

電風扇能源效率測試指引

一、前言

產品能源效率的管理與落實，須仰賴公平、客觀、獨立及符合國際規範之認證實驗室執行，實驗室品質與技術能力之評鑑標準是依據國際標準 ISO/IEC 17025，國內由 TAF 結合專業人力進行實驗室評鑑及認證，提昇實驗室的品質與技術能力，並輔以能力試驗 (proficiency testing) 活動來確保實驗室之技術能力保持在一定水準之上。近年來國內推動許多產品的節能標章認證、MEPS 與能源效率分級標示管理措施，由於不同類型產品，在性能量測技術或方法上有很大的差異，產品型式認定方式，也常因不同產品類型而有差異，造成在執行產品能效試驗與驗證的過程，對標準規範解釋產生不一致的情形。這些問題，除了採用前述的國家標準調和修訂與實驗室一致性比對，還需要針對不同類型產品，依據產品特性及性能測試方法，研提適合國內產品能效試驗與驗證所需之操作手冊，並定期舉辦能源效率測試方法研討會或一致性會議，提供實驗室人員與 TAF 評審員在職訓練、加強監督評鑑，以減少實驗室間技術性誤差，確保能源效率管理政策之公信力，因此建立電風扇驗證要求與指引。

本(105)年度指定實驗室人員訓練及其所需的操作手冊(指引)，規劃研提的使用能源設備及器具執行流程如圖 1 所示。今年度公告電風扇節能標章源效率基準修訂版本(105.02.05 實施)，在風速量測方法上規範更嚴謹的試驗室的環境條件與試驗程序，在能源效率值的計算上也加上標稱風量的概念。上半年完成電風扇之效率測試方法指定實驗室人員訓練之操作手冊(指引)，並在 105.01.19 於工業技術研究院 綠能所 64 館四樓 405 會議室完成「電風扇效率測試方法指定實驗室人員訓練」與「電扇節能標章能源效率測試一致性研討會」，針對指定實驗室人員施以訓練，就電風扇能源效率測試方法提出技術指引，並進行講師和學員雙向溝通。

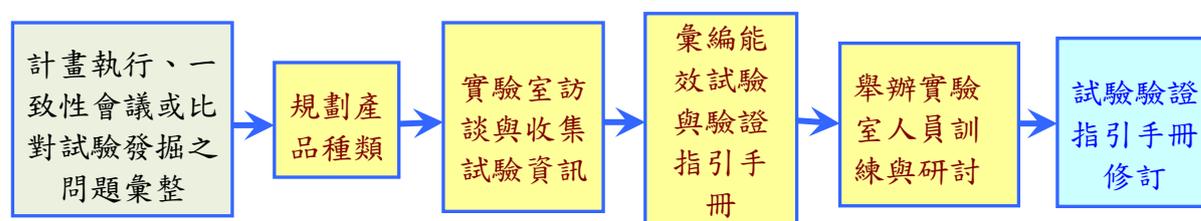


圖 1、能效試驗驗證手冊與實驗室人員訓練執行流程

二、電風扇能源效率測試指引

(一) 相關名詞介紹

我們日生活當中的空氣，或多或少都含有水蒸氣(氣態水)，相對濕度越高，空氣中所含的水蒸氣就越多，如果透過特殊製程將水蒸氣完全移除，相對濕度即達到 0%，此時的空氣才算是完全的「乾空氣」(dry air)；當大氣環境同時伴隨液態水(下雨)或固態冰(下雪)，相對濕度已達到 100%，空氣中水蒸氣的含量不會再提升，水的所有相(phase)處於平衡狀態，此時稱為飽和(saturation)狀態。大氣壓力或環境溫度改變時，水蒸氣在空氣中的比率會跟著改變。自然界的相對濕度介於 0%~100%，這種包含水蒸氣的空氣混合物稱為「濕空氣」(moist air)。乾空氣是由氧氣、氮氣、氬氣、二氧化碳及其他微量氣體組成，如表 1 所列，在常壓常溫之下，這些個別氣體與乾空氣的物理特徵，可以使用理想氣體方程式來描述，亦即

$$Pv = \frac{P}{\rho} = R_a T \quad (1a)$$

$$PV = mR_a T \quad (1b)$$

其中 P、v、 ρ 、T 分別表示空氣的壓力、比容、密度及溫度，比容與密度互為倒數，V、m 分別表示容積與氣體質量，T 的單位為 K； R_a 表示乾空氣的氣體常數

$$R_a = \frac{R}{M_a} = \frac{8314}{28.965} = 287 \text{ J/(kg-K)} \quad (2)$$

R 代表萬用氣體常數； $R=8,314 \text{ J/(kg mole-K)}$ ， M_a 代表空氣的莫爾質量 28.965 kg/k mole 。

表 1、乾空氣的組成

成分	莫爾質量(M)	容積比率(Volume Fraction)
氧(Oxygen)	32.000	0.2095
氮(Nitrogen)	28.016	0.7809
氬(Argon)	39.944	0.0093
二氧化碳(Carbon dioxide)	44.010	0.0003

大氣環境的水蒸氣與乾空氣混和，表現特徵和其他氣體一樣，可以使用前述的理想氣體方程式來描述，由於水的莫爾質量為 18.015 kg/k mole ，因此水的氣體常數 $R_v=461.5 \text{ J/(kg-K)}$ ，下標 v 代表 *vapor*。由於大氣中乾空氣的成份，並不會隨大氣壓力與相對濕度而改變，因此可以視為單一「乾空氣」成份來處理， R_a 為 287 J/(kg-K) ；大氣中另一成

分別為「水蒸氣」(vapor)，當大氣壓力與相對濕度改變時，大氣中水蒸氣的含量就會改變，濕空氣的特徵(包括密度、熱焓值等)就會改變，因此計算濕空氣的物理性質，可以將「乾空氣」與「水蒸氣」視為二元混合物(binary mixture)，適用前述的理想氣體方程式與相關定律，而且符合工程計算上的精度要求。

1. 理想氣體的特徵

在 1802 年道耳吞(John Dalton)由實驗發現不引起化學反應之混和氣體，其總壓為各成分氣體分壓之總和，而提出分壓定律 (Law of partial pressure)：定溫下混合氣體在某一體積內之總壓 P，等於各成分氣體單獨佔有相同體積時，個別壓力之總和，如下式所列：

$$P = P_1 + P_2 + P_3 + \dots \quad (3)$$

式中個別氣體之壓力 P_1 、 P_2 、 P_3 、.....等，稱為各成分氣體之分壓。分壓可視為各成分氣體單獨在與混合氣體相同之體積及溫度下，對相同空間產生的壓力。例如[範例一]25°C 時 1 公升之真空容器內，若充入 0.005 莫耳之空氣，其壓力為 92.9mmHg；相同容器，如果單獨充入 0.001 莫耳的水蒸氣，壓力為 18.6mmHg；若將前述空氣與水蒸氣同時充入相同容器，當溫度不變時，測得其混合壓力為 111.5mmHg，恰等於兩氣體分壓之和。

現假定氣體混合物含有某氣體 n_1 莫耳，另一氣體 n_2 莫耳，第三種氣體 n_3 莫耳。設總體積為 V，溫度為 T，三種氣體視為理想氣體，依理想氣體方程式，可求得其分壓：

$$P_1 = \frac{n_1 RT}{V} \quad (4)$$

$$P_2 = \frac{n_2 RT}{V} \quad (5)$$

$$P_3 = \frac{n_3 RT}{V} \quad (6)$$

依道耳吞分壓定律，混合氣體總壓為

$$P = \frac{n_1 RT}{V} + \frac{n_2 RT}{V} + \frac{n_3 RT}{V} \quad (7)$$

$$P = \frac{(n_1 + n_2 + n_3) RT}{V} = \frac{n RT}{V} \quad (8)$$

$$n = n_1 + n_2 + n_3 \quad (9)$$

比較分壓與總壓，可得下列關係

$$P_1 = \frac{n_1}{n} P \quad , \quad P_2 = \frac{n_2}{n} P \quad , \quad P_3 = \frac{n_3}{n} P \quad (10)$$

這些分數 n_1/n 、 n_2/n 、 n_3/n 代表在混合氣體中，個別成分莫耳數除以混合氣體總莫耳數，稱為莫耳分率，常應用於化學及工程計算，以符號 x_i 表示。在一系統中所有成分莫耳分率之總和等於 1，即

$$\sum x = x_1 + x_2 + x_3 + \dots = 1 \quad (11)$$

故混合氣體各成分之分壓等於莫耳分率乘以總壓 $P_i = x_i P$ ，亦即 $P_1 = x_1 P$ ， $P_2 = x_2 P$ ， $P_3 = x_3 P$ ，...。道耳吞分壓定律也可以敘述為：定溫定容下混合氣體中各成分氣體之分壓與其莫耳分率或莫耳數成正比。以數學式表示即

$$\frac{P_1}{P_2} = \frac{x_1}{x_2} = \frac{n_1}{n_2} \quad (12)$$

針對濕空氣之混合物分壓組成

$$P = P_{N_2} + P_{O_2} + P_{CO_2} + P_{Ar} + P_v \quad (13)$$

$$P_{air} = P_a = P_{N_2} + P_{O_2} + P_{CO_2} + P_{Ar} \quad (14)$$

$$P = P_a + P_v \quad (15)$$

其中 P 代表大氣壓力、 P_a 代表空氣的分壓、 P_v 代表水蒸氣的分壓，以查詢性質表為例，一大氣壓力下，溫度 300K(26.85°C) 條件下，水的飽和蒸氣壓為 3,531Pa，相對應水蒸氣的密度 $\rho = 1/v = 1/39.13 = 0.025556 \text{ kg/m}^3$ ，如果使用理想氣體方程式，

$$\rho = \frac{1}{v} = \frac{P_v}{R_v T} = \frac{3531}{461.5 \times 300} = 0.0255504 \quad (16)$$

飽和狀態的水蒸氣密度估算值，與文獻的數值相差僅-0.2%，因此在工程計算上已經具有相當高的精確度，如果是非飽和狀態的水蒸氣(過熱狀態)，採用理想氣體方程式估算將會更準確。

2. 濕空氣基本參數

熱力學用以計算濕空氣物理性質的工具，稱為 Psychrometric Chart (中譯為溼度圖、濕空氣線圖、...)，較常使用的物理參數包括大氣壓力(P)、乾球溫度(T_{db})、濕球溫度(T_{wb})、相對濕度、露點溫度、焓值(enthalpy)以及不同壓力與溫度所對應的水蒸氣壓力[11~13]。以下列舉常用到的濕空氣基本參數：

(1) 水之飽和蒸氣壓力

「飽和蒸氣壓」定義為密閉容器內，液體與其蒸氣達平衡時，蒸氣所產生的壓力。水的飽和蒸氣壓力(P_{vs})會隨溫度(T)變化，可以由性質表查得，然而有些溫度點並未在表列，而且許多量測程序亦須電腦化計算，本文採用國際標準 ISO 5801 或 AMCA 210 的公式，計算水之飽和蒸氣壓力：

ISO 5801(適用 0~100°C)

$$P_{vs} = 610.8 + 44.442T + 1.4133T^2 + 0.02768T^3 + 0.000255667T^4 + 0.00000289166T^5 \quad (17)$$

AMCA 210[9]

$$P_{vs} = 692 + 18.6T + 3.25T^2 \quad (18)$$

為分析簡便，依前論述簡化空氣組成僅包括乾空氣與水蒸氣，如果溫度(T)代入濕球溫度，可以計算濕空氣混合物的水蒸氣分壓 P_v ；如果代入乾球溫度，則得到水的飽和蒸氣壓 P_{vs} 。以式(17)計算不同溫度下水之飽和蒸氣壓變化曲線，如圖 2 所示，當溫度達到 100°C 時，約為 101.35kPa ，即為 1 大氣壓力下水的沸點，與教科書性質表所列數值相差僅-0.02%。

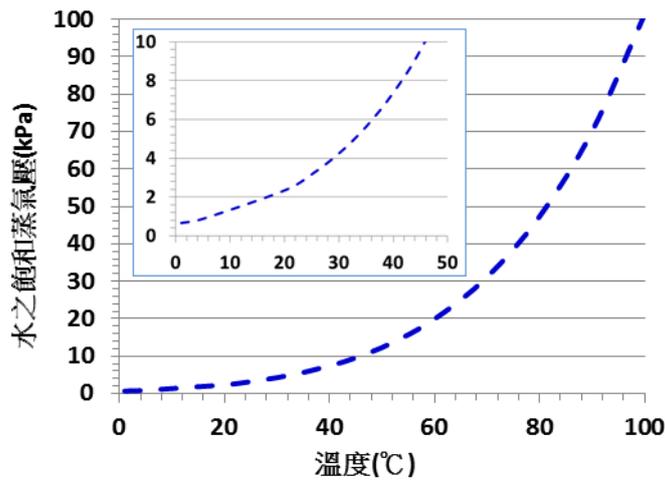


圖 2、水的飽和蒸氣壓隨溫度變化曲線(ISO 5801)

(2) 濕度比(Humidity Ratio) W 定義為水蒸氣的質量除以乾空氣的質量：

$$W = m_v/m_a \quad (19)$$

由於

$$m_v = \frac{P_v V}{R_v T} = \frac{P_v V M_v}{RT} \quad (20)$$

$$m_a = \frac{P_a V}{R_a T} = \frac{P_a V M_a}{RT} \quad (21)$$

因此濕度比 W ，可以利用水蒸氣分壓 P_v 與空氣分壓 P_a 計算出來：

$$W = \frac{M_v P_v}{M_a P_a} = \frac{18.0153}{28.9645} \cdot \frac{P_v}{P_a} = 0.62198 \frac{P_v}{P_a} \quad (22)$$

(3) 相對濕度

$$\text{定義為 } \phi = \left| \frac{x_v}{x_{sat}} \right|_{T,P} \quad (23)$$

其中 x_v 、 x_{vs} 分別代表在相同乾球溫度 T 、大氣壓力 P 條件下，水蒸氣與飽和水蒸氣的莫耳分率，假設乾空氣的莫耳分率為 x_a ，則 $x_v + x_a = 1$ 。由前述道耳吞分壓定律可以得知， $x_v = P_v/P$ ，假設 P_{vs} 代表水蒸氣的飽和蒸汽壓力，則相對濕度的公式可以改寫為

$$\phi = \frac{x_v}{x_{vs}} = \frac{P_v/P}{P_{vs}/P} = \frac{P_v}{P_{vs}} \quad (24)$$

亦即相對濕度可以表示為，相同乾球溫度 T 、大氣壓力 P 條件下，水蒸氣的分壓與飽和蒸氣壓力的比值；由此亦可得到相對濕度與濕度比 W 的關係為

$$\phi = \frac{WP_a}{0.62198 \times P_{vs}} \quad (25)$$

(4) 濕球溫度

濕空氣的焓值(i)為乾空氣與水蒸氣兩種成份，依其質量比率(濕度比 W)所組成，即 $m_a \times i = m_a \times i_a + m_v \times i_v$ (大氣中空氣成份相當穩定，因此 i 以空氣質量為參考基準)，可表示為

$$i = i_a + W \times i_v \quad (26)$$

其中為 i_a 乾空氣的焓值， i_v 為水蒸氣的焓值，以近似解[14]表示為

$$i_a = 1.006T_{db} \quad (\text{kJ/kg}) \quad (27)$$

$$i_v = 2501 + 1.805T_{db} \quad (\text{kJ/kg}) \quad (28)$$

因此，濕空氣的焓值可表示為

$$i = 1.006T_{db} + W \times (2501 + 1.805T_{db}) \quad (\text{kJ/kg dry air}) \quad (29)$$

式(27)、(28) T_{db} 的單位為 $^{\circ}\text{C}$ 。乾球溫度就是一般溫度感測器所量到的溫度，而濕球溫度則是在溫度感測器綁上濕紗布，再泡在一小杯水中，讓水分包裹整個感測器所組成。由於空氣中的相對溼度小於或等於 100%，以強制氣流通過濕球時，濕紗的水份會被蒸發，在蒸發的同時將熱量帶走，造成濕球溫度下降，亦即乾、濕球兩組溫度計讀數相差愈大，水蒸發速率愈快，空氣中的相對溼度則愈小，只要分別測出乾、濕球溫度，再對照[濕空氣線圖]就可以查出當時的相對濕度。

乾、濕球溫度量測裝置為能效實驗室必備的，其熱力平衡示意可參考圖 3，由入口端通過第一支溫度計，假設大氣壓力 P 、濕度比 W 、乾球溫度 T_{db} 、空氣焓值 i ，空氣通過第二支溫度計之濕棉紗，因為濕球水份蒸發，造成溫度下降達到平衡狀態下的濕球溫度 T_{wb} ，濕空氣的水蒸氣達到飽和狀態，焓值增加至 i_s^* ，出口濕度比為 W_s^* 。由於整個濕球蒸發過程沒有提供任何能量，水蒸氣增加的焓值是由下方的水源供應(i_w^*)，因此依據能量守恆定律，整個系統的焓值變化可以下列公式表示 [14]：

$$i + (W_s^* - W)i_w^* = i_s^* \quad (30)$$

$$i_w^* = 4.186 T_{wb} \quad (\text{kJ/kg dry air}) \quad (31)$$

$$W = \frac{(2501 - 2.381T_{wb})W_s^* - 1.006(T_{db} - T_{wb})}{2501 + 1.805T_{db} - 4.186T_{wb}} \quad (32)$$

式(31)、(32) T_{db} 、 T_{wb} 的單位為 $^{\circ}\text{C}$ 。

3. 濕空氣性質的計算：

一般而言，大氣壓力 P 與乾球溫度 T_{db} 是直接量測的數據，另外濕空氣的參數--濕球溫度 T_{wb} 、露點溫度 T_{dew} 、濕度比 W 、相對濕度 ϕ ，只要取得其中一個，其他的就能由前述 Psychrometrics 的公式計算得到。(i)已取得相對濕度 ϕ ，先以 T_{db} 計算飽和蒸汽壓 P_{vs} ，再以式(24)得到水蒸氣分壓 P_v ，後續就能直接算出濕度比 W ；以式(32)計算濕球溫度 T_{wb} 時，須利用迭代得到。(ii)如果先得到濕球溫度 T_{wb} 時，以式(32)計算濕度比 W ，以式(15)、式(22)計算水蒸氣分壓 P_v ，再計算相對濕度 ϕ 。其他參數的計算法則，請詳閱 ASHRAE Handbook。

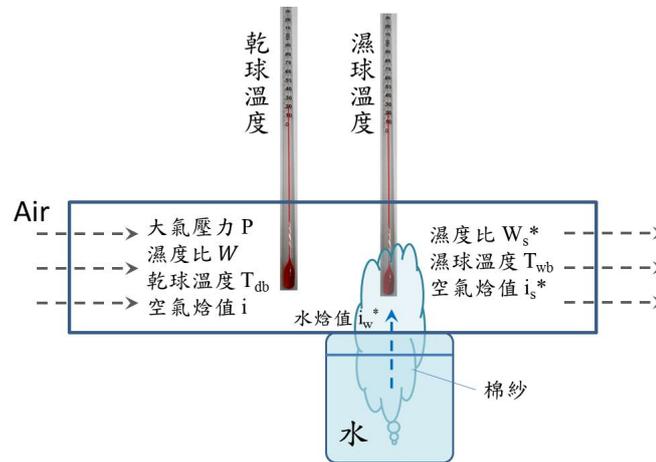


圖 3、乾濕球溫度量測裝置與熱力平衡示意圖

4. 標稱風量的計算

「電扇節能標章能源效率基準與標示方法」中使用標稱風量來計算能源效率，在沒有特定環境控制條件下，以國家標準 CNS 547 電扇(桌上型及掛壁型)與 CNS 597(吊電扇)測試電扇的總風量，並記錄當時的大氣壓力、環境溫度(即乾球溫度)、濕球溫度或相對濕度等參數，以這些參數計算標準狀態與量測條件的濕空氣密度，標稱風量計算如下：

$$\text{標稱風量}(\text{m}^3/\text{min}) = \text{實測總風量}(\text{m}^3/\text{min}) \times (\text{量測條件空氣密度} / \text{標準狀態空氣密度}) \quad (33)$$

假設某一穩定環境條件的密閉空間，容積為 $V(\text{m}^3)$ 、大氣壓力 $P(\text{Pa})$ 、環境溫度或乾球溫度 T (單位 K)、濕空氣的總質量 m (=乾空氣質量 m_a +水蒸氣質量 m_v)，依據密度 ρ 基本定義與理想氣體方程式(1a)來推導：

$$\rho = \frac{m}{V} = \frac{m_a + m_v}{V} = \frac{\frac{P_a V}{R_a T} + \frac{P_v V}{R_v T}}{V} = \frac{P_a}{R_a T} + \frac{P_v}{R_v T}$$

$$= \frac{P - P_v}{R_a T} + \frac{P_v \frac{R_a}{R_v}}{R_a T} = \frac{P_a - \left(1 - \frac{R_a}{R_v}\right) P_v}{R_a T} = \frac{P - 0.378 P_v}{287 T} \quad (34)$$

$$\rho = \frac{P - 0.378 P_v}{287 T} \quad (35)$$

濕空氣密度最後推導出的計算式(35)中，僅包含大氣壓力 P 、水蒸氣分壓 P_v 、以及環境溫度 T (單位 K)，與 ISO 5801 第 12.1 節公式一致[10]。許多計算式中溫度單位的決定，須看公式的原始定義，如果是由理想氣體方程式推衍得到的，絕大部分要換算為單位 K 的數值，即 $T(K) = 273.15 + t(^{\circ}C)$ 。

(二) 電風扇能源效率試驗條件與方法:

1. 桌上型及掛壁型、立地電扇、自動旋轉吊電扇、箱型電扇及天花板循環扇應依附件一規定測試。
2. 吊電扇應依附件二規定測試。
3. 依附件一或附件二測量各點之風速，如下圖所示 V_1 、 V_2 、 V_3 ...等(單位:m/min)，並繪製風速曲線。
4. 風速計讀值出現風速為零時，該點風速 V_n 可以不測定，以其前一測定點之風速 V_{n-1} 之 1/3 計，風量之計算至此點為止。
5. 計算各區間之環狀面積，如下式：

$$K_n = \pi((r_n)^2 - (r_{n-1})^2)$$

上式：

- (1) $n=1, 2, 3, \dots$ 。
 - (2) $r_0=0$ 。
 - (3) $r_n=5 \times n/100$ (單位:m，適用附件一)。
 - (4) $r_n=10 \times n/100$ (單位:m，適用附件二)。
6. 各區間風量 Q_n (單位: m^3/min)計算如下式：

$$Q_n = V_n \times K_n$$

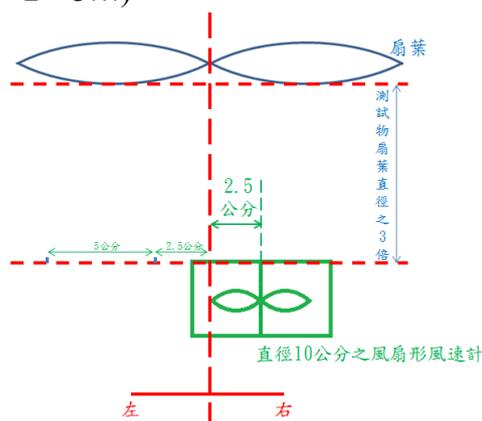
7. 實測總風量為 $Q = \sum Q_n$ 。
8. 報告須載明試驗過程乾球溫度、相對溼度、大氣壓力及空氣密度之平均值，並且依據 ANSI/AMCA 210 第 7.2 節或 ISO 5801 第 12.1 節，將實測總風

量 Q 轉換為標準空氣狀態下(溫度 20°C、氣壓 101.32kPa、相對溼度 75%之標稱風量值，如下式：

$$\text{標稱風量(m}^3\text{/min)}=\text{實測總風量(m}^3\text{/min)}\times(\text{量測條件空氣密度/標準狀態空氣密度})$$

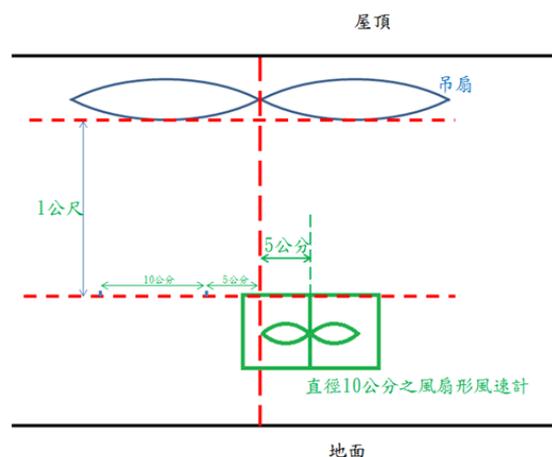
附件一

1. 靜止大氣中，將電扇置於長寬為 4.5m×4.5m 且天花板高度為 2.8m~3.5m 之密閉空間中。
2. 測試期間除測試儀器及相關支架外，此密閉空間內須淨空。
3. 電扇扇葉中心與地面距離調整至 1.5m，扇葉中心與左右牆面距離應對稱，扇葉前緣與背牆面距離 1.2m 以上，其中箱扇電扇與天花板循環扇測量時須將改變風向裝置拆掉。
4. 以額定電壓及額定頻率，使電扇扇葉在不擺動且固定轉向之條件下，以最大速度運轉 1 小時後開始進行試驗。
5. 測量電壓範圍：110±1%或 220±2%。
6. 風量測試應以直徑 10cm 風車型風速計(以下簡稱風速計)測試，測試示意圖如下圖所示。
 - (1) 測試產品扇葉前緣，須與風速計扇葉前緣距離 3 倍產品扇葉直徑。
 - (2) 測試產品扇葉之軸心應與風速計扇葉之軸心平行。
 - (3) 風速計應以夾具固定，並於產品扇葉軸心左(右)2.5cm 點處開始測量，並每隔 5cm 測量一次並記錄相關數值，各點測定時間最少 2 分鐘，各點每隔 20~30 秒取一風速最高值，算出左(右)測定點風速最高值之平均值為其風速。
 - (4) 經前款測試並記錄產品左(右)數值後，以相同方法測試產品右(左)數值。
 - (5) 經前二款所得風速平均值，應對左右各別相同位置再予平均，計算各點之風速 $V_n(n=1、2、3\dots)$ 。



附件二

1. 靜止大氣中，將電扇置於長寬為 4.5m×4.5m 且天花板高度為 2.8m~3.5m 之密閉空間中。
2. 測試期間除測試儀器及相關支架外，此密閉空間內須淨空。
3. 扇葉之前緣至屋頂之距離，依出廠時所設定之高度配置。
4. 以額定電壓及額定頻率，使電扇扇葉在不擺動且固定轉向之條件下，以最大速度運轉 1 小時後開始進行試驗。
5. 測量電壓範圍：110±1%或 220±2%。
6. 風量測試應以直徑 10cm 風車型風速計(以下簡稱風速計)測試，測試示意圖如下圖所示。
 - (1) 測試產品扇葉前緣，須與風速計扇葉前緣距離 1m。
 - (2) 測試產品扇葉之軸心應與風速計扇葉之軸心平行。
 - (3) 風速計應於產品扇葉軸心左(右)5cm 點處開始測量，並每隔 10cm 測量一次並記錄相關數值，各點測定時間最少 2 分鐘，各點每隔 20~30 秒取一風速最高值，算出左(右)測定點風速最高值之平均值為其風速。
 - (4) 經前款測試並記錄產品左(右)數值後，以相同方法測試產品右(左)數值。
 - (5) 經前二款所得風速平均值，應對左右各別相同位置再予平均，計算各點之風速 $V_n(n=1、2、3\dots)$ 。



三、參考文獻

1. 經濟部能源局，節能標章全球資訊網 <http://www.energylabel.org.tw/>
2. 經濟部技術處，產業技術知識服務計畫資料庫，<http://www2.itis.org.tw/>，2015年4月查詢。
3. 謝佩穎、羅新衡，電風扇節能標章基準修訂與推動簡介，節能標章季刊/99年第三季，p. 13~20，2010年10月。
4. 張俊銘、張文瑞、羅新衡，家用電風扇能源效率管理現況研究，第30屆中國機械工程師學會研討會，2013年12月。
5. 經濟部標準檢驗局，電扇(桌上型及掛壁型)，中國國家標準CNS 547，1992年修訂。
6. 經濟部標準檢驗局，吊電扇，中國國家標準CNS 597，1992年修訂。
7. 經濟部標準檢驗局，自動旋轉吊電扇，中國國家標準CNS 2450，1992年修訂。
8. 經濟部標準檢驗局，箱型電扇，中國國家標準CNS 9578，1992年修訂。
9. ANSA/AMCA 210-07 and ANSI/ASHRAE 51-07, Laboratory Methods of Testing Fans for Certified Aerodynamic Performance Rating, August 17, 2007.
10. ISO 5801, Industrial fans- Performance testing using standardized airways, 2007.
11. Jones & Hawkins, Engineering Thermodynamics, 2nd ed., John Wiley & Sons, Inc., 1986.
12. Incropera & DeWitt, Introduction to Heat Transfer, John Wiley & Sons, Inc., 1985.
13. McQuiston & Parker, Heating, Ventilating and Air Conditioning, Analysis and Design, John Wiley & Sons, Inc., 1994.
14. ASHRAE, 2001 ASHRAE Handbook, Fundamentals, Ch.6.