

## 不同風速下風力發電機噪音分布之研究

### Noise profiles induced by wind turbine under different wind speeds Research

郭淑芬 盧奕銘 崔廣義 涂聰賢 劉育翔

工研院量測技術發展中心 研究員

#### 摘 要

由於氣候變遷與環保意識的提高，風力發電為一種清潔且可再生的能源，因而漸漸取代一些會造成污染之有限資源，越來越受到世界各國的重視。而台灣也陸續推動風力發電的研究發展，但風力發電機產生的風切噪音問題，便隨之而來。本研究主要針對 2000 kW 的風力發電機，依據 IEC61400 的風力發電機噪音量測規範，進行聲功率位準的量測。透過於特定位置監測各風速下風力發電機的運轉噪音值，了解風力發電機的噪音分布與風速的關係，並探討風力發電機噪音可能對附近居民造成的影響，作為規劃風力發電機興建位置及噪音量測程序的參考。

關鍵字：風力發電機，聲壓位準，聲功率位準。

#### A b s t r a c t

Due to the climate change and environmental consciousness enhanced, limited pollution sources are gradually replaced by a clean and regenerated wind power source which is much concern of global nations. Taiwan does research continually in this development, but the wind shear noises comes to be a new problem. This paper follows IEC 61400 standard to proceed sound power level measurement for 2000 kW wind turbine. In several specific locations, noise values are measured with different speeds under operation. Therefore, the relationship between wind speeds and noise profiles of the wind turbine can be obtained. The influence of noises from the wind turbine on residents nearby also need to be discussed. These issues might be the bases for building a wind turbine in a suitable location and creating a new procedure for noise measurement.

Keywords : Wind turbine generator system, Sound pressure level, Sound power level.

## 一、前言

風力發電機(wind turbine generator system)主要是由塔架(tower)、葉片(Blade)及發電機三大部分所組成。其原理是利用風力帶動風力發電機的葉片轉動，透過增速機促使發電機運轉發電，風速通常約在每秒 3 公尺即可發電，在每秒 13 至 16 公尺就可達到發電量滿載。由於風遇到障礙物就會消耗其能量，因此台灣風力發電機設置地點大部分在西部沿海一帶，北至桃園石門，南至雲林麥寮，甚至於外島澎湖中屯。

本研究選定風力發電機輸出電功率為 2000 kW 進行噪音分析研究，其電功率曲線(power curve)如圖 1，主要針對兩機組進行長時間運轉噪音的監控，量測在風速變化範圍為 4 m/s 至 10 m/s 的聲壓位準值(sound pressure level)，分析風力發電機運轉噪音隨風速變化的情形，並且計算聲功率位準值(sound power level)，預估風力發電機運轉噪音在不同位置對環境的影響程度，以及進行頻譜分析，瞭解風力發電機運轉低頻噪音在國內低頻法規的實施下的衝擊程度。

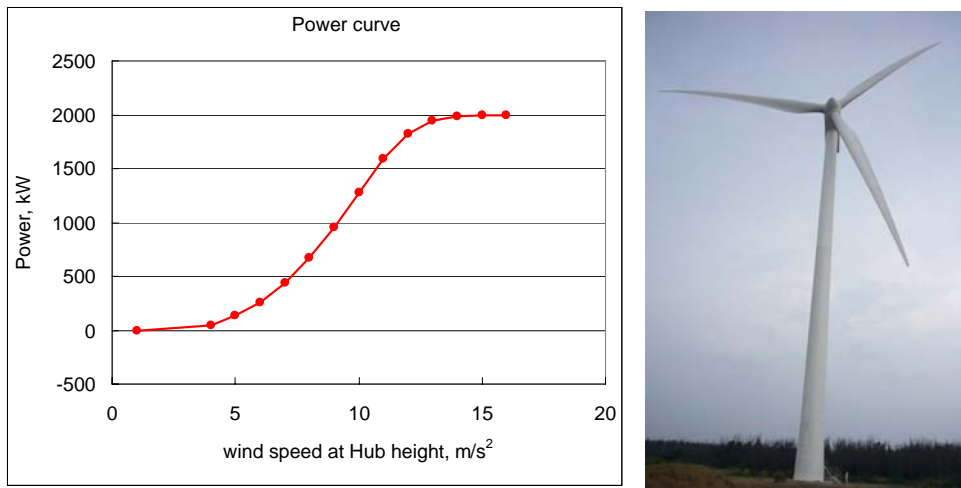


圖 1 風力發電機之電功率曲線圖

## 二、量測方法

量測方法依據 IEC61400-11 風力發電機噪音量測，規範中根據風機的尺寸定義量測的參考距離  $R_0$ ，此次量測的風力發電機塔架高度為 68 m，風力發電機葉片直徑為 80 m，根據式(1)計算參考的水平距離為 107 m，並依據風向如圖 2 選定噪音的量測位置，其中因為迎風面(位置 3)靠近海岸邊及道路，易受海浪聲及車輛噪音的影響，因此最後以其他 3 處(位置 1、2、4)進行噪音的分析。

$$R_0 = H + \frac{D}{2} \quad (1)$$

此處

H 為風力發電機轉子中心至地面高度，m

D 為風力發電機葉片直徑，m

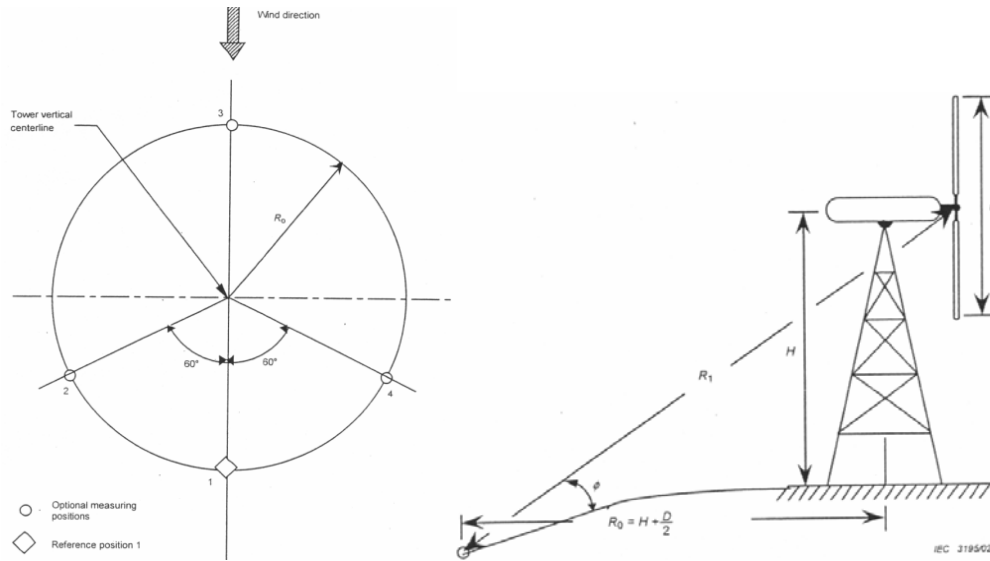


圖 2 風力發電機噪音量測位置圖

本實驗將 1/2 英吋麥克風安裝防風球，放置在 12 mm 厚，長寬各為 1 m 的平板上模擬反射地面，連接音頻分析儀同時量測風力發電機運轉時各量測點每 10 分鐘的均能聲壓位準，並記錄該時間點距地面 10 m 高的風速資料，再根據式(2)計算各風速下的聲功率位準值  $L_w$ 。

$$L_w = L_{eq} - 6 + 10 \log \left[ \frac{4\pi R_1^2}{S_0} \right] \quad (2)$$

此處

$L_{eq}$  風力發電機的均能聲壓位準，dBA

$R_1$  從風力發電機轉子中心到量測位置的距離，m

$S_0$  參考面積， $1 \text{ m}^2$

由轉子中心至塔架軸心的水平距離為 4.5 m，計算從風力機轉子中心到量測位置的距離為  $R_1=130.6 \text{ m}$ 。

### 三、量測結果

將聲壓位準量測結果進行頻譜分析，計算頻率範圍在 20 Hz 至 20 kHz 之 A 加權聲壓位準值；並根據國內低頻噪音管制標準，分析頻率範圍為在 20 Hz 至 200 Hz 之 A 加權聲壓位準值，如圖 3、4 所示兩組風力發電機在 3 處量測位置，噪音量測結果在不同風速下的分布情形，實線部分是以線性迴歸方式估算各風速下之聲壓位準，估算結果如表 1、2。

圖 3 中發現風力發電機的運轉噪音會隨風速的增加而增加，但在量測位置為 P4 處噪音量測結果偏低，經觀察風向後得知測試佈點時風向位置如圖 5 空心箭頭所示，但於實際量測時，風向已往順時針方向偏了 30 度如圖 5 實心箭頭所示，由於風向的因素使

在 P2 的位置量測到較高的噪音。另外也可能與風力發電機扇葉旋轉的方向有關，因扇葉旋轉至塔架時所造成的擾流噪音，當扇葉順時針旋轉接近塔架時(亦即在位置 P1 及 P2 間)的噪音特別明顯。由表 1 得知在風速 10 m/s 時，位置 P2 推估之最大音壓位準為 58.9 dBA。

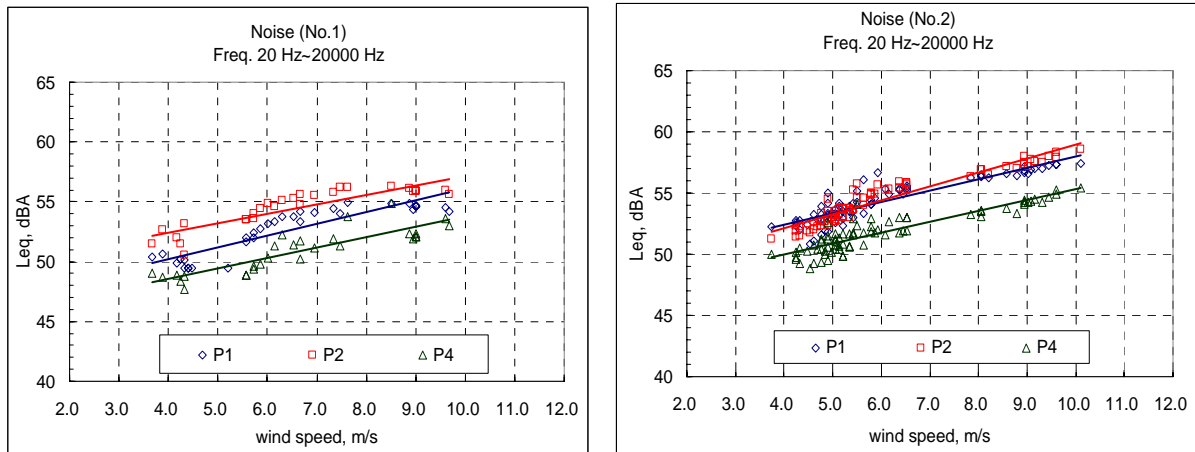


圖 3 在不同風速下之均能聲壓位準(頻率範圍為 20 Hz~20000 Hz)量測結果圖

表 1 在不同風速下之聲壓位準(頻率範圍為 20 Hz~20000 Hz)

| 風速(m/s) | 風機編號 No.1 |      |      | 風機編號 No.2 |      |      |
|---------|-----------|------|------|-----------|------|------|
|         | P1        | P2   | P4   | P1        | P2   | P4   |
| 4       | 50.2      | 52.5 | 48.6 | 52.4      | 52.1 | 50.0 |
| 5       | 51.2      | 53.2 | 49.4 | 53.3      | 53.3 | 50.9 |
| 6       | 52.2      | 54.0 | 50.3 | 54.3      | 54.4 | 51.7 |
| 7       | 53.2      | 54.8 | 51.2 | 55.2      | 55.5 | 52.6 |
| 8       | 54.1      | 55.6 | 52.0 | 56.1      | 56.7 | 53.5 |
| 9       | 55.1      | 56.4 | 52.9 | 57.1      | 57.8 | 54.4 |
| 10      | 56.1      | 57.2 | 53.8 | 58.0      | 58.9 | 55.3 |

圖 4 為風力發電機運轉的低頻噪音與風速的關係，編號 No.1 的風力發電機低頻噪音的分布較為混亂，由編號 No.2 的風力發電機低頻噪音的分布得知低頻噪音在風速高的時候會因為量測位置的不同而不同，各位置的低頻噪音分布與一般噪音分布大致相同。由表 2 獲得在風速 10 m/s 時，位置 P2 推估之低頻噪音最大音壓位準為 51.0 dBA。

圖 6 為風力發電機的運轉時噪音的頻率分布，由左圖中知風力發電機的噪音屬寬頻的噪音，低頻的噪音能量較高。但如以人耳的感受考量，即在頻譜加上 A 加權如右圖，則發現人耳的聽覺對頻率範圍在 125 Hz 至 5000 Hz 的風力發電機運轉噪音較為顯著，尤其在頻率為 500 Hz 時的運轉噪音感受最大。

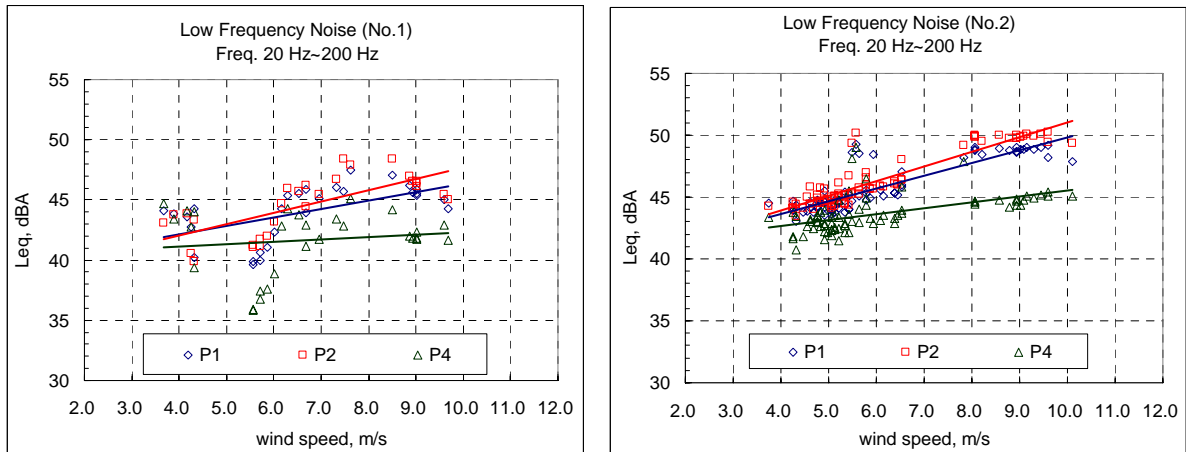


圖 4 在不同風速下之均能聲壓位準(頻率範圍為 20 Hz~200 Hz)量測結果圖

表 2 在不同風速下之低頻聲壓位準(頻率範圍為 20 Hz~200 Hz)

| 風速(m/s) | 風機編號 No.1 |      |      | 風機編號 No.2 |      |      |
|---------|-----------|------|------|-----------|------|------|
|         | P1        | P2   | P4   | P1        | P2   | P4   |
| 4       | 42.1      | 42.0 | 41.1 | 43.6      | 43.9 | 42.7 |
| 5       | 42.8      | 43.0 | 41.3 | 44.7      | 45.1 | 43.2 |
| 6       | 43.6      | 43.9 | 41.5 | 45.7      | 46.3 | 43.6 |
| 7       | 44.3      | 44.9 | 41.7 | 46.7      | 47.4 | 44.1 |
| 8       | 45.0      | 45.8 | 41.9 | 47.7      | 48.6 | 44.6 |
| 9       | 45.7      | 46.7 | 42.1 | 48.7      | 49.8 | 45.1 |
| 10      | 46.4      | 47.7 | 42.3 | 49.8      | 51.0 | 45.5 |

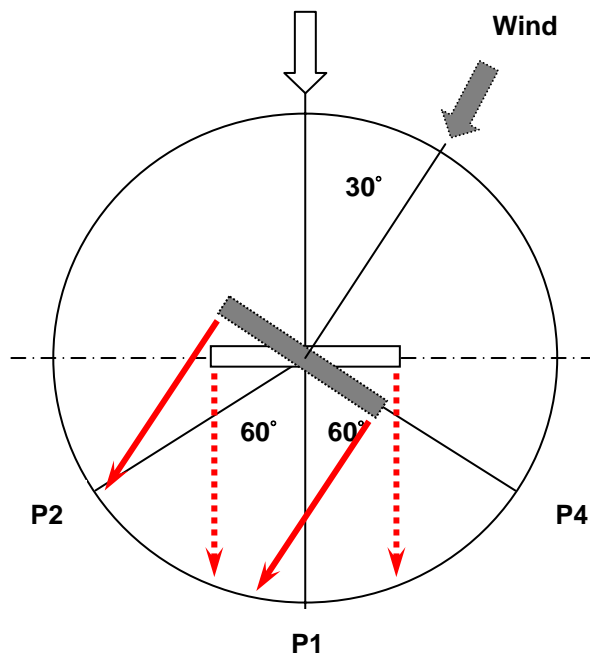


圖 5 風力發電機噪音量測與風向之關係圖

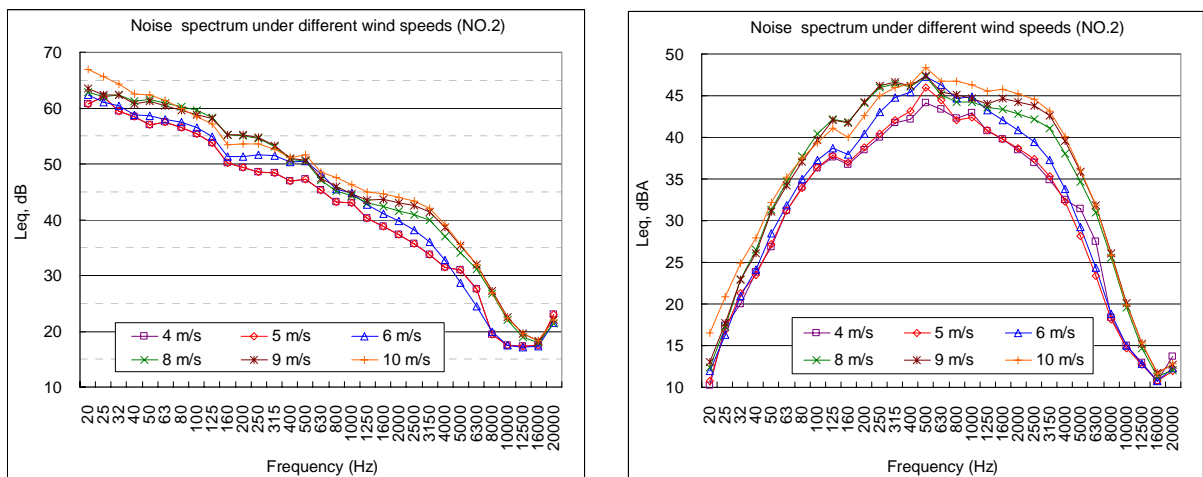


圖 6 風機在不同風速下之噪音頻譜分布圖

表 3 在不同風速下之聲功率位準(頻率範圍為 20 Hz~20000 Hz)

| 聲功率位準(dBA)<br>風速(m/s) | 風機編號 No.1 |       |       | 風機編號 No.2 |       |       |
|-----------------------|-----------|-------|-------|-----------|-------|-------|
|                       | P1        | P2    | P4    | P1        | P2    | P4    |
| 4                     | 97.5      | 99.8  | 95.9  | 99.7      | 99.4  | 97.3  |
| 5                     | 98.5      | 100.5 | 96.7  | 100.7     | 100.6 | 98.2  |
| 6                     | 99.5      | 101.3 | 97.6  | 101.6     | 101.7 | 99.1  |
| 7                     | 100.5     | 102.1 | 98.5  | 102.5     | 102.8 | 99.9  |
| 8                     | 101.4     | 102.9 | 99.3  | 103.4     | 104.0 | 100.8 |
| 9                     | 102.4     | 103.7 | 100.2 | 104.4     | 105.1 | 101.7 |
| 10                    | 103.4     | 104.5 | 101.1 | 105.3     | 106.2 | 102.6 |

表 4 在不同風速下之低頻聲功率位準(頻率範圍為 20 Hz~200 Hz)

| 聲功率位準(dBA)<br>風速(m/s) | 風機編號 No.1 |      |      | 風機編號 No.2 |      |      |
|-----------------------|-----------|------|------|-----------|------|------|
|                       | P1        | P2   | P4   | P1        | P2   | P4   |
| 4                     | 89.5      | 89.4 | 88.4 | 90.9      | 91.2 | 90.0 |
| 5                     | 90.2      | 90.3 | 88.6 | 92.0      | 92.4 | 90.5 |
| 6                     | 90.9      | 91.2 | 88.8 | 93.0      | 93.6 | 90.9 |
| 7                     | 91.6      | 92.2 | 89.0 | 94.0      | 94.8 | 91.4 |
| 8                     | 92.3      | 93.1 | 89.2 | 95.0      | 95.9 | 91.9 |
| 9                     | 93.0      | 94.0 | 89.4 | 96.1      | 97.1 | 92.4 |
| 10                    | 93.7      | 95.0 | 89.6 | 97.1      | 98.3 | 92.8 |

最後依據量測方法中式(2)計算不同風速下各量測點的聲功率位準如表 3、4，假設地面狀態與量測時之狀況相同，且無任其它環境因素的干擾下，以在 4 m/s 至 10 m/s 的

風速量測得之最大聲功率位準值，依據式(2)反推在距離風力發電機不同位置之聲壓位準值如圖 7 所示。最後藉由實際於距離風力發電機 300 m 的位置進行噪音量測，發現噪音值在 48 dBA 至 53 dBA 間，顯示符合圖 7 之推估結果。

由於目前環保署並未訂定風力發電機的噪音管制標準，因此無法得知風力發電機的噪音限制。僅由圖 7 推估針對此型風力發電機，在風速小於 10 m/s 時，距離風力發電機 1000 m 以外，一般噪音小於 41 dBA，低頻噪音小於 33 dBA；距離風力發電機 2000 m 以外，一般噪音降至 35 dBA 以下，而低頻噪音則降至 27 dBA。

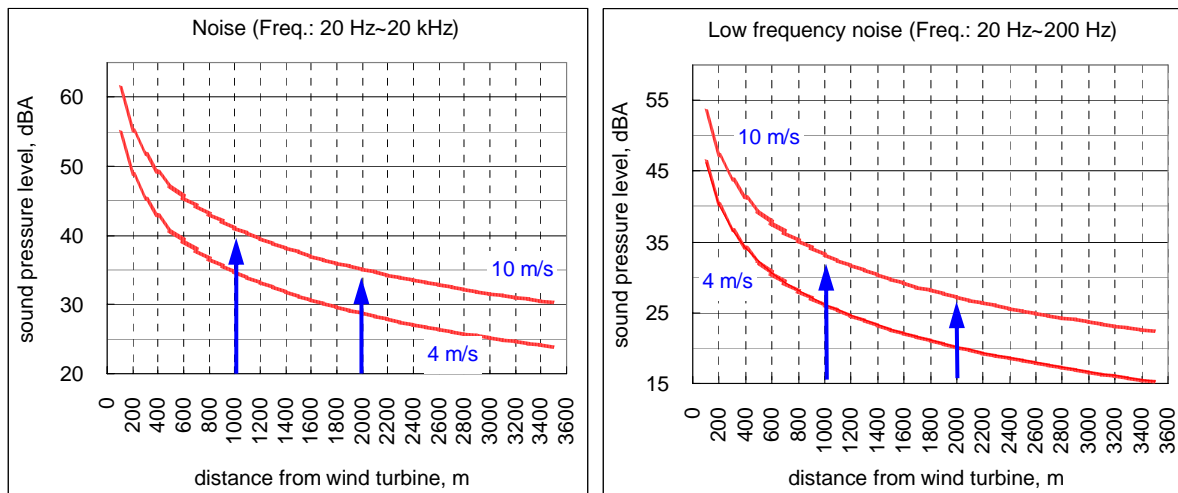


圖 7 風力發電機噪音預估值與距離之關係圖

#### 四、結論

1. 由此次量測結果發現，風力發電機輸出電功率為 2000 kW。在風速為 10 m/s 時聲功率位準約為 106 dBA；低頻聲功率位準約為 98 dBA。距離風力發電機 1000 m 以外，一般噪音可降至 41 dBA，低頻噪音則可降至 33 dBA。
2. 此型風力發電機的運轉噪音屬寬頻的噪音，低頻的噪音能量較高。但如以人耳的感受考量，對頻率範圍在 125 Hz 至 5000 Hz 的風力發電機運轉噪音較為顯著。
3. 由 3 處麥克風位置的量測數據及經由實際於風力發電機下觀察結果，顯示風力發電機於順風處及當扇葉旋轉接近塔架時之噪音特別明顯。
4. 此次風力發電機運轉噪音的量測結果，除可供規劃風力發電機興建位置之參考，也增加了量測中心在風力發電機運轉噪音的量測經驗，希望日後能建立風力發電機運轉噪音的量測標準程序，提供業界可依循的準則。由於風力發電機運轉噪音集中於低頻，未來希望朝更低頻即頻率小於 20 Hz 的噪音進行量測分析，以瞭解風力發電機的低頻噪音對環境所造成的影響。

## 五、參考文獻

1. IEC 61400-11 Wind Turbine Generator Systems-Part 11: Acoustic Noise Measurement Techniques, 2006.
2. G.P. van den Berg, Effects of the wind profile at night on wind turbine sound, Journal of sound and vibration, September 2003.
3. Anthony L. Rogers, Ph.D., James F. Manwell, Ph.D., Wind Turbine Noise Issues, University of Massachusetts at Amherst, March 2004.
4. The Noise Emissions Associated with Wind Farming in Australia, Renewable Energy Industry Development Programme (Round5), May 2004.
5. 噪音管制標準，行政院環境保護署，2006。
6. 環境低頻噪音測量方法，行政院環境保護署，2005。