

國立交通大學
運輸科技與管理研究所

碩士論文



由營運效益探討航空公司
機隊改裝時程及航機生命週期模式

研究生：楊舜輔

指導教授：許巧鶯

中華民國九十五年六月

由營運效益探討航空公司機隊改裝時程及

航機生命週期模式

An Aircraft Life-Cycle Model and
Conversion Scheduling for Airlines
based on Operating Efficiency

研究生：楊舜輔

Student : Shun-Fu Yang

指導教授：許巧鶯

Advisor : Chaug-Ing Hsu

國立交通大學

運輸科技與管理研究所

碩士論文



Submitted to Department of Transportation Technology and Management

College of Management

National Chiao Tung University

in Partial Fulfillment of the Requirments

for the Degree of

Master

in

Transportation Technology and Management

June 2006

Hsinchu, Taiwan, Republic of China

中華民國 九十五年 六月

由營運效益探討航空公司機隊改裝時程及

航機生命週期模式

研究生：楊舜輔

指導教授：許巧鶯

國立交通大學運輸科技與管理學系

摘 要

近年來在世界景氣的穩定復甦下，加之中國大陸經濟強勢成長，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，然而二者之景氣循環，存在時間與量上之落差。本研究以航機生命週期結合航機創造收益及營運成本隨時間變化的觀念，對個別航機建立生命週期模式，分別由預期營收以及營運成本項切入，並同時將客運機及貨運機的不同特性納入考量。以僅有成本支出而無營收檢視客機改裝貨機時程之航機機會成本，及相對反應在航機出廠後營運成本函數與營收函數的變化情形。再由預期營收及營運成本建構隨時間變動之航機營運效益。將灰色模式所預測之貨物運輸及旅客需求量結合馬可夫鏈模式作波動機率預測後，並以動態規劃構建機隊規劃數學模式，以最大化航空公司機隊營運效益為目標，得出最佳機隊更新決策及時程。最後以機隊改裝時程之決策結果結合航機生命週期之動態變化，尋求以此決策模式下，個別航機最大營運效益之航機改裝最佳時點，並進一步評估相較於未改裝情況之效益改善幅度。本研究以一實例進行範例分析，說明模式之應用性，並由改裝效益最大概念尋求最適改裝方案時程，實證結果發現，實例研究航線本身客貨運需求量成長之落差，及相關航線間貨物運輸需求量相對成長幅度之落差，皆為航空公司將客運機改裝為貨運機之主要考量因素，且相關航線之客運需求亦為影響改裝決策之主要因素，並進一步影響是否租賃航機之方式滿足該研究時區之客運需求量。另一方面，採行改裝方案對個別航機營運效益產生之增益，亦使其可作為航空公司機隊簡化時之配套考量。最後本研究再納入航機購置成本之折舊攤提概念，作為航空公司在考量個別航機營運效益與其財務運用彈性情形下之航機改裝決策影響因素。

An Aircraft Life-Cycle and Conversion Scheduling Model for Airlines based on Operating Efficiency

Student : Shun-Fu Yang

Advisors : Dr.Chaug-Ing Hsu

Department of Transportation Technology and Management

National Chiao Tung University

Abstract

In recent years, due to the steady revival of world economy and the strong development of China economy, the demand of air traffic from far east to the worldwide has been continuously increased no matter passenger or cargo volumes. However, there exist differences in terms of time gap and growth rate between passenger and cargo demand as regard to their relationships with economic cycles. This research aims to formulate a life-cycle model for an objective aircraft based on the concepts of aircraft life-cycle, time dependent profit gain, and operating costs. The differences in the characteristics of passenger and cargo fleets are also taken into account to formulate the expected revenues and operation costs for aircraft used for two types of services. The costs involved in the process of conversions are age-related and include opportunity costs in terms of loss in operating revenues. The decline in operating cost and the increase in operating revenue after aircraft conversion are also considered.

Moreover, the study formulates a dynamic programming model by maximizing airline fleet operating efficiency, and applies Grey forecasting model and Markov Chain to forecast future cargo and passenger demand fluctuation. Then, the study combines the result of fleet model, and individual aircraft life-cycle model to evaluate the profit improvement due to conversion decision. Finally, the study illustrates the application of the models by performing a numerical analysis. The results show the optimal conversion time points for the example fleet, and indicate that improvements in the operating efficiency of aircraft conversion, depend on the extent of reduction in the expenditure and the increased level of air cargo demand on related air routes. The passenger demand on related air routes could be a major factor, which also affect the decision on leasing passenger aircraft to meet the demand. The results also reveal that the conversion decision can be considered jointly with the simplification of aircraft type. Furthermore, the depreciation amortization related to the efficiency of individual aircraft and financial feasibility are further incorporated into individual aircraft conversion decision.

誌 謝

輕倚著綜一館十樓的窗邊，望著散發暖和光芒的斜陽，我剛結束一場和指導老師的 meeting，也可能是最後的一次。緩緩吸了口傍晚的窗邊空氣，仍一如早晨般清新，遠方的鐘聲一聲聲敲進我的耳裡；或許是的，我在新竹交大的生活，現在下課了。

本論文能夠順利完成，首要感謝恩師 許巧鶯教授於研究過程中的悉心教導，尤其是研究課題的啟發、可行方向的導引、研究方法的教導及思路邏輯缺陷處之提點。感謝恩師於無數次的論文內容與摘要草稿往返中，不厭其煩給予文意精神之指正及文字句逗之查察；更銘記恩師於學術研究上之嚴謹精神及專業領域知識之淵博，且於研究期間一次次的開導與鼓舞，皆足為研究生活之表率，往後亦將深銘於心。

論文口試期間，感謝交通大學馮正民教授及台中技術學院陳榮昌教授播冗細審，並給予寶貴意見與殷切指正，使本論文疏漏謬誤之處得以斧正。在論文計畫書與進度審查期間，感謝本所黃寬丞老師及任維廉老師細心審閱、提供寶貴意見與謬誤指正。修業與論文研討期間，承蒙系上全體老師以及博士班惠潔學姐、憲宏學長、清成學長、志青學長、剛伯學長、政威學長及已畢業的素妙學姐等提供指正與建議，謹此誠摯致謝。

論文進行期間，感謝同窗好友錦昌、立弘、嫻青之間互相的砥礪陪伴、患難與共，以及對我的包容。感謝佳紋學姐對學弟妹的關心問候，以及為研究室生活添加的許多歡樂氣息，並感謝幼屏學姐、美珠學姐、耀慶學長給予學習上之經驗指導，以及學弟妹國濬、昱樺在日常生活中的幫忙。在此並感謝多年好友奕賢、育政、偉純長期以來的友情相伴、長相左右，其中特別感謝慧雯在這段研究所修業期間，陪我度過無數或歡樂、或鬱悶、或刻苦的時光。運管所提供的研究空間及完善設備與行政支援，亦使本研究之進行更為順利，在此一併致謝。

最後，謹將本論文獻給我的家庭，我敬愛的父母、妹妹及陪伴我們許久的安安，感謝你們的包容與支持，以及你們長期的傾聽與陪伴，還有生活上所給予的關懷，使我得以專心於學業及本論文的完成。謹將這份成果與您們分享。

楊舜輔 謹誌
中華民國九十五年九月
於風城交大

目次

第一章 緒論.....	1
1.1 研究背景與動機.....	1
1.2 研究目的.....	6
1.3 研究範圍.....	8
1.4 研究流程與架構.....	11
第二章 文獻回顧與探討.....	15
2.1 灰色預測模式及馬可夫鏈預測.....	15
2.1.1 灰色預測模式.....	15
2.1.2 馬可夫鏈預測.....	17
2.2 航空運量預測研究.....	18
2.3 機隊規劃相關研究.....	19
2.3.1 機型選擇相關研究.....	20
2.3.2 機型與航線配對研究.....	20
2.3.3 機隊飛機替換研究.....	21
2.3.4 機隊航機購買或租賃之數目決策之研究.....	21
2.4 機率性動態規劃相關研究.....	22
2.5 生命週期模式相關研究.....	25
第三章 航機改裝時程動態規劃模式.....	29
3.1 航空公司預期營收及營運成本.....	31
3.1.1 客運/貨運預期營收.....	31
3.1.2 營運成本.....	35
3.2 航機改裝決策判斷式.....	38
3.2.1 改裝成本與決策.....	38
3.2.2 航機改裝選擇決策.....	39
3.3 營運效益.....	41
3.4 機隊動態規劃模式.....	42
第四章 實證分析.....	49
4.1 研究案例背景.....	50
4.2 機隊改裝時程模式求解.....	57
4.2.1 航線年度需求量預測.....	57
4.2.2 馬可夫鏈預測模式.....	66
4.2.3 改裝時程動態規劃模式求解結果說明.....	72
4.3 個別航機生命週期模式分析.....	83
4.4 燃油成本變化敏感度分析.....	87
第五章 結論與建議.....	90
5.1 結論.....	90

5.2 建議.....	91
參考書目.....	92



表 次

表 1.1 中國航空運輸出口值年度資料.....	1
表 1.2 航空器維修工作等級.....	4
表 1.3 發動機維修工作等級.....	5
表 2.1 航空公司機隊規劃相關分析研究整理.....	27
表 2.1 航空公司機隊規劃相關分析研究整理(續).....	28
表 4.1 目標航空公司航點.....	50
表 4.2 目標航空公司機隊狀態.....	50
表 4.3 目標航空公司民國 94 年自有機隊資料.....	51
表 4.4 研究目標航線.....	54
表 4.5 客艙組員人數需求相關參數.....	55
表 4.6 範例航空公司各航線資料.....	56
表 4.7(a) r1 航線(台北-東京)年需求量.....	58
表 4.7(b) r2 航線(台北-洛杉磯)年需求量.....	58
表 4.7(c) r3 航線(台北-舊金山)年需求量.....	58
表 4.7(d) r4 航線(台北-新加坡)年需求量.....	58
表 4.7(e) r5 航線(台北-香港)年需求量.....	58
表 4.7(f) r6 航線(台北-雅加達)年需求量.....	58
表 4.8 各航線時區劃分後之預測需求量.....	63
表 4.9 灰色模式預測與實際貨物需求量結果之模式預測精確度驗證.....	64
表 4.9 灰色模式預測與實際貨物需求量結果之模式預測精確度驗證(續).....	65
表 4.10 台北-東京航線預測貨物需求量狀態劃分及對應結果.....	66
表 4.11 台北-東京航線貨物需求量轉移機率矩陣表.....	67
表 4.12 台北-東京航線民國 95~102 年狀態轉移機率矩陣.....	67
表 4.12 台北-東京航線民國 95~102 年狀態轉移機率矩陣(續).....	68
表 4.12 台北-東京航線民國 95~102 年狀態轉移機率矩陣(續).....	69
表 4.12 台北-東京航線民國 95~102 年狀態轉移機率矩陣(續).....	70
表 4.13(a) 台北-東京航線逐年狀態轉移機率.....	70
表 4.13(b) 台北-洛杉磯航線逐年狀態轉移機率.....	70
表 4.13(c) 台北-舊金山航線逐年狀態轉移機率.....	71
表 4.13(d) 台北-新加坡航線逐年狀態轉移機率.....	71
表 4.13(e) 台北-香港航線逐年狀態轉移機率.....	71
表 4.13(f) 台北-雅加達航線逐年狀態轉移機率.....	72
表 4.14 研究航線客運機隊航機規劃結果.....	74
表 4.15 研究航線貨運機隊航機規劃結果.....	75
表 4.16 研究航線機隊運量規劃成本.....	76
表 4.17 主要研究時點各研究航線及總期望效益.....	83

圖 次

圖 1.1 航空運輸服務產業關係圖.....	10
圖 1.2 航空公司機隊運量調度示意圖.....	11
圖 1.3 研究流程圖.....	13
圖 1.4 研究架構圖.....	14
圖 2.1 機率性動態規劃問題基本結構圖.....	23
圖 2.2 資產設備於機率性動態規劃問題之狀況示意圖.....	25
圖 3.1 機隊決策方案示意圖.....	30
圖 3.2 國內生產毛額變動與客貨運年成長率成長對照.....	31
圖 3.3 未來 20 年全球航空貨運量成長.....	32
圖 3.4 未來 20 年對改裝市場之需求.....	33
圖 3.5 營運成本架構示意圖.....	35
圖 3.6 機隊長期平均維修成本之規模經濟性.....	36
圖 3.7 本研究機率性動態規劃模式示意圖.....	45
圖 4.1 目標航空公司民國 94 年自有機隊清單資料.....	52
圖 4.2(a) 台北-東京貨運年需求量.....	59
圖 4.2(b) 台北-東京旅客年需求量.....	59
圖 4.3(a) 台北-洛杉磯貨運年需求量.....	59
圖 4.3(b) 台北-洛杉磯旅客年需求量.....	60
圖 4.4(a) 台北-舊金山貨運年需求量.....	60
圖 4.4(b) 台北-舊金山旅客年需求量.....	60
圖 4.5(a) 台北-新加坡貨運年需求量.....	61
圖 4.5(b) 台北-新加坡旅客年需求量.....	61
圖 4.6(a) 台北-香港貨運年需求量.....	61
圖 4.6(b) 台北-香港旅客年需求量.....	62
圖 4.7 台北-雅加達貨運年需求量.....	62
圖 4.8 範例求解流程圖.....	72
圖 4.9(a) 台北-東京航線各時區機隊營運效益及原始機率.....	77
圖 4.9(b) 台北-洛杉磯航線各時區機隊營運效益及原始機率.....	78
圖 4.9(c) 台北-舊金山航線各時區機隊營運效益及原始機率.....	79
圖 4.9(d) 台北-新加坡航線各時區機隊營運效益及原始機率.....	80
圖 4.9(e) 台北-香港航線各時區機隊營運效益及原始機率.....	81
圖 4.9(f) 台北-雅加達航線各時區機隊營運效益及原始機率.....	82
圖 4.10 機隊航機改裝規劃門檻.....	84
圖 4.11 目標B747-400 個別航機生命週期模式.....	85
圖 4.12 目標B737 個別航機生命週期模式.....	87
圖 4.13 歷史原油價格走勢.....	88

圖 4.14 近年原油價格及影響事件示意.....88
圖 4.15 國際原油價格改變時各航機燃油成本之變化.....89



符號說明

- q : 航機機型
 r : 航空公司經營航線
 C : 作為貨機使用
 P : 作為客機使用
 T : 由時區劃分原則所劃分之時區
 t : 航機機齡
 w : 一個時區之預期貨運需求量波動情形
 w' : 一個時區之預期客運需求量波動情形
 α_q^{CT} : 特定機型貨機在一個時區之容量利用率
 α_q^{PT} : 特定機型客機在一個時區之容量利用率
 Q_q^C : 貨機可載重量(噸)
 Q_q^P : 客機容量(座位數)
 K_{qtr}^T : 一個時區內總頻次
 L_q^{CT} : 貨機於一個時區之貨物承載量(噸)
 L_q^{PT} : 客機於一個時區之旅客承載量(人數)
 $A_{q,T,t}^C$: 航空公司在一個時區時特定機型與機齡之貨運機隊航機數目
 $A_{q,T,t}^P$: 航空公司在一個時區時特定機型與機齡之客運機隊航機數目
 $S_{q,T,t}^C$: 航空公司在一個時區時特定機型與機齡之貨運機隊航機集合
 $S_{q,T,t}^P$: 航空公司在一個時區時特定機型與機齡之客運機隊航機集合
 R_r^C : 貨機經營特定航線之單位容量收益
 R_{qr}^P : 客機經營特定航線之單位容量收益
 b_{qr}^{CT} : 特定機型貨機於一個時區經營特定航線之機組員人事成本
 b_{qr}^{PT} : 特定機型客機於一個時區經營特定航線之機組員人事成本

- P^T : 一個時區之單位燃油國際價格(加侖)
- f_{qr}^T : 特定機型航機於一個時區經營航線之總耗油量
- $f_{qr}^{\prime T}$: 翻修後特定機型航機於一個時區經營航線之總耗油量
- v_{qt}^T : 特定機型、機齡航機於一個時區之維修變動成本
- $v_{qtr}^{\prime T}$: 翻修後特定機型、機齡航機於一個時區之維修變動成本
- m_q^T : 特定機型航機於一個時區之維修固定成本
- \hat{m}_{qtr}^T : 特定機型、機齡與經營航線之航機於一個時區每架航機平均維修成本
- mc_{qtr}^T : 特定機型、機齡與經營航線航機於一個時區之維修總成本
- F_{qr}^{CT} : 一個時區目標貨機預期營收
- F_{qtr}^{PT} : 一個時區目標客機預期營收
- p_w^T : 兩相鄰時區之需求量波動情況配對可能發生機率
- E_w^T : 一個時區需求量波動情形所對應之營運效益
- o_{qtr}^{CT} : 特定機型、機齡與經營航線之貨機於一個時區之航機作業成本
- o_{qtr}^{PT} : 特定機型、機齡與經營航線之客機於一個時區之航機作業成本
- doc_q^{CT} : 一架貨運航機之直接營運成本
- doc_q^{PT} : 一架客運航機之直接營運成本
- DOC_T^{Cw} : 航空公司貨運機隊對應需求量變動情況而於該時區之直接營運成本
- DOC_T^{Pw} : 航空公司客運機隊對應需求量變動情況而於該時區之直接營運成本
- IOC_T^{Cw} : 航空公司貨運機隊對應需求量變動情況而於該時區之間接營運成本
- IOC_T^{Pw} : 航空公司客運機隊對應需求量變動情況而於該時區之間接營運成本
- $S_{qr}^{\prime C}$: 單位貨物間接營運成本
- $S_{qr}^{\prime P}$: 單位旅客間接營運成本

ΔTC_y^T	: 一個時區進行大型翻修之營運成本改變量
ΔTC_z^T	: 一個時區進行改裝之營運成本改變量
E_q^{ZT}	: 個別航機進行改裝之效益
Z_{qt}^w	: 特定機型、機齡航機改裝所需支付成本
$i-j$: 航機進行改裝工程時段
$j-k$: 改裝後預期航機於該時區之可使用期間
W_{qt}^T	: 航機改裝條件判斷值
\bar{t}	: 航機可使用年限
δ_{qtr}^{ZT}	: 進行改裝之 0/1 決策變數
s_q^Z	: 改裝所需時程佔該年度之時間長度比例
e_{qtr}^{PT}	: 目標航機營運效益值
$d_{q,T}^w$: 一個時區特定機型機隊對應景氣需求量變動情況下之決策集合
$E_T^{Cw}(S_T, d_T^w)$: 一個時區結束時貨運機隊期望效益
$E_T^{Pw}(S_T, d_T^w)$: 一個時區結束時客運機隊期望效益
$E_T^{C*}(S_T)$: 一個時區結束時貨運機隊最大期望效益
$E_T^{P*}(S_T)$: 一個時區結束時客運機隊最大期望效益
EC_T^{Pw}	: 航空公司在一個時區進行航機改裝決策所產生之成本
P_T^{Cw}	: 對應預測波動情況變動之貨運機隊懲罰成本
P_T^{Pw}	: 對應預測波動情況變動之客運機隊懲罰成本
J_T^C	: 貨運運量過剩時總收益損失
J_T^P	: 客運運量過剩時總收益損失
I_T^C	: 貨運運量不足時總收益損失
I_T^P	: 客運運量不足時總收益損失
OC_T^{Cw}	: 貨運機隊於一個時區對應需求量波動情形下之機隊營運成本
OC_T^{Pw}	: 客運機隊於一個時區對應需求量波動情形下之機隊營運成本
TF_{qT}^{Cw}	: 航空公司中貨運機隊對應需求量波動情形下於該時區之預期收益
TF_{qT}^{Pw}	: 航空公司中客運機隊對應需求量波動情形下於該時區之預期收益
TC_T^{Cw}	: 航空公司貨運機隊對應需求量波動機率情形下之總成本

TC_T^{Pw} : 航空公司客運機隊對應需求量波動機率情形下之總成本

λ_q^{DT} : 特定機型航機於該時區決策租賃時所決定之租期

$L_{qt}^w(\lambda_q^{DT})$: 對應預期需求量波動情形下之該時區特定機型、機齡航機乾租費用



第一章 緒論

1.1 研究背景與動機

航空業之景氣隨近年來世界景氣逐漸復甦而穩定成長，尤因中國近年來於製造業及全球消費市場上皆佔有愈加穩定之地位，以其幅員之大及全球分工趨勢，加之電子商務之發展，使航空貨運運量近幾年更有超出客運量甚多之成長率。根據波音公司的估計，過去十年中國航空貨運市場的年平均成長率達到 15%，而同時期的美國及歐洲則只有 17% 及 23% 的總成長，如表 1.1 所示，即便不計入近兩年來直接導致中國政府實施宏觀調控政策之大幅度經濟成長年份資料，由 1999~2002 四年之間由中國經由航空運輸出口的貨運成長量仍有相當明顯的成長幅度，尤其 2002 年單一年度就較前一年成長達 45%。中國航空出口值經由近年來的成長及產值所佔全球比重逐年成長下，目前成為全球第六大經濟體，且預估未來 20 年內中國對美國及歐洲的年平均成長率分別為 9.6% 及 9.3%，按此成長率則中國將在 2010 年成為全球第三大經濟體。由全球景氣復甦及中國經濟成長背景影響下，亞太地區航運業因需求增加而顯露成長之契機，而立足於台灣之航空公司亦同時受此因素影響，並受惠於此波景氣攀升而呈現獲益逐年上升之情形。

表 1.1 中國航空運輸出口值年度資料

年度	年度資料				逐年變動程度		
	2002	2001	2000	1999	2002	2001	2000
以價值計(百萬元)	60617	40714	39599	30345	48.9%	2.8%	30.5%
以重量計(噸)	1281	809	814	732	58.2%	-0.5%	11.2%
以價值計算比重	2.8%	1.9%	1.8%	1.6%	+0.9	+0.1	+0.2
以重量計算比重	5.3%	3.6%	3.5%	3.2%	+1.7	+0.1	+0.4

資料來源：World Cargo Flow Model Database (2003)

近年航空客運市場隨經濟成長率發展所隨之增加之旅運需求量，其幅度較航空貨運為小且落後，且受重大事件影響衝擊幅度亦較大，以 2003 年 SARS 事件及第二次美伊戰爭發生期間為例，當年同期全球航空客運即減少約 7.1%，而航空貨運市場則仍可維持約 7.3% 之成長幅度，可見航空客運受不確定因素之影響波動大，而航空旅運需求亦因此而產生消費遞延。根據波音公司對未來 20 年之預估，全球航空客運量以 RPK (Revenue Passenger Kilometers) 預估，將達到約 4.8% 之年平均成長率，而預估全球之貨運需求年成長約達 6.2% 之水準。值此趨勢之下，因應客運成長率及貨運成長率之不同而靈活調度機隊運量，以期達成航空公司營運效益之最大化，已成為決策者所須面臨之重要議題。

航空產業景氣受到各類長短期事件之影響，一則長期以來由於國際貿易擴張及中國大陸經濟發展而使航空貨運量需求大幅成長，另一方面，重大事件如 911 及 SARS 影響航空客運量致其成長率相對較緩甚或短期縮減，因此航空貨運能量之建立對各航空公司而言已成為因應需求成長增進營運效益所須面對之重要課題。由於新購航機之方式須等待製造廠之訂單排程而曠日耗時，因此透過客機改裝之方式增加貨運能量乃成為較經濟且能更快速配合市場需求之選擇。

在改裝業務方面各製造廠原本皆提供改裝方案供航空公司選擇，但由於原廠能量無法滿足全球之改裝需求，因此近年逐漸透過母廠認證及技術協助之方式，由各區域之改裝廠滿足各地之改裝業務需求，全球之改裝業務量也因此在近幾年來大幅攀升。各區域改裝廠所面臨之工程門檻包括(1)技術整合(2)母廠認證(3)協力廠商技術轉移；由於航太產業為系統產業，因此改裝廠亦須具備包含材料、機械、電子、化學等各方面之人才及技術，以達到母廠所要求之技術門檻認證，由於近年來各原製造廠為集中資源於核心領域，因此即使是原廠之新購航機訂單亦部份外包給下游廠商，而改裝廠針對這部分改裝所須之原始技術文件資料則須由原製造協力廠提供技術轉移之支援。

國內之主要改裝廠包括聯成航太及長榮航太，其中聯成航太公司(ICAS)為經濟部技術處透過工研院航太中心科技專案支持，由華航、長榮、亞航、漢翔合資成立，並以華航為最大股東並主導，其成立背景為因應全球航空貨運市場之快速成長以及航機維修改裝產業之發展，並以客機改裝貨機工程為其核心事業，亦取得波音 737 客機改裝貨機之獨家授權。客機改裝貨機實際之工程細目包括(1)拆除內裝(2)加裝大貨艙門(3)安裝貨艙設備(4)機身主結構切除(5)抽換隔框、地板樑(6)結構補強(7)防腐防鏽(8)次系統抽換(9)D-check(最高層級檢修，飛行達 30000 小時或 2500 萬公里時執行，須拆除所有零件並同時進行軟硬體更新)。實際改裝案例則有 2004 年 7 月 Alaska Airlines 客機改裝貨機合約，包含五架航機改裝合約及四架後續合約選擇權，前四架改為 B737-400 客貨兩用機(combi)，第五架則改為 B737-400 貨機(special freighter)，時程方面預定 2005/10 首架 B737-400 combi 出廠，2007/2 special freighter 出廠，平均每架改裝時程約 3~4 個月，平均每架改裝費用則約 300 萬美元。而長榮航太為長榮航空與 GE 之合資公司，以 2004 年

初接獲之波音公司改裝合約為例，包括將 3 架 747 全客機(客戶回售機，其中一架為華航回售)改裝為超大全貨機(Large Cargo Freighter, LCF)，專門載運波音 787 之零組件往返各衛星工廠，其改裝內容及各組件負責單位包括(1)機尾橫向開啟(西班牙 Gamesa)(2)駕駛艙加壓(加州 Rocketdyne)(3)加大機身上部、後端及主貨艙層、結構穩定(Moscow 波音設計中心)(4)垂直尾翼加長 5 呎(波音工程師)。此計畫之改裝技術難度高，但將使 LCF 酬載體積增為 747-400 貨機之三倍，而其中長榮航太為負責組裝工程之地位，並預計 LCF 於 2007 年服役。

本研究考量航空公司航機使用成本與相關支援產業之成本支出關係，而考慮支援客貨運航機機隊於全球各地飛行之飛機相關支援產業，並參考相關已發表之分析報告，將整體飛航相關之支援產業分列如下列各項：

1. 飛機服務(Airplane Service)：包含加油、地面電源供電、給水、客艙餐飲相關服務、日常檢查、過夜檢查等可於線上完成之相關工作。
2. 重大維修(Heavy Maintenance)：指飛機需進廠執行之 B、C、D 級 check 等各項檢修。
3. 發動機維修(Engine Repair)：指將飛機上的發動機拆下進廠方能執行之各項檢修。
4. 零組件維修(Component Repair)：係指一般相關系統零組件之維修。
5. 機體及發動機零組件翻修(Airframe & Engine Component Repair)：係指機體的結構組件與發動機零組件的檢修。
6. 飛行組員訓練(Flight Crew Training)：指包含駕駛艙飛行員(Pilot)與客艙組員(Cabin Crew)相關之訓練活動。
7. 機場與航路服務(Airport/Route Infrastructure Service)：指飛機於機場與航路所接受相關導航、管制等活動。
8. 二手機交換市場(Used Aircraft Market)

在航機的維修概念(Maintenance Concept)方面，依據其零組件裝備之重要性、可靠性及結構因素而分為：

1. 定期維修(Hard Time, HT)：規定一定期間拆解維修發動機或飛機組件，或更換其零組件；包含於翻修工程(Overhaul)之中
2. 視情況維修(On-Condition, OC)：定期檢測，不良處更換零件或維修；適用機身結構、次系統、組件
3. 情況監視(Condition Monitoring)：非定期檢查或維修，隨時解析檢討不良狀態相關資訊並處置；適用與飛安無直接關聯之零組件

航機的維修/維護作業，對於航空器維修工作等級如下表所示：

表 1.2 航空器維修工作等級

線上維護	日常檢查、飛行前後檢查、過境過夜檢查
場站維護	時距較低之定期維護檢查(A、B check)與飛行中發生之故障判斷及修理工作、部份附件拆換工作
工廠維護	時距較高之定期維護檢查、全機校正、各系統功能測試、結構件拆換
附件翻修	附件及零組件拆下分解、清洗、檢查、換件、組合、試驗台功能檢測
改裝或性能提升	客貨機改裝、延長使用年限、提升性能

資料來源：本研究整理

依此維修工作區別等級，其中於本研究所考量之改裝工程，屬於作業難度最高的改裝及工廠等級之作業層級，而為改善隨機齡增加之使用成本支出所進行之翻修工程，其中最主要的發動機翻修作業則屬最大重度維修等級，包括發動機各次系統的完全拆解及耗材更換，以及清潔與材料裂紋及尺碼檢查等非破壞性檢驗，和組裝完成之靜、動態平衡與軸承壓力承受檢查等等，亦為作業難度最高之工廠等級之作業層級，且亦為本研究中所考量翻修工程之工作層級。

大型翻修之零件成本支出方面，發動機為最主要之項目，約佔民航機維修費用 30%~33%之間，發動機維修工作等級如表 1.3 所示，而發動機維修之技術，對於原製造廠而言，由於擁有技術資料與配適之拆裝工具、設備及人員而非難事，但對於航機使用公司而言由於各廠之發動機技術構造不甚相同，且牽涉不同之製造廠及維修技術之複雜度，因此建立專業維修能量實屬不易。

航機的維修/維護作業，對於發動機維修工作等級如下表所示：

表 1.3 發動機維修工作等級

線上維護	翼上維護檢查、外罩、進氣道、滑油過濾
有限重度維修 (場站維護)	發動機拆卸、模組更換、熱段檢查、重要零件更換；修理限於鉚丁、無塗層之翼形面打磨
主要重度維修 (場站維護)	模組之再分解、軸承及其它重要附件之更換
最大重度維修 (翻修；Overhaul)	模組完全分解、所有零件更換 執行項目：清潔、裂紋檢查、尺碼檢查，靜、動態平衡、加工、軸承壓力檢查等
有限零件修理	有限度之零件手工修補、焊接、低溫表面噴塗
主要零件修理	機械加工、零件修改、電漿塗層、電鍍、硬焊、熱處理、氣密封環、橡膠等修理工作
最大零件修理	專業及專利關鍵零組件修理(例如葉片)
附件翻修	發動機精密附件修理(如齒輪箱、燃油磊、控油器)

資料來源：工業技術研究院 IEK 中心、本研究整理

過去有關航空公司機隊管理及運量調度之文獻著重於機型之選擇與航線之指派、頻次變動與整體營運之影響、共用班表及策略聯盟等，機隊汰換則以購買新機、淘汰舊機、乾/濕租以及停租之決策為主。Lohatepanont and Barnhart (2004) 的研究以航班縮減之決策觀點，探討可重新掌握之旅客量以及航班機型指派上規模經濟性之影響程度，及因此改善之作業成本與整體營運效率之改進。Wei and Hansen (2005) 的研究以航機機型大小與航班頻次之抵換關係，探討航空公司於市佔率及營運利潤之考量條件下之機型與頻次之影響，並以實務上所存在之現象得知其於雙佔市場中之影響。Evans (1988) 和 Van Hilten (1991) 以及 Jin and Kite-Powell (2000) 等學者分別以經濟效益及利潤最大化之觀點，決定航機之最佳使用年限與汰換時程及考量最佳利用率之購買新機與淘汰舊機對機隊利用情況之影響。Gritta et al. (1994) 以及 Oum et al. (2000) 由經濟觀點分析機隊建置之購買及租賃之比率關係，分別由短期租賃對公司資產負債影響的財務觀點，與購買之

高成本與租賃之高彈性間之抵換關係，尋求最佳購買及租賃之航機數目。生命週期之研究應用則廣泛分佈於各類運具，Spitzley (2005)以美國本地車輛的汰換年限為研究對象，並由擁有者的成本花費及污染排放成本兩觀點探討車輛生命週期的最佳化，其中成本花費的部分包括折舊、財務、保險、油耗、日常維護及損壞修復等，並總和由第一年開始逐年之成本花費並形成以年份為基軸之成本線，由成本面之因素探討最適當之汰換時程。

綜上，過去關於機隊規劃議題少有航機改裝相關決策之考量，因此有異於過去之研究，本研究提出客機轉換為貨機之改裝作為航機決策上之關鍵變數，相較於過去之新購/汰換、租賃/停租之機隊內部運量調度決策，就過去少見探討而於實務決策面漸形重要之改裝決策，構建合於現實考量且兼具運量調度靈活性並符合未來產業發展趨勢之決策式，以期達成營運效益最大化之目的。再援引生命週期模式之概念，針對有異於過去研究之個別航機觀點，建立應用此模式之架構。

1.2 研究目的

航空產業經營面之榮枯與國際以及各國之經濟景氣發展之間具極大相關性，而航空貨運及客運分別受經濟景氣起伏之影響具有時間以及需求量上之落差，再加上近年來航空貨運之需求量及單位運送價格逐漸高漲兩項因素影響下，兼營貨運與客運業務之民間航空業者為獲取最大利潤，必定以對未來預估之需求為基準，調度本身客運與貨運機隊運量之配置，以期於客運及貨運需求成長幅度出現落差之特定期間，配合貨運需求成長常為景氣成長先行指標之特性，以最適當之機隊運量配置為航空公司創造最大利潤。本研究之目的即為針對景氣成長狀況下航空公司所面臨之機隊規劃時程問題，並考量航空公司現有機隊之配置情形，建立一套模式以決策航空公司機隊最佳之改裝時程。

本研究首先由景氣成長期間航空市場貨運需求量著手，由灰色預測 GM(1,1) 模型，對目標航空公司所處市場預測未來貨運需求量資料，再對比與依同樣方式所預測未來客運需求量間之落差，並運用馬可夫鏈作轉移機率分析，根據過去不同時刻及狀態間的轉移機率，預測未來所處時刻之狀態及可能發生機率，以期更精確對未來預測需求量做修正以提高預測量準確度。

本研究同時考量航空公司各項經營成本、現有機隊組成及使用情況、目前使用情況對應現實景氣情形下之收益、進行改裝及租賃之成本等等航空公司經營狀況及影響因素，以及考量機隊中航機存在個別使用情況、容量及機齡之情形下，建立一系統化模式以評估機隊航機使用效益，並用以預測未來需求量之波形變化及時程，以決策最佳之航機改裝時程。

本研究所考量航空公司因應景氣成長期間貨運需求相較客運需求增加較早

且幅度較大之情形，依據航空公司現有機隊航機之利用情況，以改裝現有客機為貨機之方式因應，以獲取研究目標期間之最大利潤，並參照過去相關研究中短期租賃之方式，將二者之運量獲取成本對應已知關於需求量成長幅度及期間之預測，做為決策進行改裝時的對應機會成本，並以求取最佳改裝時程為本研究主要研究目的，另再考量改裝工程中所包含將舊有航機翻修之項目，而將翻修於營運成本之節省改善幅度一併納入改裝決策考量。

本研究模式先以航空公司機隊系統化之營運成本以及現有機隊情況做成本考量，再依據已知對未來貨運需求量預測依照景氣情況劃分為數個時區，以航空公司機隊運量配置符合貨運景氣先行成長之情況下，以最大化航空公司整體機隊營運效益為目標，建立動態規劃數學模式。於本研究之實務應用方面，本研究之結果可作為航空公司於貨運需求大幅成長情形下之機隊規劃選擇改裝之依據，並藉由個別航機之生命週期模式顯現過去利用情形及應對未來景氣而改裝與否之效益改善程度，亦可供飛機租賃公司作為舊機購入改裝再利用之評估基準，或提供專業飛機改裝公司作為評估改裝需求量而擴建改裝能量之參考依據。

本研究之研究目的再具體條列目標如下：

1. 建構航空貨運及旅客需求量預測模式，由灰色預測 GM(1,1)模型對未來需求量之預測資料，分別就航空貨運需求量及航空旅客需求量資料做出預測，並根據二者依照景氣循環波形變動所形成之需求量成長幅度落差，將總預測時段劃分為數個景氣時區。再由灰色預測結合馬可夫鏈預測模型，即由其預測之每個時刻再劃分成數個狀態，且仍以灰色預測之結果為中心點並設定狀態上下界，以狀態間轉移機率矩陣向量和計算所預測時刻之狀態，以提高預測精確度。
2. 建構航空公司營運效益模式，由之前所劃分之景氣時區，配合各時區隨所處時間變動之機隊航機機齡、各機隊機型數目與其對應運量、作為客機或貨機之使用狀況等等現有機隊組成情況，由包含變動與固定成本等直接與間接營運成本項建構，並納入本研究探討之改裝成本，及考量機型大小於改裝成本之差異，以及改裝工程所包含舊機翻修項目，而於營運成本上產生節省改善之部分納入考量，另再加入過去研究曾探討之航機租賃成本作為與改裝決策比較運量取得成本之對照，作為該時區客貨運景氣成長落差幅度是否達到執行改裝之條件依據。再由預測之需求量及航空公司現有機隊組成之運量二者配合情形建立預期營收，則由營運成本及預期營收結合為各時區現有機隊營運效益，並建構出航空公司依照其機隊狀況及預測時區之未來客貨運成長需求落差幅度之各種配合狀況下，航空公司的改裝時程動態規劃數學模式。
3. 建立機隊航機改裝決策，將航空公司現有客機機隊之機齡、容量利用率等影響作為客機使用效益，包含預期收益及營運成本之因素模式化，建立決策條件式以作為改裝決策時對現有機隊航機評估比較評分基準，即為改裝現有機隊航機之改裝條件判斷式。再以航空公司滿足貨運成長需求之目的，而建構以進行

改裝航機所新增貨運運量須滿足貨運成長需求量之數學條件式。

4. 個別航機改裝期限決策，長期以來航空公司對於老舊客機進行改裝為貨機一直都是延續航機使用效益及回復其使用價值之方式，即使不因貨運大幅成長因素而進行改裝，也將因其機齡漸增而達到須進行改裝之機齡，以最大化其到達最大使用年限前之使用效益，而過去研究鮮少就此議題探討，本研究由期望個別航機營運效益最大化觀點，對個別航機由作為客機與貨機使用狀況之營運效益比較，建立對應個別使用情況航機之改裝年限門檻。
5. 建構航機生命週期模式，由過去相關生命週期之研究，多由靜態方式表示未來按時間演進而可預期之各項成本或效益增減，本研究由前述之需求預測結合系統化之營運效益模式，對個別航機透過改裝改變使用情況之進行時程，以動態數學規劃方式呈現隨機齡增加及使用狀況變化而變動之營運效益，並對應預期未來景氣變化情形而以生命週期模式呈現改裝與否於營運效益改善程度之差異。
6. 結合以上模式建立航空需求量預測及航空公司動態連續性之機隊航機改裝時程決策，由各個時區間航空公司機隊狀態與決策結果延續影響下個時區之營運成本及預期營收等整體效益，由時區間前後遞迴影響串連整體模式之動態續性，並再考量預期需求量與實際需求量間不同波動情況之誤差懲罰，以此機率性動態決策模式，尋求航空公司為達機隊效益最大化，而於該時區決策機隊航機改裝時程之依據。
7. 實證分析，由前述方式，藉由蒐集實務上航空公司於機隊組成及各項收入、成本及機隊航機相關之參數資料，以及實務上航機改裝工程以及作為對照之租賃相關成本，藉實務數據進行之實證分析驗證本研究模式之可行性，並針對模式中主要成本變數進行敏感度分析，以探討本研究模式之應用性。

1.3 研究範圍

近年來在世界景氣的穩定復甦下，加之中國大陸經濟強勢成長並成為世界工廠之趨勢，運輸業近年來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，然而二者之景氣循環，存在時間與數量上之落差。此外，事件的發生對短期營運而言有決定性的影響，例如近年來的 SARS 事件以及美西大罷工，分別對客運以及貨運有不同程度的影響。值此趨勢下，航空公司為因應整體景氣的復甦以及客/貨運景氣循環落差，檢視機隊組成以及個別航機營運效益，並據以做成運量調度及採購汰換的決策已形成所須面對的重要課題。

依世界貿易組織(World Trade Organization, WTO)服務業貿易總協定(General Agreement on Trade of Services, GATS)對於空運服務業之分類，由 WTO

分類清單(W/120)資料將空運服務業分為五部分：

1. 旅客運輸 (passenger transportation)
2. 貨物運輸 (freight transportation)
3. 租賃航空器含機組員 (rental of aircraft with crew)
4. 維修航空器 (maintenance and repair of aircraft)
5. 空運支持服務業 (supporting services for air transport)

在航空產業之分工模式中，就飛機製造流程而言，航機製造公司如波音及空中巴士等，擔負機型概念開發、系統先期設計、後期系統整合及行銷業務等工作，而各次系統工程則轉包上游各次系統及零組件廠商分工生產，整個上下游的生產製造組裝部份以原始設計製造(Original Design Manufacturer, ODM)、專業代工(Original Equipment Manufacturer, OEM)方式製造並分為四個層級，第一層級總組裝為各製造大廠核心業務，第二層級為各次系統與裝備組裝，第三、四層級以零組件製造為主，形成緊密的上下游製造體系，而這條飛機生產供應鏈的終端客戶就是實際操作使用的航空公司。

實際操作飛機之航空公司及其相關支持產業即為空運服務業之範圍，除航空公司使用航機作為客運與貨運之運輸營運用途外，亦包含各項周邊產業如以航機及飛航組員為資產而經營租賃業務之產業、專職維修之航空公司附屬工廠或區域維修中心、擁有原廠授權及技術支援進行航機客運與貨運不同用途改裝之專業工廠或公司、以及地面各項航站與後勤服務系統等等，就航空公司而言，其所擁有之機隊即可視為公司生產工具，因此對生產工具做最有效的應用即為增加航空公司整體營運效率之最主要方式，本研究即對目標航空公司所在區域之航空運輸景氣背景下，對其擁有之客運及貨運兩方面之機隊組成進行變動以求取其整體使用效益上之最大化，並可進一步利用檢視設備生命週期之方式，分析個別航機藉由改裝而改變其使用狀況後，對航空公司營運上之實質效益。整體航空運輸服務業上下游之產業關係如圖 1.1 所示。

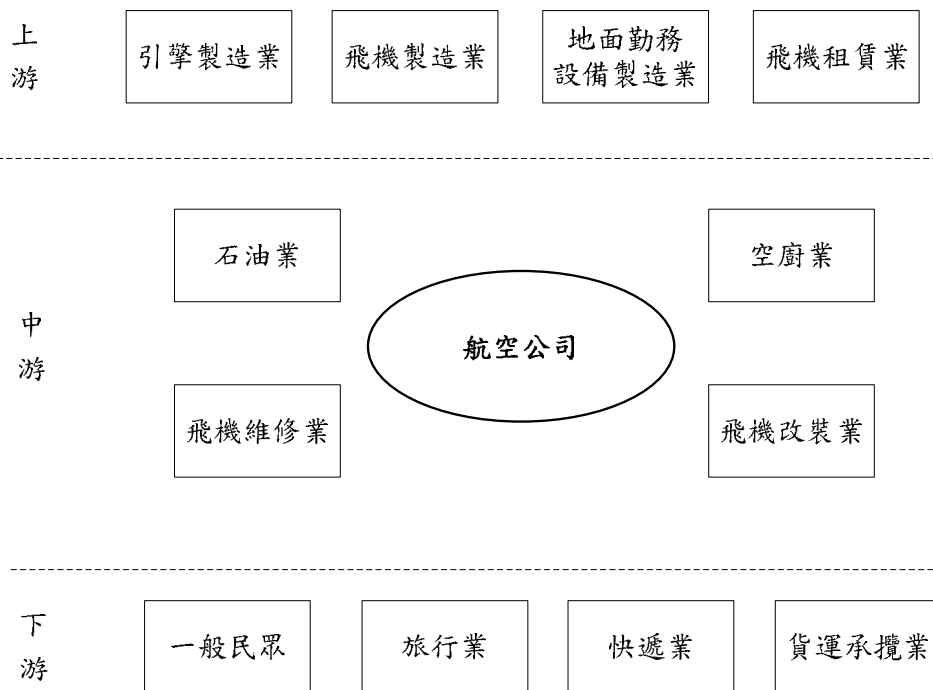


圖 1.1 航空運輸服務產業關係圖

資料來源：本研究整理

在航空公司的機隊建構方面，大致分為客運機(Passenger)、貨運機(Freighter)、客運兩用機(Combi)三種類型，由於早年航空成本高昂及高價值貨物較少，因此採用較多的客運及客貨兩用機，而以客機機腹空間可滿足包括郵遞在內的大部份快速貨運需求，而隨高時間價值貨物及跨區運輸需求的增加，航空公司對於採購全貨運機以滿足運量需求的動作也愈發迫切，但由於新機訂單製造排程耗費較長的等待時間，而使飛機改裝廠逐一成立以滿足區域性需求，此類改裝廠成立方式大都分為兩類，其一是由航空公司維修工廠加強維護及改裝能量所獨立出來，另一種則是由地域性相關之航空公司結合或與原廠合資成立之改裝廠，以彌補大型飛機製造廠商所不足的改裝能量並滿足區域性的改裝需求，另一方面也承接原飛機製造廠的特殊改裝方案，並作為整合各次系統的系統整合使用。本研究是以航空公司機隊為研究對象，因應當時航空運輸景氣下，以機隊整體效益最大化為目標之相關機隊規劃研究，如圖 1.2 所示。

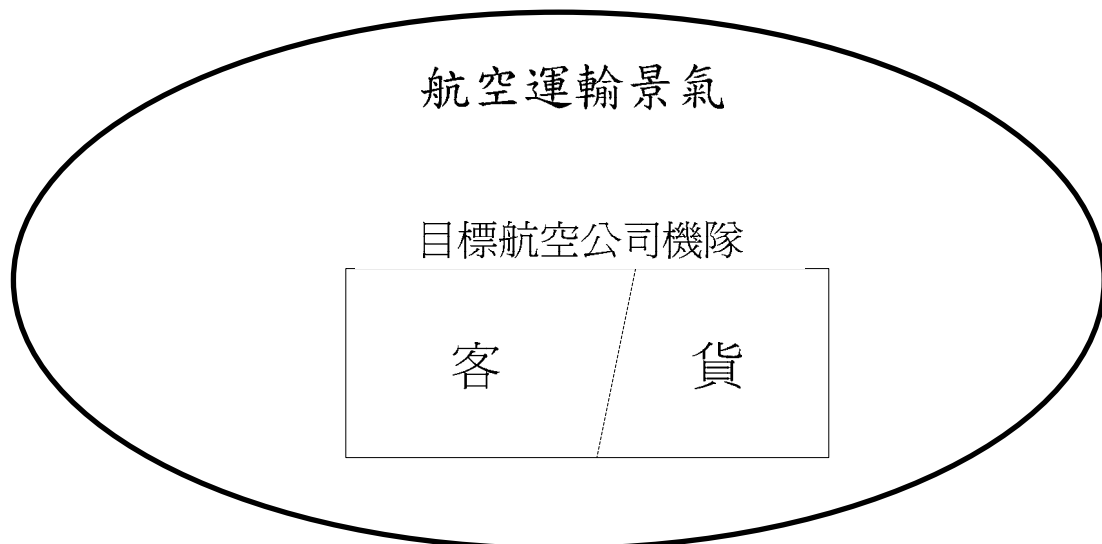


圖 1.2 航空公司機隊運量調度示意圖

1.4 研究流程與架構

本研究流程如圖 1.3，首先針對航空公司機隊規劃與其應用方法做完整的文獻回顧，並對實務上進行改裝之各種項目與細則，如：工期長短、成本支出、與新購航機的優劣比較、成本改善程度等。再由航空景氣預測結合馬可夫鏈預測未來需求資料，並結合考量各項營運成本及預期收益之營運效益模式，而於本研究中釐訂改裝決策於航機成本支出及預期營收項之變動影響，並根據變動影響建立本研究之研究架構，其中並由建立之航機改裝時程動態規劃模式對個別航機建立航機生命週期模式，以營運效益建立針對個別航機隨機齡與使用狀況改變而變化之模式，最後進行範例分析與敏感度分析以驗證本研究模式之可行性與應用性。

本研究以劉素妙(2002)的研究中所建構的航空公司動態機隊規劃模式為基礎，建立每個決策時區的是否進行改裝以及選擇進行改裝航機之決策，並由客、貨機於實務上之不同特性，參考前述經由文獻回顧所釐訂之各項成本函數，進而構建新成本函數項及決策式，並希冀進一步結合前述文獻所構建之每個決策時區所原有的四項決策(新購、淘汰、新租、停租)，形成一完整機隊規劃決策之研究。

本研究之架構如圖 1.4，由各項成本、營收及決策項皆隨時間而逐期變動之觀念，分別建構航機於各時區內之預期營收、營運成本，並加入對客運機與貨運機不同特性之考量，並更進一步建構航機改裝時程決策變數，與預期營收及營運成本項之關係，以營運效益為考量，以改裝於航機營運效益之改善值作為決策依據，並綜合對預期營收及營運成本之影響及對於客運與貨運機不同特性，以及工程進行時無營收而僅有成本支出與機會成本之考量，以期得出營運效益最大化之

航機生命週期模式。在航空公司營運成本方面可分為直接營運成本與間接營運成本，間接營運成本為包含行銷、人事管理、旅客服務等，與經營航線不直接相關而屬支援性質，與所服務之旅客量或處理之貨物量正相關，而直接營運成本為包含航機油耗、機組人員、地勤作業、機場使用費、維修之變動及固定成本等成本項，並依據客、貨機之特性不同而分別建立，結合營運成本及預期營收項即為一系統化之各時區機隊營運效益模式。

而在決策函數中，由是否改裝工程為起始決策考量，並結合預期未來經濟面景氣變動影響運量需求而使預期營收變動之上下波動情形，再以前後時區由決策產生形成之動態遞迴影響，對決策發生點當下所在之時區及其下個時區形成多重面向之決策考量。再運用改裝航機數目與選擇條件判斷式選擇可符合運量條件與營運效益改善之航機組合，建立該時區航空公司機隊航機改裝時程決策，並由決策結果與下一時區航機機齡增加因素結合，成為下一時區航空公司客/貨運機隊組成。



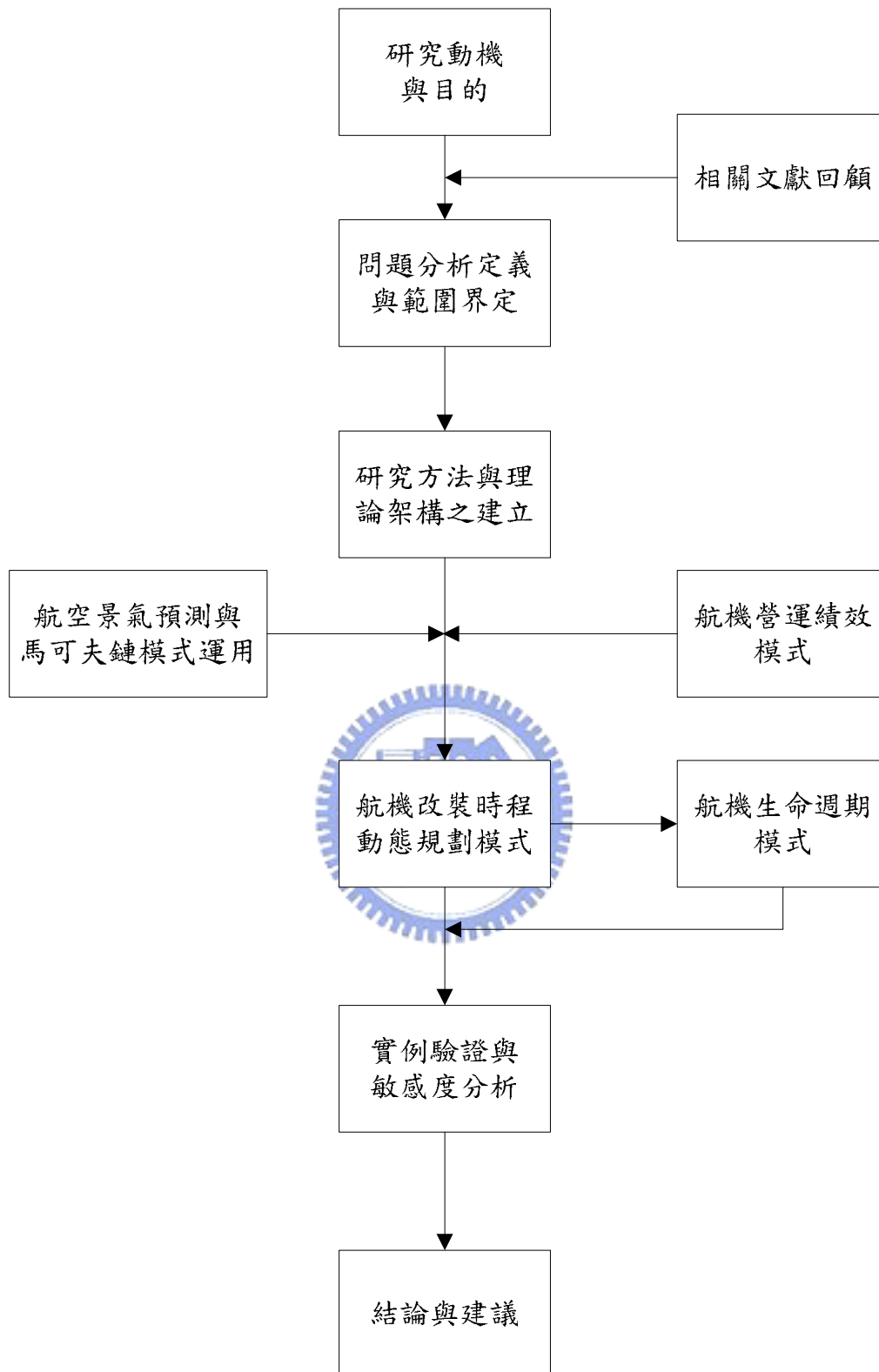


圖 1.3 研究流程圖

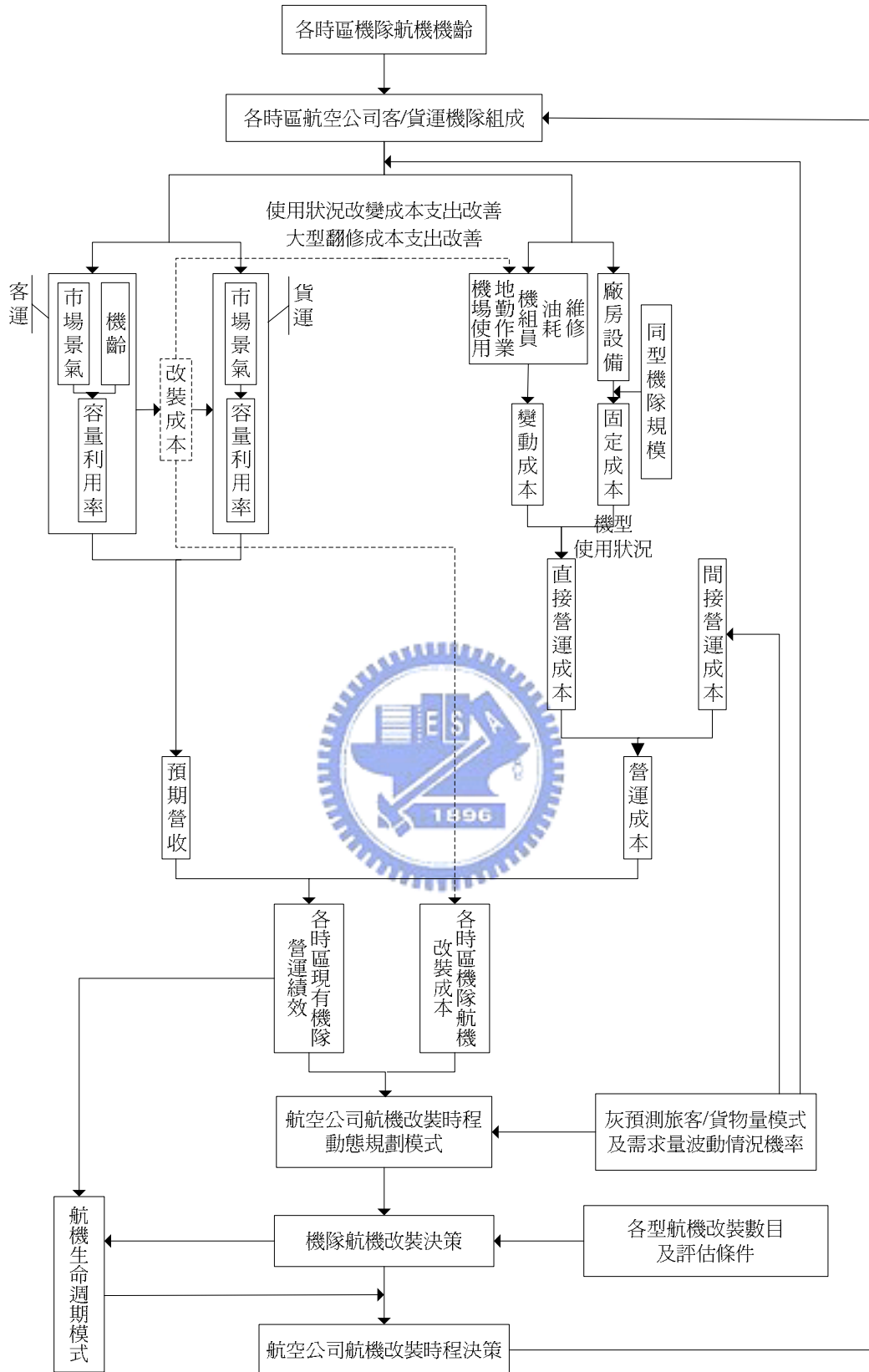


圖 1.4 研究架構圖

第二章 文獻回顧與探討

本研究主要探討在航空市場中，航空公司因應市場經濟面的循環所造成景氣波動，以及客、貨運景氣循環特性形成兩者景氣循環落差之情況下，由航空公司決策依據機隊中各航機之營運效益為考量基準，尋求營運效益最大化之決策以達成最佳運量調度之目標，並配合動態規劃(Dynamic Programming)模式，反應機隊規劃模式具有時間上前後時區間，決策行為具有時間遞迴相互影響之關係。在文獻回顧的部分，將分為四個部分說明：2.1 灰色預測模式及馬可夫鏈預測 2.2 航空運量預測研究 2.3 機隊規劃相關研究 2.4 機率性動態規劃相關研究 2.5 生命週期模式相關研究。

2.1 灰色預測模式及馬可夫鏈預測

本研究於旅客/貨物需求運量之預測模式，以 2.1.1 節灰色預測模式、2.1.2 節馬可夫鏈預測說明。

2.1.1 灰色預測模式

本研究為精確預測航空客/貨運之未來運輸需求量，先以灰色理論模式預測構建預測需求變化趨勢之航空旅客/貨物需求預測模式，再結合馬可夫鏈轉移機率分析以提高灰色模式預測之精確度。第一部份的灰色預測理論不直接對原始數列建構預測模式，而是將原始數列以累加生成(Accumulated Generating Operation, AGO)運算構建模式，由灰色理論假設任何隨機過程都是在一定幅值範圍與時間區間內變化的灰色量之灰色過程，即稱為隨機過程，將原始離散不規則之運量數據，經累加生成過程後成為指數規律數據，再建立微分方程並以最小平方方法求解，之後反向以累減生成(Inverse Accumulated Generating Operation, IAGO)方式還原，構建灰色 GM(1,1)數列預測模式。灰色理論經證明以超過 4 筆歷史數據資料即可構建模式，亦即滿足數據強度(potency) ≥ 4 (Deng et al.,1988)。因此可以較少量之數據進行數列生成、數列預測、數列還原以獲得預測結果，其預測之操作過程如下(鄧聚龍,1999)：

1. 取得一二維平面上之數列 $X^{(0)}$ ，數列中每個 X 軸座標都有相對之 Y 軸座標值，而同一 Y 軸座標可能會對應到多個 X 軸座標值，以 k 表示同 Y 軸座標值所對應的 X 軸座標值之順序編號，則 $x^{(0)}(k)$ 即為該 Y 軸座標值所對應之 X 軸座標值。將所有對應到同一座標值之點集合 $[k, x^{(0)}(k)]$ 在平面上繪製成一條曲線 $X^{(0)}$ 。
2. 在 Y 軸取數個固定參考值 $\zeta_i, i=1,2,\dots,m$ 。且數列 $X^{(0)}$ 中最大值为 $MaxX^{(0)}$ ，

最小值為 $MinX^{(0)}$ ，則

$$MaxX^{(0)} = Max_k \{X^{(0)}(k)\} = Max\{X^{(0)}(1), X^{(0)}(2), \dots, X^{(0)}(n)\} \quad (2.1)$$

$$MinX^{(0)} = Min_k \{X^{(0)}(k)\} = Min\{X^{(0)}(1), X^{(0)}(2), \dots, X^{(0)}(n)\} \quad (2.2)$$

$MinX^{(0)} \leq \zeta_i \leq MaxX^{(0)}$ ， $\forall i \in (1, 2, \dots, m)$ ，即如前文所述表示所取得之固定參考值 ζ_i 必定介於數列 $X^{(0)}$ 之最大值 $MaxX^{(0)}$ 及最小值 $MinX^{(0)}$ 間。

3. 找出對應每個固定參考值 ζ_i 之 X 軸座標，即 $\zeta_i : \{X^{(0)}\} \rightarrow \{mt_i^{(0)}\}$ ，則 $mt_i^{(0)}(k)$ 即為水平線 ζ_i 與曲線 $X^{(0)}$ 相切之第 k 個座標值，如此所有 X 軸座標值即可形成一集合為 $P : \{(mt_i^{(0)}(k), \zeta_i)\} \rightarrow \{mt_i^{(0)}(k)\}$ ， $k = 1, 2, \dots, n_i$ ，而 $mt_i^{(0)} = \{mt_i^{(0)}(1), mt_i^{(0)}(2), \dots, mt_i^{(0)}(n_i)\}$ 。

4. 由每個固定參考值將對應到一組有 i 個 X 軸座標值的集合 $W_i^{(0)}$ ，配合以上之座標集合可表示為 $mt_i^{(0)}(k) = W_i^{(0)}(k)$ ，而 $P(mt_i^{(0)}(k), \zeta_i) = W_i^{(0)}(k)$ ，因此 $W_i^{(0)} = \{W_i^{(0)}(1), W_i^{(0)}(2), \dots, W_i^{(0)}(n_i)\}$ 。則 $W_i^{(0)}$ 表示一組 X 軸座標值的集合，而該組 X 座標值所對應到 Y 軸的值即為固定參考值 ζ_i 。

5. 對每組 X 軸座標集合 $W_i^{(0)}$ 進行累加生成 AGO，則可得一新生成數列 $W_i^{(1)}$ ，記為 $AGO : W_i^{(0)} \rightarrow W_i^{(1)}$ 。再對每組新生成的數列 $W_i^{(1)}$ 做 GM(1,1) 建模，即為 $GM : W_i^{(1)} \rightarrow \widehat{W}_i^{(1)}$ 。

6. 對生成建模所得之模式以反向做累減生成 IAGO 以得到預測模式。由前一步驟對原始數列 $X^{(0)}$ 取固定參考值 ζ_i ，且對固定參考值所對應之 X 軸座標值集合進行生成、建模等步驟所得出之模式 $\widehat{W}_i^{(1)}$ 如下

$$GM \cdot AGO \cdot P \cdot \zeta_i (\{X^{(0)}\}) = \widehat{W}_i^{(1)} \quad (2.3)$$

接著對前一步驟之生成建模模式 $\widehat{W}_i^{(1)}$ 進行累減逆生成，所得出之結果 $\widehat{W}_i^{(0)}$ 即

為灰色理論模式預測對固定參考值 ζ_i 之預測模式，如下所示

$$IAGO \cdot GM \cdot AGO \cdot P \cdot \zeta_i \left(\{X^{(0)}\} \right) = \widehat{W}_i^{(0)} \quad (2.4)$$

7. 以之前取得的每個固定參考值都有一個預測模式，運用累減生成所產生之預測模式，找出對應 Y 軸座標為固定參考值 ζ_i 時，對於 $i=1,2,\dots,m$ 的 X 軸預測座標值形成一集合，可表示為

$$\widehat{W}_1^{(0)}(n_1+1), \widehat{W}_2^{(0)}(n_2+1), \dots, \widehat{W}_m^{(0)}(n_m+1) \quad (2.5)$$

其中預測值 $\widehat{W}_i^{(0)}(n_i+1)$ 即表示於第 n_i+1 點，其 X 軸座標所對應之 Y 軸座標固定值為 ζ_i ，且該點與原點之距離為 $\widehat{W}_i^{(0)}(n_i+1)$ ，因此於二維平面座標為 $(\widehat{W}_i^{(0)}(n_i+1), \zeta_i)$ 。

8. 將所有對應 Y 軸參考值 ζ_i 之 X 軸預測座標值在二維平面上連結成一條曲線 $\widehat{X}^{(0)}$ ，這條曲線即為預測曲線，如下所示

$$\widehat{X}^{(0)} = \left\{ \left(\widehat{W}_i^{(0)}(n_i+1), \zeta_i \right) \mid i=1,2,\dots,m \right\} \quad (2.6)$$



2.1.2 馬可夫鏈預測

應用馬可夫鏈預測之對象為隨機變化之動態系統，其理論基礎即為馬可夫過程。一個 n 階馬可夫鏈乃由 n 個狀態集合及一組轉移機率所決定，該過程在每一時刻只能處於一種狀態，而根據不同時刻各個狀態間之轉移機率可預測此系統未來之變化，即由過去於不同時刻及狀態間之轉移機率，預測該系統未來時刻所處狀態及每個狀態可能發生機率。由於狀態間之轉移機率反應了各種隨機因素影響程度，故馬可夫鏈預測模式藉此特性即可處理數據隨機性之問題。

以灰色預測 GM(1,1) 模式結合馬可夫鏈預測模式的應用方式，田自力(1995)利用於對 GNP 做預測，結果顯示先以灰色預測模式對目標做預測得出初步預測結果，再以馬可夫鏈模式的轉移機率反應各種隨機因素影響程度對灰色預測模式作校正，以此方式可提高所獲得的最後預測結果準確度。本研究以灰色模式預測模式對航空旅客/貨物運輸需求量的變化趨勢求得初步預測結果，再利用馬可夫鏈作轉移機率分析作校正以獲得最後預測結果。藉由結合灰色模式預測及馬可夫鏈預測模式可提高經由灰色模式預測結果之準確度，並更精確預測出未來的航空旅客/貨物運輸需求量及經濟景氣狀況。

有關本研究馬可夫鏈預測模型之操作步驟如下：

1. 狀態劃分

以前一步驟由灰色模式預測所建立之 $\widehat{W}_i^{(0)}$ 模型在時刻 i 所預測之結果為各狀

態之中心點，並取 $\widehat{W}_i^{(0)}$ 適當百分比作為每個時刻各個狀態之上下界，將灰色模式預測模型中每個時刻劃分成多個不同狀態。若將每個時刻各個相同狀態邊界連結起來，則可得出近似平行於灰色模式預測模式之函數曲線，而每兩條相鄰曲線間之區域即構成一個狀態區間，依此狀態區間即可判定每個時刻之灰色模式預測結果所處之狀態。

2. 建立狀態轉移機率矩陣

先將狀態轉移機率記為 $p_{ab}^{(m)} = \frac{M_{ab}^{(m)}}{M_a}$ ，其中 $M_{ab}^{(m)}$ 為狀態 a 經 m 步轉移到狀態

b 之次數， M_a 為狀態 a 出現之次數，因此 $p_{ab}^{(m)}$ 即表示由狀態 a 經 m 步轉移到狀態 b 之機率，則狀態轉移機率矩陣可表示為：

$$R^{(m)} = \begin{bmatrix} p_{11}^{(m)}, p_{12}^{(m)}, \dots, p_{1k}^{(m)} \\ p_{21}^{(m)}, p_{22}^{(m)}, \dots, p_{2k}^{(m)} \\ \dots \dots \dots \\ p_{k1}^{(m)}, p_{k2}^{(m)}, \dots, p_{kk}^{(m)} \end{bmatrix} \quad (2.7)$$

此狀態轉移機率矩陣 $R^{(m)}$ 反應了數列中各狀態間的轉移規率，而狀態轉移機率 $p_{ab}^{(m)}$ 則反應了由狀態 a 經由 m 步轉移到狀態 b 的機率，即為馬可夫機率矩陣預測基礎。

3. 利用轉移機率矩陣製作預測表

選取離預測時刻最近之 r 個時刻，按照距離預測時刻由近至遠，定義對應之轉移步數為 1, 2, ..., r。在各轉移步數所對應之矩陣中，取各起始狀態所對應之列向量組成新的轉移機率矩陣，再對此新的轉移機率矩陣之行向量求總和，取總和最大之行所對應之狀態即為預測時刻之狀態。

4. 推算預測值

在前一個步驟決定了數列在未來時刻之轉移狀態後，就可確定該狀態區間之上界與下界，而最可能的預測值即為該區間的中點，即該區間上界與下界之平均值。

本研究即利用灰色理論預測模式，以 GM(1,1) 模型進行研究時程內各時程旅客/貨物運輸需求量的預測，再配合馬可夫鏈機率轉移模式，於兩相鄰時程間，預期旅客/貨物運輸需求量之波動狀況配對發生之機率。

2.2 航空運量預測研究

在航空客運量預測部分，過去已進行相當數量之研究，且其中大多以統計分析、迴歸分析與計量經濟方法進行航空運量之預測，依據 Horonjeff and Mckelvey(1994) 對過去此類文獻所做之歸納，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)，及由人為因素之專家判斷(Professional Judgment)觀點，對未來之經濟發展趨勢形成之需求量做出判斷與修正。第二類為趨勢投影及推測法(Trend Projection and Extrapolation)，基本上仍以統計方法進行並應用線性、指數關係之推測方式做出預測。第三類為市場分析法(Market Analysis Methods)，以分群方式對使用航空運輸旅客依據社經條件之特性做市場區分，並以市場佔有率之方式預測航空運量。第四類則為最廣泛使用之計量經濟方法，利用過去旅客之資料配合多元迴歸分析方式進行預測，並解析影響運量之不同因素間之關聯。

另一項預測方式為利用灰色理論，Hsu and Wen(2000)之研究分別利用GM(1,1)、GM(1,N)分別進行時間數列及系統預測模式，由航空運量之灰色預測模式做初步運量預測，再以馬可夫鏈及殘差修正模式修正預測值，以提高預測精確性，結果並證實較之前廣為運用之迴歸分析及ARIMA模式更具預測精確性。

本研究採用灰色預測理論GM(1,1)模型，針對貨運及客運之未來需求成長進行預測，再運用馬可夫鏈模式根據由預測結果所劃分之各個時區狀態與時區間之狀態轉移機率進行修正，以求更精確預測未來需求量之變動。

2.3 機隊規劃相關研究



過去機隊規劃之相關文獻，大多為機隊與機型於航線上的指派問題，直運與轉運之路線選擇問題，以及考慮經濟、財務、技術、環境、管制及行銷等等因素下的機型選擇。本研究擬以航機生命週期結合航機創造收益及操作成本隨時間變化的觀念，對於個別航機建立生命週期模式，並以總合方式檢視航空公司機隊結構以做為航機營運決策模式。本研究分別由預期營收以及營運成本項切入，並同時將客運機及貨運機的不同特性納入考量。預期營收部份由外在環境與客貨運市場景氣分析客貨機容量利用率，考慮由於航機機齡，客運機容量利用率隨機齡增加而下降並被排入冷門時段，而使貢獻營收衰退之現象，進一步由貨運機營收不受機齡影響之現象，考量客機改裝貨機，航機預期營收曲線變動之最佳時程。在營運成本項中，由個別航機為考量出發點，首先以機齡增加影響成本項的遞增為變動成本的考量，如零件、工資等維修成本及額外油耗成本，結合固定成本，如維修廠房設備及用具器械成本，對個別航機的成本攤提以及同系列機型機隊之規模經濟性，並考慮不同機型以及客貨運機之間操作成本上的差異，結合兩部份成本為航機總成本項。進一步，以僅有成本支出而無營收呈現大型翻修及改裝時程隨機齡變化的成本，並相對反應在出廠後營運成本函數的下降及成本函數遞增率的減緩和成本函數值的改變。結合前一時區決策所形成本期起始狀態成本、本期決策所產生成本以及為配合下一時區預期景氣狀況之決策遞迴至本時區造成營運時間及營收與預期狀況發生誤差形成之懲罰值，三者形成本期總營運成本項，

結合由景氣波動循環之承載率及前一時區決策綜合形成本期預期營收項，即為目標航機於各時區之營運效益。本研究目標即為由預期營收及營運成本建構隨時間變動之航機動態營運效益，並以翻修及改裝時程結合航機生命週期之動態變化，尋求最大營運效益下之航機翻修、改裝及汰換之最佳時點。

機隊規劃之過去相關研究分為四部分：2.2.1 機型選擇相關研究 2.2.2 機型與航線配對研究 2.2.3 機隊飛機替換研究 2.2.4 機隊航機購買或租賃之數目決策之研究。

2.3.1 機型選擇相關研究

根據張有恆(1998)對航空公司機隊規劃研究之歸納，航空公司機隊規劃中關於機型選擇之主要因素包括技術、經濟、行銷、財務、管制及環境因素。而由張有恆與楊弘道(1996)之研究，機型選擇為兼顧航空公司、使用者與社會利益之前提下，由質化及量化之評估準則為評斷基礎，其中質化因素包括維修、未來消費者偏好、駕駛組員對機上系統適應性、機型可靠率、機隊經濟規模等因素，而量化因素則包括最大航程、噪音、機隊生產力、直接營運成本、飛機價格等。

王志青(1997)之研究則以航空貨運為對象，由運送過程中影響儲運成本之因素構建直運與轉運分別之成本函數，研究結果並顯示由航機航程與酬載之關係可得出在特定距離與流量下符合成本最小化之最適機型，另外並以流量臨界值做為貨運是否直運或經由空運中心轉運之標準。

2.3.2 機型與航線配對研究

機隊規劃中關於機型與航線配對，在過去文獻中多利用數學規劃之最適方法及解析性方法求解，Abara(1989)之研究即為首先引用整數規劃之求解模式求解機隊規劃問題，並反應不同機型對於營運利潤最大化、成本最小化、利用率最佳化等目標作最佳決策。

Moudani and Mora-Camino(2000)之研究應用人工智慧軟體求解這類問題，以營運管理成本為目標建立航機機型與航線間之動態指派模式，並證實此類解法可提高求解效率。

Barnhart et al. (1998)之研究同時考量航機航線指派及航機排班兩問題，將機隊飛機利用情況納入航機與航線指派問題及排班問題之中，此因單獨求解排班問題時，其前提是各航機使用率須假設為相同，但同時求解航機航線指派問題及航機排班問題時，機隊中個別飛機之利用率即可為變數。該研究模式利用此一概

念，將航機利用、航機航線指派、航機排班等問題結合與分開考量，做為不同決策條件時之依據。

Hane et al. (1995) 之研究以大型且多種商品之流量問題配合有時間限制之網路，在固定航班及機隊機型集合之前提下，規劃航空公司每日國內線班機之機型與航線指派，並運用多步驟方式對模式求解。其結果發現該求解方式較過去研究所得出之最佳解有 0.02% 的進步，顯示該研究之模式構建及求解發能有效求解此類大型整數規劃之機型與航線指派問題。

Powell and Carvalho(1997)之研究以網路流量問題之動態規劃觀點為基礎，將機隊多種機型視為傳統之多種商品網路配送問題，並以時間窗(time window)配合網路節點間流量的觀念，根據飛機各機型在各航線不同時間下之流量，探討航空公司在多種機型組合之機隊情況下，配合各時點及各航線之旅客需求量，將最適機型指派至各航線。研究結果顯示以該研究所構建之模式及求解法求解此類機型航線指派問題時，較過去之研究結果有 4%到 5%的進步空間。

過去此類航線與機型配對問題之研究，針對航線流量與機型承載量問題、不同機型對應各類目標式之最佳決策成本，以及最小化下之求解效率，本研究則以各種機型與航線航程配適作為機型應用之限制考量。

2.3.3 機隊飛機替換研究



在機隊飛機替換研究方面，Jin and Kite-Powell(2000)考慮機隊中飛機皆為最佳利用率之情況下，以利潤最大化為目標對購買新飛機和淘汰舊飛機作決策，目標模式中由特定時段內航空公司營運利潤及機隊航機總數隨時間變化為前提，並簡化各型飛機之設計及容量之因素，並假設景氣循環造成之運量需求變化之情形不存在，即假設需求球量為穩定，以達成航機運量利用率穩定之簡化條件，而結果顯示機隊中飛機利用情形對決策結果之影響。

此研究目標為求取利潤最大化，然依據此研究之假設，模式中之研究目標機隊設定為一隊機型、容量相同之航機，本研究則設定為依據實際情況中機隊之運作情形，航空公司機隊除依照使用狀況分為貨運及客運機隊，亦依據不同年份及機型而使目標機隊設定具有不同運量之設計，並進一步建立機隊航機清單。

2.3.4 機隊航機購買或租賃之數目決策之研究

過去關於機隊中航機購買與租賃獲取航機之比率問題多由財務與經濟觀點求解，如 Gritta et al.(1994)即以此觀點探討租賃飛機對於航空公司資產與負債影

響，結論顯示運用短期租賃方式獲得航機可提高航空公司之財務調動靈活度，但長期租賃將導致帳目上負債比率的增加。

Oum et al.(2000)之研究指出，航空公司在面對購買飛機之高成本及租賃飛機之高航機數與運量調度高靈活性之間存在之抵換關係，並以景氣循環為其決策要素，並加入航機租賃公司之觀點，由租賃之風險性探討受景氣循環影響之機會成本與航機租賃價格，其結果則顯示航空公司之航機租賃數目佔總機隊之比率以40%~60% 為佳。

劉素妙(2002)之研究以動態規劃時程，探討於各個景氣預測時區中航空公司機隊對應成本最小化之目標，由前一階段之機隊組成情況，以及各時區中所採行包含新購、汰換、租賃、停租等決策所形成之決策集合，其中並以航空公司機隊規劃須配合預期需求成長為考量，而進行新購或租賃航機數目之研究。

過去這類研究多以航空公司中客運機隊之機隊規劃為考量，而鮮少就貨運機隊之營運效益及航空公司對應貨運景氣，而就現有客運與貨運兩組機隊以改裝方式進行客運機改裝為貨運機之單向調撥運量之研究。本研究以動態規劃時程，探討機隊運用改裝進行機隊運量調度之情形及其效益，配合考量改裝與租賃貨機二種貨運運量獲得上之不同，且考量點為因應貨運運量之大幅成長期間，航空公司盡可能以現有機隊之貨運機隊部份滿足成長之貨運需求。

2.4 機率性動態規劃相關研究

動態規劃模式之觀念最早由 Richard Bellman 於 1955 年提出，為考量在一定時間長度下，因考量所做決策之決策成本隨時間變動而影響決策後之系統總成本並找出最佳決策，因此動態規劃為處理特定問題在特定時段上，於時點上具有先後順序之決策問題，又可稱多階段決策(multistage decision)問題。其作法是將原始問題分割為數個子問題或階段，將原本一個複雜的多決策變數問題劃分為多個不同階段的單一決策問題，將決策過程分散至各個子問題或階段，並在每個子問題或階段做成決策，經由系統性之逐步求解過程求得一組決策過程並達成原始問題之成本最小或效益最大化之目標，此方法特別適用於有求解順序相關之決策問題，並可節省大量計算時間。動態規劃可分為確定性動態規劃(deterministic dynamic programming)與機率性動態規劃(probabilistic dynamic programming)，確定性動態規劃為下一階段狀態是完全決定於目前階段的狀態與決策，而機率性動態規劃則不完全由現階段的狀態與決策決定下一階段狀態，而是存在一組機率分配以決定下個階段最可能發生之狀態及相對成本。

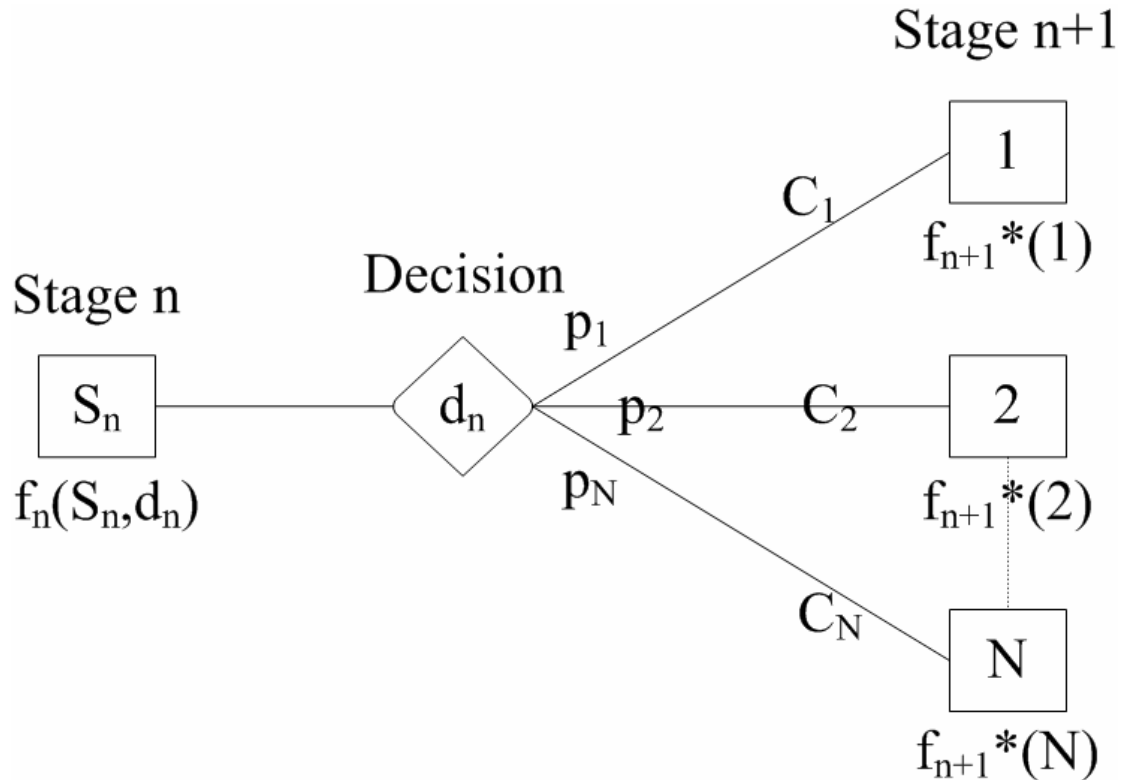


圖 2.1 機率性動態規劃問題基本結構圖

圖 2.1 為機率性動態規劃問題之處理流程，以階段流程方式處理原決策問題之後，方塊圖代表各個階段的系統狀態，其中的 S_n 即為階段 n 起始時之系統狀態，菱形圖代表在各階段所做的決策集合，其中的 d_n 即為在階段 n 時所選擇的決策組合， $f_n(S_n, d_n)$ 表示在階段 n 且起始狀態為 S_n 時，選擇 d_n 決策集合之後，在此階段結束時可獲得的最小期望成本或最大期望利益，而 $f_n^*(S_n)$ 即為選擇每種決策組合 d_n 所分別對應之最小或最大之期望值。

將階段 $(n+1)$ 所可能發生的起始狀態數目表示為 N ，則 p_1 、 p_2 、……、 p_N 為已知階段 n 之狀態為 S_n 且決策為 d_n 時，下一階段各種起始狀態 S_{n+1} 之出現機率分配， C_1 、 C_2 、……、 C_N 則為分別對應當階段 $n+1$ 時為第 1、2、……、 N 種狀態下，階段 n 所產生之對目標函數的貢獻值

Hartman(2001)之研究即以機率性動態規劃模式為基礎構建設備汰換決策模式，以動態規劃觀念將設備利用情況與營運狀況及顧客需求以一定的機率方式相關聯，並同時考量設備年資及累積使用情況，以最小化各時區決策期望成本為目標，而過去之資產設備汰換分析研究中，多假設在操作、維修、殘值等設備利用情形為固定或預先設定之情況以簡化問題，然而營運過程中如顧客需求量等等不確定因素皆對設備使用量產生影響，而使得實際設備使用量與預期排定之設備使

用情況不相符合，而使按照預期情況求解之資產設備汰換時程或購買或賣出決策產生錯誤。因此該研究提出以資產設備使用年資與累積利用情況為設備淘汰決策因子之觀念，以最小化每個時區期望成本為目標做設備汰換時程決策之最佳化，其模式構建如下：

$$f_t(i, j, u_{t-1}) = \min \left\{ \begin{array}{l} \text{keep: } \alpha \sum_{u_t=l_1}^{l_m} p(u_t|u_{t-1}) [C(u_t, i, j) + f_{t+1}(i+1, j+u_t, u_t)] \\ \text{replace: } P_t - S_t(i, j) + \alpha \sum_{u_t=l_1}^{l_m} p(u_t|u_{t-1}) [C(u_t, 0, 0)r + f_{t+1}(1, u_t, u_t)] \end{array} \right\} \quad (2.8)$$

$$f_T(i, j, u_{T-1}) = -S_T(i, j) \quad (2.9)$$

(2.8)式代表決策資產設備保留或汰換兩種狀態之目標式，其中 $f_t(i, j, u_{t-1})$ 代表該資產設備在時段 t 、使用年資 i 、累積使用率為 j 且在 $t-1$ 時區時資產設備使用率為 u_{t-1} 之情況下的最小化期望成本。(2.9)式代表在決策時區 T 結束時之期望成本，即為該資產設備在當下賣出所能得到之殘值。若於時段 t 決策保留該資產設備，則時段 t 之期望成本可由時段 t 與時段 $t-1$ 之利用率組合機率乘上當期與下一期之期望成本總合而得。而若決策結果為在時段 t 汰換該設備，則期望成本需由購買新設備之成本扣除舊設備淘汰時之剩餘殘值，再加上新設備購買後之期望成本總合而得。此兩項決策分別比較期望成本之大小，以期望成本較小者即為該資產設備決策保留或汰換之依據。

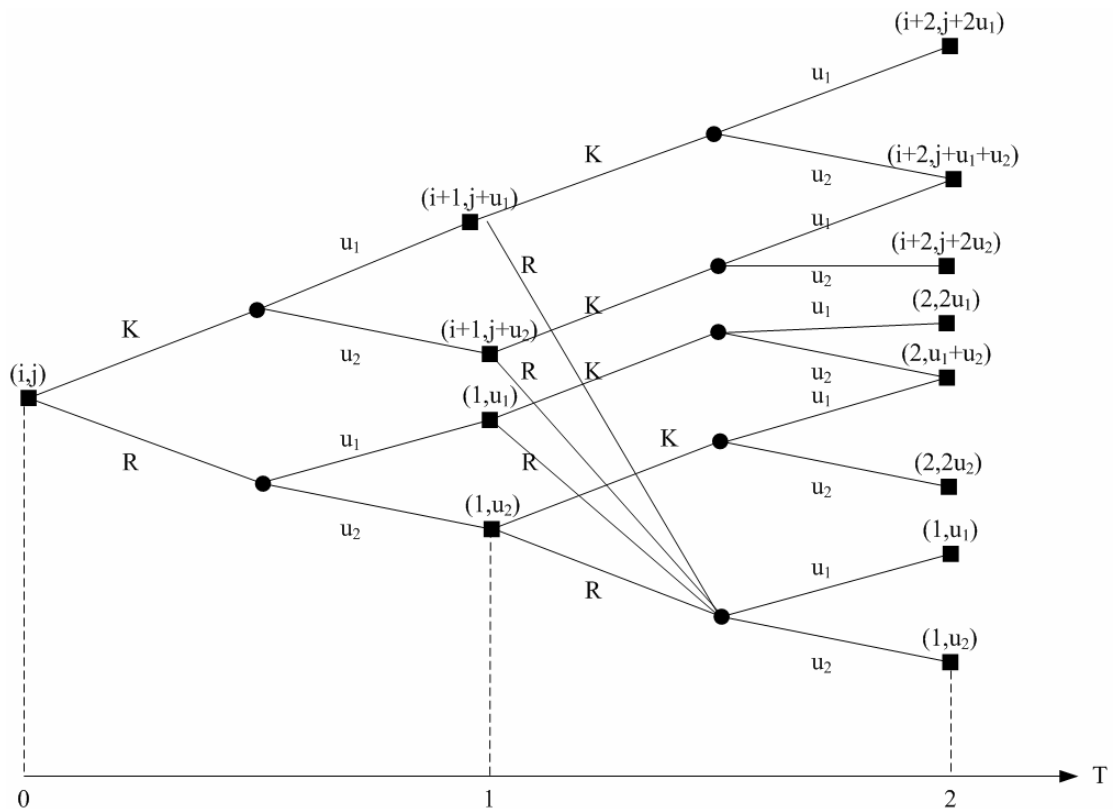


圖 2.2 資產設備於機率性動態規劃問題之狀況示意圖

由圖 2.2 可說明資產設備在機率性動態規劃模式中之保留或淘汰決策可能狀態示意圖。圖中方塊點表示該時區之起始狀態 (i, j) ， i 為資產設備的使用年資， j 代表資產設備累積的使用程度，此點也為該時區之決策時點，隨時間進行而需做出資產設備保留(K)或汰換(R)之決策，接著再產生在該時區的資產設備使用率，圓形點即代表此資產設備利用程度，其決策結果並影響下一時區之起始狀態。在該時區之決策結果若為保留，則進入下一時區須將原資產設備使用年資加一個單位，並累加此時段中所產生之資產設備累積利用程度；若決策為汰換該資產設備，則新資產設備之使用年資與累積利用程度皆由零開始，並在進入下一時區時加計一個單位年資及該時段中之資產設備使用率。

本研究所應用為機率性動態規劃模式，將最佳化決策問題分為各個階段，並依據各個景氣階段為時區劃分依據，各階段之起始狀態即為取決於上一時區之狀態及上一時區所做的決策而形成。

2.5 生命週期模式相關研究

生命週期觀念之應用最主要為生命週期評估(Life Cycle Assessment, LCA)方法之使用，作為政策評估或廠商決策之支援工具，研究的產品生命週期則包含由原物料之開採、加工處理、製造過程至運輸銷售、消費者使用，再到廢棄階段

之物料使用及處理，對整個產品生產週期過程中的物料使用、能源消耗及對環境造成之污染等等，對整體流程作完整分析，即可藉生命週期表現各類產品實體化之生命流程。

Spitzley(2005)之研究以美國本地中型房車之最佳汰換年限為研究目標，並由擁有者的成本花費及污染排放成本之環境影響兩觀點探討車輛生命週期的最佳化，其中成本花費的部分包括折舊、財務、保險、油耗、日常維護及損壞修復等，污染排放成本方面亦列出隨車齡變化而每年不同之污染排放量，並總和由第一年開始逐年之成本花費並形成以年份為基軸之成本線，以時間為基準畫出逐年持有車輛之成本變動，最後再加入政府部門所提供之車輛報廢計劃之回收獎金，由車輛持有人之環境及成本面之因素探討最適當之汰換時程。

生命週期廣泛應用於多項不同領域之研究，多以探討各項成本或效益隨時間變化之已知變化方式表現，本研究由需求預測結合系統化之營運效益模式，對個別航機透過改裝改變使用情況之進行時程，透過動態數學規劃方式呈現隨機齡增加及使用狀況變化而變動之營運效益，並對應預期未來景氣變化情形而以生命週期模式呈現改裝與否於營運效益改善程度之差異，與多數研究相異，而以動態模式作為未來預期之資料基準。



表 2.1 航空公司機隊規劃相關分析研究整理

作者(年份)	研究主題	研究對象	研究內容
張有恆與楊弘道 (1996)	機型選擇	航機使用者及社會大眾	於兼顧航空公司、使用者與社會利益之前提下，由質化及量化之評估準則為機型選擇評斷基礎
劉素妙 (2002)	航機購買與租賃數目	航空公司	以動態規劃時程，探討航空公司機隊對應成本最小化之目標時各時區中所採行包含新購、汰換、租賃、停租等決策所形成之決策集合
Abara (1989)	不同目標下之機隊規劃問題	機隊航機	利用整數規劃求解利潤最大化、成本最小化、利用率最佳化等機隊規劃問題
Barnhart et al. (1998)	航機航線指派與航機排班	機隊航機	結合航機航線、航機指派與航機利用情況，作為多種決策條件考量下之模式依據
Evans (1988)	機隊替換	機隊航機	以經濟效益觀點，決定航機最佳使用年限並規劃汰換時程
Gritta et al. (1994)	航機購買與租賃數目	機隊航機組成	以財務及經濟觀點，綜合公司資產及負債影響之角度，探討機隊最佳之航機租賃與購買比率
Hane et al. (1995)	機型與航線指派	航空公司國內線班機	運用多重步驟求解流量問題配合時間限制之網路，求解機型航線指派問題
Hartman (2001)	設備汰換決策	資產設備	以機率性動態規劃模式為基礎構建決策模式，將設備利用情況與營運狀況及顧客需求以機率方式相關聯，並同時考量設備年資及累積使用情況，以最小化決策期望成本

表 2.1 航空公司機隊規劃相關分析研究整理(續)

Jin and Kite-Powell (2000)	機隊替換	機隊航機	以最大化時區範圍內之公司總營運利潤，建構動態模式以求最佳化機隊航機利用與替換時程
Moudani and Mora-Camino (2000)	動態即時機型與航線指派	機隊航機	運用人工智慧技術軟體提高求解指派模式之效率
Oum et al. (2000)	航機購買與租賃數目	機隊航機組成	由購買飛機的高成本與租賃飛機的高機隊數目彈性的抵換效應下，考量市場景氣情況之租賃飛機佔整體機隊之最佳比例
Powell and Carvalho (1997)	機型與航線指派	多種機型組合之機隊	將機隊多種機型視為多種商品之網路配送問題，以時間窗配合網路節點間流量的觀念求解機型與航線指派問題
Spitzley (2005)	車輛汰換時程	中型房車持有者	以美國本地中型房車之最佳汰換年限為研究目標，並由擁有者的成本花費及污染排放成本之環境影響兩觀點，探討車輛生命週期最佳化下之最適汰換時程
Wei and Hansen (2005)	機型與頻次	雙佔市場機隊航機機型	以航機機型大小與航班頻次之抵換關係，探討航空公司於市佔率及營運利潤之考量條件下之機型與頻次之影響

資料來源：本研究歸納整理

第三章 航機改裝時程動態規劃模式

航空公司應用改裝方式改變所屬航機使用狀況，可分為由客機改裝為貨機、由貨機改裝為客機、由客貨兩用機改裝為客(貨)機或者由客(貨)機改裝為客貨兩用機等數種情形，一般而言採用改裝方式可以較低之成本獲取運量，且較具時程運用之彈性，本研究著眼於景氣成長之初貨運景氣先行大幅成長之特性，以期最大化此段時間內航空公司總體機隊應用之效益最大化，因此在本研究中考量原為客運機使用而改裝為貨運機之改裝途徑。

由於客運業務單位獲利較高，傳統航空公司多以經營客運業務為主，然近年來因航空貨運業務應用逐漸拓展，許多經營國際航線之區域性大型航空公司逐漸調整客運與貨運業務比重，且因此調整其機隊組成並擴大貨運機隊之組成比重，而兼營客運及貨運業務之航空公司，於其自有機隊本身之運量調度方式，唯有採用改裝之方法改變其原有之使用狀況，藉由轉換各型機隊航機之使用狀況，改變其所擁有之機隊組成，並能符合當時背景經濟環境成長狀況情形下之現有機隊最佳運用方式。其中本研究所考量之狀況為因應未來所形成貨運需求快速增加之情形，且考量實務上利用改裝客機為貨機而延長航機使用年限之因素，而以客機改裝為貨機為本研究進行方向。

本研究運用灰色理論之預測方式，對航空公司所經營航線，進行對於未來貨物及旅客需求量之預測，再根據預測結果，由總預測期間中貨運及客運對比經濟景氣成長狀況差異程度之關係，將總預測期間切割為數個預測研究時區(time interval)，並以年份為基本時間單位，其中每一時區所包含之年份時間長短不一，而以經濟景氣成長狀況之差異程度而定。

本研究中有關客運機隊決策可分為維持現狀及改裝，決策方案影響表示如圖 3.1。其中 q 代表機型種類， T 代表研究時區， t 代表機齡， C 及 P 分別代表作為貨機及客機使用，則 $S_{q,T,t}^P$ 即代表在研究時區 T 起始時，機齡為 t 年、機型 q 之客機集合，而 $A_{q,T,t}^P$ 即代表該機隊航機數目，另 $S_{q,T,t}^C$ 即代表在研究時區 T 起始時，機齡為 t 年、機型 q 之貨機集合，而 $A_{q,T,t}^C$ 即代表該機隊航機數目。如此則可依照個別航空公司機隊，由不同年份建置與不同使用情形下之航機所構建之機隊組成情形，組成機隊航機使用狀態之集合。

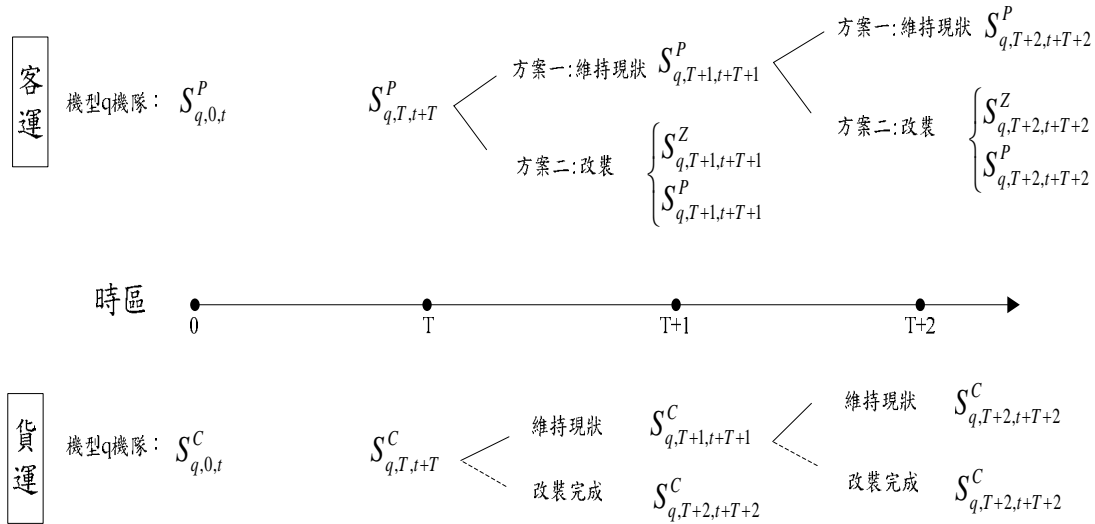


圖 3.1 機隊決策方案示意圖

本研究關於機隊決策對於機隊中不同機型、機齡航機集合之影響，可分為維持現狀及航機進行改裝之決策方案，其中 $S_{q,0,t}^P$ 與 $S_{q,0,t}^C$ 分別為於研究時區 0 時，航空公司機隊中機型 q 、機齡 t 之客運與貨運航機集合，而於研究時區 T 時， $S_{q,T,t+T}^P$ 與 $S_{q,T,t+T}^C$ 即分別為航空公司機隊中機型 q 、機齡 $t+T$ 之客運與貨運航機集合。以客運機隊而言，於研究時區 $T+1$ 時，客運機隊之機隊航機決策可分為維持現狀及改裝，若為維持現狀，則與 T 時區相較下僅機齡增加一年，原於 T 時區之機隊集合在 $T+1$ 時區即成為 $S_{q,T+1,t+T+1}^P$ ，而於研究時區 $T+2$ 時繼續其機隊航機決策之方案選擇，若於時區 $T+1$ 時決策進行改裝，則原有機齡 $t+T+1$ 之機隊將機齡增加一年且其使用狀況將成為改裝中機隊集合 $S_{q,T+1,t+T+1}^Z$ ，並於改裝完成後加入同機型、機齡之貨運機隊集合，除機齡再增加一年之外，其使用狀態亦變更成為貨機使用，其機隊狀態集合即成為 $S_{q,T+2,t+T+2}^C$ 。而以貨運機隊而言，由於實際上客機與貨機之安全、品質、機艙設備維修之對應成本不同，實務上多採用由客機改裝為貨機之途徑，而鮮少出現由貨機改裝客機之應用，因此其機隊航機僅維持現狀，在此情形下，於 $T+1$ 時區其機隊集合僅機齡增加一年而成為 $S_{q,T+1,t+T+1}^C$ ，若該時區同機型、機齡之客運航機改裝完成，則脫離客運機隊而加入貨運機隊，而貨運機隊表示方式同樣為 $S_{q,T+1,t+T+1}^C$ 。

3.1 航空公司預期營收及營運成本

在預期營收方面，通常客運及貨運之景氣關聯性不同步，因此分別探討之，另由於不同機型之航機容量亦不同，令 Q_q 代表機型 q 之容量並以上標 P 及 C 區分客機與貨機的相關參變數與營收模式，由特性上之不同，分別建立二者之營收模式及航機容量利用率。航空公司之成本項可區分為與經營航線直接相關之直接營運成本及不直接相關而屬支援性質之間接營運成本，由與本研究問題之相關性，解析航機油耗、機組人員、地勤作業、機場使用費、維修之變動及固定成本等成本項。

3.1.1 客運/貨運預期營收

客運及貨運的景氣循環存在其個別影響因素，而與總體經濟循環之連動方面也存在時間及變動量之落差，由波音公司對 1985~2003 之數據整理與代表全球經濟成長之國內生產毛額(GDP, Gross Domestic Product)對照發現，貨運市場與景氣之連動上相較客運市場而言具有同時性，客運市場與 GDP 之連動上則具有需求平移之特性，如圖 3.2 所示。

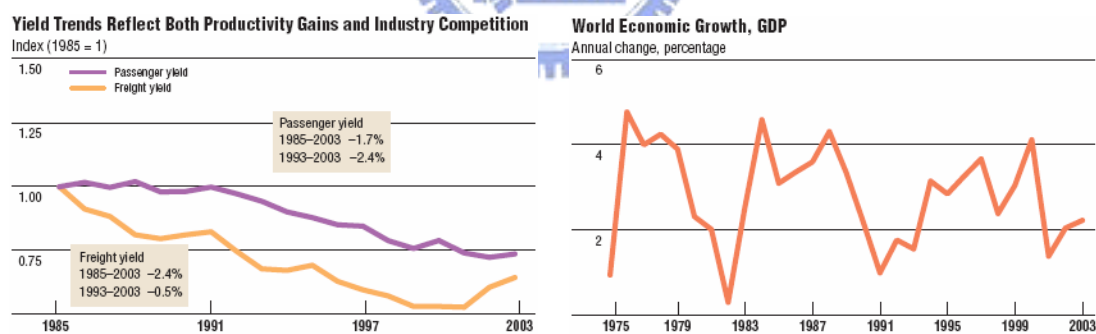


圖 3.2 國內生產毛額變動與客貨運年成長率成長對照

資料來源：World Air Cargo Forecast, Boeing (2004)

重大事件之發生對於運輸產業而言為短期決定性之影響因素，且對於客運及貨運市場有不同程度甚或不同方向之影響，以近年發生之重大影響事件為例，SARS 及 911 事件造成旅遊及商務旅次遽減，使客運市場於短期內急速萎縮，值此背景之下，消費習慣改變促使電子商務興起，貨運配送需求量因此急速增加，而另外於美西大罷工事件中，則主要影響者為全球貨運市場，而與客運市場之關係性微乎其微，可知在此數種情形之下，事件對於客運市場及貨運市場之影響方向相異。因此在此模式中分別建構客運及貨運之預期營收模式。

航空客運之利潤高於航空貨運，因此過去新機訂單多以客運機為主流，多數大型航空公司亦以客運業務為主，而以客運機之機腹運量滿足貨運需求，但近年來在航空產業快速成長之趨勢中，貨運市場需求受全球 GDP 成長之影響較客運市場更大，由波音公司之預估報告指出，過去由 1993~2003 十年之中貨運平均成長為 0.5%，到 2002 及 2003 年之年成長分別為 14.9% 及 6.2%，至於 2005 年貨運成長約為 6% 上下，更預估未來 20 年平均年成長將有 6.5% 之水準，而整體航空市場之未來年成長預測則僅約 4.3%。(如圖 3.3)

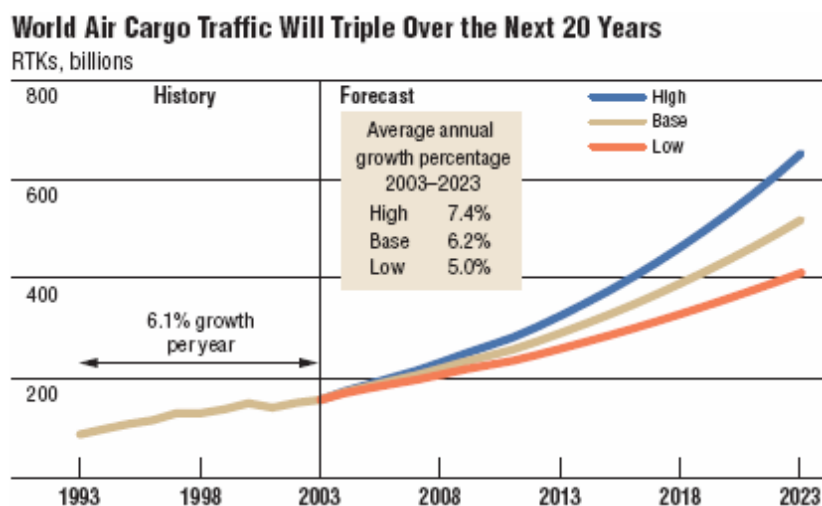


圖 3.3 未來 20 年全球航空貨運量成長

資料來源：World Air Cargo Forecast, Boeing (2004)

驅使航空貨運需求大幅成長之關鍵因素在於中國大陸經濟面之快速成長，包括其廉價勞力成本及廣大市場之吸引力，由手機製造、汽車生產、玩具、鞋類、電子設備等製造產業到未來可能之紡織及花卉業皆代表中國製造業之巨大成長，更激勵中國成為全球最低成本之世界工廠。而由中國本地積極發展之交通建設及運量需求，亦對航空貨運能量之建置產生龐大需求。同樣之因素在於供應鏈複雜度之增加及對於交貨時程需求的提升，由於全球分工意識逐漸成熟，各類產品零件及半成品由以往之陸路運輸轉而更依賴空運，而對於運輸時效性之需求亦取代以往採用大量庫存以應付需求之觀念，加之全球貿易擴張，此皆使航空貨運成長遠高於客運。

由圖 3.4 中所示，波音預測於此 20 年間全球貨機將增加約 3000 架以應付需求，而其中約四分之三(約 2200 架)將由現有客機或客貨兩用機改裝而成，而剩餘數量才會是新機，此因新航機在初期為獲取較高之利潤，多數皆作為客運機使用，而隨機齡增加，在安全係數逐漸降低及飛安、營運成本之因素下，考量延長航機壽限及提升其經濟價值，加之為因應貨運需求，改裝航機相較於新訂購航機之費用較低且所須時程較短，因此航空公司須選擇適當之時點作出將舊有客機改裝為貨機之決策。

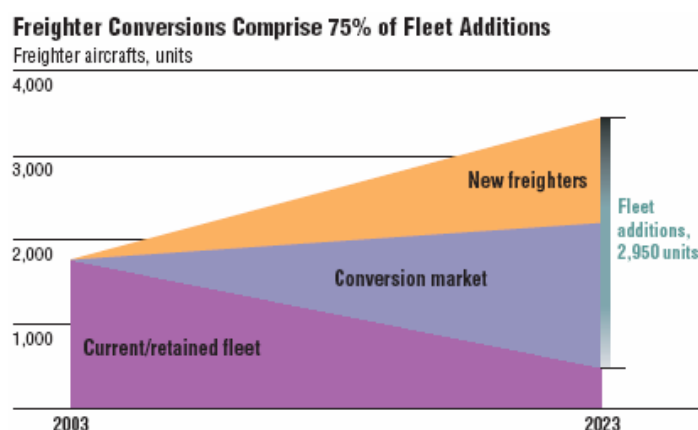


圖 3.4 未來 20 年對改裝市場之需求

資料來源：World Air Cargo Forecast, Boeing (2004)

本研究應用灰色理論之預測，分別對航空公司未來旅客需求量以及貨物運輸需求量進行預測，再應用馬可夫鏈模式進行預測修正，則預測之結果與實際旅客/貨物量之間可能出現三種波動狀況，並且航空公司在時區 T 時，依據對下個時區 $T+1$ 時區之景氣預測作出決策，令 w 為灰色預測之旅客/貨物量與實際旅客/貨物量波動情況之差距，並以 $w=1,2,3$ 分別表示二者差距之三種情況。並以兩相鄰時區間預期旅客/貨物需求量之波動情況配對可能發生機率為 p_w^T ，此機率表示在 T 時區時，根據前一時區所發生已確定之預期旅客/貨物量波動狀態為向上波動、持平、向下波動其中一種波動情形時，對這個時區 T 所預測之旅客/貨物需求量波動情形的三種波動情況 $w=1,2,3$ 之個別發生機率，此機率會隨所處時區不同及預期旅客/貨物量波動情形不同而變化，並對應於時區 T 之效益 E_w^T ，即為於 T 時區三種預期旅客/貨物量波動情形所分別對應之效益，而波動情況當 $w=1$ 時，表示實際旅客/貨物需求量較預測結果為低，亦即高估了未來旅客/貨物量，此時未來需求量應為灰色預測值向下調整而得；當 $w=2$ 時，表示實際旅客/貨物需求量與預測結果相符，即灰色模式預測結果準確，不須再修正預測值；當 $w=3$ 時，表示實際旅客/貨物需求量較預測結果為高，亦即低估了未來旅客/貨物量，此時未來需求量之實際值應為灰色模式預測值向上調整而得。而兩相鄰時區間預期旅客/貨物需求量之波動情況配對可能發生機率 p_w^T 與效益 E_w^T 二者亦皆受前一時區經濟景氣循環狀態相關之旅客/貨物需求量及航機改裝決策結果所影響，由前一時區為配合下一時區之預期需求量所做出之改裝決策，與下一時區受經濟景氣循環波動所影響之實際需求量與時區起始之航機效益。由上下期時區之相互影響而形成動態遞迴關係，並配合每種可能發生狀態形成個別對應之狀態發生機率，對時區內效益值產生變化。

營收模式之建立以每一切割之 T 時區為單位，以 T 時區內之實際承載量及最大可承載量之比值表示航機 q 於 T 時區內之容量利用率 α_q^T ，其客、貨運機計算式分別為：

$$\alpha_{qtr}^{PT} = \frac{L_q^{PT}}{Q_q^P K_{qtr}^T} \quad (3.1)$$

$$\alpha_{qr}^{CT} = \frac{L_q^{CT}}{Q_q^C K_{qr}^T} \quad (3.2)$$

其中，變數之上標「P」為航空公司中客運用途之航機，「C」為航空公司中貨運用途之航機，q 為目標航機機型，t 為目標航機機齡，r 為航線； L_q^{PT} 及 L_q^{CT} 分別為客機於 T 時區之旅客承載人數及貨機於 T 時區之貨物承載噸數， Q_q^P 及 Q_q^C 分別為客機座位數及貨機容量噸數，視機型大小設計之不同決定各型機不同之座位數及可載貨物噸數， K_{qtr}^T 為單一時區內總頻次，於 T 時區內，機型為 q、機齡為 t 且航線為 r 之目標航機總頻次，其中不同航線代表不同航程和起迄點。

由於客機機型之新舊、大小、知名度、座位舒適度、發動機型式、飛安紀錄等因素影響服務品質，進而影響消費者偏好，且隨機齡增加將導致服務品質下降，而使客機被排入冷門時段而使營收進一步下降，因此客機之容量利用率受機型、機齡之影響甚鉅，而貨機之機齡因素不為預期營收之關鍵考慮因素，亦反應於其容量利用率未包含機齡參數。

預期營收由於不同航線以及往返行程之容量利用率皆不同，因此以時區為單位，以總合該時區內目標航機營運所有航線總營收，並同樣考量客機受機齡影響之因素，其客、貨運機計算式分別為：

$$F_{qtr}^{PT} = \sum_t \sum_r K_{qtr}^T \alpha_{qtr}^{PT} Q_q^P R_{qr}^P \quad (3.3)$$

$$F_{qr}^{CT} = \sum_r K_{qr}^T \alpha_{qr}^{CT} Q_q^C R_r^C \quad (3.4)$$

其中 $\alpha_{qtr}^{PT} Q_q^P R_{qr}^P$ 及 $\alpha_{qr}^{CT} Q_q^C R_r^C$ 分別為客機及貨機飛行航線 r 之每一航次之預期營收，再由 T 時區內總頻次及時區內航機 q 飛行各航線之總和，可知時區內之預

期營收，而 R_{qr}^P 為客機之單位容量收益並以座位數為基本單位，客機單位容量收益並關聯機型(q)因素所提供之服務品質，影響航空公司訂定之票價，並且航線(r)起迄點以及預訂起降時間是否為熱門時段皆為客機票價訂定之關鍵因素，而 R_r^C 為貨機之單位容量收益並以重量為基本單位，而不同起迄對之航線(r)具不同航程距離，故收取單位運費價格不同，而有不同之單位收益。

3.1.2 營運成本

航空公司之營運成本可概分為直接營運成本(DOC, Direct Operating Cost)與間接營運成本(IOC, Indirect Operating Cost)兩部分，其中間接成本為航機飛行航線以外之所有成本，包括航空公司行銷成本、行政與人事管理成本、與旅客服務成本等，此項成本與航空公司服務之旅客與貨物量相關。(如圖 3.5)

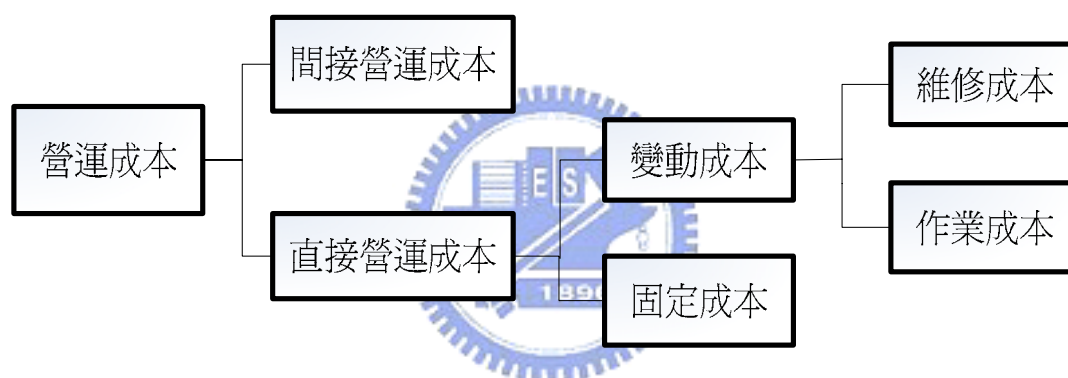


圖 3.5 營運成本架構示意圖

直接營運成本為與本研究相關之航空公司營運航線所付出之成本，此項成本與目標航機機型、機齡、航程、當時油價以及同型機之機隊數目相關，並包括固定成本及變動成本兩部份，固定成本包含機棚、廠房之購買或租賃成本，以及購置維修器材之成本；變動成本主要包括維修費用及航機作業成本，而作業成本項目則包含航機飛行之油耗成本、機組員之人事費用成本、地勤作業成本與各機場之機場使用費。本研究參考劉素妙(2002)之研究中關於機隊成本函數之構建，於此先以個別航機為目標，依據客、貨運機之特性分別建構成本函數，其中航機維修成本與機齡成正向相關，機齡越高之航機所花費之維修成本也越高。於時區 T、機型 q、機齡 t 之每架航機之維修平均總成本，其計算式為：

$$\hat{m}_{qtr}^T = \sum_r v_{qtr}^T + \frac{m_q^T}{A_q} \quad (3.5)$$

其中， $\sum_r v_{qtr}^T$ 為航機維修之變動成本，包含維修人員所需工資，維修零件成本及

備份發動機之購買成本，其中備份發動機之成本花費為主要費用之一，由於航機閒置之機會成本高，因此航空公司之修護工廠因應發動機老舊產生之故障風險而購置備份發動機，以減少故障事件發生時因等待備份發動機之空運時間而產生之時間價值損失。另 A_q 為航空公司機隊中機型 q 之航機總架數，機隊中同型航機

之數目與維修固定成本成反比，則 $\frac{m_q^T}{A_q}$ 為機型 q 航機之維修固定成本，包含每一

航機維修所分攤之廠房、設備、用具及器械之購買或承租成本，其中，如圖 3.6 所示，同型航機之數目越多則平均每架航機之攤提成本將減少，且同型機無客運機與貨運機之分別，相似之機型皆有規模經濟之特性存在。

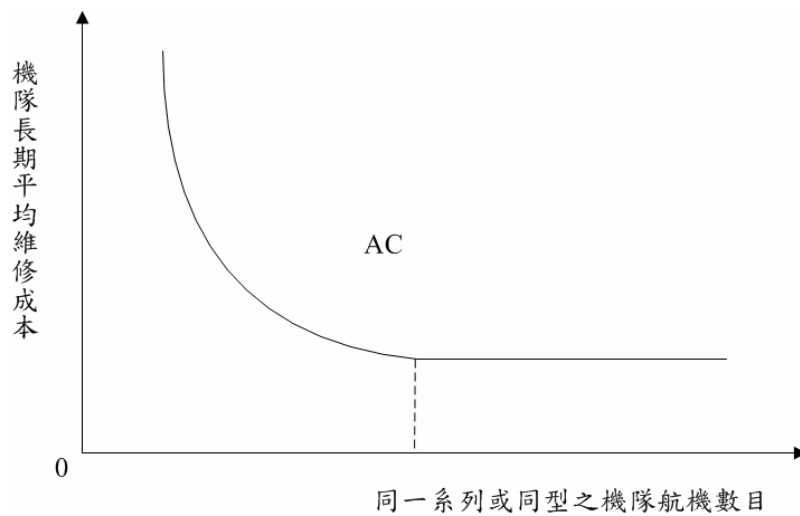


圖 3.6 機隊長期平均維修成本之規模經濟性

航機之作業成本項與航線參數 r 相關且與航程距離及起降次數成正比之關係，於時區 T 內，機型 q 之航機作業成本客、貨運航機之計算式分別為：

$$o_{qtr}^{PT} = \sum_r K_{qtr}^T (b_{qr}^P + P^T f_{qr}^T) \quad (3.6)$$

$$o_{qtr}^{CT} = \sum_r K_{qtr}^T (b_{qr}^C + P^T f_{qr}^T) \quad (3.7)$$

$$b_{qr}^P > b_{qr}^C \quad (3.8)$$

其中 $\sum_r K_{qtr}^T b_{qr}^P$ 及 $\sum_r K_{qtr}^T b_{qr}^C$ 分別為一時區內機型 q 之客機機組員人事及地勤、機場使用費之總成本，以及一時區內機型 q 之貨機機組員人事及地勤、機場使用費之總成本，通常客機營運之地勤及機場使用費與貨機營運相同但所需之機組員較

貨機為多，且又包含旅客餐飲、書報等額外服務項目耗材，因此客機營運之作業成本較同樣飛行條件下之貨機為高。而 P^T 為於 T 時區之每加侖國際油價， f_{qr}^T 為機型 q 之航機於航線 r 之總耗油量。

綜上，一時區內機型 q 航機包含維修、油耗、機組員、地勤及機場使用費之總營運成本，其計算式於個別客機與貨機之直接營運成本分別為：

$$doc_q^{PT} = \sum_r [K_{qtr}^T (b_{qr}^P + P^T f_{qr}^T) + v_{qtr}^T] + \frac{m_q^T}{A_q} \quad (3.9)$$

$$doc_q^{CT} = \sum_r [K_{qtr}^T (b_{qr}^C + P^T f_{qr}^T) + v_{qtr}^T] + \frac{m_q^T}{A_q} \quad (3.10)$$

航空公司由客運及貨運二部份組成之營運機隊，對應預測需求量波動情況為 w 時，分別於 T 時區之機隊直接營運成本，其客、貨運機隊計算式分別為：

$$\left\{ \begin{array}{l} DOC_T^{Pw} = \sum_q \left\{ \sum_t \sum_r [K_{qtr}^{Tw} (b_{qr}^P + P^T f_{qr}^T) + v_{qtr}^T] A_{qTt}^P + m_q^{PT} \right\} \\ DOC_T^{Cw} = \sum_q \left\{ \sum_t \sum_r [K_{qtr}^{Tw} (b_{qr}^C + P^T f_{qr}^T) + v_{qtr}^T] A_{qTt}^C + m_q^{CT} \right\} \end{array} \right. \quad (3.11)$$

其中 A_{qTt}^P 、 A_{qTt}^C 分別為於 T 時區之客機機隊與貨機機隊中，各機型及不同機齡分別之航機總數。

航空公司以整體機隊觀點所考慮之間接營運成本，即為航機飛行航線以外之所有成本，包括航空公司行銷成本、行政與人事管理成本、旅客服務成本等，此項成本與航空公司客運機隊服務之旅客量，以及貨運機隊服務之貨物量相關。於 T 時區之機隊間接營運成本分別於客運及貨運機隊，對應預測需求量波動情況為 w 時，於客、貨運機隊之計算式分別為：

$$\left\{ \begin{array}{l} IOC_T^{Pw} = \sum_q \sum_r F_{Tr}^P S_{qr}^{P'} \\ IOC_T^{Cw} = \sum_q \sum_r F_{Tr}^C S_{qr}^{C'} \end{array} \right. \quad (3.12)$$

其中 F_{Tr}^P 、 F_{Tr}^C 分別為客運及貨運於 T 時區之預期需求量， $S_{qr}^{P'}$ 、 $S_{qr}^{C'}$ 分別為單位旅客間接營運成本及單位貨物間接營運成本。

由航空公司營運成本所包含之直接營運成本(DOC)與間接營運成本(IOC)兩部分，即可結合為客運及貨運機隊於 T 時區分別之機隊營運成本，並對應預測需求波動情況為 w 時，於客、貨運機隊之計算式分別為：3.13

$$\begin{cases} OC_T^{Pw} = DOC_T^{Pw} + IOC_T^{Pw} \\ OC_T^{Cw} = DOC_T^{Cw} + IOC_T^{Cw} \end{cases} \quad (3.13)$$

3.2 航機改裝決策判斷式

由於貨運機較不受機齡影響營收之特性，探討航空公司對於機齡較大之客機改裝為貨機之決策，須視預期改進之營運效益而定，綜合考量預期貨機營收、營運成本及改裝成本，是否優於現有航機使用狀態之預期營運效益，即考量預期客機營收、客機營運成本及改裝期預期客機營收減少(機會成本)。且航機改裝後於出廠前接受 D-Check 之大型翻修過程影響，及航機之維修及油耗支出與航機機齡成正比之關係，顯示一般航機之操作成本皆呈逐年遞增之現象，此時一併考量大型翻修過程可改善翻修後之維修及油耗成本支出之現象。

本研究中關於大型翻修部分，為考慮航機正常使用情形下按既定排程進廠翻修，藉以節省航機使用成本支出並改善使用效益、維持飛航安全性之考量，而非做為機隊航機為滿足運量考量之決策。航機之大翻修目的為改善維修及耗油支出且仍維持其原客機/貨機之使用狀態，於本研究中則一併考慮於改裝過程中所進行之翻修所影響之營運效益改善，並假設翻修不改變出廠後之營收，而對於機型 q 航機進行大型翻修於 T 時區營運成本之改變量，其計算式為：

$$\Delta TC_y^T = \sum_r \left[\left(v_{qtr}^T - v_{qtr}^T \right) + K_{qtr}^T P^T \left(f_{qr}^T - f_{qr}^T \right) \right], \quad \Delta TC_y^T < 0 \quad (3.14)$$

其中 v_{qtr}^T 及 f_{qr}^T 分別為翻修後之維修變動成本及一個時區內之總耗油量，而大翻修後之成本支出必定較翻修前減少，故營運成本之改變量為負值。

3.2.1 改裝成本與決策

改裝決策進行效益之評估，須考量同時改善於維修變動成本及耗油支出，以及客運機與貨運機組員人數上之變動等，而對於機型 q 航機進行改裝工程於 T 時區營運成本之改變量，其計算式為：

$$\Delta TC_z^T = \left\{ \left(v_{qtr}^T - v_{qtr}^T \right) + K_{qtr}^T \left[P^T \left(f_{qr}^T - f_{qr}^T \right) + \left(b_{qr}^C - b_{qr}^P \right) \right] \right\}, \quad \Delta TC_z^T < 0 \quad (3.15)$$

其中 $K_{qr}^T (b_{qr}^C - b_{qr}^P)$ 為改裝為貨機後所需機組員人數之變動形成之成本變動，預期改裝後此項成本將減少。個別航機進行改裝之效益計算式為：

$$E_q^{ZT} = \sum_{t=j}^{t=k} \left(K_{qr}^T \alpha_{qr}^{CT} Q_q^C R_r^C - \sum_t K_{qr}^T \alpha_{qr}^{PT} Q_q^P R_{qr}^P \right) - \left\{ \left(v_{qtr}^{T'} - v_{qtr}^T \right) + K_{qtr}^T \left[P^T \left(f_{qtr}^{T'} - f_{qtr}^T \right) + \left(b_{qr}^C - b_{qr}^P \right) \right] \right\} - Z_{qt}^w - \sum_{t=i}^{t=j} K_{qtr}^T \alpha_{qtr}^{PT} Q_q^P R_{qr}^P \quad (3.16)$$

其中 $K_{qr}^T \alpha_{qr}^{CT} Q_q^C R_r^C - \sum_t K_{qtr}^T \alpha_{qtr}^{PT} Q_q^P R_{qr}^P$ 為改裝後營收改變而與原預期營收之變動

差距，客機由於機齡影響因素而逐年累計，而 Z_{qt}^w 為 q 機型 t 機齡改裝所需支付之成本，且此成本非一定值，而隨改裝當時產業環境及需求量波動情況 w 所影響，當貨運需求量波動情況向上時，評估進行改裝之航機增加而增加改裝工廠工作量，在需求增加之情況下將使改裝所須費用增加，反之則所須之改裝費用將減少， $\sum_{t=i}^{t=j} K_{qtr}^T \alpha_{qtr}^{PT} Q_q^P R_{qr}^P$ 為改裝期間相較航機於線上運作所形成之機會成本，i-j 時段為航機進行改裝工程時段，j-k 時段為改裝後預期航機於時區 T 之可使用期間，且改裝後可使用年限不改變，而計算式中包括油耗支出、變動維修成本及固定維修成本，皆因改裝後於出廠前執行大型翻修而改變，同機型之改裝變動亦不影響航空公司之同型機隊規模，僅於使用狀況改變而由同機型之客機機隊轉移至同機型之貨機機隊。

3.2.2 航機改裝選擇決策

航空公司由預測而得之貨運與客運於成長幅度呈現落差期間，且為提高其機隊航機利用率，以期於此時期獲得最佳之機隊使用效益，航空公司將由其自有客機機隊中選擇最適於進行改裝之航機。對此選擇決策問題，個別航機適於進行改裝與否之選擇標準，一般之考量因素包含航機之機齡及運量閒置程度，另考量個別航機進行改裝之不同費用及效益之差別，由此標準判定並對機隊中個航機依此標準進行評比，以比較評分之方式決定進行改裝之目標航機。

判斷個別航機是否成為改裝決策之進行目標，經由航機利用率(承載率)、機齡及改裝效益等因素決定，其條件判斷值為：

$$W_{qt}^T = \frac{t}{\bar{t}}(1 - \alpha_{qt}^T)E_q^{ZT} \quad (3.17)$$

其中 \bar{t} 為航機可使用年限， $\frac{t}{\bar{t}}$ 表示目標航機之機齡(可使用年限)與總可使用年限的比值， $1 - \alpha_{qt}^T$ 為機型 q、機齡 t 之目標航機運量閒置比例，則此式即計算於該時區對機型 q、機齡 t 航機之條件判斷值，而個別機型航機所須改裝費用不同，且改裝後所提供運量亦不相同，較大型且容量較大之航機所須改裝費用亦較高，並亦加入考量個別航機改裝效益以衡量其個別因素之影響性，做為選擇改裝航機判斷條件之一，則考量個別航機改裝效益及具機齡越高且運量閒置比例越高等條件之航機，即成為決策進行改裝之優選目標，再由對應貨運需求成長而決策進行改裝的航機數目，並利用此變數相乘條件式根據個別航機機齡與使用率上的差異，由此條件判斷值判別並比較出應進行改裝之目標航機。經由時區 T 所進行之個別航機改裝效益評估，則進行改裝之 0/1 決策變數為 δ_{qt}^{ZT} ，表示航空公司於一時區內是否進行對個別客機改裝為貨機之決策。

經由航機改裝後，航空公司供給運量需滿足預期需求量，其計算式為：

$$\sum_q \sum_t [(K_q^T Q_q^C) A_{q,T,t}^C + (K_q^T Q_q^Z) A_{q,T,t}^Z] \geq F_{Tr}^C \quad (3.18)$$

其中 $A_{q,T,t}^C$ 為時區 T 起始之航空公司之機型 q、機齡 t 之貨運機隊航機數， $(K_q^T Q_q^C) A_{q,T,t}^C$ 即為時區 T 起始原機隊運量，而 $A_{q,T,t}^Z$ 為因應貨運需求量成長情形下，航空公司對機型 q、機齡 t 航機進行改裝之航機數， $(K_q^T Q_q^Z) A_{q,T,t}^Z$ 即為改裝取得運量。

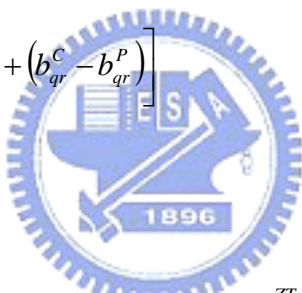
航空產業中客機與貨機間之改裝轉換使用狀況之情形始終存在，且大多由新航機做為客機使用而老舊航機改裝做為全貨機，然而過去此類改裝時程於個別航機進行時多為航機機齡約介於十五年至二十年之間，其一因素為過去高價值貨物之航空貨運需求小，另一因素為過去航機之使用對於飛安因素之規範較寬鬆；而近幾年來由新航機改裝轉換為全貨機使用之情形不但越發普遍，且進行改裝航機之機齡亦不同於過去之情況，機齡為十年以下之航機亦有可能被選擇成為進行改裝，其主要因素即在於近年來航空貨運於高時間價值貨物之應用需求逐漸成熟，在貨運需求大幅成長之情形下，航空公司考量其機隊利用率及整體獲利因素下，為滿足大幅成長之貨運需求，亦將機齡稍低之航機納入改裝考量，本研究即以時區 T 之航空運量需求背景下，以個別航機進行改裝之效益評估，且決定該

個別航機對應當時景氣需求下及當時使用狀況下之改裝年限。

3.3 營運效益

由預期營收、營運成本，結合前述改裝決策與其影響之大型翻修效益改善等因素綜合考量，建構初步尚未考量間接營運成本及預測誤差情形下之機隊營運效益值，依機齡每年遞增與使用狀況及營運成本之改變，對航空公司機隊中個別航機依年份遞增建立營運效益值，並據此進一步建立生命週期模式，對航空公司客運機隊航機，其逐年營運效益值計算式為：

$$\begin{aligned}
 E_{qtr}^{PT} = & \sum_t \sum_r K_{qtr}^T \alpha_{qtr}^{PT} Q_q^P R_{qr}^P - \sum_r K_{qtr}^T b_{qr}^P \\
 & + \delta_{qtr}^{ZT} \left\{ (1 - s_q^Z) \sum_r K_{qr}^T \alpha_{qr}^{CT} Q_q^C R_r^C - \sum_q \sum_t Z_{qt} - s_q^Z \sum_t \sum_r K_{qtr}^T \alpha_{qtr}^{PT} Q_q^P R_{qr}^P \right\} \\
 & + \sum_r K_{qtr}^T \left[P^T \left(f_{qr}^{T'} - f_{qr}^T \right) + \left(b_{qr}^C - b_{qr}^P \right) \right]
 \end{aligned}$$



$$0 < s_q^Z \leq 1 \quad (3.19)$$

其中 Z_{qt}^w 為 q 機型 t 機齡改裝所需支付之成本， δ_{qtr}^{ZT} 為 0/1 決策變數， s_q^Z 為改裝所需時程佔該年度之時間長度比例，則執行改裝考量改裝成本與支出改善之效益即為 $\left\{ (1 - s_q^Z) \sum_r K_{qr}^T \alpha_{qr}^{CT} Q_q^C R_r^C - Z_{qt} - s_q^Z \sum_t \sum_r K_{qtr}^T \alpha_{qtr}^{PT} Q_q^P R_{qr}^P \right\}$ ，而研究時區所包含之年份長度由總預測期間中，貨運及客運對比經濟景氣成長狀況差異程度關係而定，表示由於決策進行改裝工程，於時區 T 所損失之預期營收隨施工時程長短而變化。而於生命週期模式中為顯示個別航機逐年效益，則以單一年度為一時區，由逐年效益建構目標航機生命週期模式。

本研究應用之生命週期模式，以個別航機為比較基準，並建構目標個別航機之營運效益，由於個別客機使用狀況可能受改裝決策而變化，因此由前述之機隊營運效益概念，以逐年效益計算概念應用於原使用狀況為客機之個別航機觀點，則目標航機逐年營運效益之計算式為：

$$\begin{aligned}
e_{qtr}^{PT} = & \sum_t \sum_r K_{qtr}^T \alpha_{qtr}^{PT} Q_q^P R_{qr}^P \\
& + \delta_{qtr}^{ZT} \left\{ (1 - s_q^Z) \sum_r K_{qr}^T \alpha_{qr}^{CT} Q_q^C R_r^C - Z_{qt} - s_q^Z \sum_t \sum_r K_{qtr}^T \alpha_{qtr}^{PT} Q_q^P R_{qr}^P \right\} \\
& + \sum_r K_{qtr}^T \left[P^T \left(f_{qr}^{T'} - f_{qr}^T \right) + \left(b_{qr}^C - b_{qr}^P \right) \right] , \quad 0 < s_q^Z \leq 1 \quad (3.20)
\end{aligned}$$

其中 e_{qtr}^{PT} 為目標個別航機之營運效益值， δ_{qtr}^{ZT} 為航空公司經由機隊改裝判斷決策及個別航機改裝判斷條件之綜合考量結果後，對於目標個別航機進行改裝與否之 0/1 決策變數，在此與機隊營運效益不同處為此營運效益概念為逐年計算，於機隊營運效益之計算則為劃分時區後之整體時區計算， $\sum_t \sum_r K_{qtr}^T \alpha_{qtr}^{PT} Q_q^P R_{qr}^P$ 為預期營收項， $\left\{ (1 - s_q^Z) \sum_r K_{qr}^T \alpha_{qr}^{CT} Q_q^C R_r^C - Z_{qt} - s_q^Z \sum_t \sum_r K_{qtr}^T \alpha_{qtr}^{PT} Q_q^P R_{qr}^P \right\}$ 為個別航機包含營運及決策之成本之效益改善， s_q^Z 則為改裝所需時程佔該年度之時間長度比例，且由於個別航機觀點，於目標航機為新購時亦表示該航機於該年度之實際上線時間於該年度之時間長度比例。其後作為貨機使用之航機逐年營運效益則同樣由預期營收及營運成本組成。

3.4 機隊動態規劃模式

在動態規劃模式方面，本研究參考劉素妙(2002)之研究中關於機隊規劃決策式(新增、汰換、租賃、停租)，以及趙清成(2005)之研究中關於國際機場航站大廈設施購置/汰換時程關於機率性動態規劃模式之部分，並針對本研究改裝決策及客/貨運機之特性及個別之景氣循環落差，對各特定時區隨時間之決策狀態變化及相互影響關係，並應用動態規劃在一定的時區時間長度下，找出在不同時間點所進行改裝決策所影響之總成本及預期營收，隨時間變動之特性，並構建配合運量預測之機率性動態規劃模式。

前述預測旅客/貨物需求量之波動狀態分為三種波動情形，對於預期旅客/貨物需求量波動情況往下的狀態為 $w=1$ ，在此情形下航空公司原先預期之需求預測值將大於未來實際需求，對應此情形之預測需求量波動情況機率 p_1^T 及效益 E_1^T ，並由於根據高估之需求量進行機隊規劃，擴增運量滿足預期需求，而產生機隊可承載運量較高而實際需求量較低之情形，並使承載率降低，且由於營運成本較高且預期收益較低，而使其對應之效益值降低。

對於第二種狀況為預期旅客/貨物需求量波動情況與實際狀況相較為持平的狀態 $w=2$ 之情形下，航空公司原先預期之需求量與未來實際需求量相當且恰好

能配合，對應預測需求量波動情況機率 p_2^T 及效益 E_2^T ，且由於此情形下航空公司依據預測需求所規劃之運量恰好配合未來實際旅客/貨物運輸需求，此狀況下之效益值即為最佳效益。

對於第三種狀況為預期旅客/貨物需求量波動情況往上的狀態為 $w=3$ ，由於航空公司預期之需求量小於未來實際承載需求，對應此情形之預測需求量波動情況機率 p_3^T 及效益 E_3^T ，且因依據低估之需求量進行機隊規劃縮減運量，而產生因運量不足而導致旅客/貨物運輸需求轉移，由預期收益降低而造成對應之營運效益降低之情形。

各時區起始機隊組成狀況，與前一時區決策結果之連續相關性表示如下式所示，其中 $S_{q,T,t}$ 、 $S_{q,T+1,t+1}$ 分別為於 T 、 $T+1$ 時區，機型 q 、機齡 t 、 $t+1$ 之機隊組成集合， $d_{q,T}^w$ 為於 T 時區，機型 q 之機隊對應景氣需求量波動情況為 w 時之決策集合。

$$S_{q,T+1,t+1} = S_{q,T,t} + d_{q,T}^w \quad (3.21)$$

令 $E_T^w(S_T, d_T^w)$ 表示在時區 T 開始時，機隊組成狀況集合為 S_T ，在該時區對應前一時區之預期旅客/貨物需求量波動情況為 w 時，選擇機隊改裝決策集合 d_T^w 之後，時區 T 結束時之期望效益。另以 $E_T^*(S_T)$ 表示於時區 T ，對應前一時區預期旅客/貨物需求量波動情況 w 選擇執行之機隊改裝決策集合 d_T^w 下 $E_T^w(S_T, d_T^w)$ 之最大值，因此時區 T 之期望效益 $E_T^w(S_T, d_T^w)$ 與最大期望效益 $E_T^*(S_T)$ 二者間之關係可表示為：

$$\begin{cases} E_T^{P*}(S_T) = \max_{d_T} E_T^{Pw}(S_T, d_T^w) \\ E_T^{C*}(S_T) = \max_{d_T} E_T^{Cw}(S_T, d_T^w) \end{cases} \quad (3.22)$$

上式即為根據本研究機隊改裝決策集合包含執行改裝及維持不變，且於機隊改裝決策集合為 d_T^w 之情形下， $E_T^w(S_T, d_T^w)$ 之最大值即為 $E_T^*(S_T)$ ，其中 $E_T^{P*}(S_T)$ 及 $E_T^{C*}(S_T)$ 分別為客機與貨機機隊於時區 T 之最大期望效益。而 $E_T(S_T, d_T^w)$ 之值於客運及貨運機隊即分別如下式所示：

$$\begin{cases} E_T^{Pw}(S_T, d_T^w) = \sum_{w=1}^3 p_T^{Pw} [E_T^{Pw} + E_{T+1}^{P*}(S_{T+1})] \\ E_T^{Cw}(S_T, d_T^w) = \sum_{w=1}^3 p_T^{Cw} [E_T^{Cw} + E_{T+1}^{C*}(S_{T+1})] \end{cases} \quad (3.23)$$

上式表示 $E_T^{P^w}(S_T, d_T^w)$ 及 $E_T^{C^w}(S_T, d_T^w)$ 分別為在時區 T 時，對應前一時區預期旅客/貨物需求量之波動情況 w 為已確定是往上波動、無波動或往下波動時，時區 T 可能發生預期旅客/貨物需求量三種波動情況之機率為 $p_T^{P^w}$ 與 $p_T^{C^w}$ 下，機隊所對應之期望效益 $E_T^{P^w}$ 與 $E_T^{C^w}$ ，此對應前一時區所形成之效益值在時區 T 為一起始既定值，再由時區 T 每個預期旅客/貨物運輸需求量之波動情況所對應之效益，分別與下一時區 T+1 之最大期望效益 $E_{T+1}^{P^*}(S_{T+1})$ 、 $E_{T+1}^{C^*}(S_{T+1})$ 加總，乘上在時區 T 配合三種可能發生之預期旅客/貨物運輸需求量波動情況機率 $p_T^{P^w}$ 、 $p_T^{C^w}$ ，並將時區 T 中三種旅客/貨物需求量可能波動狀況所對應之效益加總，即為在時區 T 之期望效益 $E_T^{P^w}(S_T, d_T^w)$ 、 $E_T^{C^w}(S_T, d_T^w)$ ，而其中下一時區 T+1 之最大期望效益 $E_{T+1}^{P^*}(S_{T+1})$ 、 $E_{T+1}^{C^*}(S_{T+1})$ 為根據對下一時區對應之預測值。此式亦表示在每個時區做出決策之後，下個時區 T+1 可能發生預期旅客/貨物運輸需求量之三種波動情況都有其各自對應之狀況發生機率 p_{T+1}^w 與效益 E_{T+1}^w ，而此效益 E_{T+1}^w 會受到時區 T 之決策集合 d_T^w 所影響，兩個時區間即產生相互影響的關係，也就是兩個階段之間的動態遞迴效應。

圖 3.7 為應用於本研究之營運效益隨時區變動之機率性動態規劃模式示意圖，其中 T 為時區，方塊點表示在各時區起始時的機隊航機組成狀態 S_T ，圓形點表示在該時區對機隊航機所做出的改裝決策集合 d_T ，該決策集合包含進行改裝工程以 $\delta = 1$ 表示、不進行改裝工程以 $\delta = 0$ 表示，再以航空公司配合下一時區景氣情形所影響旅客/貨物運輸運量需求而做出改裝決策為前提，納入影響本時區效益之考量因素，包括由上一時區決策影響而形成之本期成本項、營收項，以及考量配合下一時區景氣循環情況之預期旅客/貨物運輸需求量所做改裝決策所產生之成本，再加上由預測需求量與實際需求量之間落差所造成營運效益減損之懲罰值。同時航空公司為配合預期各時區乘載需求情況，以最大化航機營運效益為目標而由決策集合 d_T 中選擇決策組合。

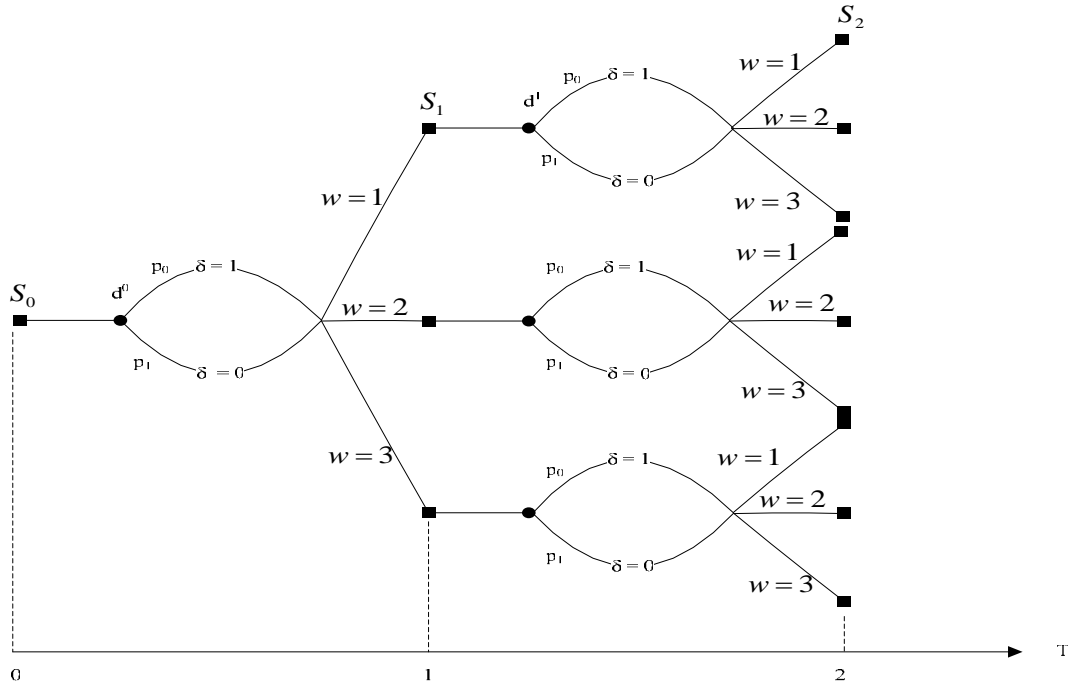


圖 3.7 本研究機率性動態規劃模式示意圖

航空公司在時區 T ，預期旅客/貨物運輸需求量之波動情況與實際需求量相較為 w 的情況下，客運與貨運機對分別產生之營運成本項 TC_T^{Pw} 、 TC_T^{Cw} 如下式所示：

$$\begin{cases} TC_T^{Pw} = OC_T^{Pw} + EC_T^{Pw} + P_T^{Pw} \\ TC_T^{Cw} = OC_T^{Cw} + P_T^{Cw} \end{cases} \quad (3.24)$$

其中 TC_T^{Pw} 、 TC_T^{Cw} 為航空公司面對 $w=1$ 、 $w=2$ 、 $w=3$ 等三種需求量波動情況下所分別對應之客機與貨機機隊總成本， OC_T^{Pw} 、 OC_T^{Cw} 為航空公司對應需求量波動情形為 w 時，根據對研究時區預期結果所做決策而於 T 時區起始時之狀態下所承擔之營運成本，包括直接與間接成本，而 EC_T^{Pw} 則是航空公司在 T 時區進行航機改裝決策所產生之成本，即直接產生之改裝工程成本，由本研究之研究目的為考量客機改裝為貨機之單向運量調度決策，因此決策成本項僅於客機機隊成本項中考慮。 P_T^{Pw} 、 P_T^{Cw} 為懲罰成本，表示在每個時區，受經濟景氣狀況影響之實際旅客/貨物航空運輸需求量，與預測之旅客/貨物運輸需求量配合狀況不同時所產生之懲罰值。

航空公司於 T 時區，預期旅客/貨物運輸需求量之波動情況與實際需求量相較為 w 的情況下，對於客運機隊航機之改裝決策成本如下式所示：

$$EC_T^{Pw} = \sum_q \sum_t Z_{qTt}^w A_{qTt}^{PZ} \quad (3.25)$$

其中 $\sum_q \sum_t Z_{qT}^w A_{qT}^{PZ}$ 為進行改裝之機隊集合所須之改裝費用，而本研究目的在探討

實務上老舊客機改裝為貨機之動機與效益，以及因應貨運先期大幅成長下之現有機隊運量調撥，故改裝費用在客運機隊的決策下才須考量。

航空公司依據對貨運及客運之未來運量需求預測，而對現有機隊組成作出運用改裝決策以調整貨運機隊與客運機隊運量組合，然而預測需求量與實際需求量結果之間可能產生落差，依據此段預測上可能產生之需求落差即產生一懲罰值，且依照對於客運與貨運預測與實際狀況上分別之落差，依其分別配合狀況不同而可能分別產生不同之懲罰值，於 T 時區貨運與客運機隊分別之懲罰值即如下式所示：

$$P_T^{Cw} = \begin{cases} (F_T^C - f_T^C) J_T^C & w = 1 \\ 0 & w = 2 \\ (f_T^C - F_T^C) I_T^C & w = 3 \end{cases}, \text{ for } \begin{matrix} w = 1 \\ w = 2 \\ w = 3 \end{matrix} \quad (3.26)$$

$$P_T^{Pw'} = \begin{cases} (F_T^P - f_T^P) J_T^P & w' = 1 \\ 0 & w' = 2 \\ (f_T^P - F_T^P) I_T^P & w' = 3 \end{cases}, \text{ for } \begin{matrix} w' = 1 \\ w' = 2 \\ w' = 3 \end{matrix} \quad (3.27)$$

其中 J_T^P 為因航空公司客運機隊運量超過未來旅客需求量而產生運能過剩時，因產能過剩而產生每位旅客收益損失，並乘上未來旅客需求量與航空公司預期需求量之間的差距，即為總收益損失，而 I_T^P 為因航空公司客運機隊運能不足時每位旅客增加之旅行成本，再將此成本成上未來旅客需求量與航空公司預期需求量之間的差距，即為總旅客增加成本； J_T^C 則為因航空公司貨運機隊運量超過未來貨物需求量而產生運能過剩時，因產能過剩而產生每噸貨物收益損失，並乘上未來貨物需求量與航空公司預期需求量之間的差距，即為總收益損失，而 I_T^C 為因航空公司貨運機隊運能不足時每噸貨物增加之處理成本，再將此成本成上未來貨物需求量與航空公司預期需求量之間的差距，即為總貨物處理增加成本。

本研究考量層面包括航空公司機隊組成之客運及貨運兩大部份，研究目標式為航空公司對應貨運需求量增加之情形下，由改變原有機隊組成的方式擴增貨運能量，而最大化所有時區加總之期望效益，即為：

$$\begin{aligned} & \max \sum_T \sum_q \max \{E_T^{Pw'}(S_T, d_T^w) + E_T^{Cw}(S_T, d_T^w)\} \\ & = \max \sum_T \sum_q \max_{d_T^w} \left\{ \sum_{w=1}^3 p_T^{Pw'} [E_T^{Pw} + E_{T+1}^{P*}(S_{T+1})] + \sum_{w=1}^3 p_T^{Cw} [E_T^{Cw} + E_{T+1}^{C*}(S_{T+1})] \right\} \end{aligned} \quad (3.28)$$

s.t.

$$\begin{cases} A_{q,T+1,t+1}^P = A_{q,T,t}^P - A_{q,T,t}^Z \\ A_{q,T+1,t+1}^C = A_{q,T,t}^C + A_{q,T,t}^Z \end{cases} \quad (3.29)$$

$$\begin{cases} E_T^{Pw} = TF_{qTt}^{Pw} - TC_T^{Pw} \\ E_T^{Cw} = TF_{qTt}^{Cw} - TC_T^{Cw} \end{cases} \quad (3.30)$$

$$L_{qt}^w(\lambda_q^{DT}) > Z_{qt}^w \quad (3.31)$$

$$A_{q,T,t+T}^Z \leq A_{q,T,t+T} \quad (3.32)$$

$$A_{qtr}^T \in \text{Integers}, \forall q, t, r, T \quad (3.33)$$



第(3.28)式分別為航空公司內客運及貨運機隊之營運效益，由機隊總合各機型、機齡之機隊集合，於該時區需求波動情形為 w 時預期收益及營運成本之影響，而為該時區需求波動情形為 w 時之客運機隊與貨運機隊分別總合效益，其中 TF_{qTt}^{Pw} 與 TF_{qTt}^{Cw} 分別為航空公司中客運及貨運機隊，對應需求量波動情形為 w 時，於該時區之預期收益， TC_T^{Pw} 與 TC_T^{Cw} 則分別為其總成本。

第(3.29)式表示同機型、機齡之客運及貨運航機之間，經由改裝之後之航機數量變化，客機機隊航機數目因改裝而減少，貨機機隊航機數目則增加。

第(3.31)式為因應貨運需求成長下，於 T 時區進行改裝與租賃同機型與機齡航機之成本對照，即該時區分別經由租賃與改裝的貨機運量取得成本，由租賃或改裝之方式皆可滿足成長之貨運需求，但租賃成本將高於改裝成本，否則即表示該時

區客運與貨運景氣成長落差幅度尚未滿足執行改裝之條件。同時參考許巧鶯、黃鵬先(2004) 關於航機租賃部份，以 $L_{qTt}^w(\lambda_q^{DT})$ 為於該時區需求波動情形為 w 時，乾租一架機型 q 、機齡 t 之航機費用，其中 λ_q^{DT} 為機型 q 航機於該時區決策租賃時所決定之租期，租賃費用會隨租期長短而改變，租期越長則航機租金隨折扣增加而遞減， Z_{qTt}^w 為貨運需求量波動情形為 w 之情形下，機型 q 、機齡 t 之航機於 T 時區之改裝成本。由於租賃及改裝之航機在維修、油耗、機組員、地勤作業、機場使用、廠房設備等營運成本項目之考量條件相似，因此可省略此部份之比較，而以乾租之情形與改裝做比較。並由於租賃行為具較高之決策彈性，因此以短期該時區租賃與改裝費用為比較基準。

第(3.32)式為限制航空公司進行改裝之航機數目不能超過其所擁有該機型、機齡之航機數目。

第(3.33)式為對航機數目之整數限制式。



第四章 實證分析

為驗證本研究中所構建之模式架構於實務應用上之可行性，本章節中將以一國際航空公司 A 為例進行實證分析，將所搜集之相關實際資料代入研究中所建構之動態機隊規劃及航機生命週期模式，求解模式最佳解並與過去航空公司相關決策效益進行比較。本章所應用之相關航線及 A 航空公司營運資料，參考交通部及民航局所公布之各項公開資料，目標研究公司歷年之年度財務報表與各項公開說明書及各項公開資訊，以及相關研究機構之各項研究報告及數據作為求解模式所需之各項搜集資料，其中部份資訊涉及個別公司營運資料之機密性及相關商業行為之保密需要等，則參考相關資訊及文獻、書籍資料，以合乎一般準則之合理性前提下，對相關變數進行推估及設定。

在各航線需求量預測及景氣變動機率方面，本研究參考劉素妙(2002)之研究，應用灰色模式預測結合馬可夫鏈預測模式之方式，預測各目標研究航線之未來旅客及貨物運輸需求量及景氣波動機率值。於實證分析中則首先依據本研究之模式架構，參考資料搜集及參數設定部分進行其機隊改裝時程之規劃，並由規劃結果藉由個別航機生命週期模式之觀點，與過去航空公司於此類決策之效益進行比較分析，之後並考量模式中重要變數可能變化情形，進行重要變數之敏感度分析，以瞭解此類變數之變動對於模式中機隊規劃時程可能形成之影響程度。另於實證模式中，亦參考黃鵬先(2004)之研究，代入實務上航空公司中短時程中機隊運量規劃可能考慮之航機租賃方案，由實際班表與航空公司機隊組成資料建立情境分析背景，以模擬現實中航空公司經營時一些可能採用之機隊規劃策略間所可能遭遇之實務問題及方案比較下之可能選擇，以得知本研究模式下此類情境對於航空公司機隊規劃及個別執行效益所產生之影響。

本實證分析將應用數值分析軟體 LINGO 8.0 版進行數學規劃式之計算與求解。

以下將於 4.1 節進行研究案例背景之說明，4.2 節為機隊改裝時程模式求解，4.3 節為以個別航機生命週期模式分析，4.4 節為燃油成本變化敏感度分析。

4.1 研究案例背景

本研究以一國際航空公司 A 為實證對象，表 1 為該航空公司至 2006 年 1 月之營運航點列表資料，其中*表示只有貨運業務之航點，共有十處，而@表示與其它業者合營之航點，共 14 處。表 4.1 為 A 航空公司航點，表 4.2 為該航空公司機隊狀態。

表 4.1 目標航空公司航點

歐洲	阿姆斯特丹、法蘭克福、羅馬、米蘭*、盧森堡*、曼徹斯特*、布拉格*、維也納、漢堡@、漢諾瓦@、斯圖加特@、杜塞道夫@、科隆@、紐倫堡@、慕尼黑@
亞洲	東京、福岡、名古屋、廣島、琉球、香港、曼谷、普吉島(無固定航班)、雅加達、峇里島、河內、胡志明市、吉隆坡、檳城、新加坡、阿布達比*、德里、可倫坡*、馬尼拉、首爾、清邁
美洲	安格拉治、檀香山、洛杉磯、紐約、舊金山、芝加哥*、達拉斯、邁阿密*、溫哥華、西雅圖、休士頓、納許維爾*、亞特蘭大@*、波士頓@、辛辛那提@、鹽湖城@、奧蘭多@、羅德岱堡@、坦帕@
大洋洲	雪梨、布里斯本、關島
國內	台北、高雄

資料來源：A 航空公司資料、本研究整理

表 4.2 目標航空公司機隊狀態

機型	數量(架)	運量
B747-400	15	400(人)
A330-300	9	313(人)
A340-300	7	276(人)
B737-800	12	158(人)
A300-600R	6	265(人)
B747-400F	18	113(噸)

資料來源：A 航空公司資料、本研究整理

機隊航機為航空公司之固定資產，其實際利用即與一般設施設備之使用相

仿，隨不同之購置年份、機型、用途而有不同之營運成本、營收及效益，其使用情況並因此影響各期之決策集合，因此由不同使用背景之航機集合可表達一家航空公司機隊航機之組成情形。於本研究中以 A 代表航機數量、下標 q 代表機型、T 代表研究時區、t 代表機齡、上標 P 與 C 分別代表作為客貨機使用，則 $A_{q,T,t}^P$ 與 $A_{q,T,t}^C$ 分別代表於第 T 研究時區時，機齡為 t 年之機型 q 之客貨運航機數目。如此則可依照個別航空公司機隊，由不同年份建置與不同使用情形下之航機所構建之機隊組成情形，組成機隊航機使用狀態之集合。以 A 航空公司民國 94 年之自有機隊組成資料，其機隊組成如表 4.3 所示：

表 4.3 目標航空公司民國 94 年自有機隊資料

使用狀況	航機機型	取得年份	數量
客運	A300-600R	78	2
		81	1
		85	1
		86	1
		87	1
	747-400	86	1
		87	2
		88	1
		93	5
		94	4
	A330	93	3
	A340-300	90	5
	737-800	87	1
		88	2
		89	1
91		2	
93		2	
貨運	747-400F	89	3
		90	2
		91	2
		92	3
		93	2
		94	2

資料來源：A 航空公司資料、本研究整理

客運

貨運

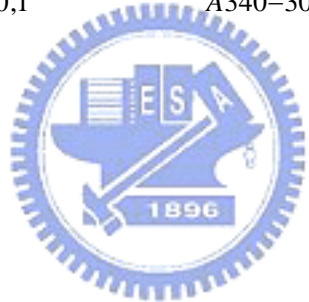
A300-600R	747-400	A330	A340-300	737-800	747-400F
$A_{A300-600R,0,16}^P$	$A_{747-400,0,8}^P$	$A_{A330,0,1}^P$	$A_{A340-300,0,4}^P$	$A_{737-800,0,7}^P$	$A_{747-400F,0,5}^C$
$A_{A300-600R,0,13}^P$	$A_{747-400,0,7}^P$			$A_{737-800,0,6}^P$	$A_{747-400F,0,4}^C$
$A_{A300-600R,0,9}^P$	$A_{747-400,0,6}^P$		$A_{737-800,0,5}^P$	$A_{747-400F,0,3}^C$	
$A_{A300-600R,0,8}^P$	$A_{747-400,0,1}^P$		$A_{737-800,0,3}^P$	$A_{747-400F,0,2}^C$	
$A_{A300-600R,0,7}^P$	$A_{747-400,0,0}^P$		$A_{737-800,0,1}^P$	$A_{747-400F,0,1}^C$	
				$A_{747-400F,0,0}^C$	

圖 4.1 目標航空公司民國 94 年自有機隊清單資料

資料來源：本研究整理

以民國九十五年為本研究時程於 T=0 之起始時區，則 A 航空公司之機隊航機組成清單如圖 4.1 所示。而本研究關於機隊航機改裝決策於考量滿足運量需求下機隊中不同機型、機齡之航機集合之影響，可分為維持現狀、航機進行改裝等決策方案，此個別決策方案影響表示如圖 3.1 所示。

本研究考量之研究對象為單一航空公司營運之航線，在多家航空公司聯盟的情形下，可能出現共用班號、共用航機之情形，在此情形下，航空公司飛行同一航線所考慮之因素除該航線需求量及市場佔有率之外，尚需考量於聯盟環境下，聯盟由個別利益最大化為基礎，協商各航空公司之航機與班號配合使用方式，以期藉由聯盟中各航空公司提供部份運量所組成之總合機隊可符合該航線之需求量，亦即由聯營之方式，由多家航空公司共同負責同一航線之運量，使該航線之飛航班次增加，並共同承擔該航線上需求量變動所造成之影響。另於需求量大幅成長之情形下，航空公司可能藉由大幅擴充機隊規模之方式，提升該公司於特定航線之市場佔有率，此情形下則需一併考量經營同樣航線之其餘航空公司，其對於該航線之經營策略、客層取向與整體機隊規劃策略，以及班表與場站軟硬體設施配合等因素。

本研究為簡化分析，設定目標航空公司之獨立營運航線為研究航線，且依預期需求量及目標航空公司於該航線之市場佔有率之現實情況為機隊規劃參考依據，不考慮特殊情形下航空公司大幅擴張機隊搶占市佔率之情形，則綜合考量預期該航線之需求量及目標公司於該航線之市佔率，即為目標航空公司於該航線上預期需滿足之需求量，則由航空公司觀點，即利用機隊規劃進行其所屬機隊之運量調度，以求取最大化利潤。於研究航線之選擇方面，主要之航線選擇基準為：

1. 運量具有代表性
2. 以兼營客/貨運業務之航線為主要考量，但仍納入個別業務航線
3. 暫不考量中東、歐洲航線

其中不選擇中東、歐洲航線之因素在於此類航線為研究目標航空公司近年闢建航線，資料量不足且波動變數大而不具代表性，且此類航線多設計為台北經中東達歐洲，再經中東航點飛返台北之多停靠點航線，因此於航線上個別航點上下客/貨量無相關精確資料之前提下，無採用作為本研究目標航線之可能，因此實務中航機使用可能有航機中繼轉飛或聯盟間共用班表之情形，亦由於無相關精確運量資料，而於本研究中不予考慮此類航線之機隊規劃問題。各地區由於經濟成長狀況不盡相同，而於同一條航線上之社經背景及客、貨運產業條件相近，故在航線選擇上以兼營客運及貨運，且營運量較大具代表性之航線為主要研究對象。據此前提下，本研究之目標航線選擇如表 4.4 所示：

表 4.4 研究目標航線

目標航線	航點	航程 (km)
r1	台北 - 東京	2278
r2	台北 - 洛杉磯	11177
r3	台北 - 舊金山	10673
r4	台北 - 新加坡	3493
r5	台北 - 香港	932
r6	台北 - 雅加達	4067

資料來源：交通部民航局、本研究整理

本研究中關於航線上之飛航機型，則參考實際航空公司航機運作之班表資料，以實際飛航機型及頻次等為範例基本資料，由於近年來位於航空產業上游之飛機設計公司歷經許多跨國性之整併過程，影響現今之航空產業之新機供應市場主流，已由美國之波音公司及歐洲之空中巴士集團兩大主要飛機設計公司形成雙佔市場，整併結果亦使現今全球航空公司使用之多數航機皆歸屬此二主要飛機設計集團，由此趨勢亦可見往後之全球主流飛機設計業務，將趨向系統整合共用之方向，以家族機型之設計概念滿足各區域市場之需求，以提高各機型間機電系統及零組件之通用程度，除於飛機設計公司方面節省設計重複系統之成本，另於使用航空公司方面，亦可藉由機型系統高共通性之特性，節省後勤上備料及軟體方面人員維修技術重複投入之成本花費，此概念之應用以空中巴士集團 A330/340 家族為代表，此二型飛機除引擎、駕駛艙、機翼、起落架等系統相同外，機身設計亦僅有長度上之差異，以此方式之設計除可降低研製費用，並可使兩型飛機之研發時程同時進行，亦即於整體研發時程上之縮短，且由於二者於系統零組件上有 85% 之高共通性，反應於使用端航空公司成本上即為整體維修費用支出之降低。本研究亦依據前述之航空上游產業發展趨勢，並考量航空公司現有機隊組成機型，以及後續致力於機隊機型一致化以降低航機維修花費之目標，做為各研究航線上飛行航機機型之考量。

本研究範例中關於改裝機型之設定部份，亦以飛機改裝產業之實際情形為參考依據，由於實務上航空公司飛機之使用多以 15~20 年之航機進行改裝以改變使用用途，且即使原飛機製造廠之廠能不足，地區性之飛機改裝公司亦須經過原飛機設計與製造公司之認證，始得進行該型經認證之航機改裝業務，而東亞地區國籍航空公司之使用以波音公司之航機為主，因此本研究參考此實務上之情形，並考量實際上範例航空公司之機隊組成情形，而以波音公司 B737 及 B747 二種機型及其改裝成本費用做為航空公司進行改裝之主要考量。

本研究中關於客/貨運直接成本考量差異比較方面，直接成本於客機與貨機使用，可分別由每位乘客飛行哩程(per passenger-mile)成本及每噸貨物哩程(per ton-mile)表示，並加以考量載運乘客數及貨物重量即代表於不同機種與機型大小之分別，而由同機型之航機分別做為客機與貨機使用時，由 Radnoti(2002)之研究

著述可知二者考量上之差異，而做為客機使用之每位旅客直接成本約略為做為貨機使用之每噸貨物成本的 1.25 倍，因此客機改裝為貨機可節省其隨機齡而日益增加之成本支出，此為已使用多年之航機改裝為貨機的因素之一。油耗因素方面，同時由 Radnoti(2002)之歸納整理，此項成本增加之主要因素為儀器準確度(Instrumentation)、油封漏損(Seal leakage)、表面平整性(Surface irregularities)、控制面構件(Control surface rigging)等四個項目，而燃油耗損增加的幅度即相關於隨機齡與飛行哩程增加所造成之個別問題項目。例如以易於影響形狀阻力增加的結構部份，機鼻、翼前緣、整流罩與其邊緣、派龍架等等，皆為與油耗增加影響性高之飛機構件，而此類成本項可藉定期翻修改善。

研究中之機組員人事成本可以從每年支領薪水額度型式歸類為直接營運成本項，或由飛行小時為單位計算其價值及單位成本支出，如此則考量為間接營運成本項，本研究在機組員人事成本支出方面，將其歸類為直接營運成本，則除考量駕艙機組員人數外，並參考法規上對於客艙組員服務人數上限之相關規定及實務運作情形，如表 4.5 所示。

表 4.5 客艙組員人數需求相關參數

	Number of attendant seats	Cabin
One cabin crewmember per	4 ~ 15	First-class seats
	10 ~ 20	Business-class seats
	20 ~ 50	Economy-class seats

資料來源：Paul Clark、本研究整理

本研究中關於航機容量利用率之計算，主要參考交通部民航局所提供台灣地區各機場國際航線班機載客率之統計資料，並佐以本研究(3.1)、(3.2)式之容量利用率計算式，以來回平均容量利用率為基準，以取得完整容量利用率資料。下頁表 4.6 為範例航空公司經營各航線航機之相關參數資料，依據目標航空公司之公開班機時刻表，可取得個別航線客/貨機之每週頻次及飛航機型相關資訊，並據此計算年度總班次，且對照目標航空公司機隊資料取得飛航各航線之航機機型及數量，而依據航空公司班機時刻表可取得各週個別班號之頻次，並以此對應相同航線上飛航不同班號航機間之頻次差異，其餘部份關於各航線之詳細資料涉及各公司內部資料不易取得部份，則由本研究就合理範圍內假設之。

表 4.6 範例航空公司各航線資料

航線		市場佔有率	營運航機機型	頻次(趟/週)	總班次(次/年) *以單程計算	承載率 *來回平均	架數
客運	r1	29.5%	B737-800 B747-400	5	260	78.5%	3
	r2	38.9%	B747-400	3.5	182	82.3%	4
	r3	48.5%	B747-400	7	364	83.7%	1
	r4	22.2%	B737-800 A330-300	7	364	75.5%	2
	r5	30.2%	B747-400 A330-300 B737-800	7 1	364 52	73.6%	13
	r6	-	-	-	-	-	-
貨運	r1	11%	B747-400F	2	104	74%	1
	r2	11%	B747-400F	2	104	75%	3
				3	156		
				2	104		
	r3	11%	B747-400F	3	156	75%	1
	r4	42%	B747-400F	3	156	75%	3
				1	52		
3				156			
r5	20%	B747-400F	5	260	75%	2	
			1	52			
r6	40%	B747-400F	2	104	75%	1	

資料來源：A 航空公司公開資料、民航局統計資料、本研究整理

4.2 機隊改裝時程模式求解

以下分為兩部分說明本研究之模式架構應用於此範例之求解過程，4.2.1 節為航線年度需求量預測，4.2.2 節為馬可夫鏈預測模式，4.2.3 節為改裝時程動態規劃模式求解結果說明。

4.2.1 航線年度需求量預測

本研究範例由民國 95 至 102 年間為研究時區，其中於航線之選擇上以客貨兼營之航線為主，且選擇有全貨機飛行之航線為貨運航線之參考，此部份以目標航空公司之全球全貨機班表為參考依據，然而其中目標航空公司於歐洲之貨運線，多為近年開闢之純貨運航線，故資料不足以預測其年需求量及航空公司於該市場之運量佔有率，並且飛行歐洲之航點多為多點停靠之航線，其精確之各航點上下貨量不易取得，因此於本研究之範例選擇中暫不考慮此類航線之選擇，然而於多航點航線中個航點上下貨量可獲得之情形下，亦可納入此類航線為研究目標航線。下頁表 4.7(a)至表 4.7(b)為每條航線由民國 95 年至民國 102 年間每年客運與貨運預測需求量。圖 4.2(a)至圖 4.2(f)為預測各航線年貨運需求量，圖 4.3(a)至圖 4.3(e)為預測各航線年旅客需求量，其中台北-雅加達航線於本研究中設定為兩點直達之純貨運航線，以瞭解此類貨運航線需求變動時，於航空公司以改裝決策執行機隊運量規劃時於整體研究航線系統中之航機運量調度關係。

本研究依據求得之各航線需求量逐年預測需求量資料，再參考 Wells(1993)之著述關於預測方法與時區劃分之部分，由於多數預測方法皆奠基於歷史資料間之關係及目前趨勢將延伸至未來之假設，而此假設只能在較短的時間區間內成立，因此多數預測方法多設定較短之時間區間以尋求較合理之預測準確度，本研究再參考歷史經濟景氣循環週期平均約略為四至五年，且考量本研究之目標為掌握一段時間內貨運及客運需求成長落差，因此以四年作為本研究時區劃分之單位，即以民國 95 至 102 年之研究時區劃分為第一研究時區(民國 95 至 98 年)與第二研究時區(民國 99 至 102 年)。

表 4.7(a) r1 航線(台北-東京)年需求量

年度	95	96	97	98	99	100	101	102
貨運需求 量(噸)	17553	17322	17990	18214	18447	17795	17333	17904
旅客需求 量(人)	2109400	2174555	2076823	2194916	2223422	2101255	2083422	2055134

表 4.7(b) r2 航線(台北-洛杉磯)年需求量

年度	95	96	97	98	99	100	101	102
貨運需求 量(噸)	52900	55071	56443	53598	57030	57209	58001	57377
旅客需求 量(人)	1499598	1395575	1358185	1601528	1415978	1558184	1511983	1582330

表 4.7(c) r3 航線(台北-舊金山)年需求量

年度	95	96	97	98	99	100	101	102
貨運需求 量(噸)	32590	33010	30950	28000	29110	27500	26500	27000
旅客需求 量(人)	630000	600000	630000	610000	587000	559000	570000	550000

表 4.7(d) r4 航線(台北-新加坡)年需求量

年度	95	96	97	98	99	100	101	102
貨運需求 量(噸)	48900	53000	51000	50500	54000	56500	56000	57000
旅客需求 量(人)	870000	968571	930000	948000	903238	879005	880013	862267

表 4.7(e) r5 航線(台北-香港)年需求量

年度	95	96	97	98	99	100	101	102
貨運需求 量(噸)	53000	57000	62000	61500	59500	60000	61000	62000
旅客需求 量(人)	5550000	5200000	5200000	5280000	5400000	5500000	5350000	5300000

表 4.7(f) r6 航線(台北-雅加達)年需求量

年度	95	96	97	98	99	100	101	102
貨運需求 量(噸)	19000	17500	18000	18500	20500	21000	20500	21500
旅客需求 量(人)	-	-	-	-	-	-	-	-

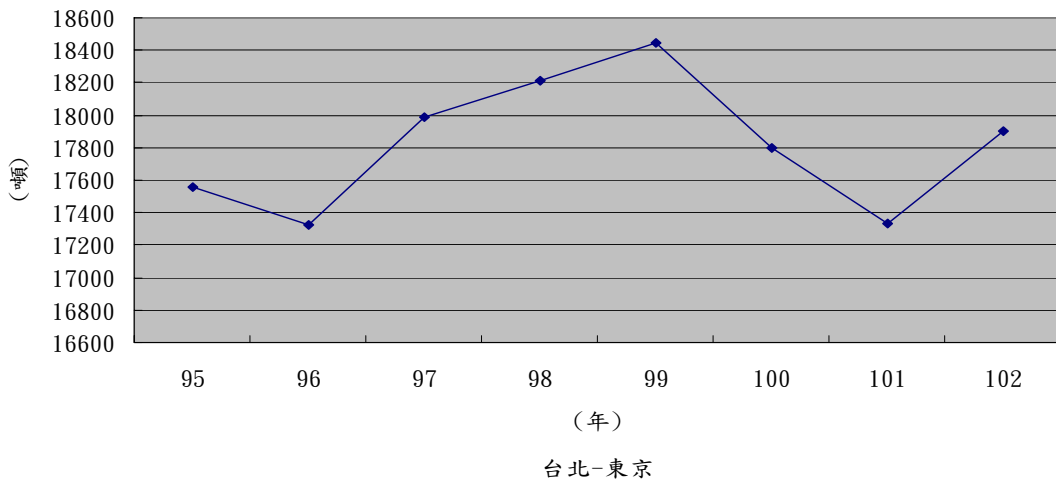


圖 4.2(a) 台北-東京貨運年需求量

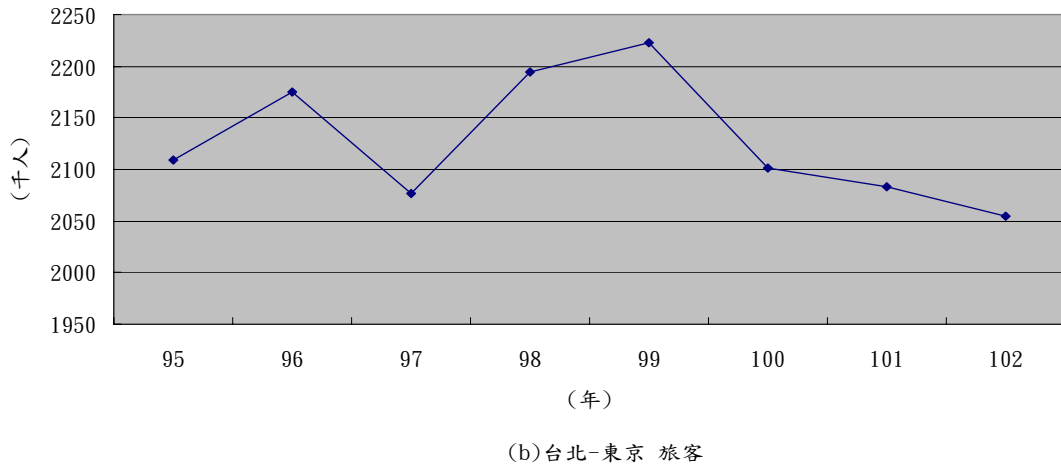


圖 4.2(b) 台北-東京旅客年需求量

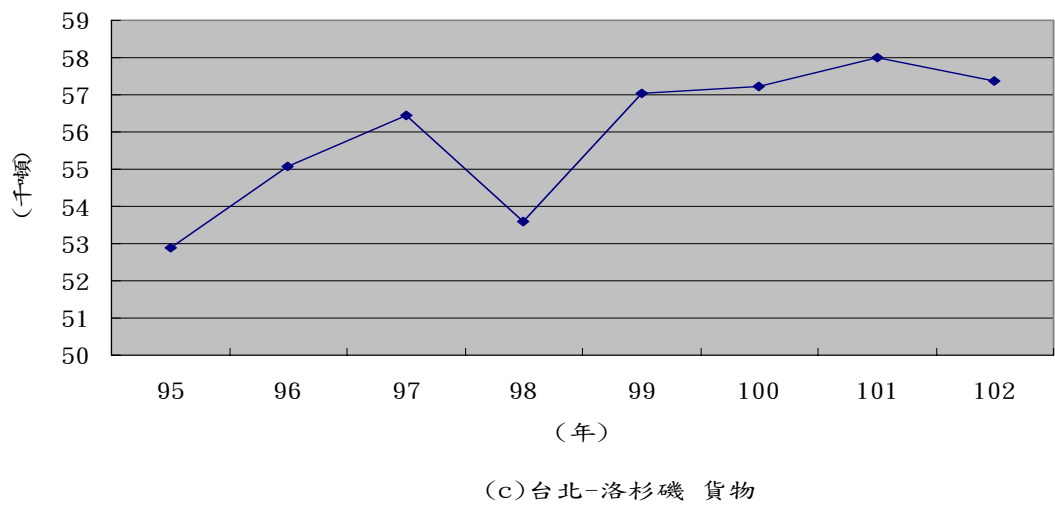
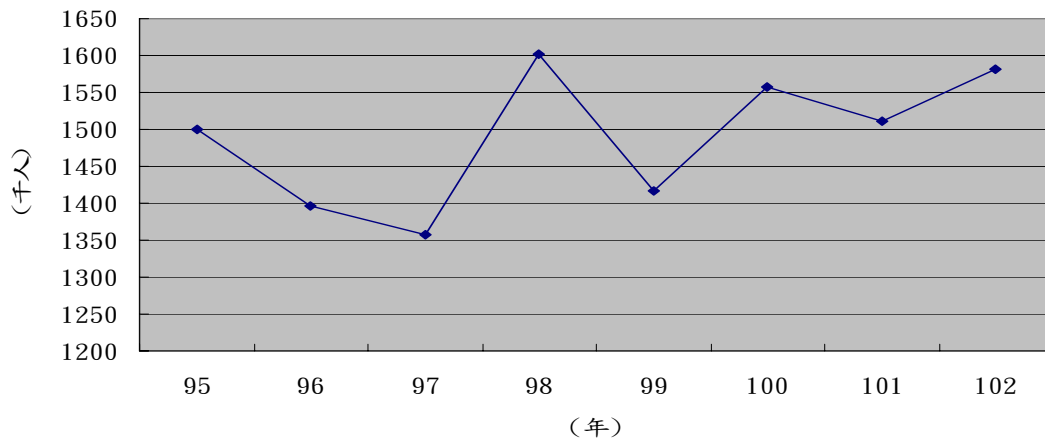
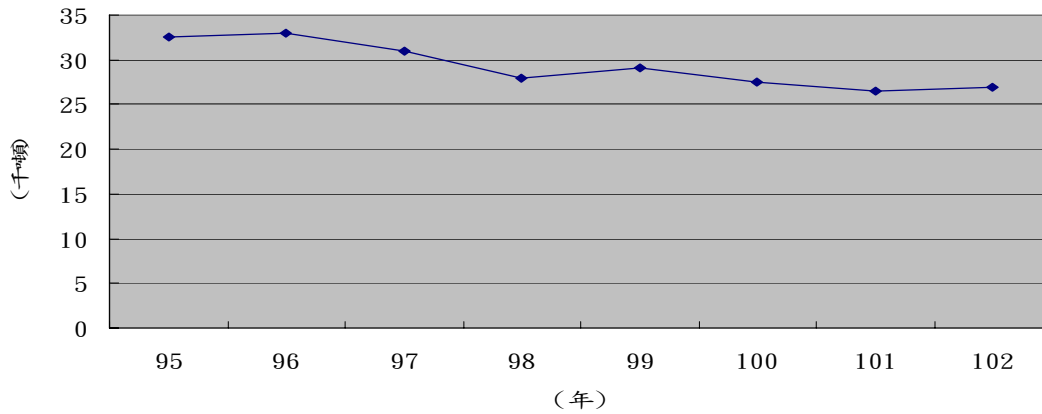


圖 4.3(a) 台北-洛杉磯貨運年需求量



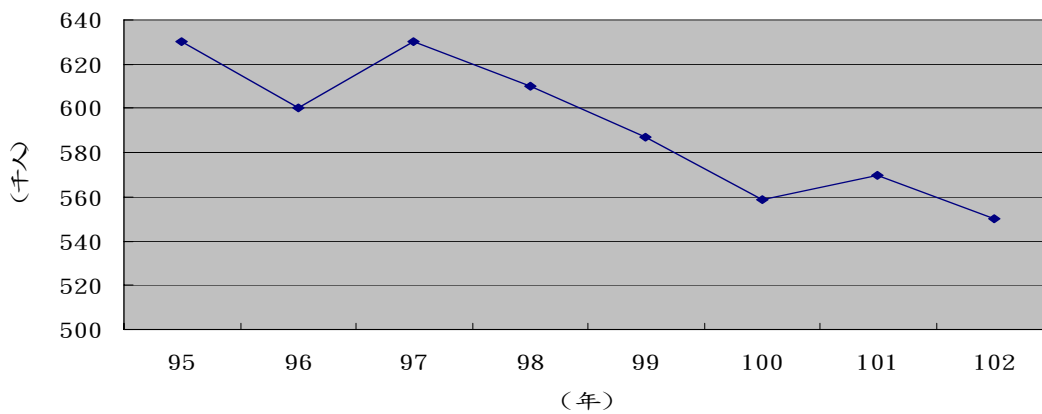
(d) 台北-洛杉磯 旅客

圖 4.3(b) 台北-洛杉磯旅客年需求量



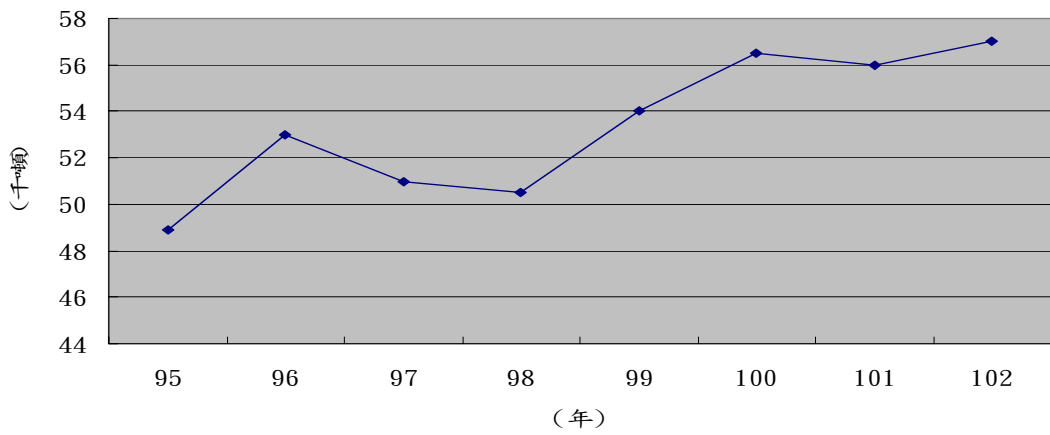
(e) 台北-舊金山 貨運

圖 4.4(a) 台北-舊金山貨運年需求量



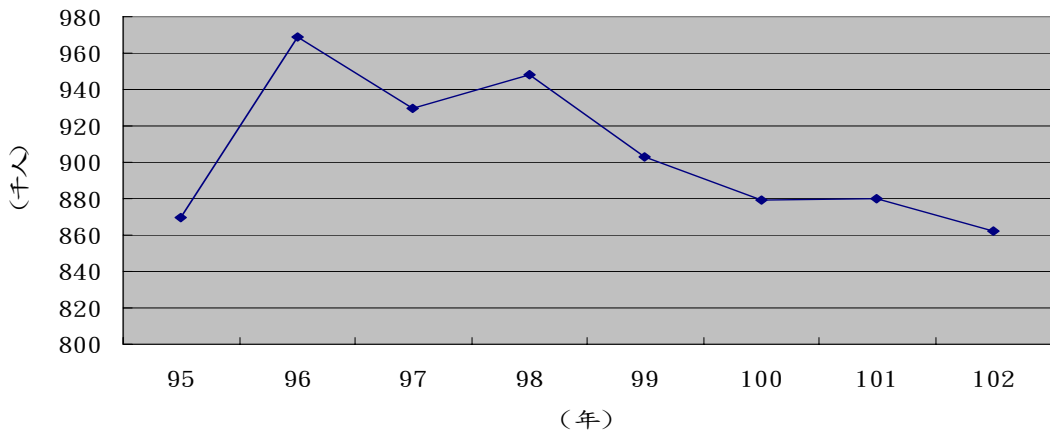
(f) 台北-舊金山 旅客

圖 4.4(b) 台北-舊金山旅客年需求量



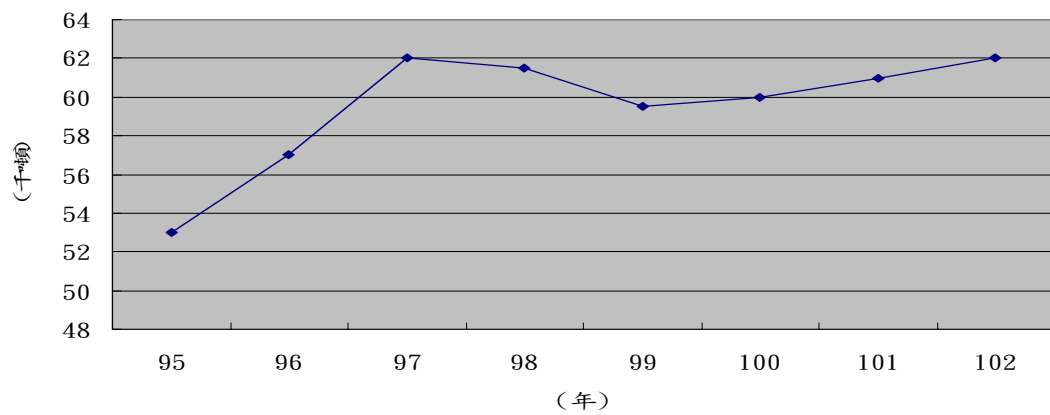
(g)台北-新加坡 貨運

圖 4.5(a) 台北-新加坡貨運年需求量



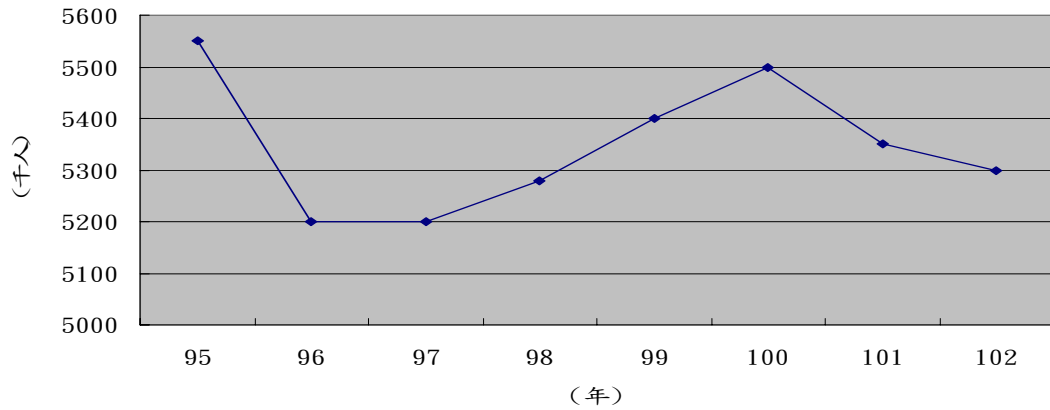
(h)台北-新加坡 旅客

圖 4.5(b) 台北-新加坡旅客年需求量



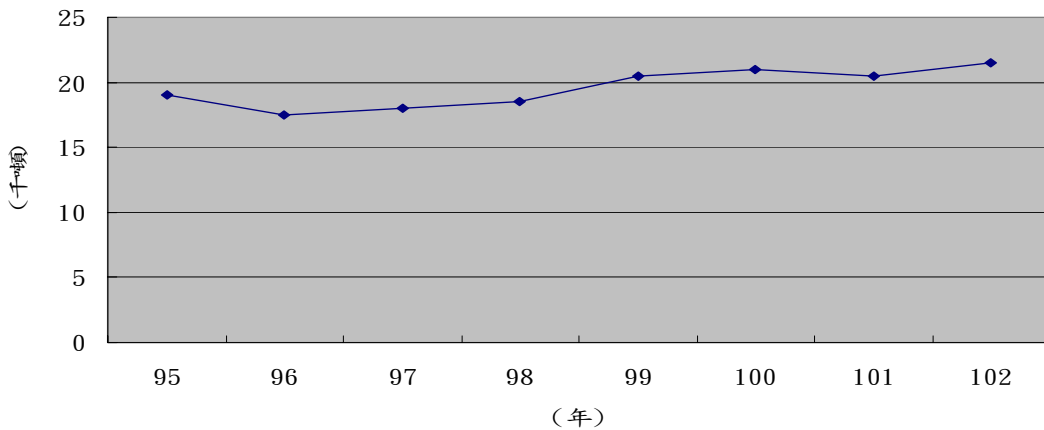
(i)台北-香港 貨運

圖 4.6(a) 台北-香港貨運年需求量



(j)台北-香港 旅客

圖 4.6(b) 台北-香港旅客年需求量



(k)台北-雅加達 貨運

圖 4.7 台北-雅加達貨運年需求量

本研究預測包含客/貨運之整體研究航線資料，先由過去資料建立對各航線之預測資料後，再經過時區劃分後之各時區貨運及旅客需求量，由對 r1 航線之預測年需求量波動情形為例，將民國 95 至 102 年間劃分為兩個時區，由預期之貨物年需求量及旅客年需求量之成長情形，再劃分以 95~98 年為第一時區，而以 99~102 年為第二時區，則第一時區由民國 96~98 年經歷貨物年需求量大幅成長之情形，而民國 99 年至 102 年之四年間，則於貨物及旅客之年需求量皆呈衰退之情形。表 4.8 為各航線預測需求量經由時區劃分後於各時區之總需求量。

表 4.8 各航線時區劃分後之預測需求量

航線		時區	
		1 (民 95 年~民 98 年)	2 (民 99 年~民 102 年)
台北-東京	貨運(噸)	71,079	71,479
	旅客(人)	8,555,694	8,463,233
台北-洛杉磯	貨運(噸)	218,012	229,617
	旅客(人)	5,854,886	6,068,473
台北-舊金山	貨運(噸)	124,550	110,110
	旅客(人)	2,470,000	2,266,000
台北-新加坡	貨運(噸)	203,400	223,500
	旅客(人)	3,716,571	3,524,523
台北-香港	貨運(噸)	233,500	242,500
	旅客(人)	21,230,000	21,550,000
台北-雅加達	貨運(噸)	73,000	83,500
	旅客(人)	-	-

資料來源：本研究整理

由表 4.9 表格計算，可看出本研究中對六條研究航線所建立之灰色預測模式，預測需求量及實際需求量之平均差距值均小於 4%，且其中之台北-東京、台北-洛杉磯、台北-舊金山及台北-香港等四條航線之平均差距皆小於 3%，顯見應用灰色預測模式之配適具有相當高之精確度。

表 4.9 灰色模式預測與實際貨物需求量結果之模式預測精確度驗證

航線	年份	實際貨運量	預測貨運量	平均差距值
台北-東京	85	15110	15109	2.1461%
	86	14631	15229	
	87	14997	15350	
	88	15800	15472	
	89	15212	15595	
	90	15599	15719	
	91	16118	15844	
	92	16713	15970	
	93	16220	16097	
	94	16670	16225	
台北-洛杉磯	85	40877	39020	2.5135%
	86	41124	40722	
	87	42389	42491	
	88	42442	44344	
	89	45588	46266	
	90	49731	48273	
	91	49390	50366	
	92	52200	52549	
	93	53511	54825	
	94	54050	57120	
台北-舊金山	85	38551	38656	2.3845%
	86	37002	38111	
	87	36445	37622	
	88	38897	37139	
	89	36643	36662	
	90	37879	36191	
	91	34707	35727	
	92	36022	35268	
	93	34982	34815	
	94	33470	34368	

表 4.9 灰色模式預測與實際貨物需求量結果之模式預測精確度驗證(續)

航線	年份	實際貨運量	預測貨運量	平均差距值
台北-新加坡	85	43359	42444	3.3053%
	86	42871	42810	
	87	44203	43179	
	88	41981	43551	
	89	40367	43926	
	90	41808	44305	
	91	44790	44687	
	92	46506	45072	
	93	47728	45460	
	94	44642	45852	
台北-香港	85	43300	43034	2.2218%
	86	44575	44585	
	87	44863	46191	
	88	48081	47854	
	89	47955	49576	
	90	53004	51359	
	91	55517	53206	
	92	57799	55119	
	93	58229	57101	
	94	58813	59153	
台北-雅加達	85	21818	22234	3.3620%
	86	21943	21123	
	87	20015	20606	
	88	19357	19937	
	89	19980	19289	
	90	19322	18662	
	91	18385	18056	
	92	17071	17469	
	93	15595	16902	
	94	15840	16353	

4.2.2 馬可夫鏈預測模式

本研究應用之馬可夫鏈模式結合灰色模式之預測結果，以貨物需求量預測結果為中心值，取 4% 之上下差值作為上、中、下三個狀態，此三個狀態即可對應至本研究所構建之航空公司機隊改裝動態規劃模式中，並分別為三個預測貨物需求量上下波動之情形，且以 A1、A2、A3、A4 表示此三項狀態之四個邊界值，則此四個邊界值與預測中心值 X 之關係即分別包含各狀態中心值為中心之 4% 為各個狀態，其個別關係如下所示： $A1=A2*0.96$ 、 $A2=X*0.98$ 、 $A3=X*1.02$ 、 $A4=A3*1.04$ ，各狀態分別代表為原始預測值與實際值相較為高估、準確或低估之情形，以台北-東京航線為例，其預測貨物需求量狀態劃分及對應結果即如表 4.10 所示。

表 4.10 台北-東京航線預測貨物需求量狀態劃分及對應結果

年份	實際值(噸)	預測值(噸)	A1	A2	A3	A4	狀態
85	15110	15109	14215	14807	15411	16027	2
86	14631	15229	14327	14924	15534	16155	1
87	14997	15350	14441	15043	15657	16283	1
88	15800	15472	14556	15163	15781	16412	3
89	15212	15595	14672	15283	15907	16543	1
90	15599	15719	14789	15405	16033	16674	2
91	16118	15844	14906	15527	16161	16807	2
92	16713	15970	15025	15651	16289	16941	3
93	16220	16097	15144	15775	16419	17076	2
94	16670	16225	15265	15901	16550	17212	3

資料來源：本研究整理

由表 4.10 之狀態利用馬可夫鏈轉移機率矩陣計算，可得台北-東京航線貨物需求量狀態轉移矩陣列表如下表所示。其中 R1、R2、R3、R4、R5、R6 分別代表狀態轉移之步數，即為由狀態 i 轉移至狀態 j 之步數，表中最左列表示原始狀態，各步數之最上一行則表示轉移後之狀態，則原始與轉移後狀態間之相交欄位即表示經馬可夫鏈轉移機率矩陣計算後，各別狀態轉換之機率結果，且各行所表示之轉移機率總合為 1.00。則依此狀態轉移機率矩陣表，可計算於未來時間內，預測貨物運輸需求量波動落在每一狀態之機率。

由表 4.11 之台北-東京航線貨物需求量轉移機率矩陣表，代表各個年份時區中位處預測貨運需求為往上波動、持平及往下波動三種狀態之發生機率，且由各步數及狀態結合下，以為計算得知此研究航線於未來研究時區之預測需求量波動情形，進一步求得之台北-東京航線民國 95~102 年狀態轉移機率矩陣即如表 4.12 所示。

表 4.11 台北-東京航線貨物需求量轉移機率矩陣表

R1	1	2	3
1	0.33	0.33	0.33
2	0.25	0.25	0.50
3	0.50	0.50	0.00
R2	1	2	3
1	0.33	0.33	0.33
2	0.33	0.33	0.33
3	0.00	0.50	0.50
R3	1	2	3
1	0.33	0.33	0.33
2	0.00	0.33	0.66
3	0.00	1.00	0.00
R4	1	2	3
1	0.00	1.00	0.00
2	0.50	0.00	0.50
3	0.00	0.00	1.00
R5	1	2	3
1	0.00	0.33	0.66
2	0.00	1.00	0.00
3	0.00	1.00	0.00
R6	1	2	3
1	0.00	0.50	0.50
2	0.00	1.00	0.00
3	0.00	0.00	1.00

表 4.12 台北-東京航線民國 95~102 年狀態轉移機率矩陣

預測年份：民國 95 年			位處各狀態機率		
年份	狀態	步數	1	2	3
89	1	6	0.00	0.50	0.50
90	2	5	0.00	1.00	0.00
91	2	4	0.50	0.00	0.50
92	3	3	0.00	1.00	0.00
93	2	2	0.33	0.33	0.33
94	3	1	0.50	0.50	0.00
機率和			1.33	3.33	1.33

表 4.12 台北-東京航線民國 95~102 年狀態轉移機率矩陣(續)

預測年份：民國 96 年			位處各狀態機率		
年份	狀態	步數	1	2	3
90	2	6	0.00	1.00	0.00
91	2	5	0.00	1.00	0.00
92	3	4	0.00	0.00	1.00
93	2	3	0.00	0.33	0.66
94	3	2	0.00	0.50	0.50
95	2	1	0.25	0.25	0.50
機率和			0.25	3.08	2.66

預測年份：民國 97 年			位處各狀態機率		
年份	狀態	步數	1	2	3
91	2	6	0.00	1.00	0.00
92	3	5	0.00	1.00	0.00
93	2	4	0.50	0.00	0.50
94	3	3	0.00	1.00	0.00
95	2	2	0.33	0.33	0.33
96	2	1	0.25	0.25	0.50
機率和			1.08	3.58	1.33

預測年份：民國 98 年			位處各狀態機率		
年份	狀態	步數	1	2	3
92	3	6	0.00	0.00	1.00
93	2	5	0.00	1.00	0.00
94	3	4	0.00	0.00	1.00
95	2	3	0.00	0.33	0.66
96	2	2	0.33	0.33	0.33
97	2	1	0.25	0.25	0.50
機率和			0.58	1.91	3.49

表 4.12 台北-東京航線民國 95~102 年狀態轉移機率矩陣(續)

預測年份：民國 99 年			位處各狀態機率		
年份	狀態	步數	1	2	3
93	2	6	0.00	1.00	0.00
94	3	5	0.00	1.00	0.00
95	2	4	0.50	0.00	0.50
96	2	3	0.00	0.33	0.66
97	2	2	0.33	0.33	0.33
98	3	1	0.50	0.50	0.00
機率和			1.33	3.16	1.49

預測年份：民國 100 年			位處各狀態機率		
年份	狀態	步數	1	2	3
94	3	6	0.00	0.00	1.00
95	2	5	0.00	1.00	0.00
96	2	4	0.50	0.00	0.50
97	2	3	0.00	0.33	0.66
98	3	2	0.00	0.50	0.50
99	2	1	0.25	0.25	0.50
機率和			0.75	2.08	3.16

預測年份：民國 101 年			位處各狀態機率		
年份	狀態	步數	1	2	3
95	2	6	0.00	1.00	0.00
96	2	5	0.00	1.00	0.00
97	2	4	0.50	0.00	0.50
98	3	3	0.00	1.00	0.00
99	2	2	0.33	0.33	0.33
100	3	1	0.50	0.50	0.00
機率和			1.33	3.83	0.83

表 4.12 台北-東京航線民國 95~102 年狀態轉移機率矩陣(續)

預測年份：民國 102 年			位處各狀態機率		
年份	狀態	步數	1	2	3
96	2	6	0.00	1.00	0.00
97	2	5	0.00	1.00	0.00
98	3	4	0.00	0.00	1.00
99	2	3	0.00	0.33	0.66
100	3	2	0.00	0.50	0.50
101	2	1	0.25	0.25	0.50
機率和			0.25	3.08	2.66

由各預測年份之機率和，進一步計算個別狀態與所有可能發生之三種狀態相較下之發生機率，則各航線之逐年狀態轉移機率即如表 4.13(a)至表 4.13(f)。

表 4.13(a) 台北-東京航線逐年狀態轉移機率

台北-東京			
年份(狀態)	位處各狀態機率		
	1	2	3
95(2)	0.22	0.56	0.22
96(2)	0.04	0.51	0.44
97(2)	0.18	0.60	0.22
98(3)	0.10	0.32	0.58
99(2)	0.22	0.53	0.25
100(3)	0.13	0.35	0.53
101(2)	0.22	0.64	0.14
102(2)	0.04	0.51	0.44

表 4.13(b) 台北-洛杉磯航線逐年狀態轉移機率

台北-洛杉磯			
年份(狀態)	位處各狀態機率		
	1	2	3
95(3)	0.26	0.31	0.43
96(2)	0.11	0.67	0.22
97(2)	0.21	0.76	0.03
98(1)	0.58	0.38	0.03
99(1)	0.64	0.32	0.04
100(3)	0.35	0.22	0.43
101(2)	0.11	0.67	0.22
102(2)	0.21	0.76	0.03

表 4.13(c) 台北-舊金山航線逐年狀態轉移機率

台北-舊金山			
年份(狀態)	位處各狀態機率		
	1	2	3
95(1)	0.56	0.25	0.19
96(1)	0.39	0.11	0.50
97(3)	0.11	0.69	0.19
98(2)	0.56	0.06	0.39
99(1)	0.64	0.08	0.28
100(1)	0.22	0.19	0.58
101(2)	0.11	0.69	0.19
102(1)	0.56	0.06	0.39

表 4.13(d) 台北-新加坡航線逐年狀態轉移機率

台北-新加坡			
年份(狀態)	位處各狀態機率		
	1	2	3
95(1)	0.80	0.06	0.14
96(1)	0.61	0.39	0.00
97(3)	0.36	0.28	0.36
98(3)	0.31	0.26	0.43
99(3)	0.33	0.18	0.49
100(1)	0.67	0.04	0.29
101(1)	0.72	0.14	0.14
102(1)	0.69	0.22	0.08

表 4.13(e) 台北-香港航線逐年狀態轉移機率

台北-香港			
年份(狀態)	位處各狀態機率		
	1	2	3
95(3)	0.08	0.26	0.65
96(3)	0.12	0.34	0.54
97(3)	0.12	0.33	0.56
98(3)	0.12	0.30	0.59
99(3)	0.03	0.38	0.59
100(3)	0.03	0.21	0.75
101(3)	0.03	0.38	0.59
102(3)	0.03	0.38	0.59

表 4.13(f) 台北-雅加達航線逐年狀態轉移機率

台北-雅加達			
年份(狀態)	位處各狀態機率		
	1	2	3
95(1)	0.43	0.17	0.40
96(1)	0.43	0.17	0.40
97(1)	0.43	0.33	0.24
98(1)	0.60	0.17	0.24
99(1)	0.60	0.17	0.24
100(1)	0.60	0.17	0.24
101(1)	0.60	0.17	0.24
102(1)	0.60	0.17	0.24

4.2.3 改裝時程動態規劃模式求解結果說明

由研究時間區間民國 95~102 年間，劃分為民國 95~99 年及民國 99~102 年兩時區之個別預期貨物需求量及旅客需求量，並由此兩時區之起始年份 95 年及 99 年為兩時區之起始點，即成為 A 航空公司之決策改裝時點，所劃分之各時區需求量即如表 4.8 所示，其後以此時間點為依據，設定各參數資料，且檢視時區起始之 A 航空公司機隊狀況及改裝條件式中達到必要改裝年限之航機，此即為實務上由於機齡老舊而使航空公司針對舊有客機改裝為貨機使用之作法，並再以改裝更新後之機隊組成情形為依據，進行該時區對應貨運景氣成長狀況之機隊航機改裝決策，此階段之改裝決策即為針對景氣循環時，貨運景氣成長時間及幅度皆先於客運景氣之現象下，航空公司為最大化該情況下之整體機隊收益，而由機隊組成著手，做出改裝決策之動機，圖 4.8 即為本研究範例求解流程之示意圖。

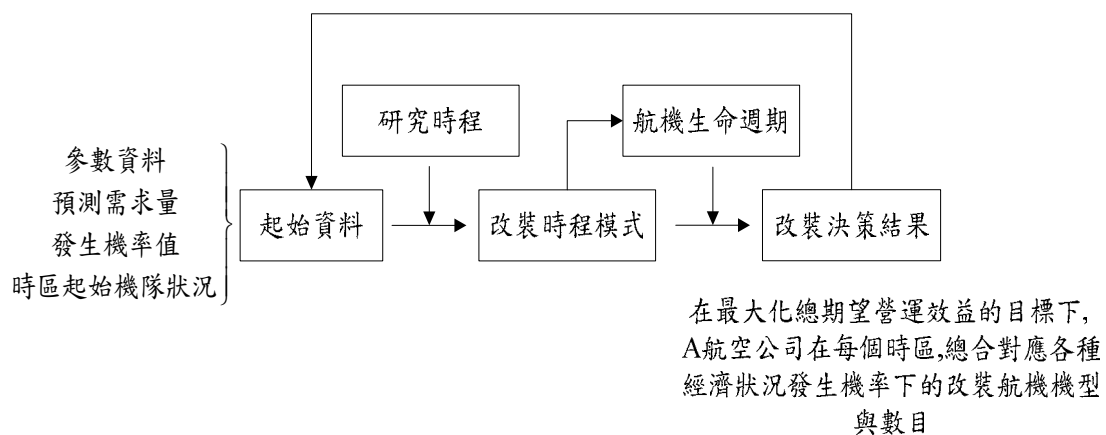


圖 4.8 範例求解流程圖

本研究範例由預測需求量及狀態發生機率資料，配合研究目標航空公司於研究時區起始時之機隊狀況，及相關成本與營運參數資料，做為範例求解時之輸入資料，且將該研究決策所在時點之影響納入考慮，並經由本研究改裝時程動態規劃模式，求解最大化總期望營運效益目標下，研究目標航空公司總合對應各種經濟狀況發生機率下，於研究時區起始時之改裝航機機型與數目。另再經由個別航機觀點，將改裝時程模式於個別航機使用狀況改變所做之決策，與一般航空公司傳統上，經由航機取得會計成本折舊及平均汰換經驗所獲取之航機改裝機齡壽限概念相比較，以得知由個別航機觀點角度驗證本研究改裝時程動態規劃模式之效益改善。

本研究模式之輸入資料則包含預測需求量、發生機率值、參數資料及時區起始機隊狀況，其中由灰預測結合馬可夫鏈，求得對 95~102 年間之需求量預測值，並以景氣波動情況之配對發生機率值作為對預期需求量之修正，即可得經可能發生機率修正後之預測需求量以作為輸入資料。

本研究所採行之研究航線以台北與該航點間之直飛航線為主要選擇考量，其餘一趟航程中停靠多個航點之貨運航線(以本研究目標航空公司而言，經中亞、中東及歐洲之航點全為多航點貨運線)，亦可在獲取各停靠航點之上下貨運量之資料後，以本研究之模式設定進行需求、成本解析及機隊規劃。

本研究範例中參考使用目標航空公司之相關客、貨運機隊班表，加強實例過程及結果之應用性，然而於範例中須考量部分相關應用方面之實務現象及限制，包括於研究中之航線及機型配對上，須考慮機型與航線於實際飛行航程能力之配適問題，如 B737 即為區間型航機而不用於飛航遠程越洋航線，此部份之限制無論於執行改裝或租賃選擇時，皆應於航機移轉或航線共用時納入考慮；於實務中之航機利用以航機班號顯示於班表，然個別航機之使用上亦存在諸如進廠翻修而由機隊中其餘航機執行班表既定飛航班次之情形，此部份之航機使用狀況則由本研究自行設定。另研究中亦考量預測需求量遞減之航線，於航機利用執行改裝決策而改變使用狀況後，存在航機轉移至需求量增加航線使用之可能性。另於本研究中亦納入租賃成本相關資料做為中短期機隊運量規劃之比較替代方案。

依據本研究模式架構及前述參數資料及條件限制下，而於本研究第一時區起始年份民國 95 年之客運機隊與貨運機隊航機規劃結果，即如表 4.14 及表 4.15 所示，並計算執行此項以改裝為主之機隊更新計劃於航空公司方面之機隊運量規劃成本，如下表所示。

表 4.14 研究航線客運機隊航機規劃結果

航線	第一時區 起始機隊狀況	第一時區更新決策	更新後機隊狀況
台北-東京	B737-800→1 架 B747-400→2 架	改裝 1 架 B737-800 租賃 1 架 B737-800	B747-400→2 架 B737-800→租賃 1 架
台北-洛杉磯	B747-400→4 架	改裝 1 架 B747-400	B747-400→3 架
台北-舊金山	B747-400→1 架	-	B747-400→1 架
台北-新加坡	B737-800→1 架 A330-300→1 架	改裝 1 架 B737-800 租賃 1 架 A330-300	A330-300→1 架+租賃 1 架
台北-香港	B747-400→8 架 A330-300→3 架 B737-800→1 架	改裝 1 架 B747-400 改裝 1 架 B737-800	B747-400→7 架 A330-300→3 架
台北-雅加達	-	-	-
航線	第二時區 起始機隊狀況	第二時區更新決策	更新後機隊狀況
台北-東京	B747-400→2 架 B737-800→租賃 1 架	-	B747-400→2 架 B737-800→租賃 1 架
台北-洛杉磯	B747-400→3 架	租賃 1 架 B747-400	B747-400→3 架+租賃 1 架
台北-舊金山	B747-400→1 架	-	B747-400→1 架
台北-新加坡	A330-300→1 架+ 租賃 1 架	-	A330-300→1 架+租賃 1 架
台北-香港	B747-400→7 架 A330-300→3 架	改裝 1 架 B747-400 租賃 2 架 B747-400	B747-400→6 架+租賃 2 架 A330-300→3 架
台北-雅加達	-	-	-

表 4.15 研究航線貨運機隊航機規劃結果

航線	第一時區 起始機隊狀況	第一時區更新決策	更新後機隊狀況
台北-東京	B747-400F→1 架	-	B747-400F→1 架
台北-洛杉磯	B747-400F→3 架	-	B747-400F→3 架
台北-舊金山	B747-400F→1 架	-	B747-400F→1 架
台北-新加坡	B747-400F→3 架	改裝完成 2 架 B737-800F	B747-400F→3 架 B737-800F→2 架
台北-香港	B747-400F→2 架	改裝完成 2 架 B747-400F	B747-400F→4 架
台北-雅加達	B747-400F→1 架	改裝完成 1 架 B737-800F	B747-400F→1 架 B737-800F→1 架
航線	第二時區 起始機隊狀況	第二時區更新決策	更新後機隊狀況
台北-東京	B747-400F→1 架	-	B747-400F→1 架
台北-洛杉磯	B747-400F→3 架	-	B747-400F→3 架
台北-舊金山	B747-400F→1 架	-	B747-400F→1 架
台北-新加坡	B747-400F→3 架 B737-800F→2 架	轉移完成 1 架 B737-800F	B747-400F→3 架 B737-800F→3 架
台北-香港	B747-400F→4 架	-	B747-400F→4 架
台北-雅加達	B747-400F→1 架 B737-800F→1 架	改裝完成 1 架 B747-400F 轉移使用 1 架 B737-800F	B747-400F→2 架

台北-東京 由改裝條件判斷較老舊之 B737-800 航機一架進行改裝，但旅客量於第一時區之需求仍高，故短少之運量藉由租賃一架 B737-800 滿足。

台北-洛杉磯 由整體研究航線貨運需求及改裝條件判斷綜合考量，改裝 1 架 B747-400，貨運航線需求持平，第二時區再由增租一架 B747-400 滿足客運需求。

台北-舊金山 因越洋航線長距離飛行航程考量，本航線應用航機有機型上之限制，因此於研究區間之預期客/貨需求量皆衰退，然而受限於可飛行該航線之機型，因此於此航線之機隊規劃不做變動。

台北-新加坡 旅客量於第一時區之需求藉由租賃滿足，且以運量需求及包含線上與場站之後勤規格考量，而以同系列航機為租賃標的，故租賃 1 架 A330-300 做為客機使用。另對應貨運需求成長部份，由研究中客運線需求寬鬆之其餘航線航機改裝為貨機，投入本航線之貨運機隊營運，故接受 2 架改裝完成之 B737-800F，於第二時區增加之貨運需求由轉移使用之 B737-800F 滿足。

台北-香港 由於客運需求於研究時區中呈現持平且微幅下降，因此選擇本航線上營運頻次較低之 1 架 B747-400 及 1 架 B737-800 進行改裝，另為滿足貨運航線上成長之需求，由改裝完成之 2 架 B747-400F 加入營運機隊，於第二時區由滿足改裝門檻之一架 B747-400 進行改裝，並由租賃二架 B747-400 滿足本時區客運需求。

台北-雅加達 本研究中考慮此航線為純貨運航線之情形，則此航線為一中短程之貨運線，於研究時區中預期貨運量需求成長之部份，由 1 架改裝完成之 B737-800F 加入以滿足需求，第二時區增加之貨運需求由改裝完成之一架 B747-400F 滿足，並由原本使用較小運量之一架 B737-800F 轉移使用至台北-新加坡航線。

表 4.16 研究航線機隊運量規劃成本

機隊航線	第一時區更新決策	成本(NTD)	第二時區更新決策	成本(NTD)
台北-東京	改裝 1 架 B737-800 租賃 1 架 B737-800	384,000,000	-	-
台北-洛杉磯	改裝 1 架 B747-400	-	租賃 1 架 B747-400	800,000,000
台北-舊金山	-	-	-	-
台北-新加坡	改裝 1 架 B737-800 租賃 1 架 A330-300 改裝完成 2 架 B737-800F	1,280,000,000	轉移完成 1 架 B737-800F	-
台北-香港	改裝 1 架 B747-400 改裝 1 架 B737-800 改裝完成 2 架 B747-400F	100,000,000	改裝 1 架 B747-400 租賃 2 架 B747-400	1,600,000,000
台北-雅加達	改裝完成 1 架 B737-800F	40,000,000	改裝完成 1 架 B747-400F 轉移使用 1 架 B737-800F	50,000,000

由此六條研究航線於研究時區之機隊規劃成本、需求量波動情況機率及各時區整體機隊營運效益，可發現當預測貨物運輸需求量越準確，即與實際變化情況差距小時，由機隊運量規劃結果與實際需求差距所形成之懲罰值即越小，因此其預測需求量上下波動情形無論往上或往下波動，皆導致懲罰值之增加，而持平時將獲取最低之懲罰值，但由於本研究目標為尋求機隊營運效益最大化，因此預測需求量上下波動情形由對於預期營收之影響，進一步導致對機隊營運效益將產生不同方向之影響，於六條研究航線之各時區機隊營運效益及原始機率即如下圖。

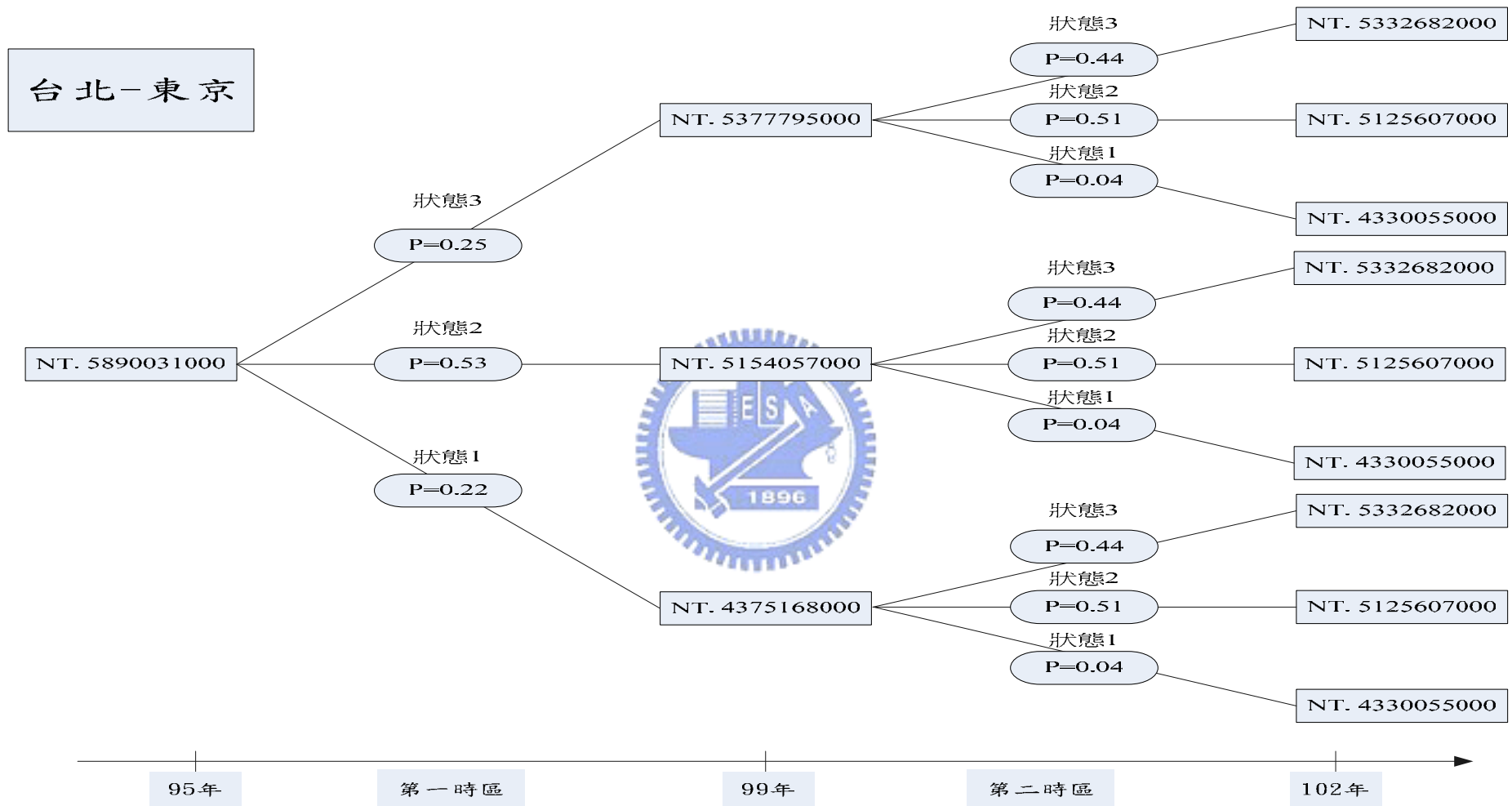


圖 4.9(a) 台北-東京航線各時區機隊營運效益及原始機率

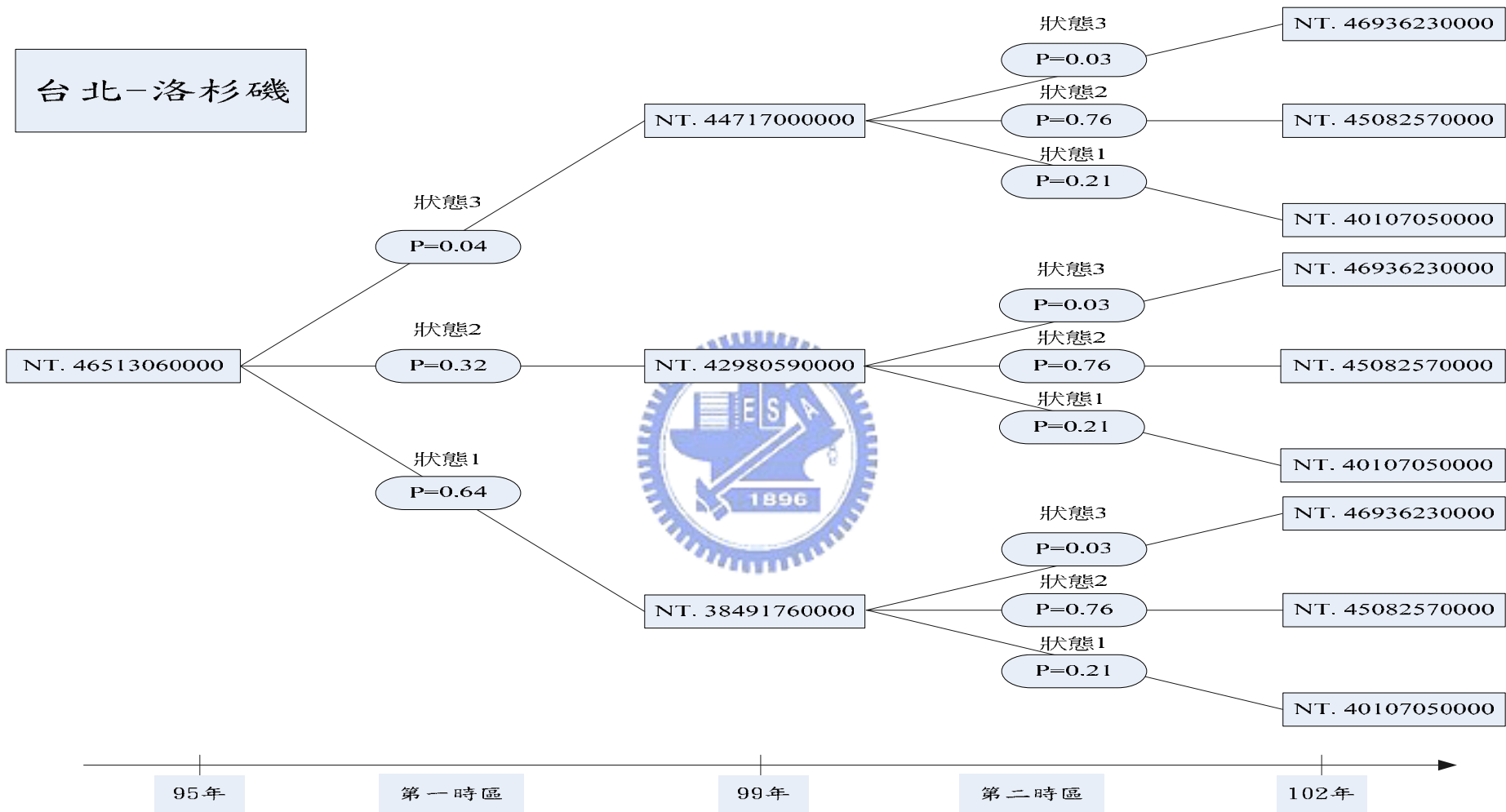


圖 4.9(b) 台北-洛杉磯航線各時區機隊營運效益及原始機率

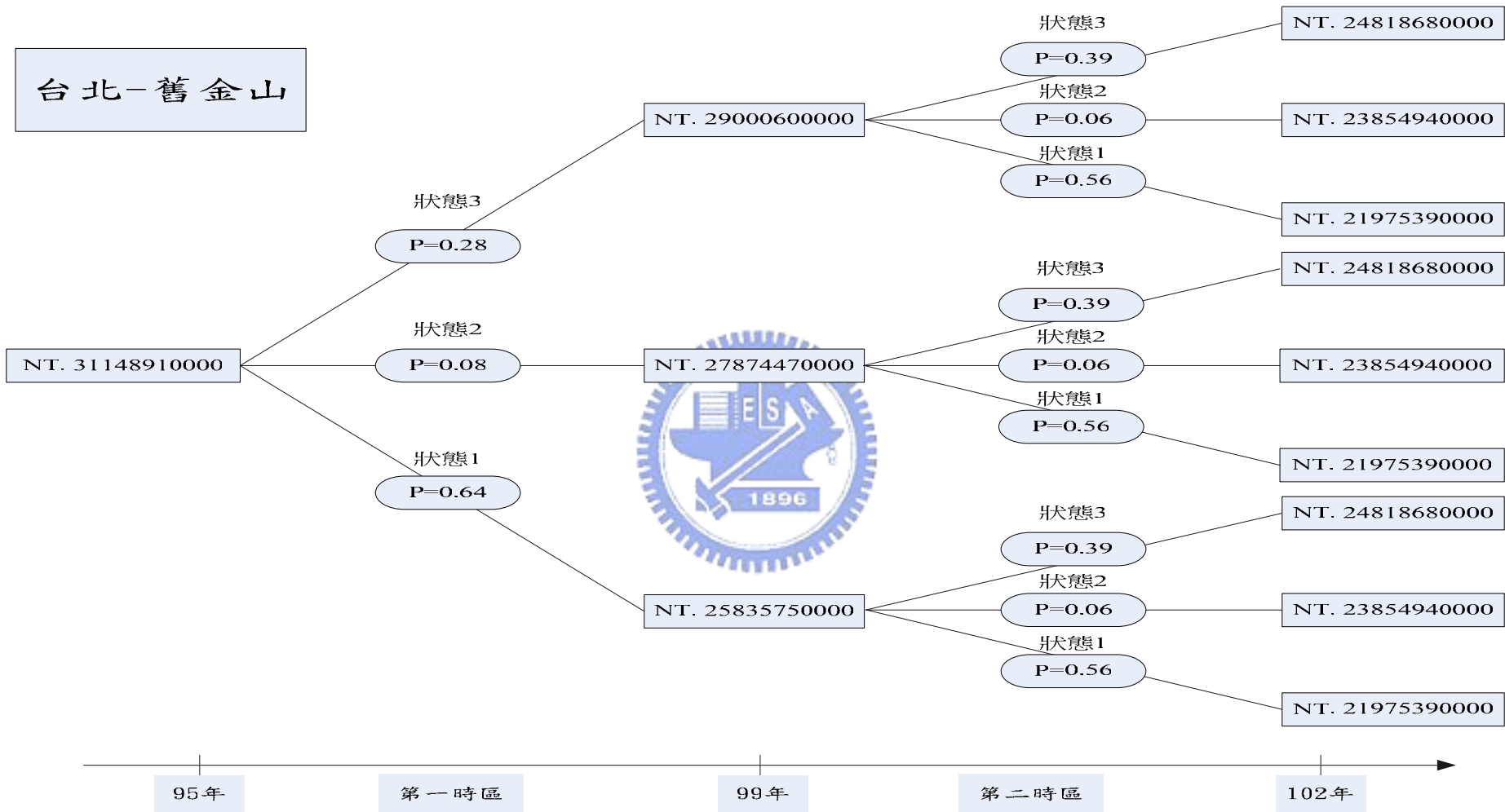


圖 4.9(c) 台北-舊金山航線各時區機隊營運效益及原始機率

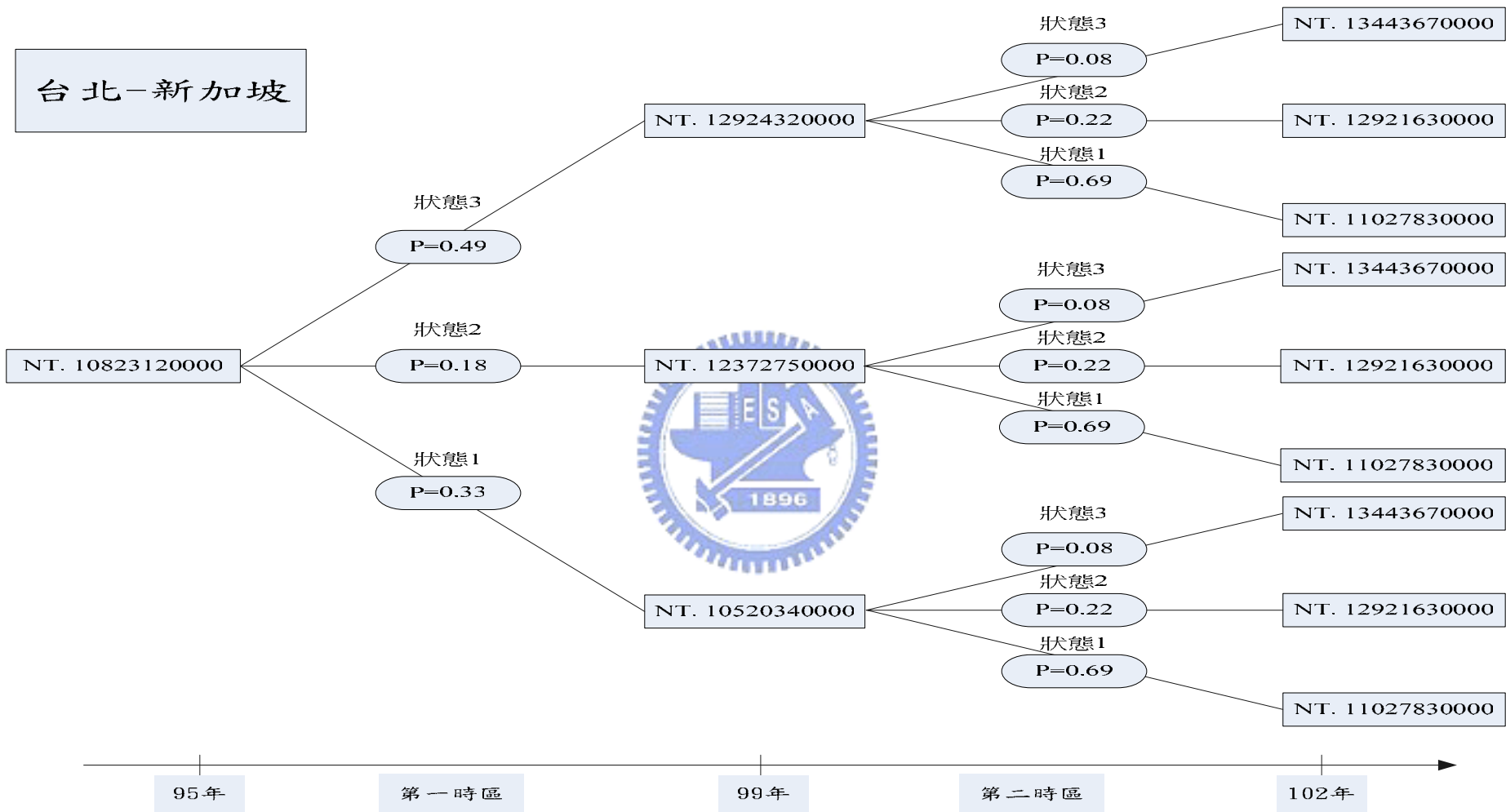


圖 4.9(d) 台北-新加坡航線各時區機隊營運效益及原始機率

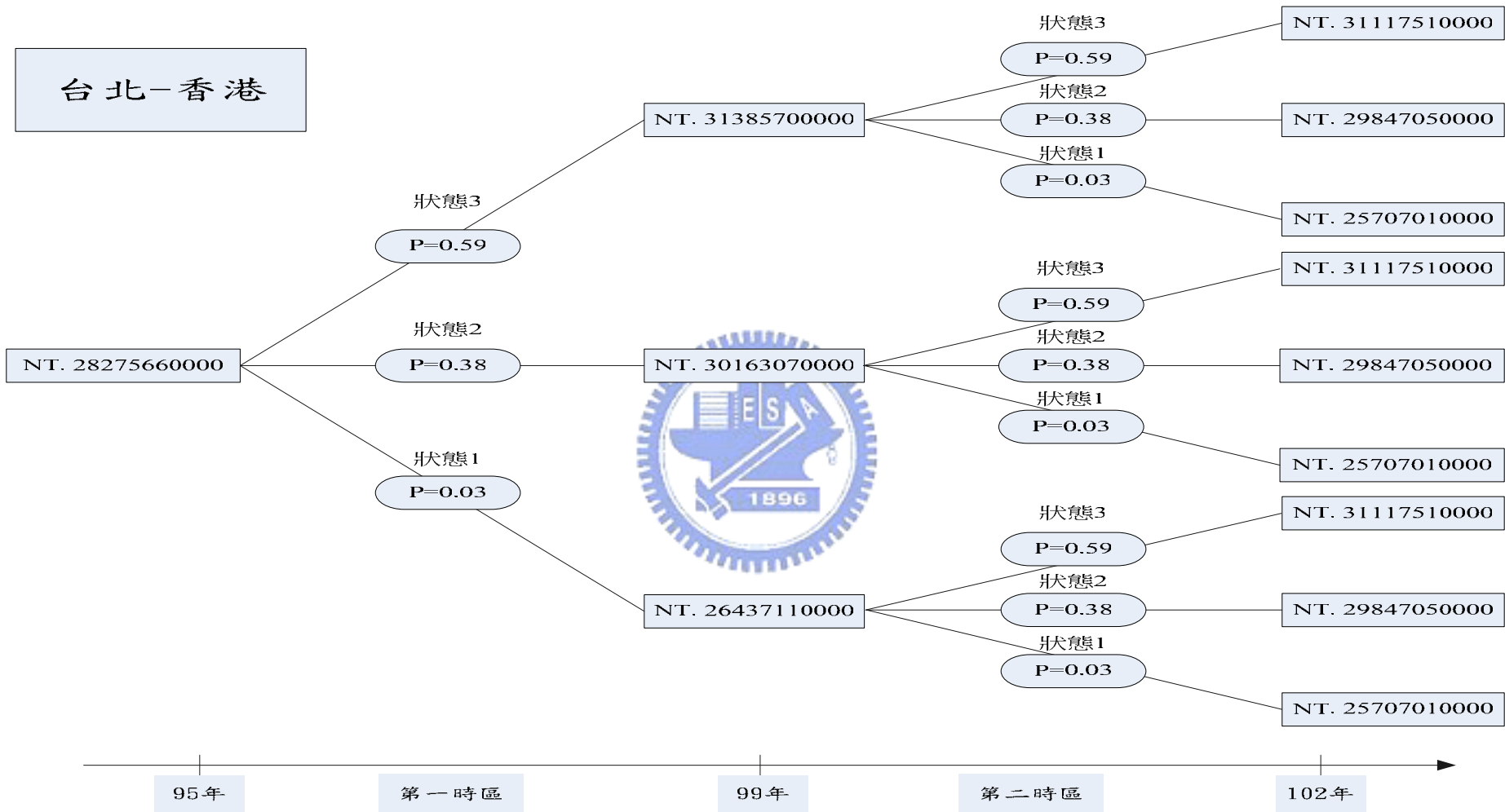


圖 4.9(e) 台北-香港航線各時區機隊營運效益及原始機率

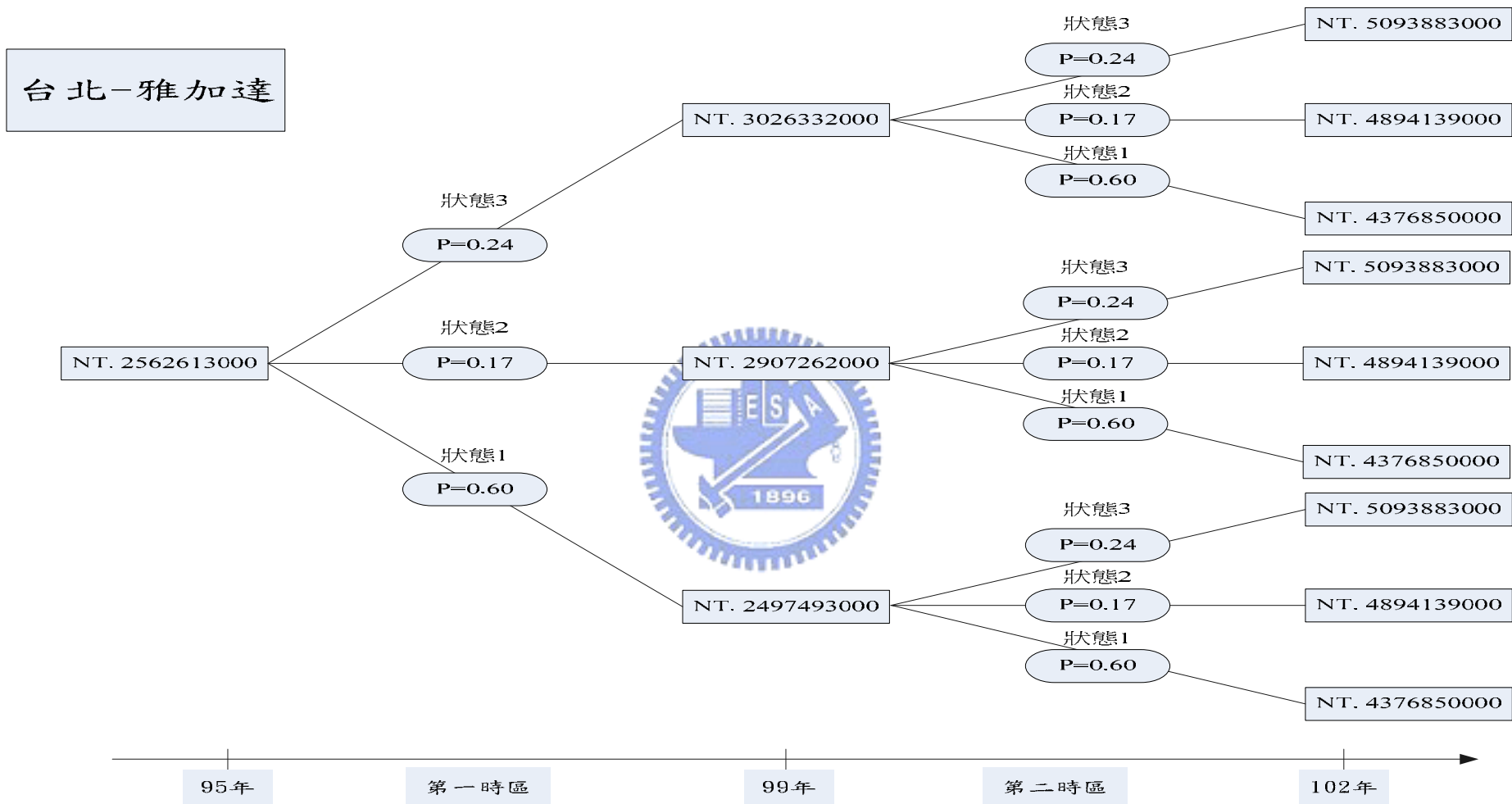


圖 4.9(f) 台北-雅加達航線各時區機隊營運效益及原始機率

本研究以劃分後之時區為基準，取其中主要研究時點計算各研究航線及總合航線期望效益如下表，其中本研究於各航線間之客貨運需求落差現象下，考量機隊規劃時航機轉移航線使用之改裝決策，並達成整體考量航線之總合機隊營運效益最大化，因此以各研究航線之個別期望效益考量下，達成總期望效益最大之研究目標。研究結果顯示作為純貨運航線經營之台北-雅加達航線於研究時區內之航線期望效益增加幅度最大，此現象導因於此航線為純貨運航線，受貨運景氣之成長影響較其它客貨運兼營航線顯著，且於第二研究時區終止時點(民 102 年)之航線期望效益亦較第二研究時區決策時點(民 99 年)大幅增加，其一為該時區改裝完成之貨機大幅增加此航線運量，其二為該航線新加入貨機之改裝成本於決策時點認列影響該年度機隊期望效益，再者即為該航線貨運需求量之成長。

表 4.17 主要研究時點各研究航線及總期望效益

研究時程	年份	各研究航線期望效益 (NTD)	總期望效益 (NTD)
第一研究時區 決策時點	95	東京	5,890,031,000
		洛杉磯	46,513,060,000
		舊金山	31,148,910,000
		新加坡	10,823,120,000
		香港	28,275,660,000
		雅加達	2,562,613,000
第二研究時區 決策時點	99	東京	5,038,635,920
		洛杉磯	40,177,195,200
		舊金山	26,885,005,600
		新加坡	12,031,724,000
		香港	30,772,642,900
		雅加達	2,719,050,020
第二研究時區 終止時點	102	東京	5,133,641,850
		洛杉磯	44,093,320,600
		舊金山	23,416,800,000
		新加坡	11,527,454,900
		香港	30,472,420,200
		雅加達	4,680,645,550

資料來源:本研究整理

4.3 個別航機生命週期模式分析

本研究以年份為單位，並以機隊動態規劃決策結果建立個別航機逐年生命週期模式。由機齡遞增而建立對未來個別航機之總營運成本，並進一步結合預期營收與改裝決策進行之規劃，建立初期為客機使用而屆期進行改裝之個別航機，其生命週期模式。本研究由於考量研究航線中依據航機班表之排定，而存在即使飛行同航線之同型航機，仍因排定班表頻次之安排而具營運效益上之差異，而與過去研究所考量觀點不同，由於班表之排定上可能因機齡新舊，或挪用部分運量於

其它航線等因素做為班表頻次安排之參考，而彰顯於使用考量及營運效益貢獻上之個別航機獨立性。

生命週期模式於本研究範例之應用，為利用切入角度之差異為比較動機，傳統上航空公司執行改裝決策之依據為按照過去經驗，而以平均值概念於航機機齡約於 15~20 年間進行改裝，此概念類似過去各國航空官方管理單位基於安全性而設立特定之飛航哩程或時數做為回廠進行各級檢修之依據，然此類之規定因對於航機檢修期程之設定係以總合平均值為基本依據，而對個別航機之使用狀況差異較少考量，近年來基於增進個別航機營運效益之因素，而採取動態調整之檢修期程，以設立檢修期程前後門檻值之方式配合非破壞性檢測，對個別航機之使用狀況差異調整建立個別適用之檢修期程，此概念即類似於國內民航局以民航通告中關於加壓機身修理容損評估相關概念加以重新規範，而類似此種除去舊有靜態平均值規範概念，而以動態評估配合門檻值設立之改裝時程決策，亦將以著眼於個別航機差異性之角度，取代過去較缺乏效率之總合平均概念，故本研究即以個別航機生命週期模式觀點評估研究架構中相關機隊航機動態規劃改裝決策，並由 3.3 節所建立之營運效益觀點做為參考比較之基礎。

本研究之藉由設立執行改裝門檻之設立，於研究時區起始時進行兩階段之改裝決策判斷，首先當本研究模式應用於研究範例之初，於起始進入研究時區時，由個別航機觀點應用本研究 3.2.3 節所提出之改裝條件判斷，對目標航空公司原始機隊航機檢視其機齡與容量利用率因素是否達到可直接執行改裝之門檻，即為執行改裝優先門檻，且於進入個別劃分時區皆先執行此檢視步驟，並以檢視結果更新該時區之起始機隊狀況資料，其後於本研究劃分之時區，再由動態規劃模式求解改裝決策結果，即為各時區之研究改裝決策門檻。由此兩階段之改裝決策判斷，較一般航空公司過往依據既定使用經驗總合資料基礎，所採行之較固定年限之航機改裝機齡，此類採取動態規劃改裝時程之決策，其改裝門檻機齡在預測貨物運輸量大幅度成長之需求背景下具有較低之航機改裝機齡門檻，亦即將較早進行航機改裝，機隊航機改裝規劃門檻示意如圖 4.10。

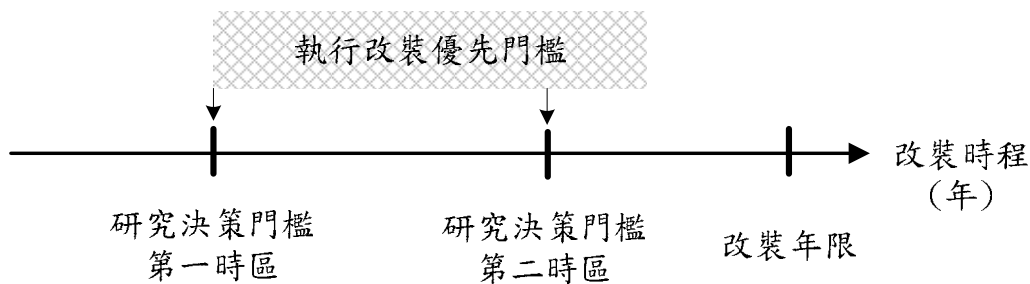


圖 4.10 機隊航機改裝規劃門檻

本研究以一架 A 航空公司於民國 86 年購置之 B747-400 航機建立個別航機生命週期模式，先以航空公司於購置航機所進行之航機使用未來效益評估資料作為基準，即為下圖中之航空公司效益預估所示，亦即為未改裝之預估，再以本研究模式中以整體相關航線使用需求考量而對此航機進行改裝及轉移航線使用之逐年預期營運效益數值進行比較如下圖所示，其中研究規劃效益預估即為目標航機由本研究改裝決策後，決定執行改裝之使用狀況規劃，並由營運效益計算式之逐年預估結果。

研究結果顯示此航機先於 86 至 94 年間經營台北-洛杉磯之客運航線，且依航空公司於購置航機時進行之使用效益預估，航機於使用第十年度因機齡因素產生一階段性之營運效益衰減，本研究之模式規劃結果，則於 95 年檢視目標航機於營運成本結合使用航線運量預測結果，即為下圖中之研究規劃效益預估，並由本研究於使用航線之運量預估，可知其於台北-香港貨運航線因預期運量增長因素，而取得較佳之營運效益，符合改裝規劃門檻而進行改裝，並於第一及第二研究時區之八年期間持續使用於台北-香港之貨運機隊營運，且因此段期間於貨運與原使用客運需求之落差，而獲取較佳之營運效益，其中目標航機進行改裝之年度因進廠無法提供營收貢獻以及改裝費用支出之因素影響，而於該年度之營運效益有大幅度之滑落現象，但於改裝完畢之次年(96年)起即可展現改裝為貨機使用配合該航線貨運需求成長之效益。於此個案航機因改裝時點與原航空公司預期營運效益衰減時點重合因素而不另行執行大型翻修。

本研究納入航空公司逐年採直線法計算之個別航機購置費用攤提方式，列出自 94 年至 102 年之逐年未折減餘額，並可發現於 102 年時年度營運效益可滿足年度未折減餘額，此部分之概念係參考過去以航空公司購置/租賃飛機於財務狀況影響如 Gritta et al.(1994)以及 Oum et al. (2000)等相關研究，並納入航空公司年度財務計劃以逐年計算與攤提之概念，作為當年度營運效益滿足年度未折減餘額時，航空公司於此架航機之未來規劃使用可因選擇於同一年度一次攤提所餘購機成本，而獲得此架航機未來使用規劃與財務應用上之彈性。

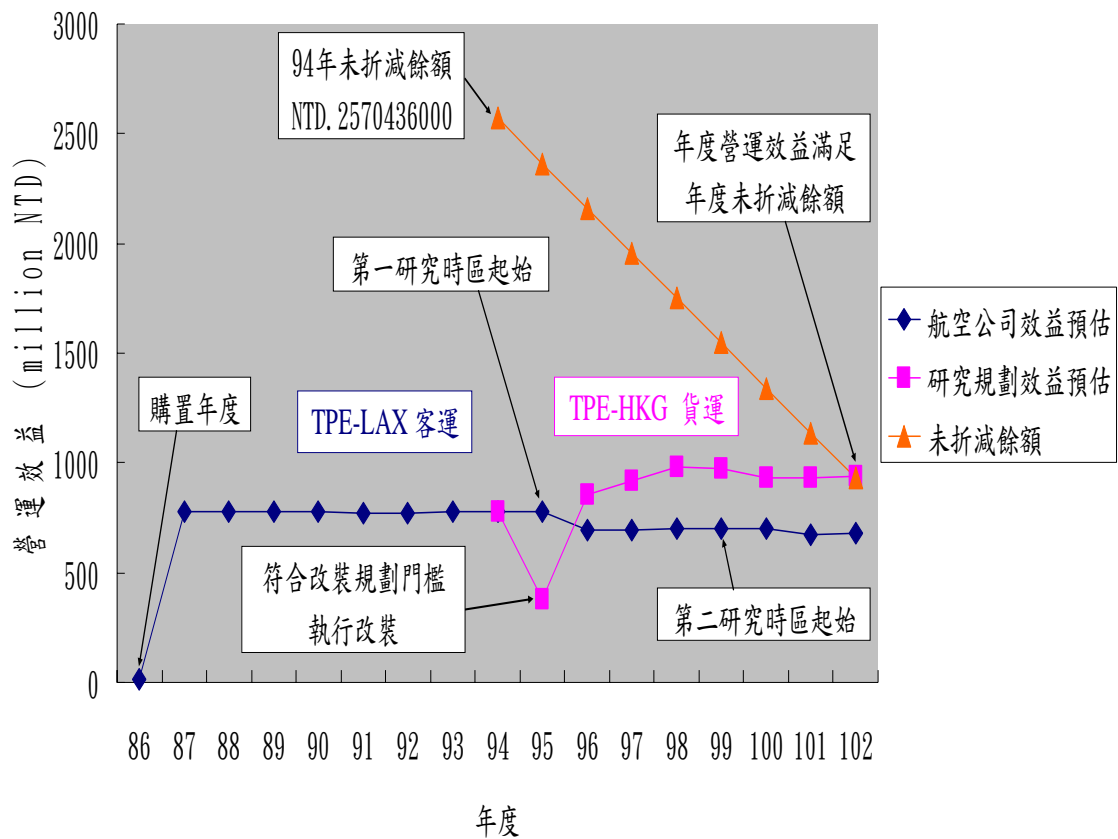


圖 4.11 目標 B747-400 個別航機生命週期模式

本研究另以一架 A 航空公司於民國 78 年購置之 B737 航機建立個別航機生命週期模式。於本例中先以航空公司於購置航機所進行之航機使用未來效益評估資料作為基準，亦即尚未考量改裝之情形如下圖中航空公司效益預估所示，再以本研究模式中以相關航線使用需求考量，而對此航機進行改裝及轉移航線使用之逐年預期營運效益數值進行比較，其中下圖所示之研究規劃效益預估即代表經本研究決策結果，而規劃目標航機進行改裝時點與後續營運航線下，配合該航線之運量需求預測進行之目標航機營運效益預估。

規劃結果顯示本目標研究航機按照航空公司既定使用規劃而於 78 至 94 年間經營台北-東京之客運航線，再由本研究之模式規劃結果於 95 年檢視以符合改裝規劃門檻而進行改裝，並於改裝完成後之第一研究時區使用於台北-雅加達之貨運航線，由於目標航機進廠改裝而無法提供營收貢獻，而於改裝該年度出現營運效益大幅度滑落之情形，但自次年度起即因整年度正常營運而展現配合貨運需求成長而使用於該航線之較高營運效益。進入第二研究時區起始決策時點(99 年)，即重新檢視該目標航機於相關可轉移使用航線間，在考量各航線貨運需求消長程度而決定目標航機可獲取最佳營運效益之航線，其中並須考量該航機機型與航線航程配對之使用限制，而於決策結果將目標航機於第二研究時區使用於台北-新加坡之貨運航線之營運，目標航機轉移使用於該航線之營運效益即如下圖研究規劃效益預估於 99 年至 102 年所示，並可以此時區維持該航機於台北-雅加達貨運航線之營運效益相對照，如圖中第二時區維持使用航線預估所示，對照各航線需求預測顯示台北-新加坡貨運航線需求相較原營運之台北-雅加達航線有顯著之大幅度成長，加之該航空公司於台北-雅加達為單純貨運航線，隨使用航機機齡遞增之相關營運成本遞增與貨運單位容量收益變動因素，而形成目標航機使用於台北-新加坡航線之營運效益高於台北-雅加達航線之結果。

目標航機於航空公司之持有成本，以航空公司逐年採直線法計算之個別航機購置費用攤提方式，列出自 94 年至 102 年之逐年未折減餘額，即為航機購置費用尚未支出部份，並可發現於 95 年若按照航空公司使用規劃而維持使用狀為客機並營運於台北-東京航線，則該年度營運效益即可滿足年度未折減餘額，亦即該年度航空公司即可以目標航機該年度營運效益針對未折減餘額進行一次性攤提，進而增加該航機於後續使用規劃上之決策彈性，然按本研究之規劃則目標航機於該年度因進行改裝造成營運效益短期下降，而遞延年度營運效益滿足年度未折減餘額之時點至 96 年，如圖中所示，且如圖所示即使航空公司按原計算方式攤提購置費用，此項購置成本亦將於 97 年攤提完畢，此部分之概念係參考過去以航空公司購置/租賃飛機於財務狀況影響如 Gritta et al.(1994)以及 Oum et al.(2000)等相關研究，並納入航空公司年度財務計劃以逐年計算與攤提之概念。

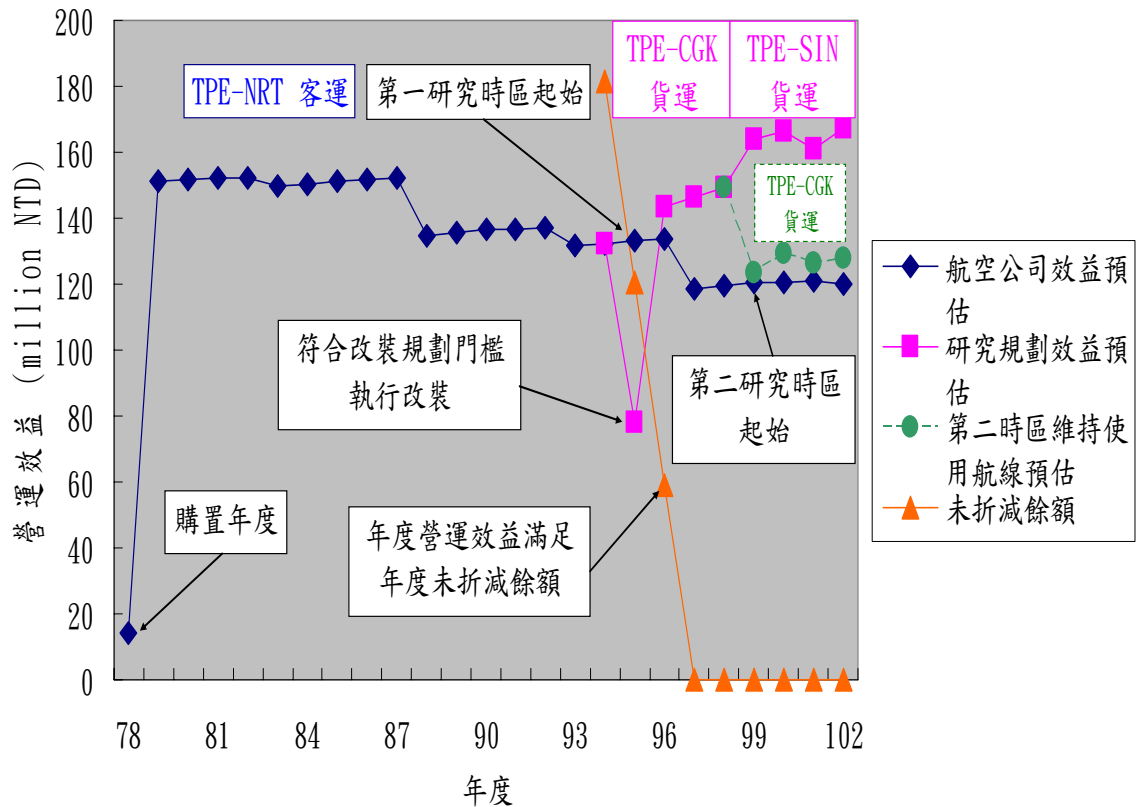


圖 4.12 目標 B737 個別航機生命週期模式

由研究結果顯示，以個別航機觀點作為評估營運效益之基準，則整體產業環境之運量需求出現大幅度之個別航線或全面成長時，目標研究貨運航線之需求成為對於個別航機改裝決策之主要影響因素，不同航線間之貨運需求消長亦為航機轉換航線使用之主要因素，然而當運量需求較為穩定時，因機齡而導致之個別航機營運成本攀升即成為影響其改裝時程之主要影響因素。

4.4 燃油成本變化敏感度分析

近年由於遠東地區開發中國家經濟大幅成長，以致對於原油需求殷切，形成供需兩端之平衡狀態逐漸朝向需求方移動，並反映於國際原油市場上形成價格上之劇烈波動，如下圖為 1947-2004 歷史原油之長期時間區間價格走勢，此長期之歷史油價資訊為採行美國當地之價格資料，然而由於 1973-1981 年間美國施行國內石油產能調控措施以行燃油價格管控之實，因此於這段期間以 U.S.1st Purchase Price(Wellhead)代表美國國內原油價格，以顯示其與當期間國際原油價格之差異性及一致性，而其中較具關鍵性之幾項影響因素包括 70 年代贖罪日戰爭、伊朗革命、兩伊戰爭以及 90 年代第一次波灣戰爭等戰事因素，另亞洲經濟危機爆發，促使石油輸出國家組織調控產能之一系列動作，以及 911 事件與亞洲經濟大幅成長等經濟相關與恐怖事件危機因素亦接連於 90 年代末及 21 世紀初發生，此一一系列影響因素促使過去三十年之國際原油價格波動遠超過以往之波動幅度，然長期而言國際原油之穩定價格約略於每桶 20 美元上下。

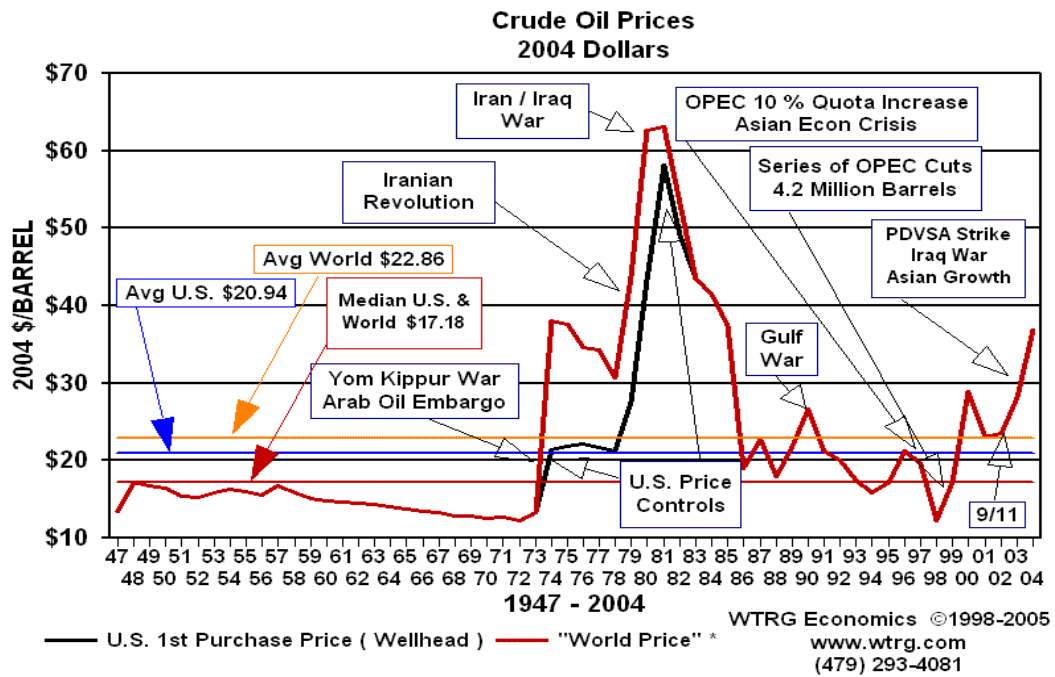


圖 4.13 歷史原油價格走勢
資料來源：WTRG Economics (2005)

近幾年來油價由回穩至每桶 20 美元十數年後，再度產生大幅度價格波動，其中除石油輸出國家一系列產能調控措施外，亦包括伊拉克入侵、波灣颶風、美國聯邦戰略石油儲備增加，以及包含委內瑞拉、俄羅斯及挪威等重要石油生產國等各國產能影響事件因素，同時亞洲經濟於需求面之成長亦為重要供需影響因素之一，下圖為 2001-2005 國際原油價格及其重要影響事件之示意。

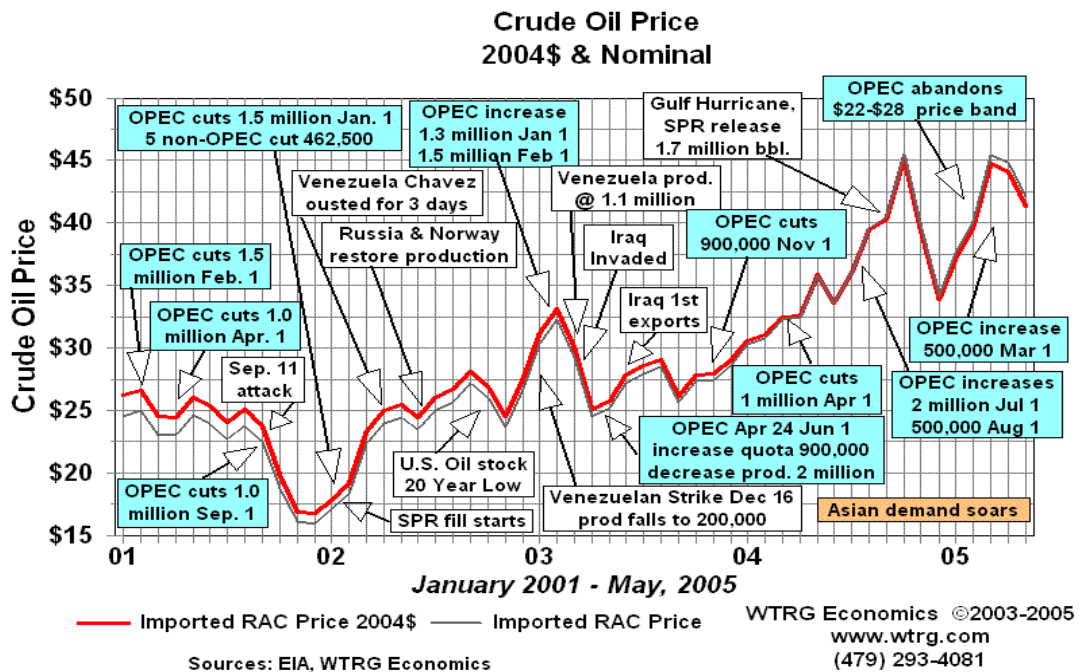


圖 4.14 近年原油價格及影響事件示意
資料來源：WTRG Economics (2005)

由前述資料，國際原油價格於過去一年內於每桶 55 至 75 美元區間波動，遠高於過去長期歷史平均 20 美元之水準，而國際各主要研究機構對未來價格波動趨勢亦出現分歧之看法，美國能源情報署(EIA)於 2005 年發佈之年度能源展望報告預測至 2030 年前進口原油每桶均價將位於 50 美元之水位，而諸如 Goldman Sachs、JP Morgan 等研究部門則預測原油價格將因產能因素而持續攀升至每桶 100 美元水位。

本研究範例於航機營運成本項因素中，考量燃油成本為其中之最重要因素，加之近年來之油價飆升因素，已導致燃油取得價格成為決定航空公司機隊使用是否產生正面營運效益之最主要課題，因此於本敏感度分析中引用前述幾項重要原油價格數據作為依據，結合本範例機隊中 B747-400、B737-800、A330-300 等主要考量航機機型於本研究模式之燃油成本，其中並利用各機種採用發動機型式、數量及耗油資料，以每一飛行小時燃油成本為基本單位，下圖即為原油價格變動時各機型航機於燃油成本之變化，其中顯示攀升之油價於長航程之大型航機產生較大之成本衝擊，另就同屬長航程大型航機之 B747-400 及 A330-300 之比較，雖於個別發動機單位耗油量為 B747-400 較佳，然而由於採行四具發動機之構型，因此所增加之系統可靠度亦隨之造成較高之燃油成本支出，此現象亦可解釋現階段各飛機設計廠於長程航機之設計上皆趨向採行二具發動機構型之概念，其中油價攀升即為其中主要影響因素。

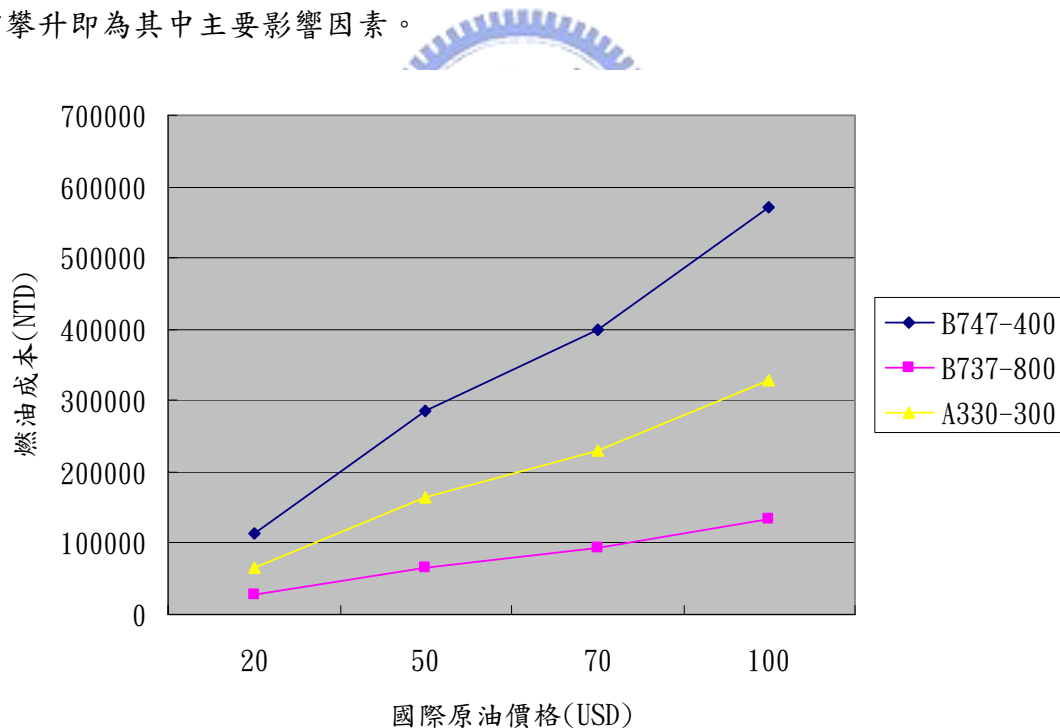


圖 4.15 國際原油價格改變時各航機燃油成本之變化

第五章 結論與建議

5.1 結論

1. 本研究由營運效益觀點為考量基準，相較於過去研究較常採用之最小成本考量，除同樣因預測準確程度影響其中機隊營運效益成本增加外，以機隊營運效益最大化觀點，於承受預期需求量上下波動變化所引起之影響，將分別因需求量增減連帶影響之預期收益增減，並於機隊整體營運效益上呈現上下不同波動方向形成之差異。
2. 由機隊規劃實證結果可知，研究中提及考量之大型翻修，與航機改裝時程之考量上可能有時程上之重合，且因實務上航機改裝工程亦包含大型翻修之內容，因此出現此時程重合現象之個案航機可望節省額外進行大型翻修工程之時間及成本。
3. 由規劃實證結果得知，航機租賃成本影響因素取決於市場上之現貨供給數量，機型大小僅為基本因素，採取相似承載量設計之同級航機，可能因市場流通數量之多寡而出現極大之承租價差，並影響租賃之機型，另改裝後使用或租賃亦因考量維修一致性而形成機型選擇方面之考量。
4. 航機機型是否可進行改裝，受限於原飛機設計廠與其協力廠商是否就個別機型設計改裝構型或釋出技術授權，個別改裝廠進行改裝構型之設計較不可行且亦難以達到機型規模經濟，因此改裝案以機齡介於一定期間且曾進行大量生產之機型為主要考量，亦較能達到改裝方案所需求之低成本解決方案考量。
5. 範例航空公司已於公開報告指出未來機隊簡化機型縮減方向，然由改裝決策之航線規劃成本比較可知，過渡時期採行改裝方案解決中短程區間航線之需求亦為航空公司中短期資金壓力下之可行方案。
6. 由實證結果比對所參考之班表資料，可知採用大型航機飛航短程航線既可壓縮增班成本，亦可作為長短程航線需求發生變動時之彈性使用空間，然而其高昂之相關購置、燃油等成本支出亦將形成航空公司財務上之龐大負擔。
7. 由燃油成本變動敏感度分析發現，長程航機採行之發動機數量多寡直接左右燃油成本支出，卻也影響系統可靠度，然而長期觀察下，於可接受之條件下限縮新型航機之發動機數量勢必成為燃油成本高漲下之未來設計趨勢。
8. 於機隊航機規劃使用方面，改裝航機使用上須視所考量之研究系統內需求缺口而決定其應用，因此改裝前後作為客運與貨運使用之個別目標航機，可能於改裝完成前後分別應用於不同之航線，然於考量上仍受限於機型與航程之配適條件，另整體考量航線之多寡可能影響改裝為貨機後之航線使用考量，亦直接成為航機營運效益之影響因素。
9. 應用個別航機生命週期模式所建立之個別航機逐年營運效益，可作為航空公司於購置該航機所進行之效益預估對照，於營運效益面可檢視個別航機逐年效益，並以其作為改裝或其它規劃方案之考量基礎，另於財務面，亦可以年

度營運效益與年度未折減餘額為比較，以未來航空公司於此架航機財務上是否完成購置成本攤提，作為航空公司於此架個別航機之使用規劃上是否獲得更多規劃方案之應用彈性考量。

5.2 建議

1. 本研究於航空貨運之航線選取，因考量多航點停靠之航線，其個別停靠點上下貨量與其各航段承載率資料取得困難，以及新增航線資料量稀少，而捨棄選取部分具代表性之航線，未來研究考量整體系統研究航線選取之代表性，可於解決資料取得問題後加入考量，以完整化代表航空公司營運情形之系統性航線選取。
2. 本研究所採用之預測方法準確性影響研究期間機隊規劃之效益與實質落差程度，然而近年來所發生之許多系統性風險包括恐怖事件、戰事、傳染病等等，皆將大幅度影響未來一定時間內之需求變動，然而此類重大事件無法於任何預測方法中準確預測，因此這類突發重大事件於實際規劃時之影響程度，可於未來進一步研究中探討。
3. 近年來遠東地區之國與國航權協議互動有逐漸步向加速開放之勢，此一趨勢配合中國大陸本身龐大運輸需求與國籍航空公司貨運量之極不平衡態勢，將於此段時間內產生需求量之大幅度波動，未來此一區域情勢可能形成航空公司聯盟或朝向利基型特定客層市場發展之趨勢，建議未來研究可就此部份納入此區域航空公司之機隊規劃考量研究。
4. 改裝方案近年已因需求因素形成一穩定且快速成長之市場，於此市場蓬勃發展之時，原飛機設計廠可能亦配合大量釋出相關技術促成此產業之發展，屆時改裝市場即成為產值不容忽視之航空產業次級市場，則此產業將吸引更多航空產業相關公司之進入意願，亦可能進一步結合原廠之修護技術授權，發展成為區域性之後勤中心，此項發展對於航空產業未來發展之影響亦為相關後續研究之可行方向。

參考書目

1. 孫華興與范沛琦 (1998)。飛機維修與飛機改裝市場分析，工業技術研究院 IEK 中心機電運輸組。
2. 黃鵬先 (2004)。航空公司乾/溼租策略聯盟之機隊規劃，國立交通大學運輸科技與管理研究所碩士論文，新竹市。
3. 劉素妙 (2002)。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研究所碩士論文，新竹市。
4. 趙清成 (2005)。國際機場航站大廈空間分配及設施購置/汰換時程之研究，國立交通大學運輸科技與管理研究所博士論文，新竹市。
5. 王志青 (1996)。航空公司在航空貨運中心市場規模之研究，國立交通大學運輸科技與管理研究所碩士論文，新竹市。
6. 張有恆與楊弘道 (1996)。航空公司飛機型式選擇之研究，運輸計畫季刊，第 25 卷第 1 期，頁 93-120。
7. 張有恆 (1998)。航空運輸管理，鼎漢國際工程顧問有限公司。
8. 田自力 (1995)。灰色理論在預測與決策之研究，國立成功大學機械工程研究所博士論文，台南市。
9. 鄧聚龍 (1999)。灰色系統理論與應用，初版，高立圖書有限公司。
10. 王聰榮 (2001)。分析發動機維修之技術，經濟部技術處產業資訊服務網。
[<http://www.itis.org.tw/>]
11. 王聰榮 (2002)。全球貨機市場趨勢分析，經濟部技術處產業資訊服務網。
[<http://www.itis.org.tw/>]
12. Abara, J. (1989). "Applying integer linear programming to the fleet assignment problem," *Interfaces*, vol. 19, no. 4, pp. 20-28.
13. Barnhart, C., Boland, N. L., Clarke, L. W., Johnson, E. L., Nemhauser, G. L. and Shenoi, R.G. (1998). "Flight string models for aircraft fleet and routing," *Transportation Science*, vol. 32, pp. 208-220.
14. Clark, P. (2001). *Buying the big jets: fleet planning for airlines*. England: Ashgate.
15. Clarke, L. W., Hane, C. A., Johnson, E. L. and Nemhauser, G. L. (1996). "Maintenance and crew considerations in fleet assignment," *Transportation Science*, vol. 30, pp. 249-260.
16. Evans, N. (2001). "Collaborative strategy: an analysis of the changing world of international airline alliances," *Tourism Management*, vol. 22, pp. 229-243.
17. Grita, R. D., Lippman, E., and Chow, G. (1994). "The impact of the capitalization of lease on airline financial analysis: An issue revisited," *Logistics and Transportation Review*, vol. 30, pp. 189-202.
18. Hane, C. A., Barnhart, C., Johnson, E. L., Matsten, R. E., Nemhauser, G. L. and Sigismondi, G. (1995). "The fleet assignment problem: Solving a large-scale

- integer program,” *Mathematical Programming*, vol. 70, pp.211-232.
19. Hartman, J. C. (2001). “An economic replacement model with probabilistic asset utilization,” *IIE Transactions*, vol. 33, pp. 717-727.
 20. Horonjeff, R. and Mckelvey, X. (1994). *Planning and design of airports*. USA: McGraw-Hill.
 21. Hsu, C. I. and Wen, Y. H. (2000). “Application of grey theory and multiobjective programming towards airline network design,” *European Journal of Operational Research*, vol. 127, no. 3, pp. 44-68.
 22. Jin, D. and Kite-Powell, H. L. (2000). “Optimal fleet utilization and replacement,” *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, vol. 36, no. 1, pp. 3-20.
 23. Kasilingam, R. G. (1996). “Air cargo revenue management: Characteristics and complexities,” *European Journal of Operational Research*, vol. 96, no. 1, pp. 36-44.
 24. Lohatepanont, M. and Barnhart, C. (2004). “Airline schedule planning : Integrated models and algorithms for schedule design and fleet assignment,” *Transportation Science*, vol. 38, no. 1, pp. 19-32.
 25. Mattingly, J. D. (1996). *Elements of gas turbine propulsion*. Singapore: McGraw-Hill.
 26. Moudani, W. E. and Mora-Camino, F. (2000). “A dynamic approach for aircraft assignment and maintenance scheduling by airlines,” *Journal of Air Transport Management*, vol. 6, pp. 233-237.
 27. Oil Price History and Analysis, WTRG Economics, USA (2005). [<http://www.wtrg.com/index.html>]
 28. Oum, T. H., Park, J. H. and Zhang, A. (1996). “The effects of airline codesharing agreements on firm conduct and international air fares,” *Journal of Transport Economics and Policy*, vol.30, pp. 187-202.
 29. Oum, T. H. and Park, J. H. (1997). “Airline alliances: Current status, policy issues, and future directions,” *Journal of Air Transport Management*, vol. 3, no. 3, pp. 133-144.
 30. Oum, T. H. Zhang, A. and Zhang, Y. (2000). “Optimal demand for operating lease of aircraft,” *Transportation Research Part B: Methodological*, vol. 34, pp. 17-29.
 31. Park, J. H. (1997). “The effects of airline alliances on markets and economic welfare,” *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, vol. 33, no.3, pp. 181-195.
 32. Park, J. H. and Zhang, A. (1998). “Airline alliances and partner firm’s outputs,” *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, vol. 34, no. 4, pp. 245-255.
 33. Powell, W. B. and Carvalho, T. A. (1997). “Dynamic control of multicommodity fleet management problems,” *European Journal of Operational Research*, vol. 98, pp. 522-541.
 34. Radnoti, G. (2002). *Profit strategies for air transportation*. USA: McGraw-Hill .

35. Spitzley, D. V., Darby, E. G., Keoleian, G. A. and Kim, H. C. (2005). "Life cycle optimization of ownership costs and emissions reduction in US vehicle retirement decisions," *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, vol. 10, pp. 161-175.
36. van Hilten, O. (1991). "The optimal lifetime of capital equipment," *Journal of Economic Theory*, vol. 55, pp. 449-454.
37. Wei, W. and Hensan, M. (2005). "Impact of aircraft size and seat availability on airlines' demand and market share in duopoly markets," *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, vol. 41, pp. 315-327.
38. Wells, A.T. (1993). *Air Transportation*. USA: Wadsworth.
39. World Air Cargo Forecast, Boeing, USA (2004).
[<http://www.boeing.com/commercial/cargo/index.html>]
40. World Cargo Flow Model Database, Colography Group, USA (2003).
[<http://www.colography.com/index.html>]
41. Zhang, A., Hui, Y. V. and Leung, L. (2004). "Air cargo alliances and competition in passenger markets," *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, vol. 40, no. 2, pp. 83-100.

