

A-1 航路台北至馬公冬季亂流 之初步研究

蒲金標 蘇世孟 莊江森

An Analysis of Winter Atmospheric Turbulence on the Air Way

A-1 between Taipei and Makung

C. P. Pu

S. M. Su

C. S. Chuang

Abstract

Analyzing 1859 flight-reports of the 1973-78 winter season between Taipei and Makung on the air way A-1, there were 275 flights encountered the atmospheric turbulence (including 191 flights — choppy or light turbulence, 74 flights — moderate turbulence and 10 flights — severe turbulence).

The results show that the probability of the turbulence occurrence :

- 1 is increasing when the aircraft descending from Makung to Taipei.
- 2 is increasing in the high level, but not in the low level (below 10,000 ft), when the subtropic jet stream moving south from higher latitudes to Taiwan.
- 3 is larger in Taiwan than in higher latitude area, when the turbulence occurred by the horizontal wind shear.

The results also indicate the condition of the moderate and severe turbulence occurrence is the horizontal wind shear more than 14 kt/lat. (deg) or the vertical wing shear more than 8 kt/1000 ft.

一、前 言

臺灣南北狹長，境內有中央山脈、雪山山脈、玉山山脈以及阿里山山脈縱貫其間（如圖1）。其中超過三千公尺之高峯林立。冬季高空西風盛行，南支噴射氣流經常在臺灣以北附近。每當高空西風帶南移時，偶有噴射氣流軸心移至臺灣上空，此時高空西風增強，因受阻於南北縱貫之中央山系，常造成強烈水平風切與垂直風切，故易產生亂流。

臺灣北端另有大屯火山群，它界於淡水河與基隆河之間，山群有七星山（1,120公尺）、大屯山（1,090公尺）與面天火山（997公尺），其中七星山呈圓錐狀。冬季東北風盛行，當寒潮南下時，

強勁北風受阻於大屯火山群，台北松山機場風力微弱。但林口進場區上空風速甚強，低層垂直風速改變甚大，故易產生低空風切。

A-1航路係從香港經ELATO（舊名為YELLOW TAIL, YTL），進入台北飛航情報區（TPE FIR），再經馬公（MKG），後龍（HLG）到台北（TPE），往北從台北經BULLAN（舊名為BLENNY, BNY）進入琉球飛航情報區（NAHA FIR）（如圖2），再經東京飛航情報區（TYO FIR）。A-1航路係東京、台北與香港間必經航線，民航班機南來北往非常頻繁。冬季飛機常遭遇高空之晴空亂流與低空風切。因此本文就A-1航路台北至馬公冬季亂流加

以統計，並就亂流發生當時副熱帶噴射氣流位置以及水平、垂直風切予以分析。

二、航路亂流之統計

依據國際民航組織規定，民航班機飛經航路報告點 (Reporting Point, ▲)，必須從事例行飛機氣象觀測報告，並依 AIREP 格式，記錄飛機班次、報告點、時間、飛行高度 (Flight Level)、溫度、風向風速以及沿途天氣情形，如亂流 (Turbulence)、結冰 (Icing)、積雨雲 (CB) 等。飛機降落後，由飛行員將 AIREP 交給氣象人員，並簡報說明沿途所經歷之氣象情況，氣象人員將此等資料予以收集與整理之，供作業與研究上之參考。

本文所採用的資料，多數為班機從香港飛往台北所做的飛機氣象觀測報告，再次為從東京、漢城、琉球等地飛往台北，經 TPE/VOR 或下降台北松山機場所做的觀測報告，間或有國內班機於高雄、台北間之飛機報告。

一般而言，從香港飛往台北之班機，沿著 A-1 航路至馬公時，其飛行高度即行降低。至後龍 (

HLG) 時之高度約為一萬五千英尺左右。至林口 (LK) 時之高度約降至二千英尺。然後循著台北進場區，徐徐降落台北松山機場。因此本文可說係分析飛機穿降時所遭遇的亂流 (或可稱穿降亂流)。

(一) 航次與亂流次數

本資料即根據民國六十二年至民國六十七年 (1973 - 1978)，每年十二月至次年四月，A-1 航路台北至馬公之飛機觀測報告，其飛行架次與遭遇亂流次數，加以統計，(如表 1)。其中民國六十四年十二月及民國六十五年一、二、三等四個月之紀錄缺失。

由表 1 知，過去六年中有氣象觀測報告之飛機架次，共有 1859 架次，其中遭遇亂流有 275 架次，佔 14.8 %。包括顛簸 (Choppy) 或輕度亂流 (Light Turbulence, ^) 191 架次，佔 10.3 %。輕度或中度亂流 (Moderate Turbulence) (^ / ^) 74 架次，佔 4.0 %。中度或強烈亂流 (Severe Turbulence) (^ / ^) 10 架次，佔 0.5 %。

表 1 台北至馬公冬季亂流統計

年 份	飛 航 架 次	亂 流							
		choppy / ^		^ / ^		^ / ^		合 計	
		架 次	百分比 (%)	架 次	百分比 (%)	架 次	百分比 (%)	架 次	百分比 (%)
1973	328	43	13.1	18	5.5	2	0.6	63	19.2
1974	330	43	11.8	12	3.6	2	0.6	57	17.3
1975	257	17	6.6	9	3.5	1	0.4	27	10.5
1976	172	14	8.1	1	0.6	0	0	15	8.7
1977	432	40	9.3	9	2.1	3	0.7	52	12.0
1978	340	34	10.0	25	7.4	2	0.6	61	17.9
總 計	1859	191	10.3	74	4.0	10	0.5	275	14.8

註：1975 年缺 12 月份，1976 年缺 1, 2, 3 月份資料。

(二) 亂流之區段分布

根據 275 次亂流報告，依其發生亂流之區段分布，大致可分為三：

1 馬公上空

在馬公上空所發生之亂流佔 52 次 (如表 2)。其中顛簸或輕度亂流有 37 次。輕度或中度亂流有 14 次。中度或強烈亂流有 1 次。

表 2 亂流之區段分布

亂流高度	MKG				MKG-TPE				TPE VOR/LK/TPE APRCH				合 計
	^	^ ^	^ ^	小計	^	^ ^	^ ^	小計	^	^ ^	^ ^	小計	
≥25,000ft	37	14	1	52	25	4	0	29	28	8	1	37	118
25,000 ~ 10,000ft					40	15	2	57	9	6	1	16	73
≤10,000ft									52	27	5	84	84
總 計	37	14	1	52	65	19	2	86	89	41	7	137	275

民國六十六年十二月二十八日 0934. GMT，國泰航空公司班機 (CX 550) 飛經馬公上空 29,000 FT 遭遇中度或強烈亂流。

2 馬公與台北間

馬公與台北間，包括後龍、新竹或桃園上空。在此區段發生亂流之次數略有增加，佔 86 次。其中輕度亂流有 65 次，輕度或中度亂流 (^ / ^) 有 19 次，中度或強烈亂流 (^ / ^) 有 2 次。

民國六十六年十二月二十八日，遠東航空公司班機 (EF 114)，飛經台中上空 21,000 英尺，碰到強烈亂流。

民國六十七年三月九日 0125 GMT，區域中心稱，在後龍東方 30 ~ 50 海裡，有結冰和強烈亂流現象發生，高度為 8,000 至 12,000 英尺。

3 台北上空與林口及台北進場區

在台北上空與林口及台北進場區，遇到亂流次數最多，佔 137 次。其中輕度亂流有 89 次，輕度或中度亂流 (^ / ^) 有 41 次。中度或強烈亂流 (^ / ^) 有 7 次之多。

民國六十二年四月三日 0330 GMT，遠東班機在桃園與林口間遭遇中度或強烈亂流，高度為 2,000 至 6,000 英尺。

民國六十二年四月四日 0108 GMT，在新竹與林口間有中度或強烈亂流現象發生，高度為 11,000 英尺。

民國六十三年二月十三日泰國航空公司班機 (TG 611) 在台北進場區 5,000 ~ 6,000 英尺高度，遭遇到強烈亂流。

民國六十三年十二月十六日 0940 GMT，國泰班機在台北進場區 5,000 ~ 8,000 英尺高度遇到中度或強烈亂流。

民國六十四年三月十九日，遠東班機由台北起飛，在 6,000 ~ 8,000 英尺遭遇亂流。在 11,000 英尺遇到強烈亂流。

民國六十六年二月十四日，區域中心稱，在台北東方六公里處，高度 5,000 ~ 6,000 英尺，有強烈亂流發生。

民國六十七年三月十五日，國泰班機 (CX 410) 在台北東北方一百六十海裡，高度 28,000 英尺遇到中度或強烈亂流。

依亂流發生之高度，分為三層如下：

- 1 高度在 25,000 英尺及以上
亂流發生在 25,000 英尺及以上，佔 118 次，其中以馬公上空較多，佔 52 次，中度或強烈亂流有 1 次。其次在台北上空，佔 37 次，中度或強烈亂流亦有 1 次。馬公與台北之間，有 29 次。
- 2 高度在 10,000 ~ 25,000 英尺之間
亂流發生在 10,000 ~ 25,000 英尺，有 73 次。其中馬公與台北之間佔 57 次，包括中度或強烈亂流 2 次。台北與林口上空佔 16 次，包括中度或強烈亂流 1 次。
- 3 高度低於 10,000 英尺。
亂流發生在 10,000 英尺以下有 84 次，其中中度或強烈亂流就有 5 次之多。

由以上亂流發生之區段與高度之分析，知飛機穿降而下時，所遭遇中度以上亂流的機會增多。因此飛機從馬公沿著 A-1 航路下降時，亂流對飛機構成的危險性，應加以防範，因而在台北與馬公間之亂流預報，也更顯得其重要性。

(二) 亂流與南支噴射氣流所在緯度

在噴射氣流附近，常有很大之水平或垂直風切，通常風切發生在噴射氣流以上之對流層頂以及噴射氣流以下之噴射氣流鋒 (Jet Stream Front)。噴射氣流鋒常往低層及往南伸展。往低層可伸展到 20,000 英尺，往南可距噴射氣流軸心 250 海里之遠 (約四個緯度)。

本節嘗試統計台北與馬公間冬季亂流與 300 MB 等壓面上南支噴射氣流所在緯度，並分析其關係。

根據 252 次亂流報告 (民國六十五年四月份噴射氣流資料缺)，依其發生之高度與當時 300 MB 等壓面上南支噴射氣流所在緯度，分別統計之 (如表 3)。

亂流發生高度分為三層：

- 1 $\geq 25,000$ 英尺
在高度大於或等於 25,000 英尺所發生之亂流，有 92 次報告，其中亂流發生在南支噴射氣流所在緯度 $25^{\circ}N$ 和

$26^{\circ}N$ 較多，各佔 18.5 % 和 17.4 % 以上，在北緯 $27^{\circ}N$ 、 $29^{\circ}N$ 和 $\geq 30^{\circ}N$ 者次之，各佔 14.1 %、13.0 % 和 15.2 %。

- 2 25,000 ~ 10,000 英尺
高度在 25,000 ~ 10,000 英尺間所發生之亂流，有 75 次，其中以南支噴射氣流在 $30^{\circ}N$ 以北者較多，佔 22.7 %，在北緯 $24^{\circ}N$ 、 $25^{\circ}N$ 、 $26^{\circ}N$ 和 $27^{\circ}N$ 者次之，各佔 17.3 %、13.3 %、14.7 % 和 10.7 %。

- 3 $\leq 10,000$ 英尺
亂流發生在 10,000 英尺以下者，有 85 次，其中以南支噴射氣流在北緯 $30^{\circ}N$ 以北者較多，佔 48.2 %。在北緯 $27^{\circ}N$ 和 $28^{\circ}N$ 者次之，各佔 10.6 % 和 12.9 %。

如果不分亂流發生高度，則在台北與馬公間所有發生 252 次中，以南支噴射氣流在北緯 $30^{\circ}N$ 以北者較多，佔 28.6 %。在北緯 $25^{\circ}N$ 、 $26^{\circ}N$ 和 $27^{\circ}N$ 者次之，各佔 13.9 %、13.1 % 和 11.9 %。

由以上統計資料分析，南支噴射氣流南移至臺灣以北附近時，在 10,000 英尺以上高度發生亂流機會或有增強之勢，但在林口和台北進場區發生亂流，受南支噴射氣流南移之影響似乎較少。蓋低空亂流與鋒面移動速度或鋒面接近時溫度突降有直接關係，也即鋒面移動速度超過 30 KTS 或鋒面接近當地氣溫突降 $5^{\circ}C$ 以上時，可能產生顯著的低空風切。另外當鋒面接近時，強勁北風受阻於大屯火山群，台北松山機場風力微弱，而林口及台北進場區之風速常甚強，低層垂直風速改變甚大，故高度在 10,000 英尺以下，常受低空風切之影響較大。

三、水平與垂直風切之分析

亂流發生因子，約有風向、風速的水平風切、風速的垂直剖面風切、溫度的水平梯度或定壓面層間的厚度、風向切度、渦旋度以及穩定度等。其中以風向風速的水平風切、風速的垂直剖面風切之關係最為密切。亂流又常與風切的平方成正比，風切

表 3 亂流與南支噴射氣流所在緯度

緯度	$\geq 25,000$ ft				25,000 ~ 10,000 ft				$\leq 10,000$ ft				合計	
	小計	次	百分比	小計	次	百分比	小計	次	百分比	小計	次	百分比	次	百分比
$\geq 30^{\circ}N$	12	1	15.2	10	7	22.7	28	11	48.2	41	2	72	28.6	
29	9	3	13.0	5	1	8.0	4	2	7.1	6		24	9.5	
28	7	1	8.7	3	1	6.7	8	2	12.9	11	1	24	9.5	
27	8	5	14.1	6	2	10.7	3	5	10.6	9	1	30	11.9	
26	11	5	17.4	7	4	14.7	1	4	7.1	6	1	33	13.1	
25	11	6	18.5	9	1	13.3	4	3	9.4	8	1	35	13.9	
24	3	5	9.8	10	2	17.3	3		3.5	3		25	9.9	
23	1	1	2.2	2		2.7	1		1.2	1		5	2.0	
22	1	1	1.1	2	1	4.0						4	1.6	
總計	63	2	100.0	54	19	75	52	27	6	85	100.0	252	100.0	

愈大，亂流也愈大。一般而言，垂直風切大於 5 KT / 1,000 FT，水平風切大於 20 KT / lat. (DEG)，即可能產生亂流。

根據王時鼎氏所做“亂流山嶽波與臺灣區域之飛行安全”研究報告裏稱，水平風切大於地球自轉偏向參數，亂流即可能產生。緯度越低，地球自轉偏向參數越小，其水平風切更易引起亂流。因此臺灣區域較高緯度地區更易產生由水平風切引起之亂流。

台北、桃園、馬公與東港四個探空站，其自轉偏向參數如下：

(一) 台北探空站 (25°00'N, 121°26'E)
 $f = 2 \Omega \sin \varphi = 2 \times 7.292 \times 10^{-5} \times \sin(25^\circ)$
 $= 6.163 \times 10^{-5} / \text{sec}$
 $= 22.188 \times 10^{-2} / \text{hr}$

相當於一個緯度距離差 13.3 KTS

(二) 桃園探空站 (25°03'N, 121°13'E)
 $f = 2 \Omega \sin \varphi = 2 \times 7.292 \times 10^{-5} \times \sin(25^\circ 03')$
 $= 6.174 \times 10^{-5} / \text{sec}$
 $= 22.23 \times 10^{-2} / \text{hr}$

相當於一個緯度距離差 13.3 KTS

(三) 馬公探空站 (23°34'20"N, 119°37'20"E)
 $f = 2 \Omega \sin \varphi = 2 \times 7.292 \times 10^{-5} \times \sin(23^\circ 34' 20'')$
 $= 5.832 \times 10^{-5} / \text{sec}$
 $= 20.996 \times 10^{-2} / \text{hr}$

相當於一個緯度距離差 12.6 KTS

(四) 東港探空站 (22°28'N, 120°26'E)
 $f = 2 \Omega \sin \varphi = 2 \times 7.292 \times 10^{-5} \times \sin(22^\circ 28')$
 $= 5.573 \times 10^{-5} / \text{sec}$
 $= 20.063 \times 10^{-2} / \text{hr}$

相當於一個緯度距離差 12.0 KTS

因此，冬季臺灣區域，每一緯度距離之水平風切大於 13 KTS 即可能產生亂流。

台北探空站與桃園探空站兩地相距約 23 公里，約為 0.2 緯度。桃園探空站與馬公探空站兩地相

距約 230 公里，約為 2.2 緯度。而桃園探空站與東港探空站兩地相距約 290 公里，約為 2.7 緯度。

計算台北與馬公間之水平風切，可用兩探空站之觀測資料，其等壓面上或等高度面上之風速差，除以兩地探空站相距緯度，即得水平風切值，其單位為 KTS / lat. (DEG)。由等壓面上之風速差，除以等壓面間之厚度，即得垂直風切值。垂直風切值以 KTS / 1000 FT 為單位。或可簡化為 K. (但風向差 30° 以上應考慮風向)。

本節嘗試以台北與馬公間 59 次中度 (Λ) 以上之亂流報告，給予計算當時該亂流層面之水平風切與垂直風切值。據此加以統計分析，以了解水平、垂直風切值與該等亂流之分布情形 (如表 4)。此處水平風切係計算桃園與馬公兩探空站間，或台北與馬公兩探空站間之水平風切。台北與桃園兩探空站相距僅 0.2 緯度。但是根據該兩探空資料分析，同一等壓面或等高度，其風速差常甚大。推究其原因，可能係受台北探空站四週地形之影響，風速較小。抑或觀測時儀器誤差所致，有待進一步研究。此處當它是受地形影響，仍以台北與桃園兩探空站間，同一等壓面或等高度上之風速差值與垂直風切值，看中度以上亂流之分布情形 (如表 5)。

根據表 4，並參考地球自轉偏向參數，在 59 次中度 (Λ) 以上之亂流報告中，有 50 次分布於垂直風切大於 8 K 與水平風切值大於 14KTS / lat. (DEG) 之情形。

根據表 5，在 24 次中度 (Λ) 以上之亂流報告中，有 23 次分布於垂直風切值大於 8 K 與台北、桃園間等壓面或等高度上之風速差大於 8KTS 等情形。

由以上之分析，A-1 航路馬公與台北間，冬季遇有垂直風切大於 8 K，水平風切大於 14KTS / lat. (DEG) 及台北與桃園間等壓面或等高度之風速差大於 8KTS，即可能產生中度 (Λ) 以上之亂流。

表 4 水平、垂直風切與中度以上亂流之分布

垂直風切 \ 水平風切	風切										合計	
	5.6.7.	8.9.10.	11.12.13.	14.15.16.	17.18.19.	20.21.22.	23.24.25.	26.27.28.	29.30.31.	次數	百分比	
2.3.4.	1		1		1					3	5.1	
5.6.7.	1	5	1	4	1		1			13	22.0	
8.9.10.	6	5	5	3	3	2				27	45.8	
11.12.13.		2		1		2			3	5	8.5	
14.15.16.				1	2	1				4	6.8	
17.18.19.				3	1		2	1		7	11.9	
合計	8	12	7	12	8	5	3	1	3	59		
百分比	13.6	20.3	11.9	20.3	13.6	8.5	5.1	1.7	5.1		100.0	

表 5 垂直風切及台北、桃園間等壓面或等高度上之風速差與中度以上亂流之分布

垂直風切 \ 風速差	風速差										合計	
	5.6.7.	8.9.10.	11.12.13.	14.15.16.	17.18.19.	20.21.22.	23.24.25.	26.27.28.	29.30.31.	次數	百分比	
2.3.4.	1	1							1	3	12.5	
5.6.7.		1		1		1			1	4	16.6	
8.9.10.	2	2		1		2	3		3	13	54.2	
11.12.13.						1				1	4.2	
14.15.16.		1				1			1	3	12.5	
17.18.19.												
合計	3	5		2		5	3		6	24		
百分比	12.5	20.8		8.3		20.8	12.5		25.0		100.0	

四、亂流預報

根據民國六十二年及民國六十七年，於 A-1 航路馬公與台北間，冬季飛機遭遇亂流即有 275 架次之多。其中更包括 74 次中度亂流，10 次強烈亂

流。且由資料顯示，當飛機由馬公沿著 A-1 航路穿降而下，其所遭遇到中度以上亂流之機會增多。

因此如何預報此航路上之亂流，也顯得特別重要。

綜合本文資料統計分析以及國內外亂流之研究，對於 A-1 航路台北與馬公間冬季中度以上亂流

7. Richwien, B. A., 1979 : Update on low-level wind shear forecasting. Bulletin of the American Meteorological Society, Vol. 60, No. 6, p. 728
 (作者通訊：民航局氣象中心)

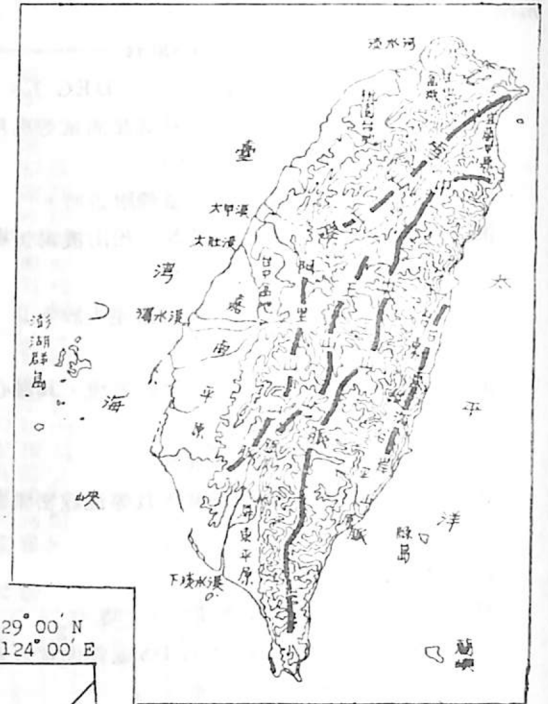


圖 1 臺灣地形圖

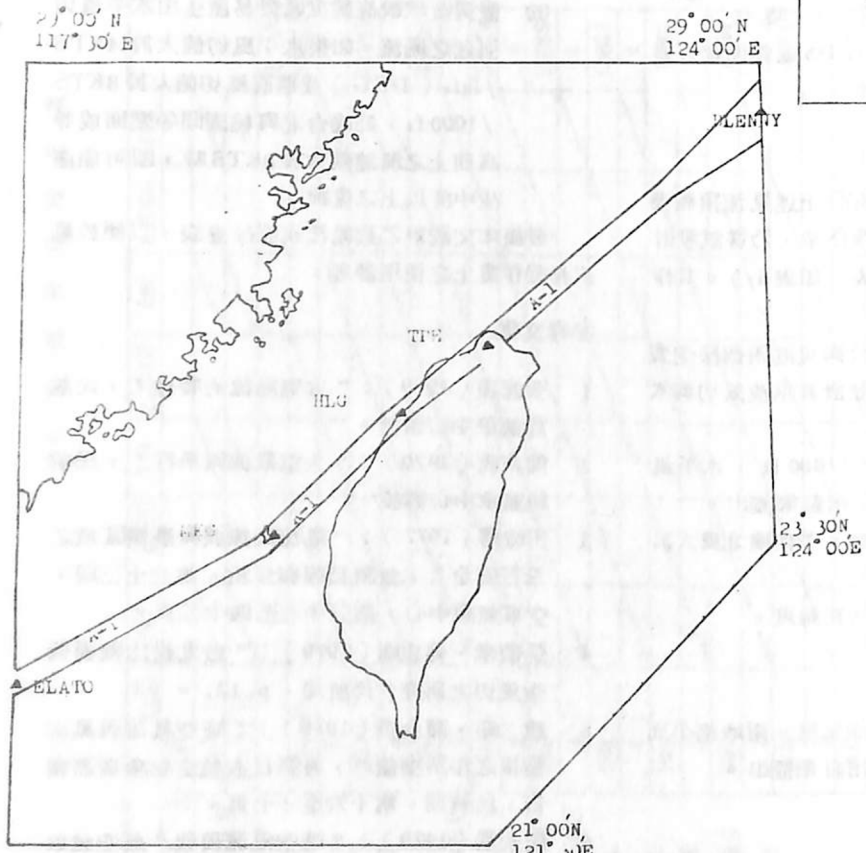


圖 2 A-1 航路圖