

台北終端管制區國際線離/到場航空器垂直飛航軌跡之探討

學生：董吉利

指導教授：汪進財

國立交通大學 碩士在職專班 運輸物流組

摘 要

我國交通部民用航空局自民國九十一年起，分階段進行「台北飛航情報區通信、導航、監視/飛航管理(CNS/ATM)建置計畫」，該計畫除了進行下一代先進航管自動化系統的建置外，亦將對現行空域進行重整與規劃，儀器飛航程序及航管作業也將面臨調整改變。然而，空域及儀器飛航程序的調整或重新規劃，主要的目的在於增加空域使用效益及提升飛航安全，而空域及儀器飛航程序如何調整及調整後是否能獲得效益增加及安全提升等效果，則缺乏專門工具予以預測評估。再者，長久以來，我國的飛航管制環境除了既有的飛航管制程序及儀器飛航程序等規範外，極其仰賴航管人員的經驗判斷，同樣地缺乏適當的決策支援工具(DSP)。

如果想要發展空域效益的評估工具及航管適當的決策支援工具，前提必須建立在能夠準確的模擬及預估航空器飛航軌跡的基礎上。因此，本研究之目的在於運用Eurocontrol 的 BADA 建立主要飛航中正國際機場各種機型之飛航軌跡與變異範圍，並藉由航管單位雷達系統處理實際航機狀況資料紀錄分析整理後驗證其符合我國之飛航環境使用，以供未來據以發展儀器飛航程序調整及飛航管制策略應用之模擬模式基礎。為了瞭解影響航空器飛航軌跡之因素，本研究先對台北終端管制區內之空域結構、中正機場儀器飛航程序、航空器隔離標準、飛航管制作業與駕駛員操作特性與限制進行充分探討說明，繼而於研究過程中確認各個因素對飛航軌跡的影響。

藉由取得歐洲航管實驗中心(EEC)發展的「航空器基礎資料 (BADA, Base of Aircraft Data)」，以 BADA 的飛航軌跡全能量模式及參數求算飛航中正機場的主要十種機型的垂直飛航軌跡、爬升下降率、油耗情形，再以實際航管自動化系統雷達資料紀錄分析驗證 BADA 所求算的離場爬升飛航軌跡符合本區的飛航情形，並對 BADA 所求算到場下降飛航軌跡與實際資料分析結果的差異提出說明。

另外，為了與 BADA 所求算之結果進行驗證比較，本研究亦對我國終端航管自動化系統所紀錄之資料進行探討與分析，有系統地整理出飛航中正機場主要十種機型的實際垂直飛航軌跡與爬升下降率的情形。

未來，包括空域效益評估工具、儀器飛航程序設計、飛航管制、流量管理決策支援系統(DST)的設計，或航管雷達訓練模擬機的程式撰寫，都可以以本研究為基礎。不論是運用 BADA 的模式與參數，亦或是實際雷達資料紀錄分析的結果，相信都可以更準確的模擬出符合台北終端管制區的飛航情形，提供正確的決策資訊與良好的訓練成效。

The Study of Departure/Arrival Vertical Trajectory for International Flights within Taipei TMA

Student : Chi-Li Tung

Advisors : Dr. Jinn-Tsai Wong

MBA Program of Transportation and Logistics
National Chiao Tung University

ABSTRACT

Starting from 2002, the Civil Aeronautics Administration (CAA), Taiwan, has set up the implementation plan for establishing the CNS/ATM (Communication, Navigation, Surveillance /Air Traffic Management System) in Taipei Flight Information Region. Not only to build up the advanced Air Traffic Control Automation System for next generation, the CNS/ATM Implementation Plan will also reconstruct the airspace and air routes which are currently in use. Therefore, Air Traffic Control operations shall be changed in the future accordingly. However, the main goal of changing airspace, air routes, and ATC operations is to bring the benefit of safety and efficiency, but we are lack of suitable tools to perform analysis and evaluation. In addition, for a long time, our Air Traffic Control environment heavily relies on human experience for decision making, extremely short of Decision Support Tools (DST).

To develop the efficiency evaluation or DST tools, the ability of accurately predicting and simulating flight trajectories is the basis. The purpose of this study is to apply the Base of Aircraft Data (BADA) released by Eurocontrol to generate the simulated vertical trajectories, rate of climb and descent, as well as fuel consumption and their variance ranges of major aircraft types which are operating within Taipei Terminal Control Area. Furthermore, this study collects and analyzes the RADAR data records from Air Traffic Control Automation system of Taipei Approach Control Facility to validate and compare with the trajectories generated by BADA. Also, an in-depth survey of Air Traffic Control and pilots' operations and restrictions contributing to aircraft vertical trajectory is performed in this study.

Using this study as a foundation, the development of efficiency evaluation tools, DST tools, or even ATC simulators, can be designed by applying either BADA or real analyzed RADAR data records in the future. It is believed that these tools will provide more precise information as well as better support to our Air Traffic Control and civil aeronautical environment.

誌 謝

十二年前甫自軍中退伍時，由於懵懂無知，加上沒有顯著的學經歷背景，因此懷著忐忑不安的心情步入社會。為了讓自己建立信心，擺脫徬徨無助的心情，便為自己的人生定下了三個目標。第一個目標是希望能覓得一位能攜手相伴，共渡一生的好伴侶。第二個目標是擁有一輛大型重型機車，完成自小就有的渴望。第三個目標是重回學校讀書，彌補年少輕狂所留下的遺憾。這三個目標在別人眼中或許沒有任何特別之處，但卻是十二年來隱藏在我心裡深處推動我往前走的動力。

感謝神的眷顧，讓我一生中遇到許多貴人。我在十一年前遇到的這位貴人讓我完成了第一個目標，她就是我的摯愛——靜蕊。有她一路的照顧與扶持，才能使我們的生活平安穩定，讓我在工作之餘可以繼續朝向第二及第三個目標邁進。

隨著多年的穩定工作與儲蓄，每當我經過重型機車展示櫥窗前，總會帶著微笑多看上一眼，因為我知道，以現在的能力而言，第二個目標已可以達成，只是行動與否的抉擇罷了。就讓這個從小的夢想持續，也未嘗不是一種甜美。

三年前進入交大專班，我踏入了第三個目標的起點，非常幸運地，遇到了另一位重要的貴人，就是我的指導教授——汪進財老師。汪老師對我這個駑鈍之材一直耐心指導，每次討論總是花去老師許多寶貴的時間。而令我感動的是，當我為了佔用老師太多時間而抱歉連連時，老師總是淡淡的說，「只要學生肯學習，花再多的時間也是老師的責任」。在此，我要告訴學弟妹們，「只要你願意學習，讓汪老師指導絕對是一種福氣」。

除了汪老師的指導外，在我進行資料分析與論文寫作的過程中，得蒙昭平學長在資料整理上的協助以及易詩學長的觀念指正，加上維方、美好、敏華的彼此鼓勵打氣，當然還有美婷學妹的幫忙，才讓我能夠到達第三個目標的終點。他們也都是我生命中巧遇的貴人，我滿懷感激。

我為自己訂定了三個目標，經過了十二年完成，在別人看來，這樣的投資效益與執行效率似乎很低，但對我而言，這樣的歷程與點滴，無價。

最後，要謝謝我的父親與母親，感謝他們對於我假日無法常回去陪伴的容忍。更要感謝二姊慧香與三姊慧蓉代替我對父母親的照顧，還有她們誠摯的信仰禱告，使我長久得神恩典，事事如我所想、所願。

現在，我準備為自己再訂三個目標，並且已經準備好要起飛往新目標前進。

「Tower, Charlie flight is ready for departure.」

「Charlie flight, runway 05, **CLEARED FOR TAKE OFF.**」

董吉利 于 2005 年 6 月 15 日誌

目 錄

中文提要	i	
英文提要	ii	
誌謝	iii	
目錄	iv	
表目錄	vii	
圖目錄	viii	
一、	緒論	1
1.1	研究動機	1
1.2	研究目的與課題	3
1.2.1	研究目的	3
1.2.2	研究課題	3
1.3	研究範圍	4
1.4	研究方法與流程	6
二、	文獻回顧	10
2.1	儀器飛航程序	10
2.2	飛航模擬模式	12
2.2.1	主要飛航模擬模式的介紹	12
2.2.2	SIMMOD 模擬模式的運用	19
2.2.3	ANS 模擬模式的運用	21
2.3	飛航特性分析	23
2.3.1	飛航軌跡	23
2.3.2	加速離場路徑(EDP)	24
2.3.3	航空器基礎資料(BADA)	26
2.4	小結	29
三、	台北終端管制區之飛航作業	30
3.1	台北終端管制區之空域結構	30
3.2	儀器飛航程序	32
3.3	隔離標準	38
3.3.1	非雷達隔離	38
3.3.2	雷達隔離	39
3.4	飛航管制作業	41
3.4.1	高度指定	42
3.4.2	雷達引導	43
3.4.3	空速調整	43
3.4.4	等待	44
3.4.5	其它作業	45

3.5	駕駛員操作特性與限制	46
3.5.1	台北飛航情報區空速限制與噪音管制程序	46
3.5.2	駕駛員操作特性	47
3.6	小結	49
四、	航空器基礎資料(BADA)探討	51
4.1	簡介	51
4.2	資料架構	51
4.2.1	同類對照檔(Synonym)	51
4.2.2	操作性能檔(OPF)	51
4.2.3	航空公司程序檔(APF)	53
4.2.4	性能總表檔(PTF)	54
4.2.5	通用參數檔(GPF)	54
4.3	操作性能模式(Operations Performance Model)	55
4.3.1	全能量模式(Total-Energy Model)	55
4.3.2	標準大氣(Standard Atmosphere)	55
4.3.3	飛行限度(Flight Envelope)	57
4.3.4	空氣動力阻力(Aerodynamic Drag)	58
4.3.5	引擎推力(Engine Thrust)	58
4.3.6	油耗(Fuel Consumption)	59
4.4	BADA 試算表(BADA Excel Spread sheet)	60
4.4.1	試算表類型	60
4.4.2	試算表的使用	61
4.4.3	試算表之製作	62
4.4.3.1	BADA.XLS 試算表	62
4.4.3.2	<A/C>.XLS 試算表	74
4.4.3.3	TRAJECT.XLS 飛航軌跡試算表圖	79
4.4.3.4	ROCD.XLS 爬升下降率試算表圖	80
4.4.3.5	FUEL.XLS 油耗試算表圖	81
4.4.3.6	FUEL_CRZ.XLS 平飛巡航油耗試算表圖	82
4.5	飛行中正機場主要機型 BADA 試算表的建立	82
4.6	結果範例說明	85
4.6.1	爬升飛航軌跡	85
4.6.2	爬升率	88
4.6.3	爬升油耗	90
4.6.4	下降飛航軌跡	93
4.6.5	下降率	95
4.6.6	下降油耗	97
4.7	小結	99

五、	雷達資料紀錄分析與驗證	101
5.1	中正終端航管自動化系統架構概述	101
5.2	雷達資料紀錄格式	102
5.3	雷達資料紀錄篩選	104
5.4	資料轉換	108
5.5	結果說明	112
5.5.1	離場爬升飛航軌跡	112
5.5.2	離場爬升率	114
5.5.3	到場下降飛航軌跡	115
5.5.4	到場下降率	117
5.5.5	例外	118
5.6	分析與驗證	118
5.6.1	離場爬升飛航軌跡	119
5.6.2	到場下降飛航軌跡	123
5.7	小結	126
六、	結論與建議	127
6.1	結論	127
6.2	建議	128
參考文獻		130
附錄		A-1
自傳		



表目錄

表 2.1	跑道容量與延誤模擬模式分類表	12
表 2.2	衝突偵測模式的功能比較	16
表 2.3	衝突偵測模式的輸出結果	16
表 3.1	中正機場儀器飛航程序列表	32
表 3.2	中正機場 05/06 跑道常用儀器飛航程序	34
表 3.3	中正機場 23/24 跑道常用儀器飛航程序	35
表 4.1	操作性能檔範例-B752	53
表 4.2	航空公司程序檔範例-B752	53
表 4.3	性能總表檔範例-B752	54
表 4.4	標準大氣區塊範例	63
表 4.5	速度區塊範例	64
表 4.6	航機重量區塊範例	65
表 4.7	引擎推力區塊範例	67
表 4.8	阻力區塊範例	68
表 4.9	全能量區塊範例	69
表 4.10	飛航軌跡區塊範例	71
表 4.11	油耗區塊範例	72
表 4.12	巡航油耗區塊範例	74
表 4.13	BADA 係數區塊範例	75
表 4.14	選定的飛航軌跡區塊範例	76
表 4.15	參考爬升飛航軌跡資料區塊範例	77
表 4.16	參考下降飛航軌跡資料區塊範例	78
表 4.17	參考巡航飛航軌跡資料區塊範例	79
表 4.18	飛航中正機場主要航空器機型	83
表 4.19	A306 型機爬升飛航軌跡資料表	86
表 4.20	A306 型機爬升率資料表	89
表 4.21	A306 型機爬升油耗資料表	91
表 4.22	A306 型機下降飛航軌跡資料表	93
表 4.23	A306 型機下降率資料表	95
表 4.24	A306 型機下降油耗資料表	97
表 5.1	篩選中正機場航機之判斷條件與對應結果表	107
表 5.2	篩選出中正機場各機型航機離到場架次數	108
表 5.3	A306 型機爬升飛航軌跡統計分析檢定資料	119
表 5.4	各機型 BADA 與實際飛航軌跡適合性卡方檢定表	122
表 5.5	A306 型機到場下降飛航軌跡統計分析資料	123
表 5.6	各機型自 FL200 下降至落地之飛行距離與標準差	125

圖目錄

圖 1.1	研究流程	9
圖 2.1	航機十種飛行階段	23
圖 3.1	台北終端管制區圖	31
圖 3.2	中正國際機場較常使用儀航程序投影圖	37
圖 3.3	雷達隔離運用示意圖	41
圖 3.4	高度隔離運用示意圖	41
圖 3.5	高度隔離示意圖	42
圖 3.6	航機於等待點上空等待示意圖	44
圖 3.7	NADP 1	48
圖 3.8	NADP 2	49
圖 4.1	飛航軌跡試算表圖範例	80
圖 4.2	爬升下降率試算表圖範例	81
圖 4.3	油耗試算表圖範例	82
圖 4.4	A306 型機爬升飛航軌跡圖	87
圖 4.5	A306 型機爬升率圖	90
圖 4.6	A306 型機爬升油耗圖	93
圖 4.7	A306 型機下降飛航軌跡圖	95
圖 4.8	A306 型機下降率圖	97
圖 4.9	A306 型機下降油耗圖	99
圖 5.1	中正終端航管自動化系統架構圖	101
圖 5.2	SDRC 擷取之「系統軌跡資料格式」範例	103
圖 5.3	刪除無 Aircraft ID 紀錄之結果範例	105
圖 5.4	將同一航空器之資料紀錄依時間順序排序範例	105
圖 5.5	中正機場跑道座標圖	106
圖 5.6	A306 型機實際雷達資料爬升飛航軌跡圖	113
圖 5.7	A306 型機實際雷達資料爬升率圖	115
圖 5.8	A306 型機實際雷達資料下降飛航軌跡圖	117
圖 5.9	A306 型機實際雷達資料下降率圖	118
圖 5.10	A306 型機平均爬升飛航軌跡圖(含標準差)	120
圖 5.11	A306 型機平均爬升率圖(含標準差)	121
圖 5.12	A306 型機平均下降率圖(含標準差)	124
圖 5.13	A306 型機平均下降飛航軌跡圖(含標準差)	124
附錄		
圖 7.1	BADA A306 型機爬升飛航軌跡、爬升率、油耗圖	A-1
圖 7.2	BADA A306 型機下降飛航軌跡、下降率、油耗圖	A-2
圖 7.3	BADA A321 型機爬升飛航軌跡、爬升率、油耗圖	A-3

圖 7.4	BADA A321 型機下降飛航軌跡、下降率、油耗圖	A-4
圖 7.5	BADA A330 型機爬升飛航軌跡、爬升率、油耗圖	A-5
圖 7.6	BADA A330 型機下降飛航軌跡、下降率、油耗圖	A-6
圖 7.7	BADA A340 型機爬升飛航軌跡、爬升率、油耗圖	A-7
圖 7.8	BADA A340 型機下降飛航軌跡、下降率、油耗圖	A-8
圖 7.9	BADA B738 型機爬升飛航軌跡、爬升率、油耗圖	A-9
圖 7.10	BADA B738 型機下降飛航軌跡、下降率、油耗圖	A-10
圖 7.11	BADA B744 型機爬升飛航軌跡、爬升率、油耗圖	A-11
圖 7.12	BADA B744 型機下降飛航軌跡、下降率、油耗圖	A-12
圖 7.13	BADA B757 型機爬升飛航軌跡、爬升率、油耗圖	A-13
圖 7.14	BADA B757 型機下降飛航軌跡、下降率、油耗圖	A-14
圖 7.15	BADA B767 型機爬升飛航軌跡、爬升率、油耗圖	A-15
圖 7.16	BADA B767 型機下降飛航軌跡、下降率、油耗圖	A-16
圖 7.17	BADA B777 型機爬升飛航軌跡、爬升率、油耗圖	A-17
圖 7.18	BADA B777 型機下降飛航軌跡、下降率、油耗圖	A-18
圖 7.19	BADA MD11 型機爬升飛航軌跡、爬升率、油耗圖	A-19
圖 7.20	BADA MD11 型機下降飛航軌跡、下降率、油耗圖	A-20
圖 7.21	A306 型機實際雷達資料爬升飛航軌跡、爬升率圖	A-21
圖 7.22	A306 型機實際雷達資料下降飛航軌跡、下降率圖	A-22
圖 7.23	A321 型機實際雷達資料爬升飛航軌跡、爬升率圖	A-23
圖 7.24	A321 型機實際雷達資料下降飛航軌跡、下降率圖	A-24
圖 7.25	A330 型機實際雷達資料爬升飛航軌跡、爬升率圖	A-25
圖 7.26	A330 型機實際雷達資料下降飛航軌跡、下降率圖	A-26
圖 7.27	A340 型機實際雷達資料爬升飛航軌跡、爬升率圖	A-27
圖 7.28	A340 型機實際雷達資料下降飛航軌跡、下降率圖	A-28
圖 7.29	B738 型機實際雷達資料爬升飛航軌跡、爬升率圖	A-29
圖 7.30	B738 型機實際雷達資料下降飛航軌跡、下降率圖	A-30
圖 7.31	B744 型機實際雷達資料爬升飛航軌跡、爬升率圖	A-31
圖 7.32	B744 型機實際雷達資料下降飛航軌跡、下降率圖	A-32
圖 7.33	B757 型機實際雷達資料爬升飛航軌跡、爬升率圖	A-33
圖 7.34	B757 型機實際雷達資料下降飛航軌跡、下降率圖	A-34
圖 7.35	B767 型機實際雷達資料爬升飛航軌跡、爬升率圖	A-35
圖 7.36	B767 型機實際雷達資料下降飛航軌跡、下降率圖	A-36
圖 7.37	B777 型機實際雷達資料爬升飛航軌跡、爬升率圖	A-37
圖 7.38	B777 型機實際雷達資料下降飛航軌跡、下降率圖	A-38
圖 7.39	MD11 型機實際雷達資料爬升飛航軌跡、爬升率圖	A-39
圖 7.40	MD11 型機實際雷達資料下降飛航軌跡、下降率圖	A-40
圖 7.41	A306 型機平均爬升飛航軌跡、爬升率圖(含標準差)	A-41

圖 7.42	A306 型機平均下降飛航軌跡、下降率圖(含標準差)	A-42
圖 7.43	A321 型機平均爬升飛航軌跡、爬升率圖(含標準差)	A-43
圖 7.44	A321 型機平均下降飛航軌跡、下降率圖(含標準差)	A-44
圖 7.45	A330 型機平均爬升飛航軌跡、爬升率圖(含標準差)	A-45
圖 7.46	A330 型機平均下降飛航軌跡、下降率圖(含標準差)	A-46
圖 7.47	A340 型機平均爬升飛航軌跡、爬升率圖(含標準差)	A-47
圖 7.48	A340 型機平均下降飛航軌跡、下降率圖(含標準差)	A-48
圖 7.49	B738 型機平均爬升飛航軌跡、爬升率圖(含標準差)	A-49
圖 7.50	B738 型機平均下降飛航軌跡、下降率圖(含標準差)	A-50
圖 7.51	B744 型機平均爬升飛航軌跡、爬升率圖(含標準差)	A-51
圖 7.52	B744 型機平均下降飛航軌跡、下降率圖(含標準差)	A-52
圖 7.53	B757 型機平均爬升飛航軌跡、爬升率圖(含標準差)	A-53
圖 7.54	B757 型機平均下降飛航軌跡、下降率圖(含標準差)	A-54
圖 7.55	B767 型機平均爬升飛航軌跡、爬升率圖(含標準差)	A-55
圖 7.56	B767 型機平均下降飛航軌跡、下降率圖(含標準差)	A-56
圖 7.57	B777 型機平均爬升飛航軌跡、爬升率圖(含標準差)	A-57
圖 7.58	B777 型機平均下降飛航軌跡、下降率圖(含標準差)	A-58
圖 7.59	MD11 型機平均爬升飛航軌跡、爬升率圖(含標準差)	A-59
圖 7.60	MD11 型機平均下降飛航軌跡、下降率圖(含標準差)	A-60
圖 7.61	B744 型機長程(long haul)平均爬升飛航軌跡、爬升率圖(含標準差)	A-61
圖 7.62	B744 型機短程(short range)平均爬升飛航軌跡、爬升率圖(含標準差)	A-62