

# 機場跑道抗滑檢測技術應用及監測評析 程式建立之研究

## MONITORING PROGRAM FOR AIRPORT RUNWAY SKID RESISTANCE EVALUATION

周家蓓 Chia-Pei Chou<sup>1</sup>

黃威穎 Wei-Ying Huang<sup>2</sup>

(89年10月13日收稿, 89年12月25日修改, 90年4月9日定稿)

### 摘 要

鋪面首要功能為提供交通運具一安全、舒適之駕控環境, 當鋪面缺乏抗滑能力時, 即無法使運具於有效時間內達成減速與制動之目的, 隨即可能發生危險之意外事故。然而, 綜觀目前國內機場與公路主管機關卻普遍缺乏抗滑檢測技術應用與相關養護管理之施行, 對於運輸安全上, 確實構成潛在之危險性。

本研究針對鋪面抗滑特性、抗滑檢測技術加以介紹與探討, 並就國內外機場抗滑檢測與養護策略進行訪談調查, 同時採用 Grip Tester 抗滑檢測儀針對國內機場進行實地抗滑檢測調查, 以期進一步了解國內實施現況與需求。研究過程就國際民航組織與美國航空總署抗滑養護相關技術標準進行探討與應用, 並繼以發展 NTUSKID 機場抗滑監測與評析程式, 經由實例應用與檢驗證 NTUSKID 評析軟體具有準確評估、操作簡易、快速分析之效能, 冀能在未來廣泛推展為國內機場抗滑養護管理實務之應用與參考。

關鍵詞：跑道抗滑檢測；摩擦阻力；台大抗滑評析程式

- 
1. 國立台灣大學土木工程學研究所教授(聯絡地址為 106 台北市羅斯福路 4 段 1 號台灣大學土木工程學研究所)。
  2. 國立台灣大學土木工程學研究所研究生。

## ABSTRACT

*It is known that the key function of pavement is to provide a safe and comfortable driving surface for moving transportation mode. Pavement with low skid resistance will cause high risk while the moving equipment decelerates and accelerates in a relatively high speed. This characteristic is even more important on airport pavement than on highway facilities. In this study, information was collected from airport authorities regarding their policy of skid evaluation. It is found that not much technique or knowledge of this field was introduced to Taiwan's airport authorities.*

*The main objectives of this paper are to introduce the characteristics of pavement skid resistance and evaluation techniques, to analyze the threshold point of minimum skid requirement and the recommended measuring frequency, and to develop an user friendly program for analyzing the collected skid data. The standards of FAA and ICAO are used as the base to develop the program NTUSKID. Through field data collection using one of the major types of skid measuring equipment, Grip Tester, runway skid data of a specific airport were recorded and analyzed. It was concluded from the results of the program that NTUSKID can not only provide more efficient analysis than that from program developed by FAA, but also can specify the required maintenance for pavement section in order to promote its skid resistance ability.*

**Key Words:** *Runway skid resistance; Friction force; NTUSKID*

## 一、前 言

飛航安全為航空運輸注重之課題，然而航空器於機場跑道之起降瞬間為飛行過程之首要關鍵，因此鋪面之抗滑性能良窳亦為影響飛航安全之重要因素，在鋪面設計中應特別重視抗滑性能之要求。

航空器於降落過程中劇烈的煞停動作，對於跑道造成激烈衝擊與磨損，加上輪胎與鋪面高速接觸所產生之胎屑沉積物，致使鋪面抗滑性能急速降低，機場管理單位必須編列龐大預算與人力以維護跑道抗滑安全性能。因此，建立一有效之抗滑檢測管理與評估分析系統確實為機場養護管理者之重要課題。本研究主要目的為透過機場鋪面抗滑檢測技術之探討與應用，進以發展跑道抗滑監測評析程式，以利機場抗滑養護管理之參考，期能提高飛航運輸安全性能。本文主要針對機場跑道抗滑原理與檢測技術、相關評估準則規範、建立監測評析程式、以及實例應用等四部分，分別探討如后。

## 二、鋪面抗滑原理與檢測技術

機場跑道鋪面之主要功能之一為提供足夠的抗滑能力(摩擦阻力)以抵抗輪胎與路面之滑行現象，提供安全的制動性能<sup>[1]</sup>。特別在雨天狀況下輪胎與道路接觸面被水膜所隔離，若機場鋪面之抗滑能力不足，將大幅提高運具產生水滑現象(hydroplaning)之機率，致使航空機喪失有效制動之操控性能，而容易衍生意外事故。

### 2.1 鋪面抗滑原理

鋪面抗滑能力乃指鋪面抵抗行駛運具產生之滑行現象，其物理意義即為鋪面與運具間摩擦力之大小，定義如下式：

$$f = \frac{F}{L} \quad (1)$$

其中，f：摩擦係數；

F：摩擦力(lb, N)；

L：正向力(lb, N)。

一般而言，影響鋪面抗滑能力之主要變數，包含有：鋪面磨蝕度、鋪面組成型態、鋪面紋理、鋪面排水、輪胎紋理、輪胎載重、胎壓、運具速率、駕駛人行為、及天候因素等<sup>[2]</sup>。下列將各項影響變數，彙整為環境特性、運具特性、鋪面材料特性、水滑現象等四部分予以說明。

#### 1.環境特性：

由於運具輪胎與鋪面表面之運行接觸，以及加速與煞停動作，對於鋪面骨材產生磨光作用；特別在交通量頻繁區段，面層骨材更可能產生磨損或剝離等現象，以致抗滑能力降低之情況。據實際使用經驗觀察，對於柔性鋪面而言，表面之多餘瀝青成分於完工啓用常因受運具輪胎帶離之故，露出較多之骨材表面，而使抗滑值形成短暫性上升情形，但隨後其抗滑性能即因累積交通量之磨損，而趨勢呈現衰退現象。

#### 2.運具特性：

運具特性因素包括運具行駛速率、胎壓、輪胎紋理、輪胎載重等項目，運具行駛速率、胎壓之高低對於抗滑能力皆呈現反向關係，亦即較高速率與胎壓將導致抗滑能力降低。

另外在輪胎載重方面亦與抗滑能力呈現反向關係，因輪胎載重之提高將使每單位荷重之接觸面積減小，導致摩擦係數降低。此外，輪胎紋理亦對抗滑能力有所影響，

輪胎紋理之功能為提供雨天時鋪面與輪胎接觸面之排水而設計，故良好輪胎紋理設計將可達成有效排水、增加鋪面與輪胎接觸面積、提高車輛之煞車效能，以避免表面產生水滑現象。

### 3. 鋪面材料特性：

鋪面材料特性對於抗滑能力之影響，可分為細質紋理(microtexture)與粗質紋理(macrottexture)，鋪面紋理之構成為骨材表面紋理與粒料布置，所形成之粗糙狀態<sup>[3、4]</sup>。細質紋理係指骨材表面之細質粗糙度，其主要提供骨材與輪胎表面間之附著力；粗質紋理則指骨材之大小、外型、柔性鋪面之骨材布置狀況、以及剛性鋪面表面之溝槽(grooves)、掃紋(finishes)均是粗質紋理表徵。上述紋理性能將使鋪面與輪胎接觸面間，產生附著與延滯之摩擦阻力，可有效提升鋪面抗滑能力。

### 4. 水滑現象：

水滑現象亦為影響運輸安全重要因素之一，其與鋪面抗滑性能有密切關聯性。特別在雨天鋪面潮濕狀態下，運具於高速中行駛，若公路或機場跑道之抗滑能力不足，將大幅提高發生水滑現象之機率，在喪失操控性能情況下，易生危險意外事故。

1991年2月，於智利威廉港(Port William)機場發生班機在降落過程中，衝越跑道掉落海峽之飛安事故<sup>[5]</sup>。經調查顯示該機場鋪面因處理方式不佳非常缺乏細質紋理與粗質紋理性能，形成跑道抗滑值過低現象；加上鋪面呈現潮濕狀態，致使航空器於高速下進行降落作業時，發生水滑現象造成危險意外事故。

為確保航空器有安全起降環境，鋪面與輪胎間必須具有良好之抗滑性能，特別在潮濕環境下為避免水滑現象之發生，跑道必須能有效排除鋪面與輪胎間之水量，在機場跑道之管理上，可經由下列改善措施，提高鋪面之抗滑效能：

- (1)經由適當之機場坡度設計，以排除大量之積水。
- (2)採用開放級配與鋪面溝槽之設計，以減少鋪面之含水量。
- (3)提高跑道鋪面之細質紋理與粗質紋理性能。

## 2.2 鋪面抗滑檢測技術

在機場跑道與公路上運用鋪面抗滑儀施行定期性檢測與調查，可有效監控抗滑性能現況與變化趨勢，以供主管單位作為養護管理之參考依據。因此鋪面抗滑檢測儀器不斷朝向快速準確、操作簡便、連續長距離量測等方向發展，目前已開發使用之檢測儀器依其原理可區分為英式擺錘法、偏搖式、動態摩擦測試儀、鎖輪式、以及滑溜式

等。

#### 1. 英式擺錘法(British Pendulum)：

英式擺錘法為手提式抗滑檢測儀，為英國道路研究實驗室(British road research laboratory)所研發之英式擺錘測試儀(British pendulum tester)。其主要是利用能量不滅原理，將位能轉換為動能，經由摩擦阻力耗損動能，以量測出鋪面相對之摩擦係數。

該試驗進行乃將擺錘下方裝置一片標準橡膠墊，另於儀器下方放置鋪面受測試體，將擺錘調整至適當高度，由水平位置以自由落體方式擺下，因橡膠墊與鋪面受測試體間之摩擦阻力消耗擺錘能量，經由記錄擺錘擺動之數值，以量測出鋪面之抗滑值，其數值稱為英式擺錘數值(British pendulum number, BPN)，其標準測試程序於 ASTM E303-93 中訂有標準規範<sup>[6]</sup>。

#### 2. 偏搖式(Yaw Mode)：

偏搖式檢測方法是以拖曳車拖行檢測車，在穩定速率下，量測鋪面之側向摩擦係數。檢測車上配置有兩個測試輪與灑水設備，兩測試輪分別與中心線偏斜成  $7.50 \pm 0.75$  ° 角度，當進行檢測作業時於測試輪前端灑水，儀器將連續記錄測試輪於各時段，所承受之側向力、垂直正向力與速率，其數值經由轉換計算為鋪面之側面摩擦係數。

目前此類檢測方法之代表性儀器為 Mu-meter 與 SCRIM，Mu-meter 之標準測試程序，於 ASTM E670-94 訂有標準規範<sup>[7]</sup>。

#### 3. 動態摩擦測試儀(Dynamic Friction Tester)：

動態摩擦測試儀係屬手提簡易式檢測儀，檢測原理是採用定點轉動方式，經由摩擦阻力耗損動能，以量測出鋪面之動態摩擦係數<sup>[8]</sup>。

此項測試儀特點為採用角速度代替直線速度，於水平轉盤之轉輪上安置三塊橡膠墊以模擬輪胎。測試時先將轉輪離地加速，待轉輪加速至預定速度後，方將轉輪與地面接觸，由於摩擦阻力作用使轉輪速率降低至停止狀態，經由記錄器連續讀取摩擦係數與速率變化之數值，其量測結果可顯示出鋪面動態摩擦係數與速率變化之關係圖，其試驗程序亦經 ASTM E1911-98<sup>[9]</sup>訂有標準規範。

#### 4. 鎖輪式(Locked-wheel Mode)：

鎖輪式檢測方法是以拖曳車拖行檢測車，在固定載重及速率下，進行煞車動作，並予以量測潮濕狀態之鋪面抗滑值。該測試法之標準測試程序，目前於美國測試暨材料協會之 ASTM E274-97<sup>[10]</sup>中訂有詳細之規範。

檢測車上配置有適當之煞車系統及測試輪，當進行檢測作業時需於測試輪前方灑

水，以模擬鋪面潮濕狀態，檢測速率適用於 65 ~ 100 km/hr，因檢測時係於高速下煞停測試輪，過長量測距離恐造成儀器損傷，故每段檢測距離以不超過 1 公里為原則。當施行檢測作業時於預定速率及地點將測試輪制動煞停，待測試輪鎖死滑行 0.2 秒以上，且溫度穩定後，開始記錄測試輪之正向力 L 與摩擦力 F 約 1 至 3 秒，數值經由轉換傳輸系統計算，並輸出為鋪面摩擦係數，其檢測結果以抗滑值 SN(skid number)表示：

$$SN = 100 \cdot \frac{F}{L} \quad (2)$$

5.滑溜式(Slip Mode)：

上述之鎖輪式檢測法主要為量取測試輪在制動煞停狀態下滑行於鋪面之摩擦係數，但實際上，輪胎於煞停滑行狀態下之摩擦係數並非最大值。根據美國聯邦航空總署(Federal Aviation Administration, FAA)相關研究指出<sup>[2]</sup>，摩擦係數於輪胎開始減速制動後即急遽上升，並於短時間內達到最大值，其後將逐漸下降至煞停時之摩擦係數值，其變化情況如圖 1 所示，圖中滑動率 S 之定義為：

$$S = 100 \cdot \frac{W_0 - W}{W_0} \quad (3)$$

其中， $W_0$ ：為自由轉動狀態下輪胎之角速度；

$W$ ：檢測時輪胎之角速度。

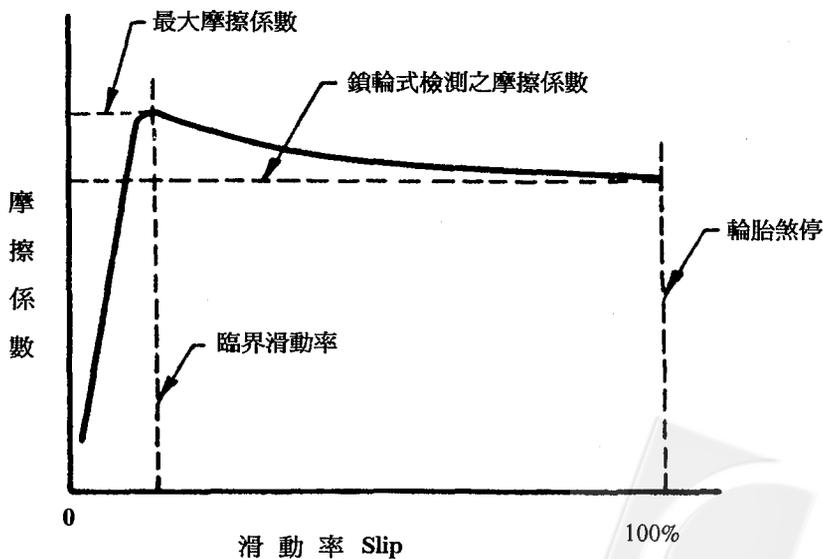


圖 1 滑動率與摩擦係數間關係圖<sup>[2]</sup>

同時為改善鎖輪式無法測得最大摩擦係數值，以及每段量測距離不得超過 1 公里之限制。滑溜式檢測法改變鎖輪式於測試輪制動煞停後方開始記錄之原理，而採固定滑動率(14 ~ 20%)，以連續方式記錄煞車動作期間之摩擦係數值，可適用於不同速度，進行連續性、大範圍之量測。目前國內學術單位與中正國際航空站所使用之抗滑檢測儀均為此類。

上述各種抗滑儀設計原理各有其不同使用特性與優缺點。在實地檢測需採取大量資料之情形下，滑溜式檢測儀之適用性較佳；反之，在鋪面不同材質之測試與評選上，英式擺錘測試儀與動態摩擦測試儀則較具定點分析特性與高度重複性。

### 三、機場抗滑評估準則規範

影響機場跑道之抗滑性能，包含有許多因素，除於前 2.1 節所提之四項重點外，另於航空器在高速下降落、制動、及煞停程序對於鋪面所造成之磨損作用，與其在衝擊、磨耗過程中所產生之高溫胎屑沉積物黏附於跑道表面，致使鋪面紋理特性更改，尤其在鋪面潮濕狀態下之抗滑值降低，將導致飛航器喪失有效的操控與制動能力。此高溫胎屑沉積物問題為造成跑道抗滑性能衰減之最主要因素，此項特性與一般公路有所不同。

#### 3.1 改善跑道抗滑性能之養護方法

為確保飛航運輸安全性能，對於機場跑道應採以定期性抗滑檢測調查作業，以充分監控抗滑性能之變化情形，並透過鋪面胎屑沉積物清除作業，以有效改善跑道抗滑能力，提升飛航安全。目前較廣泛被應用之鋪面胎屑清除方法，包括有高壓水柱法、化學藥劑法、高速衝擊法、機械研磨法。

- 1.高壓水柱法：使用高壓噴射水柱清除跑道之胎屑沉積物，此方法兼具經濟、環保等效用，其特別著重於施工經驗與專業性之要求，以避免高壓噴射水柱之壓力過大或同一區位沖洗過久而致使損壞鋪面表層。
- 2.化學藥劑法；係利用化學藥劑進行胎屑沉積物之溶解與清除作業，此方法可有效移除剛性與柔性鋪面跑道之胎屑沉積物。但某些化學藥劑可能具有毒性與易揮發等特性。因此，在選用化學藥劑與施行時應特別小心謹慎，首要條件必須要能符合當地政府之環保規定。在剛性鋪面之清洗作業上，通常採用甲酚酸(cresylic acid)與苯(benzene)之混合劑；在柔性鋪

面方面，通常應用鹼性化學藥劑。此外，在使用時間之控制及施行後稀釋作業亦非常重要，以避免損害鋪面表層組成、跑道標線與標誌，以及防止危害污染周圍植物、排水系統、鄰近河川與野生動物棲息地。

3. 高速衝擊法：此方法原理為使用高速(400 ft/sec)之微小鋼質粒子(直徑約 0.039 in)直接衝擊跑道表面，以去除鋪面之胎屑沉積物。主要是利用高速轉輪末端之放射葉片所產生推進動力，以高速推動鋼質粒子進行衝擊與去除跑道胎屑，而衝擊去除後之胎屑污物、灰塵與鋼質粒子，經由連結於後方之收集車進行回收、分類與鋼質粒子再生作業，以利鋼質粒子能重複使用，此方法具有環保、獨立操作與機動等特性。
4. 機械研磨法：主要藉由研磨以去除跑道胎屑沉積物所形成之凸出物。其經由研磨工法刨除跑道表層約 3.2 mm 至 4.8 mm 之厚度，可大幅改善鋪面抗滑特性，但多少亦損及鋪面結構厚度及強度，若為長時間週期性之使用，需特別評估其對鋪面本身強度之影響性。

業經胎屑清除作業之施行可有效恢復跑道抗滑能力。然而，在一般清除工法上亦經常造成鋪面之損壞，所以無論採用何種胎屑清除法，均應加強防範清除過程對於鋪面表層組成之損傷；同時在施行胎屑清除作業後，仍應施以抗滑檢測，以確認跑道鋪面抗滑性能是否恢復至正常安全範圍。

目前國內機場跑道胎屑清除作業仍存有相當困難性，特別在柔性鋪面上普遍缺乏有效改善方法與因應對策。在本研究中主要針對抗滑檢測技術及監測評析等課題進行探討，於改善跑道抗滑性能相關之胎屑清除工法範疇上僅作概略性介紹，建議在未來相關研究中可針對跑道胎屑清除工法進行深入探討，以期就不同鋪面組成特性建立完善之跑道胎屑清除策略，以有效提高鋪面抗滑性能。

### 3.2 FAA 跑道抗滑評估技術標準

為提升飛航運輸安全 FAA 於 1997 年發表 advisory circular 文件<sup>[11]</sup>，針對機場跑道抗滑檢測之頻率、門檻標準、養護評估標準、胎屑清除頻率等部分，訂定有完善之技術標準規範，其主旨為加強機場跑道之安全性能，並提供機場管理單位作為機場鋪面抗滑性能養護管理之參考依據。

### 3.2.1 跑道抗滑檢測頻率標準

FAA 以跑道每日噴射型航機降落班次為依據，訂定抗滑檢測頻率標準，詳如表 1 所示，以提供為機場施行定期性抗滑檢測作業之參考。基本上其建議檢測頻率乃依起降班次而定，但並再依起降機型細分其影響性，故此表可作為各機場一個概略性抗滑檢測之評估，實際執行頻率則應依各機場機型組成及降落頻率決定。

表 1 FAA 跑道抗滑檢測頻率標準<sup>[11]</sup>

每跑道每日噴射型航機降落班次	建議施行抗滑檢測頻率
低於 15 架次	一年
16 至 30 架次	六個月
31 至 90 架次	三個月
91 至 150 架次	一個月
151 至 210 架次	兩週
高於 210 架次	一週

### 3.2.2 跑道抗滑值之門檻標準

FAA 針對 Grip Tester 等八種機場跑道連續式抗滑檢測儀，就 65 及 95 km/hr 兩種不同量測速率採用 1.0 mm 之檢測水膜厚度，分別訂定有抗滑值門檻標準，詳如表 2 所示。其中包含(1)應立即養護之抗滑值最低標準，(2)應進行維修養護作業安排之標準，以及(3)新建完工標準；在國際民航組織(International Civil Aviation Organization, ICAO)規範中亦訂有相同之抗滑檢測門檻標準值<sup>[12]</sup>。各機場管理當局均可依循此標準，以充分掌握跑道之鋪面抗滑性能現況。

表 2 機場跑道抗滑檢測之門檻標準<sup>[11]</sup>

儀器	65 公里/小時			95 公里/小時		
	最低	養護	新建	最低	養護	新建
Mu Meter	0.42	0.52	0.72	0.26	0.38	0.66
K.J. Law Runway Friction Tester	0.50	0.60	0.82	0.41	0.54	0.72
Airport Equipment Co. Skiddometer	0.50	0.60	0.82	0.34	0.47	0.74
Airport Surface Friction Tester	0.50	0.60	0.82	0.34	0.47	0.74
Airport Technology USA Safegate Friction Tester	0.50	0.60	0.82	0.34	0.47	0.74
Findlay Irvine Ltd. Grip Friction Meter	0.43	0.53	0.74	0.24	0.36	0.64
Tatra Friction Tester	0.48	0.57	0.76	0.42	0.52	0.67
Norsemeter RUNAR (operated at fixed 16% slip)	0.45	0.52	0.69	0.32	0.42	0.63

### 3.2.3 跑道抗滑檢測之養護評估準則

如前表 2 所述，FAA 訂定跑道抗滑檢測之養護門檻標準，主要為評估抗滑儀於每一檢測單元所得之抗滑值性能狀態，而檢測單元之長度則未有一定，依檢測儀器之不同而異。基於一般跑道之抗滑性能在短距離呈現較差狀況時，尚不至於影響飛航安全；但若於長距離範圍持續過低之抗滑性能時，則將嚴重危及飛航安全，機場管理單位即應提高警戒與採取相關之養護措施。但若僅就檢測儀所輸出之檢測單元抗滑值高低，並無法確實評斷跑道是否具有安全之起降環境，因為評斷跑道起降之安全性能，主要取決於一定距離長度之總體抗滑性能表現，若僅評估各檢測單元抗滑值之變化訊息，並不足以反映出跑道整體之安全性能狀態。但通常檢測跑道之抗滑值是呈現高低起伏情形，若僅就檢測單元抗滑值過低處進行養護作業，可能形成養護起迄點隨著抗滑值高低變化產生跳躍、極短距離、多處之養護情形，將造成界定養護作業區域與施工範圍之困難。

因此在 FAA 另訂有跑道抗滑檢測之養護評估準則，係以每連續 150 公尺長度為一區段，將跑道劃分為數區段，並求取各區段之平均抗滑值，續依據表 2 之抗滑值養護門檻標準進行前後區段之評估比對，並將各區段評析結果劃分為監控區、養護區、立即養護區、與新建標準區。此評析方法可確切獲取跑道全程之安全性能狀態，同時亦方便機場管理者進行養護區段之劃定與胎屑清除作業之規劃，其評析準則，詳如下述。

#### 1. 監控區：

某單一區段平均抗滑值低於表 2 之養護標準，且兩相鄰區段之平均抗滑值高於養護標準時，則列定此區段為監控觀察區。該區段之平均抗滑值尚符合要求，機場管理者應保持監控，並隨時掌握抗滑性能變化趨勢。

#### 2. 養護區：

當相鄰兩區段之平均抗滑值皆低於表 2 之養護標準時，則劃定此兩區段為養護區。機場管理者應進一步了解抗滑性能低落之原因，並採取適當之養護措施。

#### 3. 立即養護區：

當區段平均抗滑值低於表 2 之最低標準，且相鄰之前後兩區段之平均抗滑值亦同時低於養護標準時，則劃定此三區段為立即養護區。機場管理單位應採取立即性養護措施。

#### 4. 新建標準區：

當評審新建完工之跑道抗滑性能時，要求每區段之平均抗滑值皆應高於表 2 之新建標準。

### 3.2.4 FAA 跑道胎屑沉積物清除頻率標準

跑道胎屑沉積物之產生主要取決於班機降落次數、機型組成、航空器重量、輪胎數量、氣候、跑道長度、以及鋪面結構之影響。為能適時恢復跑道之抗滑性能，FAA 亦對於鋪面胎屑清除頻率訂定有參考標準，詳如表 3 所示。提供為機場管理單位進行預算編列與施行定期性清除養護作業之參考。

表 3 FAA 跑道胎屑清除頻率標準<sup>[11]</sup>

跑道每日噴射型航機降落班次	建議施行胎屑清除頻率
低於 15 架次	兩年
16 至 30 架次	一年
31 至 90 架次	六個月
91 至 150 架次	四個月
150 至 210 架次	三個月
高於 210 架次	兩個月

## 四、機場抗滑監測評析程式之建立

綜合前述之 FAA 跑道抗滑評估技術標準，若要完整執行其評估方法，須經由機場管理者分析抗滑儀之檢測資料，透過抗滑值門檻標準衡量跑道各檢測單元之抗滑性能變化；另以 150 公尺長度單位，將跑道劃分為數區段，並求取各區段平均抗滑值，再依循養護評估準則進行區段之評估比對，進一步評析跑道之抗滑安全性能，據以作為機場管理單位施行養護作業與胎屑沉積物清洗之參考。因機場跑道長度達數公里，若以人工作業執行此項評析流程顯得相當繁瑣與耗時，而且容易發生人為錯誤。

本研究乃依據 FAA 跑道抗滑檢測之技術標準為架構，並進以改善評估方法，發展機場抗滑值監測與養護評析軟體，期能準確、即時的掌控鋪面抗滑性能變化訊息，以提升機場養護管理之效率。下文內容分別就 FAA 抗滑程式、以及本研究所研發之 NTUSKID 機場抗滑程式設計加以探討分析。

### 4.1 FAA 跑道抗滑評析程式之特性分析

FAA 目前已針對機場開發抗滑評析程式，其應用方法必須透過人工作業方式先行將跑道劃分為 150 公尺長度數個區段，並求取各區段之平均抗滑值，再依循輸入資

料進行區段之評析比對，整體操作流程相當繁複與耗費人力，而所分析之結果卻相當簡單，實用性並不佳。且因以 150 公尺為一固定單元，所以其分析結果必是 150 公尺之倍數，對於實務運用上不僅不符真實需要，且往往不是過於保守，就是不夠嚴謹。本研究鑑於 FAA 之機場跑道抗滑之養護評估準則為目前國際間諸多機場所依循之標準，而該程式仍有縝密度不足、實用性不佳之缺點，故就其系統程式特性進行分析，並據以作為本應用程式之改善目標，歸納其重點詳如下列：

1. 在 FAA 機場跑道抗滑之養護評估準則中，以每相鄰 150 公尺長度劃定跑道之區段後，即依其準則進行評估比對作業，且只進行一次即決定最終分析結果，如此之評析結果顯得過於簡略與粗糙。其主要缺點乃在於某一連續範圍有過低之抗滑值，而在劃定 150 公尺區段過程中此連續範圍被區分於兩不同區段，倘此兩區段之其他部分抗滑值較高，則將使兩區段之平均抗滑值呈現正常情形且落於監控區範圍內，其評析結果將隱藏此連續範圍過低抗滑值之危險特性，容易導致機場管理者之誤判，而喪失進行養護措施之先機。此乃 FAA 抗滑評析程式之最大缺失，亦使其程式之應用正確性大受影響。為有效改進此缺點，本研究則以連續推進方式求取不同區段組成，進一步詳細評估作業，以確切分析跑道全程之抗滑性能。
2. FAA 評析程式之評析結果僅以數值方式輸出，解讀較人工化；同時因未具有繪圖功能，機場管理者不易判讀資料與分析相關位置。
3. 凡與抗滑檢測相關之其他資料無法於程式輸出時同時陳列，致使分析結果能提供之資訊較為簡單，完整性較差。

#### 4.2 NTUSKID 機場抗滑評析程式設計

綜觀目前 FAA 抗滑評析方法中，最主要問題為耗費過多人力資源作程式輸入之前端處理、未能確實評估區段之抗滑安全性能、以及缺乏有效界定養護區域之方法。本研究擬就 FAA 跑道抗滑評估技術標準為基礎開發電腦應用程式，以操作簡易、快速效能、圖示分析、準確評估為設計目標。

本程式採用 Visual Basic 6.0 中文版程式語言作為系統開發工具，並根據使用者需求、抗滑儀器特性、介面整合、資料分析標準、評析結果之輸出型態等項目，分別進行系統功能規劃與程式撰寫作業。綜合整體開發目標，將本機場鋪面抗滑值評析程式之系統功能界定有三大目的：

1. 監測跑道各檢測單元之抗滑性能

## 2.評析跑道區段之抗滑安全性能

### 3.提供機場跑道抗滑檢測頻率與胎屑清除頻率建議值

為進一步強化程式之評析功能，本研究創新性地針對 FAA 養護評估準則加以改善，以檢測單元(即 10 m)連續推進方式評析跑道抗滑安全性能，並量化為鋪面抗滑養護指標，以提供機場管理者更精確判讀跑道抗滑性能與確立養護區域之方法，本研究所發展之機場抗滑評析程式以 NTUSKID 稱之。下文中就本應用程式之設計架構與 NTUSKID 之評析特性加以說明：

#### 1.作業環境

本程式發展於 Windows 視窗作業環境下，可直接安裝於筆記型電腦，方便機場管理者於檢測現場實地操作。系統為中文化作業環境具操作簡便快速、資料判讀容易、資料轉置存取方便等特性。

#### 2.資料擷取自動化

有別於 FAA 目前已發展之應用軟體過度仰賴人工輔助資料讀取，本系統自動擷取抗滑儀之檢測資料檔，逕行評估分析作業，使用者不必重複輸入基本資料與抗滑值資料，可大幅縮短操作人力與時間。

#### 3.原始量測資料展現

程式以 FAA 抗滑值門檻標準評估跑道各檢測單元之原始抗滑值，並採用繪圖方式與不同顏色標示，分別將跑道右側與左側鋪面抗滑值變化情形展現於視窗繪圖區，使操作者能清晰判讀各檢測單元之抗滑值變化訊息。本程式採用表 2 中之 Grip Tester 檢測儀，以 65 km/hr 量測速率為標準，其抗滑值(GN)評估結果區分為：

- (1)最低標準 GN 值  $\leq 0.43$  (以紅色長條圖標示)
- (2)養護標準  $0.43 < \text{GN 值} \leq 0.53$  (以黃色長條圖標示)
- (3)新建標準  $0.53 < \text{GN 值} \leq 0.74$  (以綠色長條圖標示)

#### 4.詳細準確之抗滑資料評析

本程式雖仍以 FAA 跑道抗滑養護評估準則為基礎，但突破既有僵化之制式應用，以符合實際抗滑安全檢測之目的。於抗滑資料分析上，NTUSKID 首次採行連續推進式之養護評估方法進行評析作業：係先以 150 公尺為分析單位將跑道劃分為數區段，分別求取各區段之平均抗滑值，進行第一輪區段抗滑性能評析比對。爾後，續予每次推進 10 公尺重新劃分跑道區段，以連續推進方式反覆詳盡評析各區段之抗滑性能，以期能更精確剖析跑道全程之抗滑性能。

## 5. 鋪面抗滑養護區段評定與繪圖

在完成 15 次連續推進評析作業後，將整合後之評析結果以繪圖方式與標示座標方位展現跑道各區段之抗滑性能，並將抗滑性能量化為鋪面養護指標，採用不同顏色警戒長條圖標示之，以方便機場管理者進行養護區段之規劃。其結果顯示於視窗繪圖區，可區分為：

- (1) 監控區：單一區段內之平均抗滑值(GN 值)低於 0.53 者，劃定為監控區。(以綠色警戒長條圖標示)
- (2) 養護區：連續兩區段之平均抗滑值低於 0.53 者，劃定此連續兩區段為養護區。(以黃色警戒長條圖標示)
- (3) 立即養護區：區段之平均抗滑值低於 0.43，且鄰近之前、後區段平均抗滑值亦低於 0.53 者，則劃定此連續三區段為立即養護區。(以紅色警戒長條圖標示)

## 6. 抗滑檢測頻率與胎屑清除頻率建議

根據 FAA 跑道抗滑檢測頻率標準與胎屑清除頻率標準，評估跑道每日噴射型航機降落班次，並輸出抗滑檢測頻率與胎屑清除頻率之建議值，以提供為機場管理單位施行定期性檢測與清除養護作業之參考。

## 7. 輸入與輸出資料之保存

本系統將跑道各檢測單元之抗滑值轉置儲存為文字檔，以利使用者進行後續相關研究與統計分析作業之應用。同時可將評析結果儲存為圖形檔，以方便操作者列印輸出或於其他應用程式中使用。

# 五、實例應用

本研究運用 NTUSKID 機場鋪面抗滑評析程式，針對國內某航空站之檢測資料進行實務評估分析作業，加以驗證 NTUSKID 應用程式之各項功能實用性；並進一步探討跑道抗滑性能之現況，提供為機場養護管理之參考。

本程式所分析之 E/W 跑道平均每日起降班次約有 120 餘架次，其中起、降約各占一半。E/W 跑道長度約 3,350 公尺，跑道寬度 60 公尺，道面組成為剛性鋪面，目前 E 及 W 方位均有施行起降作業。

## 5.1 Grip Tester 抗滑檢測調查

本研究主要採用 Grip Tester 抗滑檢測儀進行實地檢測調查與評析作業。該儀器係

經由 ICAO 及 FAA 測試認可，屬於滑溜式原理之三輪拖曳式抗滑檢測儀<sup>[13]</sup>(如圖 2 所示)檢測時由偵測器記錄測試輪所承受之水平與垂直正向力，以 10 公尺檢測單元輸出抗滑值、檢測速率與距離等資料，其數據經由電腦計算並轉換為鋪面抗滑 GN 值(grip number)。

在該機場協助下，本研究於民國 89 年 4 月份依據 ICAO 及 FAA 機場抗滑檢測規範標準，以 Grip Tester 抗滑值檢測儀進行實地檢測調查作業。其相關之參數設定詳如表 4 所示。

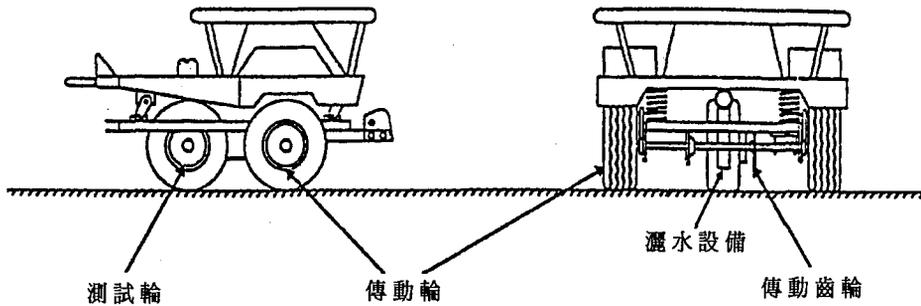


圖 2 Grip Tester 滑溜式抗滑檢測儀<sup>[13]</sup>

表 4 研究調查機場 E/W 跑道抗滑檢測 GripTester 參數設定

項 目	設 定 值
檢測長度(threshold to threshold)	3060 公尺
助跑與減速距離(run in & run out)	各 150 公尺
跑道寬度	60 公尺
檢測方向	去程 E 方位 回程 W 方位
量測點(距跑道中心線)	各 5 公尺
檢測速率	65 km/hr
檢測水膜厚度	1.0 mm
跑道每日噴射型班機(降落班次)	約 62 架次

## 5.2 資料分析

運用 NTUSKID 應用程式針對檢測機場之抗滑資料進行實例評估分析作業，其評析結果詳如圖 3 所示，本文並就評析報告之圖示部分剖析如下。

### 1. 跑道檢測單元原始抗滑值

由跑道檢測單元抗滑圖中顯示：在 E/W 號跑道兩端落地區中，其檢測單元之抗滑值(GN 值)呈現偏低情形，兩端區域中有多處檢測單元之 GN 值低於 0.53 養護標準(黃色長條圖)，甚至已低於 0.43 最低標準(紅色長條圖)。

### 2. 跑道抗滑養護評析結果

由機場跑道養護評析圖中之鋪面養護指標顯示：

- (1) 在 E 號跑道落地區之中心線右側鋪面約有 580 公尺之區段業經評定為立即養護區(紅色警戒長條圖)；同時在該端中心線左側鋪面則有 200 公尺之區段評定為監控區(綠色警戒長條圖)。
- (2) 在 W 號跑道方面，其落地區中心線右側鋪面約有 530 公尺之區段評定為立即養護區(紅色警戒長條圖)，另有 80 公尺區段評定為養護區(黃色警戒長條圖)；同時在該端中心線左側鋪面有 490 公尺之區段評定為監控區(綠色警戒長條圖)。

### 3. NTUSKID 與 FAA 抗滑程式比較

本研究另將此研究機場抗滑檢測資料運用 FAA 抗滑程式加以分析，其評析結果詳如表 5 所示。FAA 抗滑程式在參數設定上係採用英制單位：檢測速率設定為 40 mph(相當於 65 km/hr)，區段長度設定為 500 ft(約 150 m)；在跑道抗滑評析結果係以符號代表各區段之抗滑性能狀態：!! 代表立即養護區、\*\* 代表養護區、\* 代表監控區。

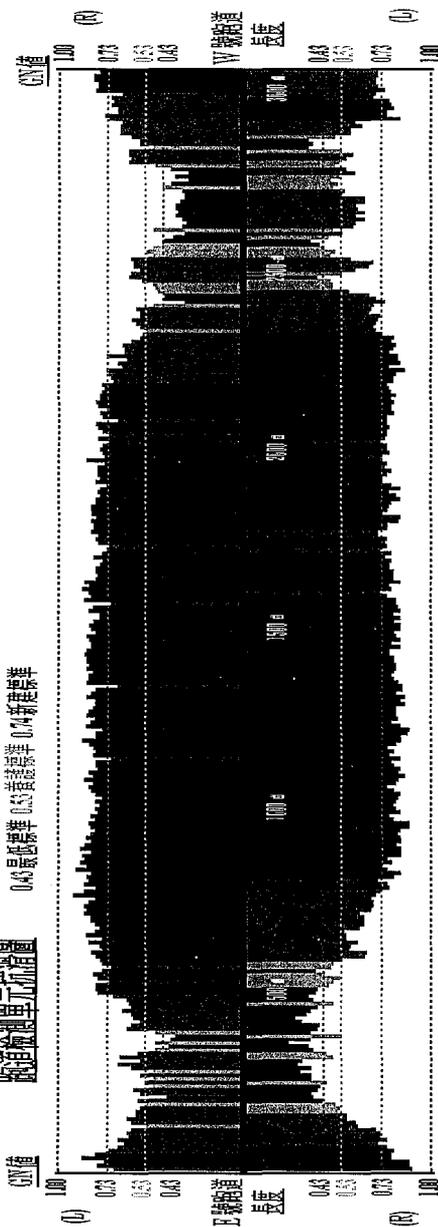
由 FAA 程式分析結果顯示：

- (1) E 號跑道前端落地區中心線右側鋪面有 1500 ft(約 450 公尺)之區段評定為立即養護區(!!)，另有 500 ft(約 150 公尺)評定為監控區(\*)；同時在中心線左側鋪面則有 1000 ft(約 300 公尺)評定為監控區(\*)。
- (2) W 號跑道前端落地區中心線右側鋪面有 1500 ft(約 450 公尺)之區段評定為立即養護區(!!)，另於毗鄰區域有 1000 ft(約 300 公尺)評定為監控區(\*)；同時在中心線左側鋪面則有 1000 ft(約 300 公尺)評定為監控區(\*)。

研究調查機場 E/W 號跑道 鋪面抗滑值評析報告

研究調查機場 抗滑值檢測基本資料

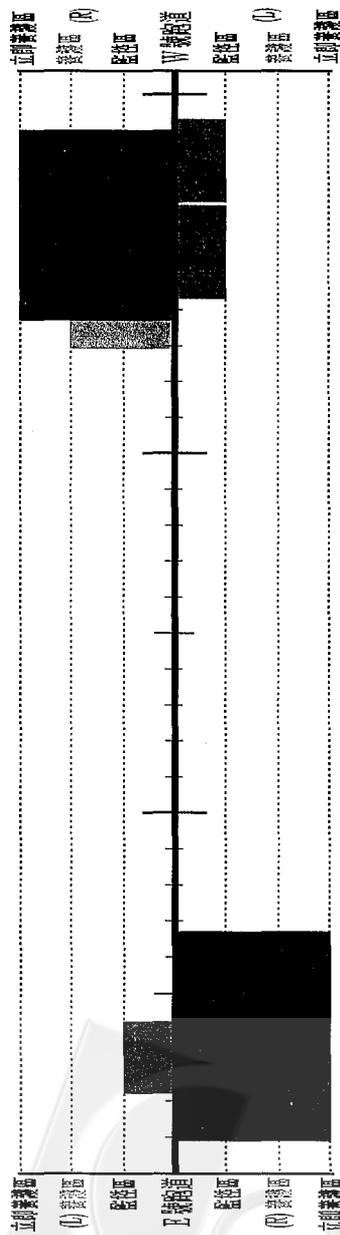
- E/W 號跑道(檢測長度): 3060 m
- E/W 號跑道(全寬): 60 m
- 抗滑值檢測日期: 26-04-2000
- 量測點距跑道中心線: 5 m
- 抗滑儀檢測之動車速度: 150 km/h
- 抗滑儀檢測速度: 65 km/h
- 抗滑儀檢測水膜厚度: 1.00 mm



跑道檢測單元抗滑圖 0.45最低標準 0.51黃線標準 0.74紅線標準

機場跑道養護評析圖 (依據 FPN 建議標準)

建議車速: (依據 IAD 標準)



- 建議機場抗滑檢測頻率: 三個月
- 建議跑道胎面磨損保養: 六個月

圖 3 國內某機場 E/W 跑道抗滑檢測評析報告圖

表 5 以 FAA 抗滑程式評析國內某機場跑道抗滑性能結果

04-26-2000

RUNWAY E

FINDLAY, IRVINE, LTD. GRIPTESTER MU READINGS

FRICITION EVALUATION FOR FORTY MPH DATA

Distance from Threshold (ft)	16'L	16'R
9500-10000	66*	65
9000-9500	44!!	52*
8500-9000	39!!	54*
8000-8500	51!!	58
7500-8000	60*	75
7000-7500	74	80
6500-7000	76	76
6000-6500	79	79
5500-6000	78	76
5000-5500	81	80
4500-5000	83	80
4000-4500	80	83
3500-4000	81	81
3000-3500	81	83
2500-3000	85	77
2000-2500	81	62*
1500-2000	74	45!!
1000-1500	53*	36!!
500 -1000	55*	40!!
0 - 500	68	75

!! - Below minimum value - Immediate corrective action required.

\*\* - Below minimum value - Corrective action required.

\* - Marginal - Close monitoring required.

0 - Reading not obtained.



整體而言，FAA 程式在資料輸入之前置作業上相當繁複與耗時；而資料分析結果採以數值符號表列顯示，在判讀與分析上較為不便。其評析結果業經與 NTUSKID(圖 3)進行比較，可發現兩者所評析之養護區段位置雖大致相同；但細究其差異，得知於立即養護區方面在 E 號跑道之前端落地區中 NTUSKID 評析結果相較於 FAA 程式多出約 130 公尺，在 W 號跑道之前端落地區則多出約 80 公尺；同時於養護區方面 W 號跑道之 NTUSKID 評析結果亦多出有 80 公尺之養護區。經比較兩者之分析門檻值雖同，但進行步驟與方法確有縝密與簡易之別，由圖 3 上半部之原始檢測單元資料比對，可進一步驗證 NTUSKID 連續推進式評析程式確實較 FAA 程式更能反映實際抗滑檢測結果，且評估分析所得亦較保守安全；同時亦見有快速分析及操作簡易之效能。

### 5.3 跑道抗滑檢測特性

在本次抗滑檢測結果經由 NTUSKID 程式分析發現，同一跑道之中心線左右兩側之兩次檢測資料呈現有不同抗滑性能情形，由鋪面養護指標顯示 E 號跑道前端之右側鋪面約有 580 公尺已進入立即養護區，而左側鋪面相同區段間卻僅有 200 公尺範圍評定為監控區；同時在 W 號跑道前端之落地區亦呈現左右分析結果不同情形。

為進一步求證跑道抗滑檢測之特性與資料評析之準確性，研究人員另行檢測國內另一機場，亦發現相同現象；此項特殊狀況在與香港大嶼山國際機場維護單位交換檢測經驗時，得知其於抗滑檢測作業上亦存有相同特性。經初步探究其因乃可能航機輪胎在高速落地時，其剝離後高溫胎屑之散布情形形成波浪狀黏附於跑道面層，而其胎屑所形成之波浪方向將因抗滑儀檢測方向之順逆，而影響所得之抗滑值。一般而言，沿波浪順向檢測所得之值較逆向檢測時低甚多。亦即飛機於降落時沿波浪順向滑行，此時鋪面表面因較為平順故抗滑值較低，若為逆向施測時則得較高值，基於飛機於降落後依順向滑行，故檢測值之應用應以順向者分析之。

以本研究中之機場抗滑檢測為例(詳如圖 4 所示)：跑道檢測方向去程為由左至右(圖下方)、回程為由右至左(圖上方)。因去程為檢測 E 號跑道端之右側鋪面，而其前端落地區胎屑之波浪形狀與抗滑儀檢測方向成順向，故測得較低抗滑值；而回程檢測時 E 號跑道端左側鋪面胎屑之波浪形狀與抗滑儀檢測方向成逆向，因此所檢測之抗滑值則呈現較高狀態。同理，在 W 號跑道之胎屑波浪形狀與抗滑儀檢測順、逆方向亦影響量測時之抗滑數值。此項推論尚仍需後續相關研究提供更完整之研究資料予以證實。

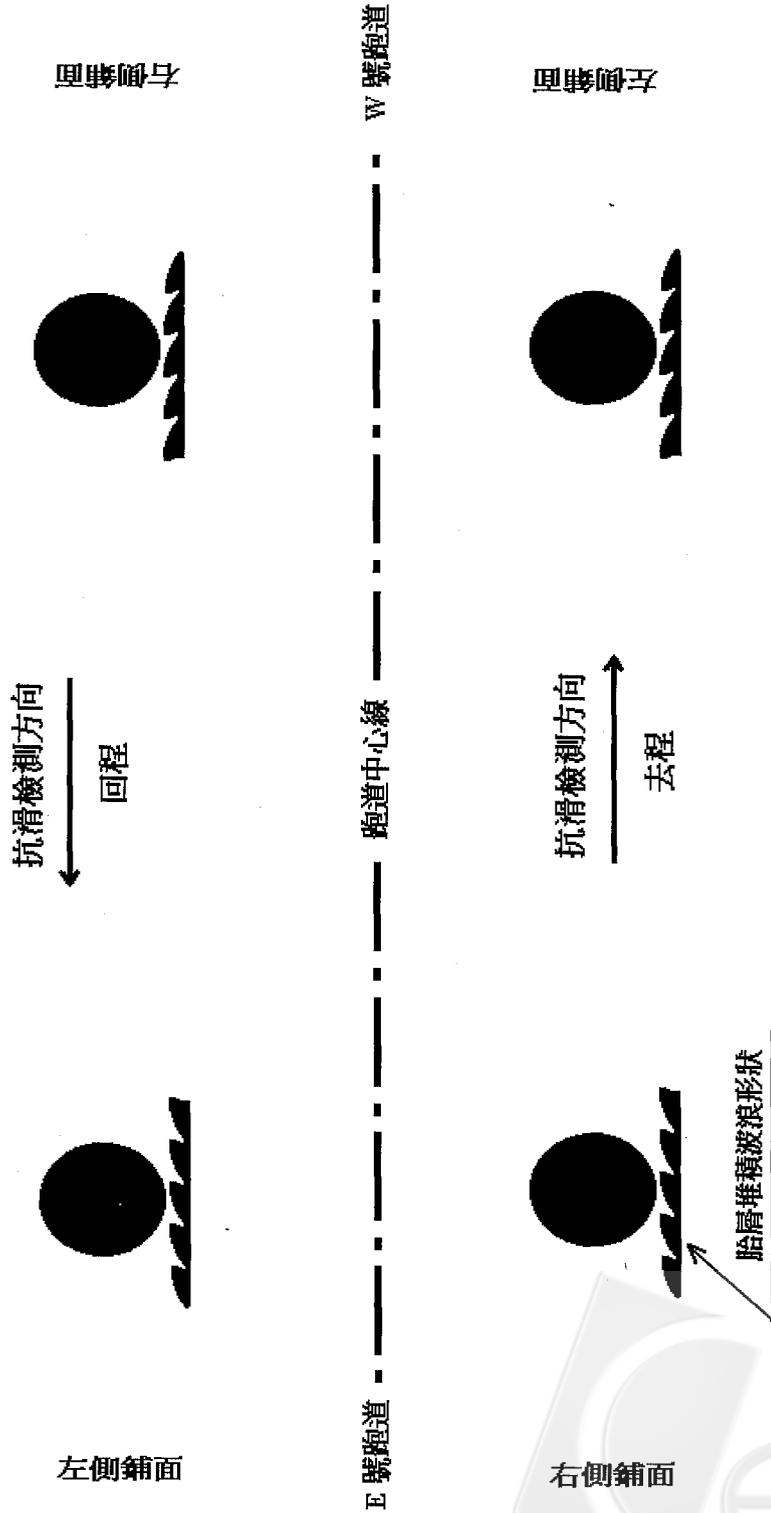


圖 4 航機起降與抗滑儀檢測方向對於抗滑值之影響性

## 六、結 論

機場跑道抗滑性能為影響飛航安全要項之一，為鋪面養護管理之重要指標，但目前國內無論在政府主管機關或學術單位均較缺乏相關領域之研究與應用。經由本研究針對國內所有民用機場之訪談與問卷調查發現，目前國內多數機場並未進行抗滑檢測技術與胎屑清除養護作業，而大多數均反映有其必要性。

本研究以 FAA 養護評估準則為發展架構，並就評析方法加以改進，研發 NTUSKID 機場監測與養護評析應用軟體，業經抗滑檢測儀實地檢測國內機場跑道，並以 NTUSKID 及 FAA 兩程式分析計算，獲知 NTUSKID 確可精細評估跑道抗滑能力，並可明確規劃立即養護區、養護區、及監控區，較 FAA 所發展之程式更能反應跑道抗滑特性，期能廣泛推行為國內機場抗滑值監測與養護評析之實務應用。另由機場抗滑分析結果發現，跑道胎屑所形成順、逆向波紋將影響檢測儀所得之抗滑資料，此現象普遍存在各機場之檢測數據中。為能準確地評估鋪面抗滑能力，建議應採飛機降落之順向量測值代表該區段鋪面摩擦係數。

FAA 跑道抗滑檢測頻率與跑道胎屑清除頻率之建議標準，主要乃依機場跑道每日起降班次而定，係為一概略性評估標準。而國內航空站多數為軍民合用機場，在起降機型組成與使用目的上各有其不同特性，建議後續可再深入針對國內機場研究適用之抗滑檢測頻率與跑道胎屑清除頻率標準，乃至胎屑清除工法與提升鋪面抗滑策略之研擬。同時，亦建議航空主管單位重視此維繫航空安全之抗滑檢測問題，針對國內機場實施全面檢測評估，建立資料庫檔案系統，以為抗滑值預測模式發展之基礎。

## 參考文獻

1. Kummer, H. W. and Meyer, W. E., *NCHRP Synthesis of Highway Practice 37 : Tentative Skid-Resistance Requirement for Main Rural Highways*, HRB, National Research Council, Washington, D. C., 1967.
2. Shahin, M. Y., *Pavement Management for Airports, Roads, and Parking Lots*, Chapman & Hall, New York, 1994, pp. 90-111.
3. Balade, G. B. and Snyder, M. B., "Highway Pavements", Report FHWA-HI-90-026. FHWA, U.S. Department of Transportation, May 1990, pp. 113-125.
4. Croney, D. and Croney, P., *The Design and Performance of Road Pavements*, McGraw-Hill Book Company, London, 1992, pp. 521-545.

5. Thenoux, G., Allen, W., and Bell, C. A., "Study of Aircraft Accident Related to Asphalt Runway Skid Resistance", *Transportation Research Record*, 1536, TRB, National Research Council, Washington, D.C., 1996, pp. 59-63.
6. *Standard Test Method for Measuring Surface Frictional Properties Using the British Pendulum Tester*, ASTM E303-93, American Society of Testing and Materials, 1993.
7. *Standard Test Methods for Side Force Friction on Paved Surfaces Using Mu-Meter*, ASTM E670-94, American Society of Testing and Materials, 1994.
8. Saito, K., Horiguchi, T., Kasahara, A., Abe, H., and Henry, J. J., "Development of Portable Tester for Measuring Skid Resistance and Its Speed Dependency on Pavement Surfaces", *Transportation Research Record*, 1536, TRB, National Research Council, Washington, D.C., 1996, pp. 45-51.
9. *Standard Test Methods for Measuring Paved Surface Frictional Properties Using the Dynamic Friction Tester*, ASTM E1911-98, American Society of Testing and Materials, 1998.
10. *Standard Test Methods for Skid Resistance of Paved Surfaces Using a Full-Scale Tire*, ASTM E274-97, American Society of Testing and Materials, 1997.
11. Bennett, D. L., "Measurement, Construction, and Maintenance of Skid-Resistant Airport Pavement Surfaces", Report AC 150/5320-12C. FAA, U.S. Department of Transportation, 1997.
12. "International Standards and Recommended Practices : Aerodrome Design and Operation", *Aerodromes*, Annex 14, Volume 1, International Civil Aviation Organization, Jul. 1995, pp. 160-161.
13. *Grip Tester Operations Airports: Operations Manual Airports*, Findlay Irvine Limited, Midlothian, Scotland, 1998.

