

## 民用航空器飛航事故於溼滑跑道之落地性能研究

官文霖

(行政院飛航安全委員會)

### 摘要

近年來，溼滑跑道持續對民用航空器之落地性能造成威脅，各國發布的飛安改善建議類似，惟無法具體有效防止類似飛航事故再發生。本文的研究動機為探討溼滑跑道對航空器落地性能之影響，依據國際飛安資料庫，研析過去 30 年西方製造之大型固定翼航空器衝出及偏出跑道事故之肇因。闡述相關法規，落地距離，探討減速性能，機場抗滑值及煞車係數之關連性等，並綜整歐美相關研究成果，藉由飛航事故案例驗證航空器於溼滑跑道落地之減速性能分析之方法。

**關鍵詞：**溼滑跑道、落地距離、減速性能、有效煞車係數、機場抗滑值

## 民用航空器飛航事故於溼滑跑道之落地性能研究

官文霖博士/ 調查實驗室主任  
行政院飛航安全委員會

### 簡報大綱

- 研究動機
- 回顧航空器衝出及偏出跑道事故
  - 衝出及偏出跑道事故之共通性
- 溼滑跑道影響落地性能因素
  - 落地跑道長度
  - 波音建議各型航空器之側風限制
  - 航空器有效煞車係數及減速效能之評估
- 實例探討
- 結論

### 研究動機

- 探討溼滑跑道對民用航空器之落地性能影響，統計歐美國家及我國航空器衝出及偏出跑道之飛航事故，並探討事故肇因與溼滑跑道之關連性
- 衝出/偏出跑道 (Runway Excursion)
  - 衝出跑道(Runway Overruns)定義：航空器於落地滾行期間滑出可用落地跑道區域外。
  - 偏出跑道(Runway Veer off)定義：航空器於落地滾行期間滑出跑道；以及於脫離跑道期間滑出跑道或滑行道。

### 飛安會調查之定翼飛機飛航事故各階段發生比例統計(1998.05-2008.10共62件)

操作階段	事件數	百分比	2006波音統計
滑行與關載裝卸	2(另有1起意外)	6.9%	13%
起飛過程	2	6.9%	11%
初始爬升	1	3.45%	8%
爬升(襟翼已收)	1	3.45%	11%
航路巡航階段	5	17.23%	10%
下降過程	2	6.9%	5%
初始進場階段	0	0%	10%
最終進場階段	0	0%	10%
落地過程	16(另有1起意外)	55.17%	22%
總計	29		100%

16件落地階段所發生事故中，衝/偏出跑道事故共計發生過10+1次，佔62.5%  
Note: 1件為完成調查後，改為意外事件

### 回顧航空器衝出及偏出跑道事故

- 1977年1月22日奈及利亞航空公司一架波音707型客機執行國內載客任務，該機因雷雨轉降卡諾機場，落地後偏出跑道後與地面物碰撞。機上載有193名乘客，9名機組人員，176人死亡，飛機全毀。
- 2004年11月30日，印尼雄獅航空公司一架MD-82型客機執行雅加達—泗水定期載客任務，該機起飛後遭遇到大雨和雷電等惡劣天氣，落地後於道面失去控制而滑出跑道。機上載有146名乘客，至少造成23人死亡，61人受傷。
- 2005年8月2日，法國航空公司一架A340型客機執行法國巴黎—加拿大多倫多定期載客任務，於多倫多機場落地期間遭遇到雷雨，致使飛機滑出跑道，機上載有297名乘客，12名機組人員，24人受輕傷，飛機全毀。

### 進場及落地階段之事故肇因

- 飛航組員之疏忽及操作不當
  - 飛航組員到達決斷高度(DH)，或最下降高度(MDA)以下，於喪失目視參考地標時仍繼續進場著陸。
- 無法確認航空器與地面之相對高度及位置
  - 飛航組員無法確認航空器與地面之相對高度及位置，造成可控飛行撞地之事故。
- 飛行系統錯誤
  - 因飛行系統錯誤，導致飛航組員誤判及作出錯誤反應。
- 違反標準操作程序
  - 飛航組員之無意及刻意違反標準操作程序。
- 判斷力及飛行技術不佳
  - 飛航組員之飛行知識，飛行技術不足，生理/心理素質較弱等。

### 衝出或偏出跑道飛航事故(國外)

- 1970~1999年英國AGL飛安資料庫
  - 122件落地衝出跑道
- 1983~1995美國境內Part 121定期與非定期民用固定翼航空器
  - 69件事務案列與側風及陣風有關(含15件失事)
- 1970~2004荷蘭航空研究所(NLR)的飛安資料庫
  - 400件溼滑及污染跑道情況下衝出及偏出跑道

Note: accident only  
MTOW > 5700 KG, 排除「機庫新製造, 劫機, 恐怖攻擊及軍用航空器; 訓練及飛渡任務」。

### NLR 研究發現

- 渦輪噴射機型250件(百萬落地失事率0.47); 渦輪螺旋槳機150件(失事率0.56)
- 46.8%失事屬乾跑道, 47.8%失事屬溼滑跑道, 5.5%失事污染跑道(含有鬆冰, 溶雪等);
- 最近5年平均落地衝出跑道之失事率為0.25。
- 9大落地衝出跑道之風險指標, 包括: 非精密進場(72%), 落地過長(53%), 進場速度過大(28%), 胎面水漂(15%), 使用減速裝備過慢或不當(15%), 目視進場(14%), 順風進場(12%), 減速裝備失效(8%), 進場高度過高(7%);

### 衝出及偏出跑道事故(國內)

■ 1998~2007年國內飛航事故類別

■ 11件衝出及偏出跑道事故

日期	機型	著陸點	50呎/著陸空速	頂風	側風	跑道
1999.09	B747-SP	1,700	147	128	-20.8	15.6 乾
2000.04	MD-80	2,520	132	117	0	8.0 溼滑
2000.08	MD-90	3,270	146	146	5	13.6 溼滑
2000.10	B737-800	2,440	155	149	-12.8	35.2 溼滑
2003.08	MD-80	2,470	174	158	5.3	17.2 溼滑
2004.07	MD-90	1,370	142	140	8.0	8.0 溼滑
2004.08	MD-80	2,500	142	142	-16.0	11.0 溼滑
2004.10	A320	1,750	136	138	0.0	0.0 溼滑
2005.12	BD700	2,600	126	111	-4.5	7.8 乾
2006.07	MD-80	1,500	128	120	9	2 溼滑
2007.08	MD-80	2,000	140	140	9	5.6 溼滑

\*: 頂風/尾風依據事故當時地面紀錄或100呎時FDR紀錄, 負值為尾風

9

### 衝出及偏出跑道事故之共通性

- 82% 飛航事故屬於溼滑跑道狀況；且45% 著陸點過長者；
- 存在雷雨，颱風或風切情況；
- 27% 飛航事故，側風大於15哩/時。
- 55% 飛航事故因橫向操作不當，造成擾流板收回，及反推力器EPR大於1.3等；
- 45% 飛航事故屬於溼滑跑道狀況，且使用過大的反推力或不對稱反推力；
- 36% 飛航事故屬於溼滑跑道狀況，且50呎至著陸前未收油門至慢車位置(IDLE)；

**於溼滑或污染跑道條件下，進場速度過快且或著陸點過長，最後進場至平飄期間時常遭遇強側風及尾風**

10

### 航空器落地性能之探討

- 影響落地性能之因素
  - 落地技術、機場標高、場面風速、**跑道道面條件**、煞車功能之操作.....
- 落地距離分析
  - 相關規範FAR/JAR 25.125
  - 航空器的落地距離是以乾跑道、無側風、最大煞車，及擾流板展開為條件，未考慮使用反推力器
  - LDR=1.92\*LD (dry RWY) ; LDR=3.5\*LD (wet RWY)
- 減速性能及煞車係數之關連性
  - 歐美的民航監理機關及研究單位，共同推動冬季跑道摩擦量測聯合計畫 (JWRFPMP)
  - JWRFPMP 為量化不同抗滑檢測儀的抗滑係數，並將其換算成國際的統一指標，稱為國際跑道摩擦指標(IRFI)
  - 道面抗滑係數 → IRFI ← 個別A/C有效煞車係數 (mu)**

11

### 濕滑跑道 Vs. 受水影響跑道

- ICAO, JAA, FAA 定義存在差異 (AC-91-6A, JAR 25X1591)
- JAA 定義污染跑道 - 積水(3mm), 半溶雪 (2mm), 濕雪 (4mm), 乾雪 (15mm)
- FAA 只定義 water affected runway
  - 乾跑道及溼滑跑道的有效煞車係數(mu) 規定分別為 0.4, 0.2
- 道面抗滑係數與航空器之有效煞車係數轉換困難
  - 地面載具以特定速度及固定水膜厚度(3mm)執行檢測
- 航空器製造商的飛行試驗，無法交代大於3mm積水厚度或是複雜的污染跑道條件下之性能；**未來NPA 25G-334生效後可以解決此問題**

12

### 濕滑跑道的定義

ICAO		JAA	
Dry	道面沒有水氣或積水	Dry	非濕溼滑或污染之道面，不考慮有無水氣存在
Damp	道面有水氣，道面顏色改變	Damp	道面有水氣，道面顏色改變 (水氣厚度小於0.01")
Wet	道面潮濕，但無積水	Wet	道面潮濕，但無積水(水氣厚度介於0.01~0.1")
Water Patches	道面積水且肉眼看得見	Contaminated	道面潮濕，且存在積水，或冰，或雪 (積水厚度大於0.1")
Flooded	道面大量積水且肉眼看得見		

13

### 道面抗滑檢測(skiddometer)

This is one of the ICAO-approved devices for measuring friction. The so-called Skiddometer is a trailer which can be used with or without a water tank. For maintenance measurements, the water tank will be mounted above the measuring unit, creating a water layer of 1 millimeter. Measurements for SNOWTAMS are done without the water tank. Driving speed is 65 km/h.

14

### Annex 14 ATT A-7 Friction Characteristics Values

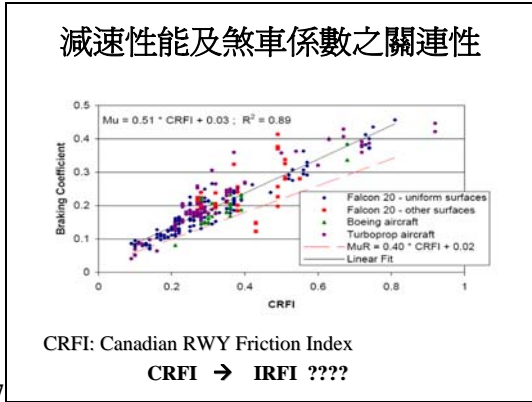
Test Equipment	TYPE	Test Tire Pressure (KPA)	Test Speed (km/hr)	Test Water Depth (mm)	design objective for new surface	maint. Planning level	min. friction level
mu-meter trailer	A	70	65	1.00	0.72	0.52	0.42
	A	70	95	1.00	0.66	0.38	0.26
skiddometer trailer	B	210	65	1.00	0.82	0.60	0.50
	B	210	95	1.00	0.74	0.47	0.34
surface friction tester vehicle	B	210	65	1.00	0.82	0.60	0.50
	B	210	95	1.00	0.74	0.47	0.34
runway friction tester vehicle	B	210	65	1.00	0.82	0.60	0.50
	B	210	95	1.00	0.74	0.54	0.41
TATRA friction tester vehicle	B	210	65	1.00	0.76	0.57	0.48
	B	210	95	1.00	0.67	0.52	0.42
GRIP TESTER trailer	C	140	65	1.00	0.74		
	C	140	95	1.00	0.64	0.36	0.24

15

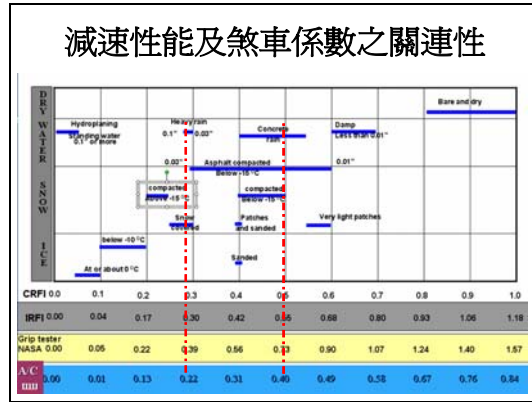
### 道面抗滑係數Vs.有效煞車係數

Estimated braking action	ICAO CODE	Runway Friction Value	Aircraft Braking Coeff. (mu)	Runway Conditions
			0.40	Dry
good	5	≥ 0.40	0.20	Wet (water depth ≤ 3mm)
fair to good	4	0.36 ~ 0.39	0.16-0.19	Wet (water depth ≤ 3mm; compacted snow)
fair	3	0.30 ~ 0.35	0.15	
poor to fair	2	0.26 ~ 0.29	0.11-0.14	Wet (water depth > 3mm; wet snow; heavy rain; ice)
poor	1	≤ 0.25	0.10	
nil to poor			0.06 ~ 0.09	WET (flooded, wet ice)
nil			≤ 0.05	

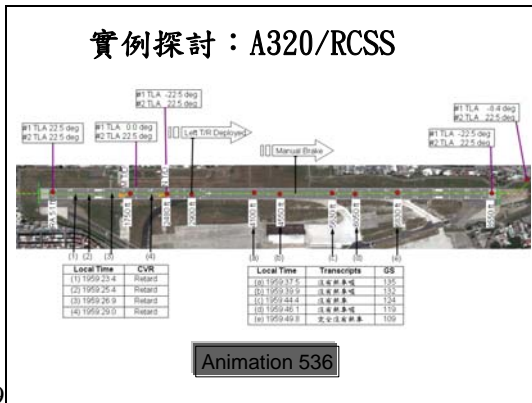
16



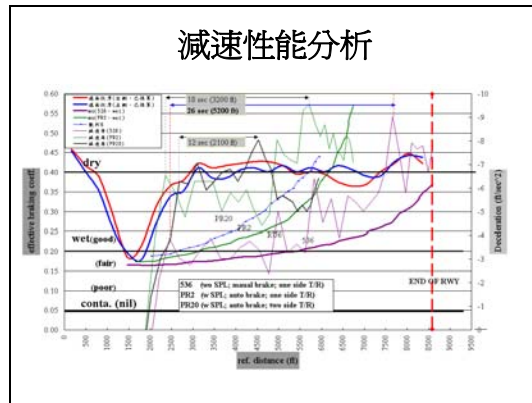
17



18



19



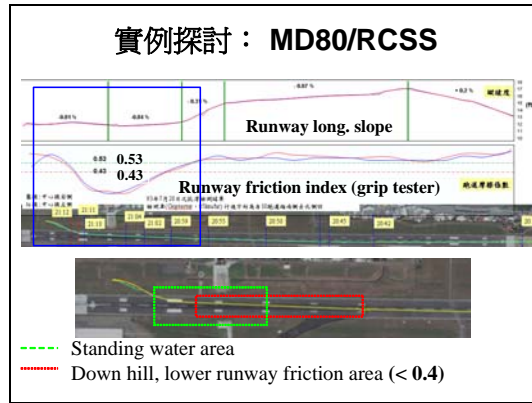
20

### 減速性能分析

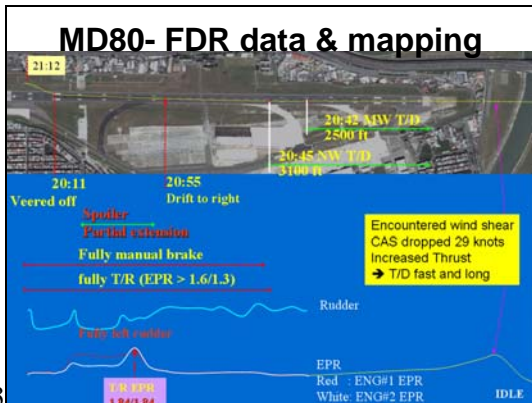
航班	減速行為/最大減速率	max. mu	brake con.
536事故、溼滑	26 s (5200ft)/ 9.0 ft/s <sup>2</sup>	0.27	Fair → good
PR2 正常、溼滑	18 s (3200ft)/ 9.6 ft/s <sup>2</sup>	0.32	Good
PR20 正常、乾	12 s (2100ft)/ 8.0 ft/s <sup>2</sup>	0.30	Good

條件	深度	著陸點	機率	地面坡度	一號煞車	二號煞車	地行距離 (ft)	可用煞車距離 (ft)	落地時離跑道尾端距離 (ft)
1	乾	1,750	自動煞車	民間	最大反推力	1.00	3,770	6,800	可停止
2	溼滑	1,750	自動煞車	民間	最大反推力	1.00	3,770	6,800	可停止
3	溼滑	1,750	自動煞車	民間	最大反推力	1.08	4,050	6,800	可停止
4	溼滑	1,750	手動煞車 著陸 +15秒	未調閱	最大反推力	1.08	7,810	6,800	67 (命中)
5	積水 深度1/4"	1.7	手動煞車	未調閱	最大反推力	1.08	9.2	70	6,800
6	積水 深度1/2"	1.7	手動煞車	未調閱	最大反推力	1.08	9.2	70	6,800

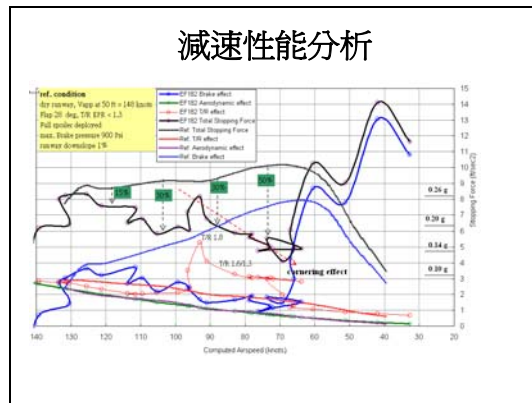
21



22



23



24

## 結 論

- 於溼滑/污染跑道條件下，易導致進場速度過快且或著陸點過長，且最後進場至平飄時常遭遇強側風及尾風而導致事故。
- 現行塔台提供給駕駛員的機場天氣資料時，欠缺精確可靠的跑道抗滑資料；航空器製造商提供給駕駛員的飛航操作手冊及性能評估系統，無法量化跑道抗滑係數，航空器之減速性能衰減，及有效評估落地距離增加等問題。
- 機場道面抗滑係數，航空器有效煞車係數，及減速效能之已能量化評估及轉換
  - IRFI (JWRFMP)
  - FAA's New Landing Assessment Rule (OpSpec/MSpec C082)

25