

行政院國家科學委員會專題研究計畫成果報告

滑動葉片旋轉式壓縮機之研究與發展()

子計畫三：可靠度在壓縮機設計上之應用()

Integrating Reliability into the Design of a Compressor()

計畫編號：NSC 88-2212-E-002-038

執行期限：87年8月1日至88年7月31日

總計畫主持人：黃元茂

子計畫主持人：吳文方 國立台灣大學機械工程學研究所

一、中文摘要

具橢圓形內壁設計的滑動葉片旋轉式壓縮機有構造簡單、環境適應性高、成本低廉等多項優點，在傳統空調壓縮系統中極具發展的潛力。然而該型壓縮機亦有葉片容易破壞之問題產生，本計畫的目的即針對滑動葉片的破壞及影響進行該型壓縮機效能改善的分析工作，以期得到整體機組的最大效益。研究的方法則根據壓縮機的幾何動力分析，配合摩擦、磨耗、可靠度等相關理論建立磨耗壽命評估方式，使壓縮機能在適當維護規劃上得到較高的可靠度；此外，利用類神經網路的特殊統計技術，推估葉片摩擦係數隨滑動速度改變的關係，以決定較佳操作轉速來提升壓縮機的性能效率。以上的研究可提供業界瞭解滑動葉片在該型壓縮機設計上的重要性，同時也能讓使用者注意到該型壓縮機維護與效益間的良窳。

關鍵詞：可靠度、磨耗壽命、維護度、類神經網路、機制

Abstract

Owing to the simplicity of mechanism, strong adaptability to environment, and low cost, the rotary vane type compressor has been projected to be very suitable for use in

the areas of conventional air conditioning and compression systems. However, the sliding vanes of the compressor frequently cause damage and influence the efficiency of the compressor. The purpose of the project is therefore to study the sliding vanes and improve the integrated mechanism of the rotary vane type compressor. The geometric and dynamic analyses of the compressor are carried out accompanying with theories of friction, wear and reliability. In particular, the wear life of the vane is discussed. It is related to the reliability and maintainability of the compressor. To reduce the occurrence of damage, the damage mechanism of the vane is investigated and performance improvement is discussed accordingly. Operational rotary velocity is also investigated by considering the friction effect of the vane. The result of the present study provides useful information on the design and performance improvement of the rotary vane type compressor.

Keywords: Reliability, Wear Life, Maintainability, Mechanism, Neural Network

二、緣由與目的

隨著生活科技的進步，壓縮機已經成為一項廣泛應用的機械設備。早期壓縮機

的主要市場可說是往復式壓縮機的天下，因為它是最早發展使用；然而往復式壓縮機由於有氣體脈動(gas pulsation)與體機效率(volumetric efficiency)兩大缺點，以及各式新型壓縮機的推出，使得其生存空間大為縮減。

迴轉式壓縮機為冷凍空調的主要系統，但其市場目前逐漸有被渦卷式壓縮機取代的趨勢[1]；此外，大型冷媒壓縮機主要以螺旋式為主[2]，而離心式壓縮機之主要應用領域則為大型空壓機の場合。在時勢背景的情勢下，旋轉式壓縮機正利用其各種優勢，進行著研究及改良，企圖以平穩的運轉方式減少振動、輸出穩定、提高效能[3]。其中，滑動葉片旋轉式壓縮機具有構造簡單、成本低廉、體積小等優點，雖其無法在中、大型壓縮機上競爭，但在小型壓縮機上仍有一定的潛力，其首要條件則是必需克服噪音、振動、磨耗等問題。

滑動葉片旋轉式壓縮機發展至今，焦點仍著重於葉片與氣缸壁，至於其他部分所會發生的相關問題很少。例如其利用靜子輪廓形狀的配置，使得壓縮氣體在達到固定壓縮比後即行排出，而不必有氣閥的設置，在此部分可排除像往復式壓縮機所衍生出來的閥問題；另外其傳動軸以目前試作機型而言都是屬於較為粗短的，且目前其應用領域仍為一個機體的左右側進行相同的氣體壓縮行程，所以壓縮氣體的壓力並不會產生偏離軸心的合力作用於傳動軸與軸承之上，壓縮氣體導致壓力合力作用不會影響傳動軸與軸承的正常運作。在實際試驗的過程中我們可以知道，滑動葉片旋轉式壓縮機在運轉時，葉片與轉子及葉片與靜子間接觸所造成之正向及摩擦等諸力作用，導致葉片之破壞為其主要之破壞模式[4]，而如何解決此問題，是改進此型壓縮機當務之急。

有鑑於滑動葉片旋轉式壓縮機的破壞重點，同時為了維護此型壓縮機之整體性能，我們以下首先利用可靠度理論做葉片公差設計，而後對此產品壽命做可靠度工程的分析與預測，讓規劃維護者能夠適度安排維護行程，而得以建立產品之最大生命使用週期。此外，本研究以性能效率指數輔助我們在成本與時間效益上取得適切的參考價值，及求得最佳的操作轉速，最後得到整體最大效益。

三、研究方法

首先我們以實際製造產生的壓縮機葉片做葉片厚度分析，其中以卡方分配為基準得到適合的嵌合曲線如圖 1 所示，再依此適合的分佈做為公差設計的主要雛形。

接下來應用機械零件磨耗的基本物理法則[5, 6]，摒棄不必要的磨耗形式，另一方面，將相接觸的壓縮機葉片與定子內壁的磨耗率視為隨機變數，因為壓縮機每一個影響磨耗的參數都隨時有可能改變。假設變數為常態分佈，訂定磨耗上限，再根據此型壓縮機的幾何動力分析，將各個轉速所衍生的參數代入已建立的磨耗壽命可靠度公式，最後依某一時間週期的進行而得其可靠度，由圖 2 可以瞭解磨耗壽命可靠度的設計過程[7]。

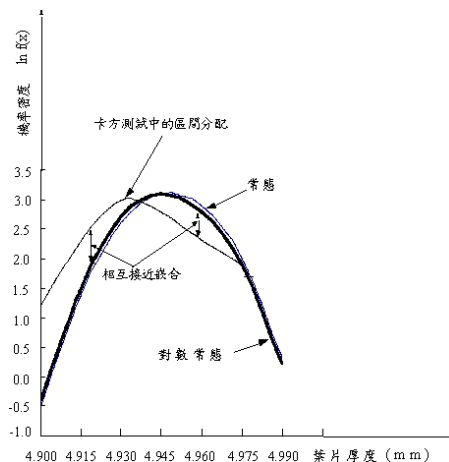


圖 1 嵌合測試曲線圖[7]

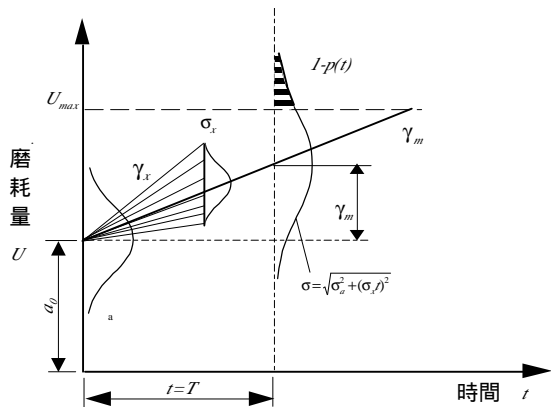


圖 2 磨耗過程的可靠度評估圖[7]

最後我們將壓縮機葉片與定子內壁之間的摩擦力視為非固定值，應用金屬摩擦理論，擷取摩擦係數隨壓力、速度變化的經驗值，做為倒傳遞類神經網路的原始範例。利用類神經網路強大的辨視能力[8]，求得壓縮機在各個轉速之下的摩擦係數，再將其摩擦係數代入定義下的性能效率指數，決定較佳的操作轉速[7]。

磨耗壽命可靠度與性能效率指數之間的互動影響此型壓縮機之整體效益，考量其關係，以選擇某一轉速為最佳操作轉速。

四、結果與討論

滑動葉片旋轉式壓縮機的可靠度壽命受制於葉片與滑槽的製造及磨耗，在葉片的製造上往往受到環境及人為的影響而造成品質的不確定性，且葉片和滑槽之間存在一定的間隙，此間隙的大小受到公差的支配。葉片公差會影響振動的大小，然而葉片振動產生的種種誘發性問題，例如噪音、疲勞等等，我們利用機率可靠度的概念設計公差，解決了由於葉片與滑槽之間間隙過大所產生的最基本問題。

我們結合有關磨耗的機制與可靠度理論，進行因磨耗所做的維護規劃，此規劃以一個規劃週期所得到的磨耗壽命為準，其中得到的磨耗壽命愈長者，其可靠度愈低。由現行壓縮機的各種實際情況，且在葉片頂端沒有被附層（coating）得到的結

果，轉速愈低維修週期愈長，然而這種結果並不是必然的現象，只有此型壓縮機才有此特性，因為磨耗壽命隨速度與接觸壓力的增加而減短，如圖 3 所示；而滑動葉片旋轉式壓縮機的葉片切線速度與接觸壓力正是相依成正比的。

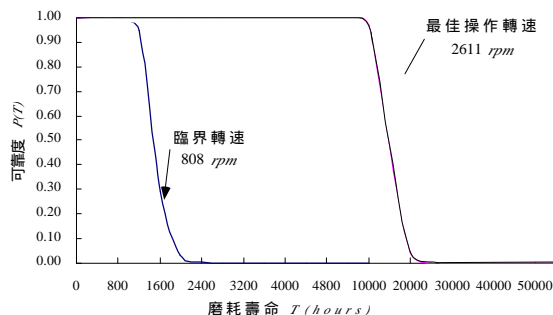


圖 3 磨耗壽命可靠度曲線圖[7]

利用倒傳遞類經網路可以建構非線性模型，該模型的準確度高，而且能建構能力強的工具運用於表 1 的計算，解決了非線性輸出的摩擦係數。此外，摩擦係數固定於 0.15 的性能效率指數與轉速的關係如圖 4 所示，圖中最佳操作轉速 808 rpm 與表 1 比較，顯然差異性非常大，非定值的摩擦係數所得到的最佳操作轉速介於 2200 rpm 與 2611 rpm 之間。因此在規劃磨耗壽命週期時，我們所考量的並非壓縮機的可靠度與使用壽命，更應就效率成本方面做進一步的評估。

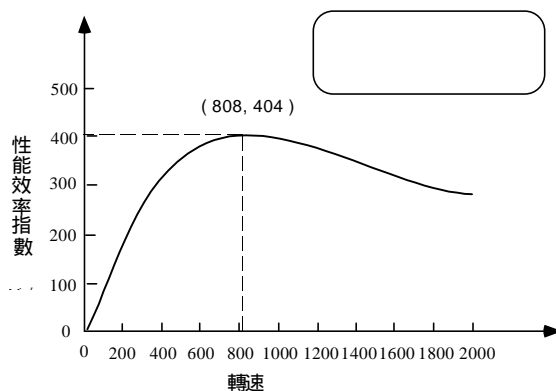


圖 4 操作轉速與性能效率指數的關係[7]

表 1 各轉速的性能效率指數[7]

轉速	性能效率指數 y_{index}
200	186
400	303
600	344
800	334
1000	312
1200	297
1400	286
1600	297
1800	300
2000	307
2200	337
2400	368
2611	398

圖 3 說明了長時間使用在臨界轉速下，其確保擁有可靠度 99.9% 的第一個維護週期為 1025 個小時，如果一天工作時數為 10 小時，一年工作 300 天，則 4.1 個月必須進行維護，如此短的修護期，再加上下一個修護週期的可靠度，必定隨著產品老化衰減而下降，因此在高轉速運轉之下並不符合效益。反之，在較低轉速下工作可以延長維護的時間，減少維護的次數，但是以時效的觀點而言，這樣的工作效率並不符合現代所謂的時間就是金錢的要求，因此在兩者之間取得平衡的轉速大約是在 600 ~ 800 rpm 之間；這個範圍的轉速比 808 rpm 更有彈性，且性能上的表現更加突出。

隨著運轉時間的增加，壓縮機內部幾何、力學的分析不再依先前的分析方式，內部的摩擦因素不再是完全以葉片離心力為主因，考量如此的變化，類神經網路推算摩擦係數的能力在此予以肯定，只要將個別獨立的速度與壓力輸入，就能提供一個目前狀態下的摩擦係數，以便評估更高效益的運轉轉速。

五、成果自評

本研究結合可靠度工程與類神經網路

的統計分析理論，對於壓縮機的壽命、性能做最佳的規劃，亦執行了預期計畫目標中公差尺寸對壓縮機可靠度之影響，但是只侷限於葉片厚度的部分。本研判所加入的其他內容，不僅能夠針對滑動葉片旋轉式壓縮機的破壞主因找出破壞的機制，以此計算出維修時間與可靠度的關係，此外，應用類神經網路與性能效率的觀念，我們可輕易地取得最大效率的操作轉速。有了成本與效率的資料，我們能夠在此得失之間取得平衡，跳脫過去單向的思考模式，而避免得此失彼。

六、參考文獻

1. 余昱暄 主編，“壓縮機專輯，” *機械月刊*，第二十一卷第五期，民國八十四年五月號。
2. William, W. C. and William, N. J., *Refrigeration and Air Conditioning Technology: Concepts, Procedures, and Troubleshooting Techniques*, Delmar Publishers, Albany, 1995.
3. Gulf Publishing Company, *Compressor Handbook for the Hydrocarbon Processing Industries: Selected from the pages of Hydrocarbon Processing Book Division*, Tex., Houston, 1979.
4. Gibbs, C. W., *Compressed Air and Gas Data*, Ingersoll-Rand, New York, 1971.
5. Kragelsky, I. V. and Alsin, V. V., *Friction, Wear, Lubrication: Tribology Handbook*, Vol. 1, Mir Publishers, Moscow, 1981.
6. Kragelsky, I. V. and Alsin, V. V., *Friction, Wear, Lubrication: Tribology Handbook*, Vol. 2, Mir Publishers, Moscow, 1981.
7. 汪文喜，*滑動葉片旋轉式壓縮機之葉片研究*，國立台灣大學機械工程學研究所碩士論文，民國八十八年。
8. 葉怡成，*應用類神經網路*，儒林書局，民國八十六年。