

噪音污染調查與控制策略之研究 以某環境與可靠度之動力環境實驗室為例

學生:侯欽哲

指導教授:陳俊勳教授

國立交通大學工學院產業安全防災學程(研究所)碩士班

中文摘要

對動力實驗室員工而言，最直接的傷害為噪音環境所引起之聽力損失。本文研究動機為調查及控制策略之研討，以有效解決動力環境實驗室於執行振動實驗時，所產生的噪音污染問題。

研究主要分三個階段，包括問卷調查，以瞭解噪音對實驗室員工的實質影響；其次為工作環境噪音源的頻譜量測與定量分析；最後為檢討可行的控制與改善策略，以保護工作者在振動環境試驗中降低噪音的暴露風險與危害。

經由上述步驟之逐一探討，83 位員工的問卷調查結果顯示，動力環境實驗室人員的聽力損失風險較一般高出許多。動力環境實驗室噪音量測結果屬於非穩態的變動噪音類型，其聲壓位準隨不同試驗的執行及時間有大幅的變動，聲壓位準分佈於 88dBA~115dBA 區間。由此量測數據得知，若員工長期暴露此作業環境中，不採取防護措施與方法將造成嚴重之聽力損失，與問卷調查所得結果相符。因此，進一步所提出各種噪音控制策略，並針對隔音屏障、控制室隔音、功測人員作業位置異動、採用主動式耳罩、隔音屏障與各類耳罩組合等應用，進行降噪值之定量適用性成效探討與驗證，其有效降噪值在 2.8 dBA~30.4 dBA 區間。以 5 dBA 減半率標準其降噪 5 dBA 即聽力傷害減半，故所採取降噪措施皆能降低聽力傷害。

綜合上述之研究，期盼藉由本文之研究成果能作為日後籌建類似新實驗室設計規劃時之參考，並對噪音防治改善方面有所助益，以提供動力環境實驗室作業人員免於噪音污染的危害，防止造成永久性的聽力職業傷害。

Noise Pollution Survey and Noise Control Strategy Study for A Dynamical Testing Environment and Reliability Laboratory

student : Chin-Che Hou Advisors : Dr. Chiun-Hsun Chen

Institute of Industrial Safety and Risk Mangement I
National Chiao Tung University

ABSTRACT

The hearing loss is the most hazards to the workers of the Dynamical Testing Environment and Reliability Laboratory directly. The purpose and motive of this research is trying to survey the noise pollution due to such vibration testing and finding out the feasibility strategies to control the noise disturbances.

The study of this research is running according to three steps of the procedures. The first one is questionnaire survey to understand the noise impact situations of in-site environment for the lab's employee. Secondly, the noise spectrum of different noise sources of the working environment and qualification of effective strategies are measured and analyzed by instruments. Finally, evaluation the possible different combination improvements strategies of acoustical barrier, enclosure, position change, passive and active earmuffs which can protect the laborer to reduce the risk and injury of noise due to environmental vibration testing.

The results by the above reasonable study show the 83 laborers who are working for the labs have the higher risk of hearing loss than others by questionnaire. The fluctuating noise at the dynamical testing environment laboratory change along the different experimental location with time. The sound pressure level is measured between 88 and 115 dBA. It will induce the hearing loss seriously if the workers exposure under such environment without any protective measures in advance. Such

quantitatively determination matches as the investigative results by questionnaire. Therefore, the study of different noise control strategy and combination of acoustic barrier, enclosure, working position, passive and active noise canceling industrial ear muffs inside the dynamical environment laboratory, it will be evaluated and discussed for their efficiency and effectiveness. The noise reduction is between 2.8 and 30.4 dBA. Halving rate standard of 5 dBA it will obtain hearing injury halving, when noise reduced 5 dBA every time, and therefore takes the noise reduction measure to be able to reduce the hearing injury.

After synthesizing the above research, the author expect the conclusion and recommendation through this study can be helpful to run the similar planning of the new dynamical laboratory in the future and avoid the operating personnel exposure such harmful noise pollution environment and cause the permanent threshold shift occupation damage.



誌謝

本論文能夠完成，首先誠摯的感謝恩師陳教授俊勳的指導，在學生三年碩士學習生涯中細心指導與教誨，使我一窺學術領域的深奧，在遇到瓶頸困惑時，多次面對面指點我正確的方向、架構的導正及觀念的釐清，使我突破瓶頸通達究理，在此對恩師致上無限的謝意與敬意並賀喜恩師當選新任工學院院長。同時感謝徐一量博士、雷明遠博士、邱晨瑋博士在口試期間，對論文提出精闢的見解與指正，開啟更進一步深究的方向，使得本論文更加完整與嚴謹。

感謝陳金文先生、沈盈志組長、李新樞博士、喬國鎮先生、魏中文學長、陳世瓊小姐、林志清先生以及許君平先生在硬體及軟體上支持，因有你們的協助和鼓勵才能完成本論文。亦感謝論文期間，動力環境實驗室接受相關問卷調查的同事、朋友，由於有他們協助與幫忙，讓整個研究工作不管在問卷調查及量測上順利進行，若無他們協助，本論文將無法順利完成，在此致上十二萬分謝意。

我要把最深的感謝留給我親愛的老婆、雙親及家人，尤其感謝老婆玉蓮在背後默默支持與體諒，照顧佳儀與旭昇這兩個可愛又貼心的孩子。謝謝佳儀與旭昇這兩孩子體諒爸爸在三年碩士學習生涯，無較多時間陪你們一起成長，但因有你們精神上的支持才讓我無後顧之憂的完成碩士學業。

最後感謝在同日期進行論文口試，順利取得畢業資格，具同窗共讀親密情誼的研究所同學之相互惕厲與一直給我關懷、鼓勵的朋友、同事們。今天我終於取得畢業資格，在這過程是艱辛的，但結果是甜美的，一路走來要感謝的人太多了，對曾經關懷過、鼓勵及支持我的朋友在此一併謝過。謝謝！衷心感謝惕你們！

侯欽哲 謹誌於交大
中華民國九十八年八月

目錄

中文摘要	i
英文摘要	ii
誌謝	iv
目錄	v
表目錄	ix
圖目錄	xi
第一章 緒論	1
1.1 研究動機	1
1.2 研究目的	3
1.3 研究範圍	3
1.4 文獻探討	4
1.4.1 國內相關之研究	4
1.4.2 國外相關之研究	5
1.5 研究方法與流程	6
1.5.1 研究方法	6
1.5.2 研究流程	8
第二章 噪音控制方法與原理	9
2.1 音的基礎理論	9

2.1.1 音波的物理性-----	9
2.1.2 噪音的定義與類型-----	13
2.2 噪音對人體的影響-----	14
2.3 噪音污染相關法規分析整理-----	20
2.3.1 我國噪音污染相關法規訂定-----	20
2.3.2 環境噪音標準-----	20
2.3.3 職業、工業噪音標準-----	23
2.4 噪音控制方法與原理-----	28
2.4.1 吸音材料-----	28
2.4.2 消音器-----	34
2.4.3 隔音材料-----	36
2.4.4 主動噪音防治方法-----	47
第三章 動力環境實驗室噪音污染問卷調查與量測分析-----	50
3.1 動力環境實驗室簡介-----	50
3.2 實驗室的裝備、構造與振動原理-----	51
3.2.1 振動試驗裝備的基本認識-----	51
3.2.2 振動試驗裝備構造與振動原理-----	52
3.2.3 振動設備噪音產生機制-----	62
3.3 噪音量測儀器設備-----	64

3.3.1 噪音計-----	64
3.3.2 校正器-----	65
3.3.3 麥克風-----	66
3.3.4 磁帶機記錄器-----	68
3.4 動力環境實驗室噪音污染問卷調查-----	69
3.4.1 調查計劃概要-----	69
3.4.2 調查方法-----	70
3.4.3 問卷調查統計分析-----	71
3.4.4 小結-----	73
3.5 動力環境實驗室噪音量測-----	74
3.5.1 實驗室噪音源探討-----	74
3.5.2 作業區域現場環境噪音之量測-----	80
3.5.3 主要噪音源測定-----	84
3.5.4 噪音量測結果-----	86
3.5.4 小結-----	92
第四章 動力環境實驗室噪音污染控制-----	93
4.1 噪音污染控制策略與改善措施案例-----	93
4.1.1 工程控制策略-----	93
4.1.2 受音者控制策略-----	101

4.2 小結	114
第五章 結論與建議	117
5.1 結論	117
5.2 建議	117
參考文獻	143
附錄一 問卷調查表	147
附錄二 噪音量測之麥克風查驗	153
附錄三 聲波方程式	155



表目錄

表 1 噪音分貝數一覽表	18
表 2 工廠(場)噪音管制標準表	21
表 3 娛樂場、營業場所噪音管制標準表	21
表 4 營建工程噪音管制標準表	21
表 5 擴音設備噪音管制標準表	22
表 6 其他經主管機關公告之場所及設施之噪音管制標準表	22
表 7 EPA、ISO 與 OSHA 組織對噪音值可容許暴露時間比較表	23
表 8 我國連續性或間歇性噪音之音壓位準及對應之暴露容許時間 .	24
表 9 我國和世界各國及 ISO、歐盟的職業噪音暴露標準限制比較表	25
表 10 吸音材料之種類與選定原則	32
表 11 常用建材的吸音係數	33
表 12 吸音結構材料	33
表 13 水平、垂直方向振動機量測位置音壓的比較	75
表 14 主要振動規格產生噪音源頻譜範圍、主要頻譜最大能量頻率	78
表 15 主要振動規格產生噪音源之測定結果	79
表 16 背景噪音修正表	87
表 17 動力環境實驗室各設備待機背景噪音值	87
表 18 動力實驗室作業區域測點聲壓	88

表 19 V10 為音源時距離衰減實測與理論預測值比較.....	89
表 20 V12 為音源時距離衰減實測與理論預測值比較.....	90
表 21 控制室隔音門隔音降噪值	100
表 22 水平方向振動工作位置之音壓比較	101
表 23 噪音污染降噪成效表	116



圖目錄

圖 1-1 環保署歷年噪音陳情處理案件-2 直方圖.....	2
圖 1-2 環保署歷年噪音陳情處理案件-3 按音源與處理情形統計...	2
圖 1-3 研究架構流程圖.....	8
圖 2-1 在空間某點音壓隨時間的變化圖.....	9
圖 2-2 兩相鄰相同相位質點之間的距離(波長)示意圖.....	10
圖 2-3 人與動物可聽頻率.....	12
圖 2-4 人耳可聽頻率.....	12
圖 2-5 人耳朵構造.....	15
圖 2-6 人體對噪音的生理反應.....	16
圖 2-7 噪音對人體健康的影響.....	16
圖 2-8 不同噪音暴露音壓級於各暴露年(齡)產生聽力損失危險率 .	17
圖 2-9 聲波遇吸音材料之傳遞情形.....	28
圖 2-10 開口板吸音機制.....	31
圖 2-11 吸音契之幾何形狀.....	32
圖 2-12 典型消音器中的基本原素.....	34
圖 2-13 吸音室構造圖.....	36
圖 2-14 單層隔音板非撓性結構模型.....	36
圖 2-15 單層隔音板撓性結構模型.....	37

圖 2-16 單層隔音板的傳遞損失之特性.....	38
圖 2-17 雙層非撓性隔音板結構模型.....	39
圖 2-18 雙層非撓性隔音板傳遞損失與頻率之關係.....	40
圖 2-19 雙層隔音板撓性結構模型.....	41
圖 2-20 雙層撓性隔音板傳遞損失與頻率之關係.....	41
圖 2-21 自由音場中無限隔音牆噪音衰減量與 Fresnel 數之關係...	45
圖 2-22 聲管單通道寬頻域前饋式主動噪音控制系統.....	48
圖 2-23 聲管單通道回饋式主動噪音控制系統.....	48
圖 2-24 回饋式 FXLMS 控制方塊圖.....	48
圖 3-1 動力環境實驗室現場圖.....	51
圖 3-2 振動試驗裝備.....	52
圖 3-3 振動機之場線圈和驅動線圈位置示意圖.....	53
圖 3-4 電磁式振動機功率放大器電路圖.....	54
圖 3-5 功率放大器典型交流電流(a)與電壓輸出(b).....	55
圖 3-6 功率放大器 相位漂移(a)與放大倍率.....	56
圖 3-7 數位正弦振動控制系統方塊圖.....	57
圖 3-8 數位隨機振動控制系統方塊圖.....	58
圖 3-9 加權電網.....	64
圖 3-10 噪音計.....	64

圖 3-11 活塞式校正器剖面圖.....	65
圖 3-12 B&K4220 活塞式校正器.....	65
圖 3-13 電容式麥克風內部構造.....	66
圖 3-14 麥克風出廠校正報告.....	68
圖 3-15 磁帶機記錄器.....	68
圖 3-16 細部調查計畫流程圖.....	69
圖 3-17 水平方向振動機量測位置點.....	76
圖 3-18 垂直方向振動機量測位置點.....	76
圖 3-19 ESS/RV 規格圖.....	77
圖 3-20 FV-1 規格圖.....	77
圖 3-21 FV-2 規格圖.....	78
圖 3-22 振動規格產生噪音聲壓比較圖.....	79
圖 3-23 噪音量測系統架設及分析.....	82
圖 3-24 動力環境實驗室設備平面配置與作業區域噪音量測位置圖	83
圖 3-25 現場量測儀器佈置圖.....	83
圖 3-26 噪音顯示器噪音記錄器.....	84
圖 3-27 水平振動機主要之噪音源定點量測.....	85
圖 3-28 垂直振動機主要之噪音源定點量測.....	85
圖 3-29 一天 8 小時噪音音壓的時間歷程.....	86

圖 3-30	噪音源位置、數量對各區域貢獻度比較圖	89
圖 3-31	V10 為音源時距離衰減實測與理論預測值比較	90
圖 3-32	V12 為音源時距離衰減實測與理論預測值比較	91
圖 3-33	勞工年齡統計圖	119
圖 3-34	勞工工作年資統計圖	119
圖 3-35	勞工學歷統計圖	119
圖 3-36	一天約用多久統計圖	120
圖 3-37	戴耳塞之動機統計圖	120
圖 3-38	勞工每天噪音暴露年數統計圖	120
圖 3-39	勞工抽煙習慣統計圖	121
圖 3-40	勞工距噪音源平均距離圖	121
圖 3-41	勞工距噪音源最長距離圖	121
圖 3-42	勞工距離噪音源最短距離統計圖	122
圖 3-43	勞工自覺聽力統計圖	122
圖 3-44	勞工曾罹急性或慢性中耳炎統計圖	122
圖 3-45	勞工耳朵是否流過膿統計圖	123
圖 3-46	噪音對人體影響最大統計圖	123
圖 3-47	勞工平常主要嗜好統計圖	123
圖 3-48	勞工服役的兵種統計圖	124

圖 3-49	勞工接受耳朵手術統計表	124
圖 3-50	勞工聽力檢查統計圖	124
圖 3-51	勞工聽力檢查報告統計圖	125
圖 3-52	勞工居家環境統計圖	125
圖 3-53	噪音最大的設備統計圖	125
圖 3-54	對振動噪音認知統計圖	126
圖 3-55	對振動噪音之忍耐度統計圖	126
圖 3-56	振動噪音何時最吵統計圖	126
圖 3-57	噪音對人體影響最大統計圖	127
圖 3-58	噪音對個人生理上造成的影響統計圖	127
圖 3-59	噪音對個人身心上造成的影響統計圖	127
圖 3-60	噪音對個人情緒上造成的影響統計圖	128
圖 3-61	除振動噪音外，還有比較吵的統計圖	128
圖 3-62	其他噪音與振動噪音比較統計圖	128
圖 3-63	做何事會被噪音影響統計圖	129
圖 3-64	動力實驗室工作後聽力狀況統計圖	129
圖 3-65	那種振動規格最吵統計圖	129
圖 3-66	那種振動規格最吵統計圖	130
圖 3-67	防護具使用統計圖	130

圖 3-68	防護具使用情形統計圖	130
圖 3-69	耳塞、耳罩一天使用多久統計圖	131
圖 3-70	耳塞來源統計圖	131
圖 3-71	耳塞公司提供情形統計圖	131
圖 3-72	戴耳塞之動機統計圖	132
圖 3-73	耳塞用完後處理情形統計圖	132
圖 3-74	耳罩來源計圖	132
圖 3-75	耳罩為專用或共用統計統計圖	133
圖 3-76	戴耳罩之動機統計圖	133
圖 3-77	使用後，吵雜程度統計圖	133
圖 3-78	戴耳塞耳罩感覺統計圖	134
圖 3-79	高低音頻率何種最吵統計圖	134
圖 3-80	人耳可聽低音者統計圖	134
圖 3-81	耳語約多少分貝認知統計圖	135
圖 3-82	勞工法定噪音量認知統計圖	135
圖 3-83	噪音量-吵的認知統計圖	135
圖 3-84	噪音量-重聽的認知統計圖	136
圖 3-85	噪音量-交談的認知統計圖	136
圖 3-86	男女聽力的認知統計圖	136

圖 3-87	輕微重聽的認知統計圖	137
圖 3-88	中等重聽的認知統計圖	137
圖 3-89	嚴重重聽的認知統計圖	137
圖 3-90	發生職業重聽部位的認知統計圖	138
圖 3-91	發生職業重聽開始頻率的認知統計圖	138
圖 3-92	職業造成之聽力損失與聽力間年齡的認知統計圖	138
圖 3-93	動力環境實驗室工作平均噪音的認知統計圖	139
圖 3-94	噪音對人體危害資訊來源統計圖	139
圖 3-95	公司噪音防護教育統計圖	139
圖 3-96	公司噪音防護教育時數統計圖	140
圖 3-97	重聽危害的認知統計圖	140
圖 3-98	進公司前是否做過聽力檢查統計圖	140
圖 3-99	是否定期做聽力檢查統計圖	141
圖 3-100	應付噪音可行方法統計圖	141
圖 3-101	防止噪音在行政管理最可行統計圖	141
圖 3-102	防止噪音在設計規劃最可行統計圖	142
圖 3-103	防止噪音在工程對策最可行統計圖	142
圖 4-1	直接音、隔音屏障的比較現場量測佈置	94
圖 4-2	ESS/RV 振動規格時噪音之 1/3 八音幅頻譜分布圖	94

圖 4-3 ESS/RV 振動規格時不同隔音方式之隔音降噪值比較圖.....	95
圖 4-4 FV-1 振動規格時噪音之 1/3 八音幅頻譜分布圖	96
圖 4-5 FV-1 振動規格時不同隔音方式之隔音降噪值比較圖.....	96
圖 4-6 控制室的隔音門、雙層玻璃隔音窗現場實況	97
圖 4-7 控制室平面配置及量測點位置圖	98
圖 4-8 控制室門打開量測點位置圖.....	99
圖 4-9 控制室隔音門加木門關閉量測點位置圖	99
圖 4-10 控制室隔音鐵門外量測點	99
圖 4-11 控制室隔音門隔音降噪值.....	100
圖 4-12 執行水平振動功測人員工作位置量測點	102
圖 4-13 水平方向振動工作位置之音壓比較	102
圖 4-14 各種型態耳罩.....	103
圖 4-15 不同隔音屏障與不同型式的耳罩組合現場量測實驗	104
圖 4-16 執行 ESS/RV 振動規格直接受音時耳罩之降噪值比較圖 .	106
圖 4-17 執行 ESS/RV 振動規格直接受音主動式耳罩降噪值	106
圖 4-18 執行 ESS/RV 振動規格隔屏隔音加耳罩之降噪值比較圖 .	108
圖 4-19 執行 ESS/RV 振動規格隔屏隔音主動式耳罩降噪值	109
圖 4-20 執行 ESS/RV 振動規格機櫃隔音加耳罩之降噪值比較圖 .	109
圖 4-21 執行 ESS/RV 振動規格機櫃隔音主動式耳罩降噪值	110

圖 4-22	執行 FV-1 振動規格隔屏隔音加耳罩降噪值比較圖	111
圖 4-23	執行 FV-1 振動規格隔屏隔音主動式耳罩降噪值	112
圖 4-24	執行 FV-1 振動規格機櫃隔音加耳罩降噪值比較圖	113
圖 4-25	執行 FV-1 振動規格機櫃隔音主動式耳罩降噪值	114

