

# 複合式氣動系統能量管理之研究

魏世弘、張舜長

E-mail: 9511371@mail.dyu.edu.tw

## 摘要

本研究提出一種嶄新的複合式氣動系統(Hybrid Pneumatic Power System)，此系統最大的特色為以高壓高溫氣體能量的方式代替電瓶的電化學能，將能源作一最佳化的管理與運用以達到環保及節約能源的目的。該動力系統能使內燃機維持在最佳操作點下運轉，並利用匯流裝置將壓縮空氣與內燃機排放之高溫廢氣混合，推動氣動馬達產生動力，目的在於吸收來自內燃機引擎的龐大廢能以高壓高溫氣體能量的方式回收利用，並轉換成有效的機械能，藉此彌補空氣能源密度低的問題且能有效地提高引擎熱效率，降低引擎的廢氣污染、油耗量和製造成本。本研究主要利用FLUENT軟體以數值模擬方法進行，針對三維流場中的匯流管結構，與內燃機廢氣排放時固定的週期壓力之廢能回收，設定內燃機廢氣排放時固定的週期壓力以及設定一氣動馬達輸出之曲線，以因應系統中的情況對匯流裝置的控制及管徑調整情況進行研究，探討管內暫態匯流之流場狀況及熱傳之現象，並觀察匯流管下游區域所形成之流場變化。透過匯流裝置來整合兩能量，而內燃機的廢能再利用是一大關鍵，壓縮空氣的壓力太大會讓內燃機的廢能無法順利傳遞及混合，將會影響最後出口端的總功率，因此利用ECU主動式控制調整匯流管徑大小產生文氏管效應，使內燃機的廢能順利傳遞及混合，進而增加氣體密度，並有效提升複合動力系統整體之效率。

關鍵詞：複合式氣動系統；最佳操作點；廢能回收；能量匯流

## 目錄

目錄封面內頁	簽名頁	授權書	iii	中文摘要	iv	英文摘要	viii	誌謝	viii	目錄	viii	圖目錄	x	表目錄	xiii	符號表	xv	第一章 緒論	1.1																																																																																																																																																																																																																																												
前言	1.1.2	研究目的	13	第二章 國內外有關本問題之研究情況	2.1	空氣車	16	2.2	液態氮推進系統	18	2.3	氣動馬達	19	2.4	廢能的利用	21	2.5	氣壓技術的特徵與應用	23	2.6	複合式氣動系統的發展	25	第三章 研究方法與進行步驟	3.1	設計理念	28	3.2	基本架構	29	3.3	分析模型	30	3.4	基本假設	32	3.5	統御方程式	33	3.6	紊流模式	34	3.7	邊界條件	36	3.8	模擬設定	40	3.9	數值模擬流程	43	3.10	網格建立	45	第四章 結果與討論	4.1	能量匯流管理	46	4.2	模擬結果探討	78	4.3	能量管理策略	88	第五章 結論與建議	5.1	結論	94	5.2	建議事項與未來研究	96	參考文獻	98	附錄A	101	圖目錄	圖1.1	車輛能源效率圖	2	圖1.2	複合氣動系統基本架構圖	8	圖1.3	內燃機引擎制動燃油消耗率BSFC圖	10	圖1.4	複合氣動系統達33%能源使用率	14	圖1.5	匯流裝置模擬示意圖	15	圖2.1	氣動引擎MDI	17	圖2.2	氣動引擎MDI (P-V圖)	17	圖2.3	液態氮動力車	18	圖2.4	液態氮推進系統	19	圖2.5	氣動馬達構造圖	21	圖2.6	固態氧化物燃料電池搭配氣渦輪機之應用	22	圖2.7	熱管熱交換器在公車上之應用	23	圖2.8	複合式氣動動力系統ITI-SIM模型	26	圖2.9	乙類機車行車型態模擬圖	26	圖3.1	廢能回收示意圖	29	圖3.2	匯流管示意圖	31	圖3.3	匯流管幾何模型側視圖	31	圖3.4	匯流管幾何模型上視圖	32	圖3.5	邊界條件設定圖	36	圖3.6	內燃機廢能輸出之模擬設定	38	圖3.7	氣動馬達性能曲線模擬	39	圖3.8	儲氣瓶的節流閥開度	41	圖3.9	匯流管的調整	42	圖3.10	數值模擬流程圖	43	圖4.1	管內探討點的偵測位置	47	圖4.2	不同節流閥開度之壓力場分佈(管徑未調整/5bar)	54	圖4.3	不同節流閥開度之溫度場分佈(管徑未調整/5bar)	55	圖4.4	不同節流閥開度之速度場分佈(管徑未調整/5bar)	56	圖4.5	不同節流閥開度之壓力場分佈(管徑未調整/10bar)	57	圖4.6	不同節流閥開度之溫度場分佈(管徑未調整/10bar)	58	圖4.7	不同節流閥開度之速度場分佈(管徑未調整/10bar)	59	圖4.8	不同節流閥開度之壓力場分佈(管徑調整6mm/5bar)	60	圖4.9	不同節流閥開度之溫度場分佈(管徑調整6mm/5bar)	61	圖4.10	不同節流閥開度之速度場分佈(管徑調整6mm/5bar)	62	圖4.11	不同節流閥開度之壓力場分佈(管徑調整6mm/10bar)	63	圖4.12	不同節流閥開度之溫度場分佈(管徑調整6mm/10bar)	64	圖4.13	不同節流閥開度之速度場分佈(管徑調整6mm/10bar)	65	圖4.14	不同節流閥開度之壓力場分佈(管徑調整12mm/5bar)	66	圖4.15	不同節流閥開度之溫度場分佈(管徑調整12mm/5bar)	67	圖4.16	不同節流閥開度之速度場分佈(管徑調整12mm/5bar)	68	圖4.17	不同節流閥開度之壓力場分佈(管徑調整12mm/10bar)	69	圖4.18	不同節流閥開度之溫度場分佈(管徑調整12mm/10bar)	70	圖4.19	不同節流閥開度之速度場分佈(管徑調整12mm/10bar)	71	圖4.20	不同節流閥開度之壓力場分佈(管徑調整18mm/5bar)	72	圖4.21	不同節流閥開度之溫度場分佈(管徑調整18mm/5bar)	73	圖4.22	不同節流閥開度之速度場分佈(管徑調整18mm/5bar)	74	圖4.23	不同節流閥開度之壓力場分佈(管徑調整18mm/10bar)	75	圖4.24	不同節流閥開度之溫度場分佈(管徑調整18mm/10bar)	76	圖4.25	不同節流閥開度之速度場分佈(管徑調整18mm/10bar)	77	圖4.26	匯流裝置出口端壓力(壓縮空氣輸入為5 bar)	82	圖4.27	匯流裝置出口端壓力(壓縮空氣輸入為10 bar)	82	圖4.28	匯流裝置出口端溫度(壓縮空氣輸入為5 bar)	83	圖4.29	匯流裝置出口端溫度(壓縮空氣輸入為10 bar)	83	圖4.30	匯流裝置出口端焓值(壓縮空氣輸入為5 bar)	84	圖4.31	匯流裝置出口端焓值(壓縮空氣輸入為10 bar)	84	圖4.32	匯流裝置出口端流速(壓縮空氣輸入為5 bar)	85	圖4.33	匯流裝置出口端流速(壓縮空氣輸入為10 bar)	85	圖4.34	匯流裝置出口端質量流率(壓縮空氣輸入為5 bar)	86	圖4.35	匯流裝置出口端質量流率(壓縮空氣輸入為10 bar)	86	圖4.36	匯流裝置出	

口端熱能功率(壓縮空氣輸入為5 bar) 87 圖4.37 匯流裝置出口端熱能功率(壓縮空氣輸入為10 bar) 87 圖4.38 複合氣動系統控制策略流程圖 92 圖4.39 複合氣動系統控制策略流程圖(續) 93 圖A.1 引擎動力測試平台實體圖 102 圖A.2 四行程125cc引擎性能曲線圖 103 圖A.3 四行程125cc引擎制動燃油消耗率圖 103 圖A.4 引擎廢氣中CO含量圖 104 圖A.5 引擎廢氣中HC含量圖 104 表目錄 表2.1 各種空壓馬達的比較 20 表3.1 匯流裝置模擬設定 40 表4.1 各點壓力數值偵測(管徑未調整/5bar) 54 表4.2 各點溫度數值偵測(管徑未調整/5bar) 55 表4.3 各點速度數值偵測(管徑未調整/5bar) 56 表4.4 各點壓力數值偵測(管徑未調整/10bar) 57 表4.5 各點溫度數值偵測(管徑未調整/10bar) 58 表4.6 各點速度數值偵測(管徑未調整/10bar) 59 表4.7 各點壓力數值偵測(管徑調整6mm/5bar) 60 表4.8 各點溫度數值偵測(管徑調整6mm/5bar) 61 表4.9 各點速度數值偵測(管徑調整6mm/5bar) 62 表4.10 各點壓力數值偵測(管徑調整6mm/10bar) 63 表4.11 各點溫度數值偵測(管徑調整6mm/10bar) 64 表4.12 各點速度數值偵測(管徑調整6mm/10bar) 65 表4.13 各點壓力數值偵測(管徑調整12mm/5bar) 66 表4.14 各點溫度數值偵測(管徑調整12mm/5bar) 67 表4.15 各點速度數值偵測(管徑調整12mm/5bar) 68 表4.16 各點壓力數值偵測(管徑調整12mm/10bar) 69 表4.17 各點溫度數值偵測(管徑調整12mm/10bar) 70 表4.18 各點速度數值偵測(管徑調整12mm/10bar) 71 表4.19 各點壓力數值偵測(管徑調整18mm/5bar) 72 表4.20 各點溫度數值偵測(管徑調整18mm/5bar) 73 表4.21 各點速度數值偵測(管徑調整18mm/5bar) 74 表4.22 各點壓力數值偵測(管徑調整18mm/10bar) 75 表4.23 各點溫度數值偵測(管徑調整18mm/10bar) 76 表4.24 各點速度數值偵測(管徑調整18mm/10bar) 77

## 參考文獻

- 參考文獻 [1] M. Schwarz, Ford Motor Company, 1997.
- [2] K. Morita, "Automotive Power Source in 21st Century," Journal of Society of Automotive Engineers of Japan vol. 24, pp. 3-7, 2002.
- [3] M.R. Cuddy and K.B. Wipe, "Analysis of the Fuel Economy Benefit of Drive train Hybridization," SAE Paper 970289, 1997.
- [4] M.Q. Wang et al., "Total Energy-Cycle Energy and Emissions Impacts of Hybrid Electric Vehicles," Electric Vehicle Symposium, 1997.
- [5] T. Robinson, "Electric & Hybrid Vehicle Technology," UK & International Press, 1997.
- [6] G. Rizzoni et al., "Unified Modeling of Hybrid Electric Vehicle Drivetrains," IEEE/ASME Transactions on Mechatronics, 1999.
- [7] S. Aceves and J.R. Smith, "A Hybrid Vehicle Evaluation Code and Its Application to Vehicle Design," SAE Paper 950491, 1995.
- [8] 黃勝銘, 氣液壓學, 高立圖書有限公司, 1995。
- [9] 賴耿陽, 最新應用空氣壓學, 復漢出版社, 1987。
- [10] 林春逢, 氣壓技術手冊, 全華科技圖書股份有限公司, 1988。
- [11] 賴南木, 實用機械氣壓學, 全華科技圖書股份有限公司, 1989。
- [12] 王壁超, 空壓技術指南, 儒林圖書股份有限公司, 第1-82頁, 1996。
- [13] <http://www.theaircar.com/> [14] M.C. Plummer, C. A. Ordonez, and R. F. Reidy, "Liquid Nitrogen as a Non-polluting Vehicle Fuel," SAE Paper 01-2517, 1999.
- [15] C. Knowlen, A.T. Mattick, H. Deparis, and A. Hertzberg, "Quasi-isothermal Expansion Engines for Liquid Nitrogen Automotive Propulsion," SAE Paper 972649, 1997.
- [16] S.R. Pandian, F. Takemura, Y. Hayakawa, and S. Kawamura, "Control Performance of an Air Motor," IEEE Robotics and Automation, vol. 1, pp. 518-524, May, 1999.
- [17] M.O. Tokhi, M.A. Miskiry and M. Brisland, "Real-Time Control of Air Motors Using a Pneumatic H-Bridge," Control Engineering Practice, vol. 9, pp. 449-457, 2001.
- [18] H.M. Mahgoub and I. A. Craighead, "Development of a Micro Processor Based Control System for a Pneumatic Rotary Actuator," Mechatronics, vol. 5, pp. 541-560, 1995.
- [19] 陳君豪, SOFC與小型氣渦輪機聯合系統之熱力學分析, 碩士論文, 國立成功大學機械工程學系, 台南, 2003。
- [20] F. Yang, X. Yuan and G. Lin, "Waste Heat Recovery Using Heat Pipe Heat Exchanger for Heating Automobile Using Exhaust Gas," Applied Thermal Engineering, vol. 23, PP. 367-372, 2003.
- [21] M.Y. Young and D.A. Penz, "The Design of a New Turbocharger Test Facility," SAE Special Publications 900176, 1990.
- [22] 張位全, 混合式氣動動力系統之研究, 大葉大學車輛工程研究所, 碩士論文, 2004。
- [23] 李建輝, 複合氣動系統之能量匯流管理之研究, 大葉大學車輛工程研究所, 碩士論文, 2005。
- [24] W. P. Jones, and B. E. Launder, "The Prediction of Laminarization with a Two-Equation Model of Turbulence," Int. J. Heat and Mass Transfer, vol. 15, pp.301-314, 1972.
- [25] Fluent 6.2 User's Guide.
- [26] 歐陽渭城, 內燃機工程學, 全華科技圖書股份有限公司, 2004。