Phi 風扇效能標準（PFPS）

修訂版 **1.8**

作者：**Aristeidis Bitziopoulos**

Cybenetics

賽普勒斯，尼古西亞

2026 年 9 月

修訂歷史

版本	發布日期	備註
1.0	2024 年 5 月	初版草稿
1.1	2024 年 6 月	標章變更。省略了風扇直徑。
1.2	2026 年 8 月	量測不確定度已更新為目前的管制預算（P19）。
1.3	2026 年 8 月	量測不確定度已修正：原本已包含於 A 類項目中的 B 類分量，因重複計算而移除（P19 rev.05, 07-08-2026）。
1.4	2026 年 8 月	訂定 PFPS 徽章授予的判定規則：簡單接受，並於等級界限處採用重測取平均值的規則。
1.5	2026 年 8 月	本底噪音由 < 6 dB(A) 改為標示約 6 dB(A)，以與其他 Cybenetics 測試文件一致。
1.6	2026 年 9 月	在新的管制樣本基準上重新推導量測不確定度：2026-09-02/03 的十二次管制執行取代先前的十五次基準（P19-F01 rev.07, 07-09-2026）。靜壓 U 由 2.422 變更為 0.6727 Pa；風量相對分量由 1.9296 % 變更為 1.23176 %，管制點 U 由 5.000 變更為 4.290 CFM。
1.7	2026 年 9 月	僅為譯文一致性修正，未變更任何量測值或所宣告的不確定度。德文、繁體中文與簡體中文版本原本採用縮短的風量不確定度句子，且其中夾雜未翻譯的英文；三個版本現已與英文版本採用相同的表述。
1.8	2026 年 9 月	已修正文件呈現方式：封面日期為 2026 年 9 月，修訂版 1.6 與 1.7 的譯文日期與英文修訂歷史一致，移除重複或未翻譯的目錄標題，並使精簡的評級與不確定度表格在分頁時保持完整。任何量測值、測試、所宣告的不確定度與已公布的評級均未變更。 目錄另起一頁，並排除誤設為標題的正文。

目錄

前言.....4
風扇運作與軸承類型.....4
測試設備.....5
風扇效能：P-Q 曲線.....7
正規化噪音測試.....8
噪音量測程序.....9
Phi 風扇效能標準 - PFPS.....10
效能標章與評級.....11
量測不確定度.....12
判定規則.....12
結語.....13
參考文獻.....14

前言

風扇無所不在，為對熱敏感的電子裝置散熱。除非產生噪音，否則它們往往被忽視，因為它們只是長時間默默地執行自己的工作，直到停止轉動為止。本文旨在詳細說明我們如何評估散熱風扇，以及如何依據其效能為其評級。

風扇運作與軸承類型

每個風扇最關鍵的零件是其軸承與轉軸，扇葉即安裝於轉軸上。軸承是一個固定的圓筒，轉軸在其內部旋轉。為了提供高可靠性並降低噪音輸出，必須將轉軸與軸承之間的摩擦降至最低。在大多數情況下，會使用油作為潤滑劑；不過也可以採用其他方式（例如鐵氟龍塗層表面）。如果油未在軸承內妥善密封，其油量會隨著時間流逝而減少，使摩擦增加，導致風扇轉速變慢、噪音提高，直到風扇損壞並停止轉動為止。

PC 散熱風扇最常使用的軸承類型如下：

- 含油軸承
- 來福軸承
- 雙滾珠（DBB）軸承
- 流體動壓軸承（FDB）與液體動壓軸承（HDB）
- 磁浮軸承

詳細說明各種軸承類型已超出本文的目的，但簡而言之，含油軸承風扇的可靠性較低。來福軸承風扇提供更佳的可靠性，而 FDB 與 HDB 風扇的可靠性又更高。

雙滾珠軸承風扇對高溫具有高度耐受性，但在低轉速下通常會出現軸承噪音；而磁浮軸承風扇具備與 DBB 風扇相同的高溫耐受性，且在低轉速下不會產生任何軸承噪音。

還有其他軸承類型，但它們通常是上述軸承的改良版本，只是採用了不同的名稱。

測試設備

我們用於風扇量測的主要儀器是 LW-9266 風扇 PQ 效能量測設備 [1]。這是一款由臺灣 Long Win 製造的高度精密科學儀器。

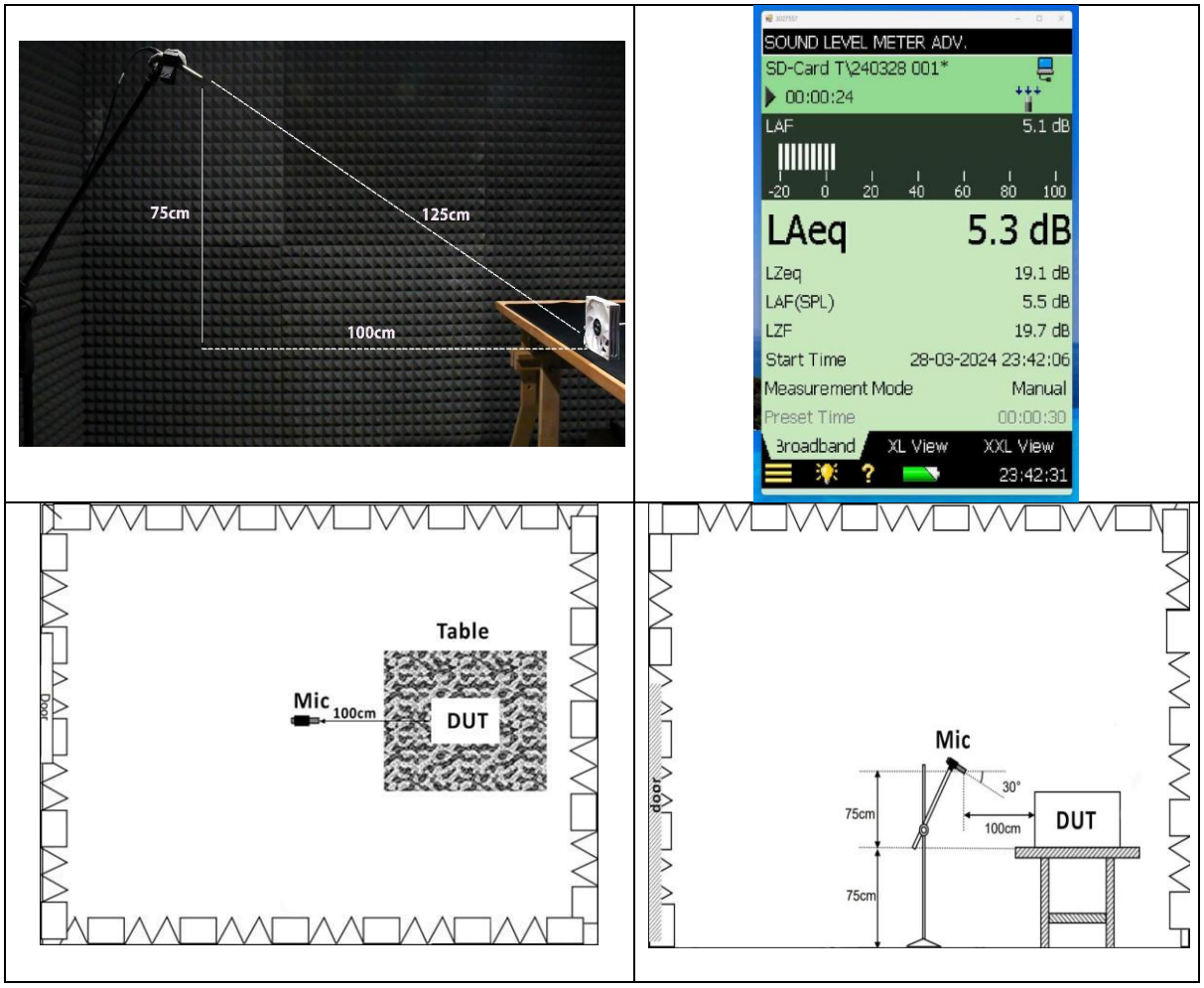
LW-9266 技術規格

- 製造商：Long Win Science & Technology Corporation
- 風量：2.4 – 250 CFM
- 風量準確度：<3.5% INFS
- 重複性誤差：< 2%
- 靜壓：0-20mmAq（搭配高靜壓節流裝置時為 100mmAq）
- 整體尺寸：0.7（寬）x 2.2（長）x 1.6（高）m
- 電源：220VAC，5A，單相，50/60Hz
- 依據標準：ISO 5801-2007, AMCA 210-0, ASHRAE 51-2007, IEC 61591-2005, GB/T 1236-200

除了 Long Win 機器之外，我們也使用下列設備。

- 噪音測試環境：本底噪音約 6 dB(A) 的半消音室
- 環境條件：攝氏 25 (+-2) 度，濕度 40-50%
- 聲學分析儀：Bruel & Kjaer 2270-S G4
- 麥克風：Bruel & Kjaer Type 4955-A
- 麥克風校準器： Bruel & Kjaer Type 4231

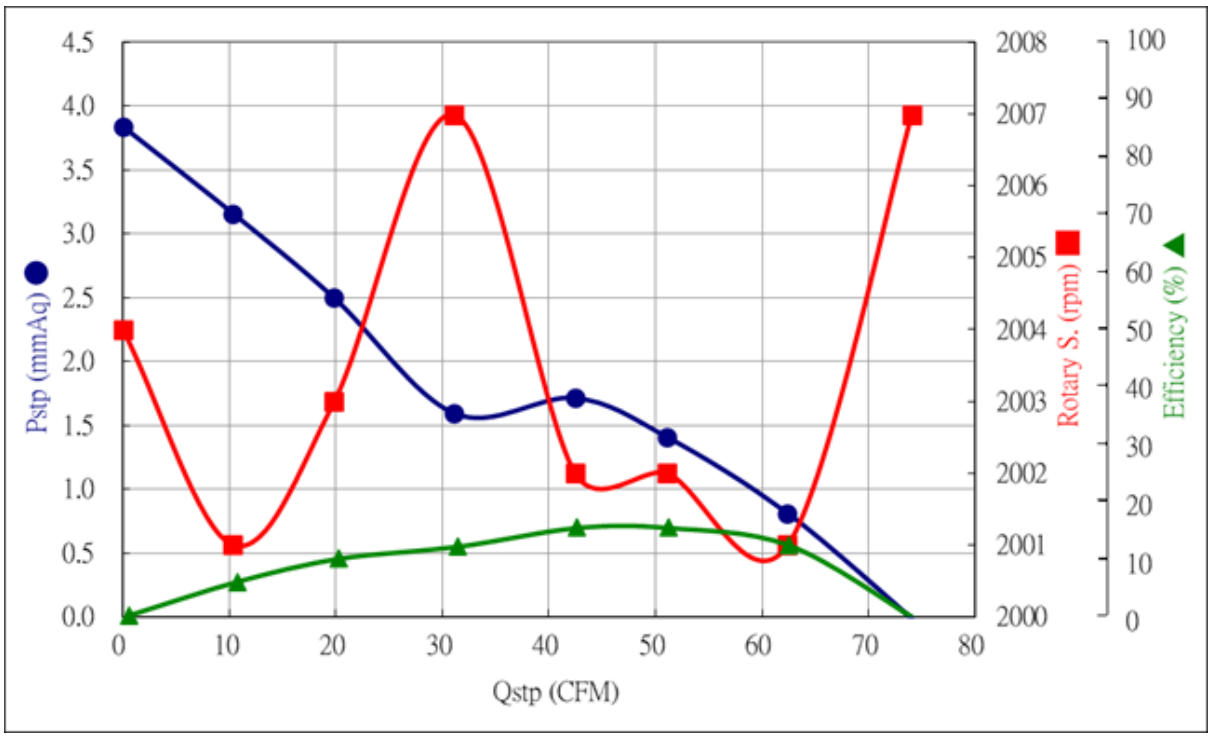
- 資料記錄器：Picoscope TC-08 [2]



量測用麥克風的擺放位置，需使其與水平軸形成 30o 至 45o 度角，且其與待測物（DUT）之間的垂直距離為一公尺。

風扇效能：P-Q 曲線

無論尺寸為何，每個風扇（無論是直流或交流供電）都具有一條稱為 P-Q 的特性曲線。這條曲線顯示風扇的風量與其靜壓之間的關聯。我們以字母「P」表示靜壓，以「Q」表示風量。



當我們提到風扇的風量時，指的是風扇在單位時間內推送或產生的空氣總量。風量通常以每分鐘立方英尺（CFM）為單位量測。風扇製造商是在前方沒有任何障礙物的開放環境中量測風扇的 CFM，而這一點影響甚鉅，您很快就會透過我們的評測發現這一點。當風扇前方沒有阻力時，其風量達到最大值，但大多數風扇並非處於這種情況，尤其是用於散熱片與一體式水冷排的風扇。大多數用於機殼的風扇則不會面臨顯著的阻力。

最大靜壓是風扇在完全封閉通道中的風壓。靜壓是風扇在封閉空間中所能產生的氣壓，其單位為帕斯卡（Pa）、英寸水柱（inH2O）或毫米水柱（mmAq）。我們將採用後者。您必須知道的最重要一點是，風扇不會同時輸出最大的風量值與靜壓值。風量與靜壓呈負相關：當風量增加時，靜壓下降；當靜壓增加時，風量下降。

風量與靜壓都與氣流阻力有關，這種阻力稱為阻抗。當零件阻擋風扇的氣流時，就產生了阻抗；因此若要得出風扇完整的 P-Q 曲線，我們必須能夠以某種方式模擬這種阻抗。有些使用者會使用訂製的濾網或一體式水冷排，但這些做法只能模擬單一的阻抗情境，因此無法提供完整的 P-Q 曲線。取得風扇完整 P-Q 曲線的唯一方法，就是具備可變阻抗，而這正是 LW-9266 這類儀器所做的事，其依據既有的量測標準，並具備完整的校準報告。

正規化噪音測試

僅在全速下測試風扇，只能呈現其效能的一小部分，因為在大多數情況下，散熱風扇並不會以全速運轉。若真以全速運轉，除了噪音輸出偏高之外，其壽命也會受到極大影響。因此，風扇轉速通常會依據熱負載加以調節。這正是為何在相同條件下測試並比較每個風扇至關重要。將以 3000 RPM 運轉的風扇與以 1500 RPM 運轉的風扇相比並不公平。您也必須將噪音輸出這項參數納入比較，因為風扇的轉速同樣不是一個穩定的參數。例如，比較兩個都以 1500 RPM 運轉的風扇同樣不公平，因為其中一個可能輸出 30 dBA 的噪音，另一個則為 33 dBA。噪音輸出也與風扇的設計有關，而不僅取決於其轉速。

在進行完整的風扇效能評估之前，我們必須先量測其噪音輸出，因為每個風扇最重要的效能表現，就是其在正規化噪音輸出下的表現。在正規化噪音輸出測試中，我們會將風扇設定至噪音輸出達下列預定水準的轉速：20/25/30/35/40/45 dBA。若受測風扇無法達到某些噪音水準，我們便略過對應的測試。下方範例圖表中所顯示的轉速，是在我們的半消音室內、風扇周圍無任何障礙物的淨空環境中量測而得。我們會將這些轉速設定套用於 Long Win 機器上，但由於外部無法控制的參數以及機器運作上的細微差異，結果可能出現些微變異，惟始終落在誤差範圍之內。

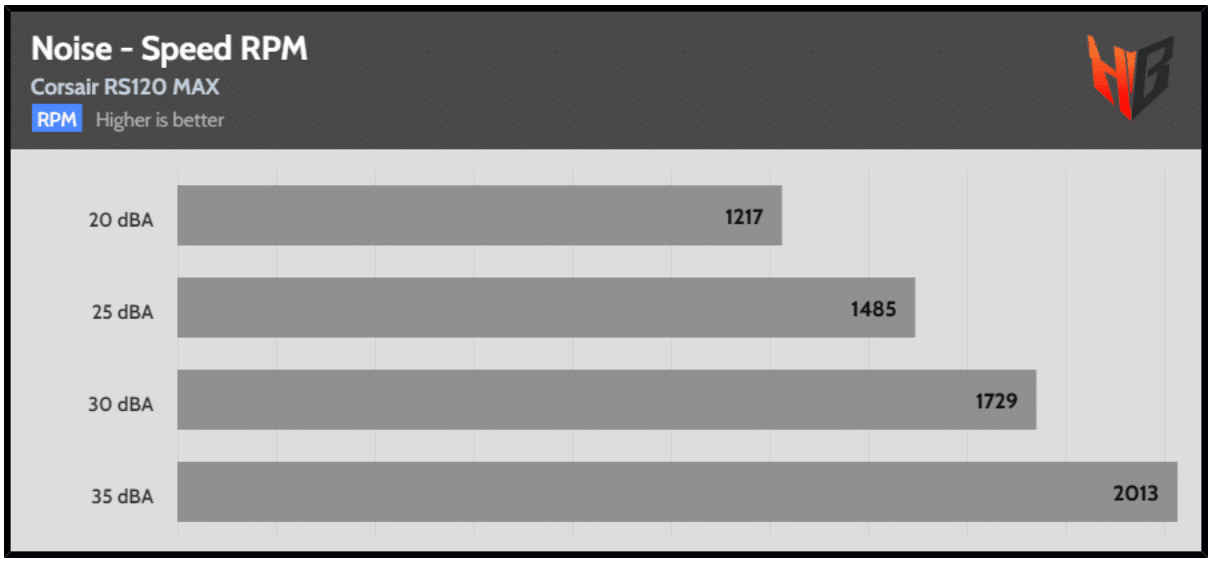


圖 1

噪音量測程序

我們會在開始量測前 15 至 30 分鐘開啟噪音計 Bruel & Kjaer G-4 Type 2270 [3]，使其達到工作溫度。在開始量測之前，我們會使用 Bruel & Kjaer Sound Calibrator Type 4231 [4] 對噪音計進行校準。

我們將風扇安裝於消音室內，其位置需使氣流方向與麥克風方向相反。我們會確認麥克風已正確安裝，整體而言，我們遵循 ECMA-74 與 ISO 9296 標準的所有噪音測試要求 [5][6]。

我們使用 Corsair 的 Commander Pro [7]，搭配由本團隊開發的自訂軟體來控制機殼風扇。此外，Commander Pro 由另一套被動散熱系統驅動，該系統不會影響消音室的本底噪音。

我們的軟體可依 RPM 與百分比精確調整風扇轉速。因此，我們能為每個風扇個別設定部分轉速；例如，將最高轉速為 1000 RPM 的風扇設定為 50% 的轉速，其風扇轉速將為 500 RPM (±1%)。

我們以 10% 為間隔，量測風扇從最低轉速到最高轉速所產生的噪音。接著，我們反轉量測邏輯來調整風扇轉速，以達到正規化噪音測試所需的對應噪音輸出水準，並記錄對應的風扇轉速供後續使用。

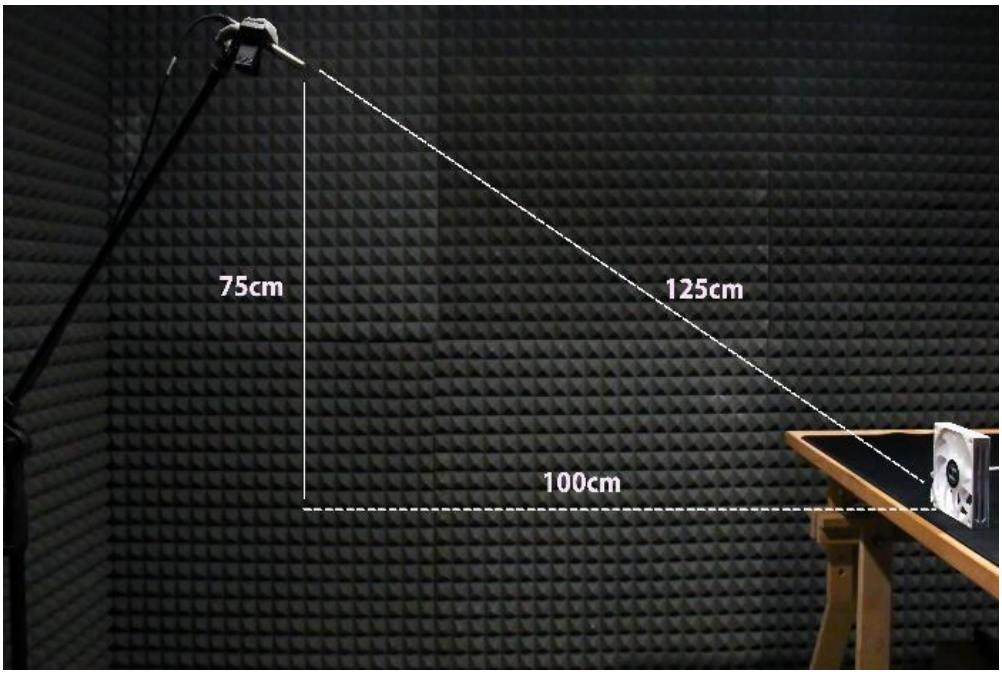


圖 2

Phi 風扇效能標準 - PFPS

我們將本風扇效能標準命名為 Phi，取自希臘字母「Φ」，該字母所代表的意義之一即為 [8]。Golden ratio

Phi 風扇效能標準（簡稱 PFPS）同時涵蓋 120mm 與 135-140mm 風扇，但各等級的要求並不相同。這些要求同時針對風量與靜壓訂定，因為這兩者是每個風扇的關鍵效能因素。

所有風扇均在 25 dBA 正規化噪音輸出下進行測試，我們依據這些結果將其歸入下列等級。我們為何為本標準選擇這個特定的噪音水準？因為在 25 dBA 下，風扇可以轉得夠快以達到不錯的效能，而這個噪音水準又不至於高到令大多數使用者感到困擾。高於或低於此噪音水準，不是過於吵雜，就是效能會受到極大影響。

那麼，那些甚至無法達到 25 dBA 噪音輸出的風扇呢？很遺憾，我們無法為其評級；而這些風扇本來就不是以效能為導向，因此也不需要效能標章。目前我們的風扇資料庫中，只有少數幾款風扇無法達到 25 dBA 的噪音輸出。

PFPS – 120mm 風扇風量等級/要求 – 25 dBA 正規化噪音輸出

效能等級	要求
銅級	≥34 CFM & <38 CFM
銀級	≥38 CFM & <42 CFM
金級	≥42 CFM & <46 CFM
白金級	≥46 CFM & <50 CFM
鈦級	≥50 CFM & <55 CFM
鑽石級	≥55 CFM

PFPS – 120mm 風扇靜壓等級/要求 – 25 dBA 正規化噪音輸出

效能等級	要求
銅級	≥0.8 mmAq & <1.0 mmAq
銀級	≥1.0 mmAq & <1.25 mmAq
金級	≥1.25 mmAq & <1.5 mmAq
白金級	≥1.5 mmAq & <1.75 mmAq
鈦級	≥1.75 mmAq & <2.0 mmAq
鑽石級	≥2 mmAq

PFPS – 135/140mm 風扇風量等級/要求 – 25 dBA 正規化噪音輸出

效能等級	要求
銅級	≥45 CFM & <50 CFM
銀級	≥50 CFM & <55 CFM
金級	≥55 CFM & <60 CFM
白金級	≥60 CFM & <65 CFM
鈦級	≥65 CFM & <70 CFM
鑽石級	≥70 CFM

PFPS – 135/140mm 風扇靜壓等級/要求 – 25 dBA 正規化噪音輸出

效能等級	要求
銅級	≥0.7 mmAq & <0.9 mmAq
銀級	≥0.9 mmAq & <1.1 mmAq
金級	≥1.1 mmAq & <1.3 mmAq
白金級	≥1.3 mmAq & <1.5 mmAq
鈦級	≥1.5 mmAq & <1.7 mmAq
鑽石級	≥1.7 mmAq

效能標章與評級

由於我們不希望造成使用者混淆，因此沿用了大家非常熟悉、且已用於本公司電源供應器效率評級的金屬與碳素評級：銅級、銀級、金級、白金級、鈦級與鑽石級。

風扇分為兩個類別，也就是最普遍的兩種：120mm 與 135/140mm。針對風扇的主要效能因素，亦設有兩種標章：風量與靜壓。

CYBENETICS Airflow DIAMOND	CYBENETICS Static Pressure DIAMOND

量測不確定度

量測不確定度是對量測結果所存疑慮的量化表述，它顯示真值預期所落入的範圍。風扇空氣動力量測的不確定度係依據 JCGM 100:2008 (GUM) 與 ISO/IEC 17025:2017 進行評估。

所報告的擴展不確定度 U 為合成標準不確定度乘以包含因子 k = 2，對應之信賴水準約為 95 %。

風量量測的不確定度是相對於讀值的，為 1.23176 %：$U(Q) = 2\cdot\sqrt{[(1.8200\ \text{CFM})^2 + (0.0123176\cdot Q)^2]}$，k = 2，適用於所宣告的量測範圍 2.4 – 250 CFM。據此，於 25 CFM 時為 ±3.69 CFM，於 50 時為 ±3.84，於 92.1 CFM 管制點時為 ±4.29，於 150 時為 ±5.19，於 250 CFM 時為 ±7.15 CFM。風量的散布會隨讀值變化而非維持固定，因此單一絕對數值會低估高風量時的不確定度。

靜壓量測的不確定度為 ±0.6727 Pa，適用於標準量測範圍 0 – 20 mmAq (0 – 196.1 Pa)。使用高靜壓節流裝置時，本設備可延伸至 100 mmAq (981 Pa)；此延伸範圍僅在極少數情況下使用，其不確定度尚未另行驗證 — 請參閱管制紀錄 P19-F01 rev.07, 07-09-2026

不確定度係針對所宣告的整個量測範圍陳述，而非僅針對單一工作點，因為本標準的交付成果是一條完整的 P–Q 特性曲線，其在每次測試中皆會涵蓋整個範圍。

風量量測不確定度預算

不確定度來源	標準不確定度 u(xi)（CFM）
LW-9266 儀器準確度（B 類）	1.750
重複性，管制樣品（A 類）	1.135
校準（B 類）	0.500
合成標準不確定度（RSS）：	2.145
擴展不確定度 U（k=2，常態）：	4.290

靜壓量測不確定度預算

不確定度來源	標準不確定度 u(xi)（Pa）
重複性，管制樣品（A 類）	0.328
LW-9266 校準（B 類）	0.075
合成標準不確定度（RSS）：	0.336
擴展不確定度 U（k=2，常態）：	0.673

重複性係依據對管制樣品進行的重複實驗室量測，以 A 類方式評估，並在所宣告的範圍內視為絕對量。LW-9266 製造商規格則另行作為 B 類儀器準確度分量加以套用。

判定規則

徽章採用簡單接受原則授予。風扇在 25 dBA 標準化噪音輸出下所測得的風量與靜壓，直接與上述各等級的要求比較；在比較之前，不會將量測不確定度加至測量值或自測量值中扣除。這是 ISO/IEC 17025:2017 第 7.8.6.2 節所允許的風險共擔規則，意即當結果接近等級界限時，真值可能落在該界限的任一側。

若測量值與等級界限的差距在一個擴展不確定度之內，我們會以三次獨立測試重複評估，每次均包含各自的噪音量測，並以三次的平均值與界限比較。若平均值仍在該範圍之內，則授予較低的等級。

結語

本文簡要介紹了風扇測試的領域，並初步呈現我們的測試方法。要客觀呈現風扇的效能是一項精細的工作，需要同時具備聲音量測與空氣動力學方面的經驗。我們測試所使用的設備為業界標準規格、品質最高，並經過妥善維護與操作。此外，我們至今已測試過為數眾多的風扇，並在此過程中持續精進方法。因此，我們所提供的資訊與測試結果既準確，也能反映真實世界的效能。

參考文獻

[1] LW-9266 Fan PQ Performance Measurement Apparatus.
http://www.longwin.com/english/product/9266.html (last accessed on 30 May 2024)
[2] Picoscope TC-08. https://www.picotech.com/data-logger/tc-08/thermocouple-data-logger
(last accessed on 30 May 2024)
[3] (last accessed on 30 May 2024) https://www.bksv.com/en/products/sound-and-vibration-meters/sound-level-meters-and-vibration-meters/2270-series/Type-2270-S
[4] https://www.bksv.com/en/products/transducers/acoustic/calibrators/4231
(last accessed on 30 May 2024)
[5] Standard ECMA-74 Measurement of Airborne Noise Emitted by Information Technology and Telecommunications Equipment
https://www.ecma-international.org/publications/standards/Ecma-074.htm
(last accessed on 30 May 2024)
[6] ISO 9296:2017 Acoustics - Declared noise emission values of information technology and telecommunications equipment https://www.iso.org/standard/32303.html
(last accessed on 30 May 2024)
[7] (last accessed on 30 May 2024)https://www.corsair.com/eu/en/Categories/Products/Accessories-%7C-Parts/iCUE-CONTROLLERS/iCUE-Commander-PRO-Smart-RGB-Lighting-and-Fan-Speed-Controller/p/CL-9011110-WW
[8] Golden ratio (last accessed on 30 May 2024)https://en.wikipedia.org/wiki/Golden_ratio
[9] ANSI/AMCA Standard 210-25 / ANSI/ASHRAE Standard 51-25, Laboratory Methods of Testing Fans for Certified Aerodynamic Performance Rating. Air Movement and Control Association International / ASHRAE. (Supersedes ANSI/AMCA 210-16 / ASHRAE 51-16.)
[10] ISO 5801, Fans – Performance testing using standardized airways.
[11] ISO/IEC 17025:2017, General requirements for the competence of testing and calibration laboratories.
[12] JCGM 100:2008 (GUM), Evaluation of measurement data – Guide to the expression of uncertainty in measurement. Joint Committee for Guides in Metrology.
[13] ECMA-74, 22nd edition, December 2025, Measurement of Airborne Noise emitted by Information Technology and Telecommunications Equipment. ECMA International, Geneva.
[14] ISO 7779:2018, Acoustics – Measurement of airborne noise emitted by information technology and telecommunications equipment.