

CFDesign 於離心式風扇設計之數值模擬

李志良

德霖技術學院機械工程系助理教授

中文摘要

近年來由於電腦運算能力的加強，促使數值分析之方法與技巧能夠不斷的創新與發展，同時使得計算效率也大幅的提升。其中數值分析由一維分析轉變成二維甚至三維的分析，為減少寫程式或開發程式的時間，各種套裝軟體因而產生。一般用於熱流分析的套裝軟體有：PHOENICS、FLOTHERM、CFD-RC、FLOW3D、STAR-CD 等等計有數十種。本文採用套裝軟體「CFDesign」來設計分析離心式風扇之運轉性能，藉由軟體的流體可視化功能，探討整體離心式風扇及細部區域的流場現象，做為設計改良之參考與比較。經過電腦輔助分析軟體 CFDesign 數值分析的結果，將此結果與傳統設計做一比較，得到兩條非常接近的性能曲線，驗證此模擬軟體的準確性。

關鍵詞：數值分析、離心式風扇。

Numerical Simulation of a Centrifugal Fan's

Performance Curve by CFDesign

Chi-Liang Lee

De Lin Institute of Technology, Assistant Professor

ABSTRACT

Over the past few years, the dimensions of numerical analysis has been developed from 1D to 2D and even to 3D due to the advantages of high-speed techniques of simulations and efficiency with computers. However, solving a 3D problem costs much time to develop the computer problem, commercial software's for analyzing fluid mechanics were developed. The common software's are PHOENICS, FLOTHERM, CFD-RC, FLOW3D, STAR-CD, etc. This study used the software of CFDesign to simulate the performance of a centrifugal fan. By the flow visualization utility, the discussion can be compared and referred in the design process of a centrifugal fan. Numerical analysis results show that the innovated design process of fan proposed here demonstrates performance curve very close the traditional design.

Keywords : Numerical analysis, Centrifugal fan.

壹、前言

筆記型電腦的散熱問題，一直是各家系統廠商及散熱模組廠商關心的重點，在散熱元件中風扇則是最常見的幾種元件之一。由於筆記型電腦的外型設計是趨向輕、薄、短、小來發展，因此軸流式的風扇並不適用於筆記型電腦。本研究即是針對離心式風扇，利用電腦輔助繪圖(Pro/E)與分析(CFDesign)等軟體，來進行離心式風扇性能曲線的研究與探討。早期風扇的設計開發與分析，大多以風洞實驗之量測為依據，所以風扇量測需在昂貴的儀器設備中進行，其所耗費的儀器設備費用與手樣品材料費用則是相當的可觀。如果初步設計之手樣品錯誤時，常導致實驗的重複與浪費，最後將造成研發時程的延誤。

有鑒與此，本研究使用 CFDesign 模擬分析軟體，來模擬風扇在風洞中運轉之情形，並以數值計算出風扇各項性能參數，如此可判斷所要開發的風扇其設計是否符合需求，並可節省所造成的實驗重複與成本的浪費。CFdesign 分析軟體，提供全功能的 Mechanical CFD 及 Electronics Cooling 模擬分析，並完美結合產品設計開發流程，適用於電子、汽車、航太、及熱流相關產品研發，只要有基本 CAD 技術及基礎熱流常識，僅需兩天時間即可上手。CFdesign 跟下列繪圖系統緊密結合：Autodesk Inventor、Mechanical Desktop、Pro/E、SolidWorks、Solid Edge、I-deas 以及 Unigraphics。所以 CFDesign 可以針對使用 Pro/E 或 Pro/E Wildfire 從事產品開發，而且是量身訂作之高效率的熱流工程分析模擬工具。本軟體的特徵，則是能夠維持零件及組裝件的參數關係，在 Pro/E 作設變，同時也可在 CFDesign 中看到立即的改變，操作使用相當容易。

本研究以實際離心式風扇為例，繪製風扇外型圖，經 CFDesign 模擬分析後，並與實際風洞量測數據做一比較，以驗證模擬的準確性。本研究結果，可以提供風扇開發工程師，在風扇設計時能更準確更有效率，進而提高產品性能，且縮短產品開發時程，降低成本。

貳、研究內容

本研究所測試的離心式風扇其 3D 圖如圖 1 所示，其由 Pro/E 所建構，測試方法採用廠商規格轉速測試，以下為其測試條件。環境溫度：26.6℃；環境濕度：52%；大氣壓力：757mmHg；風管配置：入口測試；葉片數目：15 片；額定電壓：12V；額定電流：0.24A；額定轉速：1840rpm；測試電壓：12V；最大電壓：16.97V。最後將測試結果整理成表，如下表表 1 所示：

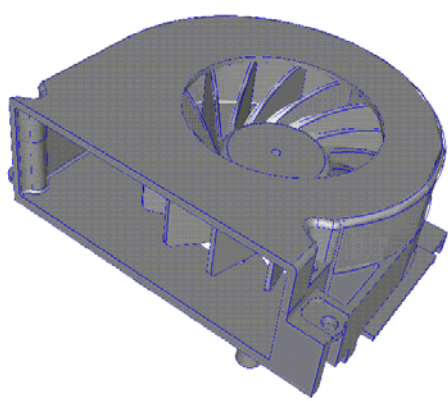


圖 1、離心式風扇 3D 立體圖

表 1、風扇運轉在風洞的實際量測值

項目	轉速(rpm)	風量 (CFM)	風壓 (inH ₂ O)
第一段	3620	11.84	0
第二段	3902	8.89	0.1412
第三段	4367	5.93	0.2885
第四段	4870	2.92	0.4572
第五段	5362	0	0.5943

將表 1 中實際量測之數據，做為模擬的運轉設定參數，以風扇轉速為區分共計分為五段，並將各段轉速之風壓值設定為邊界條件，分別從第一段轉速至第五段轉速模擬分析風扇在風洞之情況，並記錄每次模擬所得之風量值。進而以風壓為縱座標，風量為橫座標，畫出風扇之性能曲線，並與實際量測數據所畫的 Curve 做比較，誤差越小代表模擬越準確。以下為其模擬分析之設定步驟。

參、CFDesign 模擬設定步驟

將繪製好的離心式風扇 3D 立體圖，導入 CFDesign 軟體進行數值計算，其模擬分析之步驟依序如下：

3-1 定義與簡化 Model：

由於模擬風扇在實際的風洞中運轉之情形，其模擬 Model 會非常大，所耗費的記憶容量與運算時間也相對的很大且多，所以必須簡化 Model。將圖 1 定義出流體(入出風口)區及固體(扇葉)區，方可進行數值模擬與計算。但是為了不影響分析的準確性，以及盡量降低分析元素(Element)的數目，以節省運算時間與電腦運算的負荷，其簡化方法如下：

(1) 採局部模擬分析：

不以整個風洞做模擬，由於風洞為均勻流場，故以局部來模擬分析流體流動情況，此依據流體力學之質量連續方程式：

$$\dot{m}(\text{質量流率}) = \rho_{in} \cdot V_{in} \cdot A_{in} = \rho_{out} \cdot V_{out} \cdot A_{out}$$

並設定 $\rho_{in} = \rho_{out} = \text{Const}$ ；

則 $V_{in} \cdot A_{in} = V_{out} \cdot A_{out} = Q$ (風量)，所以流入風量＝流出風量，以局部來模擬分析流體流動情況，而不以整個風洞做模擬。

(2) 將風扇之兩側入風口流體外型，設定為兩個半球體之流體：

其目的是減少模擬流體之體積，並可降低分析元素(Element)的數目。其實流體外型可以有許多變化，例如圓柱外型以及圓錐外型的入風口亦可進行模擬，但是其中以半圓球外型作模擬較接近實際情況，原因是半圓球表面積與流入之空氣，均可成正交曲線流入，此與實際流體流動情形較為接近。

(3) 延伸風扇出口流體：

將風扇出風口流體延伸，因為不易受到葉片旋轉的干擾，較能得到正確的出口流量。

(4) 刪除風扇外殼：

將風扇外殼刪除並不影響分析的結果，同時可減少模擬的體積，也降低了元素(Element)的數目，可以使 Model 更為簡化。

最後將此簡化後之 Model，Import 到 Cfdesign 中，如下圖圖 2 所示：

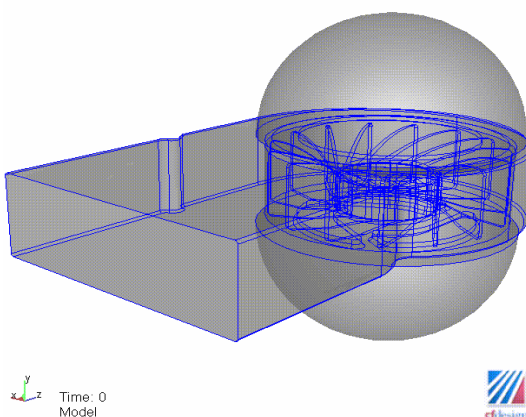


圖 2、簡化後之風扇風洞模擬圖

3-2 材料參數的設定：

材料性質依序設定兩個材質，在此葉片的材質為 Aluminum，另一則是流體的材質為空氣，其中所需設定的性質包含流體密度、黏滯度及比熱值等，詳如下表表 2：

表 2、材料參數

項目	Air	Aluminum (Fan blade)
Density (g/mm ³)	1.2047e-006	0.002707
Viscosity (Pa-s)	1.817e-005	*
Conductivity (W/mm-K)	0.266	0.204
Specific Heat (J/g-K)	1.004	0.896
Cp/Cv	1.4	*

3-3 運轉條件設定：

運轉條件的設定在於設定轉速、流入與流出之風壓等參數。將風扇轉速區分為五段，並將各段轉速之風壓值設定之，分別從第一段轉速至第五段轉速，模擬分析風扇在風洞之情況。其運轉條件設定如下表表 3：

表 3、運轉條件設定

	轉速 (rpm)	流入邊界 風壓 (inH ₂ O)	流出邊界 風壓 (inH ₂ O)
第一段	3620	0	0
第二段	3902	0	0.141
第三段	4367	0	0.288
第四段	4870	0	0.457
第五段	5362	0	0.591

3-4 格點切割：

圖 2 模擬的 Model 外型定義完畢後，需將其分成許多小網格(Mesh)，以供後續的數值計算與分析。原則上網格分得愈細，所計算之結果其誤差應該愈小，但是所需要運算的時間便會愈長。然而在 CFdesign 模擬風扇量測之經驗中，在提高分析的精確度，又不佔太多網格的情形下，則需採用 Boundary Mesh Enhancement 的方法。將邊界網格層數提高至 3 層，邊界網格厚度採 0.4，而網格之產生採自動分格，依序定義幾何體積進行分格，其葉片之 size 設定為 2.5mm，流體之 size 設定為 5mm。經有限元素法之非正交格點切割，圖形如圖 3 所示，且最後所得之網格元素數量為 108051 個元素，而網格節點有 22005 個。

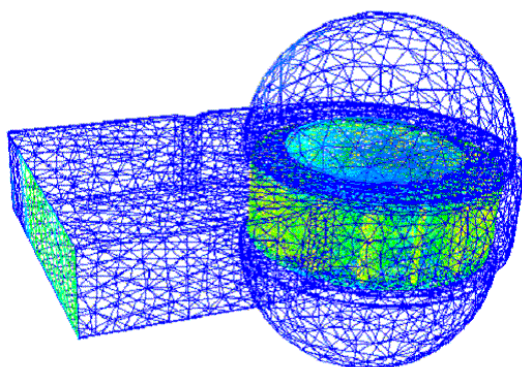


圖 3、非正交格點切割元素圖

3-5 求解分析設定：

設定暫態或穩態問題，以及疊代次數等設定。在進入求解分析設定這一步驟之前，整個風扇模擬分析必須定義完成，進行求解分析以前的步驟，稱為前處理(Pre-Processing)，包括前述四個部分。在求解分析以後的各步驟，稱為後處理(Post-Processing)，提供各切面之速度場、壓力場等資料的圖示及列示(Plotting and Listing)。在此只要選定為暫態(Transient)，疊代次數為 120 次，並加以執行即可。

3-6 執行運算與結果分析：

此一步驟包括後處理的功能，將列示(list)、圖示(Plot)的分析結果，也可以顯示為動態影像檔或其他分析結果圖形，以利編輯撰寫報告。

綜合以上所述之情況，其 CFXDesign 運算情形，如圖 4 所示：

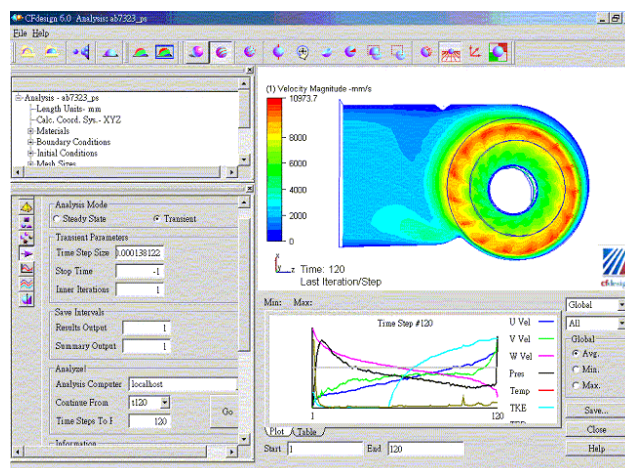


圖 4、CFXDesign 運算情形

肆、模擬結果與分析

由於模擬風扇從第一段轉速至第五段轉速，其情況與表 1 風扇運轉在風洞的轉速是相同的，只有流入與流出之風壓設定不同，故以第一段轉速 3620rpm 為例，分別討論 CFXDesign 運算的結果。其 Cfxdesign 設定風扇旋轉一圈 360 度，每 3 度一個 step 則剛好為 120 個 step，各運算值在 CFXDesign 疊代 120 次後，已呈現週期性穩定情況，故可判定此模擬為穩定，並記錄其風量。其各方向的速度值、壓力與溫度等運算值的情況如圖 5 所示：

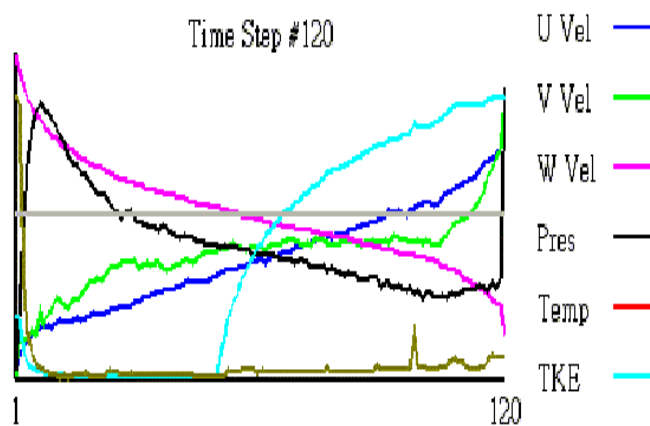


圖 5、運算值之情況圖

疊代 120 次後，數值計算的結果是輸出風量為 11.9 CFM ($0.3370 \text{ m}^3/\text{min}$)，下圖圖 6 為風扇轉速為 3620 rpm 時，其 Z 軸切面之速度分佈圖；圖 7 為同轉速 Z 軸切面之速度向量分佈圖；圖 8 則為同轉速 Y 軸切面之速度分佈圖。

由圖 6 至圖 8 可知，風扇吹出的型式為非均勻流，呈現不同的流速層次，層次在綠色為流速較高的流速，層次在藍色的流速為較低的流速。所以風扇吹出效果，則是往一側邊吹，另一邊則較無風速。故設計時，需要考慮其流道設計，盡量使流場能成為接近均勻流場。

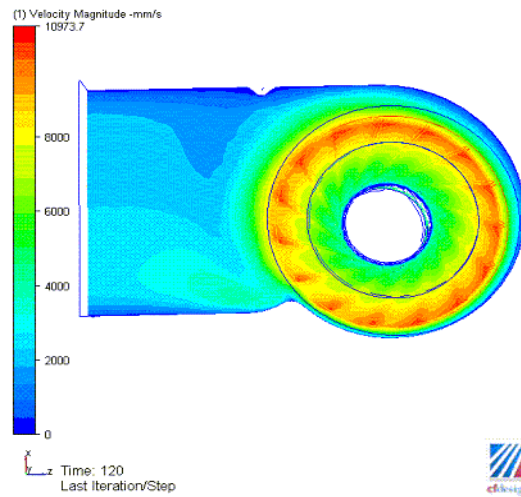


圖 6、Z 軸切面之速度分佈圖 (風扇轉速 3620rpm)

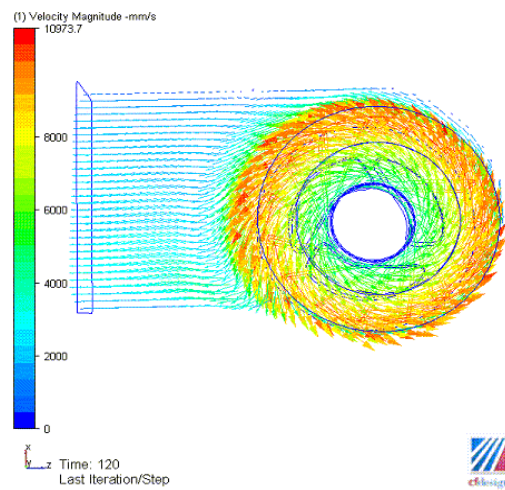


圖 7、Z 軸切面之速度向量分佈圖 (風扇轉速 3620rpm)

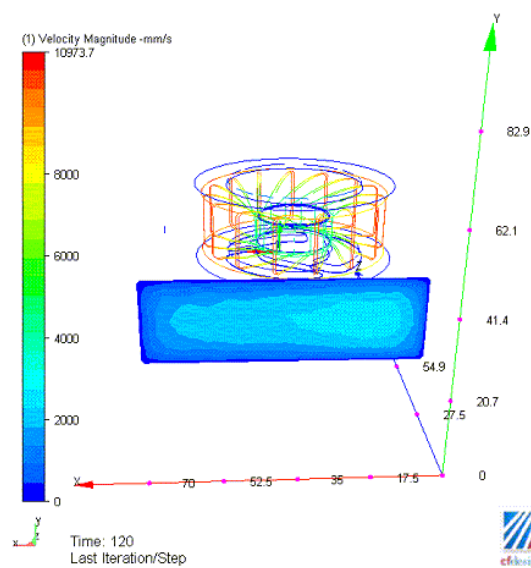


圖 8、Y 軸切面之速度分佈圖 (風扇轉速 3620rpm)

同理依上述模擬分析方法，分別再運算第 2 至第 5 段轉速，記錄其運算結果，並比較風扇運轉在風洞之實際量測報告，彙整成表 4 (附於下頁)，並畫出實際與模擬之風扇性能曲線，圖 9 為風扇性能曲線圖，其中藍色實線為實際風洞量測值，而紅色虛線為模擬值，由圖 9 可以看出兩條曲線非常接近。

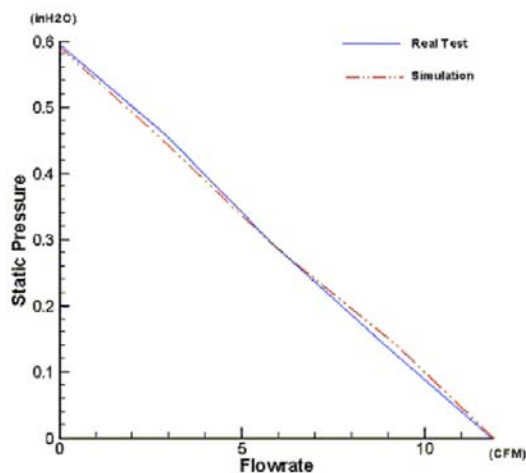


圖 9、風扇性能曲線

由彙整表 4 與風扇特性曲線，可知實際量測值與 CFXDesign 模擬分析值很接近，其誤差幾乎在 $\pm 0.5\%$ 左右，唯一較大誤差值只有在第四段轉速時的 -7.5% ，故整體上數值模擬的結果十分接近實際量測資料。所以說利用 CFXDesign 模擬分析『風扇運轉在風洞之流動情況』，可以提供設計工程師在風扇設計開發時之重要參考依據。

表 4、風扇運轉在風洞的實際量測值與模擬分析值之比較表

項目	轉速(rpm)	風量		風壓		Error
		CFM Test	CFM Sim	"H ₂ O Test	"H ₂ O Sim	
第一段	3620	11.84	11.9	0	BC=Test	0.5%
第二段	3902	8.89	9.2	0.1412	BC=Test	3.5%
第三段	4367	5.93	5.9	0.2885	BC=Test	-0.5%
第四段	4870	2.92	2.7	0.4572	BC=Test	-7.5%
第五段	5362	0	0	0.5943	0.591	-0.6%

伍、結論

綜合以上模擬結果，結論如下：風扇吹出的型式為非均勻流，且呈現不同的流速層次，有高速層流速與低速層流速，此兩層次造成風扇吹出的流體往一側邊吹，另一邊則較無風速。故設計時，需要考慮其流道設計，盡量使流場能成為接近均勻流場。CFXDesign 模擬分析值與實際量測值很接近，其誤差幾乎在 $\pm 0.5\%$ 左右，故十分的接近實際量測資料。所以利用 CFXDesign 模擬分析『風扇運轉在風洞之流動情況』非常有效。

本研究之模擬結果十分令人滿意，充分的將理論與實際做一結合，CFXDesign 在模擬轉動件

(如風扇、泵或渦輪機等)的可行性與準確性也得以證明，此與其他熱流分析軟體比較，是其他軟體較辦不到的地方。此軟體足以提供設計師，在設計開發風扇時之重要參考依據，以使產品設計開發時，能更準確更有效率，減少設計的誤差，進而提高產品性能，縮短產品開發時間，並進而降低研發成本。

陸、參考文獻

- [1]何益川、陳星，電腦輔助設計/繪圖－PRO/E 進階，全華科技圖書，2003。
- [2]簡煥然、施銘銓，“軸流風扇性能測試技術與扇葉設計技術”，機械工業雜誌，pp. 269 ~ 288，1992。
- [3]林顯群、吳慶財，“前傾式離心風機的實驗研究”，技術學刊，第九卷，第一期，pp. 37~45，1994。
- [4]莊昀儒，“PC 風扇性能測試之研究”，清華大學工程與系統科學研究所碩士論文，1998。
- [5]游裕傑，“離心式電腦風扇的設計與分析”，國立成功大學機械工程學系碩士論文，2002。
- [6]黃家烈，“筆記型電腦散熱風扇之研究”，國立台灣科技大學機械工程研究所博士論文，2002。

