

國立臺灣大學工學院土木工程學系

碩士論文

Department of Civil Engineering

College of Engineering

National Taiwan University

Master Thesis

機場跑道攔截系統經濟分析與決策模式之建立

Economic Analysis and Decision-Making Model for

Runway Arresting Systems

酈國軒

Kuo-Hsuan Li

指導教授：周家蓓 博士

Advisor: Chia-Pei Chou, Ph.D.

中華民國 98 年 6 月

June, 2009

國立臺灣大學
土木工程學系

碩士論文

機場跑道攔截系統經濟分析與決策模式之建立

酈國軒

撰

98
6

摘要

機場安全向來為飛安主要課題之一，致力減少飛安事故之發生之可能性與嚴重程度應為各機場主管機關努力之目標。國內過去曾發生數件衝出/滑出跑道事故，是常發生的飛安事故類型之一。因應此類事故的機場改善方法除拓展機場跑道與相關安全區域外，近年有一新型民航機用攔截系統面世，稱為工程材料阻擋系統(Engineered Material Arresting System, EMAS)。美國 FAA 不僅認可其效能，甚至為其推出民航指南與相關財務分析文件。但該財務分析文件內容僅就選擇裝設 EMAS 前提下比較不同方案的價值，並未對裝設 EMAS 與否進行探討，對有意改善機場現況的管理者或規劃人員無法提供一完整之評估流程供參考。本研究之目標即為建立一完整之評估模式，依序評估機場跑道長度、安全區長度現況，跑道長度不足者務須力即改善，安全區長度不足者應就現況探討不同方案的可能性，再就各種改善方案進行經濟分析，以得出各方案對機場、航空公司、旅客長期之經濟面影響。

為確實了解各民航法規對跑道與安全區之定義及規範，本研究先就 FAA 與 ICAO 兩大系統進行法規整理，再整理現有機場攔截系統，並參考前人所提出之機場改建評估方法文獻，建立本研究所提出之評估模式。因國內機場以 ICAO 系統為準，故法規部分也以 ICAO 規範為依循。依據 ICAO 所公布之機場跑道設計法可求得機場跑道長度需求，對照機場現況或近期使用機型即可了解機場跑道現況是否足夠。若跑道不足者應延長跑道或限制載重以策安全。跑道長度充足的前提下再進行安全區域審視，安全區域不足者應進行改善策略的規劃。應用 FAA 公布的經濟價值資料與本研究整理之歷年衝出/滑出跑道事故損失分佈可估計一機場對此類型事故長期之風險價值，再估計各種改善方案所可能改變的損失期望值，配合攔截系統價位、地價等改善方案代價即可求出各改善方案的經濟要素，再交由據管理單位依據不同考量標準自行決策。

本研究建立模式後針對國內機場現況進行檢核，發現大部分機場跑道

長度都符合設計機型需求，但若以最大機型需求估計則可能部分機場跑道稍有不足。安全區檢核部分則發現國內公告安全區資訊不足，許多機場並未公告安全區，但自行以空照圖估計結果發現多數機場仍有充足空間可供使用。

本研究選定台北松山機場做為安全區改善方案比較的試算範例，試算結果發現裝設 EMAS 之類的攔截系統代價極高，雖有其效益，但仍須考量事故後維修代價；購地延長安全區方案雖可明確減少事故損失，但因代價過高，機場應審慎評估後再行決策。為了解參數改變對計算數值的影響，本研究另以簡單敏感度分析了解攔截系統維修費、地價、事故量等參數改變之影響，發現事故量增加時兩大類型改善方案之效益都明顯增加，攔截系統維修費與地價下降時則方案實施之價值也隨之提升。在機場無地可用時決策必然傾向於裝設攔截系統，但若土地充足且地價低廉時可能決策將傾向於購地延長安全區。

鑒於國內機場現狀，本研究建議各機場應確實公告安全區並確保安全區內無障礙物阻礙，以保持良好航機運行環境。另因本研究之試算有其限制，若機場有安全區改善需求，但又有社會、交通、環境等大範圍長遠考量，應在本研究範圍外另行探討各方案之可能效應以達到更宏觀的決策。

Abstract

Runway Overruns and Excursions are common accidents in records. The solutions to reduce the severity of such accidents are basically increasing the size of safety area beyond the runway end. In FAA and ICAO regulations, the recommended length of safety area for large airports is about 300 meters. However, there are still airports unable to meet the requirement for safety. Recently a new system called Engineered Material Arresting System (EMAS) that can arrest the overrun aircraft below design speed without damage to structure. Furthermore, FAA published the advisory circular and Order for the system. However, the documents only discuss the circumstances of setting EMAS, and did not explained how to make the decision between EMAS or other solutions, and not applicable for the operators who are interested in improve the insufficient safety areas in aerodromes.

This research proposed a general model composed of runway-related areas dimension check and economical analysis of available improving solutions if the current condition does not meet the regulations.

The dimensional check should proceed in accordance with the ICAO regulations. With the performance information of different aircraft types the runway length requirements can be calculated. After comparing the common-used aircraft types in current airport, the maximum length required runway length would be obtained. If the runway length is insufficient, the improving measures such as runway extension or aircraft weight limitations must be performed.

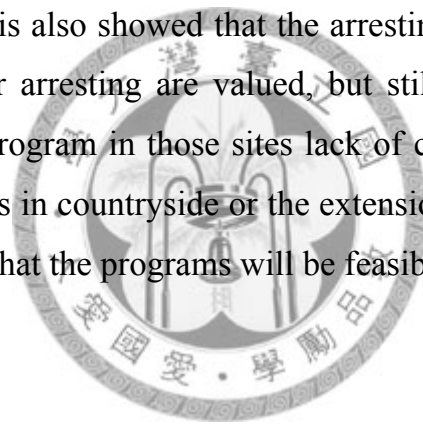
If the runway length is sufficient but the runway end safety area (RESA) is insufficient, the possible solutions should be compared by economic analysis. This research focus on the airport related groups include airport, passengers and airlines. The analysis calculated the changes of cost, expected loss, and other elements related to the different programs. Because the analysis excluded the external effects, so the economic values calculated in this model only show the worth to specific groups. However, the analysis still can provide airport

administrators basis of decision-making.

This research also check the airports in ROC, and found almost all airport runway length meet the requirement, but most airports does not provide clear information about RESA, the dimensions estimated by this research showed that several airports cannot provide sufficient safety area length and should be improved.

This research chose Taipei International Airport as a sample for economic analysis. Several programs such as arresting system installation, RESA extension, or collocations were purposed. After comparing the economic elements, the result showed that all programs have relatively low benefits and without any financial profit. Nevertheless, the improving programs must be performed for that the safety should not be weighted in money.

The sample analysis also showed that the arresting systems are expensive and the repairmen after arresting are valued, but still comparatively cheaper than RESA extension program in those sites lack of certain length. If the land price is so cheap such as in countryside or the extension length is short that the program cost is low so that the programs will be feasible.



目錄

第一章 緒論	1
1.1 緣起.....	1
1.2 研究目的.....	2
1.3 研究範圍與方法.....	3
1.4 研究流程.....	3
第二章 文獻回顧	5
2.1 民用機場跑道及安全區域相關規範與研究.....	5
2.1.1 FAA 規範.....	5
2.1.2 ICAO 規範.....	19
2.2 機場安全區域改善方式.....	23
2.2.1 FAA 計畫與通告.....	24
2.2.2 EMAS	25
2.3.3 ERAS	30
2.3 整建決策考量準則.....	31
第三章 模式建構	41
3.1 機場跑道及安全區域評估模式建置.....	41
3.2 方案產生方法.....	43
3.3 經濟決策方法.....	44
第四章 國內機場跑道與安全區長度檢核	51
4.1 跑道長度檢核.....	51
4.2 安全區域長度檢核.....	57
第五章 改善方案試算	63
5.1 試算用資料彙整.....	63
5.2 松山機場試算.....	80
5.3 敏感度分析.....	90
5.4 計算結果討論.....	95
第六章 結論與建議	98
6.1 結論.....	98
6.2 建議.....	100
參考文獻	103

圖目錄

圖 1.1 研究流程圖.....	4
圖 2.1 小型機進場速度>50KNOTS 且乘客少於 10 人者跑道長設計圖.....	8
圖 2.2 小型機進場時速>50KNOTS 且乘客多於 10 人者跑道長設計圖.....	9
圖 2.3 75%機隊機型組成於 60%及 90%可用載重運作之跑道長度設計圖.....	10
圖 2.4 100%機隊機型組合於 60%及 90%載重運作之跑道長度設計圖.....	11
圖 2.5 緩衝區示意圖.....	16
圖 2.6 清除區配置圖.....	16
圖 2.7 OFA 配置圖.....	17
圖 2.8 FAA 規範跑道 RSA 範圍示意圖.....	17
圖 2.9 ICAO 規範之 RESA 示意圖.....	23
圖 2.10 FAA 攔截床測試圖.....	26
圖 2.11 EMAS 攔截床配置示意圖.....	26
圖 2.12 EMAS 砌塊.....	27
圖 2.13 EMAS 外觀圖(一).....	27
圖 2.14 EMAS 外觀圖(二).....	28
圖 2.15 EMAS 攔截效果.....	28
圖 2.16 EMAS 於 JFK 機場攔截 747.....	29
圖 2.17 ERAS 剖面圖.....	30
圖 2.18 ERAS 承重區表層配置.....	30
圖 2.19 NEW CASTLE COUNTY AIRPORT 1992 年空照圖.....	32
圖 2.20 NEW CASTLE COUNTY AIRPORT 1995 年建設計畫圖.....	33
圖 2.21 新型多準則決策法步驟.....	36
圖 3.1 機場設施審視流程圖.....	42
圖 3.2 跑道及安全區改善決策流程.....	44
圖 3.3 跑道安全區改善方案經濟評估流程圖.....	45
圖 4.1 747-400 跑道長度設計圖.....	53
圖 5.1 航機事故傷亡分布：MTOW<125,00LB.....	69

圖 5.2 航機事故傷亡分布：12,500<MTOW<60,000LB	69
圖 5.3 航機事故傷亡分布：MTOW>60,000LB.....	69
圖 5.4 事故傷亡分布：全部機型.....	69
圖 5.5 無財損紀錄者乘員傷亡分布.....	70
圖 5.6 有財損紀錄者乘員傷亡分布.....	70
圖 5.7 未撞擊障礙物者航機損傷.....	71
圖 5.8 撞擊障礙物者航機損傷.....	71
圖 5.9 衝出跑道航機分布狀況.....	73
圖 5.10 EMAS 長度對應 B747 攔截速度設計圖.....	74
圖 5.11 航機減速距離對應速度曲線.....	75
圖 5.12 未裝設攔截系統之事件可能效應.....	79
圖 5.13 裝設攔截系統之可能效應.....	79
圖 5.14 松山機場 28 端跑道空照圖.....	81



表目錄

表 2.1 跑道長度設計機型分類表	7
表 2.2 75%機隊組成參考機型	12
表 2.3 剩餘 25%機隊組成機型.....	13
表 2.4 飛機設計群組(ADG, AIRPLANE DESIGN GROUP).....	15
表 2.5 不同分類之跑道安全區域尺寸表	18
表 2.6 ICAO 航站分類表.....	21
表 2.7 ICAO 規範機場跑道與道肩寬度.....	21
表 2.8 ICAO 跑道地帶與平整區尺寸規範.....	22
表 2.9 煞停位置估算守則	24
表 3.1 經濟分析決策準則說明	50
表 4.1 國內機場設計機型與最大使用機型分類表	51
表 4.2 國內機場跑道長度檢核表	54
表 4.3 國內機場安全區長度檢核表	57
表 4.4 國內機場安全區長度檢核表	59
表 5.1 ESCO 公司建議 EMAS 尺寸與價位表.....	63
表 5.2 FAA 發布之航空勤務與資產價值表.....	65
表 5.3 事故航機乘載類型統計表	69
表 5.4 航機損傷與事故傷亡人數統計-依航機重分類	69
表 5.5 航機損傷與事故傷亡人數統計-依財損紀錄分類	70
表 5.6 衝出跑道長度對應煞停比例	74
表 5.7 由 FAA AC 150/5220-22A 計算攔截床等效倍率	76
表 5.8 ESCO 公司建議國內設置 EMAS 之等效倍率計算.....	77
表 5.9 替選方案要素比較表	89
表 5.10 地價改變敏感度分析結果	91
表 5.11 EMAS 維修比例改變敏感度分析結果.....	92
表 5.12 起降量改變敏感度分析結果	93

第一章 緒論

1.1 緣起

歷年發生的航空事故有許多發生於機場內，其中尤以跑道上發生的事故最為嚴重，依據美國國家運輸安全委員會(National Transportation Safety Board, NTSB)於 2008 年 10 月更新之飛安事故資料庫紀錄顯示，64,243 筆事件紀錄中有 26,990 件發生於機場內，33,226 件發生於機場外，顯示機場內發生事件佔航空事故中約 42%比例。此類事故雖不若空中事故必然會造成極嚴重傷亡，但發生頻繁，且事故發生時會造成跑道封閉、延誤班機、影響機場運作，而造成經濟上的衝擊。對於業務繁忙之大型機場，封閉跑道除造成機場與航運公司營運損失外，也連帶影響人流物流輸送、破壞周圍交通系統之平衡，是必須避免的嚴重狀況；如何有效降低事故發生率及發生時造成的經濟損失便成機場營運考量重點之一。國際上多年來有許多官方與研究機構致力於改善飛航安全，除制定完整詳細之人員操作、訓練規範外，也持續改善航機、場站及空域之安全，並投入於開發各類最新科技設備，期能使飛安事故損失降至最低。近年因應層出不窮之衝出/滑出跑道事故，美國聯邦飛航總署(Federal Aviation Administration, FAA)已公布一工程材料阻擋系統，可有效攔截衝出跑道之民航機，並為其公布相關民航規範與建設財務分析文件，期能推廣至各大機場，有效降低事故損失。

在天候不佳或駕駛員操縱不當時，易發生航機衝出或偏離跑道的事故，在機場跑道周圍安全區域不足的情況下有極大可能發生嚴重撞擊事故。究其原因，機場建設時會依照當時既有規定設計跑道長度與位置，但近年來航機逐漸加大、加重，雖航程與承載能力皆有所提升，但對於跑道長度及安全區域需求相對增加，安全區域之規範尺寸多年來也因應航機需求逐漸增大，但較具歷史之機場常受限於周遭環境而無法進行跑道區域延長的建設、或為因應大型航機起降延長跑道致使跑道兩端無足夠安全區域。常見機場拓建問題如市區機場周邊限高範圍受既有建物影響難以拓展、機場周圍存在沼澤、河流或懸崖等天然地障，或有高經濟價值建物如橋梁、幹道

等阻礙，拓展跑道區域尺寸須付出高昂代價。

在跑道長度餘裕不足或安全區域未達建議尺寸的狀況下，航機發生衝出跑道事故的風險相對提高，此時建設跑道攔截系統便成一可行方案。但因應不同機場經濟規模與環境特性，裝置跑道攔截系統之效益各有不同，在有跑道安全改善需求的機場，如何就有限資金選擇合適改善方案並追求最大效益，便成為機場發展之目標。

FAA 雖公布攔截系統相關建議與財務分析文件，但該類文件僅在選定裝設攔截系統的前提下就裝設方式與機場區域重置等作為影響進行分析，並未對是否選擇裝設攔截系統的決策進行討論，對有意改善跑道安全的機場主管單位無法提供明確指引，亦無法輕易進行評估。

1.2 研究目的

FAA 雖對工程材料阻擋系統公布民航指南與財務分析文件，但僅就已決策裝設系統的機場探討不同裝設方式之差異與影響，並未分析是否有裝設價值，或與其他方案比較經濟價值，對有裝設考量之機場並無助於決策進行。考量近期海峽兩岸交流頻繁，對應逐漸增多之航運量，且國內數個機場也有整建之需求，是否裝設攔截系統可能為發展考量之一，本研究欲就此課題進行探討，整理現有資訊，嘗試建立一評估流程，並提供研究成果供參考。

為確實了解民航用攔截系統之設計與功效，並對國內各機場適用性進行了解，本研究擬收集國際上現有攔截系統資料，並參考國內機場營運現狀，建立一通用評估模式，分析各機場跑道現況，了解跑道長度與安全區域是否合乎規範，及是否有安裝跑道攔截系統的需求，並針對不同跑道區域改善方案進行經濟分析，最後輸出合適改善方案清單供機場管理者決策。

因國內各機場配置情形各有不同，在進行評估時必須將周遭地理環境納入考量，並了解跑道與安全區長度是否足夠。在有不符規範時則應考量

拓建工程或裝設攔截系統等改善方案，因應機場營運規模應有不同程度規劃，依照機場、航機設備與生命、時間價值可進行經濟分析。分析時不將外部效應量化納入計算，僅列出供管理者參考。

模式輸出方案清單為可行且適用方案之經濟資訊與影響列表，但並未提出最適方案，因各方案牽涉外部效應不一，應由決策者自行決斷或另行探討外部效應之價值後再行決策。

1.3 研究範圍與方法

因研究目標為對機場跑道與改善策略提出建議，故研究範圍限定於機場及相關事物；進行經濟分析時也以機場管理者為考量重點，分析對象包含機場、航空公司及旅客，主要計算事故損失與改善方案對以上三者之影響，其餘如環保、交通、社會衝擊等外部效應因難以量化比較，本研究將不深入計算，僅列出供決策者考量。分析時考量要素包含事故損失、事發機率與嚴重度期望值、各改善方案支出與影響、效果及經濟效益等。

傳統經濟分析常使用成本效益比較法進行經濟方面計算，並配合淨現值法將貨幣單位轉換為同年度水準以便計算。此類方法可明確顯示金額估計值，便於支出估計，本研究將採用此法為基礎進行經濟計算，另考量近年多準則評估方法盛行，本研究也將參考該類方法將環保、交通等新興課題另外進行初步探討。

1.4 研究流程

確立研究範圍後，將分別進行文獻回顧與事故資料分析，如圖 1-1 所示。文獻回顧包含現有機場跑道及安全區域相關規範，將用以確認國內機場現況；現有機場設備供應商也有不同攔截系統產品，應進行了解與比較其效能與特性；由歷年機場整建經濟、決策相關文獻可得知分析時各種決策模式、考量項目、分析方法與步驟；由歷年事故資料整理可了解衝出/滑出跑道類型事故肇因與影響範圍，並由事故機率估測事發機率與損失，納入經濟分析模式內。

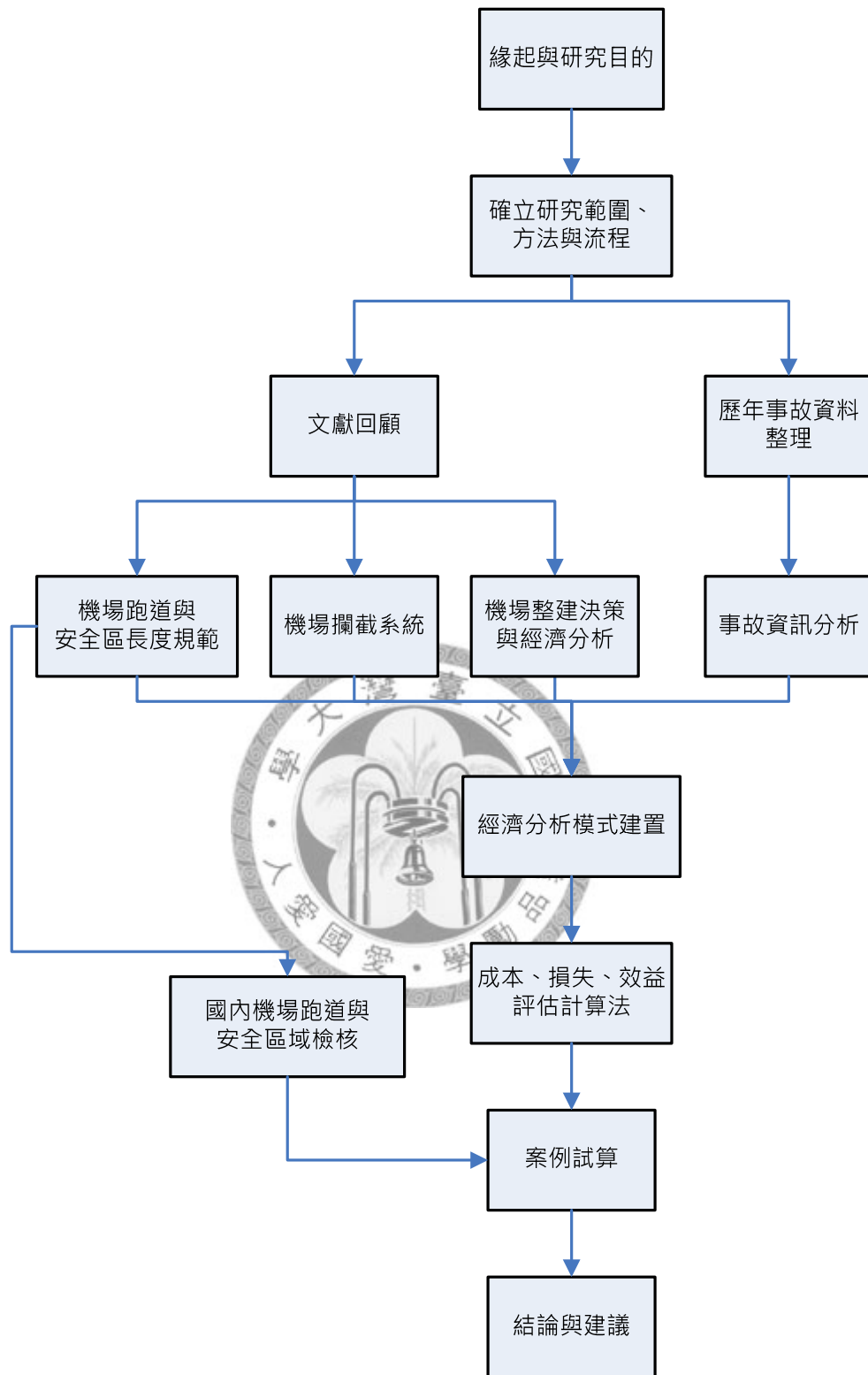


圖 1.1 研究流程圖

第二章 文獻回顧

2.1 民用機場跑道及安全區域相關規範與研究

民用機場為提供完善服務及良好安全性，機場設施皆應依照一定規範設置及保養，以營造通用之航機運行環境。目前國際常見之規範為 ICAO 及美國 FAA 兩系統，具規模之民航機場通常可符合兩者之規定；國內現行之航空規定以 ICAO 規範為主要參考來源訂定，並參考 FAA 規範進行補充。為了解國內機場跑道及安全區現狀，需由以上二組織的規範進行比較並釐清異同處。

2.1.1 FAA 規範

美國聯邦飛航總署(Federal Aviation Administration, FAA)是美國運輸部門(U.S. Department of Transportation)下主掌美國民航事務之機關，目前為世界上最具影響力之官方飛航管理機構。FAA 除管理航空事務外，也致力於發展航管與導航系統、改善飛航安全、推動飛航技術研發等業務。

FAA 有發布一系列聯邦航空規範(Federal Aviation Regulations, FAR)及民航通告(Advisory Circular)，對各項機場、營運事務進行規範並提出具體作法與建議。其中 AC 150/5300-13 Airport Design[1]中對於機場各設施設計有詳細規範，為保障航機運作安全，跑道需依照一定規範設計，且跑道周圍有定義各種區域需保持淨空，自 1989 年發布以來，已經多次修正，目前最新修正版本為 2008 年 11 月發布之 Change14。而現行跑道長度設計則獨立敘述於 2005 年 7 月發布之 AC 150/5325-4B[2]中。每一機場跑道長度設計時須依照不同設計機型取得基本跑道長度，再依照跑道坡度、潮濕情形、海拔高度等參數進行修正，所得結果即為 FAA 建議跑道設計長度。除基本跑道長度外，FAA 也另外規範航機進場速度大於 121knots(海浬)的跑道鋪面末端需保留 300m(1,000ft)長度的安全區域，以避免衝出跑道事故發生時的損傷。以下將對 FAA AC150/5325-4B 中跑道長度設計進行概述。

1. 設計基本跑道長度時有以下假設與定義：

- (1) 假設跑道為無風、乾燥、無障礙且平坦無坡度
- (2) 跑道各起降機種中需最大跑道長度者為跑道設計機型
- (3) 最大起飛重 5,670kg(12,500lbs)以下者為小型飛機
- (4) 最大起飛重 5,670kg 以上者為大型飛機
- (5) 航機最大起飛重 Maximum Certificated Takeoff Weight 以簡稱 MTOW 表示

跑道中心線最高與最低點之高程差除以跑道長為有效跑道坡度

進場速度(approaching speed)以 1.3 倍失速速度(stall speed)計算

FAA 設計環境皆假設為無風狀態，並未考量順逆風之影響。

2. 設計跑道長度時須先決定設計機型，由未來至少五年內有定期航班之航機中選擇跑道長度需求最大機型進行設計。

3. 由設計機型之 MTOW 不同等級分別計算跑道長度，當設計機型 MTOW 超過 27,200kg(60,000lbs)，各種機型將獨立計算跑道長；設計機型 MTOW 介於 27,200kg 與 5,670kg 間者可以機隊(fleet)航機組成進行計算，此法適用航空業發達、中小型機型眾多的美國，可簡化航機種類複雜之區域機場設計難度，但並不適用於國內狀況，且設計法中涵蓋之機型國內皆無使用，應就現用各機型逐一討論；MTOW 小於 5,670kg 者則可由 FAA 提供之圖表直接進行概算。各種起降狀態計算所得跑道長度需求中最長者即為設計跑道長。

4. FAA 將不同重量與降落速度之機型分類列表，如表 2.1 所示，不同類型使用不同計算法，但若航機製造商提供之飛機性能表現所需跑道較長，則以較長者為準。

表 2.1 跑道長度設計機型分類表[2]

航機重量分類(MTOW)		設計法
12,500lbs(5,670kg)以下	進場速度低於 30knots	參考小型機航機組成
	進場速度介於 30~50knots	參考小型機航機組成
	進場速度大於 50knots	參考小型機航機組成 參考小型機航機組成
12,500lbs(5,670kg)~60,000lbs(27,200kg)		參考大型機航機組成
60,000lbs(27,200kg)以上或 Regional jet*機型		大型機種獨立計算

*regional jet 通常指乘客 100 人以下的噴射機

5. 最大起飛重小於 12,500lbs(5,670kg)之機種中

- (1) 小型飛機進場速度低於 30knots 者建議跑道長度為 $300\text{ft}(92\text{m}) + \text{''機場海拔''} \times 0.03$
- (2) 小型飛機進場速度介於 30~50knots 者建議跑道長度為 $800\text{ft}(244\text{m}) + \text{''機場海拔''} \times 0.08$
- (3) 小型飛機進場時速高於 50knots，且乘客少於 10 人者須參考圖 2.1 設計，乘客數多於 10 人則參考圖 2.2，由圖可得建議跑道長。



Example:

Temperature (mean day max hot month): 59° F (15° C)
 Airport Elevation: Mean Sea Level

Note: Dashed lines shown in the table are mid values of adjacent solid lines.

Recommended Runway Length:

For 95% = 2,700 feet (823 m)
 For 100% = 3,200 feet (975 m)

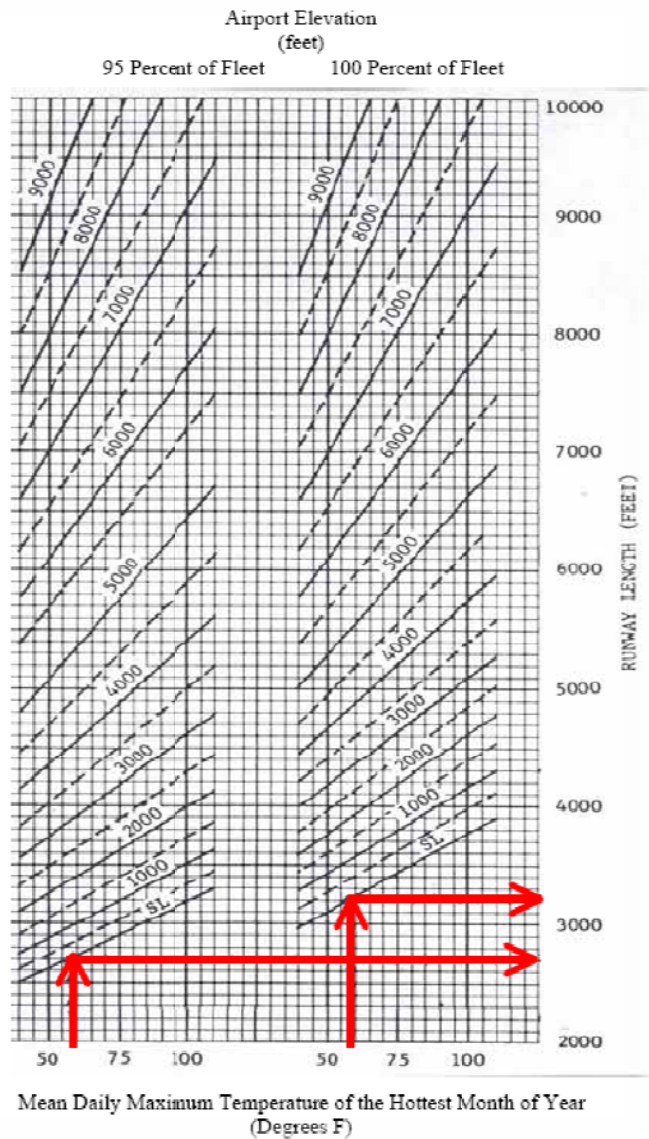


圖 2.1 小型機進場速度>50knots 且乘客少於 10 人者跑道長設計圖[2]

使用圖 2.1 時，設計者可由機場最熱月平均最高日溫(°F)對應圖上不同海拔估算出跑道長度。依照 95%機隊需求或 100%機隊需求可得不同之建議跑道長度。

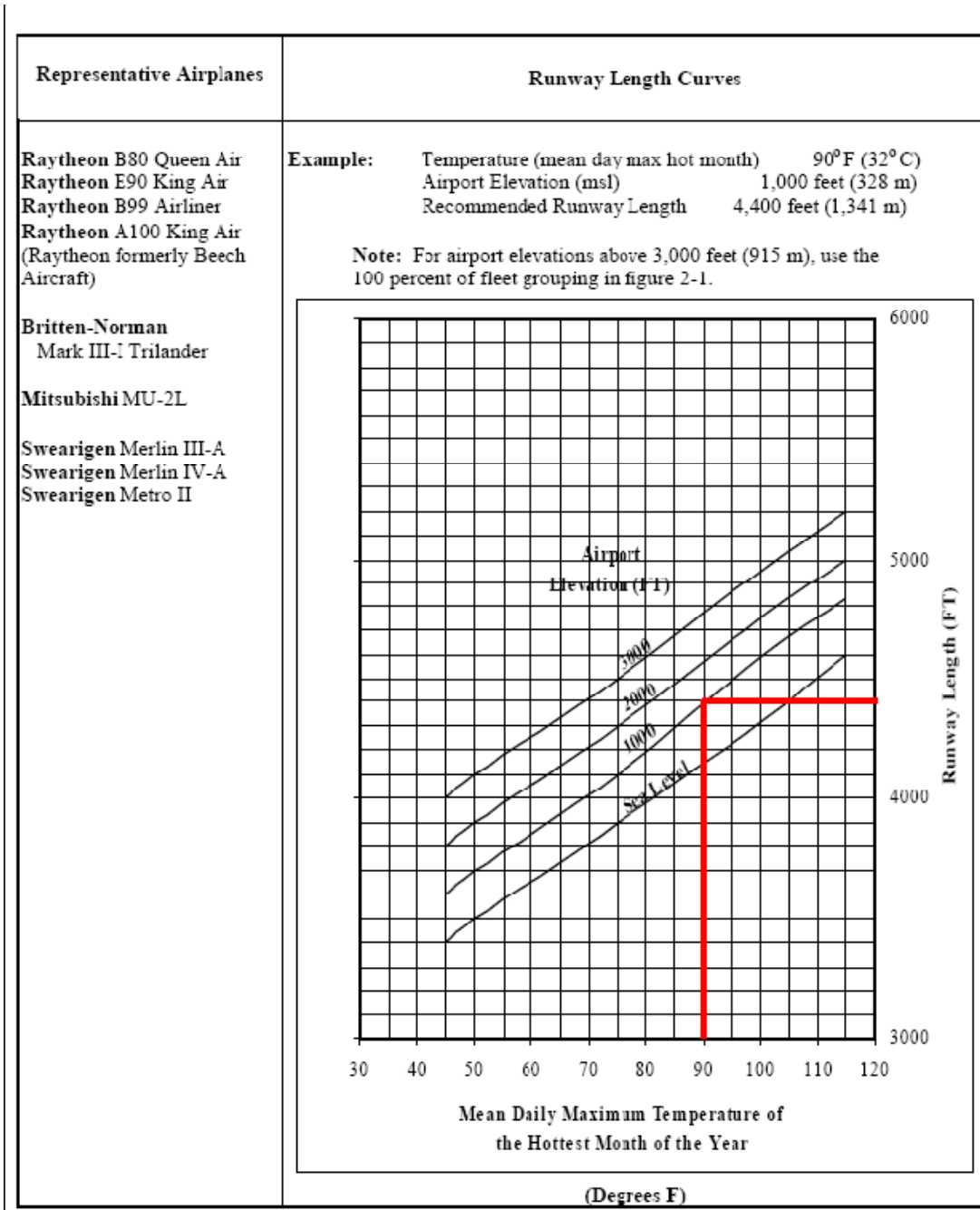


圖 2.2 小型機進場時速>50knots 且乘客多於 10 人者跑道長設計圖[2]

圖 2.2 使用方式同圖 2.1，以年最熱月平均最高日溫對照圖表中不同海拔高度得建議跑道長度。

以上設計都是基於無風、MTOW、理想襟翼設定等情形下變換機場海拔與溫度求得，其餘因素如相對濕度、跑道有效坡度等雖會影響跑道長度，但已設定為增加 10%跑道長度並涵蓋於設計曲線中。

6. 最大起飛重介於 12,500lb(5,670kg)至 60,000lb(27,200kg)之機型需參考圖 2.3 與圖 2.4 及表 2.2、表 2.3 進行設計。但此設計法僅適用海拔 8,000ft(2,439m)以下機場，其餘需洽詢航機製造商。另外，在海拔 5,000ft(1,524m)以上時以圖 2.1 或 2.2 求得之跑道長可能較圖 2.3 與 2.4 長，此時以較長者為準。

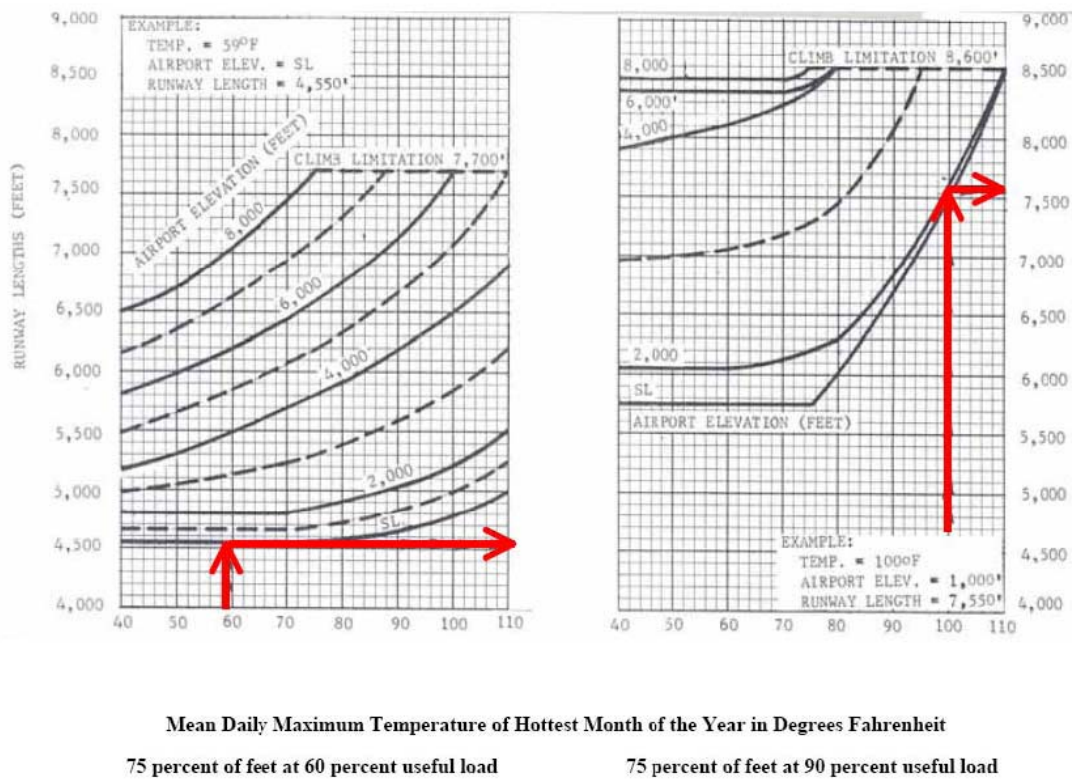
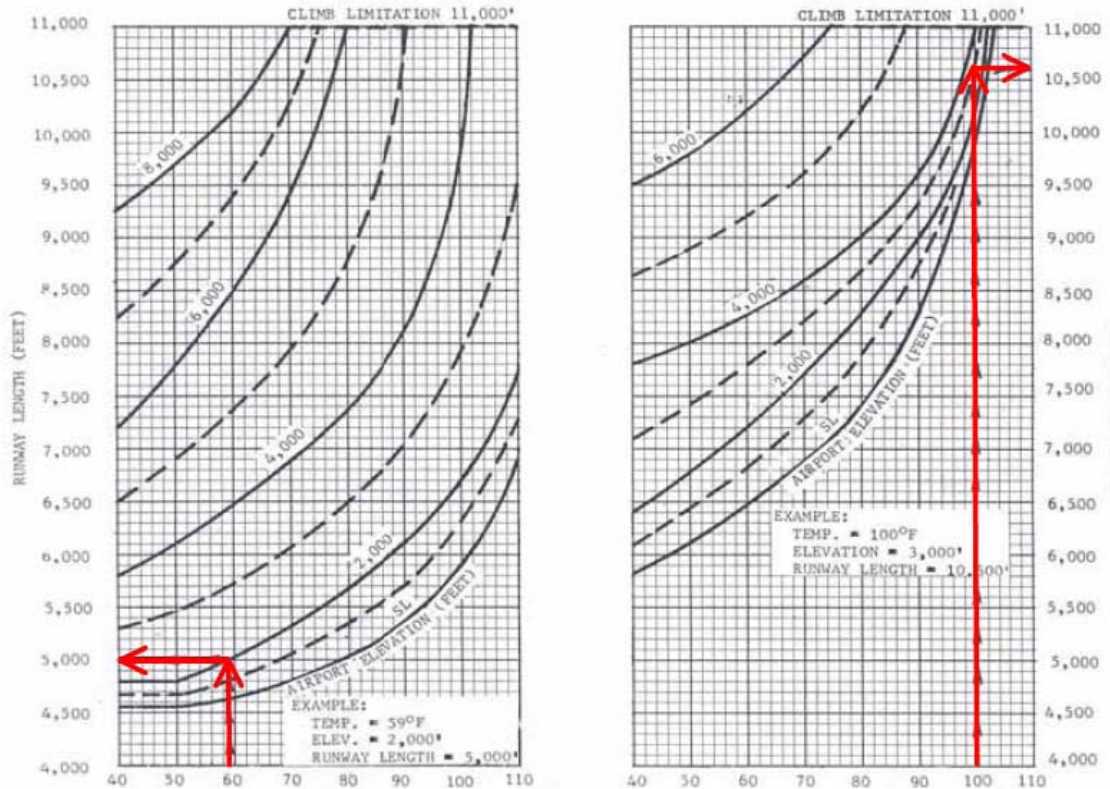


圖 2.3 75%機隊機型組成於 60%及 90%可用載重運作之跑道長度設計圖[2]

圖 2.3 之使用方法為假設某機場能滿足 75%機隊機型以最大載重量(載客量或貨物量)之 60%或 90%運作，對照圖表即可得知建議跑道長度。機隊機型組成可參考表 2.2，大多為美國境內常用小型飛機。



Mean Daily Maximum Temperature of Hottest Month of the Year in Degrees Fahrenheit

100 percent of feet at 60 percent useful load

100 percent of feet at 90 percent useful load

圖 2.4 100%機隊機型組合於 60%及 90%載重運作之跑道長度設計圖[2]

圖 2.4 則是設定欲滿足全部機種起降需求時跑道長度表，機隊組成機型可參考表 2.2 與表 2.3，此圖為較保守狀態，故計算出之建議跑道長度較由圖 2.3 所得之長度稍長。

表 2.2 75%機隊組成參考機型[2]

AC 150/5325-4B

7/1/2005

Table 3-1. Airplanes that Make Up 75 Percent of the Fleet

Manufacturer	Model	Manufacturer	Model
Aerospatiale	Sn-601 Corvette	Dassault	Falcon 10
Bae	125-700	Dassault	Falcon 20
Beech Jet	400A	Dassault	Falcon 50/50 EX
Beech Jet	Premier I	Dassault	Falcon 900/900B
Beech Jet	2000 Starship	Israel Aircraft Industries (IAI)	Jet Commander 1121
Bombardier	Challenger 300	IAI	Westwind 1123/1124
Cessna	500 Citation/501Citation Sp	Learjet	20 Series
Cessna	Citation I/II/III	Learjet	31/31A/31A ER
Cessna	525A Citation II (CJ-2)	Learjet	35/35A/36/36A
Cessna	550 Citation Bravo	Learjet	40/45
Cessna	550 Citation II	Mitsubishi	Mu-300 Diamond
Cessna	551 Citation II/Special	Raytheon	390 Premier
Cessna	552 Citation	Raytheon Hawker	400/400 XP
Cessna	560 Citation Encore	Raytheon Hawker	600
Cessna	560/560 XL Citation Excel	Sabreliner	40/60
Cessna	560 Citation V Ultra	Sabreliner	75A
Cessna	650 Citation VII	Sabreliner	80
Cessna	680 Citation Sovereign	Sabreliner	T-39

表 2.3 剩餘 25%機隊組成機型[2]

Manufacturer	Model
Bae	Corporate 800/1000
Eombardier	600 Challenger
Eombardier	601/601-3A/3ER Challenger
Eombardier	604 Challenger
Eombardier	BD-100 Continental
Cessna	S550 Citation S/II
Cessna	650 Citation III/IV
Cessna	750 Citation X
Dassault	Falcon 900C/900EX
Dassault	Falcon 2000/2000EX
Israel Aircraft Industries (IAI)	Astra 1125
IAI	Galaxy 1126
Learjet	45 XR
Learjet	55/55B/55C
Learjet	60
Raytheon/Hawker	Horizon
Raytheon/Hawker	800/800 XP
Raytheon/Hawker	1000
Sabreliner	65/75

由圖 2.3 與圖 2.4 所求得之跑道長度，尚須依照機場環境做修正。以下為修正項目及修正因數：

- (1) 航機起飛需求之跑道長需依照跑道坡度而修改，跑道高程差每增加 0.3m 則跑道長需增加 3m。

- (2) 潮濕狀況之跑道，滿足 60%機型之跑道長需增長 15%，但全長不應超過 1,676m；滿足 90%機型之跑道需增長 15%但全長不超過 2,133m。
 - (3) 海拔 1,524m(5,000ft)以上之機場需額外提供跑道長度以供 5,670kg 以上之螺旋槳飛機運作。
7. MTOW 超過 12,500lbs(5,670kg)之航機須參照各製造商所提供資料求得建議跑道長度。航機性能表現通常列於航機之機場設計手冊 (Airport Planning Manual, APM)，或直接由航機製造商之網站取得。若航機製造商未提供鋪面狀態或高層差等修正因子，將依以下項目進行修正：

- (1) 襟翼角度以最短跑道長度之狀態為設計基準。
- (2) 潮濕鋪面之渦輪引擎航機降落跑道長度為乾燥狀態下跑道長度增加 15%，但不超過 1,676m。
- (3) 對於 5,670kg 以上航機，起飛狀態需求跑道長需依照跑道坡度而修改，跑道高程差每增加 0.3m 則跑道長需增加 3m。
- (4) 若無起飛長度資料，則可用濕跑道落地長度除以 0.6 得之，或乾跑道落地長度除以 0.6 再乘以 1.15。

FAA 提供此種計算法之背景為美國航空運輸發達，境內機場極多，但多數機場僅起降中小型飛機，故由 FAA 直接提供中小型航機適用的圖表以簡化設計難度。但國內現有機型大多未列於 FAA 之小型航機表中，故應由航機製造商資料獨立計算。

除 AC150/5325-4B 獨立提供跑道長度設計外，與跑道周遭安全區域相關規範多列於 AC150/5300-13 中，FAA 規範與跑道周遭相關之安全區域種類繁多，以下將對跑道地面相關區域規範進行說明。因 FAA 規範中許多跑道相關區域尺寸與設計機型大小有關，應先說明航機分類方式。

FAA 規定進場分類為航機以最大降落重時不同降落速度，分類如下：

A 類：進場速度 91knots 以下

B 類：進場速度介於 91knots 與 121knots 間

C 類：進場速度介於 121knots 與 141knots 間

D 類：進場速度介於 141knots 與 166knots 間

E 類：進場速度大於 166knots 者

表 2.4 為 FAA AC150/5300-13 中之航機設計分類表，號數大者代表機型較大較重，對跑道等設施要求也較高。

表 2.4 飛機設計群組(ADG, Airplane Design Group)[1]

Group#	尾翼高(ft)	翼展(ft)
I	<20	<49
II	20-<30	49-<79
III	30-<45	79-<118
IV	45-<60	118-<171
V	60-<66	171-<214
VI	66-<80	214-<262

緩衝區(Stopway, SWY)：FAA 定義緩衝區為一矩形地區，位於起飛跑道後方，中心對齊跑道中心線，鋪面可支承放棄起飛之航機不致造成機身結構損壞，寬度至少要與跑道等寬。緩衝區因僅供緊急狀態使用，相較於全強度設計的跑道實用價值不高且價格亦不低。緩衝區上方依照 FAA 規定會漆有黃色箭號以供辨識，配置與外觀如圖 2.5 所示。

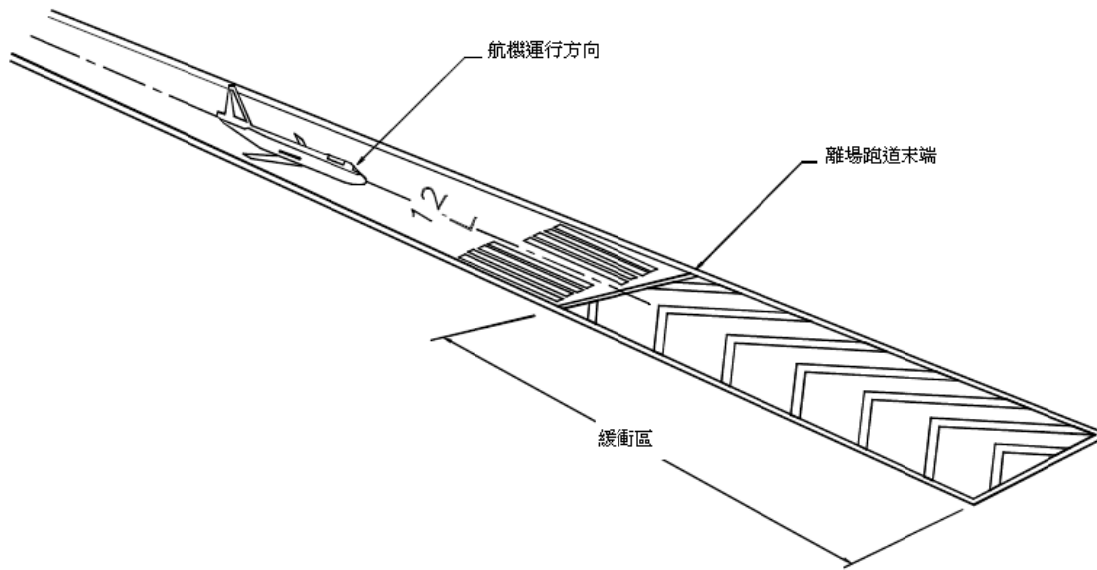


圖 2.5 緩衝區示意圖[1]

清除區(Clearway, CWY)：位於跑道後方延伸之明確定義區域，以跑道中心延伸線為中心線對稱配置，供渦輪引擎航機完成起飛，如圖 2.6 所示。Clearway 寬度至少需有 150m，長度建議上限為 300m，上坡坡度不得高於 1.25%，除跑道末端燈不得高於 66cm 並配置於跑道外，清除區亦不可有突出障礙物以免碰觸起飛航機。與緩衝區不同，清除區不必適合供取消起飛的航機煞停。

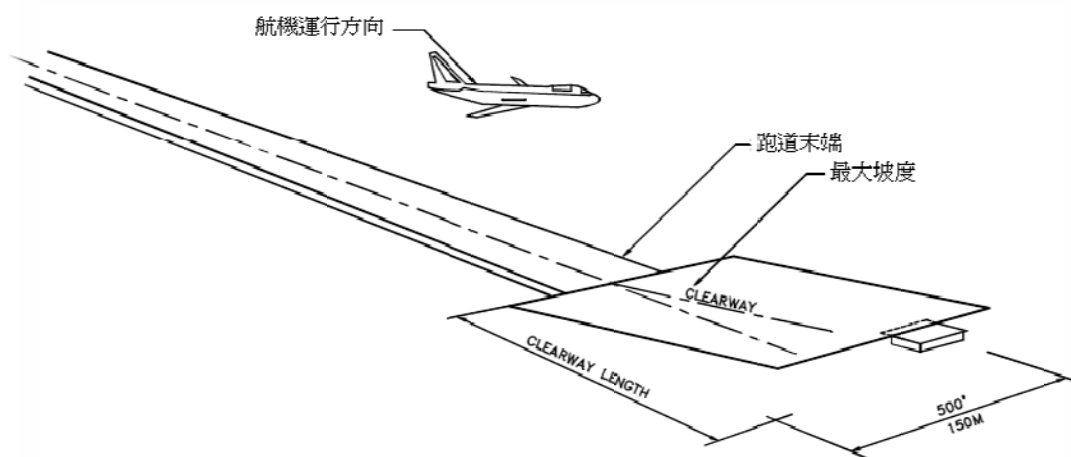


圖 2.6 清除區配置圖[1]

障礙物淨空區(Object Free Area, OFA)：以跑道、滑行道等中心線向兩側延伸，除助導航或地面調度必要設施外不可有任何障礙物的地區。OFA 位置如圖 2.7 所示。尺寸則依據機型及跑道設計而不同，寬度 75~240m，長度自跑道端延伸 72~300m 不等，如表 2.5 所示。

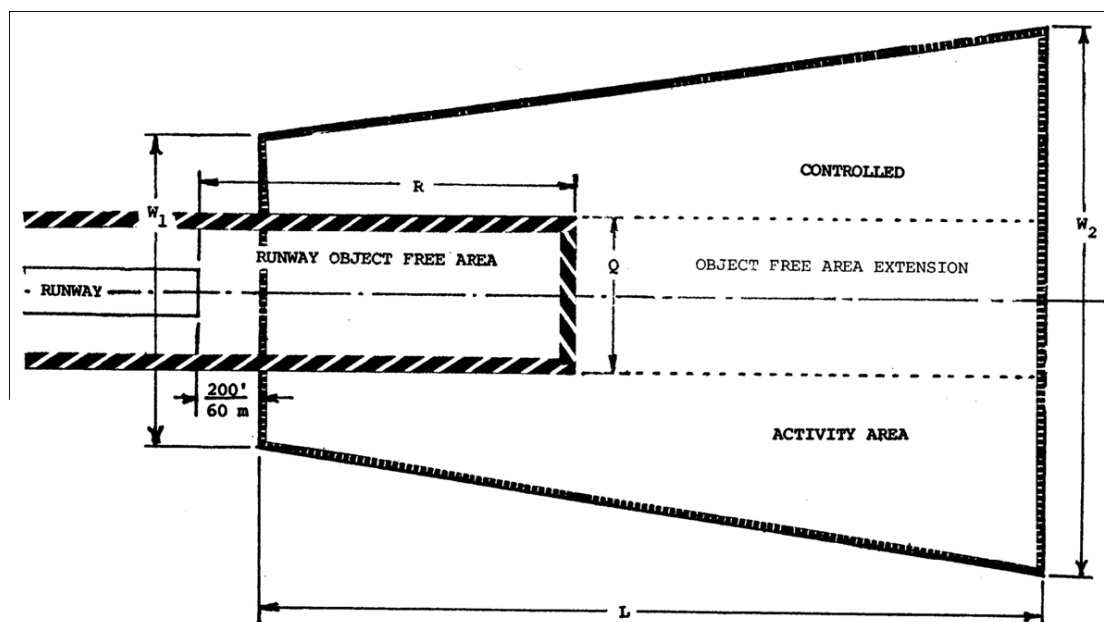


圖 2.7 OFA 配置圖[1]

跑道安全區(Runway Safety Area, RSA)：FAA 定義為跑道周圍用以減少航機衝出跑道損失的地區，依照設計機型有不同大小，以跑道中心線為中心，向外延伸。若跑道有緩衝區(Stopway)則 RSA 自緩衝區底起算，若無則由跑道端點起算。實際配置如圖 2.8 所示[3]，表 2.5 則為不同群組飛機之 RSA 尺寸表，大型機場建議值為自跑道端延伸 300m×150m。

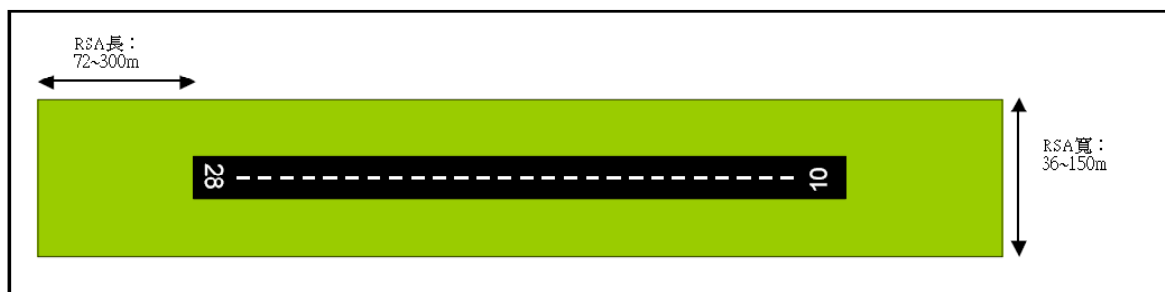


圖 2.8 FAA 規範跑道 RSA 範圍示意圖[3]

表 2.5 不同分類之跑道安全區域尺寸表[1]

落地分類 A&B ，進場能見度 1,200m 以上						
項目	設計群組					
	I*	II	III	IV		
RSA 寬(m)	36	45	90	150		
跑道進場端前方 RSA 長(m)	72	90	180	180		
跑道末端 RSA 長(m)	72	90	180	300		
跑道 OFA 寬(m)	120	150	240	240		
跑道端外 OFA 長(m)	72	90	180	300		
落地分類 A&B ，進場能見度 1,200m 以下						
項目	設計群組					
	I*	II	III	IV		
RSA 寬(m)	90	90	120	150		
跑道進場端前方 RSA 長(m)	180	180	180	180		
跑道末端 RSA 長(m)	180	180	240	300		
跑道 OFA 寬(m)	240	240	240	240		
跑道端外 OFA 長(m)	180	180	240	300		

表 2.5 不同分類之跑道安全區域尺寸表(續)

落地分類 C&D						
項目	設計群組					
	I *	II	III	IV	V	VI
RSA 寬(m)	150	150	150	150	150	150
跑道落地端前方 RSA 長(m)	180	180	180	180	180	180
跑道末端 RSA 長(m)	300	300	300	300	300	300
跑道 OFA 寬(m)	240	240	240	240	240	240
跑道端外 OFA 長(m)	300	300	300	300	300	300

*I 某些機型需求另有折減，請參考 FAA AC150/5300

2.1.2 ICAO 規範

國際民航組織(International Civil Aviation Organization, ICAO)是聯合國組織下一機關，主管國際民航事務，並負責制定航空標準與程序。自 1947 年成立以來，ICAO 制定之規範已成世界民航業之共同標準，營運國際航線之各機場皆須依照規範運作。ICAO 發布之 Aerodrome Design Manual Part 1 Runways[4]對於跑道長度計算參數之定義有明確規範，應依照設計機型之起飛、降落長度等資訊進行計算，並視情況修正，以下為設計步驟：

1. 依據設計機型之參考跑道長度，配合機場與跑道實際狀況進行修正。
2. 由飛機製造商提供之航機操作手冊中，有關跑道長度資料之提供方式不同，例如：不同引擎、翼襟角度、道面狀況、載重、溫度等條件下之起飛與降落參考跑道長度。跑道長度選用時應確認該長度之假設基準，再視現場狀況作適當之修正。

3. 起飛跑道長度修正項目包括高程、溫度及縱坡度；降落跑道長度僅需進行高程修正。

4. 修正參數說明如下：

(1) 高程修正－機場高程自海平面起，每增加 300m，修正值增加 7%。

$$L_e = L_0 + L_0 \times (E/300) \times 0.07$$

式中 L_e ：高程修正後之跑道長度(m)

L_0 ：參考跑道長度(m)

E：機場高程(m)

(2) 溫度修正－機場參考溫度(T)每大於標準大氣狀態下溫度(T_a)1°C 時，跑道長度增加 1%。

$$L_{et} = L_e + L_e \times (T - T_a) \times 0.01$$

式中 L_{et} ：高程及溫度修正後之跑道長度

T：機場參考溫度（至少 3 年，每年最熱月份平均日最高溫）

T_a ：標準大氣狀態下之溫度，採 15°C

(3) 縱坡度修正：當基本跑道長度 ≥ 900 m時，跑道有效縱坡度每增加 1%，跑道長度需增加 10%。

$$L = L_{ets} = L_{et} + L_{et} \times (S) \times 0.1$$

式中 $L=L_{ets}$ =高程、溫度及縱坡度修正後之實際所需跑道長度

S=跑道有效縱坡度 = (最高點標高－最低點標高) ÷ 跑道全長

5. 修正後所得即為機場設計跑道長度

除跑道長度設計外，ICAO Annex 14 - Aerodrome Design& Operations[5] 對於機場設施有明確定義與規範，以下為此文中提及跑道相關區域之定義與規範摘要：

跑道地帶(Runway Strip)：ICAO 規定跑道周圍須有平坦、密實之地面且無堅固之障礙物，呈帶狀之平面區域以減少航機衝出跑道的傷害，及保護起降時飛越的飛機。跑道地帶定義範圍為包含跑道與緩衝區的區域，依

據機場分級有不同大小，至少須從跑道端點前方/跑道末端後方或緩衝區後方延伸 30~60m，寬度則為中心線左右延伸 30~150m 不等。跑道地帶不可有目視導航設施以外的固定物，導航設施也須為易碎材質。跑道地帶須有平整區以減輕航機衝出跑道時的損傷，並提供航機完成起飛動作，平整區表面需與鄰接跑道、道肩或緩衝區鋪面平順連接，跑道端點前方 30m 應作噴氣侵蝕防止措施以保護落地航機。ICAO 航站分類如表 2.6 所示，依機場跑道長度與設計機型不同，跑道與道肩寬、跑道地帶與平整鋪面區域尺寸各有不同，如表 2.7 與 2.8 所示。

表 2.6 ICAO 航站分類表[5]

航站分類代碼	跑道長度(m)	航站分類字碼	翼展(m)	外主輪距*(m)
1	<800	A	<15	<4.5
2	800-<1200	B	15-<24	4.5-<6
3	1200-<1800	C	24-<36	6-<9
4	≥1800	D	36-<52	9-<14
		E	52-<65	9-<14

表 2.7 ICAO 規範機場跑道與道肩寬度[5]

跑道寬(m)	航站字碼					
	A	B	C	D	E	F
航站代碼						
1*	18	18	23			
2*	23	23	30			
3	30	30	30	40		
4			45	45	45	60
道肩寬‡			60	60	60	75

*代碼 1 與 2 機場鋪面跑道及道肩寬度不足 60m 時精確儀器進場跑道寬度不得小於 30m

‡對稱於跑道中心線

表 2.8 ICAO 跑道地帶與平整區尺寸規範[5]

	航站代碼			
	1	2	3	4
跑道地帶長				
無儀降跑道	30	60	60	60
儀降跑道	60			
跑道地帶寬				
精確進場	150	150	300	300
非精確儀器進場	150	150	300	300
目視進場(無儀降跑道)	60	80	150	150
平整鋪面區寬度				
儀器進場	80	80	150§	150§
目視進場	60	80	150	150

§此類地區建議自跑道端起 150m 提供此寬度，並逐漸增寬至距離跑道端 300m 處達 210m 寬，並使其餘跑道區皆維持此寬度

緩衝區(Stopway): ICAO 定義為跑道後端矩形地區，寬度與跑道同寬，表面強度須足以支承放棄起飛之航機停止且不造成航機結構損傷。緩衝區表面須在潮濕狀況下提供良好抗滑能力，若緩衝區無鋪面則抗滑能力也不應低於相連之跑道。

清除區(Clearway): ICAO 定義為矩形地面或水域，由主管機關監控，使航機起飛可順利爬升之區域。起點為跑道端點，左右應延伸至少 75m，坡度需小於 1.25%，區域內不得有危害航機運作之障礙物。長度不應超過起飛可用長度的一半。

跑道端安全區(Runway End Safety Area, RESA): 對於 ICAO 代碼 3、4 或是儀降之 1、2 跑道，需在跑道後方設立一區域以降低衝出跑道的傷害。RESA 之位置為自跑道地帶起算至少應有 90m 長，ICAO 代碼 1、2 者建議達 120m；3、4 者則建議為 240m，寬度至少需為跑道兩倍寬，建議寬度與平整區同寬，配置如下圖 2.8 所示。

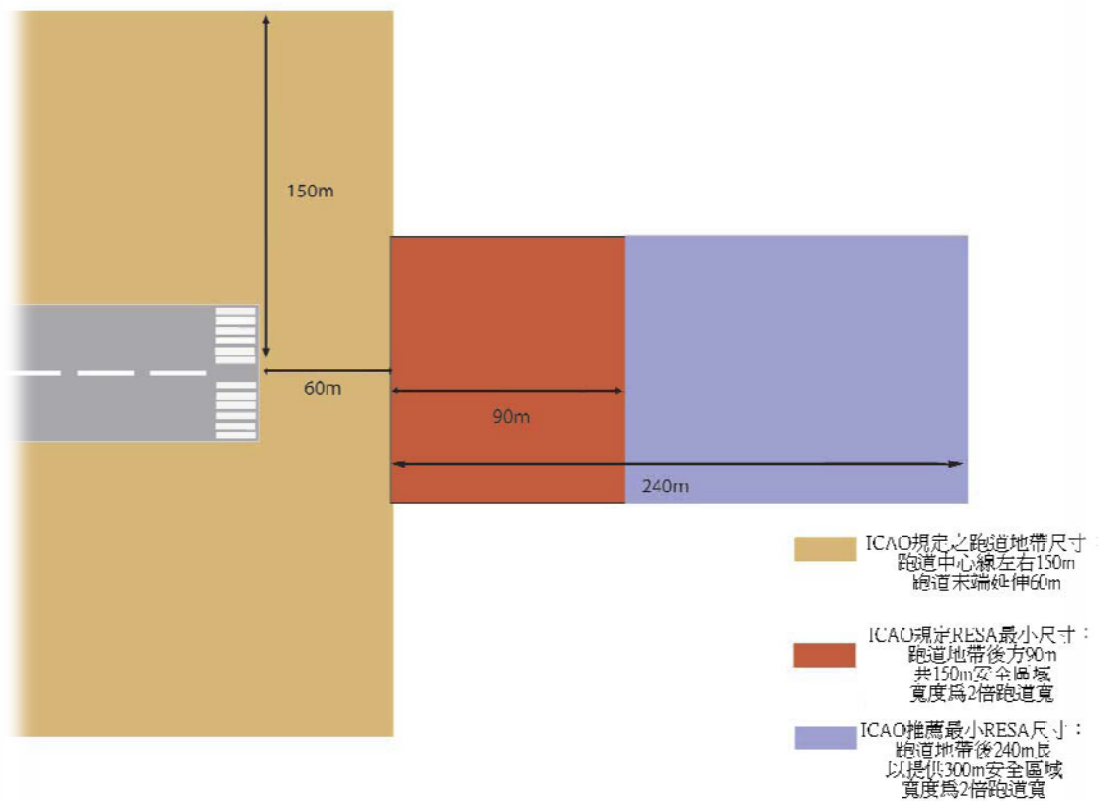


圖 2.9 ICAO 規範之 RESA 示意圖[6]

2.2 機場安全區域改善方式

機場營運皆須依循法規進行，航機起降行為也會受機場條件限制，若機場跑道長度不足以供某機型全載重起降時，該型航機需適當減重至限制載重以下才可起降，故一般皆認定機場跑道長度皆可供常用機型正常運作。

但機場跑道安全區域早期未受重視，機場建設時預留空間不多，近年隨規範改變而增大的安全區長度需求即為機場常見問題。在環境狀況許可的情形下，最簡易的安全區域改善方式即為延伸安全區域至規範長度建議值下限，並視現況盡量延長至建議值上限。但有安全區域問題的機場常受限於周遭環境而不易延長，此時就須考量其餘可有效減低航機衝出跑道風險的設施，FAA 也為此進行相關計畫對安全區域進行研究，提出各種安全區改善方案。

軍用機場皆設有攔截索或攔截網，可有效攔截軍機，但民航機因結構設計不同並不適用此類設施。近年國際上有企業開發民航機用攔截系統，已得美國 FAA 認可並為其修訂飛航指南中跑道安全區規範，也有財務規劃建議。近年 ICAO 會議也對此類設備大加討論，但尚未有相關規範出現。以下分別對攔截系統與整建決策文獻進行說明。

2.2.1 FAA 計畫與通告

FAA 於其發布之 AC91-79 Runway Overrun Prevention [7] 中對於航機衝出跑道之特性與狀態有具體描述，例如濕地煞停距離明顯高於乾燥表面、進場速度過高或位置過高時跑道煞停距離會增加…等，並提供駕駛員操作步驟參考，下表 2.10 為該文件中供中大型航機參考之跑道煞停位置估算表。

表 2.9 煞停位置估算守則[7]

狀況	對煞停距離影響
非穩定降落	無法預測
空速過高	
乾跑道	每 10knots 多 300ft
濕跑道	每 10knots 多 500ft
泥濘狀態	每 10knots 多 2500ft
正常空速	
跑道下坡	坡度每 1% 需多 10%
延遲落地	延遲秒數×230ft
進入跑道端線時高度過高	每 10ft 多 200ft
延遲煞停	延遲秒數×220ft

*僅供參考，以航機製造商提供資訊為準

由上表可看出當航機降落時一旦操作不當，極有可能衝出跑道。因衝出跑道為主管機關所關切之問題，FAA 也為此事發布一系列相關飛航指南，對跑道抗滑、材質、胎屑清理等有詳細規範，目的為減少航機衝出跑道的可能性。

與跑道安全區較明確相關之文件為 FAA Order 5200.8 Runway Safety Area Program[8]，此為 FAA 主導之計畫，要求 FAA 管轄的所有機場檢視現有安全區是否符合 AC150/5300-13 的規範並達到合適長度。文中並規定機場在合理範圍內應盡量延伸 RSA 長度，即使 RSA 並非完整矩形仍應盡量增加 RSA 大小。若無法達到 RSA 建議長度則可考量以下方案：

- a. 跑道遷移、重置或改變方向
- b. 現有跑道長度超出設計機型需求部份可適當縮減
- c. 跑道重置、遷移、整平或縮減等方法的組合
- d. 公告距離
- e. 工程材料阻擋系統(EMAS)

其中 EMAS 系統為 FAA 與 ESCO 公司合作開發，經 FAA 認可其功能，將裝設 EMAS 系統視為一改善安全區之方式，並為其公告相關文件。

2.2.2 EMAS

FAA 自 1995 年起與法商 ZODIAC 集團旗下 ESCO(Engineered Arresting Systems Corporation)公司合作進行民用航機攔截系統開發，發展出由低強度發泡性混凝土預鑄塊組合成的新型攔截床，並曾於 FAA 技術中心使用波音 727 型飛機以 35knots 速度衝入該攔截床測試，如圖 2.10 所示。初期試驗結果顯示該材料消能效果極佳，但承受衝擊之強度並不均勻。經多次試驗改良後，開發出商業化產品稱為 Engineered Material Arresting System(EMAS)，FAA 也認可其功用並為其發布 AC150/5220-22a Engineered Materials Arresting Systems (EMAS) for Aircraft Overruns[9]，認可 EMAS 的攔截功能，並認定在 RSA 長度不足的機場跑道可選擇裝設 EMAS，以達到建議 RSA 長度的效果。該公告也提供數種機型與設計攔截速度所需之 EMAS 系統長度設計曲線供參考。



圖 2.10 FAA 攔截床測試圖[10]

標準 EMAS 設計為裝設於跑道末端後方，一般設置於既有或最大可用安全區域末端，前方需鋪築足以承受航機煞停之鋪面，配置如圖 2.11 所示，並於進入攔截床前設置一導坡，導坡後方即為攔截床材料，攔截床材料為輕質發泡性混凝土，具有低強度、易粉碎的特性，上下層則覆蓋塑膠材料以保耐久性，並設有堆高機專用溝槽以便搬運施工，如圖 2.12 所示。

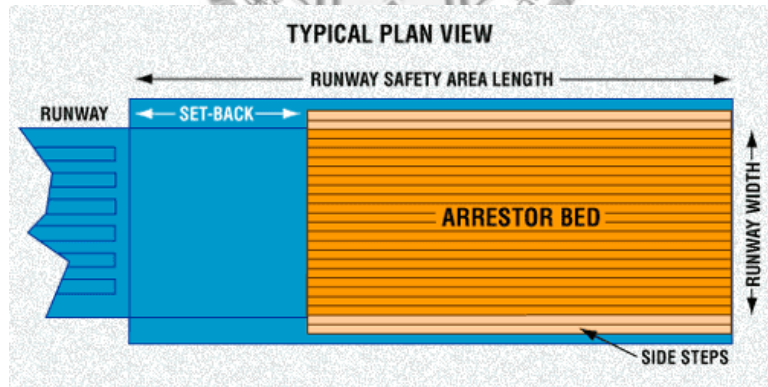


圖 2.11 EMAS 攔截床配置示意圖[10]

圖 2.12 EMAS 砌塊[10]

EMAS 砌塊為預鑄式設計，每塊皆為設計厚度，設置時不堆疊，僅整齊排列並於砌塊間上膠固定，然後施作防水與排水工程，施作完成後將如圖 2.13 與圖 2.14 所示，不妨礙航機與助導航設施正常運作，也不會造成明顯視覺阻礙。



圖 2.13 EMAS 外觀圖(一)



圖 2.14 EMAS 外觀圖(二)

EMAS 設計尺寸依照設計機型不同，設計機型越大、衝出速度越高者所需長度越長，厚度也較厚。航機衝出跑道後進入 EMAS 攔截床時機輪將會壓碎 EMAS 砌塊，並可有效減速，如下圖 2.15 所示。事故後僅需將損壞砌塊更新即可維持 EMAS 系統之攔截功能。



圖 2.15 EMAS 攔截效果[10]

EMAS 目前已於美國 20 餘機場裝設 30 座以上的攔截系統，至 2008 年底於全球已裝設 41 座攔截床，並有 5 次成功攔截經驗，其中最具代表性的經驗為美國 JFK 機場在 2005 年初曾攔截重達 600,512lb 之波音 747，

證明 EMAS 確實具有良好攔截效能，當時紀錄照片如圖 2.16 所示。數次攔截成功後都在短時間內將事故航機拖離跑道，並重新開放營運，有效降低對機場的衝擊。



圖 2.16 EMAS 於 JFK 機場攔截 747[10]

為提供 EMAS 裝置方式與決策參考，FAA 也於 FAA Order 5200.9 [11] 提出財務可行性建議與 EMAS 對 RSA 改善的範例供參考，提供範例探討裝設 EMAS 可避免沼澤填平而造成環境衝擊、不同等級 EMAS 設計對 RESA 的影響等，並提供 EMAS 裝設方式決策參考項目。但該文件僅著重於機場於選擇裝設 EMAS 的情境下進行跑道遷移、重置安全區等方案及 EMAS 裝置換算等效 RSA 長度估算等，並未對決策評估流程提出具體範例或建議，尤其未明確說明選擇裝設 EMAS 與否的依據。為此本研究將對機場是否決策裝設此類攔截系統進行探討。

另外 EMAS 雖有 FAA 為其效能背書，但並未公布任何材料特性與性能資訊，系統設計由 ESCO 公司提供，且材料使用後即需更換，故難以驗證其效能。

2.3.3 ERAS

民航機攔截系統除較為知名的 EMAS 外，另有美商 Grid Technologies (Gridtech)公司於 2002 年發表之 ERAS 系統，該系統全名為 Engineered Rootzone Arrestor System，設置於跑道末端外，表層有 4in 厚，名為 Advanced Turf 的多孔材料支撐草皮，下方則有 2ft 6in(約 65cm)厚，名為 Lytag® 的特殊輕質骨材，下方則為骨材基層，如圖 2.17 所示，圖 2.18 則為承重區表層 Advanced Turf 之配置方式，標準設計足以支撐消防車輛於上方行駛。該系統具良好排水性，在多雨地區亦可保持效用，且平時隱藏於跑道後方地下，上方為草皮，不會造成任何視覺影響。衝出跑道事故發生時航機因重量較重將會陷入 ERAS 系統，藉由壓密、排除骨材消除動能，從而達到攔截效果。

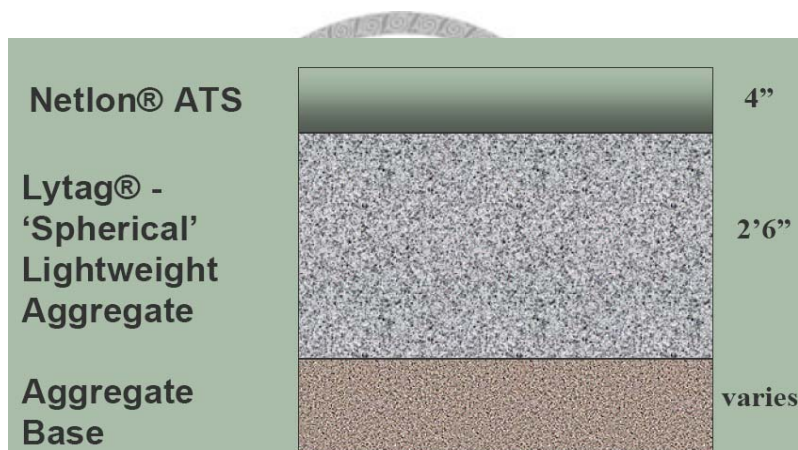


圖 2.17 ERAS 剖面圖[12]

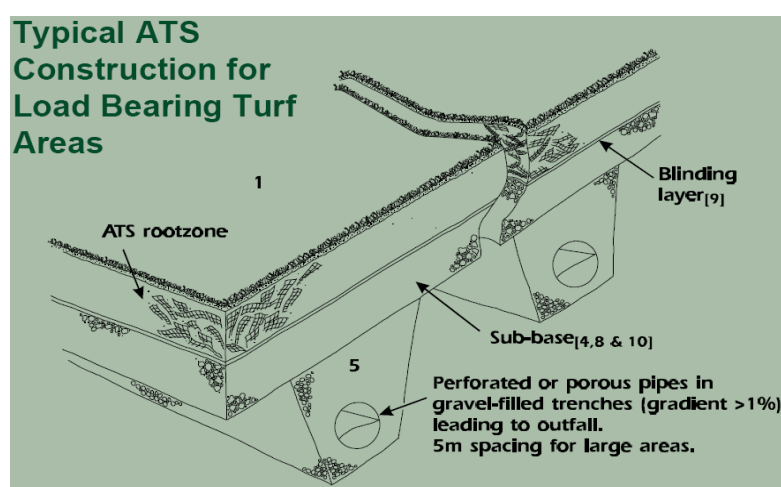


圖 2.18 ERAS 承重區表層配置[12]

ERAS 系統號稱可與 EMAS 達到相似功能，且價格較低，在該公司與 NASA 合作過程中以曾 B747-200F 測試，發現確實有減速效果，但本研究目前尚未得知有任何機場採用，亦無任何攔截經驗。

2.3 整建決策考量準則

機場建設時之考量因素包括運量、容量、交通、環境等，皆有 ICAO 或 FAA 發布之相關文件可供參考，但遇有擴建需求時，則依照各機場情況不同而有不同之考量。以下介紹兩組機場改建案例。此兩組機場擴建案例均與跑道或滑行道的改建相關，對擴建方案之決策過程有清楚的描述和探討。透過對此兩組案例的回顧，可分別了解改建時需納入經濟考量的項目、完整經濟分析所需的流程、及決策時應考量的準則。

- 案例一：美國 Wilmington, Delaware 地區的 New Castle County Airport 改建案[13]

New Castle County Airport 機場曾於 1995 年規劃進行以增建滑行道為主要工程的擴建案。此案例中的 New Castle County Airport 是一中型區域型機場，亦是 Delaware 州最大的機場，且為該地區唯一的 FAA-towered 機場（FAA-towered 機場是美國境內具足夠規模的機場，設有可和 FAA 直接聯繫的塔台，進行空中交通管制）。

此機場原為空軍基地，在 1995 年時 Delaware River and Bay Authority (DRBA) 開始進行此機場的經濟開發，開發案包含新塔台、跑道改善、新航廈、停車場、機棚、滅火救急設施、進場燈號、拓展空域使用權、輕工業發展區及連接三條跑道的滑行道系統。該機場因為既有跑道與滑行道寬度不足，並且連通性差，在開發案中計畫建設數條新滑行道，並拓寬延長既有的滑行道。

圖 2.19 為 1992 年該機場的空照圖，該機場於 1995 年起考量增建方案圖則如圖 7-2 中橘色虛線區域所示，主要為增建各跑道間的滑行道。進行經濟分析之主要目標滑行道 F 則位於圖 2.20 的左下處，比較圖 2.19 與 2.20，

可得知當時滑行道 F 尚未延長至與跑道等長，不利於航機移動。當時考慮的替選方案有三種：

- (1) 零方案：不做任何改變。
- (2) 增建並拓寬滑行道 F。
- (3) 不建滑行道 F，但增建滑行道 G、L、L1、F、E、E1、B4 等。
- (4) 方案(2)與方案(3)都進行。

為確認建設效益，該研究也對上述方案進行了兩種情境的敏感度分析，分別為假設「通勤業務消失而無通勤旅次」及「輕工業發展區開發成功吸引額外交通量」，兩種情境分別設定不同的航機起降量和旅客量。



圖 2.19 New Castle County Airport 1992 年空照圖

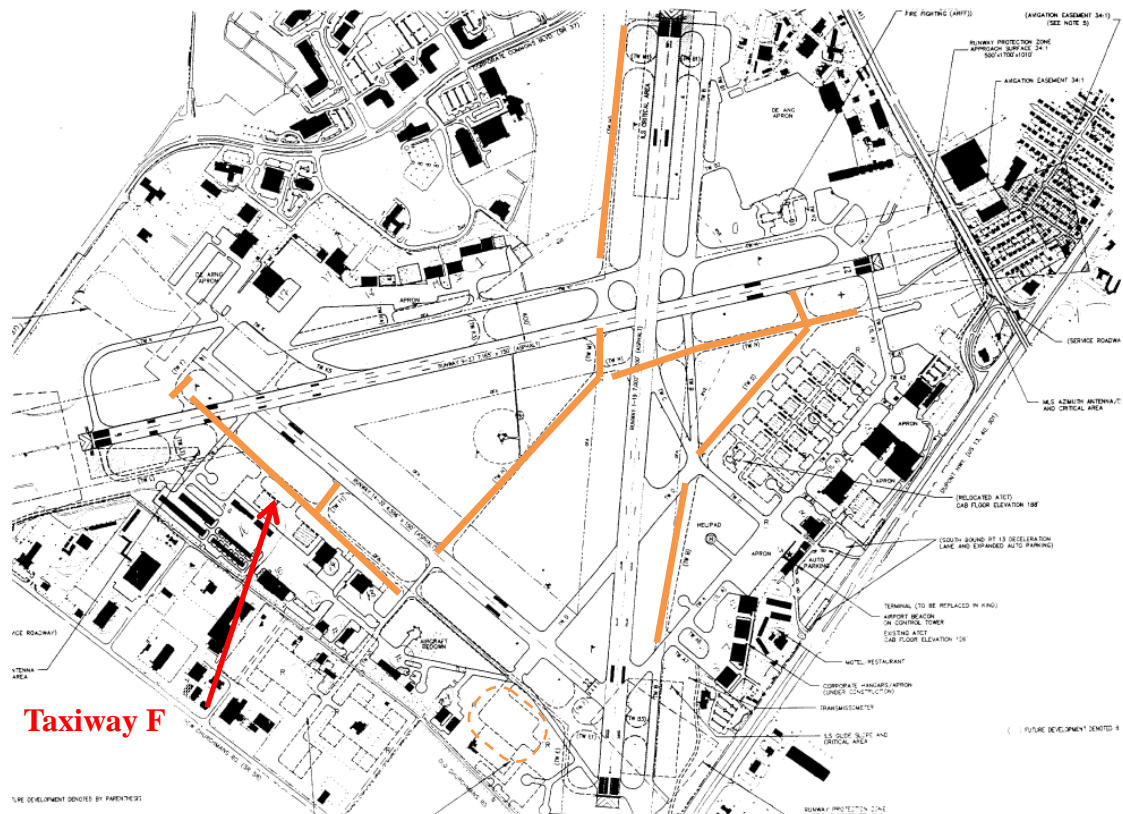


圖 2.20 New Castle County Airport 1995 年建設計畫圖[13]

分析中認定增建滑行道 F 的效益為：增進安全、節省航機及使用者時間、減少航機汙染排放量、節省旅客通勤時間，而考慮的成本則包括擴建之施工費用以及後續之維修費用，並對各項效益和成本進行量化為貨幣價值的經濟評估。經濟分析模式遵照 FAA 的 Airport Benefit-Cost Analysis Guidance 中所使用的各種經濟值與預估模式進行，包含交通量預測、航機運作費用、旅客時間成本、折現率等。

該研究由歷史交通量得知此機場起降量不大，且訪問機場航管人員後認定無明顯延滯問題，便收集此機場的航機起降架次表及 FAA 提供的時間價值統計表，用於計算航機運行的時間價值。分析時用於預估事故嚴重性的資料來源是 NTSB 的事故傷亡分佈資料(Annual Review of Aircraft Accident Data, 1996)與 FAA 公布的經濟價值資料(Economic Values for evaluation of FAA Investment and Regulatory program, 1995)，因航機事故有不同類型傷亡程度，該研究假設死亡與重傷僅發生於航機全毀的事故，而航機可修復事故僅造成輕傷或無傷情形下，利用歷史事故次數、平均承載

量與起降量換算得每避免一次事故的效益。

因為滑行道事故所造成的損失遠低於空中事故，該研究假設減少預期事故量與減少滑行道占用時間成比例，將節省的滑行時間乘以由 NTSB 所得之普通航機的預期事故發生率，計算各方案的安全效益。而在環境因素部分，則考慮經由增建滑行道 F 可減少飛機在同一跑道的起降密度，進而可減少機場東北方居住區的噪音量，同時，滑行時間與滑行距離的減少也可有效降低飛機耗能與碳氫化物、一氧化碳等廢氣污染。該研究由 US Environmental Protection Agency 公布資料整理得該機場各型航機引擎類型與污染量計算表，並參考 Wang & Santini (1995) 之研究成果得到各種污染物的估計處理費，計算航機減少滑行時間造成的污染減量價值。

該研究中假設所有機種皆以最短路徑到達指定跑道端，經由建立各型航機由不同停放處到達跑道端的數量分布矩陣，可算出實行四種方案時航機需滑行距離的矩陣，再換算為機坪擁擠時所需額外滑行時間秒數表，即可得總滑行時間與滑行距離值，並換算為污染節約量。

該研究也考慮了旅客通勤時間節省之效益。在下列假設之情境下計算機場通行時間效益，計算出在 New Castle Airport 機場搭機節省的時間價值與汽車耗損總額。

- 所有在 New Castle Airport 搭機的通勤旅客都要飛到 Philadelphia 機場以外的地區
- 開車到達 Philadelphia 機場須多花 40 分鐘
- 每輛汽車內乘客 1.8 人
- 使用 FAA 預測的搭乘、運行、時間價值及運行費用等資料進行計算

增建滑行道的額外維護費用也須納入計算，包含燈泡置換、標線維護、除雪費用、燈號周圍除草費、地面燈、機坪燈等；估計 10 年後鋪面表面會出現裂縫，每兩年須進行修補，費用將呈梯狀成長，假設在使用年限內鋪面持續使用，達使用年限後殘值為 0。大型養護費用不計，使用 20 年做

為生命周期進行經濟分析。除基本狀況比較外，該研究另對替選方案設計了以下的各種情境，以進行敏感度分析：

1. 無飛航通勤服務
2. 輕工業發展區成功發展
3. 更多穿場滑行(cross-airport taxiing)
4. 減少 5%穿場滑行
5. 提高 5mph 滑行速度
6. 航機擁擠造成滑行速度減低 2.5mph

分析的結果顯示，建設滑行道 F 在各種情境下的益本比(B/C ratio)都超過 1，還有許多其餘的效益，顯示滑行道 F 的建設具有充分的經濟效益。

此研究使用一典型估計機場交通型態改變的成本效益評估方式，將機場內主要改變影響都納入考量，並提供多種資訊來源，將牽涉項目貨幣化後進行比較，但此文也強調此類計畫案的經濟效益不應依靠機場發展區域效益或地區經濟等推測性、不明確的利益來證明，分析應著重於可明確計算的實際效益。

● 案例二：荷蘭某區域機場[14]

Vreker(2002)等人於期刊 Transportation Research Part D 發表以多準則決策方法分析機場拓建方案的案例。該研究使用一套新型的多準則評估方法，以荷蘭的一個區域機場作為範例對不同開發方案進行比較。該研究提出的模式混合三種多準則分析評估方法，分別為制度分析(Regime Analysis)，Flag Model 與層級分析(Analytic Hierarchical Process, AHP)；配合傳統成本效益分析(CBA)可成為一套良好決策模式，流程如圖 2.21 所示。分析的案例中若有 CBA 不適用的定性分析，就須仰賴制度分析(Regime analysis)。當計畫的衝擊全為定性型式時，無法以定量權重或喜好順序評估，就可使用 AHP 法可將偏好序數轉換為基數資料用於分析。另外若分析中有預先設定不同等級的限制，將可使用 Flag Model 分析各不同決策的優劣。

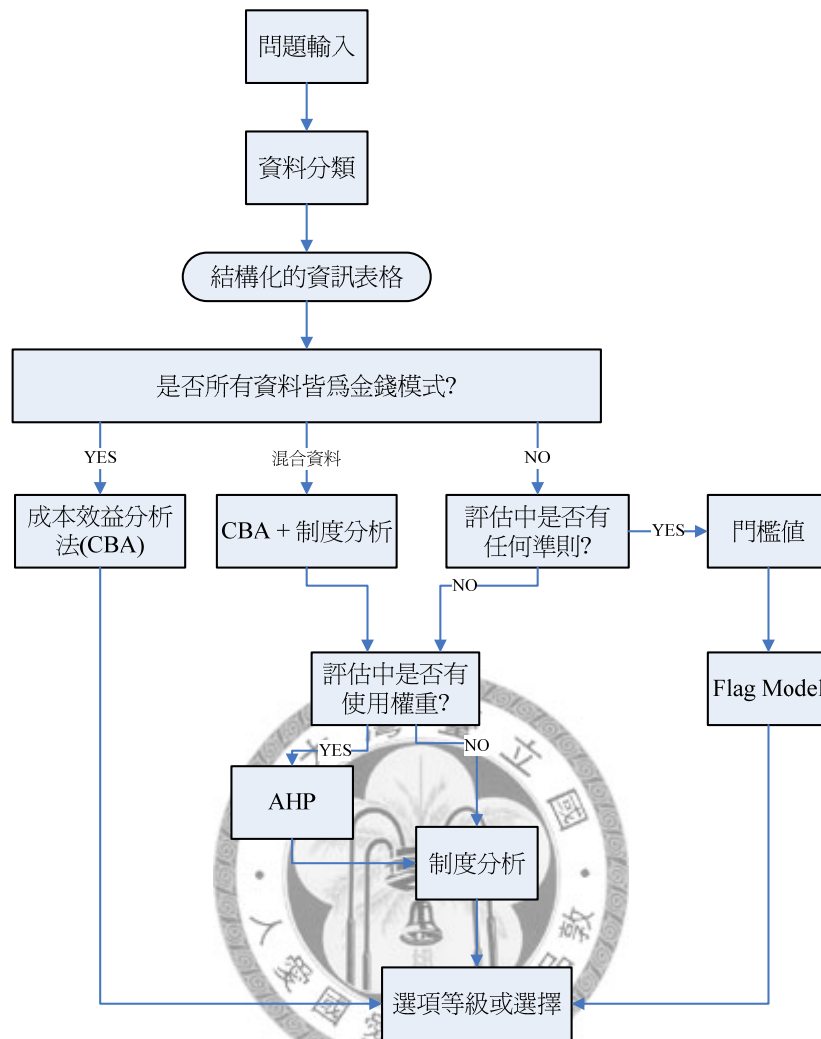


圖 2.21 新型多準則決策法步驟

以下為該研究中各種方案評估方法之簡介：

Flag Model

此法的目的是把替選方案中的各個次準則分為「可接受」、「不可接受」或「不優先考慮」三個等級，經由比較衝擊值與預設的門檻值 (critical threshold value, CTV)，以確認哪個選項最符合預設條件。此法的主要步驟如下：

1. 找出一組重要指標
2. 估計各方案對前述指標的衝擊
3. 建立一組基準參考值
4. 評估相關方案

Flag Model 的特點在於可將各方案進行分級，經由設定一組門檻值的參考值，可以判定各方案是否滿足各領域的預設條件。通常在專家與決策者調查中會有相抵觸的觀點，經由敏感度分析可建立 CTV 基本值、最大值與最小值的分布，並以此分級，如此將會有數種等級的接受度，每種方案的分析結果會有不同分佈，可供決策者考量。

Regime Analysis

制度分析是一種離散的多準則分析法，是間接分析定性資料的方法，其概念以 Concordance analysis 為基礎。CA 法是將一組方案兩兩比較，比較兩方案(設為 X、Y)在各種評定準則的優劣(X 案較 Y 案佳的準則總數為 C_{XY} ，Y 案較 X 案佳的準則總數為 C_{YX} ，令 $\mu_{XY} = C_{XY} - C_{YX}$ ，當 $\mu_{XY} > 0$ 代表 X 案較 Y 案佳)，經由分析可得一組方案的優劣排序。當方案比較複雜且無法明確比較優劣時，就代入機率的觀念進行分析。假設各種事件發生機率依據拉普拉斯準則分布，可得出相對應的權重(weight)。將各種方案的考量準則組成一影響矩陣，再乘以權重矩陣(即各準則相對的權重。若無相對權重，則全部以 1 表示)則可得出明確的排序結果。

若要以 Regime Analysis 在定量的方案間做決策，須先將定量或基數的資料轉為定性或性質的資料方可適用。但通常可量化比較的方案評估都不會使用制度分析法，而會直接以定量比較。

Analytical Hierarchical Process method (AHP)

此法的核心是各種準則下的成對序數比較，即建立優先排序。決策者將被詢問每兩個準則的重要性比較，如此將可界定一準則在所有準則中的排序，各個準則將可指派定量權重、分為數種階級後進行重要性比較。AHP 法一般是把重要性分為 9 個等級，給予各個等級相對應的數值。

文中實際分析案例選定荷蘭南方的 Maastricht Aachen Airport(MAA)，該機場早年為軍機場，近年則成為一區域機場，年旅客旅次為 350,000 人，年貨運量約 33,000 噸。因為落地區長度不足，僅允許運行小型貨機。且跑道僅在每日限定時間內開放，相較於其他的區域機場，此機場貨運較無優

勢。為改善這些問題並改進盈利能力，此研究對照舊營業、改制為純客運機場、擴建為主要機場、維持現況但增購空汙(CO₂)排放量許可等四種方案進行分析。改為客運機場會對貨運造成極大衝擊；擴建為主要機場會改變該地區土地使用；購買空汙排放許可則是因應荷蘭管制 CO₂ 排放量規定所作的情境探討。以下分別對四種方案造成的改變做說明。

A. 照舊營業

1. 貨運量逐年減少，每年減少 5,000 噸
2. 客運旅次維持年 350,000 人
3. 部分原貨運用航機起降數及時間帶(slots)轉為客運用

B. 改為客運機場

1. 新建一條跑道以對應大型航機起降
2. 將原航空學校轉至其他機場，提供額外每年 55,000 架次使用空間
3. 貨運量不變

C. 改建為主要區域機場

1. 新建大型跑道
2. 開放夜間起降，24 小時運作

D. 購買空汙排放許可：假設荷蘭全國機場 CO₂ 許可排放總量為定值，在此狀況下機場若不從其他機場購買排放許可則無法拓展業務，此狀況下假設 MAA 是市場中的購買者。

1. MAA 是 CO₂ 排放許可的買主
2. 若無額外購買許可則 MAA 無法拓展業務
3. Schiphol Amsterdam 國有機場不在此市場內

此分析考量範圍涵蓋經濟、社會與環境面，包含各種經濟利益、安全、健康、干擾、休閒交通、空氣品質、土地與水汙染等，因單位不同不易直接進行比較，故需透過制度分析法，將各準則的影響性分別比較後給定權重，並整理得各準則的影響矩陣以進行後續多準則決策分析。進行制度分析的結果顯示，方案 B 與 C 具有最高分數，同時方案 B 在社會與環境有良好表現，分析後的排序依序為：B>C>A>D。Flag Model 的分析結果顯示方案 B 是最被接受的方案。方案 C 因為對環境影響過大而不佳，方案 4 則不確定性過大，非理想方案。

此文介紹的非貨幣單位比較方法，適用於機場遠程規劃，也可做為社

會與環境效益分析時的參考。但因機場擴建牽涉範圍廣泛，實際進行時需進行大量調查與評估，且環保等外部效應量化不易，量化外部效應輸出的結果是對於社會整體的價值，而非僅對於機場營運者。

周義華教授於運輸工程[15]一書中對運輸系統方案評估有詳細說明，關於決策準則也有提及，在初期評選方案時，即須將成本過高、效益不彰、環境衝擊過大、對原有系統破壞太多或遭受社會激烈反對者先行捨棄，選取約 2~6 組替選方案進行評估，評估方法常見者為工程經濟分析、評分曲線法、名次等級期望值法、目標達成矩陣法、數學規劃法等，評估時應盡量以定量方式將各考量項目分析比較，以避免定性分析導致偏差結論。

本研究因欲探討機場跑道攔截系統設置或購地延伸安全區域等作為之經濟影響，主要之決策者為機場營運者，故將使用傳統成本效益分析法，將分析範圍內牽涉項目量化為貨幣單位比較，而環保、交通等外部效應因難以量化，但又對社會環境有一定的影響性，故亦將與經濟分析結果平行輸出，提供決策者參考。





第三章 模式建構

本研究之目標為建立簡單評估方式，了解跑道及安全區域現況是否足夠，並評估機場裝設攔截系統或其餘安全區域改善方案的經濟效應及進行優缺點比較，經濟分析範圍以機場管理者考量為出發點，並配合航空公司與旅客可能因事故造成的損失估計改善方案的效用；本章將分別就跑道與安全區現況評估、改善方案產生及經濟分析使用方法進行說明。研究中將以完整之模式對國內機場進行試算，試算後結果可供機場管理機關參考，並可作為一適用於國內各機場的安全區域改善評估程序。

3.1 機場跑道及安全區域評估模式建置

欲了解機場跑道現況是否安全，及是否易有衝出跑道之事故發生，應先審視機場設施是否有不合規範之處，並參考機場勤務人員與機師經驗列出待改善項目。因國內民航設施以 ICAO 規範為準，進行機場審視時應遵循 ICAO 規範檢查設施之設置、材質、養護等是否符合規範，ICAO 規範未提及處則可參考 FAA 規範進行審視，若有不符者應盡速改善。本研究目標為評估機場現狀是否易造成衝出跑道事故並考量改善方案，主要評估內容為機場跑道與安全區域是否足夠，其餘如燈光、標線、鋪面等將不深入討論，評估流程如圖 3.1 所示，依序檢查跑道、安全區域及其他設備是否合乎規範。

跑道長度審視為最優先事項，因跑道長度對航機起降安全影響極大，務須確認機場跑道長度合乎規範方可安全營運，否則須立即進行改善。

跑道長度計算應依照 ICAO 提供計算法，配合機場現況資料計算。國內機場資訊可由民航局提供之電子式飛航指南(Electronic Aeronautical Information Publication, eAIP)[16]取得，包含氣溫、海拔、盛行風等。由機場設計機型與常用最大起降機型分別求出理想跑道長度，再比對機場跑道現況，以確認長度是否足夠。

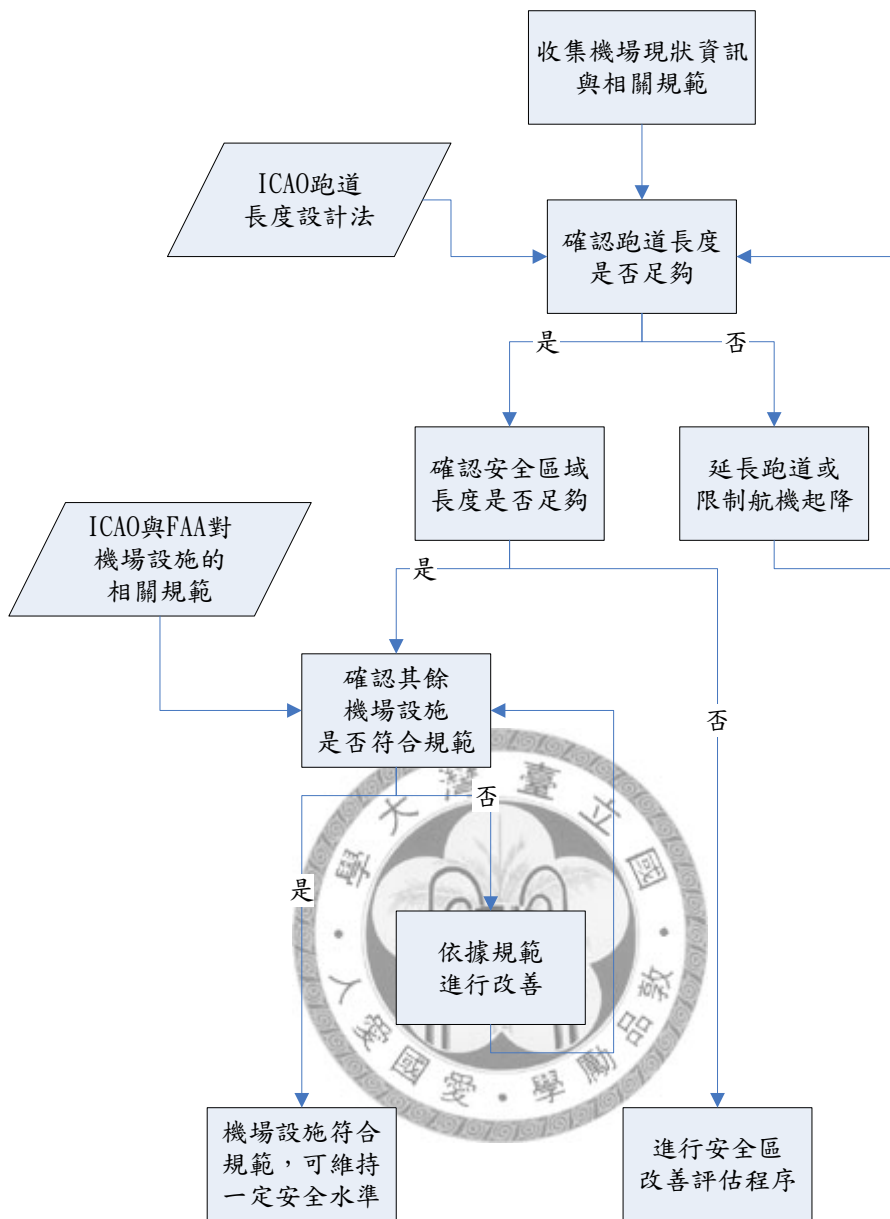


圖 3.1 機場設施審視流程圖

若跑道長度未達設計長度，則需延長跑道、限制某些航機，或要求某些航機減重後才能起降，以維護安全。然延長跑道對機場營運影響重大，連帶影響周遭限高等情事，需付出高昂代價，屬於機場營運主計畫，務須進行審慎評估，而本研究範圍僅就跑道長度合乎規範情況下安全區域不足時之改善策略評估，故並未就跑道改善深入探討；另一方法為限制某些大型航機起降載重，因航機起降所需跑道長度與載重有關，在跑道長度不足時可利用限制起降重量的方式使某些機型建議跑道長度不超過現有跑道長度。

在機場跑道長度充足的前提下，再進行安全區域審視。由 AIP 也可取得國內機場安全區域之資訊，並比照 ICAO 規範確認是否符合規範。對中大型航機起降機場而言，跑道 RESA 長度應達 240m，加上 60m 之跑道地帶長，自跑道末端起應有 300m 長之安全區域，與 FAA 的 RSA 規範有相似要求。機場安全區域若未達規範建議值時，就需考量進行改善方案，並可針對數項之改善方案進行經濟分析。

除對機場現況檢核外，若機場未來有拓展業務可能，也應考量未來狀況對機場拓建計畫之機場配置設計進行檢核。

3.2 方案產生方法

由機場現況或未來發展規劃，配合機場周遭環境及跑道與安全區域配置可產生供決策之方案，決策流程如圖 3.2 所示，應先行評估機場跑道長度是否符合現有或預計使用最大機型之需求，若不符則應確實改善。

跑道長度合格後再進行安全區域審視，安全區長度不足時，應依據機場使用現況擬定改善方案，以達到規範尺寸。改善考量方向可參照 FAA Order 5200.8 內容建議，先行參照機場公告安全區域大小，並觀察場內是否仍有未宣告之可用空間，及勘查機場外圍空間是否可用，以規劃改善方案。基本的可行方案應包括延長安全區、調整跑道方位、遷移跑道、選擇裝設攔截系統、縮短跑道長度等，可單獨實施也可多種配合產生複合方案，其中選擇裝設攔截系統時依據不同設計會有不同價位與風險改善效果，例如設計攔截衝出跑道速度為 70knots 航機所需使用之攔截床，其成本會比設計攔截衝出跑道速度 50knots 的攔截床要高，但對於風險的改善效果也會較佳。但一般有安全區改善之機場受限周遭土地使用已無法對跑道進行任何改變，縮短跑道以換取足夠安全區也非合適作為，故通常可行方向僅有延長安全區與裝設攔截系統兩種。

在機場外圍土地使用明顯受限而無法延長安全區域至建議長度時，決策方向可能傾向裝置攔截系統，但為達安全目標，仍應考量盡可能延長安

全區域，如何就有限預算求取最大安全效果即須仰賴經濟分析方可了解何種方案較適當。

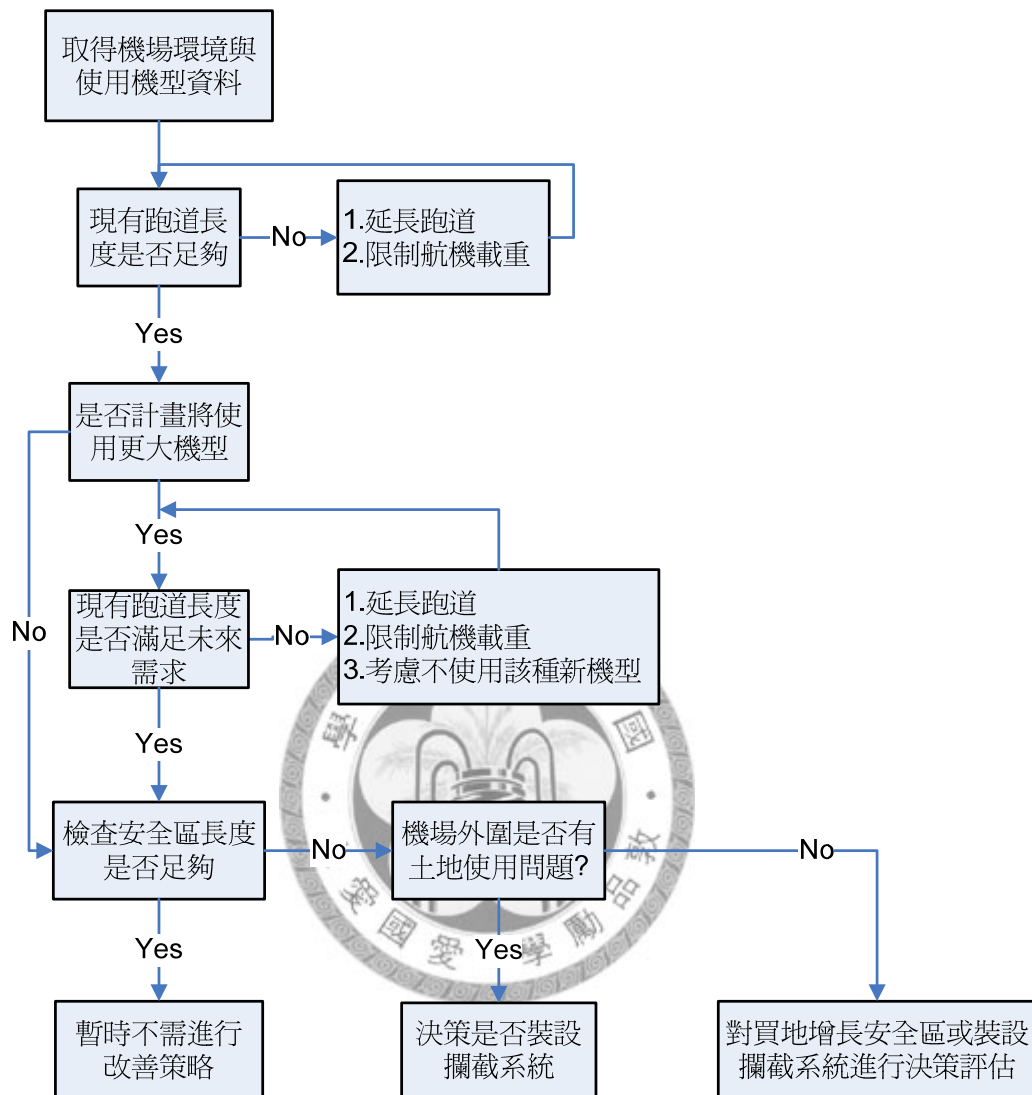


圖 3.2 跑道及安全區改善決策流程

3.3 經濟決策方法

由文獻回顧可得知，經濟分析方法使用於不同性質的案例時，須確實了解問題之目的和特性，並慎選考量參數，定義其分析範圍及各項假設與限制，針對擬分析之案例特性設計適當的流程，才能順利完成決策工作。圖 3.3 為本研究參考數篇經濟分析文獻後所擬定之安全區改善方案評估與經濟評估流程。

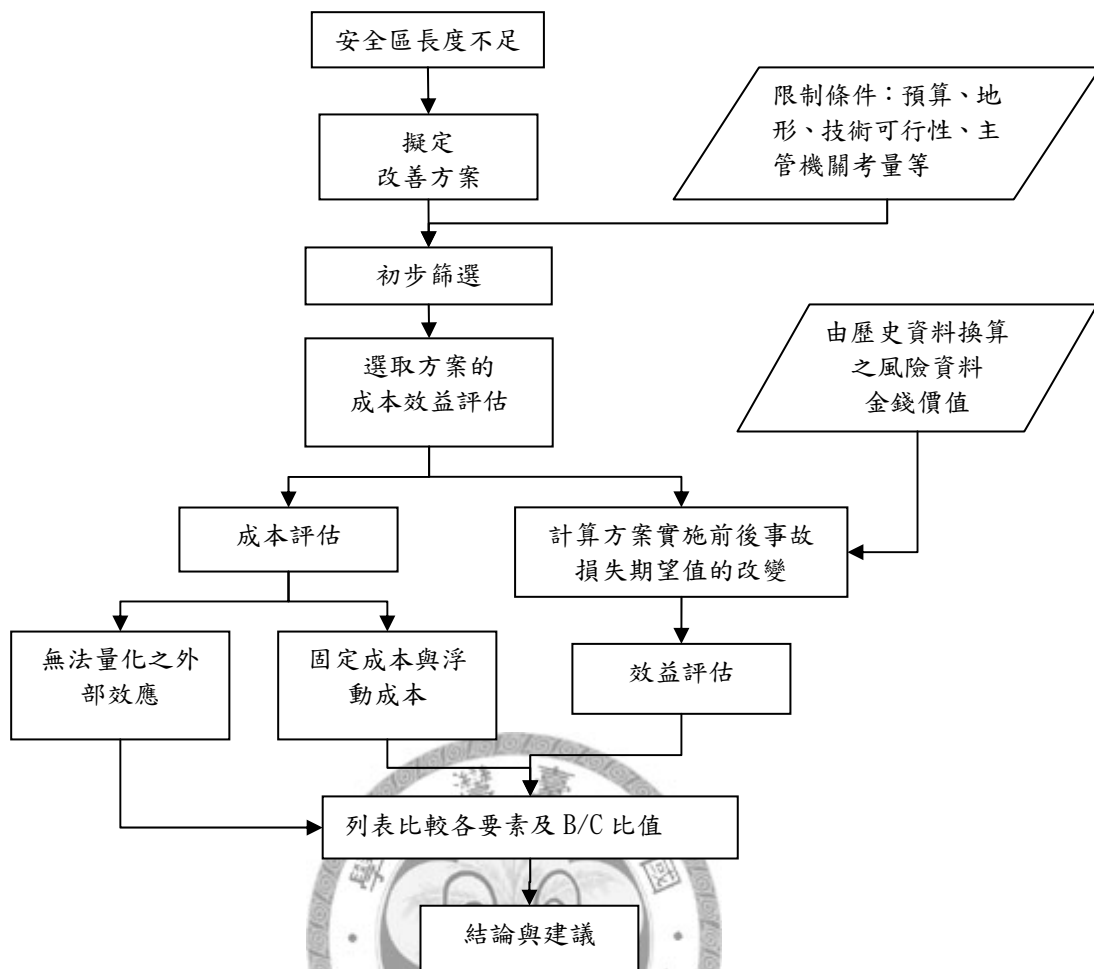


圖 3.3 跑道安全區改善方案經濟評估流程圖

安全區須改善時，可由現地狀況產生初步方案，通常可產生如前述之延長安全區及裝設攔截系統等方案，接著進行初步篩選。篩選之條件可能包括經費限制、地形限制、工程困難度或決策者的其他特殊考量等，一般較具歷史的機場常因周遭發展已成形，常有大量建物或道路，機場拓展必然需付出龐大代價，依照政策發展或機場主管機關考量即可初步篩選可行方案；有時機場受限於河流、山坡、懸崖等地形限制，致使拓建成本過高或技術難以達成，經篩選後可刪除不合適之提案，得出數個可行方案；不適當的提案則可修正後再重新評估，重複進行後得到的可行方案就能進入後續之經濟分析階段。

經濟分析主要為估算方案的成本及對事故損失期望值造成的影響，進行成本、效益之評估，經由經濟分析估算方案對風險改善之效果及土地使

用代價，即可產生兩者並行之組合方案，再度進行經濟評估。

本研究欲建立標準決策模式以檢核跑道長度並對機場安全區改善策略提出建議，故進行經濟分析時將以機場管理者和使用者之角度為出發點，考量對象包括機場、航空公司及旅客三者，分析範圍僅限定於機場及直接相關事物；分析時將計算各改善方案實施後對以上對象之影響，將實施前後風險之改變量轉換為貨幣單位供計算，而難以量化之外部效應如對生態環境、周邊交通或都市發展之衝擊則與量化計算之結果一併列出供決策者參考。評選各方案時將由方案實施前後之事故損失、各改善方案之支出與外部影響，以及風險降低效果和安全改善效益進行評估。

本研究擬使用六項不同決策準則來進行評估。包括五項可量化之準則，以及不可量化之效應。可量化之準則包括各項改善策略之成本、事故損失、效益、淨利與總支出，分別定義及說明如下，並列舉計算項目資料取得方式。各方案計算時將分別就發生單次事故及長期預期事故損失分別討論。

I. 成本(Cost, C)：

定義為分析周期內改善方案所需之支出與定期維護費用。如選擇裝設攔截系統，則成本為裝置費用與日後定期巡視與維護費用。若選擇延長安全區域，則成本為購地費用、因延長跑道安全區改變及增加的設施設置與維護之費用。若 i 方案為裝設攔截系統，則執行 i 方案的成本計為 C_i 。

$$C_i = C_A + C_P + C_L$$

式中：

C_A =攔截系統價格

C_P =裝設攔截系統或購地所需付出其餘工程與準備工作價格

C_L =機場購地時所需花費價格

攔截系統價格可逕洽攔截系統生產商，相關之整地、設施遷移工程費用及額外需支出的維護費用等應進行訪價，或參考最近期機場進行之工程合約計算估計。購地費用可參考近期政府公告之土地現值並考量拆遷補償費適量加成計算，地上建物則應參照房屋評定現值等政府公告價位計算。

II. 損失(Loss, L)：

定義為分析周期內可能因遭遇衝出跑道事故使機場、航空公司與旅客所需付出的代價，三者將獨立計算後加總。機場方面包含封閉跑道造成飛機延誤而減少的各類起降服務收入、消防救災與整地清理等善後費用；航空公司則為航機維修與班機調度等機會成本、人員傷亡賠償等；旅客部分則為受延誤旅客累積的時間成本，包含因起飛延誤的旅客及轉至替代機場降落而影響的旅客。若有裝設攔截設施，遭遇事故後進行維修使其維持功能之費用應由肇事責任歸屬者支出，亦歸屬於損失進行計算。

分析周期內預期損失的計算方式為利用歷史資料整理不同類型/程度的事故加權平均後計算一次平均事故損失期望值，再乘以分析周期內預期事故量即可求得可量化部分，加上不可量化部分即為完整之損失值。

$$L = L_B + L_C + L_P + L_A$$

式中：

L_B =分析周期內機場預期損失

L_C =分析周期內航空公司預期損失

L_P =分析周期內旅客預期損失

L_A =分析周期內攔截系統維修費

在不進行任何改善方案時分析周期內損失為 L_0 ，進行 i 方案後的分析周期損失為 L_i 。

為比較各方案對遭遇衝出跑道事故時所能發揮的效用，本研究亦將列出單次事故損失 L' 供參考

$$L' = L'_B + L'_C + L'_P + L'_A$$

式中：

L'_B =單次事故機場預期損失

L'_C =單次事故航空公司預期損失

L'_P =單次事故旅客預期損失

L'_A =單次事故攔截系統維修費

計算分析周期內因衝出跑道事故而造成的損失須估計預期事故發生量，此數值應整理歷史事故紀錄並就分析機場現況進行合理估算，影響參數包含機型、起降量、乘載率及未來成長率等，由民航局統計數據可取得前三項數據，並適當估計成長量，即可估計分析年限中各類機型起降量。事故損傷的取得方式為整理國內外歷史資料取得，國外可參考 NTSB 所建立之飛安資料庫，國內則可由飛安會調查資料整理，事故損傷之價值則可參照 FAA 公告資料並適當換算為國內幣值代入計算。計算損失應考量之事故項目繁多，由國內外歷史紀錄可估計航機、旅客及航空公司的生命財產損失；配合新聞資料查詢可得知其餘資訊如機場封閉時間、救災動員等，再由 AIP 提供場站收費標準可估計機場營運損失；機場封閉時間配合班表即可估計受延誤旅客之時間價值。

整合以上資料後，配合已取得資訊適當修正後即可代入第五章之經濟分析以估計安全區之效用。將分析年限內估計事故次數乘以平均事故損失 L' 即可估計 L 。

若機場進行任何安全區改善方案，則事故損失應較未改善狀況低，經由估計不同安全區方案下不同的損失期望值，將可評估機場現狀與不同長度安全區域的風險，達到不同的效果，並可計算其效益。

III. 效益(Benefit, B)：

於分析周期內進行改善方案可減少的損失即定義為效益。若裝設攔截系統，依據攔截系統宣稱效能，可適當估計裝置後減少的損失；若延長安全區域，則可適當估計安全煞停於安全區域內之事故航機比例。分別計算改善前與改善後的損失，兩者差值即為效益。

$$B_i = L_0 - L_i + \Delta L_U$$

式中：

L_0 =未進行任何改善的分析周期損失

L_i =進行 i 方案後的分析周期損失

ΔL_U =進行 i 方案後改善的無法量化損失

為比較不同方案對單次事件的影響，另定義單次攔截的效益為 B'：

$$B'_i = L'_0 - L'_i + \Delta L_U'$$

由 B'即可比較改善方案對單次事故的影響。

B 與 C 皆求出後，即可進行比較，並可由兩者之比值(B/C ratio)比較改善方案投資之價值。

IV. 淨利(Net profit, N)：

改善方案的效益扣除成本即為淨利。若改善方案成本過高，則淨利可能為負值，此時代表安全區改善措施不具經濟效益。但基於安全考量，為使生命財產損失降至最低，主管機關應參酌此數值，並酌量增列安全改善預算。

$$N_i = B_i - C_i$$

V. 總支出(Total Expenditure, TE)：

於分析周期的總共支出，包含可能的成本與損失。若進行改善方案則總支出為改善方案成本加上改善後的損失，若不進行改善方案則總支出為分析周期的損失。

$$TE_i = C_i + L_i$$

由總支出可比較施行各方案的代價，可達到安全目標的方案總花費可能高於未進行任何改善動作者，但基於安全的考量，仍應選擇一改善方案進行。

以上準則之計算式整理如表 3.1。經濟分析時將依序計算各方案時以上項目，並列表比較。所有數值與價格應考量國內現狀與未來發展如經濟與人口成長量等，適量調整以符合現狀。不同機場有不同的營運型態、發展目標與財務能力，也因此，各機場之決策者在跑道改善策略的選擇上也應有不同的期望和考量，可能著重於效果、效益或總支出。此外，進行決策評估時，也應考量其他無法量化的外部效應，故本研究之經濟分析擬輸出各可行方案各項決策準則的計算結果，之後交由機場管理單位按其需求自行決策。

表 3.1 經濟分析決策準則說明

決策準則	代號	說明
成本	C	$C_i = C_A + C_P + C_L$
損失	L	$L_i = L_B + L_C + L_P + L_A$
效益	B	$B_i = L_0 - L_i$
淨利	N	$N_i = B_i - C_i$
總支出	TE	$TE_i = C_i + L_i$



第四章 國內機場跑道與安全區長度檢核

本章內容為對國內機場進行跑道與安全區長度檢核，先對國內各機場試算機場設計機型與及最大起降機型所需跑道長度，並與機場現狀比較，確認是否有跑道長度不足之疑慮，再由機場分級對照 ICAO 建議安全區確認是否符合規範。若有跑道端安全區長度不足者，將選取一組案例於第五章進行改善方案試算，計算使用參數將一併列出供參考。

4.1 跑道長度檢核

下表 4.1 為由民航局取得之各機場設計機型資料及民國 96 年交通年鑑 [17] 中整理出國內最大起降機型資料，由表中可看出設計機型未必等同於最大起降機型，因此計算跑道長度需求時須兩類機型皆須計算以了解機場跑道是否足夠。

表 4.1 國內機場設計機型與最大使用機型分類表

機場名稱	設計機型	最大使用機型
桃園國際機場	B747-400	B747-400
高雄國際機場	A321	B747
台北國際機場	MD-90	B757
台中清泉崗機場	MD-90	B757
嘉義機場	MD-90	MD-90
台南機場	A320	B757
屏東北機場	ATR72	B727
花蓮機場	MD-82	B757
台東豐年機場	MD-90	B757
馬公機場	MD-90	A320
金門機場	MD-90	B757
綠島機場	DO228-212	DO228-212

表 4.1 國內機場設計機型與最大使用機型分類表(續)

機場名稱	設計機型	最大使用機型
蘭嶼機場	DO228-212	DO228-212
望安機場	DO228-212	DO228-212
七美機場	DO228-212	DO228-212
馬祖北竿機場	DH8-300	DH8-300
馬祖南竿機場	DH8-300	DH8-300
恆春機場	ATR72	ATR72

計算跑道長度之方法為依據 ICAO 規範，參考航機製造商提供之性能曲線，以桃園機場為例，該機場設計機型為 B747-400，由民航局 eAIP 得知機場參考高程 106ft(32.3m)，參考溫度 34°C。由波音公司網站取得「747-400 Airplane Characteristics for Airport Planning」[18]文件，參照該文中 Airplane Performance 章節中航機起降設計跑道長度圖表即可求出基本跑道長度。因 B747-400 有多種不同引擎類型，性能各有不同，設計時應以性能最差者(意即跑道長度需求最長者)為準進行計算。B747-400 主要分為標準型 747-400、747-400 COMBI、747-400 FREIGHTER、747-400ER、747-400ER FREIGHTER 等機種，其中 ER 型為長程型，總重最高且跑道需求最長，考量該機型產量甚少且本國籍航空未曾使用，計算時將以常用機型比較。參照文件中各圖表後，發現裝置 CF6-80C2B1 引擎的 747-400F 在桃園機場環境所需跑道最長，於海平面標準溫度+17.2°C(32.2°C)狀況下海平面最大載重(875,000lb)建議起飛跑道長為 11450ft(3490m)，如圖 4.1 所示；再依照 ICAO 設計法進行高程與溫度修正後，所得跑道長度為 11744ft(3579m)，算式如下：

- $11450 + 11450 \times \frac{32.2}{300} \times 0.07 = 11536$
- $11536 + 11536 \times (34 - 32.2) \times 0.01 = 11744(\text{ft})$
- $11744\text{ft} = 3579\text{m}$

以此資料對應桃園機場跑道長度現況，發現僅 05-23 跑道(3660m)長度符合需求，06-24 跑道(3350m)無法滿足該機種以最大載重起飛。以同樣設計圖再次進行計算，可得在 06-24 跑道長度下，該型航機僅能以約 850,000lb 起飛。意即 B747-400F 使用桃園機場跑道前務需確認載重，若超過 850,000lb 則需選擇 05-23 跑起飛道以策安全。

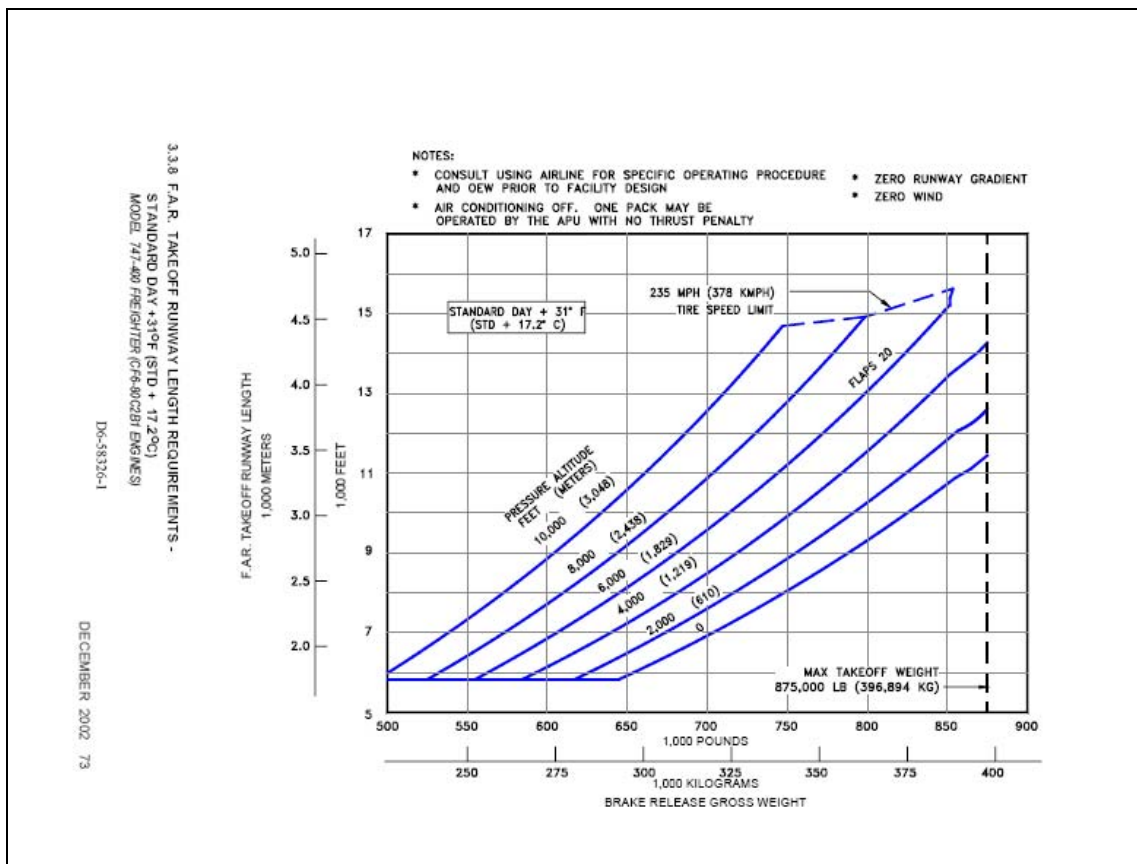


圖 4.1 747-400 跑道長度設計圖[18]

桃園機場為國際門戶，應須符合所有機種起降，又現今民航機種最大者為 Boeing 747 及 Airbus A380 系列，但 A380 宣稱跑道長度需求較 B747 為短，故嘗試以 747-400ER 系列進行計算，可得最長跑道需求為 12,000ft(3,657m)，代表桃園機場 05-23 跑道恰可符合近乎所有航機之起降安全需求，若欲使用 06-24 跑道則注意不可超過航機重量限制。

由以上方法計算所得之機場跑道設計機型與民國 96 年最大起降機型換算所得之跑道長度列於下表 4.2，由此表可審視國內機場跑道長度現況是否良好。

表 4.2 國內機場跑道長度檢核表

機場名稱	海拔 (ft)	溫度 (°C)	跑道編號	公告跑道 長度(m)	設計機型	設計機型 跑道長度(m)	最大 使用機型	最大使用機型 設計跑道長度(m)	是否符合需求
桃園國際機場	106	34	05-23	3,660	B747-400	3,579	B747-400	3,579	○
			06-24	3,350		3,579		3,579	X
高雄國際機場	31	32	09-27	3,150	A321	2,337	B747-400	3,387	△
台北國際機場	18	35	10-28	2,605	MD-90	2,303	B757	2,553	○
台中清泉崗機場	665	33	18-36	3,659	MD-90	2,364	B757	2,589	○
嘉義機場	85	34	18-36	3,050	MD-90	2,292	MD-90	2,292	○
台南機場	64	33	18L-36R	3,050	A320	2,250	B757	2,484	○
屏東北機場	97	33	08-26	2,442	ATR72	1,584	B727	2,553	△
花蓮機場	51	34	03-21	2,751	MD-82	2,458	B757	2,505	○
台東豐年機場	143	33	04-22	2,438	MD-90	2,280	B757	2,498	△
馬公機場	103	33	02-20	3,000	MD-90	2,274	A320	2,256	○
金門機場	70	31	06-24	3,004	MD-90	2,225	B757	2,437	○
綠島機場	28	32	17-35	992	DO228-212	969	DO228-212	969	○
蘭嶼機場	44	31	13-31	1,174	DO228-212	969	DO228-212	969	○

○符合設計機型與最大機型需求；△僅符合設計機型需求但無法符合最大機型需求；X無法符合設計機型與最大起降機型需求

表 4.2 國內機場跑道長度檢核表(續)

機場名稱	海拔 (ft)	溫度 (°C)	跑道編號	公告跑道 長度(m)	設計機型	設計機型 跑道長度(m)	最大 使用機型	最大使用機型 設計跑道長度(m)	是否符合需求
望安機場	114	33	02-20	822	DO228-212	969	DO228-212	969	X
七美機場	63	33	02-20	783	DO228-212	969	DO228-212	969	X
馬祖北竿機場	41	31	03-21	1,150	DH8-300	1,319	DH8-300	1,319	X
馬祖南竿機場	232	31	03-21	1,579	DH8-300	1,319	DH8-300	1,319	○
恆春機場	46	31	14-32	1,700	ATR72	1,551	ATR72	1,551	○

○符合設計機型與最大機型需求；△僅符合設計機型需求但無法符合最大機型需求；X無法符合設計機型與最大起降機型需求



由表 4.2 可看出國內機場跑道大多符合設計機型需求，僅桃園機場 06-24 跑道、望安機場、七美機場及馬祖北竿機場跑道長度未達設計機型全載重起降需求，應明確規定航機起降載重以保安全。

若由民國 96 年機場最大起降機型跑道需求比對現有跑道長，則發現桃園機場 06-24 跑道、高雄機場、屏東北機場、台東機場、望安機場及七美機場跑道長度皆不符合最大起降機型全載重跑道需求。各機場應由起降班表取得機型資料，確認跑道需求可能大於現有跑道長度之機型、並強制限定載重，以維護安全。

因依照 ICAO 計算法所求得之跑道長度為足夠保守之數值，設定條件一般為夏季極高溫與最大載重情形下的跑道需求，但實際溫度常低於參考溫度，且航機載重明顯影響跑道長度需求，故長度稍有不足之跑道僅需規定載重限制即可；又一般航機因油耗考量，僅會裝載足夠油料、極少達到最高載重，故跑道長度稍有不足者限制載重並不會嚴重影響營運。若機場狀況許可，在長期營運考量下仍應延長跑道以滿足航運需求，尤其是桃園機場及高雄機場等國際機場應研擬跑道延長方案以免未來營運發展受限。

本研究目前取得最大起降機型資料僅有民國 96 年分資訊，但因遠東航空公司於民國 97 年 5 月 17 日停業後該公司 B757-200 機型全部停飛，國內再無 B757 定期航班，且近期因政府開放兩岸包機航線，目前起降機場分布於桃園、松山、台中及高雄四處，至民國 98 年 5 月每月有四百餘班，但目前直航班機未納入定期航線，尚無法取得機型資料，是故民國 96 年機場最大起降機型資料與現況有差異，機場若要評估跑道長度是否符合營運現況需求，應由最近期起降機型資料自行計算以確認是否安全，若有不足則需進行應對措施。

4.2 安全區域長度檢核

機場管理單位注重之機場安全區域通常包含跑道地帶、緩衝區、清除區、RSA 或 RESA 等。跑道後方之安全區域長度依據 FAA 之 RSA 規定，大型機場應從跑道端(若有緩衝區則自緩衝區末端起算)後方保留 300m 以上；ICAO 建議 RESA 則是 240m。eAIP 所公告之國內各機場「安全區」應為 ICAO 規範之 RESA，但因 RESA 範圍自跑道地帶起算，又跑道地帶定義範圍各機場不盡相同，故安全區域長度也各有不同，且小型機場未強制規範須設立 RESA，僅有一建議長度。本研究將按照機場分級，將各機場安全區建議長度列出，並與機場現況比較，結果如下表 4.3 所示。

表 4.3 國內機場安全區長度檢核表

機場名稱	跑道編號	跑道端現況		ICAO RESA 建議長度(m)
		RESA 長度(m)		
桃園國際機場	05/23	05	23	240
		240*	240*	
	06/24	06	24	240
		240*	240*	
高雄國際機場	09/27	09	27	240
		50	160	
台北國際機場	10-28	10	28	240
		51	90	
台中清泉崗機場	18-36	18	36	240
		240*	240*	
嘉義機場	18-36	18	36	240
		240	240	
台南機場	18L-36R	18L	36R	240
		240*	240*	
屏東北機場	08-26	08	26	240
		90	240	
花蓮機場	03-21	03	21	240
		240*	200*	
台東豐年機場	04-22	04	22	240
		240*	240*	
馬公機場	02-20	02	20	240
		230	230	

*為 eAIP 未公告，自行估計之數值

表 4.3 國內機場安全區長度檢核表(續)

機場名稱	跑道編號	跑道端現況		ICAO RESA 建議長度(m)
		RESA 長度(m)		
金門機場	06-24	06	24	240
		90	90	
綠島機場	17-35	17	35	未強制規定
		<10*	<10*	
蘭嶼機場	13-31	13	31	未強制規定
		<10*	<10*	
望安機場	02-20	02	20	未強制規定
		20*	10*	
七美機場	02-20	02	20	未強制規定
		<30*	<15*	
馬祖北竿機場	03-21	03	21	未強制規定
		0	0	
馬祖南竿機場	03-21	03	21	240
		0*	<25*	
恆春機場	14-32	14	32	240
		145*	135*	

*為 eAIP 未公告，自行估計之數值

本研究彙整資料時發現國內機場多數未標明 RESA 大小，且因國內機場定義跑道地帶方式各有不同，在 eAIP 無配置圖供參考的情況下本研究僅能自行估計各區域之配置。本研究的估計方式為利用 google map[23]觀察國內各機場空照圖，由空照圖可明顯看出有地障、水體、大型固定障礙物者即視為安全區末端，並以其距離量測工具量測機場跑道端點至障礙物的距離，配合 eAIP 提供之公告距離(包含可用起飛滾行距離、可用起飛距離、可用加速-停止距離、可用降落距離等)、清除區及跑道地帶長度，即可估計安全區域長度。部份軍民合用機場於跑道端後有裝設攔截網，但因攔截網可收起，本研究不視為障礙物。

安全區長度檢核結果將有四種狀況，分別為「公告 RESA 長度充足」、「公告 RESA 長度未達建議上限」、「自行估計 RESA 長度充足」、「自行估計 RESA 長度未達建議上限」等四種，檢核結果如下表 4.4 所示。

表 4.4 國內機場安全區長度檢核表

機場名稱	跑道端	檢核結果
桃園國際機場	05	<input type="checkbox"/>
	23	<input type="checkbox"/>
	06	<input type="checkbox"/>
	24	<input type="checkbox"/>
高雄國際機場	09	●
	27	●
台北國際機場	10	●
	28	●
台中清泉崗機場	18	<input type="checkbox"/>
	36	<input type="checkbox"/>
嘉義機場	18	○
	36	○
台南機場	18L	<input type="checkbox"/>
	36R	<input type="checkbox"/>
屏東北機場	08	●
	26	○
花蓮機場	03	<input type="checkbox"/>
	21	■
台東豐年機場	04	<input type="checkbox"/>
	22	<input type="checkbox"/>
馬公機場	02	●
	20	●
金門機場	06	●
	24	●
綠島機場	17	<input type="checkbox"/>
	35	<input type="checkbox"/>
蘭嶼機場	13	<input type="checkbox"/>
	31	<input type="checkbox"/>
望安機場	02	<input type="checkbox"/>
	20	<input type="checkbox"/>

○公告長度合格；●公告長度不合格；□自行估計長度合格；■自行估計長度不合格

表 4.4 國內機場安全區長度檢核表(續)

機場名稱	跑道端	檢核結果
七美機場	02	□
	20	□
馬祖北竿機場	03	●
	21	●
馬祖南竿機場	03	■
	21	■
恆春機場	14	■
	32	■

○公告長度合格；●公告長度不合格；□自行估計長度合格；■自行估計長度不合格

由表 4.4 可明顯看出國內公告且長度合格的跑道安全區數量極少，即使自行估計的數據也納入比較仍有數個機場 RESA 未達建議標準，且自行估計之安全區尺寸未必確實達到安全區之設置規定，僅能供參考，顯見國內不僅安全區域資訊嚴重缺乏，實際安全區尺寸也有不足，狀況在離島機場較為明顯。

實際觀察空照圖發現，離島機場大多受制於地形限制，無法有效提供安全區，且跑道地帶外緣常為懸崖或海岸，延長安全區之代價龐大，又機場多僅日間開放，運量不高，故限制航機起降載重使航機跑道需求加上建議安全區長度仍可控制在機場可用長度內應為較適宜措施，且可保持一定安全性。此類機場也應嚴格管制起降，避免在天候不佳時起降而提高事故風險；本島許多機場雖未公告安全區長度，但自行估計時發現由 eAIP 公告長度配合空照圖計算得出之可用 RESA 應可符合規範，若依照規範將該區域適當整理後並公告，應可順利達到 ICAO 規範之標準，但機場為何未公告 RESA 區域之原因則不得而知；RESA 長度不足者應可考量拓展至機場外之可能性，以經濟評估方式計算改善投資效益。

由檢核結果對照機場現況，發現馬公機場與金門機場安全區雖不足，但因跑道長度皆達 3000m 以上，且未飛航跑道需求較長之機型，與現有最

大起降機型資料比較推測跑道地帶與安全區長度總和仍明顯高於航機需求，較無迫切安全區改善需求，應可進行長期規劃逐年編列預算逐步改善安全區現況；桃園機場 06-24 跑道及高雄機場跑道雖長，但有起降 B747 等大型航機，安全區長度雖達建議標準，但仍應確實管制起降重量與限制起降環境以策安全，身為國家門戶的國際機場，為日後發展需求仍應盡速考量跑道改善計畫；台北松山機場跑道較短，航班亦多，安全區域又未達建議值，近期又因開放兩岸直航而可能有更迫切的跑道與安全區域需求，有較迫切的安全區改善需求，本研究將以此機場為範例進行安全區改善方案試算，詳細內容將第五章說明。





第五章 改善方案試算

5.1 試算用資料彙整

本研究為取得經濟相關資料進行試算，故收集國內外曾發布的相關文件，並引用國際上數項研究的成果與結論以合理估算不易直接取得的參數，以下將對第三章中所述經濟分析各項準則採用數據與來源進行介紹。

成本 C：

計算改善方案成本時，因主要方案應為裝設攔截系統或購地延長安全區，主要支出應為攔截系統價格、改善方案其他工程費用及購地支出。

攔截系統價格可與廠商洽詢後得知，現知攔截系統包含 EMAS 及 ERAS，本研究取得民國 95 年 10 月 ESCO 公司對台灣數個機場建議裝設 EMAS 攔截床之報價如下表 5.1 所示：

表 5.1 ESCO 公司建議 EMAS 尺寸與價位表

機場	EMAS 設計機型	MTOW (kg)	跑道端	系統全長 (m)	攔截床尺寸 (長×寬) (m ²)	攔截速度 (knots)	價格(USD)
松山機場	B757-200	115,900	10	110	100×69.1	60	7,500,000
			28	220	113.7×69.1	70	8,500,000
花蓮機場	B757-200	115,900	03	230	110×51.8	70	6,250,000
			21	230	110×51.8	70	6,250,000
高雄機場*	B757-200	115,900	09/27	164.5	114.9×69.1	70	8,500,000
			09/27	144.5	134.5×69.1	70	10,000,000
馬祖北竿機場*	DHC-8-100	16,500	03/21	60	54.3×34.5	60	2,000,000
			03/21	60	49.4×34.5	60	1,850,000
			03/21	73	67.9×34.5	60	2,550,000
			03/21	73	63×34.5	60	2,350,000
馬祖南竿機場*	DHC-8-100	16,500	03/21	60	54.3×34.5	54	2,000,000
			03/21	60	49.4×34.5	54	1,850,000

*某些機場有數種建議配置

該報價至 2007 年 8 月底前有效，包含設計、系統組件與現地裝設指導，為美國紐澤西州伊莉莎白港 FOB 價格(離岸價格)，不包含運送、整地、前置作業及安裝等費用，ESCO 公司僅進行裝設指導，現地工程費用應由

買方全額支付。

表 5.1 中資料為民國 95 年度機型資料，但表中設計機型與國內線慣用機型不盡相同，如南北竿機場常用機型應為 DHC-8-300(MTOW 18,700kg) 而非 DHC-8-100(MTOW 16,500kg)；遠東航空公司於民國 97 年 5 月 17 日停業後國內無 B757 定期航班，目前松山機場及花蓮機場國內線定期航班最大機型可能為復興航空之 A321(MTOW 93,500kg) 或立榮航空之 MD90(MTOW 70,760kg)，高雄機場因有國際航線，最大起降機型應為 B747，近期若欲考量裝設攔截系統則可能因設計攔截機型改變而有不同報價。機場欲評估裝設攔截系統花費時應與廠商洽詢以取得精確資料。

裝設攔截系統時，對應之工程相關費用可能包含整體工程設計監造顧問費、整地挖填方、鋪面重整、排水工程、機場助導航設施遷移費等費用，項目繁雜，應向廠商詢價並洽詢具經驗之顧問公司以取得詳細項目與費用。本研究收集近期報價後，設定需進行工程之面積為攔截系統涵蓋面積，以每平方公尺 NT\$7,000 代入計算。

若考量購買土地延長安全區，應考量購地費用與整地、設備遷移工程費用及額外需支出的維護費用等。土地價格可參考近期政府公告之土地現值估計，地上建物則應參照房屋評定現值等政府公告價位並考量拆遷補償費適量加成計算。其餘設建設費用與設施養護費應進行訪價，或參考最近期機場進行之工程合約計算。本研究欲對台北松山機場進行試算，地價採用政府近期公告之該地區土地現值 NT\$ 50,000/m² 進行估算，因機場周圍無明顯建物，且多為政府所有地，故無須考量拆遷費用。

經以上步驟所得各計算用參數如下：

- 松山機場裝置 EMAS 價格(28 端)：NT\$297,113,211/座 (由 2005 年報價×民 98 年相對進口物價指數 102%×美金匯率 34)
- 松山機場設置 EMAS 其餘工程費用：NT\$103,989,624/座 (由 EMAS 設計系統面積×單位面積工程費用)
- 購地價格：NT\$50,000/m²(政府近期公告土地現值)

損失 L：

本研究擬採用之損失估算方法為利用歷年事故損失資料計算平均事故損失。FAA 曾發布航機與相關設備價值文件[19]，內有各類型航機損傷價值及人命傷亡與時間成本資料，並有資料參考年分，如表 5.2 所示，適當轉換後可作為適用於國內之價值代入計算。

表 5.2 FAA 發布之航空勤務與資產價值表[19]

Physical Units	Value	Year
Value of Passenger Time Per Hour		
Air Carrier:		
Personal	\$23.30	2000
Business	\$40.10	2000
All Purposes	\$28.60	2000
General Aviation:		
Personal	\$31.50	2000
Business	\$45.00	2000
All Purposes	\$37.20	2000
Avoided Fatality	\$3,000,000	2001
Avoided Injuries		
Injury Value by AIS Category (per injury):		
Minor (AIS 1)	\$6,000	2001
Moderate (AIS-2)	\$46,500	2001
Serious (AIS-3)	\$172,500	2001
Severe (AIS-4)	\$562,500	2001
Critical (AIS-5)	\$2,287,500	2001
Fatal after 30 Days (AIS-6)	\$3,000,000	2001
Other Costs by AIS Category (per victim):		
Minor (AIS 1)	\$2,500	2001
Moderate (AIS-2)	\$7,100	2001
Serious (AIS-3)	\$21,200	2001
Severe (AIS-4)	\$111,600	2001
Critical (AIS-5)	\$300,000	2001
Fatal after 30 Days (AIS-6)	\$132,700	2001
Injury and Other Costs by ICAO Category (per victim):		
Minor	\$42,900	2001
Serious	\$580,700	2001

表 5.2 FAA 發布之航空勤務與資產價值表(續)

Physical Units	Value	Year
Aircraft Capacity and Utilization Factors		
Large (Form 41) Passenger Carriers:		
Passenger Capacity	157 seats	2002
Crew Size	5	2002
Cargo Capacity	23.6 tons	2002
Passenger Load Factor	72%	2002
Cargo Load Factor	55%	2002
Daily Utilization	9.5 hours	2002
Average Block Speed	365 mph	2002
Large (Form 41) Cargo Carriers:		
Crew Size	3	2002
Cargo Capacity	47.3 tons	2002
Cargo Load Factor	60%	2002
Daily Utilization	4.2 hours	2002
Average Block Speed	410 mph	2002
Form 298-C Non-Alaskan Carriers:		
Passenger Capacity	38 seats	2001
Crew Size	3	2001
Cargo Capacity	4.5 tons	2001
Form 298-C Alaskan Carriers:		
Passenger Capacity	11 seats	2001
Crew Size	2	2001
Cargo Capacity	1.5 tons	2001
General Aviation:		
Passenger Capacity	4 seats	1982-2003
Passenger Load Factor	52.70%	1982-2003
Average Gross Weight	3,384 lbs.	1982-2003
Large (Form 41) Passenger Carriers:		
Variable Operating Cost per Hour	\$2,096	2002
Fixed Cost per Hour	\$640	2002
Total Cost per Hour	\$2,736	2002
Aircraft Operating Costs		
Large (Form 41) Cargo Carriers:		
Variable Operating Cost per Hour	\$4,339	2002
Fixed Cost per Hour	\$1,583	2002
Total Cost per Hour	\$5,922	2002

表 5.2 FAA 發布之航空勤務與資產價值表(續)

Physical Units	Value	Year
Regional (Form 41) Passenger Carriers:		
Variable Operating Cost per Hour	\$3,218	2002
Fixed Cost per Hour	\$1,008	2002
Total Cost per Hour	\$4,226	2002
Regional (Form 41) Cargo Carriers:		
Variable Operating Cost per Hour	\$3,235	2002
Fixed Cost per Hour	\$702	2002
Total Cost per Hour	\$3,938	2002
Form 298-C Alaskan Carriers:		
Variable Operating Cost per Hour	\$359	2001
Fixed Cost per Hour	\$108	2001
Total Cost per Hour	\$467	2001
Form 298-C Non-Alaskan Carriers:		
Variable Operating Cost per Hour	\$622	2001
Fixed Cost per Hour	\$256	2001
Total Cost per Hour	\$878	2001
General Aviation:		
Variable Operating Cost per Hour	\$362	2003
Fixed Cost per Hour	\$728	2003
Total Cost per Hour	\$1,090	2003
Military:		
Total Cost per Hour	\$6,640	2002
Replacement Costs of Destroyed Aircraft		
Air Carrier - Passenger	\$11,460,000	2003
Air Carrier - Cargo	\$10,640,000	2003
General Aviation	\$361,943	2003
General Aviation (pre 1982 aircraft)	\$94,661	2003
General Aviation (1982 and later aircraft)	\$1,817,062	2003
Military	\$24,400,000	2003
Restoration Costs of Damaged Aircraft		
Air Carrier - Passenger	\$3,700,000	1990-2003
Air Carrier - Cargo	\$2,900,000	1990-2003
General Aviation	\$35,070	Several years
General Aviation (pre 1982 aircraft)	\$25,508	Several years
General Aviation (1982 and later aircraft)	\$85,154	Several years
Military	\$700,000	2003
Aviation Accident Investigation Costs		
Air Carrier (including Air Taxi)	\$449,000	2002
General Aviation	\$35,100	2002

由表 5.2 資料換算為國內資料時，須考量國民收入水準比例適當換算為國內幣值，本研究認定與時間價值及傷亡損失與收入水準有關，須適當轉換才適用國內狀況，航機設備部分則認定為國際統一價格，可直接使用。由該資料直接估算大型客運航機全毀損失約為 3 億新台幣，損傷維修亦有 1.3 億代價。

另 FAA 公告相關價值時也提及，此類價值資料在未公告更新前應以公告數值直接代入計算，不需計算因物價波動或經濟成長所造成之變化。

為估計衝出跑道事故發生時之損失，本研究引用美國一大型研究之成果。FAA 為增進機場與飛航安全，曾委託 Transportation Research Board 進行一系列 Airport Cooperative Research Program (ACRP)，其中由 Applied Research Associations(ARA)公司所完成的 ACRP Report 3[20]引用全球數個飛安資料庫，分析歷年航機衝出跑道(Overrun)與降落未達跑道(Undershoot)的事故資料，經複雜資料處理過程後，建立不同環境狀況下事故發生機率、事發後航機位置、影響等三大要素的預測式，以評估不同環境的跑道與跑道安全區域(Runway Safety Area, RSA)的風險。因該研究設定的環境為北美的天候、航機及人員管制情況，本研究無法直接引用事故發生機率預測式，但該研究已提供良好概念與範例可供參考。

本研究採用之事故死傷分布資料來源為美國 NTSB 飛安資料庫，因 ACRP Report3 已對該資料庫彙整完善資料，故本研究逕由該研究中整理之事故紀錄表查詢 NTSB 資料庫，調取事故損失相關資訊進行整理。選取之事故類型包括起飛衝出跑道(Takeoff Overrun)及降落衝出跑道(Landing Overrun)，總共有 159 件記錄全部選取。分類統計資訊如下表 5.3 及 5.4 所示，可了解乘載類型、航機大小分布、傷亡人數、航機損傷等資訊；不同重量機型事故傷亡分布則如圖 5.1 至 5.4 所示，由圖中可看出較大之機型各等級傷亡狀況分布有較類似趨勢，僅 MTOW<12,500lb 之小型航機死傷狀況分布中幾無輕傷者，參照原始資料發現航機較小乘員較少，發生事故時死傷狀況較極端，若非全員平安即為死傷慘重。

表 5.3 事故航機乘載類型統計表

乘載類型			
貨機	客貨/客機	無資料	總計
19	106	34	159

表 5.4 航機損傷與事故傷亡人數統計-依航機重分類

重量分類	件數 總計	航機損傷				人數 總計	傷亡人數			
		全毀	嚴重	輕微	無傷		死亡	重傷	輕傷	無傷
MTOW<12,500lb	12	2	8	2	0	38	2	10	0	26
12,500<MTOW <60,000lb	94	18	72	4	0	585	16	27	78	464
MTOW>60,000lb	53	14	12	16	11	4,994	220	127	325	4,322
合計	159	34	92	22	11	5,617	238	164	403	4,812

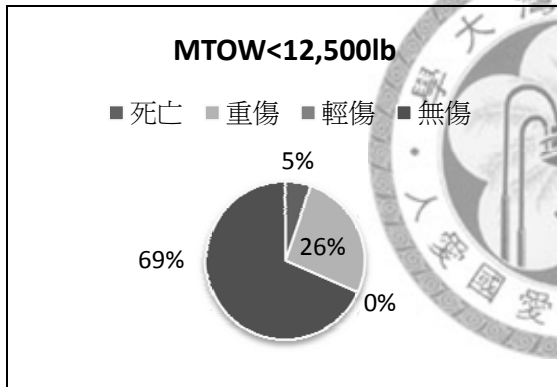


圖 5.1 航機事故傷亡分布：
MTOW<125,00lb

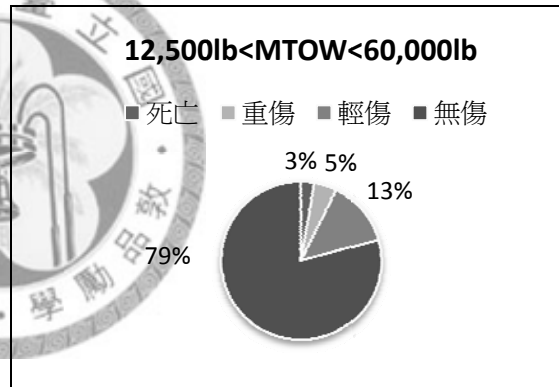


圖 5.2 航機事故傷亡分布：
12,500<MTOW<60,000lb

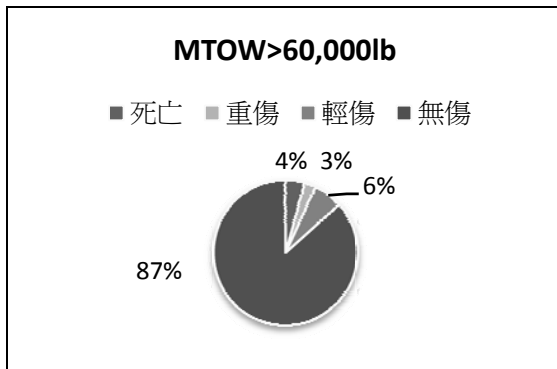


圖 5.3 航機事故傷亡分布：
MTOW>60,000lb

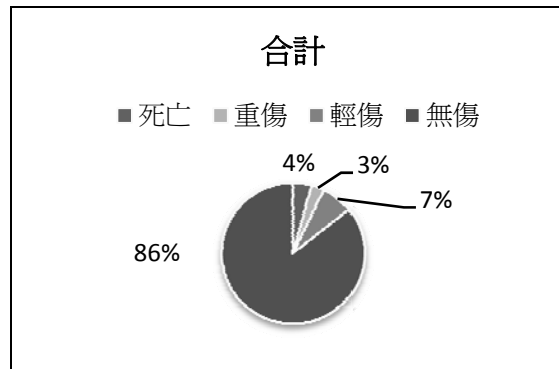


圖 5.4 事故傷亡分布：全部機型

本研究為精確估算事故發生時是否另有撞擊障礙物的不同後果，乃由分析事故紀錄中有檢視是否有額外財損項目，若有此項即為撞擊之損害、包含機場設施、管線、建築物、車輛、樹叢等，應是完全衝出安全區且撞擊障礙物損失嚴重的事件，另由資料中有數個死傷嚴重的案例雖無撞擊記錄，但可能是掉落懸崖或水中等明顯地形差造成嚴重傷亡者也歸於此類；若無額外財損紀錄者則可設為未撞擊障礙物，損失較輕微，分別統計兩種類型的傷亡狀況。

因試算目標松山機場並無起降 MTOW<12,500lb 之小型航機，故由資料庫中刪去該類型事故資料，僅保存 MTOW>12,500 之航機，分析撞擊障礙物與否之航機損傷與人員死傷分佈，結果如表 5.5 與圖 5.5~5.8 所示，由圖可見兩種情況有明顯差異。若未撞擊障礙物，人員死亡率為 0，輕重傷也僅有 1%、3%；若超出安全區則死傷大幅提高，分別為 8%、4%、11%。

表 5.5 航機損傷與事故傷亡人數統計-依財損紀錄分類

損失紀錄分類	件數 總計	航機損傷				人數 總計	傷亡人數			
		全毀	嚴重	輕微	無傷		死亡	重傷	輕傷	無傷
無財損紀錄	81	10	49	12	10	2,643	12	22	77	2,532
有財損紀錄	66	22	35	8	1	2,936	224	132	326	2,254
合計	147	32	84	20	11	5,579	236	154	403	4,786

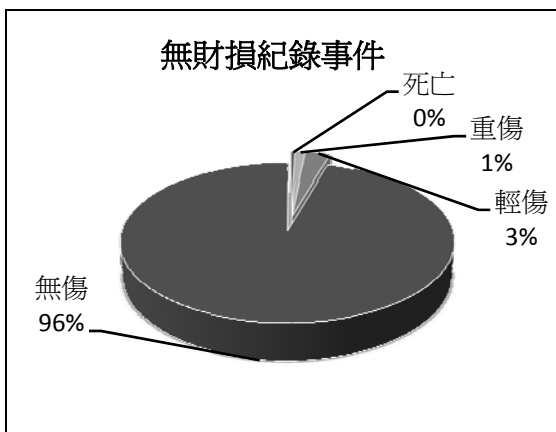


圖 5.5 無財損紀錄者乘員傷亡分佈

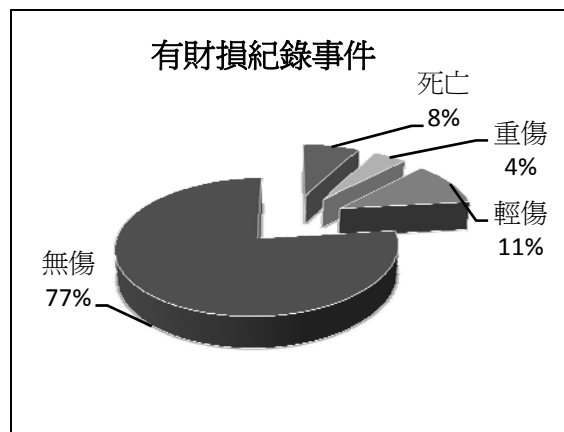


圖 5.6 有財損紀錄者乘員傷亡分佈

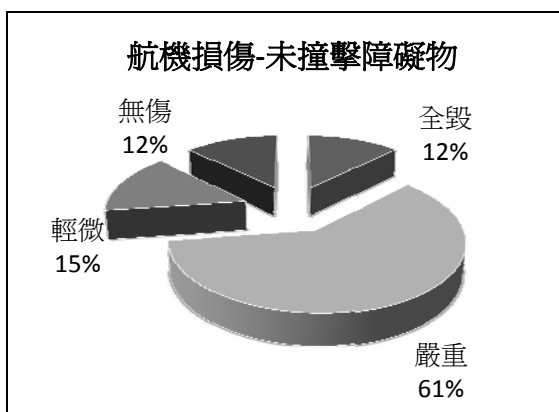


圖 5.7 未撞擊障礙物者航機損傷

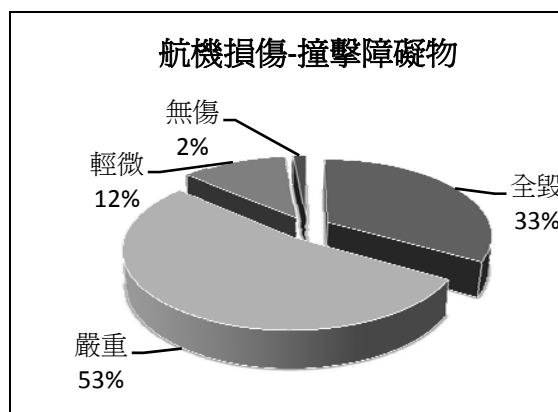


圖 5.8 撞擊障礙物者航機損傷

由圖 5.7 與 5.8 可明顯看出撞擊障礙物與否航機損傷狀況有明顯差異，撞擊障礙物者全毀機率較未撞擊障礙物者高出許多。本研究考慮國內數個主要機場均位於都市發展區域內，故假設航機衝出安全區域即撞擊障礙物、若未衝出則否以估算平均航機損失，如此即可得衝出跑道事故發生時二種不同嚴重度的損失平均值代入後續計算。

若使用 EMAS 攔截系統，ESCO 公司宣稱 EMAS 可安全攔截以設計速度(一般為 70knots)衝出跑道的機型，且使航機起落架不斷裂、無結構損傷，可快速疏散乘客，並將航機拖離現場，減少事故後跑道封閉時間，降低損失。但事故後攔截系統也需維修，亦屬於損失。依據 ESCO 公司提供資訊顯示，EMAS 攔截衝出跑道事故後攔截床維修材料比例約為 15~25% 不等，某次攔截經驗航機幾乎停於 EMAS 末端，該次維修量為 25%，故本研究設定維修費最多為 EMAS 攔截床價格 25% 進行計算。

若發生飛航事故，則因跑道關閉將造成航機延誤，此時需計算旅客損失與機場收入損失。旅客時間價值可由 FAA 公布資料除以國民所得比例換算；機場收入資訊可由 eAIP 公告之「場站及助航設施服務費用」各項收費標準配合航機班表進行估計，依據機場起降機型組成而異，每架次機型收入約為數千元至萬餘元不等。事故發生時機場跑道封閉時間可由新聞資訊或洽詢各航空站可取得歷史資料，另須參考分析機場周圍備用機場之距離以估計旅客延誤時間。

依據以上資料可整理出以下計算用參數：

- 人員死亡：NT\$37,090,909/人 (FAA 資料×匯率 34 ÷ 2008 年國民所得比例 2.75)
- 人員重傷：NT\$7,179,564/人 (FAA 資料×匯率 34 ÷ 2008 年國民所得比例 2.75)
- 人員輕傷：NT\$530,400/人 (FAA 資料×匯率 34 ÷ 2008 年國民所得比例 2.75)
- 航機全毀：NT\$389,640,000/機 (FAA 資料×匯率 34)
- 航機中等/嚴重損傷：NT\$125,800,000/機 (FAA 資料×匯率 34)
- 航機輕傷：NT\$0 (FAA 文件說明輕傷損失相較於航機價格極小，可忽略)
- 旅客時間價值：NT\$412/人/hr(FAA 資料×匯率 34 ÷ 2008 年國民所得比例 2.75)
- 松山機場平均每班次飛機起降收入：NT\$10,000/架(本研究自行估計)

本研究調查國內外事故資料時，發現相關紀錄僅著重於事故直接肇因與傷害狀況，較為細微且不明確之資料多付之闕如，美國 NTSB 資料庫雖記載項目繁多，但漏填或誤填之數據亦不少，如此對於風險評估及管理造成不小阻礙。另本研究曾查依據 EMAS 宣稱之攔截經驗查詢 NTSB 資料庫，發現某次於美國 JFK 機場攔截 747 之事件並無記錄，經洽詢 NTSB 人員後得知 NTSB 資料庫仍有許多事件未被記錄，尤其是狀況輕微或未造成傷害之事件常因航空公司顧慮影響商譽而極力阻止計入資料庫，故此推測仍有許多狀況輕微之隱藏案件未被納入。此類事故若納入分析將會提高事故發生率統計值，但會降低事故預期損傷，改變傷亡分布。

效益 B：

因效益定義為改善方案施行前後的事務損失，故須了解改善前後事故的影響。本研究為區分不同長度安全區的攔截效果，查詢 Kirkland 之研究 [21] 後發現航機衝出跑道的位置分布如圖 5.9 所示，可看出大部分都在跑道端後方 300m 內。

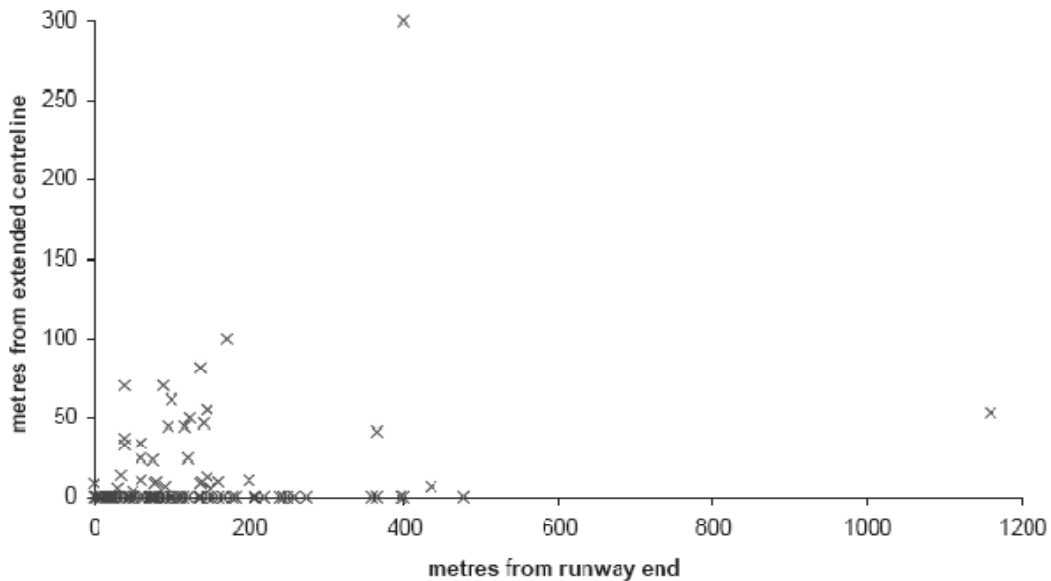


圖 5.9 衝出跑道航機分布狀況[21]

引用 Kirkland 研究的 ACRP-3 整理出歷史事故中航機降落衝出跑道 (LDOR) 紀錄的航機最終位置與跑道端距離，並建立距離機率曲線方程式如下：

$$P\{d > x\} = e^{-0.003871x^{0.955175}}$$

式中 x = 衝出跑道距離(ft)

該研究取用之資料為 257 筆，迴歸式之 R^2 值高達 99.8%，代表此式估計安全區域長度與航機煞停比例有高準確性，意即 $1-P\{d>x\}$ 即為在安全區域內可安全煞停之比例，此時以不同安全區域長度代入算式即可得知安全煞停比例，即可評估安全區域之效果。

此時設定長度以 50m 為間隔，代入迴歸式計算安全區域 0~600m 的攔截效果如下表 5.6 所示。此時可看出在安全區域 300m 長時可使 93.9% 事故航機煞停，與 FAA 研究統計資訊 [22] 相同，再次說明此迴歸式之可靠度。

表 5.6 衝出跑道長度對應煞停比例

安全區長度(m)	0	50	100	150	200	250	300	350	400	450	500	550	600
在安全區內 煞停比例(%)	0.0	39.7	62.5	76.4	85.0	90.5	93.9	96.1	97.5	98.4	99.0	99.3	99.6

若選擇裝設 EMAS 攔截系統，則需估計其效用。FAA AC 150/5220-22A 中認定裝設 EMAS(設計攔截速率 70knots)後安全區可適當折減，該文中提供數種航機參考曲線，其中波音 747 之設計曲線如下圖 5.10 所示，認定在無逆推力與剎車效果極差的狀況下 70knots 的 B747 可以在 590ft 的 EMAS 系統(75ft 導坡+515ft)內煞停，代表 75ft 鋪面搭配 515ft 的攔截床效果不低於 1000ft(300m)長的安全區，意即 FAA 認可「設計攔截速率 70knots 的 EMAS 攔截床與機場建議安全區長度具有相同效果」。

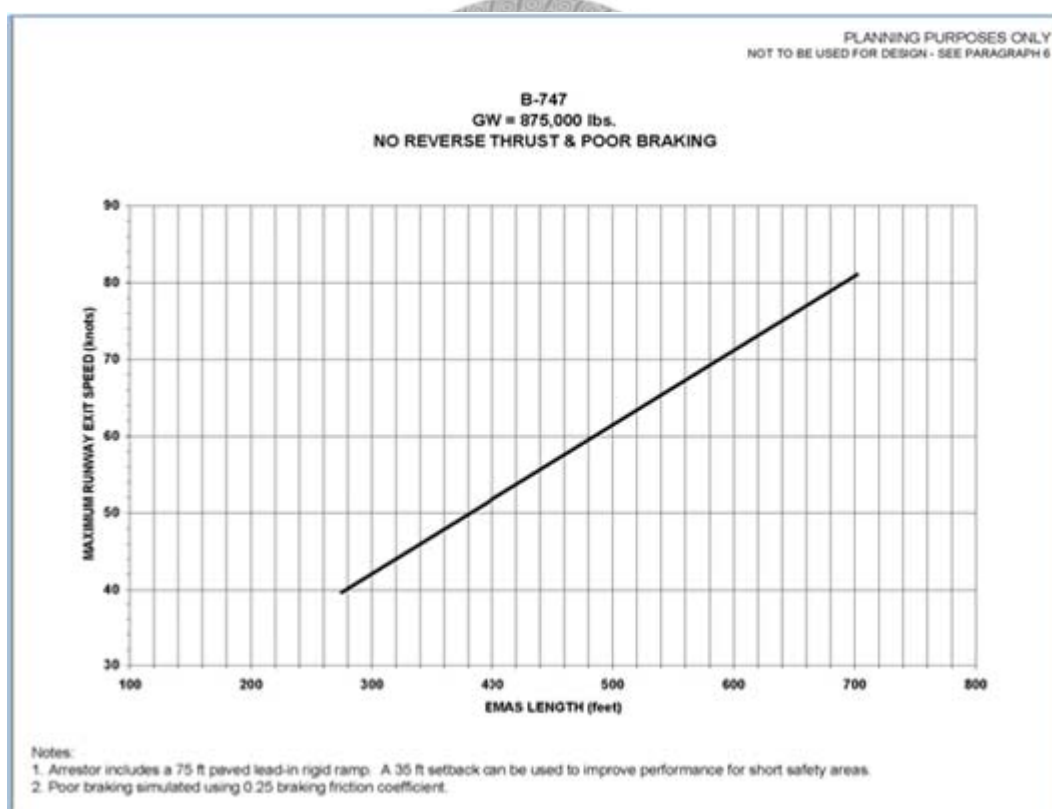


圖 5.10 EMAS 長度對應 B747 攔截速度設計圖[9]

依據 Kirkland 研究之資料[21]顯示，航機衝出跑道時減速行為如圖 5.11 所示，可能為等減速度或煞停效果漸增的變減速度。為保守計算航機煞停效率，本研究假設航機在安全區或進入 EMAS 時為等減速度，如此可由攔

截系統設計長度換算為等效安全區長度以比較不同 EMAS 系統長度的效果。

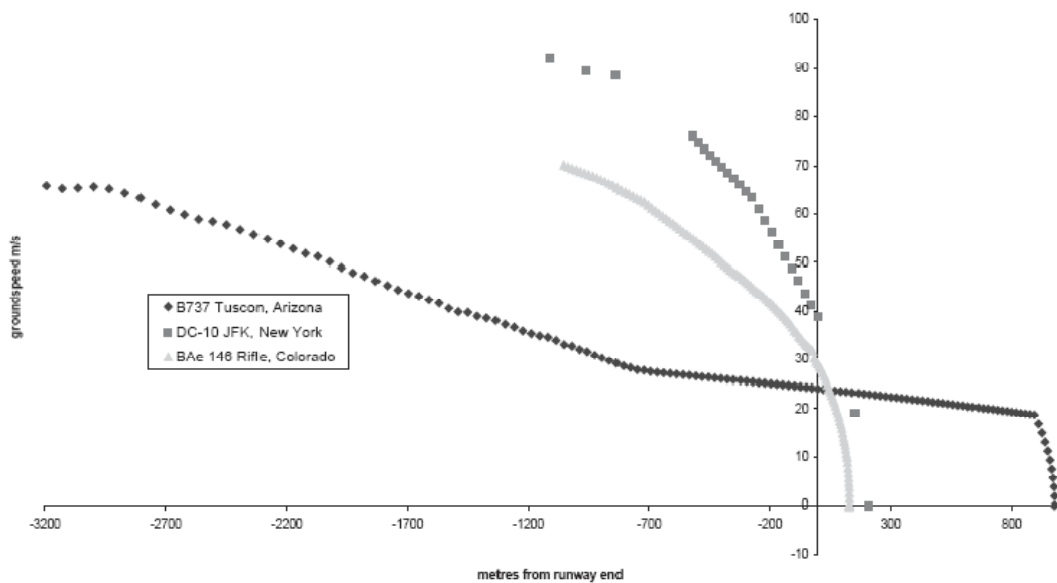


圖 5.11 航機減速距離對應速度曲線[21]

在等減速度的情況下，煞停距離與初速度平方成正比，若 EMAS 尺寸未達完整設計，依照等減速度估算，攔截速度 60knots 設計之攔截床等效長度應為 70knots 者的 $\frac{6^2}{7^2}$ ，即 $\frac{36}{49}$ 。

雖然 EMAS 單位攔截效果依設計機型而不同，但標準設計機型應為該機場最大最重之機型，攔截速度通常設定為 70knots。對應 FAA 統計資訊「90%航機衝出跑道時速度低於 70knots」[22]，可推測標準設置 EMAS 可攔截 90%以上的事務航機，應與前述「設計攔截速率 70knots 的 EMAS 系統與機場建議安全區長度具有相同效果」相同。

由 FAA AC 150/5220-22A 中各種航機之 EMAS 設計曲線估算 EMAS 之等效倍率結果如表 5.7 所示，由表中可看出攔截床等效倍率各有不同，自 1.29~3.63 不等。部份小型航機等效倍率較高，但一般大型航機設計攔截速率 70knots 時等效倍率約為 2，且設計攔截速度越高等效倍率越高。

表 5.7 由 FAA AC 150/5220-22A 計算攔截床等效倍率

EMAS 設計機型	MTOW (kg)	系統全長 (ft)	攔截床長度 (ft)	攔截速度 (knots)	機場建議安全區長度 (ft)	EMAS 攔截床等效倍率
DC-9	114,000	380	305	70	1,000	3.03
DC-10	455,000	520	445	70	1,000	2.08
DC-10	455,000	400	325	60	1,000	2.03
DC-10	455,000	320	245	50	1,000	1.78
DC-10	455,000	270	195	40	1,000	1.29
B737-400	150,000	460	385	80	1,000	3.20
B737-400	150,000	395	320	70	1,000	2.89
B737-400	150,000	333	258	60	1,000	2.56
B757	255,000	530	455	80	1,000	2.71
B757	255,000	450	375	70	1,000	2.47
B757	255,000	380	305	60	1,000	2.16
B747	875,000	690	615	80	1,000	2.00
B747	875,000	590	515	70	1,000	1.80
B747	875,000	490	415	60	1,000	1.59
CRJ-200	53,000	330	255	70	1,000	3.63
G-III	69,700	430	355	70	1,000	2.61

ESCO 公司 2007 年對台灣提供設置建議中松山機場 28 端建議裝設 113.7m 長的攔截床，在攔截床前方仍有 106.3m 的一般鋪面，代表 ESCO 公司認為裝設後與 300m 安全區具有同等效果，意即 EMAS 單位長度效果為一般安全區之 1.7 倍；其餘國內機場換算結果如表 5.8 所示，可看出 EMAS 等效長度比例介於 1.5~2.2 間，此數值變化應為不同 EMAS 設計造成，推測主要差異為材質強度與厚度。

由 ESCO 公司提供建議與價格估算單位面積價格，發現各種設計之單位面積價格幾乎相同，又觀察 EMAS 系統裝設時大部分為同一厚度，僅有邊緣處有較薄塊體，故推測 EMAS 是以單位面積計價，與厚度較無關連。因攔截系統經濟分析目標為國內機場，故本研究取國內資料等效倍率平均值 1.8 進行計算。

表 5.8 ESCO 公司建議國內設置 EMAS 之等效倍率計算

機場	EMAS 設計機型	MTOW (kg)	跑道端	系統全長 (m)	攔截床長度 (m)	攔截床寬度 (m)	價格(USD)	攔截床單位價格 USD/m ²	攔截速度 (knots)	機場建議安全區長度 (m)	EMAS 攔截床等效倍率
松山機場	B757-200	115,900	10	110	100	69.1	7,500,000	1,085	60	300	2.10
			28	220	113.7	69.1	8,500,000	1,082	70	300	1.70
花蓮機場	B757-200	115,900	3	230	110	51.8	6,250,000	1,097	70	300	1.64
			21	230	110	51.8	6,250,000	1,097	70	300	1.64
高雄機場	B757-200	115,900	09/27	164.5	114.9	69.1	8,500,000	1,071	70	300	2.18
			09/27	144.5	134.5	69.1	10,000,000	1,076	70	300	2.16
馬祖北竿機場	DHC-8-100	16,500	03/21	60	54.3	34.5	2,000,000	1,068	60	150	1.92
			03/21	60	49.4	34.5	1,850,000	1,085	60	150	2.02
			03/21	73	67.9	34.5	2,550,000	1,089	60	150	1.55
			03/21	73	63	34.5	2,350,000	1,081	60	150	1.59
馬祖南竿機場	DHC-8-100	16,500	03/21	60	54.3	34.5	2,000,000	1,068	54	150	1.54
			03/21	60	49.4	34.5	1,850,000	1,085	54	150	1.59

由以上資料，即可估計不同長度安全區與不同 EMAS 配置，換算得等效安全區長度可計算航機煞停比例，再依不同等級損失計算即可求得最具經濟效益之 EMAS 設置長度。

本研究為計算各種事故後效應，依據風險分析常使用之蝶形圖 (Bow-Tie Diagram) 分析法，將導致危險狀況之肇因置於圖左方以分析事件成因，稱為故障樹分析 (Fault Tree Analysis, FTA)。而危險狀況發生後可能發生的不同狀況列於圖右方以探討後果，稱為事件樹分析 (Event Tree Analysis)。本研究整理國內外歷史事故資料後將航機衝出跑道事件之蝶型圖分列於圖 5.12 及 5.13，共可分為 6 種後果，分別為：

- 效應 I：在安全區內無傷煞停，若安全區設置良善，或有完整鋪面，航機可能安穩煞停，損傷應極低。
- 效應 II：在安全區內碰撞違規設施煞停，可能有一定程度的航機損傷。因國內曾有航機衝出跑道撞及不合規範的機場設施案例，故有此項目。
- 效應 III：衝出安全區但未撞擊障礙物，可能安全煞停、因地表狀況損傷航機，甚或可能衝入水中。
- 效應 IV：衝出安全區撞擊障礙物或摔落山崖的嚴重後果，損傷可能最大。
- 效應 A：被攔截系統攔住，航機輕傷或無傷，僅有攔截系統損耗。
- 效應 B：攔截系統無法攔住而衝出安全區撞擊障礙物，此時除事故損失外還需支付攔截系統維修費。

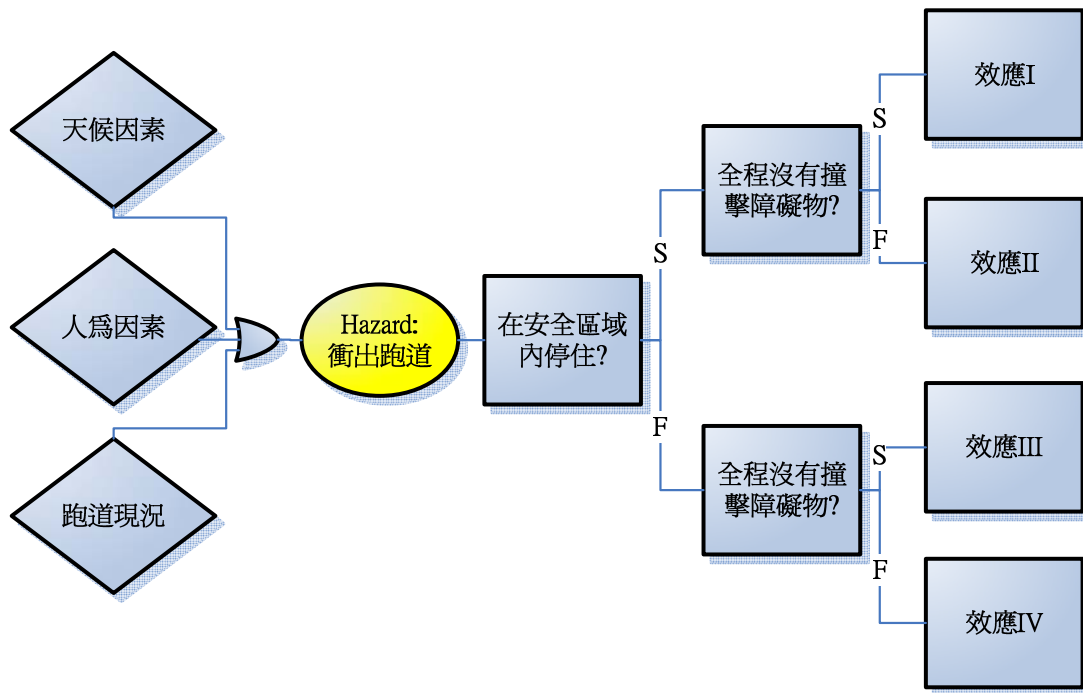


圖 5.12 未裝設攔截系統之事件可能效應

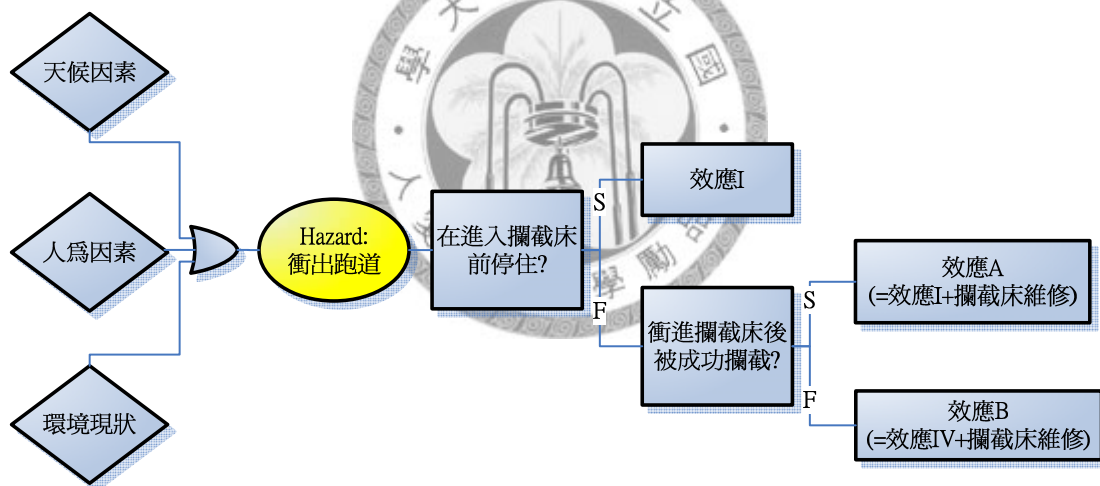


圖 5.13 裝設攔截系統之可能效應

依據現有資料顯示，EMAS 之類的攔截系統通常都設於機場可提供之安全區域末端，故攔截系統後端通常即為障礙物。依據損傷估計，以標準設計攔截系統進行比較時，各種效應由輕至重應分別為 I<II<III<IV<B，但若攔截系統為非標準之折減設計，則可能因維修床尺寸不同，維修費不同而使效應 AB 改變。

由上述 6 種效應配合本研究收集之歷史資訊，本研究設定於事故發生之不同情境後果損失如下：

- 效應 I：在跑道後方鋪面上安全煞停，人員無傷，航機 5% 機率輕傷，跑道封閉 1 小時，旅客受延誤 1 小時。損失期望值為 NT\$427,338。
- 效應 II：在跑道後方碰撞違規障礙物煞停，人員無傷，航機 28.5% 中等/嚴重損傷，機場封閉 12 小時，旅客延誤 1 小時。損失期望值為 NT\$39,373,447。
- 效應 III：衝出跑道但未撞擊大型障礙物，人員 1% 重傷、3% 輕傷，航機 12% 全毀、61% 中等/嚴重損傷、15% 輕傷，跑道封閉 24 小時，旅客延誤 3 小時。損失期望值為 NT\$130,769,602。
- 效應 IV：衝出跑道且撞擊障礙物或掉入水中/山崖，人員 8% 死亡、4% 重傷、11% 輕傷，航機 33% 全毀、53% 中等/嚴重損傷，跑道封閉 36 小時，旅客延誤 3 小時。損失期望值為 NT\$209,129,340。
- 效應 A：在攔截系統內煞停，代價為效應 I+攔截系統維修費。
- 效應 B：攔截系統攔截失效而有嚴重後果，損失為效應 IV+攔截系統維修費。

由以上資料可看出一旦航機衝出安全區域撞擊障礙物(效應 IV)，估計損失將高達新台幣 2 億元，即使衝出安全區未撞擊障礙物(例如掉入水中等)也可能損傷高達 1.3 億元，機場管理單位務須致力避免此類後果發生。

5.2 松山機場試算

松山機場位於台北市中央，松山區基隆河畔，為日據時代即成立之重要機場，早年為台灣最重要之國際機場，自民國 68 年桃園中正機場成立後則停飛國際線航班，但仍為重要國內線起降地點，全盛時期曾有年起降量達 19 萬架次的紀錄，近年則因高鐵通車與油價高漲等因素導致航空業嚴重衰退，年起降量突降至民國 97 年未達 5 萬架次，但仍為國內航線之

樞紐，近期又因兩岸直航重啟國際航線，未來營運仍具發展空間。松山機場 10-28 跑道長全長 2605m，寬度 60m，10 端安全區長 51m，28 端安全區長 90m，因盛行風向為東風，故航機多由 10 端起降。機場跑道長度雖足供 B757 以下之窄體機起降，但目前跑道寬度乃拓建既有道肩而成，故目前跑道無道肩，且近期因應直航而將有 B767 或 A330 等廣體機起降需求，跑道長度受限於大台北地區發展已無法延長，安全區長度又不盡理想，在此狀況下飛機發生衝出跑道事故的可能性及嚴重性都較高。歷史上也曾發生數次衝出跑道事故，所幸尚無人員死亡記錄。

因應松山機場之大量班機，為免發生嚴重衝出跑道事故並減少事發時可能的損害，安全區改善是為重要且迫切之課題，其中 28 端為航機主要起降之末端，對於衝出跑道事故的防治較為重要。由空照圖觀察松山機場 28 端，發現跑道端至圍牆邊約為 270m，至跑道燈具(障礙物)距離約 240m，其中鋪面區約為 160m 長；再對照 eAIP 紀錄之尺寸與公布距離，可得跑道 28 外依序為 90m 長緩衝區、跑道地帶 60m 長與現有 90m 長 RESA，如下圖 5.14 所示。

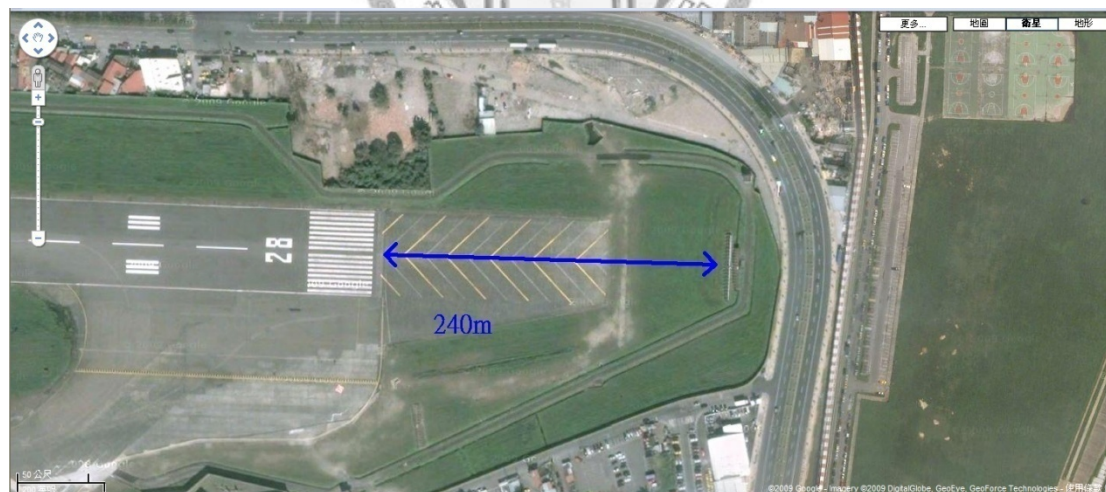


圖 5.14 松山機場 28 端跑道空照圖[23]

除前一節已說明之資訊，以下為本研究進行計算時設定之參數與其餘補充資料：

1. 分析周期為 20 年，設定未來 20 年內松山機場持續營運，起降量

與旅客量持平。

2. 由民航局氣象年報資訊假設航機皆自 10 端起降。
3. 由民航局統計資料取得松山機場民國 97 年起降量為 49,264 架次，旅客數 3,101,854 人。在此假設航機起降平均分佈於全日營業時間，以便估計延誤時間，算得平均每小時起降架次為 5.6 次，平均每班機旅客 63 人。
4. 因機場位於市區，改變跑道代價過大，故設定跑道不延長且不遷移。
5. 28 端跑道安全區旁即為機場圍牆，圍牆外為市區道路，若封閉道路則仍有足夠平地可供安全區域延長，無地形障礙。
6. 考量裝設之 EMAS 攔截系統使用周期為 20 年。
7. 若發生事故，跑道封閉後至開放前機場因無法開放起降而損失收入，所有受影響旅客則受延誤或選擇其他機場，損失一相同時間成本。由 eAIP 收費標準概估平均每架次松山機場收入為 NT\$10,000。
8. 事故機率部分，自飛安會成立以來，民國 88 至 97 年全台起降量共計 5,029,846 架次，衝出/滑出跑道事件共計 7 件，平均事故機率為 1.36×10^{-6} ，雖然並非全為衝出跑道末端事件，但為保守估計事故風險，將以此值代入計算。

對於松山機場 28 端現狀，本研究考量方案分別為保持現狀、裝設標準 EMAS、延長 RESA 至建議上限 240m、延長 RESA 至 150m(距離跑道末端 300m)、將安全區拓展至機場圍牆邊並配合設置折減之 EMAS 等五種，主要設定如下：

- ◇ 方案 0：維持現狀。
- ◇ 方案 1：依據 ESCO 公司建議配置增設一組 EMAS 系統，並在分析年限內保持其功能。

- ◇ 方案 2：購買土地延長 RESA 至 240m(距離跑道末端 390m)。
- ◇ 方案 3：延長 RESA 至 150m(距離跑道末端 300m)。
- ◇ 方案 4：延長 RESA 至既有圍牆末端並設置折減之 EMAS 以達到與建議安全區長度相同效果。

各方案主要計算程序如下：

方案 0：維持現狀

機場維持現狀，不進行任何改善，將無法對可能發生的事故提供任何保障，但也無任何改善支出，保持於相同風險狀況。

◆ C：因維持現狀，將無額外花費，則成本 C_0 為 0

◆ L：

■ 現有安全區域自跑道後方延伸 240m 長，依序為 90m 緩衝區，60m 跑道地帶與 90m 長 RESA，其中鋪面區約為 160m 長。若在鋪面區內煞停則應為效應 I，若在無鋪面區煞停則為效應 II(考量國內曾發生之案例而設定)，超出安全區即會撞上障礙物，為效應 IV。代入煞停比例式可估計發生事故時 78.4% 為效應 I，11.1% 為效應 II，10.4% 為效應 IV，計算得平均單次事故損失期望值 L_0 為 NT\$26,527,673

■ 依照目前起降量估計 20 年事故量：

$$49,264 \times 20 \times 1.36 \times 10^{-6} = 1.34 \text{ 次}$$

■ 分析週期 20 年內預期事故損失 L_0 為 NT\$35,546,573

◆ B：因無進行任何改善，效益 B_0 為 0

◆ TE：分析週期內預期總支出 $TE_0 = NT\$35,546,573$

方案 1：裝設 EMAS 攔截系統

裝設 EMAS 系統預期將可有效攔截大部分衝出跑道航機，但 EMAS 為一次性產品，每次使用後需進行維修以維持良好攔截功能；雖裝設系統

無法減低肇事率，但可降低事發後的損傷，唯價格高昂，欲裝設時需考量是否有裝設價值。

◆ C：

■ 2006 年 ESCO 公司曾來台宣傳，並宣稱裝設後只需定期派人巡視並定期油漆保養，幾無保養費用。依據當時報價乘上進口物價指數換算 2009 年價格約為新台幣 3 億，並估計其餘施工費用後總成本 C_1 為 NT\$403,527,211

◆ L：

■ EMAS 系統全長 220m，為設計攔截速率 70knots 的標準設計，裝置系統後認定與 300m 長安全區域具有相同效果。EMAS 本體 113.7m 長，意即跑道端後方 106.3m 為鋪面區，EMAS 維修比例可以簡單假設維修比例與衝入深度成正比，完全衝出時比例為 25%，以簡單分段方式估計此 EMAS 設計煞停距離比例可得平均事故維修比例約為 9%。計算後可估計 64.6% 航機可在鋪面區內煞停(效應 I)，29.3% 機率在 EMAS 內煞停(效應 A)，6.1% 仍衝出安全區(效應 B)。

■ 單次事故損失期望值 L_1' 為 NT\$25,405,962

■ 20 年內預期事故損失 L_1 為 NT\$34,043,501

◆ B：

■ 方案 1 之單次效益為：

$$B_1' = L_0' - L_1' = 26,527,673 - 25,405,962 = \text{NT\$}1,121,711$$

■ 方案 1 之分析周期效益為：

$$B_1 = L_0 - L_1 = 35,546,573 - 34,043,501 = \text{NT\$}1,503,071$$

◆ N：

■ $N_1 = B_1 - C_1 = 1,503,071 - 403,527,211 = \text{NT\$} -402,024,139$

◆ TE：

■ 方案 1 總支出為：

$$TE_1=C_1+L_1=403,527,211+34,043,501=NT\$437,570,712$$

方案 2：延長跑道端安全區至建議值 240m

依照 ICAO 建議機場需有 240m 長跑道端安全區，但松山機場目前僅有 90m 長，欲延長至 ICAO 建議長度，需增加 150m 長土地，由空照圖粗估約需購買 120m 長土地，若依照 RESA 最小寬度規範，購地寬度為 120m，需購買 14400m² 土地供使用。此舉會影響原有市區道路，該道路需阻斷或建設地下道通過。阻斷該道路會造成交通結構改變的衝擊，造成一定的社會成本；若建設地下道，工程經費明顯不合成本，故考量阻斷該道路較合適。此方案不會改變既有安全區域的配置，故跑道端仍保留 160m 鋪面區。

◆ C：

- 該地為市區道路，屬政府用地，無拆遷補償問題，購買費用參照近年該地公告現值 50000/m² 計算，購地費用為 NT\$720,000,000，機場圍牆、燈具拆遷、整地費用相對較少粗估為 NT\$20,000,000，則該方案成本 C₂ 為 NT\$740,000,000。

◆ L：

- 延長安全區後，依據安全區對應煞停比例關係式，延長 RESA 至 240m 後，安全區域距離跑道端有 390m，預計可使 78.4% 事故航機安全停於鋪面區內(效應 I)，18.8% 停於無鋪面區(效應 II)，2.7% 撞擊障礙物(效應 IV)
- 單次事故損失 L₂' 為 NT\$13,487,224
- 20 年內預期事故損失 L₂ 為 NT\$18,072,621

◆ B :

- 方案 2 之單次效益為：

$$B_2' = L_0' - L_2' = 26,527,673 - 13,487,224 = \text{NT\$}13,040,449$$

- 方案 2 之分析周期效益為：

$$B_2 = L_0 - L_2 = 35,546,573 - 18,072,621 = \text{NT\$}17,473,951$$

◆ N :

- $N_2 = B_2 - C_2 = 17,473,951 - 740,000,000 = \text{NT\$}-722,526,049$

◆ TE :

- 方案 2 總支出為：

$$TE_2 = C_2 + L_2 = 740,000,000 + 18,072,621 = \text{NT\$}758,072,621$$

方案 3：延長跑道端安全區至 150m

若延長 RESA 至 150m，則跑道後方將有 300m 長的安全區域，僅需購買 30m 長的土地，並支付相關工程費用，如此對機場外道路的交通影響會稍微減低，但仍會有交通衝擊。

◆ C :

- 機場跑道端至圍牆邊距離約 270m，僅需購買 30m 長土地，購買寬度為 120m 時購地費用為 NT\$180,000,000，粗估整地等工程費用為 NT\$10,000,000，則該方案成本 C_2 為 NT\$190,000,000。

◆ L :

- 方案實施後，預計可使 78.4% 事故航機安全停於鋪面區內(效應 I)，15.5% 停於無鋪面區(效應 II)，6.1% 撞擊障礙物(效應 IV)

- 單次事故損失 L_3' 為 NT\$19,170,915

- 20 年內預期事故損失 L_3 為 NT\$25,688,658

◆ B :

- 方案 3 之單次效益為：

$$B_3' = L_0' - L_3' = 26,527,673 - 19,170,915 = \text{NT\$}7,356,758$$

- 方案 3 之分析周期效益為：

$$B_3=L_0-L_3=35,546,573-25,688,658=NT\$9,857,915$$

- ◆ N：

- $N_3=B_3-C_3=9,857,915-190,000,000=NT\$-180,142,085$

- ◆ TE：

- 方案 3 總支出為：

$$TE_3=C_3+L_3=190,000,000+25,688,658=NT\$215,688,658$$

方案 4：延長 RESA 至既有圍牆末端並配合設置折減之 EMAS 以達建議安全效果

延長安全區至機場圍牆端不需購地費用，僅需相關工程費用。但在 270m 長之安全區域中仍須設置 x 公尺長之 EMAS，依照等效倍率換算：

$$270 - x + 1.8x = 300$$

$$x = 37.5$$

代表機場圍牆前至少需設置 37.5m 長 EMAS 以達建議安全效果，在此設為 40m 長進行計算。

- ◆ C：

- 因此方案中 EMAS 攔截床設置位置較方案 1 更後方，且 EMAS 設置時前方皆會設置瀝青混凝土鋪面，因此攔截床費用雖不高，但相關工程費用極高。

- EMAS 所需面積為 $40 \times 69.1 = 2,764m^2$ ，價格為 NT\$104,525,316

- EMAS 相關工程面積為 $270 \times 69.1 = 18,657m^2$ ，以每平方公尺平均施工費 7000 元計，費用為 NT\$130,599,000

- 總成本 $C_4=NT\$235,124,316$

- ◆ L：

- 延長安全區後可使 88.6% 事故航機安全停於區域內(效應 I)，5.4% 在 EMAS 內煞停(效應 A)，6.0% 衝出撞擊障礙物(效應 B)

- 衝出 EMAS 維修比率 25%，未衝出平均維修比例為 11%，換

算可得單次事故損失 L_4' 為 NT\$15,119,638

■ 20 年內預期事故損失 L_4 為 NT\$20,260,024

◆ B :

■ 方案 4 之單次效益為：

$$B_4' = L_0' - L_4' = 26,527,673 - 15,119,638 = \text{NT\$}11,408,036$$

■ 方案 4 之分析周期效益為：

$$B_4 = L_0 - L_4 = 35,546,573 - 20,260,024 = \text{NT\$}15,286,549$$

◆ N :

■ $N_4 = B_4 - C_4 = 15,286,549 - 235,124,316 = \text{NT\$}-219,837,768$

◆ TE :

■ 方案 4 總支出為：

$$TE_4 = C_4 + L_4 = 235,124,316 + 20,260,024 = \text{NT\$}255,384,340$$

以上為各方案之計算結果，各要素整理如表 5.9 所示



表 5.9 替選方案要素比較表

方案	成本 C (NT\$)	損失 L (NT\$)	單次效益 B' (NT\$)	效益 B (NT\$)	淨利 N (NT\$)	總支出 TE (NT\$)	B/C ratio	其他影響
0：維持現狀	0	35,546,573	0	0	0	35,546,573	N/A	NA
1：增設標準 EMAS 系統	403,527,211	34,043,501	1,121,711	1,503,071	-402,024,139	437,570,712	0.0037	
2：購地增長 RESA 至 240m	740,000,000	18,072,621	13,040,449	17,473,951	-722,526,049	758,072,621	0.0236	將造成交通 衝擊
3：購地增長 RESA 至 150m	190,000,000	25,688,658	7,356,758	9,857,915	-180,142,085	215,688,658	0.0519	將造成交通 衝擊
4：延長 RESA 至圍牆邊並設置折減 EMAS 系統	235,124,316	20,260,024	11,408,036	15,286,549	-219,837,768	255,384,340	0.0650	

5.3 敏感度分析

由 5.2 不同方案計算結果可了解各種不同安全區改善的效果與經濟面影響，但以上結果是基於本研究整理資訊與適當假設而得之平均值，為了解各要素改變對方按決策的影響，本節將針對影響成本與損失之參數進行敏感度分析，逐一分析可能的後果。

1. 地價改變：地價改變將會影響成本、總支出與 B/C 比值，分析結果如表 5.10 所示，若既有條件不變，則當地價增加時，B/C 比值逐漸下降，代表此方案越不適合；反之當地價下降時 B/C 值上升。若以總支出為主要考量，則當方案 2 總支出低於方案 1 時代表買地明顯優於裝設標準 EMAS 系統。
2. EMAS 維修費改變：EMAS 事故時需進行維修，本研究設定狀況為一假設值，若維修比例改變則損失亦會改變，分析結果如下表 5.11 所示，當 EMAS 維修比例增大時，損失急遽增加，甚至使效益呈現負值。此處會有負效益之原因為本研究之經濟分析範圍僅為設定對象，實質上此類方案仍可能造成機場、航空公司商譽甚或社會效應等難以估計之影響。
3. 事故量改變：航機起降量、事故次數與事故損失成正比，事故時損傷分布改變也會影響事故損失。為了解事故損失改變的影響，本研究改變起降量進行敏感度分析之結果如表 5.12 所示，可見當起降量增加時，事故損失期望值增加，進而使各方案之效益增加。

表 5.10 地價改變敏感度分析結果

地價改變量	方案	成本 C (NT\$)	損失 L (NT\$)	效益 B (NT\$)	淨利 N (NT\$)	總支出 TE (NT\$)	B/C ratio
NA	0：維持現狀	0	35,546,573	0	0	35,546,573	NA
NA	1：增設標準 EMAS 系統	403,527,211	34,043,501	1,503,071	-402,024,139	437,570,712	0.0037
+50%	2：購地增長 RESA 至 240m	1,100,000,000	18,072,621	17,473,951	-1,082,526,049	1,118,072,621	0.0159
+25%		920,000,000	18,072,621	17,473,951	-902,526,049	938,072,621	0.0190
0%		740,000,000	18,072,621	17,473,951	-722,526,049	758,072,621	0.0236
-25%		560,000,000	18,072,621	17,473,951	-542,526,049	578,072,621	0.0312
-50%		380,000,000	18,072,621	17,473,951	-362,526,049	398,072,621	0.0460
+50%	3：購地增長 RESA 至 150m	280,000,000	25,688,658	9,857,915	-270,142,085	305,688,658	0.0352
+25%		235,000,000	25,688,658	9,857,915	-225,142,085	260,688,658	0.0419
0%		190,000,000	25,688,658	9,857,915	-180,142,085	215,688,658	0.0519
-25%		145,000,000	25,688,658	9,857,915	-135,142,085	170,688,658	0.0680
-50%		100,000,000	25,688,658	9,857,915	-90,142,085	125,688,658	0.0986
NA	4：延長 RESA 至圍牆邊 並設置折減 EMAS 系統	235,124,316	20,260,024	15,286,549	-219,837,768	255,384,340	0.0650

表 5.11 EMAS 維修比例改變敏感度分析結果

EMAS 維修比例	方案	成本 C (NT\$)	損失 L (NT\$)	效益 B (NT\$)	淨利 N (NT\$)	總支出 TE (NT\$)	B/C ratio
NA	0：維持現狀	0	35,546,573	0	0	35,546,573	NA
25%	1：增設標準 EMAS 系統	403,527,211	52,857,421	-17,310,848	-420,838,059	456,384,632	NA
20%		403,527,211	47,023,906	-11,477,334	-415,004,545	450,551,117	NA
15%		403,527,211	41,190,392	-5,643,819	-409,171,030	444,717,603	NA
9%		403,527,211	34,043,501	1,503,071	-402,024,139	437,570,712	0.0037
5%		403,527,211	29,523,363	6,023,210	-397,504,001	433,050,573	0.0149
NA	2：購地增長 RESA 至 240m	740,000,000	18,072,621	17,473,951	-722,526,049	758,072,621	0.0236
NA	3：購地增長 RESA 至 150m	190,000,000	25,688,658	9,857,915	-180,142,085	215,688,658	0.0519
25%	4：延長 RESA 至圍牆邊 並設置折減 EMAS 系統	235,124,316	21,304,098	14,242,474	-220,881,842	256,428,414	0.0606
20%		235,124,316	20,923,908	14,622,664	-220,501,652	256,048,224	0.0622
15%		235,124,316	20,543,718	15,002,854	-220,121,462	255,668,034	0.0638
11%		235,124,316	20,260,024	15,286,549	-219,837,768	255,384,340	0.0650
5%		235,124,316	19,783,338	15,763,234	-219,361,082	254,907,654	0.0670

表 5.12 起降量改變敏感度分析結果

起降量變化比例	方案	成本 C (NT\$)	損失 L (NT\$)	效益 B (NT\$)	淨利 N (NT\$)	總支出 TE (NT\$)	B/C ratio
+40%	0：維持現狀	0	51,004,652	0	0	51,004,652	NA
+20%		0	43,189,786	0	0	43,189,786	NA
0		0	35,546,573	0	0	35,546,573	NA
-20%		0	28,083,731	0	0	28,083,731	NA
-40%		0	20,796,750	0	0	20,796,750	NA
+40%	1：增設標準 EMAS 系統	403,527,211	48,322,127	2,682,525	-400,844,686	451,849,337	0.0066
+20%		403,527,211	41,138,095	2,051,691	-401,475,520	444,665,306	0.0051
0		403,527,211	34,043,501	1,503,071	-402,024,139	437,570,712	0.0037
-20%		403,527,211	27,046,438	1,037,293	-402,489,918	430,573,648	0.0026
-40%		403,527,211	20,142,718	654,032	-402,873,179	423,669,929	0.0016
+40%	2：購地增長 RESA 至 240m	740,000,000	26,152,110	24,852,542	-715,147,458	766,152,110	0.0336
+20%		740,000,000	22,053,982	21,135,804	-718,864,196	762,053,982	0.0286
0		740,000,000	18,072,621	17,473,951	-722,526,049	758,072,621	0.0236
-20%		740,000,000	14,215,639	13,868,092	-726,131,908	754,215,639	0.0187
-40%		740,000,000	10,479,098	10,317,652	-729,682,348	750,479,098	0.0139
+40%	3：購地增長 RESA 至 150m	190,000,000	36,984,112	14,020,540	-175,979,460	226,984,112	0.0738
+20%		190,000,000	31,266,040	11,923,746	-178,076,254	221,266,040	0.0628
0		190,000,000	25,688,658	9,857,915	-180,142,085	215,688,658	0.0519
-20%		190,000,000	20,260,059	7,823,672	-182,176,328	210,260,059	0.0412
-40%		190,000,000	14,976,056	5,820,695	-184,179,305	204,976,056	0.0306

表 5.12 起降量改變敏感度分析結果(續)

起降量變化比例	方案	成本 C (NT\$)	損失 L (NT\$)	效益 B (NT\$)	淨利 N (NT\$)	總支出 TE (NT\$)	B/C ratio
+40%	4：延長 RESA 至圍牆邊 並設置折減 EMAS 系統	235,124,316	29,016,963	21,987,689	-213,136,627	264,141,279	0.0935
+20%		235,124,316	24,594,362	18,595,424	-216,528,892	259,718,679	0.0791
0		235,124,316	20,260,024	15,286,549	-219,837,768	255,384,340	0.0650
-20%		235,124,316	16,022,025	12,061,706	-223,062,610	251,146,341	0.0513
-40%		235,124,316	11,876,188	8,920,563	-226,203,753	247,000,504	0.0379



5.4 計算結果討論

計算不同替選方案並進行簡單敏感度分析後，由總支出比較發現，方案 4(拓展安全區至圍牆邊緣並配合設計折減之 EMAS 系統)預期總支出會最低，原因是不需額外購地，又能達到一定程度安全效果，但松山機場既有安全區宣告長度未達此距離，代表機場可能認為該區不適宜做為安全區，或許為助導航設施或其他既有設施所造成。但若以安全考量為出發點，機場仍應盡量延伸安全區至圍牆邊以達最大效益。

由成本比較可看出方案 2(購地增長 RESA 至 240m)成本最高，且封閉原有市區道路可能有嚴重交通衝擊，總支出明顯高過其他方案，但為一勞永逸之方案，具有最大效益，若機場預期未來多年後仍能持續營運並保持運量不減則是一可考量方案。

由敏感度分析可發現，EMAS 維修費過高是其弊病，在經濟分析上可見效益極低，若 EMAS 維修比例增高則效益會快速降低；但若機場事故次數增加，方案 1(增設標準 EMAS 系統)之效益也隨之增加，雖仍不如購地方案，但以總支出比較仍可見此方案支出明顯較低。

綜合以上分析結果可發現，因為 EMAS 維修費極高，設計時應盡量減少 EMAS 事故時損壞維修量，但因為 EMAS 是隨設計機型與攔截速度不同而改變設計面積，基於安全考量仍應依據建議設置，如此可呼應 FAA Order 5200.8 內容所述之安全區改善方法，其中提到機場應盡量延伸安全區域，即使無法達到標準寬度仍應進行，其後才考量裝設 EMAS 系統。若本研究提出之方案 4 可行，代表 EMAS 系統應在可行範圍內盡量將 EMAS 攔截床放置位置向後推移，前方則保持為瀝青鋪面，如此不僅可減少 EMAS 系統之使用機率，也可減少事故維修比例，應為具有最大價值(B/C 比值)之改善方案。

由前述表中可見所有方案之淨利皆為負值，B/C 比值也極低，代表進行這些改善方案在分析週期內都無法回收成本，但安全本非牟取經濟利益，

應就不同考量追求不同目的，比較成本、效益、總支出或 B/C 比值進行決策，以達規範之標準，維持良好的空運環境。





第六章 結論與建議

機場安全區域與航機發生事故之關聯多年來即為諸多研究所欲探討之目標，依據 FAA 研究航機殘骸與煞停位置統計資訊顯示 94%航機可在跑道端頭後方 1000ft(300m)停止，對應 FAA 與 ICAO 規範中建議大型機場安全區域長度應自跑道端向後方延伸 300m，可推測在機場符合規範時可達到一定的安全效用，但在安全區域長度未達建議標準的情況下如何評估現況並進行改善策略決策，即為機場主管機關亟欲解決之問題。

本研究經由收集機場相關安全區域規範，並對國內機場現況進行檢核，再取松山機場做為案例進行經濟試算，期能提供一完整之模式與過程供國內機場決策之參考。綜合本研究前述各章之內容，本章將總結本研究成果並提出結論與建議，茲列如後。

6.1 結論

1. 依據 FAA 與 ICAO 規範顯示，大型機場在跑道後方需預留 300m 長的平坦無障礙區域以減輕航機衝出跑道時的損害。FAA 研究顯示，90%衝出跑道航機離開跑道末端時速度低於 70knots，94%航機可在跑道端頭後方 1000ft(300m)停止。由 ACRP Report 3 研究建立之安全區與長度對應航機煞停比例迴歸式可概估不同長度之安全區對航機煞停的效果，機場可以此式估計可能的事故損失，並進行經濟評估。
2. 本研究建立之機場跑道及安全區改善決策過程為先行檢核跑道長度，若有不足務須立即改善使跑道長度符合航機起降需求。跑道長度充足的狀況下再進行安全區長度檢核，若長度不足則須考量進行改善，評定改善方案之優劣將由經濟分析結果決定。
3. 機場進行安全區改善之經濟分析時，參考機場現狀與其他考量可建立數個替選方案，經由評估不同的安全區效益，再比較各方案的事故損失、分析週期支出等要素後將有助於機場管理單位進行

方案決策考量項目。依據不同管理者的考量，將可能有不同的決策，甚或組合既有方案產生新的方案。

4. 本研究收集機場資料時發現國內現有機場資訊並不齊全，尤其是機場安全區資訊嚴重不足，可能標示不明、甚或毫無資訊；除場站資訊外，機場歷史營運資訊亦有不足，例如發生事故時機場封閉時間機場僅保留紙本資料數年後銷毀、機場統計公布數據僅有年起降量與客貨運量，無法由公開資訊取得起降航機組成，本研究亦未取得機場事故之航站損失調查資料因此只能自行估計代入經濟分析。
5. 本研究進行資訊整理時發現國內外事故資料庫考量與紀錄項目多有缺漏，如 NTSB 飛安資料庫雖記錄事件繁多、紀錄項目分類嚴謹，但仍有一定比例項目無紀錄或明顯有誤，本研究僅能以平均值方式統計歷年事故後果，並取一概估值代入經濟分析計算。
6. 由本研究收集之資料可看出現較具知名度之 EMAS 攔截系統索價不菲，且為全球獨家專利，雖 FAA 為其效能背書，但因該系統為一次性使用材料，且許多材料特性與資訊並未公布，裝設時難以驗證其效能，就國內現有法規與制度，機場若欲考量裝設時應有招標、驗收等諸多預見之困難需克服。且 EMAS 系統於攔截航機後維修價格亦所費不貲，機場若欲裝設此類系統前，應先考量是否有其他可行方案，一併進行經濟分析後將有助於決策進行。
7. 本研究進行國內機場跑道長度與安全區域檢核後發現國內跑道長度大多足以供設計機型以最大載重起飛，跑道長不足之機場若確實限定航機重量應可符合跑道長度之限制，但若考量最大使用機型及未來預期使用機型則可能有近半數機場需進行改善。若不考量延長跑道則須嚴格規定特定機種起降重量；安全區檢核部分，多數機場因未標明安全區長度而無法檢核，自行由航照圖估計或許有失偏頗，但不失為一參考方向，本研究自行估計之結果顯示

仍有部份機場安全區長度不合格，應設法改善現況。

8. 由第五章松山機場的案例分析結果可看出安全區改善方案無論選擇購地延長安全區或裝設攔截系統，改善工程皆代價高昂，益本比(B/C 比值)皆低，但基於安全考量，機場仍應審慎評估自有財務能力後決策；本研究經濟分析試算發現將機場範圍內可用空間確實整理並盡量擴大安全區為最簡易有效降低預期損失的方式，因不須額外購買土地或設備，代價極低，應優先完成後並公告距離。但若延長後未達規範標準，仍應考量進行各種改善方案。

6.2 建議

1. 檢核國內機場現況後，本研究建議為達安全目標，各機場應確實標示現有安全區，並確實清除區內障礙物以達規範標準。若機場既有跑道長較最大機型需求多出之長度加上機場現有安全區長度多於 300m，則或許可保持標準起降程序之安全性，但因衝出跑道事故與人為操控與天候關係重大，為增加對駕駛員操作誤差(如降落過晚落地或起飛過晚)或不良天候狀況的安全餘裕，機場仍應在可行範圍內盡量延長跑道並確保安全區達規範建議長度。
2. 為達飛航安全目標並確實了解現況是否安全，機場應確實審核場內可用空間並進行公告，提供完整資訊供機師參考，以確保在安全區狀況不佳的機場謹慎進行各起降程序。機場應詳盡收集意外事故發生時機場相關資訊，以供日後主管機關查詢或進行相關研究，意外造成之損失與花費項目也應詳盡調查並彙集以供日後發生事故時緊急應變之參考，並可供主管機關或研究單位檢閱。
3. 研究中進行改善方案試算時因未取得國內所有歷史事故損失項目與工程相關經濟資料，不足之處僅能就已取得部份對各項參數進行合理估計，因此考量項目或金額可能有缺漏或高低估，試

算結果僅提供計算概念、計算過程與決策考量方向供參考。機場欲進行經濟分析時，可參考本研究提及之資料來源取得更精準且及時的資料以進行更精確計算。資料齊備後依照本研究提出模式即可估計各種方案之成效，還可對不同方案施作程度進行敏感度分析，以了解條件改變之影響；此外本研究的經濟分析試算中，許多考量參數如事故損失、購地費用、分析年期內之事故發生率、改善方案對風險之改善效果...等參數都是由歷史事故彙整而得的平均值或假設值，無法驗證是否符合實際狀況。量化此類數值屬於風險評估之範疇，機場若欲準確估計現有環境之風險狀況應透過更詳盡的分析和事故歷史資料之蒐集，以各種不同的風險分析方法對跑道安全進行分析，選擇適當的方式求得經濟分析中與風險相關的各項參數值，使計算的結果能夠更符合實際狀況。

4. 國內尚未建立飛安事故資料庫，正常狀況之營運資料亦紀錄不全，應可參考 NTSB 飛安資料庫，並配合機場營運記錄進行整理，資料包含航機載重、維修狀況、起降時環境狀況之資訊，並嘗試納入正常運作之紀錄，若能保持各項目資料正確性與完整度應可了解何種天候組合或航機狀況對事故發生較有影響，如此將有助於飛安管理與風險相關研究進行。
5. 本研究採用 ACRP Report 3 之安全區域長度對應航機煞停比例此迴歸式為一平均估計值，實際上應用於各機場時會因機場現地狀況與使用機型而有差異。以台中機場為例，該機場跑道長度達 3659m，定期航班最大機型僅為 757 以下之窄體機型，跑道需求不及 2600m，比對之下可見此機場跑道長度餘裕極大，發生衝出跑道事件之可能性應極低，同理於跑道長度逾 3000m 之金門、馬公機場常用機型發生事故之可能性應較跑道長僅 2605m 之松山機場低，但實際進行個案分析時應以更詳盡方法進行風險評估，確實量化環境與跑道、安全區現況，以更準確評估事故可能後果及

損失。

6. 本研究於試算中僅考量兩種類型基本的安全區改善策略，計算時皆假設機場在標準狀況下運作，未考量其餘環境因素之影響，事故機率與後果皆以平均值估算。但事實上跑道安全的改善策略並非僅改善安全區尺寸，延長跑道長度對航機起降安全確實有幫助，跑道狀況控制、機場起降管制程序、天候預報、航機管理等都有影響，例如保持跑道表面良好抗滑能力即可降低因剎車力不足而衝出跑道之可能性、跑道全長坡度整平亦有助於縮短跑道需求，確實判定惡劣天候並適時限制航機起降也可避免事故發生，航機亦需嚴格限制載重、確實進行維護以免因性能不佳產生危險。
7. 本研究因僅就限定目標探討明顯可見之經濟效應，部份外部或潛在效應並未納入考量，例如阻斷道路會造成交通衝擊；裝置攔截系統除可攔截事故航機外，也可避免發生嚴重意外導致航空公司聲譽受損而影響營利；有裝置攔截系統並公告之機場也可降低駕駛員之心理壓力，避免在不良起降狀況中因過度激烈操作或反應而造成更大損害，此類效應因難以衡量，應另進行研究以界定其經濟面影響。機場決策時應進行整體且詳細之綜合評估，將有助於決策進行。

參考文獻

1. Federal Aviation Administration, Advisory Circular 150/5300-13 Airport Design, 1989
2. Federal Aviation Administration, AC 150/5325-4B Runway Length Requirements for Airport Design, 2005
3. International Civil Aviation Organization, Runway Safety Area Improvements in The United States, Ninth Meeting of Directors of Civil Aviation of the Central Caribbean(C/CAR/DCA/9), 2007
4. International Civil Aviation Organization, Aerodrome Design Manual Part 1 Runways 2nd Edition, 1984
5. International Civil Aviation Organization, Annex 14: to the Convention on International Civil Aviation Volume I - Aerodrome Design& Operations 4th Edition, 2004
6. International Federation of Airline Pilots' Associations(IFALPA), Runway End Safety Areas(RESA), IFALPA
7. Federal Aviation Administration, AC91-79 Runway Overrun Prevention, 2007
8. Federal Aviation Administration, Order 5200.8 Runway Safety Area Program, 1999
9. Federal Aviation Administration, AC150/5220-22a Engineered Materials Arresting Systems (EMAS) for Aircraft Overruns, 2005
10. Engineered Arresting Systems Corporation, <http://www.esco.zodiac.com/>
11. Federal Aviation Administration, Order 5200.9 Financial Feasibility and Equivalency of Runway Safety Area Improvements and Engineered Material Arresting Systems, 2004
12. Grid Technologies, <http://www.gridtech.com/>
13. Joseph I. Daniel, Benefit-cost analysis of airport infrastructure: the case of taxiways, Journal of Air Transport Management NO.8, 2008
14. Ron Vreeker et al, A multicriteria decision support methodology for evaluating airport expansion plans, Transportation Research Part D No.7, 2002
15. 周義華，運輸工程(第五版)，鼎漢國際工程顧問股份有限公司，民90年

16. 交通部民用航空局，電子式飛航指南，<http://eaip.caa.gov.tw/>
17. 交通部，96 年度交通年鑑，民 97 年
18. Boeing Commercial Airplanes, 747-400 Airplane Characteristics for Airport Planning, Dec. 2002
19. GRA Incorporated, Economic Values For FAA Investment and Regulatory Decisions, Draft final report for FAA, Dec. 2004
20. Jim Hall et al, ACRP Report 3 : Analysis of Aircraft Overruns and Undershoots for Runway Safety Areas, TRB, 2008
21. I. Kirkland, The Normalisation of Aircraft Overrun Accident Data, Journal of Air Transport Management, V9, No.6, 2003
22. E. Heymsfield & T.L. Halsey, Sensitivity Analysis of Engineered Material Arrestor Systems to Aircraft and Arrestor Material Characteristics, TRB 2008 annual meeting
23. Google maps, <http://maps.google.com.tw/>

