

機場跑道道面抗滑之最低門檻值研究

THRESHOLD VALUE FOR AIRPORT RUNWAY SKID RESISTANCE EVALUATION

周家蓓 Chia-Pei Chou¹
陳孝齊 Hsiao-Chi Chen²

(92年8月21日收稿, 93年10月22日修改, 94年3月25日定稿)

摘 要

在機場跑道鋪面之維護管理中, 抗滑值為衡量鋪面服務安全績效的主要指標, 良好的道面抗滑能力對於起降之飛機而言不僅可以增加煞停能力, 更可協助飛機受側風影響或引擎故障時維持適當的方向控制; 因此對於機場跑道抗滑值, 應進行定期檢測與維護, 俾使道面抗滑值得以維持在安全門檻值以上。而機場跑道抗滑值除影響飛機之起降行為外, 對於其他操作行為亦影響甚鉅, 故本研究主要以飛機取消起飛煞停之操作方式, 研擬跑道摩擦係數門檻值。

本研究首先針對機師以問卷調查提供個人專業意見, 結果顯示機師於操控飛機時, 多受跑道抗滑值良窳影響, 對於飛機於特殊情況下取消起飛而煞停之操作行為, 皆認為鋪面所提供之煞停力對於飛機減速貢獻最大。另本研究以中正機場 06/24 跑道為模擬環境, 經比較後以 B747-400 作為飛機取消起飛、緊急煞停之探討機型, 最後利用能量轉換觀點推導跑道摩擦係數門檻值。

關鍵詞：抗滑值；門檻值；引擎失效速度

-
1. 國立臺灣大學土木工程學研究所教授 (聯絡地址：106 臺北市羅斯福路 4 段 1 號臺灣大學土木工程學研究所)。
 2. 國立臺灣大學土木工程學研究所碩士。

ABSTRACT

Skid resistance ability is one of the most important characteristics for performance of airport pavement safety. It not only affects the braking ability of aircrafts, but also improves the controlling of aircrafts direction that is affected by crossing wind or engine failure. Therefore, a periodical measurement of runway friction resistance is rather important. The objective of this paper is to develop the appropriate threshold value for runway skid number from the most critical view point: aircraft takeoff abortion.

Questionnaires collected from pilots indicated that the pavement skid number has a great contribution to the aircraft braking ability, especially under the takeoff abortion situation. In this paper, a Boeing 747-400 takeoff abortion process is simulated at the 06/24 runway of Chiang Kai-Shek International Airport, and the friction threshold value is derived by energy transmission theory.

Key Words: *Skid number; Threshold value; Takeoff abortion*

一、前言

在鋪面管理系統 (pavement management system) 中，「安全」是評量鋪面服務績效的重要項目之一，而「抗滑值」即衡量鋪面安全績效的主要指標。良好的道面抗滑能力對於機場起降的飛機而言，除了提供良好的煞停能力之外，更可在飛機受側風影響及引擎故障時，協助飛機得以維持適當的方向控制，並縮短飛機在落地區內滑行的時間^[1]，因此國外之機場管理單位，皆將抗滑值列為跑道鋪面定期檢測項目之一，藉由定期的資料蒐集及分析，希望道面之抗滑值能維持在設定的門檻值以上，以避免事故發生。

吳翔文君^[2]曾著手進行跑道抗滑值預測模式之相關研究，並參照國際規範提出本土化之跑道養護策略建議，然而跑道抗滑值除了影響飛機降落過程中的煞停距離，對於其他飛機之操作行為，如：飛機起飛時，遇緊急事故取消起飛而煞停等亦影響甚鉅，故本研究之研究目的，希望藉由飛機取消起飛緊急煞停的操作行為著手，探討所需之摩擦係數門檻值。

二、文獻回顧與探討

飛機於跑道上起降的各種操作行為，和鋪面表面特性有很大的關係，特別是鋪面的抗滑能力。鋪面抗滑值若可以維持在一安全的程度，則機師面臨溼滑的道面，可以盡量減低操控的危險性，因此各先進國家皆將抗滑值列為鋪面服務績效的定期檢測項目之一。除了進行抗滑值影響因素、鋪面骨材特性及施工方法之研究外，更將抗滑安全門檻值及抗滑預測模式列為研究的重要方向與目標，俾使機師對航機有更安全的操作空間。配合本研究之

內容，所蒐集的文獻著重於鋪面抗滑影響因素及機場設計規範暨飛機操作行為，茲分別探討如下。

2.1 鋪面抗滑影響因素

鋪面抗滑能力的意義即鋪面和輪胎之間存在的阻抗能力，因此除了鋪面本身的特性會影響抗滑值之外，輪胎的特性或其他同時影響鋪面及輪胎的外在環境因素，亦將對抗滑值的變化產生影響，這些因素可歸納為鋪面因素、運具因素、環境因素和水滑現象等^[3]，現分述如下：

1. 鋪面因素

鋪面由於使用之材料及骨材不同，故除了組成不同之外，連同分布其表面上的紋理情況亦有所差異，因而對於抗滑值亦有不同的影響。一般而言，鋪面可因使用材料的不同，而將鋪面種類組成概分為剛性鋪面和柔性鋪面，剛性鋪面之初始抗滑值是由細骨材而非粗骨材所決定，而工法之不同亦將影響鋪面抗滑值及表面的紋理；對於柔性鋪面而言，表面之抗滑能力則因為瀝青的型式與百分比、混合空氣的百分比和礦物組成百分比等，而有不同的抗滑表現，一般而言，開放級配有較佳的抗滑特性^[4]。

鋪面由於組成材料及骨材的配置而在表面形成紋理，其粗糙狀態會影響鋪面抗滑能力的強弱，通常可分為粗質紋理 (macrotexture) 和細質紋理 (microtexture)。粗質紋理是指鋪面骨材的配置、外形和大小，以及鋪面表面掃紋的工法所產生的粗糙狀態，一般我們稱表面紋理振幅在 0.5 mm 以上者為粗質紋理，粗質紋理可提供鋪面排除積水的管道，並藉由造成輪胎變形來消滅運具運動時的能量，減少運具產生水滑現象 (hydroplaning) 而打滑。細質紋理是指鋪面表面骨材間細微的粗糙程度，因此細質紋理的良窳和骨材的選擇有很大的關係，一般我們稱表面紋理振幅在 0.5 mm 以下者為細質紋理，細質紋理可破除留存在鋪面表面的細薄水膜，增加骨材與輪胎間乾燥接觸點，並提供鋪面及輪胎間的附着力，因此在車輛低速時細質紋理對於鋪面抗滑能力有很大的貢獻。

2. 運具因素

運具因素對鋪面抗滑能力的影響，主要為交通量、速度、胎壓、輪荷重和胎紋等。就交通量而言，車輛輪胎的滾動和煞車動作，會使鋪面表面的骨材受到磨損，使表面的紋理消失而變得光滑，減低了鋪面與輪胎間的摩擦力，因此交通量累積愈多，對鋪面的破壞愈甚，對抗滑值的影響也愈大^[5]。就速度而言，抗滑值和速度呈反向相關，若輪胎與鋪面表面間存在水膜，運具速度增加時，將較無法控制輪胎與鋪面間水膜之流向，致使留在輪胎底下的水增加，造成抗滑值的降低。

就運具胎壓而言，當輪胎的胎壓較低時，輪胎與鋪面的接觸面積較大，因此摩擦所產生的高溫可較迅速擴散於接觸面積，致使輪胎溫度降低而有較高的摩擦係數；而當輪荷重愈大，致使胎壓愈高，則接觸面積變小而輪胎溫度較高，造成道面的抗滑值降低。而輪胎的胎紋設計則使運具煞停的效果更為顯著，胎紋提供了輪胎與鋪面間積水排除的管道，協

助鋪面紋理排除積水的能力，減少產生水滑現象的機會。

3. 環境因素

環境因素對於鋪面抗滑能力的影響，主要分為溫度和降雨等。就溫度而言，道面抗滑值會隨著一年溫度的改變而呈現季節性的變化，一般而言抗滑值於春冬兩季較高，而於夏秋兩季較低，主要原因在於夏秋兩季道面溫度較高，運具行駛於道面上會使輪胎橡膠變得較具彈性，致使減少輪胎滾動時的能量而降低抗滑值^[6]，另外對柔性鋪面而言，柔性鋪面於高溫下冒油的機會較大，亦影響了道面的抗滑能力。就降雨而言，降雨最主要影響鋪面的乾燥或潮濕，若鋪面無法快速排除積水，則留在道面上的積水將減少鋪面與輪胎間之接觸點，而使得抗滑值下降，研究顯示潮濕道面之摩擦係數約為乾燥時的 50% ~ 60%^[7]。

4. 水滑現象

水滑現象的發生原因通常為鋪面表面和輪胎之間存在著水膜或污染物，造成鋪面與輪胎之間的接觸面積減少，而影響運具方向和速度的控制能力，使得運具可能偏離原有的行進方向，並無法於有限的距離內安全煞停，水滑現象可因不同的原因與環境因素分為動力水滑現象 (dynamic hydroplaning)、黏性水滑現象 (viscous hydroplaning) 和膠面還原水滑現象 (reverted rubber aquaplaning)。

動力水滑現象易於當鋪面表面水膜厚度較厚，或運具速度較快時發生，因此當運具輪胎胎紋不明顯，或鋪面粗質紋理和細質紋理不足，而無法在運具高速行經積水區時快速排水，將使二者之間的摩擦力喪失。黏性水滑現象容易於當鋪面表面存在薄層的水膜、油污或其他易滑性的材料時發生，這個現象和道面污染物的厚度較無關係，一般只要能夠維持鋪面表面的清潔，則黏性水滑現象將減至最低。膠面還原水滑現象的發生原因為運具輪胎橡膠因為高溫摩擦而使輪胎橡膠留在道面上形成胎屑，致使鋪面紋理無法發揮排水的功能，造成運具產生水滑現象。

2.2 機場跑道設計規範暨飛機操作行為

大型化和快速化是目前飛機設計致力改善的目標，因此機場設計必須因應不斷改變的飛機機型及特性，除此之外對於飛機任何的操作行為，亦希望能確保飛機在進場及離場的過程中安全無虞。本節最主要在探討因應飛機特性之機場跑道設計及飛機取消起飛之操作行為，以作為構建門檻值的參考依據。

1. 機場跑道設計規範^[8]

機場跑道的長度設計，最主要考量三個因素：即 (1) 飛機引擎可正常操作時，跑道須有足夠的長度符合飛機升空時的各種要求；(2) 當引擎失效時，跑道仍有足夠的長度讓飛機繼續起飛或煞停，以及 (3) 有足夠的跑道長度讓飛機降落或重飛等動作，再針對上述三種飛機操作狀況，找出所需最長的跑道長度作為機場跑道設計長度。其中對於引擎失效的飛機而言，取消起飛所需的跑道長度要求遠比其他行為來得重要。

然而由於飛機型式和特性的不同，往往影響跑道長度設計甚鉅，相較於 1930 年代之

DC-3 型飛機，乃至於現代最新發展之 B747、B777、A330、A340 或即將問世之 A380 大型運輸客機，由於飛機重量相差甚遠，所需的起飛距離亦有所不同，亦使跑道長度設計需隨機型有所變動。因此對跑道長度已定之機場，面對大型化及快速化之飛機加速或煞停等操作行為，基於安全的要求，道面抗滑值的維持更顯重要。

2. 飛機取消起飛之操作行為

由機場跑道長度設計之飛機操作影響因素中可知，對引擎失效而取消起飛之飛機而言，跑道長度對飛機安全的影響較大，取消起飛的飛機能否於剩餘的跑道長度安全煞停，除了取決於跑道抗滑值良窳與否之外，和飛機起飛當時的速度也有很大的關係，通常機師在引擎失效時，會以引擎失效速度 (engine-failure speed, 以下簡稱 V_1) 作為繼續起飛與否的判斷依據，當引擎在臨界速度 V_1 之前失效，則機師應依規定採取煞停動作；若當引擎失效時已大於臨界速度 V_1 ，則機師別無選擇將繼續起飛，待升空後再採取後續適當之操作。

由於飛機所面臨的飛機狀況、環境條件和道面狀況各不相同，因此每架飛機在起飛之前會根據不同的條件，重新計算設定不同的 V_1 值，以確保飛機起飛安全。所以當飛機 V_1 值愈大，飛機所需加速至 V_1 之距離愈長，使達 V_1 後至起飛所需之機頭拉起速度 (rotation speed, V_R) 所需距離亦較小，但相對地飛機若選擇煞停，則距離就要增加。而影響 V_1 的主要因素簡述如下：

(1) 飛機載重

飛機起飛載重愈重，則 V_1 值愈大。由於 V_1 值可視為起飛與否的安全性指標，因此就安全的角度來看，愈大的 V_1 值可讓載重愈重的飛機有更多時間考慮飛機是否可正常起飛，且飛機得以持續加速以利飛行；另一方面，若 V_1 值定得太小，則飛機亦無法負擔實際起飛重量，造成載重過重而影響起飛。

(2) 大氣溫度、道面狀況

大氣溫度愈高則 V_1 值愈低。原因在於氣溫愈高，空氣分子愈稀薄，由於引擎進氣較少，造成引擎推力較為不足，無法負擔實際起飛載重。道面狀況以跑道潮濕與否最易影響飛機 V_1 值，在潮濕的跑道上若 V_1 值繼續維持不變，則為了安全起見，必須減少飛機的起飛距離，延長飛機煞停距離，故若飛機在潮濕的跑道上欲維持起飛、煞停距離均衡，則必須降低 V_1 值，以維飛機起飛安全。

(3) 引擎推力

飛機引擎推力將影響飛機起飛時之載重績效，在同樣的飛機載重下，飛機引擎推力較小，將降低飛機載重績效，無法負擔飛機實際起飛載重，故 V_1 值將減少以維持飛機起飛、煞停距離均衡。

(4) 風向和風力

當飛機起飛前，機師將根據當時當地氣候及跑道條件，利用跑道分析表計算適當之 V_1 值，而風向和風力通常為 V_1 值之校正考量因子之一，原因在於逆風狀態下有助於飛

機起飛，而可降低飛機起飛之 V1 值。

(5) 其他

除了上述主要因素之外，其他一些飛機起飛前的設定及環境因素亦和飛機 V1 值有很大的關係，如：起飛時襟翼 (flap) 伸展大小和氣壓等等，由於這些因素容易影響飛機起飛速度和績效，進而改變飛機所負擔的起飛重，自然對飛機 V1 產生影響。

3. 飛機取消起飛事故統計

而美國國家運輸安全委員會 (National Transportation Safety Board, NTSB) 曾經指出飛機取消起飛雖然並不十分常見，但由於飛機處於高速狀態，因此對於飛機取消起飛的操作行為仍應非常注意。根據統計，自 1959 年至 1999 年為止，約有二億三千萬起飛架次，其中約有 76,000 架次曾採取取消起飛的操作行為，而在飛機取消起飛中，曾有 74 次造成飛安事故^[9]。而造成飛機取消起飛原因之分析，如圖 1 所示，可知多數起因於引擎失效及輪胎因素 (各約占 21%)，除此之外，其他如：飛機結構因素或儀表警示、機員協調問題、飛航管制、鳥擊事件等，皆為飛機取消起飛的主要原因。

本研究蒐集我國近年來飛機起飛過程中，因故取消起飛之操作行為統計，結果顯示 91 至 92 年共有 17 個案例，發生因素以航機機械因素最多，約占 41.2%，其他包括引擎失效占 23.5%、鳥擊等事件占 17.6%、飛航管制占 11.8% 及其他占 5.9%。若美國飛機取消起飛之儀表警示、飛機結構及輪胎因素可總括為航機機械因素，則我國飛機因航機機械及引擎失效而取消起飛比率與之相近，而數據顯示飛機取消起飛不單是飛機本身的因素，其他外在環境因素亦可能造成飛機起飛的危險性。

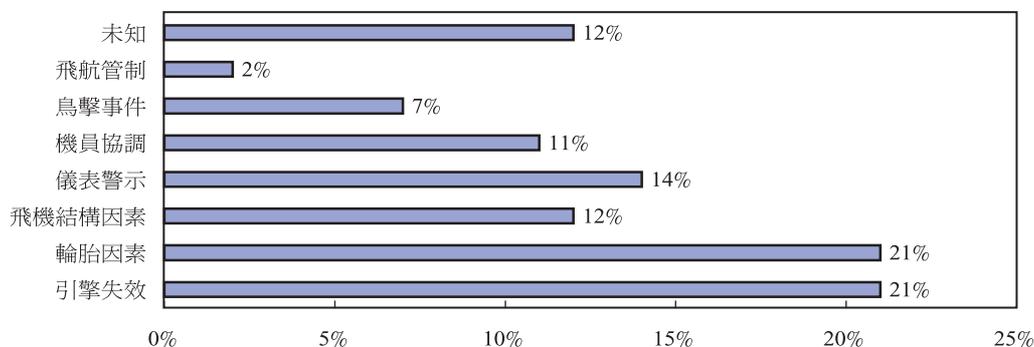


圖 1 美國歷年統計飛機取消起飛原因比率圖^[9]

跑道長度設計和飛機的操作行為有很大的關係，其中又以飛機取消起飛煞停的影響最大，然而造成飛機取消起飛的原因不只是飛機因素，許多環境因素亦是起飛突發狀況的主因，因此在機場跑道長度既定的情況下，面對性能及載重不斷提升的飛機，維持良好的跑道道面條件是提供飛航安全的重要關鍵之一。

三、國際航線機師問卷調查

本研究進行問卷調查最主要目的在於希望機師能以操作飛機之經驗提供航機運行時對機場跑道抗滑的要求與個人駕駛經驗，故本問卷除要求填答機師個人基本資料外，主要以跑道抗滑能力及飛機取消起飛煞停的操作行為為主要內容。

3.1 問卷設計與發放

問卷設計之基本資料部分包括個人年齡、職稱、所屬航空公司及主要駕駛機型之外，並要求依次寫下三條主要飛行路線及三個主要降落之國際機場，俾使針對這些機場與國內中正國際機場於跑道抗滑部分進行比較。

跑道抗滑能力部分則以五點量表形式，由機師填答跑道抗滑能力對於飛機降落操作行為的影響程度、中正國際機場跑道提供與維持抗滑能力的優劣，及可行之改善跑道抗滑能力之替選方案。

飛機取消起飛煞停部分，最主要依機師個人之駕駛或學習經驗，以文字描述面對此狀況所需採取的判斷與因應步驟，並估計在緊急煞停的過程中，各項措施與設備對減速所提供的貢獻為多少，以作為本研究構建抗滑門檻值的參考依據。

本問卷調查之調查對象以中華民國民航飛行員協會之成員為主，並為針對跑道抗滑部分，進行國內中正國際機場與其他國外國際機場的比較，因此受訪機師必須是飛行國際航線，或曾經飛行國際航線，但多為國籍駕駛。本研究透過中華民國民航飛行員協會的協助，委託協會對於協會會員機師進行問卷調查，並代為轉發及回收問卷。

3.2 問卷結果分析

本研究問卷調查總共發放 100 份，共計回收 44 份，其中有效問卷 43 份，以下將逐一針對問卷每一部分進行結果分析與探討。

1. 基本資料分析

本次問卷調查受訪機師平均年齡為 41 歲，48.84% 為正機師 (captain)、51.16% 為副機師 (first officer, FO)，受訪機師主要駕駛飛機機型為美國波音 (Boeing) 系列 58.14%、空中巴士 (Airbus) 系列 20.93%、美國道格拉斯 (MD) 系列 9.30% 和荷蘭福克 (FK) 系列 11.63%，另由表 1 可知，本研究已蒐集大部分我國國籍航空公司主要使用機型；由此可推知目前國內各航空公司使用機型以波音等大型航機為主，因此未來針對各機型進行抗滑值探討時，此系列之飛機特性應為主要探討對象。

本次受訪機師主要降落機場以東南亞地區為主，前 5 名依次為：香港 16.54%、仰光 8.66%、洛杉磯 7.87%、清邁 7.87% 和曼谷 7.09%，如圖 2 所示，此 5 個機場約占主要降落

之國外機場的一半；但若以國家區分主要降落區域則前 3 名依次為：美國 17.32%、中國（香港）16.54% 和泰國 11.63%，顯示我國飛行路線受地緣關係影響較大（圖 2「其他」之機場約占 33.07%，主要為金邊、阿姆斯特丹、馬尼拉、吉隆坡、東京、琉球及法蘭克福等機場，其比率皆約在 3.15%以下）。

表 1 本研究調查結果與我國國籍航空公司機型、機隊數比較

	本研究	我國國籍航空公司					
		中華	遠東	華信	復興	立榮	長榮
A300-600R	4	12					
A320					3		
A321					5		
A330-200							2
A340-300	5	7					
Boeing 737-800	15	11		3			
Boeing 747-400	7	22					14 (6 for COMBI)
Boeing 747-45E							4
Boeing 757-200	3		7				
Boeing 767-200							4
Boeing 767-300ER							2
FK100	2			2			
FK50	3			7			
MD11	2						11
MD82	2		4				
MD83			5				
MD90						13	
合計	43	52	16	12	8	13	37

資料來源：交通部民航局網頁；本研究整理。

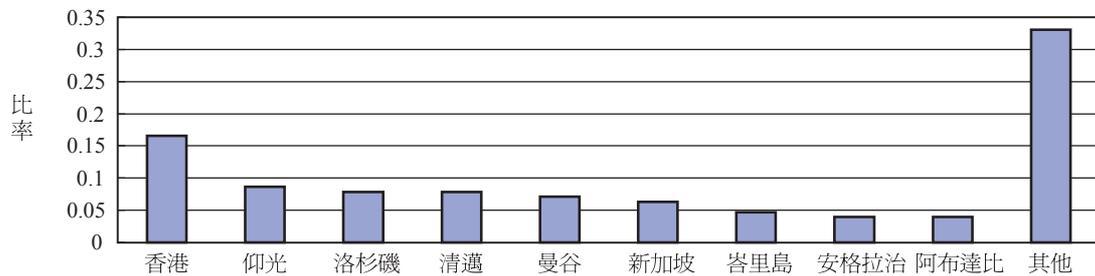


圖 2 受訪機師主要降落之國外機場

2. 跑道抗滑部分

跑道抗滑部分最主要以機師之降落操作行為作為跑道抗滑能力的表現依據，並以此比較國內、外國際機場之抗滑表現。

如圖 3 所示，根據調查結果顯示飛機降落操作過程中，51.16% 的機師表示非常同意將跑道抗滑列為其操作注意項目，30.23% 表示同意、6.98% 無意見，而有 11.63% 的機師並不太會注意跑道抗滑能力。而跑道抗滑能力是否影響機師的降落操作行為調查中，有 13.95% 的機師表示非常同意、41.86% 表示同意此看法、2.33% 無意見、34.88% 不太同意、而有 6.98% 的機師表示從來不受影響。

由此可知，有超過 80% 的機師非常同意或同意在降落的過程中，會將跑道抗滑列為注意項目，也有超過 50% 的機師非常同意或同意曾因跑道抗滑能力而影響自己的操作行為，顯示跑道抗滑值之良窳不只為機師所關心，更影響飛機的操作行為，因此跑道抗滑的確為機場管理單位所應持續監控管理之項目。

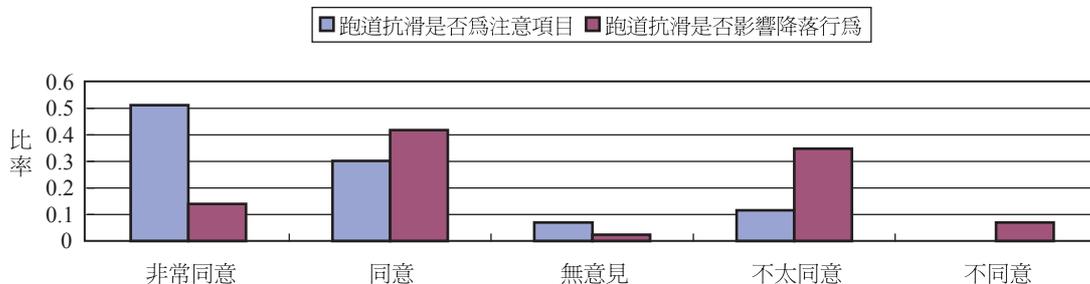


圖 3 跑道抗滑對機師降落操作行為影響比率圖

在與機師所填之三個主要降落的國外機場比較之下，有 4.65% 的機師認為中正機場的跑道抗滑能力非常好、37.21% 認為好、55.81% 認為普通、2.33% 的機師認為中正國際機場跑道抗滑表現差，如圖 4 所示。根據以上結果，有 6.98% 的機師認為中正機場非常需要提高跑道的抗滑能力、23.26% 認為需要、53.49% 認為普通、有 16.27% 的機師認為不需要再提高中正機場跑道抗滑能力，如圖 5 所示。

由上可知，有四成多之機師認為目前中正國際機場跑道與其他國際機場比較之下，抗滑表現水準屬好及非常好，僅有極少數機師認為差，但針對是否需要提高跑道抗滑能力，仍有三成之機師認為需要或非常需要，顯示大部分的機師雖可接受目前中正機場跑道的抗滑表現，但仍希望可以再提升跑道的抗滑水準。

本問卷續請機師比較國內、外主要降落機場，並選擇在跑道抗滑能力表現及維持上最佳的機場，調查結果顯示，受訪資料內前三名依次為：香港機場 24.39%、中正機場 21.95% 和新加坡機場 9.76%，為了解中正國際機場與哪些國家機場進行比較，本研究將各受訪者降落機場逐一比對，結果顯示認為中正機場較佳者，其主要降落機場以仰光及清邁機場最多，皆占 23.81%，其次為金邊機場 14.29%，如圖 6 所示。

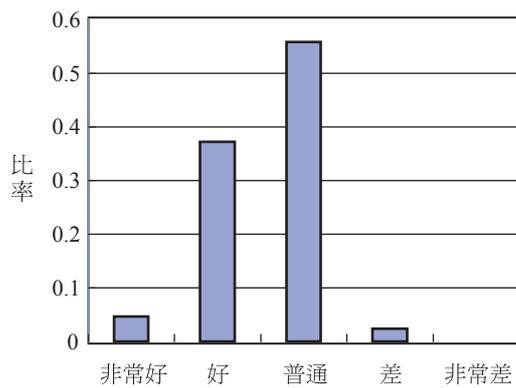


圖 4 中正機場跑道抗滑表現

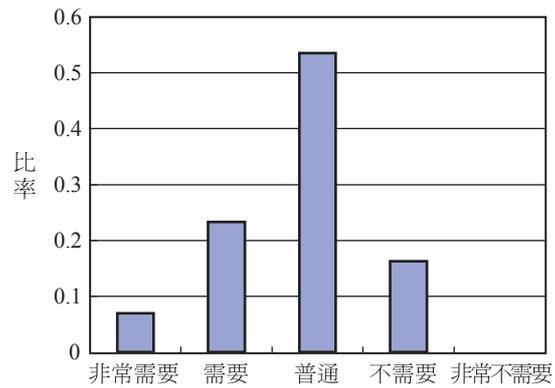


圖 5 中正機場跑道提升抗滑需要

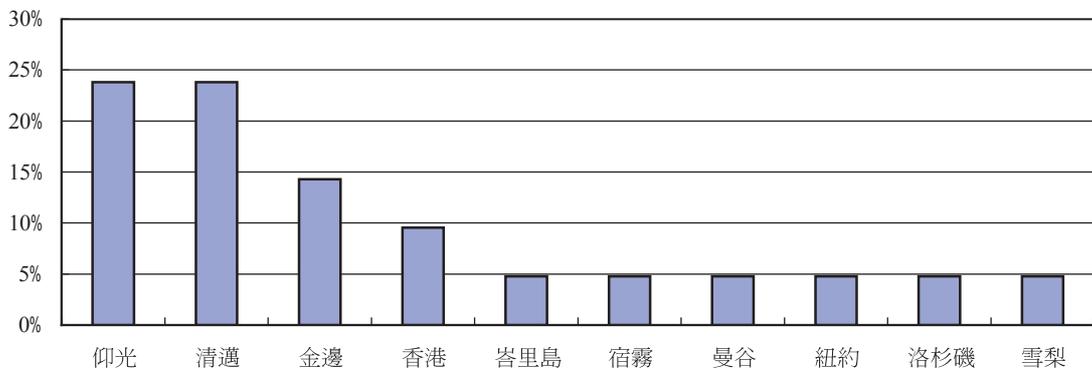


圖 6 認為中正機場抗滑表現及維持較佳者之主要降落機場比率

若以各降落國家進行比較分析，結果如圖 7 所示，以香港為例，在以香港為主要降落機場的機師中，有 9.52% 的機師認為中正機場抗滑表現最佳，47.62% 的機師則認為香港機場表現最佳，42.86% 的機師則認為二者皆非最佳。認為我國中正國際機場之抗滑能力相較其他國家表現較好者，以降落印尼、泰國、澳洲、緬甸及高棉等機場為主，而認為當地機場抗滑表現較我國中正機場為佳者，以降落香港、日本、加拿大、新加坡、菲律賓、德國及荷蘭等機場為主，顯示我國中正機場較東南亞國家及澳洲機場表現為佳，但較日本、加拿大、新加坡及歐洲等先進國家機場而言，中正機場跑道抗滑能力則仍待加強。

針對最有助於改善跑道的抗滑能力之複選方案，機師以選擇定期檢測跑道抗滑能力及定期清洗跑道胎屑為最多，皆占受訪機師 67.44%，其次為對跑道施以刮槽占 53.49%、跑道重建占 11.63%、其他占 4.65%，如圖 8 所示。顯示機師認為定期檢測跑道抗滑能力並清洗維護，對跑道的助益較大，其次才為工程較大的跑道刮槽與重建。

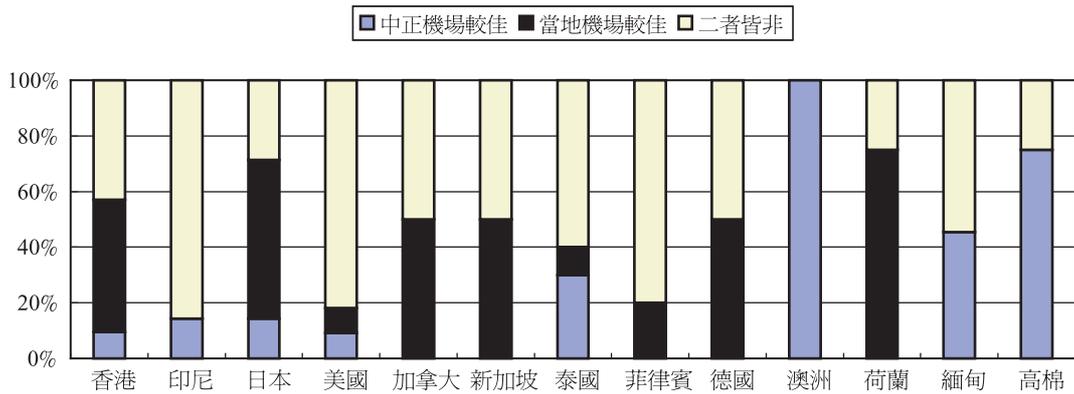


圖 7 中正機場相較國外機場抗滑表現比較圖

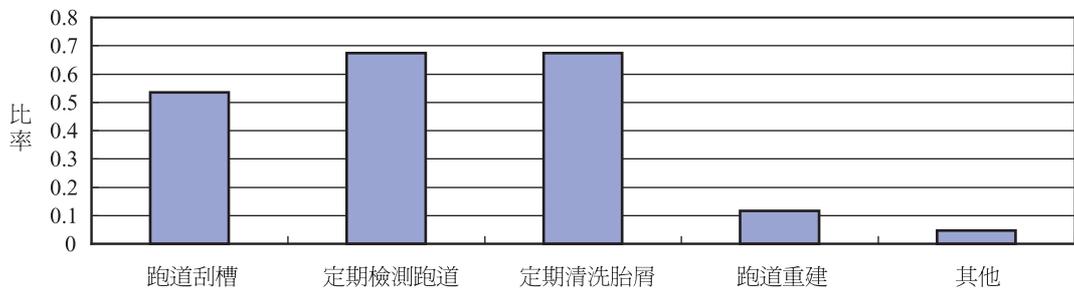


圖 8 改善跑道抗滑建議方案比率圖

3. 飛機取消起飛煞停部分

本部分問卷設計，最主要原因在於研究者無法以實際實驗進行飛機取消起飛煞停而取得數據，故希望受訪機師可以提供個人的駕駛經驗及專業判斷。由於飛機取消起飛而煞停屬於較為特殊之操作行為，故本研究藉由問卷了解機師判斷煞停的標準和面對此狀況時所應採取的因應步驟。

調查結果顯示，有 95.35% 的機師曾受過在起飛過程中加速後再煞停的訓練，4.65% 則沒有受過這方面的訓練。而於起飛的過程中，決定取消起飛而煞停的判斷依據即為引擎失效速度 V1 值，而 V1 值可利用跑道分析表依跑道實際狀況不同而查訊獲得。

在起飛過程中取消起飛煞停之標準因應步驟可歸納為：放油門、放減速板、煞車和啟動反推力器，除了放油門為統一之標準第一動作外，其中後三者於各問卷結果中互有操作之先後不同，但都在極短的時間內完成，甚至同時進行。

由上可知，飛機取消起飛而緊急煞停之操作動作雖然十分少見，但一般機師皆仍需接受過此方面的訓練並熟悉因應步驟，顯示此狀況之分析確有其必要性，故機場管理單位更應配合注意場面所有硬體設施的監督，以面對各種可能突發的航機操作行為。

在受訪機師中，曾實際經歷飛機起飛過程中，因故突然取消起飛而煞停者占 37.21%。至於造成取消起飛的原因中有 37.5% 為引擎因素、31.25% 為機械因素、18.75% 為接受訓練之要求以及 12.5% 為飛航管制，如圖 9 所示，顯示飛機取消起飛的原因，以飛機自身的因素最多，而且亦受場面管制的影響。

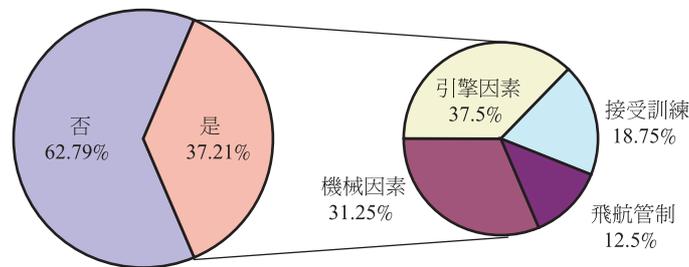


圖 9 受訪機師取消起飛煞停原因比率圖

由於在飛機臨時取消起飛緊急煞停的過程中，有多項減速措施和設備一併作用，本研究期望在機師專業判斷下，評估各設備提供減速的貢獻。問卷分析顯示減速措施與設備以輪煞車、減速板、反推力器和其他為主，其對於減速貢獻平均值各為 57.64%、19.77%、18.59% 和 4%，前面主要三要項之信賴區間表示如下所示：

輪煞車貢獻平均值 95% 信賴區間：[51.6% ~ 63.68%]

減速板貢獻平均值 95% 信賴區間：[15.53% ~ 24.01%]

反推力器貢獻平均值 95% 信賴區間：[14.9% ~ 22.28%]

由各信賴區間可知，各機師對各設備減速貢獻之估計相當接近，而由各設備減速貢獻程度亦可知，儘管飛機有許多設備可協助飛機在有限的跑道長度內煞停，但大部分仍需倚賴飛機的機輪煞車作用，顯示鋪面之摩擦力若能促使機輪煞車增加減速的功能，則將有助於飛航安全的提升。

綜合以上飛機取消起飛煞停部分之問卷調查結果，有 39.53% 的機師認為在飛機取消起飛煞停的過程中非常需要良好的跑道抗滑能力提供減速的協助，53.49% 認為需要、4.65% 認為普通、2.33% 則認為不需要。顯示儘管機師十分相信飛機操控的安全性能，但仍希望飛機在緊急減速的危險狀態下，讓跑道抗滑力多提供一點安全性；相對的在跑道可提供良好的摩擦力之情形下必可提升機師煞停之信心。

藉由以上問卷調查結果分析可知，機師在飛機起降的操作過程中，受跑道抗滑能力的良窳影響很大，而我國對於跑道抗滑的監控仍有加強空間，因此應落實跑道抗滑的定期檢測及清洗跑道胎屑或對跑道施以刮槽或重新翻修。另由飛機取消起飛煞停的操作行為調查可知，飛機在減速的過程中對於輪煞車的倚賴比率較大，由此亦可類推飛機煞車在降落減速過程中的貢獻，顯示只要改善煞車外在環境，如：鋪面摩擦力，將能促使機輪煞車增加減速的功能，而有助於飛機減速煞停安全的提升。

四、摩擦係數門檻值研擬

由文獻回顧及問卷調查中獲知，在飛機起飛過程中，臨時取消起飛緊急煞停時，飛機處於高速且必須於有限的跑道長度內完全停止，是其在跑道上產生危險的主要原因，本研究擬透過此種操作行為，探討機場跑道抗滑值所需之安全門檻值。

4.1 V1 情境設計

飛機引擎失效速度 V1 值，為飛機取消起飛時，決定煞停與否的判斷依據。當飛機 V1 值愈大，飛機雖可因足夠的距離加速，使起飛距離可以縮短，但相對地煞停距離就要增加，造成在飛機煞停過程中危險性亦相對增加。

本研究門檻值以中正國際機場之 06/24 跑道為模擬環境，故針對場內主要飛航之機型，並配合飛機狀況、機場環境條件以計算中正機場 06/24 跑道所可能面臨之飛機 V1 值進行門檻值探討。

表 2 為依據民國 88 年中正機場起飛統計資料，得知 B747-400 於中正機場使用頻率最大，且起飛重較其他機型為高，因此相較其他飛機於起飛的過程中更為危險，故本研究以 B747-400 作為主要分析機型。

表 2 民國 88 年中正機場各機型飛機起飛架次及起飛重統計表

順序	起飛總數		起飛重	
	航機型式	架次	航機型式	重量 (kg)
1	B747-400	13840	B747-400	396893
2	MD-11	5108	B747	340195
3	B767	4812	B747-100	340195
4	A300-60	4298	B747-200	340195
5	B747	3947	B747SP	315701
6	A330	2982	B777	286900
7	B777	2625	B777-300	286900
8	A320	2187	MD11F	285995
9	B737	2058	MD11	283722
10	A321	1989	A340	253500

資料來源：本研究整理。

由於門檻值推導必須以保守之環境作為分析探討依據，故本研究給予之飛機狀況及跑道環境條件分別為：飛機以最大起飛重起飛、飛機引擎推力狀況為全推力、跑道環境為

無風，再分別就乾跑道、溼跑道及民國 90 年中正機場年最高溫 (37°C)、年均溫 (22°C)、年最低溫 (7°C) 予以計算各型飛機之 V1 值。本研究透過長榮航空公司航運技術科的協助，利用跑道分析表所得之飛機引擎失效速度 (V1) 及機頭拉起速度 (V_R) 如下：

表 3 B747-400 之 V1 及 V_R 整理表

747-400	中正機場 06/24 跑道、無風狀態、以全推力起飛			
跑道狀況	大氣溫度	最大起飛重表現值 (噸)	V1 kts	V _R kts
乾跑道	37°C	372.4	149	165
	22°C	390.0	153	169
	7°C	400.5	153	170
溼跑道	37°C	372.4	137	165
	22°C	390.0	143	169
	7°C	400.5	143	170

資料來源：長榮航空公司航運技術科。

由表 3 中可得知下列趨勢：

1. 當溫度愈高，則飛機起飛之 V1 值愈小；此乃因溫度愈高，引擎之推進功能愈差，相對允許最大起飛重亦較低，故 V1 值相對訂得較低，以利航機在達 V1 之後引擎失效之情況下，仍有較長跑道可以起飛，或者在達到 V1 前引擎失效時，有較長跑道可以煞停。
2. 乾跑道的飛機 V1 值較溼跑道為大；乾跑道較溼跑道於操作上為安全，故依前理，前者 V1 值較後者為大。
3. 飛機起飛重愈重的飛機其起飛 V1 值愈大。

由於 V1 值愈大，飛機於煞停過程中愈加危險，故本研究將以 B747-400 機型於乾跑道、氣溫 22°C 之 V1 值作為飛機煞停速度之計算基礎。

4.2 門檻值探討

本研究以能量轉換的角度進行門檻值推導，根據能量不滅定律，飛機煞停以前的所有動能，將於飛機煞停過程中轉為其他型式之能量而平衡之，就飛機機輪與鋪面之間而言，則轉為以摩擦位能的方式消耗動能，但藉由對機師的問卷調查可知，機輪所提供減速的百分比只是占有飛機動能消耗的一部分，因此式中另以一常數 K 代表機輪對於減速所做的貢獻度，該值介於 0 (全無貢獻) 至 1 (減速全由機輪煞停貢獻) 之間，能量轉換公式如下：

$$K \cdot \frac{1}{2} \frac{W}{g} v^2 = f W \cdot S \quad (1)$$

其中： K = 常數，介於 0 到 1 之間；

W = 正向力、 g = 重力加速度 (m/s^2) ；

v = 飛機煞停時速度 (m/s) ；

f = 摩擦係數、 S = 剩餘跑道長度 (m)。

由式 (1) 知，影響摩擦係數門檻值之主要變數為飛機煞停時速度及跑道剩餘長度，故應作詳細探討；再因應機輪對飛機減速貢獻程度 K 值調整不同的門檻值，以下先對飛機煞停速度與跑道剩餘長度進行探討，待飛機煞停速度與跑道剩餘長度代入式 (1) 後，再討論不同機輪減速度程度 K 值下之摩擦係數門檻值。

1. 飛機煞停時速度

依據飛機之操作規定，飛機若於取消起飛中決定採取煞停，則當時速度必須小於引擎失效速度 V_1 值，否則一定得完成起飛動作；故 V_1 即為決定煞停之最大臨界值，本研究即以飛機煞停時速度之臨界值 V_1 作為計算依據。

2. 跑道剩餘長度

跑道剩餘長度取決於跑道全長、飛機決定煞停時之已加速距離、及飛機減速動作完成準備期間所前進的距離，其中本研究以中正機場 06/24 跑道為模擬環境，故跑道全長為 3,350 公尺，若改以 05L/23R 跑道作為模擬環境，則因跑道全長較長，故相對較安全。

由於飛機引擎之推力乃屬於一穩定推力，故飛機起飛加速過程可視為等加速度^[10]，因用以查訊 V_1 值之跑道分析表無法一併得知飛機加速至 V_1 時之加速距離或加速時間，故本研究利用實際觀測中正機場起飛航機之機頭抬起時間，以飛機採等加速度之運動條件，反推飛機加速至 V_1 時所需之加速距離。根據表 3 知 B747-400 在乾跑道、22°C 時 V_1 值為 153 knots (283 KPH)，且 V_R 為 169 knots (313 KPH)，而實際於中正機場場內經目測計算 20 趟次 B747-400 飛機機頭拉起時間約為 45 秒，故可計算得飛機抵達 V_1 時約 40.69 秒，可推算當飛機升至 V_1 時，起飛滑行距離約為 1,600 公尺。

當航機遇緊急狀況決定煞停放棄起飛時，其所有設備完成減速準備約 4 秒^[9]，其間假設飛機維持等速，因此當 B747-400 真正開始減速時已行駛距離 1,915 公尺，亦即跑道長度 (以 06/24 跑道為例) 尚餘 1,435 公尺可供取消起飛並煞停。

3. 機輪減速貢獻度

將飛機煞停時速度，亦即飛機之 V_1 值 153 knots (283 KPH) 與跑道剩餘長度 1,435 公尺代入式 (1) 之 v 及 S ，可得如式 (2) 之關係式：

$$f = 0.22K \quad (2)$$

由式 (2) 可知，鋪面所需之摩擦係數與機輪對飛機減速貢獻程度成正比，亦即表示當飛機減速時對於機輪煞車的倚賴程度愈大時，則愈需要鋪面提供良好的摩擦係數。由前述機師之問卷調查可知，機輪對於飛機煞車減速貢獻度之平均值為 57.64%，此即為式 (2) 中之 K 值，代入後可進行鋪面摩擦係數值推估，顯示若鋪面得以維持 0.13 之動摩擦係數

水準，將提升飛機煞停行為之安全性。

然而摩擦係數門檻值之研擬必須就較為保守之假設環境進行探討，故本研究另假設飛機於煞停過程中，所有的減速作用僅只倚賴鋪面所提供之抗滑能力之情境，亦即式 (2) 中之 K 值為 1，如此方能推求飛機取消起飛、緊急煞停之安全摩擦係數門檻值為 0.22，表示若鋪面得以維持 0.22 之動摩擦係數水準，則即使在飛機除機輪外之其他減速設備完全無法作用的保守假設環境下，仍能維持飛機取消起飛、緊急煞停的安全性。

4.3 門檻值敏感度分析

本研究在門檻值推導的過程中，由於無法取得飛機加速至 V_1 時之加速距離，而改以現場目測飛機起飛時之機頭拉起時間，進行加速距離推估；由於此目測方式可能造成變異性較大，實應進一步探討其對摩擦係數門檻值的影響；另外在門檻值推算過程中，亦可了解機輪對於飛機減速貢獻度 K 值，影響門檻值甚大。因此本研究在此針對此二部分進行摩擦係數門檻值敏感度分析。

1. 目測時間敏感度分析

飛機機頭拉起之目測時間將直接影響跑道剩餘長度，本分析假設機輪減速貢獻度 K 值為 1，機頭拉起之目測時間由 40 秒至 50 秒間，摩擦係數趨勢如圖 10 所示。

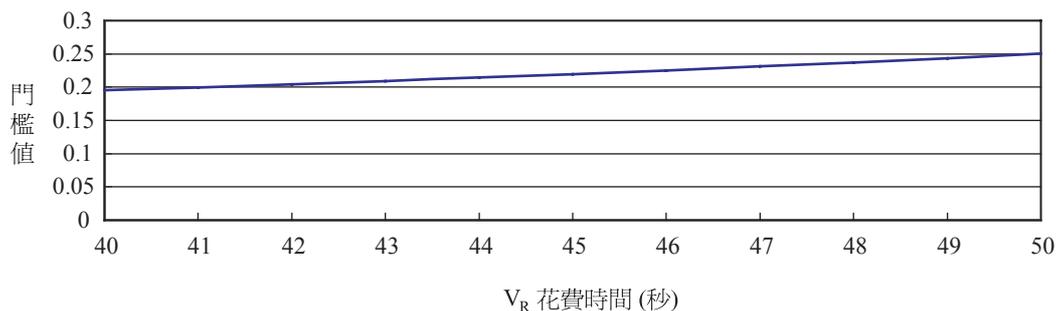


圖 10 V_R 目測時間與門檻值關係圖

由圖 10 可知，隨著機頭拉起時間增加，將使飛機煞停時之跑道剩餘長度減少，致使所需之摩擦係數門檻值亦隨之增加，亦即當 V_R 所需時間由 40 秒增至 50 秒時（提高了 25% 之時間），其所需鋪面之動摩擦係數由 0.20 提升至 0.25（約提高了 25%）。

2. 機輪減速貢獻度 K 值敏感度分析

由上已知鋪面所需之摩擦係數與機輪對飛機減速貢獻程度成正比，假設機頭拉起時間為 45 秒，則可得 K 值由 0 至 1 的摩擦係數變化如圖 11 所示。

由圖 11 可知，當飛機減速對於機輪煞車的倚賴程度愈大時，則愈需要鋪面提供良好的摩擦係數。本研究基於保守之假設環境，令 K 值為 1，進行門檻值推導，然而由機師問

卷調查可知，機輪之煞車減速貢獻之 95% 信賴區間為 51.6% ~ 63.68%，平均值為 57.64%，顯示若以煞車之最大可能減速貢獻比率 63.68% 進行摩擦係數推估，則表示鋪面維持 0.14 之動摩擦係數水準時，即可維持飛機煞停行為之安全性，顯示本研究對於門檻值的推導上相對而言較為保守。

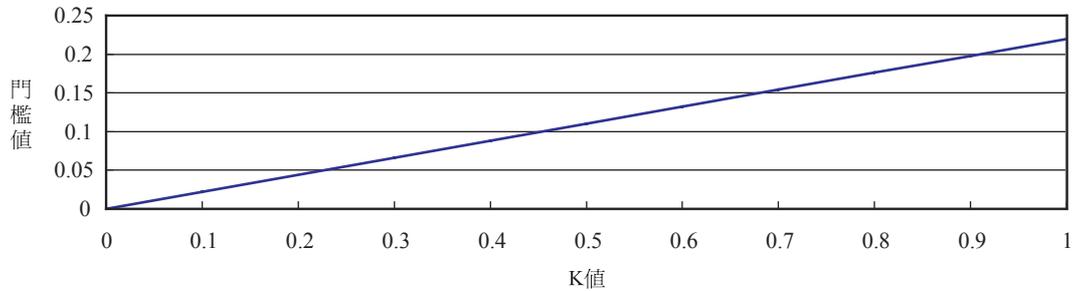


圖 11 機輪減速貢獻度與門檻值關係圖

五、結論與建議

本研究除探討跑道刮槽對抗滑能力的貢獻之外，更透過機師問卷調查了解目前中正機場之跑道抗滑監控管理水準，本研究具體之結論及建議如下：

5.1 結論

1. 針對機師問卷調查可發現有超過 80% 的機師非常同意或同意在降落的過程中，會將跑道抗滑列為注意項目，也有超過 50% 的機師非常同意或同意曾因跑道抗滑能力而影響自己的操作行為，顯示跑道抗滑值之良窳不只為機師所關心，更影響飛機的操作行為；目前中正機場跑道之抗滑水準雖可接受，但仍希望能再提高跑道抗滑能力。
2. 藉由機師問卷調查結果顯示我國中正國際機場在跑道抗滑能力的表現及維持上較澳洲機場及東南亞國家，如：印尼、泰國、緬甸和高棉等表現為佳，但較日本、加拿大及歐洲等先進國家機場而言，中正機場則仍待加強。
3. 對於飛機取消起飛而煞停操作行為之調查結果，可歸納為：放油門、放減速板、煞車和啟動反推力器，除了放油門為統一之標準第一動作外，其中後三者互有操作之先後不同，但都在極短的時間內完成，甚至同時進行；機師並認為煞車對於飛機減速貢獻最大，平均占 57.64%，可類推飛機煞車在降落減速過程中的貢獻，顯示只要改善煞車外在環境，如：鋪面摩擦力，將能促使機輪煞車增加減速的功能，而有助於飛機減速煞停安全的提升。
4. 本研究以中正機場 06/24 跑道為模擬環境，經比較後以 B747-400 作為飛機取消起飛、

緊急煞停之探討機型，最後推導得跑道於 V1 煞停至 0 時所需摩擦係數門檻值為 0.22。藉由機頭拉起時間及 K 值之敏感度分析，發現門檻值隨機頭拉起時間呈現相當敏感之變化，且本研究門檻值推導所使用之 K 值等於 1 相對而言較為保守。

5.2 建議

1. 由本研究結果可知，機師在飛機起降的操作過程中，受跑道抗滑能力的良窳影響很大，而我國對於跑道抗滑的監控仍有加強空間，因此應落實跑道抗滑的定期檢測及清洗跑道胎屑或對跑道施以刮槽或重新翻修。建議各機場管理單位，除了清洗胎屑以提升跑道抗滑值之外，還應檢視場內跑道刮槽是否因長時間使用而磨損，若跑道刮槽磨損嚴重而造成清洗胎屑無法明顯提升跑道抗滑能力，則建議機場管理單位應著手對於跑道重新翻修刮槽。
2. 目前國內仍僅中正國際機場具備連續式抗滑檢測儀，因此對於跑道之抗滑值變化趨勢較無法確切掌握，建議各機場管理單位應採用抗滑檢測儀器定期進行跑道抗滑檢測，除了檢驗養護工程成效之外，更可提升機師操控飛機之安全性。

參考文獻

1. ICAO, *Airport Services Manual Part 2: Pavement Surface Condition*, Third Edition, 1994.
2. 吳翔文，「機場跑道抗滑值預測模式及檢測規範初探」，國立臺灣大學土木工程學研究所碩士論文，民國九十年六月。
3. Shahin, M. Y., *Pavement Management for Airports, Roads, and Parking Lots*, Chapman & Hall, 1994, pp. 90-111.
4. U.S. Department of Transportation, Publication of Federal Highway Administration, *Highway Pavement*, National Highway Institute, Publication No. FHWA A-HI-90-026, May 1990, pp. 113-125.
5. Jayawickrama, P. W. and Graham, G. L., "Use of Skid Performance History as Basis for Aggregate Qualification for Seal Coats and Hot-Mix Asphalt Concrete Surface Courses", *Transportation Research Record*, 1501, Aug. 1995, pp. 31-38.
6. Jayawickrama, P. W. and Thomas, B., "Correction of Field Skid Measurements for Seasonal Variations in Texas", *Transportation Research Record*, 1639, Aug. 1998, pp. 150-154.
7. 房性中，「鋪面抗滑度量測與設計基準之探討」(上)，*現代營建雜誌*，第 202 期，民國八十五年十月。
8. Horonjeff, R. and McKelvey, F. X., *Planning & Design of Airport*, Third Edition, McGraw Hill, New York, 1983, pp. 77-141.
9. "V1 and the Go/No-Go Decision Performance Engineer Operations", 長榮航空航運技術科訓練報告，民國九十一年十一月。
10. 黃雨順，*飛機飛行學*，全華科技圖書公司，民國八十年。