

國立交通大學

管理學院(運輸物流學程)碩士班

碩士論文

航機耗油分析與節油策略

Aircraft Fuel Consumption analysis and Fuel Saving Strategy

研 究 生：盧珮伸

指導教授：汪進財 教授

中 華 民 國 一 ○ 二 年 七 月

航機耗油分析與節油策略

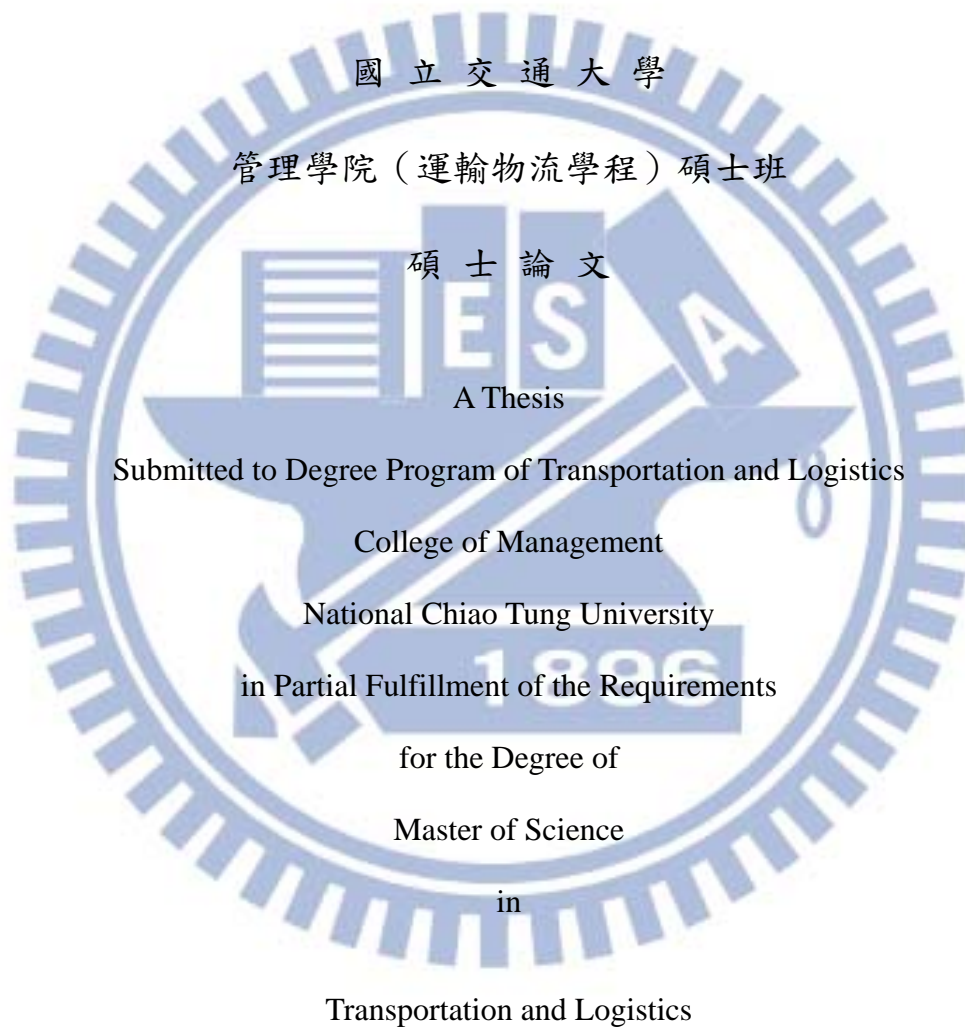
Aircraft Fuel Consumption analysis and Fuel Saving Strategy

研 究 生：盧佩伸

Student: Pei-Shen Lu

指導教授：汪進財 教授

Advisor: Prof. Jinn-Tsai Wong



July 2013

Taipei, Taiwan, Republic of China

中華民國一〇二年七月

航機耗油分析與節油策略

研究生：盧佩仲

指導教授：汪進財 教授

國立交通大學管理學院（運輸物流學程）碩士班

摘要

航空經營環境的瞬息萬變，燃油成本的變動和地球生存環境的不斷惡化，使得全球均致力於「節能減碳」議題。燃油成本為航空運輸業者最大宗的營運成本支出，較為老舊機型的燃油成本甚至可達營運成本 40% 以上，透過減少燃油使用，除了能改善航機排放二氧化碳對環境的衝擊之外，事實上也一併提昇了航空運輸業者的獲利能力。

本研究係以 A-320 Family 構型航機為對象，分析預期與實際油耗之差異，並透過真實飛航階段數據資料進行多元迴歸分析，建立航機耗油模式推估各飛航階段相關耗油因子之影響。研究結果顯示操作飛航計畫之準確度為影響航機燃油經濟性之一大因素，而實際飛航中滑行、爬升、巡航、下降、進場階段之油耗變數均有其差異，綜整各飛航階段迴歸模式得可控之操作變數為速度調節與航機主體減重最能達到節油之成效。

關鍵詞：燃油消耗、飛航階段、多元迴歸、飛航計畫

Aircraft Fuel Consumption analysis and Fuel Saving Strategy

Student: Pei-Shen Lu Advisor: Prof. Jinn-Tsai Wong

Degree Program of Transportation and Logistics

College of Management

National Chiao Tung University

Abstract

According to the huge variation in the environment of aviation operations, all global industries are devoted into Energy Conservation and Carbon Reduction. The fuel cost becomes the biggest expense in operations and it could be more than 40% in old aircraft configuration. Decreasing the fuel consumption not only reduce the impact of aircraft emission, but improve the revenue of airlines as well.

This study is considered and planed according to aim for A320 Family aircraft configuration. To analyzes the differences between flight planning and fuel consumption and organizes the true flight phase data into statistical database. The fuel consumption model will be founded on the multiple-regression analysis for identify the effect factors. The results indicated that flight planning accuracy will cause the influence of fuel economy. To conclude the models of Taxi, Climb, Cruise, Descent, Approach phases that speed adjustment and aircraft body weights reduced are the most effect factors in fuel saving.

Keyword: Fuel Consumption, Flight Phase, Multiple-Regression Analysis, Flight Planning

誌謝

時間一晃眼就過了，在寫作論文的過程中，發現自己許多的不足及缺點，也希望從完成這篇論文開始，我能有所進步成長。

首先要感謝的是汪老師，謝謝老師耐心的指導並教育我做事的方法，感謝交大所有教導過我的教授們，這些年讓我獲益良多，老師們的風範我均謹記在心。感謝口試委員劉得昌教授和鍾易詩教授的提點與指導，讓論文能更趨完整。

感謝葉又青教官和郭滄龍經理對我的提攜與照顧，感謝 99 專班的所有同學，振烜、光華長官、政毅大哥、智誠大哥、天宇、麗貴姊姊、鍾姊、馨予、徵安、維彬、詩穎、倫弘、嘉鎰、育暉、琬婷，真的很榮幸也很開心能與大家成為同學。謝謝榮芳學長、詩瑄學姊、怡秋學姊和所有關心我的學長姊、學妹、朋友們的鼓勵及加油，還有何姊溫暖的協助。感謝世弘主任及姿杏提供 AIRFASE 資料，以及 MATLAB 高手宇軒的教學，讓我能完成資料庫的建立作業，最後是謝謝阿潘教官給我的寶貴建議，讓我又多學了一課。

在這裡要特別感謝我的父母親，賜予我生命，以及無憂無慮的成長環境。心中有些話卻無法表達，也希望在天上的父親知道了，能感到開心。感謝我的姊姊，從小到大一同成長的快樂時光，總是對我照顧有加。

最後，最要感謝的是我的母親，感謝您永遠的支持、相信及包容，成為我最大的動力來源，並給予我滿滿的愛及正面力量，讓我能帶著無比勇氣走到現在，謝謝您。

盧珮伸 謹誌於
國立交通大學管理學院
(運輸物流學程) 碩士班
中華民國 102 年 7 月

目錄

中文摘要	i
英文摘要	ii
誌謝	iii
目錄	IV
表目錄	VI
圖目錄	VII
第一章 緒論	1
1.1 研究背景與動機	1
1.2 研究目的	4
1.3 研究範圍及對象	4
1.4 研究流程	6
第二章 文獻回顧	8
2.1 航空器製造商	8
2.2 航空器使用人	12
2.3 民航主管機關	15
2.4 學術文獻	17
第三章 研究方法	19
3.1 簽派油量計算方式	19
3.2 實例說明	23
3.3 研究方法	29
第四章 資料蒐集與處理	30
4.1 資料蒐集	30
4.2 飛航影響因素	32
4.3 資料範例說明	34
第五章 航機耗油分析	35
5.1 操作飛航計畫分析	35
5.2 飛航階段分析	40
5.2.1 地面滑出階段	41
5.2.2 爬升階段	48
5.2.3 巡航階段	53
5.2.4 下降階段	59
5.2.5 進場階段	64

5.2.6 地面滑入階段	69
第六章 結論	75
6.1 飛航階段油耗表現	75
6.1.1 地面滑出階段	75
6.1.2 爬升階段	75
6.1.3 巡航階段	76
6.1.4 下降階段	76
6.1.5 進場階段	77
6.1.6 地面滑入階段	77
6.2 結語	77
參考文獻	79
附錄一	81
附錄二	82
附錄三	83
附錄四	84
附錄五	85
附錄六	86
附錄七	87
附錄八	89

表目錄

表 1 AIRBUS 機型節省之燃油數量(AIRBUS, 2004)	10
表 2 航空公司作法	13
表 3 AAPA (Association of Asia Pacific Airlines)環境管理作業(牛詩淵，2010).....	14
表 4 國際與航空環保法規(牛詩淵，2010)	15
表 5 特殊飛航作業	16
表 6 A320F 航機構型階段耗油差異	24
表 7 油量統計表 (單位：磅)	28
表 8 各階段定義表	31
表 9 變數定義表	33
表 10 資料範例	34
表 11 實際與預期差異統計表 (實際>預期).....	38
表 12 實際與預期差異統計表 (實際<預期).....	38
表 13 總平均滑行時間 (單位：分鐘).....	39
表 14 地面滑出階段油耗相關係數	42
表 15 地面滑出階段迴歸分析摘要表	46
表 16 爬升階段相關係數表	49
表 17 爬升階段迴歸分析摘要表	52
表 18 巡航階段相關係數表	54
表 19 巡航階段迴歸分析摘要表	58
表 20 下降階段相關性分析表	60
表 21 下降階段迴歸係數摘要表	63
表 22 進場階段相關性分析	65
表 23 進場落地階段迴歸係數摘要表	67
表 24 地面滑入階段相關性分析	70
表 25 地面滑入階段迴歸係數摘要表	73

圖目錄

圖 1 航空業燃油成本(IATA, 2009).....	1
圖 2 人造二氧化碳排放(AIRBUS, 2008).....	2
圖 3 二氧化碳排放量預估趨勢圖(IATA, 2009).....	3
圖 4 原油價格變動趨勢(單位：美金／桶)(經濟部能源局，2012).....	3
圖 5 研究架構圖	5
圖 6 研究流程圖	7
圖 7 飛航總油量	19
圖 8 操作飛航計畫總油量	22
圖 9 巡航圖表法示意圖	26
圖 10 飛行階段示意圖	32
圖 11 預期與實際油耗差異	36
圖 12 成本指數(Cost Index)相關速度圖 (AIRBUS).....	37
圖 13 滑行時間統計 (單位：分鐘).....	40
圖 14 各飛航階段油耗比例	41
圖 15 滑行油耗圖	43
圖 16 地面停等時間滑行油耗圖	44
圖 17 地速滑行油耗圖	45
圖 18 爬升速率圖 (AIRBUS 2004).....	48
圖 19 爬升階段相關變數油耗圖	51
圖 20 巡航空層油耗率圖	56
圖 21 巡航階段相關變數油耗率圖	57
圖 22 下降速率圖 (AIRBUS 2004).....	59
圖 23 下降階段相關變數油耗圖	61
圖 24 不同下降速度階段示意圖	62
圖 25 進場階段相關變數油耗圖	66
圖 26 地面滑入階段相關變數油耗圖	71
圖 27 地面滑入階段地速與油耗關係圖	72

第一章 緒論

1.1 研究背景與動機

2008 年上半年飆漲的國際油價及下半年的全球性金融海嘯讓航空運輸業遭受史無前例的重創，如圖 1 所示，國際油價波動劇烈，2008 年 7 月達歷史新高，大幅增加航空公司營運成本，也直接衝擊航空產業之獲利能力。經營環境的瞬息萬變，使得航空運輸業者必須重視龐大的燃油成本，如何減少燃油消耗增加營收成為航空業者面臨最為關鍵的課題。

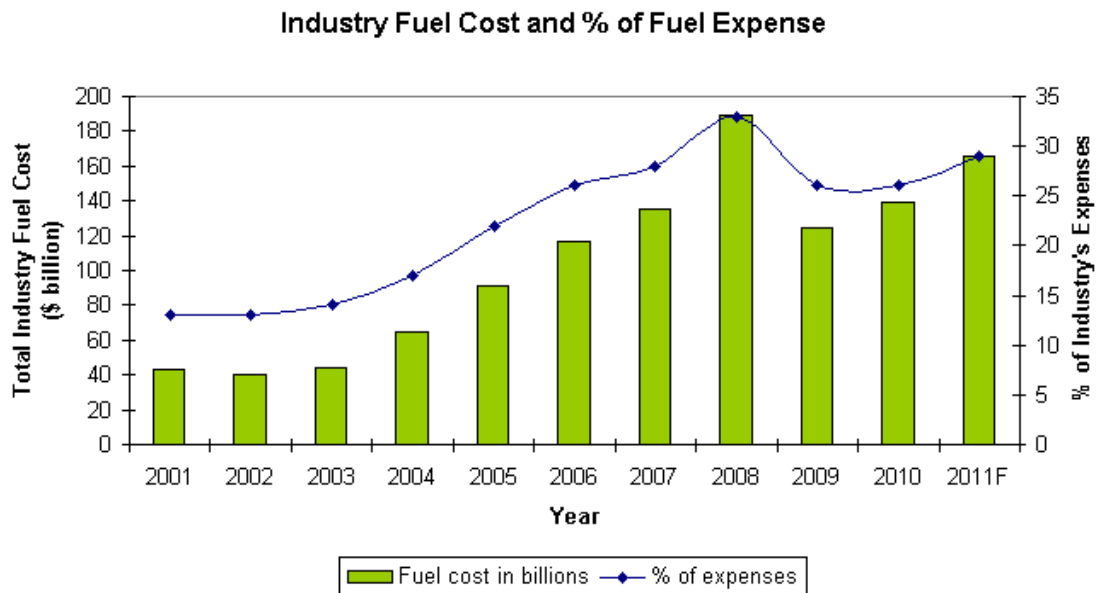


圖 1 航空業燃油成本(IATA, 2009)

在此同時，隨著地球生存環境的不斷惡化，「節能減碳」概念通行全世界，環保意識和環保要求也不斷提高，作為負責任的航空業者莫不苦思如何應變全球暖化與氣候變遷，有效減少燃油消耗，以肩負起節能減碳、綠色環保的社會責任。所有航空器操作對環境皆有影響，這些排放通常來自於航空器的發動機和噪音，另一些可能來自於航空器維修時處理或產生之廢棄化學物。噪音問題雖然並未直接的影響燃油效能，但卻會造成環境影響。當所有礦物燃料(氣體、煤炭，石油)在空氣中燃燒時，會發生化學反應產生氣體，這些氣體主要是二氧化碳(CO₂)和各種各樣的氮氧化物(NO_x)。《京都議定書》規定到 2010 年，所有已開發國家之二氧化碳等六種溫室氣

體的排放量，要比 1990 年減少 5.2%。具體說，各已開發國家從 2008 年到 2012 年必須完成的削減目標分別為：與 1990 年相比，歐盟削減 8%、美國削減 7%、日本削減 6%、加拿大削減 6%、東歐各國削減 5% 至 8%。新西蘭、俄羅斯和烏克蘭可將排放量穩定在 1990 年水準上。議定書同時允許冰島、澳大利亞和挪威的排放量比 1990 年分別增加 10%、8% 和 1%。(台灣碳排放交易推廣協會 2006)。從圖 2 可以得知在航空業部份，按 IPCC 2007 年統計資料，航空業溫室氣體排放量佔全球人為溫室氣體排放總量的 2%(按 ICAO 1995 年資料，以渦輪噴射發動機每單位重量燃油產生 3.15 單位重量的二氧化碳排放量計算)，若按運量成長預估，到 2050 年將達到 3%。

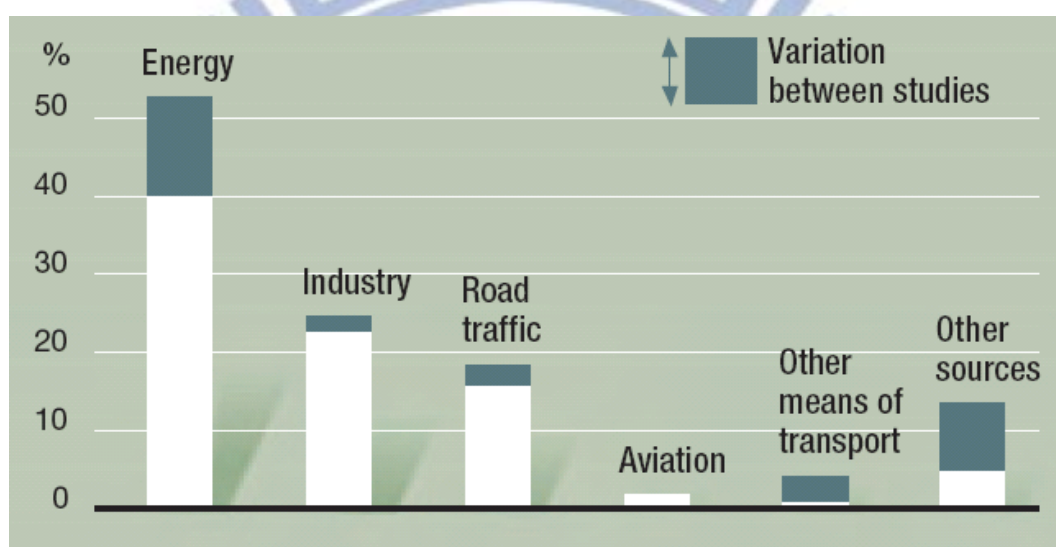


圖 2 人造二氧化碳排放(AIRBUS, 2008)

因此，如何「節能減碳」也成為現今全球航空業最為重視的議題。如圖 3 所示，根據 IATA 的宣示，全球航空業者的長期目標是至 2020 年之前，將航空燃油使用效率以每年 1.5% 的目標進行提昇；至 2020 年達到碳排放零成長；到 2050 年，預計航空業的碳排放將減低至目前的一半。

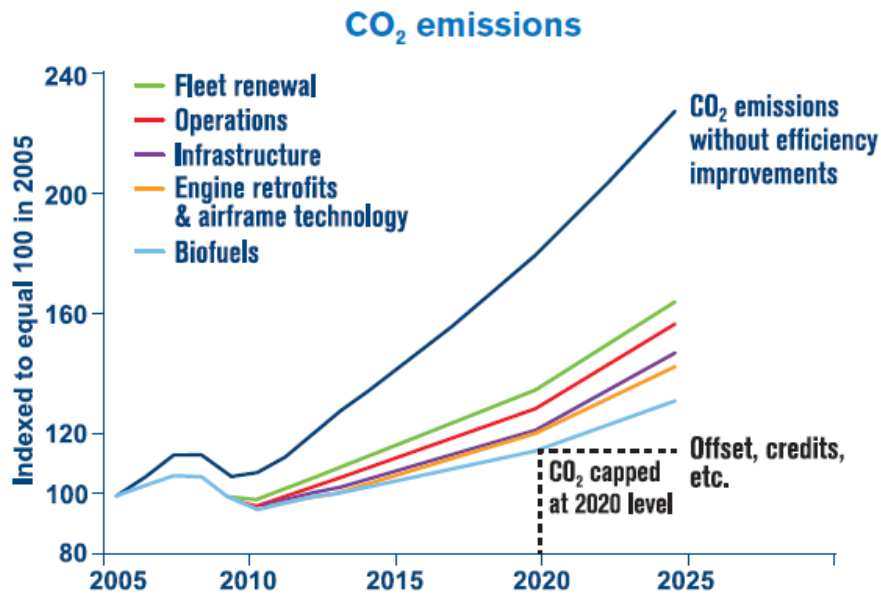


圖 3 二氧化碳排放量預估趨勢圖(IATA, 2009)

由於燃油成本為航空運輸業者最大宗的營運成本支出，較為老舊機型的燃油成本甚至可達營運成本40%以上，因此，油價的大幅波動已是航空公司所要面臨最艱鉅的挑戰。透過減少燃油使用，除了能改善航空器排放二氧化碳對環境的衝擊之外，事實上也一併提昇了航空運輸業者的獲利能力。

從圖4經濟部能源局的資料顯示，原油價格在2008年漲幅為近年來最高，這也造成了國內外航空公司大量的虧損，更有許多國內外航空公司因此而歇業甚至倒閉。在能源越來越匱乏的現在，原油價格不斷波動，如何制定良好適當的節油策略已是航空公司必要的重點工作項目。

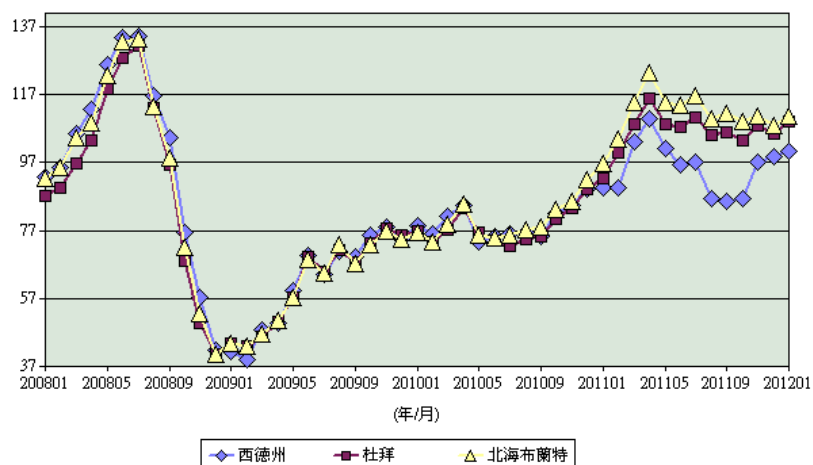


圖 4 原油價格變動趨勢(單位：美金／桶)(經濟部能源局，2012)

1.2 研究目的

基於「節能減碳」工作對於航空公司的重要性，以及「節能減碳」策略的研擬需有其依據之基礎，因此，本研究希望達成的目的有三：

(一) 了解航機耗油因素

透過航機耗油因素的探討，了解航機耗油原因以及可能的節油途徑與方法。航空器作業期間可區分為飛航操作和地面操作兩個構面。其中地面操作主要是指航機在地面上的所有行為，包含簽派員、機務人員、地勤人員等作業及滑行階段，而飛航操作是針對航機在起飛、爬升、巡航、下降、進場等過程，其中包含外界環境因素之影響，並探討如何在飛安的前提下，採取更為經濟有效的操作方式，以減少燃油消耗及降低碳排放。

(二) 建立耗油模式

依據所蒐集到的飛航數據資料以及相關階段的燃油消耗資料，以統計計量方法進行研究分析，並應用影響耗油關鍵因素建立航機耗油模式。

(三) 節油策略制定

確知航機耗油模式後，即可針對影響航機耗油之關鍵因素研討最適節油策略，提供航空運輸業者參考與建議。

1.3 研究範圍及對象

本研究以A-320 Family構型之航機為探討對象，範圍則限於來往於桃園、松山、台中、上海浦東機場間之航線。本研究架構如圖5，針對所取得之原始資料進行油耗數據的統計評估分析，探討實際耗油差異的關聯性，進而歸納出影響燃油消耗之關鍵因素。

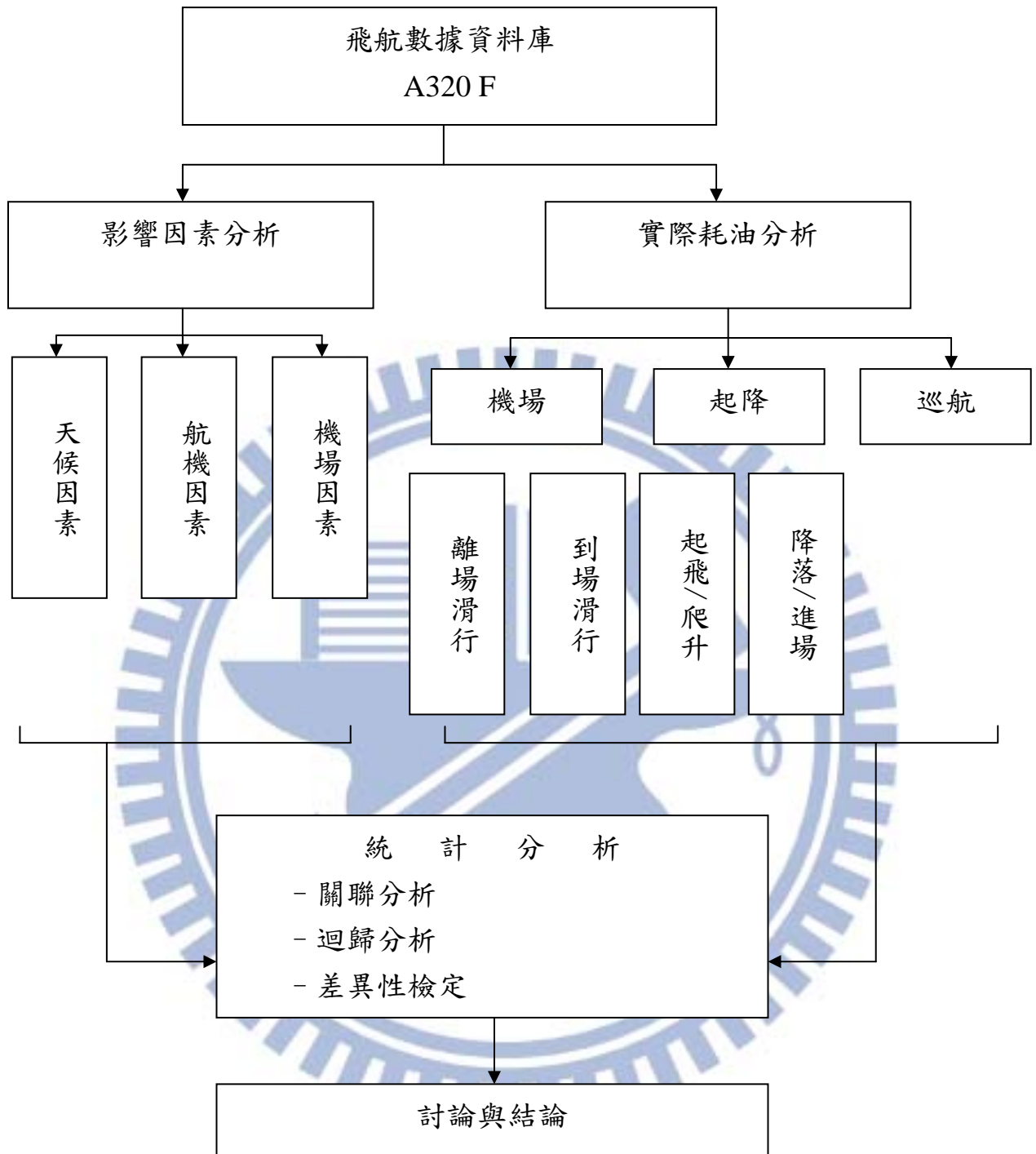


圖 5 研究架構圖

1.4 研究流程

本研究之流程步驟簡述如圖6：

(一)研究動機

燃油價格波動劇烈，燃油成本可謂是航空公司生存之主要命脈，若能有效增加燃油使用效率，對於航空運輸業者的獲利能力也能隨之增加。再加上全球氣候環境的變遷，節能減碳成為現今最受矚目的議題，所有運輸業者皆應重視這個問題，並對於綠色環境運輸及環境保護盡一份心力。

(二)確立研究主題

進行航機耗油分析，以利節油策略之研究及制定。

(三)界定研究範圍

本研究範圍以 A320 Family 機型之飛航數據建立資料庫，對實際耗油進行統計分析，得出影響燃油消耗之關鍵因素。

(四)文獻探討與資料蒐集

研讀國內外相關文獻、期刊資料及飛機製造商之技術文件，將之理論基礎應用於本研究，並蒐集整理個案公司飛航數據資料。

(五)資料分析

使用多元迴歸分析方法進行資料統計分析與檢定。

(六)耗油模式建立

應用分析結果找出關鍵耗油因素，架構航機耗油模式。

(七)結論建議

依據耗油模式之結論，提供國籍航空業者參考建議。

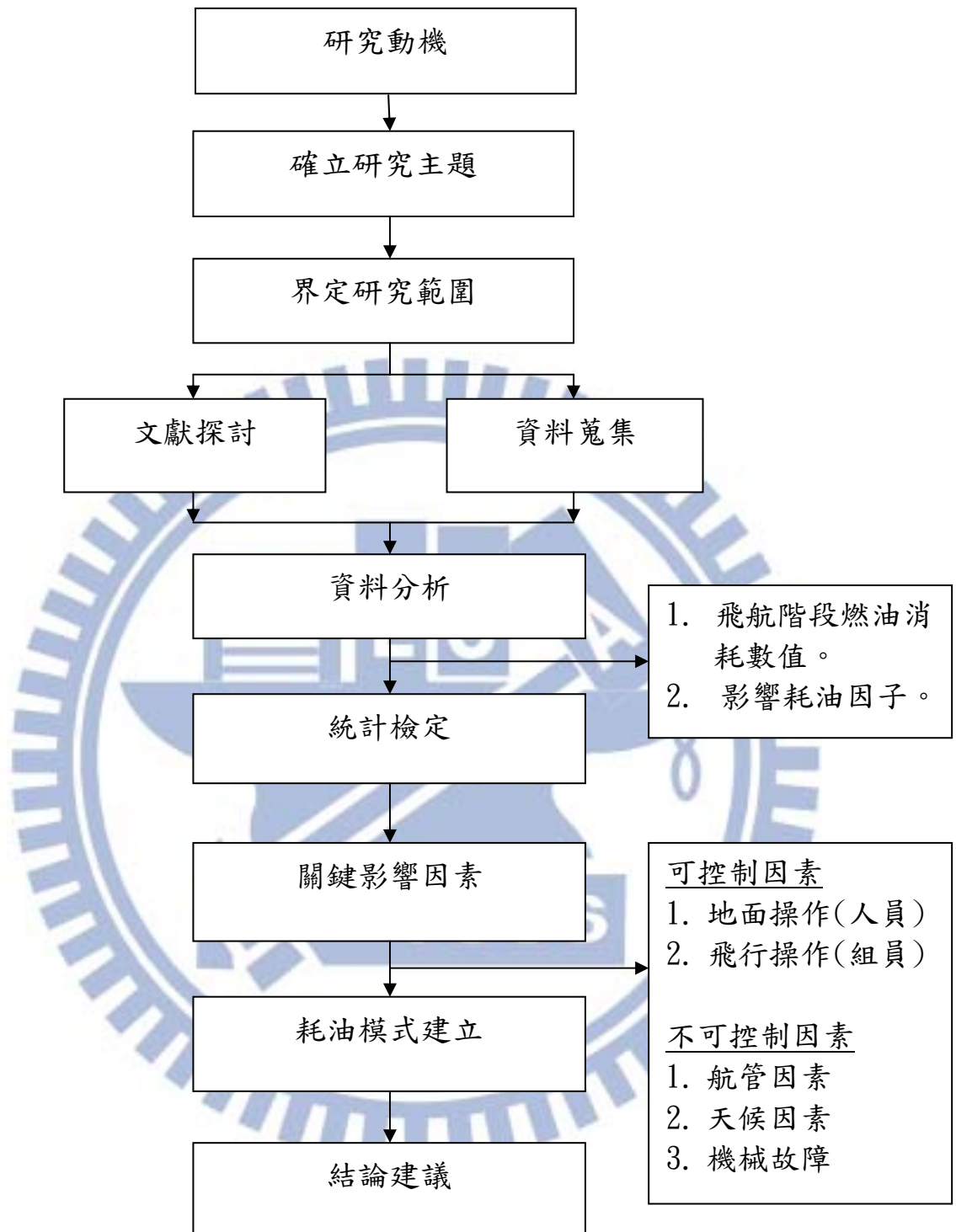


圖 6 研究流程圖

第二章 文獻回顧

目前航空產業面臨難以預期的燃油價格變化，於是有效率的操作是全球航空公司所追求的目標。要達到航機有效率的操作需要許多因素仔細的整合完成，包含法規限制、航路、航管(Air Traffic Control, ATC)，和飛航組員訓練、有效率的操作飛航計畫和嚴謹的飛航操作，以及航空公司維修系統之配合，才能確認航機能持續有效率並且安全的執行任務。在燃油資源缺乏與溫室效應的雙重威脅之下，許多先進國家著手進行替代燃料的研發工作，在尚未成功之前，航空公司應致力於研擬燃油消耗最佳化及降低二氧化碳排放的方法。本章就航空器製造商、航空器使用人¹及民航主管機關之作法進行研討。

2.1 航空器製造商

現今兩大飛機製造商因應市場需求及節能減碳之考量，皆提出許多對於航機耗油及節油方式之技術文件，可作為本研究文獻之參考。根據空中巴士研究發現有許多因素會影響航機燃油的消耗，而這可成為航空公司潛在的收益或巨大的損失來源。其中大部分的因素可直接由航空公司員工所操控（例如：飛航組員、操作/調度、維修等）。節油的成效必定展現在操作環境中潛在增加成本與營運成本之間的一種平衡。例如用較低的速度飛行雖然能減少燃油消耗，但相對造成飛航時間的增加，更同樣地增加組員及其他相關成本。以下就原廠技術文件針對節油操作方面作重點式整理：

- 一、製作準確的電腦操作飛航計畫(Computer Flight Plan, CFP)。取得正確的飛航資訊，如高度、高空風(風速、風向、溫度)等，擬定良好的操作飛航計畫，其能準確地預測並達到性能之最佳化，高效率的電腦操作飛航計畫是達到燃油成本最小化的一個關鍵元素。
- 二、參照電腦操作飛航計畫輸入適當的參數於飛航管理系統(Flight Management and Guidance System, FMGS)，能使得直接操作成本

¹民航局 07-02A 航空器飛航作業管理規則第二條名詞定義；三、航空器使用人：指以航空器從事飛航作業之自然人、法人或政府機關。

最小化並建立飛航組員信心，以避免組員需求額外載油之情況發生。

三、選擇最佳的飛航速度及高度是達到減低燃油消耗的二十大因素。然而，在實際操作的環境下通常必須遵照航管的指示進行，很難確實執行或找到兩全其美的折衷方法，導致飛航速度及高度最佳化的目標很難達成。

四、成本指數(Cost Index, CI)是代表時間成本和燃油成本的一種比值。透過 CI 值可進行航機最經濟速度調整以達到總營運成本最小化，航空公司可透過趨勢分析制定其數值，以利飛航組員輸入至飛航管理系統中運算。

成本指數計算公式如下：

$$\text{Cost Index (CI)} = \frac{\text{Cost of Time}}{\text{Cost of Fuel}} = \frac{C_T}{C_F}$$

由表 1 中 AIRBUS 原廠技術文件顯示，各機型於飛行前及飛航階段中，於各種不同條件下每航班可能節省之燃油數量，其可供本研究分析比較之參考。並從表 1 原廠技術文件資料可以得知每一特定機型皆有其適當之節油方法與相應可能之節油量。依據 AIRBUS 原廠文件說明(AIRBUS 2008)，A320 Family (A320 F)航機每個航班通常消耗大約 3.5 至 8 噸的燃油(大約為 1200 至 2700 US Gallons)，其燃油消耗依據飛行距離、酬載、特定機型和眾多參數影響而有所差異。改善地面及飛航操作的過程均有可能達到省油的良好成效。本研究旨在這些眾多參數中找出航空公司可控制之關鍵耗油因子，並探究使其燃油成本最小化之策略。

表 1 AIRBUS 機型節省之燃油數量(AIRBUS, 2004)

(a) 飛航前階段可能節省之燃油數量 (單位：公斤)

項目	差異 變化	A300	A310	A320	A330	A340- 200 /300	A340- 500 /600
航程		2000 海哩	2000 海哩	1000 海哩	4000 海哩	6000 海哩	6000 海哩
重心 位置	中間至 後限	710	330	0	600	900	1550
航機 重量	少於最 大起飛 重 1%	380	250	100	800	1520	1920
單發動 機滑行	8 分鐘	50	40	25	50	50	70
輔助動 力裝置	使用 3 分鐘 地源車	9	9	6	10	10	14
縫翼前 之突出 範圍	每 15 公厘	90	90	60	270	270	270
表面 去漆	每 1 平 方公尺	12	12	8	60	60	60

(b) 飛航中階段可能節省之燃油數量 (單位：公斤)

項目	差異 變化	A300	A310	A320	A330	A340- 200 /300	A340- 500 /600
航程		2000 海哩	2000 海哩	1000 海哩	4000 海哩	6000 海哩	6000 海哩
起飛 姿態	最大到 最小襟 翼設定	15	15	10	24	-	50
爬升 速度	指示 空速 330 到 300 節	10	15	70	35	25	-10
巡航 高度	低於最 佳高度 2000 呎	65	80	80	100	95	135
巡航 高度	高於最 佳高度 2000 呎	90	60	25	145	30	25
重心 位置	中間到 後段	710	330	0	600	900	1550
下降 速度	從最大 速度至 300 節	35	40	30	70	75	100
待命 階段	使用最 大升阻 比速度 及最小 外型	190	135	30	205	230	130

2.2 航空器使用人

航空器本身為複合性的高科技機械產品，所以在其運作中必然會經過性能衰減的過程。故航空公司應依據其特性制定良好的程序，不管是航務、機務等各個層面，以增進航空器在各個不同變化階段的有效性。

燃油成本在航空產業來說為最大宗之支出，有採取燃油避險策略的航空公司或許可以延遲或減少油價上漲的影響，但其他的航空公司則會因此讓自己在油價波動一開始就完全暴露在衝擊之下。航空產業是一個高度競爭的市場，許多經營者多方找尋方法以避免將這些成本加諸在他們的消費者上。依據以往的趨勢經驗，節省時間可視為一種節省成本的方式。然而，節省時間必須使用較高的飛航速度，取而代之的則是耗油的增加。如何達到燃油經濟性應重新檢視其價值，並要在減少營運成本的議題上開創具體的新思維。

例如在較長程的航路上，選擇在其航路上另一目的地作為中停機場，而非直飛至最後目的地機場，因為至中停點的燃油重量少於直飛至目的地機場，也可達到潛在省油的功效。同樣的，選擇非最佳飛行速度也可能導致不當的耗油，例如飛較快的速度雖然可以減少時間的延誤或是組員成本，但是，相對的不僅增加燃油消耗，更加速了航機性能的耗損。從這些例子可以明確知道，航空公司採用不當的作法或飛航操作方式，可能導致更為嚴重的耗油結果。以下整理多數航空公司採用之節油作法如表 2 提供參考。

表 2 航空公司作法

項目	說明
優化航路	定期檢視航路最新公告資訊，選擇最近之飛航路線，提昇飛航效率。
選擇較近之目的地備用機場	若機場設施及地面輔助設備符合起降標準，即選擇較近的機場作為備降之用，減少燃油裝載及碳排放。
航機減重	<ul style="list-style-type: none"> • 採用新型及材質較輕之餐車及餐具，減輕航機載重負荷。 • 採用新型及材質較輕之行李貨櫃，以汰換較重之舊型款式。 • 依航路特性及實際搭機旅客人數，調整機上用水量裝載。 • 將紙本手冊以電子式手冊取代。
飛機重量和重心控制	要求作業單位提供準確的旅客人數以及貨物重量訊息，以精確計算飛機重量和所需要裝載的油量，減少多餘的油量裝載。並計算最佳航機重心位置，以提昇燃油使用效率，減少二氧化碳排放。
加強航機維修作業檢視	飛機在飛航過程中會因外型阻力變大而使耗油量增加，故透過飛行前檢查或定期維修時，確保飛機外型及性能保持在最佳狀態。
減少 APU 之使用	使用場站固定電源和空調系統，以減少航機輔助動力系統(APU)的使用，除了降低溫室氣體排放外，更有效降低作業機坪上之噪音污染。

但在實際狀況下，最佳操作程序會因航管需求(ATC)而有所妥協或讓步，節油成效是透過每次飛行一點一滴所累積而成的，這些妥協或讓步也可能使得節油的努力成為無效。例如持續在滑行道等候、因航管要求而受

限在非最佳的高度層飛行，或是航管不允許點對點直飛(Direct)等等這些現象是航空公司所無法控制的部分。然而，各國航管也持續地進行革新及現代化。在短程航路上，航空公司經營者能與當地航管單位協調並檢視符合操作需求和容量，以找出最有利的航路(Route)及飛行時段(Slot)。在長程航路的部分，航空產業也不斷找尋航路改善方法、精進導航設備，以及減少飛行時間和增進操作效率之建議。

雖然航空產業造成之二氧化碳排放不如其他產業來的多，但航空產業身為製造及運輸產業的一分子，對於造成環境傷害的二氧化碳排放責無旁貸，應給予高度的重視。故許多航空公司皆針對環境保護成立專責部門，表 3 所示亞太航空組織之各國航空公司作法：

表 3 AAPA (Association of Asia Pacific Airlines)環境管理作業(牛詩淵，2010)

項目	說明
汶萊皇家航空(BI)	參與汶萊、馬國、印尼、WWF 之 HoB 拯救森林計畫。
國泰航空(CX)	實施碳補償(飛向更藍天)；參與香港空氣清新約章。
賈魯達印尼航空(GA)	參與印尼政府實施造林作業。
日本航空(JL)	執行 CME 作業(大氣觀測儀器)；與 Boeing 合作研究航空生質燃油。
馬來西亞航空(MH)	推行 SHEQ (Safety/Security, Health, Environment, Quality)；試行碳補償(員工公差)。
全日本(NH)	建立 CSR (安全與環保)管理；推行 Eco-flight。
紐西蘭航空(NZ)	建立 ISO14001 實施航機節油、能源管理、減廢等。
韓亞航(OZ)	建立 Energy Saving Committee 強化燃油管理。
菲律賓航空(PR)	與菲國政府合作研究機場車輛生質燃油。
澳洲航空(QF)	進行節油、減廢、節能、省水專項管理。
新加坡航空(SQ)	建立環保公關系統；與學校合作推展環保教育。
泰國航空(TG)	協助泰國政府研究清潔發展機制(Clean Development Mechanism, CDM)與改善曼谷機場噪音。

2.3 民航主管機關

全世界面臨溫室效應與氣候變遷，各國及其相關國際組織均提出目標，並制定法規期能減緩二氧化碳排放的速度。以下就國際與環保法規進行整理如表4所示：

表 4 國際與航空環保法規(牛詩淵，2010)

項目	說明
京都議定書	2008~2012 年溫室氣體排放量較 1990 減少 5.2%
UNFCCC	COP15 之 Copenhagen Accord 漸為國際遵行準則 控制地表增溫 2°C 之內 114 國同意，提報 2020 年減碳目標 2010.11.COP16 制定全球減量目標
ICAO	2010.10 召開 37th 會議，修訂 Noise 管制 將增加 CO ₂ /NO _x 減量規範、訂定環境管理(EMS)規範
歐盟(2012)	碳排放交易計畫(ETS)
美國	Kerry-Boxer Bill(克斯曼 - 馬基議案) 2020 年減量 20%
南韓	2010 年起增減航機起降費(ICN、GMP、CJU、PUS)
英國 法國 愛爾蘭 冰島	機票徵收環保稅
大陸	宣布 2020 年溫室氣體排放減量 40-45% 由國家發展和改革委員會領導民航局、航空公司減排作業。 進行碳交易區域聯盟(中、日、韓)
中華民國	溫室氣體減量法草案 2008.12.31 立院一讀通過 2020 年目標「較 BAU(Business as Usual)至少減量 30%」 將要求航空公司進行「碳盤查」與「碳揭露」 CAA 設定「每年提升 2%燃油使用效率」策略。

國際間已有多家知名航空公司及機場當局設立專責環保管理單位，運用 ISO14000 執行節能環保管理作業多年；近期再推行航機進場程序 (Continuous Descent Approach, CDA)，以取代傳統的階段性進場程序 (Step-down Approach)。美國聯邦航空署 (FAA) 指出，每飛航架次可節約 100~300 磅燃油，亦可降低噪音及減少 315 至 945 磅的二氧化碳排放量 (按 ICAO 1995 年資料，每單位重量燃油產生 3.15 單位重量的二氧化碳排放量)。而 1970 年代中期的石油危機，燃油價格飛漲居高不下，更是促使航空產業認真思考如何更有效率的使用空域，以期航機能夠使用最佳空層，讓可容納航機數量最大化，不僅減少油耗，進一步降低成本。相關特殊飛航作業簡述如表 5。

表 5 特殊飛航作業

項目	說明
垂直高度隔離作業 (RVSM)	縮減垂直隔離 (RVSM) 空域是指在 FL290 與 FL410 (含) 間，飛機的垂直隔離由 2000 呎縮減為 1000 呎。提升可用空層效率，進而減少班機延誤之情況。
性能導航 Performance Based Navigation (PBN)	<p>區域導航 (RNAV) 可以讓飛機在地面導航設施 (VOR, DME, NDB...) 涵蓋範圍內、或利用飛機本身的導航能力、或同時使用上述二者，讓飛機可以在任何想飛航的路徑上操作。不需要受限於地面導航設施。</p> <p>導航性能需求 (RNP) 是一種具備導航監視及警示能力的 RNAV。也是一種在指定空域中必須達到的導航性能需求。</p> <p>RNP AR 將進一步提高班機的可靠性，飛航組員在離到場時選擇更為彈性，對機場而言，透過 RNP 有效利用機載設備和有限的空域、導航資源，可使高度間隔最小化，促進航路和終端區容量的增加，並在單位時間內增加航機安全起降的次數。此外，還可減少飛行距離，節省飛行時間和燃油，提高航空公司營運效益。</p>
雙渦輪發動機 延展航程作業 (ETOPS)	雙發動機飛機延伸航程操作標準。依民航局規範可獲得 75、90、120、及 180 分鐘之作業時間。適航認證的時間限制意義，為航路中任一點，在單發機失效的條件下，所允許飛往航路備降機場最遠的飛航時間。適航認證的

時間越長，表示在規劃越洋航線時所受的限制越少，航線也能越趨近於大圈。

面臨地球上能源減少及匱乏的問題，許多機構目前正著手積極的研究減少環境影響的代用燃料。但在開發這些燃料技術之前，不僅需要耗費大量時間及成本，亦必須嚴格檢視其適用性的問題。航機作為大眾運輸載具的一種，其航線遍布全球，也時常需要在十分嚴苛的環境下操作，例如當前的這些代用燃料在高空操作時，冰點太高會有飛航安全的疑慮。此外，必須考量發動機及燃油系統的長期用途，代用燃油的穩定性、普遍性及通用性無疑是航空公司最大的考量重點。

2.4 學術文獻

在飛機設計與燃油消耗的相關課題上，連魁文(2005)以計算流體力學的方式找出在翼尖加裝小翼最佳化的結果，不僅可改善航機空氣動力，並進而改善航機的誘導阻力，確實提升飛航效率及節省燃油。另外，耿驊(2001)探討因航機燃油消耗的變化對巡航性能所產生之影響，並指出航線的長短、航路上不同的風速、風向、溫度、航空公司的經濟載油政策，亦或是在巡航階段使用發動機的除冰功能等，均會影響航機性能及巡航高度、速度之決定。

Filippone(2008)提到當前航空運輸業燃油消耗和二氧化碳排放的配置問題。研究中模型驗證從空氣動力學的觀點和酬載距離的效能來進行探討。航空器考量波音B737-500、B747-400、B777-300，和空中巴士A340-300這幾種機型，參數化研究顯示就飛行距離、載客量、行李限重、中停及直飛航班而言，節油和減少碳排放是可以在最佳飛行距離中被達成的。

Ryerson等人(2010)協助航空產業在燃料價格的不確定性和環境管制之計畫下，利用總體成本運算方法評估3種代表性航機(窄體、區域型和螺旋槳)的運作成本和旅客偏好成本。就每一種同質性機隊運作成本和客運成本，及其航路距離，和最小機隊成本進行研討。一般來說，隨著燃油價格的增加，螺旋槳航機在更廣泛的距離中，提供比其他兩種噴射機型航空器每座位較低的操作成本。其研究結論指出在同時考量燃料價格和距離下，螺旋

漿航機能展現最低的客運成本與運營成本。研究分析顯示最低成本是高度敏感反應燃料價格及客運成本，並點出節油和旅客服務之間需達到重要的平衡。

Stroup等人(1992)基於燃料價格、場站限制和供應商限制找出最低經濟載油成本之模型。場站限制是在特定的場站購買燃油總量的一種上下界限。麥道公司使用此模型來估計多種機型在最佳油量管理政策之下的潛在利益。一般可節省燃油成本約在5到6%之間。

Abdelghany等人(2005)對於航空經營者是否依照各地油價的不同，在非起始航點載運多餘燃油及航路選擇的問題上做探討，並衡量航空業者在載運額外油料和節省燃油成本之間所造成的額外載重成本取捨問題。

柯景文(2008)研究結果顯示各飛航階段操作方式均會影響油耗表現。並比較每個飛行階段節油操作油耗量與平均油耗量之差異，節油效果於短程航線平均每航班約可以節省2.5%至8.8%的總飛行油耗，估計使用節油操作之建議，一年可省下新台幣3,362,308元至11,832,570元之燃油成本。

王鈺佳(2008)研究以相關性分析探討各飛航階段參數關聯性及趨勢，並提出不同階段操作因素之改善方式，依其節油操作建議，統計每航班可減少近6.3%的燃油量，約可節省27000元之燃油成本。

油價高低對航空公司的直接營運成本與獲利有極大的影響。因此，在油價長期看漲的趨勢下，如何節省燃油成本，達到省油經濟並減碳之雙重功效，成為了全球航空公司面臨的巨大挑戰。本研究擬藉由航空公司之實際飛航數據資料，研究航機關鍵耗油因素並與操作飛航計畫之分析進行對照，透過分析結果獲得耗油因子，作為國籍航空運輸業者制定節油策略之參考依據。

第三章 研究方法

3.1 簽派油量計算方式

簽派員依據預報天氣、飛航公告、起降機場跑道狀況、航機故障項目等作為製作電腦操作飛航計畫之參考依據，長程飛行的航線更應考量最佳路徑的選擇，以利減少燃油消耗。簽派員應對當天起飛機場、備用機場、目的地機場及航路的即時及預報天氣做一細部瞭解，針對如雷雨、大側風、降雪等危害天氣，事先進行研判及各項準備工作，並需掌握飛航公告發布之內容，如跑道、燈光、導航設施、地面裝備、機場營運時間等，另考量乘客及貨物、郵件、行李之重量，做好預加油料之準備。依據各項因素計算出最後起飛油量，以避免過多無謂的油量，增加航機載重。飛航組員依據產出之電腦操作飛航計畫，明確掌握最大和最小高空風之空層，在飛行前即能判斷航機最佳飛航高度。如圖7所示，在符合法規規範限制的條件下，可依公司政策制定油量政策，航機應攜帶足夠之燃油及滑油，計算油量時應考慮氣象預報情況、預期之航管延誤、於目的地機場做儀器進場及誤失進場、及其他可能延誤飛機降落之情形。



圖 7 飛航總油量

簽派油量應包括下列各項：

(一) 地面操作及滑行油量(Ground operation and Taxi fuel)

輔助動力裝置(Auxiliary Power Unit, APU)為航機備用電力裝置，航機在發動機啟動之前，會使用 APU 作為航機內部電力使用及冷氣供應之來源。油量計算包含 APU 地面操作、發動機啟動及地面滑行至起飛位置所需之油量(此項目不包括於起飛重量內)。航空器使用人於制定公司政策時，常依據原飛機製造商統計數值給予滑行油量一個平均的固定值，雖各機種原始構型在基準上已有差異，但多數航空公司仍採用一體適用之油量政策，以本研究目標航空公司為例，其設定值不論航線均為 500 磅。

(二) 航程油量(Trip Fuel)

依據公司速度政策計算從起飛機場鬆煞車開始到目的地機場落地之間的油量。航程油量之計算應包含起飛、爬升至巡航高度、爬升最高點(TOC)至下降最高點(TOD)、此階段中任何爬升或下降之情況，及進場下降至目的地機場之總油量。航程油量應考量爬升、巡航、進場下降速度、距離、航機重量、溫度、飛航高度及相關儀器飛航程序所需之油量。其中爬升階段分為三個速度階段計算，第一階段以 250 海浬速度從 1500 呎爬升至 10000 呎，第二階段為 250 海浬到 300 海浬加速高度，第三階段為到達 300 海浬後再以 0.78 馬赫爬升至選擇高度。巡航階段以 0.78 馬赫計算，正常下降階段與爬升階段速度相同，唯另再包含遭遇緊急情況時，能以最大速度或最大馬赫數到達 1500 呎高度之油量。

(三) 應變油量(Contingency Fuel)

應變油量涵蓋無法預期之因素而產生的油量差異，例如無法申請達到操作飛航計畫巡航高度、或大於預期的頂風、不預期的航管延誤，及其他無法預期之各項狀況。應變油量依法規規範有以下兩種計算方式：

(1) 在標準溫度下，在目的地機場上空 1500 英呎以待命空速飛航 15 分鐘所需油量。

(2) 5%之航程油量。

航空器使用人應監控不同航線及航空器之燃油消耗變化，才

能更適當地計算油量。

(四) 備用油量(Alternate Fuel)

備用油量是指自目的地機場之迷失進場點(MAP)起，完成迷失進場程序，爬升、巡航、下降、進場，然後降落於備用機場所需之油量。備用油量除應考量與航程油量相同之各項因素外，另需加入重飛程序之油量。若此航線於操作飛航計畫中必須製作第一及第二備用機場，則油量之計算應以油耗量多者為準。

(五) 待命油量(Holding Fuel)

待命油量是以最佳速度及最小外型為其計算基準。法規規範可分為以下兩種：

(1) 需目的地備用機場者：

標準溫度下，在目的地備用機場上空 1500 呎高度，以待命空速飛航 30 分鐘之油量。

(2) 不需目的地備用機場者：

標準溫度下，在目的地機場上空 1500 呎高度，以待命空速飛航 30 分鐘之油量。

(六) 額外油量(Extra Fuel)

額外油量可分為機長需求及公司政策需求兩種。機長若有安全顧慮或其他合理之考量，可要求增加機載油量。以製作操作飛航計畫的角度來說，簽派員應考量天氣情況、飛航公告、航機裝備是否操作正常，機場設備及跑道狀況，及其他可能延誤航空器降落之情況等因素判斷所需增加之油量，以確保飛航安全，並降低轉降之機率。

綜上所述可以得知油量(FQ)之總和可用下列式子代表：

$$FQ = TXF + TF + CF + AF + HF + EF$$

其中：

TXF=滑行油量

TF=航程油量

CF=應變油量

AF=備用油量

HF=待命油量

EF=額外載油

歸納其總油量計算方式如圖 8 所示：

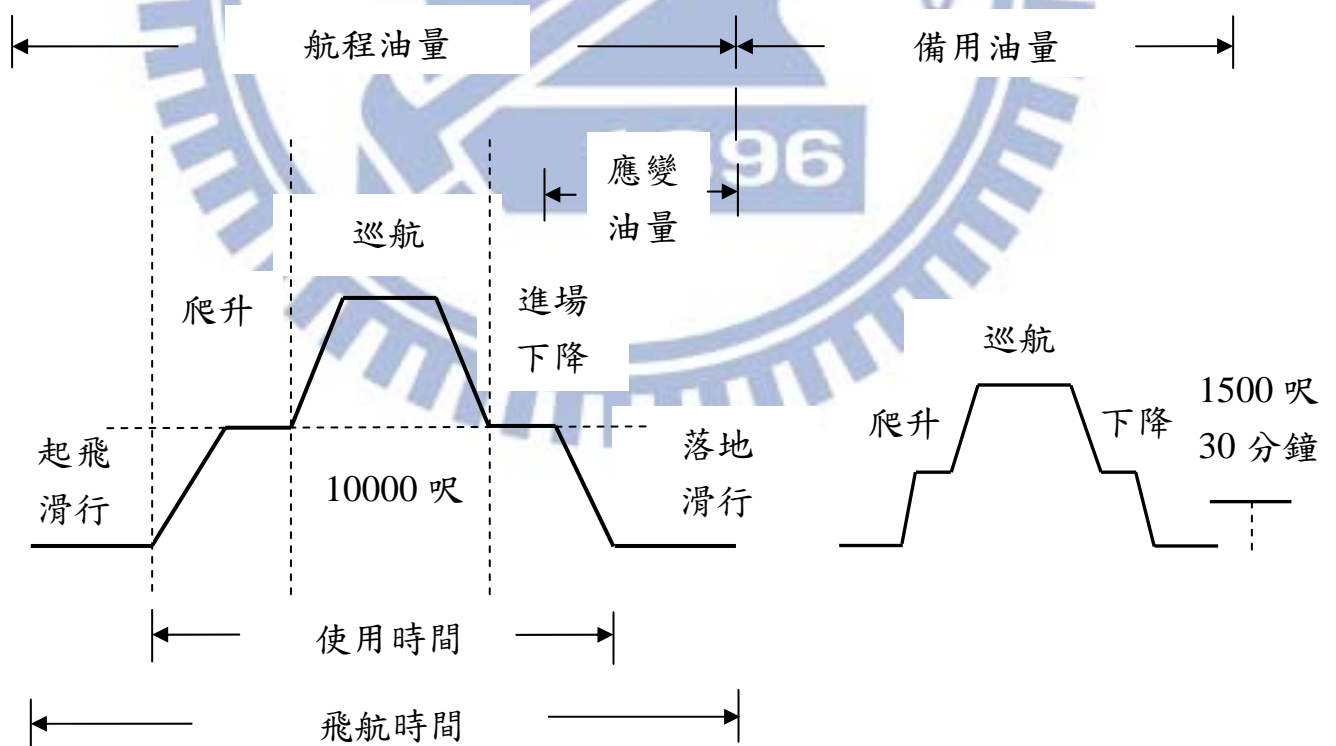


圖 8 操作飛航計畫總油量

除了計算出地面及飛航階段所需油量之外，製作操作飛航計畫必須考量所有與此趟飛行有關之重量，如航機本身空重(BW)、操作重量(DOW)(含機組員重量、餐車、侍應品、水等重量)、酬載(Payload)(乘客、貨物、郵件、行李之總和)均應被詳細的計算，因航機有其結構限制，必須滿足限制條件，才是最終可簽派之安全油量。簽派油量中應滿足之限制條件為：

(1) 最大零油重。 $(DOW + \text{Payload} \leq MZFW)$

受限於機翼與機體之間連結的強度

(2) 最大起飛重²。 $(MZFW + \text{Takeoff Fuel}/RTOW/RLW + TF \leq MTOW)$

受限於升力大於重力之間的關係

(3) 最大落地重。 $(TOW - TF \leq MLW)$

受限於起落架的強度

若此趟飛行受限於其中一項結構限重，在法規規範下地面及飛航階段所需之燃油是必需且不得減少之油量，換言之，就必須降低酬載重量以符合結構限制，降低酬載相對地即意味航空公司營收的減少，故如何能在限制之內達到最大酬載，取得酬載與油量之間的最佳平衡，是航空公司一致的課題。

3.2 實例說明

目前航空公司均使用電腦操作飛航計畫計算之油量運作，不僅能將其考量之風向、風速、溫度、高度、距離、速度、發動機衰退率等變化計算的更為仔細及精確，也能確保飛航組員於操作時的穩定性，避免飛安事件的發生。但若發生電腦故障或任何特殊狀況(如轉降等)，導致電腦操作飛航計畫無法正常運作或傳遞時，簽派員或飛航組員必須自行計算所需油量來執行此次飛行任務。飛機製造商於航機出廠時，均會將航機相關性能數據派發給航空器使用人，並持續不斷地修訂最適的航機資料。以下簡要整理本研究目標航空器A320 Family構型航機油量計算之差異如表6所示，並概述兩種手動計算油量之方法。

² 最大起飛重量為：1.最大零油重加入起飛油量(MZFW + Takeoff Fuel) 2.跑道分析求得之最大起飛重(RTOW) 3.落地重加入航程油量(RLW+TF) 三者取最小值。

表 6 A320F 航機構型階段耗油差異

航機構型 耗油量 項目	A320	A321
滑行油量	25 磅/分	30 磅/分
輔助動力系統耗油	4.83 磅/分	4.83 磅/分
航程油量 (含 6 分鐘儀器 飛航規則程序耗油)	45 磅/分 (270 磅)	50 磅/分 (310 磅)
應變油量	1. 目的地機場上空 1500 呎高度飛航 15 分鐘。 2. 5% 的航程油量。	1. 目的地機場上空 1500 呎高度飛航 15 分鐘。 2. 5% 的航程油量。
備用油量 (含重飛油量及 4 分鐘目 視飛航規則程序耗油)	飛至目的地備用機場 之油量 (220 磅／180 磅)	飛至目的地備用機場 之油量 (270 磅／220 磅)
待命油量 (目的地備用機場上空 1500 呎高度飛航 30 分鐘)	依落地重量及高度 而有所不同。 (2700 磅)	依落地重量及高度 而有所不同。 (3200 磅)

(一)快速判斷法(Quick Determination)

在酬載重量已知之情況下，可利用此方法快速求得所需油量、最大起飛重量及各相關限制重量。

以A321機型B目標航機為例，已知條件如下：

航機操作空重 : 108,868 磅

酬載重量 : 22,802磅

至目的地機場空中距離：580 海哩

計劃飛航空層 : 29000 呎

馬赫數 : M .78

溫度 : ISA³

目的地至備用機場空中距離：122 海哩

目的地至備用機場飛航空層：6800 呎

(1) 步驟一

首先進行航程油量及航程時間之計算。以至目的地機場空中距離 580 海哩查飛航操作手冊(如附錄一)，利用內插法可得油量為 9066 磅，航程時間為 1 小時 28 分鐘。

(2) 步驟二

求兩個法定應變油量之較大值，故得 $15 \times (9066/88) \div 1546$ 磅。

(3) 步驟三

已知航機操作空重 108,868 磅及酬載為 22,802 磅，兩者相加可得零油重為 131,670 磅。

待命油量及時間之計算依據飛機製造商提供之統計數字 30 分鐘約為 3200 磅。(也可利用附錄二查表得知)

(4) 步驟四

將零油重加上待命油量及應變油量可得航機在備用機場之落地重量，故得 $131670 + 3200 + 1546 = 136416$ 磅。

(5) 步驟五

求備用油量及其時間。為便於計算，以 10000 呎查飛航操作手冊(如附錄三)，利用內插法可得油量為 2833 磅，時間為 29 分鐘。因附錄三表格之落地重量參考數值為 130000 磅，故修正實際落地重量增加耗油為 $7 \times (136 - 130) = 42$ 磅。

故備用油量為 $2833 + 42 = 2875$ 磅。

³ 國際標準大氣(International Standard Atmosphere)是一項假設之大氣溫度、氣壓和密度之垂直分布情況，經國際公認，用為氣壓高度表校正、飛機操縱計算、飛機設計等用途上之大氣代表。

1. 零氣壓高度(平均海平面)，相當於支持水銀柱高度 760 毫米之氣壓。此項氣壓定為 1013.25 hPa 或 29.92 in Hg。

2. 平均海平面溫度為 15°C。(中華航空氣象協會)

(6) 步驟六

將備用機場落地重量加入備用油量可得在目的地機場之落地重量，得落地重量為 $136416 + 2875 = 139291$ 磅。

(7) 步驟七

以落地重量加入航程油量等於起飛重量，故可得航機起飛重量為 $139291 + 9066 = 148357$ 磅。

依據公司政策計算地面操作及滑行油量為 500 磅。

所需最終總油量為 $FQ = 500 + 9066 + 1546 + 2875 + 3200 = 17187$ 磅。

並確認起飛重及落地重均在其最大限重條件內。

(二) 巡航圖表法(Integrated Cruise Tables)

此方法主要應用在最大起飛重量固定或有所限制之情況，以求可容許之最大酬載。圖9說明巡航圖表法之計算邏輯，並依電腦飛航計畫之起飛重量149,200磅進行下列計算。

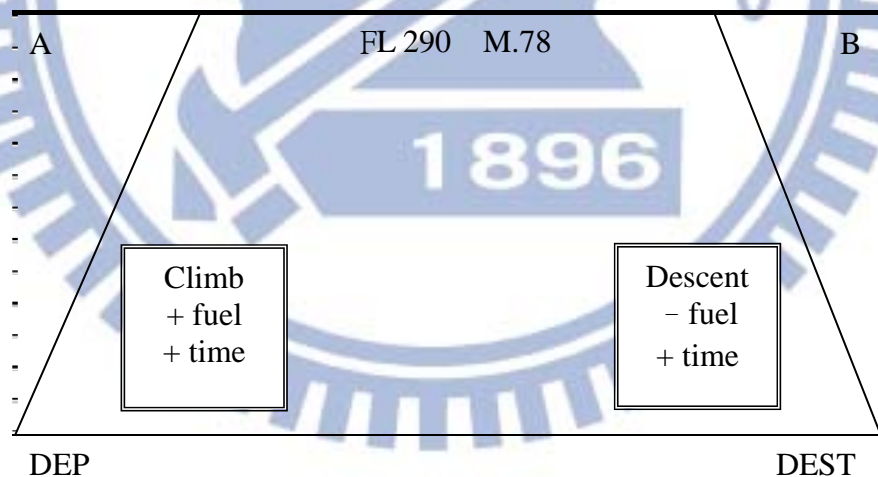


圖 9 巡航圖表法示意圖

(1) 步驟一

進行巡航距離和時間之計算。

依附錄四查表後以內插法得最大巡航距離為 3319 海浬，其時間為 431 分鐘。

(2) 步驟二

以最大巡航距離減去航程空中距離可得目的地機場上之重量。
故計算得 $3319 - 580 = 2739$ 海涅。以 2739 海涅回附錄四，以內插法得對應之重量為 141,200 磅，時間為 356 分鐘。

(3) 步驟三

將 A、B 兩點相減可得航程油量及其時間：

油量： $149200 - 141200 = 8000$ 磅

時間： $431 - 356 = 75$ 分鐘

(4) 步驟四

以附錄五查爬升階段油耗修正數值為 1800 磅，時間修正數值為 3 分鐘。

再以附錄六查下降階段油耗修正數值為 300 磅，時間修正數值為 10 分鐘。

(5) 步驟五

得航程油量為 $(149200 - 141200) + 1800 - 300 = 9500$ 磅

航程時間為 $(431 - 356) + 3 - 10 = 68$ 分鐘

落地重量為 $149200 - 9500 = 139700$ 磅

(6) 步驟六

求備用油量及其時間。為便於計算，以 10000 呎查飛航操作手冊(如附錄三)，利用內插法可得油量為 2833 磅，時間為 29 分鐘。因附錄三表格之落地重量參考數值為 130000 磅，故修正實際落地重量增加耗油為 $7 \times (139.7 - 130) \div 68$ 磅。

故備用油量為 $2833 + 68 = 2901$ 磅。

(7) 步驟七

求兩個法定應變油量之較大值，故得 $15 \times (9500/68) \div 2096$ 磅。

待命油量及時間之計算依據飛機製造商提供之統計數字 30 分鐘約為 3200 磅。(也可利用附錄二查表得知)

(8) 步驟八

依據公司政策計算地面操作及滑行油量為 500 磅。

所需最終總油量為 $FQ = 500 + 9500 + 2096 + 2901 + 3200 = 18197$ 磅。

求零油重為落地重量減備用油量、應變油量及待命油量後得 $139700 - 2901 - 2096 - 3200 = 131503$ 磅

並確認落地重及零油重均在其最大限重條件內。

允許酬載重量為零油重減航機操作空重得 $131503 - 108868 = 22635$ 磅。

以上述兩種手動計算油量方式整理如表7油量統計表，並比較其項目差異。

表 7 油量統計表 (單位：磅)

項目	計算方式	快速判斷法	巡航圖表法
	油量		
地面操作及滑行油量		500	500
航程油量		9066	9500
應變油量		1546	2096
備用油量		2875	2901
待命油量		3200	3200
總油量		17187	18197

以總體結果來說，巡航圖表法較快速判斷法較為接近電腦操作飛航計畫(如附錄七)，此誤差來自於各項參數修正的精確程度，如使用不同之速度基準計算油量，或飛航高度選擇、性能因子(Performance Factor)、風向、風速之修正係數等，均會影響操作飛航計畫油量之運算結果。使用較為精確之電腦操作飛航計畫，可避免簽派油量過多或不足之情況產生。

3.3 研究方法

由前述航機油量的計算過程，可以瞭解航機在各個階段的油量需求與可能影響因素相當複雜。因此，除了透過敘述性統計方法描述資料的特性之外，將利用迴歸分析來進行研究。

多元迴歸分析(multiple-regression analysis)是簡單相關的一種延伸應用，用以瞭解一組預測變項和一個效標變項的直線關係；而每個預測變項的預測能力，是研究者重要的參考指標。由兩個以上自變數對應變數的影響的分析即是多元迴歸分析。

多元迴歸方程式一般表示方式為：

$$Y = \beta_1 + \beta_2 X_2 + \cdots + \beta_k X_k + U.$$

其中

Y 為應變數

$\beta_1 \cdots \beta_k$ 代表迴歸係數

$X_2 \cdots X_k$ 代表解釋變數

在多元迴歸分析中，可進行變異數分析求取判定係數，以衡量迴歸方程式的配適度，並進行迴歸方程式是否可接受的假設檢定。

R^2 稱為判定係數，用來衡量迴歸方程式的配適度或是解釋能力，以檢定多元迴歸方程式是否可接受，此外多元迴歸分析更可利用 F 檢定來檢定迴歸方程式所有解釋變數對應變數是否有聯合解釋能力，換言之檢定該迴歸方程式是否可接受。在油耗部分，本研究使用多元迴歸分析，期透過模式之結果瞭解其中影響耗油顯著之因子。

判定係數可表為實際觀測值 Y_i 和估計值 \hat{Y}_i 之間樣本相關係數的平方：

$$R^2 = \frac{[\sum_{i=1}^n (\hat{Y}_i - \bar{\hat{Y}}_n)(Y_i - \bar{Y}_n)]^2}{[\sum_{i=1}^n (Y_i - \bar{Y}_n)^2][\sum_{i=1}^n (\hat{Y}_i - \bar{\hat{Y}}_n)^2]}$$

第四章 資料蒐集與處理

4.1 資料蒐集

本研究分為兩部分資料蒐集，其一為瞭解操作飛航計劃之油耗分析，就2012年01月至06月所有航班數量共3640次航班進行實際航程油耗與預期航程油耗之統計，另為確知各飛航階段耗油因子，就2012年1月至3月松山－上海浦東、桃園－上海浦東及台中-上海浦東航線為研究母體，合計共64次航班樣本數，以其飛航真實數據進行統計並依其飛航階段定義，將發動機開車、滑出、起飛、初始爬升、爬升、巡航、下降、進場、最後進場及落地、滑入等飛航階段進行分析研究。其中未發生之階段，如重飛及TOUCH AND GO 階段，則在本研究中不討論。並依據相關變數彙整資料以探討省油條件及其方式，提供航空公司或機場單位於制定程序時之參考。

飛航階段資料蒐集主要依據資料記錄器之定義，將飛行過程14個飛行階段(Flight phase)整理如表8，各階段定義如下：

(一) 發動機開車階段：

從第一個發動機開始運轉(Engine start)，亦即感測到發動機滾轉壓縮開始。

(二) 地面滑行(滑出)階段：

雙發動機均正常運轉速度超過 50% N2(The high-pressure rotor speed)開始。

(三) 起飛階段：

雙發動機節流閥位置於彈性推力或最大推力位置超過 5 秒鐘開始。

(四) 初始爬升階段：

至航機通過 35 呎(AGL⁴)開始。

(五) 爬升階段：

至飛行高度大於或等於 1500 呎(AGL)並爬升率大於每分鐘 420 ft/min 達 60 秒開始。

(六) 巡航階段：

⁴ 依飛航指南縮語定義：AGL (Above ground level)為地平面上。

爬升階段後航機飛行高度大於 10,000 呎，並以 300 ft/min 爬升率達 120 秒後開始計算。

(七) 下降階段：

航機飛行高度大於 3,000 呎(AGL)，並以超過 420 ft/min 下降率達 15 秒定義為下降階段之起始。

(八) 進場階段：

航機在 3,000 呎至 1,000 呎(AGL)達 10 秒為進場階段之起始。

(九) 最後進場階段：

從航機低於 1,000 呎(AGL)並以超過 300 ft/min 之下降率，發動機轉速小於 90%達 10 秒開始。

(十) 落地階段：

從起落架開始壓縮的時間起算。

(十一) 滑行(滑入)階段：

航機與落地航向偏差 15 度以上或地速低於 10 kts 開始至關車為止。

表 8 各階段定義表

飛航階段	參數名稱	備註
1	ENG_START	發動機開車
2	TAXI_OUT	滑出
3	TAKE_OFF	起飛
4	INI_CLIMB	初始爬升
5	CLIMB	爬升
6	CRUISE	巡航
7	DESCENT	下降
8	APPROACH	進場
9	FIN_APPROACH	最後進場
10	GO_AROUND	重飛
11	LANDING	落地
12	TOUCH_A_GO	重飛
13	TAXI_IN	滑入
14	ENG_STOP	發動機關車

本研究將同質性階段進行歸納為六個飛行階層以利分析，如圖 10 所示：

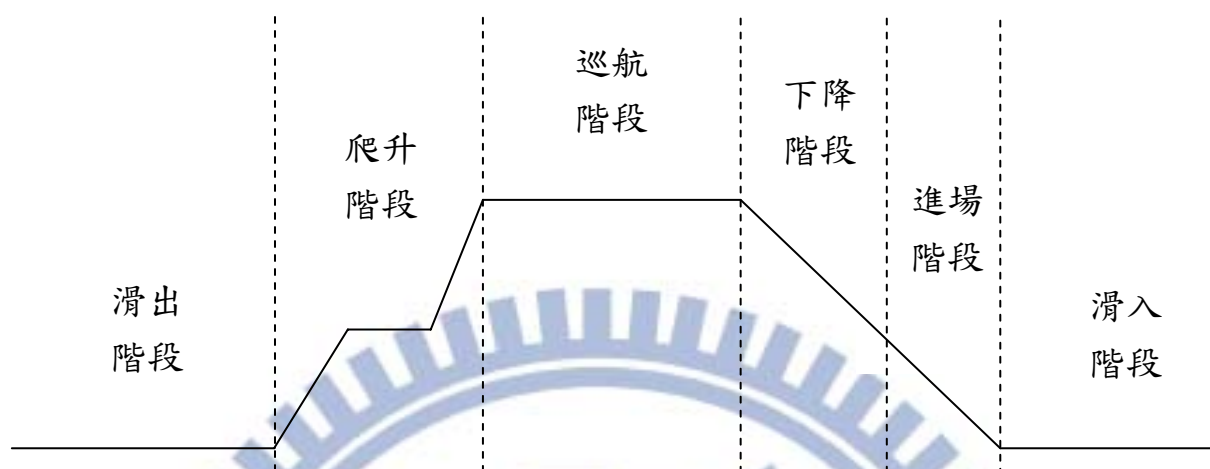


圖 10 飛行階段示意圖

4.2 飛航影響因素

因每個飛航階段皆有其影響因子，本研究使用源自飛機上快速擷取紀錄器QAR(Quick Access Recorder)記錄下之飛行原始資料(Raw Data)，並利用FOQA分析軟體(AIRFASE)介面輸出每航班每秒鐘之各種飛航參數變化，依表9變數之定義表，重新製作各飛航階段影響變數油耗資料庫以利統計分析，並找出關鍵耗油因子。

離場及到場滑行階段受限於時間、距離、速度等變數之影響甚大，尤其現今航空產業的日益發達，擁擠的機場或是大型機場無不增加滑行的時間及成本，本研究針對航機重量、溫度、風向、風速、地速、時間、等候時間、距離及發動機耗油量進行分析。因電腦操作飛航計畫中滑行油量依據公司政策制定為一預估值，但各機場特性皆不相同，若能較為精準的預估其所需油耗量，就不致造成每趟次均承載過多的額外油量，造成航機重量增加，節油對於航空公司來說可視為是一項永續工作，必需持續不斷的累積，才能看出其成效。故檢視每個項目可能節省燃油之空間，對於航空公司來說是非常重要的。

爬升及下降、進場階段因遵照民航主管機關頒布之離到場程序作業，探討速度對於爬升、下降、進場階段之油耗影響程度。而巡航因屬長時間

平穩之階段，且本次飛航階段分析研究航程為中程航線，飛航紀錄器原始資料僅紀錄變動較大之時間點，故其變數以計算方式獲得數值。

表 9 變數定義表

編號	變數名稱	單位	符號	定義
1	高度	呎(ft)	A	飛行高度
2	距離	海哩(nm)	D _G	地面距離
3		海哩(nm)	D _A	空中距離
4	時間	秒(sec)	T _{IN}	滑入時間
5		秒(sec)	T _{OUT}	滑出時間
6		秒(sec)	T _{CL}	爬升時間
7		秒(sec)	T _C	巡航時間
8		秒(sec)	T _D	下降時間
9		秒(sec)	T _{APCH}	進場時間
10	等候時間	秒(sec)	T _{GS=0}	地速趨近於零之時間
11	航機重量	噸(ton)	W	各飛航階段航機重量
12	地速	節(kts)	V _{GS}	地面滑行速度
13	真空速	節(kts)	V _{TAS}	航機空速
14	溫度	攝氏(⁰ C)	T _{emp}	外界溫度
15	風速	節(kts)	S _{wind}	尾風為正向、頂風為負向
16	風向	度(°)	W _{DIR}	
17	油耗量	磅(LBS)	F _{uel}	各飛航階段油耗量統計
18	延噸小時	(ton-hr)	X	航機重量 × (距離/速度)
19	航程比	(nm/1000lbs)	SR	每千磅燃油可行走之距離
20	高度比	(ft/1000lbs)	SA	每千磅燃油可到達之高度
21	爬升率	(ft/min)	R _{CL}	
22	下降率	(ft/min)	R _D	

4.3 資料範例說明

先透過 MATLAB 將 Raw Data 進行資料處理，資料庫分別記錄每筆包含航班日期、航班編號、飛航階段、飛航高度、距離、航機重量、地速、真空速、溫度、風向、風速、時間及油耗量等資料，資料庫以飛航階段區分，整理為 14 個飛航階段如表 10 範例所示。

表 10 資料範例

	A	B	C	E	F	H	I	J	K	L	M	N	O	Q	AA	AB	AC	
1	航班日期	飛航階段	高度	距離	空中距離	地面速度	趨近於零時間	航機編號	航機重量	地速	溫度	真空速	風速	風向	時間	機場	油耗量	油耗率
2	20120112	6	26137.18	259.9913	247.3259	0	3042	61.71296	442.162	-25.9931	420.6223	98.81481	255.1519	1728	1	4269.5327	17.262779	
3	20120112	6	30717.98	354.8471	403.849	0	3042	61.96951	397.4146	-32.6527	452.2948	114.2012	264.3232	2624	1	6881.8975	17.040768	
4	20120113	6	29074	209.3253	226.2638	0	3046	62.81818	411.2032	-29.0326	444.4776	100.7326	266.1294	1496	1	3948.3505	17.450207	
5	20120121	6	29075	330.7908	346.3388	0	380	72.62362	448.3948	-29.541	469.4704	94.68266	251.5244	2168	1	6104.6605	17.626269	
6	20120228	6	28813	245.9746	274.8652	0	380	73.47945	412.5936	-23.4881	461.0543	96.94064	282.0799	1752	1	4708.4423	17.130003	
7	20120228	6	26915.43	264.6191	259.4089	0	380	72.03125	433.9598	-35.3513	425.4155	63.25893	264.4812	1792	1	4730.0388	18.23391	
8	20120105	6	29152	252.3772	245.7996	0	332	67.7549	454.4608	-30.1676	442.6163	128.8578	258.6279	1632	2	4313.3319	17.548167	
9	20120112	6	25809.43	529.4423	512.8737	0	332	64.28246	443.0273	-24.7809	429.163	101.9818	263.2499	3512	2	9313.4363	18.159319	
10	20120113	6	29069	375.2257	410.2379	0	332	63.82353	405.4059	-29.1785	443.2343	107.0824	262.9659	2720	2	6879.8549	16.770401	
11	20120114	6	28972	156.2202	150.1764	0	332	73.25581	444.8605	-29.5558	427.6499	98.49612	251.1519	1032	2	2766.0291	18.418534	
12	20120116	6	29040	293.5944	297.3371	0	332	73.04959	445.6653	-31.4847	451.3465	121.186	259.8058	1936	2	5654.4016	19.016807	
13	20120119	6	26645.85	401.5713	426.8729	0	332	69.93496	399.7724	-27.2192	424.9606	115.3984	268.9821	2952	2	8268.7102	19.370426	
14	20120121	6	29131	330.5241	388.2045	0	332	74.09615	389.1571	-25.3532	457.0696	119.6154	264.7253	2496	2	6487.5492	16.711681	
15	20120123	6	29102	280.0649	258.7947	0	332	72.89423	494.6202	-25.6962	457.055	144.7019	267.7317	1664	2	5026.1367	19.421328	
16	20120126	6	25716.88	473.5823	476.9583	0	332	72.72414	428.4951	-20.4911	431.5497	87.65764	272.8241	3248	2	8764.6811	18.3762	
17	20120128	6	29099	223.5298	240.8547	0	332	73.64211	432.1737	-26.0811	465.6696	91.2	270.5453	1520	2	3977.4529	16.513912	
18	20120130	6	29168	157.6303	159.1537	0	332	75.03937	455.9449	-26.3787	460.3513	102.6535	270.6063	1016	2	2757.1871	17.324057	
19	20120209	6	27505.57	544.1232	544.1827	0	332	73.30973	442.2168	-28.9551	442.2652	94.35398	258.0438	3616	2	9153.5889	16.8208	
20	20120211	6	26797.89	553.2481	522.689	0	332	72.08597	459.8054	-27.5878	434.4077	89.61538	252.7167	3536	2	8609.6535	16.471849	
21	20120220	6	27275.89	439.0509	458.8131	0	332	68.57672	426.6772	-28.9651	445.8825	91.71429	248.6056	3024	2	7629.6877	16.629184	
22	20120223	6	26343.35	394.5099	385.496	0	332	72.66667	431.3155	-27.9351	421.4606	78.98512	258.5601	2688	2	6923.3252	17.959526	

第五章 航機耗油分析

5.1 操作飛航計畫分析

要達到燃油有效的運用及經濟性，其基礎來自於精確的電腦操作飛航計畫。一個良好的電腦飛航計畫可謂是所有參數之最佳化，航路的選擇、速度、高度等均應符合操作者最為經濟之準則。飛航計畫中所需參考的資料，如溫度、風向風速、航機總重、酬載重量、機場及航路資訊等，會依據正確及良好品質的資料進行判讀，並加入公司速度政策及航機性能管控之條件而後製作使用，最後產出的油量不得低於民航主管機關之法定油量。在飛航安全的條件下，航空公司的政策即為影響油耗之首要因素，若採用寬鬆之油量政策，可能導致裝載多餘的油量，反而增加航機載重，不僅耗油更可能影響酬載的限制。

一般來說承載最少所需的燃油應能達到最為節省並經濟的效果，然而藉著兩地間燃料價格的不同而利用價差以省下油價的支出，從油價便宜的場站多帶油量飛往油價貴的場站，也是航空公司為因應高油價，時常採用平衡油料成本的一種作法。既然額外載油必定會導致耗油量的增加，那麼在執行此項作業之前，就必須謹慎的考量。航空公司可依航線需求，透過計算起飛重量(不含其他燃油)，距離、巡航高度和油價等才能決定最適的乘載燃油容量(不可因多攜帶油量而超過航空器結構限制重量)，找出額外載油和實際耗油之間的最佳平衡。因本節主要探討如何避免過量之安全裕度，故對於經濟載油之航班不予討論。

本研究為了解電腦飛航計畫估算之預期航程油量大於實際航程油量之航班數狀況，採用2012年01月至06月所有航班數量進行統計共為3640次。整理如圖11，並針對其中實際航程燃油消耗與預期航程油量差異之航班進行分析。

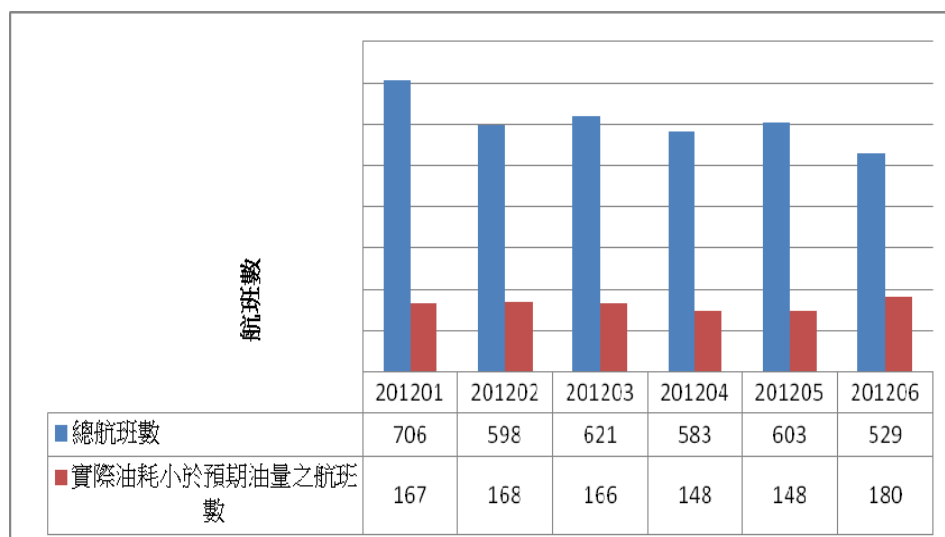


圖 11 預期與實際油耗差異

實際航程油耗小於預期航程油量之航班數為977次，另有2663次航班實際航程油耗大於預期航程油耗，將其差異製表如表11和表12所示，其中航機重量的部分均為計畫重量大於實際重量，實際航程油耗大於預期航程油量之平均重量差異為4588.83磅；實際航程油耗小於預期者為6653.67磅，顯示簽派員估算留有安全裕度，或是製作計畫之各項資訊來源並未能提供精確的數值，大預估重量意味著大航機載油，故可能導致航程油量剩餘的情形發生。電腦操作飛航計畫為預測之結果，並非所有的項目重量均能在進行油量預測時即可得知，例如乘客實際報到人數、行李重量等。為配合航機加油及各項運作，操作飛航計畫通常約於2小時前必須製作完成，故若是能透過歷史數據的統計提升預測資料精準度，那麼對於給油的條件就能更為確實。

在油耗的表現上，因計畫重量均大於實際重量，理應實際航程油耗要小於預期航程油耗，但資料卻顯示實際航程油耗大於預期航程油量的航班數佔73%，比起實際航程油耗少於預期的27%多出許多。在表11和表12中，兩者靠檔與飛航時間並無顯著不同，顯示地面滑行時間穩定，但飛航時間在實際航程油耗小於預期航程油耗之樣本中，其平均飛航時間為02小時16分鐘，遠高於實際航程油耗大於預期航程油耗樣本之01小時55分鐘，造成其油耗之差異可能來自於飛航空層的高低和飛航駕駛員操作速度的使用而

有所不同。

本研究於第二章曾經提到成本指數(Cost Index)的概念，成本指數是指時間成本和燃油成本的一種比值。由圖12可知速度的調節是造成時間最小化或燃油消耗最大化之重要條件。總成本可看成固定成本加上時間成本及燃油成本，因許多航空所需成本均以時間為單位計算，如組員飛時、維修、地勤代理及裝備使用等，故其均隱含在時間成本之計算定義。航機速度最大者表示所需航程時間最短，但也意味著油耗之最大化，其成本指數表示為999，反之則為燃油消耗最小，單位油量可行進之距離最長，且時間亦最長，其成本指數表現為0。由此可知，飛航時間較長者，可能選取較小之成本指數飛航，故造成飛航時間雖增長，但油耗表現卻較佳之情況。但如何取捨時間和燃油之間其成本最佳化，必須經由航空公司綜合統計分析來訂定。由此可知在各飛航階段中若能運用省油方式，進行飛航操作，亦有可能達到省油之條件。

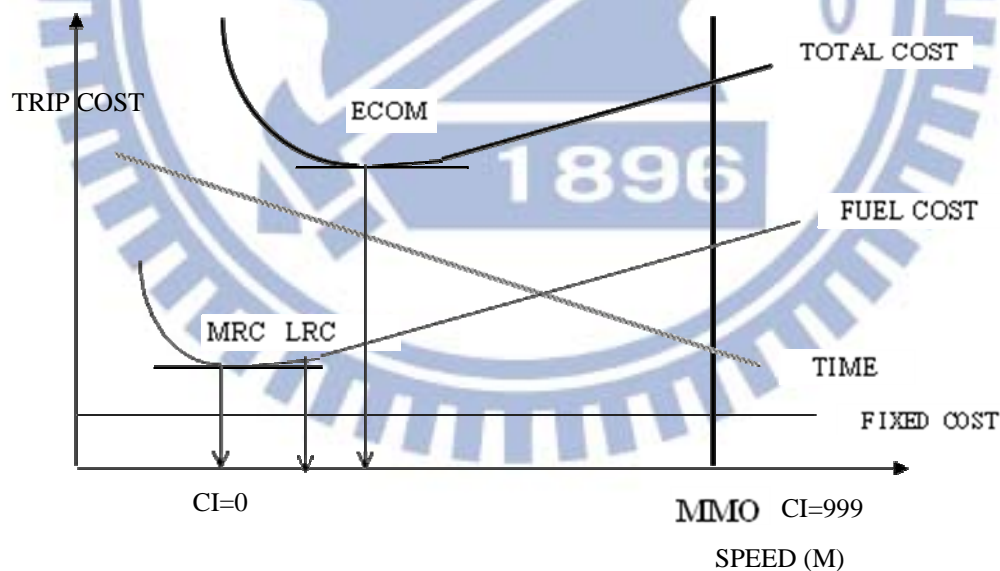


圖 12 成本指數(Cost Index)相關速度圖 (AIRBUS)

航機實際飛航時，有時因空域擁擠，航管進行流量管制導致無法運作於電腦操作飛航計畫中之最佳空層，與其外在環境因素，如風向、風速的變化也會造成燃油消耗不如預期之影響。

表 11 實際與預期差異統計表 (實際>預期)

日期	靠檔時間(分)	飛航時間(分)	實際油耗(磅)	計劃油耗(磅)	實際航機重量(磅)	計劃航機重量(磅)	油耗差異(磅)	重量差異(磅)	時間差異(分)
201201	02:24	02:06	13364.39	12950.56	145907	155439	413.83	-9532	00:18
201202	02:17	01:59	12675.98	12161.98	154294	164050	514	-9756	00:18
201203	02:11	01:52	12067.49	11478.77	147271	153349	588.72	-6078	00:19
201204	02:13	01:55	12324.03	11755.39	148483	154916	568.64	-6433	00:18
201205	02:11	01:53	12077.44	11554.49	142638	152044	522.95	-9406	00:18
201206	02:08	01:48	11834.52	11330.85	147320	153648	503.67	-6328	00:20

表 12 實際與預期差異統計表 (實際<預期)

日期	靠檔時間(分)	飛航時間(分)	實際油耗(磅)	計劃油耗(磅)	實際航機重量(磅)	計劃航機重量(磅)	油耗差異(磅)	重量差異(磅)	時間差異(分)
201201	02:28	02:10	13597.59	13940.63	142885	155065	-343.04	-12180	00:18
201202	02:38	02:20	14308.53	14718.72	150138	154899	-410.19	-4761	00:18
201203	02:43	02:25	15296.46	15704.46	152105	159299	-408	-7194	00:18
201204	02:29	02:12	13890.08	14285.03	155086	159489	-394.95	-4403	00:17
201205	02:31	02:12	14348.92	14761.58	155321	161153	-412.66	-5832	00:19
201206	02:36	02:17	14896.02	15322.35	154829	160381	-426.33	-5552	00:19

電腦操作飛航計畫各階段油料之計算依航空公司標準作業程序及其限制來訂定，爬升、巡航和下降進場階段可能因外在環境因素(天氣)導致耗油之增加，然而滑行油量卻是受天氣因素影響最小的一項，故通常訂定滑行油量時僅以概略時間進行估算並採用固定數值。但因現今航空產業的發達，全球新建機場的規模遠遠大過於以往的舊機場，許多舊機場也因繁忙的網絡重新規劃整建，跑道及機場設備的維修均會造成停等時間的增加。以本研究樣本為例，統計2012年01月至06月桃園、台中、松山、高雄出發之航班平均滑行時間如表13所示。

表 13 總平均滑行時間 (單位：分鐘)

滑 行 時 間 日 期	機 場	RCTP	RCMQ	RCSS	RCKH
201201		15	13	11	8
201202		14	11	10	9
201203		14	12	11	9
201204		10	12	14	9
201205		14	12	10	9
201206		14	11	11	10
總平均滑行時間		13.5	11.8	11.2	9

從圖13可看出每月各機場航機滑行平均之油耗量，大致上均以桃園最高，台中次之，再者為松山及高雄，其中桃園機場之滑行時間短者為10分鐘，長者則達15分鐘，差異比例頗大。又以2012年04月為例，松山機場因部分滑行道維修，造成停等時間的增加直接反應於滑行油量，由此可知，機場跑滑道的配置以及擁擠與維修等因素均會對航機之油耗有所影響。

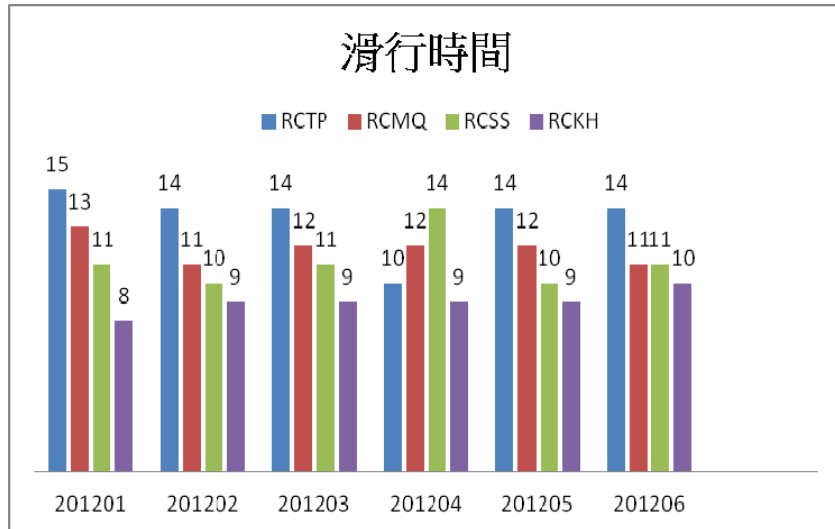


圖 13 滑行時間統計 (單位：分鐘)

依AIRBUS原廠飛航操作手冊中說明A320機型平均每分鐘耗油為25磅，A321機型為每分鐘30磅，若以各機場2012年01月至06月之平均滑行時間概算，可得桃園機場A320約為350磅，A321為420磅；松山和台中機場A320約為300磅，A321為360磅；高雄機場A320約為225磅，A321約為270磅。均低於樣本航空公司政策制訂之滑行油量500磅。若估計以A321桃園420磅比較，每航班可減少80磅之滑行載重，2012年01月至06月3640次航班約可減載約291,200磅燃油。燃油成本對於航空公司來說是一筆大支出，在節油工作上需透過各環節經年累月的累積，若忽視小環節，卻也可能造成無謂的過度浪費。後續小節將陸續分析各飛航階段之實際耗油係數，並探討各階段節油之空間。

5.2 飛航階段分析

首先為了解航程中各個飛航階段其燃油消耗之情況，分別統計資料庫中各階段之平均耗油量，並計算各階段平均耗油量占整體之比例，其百分比分布如圖14所示。由於航線距離不大，本研究將同質之飛航階段合併共同研討，分別定義第01及第02為地面滑出階段，第03、04、05為起飛爬升階段，第06階段為巡航階段，第07階段為下降階段，而第08、09、11稱為進場階段，最後第13階段為地面滑入階段。其統計結果可以看出爬升、巡

航、下降階段為佔比較大之階段。分別由巡航階段46.0%為最高，爬升階段37.4%次之，下降階段6.6%為第三大類之油量消耗，而地面滑行階段則分別為滑出3.2%，滑入2.0%。

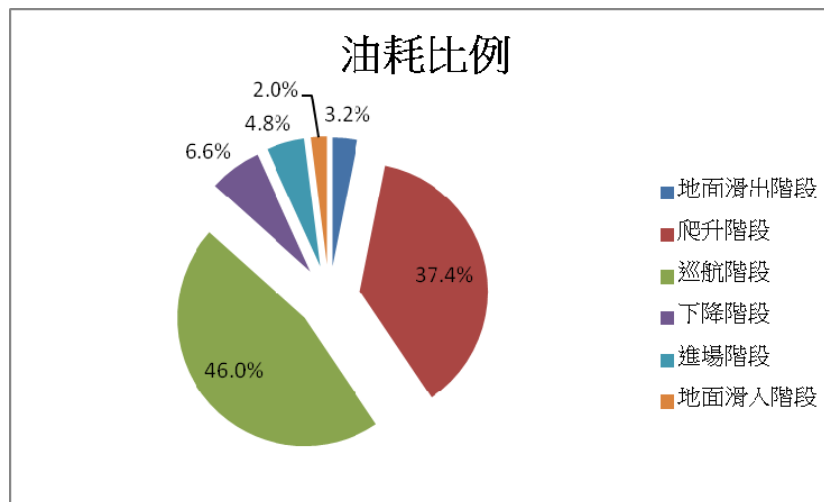


圖 14 各飛航階段油耗比例

以下針對各飛航階段之耗油因子進行分析及討論，並利用各項油耗影響變數與各階段油耗進行相關性分析，其主要目的為找出顯著之影響因子，建立迴歸模式以利探討省油之條件及其方式，提供航空公司或機場單位考量之建議。

5.2.1 地面滑出階段

(1) 相關性分析

本節進行地面滑出階段相關性分析，為避免因滑行距離不同影響油耗表現，將以滑行油耗率(lbs/nm)作為變數探討。根據表14滑行階段油耗相關係數顯示，分別為地面速度趨近於零的時間、延頓小時、滑行總時間及滑行地速達到顯著，其中地面速度趨近於零的時間對於油耗呈現高度正相關，表示停等時間越長則油耗增加，而滑行地速為高度負相關，代表航機滑行速度越大則燃油消耗量越小，延頓小時為中度正相關，顯示距離、滑行速度與航機重量之間的關係為影響油耗之條件。

表 14 地面滑出階段油耗相關係數

	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)
滑出油耗率 (1)	1							
地面速度趨近於零時間 (2)	.852**	1						
航機重量 (3)	0.19	0.145	1					
延噸小時 (4)	.452**	.623**	.345**	1				
滑行總時間 (5)	.437**	.622**	0.165	.396**	1			
滑行地速 (6)	-.897**	-.670**	-0.165	.744**	-.294*	1		
溫度 (7)	0.005	-0.086	-0.107	-0.113	-0.105	-0.047	1	
風速 (8)	0.059	-0.008	.268*	0.082	0.163	-0.06	0.097	1
平均值	171.732	22.340	74.190	7.888	382.070	11.752	17.260	54.640
標準差	55.055	47.481	3.659	1.952	88.821	3.052	3.281	105.580

** $p < 0.01$

* $p < 0.05$

(2) 影響變數

滑行時間的多寡與其機場擁擠程度十分密切，繁忙機場容易造成航機地面等待時間的增加，首先依圖15可知滑行油耗與時間成正比，平均每秒燃油消耗介於0.40磅至0.61磅之間，平均值為每秒0.517磅。假設航機在地面的時間多1分鐘，則可能導致30磅之油耗量。

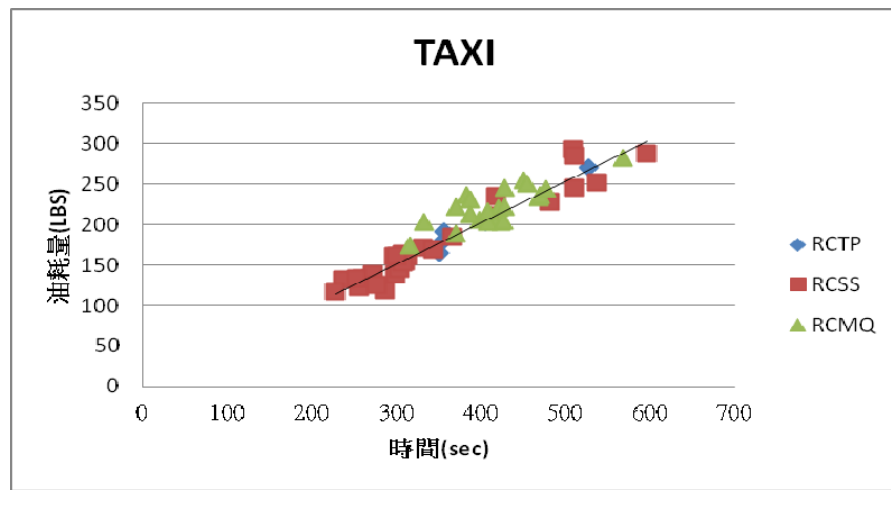


圖 15 滑行油耗圖

從圖16得知桃園、台中清泉崗機場停等時間較松山機場短，且較不易發生，松山機場則發生數次地面速度趨近於零之時間，自50至200秒之間不等，依整體趨勢來看，地面停等時間越長會導致油耗持續增加。

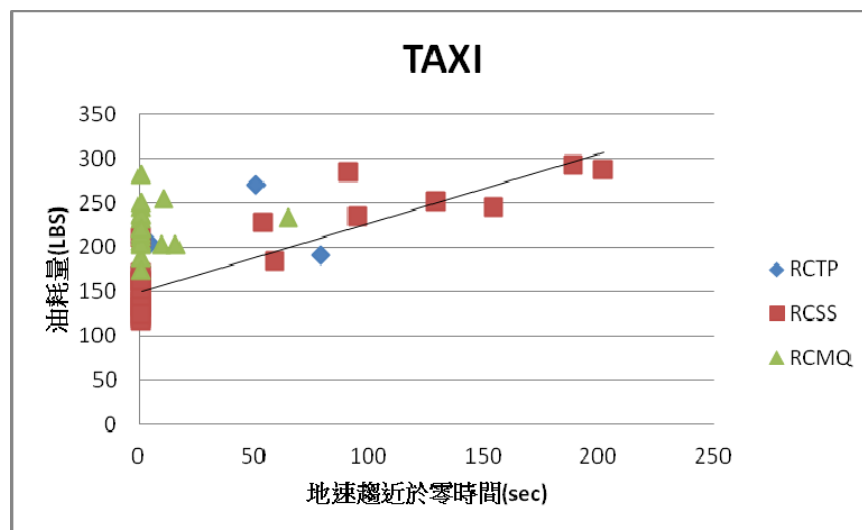


圖 16 地面停等時間滑行油耗圖

松山(RCSS)、桃園(RCTP)及台中(RCMQ)機場均有其慣用優勢跑道方向，松山(RCSS)為10跑道方向，台中(RCMQ)為18跑道方向，桃園(RCTP)則為05跑道方向，慣用優勢跑道方向之使用並非針對省油操作，絕大部分是因天候(盛行風)因素，或其跑道方向具有較優良之裝備，如跑道燈光、儀降設施等。不同跑道方向造成滑行距離之不同，也就直接反應在燃油消耗量的增加。而滑行地速屬操作因素，在符合航空公司規範之速度限制下，飛航駕駛員可操控地面滑行速度之快慢。由相關性分析可看出地速低時，耗油增加，地面速度高時，則較為省油。由圖17得知台中清泉崗機場和桃園機場可以獲得較大的滑行速度，松山機場因規模狹小，近幾年更是開放兩岸直航及陸續增加許多國際直飛航點，導致航班數量眾多而造成擁擠，故滑行速度無法提高。相較於場面規模較大的桃園機場，以及機場航班數較少的台中清泉崗機場，則可以達到比較高的滑行速度。以松山機場為例，油耗趨勢隨滑行速度增加而逐漸遞減，並從10kts後趨於平緩，而越慢的滑行速度則導致越多的油耗。

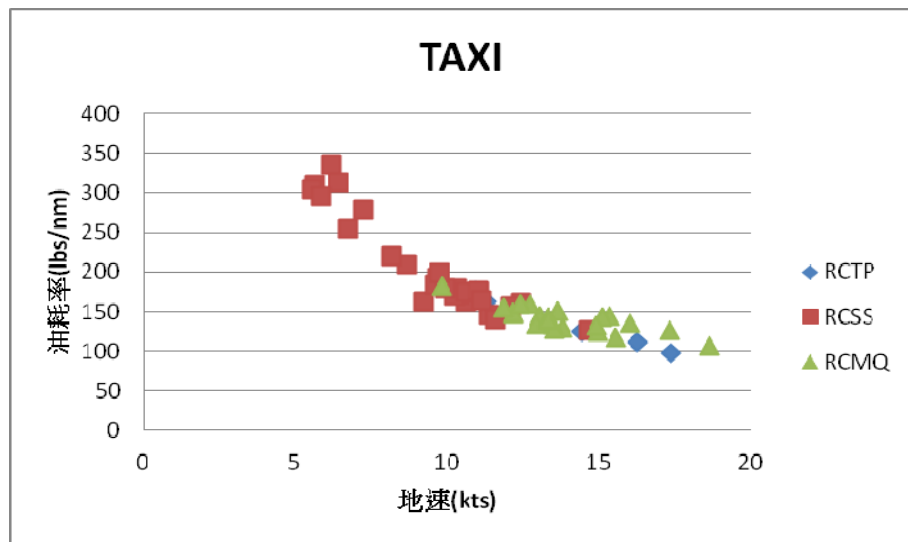
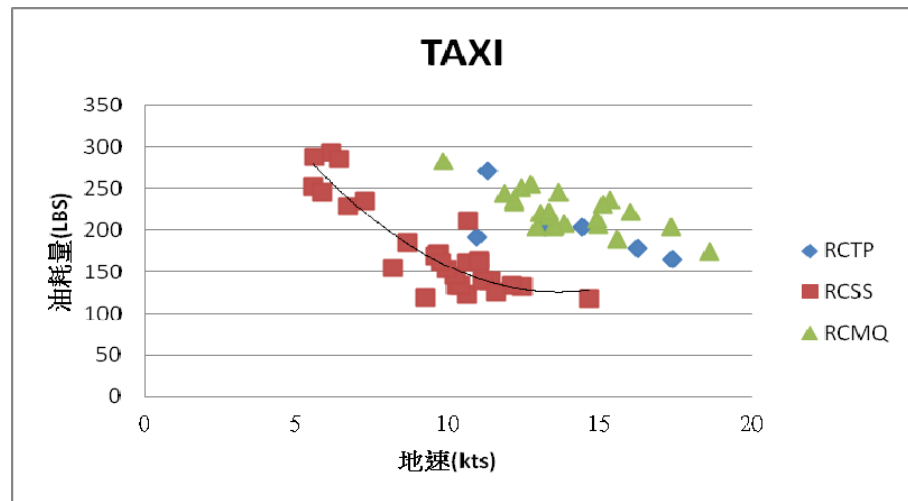


圖 17 地速滑行油耗圖

(3)模型定式

依上述各條件可綜整多元迴歸式如式(1)：

$$y = b_0 + b_1 T_{GS=0} + b_2 D_G + b_3 V_{GS} \quad (1)$$

其中迴歸符號所代表之意義為：

y為總油耗量， b_0 為常數， b_1 、 b_2 、 b_3 為迴歸係數。

$T_{GS=0}$ 為地面速度趨近於零之時間(sec)

D_G 為地面滑出距離(nm)

V_{GS} 為地面滑出速度(kts)

因總時間與距離、速度有共線性之影響，故以自變數地面速度趨近於零之時間、地面滑行距離、地速與油耗進行迴歸分析，表15可得各變數與燃油消耗之迴歸分析摘要表。

表 15 地面滑出階段迴歸分析摘要表

變數	B 之估計值	t	顯著性	共線性統計量	
				允差	VIF
(常數)	146.185	12.842	.000		
$T_{GS=0}$.395	6.449	.000	.461	2.171
D_G	150.713	17.128	.000	.373	2.678
V_{GS}	-12.068	-8.909	.000	.226	4.430
R / R^2		0.954 / 0.910		F檢定	175.502*
調整後 R^2		0.905		D-W 檢定	1.997

*sig .000

多元相關係數為0.954，聯合解釋變異量為91.0%，從迴歸係數來看，以地面速度趨近於零之時間係數來說，每秒增加0.395磅之燃油為一分鐘增加23.7磅油耗，故航機應避免過度的在地面等待，而滑行速度若以10節為一基準點，提高地速至15節，則可減少60.34磅之油耗，在滑行速度限制之規定下，應保持10節以上速度並適度提高滑行速度，以降低燃油消耗。

迴歸方程式如式(2)

$$y = 146.185 + 0.395T_{GS=0} + 150.713D_G - 12.068V_{GS} \quad (2)$$

(4) 小結

以一般正常航班來說，製作電腦飛航計畫時，航空公司通常使用相同的滑行油量，但全球機場有其差異性，滑行時間因機場規模大小及機場容量擁擠狀況而相對增加，相同的滑行油量並不符合每個機場狀況，故應監控和計算實際的滑行時間，以避免這些因素導致預先規劃燃油的浪費或不足。

較低的滑行速度會造成燃油和時間的增加。在不超過公司標準作業程序之範圍內，應在航管許可下達到一定的滑行速度，有效減少航機燃油消耗。



5.2.2 爬升階段

(1) 相關性分析

本節以爬升油耗量與爬升距離、航機重量、真空速、爬升總時間、爬升率與外界環境因素之溫度、風速及風向進行相關性分析。由表16可看出外在環境因素在爬升階段影響較不顯著，而距離、航機重量、真空速、爬升總時間與油耗呈高度正相關，表示距離、速度、時間和航機重量的增加，均會導致油耗增加影響其表現，變數中爬升率為高度負相關，顯示爬升率越大則油耗表現越佳。

爬升率與其他變數如距離、航機重量、時間、速度為負相關，由此可知航機重量越大者，爬升率越小，而所需爬升之距離與時間則越長，反之即為航機重量越輕者，爬升率越大，所需爬升之距離與時間則越短。而航機速度越快者，爬升率越小，燃油消耗增加；航機速度越小則爬升率較陡，燃油消耗減少，可從圖18瞭解其趨勢。

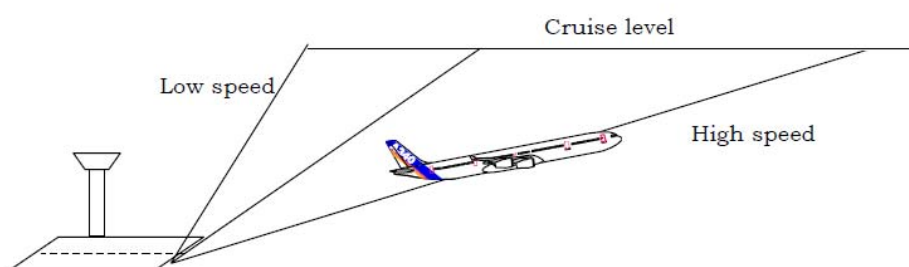


圖 18 爬升速率圖 (AIRBUS 2004)

表 16 爬升階段相關係數表

	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)
爬升油耗量 (1)	1								
爬升距離 (2)	.787**	1							
航機重量 (3)	.681**	.603**	1						
真空速 (4)	.571**	.739**	.310*	1					
爬升總時間 (5)	.757**	.946**	.644**	.482**	1				
爬升率 (6)	-.713**	-.735**	-.748**	-.403**	-.763**	1			
溫度 (7)	0.097	-0.011	0.237	0.062	-0.052	-.430**	1		
風速 (8)	0.248	0.213	0.033	-0.053	.311*	-0.049	-.407**	1	
風向 (9)	0.131	0.14	0.023	0.118	0.123	-0.049	0.228	-0.048	1
平均值	3618.237	106.126	72.939	363.775	1048.410	981.841	-7.437	52.849	244.744
標準差	440.678	12.280	3.544	15.011	93.883	89.324	2.509	10.203	12.498

** $p < 0.01$

* $p < 0.05$

(2) 影響變數

在航機爬升的過程中需遵循機場發布之標準儀器離場程序 (Standard Instrument Departure, SID)，離場程序的設計需要確保障礙物的隔離，或另需達到噪音管制之需求，而這些程序制定通常符合航機性能的最小要求。在結合跑道起降方向、風向因素等情況下，可能會導致增加數哩的飛行距離。遵照離場程序，航機會爬升至最佳爬升速度，到達最佳爬升速度後，爬升率會持續穩定的增加，到達加速高度的同時，也必然包含襟翼和縫翼的回收，越早回收越能使航機外型結構在初始爬升達到最佳化，故可快速且有效地進入巡航高度。然而，航管的約束、限制或噪音管制需求均可能造成阻礙。

從圖19可以看出航機重量、速度、時間越大均會造成燃油消耗的增加，而爬升率越大則為燃油消耗減少，油耗表現越佳。

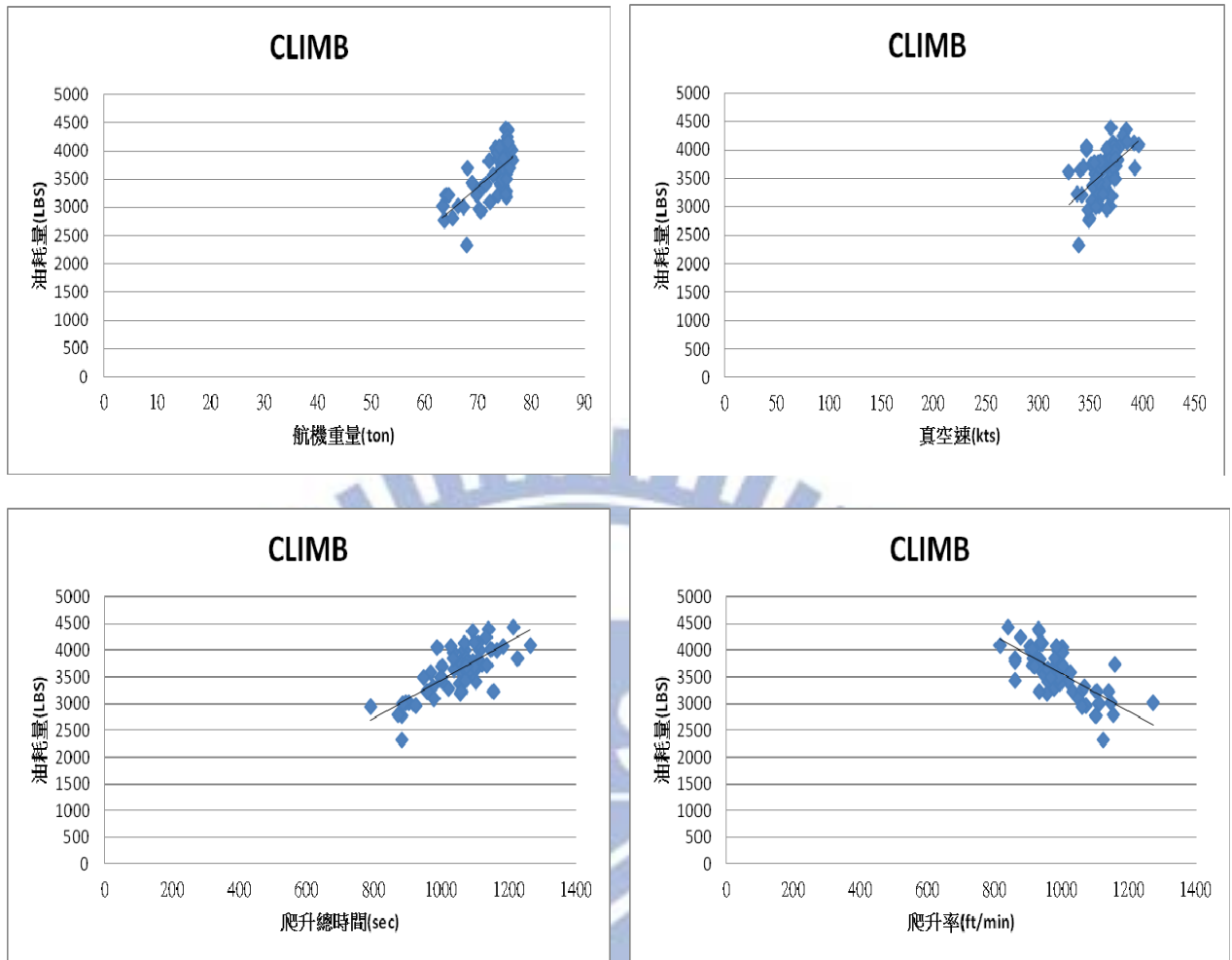


圖 19 爬升階段相關變數油耗圖

(3) 模型定式

依上述各條件可綜整多元迴歸式如式(3)：

$$y = b_0 + b_1 D_A + b_2 W + b_3 V_{TAS} + b_4 T_{CL} + b_5 R_{CL} \quad (3)$$

其中迴歸符號所代表之意義為：

y 為總油耗量， b_0 為常數， b_1 、 b_2 、 b_3 、 b_4 、 b_5 為迴歸係數。

D_A 為空中距離(nm)

W為航機重量(ton)

V_{TAS}為真空速(kts)

T_{CL}為爬升總時間(sec)

R_{CL}為爬升率(ft/min)

因爬升距離與速度、爬升總時間有共線性之影響，故以自變數航機重量、真空速、爬升總時間及爬升率與油耗進行迴歸分析，從表17可得各變數與燃油消耗之迴歸分析摘要表。

表 17 爬升階段迴歸分析摘要表

變數	B 之估計值	t	顯著性	共線性統計量	
				允差	VIF
(常數)	-2714.959	-1.474	.146		
W	33.977	2.386	.020	.421	2.374
V _{TAS}	7.614	2.887	.006	.807	1.239
T _{CL}	1.652	2.887	.006	.390	2.562
R _{CL}	-.659	-.989	.327	.315	3.179
R / R ²		0.824 / 0.679		F檢定	29.119*
調整後R ²		0.656		D-W 檢定	1.748

*sig .000

多元相關係數為0.824，聯合解釋變異量為67.9%，從迴歸係數可知航機重量為增加1噸增加33.977磅之油耗，而V_{TAS}真空速與油耗也呈正向增加趨勢，表示速度越大越耗油，以真空速降低10節計算，可減少76.14磅油耗。爬升總時間增加1分鐘則可影響99.12磅之燃油消耗。在此模式之變數中，航機重量變化與速度調節為影響因子，而快速脫離爬升階段減少爬升時間，以及爬升率的增加均可降低油耗。

迴歸方程式如式(4)

$$y = -2714.959 + 33.977W + 7.614V_{TAS} + 1.652T_{CL} - 0.659R_{CL} \quad (4)$$

(4) 小結

爬升率的大小影響燃油消耗的結果，而影響爬升率最為主要為空速及航機重量之變化。大重量必然伴隨著大速度起飛，顯示航機重量越輕者則能達到較大之爬升率，並可較快加入巡航高度以節省燃油消耗，故若能針對航機主體進行減重作業，對於爬升階段來說應有顯著之成效。

5.2.3 巡航階段

(1) 相關性分析

巡航階段因屬穩定平飛之狀態，飛航原始資料(Raw Data)僅紀錄有顯著變化之時間點，故此階段數據透過計算而得。為避免巡航階段之距離影響油耗數據，故以巡航油耗率(lbs/nm)進行相關性分析，並為探究高度、距離之關係，以航程比概念作為影響變數。本節以巡航總時間、空速、重量、溫度、風向、風速及航程比與航機高度比進行相關性分析，由表18可得巡航總時間、航程比與油耗率均達顯著，且呈負相關，顯示巡航階段時間增長會使得燃油消耗減少，且航程比越高者，油耗表現愈佳。其中真空速變數與油耗率雖未達顯著，但其呈現正相關之趨勢，表示加快航機速度，則燃油消耗越大。

表 18 巡航階段相關係數表

	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)
巡航油耗率 (1)	1								
巡航總時間 (2)	-.417**	1							
真空速 (3)	0.007	-.465**	1						
航機重量 (4)	-0.074	-0.088	.357*	1					
溫度 (5)	-0.116	.303*	-0.143	0.001	1				
風速 (6)	0.169	-.293*	.400**	-0.088	-0.081	1			
風向 (7)	0.079	-0.11	0.158	0.149	.383**	0.179	1		
航程比 (8)	-.988**	.439**	-0.055	0.084	0.179	-0.188	-0.051	1	
航機高度比 (9)	0.154	-.881**	.449**	0.206	-.302*	0.196	0.106	-0.177	1
平均值	17.463	2336.370	441.733	70.907	-26.798	97.972	262.788	58.030	5359.052
標準差	1.913	930.580	17.880	3.524	3.866	16.947	10.114	7.233	2309.735

** $p < 0.01$

* $p < 0.05$

(2) 影響變數

巡航為每趟航班操作狀態穩定且耗時最長之階段，航機巡航階段燃油消耗會因時間造成航機重量不斷減輕，飛行管理電腦(FMC)會重新計算新的最佳飛行高度，依據此高度飛行應能達成最少的燃油消耗。然而最佳飛航空層的選擇並不是可控制的因素，是必需得到管制員(ATC)的充分配合，尤其在擁擠的航道上很難符合每個航空公司需求，於是各國無不在推行精確的導航設備，使安全隔離的空間更為縮小。現今國內CNS/ATM新一代航管系統，結合先進的數據通訊、衛星導航與監視及資訊處理技術，能提供陸空雙向精確位置、即時氣象及其他必要飛航資訊，可更為精確的掌握航機在空中的位置，航機能更為彈性的選擇最佳航路，以縮短航程與時間，減少燃油消耗及降低操作成本。因目標航線之電腦操作飛航計劃中以高度29000呎為最佳空層，故將高度分為25000呎至28000呎及28000呎至29000呎兩部份，從圖20可知若巡航階段選擇較接近最佳空層之高度，油耗表現較佳，若離開最佳空層越遠，則燃油消耗增加，故在航管許可範圍下，飛航駕駛員應確實需求最佳飛航空層，以節省燃油消耗。

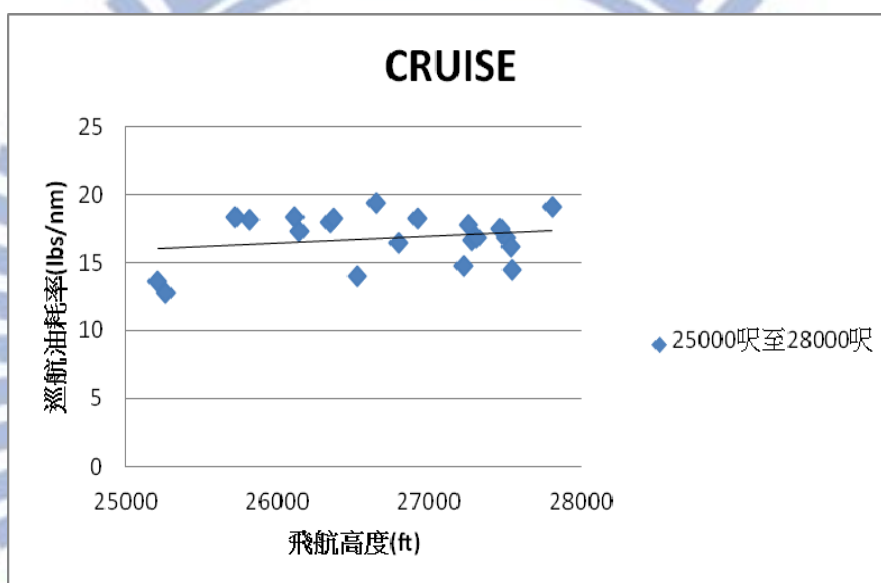
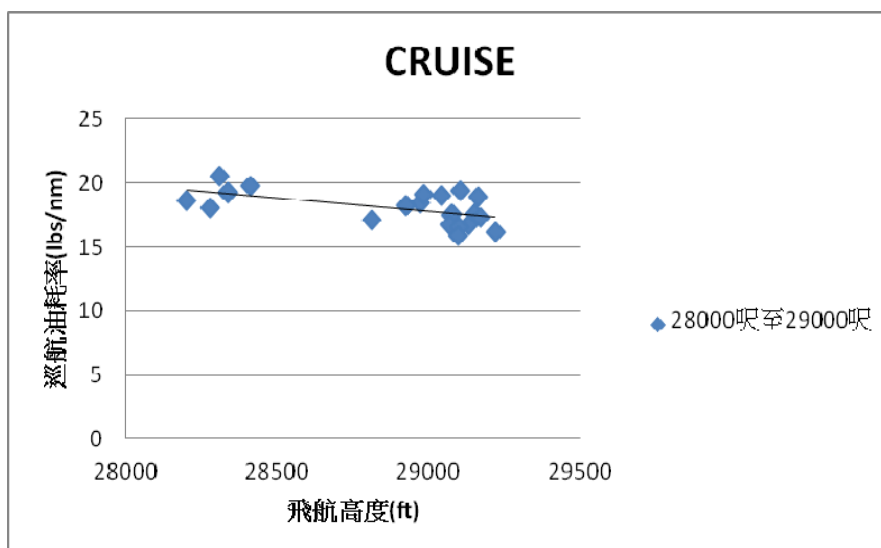


圖 20 巡航空層油耗率圖

從圖21也可看出航機巡航總時間越多則油耗率較小，而航機速度較大者，油耗率呈小幅上揚趨勢。由此可知在巡航階段使用大速度縮短航程時間，反而增加油耗，故各航空公司應透過成本指數(Cost Index)制定其最適經濟速度，良好的運用應能在巡航階段達到節油的效果。

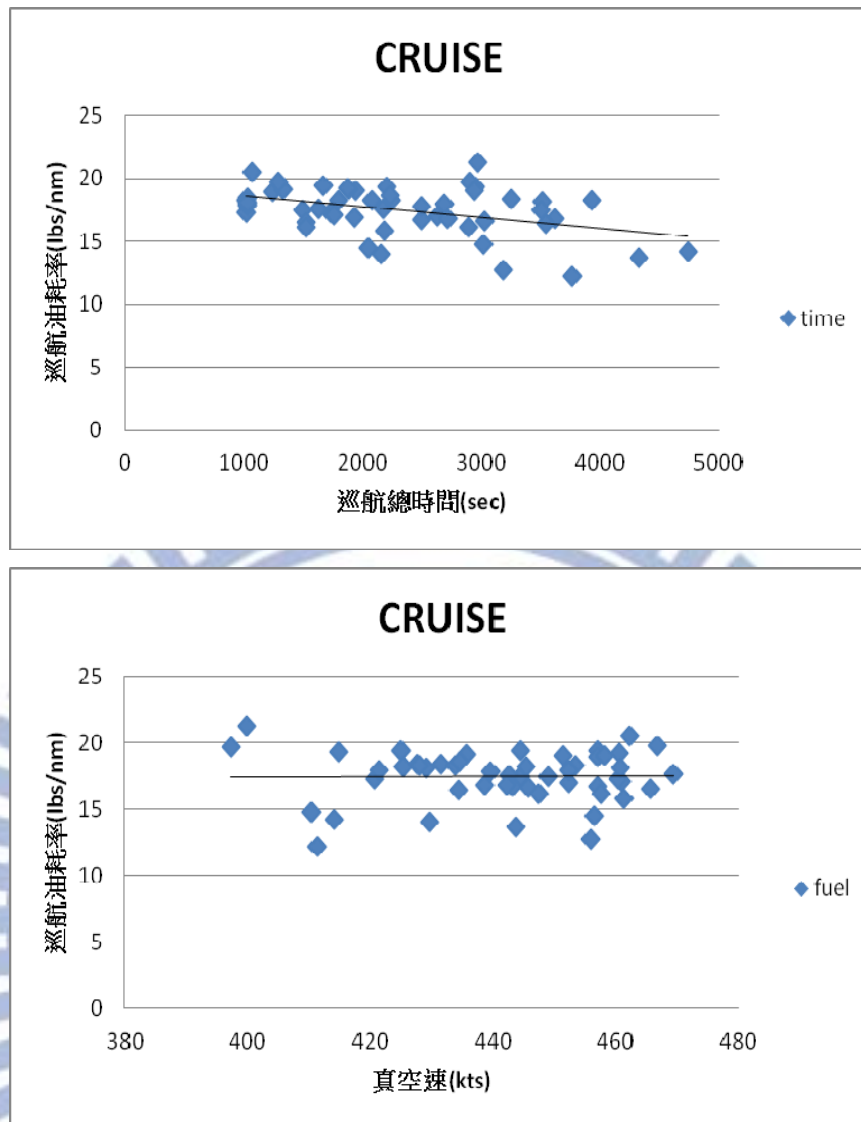


圖 21 巡航階段相關變數油耗率圖

(3) 模型定式

依上述各條件可綜整迴歸式如式(5)：

$$y = b_0 + b_1 D_A \quad (5)$$

其中迴歸符號所代表之意義為：

y 為總油耗量， b_0 為常數， b_1 為迴歸係數。

D_A 為空中距離(nm)

雖時間變數與油耗率具有相關性，但相對於總油耗之表現卻不佳，故以兩者相關之距離變數進行迴歸，以探討總油耗量之模式，從表19可得各變數與燃油消耗之迴歸分析摘要表。

表 19 巡航階段迴歸分析摘要表

變數	B 之估計值	t	顯著性	共線性統計量	
				允差	VIF
(常數)	866.385	2.892	.006		
D_A	14.654	18.109	.000	1.000	1.000
R / R^2		0.933 / 0.870		F檢定	327.927*
調整後 R^2		0.867		D-W 檢定	1.564

*sig .000

相關係數為0.933，解釋變異量為87.0%，從迴歸係數來看，距離為正向關係，表示航機巡航距離越長，燃油消耗越大，故對於長程飛行之航班來說，巡航階段具有較大的節油空間。

迴歸方程式如式(6)

$$y = 866.385 + 14.654D_A \quad (6)$$

(4) 小結

透過相關性分析得知高度及速度的調節對於巡航階段是十分重要的影響因素，因巡航階段處於長期平穩之姿態，故也適宜針對航機性能進行監控，以獲得性能因子(Performance Factor)來確認性能衰退的狀況。航機性能監控主要在巡航階段得知高速時的性能，在航機出廠前，飛機製造商給定這架航機發動機效能及各項性能之定義值，再透過後續每趟航班紀錄進行比對及分析，就能得知目前航機性能相較於出廠前之

性能差距，從而在飛行計畫時能計算正確的燃油。性能因子計算如燃油消耗率、發動機參數等飛航參數，而產出之數值可能因發動機的更新或清洗，達到較佳的性能而減少。性能因子除了用於飛航計畫之計算，也可應用於機務及飛航管理系統(FMS)中，對於飛航原始資料(Raw Data)未能記錄到的資料點，容易產生誤失之部分來說，是油量計算很重要的參考數值。

5.2.4 下降階段

(1) 相關性分析

本節以距離、航機重量、速度、時間變數進行相關性分析，並加入外界環境因素溫度、風向、風速變數，由表20得下降階段距離、時間呈高度正相關，下降率為高度負相關，而因大速度導致大下降率，故在此階段速度與油耗之表現呈中度負相關。從圖22可以看出其下降速度與下降率之間趨勢變化。其他低度相關變數則分別為航機重量呈低度正相關，風速為低度負相關。

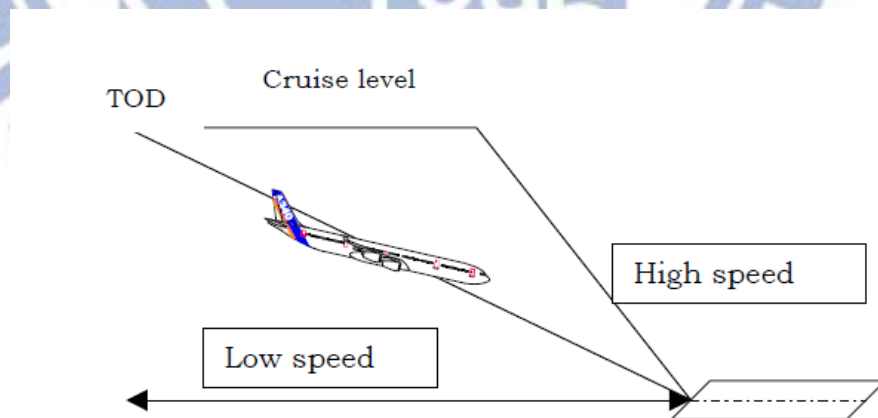


圖 22 下降速率圖 (AIRBUS 2004)

表 20 下降階段相關性分析表

	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)
下降油耗量 (1)	1								
下降距離 (2)	.794**	1							
航機重量 (3)	.320*	0.149	1						
真空速 (4)	-.497**	-0.208	-0.112	1					
下降階段總時間 (5)	.859**	.954**	0.177	-.485**	1				
下降率 (6)	-.853**	-.801**	-0.124	.656**	-.907**	1			
溫度 (7)	0.228	-0.02	0.151	-.374**	0.094	-.321*	1		
風速 (8)	-.372**	-0.042	-.452**	.360**	-0.156	.288*	-.340**	1	
風向 (9)	0.005	0.207	-0.055	0.169	0.132	-0.049	-0.131	0.131	1
平均值	740.635	123.780	69.860	327.406	1368.150	667.025	-10.577	51.347	254.114
標準差	124.860	21.151	3.428	18.405	265.572	141.162	3.768	8.197	23.313

** $p < 0.01$

* $p < 0.05$

(2) 影響變數

下降階段與爬升、巡航階段密不可分，由航機的慣性作動可知，大速度的下降具有較大的下降率，由圖23可以得知大下降率與油耗量呈現反向關係，故較大之下降率對於燃油消耗表現較佳。

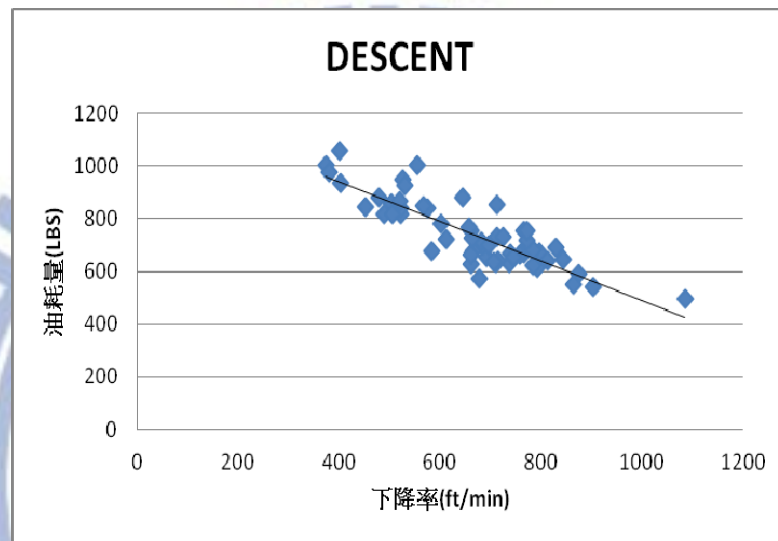


圖 23 下降階段相關變數油耗圖

圖24顯示各個不同速度之最佳下降點(TOD)相對於距離位置，其中虛線代表的意義為若航機原先預計以中速度下降，當接近TOD 2點時，航管單位才告知限制下降速度為小速度，依據小速度的斜率，當抵達TOD 2點時，航機已經遠高於原本計畫TOD 1的下降路徑，故飛航駕駛員通常會使用減速板(Speed Brakes)使下降率增大，或是在航管許可取消限制後隨即將速度加至大速度，達到大下降率以返回到設定之下降路徑。

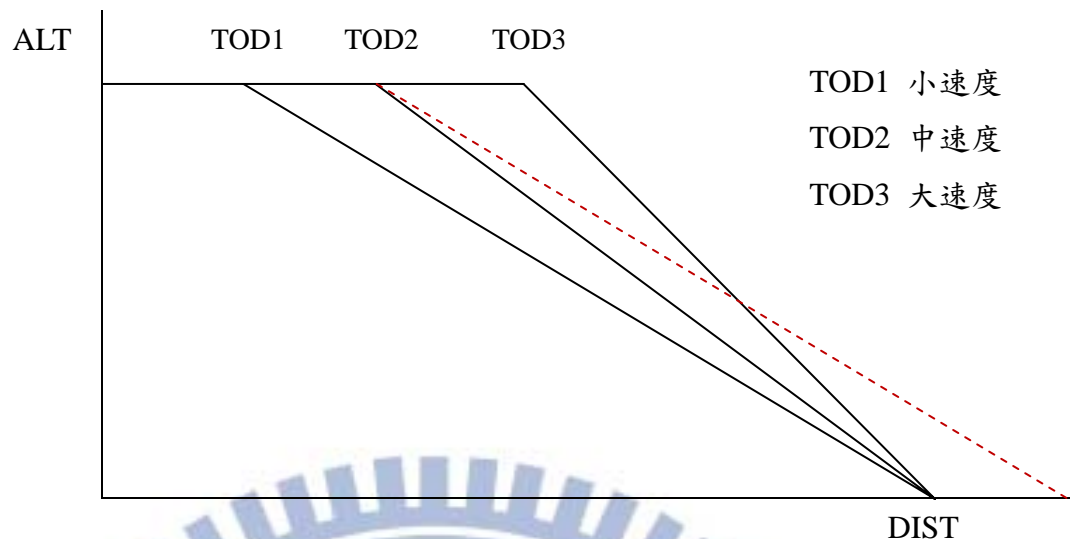


圖 24 不同下降速度階段示意圖

而航機若提早下降離開最佳飛航高度，不僅失去最佳之燃油消耗，並需要在較低的高度巡航到達下降點。除航管之要求，否則飛航駕駛員應避免提早下降之操作習慣，以獲得較佳的油耗。

(3)模型定式

依上述各條件可綜整多元迴歸式如式(7)：

$$y = b_0 + b_1 D_A + b_2 W + b_3 V_{TAS} + b_4 T_D + b_5 R_D + b_6 S_{WIND} \quad (7)$$

其中迴歸符號所代表之意義為：

y 為總油耗量， b_0 為常數， b_1 、 b_2 、 b_3 、 b_4 、 b_5 、 b_6 為迴歸係數。

D_A 為空中距離(nm)

W 為重量(ton)

V_{TAS} 為真空速(kts)

T_D 為下降階段時間(sec)

R_D 為下降率(ft/min)

S_{WIND} 為風速(kts)

因速度、時間與距離有共線性關係，故將自變數距離、航機重量、下降率及風速與油耗進行迴歸分析，從表21可得各變數與燃油消耗之迴歸分析摘要表。

表 21 下降階段迴歸係數摘要表

變數	B 之估計值	t	顯著性	共線性統計量	
				允差	VIF
(常數)	543.054	2.667	.010		
D_A	2.190	3.499	.001	.296	3.374
W	4.852	1.983	.052	.738	1.355
R_D	-.438	-4.526	.000	.278	3.595
S_{WIND}	-2.342	-2.093	.041	.617	1.621
R / R^2		0.904 / 0.817		F檢定	61.306*
調整後 R^2		0.803		D-W 檢定	1.846

*sig .000

多元相關係數為0.904，聯合解釋變異量為81.7%，從迴歸係數來看，下降率和風向為反向，表示尾風越大及大下降率越省油，而距離每增加1海哩即增加2.190磅燃油，若航機提早下降不僅使得下降率降低，未能保持至最佳下降點之大下降率，也會造成下降階段距離的延伸，使得燃油消耗更為增加。

迴歸方程式如式(8)

$$y = 543.054 + 2.190D_A + 4.852W - 0.438R_D - 2.342S_{WIND} \quad (8)$$

(4) 小結

由分析結果可得知航機重量、距離的增加均會造成燃油消耗的增加，而大下降率可節省燃油消耗，若飛航駕駛員操作時能避免提早下降，至最佳下降點製造較大之下降率對於節省燃油來說應是有所助益的。

5.2.5 進場階段

(1) 相關性分析

進場階段以距離、航機重量、速度、時間及外界環境因素溫度、風速、風向進行相關性分析，由表22得距離、速度及時間對於油耗呈高度正相關，而速度、時間與距離變數之間也互相具有高度之相關性。

表 22 進場階段相關性分析

	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)
進場階段油耗量 (1)	1							
進場距離 (2)	.955**	1						
航機重量 (3)	0.125	0.073	1					
真空速 (4)	.522**	.645**	0.033	1				
進場階段總時間 (5)	.961**	.983**	0.071	.504**	1			
溫度 (6)	0.052	0.096	0.077	0.233	0.042	1		
風速 (7)	0.022	0.033	.293*	0.041	0.034	0.055	1	
風向 (8)	0.072	0.008	0.035	0.045	-0.004	0.141	0.184	1
平均值	196.002	8.738	69.495	169.061	183.200	3.575	13.472	162.551
標準差	70.879	3.940	3.458	13.902	70.447	5.013	6.226	105.317

** $p < 0.01$

* $p < 0.05$

(2) 影響變數

進場階段的程序對於燃油消耗是十分重要的，航機到場及進場均須遵循各機場頒布之到場圖及進場圖，從圖25可看出時間及距離的增加，均會導致油耗的增加。故應依據實際風向、風速選取最佳路徑，使之持續進場下降程序保持最佳化，建立良好的進場程序是此階段省油的必要條件，但也常會因航管的指示而有所影響變動，此研究不考慮外在因素，僅就操作變數進行研討，以獲得實際情況之油耗模式。

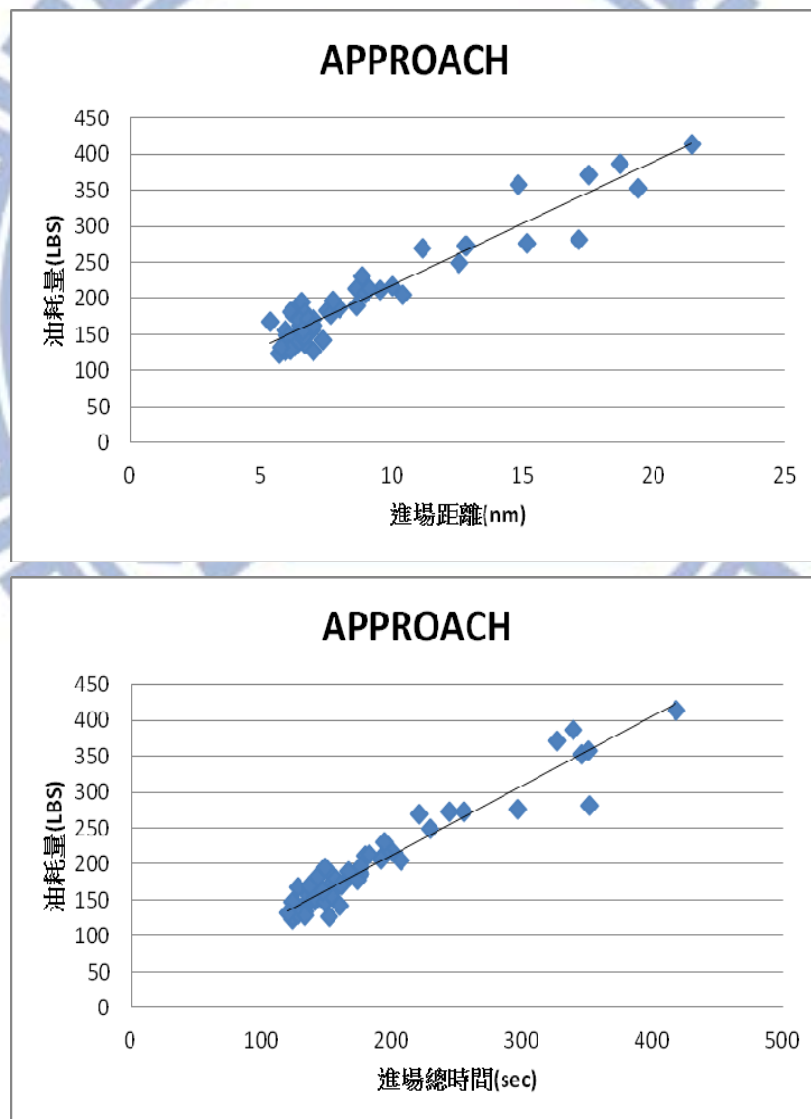


圖 25 進場階段相關變數油耗圖

(3) 模型定式

依上述各條件可綜整多元迴歸式如式(9)：

$$y = b_0 + b_1 D_A + b_2 V_{TAS} + b_3 T_{APCH} \quad (9)$$

其中迴歸符號所代表之意義為：

y 為總油耗量， b_0 為常數， b_1 、 b_2 、 b_3 為迴歸係數。

D_A 為空中距離(nm)

V_{TAS} 為真空速(kts)

T_{APCH} 為進場階段總時間(sec)

因速度、時間與距離具有共線性，故將以距離及時間為單一變數進行迴歸分析，從表23可得各變數與燃油消耗之迴歸分析摘要表。

表 23 進場落地階段迴歸係數摘要表

變數	B 之估計值	t	顯著性	共線性統計量	
				允差	VIF
(常數)	45.876	6.607	.000		
D_A	17.181	23.683	.000	1.000	1.000
R / R^2		0.955 / 0.912		F檢定	560.888*
調整後 R^2		0.911		D-W 檢定	2.204

*sig .000

變數	B 之估計值	t	顯著性	共線性統計量	
				允差	VIF
(常數)	18.881	2.542	.014		
T _{APCH}	.967	25.519	.000	1.000	1.000
R / R ²		0.961 / 0.923		F檢定	651.222*
調整後R ²		0.922		D-W 檢定	2.396

*sig .000

距離變數之相關係數為0.955，解釋變異量為91.2%，從迴歸係數來看，距離每增加1海哩會導致17.181磅之油耗，而再以時間變數進行迴歸得相關係數為0.961，解釋變異量為92.3%，可知進場階段時間增加1分鐘即增加58.02磅之燃油消耗，顯示建立良好的進場程序，使得距離、時間最小化對於油耗表現較佳。

迴歸方程式如式(10)、(11)

$$y = 45.876 + 17.181D_A \quad (10)$$

$$y = 18.881 + 0.967T_{APCH} \quad (11)$$

(4) 小結

由分析結果得知距離及時間的增加均會造成燃油消耗的增加，而進場階段距離與下降階段最佳下降點之選擇密不可分，因航機屬連續作動之狀態，若在航管許可的條件下，應用正確的最佳下降點，避免提早下降使後續進場階段距離、時間最小化，才能達到降低油耗之成效。

5.2.6 地面滑入階段

(1) 相關性分析

延續地面滑出階段之相關性分析，將以滑行油耗率 (lbs/nm) 作為變數探討，以避免因滑行距離不同影響油耗表現。因目的地機場資料並無地面速度趨近於零的時間，將以航機重量、延噸小時、滑入總時間、地速、溫度及風速與油耗進行相關性分析，由表24得地速與油耗呈高度負相關，外界環境因素之溫度則為低度正相關。



表 24 地面滑入階段相關性分析

	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)
滑入油耗率 (1)	1						
航機重量 (2)	0.011	1					
延噸小時 (3)	0.164	.613**	1				
滑入總時間 (4)	0.192	-0.09	.723**	1			
地速 (5)	-.930**	0.008	-0.237	-0.292	1		
溫度 (6)	.299*	0.013	-0.033	-0.054	-.310*	1	
風速 (7)	0.003	0.041	0.122	0.115	-0.039	-0.16	1
平均值	170.860	63.170	7.989	456.580	10.841	8.295	2.074
標準差	36.610	14.274	3.129	135.078	2.242	3.807	1.279

** $p < 0.01$

* $p < 0.05$

(2) 影響變數

統計資料顯示目的地機場並無地面停等的時間，而目的地機場平均油耗量介於0.41至0.59磅之間，總平均為0.493磅。從圖26可看出滑入總時間、距離與油耗之趨勢變化，時間及距離的增加均會導致油耗的增加。

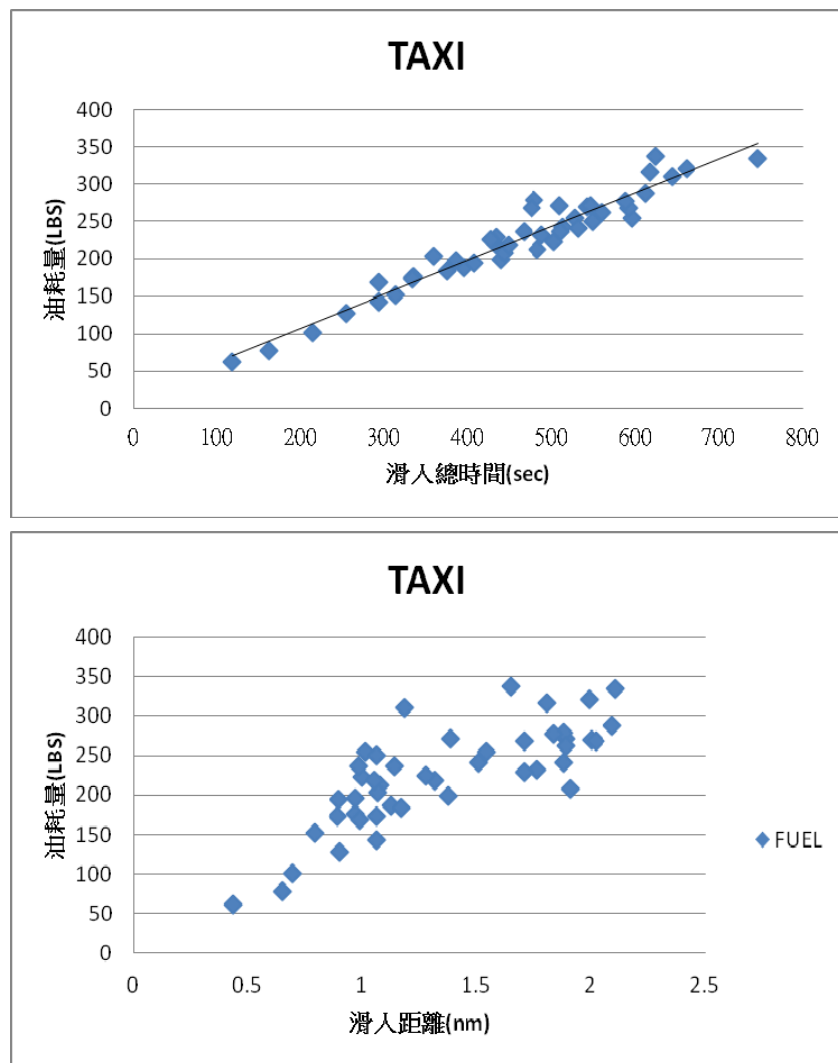


圖 26 地面滑入階段相關變數油耗圖

而滑行速度的表現對於油耗呈反向關係，由圖27可看出增加滑入速度可降低燃油消耗。

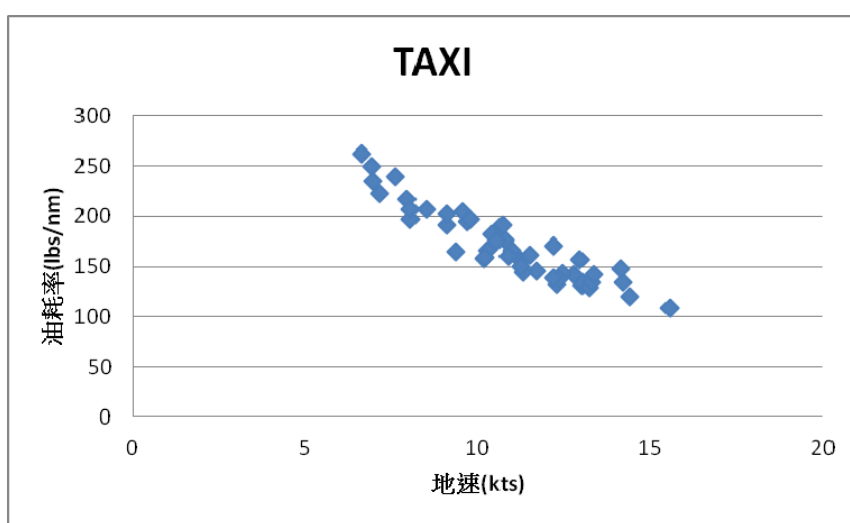
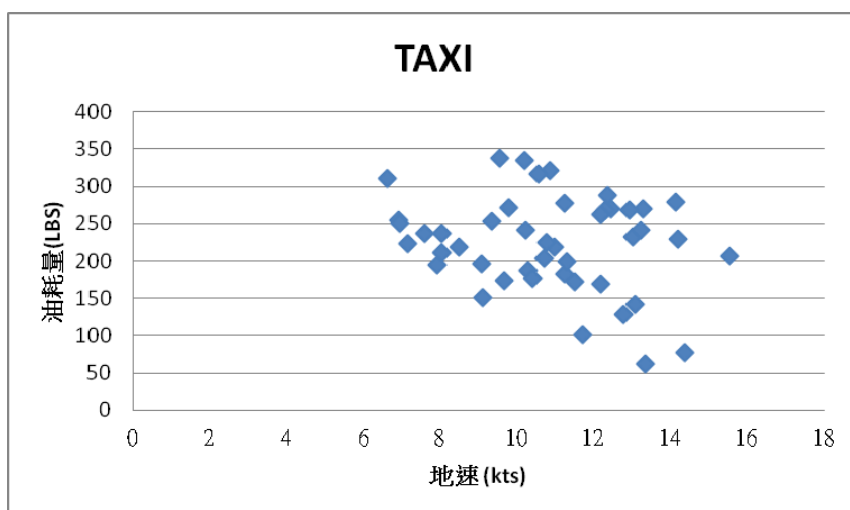


圖 27 地面滑入階段地速與油耗關係圖

(3) 模型定式

依上述各條件可綜整多元迴歸式如式(12)：

$$y = b_0 + b_1 V_{GS} + b_2 T_{emp} \quad (12)$$

其中方程式符號所代表之意義為：

y 為總油耗量， b_0 為常數， b_1 、 b_2 迴歸係數。

V_{GS} 為滑入速度(kts)

T_{emp} 為溫度($^{\circ}\text{C}$)

將自變數速度、溫度與油耗進行迴歸分析，從表25可得各變數與燃油消耗之迴歸分析摘要表。

表 25 地面滑入階段迴歸係數摘要表

變數	B 之估計值	t	顯著性	共線性統計量	
				允差	VIF
(常數)	335.612	5.717	.000		
V_{GS}	-8.055	-1.834	.074	.904	1.106
T_{emp}	-2.944	-1.138	.261	.904	1.106
R / R^2		0.285 / 0.081		F檢定	1.862*
調整後 R^2		0.038		D-W 檢定	1.884

*sig .168

整體迴歸模式未達顯著，溫度變數放入迴歸式也並不顯著，因距離為速度與時間之乘積，且總時間與速度、距離具有共線性，故加入距離變數重新進行迴歸分析，再次得地面滑入階段各變數與燃油消耗之迴歸分析摘要表。

變數	B 之估計值	t	顯著性	共線性統計量	
				允差	VIF
(常數)	218.212	15.629	.000		
V_{GS}	-16.911	-12.883	.000	.865	1.157
D_{G}	139.896	21.550	.000	.865	1.157
R / R^2		0.960 / 0.921		F檢定	246.407*
調整後 R^2		0.918		D-W 檢定	1.956

*sig .000

多元相關係數為0.960，聯合解釋變異量為92.1%，從迴歸係數來看，滑入速度若從10節提升至15節，可減少84.56磅之燃油消

耗，由此可知應考量目的地機場之規模大小與擁擠程度均會影響滑行速度和滑行距離的長短。

可綜整迴歸方程式如式(13)

$$y = 218.212 - 16.911V_{GS} + 139.896D_G \quad (13)$$

(4) 小結

分析結果與滑出階段相呼應，可知速度、距離影響此階段油耗最大，除應考量各個機場其規模大小外，也因注意因擁擠程度造成的地面停等時間也為燃油消耗之重要因素。



第六章 結論

油價的不斷波動及近幾年的新高，如何有效的節省耗油達到最佳燃油經濟及效率，是航空公司最為重視的議題。當然隨著燃油消耗的減少，航空公司也有助於減少對石油的使用，在節能減碳的大方向中，也能確實達到成效。各飛航階段其影響因素及目標均不相同，本研究針對不同飛航階段之條件，提出影響油耗之因素如下：

6.1 飛航階段油耗表現

6.1.1 地面滑出階段

在地面滑出階段模式中，地面速度趨近於零之時間為顯著變數，其係數為0.395，顯示每增加1秒則多出0.395磅之燃油，換算成每分鐘則增加23.7磅油量消耗。近年來場站維修跑道、滑行道頻繁，若遇桃園機場修繕跑道期間，所有航機僅能運用單一跑道執行，航機在滑行階段可能遭遇地速趨近於零之時間十分頻繁，以每天起落於桃園機場航班數20架次，每次5分鐘計算，航空公司即多增加2370磅之無謂油耗，長久累積甚為可觀。

以滑行地速變數來看，滑出地速每增加1節可減少12.068磅油耗，而桃園機場的平均滑行速度為13.89節，台中清泉崗機場為13.90節，松山機場則為9.52節略低，由此可知每趟次航班松山機場平均比桃園機場多出約53磅之燃油消耗。由相關圖可以得知滑行速度達10節以上，燃油消耗率較緩，顯示滑行速度保持在10節以上較為省油，故飛航駕駛員應在公司速度政策限制及場面條件允許之下，於操作時適當提高滑行速度，應能確實減少油量消耗。

6.1.2 爬升階段

航機爬升階段重量、速度、時間與爬升率之表現均會影響油耗，即重量及速度越大，造成越大之燃油消耗，並也相對造成爬升率較

緩，拉長爬升階段之整體時間。通常具有較大起飛重量之航機，可能伴隨著大速度操作，而大速度及大重量則會造成爬升率低，以至於減緩到達最佳巡航高度之時間。

以分析結果來看，爬升率增加 1 ft/min 會減少0.659磅之燃油；而航機重量每增加1噸則會增加33.977磅之油耗，真空速每增加1節會造成油耗增加7.614磅。速度與爬升率之變化有時受限於機場公司或航管單位之指示，故若能降低航機主體重量，保守估計以每天1公噸計算，1個月約可減少1050磅燃油消耗。

6.1.3 巡航階段

巡航階段因相對平穩，加快速度節省巡航時間反而會造成油耗的增加，而巡航距離長短對於油耗的表現為每增加1海哩增加14.654磅燃油，故航空公司如何在距離與時間、速度之間取得平衡點，必須仰賴成本指數的訂定，找出最適經濟速度，才能使得燃油消耗最佳化。而在航機高度的表現上，透過分析得知若能越接近電腦飛航計畫最佳高度越為省油，但因飛航過程中受限航管因素並非航空公司所能控制，只能仰賴飛航駕駛員積極的需求高度和航管技術的不斷精進來達成節油的成效。

6.1.4 下降階段

下降階段為油耗佔比第3大之階段，下降率與油耗呈反向關係，若下降率每增加 1 ft/min 之下降率可減少0.438磅之油耗量。以研究結果來看，距離、重量、速度、下降率及風速均會影響下降階段的油耗表現，而其中航機重量每增加1噸，會導致4.852磅之油耗增加。下降距離每增加1海哩多出2.190磅之燃油，飛航駕駛員應避免提早下降造成太快脫離巡航高度，導致在較低空層飛行而延長下降距離。

6.1.5 進場階段

距離及時間是進場階段最為顯著之影響因子，在進場階段距離和時間的增加均會導致油耗的增加。以研究結果來說，每增加1海浬會造成17.181磅之油耗，而每增加1分鐘則會導致58.02磅燃油消耗。

下降與進場階段密不可分，在下降與進場階段之模式中，距離為共同變數，航機從最佳下降點開始下降到放下起落架為止，若能不受外界環境因素影響，使用IDLE作3度下滑角之下降，是省油及減噪的最佳方式，這就是目前民航組織致力發展CDA(Continuous Descent Approach)的概念。飛航駕駛員配合CDA作業需受過正確的教育訓練及良好的操作觀念才能有效的實行，穩定進場是首要條件，若是不能達到安全的要素，那麼可能造成重飛情況，反而因小失大消耗更多燃油及時間成本。

6.1.6 地面滑入階段

在地面滑入階段受距離、速度變數影響，由此可呼應滑出階段模式得知速度的調節為首要因素。而滑入地速之油耗為每節16.911磅，相較於滑出階段為大，可見航機高速運轉後較為耗油。

機場擁擠或跑滑道之維修造成滑行地速過慢，民航主管機關應制訂良好的對策來因應這些不必要的油量消耗。而爬升、下降階段均受重量變數影響，由此可知減輕航機主體重量不僅對於節省油耗有極大之功效，亦可增加酬載的範圍及營收。另速度在地面滑行與爬升階段為共同變數，顯示透過速度的調節，可達到省油之效果。

6.2 結語

本研究對於飛航計劃及飛航階段兩部分進行統計分析，期能使操作者具有各油耗變數尺度之概念，於真實情況中加以運用。由操作飛航計畫油耗分析可得知提升操作飛航計畫各項飛航參數之準確

度是十分重要的，在預測條件上，若能透過長期歷史資料的分析達到精準預測，就能提升飛航組員操作時的信賴度，避免無謂的油量需求。對於操作長程航線的航空公司來說，更應著重於航路的運用，考量起降機場和航路資訊、飛航高度、天候情況、以及酬載等條件，選擇更符合成本效益的航路，減少燃油消耗之成本與時間，而透過操作飛航計畫的最佳化可精算最終所需油量，另一方面也可視為增加航機酬載的最佳化。航空公司應建立回饋機制作為績效考核之依據，讓飛航組員能確實監控並具備正確之用油概念。

從飛航階段油耗分析中可知，節油工作總在細節中累積而成，若飛航組員無法具備共同的觀念，那麼飛航操作造成之差異性也就更大了，許多環節若是疏忽或不在意，則短時間並無顯著影響，但長時間的累積則看出變化。本研究飛航階段油耗分析之樣本數取得較少，若能蒐集更廣大多元之資料量並加入不同構型航機進行研討，其油耗趨勢必定更為顯著精準。

參考文獻

(一) 中文文獻

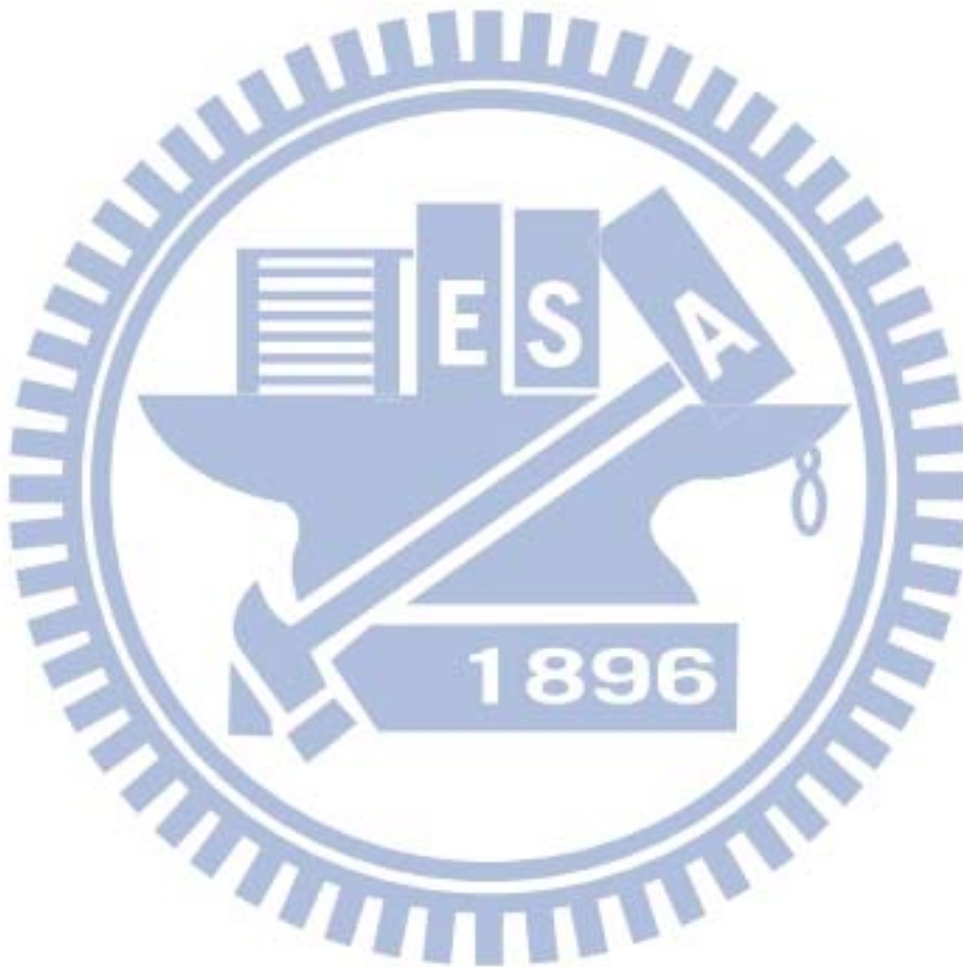
1. 牛詩淵 (2010)，環境管理—航空公司永續發展熱要項，擷取日期：2012 年 04 月 30 日，網站：
<http://140.121.190.1/greenscm/speech/docs/%E8%88%AA%E7%A9%BA%E5%85%AC%E5%8F%B8%E6%B0%B8%E7%BA%8C%E7%99%BC%E5%B1%95%E8%A6%81%E9%A0%85.pdf>。
2. 王鈺佳 (2008)，中程飛行節油操作分析，成功大學民航研究所碩士論文。
3. 台灣碳排放交易推廣協會 (2006)，京都議定書，擷取日期：2012 年 04 月 30 日，網站：<http://www.teta.org.tw/talket.htm>。
4. 柯景文 (2008)，短程飛行節油操作分析，成功大學民航研究所碩士論文。
5. 耿驊 (2001)，「航空器飛行原理－民航運輸機巡航性能分析」，*民航季刊*，第三卷第三期，頁 91-107。
6. 經濟部能源局 (2012)，原油月比較趨勢圖，擷取日期：2012 年 04 月 30 日，網站：<http://210.69.152.10/oil102/>。
7. 連魁文 (2005)，螺旋狀翼尖小翼之空氣動力數值模擬，淡江大學航空太空工程所碩士論文。
8. 管中閔 (2004)，統計學：觀念與方法，二版，臺北：華泰文化事業股份有限公司。

(二) 英文文獻

1. Abdelghany, K., A. Abdelghany, et al. (2005), "A model for the airlines' fuel management strategies," *Journal of Air Transport Management*, Vol. 11, No. 4, pp 199-206.
2. AIRBUS (2004), Getting to grips with fuel economy, AIRBUS Flight Operations Support and Services, Toulouse, France.
3. AIRBUS (2008), Getting to grips with A320 Family performance retention and fuel savings, AIRBUS Flight Operations Support and Services, Toulouse, France.
4. AIRBUS (2011), Flight Crew Operating Manual, AIRBUS Flight Operations Support and Services, Toulouse, France.
5. Filippone, A. (2008), "Analysis of carbon-dioxide emissions from transport aircraft," *Journal of Aircraft*, Vol. 45, No. 1, pp 185-197.
6. IATA (2009), Aviation and Climate Change Pathway to carbon-neutral growth in 2020, IATA.
7. Ryerson, M. S. and M. Hansen (2010), "The potential of turboprops for reducing aviation fuel consumption," *Transportation Research Part D-Transport and*

Environment, Vol. 15, No. 6, pp 305-314.

8. Stroup, J. S. and R. D. Wollmer (1992), "A FUEL-MANAGEMENT MODEL FOR THE AIRLINE INDUSTRY," *Operations Research*, Vol. 40, No. 2, pp 229-237.



附錄一

	PERFORMANCE
	FLIGHT PLANNING
	FLIGHT PREPARATION - QUICK DETERMINATION OF FLIGHT PLANNING

FLIGHT PLANNING M.78

Applicable to: B-22601, B-22602, B-22605, B-22606, B-22607

FLIGHT PLANNING FROM BRAKE RELEASE TO LANDING									
CLIMB : 250KT/300KT/M.78 - CRUISE : M.78 - DESCENT : M.78/300KT/250KT									
IMC PROCEDURE : 310 LB (6MIN)									
REF. LANDING WEIGHT = 130000 LB			ISA			FUEL CONSUMED (LB)			
NORMAL AIR CONDITIONING			CG = 33.0 %			TIME (H.MIN)			
ANTI-ICING OFF									
AIR							CORRECTION ON FUEL CONSUMPTION (LB/1000LB)		
DIST.	FLIGHT LEVEL								
(NM)	290	310	330	350	370	390	FL290	FL330	FL370
200	3866 0.38	3839 0.38	3824 0.38	3822 0.38			13	16	
225	4207 0.42	4160 0.42	4129 0.42	4113 0.42	4111 0.42		14	17	18
250	4547 0.45	4482 0.45	4435 0.45	4404 0.45	4391 0.45	4396 0.45	15	18	20
275	4888 0.48	4804 0.48	4740 0.48	4695 0.49	4671 0.49	4669 0.49	16	19	21
300	5229 0.51	5127 0.52	5046 0.52	4987 0.52	4951 0.52	4943 0.52	17	20	23
325	5570 0.55	5449 0.55	5353 0.55	5279 0.55	5232 0.55	5217 0.55	17	21	24
350	5912 0.58	5772 0.58	5659 0.58	5571 0.59	5513 0.59	5491 0.59	18	22	25
375	6254 1.01	6096 1.01	5966 1.02	5864 1.02	5794 1.02	5766 1.02	19	22	27
400	6596 1.04	6419 1.05	6273 1.05	6156 1.05	6076 1.05	6041 1.05	20	23	28
425	6938 1.08	6743 1.08	6580 1.08	6449 1.09	6358 1.09	6317 1.09	21	24	29
450	7281 1.11	7067 1.11	6888 1.12	6743 1.12	6641 1.12	6593 1.12	21	25	31
475	7623 1.14	7391 1.15	7196 1.15	7037 1.15	6923 1.15	6870 1.15	22	27	32
500	7967 1.17	7716 1.18	7504 1.18	7331 1.19	7206 1.19	7146 1.19	23	28	34
525	8310 1.21	8040 1.21	7813 1.22	7625 1.22	7490 1.22	7424 1.22	24	29	35
550	8654 1.24	8366 1.24	8121 1.25	7920 1.25	7774 1.26	7702 1.26	25	30	37
575	8997 1.27	8691 1.28	8430 1.28	8215 1.29	8058 1.29	7980 1.29	25	31	38
600	9342 1.30	9017 1.31	8740 1.31	8510 1.32	8342 1.32	8259 1.32	26	32	40
625	9686 1.34	9342 1.34	9049 1.35	8806 1.35	8627 1.36	8538 1.36	27	33	41
650	10031 1.37	9669 1.38	9359 1.38	9102 1.39	8912 1.39	8818 1.39	28	34	43
675	10375 1.40	9995 1.41	9669 1.41	9398 1.42	9198 1.42	9098 1.42	29	35	44
700	10721 1.44	10322 1.44	9980 1.45	9695 1.45	9484 1.46	9379 1.46	30	36	46
725	11066 1.47	10649 1.47	10291 1.48	9991 1.49	9770 1.49	9660 1.49	30	37	47
750	11412 1.50	10976 1.51	10602 1.51	10289 1.52	10056 1.52	9941 1.52	31	38	49
775	11758 1.53	11304 1.54	10913 1.55	10586 1.55	10343 1.56	10223 1.56	32	39	51
800	12104 1.57	11631 1.57	11225 1.58	10884 1.59	10631 1.59	10506 1.59	33	40	53
825	12451 2.00	11960 2.01	11537 2.01	11182 2.02	10918 2.02	10789 2.02	34	41	54
ECON AIR CONDITIONING ΔFUEL = - 0.6 %			ENGINE ANTI ICE ON ΔFUEL = + 2.5 %			TOTAL ANTI ICE ON ΔFUEL = + 5 %			

FCOM-NO-02-05-40-003-152

A318/A319/A320/A321 FLEET

FCOM

← A →

PER-FPL-FLP-QFP-40 P 7/16

25 NOV 11

附錄二

	PERFORMANCE
	HOLDING
	HOLDING TABLES

CONF 0 - GREEN DOT SPEED

Applicable to: B-22601, B-22602, B-22605, B-22606, B-22607

RACE TRACK HOLDING PATTERN - GREEN DOT SPEED								
MAX. CRUISE THRUST LIMITS CLEAN CONFIGURATION NORMAL AIR CONDITIONING ANTI-ICING OFF				ISA CG=33.0%		EPR FF (LB/H/ENG)		
WEIGHT (1000LB)	FL 15	FL 50	FL100	FL140	FL180	FL200	FL220	FL250
110	1.026 2321	1.029 2249	1.038 2167	1.049 2118	1.065 2087	1.075 2025	1.085 2020	1.106 1972
115	1.027 2401	1.031 2331	1.041 2252	1.053 2207	1.070 2177	1.081 2115	1.091 2109	1.115 2056
120	1.028 2484	1.033 2414	1.044 2339	1.057 2297	1.076 2214	1.087 2206	1.098 2198	1.123 2141
125	1.030 2567	1.035 2499	1.047 2426	1.061 2387	1.081 2306	1.093 2296	1.108 2244	1.132 2228
130	1.031 2650	1.037 2585	1.050 2514	1.066 2479	1.086 2397	1.099 2386	1.116 2330	1.141 2315
135	1.033 2735	1.040 2672	1.053 2605	1.070 2571	1.092 2488	1.108 2429	1.123 2417	1.150 2396
140	1.035 2821	1.042 2759	1.057 2696	1.074 2599	1.097 2578	1.115 2516	1.131 2504	1.161 2476
145	1.036 2906	1.044 2846	1.060 2787	1.079 2692	1.105 2618	1.122 2603	1.139 2592	1.172 2556
150	1.038 2993	1.046 2935	1.064 2879	1.083 2784	1.112 2706	1.129 2691	1.146 2680	1.183 2640
155	1.040 3081	1.048 3024	1.067 2971	1.088 2876	1.118 2793	1.136 2780	1.154 2766	1.194 2725
160	1.042 3169	1.051 3114	1.071 2991	1.092 2967	1.124 2882	1.143 2870	1.163 2849	1.205 2811
165	1.043 3258	1.054 3206	1.074 3082	1.097 3059	1.131 2970	1.150 2957	1.173 2931	1.218 2899
170	1.045 3346	1.056 3298	1.078 3175	1.103 3090	1.137 3060	1.157 3044	1.183 3016	1.231 2992
175	1.047 3436	1.059 3391	1.082 3269	1.108 3180	1.143 3150	1.166 3130	1.193 3103	1.244 3087
180	1.049 3526	1.062 3484	1.085 3361	1.114 3268	1.149 3237	1.174 3212	1.202 3189	1.257 3185
185	1.051 3618	1.064 3577	1.089 3454	1.119 3356	1.156 3324	1.183 3298	1.213 3275	1.269 3285
190	1.053 3711	1.067 3671	1.092 3546	1.124 3446	1.164 3408	1.192 3384	1.223 3364	1.282 3386
ECON AIR CONDITIONING ΔFF = - 0.3 %	ENGINE ANTI ICE ON ΔFF = + 3 %		TOTAL ANTI ICE ON ΔFF = + 6 %		PER 1° ABOVE ISA ΔFF = + 0.3 %		STRAIGHT LINE ΔFF = - 5 %	

A318/A319/A320/A321 FLEET
FCOM

← A

PER-HLD-HLD P 3/12
25 NOV 11

附錄三

	PERFORMANCE
	FLIGHT PLANNING
	FLIGHT PREPARATION - ALTERNATE

ALTERNATE PLANNING ISA

Applicable to: B-22601, B-22602, B-22605, B-22606, B-22607

ALTERNATE PLANNING FROM DESTINATION TO ALTERNATE AIRPORT GO AROUND : 270 LB - CLIMB : 250KT/300KT/M.78 - CRUISE : LONG RANGE DESCENT : M.78/300KT/250KT - VMC PROCEDURE : 220 LB (4MIN)									
REF. LANDING WEIGHT = 130000 LB NORMAL AIR CONDITIONING ANTI-ICE OFF				ISA CG = 33.0 %		FUEL CONSUMED (LB)			
						TIME (H.MIN)			
AIR							CORRECTION ON FUEL CONSUMPTION (LB/1000LB)		
DIST.	FLIGHT LEVEL						FL100	FL140	FL180
(NM)	100	120	140	160	180	200	FL120	FL160	FL200
20									
40	1267 0.13						2		
60	1648 0.17	1634 0.16	1629 0.16				4	3	
80	2029 0.20	2000 0.20	1981 0.20	1967 0.19	1963 0.19		5	4	5
100	2411 0.24	2367 0.24	2333 0.23	2304 0.23	2285 0.22	2275 0.22	6	6	6
120	2794 0.28	2734 0.28	2685 0.27	2642 0.26	2608 0.26	2581 0.26	7	7	6
140	3177 0.32	3102 0.31	3038 0.30	2979 0.30	2931 0.29	2887 0.29	8	8	7
160	3560 0.36	3470 0.35	3391 0.34	3317 0.33	3255 0.32	3193 0.32	9	9	8
180	3944 0.40	3838 0.39	3745 0.37	3655 0.37	3579 0.35	3499 0.35	11	10	9
200	4328 0.44	4207 0.42	4099 0.41	3994 0.40	3903 0.38	3804 0.39	12	11	9
220	4713 0.48	4576 0.46	4453 0.44	4333 0.43	4227 0.42	4109 0.42	13	12	10
240	5099 0.51	4945 0.50	4808 0.48	4672 0.47	4552 0.45	4414 0.45	14	13	11
260	5485 0.55	5315 0.54	5163 0.51	5012 0.50	4877 0.48	4719 0.48	15	14	12
280	5871 0.59	5686 0.57	5519 0.55	5352 0.54	5203 0.51	5023 0.51	16	15	12
300	6258 1.03	6057 1.01	5875 0.98	5692 0.97	5529 0.94	5377 0.95	18	16	13
320	6645 1.07	6428 1.05	6231 1.02	6033 1.00	5855 0.97	5631 0.98	19	17	14
340	7032 1.11	6799 1.08	6588 1.05	6374 1.04	6182 1.00	5934 1.01	20	18	15
360	7421 1.14	7171 1.12	6945 1.09	6715 1.07	6508 1.03	6237 1.04	21	19	15
380	7808 1.18	7543 1.15	7303 1.12	7057 1.10	6836 1.06	6540 1.07	22	20	16
400	8198 1.22	7916 1.19	7661 1.16	7398 1.14	7163 1.09	6843 1.10	24	21	17
420	8587 1.26	8289 1.23	8019 1.19	7741 1.17	7491 1.12	7145 1.14	25	22	18
440	8977 1.30	8663 1.26	8378 1.22	8083 1.21	7819 1.15	7448 1.17	26	23	18
460	9367 1.33	9037 1.30	8737 1.26	8426 1.24	8148 1.18	7749 1.20	27	24	19
480	9757 1.37	9411 1.34	9096 1.29	8770 1.27	8477 1.21	8051 1.23	28	25	20
500	10147 1.41	9786 1.37	9455 1.33	9113 1.31	8806 1.24	8352 1.26	29	26	21
ECON AIR CONDITIONING ΔFUEL = - 0.4 %			ENGINE ANTI ICE ON ΔFUEL = + 2.5 %			TOTAL ANTI ICE ON ΔFUEL = + 4.5 %			

FLIP23 A321-131 IAE V2530-AS 3520 03301 000010 0250300 7801 000200 220 270300300130 0 220220 40220 18590 FCOM-NO-02-05-50-002-152

A318/A319/A320/A321 FLEET
FCOM

PER-FPL-FLP-ALN-20 P 7/8

← C →

25 NOV 11

附錄四

	PERFORMANCE
	FLIGHT PLANNING
	FLIGHT PREPARATION - INTEGRATED CRUISE
INTEGRATED CRUISE - M.78 FL290	
Applicable to: B-22601, B-22602, B-22605, B-22606, B-22607	

INTEGRATED CRUISE										
MAX. CRUISE THRUST LIMITS NORMAL AIR CONDITIONING ANTI-ICING OFF				ISA CG=33.0% TAS= 462 KT		DISTANCE (NM) TIME (MIN)		M.78 FL290		
WEIGHT (1000LB)	.0	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0	4.5
105	0	39	78	117	156	194	233	272	311	349
	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45
110	388	427	465	504	543	581	620	658	697	735
	50	55	60	66	71	76	81	86	91	96
115	774	812	851	889	927	966	1004	1042	1080	1118
	101	106	111	116	121	125	130	135	140	145
120	1157	1195	1233	1271	1309	1347	1385	1423	1461	1498
	150	155	160	165	170	175	180	185	190	195
125	1536	1574	1612	1649	1687	1725	1762	1800	1837	1875
	200	205	209	214	219	224	229	234	239	244
130	1912	1950	1987	2024	2062	2099	2136	2173	2210	2247
	249	253	258	263	268	273	278	282	287	292
135	2284	2321	2358	2395	2432	2469	2506	2542	2579	2616
	297	302	306	311	316	321	326	330	335	340
140	2652	2689	2725	2762	2798	2835	2871	2908	2944	2980
	345	349	354	359	364	368	373	378	383	387
145	3016	3052	3089	3125	3161	3197	3233	3269	3304	3340
	392	397	401	406	411	415	420	425	429	434
150	3376	3412	3447	3483	3519	3554	3590	3625	3661	3696
	439	443	448	453	457	462	467	471	476	480
155	3732	3767	3802	3837	3873	3908	3943	3978	4013	4048
	485	490	494	499	503	508	512	517	522	526
160	4083	4118	4153	4187	4222	4257	4292	4326	4361	4395
	531	535	540	544	549	553	558	562	567	571
165	4430	4464	4499	4533	4567	4602	4636	4670	4704	4738
	576	580	585	589	594	598	603	607	611	616
170	4773	4806	4840	4874	4908	4942	4976	5010	5043	5077
	620	625	629	634	638	642	647	651	655	660
175	5111	5144	5178	5211	5245	5278	5311	5345	5378	5411
	664	669	673	677	682	686	690	695	699	703
180	5444	5477	5510	5544	5577	5609	5642	5675	5708	5741
	708	712	716	720	725	729	733	738	742	746
185	5773	5806	5839	5871	5904	5936	5969	6001	6033	6066
	750	755	759	763	767	772	776	780	784	788
190	6098	6130	6162	6194	6226	6258	6290	6322	6354	6386
	793	797	801	805	809	813	818	822	826	830
ECON AIR CONDITIONING ΔFUEL = - 0.6 %				ENGINE ANTI-ICE ON ΔFUEL = + 2 %				TOTAL ANTI-ICE ON ΔFUEL = + 5 %		

H09H -08B1A321-131 IAE V2530-A5 22100000C5LB330 0 018590 0 0 1.0 0.00 02901 .780 .000 .000 0 FCOM-M0-02-05-30-002-157

A318/A319/A320/A321 FLEET
FCOM

← A →

PER-FPL-FLP-ICR-20 P 2/18
25 NOV 11

附錄五

	PERFORMANCE
	FLIGHT PLANNING
	FLIGHT PREPARATION - INTEGRATED CRUISE

CLIMB CORRECTION

Applicable to: B-22601, B-22602, B-22605, B-22606, B-22607

The planner must correct the values for the fuel and the time obtained from the integrated cruise tables with the numbers given in the following tables. The tables which are established for M .78 and long range speed, take into account climbing from the brake release point at 250 kt/300 kt/M .78.

M .78 AND LONG RANGE SPEED

CORRECTION ON FUEL CONSUMPTION (1 000 LB)								
FL	WEIGHT AT BRAKE RELEASE (1 000 LB)							Time Correction
	130	140	150	160	170	180	190	
390	2.0	2.2	2.2					3 min
370	1.9	2.1	2.2	2.2	2.2			4 min
350	1.8	2.0	2.1	2.2	2.4	2.4		4 min
330	1.8	1.9	1.9	2.1	2.4	2.4	2.6	4 min
310	1.6	1.8	1.9	2.0	2.2	2.4	2.4	4 min
290	1.5	1.6	1.8	1.9	2.0	2.2	2.4	3 min
270	1.5	1.6	1.8	1.8	1.9	2.0	2.2	3 min
250	1.4	1.5	1.7	1.8	1.8	2.0	2.0	3 min
200	1.1	1.2	1.3	1.5	1.5	1.5	1.8	3 min
150	0.9	1.0	1.1	1.2	1.3	1.5	1.5	2 min
100	0.7	0.7	0.8	0.9	0.9	0.9	1.1	2 min

附錄六

	PERFORMANCE FLIGHT PLANNING FLIGHT PREPARATION - INTEGRATED CRUISE
--	--

DESCENT CORRECTION

Applicable to: B-22601, B-22602, B-22605, B-22606, B-22607

Correct the fuel and time values determined in the integrated cruise tables as follows to take into account the descent down to 1 500 ft followed by a 6 min IFR approach and landing.

CORRECTION ON FUEL CONSUMPTION (1 000 lb)								
FL	WEIGHT OVERHEAD DESTINATION (1 000 lb)							Time Correction
	110	120	130	140	150	160	170	
390	0.2	0.2	0.4	0.4	0.5			9 min
370	0.2	0.2	0.4	0.4	0.5	0.7	0.7	9 min
350	0.2	0.2	0.4	0.4	0.4	0.6	0.7	9 min
330	0.2	0.2	0.4	0.4	0.4	0.6	0.7	9 min
310	0.2	0.2	0.4	0.4	0.4	0.5	0.6	10 min
290	0.2	0.2	0.4	0.3	0.4	0.5	0.5	10 min
270	0.2	0.2	0.3	0.3	0.4	0.4	0.5	9 min
250	0.1	0.2	0.2	0.2	0.4	0.4	0.4	8 min
200	0.1	0.1	0.2	0.2	0.3	0.4	0.4	8 min
150	0	0.1	0.1	0.2	0.2	0.2	0.2	7 min
100	0	0	0	0.1	0.2	0.2	0.2	7 min

附錄七

START OF CFP REF : 05046 - 4 RCSS ZSPD 19 JAN 12

ETOPS ALTERNATES - 60.000 MINUTES/ RCSS ZSPD

CAPTAIN: DISPATCHER:

FLT RELEASE A321-131 MTOW:171960
STD:2315Z MLW:162039
RCSS/ZSPD CI030 CRZ AC 2602
STA:0055Z T/F ALT:
MZFW:153221

	FUEL TIME	BRWT	LDGWT	ZFWT	REGN
DEST ZSPD	9640 0121	163170	153531	131670	
CONT	1540 0015	AVG W/C M046 ISA DEV P12			
ALTERNATE	3150 0028	ZSSS FL 068 0122 W/C M003			
FINAL RESERVE	3200 0030	1500FT			
ADDITION	0 0000				
REQD	17530 0234 Performance Factor 6.20 PCT			
EXTRA	13970 0216				
TAXY	500				
TOTAL	32000 0450				

FUEL ON BOARD

REASON EXTRA FUEL

<input type="checkbox"/> ECN - ECONOMICAL	<input type="checkbox"/> OPN - TEMPORARILY	<input type="checkbox"/> ATC - AIR TRAFFIC CNTRL
<input type="checkbox"/> FOB - FUEL ON BOARD	<input type="checkbox"/> MSC - MISCELLANEOUS	<input type="checkbox"/> FPC - FLIGHT PLAN CORR
<input type="checkbox"/> WXX - WEATHER	<input type="checkbox"/> DEV - TECHNICAL	<input type="checkbox"/> ACT - CI/CRZ USED:

OFF BLOCKS:

ATA:

ATD:

ON BLOCKS:

FUEL REMAIN:

POSITION	LAT	LONG	SR	MAC	TMP	ZNT	MORA	FUEL
FREQY	FL	WIND	T/C	T/H	AW/MC	TAS	GS	ZND
								DIST
								TIME
								BURNT
								REMNG
RCSS	N2504.2	E12133.2			DEPARTURE		MANEUVERING	031500
SITZE	N2503.5	E12139.1	05	---	P--	001	43	
	---	10021	097	097	DCT	256	235	005
								0001
								0461
								31040
PAIL								
LU	N2508.4	E12148.0	05	---	P--	003	33	
357	---	08005	059	059	DCT	268	262	010
								015
								0004
								1062
								30440
PAIL								
VIVID	N2533.5	E12148.7	05	---	M--	004	31	
	---	28035	001	356	DCT	339	332	025
								040
								0008
								2132
								29370
PAIL								
PIANO	N2548.4	E12149.0	04	---	M--	002	10	
	---	27072	001	351	DCT	399	390	015
								055
								0010
								2595
								28900
BYWAY	N2601.6	E12159.7	03	---	M--	002	10	
	---	27086	036	025	L3	422	467	016
								071
								0012
								2989
								28510
TOC								
	---	27095	035	024	L3	453	504	048
								119
								0018
								3949
								27550
EPOXY	N2709.3	E12252.7	02			733	M30	004
	290	27110	035	022	L3	445	503	035
								154
								0022
								4405
								27090
VIOLA	N2713.3	E12256.5	02			728	M30	001
	290	27118	040	027	L3	443	515	005
								159
								0023
								4471
								27030

POSITION FREQUENCY	LAT FL	LONG WIND T/C	SR T/H	MAC AW/MC	TMP TAS	ZNT GS	MORA ZND	FUEL BURNT	REMNG
OLIVE	N2726.3	E12251.1	02	756 M30	002	10			
	290	27118	340 327	R596	459	410 014	173 0025	4702	26800
-ZSHA	N2726.3	E12225.3	--	---	M30	004	10		
-----	290	27118	----	R596	459	410 023	196 0029	5164	26340
SULEM	N2726.3	E12225.3	02	766 M30	000	10			
	290	27118	270 269	R596	466	348 000	196 0029	5164	26340
OKATO	N2735.1	E12134.6	02	765 M30	008	10			
	291	27118	281 278	R596	465	349 046	242 0037	6078	25420
DST	N2745.0	E12037.8	02	765 M30	009	29			
109.20	291	27119	281 278	R596	465	349 051	293 0046	7102	24400
-ETP1	N2807.9	E12040.1	--	---	M30	003	48		
-----	291	27119	----	B221	465	349 023	316 0049	7439	24060
SHZ	N2936.0	E12049.0	04	744 M31	011	48			
113.40	291	27129	005 349	B221	451	448 088	404 0100	8736	22770
TOD				07	712 M33	002	40		
	291	27135	057 044	W58	431	540 017	421 0102	8929	22570
BK	N2953.7	E12120.0	06	---	M--	002	40		
227	---	27128	057 045	W58	437	543 015	436 0104	8969	22530
BAVIK	N3022.0	E12137.9	07	---	M--	005	32		
	---	27074	029 018	DCT	388	414 032	468 0109	9085	22420
BK11F									
ATRIP	N3036.8	E12147.0	03	---	M--	003	11		
	---	27030	028 023	DCT	322	336 017	485 0112	9177	22320
BK11F									
ZSPD	N3108.7	E12147.6	05	---	M--	009	11		
	---	03012	001 002	DCT	265	253 032	517 0121	9639	21860

GREAT CIRCLE DISTANCE 364 N.M. AIR DISTANCE 580 RCSS TO ZSPD
FLT PLAN BASED ON 191212Z PROGS

ALTERNATES

GMA	DIST	TTK	W/C	FL	TIME	FUEL	BOF
ZSSS	014	0122	278	M003	068	00.28	003152

ZSPD AND12D AND AND06F ZSSS

05046 START OF WIND AND TEMPERATURE SUMMARY RCSS TO ZSPD

WAYPOINT	1DN	PLN	1UP
EPOXY	F230/274/104/M19	F290/267/118/M30	F290/267/118/M30
VIOLA	F230/274/104/M19	F290/267/118/M30	F290/267/118/M30
OLIVE	F280/268/116/M28	F290/267/118/M30	F290/267/118/M30
SULEM	F280/268/116/M28	F290/267/118/M30	F290/267/118/M30
OKATO	F280/268/117/M28	F291/267/119/M30	F291/267/119/M30
DST	F276/268/117/M28	F291/267/119/M30	F291/267/119/M30
SHZ	F266/269/121/M30	F291/268/135/M33	F291/268/135/M33

005046 END OF WIND AND TEMPERATURE SUMMARY RCSS TO ZSPD

FIXED ALT 26000 TIME 0123 BRNOF 9891 ZFW 131670 CI030
FUEL BURN ADJUSTMENT PER 5000 LBS CHANGE IN TOW / 215 LBS

START OF ALTERNATE FLIGHT PLAN ZSPD TO ZSSS

附錄八

◆ 名詞定義

節錄 07-02A 航空器飛航作業管理規則(中華民國 102 年 3 月 19 日交通部交航字第 10250027461 號)如下：

第二條 本規則用詞，定義如下：

三、航空器使用人：指以航空器從事飛航作業之自然人、法人或政府機關。

四、組員：指由航空器使用人指派於飛航時在航空器內工作之人員。

五、飛航組員：指於飛航時在航空器內負責航空器相關作業且具有證照之工作人員。

十七、備用機場：包括以下三種：

(一)起飛備用機場：指航空器於起飛後因需要降落而當時原起飛機場不適合降落之備用機場。

(二)航路備用機場：指航空器在飛航中遇到異常或緊急狀況之備用機場。

(三)目的地備用機場：指目的地機場因不能或不適合降落之備用機場。

十八、飛航時間：指為計算執行飛航任務及登錄飛航時間限度之時間，包括下列二種：

(一)飛機：指為起飛目的，開始移動時起至著陸後停止移動時止之時間。

(二)直昇機：指旋翼開始旋轉時起至旋翼停止旋轉時止之時間。

十九、使用時間：指航空器起飛離地至降落接觸地面之時間，除相關維護手冊另有規定外，為航空器、發動機、螺旋槳、各項裝備及其零組件計算及登錄使用時間用。

七十四、飛航計畫：指向飛航業務單位提供有關航空器意欲飛航或部分飛航之特定資料。

七十五、操作飛航計畫：指依氣象、航空器性能、油量需求、航路架構及其他操作限制等相關資料交互運算構成安全可行之飛航計畫，以提供飛航組員操作航空器所需之航行資訊。