

國立交通大學應用藝術研究所

碩士論文

金屬手工具撞擊聲對消費者感性意象之研究  
-以榔頭為例

**The Research on the Consumers' Perceptual Image  
on the Hitting Sound of Hammers**



研究生：李思葶

指導教授：莊明振

中華民國九十四年七月

金屬手工具撞擊聲對消費者感性意象之研究  
-以榔頭為例

**The Research on the Consumers' Perceptual Image  
on the Hitting Sound of Hammers**

研究生：李思葶

Student： Szu-Ting Lee

指導教授：莊明振

Advisor： Ming-Chuen Chuang



應用藝術研究所

碩士論文

A Thesis

Submitted to Instituted of Applies Arts

National Chiao Tung University

July 2005

## 謝誌

回顧在交大的研究生活裡，有著一群同學與老師的陪伴，不僅在學術上有所增長，更開拓了更廣的見識，短短兩年，獲益良多。研究的過程中，同學們與老師都像一家人般的相互砥礪，為苦悶的研究帶來歡樂與溫馨，你們都是我珍貴的寶藏，真的很愛你們。

在致力於本研究的過程中，受之於人的恩惠與指導真的實在太多了，感謝身邊的每一個人。

謝謝：

家人朋友長時間的包容支持、所上的莊明振老師與鄧怡莘老師不厭其煩的細心指導、硬硬所同學們生活上的照顧與論文過程中的支援與建議。

在研究中感謝電信所王逸如老師與博班江振宇同學的專業支援、音樂所黃志方老師的教導，為我解答了許多問題。

也感謝每位撥空參與實驗進行的朋友，以及我親愛的室友們，生活起居有們妳們互相照顧，格外溫馨。

在此，以誠摯的心，謝謝每個參與我生命過程的人，你們豐富了我的人生，謝謝。

# 金屬手工具撞擊聲對消費者感性意象之研究 -以榔頭為例

## 摘要

近幾年，產品聽覺上的設計，大多以使用介面的電子聲音為分析的主要對象，希望可以針對產品本質上的聲音(本體材質的物理碰撞聲、機械聲)，分析其傳遞給使用者怎樣的感覺意象。為產品提升品質形象，有利的操作聲音，作為產品的特色之一。

本研究將針對金屬手工具之榔頭撞擊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，為了使榔頭金屬聲能對應的更多，將收及其他金屬聲作為錨點，將分析的金屬聲範圍擴大。研究內容大致上為：

第一，除了目標物榔頭聲，還廣泛的收集金屬產品撞擊時所產生的聲音，在收錄的過程以高敏感度儀器，要求在相同的環境下進行測錄，錄製了有 140 個金屬聲音樣本，經由專業錄音軟體的剪修，在對金屬聲音做些物理性(頻譜等等)的分析，調整出各種不同屬性的金屬聲，讓鑑別度提升，使得實驗效果能較為顯著。

接著，以 140 個聲音樣本數進行兩次的專家前測與訪談，在專家小組的建議與篩選下，留下 80 個聲音，作為受測者前測的實驗樣本。分析受測者前測實驗的數據後，經篩選保留了 40 個較有差異性的聲音樣本，作為正式實驗的樣本。

另一方面，針對國內外相關研究中經常使用的聲音形容詞進行收集，對於聲音以心理性與物理性兩族群做形容詞分類，選出 30 個聲音形容詞。在針對小型前測實驗結果對 30 個形容詞進行因子分析，再根據各因子解釋變異量篩選出較適合評價金屬聲音的形容詞語彙，最後歸納出 10 個形容詞作為正式 SD 調查之量尺。針對 40 個聲音樣本數，要求 30 位受測者，分別以 10 個聲音形容詞，進行 SD 評量，形容詞的量表以「非常不強烈」至「非常強烈」由左到右分七等級。選擇

有隔音版設備的聲音實驗室進行，以專業的錄音器材播放，實驗的時間，避開白  
天上班上課時段，以傍晚以後的時間為準，降低環境的噪音干擾。

加以分析時，將 30 位受測者對每一個聲音在各形容詞量表的評量結果平均，以  
每個形容詞平均量表值分別為依變項，40 個聲音樣本的物理特質數據為自變項，  
進行迴歸分析，可得每一個形容詞的迴歸方程式，即可找出影響個意象的聲音構  
成以應用在產品感性需求上。

本文研究成果希望能藉由對於聲音感性需求，能創造出符合意象的聲音。

關鍵詞：頻譜圖、共振點數、聲音構成屬性、聲音意象、因子分析、迴歸分析



# **The Research on the Consumers' Perceptual Image on the Hitting Sound of Hammers**

## **Abstract**

In recent years, the product design has explored the characteristics of sounds produced by a product, especially the electronic sounds implemented in interface design of a product, and their influence on the users' feeling, in order to improve the quality of product image.

This research analyzed the physical and psychological characteristics of hitting sounds produced by hammers or other metal hand tools, and investigated the felt images of these sounds through survey. First, to include the range of studied sound samples as broad as possible, we collected and recorded varied hitting sounds generated by hammers as well as by other metal products. The sound samples were recorded by high sensitive instruments in the real working environment. There were 140 sound samples recorded and analyzed on their physical composition (such as frequency spectrum, etc.) by specialized recording software. Some samples were adjusted to change some attributes in order to make them varied enough to distinguish from other samples.

Experts' then were invited to screen 80 sound samples out of the pool of 140 sound samples according to the discernible power of the samples. The number of sound samples was further reduced to 40, through analyzing the data in the pilot test, for formal experiment.

On the other hand, we collected the sound adjectives often used in relevant researches. Subjects were asked to group these adjectives according to the similarity in meaning. Cluster analysis was conducted on the classified data to

conclude some identical groups which include adjectives describing psychological feeling and physical feature of the sounds. Thirty sound adjectives were selected from each group of adjectives and were verified for their suitability through the pilot test. At last, 10 adjectives were decided to be used as scales in the formal sound image evaluation test through the factor analysis in the pilot test.

Thirty subjects were recruited to evaluate the 40 sound samples on the 10 scales of sound adjectives. The evaluation was rated on 7 levels from 'not feel strong' to 'feel strong' on each adjective. The sound stimuli were presented to subjects by specialized recording apparatus in a sound isolated laboratory during the experiment session which was arranged in the time after dusk to reduce the noise of the environment.

The averaged scores over 30 subjects of the evaluation of each sound sample on each adjective were regarded as dependent variables, whereas the physical compositions of sound samples were treated as independent variables. Accordingly, for each adjective, the corresponding linear regression analysis was conducted to conclude the influence of sound features on each perceived image. This result is expected to assist product designers to design appropriate product sounds with desired images.

**Keyword:** sound spectral diagram, resonance count, sound attributes, sound image, factor analysis, regression analysis

# 論文目次

中文摘要.....	I
英文摘要.....	III
論文目次.....	V
圖目錄.....	IX
表目錄.....	XI

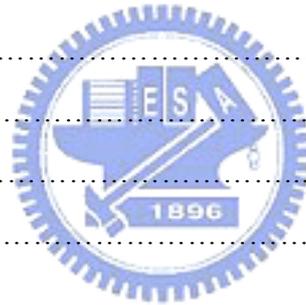
## 第一章、緒論

1.1 研究動機.....	1
1.2 研究問題與目的.....	2
1.3 研究架構與流程.....	2
1.4 研究的重要性.....	5

## 第二章、文獻探討

2.1 聲學文獻探討.....	6
2.1.1 聲音的組成結構.....	6
(1) 聲音三要素.....	6
(2) 傅立葉轉換原理.....	8
(3) 聲音壓力位準.....	9
(4) 量測儀器.....	9
2.1.2 八音階頻帶寬.....	12
2.1.3 殘響時間.....	13
2.1.4 共振頻率.....	15
2.1.5 聽覺能力.....	15
2.1.6 聲源定位.....	17
2.2 聲音的認知心理.....	19
2.2.1 感知心理.....	19
2.2.2 聲音的心理屬性.....	21
2.2.3 聲音的心理物理學.....	21

2.2.4 聲音的評價形容詞語彙研究.....	23
2.2.5 量化分析.....	27
2.2.6 感性工學.....	29
2.3 數位聲音的技術與應用.....	31
2.3.1 取樣格式.....	31
2.3.2 音頻格式.....	32
(1) MIDI 檔案.....	32
(2) 波形取樣檔案.....	33
第三章、實驗環境條件	
3.1 產品金屬聲錄製.....	35
3.1.1 設備儀器.....	36
3.1.2 錄音環境.....	39
3.1.3 錄音軟體.....	42
3.1.4 聲音取樣與篩選.....	43
3.2 聲音的感性語彙.....	44
3.2.1 形容詞語彙篩選.....	44
第四章、研究方法與步驟	
4.1 聲音認知實驗規劃.....	45
4.1.1 實驗流程.....	45
4.1.2 實驗前測.....	47
4.1.3 實驗總修正.....	51
4.2 聲音物理屬性分析.....	52
4.2.1 波形分類.....	52
4.2.2 重要的聲音物理屬性.....	56
(1) 總時間.....	56
(2) 總音量.....	56
(3) 最高音量.....	56
(4) 共振點數.....	56



(5) 主要共振點數.....	57
(6) 主次共振點能量面積比.....	57
(7) 主頻率.....	57
(8) 次頻率.....	57
(9) 倍頻關係.....	58
(10) 主次頻率間距.....	58
4.3 正式實驗.....	59
4.4 實驗方法與步驟.....	59
第五章、實驗分析與驗證	
5.1 形容詞分析.....	60
5.1.1 聲音意象的因子分析.....	60
5.1.2 因子命名.....	62
5.1.3 因子得分.....	63
5.2 聲音物理性分析.....	64
5.2.1 聲音屬性分析.....	64
5.2.2 聲音屬群迴歸分析.....	66
(1) 因子一迴歸分析.....	67
(2) 因子二迴歸分析.....	69
(3) 因子三迴歸分析.....	71
5.2.3 榔頭金屬聲分析.....	72
(1) 聲音樣本與產品樣本對照.....	72
5.3 結果分析.....	77
5.4 實驗模型驗證.....	77
5.4.1 實驗模型設計.....	77
5.4.2 實驗模型之聲音樣本收集與形容詞語彙挑選.....	78
5.4.3 實驗模型問卷設計.....	79
5.5 驗證分析.....	80
5.5.1 實驗模型之聲音樣本分析.....	80
5.5.2 迴歸分析之驗證.....	81

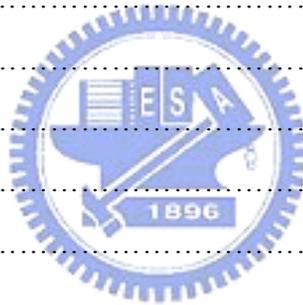


(1) 樣本編號五與「優雅」形容詞之驗證.....	81
(2) 樣本編號六與「輕快」形容詞之驗證.....	81
5.6 總結.....	82
第六章、結論與後續研究	
6.1 研究結果歸納與整理.....	83
6.1.1 結果發現.....	83
(1) 因子一結果統整.....	84
(2) 因子二結果統整.....	85
(3) 因子三結果統整.....	86
(4) 榔頭聲音樣本分析.....	86
6.2 後續研究建議.....	88
參考文獻.....	89
附件一、專家意象形容詞語彙次數統計(100 個).....	91
附件二、專家意象形容詞語彙次數統計(30 個).....	92
附件三、正式實驗之問卷設計.....	93
附件四、聲音樣本數(40 個).....	95

## 圖目錄

圖 1.1, 研究架構.....	3
圖 1.2, 實驗流程.....	4
圖 2.1, 單一頻率的純音聲波.....	7
圖 2.2, 三個正弦波構成複合音之波形圖.....	7
圖 2.3, 泛音列之例.....	8
圖 2.4, 上圖為正弦波氣壓的變化, 下圖為振動所產生的空氣中分子的密度變化.....	10
圖 2.5, 示波器.....	11
圖 2.6, 八音階頻帶區分之中心頻率.....	12
圖 2.7, 捲繩機所產生的噪音頻譜分析.....	12
圖 2.8, 殘響時間.....	13
圖 2.9, 音源的入射角與反射角.....	14
圖 2.10, 音源在凹凸兩面時所反射的情形.....	14
圖 2.11, 等響度曲線.....	16
圖 2.12, 常用的聲音水準尺寸之 A、B、C 加權曲線.....	17
圖 2.13, 聲波在兩耳間的相位差.....	18
圖 2.14, 人員訊息處理模式.....	20
圖 2.15, Henvver's adjective circle.....	25
圖 2.16, 複合式感性工學系統.....	30
圖 3.1, 電腦硬體設備.....	36
圖 3.2, 混音器 MiPRO MH-203 400Hz.....	37
圖 3.3, 調音器 Pioneer Audio/Video Multi-Channel Receiver VSX-AX3.....	38
圖 3.4, 麥克風 MiPRO MR-123D Dual Channel ant diversity receiver VH.....	38
圖 3.5, 榔頭產品.....	39
圖 3.6, 吸音材質.....	39
圖 3.7, 播放器空間放置.....	40
圖 3.8, 受測者實驗現況.....	41

圖 3.9, 聆聽室空間分布圖.....	41
圖 3.10, 軟體錄製格式.....	42
圖 3.11, 波形採樣.....	43
圖 4.1, 實驗流程.....	46
圖 4.2, 「三角形」波形.....	53
圖 4.3, 「急漸三角形」波形.....	53
圖 4.4, 「漣漪形」波形.....	54
圖 4.5, 「多邊形」波形.....	54
圖 4.6, 「橢圓形」波形.....	55
圖 4.7, 「其他」波形.....	55
圖 4.8, 彩色頻譜圖.....	57
圖 5.1, 榔頭產品(1) .....	72
圖 5.2, 榔頭產品(2) .....	73
圖 5.3, 榔頭產品(3) .....	73
圖 5.4, 榔頭產品(5) .....	73
圖 5.5, 榔頭產品(6) .....	74
圖 5.6, 榔頭產品(7) .....	74
圖 5.7, 榔頭產品(8) .....	74
圖 5.8, 榔頭產品(9) .....	75
圖 5.9, 集群樹狀圖.....	75



## 表目錄

表 2.1, 人對音樂天賦的標準.....	23
表 2.2, Farnsworth 針對 Henver's adjective circle 所修正的檢核表.....	26
表 3.1, 儀器設備與實驗環境.....	36
表 3.2, 錄音環境.....	39
表 3.3, 錄音軟體.....	42
表 4.1, 受測 40 個聲音樣本之物理屬性數值表(其中一例).....	58
表 5.1, 轉軸後的成分矩陣.....	61
表 5.2, 因子得分.....	63
表 5.3, 物理屬性之完整編碼.....	65
表 5.4, 物理屬性編碼(例).....	65
表 5.5, 因子一之模式摘要.....	67
表 5.6, 因子一之係數.....	68
表 5.7, 因子二之模式摘要.....	69
表 5.8, 因子二之係數.....	70
表 5.9, 因子三之模式摘要.....	71
表 5.10, 因子三之係數.....	71
表 5.11, 聲音樣本編碼表.....	72
表 5.12, 形容詞組.....	79
表 5.13, 驗證之形容詞意象評價分數表.....	80
表 5.14, 樣本 5、6 之聲音物理屬性表.....	80
表 6.1, 感知意象與聲音物理屬性之相關建議表.....	87

## 第一章、緒論

### 1.1 研究動機

「扣！扣！扣！」……「Chanel」

「卡擦！」……「Leica」

「碰！」……「Benz」

在一個福特汽車的廣告中，描述一個身穿西裝戴墨鏡的瞎子，對於路上聽到的每個聲音，都能正確的說出此聲音可能的品牌。最後一幕，聽到福特轎車厚實沉穩的關門聲，他自然的說出這聲音品質可能存在的車種名稱「Benz」！

聽與說，是目前人類最為快速、最有效率的一種溝通方式。姑且不論，福特是不是真的藉由這支廣告而把自己的品質提升如賓士般，從此可以看出，一個產品表現上，聲音是可以代表品質，更可以是整體品牌的精神象徵，而聲音也可能是識別產品特質或構成產品意象甚至品牌表象的重要因素。

法國品牌 Simon Tissot Dupont (都彭) 1872 年在繁華之都巴黎誕生，當初以皮革行李箱起家，精湛的手藝連英國伊莉莎白女皇都要求訂作為結婚賀禮。第二次大戰期間，S.T Dupont 首次推出六面體打火機，其清脆響亮的金屬開闔聲音令人過耳難忘，造成史上未有的成功，也使得打火機成為都彭最具代表性的產品。更令人激賞的是，都彭有專屬打火機女調音師，近年來，堅持為都彭打火機一個個調音，要求打火機聲音絕對的清脆響亮悅耳，火苗不論任何角度也都必須是保持同樣的垂直與猛烈，為打火機做最縝密的把關。在當時法國 70 年代，消費者對於外貌或是社會地位重視的程度達到頂峰，為了滿足社會高階人士的需求，都彭以稀有的材料及歐洲著名傳統手工藝打造出法國特有的藝術品味，使得都彭打火機漸漸的成為上流社會尊貴象徵。把點火的動作以這樣藝術的形式呈現，確實是歐洲手工藝才有的堅持。但是也因為這樣的堅持，讓一個成熟性極高的產品，注入了另一種不滅的靈魂，把產品價值意義昇華。

上述可了解到聲音對產品不同層面的影響，本研究與國科會參與建教合作，在廠商的協助下，將針對手工具「榔頭」作為本實驗研究的重心，以「榔頭」為金屬敲擊聲的主軸去做探討。期望透過本研究的實驗，能了解金屬撞擊聲音的物理特性，就聽覺的向度去滿足使用者的感性要求，整理出能表達各種意象語彙的代表聲音。

## 1.2 研究問題與目的

由於國科會建教合作的關係，與廠商（銚威有限公司）已合作三年，參與過程中，皆以人因工程角度切入產品，近幾年開始投入感性工學之研究，因此在深入了解銚威公司的需求與背景之後，將針對合作廠商的產品「榔頭」作為感性工學研究的主軸。在感性工學方面，在此將研究金屬聲音與產品意象之關係，利用公司所提供之產品與市面上金屬產品的撞擊聲，對形容詞意象作調查。

除了能改善產品聲音之際，藉由嚴謹的實驗過程與研究探討，了解使用者對於聽覺上的解讀與美感經驗的認知，建立有意義的聽覺語彙和聲音物理特徵，主要建立產品聲音美感，滿足消費者感性需求。

## 1.3 研究架構與流程

根據研究的問題目的後，在範圍限制之內，可開始構思整體的研究架構，依循著論文整體大綱，往研究的目的核心鑽研。研究架構，如圖 1.1 所示。

此研究架構，一開始可先進行小規模的使用者訪談與問卷調查，了解人們對金屬敲擊聲的使用經驗與期望，初步的使用者訪談資料，可為論文最終成果作為一個指標性的方向。詳細的論文研究方法與步驟請參考本文第三章與第四章內容。實驗流程，如圖 1.2 所示。

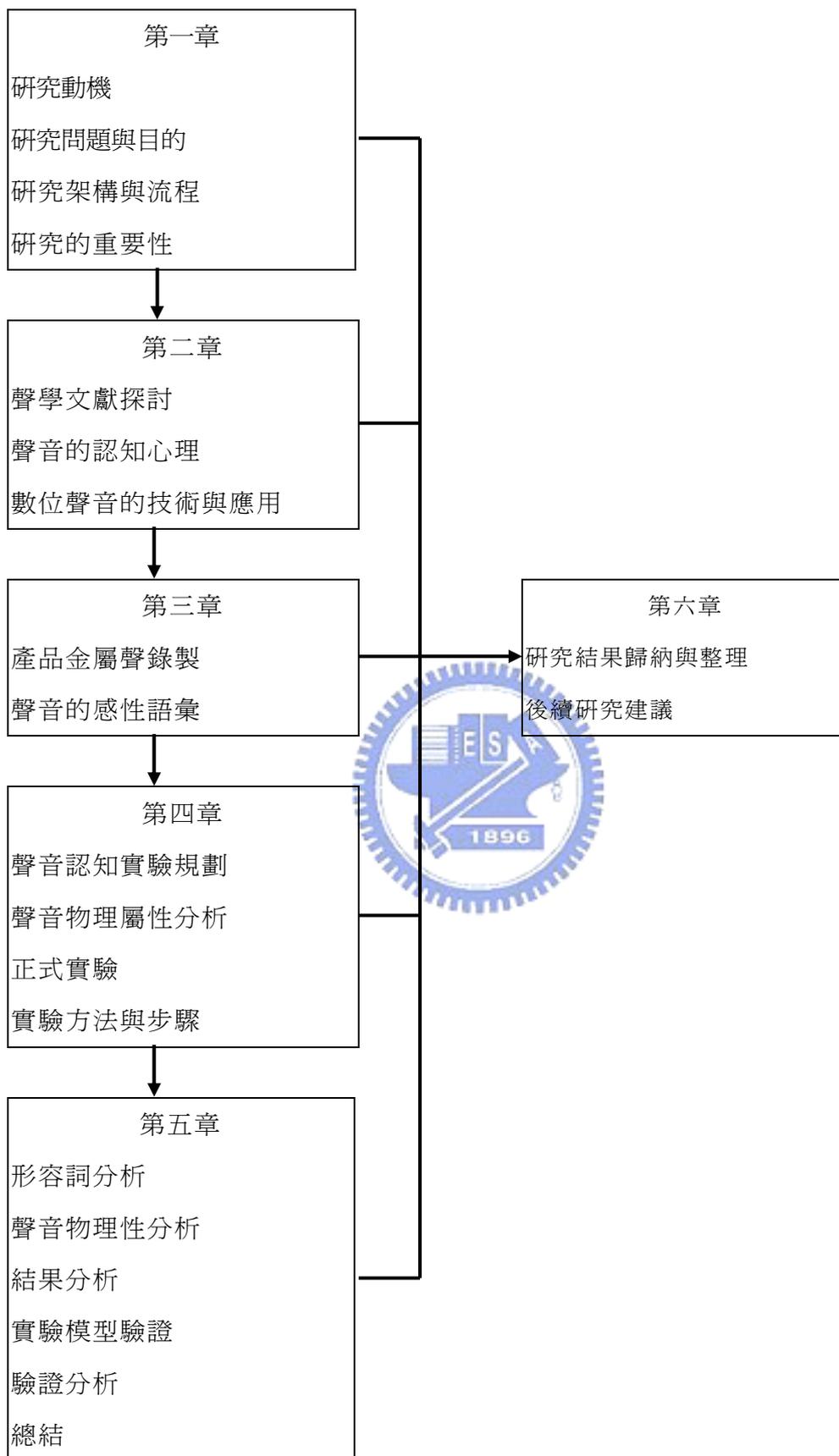


圖 1.1，研究架構

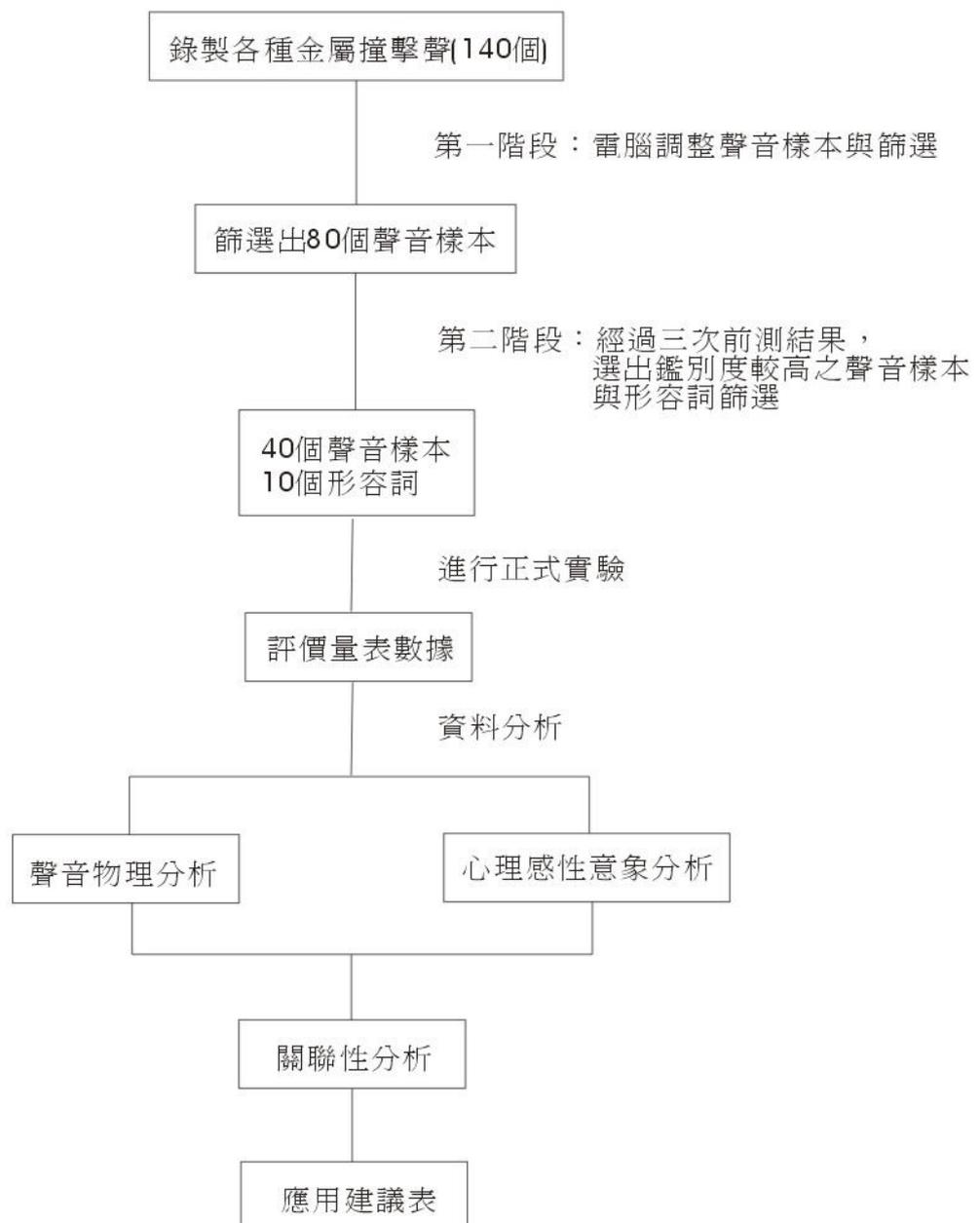


圖 1.2，實驗流程

## 1.4 研究的重要性

整體而言，本研究的重要性可由以下來討論：

\* 消費者感性意象與聲音的對應關係

在掌握了金屬聲音的物理特性後，與聲音形容詞配對，利用 SD 調查並對每個形容詞做迴歸分析，再做出聲音對於形容詞的空間分布圖等等，均可清楚明瞭的看出，在使用者感性形容詞中聲音的特性。

\* 針對國科會小產學合作，將配合廠商所生產之產品做研究，因此，金屬聲音實驗將以榔頭聲音樣本為主軸。



## 第二章、文獻探討

在本章文獻探討中，主要包含本研究的背景知識，以相關文獻與相關性研究為基石，作為後續研究的理論基礎。本章包含有三大部分：第一部分以聲學相關文獻為基礎，探討聲音的組成結構、人耳聽力、聲源定位研究等等；第二部分以認知心理學為基礎，探討人們對於聲音的感性意象與認知模式、聲音形容詞語彙的收集等等；第三部分以電腦軟體的技術與應用為基礎，探討分析聲音的軟體等等。

### 2.1 聲學文獻探討

音響學英文為 *acoustics*，有時亦譯為聲學。音響學就是聲音的物理學，即一門研究聲音性質的整體學問，包括了聲音的本質、特性，其產生、傳播、接收的過程及音響環境等等。



#### 2.1.1 聲音的組成結構

##### (1) 聲音三要素

聲音物理屬性三要素為：頻率(*frequency*)、振幅(*amplitude*)、波形(*wave*)。

頻率(*frequency*)與振幅(*amplitude*)或強度(*intensity*)是聲音最主要的特徵，頻率係指每秒鐘內振動的週期數，單位是 CPS(*cycles per second*)或赫茲(*Hertz* 或以 *Hz* 表示)，是爲了記念第一位研究電路振動產生聲波的物理學家 *Heinrich Rudolph Hertz* 而命名。另一個聲音的物理屬性爲波形(*wave*)，也可說是複雜度(*complexity*)。聲音僅有單一頻率則稱爲純音，圖 2.1 爲單一頻率的純音聲波。

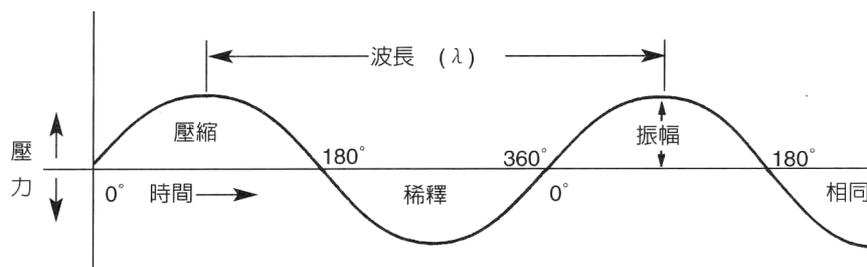


圖 2.1，單一頻率的純音聲波

(資料來源：Sanders &amp; McCormick，1998)

但在日常生活中，大多數的聲音都由不同的頻率與振幅之週期性與非週期性聲波組合而成，稱之為複合音(complex sound)。(圖 2.2 為三個正弦波構成複合音之波形圖)

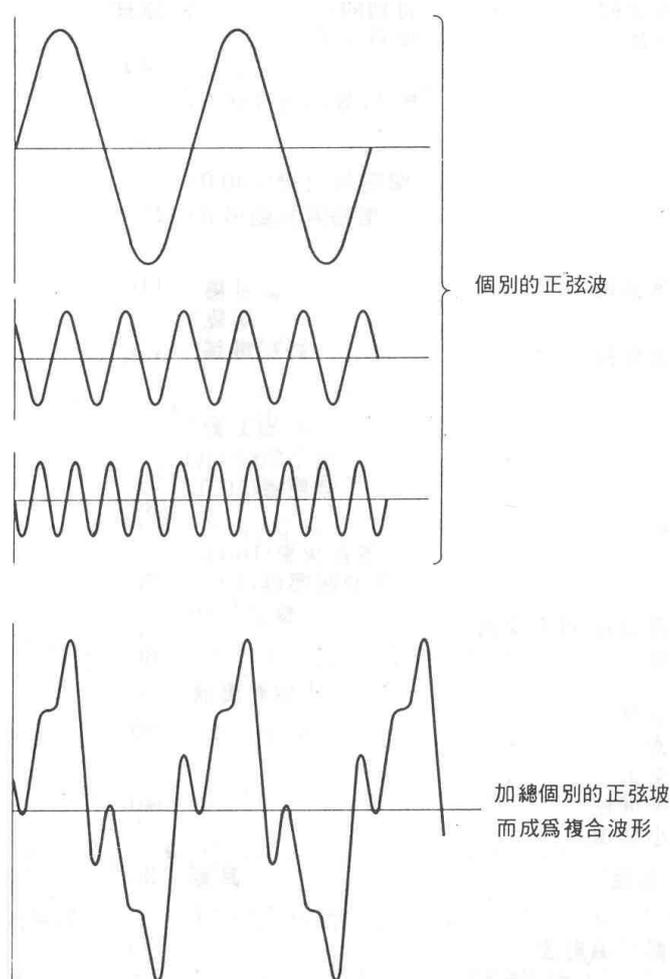


圖 2.2，三個正弦波構成複合音之波形圖

(資料來源：Minnix,1978)

從一個聲波上的組成來看，內部又分為許多不同解釋意義的結構，一般聲波從開始到消逝，由許多不同頻率的泛音組成，稱之為泛音列(harmonic series)，泛音列中頻率最低的基音稱為第一泛音，依次為第二泛音、第三泛音等，而基音之外的泛音(即倍音，為基音頻率的倍數關係)亦依次稱為第一倍音、第二倍音等。基音之振動強度最大(基音為一開始的第一泛音，強度最強)，因此決定了音高，其它則強度不一。在泛音列(harmonic series)中，將泛音頻率依長至短排列，可以看到各倍音頻率正好是基音頻率的正整數倍，若此音高為 100Hz，其倍音頻率正好為 200Hz、300Hz、400Hz...。

(圖 2.3 為泛音列之例)

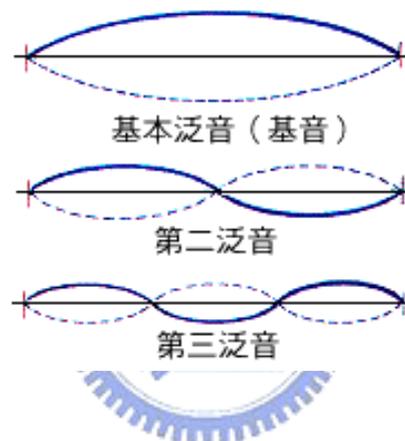


圖 2.3，泛音列之例

(資料來源：<http://www.bud.org.tw/answer/0006/000624.htm>)

## (2) 傅立葉轉換原理

十九世紀之後，經過傅立葉( Jean Baptiste Joseph Fourier 1768-1830 )、哈姆霍茲( Hermann Von Helmholtz 1821-1894 )及其他物理學家的實驗證明，一個複雜波形事實上乃由許多正弦波( Sine Wave )所構成。透過分析可將這個複合波分解成若干不同頻率、不同強度的正弦波合成。這些分解後的正弦波通稱為泛音( harmonics )或稱為純音( pure tone，即不含任何其它泛音成份的正弦波 )，日本人則稱為諧波。

根據傅立葉轉換原理可知，任何一個複雜的聲波都可以用各種不同頻率、不同振幅、不同相位起始點的正弦音波線性組合而成。

而各個頻率之間成整數倍關係。例如一個複合波的振幅  $A$ ，可以拆解成頻率  $f_1$  振幅  $A_1$  的波，加上頻率  $f_2$  振幅  $A_2$  的波，再加上頻率  $f_3$  振幅  $A_3$  的波...

傅立葉轉換公式為：

$$A = \sum_{i=1}^n A_i \sin(t_i f_i + \theta_i)$$

$$i=1 \text{ to } n$$

其中  $f_2=2f_1$ ， $f_3=3f_1$ ，...，我們稱  $f_1$  為基頻(fundamental frequency)， $f_2$ ， $f_3$ ， $f_4$ ，... 等等被稱為泛頻(overtone)。

複合音的頻率成份雖然複雜，但是人耳能輕易的在嘈雜的環境中分辨出語音、樂音等，顯然吾人的聽覺系統也必定在作類似傅立葉轉換的頻率成份之拆解。

(<http://staff.pccu.edu.tw/~tdl/percept9.htm>)



### (3) 聲音壓力位準

引起聽覺刺激的主要因素為聲音，聽覺系統主要在接收環境中所產生的聲音信號，藉由人耳的結構接收的聲音的刺激，進而傳導腦神經網絡，讓人們對聲音有不同的心理感受。

以物理特性來解析聲音，聲音的產生是由空氣分子的位移或是速度的相互變化影響，使空氣間的密度不斷重複地改變疏密度的壓力波動行為，藉由介質(固體、液體或氣體)的傳導，逐漸擴大於周圍空間的一種波動現象。

圖 2.4 上圖為正弦波氣壓的變化，下圖為振動所產生的空氣中分子的密度變化。由於地球表面充滿空氣(氣體介質)，絕大部分的人在正常環境條件下所聽到的聲音，均由空氣中分子的碰撞所產生。在攝氏 20 度一大氣壓下，空氣傳播速度為 340m/sec。

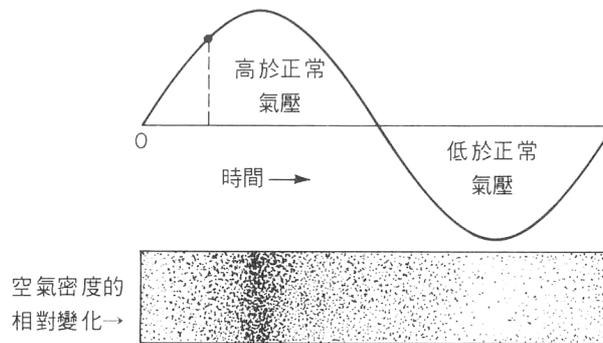


圖 2.4，上圖為正弦波氣壓的變化，  
下圖為振動所產生的空氣中分子的密度變化。  
(資料來源：Mark S& McCormick，1998)

聲音的強度與聲波會對耳鼓膜造成壓力。在不造成損傷的條件下，人耳可忍受的聲音強度範圍從最強與最弱的聲波壓力比約一百萬倍。

衡量聲音強度是以每單位面積所承受的能量大小求得，單位為分貝(decibel)。由於能量大小無法直接量測而得，因此採用量測聲音壓力位準(sound pressure level)，以 SPL 表示聲音強度，公式為：

$$\text{SPL (dB)} = 20 \log \frac{P_1}{P_0}$$

$P_1$  為被測量的聲壓， $P_0$  為參考聲壓，0dB 代表的參考聲壓為  $20\mu\text{N/m}^2$ 。

#### (4) 量測儀器

聲音不像視覺，當藍色與黃色顏料混合時，會產生新的顏色，而其單純的原色會隨之消失。相反的，聲音的混和卻能不失組成聲音的獨特個性；混合後雖然產生了新和絃的聲音，其組成的各部分依然存在且可辨識。

在研究電子信號的專業儀器中，示波器(oscilloscope)是在時域(time domain)來顯示波形震動信號形狀的儀器。複雜的複合音波，透過示波器轉換顯示可更明瞭的將無形的聲音用圖示的方式呈現，以利研究。圖 2.5 為示波器。



圖 2.5，示波器

(資料來源：<http://www.oka.com.tw/chinese/Product-2002531113235.htm>)

### 2.1.2 八音階頻帶寬

複合音可以由八音階頻帶寬來分析，八音階頻帶寬就是把聲音分成八等分，其中中心頻率分別為 63、125、250、500、1000、2000、4000 與 8000，每個中心頻率皆為上一個中心頻率的兩倍，如圖 2.6 所示。

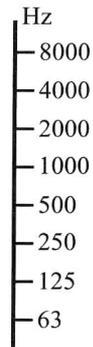


圖 2.6，八音階頻帶區分之中心頻率

(資料來源：李開偉，2000)

聲音除了可以使用八音階頻帶寬分析之外，還可把八音階再均分為 3 個區域，稱為 1/3 八音階分析，而前一個區域的中心頻率將是下一個的 1/3。將頻帶寬切割的越窄，頻譜圖將會愈詳細，且聲壓水準愈低，例如：圖 2.7 為捲繩機所產生的噪音頻譜分析，分別將八音階在切割為兩個、三個或六個區域，依照曲線的平滑度就能明顯的看出，切割的密度愈大愈能觀察出的細節特徵也就愈清晰，可依研究觀察的需求，改變頻帶寬的寬窄，以得到更精準的分析數據。

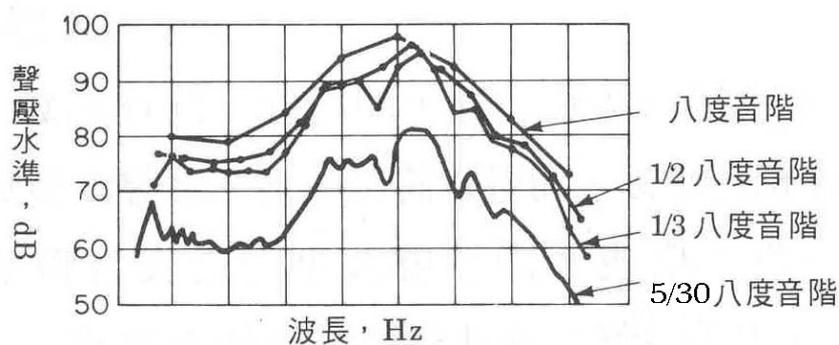


圖 2.7，捲繩機所產生的噪音頻譜分析

(資料來源：Industrial noise manual, 1966)

### 2.1.3 殘響時間

音波發散後，經過一些時間將充滿整個室內空間。而音源停止時，音波也不會迅速消滅；這些聲音會經過反覆地反射，一些時間後才會衰減完畢，此即所謂的音的殘響度(reverberation)。音波衰減完畢所需的時間稱為殘響時間，它被定義為聲音強度在室內消逝至原來的百萬分之一所需的時間，更簡單的定義為音源發出聲音後，衰減 60 分貝所需要的時間，如圖 2.8 所示。

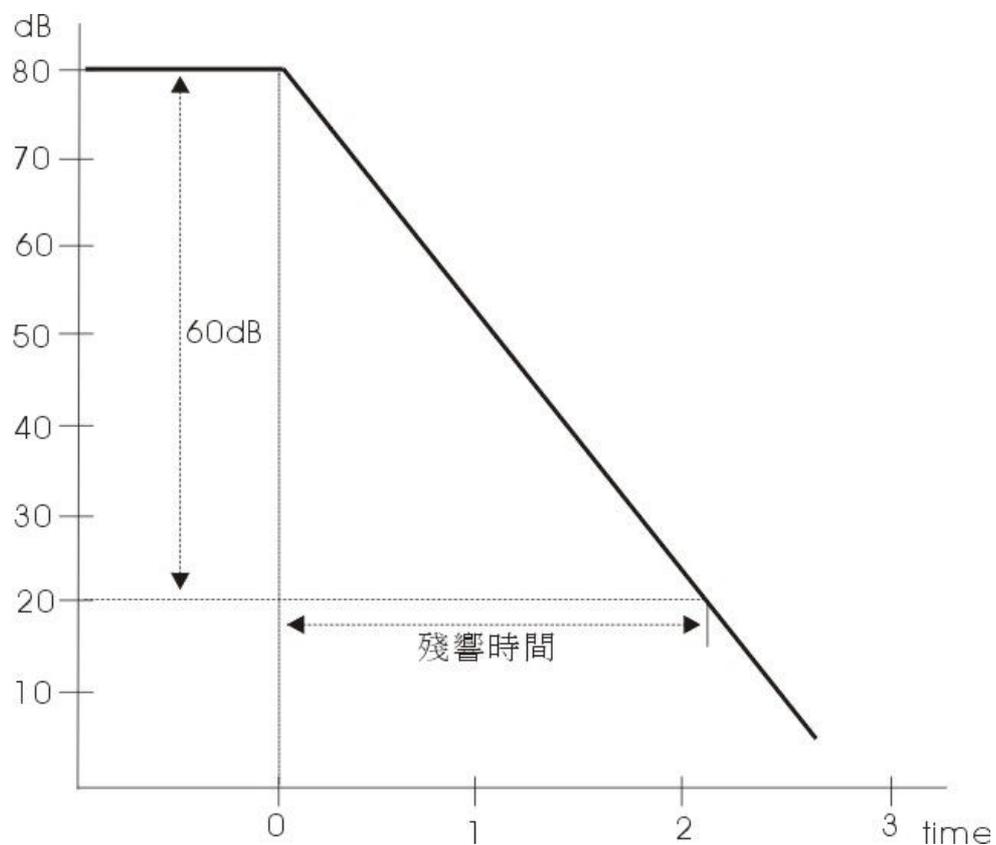


圖 2.8，殘響時間

(資料來源：家慶工程)

當音波碰到任何固體，都會有反射的動作。在能量不折損的情況下，「音源」(sound source)的入射角與反射角度會是相同的角度。如圖 2.9 所示。

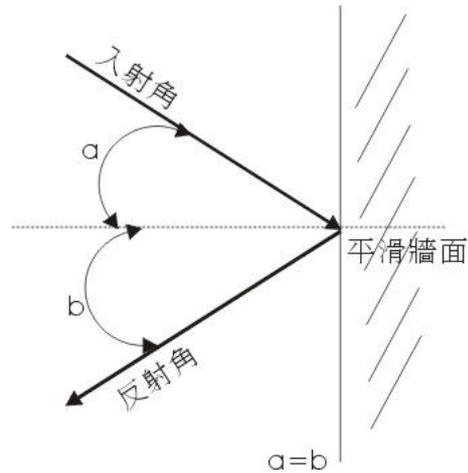


圖 2.9，音源的入射角與反射角

(資料來源：家慶工程)

從建築環境來看，殘響會直接的影響聆聽者之直接收聽效果，圖 2.10 所示音波碰到凹凸兩面時所反射的情形。也因此音樂廳的建築設計都要很謹慎處理殘響問題，而在實驗中的聆聽室也不能例外，要盡可能的減少聆聽室不必要的器物，讓聲音能平均的反覆反射，使其傳送到受測者時，都能有相同的音質感受。

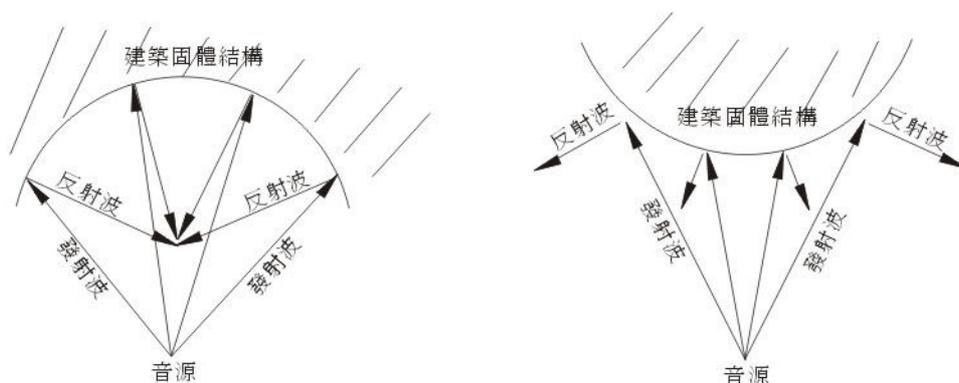


圖 2.10，音源在凹凸兩面時所反射的情形

(資料來源：家慶工程)

### 2.1.4 共振頻率

所謂「共振頻率」(resonant frequency)是指該物體本身的內部分子結構運動所形成的振盪頻率。一般而言，物體的共振頻率與其硬度、大小相關。這也可在各種樂器設計上窺知一二。

例如提琴的弦振動能量透過弦碼傳遞到琴板、琴箱體以及幾乎封閉的箱內空間，引起琴體及其中空氣的振動而輻射出聲波。整個歷程涉及弦振動、板振動(包括面板、背板、低音樑、側板、弦碼等)和空氣振動，其各有各的固有共振頻率，因此形成整個樂器固有的音響特色。目前，了解不同介質的音響特色，已經形成一門稱為『音響學』(acoustics)的學科。(http://staff.pccu.edu.tw/~tdl/percept9.htm)

### 2.1.5 聽覺能力

人耳的平均絕對聽覺閾約為十的負十六次方瓦特/平方公分(0.0002 達因/平方公分)，頻率在一千至五千赫茲之間。



嬰兒可以聽到二十至兩萬赫茲頻率之間的聲音；三十歲以上則難以聽到一萬五千赫茲以上的聲音；五十歲時聲音聽覺的上限值降至一萬兩千赫茲；七十歲時上限值再降至到六千赫茲左右。也就是說，隨著年紀的增長，鼓膜增厚，高頻率的聲音就不那麼容易順著內耳骨通過，於是我們就失去高低兩端的聽力範圍，尤其是高音的部分。(李開偉，2000)

當聲音的壓力值超過一百分貝時，人耳會感到疼痛，人耳持續的暴露在高達 90 分貝以上的環境時，聽力會明顯的有所損傷。

當音量降至二十分貝以下，人耳會喪失分辨頻率變化的能力，音量超過二十分貝以上，頻率為一千赫茲左右時，人耳聽覺分辨力最好，可以分辨出小至三赫茲的變化，此時亦可以偵測出 0.5 至 1.0 分貝的音量變化。因此以 1000Hz 為基準，20 歲人耳只需 20dB 即可聽見，但是 40 歲人耳卻要 40dB 才能聽清楚。圖 2.11 等響度曲線。

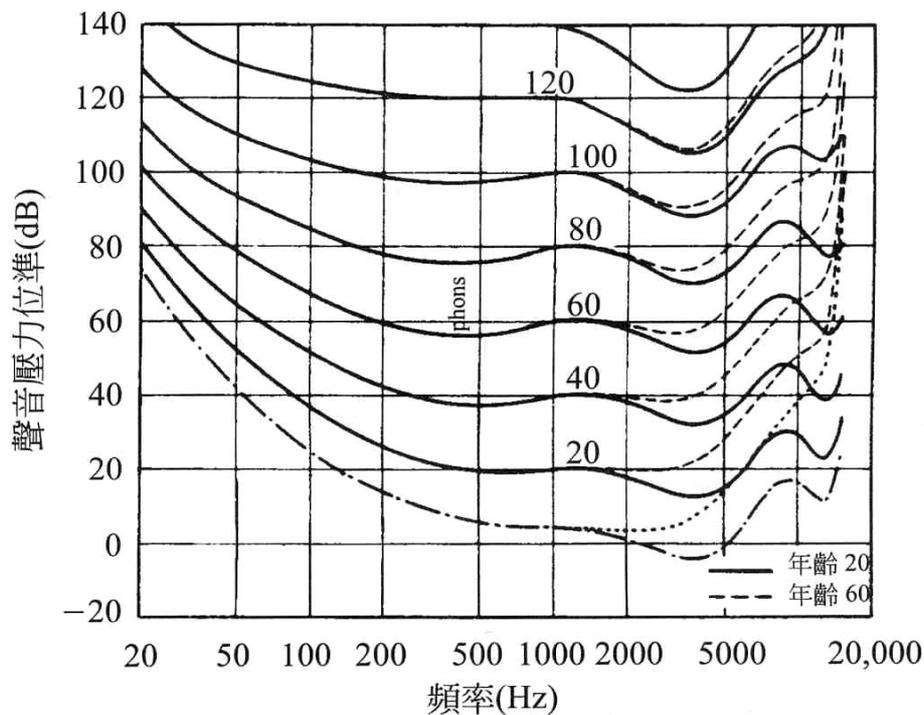


圖 2.11，等響度曲線

(資料來源：Robinson & Dadson, 1957)

美國國家標準局(American National Standards Institute, ANSI)制定了聲音壓力位準 A、B、C 三種加權曲線如圖 2.12 所示，可看出 A 曲線在低頻區塊給予較少的加權，B 曲線在中等水準的聲音給予較少的加權，C 曲線均勻的給每個頻率加權。

由於人耳對於高頻的聲音較低頻為敏感，爲了要把這樣的特性加入量測中，其中 A 加權曲線對低頻有較少的加權，較接近人耳真實的狀態。

使用 A 加權量測聲音壓力位準可表示為 dBA。而 C 加權曲線較能忠實的表現實際物理特性。由國際上最常用的「A 加權曲線」中，可看出人耳對於一千至六千赫茲之間的聲音較為敏感。

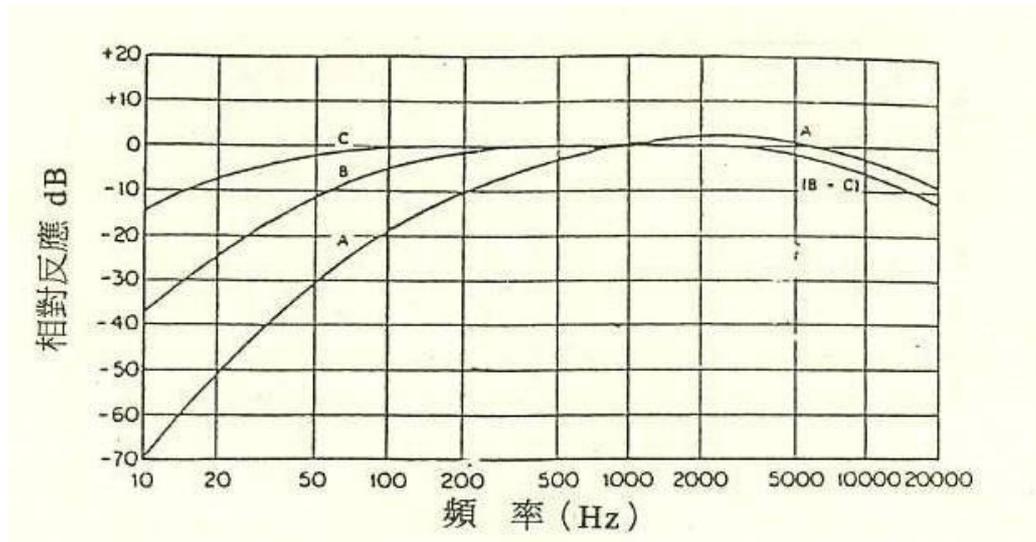


圖 2.12，常用的聲音水準尺寸之 A、B、C 加權曲線

(資料來源：侯東旭、鄭世宏，1996)

### 2.1.6 聲源定位

人耳除了有可以辨認聲音的大小與特質的能力之外，還具有判斷聲音的來源方向之能力，即為聲源定位(localization of sound)能力。

人體利用聲波到達雙耳的時間差與強度的變化，來做聲源的定位。其中對於中頻率的聲源定位，因為雙耳對於聲音的強度與時間差都沒有明顯的感受，因此在判斷上較高低頻來得不易。

人耳利用波形的波峰與波谷來決定相位，由於左右耳距離不同，聲音傳達到左右耳時，分別接受到不同的波峰與波谷，利用兩耳的相位差即可辨別聲源位置。圖 2.13 聲波在兩耳間的相位差。

若聲源從左右方而來，而強度與時間差又不同，即可辨別聲源定位。但聲源若來自正前方或是正後方，強度與時間差無分別時，則無法對聲音做定位的動作。人耳對於左右方向的定位優於垂直方向，在垂直角度 0~50 度之內，人耳對水平角度有良好的辨認能力。在垂直 0 度時，甚至可分辨出水平 1~3 度的變化。(侯東旭、鄭世宏，1996)

雙耳外輪廓的內凹結構，能有助於辨識音源的高低。由於人耳不像貓頭鷹有上下不對稱性的耳朵，因此對垂直音源的辨認能力，自然不比有雙耳效應的左右方向辨認能力。而來自後方音源的傳導，大部分是藉由頭顱感應及耳殼感應。因此，雖然後方音源不能直接傳輸至耳朵聽道，但仍然可以分辨出音源的高低。(侯東旭、鄭世宏，1996)

若只有單耳具有聽力時，將只能辨認聲音的遠近，無法對聲源做定位。高頻聲(3000Hz 以上)的波長較短，傳送的過程容易被遮蔽物阻擋，尤其時頭部。反之，低頻聲(1500Hz 以下)較不易發生阻擋效應。(侯東旭、鄭世宏，1996)

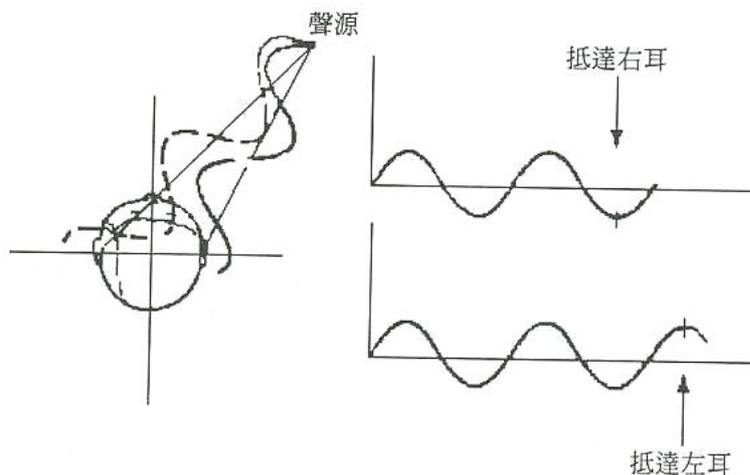


圖 2.13，聲波在兩耳間的相位差

(資料來源：Kantowitz & Sorkin, 1983)

## 2.2 聲音的認知心理

在 Donald A. Norman 的「The psychology of everyday things」一書中，提到產品本身的自然聲音，都能反應出跟物品之間當下的複雜關係：

「有些不能看到的情況，可以用聲音來表明：  
汽車排氣管有破洞時的大噪音、  
麵包烤好時，烤麵包機內部跳起來的聲音。  
很多設計雖然採用了聲音，但都只是做信號用，  
使用聲音固然很有價值與重要，但做的還是相當有限，  
我們實在能夠把聲音做更多的利用。」

### 2.2.1 感知心理



產品本身的聲音，往往更直接且清楚地表達產品的狀態，受測者也能藉此得到資訊，聽到令自己安心的聲音，以掌握整體最佳狀態。

例如：金屬產品在進行敲擊動作時，敲準或是偏離中心，都會有不同的聲音。聲音與使用者的感知有連結，不用親眼看就能依靠著聽覺，了解此動作的成功與失敗。

人的感覺有許多基本特徵，不同型態的外在訊息刺激(stimulus)，都有專屬的感覺器官與神經系統，來做接收與處理的動作，這樣的獨立感覺系統稱為感覺型式(sense modality)。

外在的刺激愈多，感覺的強度也就愈強，兩者間未必為直線關係，卻有遞增性的模式。對於外部刺激訊號的變化，生物經由身體的感覺接受器(sensory receptors)，將其能量轉化成神經衝動，最後經由神經路線，將神經衝動訊息傳至大腦，經由大腦之資訊處理而產生反應動作。

從圖 2.14 人員訊息處理模式可說明，從聽覺到知覺(perception)，到反應執行之過程。

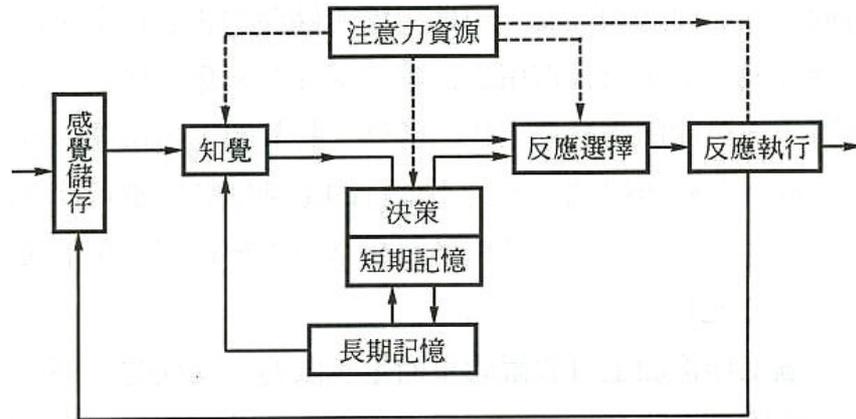


圖 2.14，人員訊息處理模式

(資料來源：Wickens et al, 1998)

知覺與感覺在人的行為中，是否有一樣的解釋呢？在心理學研究上有三點共識說明其之間的差異：

1. 經過選擇的歷程，可由感覺變為知覺。感覺是知覺的基礎，但有感覺未必能有知覺的產生。
2. 感覺是指當下所獲得的真實性資料(data)，知覺則是個體將感覺資料與經驗連結而產生的組織。因而在知覺經驗(information)中，有時是超現實的。
3. 個體靠感覺接受刺激，但決定其行為反應與否，則是知覺因素。

透過外在物理能量或化學物質可加強描訴刺激的特性，如聽到多少分貝的音量和感受多少度的溫度。對於刺激的辨別只能透過比較的方式來進行量測，如在增加多少壓力，會使受測者感受到比剛才還大的壓力。這種辨別同類刺激的差異，所需要的最低強度水準稱為”差異閾”(difference threshold)。

如果增加刺激的強度，使受測者意識到此時的刺激強度高過於之前的強度時，則感覺上便達到所謂的”恰辨差”(just-noticeable difference，簡稱 j.n.d)。恰辨差通常是用來描述差異閾的方法，是屬於心理範疇，但是單位卻是物理的。

在心理物理學上運用許多數學方式與定律，來計測與評量感覺，其中最為人所熟知的即是韋伯定律。韋伯定律的概念是：感覺變化中，雖然差異閾常因刺激類別與感覺類別的不同而有差異，但其差異閾與作為比較根據的標準刺激之間，仍然保持著一種常數比例關係。根據韋伯定律的數學公式所計算出來的常數比值(K值)，便是韋伯分數(Weber fraction)。(張春興，1995)

### 2.2.2 聲音的心理屬性

「要使人造的聲音有用，  
必須要把聲音造得和他所要表達的訊息之間  
有一個自然的關係。」

—Donald A. Norman

東西的材質結構是厚實或是空洞的、塑膠或是金屬、粗糙或細緻，這些質量、張力、軟硬等物理性質會影響聲音的特質。唯有同時的了解自然物的聲音與人們對於聲音的感知，聲音的感知才能自然與聽覺經驗的連結一起。

### 2.2.3 聲音的心理物理學

藉由錄音器材將聲音收錄到儀器中，轉換成某種電子信號，再將電子信號倍傳送到篩選窄頻帶(narrow-frequency bands)的濾波器內，即可得到此聲音所組成頻率與強度關係的頻譜圖()。透過頻譜圖可以精準看出那些對聽覺系統具有重大影響的波形，但並非全然的真相。人類對於聲音的知覺，並不完全可從此獲得全貌的解答。

聲音的物理屬性有頻率(frequency)、振幅(amplitude)、波形(wave)，相對聲音的心理屬性有音高(pitch)、音量(loudness)、音色(timbre)。

音高大約等於頻率，當頻率愈高的時候，音高也就愈高，但是音頻與音高並不是一比一的對應。(Steven & Volkman, 1940)

音量大小約等於振動的強度。當聲音強度增加時，人耳結構的基底膜最大震幅面積將會增加，使得該特定頻率敏感細胞之外的附近細胞的反應衝動也增加。表示神經衝動次數與涉入之相關神經元多寡，可以用來表示音強訊息！

音色則極近似於波形，雖然之間並沒有完全的共同特徵，卻有非常顯著的連結性。從音色可以簡單地判斷出聲音的特色。例如聆聽數種聲音時，即使在相同音高與音調的條件下，人耳都能由音色的差異性而分辨出聲音的種類。

除了上述相對應的音高、音量、音色的心理屬性，還有另外兩個影響聽覺的因素：持續時間和聲音形態（音如何開始、繼續和消失）。而當這些因素中的任何一項被改變，都會影響聲音的聽感。

對於聲音能力的認知，從音樂的角度來看，音色、音準、強弱、節奏是音樂專家才能理解的專業名詞，一般人對於音樂認知則是從和諧、大小聲、節奏得之音樂的感性認知。

由表 2.1 得知，音質有兩個基本成分，即音色、聲調、音色，可以解釋為「一種聲音的特性，取決於它的合聲上的架構，基本音和聲音的緊度」。

不和諧的聲音多數是緊張、痛苦的；和諧的聲音多半是安祥平靜的。而強弱的感覺也會表現在情境悲傷或是愉快的起伏。節奏感的表現通常會由音樂中的拍子、速度等與主觀節奏感與內在的節奏感相呼應，進而表達出演奏者所要表現的速度快慢(王真儀，2001)。

**表 2.1，人對音樂天賦的標準(資料來源：希索，1919)**

人有些好的感覺	也就是對這些比較敏感	指向某一個「主要枝幹」
音質	音色、聲調	音色
聲音的和諧	和聲、旋律	音準
大小聲	強弱	強弱
節奏	拍子、速度、節奏模式	節奏

#### 2.2.4 聲音的評價形容詞語彙研究



隨著人類認知心理學領域蓬勃的發展，相關的研究也就愈還愈豐富。在最常被使用來探討認知感覺的評量方法有：李特克量尺(Likert scale)或語意差異量尺(semantic differential scale)。此兩種方法使用填答設計與語意反應量化的計分方式，為人的行為與感知部分做量化的呈現。

語意差異分析法(semantic differential method)就是利用兩個對立的形容詞來構成雙極尺度來做評估。雙即尺度通常將對立的形容詞對分成五段、七段或是十一段。(黃俊英，1999)

在進行 SD 法之前，聲音的評價形容詞語彙的收集是個重要的步驟。貼切的聲音形容詞，能夠促進受測者在實驗的過程中，直覺性判斷出對於聲音的感覺評估。在國外相關意象語彙研究中，Boyle & Radocy (1987)兩位學者針對聲音訊號意象評量歸納出七種範疇：

1. 態度性(attitude)、
2. 興趣性(interest)、
3. 品味的(taste)、
4. 偏好性(preference)、
5. 評價性(appreciation)、
6. 感覺的(sensitivity)、
7. 美學的(aesthetic response)。

而探討人們對音樂感受的方式上，最常被應用的是 Hevner 運用系統性所建立出的形容詞檢核表(稱為 Hevner's adjective circle)，如圖 2.15 所示。(莊雅量，2001)



之後在經由 Farnsworth 對於 Hevner 的形容詞檢核表提出了修正的版本，如表 2.2 所示。(莊雅量，2001)



圖 2.15，Henver's adjective circle

(資料來源：莊雅量，2001)

表 2.2，Farnsworth 針對 Henver's adjective circle 所修正的檢核表

(資料來源：莊雅量，2001)

A	B	C	D	E
Cheerful 愉快的	Fanciful 幻想的	Delicate 敏銳的	Dreamy 夢幻般的	Longing 孤獨的
Gay 尋歡作樂的	Light 明快的	Graceful 優雅的	Leisurely 悠閒的	Pathetic 可憐的
Happy 快樂的	Quaint 奇特有趣的	Lyrical 感情豐富的	Sentimental 感情用事的	Plaintive 悲傷的
Bright 明亮的	Whimsical 異想天開的		Serene 安詳的	Pleading 懇求的
Joyous 樂趣的			Smoothing 柔順的	Yearning 渴望的
Merry 歡樂的			Tender 溫柔的	
Playful 玩樂的			Tranquil 安寧的	
Sprightly 生氣勃勃			Quiet 安靜的	

F	G	H	I	J
Dark 黑暗的	Sacred 神聖的	Dramatic 戲劇性的	Agitated 激動的	Frustrated 挫敗的
Depressing 壓抑地	Spiritual 崇高的	Emphatic 有力的	Exalting 興奮的	
Doleful 悲傷的	純潔的	Majestic 威嚴的	Exciting 刺激的	
Gloomy 陰暗的		Triumphant 勝利的	Exhilarated 興奮的	
Melancholic 憂鬱的			Vigorous 經歷充沛的	
Mournful 悲觀的				
Pathetic 可憐的				
Sad 傷心的				
Serious 嚴肅的				
Sober 冷靜的				
Solemn 隆重的				
Tragic 悲劇的				

Henver's adjective circle 中的形容詞主要針對人們對於音樂上的感受，相較於本實驗中的金屬敲擊聲有所差異，因此本研究在形容詞語彙的篩選過程中，將請敲擊專家參考 Henver's adjective circle，協助挑選出合適的形容詞，之後再經由專家小組討論並進行小組前測，對於實際的金屬敲擊聲直接做形容詞測試，以選出適合用在金屬敲擊聲的形容詞語彙。

### 2.2.5 量化分析

在問卷調查法(questionnaire survey)或實驗研究法(experimental method)中，量表的分析與步驟有：

#### 一、 編擬問卷

在編製問卷時，內容應該要依據研究架構的層面，加以編製。問卷的態度量表通常採用李克特式量表(Likert-type Scale)法，量表填答方式以 4 點至 6 點量表法，為最多人使用，大多數的情況下，五點量表(points)是最可靠的，超過五點，一般人難有足夠的辨別力，但是對於具有足夠辨別力的人而言，使用五點量表又令人有點受限的不適感。

#### 二、 前測

在正式的實驗之前，都應該要實施前測(pilot test)，前測的對象性質應與將來正式問卷要抽取的對象性質相同。



#### 三、 整理問卷與編號

問卷回收後，每一份都要檢查篩選，將不適合之問卷刪除。之後將問卷加以編號，以便將來核對資料之用，在有順序的建檔。

#### 四、 項目分析

項目分析即在於求出每一個題項的「決斷值」(critical ratio；簡稱 CR 值)，其求法是將所有受測者在前測量表的得分總和高低排列，得分前 25%至 33%者為最高組，得分後 25%至 33%者為低分組，球出高低兩組受測者在每題得分平均數差異的顯著性考驗，如果題項之 CR 值達到顯著水準( $\alpha < .05$  或  $\alpha < .01$ )，即表示這個題項能鑑別受測者的反應程度，以此能夠判斷題項是否要刪除。

## 五、 因子分析

項目分析完後，為考驗量表的建構效度(construct validity)，應進行因子分析。所謂建構效度係指態度量表能測量理論的概念或特質之程度。

因子分析的目的即在找出量表淺在的結構，減少題項的數目，使之變為一組較少而彼此相關較大的變項。根據陡坡圖(scree plot)因子變異量遞減情形來決定，在陡坡途中，如果因子變異量圖形由斜坡轉變為平坦，平坦狀態以的共同因子可以去掉。

## 六、 信度分析

因子分析完後，繼續要進行分析的是量表各層面與总量表的信度考驗。所謂的信度(reliability)，就是量表可靠性或穩定性，在態度量表法中常用考驗信度的方法為 L.J Cronbach 所創的  $\alpha$  係數，其公式為：

$$\alpha = \frac{K}{K-1} \left( 1 - \frac{\sum S_i^2}{S^2} \right)$$

其中 K 為量表所包含的總題數。

$S_i^2$  為每個測驗題項總分的變異量。

$S^2$  為測驗量表總分的變異量。

$\alpha$  係數值界於 0 至 1 之間， $\alpha$  出現 0 或 1 兩個極端值的機率甚低，怎樣的數值才算有高信度，學者 DeVellis(1991)也提出以下觀點， $\alpha$  係數值如果在 .60 至 .65 之間最好不要； $\alpha$  係數值界於 .65 至 .70 間是最小可接受值； $\alpha$  係數值界於 .70 至 .80 之間相當好； $\alpha$  係數值介於 .80 至 .90 之間非常好。(SPSS 統計應用與實務，2000)

經由資料縮減或是檢驗後，則能更進一步的使用統計的方式去分析數據。

### 2.2.7 感性工學

在 1986 年時，東洋工業 KK 集團(今馬自達汽車集團)前會長山本健一先生在美國密西根大學演講時，發表題目為「車的文化論」，其中「感性工學」(Kansei Engineering)一詞，就在這次演講中首度被提出，同時也引起了廣大的迴響，在次年的 1987 年 KK 集團在橫濱研究所中，正式成立的了「感性工學研究室」。

而在 1988 年，前日本廣島大學教授長町三生，在於雪梨國際人因工程學會上發表主張將「情緒工學」更名為「感性工學」。

感性工學一詞的前身，早在日本就有許多相關的研究。在日本物理學界有所謂「感應工學」、「誘導工學」的研究；另外諸如「人間工學」、「感覺工學」(Sensology)、「情緒工學」、「生理工學」、「生體工學」等等領域都直接間接為感性工學奠定了相當的基礎。(黃崇彬，1997)

長町三生歸納現今感性工學常用的手法有下三種：(長町三生，1997)



#### (1)Category Classification(階層化範疇分類法)

經由各式感性資訊，凝聚成產品概念，再從產品概念(第 0 次元感性概念)，向下逐次展開(break down)，直到最後出現物理量的階層為止。

#### (2)KES(Kansei Engineering System)

藉由充分的感性資訊資料庫(database)與正確的邏輯推導能力，去組成一個專家系統(expert system)。之後，即可進行物理量與感性量之間的轉譯工作。

KES 又可略分為「前向型感性工學系統」與「逆向型感性工學系統」兩類。

\*前向型感性工學系統：將感性需求轉譯為設計要素，以進行開發工作。

\*逆向型感性工學系統：將設計提案轉譯，進行感性診斷。

### (3)Hybrid Kansei Engineering System(複合式感性工學系統)

複合式感性工學系統是經過修正和改良之後，衍生出新型感性工學模式，其結合了順向與逆向型感性工學系統，發展出可供設計師與使用者溝通的系統模式。其運作的程序是將從受測者中所得到的感性語彙，透過複合式感性工學系統的資料庫處理，再轉化為設計要素。經由設計師將設計要素處理之後，再透過複合式感性工學系統的建檔與執行處理，即可對受測者做感性評估，圖 2.16 為複合式感性工學系統運作模式。

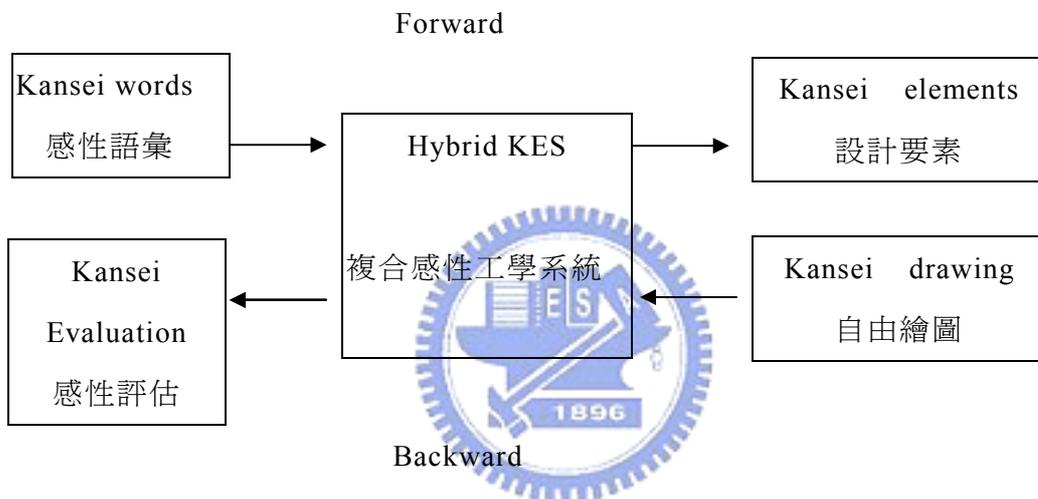


圖 2.16，複合式感性工學系統

(資料來源：Yukihiro Matsubara，Mitsuo Nagamachi，1999)

## 2.3.數位聲音的技術與應用

在數位技術的時代，數位世紀所要面對的不只是器材的換裝，它是一個數位化製作技術的考驗、數位化思考的挑戰。

所謂「工欲善其事，必先利其器」，本研究要利用科技作為工具，對聲音做取樣與編輯的動作，所以首先要先了解數位時代中的各種科技產物，分析各屬性與優勢，揀選出最適合的方式應用在研究實驗中，達到事半功倍的效益。

### 2.3.1 取樣格式

要將聲音的類比(analog)訊號輸進入電腦中，轉化為數位(digital)訊號，需要經過取樣的過程。就目前的電腦上常用的音頻格式主要為兩種：波形(wave)取樣與MIDI(Musical Instrument Digital Interface)檔案格式。而波形取樣基本構成要素有取樣頻率(sample rate)、取樣大小(resolution)與聲音頻道(channels)等。

本研究在錄製聲音時，軟體格式採用 44.1K Hz(取樣頻率)、16bit(取樣大小)與stereo(立體聲音頻道)，以下將說明各規格的意義：

(1) 44.1K Hz 表示頻率取樣的格式，在頻率格式的取樣還有 96K、88.2K、64K、48K、38K、22.05K、16K 等等。頻率愈大錄製的品質也愈高，相對的儲存檔案的空間也就愈大。在各式樣格式中，可根據使用的目的去選擇頻率的高低。對於人耳的極限，超過 44.1KHz 以上的聲音幾乎無法辨認差異性，而市面一般的 CD 音樂光碟，也使用 44.1K 的格式去錄製音樂。因此，在本研究實驗的錄音過程採用 44.1KHz。

(2) 16bit 表示取樣的大小，根據每個取樣數，給電腦一個單位數值來做表示。取樣的大小規格(resolution)還有 8-bit 與 32-bit。若是 8-bit 的大小取樣，那可以將聲音樣本細分成 256 階(二的八次方)；16-bit 則為 64K 階(二的十六次方)，以此類推，32-bit 為二的三十二次方。一般人耳無法辨認超過 16-bit 的聲音樣本差異性，因此大小取樣以 16-bit 即可。

(3) 聲音頻道分為立體音(stereo)與單音(mono)。stereo 表示聲音頻道有左右兩聲道，可以錄製不同的聲音，造成有立體音感覺；單音表示兩聲道的聲音是相同的，因此只要用一音道的資料表示即可，檔案大小約為立體音的 1/2。

### 2.3.2 音頻格式

#### (1) MIDI 檔案



MIDI (Musical Instrument Digital Interface)是由美國 MIDI 製造協會與日本的 MIDI 標準協會於 1983 年共同制定，主要在解決各種的數位樂器設備之兼容性問題。

MIDI 本身並不能發出聲音、他只能紀錄樂曲中的每個訊息，包括拍子，速度，每一個音符的音高、強度與長度，節奏等等所有編曲、指揮、演奏的資訊。拿到一個 MIDI 檔就等於是拿到一個曲子詳細的演奏說明。MIDI 紀錄的訊息都只是一堆數字信號代表，電腦將這些產生特定聲音的指令交給音效卡去做合成聲音。通常這些訊息所需要的資料量都非常的小，因為很容易被廣泛的應用於聲音訊號的形成。

由於 MIDI 檔是由數字的信號形成的聲音，很容易因為不同的播放設備而有不同的音質。而波形(wave)取樣檔案則相反，在不同設備播放也能有相同的音質。因此，本研究將採用 wav 檔案格式存取聲音樣本，以保持每次實驗播放的品質。(高韻萍，2003)

## (2) 波形(wave)取樣檔案

### (一) wav 檔

wav 聲音格式是由 Microsoft 公司研發，廣泛的被使用於 Windows 平台之應用，wav 檔格式支持 MSADPCM、CCIPALAW、CCIP-LAW 與其他壓縮演算法，並支援多種數位音頻，因此被大眾廣泛的使用，但是波形取樣是透過錄音設備去錄製原始的聲音，直接紀錄了真實聲音的二進位製採樣數據，導致檔案體積過大，較不適合長時間的錄製。

### (二) mp1/ mp 2/ mp 3

mpwg 代表 mpeg 活動影音壓縮標準，mpeg 音頻檔案指的是 mpeg 標準中的聲音部分即 mpeg 音頻層。mpeg 頻檔案根據壓縮質量與編碼複雜程度可以分為三層，每一層的壓縮法不同，層階數越高，壓縮複雜度就越高，其三種為：

mpeg audio layer 1/2/3 分別與 mp1/mp2/mp3 這三種聲音檔案相對應，mpeg 音頻編碼具有很高的壓縮率，mp1 (mpeg1 audio layer1)和 mp2 (mpeg1 audio layer2)的壓縮率分別為 4 : 1 和 6 : 1~8 : 1，而 mp3 (mpeg1 audio layer3)的壓縮率則高達 10 : 1~12 : 1，也就是說需要 10MB 儲存空間的音樂，經過 mp3 的壓縮編碼後只要 1MB 左右，同時能保持音質而不失真。

mp 3 為降低聲音失真，採取「感官編碼技術」的編碼演算法：編碼時先對音頻文件進行頻譜分析，然後採用過濾器過濾掉噪音電頻，接著透過量化的模式形成具有較高壓縮比的 mp 3 檔案，並使壓縮後的檔案在還原時，能夠達到較接近原音源的聲音效果。雖然它是一種有損壓縮，但是它的最大優勢是一極小聲音失真，換來了較高的壓縮比。(高韻萍，2003)

其他常見聲波檔格式：

由於不同的公司所研發使用的檔案格式也不盡相同，在取得聲音檔的時候需要加以轉換才能夠使用，以下為常見的聲波格式：(高韻萍，2003)

1. .wav 為 Microsoft 使用的聲音檔格式。
2. .au 或.snd 為 Sun 與 NeXT 使用的聲音檔格式。
3. .voc 是由 Ad Lib 發展的聲音檔格式，Creative Labs 聲霸卡也使用這種格式。
4. .aiff 是由 Apple 發展的聲音檔格式，Silicon Graphics(SGI)也使用這種格式。
5. .afc 是由 Apple 發展的聲音檔格式。
6. .iff 是 Amiga 的聲音檔格式。
7. .mat 是 Matlab 使用的聲音檔格式。

每個音頻格式都有其優勢點，因此針對不同需求面，取得最適合的音頻格式去做應用。在本研究中，考量所使用的儀器設備，將採用波形(wav 檔)採樣錄製聲音，以求錄音品質與檔案格式的相容性。

