

多槽液靜壓微軸承切削之自動進料系統

Automatic Loading Mechanism for Cutting Micro Multi-recess Type Hydrostatic Bearings

胡志中^{*1} 黃嘉和² 邱冠霖² 張洪誌² 陳健志²

Chih-Chung Hu^{*1}, Chia-Ho Huang², Kuan-Lin Chiu², Hung-Chih Chang², Chien-Chih Chen²

摘要

本研究研發一套多槽液靜壓微軸承切削之自動進料系統。液靜壓微軸承採用多槽槽溝設計方式，潤滑油膜與空氣薄膜較厚，軸與軸承面間薄膜緩和了形狀誤差所造成的磨擦。因此液靜壓微軸承具有平滑運轉特性，能達到高精度運轉之要求。自動進料機構包括轉盤、儲存槽、驅動裝置、環框、平台及夾具。液靜壓微軸承內徑可以達到2 mm。待加工之軸承自下方進料口放置於儲存槽內。轉盤外緣具有數個缺口以容置軸承，驅動裝置驅動轉盤轉動固定角度，方便缺口內的軸承往前移動。固定不動之環框的外圍牆壁有一夾具入口，夾具可通過夾具入口，將軸承推至自動進料機構平台的頂塊前，並夾緊該軸承作多槽槽溝加工。實驗結果證實，本研究發展之自動進料裝置可提升加工效率、節省生產時間及降低加工成本。

關鍵詞：自動進料裝置，切削，多槽型液靜壓軸承

Abstract

This study developed an automatic uploading mechanism for multi-recess type hydrostatic bearing manufacturing system. The micro-hydrostatic bearings have multi-oil grooves, which make the oil-lubrication films and air films between shaft and bearings thicker. The lubrication characteristic of the multi-recess type hydrostatic bearings results in lower friction. The automatic uploading mechanism consists of a rotating plate, a reservoir, an actuator set, surrounding frame, working platform, and a clamping tool. The inner diameter of the micro bearings could be 2 mm. The micro bearing is feeding to the reservoir from the bottom inlet. On the edge of the rotating plate, there are several circles for keeping the micro bearing. The actuator makes the plate rotate with a fixed angle so that the micro bearing could move from the circle to the next stage. The clamping tool enters the inlet of the surrounding frame into the circle and then pushes the micro bearing to the stop plug of the working table. This tool clamps the micro bearing steady for drilling the micro multi-recess oil grooves on the inner diameter of the bearing. It was proved that the automatic loading mechanism could shorten process time, increase design efficiency and reduce cost of production for micro bearings.

Keywords: automatic loading mechanism, cutting, micro multi-recess type hydrostatic bearings

I. 導論

在工具機產業、航太工業、半導體業，化工業與民生工業中，隨時都可以見到旋轉機構的應用。軸承為支承、導承結構中二元件相對運動之用，目的在促進動作的平滑性，降低摩擦，是機構元件中支撐旋轉軸的重要零件。軸承為旋轉機構系統運作功能的中

樞，直接影響系統的良莠，控制著精度及穩定性，為機械中不可或缺的關鍵組件。尤其在要求高精度、高效率的設備中，隨著科技的進步，旋轉機構的轉速不斷的提昇。為了能夠加強技術能力，必須對高速軸承系統作進一步的分析與研究 [1]。

應用在旋轉機構的軸承系統主要可區分為磁浮、氣體、液動壓、液靜壓和滾動軸承等。目前習用之軸

^{*}明志科技大學機械工程系 ²龍華科技大學機械工程系

Corresponding author E-mail: cchu@mail.mcut.edu.tw

¹Department of Mechanical Engineering, Ming Chi University of Technology, Taipei, Taiwan, R.O.C.

²Department of Mechanical Engineering, Lunghwa University of Science and Technology, Taoyuan, Taiwan, R.O.C.

Manuscript received 1 November 2011; revised 25 November 2011; accepted 7 December 2011

承以滾珠軸承及油潤式軸承為主。滾珠軸承內設置滾珠，配合特殊潤滑油產生潤化作用，減少主軸轉動時之內部摩擦，並使轉軸穩定。此類軸承雖有高負荷與高穩定性的優點，但轉速受到限制，配裝難度較高。此外，滾珠軸承易產生振動，隨著電子設備對高轉速及小型化馬達之需求日增，需要更高速轉動的機械元件，滾珠軸承逐漸被油潤式軸承所取代。

油潤式軸承分為動壓及靜壓軸承兩種。動壓軸承的設計，先在軸承上方開一或數個小孔，運作時將潤滑油注入，當轉軸轉動時帶動潤滑油，使轉軸得到潤滑。有些設計甚至會在軸承內側刻畫溝紋使得轉軸旋轉時更加穩定。液動軸承的微溝槽產生動壓油膜，使心軸與襯套無接觸，達到低摩擦、高轉速、低噪音及高穩定的特性，正好可以滿足上述需求。因此，液動軸承廣泛應用於硬碟、光碟機、雷射印表機產品上。

混壓軸承的設計研究，早期以靜態特性探討為主。Davies [2] 根據Raimondi和Boyd [3] 的Thin-land理論建立一般化靜壓軸承分析方法。O'Donoghue和Rowe [4] 及Stout和Rowe [5] 以外部加壓軸承設計為例，假設主軸偏心很小，根據摩擦功率損失為最小的情況，研究速度參數及周向節流面積與周向軸承面積的比值等，來找出多油腔軸承的最佳設計條件。Chen和Ho [6] 採用Davies的靜壓軸承分析方法，建立電腦輔助分析程式的應用。Dumbrava [7] 建立靜壓軸承最佳化設計所需要的參數及設計目標。Rowe [8] 彙整許多研究的結果，提供了靜壓軸承在設計上的流程和公式。Rowe等人 [9] 在麥金塔電腦上，以HYPERCARD軟體為工具，建立具有人工智慧的軸承設計軟體。Cheng和Rowe [10] 以外部加壓軸承設計軟體建立起整套的人機介面軟體，使得軸承設計和資料庫整合在一起，並且可以提昇設計的效率。Zhang和Chang [11] 探討氣室混合型氣體軸承(shallow pocket hybrid gas journal bearing)的穩定性分析，對於該類型軸承進行動態穩定性分析，並進行氣室尺寸的最佳化設計，以直接搜尋法中的complex搜尋為最佳化法則。Zeng和Bogy [12] 利用都卜勒雷射量測器(LDV)量測硬碟磁頭振動的軌跡圖，分析磁頭的剛性值以及阻尼值，結果顯示，剛性值與阻尼值和磁頭的外形尺寸設計有很大的關聯性，磁頭產生過大的振動時，會造成磁頭與硬碟的接觸，而產生永久性的破壞。

一般液動壓潤滑軸承理論探討，著重於潤滑油膜於軸承間隙的數學模型建立，依不同模型情況簡化雷諾方程式，經由數值疊代方法求得壓力數值解，經由壓力計算相關軸承性能參數 [13]。常見者為軸頸軸承與平面滑動軸承之研究論文，如Buckholz和Lin [14] 討論軸頸軸承在發生偏心與不對稱效應之情況下對軸承性能影響；Hamrock [15] 討論滑動軸承在等黏性條件下，軸承間隙發生彈性變形後對軸承性能之影響；Jang和Chang [16] 考慮軸頸軸承的油膜在等溫及絕熱邊界條件下，討論偏心與不對稱效應對軸承性能之影響。上述液動壓文獻中，液動壓潤滑機構模型的建立與基本原理是相似的。

靜壓軸承屬於比較高級的軸承，具有極高精度的特性，靜壓軸承在軸軸承間形成的潤滑油膜或潤滑空氣薄膜比其他形式軸承厚，具有緩和軸與軸承面形狀誤差，發揮並實現平滑的轉動效果，此轉動效果稱為潤滑薄膜的均化效果。康 [17] 和張等人 [18] 對靜壓頭軸承作特性分析與最佳化設計。單向薄膜節流器在靜壓軸承扮演重要角色，張等人 [19] 鑑別單向薄膜節流器之特性參數。有些軸承設計採用動靜混壓方式，陳等人 [20] 採用溝槽進油針對動靜混壓頭軸承設計作靜態特性探討。

為了使多槽液靜壓微軸承內孔油槽加工切削出高再現性、高品質的內槽，並達到自動化目標，本研究開發多槽液靜壓微軸承之自動進料系統。經由電腦輔助模擬設計出最佳傳輸轉動機構，以電腦控制技術(PC-based) 完成工件進料、刀具切削加工、成品退料自動化功能，配合冷卻潤滑裝置，達成全自動加工目標。

II. 多槽液靜壓微軸承自動進料系統設計

多槽型液靜壓微軸承內孔油槽加工切削機構如圖1所示 [21]。該機構設計中最重要特性乃運用步進馬達(1) 轉動高精密滾珠螺桿，帶動步進馬達(2) 及切削刀具模組沿Z軸上下移動，進行軸承內孔切削。步進馬達(3) 配合連桿機構(7)，使軸承夾具(6) 及軸承，在Z軸方向作順、逆時針旋轉，同時控制軸承轉動角度及轉動速度。軸承轉動配合刀具模組上、下進刀，完成液靜壓軸承內孔油槽切削。多槽型液靜壓軸承內孔油槽示意圖與設計圖如圖2所示；加工完成之多槽型液靜壓微軸承如圖3所示。然而微軸承體積微小，不易以人工方式進料，本研究開發微軸承自動進料系統。研發設計方法詳述如后：

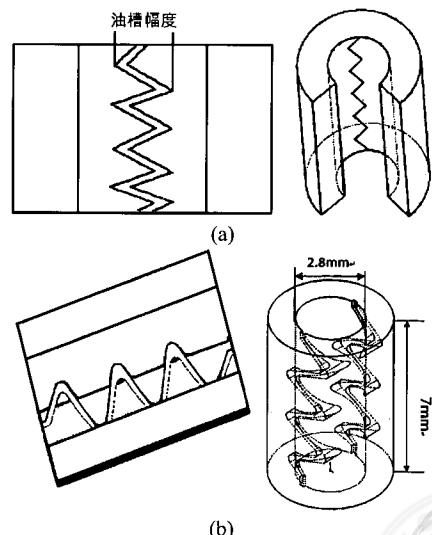


圖 2 多槽型液靜壓承：(a) 內孔油槽示意圖，(b) 設計圖



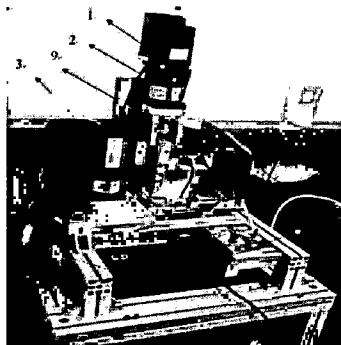


圖 1 液靜壓軸承內孔油槽加工切削機構

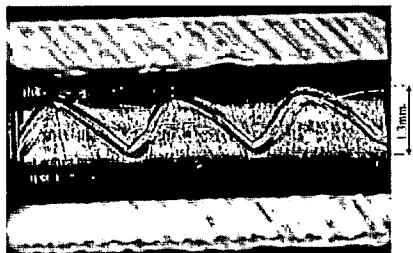


圖 3 切削完成多槽型液靜壓微軸承內徑剖面圖

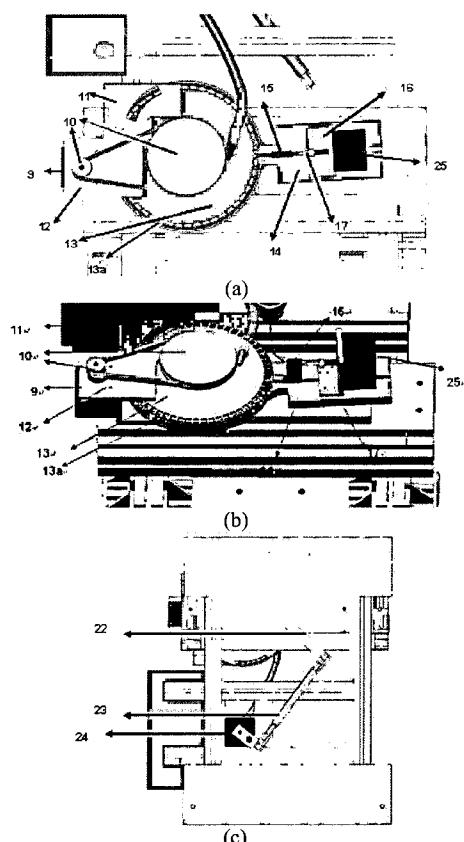


圖 4 多槽液靜壓微軸承自動進料系統：(a) 俯視圖，(b) 前視圖，
(c) 側視圖

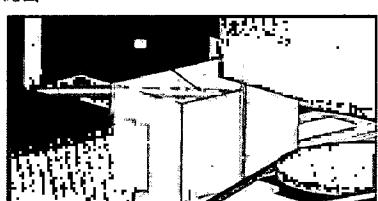


圖 5 待切削軸承放入儲存槽

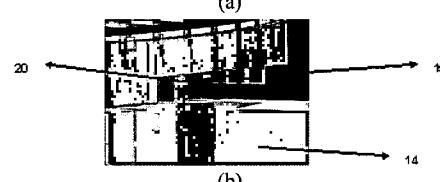
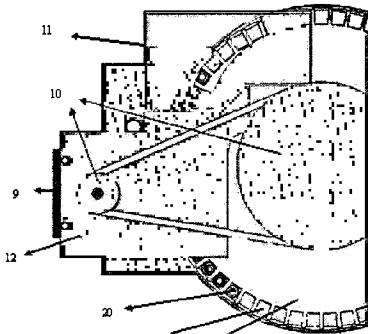


圖 6 工件轉盤：(a) 俯視圖，(b) 側視圖

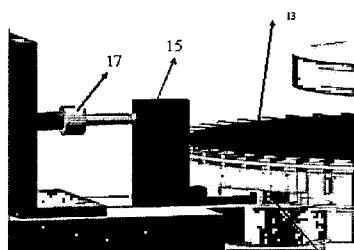


圖 7 工件夾具

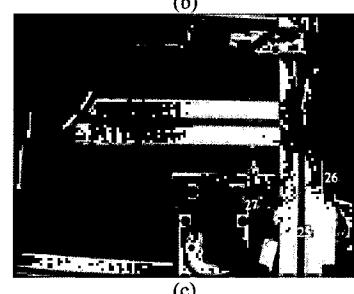
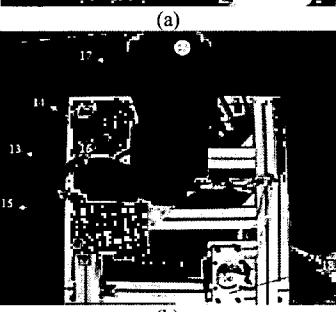


圖 8 多槽液靜壓微軸承加工自動進料系統：(a) 正視圖，(b) 俯視圖，
(c) 局部放大之俯視圖



圖 4 為多槽液靜壓微軸承自動進料系統之三視圖，(a) 俯視圖，(b) 前視圖，(c) 側視圖。自動進料機構包括油箱 (7)、油管 (8)、步進馬達 (9)、皮帶輪組 (10)、軸承 (工件) 儲存槽 (11)、馬達固定板 (12)、工件轉盤 (13)、工件放置區 (13a)、夾具搖臂 (14)、工件夾具 (15)、馬達固定座 (16)、螺桿 (17)、工件轉盤座 (18)、培林 (19)、待切削軸承 (20)、主軸 (21)、搖臂 (22)、連桿機構 (23) 與二組步進馬達 (24、25) 等十七部份。

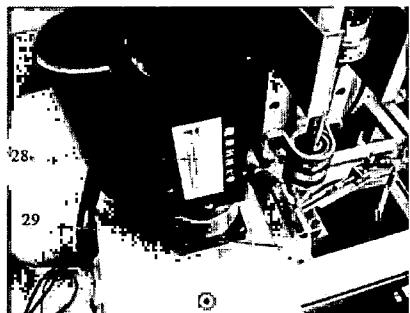
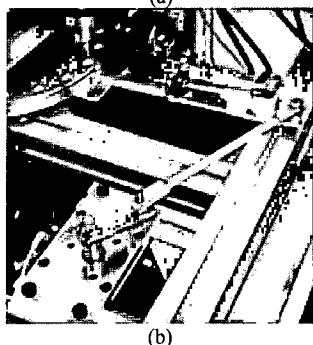


圖 9 待切削軸承放入儲存槽



(a)



(b)

圖 10 完成之自動進料：(a) 自動進料機構，(b) 工件夾具細部圖

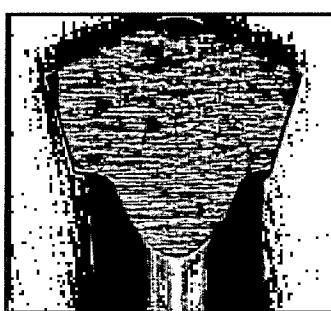


圖 11 多槽液靜壓軸承切削刀具

進料初期先將待加工之微軸承放置於儲存槽內，儲存槽約可儲存 500~1000 個微軸承，如圖 5 所示。圖 6(a) 中 (13) 為工件放置區，每個欄位可容納一個待切削軸承。主控電腦控制步進馬達 (9) 旋轉帶動皮帶輪組 (10)，並轉動工件轉盤 (13) 轉動一定角度，使工件適時放置於轉盤上的 55 個欄位內。接著步進馬達 (24) 帶動下方連桿機構 (23)。連桿機構跟上方的夾具搖臂 (14) 同動，由連桿機構 (23) 帶動夾具搖臂及搖臂 (22) 左右旋轉，配合刀具模組上、下進刀，進行液靜壓軸承內孔油槽切削。

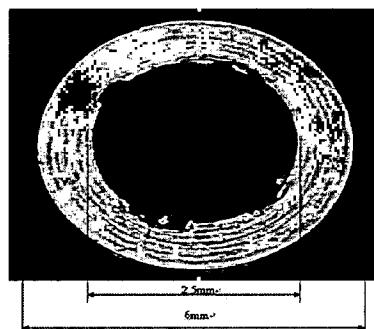


圖 12 切削完成之微軸承俯視圖

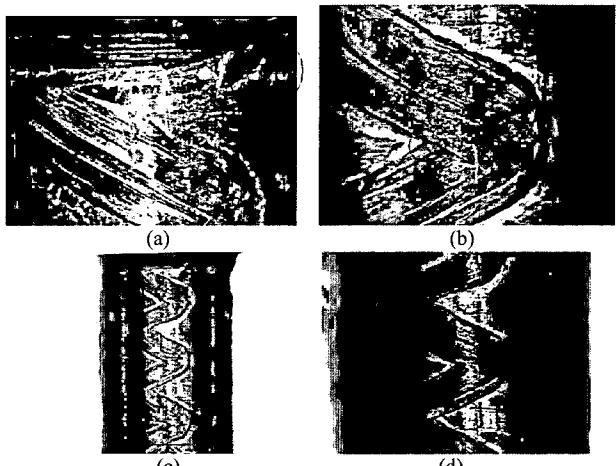


圖 13 加工完成之油銅 SAE841 微軸承：(a) 切削不良產生軸承內孔缺陷，(b) 切削良好之溝槽角度，(c) 切削良好時油溝數量正確，(d) 切削良好時油溝寬度正常

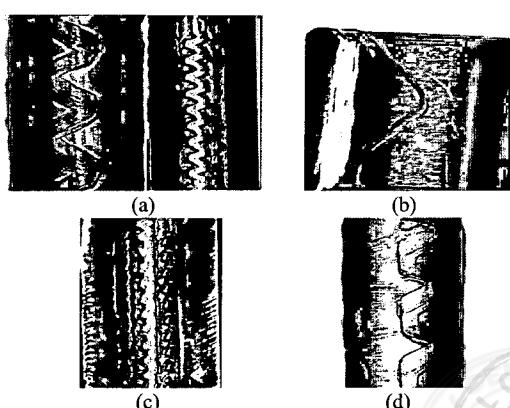


圖 14 不同溝槽形狀：(a) 三角形，(b) 波浪形，(c) 魚鱗形，(d) 梯形



當內孔油槽切削加工完成後，刀具升起，步進馬達(24)停止帶動連桿機構，上方的夾具搖臂(14)跟著停止轉動。此時步進馬達(25)以逆時針旋轉，透過螺桿(17)將夾具(15)向後拉動，進而鬆弛加工軸承(20)。

自動夾具組由步進馬達控制，馬達傳動時帶動螺桿(17)，螺桿轉動夾具(15)向前移動將工件夾緊，如圖7所示。

多槽內孔軸承切削完成後，步進馬達(9)帶動皮帶輪組(10)旋轉，輸送轉盤(14)跟著皮帶輪組運轉，將切削完成之微軸承帶出加工區。同時下一個待切削微軸承被送入切削加工區，再依上述步驟循環動作，達到自動化加工之目的。

III. 結果與討論

研發完成之多槽液靜壓微軸承加工自動進料系統如圖8所示，包括伺服馬達(13)、軸承工件儲存槽(14)、馬達固定板(15)、伺服馬達(16)、伺服馬達(17)、馬達固定座(18)、工件轉盤(19)、工件放置區(19)、夾具搖板(20)、工件夾具(21)、螺桿(22)、氣壓缸(23)、轉盤底座(24)及待切削微軸承(25)。

進料初期先將待加工之軸承放置於儲存槽，如圖9，約可儲存500~1000個。伺服馬達(28)以電腦控制旋轉圈數，轉動工件轉盤(29)，轉動一定角度。工件轉盤上有20個欄位，每個欄位剛好可容納一個工件(待切削軸承)。圖10(a)為自動進料機構，當工件轉盤(30)轉動時，工件會向前移動一格，工件轉盤轉動控制待切削軸承的進出料，由輸送轉盤將待切削軸承帶入加工區後暫停止不動，驅動裝置氣壓缸(31)向前推動夾具(32)，夾具向前移動，進而夾緊待切削軸承，工件夾具細部圖如圖10(b)所示。工件轉盤(30)轉動固定角度，軸承自轉盤外緣安置軸承之缺口往前移動。夾具(32)進入夾具入口後，將軸承推至平台的頂塊前，並夾緊該軸承；伺服馬達(33)與連桿機構(34)控制軸承旋轉與移動，伺服馬達(35)控制刀具作軸承多槽溝加工。

多槽型液靜壓軸承實驗的切削參數為：主軸轉速1500(RPM)、工件轉速300(RPM)、工件材質鋅合金軸承(ZA-12、ZA-27或銅合金)、加工孔徑2.8mm、加工時間35s、軸承油溝共四條，潤滑方式為油墨潤滑。使用圖11之切削刀具進行內孔油槽加工切削，切削完成之多槽型液靜壓微軸承如圖12所示，剖面圖如圖3所示。

在切削實驗前，如將預切削軸承先行放入矽油膏內，軸承內部取得自動潤滑功能，切削時將可得較佳的切削精度。

本研究夾具之設計使用氣壓缸作為夾具之驅動器。當氣壓不穩時，常常因工件夾持力不足而切出直線溝槽，無法達到曲線切削之功能，造成品質切削不良。圖13為光學投影機拍攝加工完成之油銅SAE841微軸承。圖13(a)中為具有內孔缺陷之微軸承；微軸承

切削良好時，圖13(b)顯示正常溝槽角度，圖13(c)顯示微軸承油溝數量正確，圖13(d)顯示微軸承油溝寬度正常。

在溝槽設計中，控制多槽型液靜壓微軸承內孔油槽加工切削機構的兩個伺服馬達的轉速，改變軸承夾具轉速與刀具的進給率，可得到不同型式的溝槽。三角形、波浪形、魚鱗形與梯形之不同溝槽形狀分別顯示於圖14。

為解決夾持問題，可在氣壓前段增加一調氣閥使氣壓穩定。如果同時增加夾具表面粗糙度，以提高夾具與微軸承間接觸面積。根據實驗，調氣閥與改變夾具克服了上述微軸承內孔缺陷之問題。

IV. 結論

多槽液靜壓軸承切削自動進料系統之研發順利完成，該設計構造簡單，整體造價便宜。實驗結果證實，本研究發展之自動進料裝置可提升加工效率、節省生產時間及降低加工成本。

此外，切削製程造成的刀具磨耗、軸承磨耗及製程參數對切削結果的影響尚未進行分析，有待進一步研究。

致謝

本研究已獲得發明專利（發明第1335249號，專利期間2011/01/01-2028/02/14），感謝教育部補助研究經費(98E-88-100)。

參考文獻

- [1] 周麟恩，「高速主軸軸承系統之運動與動態特性分析」，碩士論文，國立中山大學機械工程研究所，2001。
- [2] P. B. Davies, "A general analysis of multi-recess hydrostatic journal bearings," *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers*, vol. 184, no. 1, pp. 827-836, 1969.
- [3] A. A. Raimondi and J. Boyd, "An analysis of orifice and capillary compensated hydrostatic journal bearings," *Journal of the American Society of Lubrication Engineering*, vol. 13, no. 1, pp. 29-37, 1957.
- [4] J. P. O'Donoghue and W. B. Rowe, "Hydrostatic bearing design," *Tribology International*, vol. 2, no. 1, pp. 25-71, 1969.
- [5] K. J. Stout and W. B. Rowe, "Externally pressurized bearings design for manufacture: Part 3-- design of liquid externally pressurized bearings for manufacture including tolerancing procedures," *Tribology International*, vol. 7, no. 5, pp. 195-212, 1974.
- [6] N. N. S. Chen and Y. S. Ho, "Computer-aided design of hydrostatic journal bearings including shaft bending effect," *Tribology International*, vol. 10, no. 4, pp. 221-228, 1997.
- [7] M. A. Dumbrava, "Review of principles and methods applied to the optimum calculation and design of externally-pressurized bearings: Part 1: Low/moderate speed bearings," *Tribology International*, vol. 18, no. 3, pp. 149-156, 1985.
- [8] W. B. Rowe, *Hydrostatic and Hybrid Bearing Design*, Butterworths, London, UK, 1983.
- [9] W. B. Rowe, K. Cheng, and D. Ives, "An intelligent system for recessed hydrostatic journal bearings," *Wear*, vol. 159, no. 1, pp. 95-105, 1992.
- [10] K. Cheng and W. B. Rowe, "A selection strategy for the design of

- [10] externally pressurized journal bearings," *Tribology International*, vol. 28, no. 7, pp. 465-474, 1995.
- [11] R. Q. Zhang and H. S. Chang, "A new type of hydrostatic/hydrodynamic gas journal bearing and its optimization for maximum stability," *Tribology Transactions*, vol. 38, no. 3, pp. 589-594, 1995.
- [12] Q. H. Zeng and D. B. Bogy, "Experimental evaluation of stiffness and damping of slider-air bearings in hard disk drivers," *Journal of Tribology Transactions of ASME*, vol. 121, no. 1, pp. 102-107, 1999.
- [13] 潘誌銘,「圓錐液壓軸承之數值模擬與分析」,碩士論文,國立中央大學機械工程研究所,2009。
- [14] R. H. Buckholz and J. F. Lin, "The effect of journal bearing misalignment on load and cavitation for non-Newtonian lubricants," *Journal of Tribology Transactions of ASME*, vol. 108, no. 4, pp. 645-654, 1986.
- [15] B. J. Hamrock, *Fundamentals of Fluid Film Lubrication*, McGraw-Hill Book Co., Singapore, International editions, pp. 141-186, 1994.
- [16] J. Y. Jang and C. C. Chang, "Adiabatic solutions for a misaligned journal bearing with non-Newtonian lubricants," *Tribology International*, vol. 20, no. 5, pp. 267-275, 1987.
- [17] 康淵,「靜壓頸軸承特性分析與最佳化」,第二十八屆學術會議論文集,第 1429-1436 頁,2004。
- [18] 張永鵬、吳璋仁、康淵、陳鎮憲和陳一維,「靜壓頸軸承特性分析與最佳化」,中原學報,第 33 卷,第 3 期,第 361-372 頁,2005。
- [19] 張永鵬、陳鎮憲、陳逸傑、康淵、張智和劉紹康,「靜壓軸承之單向薄膜節流器特性參數之鑑別」,先進工程學刊,第 5 卷,第 3 期,第 221-228 頁,2010。
- [20] 陳鎮憲、康淵、張永鵬、陳夏宗和楊琳鏗,「溝槽進油動靜混壓頸軸承靜態特性探討」,技術學刊,第 17 頁,第 3 頁,第 337-346 頁,2002。
- [21] 陳健志、黃嘉和、張洪誌和戴世文,「小型多槽液靜壓軸承內孔油槽切削機之研發」,龍華科技大學學報,第 28 期,第 75-80 頁,2009 年 12 月。

