

中華民國第四十八屆中小學科學展覽會
作品說明書

高中組 物理科

第一名

040105

旋音管裡的精靈

學校名稱：國立花蓮高級中學

| | |
|--|-----------------------------|
| 作者： 高二 徐彭伯堯 高二 古長霖 高二 蔡立民 高一 傅學聖 | 指導老師： 范培華 莊文治 |
|--|-----------------------------|

關鍵詞： 方波、駐波、轉動

摘要

藉由轉動有皺摺的管子產生的聲響所收到的波，經由快速傅立葉轉換(Fast Fourier Transform)分析，發現產生駐波(此駐波是以方波的方式存在而非正弦波)，並觀察經傅立葉轉換後的共鳴頻率分布，探討螺紋的有無、管子長度、開口大小以及角速度等變因的相互關係。

壹、研究動機

一日在街上看到一個賣玩具的小販，使用了一種有彈性、波浪狀的塑膠管，兩端開口，有點像吸塵器的管子，轉動後可以發出鳴聲，我們對其發聲的原理十分好奇，並在物理馬戲團一書中得知稱此物為 twirl-a-tone (此後我們稱之旋音管)。旋音管的音高會隨著角速度增加，但聲音的改變並非平滑的，而是跳躍式的。我們將水管固定在拉坏機上使其旋轉，並探討以管長(L)、角速度(ω)、螺紋密度和管徑等眾多變因所發出來的聲音的性質，藉由頻譜分析來了解管內所形成的駐波和其眾多變因之間的關係。

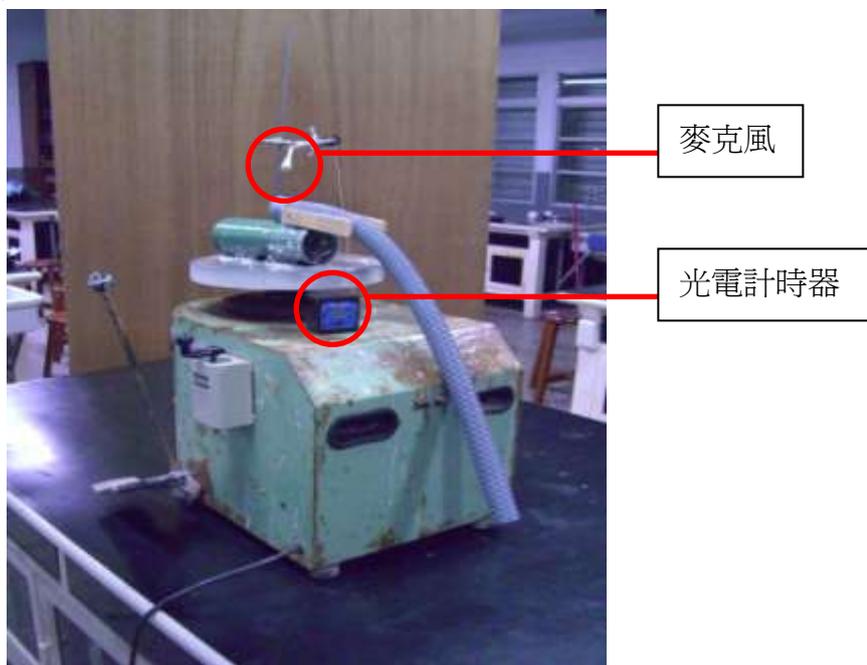
貳、研究目的

- 一、瞭解旋音管的發音原理。
- 二、整理出旋音管眾多變因之間的關係式。
- 三、如何使旋音管如樂器般的演奏。

參、研究設備與器材

一、研究設備

- 1.硬體：固定旋音管之底座、光電計時器(BeeSpi)、麥克風、電腦、相機、攝影機、鐵架、線香、試管夾、水槽軟管、眾多性質不同之管子、拉坏機、棉線、印泥、木條。



2.各管性質：

| 管 子種類 | 管內徑 (cm) | 螺紋間距 (cm) | 管長 (cm) | 數量 (個) |
|----------|-------------|--------------|------------|-----------|
| 水槽軟管 | 2.99 | 0.430 | 50~110 | 7 |
| A 管 | 3.81 | 0.420 | 80 | 1 |
| B 管 | 2.1 | 0.43 | 80 | 1 |
| C 管 | 2.69 | 0.5 | 80 | 1 |
| D 管 | 1.48 | 0.328 | 80 | 1 |
| F 管 | 3.57 | 0.638 | 80 | 1 |
| G 管 | 2.80 | 0.42 | 80 | 1 |
| H 管 | 1.80 | 0.31 | 80 | 1 |
| I 管 | 1.46 | 0.32 | 80 | 1 |
| J 管 | 1.1 | 0.264 | 80 | 1 |

(表一)



(A 管)



(B 管)



(C 管)



(D 管)



(水槽軟管)



(E 管)



(F 管)



(G 管)



(H 管)

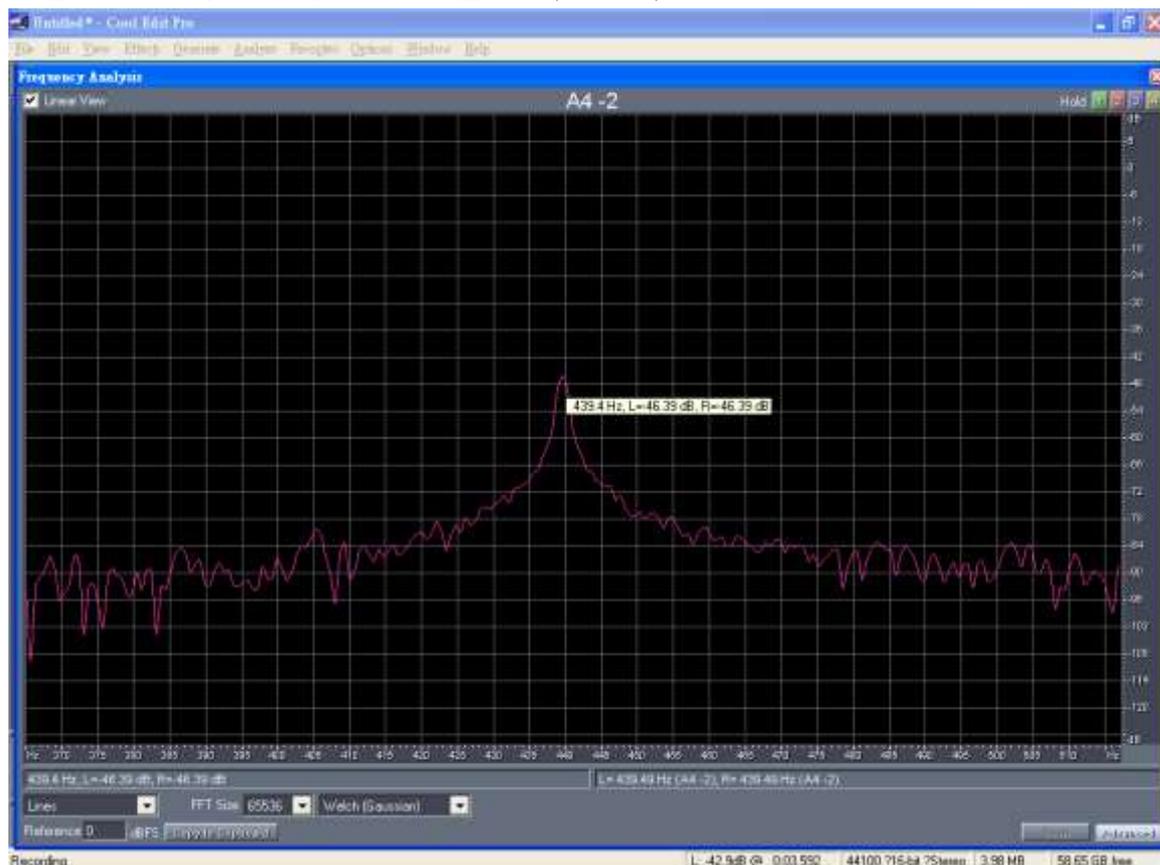


(I 管)



(J 管)

- 3.軟體：GoldWave(收音軟體)、Cooledit(收音、頻譜分析軟體)
- 4.軟體準確度測試：選擇頻率 440Hz 的音叉收音，使用 Frequency Analysis 功能顯示軟體讀出的頻率，經比照認定誤差小。(如圖一)



(圖一)

二、器材組裝

1. 將旋音管固定在固定器上並把固定器黏於拉坏機轉盤，光電計時器固定在轉盤旁，用以測出週期並換算成角速度。在旋音管內開口上方架設麥克風並接連電腦，以 GoldWave 收音，並以 Cooledit 分析收音數據。



(圖二)



(圖三)

肆、實驗過程與方法

一、實驗一

水槽軟管手握端對準轉盤中心，將點上薰煙之線香固定於軟管手握端開口處，啟動拉坏機使軟管轉動，觀察煙的流動方向。

二、實驗二

取無螺紋的 E 管，使之旋轉，判別是否有發聲。

三、實驗三

記錄當時室溫，將水槽軟管之手握端對準轉盤中心，使長度 110cm 的水槽軟管以不同角速度轉動，以 **GoldWave** 收音後 **Cooledit** 軟體分析收音數據。再以長度 100cm、90cm、80cm、70cm、60cm 的水槽軟管，重複上述實驗。

四、實驗四

記錄當時室溫，分別將長度為 80cm 之 A 管、B 管、C 管、D 管、F 管、G 管、H 管、I 管、J 管、水槽軟管之手握端對準轉盤中心，使管子以不同角速度轉動，以 **GoldWave** 收音後利用 **Cooledit** 軟體分析收音數據。

五、實驗五

將棉線黏在水槽軟管手握端，使棉線穿過管內並超出外開口端若干公分，尾端綁上小重物(用以轉動時將棉線拉直)；在外開口端內側塗上一圈紅色印泥，並在棉線上標記與水槽軟管等長之處，以不同角速度轉動之，記錄棉線被印泥沾到之最遠處(轉動時管子所達之總長)。

六、實驗六

記錄當時室溫，將各種不同性質之旋音管與木架固定在轉盤上，手握端對準轉盤中心，使管旋轉時無法彎曲及伸長，以 **GoldWave** 收音後 **Cooledit** 軟體分析收音數據。

七、實驗七

記錄當時室溫，將 70cm 之水槽軟管拉長至 90cm，用以改變其螺紋間距，使其內開口端對準轉盤中心，以不同角速度轉動，收音。再以長度 75cm、80cm、85cm 的水槽軟管，重複上述實驗。

八、實驗八

記錄當時室溫，取 C 管 80cm 將其手握端對準轉盤中心，分別用不同寬度的墊板封住管內部分螺紋(使該部份成平滑狀)，將管子以不同角速度轉動，以 **GoldWave** 收音後利用 **Cooledit** 軟體分析收音數據。

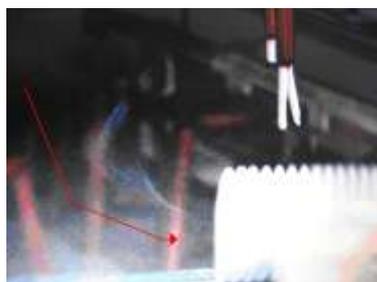
九、實驗九

記錄當時室溫，取 C 管 80cm 將其手握端對準轉盤中心，使管子從較快角速度旋轉，再慢慢減速，尋找聲音不明顯的角速度。

伍、研究結果

一、實驗一

1.旋音管轉動時，管口上方的煙會被吸入手握端。



(圖四)

二、實驗二

1. 旋轉無螺紋的 E 管，不會發出聲響。

三、實驗三

1. 不同長度的水槽軟管在不同角速度下發出的聲音，經分析收音數據後，發現其共鳴頻率如表格二：

| 管子 角 速度 w(rad/s) | 110cm 室溫 21°C | | 100cm 室溫 22.5°C | | 90cm 室溫 22°C | | 80cm 室溫 22°C | | 70cm 室溫 21°C | | 60cm 室溫 21°C | |
|---------------------------|------------------|-------|--------------------|-------|-----------------|-------|-----------------|-------|-----------------|--------|-----------------|-------|
| | 頻率 | 強度 | 頻率 | 強度 | 頻率 | 強度 | 頻率 | 強度 | 頻率 | 強度 | 頻率 | 強度 |
| | Hz | dB | Hz | dB | Hz | dB | Hz | dB | Hz | dB | Hz | dB |
| 24 | 未測 | | 未測 | | 1458 | -4.6 | 1300 | -5.1 | 1287 | -4.8 | 1240 | -8.4 |
| 23 | 未測 | | 1579 | -7.5 | 1455 | -4.4 | 1294 | -4.2 | 1283 | -5.0 | 1237 | -4.9 |
| 22 | 1536 | -5.0 | 1432 | -20.9 | 1302 | -5.6 | 1289 | -4.2 | 1081 | -5.9 | 1234 | -4.6 |
| 21 | 1417 | -4.9 | 1438 | -8.5 | 1302 | -4.5 | 1290 | -4.3 | 1078 | -4.8 | 1234 | -13.4 |
| | | | | | | | | | | | 1012 | -10.0 |
| 20 | 1419 | -4.4 | 1304 | -11.9 | 1306 | -9.6 | 1295 | -20.1 | 1077 | -4.3 | 1006 | -5.3 |
| 19 | 1306 | -4.4 | 1305 | -11.1 | 1153 | -5.9 | 1119 | -4.3 | 1075 | -4.2 | 1001 | -4.9 |
| 18 | 1304 | -45.5 | 1308 | -11.6 | 1152 | -4.9 | 1120 | -4.6 | 1073 | -4.6 | 1000 | -5.6 |
| 17 | 1184 | -14.0 | 1176 | -28.1 | 1004 | -16.1 | 1119 | -14.1 | 872 | -5.4 | 999 | -7.2 |
| 16 | 1184 | -11.6 | 1177 | -2.8 | 1002 | -11.1 | 942 | -10.4 | 870 | -4.8 | 不明顯 | |
| 15 | 1065 | -6.8 | 1031 | -20.8 | 1001 | -15.2 | 947 | -5.2 | 867 | -5.1 | 757 | -8.2 |
| 14 | 1069 | -4.6 | 1043 | -24.5 | 845 | -24.0 | 943 | -22.7 | 不明顯 | | 756 | -6.8 |
| 13 | 940 | -5.2 | 903.7 | -15.5 | 843 | -27.3 | 764 | -26.2 | 不明顯 | | 752 | -13.6 |
| 12 | 940 | -4.6 | 901 | -9.4 | 840 | -41.7 | 未測 | | 656 | -12.92 | 不明顯 | |
| 11 | 813 | -5.0 | 不明顯 | | 840 | -41.8 | 未測 | | 未測 | | 不明顯 | |
| 10 | 688 | -12.0 | 757 | -28.2 | 840 | -42.4 | 未測 | | 未測 | | 510 | -17.9 |

(表二)

※未測:表示此時無法使拉坏機轉至此速度。

※不明顯:表示此時人耳聽不見聲音，稍微加快角速度及降低角速度有聲音。有收音。

※未測:表此速度下人耳聽不見聲音，降低角速度依然聽不見聲音。無收音。

四、實驗四

1.分別將 A 管、B 管、C 管、D 管、F 管、G 管、H 管、I 管、J 管的手握端對準轉盤中心，使管子以不同角速度轉動，收音後再以 **Cooledit** 軟體分析收音數據，結果如下：

| 水管 | 水槽軟管 80cm 室溫 22°C | | A 管(80cm) 室溫 23°C | | B 管(80cm) 室溫 23°C | | C 管(80cm) 室溫 23°C | | D 管(80cm) 室溫 23°C | |
|----|----------------------|------------|----------------------|------------------|----------------------|------------|----------------------|------------|----------------------|------------|
| | 角速度 w(rad/s) | 頻率 (Hz) | 強度 (dB) | 頻率 (Hz) | 強度 (dB) | 頻率 (Hz) | 強度 (dB) | 頻率 (Hz) | 強度 (dB) | 頻率 (Hz) |
| | 24 | 1300 | -5.1 | 聲音強度太小 且峰值不明顯 | 1215 | -4.6 | 1212 | -4.9 | 1626 | -4.5 |
| | 23 | 1294 | -4.2 | | 1213 | -4.2 | 1208 | -5.9 | 1621 | -4.8 |
| | 22 | 1289 | -4.2 | | 1211 | -4.4 | 1015 | -5.6 | 1427 | -4.5 |
| | 21 | 1290 | -4.3 | | 1209 | -5.2 | 1012 | -6.0 | 1423 | -4.4 |
| | 20 | 1295 | -20.1 | | 1017 | -4.4 | 1011 | -5.3 | 1419 | -4.4 |
| | 19 | 1119 | -4.3 | | 1012 | -4.4 | 1003 | -17.7 | 1416 | -7.2 |
| | 18 | 1120 | -4.6 | | 1009 | -4.6 | 不明顯 | | 1220 | -4.6 |
| | 17 | 1119 | -14.1 | | 822 | -14.0 | 812 | -8.0 | 1217 | -4.8 |
| | 16 | 942 | -10.4 | | 816 | -6.0 | 810 | -7.0 | 1215 | -6.5 |
| | 15 | 947 | -5.2 | | 810 | -6.2 | 不明顯 | | 1016 | -21.9 |
| | 14 | 943 | -22.7 | | 807 | -10.1 | 不明顯 | | 1024 | -24.8 |
| | 13 | 764 | -26.2 | | 不明顯 | | 612 | -16.0 | 1010 | -13.2 |
| | 12 | 未測 | | | 614 | -23.9 | 606 | -13.3 | 不明顯 | |
| | 11 | 未測 | | | 607 | -16.4 | 未測 | | 811 | -20.4 |

(表三)

※**不明顯**:表示此時人耳聽不見聲音,稍微加快角速度及降低角速度有聲音。有收音。

※**未測**:表此速度下人耳聽不見聲音,降低角速度依然聽不見聲音。無收音。

| 管子 角 速度 w(rad/s) | F 管(80cm) 室溫 26°C | | G 管(80cm) 室溫 26°C | | H 管(80cm) 室溫 27°C | | I 管(80cm) 室溫 27°C | | J 管(80cm) 室溫 27°C | |
|---------------------------|----------------------|------------|----------------------|------------|----------------------|------------|----------------------|------------|----------------------|------------|
| | 頻率 (Hz) | 強度 (dB) |
| 24 | 1022 | -9.1 | 1398 | -5.2 | 1787 | -7.7 | 1592 | -10.2 | 1964 | -19.0 |
| | | | | | | | | | 1781 | -16.6 |
| 23 | 1016 | -9.7 | 1392 | -4.7 | 1782 | -5.5 | 1587 | -8.0 | 1778 | -13.8 |
| 22 | 1014 | -11.1 | 1388 | -4.4 | 1593 | -16.9 | 1582 | -13.6 | 1768 | -15.5 |
| | | | | | | | 1396 | -13.6 | 1584 | -23.0 |
| 21 | 1012 | -8.0 | 1386 | -8.7 | 1588 | -12.9 | 1392 | -8.1 | 1584 | -22.0 |
| 20 | 1010 | -18.0 | 1201 | -4.7 | 1584 | -13.1 | 1388 | -15.2 | 1579 | -21.7 |
| 19 | 818 | -6.9 | 1193 | -4.7 | 1583 | -26.4 | 1384 | -11.5 | 1570 | -16.9 |
| | | | | | 1393 | -12.8 | 1203 | -27.0 | | |
| 18 | 812 | -10.3 | 1189 | -4.9 | 1388 | -16.0 | 1195 | -15.5 | 1382 | -29.5 |
| 17 | 810 | -9.1 | 1003 | -5.4 | 1382 | -22.7 | 1189 | -21.3 | 1376 | -30.6 |
| 16 | 808 | -18.2 | 997 | -4.6 | 1199 | -29.9 | 1188 | -26.5 | 1371 | -30.1 |
| | | | | | | | 1002 | -27.0 | | |
| 15 | 616 | -12.5 | 992 | -4.4 | 1195 | -27.7 | 995 | -17.5 | 1185 | -33.4 |
| 14 | 612 | -9.8 | 810 | -8.4 | 1188 | -38.0 | 989 | -27.0 | 1178 | -40.2 |
| 13 | 608 | -10.3 | 799 | -5.1 | 不明顯 | | 不明顯 | | 未測 | |
| 12 | 不明顯 | | 795 | -5.6 | 989 | -35.1 | 797 | -29.1 | 未測 | |
| 11 | 不明顯 | | 617 | -26.6 | 未測 | | 789 | -33.7 | 未測 | |
| 10 | 不明顯 | | 600 | -5.4 | 未測 | | 未測 | | 未測 | |
| 9 | 408 | -23.1 | | | 未測 | | 未測 | | 未測 | |

(表四)

※ 不明顯:表示此時人耳聽不見聲音,稍微加快角速度及降低角速度有聲音。有收音。

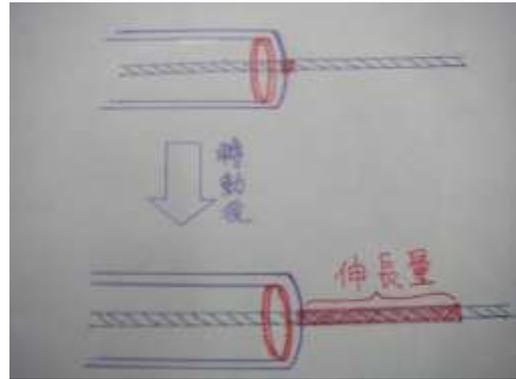
※ 未測:表此速度下人耳聽不見聲音,降低角速度依然聽不見聲音。無收音。

五、實驗五

1. 旋音管在轉動時會產生形變，為確認形變是否影響實驗結果，故設計此實驗測量轉動時的伸長量來修正數據。



(圖五)



(圖六)

2. 今取 80cm 水槽軟管測量其伸長量，其結果如下表五：

| | | | | | | |
|------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| 角速度(rad/s) | 24 | 23 | 22 | 21 | 20 | 19 |
| 伸長量(cm) | 3.1 | 3.0 | 2.9 | 2.8 | 2.7 | 2.7 |

(表五)

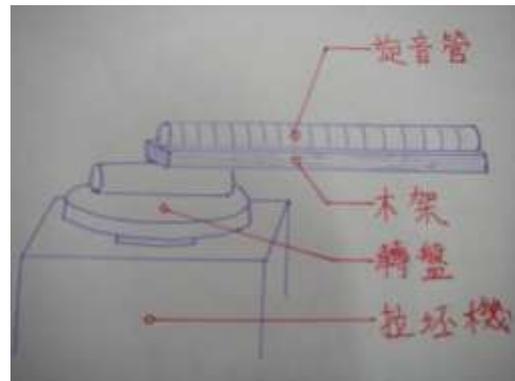
3. 由之前實驗測出 80cm 水槽軟管基頻實驗值為 177(Hz)，計算出理論值為 213(Hz)，其相對誤差值約為 16.9%，今由管子伸長量修正其管長(L)得到理論值為 205(Hz)，其相對誤差值約 13.7%，得知實驗值與理論值差值仍大。

六、實驗六

1. 由實驗五知管子的伸長對基頻影響不大，故設計此實驗以固定管子使之在轉動時不發生彎曲。



(圖七)



(圖八)

2.將各種管子固定在木架上，重複實驗三，其結果如下：

| 固定之管子 | 水槽軟管 110cm | | 水槽軟管 100cm | | 水槽軟管 90cm | | 水槽軟管 80cm | | 水槽軟管 70cm | | 水槽軟管 60cm | | 水槽軟管 50cm |
|-------|------------|---------|------------|---------|-----------|---------|-----------|---------|-----------|---------|-----------|---------|------------|
| | 頻率 (Hz) | 強度 (dB) | 頻率 (Hz) | 強度 (dB) | 頻率 (Hz) | 強度 (dB) | 頻率 (Hz) | 強度 (dB) | 頻率 (Hz) | 強度 (dB) | 頻率 (Hz) | 強度 (dB) | |
| 24 | 未測 | | 未測 | | 未測 | | 1585 | -4.7 | 1326 | -4.3 | 1292 | -15.3 | 音量低於測量解析能力 |
| 23 | | | 未測 | | 1582 | -4.8 | 1325 | -4.4 | 1284 | -30.9 | | | |
| 22 | | | 1586 | -4.7 | 1396 | -4.5 | 1387 | -4.9 | 1119 | -5.3 | 1042 | -6.56 | |
| 21 | | | 1427 | -5.5 | 1389 | -5.4 | 1382 | -4.9 | 1114 | -4.5 | 1038 | -4.9 | |
| 20 | | | 1427 | -5.8 | 1386 | -4.5 | 1380 | -4.6 | 1112 | -4.6 | 1036 | -6.9 | |
| 19 | 1444 | -4.7 | 1275 | -5.2 | 1221 | -5.9 | 1198 | -4.9 | 1107 | -4.2 | 不明顯 | | |
| 18 | 1308 | -4.7 | 1268 | -4.8 | 1213 | -4.8 | 1189 | -4.6 | 1103 | -7.1 | 不明顯 | | |
| 17 | 1301 | -4.4 | 1119 | -6.3 | 1209 | -4.8 | 1184 | -4.4 | 893.6 | -5.2 | 不明顯 | | |
| 16 | 1161 | -7.4 | 1112 | -4.2 | 1051 | -5.5 | 993.8 | -5.1 | 888.2 | -4.4 | 785.9 | -13.2 | |
| 15 | 1154 | -5.5 | 1108 | -6.4 | 1042 | -4.3 | 987.8 | -4.8 | 881.5 | -5.5 | 778.5 | -13.7 | |
| 14 | 1150 | -6.0 | 954 | -4.8 | 878 | -10.8 | 983.1 | -4.6 | 882.8 | -34.1 | 不明顯 | | |
| 13 | 1014 | -4.7 | 949 | -4.9 | 871 | -5.0 | 979.7 | -4.6 | 687.2 | -22.6 | 不明顯 | | |
| 12 | 1009 | -5.4 | 799 | -7.4 | 867 | -5.6 | 793.3 | -6.3 | 666.1 | -5.29 | 不明顯 | | |
| 11 | 868 | -4.5 | 791 | -7.1 | 703 | -26.2 | 787.9 | -5.6 | 660.8 | -23.8 | 522 | -24.9 | |
| 10 | 863 | -7.0 | 789 | -15.0 | 695 | -9.1 | 未測 | | 不明顯 | | 514 | -24.5 | |
| 9 | 722 | -5.4 | 638 | -15.5 | 未測 | | | | 不明顯 | | 未測 | | |
| 8 | 717 | -37.3 | 未測 | | | | | | 442.1 | -14.63 | | | |
| 7 | 575 | -12.2 | | | 未測 | | 未測 | | | | | | |

(表六)

※未測:表示此時無法使拉坏機轉至此速度。

※不明顯:表示此時人耳聽不見聲音,稍微加快角速度及降低角速度有聲音。有收音。

※未測:表此速度下人耳聽不見聲音,降低角速度依然聽不見聲音。無收音。

| 固定之管子 | A 管 80cm 室溫 25°C | | D 管 80cm 室溫 25°C | | G 管 80cm 室溫 25°C | | H 管 80cm 室溫 25°C | | I 管 80cm 室溫 25°C | | J 管 80cm 室溫 25°C | |
|-------|---------------------|------------|---------------------|------------|---------------------|------------|---------------------|------------|---------------------|------------|---------------------|------------|
| | 頻率 (Hz) | 強度 (dB) |
| 24 | 未測 | | 1619 | -4.5 | 1594 | -5.0 | 1780 | -5.2 | 1591 | -4.6 | 1772 | -8.0 |
| 23 | | | 1425 | -6.2 | 1405 | -5.0 | 1595 | -7.3 | 1588 | -4.9 | 1763 | -4.8 |
| 22 | | | 1418 | -4.3 | 1396 | -5.0 | 1587 | -5.7 | 1398 | -9.1 | 1575 | -9.2 |
| 21 | 1363 | -15.9 | 1417 | -4.4 | 1392 | -4.8 | 1582 | -4.7 | 1394 | -4.7 | 1569 | -5.2 |
| | 1189 | -22.1 | | | | | | | | | | |
| 20 | 1184 | -8.1 | 1414 | -5.3 | 1391 | -5.3 | 1394 | -8.6 | 1391 | -4.9 | 1566 | -4.6 |
| 19 | 1177 | -4.1 | 1219 | -5.0 | 1197 | -4.5 | 1388 | -4.4 | 1384 | -5.2 | 1559 | -8.6 |
| 18 | 1171 | -4.9 | 1214 | -4.7 | 1193 | -4.8 | 1381 | -5.0 | 1197 | -5.8 | 1372 | -6.7 |
| 17 | 1165 | -26.5 | 1210 | -4.7 | 1191 | -4.5 | 1197 | -7.7 | 1191 | -5.3 | 1365 | -6.2 |
| | 991 | -31.7 | | | | | | | | | | |
| 16 | 982 | -5.6 | 1207 | -11.2 | 1003 | -4.7 | 1190 | -4.7 | 1186 | -4.9 | 1361 | -15.6 |
| 15 | 975 | -5.8 | 1014 | -6.9 | 995 | -4.2 | 1183 | -7.2 | 999 | -7.8 | | |
| 14 | 973 | -24.6 | 1008 | -6.7 | 991 | -5.2 | 995 | -8.1 | 991 | -7.1 | 未測 | |
| 13 | 不明顯 | | 1003 | -18.1 | 805 | -10.9 | 989 | -8.3 | 986 | -9.5 | | |
| 12 | 779 | -10.8 | 811 | -16.9 | 796 | -2.6 | 不明顯 | | 803 | -23.5 | | |
| 11 | 不明顯 | | 804 | -20.5 | 793 | -31.6 | 793 | -23.8 | 791 | -16.3 | | |
| 10 | 594 | -31.3 | 未測 | | 605 | -21.5 | 未測 | | 未測 | | | |
| 9 | 未測 | | 未測 | | 595 | -6.7 | 未測 | | 未測 | | | |
| | | | | | | | | | | | | |

(表七)

※未測:表示此時無法使拉坏機轉至此速度。

※不明顯:表示此時人耳聽不見聲音,稍微加快角速度及降低角速度有聲音。有收音。

※未測:表此速度下人耳聽不見聲音,降低角速度依然聽不見聲音。無收音。

七、實驗七

1. 實驗七之實驗結果如下表：

| 固定之管子 | 水槽軟管 90cm 室溫 25°C | | 85cm 拉長到 90cm 室溫 25°C | | 80cm 拉長到 90cm 室溫 25°C | | 75cm 拉長到 90cm 室溫 25°C | | 70cm 拉長到 90cm 室溫 25°C | |
|--------------------------|-------------------------|------------|-----------------------------|------------|-----------------------------|------------|-----------------------------|------------|-----------------------------|------------|
| | 頻率 (Hz) | 強度 (dB) | 頻率 (Hz) | 強度 (dB) | 頻率 (Hz) | 強度 (dB) | 頻率 (Hz) | 強度 (dB) | 頻率 (Hz) | 強度 (dB) |
| 角速度 $w(\text{rad/s})$ | | | | | | | | | | |
| 23 | 1573 | -6.5 | 1419 | -4.3 | 1421 | -5.2 | 1260 | -5.8 | 1086 | -4.5 |
| 22 | 1403 | -4.5 | 1411 | -4.9 | 1244 | -4.7 | 1254 | -4.5 | 1080 | -4.2 |
| 21 | 1398 | -4.3 | 1409 | -6.2 | 1242 | -4.3 | 1250 | -4.7 | 1079 | -4.3 |
| 20 | 1396 | -5.7 | 1240 | -5.1 | 1239 | -4.6 | 1248 | -4.7 | 911 | -5.0 |
| 19 | 1224 | -4.3 | 1235 | -5.2 | 1074 | -7.1 | 1078 | -5.2 | 906 | -4.5 |
| 18 | 1220 | -4.4 | 1231 | -7.2 | 1069 | -5.0 | 1073 | -4.4 | 901 | -4.9 |
| 17 | 1218 | -10.3 | 1061 | -4.6 | 1065 | -4.3 | 1069 | -5.0 | 898 | -7.1 |
| 16 | 1057 | -4.6 | 1058 | -7.8 | 1062 | -6.1 | 906 | -6.2 | 733 | -10.4 |
| 15 | 1051 | -5.6 | 1055 | -7.7 | 888 | -5.1 | 898 | -4.4 | 725 | -6.7 |
| 14 | 884 | -9.0 | 882 | -8.1 | 884 | -5.3 | 894 | -4.7 | 721 | -8.5 |
| 13 | 877 | -6.1 | 879 | -8.3 | 881 | -12.5 | 725 | -6.4 | 不明顯 | |
| | | | | 719 | -14.4 | | | | | |
| 12 | 871 | -12.3 | 877 | -21.0 | 714 | -7.5 | 717 | -4.6 | 546 | -14.1 |
| 11 | 708 | -16.8 | 不明顯 | | 708 | -10.1 | 711. | -8.8 | 541 | -12.6 |
| 10 | 700 | -12.4 | 699 | -22.3 | 不明顯 | | 547 | -31.4 | 未測 | |
| 9 | 不明顯 | | 未測 | | 532 | -14.9 | 537 | -9.7 | 未測 | |
| 8 | 529 | -23.1 | 未測 | | 未測 | | 535 | -22.5 | 未測 | |

(表八)

※ 不明顯: 表示此時人耳聽不見聲音, 稍微加快角速度及降低角速度有聲音。有收音。

※ 未測: 表此速度下人耳聽不見聲音, 降低角速度依然聽不見聲音。無收音。

八、實驗八

1.由實驗二發現旋音管必須要有螺紋才可發出聲音，今設計此實驗來了解封住部分螺紋對旋音管發聲的影響。

2.以不同長度的墊板封住靠近手握端的管內螺紋，收音結果如下表：

| C管 80cm 角速度 w(rad/s) | 未封螺紋 室溫 23°C | | Front 10cm 室溫 24°C | | Front 9 cm 室溫 24°C | | Front 8 cm 室溫 24°C | | Front 7 cm 室溫 24°C | | Front 6 cm 室溫 24°C | |
|----------------------------|-----------------|----------------|-----------------------|----------------|-----------------------|----------------|-----------------------|----------------|-----------------------|----------------|-----------------------|----------------|
| | 頻 率 (Hz) | 強 度 (dB) | 頻 率 (Hz) | 強 度 (dB) | 頻 率 (Hz) | 強 度 (dB) | 頻 率 (Hz) | 強 度 (dB) | 頻 率 (Hz) | 強 度 (dB) | 頻 率 (Hz) | 強 度 (dB) |
| 24 | 1212 | -4.9 | 1230 | -22.98 | 有 | | | | | | 1213 | -24.2 |
| 23 | 1208 | -5.9 | | | | | | | | | 1209 | -22.2 |
| 22 | 1015 | -5.6 | | | | | | | | | 不明顯 | |
| 21 | 1012 | -6.0 | | | | | | | | | 不明顯 | |
| 20 | 1011 | -5.3 | | | | | | | | | 1015 | -10.3 |
| 19 | 1003 | -17.7 | | | | | | | | | 1008 | -11.4 |
| 18 | 不明顯 | | | | | | | | | | 1001 | -29.9 |
| 17 | 812 | -8.0 | | | | | | | | | 816 | -30.9 |
| 16 | 810 | -7.0 | | | | | | | 805 | -34.26 | 812 | -17.9 |
| 15.7 | | | | | 有 | | 809 | -25.2 | | | | |
| 15.3 | | | | | | | 810 | -15.0 | | | | |
| 15 | 不明顯 | | | | | | | | | | 804 | -14.1 |
| 14 | 不明顯 | | | | | | | | | | 不明顯 | |
| 13 | 612 | -16.0 | | | | | | | | | 不明顯 | |
| 12 | 606 | -13.3 | | | | | | | | | 609 | -31.1 |

(表九)

※表格中空白處為無聲音，故未記錄。

※有：表示此時有聲音，但經快速傅立葉轉換無法讀出共鳴頻率。

3.以不同長度的墊板封住靠近外開口端的管內螺紋，收音結果如下表：

| C管 80cm 角速度 w(rad/s) | 未封螺紋 室溫 23°C | | Back10cm 室溫 24°C | | Back9 cm 室溫 24°C | | Back8 cm 室溫 24°C | | Back7 cm 室溫 24°C | | Back6 cm 室溫 24°C | |
|----------------------------|-----------------|----------------|---------------------|----------------|---------------------|----------------|---------------------|----------------|---------------------|----------------|---------------------|----------------|
| | 頻 率 (Hz) | 強 度 (dB) | 頻 率 (Hz) | 強 度 (dB) | 頻 率 (Hz) | 強 度 (dB) | 頻 率 (Hz) | 強 度 (dB) | 頻 率 (Hz) | 強 度 (dB) | 頻 率 (Hz) | 強 度 (dB) |
| 24 | 1212 | -4.9 | 1234 | -11.9 | 1235 | 17.1 | | | | | 1212 | -6.57 |
| 23 | 1208 | -5.9 | 1227 | -27.1 | | 有 | | | | | 1205 | -12.8 |
| 22 | 1015 | -5.6 | | | | | | | | | 1016 | -6.9 |
| 21 | 1012 | -6.0 | | | | | | 有 | | | 1012 | -6.0 |
| 20 | 1011 | -5.3 | | | | | | | | | 1010 | -5.9 |
| 19 | 1003 | -17.7 | | | | | | | | | 1003 | -8.8 |
| 18 | 不明顯 | | | | | | | | | | 818 | -30.4 |
| 17 | 812 | -8.0 | | | | | | | | | 812 | -9.6 |
| 16 | 810 | -7.0 | | | | | | | | | 808 | -7.0 |
| 15.7 | | | | | | | | | 809 | -25.2 | | |
| 15 | 不明顯 | | | | | | | | | | 801 | -16.1 |
| 14 | 不明顯 | | | | | | | | | | 不明顯 | |
| 13 | 612 | -16.0 | | | | | | | | | 611 | -18.9 |
| 12 | 606 | -13.3 | | | | | | | | | 604 | -13.6 |

(表十)

※除了表格內顯示數據外，尚有收到(可聽見聲音但經快速傅立葉分析後找不出共鳴頻率)：

back9cm，w=11.8

back8cm，w=16.5

back8cm，w=13.1

※表格中空白處為無聲音，故未記錄。

※有：表示此時有聲音，但經快速傅立葉轉換無法讀出共鳴頻率。

九、實驗九

1. 在上列實驗中發現會有不明顯的情形發生。經微調角速度尋找不明顯出現位置，發現不明顯會出現在兩不同共鳴頻率階層之間，如表十所示：

| 管子 角速度 $w(\text{rad/s})$ | C 管(80cm) 室溫 23°C | |
|--------------------------------|----------------------|------------|
| | 頻率 (Hz) | 強度 (dB) |
| 24 | 1212 | -4.9 |
| 23 | 1208 | -5.9 |
| 22.43 | 不明顯 | |
| 22 | 1015 | -5.6 |
| 21 | 1012 | -6.0 |
| 20 | 1011 | -5.3 |
| 19 | 1003 | -17.7 |
| 18 | 不明顯 | |
| 17 | 812 | -8.0 |
| 16 | 810 | -7.0 |
| 15 | 不明顯 | |
| 14 | 不明顯 | |
| 13 | 612 | -16.0 |
| 12 | 606 | -13.3 |

(表十一)

陸、討論

- 一、由實驗一發現煙會被吸入管內，管內空氣由手握端流向外開口端。是因為轉動時外開口端的速率大於手握端的速率，以致於手握端壓力大於外開口端壓力，形成由手握端流向外開口端的氣流。
- 二、由實驗二發現無螺紋的管子無法發出聲音。推測旋音管管內流動的空氣與管內螺紋有發生作用，進而發出聲音。
- 三、由實驗三、四：

(一) 空氣流過管子，產生不同頻率的聲波，符合管子駐波的頻率，會產生共鳴。共鳴頻率會隨著角速度增加而以階梯式上升，非線性遞增(如圖九、圖十)。而躍遷的條件為當：

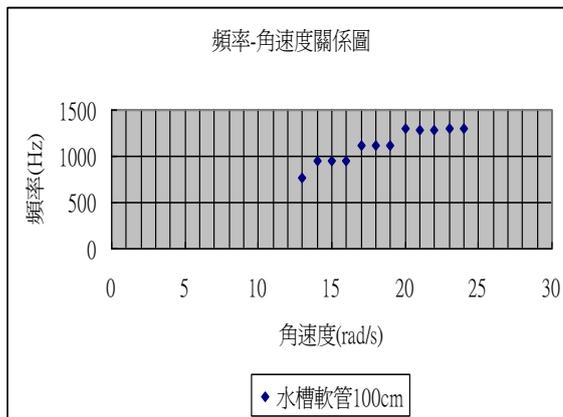
$$\omega_n \geq \left(\frac{f_n}{f_{n-1}} \right) \omega_{n-1} \quad \text{則會發生共鳴頻率躍遷現象，由此關係式，即可預測更高共鳴頻率時的角速度範圍。}$$

※其中：

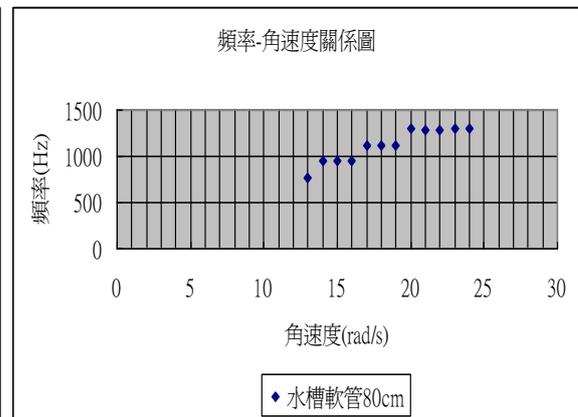
f_{n-1} 、 f_n ：第 n-1、n 階共鳴頻率。

ω_{n-1} 、 ω_n ：產生第 n-1、n 階共鳴頻率之最低角速度。

(二) 在某段角速度範圍內會產生相近的共鳴頻率，在此階層中，共鳴頻率有隨著角速度增加而小幅度上升的趨勢，推測係因為角速度的增加使管內空氣流速變大，使得空氣中的聲速上升，進而影響共鳴頻率。

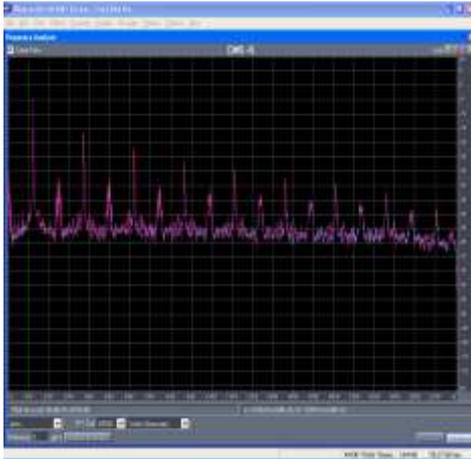


(圖九)



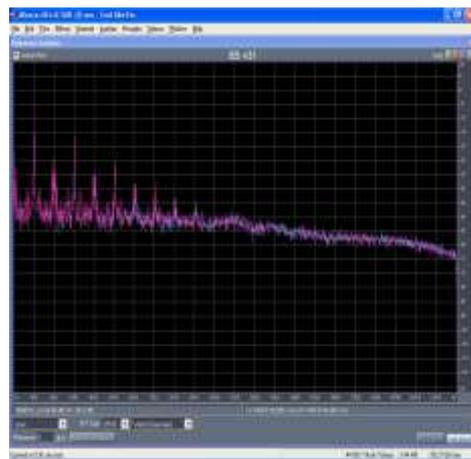
(圖十)

(三) 相同管長，角速度較大的管子，波形經快速傅立葉轉換下，具較多共鳴頻率，角速度較低的管子反之(如圖十一、圖十二)。



(圖十一)

60cm $w=24(\text{rad/s})$



(圖十二)

60cm $w=20(\text{rad/s})$

(四) 較長的管子相對較短的管子，可在較低角速度之下達到較高共鳴頻率。

| 管子 角 速度 $w(\text{rad/s})$ | 110cm 室溫 21°C | 100cm 室溫 22.5°C | 90cm 室溫 22°C |
|------------------------------------|------------------|--------------------|-----------------|
| | 頻率(Hz) | | |
| 24 | 未測 | 未測 | 1458 |
| 23 | 未測 | 1579 | 1455 |
| 22 | 1536 | 1432 | 1302 |
| 21 | 1417 | 1438 | 1302 |
| 20 | 1419 | 1304 | 1306 |
| 19 | 1306 | 1305 | 1153 |

(表十二)

(五) 水槽軟管的實驗值與理論值差值較 B、C、D 等管大，推論係因為水槽軟管轉動時會形變（伸長與彎曲），造成管長以及外開口端速度的改變，接而影響基頻。各管基頻實驗值與理論值如表十三、表十四，計算方法如表十五：

| 基頻 | 110cm | 100cm | 90cm | 80cm | 70cm | 60cm |
|---------|-------|-------|------|------|------|------|
| 實驗值(Hz) | 122 | 135 | 154 | 177 | 209 | 242 |
| 理論值(Hz) | 154 | 169 | 187 | 213 | 242 | 282 |
| 相對誤差(%) | 26.2 | 20.1 | 21.4 | 16.9 | 13.6 | 14.2 |

(表十三)

| 基頻 | B 管 80cm | C 管 80cm | D 管 80cm | F 管 80cm | G 管 80cm | H 管 80cm | I 管 80cm | J 管 80cm |
|---------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| 實驗值(Hz) | 201 | 200 | 203 | 202 | 196 | 199 | 199 | 186 |
| 理論值(Hz) | 212 | 213 | 214 | 214 | 215 | 215 | 216 | 216 |
| 相對誤差(%) | 5.2 | 6.1 | 5.1 | 5.6 | 8.8 | 7.4 | 7.9 | 13.9 |

(表十四)

相對誤差算法：相對誤差 = $\frac{|\text{理論值}-\text{實驗值}|}{\text{理論值}} \times 100\%$ 。

共鳴頻率理論值算法(兩端開口駐波公式)： $\frac{nv}{2L'}$ (L'=L+0.6r，r 為管半徑)。

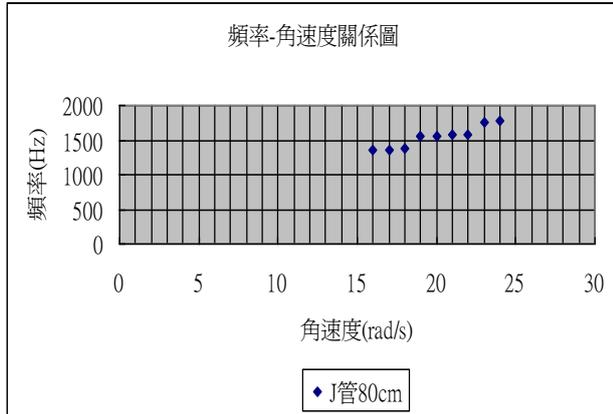
◎以水槽軟管 80cm 為例：

| 已知頻率(Hz) | 各階平均 | 由相鄰差值 所得基頻 | 各階所得 基頻平均 | 做法 |
|----------|--------|---------------|----------------|---|
| 1300 | 1293.6 | 174.3 | 176.5 ≐ 177 | 將相近頻率者平均 → 兩兩平均值相減 → 相減後再平均 → 得到的值為實驗值 |
| 1294 | | | | |
| 1289 | | | | |
| 1290 | | | | |
| 1295 | | | | |
| 1119 | 1119.3 | 175.3 | | |
| 1120 | | | | |
| 1119 | | | | |
| 942 | 944 | 180 | | |
| 947 | | | | |
| 943 | | | | |
| 764 | 764 | | | |

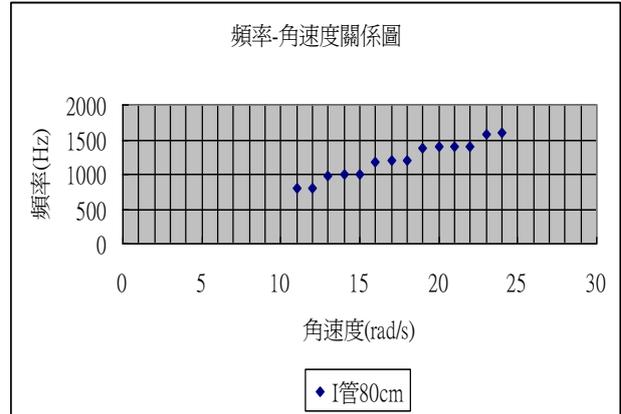
(表十五)

※各階：指不連續之各頻率。

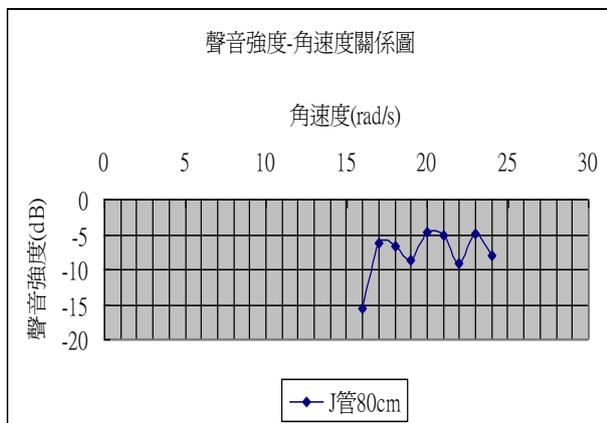
四、在共鳴頻率躍遷之際，聲音強度會有下降的趨勢，而大部分的情況下，低角速度時所收到的聲音強度較小，如圖十三~十六。



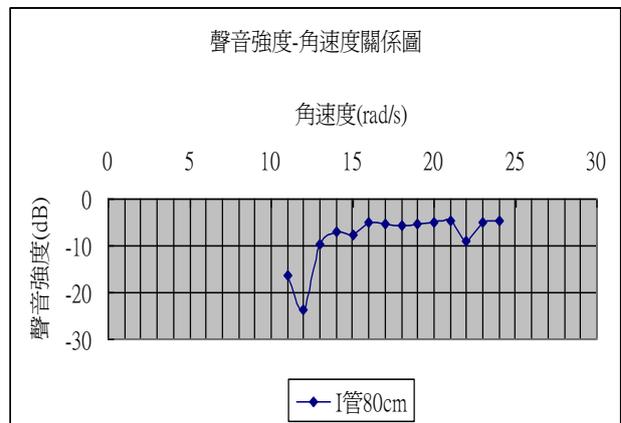
(圖十三)



(圖十五)

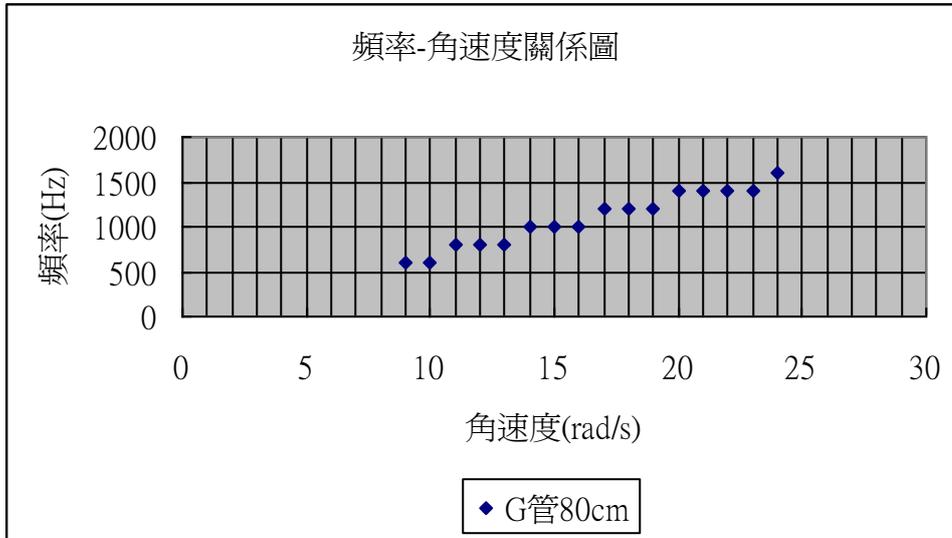


(圖十四)

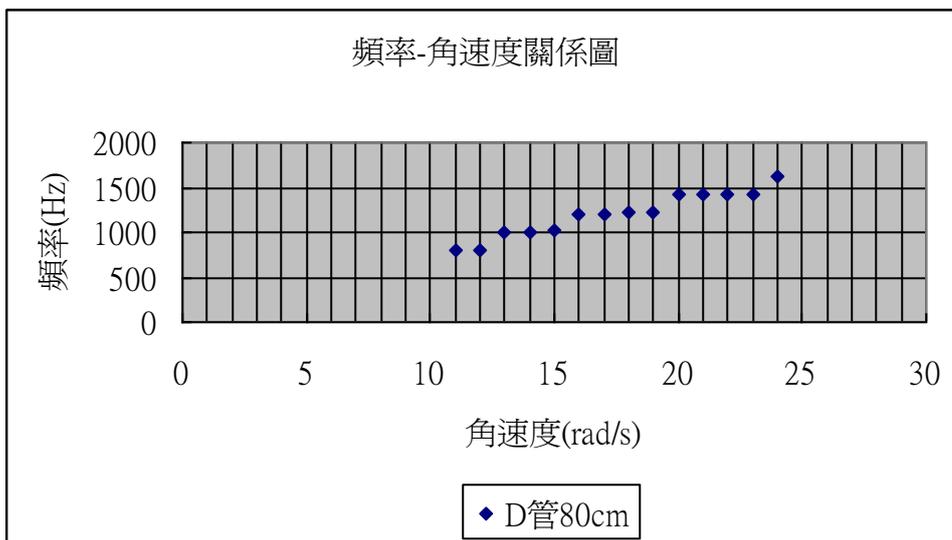


(圖十六)

- 五、由實驗四、六發現，會在轉動中變形的 A 管原先在實驗四中無法測得共鳴頻率，而在實驗六中固定 A 管後卻能產生共鳴頻率。
- 六、由實驗六發現，同一根管子中某段角速度範圍內會產生相近的共鳴頻率，在此階層中，較高共鳴頻率所對應的角速度範圍較大(如圖十七、十八)。推測是因為較高相鄰共鳴頻率間的能階差較大所造成。



(圖十七)



(圖十八)

七、由實驗五、六發現，旋音管的相對誤差主要係因為形變而產生。因伸長量不大以致於對頻率的影響較小；而管子的彎曲會造成基頻實驗值大幅下降，經固定管子修正後，其相對誤差變小。

固定管子後計算出其實驗值(表十六、十七)：

| 基頻 | 110cm | 100cm | 90cm | 80cm | 70cm | 60cm |
|---------|-------|-------|------|------|------|------|
| 實驗值(Hz) | 145 | 158 | 173 | 198 | 221 | 257 |
| 理論值(Hz) | 154 | 169 | 187 | 213 | 242 | 282 |
| 相對誤差(%) | 5.9 | 6.5 | 7.5 | 7.0 | 8.7 | 8.9 |

(表十六)

| 基頻 | 管 A 80cm | 管 B 80cm | 管 C 80cm | 管 D 80cm | 管 F 80cm | 管 G 80cm | 管 H 80cm | 管 I 80cm | 管 J 80cm |
|---------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| 實驗值(Hz) | 192 | 201 | 200 | 203 | 202 | 199 | 197 | 198 | 201 |
| 理論值(Hz) | 213 | 212 | 213 | 214 | 214 | 215 | 215 | 216 | 216 |
| 相對誤差(%) | 9.9 | 5.2 | 6.1 | 5.1 | 5.6 | 7.4 | 8.4 | 8.3 | 6.9 |

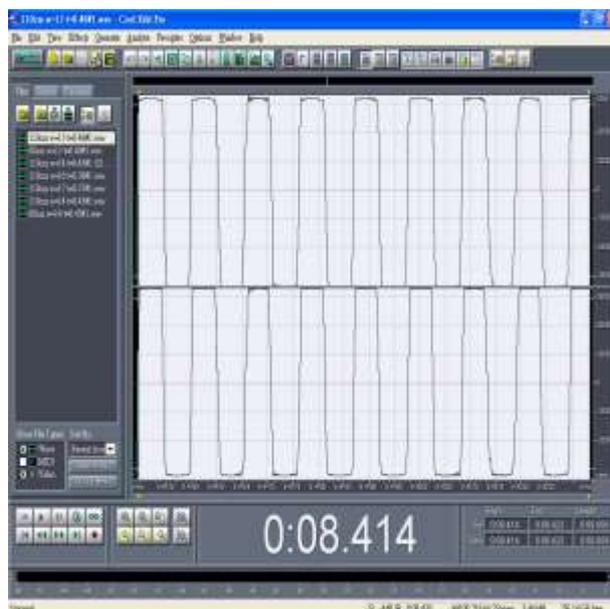
(表十七)

八、由收音後圖表可發現，旋音管發出的聲波波形近似方波。以水槽軟管來說，長度越長且角速度越大時，越接近完整的方波。推測係因為長度越長且角速度越快的管子可產生較多共鳴頻率，經疊合後形成較完整的方波。



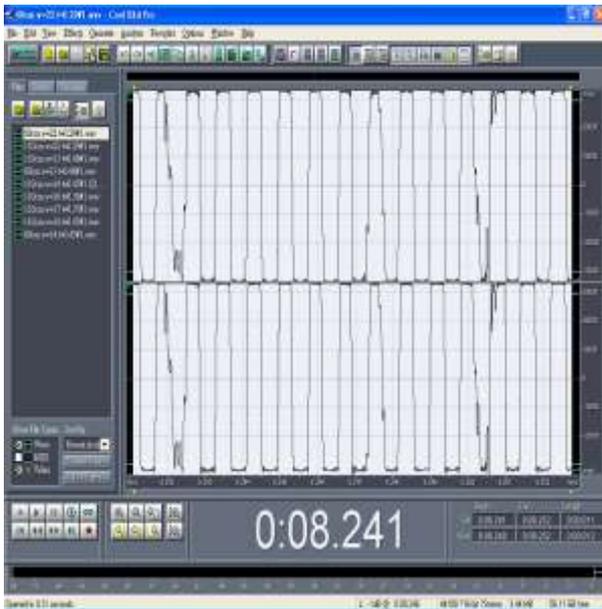
(圖十九)

110cm $w=22(\text{rad/s})$

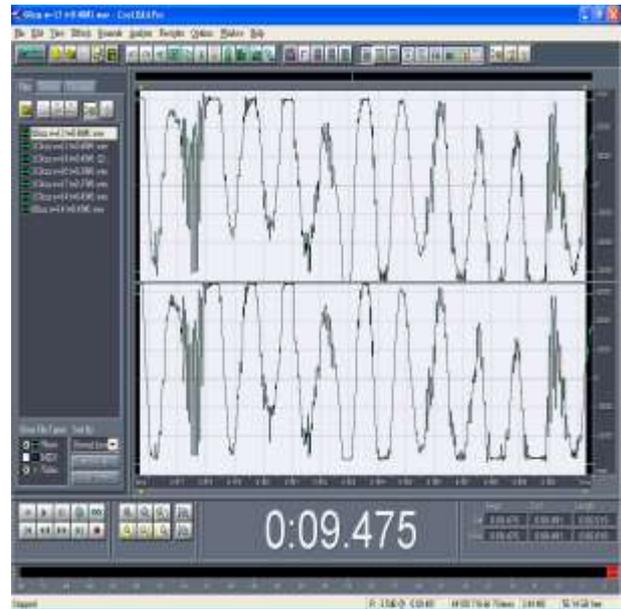


(圖二十)

110cm $w=13(\text{rad/s})$



(圖二十一)
60cm $w=22(\text{rad/s})$



(圖二十二)
60cm $w=13(\text{rad/s})$

九、實驗七，由表十八可知，螺紋間距與管子的基頻無直接關係，螺紋間距的改變並不會影響基頻，基頻主要還是由管長、管口大小決定。而螺紋間距較小者，其可在較低角速度下達到較高共鳴頻率。

| 性質 \ 管子 | 水槽軟管 | 85cm | 80cm | 75cm | 70cm |
|-----------|------|----------|----------|----------|----------|
| | 90cm | 伸長到 90cm | 伸長到 90cm | 伸長到 90cm | 伸長到 90cm |
| 螺紋間距比 | 1 | 1.059 | 1.125 | 1.200 | 1.288 |
| 基頻實驗值(Hz) | 174 | 179 | 178 | 177 | 179 |

(表十八)

十、由實驗八發現，封手握端或外開口端 6cm 以下，其形成的共鳴頻率與未封時相差不大，但聲音強度較小；超過 6cm 只有特定的角速度之下才有共鳴頻率產生。故推論旋音管要發聲其螺紋必須具有一定的完整度。

十一、由實驗九發現，在兩個不同共鳴頻率階層間，必產生不明顯的區域。

柒、 結論

- 一、旋音管內空氣由內向外流動是因為轉動造成內外壓力差，使空氣由內開口端流向外開口端。
- 二、螺紋對聲音的產生有關，無螺紋的管子無法發出聲音，且螺紋必須具有一定完整性。
- 三、螺紋本身不影響基頻大小，但螺紋間距較小者，其可在較低角速度下達到較高頻率。
- 四、共鳴頻率會隨著角速度增加而以階梯式上升。
- 五、當 $\omega_n \geq \left(\frac{f_n}{f_{n-1}}\right)\omega_{n-1}$ 會發生共鳴頻率躍遷現象。
- 六、在同一階層間的共鳴頻率中，共鳴頻率會隨著角速度的增加而有小幅度的上升。
- 七、在共鳴頻率躍遷之際，聲音強度會有下降的趨勢。低角速度時聲音強度亦較低。
- 八、同一根管子中的較高共鳴頻率所能對應到的角速度範圍較大。
- 九、轉動時管子會伸長及彎曲，其中彎曲對基頻的影響較大，彎曲甚至會影響共鳴是否產生。
- 十、同種管子，較長的管子可在較低角速度之下達到較高共鳴頻率。
- 十一、旋音管發出的聲波近似方波。管長越長、角速度越大之下可產生較多共鳴頻率，則波形就越接近方波。
- 十二、兩個不同共鳴頻率階層間必發生不明顯之區域。

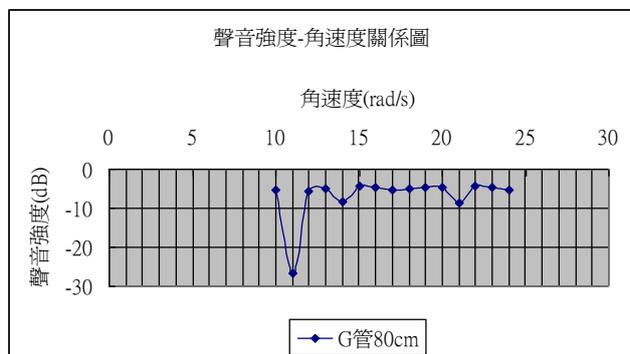
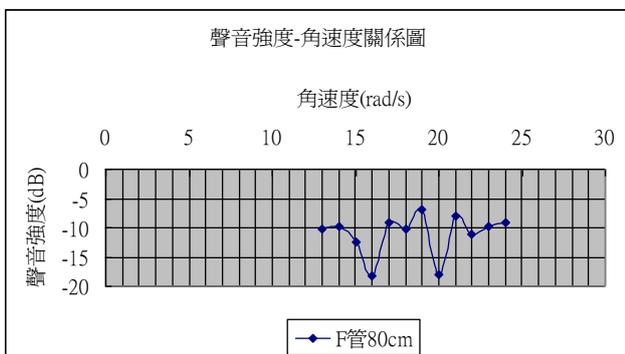
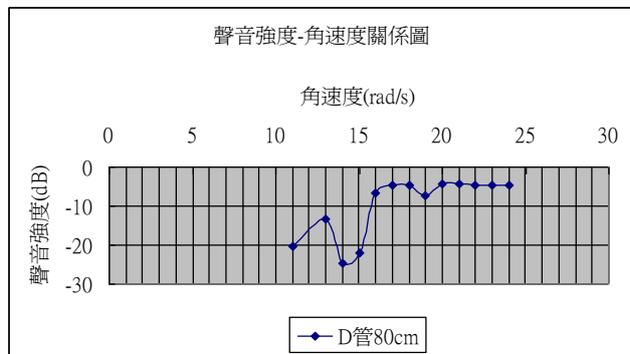
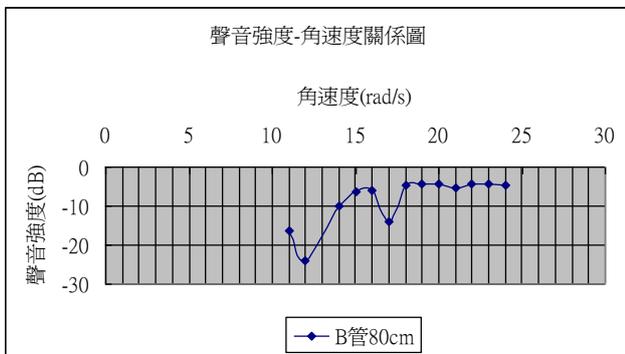
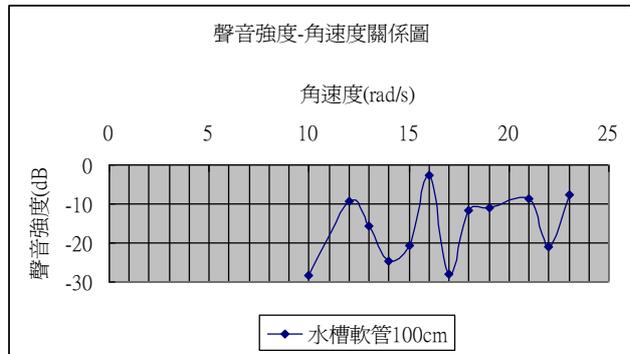
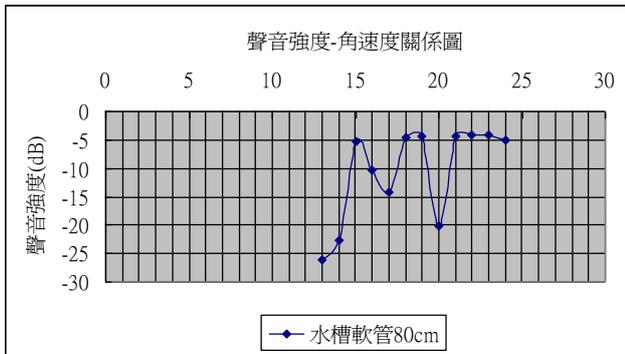
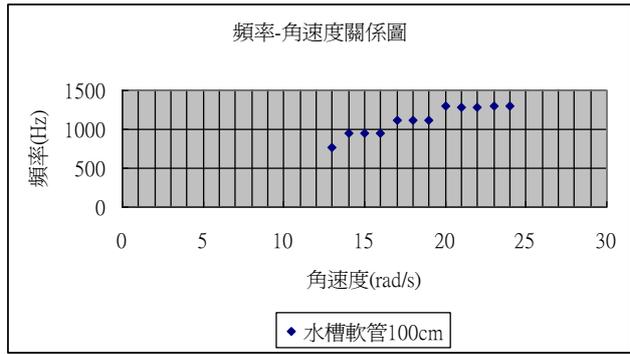
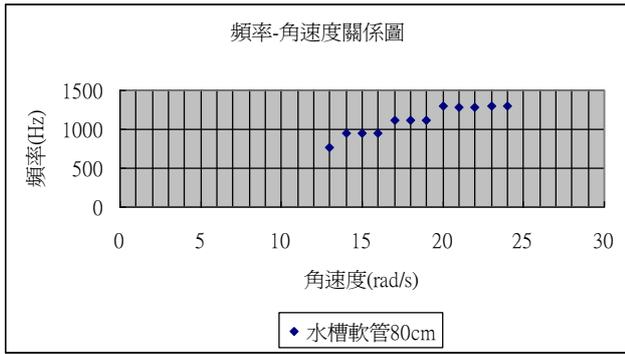
捌、 未來展望

1. 探討旋音管內部螺紋形狀（鋸齒、方形、三角）對發聲原理的影響。
2. 了解旋音管眾多變因之間的關係式。
3. 探討管內氣體對共鳴頻率的影響。
4. 旋音管開口形狀是否影響邊界條件。
5. 橫向開洞對旋音管的影響探討。
6. 金屬旋音管之探討。

玖、 參考資料

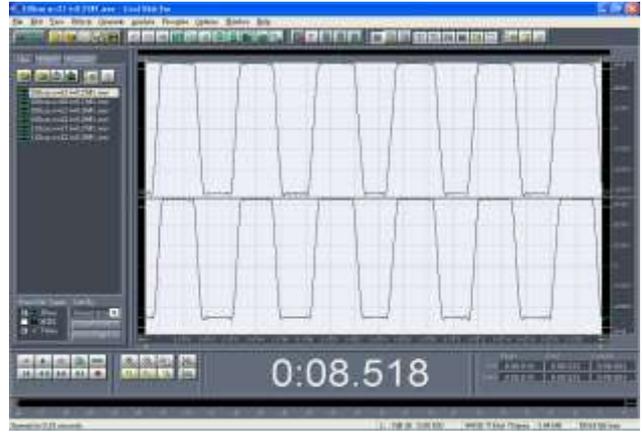
1. 物理馬戲（By Jearl Walker）天下文化出版
2. 物質科學物理篇下冊 南一書局出版
3. Fundamentals Of Physics, 7th edition（By Halliday）全華科技圖書
4. 維基百科 Wikipedia
(<http://zh.wikipedia.org/w/index.php?title=%E9%A6%96%E9%A1%B5&variant=zh-tw>)
5. 簡諧振子、弦線和空氣柱的共振現象（國立台灣大學 蔡尙芳）

附錄一：實驗二、三之圖部分表

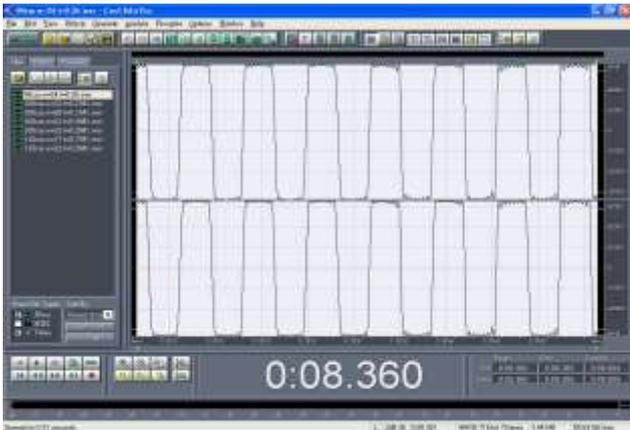




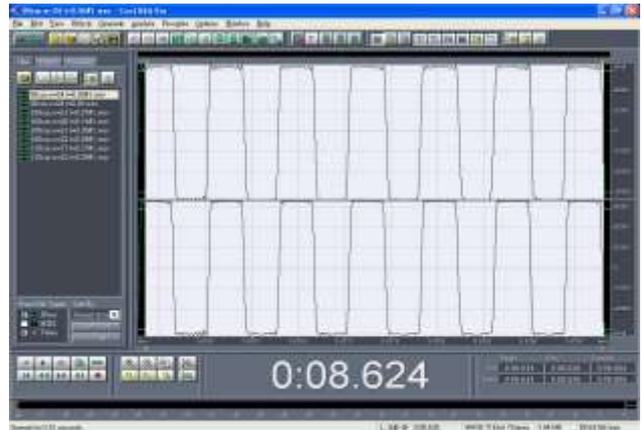
水槽軟管 110cm w=22



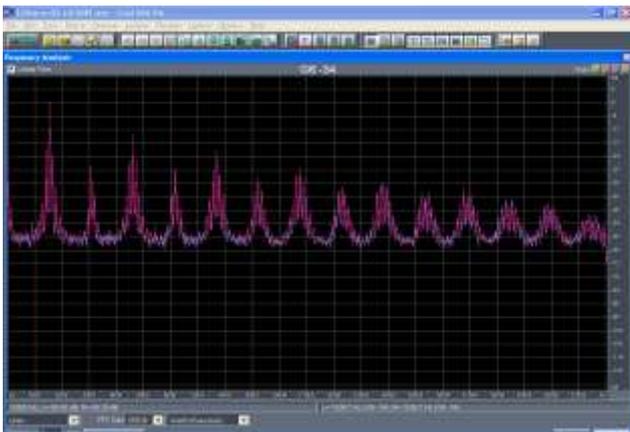
水槽軟管 100cm w=23



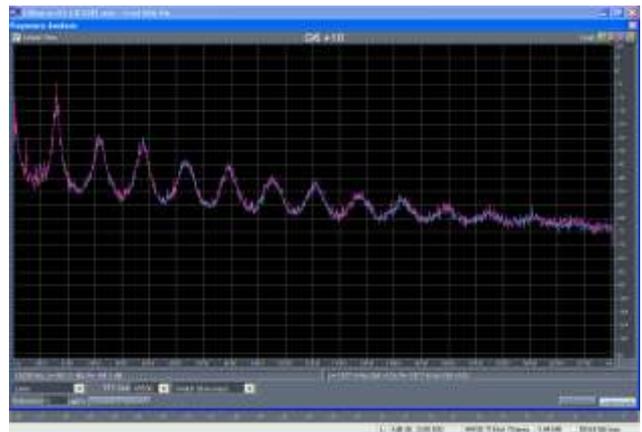
水槽軟管 90cm w=24



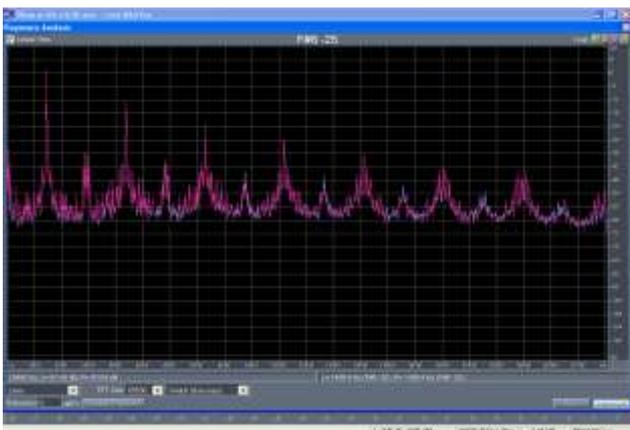
水槽軟管 80cm w=24



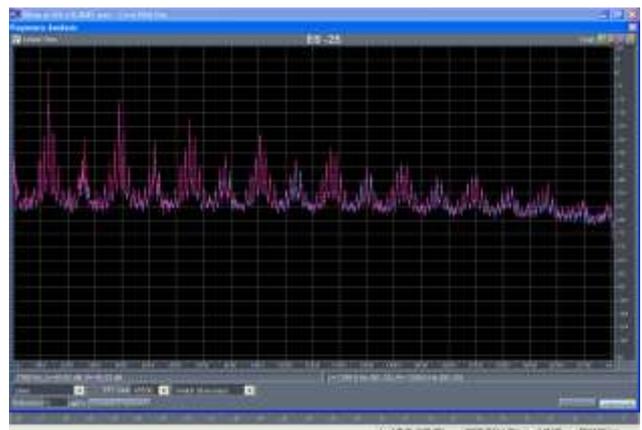
水槽軟管 110cm w=22



水槽軟管 100cm w=23

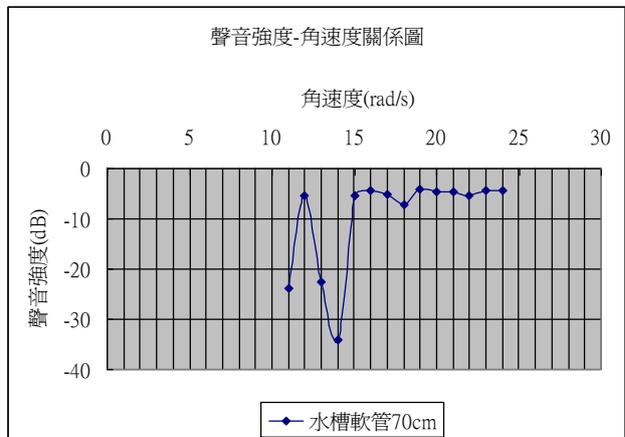
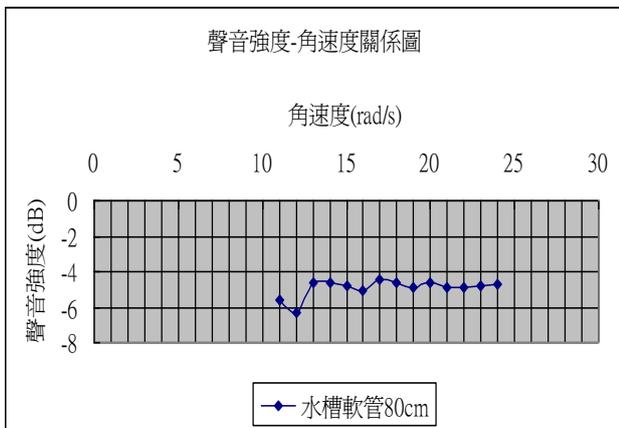
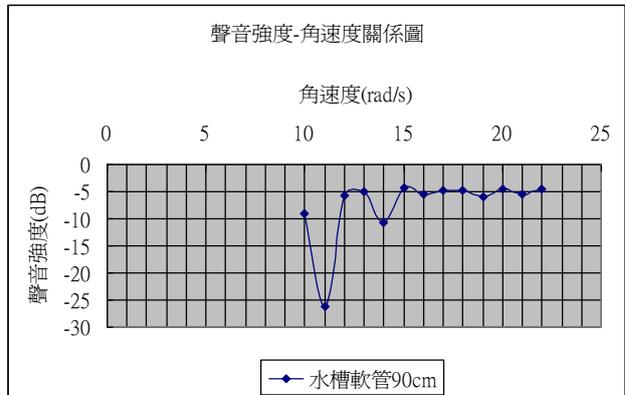
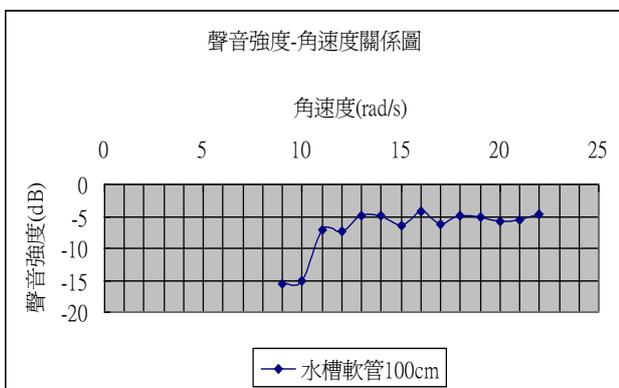
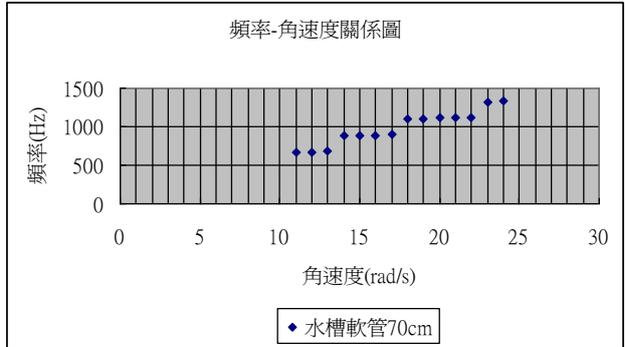
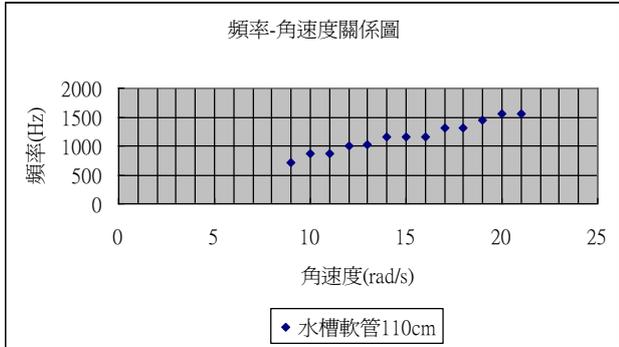
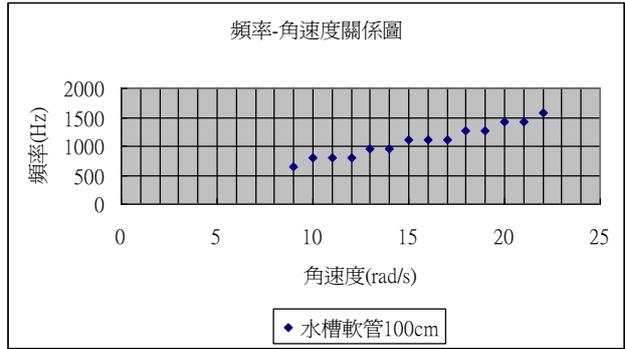
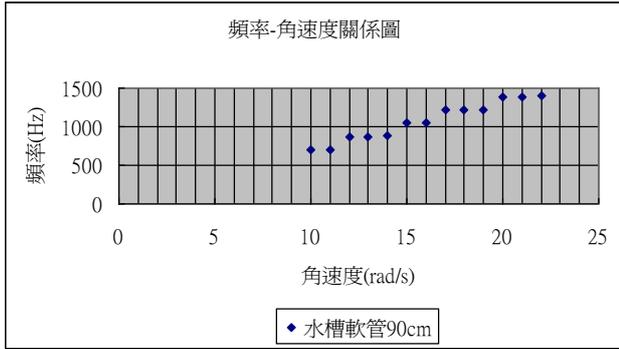


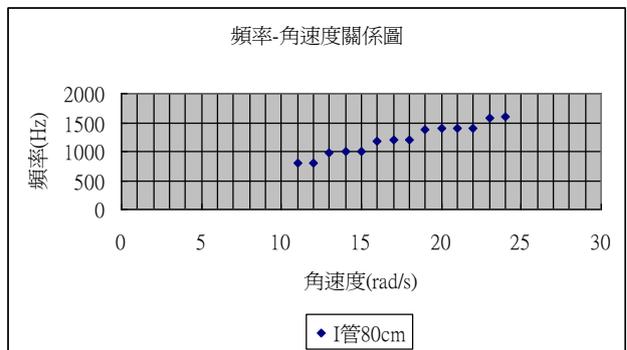
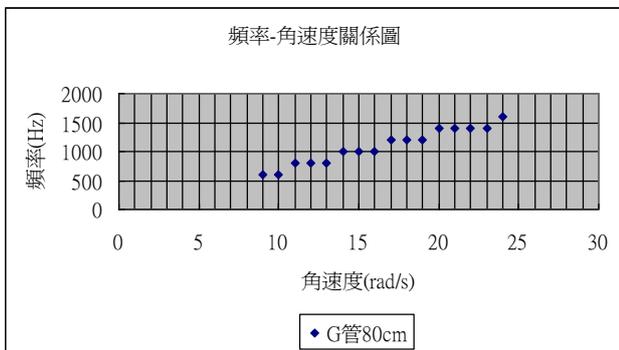
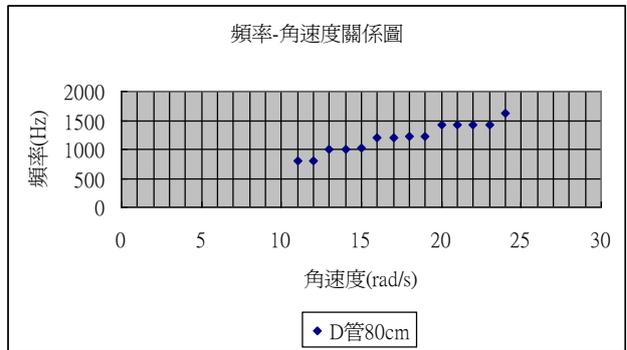
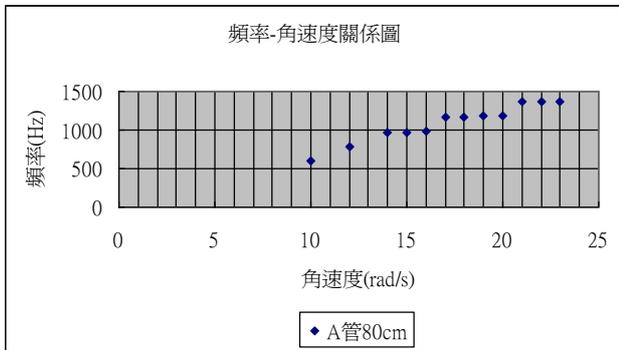
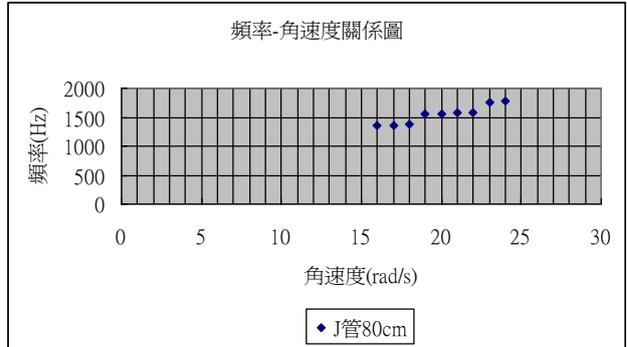
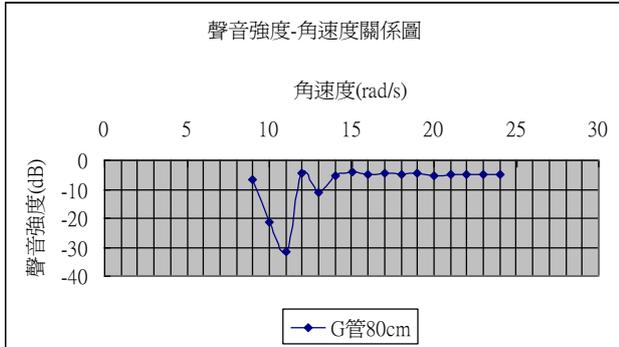
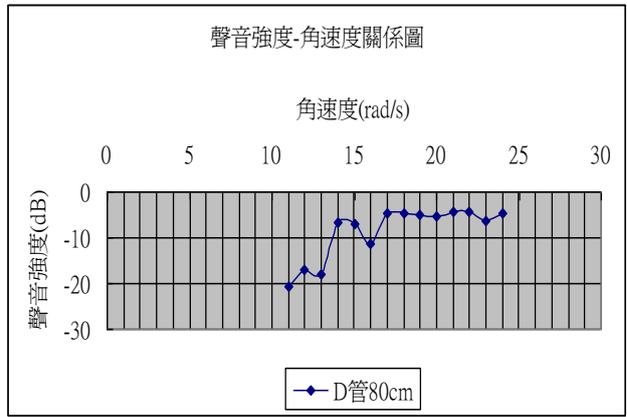
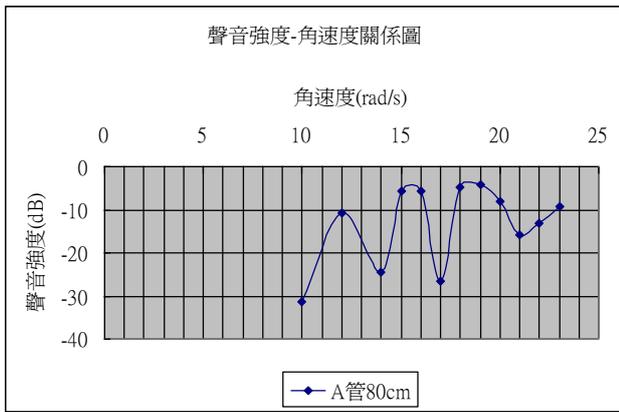
水槽軟管 90cm w=24



水槽軟管 80cm w=24

附錄二：實驗五、六之部分圖表





【評語】 040105

1. 轉動有皺摺的管子產生聲響。經波譜分析探討螺紋有無、管子長度、開口大小及角速度變因對頻率與強度的影響。數據完整，分析清晰。發現共鳴頻率會隨角速度增加是以台階式上升，非常有趣。
2. 若能進一步探討感測用麥克風裝置對波譜等之影響，更為完整。