

國內3K製程高噪音作業環境改善與分析模式

Establishing Noise Survey and Improvement Model for Internal 3K Manufacturing Process



國內3K製程高噪音作業環境改善與分析模式 ILOSH103-H309

勞動部勞動及職業安全衛生研究所

勞動部勞動及職業安全衛生研究所
ILOSH
INSTITUTE OF LABOR, OCCUPATIONAL SAFETY AND HEALTH, MINISTRY OF LABOR

地址：新北市汐止區橫科路407巷99號
電話：(02) 26607600
傳真：(02) 26607732
網址：<http://www.ilosh.gov.tw>

ISBN 978-986-04-4658-6
00300

9 789860 446586

GPN:1010400798
定價：新台幣300元

國內 3K 製程高噪音作業環境改善
與分析模式

**Establishing Noise Survey and
Improvement Model for Internal 3K
Manufacturing Process**

國內 3K 製程高噪音作業環境改善 與分析模式

Establishing Noise Survey and Improvement Model for Internal 3K Manufacturing Process

研究主持人：林桂儀、盧士一

計畫主辦單位：勞動部勞動及職業安全衛生研究所

研究期間：中華民國 103 年 4 月 3 日至 103 年 12 月 31 日

本研究報告公開予各單位參考
惟不代表勞動部政策立場

勞動部勞動及職業安全衛生研究所
中華民國 104 年 6 月

摘要

自從工業革命以來，噪音一直威脅著工作人員的健康。噪音對人類所產生的不良影響不僅導致聽力損失，並會影響勞工的生理與心理健康。噪音引起的聽力損失是勞工在工作場所面對的各種健康危害中，極為普遍的一種。

本研究以臨廠訪視輔導與規劃設計等方式，達到協助事業單位改善噪音工作環境之目的。事業單位臨廠訪視共達 10 場次，其中線纜與塑膠製造 1 場次、熱軋鋼捲 2 場次、冷軋鋼捲 1 場次、鋼棒製造 2 場次、鋼管製造 4 場次(包括不鏽鋼管 1 場次、碳鋼管 3 場次)，3K 製程金屬加工噪音作業場所勞工噪音暴露劑量測定達 52 人次。本研究訪視之作業環境由許多不同類型的噪音源所組成，包括轉體、齒輪、振動面、衝擊、碰撞、亂流、風扇等。噪音環境主要來自特別吵雜的操作與設備，例如金屬熔爐、切割、碰撞、銲接、壓縮空氣釋放、風機、幫浦與馬達等。作業場所的噪音程度，取決於廠區內有多少吵雜設備與製程及廠房面積大小，密度愈高的作業環境其噪音愈大。人員暴露量雖與作業環境噪音相關，但自動化製程的作業人員多數時間處於控制室內，致實際暴露劑量不大，如鋼材熔爐與鋼板熱軋製程。廠房的規劃設計亦常為影響整個廠區音壓級的因素。產品輸送過程產生的碰撞聲響以及金屬切割為本次訪視常見的噪音發生源。此外加熱、冷卻、通風等需求所建置的空氣輸送風機與出、入風口，經常成為廠房內較顯著的噪音源。訪視輔導期間，除進行噪音暴露劑量與噪音源頻譜測定外，並提供改善之初步建議，作為廠商未來作業環境降噪之參考。本研究選定 10 項改善案例進行細部規劃設計，提供廠商工程改善設計參考。聽力防護具的佩戴雖能有效降低傷害，但工作場所噪音的降低才能根本解決噪音危害，並積極創造舒適工作環境。未來建議將噪音場所的工程改善，列為噪音危害防止相關管理計畫的必要項目，並應有逐年改善的具體目標。

關鍵詞：噪音、工程控制、3K製程

Abstract

Since the industrial revolution, noise has been threatening the health of workers. Noise causes a lot of adverse effects on the human body, leading not only to hearing loss, but affecting the physical and mental health of workers. Noise-induced hearing loss is one of the more common forms of health hazards faced by workers in the workplace.

The purpose of this study is to visit industrial factories and provide noise control planning strategies to assist factories to improve their working environment. Ten factories are visited during the course of the study, including one cable and plastic fabrication company, two hot-rolled steel roll manufacturing companies, one cold-rolled steel roll manufacturing company, two steel bar manufacturing companies, and four steel pipe manufacturing companies, as well as noise exposure dosimeter measurements of 52 workers in 3K metalworking workplace. Operating environment of the visits consist of many different types of noise sources, including rotations, gears, vibration surfaces, shocks, impacts, turbulence, and etc. These noises mainly come from the operations of devices, such as a metal furnace, cutting, collision, welding, compressed air releasing, fans, pumps and motors. The magnitude of noise in the workplace depends on the number of equipment and noisy processes, as well as the density of them. The personal noise exposure dose is associated with the noise level of operating environment, but workers in automated manufacturing process stay in the control room most of the time, therefore their noise dose value are low. Facilities planning would affect the entire sound pressure level, where collisions generated from product delivery and metal cutting are common noise sources. In addition, air transport outlets for ventilation are a significant source of noise within a plant. During factory visits, noise exposure and noise source spectrum are measured and preliminary recommendations for improvement as future noise reduction reference are provided. This study selects 10 cases with detailed improvement design for engineering control reference; three practical advocacy forums are held to introduce these control strategies and cases to reduce noise hazards in the workplace. While wearing hearing protection can reduce hearing damage, reducing workplace noise is a more fundamental solution for noise hazards. It is suggested that noise engineering control must be treated as necessary improvement in noise hazard management in future.

Key words: Noise, Engineering control, 3K manufacturing process

目錄

摘要.....	i
Abstract	ii
目錄.....	iii
圖目錄.....	v
表目錄.....	viii
第一章 計畫概述.....	1
第一節 前言.....	1
第二節 目的.....	2
第三節 工作項目.....	2
第二章 文獻回顧.....	3
第一節 3K 製程噪音狀況.....	3
第二節 噪音控制策略.....	7
第三章 研究方法.....	9
第一節 研究方法與步驟.....	9
第二節 儀器設備與量測方法.....	10
第四章 國內 3K 製程噪音現況.....	12
第一節 訪視廠商類型與噪音量測數據.....	12
第二節 訪視廠商噪音改善建議.....	37
第五章 噪音診斷與噪音控制技術.....	52
第一節 噪音診斷.....	52
第二節 噪音工程控制方法.....	54
第六章 噪音工程改善設計樣態.....	63
第一節 10 種噪音工程改善設計樣態.....	63
第二節 10 組樣態改善圖例補充說明.....	88
第三節 成本效益分析.....	89
第四節 結合 OSHA 曲線案例.....	90

第七章 結論與建議.....	91
第一節 結論.....	91
第二節 建議.....	93
誌謝.....	94
參考文獻.....	95

圖目錄

圖 1 粗抽機噪音頻譜(老舊粗抽機)	14
圖 2 中抽機噪音頻譜(距離出線口 50cm)	14
圖 3 細抽機噪音頻譜(距離出線口 50cm)	14
圖 4 塑膠粒振動輸送機噪音頻譜	15
圖 5 塑膠粒振動輸送機噪音頻譜	15
圖 6 精整削皮區噪音頻譜	17
圖 7 加熱爐送風機組噪音頻譜	17
圖 8 煉鋼爐控制室內外噪音頻譜	18
圖 9 熱軋產線之噪音頻譜(距 30m)	20
圖 10 熱軋產線之噪音頻譜(距 10m)	20
圖 11 分條裁剪機噪音頻譜	22
圖 12 製管後端高壓噴氣段噪音頻譜	22
圖 13 拋光處理出口端噪音頻譜	22
圖 14 除塵設備風車馬達組噪音頻譜	23
圖 15 環型加熱爐排氣口噪音頻譜	24
圖 16 加熱爐風機組頻譜	24
圖 17 分條機噪音頻譜	26
圖 18 整平機噪音頻譜	26
圖 19 中/高週波區噪音頻譜	26
圖 20 水壓測試區鋼管碰撞聲響頻譜	27
圖 21 包裝區鋼管碰撞聲響頻譜	27
圖 22 冷軋機空壓開啟控制室內噪音頻譜	29
圖 23 冷軋機空壓開啟控制室外噪音頻譜	29
圖 24 大型空氣乾燥送風機噪音頻譜	29
圖 25 鋼管不良品墜落聲響頻譜	31
圖 26 鋼管輸送相互撞擊頻譜	31
圖 27 高週波噪音頻譜	32
圖 28 中週波噪音頻譜	32
圖 29 粗軋精軋噪音頻譜	34
圖 30 調質線捲取端噪音頻譜	34

圖 31 加熱爐送風機組噪音頻譜	34
圖 32 地下室排風機噪音頻譜	35
圖 33 分條機捲曲端噪音頻譜	36
圖 34 分條機裁邊回收輸送端噪音頻譜	36
圖 35 分條機裁邊回收鐵桶端噪音頻譜	36
圖 36 老舊粗伸線機	37
圖 37 塑膠粒振動輸送機	38
圖 38 二樓辦公室噪音源之一(削皮機)	39
圖 39 金屬圓棒輸送撞擊產生噪音	39
圖 40 分條裁剪機捲取端	40
圖 41 除塵設備風機	41
圖 42 鋼管墜落的撞擊聲產生處	41
圖 43 環型加熱爐旁之油壓機組	42
圖 44 環型加熱爐頂部之排氣管	42
圖 45 加熱爐送風機	43
圖 46 電漿切斷機工作站	43
圖 47 分條機送料端	44
圖 48 整平機	44
圖 49 中/高週波人員作業環境	45
圖 50 包裝作業區	45
圖 51 冷軋機	46
圖 52 冷軋控制室(有洩漏音)	47
圖 53 大型風機	47
圖 54 高/中週波焊接	48
圖 55 鋼管輸送過程相互碰撞及不良品掉落聲響發生處	49
圖 56 作業人員於控制室內操作設備	50
圖 57 動力驅動皮帶運送 I	51
圖 58 動力驅動皮帶運送 II	51
圖 59 OSHA 噪音改善目標線圖	52
圖 60 待改善位置的噪音頻譜	53
圖 61 噪音診斷流程圖	55
圖 62 噪音工程控制方法邏輯選單	62
圖 63 空氣過濾器	66

圖 64 空氣過濾器包覆設計圖	66
圖 65 空氣過濾器包覆前後音場比較(1,000Hz 為例).....	67
圖 66 銅線伸線機	68
圖 67 銅線伸線機包覆設計圖	69
圖 68 銅線伸線機包覆前後音場比較(500Hz 為例).....	69
圖 69 分條機	70
圖 70 分條機包覆設計圖	71
圖 71 分條機包覆前後音場比較(500Hz 為例).....	71
圖 72 分條機	72
圖 73 收料架包覆設計圖	73
圖 74 收料架包覆前後音場比較(500Hz 為例).....	73
圖 75 拋光機出口端	74
圖 76 拋光機出口端包覆設計圖	75
圖 77 拋光機出口端包覆前後音場比較(500Hz 為例).....	75
圖 78 剪床機	76
圖 79 剪床機出口端包覆設計圖	77
圖 80 剪床機出口端包覆前後音場比較(1,000Hz 為例).....	77
圖 81 油壓機組	78
圖 82 幫浦馬達包覆設計圖	79
圖 83 幫浦馬達包覆前後音場比較(1,000Hz 為例).....	79
圖 84 鼓風機組	80
圖 85 鼓風機組包覆設計圖	81
圖 86 鼓風機組包覆前後音場比較(500Hz 為例).....	81
圖 87 加工操作台	82
圖 88 加工操作台包覆設計圖	83
圖 89 加工操作台包覆前後音場比較(1,000Hz 為例).....	84
圖 90 原有操作室設計圖	85
圖 91 新設計操作室設計圖	85
圖 92 電弧爐操作室不同設計之音場比較	86
圖 93 分條機改善樣態結合 OSHA 曲線案例	90

表目錄

表 1 金屬製造業噪音源與音壓級	4
表 2 金屬鑄造製程噪音的音壓級	5
表 3 噪音劑量計型號與設定參數	10
表 4 臨場訪視之事業單位列表	12
表 5 A 公司伸線機作業人員噪音暴露劑量	13
表 6 A 公司塑膠區作業人員噪音暴露劑量	15
表 7 B 公司軋軋部作業人員噪音暴露劑量	16
表 8 B 公司煉鋼廠區作業人員噪音暴露劑量	18
表 9 C 公司煉鋼廠作業人員噪音暴露劑量	19
表 10 D 公司鋼管製程作業人員噪音暴露劑量	21
表 11 E 公司鋼棒製程作業人員噪音暴露劑量	24
表 12 F 公司鋼管製程作業人員噪音暴露劑量	25
表 13 G 公司冷軋作業人員噪音暴露劑量	28
表 14 H 公司鋼管廠作業人員噪音暴露劑量	30
表 15 I 公司熱軋作業人員噪音暴露劑量	33
表 16 10 種噪音工程改善設計樣態	63
表 17 空氣過濾器噪音頻譜	66
表 18 1.50mm 之 steel 穿透損失	67
表 19 空氣過濾器包覆後噪音頻譜分析	67
表 20 銅線伸線機噪音頻譜	68
表 21 銅線伸線機改善後之噪音頻譜分析	68
表 22 分條機噪音頻譜	70
表 23 分條機改善後之噪音頻譜分析	70
表 24 收料架噪音頻譜	72
表 25 收料架改善後之噪音頻譜分析	72
表 26 拋光機噪音頻譜	74
表 27 拋光機出口端改善後之噪音頻譜分析	74
表 28 剪床機噪音頻譜	76
表 29 剪床機改善後之噪音頻譜分析	78
表 30 幫浦馬達噪音頻譜	78

表 31	幫浦馬達改善後之噪音頻譜分析	79
表 32	鼓風機組噪音頻譜	80
表 33	鼓風機組改善後噪音頻譜分析	80
表 34	加工操作台噪音頻譜	82
表 35	加工操作台使用材料之穿透損失	83
表 36	加工操作台改善後之噪音頻譜分析	83
表 37	電弧爐噪音頻譜	84
表 38	電弧爐操作室使用材料之穿透損失	87
表 39	電弧爐操作室不同幾何設計改善後之噪音頻譜分析	87
表 40	噪音改善樣態成本效益分析	89
表 41	分條機改善樣態結合 OSHA 曲線案例	90

第一章 計畫概述

第一節 前言

自從工業革命以來，噪音一直威脅著工作人員的健康，它並不是一項新的危害。噪音對人類所產生的不良影響很多，例如作業勞工長時間暴露於高音壓級的噪音所導致的聽力損失、噪音也會影響勞工的生理與心理。在以往的研究中，有充份的証據顯示暴露於高噪音環境中，對人會衍生理與心理上之健康危害，其中最直接的危害就是勞工的聽力損失。當有過度的噪音產生時，除了造成談話干擾與令人煩惱外，最直接的危害是對人耳聽覺細胞造成傷害。

噪音引起的聽力損失是勞工在工作場所面對的各種健康危害中，最為普遍的一種。據估計美國約有超過 3,000 萬位勞工在工作場所暴露於危害性噪音，噪音引起的聽力損失雖無法恢復，但可預防其發生，其危害風險可應用噪音控制與聽力保護計畫予以降低。勞工在許多行業有較高暴露於危險等級的噪音，因此任何勞工均有噪音造成聽力損失的風險。有多數暴露勞工的行業，包括有農業、礦業、營造業、製造業、公共事業、交通運輸業；而高馬力移動式設備、氣動工具、以及敲擊、鑽切、挖掘機械等均為業界危害性噪音源的例子。

勞動及職業安全衛生研究所(以下稱本所)於過去幾年曾大力推動勞動環境改善與提升計畫，在通風工程改善已有大幅進步，但噪音控制上卻較少著墨於工程改善的部分，多數以行政控制的方法居多。為突破此困境，建議以下兩種方法：1.觀念的矯正：因噪音可以立即感覺，但噪音危害卻無法立即察覺，意即每個人都可以馬上知道有噪音，但是卻不知道「它」多大傷害，等到聽不到時就無法回復了，所以務必針對現場作業暴露的勞工進行教育，而非僅侷限於管理階層或職業安全衛生管理人員。2.改善技術的模擬與示範：噪音改善技術不外乎隔離或包覆等原理，以降低噪音源之物理能量，但工程改善介入時卻牽扯甚廣，以隔離為例，台灣多數傳統產業位於舊有工業區中，很難進行擴廠以將噪音源遠離作業環境；再者，多數作業方式皆需直接面對機台與加工物件，所以採用隔離方式進行改善時亦有諸多考量。因此，包覆的作為或許可行，但依目前之安全衛生輔導工作而言，如果無法將包覆後之噪音減量成果呈現於事業主前，將會導致事業主裹足不前，或是採取佩戴防護具等消極作法。

第二節 目的

3K 產業(辛苦、骯髒、危險)工作辛苦勞累、環境惡劣、且多屬於較危險製程。本研究選定受噪音影響較大的行業，如鋼鐵製造加工業等，作為主要訪視與改善的目標廠商。挑選噪音暴露較嚴重者，例如暴露人數、三級以上管理、或音壓級較大，每場次選取 4-6 人暴露較高者進行噪音劑量量測，針對噪音貢獻度較大之機械或設備進行頻譜量測，並提供工程改善建議，以期降低作業環境噪音。

基本上，噪音問題的改善方法應包括購置較安靜的機器、更換高噪音的設備、噪音源的修改、傳遞途徑的改良等，很多噪音問題都能在專業人員的努力下獲得解決。噪音源的改善有賴事業依據產量與品質等考量可行的改善方法。傳播途徑的改善以包圍防堵的方式，更需專業人士予以協助，因此，本研究提出 10 份以包圍方式的設計圖，並以數值模擬估算改善後的狀況，供事業主參考以提升改善意願。

第三節 工作項目

本研究工作項目包括下列事項：

- 一、完成蒐集及綜合討論關於國內、外 3K 製程高噪音作業環境之職場噪音現況調查與工程控制技術之相關文獻。
- 二、完成 10 場次 3K 製程高噪音作業環境之臨廠訪視，進行噪音源辨別、現場噪音量測與頻譜分析等作業。
- 三、完成 52 人次 3K 製程高噪音作業環境勞工噪音暴露劑量量測。
- 四、完成 10 種噪音工程改善設計樣態，並以數值模擬或計算方法評估改善成效。
- 五、建立 3K 製程高噪音作業環境工程改善邏輯選單與改善成本與成效分析
- 六、提出有效且適用於 3K 製程高噪音作業環境之工程改善建議模式，提供事業單位參考。

第二章 文獻回顧

第一節 3K 製程噪音狀況

所謂 3K 製程係指辛苦、骯髒、危險作業環境，傳統製造業的勞工是職場很大的一群勞動力，包含了不同類別的行業，例如金屬加工製造、金屬冶煉、食品與飲料製造、木材加工製造、化學品製造等。在美國有 1 千六百萬從事製造業，涵蓋 13% 的勞動人口。美國的勞工統計局(Bureau of Labor Statistics, BLS)於 2006 年的報告指出，在製造業聽力損失的發生率(incidence rate)為每 1 萬名勞工 15.7，為最常見的非致死性職業傷病。聽力損失是製造業最常見的職業病，在 59,100 個職業病案例中佔了 17,700 個案例。而在所有職業病中，9 個勞工便有 1 個是屬於職業聽力損失，其中 72% 發生在製造業。我國曾經針對勞工聽力檢查通報資料的研究調查結果顯示，在 36,428 個案中，各行業人次分布情形，以金屬基本工業最多，有 7,169 人次(19.7%)，金屬製品製造業亦有 1,721 人次(4.7%)。因為政府單位數據為有紀錄且代表呈報的數字；因此，呈現的數量可能仍是噪音引起危害的低估數值。

在金屬製品製造業的廠區有許多設備與製程會產生巨大聲響，例如研磨、敲擊、切斷、割削、壓製金屬等，甚至放置產品於箱桶均可發出噪音，其音壓級可能介於 80-125dBA。此外，金屬銲接與熔刮亦為噪音危害較大之製程。有時這些製程持續較短，但每日暴露次數甚多，對作業者聽力危害很大。甚至，有些屬於衝擊性噪音，其對聽力的危害較一般機械性噪音更值得注意。一般常見的金屬製造業噪音源與音壓級如表 1 所示[1]。

依據一篇國外對於在義大利 Canavese 地區的鋼鐵熱壓加工業的噪音暴露調查 [2]，在鋼熱壓公司中，最基本的部分就是熱壓生產線，通常是將爐內加熱的金屬，由粗壓(roughing press)製成一個零件，以落錘或鍛壓來施加壓力，再透過衝剪來消除多餘的部分。分析結果顯示落錘會產生較高的噪音級 LAeq (75% 的 LAeq > 102dB(A))。在過去的幾年，許多生產線減少使用落錘的沖壓過程，但仍有一些技術因後勤或成本的關係，仍無法完全替代這種設備，特別是在較小的公司。分析聲音的結果顯示，鍛壓機(forging presses)所產生的噪音級低於落錘，只有 13% 的鍛壓機產生 LAeq > 102dB(A)。這些壓力機的技术雖然比落錘更先進，但它們在制動離合器組的機械運轉

時產生了較高的背景噪音。比較兩者的噪音特性可以發現，落錘產生的噪音具有脈衝特點：聲音峰值 LLpk 和 FAST 回應(125 毫秒)的 LFMAX 測值之間的差異，顯示了衝擊性噪音；差異越大，會有更大的衝擊性。落錘 LLpk 的-LFMAX 通常為 20dB，而鍛壓機則是 10dB 左右。落錘可以產生超過 140 dB 的峰值，對於聽覺的傷害極大。

表 1 金屬製造業噪音源與音壓級

噪音源	音壓級
敲擊金屬(Hammering on metal objects)	115 - 120dB(A)
沖壓(Punch press)	102 - 107dB(A)
9 吋手持研磨機(9 inch angle grinder)	97 - 106dB(A)
熔刮(Gouging)	97 - 99dB(A)

一篇在印度北部進行了 5 個手工工具鍛造業的研究[3]，這些廠房的各個部分的等效音壓級(Leq)經過測量後顯示，錘擊、剪切、衝孔、研磨、滾筒磨光等製程的噪音均大於 90dB(A)，大於美國職業安全衛生署(Occupational Safety and Health Administration, OSHA)的規範。此外，有 68%的勞工都沒有戴耳部保護設備，其中 50%的人是公司沒有提供個人防護設備。90%以上的勞工每週過時工作 12 至 24 小時，從而導致非常高的噪音暴露，高於在美國或歐洲國家的噪音暴露。製程噪音測量結果顯示，整體鍛造的噪音暴露的噪音範圍為 86.5-110dB(A)Leq 值。每天勞工暴露在切削部分、鍛造、沖壓機、砂輪磨削、拉床等超過 OSHA 指定最大暴露限值 90dB(A)的噪音中。

在一個手臂遠的距離與他人談話有困難時，經驗上粗估噪音環境應已達 85-90dB(A)，在一般金屬鑄造工廠中經常出現以上情況。如在接近某些噪音源的位置則噪音更高，有關金屬鑄造相關製程噪音的情況如表 2 所示[4]。

毛邊去除是許多鑄造與鍛造製品在生產過程中必要的步驟，使用研磨、鑿除、噴砂等方式，移除鑄造或鍛造完成零件多餘或不要金屬的過程，常以手持工具如研磨機、鑿除機切除不要的金屬，在此過程中所產生的噪音可達 117dB(A)。一般鐵金屬與非鐵金屬鑄造工廠，經常可量測到 100-110dB(A)的噪音。

表面處理在工業界常用來增加機件的物理、化學或機械性質，以便改善其硬度、光度、耐腐蝕性、壽命。表面處理有金屬塗層、無機塗層、與有機塗層，以化學

法、電解法、機械或人工方式將某物質敷在金屬表面，達成機械性質及品質改善之目的。一般較常見的方法有電鍍、電著塗裝、粉末塗裝、熱處理等。為了得到理想的處理效果，基材金屬須清潔乾淨，無銹渣或其他干擾層。有些金屬須事先處理活性化，使其更易接受鍍(塗)層。基本的清潔程序可能以噴砂、熱鹼液或有機溶劑去除髒物或污染，再以少量酸去除氧化膜，最後以溫和鹼液清洗之。此清潔程序視金屬特性及污染程度可以有許多變化。一般鋼鐵除銹是機械加工企業的大難題，噴砂除銹有粉塵、以及噪音的問題；酸洗除鏽則有作業安全、廢水處理的困擾。綜觀以上表面處理之製程，除噴砂與熱處理加熱爐為較特殊噪音源外，無特別之噪音源，噪音來源亦如一般金屬加工廠常見研磨加工、金屬間碰撞、壓縮空氣釋放、通風風扇、幫浦與馬達等。國內外相關文獻除強調作業環境有噪音危害外，較缺少針對金屬表面處理製程的詳細噪音資料。

表 2 金屬鑄造製程噪音的音壓級

噪音源	音壓級 dB(A)
Shakeout	105 - 115
Quick release/high pressure air	95 - 117
Arc air gouging	90 - 120
Tumblers (unlined)	100 - 115
Shotblast booths (outside booth)	100 - 110
Chipping and grinding lines	92 - 115
Hopper vibrators	95 - 115
Molding machines (air exhaust, chatter gates, jolting, vibrator noise, etc)	90 - 115
Mill rooms (general area)	95 - 110
Man cooler fans	90 - 95
Sand slingers	90 - 95
Swing grinders	95 - 110
Casting cleaning (loading & dumping)	95 - 115
Hand ramming w/air hammer	92 - 97

橡膠加工使用大動力的機械設備，例如雙筒滾壓機(two-roll mill)、攪拌機(mixer)、輪壓機(calender)等，具有潛在安全與健康的威脅。許多嚴重的意外事故，易於在維修或故障排除時發生。而發生在各式粉碎機(granulator, hammer mill)的高音壓級，則對操作人員的聽力有莫大危害，有國外文獻建議安裝互鎖式圍籬，將機械全面隔離隔音，或採取局部 acoustic cladding 處理。輪胎工廠內輪胎建造機(tyre building machine)的噪音音壓級約在 77-88dBA，當在安裝有數部機械的區域，則音壓級可能更高。磨輪機(buffing machine)通常產生的噪音在 85-92dBA，與研磨(skiving)製程噪音可達 100dBA，亦為常出現噪音的作業。胎壓測試作業充排氣聲音的出現或可能發生爆胎，音壓級常超過 90dBA，亦屬噪音危害作業，建議裝設消音器降低噪音危害[5]。

塑膠工業是石化工業重要的一環，屬於下游應用工業。依中華民國職業標準分類，塑膠製品工業包括塑膠皮板管材業、塑膠膜袋業、塑膠日用品業、塑膠鞋業、塑膠皮製品業及其他塑膠製品業等，產品種類繁多。塑膠製品製造業之特定製程範圍為從事以製模、擠壓等方法製造塑膠製品之行業之射出、押出、吹出、真空成型、壓克力反應成型、發泡成型等製程。塑膠製品業在生產過程中會使用固定式起重機、升降機等危險性機械、堆高機之搬運工具。此外一般性的機械有攪拌機、射出成型機、粉碎機、自動旋帶機、電焊機、砂輪機等。在工作場所具有粉塵、有機溶劑、噪音等危害性作業環境。生產過程中使用許多動力機械，而動力機械均為高馬力之重機械，動力機械運轉時會造成噪音。粉碎機操作過程產生高噪音，危害作業人員聽力，最初粉碎機製造廠應以消音箱，將粉碎機裝在消音箱中降低噪音，現代的設計則以切刀的型式，轉軸之轉速，雙層壁加料筒，加料盤、切割室之改變等，以降低噪音量。作業人員應佩戴耳塞、耳罩等防護具[6]。英國安全衛生署(HSE)資料顯示[7]，塑膠工業以粉碎機(granulator)、混整機(agglomerator)與射出成型機(injection molding machine)噪音較大，分別為 100dBA、90dBA 與 97-100dBA。國內外相關文獻除強調作業環境有噪音危害外，較缺少針對塑膠製品相關製程的詳細噪音資料。

第二節 噪音控制策略

噪音源發出的聲音可由多重路徑傳至人耳，噪音問題需要先評估聲音能量經由哪些設備與途徑傳遞後，再針對各設備與途徑選擇適當的工程控制方法降低噪音量。因此選擇工程控制對策前，有必要識別噪音的根本原因[8]。噪音大多數是由機械碰撞、高速氣流、高速流體流動、機器表面震動等原因產生，常發生於製造過程中。工作場所中常見之噪音來源可大約分成三類：

- 一、 原物料與機台機具接觸：如車床刀具與加工物處、粉碎機與物料接觸點等。
- 二、 傳動轉動設備產生之噪音：如馬達機具產生之噪音。
- 三、 流體噪音：管線間流體噪音、電風扇葉片噪音、氣槍噴射噪音等。

噪音會依作業型態不同、壓力變化與速度不同而產生頻率與音壓級相異之噪音，例如同一鑽床機台在不同轉速、不同鑽頭、接觸不同物料的情況下會產生截然不同的噪音，因此需要有準確的作業環境測定工作，以便進行工程改善評估。

在理想情況下，噪音控制最有效的方法是防止噪音源進入工廠環境之中，藉由設備的設計提供工作場所低噪音輸出[9]。稱為「Buy Quiet」方案。

若要執行此法，必須要有明確且完整的書面規範來陳述工廠設備的噪音限制特性，並定義安裝與標準做法。當設備安裝完成後仍發現有過量噪音，可藉由噪音控制方案判定降低噪音最佳可行性和經濟性，落實到不同的作業環境中，無論執行何種策略(包含購置新型機型等)，只要嚴格遵循同樣的標準來要求噪音大小，就能成功實現「Buy Quiet」方案[10]。

一般在實務應用上最具挑戰的工作之一為噪音實際來源的辨識，在典型的作業環境中，通常有多同台機器同時操作的情形，此時很難識別噪音的根本來源，Richarads[11]提出下列調查技術可幫助辨別噪音來源：

- 一、 測量得到的頻譜數據。
- 二、 測量音壓級，以分貝為時間的函數。
- 三、 比較類似設備與生產線之頻率數據。
- 四、 隔離暫時性控制元件，或者盡可能開啟或關閉個別項目

在工廠設計與設備配置階段時，就應該將可接受的噪音極限納入考慮，並要求設

備供應商提供設備的噪音數據資料，工廠的職業安全衛生管理人員可以用設備的聲功率位準或音壓位準的資料，搭配廠房內的音響環境吸音特性，推估廠房內的噪音分佈。其中設備供應商除了設備音壓值外，還需要提供相關的測定資料，如：測定距離、音源方向性、測試環境吸音特性等，方便工廠管理人員考量自身的廠房狀況來推估其噪音影響[12]。市面上亦有許多音響模擬軟體可供工廠管理人員推算廠房內之噪音分佈，作為暴露評估、設備配置與設計的參考。

第三章 研究方法

第一節 研究方法與步驟

本研究主要以網際網路連結學術資料庫，蒐集並整理國內、外有關基本金屬製造業、金屬製品製造業、塑膠製品製造業與橡膠製品製造業等在噪音危害調查與製程噪音工程改善之文獻資料，作為後續工作執行之參考，以利於加強 3K 製程高噪音作業環境之訪視評估與工程改善技術建立等工作，完成評估多場次 3K 產業高噪音作業環境及相關製程的勞工噪音暴露調查，藉由調查與量測資料分析 3K 製程高噪音作業環境的噪音特性，藉以發展 3K 產業可採用之現場改善實務樣態，並以數值模擬或計算方法呈現改善後的實際狀況，提出改善成效與改善成本之綜合評估。研究方法與步驟如下所述：

- 一、 搜尋國內、外關於 3K 製程高噪音作業環境面臨之作業場所噪音問題之相關文獻及相關之工程控制方法。
- 二、 參照國內噪音作業預防職業病健檢管理等級人數統計表，針對 3K 製程 A 級行業尋找噪音暴露人數較多與較嚴重之特定產業(如鋼鐵冶鍊業、鋼鐵軋延及擠型業、合成樹脂及塑膠製造業、橡膠製造業)，依產業類別與特性提出臨廠訪視實施計畫及臨廠訪視，評估國內 3K 製程高噪音作業的噪音現況。
- 三、 完成 10 場次的 3K 製程高噪音作業環境之事業單位現場訪視，以及完成 52 人次的 3K 製程高噪音作業環境之勞工噪音暴露調查。
- 四、 挑選具有代表性的製程或設備作為噪音改善對象，透過現場噪音測定與頻譜分析，建立噪音源辨識程序及工程改善邏輯選單。
- 五、 於本所實驗室進行關於聲音穿透損失、吸音力等試驗，針對不同材質與構造的噪音工程改善設計條件(隔音與吸音)進行量測，實驗數據作為數值模擬材料參數輸入之參考。
- 六、 依訪視結果及噪音型態完成 10 件現場改善之實務設計樣態，驗證噪音改善設計的正確性。
- 七、 完成改善成效/成本之綜合評估，提出有效且適用於 3K 製程高噪音作業環境之工程改善建議模式。

第二節 儀器設備與量測方法

在鋼鐵加工產業中，其作業場所的噪音大小，主要取決於有多少特別吵雜的設備與製程。如振動、衝孔、落錘、剪切、氣動裝置、噴砂、加熱爐、金屬切割(車、銑、磨)、手動工具等特別吵雜的操作與設備。除此之外，來自金屬間碰撞、壓縮空氣釋放(空氣噴槍)、通風風扇、幫浦與馬達等噪音也是主要噪音源。針對噪音貢獻度較大之機械或設備，提供工程改善建議，以期降低作業環境噪音。

個人暴露劑量量測方法使用個人噪音劑量計，噪音劑量計量測前會在安靜環境下進行校正，並以不影響作業人員作業為前提，佩戴在作業人員腰間，並將麥克風夾在衣領進行噪音暴露劑量的量測，儀器的型號與設定參數如表 3 所示。

表 3 噪音劑量計型號與設定參數

廠商型號	
廠商	Larson Davis
型號	706 – ATEX Personal Noise Dosimeter
設定參數	
Frq Wght	[A]
Pk Wght	[C]
Detector	[S](slow)
Tm Hst Per	[01](1 秒)
Dose Thr Lv	80 dB
Dose Exch Rt	5 dB
Dose Crtn Tm	8 Hours
Dose Crtn Lv	90 dB

在音源測定方面，是以工程改善為目的進行測定，依據測定結果規劃工程改善方法，提供受訪廠商改善建議，以期作為其降低作業環境噪音參考。音源測定點以噪音貢獻高的設備或製程以及各受測者等地點來進行測定，現場會先詢問事業單位認為需要改善的設備，或噪音危害較為嚴重的區域進行測定，之後再針對可能被忽略掉，但其實同樣為噪音源的地方進行測定，量測方法為使用頻譜分析儀在距離噪音源約 1 公尺處直接進行量測，量測時間 1-3 分鐘。使用的頻譜分析儀廠牌為 Larson Davis，儀器型號為 System 824。

儀器在量測前須先在安靜的環境下進行校正，本研究使用的校正器廠牌為 Larson Davis，校正器型號為 CAL150, Precision Acoustic Calibrator，其輸出音壓位準(output level)為 94 dB 及 114 dB，輸出校正頻率為 1,000 Hz。

量測結束後，數據提供事業單位參考，並建立各行業與製程噪音暴露資料，而現場也會依據噪音源測定結果提出工程改善方法，分析考慮到製程或資金的限制後，提供受訪廠商改善建議，盡量能以最低成本與不影響製程生產效率來達到作業環境的噪音控制。

第四章 國內 3K 製程噪音現況

第一節 訪視廠商類型與噪音量測數據

訪視之 3K 廠商是請台灣區鋼鐵工業同業公會與各地區勞動檢查單位協助提供，先進行聯絡得到訪視廠商同意後前往訪視輔導。各廠 4-6 名受測者也是由訪視廠商進行溝通，請其挑選暴露較大或代表性人員，佩戴噪音劑量計測定暴露劑量。另外，現場作業環境的音源測定，則由各廠職業安全衛生管理人員陪同，佩戴防護具(安全帽、耳塞、安全鞋)進入製程現場量測。本研究完成之臨廠訪視輔導的行業類型與場次，如表 4 所示。

表 4 臨場訪視之事業單位列表

場次	公司代號	主要產品	廠區位置
1	A 公司	電線、電纜	台南市
2	B 公司	鋼棒	台南市
3	C 公司	鋼捲	台中市
4	D 公司	不鏽鋼管	彰化縣
5	E 公司	鋼棒	台南市
6	F 公司	碳鋼管	高雄市
7	G 公司	鋼捲	高雄市
8	H 公司	碳鋼管	高雄市
9	I 公司	鋼捲	高雄市
10	J 公司	鋼管	彰化縣

噪音量測數據以各廠公司簡介、廠房配置簡介、製程簡介以及各噪音較大製程的作業人員噪音暴露數據來呈現，其中八小時劑量與八小時日時量平均音壓級 TWA 是由實際量測時間(3-5 小時)進行推算。

一、A 公司

(一) 工廠現況概述

該廠內部主要製程為伸線機、繞線機、漆包線烤爐、塑料混合設備、製粒機

等。根據 A 公司 103 年上半年噪音作業環境測定資料，可看出廠內除了纜軸油漆作業外，其餘製程皆在 85 分貝以上，屬噪音作業場所。廠內屬於半開放式，製程區域高度約 30 公尺，照明良好，有氣窗設計。廠內製程設備屬於半自動化，作業人員作業到某程度後會進入休息室內稍作休息，但休息室內隔音效果不佳，且無隔振措施。

當日訪視內部設備發現，部分機械設備較為老舊，老舊設備無進行定期保養及每日作業前檢點，部分皮帶齒輪磨損或螺絲鬆脫生鏽，導致設備傳出不必要雜音。根據訪視結果，工廠有願意改善的心態，且廠內職業安全衛生管理人員具有一定的安全衛生知識且平日有在宣導關於安全的注意事項，故廠內勞工大致配合且溝通順暢。

(二) 工廠現況概述

根據不同的線徑要求，使用伸線機，可分為粗抽、中抽、細抽。將線軸上的銅線，通過模具拉伸至需要的線徑。依照產品之種類再經繞線、PVC 包覆、烤漆烘乾等製程加工。伸線機為該廠噪音最大之設備，老舊機台尤甚。伸線機廠區內作業人員噪音暴露劑量如表 5 所示，設備附近噪音頻譜如圖 1 至圖 3 所示。

根據廠內提供之噪音作業環境測定結果，中抽機為 87.1dBA，細抽機為 86.7dBA。從數據可以看到噪音暴露細抽機為最小聲，再來依序是粗抽機、中抽機、粗抽機(老舊)，由此可知，若要明顯的將噪音降低，則老舊機器的淘汰是必要的，新型與新型粗抽機操作人員的八小時暴露劑量有很明顯的差異；此外也可看出，細抽機與中抽機的頻率多集中在高頻，而粗抽機(老舊)的頻率則是高、低頻皆有，因為粗抽機(老舊)設備過於老舊，除了製程原本的噪音之外，還多了設備本身機件磨損的異音。中抽機與細抽機之高頻音來自於出線口壓縮空氣的洩露，應為噪音改善首要之處。

表 5 A 公司伸線機作業人員噪音暴露劑量

	LASmx (dBA)	LASeq (dBA)	LASmn (dBA)	LCpk (dBC)	TWA (dBA)	八小時 Dose(%)
老舊伸線機(粗抽)	118.6	88.3	60.2	130.7	86.0	57.3
伸線機(粗抽)	99.2	86.3	65.8	122.1	83.6	40.9
伸線機(中抽)	110.4	88.1	68.5	133.2	84.9	49.4
伸線機(細抽)	113.3	86.1	65.5	133.5	83.3	39.5

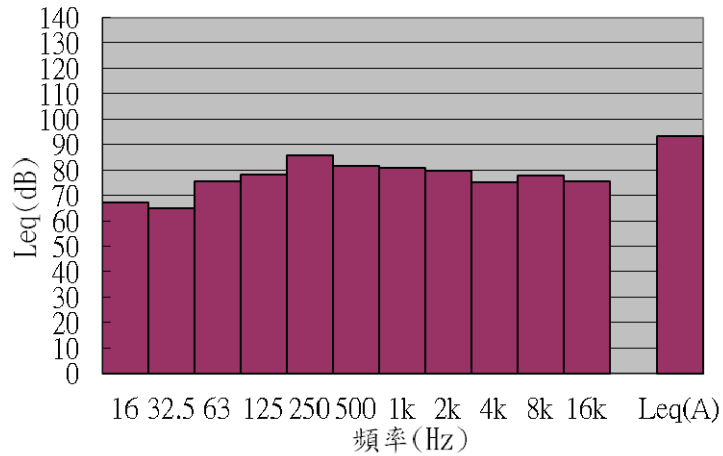


圖 1 粗抽機噪音頻譜(老舊粗抽機)

註：LASmx-A 加權慢回應最大值；LASeq-A 加權慢回應均能值；LASmn-A 加權慢回應最小值；LCpk-C 加權峰值；TWA 八小時日時量平均音壓級。

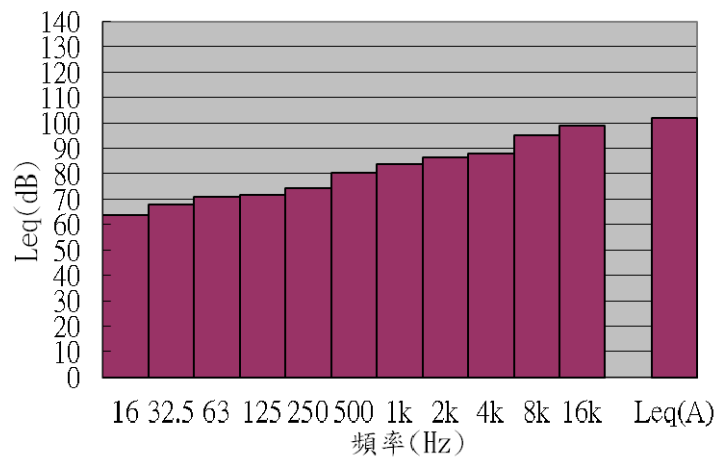


圖 2 中抽機噪音頻譜(距離出線口 50cm)

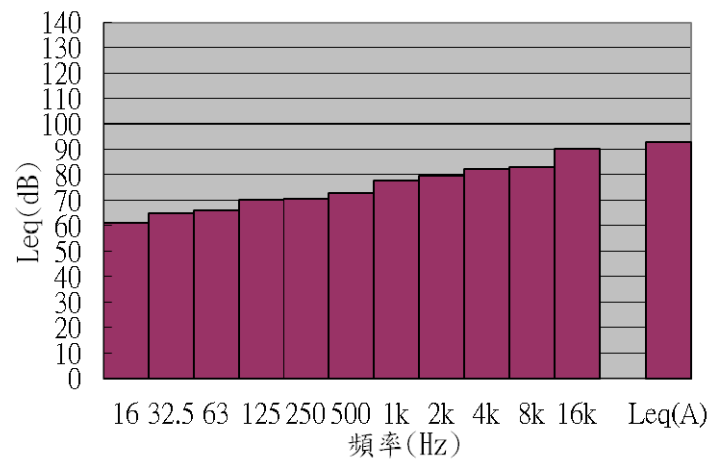


圖 3 細抽機噪音頻譜(距離出線口 50cm)

混料廠塑膠組的作業人員因操作使用化學塑料加熱押出製粒的設備，並使用振動輸送機振動的方式將物料推進，其振動機馬達輪軸為主要噪音源，又因振動方式加成噪音暴露。塑膠組作業人員噪音暴露劑量如表 6 所示，噪音頻譜如圖 4、5 所示。

表 6 A 公司塑膠區作業人員噪音暴露劑量

作業內容	LASmx (dBA)	LASeq (dBA)	LASmn (dBA)	LCpk (dBC)	TWA (dBA)	八小時 Dose(%)
塑膠區	122.1	95.8	67.2	138.7	94.4	184.9

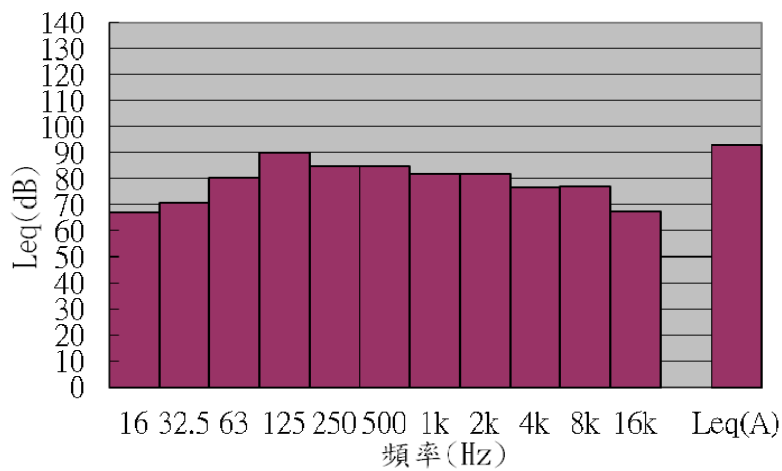


圖 4 塑膠粒振動輸送機噪音頻譜

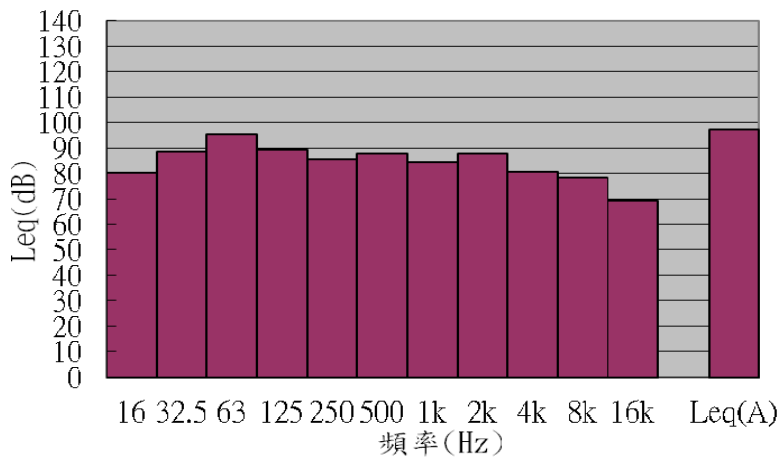


圖 5 塑膠粒振動輸送機噪音頻譜

根據廠內噪音作業環境測定值該混料廠塑膠區為 91.9 分貝為全廠最高，與此次訪視測量結果相近。由上述塑膠區人員暴露劑量與頻譜，推測振動有導致噪音加大的

效果，且該區域是連續性噪音(因需要不停送料)，造成人員噪音暴露情況超過標準，且在靠近振動輸送機的輪軸部分噪音更大，此部分為該混料廠噪音的重要來源。

二、B 公司

(一) 工廠現況概述

工廠從事合金鋼棒材製造，製程大致分為煉鋼、鑄造、鍛造、熱軋、精整、包裝等。廠內除噪音另有其他危害問題(例如：粉塵、高溫等)、環境稍嫌髒亂且多處地方容易使勞工暴露於危險中。根據工廠提供 103 年上半年之噪音作業環境測定顯示，每個製程皆有幾處噪音過大，尤其是煉鋼的電爐區，不管噪音或其他立即性的危害，皆有需要進行工程改善的需要。電爐區有設置控制室與休息室，作業人員會在走道上或控制室裡作業或在休息室休息，休息室隔音較控制室差。根據去年的特殊健康檢查報告顯示，該廠特殊健檢人數 420 人當中，有 26 人屬於噪音四級管理。

(二) 製程噪音簡介

該廠製程除煉鋼部的電爐煉鋼與鑄造外，另有軋軋部的製程包括研磨電削皮、鍛造、熱軋、精整等，其軋軋部內各製程無明顯區隔，故噪音來自四面八方，相互影響。軋軋部內人員噪音暴露劑量如下表 7；精整削皮區噪音頻譜如圖 6。精整削皮區的噪音複雜又無遮蔽物，噪音來自附近的整直、圓桿堆放、輸送下料等作業。圓棒材送料定位精整之前，堆放成疊並以重力斜坡送料，圓棒滾動過程中發生許多鋼材間的金屬碰撞聲響，應為此區待改善之噪音源。

兩組加熱爐位於現場辦公室下方，送風機組運轉產生之聲音(如圖 7)，對於周邊環境噪音影響甚大，應為該區極待改善之處。

表 7 B 公司軋軋部作業人員噪音暴露劑量

作業內容	LASmx (dBA)	LASeq (dBA)	LASmn (dBA)	LCpk (dBC)	TWA (dBA)	八小時 Dose(%)
精整削皮	114.2	92.4	57.1	130.3	90.5	106.8
整修	109.2	88.5	62.6	129.9	86.0	57.4
熱軋區	122.7	92.1	55.5	137.9	89.8	97.7
精整研磨電削	106.2	93.6	73.4	134.5	92.9	148.7

熱軋鍛造機雖不是連續性噪音，但只要有鋼胚送進來，便會開始一連串的擊打、撞擊聲；此製程最初鋼胚進來時，先進行初軋滾壓的動作，大致成型後進行精軋，最後產線末端還會使用鼓風機加熱爐進行退火處理，故整條製程都伴隨著噪音，雖八小時暴露劑量不高，但 LCpk 峰值卻可以達到 137.9 分貝。

煉鋼作業位於獨立廠房，製程危險但設備為半自動，設有控制室與休息室，因煉鋼作業使用電解爐，噪音非常巨大，操作人員若非必要不會長時間處於高噪音環境中。煉鋼作業人員噪音暴露劑量如下表 8。控制室內外噪音頻譜如圖 8，室外因電弧放電產生極高噪音，室內外噪音相差近 30 分貝，在未能將製程噪音降低前，人員防護在控制室為較可行之法。

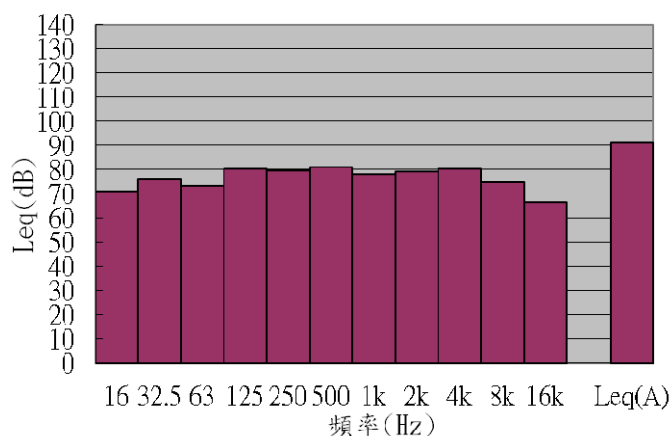


圖 6 精整削皮區噪音頻譜

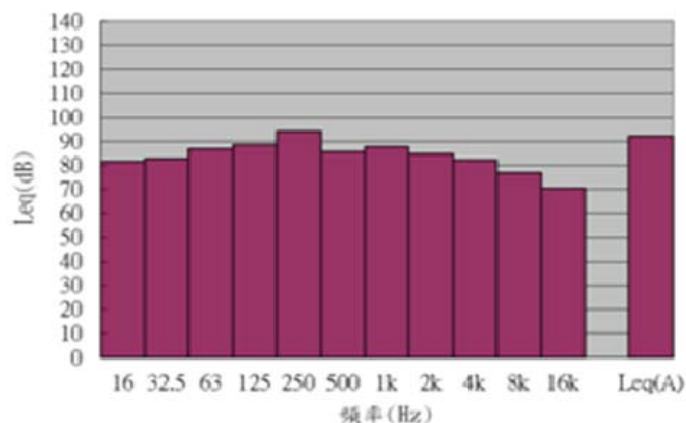


圖 7 加熱爐送風機組噪音頻譜

由表 8 顯示，電解爐的噪音危害相當大，又因電解爐必須要在較封閉的廠房內，天車操作人員因為是在控制室內操作天車且當日並無持續待在煉鋼廠，其八小時暴露

劑量較少；兩位操作人員的 LCpk 都超出 140 分貝以上。

表 8 B 公司煉鋼廠區作業人員噪音暴露劑量

作業內容	LASmx (dBA)	LASeq (dBA)	LASmn (dBA)	LCpk (dBC)	TWA (dBA)	八小時 Dose(%)
煉鋼區	123.0	96.6	64.3	>140	92.6	143.8
煉鋼天車手	110.8	87.3	56.1	>140	81.8	32.0

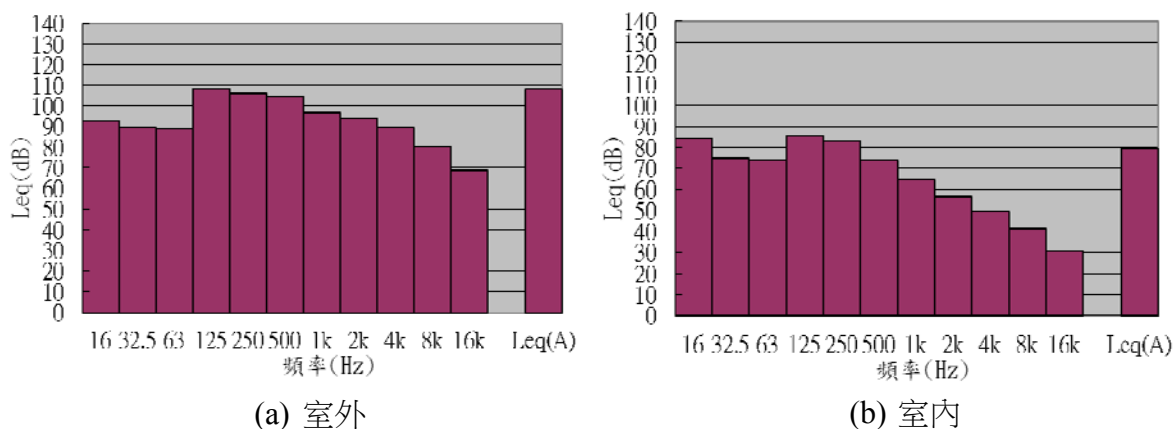


圖 8 煉鋼爐控制室內外噪音頻譜

三、C 公司

(一) 工廠現況概述

C 公司生產規模龐大，廠區內人數眾多，且佔地大、分工細，多條產線同時進行，當日訪視的區域為該公司煉鋼廠裡(一級單位)的熱軋場(二級單位)。熱軋場內製程為單一輸送帶一路加工到末端成為半成品或成品(鋼捲)，其作業製程為扁胚儲區、加熱爐、粗軋區、精軋區、盤捲區。熱軋場幾乎為自動化方式運作，該區人員如非必要則會待在控制室作業，控制室隔音效果良好，控制室外巡視走道離製程輸送帶大約 30 公尺。該廠為大型事業單位，不論廠區設備或安全衛生重視程度都領先同業，熱軋場人數大約 44 人，根據噪音健康檢查報告顯示二級與四級皆為 0 人，員工佩戴耳塞等聽力防護具情形良好。

(二) 製程噪音簡介

根據廠內噪音量測報告顯示，個人噪音暴露較大的工作區域為機械維護人員 97.1dBA、加熱爐操作人員 90.3dBA、研磨操作人員 90.7dBA，超出較多的機械維護人

員是當設備發生問題時，必需親自前往現場解決，也是廠內少數有機會直接暴露到噪音源的作業人員。

由於廠區內製程幾乎採全自動化，作業人員皆待在控制室內，基本上不會暴露到外面的噪音。扁鋼胚儲區、加熱爐作業人員暴露的噪音，主要是鋼胚經過加熱後，用滾輪運送至下個製程所發出的噪音，因為鋼胚重量大，經過滾輪時會產生巨大的振動聲響，人員於控制室裡也能清晰的感受振動。製程中段精軋、粗軋皆在控制室操作，此段製程是將加熱過後的鋼胚，進行來回數次的輾壓，拉長成薄薄的鋼捲，且為了不使鋼胚溫度降低失去可塑性，來回撞擊的力量與速度也要精準拿捏，所以一但入料會有連續的撞擊聲產生。粗軋、精軋作業人員普遍暴露劑量都不高，此製程主要的危害是在於金屬撞擊打壓的瞬間噪音，粗軋瞬間噪音 LCpk 超過 140 分貝。盤捲製程是將碾壓完成的長鋼帶，進行拉直捲起回收的動作。該廠熱軋鋼捲製程為全自動作業，設備附近噪音甚大，除現場維護人員噪音暴露劑量較高外，操作人員多在控制室監控，因此暴露劑量不高，製程操作人員噪音暴露劑量如下表 9。

表 9 C 公司煉鋼廠作業人員噪音暴露劑量

作業內容	LASmx (dBA)	LASeq (dBA)	LASmn (dBA)	LCpk (dBC)	TWA (dBA)	八小時 Dose(%)
協力廠商	105.9	86.4	57.6	124.3	82.7	36.4
鋼胚儲區	91.1	72.4	62.4	126.8	57.2	1.1
加熱爐	104.8	79.1	56.0	122.0	74.3	11.3
RM 粗軋	114.8	81.0	60.2	>140	70.3	6.5
FM 精軋	98.3	77.5	60.8	123.7	69.3	5.7
盤捲	101.2	87.2	65.7	118.0	84.8	48.8

在整個製程中有一條巡視走道離製程大約 30 公尺、離地面 20 公尺，操作人員皆在這條走道上巡視，熱軋作業溫度太高除非必要不能輕易接近，因而也可減少許多的噪音暴露。熱軋巡視走道上距離製程產線約 30 公尺的頻譜如圖 9，接近熱軋製程產線 10 公尺的頻譜如圖 10 所示。

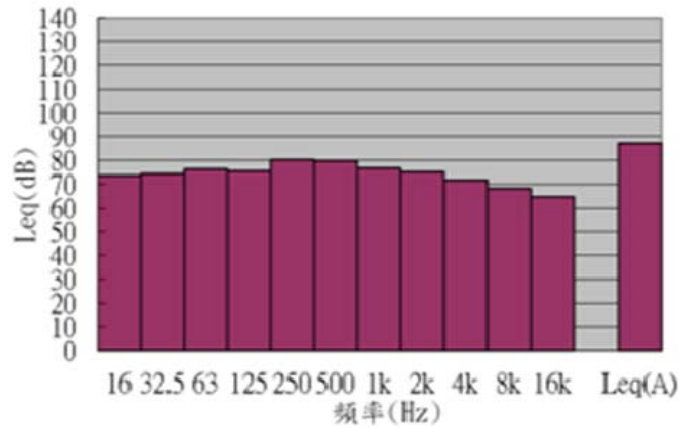


圖 9 熱軋產線之噪音頻譜(距 30m)

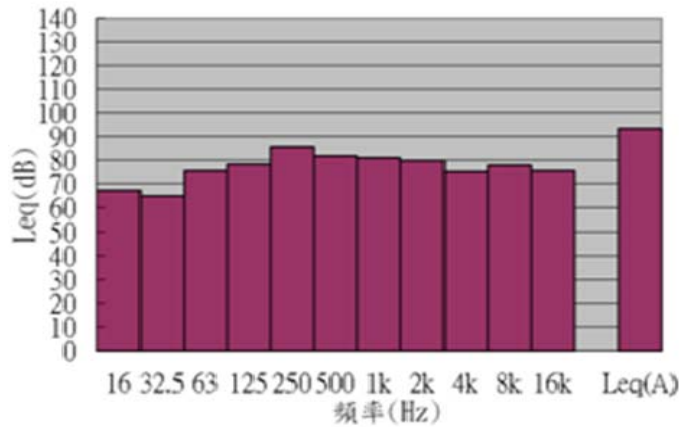


圖 10 熱軋產線之噪音頻譜(距 10m)

四、D 公司

(一) 工廠現況概述

D 公司從事不銹鋼構造管、不銹鋼配管等加工製造，共有三個廠區，訪視地點為其總公司工廠，製程大致分為裁剪、製管與加工等。廠房配置分為 A 棟製管，B 棟加工，C 棟裁剪，但製程設備緊鄰且未區隔，相互影響程度大。

根據公司提供噪音健康檢查報告顯示，三個廠區四級健康管理大約共有 15 人。廠內區域噪音危害嚴重，製管機製程複雜設備樣式較多。裁剪機械明顯可聽出不必要噪音，且屬於一個危險的工作環境，容易引起被夾、被捲等危害。該公司有提供員工使用耳塞等聽力防護具，員工佩戴情形良好。根據訪查結果，工廠有改善意願，且廠內職業安全衛生管理人員具有一定的安全衛生知識，平日有在宣導關於安全衛生的注意事項，故廠內勞工大致配合且溝通順暢。

(二) 製程噪音簡介

工廠內製程主要為不銹鋼製管、構造管或加工等，製管的流程為將鋼捲分條、彎曲成型段、焊接、超音波檢測、裁管、修面等；其中分條的製程為將鋼捲抽出、整直並以上下刀的方式剪切出要求的尺寸，再進行其他加工。製管製程首先將分條好的鋼帶，使用多個輪軸，並施以壓力使其彎取成圓管或方管的形狀，再經過高週波爐將縫隙焊接，並在中週波段將焊道刮除，接著經過退火冷卻。製管製程結束後，會依客戶需求情況，決定是否進行額外加工，加工組是將屬於半成品的圓管或方管，進行表面拋光或噴蠟處理。各製程作業人員之噪音暴露劑量如表 10。加工組 1 作業人員 LCpk>140 dBC。

表 10 D 公司鋼管製程作業人員噪音暴露劑量

作業內容	LASmx (dBA)	LASeq (dBA)	LASmn (dBA)	LCpk (dBC)	TWA (dBA)	八小時 Dose(%)
分條裁剪機	113.0	93.8	59.8	131.6	90.6	108.9
製管五組	110.1	87.7	65.5	139.4	86.2	59.0
製管二組	122.0	94.4	60.4	>140	91.3	120.2
製管七組	114.0	90.7	58.8	139.3	89.2	90.0
加工組 1	119.2	92.3	78.9	>140	90.8	111.7
加工組 2	111.6	92.5	61.5	138.5	90.6	109.2

分條機設備運作時，可明顯聽出類似鋼捲經切割後磨擦噪音與設備裡的輪軸異音等，該區域作業人員無控制室，也是需經由目視確認生產順利，分條機頻譜如圖 11 所示。根據頻譜圖可明顯看出其分條裁剪機產生高分貝噪音且屬高頻音，可能是因為其切刀或分條金屬摩擦造成的，為該廠極待改善之處。製管組噪音暴露劑量都超出容許的範圍，尤其是製管二組人員明顯比製管五組、製管七組高，又製管五組與製管七組人員其所從事工作範圍大致相同，故噪音暴露並無太大差異。製管產線後端需使用高壓噴氣，將不必要之殘渣吹拭，噪音較大且有明顯的高頻音出現，如圖 12。

製管製程結束後，會依客戶需求情況，決定是否進行額外加工，加工組是將屬於半成品的圓管或方管，進行表面拋光或噴蠟處理，加工處理主要噪音源雖有使用透

明活動門窗圍住，但仍有一定強度的噪音傳出，拋光製程噪音較大，噪音頻譜如圖 13 所示。此外，除塵設備風車馬達組也是廠內噪音源來源之一，其頻譜如下圖 14 所示。

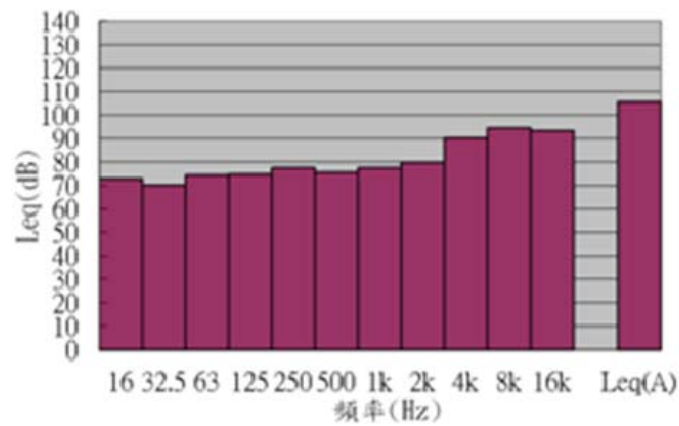


圖 11 分條裁剪機噪音頻譜

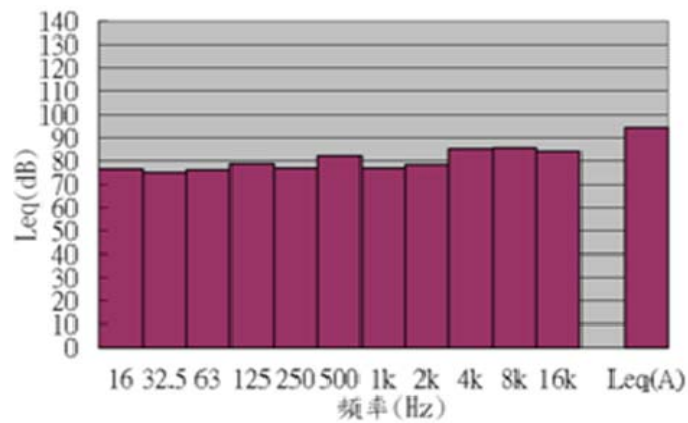


圖 12 製管後端高壓噴氣段噪音頻譜

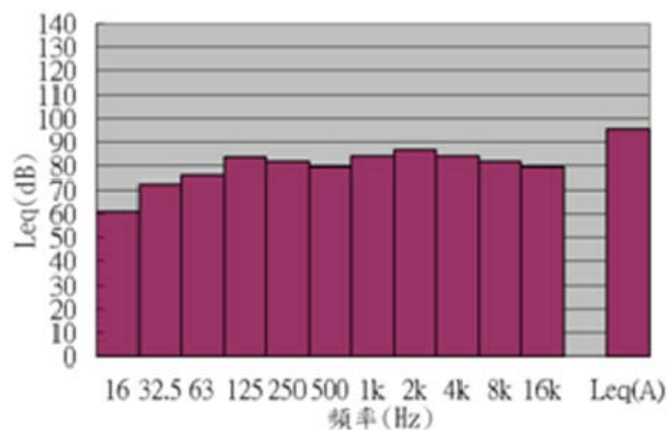


圖 13 拋光處理出口端噪音頻譜

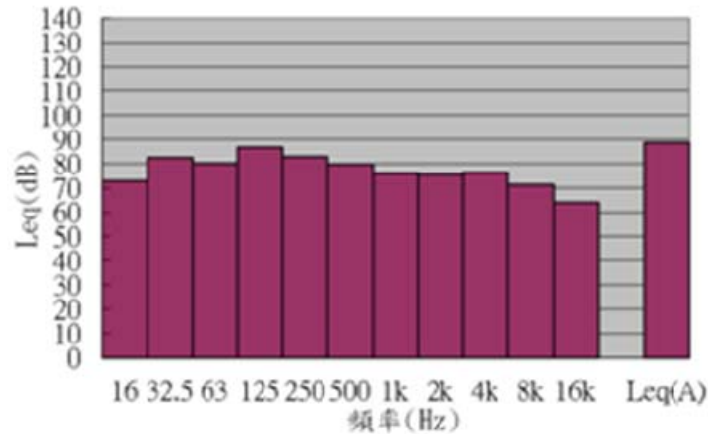


圖 14 除塵設備風車馬達組噪音頻譜

五、E 公司

(一) 工廠現況概述

該公司為新建立的公司，目前有兩座廠房：精鍛廠與軋鋼廠，製程包括鍛壓、精整、整直、切斷等製程，廠內設置多具加熱爐。

(二) 製程噪音簡介

工廠內提供上半年度噪音環測報告測定區域為削皮作業 83.9 分貝、精鍛廠加熱爐 79.4 分貝、軋鋼廠電漿切割機 99.3 分貝、軋鋼廠電氣室 73.8 分貝。精鍛廠內主要製程為精整、整直、鍛造等，主要噪音來源為切割作業、加熱爐送排風產生之噪音。製程作業人員噪音暴露劑量如下表 11 所示，由於切斷作業的切割機，電漿式與砂輪式運作噪音極大，但訪視當日未開啟，勞工噪音暴露劑量並不高。軋鋼廠主要噪音為鋸切站、開胚站、退火站等，當日生產線未完全開啟，作業人員劑量非常低。鍛造區、砂輪切斷區、鋸切站、開胚站 LCpk 值皆>140dB。

精鍛廠精整製程需要經過環型加熱爐的熱處理消除鋼材的內應力，爐頂設有一排氣口排氣，作業期間會有連續氣笛聲，其頻譜如圖 15 所示，為廠內主要噪音來源之一。廠房內裝置整排之加熱爐，數具風機組產生惱人之噪音，頻譜如圖 16，對於附近作業環境噪音之貢獻度不容小覷。

表 11 E 公司鋼棒製程作業人員噪音暴露劑量

作業內容	LASmx (dBA)	LASeq (dBA)	LASmn (dBA)	LCpk (dBC)	TWA (dBA)	八小時 Dose(%)
鍛造區	118.3	89.2	59.8	>140	85.6	54.0
砂輪切斷區	125.4	89.2	55.8	>140	80.0	25.0
削皮區	110.5	85.7	67.7	129.5	83.5	40.5
鋸切站	115.0	79.8	52.2	>140	69.7	6.0
開胚站	124.5	91.3	54.1	>140	78.3	19.7
退火站	130.4	93.0	65.5	139.5	74.2	11.1

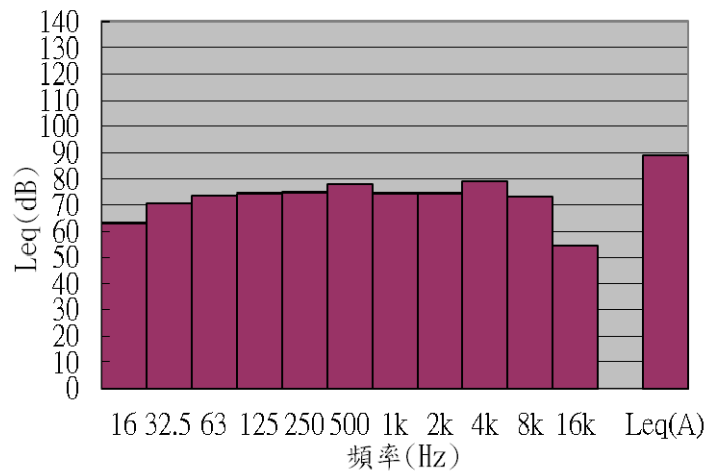


圖 15 環型加熱爐排氣口噪音頻譜

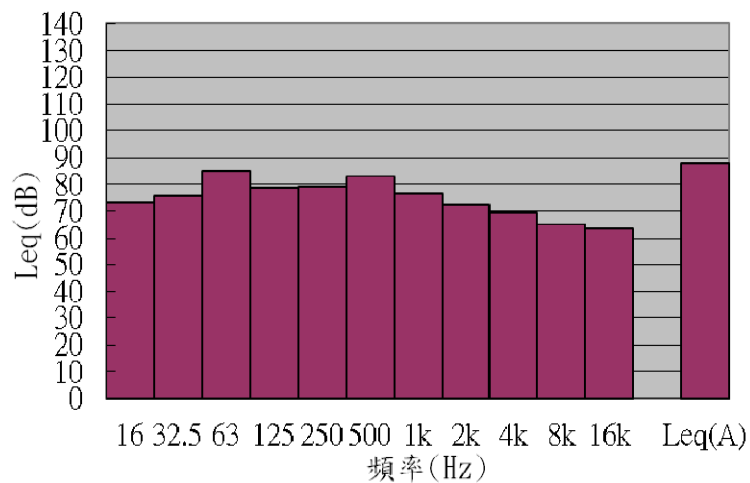


圖 16 加熱爐風機組頻譜

六、F 公司

(一) 工廠現況概述

F 公司屬於傳統廠房，主要製作各式碳鋼管。工廠內製程依序為鋼捲經過分條機後，將分好的鋼帶經過儲料架送出至成型段，成型後經由高週波焊接縫隙並將焊道刮除，進入中週波後退火冷卻，繼續輸送至管型校正後，經裁管機裁管後，修端機做端面處理。最後經過水壓測試後，上漆完成後進行包裝。

(二) 製程噪音簡介

生產設備緊鄰通道擁擠，噪音彼此互相干擾嚴重，噪音暴露也是本研究訪視工廠最嚴重者。該廠製程作業人員噪音暴露劑量，如表 12 所示。廠內噪音主要來自機械設備運轉、中/高週波、鋼管碰撞等產生之噪音。分條、包裝作業之 LCpk 值皆>140 dBC。

表 12 F 公司鋼管製程作業人員噪音暴露劑量

作業內容	LASmx (dBA)	LASeq (dBA)	LASmn (dBA)	LCpk (dBC)	TWA (dBA)	八小時 Dose(%)
分條	118.5	93.3	66.8	141.6	91.3	119.8
入料	113.9	96.9	57.2	139.1	95.6	216.8
中/高週波區	117.0	99.5	67.9	136.7	98.3	317.7
鋸切	119.0	98.3	62.4	133.4	96.6	249.1
內檢	120.7	97.4	65.7	137.4	94.8	193.9
包裝	128.7	100.7	59.7	146.5	95.7	219.1

工廠內分條機與整平機的噪音有相似之處，都是鋼帶末端碰撞機台本身的聲響。分條機與整平機區頻譜分別為圖 17、18 所示。工廠內噪音最大的製程是中高週波設備進行焊接等熱處理，其作業人員操作時距離製程很近，噪音劑量高，為噪音改善重點之一，中高週波區頻譜如下圖 19 所示。水壓測試機與噴漆機的鋼管入料端，均以斜坡將鋼管落下送定位，產生許多鋼管碰撞的聲響，造成瞬間噪音變高，噪音頻譜如圖 20。製程末端進行包裝為作業人員噪音暴露最嚴重處之一，鋼管送定位時會發生碰撞，並伴隨著金屬墜落相撞聲響，聲音頻譜特性如圖 20 與圖 21 相似。

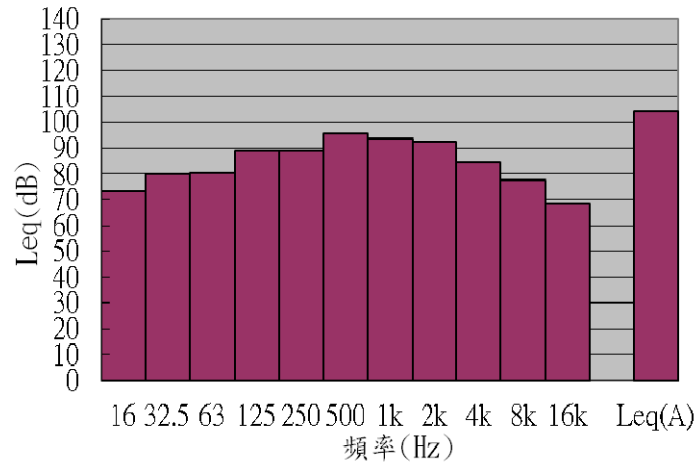


圖 17 分條機噪音頻譜

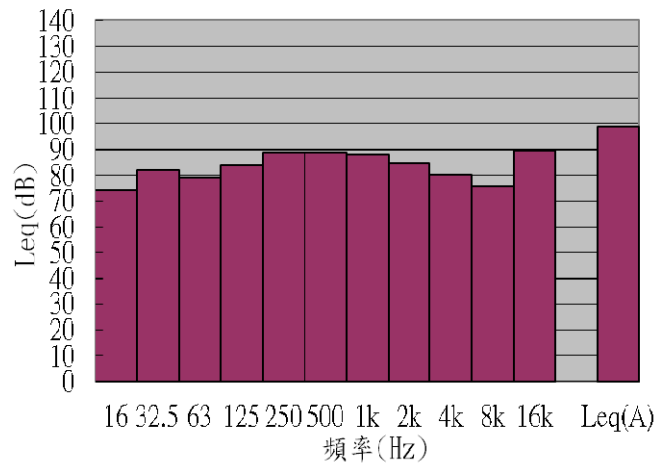


圖 18 整平機噪音頻譜

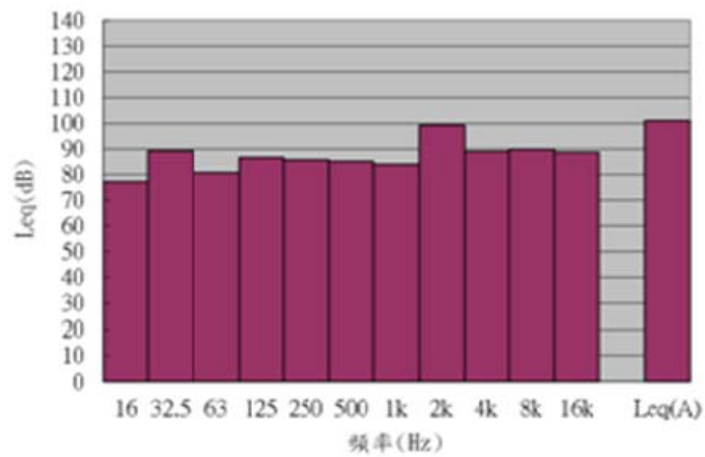


圖 19 中/高週波區噪音頻譜

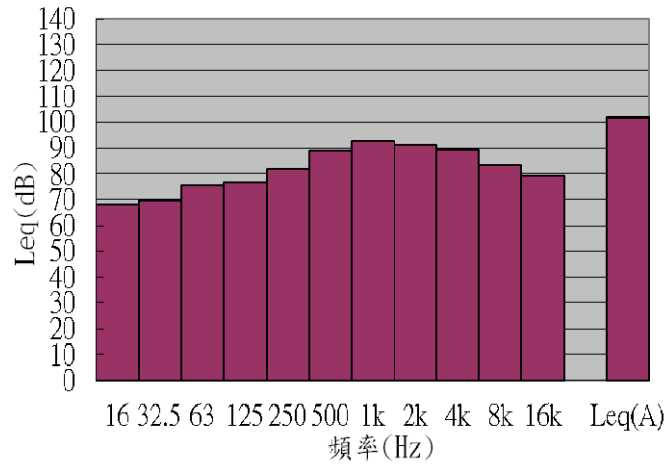


圖 20 水壓測試區鋼管碰撞聲響頻譜

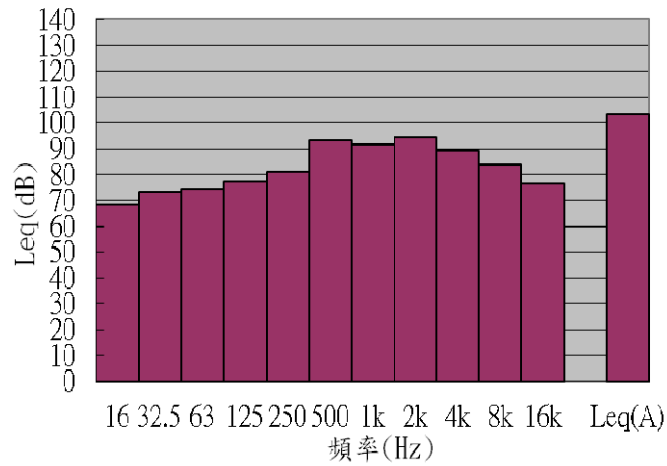


圖 21 包裝區鋼管碰撞聲響頻譜

七、G 公司

(一) 工廠現況概述

冷軋廠鋼品表面粗糙度可分為霧面及亮面，因機械性質及加工性能良好，兼具厚度均勻、表面平坦、加工成型性佳之優點，充份發揮鋼鐵材料的極致；而經濟、耐用、成型容易，為該廠產品深受歡迎的原因，用途舉凡一般文具類(釘書機、打孔機)；家用電器類(烤箱、烤麵包機)辦公傢俱類(資料櫃、桌椅)運動器材類(跑步機、健身器)及建築材料(浪板、鐵捲門)到目前最熱門的電腦外殼等，都是由冷軋鋼板加工成型，表面再經鍍鋅或烤漆而成。

廠區內製程大致分為清洗區、精整區、冷軋區。冷軋區，各區作業人員部分時間皆在控制室內進行操作。廠區內的機台彼此緊密相鄰，各製程也無明確劃分區域，

而導致噪音來源複雜。根據冷軋廠上半年度所做的噪音環測報告顯示，高噪音區多集中在冷軋製程區域，與當天測量的結果相近，可見作業人員雖在控制室內操作設備仍受到一定程度的噪音暴露。

(二) 製程噪音簡介

冷軋廠產品主要分為全硬鋼捲及成型加工用調質精整鋼捲產品，製造流程以原料熱軋鋼捲投入，經由酸洗除銹，軋延機軋製產品至所需厚度，產出冷軋全硬鋼捲。全硬板再經由清洗、退火熱處理後，經由調質或精整依產品要求整平，塗油、分切等處理，即產出調質精整鋼捲產品。根據該廠上年度所做的噪音作業環境測定報告，可看出其噪音危害多集中在冷軋處理。因冷軋設備多集中在一處且緊密並排，造成噪音互相影響，廠內操作人員作業時多在控制室內操作設備，人員真正暴露到噪音的時間不多。冷軋作業人員噪音暴露劑量如表 13 所示。從冷軋作業人員暴露劑量可推估，人員劑量高低完全取決於在現場的時間長短；而天車手要操作天車取料與放置鋼捲，在現場的時間較多。

表 13 G 公司冷軋作業人員噪音暴露劑量

作業內容	LASmx (dBA)	LASeq (dBA)	LASmn (dBA)	LCpk (dBC)	TWA (dBA)	八小時 Dose(%)
冷軋一股班長	117.5	90.7	67.8	139.7	86.3	59.6
冷軋一股天車	115.4	91.9	67.7	138.9	89.1	88.2
冷軋一股操車	100.8	80.9	67.0	129.8	74.8	12.1
冷軋二股班長	107.6	86.9	62.9	127.7	79.0	32.8
冷軋二股天車	103.3	88.4	65.0	129.9	86.3	59.5

冷軋機為廠區主要噪音源，空壓吹拭噴嘴未開啟時已有一定程度的噪音，開啟時更高達 100dBA 左右，控制室內與控制室外的噪音有很大程度的差別。冷軋機運轉且空壓開啟時，控制室內外頻譜分別如圖 22 與圖 23。酸洗製程的大型空氣乾燥送風機也是冷軋廠的代表性噪音設備，大型風機體積大馬力強，也造成相當程度的噪音暴露，噪音頻譜如圖 24 所示。

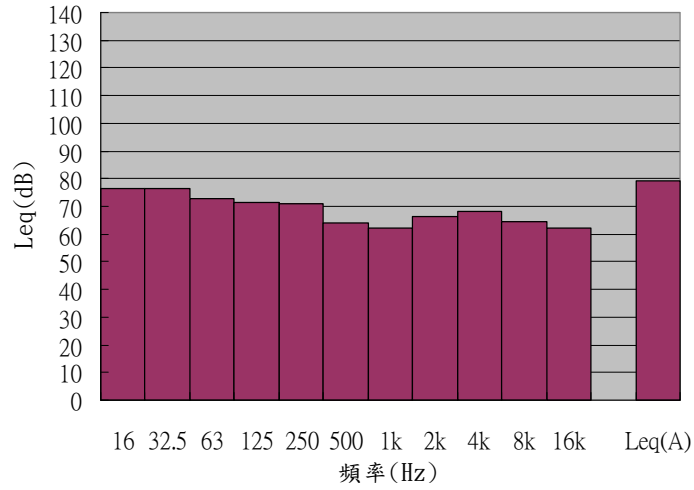


圖 22 冷軋機空壓開啟控制室內噪音頻譜

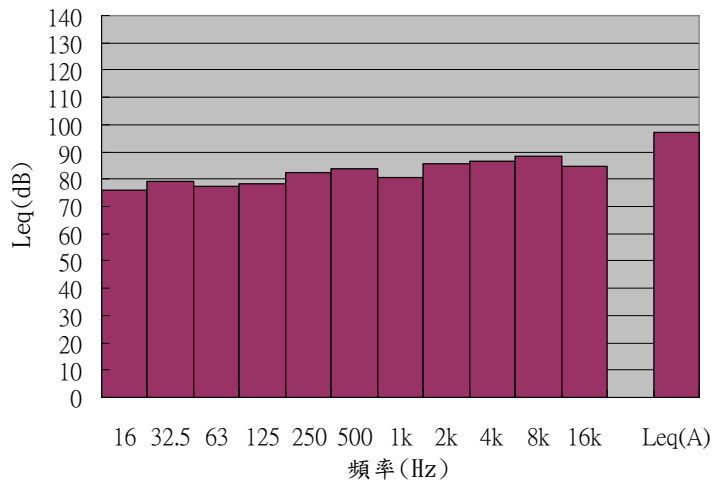


圖 23 冷軋機空壓開啟控制室外噪音頻譜

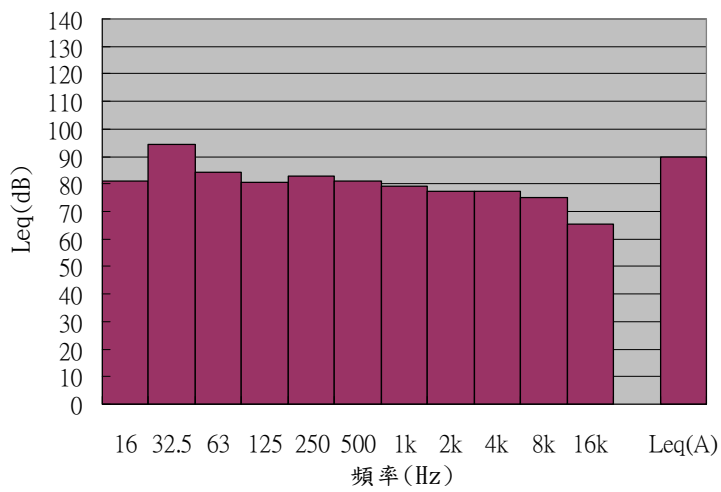


圖 24 大型空氣乾燥送風機噪音頻譜

八、H 公司

(一) 工廠現況概述

H 公司自 1987 年成立並開始生產營運，提供客戶各種不同規格、尺寸之圓管。鋼管焊接採「高週波電阻焊」，製造設備包含鋼帶裁剪機、製管機，另設有噴砂機、PE 包覆線，可依顧客需求作鋼管包覆，增加其耐用性及絕緣性。廠區內金屬碰撞噪音多，多為鋼管落下堆放之噪音；分條機解捲接近完成時，最末段彎曲部分與機台造成很大的碰撞噪音，廠內生產設備較舊，且未做區隔，僅有距離噪音源較遠的儲存區較安靜。廠內噪音特殊健康檢查共有 50 人，皆為二級管理，噪音暴露情況較不嚴重。

(二) 製程噪音簡介

工廠主要製作碳鋼管，使用原料熱軋鋼捲，經裁剪分條成鋼帶後，依製造規格運至製管解捲、入料，再經由成型段壓出管型，以高週波電阻焊方式焊接，再由中週波退火調質、冷卻、超音波探傷及精整段調整圓度和外徑，經鋸台定尺切割後進行修面、水壓測試。最後通過檢驗及防鏽處理後，依訂單需求方式包裝入庫。噪音暴露危害較大者，為鋼帶解捲、高週波焊接、中週波退火、裁管、水壓測試、鋼管撞擊聲。製管線由二號線與三號線進行生產。五號廠房為塗裝區，距離噪音源距離較遠。鋼管廠作業人員噪音暴露劑量如表 14 所示。

表 14 H 公司鋼管廠作業人員噪音暴露劑量

作業內容	LASmx (dBA)	LASeq (dBA)	LASmn (dBA)	LCpk (dBC)	TWA (dBA)	八小時 Dose(%)
二號修面區	117.1	96.4	57.0	135.2	94.4	183.4
二號主機段	111.1	94.8	74.7	129.2	93.4	161.1
五號廠房塗裝區	111.7	88.5	56.0	131.2	84.4	46.3
三號主機段	113.4	89.7	62.4	136.1	87.3	69.1
三號鋸台段	113.6	92.0	56.8	137.2	89.2	90.0
二號末端檢驗區	125.8	98.8	64.8	>140	94.6	188.1

五號廠塗裝區的噪音暴露劑量 46.3% 明顯比二、三號製管線來的少。二號線末端檢驗區為檢測鋼管並進行水壓測試的區域，而過程中鋼管若有不良品則會將運輸軌

道移開，使不良品掉落撞擊產生聲響，故檢驗區的 LCpk 峰值>140dB 與八小時 Dose 188.1%皆為最高，且人員暴露劑量已超過標準，按照法規事業單位應立即做工程改善。檢驗區不良品墜落與鋼管運輸滑落互相撞擊聲為主要噪音源。鋼管不良品墜落聲頻譜如圖 25 與鋼管輸送撞擊聲頻譜如圖 26 所示，鋼管撞擊聲多為中高頻噪音。

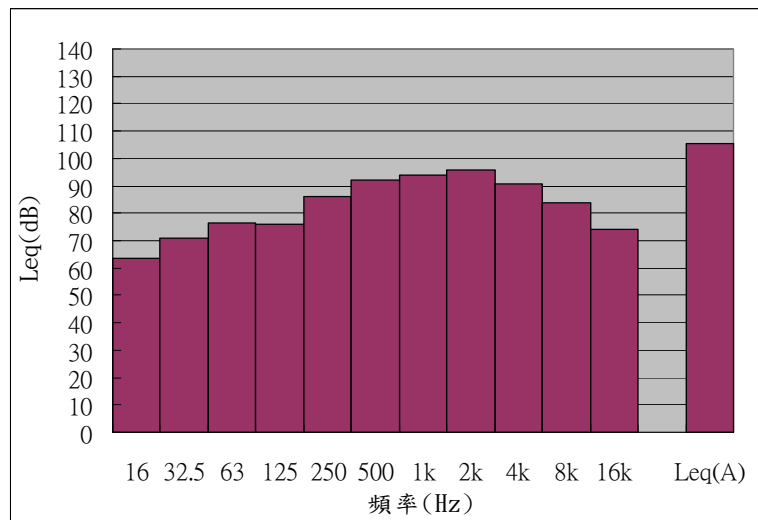


圖 25 鋼管不良品墜落聲響頻譜

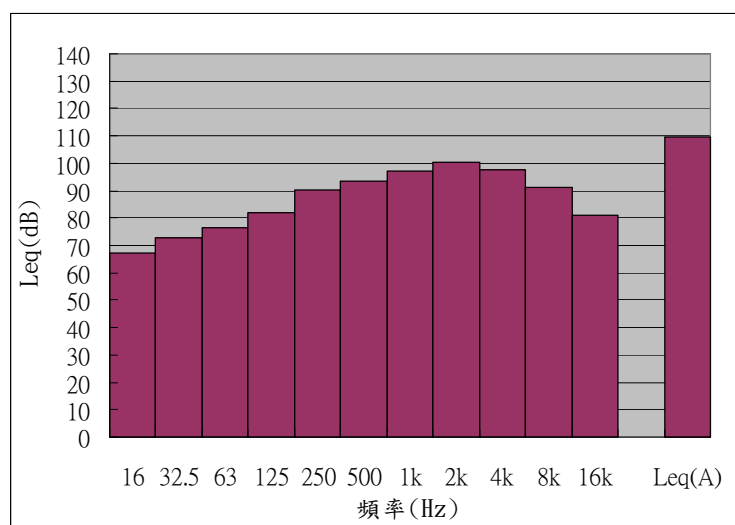


圖 26 鋼管輸送相互撞擊頻譜

高週波與中週波噪音為鋼管廠焊接時常見的噪音來源，其作業人員需長時間處在現場操作設備，暴露劑量較高。高週波噪音頻譜如下圖 27，中週波噪音頻譜如下圖 28 所示。

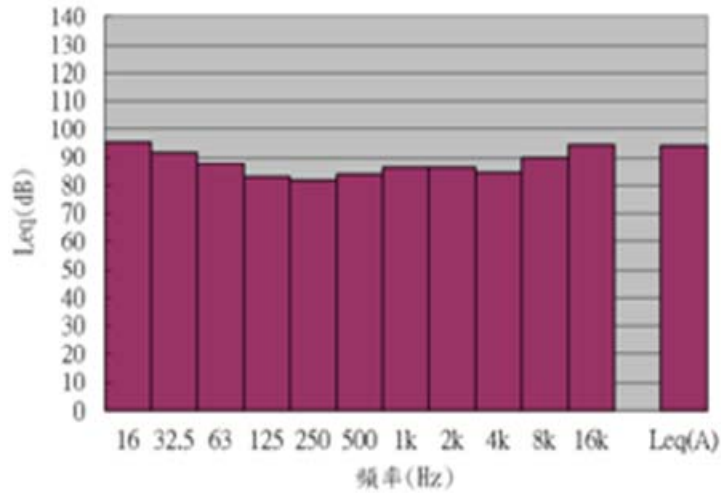


圖 27 高週波噪音頻譜

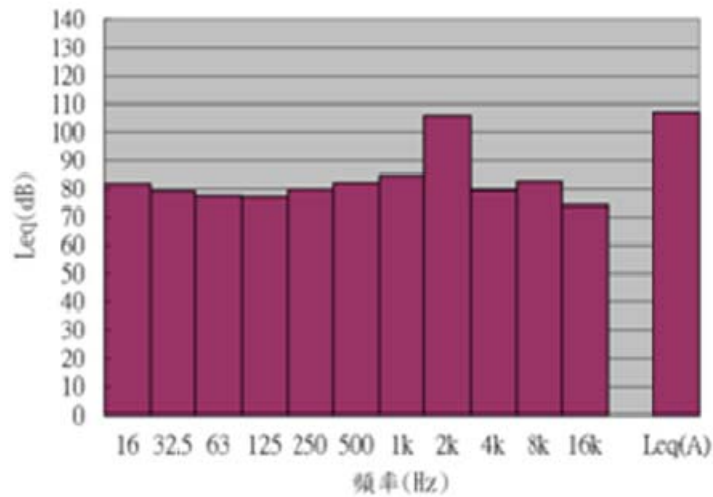


圖 28 中週波噪音頻譜

九、I 公司

(一) 工廠現況概述

主要製程熱軋線設備均係日本製造設備，有製程短、均溫節能佳及周全防治污染設施等。具有精緻化、高量產、低成本特性，並配有精密自動化控制系統，可生產客戶所需高品質熱軋產品。熱軋線全長超過 200 公尺，主要設備包含加熱爐兩座、往復式粗軋機、盤捲箱及精軋機組，設計年產能為 200 餘萬噸。調質線設備亦為日本製造，除調質外，尚可视需求進行整平與分切作業，生產尺寸最薄可達 1.2mm 厚度，設計年產能 120 萬噸。熱軋線與調質線可分別生產厚度 1.2~12.7mm 及 1.2~6.0mm，寬度 900~1,560mm 之各種優良品質的熱軋粗鋼捲及熱軋調質鋼捲。根據該廠噪音作業環境

測定報告顯示，作業人員劑量均在法定值以內，人員於控制室內操作生產設備。根據工廠提供之噪音健康檢查顯示，103年特殊健康檢查人數共52人，二級23人較去年二級增加12人，二級以上則無。

(二) 製程噪音簡介

熱軋鋼捲的製程，主要是將扁鋼胚經由加熱爐加熱至適當溫度後，運送至熱軋線，經由粗軋機及精軋機軋延而成，最後由盤捲機捲成粗鋼捲，此時便可依照鋼捲之製造需求調送至鋼捲儲區存放、銷售；或吊運至調質線，經過適當的調質、檢裁、秤重、包裝、標記等作業，進一步製成調質鋼捲，再行出貨。熱軋製程主要噪音源為加熱爐、精軋機粗軋機、盤捲機與調質機等。熱軋廠作業人員操作設備皆在控制室內，若非必要不在現場，因此作業人員噪音暴露劑量較低。熱軋廠作業人員暴露噪音劑量如表15所示。

表 15 I 公司熱軋作業人員噪音暴露劑量

作業內容	LASmx (dBA)	LASeq (dBA)	LASmn (dBA)	LCpk (dBC)	TWA (dBA)	八小時 Dose(%)
調質品檢區	109.7	82.6	*	136.4	75.7	13.8
調質打包區	103.1	85.8	66.8	129.4	84.3	45.1
加熱爐區	131.5	93.0	66.0	>140	73.2	9.8
粗軋精軋	114.7	89.3	63.9	132.0	83.6	41.4
設備維護室	116.4	85.5	57.8	129.6	78.4	19.9
盤捲區	115.4	80.3	61.1	>140	69.2	5.6

一般而言，粗軋、精軋區為熱軋廠噪音暴露最多的地方；調質打包區為必須至現場操作天車運送鋼捲的作業，其噪音暴露較多。全廠幾個噪音較大區域所測得之噪音頻譜，如圖29至圖32。

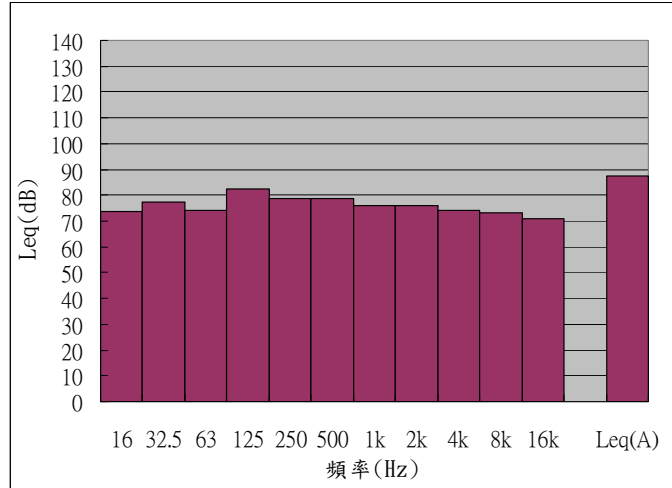


圖 29 粗軋精軋噪音頻譜

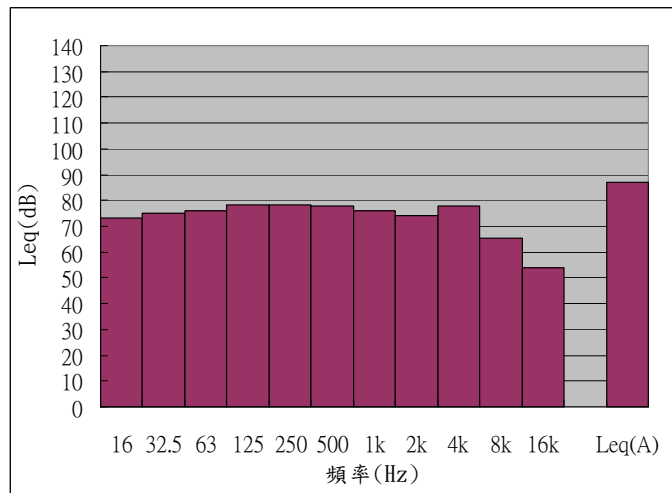


圖 30 調質線捲取端噪音頻譜

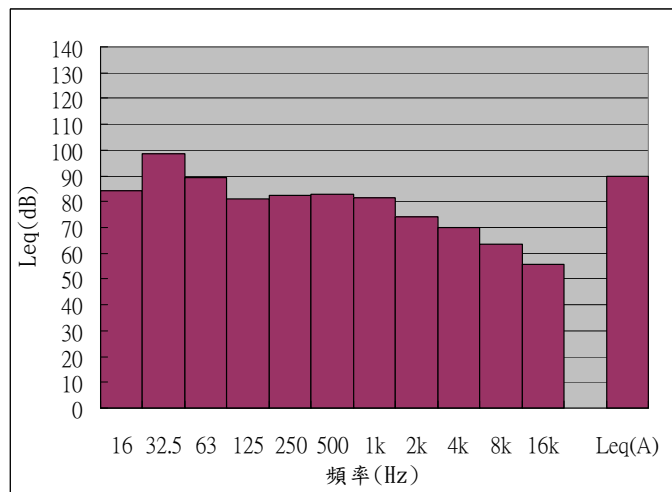


圖 31 加熱爐送風機組噪音頻譜

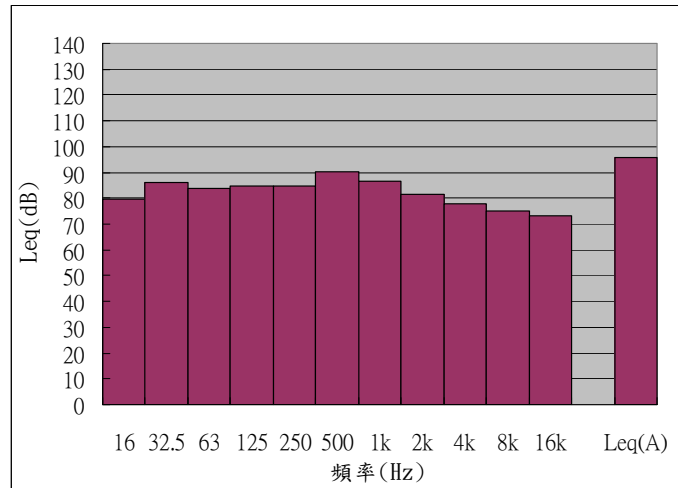


圖 32 地下室排風機噪音頻譜

十、J 公司

(一) 工廠現況概述

該公司為年產能 20 萬公噸鋼管廠，設置 2-4 英吋及 4-14 英吋製管產線，主要生產高附加價值石油用管，銷售於國際石油氣鋼管市場。建築物屬大型挑高開放式廠房，目前生產線為國內較新式設備，仍處於試運轉與國際認證階段，小批量生產中。

(二) 工廠現況概述

生產製程與其他鋼管廠相同，首先鋼捲經裁剪分條成鋼帶後，運至製管解捲、入料，再經由成型段壓出管型，以高週波電阻焊方式焊接，再由中週波退火調質、冷卻、超音波探傷及精整段調整圓度和外徑，經鋸台切割後進行修面、水壓測試、上漆與包裝。由於訪視當日僅有部分設備運轉，經與工安人員訪談得知，製程噪音源與其他鋼管廠類似，廠房未做區隔，噪音相互影響嚴重。噪音主要來源包括有高壓空氣吹拭、中/高週波、油壓機組、分條機切邊回收等，無法避免的金屬碰撞聲響與機械運轉產生之噪音。其中最需要改善的噪音源，亦為該廠要求協助之處，即為兩處以高壓空氣噴吹鋼管發生之噪音。該廠因設備新運轉噪音較小，部分新型設計應可為他廠借鏡，降低作業環境噪音。鋼管在製程間輸送，極易發生彼此碰撞成為鋼管廠噪音重要來源，而該廠除在不良品排除段外，均採用輸送帶傳送鋼管，並在包裝段以機械夾取放置，消除或減少鋼管碰撞發生機會，對於避免鋼管碰撞噪音的產生，大有助益。

鋼帶分條機為鋼管製造廠必有製程，常為作業場所主要噪音源，該廠亦不例外，運轉時噪音較大，圖 33 至圖 35 為該廠之噪音頻譜。

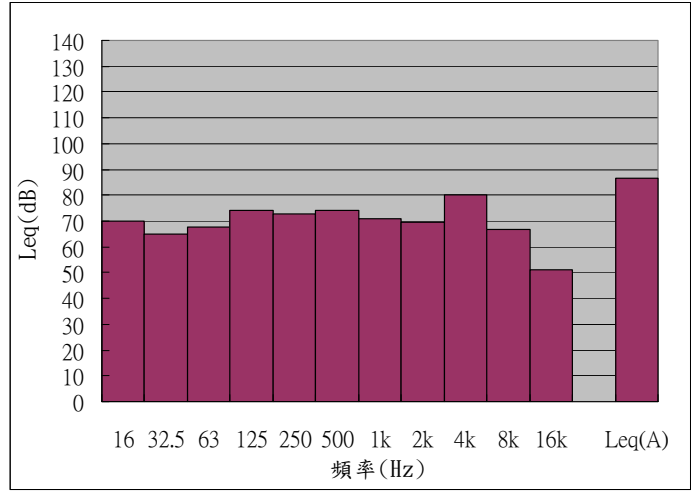


圖 33 分條機捲曲端噪音頻譜

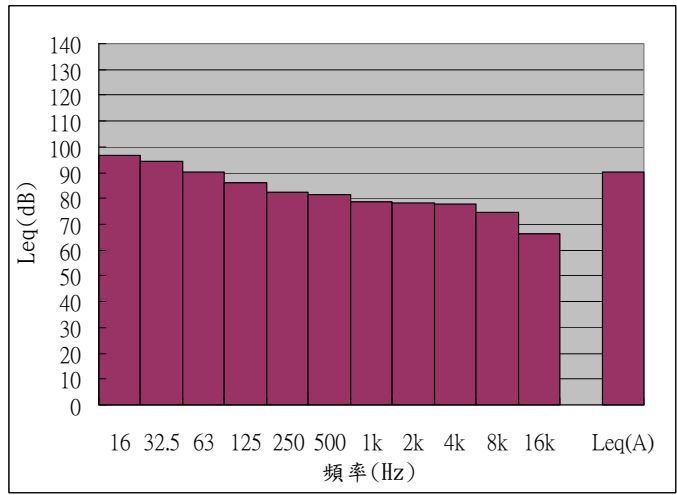


圖 34 分條機裁邊回收輸送端噪音頻譜

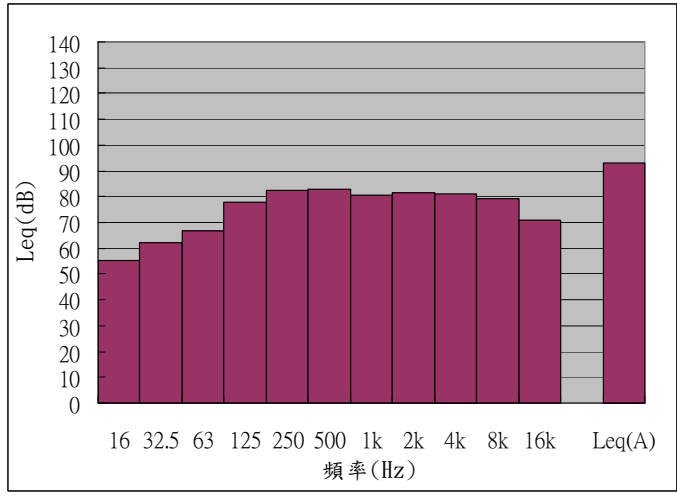


圖 35 分條機裁邊回收鐵桶端噪音頻譜

第二節 訪視廠商噪音改善建議

一、A 公司

- (一) 工廠內部噪音較大為抽線課的伸線機、漆包線捲線區域、以及混料廠混料機等。
- (二) 在銅線粗伸伸線機(如圖 36)運轉聲音較大，聲源改善方面，除了做好維護保養，替換磨耗空隙大之零組件外，較難進行其他針對噪音源的改善；可改之法，從聲音傳播途徑來考量。



圖 36 老舊粗伸線機

- (三) 目前廠內做法包括將人員包圍在崗亭或(休息室)內，是降低人員暴露劑量的好方法。
- (四) 部分機械設備較為老舊，老舊設備無進行定期保養及每日作業前檢點，部分皮帶、齒輪磨損或螺絲鬆脫生鏽，導致設備傳出不必要雜音。
- (五) 絞線機的操作人員缺少防護，建議將目前安全考量用的防護罩，增添防音材料，使其兼具安全與隔音之效能。
- (六) PVC 塑料製粒機上下樓層噪音有相加效果，建議將地面層與二樓以上的部分作隔離，降低相互傳播之影響。
- (七) 塑膠粒振動輸送機(圖 37)，因振動以致產生較大噪音，考量使用一般皮帶輸送機的可行性；否則，應加強與地板間的隔振，以及鋼板的阻尼。
- (八) 中、細伸線機的壓縮空氣吹拭噪音甚大(>100dBA)，應做好機台的密閉，如需開口亦應盡量縮小；空氣吹拭壓力在不影響產品品質下應盡量減少，當吹拭壓

力降低一半，噪音就能降低四倍。

- (九) PVC 的押出機的塑粒輸送風機為較大噪音源，建議考慮在吸入口安裝消音器，並將管路加以包覆，降低塑粒通過傳出的聲響。
- (十) 建議編出一些預算讓員工自行提出有效改善，並給予改善獎勵。



圖 37 塑膠粒振動輸送機

二、B 公司

- (一) 煉鋼部電爐區噪音達 110 分貝，為附近作業區的最大噪音源，且屬於低頻噪音，聲音來自於石墨電極的電弧放電，只能採取聲音阻隔方式減少人員的暴露，與對周邊區域的影響。
- (二) 電爐區控制室內的噪音低於 80 分貝屬於可接受的水準，但休息室內則仍有 87 分貝以上，建議增加目前單層玻璃面之隔音效果，改用雙層玻璃(中間為空氣層)或使用增加玻璃厚度的方式。
- (三) 檢驗室為水泥構造但因面對音源有一排窗戶，隔音效果不足，以致室內聲音出現 110 分貝(該廠作業測試數據)，建議改為雙層或厚質玻璃。
- (四) 精製區 2 樓辦公室因樓下作業機械的噪音使得行政人員困擾不已，建議將窗戶更換為隔音窗加以改善，另在室內地板鋪設地毯降低室內噪音。
- (五) 精製區退火爐送風機組產生很大的噪音約 93 分貝(距離 1 公尺處)，建議裝置活動式隔音箱(在入氣口附近具有消音功能)。
- (六) 廠內多處工作機台採取斜坡式送料(如圖 39)，經常發生金屬碰撞聲響，建議加裝軟性材料(橡膠片或 PU 輪)以減少噪音。未來可考量採用動力輸送裝置，將

圓棒材料使用分離輸送，進一步防止碰撞聲音的產生。

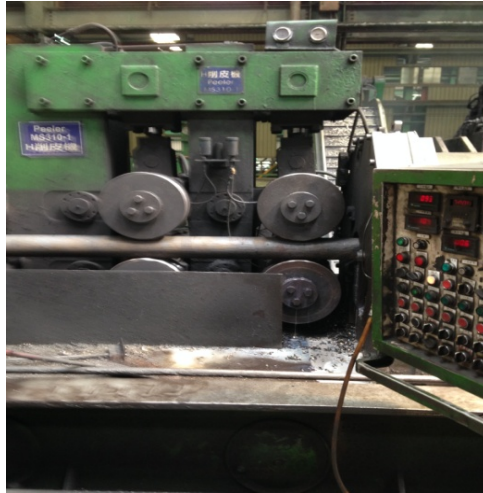


圖 38 二樓辦公室噪音源之一 (削皮機)



圖 39 金屬圓棒輸送撞擊產生噪音

- (七) 金屬碰撞聲響為金屬加工相關行業常有之狀況，經常發生於金屬物件自高處掉落時，應加強員工教育訓練，吊運物件至定位時，使其降低掉落高度，減少碰撞音。
- (八) 煉鋼部(電爐區與澆鑄區)與熱壓部的廠區，應以活動式圍籬加以區隔，減少噪音與粉塵對熱壓作業區的汙染。
- (九) 加強教育訓練並可編出一些預算讓員工自行提出有效改善，並給予改善獎勵。
- (十) 建議加強要求噪音作業區人員防音防護具的佩戴。

三、C 公司

- (一) 長約數百公尺的熱軋鋼板生產線，為熱軋工廠主要噪音源，距離其 30 公尺遠的巡視走道上噪音亦超過 85 分貝，推估其聲功率可達 100 分貝以上，因此對於在附近數公尺工作的人員，其噪音暴露嚴重性不言而喻。
- (二) 由於全自動的生產線，作業人員多駐守在控制室內監控，當室外工作時間越長則暴露危害性越嚴重，因此在尚無法減低或隔離噪音源時，減少控制室外作業時間有其必要性。
- (三) 加強要求控制室外作業人員防音防護具之佩戴，因耳罩佩戴技巧較低且易於稽核，建議優先選用。
- (四) 熱軋生產線在有鋼料輸送與軋製時，振動十分嚴重，推測應是缺少隔振裝置或隔振不足所致。

四、D 公司

- (一) 裁剪機械明顯可聽出不必要噪音，且屬於危險的工作環境，容易引起被夾被捲等危害。
- (二) 鋼捲分條機的捲取端(如圖 40)，因圓切刀與銅條磨擦使得鋼帶產生共振，產生極高噪音，建議在捲取端接觸圓刀前，使用橡膠壓輪壓在鋼帶上，改變鋼帶張力以減少振動引起的聲音。



圖 40 分條裁剪機捲取端

- (三) 彎管機上的壓縮空氣噴嘴為重要的噪音源，應減低吹拭壓力至最小，或以防音材料予以遮蔽。
- (四) 磨管區內的設置之除塵設備(圖 41)為該區噪音源之一，應使用軟性材質(例如橡

膠墊、布管或軟管)隔離風機傳至風管的振動，並使用防音材料將風機組的噪音隔離，但需注意通氣口的消音。



圖 41 除塵設備風機

- (五) 磨管機產生的噪音有隔離窗的設置，有效阻隔噪音與粉塵，但在出管口有聲音洩漏，可使用泡棉將洞口盡量減少；另因研磨作用的摩擦使管件振動發出聲音(管徑越大聲音越大)，考量在管件出口端以橡膠輪施壓改變共振現象，減小聲音的產生，或採用包圍方式降低噪音傳出。
- (六) 磨管區的機台多設有空壓閥件，排氣聲響應加裝消音器予以降低。
- (七) 廠內機台安裝與地面間缺少隔振材料。
- (八) 磨管機出料位置高度差應減少(如圖 42)，降低鋼管墜落碰撞之聲響。



圖 42 鋼管墜落的撞擊聲產生處

- (九) 機台定期維修與保養確保不會產生異聲。
- (十) 加強教育訓練並可編出一些預算讓員工自行提出有效改善，並給予改善獎勵。
- (十一)現場噪音未完成改善前，應加強要求噪音作業區人員耳塞、耳罩的佩戴。

五、E 公司

- (一) 環形加熱爐旁油壓機組(圖 43)產生中低頻噪音(約 160Hz)，建議採取隔音圍籬，降低噪音擴散至周圍作業區。



圖 43 環型加熱爐旁之油壓機組

- (二) 環形加熱爐上方之排氣管(圖 44)為主要噪音源之一(約 5,000Hz)建議加裝消音器，降低排氣噪音。



圖 44 環型加熱爐頂部之排氣管

- (三) 精整區內調質加熱爐的送風機組(圖 45)為該廠區的主要音源，風機與吸入風管法蘭間，應加裝軟性材質減少振動傳遞至風管，或將機組加裝隔音圍籬，降低

運轉噪音的傳出。



圖 45 加熱爐送風機

- (四) 依據廠方環測資料顯示，砂輪切割機與電漿切斷機噪音高達 100 分貝以上，對區域噪音影響甚大，唯砂輪切割機操作人員多在控制室內操控，其人員暴露劑量較少；但電漿切斷的操作人員則位於機台邊(圖 46)，暴露劑量較高，建議優先採用防音材質加以圍堵。



圖 46 電漿切斷機工作站

- (五) 可編些預算讓員工自行提出有效改善，並給予改善獎勵。
(六) 現場噪音未完成改善前，應加強要求噪音作業區人員耳塞、耳罩的佩戴。

六、F 公司

- (一) 鋼捲板厚約 9mm 分條機運轉(如圖 47)的噪音，與一般機械無很大的差異，均有機械運作產生的噪音。但在鋼捲送料結束時，鋼捲末端因彎曲撞擊機台，造成的聲響極大達 110 分貝，避免撞擊的發生，建議在鋼捲與機台間加裝滾輪壓

直捲曲的鋼板。



圖 47 分條機送料端

(二) 整平機(圖 48)的噪音產生與分條機相似，主要來自於鋼帶撞擊機台的聲響，建議改善方式與分條相同。



圖 48 整平機

(三) 製管機台的主要音源來自高週波(3,150Hz)與中週波(1,600Hz)製程，噪音高達 102 分貝，建議採用圍籬方式將其隔離，應可大為降低作業人員的暴露量(圖 49)。



圖 49 中/高週波人員作業環境

- (四) 水壓測試機與噴漆機的鋼管入料端，均以斜坡將鋼管送定位，產生許多鋼管碰撞的聲響，如採用輸送機械將鋼管送入製程，避免碰撞現象發生，定能改善目前因金屬碰撞間產生高達 110 分貝噪音的情況。
- (五) 鋼管最終的包裝打帶作業的最大噪音發生源為鋼管送定位時所發生的碰撞，建議與第 4 項相同，採取輸送機將鋼管一支一支分別送入打帶區。
- (六) 包裝作業打帶區(圖 50)的高度應設計為可調式(油壓或電動)，降低掉落高度，以減少鋼管撞擊在打帶區其他鋼管所產生的聲音。



圖 50 包裝作業區

- (七) 加強教育訓練，並建議編列一些預算讓員工自行提出有效改善，給予改善獎勵。
- (八) 噪音暴露劑量甚高，現場噪音未完成改善前，應加強要求噪音作業區人員耳塞、耳罩的佩戴。

七、G 公司

- (一) 廠房內設置各式生產機台，設備間距不足，形成眾多噪音源相互影響增加的效應，除產品存放區外，幾乎均為噪音作業區(大於 85 分貝)。
- (二) 冷軋機為該廠區至主要噪音源，吹拭的空壓未開側，已有 93 分貝，而空壓開啟側噪音高達 103 分貝，主要為噴嘴產生的高頻音，建議選用低噪音噴嘴，如不符合產品質標準，則須採取氣罩式遮蔽方式，阻隔聲音傳播出來。
- (三) 冷軋機(圖 51)作業環境中的控制室(圖 52)內之噪音多在 80 分貝左右，唯其中一間室內仍有高達 96 分貝以上的聲音，研判應有管路洩漏所產生的高頻音，經現場立即包覆控制室內的管路後，立即下降 7~8 分貝，雖有效果但仍未解決洩漏疑慮，建議應確認洩漏源予以矯正，才是根本的解決之道。
- (四) 冷軋機與調質精整機間距離甚近，噪音互相影響，增加作業環境的噪音級，應考量以防音材區隔機台。



圖 51 冷軋機

- (五) 廠內除空壓吹拭的高頻音外，充斥許多空氣流動空氣輸送與機械力動力磨擦所造成的振動音(中、低頻)；對於目前老舊機台的情況，應考量以減少振動來降

低噪音的產生，例如調整機台運轉參數、鋼板張力、齒輪箱齒輪間隙，或是軸承磨損的更換等等方法，均能降低振動的產生，進而減少噪音。



圖 52 冷軋控制室(有洩漏音)

- (六) 位於廠房內的大型風機組(圖 53)亦為中低頻音的發生源，將其以防音材包圍阻隔聲音，為降低附近作業區音量的方法。



圖 53 大型風機

- (七) 高頻音對於噪音分貝數貢獻較大，亦為廠內主要噪音源應優先處理，而中低頻音的發生機制較複雜，有賴針對個別發生源逐步鑑別並予以改善。
- (八) 在工程改善進行過程中，若區域噪音尚未降至可接受音壓級時，應加強要求作業員工防音防護具的佩戴。

(九) 建議編列預算鼓勵員工自行提出有效改善，並給予改善獎勵。

八、H 公司

(一) 廠內生產設備較舊，未做區隔，不時有鋼管碰撞聲響在廠房內傳播，除了儲存區較為安寧，與特定區域較大聲外，多數區域噪音在 85 分貝左右。

(二) 兩條生產線的高週波焊接，與中週波(1,600Hz)退火(如圖 54)為主要的連續性噪音源，二號機的中週波區預測得超過 100 分貝以上的噪音，來自護罩的開口，建議將開口加以密閉，減少聲波傳出；高週波附近的噪音達 92 分貝，可能因有遮蔽的關係，可再次檢視減少洩漏口。



圖 54 高/中週波焊接

(三) 鋼管互相碰撞的聲音仍為場內主要噪音源，最經常發生處所位於塗裝作業前，鋼管入料定位前的輸送過程。首先裁管後送至端面修整，再到水壓測試，最後至塗裝，此一鋼管輸送過程中，經常出現鋼管相互碰撞發出巨大聲響，全廠均受其影響。

(四) 三號機的高週波與中週波作業區亦為該機台主要噪音源，且為連續性對人員暴露影響甚大，建議應列為優先改善項目。

(五) 鋼管輸送發生的碰撞聲響，建議從兩層面思考：首先考慮是否能採用輸送帶獨立運送每支鋼管，避免碰撞發生，否則應降低撞擊力道，例如降低墮落高度、金屬接觸面安置軟性材料等(圖 55)。

- (六) 分條機解捲快完成時，最末段彎曲部分造成很大噪音，應可由設備改善或操作速度控制，降低噪音的產生。
- (七) 噪音作業區未完成降噪改善前，應加強要求作業員工佩戴聽力防護具。



圖 55 鋼管輸送過程相互碰撞及不良品掉落聲響發生處

九、I公司

- (一) 熱壓鋼捲生產線從鋼胚加熱、壓延、冷卻、至捲取打帶一貫作業，似無簡易降噪方法，如產線上各種噪音發生源無從改善，僅能從隔離設備或人員著手改善。目前作業人員多在監控室操作(如圖56)，僅在少數時間暴露在高噪音的設備旁，因此噪音暴露劑量不高。
- (二) 多種噪音源分布於擁擠之現場，噪音交互影響嚴重，建議應將噪音區的廠房加以區隔。例如：D區與E區相較於B區與C區安靜，尤其B區熱壓線為噪音主要來源，因此如能將B區、C區、D區、E區的廠房予以隔離，應能使區域性的噪音下降。
- (三) 加熱爐旁之大型送風機運轉聲響甚大，附近雖無作業人員，但因未做隔音設施，因此噪音傳至週邊區域，建議在目前矮牆上方加裝防音設施延伸至風管高度，或使用防音材料將風機與馬達予以包圍隔離運轉噪音。
- (四) 地面下空間之通風口噪音達92分貝，對周邊作業區域影響不小，建議採用吸隔音材加以防堵。



圖 56 作業人員於控制室內操作設備

十、J公司

- (一) 現場多類型噪音源分布於大面積廠房內，噪音交互影響，使所有人員暴露噪音環境。
- (二) 工廠主要噪音來自高壓空氣吹拭，高、中週波焊接與退火，油壓與機械運轉，以及金屬碰撞，例如：鋼管間、邊料裁切回收機械等。
- (三) 除加強勞工教育持續要求耳塞/耳罩之使用外，降低區域噪音應為目前急需立即執行之工作，尤其在幾處高壓空氣吹拭鋼管作業。
- (四) 鋼管端面加工後以壓縮空氣吹拭管內外渣屑的高壓空氣噴槍鐵架，建議使用吸隔音材料將其全面包圍，以降低噴氣噪音對周邊人員的影響。
- (五) 水壓試驗後的高壓噴嘴噪音，亦應加以遮蔽，為考量鋼管進出作業，建議使用橡膠或PVC質的片狀構造予以封閉。
- (六) 廠內油壓幫浦組應可考量使用防音材質加以包圍，但需有散熱開口。
- (七) 鋼帶邊切斷回收系統因有高速墮落衝撞金屬物件的聲響，建議加裝降低墜落速度的設計，減少碰撞聲音。另外，在切斷邊料會碰撞到的金屬板，應以軟性材質黏貼或增加阻尼，降低板面振動所輻射的聲音。
- (八) 噪音區與非噪音區未有區隔以致全廠區均暴露在噪音環境，如可能的話，建議將廠區加以區隔，在物料進出的通道，或以活動門或PVC膠簾的設計，滿足進

出的需求。

(九) 高週波與中週波的音源處，應以吸隔音材加以包覆，否則附近作業人員恐有高劑量暴露。

(十) 噪音作業區未完成改善前，應加強要求耳塞、耳罩的佩戴。

(十一) 廠區內鋼管輸送採用動力驅動鏈條與軟墊運送(如圖57、圖58)，降低管件碰撞產生的噪音。此一方式有別於其他類似產品以斜坡滾落運送，為他廠改善參考。



圖 57 動力驅動皮帶運送 I



圖 58 動力驅動皮帶運送 II

第五章 噪音診斷與噪音控制技術

第一節 噪音診斷

勞工作業環境通常為室內，同樣的噪音源所發出的噪音在室內感受到的響度 (loudness) 遠比在室外感受到的響度要大，這說明了我們在室內所接收到的噪音除了有透過空氣直接傳來的直接音外，還包括室內各牆面多次反射(reflection)的反射音(殘響音)。實驗證明，反射音可使室內噪音提高 10~12dBA。因此在進行作業環境噪音工程控制時，除考量機械設備與人員活動所產生之噪音頻率與音壓級等各項指標來進行隔音或消音外，作業環境設施的吸音效果也應一併考量，並利用噪音源控制(如取代或消除)或傳播途徑控制(如包覆或隔離)來進行噪音工程控制。

在作業場所中常會有多個噪音源同時存在，因為製程與資金問題，不需在初期針對每個噪音源都進行處置，如能針對噪音貢獻度較大之噪音源進行改善，則效果最為顯著。OSHA 建議以較不使人產生煩擾感的噪音頻譜作為噪音改善目標線圖，其目的便是使作業人員的噪音暴露在圖 59 的曲線(90dBA)以下[13]。

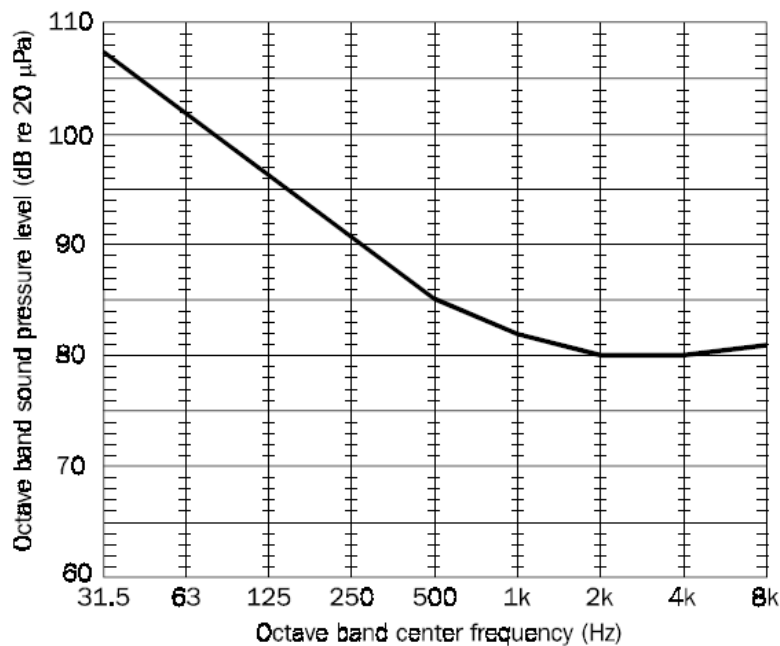


圖 59 OSHA 噪音改善目標線圖

透過對於廠區內的各噪音源進行噪音頻譜量測，找出對於作業人員影響最大之噪音源(也就是噪音頻譜超出 OSHA 目標線圖最多之噪音源)，將待改善位置的噪音頻

譜繪製於目標線圖上，如圖 60 中紅線為某位置 95dBA 噪音頻譜，其中在 2k, 4k, 8k 超過 90dBA 的目標線。如將該噪音在目標線圖上超出的頻率予以降低，低過目標線，則可確保噪音低於 90dBA。

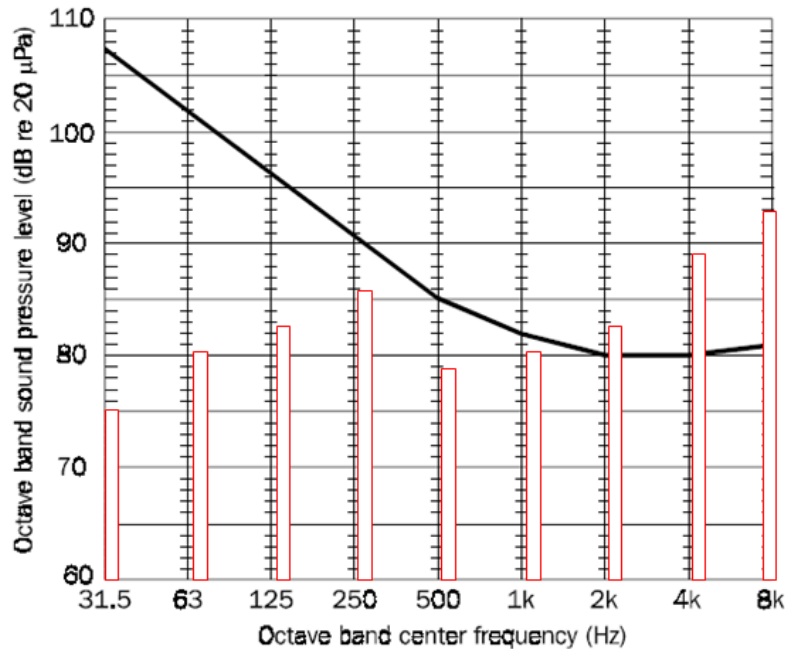


圖 60 待改善位置的噪音頻譜

本研究已在第二章敘述噪音控制的相關討論，以下步驟是本研究訪視過程中之基本噪音診斷過程，流程圖如圖 61。

- 一、開啟和關閉機器再分別進行聲音測量，以確定最主要音源與可忽略音源。
- 二、運用分貝疊加概念輔助噪音量測數據，量化決定個別噪音源的貢獻度。
- 三、使用 A 加權強調噪音最能影響 A 加權的噪音水平的重要性。
- 四、進行多個近距離的聲音測量其頻譜，小尺寸的音源不會是強勁的低頻音源，但它們可能是重要的高頻來源。
- 五、依順序計算或診斷各噪音源的音壓級。
- 六、估計聲音時要考慮到室內條件以及在室內的設備。
- 七、辨別與量化空氣音與結構音，以及其傳播路徑。而這兩個不同類型的傳播途徑，必須使用不同的噪音控制方法。
- 八、不要低估耳朵的辨識能力，有時儀器未能區辨的聲響，耳朵卻能區分出來不尋常的聲音和聲音的方向。

第二節 噪音工程控制方法

本節內容主要參考 Berger 等人共 4 篇出版資料撰寫[14-17]。當找出預改善之噪音源，噪音問題的改善方法應包括更換高噪音的設備、噪音源的修改、傳遞途徑的改良等。例如機械碰撞產生過大噪音的控制選項，首先工作是處理降低驅動力、減少平衡旋轉設備組件之間的距離、安裝隔振配件等。

一、取代

對於現有某些噪音較大的設備，可能因經濟考量，當初購買時未將噪音列入考量因素。以較安靜的設備、製程或材質來取代較吵雜的操作，達到減低噪音的目的，是在執行噪音工程控制時經常應用之方法。

(一) 安靜的設備

1. 軸流式與離心式風機

對於同等性能的軸流式風機較離心式風機產生較高的聲音頻率。聽力保護的標準允許噪音在低頻範圍有較高之值，因此離心式風機可能較佳，但另一方面，如考慮高頻噪音的工程改善費用較低頻噪音少時，或許軸流式風機變成較佳的選擇。

2. 風扇速度

高轉速風扇或風機比低轉速時產生更多的噪音，聲功率是以轉速的 5 次方倍增加。若以大直徑、低轉速取代小直徑、高轉速的風扇，可降低噪音。

3. 高速齒輪與汽渦輪驅動組

高速汽渦輪驅動較馬達連接高速齒輪驅動產生較小的噪音。

4. 皮帶式與齒輪式驅動

皮帶式驅動較齒輪式驅動系統產生較小的噪音。

5. 氣動式與機械式取出

一些衝壓或高速產出設備經常使用壓縮空氣以吹氣方式將零件取出，如以機械式取出替代，則可減少噪音的產生。

6. 氣動式與電動式工具

由於排氣口的關係，攜帶式氣動工具常較電動工具吵雜，但如在排氣口裝設消音器，則可改善噪音。

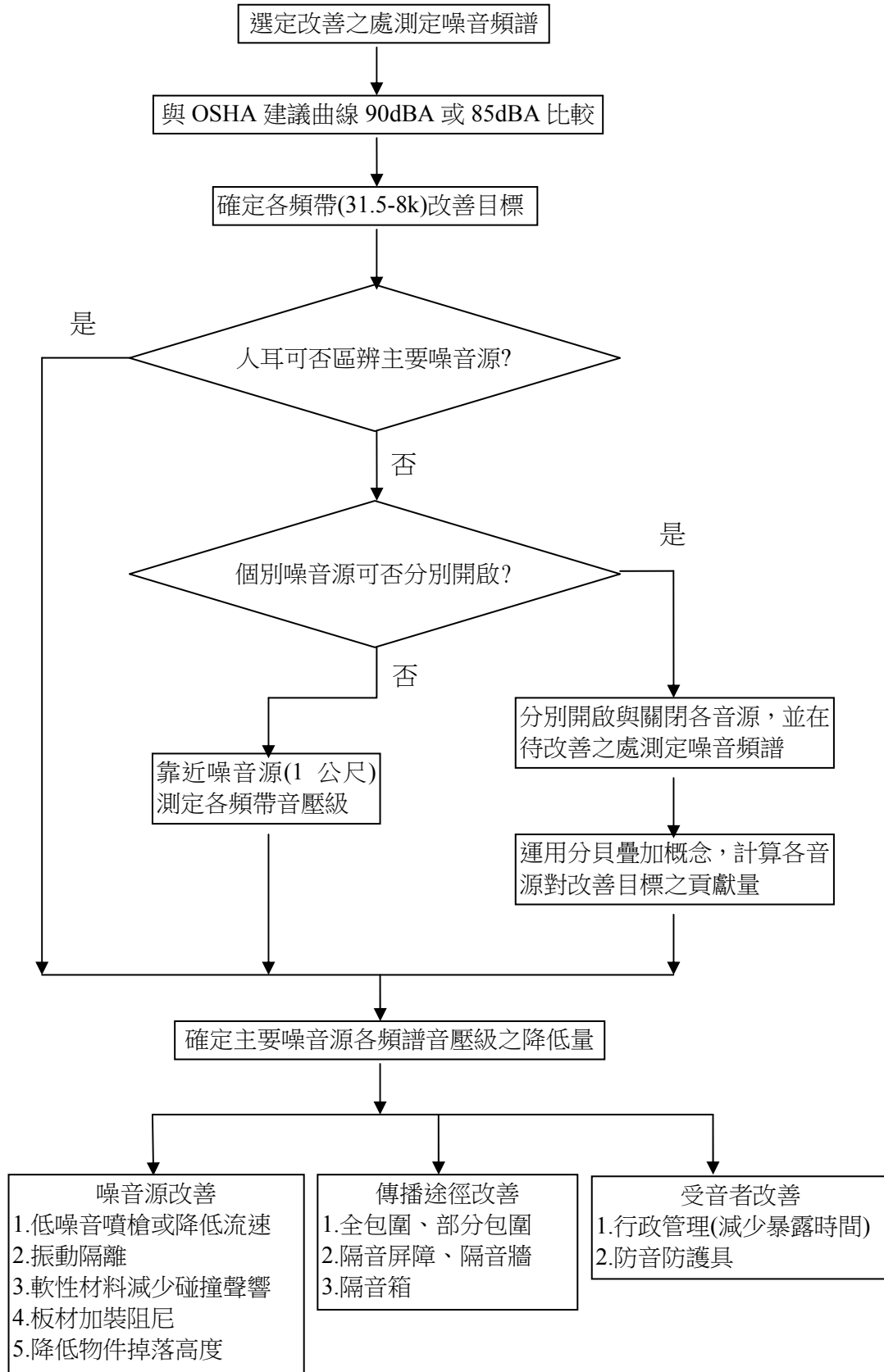


圖 61 噪音診斷流程圖

7. 液壓式壓床與氣動式鉚釘鎚

液壓式壓床較氣動式鉚釘鎚之操作來得安靜，如必須使用氣動式鉚釘鎚，在排氣孔加裝消音器常有不錯的減噪效果。以上僅是舉例說明，適當地選用較安靜設備，將可減少噪音問題或降低工程改善費用。

(二) 安靜的製程

有時以一個較安靜的製程取代吵雜的製程，也可達到相等或更佳的结果。若不需修除毛邊，焊接可能就比鉚接安靜。另外，使用高強度螺絲也比鉚釘接合安靜。在毛邊削除方面，砂輪磨除可能較敲擊方式安靜，有時亦可以電弧或火焰切除達成。

(三) 安靜的材質

在建造建築物、機械設備、管件與容器所使用之材質，對於聲音由機械經結構性傳播有重要影響。許多材質的內部有很高的阻尼特性，可以有效降低噪音的產生[18]。零件箱是一個例子，當零件由堆高機或輸送帶傾倒在箱內會產生很高的噪音，如能在箱的底部或四周使用阻尼材質，或網狀建造箱體，均能有效降低噪音的產生。鐵輪式推車比使用膠輪產生的噪音大，以塑膠齒輪取代鋼質齒輪亦可以降低噪音。

二、噪音源的改善

如果確定了噪音源且排除其他原因之後，且已知噪音是如何傳播到員工工作區域，那下一個步驟就是決定噪音控制選項，在噪音控制過程的第一步應該是嘗試某種形式的來源處理[19]。

實際上，修改噪音來源位址是噪音問題的根本原因，以聲波產生的方式來說，噪音源可區分為兩大類。第一類是聲波由振動固體的表面產生，另一類則是由流體(特別是空氣)的擾動產生，當然亦有兩者共同產生的。例如，振動的固體表面引起空氣擾動，此擾動又引起固體結構振動。第一類噪音源是由振動力與聯接的聲音輻射面組成，控制的方式包括下列三個方向：減少驅動力、減少輻射面響應、減少輻射面的輻射效率。

(一) 減少驅動力

機械設備之驅動力約可分為重複性的機械力與非重複性的衝擊力。重複性的

機械力經常是不平衡或偏心迴轉運動造成，並因迴轉速度增高而增大。大型低轉速比小型高轉速的機械產生較少的噪音。另外，使用變速的機械設備在較低速度運轉時也可達到較少的噪音產生。

(二) 保持動平衡

設備的動平衡在減少重複性機械力是非常重要的。軸承的保養、適當的潤滑、保持直線對正，則可保持機械設備的動平衡狀態。

(三) 增加工作循環時間

衝擊力在多數金屬製造業經常發生，例如，沖孔、鍛造、鉚接、剪切等製程。延長工作循環時間，使衝擊力分佈在較長的接觸時間可降低噪音的產生。

(四) 隔離振動

當振動機器的表面積被當作空氣噪音的傳聲筒時，它的控制選項就包括與噪音相關的驅動力的降低，或者表面積的減少，也有所謂的表面穿孔，或增加基板的剛度或質量，以及阻尼材料或隔振件的應用。至於採用振動隔離和阻尼材料，產品製造商應諮詢、選擇適當的材料和安裝程序。設備的結構體有許多不同的振動模式，假設是剛體振動時，則有六個振動模式，分別為 x , y , z 三個直線方向與三個旋轉方向。任何有質量與剛性的結構系統，例如，裝置防振墊的馬達，均有其振動的自然頻率。系統的自然頻率經由系統之質量、剛性或慣性矩等參數的改變而變更。多數的情形改變防振墊的剛性是最簡單的方法。傳遞率(transmissibility)是表示一個振動隔離的有效性，因振動隔離而減少的結構性噪音可以傳遞率表示。系統的阻尼可降低共振時的振幅，但也會犧牲一些振動隔離效果。

(五) 減少振動體的響應

當驅動力之頻率等於振動體之自然頻率時，振動位移增大，阻尼處理則可使振動響應降低；當驅動頻率低於自然頻率時，增加系統剛性亦可降低響應；當驅動頻率高於自然頻率時，則以增加質量達到降低系統響應之目的[20]。共振發生時，位移增大因而加大噪音輻射，共振時的振動可被阻尼處理而降低。阻尼處理分為兩類，即所謂自由層(free-layer)與限制層(constrained-layer)處理。概括的說，自由層處理是將約相同厚度的阻尼材質附著在振動表面上，而限制層處理是另加一面限制金屬板層形成三明治的結構。阻尼材料的性能受溫度的影響極大，選用時必須注意

環境溫度、化學污染物等因素。

(六) 減少振動面的面積

聲音能量的產生不僅受振動表面運動速度影響，也因面積大小而不同。一般而言，任何規則形狀表面之尺度大於 $1/4$ 波長，將在空氣中有效地輻射此一波長的聲音。低頻聲音經常由大面積表面輻射出來，相反地，數平方公分的表面即能輻射出 1,000 Hz 以上的聲音。減少表面積或分割成小區塊可減少低頻噪音的產生，因此使用衝孔或補強的金屬板可減少低頻噪音由金屬蓋板與護罩表面的輻射。

(七) 利用噪音的方向性

許多工業噪音源是有方向性的，也就是說在某一方向比其他方向輻射更多的聲音，例如，吸 / 排氣口、半封閉的音源、大的金屬板表面等。改變音源方向的工程控制可能使某一位置或區域的聲音降低，但如該位置的環境屬於反射聲場性強者，則難以此控制方法達到理想的效果。然而，在有高吸音率材質之環境，將音源導向吸音材可達降低噪音之目的。

(八) 降低流體速度

高速空氣流動或流體流動所產生的噪音，主要改進方式是降低介質的流速。有時可以透過提高所涉管道的橫截面面積來降低流速。為了精簡流動的行為，在管道中的障礙物必須予以消除，這反過來會降低該介質被輸送壓力的變化和湍流。有許多噪音問題是因流體流動產生，例如，吹氣系統、閥門與氣門排放高壓氣體系統等。吹氣系統噪音產生的大小取決於氣流的速度，降低吹氣壓力可減低噪音，然而，吹出物件的推力又受制於氣流速度。一般噴嘴之出口氣流速度分佈多集中於直徑兩倍之範圍內，因此，如能將噴口對準目標物，則可以最小壓力達到可用之最大速度。愈大之噴嘴氣流速度愈低，如能使用多個小噴嘴或將噴嘴移近目標物，均可得到必須之推力。另外，控制氣流之流線、減少亂流亦可降低噪音的產生。另外一個因流體流動常見的噪音發生情況，是將高壓氣體排放至大氣。當減壓閥上、下游之絕對壓力比大於 1.9 時，閥孔之氣流速度已達音速，且聲功率與質量流率成正比。將氣流在閥內流動之壓力降低設計成漸進式，是降低此類閥件噪音產生方法之一[21]。兩種對於現有減壓閥之減噪處理，一種是將閥包覆並於下游裝設消音器，另一種是將閥與管路均作包覆處理。多種材質可被作為包覆材料，例如，岩棉或玻

璃纖維作為內襯，外部再以鉛質乙烯或鉛鉛複合材料包覆。最後，可以再安裝合適尺寸的消音器或消聲器使總噪音顯著減少。消音器製造商應協助買方依操作參數和限制條件去選擇適當的消音器。

三、傳遞路徑的改善

當無法確定噪音源頭時，或是設備的重新設計與修改噪音源也被認為是不可行的情況下，利用控制措施去處理聲音傳輸路徑，是減少整體噪音的有效手段。傳遞路徑處理包括圍籬和障礙物隔音法。當無法由噪音源降低噪音時，藉由將噪音源密閉、阻擋、吸收，以減少空氣音傳播是常用的方法[22]。

(一) 概論

今日市場有專門量身訂做隔音設備的製造商。製造商為了促使合適的系統，有必要為買方提供信息，信息包括目前整體噪音大小(以及可能的頻率數據)、設備的尺寸、噪音降低目標、需要產品流程和員工訪問，及其他操作限制條件，然後供應商能夠利用這些資訊來選擇庫存產品或自己製作圍籬來滿足買家的需求。如果該製造商要證明來自聲學和製作設計的角度能令人滿意，則圍籬設計中的許多因素必須考慮。隔音設備的尺寸最佳原則是越大越好，最重要的一點，要有足夠的空間放置，使機械設備在不接觸到隔音設備的情況下，能夠執行所有預期的動作。在設計隔音時，以下幾點必須考量以達理想之隔音效果。

1. 隔音牆板

降低噪音是取決於其牆的結構與材料及圍籬的密閉程度。選擇隔音牆的適當材料，可以使用以下經驗規則來估算[23]。

(1) 一個圍籬，沒有內部的吸收： $TL_{reqd}=NR+20$ dBA

(2) 大約有 50%的內部吸收： $TL_{reqd}=NR+15$ dBA

(3) 有 100%的內部吸收： $TL_{reqd}=NR+10$ 分貝。

這些式中， TL_{reqd} 是指隔音牆或面板所需要的傳遞損失，而NR是噪音降低的期望值。建造牆板的材料對於隔音效果有很大之影響，必須選用空氣無法穿透之材料。

2. 內襯

牆板之內側應使用吸音材料鋪設，內襯之厚度與材質密度取決於欲降低

噪音之主要頻帶。

3. 密封

為了獲得最大的效率，所有圍籬的外牆接縫處必須緊密接合。開口部分圍繞管道貫穿，電線等應使用非硬化膠粘劑密封，如矽填縫。假如隔音效果需達 10dB 以上，則必須特別注意縫隙的密閉性。

4. 裝置架

隔音裝置必須與機械之振動零件隔離。機械是裝置於厚實之水泥基礎上，則圍籬也可固定於基礎。假如，機械會引起基礎振動，則機械或圍籬必須與基礎隔離。

5. 對機械之影響

在許多圍籬的應用，密閉的隔音會有過多的熱積聚，引起機械過熱，必須裝設強制通風設施，容量為 650~750 立方英尺/公尺的風機應安裝在出口或排放管道，但須注意進、出氣口要加裝消音器以防止噪音洩漏。

(二) 圍籬(enclosure)

在設計圍籬時，應對噪音環境進行八音度頻帶測定分析，並與設計標準值比對，決定主要或各個頻帶之降低量。為評估圍籬建造後室內音響因聲音反射而增大的特性，圍籬之穿透損失必須考慮此一增強效應。首先運用圍籬未建造前，室內音響環境之室常數(room constant)與建造後圍籬內之室常數，估算噪音增強量。最後，考量設計降低量與反射增強量等因素，決定圍籬應有之穿透損失，藉以選擇適當的圍籬牆板厚度。當圍籬穿透損失的要求超過 50 dB 以上，則需使用多層牆的設計，牆與牆間以空氣隔離。以質量定律設計之多重牆之穿透損失優於單層牆。假如應材料的動線或操作之限制，無法使用密閉的圍籬，則可設計成開放式的圍籬，主要功能是提供遮蔽效應，阻擋直接音傳至人耳，亦可達到減少人員噪音暴露，此遮蔽效應僅限於噪音之高頻部份，設計上應鋪設吸音材料增加效果，如某些設備有必要將產品移入和移出圍籬。利用聲學內襯通道或隧道的設置，可以允許產品的進出。為了使噪音的洩漏最小化，建議所有的通道長度，都要比內部隧道通道開口的最大內寬度長三倍。為了視覺監測的需求，可以安裝門和窗戶，所有的窗戶至少要有相同於圍籬的傳透損失特性。所有進出門必須緊緊密封圍繞所有邊緣。為了防止

設備在門打開時候的操作，建議建立連鎖反應系統，當只有門完全關閉時才允許操作。

(三) 隔音屏障(barrier)

屏障裝設於噪音源與人員之間用以阻擋噪音的傳播，其效果是因聲波被屏障反射，以致於在屏障後方形成遮蔽區，位於遮蔽區域內之人員則可減少噪音暴露。對於噪音的降低效果，因屏障有效高度、聲音波長與偏角而異。屏障愈高、越寬、愈接近噪音源則效果愈佳，在材質的選擇上，應使用比最少期望達到的降低噪音量多 9 dB 的材質。採用隔音屏障對於高頻噪音有不錯的效果。若要有有效阻止聲音傳遞路徑，應該使用 4~6 磅/立方英尺量級的高密度材料，且屏障不應該有任何開口或缺口，不然會顯著降低其有效性。如果有必要用視覺接觸設備而開立視窗的話，則該窗口至少要有相當於屏障本身材料的聲音穿透損失等級。

(四) 吸音

吸收和消散聲能要在圍籬的內部表面積與吸音材料內襯，並且應依音源的頻譜來選擇適當的吸音材料。製造商公佈的吸音數據提供了材料選取的依據，需符合噪音源的最高聲壓頻率，產品供應商或製造商還可以根據噪音源的頻譜，提供最有效的材料選擇。室內原有極少數的吸音材料，且當人員不是主要暴露於直接音之情況下，在室內鋪設吸音材料約可降低噪音達到 3 dB 至 7 dB。吸音材料之鋪設是要減少室內聲音因反射而增強，或將室內堅硬、光滑與穿透性差之表面改為柔軟、粗糙與多孔性之表面，以達到吸收聲音之目的。材料之吸音效能以吸音係數來表示，即被吸音能與人射音能之比率。材質之吸音係數因不同材質與頻率而異，因此在選擇吸音材料時，應針對噪音進行八音頻分析[24]。

依據本節所描述之噪音工程控制方法擬定邏輯選單流程圖如圖 62 所示。

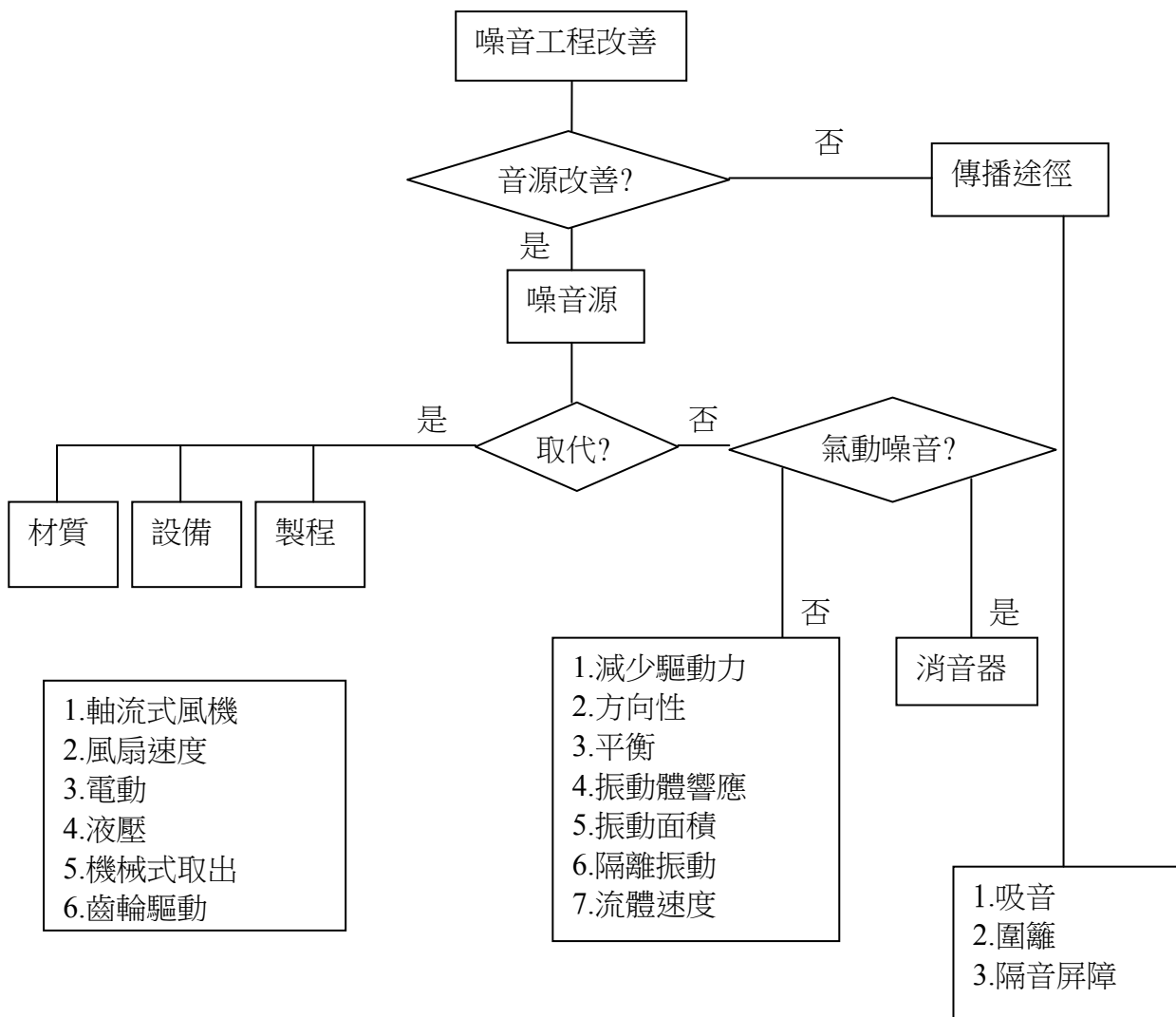


圖 62 噪音工程控制方法邏輯選單

第六章 噪音工程改善設計樣態

第一節 10 種噪音工程改善設計樣態

本年度以電腦模擬方式呈現改善前與改善後狀況提供事業單位參考，今年度已完成 10 種樣態，茲將本年度設計之 10 樣態依其噪音來源類型，整理成表 16。

表 16 10 種噪音工程改善設計樣態

編號	樣態名稱	噪音來源類型
1	空氣過濾器噪音改善	流體噪音
2	銅線伸線機噪音改善	原物料與機台機具接觸
3	分條機噪音改善	原物料與機台機具接觸
4	收料架噪音改善	原物料與機台機具接觸
5	拋光機出口端噪音改善	原物料與機台機具接觸
6	剪床噪音改善模擬	原物料與機台機具接觸
7	幫浦馬達噪音改善	傳動轉動設備產生之噪音
8	鼓風機噪音改善	傳動轉動設備產生之噪音
9	加工操作台噪音改善	複合噪音源
10	電弧爐操作室噪音	複合噪音源

在設計之前先於現場進行噪音量測，在測量時將視現場複雜程度有所不同，進行方式如下步驟，並將現場訪視 10 場次現場作業場所與檢測資料，以電腦軟體模擬現場實況與預期改善後之成效：

- 一、將區域內數個噪音源開啟與關閉，並分別量測噪音值與頻譜，決定最主要貢獻音源與可忽略音源。勿低估耳朵的辨識能力，有時儀器未能區辨的聲響，耳朵卻能聽出來自何處。
- 二、運用分貝疊加概念輔助噪音量測數據，量化決定個別噪音源的貢獻度。
- 三、活用 A 加權的效應來強調會增加 A 加權噪音值的聲音。
- 四、在多個位置近距離量測各個噪音源的頻譜值，詳細分析量測數據。或針對主要

改善機台進行量測，並視之為最主要貢獻音源。

- 五、計算噪音源大約的聲功率級，以排序或診斷推估噪音源的音壓級。
- 六、當估算聲音大小時應將室內狀況(室常數)納入考量，若室常數無法取得，或廠區空間較大，則將視為自由音場。
- 七、辨別與量化空氣音與結構音，以及傳播路徑。
- 八、如在工廠中無法將其他機台關閉時，則盡量靠近主要機台週圍進行量測，因該處噪音亦有可能為其他機台貢獻，此舉雖無法量得該機台實際數據，測得之數據可能高估該機台發出噪音。
- 九、改善計畫書撰寫，包含噪音包覆設計圖、噪音源改善前、後之電腦模擬狀態、噪音改善之成效-成本分析。
- 十、設計圖之限制。

在工廠作業場所中，因為有許多複雜的噪音來源，為了量測噪音而將工廠內所有機台停機來針對欲改善之機台作量測，實在是不可能的事，傳統的數學解析方法已難以克服，因此針對複雜形狀或含繁雜邊界條件的問題必須使用 CAE(computer-aided engineering)來解決。目前市售的 CAE 都具有強大的功能，可以幫助我們了解噪音問題的物理特性，進而分析問題而加以改善。當然，CAE 對於某些狀況(如環境太過複雜、各類應力獨特性、以及材料性質技術數據因不易取得而不確定等)可能無法得到很準確的答案，雖然如此，但噪音工程改善工程師仍舊可以藉由 CAE 的分析結果，得到許多噪音的物理趨勢與設計準則。

一般整合性的 CAE 軟體應用範圍很廣，舉凡聲學分析、振動分析、熱傳分析、流體流場分析、電磁場分析、塑膠射出成型流動分析等，軟體元件一般包含前處理器、求解器、後處理器三部份，目前有許多軟體專攻前、後處理功能，但無求解器，如 FEMAP、HYPERMESH、ICEM CFD、MSC.PATRAN、TrueGrid 等，上述軟體可同時針對多種 CAE 軟體介面做輸出、輸入。亦有些 CAE 軟體只有求解程式，必須搭配上上述之前、後處理軟體，才能形成一個完整系統。也就是 CAD/CAM/CAE 整合系統，例如 Pro/ENGINEER 加上其 CAE 模組 Pro/MECHANICA，或是 I-DEAS 加入 CAE 模擬模組等，可將產生之有限元素網格輸出，匯入其他 CAE 軟體，再做分析。

CAE 軟體也可分成廣用型(general-purpose)與特殊型(special-purpose)軟體。特殊

型軟體功能較專業，廣用型軟體的分析領域廣、功能多，可高度活用如 ABAQUS、ADINA、ALGOR、ANSYS、COSMOS、MSC.MARC、MSC.NASTRAN 等，特殊型軟體是特別為了某種分析而設計，如土木結構分析軟體 STAAD.Pro 和版金成型分析軟體 eta/DYNAFORM 等。

本研究使用 SOLIDWORKS 進行幾何製作，以 ABAQUS 進行聲學模擬，該軟體可解決問題的範圍從相對簡單的線性分析到許多複雜的非線性問題。可以類比金屬、橡膠、高分子材料、複合材料、鋼筋混凝土、可壓縮超彈性泡沫材料。也可以類比其他工程領域的許多問題，例如熱傳導、品質擴散、熱電耦合分析、聲學分析、岩土力學分析(流體滲透/應力耦合分析)及壓電介質分析。除了上述功能強大的優點外，ABAQUS 軟體的簡化操作性也比其它分析軟體方便。可如同 Solidworks 操作介面般進行局部修改條件以及參數值，再直接進行 Job 的求解器求解即可。

ABAQUS 的網格建立技術，不僅依模型的幾何形狀選擇不同模型元素，可以有效縮短求解時間，並確保分析精度及準確性 ABAQUS 將以 TIE 連接的方式模擬耦合現象。網格是用漸變的在聲場接近結構的部分，依結構網格的密度而加密。在 Module 模組表單下選擇網格(mesh)模組，對於模型進行網格分割，網格設定所需的參數將決定網格的大小、形狀，且疏密度會影響到分析的正確性以及時間的效益性等等。因應本次設計模態每個模型的尺寸不同也就是說，網格尺寸不一，根據幾何特徵的狀況而變化。在邊界層的地方會做加密網格的動作，在近音場處約為 10~25mm，遠音場約為 60~450mm。

一、空氣過濾器噪音改善

鋼鐵廠為冷卻鋼鐵時，需將空氣淨化後再送至冷卻區，於過濾過程中會於濾網處產生噪音，該工廠已有進行四方型包覆但是效果不佳，如圖 63 所示。過濾過程中會於濾網處產生噪音，現將機台表面設為同一面音源，於該過濾器上方 25 公分處進行噪音量測之頻譜分析如表 17，以 1.50mm 之 steel 為基材進行包覆，該材質之穿透損失如表 18，詳細設計圖如圖 64 並整理改善前、後音場模擬比較如圖 65，改善後之噪音頻譜分析如表 19，並擷取噪音改善降低值進行成本分析，表 40 呈現本節所有案例之噪音改善樣態之成本/效益分析結果。

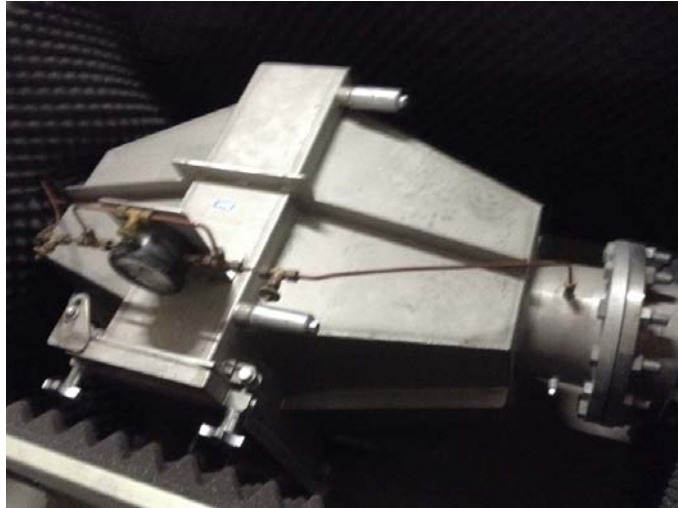


圖 63 空氣過濾器

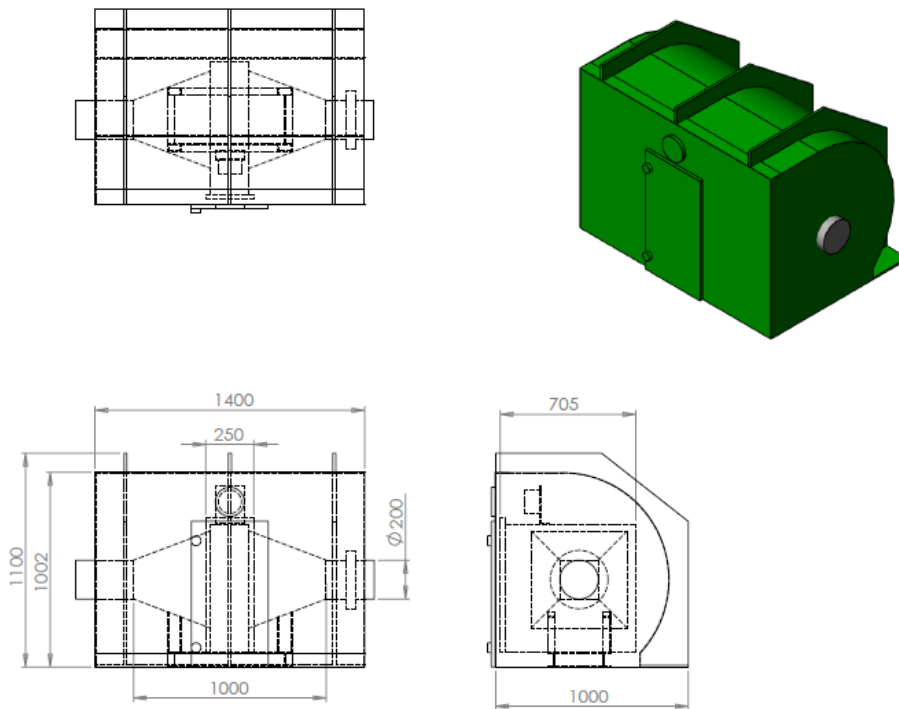


圖 64 空氣過濾器包覆設計圖

表 17 空氣過濾器噪音頻譜

空氣過濾器 噪音頻譜	Frequency (Hz)							
	單位	125	250	500	1,000	2,000	4,000	8,000
	dB	73	78	83	85	74	68	64
Pa	8.93E-02	1.59E-01	2.83E-01	3.56E-01	1.00E-01	5.02E-02	3.17E-02	

表 18 1.50mm 之 steel 穿透損失

Material	Frequency (Hz)							
	單位	125	250	500	1,000	2,000	4,000	8,000
1.50mm , Steel transmission loss	dB	21	30	34	37	40	47	52
	Pa	2.24E-04	6.32E-04	1.00E-03	1.42E-03	2.00E-03	4.48E-03	7.96E-03

表 19 空氣過濾器包覆後噪音頻譜分析

空氣過濾器	Frequency (Hz)								
	單位	125	250	500	1,000	2,000	4,000	8,000	Leq
	dB	63.2	60.0	56.0	55.0	40.0	38.0	32.0	65.8
	Pa	2.89E-02	2.00E-02	1.26E-02	1.12E-02	2.00E-03	1.59E-03	7.96E-04	3.91E-02

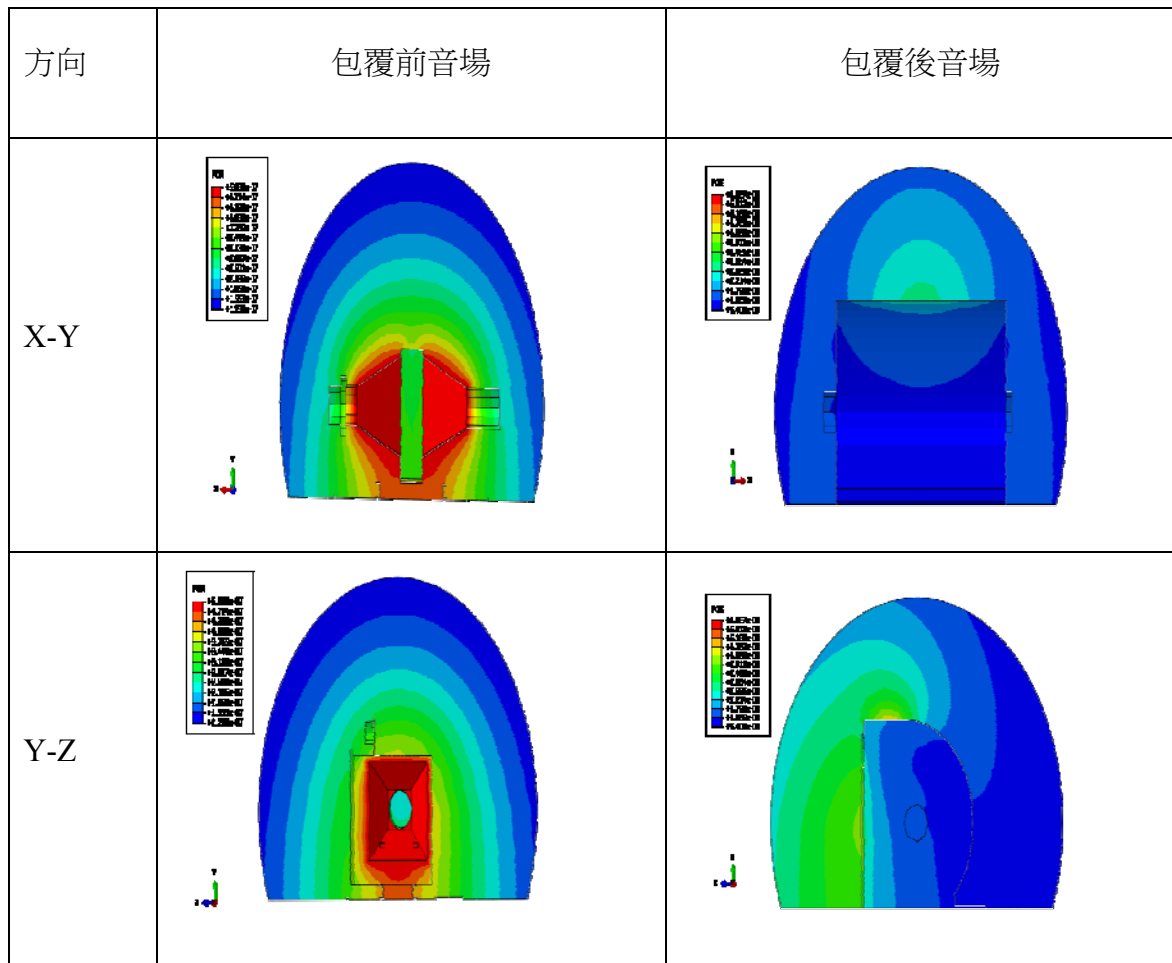


圖 65 空氣過濾器包覆前後音場比較(1,000Hz 為例)

二、銅線伸線機噪音改善

機台內滾輪依線徑由粗到細進行拉伸。機台內有三到四個滾輪依作業需求安裝，線徑變化越大噪音越大，如圖 66。現將機台表面設為一面音源，於機台側面 30 公分處測得頻譜分析結果如表 20，以 1.50mm 之 steel 為基材進行包覆，詳細設計圖如圖 67，整理改善前、後音場模擬比較如圖 68，改善後之噪音頻譜分析如表 21。



圖 66 銅線伸線機

表 20 銅線伸線機噪音頻譜

銅線伸線機 噪音頻譜	Frequency (Hz)							
	單位	125	250	500	1,000	2,000	4,000	8,000
	dB	76	85	80	79	77	75	78
Pa	1.26E-01	3.56E-01	2.00E-01	1.78E-01	1.42E-01	1.12E-01	1.59E-01	

表 21 銅線伸線機改善後之噪音頻譜分析

銅線伸線機	Frequency (Hz)								
	單位	125	250	500	1,000	2,000	4,000	8,000	Leq
	dB	50	54	55	58	58	52	44	63.25
Pa	6.32E-03	1.00E-02	1.12E-02	1.59E-02	1.59E-02	7.96E-03	3.17E-03	2.91E-02	

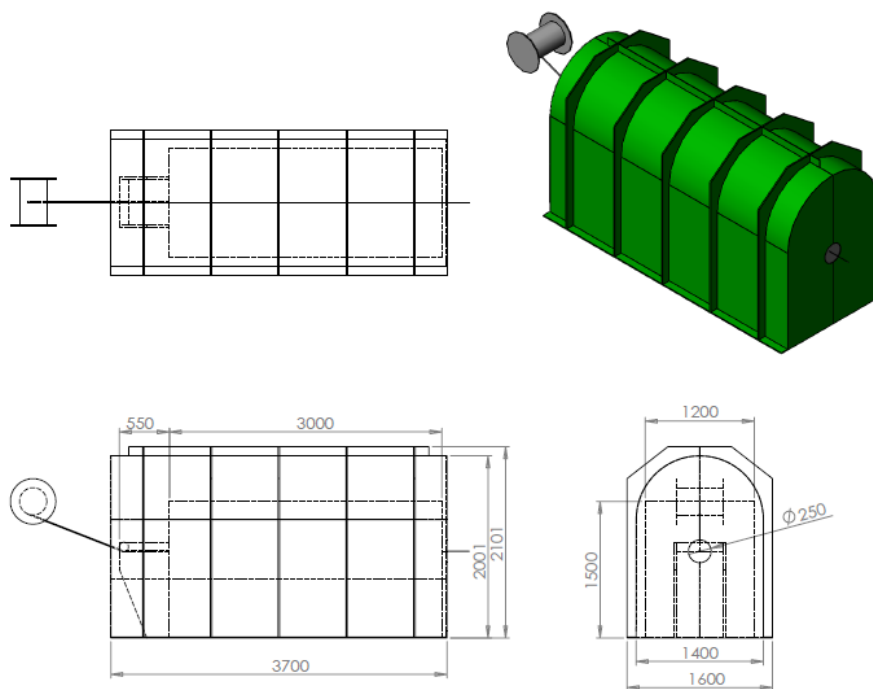


圖 67 銅線伸線機包覆設計圖

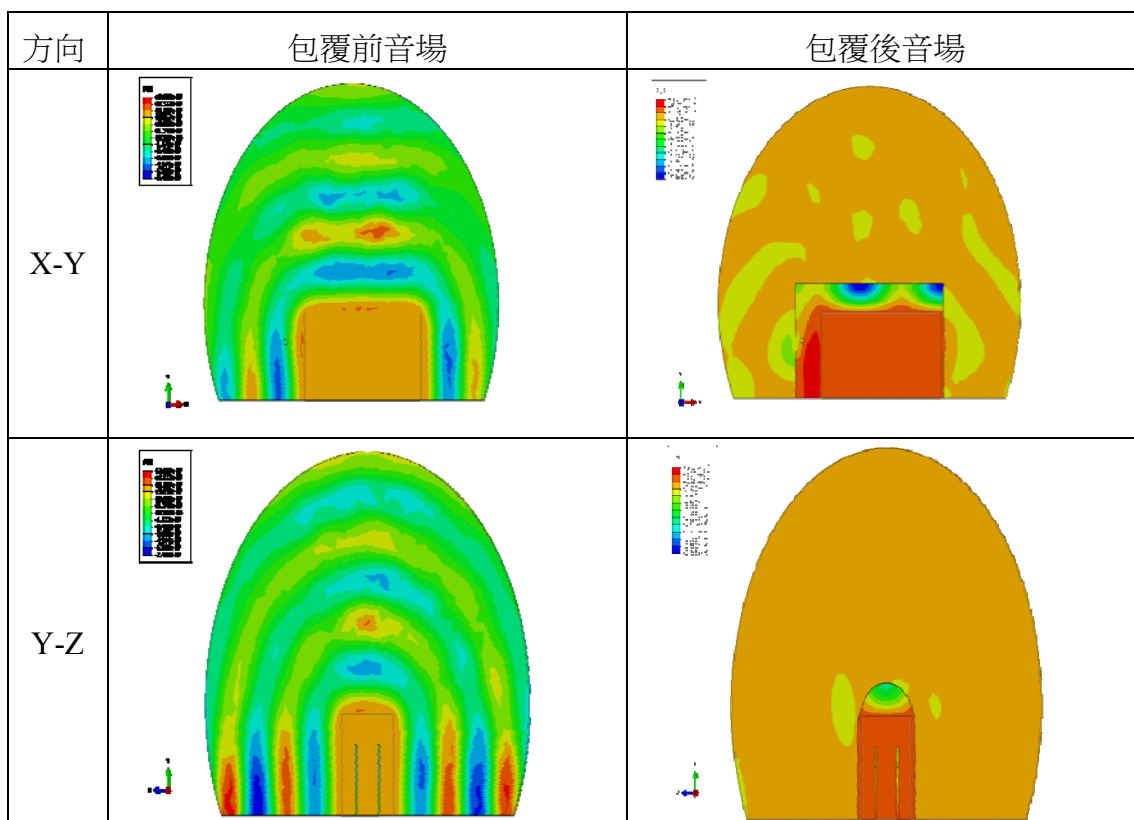


圖 68 銅線伸線機包覆前後音場比較(500Hz 為例)

三、分條機噪音改善

分條機主要噪音來源為機台內切刀模組與鋼材接觸，在進行切割分離時所產生。機台內有 4-5 個切刀模組，依作業需求安裝如圖 69。現將機台切刀模組與鋼材表面接觸處設為一線音源(上滾輪刀組底部切線處)，於滾輪與鋼材接觸處水平距離 60 公分處量測噪音，頻譜分析結果如表 22，以 1.50mm 之 steel 為基材進行包覆，詳細設計圖如圖 70，整理改善前、後音場模擬比較如圖 71，改善後之噪音頻譜分析如表 23。



圖 69 分條機

表 22 分條機噪音頻譜

分條機組 噪音頻譜	單位	Frequency (Hz)						
		125	250	500	1,000	2,000	4,000	8,000
	dB	80	77	85	86	88	92	88
Pa	2.00E-01	1.42E-01	3.56E-01	3.99E-01	5.02E-01	7.96E-01	5.02E-01	

表 23 分條機改善後之噪音頻譜分析

分條機組	單位	Frequency (Hz)							
		125	250	500	1,000	2,000	4,000	8,000	Leq
dB	63	58	59	56	53	50	46	66.2	
Pa	2.83E-02	1.59E-02	1.78E-02	1.26E-02	8.93E-03	6.32E-03	3.99E-03	4.08E-02	

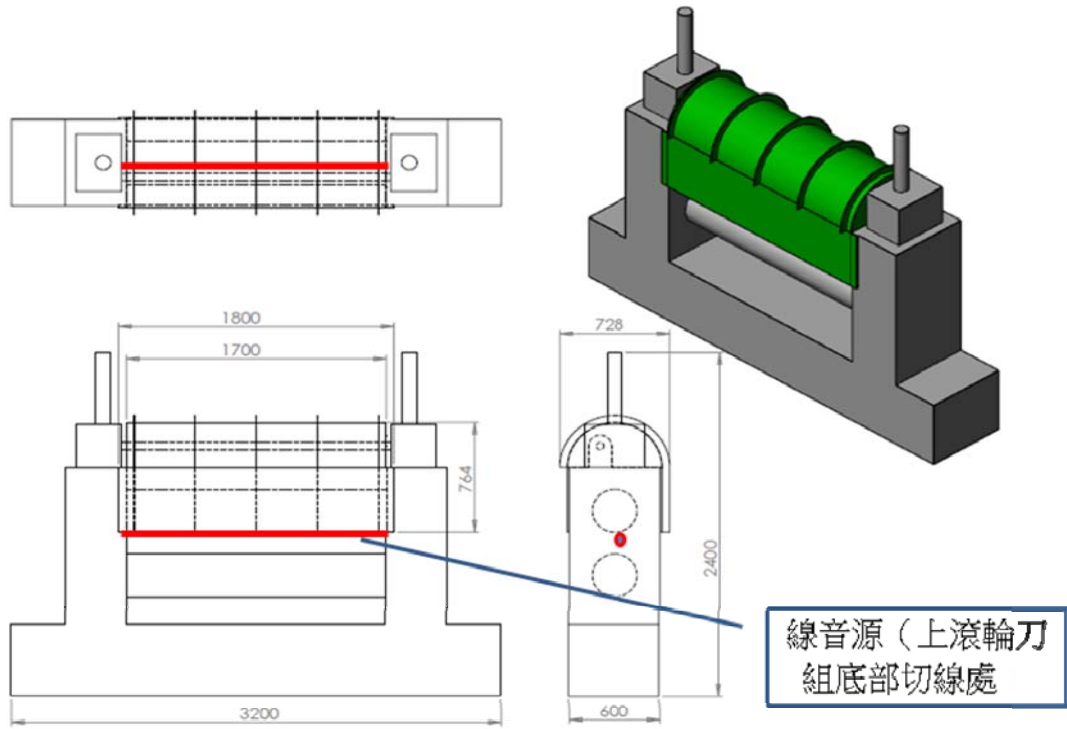


圖 70 分條機包覆設計圖

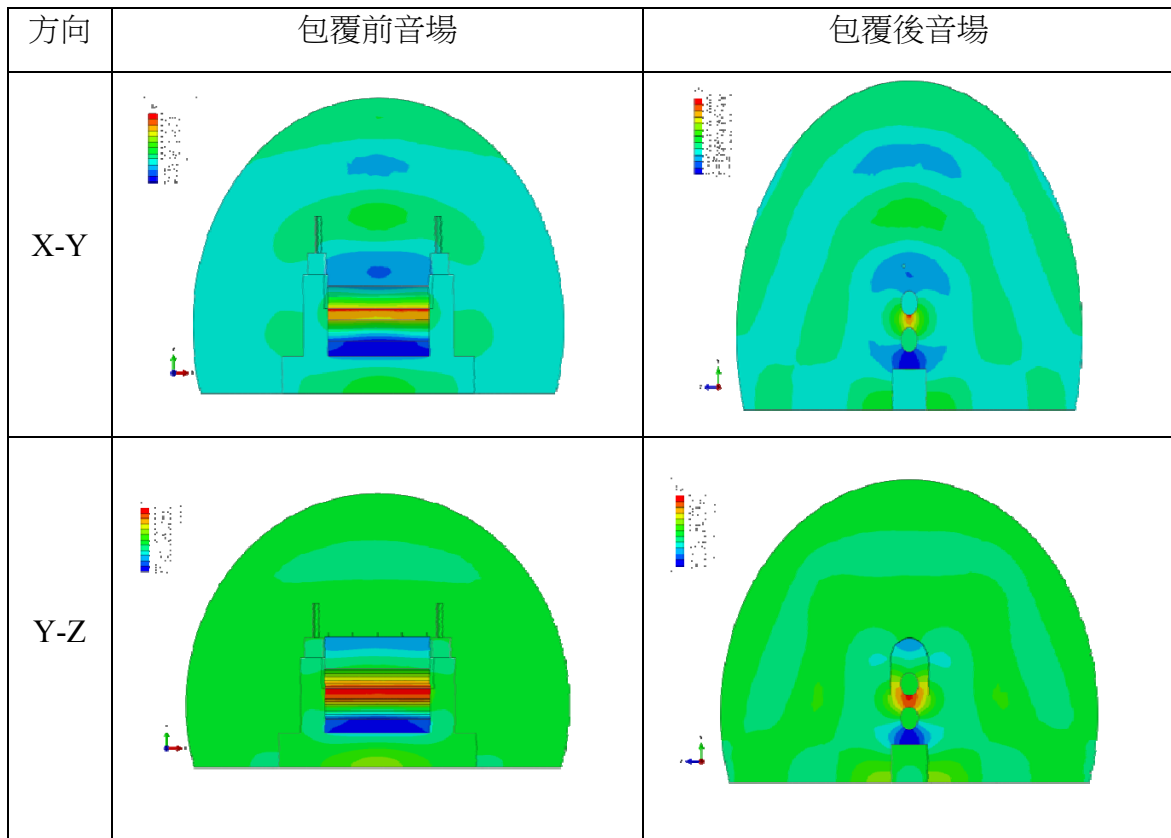


圖 71 分條機包覆前後音場比較(500Hz 為例)

四、收料架噪音改善

收料架於收料時需以分離滾輪將分條機刀組分開之鋼條依尺寸進行捲收，捲收時鋼材與滾輪磨擦使鋼帶振動而產生極高噪音，機台內有四到五個收料分離滾輪，依分條機刀組作業需求安裝如圖 72。現將機台切刀模組與鋼材表面接觸處設為一線音源(上滾輪刀組底部切線處)，於滾輪與鋼材接觸處水平距離 60 公分處量測噪音，頻譜分析結果如表 24，以 1.50mm 之 steel 為基材進行包覆，詳細設計圖如圖 73，整理改善前、後音場模擬比較如圖 74，改善後之噪音頻譜分析如表 25。



圖 72 分條機

表 24 收料架噪音頻譜

收料架 噪音頻譜	Frequency (Hz)							
	單位	125	250	500	1,000	2,000	4,000	8,000
	dB	78	78	80	83	85	95	88
Pa	1.59E-01	1.59E-01	2.00E-01	2.83E-01	3.56E-01	1.12E+00	5.02E-01	

表 25 收料架改善後之噪音頻譜分析

收料機組	Frequency (Hz)								
	單位	125	250	500	1,000	2,000	4,000	8,000	Leq
	dB	53	55	56	59	50	45	40	62.7
Pa	8.93E-03	1.12E-02	1.26E-02	1.78E-02	6.32E-03	3.56E-03	2.00E-03	2.72E-02	

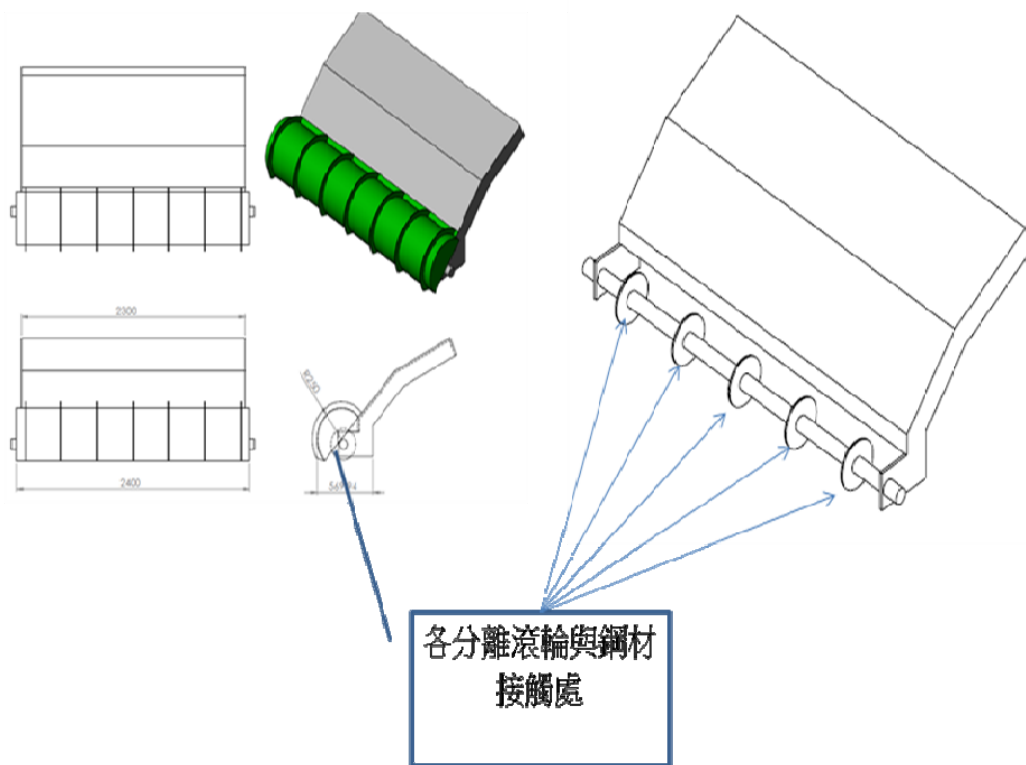


圖 73 收料架包覆設計圖

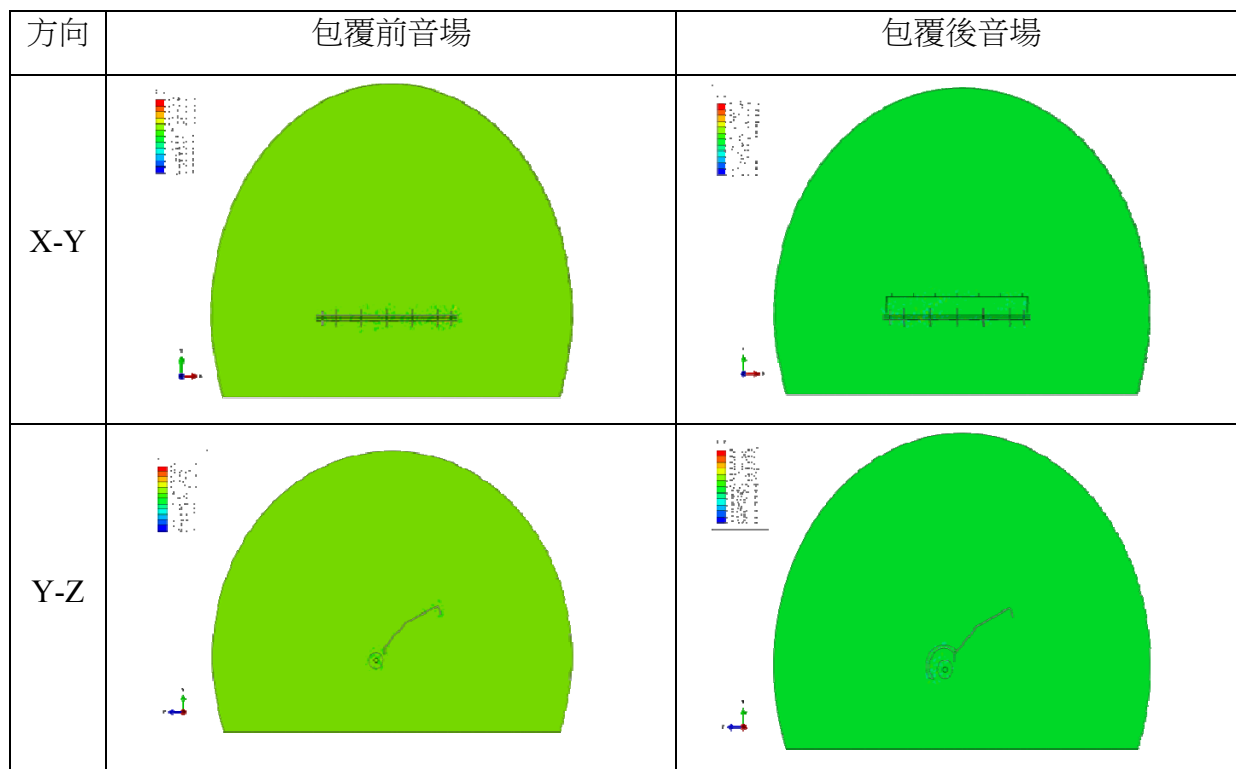


圖 74 收料架包覆前後音場比較(500Hz 為例)

五、 拋光機出口端噪音改善

拋光機於初料拋光至完整拋光作業間產生極大高頻噪音，拋光完畢後會將光面管以自由落體方式掉入收料架。噪音主要來自於拋光時鋼管因摩擦所產生之共振噪音，以及掉入收料架時之碰撞噪音。因此，建議在拋光過程中，針對鋼管拋光區域進行包覆，將噪音與勞工常駐作業區隔離，如圖 75 所示。拋光進行至鋼管長度 1/2 時，其噪音值最大，頻率也最高。現將鋼管表面設為面音源，於鋼管方上 30 公分處量測噪音，頻譜分析結果如表 26，以 1.50mm 之 steel 為基材進行包覆，詳細設計圖如圖 76，整理改善前、後音場模擬比較如圖 77，改善後之噪音頻譜分析如表 27。



圖 75 拋光機出口端

表 26 拋光機噪音頻譜

拋光機 出口端 噪音頻譜	單位	Frequency (Hz)						
		125	250	500	1,000	2,000	4,000	8,000
	dB	78	80	85	94	95	98	88
Pa	1.59E-01	2.00E-01	3.56E-01	1.00E+00	1.12E+00	1.59E+00	5.02E-01	

表 27 拋光機出口端改善後之噪音頻譜分析

拋光機 出口端	單位	Frequency (Hz)							
		125	250	500	1,000	2,000	4,000	8,000	Leq
dB	74	76	77	80	78	76	76	85.5	
Pa	1.00E-01	1.26E-01	1.42E-01	2.00E-01	1.59E-01	1.26E-01	1.26E-01	3.78E-01	

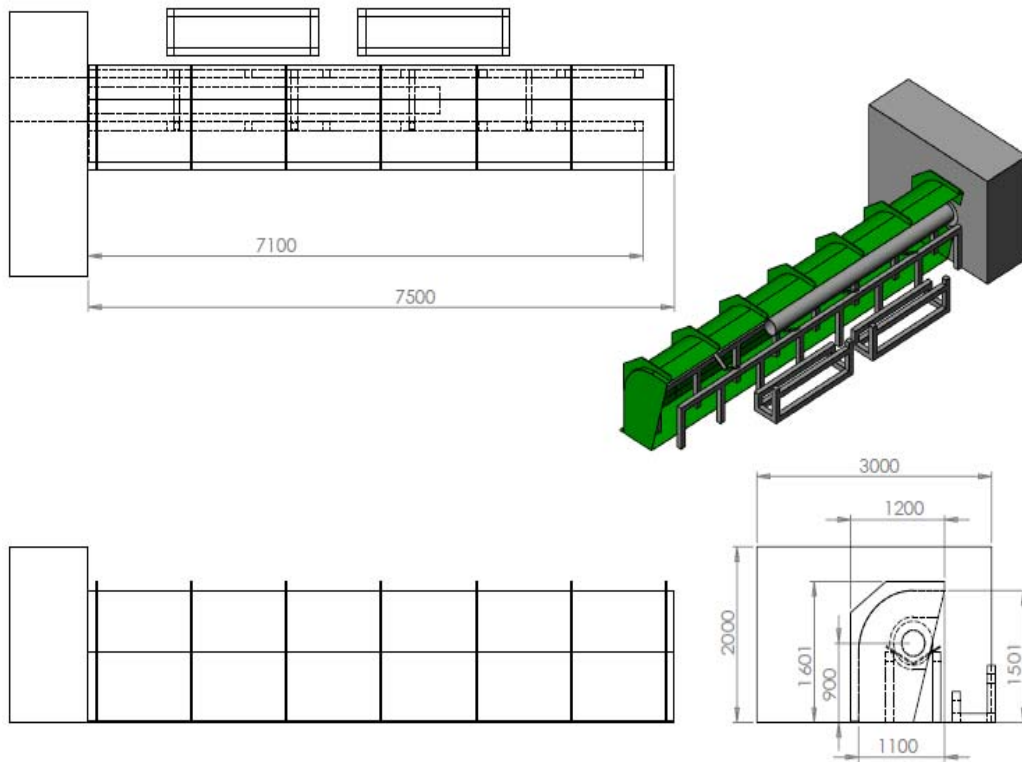


圖 76 拋光機出口端包覆設計圖

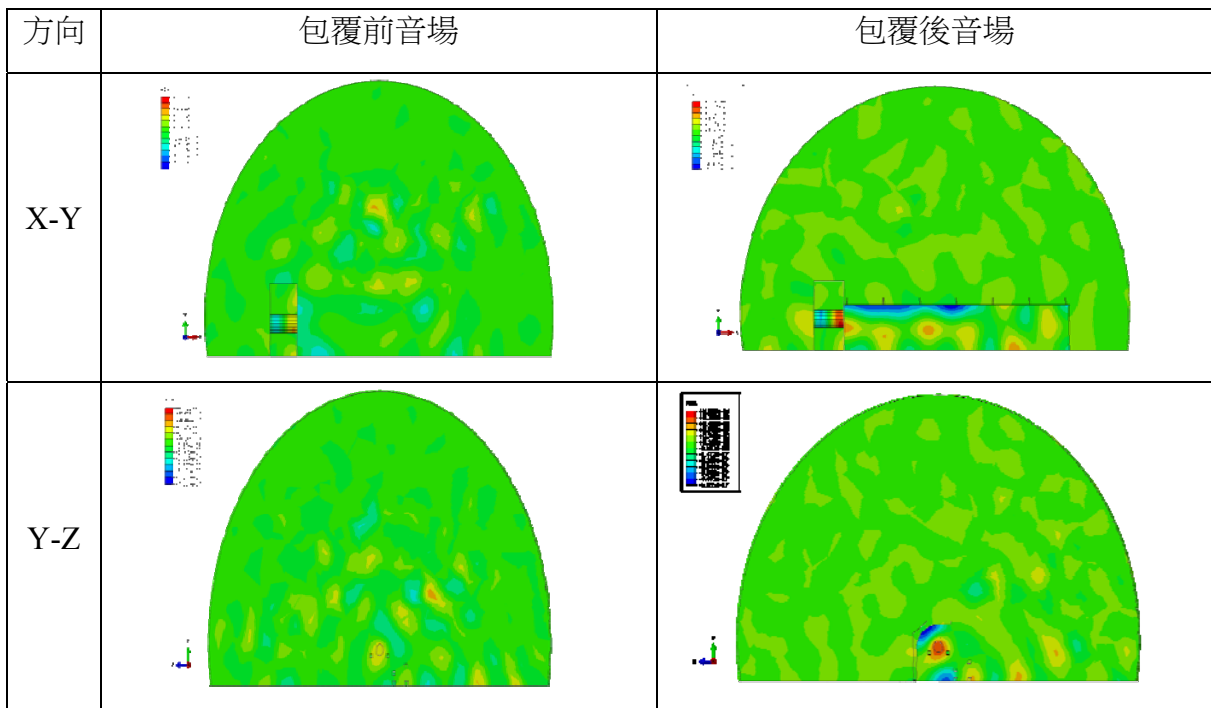


圖 77 拋光機出口端包覆前後音場比較(500Hz 為例)

六、剪床機噪音改善

作業場所使用剪床機進行鋼板剪斷作業，機台在運作過程中，會因為傳動機本身以及轉動皮帶產生噪音，如圖 78。為防止勞工暴露於擠、夾、捲之危害，將齒輪與皮帶部分包覆。此外，為提升噪音的包覆效果，減低勞工噪音暴露，因此將本機台以增加自由共振面之方式進行包覆。於左側齒輪碰撞、右側皮帶與齒輪接觸兩點(上 A 下 B)各 10 公分處測得之噪音頻譜分析如表 28，模擬時將各接觸處設為點音源。以 1.50 mm 之 steel 為基材進行包覆，詳細設計圖如圖 79，整理改善前、後音場模擬比較如圖 80，改善後之噪音頻譜分析如表 29。



圖 78 剪床機

表 28 剪床機噪音頻譜

剪床機	Frequency(Hz)							
	單位	125	250	500	1,000	2,000	4,000	8,000
齒輪接觸處 噪音頻譜	dB	65	70	75	77	79	74	72
	Pa	3.56E-02	6.32E-02	1.12E-01	1.42E-01	1.78E-01	1.00E-01	7.96E-02
皮帶 A 接觸 處噪音頻譜	dB	65	70	73	76	78	76	72
	Pa	3.56E-02	6.32E-02	8.93E-02	1.26E-01	1.59E-01	1.26E-01	7.96E-02
皮帶 B 接觸 處噪音頻譜	dB	67	68	73	75	77	76	72
	Pa	4.48E-02	5.02E-02	8.93E-02	1.12E-01	1.42E-01	1.26E-01	7.96E-02

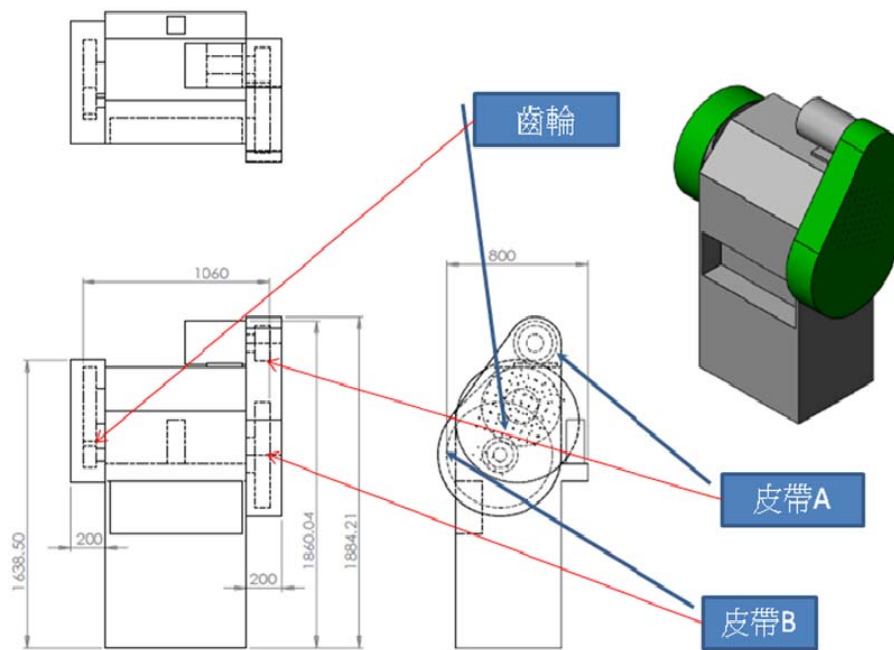


圖 79 剪床機出口端包覆設計圖

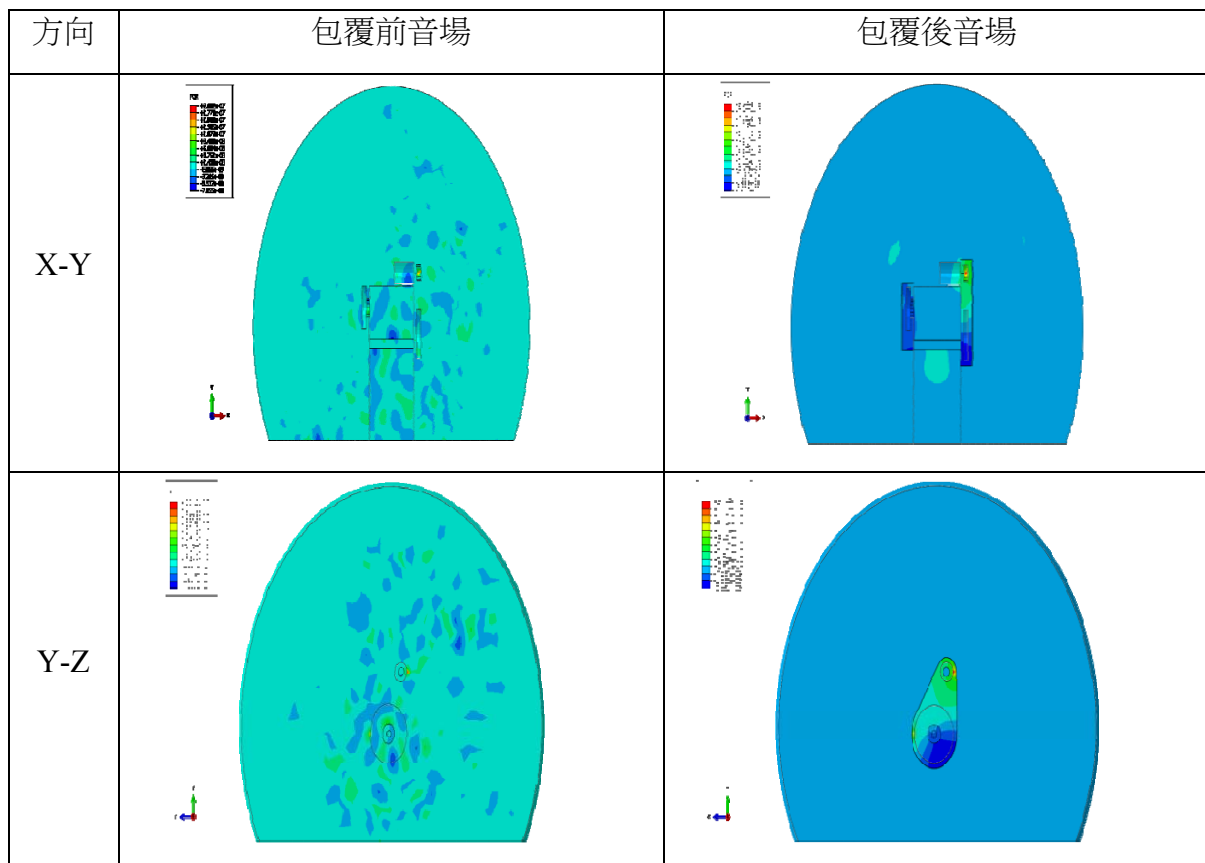


圖 80 剪床機出口端包覆前後音場比較(1,000Hz 為例)

表 29 剪床機改善後之噪音頻譜分析

剪床機	單位	Frequency (Hz)							
		125	250	500	1,000	2,000	4,000	8,000	Leq
齒輪接觸處	dB	64	60	61	60	59	57	40	68.5
	Pa	3.17E-02	2.00E-02	2.24E-02	2.00E-02	1.78E-02	1.42E-02	2.00E-03	5.32E-02
皮帶 A 接觸處	dB	64	60	58	59	59	59	40	68.2
	Pa	3.17E-02	2.00E-02	1.59E-02	1.78E-02	1.78E-02	1.78E-02	2.00E-03	5.11E-02
皮帶 B 接觸處	dB	66	58	59	58	57	59	40	68.7
	Pa	3.99E-02	1.59E-02	1.78E-02	1.59E-02	1.42E-02	1.78E-02	2.00E-03	5.42E-02

七、幫浦馬達噪音改善

幫浦馬達噪音主要來源為機台內軸心運轉時所產生之噪音，轉速越快噪音越大，如圖 81。為防止勞工暴露於擠、夾、捲之危害，現將單一台馬達表面設為一面音源，於機台上方 25 公分處測得頻譜分析結果如表 30。以 1.50 mm 之 steel 為基材進行包覆，詳細設計圖如圖 82，整理改善前、後音場模擬比較如圖 83，改善後之噪音頻譜分析如表 31。



圖 81 油壓機組

表 30 幫浦馬達噪音頻譜

幫浦馬達 噪音頻譜	單位	Frequency (Hz)						
		125	250	500	1,000	2,000	4,000	8,000
	dB	83	84	82	79	76	76	78
	Pa	2.83E-01	3.17E-01	2.52E-01	1.78E-01	1.26E-01	1.26E-01	1.59E-01

表 31 幫浦馬達改善後之噪音頻譜分析

幫浦馬達	單位	Frequency (Hz)							
		125	250	500	1,000	2,000	4,000	8,000	Leq
	dB	64	65	71	72	68	64	60	76.4
	Pa	3.17E-02	3.56E-02	7.10E-02	7.96E-02	5.02E-02	3.17E-02	2.00E-02	1.33E-01

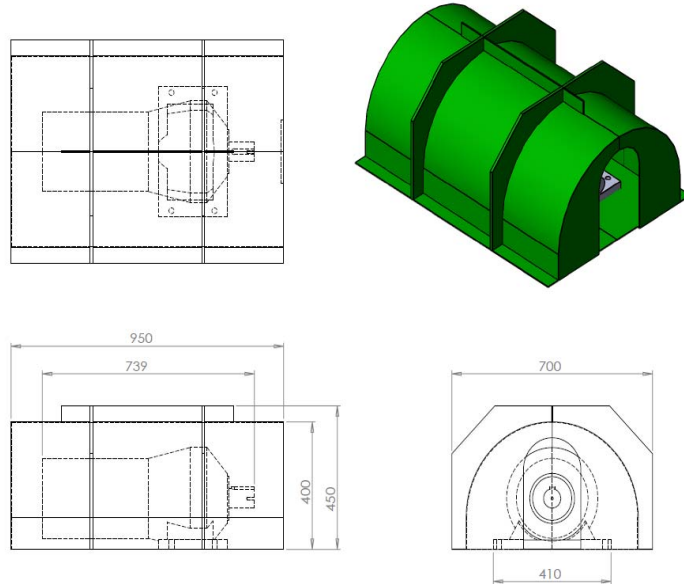


圖 82 幫浦馬達包覆設計圖

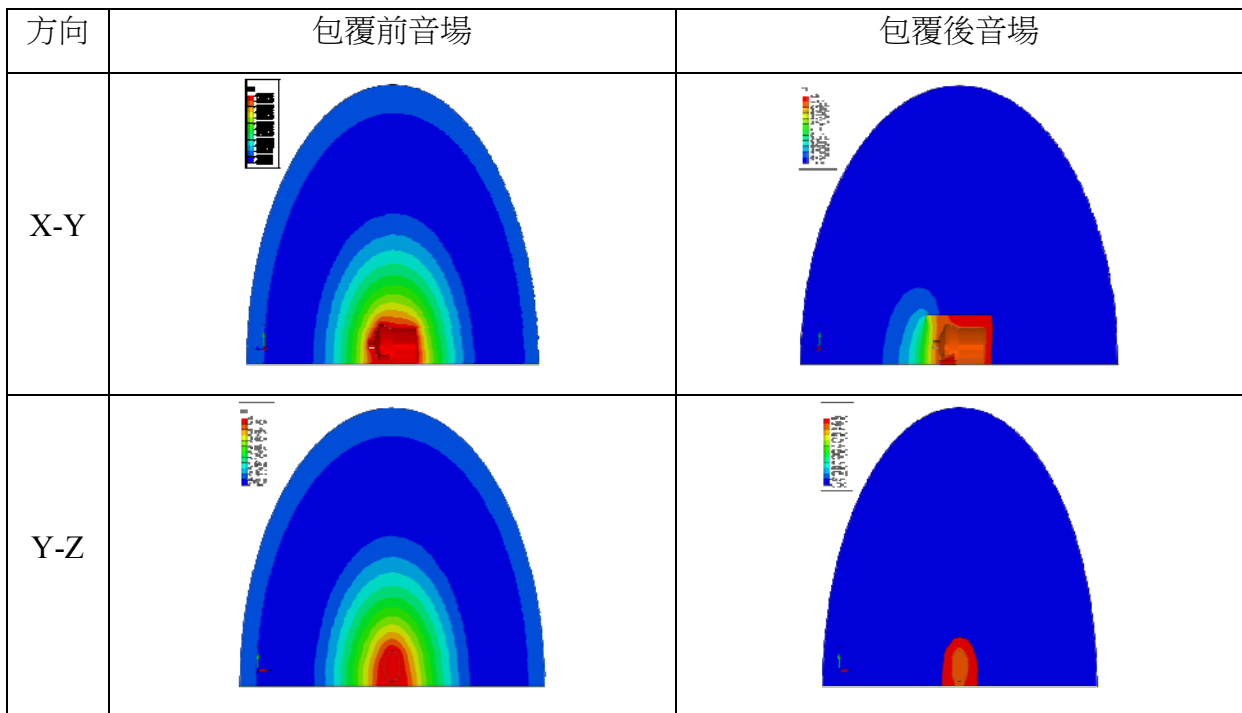


圖 83 幫浦馬達包覆前後音場比較(1,000Hz 為例)

八、鼓風機組噪音改善

工作場所經常使用鼓風機進行流體動力傳輸，機台在運作過程中，會因為傳動機本身、轉動皮帶以及流體流向變化等原因而產生噪音，如圖 84。為減低勞工噪音暴露，因此將整台鼓風機組進行包覆隔離，但因進氣口處需吸引外氣，因此該部分無法包覆。於距傳動馬達 10 公分處測得之噪音頻譜分析如表 32，模擬時將整台機組(除進氣口處以外)表面設為面音源。以 1.50 mm 之 steel 為基材進行包覆，詳細設計圖如圖 85，整理改善前、後音場模擬比較如圖 86，改善後之噪音頻譜分析如表 33。



圖 84 鼓風機組

表 32 鼓風機組噪音頻譜

鼓風機組 噪音頻譜	Frequency (Hz)							
	單位	125	250	500	1,000	2,000	4,000	8,000
	dB	63	70	80	82	75	70	63
Pa	2.83E-02	6.32E-02	2.00E-01	2.52E-01	1.12E-01	6.32E-02	2.83E-02	

表 33 鼓風機組改善後噪音頻譜分析

鼓風機組	Frequency (Hz)								
	單位	125	250	500	1,000	2,000	4,000	8,000	Leq
	dB	52	54	66	66	56	46	44	69.5
Pa	7.96E-03	1.00E-02	3.99E-02	3.99E-02	1.26E-02	3.99E-03	3.17E-03	5.94E-02	

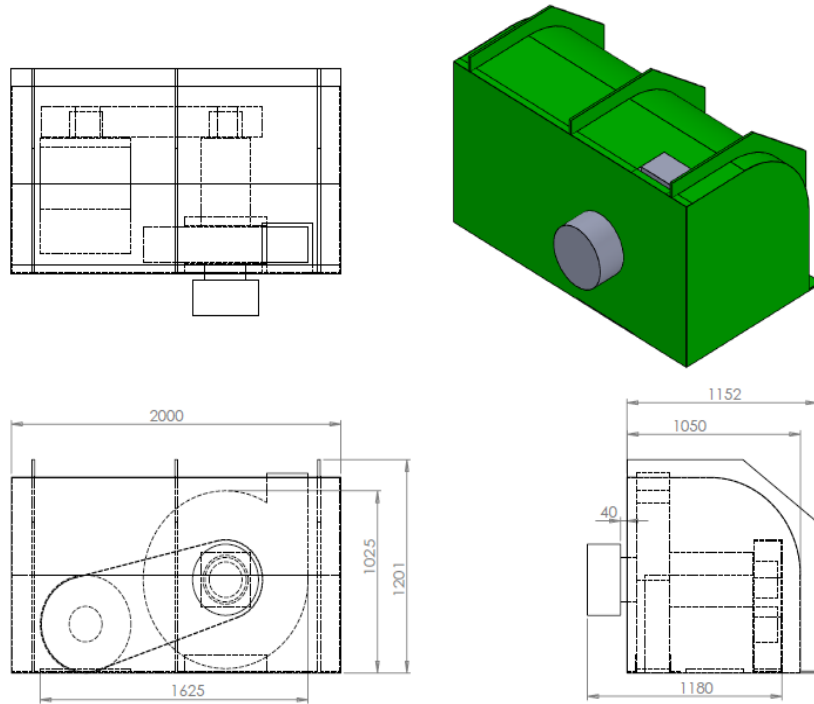


圖 85 鼓風機組包覆設計圖

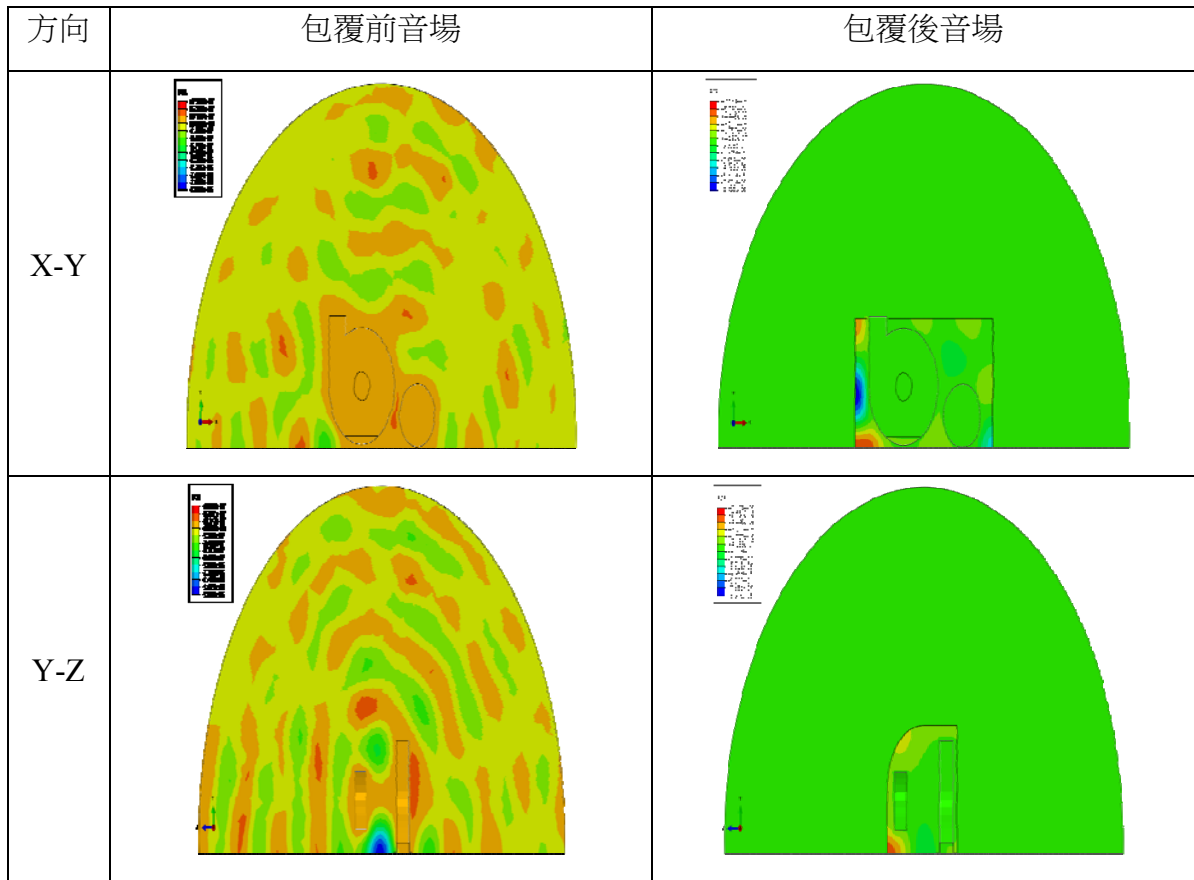


圖 86 鼓風機組包覆前後音場比較(500Hz 為例)

九、加工操作台噪音改善

勞工使用手工具於工作台進行敲擊、打磨等作業，操作過程中會因為手工具與原物料撞擊產生噪音，如圖 87。在工作台之中心點將勞工操作之手工具噪音設為點音源，頻譜分析如表 34。加工品需以天車吊入工作台，因此設計為半手套箱方式，檯面下加裝抽氣裝置，詳細設計圖如圖 88。操作台壁面為 1.50mm 之 steel，觀察窗為 6.35mm 玻璃進行包覆，該二材質之穿透損失如表 35。整理改善前、後音場模擬比較如圖 89，改善後之噪音頻譜分析如表 36。



圖 87 加工操作台

表 34 加工操作台噪音頻譜

工作台 噪音頻譜	單位	Frequency (Hz)						
		125	250	500	1,000	2,000	4,000	8,000
	dB	65	70	83	81	78	73	68
	Pa	3.56E-02	6.32E-02	2.83E-01	2.24E-01	1.59E-01	8.93E-02	5.02E-02

表 35 加工操作台使用材料之穿透損失

材料	Frequency (Hz)							
	單位	125	250	500	1,000	2,000	4,000	8,000
1.50 mm Steel 穿透損失	dB	21	30	34	37	40	47	52
	Pa	2.24E-04	6.32E-04	1.00E-03	1.42E-03	2.00E-03	4.48E-03	7.96E-03
1.35 mm 厚玻璃 穿透損失	dB	17	23	25	27	28	29	30
	Pa	1.42E-04	2.83E-04	3.56E-04	4.48E-04	5.02E-04	5.64E-04	6.32E-04

表 36 加工操作台改善後之噪音頻譜分析

加工 操作台	Frequency (Hz)								
	單位	125	250	500	1,000	2,000	4,000	8,000	Leq
	dB	62	60	65	64	58	46	36	69.5
	Pa	2.52E-02	2.00E-02	3.56E-02	3.17E-02	1.59E-02	3.99E-03	1.26E-03	5.98E-02

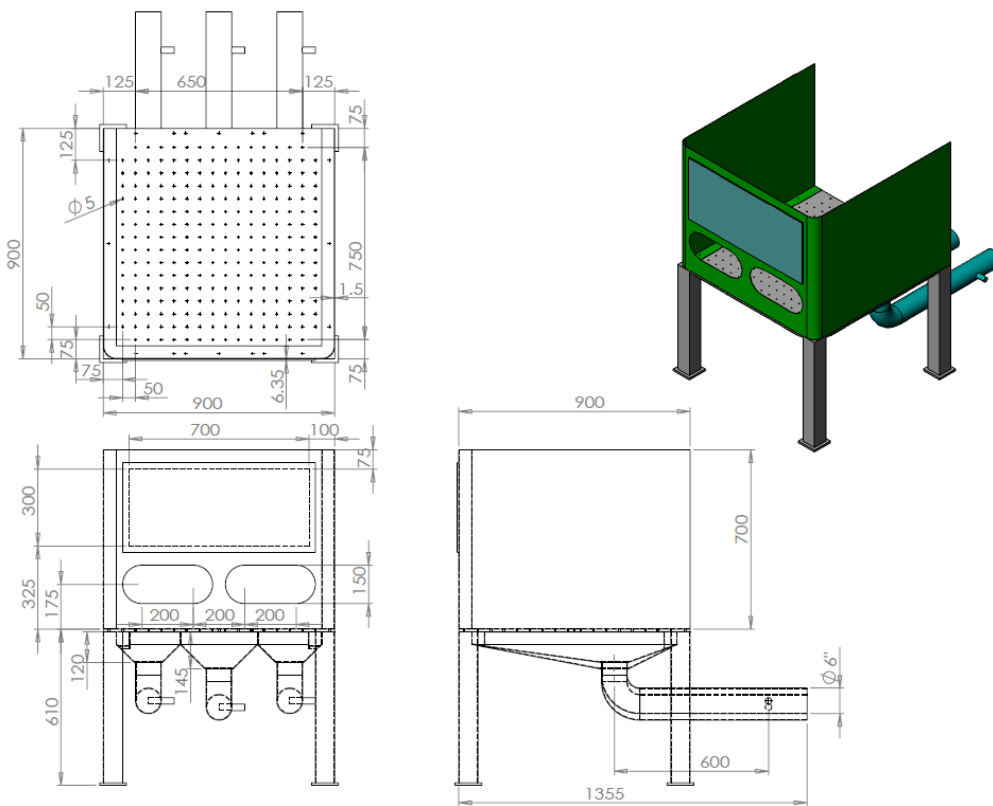


圖 88 加工操作台包覆設計圖

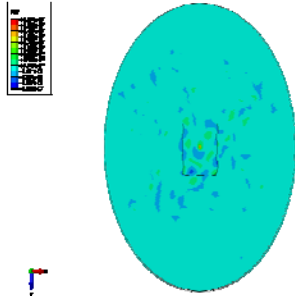
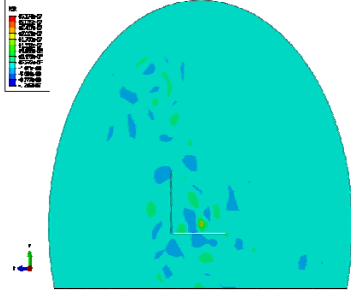
方向	包覆前音場	包覆後音場
X-Z	為一點音源，所以未模擬	
Y-Z	為一點音源，所以未模擬	

圖 89 加工操作台包覆前後音場比較(1,000Hz 為例)

十、電弧爐操作室噪音改善

鋼鐵廠使用電弧產生的高熱可以熔化或是汽化所有金屬，電弧是由於電場過強，氣體發生電崩潰而持續形成電漿體，使得電流通過通常狀態下的絕緣介質(如空氣)的現象。因無法進行機台包覆，改以人員隔離至操作室方式進行防護，目前該事業單位已經有設置操作隔離室，如圖 90，但其隔離效果不彰，因此本設計樣態在設計與模擬時，除依據該事業單位之原有圖面進行更換材料外，並另行設計一操作室樣態，設計圖如圖 91，供該事業單位參考。將電弧爐之噪音設為點音源，頻譜分析如表 37。操作室牆面為雙層防火石膏板 50mm 厚為基材，觀察窗為 6.35mm(12.7mm air gap) 之雙層玻璃進行包覆，該二材質之穿透損失如表 38。整理改善前、後音場模擬比較如圖 92，改善後之噪音頻譜分析如表 39。

表 37 電弧爐噪音頻譜

電弧爐 噪音頻譜	單位	Frequency (Hz)						
		125	250	500	1,000	2,000	4,000	8,000
	dB	75	85	98	100	102	95	93
	Pa	1.12E-01	3.56E-01	1.59E+00	2.00E+00	2.52E+00	1.12E+00	8.93E-01

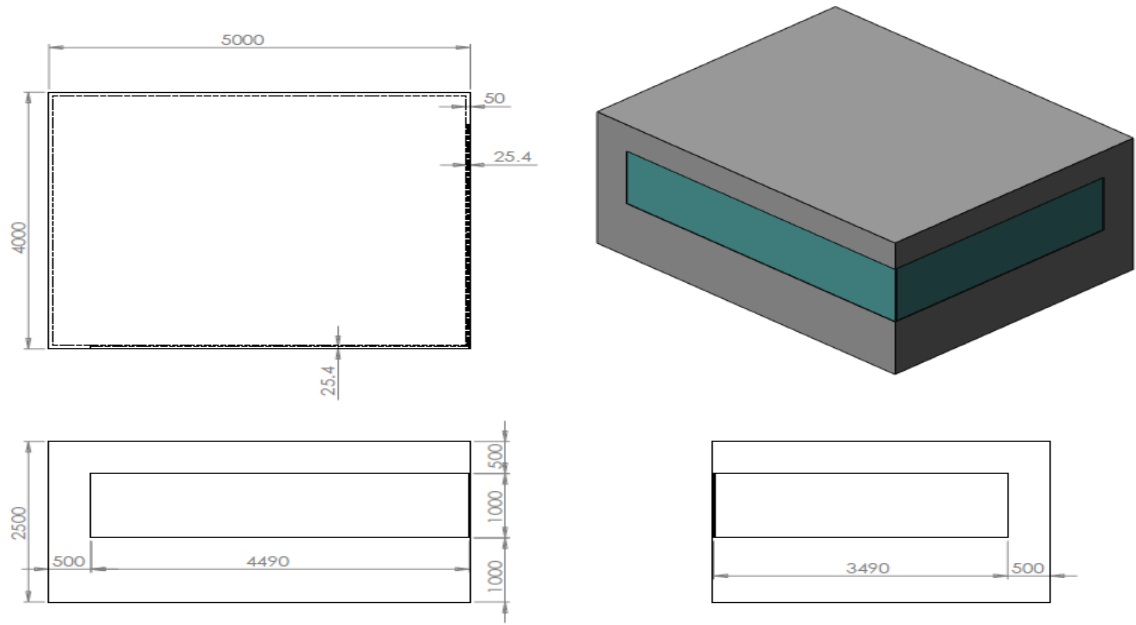


圖 90 原有操作室設計圖

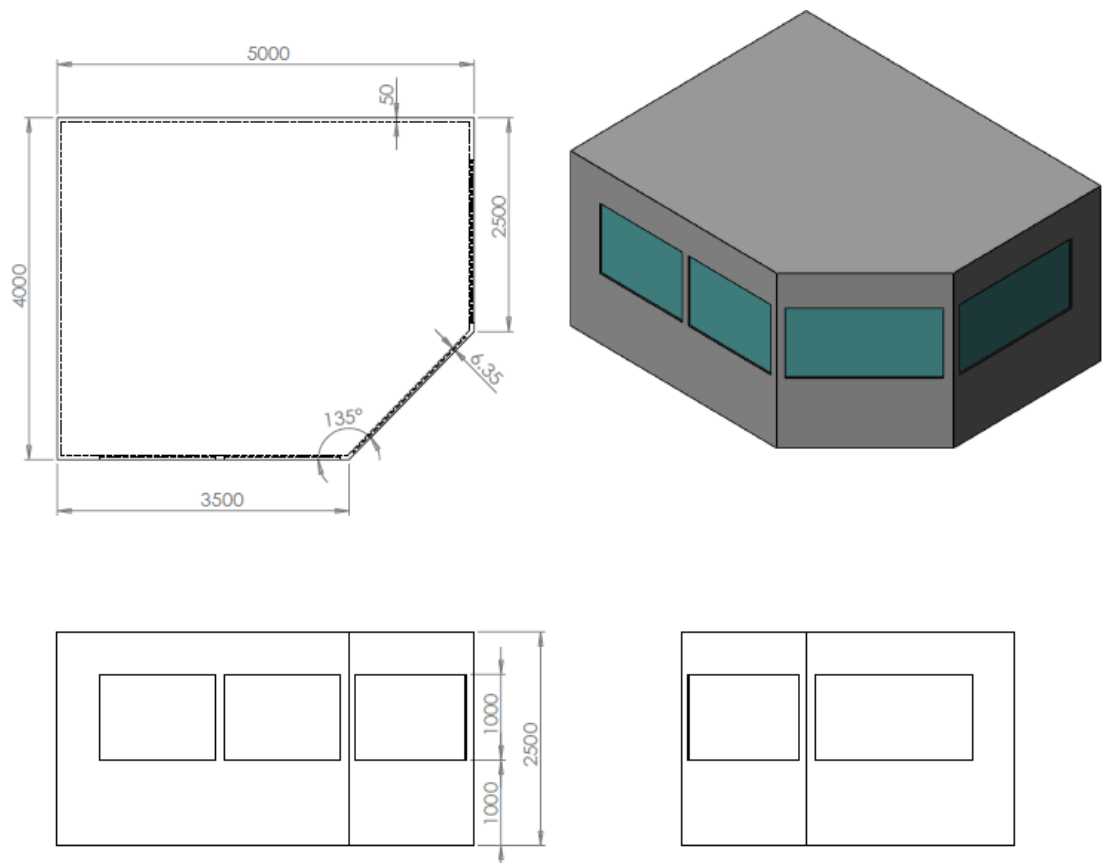


圖 91 新設計操作室設計圖

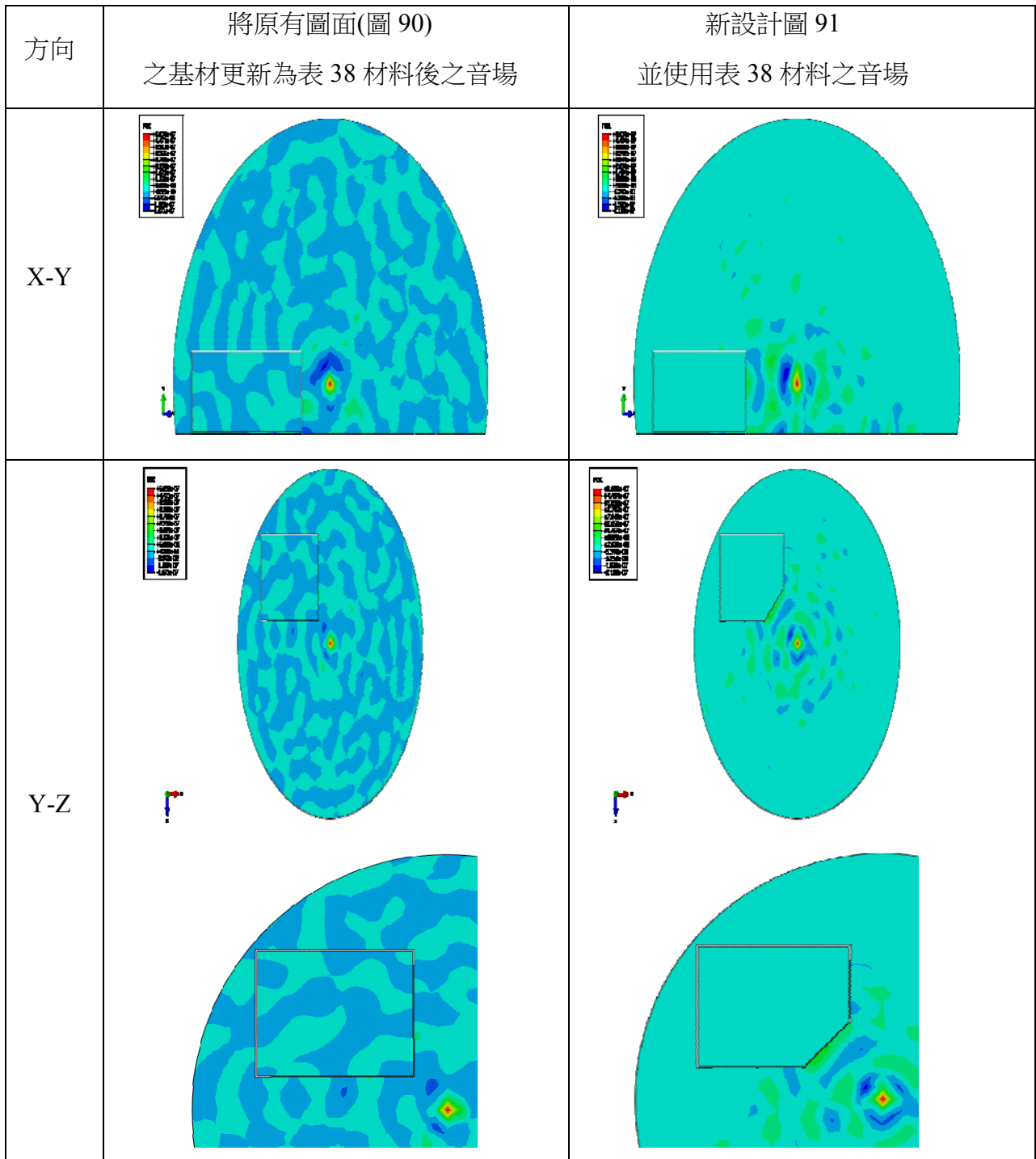


圖 92 電弧爐操作室不同設計之音場比較

表 38 電弧爐操作室使用材料之穿透損失

材料	Frequency (Hz)							
	單位	125	250	500	1,000	2,000	4,000	8,000
石膏板(雙層)穿透損失，50 x 50 mm	dB	23	28	33	43	50	49	50
	Pa	2.83E-04	5.02E-04	8.93E-04	2.83E-03	6.32E-03	5.64E-03	6.32E-03
雙層玻璃(含152.4mm 空氣層)穿透損失，6.35 x 6.35mm	dB	25	28	31	37	40	43	47
	Pa	2.00E-05	2.00E-05	2.00E-05	2.00E-05	2.00E-05	2.00E-05	2.00E-05

表 39 電弧爐操作室不同幾何設計改善後之噪音頻譜分析

電弧爐	Frequency (Hz)								
	單位	125	250	500	1,000	2,000	4,000	8,000	Leq
原有圖面更改材料	dB	74	66	86	82	74	76	78	88.5
	Pa	1.00E-01	3.99E-02	3.99E-01	2.52E-01	1.00E-01	1.26E-01	1.59E-01	5.34E-01
新設計與新材料	dB	52	60	76	78	82	76	73	85.1
	Pa	7.96E-03	2.00E-02	1.26E-01	1.59E-01	2.52E-01	1.26E-01	8.93E-02	3.59E-01

第二節 10 組樣態改善圖例補充說明

- 一、因噪音屬於物理量之傳播，易受空間幾何影響，事業單位在參考本 10 組樣態時，務必需考量噪音包覆之幾何型狀與大小。
- 二、當噪音源無法完全包覆時，應考慮噪音逸散之方向，考慮機台配置與人員動線的關係，盡量讓噪音逸散處遠離人員活動區域。
- 三、為了獲得最大的效率，所有圍籬的外牆接縫處必須緊密配合。開口部分圍繞管道貫穿，電線等應使用非硬化膠粘劑密封。假如隔音效果需達 10dB 以上，則必須特別注意縫隙的密閉性。
- 四、隔音包覆阻擋了噪音的傳播，會影響熱量的傳遞，因此當被包覆之設備為一發熱源時，務必考量其熱能的傳播方式。在許多圍籬的應用，會有過多的熱積聚，引起機械過熱，必須裝設強制通風設施，容量為 650~750 立方英尺/米的風機應安裝在出口或排放管道，但進、出氣口要加裝消音器防止噪音洩漏。
- 五、上述之熱能傳遞如果僅是以開孔方式自然通風逸散熱能時，開口處之內側應使用吸音材料鋪設內襯，內襯之厚度與材質之密度以目標降低的噪音頻帶選擇。
- 六、隔音裝置必須與機械之振動零件隔離。機械是裝置於厚實之水泥基礎上，則圍籬也可固定於基礎。假如，機械會引起基礎振動，則機械或圍籬必須與基礎隔離。
- 七、如有必要用視覺設備而開立窗口的話，則該窗口的材料要有相當於屏障材料的聲音穿透損失等級。
- 八、本次 10 組樣態為適應受輔導單位需求，使用包覆材質皆使用較易取得之鋼材，但如能將表面改為柔軟、粗糙、多孔性之表面，可以提高吸收聲音。包覆體內之吸音材料內襯應以音源的頻譜來選擇適當的材料，可參考製造商公佈的吸收數據選擇。

第三節 成本效益分析

此處建置成本係以使用之材料費用加總而成，並未包含加工、零組件五金與裝設費用。茲將本章第一節設計之噪音改善樣態，依上述原則將成本效益整理如表 40。成本效益將隨改善個案而異，改善費用(仟元)與噪音降低值(dB)之關係並非完全呈現線性關係(仟元/dB)，降低每單位 dB 成本隨降低量愈大愈高。本表為改善費用除以噪音降低值所得之數值，僅代表該個案之成本效益。一般而言，本年度設計之樣態約可降低噪音 15-25 分貝左右，且當該樣態之高頻噪音貢獻度越高時，包覆之效果越好，降低之分貝數值越多，以保護勞工的觀點與 OSHA 目標線圖來看，如果能將噪音在超出目標線圖的頻率予以降低至低於目標線圖，則可確保噪音低於 90dBA。

表 40 噪音改善樣態成本效益分析

編號	樣態名稱	噪音降低值 (dB)	改善費用 (仟元)	成本效益 (仟元/dB)
1	空氣過濾器噪音改善	22.2	30.0	1.35
2	銅線伸線機噪音改善	25.1	62.5	2.49
3	分條機噪音改善	24.9	17.5	0.70
4	收料架噪音改善	28.0	11.0	0.39
5	拋光機出口端噪音改善	15.6	34.0	2.17
6	剪床噪音改善模擬	14.7	9.5	0.65
7	幫浦馬達噪音改善	12.8	1.20	0.94
8	鼓風機噪音改善	15.5	1.75	1.13
9	加工操作台噪音改善	16.8	6.0	0.35
10	電弧爐操作室噪音	17.2/20.7	208.0	12.1/10.1

第四節 結合 OSHA 曲線案例

事業單位欲進行噪音作業改善前，可透過對於廠區內的各噪音源進行噪音頻譜分析，找出對於勞工影響最大之噪音源，也就是噪音頻譜超出 OSHA 目標線圖最多之噪音源，將量測待改善位置的噪音頻譜與改善目標線作比較。以本研究分條機為例，本改善目標線設定為達到均能音量為 90dBA 以下，如表 41，並在目標線圖繪出頻率分布圖，如圖 93 中藍線為目標線 90BA，該位置之噪音頻率分布情形在 500、1k、2k、4k、8kHz 超過 90dBA 的目標線。如將該噪音在超出的頻率予以降低至低於目標線，則可確保噪音低於 90dBA。在經過包覆改善後可有效降低該機器所產生之噪音。

表 41 分條機改善樣態結合 OSHA 曲線案例

頻率	125	250	500	1k	2k	4k	8k	Leq
改善目標線(dB)	88	83	77	74	72	71	73	89.8
改善前頻譜(dB)	80	77	85	86	83	81	80	91.1
改善後頻譜(dB)	63	58	59	56	53	50	46	66.2

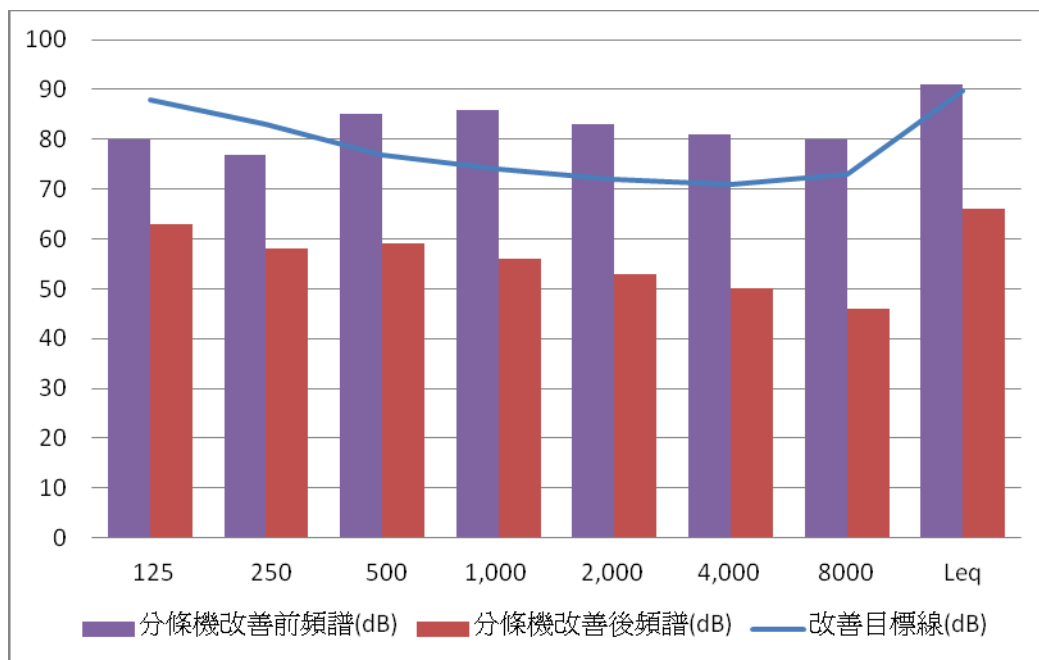


圖 93 分條機改善樣態結合 OSHA 曲線案例

第七章 結論與建議

第一節 結論

依據本研究所提出之目的、架構、工作內容等，將其作一綜合性之歸納與整理，提出結論與建議，以供相關單位以及後續研究者之參考。

- 一、有關工程改善技術，本研究蒐集相關文獻，並將有關噪音源診斷與工程控制技術彙整討論，初步建立音源診斷方法與工程改善邏輯選單。
- 二、參與本研究之 10 家事業單位，其中線纜與塑膠製造 1 場、熱軋鋼捲 2 場、冷軋鋼捲 1 場、鋼棒製造 2 場、鋼管製造 4 場(不鏽鋼管 1 場、碳鋼管 3 場)，包括鋼鐵冶煉、鋼板軋延、鋼棒擠型、塑(橡)膠混煉製造等 3K 製程。針對噪音作業環境主要噪音源的頻譜特性進行測定，並完成 52 人次相關作業人員的噪音暴露劑量測定，亦提供接受訪視之事業單位相關改善建議，作為其未來改善參考。
- 三、工業機械與製程由許多不同類型的噪音源所組成，包括轉體、齒輪、振動面、衝擊、碰撞、亂流、風扇等。噪音環境生成的主要來自特別吵雜的操作與設備，例如金屬熔爐、切割、碰撞、銲接、壓縮空氣釋放、風機、幫浦與馬達等。
- 四、作業場所的噪音大小，主要取決於其有多少特別吵雜的設備與製程，以及廠房面積大小，密度愈高作業環境噪音愈大。人員暴露量雖與作業環境噪音相關，但某些較大型企業自動化製程，作業人員多數時間處於控制室內，致實際暴露劑量降低。例如鋼材熔爐與鋼板熱軋為噪音較高製程，該兩項製程多為自動化操作，人員噪音暴露劑量反而不高。
- 五、廠房的規劃設計，是否有適當的區隔常影響整個廠區的音壓級。產品輸送過程產生的碰撞聲響，以及金屬切割為本次訪視最常見的噪音發生源。此外，因應製程需求，例如加熱、冷卻、通風等，空氣輸送的風機與出、入風口，經常亦為廠房內較大的噪音源。
- 六、噪音源的改善有賴事業單位依據產量與品質來考量可行的改善方法。如果因外在條件限制而無法從音源上降低噪音時，就需要在噪音傳播途徑上採取措施加以控制。傳播途徑的改善以包圍、防堵的方式，更需專業人士予以協助。因此，

本研究選取 10 個樣態，進行傳播途徑改善的規劃設計，並完成模擬改善後之效果與成本效益分析，提供事業單位參考運用。

七、以工程控制降低噪音量，是噪音危害管理中須優先採取的方式。噪音工程控制之改善考量其複雜性與經濟性，最好是在建廠前即由工廠佈置及工業衛生人員依作業場所之環境、空間、作業流程與勞工活動等因素予以規劃。將噪音場所與其他一般工作場所事先做區隔，以避免噪音干擾，造成全廠勞工均暴露於噪音危害中。但對既有之廠區則可就其噪音源、噪音傳播途徑著手改善，參酌本研究製程狀況，其中較實際可行的方式如下：

(一) 噪音源

1. 調整機器運轉速度，降低其噪音量。
2. 避免或減少機器零件的衝擊與摩擦。
3. 物料運輸過程應避免衝擊與碰撞。
4. 於振動體結構表面或於中間夾層使用阻尼材料。
5. 安裝隔振裝置。
6. 以噪音量較小的零件替代，例如低噪音噴嘴。
7. 減少噴嘴空氣壓力。
8. 安裝消音設備。
9. 設備定期保養，減少機件產生異音。

(二) 傳播途徑

1. 將噪音源全面或部分封閉覆蓋。
2. 將作業人員包覆在控制室(休息室)。
3. 設置隔音屏或隔音牆於顯著發生噪音的作業區域(設備)。

第二節 建議

基於保護勞工聽力的立場，工廠可藉由改善各項機械設備(噪音源)、噪音改善工程(加裝消音、吸音、隔音設備)、改變作業方式或習慣，甚至在新設作業場所(含機械設備)時，可針對噪音問題做整體考量設計，減少噪音源的產生，或降低噪音量；再配合各項管理措施，諸如：噪音標示、教育訓練及健康管理等，期能讓員工在一個無噪音危害的環境中工作。噪音危害的消除，恐非一朝一夕可成，但對於作業環境的改善持續不斷，應為事業單位努力的方向。

- 一、防音防護具的佩戴應視為勞工聽力保護的暫時手段，降低作業場所的噪音分貝數，才是事業單位對於噪音作業場所管理努力的方向。未來建議將噪音場所的工程改善列為噪音危害防止管理計畫的必要項目，並應有逐年改善的具體目標。
- 二、健康促進是目前相關單位積極推動的項目，產、官、學投注大量人物力，辦理講座與活動，推廣勞工健康觀念與習慣。但對於噪音引起的聽力損失已為職場最常見危害的傳統議題，似應更積極予以關注。事業單位對於噪音工程改善，多以工程費用為主要考量，未來建議能編列經費協助或獎勵事業單位進行改善。
- 三、噪音工程改善多需專業人士介入，方能有效解決噪音問題。然而，事業單位現場噪音類型眾多，分散研究人力與時間，未來建議應針對單一某類型噪音進行改善技術深入研究。
- 四、目前研究僅止於模擬推估改善結果，但較缺少改善後的量化評估研究，建議未來能編列經費實作改善成果之案例探討。

誌謝

本研究計畫參與人員除本所陳組長志勇、林副研究員桂儀、陳助理研究員俊霖、黃助理研究員育平外，另包括中山醫學大學盧士一教授、台灣職業安全學會陳建嘉副秘書長等人，謹此敬表謝忱。

參考文獻

- [1] <http://www.deir.qld.gov.au/workplace/hazards/dangers/noise/industry/index.htm#metal>.
- [2] D.S. Angiolucci, Noise exposure evaluation in iron hot pressing industry, <http://www.specfisan.unito.it/pdf/tesi-angiolucci.pdf>.
- [3] Lakhwinder Pal Singh, Arvind Bhardwaj KK Deepak, Raman Bedi, Occupational Noise Exposure in Small Scale Hand Tools Manufacturing (Forging) Industry (SSI) in Northern India, *Industrial Health*, 2009, 47, 423–430.
- [4] American Foundry Society, Fact Sheet-Hearing Protection in Metalcasting Facilities.
- [5] Health and Safety Executive, Introduction to rubber processing and safety issues, <http://www.afsinc.org/files/hearing%20fact%20sheet.pdf>
- [6] 王天賜、車寶島、李廉雄、林世祥、吳建朝、周春榮等人：第九章、塑膠製品製造業，特定製程產業作業危害及預防對策(二)。台北市，經濟部工業局；2007。
- [7] Health and Safety Executive, Topic Inspection Pack – Noise, 2008. <http://www.hse.gov.uk/foi/internalops/fod/inspect/noise.pdf>
- [8] V.P. Choudhari, Deepak. S. Dhote and Chandrakant Ramesh Patil, Assessment and Control of Sawmill Noise, International Conference on Chemical, Biological and Environment Sciences (ICCEBS'2011), Bangkok, 2011.
- [9] EATON-Vickers, Noise control in hydraulic systems, 2002, http://www.eaton.com/ecm/groups/public/@pub/@eaton/@hyd/documents/content/ct_233704.pdf
- [10] ACC, Noise Control - A practical approach to controlling noise in the workplace.
- [11] E.J. Richards, Impact Machinery Noise -Prediction and Control, Noise Pollution, chapter 15, John Wiley & Sons, 1986.
- [12] Health and Safety Executive, Reducing noise from CNC punch presses, Engineering Information Sheet No 39, 2002.
- [13] P. Jensen, CR Jokel, LN Miller, Industrial Noise Control Manual, NIOSH, 1978.
- [14] EH Berger, WD Ward, J Morrill, LH Royster, Noise & Hearing Conservation Manual, AIHA, 1997.
- [15] CM Harris, Handbook of Acoustical Measurements and Noise Control, McGraw-Hill, 1991.

- [16] HW Lord, WS Gateley, HA Evensen, Noise Control for Engineers, McGraw-Hill, 1980.
- [17] CE Wilson, Noise Control: Measurement, Analysis, and Control of Sound and Vibration, Harper & Row, 1989.
- [18] Seung-Han Baik, Jung-Chul Kim, Dong-Woon Han, Tai-Hoon Kim, Jin-Hyun Back, Young-Kook Lee, Materials Science and Engineering: A, Fe–Mn martensitic alloys for control of noise and vibration in engineering applications, 2006.
- [19] C. H. Hansen , Department of Mechanical Engineering World Health Organization , Engineering Noise Control.
- [20] S.P. Udagave , V. R. Naik, Vibration and Noise Reduction of Terry Towel Machine of Selected Mechanism, International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology, 2013; 2:2077-2084
- [21] V. Jain, Analysis of Noise Level Reduction for Plant Machine Monitoring, International Journal of Scientific & Engineering Research, 2012; 3: 1-3.
- [22] E. Sorainen, etc. , Applied Acoustics , Optimal noise control in a carpentry plant, 2000, pp. 37-43.
- [23] S.K. Lau, etc. , Applied Acoustics, Performance of a noise barrier within an enclosed space, 2009, pp. 50–57.
- [24] J. Czuchaj, Antoni Śliwiński, Krzysztof Śródecki, Noise sources and acoustic properties of workrooms in the plants of food-processing and pharmaceutical industry, Applied Acoustics, 2001; 62:1141-1156.

國家圖書館出版品預行編目(CIP)資料

國內 3K 製程高噪音作業環境改善與分析模式 / 林桂儀, 盧士一著. -- 1 版. -- 新北市 : 勞動部勞研所, 民 104. 03

面 ; 公分

ISBN 978-986-04-4658-6(平裝)

1. 勞工衛生 2. 職業衛生

412.53

104005816

國內 3K 製程高噪音作業環境改善與分析模式

著(編、譯)者：林桂儀、盧士一

出版機關：勞動部勞動及職業安全衛生研究所

22143 新北市汐止區橫科路 407 巷 99 號

電話：02-26607600 <http://www.ilosh.gov.tw/>

出版年月：中華民國 104 年 6 月

版(刷)次：1 版 1 刷

定價：300 元

展售處：

五南文化廣場

台中市中區中山路 6 號

電話：04-22260330

國家書店松江門市

台北市松江路 209 號 1 樓

電話:02-25180207

- 本書同時登載於本所網站之「出版中心」，網址為：
<http://www.ilosh.gov.tw/wSite/np?ctNode=273&mp=11>
- 授權部分引用及教學目的使用之公開播放與口述，並請注意需註明資料來源；有關重製、公開傳輸、全文引用、編輯改作、具有營利目的公開播放行為需取得本所同意或書面授權。

GPN：32326229;:

ISBN：978-986-04-4658-6

