

### 第三章 澎湖中屯風力發電機運轉資料分析

#### 3-1 原始資料簡介

原始資料如表 3-1 所示，每十分鐘擷取一次資料，記錄了平均、最大、最低風速、轉速、輸出、機台旋轉角度、累積運轉時數及累積發電度數。圖 3.1 所示為每 10 分鐘、每小時、每日和每月風速的變化，由圖可看出每十分鐘的風速變化頗大，顯示澎湖風場瞬間風速的不穩定，若隨著每小時、每日到每月的風速來觀察，由於受東北季風的影響，秋、冬兩季風速特別強，夏天平均風速最低，發電量也最低，正說明了風力發電在台灣的困境，夏天用電量高，但發電量卻最少。

表 3-1 原始資料

時間	平均風速	最大風速	最低風速	平均轉速	最大轉速	最低轉速	平均輸出	最大輸出	最小輸出	旋轉角度(正北為0)	運轉累積時數	累積發電度數	arwAbWikM
2003/1/1 0:00	18.4	22.8	12.1	32.91	33.61	31.30	606	637	505	412	9350	3043624	45
2003/1/1 0:10	18.8	22.5	14.3	32.92	33.71	31.96	606	644	557	413	9350	3043725	55
2003/1/1 0:20	19.3	22.3	15.2	32.93	33.91	32.38	606	643	570	413	9351	3043825	5
2003/1/1 0:30	19.2	22.5	13.3	32.93	33.53	32.12	605	635	566	410	9351	3043925	15
2003/1/1 0:40	19.4	22.0	15.9	32.93	33.58	32.27	606	636	570	407	9351	3044025	25
2003/1/1 0:50	19.5	23.3	12.9	32.92	33.60	32.01	605	644	555	408	9351	3044125	35
2003/1/1 1:00	19.4	22.7	15.9	32.92	33.51	32.29	606	634	569	410	9351	3044225	45
2003/1/1 1:10	20.2	23.5	16.5	32.94	33.62	32.35	605	637	559	408	9351	3044325	55
2003/1/1 1:20	19.0	22.8	13.9	32.92	33.87	32.29	605	650	567	410	9352	3044425	5
2003/1/1 1:30	19.3	22.5	15.8	32.93	33.59	32.20	606	637	571	412	9352	3044525	15
2003/1/1 1:40	19.9	23.6	13.4	32.93	33.56	32.38	604	639	555	410	9352	3044625	25
2003/1/1 1:50	19.9	22.8	16.1	32.93	33.56	32.41	606	637	565	407	9352	3044725	35
2003/1/1 2:00	19.2	22.3	15.2	32.94	33.63	32.37	607	634	570	406	9352	3044826	45

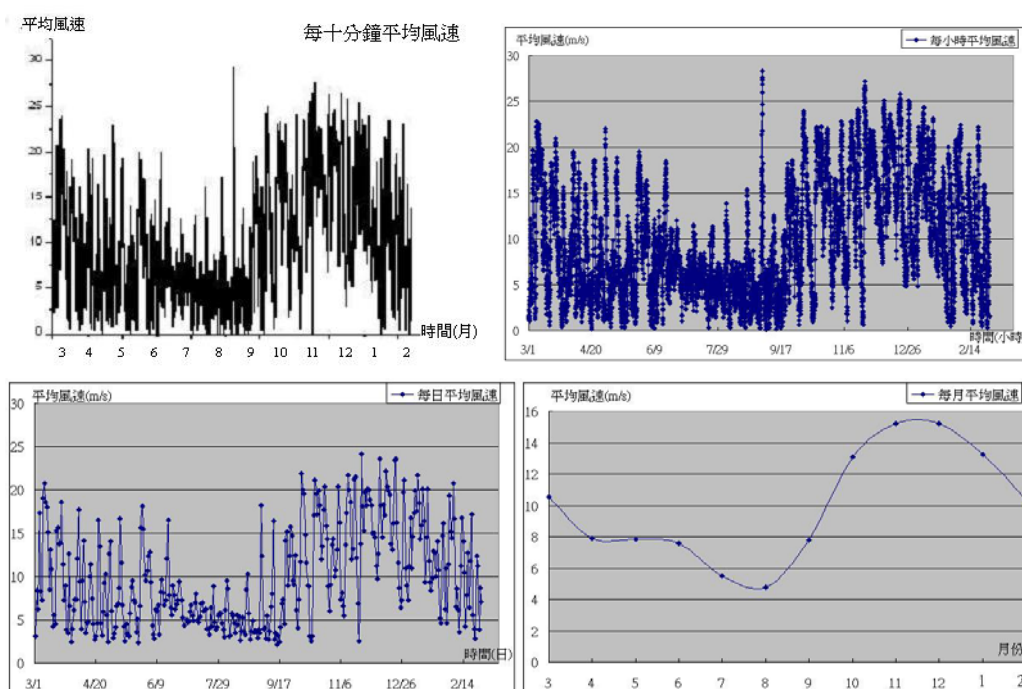


圖 3-1 時間對風速關係圖

WIND ENERGY HANDBOOK [4] 2.4 節中提到每小時平均風速的機率密度函數圖可用韋伯分佈(Weibull distribution)代表。以澎湖風機運轉數據驗證顯示韋伯分佈函數是否能代表風速分佈與組距的選取有關。如圖 3-2 所示，風速為每小時平均風速時，組距為 10 (m/s)的韋伯分佈及伽馬分佈有非常好的適合度(goodness of fit)，可是數據來源只有五組，無法適當的反應風速分佈的特質。依照統計學[8]上分組數目的經驗公式  $C=3.3 \times \ln(n)+1$ ，其中  $n$  為數據數目，算出大致的分組數為 37，故取的組距為 1 (m/s)時比較合適。

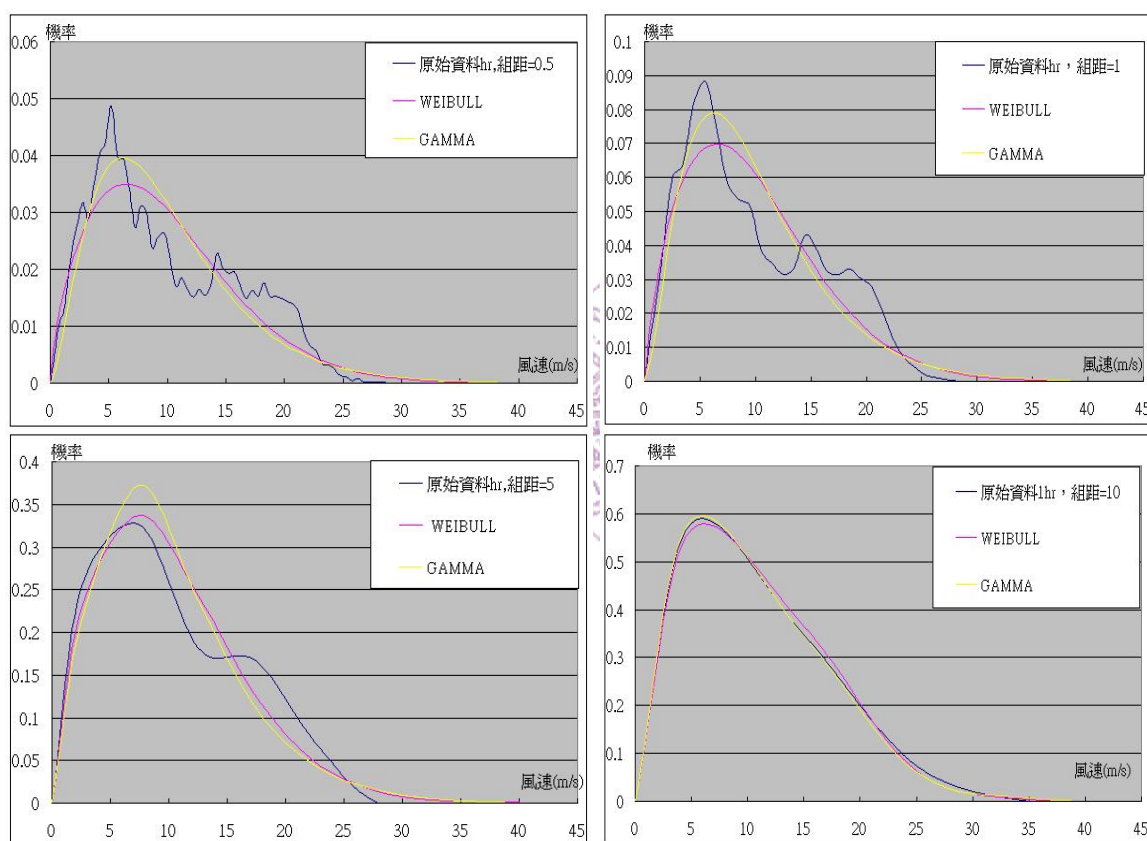


圖 3-2 每小時平均風速，組距對圖形的影響圖

圖 3-3 所示為組距為 1 (m/s)，數據分別為每 10 分鐘、每小時平均風速的風速分佈，比較兩圖顯示每 10 分鐘或每小時平均風速的分佈並無太大的差異。以上的比較是以機台四的數據為準，其它機台差異性也不大，所以本研究以原始數據每 10 鐘為單位並取組距為 1 (m/s)來分析風速機率密度函數圖(PDF)。並由原始數據求得平均數與變異數，代入表 3-2 公式求得各機台的韋伯及伽馬分佈的

$\alpha$ 、 $\beta$  值，進而繪製機率密度函數圖，比較出韋伯及伽馬函數的機率密度函數何者較適合用來代表風速分佈。

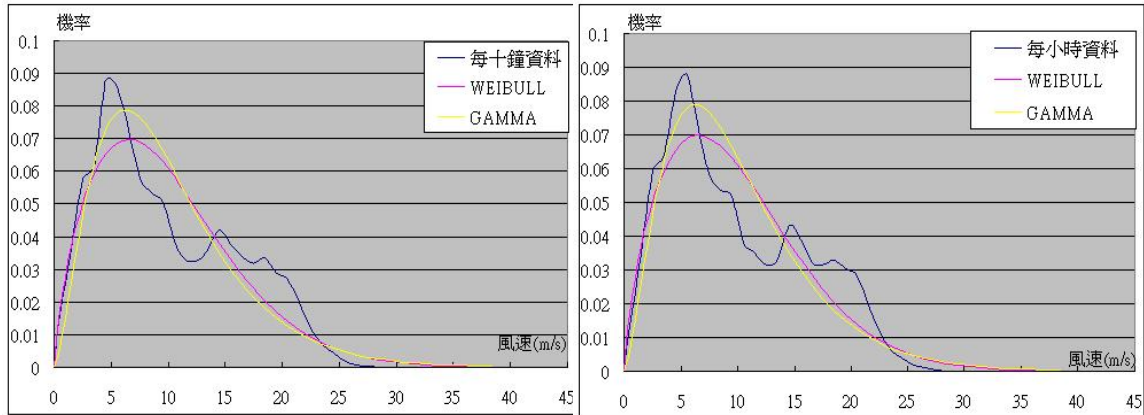


圖 3-3 組距為 1(m/s), 數據為每 10 分鐘及每小時平均風速之機率密度函數圖比較圖

表 3-2 韋伯及伽馬函數公式

	Weibull distribution	Gamma distribution
$f(x)$	$f(x) = \alpha \beta x^{\beta-1} e^{-\alpha x^{\beta}}$ for $x>0, \alpha>0, \beta>0$ $f(x)=0$ elsewhere	$f(x) = \frac{1}{\beta^{\alpha} \Gamma(\alpha)} x^{\alpha-1} e^{-x/\beta}$ for $x>0, \alpha>0, \beta>0$ $f(x)=0$ elsewhere
$\mu$	$\mu = \alpha^{-1/\beta} \Gamma(1 + \frac{1}{\beta})$	$\mu = \alpha \beta$
$\sigma^2$	$\sigma^2 = \alpha^{-2/\beta} \{ \Gamma(1 + \frac{2}{\beta}) - [\Gamma(1 + \frac{1}{\beta})]^2 \}$	$\sigma^2 = \alpha \beta^2$

風速的分析上，主要分成全年、春、夏、秋、冬五種情況來探討，因季節劃分上有三種不同的方法，所以四季的討論上又分成三種劃分法來討論，看何種方法較適合。季節的劃分基本有三種：（一）氣象學上四季的分法：春季是從三月至五月；夏季是從六月至八月；秋季是從九月至十一月；冬季是從十二月至二月。（二）西洋國家四季的分法：春季是從春分至夏至；夏季是從夏至到秋分；秋季是

從秋分至冬至；冬季是從冬至到春分。(三) 我國現行四季的分法：春季是以立春為春季開始；夏季是以立夏為夏季開始；秋季是以立秋為秋季開始；冬季是以立冬為冬季開始。依照上面的分法，2003 年至 2005 年的四季的分法整理如表 3-3 所示。

表 3-3 2003~2005 四季分法

		春	夏	秋	冬
氣象學	2003~2005	3~5月	6~8月	9~11月	12~2月
西方國家	2003	3/22~6/22	6/23~9/23	9/24~12/22	12/23~3/21
	2004	3/20~6/20	6/21~9/22	9/23~12/20	12/21~3/19
	2005	3/20~6/20	6/21~9/22	9/23~12/21	12/22~3/19
我國	2003	2/4~5/5	5/6~8/7	8/8~11/7	11/8~2/3
	2004	2/4~5/4	5/5~8/6	8/7~11/6	11/7~2/3
	2005	2/4~5/4	5/5~8/6	8/7~11/6	11/7~2/3

總結以上的探討，以下的分析皆以每 10 分鐘平均風速為數據來源，組距取 1 (m/s)，四季劃分上分成氣象學、西方國家及我國現行分法來討論。



## 3.2 平均風速機率密度函數圖(PDF)

### 3.2.1 平均風速四部機組比較(全年)

澎湖位於台灣海峽的中段，十月至隔年三月深受東北季風影響，四月至九月受西南季風影響，由圖 3-1 可以觀察到，大部分風速大於 10 m/s 主要來自於東北季風的貢獻，0~10 m/s 主要來自於西南季風的貢獻。

由圖 3-4、3-5 和 3-6 得知機台一到機台四在同一年的平均風速機率密度函數圖類似，但各年間的風速機率密度函數圖差異頗大，主要影響因素為每年風的強弱不相同及風速計故障。由表 3-4 可看出整年度的平均風速，風的強弱分別為 2004>2005>2003, 且由分析的資料中可以確定 2003 年的資料是最完整的，2004 年因風速計故障而刪除不正常數據每部機台約 800 筆左右，機台一集中在 4、5、6 月，機台二集中在 4、5、6 月，機台三集中在 4、5、9 月，機台四集中在 4、5、7 月。2005 年刪除不正常數據集中在 3、4、5 月，機台一刪除 2632 筆，機台二 9508 筆，機台三 3108 筆，機台四 1978 筆。綜合以上的因素，以 2003 年的圖形為基礎來觀察，2004 年的風最強，且刪除的資料以 6、7、9 月為大宗，所以機率密度函數圖中風速大於 10 m/s 的機率增加，且風速 5m/s 左右的機率削減；2005 比 2003 年的風稍強一點，但由於刪除的資料集中在 3、4、5 月，所以機率密度函數圖風速大於 10m/s 的機率減少，增大了風速 5m/s 左右的機率。

另外值得注意的一點為風速大於 25m/s 的機率，2005 年的機率明顯增大，主要是七月海棠、八月泰利、九月龍王三個強颱風的影響所致，如表 3-5 所示。其餘 2003 及 2004 年皆為輕颱風或中颱風的影響，所以相對於 2005 年大於 25m/s 的機率較小。

卡方檢定方面，由表 3-6、3-7、3-8 (3.2.6 節)全年的適合度檢定數據可以說明兩種機率函數分佈皆不適合，但若兩者擇一比較的話，韋伯分佈比伽馬分佈適合用來描述全年平均風速的機率密度函數圖，和文獻上宣稱韋伯分佈比較能代表風速的機率密度函數圖的結論相同。

$\mu$  : 平均風速  $\delta$  : 標準差

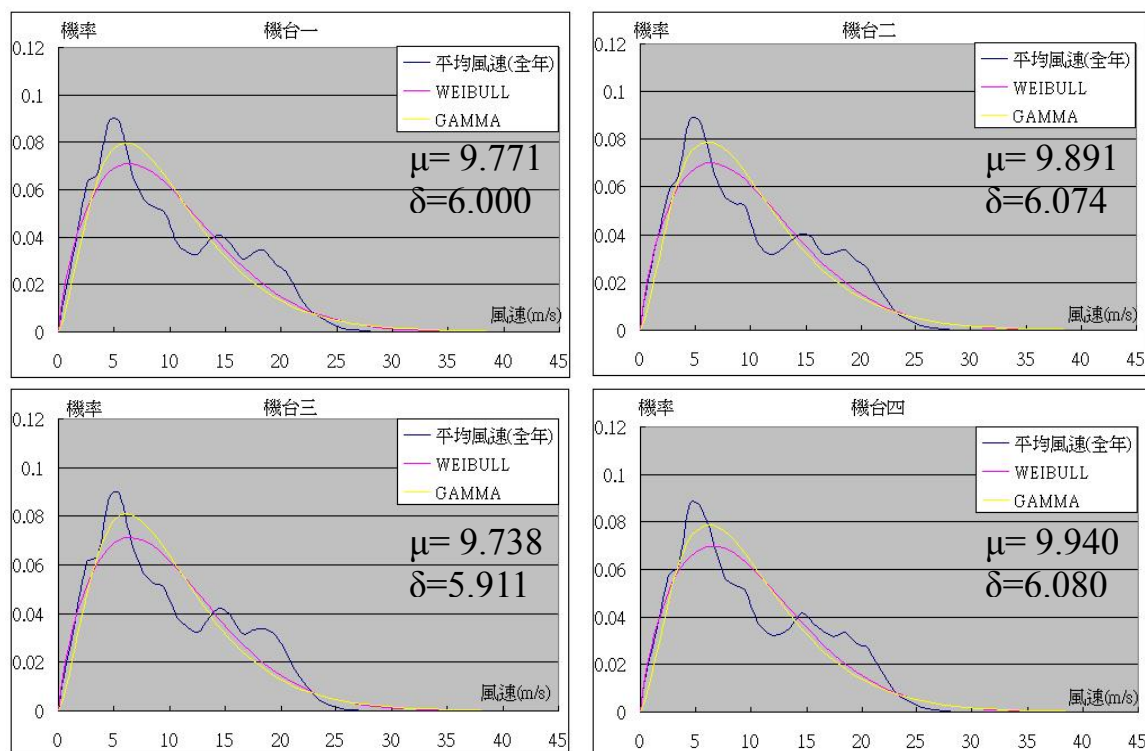


圖 3-4 2003 年全年平均風速機率密度函數圖

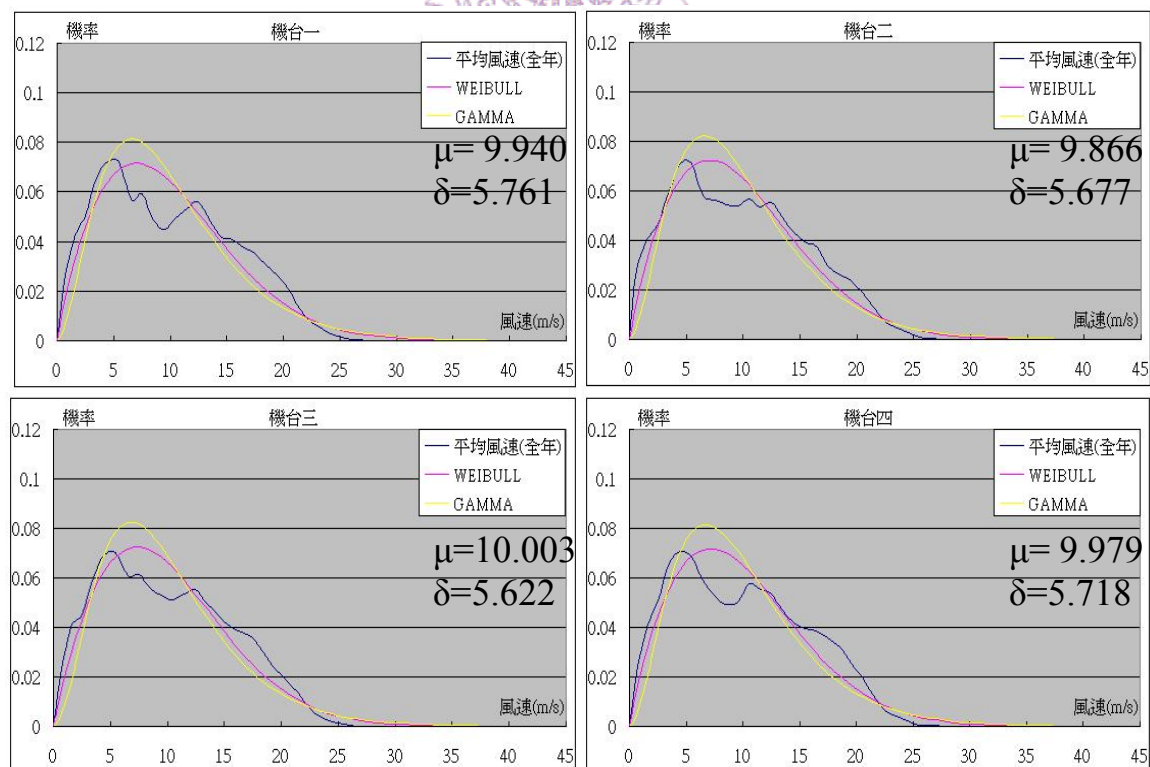


圖 3-5 2004 年全年平均風速機率密度函數圖

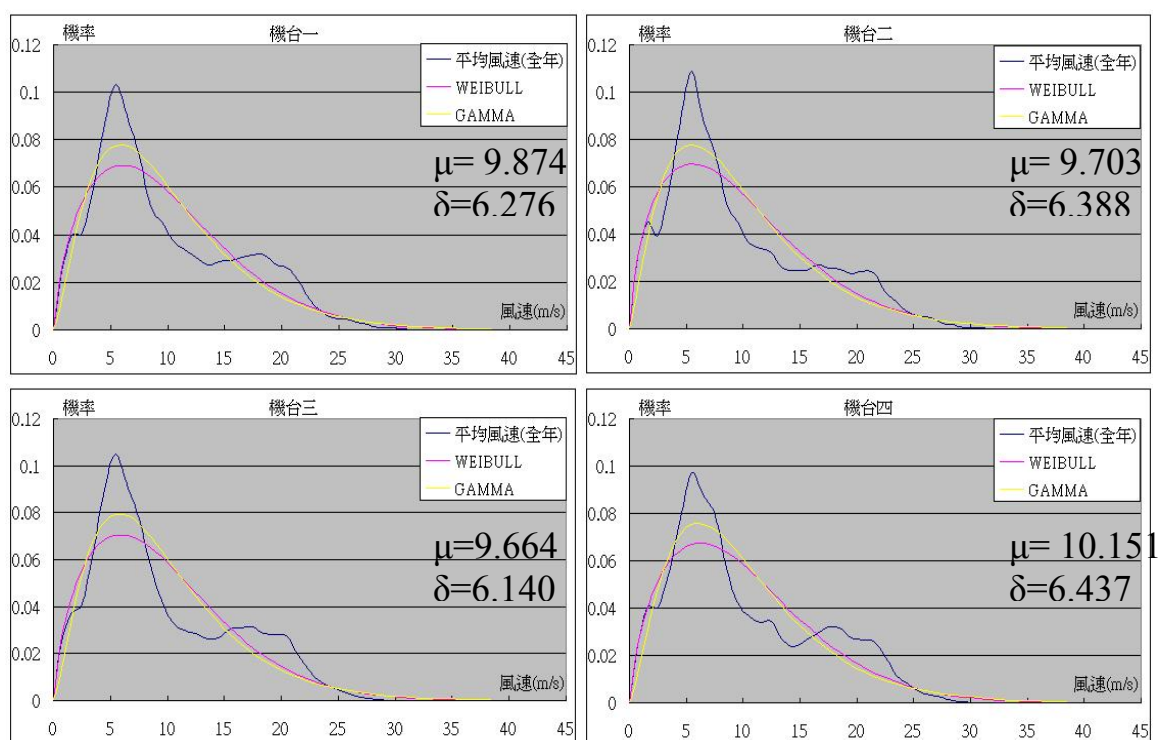


圖 3-6 2005 年全年平均風速機率密度函數圖

表 3-4 2003~2005 年各月平均風速

月份\年	2003	2004	2005
1	13.61	13.40	12.50
2	10.32	11.08	11.83
3	10.43	11.48	11.63
4	7.76	8.30	6.52
5	7.73	6.15	6.34
6	7.50	8.19	6.69
7	5.41	5.96	6.39
8	4.74	5.81	5.49
9	7.61	6.75	7.34
10	12.82	15.45	14.74
11	14.99	12.56	12.04
12	14.90	14.26	16.49
平均	9.819	9.951	9.834

表 3-5 2003~2005 年颱風一覽表(資料來源：氣象局)

年份	中文名稱	英文名稱	警報期間	強度
2003	柯吉拉	KUJIRA	04/21~04/24	中度
	南卡	NANGKA	06/01~06/03	輕度
	蘇迪勒	SOUDELOR	06/16~06/18	中度
	尹布都	IMBUDO	07/21~07/23	中度
	莫拉克	MORAKOT	08/02~08/04	輕度
	梵高	VAMCO	08/19~08/20	輕度
	柯羅旺	KROVANH	08/22~08/23	中度
	杜鵑	DUJUAN	08/31~09/02	中度
	米勒	MELOR	11/02~11/03	輕度
2004	康森	CONSON	06/07~06/09	中度
	敏督利	MINDULLE	06/28~07/03	中度
	康柏斯	KOMPASU	07/14~07/15	輕度
	蘭寧	RANANIM	08/10~08/13	中度
	艾利	AERE	08/23~08/26	中度
	海馬	HAIMA	09/11~09/13	輕度
	米雷	MEARI	09/26~09/27	中度
	納坦	NOCK-TEN	10/23~10/26	中度
	南瑪都	NANMADOL	12/03~12/04	中度
2005	海棠	HAITANG	07/16~07/20	強烈
	馬莎	MATSA	08/03~08/06	中度
	珊瑚	SANVU	08/11~08/13	輕度
	泰利	TALIM	08/30~09/01	強烈
	卡努	KHANUN	09/09~09/11	中度
	丹瑞	DAMREY	09/21~09/23	中度
	龍王	LONGWANG	09/30~10/03	強烈

### 3.2.2 平均風速四部機組比較(春)

春季剛好介於東北季風轉變為西南季風之際，所以風速大於 10 m/s 主要來自於三月的東北季風的影響，風速低於 10 m/s 主要來自於四~五月西南季風的影響。由於季節劃分法的不同，所以得到的圖形會有差異，如圖 3-7~3-15 所示。

以氣象學而言，因為 2005 年刪除的資料集中在 3、4、5 月，由表 3-4 得知減少了風速介於 7~11m/s 的機率，相對增長了 7m/s 以下的機率，而且觀察圖上平均風速值，2005 年因為刪除的資料眾多，導致平均數比 2003 和 2004 年的低，因此 2005 年氣象學機率密度函數圖不值得參考。2003 和 2004 年的機率密度函數圖差異上來說不大。

以西方國家的分法而言，2005 年亦因為刪除的資料而導致風速介於 7~11m/s

的機率減少，相對增大風速 7m/s 以下的機率，所以不值得參考。2003 和 2004 年圖形的走勢大致一樣，差別在於 2004 年曲線變化幅度較大，肇因於 2004 年刪除資料影響所致。

以我國現行分法而言，2005 年的情形和上述的一樣，2003 年和 2004 年圖形的走勢有類似之處，差別在於 2004 年刪除的資料有影響圖形些微變化。

春季的分法上大約受東北季風（10 月～隔年 3 月）時間影響長短分別為：我國現行分法(56 天)>氣象學分法(31 天)>西方國家分法(9 天)，所以風速的平均理論上應該是我國現行分法>氣象學分法>西方國家分法，和圖上所標示平均風速值比較不謀而合。

卡方檢定方面，由表 3-6、3-7、3-8 春季的適合度檢定數據可以說明兩種機率函數分佈皆不適合，但若兩者選擇的話，整體上來說韋伯分佈比伽馬分佈適合用來描述春季的平均風速機率密度函數圖。唯一例外的是 2005 年春天氣象學分法以伽馬分佈較好，但因此年刪除了三、四、五月的資料眾多，所以不予考慮。

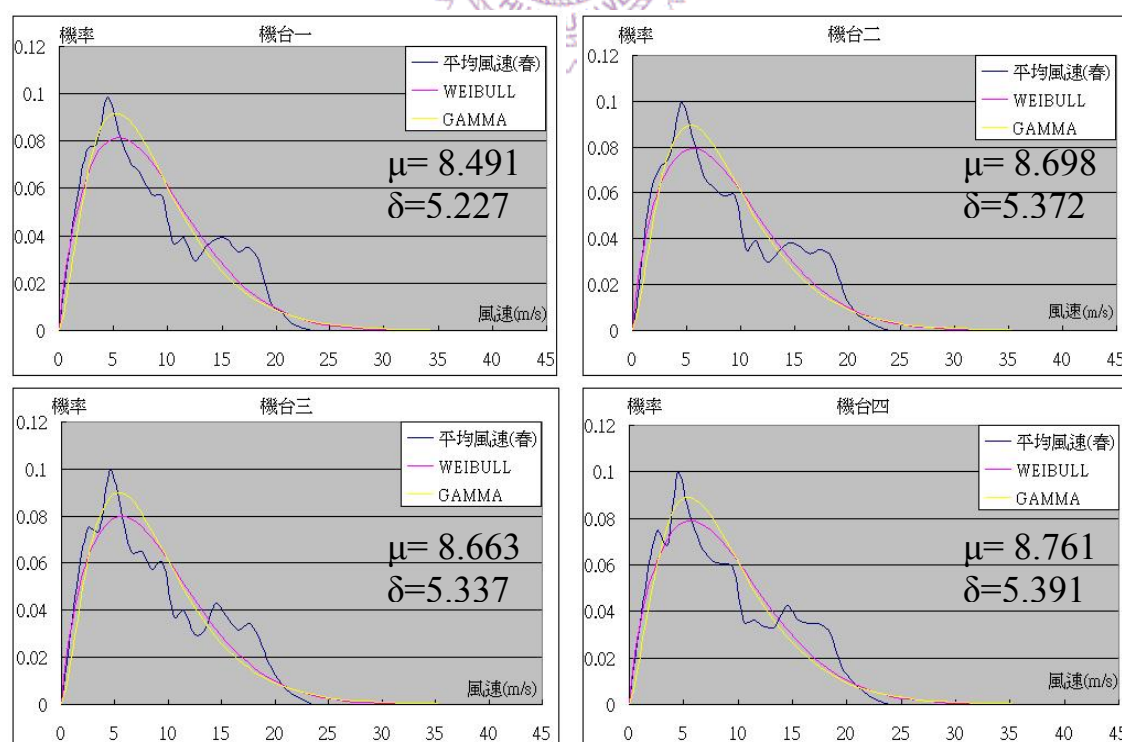


圖 3-7 2003 年春季平均風速機率密度函數圖(氣象學分法)



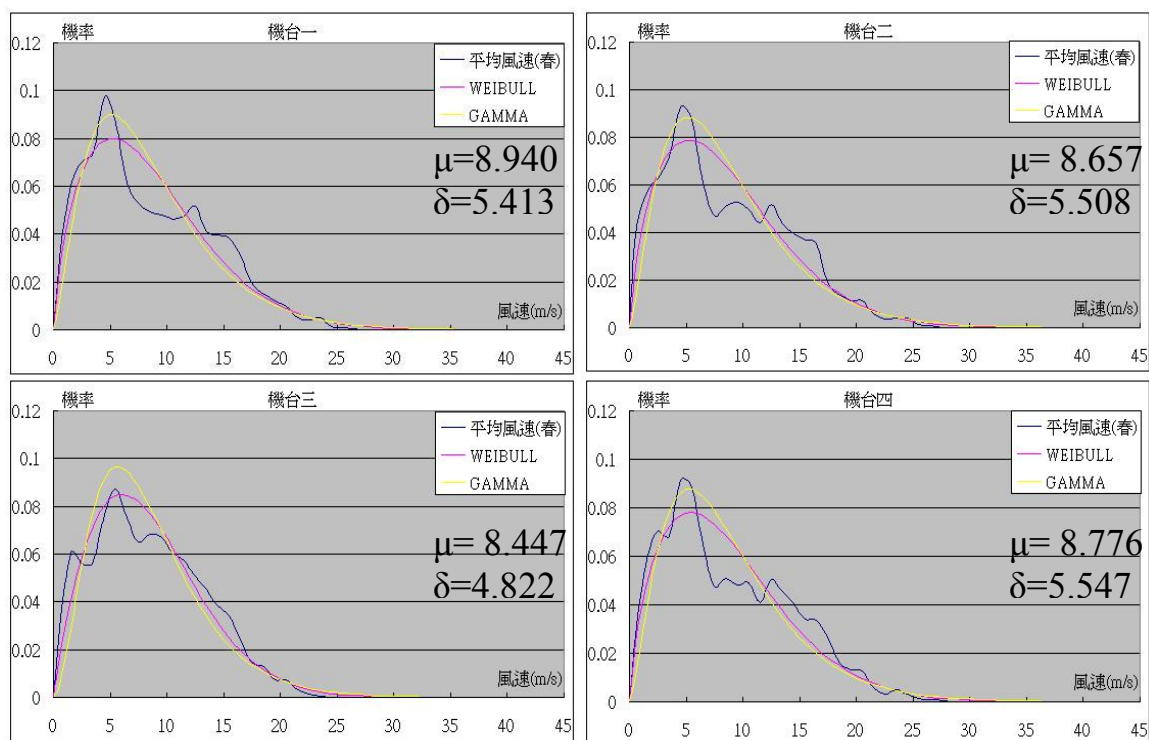


圖 3-8 2004 年春季平均風速機率密度函數圖(氣象學分法)

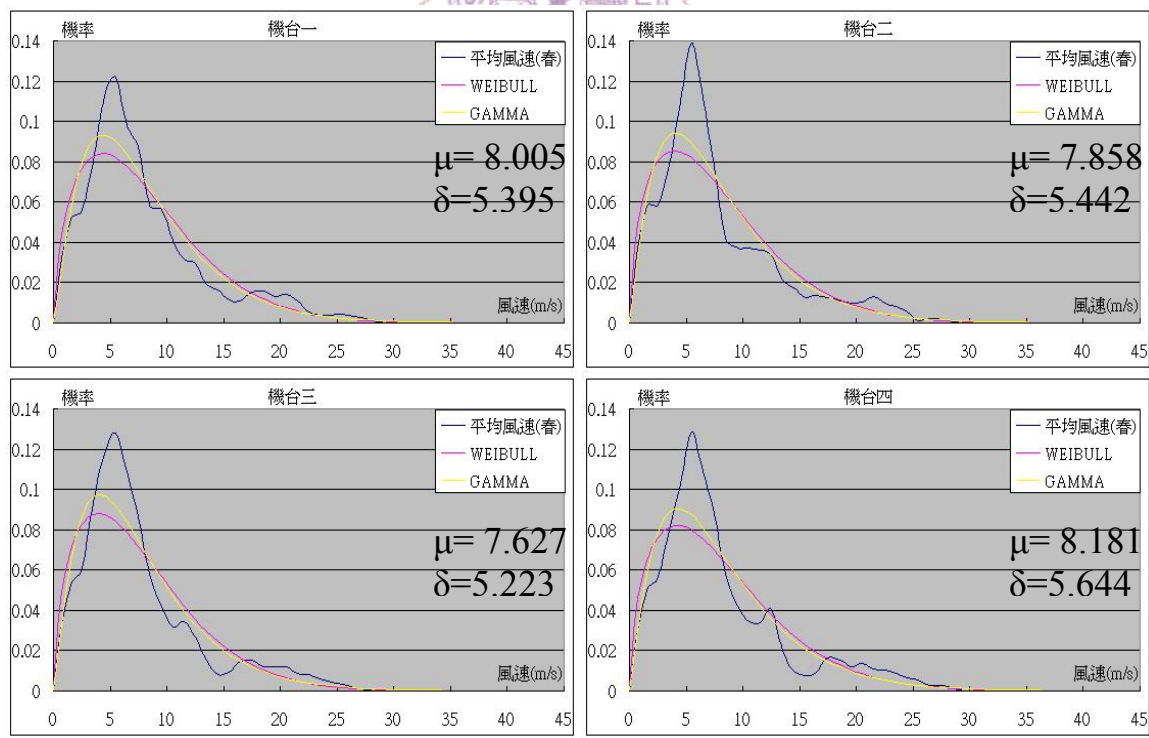


圖 3-9 2005 年春季平均風速機率密度函數圖(氣象學分法)

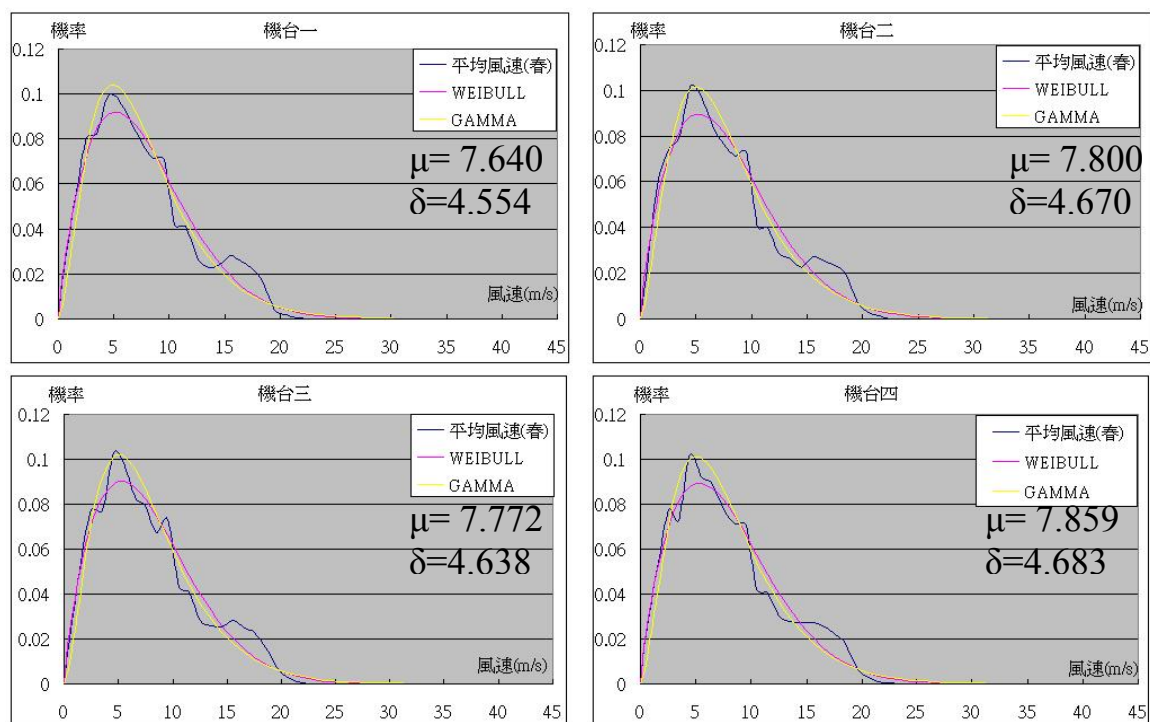


圖 3-10 2003 年春季平均風速機率密度函數圖(西方國家分法)

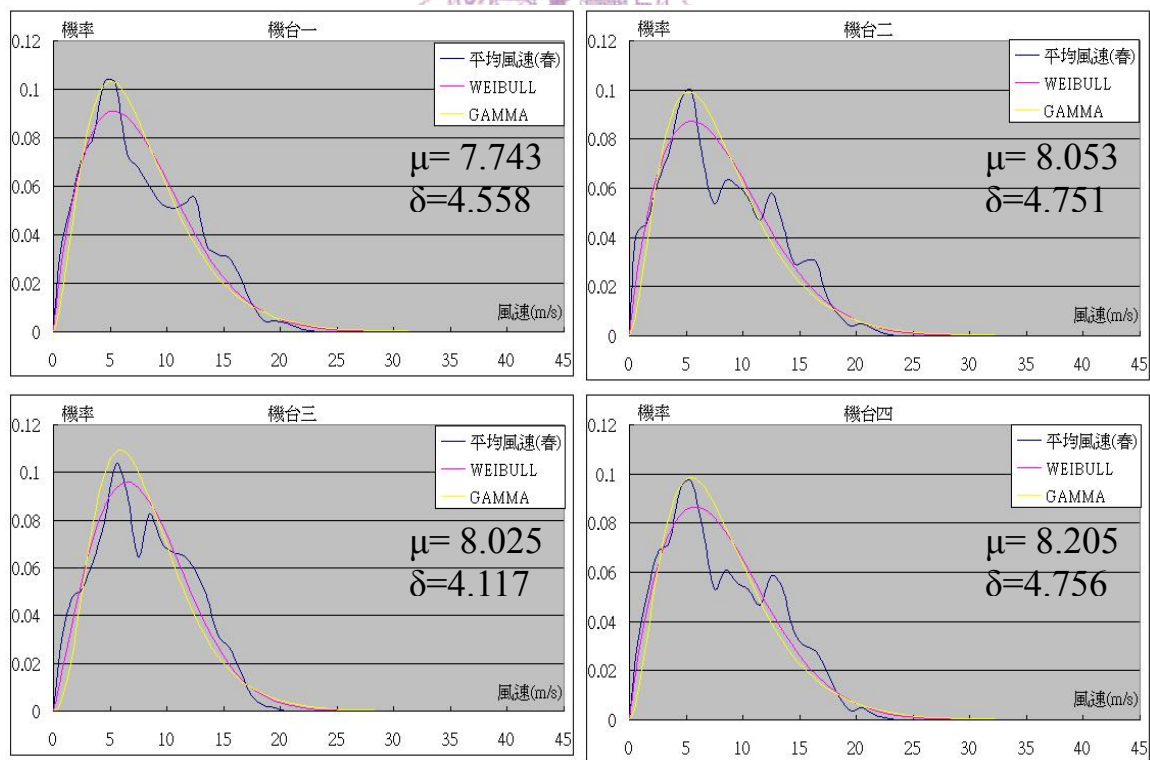


圖 3-11 2004 年春季平均風速機率密度函數圖(西方國家分法)

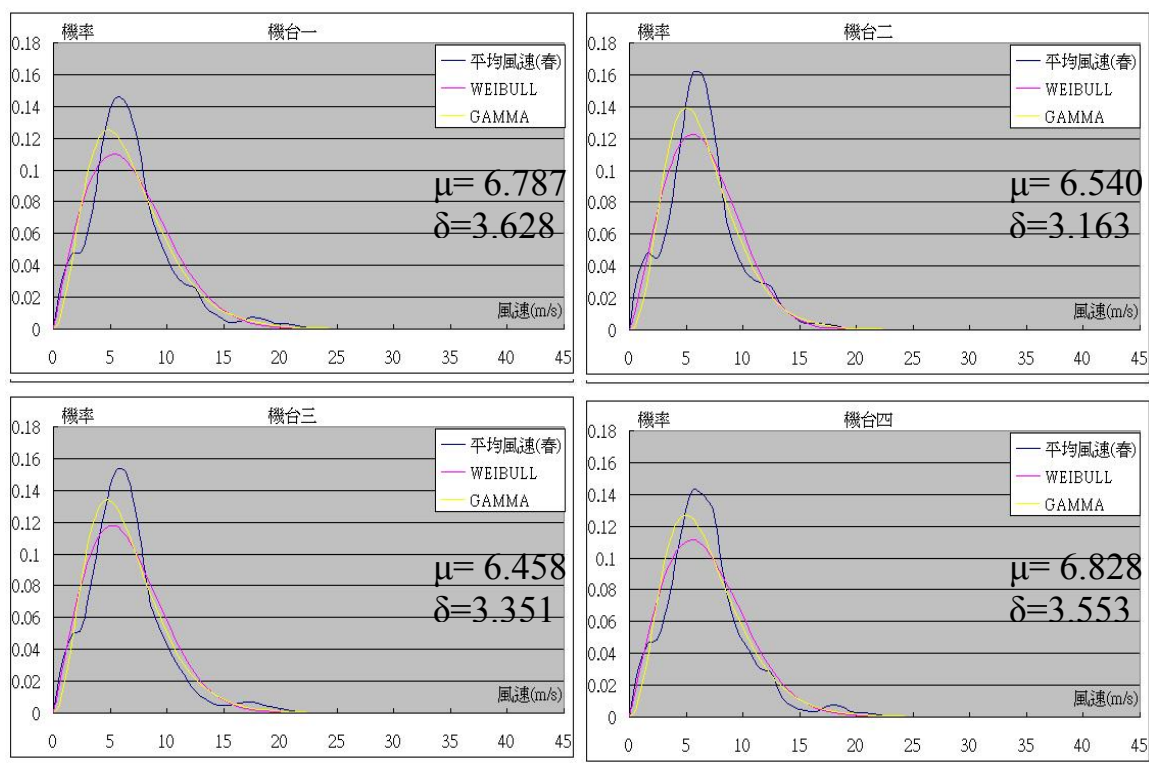


圖 3-12 2005 年春季平均風速機率密度函數圖(西方國家分法)

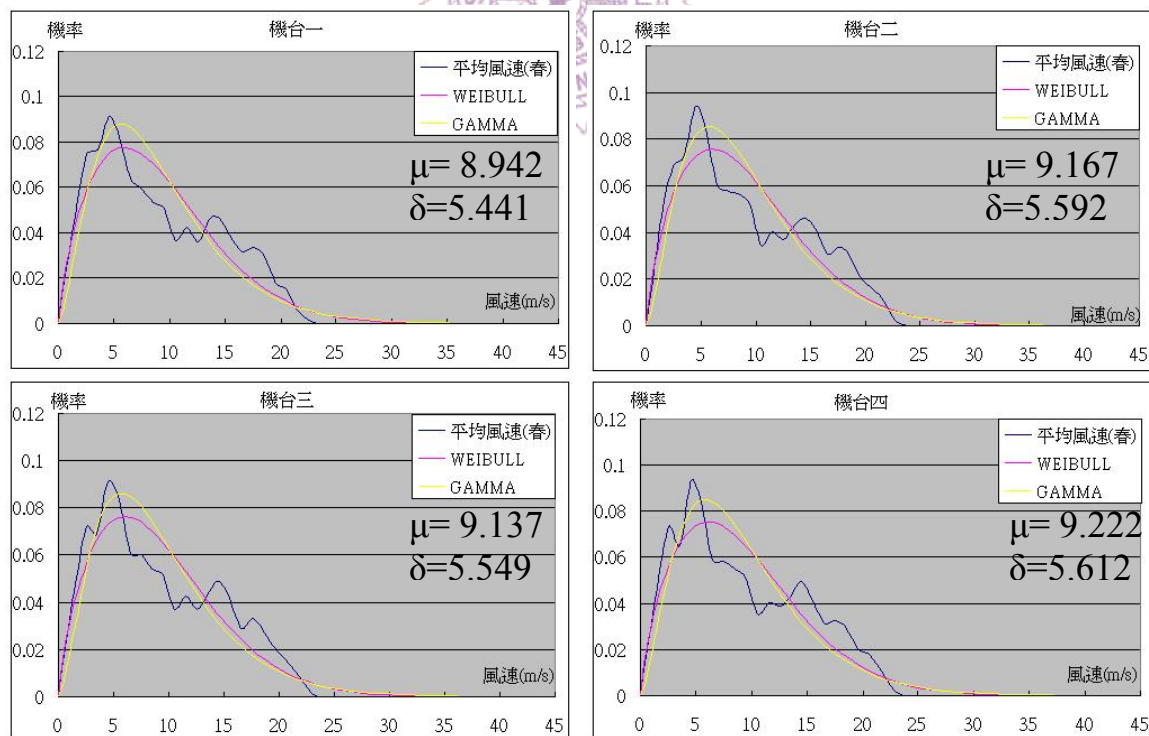


圖 3-13 2003 年春季平均風速機率密度函數圖(我國現行分法)

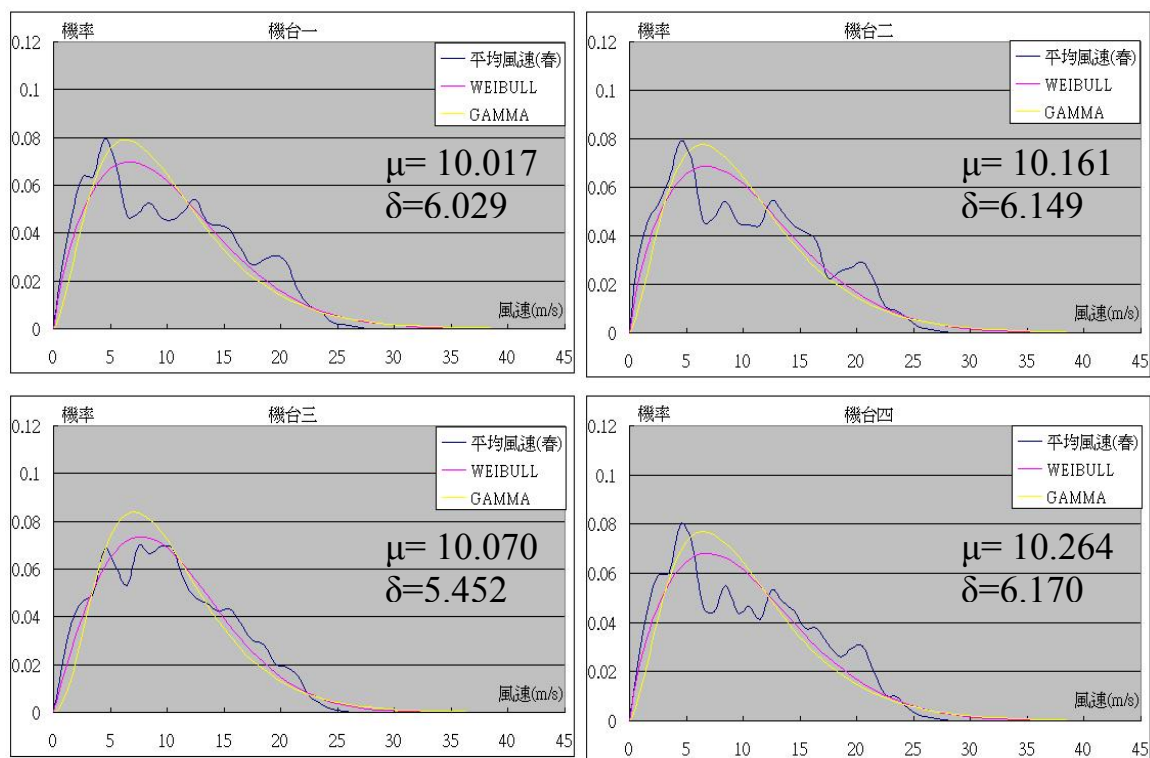


圖 3-14 2004 年春季平均風速機率密度函數圖(我國現行分法)

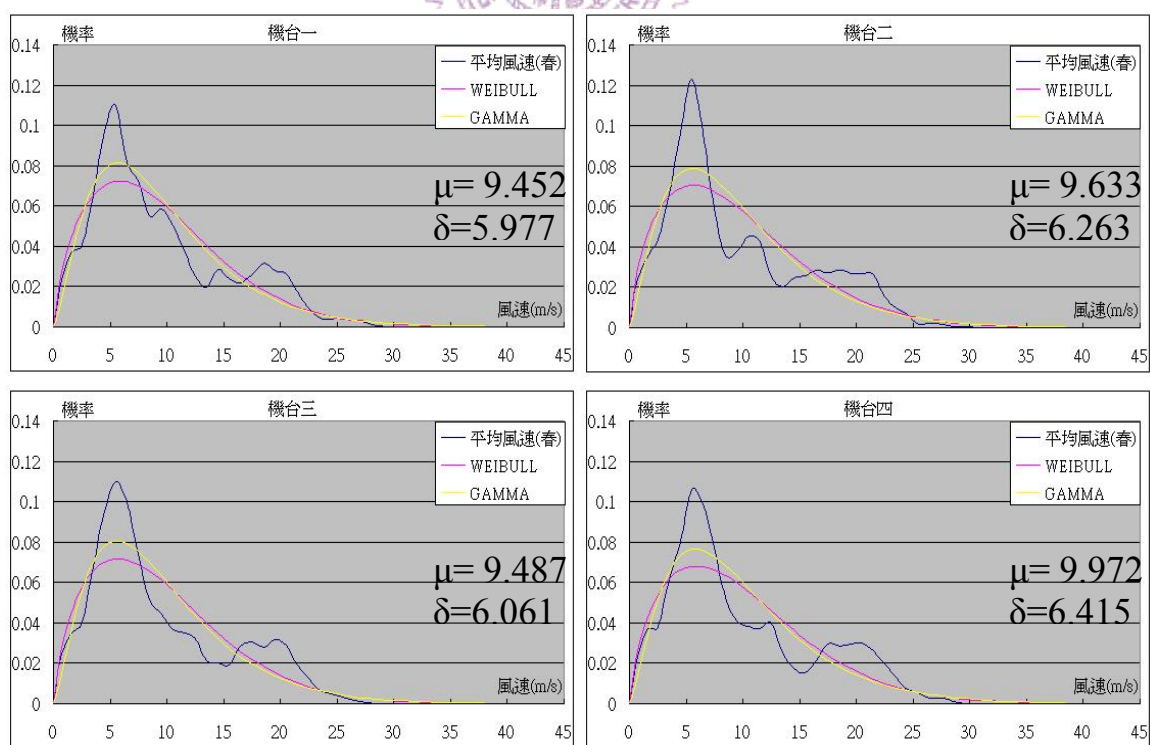


圖 3-15 2005 年春季平均風速機率密度函數圖(我國現行分法)

### 3.2.3 平均風速四部機組比較(夏)

夏季的影響主要是西南季風，由表 3-4 知平均風速大部分介於 4~8 m/s，且呈現集中的現象，以風速 5 m/s 附近發生機率最大。由於季節劃分法的不同，所得到的圖形會有差異，不過差異性不大，如圖 3-16~3-24 所示，會有大於 10m/s 的機率，部份原因是來自於颱風的作用。

以氣象學而言，因為 2004 年刪除的資料集中以 6、7、9 月為大宗，由表 3-4 得知減少了風速介於 4~8m/s 的機率，所以圖形才會比 2003 和 2005 年相對增胖，而且觀察圖上平均風速值，2004 年因為刪除的資料眾多，導致平均數比 2003 和 2005 年的高，因此 2004 年氣象學機率密度函數圖不值得參考。2003 和 2005 年的機率密度函數圖差異上來說不大，差別在於低於 6m/s 有個轉折處，主要的原因是受到七月海棠、八月泰利、九月龍王三個強颱風的影響(表 3-5)，將此原本的機率轉移至大於 10m/s 及 25m/s 左右的機率。

以西方國家的分法而言，2004 年亦因為刪除的資料而導致風速介於 4~8m/s 的機率減少，相對增大其它風速的機率，所以不值得參考。2003 和 2005 年圖形的走勢大致一樣，差別在於 2005 年有強颱風的影響，導致 2~3m/處有轉折。

以我國現行分法而言，2004 年的情形和上述的一樣，2003 年和 2005 年圖形的走勢有類似之處，差別在於 2005 年有強颱風影響產生轉折。

卡方檢定方面，由表 3-6、3-7、3-8 夏季的適合度檢定數據可以說明兩種機率函數分佈皆不適合，但若兩者選擇的話，整體來說伽馬分佈比韋伯分佈適合用來描述夏季的平均風速機率密度函數圖，這和文獻所宣稱韋伯分佈較能表達風速的機率密度函數圖有差異的地方。而 2004 年也因各機台 6 月、7 月或 9 月各有刪除的資料，雖然韋伯分佈比較適合，不過不予考慮。另外也驗證常態分佈(normal distribution)和對數常態分佈(Lognormal distribution)是否適合夏季的分佈，經檢定後卡方值皆比韋伯和伽馬分佈的卡方值大很多，所以並不適合。



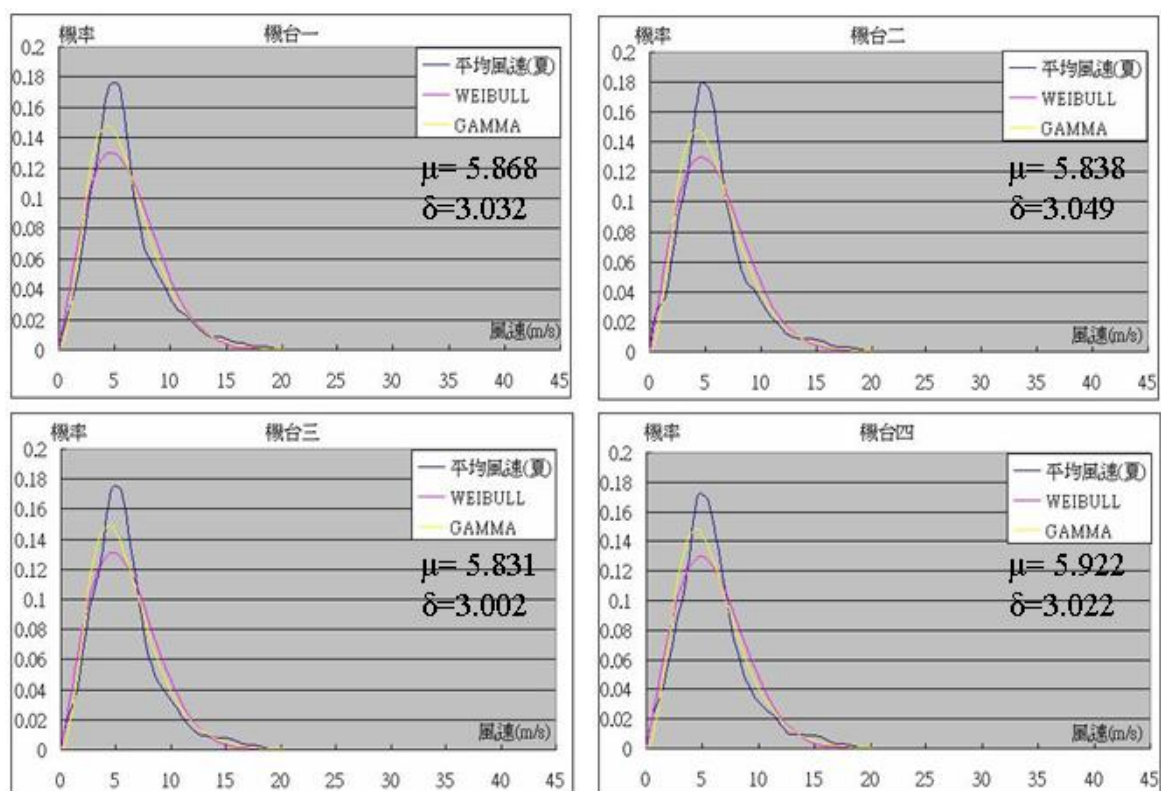


圖 3-16 2003 年夏季平均風速機率密度函數圖(氣象學分法)

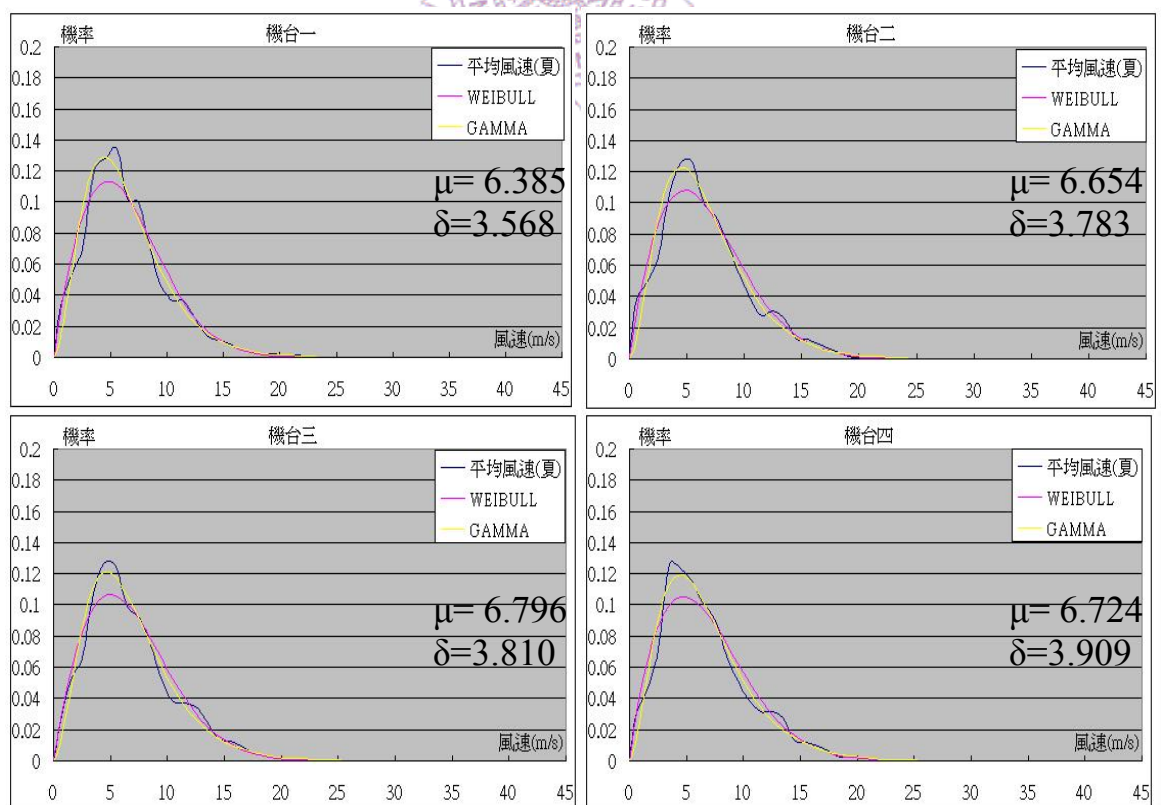


圖 3-17 2004 年夏季平均風速機率密度函數圖(氣象學分法)

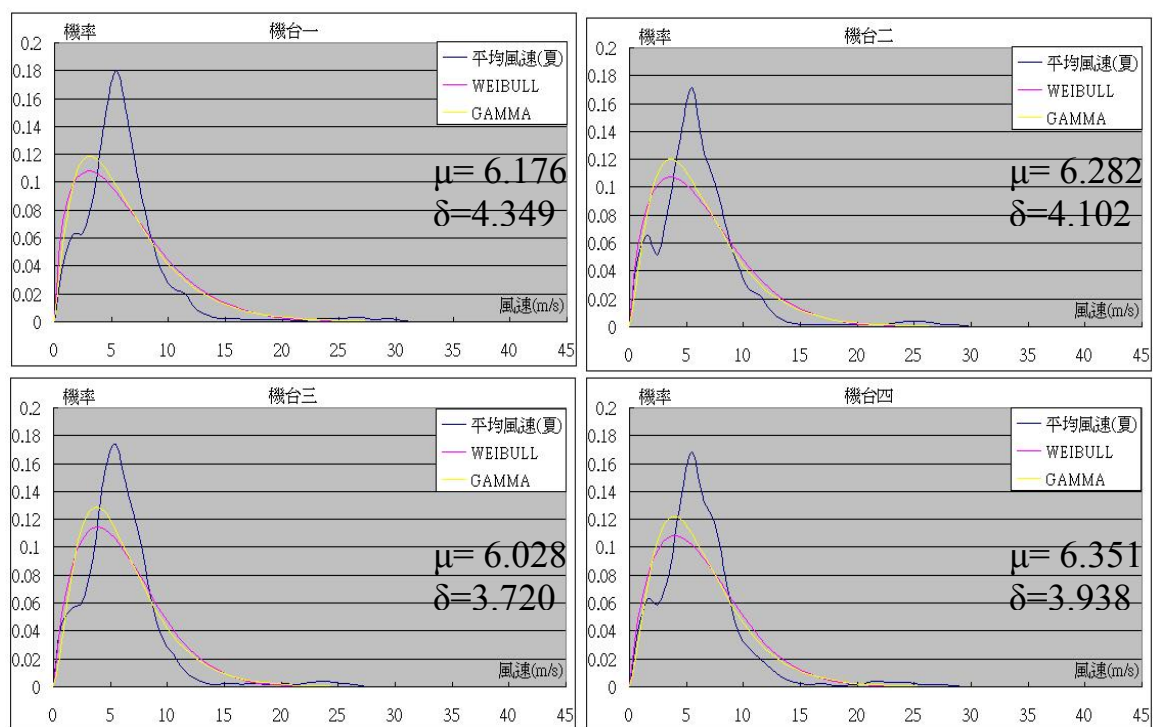


圖 3-18 2005 年夏季平均風速機率密度函數圖(氣象學分法)

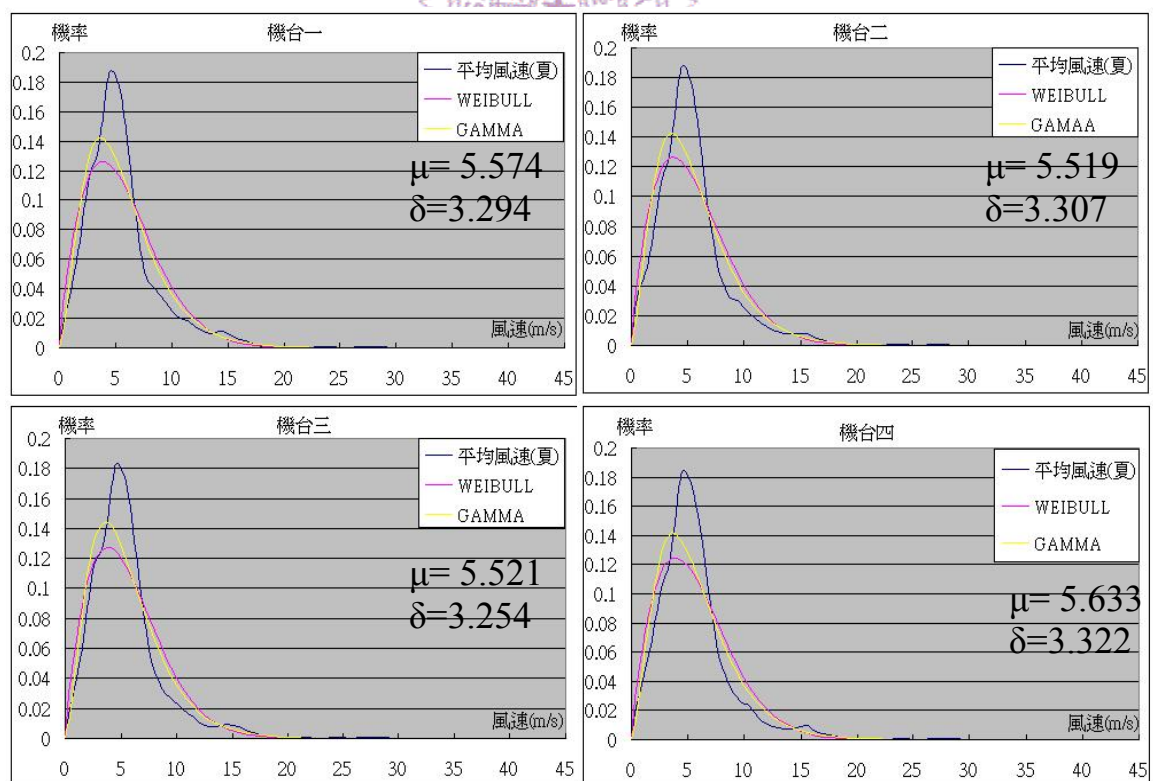


圖 3-19 2003 年夏季平均風速機率密度函數圖(西方國家分法)

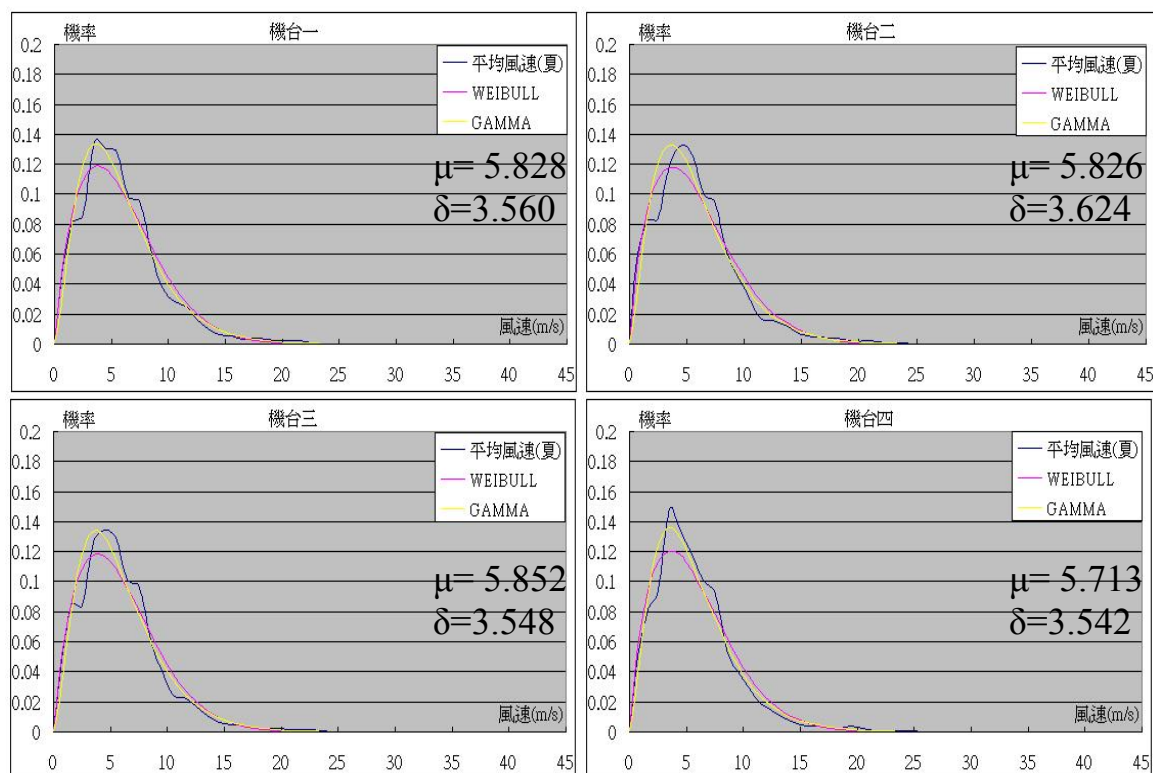


圖 3-20 2004 年夏季平均風速機率密度函數圖(西方國家分法)

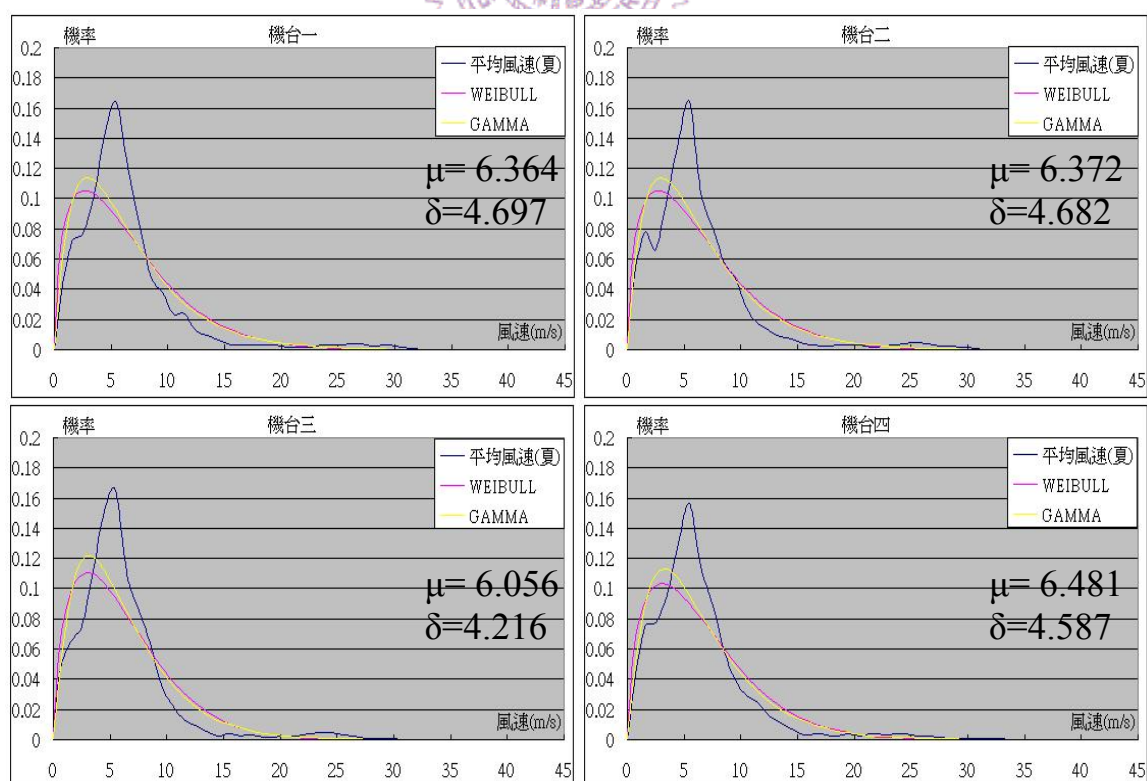


圖 3-21 2005 年夏季平均風速機率密度函數圖(西方國家分法)

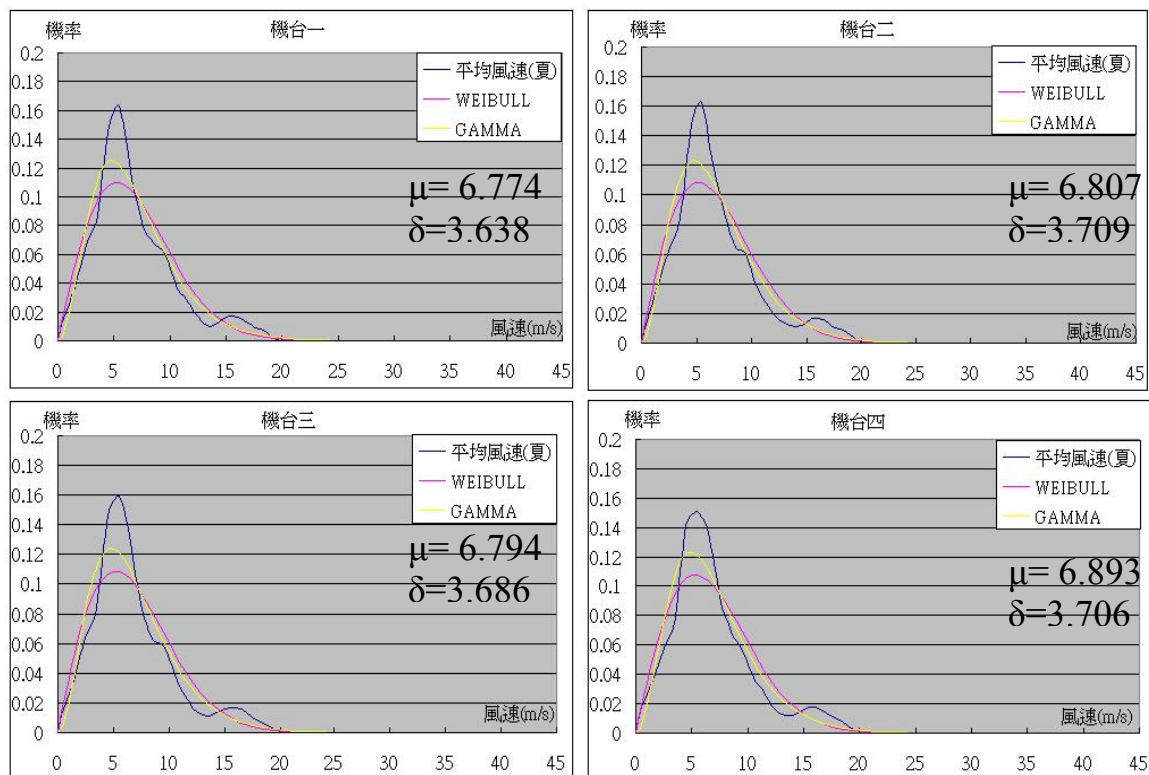


圖 3-22 2003 年夏季平均風速機率密度函數圖(我國現行分法)

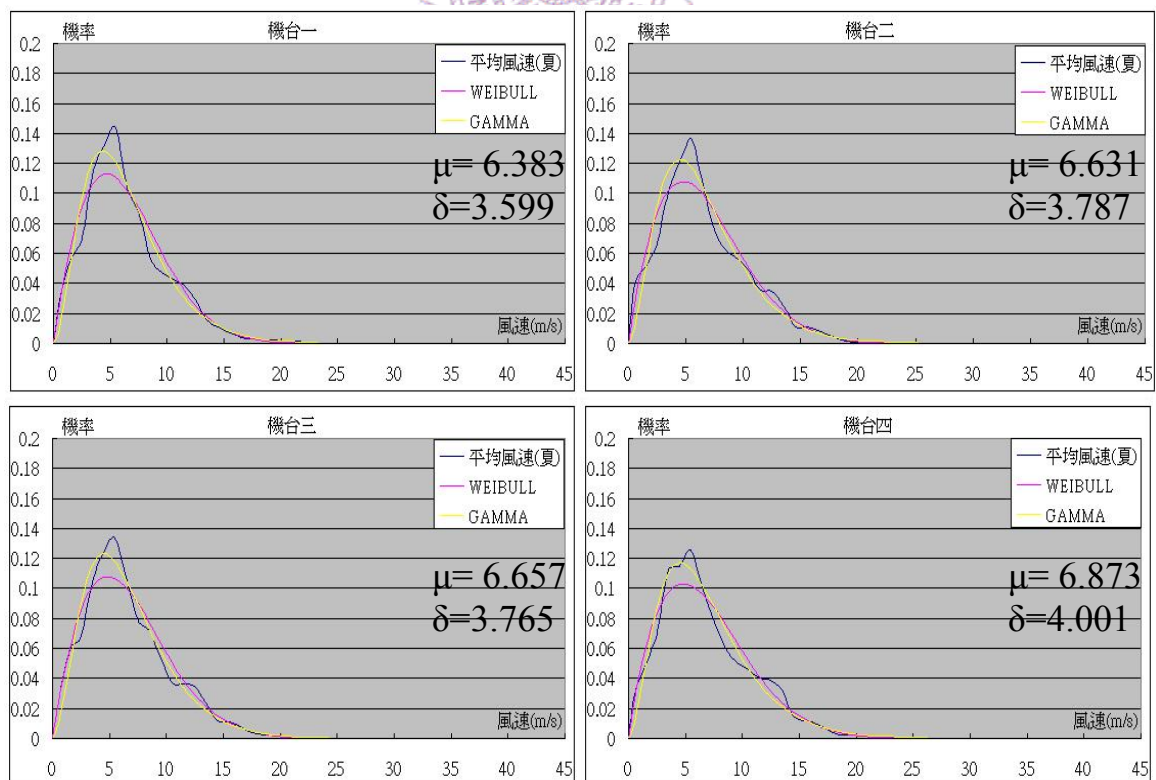


圖 3-23 2004 年夏季平均風速機率密度函數圖(我國現行分法)

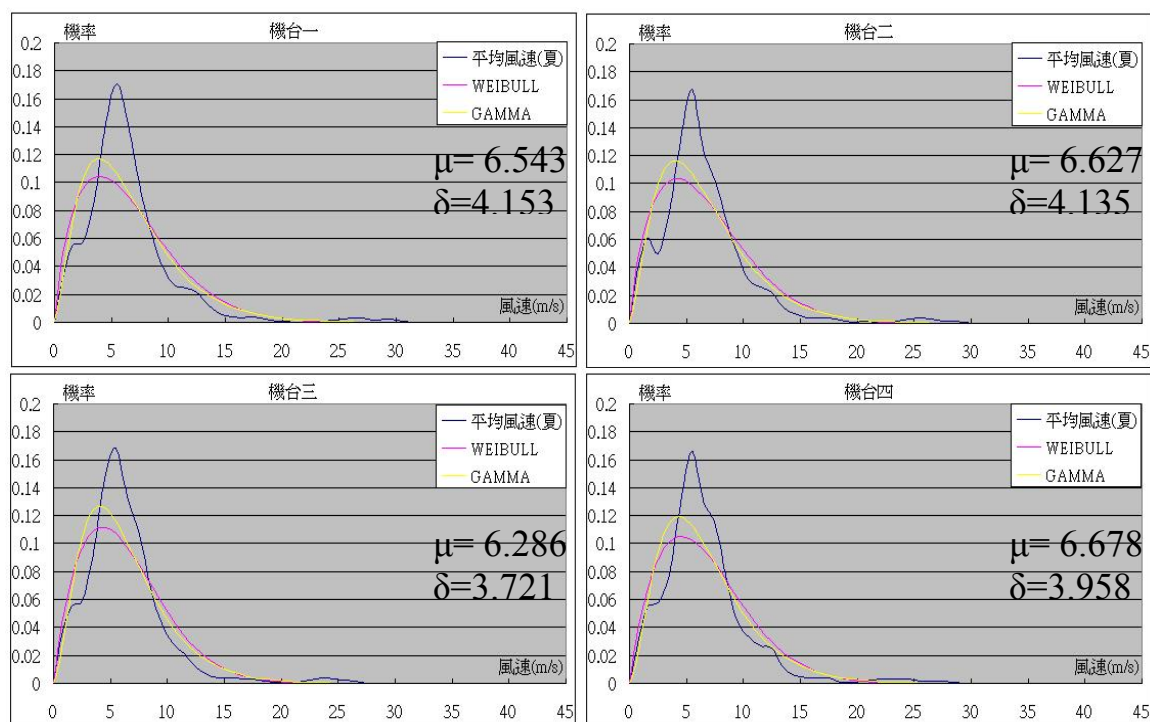


圖 3-24 2005 年夏季平均風速機率密度函數圖(我國現行分法)

### 3.2.4 平均風速四部機組比較(秋)

秋季剛好介於西南季風轉變為東北季風之際，所以風速大於 10 m/s 主要來自於東北季風的影響，低於 10 m/s 主要來自於西南季風的影響。由於季節劃分法的不同，所得到的圖形會有差異，如圖 3-25~3-33 所示。

以氣象學而言，由表 3-5 得知，2003 年 11 月雖有輕颱影響，不過影響甚小；2004 年 9 月至 11 月有米雷、納坦、南瑪都三個中颱的影響，導致風速 10~15m/s 的機率增大；2005 年有卡努、丹瑞二個中颱及龍王強颱影響，導致風速大於 25m/s 的機率提高。

以西方國家的分法而言，2003 年雖有輕颱，不過影響甚小；2004 年 9/23~12/30 這期間有米雷、納坦、南瑪都三個中颱的影響，導致風速大於 10~20m/s 的機率大增；2005 年只有龍王強颱的影響，導致風速大於 25m/s 機率都加。



以我國現行分法而言，2003 年 8/7~11/6 期間有柯羅旺及杜鵑二個中颱影響；2004 年蘭寧、艾利、米雷、納坦四個中颱的影響，前三個中颱都是在八、九月風速較低的時間作用，所以導致風速大於 10m/s 的機率增加；2005 年有卡努、丹瑞二個中颱及泰利、龍王二個強颱影響，圖形和 2003 年做比較，風速低於 10m/s 的機率有明顯削減，增加至風速大於 10m/s 的機率且風速大於 25m/s 機率亦增加。

秋季的分法上受東北季風影響時間的長短分別為：西方國家分法＞氣象學分法＞我國現行分法，所以風速的平均理論上應該是西方國家分法＞氣象學分法＞我國現行分法，和圖上所標示平均風速來比較不謀而合。

卡方檢定方面，由表 3-6、3-7、3-8 秋季的適合度檢定數據可以說明兩種機率函數分佈皆不適合，若兩者選擇的話，韋伯分佈比伽馬分佈適合用來描述秋季的平均風速機率密度函數圖。

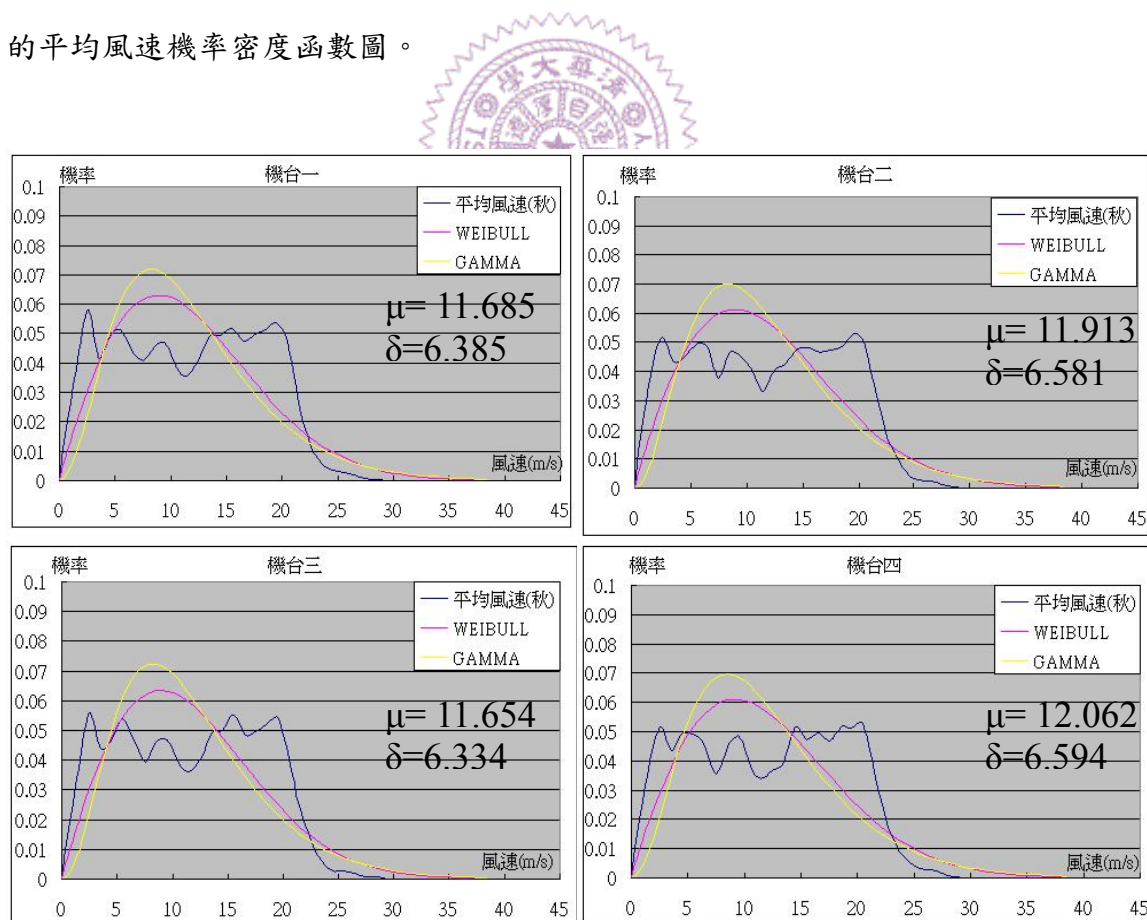


圖 3-25 2003 年秋季平均風速機率密度函數圖(氣象學分法)

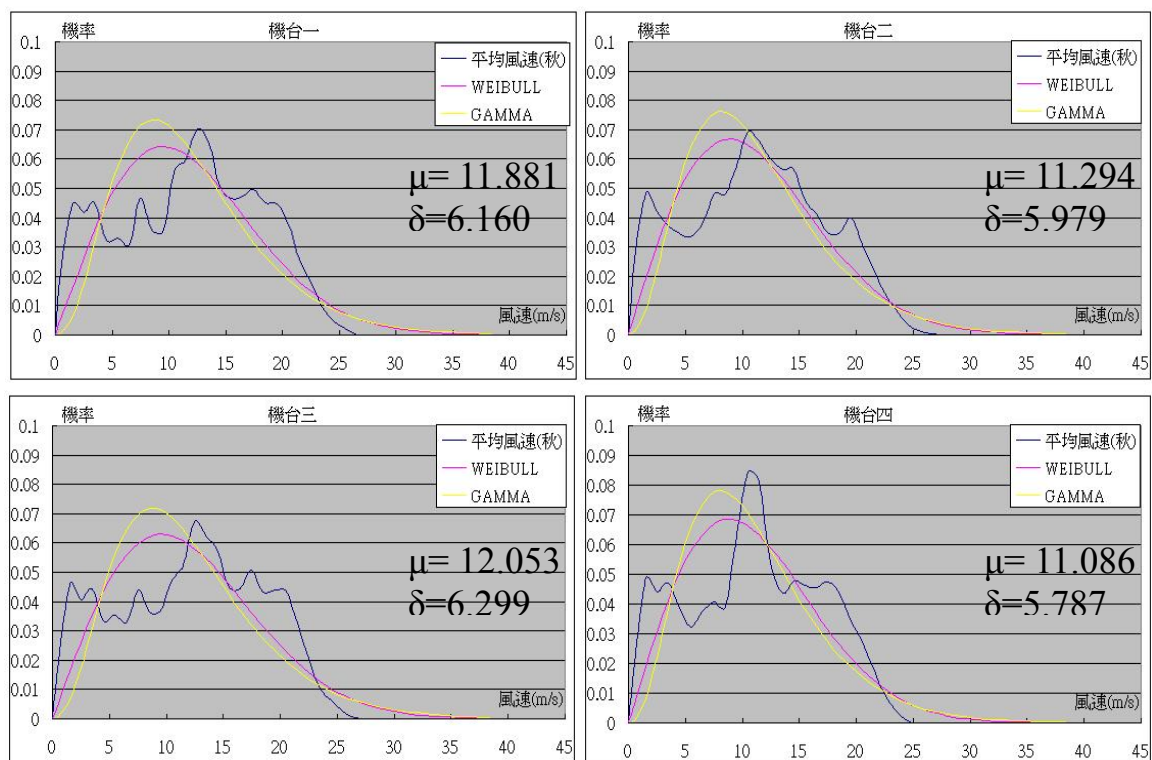


圖 3-26 2004 年秋季平均風速機率密度函數圖(氣象學分法)

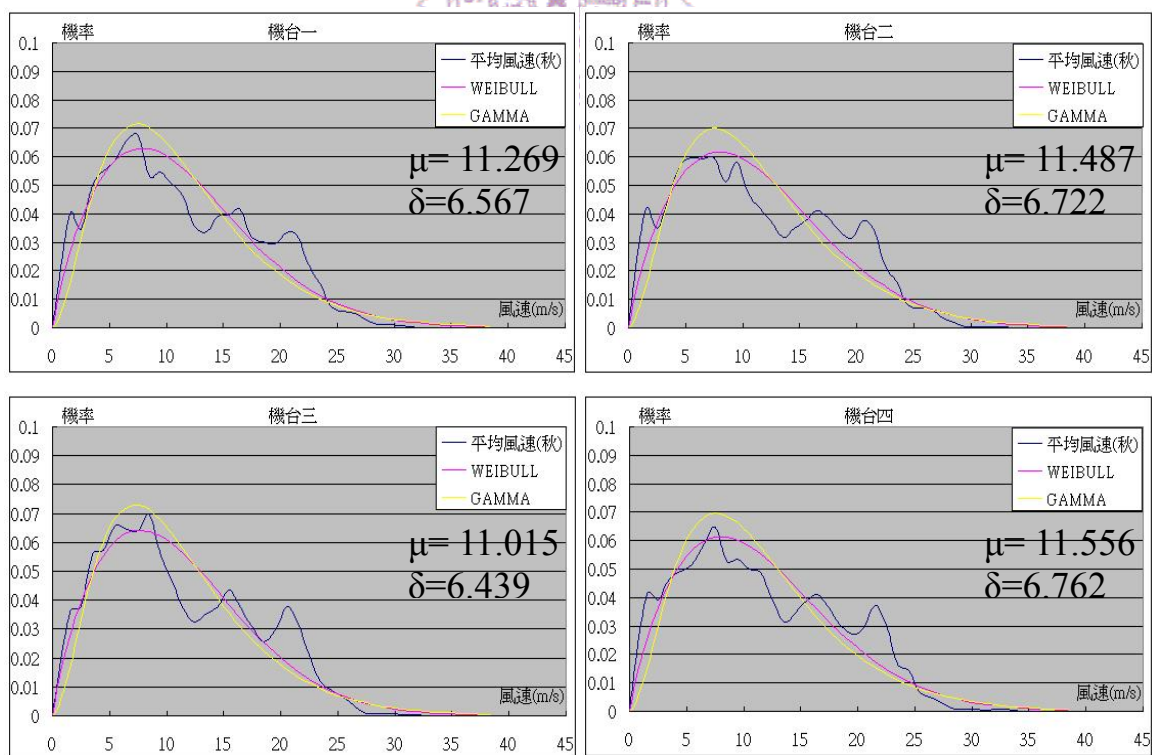


圖 3-27 2005 年秋季平均風速機率密度函數圖(氣象學分法)

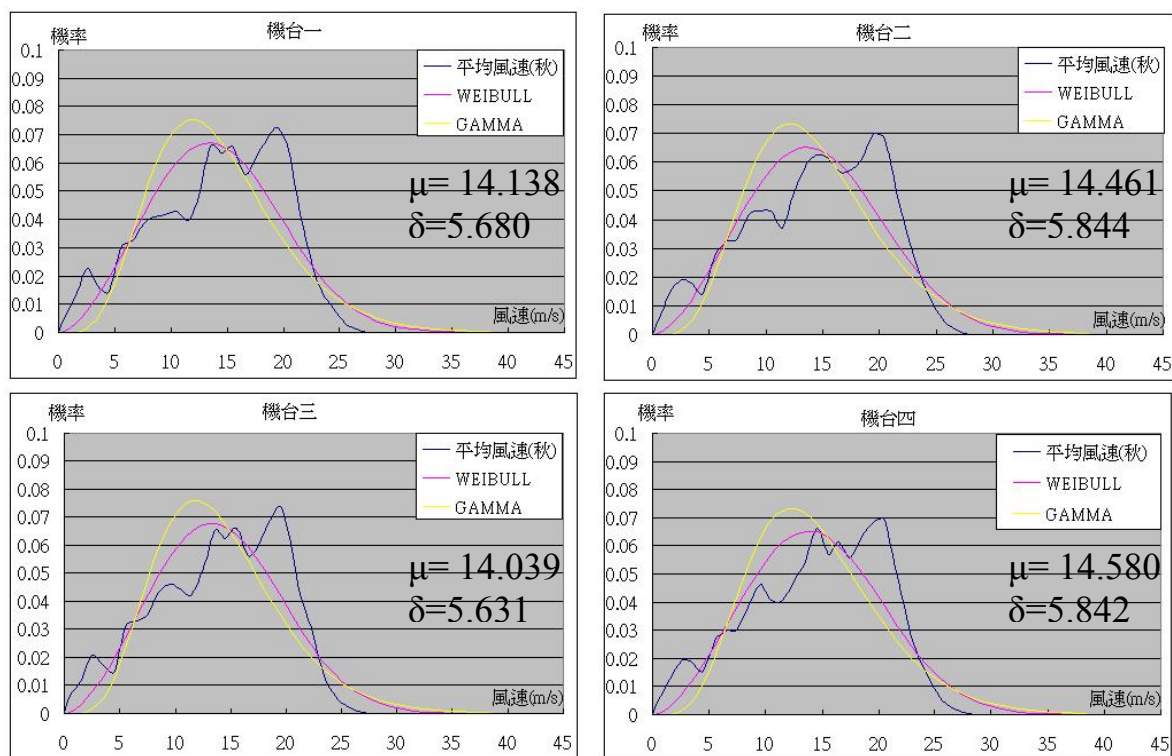


圖 3-28 2003 年秋季平均風速機率密度函數圖(西方國家分法)

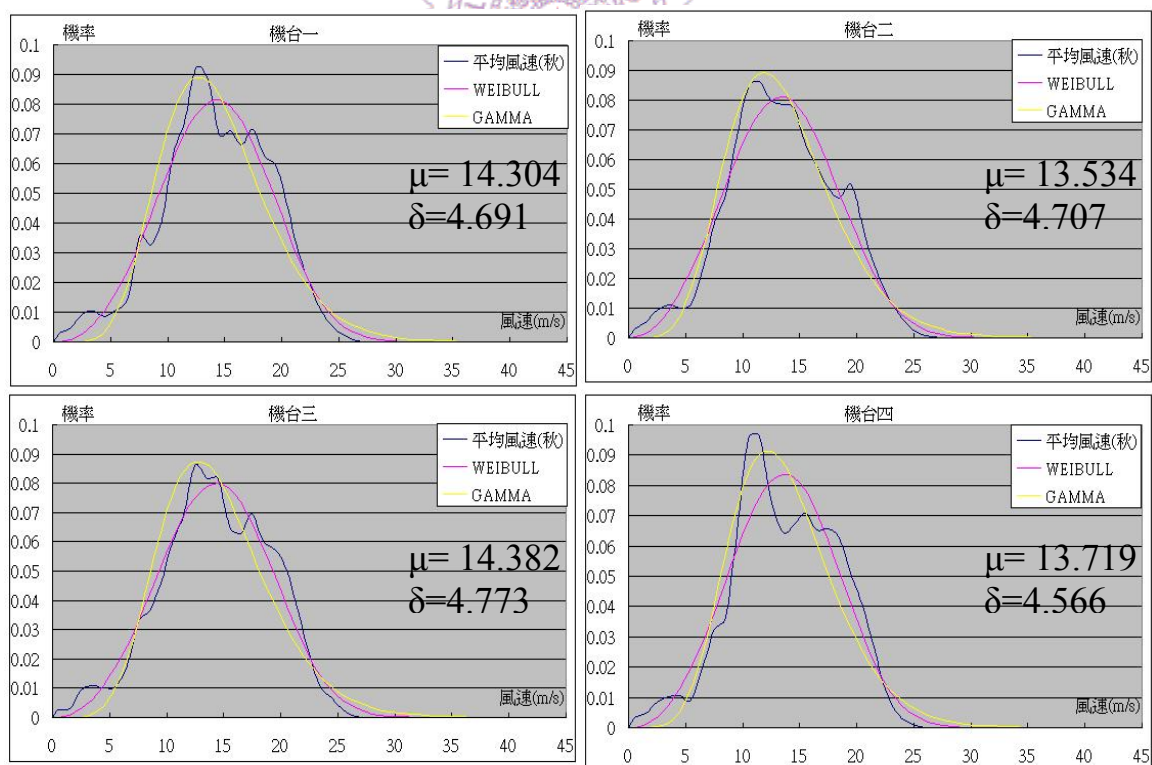


圖 3-29 2004 年秋季平均風速機率密度函數圖(西方國家分法)

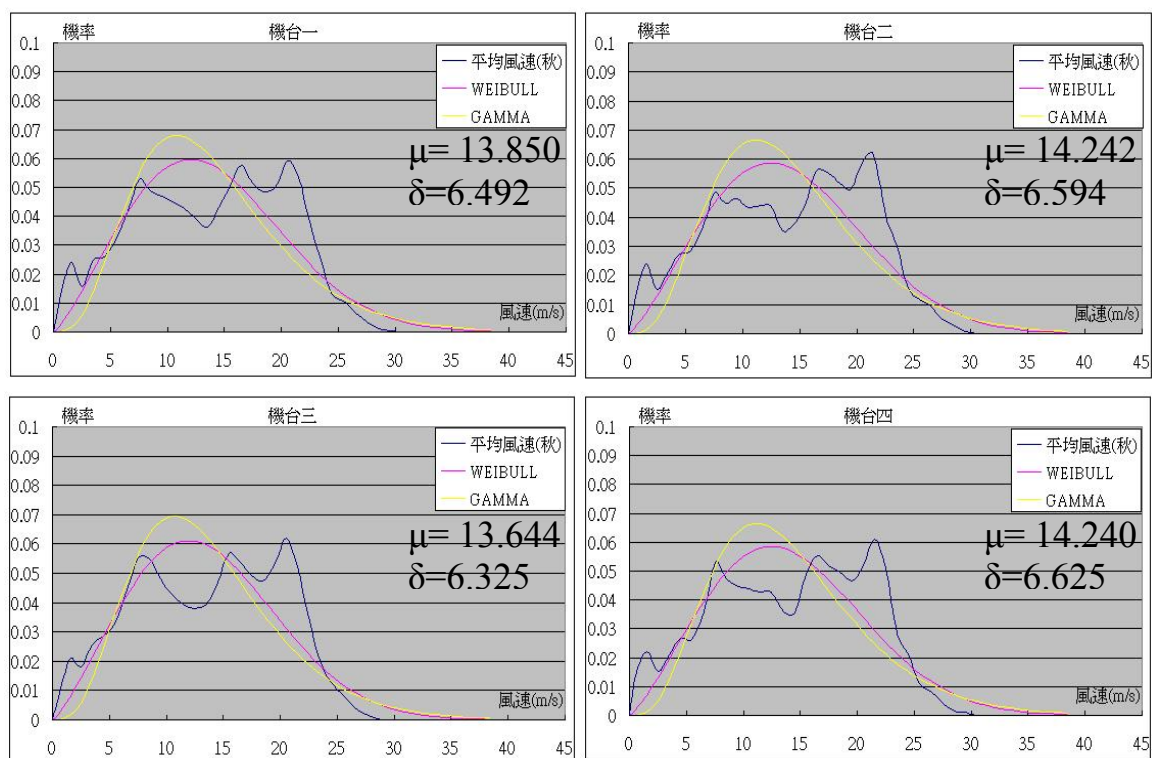


圖 3-30 2005 年秋季平均風速機率密度函數圖(西方國家分法)

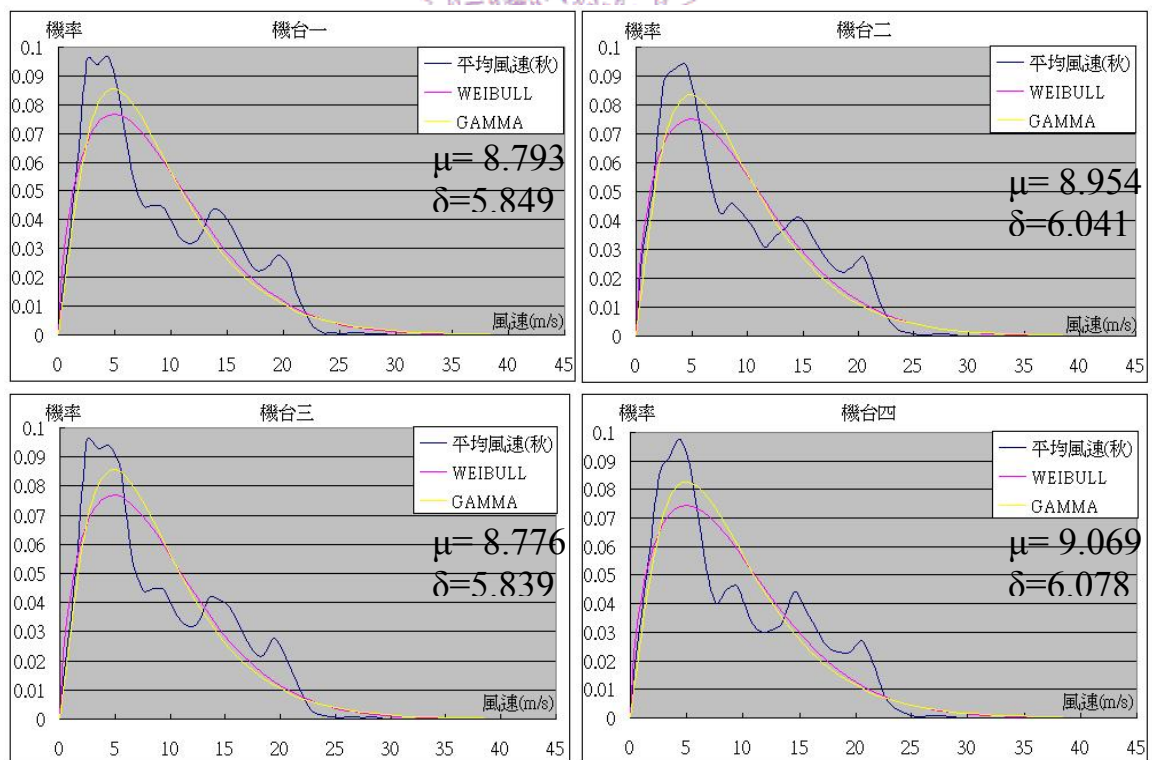


圖 3-31 2003 年秋季平均風速機率密度函數圖(我國現行分法)



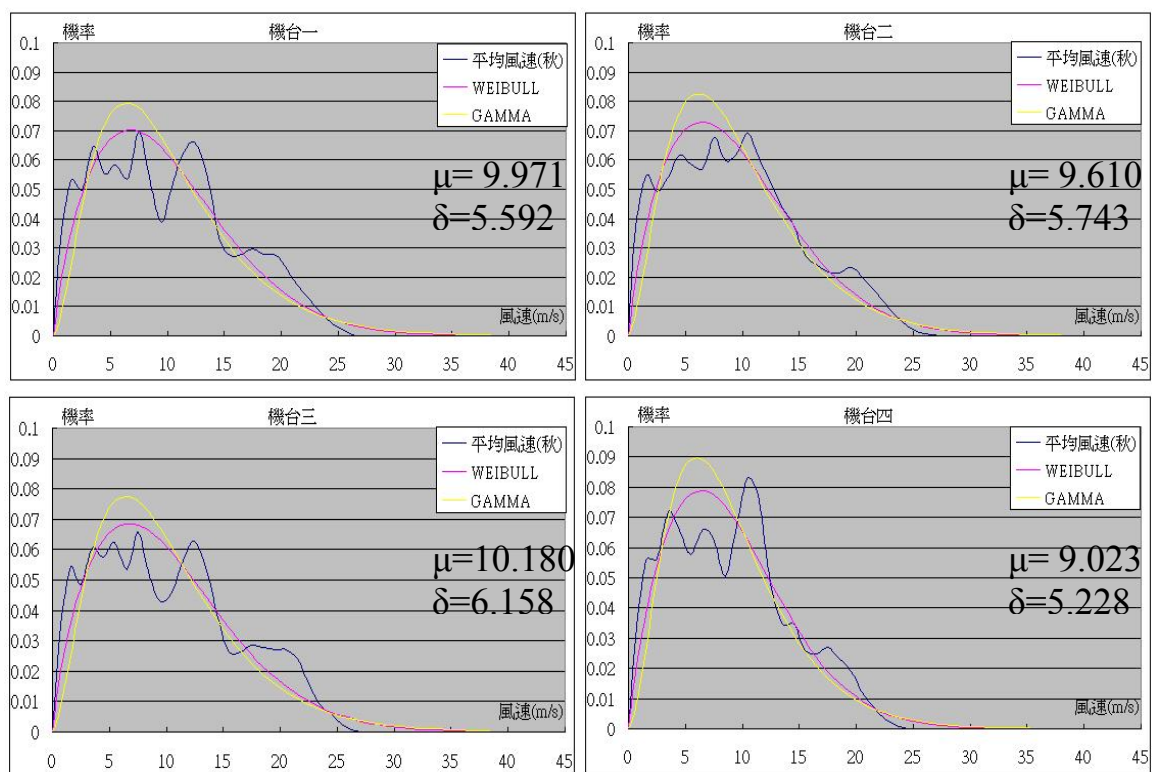


圖 3-32 2004 年秋季平均風速機率密度函數圖(我國現行分法)

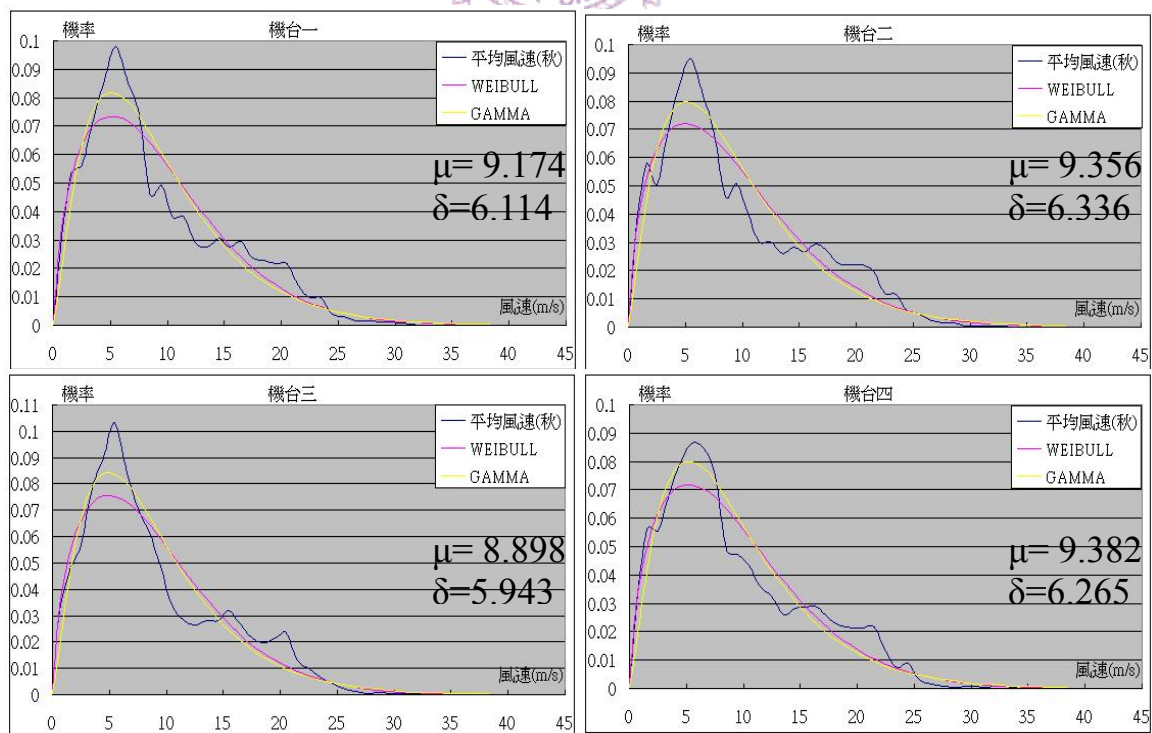


圖 3-33 2005 年秋季平均風速機率密度函數圖(我國現行分法)



### 3.2.5 平均風速四部機組比較(冬)

冬季的影響主要是東北季風，故平均風速高於 10 m/s 所佔的比率會增加。由於季節劃分法的不同，所得到的圖形會有差異，如圖 3-34~3-42 所示。由於 2005 年 1/4~1/20 及 2/8~2/16 機台二的風速計故障，刪除不正常的資料達 3875 筆，所以 2005 年機台二的機率密度函數圖缺少了風速 15~25m/s 區域的尖峰機率。

由表 3-5 得知，2004 年 12/3~12/4 受南瑪都中颱的影響，四季劃分上有影響的是氣象學和我國現行的分法，不過因 12 月深受東北季風影響，當月平均風速為 14.26m/s，所以影響程度較小。既然颱風影響可不考慮且剔除 2005 年機台二的圖形來觀察的話，2003 年三種四季分法的機率密度函數圖呈現鋸齒狀，2004 年呈現向風速 15m/s 集中的現象，2005 年以風速 10m/s 為分界，向兩端集中。由此可知，2003 年冬季的風分佈較均勻，2004 年風速較穩定，集中在 15m/s 附近，2005 年風速較極端化，以 6m/s 和 18m/s 為兩個尖峰的最高點。

最強勁的東北季風發生於十一月至翌年一月，故分法上受東北季風時間影響的長短分別為：我國現行分法>氣象學分法>西方國家分法，也就是說風速大於 10 m/s 的機率分別為：我國現行分法>氣象學分法>西方國家分法，所以就冬季而言，風速的平均值理論上應該是我國現行分法>氣象學分法>西方國家分法，和圖上所標示平均風速來比較不謀而合。

卡方檢定方面，由表 3-6、3-7、3-8 冬季的適合度檢定數據可以說明兩種機率函數分佈皆不適合，但若兩者選擇的話，韋伯分佈比伽馬分佈適合用來描述秋季的平均風速機率密度函數圖。

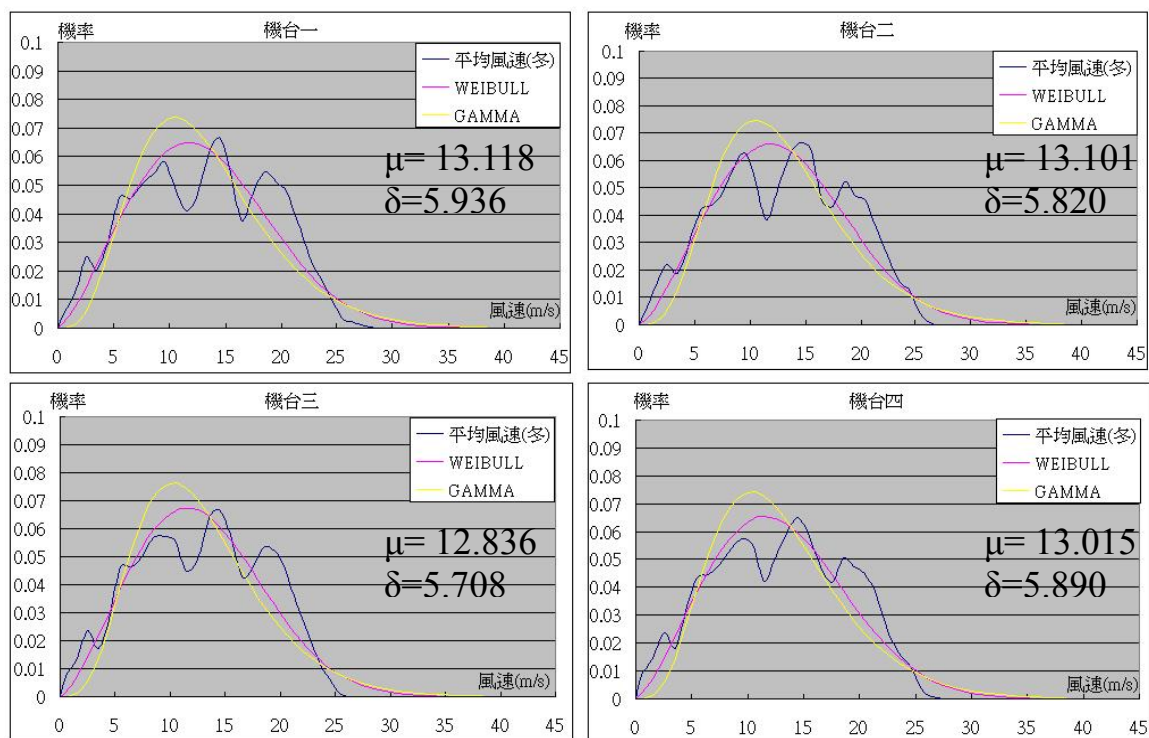


圖 3-34 2003 年冬季平均風速機率密度函數圖(氣象學分法)

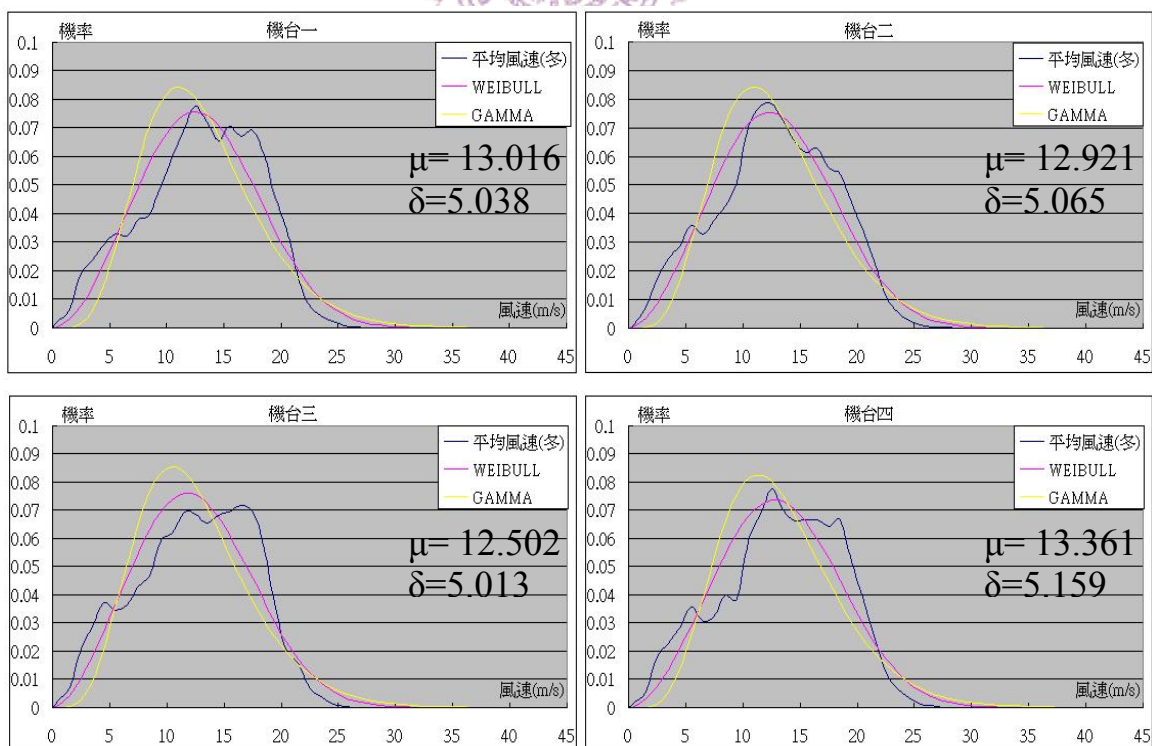


圖 3-35 2004 年冬季平均風速機率密度函數圖(氣象學分法)

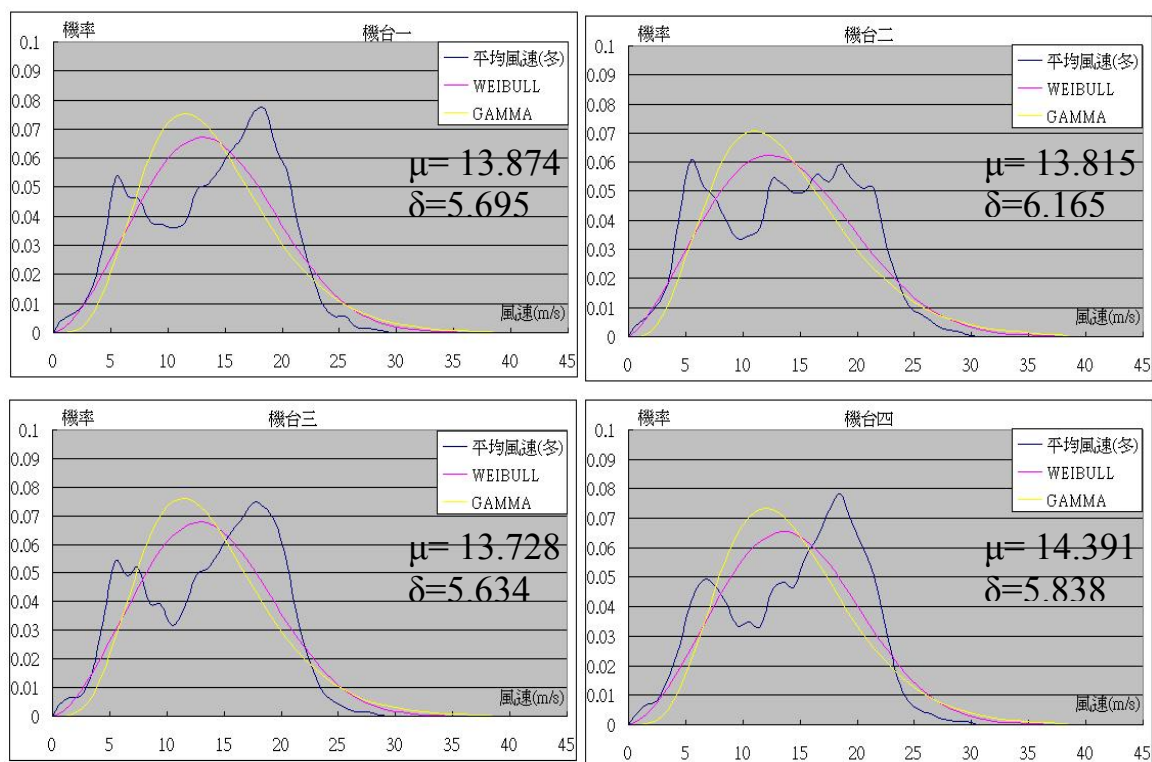


圖 3-36 2005 年冬季平均風速機率密度函數圖(氣象學分法)

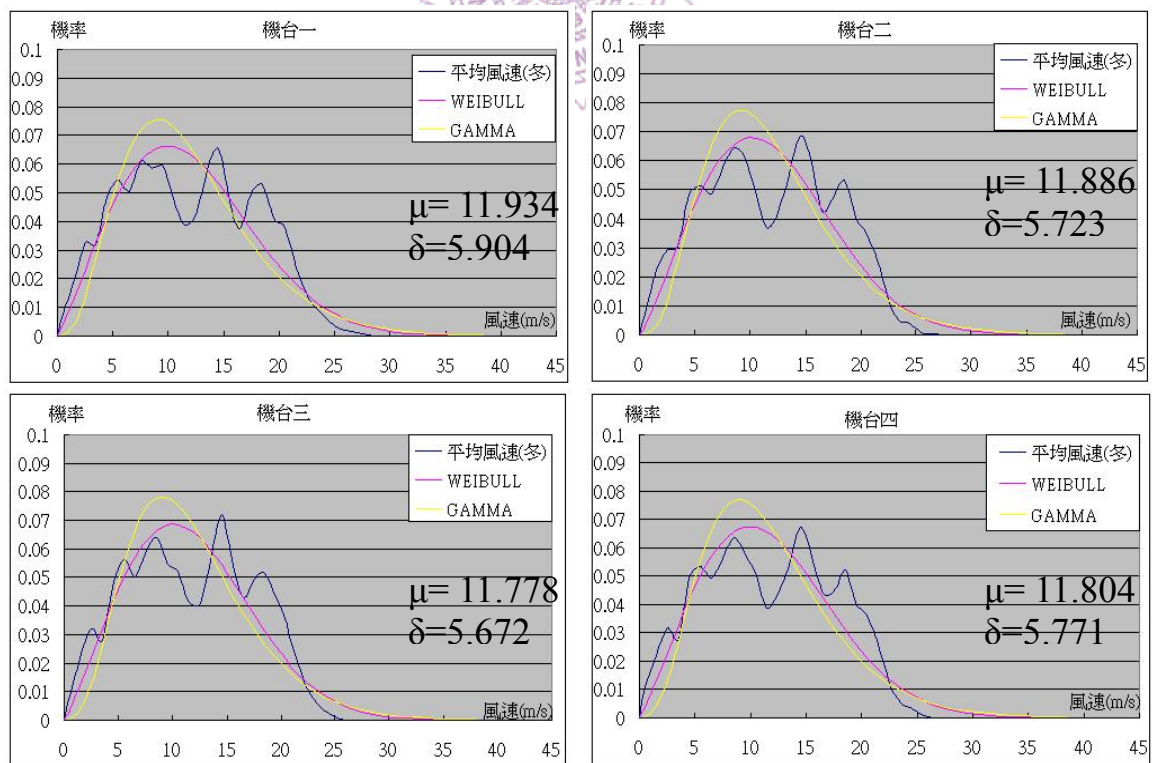


圖 3-37 2003 年冬季平均風速機率密度函數圖(西方國家分法)

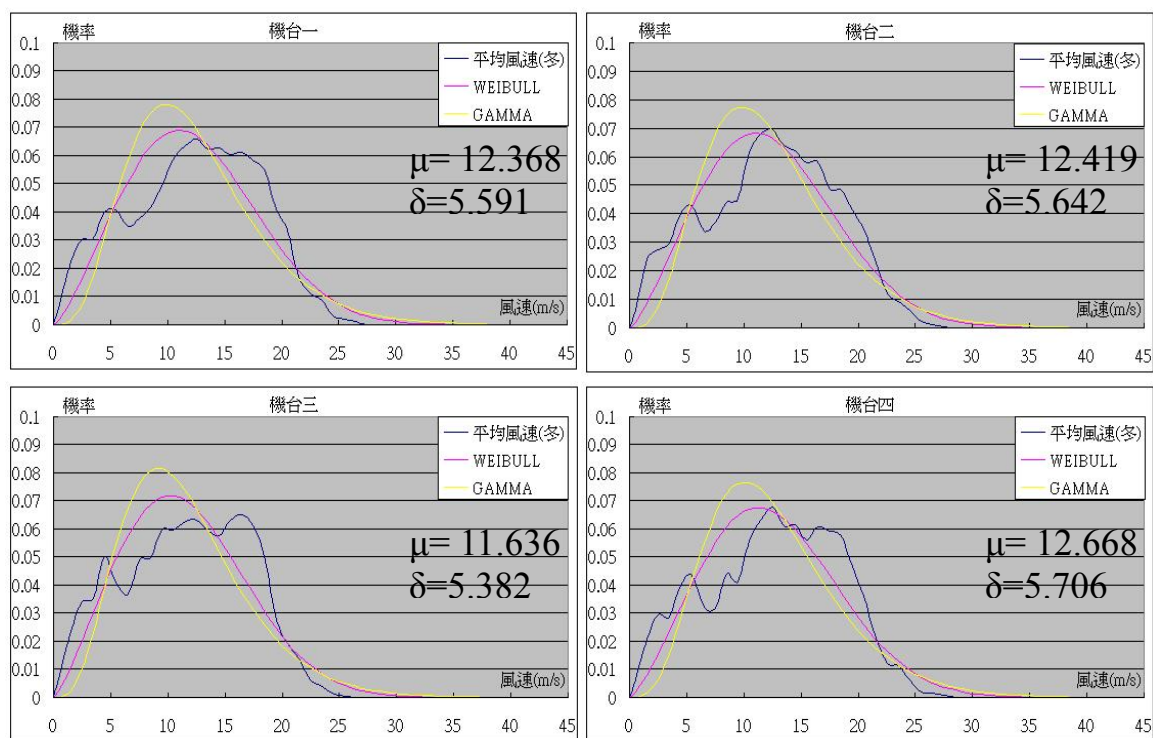


圖 3-38 2004 年冬季平均風速機率密度函數圖(西方國家分法)

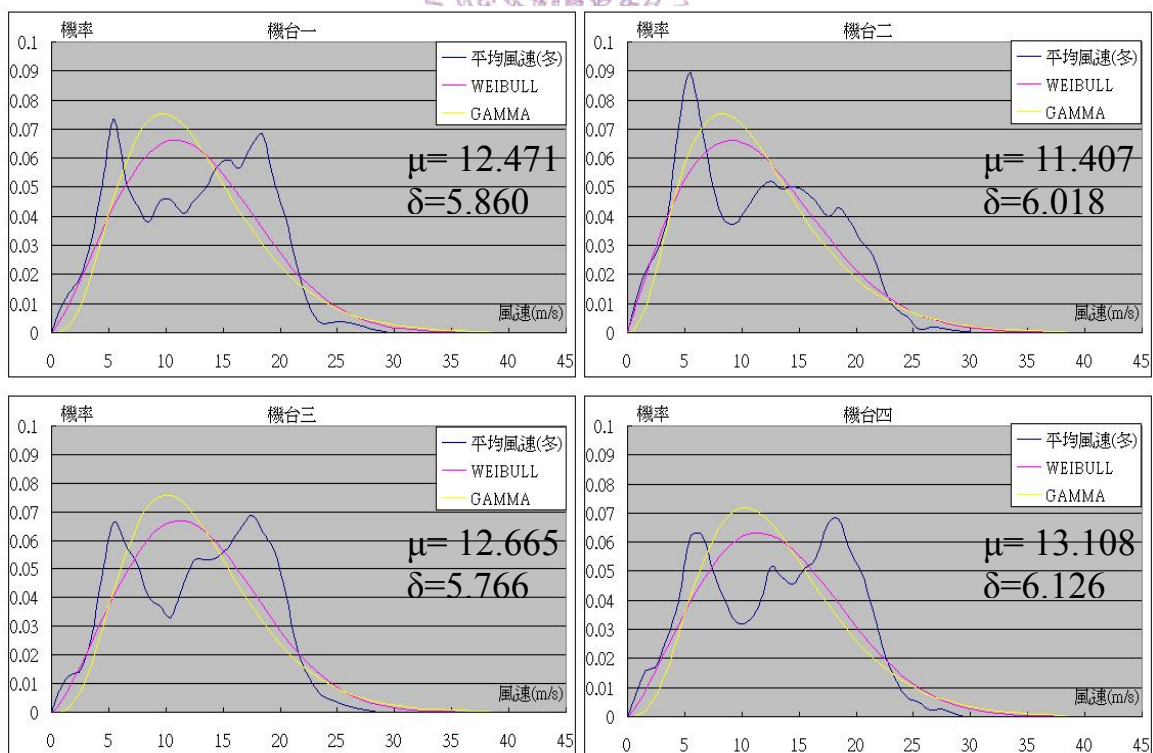


圖 3-39 2005 年冬季平均風速機率密度函數圖(西方國家分法)



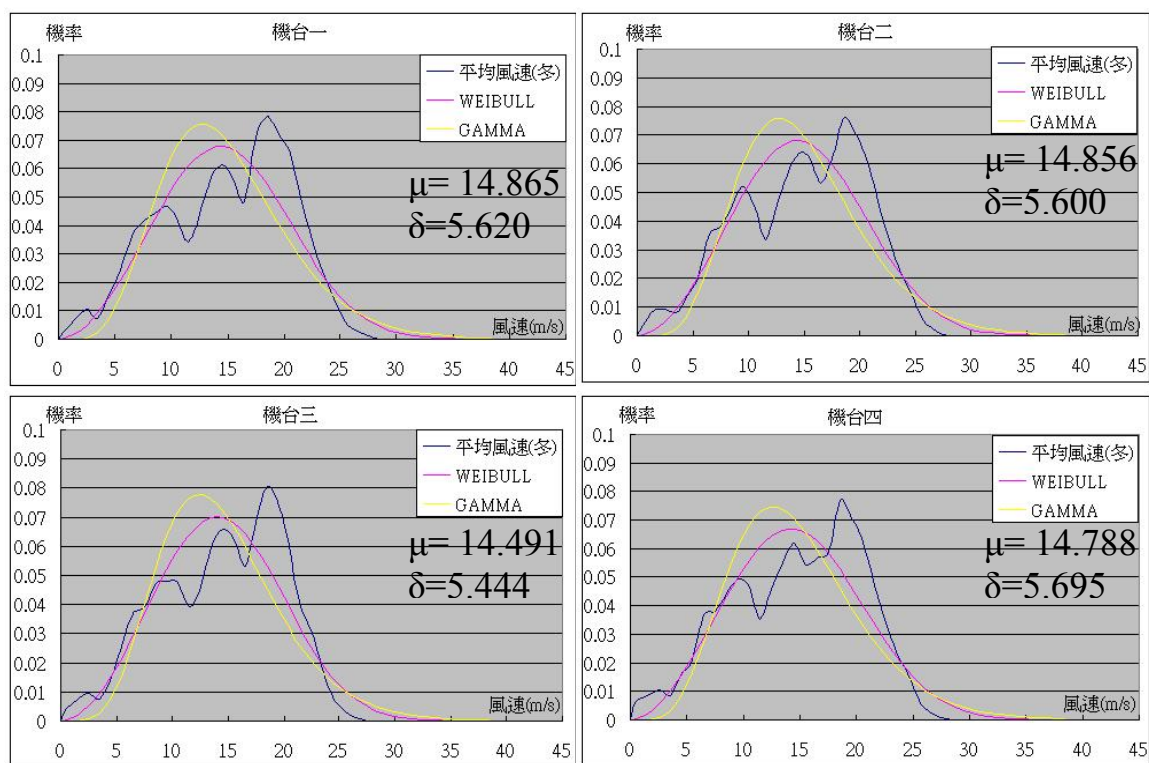


圖 3-40 2003 年冬季平均風速機率密度函數圖(我國現行分法)

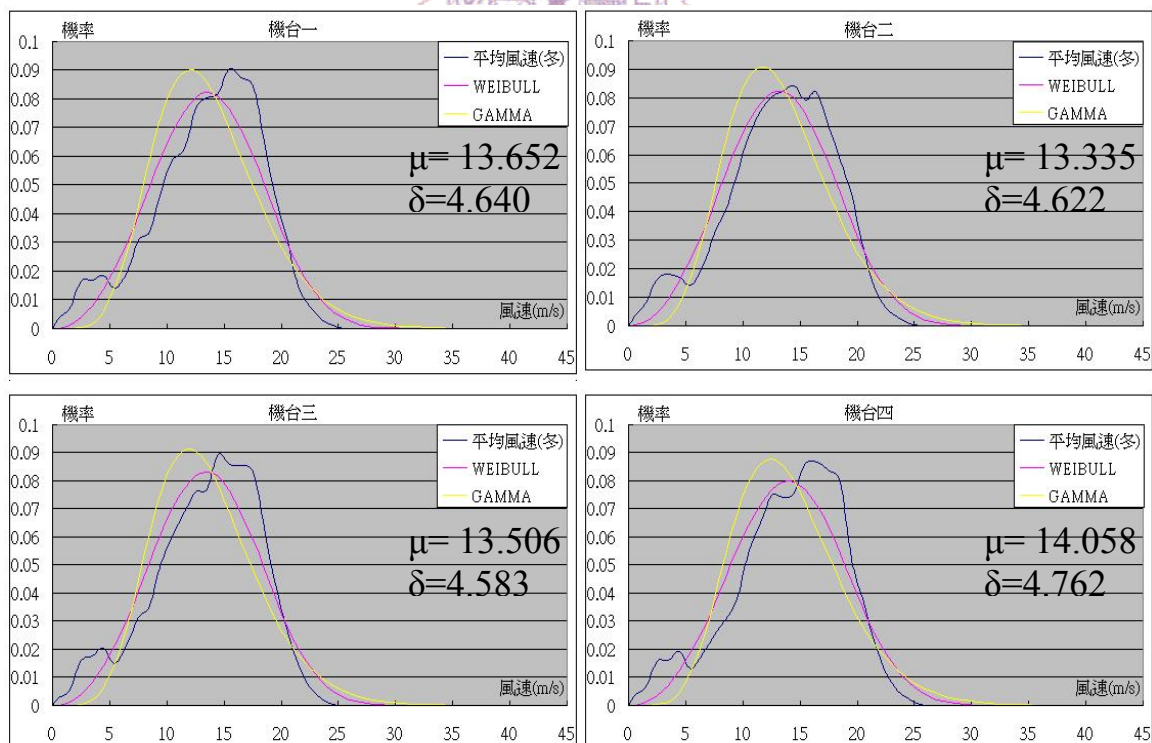


圖 3-41 2004 年冬季平均風速機率密度函數圖(我國現行分法)



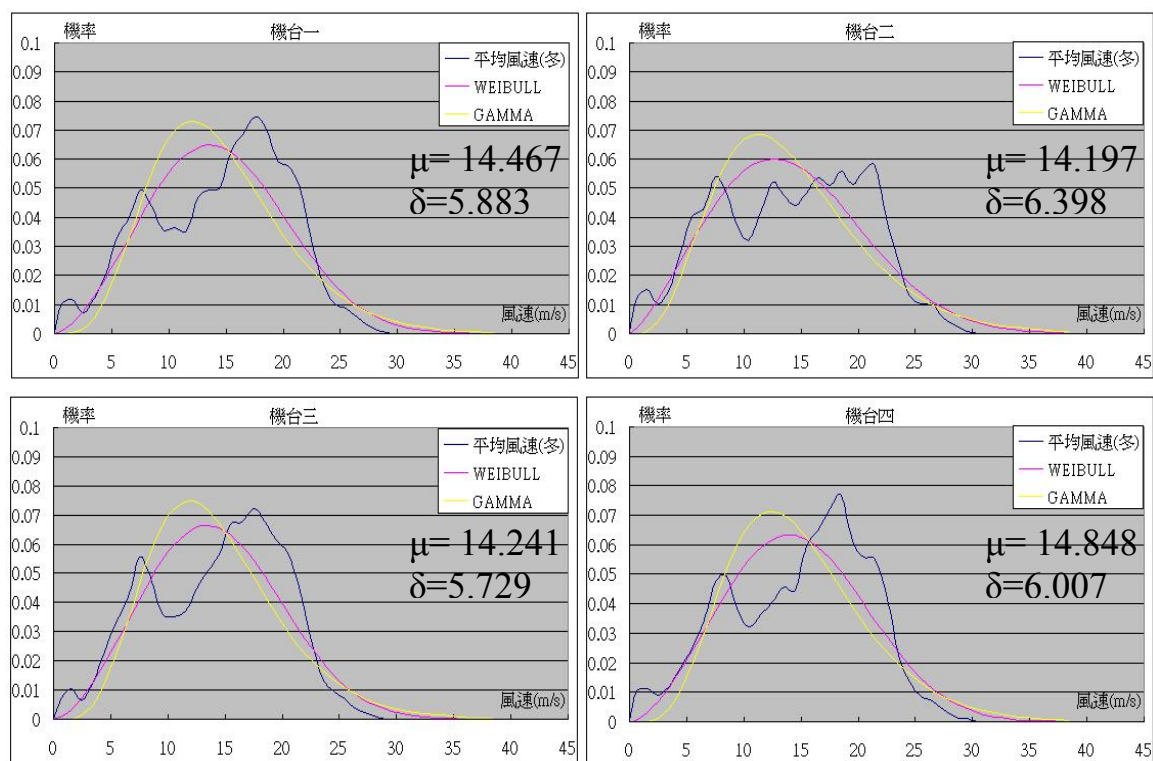


圖 3-42 2005 年冬季平均風速機率密度函數圖(我國現行分法)

### 3.2.6 卡方檢定

平均風速機率密度函數圖的分析上，春、秋兩季是兩季風交替的時節，以四季來說：春季是東北季風減弱，西南季風增強；夏季是西南季風；秋季是西南季風減弱，東北季風增強；冬季是東北季風。分析三年的結果顯示，剔除風速計故障不正常的資料及颱風的影響，仍以 2003 年的機率密度函數比較具有代表性。在四季的分類上『氣象學分法』較能表現四季交替的情形。

適合度檢定的分析上，由表 3-6、3-7、3-8 數據來看，韋伯分佈及伽馬分佈皆不適合，若兩者選擇的話，韋伯分佈在全年、春季、秋季、冬季的卡方檢定上比伽馬分佈適合用來描述風速機率密度函數圖；夏季風速機率密度函數圖伽馬分佈會比韋伯分佈好。

表 3-6 2003 年各機台適合度檢定值

2003		機台一		機台二		機台三		機台四	
		WEIBULL	GAMMA	WEIBULL	GAMMA	WEIBULL	GAMMA	WEIBULL	GAMMA
全年	$\chi^2$	4782.498411	6611.163787	4833.804072	7012.557633	4884.763635	7034.003237	4713.839658	6978.886185
	卡方值	$\chi^2_{27,0.05}=40.1133$		$\chi^2_{28,0.05}=41.3372$		$\chi^2_{26,0.05}=38.8852$		$\chi^2_{27,0.05}=40.1133$	
春	$\chi^2$ (氣象學)	1183.089377	1720.583415	1195.629976	1650.222197	1130.044223	1627.268401	1121.202912	1676.677463
	卡方值	$\chi^2_{21,0.05}=32.6705$		$\chi^2_{21,0.05}=32.6705$		$\chi^2_{21,0.05}=32.6705$		$\chi^2_{21,0.05}=32.6705$	
	$\chi^2$ (西方)	656.3825414	1032.71985	687.5004492	933.6857143	610.2642143	923.3694831	574.8946284	989.1574527
	卡方值	$\chi^2_{19,0.05}=30.1435$		$\chi^2_{20,0.05}=31.4104$		$\chi^2_{20,0.05}=31.4104$		$\chi^2_{20,0.05}=31.4104$	
	$\chi^2$ (我國)	1112.108336	1788.040857	1096.589707	1721.456325	1037.976113	1740.745643	1096.716058	1773.059654
夏	卡方值	$\chi^2_{21,0.05}=32.6705$		$\chi^2_{21,0.05}=32.6705$		$\chi^2_{21,0.05}=32.6705$		$\chi^2_{21,0.05}=32.6705$	
	$\chi^2$ (氣象學)	1138.892782	570.4903792	1230.887714	1004.632761	1228.787976	767.9917158	1168.54417	991.2312049
	卡方值	$\chi^2_{17,0.05}=27.5871$		$\chi^2_{18,0.05}=28.8693$		$\chi^2_{17,0.05}=27.5871$		$\chi^2_{17,0.05}=27.5871$	
	$\chi^2$ (西方)	11696.5979	1462.112301	11132.72535	1698.123886	19713.4176	1736.107179	11575.73653	1627.184664
	卡方值	$\chi^2_{27,0.05}=40.1133$		$\chi^2_{28,0.05}=41.3372$		$\chi^2_{26,0.05}=38.8852$		$\chi^2_{27,0.05}=40.1133$	
秋	$\chi^2$ (我國)	1437.376533	1040.809847	1622.655076	1132.674187	1597.090512	1163.235604	1529.446227	1284.13741
	卡方值	$\chi^2_{27,0.05}=40.1133$		$\chi^2_{18,0.05}=28.8693$		$\chi^2_{17,0.05}=27.5871$		$\chi^2_{17,0.05}=27.5871$	
	$\chi^2$ (氣象學)	2783.039272	7024.857668	2785.396097	7396.806084	2531.320088	6575.170694	2755.304939	7167.910545
	卡方值	$\chi^2_{27,0.05}=40.1133$		$\chi^2_{28,0.05}=41.3372$		$\chi^2_{26,0.05}=38.8852$		$\chi^2_{27,0.05}=40.1133$	
	$\chi^2$ (西方)	2582.213326	110636.0052	2416.320821	96780.45409	2570.325663	152116.3124	2358.471268	116861
冬	卡方值	$\chi^2_{25,0.05}=37.6525$		$\chi^2_{24,0.05}=36.4151$		$\chi^2_{25,0.05}=37.6525$		$\chi^2_{25,0.05}=37.6525$	
	$\chi^2$ (我國)	1730.462814	2010.584221	1502.009686	1884.402126	1595.816604	1849.948233	1677.985469	1983.23616
	卡方值	$\chi^2_{27,0.05}=40.1133$		$\chi^2_{28,0.05}=41.3372$		$\chi^2_{26,0.05}=38.8852$		$\chi^2_{27,0.05}=40.1133$	
	$\chi^2$ (氣象學)	1190.691365	9550.852713	984.0516176	10464.69229	1206.955775	17430.94211	1162.321836	17921.21784
	卡方值	$\chi^2_{26,0.05}=38.8852$		$\chi^2_{24,0.05}=36.4151$		$\chi^2_{23,0.05}=35.1725$		$\chi^2_{24,0.05}=36.4151$	
冬	$\chi^2$ (西方)	1143.864678	4661.35933	1293.056144	6174.677932	1328.351249	6987.450589	1372.070442	8076.459714
	卡方值	$\chi^2_{26,0.05}=38.8852$		$\chi^2_{23,0.05}=35.1725$		$\chi^2_{23,0.05}=35.1725$		$\chi^2_{26,0.05}=38.8852$	
	$\chi^2$ (我國)	1768.017978	176521.5644	1878.23156	299972.6907	2065.268947	394486.509	2616.922532	492895.282
	卡方值	$\chi^2_{26,0.05}=38.8852$		$\chi^2_{25,0.05}=37.6525$		$\chi^2_{25,0.05}=37.6525$		$\chi^2_{25,0.05}=37.6525$	

表 3-7 2004 年各機台適合度檢定值

2004		機台一		機台二		機台三		機台四	
		WEIBULL	GAMMA	WEIBULL	GAMMA	WEIBULL	GAMMA	WEIBULL	GAMMA
全年	$\chi^2$	3232.78695	9733.799277	2608.7813	11385.83332	2293.623591	8832.996358	3191.40564	9901.753615
	卡方值	$\chi^2_{25,0.05}=37.6525$		$\chi^2_{26,0.05}=38.8852$		$\chi^2_{25,0.05}=37.6525$		$\chi^2_{26,0.05}=38.8852$	
春	$\chi^2$ (氣象學)	619.1703156	1346.432699	693.3239628	1789.845726	376.6604551	1808.133188	658.3331604	1374.540094
	卡方值	$\chi^2_{24,0.05}=36.4151$		$\chi^2_{25,0.05}=37.6525$		$\chi^2_{22,0.05}=33.9244$		$\chi^2_{25,0.05}=37.6525$	
	$\chi^2$ (西方)	519.9396754	1501.353764	801.0324218	2657.451018	491.647726	2896.724212	695.6021626	1891.279315
	卡方值	$\chi^2_{20,0.05}=31.4104$		$\chi^2_{20,0.05}=31.4104$		$\chi^2_{17,0.05}=27.5871$		$\chi^2_{20,0.05}=31.4104$	
	$\chi^2$ (我國)	960.8120614	2143.619075	987.5472008	2456.840642	339.6172991	1572.200547	1034.328808	2147.130382
夏	卡方值	$\chi^2_{24,0.05}=36.4151$		$\chi^2_{25,0.05}=37.6525$		$\chi^2_{25,0.05}=37.6525$		$\chi^2_{25,0.05}=37.6525$	
	$\chi^2$ (氣象學)	431.1743002	724.1672869	401.5250304	1152.142898	300.4381185	505.2251575	416.0291221	529.994314
	卡方值	$\chi^2_{24,0.05}=36.4151$		$\chi^2_{24,0.05}=36.4151$		$\chi^2_{25,0.05}=37.6525$		$\chi^2_{26,0.05}=38.8852$	
	$\chi^2$ (西方)	639.1394824	554.5861067	515.1806616	724.2376559	623.9239033	497.2340495	763.4827225	455.8544725
	卡方值	$\chi^2_{24,0.05}=36.4151$		$\chi^2_{24,0.05}=36.4151$		$\chi^2_{25,0.05}=37.6525$		$\chi^2_{26,0.05}=38.8852$	
秋	$\chi^2$ (我國)	487.5280883	759.6391949	453.5189398	1419.642613	326.6658925	589.1300598	378.7724589	703.3243212
	卡方值	$\chi^2_{24,0.05}=36.4151$		$\chi^2_{24,0.05}=36.4151$		$\chi^2_{25,0.05}=37.6525$		$\chi^2_{26,0.05}=38.8852$	
	$\chi^2$ (氣象學)	2764.742005	13650.61561	2139.472532	11487.40004	2676.539942	12075.53124	2353.167268	9816.618639
	卡方值	$\chi^2_{25,0.05}=37.6525$		$\chi^2_{24,0.05}=36.4151$		$\chi^2_{25,0.05}=37.6525$		$\chi^2_{25,0.05}=35.1725$	
	$\chi^2$ (西方)	1945.512802	7641828.6	1018.030795	761096.3863	1303.715812	3785622.994	1863.943937	3711120.535
冬	卡方值	$\chi^2_{25,0.05}=37.6525$		$\chi^2_{26,0.05}=38.8852$		$\chi^2_{25,0.05}=37.6525$		$\chi^2_{24,0.05}=36.4151$	
	$\chi^2$ (我國)	1057.90692	3227.525164	733.6000861	2999.429736	1076.474915	2993.056994	860.9106032	2741.001875
	卡方值	$\chi^2_{25,0.05}=37.6525$		$\chi^2_{24,0.05}=36.4151$		$\chi^2_{25,0.05}=37.6525$		$\chi^2_{21,0.05}=32.6705$	
	$\chi^2$ (氣象學)	1134.328753	37221.48782	2913.649578	56348.35623	1122.685159	17013.09848	1170.353607	27534.68783
	卡方值	$\chi^2_{24,0.05}=36.4151$		$\chi^2_{26,0.05}=38.8852$		$\chi^2_{25,0.05}=37.6525$		$\chi^2_{25,0.05}=37.6525$	
冬	$\chi^2$ (西方)	1522.073191	14735.57739	1250.274966	11934.37334	1561.799474	10323.35324	1593.209166	14759.98089
	卡方值	$\chi^2_{24,0.05}=36.4151$		$\chi^2_{25,0.05}=37.6525$		$\chi^2_{25,0.05}=37.6525$		$\chi^2_{25,0.05}=37.6525$	
	$\chi^2$ (我國)	2552.163876	2177940.569	8090.799494	4496673.704	1937.273834	1280551.062	2824.671005	3214435.578
	卡方值	$\chi^2_{24,0.05}=36.4151$		$\chi^2_{26,0.05}=38.8852$		$\chi^2_{25,0.05}=35.1725$		$\chi^2_{24,0.05}=36.4151$	



表 3-8 2005 年各機台適合度檢定值

2005		機台一		機台二		機台三		機台四	
		WEIBULL	GAMMA	WEIBULL	GAMMA	WEIBULL	GAMMA	WEIBULL	GAMMA
全年	$\chi^2$	4930.806083	5858.672	4379.746829	4991.019766	5815.187263	6720.800083	5567.772727	6914.527613
	卡方值	$\chi^2_{32,0.05}=46.1845$		$\chi^2_{32,0.05}=46.1845$		$\chi^2_{29,0.05}=42.5569$		$\chi^2_{33,0.05}=47.3902$	
春	$\chi^2$ (氣象學)	989.3859207	721.7754569	970.369463	775.4498841	1276.402411	934.9027465	1491.830072	1152.678116
	卡方值	$\chi^2_{27,0.05}=40.1133$		$\chi^2_{27,0.05}=40.1133$		$\chi^2_{26,0.05}=38.8852$		$\chi^2_{27,0.05}=40.1133$	
	$\chi^2$ (西方)	1223.738899	1374.837886	789.1915486	2492.845351	1444.131328	1569.235355	1252.031835	1630.192475
	卡方值	$\chi^2_{21,0.05}=32.6705$		$\chi^2_{16,0.05}=26.2962$		$\chi^2_{20,0.05}=31.4104$		$\chi^2_{21,0.05}=32.6705$	
	$\chi^2$ (我國)	1214.914583	1295.420705	1115.746707	1135.326086	1573.415127	1649.491088	1674.786377	1785.276552
	卡方值	$\chi^2_{27,0.05}=40.1133$		$\chi^2_{27,0.05}=40.1133$		$\chi^2_{26,0.05}=38.8852$		$\chi^2_{27,0.05}=40.1133$	
夏	$\chi^2$ (氣象學)	5273.534516	3841.156981	5388.825511	3290.781179	7270.637845	3668.925248	5045.291628	2772.043969
	卡方值	$\chi^2_{30,0.05}=43.7729$		$\chi^2_{28,0.05}=41.3372$		$\chi^2_{26,0.05}=38.8852$		$\chi^2_{29,0.05}=42.5569$	
	$\chi^2$ (西方)	3989.0129	2962.154987	3203.753511	2475.995191	3814.32218	2911.251741	2587.677979	1796.454134
	卡方值	$\chi^2_{32,0.05}=46.1845$		$\chi^2_{32,0.05}=46.1845$		$\chi^2_{29,0.05}=42.5569$		$\chi^2_{33,0.05}=47.3902$	
	$\chi^2$ (我國)	6675.701008	2989.884823	4705.468618	2493.530488	6887.850115	2695.231974	4559.23051	2031.284797
	卡方值	$\chi^2_{30,0.05}=43.7729$		$\chi^2_{28,0.05}=41.3372$		$\chi^2_{26,0.05}=38.8852$		$\chi^2_{29,0.05}=42.5569$	
秋	$\chi^2$ (氣象學)	886.7711824	2342.747103	1107.018617	3013.76213	1042.959704	2158.444732	1142.633844	3080.593054
	卡方值	$\chi^2_{32,0.05}=46.1845$		$\chi^2_{32,0.05}=46.1845$		$\chi^2_{29,0.05}=42.5569$		$\chi^2_{33,0.05}=47.3902$	
	$\chi^2$ (西方)	2321.892109	24408.97768	2566.048294	32150.91513	1934.789254	15160.40299	2910.385869	40877.63402
	卡方值	$\chi^2_{28,0.05}=41.3372$		$\chi^2_{28,0.05}=41.3372$		$\chi^2_{26,0.05}=38.8852$		$\chi^2_{28,0.05}=41.3372$	
	$\chi^2$ (我國)	749.578167	896.1647428	854.4028232	1142.754757	874.0668539	1039.023569	769.7405369	1065.202331
	卡方值	$\chi^2_{32,0.05}=46.1845$		$\chi^2_{32,0.05}=46.1845$		$\chi^2_{29,0.05}=42.5569$		$\chi^2_{33,0.05}=47.3902$	
冬	$\chi^2$ (氣象學)	2034.176127	28224.624	1170.446703	4943.623874	2202.458962	28938.97714	2133.705766	32607.47614
	卡方值	$\chi^2_{27,0.05}=40.1133$		$\chi^2_{28,0.05}=41.3372$		$\chi^2_{26,0.05}=38.8852$		$\chi^2_{28,0.05}=41.3372$	
	$\chi^2$ (西方)	1990.024671	6808.209173	942.7221248	1841.413385	1937.07057	9078.308341	2048.208028	7768.423945
	卡方值	$\chi^2_{27,0.05}=40.1133$		$\chi^2_{27,0.05}=40.1133$		$\chi^2_{26,0.05}=38.8852$		$\chi^2_{27,0.05}=40.1133$	
	$\chi^2$ (我國)	3016.437941	245072.5055	1766.028871	34683.69834	2037.451194	114455.9017	3545.315657	353040.6678
	卡方值	$\chi^2_{27,0.05}=40.1133$		$\chi^2_{28,0.05}=41.3372$		$\chi^2_{26,0.05}=38.8852$		$\chi^2_{28,0.05}=41.3372$	

### 3.3 平均風速和平均轉速關係圖

四部機台為可變速風力機組，風速為 2.5 m/s 時，平均轉速為約為 15rpm，隨著風速的增加，機台操作在不同轉速下，直至風速約為 12.5m/s 的時候，風機達到額定輸出 600KW，此時轉速約為 33rpm，此轉速一直維持至停機風速 25 m/s，如圖 3-43~3-45 所示。

另外，除了本身機台真正發電時風速和轉速的關係曲線外，亦有一條斜直線及水平線構成的曲線，此曲線為機台停機時的曲線，在研究風速和轉速關係時，不應將此曲線納入考量。

由所有風速對轉速關係圖可觀察到 2003~2005 年四部機台皆有停機的時候，機台二在 2004 年十月至 2005 年 3 月整整六個月停機，由圖 3-44 和 3-45 可以看出很明顯的停機曲線。2004 年三月至四月機台三亦停機二個月，由圖 3-44 可看出停機曲線。唯一停機曲線較不明顯的為 2004 及 2005 的機台四，可知其發電量和容量因素比同一年其它機台高(參考表 3.10)。

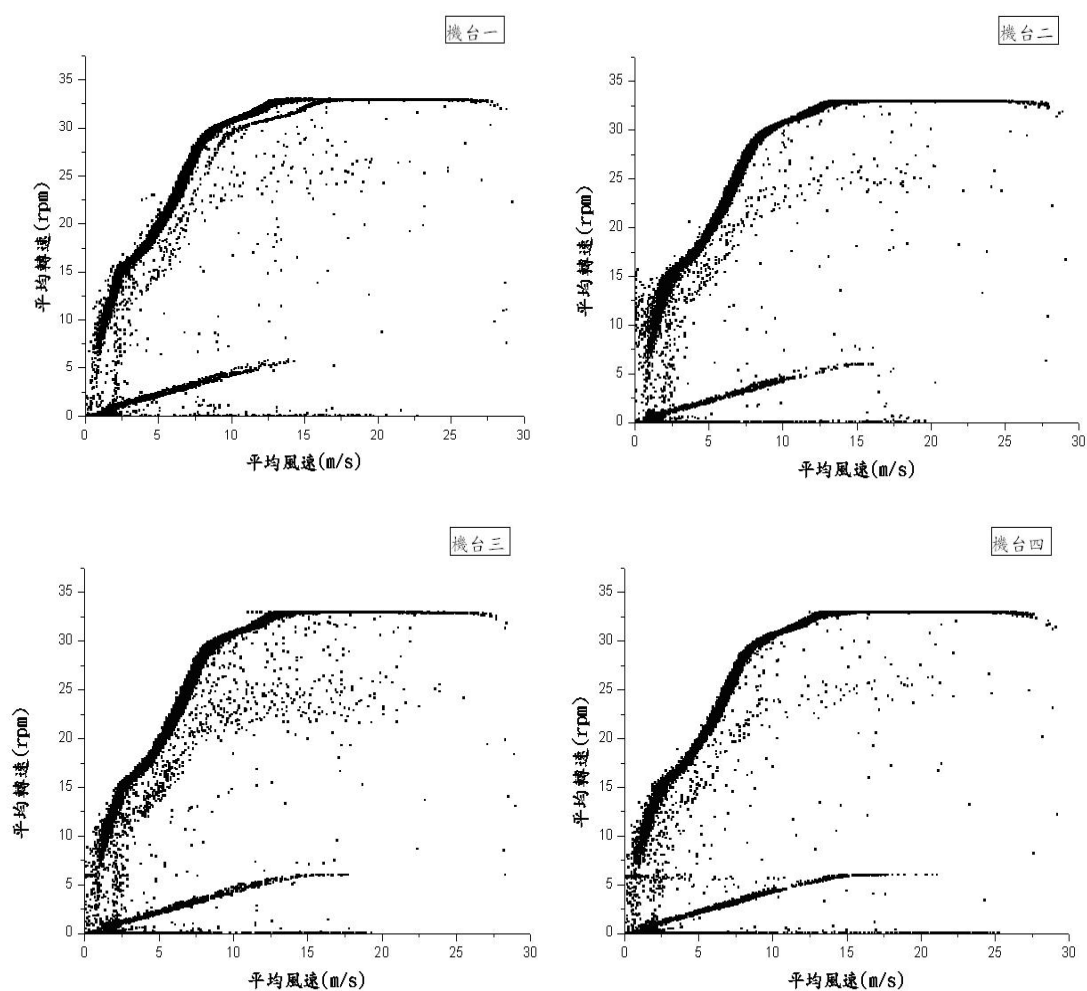


圖 3-43 2003 年各機台風速和轉速關係圖

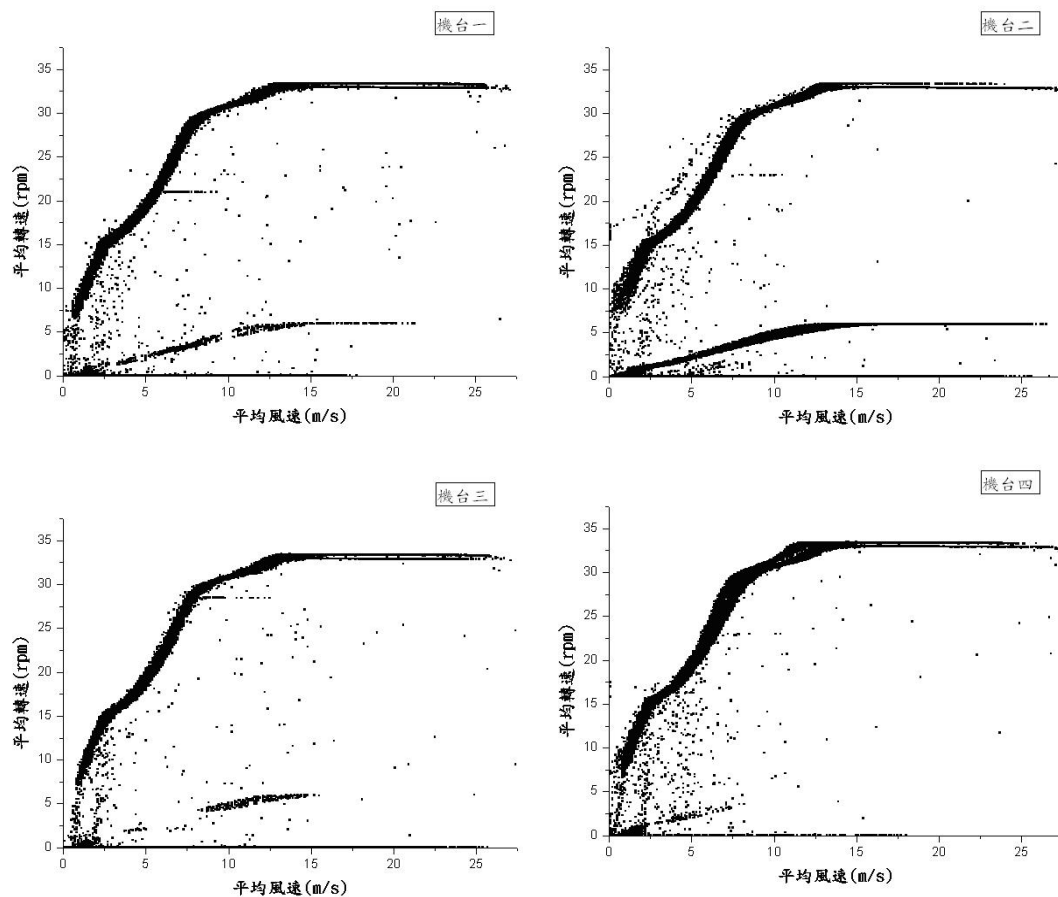


圖 3-44 2004 年各機台風速和轉速關係圖

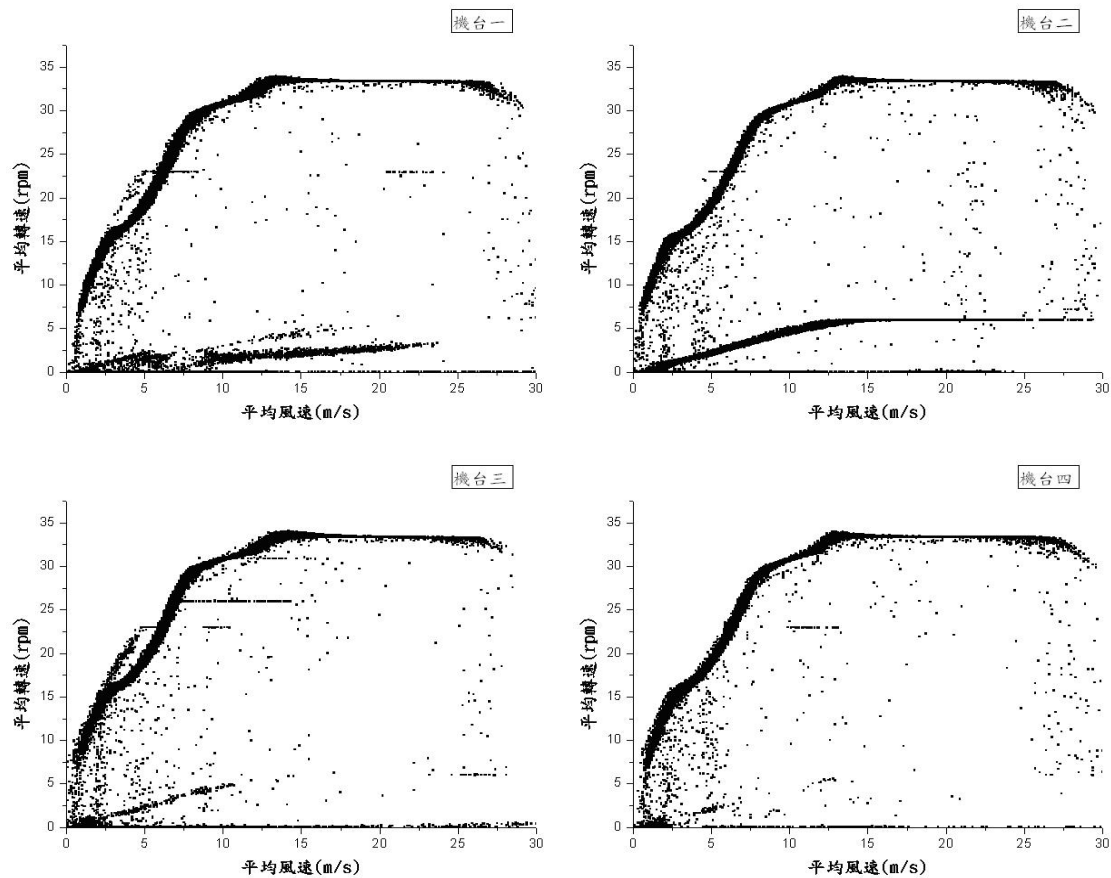


圖 3-45 2005 年各機台風速和轉速關係圖



### 3.4 平均轉速和平均輸出關係圖

由圖 3-46~3-48 可看出，當轉速大於 15rpm 時，機台開始有明顯的線性輸出，直到風速達 29rpm 後，又以另一線性關係存在，直到轉速越接近 33 rpm 時越趨於緩和。其餘不在此曲線上的點代表不正常運作的數據。

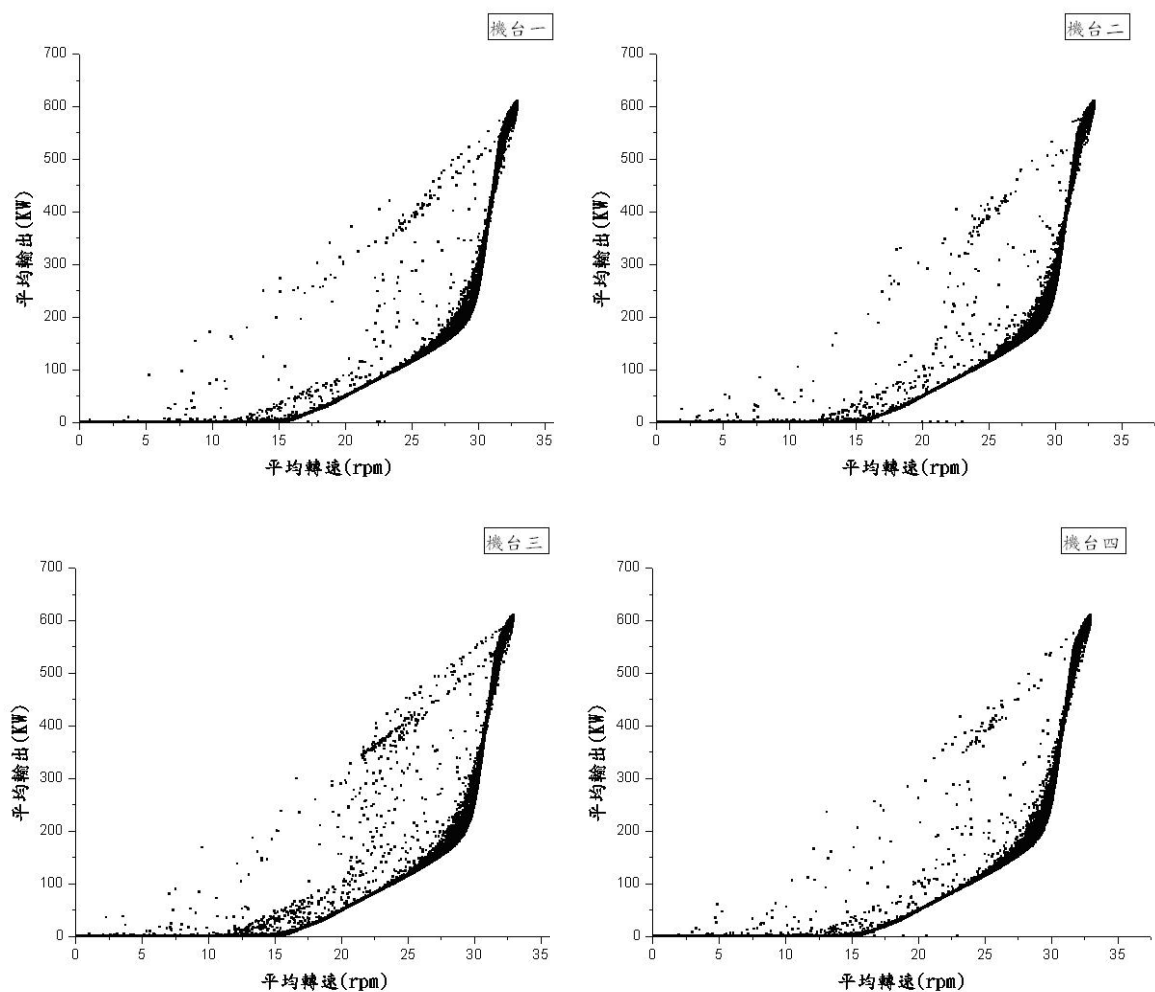


圖 3-46 2003 年各機台轉速和輸出關係圖

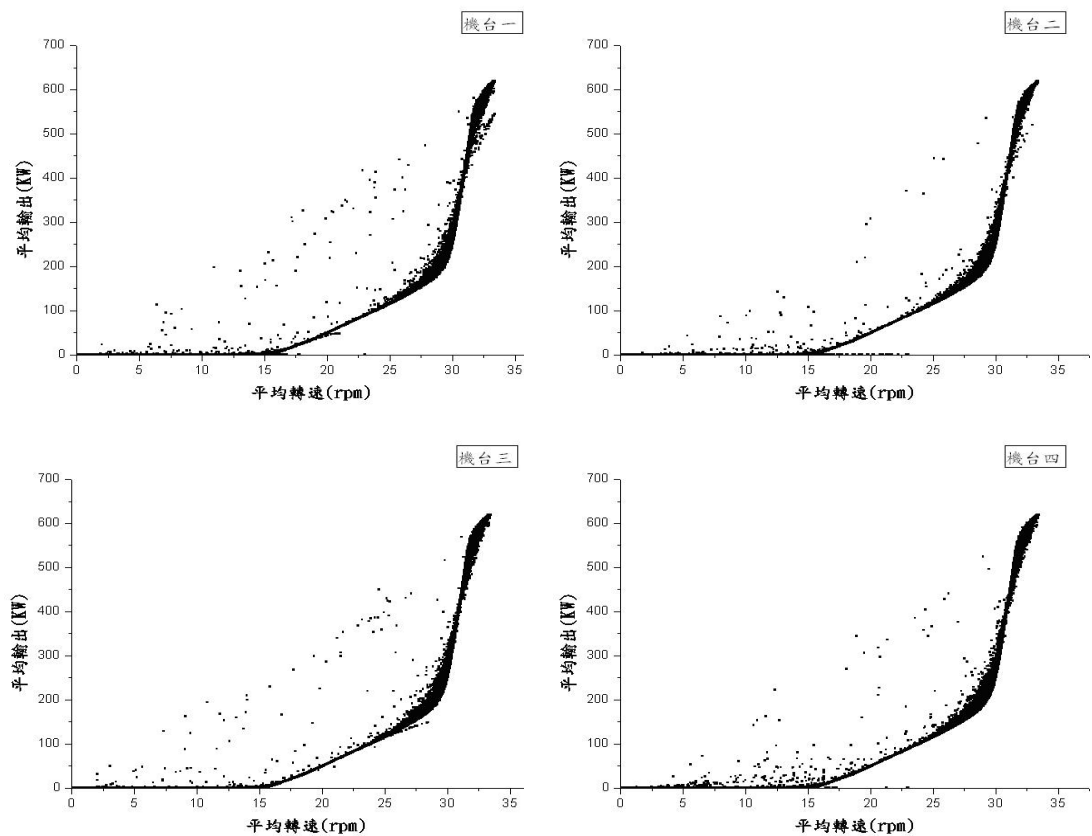


圖 3-47 2004 年各機台轉速和輸出關係圖

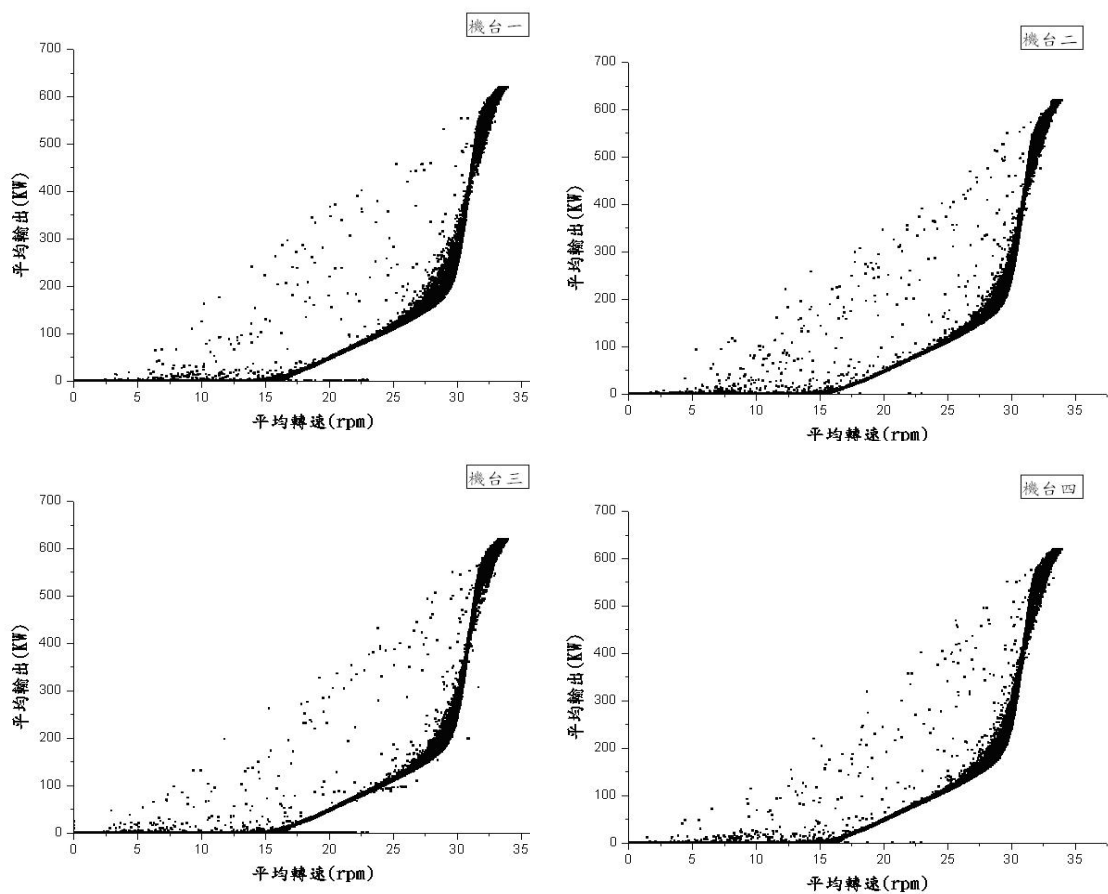


圖 3-48 2005 年各機台轉速和輸出關係圖

### 3.5 平均風速和平均輸出關係圖

如圖 3-49~3-51 所示，機台的設計最大輸出功率是 600 kW，起始風速是 2 m/s，停機風速是 25 m/s，所以圖上顯示曲線上升點是在風速 2 m/s，記錄點在風速 25 m/s 之後逐漸消失。風速約在 12.5 m/s 時達到機台額定輸出功率 600 kW，大於 12.5 m/s 的風速，風機維持額定輸出功率 600 KW。由圖中亦可看出 2003 年機台一和 2004 年機台四發電機系統的不穩定性。

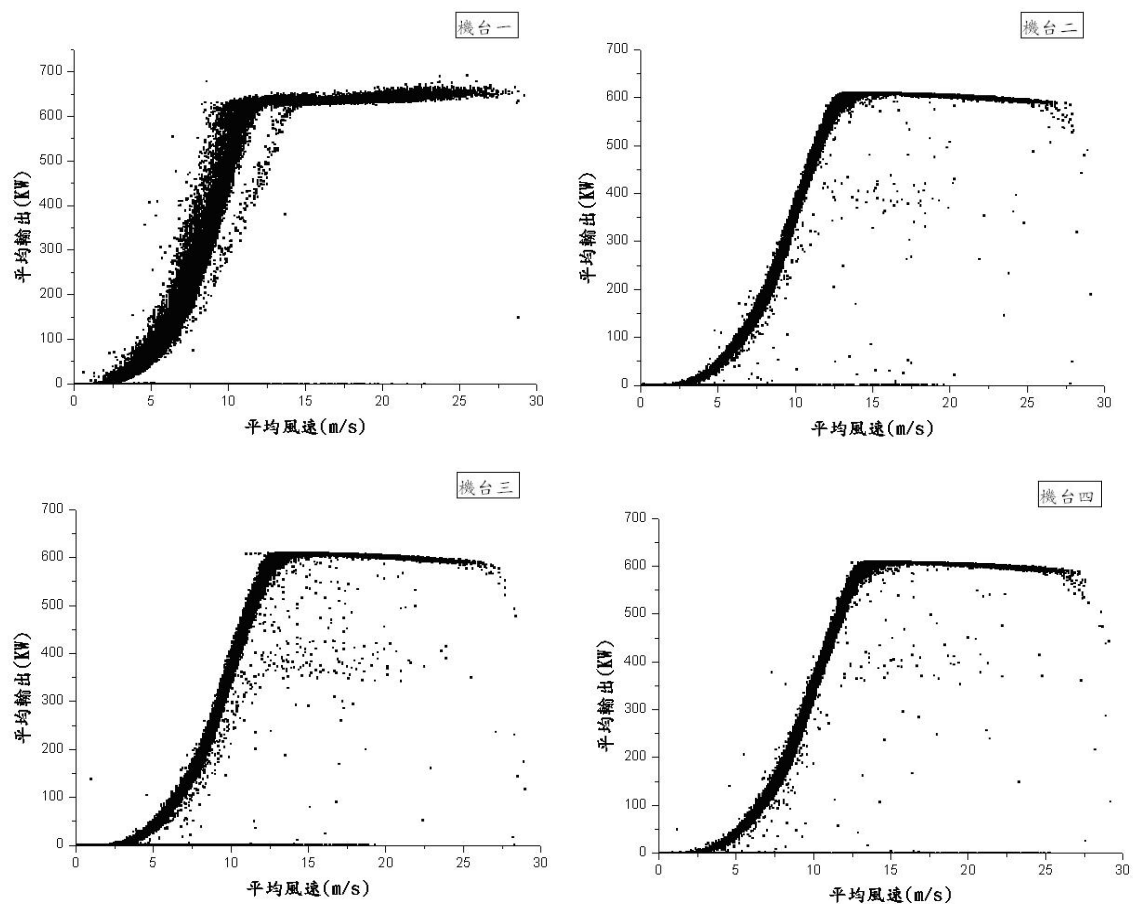


圖 3-49 2003 年各機台風速和輸出關係圖

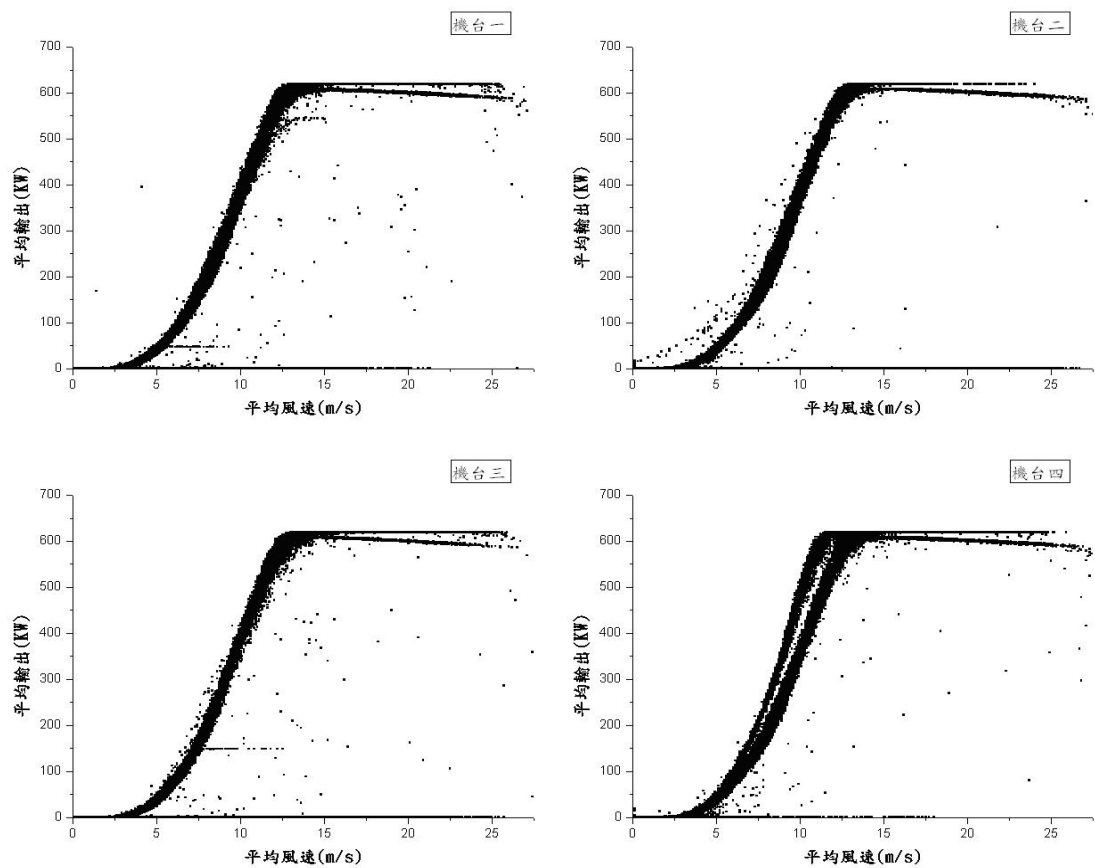


圖 3-50 2004 年各機台風速和輸出關係圖

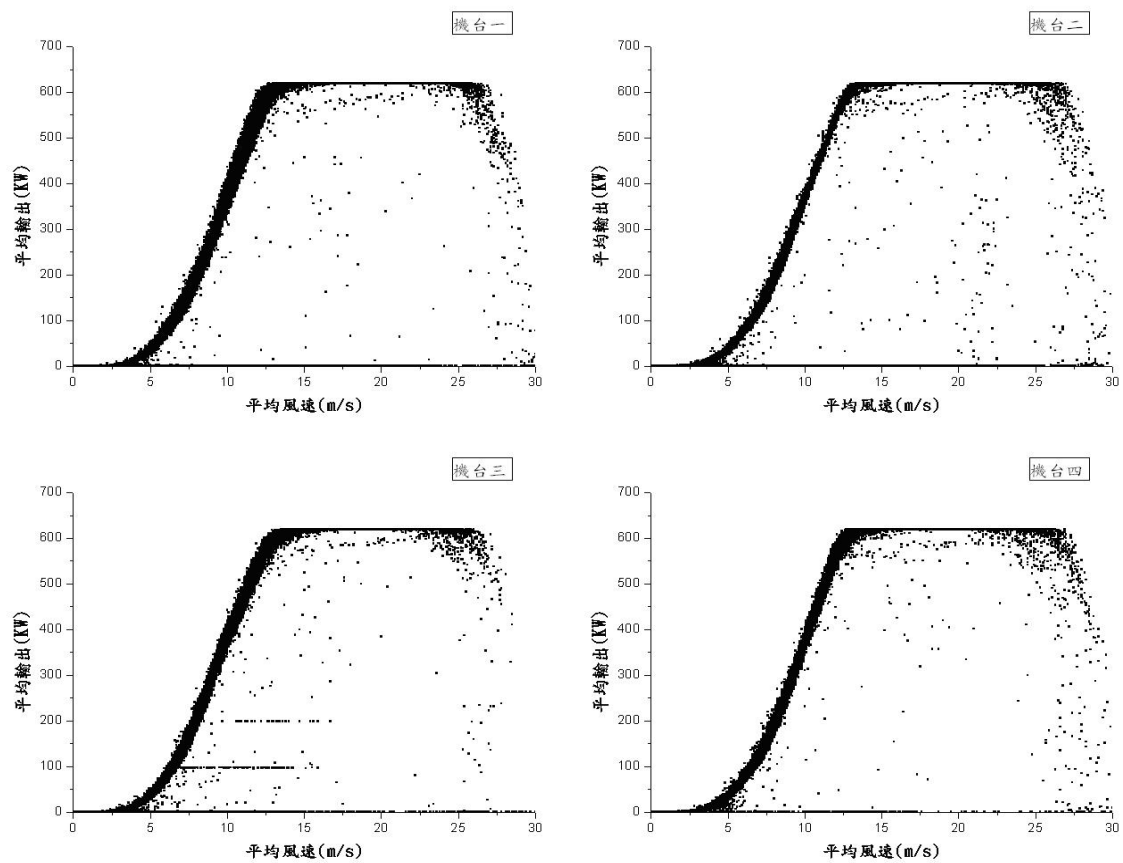


圖 3-51 2005 年各機台風速和輸出關係圖

風速在大於 12.5 m/s 就達機台額定輸出功率，但是澎湖地方最大的平均風速可以到達 29.2 m/s，意味著最大輸出功率 600 kw 的機台並沒有充份利用澎湖當地的風能，可由風速和輸出功率關係式推算到底有多少百分比的風能被浪費。

首先將同一個風速下的平均輸出取平均，得到平均風速下，平均輸出平均值的曲線，但是這個平均輸出的平均值是否能真正代表之後推算浪費百分比的依據？由於在同一個風速下，有不同時間所記錄的風速，所以先觀察最大、最小值是否離平均值差距是否會很大，如圖 3-52 所示，圖中顯示最大值和平均值差距不大，可是最小值呈現很大的差距，但這是否只是少數的數據在主導？所以再取 95 百分位數及 5 百分位數和平均值正負一個標準差來觀察，分別如圖 3-53 和 3-54 所示，證明平均輸出的平均值能代表同一個平均風速下的平均輸出。

風力發電的輸出功率和風速呈三次方關係，所以取平均風速 2 m/s ~12 m/s 來建立出三次方的曲線，如圖 3-55 所示。2003 年各機台風速和輸出功率三次方關係式如表 3-8 所示。由於 2004 年和 2005 年有刪除不正常的資料，所以只取 2003 年來代表各機台風速和輸出功率的關係式。

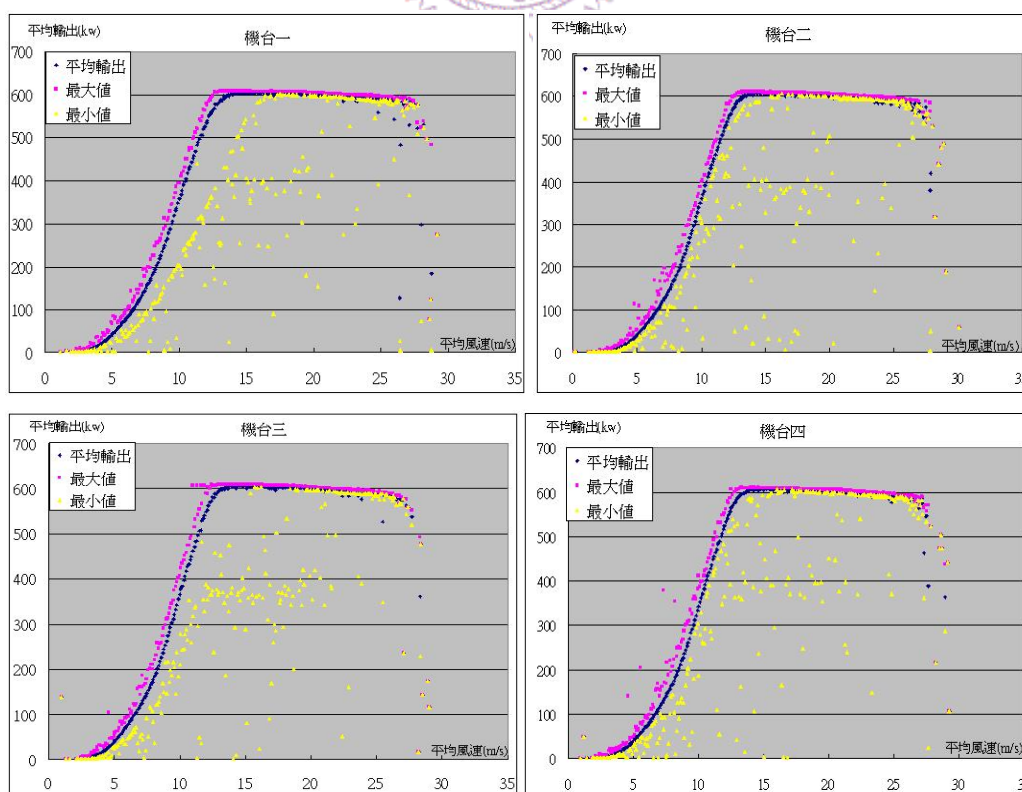


圖 3-52 2003 年各機台平均輸出和最大、最小值關係圖



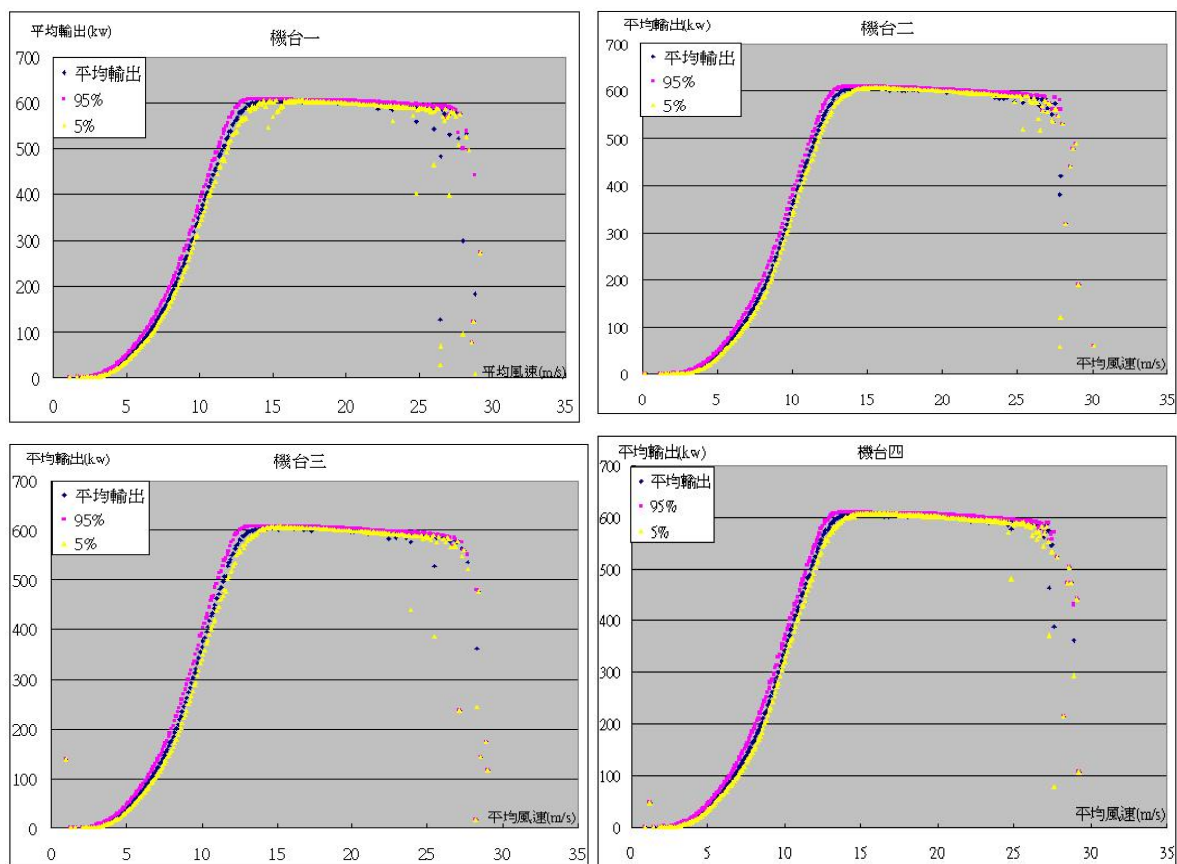


圖 3-53 2003 年各機台平均輸出功率和 95、5 百分位關係圖

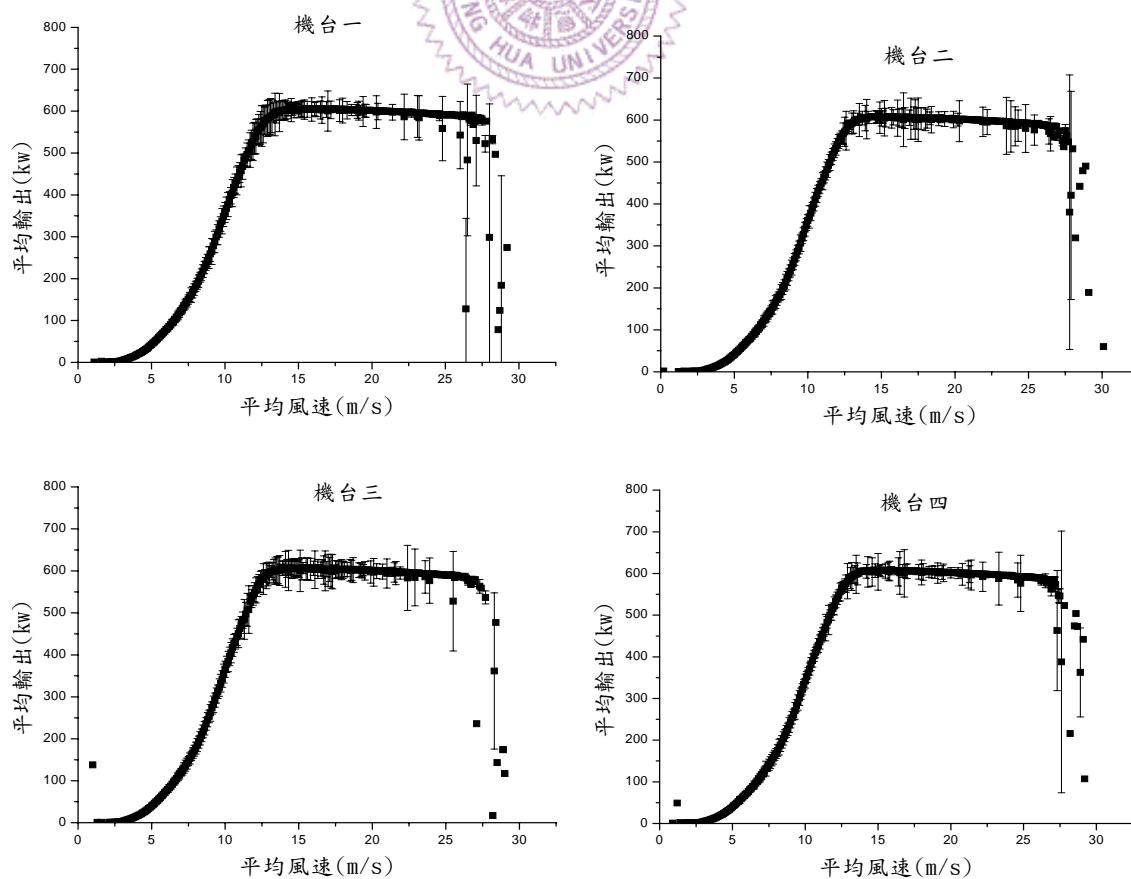


圖 3-54 2003 年各機台平均輸出功率正負一個標準差關係圖

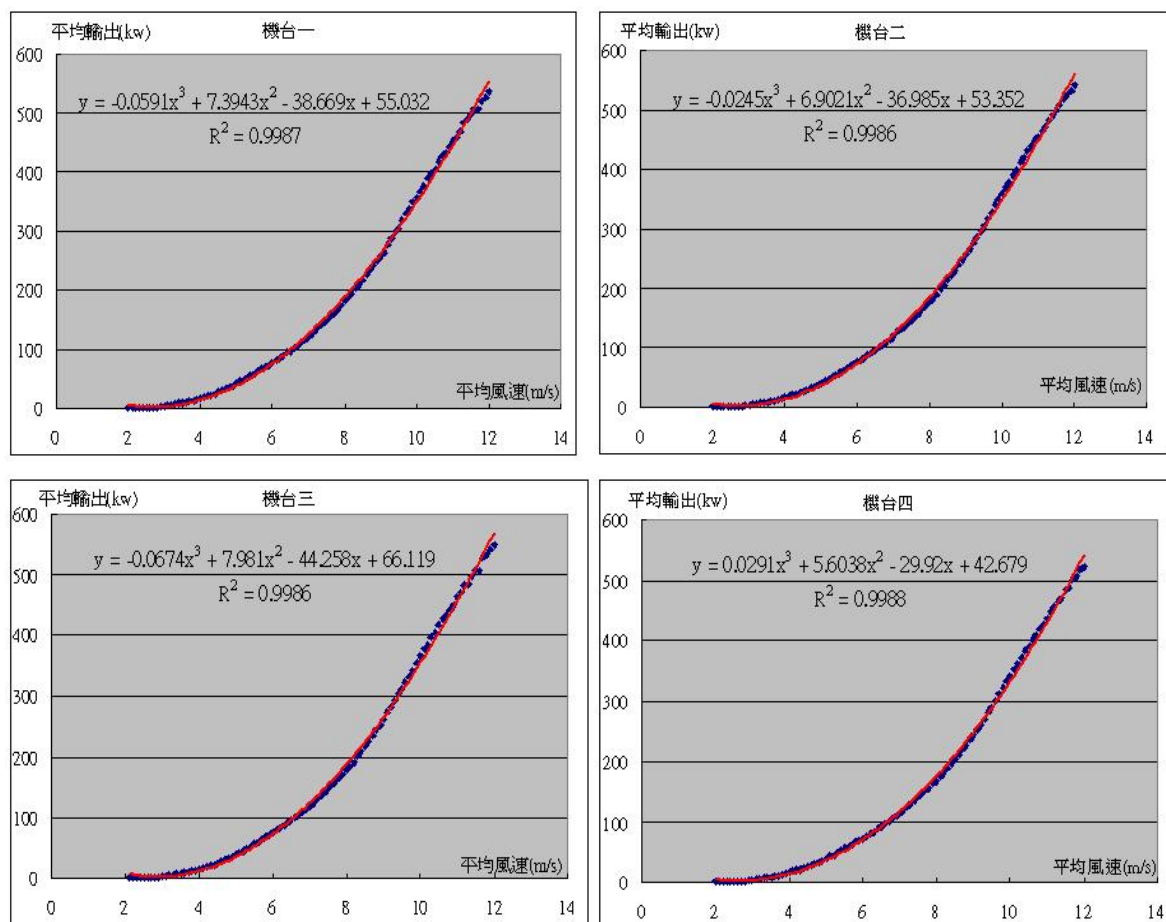


圖 3-55 2003 年各機台平均風速和平均輸出三次方關係圖

表 3-9 2003 年各機台平均風速和平均輸出三次方關係式

	公式	相關係數 ( $R^2$ )
機台一	$p = -0.0591V^3 + 7.3943V^2 - 38.669V + 55.032$	0.9987
機台二	$p = -0.0245V^3 + 6.9021V^2 - 36.985V + 53.352$	0.9986
機台三	$p = -0.0674V^3 + 7.981V^2 - 44.258V + 66.119$	0.9986
機台四	$p = 0.0291V^3 + 5.6038V^2 - 29.92V + 42.679$	0.9988

### 3.6 浪費百分比

找出各機台平均風速和平均輸出之平均值的三次方關係式後，利用公式來推估風速 12 m/s 之後能產生的輸出功率，減去實際的輸出功率，再乘上此風速韋伯機率密度函數機率和全年總時間 8740 小時乘積之值(即整年度此風速所佔的時數)，將不同風速計算的值累加得到機台浪費的發電量，再和實際機台記錄的真正發電量比較，可得機台浪費的百分比。各機台的數據整理如下表 3-10 所示。至於 2004 及 2005 年因刪除不正常的資料較多，不具代表性，理論上來說應該比 2003 年推估出來的浪費百分比高。

表 3-10 2003 年各機台容量因數及浪費百分比

	機台一	機台二	機台三	機台四
機台真正發電量(度)	2,441,846	2,497,512	2,457,780	2,430,605
浪費發電量(度)	2,066,324	2,372,504	2,120,982	2,451,196
浪費百分比	45.8%	48.7%	46.3%	50.2%

浪費百分比 = 年發電量 /  $P_{out}$  曲線預估發電量

各機台的浪費百分比介於 45~51% 中，也就是說 600kW 的機台(塔高 46m，葉片旋轉直徑 43.7m)並沒有充份利用風能，只要風速大於 12m/s 以上即達額定輸出功率，無法在高風速下，產生更大的輸出，且由台電公司針對澎湖湖西風力發電可行性研究報告[20]中，指出平均每部額定輸出 850kW 機台(塔高 44m，葉片旋轉直徑 52m)一年的發電量為約 3.3GWh(容量因數 43%)，比現行中屯每部機台一年的發電量 2.4GWh 高。建議以後裝設的風機可以選擇大於 600 kW 以上的風機，如此風能的利用效率才能提高。

### 3.7 發電量與容量因數

首先定義容量因數為實際的發電量和機台以滿載運轉一年的發電量之比值。由表 3-11 可得知 2003 至 2005 年各月及整年發電量和容量因數。

表 3-11 2003 至 2005 年各機台發電量及容量因數

年	月	機台一		機台二		機台三		機台四	
		發電量 (KW-H)	容量因數 (%)	發電量 (KW-H)	容量因數 (%)	發電量 (KW-H)	容量因數 (%)	發電量 (KW-H)	容量因數 (%)
2003	1	332,949	74.6	340,645	76.3	333,022	74.6	289,454	64.8
	2	212,866	52.8	215,880	53.5	215,737	53.5	209,897	52.1
	3	240,227	53.8	249,484	55.9	234,856	52.6	245,393	55.0
	4	132,711	30.7	148,813	34.4	149,408	34.6	143,814	33.3
	5	151,884	34.0	151,662	34.0	153,119	34.3	147,970	33.1
	6	134,971	31.2	135,876	31.5	135,305	31.3	138,287	32.0
	7	49,440	11.1	51,972	11.6	49,657	11.1	51,404	11.5
	8	52,911	11.9	51,663	11.6	47,752	10.7	50,722	11.4
	9	146,988	34.0	146,757	34.0	150,108	34.7	150,413	34.8
	10	307,410	68.9	313,369	70.2	312,560	70.0	313,379	70.2
	11	333,165	77.1	337,159	78.0	329,504	76.3	339,619	78.6
	12	346,423	77.6	354,333	79.4	346,854	77.7	350,354	78.5
總合		2,441,945	46.5	2,497,613	47.5	2,457,882	46.8	2,430,706	46.2
2004	1	363,640	81.5	371,708	83.3	371,431	83.2	369,166	82.7
	2	234,497	56.2	232,725	55.7	77,880	18.6	234,617	56.2
	3	292,601	65.5	259,070	58.0	-	0.0	301,177	67.5
	4	151,616	35.1	153,578	35.6	-	0.0	153,250	35.5
	5	102,125	22.9	106,014	23.7	65,957	14.8	103,211	23.1
	6	61,854	14.3	178,913	41.4	191,029	44.2	191,486	44.3
	7	89,198	20.0	34,498	7.7	89,734	20.1	85,669	19.2
	8	49,233	11.0	67,766	15.2	100,134	22.4	94,249	21.1
	9	144,896	33.5	35,913	8.3	145,555	33.7	139,618	32.3
	10	420,247	94.1	-	0.0	397,589	89.1	432,701	96.9
	11	307,824	71.3	-	0.0	281,683	65.2	309,355	71.6
	12	396,907	88.9	-	0.0	377,617	84.6	401,120	89.9
總合		2,614,638	49.6	1,440,185	27.3	2,098,609	39.8	2,815,619	53.4
2005	1	330,687	74.1	-	0.0	334,023	74.8	342,844	76.8
	2	204,099	50.6	-	0.0	259,128	64.3	268,389	66.6
	3	191,395	42.9	-	0.0	284,130	63.6	247,523	55.4
	4	94,042	21.8	87,408	20.2	90,101	20.9	93,379	21.6
	5	112,615	25.2	118,113	26.5	90,624	20.3	118,206	26.5
	6	93,335	21.6	106,380	24.6	92,780	21.5	108,478	25.1
	7	76,852	17.2	84,552	18.9	56,353	12.6	86,045	19.3
	8	63,306	14.2	86,437	19.4	82,243	18.4	90,207	20.2
	9	118,078	27.3	94,055	21.8	35,088	8.1	128,841	29.8
	10	348,156	78.0	367,261	82.3	355,755	79.7	369,298	82.7
	11	257,144	59.5	191,462	44.3	251,705	58.3	257,129	59.5
	12	398,616	89.3	396,653	88.9	395,609	88.6	402,182	90.1
總合		2,288,325	43.5	1,532,321	29.2	2,327,539	44.3	2,512,521	47.8

由發電量觀察，可看出風力發電在台灣困境，夏天用電量最高，但發電量卻最少。由容量因素觀察，不考慮 2004 年機台二、三及 2005 年機台二因發電機故障而停機的機台，年容量因數介於 43~54% 之間，具有相當高的利用率，算是運轉相當不錯的機台，尤其以 2004 年機台四運轉的最好，年容量因數高達 53.4%。



2004 及 2005 年七、八月因颱風的作用，月容量因數比 2003 年高。另外 2004 年六月因資料顯示此月容量因素異常高，主要因為康森及敏督利中颱的影響，機台一因為 6/10~6/12 停機，少了康森颱風作用的發電量，且此月其它時間也有停機的時候，故容量因數比其它機台低。

影響風機年發電量的因素有此年風速強弱的自然因素、風機運轉效能的機械因素，為了進一步量化各項因素的影響，本研究定義三個名詞，總容量因數(total capacity factor)、自然容量因數(natural capacity factor)及機械容量因數(mechanical capacity factor)。總容量因數定義為當年實際發電量除以根據當年風速和輸出關係曲線及韋伯機率密度函數推算出的最大發電量，此值為自然容量因數和機械容量因數的乘積。藉此定義來觀察年度中機台發電量的差異主要是由自然因素或機械因素何者所影響。如表 3-12 所示，自然容量因數皆以 2003 年風能密度為分母當作基礎來觀察 2004 和 2005 年機台接受的風能是否比 2003 年高或低，最後推算出機械容量因數。

機台一：由自然容量因數可看出 2004 年風的潛能比 2003 年稍好，年發電量雖比 2003 年高，但機台運轉效能仍有改進的空間。2005 年風的潛能比 2003 年稍好，但機械運轉效能較差，導致發電量比 2003 年低。

機台二：2004 年風的潛能比 2003 年稍差，但機械容量因數很低，顯示此年機械運轉狀況不佳，使得發電量下降，主因在於 2004 年十月至十二月停機。2005 年亦是相同的情況，風的潛能比 2003 年稍差，機械容量因數很低，肇因於一月至三月停機。

機台三：2004 年風的潛能比 2003 年好，機械容量因數低，主要是因為三、四月停機，所以發電量比 2003 年少。2005 年風的潛能比 2003 年差，機械容量因數比 2003 年低，可提升機械運轉效能，來增加發電量。

機台四：2004 比 2003 年稍好，且機械運轉效能最佳，年發電量比 2003 年高出很多。根據定義，總容量因數最大為 1，分析的結果顯示總容量因數 1.03，顯然不合理，探究原因，主要為此年計算出的風速和輸出關係曲線無法真正代表

實際風速與輸出的關係圖，如圖 3-56 所示，以風速 10 m/s 而言，預測的輸出和實際的輸出誤差將近 100 KW，所以造成實際的發電量會比韋伯預測的發電電高，導致總容量因數大於 1。2005 年風的潛能比 2003 年稍好，但機械運轉效能比 2003 年稍低，可改進機械運轉效能提高發電量。

表 3-12 2003 至 2005 年各機台自然容量因數與機械容量因數

		真正發電量 (度)	韋伯分佈推算發電量(度)	總容量因數	風能密度 (W/m <sup>2</sup> )	自然容量因數 natural capacity factor	機械容量因數 mechanical capacity factor
機台一	2003	2,441,945	2,487,845	0.98	1,046	1.000	0.98
	2004	2,614,638	2,659,787	0.98	1,074	1.027	0.96
	2005	2,288,325	2,474,481	0.92	1,066	1.020	0.91
機台二	2003	2,497,613	2,512,375	0.99	1,070	1.000	0.99
	2004	1,440,185	2,652,916	0.54	1,057	0.988	0.55
	2005	1,532,321	2,381,666	0.64	1,033	0.965	0.67
機台三	2003	2,457,882	2,500,593	0.98	1,038	1.000	0.98
	2004	2,098,609	2,729,832	0.77	1,082	1.043	0.74
	2005	2,327,539	2,453,950	0.95	1,027	0.989	0.96
機台四	2003	2,430,706	2,486,356	0.98	1,080	1.000	0.98
	2004	2,815,619	2,726,274	1.03	1,081	1.001	1.03
	2005	2,512,521	2,532,720	0.99	1,118	1.035	0.96

風能密度(mean wind power density)= $0.5 \times \text{空氣密度} \times \text{風速三次方} \times \text{韋伯分佈機率}$

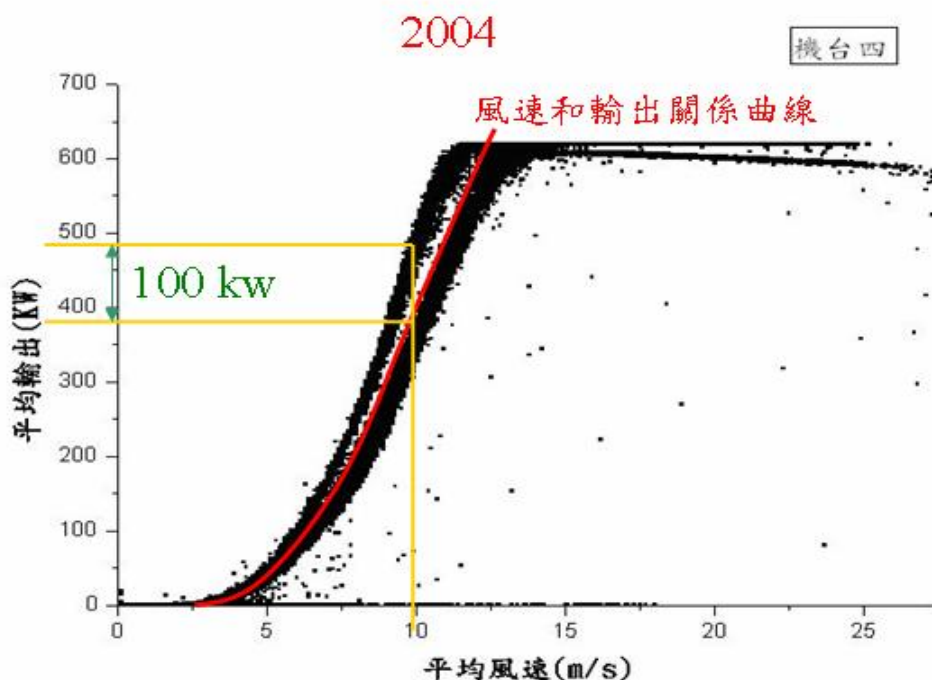


圖 3-56 2004 機台四總容量因數錯誤原因

### 3.8 風能輸出的預測分析

根據 Ali Naci Celik[13]的研究指出使用韋伯分佈預測小型風機的發電量是非常準確的，本研究亦使用此方法來驗證澎湖風能的輸出，同時也試驗伽馬函數是否可行。另外，因為本研究記錄的數據為每十分鐘平均風速，文獻[13]的分析的數據為每小時平均風速，所以也驗證每小時及每十分鐘兩者結果有何差異。

2003 年每部機台各月份的平均風速及標準差如表 3-13 所示，由韋伯及伽馬機率密度函數的平均及標準差公式(表 3-2)，可算出關係式中  $\alpha$  及  $\beta$  值，各機台韋伯及伽馬分佈之  $\alpha$ 、 $\beta$  值，如表 3-14、表 3-15 所示，進而求得分組後韋伯分佈的機率值  $fw(v_i)$  及  $fg(v_i)$ ，如表 3-16 所示，再依據公式(3-1)(3-2)(3-3)求得時間序列的發電量  $Est(\text{time-series wind speed data})$ 、韋伯表示的發電量  $Ewr(\text{the Weibull-representative wind speed data})$  及伽馬表示的發電量  $Egr(\text{the Gamma-representative wind speed data})$ ， $P_{out}$  可由表 3-8 的結果代入， $fw(v_i)$  和  $fg(v_i)$  可由表 3-16 得到。經此複雜的計算可得 2003 年各月  $Ets$ 、 $Ewr$ 、 $Egr$ ，如表 3-17。2003 年誤差如 3-18、3-19 所示，結果顯示韋伯表示的發電量  $Ewr$  比伽馬表示的發電量  $Egr$  誤差小且每十分鐘的誤差比每小時預測的發電量更精確。所以 2004 及 2005 年選用每十分鐘來預測機台發電量，誤差結果如表 3-20、3-21 所示。比較 2003~2005 年每十分鐘韋伯及伽馬分佈預測發電量的誤差圖，如圖 3-56、3-57 所示，可觀察出 2004 年七月預測誤差量最大，主因是本月份發電量低且受到敏督利颱風的影響增大了本月預測上的誤差。2005 年七、八、九月誤差量最大，主因也和 2004 相同，此期間有海棠、泰利、龍王三個強颱，馬莎、卡努、丹瑞三個中颱的影響。若忽略颱風所造成月份誤差的影響，2003 至 2005 年韋伯分佈預測的結果比伽馬分佈來的好。所以使用 Weibull 分佈來預測風能輸出是最好的。澎湖中屯發電機運轉資料分析的總結論描述於 5.1 節。

表 3-13 2003 年各機台平均風速及標準差

	機台一		機台二		機台三		機台四	
月份	平均風速	標準差	平均風速	標準差	平均風速	標準差	平均風速	標準差
1	14.18	5.71	13.56	5.17	13.43	5.15	13.23	5.34
2	10.14	5.63	10.36	5.78	10.31	5.74	10.39	5.80
3	10.25	5.70	10.48	5.89	10.42	5.85	10.54	5.93
4	7.57	4.75	7.80	4.88	7.78	4.84	7.87	4.86
5	7.58	4.65	7.76	4.75	7.72	4.74	7.80	4.78
6	7.50	3.46	7.47	3.54	7.46	3.51	7.56	3.54
7	5.35	1.79	5.37	1.77	5.42	1.74	5.50	1.77
8	4.74	2.76	4.65	2.77	4.68	2.65	4.76	2.66
9	7.50	5.05	7.56	5.15	7.49	5.07	7.72	5.23
10	12.60	5.86	12.94	6.02	12.61	5.83	13.11	6.07
11	14.83	5.86	15.13	6.05	14.71	5.78	15.21	6.04
12	14.78	5.33	15.12	5.47	14.49	5.40	15.20	5.46
年平均	9.75	4.71	9.85	4.77	9.71	4.69	9.91	4.79

表 3-14 2003 年各機台韋伯分佈之  $\alpha$   $\beta$  值

	機台一		機台二		機台三		機台四	
月份	$\alpha$	$\beta$	$\alpha$	$\beta$	$\alpha$	$\beta$	$\alpha$	$\beta$
1	0.001	2.676	0.000	2.842	0.000	2.826	0.001	2.667
2	0.011	1.871	0.010	1.860	0.010	1.866	0.010	1.858
3	0.010	1.866	0.011	1.846	0.011	1.850	0.010	1.843
4	0.030	1.636	0.029	1.642	0.028	1.649	0.027	1.663
5	0.028	1.677	0.026	1.679	0.027	1.672	0.026	1.680
6	0.007	2.302	0.009	2.228	0.008	2.246	0.008	2.259
7	0.003	3.290	0.003	3.339	0.002	3.451	0.002	3.432
8	0.051	1.774	0.057	1.732	0.048	1.833	0.045	1.854
9	0.040	1.514	0.042	1.494	0.041	1.506	0.040	1.503
10	0.002	2.280	0.002	2.275	0.002	2.293	0.002	2.291
11	0.000	2.735	0.000	2.697	0.000	2.751	0.000	2.716
12	0.000	3.023	0.000	3.019	0.000	2.918	0.000	3.040
平均	0.015	2.220	0.016	2.221	0.015	2.238	0.014	2.234

表 3-15 2003 各機台伽馬分佈之  $\alpha$   $\beta$  值

Gamma	機台一		機台二		機台三		機台四	
月份	$\alpha$	$\beta$	$\alpha$	$\beta$	$\alpha$	$\beta$	$\alpha$	$\beta$
1	6.168	2.299	6.873	1.973	6.802	1.975	6.133	2.157
2	3.245	3.124	3.210	3.227	3.228	3.194	3.206	3.241
3	3.229	3.173	3.166	3.310	3.178	3.279	3.159	3.337
4	2.542	2.977	2.561	3.047	2.581	3.013	2.620	3.005
5	2.660	2.850	2.668	2.908	2.647	2.915	2.670	2.923
6	4.710	1.593	4.442	1.682	4.509	1.655	4.553	1.660
7	8.936	0.599	9.176	0.585	9.738	0.557	9.641	0.570
8	2.946	1.610	2.821	1.649	3.127	1.497	3.192	1.491
9	2.207	3.396	2.154	3.510	2.184	3.430	2.178	3.544
10	4.630	2.722	4.611	2.805	4.678	2.696	4.670	2.808
11	6.413	2.313	6.257	2.418	6.482	2.269	6.334	2.401
12	7.673	1.926	7.655	1.975	7.204	2.012	7.751	1.960
平均	4.613	2.382	4.633	2.424	4.697	2.374	4.676	2.425



$$E_{\text{TS}} = \sum_{i=1}^N P_{\text{out},i} \Delta t_i \quad (3-1)$$

$$E_{\text{WR}} = \sum_{i=1}^n P_{\text{out},i} f_{\text{w}}(v_i) N \Delta t_i \quad (3-2)$$

$$E_{\text{GR}} = \sum_{i=1}^n P_{\text{out},i} f_{\text{G}}(v_i) N \Delta t_i \quad (3-3)$$

表 3-16 2003 年機台一 1 月份風速分組

i	v	vi	fi	f(vi)	F(v)	fw(vi)	fg(vi)
1	0~1	0.58	1	0.001	0.001	0.001	0.000
2	1~2	1.48	6	0.008	0.009	0.003	0.000
3	2~3	2.41	11	0.015	0.024	0.007	0.001
4	3~4	3.60	10	0.013	0.038	0.014	0.006
5	4~5	4.62	14	0.019	0.057	0.020	0.013
6	5~6	5.59	19	0.026	0.082	0.027	0.023
7	6~7	6.54	17	0.023	0.105	0.034	0.035
8	7~8	7.54	40	0.054	0.159	0.042	0.047
9	8~9	8.52	35	0.047	0.206	0.049	0.058
10	9~10	9.53	53	0.071	0.277	0.055	0.067
11	10~11	10.33	39	0.052	0.330	0.059	0.072
12	11~12	11.45	37	0.050	0.380	0.064	0.075
13	12~13	12.51	34	0.046	0.425	0.066	0.075
14	13~14	13.62	42	0.057	0.482	0.067	0.071
15	14~15	14.48	53	0.071	0.553	0.066	0.067
16	15~16	15.38	31	0.042	0.595	0.064	0.062
17	16~17	16.55	31	0.042	0.637	0.059	0.055
18	17~18	17.59	42	0.057	0.693	0.054	0.048
19	18~19	18.50	53	0.071	0.764	0.049	0.042
20	19~20	19.57	44	0.059	0.824	0.042	0.035
21	20~21	20.52	35	0.047	0.871	0.036	0.030
22	21~22	21.39	35	0.047	0.918	0.031	0.025
23	22~23	22.43	25	0.034	0.952	0.025	0.020
24	23~24	23.41	17	0.023	0.974	0.020	0.017
25	24~25	24.52	7	0.009	0.984	0.015	0.013
26	25~26	25.42	7	0.009	0.993	0.011	0.011
27	26~27	26.66	4	0.005	0.999	0.008	0.008
28	27~28	27.07	1	0.001	1.000	0.007	0.007
29	28~29	28.50	0	0.000	1.000	0.004	0.005
			Σ=743	Σ=1		Σ=0.996	0.988

表 3-17 2003 年每小時各機台 Ets、Ewr、Egr 及全年誤差

月份	機台一			機台二			機台三			機台四		
	Ets	Ewr	Egr	Ets	Ewr	Egr	Ets	Ewr	Egr	Ets	Ewr	Egr
1	343971	347118	345171	343079	344174	341018	342030	339561	335526	328216	324558	319221
2	215176	203679	195929	218120	210363	202844	219022	210476	202834	216350	206040	198598
3	245110	230468	222010	249347	233059	225168	247926	232568	224403	247431	230740	222745
4	148190	149236	141554	154422	156353	148459	155543	156066	148055	154549	154172	146320
5	155076	150419	142012	157837	157078	148536	158511	157066	148274	156830	154225	145811
6	141255	147777	139567	133505	141870	133609	133970	142417	134103	132904	139839	131853
7	51568	52402	52624	50842	52796	51908	50506	51527	50758	51425	52529	52187
8	55205	58160	55721	53128	54885	52421	52455	54128	52165	51566	52241	50678
9	155226	147899	141989	155979	164156	143923	154213	149392	143316	155723	150280	144359
10	312145	291741	286372	315762	299404	294535	313529	298591	292797	316082	299461	295023
11	340178	343803	342771	342924	343149	342745	340225	343182	342212	341533	345376	344369
12	350211	352668	351046	359103	363530	362920	346587	347457	345482	359411	363982	362852
Σ=	2513311	2475368	2416767	2534048	2520818	2448087	2514517	2482429	2419926	2512018	2473445	2414016
Error=		-1.51	-3.84		-0.52	-3.39		-1.28	-3.76		-1.54	-3.90

Error=(Ewr-Ets)/Ets or (Egr-Ets)/Ets

表 3-18 2003 年各機台各月每小時誤差

每小時 月份	機台一		機台二		機台三		機台四	
	Weibull(%)	Gamma(%)	Weibull(%)	Gamma(%)	Weibull(%)	Gamma(%)	Weibull(%)	Gamma(%)
1	0.91	3.84	0.32	3.22	-0.72	2.49	-1.11	2.19
2	-5.34	36.55	-3.56	1.15	-3.90	0.91	-4.77	0.49
3	-5.97	-0.89	-6.53	-1.66	-6.19	-1.24	-6.75	-2.16
4	0.71	8.84	1.25	9.26	0.34	8.77	-0.24	8.21
5	-3.00	5.74	-0.48	7.80	-0.91	7.15	-1.66	6.71
6	4.62	16.58	6.27	18.17	6.30	18.30	5.22	17.53
7	1.62	27.54	3.84	27.29	2.02	28.42	2.15	26.72
8	5.35	24.13	3.31	22.36	3.19	24.04	1.31	23.48
9	4.72	3.80	5.24	13.88	-3.13	4.72	-3.50	4.68
10	-6.54	-3.39	-5.18	-2.08	-4.76	-1.59	-5.26	-2.54
11	1.07	2.88	0.07	2.23	0.87	2.99	1.13	3.19
12	0.70	2.60	1.23	2.87	0.25	2.53	1.27	2.86
年平均	3.38	11.40	3.11	9.33	2.72	8.60	2.86	8.40

表 3-19 2003 年各機台各月每十分鐘誤差

每十分 月份	機台一		機台二		機台三		機台四	
	Weibull(%)	Gamma(%)	Weibull(%)	Gamma(%)	Weibull(%)	Gamma(%)	Weibull(%)	Gamma(%)
1	1.21	0.86	0.69	-0.12	0.58	-0.28	-0.87	-2.39
2	-4.32	-7.92	-2.90	-6.32	-4.18	-7.65	-3.84	-7.32
3	-5.29	-8.73	-5.70	-8.88	-5.50	-8.76	-6.38	-9.57
4	0.41	-4.71	1.33	-3.68	0.73	-4.40	-0.01	-4.98
5	-1.33	-6.79	0.35	-5.00	-0.23	-5.65	-0.71	-5.98
6	4.54	-0.75	5.82	0.24	5.94	-0.06	5.19	-0.55
7	1.79	1.04	1.98	1.41	0.95	0.97	0.75	0.75
8	5.73	1.16	4.92	0.29	5.13	0.72	4.32	0.92
9	-3.92	-7.77	-3.81	-7.47	-2.84	-6.81	-2.07	-5.94
10	-5.31	-7.12	-3.02	-4.58	-4.88	-6.66	-3.01	-4.67
11	1.35	1.08	1.02	0.97	1.62	1.39	0.91	0.71
12	1.64	1.26	1.83	1.72	1.33	0.92	1.81	1.61
年平均	3.07	4.10	2.78	3.39	2.83	3.69	2.49	3.78

表 3-20 2004 年各機台各月每十分鐘誤差

每十分	機台一		機台二		機台三		機台四	
月份	Weibull(%)	Gamma(%)	Weibull(%)	Gamma(%)	Weibull(%)	Gamma(%)	Weibull(%)	Gamma(%)
1	1.67	0.58	1.56	0.82	2.25	1.55	3.68	3.20
2	4.16	2.62	4.21	2.00	9.27	5.74	6.97	4.80
3	-5.17	-7.26	-5.33	-7.25	-5.11	-8.36	-2.71	-4.42
4	-1.01	-5.70	-1.79	-6.10	-3.18	-8.08	4.39	-0.41
5	-2.20	-9.17	-2.44	-8.83	1.35	-6.21	5.08	-2.38
6	2.49	-3.89	0.69	-5.14	1.38	-4.65	5.74	-0.04
7	22.70	16.67	20.62	14.72	25.79	19.01	32.03	25.34
8	3.64	-2.76	7.52	1.49	6.70	-0.33	13.41	5.96
9	-5.02	-9.14	-4.27	-8.26	-2.47	-6.53	3.78	-1.70
10	-0.81	0.56	0.11	0.89	-0.68	0.57	3.36	4.13
11	-0.08	-1.77	0.36	-1.81	1.04	-0.66	2.57	1.38
12	0.57	1.67	0.16	0.74	0.96	1.65	1.30	2.48
年平均	4.13	5.15	4.09	4.84	5.01	5.28	7.08	4.69



表 3-21 2005 年各機台各月每十分鐘誤差

每十分	機台一		機台二		機台三		機台四	
月份	Weibull(%)	Gamma(%)	Weibull(%)	Gamma(%)	Weibull(%)	Gamma(%)	Weibull(%)	Gamma(%)
1	-0.56	-1.83	0.79	-3.95	2.02	0.51	1.72	0.66
2	-0.31	-3.13	-0.54	-3.21	1.42	-1.11	2.45	0.41
3	2.57	0.43	-0.13	-2.22	0.68	-0.99	2.81	1.21
4	3.75	-2.18	1.15	-4.51	7.31	1.25	7.09	0.94
5	4.22	-2.42	3.14	-3.27	8.87	2.05	7.84	1.03
6	2.38	-0.09	3.67	0.82	8.59	6.29	8.50	5.93
7	41.98	39.51	36.23	33.49	46.39	42.15	40.34	36.61
8	18.76	12.56	15.33	9.61	19.14	12.21	16.97	10.66
9	7.27	2.45	7.68	3.07	14.46	8.67	8.67	4.01
10	2.85	3.34	2.40	2.70	2.61	2.56	3.74	4.09
11	-2.72	-4.42	-2.03	-3.66	-0.39	-2.27	-1.65	-3.15
12	2.72	3.82	3.04	4.22	2.42	3.24	3.29	4.58
年平均	7.51	6.26	6.34	6.23	9.53	6.94	8.75	6.11

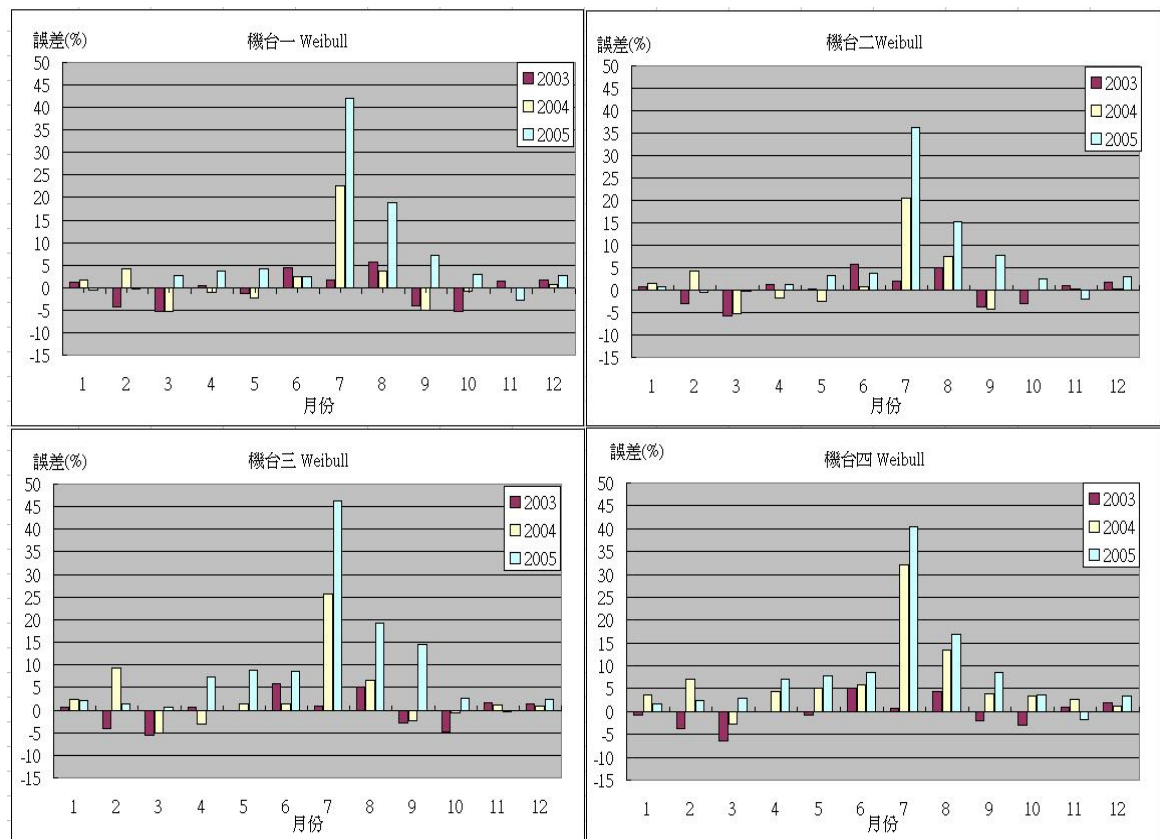


圖 3-57 2003~2005 年各機台各月每十分鐘誤差圖(Weibull)

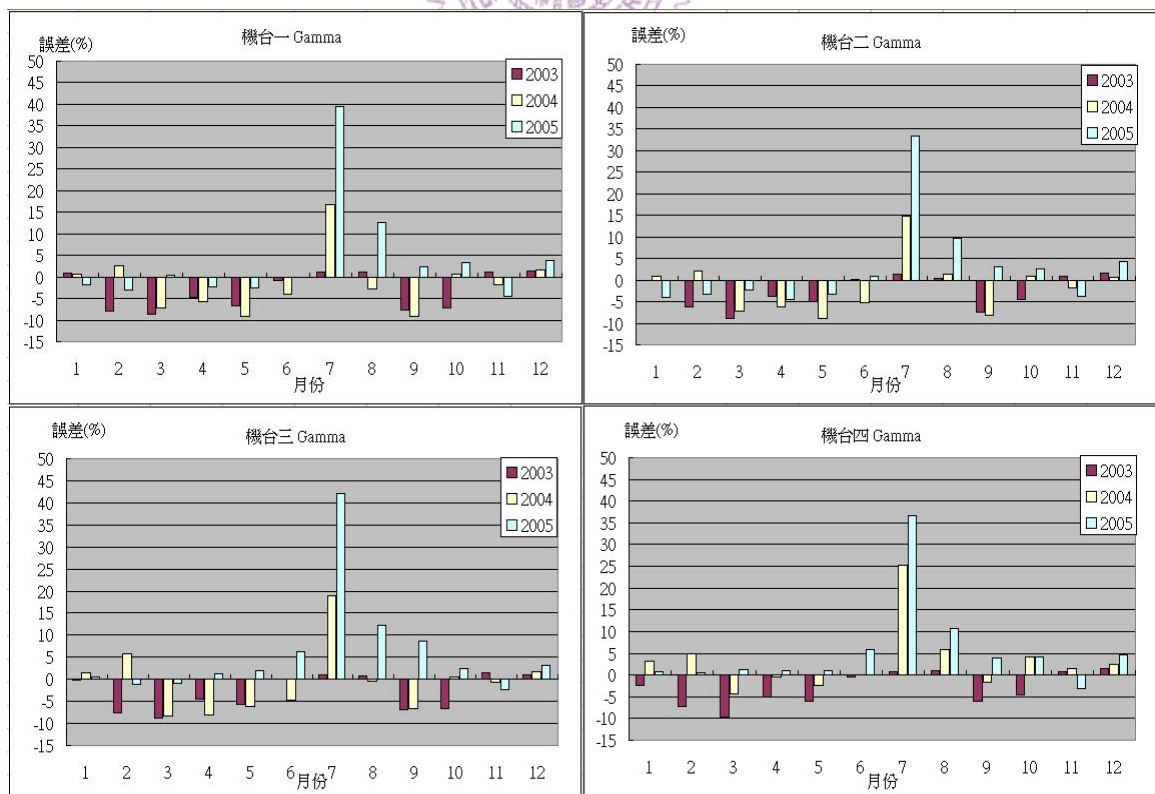


圖 3-58 2003~2005 年各機台各月每十分鐘誤差圖(Gamma)