

逢甲大學學生報告 ePaper

隨機與固定間隔時間對聽覺警訊的影響

作者：魏曉俞、王 安、張皓禹、邱譯霆、王楸嵐、龔彥豪、江家榕、邱柏元

系級：工業工程與系統管理系四乙

學號：D9825791、D9825829、D9868058、D9890683、D9867809、D9867798、

D9867873、D9867826

開課老師：唐國豪、李岳樺

課程名稱：人因工程

開課系所：工業工程與系統管理系

開課學年：一百學年度 第二學期



中文摘要

美律實業成立於 1975 年，於 2000 年 8 月轉為上市公司，主要產品為揚聲器(喇叭)、麥克風、免持聽筒及藍芽耳機的設計與製造。美律利用檢測人員對聲音的感覺進行產品的品質管理，不過影響檢測人員分辨產品是否為良品的因素還有很多。

本實驗之研究主要是提供美律公司在生產線上的檢測人員，經過長時間聽覺作業，是否還可以維持一定的產品檢驗水準。

經過訓練的一群人，在進行長時間的聽覺實驗時，可能會發生的生理狀況有：聽覺上的疲勞、注意力的下降、警覺性的改變、正確判斷率的變化……等。然而本實驗想探討的是長時間作業下，聲音間隔時間不同是否會對正確率的影響。至於實驗中的正確率關係到美律檢測人員是否有正確檢測出有問題的耳機。

實驗設置前先測出受測者的聽覺恰變差，實驗大概分為：

1. 哪種錯誤音頻不受長時間作業影響，依然可以保有相當高的判斷率。
2. 兩聲音間隔時間的長短是否影響受測者對聲音的判斷。
3. 不一樣的錯誤音頻經過長時間，受測者進行判斷的反應時間。
4. 兩聲音間隔時間的長短，在長時間作業下是否影響受測者的判斷反應時間。

關鍵字：美律、聽覺疲勞、聽覺恰變差

Abstract

MERRY was founded in 1975, going listed company in August 2000. MERRY focus on designing and manufacturing speaker, microphone, hands free receiver and Bluetooth headset. MERRY's inspectors use the feeling of voices as quality management. However, there are still many factors interfering the inspector to find out whether the product is qualified or not.

The result of this study is to provide MERRY's inspectors that they can maintain the quality management during the long-time hearing work or not.

The following physiological situations may occur to people who are well-trained during the long-time hearing experiment who is well-trained: the tiredness of hearing, decreasing of attention, changing of awareness and estimation and so on. However, this study is trying discussing that whether the interval of voice will lead the different accuracy. So the accuracy of this study is related to MERRY's inspectors whether they can find out the unqualified headsets.

Before the experiment, we have to find out the JND of subjects.

There are four parts in this experiment:

1. What kind of wrong voice frequency can remain high accuracy despite the interference of long-time work.
2. Whether the different intervals interfere the voice judgement of subjects.
3. Whether the different wrong voice frequency interfere the react time of judgement of subjects.

Whether the different intervals interfere the react time of judgement of subjects during long-time work.

目 錄

摘要.....	1
Abstract.....	2
圖目錄.....	5
表目錄.....	7
工作分配.....	8
致謝.....	9
第一章 緒論.....	10
1.1 研究動機.....	10
1.2 研究目的.....	11
1.3 研究限制與研究設定.....	12
第二章 文獻探討.....	13
2.1 人耳的構造與功能.....	13
2.2 聲音的產生與要素.....	14
2.3 聽覺恰辨差.....	15
2.4 遮蔽效應.....	17
2.5 持續型注意力與警戒.....	18
第三章 實驗步驟.....	21
3.1 檢測受測者對聲音強度的恰辨差.....	21
3.2 檢測受測者對聲音頻率的恰辨差.....	24
3.3 不同間隔時間與聽力警戒實驗.....	28
第四章 數據分析.....	30
4.1 敘述統計.....	30
4.2 推論統計.....	40
第五章 結論與未來研究方向.....	49

參考文獻..... 51



圖次

圖(一) 美律耳機	10
圖(二) 人耳的基本構造	14
圖(三) Y 既為振幅	16
圖(四) 聲音強度的恰辨差	17
圖(五) 不同水準的純音之頻率恰辨差	18
圖(六) 背景噪音相對於各頻率、各噪音量遮蔽現象	19
圖(七) 警戒遞減	21
圖(八) 聽力測定器	22
圖(九) 使用聽力測定器之情形	23
圖(十) 選擇左耳	23
圖(十一) 利用教室擴音器材營造白噪音	24
圖(十二) 用音壓計測量環境音壓	24
圖(十三) 音檔設置	25
圖(十四) 音檔音量設置	26
圖(十五) 程式畫面	26
圖(十六) 受測者自行測量恰辨差	27
圖(十七) 施測者再次進行測定	28
圖(十八) 利用程式測定情況	29
圖(十九) 整體與目標音與錯誤音反應時間平均互相比較	30
圖(二十) 整體音(包含目標音與錯誤音)平均反應時間	30
圖(二十一) 目標音平均反應時間	31
圖(二十二) 錯誤音平均反應時間	31
圖(二十三) 整體音反應時間標準差	32

圖(二十四)	對目標音反應時間標準差	32
圖(二十五)	對錯誤音反應時間標準差	32
圖(二十六)	整體反應標準差(平滑法後)	33
圖(二十七)	目標音反應標準差(平滑法後)	33
圖(二十八)	錯誤音反應標準差(平滑法後)	34
圖(二十九)	音頻種類對正確率的影響	35
圖(二十九)	目標音正確率	36
圖(三十)	錯誤音正確率	36
圖(三十一)	不同音訊種類對正確率影響	37
圖(三十二)	將 Y 軸間距縮小的不同音訊種類對正確率影響	37
圖(三十三)	間隔時間對 $\Delta 1$ 型錯誤音正確率影響	38
圖(三十四)	間隔時間對 $\Delta 2$ 型錯誤音正確率影響	38
圖(三十五)	間隔時間對 $\Delta 3$ 型錯誤音正確率影響	38
圖(三十六)	間隔時間的正確率	44
圖(三十七)	不同間隔時間正確率與錯誤率比較	48

表次

表(一) 聲音強度聽力域值	12
表(二) 正確率的恰變差閾值	40
表(二) 正確率的恰變差閾值	41
表(四) 不同間隔時間的反應時間比較總表	42
表(五) 反應時間的成對比較	42
表(六) 反應時間的恰辨差閾值	45
表(七) 間隔時間的成對比較	46



工作分配

實驗設定：王楸嵐、邱譯霆、魏曉俞

實驗施測：王楸嵐、邱柏元、邱譯霆

實驗測量：魏曉俞、王 安、張皓禹、邱譯霆、江家榕、龔彥豪

數據整理：邱譯霆、王 安、龔彥豪、邱柏元、江家榕

文獻查寫：魏曉俞、張皓禹

摘要緒論：魏曉俞、邱柏元、江家榕、龔彥豪

實驗步驟：邱柏元、魏曉俞、王楸嵐

照片拍攝：王楸嵐

推論統計：王楸嵐、龔彥豪、江家榕、邱柏元

敘述統計：王 安、張皓禹

圖表目錄：張皓禹

結論總結：魏曉俞、王 安、張皓禹

改稿統整：魏曉俞、張皓禹

PPT 製作：魏曉俞、王 安、邱柏元

上台報告：王 安、魏曉俞、邱柏元

致謝

人因課程與實驗引導學生們理性思考，培養我們研究精神，如此經驗與學習實在難能可貴。唐國豪與李岳樞兩位老師不辭辛勞地教誨，鼓勵我們對事物心生懷疑，教導我們利用實驗、查詢資料去解決疑惑，百忙中抽空聆聽我們的困惑，為我們指引方向。一路走來學生們在兩位老師身上得到的知識實在受益良多，心存感恩。

實驗與學習過程中，更有許許多多助教從旁協助，特別是張馨文助教本研究實驗中，提供我們相當多的資源與幫助。過程中許多困難與掙扎，馨文助教總能耐心地提醒，嚴厲的指教，我們再一次次實驗與研究慢慢成長茁壯，非常感謝助教們的帶領和包容，這些日子辛苦他們了。

本實驗研究能順利進行，還須感謝呂明君同學與葉書訓同學抽空幫忙，因為此次實驗相當耗時，兩位同學相當配合我們訂定的實驗時間，也耐心十足地替我們完成整份實驗。衷心的感謝兩位同學的配合和幫忙，否則此實驗研究真不知道該怎麼辦。

我們這八個實驗研究小組一路走來相互幫忙，理解能力與反應比較快的同學會熱心為不懂的同學解惑。這之中也許有些摩擦，但也是求好心切。本實驗研究能夠順利完成，我們這八人小組必定是最大功臣。感謝我們這群人能如此聚集在一起，為了一件事情而努力，同心協力成就這一切。

第一章、緒論

1.1 研究動機

3C 產品日新月異，從桌上型電腦、筆記型電腦、iPAD，傳統手機至智慧型手機，隨身播放設備變多了，耳機的發展也開始針對這些新世代的播放設備進行調整。

耳機(圖一)身為這些 3C 產品最重要的周邊商品，看在市場大趨勢下，耳機已成顯學。為了要滿足這樣的需求，針對這些設備的耳機就必需要高靈敏度以及低阻抗，設法以隨身設備的小驅動力依舊能發出水準之上的聲音。這樣的耳機有好有壞，以隨身使用的觀點，這些廠商的想法沒有錯，不過如果是用於傳統的家庭耳機擴大系統，那通常針對高阻抗、低靈敏的高階耳機擴大器反而會讓這些耳機聽起來荒腔走板。(Chevelle.fu，2012，科新聞)



圖(一) 美律耳機

依目前市場的發展趨勢，各式耳機與揚聲器的需求不容小覷，在品質管理方面也面臨很大的挑戰。例如：在台灣從事耳機與揚聲器生產製造，並且有相當龐大生產線規模的美律實業，雖然有辦法利用各式機器輔助產品品質的監控，像是無線產品量測、電磁耐受測驗、電池產品測試以及可靠度測試，美律公司的檢測設備其實相當完善。但某些關乎到「人」方面的聲音檢測，因為難以利用機器去

量測，因此依然採用檢測人員實際下去聽測。

『傳遞美好聲音，豐富人類生活』是美律公司的願景。近年來，手機這類的消費性電子產品需求大增，而美律的產品則以揚聲器(喇叭)、麥克風、免持聽筒及藍芽耳機的設計與製造為主。由於產品是以聲音為主，因此聲音的處理是為美律的核心技術。

人類知覺感官最早發展的是聽覺，為了研究人耳在受到聲音刺激時，可能會發生的情況，並提供給美律公司進行聲音相關檢測時的良好建議，所以進行本次的實驗研究。

最先的假定是檢測人員需耗費相當長的時間進行檢測工作，然而人耳工作長達半小時以上，不免會出現生理與心理的疲勞，以及對聲音的敏感性降低的情況，甚至會出現恍神、嗜睡、反應時間變長、正確率下降……等，影響產品檢測的嚴重情況。顯然若是出現上述情形，便構成所謂的聽覺疲勞，然而聽覺疲勞的發生可能連檢測人員本身都沒有察覺到。

檢測人員通常是在生產線做檢測，然而生產線上本身的環境音量恐怕會高於一般教室，特別是機器所發出的聲音，和人員的講話或移動聲音，使得檢測人員從耳機聽到的聲音可能被外在環境所遮蓋掉，這也就是聲音的遮蔽效應。因此耳機檢測時，也必須考慮到檢測環境的影響。

1.2 研究目的

美律利用檢測人員對於聲音的感覺進行產品的品質管理，不過影響檢測人員分辨產品是否為良品的因素有很多，例如：檢測人員的精神狀況、環境中噪音的強度與頻率導致的遮蔽效應、所選用的聲音性質（是一個什麼樣頻率、分貝下的聲音，或者一段音樂旋律）等。

本研究之研究目的是提供美律公司，給予受過訓練、聽力正常的一般人，在高於半小時的聽覺檢測時，可能會發生的生理狀況，例如：聽覺上的疲勞、注意力的改變、警覺性的改變、正確判斷率的改變。以及設計較好的檢訊方式，並找

出具備檢測穩健性的聲音屬性。

1.3 研究限制與研究設定

根據研究目的，提出研究限制，以及研究設定。

1.3.1 研究限制

實驗基本環境必須維持在 40dB~45dB 內進行本次研究。

1.3.2 研究設定

1. 研究聽覺恰辨差必須符合受測者之聽覺範圍。
2. 為防止反應時間的過份誤差，手指(食指與中指)需統一放置數字鍵 1、2 上。
3. 依聲音強度恰辨差前測的數據表(一)，用公式 $[(\text{無環境噪音下的強度恰辨差平均} - 60\text{dB 環境噪音下的強度恰辨差平均}) + \text{無環境噪音下的強度恰辨差平均} + 110] / 2$ ，算出受測者在正常頻率 880Hz 下的平均聲音強度恰辨差，來決定耳機內發出的單頻音量為 67dB。

表(一) 聲音強度聽力域值

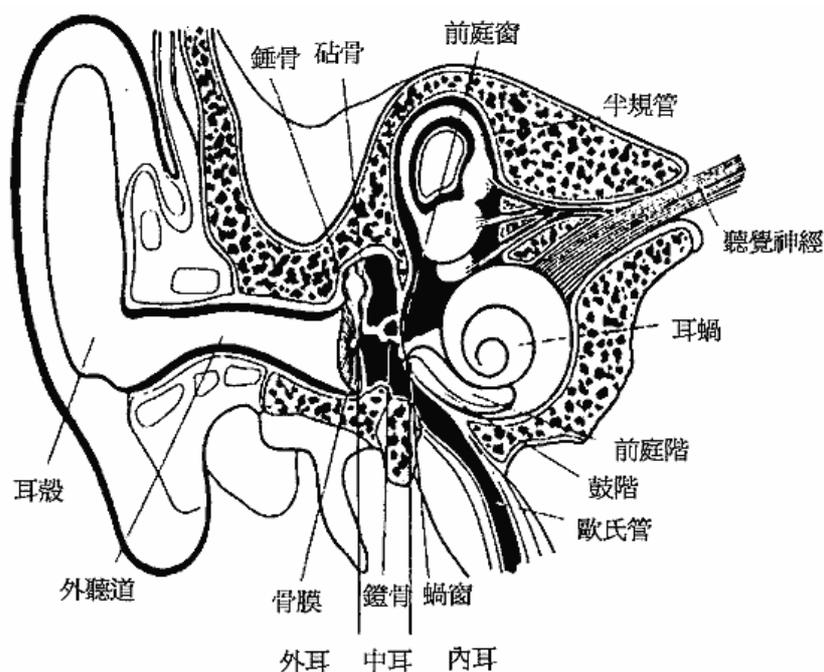
頻率(Hz)	250	500	750	1000
無環境噪音平均強度(dB)	20	23.1	19.4	15.6
60dB 環境噪音平均強度(dB)	21.2	26.3	24.4	21.9
經公式計算的平均音量恰辨差(dB)	65.6	68.1	67.2	65.9

4. 用音壓計測量背景白噪音到 60dB，以模仿生產線環境噪音。
5. 由於受實驗室音源距離遠近的限制，受測者實驗環境必須處於 60dB 下，故受測者實驗時所坐的位置必須固定。

第二章、文獻探討

2.1 人耳的構造與功能

人類知覺感官最早發展的是聽覺，而聽覺是個體對聲波刺激物理特性的感覺(張乃文，2004)。本實驗探討的主題涵蓋人耳的聽覺，而人耳聽覺的基本構造(圖二)可概分為：外耳、中耳與內耳(Hassall, J.R. and Zaverik. , 1988)。



圖(二) 人耳的基本構造

2.1.1 外耳

外耳包括著耳廓 (pinna) 與外耳道 (auditory canal)。耳廓具有收集聲音的功能，外耳道則負責傳導聲音。(Kryter, Karl D. , 1985)。

2.1.2 中耳

中耳包括耳膜與三根聽小骨 (依序為錘骨、砧骨與鐙骨)。耳膜的功能是將空氣中的振動轉換成固體振動。三根聽小骨的功能則是放大聲音與改變肌肉張力以保護高噪音下的聽力。

2.1.3 內耳

內耳有耳蝸 (coclea) 的構造，其內部充滿液體。耳蝸內有四排的聽覺細胞 (hair cell)，約有 20000~30000 個。當受到聲音作用時，聲波經由外耳道碰撞到耳膜，然後將能量傳遞至中耳內的三根聽小骨，同時將聲波信號放大傳遞至內耳中的液體，在經由液體將能量傳遞至內耳的聽覺細胞。聽覺細胞刺激神經，再傳至大腦，因而聽到聲音。(Kinsler, L.E., Frey, A.R., Coppens, A.B., Sanders, J.V., 1982)。

聲音經由上述過程，即經迴耳廓、外耳道、中耳至內耳，我們稱之為氣導音，但是聲音亦可以經由骨骼組織直接傳遞至內耳或經由中耳傳至內耳，此時我們稱這種傳遞方式的聲音為骨導音。

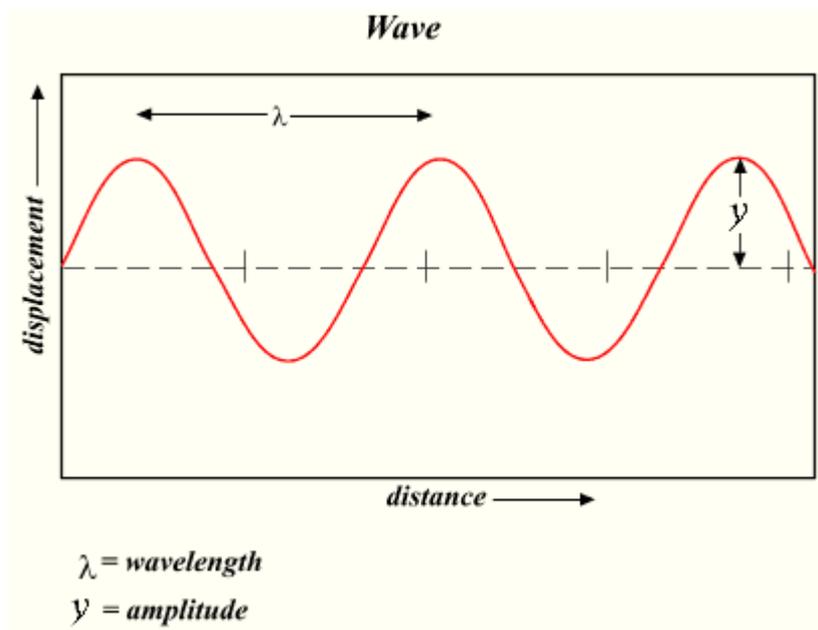
2.2 聲音的產生與要素

聲音是靠著物體的振動而產生，一般的聲音都是透過空氣分子的振動才傳到我們耳朵。

聲音的傳播須靠介質，不管是氣體、固體、液體，經由介質振動方能傳至人耳。聲音的傳播速度會隨著介質的不同而改變，其中聲音在固體中傳播速度最快。

2.2.1 響度與振幅

振幅是振動所造成波動大小的量值，如聲波在空氣中振動時，其振幅正比於壓力的變化量。若以振動變化為縱軸，時間為橫軸的圖形來表示，振幅(圖三)即為曲線上特定點與橫軸的垂直距離。



圖(三) γ 既為振幅

所謂響度 (loudness) 是指人耳主觀地對聲音振幅 (amplitude) 的感覺，與物理學上對聲音的振幅定義是不相同的。雖然振幅與響度基本上兩者有一定的關連，例如：聲音振幅愈大，則響度愈大，但是由於人耳本身對聽力的非線性特性，導致兩者之間有相當的差異性。

2.2.2 頻率與音高

頻率為測量重複事件發生次數的單位。有循環性的運動，例如旋轉、振盪、或波，定義為每單位時間的循環數頻率，在 SI 單位系統，頻率的單位為 Hz。(侯院武，2009)

對聲音頻率 (frequency) 的主觀直接感覺我們稱之為音高 (pitch) 或音品，也就是聲音聽起來有多高，音高與在物理學上所定義的聲音頻率是不相同的。基本上頻率愈高，音高愈高，因此音高與聲音頻率有很密切的關係；但是音高也和聲音強度與波形有關。

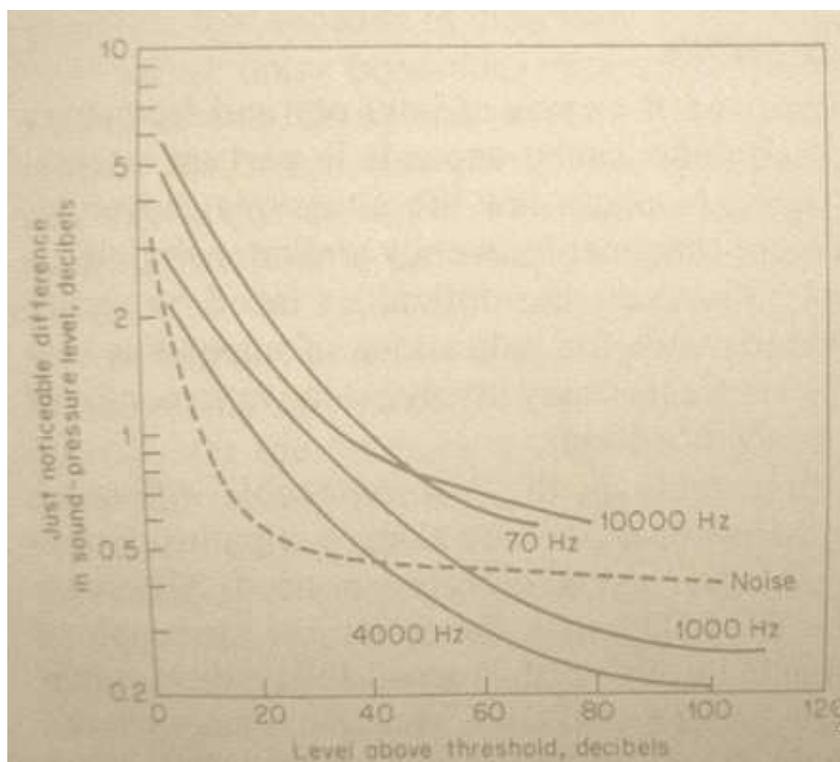
2.3 聽覺恰辨差

JND 係指沿著某一刺激向度(例如：強度或頻率)而能夠被人們發覺到 50% 次

數的最小改變或差異量。所發現的 JND 愈小，則人們對於此一向度的變化差異愈能發覺。較小的 JND 表示受測者能夠偵檢出很小的變化量；而較大的 JND 則表示要有較大的變化量人們才能偵檢出來。

2.3.1 強度差異的區辨

在不同的聲壓水準下某些純音和寬頻帶的噪音組合下的 JND。信號的強度愈高，至少在絕對閾限以上 60dB，則愈能區辨出最小的差異量。此外，屬中間頻率（1000~4000Hz），且強度在絕對閾限 60dB 以上的信號，其 JND 最小。（Deatherage, 1972）。

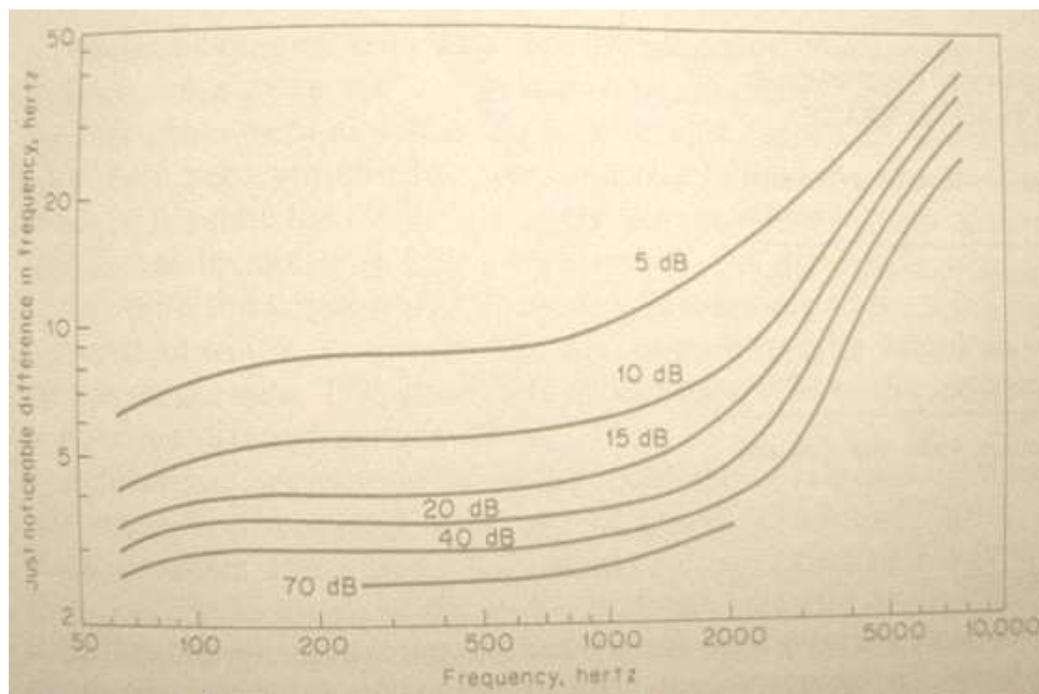


圖(四) 聲音強度的恰辨差

2.3.2 頻率差異的區辨

當頻率小於 1000Hz 時（特別是在高強度時）JND 較小，而 1000Hz 以上的頻率時，則恰辨差急遽增大。因此如果要以頻率作為區辨信號依據時，宜使用較低頻率的信號。當然此種說法有時候也會遇到一些麻煩，特別是有很多低頻的噪音包圍著信號時更容易產生遮蔽效應。一種可能的折衷辦法是使用 500~1000Hz

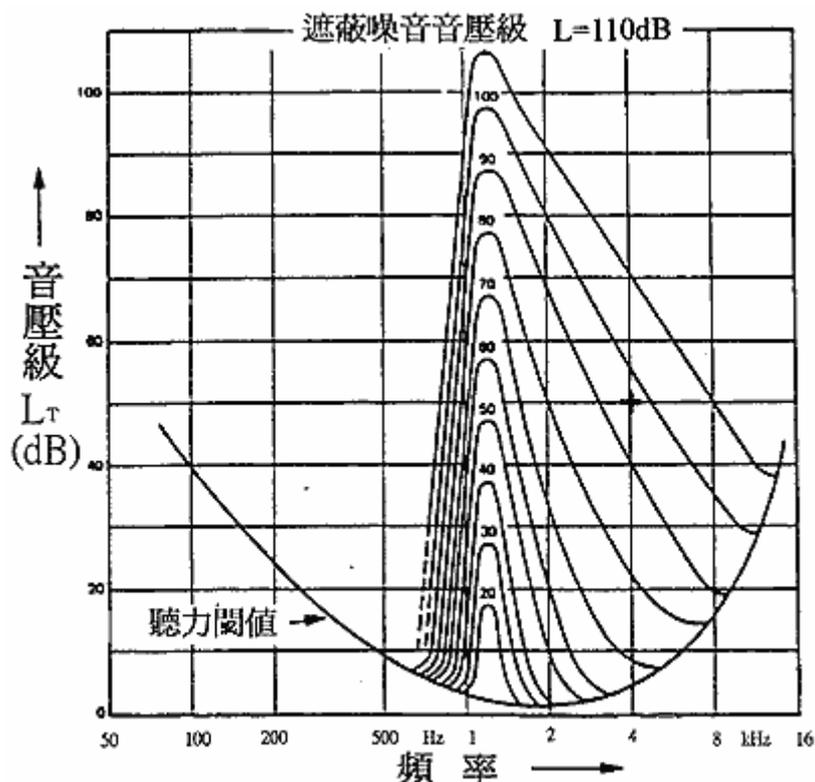
範圍的信號。由圖(五)很明顯地可以看出高強度信號的 JND 比低強度信號的 JND 小；也因此如果需要以頻率的差異來作區辨的話，信號的強度至少要在絕對閾限 30dB 以上。此外信號的持續時間在頻率差異的區辨上亦相當重要(Shower and Biddulph, 1931)。Gales (1979)指出，當刺激的持續時間超過 0.1 秒時區辨效果最佳。



圖(五) 不同水準的純音之頻率恰辨差

2.4 遮蔽效應

在人耳聽覺系統特性中，音量的強度大小通常會直接影響聽者在聆聽聲音訊號的感受，所謂的音量是指聲波振幅的大小，當聲波的振幅越大時則聲音就越強，反之亦然。然而人耳在不同頻率的聲音訊號與不同的環境中，對於聲音訊號的敏感度也並非完全相同，在有背景雜訊的環境下，主要的聲音訊號會因為雜訊的影響，而產生被遮蔽的現象(圖六)。



圖(六) 背景噪音相對於各頻率、各噪音量遮蔽現象

2.5 持續型注意力與警戒

2.5.1 注意力

本實驗模擬美律生產線的檢測人員，觀察人在長時間作業下，聽覺注意力的變化情況，並且探討若是聲音的間格時間不具規則性，是否會影響檢測人員對錯誤音頻的警覺性。

所謂注意力是一種高度複合的概念，許多學者對於注意力所下的定義並不相同，然而國內學者張宏亮(1998)將注意力歸納為下列幾個重點：

1. 注意力是一種意識的準備狀態，當意識透過注意力接收到刺激，而下意識進行的準備工作，具有警覺、意識清晰、準備反應及反應特性。
2. 注意力具有選擇性，每個人都會隨著目的不同，而選擇接收與其有關的刺激。

人的資訊處理過程分三個階段(郭明堂，2004)：

1. 知覺階段，這階段是屬於資訊的獲得與判別。
2. 認知階段，是屬於資訊的思考與決策。
3. 行為反應階段。

每一階段都與注意力有關，尤其是知覺與認知階段。有許多研究著重在知覺與注意力的關係，瞭解為何出現同一資訊時，有些人能察覺，但是，有些人卻沒有察覺，或判別錯誤。

注意或注意力能以某種方式被「導向」某些物件或活動，也就是說該物件或活動對人產生刺激時，會被受到注意；而我們未加以注意的事物往往不被知覺或者難以回憶。(Mark S.Sanders and Ernest J.McCormick, 1998, 人因工程－工程與設計之人性因素〈上冊〉) 此話正好印證了「人是主動去詮釋外來訊息的系統」這句話(鄭昭明, 2010, 認知心理學)。

2.5.2 持續型注意力

對生產線上的檢測人員而言，為了監控耳機品質，將注意力放在長時間的聽覺作業上，正好構成「持續型注意力」的注意力類型。

所謂持續型注意力是對於同一刺激所能專注 (concentration) 的情形，隱含了持續性，指的是對重要訊息的專注持久度。

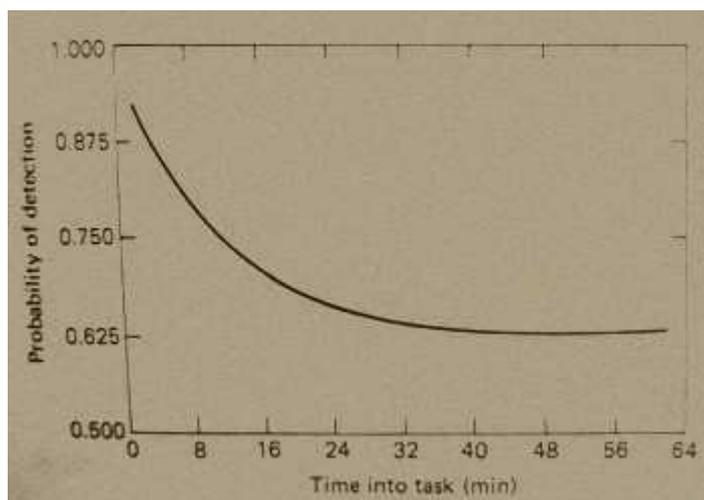
持續型注意或警戒之研究，關切受測者長期時間下對刺激不斷注意且仍然維持機警的能力。持續型注意力的重要性，隨著自動化控制設備的發展，似將大為增加；因為人們在此承擔系統監測的角色，觀察儀表板與電腦螢幕偵檢那些偶爾才會出現而要求採取的行動的關鍵刺激 (既信號) (Parasuraman, Warm, and Dember, 1987)。

2.5.3 警戒

為了檢測耳機是否為良品，檢測人員必須經常保持高度警覺。耳機若有受損，則音頻會有所偏差，檢測人員亦須具備良好的音頻辨識率。但長時間的作業下，警戒是否會因此而降低？

警戒的研究主要是針對「警戒遞減」現象(圖七)。所謂「警戒遞減」即信號

偵檢速率與偵檢準確性二者皆隨作業時間之流轉而衰退。



圖(七) 警戒遞減

典型的警戒遞減，顯示偵檢一個信號之機率係進入作業時間的長久度之函數。此函數之方程式（Giambra and Quilter，1987）為：

$$\text{預測機率} = A \cdot e^{-T1 \cdot t} + A / (1 + e^{-T2 \cdot t})$$

式中，

$$A = 0.6419 ;$$

$$T1 = 0.05319 ;$$

$$T2 = 0.04633 ;$$

t = 進入作業時間以分鐘計

第三章、實驗步驟

3.1 檢測受測者對聲音強度的恰辨差

為設定實驗所須之聲音強度，前測必須進行每位受測者的聲音強度恰辨差之測量，再利用公式(無環境噪音下的強度恰辨差平均-60dB 環境噪音下的強度恰辨差平均)+ 無環境噪音下的強度恰辨差平均+ 110) / 2)計算出實驗適合之聲音強度恰辨差值。

獨立變數：設定的聲音頻率，背景噪音。

相依變數：對聲音強度的恰辨差，單位為分貝(dB)。

因子：聲音頻率(4)，環境噪音(2)。

水準：250Hz、500Hz、750Hz、1000Hz；45 dB、60 dB。

步驟：

1. 製造一安靜環境，環境音量約為 45dB。

為確保實驗不受其他外部因素的干擾，小組成員須努力去保持良好實驗環境，例如：盡量不要有人聲或走動等聲音干擾。

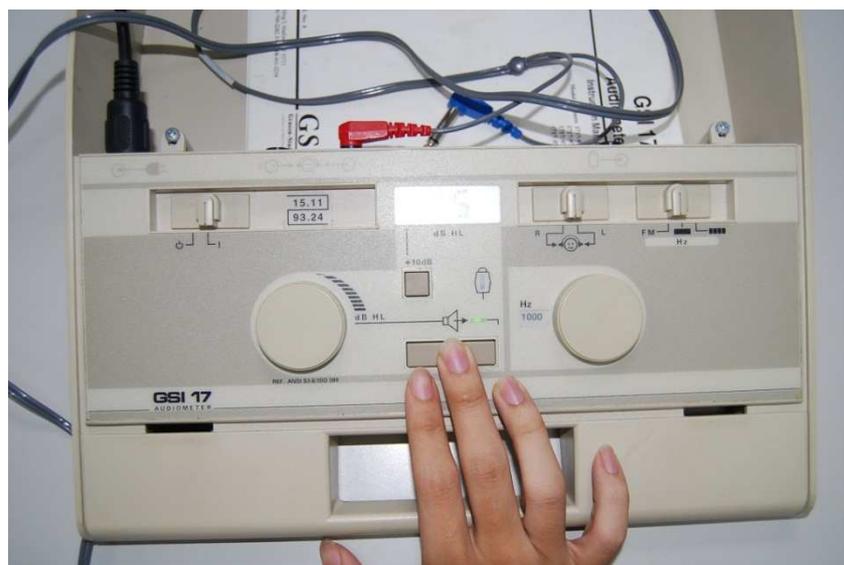
2. 受測者使用聽力測定器測定聲音強度的恰辨差。受測者戴上耳機，測量頻率在 250Hz、500Hz、750Hz、1000Hz 的聲音強度恰辨差。



圖(八) 聽力測定器

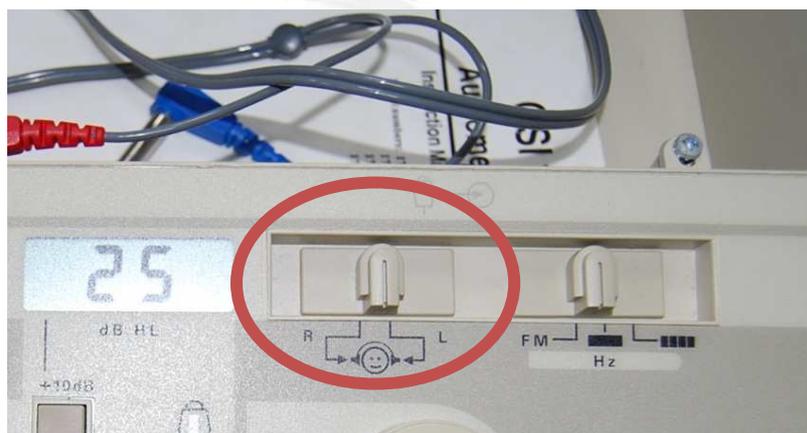
3. 利用音壓轉鈕調整聲音強度，並按下發聲按鍵，而受測者必須去確認自己是否有聽到聲音(圖)。

受測者調整聲音強度的方式可自行選擇遞增或遞減。從低分貝的聲音遞增至受測者聽見為止，或透過遞減直到受測者聽不見聲音，以檢視受測者能聽到的聲音強度區間。



圖(九) 使用聽力測定器之情形

由於聽力測定器所放出聲音只能選擇一耳(圖十)，為避免誤差，實驗前需先協議好，最後選擇固定於左耳來進行測量。



圖(十) 選擇左耳

4. 在實驗之教室營造白噪音(圖十一)，並利用音壓計量測確保環境噪音為

60dB(圖十二)。



圖(十一) 利用教室擴音器材營造白噪音



圖(十二) 用音壓計測量環境音壓

由於受實驗室音源距離遠近的限制，受測者實驗環境必須處於 60 dB 下，故

受測者實驗時所坐的位置必須固定。

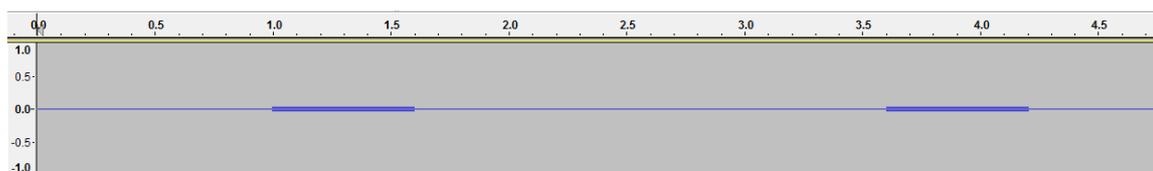
5. 將量測出來的數值，用公式「 $[(\text{無環境噪音下的強度恰辨差平均} - 60\text{dB 環境噪音下的強度恰辨差平均}) + \text{無環境噪音下的強度恰辨差平均} + 110] / 2$ 」算出所有小組成員在不同頻率下的聲音強度恰辨差。

3.2 檢測受測者對聲音頻率的恰辨差

為了模擬美律在生產線上檢測耳機的情況，本實驗必須先模擬製作出音頻錯誤的狀況。何謂音頻錯誤的狀況？為了讓所有受測者皆能辨識音頻錯誤，進行實驗之前須對受測者進行聲音頻率恰辨差(JND)的量測，利用此恰辨差來做為設定音頻錯誤的標準。

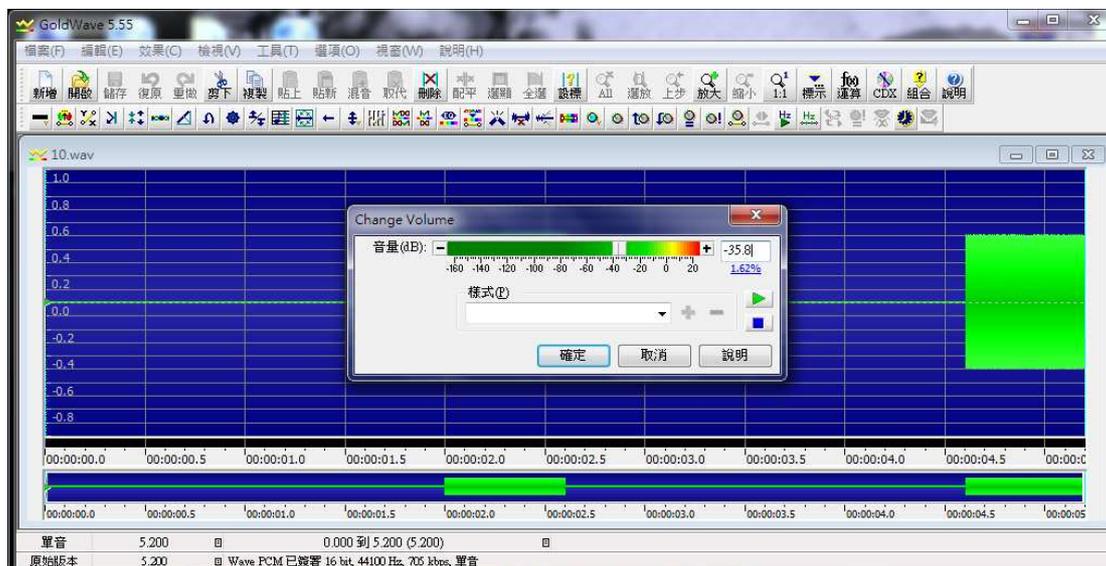
依公式所算出的聲音強度，做為聽覺頻率恰辨差的基礎點。利用 Audacity 製作 220Hz、440Hz、880Hz、1000Hz(雖然在第一項實驗中，我們所選擇的實驗水準為 250Hz、500Hz、750Hz、1000Hz，但由於儀器上的限制，再加上頻率的差異對強度的影響程度是在可接受的範圍，因此得以忽略。)單頻率的基礎音音檔，以及 $\Delta 1$ 至 $\Delta 20$ 的音檔，然而頻率 $\Delta 1$ 至 $\Delta 20$ 的差值是依峰值為基準。

音檔(圖十三)的製作為前 1 秒為空白音(為避免程式本身存在的延遲時間)，0.6 秒基礎音，再 2 秒空白音，然後是 0.6 秒的基礎音或是 $\Delta 1$ 至 $\Delta 20$ 的單頻，最後再加上 1 秒的空白音。

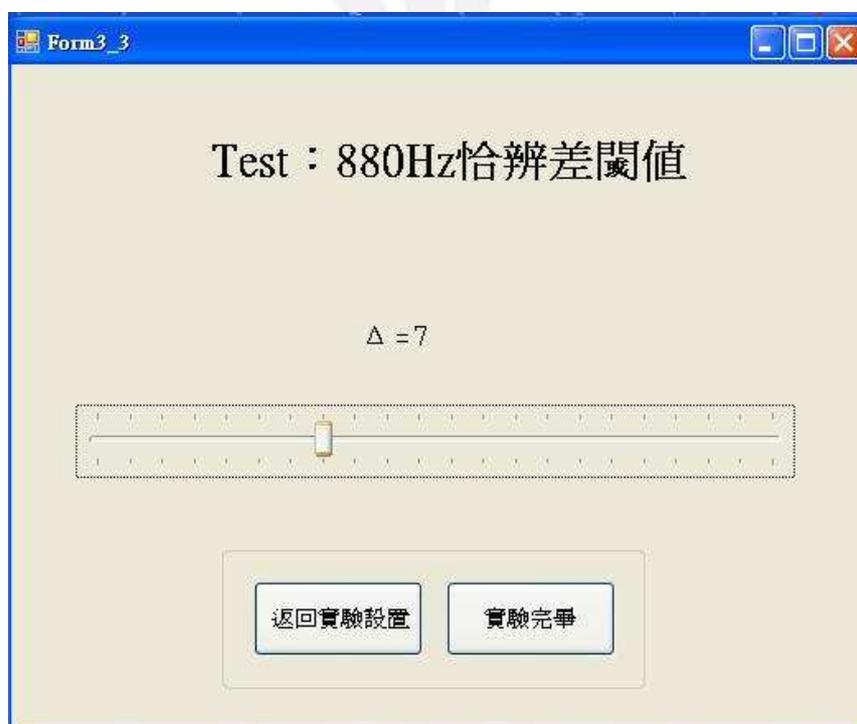


圖(十三) 音檔設置

再利用 GoldWave 調整音檔音量(圖十四)至各頻率的聲音強度恰辨差。由於音檔音量會受到程式影響(圖十五)，因此在調整音檔音量時須以程式跑出來的聲音為基準。



圖(十四) 音檔音量設置



圖(十五) 程式畫面

獨立變數：設定的聲音頻率，與標準音的差值。

相依變數：對聲音頻率的恰辨差，單位：赫茲(Hz)

因子：聲音頻率(4)，與標準音的差值 (20)

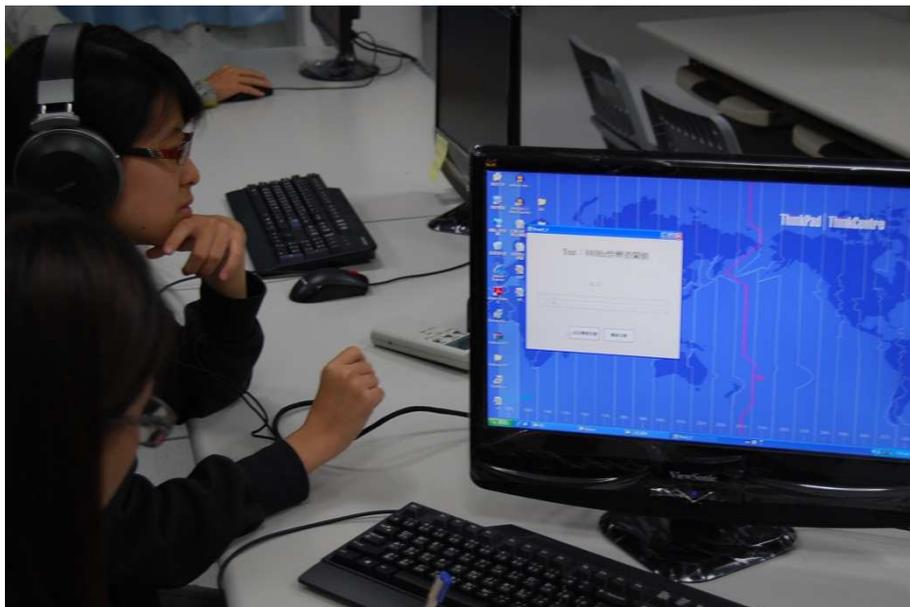
水準：220Hz、440Hz、880Hz、1000Hz； $\Delta 0 - \Delta 20$

1. 受測者自行操作，測量頻率恰辨差(圖十六)。在環境噪音 60dB 下，受測者會聽到中間格兩秒的兩個聲音，判別兩聲音是否有差別。



圖(十六) 受測者自行測量恰辨差

2. 為避免受測者在自行測定中有高估傾向，施測者需再依受測者自行測量之恰辨差數值，再進行一次測定與確認(圖十七)。為維持環境音量，測定時受測者須以手勢告知施測者是否能分辨，其中 1 表示能分辨，0 則不能。



圖(十七) 施測者再次進行測定

3. 將受測者自行測量之恰辨差數值與施測者測得知數值相互比對，做出每位受測者的恰辨差值。

3.3 不同間隔時間與聽力警戒實驗

實驗模擬生產線上的檢測人員長時間作業的情形。一次實驗時間至多持續五十分鐘。兩聲音之間隔時間為一隨機範圍(包括 1-4 秒、1-7 秒與 1-9 秒)，僅有一水準是固定 2 秒的間隔時間。

獨立變數：聽到的音訊種類、聲音的間隔時間、長時間的測驗時間。

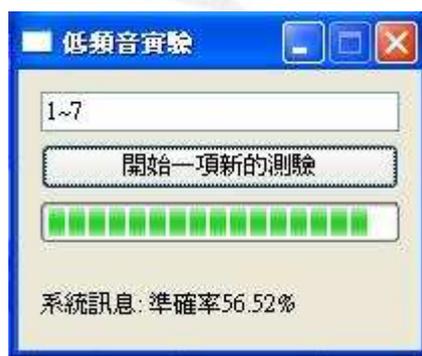
相依變數：正確率(%)；反應時間，單位：秒。

因子：音訊種類(4)；間隔時間(4)；測驗時間(10)。

水準：受測者的頻率恰辨差、恰辨差之 1 至 3 倍倍頻；2~2、1-4、1-7、1-9 單位為秒；4、8、12、16、20、24、28、32、36、40，單位為分鐘。

步驟：

1. 在實驗之教室營造白噪音，並利用音壓計量測確保環境噪音為 60dB，環境必須保持安靜，以防受測者受到其他聲音的干擾。
2. 實驗開始前先讓受測者進行約五到十分鐘的訓練，訓練目的為使受測者熟悉 880Hz 的目標聲音，並提示受測者可能出現的錯誤音。而錯誤音設定為該受測者之頻率恰辨差，以及其恰辨差 1 至 3 倍的倍頻。
3. 執行加入空白時間之程式(圖十八)，受測者手指必須放置在數字鍵 1 與數字鍵 2，當聲音出現為目標音時按數字鍵 1，聲音為非目標音時按數字鍵 2。出現漏失的情況，不得補按。實驗時間約為 50 分鐘，若有超過則刪除尾端數據，因數據會受到外因干擾(學校鐘聲)，導致數據不準確。



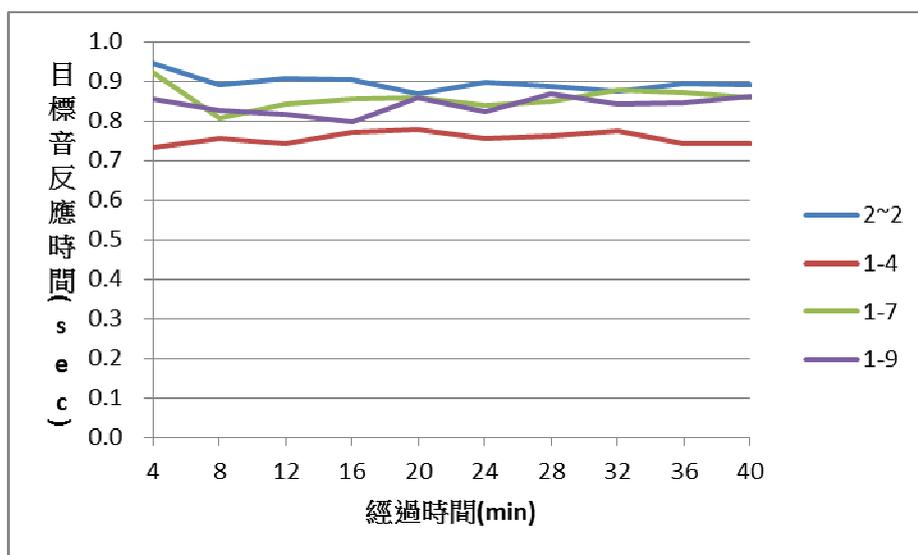
圖(十八) 利用程式測定情況

第四章、數據分析

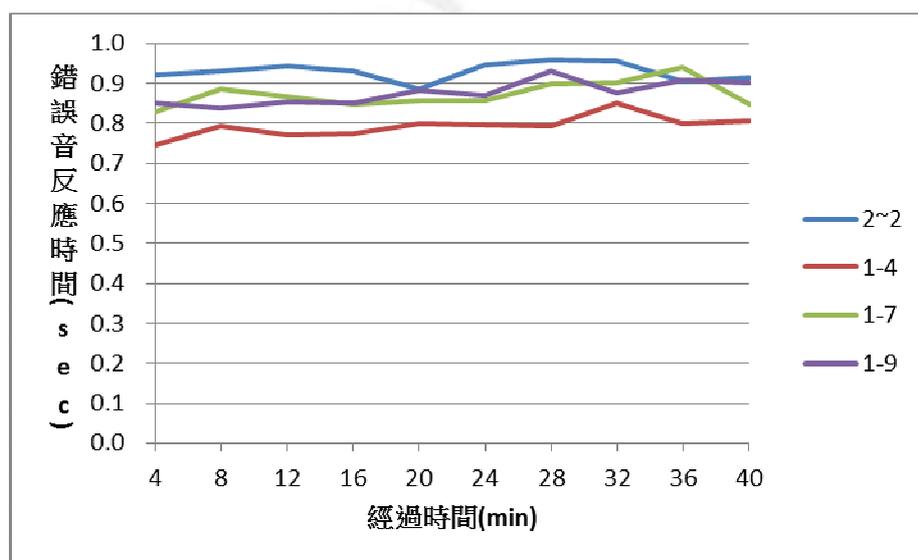
4.1 敘述統計

本實驗的敘述分析分兩個部分來討論，分別為受測者回答的反應時間與正確率。

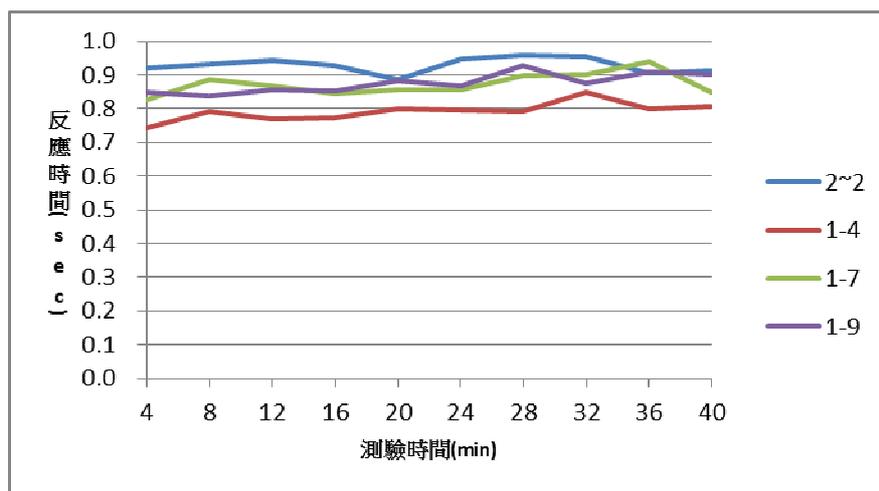
4.1.1 反應時間部分



圖(十九) 目標音平均反應時間

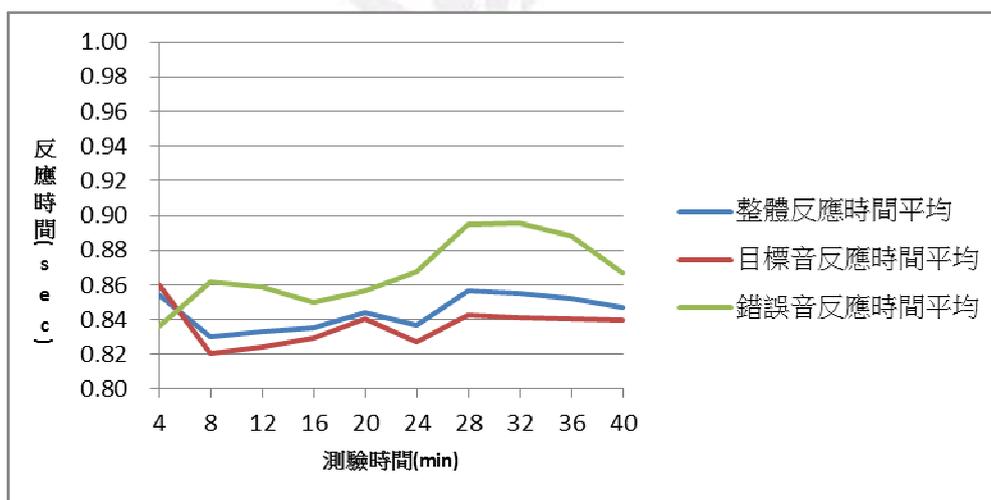


圖(二十) 錯誤音平均反應時間



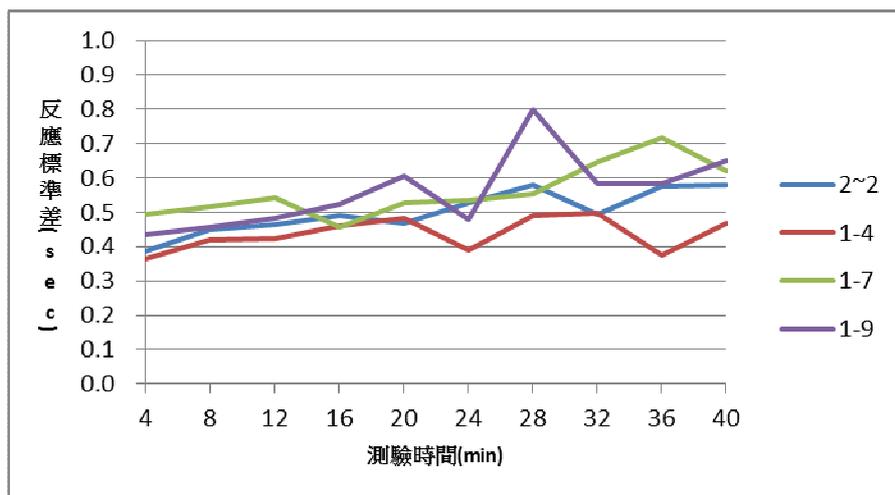
圖(二十一) 整體音(包含目標音與錯誤音)平均反應時間

加入隨機間隔時間種類這個因素後，將音頻種類分成目標音(圖十九)與錯誤音(圖二十)，然後再將兩者合併(圖二十一)，來分析受測者的平均反應時間。發現音頻種類並不影響平均反應時間，三張圖的平均反應時間線條分布都差不多，且非常密集，另外在隨機間隔時間 1-4 秒下，不管是哪一種音頻種類，受測者的平均反應時間都比較低。

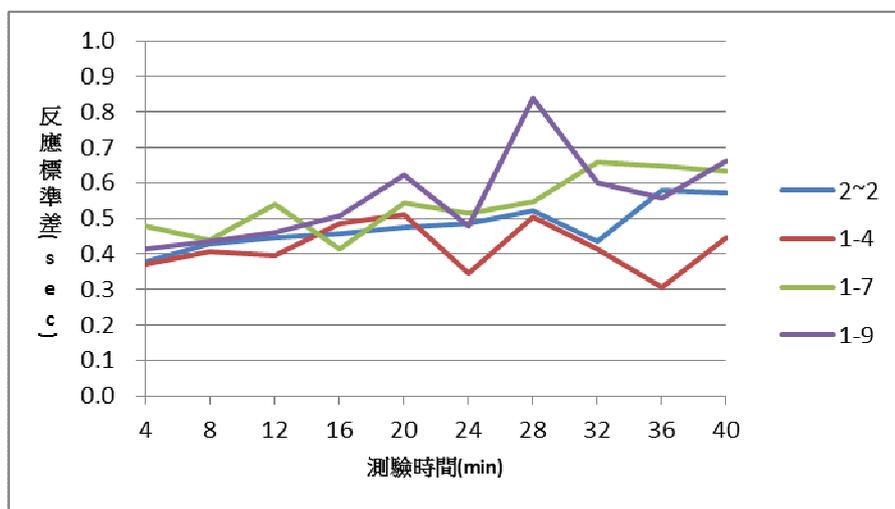


圖(二十二) 整體與目標音與錯誤音反應時間平均互相比較

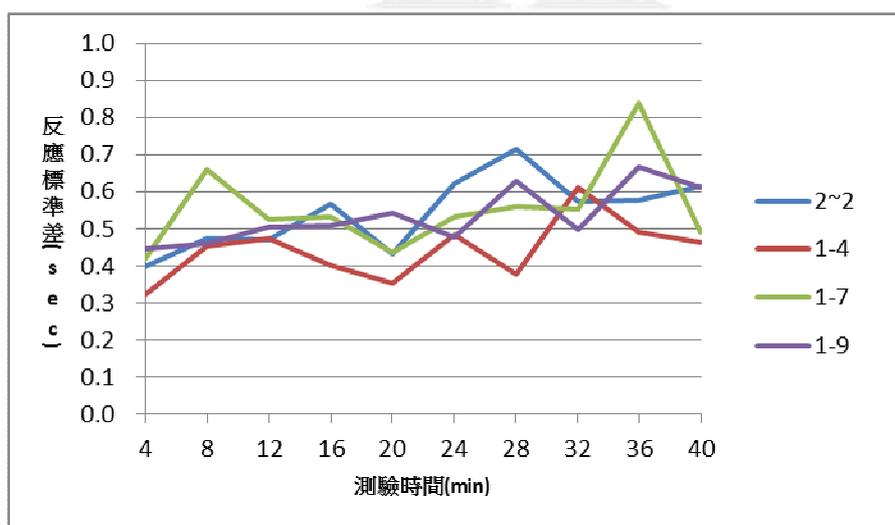
本實驗針對音頻種類及測驗時間長短來檢視對受測者平均反應時間的影響，從圖(十九)、圖(二十)當中可以看出音頻種類對反應時間的影響不大，但為了分析出其中的差別，故 Y 軸取 0.8~1 秒為區間，發現錯誤反應的時間平均整體略高於目標音。



圖(二十三) 整體音反應時間標準差



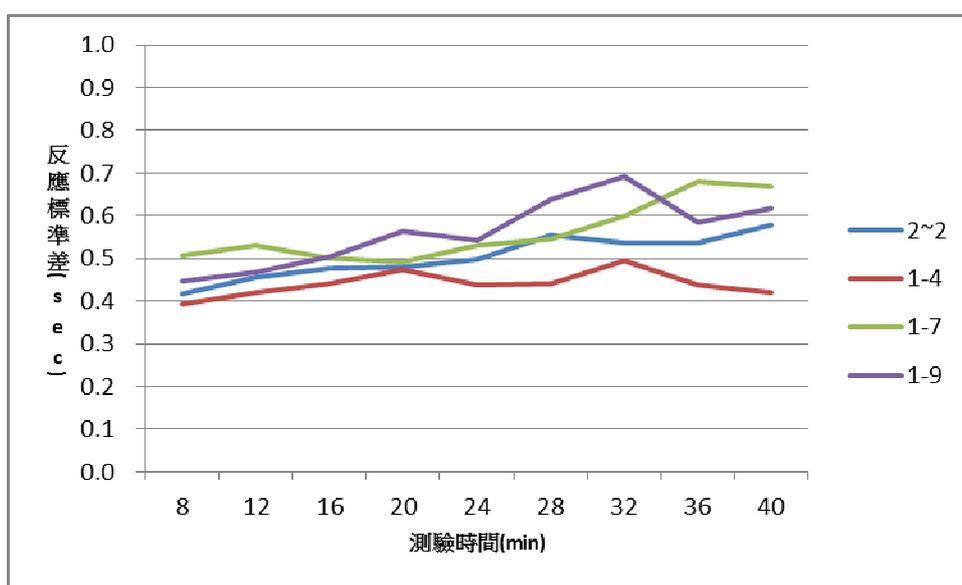
圖(二十四) 對目標音反應時間標準差



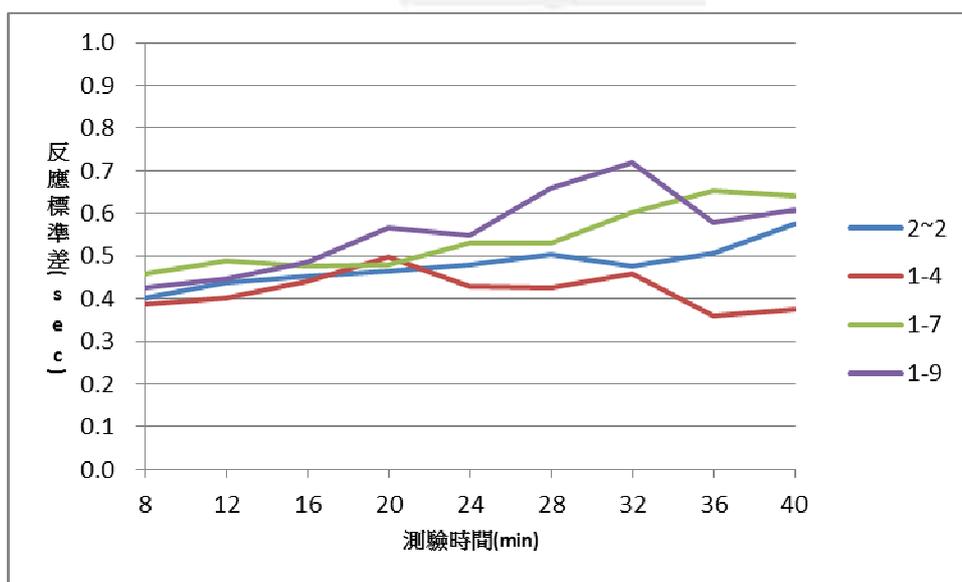
圖(二十五) 對錯誤音反應時間標準差

利用間隔時間種類及測驗時間，來分析受測者反應時間標準差(圖二十三、圖二十四、圖二十五)，發現對整體音及目標音來說，隨機間隔時間 2~2 秒、1-4 秒下較穩定，標準差變動小，1-7 秒、1-9 秒則比較不穩定，標準差變動大；但對錯誤音來說，不管是哪種隨機間隔時間，反應時間都呈現較不穩定狀態，標準差變動大。

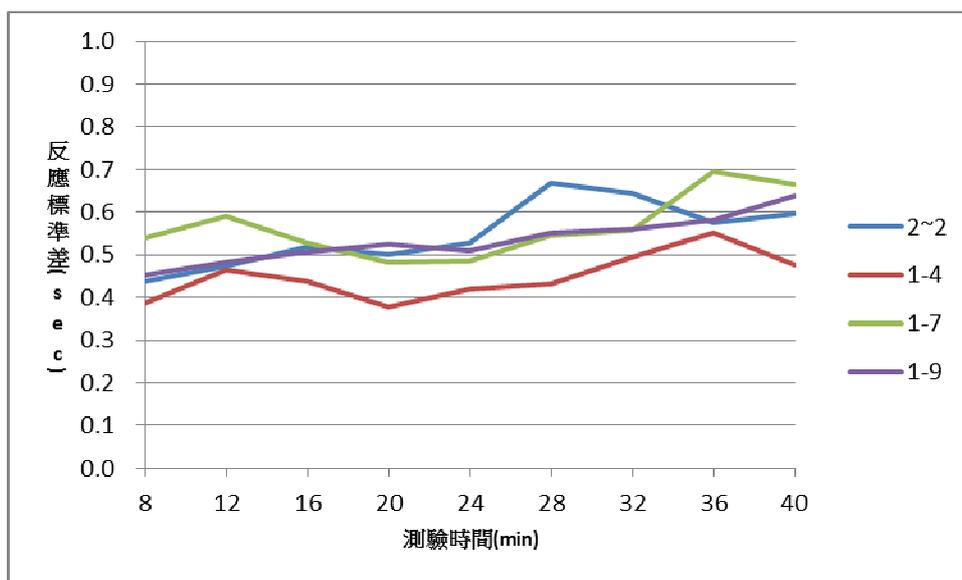
由於上圖所呈現數據變化率太大，本組對其進行「指數平滑法」後再次進行分析。



圖(二十六) 整體反應標準差(平滑法後)



圖(二十七) 目標音反應標準差(平滑法後)

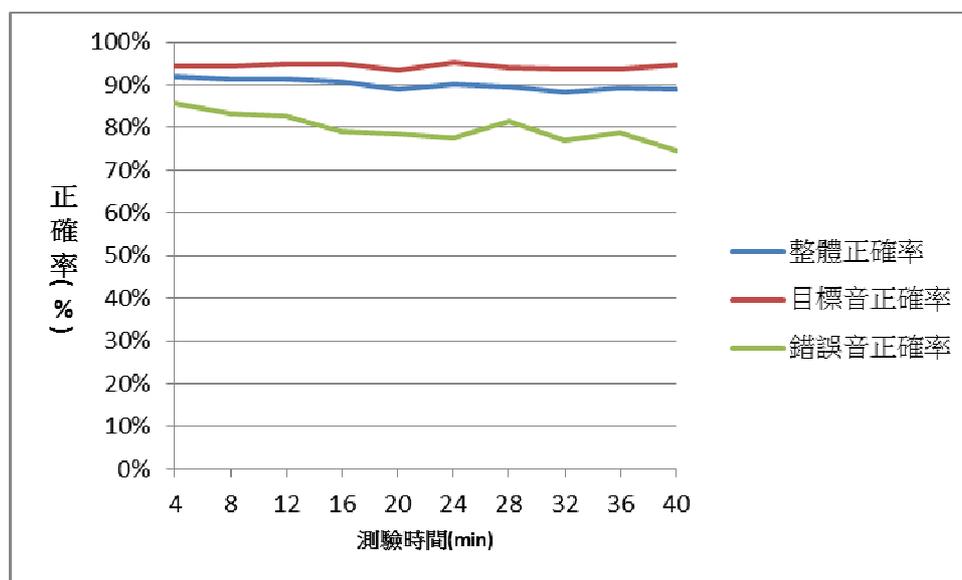


圖(二十八) 錯誤音反應標準差(平滑法後)

圖(二十六)、圖(二十七)、圖(二十八)為指數平滑法後的數據分析圖，從三張圖可以看出來，在隨機間隔時間為 1-4 秒、1-7 秒、1-9 秒下，其反應標準差都有些微上升的趨勢，反應時間不穩定，雖說幅度不高，但如果能加長實驗時間，推定應能看出其更多的上升的趨勢。

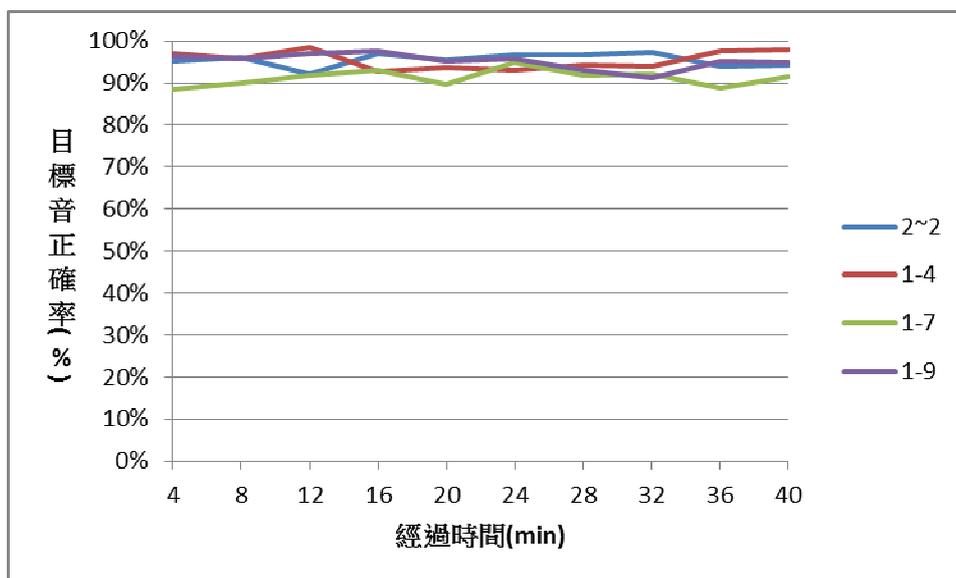
而隨機間隔時間 1-4 秒下，不管是哪種音頻種類，其反應時間標準差都比較低，相對反應時間較穩定。

4.1.2 正確率部分

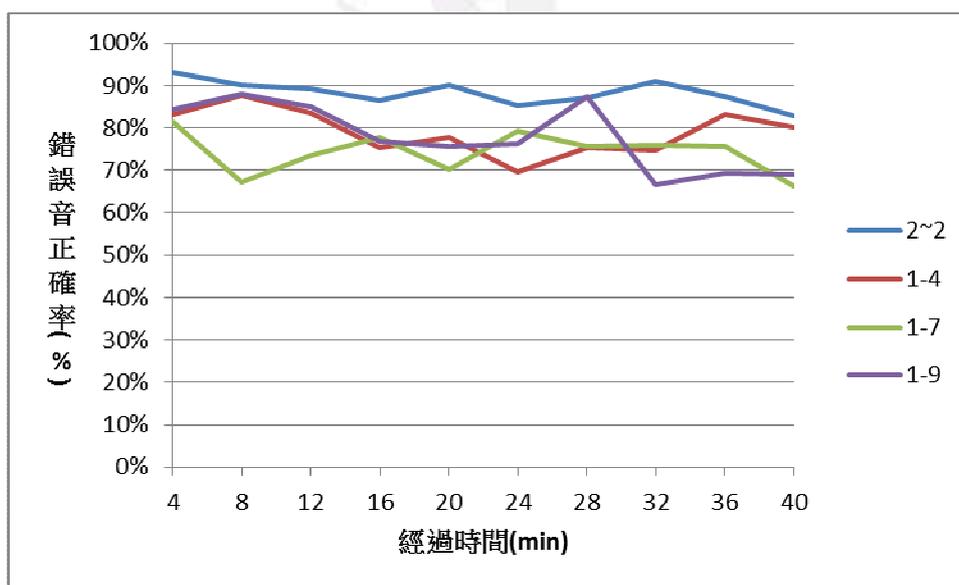


圖(二十九) 音頻種類對正確率的影響

圖(二十九)，在音頻種類及測驗時間的分析上，音頻種類為錯誤音的正確率較低，而目標音的正確率則較高。



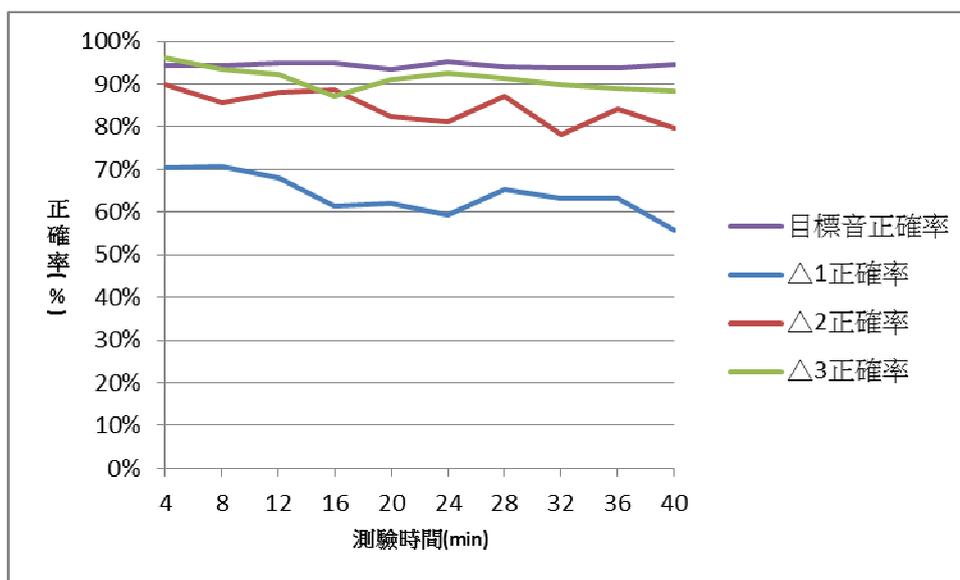
圖(二十九) 目標音正確率



圖(三十) 錯誤音正確率

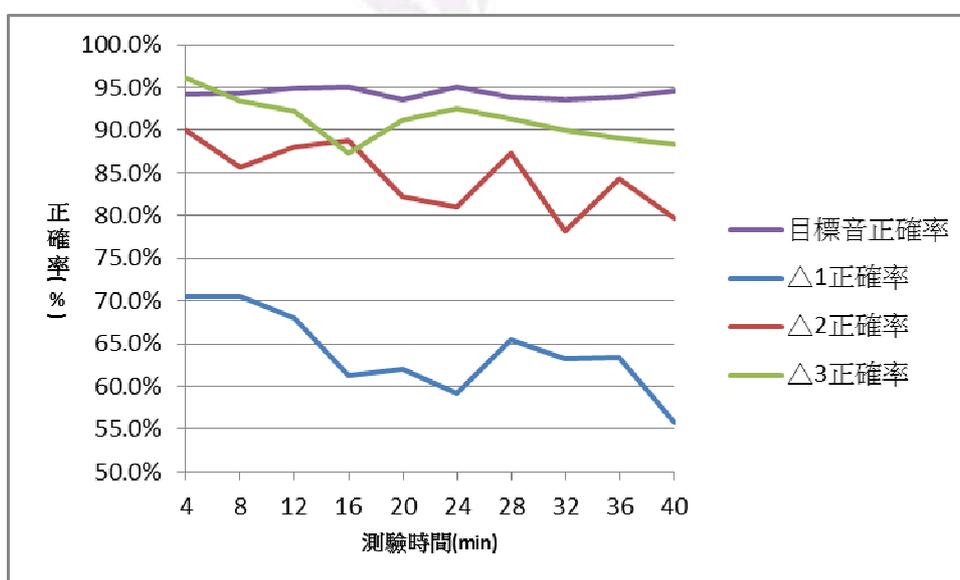
本組進行隨機間隔時間及音頻種類的分析，兩圖比較也可以發現，受測者在判斷音頻種類是否為錯誤音時，正確率較低，且不穩定；而在目標音時，正確率較高，較不受間隔時間影響，正確率都穩定的偏高。

在錯誤音時，比起 2~2 秒的固定間隔時間，加入隨機間隔時間此不穩定因子會使正確率降低。



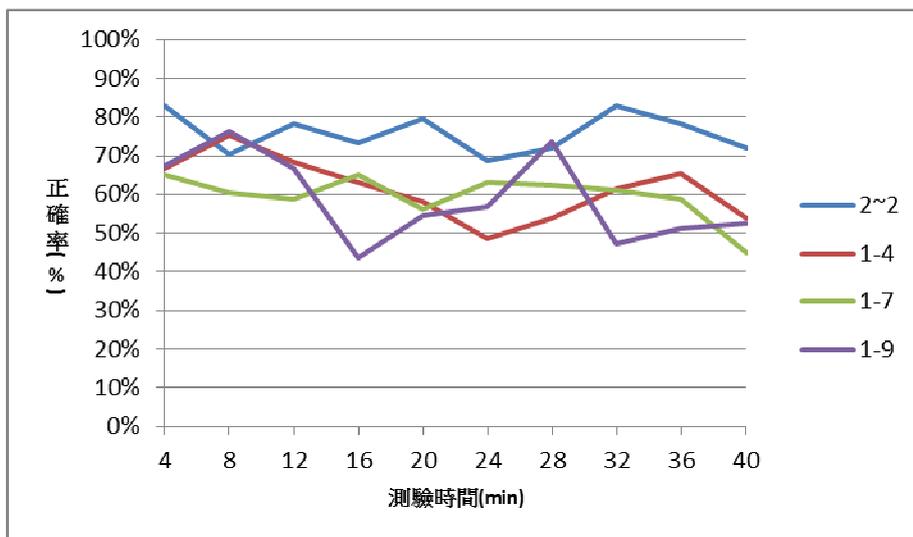
圖(三十一) 不同音訊種類對正確率影響

就音頻種類方面進行更詳細分析(圖三十一)，其中分為目標音、△1 型錯誤音、△2 型錯誤音、△3 型錯誤音。△1 型錯誤音的正確率明顯較其他音頻種類低。

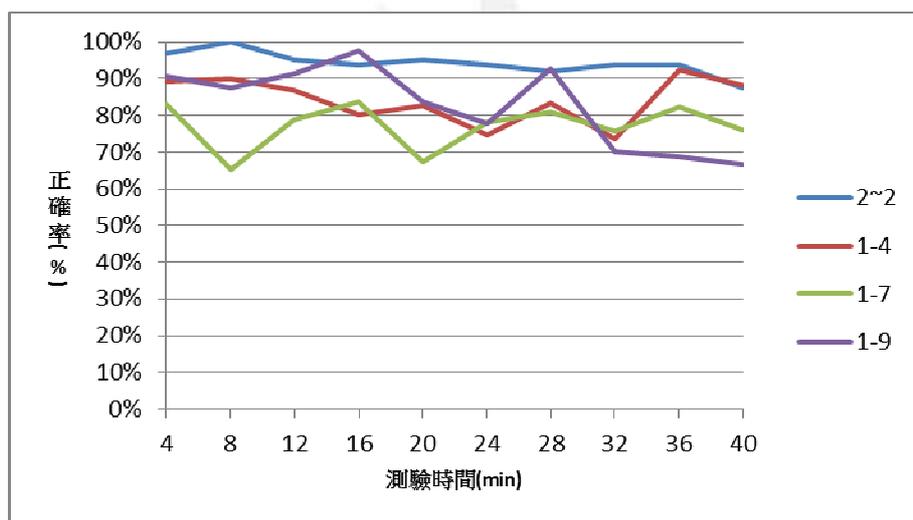


圖(三十二) 將 Y 軸間距縮小的不同音訊種類對正確率影響

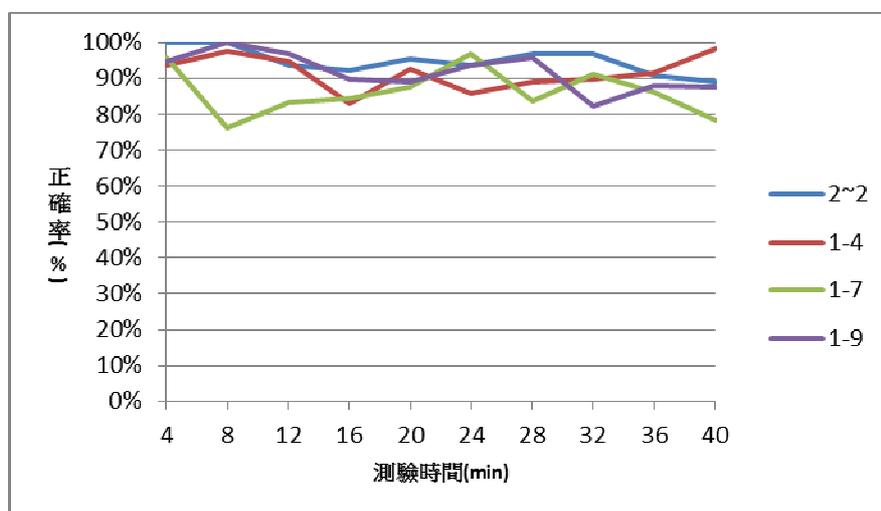
將圖(三十一)間距縮小到 50%~100%(圖三十二)，可以較明顯看出三種錯誤音的正確率有稍微逐漸下降的趨勢。



圖(三十三) 間隔時間對 $\Delta 1$ 型錯誤音正確率影響



圖(三十四) 間隔時間對 $\Delta 2$ 型錯誤音正確率影響



圖(三十五) 間隔時間對 $\Delta 3$ 型錯誤音正確率影響

依音頻種類分別為 $\Delta 1$ 、 $\Delta 2$ 、 $\Delta 3$ 三張圖個別分析，檢視四種隨機間隔時間在測驗時間上的變化。從這三張圖也能發現 $\Delta 1$ 型錯誤音下，正確率都較 $\Delta 2$ 、 $\Delta 3$ 型低，然而受測者在 $\Delta 3$ 型錯誤音正確率較穩定，較不受到間隔時間影響。

在 $\Delta 1$ 型錯誤音下，間隔時間影響正確率極大，不管加入哪種隨機間隔時間，正確率都下降了。而綜觀三張圖會發現不論是哪種音訊種類，在加入隨機間隔時間後正確率都有下降的趨勢。

在隨機間隔時間為 2~2 秒下，對不管任何一種音頻種類，正確率都比較能維持，而加入隨機間隔時間後，卻都使正確率變動較大。



4.2 推論統計

4.2.1 正確率的分析

假設：

$H_0: \mu_1 = \mu_2 = \mu_3 = \mu_4 = \mu_5 = \mu_6 = \mu_7 = \mu_8 = \mu_9 = \mu_{10} = \mu_{11} = \mu_{12} = \mu_{13} = \mu_{14} = \mu_{15} = \mu_{16}$

$H_1: \mu_1, \mu_2, \mu_3, \mu_4, \mu_5, \mu_6, \mu_7, \mu_8, \mu_9, \mu_{10}, \mu_{11}, \mu_{12}, \mu_{13}, \mu_{14}, \mu_{15}, \mu_{16}$ 不全相等

其中 μ_1 : 在目標音下，間隔時間 2~2 的正確率；

μ_2 : 在目標音下，間隔時間 1-4 的正確率；

μ_3 : 在目標音下，間隔時間 1-7 的正確率；

μ_4 : 在目標音下，間隔時間 1-9 的正確率。

μ_5 : 在一倍恰辨差下，間隔時間 2~2 的正確率；

μ_6 : 在一倍恰辨差下，間隔時間 1-4 的正確率；

μ_7 : 在一倍恰辨差下，間隔時間 1-7 的正確率；

μ_8 : 在一倍恰辨差下，間隔時間 1-9 的正確率；

μ_9 : 在二倍恰辨差下，間隔時間 2~2 的正確率；

μ_{10} : 在二倍恰辨差下，間隔時間 1-4 的正確率；

μ_{11} : 在二倍恰辨差下，間隔時間 1-7 的正確率；

μ_{12} : 在二倍恰辨差下，間隔時間 1-9 的正確率；

μ_{13} : 在三倍恰辨差下，間隔時間 2~2 的正確率；

μ_{14} : 在三倍恰辨差下，間隔時間 1-4 的正確率；

μ_{15} : 在三倍恰辨差下，間隔時間 1-7 的正確率；

μ_{16} : 在三倍恰辨差下，間隔時間 1-9 的正確率。

表(二)正確率的恰辨差閾值

來源		型 III 平方和	df	平均平方和	F	顯著性
音頻種類	假設為球形	17.836	3	5.945	11.692	.000
	Greenhouse-Geisser	17.836	1.130	15.779	11.692	.008
	Huynh-Feldt	17.836	1.200	14.864	11.692	.007
	下限	17.836	1.000	17.836	11.692	.011
誤差 (音頻種類)	假設為球形	10.678	21	.508		
	Greenhouse-Geisser	10.678	7.913	1.349		
	Huynh-Feldt	10.678	8.399	1.271		
	下限	10.678	7.000	1.525		
間隔時間	假設為球形	1.063	3	.354	5.216	.008
	Greenhouse-Geisser	1.063	2.488	.427	5.216	.012
	Huynh-Feldt	1.063	3.000	.354	5.216	.008
	下限	1.063	1.000	1.063	5.216	.056
誤差 (間隔時間)	假設為球形	1.426	21	.068		
	Greenhouse-Geisser	1.426	17.416	.082		
	Huynh-Feldt	1.426	21.000	.068		
	下限	1.426	7.000	.204		
反應時間	假設為球形	.704	9	.078	.852	.572
	Greenhouse-Geisser	.704	3.722	.189	.852	.499
	Huynh-Feldt	.704	8.474	.083	.852	.566
	下限	.704	1.000	.704	.852	.387
誤差 (反應時間)	假設為球形	5.780	63	.092		
	Greenhouse-Geisser	5.780	26.055	.222		
	Huynh-Feldt	5.780	59.320	.097		
	下限	5.780	7.000	.826		

由表(二)，受試者內效應項的檢定，四種音頻種類的顯著性 $F_{(3,21)}=11.692$ ， $P<\alpha=0.05$ ，因此有顯著差異，換言之，音頻種類對正確率有明顯的影響。

四種間隔時間種類的顯著性 $F_{(3,21)}=5.216$ ， $P<\alpha=0.05$ ，存在有顯著差異，因此間隔時間種類對正確率有明顯影響。

十個測驗時間 $F_{(9,63)}=0.852$ ， $P>\alpha=0.05$ ，測驗時間沒有顯著差異。

經過以上推測，我們將拒絕H0。

之後進行音頻種類與間隔時間種類的「成對比較」，得表(三)。

表(三) 音頻種類的成對比較

(I) 音頻種類	(J) 音頻種類	平均差異 (I-J)	標準誤差	顯著性 ^a	差異的 95% 信賴區間 ^a	
					下界	上界
目標音	一倍恰辨差	.303 [*]	.086	.010	.100	.507
	二倍恰辨差	.098 [*]	.040	.042	.004	.192
	三倍恰辨差	.032	.016	.091	-.007	.070
一倍恰 辨差	目標音	-.303 [*]	.086	.010	-.507	-.100
	二倍恰辨差	-.205 [*]	.055	.007	-.335	-.076
	三倍恰辨差	-.272 [*]	.078	.010	-.456	-.088
二倍恰 辨差	目標音	-.098 [*]	.040	.042	-.192	-.004
	一倍恰辨差	.205 [*]	.055	.007	.076	.335
	三倍恰辨差	-.066	.028	.051	-.133	.000
三倍恰 辨差	目標音	-.032	.016	.091	-.070	.007
	一倍恰辨差	.272 [*]	.078	.010	.088	.456
	二倍恰辨差	.066	.028	.051	.000	.133

由表(三)，目標音與一倍恰辨差、二倍恰辨差有顯著差異，一倍恰辨差與二倍恰辨差、三倍恰辨差有顯著差異，表示人耳中對於一倍恰辨差與目標音不容易區別。故得證一倍恰辨差較其他三種音頻種類不易判別。

表(四) 反應時間的成對比較

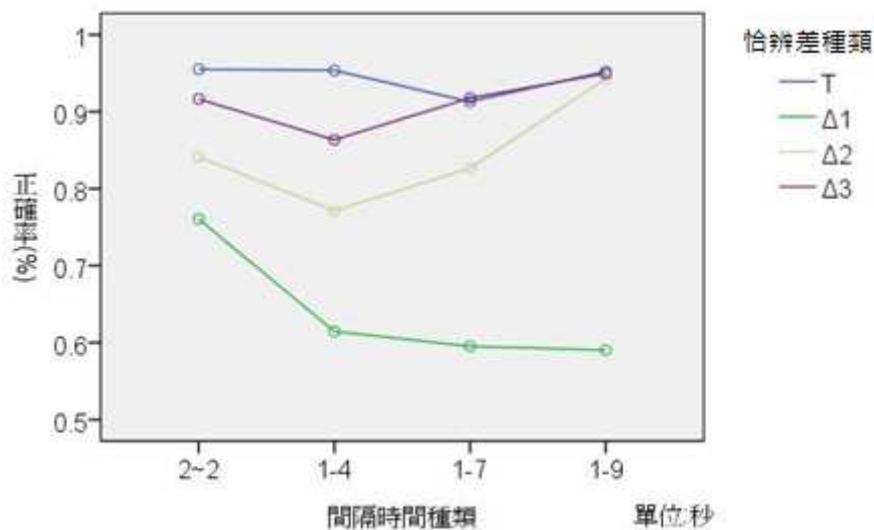
(I) 間隔時間 種類	(J) 間隔時間種 類	平均差異 (I-J)	標準誤差	顯著性 ^a	差異的 95% 信賴區間 ^a	
					下界	上界
2~2	1-4	.068 [*]	.016	.004	.029	.106
	1-7	.055 [*]	.016	.012	.017	.094
	1-9	.010	.021	.654	-.039	.058
1-4	2~2	-.068 [*]	.016	.004	-.106	-.029
	1-7	-.012	.023	.608	-.067	.043
	1-9	-.058 [*]	.024	.050	-.116	.000
1-7	2~2	-.055 [*]	.016	.012	-.094	-.017
	1-4	.012	.023	.608	-.043	.067
	1-9	-.045	.021	.071	-.096	.005
1-9	2~2	-.010	.021	.654	-.058	.039
	1-4	.058 [*]	.024	.050	.000	.116
	1-7	.045	.021	.071	-.005	.096

表(五) 不同間隔時間的反應時間比較總表

	2~2	1-4	1-7	1-9
2~2		有顯著	有顯著	無顯著
1-4	有顯著		無顯著	有顯著
1-7	有顯著	無顯著		無顯著
1-9	無顯著	有顯著	無顯著	

由表(四)與表(五)可知，2~2秒對1-4秒與1-7秒有顯著差異。1-4秒對1-9秒和2~2秒有顯著差異。由此看出2~2秒與1-4秒是比較影響反應時間。若是將固定間

隔時間2~2的水準拿掉，僅探討間隔時間出現為隨機的情形下，1-4秒是比較能影響反應時間的。



圖(三十六)間隔時間的正確率

由圖(三十六)很明顯看出一倍恰辨差的正確率偏低。且一倍恰辨差，在間隔時間 2~2、1-4、1-7 與 1-9 的正確率有明顯的下降趨勢。而兩倍恰辨差與三倍恰辨差在間隔間 1-4 比在 1-7 與 1-9 的正確率較低。

4.2.2 反應時間的分析

假設：

$$H_0: \mu_1 = \mu_2 = \mu_3 = \mu_4 = \mu_5 = \mu_6 = \mu_7 = \mu_8$$

$H_1: \mu_1, \mu_2, \mu_3, \mu_4, \mu_5, \mu_6, \mu_7, \mu_8$ 不全相等

其中： μ_1 ：正確音在間隔時間 2~2 時的平均反應時間；

μ_2 ：正確音在間隔時間 1-4 時的平均反應時間；

μ_3 ：正確音在間隔時間 1-7 時的平均反應時間；

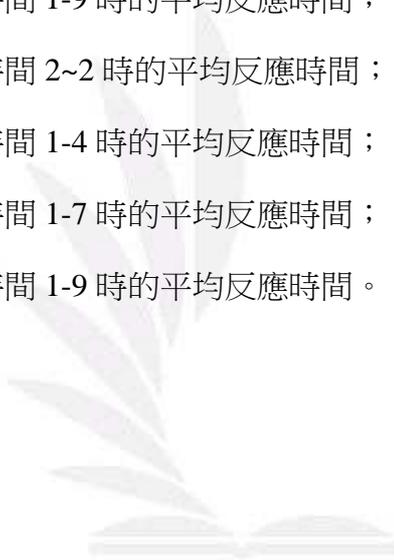
μ_4 ：正確音在間隔時間 1-9 時的平均反應時間；

μ_5 ：錯誤音在間隔時間 2~2 時的平均反應時間；

μ_6 ：錯誤音在間隔時間 1-4 時的平均反應時間；

μ_7 ：錯誤音在間隔時間 1-7 時的平均反應時間；

μ_8 ：錯誤音在間隔時間 1-9 時的平均反應時間。



表(六)反應時間的恰辨差閾值

來源	型 III 平方和	df	平均平方和	F	顯著性	
音頻種類	假設為球形	.155	1	.155	2.655	.147
	Greenhouse-Geisser	.155	1.000	.155	2.655	.147
	Huynh-Feldt	.155	1.000	.155	2.655	.147
	下限	.155	1.000	.155	2.655	.147
誤差 (音 頻種類)	假設為球形	.408	7	.058		
	Greenhouse-Geisser	.408	7.000	.058		
	Huynh-Feldt	.408	7.000	.058		
	下限	.408	7.000	.058		
間隔時間	假設為球形	1.592	3	.531	7.849	.001
	Greenhouse-Geisser	1.592	1.496	1.064	7.849	.012
	Huynh-Feldt	1.592	1.811	.879	7.849	.007
	下限	1.592	1.000	1.592	7.849	.026
誤差 (間 隔時間)	假設為球形	1.420	21	.068		
	Greenhouse-Geisser	1.420	10.473	.136		
	Huynh-Feldt	1.420	12.679	.112		
	下限	1.420	7.000	.203		
反應時間	假設為球形	.072	9	.008	1.351	.229
	Greenhouse-Geisser	.072	3.635	.020	1.351	.279
	Huynh-Feldt	.072	8.048	.009	1.351	.238
	下限	.072	1.000	.072	1.351	.283
誤差(反應 時間)	假設為球形	.374	63	.006		
	Greenhouse-Geisser	.374	25.446	.015		
	Huynh-Feldt	.374	56.338	.007		
	下限	.374	7.000	.053		

由表(六)可知音頻種類 $F_{(1,7)}=2.655$ ， $P > \alpha = 0.05$ ，所以無顯著差異。

間隔時間種類 $F_{(3,21)}=7.849$ ， $P < \alpha = 0.05$ ，因為有顯著性，故將之進一步做成對比較。得到表(七)

測驗時間 $F_{(9,63)}=1.351$ ， $P > \alpha = 0.05$ ，所以無顯著差異。

表(七) 間隔時間的成對比較

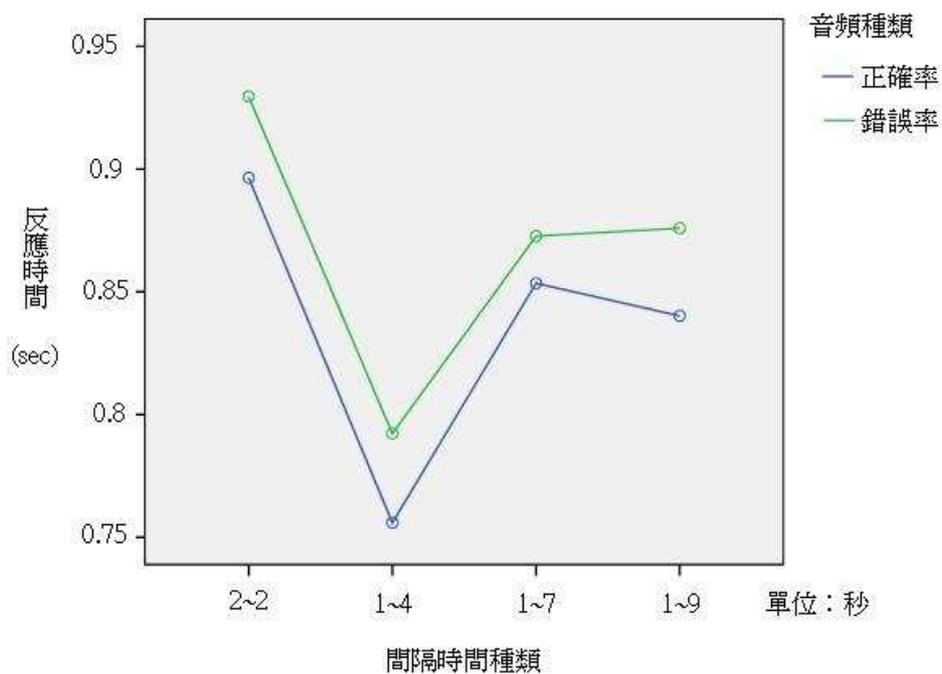
(I) 間隔時間	(J) 間隔時間	平均差異 (I-J)	標準誤差	顯著性 ^a	差異的 95% 信賴區間 ^a	
					下界	上界
2~2	1-4	.139 [*]	.036	.006	.054	.224
	1-7	.050	.028	.116	-.016	.116
	1-9	.055	.042	.234	-.045	.155
1-4	2~2	-.139 [*]	.036	.006	-.224	-.054
	1-7	-.089 [*]	.021	.004	-.139	-.039
	1-9	-.084 [*]	.014	.000	-.116	-.051
1-7	2~2	-.050	.028	.116	-.116	.016
	1-4	.089 [*]	.021	.004	.039	.139
	1-9	.005	.024	.842	-.052	.063
1-9	2~2	-.055	.042	.234	-.155	.045
	1-4	.084 [*]	.014	.000	.051	.116
	1-7	-.005	.024	.842	-.063	.052

由表(七)，間隔時間 2~2 秒對 1-4 秒有顯著差異，而對 1-7 秒與 1-9 秒無顯著性。

然而間隔時間 1-4 秒對 2~2 秒、1-7 秒與 1-9 秒皆有顯著差異。

故得證，間隔時間 1-4 秒會比較容易影響受測者的反應時間。

經過以上推測，我們將拒絕 H_0 。



圖(三十七) 不同間隔時間正確率與錯誤率比較

由圖(三十七)正確音的反應時間比錯誤音的反應時間快，而在間隔時間為1-4時，反應時間有明顯的下降，在間隔時間為1-7、1-9的反應時間又提升上來，2~2的反應時間是最慢的。

第五章、結論與未來研究方向

本實驗模擬了生產線上的檢測人員長時間的作業情形，並進行「不同間隔時間與聽力警戒」的實驗，而要進行此實驗必須先知道受測者的聲音強度恰辨差與頻率恰辨差。

基於上述原因，本組進行「檢測受測者對聲音強度的恰辨差」與「檢測受測者對聲音頻率的恰辨差」兩個前置實驗，先是用聽力測定器在無噪音環境下及白噪音環境下，測出受測者的聲音強度恰辨差，再利用 Audacity 與 Goldwaver 兩種聲音編輯軟體編輯音檔及製作程式來測試受測者的聽覺頻率恰辨差。

「不同間隔時間與聽力警戒的實驗」讓受測者在不同的隨機間隔時間下、不同的音頻種類與長時間測驗下，量測受測者的判斷音頻的正確率與反應時間。有趣事物的理論(a theory of things interesting): 只有比個體的經驗與能力稍微困難或複雜一點的事物，才能引起注意與感到興趣（鄭昭明，2010，認知心理學）。剛開始以為注意力應會隨著作業時間拉長，而出現明顯的正確率下降或者反應時間變長，然而受測者也在隨著測驗時間漸常而出現不耐煩、以及對實驗失去興趣的情況，但在實驗後的數據中，發現受測者的整體正確率並沒有隨著測驗時間而有明顯的下降，推測此乃因為實驗作業過於單純，用來進行判斷的認知資源不高的緣故。

但從其他分析數據中，發現音頻種類對反應時間的影響其實並不大，相較於間隔時間這個因子對反應時間則有較大的影響。在隨機間隔時間 1~4 秒下，受測者的反應時間較快，標準差也較低，反應較穩定，而在隨機間隔時間 1-7、1-9 秒之中，反應時間標準差較高，反應時間較不穩定；由於隨機間隔時間 1-4 秒並沒有存在對受測者而言過長的等待時間，因此實驗時較不會有無聊、恍神與想睡的情況，是一個受測者可接受的等待時間範圍，讓其較容易保持在警戒狀態中；而在隨機間隔時間 1-7、1-9 秒下，其隨機間隔時間範圍較不被受測者接受，造成受測者在持續注意力上的警覺穩定性不夠。

再從分析數據中發現，受測者對判斷目標音的正確率較錯誤音高，錯誤音頻的正確率相對比較低。然而在實驗中亦發現一特別現象：由於出現目標音的次數甚多，當目標音的訊號連續出現時，會對受測者有一種催眠的效果，導致警戒下降，即便錯誤音出現受測者亦會下意識按下目標音的按鍵，事後才發覺失誤，或根本沒察覺。

另外隨機間隔時間對目標音的正確率影響不大，但卻對錯誤音的正確率有所影響，隨著增加隨機間隔時間的範圍，錯誤音△1 型正確率顯現下降的趨勢，△2 型、△3 型錯誤音的正確率下降雖然不明顯，但其正確率大抵上也比 2~2 秒低。

經過 SPSS 分析可以發現，音頻種類與隨機間隔時間對正確率皆有明顯的影響，而測驗時間這個因子則對正確率沒有明顯的影響。就音頻種類進行成對比較後可得知，1 倍恰辨差的錯誤音型較其他音頻種類都不易被正確判斷。至於在間隔時間的成對比較中，2~2 秒與 1-4 秒是比較影響反應時間。

運用 SPSS 從反應時間的觀點來看，受測者無論判斷何種音頻種類，或經過多長測驗時間皆不會影響其反應時間；然而間隔時間的種類卻會對反應時間造成影響。爾後進行間隔時間的成對比較，1-4 秒最容易影響受測者的反應時間。與所繪製的估計邊緣平均數圖，明顯看出回答正確音的反應時間比錯誤音快，反應時間最快的間隔時間種類是 1-4 秒，反應最慢的為 2~2。

從該實驗研究中驗證到間隔時間 2~2 的正確率整體上都較高，因此建議美律檢測人員在量測產品時選用的訊號音之間隔時間為固定兩秒。若是想增加檢測人員的工作效率，則採用隨機間隔時間範圍為 1-4 秒最佳，因其反應時間最快。

參考文獻

1. Hassall, J.R. and Zaveri, k., "Acoustic Noise Measurement", 5thed., Bruel & Kjaer, Naerum, Denmark, 1988.
2. Guyton, A.C., "Textbook of Medical Physiology", 6th ed., W.B. Saunders, 1981.
3. Ganong, W.F., "Review of Medical Physiologh", 12nd ed., Lange Medical Publication, 1985.
4. 鄭昭明，2010，認知心理學。
5. 郭明堂，2004，噪音對注意力及認知之影響研究。
6. 鄭財富，2008，運動訓練與不同反應前期對國小學童注意力的影響之研究。
7. Mark S.Sanders and ErnestJ.McCormick，1998，人因工程－工程與設計之人性因素〈上冊〉。

