

# 自行車壓電纖維複材把手管件的振動控制使用離散參數模型法

簡勤哲、羅正忠

E-mail: 9419530@mail.dyu.edu.tw

## 摘要

在本篇論文中使用減振技術的結構為自行車把手管件，因此抑制振動所需壓電元件不同於一般傳統平板型壓電陶瓷，相對的其振動控制機制亦較為複雜，其特點需求必須配合複合結構之外型、受力負荷形式，尋求最佳的裹埋位置、控制電路，以進行含MFC管件結構的振動控制。並由複材/壓電結構振動分析、實驗量測、控制法則及控制電路設計與製作驗證，建立自行車管件最佳化振動控制功能設計製作。本研究的目的是發展複材自行車把手管件的主動式振動抑制技術，其研究方式是使用Macro Fiber Composite (MFC)作為致動器，並推導自行車把手管件的離散數學模型作速度回饋控制(Velocity Feedback)和Linear Quadratic Regulator (LQR)設計，分別以兩種控制法則進行數值模擬和實驗驗證，並分別探討其控制效率，進而研發出一種簡單、穩定而又有效的複材自行車把手管件的主動式振動抑制技術。

關鍵詞：自行車把手管件

## 目錄

目錄封面內頁	簽名頁	授權書	iii	中文摘要	iv	英文摘要	v	誌謝	vi	目錄	vii	圖目錄	ix	表目錄	xiii	符號說明	xiv	第一章 簡介	1.1																																																																																																																																																																																																																																																																																			
前言	1.1.2	壓電性質	1.1.3	壓電致動器	3	1.4	國內外研究情形	3	1.5	本文目標	7	第二章 自行車把手變截面管件的動態分析	2.1	ANSYS 建立自行車把手桿件之有限元素模型	9	2.2	ANSYS 有限元素模型特性分析	11	2.2.1	ANSYS 模型應變分佈	13	2.3	驗證ANSYS 模型之正確性	14	2.3.1	ANSYS 和實驗之比對	15	2.3.2	最大應變位置	19	2.3.3	最佳黏貼位置以ANSYS 和實驗驗證	21	第三章 主動式控制系統的設計和分析	3.1	懸臂樑自由振動分析	23	3.2	MFC 壓電致動器之力的形式	30	3.3	模態階降	32	3.4	LQR 回饋控制	34	3.5	連續系統轉離散系統	35	3.6	速度回饋單模態模擬控制	37	3.7	LQR 最佳化多模態模擬控制	39	第四章 主動式控制效率的實驗評估	4.1	主動式控制法達到抑制的目的	42	4.1.1	主動式控制之類比控制效率	45	4.2	利用數位訊號建構主動式控制	49	4.2.1	主動式控制之數位控制效率	50	4.3	單模態之速度與位移回饋控制的寬頻效益	53	4.4	多模態控制架構圖	55	4.4.1	多模態控制	58	4.5	數學模型作單模態實驗驗證	69	第五章 結論與未來工作	5.1	目前研究結果	75	5.2	未來工作	76	參考文獻	77	圖目錄	圖1.1	正壓電效應圖	2	圖1.2	逆壓電效應圖	3	圖1.3	壓電陶瓷片應用於主動式控制的基本結構	4	圖1.4	MFC 壓電元件構造示意圖	8	圖2.1	自行車把手管件示意圖	9	圖2.2	自行車把手管件變截面結構內外徑示意圖	10	圖2.3	自行車把手管件的有限元素模型圖	10	圖2.4	元素建構圖	11	圖2.5	自行車把手管件在XY 平面的第一模態圖	12	圖2.6	自行車把手管件在XY 平面的第二模態圖	13	圖2.7	自行車把手管件在XY 平面的第三模態圖	13	圖2.8	把手管件懸臂樑結構XY 平面的第一個振型的strain energy	14	圖2.9	自行車把手管件的模態實驗架構圖	15	圖2.10	把手桿件等分成27 點	15	圖2.11	自行車把手管件在XY 平面的頻率響應圖	17	圖2.12	把手管件連接桿的XY 面旋轉運動的模態實驗量測圖	18	圖2.13	管件類似懸臂樑在XY 平面第一個模態實驗量測	18	圖2.14	自行車把手桿件第三個模態實驗量測	19	圖2.15	動態應變的實驗量測架構圖	20	圖2.16	動態應變實驗量測中應變規位置圖	21	圖2.17	MFC 壓電元件黏貼於圓管把手位置圖	21	圖2.18	顯示三個位置的應變訊號	22	圖3.1	樑受彎曲時，樑元素的自由體圖	23	圖3.2	懸臂樑前三個模態	29	圖3.3	懸臂樑前三個模態之應變分佈	29	圖3.4	力的形式	30	圖3.5	指叉式電極示意圖	31	圖3.6	二個模態改變Q 固定R 權重	34	圖3.7	二個模態改變R 固定Q 權重	35	圖3.8	二階系統速度回饋模擬	38	圖3.9	速度回饋單模態控制模擬	38	圖3.10	LQR 控制第一模態	40	圖3.11	LQR 控制第二模態	40	圖3.12	LQR 控制第一和第二模態	41	圖4.1	自行車把手圓管主動式控制的實驗架構	43	圖4.2	微分電路	44	圖4.3	控制抑振方塊圖	44	圖4.4	致動轉折處MFC 壓電元件頻率域的控制結果	46	圖4.5	致動固定端單片MFC 壓電元件頻率域的控制結果	46	圖4.6	致動固定端雙片MFC 壓電元件頻率域的控制結果	47	圖4.7	能量滿溢(spillover)的現象圖	48	圖4.8	凹槽濾波器(Notch Filter)	49	圖4.9	自行車把手圓管主動式控制的數位實驗架構	50	圖4.10	數位速度回饋固定端MFC 壓電元件的控制結果	51	圖4.11	數位速度回饋轉折處MFC 壓電元件的控制結果	52	圖4.12	速度訊號圖(90 度相位)	53	圖4.13	位移訊號圖(180 度相位)	54	圖4.14	致動器固定端MFC 壓電元件多模態頻率域控制結果	54	圖4.15	致動器固定端MFC 壓電元件多模態頻率域控制結果	55	圖4.16	掃頻(sinusoidal sweep)雷射位移計量測共振頻率	56	圖4.17	掃頻(sinusoidal sweep) MFC 量測共振頻率	56	圖4.18	多模態實驗架構圖	57	圖4.19	相位實驗架構圖	58	圖4.20	位移控制相位圖	60	圖4.21	速度控制(自行車把手桿件第二模態)相位圖	60	圖4.22	速度控制(自行車把手桿件第三模態)相位圖	61	圖4.23	位移+速度控制(自行車把手桿件第二模態)相位圖	61	圖4.24	位移+速度控制(自行車把手桿件第三模態)相位圖	62	圖4.25	單模態控制(自車把手桿件第二模態)	63	圖4.26	單模態控制(自車把手桿件第三模態)	63	圖4.27	多模態之位移控制	65	圖4.28	多模態之速度控制	65	圖4.29	多模態之位移+速度控制	67	圖4.30	最佳多模態之位移+速度控制	67	圖4.31	自行車把手圓管主動式控制的實驗架構	69	圖4.32	二個模態作LQR 控制(固定R 改變Q)	70	圖4.33	二個模態作LQR 控制(固定Q 改變R)	71	圖4.34	二個模態作LQR 控制(固定Q 改變R)時域變化	71

圖4.35 二個模態作LQR 控制(固定Q 改變R) 時域變化 72 圖4.36 二個模態作LQR 控制(固定Q 改變R) 時域變化 72 圖4.37 二個模態作LQR 控制(固定Q 改變R) 時域變化 73 圖4.38 二個模態作LQR 控制(固定Q 改變R) 時域變化 73 表目錄 表2.1 實驗值和ANSYS 差異 17 表3.1 頻率分析比較 28 表4.1 MFC 壓電致動器在相同控制電壓比較抑振效率 44 表4.2 類比/數位在相同振幅比較控制電壓(MFC 在轉折處) 52 表4.3 類比/數位在相同振幅比較控制電壓(MFC 在固定端) 52 表4.4 不同控制法來看單模態(第二模態)抑制效率 64 表4.5 不同控制法來看單模態(第三模態)抑制效率 64 表4.6 多模態控制比較抑制效率 66 表4.7 多模態控制比較抑制效率 68 表4.8 多模態最佳控制效率 68 表4.9 LQR 抑制控制 74

## 參考文獻

- [1] M. J. Brennan, S. J. Elliott and R. J. Pinnington, " Strategies the Active Control of Flexural Vibration on a Beam, " Journal of Sound and Vibration, 186(4), pp.657-688, 1995.
- [2] Douglas J. Ortel and B. Balachandran, " Control of flexural wave transmission through struts, " SPIE, Vol.3668, 1999.
- [3] I. Pelinescu and B. Balachandran, " Active Control of Vibration Transmission Through Struts, " SPIE, VOL.3329, 1998.
- [4] I. Pelinescu and B. Balachandran, " Analytical Study of Active Control of Wave Transmission Through Cylindrical Struts, " Smart Materials and Structures, 10, pp.121-136, 2001.
- [5] S. J. Elliott and L. Billet, " Adaptive Control of Flexural Waves Propagating in a Beam, " Journal of Sound and Vibration, 163(2), pp.295-310, 1993.
- [6] J. L. Fanson and T. K. Caughey, " Positive Position Feedback Control for Large Space Structures, " AIAA, VOL.28, NO.4, 1990.
- [7] S. P. Singh, Harpreet Singh Pruthi and V. P. Agarwal, " Efficient Modal Control Strategies for Active Control of Vibrations, " Journal of Sound and Vibration, 262, pp.563-575, 2003.
- [8] Jerome F. Rivory and Coline H. Hansen, " Further Studies of the Dynamic Response of a Supported Beam Excited by a Pair of Out-of-Phase Piezoelectric Actuators, " Journal of Intelligent Material System and Structures, Vol.5, 1994.
- [9] Aghil Yousefi-Koma and George Vukovich, " Shape and Location Optimization of Piezoelectric Actuators in Active Control Systems, " ASME, VOL.52, 1996.
- [10] Thomas Bailey, James E. and Hubbard Jr., " Distributed Piezoelectric-Polymer Active Vibration Control of a Cantilever Beam, " AIAA, VOL.8, NO.5, 1985.
- [11] C. Mei, B. R. Mace and R. W. Jones, " Hybrid Wave/Mode Vibration Control, " Journal of Sound and Vibration, 247(5), pp.765-784, 2001.
- [12] Henry A. Sodano, " Macro-Fiber Composites for Sensing Actuation and Power Generation, " MS thesis, Virginia Polytechnic Institute and State University, 2004.
- [13] Williams, R. B., Schultz, M. R., Hyer, M. W., Inman, D. J. and Wilkie, W. K., " Nonlinear tensile and shear behavior of macro fiber composite actuators, " Journal of Composite Materials, 38(10), pp. 855-869, 2004.
- [14] Azzouz, M. S., Mei, C., Bevan, J. S. and Ro, J. " Finite Element Modeling of MFC/AFC Actuators and Performance of MFC " , Journal of Intelligent Materials Systems and Structures, 12(9), pp. 601-612, 2001.
- [15] Sodano, H. A.; Park, G.; Leo, D. J. and Inman, D. J., " Use of piezoelectric energy harvesting devices for charging batteries " , Proc. SPIE Vol. 5050, pp. 101-108, 2003.
- [16] Jha, Akhilesh K. and Inman D. J. " Sliding mode control of a gossamer structure using smart materials " , Journal of Vibration and Control, 10(8), pp. 1199-1220, 2004.
- [17] Bevan, Jeffrey S. and Mei, Chuh " Piezoceramic actuator placement for structural acoustic and vibration control of flat and curved panels, " Proc. SPIE Vol. 4327, pp. 698-708, Smart Structures and Materials 2001.
- [18] Sodano, H. A.; Park, G.; and Inman, D. J. " An investigation into the performance of macro-fiber composites for sensing and structural vibration applications " , Mechanical Systems and Signal Processing, 18(3), pp. 683-697, 2004.