

屏東縣第 66 屆國中小學科學展覽會 作品說明書

科 別：物理 科

組 別：國中 組

作品名稱：餘音繞梁～偽機車排煙管音波之研究

關 鍵 詞：駐波、共振、音色

編號：B2013

目錄

摘要-----	p.2
壹、前言-----	p.2
貳、研究設備及器材-----	p.4
參、研究過程與方法-----	p.4
肆、研究結果-----	p.11
伍、討論-----	p.16
陸、結論-----	p.18
柒、參考資料和其他-----	p.20

摘要

我們採購市售仿機車排煙管，然後改良其震動片材質、外型；排煙管長短、粗細。然後利用聲波 APP 和主觀人為的判斷評分，如此判斷哪一種改良最接近機車排煙管的音色。

由實驗可以得知：

- 一、排煙管的長度越長，聲波共振效果越好，評分越高。
- 二、紙質排煙管，評分最低，可能紙質不易反射聲播波，所以共振不易，評分偏低。
- 三、震動片的外型，對音色的影響不大。
- 四、排煙管的組合有上千種，我們以 15 種組合分析。可見音色要相似，聲波的泛音是主要的關鍵。

壹、前言

一、研究動機：

雖然我們這個年紀不能機車，但是我們還是喜歡在手機影片上，觀看賽車比賽，尤其是重型機車比賽。

一次在影片中，看到有人把「淑女車」改成「變速車」。那麼我也想要把我的「越野車」改成重型「猛男」自行車。想在自行車上裝一個排氣管，會發生機車聲響的那種。我如此的中二魂改車，在自行車上「裝排氣管」，蠻適合我們這個年紀的。

二、研究目的：

(一)、研究各種震動，透過各種管狀聲波，使其聽起來更像各種機車的排煙管聲音。變因如下：

1. 震動片：廠商提供的膠片、紙製撲克牌、塑膠撲克牌、L 夾塑膠片。
2. 共振管：廠商提供的膠片、紙管、PVC 水管。
3. 不同長短的共振管、不同口徑的共振管。

(二)、藉由聲波的比對和主觀認知，評分哪一種狀態的震動，最像哪一型機車。

1. 比較聲波的響度。
2. 比較聲波的音調。
3. 比較聲波的音色。

三、文獻回顧：

(一)、**波**：是一個或多個物理量從平衡狀態傳播出去的動態擾動，波也是此物理量在空間逐點傳遞時形成的運動。

(二)、**波動**：是波傳遞出去的「現象」或「過程」。波的擾動形式可任意，傳遞路徑上的其他介質也作同一形式振動，但不會傳遞介質；因此，波是振動狀態的傳播，不是物質本身的傳播。

(三)、**駐波**：為兩個波長、週期、頻率和波速皆相同的正弦波相向行進干涉而成的合成波。與行波不同，駐波的波形無法前進，因此無法傳播能量，故名之。

駐波通過時，每一個質點皆作簡諧運動。各質點振盪的幅度不相等，振幅為零的點稱為節點或波節，振幅最大的點位於兩節點之間，稱為腹點或波腹。由於節點靜止不動，所以波形沒有傳播。能量以動能和勢能的形式交換儲存，亦傳播不出去。兩列傳播方向相反的相干波相遇而產生干涉，或介質沿波速的相反方向運動時，均可產生這個現象。常見的駐波現象是諧振器中，一列波與自身的反射波產生干涉而形成的。

(四)、**音色**：音色與波形之間存在著直接且密不可分的關係：聲音的波形決定了其音色。

1. **獨特性來源**：音色是發音體獨特的發音特色，即使不同樂器或人聲發出相同音調和響度的聲音，我們仍能區分它們，原因就在於它們各自產生了不同的聲波波形。

2. **泛音結構**：大多數樂器發出的聲音並非單一頻率，而是由基音和一系列泛音（頻率為基音整數倍的聲音）混合而成。

3. **波形差異**：不同的發音體，其產生基音和泛音的響度比例各不相同，這些不同比例的泛音組合起來，就形成了獨特的、複雜的聲波波形。

4. **聲音識別**：正是這種獨特的波形特徵，使我們能夠分辨聲音的來源。例如，聲紋比對技術就是利用每個人獨特的聲音波形（聲譜）來識別身份，類似於指紋識別。

(五)、**音調**：音調是指聲音的高低，主要由發音體的振動頻率決定，頻率愈快，音調愈高。音調的單位是赫茲（Hz），代表每秒振動的次數。

1. **決定因素**：聲音的高低主要由振動的快慢決定。發音體振動愈快，頻率愈大，音調愈高。發音體振動愈慢，頻率愈小，音調愈低。

2. **單位**：赫茲（Hz），即每秒振動的次數。

3. **影響因素**：

(1) 弦樂器：弦越緊、越細、越短，音調越高。

(2) 管樂器：管柱越短，音調越高。

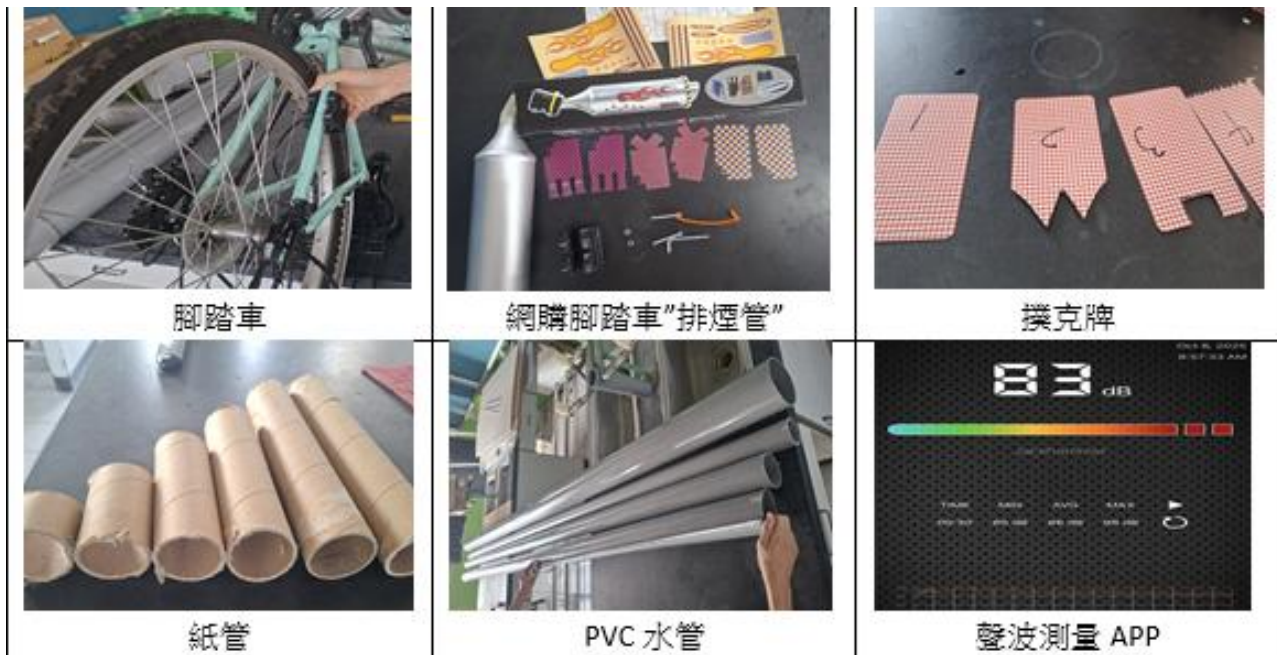
(3) 鼓：鼓面越薄、越緊，音調越高。

(六)、**響度**：響度是人耳對聲音大小的感知程度，與聲波的振幅有關，振幅越大響度越大，也就是一般所說的「大小聲」或「音量」。

1. **與振幅的關係**：聲波的振幅（即振動的能量）越大，響度就越大；反之，振幅越小，響度就越小。

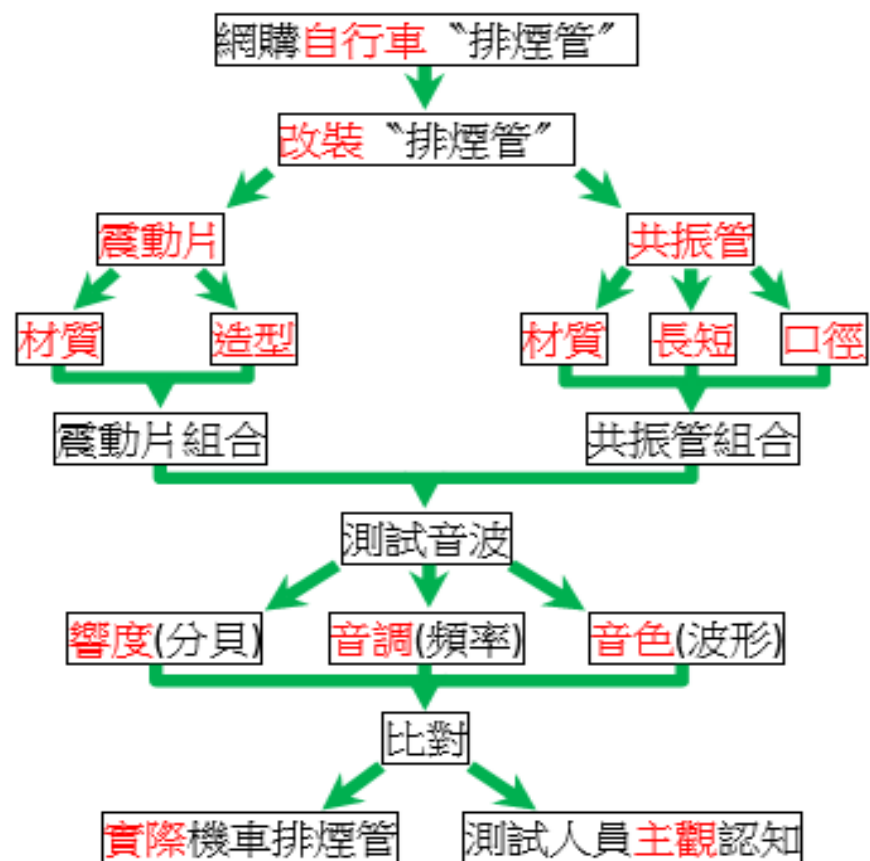
2. **單位**：響度的標準單位是分貝（dB）。分貝數值越大，代表聲音越響。人耳能聽到的最小聲音響度被定義為 0 分貝。

貳、研究設備及器材



參、研究過程與方法

一、實驗架構：



二、實驗步驟：

(一)、網購自行車排煙管。如下圖 01 所示。

1. 上網搜查自行車排煙管的發聲原理。
2. 上網搜查自行車排煙管的種類、尺寸、材料...等。
3. 訂購我們實驗所符合的自行車排煙管商品。



圖 01 圖網購自行車排煙管

(二)、組裝並測試網購自行車排煙管。如下圖 02 所示。

1. 拆開自行車排煙管商品包裹，確認商品零件。
2. 準備一輛腳踏車，依照說明書，將排煙管組裝在自行車後輪上面。
3. 將腳踏車倒立放置在實驗桌面上，然後轉動自行車踏板，驗證自行車排煙管所發出的聲音是否和一般機車排煙管所發出之聲音類似。



圖 02 為裝並測試網購自行車排煙管

(三)、下載聲波測試 APP，並做測試。如下圖 03 所示。

1. 我們利用手機下載聲波測試 APP 軟件，此 APP 可測試聲波的響度(分貝)、音調(頻率)、波形(音色)和其他多種功能。
2. 將組裝好的自行車排煙管啟動，然後開啟手機的音波 APP 測試。
3. 了解手機的音波 APP 的功能和實際操作。

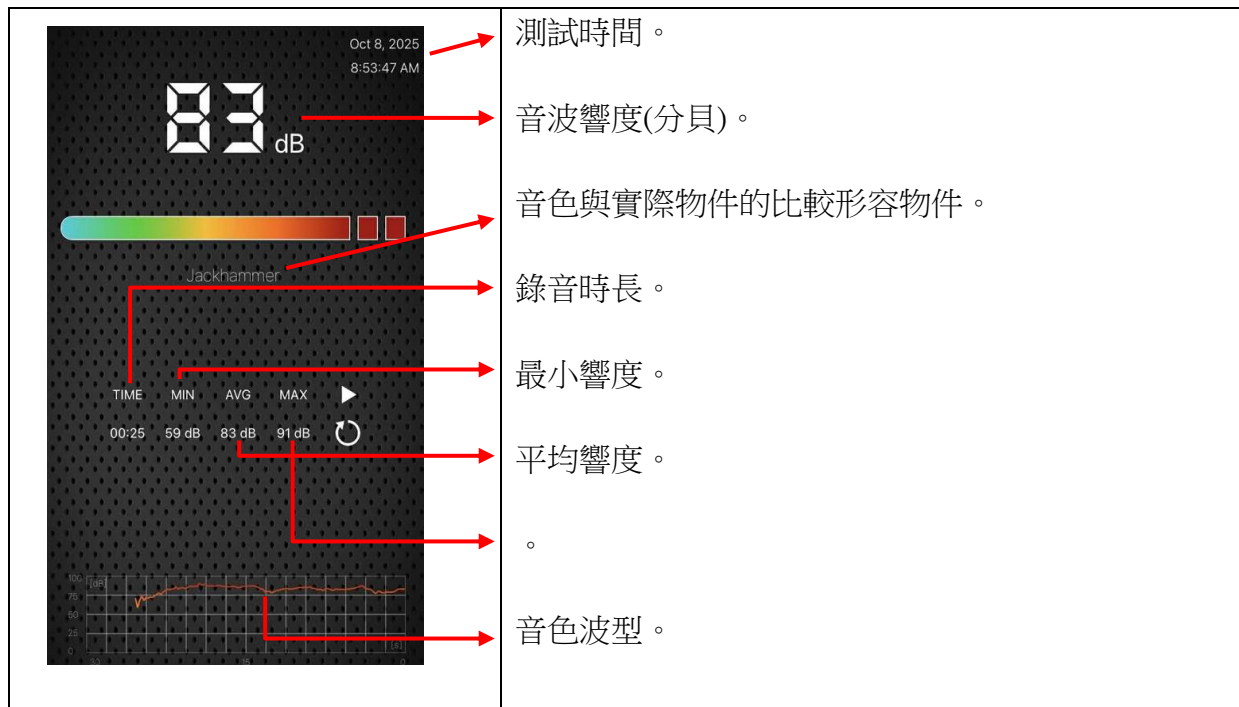


圖 03 為手機聲波測試 APP 軟件極其功能

(四)、收集各種機車排煙管聲音。

1. 我們在早上的上學期間，在停車場旁邊，邀請騎機車的老師給我們側錄一段排煙管聲音的音波的紀錄。
2. 我們側錄的機車型錄有 135cc、125cc、100cc 三種。如下圖 04 所示。



圖 04 為我們收集各種機車排煙管聲音

3. 如下圖 05 所示，以下為我們收集的 10 部機車的聲波資料，我們用手機 APP 所側錄的響度、音色波形。我們依次編號為 01 號到 10 號呈現。



圖 05 為我們收集的 10 部機車的聲波資料

(五)、使用網購廠商的排煙管，然後我們改變和車輪鋼條接觸的震動片。之後轉動車輪，然後由排煙管所發出的聲音收集音波資料。如下圖 06 所示。

1. 使用網購廠商所提供的膠片。
2. 改為紙製撲克牌當作震動片。
3. 改為塑膠製撲克牌當作震動片。
4. 改為 L 夾塑膠片當作震動片。



圖 07 為原廠商所提供的震動片和我們裁剪震動片外型

(六)、使用網購廠商的排煙管，然後我們改變和車輪鋼條接觸的震動片，然後在震動片上裁剪成不同的外型。之後轉動車輪，然後由排煙管所發出的聲音收集音波資料。如下圖 07 所示。

1. 原廠商提供的震動片外型一共有三種(一式 2 張)。
2. 為了和原廠商比較，我們也用紙質撲克牌裁剪了一樣的外型震動片。
3. 為了研究外型和震動音色的關係，我們又使用紙質撲克牌、塑膠材質撲克牌、L 夾塑膠片，另外設計了四種外型。如下圖 08 所示。
4. 因為 L 夾塑膠震動片較薄，所以我們又設計了一層 L 夾塑膠震動片、二層 L 夾塑膠震動片、三層 L 夾塑膠震動片。

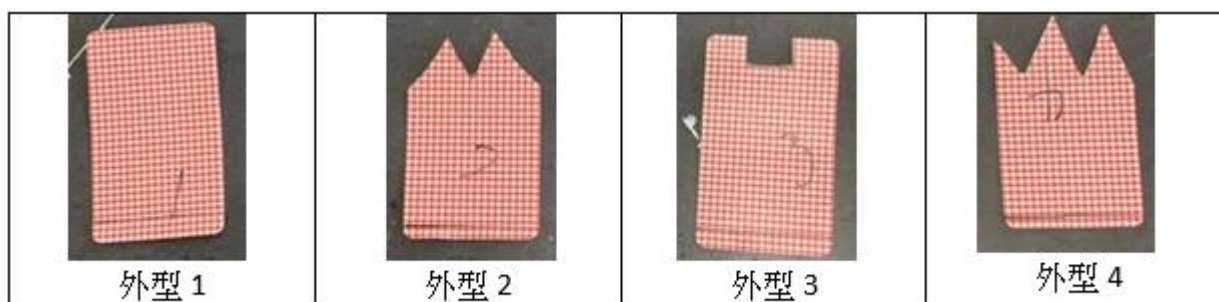


圖 08 震動片額外設計的外型

(七)、改良自行車排煙管。如下圖 09 所示。

1. 選用五種不同口徑的 PVC 水管，口徑尺寸分別是 4 吋 (114mm)、2 吋半 (76mm)、1 吋半 (48mm)、1 吋 2 (42mm)、1 吋 (34mm)。
2. 將每一種不同口徑的 PVC 水管，裁切成 6 種不同的長度。長度分別是 80cm、70cm、60cm、50cm、40cm、30cm 等六種長度。
3. 購買口徑 2 吋 (57mm) 的紙管，然後將紙管裁成長度分別是 60cm、50cm、40cm、30cm、15cm、5cm 等六種長度。

(八)、將改良自行車排煙管，以膠帶銜接在排煙管的尾端，然後測量車輪鋼條拍打震動片的聲波。如下圖 10 所示。

1. 將我們所裁切的各類型管狀物，包括紙管和 PVC 水管，使用膠帶銜接在排煙管的後面，如此增加排煙管的長度。
2. 然後轉動腳踏車，使排煙管的震動片發出聲音。然後在排煙管的後面使用音波錄音。
3. 機各類型的排煙管，包括長短、粗細、材質紀錄之後，配合所錄的音波，利用 Excel 分類分析。



圖 10 為改良後的自行車排煙管聲波錄音

(九)、改變排煙管的連接方式。我們將 PVC 水管的粗細編號由甲：4 吋 (114mm)、乙：2 吋半 (76mm)、丙：1 吋半 (48mm)、丁：1 吋 2 (42mm)、戊：1 吋 (34mm) 五種粗細尺寸。長短的編號由長到短分別為 A：80cm、B：70cm、C：60cm、D：50cm、E：40cm、F：30cm 等六種長短。

1. 組合方式為：在細 PVC 管上面，套上更粗的不同長短 PVC 水管。
2. 將不同組合的排煙管，以基本震動片拍打，然後手機收音。
3. 排煙管的排列組合非常多，因為時間限制，我們只能主觀認為最好的長度組合。編排如下表 11 所示。

延長管 主管	PVC 甲 80cm	PVC 甲 70cm	PVC 乙 70cm	PVC 乙 60cm	PVC 乙 50cm
PVC 丙 30cm					
PVC 丁 40cm					
PVC 戊 50cm					
紙管 30cm					

表 11 為不同粗細長短的排煙管排列組合編碼

4. 下圖為不同粗細長短排列組合的組合管，聲波的錄音。如下圖 12 所示。



圖 12 為不同編碼的組合管，聲波的錄音

(十)、控制變因：

1. 發音時間：約 3 秒。
2. 平均響度約 70 分貝到 80 分貝之間。

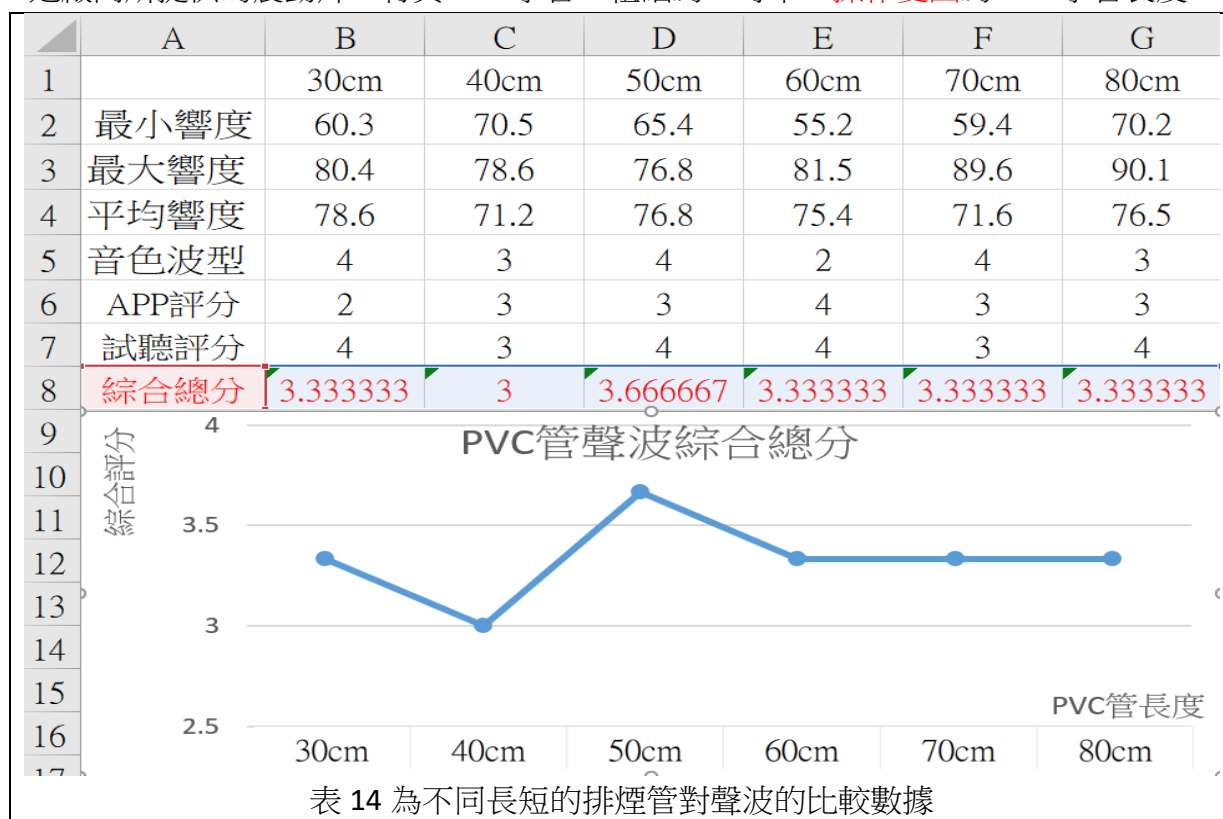
(十一)、手機 APP 的評分準則，如下表 13 所示：

	conversation	loud music	jackhammer	thump-thump	vroom
評分	1 分	2 分	3 分	4 分	5 分

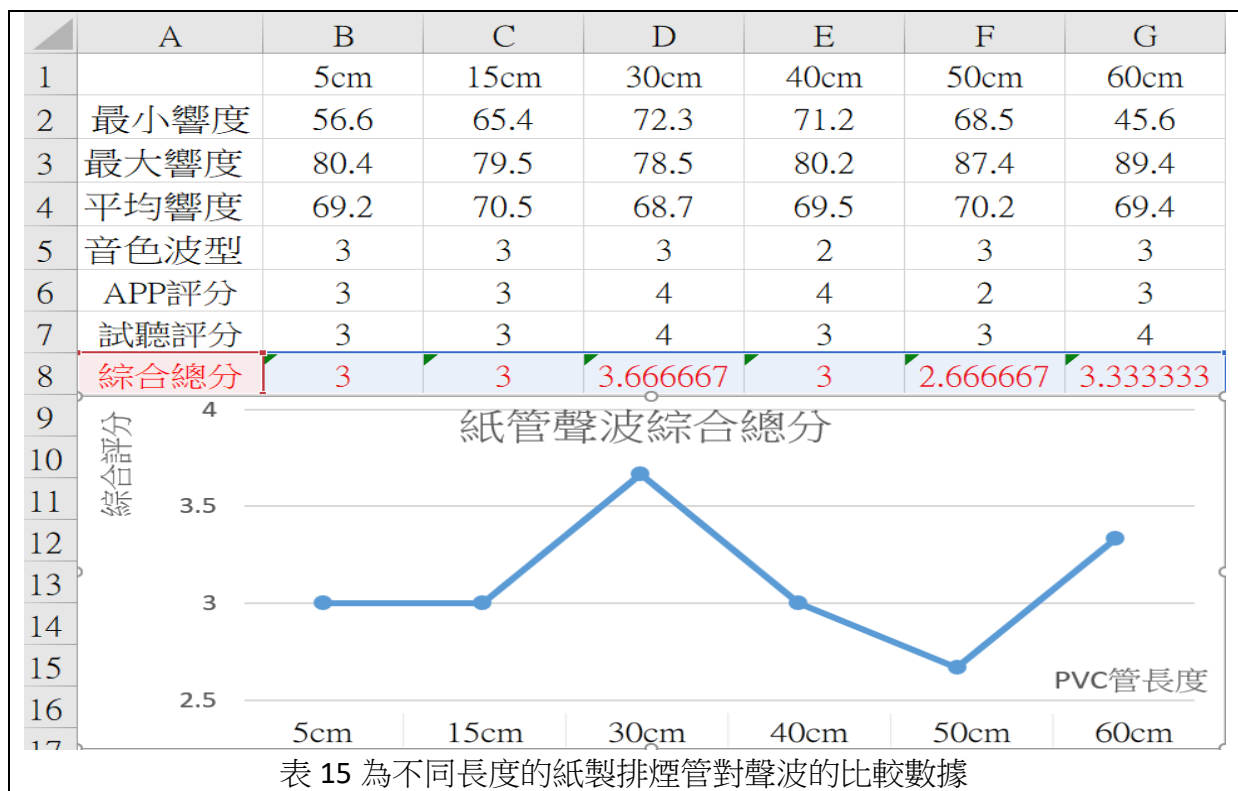
表 13 為手機 APP 的評分準則

肆、研究結果

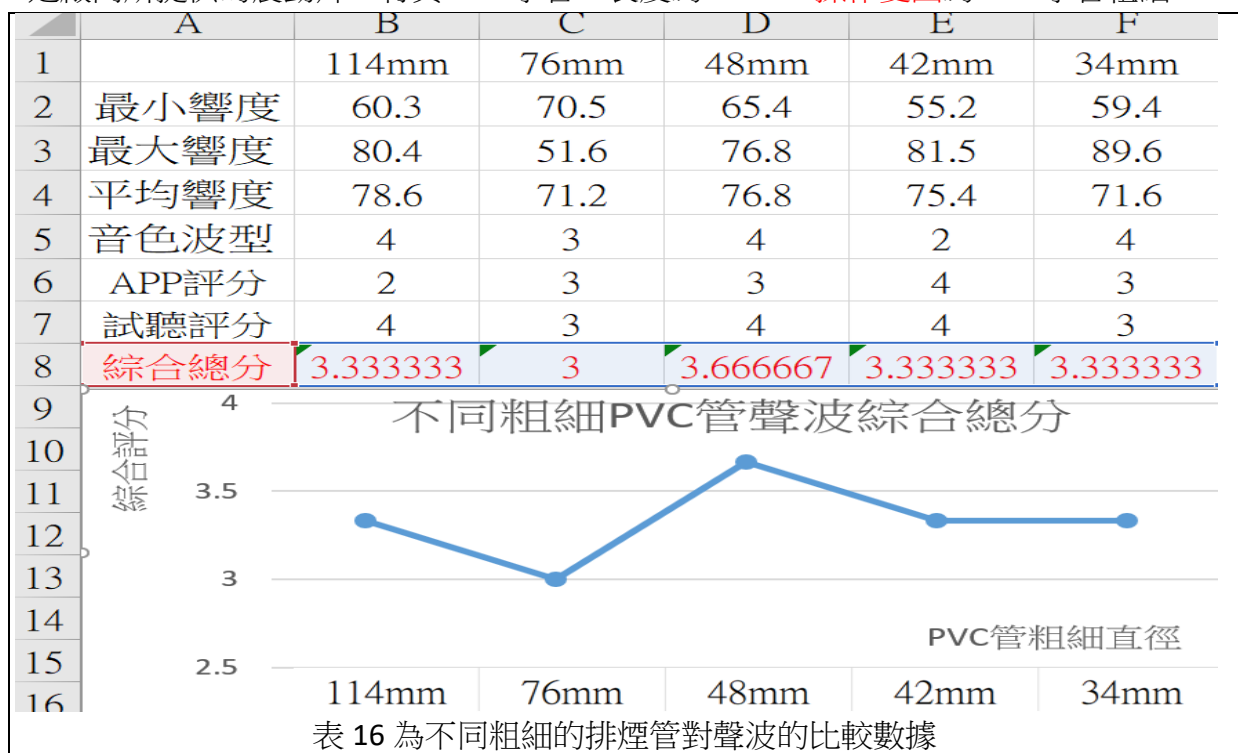
一、實驗(一)：不同長度的排煙管對聲波的影響。實驗結果數據下表 14 所示。**控制變因**為固定廠商所提供的震動片、材質 PVC 水管、粗細為 1 吋半，**操作變因**為 PVC 水管長度。



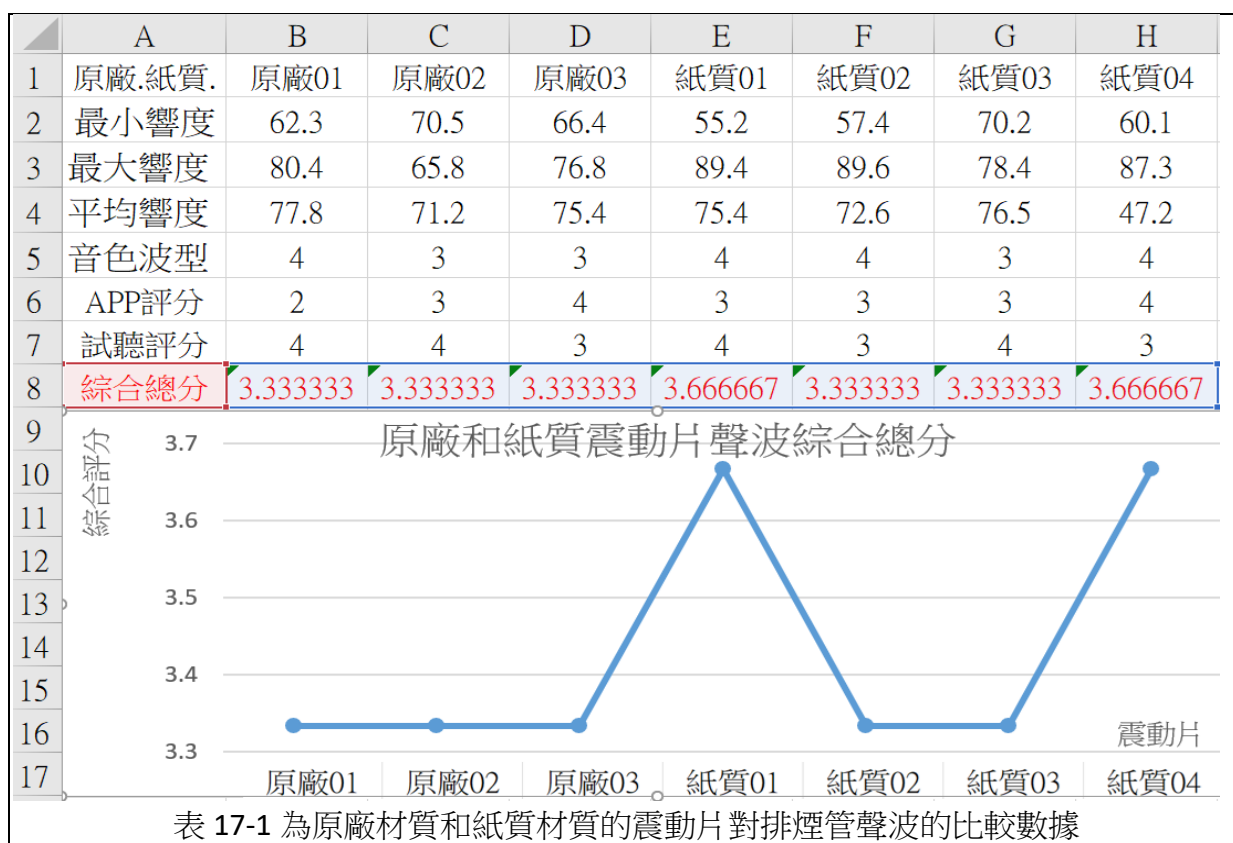
二、實驗(二)：不同長度的紙製排煙管對聲波的影響。實驗結果數據下表 15 所示。**控制變因**為固定廠商所提供的震動片、粗細為 2 吋 (57mm) 的紙管，**操作變因**為紙管長度。



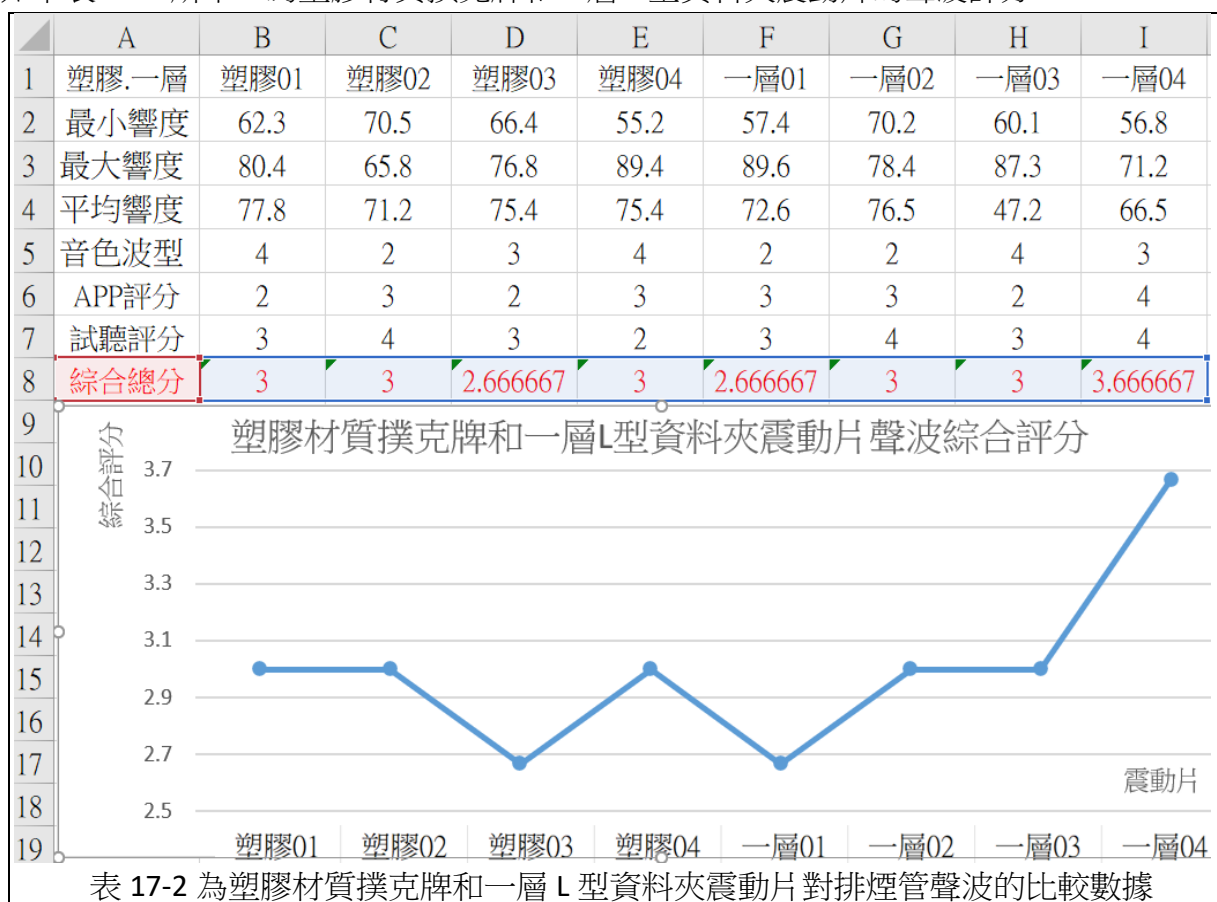
三、實驗(三)：不同粗細的排煙管對聲波的影響。實驗結果數據下表 16 所示。**控制變因**為固定廠商所提供的震動片、材質 PVC 水管、長度為 40cm，**操作變因**為 PVC 水管粗細。



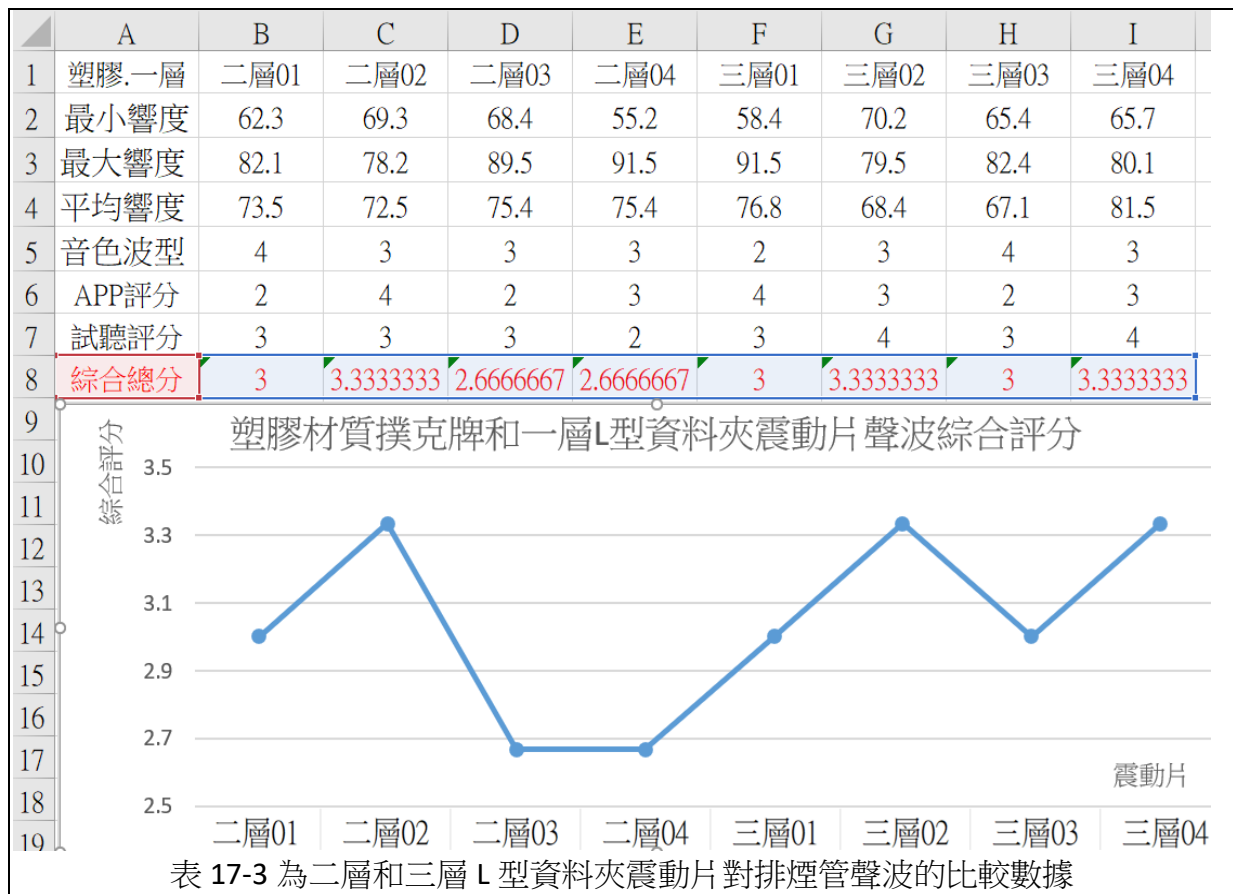
四、實驗(四)：不同的震動片對排煙管聲波的影響。實驗結果數據下表 17-1 到表 17-3 所示。**控制變因**為材質 PVC 水管、長度為 40cm、粗細為 1 吋 2，**操作變因**為不同材質和外型的震動片。



如下表 17-2 所示。為塑膠材質撲克牌和一層 L 型資料夾震動片的聲波評分。



如下表 17-3 所示。為二層和三層 L 型資料夾震動片的聲波評分。



五、實驗(五)：不同長度的排煙管組合對排煙管聲波的影響。實驗結果數據如下表 18-1 到表 18-4 所示。**控制變因**為塑膠 03 的塑膠撲克牌震動片，**操作變因**為各種排煙管的組合。表 18-1 為主管 PVC 丙 30cm 銜接各種排煙管的組合聲波數據

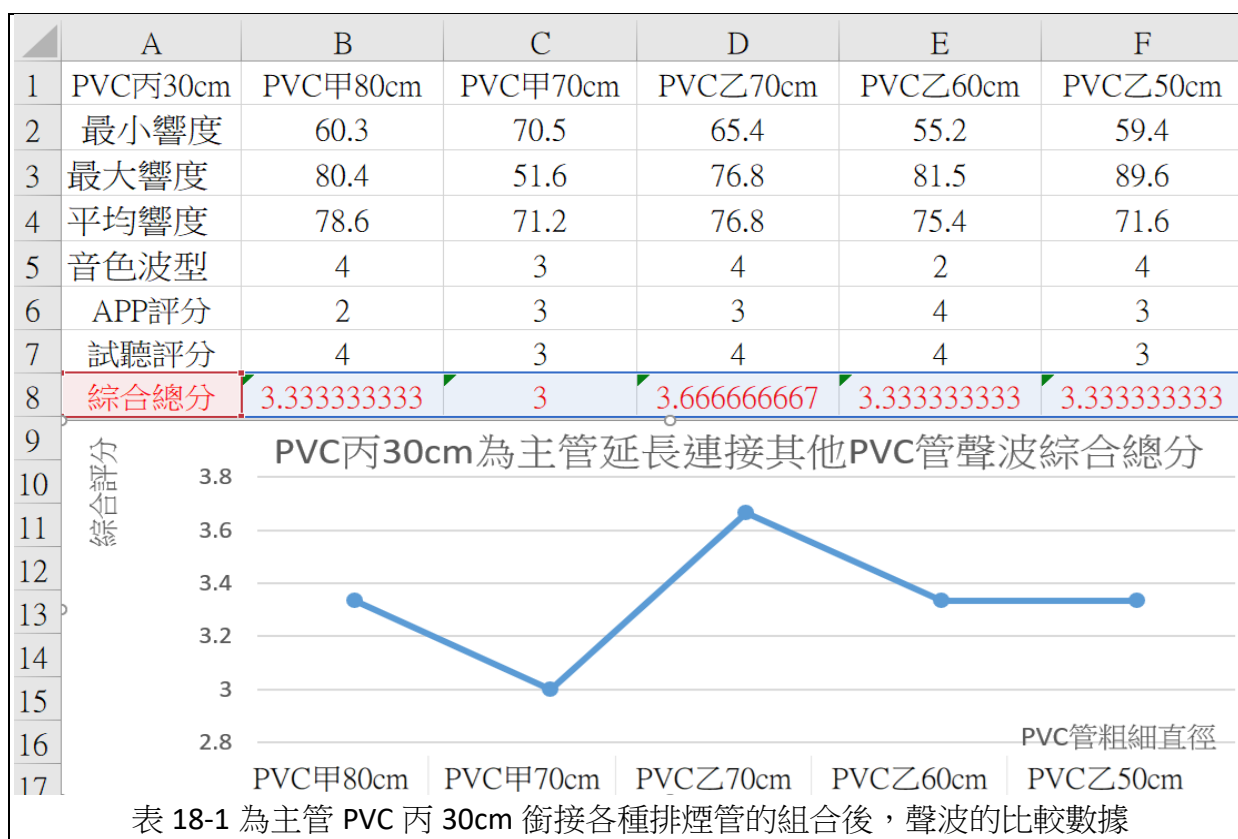


表 18-2 為主管 PVC 丁 40cm 銜接各種排煙管的組合聲波數據

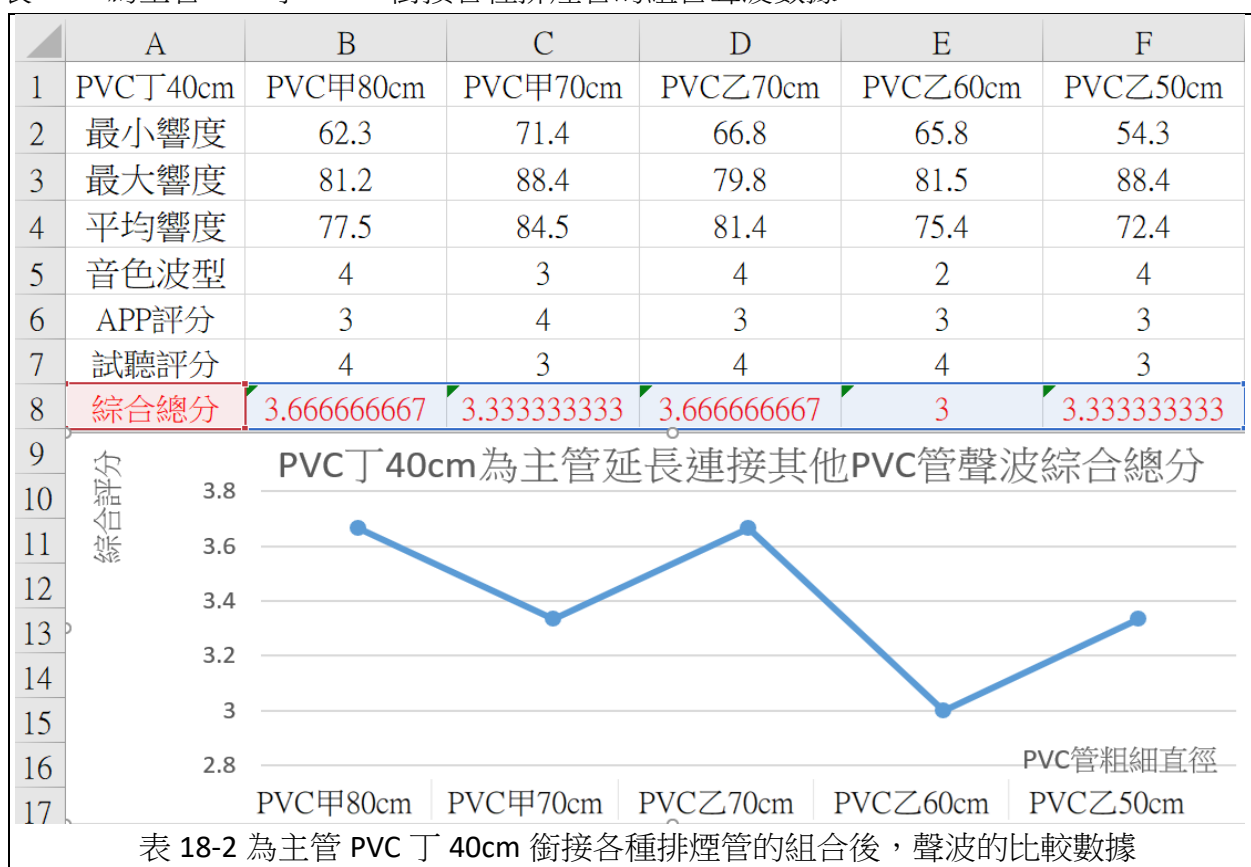


表 18-3 為主管 PVC 戊 50cm 銜接各種排煙管的組合聲波數據

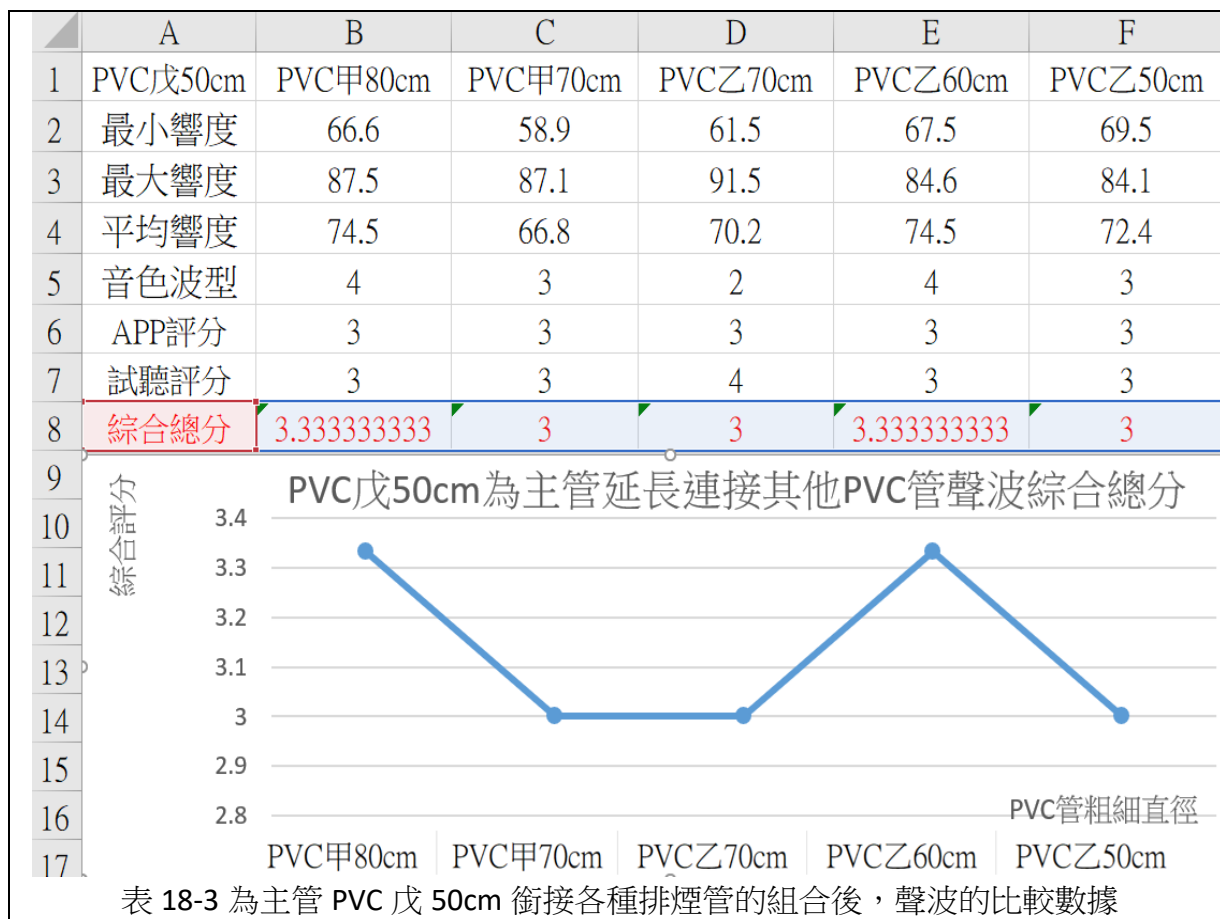
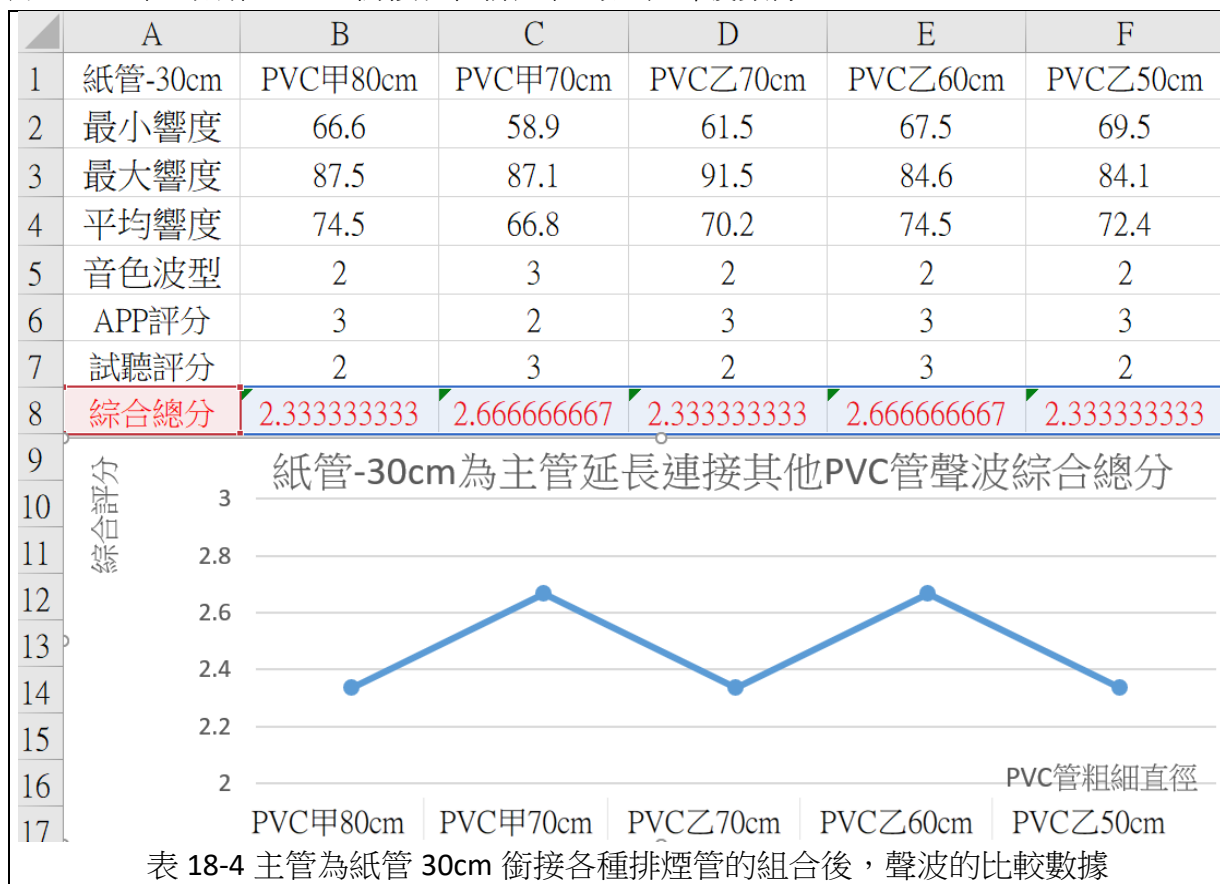


表 18-4 主管為紙管 30cm 銜接各種排煙管的組合聲波數據



伍、討論

一、研究限制：

- (一)、機車的樣式有太多種了，如果我們要對照每一種機車的聲音，是做不倒的。所以我們以學校老師的機車為樣本做對照，然後再將我們製作的聲音錄音，再播放給 2 位指導老師、3 位同學、2 位家長聽。然後請他們以主觀意識給出分數，分數分別為 1 到 5 分。
- (二)、因為錄音有數十種，完全聽完也需要將近一個多小時，所以我們可以邀請的老師、家長和同學就只能這 7+2 位(當然也包括我們 2 位)，所以我們的實驗限制，就是無法邀請大量的人員幫我們長時間來評分。評分由不像到極為相似，分數分別由 1 分到 5 分。
- (三)、機車的聲音，有**急速時**的聲音，有**加速時**的聲音，有**急速時**的聲音，有**一瞬一瞬加油時**的聲音，實在是太多種了。所以在分類時，我們先以主觀的判斷之後，在輔助以 APP 的資料來佐證。因為若以音色(波形)、響度(分貝)為主，因為每個人的騎車習慣和油門加油習慣，很難有一個統一的標準。所以我們設定為持續加油門 3 秒，響度平均約 70 分貝到 80 分貝之間。

二、討論：

- (一)、為了邀請老師和同學幫我們評分，我們在討論之後，作了以下幾個方式：
 - 1. 將錄音控制在 10 秒鐘左右，避免耽誤試聽人員的時間。
 - 2. 將錄音事先分成幾大類，然後一項一項以手機傳給對方試聽。而每一大項的試聽總時間必須控制在 10 分鐘以內。
 - 3. 在每一大項的音檔後面，馬上傳給對方評分表。然後提醒對方在評分之後，將評分表回傳。
 - 4. 溫馨提醒對方，可以利用有空的時間來聽即可，每一項的時間不會超過十分鐘。一項聽完之後，在回傳評分表即可。
 - 5. 接到對方的評分表之後，必須回傳感謝話語。感謝對方的願意花時間幫忙。即使是自己的家長，也必須如此做。
- (二)、因為網購廠商所提供的膠片大小和撲克牌差不多，所以我們第一個想到的就是利用撲克牌替代。後來發現很成功，當我們想要用其他物品替代時，卻發現其他出現的問題。
 - 1. **厚度的限制**：因為排煙管的震動片填裝口，只能填裝約 0.1 公分厚度的物品。
 - 2. **材質限制**：因為震動片必須一直和自行車的車輪拍打，若是材質太過柔弱，會因為拍打速度太快而毀損。
 - 3. **彈性限制**：我們所選用的材質必須有一些彈性。如果太過剛強，則可能會阻擋自行車的車輪的拍打。如果太過柔軟，則可能會和自行車的車輪鋼條拍打時，無法發出聲響。
 - 4. **外型限制**：為了可以將震動片裁剪成各種外型，我們所選用的震動片必須可以方便用剪刀裁切。
 - 5. 為了達到以上幾種要求，經過討論之後，除了原廠商所提供的震動片之外，我們選用的物品有：紙製撲克牌、塑膠撲克牌、L 夾塑膠片(自己裁剪形狀)。

(三)、如下圖 19 所示，為了方便書寫實驗結果和結論，我們經過討論之後，將震動片做了以下的編號。

1. 原廠震動片編號為：原廠 01～原廠 06。
2. 紙質撲克牌編號為：紙質 01～紙質 04。
3. 塑膠材質撲克牌編號為：塑膠 01～塑膠 04。
4. 一層塑膠 L 夾震動片編號為：一層 01～一層 04。
5. 二層塑膠 L 夾震動片編號為：二層 01～二層 04。
4. 三層塑膠 L 夾震動片編號為：三層 01～三層 04。



圖 19 為各種震動片及其編號

陸、結論

一、我們分類的項目標準為：

- (一)、震動片材質我們分為**四大類**：分別為原廠片、紙質撲克牌、塑膠質撲克牌、L 夾塑膠片。
- (二)、共振管材質我們分為**三大類**：分別為原廠片、紙管、PVC 水管。
- (三)、共振管的管徑我們分為**七大類**：分別為原廠片、直徑 5cm 紙管、直徑 4.8cm PVC 水管、直徑 6.0cm PVC 水管、直徑 7.6cm PVC 水管、直徑 8.9cm PVC 水管、直徑 11.4PVC 水管。
- (四)、共振管的長度我們分為**六大類**：分別為長度 5cm、長度 10cm、長度 20cm、長度 30cm、長度 40cm、長度 50cm。

二、在**實驗(一)**中，我們由實驗數據，得到以下結論：

- (一)、就綜合評分，50cm 的 PVC 管評分最高，40cm 的 PVC 管評分最低。
- (二)、響度完美控制在 70 分貝到 80 分貝之間，最大響度與最小響度，相差 26 分貝之內。
- (三)、長度 30cm、60cm、70cm、80cm 總評分均相同。
- (四)、綜合以上，總結論為：排煙管的相似度，和 **PVC 水管的長度**，關係不大。

三、在**實驗(二)**中，我們由實驗數據，得到以下結論：

- (一)、在紙管的長度為 30 公分時，綜合評分最高，而且凸出。所以 30cm 紙管與機車排煙管的相似度最高。
- (二)、在紙管 50 公分時，綜合評分最差，其他長度相差不大。所以只管 50 公分所產生的泛音，最不像機車排煙管。

四、在**實驗(三)**中，我們由實驗數據，得到以下結論：

- (一)、PVC 水管的管徑為 48mm 時，綜合評分最高、而管徑為 76mm 時，綜合評分最低。其他管徑太粗或太細，評分均是平平。所以管徑太大或太小，對聲波的相似度不會有過多的影響。
- (二)、整體長度 40cm 的 PVC 水管，在不同粗細的聲波，所表現的評分，相對比紙管高。

五、在**實驗(四)**中，不同的**震動片**所產生的綜合評分的摺線圖，如下圖表 20 所示。

圖表 20 為各類震動片的綜合評分

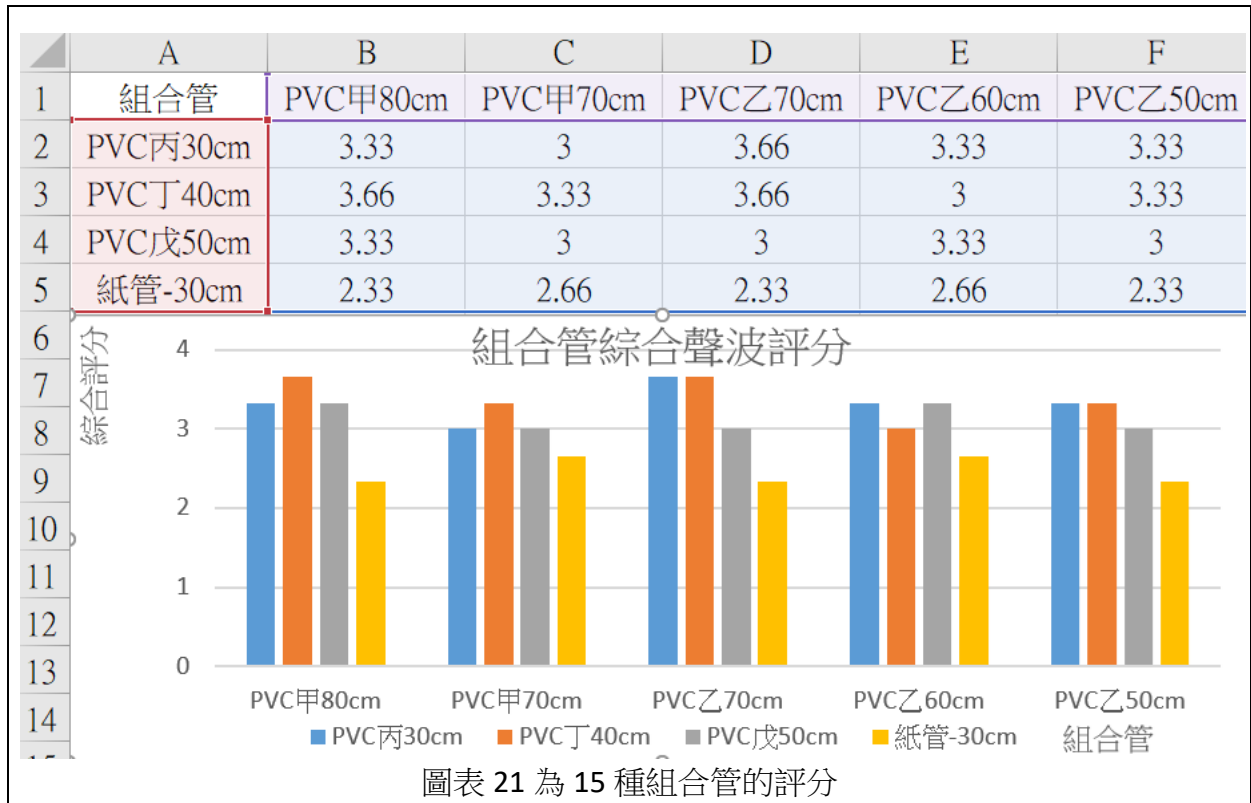
- (一)、評分表現**最高**的震動片為紙質撲克牌 01、紙質撲克牌 04、一層 L 型資料夾 04，評分為



最低的震動片為塑膠質撲克牌 03、一層 L 型資料夾 01、二層 L 型資料夾 03、二層 L 型資料夾 04，評分為 2.7。兩者綜合評分相差為 1.0 分，整體相差不大，所以震動片的材質和外型，對聲波的影響有限。

(二)、整體總平均為 3.15，與最高評分相差 5.5；與最高評分相差 4.5。所以評分最高的三種震動片，表現更為凸出。

六、在不同的排煙管組合中，因為組合有粗細、長度、震動片。組合方式高達千種可能，因為時間限制，所以只組合出以下十五種研究，如下圖表 21 所示。



(一)、由數據可以明顯發現，紙管的表現最差；主管 PVC 丁 40cm 表現最好。

(二)、去除紙管的數據，其他組合管的表現，均在 3.0 分以上。所以組合管的平均分數比單管平均分數高。

七、由實驗各種結果，可以得到以下結論：

(一)、紙質管，可能吸收音波，所以導致泛音不明顯，所以評分不高。

(二)、組合管因為偏長，所以聲波的共振強。導致評分偏高。

(三)、極短管、一直評分低，主要是不易產生駐波。

(四)、震動片的外型，對聲波的評分，沒有明顯的差異。所以可以結論，震動片的外型和聲波的音色關係不大。

柒、參考資料及其他

- 一、翰林出版社，自然科學第三冊，第三章 波動與聲音。
- 二、龍騰出版社，基礎物理(一)，第六章 波。6-1 波的性質。
- 三、龍騰出版社，選修物理(上)，第二章 波動。2-6 駐波。
- 四、波，維基百科。取自：<https://zh.wikipedia.org/zh-tw/%E6%B3%A2>
- 五、駐波，維基百科。取自：<https://zh.wikipedia.org/zh-tw/%E9%A7%90%E6%B3%A2>
- 六、科技大觀園(2008)，東森電視「科學大解碼」製作小組。音色的物理。
取自：
<https://scitechvista.nat.gov.tw/Article/C000009/detail?ID=e11fbca6-2d00-4988-b8de-579df031c2b8>
- 七、金魚數位影音錄音室(2023)，人耳是如何分辨音色的？
取自：<https://goldfishmusic.tw/archives/5879>
- 八、音色，維基百科。取自：<https://zh.wikipedia.org/zh-tw/%E9%9F%B3%E8%89%B2>
- 九、YouTube 影片，機車超短排煙管。取自：<https://www.youtube.com/shorts/jOKJcXyWeH8>
- 十、YouTube 影片，哩厚秀 LIHOSHOW (2019)，中二魂改車，在腳踏車上「裝排氣管」超蝦趴，猛男車 V.S.淑女車。
取自：<https://www.youtube.com/watch?v=GLcdw9iKEPQ>
- 十一、YouTube 影片，TVBS NEWS(2017)，拚炫！單車裝「偽排氣管」邊騎邊發「引擎聲」。
取自：<https://www.youtube.com/watch?v=C5JLG0mHnK4>
- 十二、YouTube 影片，均一教育平台(2023)，空氣柱的駐波。
取自：<https://www.youtube.com/watch?v=pXadaAga3Cw>