

國立交通大學應用藝術研究所

碩 士 論 文

榔頭振動特性對使用影響之分析

The Evaluation of the Effects of Vibration on the Use of Hammers



研 究 生：吳庭毓

指導教授：莊明振

中 華 民 國 九 十 五 年 七 月

謝誌

感謝指導教授莊明振老師，在學業上細心指導尊重學生的選擇也給予最大支持。口試委員鄧怡莘老師與許尚華老師對本論文細心斧正提供寶貴意見，使本論文更加完備。

感謝台中縣鉅基工業股份有限公司陳總經理、紀副理以及 cherry 妹協助實驗與提供榔頭樣本及寶貴經驗。

感謝機械所的紀學長，最有文藝氣息的機械準博士，有耐心人親切，您的意見總是切中要害，您的提醒總是讓我忙個三天兩夜；感謝生資所黃少偉，在程式運用上大力支持，還有遠在天邊的林重甫學長、電控所的阿剛同學、資工所的博今、電子所景小 B 等人，此篇論文能完成，你們功不可沒，讓我對你們敬上最大的謝意！

苦悶的研究之路感謝陶藝社白老大等人，一起創作一起參展一起吃喝玩樂的歡樂回憶。

感謝 iaa93 的各位寶貝兒們，生活上的熱心"照顧"出血出汗！還有參加人因實驗的 32 位受測者，實驗中的專注讓我甚為感動。

謝謝吳小句搔不到癢處的精神喊話，還是能溫暖我的心，不時寄來遊玩明信片讓我既羨慕又忌妒同時也燃起心中焚燒論文的熊熊烈火。

最後要感謝爸爸媽媽和家人們，支持我做自己喜歡的事；以及黃小修在我放鬆的時候對我恐嚇加威脅使我絲毫不敢鬆懈能專注於論文，也會在我忐忑不安的時候適時的給予支持與安慰。

揮別硬硬所慈祥和藹的老師們和氣氛和樂的同學們，心中縱然有千百個不願意與不捨，但我還是要大聲的說：畢業囉！畢業快樂！

吳庭毓 謹致於
國立交通大學應用藝術研究所
中華民國九十五年八月十八日星期五

榔頭振動特性對使用影響之分析

摘 要

消費者在選購榔頭時，以外形、手握感覺及價錢等為購買的考量因素；然而榔頭是作業用的手工具敲擊時整體的感覺才是決定榔頭好壞的關鍵，因在購買時無法即刻體會，因此常被忽略。本研究以此為動機，進行榔頭操作之探討。

振動議題在聲學、環境學、機械力學等被廣泛的探討與應用，在榔頭作業中，以手部所感知的衝擊力及細振感為研究對象，進行受測者敲擊實驗，用以收集榔頭振動特性與操作之主觀偏好，經由迴歸分析中可得知，主觀舒適度、振動特性及設計特徵等對應關係，並將其歸納如下：

1. 阻尼指數影響主觀舒適度，阻尼指數越高振動越小，舒適度較高。
2. 輕巧短小之榔頭與拔釘彎曲之榔頭其主觀舒適度較高。
3. 重量重與長度長之平均能量高，且榔頭振動會越嚴重。

關鍵詞：阻尼指數、主觀偏好、人因設計、振動

The Evaluation of the Effects of Vibration on the Use of Hammers

ABSTRACT

The major considerations on buying a DIY hammer by consumers are the form of a hammer, feelings of the handle, and price. However, the key factor to determine a suitable hammer for DIY users is the degree of uncomfortable feeling caused by vibration while using hammers. Because of the lack of chance for consumers to actually test hammers in a real purchase circumstance, the feeling of vibration on using a hammer has always been neglected. Due to this reason, this research attempted to investigate the feeling of vibration while using hammers.

The issue of vibration has been widely discussed from in various fields, such as acoustics, environment technology, and dynamics, from different aspects. In this study, 18 hammers with different design features were operated to hit nails by 30 subjects. From this hitting experiment, both data of vibration characteristics generated from the 18 hammers and of the subjective vibration feeling of the 30 subjects to the 18 hammers were gathered. Then, by using regression analysis, the corresponding relationships among the design features of hammers, the physical characteristics of vibration and the subjective evaluations on vibration were clarified. The design guidelines for comfortable hammers then were proposed, accordingly, at the end of this research.

The main results found in this research included:

1. The damping exponent coefficient of a vibration will influence the users' subjective feeling on it; the higher the damping exponent coefficient a vibration has, the lighter the vibration and less uncomfortable will be felt.
2. A lighter and smaller hammer with curved claw will be more satisfied in subjective feeling on vibration and comfort.
3. On contrary, a heavier and longer hammer will cause vibration, with higher magnitude, to be significantly felt.

Keywords: damping exponent, subjective evaluations, human factors design of hammer, vibrations

論文目錄

摘 要	I
英文摘要	II
論文目錄	III
圖目錄	VI
表目錄	VII
第一章 緒論	1
1.1 研究背景與動機	1
1.2 研究問題與目的	2
1.3 研究範圍	3
1.4 論文架構	3
第二章 文獻探討	4
2.1 榔頭的基礎探討	4
2.1.1 榔頭的種類	4
2.1.2 羊角鎚	5
2.2 振動學基礎探討	6
2.2.1 簡諧振動	7
2.2.2 阻尼振動	10
2.2.3 快速傅力葉轉換	11
2.3 振動的知覺生理	12
2.3.1 舒適度	12
2.3.2 兩點閾	12
2.3.3 韋伯定律	13
2.3.4 感覺閾	13
2.3.5 振動覺	14
2.4 手工具之相關研究	14



2.4.1 榔頭設計相關研究	15
2.4.2 手工具設計	18
2.4.3 人因改善手工具案例	20

第三章 研究方法 **21**

3.1 實驗目的	21
3.2 實驗設備	21
3.2.1 衝擊記錄器	21
3.3 實驗變項	26
3.3.1 獨立變項	26
3.3.2 相依變項	27
3.4 受測者敲擊實驗	31
3.4.1 受測者	31
3.4.2 實驗環境	31
3.4.3 實驗程序步驟	32
3.5 小結	32

第四章 研究結果 **33**

4.1 資料整理	34
4.1.1 振動特性	34
4.1.2 設計特徵	36
4.1.3 主觀問卷	39
4.2 變項間關係之分析	41
4.2.1 振動特性與主觀評量關係之分析	41
4.2.2 榔頭設計特徵與振動特性關係之分析	43
4.2.3 榔頭設計特徵與主觀評估之關係分析	46
4.3 小結	47

第五章 結論 **48**

5.1 研究結果	48
5.2 研究貢獻	49
5.3 研究不足	50
5.4 後續研究建議	51

參考文獻	52
參考文獻	52
網路資料	54
附錄	55
附錄一 實驗榔頭樣本基本資料	55
附錄二 主觀評量調查問卷	56
附錄三 阻尼指數擷取程式	58
附錄四 傳力葉轉換及圖示輸出程式	59
附錄五 成對樣本 T 檢定排序表	60



圖目錄

圖 2.1 羊角鎚部位名稱說明圖	5
圖 2.2 時間與位置關係圖	8
圖 2.3 高頻與低頻示意圖	9
圖 2.4 振幅關係圖	9
圖 2.5 頻譜圖(對稱型)	10
圖 2.6 逐漸停止的振動	11
圖 2.7 振幅與時間波形圖(圖片來源：力勝科技有限公司)	11
圖 3.1 實驗儀器架構圖	22
圖 3.2 力量規敲擊台面	22
圖 3.3 加速規固定位置示意	23
圖 3.4 擷取盒	23
圖 3.5 擷取盒設定流程	24
圖 3.6 報表程式	25
圖 3.7 資料擷取處理程序	25
圖 3.8 安全防護眼罩及耳塞	26
圖 3.9 實驗用榔頭樣本	27
圖 3.10 手部細振部位對照	30
圖 3.11 受測者敲擊實驗場地規劃	31
圖 4.1 分析流程關係	33
圖 4.2 數據擷取流程	35
圖 4.3 設計特徵定義	37



表目錄

表 2.1 身體各部位閾值	12
表 2.2 感覺閾的心理層次	14
表 2.3 我國榔頭人因設計之相關分析研究	15
表 2.4 榔頭設計文獻分析	18
表 2.5 我國榔頭人因設計分析	20
表 4.1 各榔頭產生之振動特性	35
表 4.2 榔頭振動相關係數分析	36
表 4.3 榔頭設計物理屬性	37
表 4.4 榔頭設計外觀特徵	38
表 4.5 樣本設計特徵關聯性歸納表	38
表 4.6 因子分析所得各主觀問卷與兩因子之關係	39
表 4.7 舒適度因子 T 檢定	40
表 4.8 振動覺因子 T 檢定	40
表 4.9 振動特性影響舒適性因子之迴歸分析結果	42
表 4.10 振動特性影響振動覺因子之迴歸分析結果	42
表 4.11 影響振動特性與主觀評量之分析	43
表 4.12 榔頭設計特徵影響阻尼指數的迴歸分析結果	44
表 4.13 榔頭設計特徵影響主頻率之迴歸分析結果	44
表 4.14 榔頭設計特徵影響平均能量之迴歸分析結果	44
表 4.15 影響振動特性與設計特徵	45
表 4.16 設計特徵影響舒適性因子之迴歸分析結果	46
表 4.17 設計特徵影響振動覺因子之迴歸分析結果	46
表 4.18 主觀偏好與榔頭設計特徵	47

第一章 緒論

1.1 研究背景與動機

消費者在選購榔頭時，以外形、手握感覺及價錢等為購買的考量因素。然而榔頭是作業用的手工具，敲擊時整體的感覺才是決定榔頭好壞的關鍵，但在購買時無法即刻體會，因此常被忽略。

手掌是人體表面神經密集的区域，對於壓、痛覺十分敏感，使用握把設計不良的手工具時，便會產生明顯的不適(侯宇晟，2002)。榔頭操作時會因力量回傳，而產生回授振動力，導致手局部麻感，影響操作者手部疲勞感及操作舒適性，亦直接影響榔頭之主觀評價。何先聰(1996)在生理機能研究上指出，振動會導致末梢循環障礙、感覺機能降低及神經傳導速度減慢，因此操作者必須施更大的力量，維持手工具振動的平衡與握持，工作績效相對降低(林合懿，2001)振動頻率由零增加為 40hz 時，平均所施握力要增加 27%(Armstrong、Radwin & Chaffin，1987)。榔頭打擊作業時普遍有手部過度施力，疲勞疼痛感，顯示振動與握柄亦是影響打擊工作施力改變之變因(林和懿，2001)。因此振動不但會造成生理、心理上的不舒適，更直接影響作業績效。

透過敲擊實驗所得振動數據，是系統結構所傳達的信息，能讓設計者瞭解各榔頭結構之間的振動差異與振動特性，進而比較榔頭的結構或材質對敲擊作業產生振動的影響。然而所產生的振動又如何影響操作者之

主觀感受也是設計者應當要關注的，雖然不舒適性的操作，若不經長時間的累積，可能不足以產生對生理的影響，但心理上的主觀感受卻仍會受影響。因此探討榔頭的設計如何影響其振動特性，進而影響到操作者的主觀感受是相當重要的課題，但目前仍缺乏相關的探討，因而引發本研究之動機。

1.2 研究問題與目的

操作榔頭所引發的振動，在一定程度上影響了操作者的心理感受，若超過一定的不舒適閾或長期累積，更會影響操作者之生理健康，本研究以振動的角度切入，探討榔頭設計因素如何影響產生振動，並進而探討其對主觀偏好之影響，同時也比較客觀的振動特性與主觀評量兩者之間的關連性，以此提供設計榔頭時，最直接有利之參考原則。本研究之目的有三：

1. 探討榔頭設計特徵與振動特性之間的關係。
2. 探討振動特性與榔頭作業舒適度之關係。
3. 探討榔頭設計特徵與榔頭作業舒適度之關係，以提出提升榔頭作業舒適性之設計準則。

1.3 研究範圍


榔頭之種類繁多，本研究以羊角鎚為研究對象，原因是羊角鎚為國人較常使用之榔頭形式之一，並且為合作廠商主力生產之榔頭。

在 DIY 風氣盛行，榔頭使用者除了模版工與木工師等專業使用者之外，其使用族群亦擴散到各年齡層。因此，本研究之受測對象將不限制其職業。

一般討論振動多為持續性振動，本研究所討論之振動，僅規範於短暫衝擊力產生之振動，引發之細部振動(麻)感覺。

1.4 論文架構

本研究論文架構分為五個章節，各章節內容如下敘述：

- 
- | | |
|-----|---|
| 第一章 | 緒論：介紹研究背景、目的、範圍，界定論文架構與流程。 |
| 第二章 | 文獻探討：包括榔頭設計基礎討論、振動學、知覺生理學、手工具振動之相關人因研究。 |
| 第三章 | 研究方法：介紹實驗目的、實驗設備之設置及進行流程。 |
| 第四章 | 實驗結果：整理實驗數據之過程與結果，交叉分析榔頭設計特徵、主觀舒適性及振動特性之關係。 |
| 第五章 | 結論：彙整研究之結果，檢討研究不足與侷限之處，建議後續研究。 |

第二章 文獻探討

榔頭敲擊作業中，回授振力往往會造成使用者的手部疲勞感或不舒適感，因此在本章文獻探討中，先針對榔頭的基本屬性加以探討，再進一步探討振動學及知覺生理；最後分析目前手工具振動相關研究之文獻。

2.1 榔頭的基礎探討

本研究所採用之榔頭樣本為鉍基(原煥崴)公司所生產之榔頭，榔頭或稱鐵鎚，依其使用目的不同樣式亦不相同，因此在此對實驗之主體作一介紹。

2.1.1 榔頭的種類

榔頭又稱為鎚子或鐵鎚，是人類最早開始使用的工具之一，早在石器時代，人類就開始使用『鎚』這樣的工具，主要用來敲打、敲開、移動物體。經過了數萬年的演進，榔頭外形並沒有太大的改變，原理依然一樣，均為利用一長柄以及尾端的鎚頭，延伸、擴大人類手臂敲擊的力量，並避免敲擊時，手部直接與敲擊面碰撞，減少傷害。而由於人類使用材料技術的進步，以及工作模式的多樣化，近來發展出為因應各種不同工作需求的榔頭。

美國手工具知名廠牌 **Stanley** 公司，將一般市面上常見之榔頭，依類形特徵與功能歸納為：1.羊角鎚；2.農務鎚；3.鐵匠鎚；4.球頭鎚；5.鑿工鎚；6.大鎚；7.軟面鎚；8.圖釘鎚；9.砌磚鎚等。本研究以日常生活中使用最廣之建築用羊角鎚為探討對象，因此在下節進一步介紹羊角鎚。

2.1.2 羊角鎚

羊角鎚(claw nail hammer) 如圖 2-1 所示，在槌頭的後方有彎曲的雙爪，狀似羊角而得名，可用於木工拔釘之用。依鎚頭之重量可分為 16、20、22 及 28 盎司等四種規格，其適合單手操作。槌頭結構主要分為兩類：一體成形與多件組合。一體成形指鎚頭、柄身及握持處為一體結構，製造時以鑄造方式一體完成；多件組合則將鎚頭、柄身及握持處，分別製造後組合而成。外型雖有多種變化，但其結構與部位大致相同，圖 2.1 為一體成形之槌頭，與多件組合不同之處在於，多件組合之鎚頭與頸部為分開兩件之結構。除此之外，整體的構造並無多大差別。

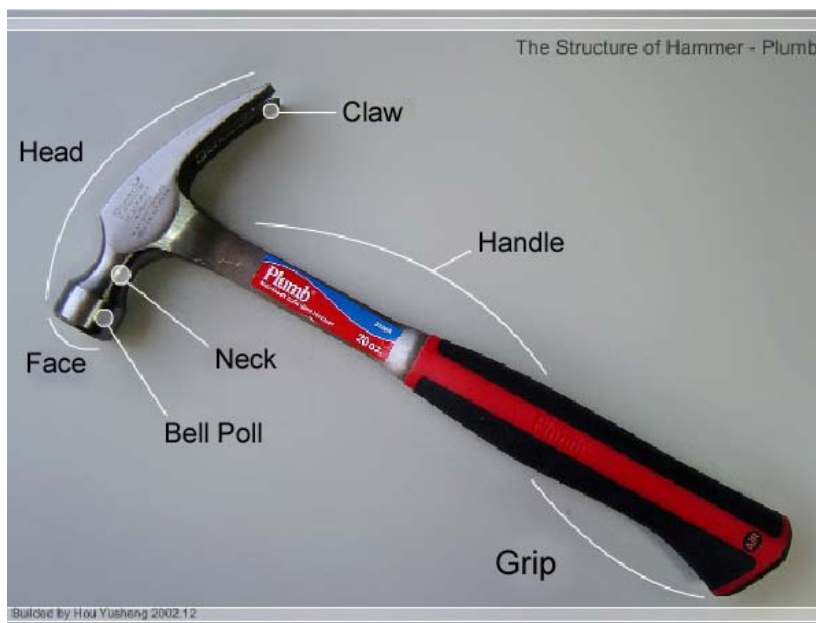


圖 2.1 羊角鎚部位名稱說明圖

圖 2.1 說明其各部名稱，以下並分別介紹其功能。

敲擊面(Face)：槌頭執行敲擊工作時，與被敲擊物體之接觸面。

頸部(Neck)：自敲擊面內縮的形狀，可以將施力集中，並傳至敲擊面。

鐘(Bell poll)：敲擊碰撞的部份，承受敲擊面所遭受之撞擊。


爪(Claw)：為拔釘的結構，V形導勾可以將釘子牢固夾住，並以拔除。

握柄/把(Handle/Grip)：使用者手握持的位置，是榔頭使用時唯一與人體接觸之部分，提供使用者施力點。其材質與形狀在人因工程有很大的意義，與施力效率、減振、保護使用者的手有直接關係。

本研究以羊角鎚為對象，主因有二：

1. 其為 DIY 族群或專業人最經常使用之榔頭。
2. 本研究使用之榔頭樣本，為國內製造羊角鎚著名廠商所提供。

2.2 振動學基礎探討



振動是一種週而復始，相對於一個參考點往復來回的運動模式，振動亦可說明是系統內在力量的傳遞，也是能量的發散；在力學系統或聲學系統中，則稱為機械振動，或稱振動。可將振動想像為抖動的繩子，傳一次的能量代表一個振動波，其為自然界中最普遍的物理現象；包括聲、光、熱等都包含振動。人們生活中也離不開振動，心臟的搏動、耳膜和聲帶的振動，都是人體不可缺少的功能。

振動的研究早期是應用於樂器的製作；東漢張衡發明的地動儀更是振動對生活上實質的應用。振動研究的現代科學基礎則是由伽利略奠定的，其對單擺作了系統的觀測，討論了共振現象，並提出頻率(單位時間的振動數)的概念。而另一方面，振動也成為當今嚴重的環境問題，例如噪音與高速火車行駛時，所造成的細微振動，影響精密工業的作業。在

此振動對人危害；使建築物受損(地震)；使機器設備的準確程度降低，壽命縮短，甚至失效或疲勞破壞。

在許多情況之下，振動被視為一消極因素。例如地震所造成的危害，以及在乘車時交通工具所造成的不舒適感。在機械運轉中不良的振動代表設備的異常；但振動也有其正面的功能，訊號傳遞廣泛的使用振動原理，例如我們仰賴聲音的振動，才能聽到美妙的聲音，經由光波的傳遞才能欣賞美麗的風景與色彩。以下探討振動的基礎概念。

2.2.1 簡諧振動

簡諧振動是振動分析的基礎，因此本節對簡諧振動進行一簡單之瞭解。以 x 表示位移， t 表示時間，簡諧振動的數學表達式為：


$$x = A \sin(\omega t + \varphi)$$

x 代表質點對原點的位移， ω 表示每秒中的振動的角頻率； φ 為質點在 $t=0$ 的相位（初相位）， A 為位移 x 的最大值，稱為振幅(amplitude)，它表示振動的強度；以 $f = \omega / 2\pi$ 表示每秒中振動的次數，稱為頻率 (frequency)；它的倒數， $T=1/f$ ，表示振動一次所需的時間，稱為週期(period)。振幅 A 、頻率 f （或角頻率 ω ）、初相位 φ ，稱為簡諧振動三要素。

振動的物理量有兩類：一類是描述振動的幅度即振幅，用以表示振動的強度；另一類是描述振動的變化率的量，有週期、頻率或頻譜。以下針對週期、振幅、頻率與頻譜分別介紹。

1. 週期

在 T 時間內質點回到原來的位置，這時間就是簡諧運動的週期 T ，週期可說是一次完全振動所需的時間(如圖 2.2 所示)。

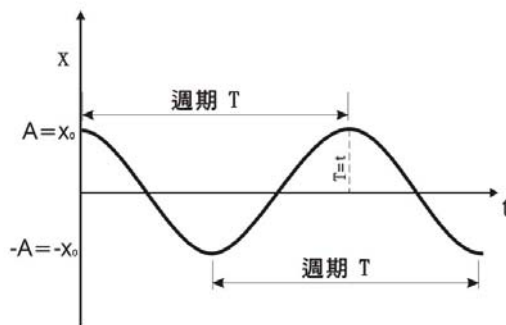


圖 2.2 時間與位置關係圖

2. 頻率

單位時間內運動之週數或次數，稱為頻率。每單位時間內的振動數及簡諧運動的頻率 f 。頻率 f 或角頻率 ω 的倒數，即：

$$f = 1/T$$

特定的時間單位內所發生的振動週期數，稱之為頻率，是故，頻率的最基本單位有 CPM(cycle per minute)及 Hz 二種，CPM 是指每分鐘所發生的振動次數或週期數；則 Hz 是指每秒鐘所發生的振動次數或週期數。

角頻率 ω 與彈簧常數 k 及其質量 m 有關，其相關方程式為：

$$\omega = (k/m)^{1/2}$$

相同時間單位內所發生的振動次數高者稱為高頻；低者為低頻，如圖 2.3。



圖 2.3 高頻與低頻示意圖

3. 振幅

振動幅度簡稱振幅，代表振動的大小或強度。振幅強度可用三種物理量來表示，有位移、速度及加速度三種，此外，振幅大小則因為描述的方式不同，而有幾種較常用的表示方式，如 **peak to peak** 值(簡稱 **p-p** 值)、**peak** 值(簡稱 **p** 值)、**RMS** 值等，若以正弦波來表示的話(如圖 2.4)，其關係式如下：

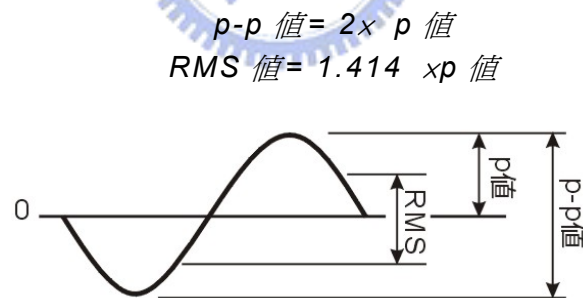


圖 2.4 振幅關係圖

4. 頻譜

探討振動的三大要素時，所提到的正弦波都屬於振動訊號的時間波形中的一種。時間波形由時間與振幅為座標(時域圖)，可以說是最原始的振動訊號。

簡諧振動只有一個頻率，數值等於週期的倒數， $f=1/T$ 。非簡諧的週期運動，稱為諧振動，按傅力葉定律，其振動可以分解為許多不同頻率簡諧振動的分量組合，最低的頻率稱為基頻，基頻 2 倍的稱二次諧波，3 倍的稱三次諧波，依此類推。亦即其可分解為傅力葉級數的形式來描述。因此，非簡諧振動具有很多個頻率，週期只是基頻的倒數。這些頻率分量的振幅作為頻率的函數以圖形表示，就稱為頻譜(spectrum)如圖 2.5 所示之例。在頻譜圖中，可讀出該振動的主頻率(基頻)。

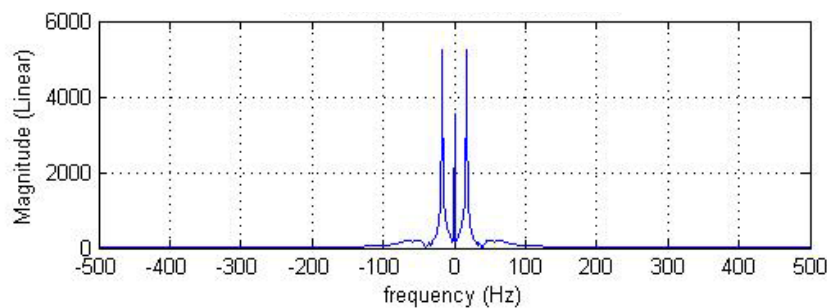


圖 2.5 頻譜圖(對稱型)

2.2.2 阻尼振動

物體振動時受阻力作用，形成能量損失，而使系統的振動幅值逐漸減小，即稱為阻尼振動。阻尼振動是由於存在阻尼力，它通常是速度的函數，振幅隨著時間的增加而減少的情況如圖 2.6，振動看似簡諧振動之波形但振幅隨著時間減少，此振動存在一指數 e^{-at} 的衰減。

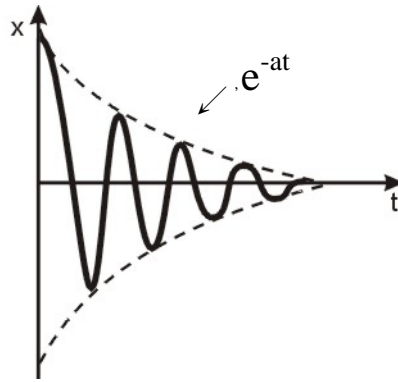


圖 2.6 逐漸停止的振動

2.2.3 快速傅力葉轉換

快速傅力葉轉換(Fast Fourier Transform, FFT)演算法可將原始時域波形轉成頻譜圖，在實際問題中已廣泛應用，如光譜、聲譜、地震譜分析、濾波、數字信號處理、圖像資訊處理，以及醫療衛生上的心電圖等。傅力葉轉換將系統中複雜的時間波形振動模式，分解成多不同頻率與振幅的正弦波組成的訊號。時間波的複雜波形經過轉換後，產生無數個正弦波，以此計算出各正弦波的頻率及振幅。圖 2.7 是由四個正弦波結合而成的一個時間波形訊號，經由轉換後時間波形分解為頻譜的過程。

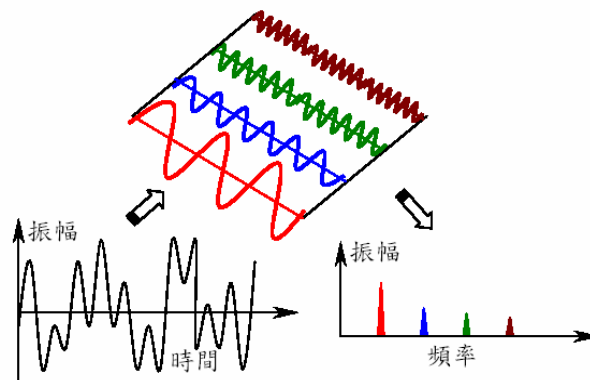


圖 2.7 振幅與時間波形圖(圖片來源：力勝科技有限公司)

2.3 振動的知覺生理

透過皮膚的觸覺，振動引起生理和心理反應。振動對人體並非都是有
害的，但過量的振動對人體的生理和心理，會產生程度不同的影響。

2.3.1 舒適度

振動研究中，常以舒適度作為評鑑效標，因為舒適度乃是一種主觀感
受，依個人經驗而定。由於研究者無法以儀器量測或以觀察法來了解人
的舒適水準，所以唯有靠受試者以自陳法表達。研究者為了將此舒適度
量化，常以振動的物理特性（例如加速度和頻率的組合）與主觀舒適度
的評價作成「等舒適曲線」(equal-comfort contours)。(人因工程，1996)

2.3.2 兩點閾

兩點閾(two-point threshold)是能分辨皮膚上兩點觸壓點為分離的最
小距離，也就是對觸覺敏感程度，閾值越大越不敏感，身體各部位的兩
點閾值都不相同，如表 2.1 顯示，由手掌到指尖的敏銳度逐漸增加，也
因此需要運用精確的辨別能力的觸覺顯示器，及要求較敏銳的觸覺信號
接收時，都採用指尖來接受訊息的設計。本研究之手部細振會因手部觸
覺敏感度的差異，倒致細振感受的差異。

表 2.1 身體各部位閾值

部位	兩點閾值(mm)	部位	兩點閾值(mm)	部位	兩點閾值(mm)
中指	2.5	上臂	44.5	手掌	7.7
上唇	5.5	腳底	22.5	胸部	33.0
肩部	41.0	拇指	3.5	小指	4.5
面頰	7.0	背部	44.0	小腿	47.0

2.3.3 韋伯定律

韋伯(Weber)發現重量的最小可察覺差，與作為比較之參考重物之重的比值為一常數，此即知名的韋伯常數(**weber's constant**)或韋伯定律，其公式為 $K = \Delta I / I$ 。式中 I 為強度； ΔI 為差別閾限； K 為小於 1 的常數，即韋伯常數。此定律可推廣到其他感覺刺激，如皮膚上的兩點閾限、線的長短和音的高低感覺。

2.3.4 感覺閾

振動的「感覺閾」指正好能感受到的振動量。人們對剛超過感覺閾的振動，一般並不覺得不舒適，即多數人覺得這種振動是可容忍的。

當振動的振幅持續加大到一定程度，人就開始感覺到不舒適，或者作出“討厭”的反應，這就是「不舒適閾」。“不舒適”是一種心理反應，是大腦對振動資訊的一種判斷，並沒有產生生理的影響。

振動振幅若進一步增加，達到某程度，人對振動的感覺由「不舒適閾」進到「疲勞閾」。此時不僅有心理反應，而且出現生理反應。振動刺激影響感受器官和神經系統的功能，並通過神經系統對人體的其他功能產生影響，如注意力的轉移、工作效率降低。剛超過“疲勞閾”的振動，在振動停止後，生理影響是可以恢復的。

當振動強度持續增加，便會抵達「危險閾」。超過危險閾時，振動對人不僅有心理、生理的影響，還會產生病理性損傷(實驗心理學，1983)。這種振動將使感受器官和神經系統產生永久性病變，在振動停止後也不能復原，白指症(**vibration-induced white finger, VWF**)即是此現象之病症。

這些不同感覺閾心理層次可整理如表 2.2。

表 2.2 感覺閾的心理層次

感覺閾	正好能感受到振動的資訊
不舒適閾	開始感覺到不舒適，
疲勞閾	造成生理的影響
危險閾	造成病理性的傷害

2.3.5 振動覺

振動物體接觸身體時，人所產生的感覺即為振動覺。它是觸覺的一種，是反覆啟動觸壓覺而產生的。振動感受性有一定的頻率極限，振動刺激低於或高於一定頻率，將不引起振動覺，其下限為 10~18Hz，上限在 650~8000Hz 之間。振動覺的強度絕對閾，會隨不同振動頻率而改變。

人體是一個彈性體，骨骼接近一般固體，肌肉則接近於水。人體內有不少空腔和彈性系統，其共振主頻率在 3Hz 到 40Hz 不等，亦會隨著人的運動動作而有不同的影響。在直立或正坐時，對 4~8Hz 的縱向(上下)振動最靈敏。每日八小時的疲勞標準為振動加速度有效值 0.315m/s^2 ；8Hz 以上的值與頻率成正比；4Hz 以下與頻率的二次方根成反比。加速度若超此值，人就感覺疲勞，工作效率降低。

2.4 手工具之相關研究

由榔頭相關文獻及相關研究可以看出，過去最常被分析的因素是工作績效和期望意象（造形），如表 2.3 所示；握把的材質與減振設計較少被探討。另一方面，榔頭研究中最常被測量作業指標是肌電圖

(electromyogram, EMG)、產品意象與主觀感受；研究類別多傾向感性

工學。本研究進行榔頭振動影響的評估時，將參考這些相關研究結果。

表 2.3 我國榔頭人因設計之相關分析研究

研究者	測量項目	實驗方式	探討項目	研究類別
陳建志	敲擊績效	沾墨實驗 擊釘實驗	接觸面積 握力 準確度	人因設計
林合懿	EMG 主觀評比	打擊鐵 30 分鐘，紀錄 EMG 指數	操作模式、績效 工作時間、休息時間	人因設計
侯宇晟	EMG 舒適度 工作效率	7 種*握柄角度 3 種*重心配置	角度 重心 主觀偏好	設計實務
王廣松	握力 主觀偏好	男：10 支 1.5 吋釘、女：5 支 1.5 吋，釘完全釘入作業木條。	作業績效（握力衰退、作業時間） 生理變數	人因設計
林芳如	主觀感受 產品意象	20 把樣式不同之榔頭分析消費者期望意象	感性意象	感性工學
李思葶	主觀感受 產品意象 聲音意象	40 個聲音樣本 10 個形容詞	感性意象	感性工學
林清雲	主觀感受 產品意象	5 家五家手工具品牌 企業之分析比較	產品識別	感性工學

2.4.1 榔頭設計相關研究

近幾年來交通大學應用藝術研究所人因實驗室與鉸基公司(原海崙)產學合作之下，對榔頭之人因(作業績效、重心角度及生理變數)、造形(產品意象)、物理屬性(聲音)，進而整體產品識別，要進行多面向之榔頭的研究成果已日趨完整，以下便針對鉸基公司之建教合作案所完成之研究作一系列之探討。

一、陳建志(2002)，鐵鎚的人因設計初探－羊角鎚的分析

此研究以兩種握柄的斷面形狀和握持位置，比較手掌接觸面積、施力小、敲擊準確度和失誤率等敲擊績效等。實驗結果顯示，握柄上凸起的斷面形狀與手掌的接觸面積比凹入的形狀者大；握在握柄末端的力臂較

長，所產出的力矩較大，但準確度會降低，失誤率也會提高。

二、林合懿(2002) 透過人機介面探討榔頭工作模式與績效之關係

此研究透過榔頭之打擊作業實驗，應用 **EMG** 儀器量測，了解手部肌肉參與工作之狀態，藉此防止過度肌力負荷，以達到預防或降低累積性傷害。研究結果顯示，榔頭打擊工作效率以 **1.5 吋釘** 為例，約每分鐘打擊 **6 支** 最適當，榔頭打擊過程，肱二頭肌有較明顯之收縮，容易產生疲勞，在連續工作 **8-14 分鐘** 左右，應自發性休息。此研究也提及打擊時普遍有手部過度施力，疲勞疼痛感，顯示振動與握柄亦是影響打擊工作施力改變之變因。

三、王廣松(2003)人體計測變數對選用榔頭之影響

此研究提出，生理尺寸對合適榔頭的選用，有其相關性，如有前臂圍與體脂量、身高與手掌長等，但並不是絕對的相關。因此，每個人所適用的榔頭都不相同。研究中指出，所有女性受測者中，使用上最佳效能的榔頭為 **20oz** 與 **22oz**；而省力的績效部分則是 **16oz** 與 **20oz** 為主。此研究規範出適合用來判斷選用榔頭之人體生理變數，藉由人體生理變數，可以建立一個提供使用者判斷之生理量表，以及一套公式以調查符合使用者生理變數之榔頭。

四、侯宇晟(2002) 建築用榔頭之人因設計因素

此研究以改變榔頭重心與角度兩個設計因素，探討其對使用者工作時的舒適度、使用績效及擊釘姿勢矯正之影響。研究結果為，舒適度與專業的姿勢傾向效果而言，重心位置距離鎚頭(head)**18 公分**、握柄角度**-5 度**的榔頭，具有最佳效果。以績效而言，重心位置距離鎚頭 **14 公分**、握

柄角度-5 度的榔頭具有最佳效果。

五、林芳如(2003) DIY 族群對榔頭期望意象與造形元素之對應關係

此研究以感性工學的方法，探討榔頭產品期望意象與造形呈現之關係，以 DIY 族群與專業使用者分別探討。所得結果為，DIY 族群對於榔頭之期望意象前五名大排名為「堅固耐用」、「實用」、「安全」、「省力」、「專業」；而由專家訪談中整理出專業人士對榔頭之前五大排名為「堅固」、「耐用」、「安全」、「省力」、「輕便」。DIY 族群以擁有專業意象的榔頭來滿足心理層面之需求，因此造形設計上是重要之因素。

五、李思葶(2004) 金屬手工具撞擊聲對消費者感性意象之研究

針對金屬手工具之榔頭撞擊時，所產生出來的聲音，做物理性與心理性的調查與分析，尋求符合產品意象的聲響。

六、林清雲(2004)品牌形象與產品識別之一致性研究

此研究選擇 Stanley、Bosch、Victorinox、Makita 等四家手工具製造商，探討品牌形象與產品識別，並藉著分析 Stanley 公司的品牌形象與產品識別，比較與 Heavy Hitter 之間的差異。研究指出在情緒性因子、評價性因子及機能性因子等三個向度的設計因素，作為設計師產品設計時之參考。

經由以上文獻之歸納，可將上述研究範圍整理如下表 2.4。

表 2.4 榔頭設計文獻分析

研究者	生理績效	作業績效	主觀評量	人體計測	物理特性	設計特徵	其他
陳建志 (2002)	無	準確度、失誤率	主觀量表	無	無	握柄斷面	無
林合懿 (2002)	EMG 值	無	主觀量表	無	無	無	作業姿勢
侯宇晟 (2002)	EMG 值	敲擊時間	主觀量表	無	無	重心、角度	作業姿勢
王廣松 (2003)	EMG 值	敲擊時間	主觀量表	生理尺寸	無	重量、長度	無
林芳如 (2003)	無	無	期望意象	無	無	造形形態	無
李思葶 (2004)	無	無	期望意象	無	聲音表現	無	無
林清雲 (2004)	無	無	期望意象	無	無	產品識別	無

經由表 2.4 之歸納，發現主觀評價與設計特徵為最多研究所探討之指標；榔頭之物理特性在近年來，亦有關於聲音探討的論文，因此本研究將主觀偏好與設計特徵列為主要探究之對象並以榔頭之物理特性為主體作為研究之主要探討方向。

2.4.2 手工具設計

近來已有多方文獻證實手工具設計會影響使用者操作，進而危害操作人員身體健康。而手工具乃是延伸手的能力，本節針對手部生理學有關之設計原則整理如下：

1. 保持手腕正直，避免尺偏

手部彎曲不當的潛在後果會造成累積性的傷害，例如腕道症候群 (carpal tunnel syndrome)、腱鞘炎(tenosynovitis)、板機指等。在榔頭敲擊的過程中，操作者的手部容易形成尺偏，並且接受強大的衝擊力，而導致累積疲勞發生，造成工作傷害。因此在握把設計上應避免尺偏，研究結果發現，使用握把彎曲 20° 或 40° 的鐵鎚，能有效降低因尺偏所產生手臂、腕部累積性疲勞傷害，並且在滿意度上能有效提高

(Schoenmarklin & Marras,1989)。

2. 避免組織受到壓迫

操作手工具時手部需施以相當大的力量，並且也直接承受反作用力的衝擊。而手掌心是重要的血管與神經所在，對壓力特別的敏感。強大的衝擊力與壓縮力，容易阻礙血液之流經尺動脈，而造成局部的缺血或絕血，導致手指麻痺和刺痛。因此在設計榔頭時，應減輕手掌心之壓迫，將力量分散至手指關節處或拇指弧口，以有效施力並且降低掌心壓迫力。

3. 適切的工作速率與工作負荷

不當的體力工作負荷，不僅無法有效增進績效，反而可能因長時間過度體力負荷，導致累積疲勞發生，造成工作傷害。在最佳工作條件下，人體勞動效率也只有 30%，其餘 70% 的能量，皆在應付沒有效率的工具設備或工作方法。因此進行長時間工作時，必須有規律的休息，並且在工作之前，須有精確且周延計劃之工作方式。

4. 降低回振力

回振力影響多出現在動力手工具所誘發手臂或手掌等部位的振動。在榔頭敲擊過程中，強勁的衝擊力會導致手掌與手指部位產生發麻的感覺。短時間的敲擊並不會造成操作人員不舒適感覺，但在長時間的使用下，手部振動敏感度降低，不自覺的操作容易導致手指麻痺和刺痛。本研究探討由敲擊所產生之衝擊性的回振力，最終目的亦為減輕或避免此一現象。

2.4.3 人因改善手工具案例

我國勞工研究(1997)根據相關研究，提出有關於榔頭設計相關人因分析，如表 2.5 所示。整體而言，對於工具握把之改善建議圍繞在彎柄式設計，可見尺偏問題嚴重影響操作者之健康。而羊角鎚之改善案例中，使用軟性橡膠及減少握把紋路之建議，便是以提升使用舒適性為目的。本研究亦將舒適性納入研究重點。

表 2.5 我國榔頭人因設計分析

分析工具	待改善問題	改善建議
羊角鐵鎚	直握柄，手腕尺偏 握把硬質塑膠包覆層太硬。 握把紋路太寬且過深。	彎柄式設計 握柄使用軟性橡膠包覆層 紋路設計，深度不超過 3.2 分釐 (mm)
直頭形、 球形鐵鎚	過重 直握柄，手腕尺偏 直徑太大，握持不易 鐵鎚與木柄容易脫落	工具重量不超過 2.3 公斤。 彎柄式設計。 握柄直徑不超過 6 公分。 鎚頭木柄間嵌入一金屬尖片固定。
木槌、 橡膠鎚	直握柄，造成尺偏	小角度彎柄式設計，約 5~10 度

第三章 研究方法

本研究的實驗分成兩個部分：受測者敲擊實驗及操作主觀舒適度量表。主觀量表內容包含兩部份，一為手指/掌部為麻（振動）程度感覺，二為回振力、疲勞程度、握把舒適度及整體滿意度等。

3.1 實驗目的

本實驗由收集敲擊榔頭時之振動特性與操作者之主觀舒適度感受為基礎，以歸納影響榔頭振動之設計要素、回振力、感受疲勞程度（省力）與主觀的滿意度等評量，分析榔頭設計之差異，以提供設計榔頭設計之參考。



3.2 實驗設備

3.2.1 衝擊記錄器

本研究透過衝擊紀錄器，量取榔頭敲擊時之相關振動資訊，其分為四個部分 1.加速規 2.力量規 3.報表程式 4.擷取盒。此系統擷取並顯示衝擊波形，以加速度(g)及力量(kg)為顯示單位。加速規為輸出和振動加速度成比例的換能器，其為由壓電片、簧片和重塊組成的壓電加速度計，加速規之規格為 1g(加速度單位)產生 0.228mv(毫電壓)，力量規之規格為 1kg 力產生 103.2mv(毫電壓)。

透過擷取盒以擷取加速度及力量的變化情形，轉入報表程式，紀錄衝

擊力量之最大值與時域圖，回傳至電腦。圖 3.1 為儀器架構圖。以下再進一步說明各部之設置要點。

本實驗之設備為確保所得數據之精準度，於正式實驗前均已送往儀器廠商進行儀器校準。

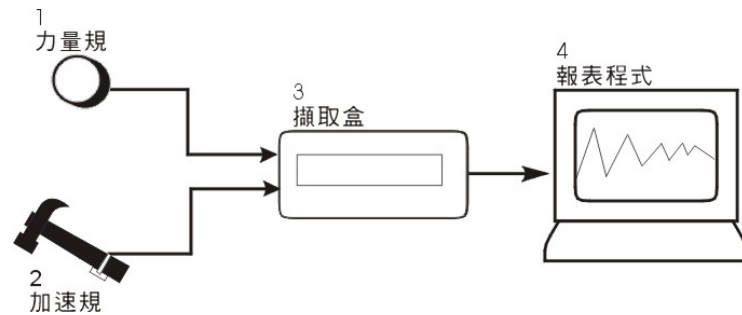


圖 3.1 實驗儀器架構圖

1. 力量規

力量規固定於一高 85cm 之三角鐵架敲擊檯(圖 3.2)，此高度與實際工作台面之高度相仿，以利受測者敲擊工作之用。



圖 3.2 力量規敲擊台面

2. 加速規

經由與榔頭專家討論過後，因敲擊作業為垂直方向力量傳輸，因此加速規以束線帶固定於榔頭握把垂直面中心線尾端約 1.5mm 處，束線端避開手部握持部位，如圖 3.3 所示。



圖 3.3 加速規固定位置示意

3. 擷取盒

加速規及力量規所接受之衝擊力量訊號傳至擷取盒(圖 3.4)，由擷取盒回傳至報表程式。加速規與力量之設定皆由擷取盒控制，擷取盒設定流程如圖 3.5 所示。



圖 3.4 擷取盒

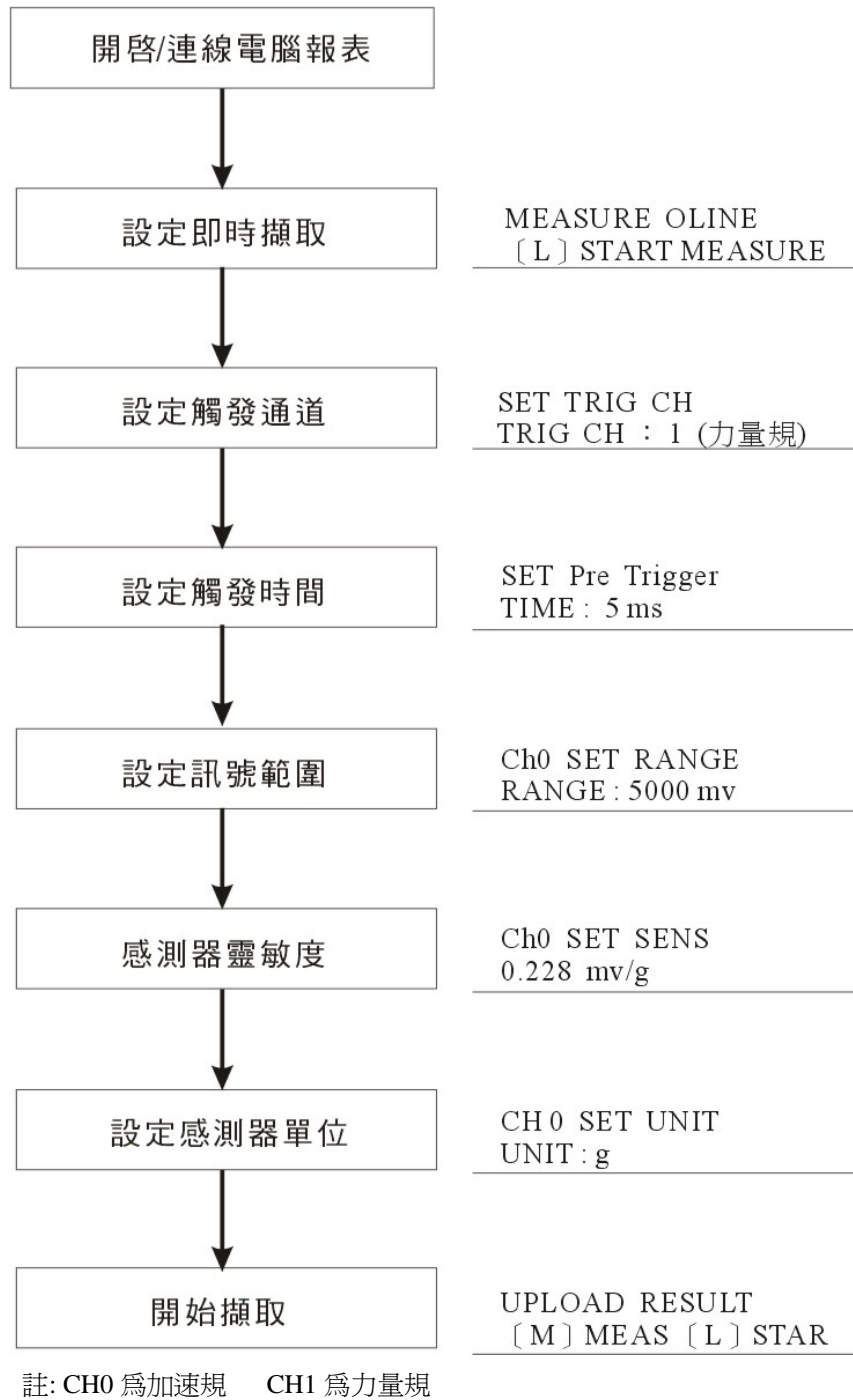


圖 3.5 擷取盒設定流程

4. 報表程式

量測輸出的報表程式如圖 3.6，上部圖形為加速規所產生之時域波形，可初步判別波形的正確性，並且可判讀出此把榔頭之加速度峰值與出現峰值之位置；下半部為衝擊力時域波形，亦可判讀衝擊力之峰值，與出現峰值之位置。報表程式可將資料輸出成.csv 檔，以利傳輸分析之用，資料之擷取處理程序如圖 3.7 所示。

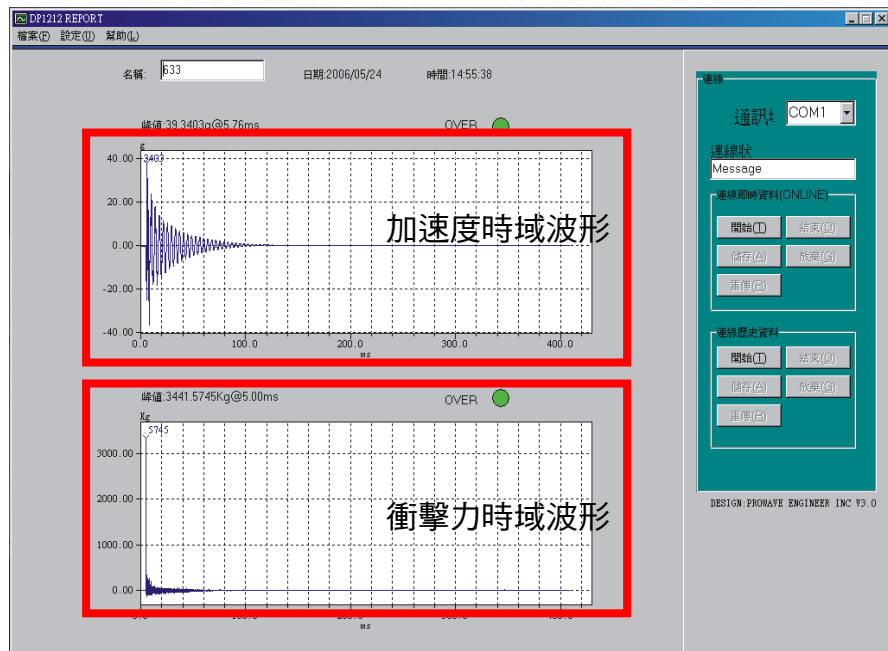


圖 3.6 報表程式

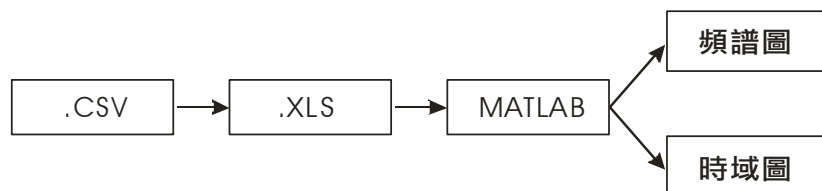


圖 3.7 資料擷取處理程序

(一) 安全設備

實驗過程中，受測者必須用力敲擊力量規，敲擊過程中，敲擊台上可能會有塵削飛出、榔頭飛脫等危險，並會伴隨刺耳的噪音，容易造成眼部或聽力的傷害。因此在敲擊實驗過程中，受測者需戴上安全防護眼罩與耳塞(圖 3.8)，以達到保護效果。



圖 3.8 安全防護眼罩及耳塞

3.3 實驗變項

本實驗依主觀量表資料、量測之榔頭振動特性與榔頭之設計特徵等資料，在迴歸分析中進行變項分析，以下分別說明實驗之變項：

3.3.1 獨立變項

本研究為確保實驗用樣本為市面普遍販售之榔頭，因此收集包含市面上已有之三大主要品牌(Plumb、Stanly 及 Estwing)之榔頭，也包含三種常用之重量(16、20 及 22oz)、兩種結構(一體成形及多件組合)之羊角鎚榔頭共 18 支，如圖 3.9 所示。


編號	榔頭樣本	編號	榔頭樣本	編號	榔頭樣本
H01		H02		H03	
H04		H05		H06	
H07		H08		H09	
H10		H11		H12	
H13		H14		H15	
H16		H17		H18	

圖 3.9 實驗用榔頭樣本

3.3.2 相依變項

本研究主要有兩種評量指標，一為儀器所量測之振動特性，二為榔頭敲擊實驗後的主觀舒適度，作為分析榔頭設計特徵之相依變項(DV)。但在分析振動特性與主觀舒適度之關係時，振動特性被當成是獨立變項(IV)。以下說明這些變項。

1. 振動特性

本研究根據(王栢村、黃瑞光，2000)及機械專家之建議萃取出阻尼指數、主頻率、共振點數、平均能量等，作為振動特性指標，以下分別說明：

A. 阻尼指數(exponential damping)

阻尼振動看似簡諧振子的 $\sin(\omega t + \varphi)$ ，但其振幅卻隨時間增加而減少，此振動存在著一個指數 e^{-at} 關係衰減。阻尼指數 a 為一時間常數(time constant)，阻尼振子代表榔頭振動衰退的速率，可視為振動持續的時間，相對於為榔頭之吸振狀態。

B. 主頻率(resonant frequency)

振動的時域波形經快速傅力葉分析，可以分解不同頻率組成的波形，並做出高低排列。這種頻率的排列，就是所謂的頻率分析。在頻譜圖中能量最高，共振時間最長者，則定義為“主頻率”，其單位為 Hz。由此頻率可知道此把榔頭振動時的能量傳遞，高頻的榔頭振動的能量較多。

C. 共振點數(peaks)

由頻譜圖可看出，某些振動除主頻率外，仍有某些次頻率相較地突出(形成波峰)。因此可依據波峰的數量計算共振點數，代表物件產生振動部位的多寡，本實驗以眾數平均數，計算共振點數的多寡。

D. 平均能量(magnitude)

頻譜圖中主頻率之鋒值點(**peak** 值)，顯示榔頭振動的能量大小。本研究經 30 位受測者所敲擊同一把榔頭的振動波峰值之能量總平均值，作此榔頭振動的平均能量。

2. 主觀舒適度評量

本研究之主觀問卷為參考陳建志(2002)所發表之期刊文章及清華大學錡信堯(2003)年所發表之論文所提出之主觀舒適量表，加以修整而成。

主觀問卷分為兩個部份：

1. 手部細振感覺程度，包含手指部位與手掌部位之細振感覺，如圖 3.10。
2. 主觀舒適度包括：a.回振力之嚴重程度、b.疲勞感之嚴重程度、c.握把舒適性及 d.整體滿意度。

為幫助受測者能專注感受手部各部位振動的程度，因此在實驗開始前，先請受測者閱讀手部區域圖片說明，以幫助受測者確定並記憶問卷所指之手部及局部區域，問卷內容於附錄二。

為避免受測者的適應情況與榔頭偏好主觀影響，樣本的敲擊順序採隨機順序進行。

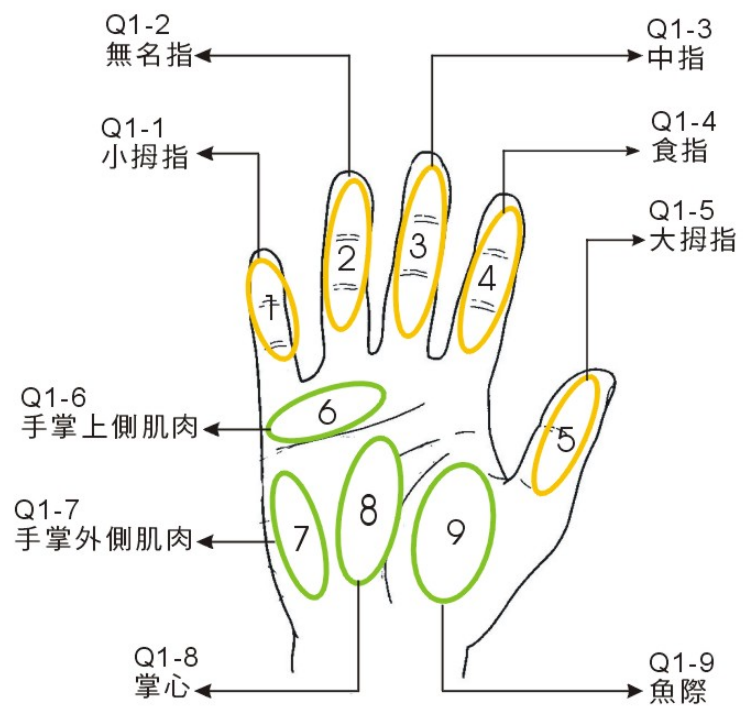


圖 3.10 手部細振部位對照



3.4 受測者敲擊實驗

本實驗目的包括擷取榔頭振動值與操作後主觀舒適度評量。受測者以榔頭敲擊力量規五次後填寫主觀問卷，計完成一把榔頭之敲擊。實驗進行中每敲擊 5 把榔頭休息 1 分鐘，須完成 18 把榔頭之敲擊，總計實驗時間為 1.5~2 小時左右。

3.4.1 受測者

受測者以一般 DIY 族群為對象，考慮受測者之年齡與個人能力差異之狀況，以建立正確有效之評量，因此本實驗以交通大學學生 30 人為主，年齡介於 25 歲左右。

3.4.2 實驗環境

本研究實驗場地配置如圖 3.11 所示，再一獨立的實驗室進行，其敲擊實驗區置於實驗空間的中央，以便於敲擊作業。敲擊作業結束後，受測者移往前方之工作桌進行填寫問卷表格及休息，右邊則為實驗者操作作業區。

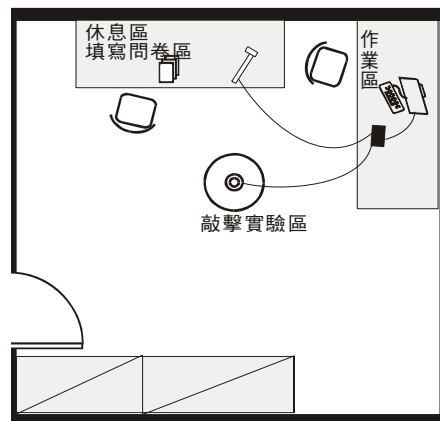


圖 3.11 受測者敲擊實驗場地規劃

3.4.3 實驗程序步驟

本實驗分為七步驟，實驗流程如圖 3.12 所示：

1. 準備作業：確認報表與擷取盒連線成功，黏置加速規於榔頭握把處。
2. 實驗說明：向受測者說明整個實驗目的與流程。
3. 受測者閱讀注意事項：內容包括敲擊次數與休息時間，及手部知覺圖片，如附錄二。
4. 練習敲擊：請受測者練習敲擊力量規，並調整敲擊姿勢與力道。
5. 正式敲擊：請受測者握持榔頭敲擊力量規，實驗者擷取敲擊資料，間隔 5 秒後敲擊一次，此動作重複 5 次。在連續敲擊 5 把榔頭後休息 1 分鐘。
6. 填寫主觀問卷：填寫一份對於該榔頭操作之主觀評量(附錄二)。
7. 資料擷取：重複步驟 4~5 進行其他樣本榔頭敲擊作業。



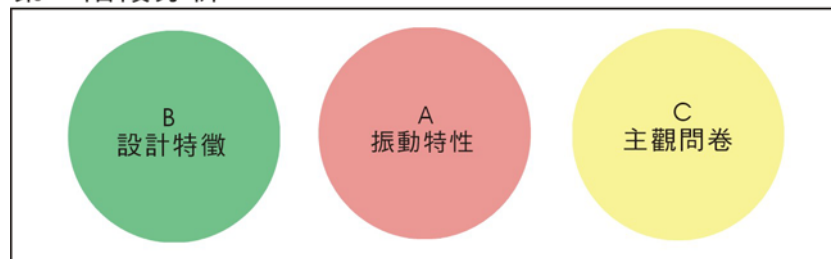
3.5 小結

本研究依照上述實驗設計，進行受測者敲擊實驗及主觀舒適度問卷調查，所得數據於下一章節進行整理，並分析受測者主觀舒適度評量、榔頭振動特性及榔頭設計特徵之間的關係。

第四章 研究結果

實驗結果整理分析分為兩個階段，第一階段針對主觀偏好、振動特性及設計特徵之各組資料分別進行初步分析，以了解各變項之相間的關係，後並針對問卷進行因子分析，以縮減依變項之因子。第二階段針對主觀偏好、振動特性及設計特徵進行迴歸分析，比對之間的關係，分析流程圖如圖 4.1 所示。

第一階段分析



第二階段分析

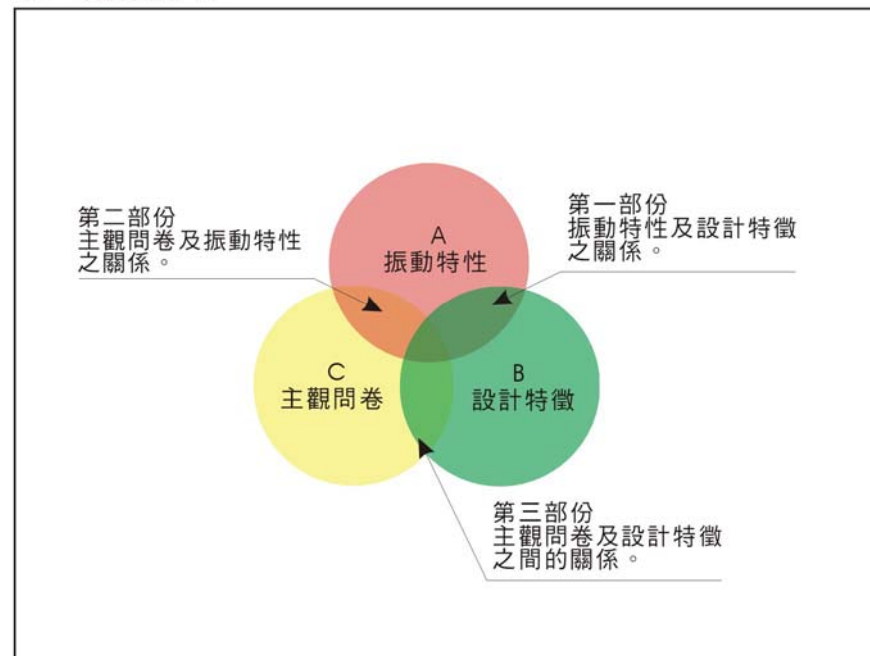


圖 4.1 分析流程關係

4.1 資料整理

此階段實驗資料整理共分爲三個部份：

振動特性：敘述振動特性之資料收集及處理過程，比較其相關性。

設計特徵：榔頭之設計特徵分門別類，並且進行相關性分析。

主觀問卷：進行成對 t 檢定以觀察各問卷中各把榔頭之表現，並進行因子分析縮減問卷內容，以利迴歸分析之用。

以下便針對第一階段分別分析討論。

4.1.1 振動特性

由擷取盒中所獲得加速規之資料數爲每 1ms(毫秒)擷取 25 次數值，共擷取 430ms，一次振動可收集 10750 筆，爲了精減數據數據，本實驗剔除趨近於零點之振動數值。而實驗樣本所產生之振動於 50ms 過後逐漸趨近於零，因此實驗數據取前 50ms (約 1250 筆資料)以利分析。力量規所得數據爲敲擊之衝擊力道，目的僅爲確認受測者之敲擊力道並無特異之偏差。

在收集實驗數據同時，無可避免也會摻雜收到環境所造成之雜訊干擾。爲消去此干擾，所獲得數據須經過濾波器(Filter)以過濾高頻雜訊。數值擷取流程如圖 4.2，每把榔頭所擷取之振動時域圖，透過低通濾波器(low pass filter)將高頻雜訊過濾，後導正偏差(DC bias)，並取其絕對值，繪出嵌合曲線(curve fitting)以取得振動阻尼指數。其他之振動特性，則透過 MATLAB 軟體指令的快速傅力葉(FFT)將時域圖轉換成頻譜圖，以觀察該把榔頭之主頻率、平均能量及共振點數(擷取程式見附錄三、四)。

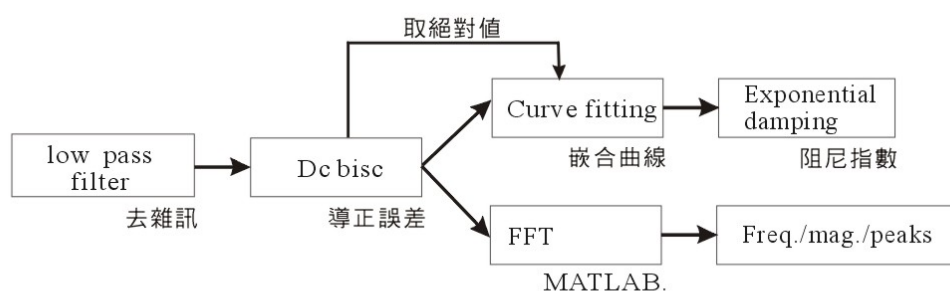


圖 4.2 數據擷取流程

每把榔頭皆由 30 位受測者進行 5 次敲擊，並取 3 筆敲擊力道較相近之數據，經由上述流程(圖 4.2)處理。共振點數採眾數平均數為該把榔頭之代表；平均能量、主頻率及組尼指數則皆為 30 位受測者之 3 筆資料所得之平均數，這些振動特性整理如下表 4.1。

表 4.1 各榔頭產生之振動特性

榔頭編號	H01	H02	H03	H04	H05	H06	H07	H08	H09
共振點數(個)	1	1	2	1	1	2	2	2	2
平均能量	3668.00	4850.50	4124.50	4004.30	4627.18	1503.71	1902.20	1404.11	1588.57
主頻率(hz)	17.56	20.00	16.83	17.57	14.59	15.68	16.09	17.13	14.29
阻尼指數(a*10 ⁴)	41.70	32.18	32.18	32.18	24.13	32.54	43.78	60.22	49.28
榔頭編號	H10	H11	H12	H13	H14	H15	H16	H17	H18
共振點數(個)	2	2	2	2	3	3	3	3	3
平均能量	2905.16	1880.64	1932.48	2835.82	6561.88	2633.47	3165.21	3321.26	3100.76
主頻率(hz)	16.14	18.07	10.40	12.80	12.80	17.45	16.26	11.20	11.20
阻尼指數(a*10 ⁴)	24.46	54.22	24.34	21.76	22.93	37.17	29.12	24.10	21.64

註：經由 fft 所轉換之能量值為表示主頻率之強度。

這些振動特性間的相關性分析如下表 4.2，可以得知主頻率與共振點數呈顯著負相關，也就是主頻率(基頻)高之振動，共振點數少。阻尼指數與平均能量也是顯著負相關，代表在阻尼指數高的榔頭特徵下，平均能

量都會相對的減少。阻尼指數則與共振頻率呈正相關，意指阻尼指數高之共振頻率亦高。雖然有以上的顯著相關，但其相關係數中並不高，因此後續之分析中，各指標應分別討論。

表 4.2 榔頭振動相關係數分析

		PEAKS	平均能量	共振頻率	阻尼指數
共振點數	Pearson 相關 顯著性 (雙尾) 個數	1.000 . 18			
平均能量	Pearson 相關 顯著性 (雙尾) 個數	-.088 .730 18	1.000 . 18		
共振頻率	Pearson 相關 顯著性 (雙尾) 個數	-.484* .042 18	.020 .938 18	1.000 . 18	
阻尼指數	Pearson 相關 顯著性 (雙尾) 個數	-.201 .425 18	-.531* .023 18	.549* .018 18	1.000 . 18

*. 在顯著水準為0.05 時 (雙尾)，相關顯著。

4.1.2 設計特徵

經與榔頭設計專家(鉸基公司)討論，初步認為可能會影響振動與敲擊舒適性的設計特徵分為如下之類目如圖 4.3，包括：錘頭重量(g)、總長(cm)、總重量(g)、重心距離榔頭位置之百分比、握柄斷面形狀(扁薄、多邊、圓桿、方形)、握柄直徑、結構(一體成形、多件組合)、羊角弧度(拔釘直角或拔釘彎角)、柄身材質(金屬、木質、玻璃纖維)、握持處材質(木質、塑膠)等。依此類目將受測 18 把榔頭之設計特徵加以量測分析，製成如表 4.3 榔頭設計物理屬性，及表 4.4 榔頭設計外觀特徵：



圖 4.3 設計特徵定義

表 4.3 榔頭設計物理屬性

	鎚頭重量(g)	總長 (cm)	總重量(g)	重心 (百分比)	握柄直徑(cm)
H01	450.0	33.0	700	27.88	4.8
H02	450.0	33.0	760	26.67	4.8
H03	562.5	34.5	820	26.67	4.8
H04	562.5	34.5	840	27.54	4.8
H05	618.8	40.5	940	27.16	4.8
H06	450.0	33.0	640	20.61	7.8
H07	562.5	33.0	750	19.09	8.0
H08	562.5	35.0	740	18.57	7.8
H09	450.0	33.0	640	19.09	6.8
H10	450.0	33.0	650	20.61	7.8
H11	450.0	33.0	660	19.70	7.8
H12	450.0	33.0	720	24.24	7.8
H13	450.0	42.5	780	20.24	7.8
H14	590.6	35.0	1000	25.71	10.8
H15	450.0	34.0	820	30.00	4.8
H16	562.5	35.0	850	30.29	48.0
H17	562.5	35.0	830	21.43	8.3
H18	562.5	34.0	830	20.00	7.8

表 4.4 榔頭設計外觀特徵

	握柄斷面形狀	結構	羊角弧度	柄身材質	握持處材質
H01	扁薄	一體成形	彎	金屬	塑膠
H02	扁薄	一體成形	直	金屬	塑膠
H03	扁薄	一體成形	直	金屬	塑膠
H04	扁薄	一體成形	彎	金屬	塑膠
H05	扁薄	一體成形	直	金屬	塑膠
H06	多邊	多件組合	彎	木質	木質
H07	多邊	多件組合	直	木質	木質
H08	圓桿	多件組合	直	木質	木質
H09	圓桿	多件組合	直	木質	木質
H10	多邊	多件組合	彎	木質	木質
H11	多邊	多件組合	直	木質	木質
H12	方	多件組合	直	玻璃纖維	塑膠
H13	圓桿	多件組合	直	木質	塑膠
H14	方	多件組合	直	玻璃纖維	塑膠
H15	扁薄	一體成形	彎	金屬	塑膠
H16	扁薄	一體成形	彎	金屬	塑膠
H17	圓桿	多件組合	直	玻璃纖維	塑膠
H18	圓桿	多件組合	直	玻璃纖維	塑膠

樣本受限於整體結構強度與製造加工之因素，一體成形之榔頭所對應之柄身材質皆為金屬類，並配合塑膠材質之握柄。多件組合之榔頭結構為木柄材質與玻璃纖維材質，如表 4.5 所示。

表 4.5 樣本設計特徵關聯性歸納表

結構	柄身	握把材質	斷面形狀
一體成形	金屬	塑膠	扁薄形
多件組合	木質	木質	多邊形
			圓桿
	玻璃纖維	塑膠	圓桿 方

4.1.3 主觀問卷

本實驗共有 30 位受測者，分別敲擊 18 把榔頭，針對每把榔頭分別給予手部細振與主觀舒適度之評價。為了解各榔頭所造成手部各區域細振之差異，先進行成對樣本 *t* 檢定，接著進行問卷進行因子分析，以萃取之因子進行分析。

1. 主觀問卷指標因子擷取

在主觀問卷調查中之題目有相關性的存在，在問卷分析過程中為了解其問題之指標有無程度上之相關，因此以統計軟體進行因子分析，以特徵值(eigenvalue)大於 1 為擷取因子之根據。由此可得兩因子，因子軸經最大變異數旋轉後，各主觀評量與因子之相關係數如表 4.6 所示，此二因子可解釋的變異量分別為 47.16%及 32.63%。第一因子包含的大都為振動感覺因此可看為振動覺因子，振動覺因子得分高時，代表振動程度不嚴重不明顯，反之振動覺因子得分低則表示振動感越嚴重明顯；第二因子包含舒適度與整體滿意度，因此應可看為舒適性因子。

表 4.6 因子分析所得各主觀問卷與兩因子之關係

	成份	
	1	2
中指	.873	.387
食指	.870	.386
上側肌	.816	.214
回振力	.809	.440
魚際	.796	.165
疲勞度	.723	.546
無名指	.718	.637
下側肌	.703	.634
大姆指	.630	.238
舒適度		.925
滿意度	.459	.852
掌心	.488	.700
小姆指	.527	.665

萃取方法：主成分分析。

2. 成對樣本 T 檢定

經由統計軟體進行成對樣本 t 檢定，以了解樣本群中各把榔頭在各主觀評量得分之差異，詳細結果如附錄五。在此顯示各榔頭之因子得分差異 t 檢定，如表 4.7 為舒適度因子 t 檢定之結果；表 4.8 為振動覺因子之 t 檢定結果。

舒適度因子 t 檢定中，18 把榔頭在舒適度因子得分較高排名前 3 把榔頭分別為 H11、H09、H12 與其他把榔頭有顯著差異較明顯；得分較低之後 3 把榔頭則為 H14、H05、H13。

表 4.7 舒適度因子 t 檢定

舒適度因子
H11> H09> H12> H08> H01> H02> H06 H12> H08> H01> H02> H06> H10 H08> H01> H02> H06> H10> H17> H15> H03 H06> H10> H17> H15> H03> H18> H07> H04 H15> H03> H18> H07> H04> H16> H13 H18> H07> H04> H16> H13> H05> H14

振動覺因子 t 檢定中，18 把榔頭在舒適度因子得分較高排名前 3 把榔頭分別為 H09、H06、H08 與其他把榔頭有顯著差異較明顯；得分較低之後 3 把榔頭為 H13、H14、H04，如表 4.8 所示。

表 4.8 振動覺因子 t 檢定

振動覺因子
H09> H06> H08> H15> H12> H11> H07> H01> H10> H05> H02> H03> H18> H15> H12> H11> H07> H01> H10> H05> H02> H03> H18> H17> H16> H02> H03> H18> H17> H16> H04> H03> H18> H17> H16> H04> H14> H18> H17> H16> H04> H14> H13

4.2 變項間關係之分析

本研究接著以統計軟體進行迴歸分析，嘗試以「enter」、「stepwise」、「remove」、「forward」、「backward」等五種迴歸模式進行分析，由於前四項分析模式所得結果較不理想，因此最後決定以「backward」(向後式)之迴歸分析模式做複線性迴歸分析。該模式會將資料作進一步的篩選，由關連性最低的因變項逐次剔除，進而保留關連性較高的因變項，最後達到顯著性(<0.05)的項目選出，構成特定意象的迴歸方程式。迴歸分析中的標準化係數 **Beta** 值，可以表達因變項的重要影響程度，正值表示會增強依變項，負值則顯示應用其對應之設計特徵會減弱該依變項，絕對值越大則影響越大。本研究針對以下三個部份進行迴歸分析：

第一部份 振動特性與主觀評估關係之分析。

第二部份 榔頭設計特徵與振動特性關係之分析。

第三部份 榔頭設計特徵與主觀評估之關係分析。

第一部份迴歸分析中，振動特性為因變項(IV)，主觀評估為依變項(DV)；第二部份迴歸分析中，榔頭設計特徵為因變項(IV)，振動特性為依變項(DV)；第三部份迴歸分析中，榔頭設計特徵為因變項(IV)，主觀評估為依變項(DV)。

4.2.1 振動特性與主觀評量關係之分析

振動特性與主觀評估關係之分析中，振動特性為因變項(IV)而舒適度評估為依變項(DV)，舒適度評估將以兩因子進行迴歸分析。由迴歸分析的標準化係數權重值，可以分辨出主觀因子對該振動特性的重要影響程

度。如表 4.9 所示，分析結果中的未標準化係數 B(unstandardized coefficients)，可以看出舒適度因子與阻尼指數的關係，其迴歸方程式為：

$$\text{舒適性因子} = 1.462 + 0.02(\text{阻尼指數}, a \cdot 10^4)$$

表 4.9 振動特性影響舒適性因子之迴歸分析結果

模式	未標準化係數		標準化係數	t	顯著性
	B 之估計值	標準誤	Beta 分配		
5 (常數)	1.462	.219		6.669	.000
阻尼指數	2.026E-02	.006	.636	3.295	.005

a. 依變數：舒適因子

表 4.10 結果顯示另一迴歸分析，平均能量及阻尼指數與振動覺有較高的關連性。分析結果中的未標準化係數 B，可以看出振動因子與阻尼指數、平均能量的關係，其迴歸方程式為：

$$\text{振動覺因子} = 3.067 - 0.00007(\text{平均能量}) + 0.0069(\text{阻尼指數 } a \cdot 10^4)$$

表 4.10 振動特性影響振動覺因子之迴歸分析結果

模式	未標準化係數		標準化係數	t	顯著性
	B 之估計值	標準誤	Beta 分配		
4 (常數)	3.067	.199		15.384	.000
平均能量	-6.956E-05	.000	-.454	-2.196	.044
阻尼指數	6.885E-03	.004	.384	1.858	.083

a. 依變數：振動因子

影響振動特性與主觀評量之迴歸分析可歸納如表 4.11，其結合各振動特性對主觀評估的影響，其中舒適性因子與阻尼指數有正相關。阻尼指數代表榔頭的吸振程度，所以，吸振程度高的榔頭，相對會有較高的整體滿意度評價；整體滿意度則與平均能量、主頻率及共振點數無明顯的

相關。

振動覺因子與阻尼指數也成正相關，阻尼指數高，振動較不明顯。振動覺因子與平均能量呈負相關，但與主頻率及共振點數無顯著相關。平均能量代表振動之能量大小(回振力)，回振力越大感受振動越明顯。

表 4.11 影響振動特性與主觀評量之分析

	舒適性因子	振動覺因子
阻尼指數	+	+
平均能量	X	-
主頻率	X	X
共振點數	X	X

“+”代表正向影響；“-”代表負向影響；“X”代表無顯著關係

4.2.2 榔頭設計特徵與振動特性關係之分析

由上述分析中，舒適性因子與振動覺因子有顯著影響關係的振動因素為阻尼指數及平均能量，而與主頻率及共振點數無顯著相關。人體所能感受到之振動頻率下限為 10~18hz 之間，而本實驗樣本中的振動頻率皆大於 10~18hz，因此以下仍保留主頻率，剔除和舒適度因子及振動覺因子無關之共振點數。

表 4.12 針對榔頭設計特徵與阻尼指數之回歸分析結果中，由未標準化係數 B 可看出阻尼指數(DV)與榔頭設計特徵(IV)之關係，其迴歸方程式為：

$$\text{阻尼指數} = 126.89 - 2.688(\text{總長度, cm}) + 15.88(\text{圓桿斷面, 斷面形狀}) - 11.567$$

$$(\text{方斷面, 斷面形狀})$$

表 4.12 榔頭設計特徵影響阻尼指數的迴歸分析結果

模式		未標準化係數		標準化係數	t	顯著性
		B 之估計值	標準誤	Beta 分配		
7	(常數)	126.890	26.367		4.812	.000
	總長	-2.688	.767	-.607	-3.503	.004
	圓桿斷面	15.883	5.431	.520	2.924	.011
	方斷面	-11.567	4.527	-.422	-2.555	.023

a. 依變數：阻尼指數

阻尼指數與榔頭之總長度、方形斷面有顯著負相關，與圓桿斷面正相關。

榔頭設計特徵與主頻率迴歸分析結果如表 4.13 所示，由表中的未標準化係數 B 可看出主頻率與設計特徵之關係，其迴歸方程式為：

$$\text{主頻率} = 28.18 - 0.56(\text{總長, cm}) + 0.0102(\text{總重量, g}) - 6.27(\text{方斷面})$$

表 4.13 榔頭設計特徵影響主頻率之迴歸分析結果

模式		未標準化係數		標準化係數	t	顯著性
		B 之估計值	標準誤	Beta 分配		
7	(常數)	28.175	3.691		7.634	.000
	總長	-.560	.126	-.548	-4.440	.001
	總重量	1.026E-02	.004	.384	2.895	.012
	方斷面	-6.270	.741	-.992	-8.467	.000

a. 依變數：主頻率

榔頭設計特徵與平均能量進行迴歸分析之結果如表 4.14，由分析結果中未標準化係數 B 可看出平均能量與總重量的關係，其迴歸方程式為：

$$\text{平均能量} = -4921 + 10.35(\text{總重量, g})$$

表 4.14 榔頭設計特徵影響平均能量之迴歸分析結果

模式		未標準化係數		標準化係數	t	顯著性
		B 之估計值	標準誤	Beta 分配		
10	(常數)	-4921.129	1711.997		-2.874	.011
	總重量	10.350	2.188	.764	4.730	.000

a. 依變數：平均能量

平均能量與總重量有正向影響，因此榔頭總重量較大產生的回振力越大，此點可表示較重的榔頭有較高的能量輸出。

綜合上述，影響振動特性之設計特徵可歸納如表 4.15。

表 4.15 影響振動特性與設計特徵

	阻尼指數	主頻率	平均能量
總長 (cm)	–	–	X
總重量(g)	X	X	+
重心 (百分比)	X	+	X
握柄斷面圓桿	+	X	X
握柄斷面方	–	–	X

“+”代表正向影響；“–”代表負向影響；“X”代表無顯著關係

在樣本群中，斷面為圓桿狀，其同時有木質柄身及握持處為木質把手之特徵如(H06、H07、H08、H09、H10、H11 及 H13)，因此無法斷定究竟是斷面為圓形，還是木質材質具有高吸振效果。阻尼指數與總長、握柄斷面方形(H12、H14、H17、H18)有負向影響；總長越長之榔頭，其阻尼指數越低，亦即振動特徵特性越明顯。

主頻率與重心百分比有正向關係，重心越往前主頻率越小。總長度、握柄方形斷面則對主頻率有負向的影響；總長度越長主頻率低。在榔頭樣本中，握柄為方形斷面之榔頭(H12、H14、H17、H18)振動主頻率較低。然而在本樣本群中，握柄方形之斷面同時具有柄身材質為玻璃纖維之特徵，因此無法斷定究竟是握柄斷面方形，還是柄身材質為玻璃纖維，具有較低之主頻率。

總重量對平均能量有正向影響，亦可說明總重量高之榔頭能有較高之平均能量(敲擊力道)。

4.2.3 榔頭設計特徵與主觀評估之關係分析

以榔頭設計特徵(IV)與主觀評估之舒適性因子(DV)進行迴歸分析，結果如表 4.16 所示，由表中的未標準化係數 B，可看出舒適度與設計特徵的關係，其迴歸方程式為：

$$\text{舒適性因子} = 5.75 - 0.052(\text{總長度, cm}) - 0.0025(\text{總重, g}) \\ + 0.223(\text{拔釘彎, 拔釘形狀}) + 0.0027(\text{重心, 百分比})$$

表 4.16 設計特徵影響舒適性因子之迴歸分析結果

模式	未標準化係數		標準化係數	t	顯著性
	B 之估計值	標準誤	Beta 分配		
7 (常數)	5.754	.606		9.500	.000
總長	-5.189E-02	.020	-.368	-2.629	.020
總重量	-2.522E-03	.001	-.683	-4.957	.000
拔丁彎	.223	.097	.290	2.310	.037

a. 依變數：舒適因子

總長度及總重量對舒適性因子得分為負相關之影響，且角彎之榔頭則對舒適度有正相關之影響。有羊角拔釘彎之榔頭樣本分別為 H04、H01、H06、H10、H15 及 H16。也就是說短而輕並具有拔釘彎角之榔頭，有較高之敲擊舒適度。

設計特徵影響振動覺因子之迴歸分析如表 4.17，其未標準化係數 B 可說設計特徵對振動覺的其影響程度，分析結果迴歸方程式為：

$$\text{振動覺因子} = 4.185 - 0.0014(\text{總重量, g})$$

表 4.17 設計特徵影響振動覺因子之迴歸分析結果

模式	未標準化係數		標準化係數	t	顯著性
	B 之估計值	標準誤	Beta 分配		
9 (常數)	4.185	.296		14.126	.000
總重量	-1.420E-03	.000	-.684	-3.749	.002

a. 依變數：振動因子

振動覺因子受到總重量之負向影響，總重量越重，振動覺因子得分越低，也就是說振動的感覺越嚴重。綜合上述整理設計特徵分析其間關係，歸納如表 4.18

表 4.18 主觀偏好與榔頭設計特徵

	舒適度因子	振動覺因子
總重量	-	-
總長	-	X
拔釘彎	+	X

“+”代表正向影響；“-”代表負向影響；“X”代表無顯著關係

4.3 小結

經由以上設計特徵、振動特性及主觀偏好之迴歸分析結果可綜合如下：

1. 主觀舒適性與振動特性之關係：提高阻尼指數，可提高整體舒適度。降低主頻率所擷取之平均能量，可減少振動的感覺。
2. 振動特性與設計特徵之關係：提高阻尼指數之設計特徵為握把圓桿形斷面，而降低阻尼指數低設計特徵為，總長度較長及握柄斷面為方形。
3. 主觀舒適性與設計特徵之關係：整體滿意度與具羊角彎拔釘爪有正向相關；舒適性與重量、總長度有負向相關。振動的感覺受到總重量之負向影響，總重量越重振動覺越不明顯。

第五章 結論

DIY 帶動手工具使用的普及化，提升了使用機率，在日常生活中儼然成為不可或缺的工具。在手工具敲擊時，整體的感覺是決定榔頭好壞的關鍵，在購買時卻無法即刻體會，因此常被忽略。本研究便以操作時振動覺為切入點，進而探究振動特性與主觀舒適度及榔頭設計之間的關係。由進行受測者敲擊實驗中，獲得主觀偏好與客觀的振動特性數據，經過迴歸分析，獲得實驗之結果。

本章針對前述實驗結果加以歸納總結，同時提出本研究之不足，以及後續研究之建議。

5.1 研究結果

經由迴歸分析中可得知，主觀舒適度、振動特性及設計特徵等對應關係，並將其歸納如下：

1. 振動特性中，對於主觀舒適度影響較深者為榔頭之阻尼指數，阻尼指數越高，相對的回振力越小，舒適度亦較高。
2. 輕巧短小之榔頭與拔釘彎曲之榔頭，其主觀舒適度較高。
3. 重量重與長度長之榔頭平均能量(回振力)高，且榔頭振動越嚴重。

5.2 研究貢獻

榔頭製造商日前對榔頭之細振實驗，以觀察榔頭振動之峰值，及目測時域圖所構成之曲線衰退情形為主，並無對該把榔頭之振動特性的確實之紀錄。本研究所提出之振動特性，由明確之實驗流程規劃，至數據整理與擷取，補足一般榔頭廠商對振動特性描述的不足，增加產品資訊進而提升其價值。經過本研究實驗方式與結論，可進一步提供榔頭廠商更精確評估榔頭優劣的方法。

對設計者而言，參考主觀偏好之評比，能直接提供榔頭設計者設計依據。本實驗歸納受測者主觀偏好之設計特徵：主觀舒適度高之設計因子為，羊角彎曲並較短較輕之榔頭。在振動特性與主觀偏好分析中，應避免設計長度較長之榔頭，與柄身斷面為方形之榔頭，而應考慮採用斷面圓形之榔頭柄身。

以使用者的角度切入，總重量與總長度皆會負向影響主觀偏好；重量越重之榔頭輸出之能量較大，但敲擊費力，並且會在手部產生明顯細振。在選擇榔頭時，需留意該把榔頭之主要的工作目標，例如需要破壞物體時，應選擇重心往前並且重量越重之榔頭；若為組裝家具，可選擇重心較靠近握把，長度較短之榔頭，以方便省力之工作方式。設計特徵之相關分析中，可看出滿足整體滿意度之榔頭設計特徵為羊角彎。

5.3 研究不足

本論文以使用者的舒適度，探討榔頭之振動特性與設計特徵，然而本研究過程中，仍有尚缺周詳計畫不足之處。接下來以榔頭樣本、受測者限制、手部知覺及振動之特性說明等方向進一步說明：

1. 市面上之榔頭種類繁多，依其使用場合與功能不同有多樣形式，在有限的時間及資源之下，本研究以建築用羊角鎚，且其為市面上販售之榔頭中較常為國人較常使用之榔頭。受測樣本為廠商所提供市面上現有之榔頭，並未能涵蓋所有變項之可能組合。
2. 本次實驗受測者為收集數據的便利性與符合 DIY 族群之特徵，多為交通大學學生，受測者本身並無榔頭操作之實務經驗。其實驗的可靠性有待進一步的驗證比較。
3. 觸覺在刺激的持續作用下，會出現適應狀況，即降低感受性。觸覺適應時間隨刺激的強度而不同，因此在本研究 18 把榔頭敲擊中，會出現振動適應的問題，本研究並未深入探討此一現象所造成的影響。
4. 本研究各變項間關係之分析，以迴歸分析進行分析，並未進行三項變項間因果關係之因徑分析，因此並未描述三者變項間之因果關係。

5.4 後續研究建議

基於上述的研究限制，未來將可能針對以下五點進一步探討：

1. 此問卷對於 DIY 榔頭使用者而言不易劃分其界線，手部細振劃分區域需要對榔頭敲擊敏感度高之受測者，在後續研究中，此問卷請榔頭使用專家進行榔頭敲擊實驗，以比較一般 DIY 榔頭使用者和專家之間的差異。
2. 振動是一種心理和生理的影響，所以個別差異十分明顯。因此可進一步探討工作姿勢或工作習慣及握持姿勢，對於榔頭喜好度等的影響。
3. 若能針對榔頭設計特徵變項加以控制進行實驗，將有益於確實釐清影響振動之因子、影響手部細振之設計因素，及影響主觀偏好之可能因素。
4. 本實驗未討論振動所引起的肌肉疲勞程度與榔頭的物理特徵，可再深入研究手部細振與握力衰退之間的關係，及對回授力與手臂力量衰退的情形深入研究。
5. 變項間關係之分析，可嘗試利用因徑分析進行因果關係之探討，如此便能了解諸多變項間的因果關係。



參考文獻

參考文獻

1. 李怡嚴，1983，大學物理（第一冊），東華書局，台北。
2. 赫葆源 張厚粲 陳舒永等編，1983，實驗心理學，北京大學出版社(電子書)。
3. 彭聃齡主編，1988，普通心理學（修訂版），北京師範大學出版社(電子書)。
4. Ackerman, D.著/莊安祺譯，1993，感官之旅，時報文化。
5. Reese 原著/駱劍秋、林世穆、李金連、陳堯輝、張世格、曾世杰、蔡淑雲等譯，1993，普通物理（上），高立圖書，台北。
6. 許勝雄、彭游、吳水丕著，1996，人因工程-工程與設計之人性因素，滄海書局，台中。
7. 劉玉文、何先聰，1996，”手持砸道機之振動與噪音測定與評估”，中華民國音響學會學術研討會論文集， PP.99-105.
8. 勞工安全衛生研究所，1997，人機界面安全衛生設計規範研究-非動力手工具與輔助設備。
9. 許勝雄、陳元和，1998，”非動力手工具人因設計指引”，勞工安全衛生研究所季刊，第六卷 第一期，PP.101-111。

10. 王栢村、黃瑞光，2000，高爾夫球桿振動特性及擊球聲音品質之評估，國立屏東科技大學機器工程系碩士學位論文，屏東。
11. 王甦,汪安聖著，2001，認知心理學，北京大學出版社。
12. 林合懿，2002，透過人機介面探討工作模式與工作績效之關係—以建築營建業榔頭為例，國立交通大學應用藝術研究所碩士論文，新竹。
13. 陳建志、莊明振，2002，”鐵鎚的人因設計初探—羊角鎚的分析”，工業設計，第三十卷 第二期，PP.97-106。
14. 侯宇晟，2002，建築用榔頭之人因設計因素，國立交通大學應用藝術研究所碩士論文，新竹。
15. 錡信堯，2003，手工具設計開發與人因評估-以螺絲起子為例，國立清華大學工業工程與工程管理學系碩士論文，新竹。
16. 林芳如，2003，DIY 族群對榔頭期望意象與造形元素之對應關係，國立交通大學應用藝術研究所碩士論文，新竹。
17. 王廣松，2003，人體計測變數對選用榔頭之影響，國立交通大學應用藝術研究所碩士論文，新竹。
18. 李思葦，2004，金屬手工具撞擊聲對消費者感性意象之研究，國立交通大學應用藝術研究所碩士論文，新竹。
19. 林清雲，2004，品牌形象與產品識別之一致性研究—以手工具產品為例，國立交通大學應用藝術研究所碩士論文，新竹。

20. Andrew H.T., 1996, “Hand-Arm Vibration : Product Design Principles”,
Journal of Safety Research, Vol.27, ,No.3, PP.157-162
21. Radwin, R. G., Armstrong, T. J., & Chaffin, D. B.,1987,.”Power hand
tool vibration effects on grip exertions”. *Ergonomics*, Vol.30, No.5,
P.833-855.
22. Richard. W. S., and Marras S. W., 1989, “Effects of handle angle and
work orientation on hammering: I. Wrist motion and hammering
performance”, *The human factors society*, Vol. 34, No.4, P397-411
23. Thomson T.W., 1998, Theory of Vibration with Applications, P35,
Prentice-Hall International Inc.

網路資料

1. <http://www.leadsurf.com.tw/initial.php> , 力勝科技有線公司, 2005/10
2. <http://www.stanleytools.com/default.asp?TYPE=STATIC&PAGE=HOME.HTM> , stanley 手工具廠商, 2005/12
3. <http://www.wordpedia.com/> , 智慧百科知識網, 2005/11~2006/06
4. <http://www.globalsources.com/> , 電子工程專輯網, 2006/04
5. <http://www.acsm.org/> , Alan C., Jie Kang, Robert J. Robertson,
“Perceived Exertion,” August 2001, What is Perceived Exertion? ,
American College of Sports Medicine, Perceived Exertion, 2006/04

【附錄一】實驗榔頭樣本基本資料

編號	H01	H02	H03
圖片			
廠牌規格	ESTWING-OP-16C	ESTWING-OP-16S	ESTWING-OP-20S
編號	H04	H05	H06
圖片			
廠牌規格	ESTWING-OP-20C	ESTWING-OP-22SM	STANLEY-TP-W16C
編號	H07	H08	H09
圖片			
廠牌規格	STANLEY-TP-W20S	VAVGHAN-TP-W20S	VAVGHAN-TP-W16S
編號	H10	H11	H12
圖片			
廠牌規格	VAVGHAN-TP-W16C	PLUMB-TP-W16S	PLUMB-TP-F16S
編號	H13	H14	H15
圖片			
廠牌規格	CRAFTSMAN-W20S16"	ESTWING-F210Z	STANLEY-OP-16C
編號	H16	H17	H18
圖片			
廠牌規格	STANLEY-OP-20C	kobal -20S	STANLEY-F20S

【附錄二】主觀評量調查問卷

您好：

感謝您用心用力的參與實驗，使本研究能獲得精準的樣本。本實驗為蒐集榔頭敲擊之振動值與主觀感受為對象，用以分析各把榔頭振動屬性與榔頭設計及舒適性喜好度之關係。

此實驗資料僅供學術研究參考，絕不對外公開。

基本資料

姓名：

性別： 男☐ 女☐

請您於實驗前詳細閱讀以下事項：

（一） 實驗步驟

1. 測者閱讀實驗目的流程及注意事項。
2. 握持榔頭間隔 3 秒敲擊鐵砧一次，此動作重複 5 次。
3. 填寫主觀量表。
4. 更換實驗樣本，重複步驟 2~3 至樣本敲擊完畢。



（二） 注意事項

1. 請戴上護目鏡與耳塞。
2. 請用 相同敲擊姿勢並相似力道敲擊。
3. 每次敲擊請 間隔 3 秒。
4. 敲擊時注意 手掌及手指各部位”麻”(振動)。請參考主觀偏好量表。
5. 操作 5 把榔頭休息 1 分鐘。

謝謝您的專注！

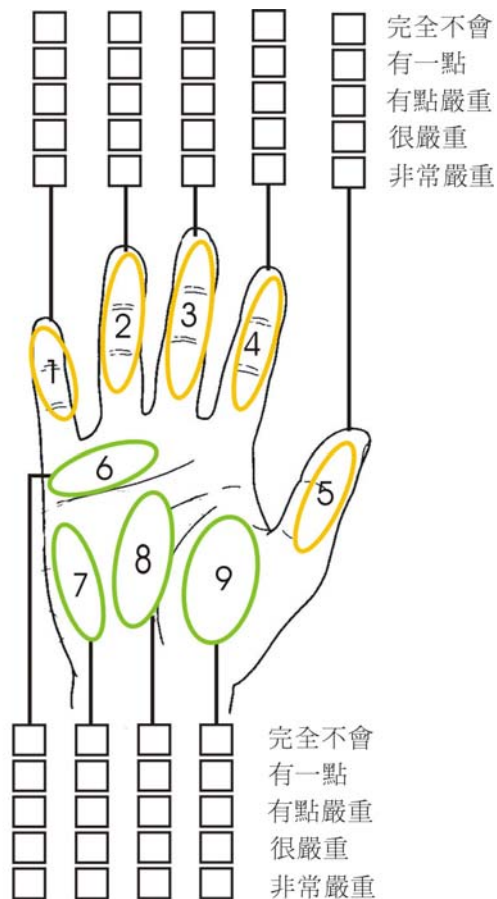
接下來請挽起袖口集中注意力
進行下一步實驗： 敲！敲！敲！敲！敲！

榔頭敲擊操作手部振動負荷主觀評量表

榔頭編號：_____

1、 敲擊作業中手部感覺振動之程度(請打 V)

<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	完全不會 有一點 有點嚴重 很嚴重 非常嚴重
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	



<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	完全不會 有一點 有點嚴重 很嚴重 非常嚴重
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	

2、 敲擊時回受振力的嚴重程度？

☐非常不嚴重 ☐不嚴重 ☐有點嚴重 ☐嚴重 ☐非常嚴重

3、 操作此把榔頭疲勞程度？

☐非常不疲勞 ☐不疲勞 ☐有點疲勞 ☐疲勞 ☐非常疲勞

4、 對此榔頭握把握持舒適度？

☐非常不舒適 ☐不舒適 ☐有點舒適 ☐舒適 ☐非常舒適

5、 對此榔頭整體之滿意度？

☐非常不滿意 ☐不滿意 ☐有點滿意 ☐滿意 ☐非常滿意

【附錄三】 阻尼指數擷取程式

```

count_n = 1;
for ham = 1:18
    for peo = 1:31
        for tt = 1:3
            if (ham < 10) & (peo < 10)
                nfile = ['filtered_0', num2str(peo), '_0', num2str(ham), '_', num2str(tt), '.txt.txt.csv'];
                out_file = ['CURVE FITTING _0', num2str(peo), '_0', num2str(ham), '_', num2str(tt), '.'];
            elseif (ham >= 10) & (peo < 10)
                nfile = ['filtered_0', num2str(peo), '_', num2str(ham), '_', num2str(tt), '.txt.txt.csv'];
                out_file = ['CURVE FITTING _0', num2str(peo), '_0', num2str(ham), '_', num2str(tt), '.'];
            elseif (ham < 10) & (peo >= 10)
                nfile = ['filtered_', num2str(peo), '_0', num2str(ham), '_', num2str(tt), '.txt.txt.csv'];
                out_file = ['CURVE FITTING _', num2str(peo), '_0', num2str(ham), '_', num2str(tt), '.'];
            else
                nfile = ['filtered_', num2str(peo), '_', num2str(ham), '_', num2str(tt), '.txt.txt.csv'];
                out_file = ['CURVE FITTING _', num2str(peo), '_0', num2str(ham), '_', num2str(tt), '.'];
            end
            original_data = importdata(nfile);

            ind = 1;
            count_ind = 1;
            for ind = 1:1250
                a = original_data(ind:ind, 2);
                if not(isnan(a))
                    t(count_ind:count_ind, 1) = ind;
                    y(count_ind:count_ind, 1) = a;
                    count_ind = count_ind + 1;
                end
            end

            plot(t,y,'ro'); hold on; h = plot(t,y,'b'); hold off;

            type fitfun
            start = [1;0];
            outputFcn = @(x,optimvalues,state) fitoutputfun(x,optimvalues,state,t,y,h);
            options = optimset('OutputFcn',outputFcn,'TolX',0.1);
            estimated_lambda = fminsearch(@(x)fitfun(x,t,y),start,options)

            log_data(count_n:count_n, 1) = peo;
            log_data(count_n:count_n, 2) = ham;
            log_data(count_n:count_n, 3) = tt;
            log_data(count_n:count_n, 4) = estimated_lambda(1:1);
            log_data(count_n:count_n, 5) = estimated_lambda(2:2);

            saveas(gcf, [out_file, '.jpg']);

            clear original_data
            clear y
            clear t
            clear h
            clear estimated_lambda
            clear outputFcn

            count_n = count_n + 1;
        end
    end
end

dlmwrite('log_data.csv', log_data, 'newline', 'pc');

```

【附錄四】傅力葉轉換及圖片輸出程式

```

n = 1;
for ham = 1:18
    for peo = 1:31
        for tt = 1:3
            if (ham < 10) & (peo < 10)
                nfile = ['0', num2str(peo), '_0', num2str(ham), '_', num2str(tt), '.txt'];
            elseif (ham >= 10) & (peo < 10)
                nfile = ['0', num2str(peo), '_', num2str(ham), '_', num2str(tt), '.txt'];
            elseif (ham < 10) & (peo >= 10)
                nfile = [num2str(peo), '_0', num2str(ham), '_', num2str(tt), '.txt'];
            else
                nfile = [num2str(peo), '_', num2str(ham), '_', num2str(tt), '.txt'];
            end

            fid1=fopen(nfile);
            Data1=fscanf(fid1,'%g');
            fclose(fid1);
            [b,a]=butter(4,0.15);
            Filter_Data(:,1)=filter(b,a,Data1(:,1));
            data = Filter_Data;
            dlmwrite(['filtered_', nfile], data, 'newline', 'pc');

            f= 1*(0:1249)/25;
            subplot(2,1,1);
            plot(f,data(1:1250,1), 'DisplayName', 'data(1:1250,1)', 'YDataSource', 'data(1:1250,1)'); grid on
            title(['原始時域圖', nfile])
            xlabel('時間(ms)')
            ylabel('加速度(g)')

            N = 1250;
            fs = 1000;
            freqStep = fs/N;
            f = 10.5*freqStep;
            time = (0:N-1)/fs;

            Y = fft(data,N);
            Y = fftshift(Y);

            freq = freqStep*(-N/2:N/2-1);
            subplot(2,1,2);
            plot(freq, abs(Y)); grid on
            title('快速傅力葉轉換之頻譜圖')
            xlabel('frequency (Hz)')
            ylabel('Magnitude (Linear)');

            dlmwrite(['freq_', nfile], abs(Y), 'newline', 'pc');

            saveas(gcf, [nfile, '.jpg']);
            clear Filter_Data
            clear data
            clear Y

            n = n + 1;
        end
    end
end

```

【附錄五】成對樣本 t 檢定

Q1-1 小拇指
<p>H14<H16< H03<H04<H18<H02</p> <p>H16< H03<H04<H18<H02<H13<H10<H07<H17<H05<H06<H01<H15<h08</p> <p>H10<H07<H17<H05<H06<H01<H15<h08<H09<H11</p> <p>H12</p>
Q1-2 無名指
<p>H14< H13< H16< H04< H05< H02</p> <p>H13< H16< H04< H05< H02< H03< H17< H18</p> <p>H16< H04< H05< H02< H03< H17< H18< H07</p> <p>H05< H02< H03< H17< H18< H07< H10< H01< H06< H09</p> <p>H02< H03< H17< H18< H07< H10< H01< H06< H09 H15< H08< H11</p> <p>H12</p>
Q1-3 中指
<p>H13< H14< H04< H16< H17< H18</p> <p>H14< H04< H16< H17< H18< H03</p> <p>H04< H16< H17< H18< H03< H02</p> <p>H16< H17< H18< H03< H02< H05< H10< H01< H07< H11< H12< H15</p> <p>H18< H03< H02< H05< H10< H01< H07< H11< H12< H15< H08</p> <p>H06< H09</p>
Q1-4 食指
<p>H14< H13< H04</p> <p>H04< H16< H05</p> <p>H04< H16< H05< H17< H03< H18< H02< H01< H07< H10< H12</p> <p>H16< H05< H17< H03< H18< H02< H01< H07< H10< H12< H11< H15</p> <p>H02< H01< H07< H10< H12< H11< H15< H09</p> <p>H01< H07< H10< H12< H11< H15< H09< H08</p> <p>H06</p>

Q1-5 大拇指
H13< H16< H14< H02< H04< H07< H12< H17< H10< H11< H01 H16< H14< H02< H04< H07< H12< H17< H10< H11< H01< H08 H14< H02< H04< H07< H12< H17< H10< H11< H01< H08< H03< H05< H18< H09< H15 H06
Q1-6 手掌上部肌肉
H14< H13< H04< H05< H08< H16< H18< H03 H13< H04< H05< H08< H16< H18< H03< H17< H02< H10< H12< H09 H03< H17< H02< H10< H12< H09< H01< H15 H06< H11< H07
Q1-7 手掌外側肌肉
H14< H13< H16< H04< H05< H15< H02< H17< H10< H18< H03< H07< H01< H09 H04< H05< H15< H02< H17< H10< H18< H03< H07< H01< H09< H06< H08< H12 H11
Q1-8 掌心
H13< H14< H05< H10< H18< H16< H07< H02< H04< H17< H01< H06< H15 H10< H18< H16< H07< H02< H04< H17< H01< H06< H15< H12 H16< H07< H02< H04< H17< H01< H06< H15< H12< H09 H02< H04< H17< H01< H06< H15< H12< H09< H03 H11< H08
Q1-9 魚際
H14< H10< H13< H04< H18< H17< H09< H02< H05 H10< H13< H04< H18< H17< H09< H02< H05< H16< H01 H11< H12< H03< H06< H07< H08< H15

Q2 回授振力嚴重程度	
H14< H04< H16 H04< H16< H03< H13< H18< H17< H10 H13< H18< H17< H10< H15< H02< H05 H18< H17< H10< H15< H02< H05< H09< H12 H07< H11< H01< H06< H08	
Q3 疲勞程度	
H14 H05< H13< H04< H18< H16< H17< H15 H18< H16< H17< H15< H03< H07 H15< H03< H07< H01< H02< H12< H10< H08 H03< H07< H01< H02< H12< H10< H08< H09< H06 H11	
Q4 握把舒適度	
H07> H13> H14> H16 H13> H14> H16> H18> H06> H05> H04> H03 H14> H16> H18> H06> H05> H04> H03> H15> H10> H16> H18> H06> H05> H04> H03> H15> H10> H09> H04> H03> H15> H10> H09> H08> H02> H12> H03> H15> H10> H09> H08> H02> H12> H11> H15> H10> H09> H08> H02> H12> H11> H17> H01	
Q5 整體滿意度	
h11 h09> h12> h08> h01> h02> h06 h12> h08> h01> h02> h06> h10 h08> h01> h02> h06> h10> h17> h15> h03 h06> h10> h17> h15> h03> h18> h07> h04 h15> h03> h18> h07> h04> h16> h13 h18> h07> h04> h16> h13> h05> h14	