

中華民國第 53 屆中小學科學展覽會
作品說明書

國小組 物理科

最佳團隊合作獎

080112

「甕中捉音」

—古代「空甕砌牆」隔音技術之探究

學校名稱：桃園縣龜山鄉楓樹國民小學

作者： 小六 陳依昀 小六 卓奕融 小六 紀茗雅 小六 范沛滢 小六 卓岳勳	指導老師： 陳文言 王國鐘
---	-----------------------------

關鍵詞：聲音傳遞、噪音、隔音

「甕中捉音」~古代「空甕砌牆」隔音技術之探究

摘要

隨著大眾對生活品質的要求逐漸提升，有關防噪音的裝置已成為生活上不可或缺的設施。本研究在藉由對古代「空甕砌牆」隔音技術之文獻探討後，以探究空甕外部及內部的相關因素之隔音效果。研究結果顯示，空甕數量愈多、空甕厚度愈厚、甕口口徑愈大時，會有較佳的隔音效果，在空甕的擺放位置上以x字形的隔音效果較好，甕口的形狀上以正方形的隔音效果較好，空甕內填塞物的空隙率愈小隔音效果會較好，空甕間有連通也會有較佳的隔音效果。最後我們也建議，日常生活中有許多類似空甕的物品也可環保回收拿來替代價錢比較貴的空甕，除了可做為隔音牆使用之外，也可設計成裝置藝術做為美化環境用。

壹、研究動機

在六上自然課學習到「聲音」這個單元時，除了學習到聲音的相關基礎概念之外，老師也和我們討論了防噪音的方法，最後老師又習慣性的從科學發展史中丟了一個問題給我們：「我們的老祖先是如何防噪音呢？」透過閱讀相關文件後，我們發現在古代有一種以空甕來隔音的方法，我們覺得很有趣及好奇，為什麼使用日常生活中的空甕就可以用來隔音，它的原理是什麼？和現在的防噪音技術有相關嗎？這與我們在台灣一些地方所看到的甕牆有相關嗎？經過與同學的討論及在老師的建議下，我們決定去進行探究古代空甕隔音的相關技術原理及影響隔音效果的相關因素。

貳、研究目的

- 一、 探究「空甕砌牆」隔音技術原理及影響隔音效果的相關因素。
- 二、 探討空甕外部因素對隔音效果的影響。
 - (一) 空甕數量對隔音效果的影響。
 - (二) 空甕的擺放位置對隔音效果的影響。

- (三) 空甕厚度對隔音效果的影響。
- (四) 甕口大小對隔音效果的影響。
- (五) 甕口形狀對隔音效果的影響。

三、探討空甕內部因素對隔音效果的影響。

- (一) 空甕內填塞物空隙率對隔音效果的影響。
- (二) 空甕間的連通對隔音效果的影響。

參、研究設備及器材

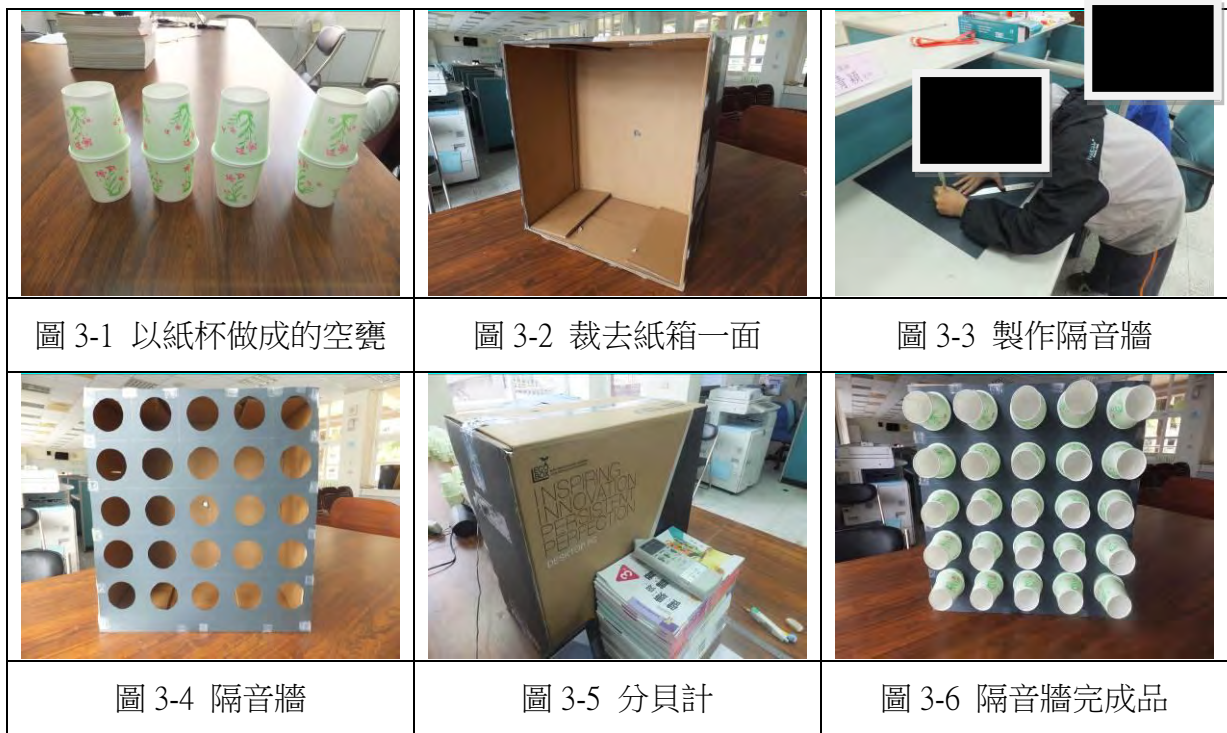
一、材料及設備

- (一) 材料：紙箱、紙杯、厚壁報紙、15mm 保麗龍球、20mm 保麗龍球、30mm 保麗龍球、吸管、膠帶、白膠。
- (二) 工具：分貝計、筆記型電腦、喇叭、電鑽、10mm 鑽頭、30mm 鑽頭、直尺、剪刀、美工刀、量角器、media player 軟體。

二、空甕隔音箱製作

為了要了解空甕的內外部因素對隔音效果的影響，我們設計製作了「空甕隔音箱」，空甕的部分，我們是以兩個紙杯來製作（如圖 3-1），整個「空甕隔音箱」製作流程說明如下：

- (一) 取 50x28x50 的紙箱，模擬成房間，將紙箱的一面裁去，以當成空甕隔音牆，如圖 3-2。
- (二) 製作空甕隔音牆，如圖 3-3。
- (三) 將空甕隔音牆裝在紙箱的一面，如圖 3-4。
- (四) 將分貝計裝在紙箱另一側，以測量紙箱內所接收到的聲音響度，如圖 3-5。
- (五) 用紙杯製作空甕，將紙杯裝上隔音牆，組裝完成，如圖 3-6。



肆、研究過程或方法

一、聲音的相關原理

因為想要知道「空甕砌牆」能隔音的原因，所以我們就先再去深入的了解聲音傳遞及防噪音的基本原理－隔音及吸音。

(一) 聲音的傳遞

1. 聲音是由物體的振動所造成的，再藉由周圍介質（固體、液體或氣體）跟著振動向四面八方傳遞出去，其中在空氣中的傳遞是如圖 4-1 所示，物體振動後使周圍的空氣分子形成疏密相間的連續波形前進，最後傳遞到人耳，以讓我們能聽見聲音。

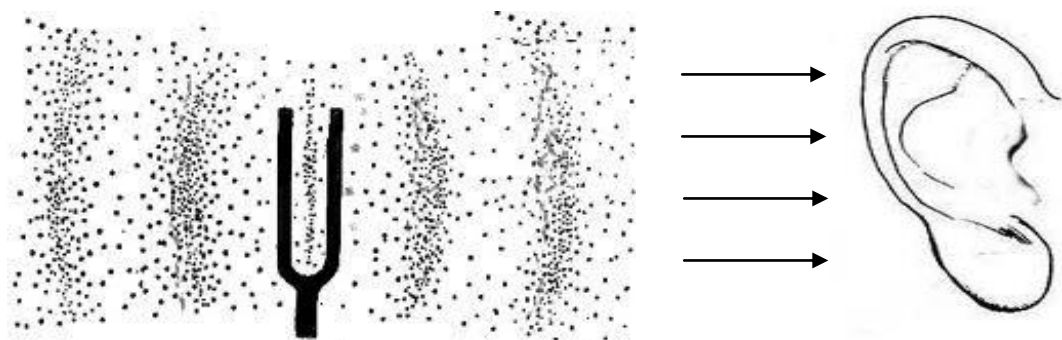


圖 4-1 聲音的傳遞

2. 聲音遇到障礙物時，會產生三種現象（如圖 4-2）：

(1)一部份聲音的能量會經由障礙物傳送出去---透射聲波

(2)一部分聲音的能量會被障礙物反射---反射聲波

(3)一部份聲音的能量會被障礙物吸音---吸收聲波

我們的研究即是要探討有關聲音遇到障礙物時的隔音效能。

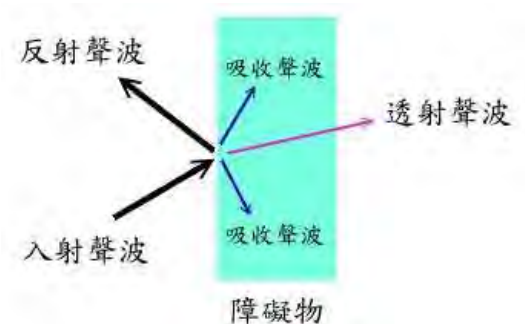


圖 4-2 聲音遇到障礙物時產生的現象

(二) 隔音

是指將隔絕材料阻隔在聲源及聽者之間，使聲音產生衰減量，因而聽者這一側的音源收受就會減少，就是隔音。

(三) 吸音

是指對於空間內所發出的音源產生吸收與漫射的行為，就是吸音。

二、研究過程或方法

研究一：探究「空甕砌牆」隔音原理及影響因素

我們在探討古代「空甕砌牆」的隔音技術時，閱讀到在明末方以智在《物理小識》中寫道：「隔聲：私鑄者匿於湖中，猶聞其鋸鏗之聲，乃以甕為牆，其口向內，則外過者不聞其聲，何也？聲為甕所收也。」從這個文獻資料裡我們知道，因為這樣建成的房間，牆體就成了多孔吸聲牆，因此就能達到隔聲效果，其中原理為當聲音進入空甕內後，經由多次反射因而產生衰減，如圖 4-3。再從相關的文獻資料中，我們也發現這和我們現代所運用的吸聲原理是相同的，這樣的文獻探究過程，讓我們由衷的佩服我們老祖先的智慧。最後我們也發現到，

古代所砌成的隔聲甕牆與我們在台灣一些地方所看到的甕牆是不同的，古代的隔聲甕牆的甕是採取平放，而現在的甕牆的甕是直立放，我們得知現在的甕牆主要是為了建築美觀，並不是為了隔音。

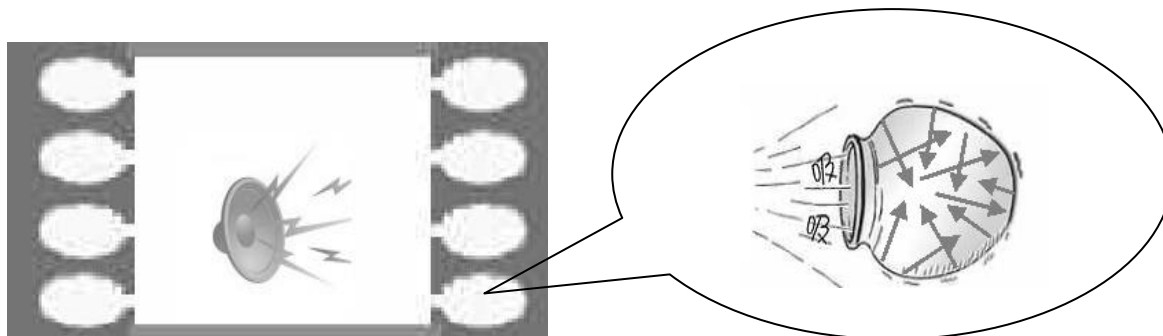


圖 4-3 古代隔聲房縱剖面示意圖

在相關的文獻中也知道，從戰國到漢代，我們的老祖先也用空心磚砌墓穴。這些磚中空，一頭留長方形孔，一頭有一至二個圓形孔，或橢圓形孔，其長短、寬、厚薄不一，且空心磚的形狀有方形、長方形、三角形、截角，或在磚的口頸與腔內塞進棉花、破布或紙屑一類物質，以及將空心磚擺放成不同的位置方式，都可以達到較佳的隔聲效果。經由以上的文獻資料探討，我們的研究即是要透過古代的隔音技術方法來探究以下相關的隔音方式之隔音效果。

研究二：探討空甕外部因素對隔音效果的影響

實驗一：空甕數量對隔音效果的影響

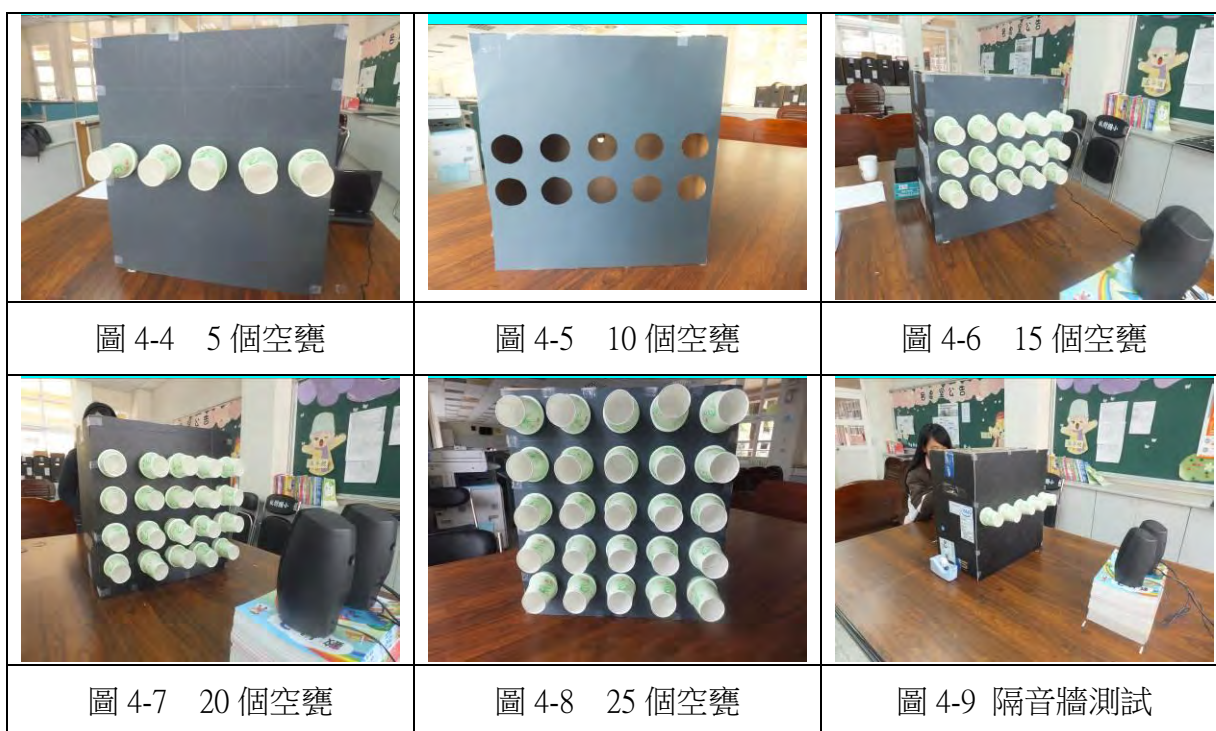
這個實驗我們想了解空甕數量對隔音效果的影響，空甕的數量選擇了 5、10、15、20、25 個來做比較。這個實驗中所得較佳隔音效果的結果，也將做為之後其它實驗在保持不變變因中空甕數量參考的依據。以下為實驗的變因控制及實驗步驟：

(一) 變因控制

要改變的變因	空甕數量
保持不變的變因	甕口大小、甕口形狀、空甕厚度、空甕容量、音源距離、聲源大小
應變的變因	紙箱內分貝計的讀數（響度）

(二) 實驗步驟：

1. 製作 5、10、15、20、25 個空甕的隔音牆五面。
2. 將每面隔音牆裝在紙箱上，如圖 4-4、4-5、4-6、4-7、4-8。
3. 將分貝器放在紙箱的另一面。（以下的實驗都同此裝置）
4. 將音源放置在紙箱前 1 公尺處，如圖 4-9。（以下的實驗都同此裝置）
5. 播放音源，以分貝計測其響度，每項各求 5 次並記錄。



實驗二：空甕的擺放位置對隔音效果的影響。

這個實驗我們想了解空甕的擺放位置對隔音效果的影響，我們設計的位置形狀有口字形、菱形、T 字形、十字形、x 字形，每個形狀的空甕數量都是 9 個，所包含的

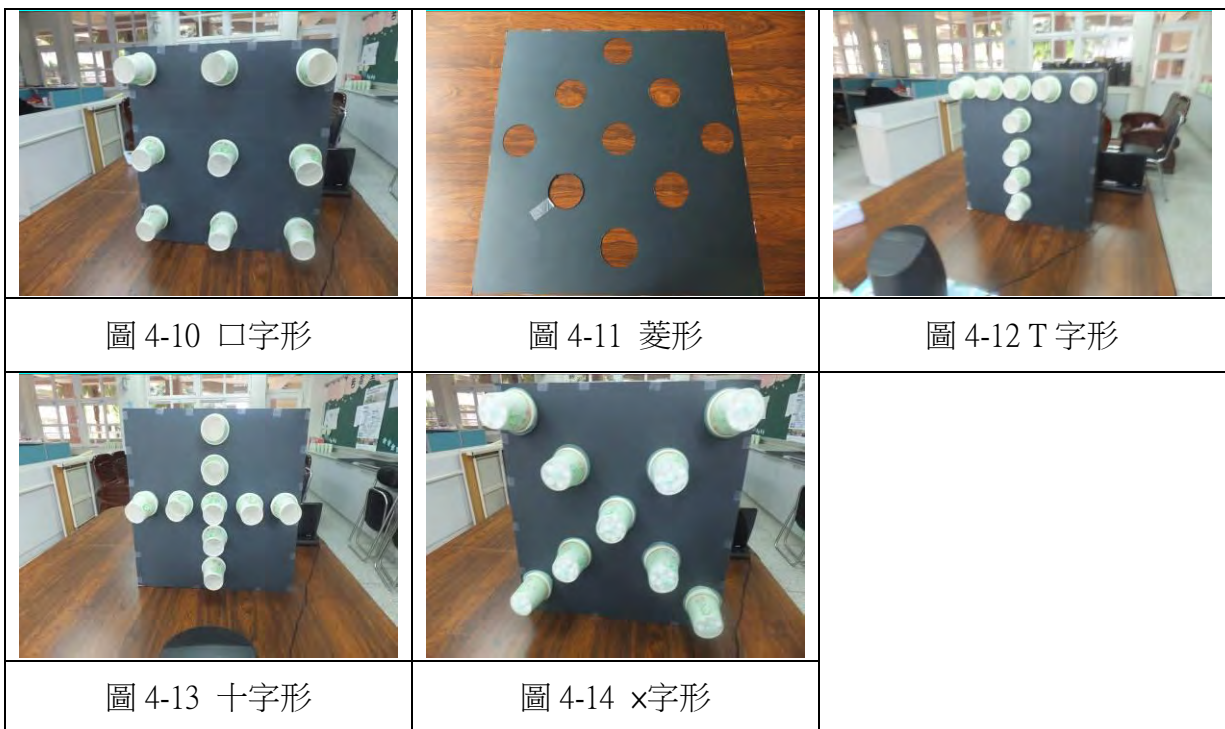
區域面積也設定相同（長和寬相等）。以下為實驗的變因控制及實驗步驟：

(一) 變因控制

要改變的變因	空甕擺放位置
保持不變的變因	空甕數量、甕口大小、甕口形狀、空甕厚度、空甕容量、音源距離、聲源大小
應變的變因	紙箱內分貝計的讀數（響度）

(二) 實驗步驟：

1. 製作 5 種不同擺放位置的空甕隔音牆。
2. 將每面隔音牆裝在紙箱上，如圖 4-10、4-11、4-12、4-13、4-14。
3. 播放音源，以分貝計測其響度，每項各求 5 次並記錄。



實驗三：空甕厚度對隔音效果的影響

這個實驗我們想了解空甕厚度對隔音效果的影響，厚度的改變有一個紙杯、二個紙杯、三個紙杯等三種厚度。以下為實驗的變因控制及實驗步驟：

(一) 變因控制

要改變的變因	空甕厚度
保持不變的變因	空甕數量、甕口大小、甕口形狀、空甕容量、擺放位置、音源距離、聲源大小
應變的變因	紙箱內分貝計的讀數（響度）

(二) 實驗步驟：

1. 製作三種不同厚度空甕，如圖 4-15、4-16、4-17。
2. 將不同厚度的空甕裝在隔音牆上。
3. 播放音源，以分貝計測其響度，每項各求 5 次並記錄。



實驗四：甕口大小對隔音效果的影響





這個實驗我們想了解空甕大小對隔音效果的影響，甕口的大小選擇了直徑 0mm、10mm、30mm、50mm 來做比較。以下為實驗的變因控制及實驗步驟：

(一) 變因控制

要改變的變因	甕口大小
保持不變的變因	空甕數量、甕口形狀、空甕厚度、空甕容量、擺放位置、音源距離、聲源大小
應變的變因	紙箱內分貝計的讀數（響度）

(二) 實驗步驟：

1. 製作四種不同口徑的空甕。
2. 將不同口徑的空甕裝在隔音牆上，如圖 4-18、4-19、4-20、4-21。
3. 播放音源，以分貝計測其響度，每項各求 5 次並記錄。

		
<p>圖 4-18 0mm</p>	<p>圖 4-19 10mm</p>	<p>圖 4-20 30mm</p>
		
<p>圖 4-21 50mm</p>		

實驗五：甕口形狀對隔音效果的影響

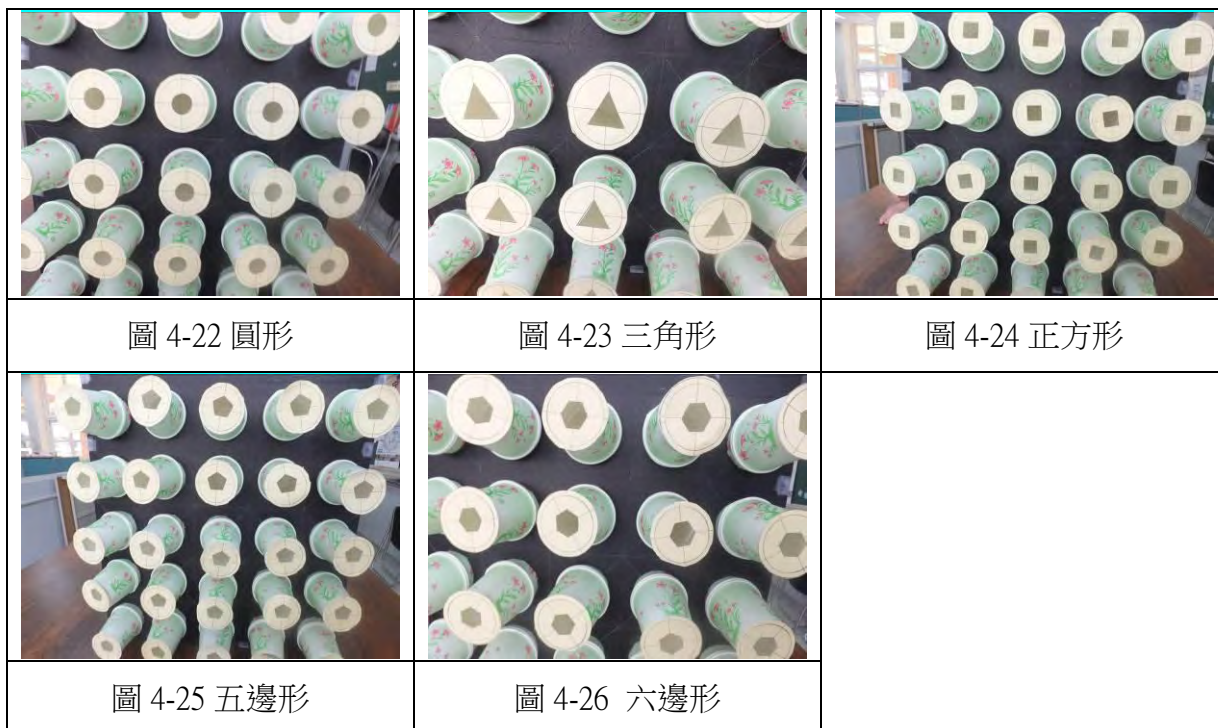
這個實驗我們想了解空甕的甕口形狀對隔音效果的影響，甕口的形狀選擇了圓形、三角形、正方形、五邊形、六邊形做比較，以正方形邊長 2 公分所得的面積（4 平方公分）為基準，其它形狀的面積也以數學方法求出接近於 4 平方公分。以下為實驗的變因控制及實驗步驟：

(一) 變因控制

<p>要改變的變因</p>	<p>甕口形狀</p>
<p>保持不變的變因</p>	<p>空甕數量、甕口面積、空甕厚度、空甕容量、擺放位置 音源距離、聲源大小</p>
<p>應變的變因</p>	<p>紙箱內分貝計的讀數（響度）</p>

(二) 實驗步驟：

1. 製作五種不同甕口形狀的空甕。
2. 將不同甕口形狀的空甕裝在隔音牆上，如圖 4-22、4-23、4-24、4-25、4-26。
3. 播放音源，以分貝計測其響度，每項各求 5 次並記錄。



研究三：探討空甕內部因素對隔音效果的影響

實驗六：空甕內填塞物的空隙率對隔音效果之影響

這個實驗我們想了解空甕內填塞物的空隙率對隔音效果之影響，使用了 15mm、20mm、30mm 三種直徑的保麗龍球放入紙杯內，讓球之間產生不同大小的空隙。

以下為實驗的變因控制及實驗步驟：

(一) 變因控制

要改變的變因	空甕內填塞物空隙率
保持不變的變因	空甕數量、甕口大小、甕口形狀、空甕厚度、空甕容量、擺放位置、音源距離、聲源大小
應變的變因	紙箱內分貝計的讀數（響度）

(二) 實驗步驟：

1. 將三種不同大小的保麗龍球放入甕內，並用網子套住以防球掉出。
2. 將內有保麗龍球的甕裝在隔音牆上，如圖 4-27、4-28、4-29。
3. 播放音源，以分貝計測其響度，每項各求 5 次並記錄。



實驗七：空甕間的連通對隔音效果的影響

這個實驗我們想了解空甕間的連通對隔音效果之影響，在距離洞口 6cm 的地方穿一個 10mm 洞，再利用吸管與周圍的紙杯相連，讓杯內的空氣可以互通。以下為實驗的變因控制及實驗步驟：

(一) 變因控制

要改變的變因	空甕間的連通
保持不變的變因	空甕數量、甕口大小、甕口形狀、空甕厚度、空甕容量、擺放位置、音源距離、聲源大小
應變的變因	紙箱內分貝計的讀數（響度）

(二) 實驗步驟：

1. 將每個空甕打出一個 10mm 的洞。
2. 使用吸管將空甕之間連接並裝在隔音牆上，如圖 4-30。
3. 播放音源，以分貝計測其響度，每項各求 5 次並記錄。



圖 4-30 空甕之間的連接

伍、研究結果與討論

根據研究目的及上述的實驗過程與方法，我們得到的研究結果如下：

一、空甕數量對隔音效果的影響

我們藉由改變空甕數量來探討數量對隔音效果的影響，實驗數據如表 5-1 及圖 5-1。由表和圖中可知，空甕數量對隔音效果的優劣順序為：25 個 > 20 個 > 15 個 > 10 個 > 5 個。

根據以上的研究結果，我們在互相討論後，覺得可能原因是空甕數量愈多，所吸收到的聲音會愈多，所以聲音在空甕內會得到較多的衰減，因此能得到較佳的隔音效果。

表 5-1 空甕數量對隔音效果的影響

分 貝 數 量	次 數	一	二	三	四	五	平均
5 個		78.6	78.5	78.5	78.6	78.7	78.58
10 個		78.1	78.1	78.2	78.2	78.1	78.14
15 個		77.6	77.7	77.6	77.8	77.7	77.68
20 個		76.3	76.5	76.4	76.3	76.4	76.38
25 個		76	75.9	75.9	75.8	75.8	75.88

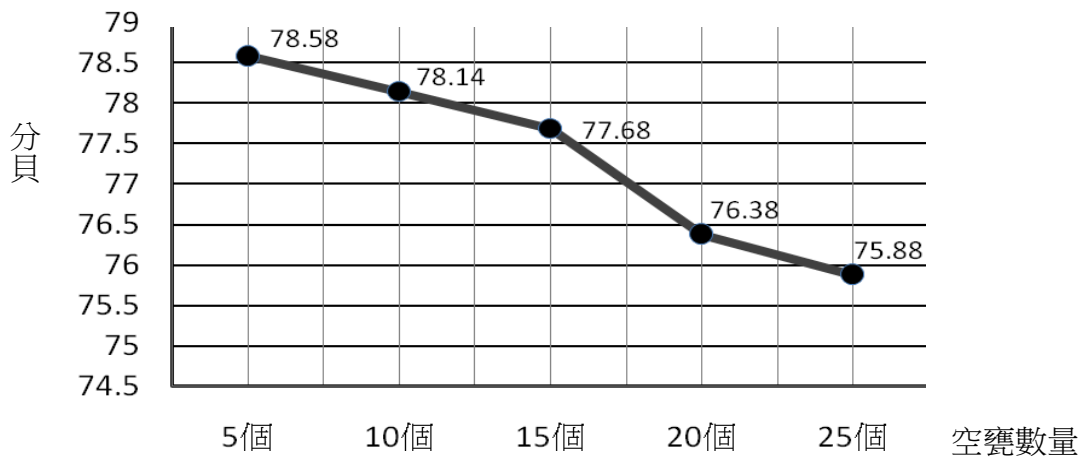


圖 5-1 空甕數量對隔音效果的影響

二、空甕擺放位置對隔音效果的影響。

我們藉由改變空甕擺放位置來探討擺放的位置對隔音效果的影響，位置的形狀有口字形、菱形、T字形、十字形、x字形，實驗數據如表 5-2 及圖 5-2 所示。由表和圖中可知，空甕擺放位置對隔音效果的優劣順序為：x字形 > 菱形 > 口字形 > T字形 > 十字形。

根據實驗所得到的結果，x字形有較佳的隔音效果，我們覺得可能原因是聲音在空氣中的傳遞方式為疏密相間的連續波形，因此x字形的擺放位置可以吸收更多的聲音進入空甕內，以讓聲音能在空甕內達到較多的衰減。有關於這方面的推論，我們也認為可以做為以後更深入的探究。

表 5-2 空甕擺放位置對隔音效果的影響

分貝 位置	次數	一	二	三	四	五	平均
□		78.1	77.9	78	78	78.1	78.02
◇		77.8	77.7	77.6	77.8	77.7	77.72
└		78.4	78.4	78.4	78.5	78.5	78.44
+		78.8	78.7	78.8	78.9	78.8	78.8
×		77	77.1	77	77.1	76.9	77.02

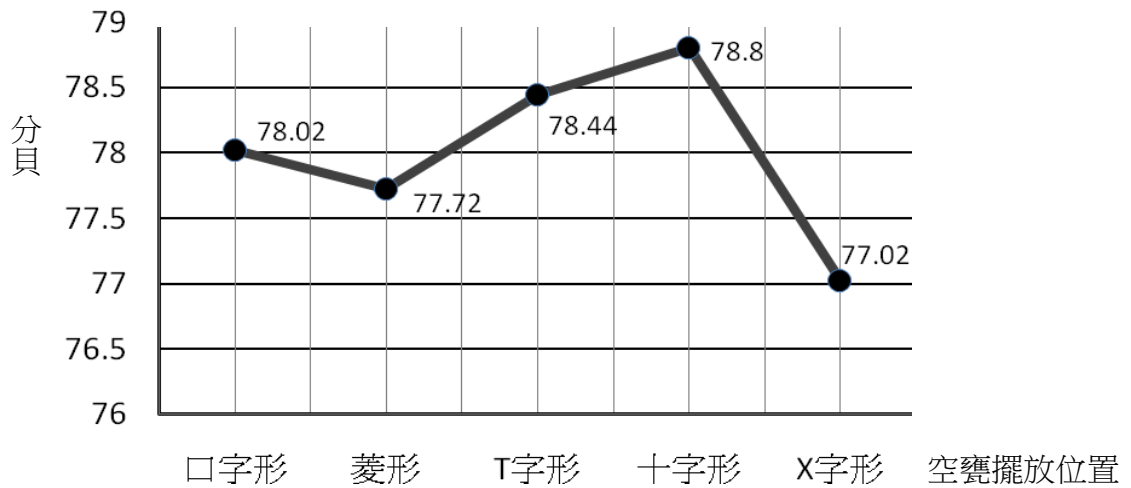


圖 5-2 空甕擺放位置對隔音效果的影響

三、空甕厚度對隔音效果的影響

我們藉由改變空甕厚度來探討厚度對隔音效果的影響，實驗數據如表 5-3 及圖 5-3 所示。由表和圖中可知，空甕厚度對隔音效果的優劣順序為：3 個紙杯 > 2 個紙杯 > 1 個紙杯。

這實驗結果顯示了厚度確實會影響隔音的效果，因為聲音比較不容易透射出去。但我們也想到，如果為了隔音效果而增加厚度，相對的也會增加障礙物的重量或體積，而這也必須是建置隔音設施時要考量的地方。

表 5-3 空甕厚度對隔音效果的影響

分貝 厚度 \ 次數	一	二	三	四	五	平均
1 個紙杯	76	75.9	75.9	75.8	75.8	75.88
2 個紙杯	75.1	75	75.1	75.1	75.2	75.1
3 個紙杯	74.5	74.6	74.5	74.5	74.3	74.48

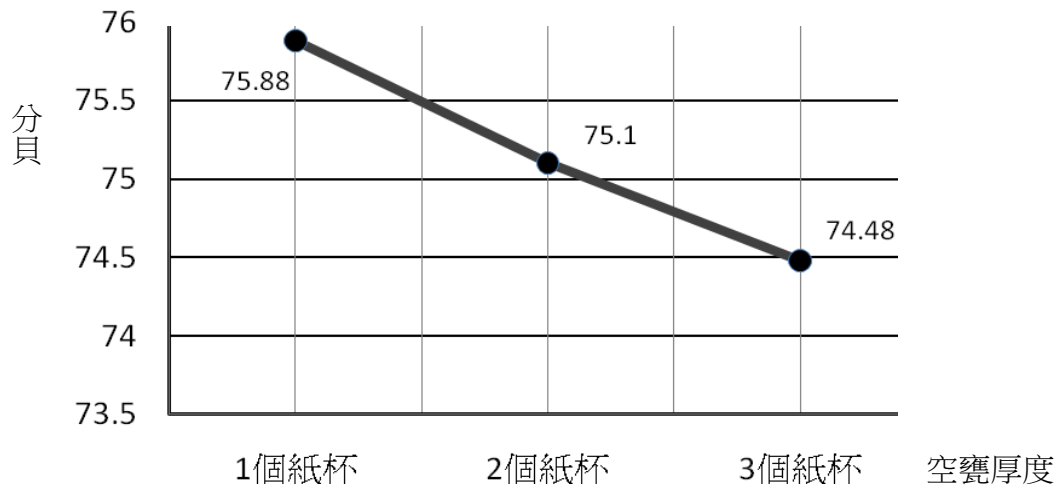


圖 5-3 空甕厚度對隔音效果的影響

四、甕口大小對隔音效果的影響

我們藉由改變甕口大小來探討甕口大小對隔音效果的影響，實驗數據如表 5-4 及圖 5-4 所示。由表和圖中可知，甕口大小對隔音效果的優劣順序為：50mm > 30mm > 10mm > 0mm。

在和同學及老師討論後，我們覺得可能是聲音經由空氣傳遞到空甕內，洞口愈大則會有更多的聲音進到空甕內，因此聲音被收住了，在甕內會產生更多的反射，因而比較不容易傳出去，所以會有較佳的隔音效果。

表 5-4 甕口大小對隔音效果的影響

分貝 大小	次數						平均
		一	二	三	四	五	
0mm		78.3	78.2	78.2	78.4	78.3	78.28
10mm		78	78	77.9	78	77.8	77.94
30mm		77.8	77.6	77.8	77.8	77.9	77.78
50mm		76	75.9	75.9	75.8	75.8	75.88

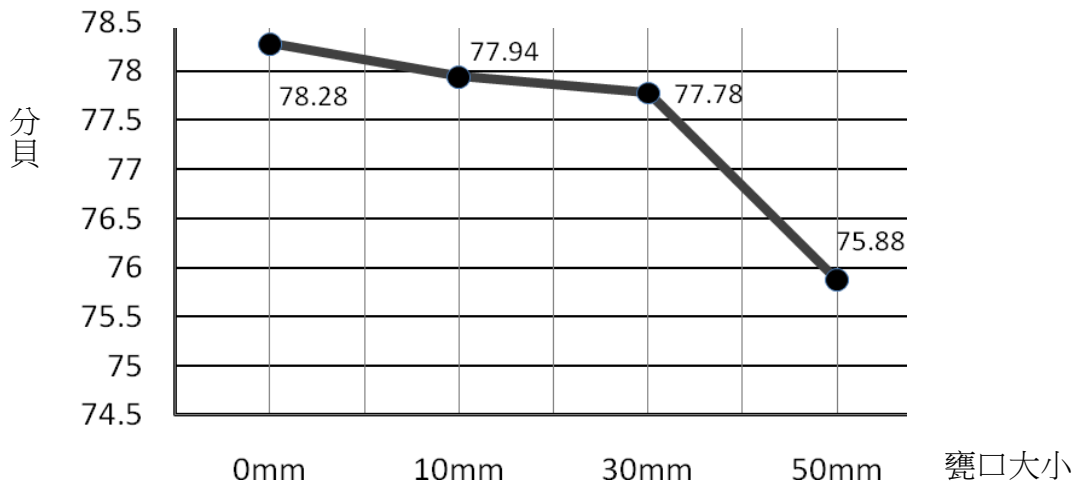


圖 5-4 孔口大小對隔音效果的影響

五、孔口形狀對隔音效果的影響

我們藉由改變孔口形狀來探討孔口形狀對隔音效果的影響，形狀選擇了圓形、三角形、正方形、五邊形、六邊形，實驗數據如表 5-5 及圖 5-5 所示。由表和圖中可知，孔口形狀對隔音效果的優劣順序為：正方形 > 三角形 > 圓形 > 五邊形 > 六邊形。

根據實驗結果，我們覺得有可能是因為正方形的面積為 4 平方公分，而其它形狀的面積則為接近 4 平方公分，所以正方形會得到較佳一些的隔音效果。

表 5-5 孔口形狀對隔音效果的影響

分貝 大小	次數	一	二	三	四	五	平均
○		77.6	77.7	77.6	77.8	77.5	77.64
△		77.2	77.2	77.1	77.3	77.2	77.2
□		76.6	76.4	76.5	76.3	76.4	76.44
⬠		78.1	78	77.9	78.1	78	78.02
⬡		78.2	78.3	78.2	78.2	78.2	78.22

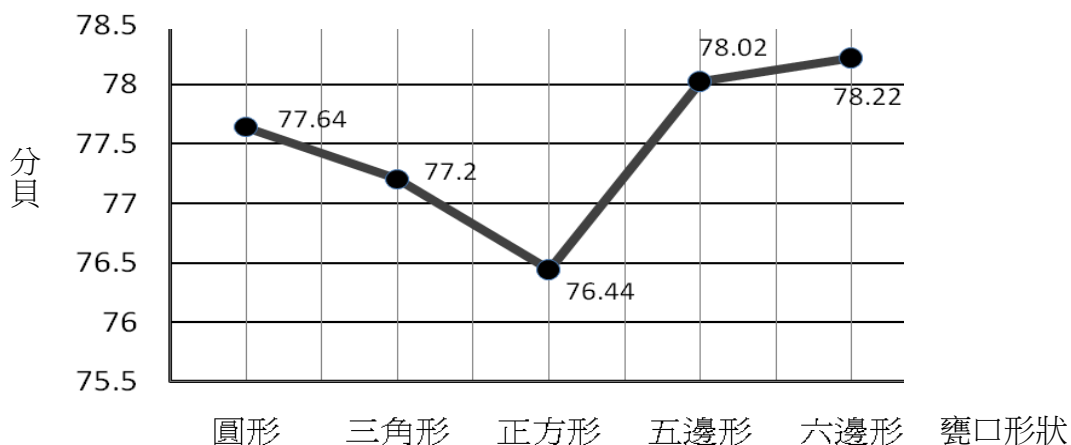


圖 5-5 甕口形狀對隔音效果的影響

六、空甕內填塞物空隙率對隔音效果的影響

我們藉由改變空甕內填塞物的空隙率來探討填塞物的空隙率對隔音效果的影響，實驗中使用了 15mm、20mm、30mm 三種直徑的保麗龍球，實驗數據如表 5-6 及圖 5-6 所示。由表和圖中可知，空甕內填塞物的空隙率對隔音效果的優劣順序為：15mm > 30mm > 20mm。

根據以上的實驗結果，我們認為可能原因有三：1.甕內空隙率愈小的話，表示聲音進入甕內後，因在甕內的路徑變多，因此有可以讓聲音在甕內產生更多的反射因而衰減；2.因球體本身也可隔音，所以空甕內有較多球的話，也可隔掉較多的聲音；3.每一個保麗龍球本身內部也有許多空隙，所以聲音會再進入球裡面，因而再次衰減。基於以上的推論，所以在甕內填入 15mm 的小球會有較佳的隔音效果，而從文獻資料中也得知這是現在許多吸音裝置所運用的防噪音原理。

表 5-6 空甕內填塞物空隙率對隔音效果的影響

分貝 直徑	次數	一	二	三	四	五	平均
15mm		75.4	75.5	75.4	75.3	75.6	75.44
20mm		76	75.9	75.9	75.8	75.9	75.9
30mm		75.8	75.7	75.9	75.7	75.9	75.8

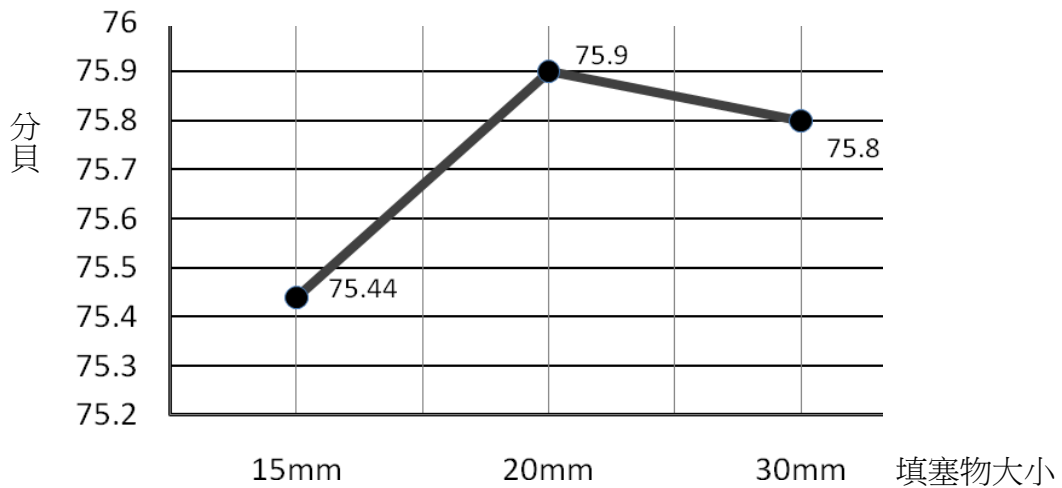


圖 5-6 空甕內填塞物空隙率對隔音效果的影響

七、空甕間的連通對隔音效果的影響

我們藉由改變空甕間的連通情形來探討空甕間的連通對隔音效果的影響，連通的數量有沒有連通及 1 個連通，實驗數據如表 5-7 及圖 5-7 所示。由表和圖中可知，空甕間的連通對隔音效果的優劣順序為 1 個連通 > 0 個連通。

我們在討論後，覺得可能原因為聲音進入空甕後，因空甕之間的互相連通讓路徑變多，因此可以讓聲音在空甕之間流通，因而產生更多的反射衰減，所以能產生較佳的隔音效果，這和目前市面上的一些吸音裝置所應用的原理是相同的。

表 5-7 空甕間的連通對隔音效果的影響

分貝 數量	次數					平均
	一	二	三	四	五	
0 個	77.9	77.9	77.8	77.8	77.7	64.85
1 個	77.6	77.4	77.4	77.6	77.6	64.77

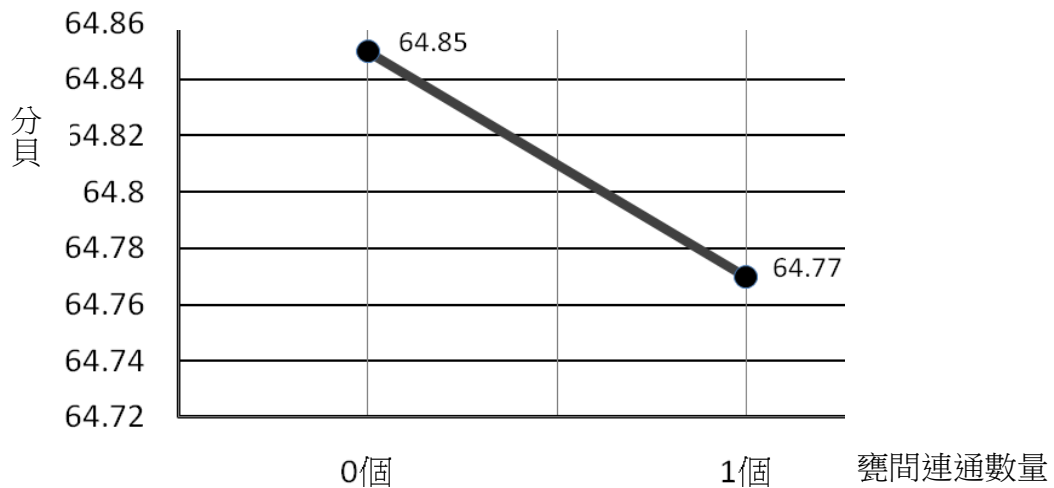


圖 5-7 空甕間的連通對隔音效果的影響

陸、結論與建議

- 一、在空甕數量對隔音效果的影響實驗中得知，空甕數量愈多時，隔音效果會愈好。
- 二、在空甕擺放位置對隔音效果的影響實驗中得知，以x字形的隔音效果較好，而以十字形的隔音效果較不佳。
- 三、在空甕厚度對隔音效果的影響實驗中得知，空甕厚度愈厚時，隔音效果會較佳。
- 四、在甕口大小對隔音效果的影響實驗中得知，甕口口徑愈大時，隔音效果會較好。
- 五、在甕口形狀對隔音效果的影響實驗中得知，以正方形的隔音效果較好，而以六邊形的隔音效果較不佳。
- 六、在空甕內填塞物的空隙率對隔音效果的影響實驗中得知，空隙率愈小隔音效果會較好。
- 七、在空甕間的連通對隔音效果的影響實驗中得知，空甕間有互相連通時，隔音效果會較佳。
- 八、經由以上的研究，我們建議，可以將日常生活中許多類似空甕的物品，也可環保回收拿來替代價錢比較貴的空甕，除了做為隔音牆使用之外，也可設計成裝置藝術做為美化環境使用。

柒、參考資料

- 一、自然與生活科技（六上）。台北市。翰林出版社。
- 二、林詩敏等（2004）。吸音大法。中華民國第四十四屆中小學科學展覽會。
- 三、洪其正等（2003）。這裡真安靜-隔音材質的探討。臺灣二〇〇三年國際科學展覽會。
- 四、噪音防制，大家一起來。臺北市。行政院環境保育署。

【評語】 080112

本作品探究古代「空甕砌牆」隔音的各項變因與影響。探究的變因有甕物數量、厚薄口徑，排列與填充等變因。實驗過程分工合作展現團隊精神，雖然紙杯的尺寸與甕相比與聲波波長相去較遠，也是個初步的探究，可朝音調(波長)的關聯再更加強。