

台灣西北部強風之分析及區內可能發生 之最大風速的推算

劉廣英

空軍氣象中心

(中華民國七十三年一月四日收件)

摘要

無論就預防風災或就工程設計而言，一地可能發生的最大風速都是不可或缺的重要數據。而站在天氣預報的立場，何種氣象因素會引起該等強風，亦必須有所瞭解。本文之目的即利用民國48至72年共25年台灣北部地區的觀測資料，分析強風（恒常風 ≥ 20 kts；陣風 ≥ 30 kts）的成因，並根據各類強風歷年所發生過的最大值，利用Gumbel的或然率法推估百年複現期的可能最大風速。

一、前言

台灣地處亞熱帶，且當極地大陸高壓與熱帶氣旋（低壓與颱風）的要衝，致冬季東北強風頗仍而夏季則常有颱風侵襲，產生破壞性的風力，是以如何做好防風工作以減少損失厚植國力實不可忽視。防風工作可分長期性及臨時性兩類，前者着重於工程規劃與設計時對於盛行風與可能出現之極端風的考量，而後者則着重於大風來前的預警與應採的防護措施，也就是預報的問題，有關此方面的研究頗多，如林等（1972，1973），俞等（1974）以及蔡等（1981）均屬之。本文討論的為前一問題，亦即探討相關地區可能發生的最大風速。討論中包括兩部分：(一)分析強風（恒常風速 ≥ 20 哩/時；陣風風速 ≥ 30 哩/時）的類型，是以天氣圖主要特徵為準；(二)利用Gumbel的或然率法以25年來區內曾發生的極大風速，推估不同類強風百年複現期的可能最大風速。

二、區內強風的氣候狀況

劉氏（1982）曾對桃園及新竹二地之強風加以調查與分析，獲知區內強風就天氣圖形勢而言可

概分為颱風及季風兩大類，前者主要發生在每年的七至十月份，而後者則多現於冬半年。本文引用同一分類法，並以桃園及新竹二測站同時或其中一站出現合於標準的風速即認定區內有強風發生，亦即同一類強風中各風級的發生日數以兩站中較多者代表區內該種強風的發生日數。根據此一標準所獲得的調查結果如表1所示。表中G後面的數字代表陣風風速達到該風級的日數（強風總日數中不含此等日數）。由表可見研究區內最大風速出現於颱風侵襲之時，而次數最多的強風是東北季風。根據表1所求得之颱風、東北及西南季風強風的月發生百分率（各類強風與當月總日數之比）如圖一所示；各月強風發生百分率（各月強風日數與總日數之比）如圖二所示。由以上二圖可知台灣西北部發生強風的狀況可歸納如下：

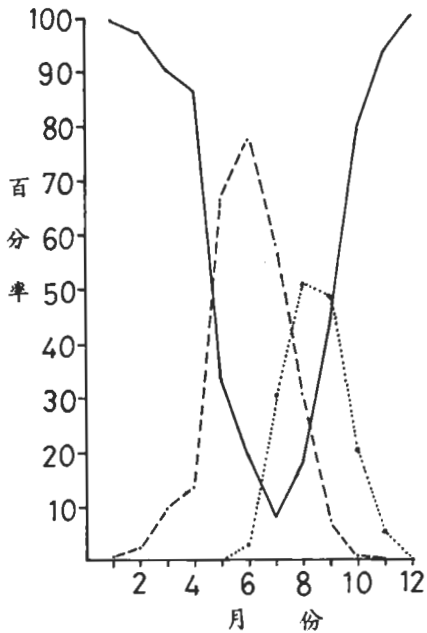
(一)每年11月至次年3月強風多為東北風，出現日數均佔當月總強風日數的90%以上，其中12月份更達100%。東北強風最少的月份為7月尚不足10%。

(二)颱風所引起的強風發生在每年的6至11月份，其中8月份所佔比率達50%以上。

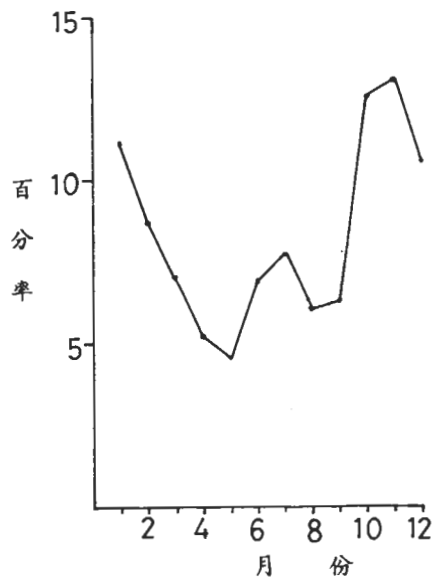
(三)西南強風主要出現在每年的5至7月間，各

表1 台灣西北部各月強風日數及強度分布
(民國 48 至 72 年)

風速(kts)	20-33 (~6-7級)		34-55 (~8-10級)		≥56 (~≥11級)		強風總日數	備 考	
	日數	原因 (含T.D.)	季 風		季 風				季 風
			東北	西南	東北	西南			
月份				(含T.D.)		(含T.D.)			
1			266	1		1,G35		268 強風總日數	
2			204	5		1,G24		210 僅以平均風為準	
3			154	16		G24 1 G3		171	
4			108	17		G15 G2		125	
5			37	73	G2	G10 G8		110	
6	1		31	128	4	1,G2 G17		165	
7	41		15	107	13,G15	G3 G15	2,G4	184 SE6次	
8	62		27	45	9,G22		G3 4,G3	147	
9	59		66	11	10,G16	G9 G2	4,G6	150	
10	58		236	2	3,G16	2,G45		301	
11	16		293		1,G3	1,G80 G9		313 SE2次	
12			251			3,G41		254	
合 計			237	1688	405	40,G74 9,G288 1,G59	10,G13	2398	



圖一 各月各類強風(東北——,西南---, 颱風.....)百分率分布



圖二 各月強風發生百分率分布

月比率均在 58% 以上，其中 5 月份高達 77% 以上。

四)全年中 5 月份強風最少僅總數的 5% 不到；11 月份強風最多佔總數的 13% 以上。

五)東北與西南強風交換期分別在 4 至 5 及 8 至 9 月。

三、最大風速的推估

在工程設計時必須預估該工程可使用年限內，各種危害其安全的因素，以及可允許的冒險程度 (permissible risk of failure)，以為協調費用 (經濟效益)與安全二互斥條件的依據。就氣象觀點論，可能發生的最大風速為工程上必須考量的因素之一。本段的着眼即在此。

(一)求極端值之方法的簡介 (見 Linsley, et al, 1958)

本文所用以推估台灣西北部地區最大風速的方法係 Gumbel (1958) 所創，並為衆多學者所採用 (Linsley, et al, 1958; Landsberg, 1964; 戚、嚴, 1978; 劉等, 1981; 劉與易, 1981)。此法係透過頻率分析探討極端值的或然率分布 (probability distribution)，分析中首先將一系列 N 極端值按由大至小的次序排列起來，而後利用累積或然率 (cumulative probability) 的關係與極端值理論 (theory of extreme values) 建立推估某些復現期 (return periods) 可能出現的極端值，本文所用的系列是由研究期 (25 年) 內每年一個最大風速記錄所組成。為了分別推估颱風、季風及不分颱風或季風時的可能最大陣風及最大恒常風，我們所使用的資料共有六組 (各 25 個值)，即颱風陣風與恒常風各一組，季風陣風與恒常風又各成一組，不分颱風與季風的陣風與恒常風再各成一組，每一組資料都由大至小排列，以 $i = 1, 2, 3, \dots, N (= 25)$ 表示各年最大風速的排名 (rank)。譬如說 X_1, X_2, \dots, X_N 是 N 年內所發生過的最大恒常風速，如果另外有一個恒常風速 X，它是一個無限的且成指數形分布的變數，則當 N 趨於無限大時，任意一個 X_i 可能小於 X (

或 X_0 可能大於任一 X_i) 的累積或然率 P 可寫成 $P = \exp [- \exp (- Y)] \dots\dots\dots(1)$

式中

$$Y = S (X - X_0) \dots\dots\dots(2)$$

為約變量 (reduced variate)； X_0 為分布模數 (mode of the distribution)；S 為離散參數 (dispersion parameter)。

假定說我們的記錄有無限多個 ($N \rightarrow \infty$)，則由極端值理論可知

$$S = E (\sigma_N) / \sigma_N \dots\dots\dots(3)$$

$$X_0 = \bar{X}_N - E (Y_N) / S \dots\dots\dots(4)$$

$$\bar{X}_N = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N X_i \dots\dots\dots(5)$$

$$\sigma_N = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (X_i - \bar{X}_N)^2} \dots\dots\dots(6)$$

式中 $E (\sigma_N)$ 與 $E (Y_N)$ 分別為 N 個記錄之 S 與約變量 Y_N 的期望值 (expected value)，均為資料總數 N 的函數。 σ_N 則為利用式(6) 所求得之標準差。Gumbel 求得 $N = 20$ 至 $N \rightarrow \infty$ 的 $E (Y_N)$ 及 $E (\sigma_N)$ 的值，前者自 0.52 漸增至 0.5772，後者則自 1.06 開始漸增至 $\pi / \sqrt{6}$ ，顯示以我們的資料 $E (Y_N)$ 及 $E (\sigma_N)$ 可使用 $N = 25$ 的值 (分別為 0.53 與 1.09) 或直接引用 $N = \infty$ 的值。如使用後者，則由(2)至(4)式得到

$$X = \bar{X}_N + \sigma_N \sqrt{6} / \pi [Y - 0.5772] \dots (7)$$

如使用後者則得

$$X = \bar{X}_N + 1.09 \sigma_N (Y - 0.53) \dots\dots\dots(8)$$

以上二式所代表者乃為根據極端值的氣候記錄所可求得的平均線，如果實測值都成相當程度的集中在曲線上或附近，則由二式所推估的極端值 X 就具有相當程度的可靠性，反之可靠性就小。

至此，欲求 X 的值只剩下一個問題，即如何求出公式(7)或(8)中的 Y 值。如果公式(1)中的累積或然率 P 值為已知，則 Y 值可由該式求得，即

$$Y = - \ln [- \ln (P)] \dots\dots\dots(9)$$

按累積或然率的定義，其值可由全部資料數 (N) 及某一資料之排名 i 求得。譬如說我有 100 個

極值，排名第 1 者大於其他諸極端值的累積或然率就等於 0.99，此或然率表示：如果我們的 100 個極端值是在過去 100 年中各取其最大值，即組成年序列 (annual series)，則 100 年才發生一次的最大值在未來 100 年中的每一年都各有 0.01 的發生率，也就是此最大值不在任意一年中發生的或然率 (probability of nonoccurrence) 各為 0.99，即某一極端值的累積或然率與其在某一年中的不發生或然率是相同的。準此可得

$$P = \frac{N - i}{N} \dots\dots\dots(10)$$

在實際作業中有兩種方式求新的極端值 X，即利用公式(8)、(9)及(10)計算之，或利用或然率座標紙 (probability paper) 圖解之。

其次一個步驟是由上述結果中找出復現期 (return period)，通常採用的計算式為

$$\begin{aligned} T_r &= \frac{N + 1}{i} \\ &= \frac{1}{1 - P} \dots\dots\dots(11) \\ &= \exp(Y) + \frac{1}{2}, \quad T_r > 10 \end{aligned}$$

為進一步瞭解其內涵，我們仍以前述年序列 (N = 100) 來加以說明：在該序列中，排名第 1 (i = 1) 的極端值，其百年累積或然率為 0.99，到第 101 (i = 101) 年再現的累積或然率就達到百分之百了，即該一百年發生一次的最大值理論上說在發生後的 101 (T_r = 101) 年中年年都可能復現 (機率均為 0.01)，如一直未發生則在第 101 年時必然發生。由上式又可知復現期 (T_r) 與約變量 (Y) 均在或然率圖中的同一座標上，即繪圖法亦可求得某一極端值的復現期，或求出某一復現期的極端值。

(二)可信度的探討 (見威與巖，1978；劉與易 1980)

式(7)代表由過去之最大值所可能得到之平均線，各最大值均散布在該線上，或在該線附近，因而

使用該式 (無論是計算或圖解) 所求得之新最大值是否可靠或可靠到什麼程度需有所瞭解。此問題來自兩方面，一是資料本身的離散狀況可由約變量 Y 來決定；一是所求得之最大值是否在需要的可信度內可由 S 決定。二者的數學式如下：

$$\Delta X = \pm [f(P) / S \sqrt{N}] n \dots\dots\dots(12)$$

式中 n 為標準差的數目，而

$$f(P) = \sqrt{ (1/P) - 1 } / [- \ln(P)] \dots\dots\dots(13)$$

由而可求得跨在公式(7)所求平均線兩側的二可信度帶 (confidence bands)，其寬度在一個 σ_N 內則此法所推估之新極端值可用。對於每一新極端值而言，所加之修正值為

$$\Delta X_i = f_i(n) / S \dots\dots\dots(14)$$

在實際運算中考量最大 (i = 1) 的一個即可，此時 f₁(1) = 1.14, f₁(2) = 3.07。

(三)冒險程度的探討 (Linsley, et al, 1958；劉與易，1980)

前文所述乃由頻率分析 (frequency analysis) 建立復現期，所示者僅為某一極端值在任一年中出現的或然率。在工程上所考量者乃為如何使該極端值不在工程壽命年限內發生，亦即設計上需超過與工程壽命年數相同之復現期的極端值。由於任一復現期的極端值在每一年都有發生的可能，所以在設計時先要決定可允許的冒險度 (permissible risk of error)。前已述及一極端值的累積或然率與其不在任一年中發生的或然率相同，是以該極端值在任意 m 年期 (any m-yr period) 內發生的或然率 J 為

$$J = 1 - P^m \dots\dots\dots(15)$$

如可允許的冒險度為 10% (= J)，設計使用年限 (m) 為 100 年，則由式(15)得

$$P = (1 - J)^{1/m} = (0.9)^{1/100}, \text{即(式11)}$$

$$T_r = \frac{1}{1 - P} = \frac{1}{1 - (0.90)^{1/100}} \cong 950 \text{ (年)}$$

即需以復現期為 950 年的最大值為設計依據。

四)利用新竹測站的風速推估區內可能發生的最大風速

經比照新竹與桃園二地歷年所發生的最大風速

表2 新竹(民國48年至71年)歷年颱風最大風速及推算
極端值所需數據表(附颱風名稱及強風發生時間)

排名 (i)	恒常風速 (kts)	颱風名稱及時間		最大陣風 (kts)	颱風名稱及時間	
1	70	Elsie	58. 9.20	102	Elsie	58. 9.20
2	56	Gloria	52. 9.11	70	Dinah	51. 9. 5
3	55	Dinah	51. 9. 5	70	Gloria	52. 9.11
4	54	Andy	71. 7.28	66	Bess	60. 9.22
5	52	Bess	60. 9.22	66	Andy	71. 7.28
6	45	Palmela	50. 9.12	65	Shirley	49. 7.31
7	45	Kate	48. 8.25	64	Kate	48. 8.25
8	40	Vera	66. 7.31	56	Billie	65. 8.10
9	40	June	70. 6.20	54	June	70. 6.20
10	38	Nadine	57. 7.25	54	Norris	69. 8.28
11	38	Gordon	68. 7.27	52	Nina	64. 8. 3
12	37	Norris	69. 8.28	51	Vera	66. 7.31
13	36	Betty	61. 8.17	50	Palmela	50. 9.12
14	36	Billie	62. 7.18	50	Gilda	56.11.18
15	36	Betty	64. 9.23	50	Gloria	63.11. 7
16	36	Billie	65. 8.10	49	Nadine	57. 7.25
17	35	Kim	54. 8.19	48	Billie	62. 7.18
18	34	Gilda	56.11. 8	48	Betty	61. 8.17
19	32	Gloria	63.11. 7	46	Kim	54. 8.19
20	30	Ora	67.10.12	43	Hope	68. 8. 1
21	30	Phyllis	49.12. 8	39	Ora	67.10.12
22	28	Tess	55. 8.16	38	Nora	53.11. 6
23	24	Joan	59.10.13	36	Tess	55. 8.16
24	22	Doris	53. 7.28	34	Ellen	59. 9. 6
平均	39.6			50.1		
σ	11.0	$1/S=8.6$; $X_0=34.6$		$\sigma=14.9$	$1/S=11.6$; $X_0=43.4$	

，均以新竹者為大，因而在推估台灣西北部可能發生之最大風速中以該站資料為準。在運算中使用三種共六組資料，第一種為颱風所引起者；第二種為季風所引起者；第三種則不分颱風或季風所引起者，即僅以風速為準選出每年最大者。根據上述分類的資料，可推算出各類可能發生的最大風速。

表2為新竹測站自民國48年至72年歷年因受颱風影響所引起之年最大風速排行榜，表中並附有該極端風速發生的時間及颱風的名稱，以及推估各種複現期極端風速所需的數據。同時期中非由颱風所引起之強風排名，以及不分颱風或季風的強風排名與相關資料分別如表3所示。利用上述資料，透

表3 新竹(民國48-72年)歷年非因颱風所引起之強風(左)及不分颱風或季風之強風(右)排名表(附計算極端所需數據)

排名 (i)	季風		不分颱風或季風	
	恒常風 (kts)	陣風 (kts)	恒常風 (kts)	陣風 (kts)
1	40	54	70	102
2	35	44	56	70
3	34	44	55	70
4	32	44	54	66
5	32	42	52	66
6	32	42	45	65
7	32	42	45	64
8	32	42	40	56
9	31	42	40	54
10	30	40	40	54
11	30	40	38	54
12	30	40	38	52
13	30	40	37	51
14	30	39	36	50
15	30	38	36	50
16	30	38	36	50
17	28	38	36	49
18	28	38	35	48
19	28	38	34	48
20	28	38	32	46
21	28	36	32	44
22	27	36	30	44
23	27	35	30	44
24	26	35	30	43
25	24	35	28	42
平均	30.2	40.0	40.2	55.3
σ	3.2	3.9	10.0	12.8
1/S	2.5	3.0	7.8	10.0
X_0	28.8	38.3	35.7	49.4

表4 Y值

i	P	$Y = -\ln(-\ln P)$
1	.96	3.199
2	.92	2.484
3	.88	2.057
4	.84	1.747
5	.80	1.500
6	.76	1.293
7	.72	1.113
8	.68	0.953
9	.64	0.807
10	.60	0.672
11	.56	0.545
12	.52	0.423
13	.48	0.309
14	.44	0.197
15	.40	0.087
16	.36	0.021
17	.32	-0.131
18	.28	-0.241
19	.24	-0.356
20	.20	-0.476
21	.16	-0.606
22	.12	-0.752
23	.08	-0.923
24	.04	-1.169

過運算或圖解，均可求得50年，100年或其他複現期的可能最大風速。

以下謹以颱風影響下的最大恒常風為例，說明計算的步驟過程：

1 將歷年(民國48年至71年)因颱風而發生的最大恒常風按由大至小次序列表(如表2)。

2 求所需數據。本例中

$$N = 24$$

$$\bar{X} = 39.6$$

$$\sigma = 11.0$$

$$1/S = 8.6$$

$$X_0 = 34.6$$

3. 由公式(10)求 P 值。

4. 利用公式(9)及 P 值計算 Y 值(結果如表 4)。

5. 將以上諸值帶入式(8)求某一複現期之可能最大值。如 $T_r = 100$ 年, 則 $Y = 4.6001$, 由而可求得 $X = 39.6 + 11.0 \times 1.09 \times (4.6 - 0.53) = 84.4$ (kts)

6. 考量極端值的可信度: (1) $n=1$ (68.3% 可信賴) 由式(4)得 $\Delta X = 1.14 / S = 9.8$ (kts), 即 $X = 94.2$ (kts); (2) $n=2$ (95.5% 可信賴) 時 $\Delta X = 3.07 / S = 26.4$ (kts) 即 $X = 110.8$ (kts)。

7. 如以冒險度為準, 相對於 950 年的 Y 值為 6.86, 則 $X = 115.5$ (kts)。

由上述推算可知以 95.5% 可信度或冒 10% 失敗的危險為準台灣西北部百年複現期的可能最大颱風恒常風速約為 110 至 120 kts。

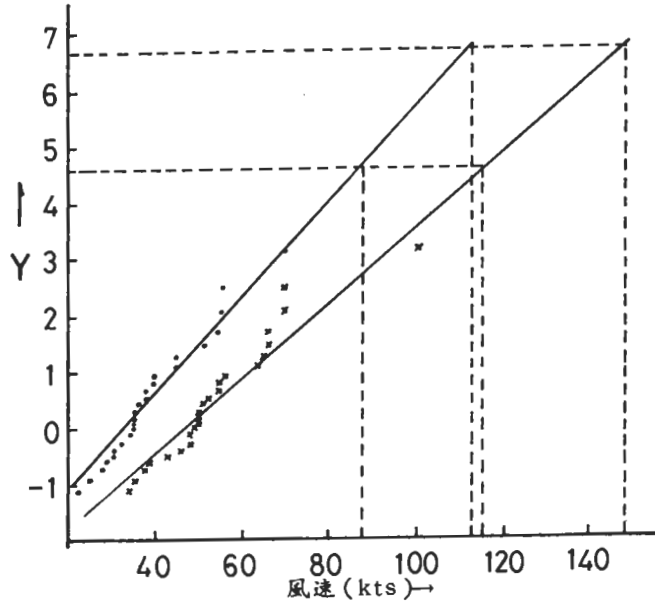
其他各組資料均可透過相同的步驟計算百年復現期, 可信度 95.5% 的可能最大風速, 所得結果為颱風時的最大陣風風速為 151.8 kts; 季風的最大恒常風速為 52.1 kts, 最大陣風風速為 66.5 kts; 不分颱風或季風的最大恒常風速為 108.5 kts, 最大陣風風速為 148.8 kts。

三類(6組)強風以圖解法求可能最大風速的結果如圖 3, 4 及 5 所示。圖中(·)及(×)分別代表該類強風的恒常風與陣風風速觀測值。由圖可見各類資料中恒常風風速甚集中於平均線, 而陣風風速的離散度雖較大, 但仍在可信賴的程度內, 顯示推算方法可用, 而推出之結果可代表可能的最大值。在圖中有兩組虛線, $Y = 4.6$ 的一組為複現期 100 年的可能最大風速, 而 $Y = 6.86$ (相當於 $T_r = 950$ 年) 的一組則為僅允許 10% 的誤差條件下的可能最大風速。

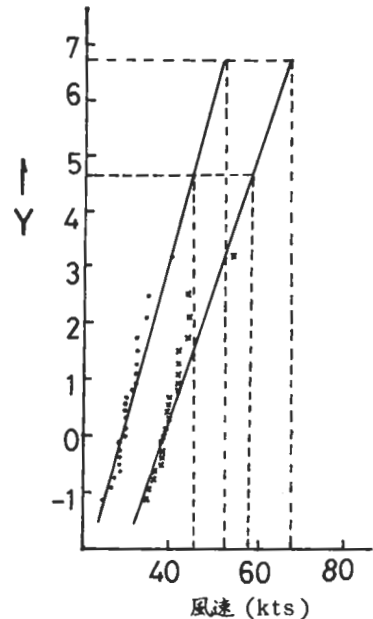
四、結 論

由以上分析我們可獲得以下幾點結論:

(一) 颱風及季風為導致台灣西北部發生強風最重

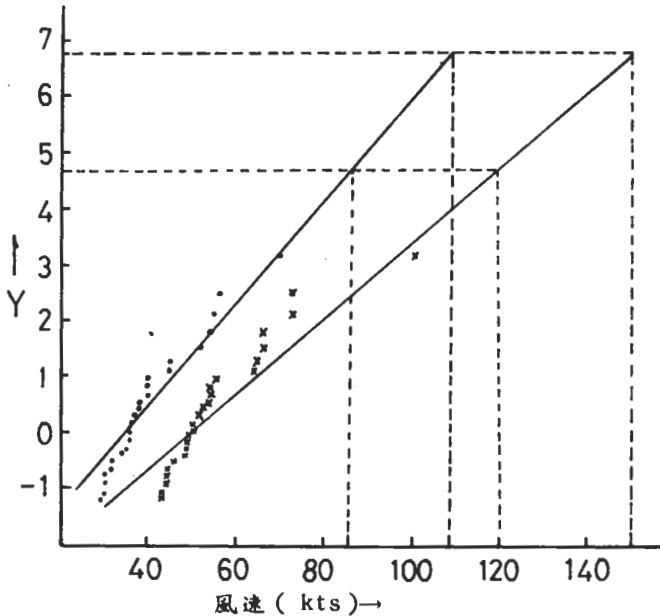


圖三 根據新竹站颱風歷年最大風速推算之百年複現期的可能最大風速(可信度 95.5%; 冒險度 10%)。



圖四 同圖三唯資料為季風者

要的兩個氣象要素。其中(見表 1) 颱風引起之強風日數佔研究期間內總強風日數的 12.0% (287 / 2398); 季風中東北季風佔 70.8% (1697 / 2398), 西南季風佔 16.9% (406 / 2398)。颱風所引起之強風日數雖較少但所有的最大風均因它而生, 破壞力大。東北季風中的強風日數多持



圖五 同圖三唯資料為颱風與季風合併組成
續性亦大，應為開發風力的重點。

(二)季風交換期上半年在4至5月間，強風風向先由東北轉西南；下半年在8至9月間，風向又由西南轉東北。

(三)Gumbel 或然率法對推估區內可能發生的最大風速結果良好；由圖解分析可見各組資料對平均直線而言相當集中，因而外推估計值有很好的可靠性。

(四)以新竹測站資料為依據所推得，複現期為100年可信度95.5%的可能最大恒常風與陣風速為：
(1)季風時的強風分別為50-55 kts 與 65-70 kts
；(2)颱風時的強風分別為110-120 kts 與 150-160 kts；(3)不分季風或颱風所引起者分別為100-110 kts 與 140-150 kts。

(五)考量10%的冒險度所得結果與上述結果大致相同。

(六)由於陣風資料離散情況較恒常風者為大，理論上說推估結果恒常風者較陣風者為可靠。

根據研究期間記錄顯示，區內最大陣風的記錄發生於民國58年9月27日午夜時分的102 kts，係颱風艾爾西(Elsie)在花蓮南方登陸時所引起，當時颱風中心的最大風速為110 kts。而根據Gumbel法所推百年複現期的最大陣風約150-160 kts，工程設計時應加考量。

五、致 謝

本文係國科會NSC71-0202-M072-03 資助專題研究成果中的一部分，資料由空軍氣象中心提供在此致誠摯之謝意。此外文化大學曲教授克恭提供有關文獻及意見，研究助理李紀恩、林沛練以及中心同仁大力支援，方便此文及有關研究順利完成，在此一併致謝。審查委員費心評閱並提供卓見，更使本文生色而作者亦受惠良多。

參 考 文 獻

- 林則銘、曲克恭、俞家忠、王時鼎、王翻章、林財旺，1972—1973：侵襲台灣颱風風力之研究。空軍氣象中心研究報告。
- 俞家忠、林則銘、王翻章、林財旺、曲克恭、王時鼎，1974：台灣破壞性風力之研究。空軍氣象中心研究報告。
- 戚啓勳、嚴夢輝，1978：氣象統計學。復興書局。
- 蔡清彥、周根泉、陳正改，1981：台灣地區之颱風風速分布。氣象預報與分析，89期。空軍氣象中心。
- 劉廣英，1982：台灣北部風力分析及強風預報之研究。空軍氣象中心研究報告024號。行政院國科會NSC-71-0202-M072-03資助。
- 劉廣英、易安成，1980：颱風最大暴雨量及最大風速之推算。氣象預報與分析，85期。空軍氣象中心。
- 劉廣英、曾若玄、孫摩西，1981：新竹外海風浪研究。空軍氣象中心研究報告020號。
- Gumbel, E. J., 1958: Statistics of Extremes. New York, Columbia University Press. U. S. A.
- Landsberg, H., 1964: Physical Climatology. Gray Printing Co., Inc., DuBois, Pennsylvania. U. S. A.
- Linsley, R. K. Jr., M. A. Kohler & J. L. H. Paulhus, 1958: Hydrology for Engineers. McGraw Hill Book Company, Inc., New York, U. S. A.

**An Investigaton of Strong Winds and
A Determination of Extreme Wind Speeds of Northwest Taiwan**

**Koung - Ying Liu
Weather Central, Chinese Air Force**

Abstract

In this paper 25 (1948-1982) years data of wind vectors of Hsinchu and Taoyuan are analyzed. The work includes: (1) to find out and summarize the strong wind (mean wind speed ≥ 20 kts and/or gust speed ≥ 30 kts) in a synoptic point of view; (2) to estimate the possible extreme wind speed in the considered region through Gumbel's first asymptotic distribution model. The result shows that (1) Typhoon and monsoon are the major sources of strong wind; typhoon gives rise the strongest wind and monsoon contributes the most number of strong wind event. (2) The 100 - year return period extreme wind speed in the considered region, with a 95.5% confidence level, may be as high as 160 kts for typhoon's strong wind; that for monsoon's strong wind is about 70 kts.

This paper is one part of a NSC supported project under Grant NSC - 71 - 0202 - M072 - 03.