

中原大學
機械工程學系
博士學位論文

錐桿節流閥於戰機機輪剎車之性能研究

An Investigation in Performances of the Tapered-Spool
Valve for Wheel Brakes of Fighter Aircraft

指導教授：康 淵
：胡聖彥
研 究 生：黃昭萍

中華民國 112 年 12 月

中原大學學位論文授權書

(本聯請隨論文繳回學校圖書館，做為授權管理用) ID:112CYCU0489006



• 1 1 2 C Y C U 0 4 8 9 0 0 6 •

- 立書人(即論文作者)：黃昭萍(下稱本人)
- 授權標的：本人於中原大學(下稱學校)機械工程學系(研究所、學位學程)112學年度第一學期之博士學位論文。

論文題目：錐桿節流關於戰機機輪剎車之性能研究

指導教授：康溫, Kang, Yuan；胡聖彥, Hu, Sheng-Yen

(下稱本著作，本著作並包含論文全部、摘要、目錄、圖檔、影音以及相關書面報告、技術報告或專業實務報告等，以下同) 緣依據學位授予法等相關法令，對於本著作及其電子檔，學校圖書館得依法進行保存等利用，而國家圖書館則得依法進行保存、以紙本或讀取設備於館內提供公眾閱覽等利用。此外，為促進學術研究及傳播，本人在此並進一步同意授權學校、國家圖書館等對本著作進行以下各點所定之利用：

一、對於學校、國家圖書館之授權部分：

本人同意授權學校、國家圖書館，無償、不限期間與次數重製本著作並得為教育、科學及研究等非營利用途之利用，其包括得將本著作之電子檔收錄於數位資料庫，並透過自有或委託代管之伺服器、網路系統或網際網路向校內、外位於全球之使用者公開傳輸，以供該使用者為非營利目的之檢索、閱覽、下載及/或列印。

校內外立即開放

校內立即開放，校外於 年 月 日後開放

校內於 年 月 日；校外於 年 月 日後開放

其他或不同意 1.論文延長開放原因:專利申請及論文發表 2.論文延長開放時間:2029-01-09

註：

- (一) 本授權書所定授權，均為非專屬且非獨家授權之約定，本人仍得自行或授權任何第三人利用本著作。
- (二) 本人擔保本著作為本人創作而無侵害他人著作權或其他權利。如有違反，本人願意自行承擔一切法律責任。
- (三) 本授權書授權對象，應遵守其授權範圍及相關約定。如有違反，由該違反之行為人自行承擔一切法律責任。

立授權書人：黃昭萍 (正楷親簽) 日期：113年1月9日
指導教授：康溫 胡聖彥 (正楷親簽) 日期：113年1月9日

中原大學暨國家圖書館學位論文延後公開申請書
Application for Embargo of Thesis/Dissertation

申請日期 Application Date: 民國 108 年 1 月 9 日 2019 / 1 / 9 (YYYY/MM/DD)

申請人姓名 Applicant Name	黃昭萍	學位類別 Graduate Degree	<input type="checkbox"/> 碩士 Master <input checked="" type="checkbox"/> 博士 Doctor
系所名稱 School / Department	機械工程學系	畢業年月 Graduation Date (YYYY/MM)	民國 103 年 1 月 2014 / 1
論文名稱 Thesis / Dissertation Title	錐形節流閥於戰機機輪剎車之性能研究 An Investigation in performances of the Tapered-spool Valve for wheel Brakes of Fighter Aircraft.		
申請項目 Application Items	<input checked="" type="checkbox"/> 論文全文延後公開 Delay public access to my thesis/dissertation. <input type="checkbox"/> 書目資料延後公開 Delay public access to online bibliographic record of my thesis/dissertation.		
延後公開原因 Reasons for Embargo	<input type="checkbox"/> 涉及機密，請說明： Contains confidential information. Please specify: _____ <input checked="" type="checkbox"/> 專利事項，申請案號： Filing for patent registration. Registration number: 中原大學專利申請表 <input type="checkbox"/> 依法不得提供，請說明： Withheld according to the law. Please specify: _____ 請檢附勾選項目之相關證明文件 Please select and attach relevant supporting documentation.		
公開日期 Delayed Until	<input checked="" type="checkbox"/> 延後公開日期（自申請日期起至多5年） Delayed until up to 5 years starting from application date. 民國 108 年 1 月 9 日 2019 / 1 / 9 (YYYY/MM/DD) <input type="checkbox"/> 不公開（僅限屬國家機密者） Prohibited from public access. (Information pertaining to national secrets.) 勾選不公開請務必檢附相關證明文件 Please attach relevant supporting documentation.		

申請人簽名：
Applicant Signature: 黃昭萍

指導教授簽名：
Advisor Signature: 胡經亨

(學校認定/審議單位)系所主管簽名與蓋章：
Department/Institute Director Signature: [Signature]

機械系 翁輝竹
主任

(*教育部於109年起將公開各系所延後公開比例。)

【說明】

- 根據教育部學位授予法，國家圖書館保存之博士、碩士論文、書面報告、技術報告或專業實務報告，應提供公眾於館內閱覽紙本，或透過獨立設備讀取電子資料檔；經依著作權法規定授權，得為重製、透過網路於館內或館外公開傳輸，或其他涉及著作權之行為。但涉及機密、專利事項或依法不得提供，並經學校認定者，得不予提供或於一定期間內不為提供。
Article 16 of the Degree Conferral Act, Ministry of Education. (<https://law.moj.gov.tw/ENG/LawClass/LawAll.aspx?pcode=H0030010>)
- 以上所有欄位請據實填寫並檢附證明文件，缺項或簽章不全者，恕不受理。Please ensure that all supporting documents have been correctly completed and signed. Incomplete or unsigned documents will not be accepted.
- 本申請書請影印裝訂於紙本論文內頁。The photo copy of the application form should be placed within the thesis/dissertation.

中原大學專利申請表

專利提案名稱	壓力反饋節流器之噴嘴擋板何限則		
技術公開資料	<input type="checkbox"/> 無； <input checked="" type="checkbox"/> 近期將發表(預定時間_____); <input type="checkbox"/> 有【請詳填下列資料】： 公開發表/圖書館編目上架的日期： 發表處所【如期刊/網站/研討會/圖書館等】名稱： 發表的名稱： 所列發表人(全部)：		
※說明： A. 如有技術公開【包括參展、論文發表或參加研討會等】者，須於優惠期內(台灣、日本及美國為12個月)向智慧局提出申請(且無法再適用國際優先權)，否則即尚失新穎性要件而不能獲專利權。 建議於專利申請前，避免先行公開技術資訊。 B. 請將發表人全數列為共同發明人(避免因不符新穎性而遭核駁)。 C. 請提供技術公開資料(書面或電子檔均可)，以供提申時併呈專責機關。			
申請類別	<input checked="" type="checkbox"/> 發明 <input type="checkbox"/> 新型 <input type="checkbox"/> 設計	申請國別	<input checked="" type="checkbox"/> 中華民國 <input type="checkbox"/> 美國 <input type="checkbox"/> 中國 <input type="checkbox"/> 日本 <input type="checkbox"/> 歐盟：_____ <input type="checkbox"/> 其它國家：_____
研究成果來源	<input checked="" type="checkbox"/> 國科會計畫 類型： <input checked="" type="checkbox"/> 專題計畫 <input type="checkbox"/> 產學計畫 <input type="checkbox"/> 國科會大專生專題計畫 <input type="checkbox"/> 經濟部計畫 <input type="checkbox"/> 其他政府補助計畫： _____(機關名稱) <input type="checkbox"/> 建教或產學合作計畫 <input type="checkbox"/> 本校教師自行研發成果 <input type="checkbox"/> 本校學生創作成果 <input type="checkbox"/> 其他_____	計畫名稱	MOST 109-2221-E-033-D16-A13 液靜壓軸承系統之類別及控制 計畫編號：_____ 主持人：_____ 執行期間：始 迄 合作單位：_____ 【請檢附核定清單/公文】
本案所屬技術領域	<input type="checkbox"/> 電子工程 <input type="checkbox"/> 電機工程 <input type="checkbox"/> 光電工程 <input type="checkbox"/> 資訊工程 <input type="checkbox"/> 物理 <input type="checkbox"/> 材料 <input type="checkbox"/> 化學 <input checked="" type="checkbox"/> 機械工程 <input type="checkbox"/> 化學工程 <input type="checkbox"/> 生物技術 <input type="checkbox"/> 醫學工程 <input type="checkbox"/> 土木工程 <input type="checkbox"/> 其他：_____		
本案所適用產業(可複選)	<input type="checkbox"/> 積體電路 <input type="checkbox"/> 電腦週邊 <input type="checkbox"/> 電子 <input type="checkbox"/> 通訊 <input type="checkbox"/> 光電 <input checked="" type="checkbox"/> 精密機械 <input checked="" type="checkbox"/> 機械設備製造 <input type="checkbox"/> 營建業 <input type="checkbox"/> 運輸工具 <input type="checkbox"/> 製藥工業 <input type="checkbox"/> 農藥工業 <input type="checkbox"/> 生物技術 <input type="checkbox"/> 化學製品製造 <input type="checkbox"/> 化學材料製造 <input type="checkbox"/> 食品製造 <input type="checkbox"/> 金屬製品 <input type="checkbox"/> 非金屬製品 <input type="checkbox"/> 紡織 <input type="checkbox"/> 環境檢測 <input type="checkbox"/> 其他：_____		
本案所適用永續發展目標(SDGs)議題	<input type="checkbox"/> SDG 1 終結貧窮 <input type="checkbox"/> SDG 2 消除飢餓 <input type="checkbox"/> SDG 3 健康與福祉 <input type="checkbox"/> SDG 4 優質教育 <input type="checkbox"/> SDG 5 性別平權 <input type="checkbox"/> SDG 6 淨水及衛生 <input type="checkbox"/> SDG 7 可負擔的潔淨能源 <input type="checkbox"/> SDG 8 合適的工作及經濟成長 <input checked="" type="checkbox"/> SDG 9 工業化、創新及基礎建設 <input type="checkbox"/> SDG 10 減少不平等 <input type="checkbox"/> SDG 11 永續城鄉 <input type="checkbox"/> SDG 12 責任消費及生產 <input type="checkbox"/> SDG 13 氣候行動 <input type="checkbox"/> SDG 14 保育海洋生態 <input type="checkbox"/> SDG 15 保育陸域生態 <input type="checkbox"/> SDG 16 和平、正義及健全制度 <input type="checkbox"/> SDG 17 多元夥伴關係		

應用方式及 預期產品說明	噴嘴擋板同昭網性能優化
技術成熟度	<input type="checkbox"/> 量產 <input type="checkbox"/> 試量產 <input type="checkbox"/> 雛型 <input checked="" type="checkbox"/> 實驗階段 <input type="checkbox"/> 概念 <input type="checkbox"/> 其他
可授權應用對象	潛在的相關廠商： 何昭網製造商 是否有洽談中的合作廠商： 無
委託辦理之 專利事務所	<input type="checkbox"/> 當年度校方簽約合作之事務所(名稱)： _____ <input checked="" type="checkbox"/> 發明人另選定非校方簽約合作之事務所(名稱)： _____ ※說明： A. 當年度校方簽約合作之事務所，請詳見每學年度之專利申請徵件公告。 B. 如為非校方簽約合作之事務所，請事務所選洽本校產技中心承辦人，進行報價及簽約程序。
備註	如原以國科會計畫成果申請但若未獲國科會補助專利費用者，將依校內一般案件費用分攤原則 <input checked="" type="checkbox"/> 同意 <input type="checkbox"/> 其他意見 _____

中原大學博士班研究生論文口試委員審定書

第 112 學年度第 1 學期

機械工程學系博士班 系(所)

黃昭萍 君所提之學位論文

題目：(中文) 錐桿節流閥於戰機機輪剎車之性能研究

(英文) An Investigation in Performances of the

Tapered-Spool Valve for Wheel Brakes

of Fighter Aircraft

經本委員會審議，認為符合博士資格標準。

學位考試委員會

召集人員
委員
委員
委員
委員
委員

章明
黃昭萍
符輝仁
丁金輝
鄭以傳
夏群

委員
委員
委員
委員
指導教授
系(所)主任

章明
胡聖亨
張淵
張淵 胡聖亨
符輝仁

機械工程學系博士班七年級 10502308

摘要

近代飛機機輪的煞車防滑系統，採用電液伺服閥，以壓力控制或流量控制的方式來控制剎車壓力，使機輪的滑動率被控制在臨界值附近，滑動率的臨界值對應了跑到地面與輪胎摩擦係數的最大值，使飛機剎車保持在最大的減速度，以得到最短的剎車距離和剎車時間。

本論文探討單向作動錐桿節流閥，對於戰機機輪剎車靜態和動態特性之影響。研究重點以探討設計變更對於噴嘴檔板伺服閥的靜態和動態特性之影響。以數值分析方法探討伺服閥靜態特性受到設計改變的影響。以利用最小平方誤差法鑑別單向作動圓錐桿形節流閥的節流參數，鑑別值可以三個偏微分之聯立方程式求得最佳解，證明鑑別結果符合單向作動錐形節流閥的工作原理，做為設計分析，校準或重新設計節流閥提供有用的數據。使用 Runge-Kutta 積分法，探討錐台型閥芯動態特性，簡諧激振作用於閥芯時，設定以擠壓油膜力及阻尼比兩種作為閥芯動力條件，探討閥芯之動態頻譜響應，分析結果表明，油膜擠壓係數調節阻尼比是穩定系統的重要方法。

本研究結果，以雙錐桿先導閥，以及使用單向作動正反饋圓錐環形長孔作為電液伺服閥之節流器，是適合作煞車閥之用。伺服閥相較於傳統節流器有更高的反應速度，並可對油膜厚度精準控制，對抗外在干擾能力更高，因此在整體性能上較具優勢。將噴嘴檔板伺服閥設計變更須予以進行設計參數調整以校準伺服閥的靜態及動態特性以及與負載的匹配特性，運用於戰機機輪剎車系統設計改善，對於戰機機輪剎車安全將更具可靠性。

關鍵字：電液伺服閥、單向作動錐桿節流閥、噴嘴檔板伺服閥、阻尼。

Abstract

The modern aircraft wheel anti-skid systems, electro-hydraulic servo valves are employed to control braking pressure through pressure or flow control. This ensures that the slip ratio of the aircraft wheel is controlled near the critical value, where the critical value corresponds to the maximum friction coefficient between the tire and the ground. This allows the aircraft to brake at the maximum deceleration, resulting in the shortest braking distance and time.

This paper investigates the impact of Single-action tapered-spool restrictors on the static and dynamic characteristics of the brakes in military aircraft wheels. The study focuses on the effects of design changes on the static and dynamic characteristics of the nozzle flapper servo valve. Numerical analysis is employed to explore how design alterations affect the static characteristics of the servo valve. The study also utilizes the least squares error method to identify the throttle parameters of Single-action tapered-spool restrictors, proving that the identification results align with the working principles of Single-action tapered-spool restrictors. This information is valuable for design analysis, calibration, or redesign of throttle valves.

The dynamic characteristics of the conical valve core are explored using the Runge-Kutta integration method. The study considers harmonic excitation acting on the valve core and investigates the dynamic spectral response of the valve core under the conditions of squeezing oil film force and damping ratio. The results indicate that adjusting the oil film squeezing coefficient to modulate the damping ratio is a crucial method for stabilizing the system.

The research findings suggest that a dual-cone rod pilot valve and a unidirectional actuated positive feedback circular conical annular long hole are suitable choices for brake valves. Compared to traditional throttle valves, servo valves exhibit higher response speed, precise control over oil film thickness, and greater resistance to external interference, making them more advantageous in overall performance. Design changes to the nozzle flapper servo valve require adjustments to design parameters for calibrating the static and dynamic characteristics and matching characteristics with the load. When applied to the improvement of military aircraft wheel brake systems, these adjustments enhance the safety and reliability of the aircraft's braking system.

Keywords: Electron-hydraulic servo valve; Single-action tapered-spool restrictors; Nozzle Flapper Servo Valve; Damping.

致謝

感謝財團法人國防工業發展基金會為鼓勵國內大專院校博士班研究生從事國防科技研究，提供本人在學期間 2 年的獎學金，特此感恩。

人因夢想而偉大！感謝指導教授康淵老師願意給學生圓夢的機會，才使得學生的博士學習生涯富於價值與意義，學生點滴感恩在心頭。本論文得以順利完成，承蒙諸位師友的協助與鼓勵。首先就是在論文的進行過程中最辛苦的指導教授 康淵老師幫助我在學術知識以及個人發展都獲得許多充實與成長，您對論文苦心的指導提供了噴嘴擋板伺服閥的設計變更及分析方法，使本論文能探討設變對於閥特性的影響，亦感謝協同指導我的胡博士聖彥，以及眾多幫助我的師門研究生，尤其陳詠承及歐啟敏兩位學弟，因為他倆，本文得以完成。謹此致上由衷的敬意。論文口試期間承蒙口試委員中原大學翁輝竹主任、章明教授、丁鏞教授、廖川傑教授、鄭經緯教授、艾群教授百忙之中撥空審閱此論文，並於口試時提供許多寶貴的意見，使得本論文得以更加嚴謹及完整，在此致上最深的謝意。

隨著論文的完成，也為我的研究所生涯劃下句點，這一路上感謝很多人的幫助及鼓勵，感謝家人全力支持我所做的決定與鼓勵，最要感謝父母為我所做的犧牲與苦心栽培讓我無後顧之憂的完成學業，希望我的努力及成長能讓您們感到欣慰及驕傲。

感謝研究室全體學弟們的關懷與互相幫助，研究室中、實驗室中，跨過的寒暑假，及工作後披星戴月，與您們共同學習的時光，在這些日子的互相鼓勵，本研究得以順利完成。

我要感謝我的母校—中原大學，富含全人教育涵養的校風，友善的校園，豐富了我的生命。謝謝中原大學的師長同仁，謝謝您們一直以來為我加油打氣，給予我很大的支持與鼓勵，讓我在工作及學業上得以勇敢面對完成每個挑戰。

最後，僅將這份完成學業的喜悅獻給所有關心、愛護、協助及鼓勵我的師長、家人、朋友、夥伴們，謝謝您們總是包容我的一切，給我的支持與鼓勵，感謝您們。

這篇論文是許多人的幫助而完成的，正因您們的協助，才得以完成。僅以此論文獻給我的指導教授康淵老師及共同指導的胡聖彥老師，我的雙親子女和所有幫助過我的人，謝謝您們。畢業後，也將是我人生另一個階段的開始，面對充滿不確定性的未來，我會帶著這些祝福和收穫，繼續用心奉獻自己一己之力，以回饋這個世界的大愛。

目次

摘要	I
Abstract	II
致謝	III
目次	IV
圖目次	VI
表目次	X
符號索引	XI
第一章 導論	1
1-1 節 研究背景及目的	1
1-2 節 文獻回顧與評述	3
1-3 節 論文大綱	9
第二章 噴嘴擋板伺服閥設變的靜態特性影響分析	10
2-1 節 雙噴嘴擋板孔口節流	12
2-2 節 單向作動錐桿節流器：圓錐環形長孔節流	19
2-3 節 雙噴嘴擋板先導閥及單向作動正反饋圓錐環形長孔節流器	22
2-4 節 雙錐桿先導閥及單向作動正反饋圓錐環形長孔節流器	26
第三章 錐桿節流器設計參數鑑別	31
3-1 節 圓錐桿節流閥之流動原理	32
3-2 節 鑑別方法	34
3-3 節 參數鑑別實驗	37
3-4 節 結果與討論	39
3-5 節 小結	47
第四章 錐台型閥芯動態特性探討	48
第五章 結論	57
參考文獻	59

附錄 A-1 錐桿節流器流量與設計參數關係式之推導	64
附錄 A-2 圓形平行表面擠壓膜之阻尼效應	69
A-2-1 節 兩平行平面之間只有外緣有出口	69
A-2-2 節 兩平行圓環，內緣為導柱	72
A-2-3 節 兩平行圓環平面，內緣為油腔壓力	86
A-2-4 節 擠壓油膜流體從圓盤中央之長形圓孔或銳緣孔口流出	90
A-2-5 節 擠壓圓盤外緣密封擠壓油膜	94
附錄 A-3 錐桿及平行套筒擠壓膜	95
A-3-1 節 全錐桿(full cone)	97
A-3-2 節 截頂圓錐	98
附錄 A-4 階段錐桿在錐套中移動之阻尼	102
A-4-1 節 圓環形平行流道	103
A-4-2 節 圓錐桿於圓柱筒	109
A-4-3 節 圓錐桿平行圓錐筒內	114



圖目次

圖 2-1 典型雙噴嘴擋板閥構造.....	10
圖 2-2 雙噴嘴擋板閥的工作原理.....	12
圖 2-3 噴嘴擋板-孔口伺服閥節流係數比， $\kappa=1$ 時的工作流量與工作壓力與關係.....	16
圖 2-4 噴嘴擋板-孔口伺服閥 $\kappa=0.2$ 及 3 時的 \bar{q}_L 與 \bar{P}_L 之關係.....	16
圖 2-5 噴嘴擋板孔口節流工作壓力隨控制量 \bar{x}_f 之變化.....	18
圖 2-6 單向作動錐桿節流器示意圖.....	20
圖 2-7 單向作動錐桿節流器之無因次流量($\bar{C}_\ell=0.5$ 至 $\bar{C}_\ell=1$).....	21
圖 2-8 單向作動錐桿節流器之無因次流量($q=2$ ， $\bar{C}_\ell=0.4$ 至 $\bar{C}_\ell=0$).....	22
圖 2-9 雙噴嘴擋板先導閥及錐桿節流器的電液伺服閥.....	23
圖 2-10 無因次負載流量與無因次負載壓力之關係($\kappa=0.2$ ， $\bar{C}_s=0.1$ ， $q=2$).....	24
圖 2-11 可變錐桿節流之噴嘴擋板伺服閥負載壓力及負載流量與控制量的關係.....	25
圖 2-12 無因次負載流量與無因次負載壓力之關係($\kappa=0.2$ ， $\bar{C}_\ell=0.5$ ， $q=2$).....	26
圖 2-13 無因次負載流量與無因次負載壓力之關係.....	26
圖 2-14 雙錐桿連動先導閥及錐桿節流器之電液伺服閥.....	27
圖 2-15 伺服閥以錐桿連動先導閥及可變錐桿節流器之負載流量與負載壓力之關係.....	28
圖 2-16 雙錐桿前導閥及可變錐桿節流伺服閥之負載壓力及負載流量與控制量的關係.....	29
圖 2-17 雙錐桿前導閥及可變錐桿節流伺服閥之無因次負載流量與無因次負載壓力關係.....	29
圖 3-1 單向作動錐桿節流閥示意圖.....	32
圖 3-2 單向作動錐桿節流器之無因次流率.....	34
圖 3-3 實驗設備.....	37
圖 3-4 鑑別結果與供油壓力的關係.....	39

圖 3-5 流量與油腔壓力在供油壓力 $P_s = 8 \times 10^5 \text{ N/m}^2$ 之關係	42
圖 3-6 流量與油腔壓力在供油壓力 $P_s = 10 \times 10^5 \text{ N/m}^2$ 之關係	43
圖 3-7 流量與油腔壓力在供油壓力 $P_s = 12 \times 10^5 \text{ N/m}^2$ 之關係	43
圖 3-8 流量與油腔壓力在供油壓力 $P_s = 15 \times 10^5 \text{ N/m}^2$ 之關係	44
圖 3-9 流量與油腔壓力在供油壓力 $P_s = 18 \times 10^5 \text{ N/m}^2$ 之關係	45
圖 3-10 流量與油腔壓力在供油壓力 $P_s = 20 \times 10^5 \text{ N/m}^2$ 之關係	45
圖 4-1 主閥芯力平衡圖	48
圖 4-2 阻尼比 $\zeta = 0.1$ 時位移比(x)之無因次時間(τ)步階響應	50
圖 4-3 阻尼比 $\zeta = 0.6$ 時位移比(x)之無因次時間(τ)步階響應	51
圖 4-4 以簡諧激振力及振動位移反應之時間歷程求相角	52
圖 4-5 $\bar{f} = 0.1$ 的頻譜響應	53
圖 4-6 $\bar{f} = 1$ 的頻譜響應	54
圖 4-7 $\bar{f} = 10$ 的頻譜響應	54
圖 4-8 $\bar{f} = 0.1$ 的 BODE 圖	55
圖 4-9 $\bar{f} = 1$ 的 BODE 圖	55
圖 4-10 $\bar{f} = 10$ 的 BODE 圖	55
圖 A-1.1 具有初始開口 g_0 的錐桿	64
圖 A-1.2 錐環形薄膜流道	65
圖 A-2-1-1 只有外緣有出口正向擠壓油膜壓力分佈	69
圖 A-2-1-2 圓盤之壓力分佈	70
圖 A-2-1-3 只有外緣有出口，動件向著固定面以速度離開	71
圖 A-2-1-4 只有外緣有出口，負向擠壓油膜壓力分佈	72

圖 A-2-2-1 內緣為導柱，正向擠壓油膜壓力分佈	73
圖 A-2-2-2 $P_0 = 0$ 壓力分布圖	75
圖 A-2-2-3 壓力為 0，半徑比： $\frac{r_0}{R_0}$ 壓力分佈示意圖	81
圖 A-2-2-4 半徑比： $\frac{r_0}{R_0}$ 無因次壓力分佈圖	81
圖 A-2-2-5 無因次化得到 \bar{c}_d 隨 $\frac{r_0}{R_0}$ 變化情形圖	83
圖 A-2-2-6 壓力分布圖	84
圖 A-2-2-7 $P(r) = 0$ ， $r = R_1$ 處之最小壓力，其無因次壓力分佈	85
圖 A-2-3-1 內緣為油腔壓力，外緣壓力為 P_0 正向擠壓油膜壓力分佈	86
圖 A-2-3-2 內緣為油腔壓力，外緣壓力為 P_0 負向擠壓油膜壓力分佈	88
圖 A-2-3-3 擠壓油膜之阻尼力作用在閥芯運動之反方向	89
圖 A-2-4-1 從圓盤中央長形圓孔或銳緣孔口流出正面擠壓油膜壓力分佈	90
圖 A-2-4-2 中央有長形圓孔或銳緣孔口圓形板所受之靜壓力及阻尼力之壓力分佈	92
圖 A-2-4-3 從圓盤中央長形圓孔或銳緣孔口流出負向擠壓油膜壓力分佈	93
圖 A-2-5-1 擠壓圓盤外緣密封擠壓油膜壓力分佈	94
圖 A-3-1 錐型阻尼器的 8 種型式	96
圖 A-3-1-1 全圓錐擠壓油膜	97
圖 A-3-2-1 截頂圓錐擠壓油膜	98
圖 A-3-2-2 截頂圓錐相同之壓力分佈	101
圖 A-4-1 作為錐桿減速阻尼之用的錐筒	102
圖 A-4-1-1 圓環形平行流道	103
圖 A-4-1-2 潤滑膜之速度分佈圖	106

圖 A-4-1-3 無因次 \bar{u} 之 \bar{r} 分佈函數圖	107
圖 A-4-1-4 無因次粘滯阻力關係圖	108
圖 A-4-2-1 圓錐桿於圓柱筒示意圖	109
圖 A-4-2-2 流體在 $\xi=0$ 處之速度作為單位時間排開的圓錐台體積得到擠出的流量.....	111
圖 A-4-2-3 無因次粘滯阻力	113
圖 A-4-3-1 錐桿進入圓錐筒內示意圖	114
圖 A-4-3-2 已有 l_0 的長度時，擠出流量為單位時間的兩平行圓錐之間體積.....	116



中 原 大 學

表目次

表 2-1 零位關係數受到節流係數之影響.....	17
表 3-1 節流參數 κ ，錐桿長度比 q 和順從係數 ξ 的鑑別結果.....	40
表 3-2 係數與錐桿長度比率 $\frac{\xi}{q} \times (10^7 \text{N/m}^2)$	46
表 A-2-1 $\frac{r}{R_0}$ 與 $\bar{P} \frac{h^3}{R_0^3}$ 參數對照表.....	76



中 原 大 學

符號索引

A_0	孔口節流器孔口面積	P_r	油腔壓力
C_ℓ	錐桿的順從係數	\bar{P}_r	節流器出口壓力比
\bar{C}_ℓ	錐桿的無因次順從係數	P_s	供油壓力
C_{df}	噴嘴擋板之流量係數	P_1 及 P_2	出口壓力
C_{d0}	孔口之流量係數	P_{sk}	供油壓力的第 k 個測量壓力
$c\dot{X}$	作用於閥芯之黏滯阻尼力	P_{rj}	第 j 個油腔壓力
d	套筒直徑	Q	錐台排出之流量
D_N	噴嘴孔口直徑	\bar{Q}	無因次流量
f	無因次負荷	q	錐桿節流長度比
$f(\tau)$	無因次負荷之位移比	q_L	工作(負載)流量
$F(t)$	動態外力作用	\bar{q}_L	無因次負載流量
g_0	開口間隙	R	回油口
h_0	初始油膜厚度	V	閥芯速度
h_c	間隙	x_f	擋板等效位移
κ	節流參數與排量參數比	\bar{x}_f	擋板之無因次的位移比
κ_ℓ	錐桿節流器節流參數	μ	平均動力黏度
\bar{K}_{c0}	單位壓力之流量係數	θ	錐桿的半錐角
\bar{K}_{p0}	單位壓力增益	τ	無因次時間
\bar{K}_{q0}	單位流量增益	ρ	液壓油密度
ℓ_0	錐桿可用節流長度	ζ	錐桿順從參數
m	閥芯整體質量	ξ	無因次擠壓油膜係數