過部分即為座位數不足之延滯旅客，帶有一未能滿足需求之懲罰成本)

3. 布里斯班

布里斯班航線屬中低運量航線，以旅遊性質之經濟艙旅客為主，航程距離將近七千公里，亦為中長程的航線。該航線旅客總需求量亦不明顯，從民國 98 年的將近九萬人次到民國 105 年僅成長至一萬零六千人次。商務旅客為四條航線中所佔比例最少之一條，僅有將近一成，且成長幅度不明顯。在票價比例上，布里斯班航線菁英艙與桂冠艙票價分別為經濟艙票價的 1.32 倍、2.12 倍。該航線由於需求量較低，且成長幅度亦不高，故在完成第一階段航機配置後就可滿足預估之旅客需求量；配置一架 B777-300 客機，分別有 293 個經濟艙座位、5 個菁英艙座位、32 個桂冠艙座位。可看出布里斯班採用新航機新配置後各時程的收益及利潤均逐年成長，舊配置因為成本與新配置差距較大，以致於讓利潤與新配置差距更大；舊配置成本大的主因為舊配置未能滿足旅客需求的懲罰成本逐年增加，且主要來自於經濟艙旅客，顯示舊配置的經濟艙座位明顯不符該航線成長的需求。布里斯班航線採用本研究之決策與過去就配置的總收益、總成本、總利潤比較圖分別如圖 4.23、4.24、4.25 所示：

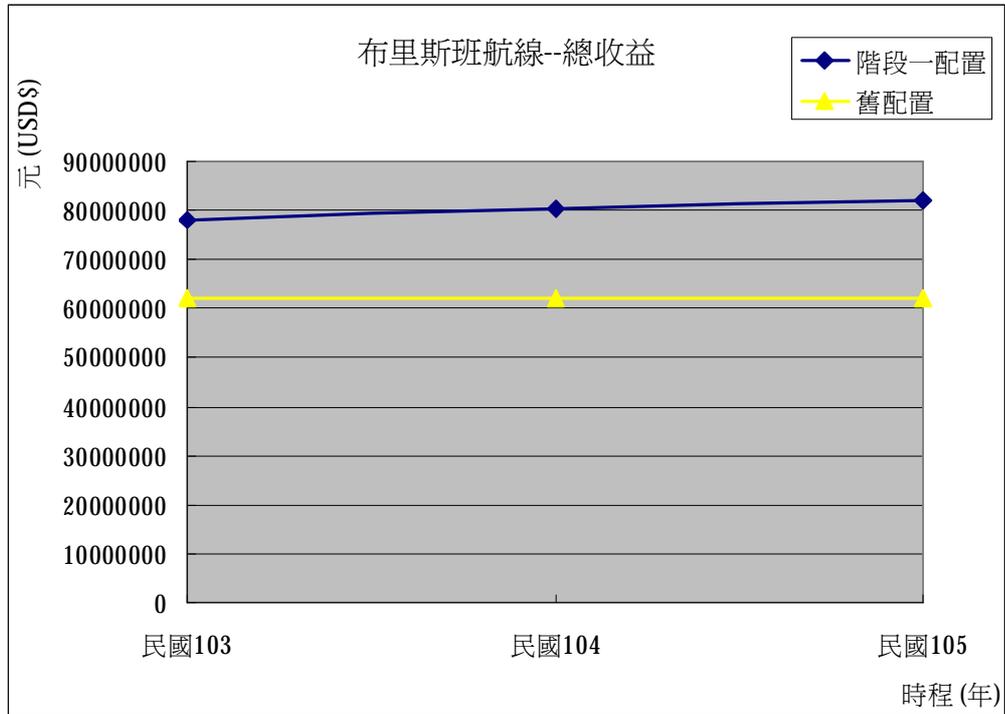


圖 4.23 布里斯班航線完成兩階段決策與舊配置總收益之結果比較圖

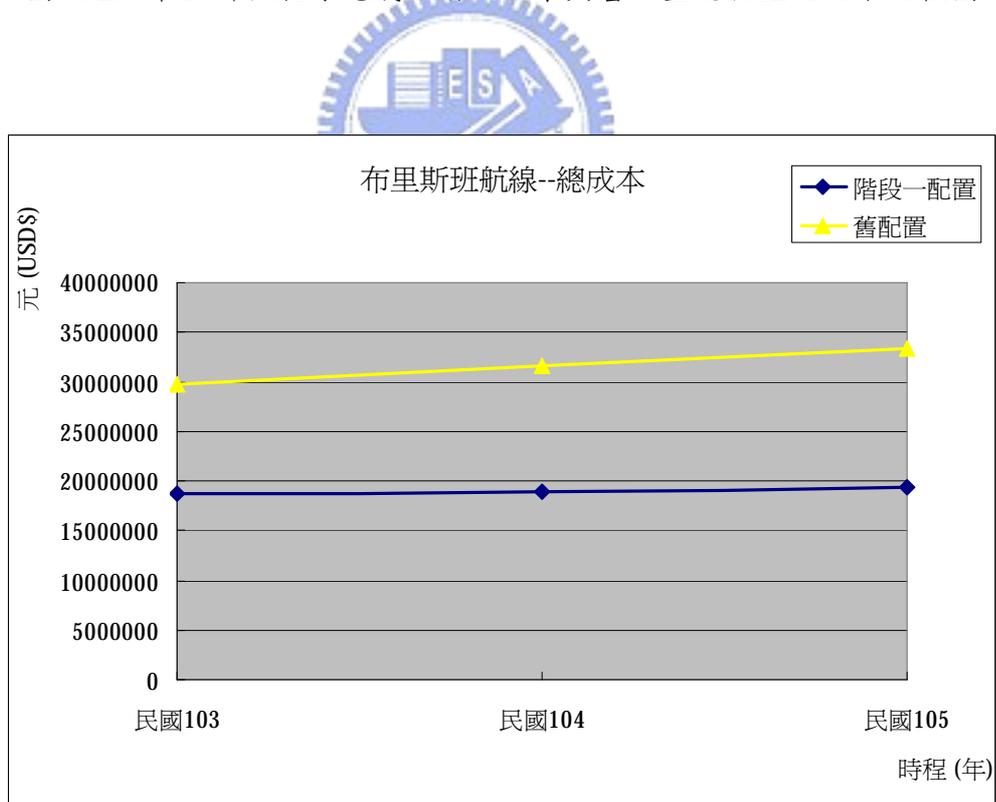


圖 4.24 布里斯班航線完成兩階段決策與舊配置總成本之結果比較圖

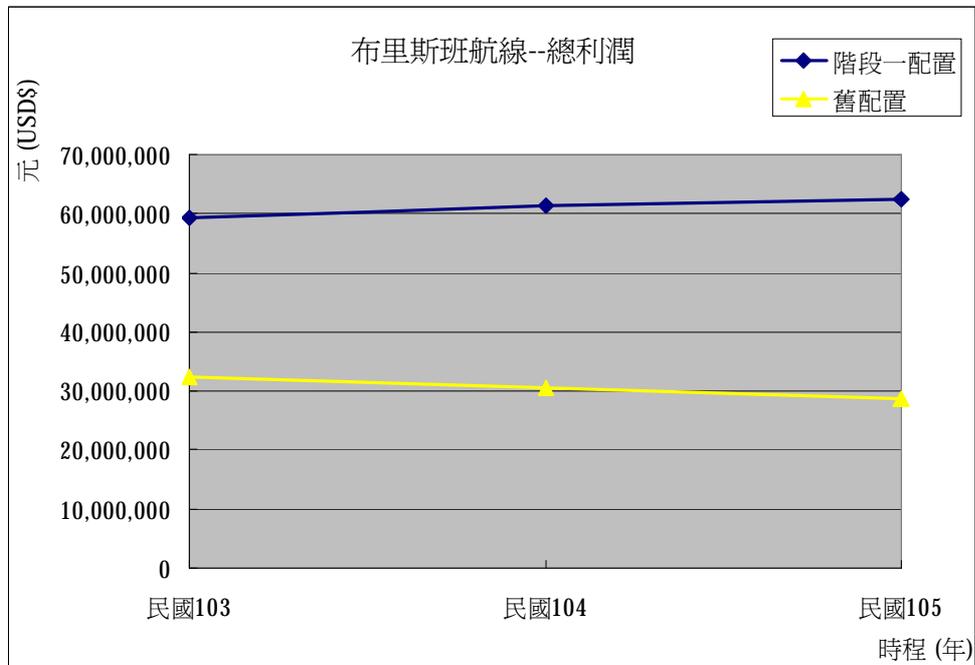


圖 4.25 布里斯班航線完成兩階段決策與舊配置總利潤之結果比較圖

而從承載率來看，更可印證在此配置下恰可滿足對布里斯班航線所預測各級艙等的旅客需求，各級艙等在各規劃年內的承載率均在九成五以上，且越來越接近滿載，僅在民國 105 年的菁英艙有約 6% 的旅客未能被滿足。布理斯班航線各時程各航線採新舊配置的詳細各艙等承載率如下表 4.16 所示：

表 4.16 比較布里斯班航線於採新配置與舊配置之各艙等承載率情況 (單位:%)

		新配置	舊配置
		編號 C 航機	編號 8 航機
民國 103 年	經濟艙	95.472%	122.691%*
	菁英艙	93.813%	N/A
	桂冠艙	95.215%	126.953%*
民國 104 年	經濟艙	97.980%	125.913%*
	菁英艙	99.375%	N/A
	桂冠艙	98.105%	130.807%*
民國 105 年	經濟艙	100.338%*	128.943%*
	菁英艙	106.188%*	N/A
	桂冠艙	100.869%*	134.492%*

(註：由於各艙等最大承載率為100%，故上表中有註記*表其超越最大承載率，超過部分即為座位數不足之延滯旅客，帶有一未能滿足需求之懲罰成本)

4. 西雅圖

西雅圖航線亦屬於中高運量之航線，且在灰色模式預測下其總需求量的成長僅次於胡志明市。旅客組成上同洛杉磯，約有三成旅客為商務客。航程達九千七百多公里屬長程航線，故票價亦高，菁英艙與桂冠艙票價分別為經濟艙票價的 1.37 倍、1.74 倍。在第一階段的決策下，模式選擇一架 A380 客機，配置了二個等級之艙等，分別有 396 個經濟艙座位、78 個菁英艙座位。主因仍是 A380 客機單位菁英艙對單位經濟艙的的面積比值較單位桂冠艙對單位經濟艙的利潤比值來地大，故選擇優先配置經濟艙可得到較大的利潤，在滿足大部分經濟艙旅客需求後，乃繼續配置座椅單位面積利潤次大的菁英艙，且西雅圖航線商務旅客中，亦是以菁英艙旅客佔較多數。在此配置下延滯成本多來自於未能被滿足之桂冠艙旅客，但若將剩餘旅客考慮進入第二階段續購入第二架客機，即便使用較小型之客機仍未能讓各時程整體承載率均達到損益均衡，故此時變不再做第二階段續購入航機計畫。可能在次個決策計劃再視未來成長需求考慮購入新機。從新配置與原配置的總收益比較圖可看出舊配置因採用機型不夠大、整體座位數不夠多，故僅能在持續滿載的情況下服務故定量的旅客，而新配置因航機較大、提供座位數多，收益有逐年成長。在總成本上新、舊配置成本均逐年提高，主因仍是未能被滿足之旅客所造程的懲罰成本逐年增大所致，惟新配置座位數較多，故懲罰成本小於舊配置。也由於總成本新舊配置均逐年增高的關係，影響兩種配置情況的總利潤亦逐年下降，但新配置的利潤值仍明顯高於舊配置。西雅圖航線採用本研究之決策與過去就配置的總收益、總成本、總利潤比較圖分別如圖 4.26、4.27、4.28 所示：

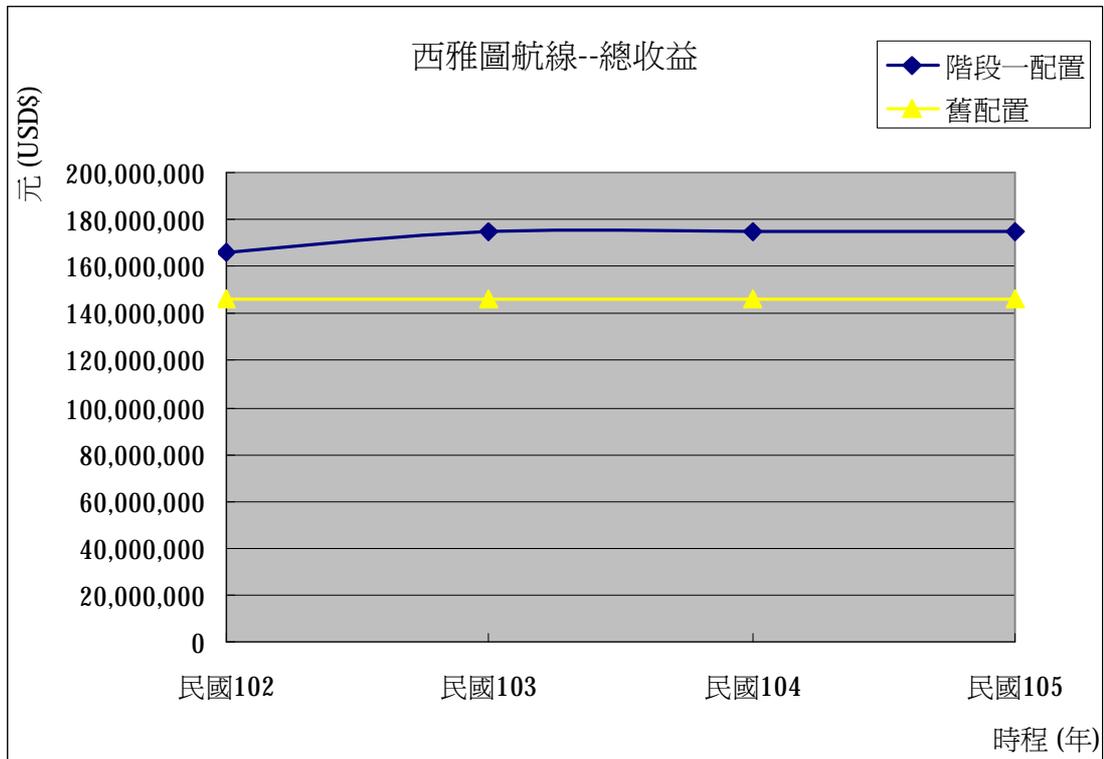


圖 4.26 西雅圖航線完成兩階段決策與舊配置總收益之結果比較圖

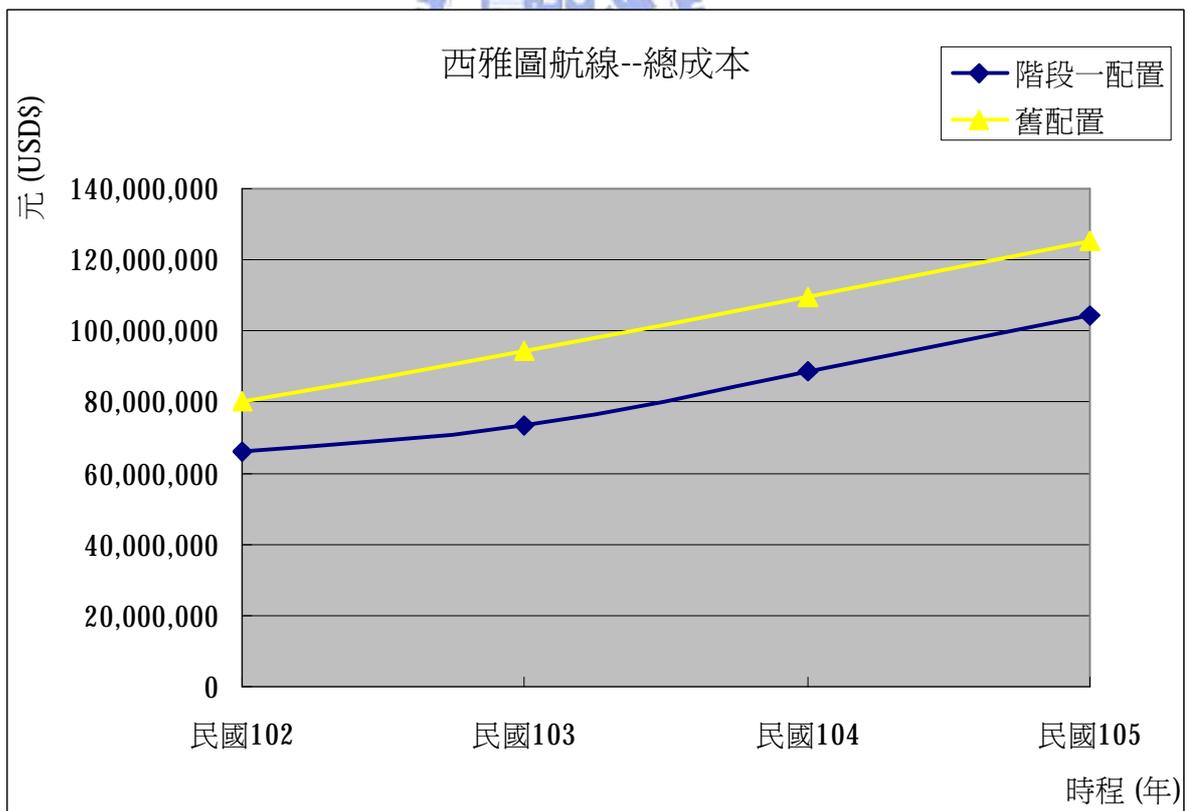


圖 4.27 西雅圖航線完成兩階段決策與舊配置總成本之結果比較圖

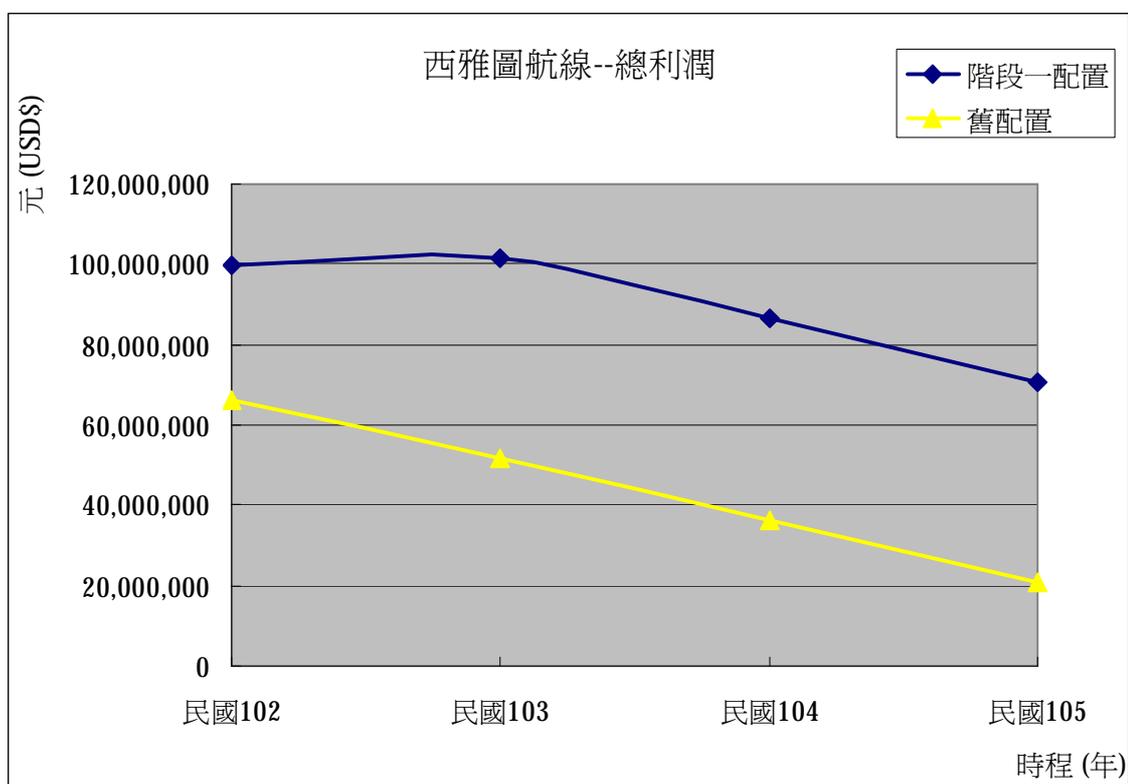


圖 4.28 西雅圖航線完成兩階段決策與舊配置總利潤之結果比較圖

而從下表西雅圖航線各年各艙等新舊配置的承載率來觀察，亦可看出過去航航西雅圖航線之舊機型舊配置早以不能滿足快速新增的旅客需求，經濟艙等從初期損失的三成旅客到民國 105 年已達將近六成，商務旅客的損失更是明顯，從五成變至九成。新配置由於優先滿足經濟旅客的需求，各時程承載率均在滿載左右，惟商務旅客由於單位面積的利潤較差，在面積有限情況下配置較少，也因次產生較多未被滿足的需求。但就整體承載率來看，新配置不論承載率或未被滿足的旅客數，均優於舊配置。西雅圖航線各時程各航線採新舊配置的詳細各艙等承載率如下表 4.17 所示：

表 4.17 比較西雅圖航線於採新配置與舊配置之各艙等承載率情況 (單位:%)

		新配置	舊配置
		編號 D 航機	編號 10 航機
民國 102 年	經濟艙	93.399%	132.093%*
	菁英艙	106.833%*	148.803%*
	桂冠艙	N/A	160.662%*
民國 103 年	經濟艙	100.141%*	141.627%*
	菁英艙	116.820%*	162.713%*
	桂冠艙	N/A	178.006%*
民國 104 年	經濟艙	107.130%*	151.513%*
	菁英艙	128.525%*	179.017%*
	桂冠艙	N/A	194.692%*

表 4.17 (續)

民國 105 年	經濟艙	114.636%*	162.128%*
	菁英艙	140.681%*	195.949%*
	桂冠艙	N/A	210.811%*

(註：由於各艙等最大承載率為100%，故上表中有註記*表其超越最大承載率，超過部分即為座位數不足之延滯旅客，帶有一未能滿足需求之懲罰成本)

4.5 敏感度分析

為了解航空公司營運客機之機型選擇、內部配置等主要相關變數對所規劃航線之營運狀況、收益、成本等所產生的影響，並探討決策結果中選擇機型與內部配置趨勢的改變，故在本研究之敏感度分析中將以下幾項變數做分析討論。本研究所進行分析之變數可分為航空公司供給相關變數與旅客需求相關變數兩大項：

1. 各航線頻率

一般而言航空客運業者在其所經營航線上飛航之頻次多寡將會隨航線屬性、假期、淡旺季等有所異動，如旅遊航線在旺季時頻次會調升以滿足大幅成長的旅客需求量；然在本研究因計算需要，由固定之年飛航頻次決定各營運航線一年值勤之航次數，不細分為變動的週頻次或月頻次。但隨著各航線所屬國之出口貿易發展與世界經濟發展趨勢，甚至是石油價格的變動，都可能造成各國航空公司產生全球性的增加或減少趨勢，進而影響每年可服務之旅客數量及各架航機的年營運成本，故在以下之4.5.1節討論當航線頻率變動時對機型選擇及內部配置的影響。

2. 各航線各艙等票價比

各航線上不同等級艙等的票價不一，由低至高依序為經濟艙、商務艙、頭等艙，商務艙票價通常為經濟艙票價的1至1.5倍；頭等艙則約為經濟艙的1.5至2倍。大致說來票價與航線長短、搭乘時間成正向關係。各航線各艙等的票價高低會直接影響各航線所賺取之總收益；票價不同各級艙等的票價比也會有所差異，而不同艙等的票價比值在本研究模式中亦會影響各艙等座位換算最低階艙等的座位數，進而營運成本大小。且航空公司在決定各級艙等座位數時，主要考慮因素為票價比例與艙位面積比例的大小差異，因各艙等的座位數將會影響座位售出的收益。故票價比高低變化將會影響各條航線的總利潤以及當座位供給大於需求時一個空置座位少賺的期望收益。航空公司在決定各艙等配置情況時票價為一重要關鍵因素，故本研究在以下4.5.2節針對各航線不同艙等的票價作調整分析其改變時對於航空公司規劃決策之影響。

3. 候選機型座位面積比

航空公司在購入新機隊時之決策所選擇的機型一般以當前航空市場上熱門機種作為考量；另外亦會考慮該機型是否省油或者環保、機型空間是否大致接近所營運航線之需求量以符合經濟效益等。在所參考的內部配置上，除波音與空中巴士官方所提供之配置方案外，另外可參考世界各大航空公司向飛機製造商下單時之配置情況與各艙等旅客座椅大小。故航空公司下訂單時可供候選不同大小的機型與可參考的配置情況會影響航空公司營運各航線時所能提供的座位數與所分的艙等數目，進而影響各航線的承載率及空置座位數或造成延滯的旅客數。本研究在4.5.3節中針對所提供航空公司選擇的機型與配置的不同分析對決策所造成之影響。

4. 各艙等營運成本比

本研究中計算航空公司單次航行營運成本的考量變數為航程距離與總座位數多寡；在總座位數上，本研究以單位經濟艙座位當量，將單位商務艙及頭等艙所佔的營運成本視為一個單位經濟艙營運成本的倍比；此營運成本倍比數在本研究中以票價比表示，因較高級艙等之旅客享受到之服務與空間通常可由其票價反映。而此不同艙等間之營運成本比將會影響各航線各時程之總成本，亦會改變空置一個座位時的懲罰成本大小，進而影響航空公司決策內部不同等級艙等的座位數配置，故在4.5.4節將針對不同艙等間營運成本比例做敏感度分析，探討此以倍比數若改為座位面積比或其他合理之比值時對決策結果所造成的影響。

5. 各艙等旅客屬性比例

在需求面上近年來由於航空客貨運市場發達、持續呈現蓬勃發展，各航線運量普遍呈現穩定成長趨勢。旅客依其目的的一般可分為旅遊屬性旅客、商務旅客、探訪親友等幾大類。一般而言隨著各國經貿活動發展，影響幅度最明顯的便是商務旅客，而商務旅客通常因對票價敏感度較低，通常傾向選擇較舒適、價格較高之商務艙或頭等艙。故因經貿活動所影響之不同屬性之旅客量的比例亦會對航空公司決策內部艙等配置時造成極大影響，故在本研究之4.5.5節中針對各航線上不同屬性旅客之比例做分析討論。

6. 各航線需求預測值

本研究中對不同航線於未來年間之需求採灰色拓撲預測模式，此模式過去已被驗證為在航空客運旅客需求預測上可靠度甚高之模式。不同航線由於屬性不

同，旅客組成也不同；如商務屬性之航線其頭等艙或商務艙旅客人數所佔比例會較旅遊屬性之航線高地多。故針對不同屬性之航線，需求預測值偏高或偏低時，將造成該航線特定艙等的成長幅度過高或過低，故造成航空公司配置座位時未能符合未來需求，在4.5.6節中將以各航線不同準確幅度的需求預測值做敏感度分析，探討當不同航線的需求預測與原預測值相較被高估或低估時，對機型選擇及艙位配置決策結果與利潤造成的影響。

以下4.5.1節為航線頻率之敏感度分析，4.5.2節為各艙等票價比之敏感度分析，4.5.3節為候選機型各艙等座位面積比之敏感度分析，4.5.4節為各艙等營運成本比之敏感度分析，4.5.5節為旅客屬性比例之敏感度分析，4.5.6節為各艙等需求預測值之敏感度分析；作為敏感度分析之航線為胡志明市航線與布里斯班兩航線。

4.5.1 各航線頻率

在本節中分別以各航線原頻率的 0.5 倍、1.5 倍、2 倍之頻率討論在其他因素不變之下，調整班機飛航的頻率對選擇機型及內部座艙配置決策之影響；按照航線分別討論如下：

1. 胡志明市

胡志明市航線屬高運量短航程之航線，原飛航班次頻率在四條航線中為最低，原始頻率一週僅五班次，年頻率 270 次。根據敏感度分析之結果，當頻率降為原頻率之一半時，模式選擇的客機機型仍是 B777-300，惟艙等配置上僅能儘可能安排經濟艙座位，菁英艙與桂冠艙座位因單位面積的利潤較低，故商務旅客的需求在頻率減半時新配置只能放棄。至於頻次升為 1.5 倍與 2 倍時，可發現新配置與原配置相比，有較多的面積可排入菁英艙與桂冠艙座位，顯示模式仍優先安排經濟艙座位，但因頻次提升單一班次可以減少經濟艙旅客座位所佔的總面積，分派給另兩個艙等。而從不同頻次下的總利潤比較圖亦可看出，由於單一座位的空置成本低，頻率變為 1.5 倍與 2 倍時，決策出的最適座位在規劃時程前幾年有許多座位是呈現空置的，故總利潤與原頻率相比差距不大，但在民國 102 年後總利潤就逐年提升，因為先前被空置的座位因旅客需求量的成長不再空置，獲得了利潤。

表 4.18 胡志明市航線不同頻率下新置航機機隊最適內部配置

年頻率	航機編號	選擇機型	選擇參考配置	劃分艙等數	各艙等最適座位數		
					經濟艙	菁英艙	桂冠艙
270 (原頻率)	A	B777-300	Singapore	2	303	N/A	38
	E	B777-300	Singapore	2	303	N/A	38
135 (0.5倍頻率)	A	B777-300	Singapore	1	392	N/A	N/A
	E	B777-300	Singapore	1	392	N/A	N/A
405 (1.5倍頻率)	A	B777-300	Singapore	3	238	17	54
	E	B777-300	Singapore	3	238	17	54
540 (2倍頻率)	A	B777-300	Singapore	3	240	19	51
	E	B777-300	Singapore	3	240	19	51

資料來源：本研究規劃

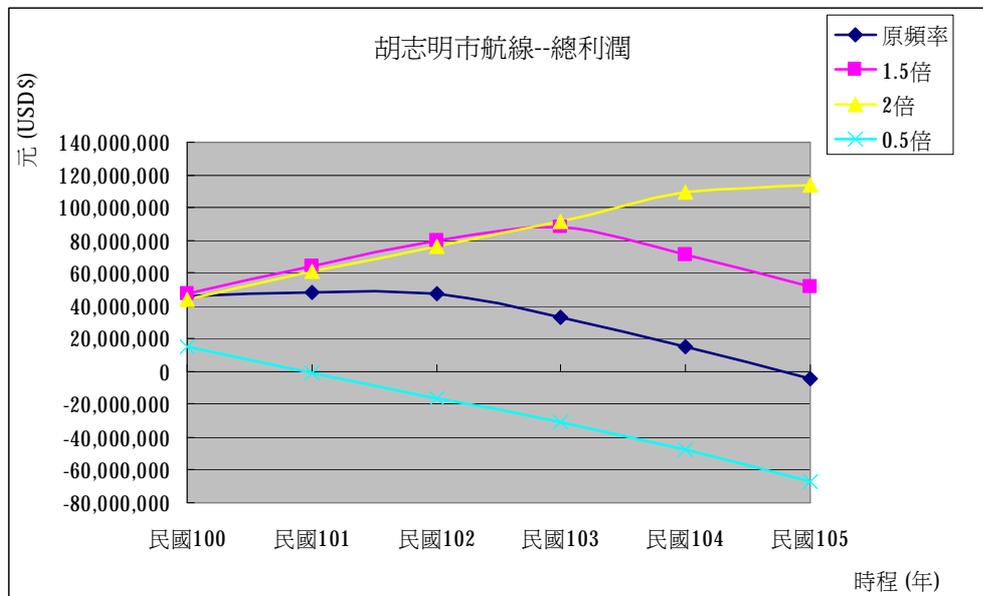


圖 4.29 胡志明市航線在不同頻率下之總利潤比較圖

2. 布里斯班

布里斯班航線為以旅遊為主之中低運量長程航線，原飛航班次年頻率為 320 次，一週約有六個班次。原頻率時僅以一架 B777-300 值勤，而當頻率降為原頻率之 0.5 倍時，變成需要一架大型 A380 客機與 A330-200 兩架客機同時經營；至於頻率升高為 1.5 倍與 2 倍時，所選擇的客機機型大小與座位數都降低，顯示頻率的大小變化對所選擇的機型與各艙等座位數的配置有直接的影響。但在總利潤上，從下圖 4.30 可看出，頻率升高，對布里斯班航線各年的利潤反而降低，推測原因為頻率調整過高，雖模式因而選擇候選

機型中較小的航機，但以該小型航機值勤以布里斯班運量而言仍過大，故承載率過低，造成各時程過多的座位空置，形成大量之空置成本，故利潤值反而比原頻率低。顯示航空公司在決策應以高頻率小型航機或低頻率較大型航機值勤特定航線時，仍應視其運量多寡等變因謹慎考慮。

表 4.19 布里斯班航線不同頻率下新置航機機隊最適內部配置

年頻率	航機編號	選擇機型	選擇參考配置	劃分艙等數	各艙等最適座位數		
					經濟艙	菁英艙	桂冠艙
320 (原頻率)	C	B777-300	Singapore	3	293	5	32
160 (0.5倍頻率)	C	A380	Singapore	3	426	7	46
	H	A330-200	Swiss	3	161	3	18
480 (1.5倍頻率)	C	B767-300	UA	3	229	3	21
640 (2倍頻率)	C	A330-200	Swiss	3	146	2	16

資料來源：本研究規劃

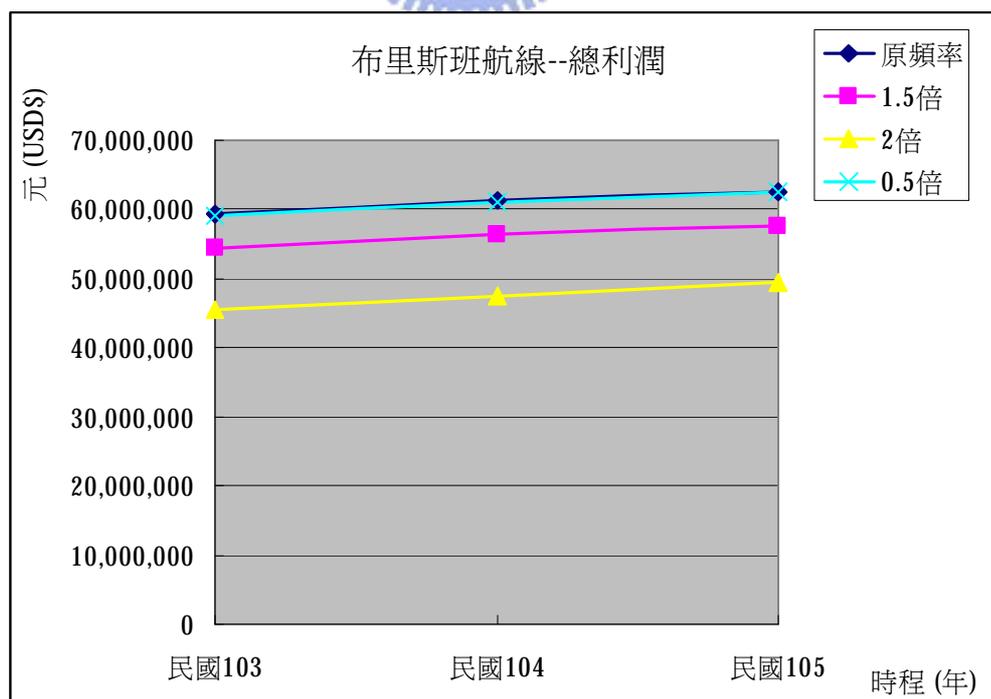


圖 4.30 布里斯班航線在不同頻率下之總利潤比較圖

4.5.2 各航線各艙等票價比

在本節中調整各航線原商務艙與頭等艙的票價對經濟艙的票價比，調整比例分別為 0.8 倍、1.2 倍、1.5 倍與 2 倍。調整票價比值對選擇機型及內部座艙配置決策之影響按照航線分別討論如下：

1. 胡志明市

調整各艙等的票價比例主要會影響單位面積各艙等所能賺取的利潤，由於在原比例時胡志明市航線所選擇之機型為兩架 B777-300，其為適合該航線運量的機型；而在票價比例變為 0.8 倍、1.2 倍時，因仍以經濟艙的單位面積利潤高，故決策座位數不變。而當比例升高為 1.5 倍以上時，由於商務艙相對於經濟艙的利潤升高了，此時模式開始改為優先配置桂冠艙，第一階段所選擇機型也改為 B767-300。至於當比例升高為 2 倍時，模式決策出優先配置菁英艙與桂冠艙的結果，也因為商務艙等較經濟艙容易獲取利潤。而從下圖 4.31 也可觀察出，在胡志明市航線當商務艙的票價比升高時，利潤大致有升高的趨勢。

表 4.20 胡志明市航線不同票價比下新置航機機隊最適內部配置

票價比	航機編號	選擇機型	選擇參考配置	劃分艙等數	各艙等最適座位數		
					經濟艙	菁英艙	桂冠艙
原比例	A	B777-300	Singapore	2	303	N/A	38
	E	B777-300	Singapore	2	303	N/A	38
原比例 0.8 倍	A	B777-300	Singapore	2	303	N/A	38
	E	B777-300	Singapore	2	303	N/A	38
原比例 1.2 倍	A	B777-300	Singapore	2	303	N/A	38
	E	B777-300	Singapore	2	303	N/A	38
原比例 1.5 倍	A	B767-300	UA	2	168	N/A	68
	E	B777-300	Singapore	2	261	N/A	105
原比例 2 倍	A	B767-300	UA	3	130	22	78
	E	B747-400	EVA	3	159	27	95

資料來源：本研究規劃

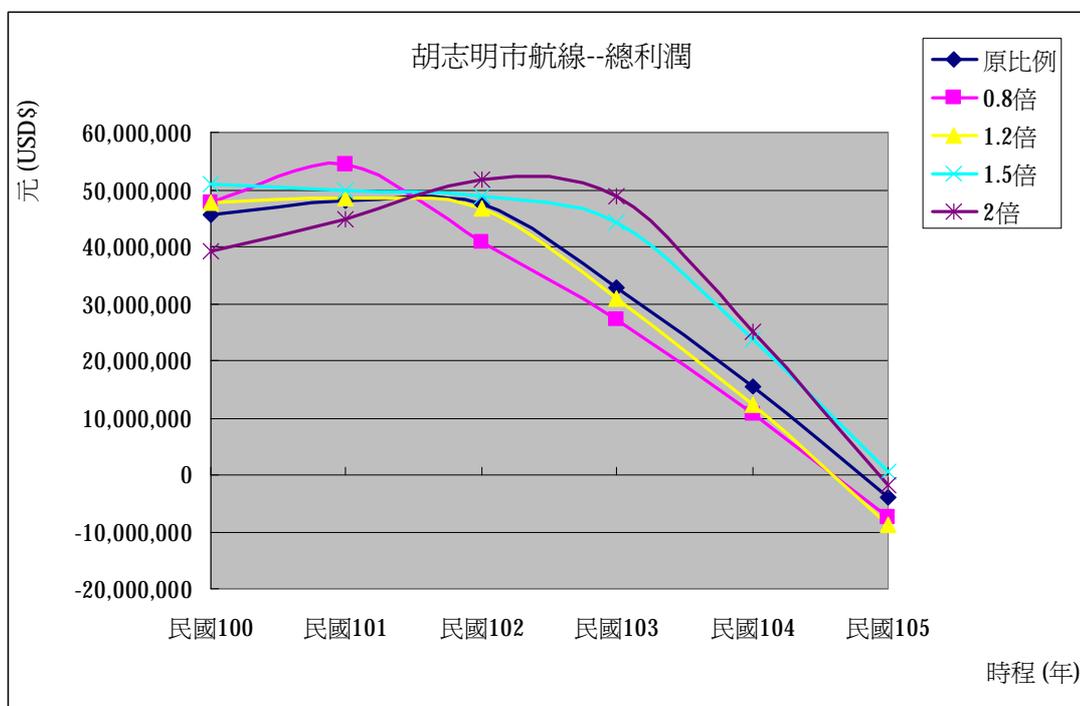


圖 4.31 胡志明市航線在不同票價比下之總利潤比較圖

2. 布里斯班

調整各艙等的票價比例除影響單位面積各艙等所能賺取的利潤外亦會影響空置座位的成本與未能滿足需求旅客的懲罰成本。在布里斯班航線中，當商務艙比例降為 0.8 倍時，菁英艙的座位數從原來的 5 個增為 13 個，顯示菁英艙的單位空置成本較原比例低，故模式決策多配置菁英艙座位以滿足其需求。至於比例升為 1.5 倍、2 倍時，經濟艙的座位數從原先的 293 個升為 307 個，原因為經濟艙座位之單位空置成本對另外兩艙等相對低，故模式決策出之結果採多配置經濟艙座位滿足需求量。

表 4.21 布里斯班航線不同票價比下新置航機機隊最適內部配置

票價比	航機編號	選擇機型	選擇參考配置	劃分艙等數	各艙等最適座位數		
					經濟艙	菁英艙	桂冠艙
原比例	C	B777-300	Singapore	3	293	5	32
原比例 0.8 倍	C	B777-300	Singapore	3	293	13	32
原比例 1.2 倍	C	B777-300	Singapore	3	293	5	32
原比例 1.5 倍	C	B777-300	Singapore	3	307	5	32
原比例 2 倍	C	B777-300	Singapore	3	307	5	32

資料來源：本研究規劃

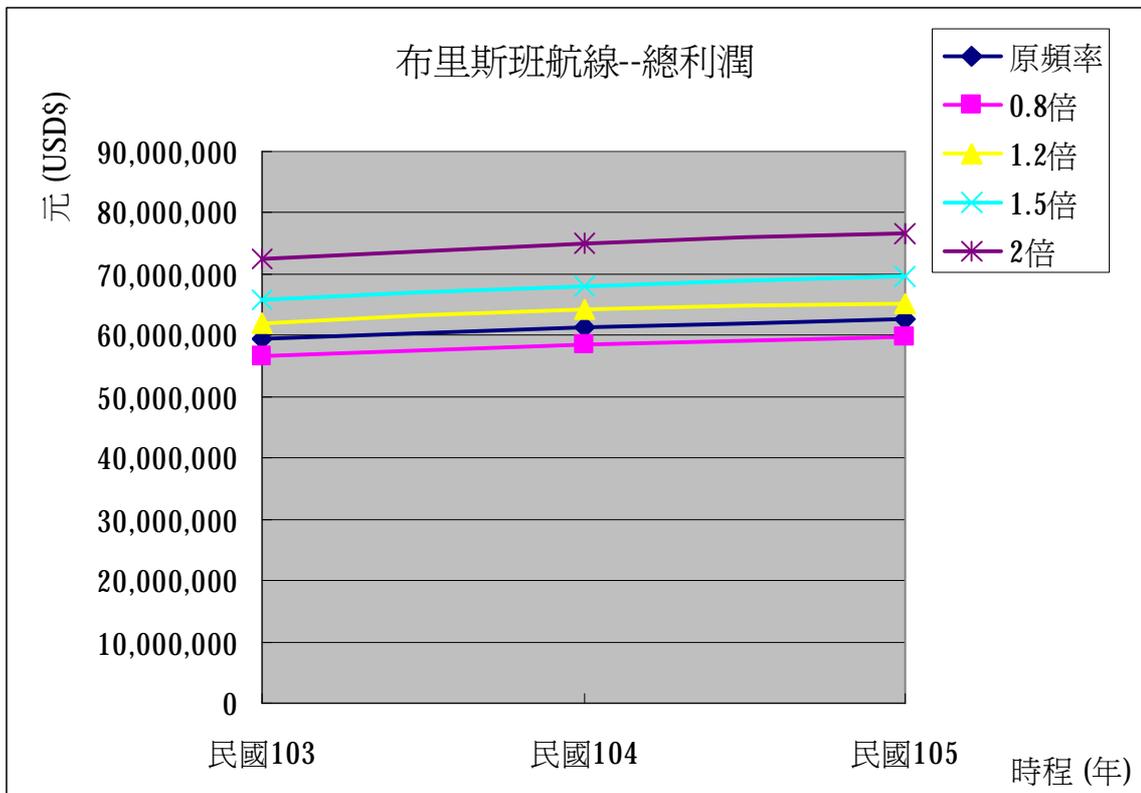


圖 4.32 布里斯班航線在不同票價比下之總利潤比較圖

4.5.3 候選機型座位面積比

在本節中調整所候選之機型中，單位菁英艙座位與桂冠艙座位對經濟艙座位面積大小的比例。原配置時之比例為 1，當比例降為 0.85 倍與 0.9 倍時表菁英艙與桂冠艙的單位座以面積大小變小，0.85 倍差距較大；而當面積比升為 1.25 倍時則表示單位菁英艙與桂冠艙座位的面積較原先來地更大。

1. 胡志明市

調整座位面積比意義類同於上節之調整票價比，因座位面積比亦為影響何種艙等的單位面積利潤值較高之依據。以胡志明市航線來說，當比例下降時，模式會愈加傾向配置較多的桂冠艙，因為此時桂冠艙就座位面積比與票價比來說，比經濟艙來地好賺。至於當座位面積比商務艙等的面積變地比原配置更大時，因服務商務艙旅客所佔的總面積過大，犧牲了能夠配置給經濟艙旅客的空間，故經濟艙座位數降低。從總利潤圖可觀察出，商務旅客的座位面積對經濟艙旅客的座位面積越小，總利潤越高，主要原因為航機可安排更多的座位，能賣的座位多，利潤也就升高。

表 4.22 胡志明市航線不同座位面積比下新置航機機隊最適內部配置

座位面積比	航機編號	選擇機型	選擇參考配置	劃分艙等數	各艙等最適座位數		
					經濟艙	菁英艙	桂冠艙
原比例	A	B777-300	Singapore	2	303	N/A	38
	E	B777-300	Singapore	2	303	N/A	38
原比例 0.85 倍	A	B777-300	Singapore	2	279	N/A	67
	E	B777-300	Singapore	2	279	N/A	67
原比例 0.9 倍	A	B777-300	Singapore	2	300	N/A	89
	E	B767-300	UA	2	194	N/A	58
原比例 1.2 倍	A	B777-300	Singapore	2	238	N/A	98
	E	B767-300	UA	2	154	N/A	63

資料來源：本研究規劃

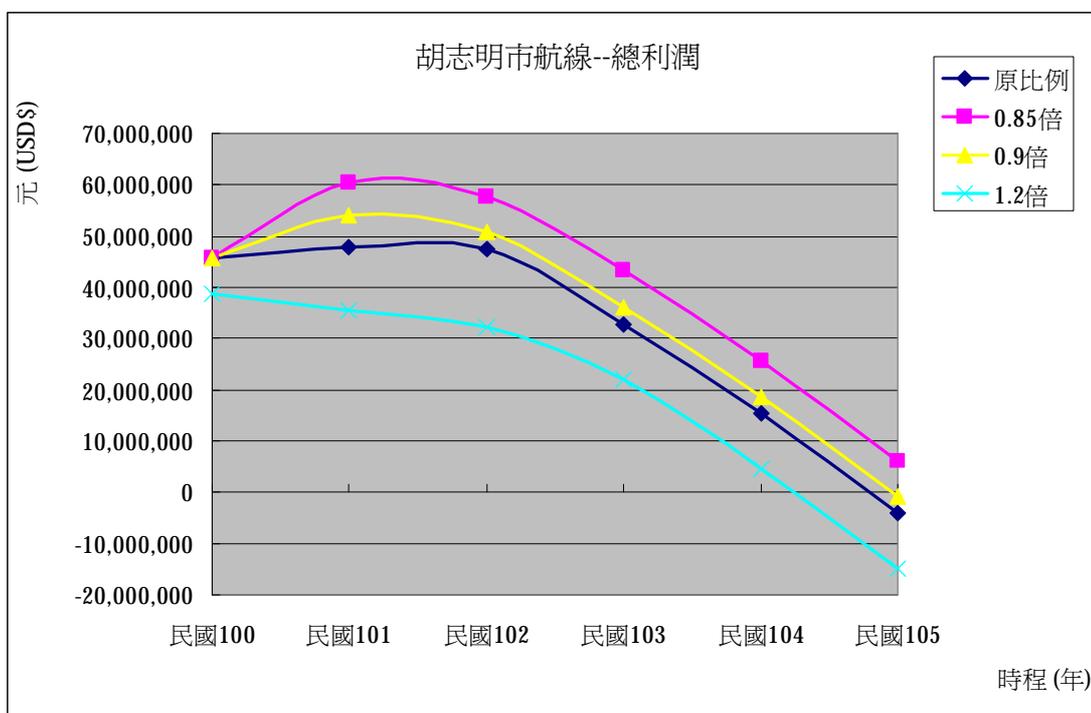


圖 4.33 胡志明市航線在不同面積比下之總利潤比較圖

2. 布里斯班

在布里斯班航線中，調整座位面積比對於決策結果無任何改變，主要原因是布里斯班屬於長程航線，原先的票價比本來就較短程航線的胡志明市高出甚多，所以即使改變了座位面積比例，此比例的差距對各艙等單位面積所賺的利潤影響不大，模式仍決策出

優先配置經濟艙旅客，次配置桂冠艙，顯示改變座位面積比例，仍須參考該航線原來各艙等的票價比大小。

表 4.23 布里斯班航線不同座位面積比下新置航機機隊最適內部配置

座位面積比	航機編號	選擇機型	選擇參考配置	劃分艙等數	各艙等最適座位數		
					經濟艙	菁英艙	桂冠艙
原比例	C	B777-300	Singapore	3	293	5	32
原比例 0.85 倍	C	B777-300	Singapore	3	293	5	32
原比例 0.9 倍	C	B777-300	Singapore	3	293	5	32
原比例 1.2 倍	C	B777-300	Singapore	3	293	5	32

資料來源：本研究規劃

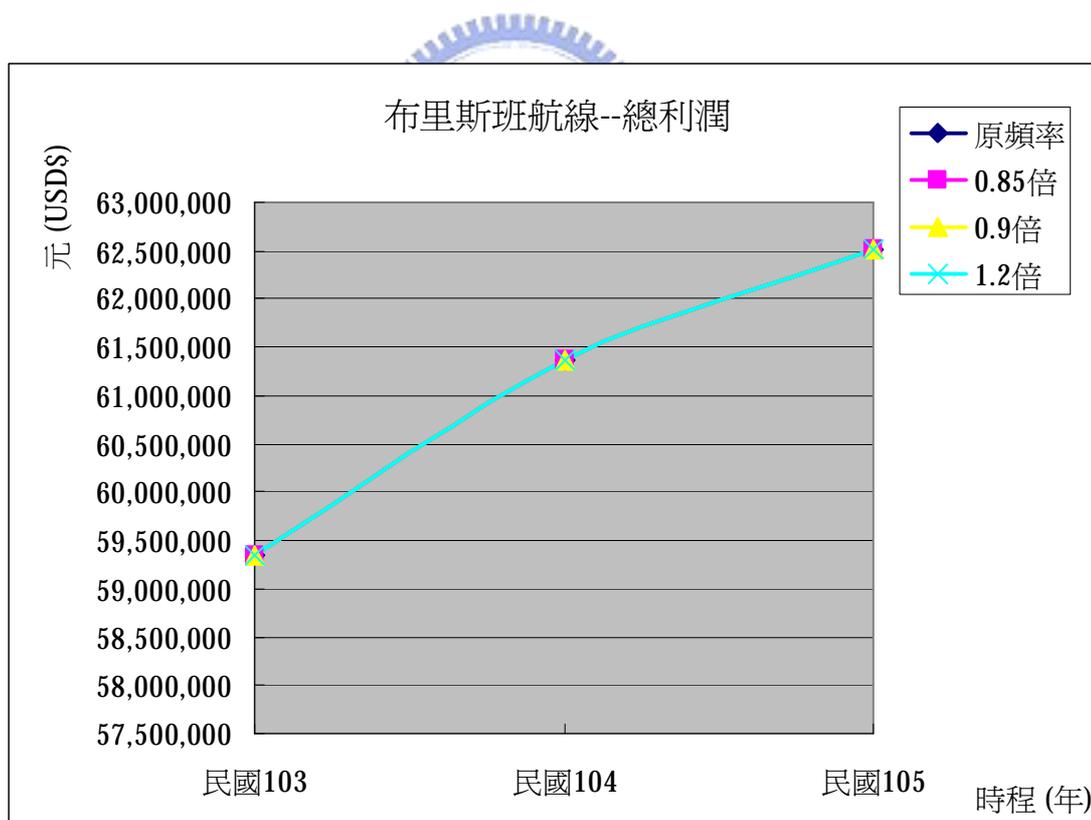


圖 4.34 布里斯班航線在不同面積比下之總利潤比較圖

4.5.4 各艙等營運成本比

在本節之敏感度分析中，調整各艙等變動成本的計算方式。模式原本之計算方式位各艙等變動成本等同於其票價比；在敏感度分析中，調整為原比例的 0.9 倍與 0.8 倍，分別表示該航空公司對於較高級艙等的成本控制績效好與績效稍好的情況，對各航線的影響討論如下：

1. 胡志明市

以胡志明市航線而言，從配置座位數來看，變動成本降低為 0.9 倍時沒有變化，推測原因為此時較高級艙等的成本變動量不夠大，但當比例降低為 0.8 倍時，便可明顯觀察出當菁英艙與桂冠艙的變動成本降低時，決策的結果變為傾向減少經濟艙的總面積以配置較多的桂冠艙。從圖 4.35 總利潤的變化圖可觀察出，0.8 倍的比例時，在民國 101 年的利潤明顯高於其他比例，只在其他時程稍低，加總各時程的總利潤亦以 0.8 倍時最高。

表 4.24 胡志明市航線不同營運成本比下新置航機機隊最適內部配置

營運成本比	航機編號	選擇機型	選擇參考配置	劃分艙等數	各艙等最適座位數		
					經濟艙	菁英艙	桂冠艙
原比例	A	B777-300	Singapore	2	303	N/A	38
	E	B777-300	Singapore	2	303	N/A	38
原比例 0.9 倍	A	B777-300	Singapore	2	303	N/A	38
	E	B777-300	Singapore	2	303	N/A	38
原比例 0.8 倍	A	B777-300	Singapore	2	264	N/A	55
	E	B777-300	Singapore	2	264	N/A	55

資料來源：本研究規劃

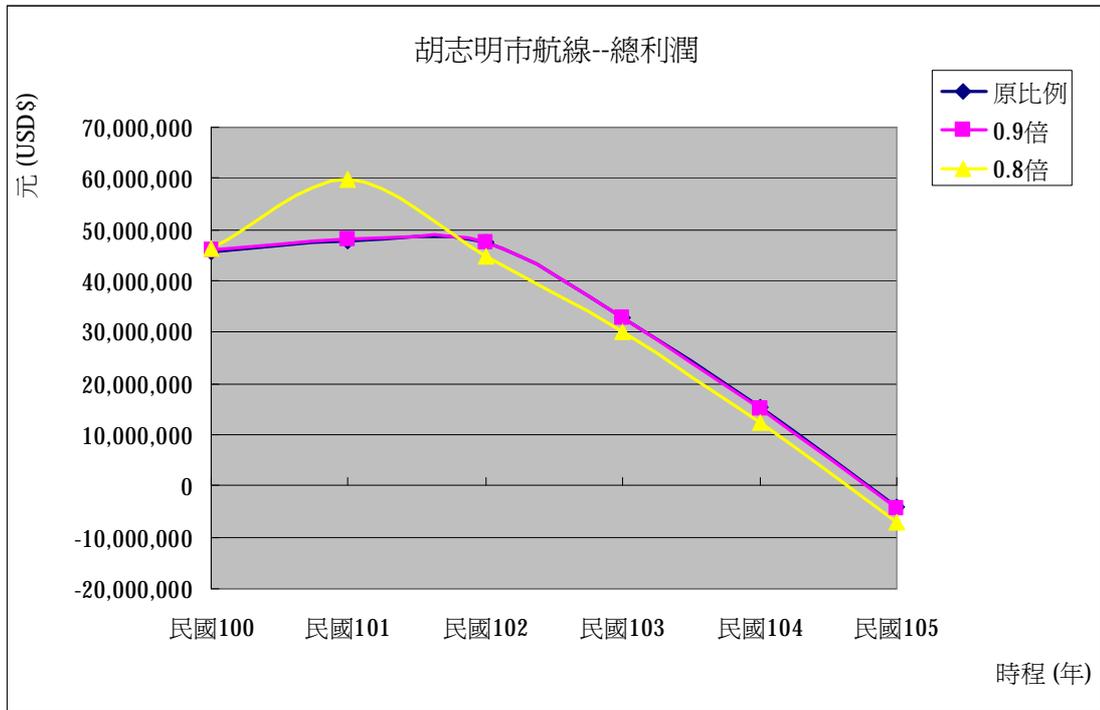


圖 4.35 胡志明航線在不同營運成本比下之總利潤比較圖

2. 布里斯班

在布里斯班航線亦有類似情況，當高級艙等的營運變動成本較原比例小時，模式配置了較多的菁英艙座位，且從圖 4.36 總利潤的變化圖也可觀察出，該比例越小時顯示營運高級艙等的績效越好，故總利潤也越高。

表 4.25 布里斯班航線不同營運成本比下新置航機機隊最適內部配置

營運成本比	航機編號	選擇機型	選擇參考配置	劃分艙等數	各艙等最適座位數		
					經濟艙	菁英艙	桂冠艙
原比例	C	B777-300	Singapore	3	293	5	32
原比例 0.9 倍	C	B777-300	Singapore	3	293	13	32
原比例 0.8 倍	C	B777-300	Singapore	3	293	13	32

資料來源：本研究規劃

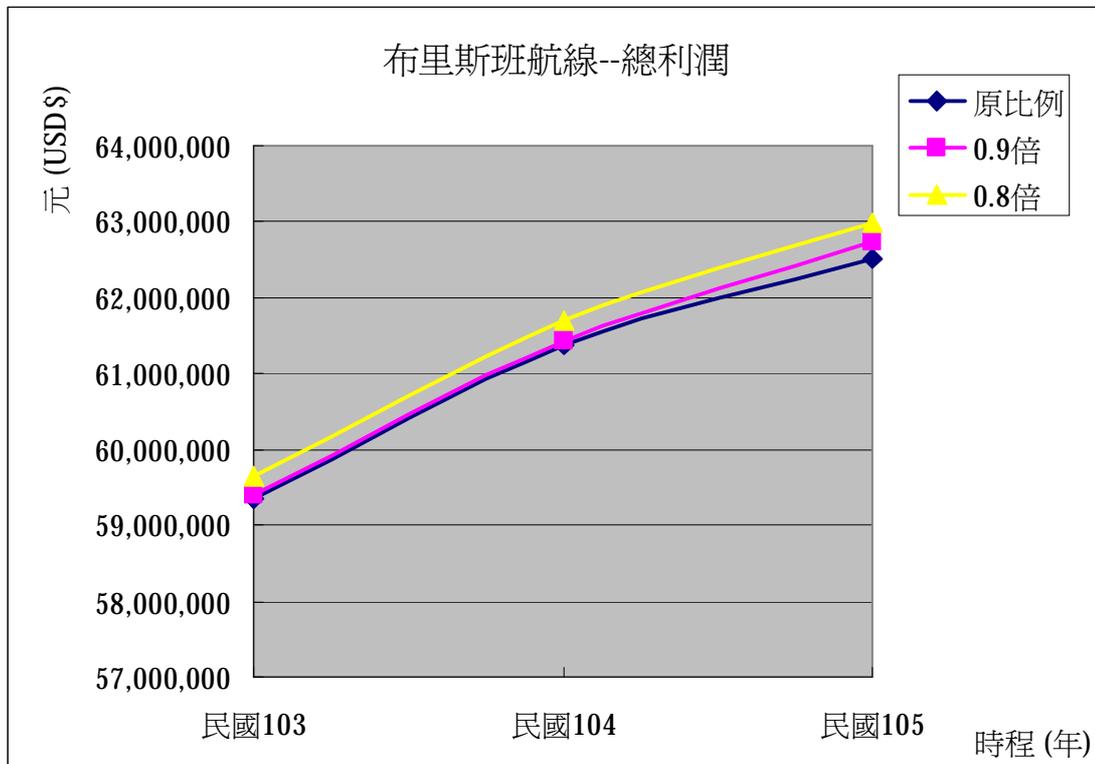


圖 4.36 布里斯班航線在不同營運成本比下之總利潤比較圖

4.5.5 各艙等旅客屬性比例

在本節中討論當菁英艙與桂冠艙等商務旅客需求量在全體旅客的所佔比例增加或減少時，對各航線的機型選擇、座位配置及總利潤的影響；各航線討論分別如下：

1. 胡志明市

胡志明市航線的商務旅客在原需求預測上起始年約佔 18%，在商務旅客減少一半、增加一半時，比例分別變為 9% 與 28% 左右；而在商務旅客的成長量上，胡志明市航線為所有航線中商務旅客成長最明顯之航線。從艙位配置來看，可觀察出當商務旅客減少一半時，艙位配置改為配置全經濟艙座位，而當商務旅客增加一半時，商務旅客座位大幅提高，主因是商務旅客需求量大且利潤較高的關係。但從總利潤的變化圖來看，商務旅客愈多，總利潤反而較低，可能原因為胡志明市起始時的商務旅客原本就少，當商務客又減半時，則商務客需求量佔整體旅客量就更不明顯，此時配置全經濟艙，商務客所造成的未滿足其需求的懲罰成本也不高，故總利潤也高；但當商務旅客量升高時，模式選擇犧牲部分經濟旅客的座位面積給高利潤的商務客，但需求比例原本就高的經濟旅客因為被滿足因而造成大量懲罰成本，故商務客越多，總利潤卻降低。

表 4.26 胡志明市航線不同旅客屬性比例下新置航機機隊最適內部配置

商務旅客比	航機編號	選擇機型	選擇參考配置	劃分艙等數	各艙等最適座位數		
					經濟艙	菁英艙	桂冠艙
原比例	A	B777-300	Singapore	2	303	N/A	38
	E	B777-300	Singapore	2	303	N/A	38
原比例 0.5 倍	A	B777-300	Singapore	1	392	N/A	N/A
	E	B777-300	Singapore	1	392	N/A	N/A
原比例 1.5 倍	A	B777-300	Singapore	2	204	N/A	136
	E	B767-300	Singapore	2	132	N/A	145

資料來源：本研究規劃

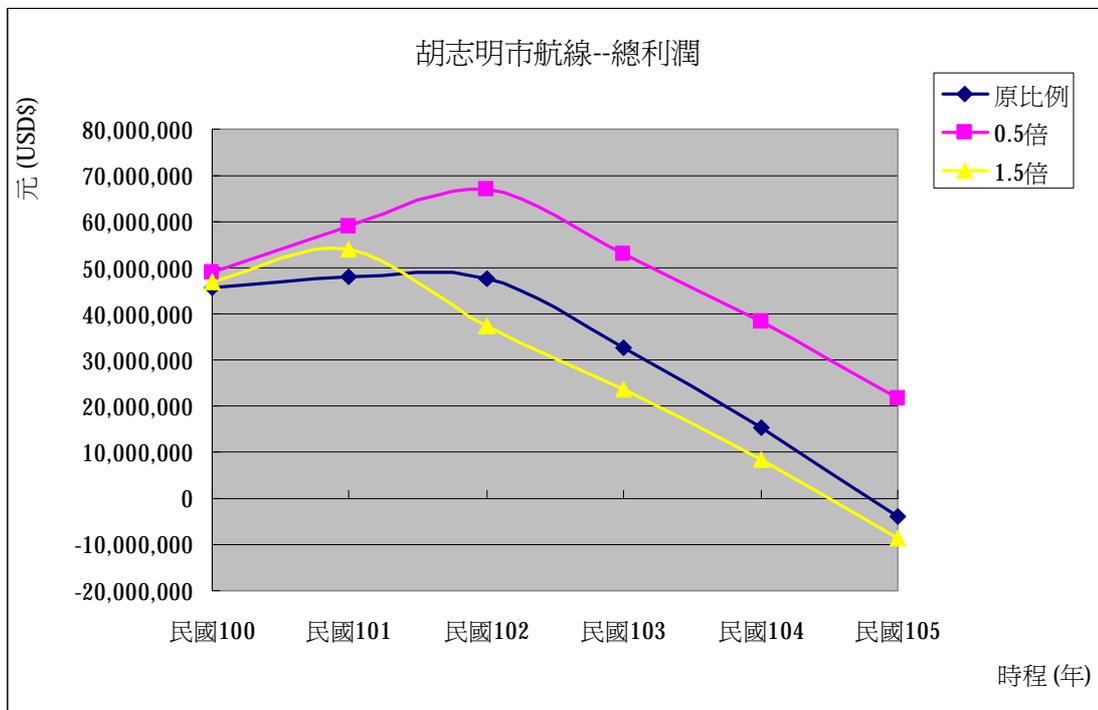


圖 4.37 胡志明航線在不同旅客屬性比例下之總利潤比較圖

2. 布里斯班

至於原先屬於旅遊屬性的布里斯班航線，商務客在起始年的所佔比例僅有 9.5%，且成長幅度慢。在商務客分別減半與增加一半時，其所佔比例分別變為 4.8% 與 14.3% 左右。從艙位配置來看，可看出當商務客減少與增加時，分別出現減少商務艙座位數與增加商務艙座位數之決策。而在總利潤的變化圖亦可看出商務艙旅客所佔比例愈多，總利潤也越高，這是因為布里斯班航線的旅客需求總量以 B777-300 型客機配置時，各艙等的承載率均甚高，且幾乎沒有未能被滿足的多餘旅客需求量，所以商務客增加或減少時，經濟旅客所因此產生的未能被滿足之懲罰成本影響較小，所以高利潤的商務旅客多，總利潤也高。

表 4.27 布里斯班航線不同旅客屬性比例下新置航機機隊最適內部配置

商務旅客比	航機編號	選擇機型	選擇參考配置	劃分艙等數	各艙等最適座位數		
					經濟艙	菁英艙	桂冠艙
原比例	C	B777-300	Singapore	3	293	5	32
原比例 0.5 倍	C	B777-300	Singapore	3	314	2	14
原比例 1.5 倍	C	B777-300	Singapore	3	274	7	44

資料來源：本研究規劃

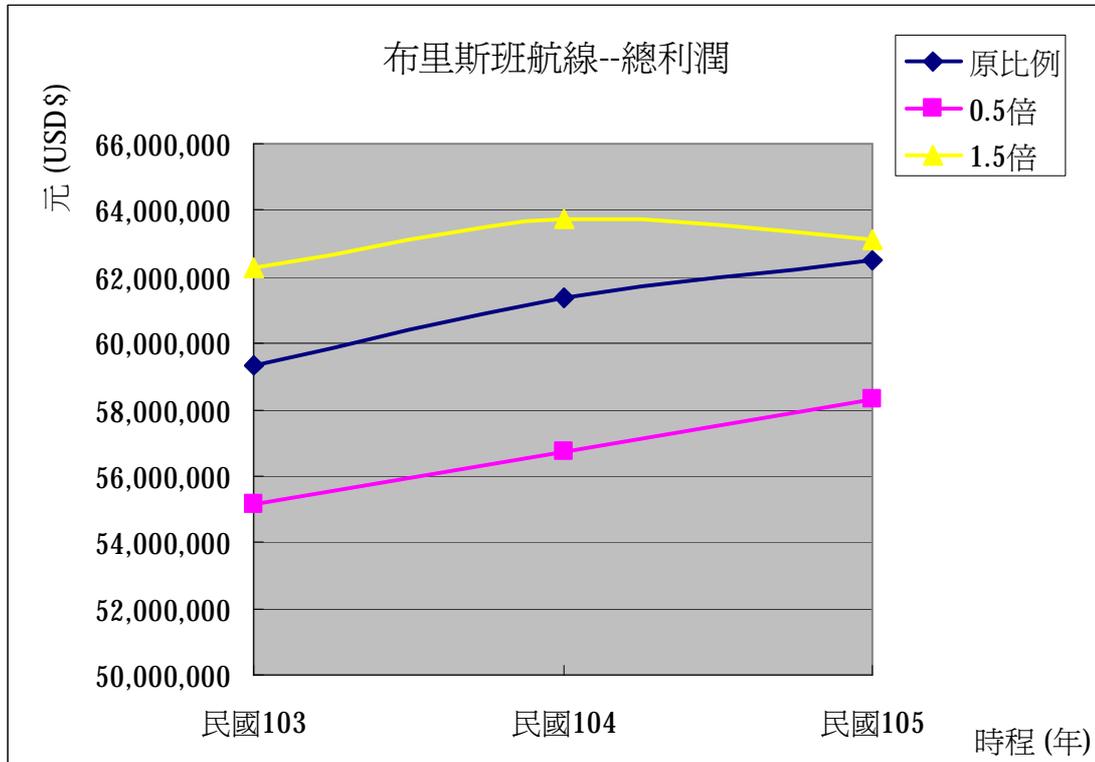


圖 4.38 布里斯班航線在不同旅客屬性比例下之總利潤比較圖

4.5.6 各航線需求預測值



在本節中調整各航線總旅客量的需求預測值，討論當各航線的旅客總需求量降為原估計值的 0.75 倍與增加為 1.2 倍時，對各航線配置與利潤早成的影響，分別討論如下：

1. 胡志明市

以胡志明市航線來說，當總需求量減少時，模式在配置完經濟旅客的需求後，可分配部分空間給較多商務旅客；但當總需求量升高 20% 時，在各級艙等旅客量需求均高的情況，模式僅能優先配置單位面積利潤值較高的經濟艙旅客，而放棄商務旅客的需求，故此時配置的兩架 B777-300 客機都採全經濟艙座椅的配置。而從總利潤的變化圖可看出，需求量減少時，利潤逐年升高，當需求量增加時，利潤反而降低甚鉅，主要原因是因模式可供選擇之機型有限，在需求量大提高下，胡志明市航線即使使用了兩架航機且選擇了最為有利的配置，仍無法應付大量的旅客需求。而預估的需求量較低時，由於未能被滿足的旅客量亦少，懲罰成本少的關係，也使得其利潤值較預估旅客需求量高時為高。

表 4.28 胡志明市航線不同需求預測下新置航機機隊最適內部配置

需求預測值	航機編號	選擇機型	選擇參考配置	劃分艙等數	各艙等最適座位數		
					經濟艙	菁英艙	桂冠艙
原預估需求	A	B777-300	Singapore	2	303	N/A	38
	E	B777-300	Singapore	2	303	N/A	38
原預估 0.75 倍	A	B777-300	Singapore	3	266	18	41
	E	B777-300	Singapore	3	266	18	41
原預估 1.2 倍	A	B777-300	Singapore	1	392	N/A	N/A
	E	B777-300	Singapore	1	392	N/A	N/A

資料來源：本研究規劃

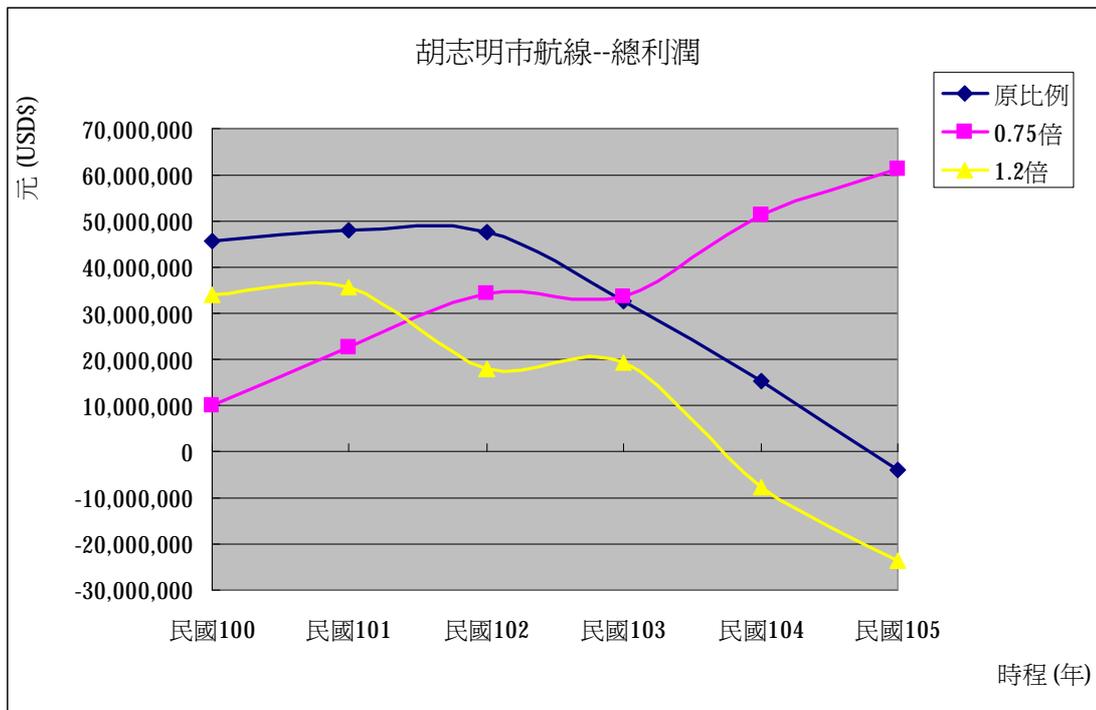


圖 4.39 胡志明市航線在不同需求預測下之總利潤比較圖

2. 布里斯班

至於布里斯班航線，原預估之運量屬於中低運量之航線，故當預估旅客量較原先降低了 25% 時，模式改由機型較小的 B767-300 航機值勤，各艙等座位數亦減少。當預估旅客需求量增加為原先預估的 1.2 倍時，原先的 B777-300 航機已無法應付此時的需求量，模式改採取 A380 客機，各艙等座位數亦提高。在布里斯班航線的總利潤變化圖上，可看出需求量愈高，總利潤也越高，原因為布里斯班航線原本就屬低運量航線，在總運量呈減少或增加的變化時，機型選擇較有彈性，可選擇出他種適合該運量下的最適機型；故可隨著運量提高、更換大型航機，因而提高總利潤。

表 4.29 布里斯班航線不同需求預測下新置航機機隊最適內部配置

需求預測值	航機編號	選擇機型	選擇參考配置	劃分艙等數	各艙等最適座位數		
					經濟艙	菁英艙	桂冠艙
原預估需求	C	B777-300	Singapore	3	293	5	32
原預估 0.75 倍	C	B767-300	UA	3	220	3	24
原預估 1.2 倍	C	A380	Singapore	3	352	6	38

資料來源：本研究規劃

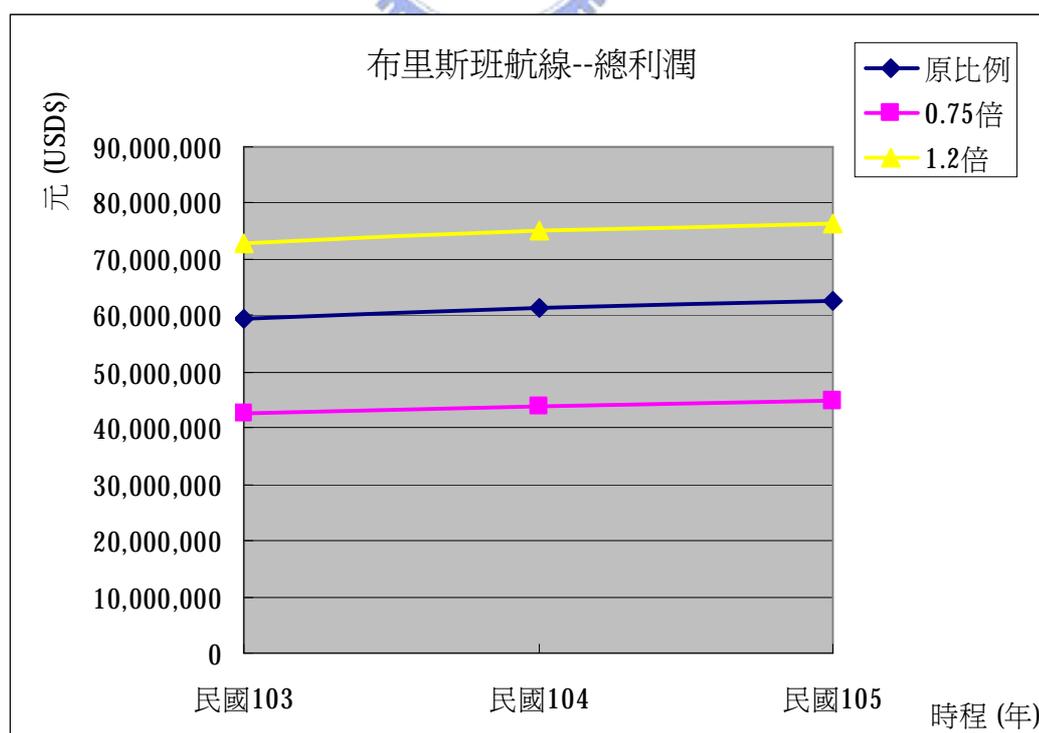


圖 4.40 布里斯班航線在不同需求預測下之總利潤比較圖

比較不同變數的敏感度分析結果後，就航空公司供給面與旅客需求面的變數相較，可發現旅客需求數的變化無論是對艙位配置的結果或航空公司的收益，均有較為顯著的影響；胡志明市與布里斯班航線，大致呈現相同的結果，總旅客量愈高，加總各時程的利潤值也愈高，而商務旅客所佔比例愈高，也可讓航空公司賺取愈高的利潤。模式求得的艙位配置結果，也均會隨著旅客需求的總數與乘客屬性比例的變化而改變。至於前四項敏感度分析的變數，包含頻率、各艙等的票價比、座位面積比、營運成本比，此四項變數屬於跟航空公司的供給面相關的變數，主要影響不同艙等的服務績效。就變數改變所產生的不同之利潤曲線來說，曲線有所改變，但變化幅度不若需求面的變數明顯。內部艙位的配置情形亦有類似結果；如反映不同艙等票價差距的票價比變數，此比例為原比例的 0.8 倍與 1.2 倍時，不影響配置結果，直到升為 1.5 倍以上，才開始產生了不同的決策機型與內部配置。可反映高級艙等的營運成本績效的成本比變數亦同，當此比例下降為原比例 0.9 倍時，決策並無改變，當比例再降為 0.8 倍時，才開始產生不同的配置情況。



第五章 結論與建議

5.1 結論

近年來由於全球經濟活動的熱絡發展、航空管制放寬等因素，空運成長快速，不論搭機到其他國家辦公或旅遊的需求均不斷攀升。但亦由於油價不斷飆漲，使得燃油佔總成本將近八成的航空業勢必得在機型選擇與內部艙位配置上做出最適當之決策以節省營運成本，達到最高的利潤。

本研究站在航空公司業者之角度，有別於以往以短期觀點進行艙位管理的研究，而以長期角度進行機艙之艙等內部空間規劃，期能提供航空公司於機艙座位管理之決策彈性。在需求面以航空公司現有之旅客需求量資料，搭配灰色拓撲模式與進出口貿易額資料，預測出各航線各艙等的旅客需求量。在供給面則分別構建機艙容量與座位關係函數、成本函數等。經由本研究所構建之模式，可得出各航線在總規劃時程內所應選擇的最適機型與內部各級艙等的最適座椅數之配置。在範例分析中，選擇我國籍E航空公司台北飛胡志明市、洛杉磯、布里斯班、西雅圖四條航線以驗證本研究於實務上之可行性。

本研究所歸納的結論如以下幾點：

1. 有別於傳統在航機座位已固定之情況下做營收管理，在已知所經營航線未來總規劃時程內的需求預測值下，由候選的機型與各艙等參考座位配置中，決策出合適各航線值勤之機型與各艙等最佳的座位數；其中座位數乃根據現行航空公司所採之各艙等座位面積與座位數，以一調整參數調整，依照本研究模式計算可求出調整過之各艙等最佳座位數。
2. 經營若干條不同航線之航空客運業者在面臨舊機淘汰或新運量成長，須增加新置航機時，基本上同架航機在規劃時程內會營運於固定之特定航線，不易出現隨時程更迭而有替換航線值勤的情況；主要因為各航線運量在均呈成長的情況，即使成長幅度不一，模式決策出之機型與內部艙位配置即為適合該特定航線之規劃。除非出現規劃時程內部分航線運量驟增而部分航線反倒遽減之情況，才較有可能讓特定配置之航機於不同時程值勤不同航線。
3. 無論決策何種運量、何種旅客組成之航線，航空公司在決策購入新機隊時，主要應視運量成長幅度與總運量大小優先決定購入何種大小之機型，機型過大或過小會分別產生鉅額之空置與延滯成本；前者造成空間的浪費，後者除了讓航空公司

損失本該賺到卻賺不到的利潤外，更讓旅客產生在機場等候之延滯成本及對該航空公司之負面印象，延滯成本造成的後續損失預計會比座位空置產生更大的影響。

4. 在決定了合適大小的機型後，決策內部各艙等的座位數時，由於一架航機內部面積有限，航空公司應視各艙等座位大小與各艙等的票價比例來判斷應優先配置何種艙位比較好賺，如當一個商務艙的所佔面積與一個經濟艙的所佔面積比小於商務艙與經濟艙於該航線的票價時，表示與其配置商務艙不如多安排一些經濟艙座位，亦即經濟艙座位投資報酬率較高。此時若座位面積大小固定，無改裝預算，可針對票價調整各艙等票價的比例。
5. 決策各級艙等的座位數時，仍是先視各艙等的旅客需求量多寡，再優先排定單位面積利潤高的艙等；亦即即使某艙等的單位面積利潤高，但如該旅客需求量低，則模式仍會優先安排次一級旅客的需求量。
6. 在本研究中有給定當需求量高於航機所提供座位數時的懲罰成本與座位呈現空置機票未售完時的懲罰成本；然根據本研究範例結果，此兩項懲罰值影響幅度不若各艙等利潤比值大，亦即航空公司在配置座位時，仍優先視何種艙等需求量大且單位面積的利潤高來做決策。
7. 當各航線長時程的旅客需求量隨時程更迭成長迅速時，除選用大型客機外，亦可考慮提高頻次。且不論提高頻次或是選用大型航機，仍須經過審慎計算並且與承載率做適當之權衡取捨，避免出現替換大航機或是提高了頻次，反而造成過多座椅空置的情況。

5.2 建議

本研究結合灰色拓撲模式所預估出之各航線各艙等長時間之旅客量與機型選擇、艙等配置模式，探討在各航線旅客需求量變化速度不一的情況下，如何決策出最適的機型選擇與各艙等的座位數；然本研究雖探討並提出在不同航線長時程下的最適配置之規劃決策結果，但其中部分假設與分析仍有未臻理想之處，分別列述如下，以作為後續相關研究之參考。

1. 在選擇最適的機型時，僅針對旅客需求量考慮機型大小的選擇，並未考慮不同大小機型的前置成本與未來使用年的折舊成本等。且各航線的單一頻次飛行的固定成本在本研究中僅與航程有關，應考慮以不同大小航機值勤各航線時的耗油量。
2. 僅考慮當航空公司淘汰機齡屆限制年限的舊航機時所用來取代舊機的新航機與個別航線運量大幅成長時所添置新航機之機型與配置，未將航空公司當前所有、仍在各航線營運的舊機隊一併納入考量。
3. 在所參考之不同種現有的候選機型配置下，本研究模式為避免變數過多以致模式過於複雜，僅能調整候選配置中各艙級艙等的座位數多寡，即各級艙等的單位座位面積為固定值。且未將同一艙等但座位面積大小的不同所帶給旅客之感受納入計算。
4. 在本研究範例中採納五種航空客運市場上較常被使用的機型與現行的艙位配置，如能擴大候選航機及配置的集合，參考更多更廣泛的機型與艙位面積，應能找出更合適的機型與配置決策，繼續提高各航線的利潤值。
5. 本研究並未考慮改裝成本，但在部份航線配置的結果中可發現，在決策出固定的艙位配置後，在規劃時程內特定艙等會因為成長率高於其他的艙等因此造成大量需求未能被滿足之情形，故若能在特定艙等的需求成長率高於其他艙等時考慮改裝與收益的權衡取捨，預估可讓各時程各艙等的承載率更高。
6. 成長量較迅速的航線在灰色拓撲模式的長期預測下，發現在規劃時程後幾年的預測值普遍偏高，亦即成長愈來愈快。可在預測時加入其他社經變數或納入其他預測模式作為輔助參考，應可達到更準確之旅客需求。
7. 本研究規劃出的航空公司機型選擇與內部空間艙位配置，乃為長期策略面的決策；未來若能將其與營收管理面的短期經營策略做結合，預期將可為航空公司的客運市場達到甚高的效益，並提供極有價值的策略參考。

參考文獻

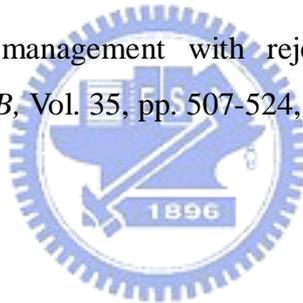
1. 中華民國財政部，進出口貿易統計。
<<http://www.mof.gov.tw/sitemap.asp>>。
2. 王彥超，「天空開放後國內航空公司之成本、效率及密度經濟之研究」，國立成功大學交通管理學研究所碩士論文，民國八十八年。
3. 石豐宇、郭維杰，「多席訂位與多重行程之動態艙位規劃分析」，運輸計畫季刊，第28卷，第四期，頁565-592，民國八十八年。
4. 交通部民航局，民航運輸統計。
<<http://www.caa.gov.tw/big5/index.asp>>。
5. 朱雲志，「航空業務」，揚智文化事業股份有限公司，民國八十九年。
6. 汪坤發，「採低成本航空公司在台灣營運之可行性分析」，國立交通大學管理學院碩士在職專班管理科學組，民國九十四年。
7. 呂國禎，「減少載客、增購新機 反而賺更多」，商業週刊，第1020期，
<<http://www.businessweekly.com.tw/fineprint.php?id=27281>>。
8. 呂錦隆，「國內航空客運旅客選擇決策之實證研究」，國立成功大學交通管理研究所博士論文，民國八十七年。
9. 長榮航空股份有限公司。
<<http://www.evaair.com/html/b2c/chinese/>>。
10. 張有恆，「航空業經營與管理」，華泰出版社，民國九十二年。
11. 張瑞奇，「航空客運與票務」，揚智文化事業股份有限公司，民國八十八年。
12. 許巧鶯、溫裕弘，「台灣地區國際航空客運量之預測-灰色預測模式之應用」，運輸計畫季刊，第二十六卷第三期，頁525-556，民國八十六年。
13. 許巧鶯，陳雅妮，「航空公司航班客位需求與訂位艙等規劃」，國立交通大學運輸科技與管理學系碩士論文，民國八十九年。

14. 許巧鶯，劉素妙，「航空公司機隊規劃之航機採購/汰換時程之研究」，國立交通大學運輸科技與管理學系碩士論文，民國九十一年六月。
15. 溫裕弘，「航空運量預測與航空網路設計之研究-應用灰色理論」，國立交通大學交通運輸研究所碩士論文，民國八十六年。
16. 楊政樺，「航空地勤服務管理」，揚智文化事業股份有限公司，民國九十年。
17. Airbus Company, Aircraft families, cabin layout.
<<http://www.airbus.com/en/aircraftfamilies/>>.
18. Andersson, S., "Passenger choice analysis for seat capacity control: a pilot project in Scandinavian Airlines," *International Transactions in Operational Research*, Vol. 5, pp. 471-486, 1998.
19. Beckmann, M.J., "Decision and team problems in airline reservations," *Econometrica*, Vol. 26, pp. 134-145, 1958.
20. Belobaba, P.P., "Application of probabilistic decision models to airline seat inventory control," *Operations Research*, Vol. 37, No. 2, pp. 183-197, 1989.
21. Boeing Company, Commercial airlines, technical information.
<<http://www.boeing.com/commercial/index.html>>.
22. Botimer, T.C., "Efficiency consideration in airline pricing and yield management," *Transportation Research Part-A*, Vol. 30, No. 4, pp. 307-317, 1996.
23. Chatwin, R.E., "Optimal airline overbooking", Ph.D. Dissertation, University of Stafford, 1993.
24. Gerbracht, R., "Optimum overbooking levels," *AGIFORS Symp.*, 1979.
25. Hansen, M. and Kanafani, A., "International airline hubbing in a competitive environment," *Trnasportation Planning and Technology*, Vol. 13, pp. 3-18, 1988.
26. Hansen, M., "Airlines competition in a hub-dominated environment: an application of noncooperative game theory," *Transportation Research* 24B No.1, pp. 27-43, 1990.
27. Hansen, M., Gillen, D., and Djafarian-Tehrani, R., "Aviation infrastructure performance and airline cost: a statistical cost estimation approach," *Transportation Research, E*, Vol. 37, pp. 1-23, 2001.

28. Hansen, M., and Wei, W., "Impact of aircraft size and seat availability on airline's demand and market share in duopoly markets," *Transportation Research, E*, Vol. 41, pp. 315-327, 2005.
29. Horonjeff, R. and Mckelvey, X., *Planning and design of airports*, McGraw-Hill Inc., 1994.
30. Hsu, C.I., and Wen, Y.H., "Improved grey prediction models for trans-pacific air passenger market," *Transportation Planning and Technology*, Vol. 22, pp. 87-107, 1998.
31. Hsu, C.I., and Wen, Y.H., "Application of grey theory and multiobjective programming towards airline network design," *European Journal of Operational Research*, Vol. 127, pp. 44-68, 2000.
32. Hsu, C.I., and Wen, Y.H., "Reliability evaluation for airline network design in response to fluctuation in passenger demand," *Omega*, Vol. 30, pp. 197-213, 2002.
33. Hsu, C.I., and Wen, Y.H., "Determining flight frequencies on an airline network with demand–supply interactions," *Transportation Research, E*, Vol. 39, pp. 417-441, 2003.
34. Kanafani, A., *Transportation demand analysis*, McGraw-Hill Book Company, 1983.
35. Lee, T. C., and Hersh, M., "A model for dynamic airline seat inventory control with multiple seat bookings," *Transportation Science*, Vol. 27, pp.252-265, 1993.
36. Littlewood, K., "Forecasting and control of passenger bookings," *AGIFORS Symp.*, Proc. 12, pp. 95-117, 1972.
37. Morrison, S.A., and Winston, C., *The evolution of airline industry*, The Brookings Institution, Washington D.C., 1995.
38. Norman, V.D., and Strandens, S.P., "Deregulation of Scandinavian airlines: a case study of Oslo-Stockholm route," *An Introduction to Airline Economics*, fifth ed., 1990.
39. Popovic, J., and Teodorvic, D., "An adaptive method for generating demand inputs to airline seat inventory control models," *Transportation Research, B*, pp. 159-175, 1997.
40. Rothstein, M., "An airline overbooking model," *Transportation Science*, Vol. 5, pp. 180-192, 1971.
41. SeatGuru, aircraft seat allocation information.

<<http://www.seatguru.com/>>.

42. Smith, B.C., Leim kuhler, J.F. and Darrow, R.M., "Yield management at American airlines." *The Institute of Management Sciences, interfaces* 22:1, pp. 8-31, 1992.
43. Swan, W., and Adler, N., "Aircraft trip cost parameters: a function of stage length and seat capacity." *Transportation Reasearch, E*, Vol. 42, pp. 105-115, 2006.
44. Teodorovic, D., "Flight frequency determination," *Journal of Transportation Engineering*, Vol. 109, No. 5, pp. 747-757, 1983.
45. Teodorovic, D., and Krcmar-Nozic, E., "Multicriteria model to determine flight frequencies on an airline network under competitive conditions," *Transportation Science*, Vol. 23, pp. 14-25, 1989.
46. Thompson, H.R., "Statistical problems in airline reservation control," *Operations Research*, Vol. 12, pp. 167-185, 1961.
47. Yan, S., and Tseng, C.H., " A passenger demand model for airline flight scheduling and fleet routing," *Computers and Operations Research*, Vol. 29, pp. 1559-1581, 2002.
48. You, P.S., "Airline seat management with rejection-for-possible-upgrade decision," *Transportation Research, B*, Vol. 35, pp. 507-524, 2001.



簡歷



姓名：吳維真

出生年月日：1982年10月18日

出生地：台北市

學歷：

2008年6月 國立交通大學運輸科技與管理學系碩士班

2006年6月 國立交通大學運輸科技與管理學系

2000年6月 台北市立第一女子高級中學

聯絡方式：laurenwu.tem95g@nctu.edu.tw