

中華民國第 60 屆中小學科學展覽會 作品說明書

國中組 物理科

030106

音速小子 - 不同氣體及氣壓對於音速的影響

學校名稱：南投縣立南崗國民中學

作者： 國二 陳俊邑	指導老師： 林鴻志 廖國文
-------------------	-----------------------------

關鍵詞：聲音、氣壓、不同氣體

摘要

對於在理化課聽到的物質密度愈大，聲音傳播速度越快，溫度越高音速越快，公式 $v = 331.5 + 0.6T$ 是溫度對聲音的關係，提出了質疑，本作品利用在盒中裝設超音波感測器來驗證 $v = 331.5 + 0.6T$ 的準確性，以及在不同的氣體，不同氣壓下音速的改變，得出氣體平均分子量越大，聲音傳播的速度越慢的結果，而氣體中氣壓愈大，聲音傳播的速度就越快。

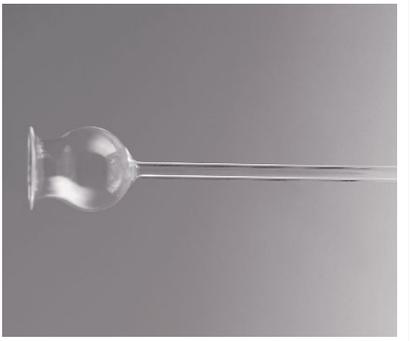
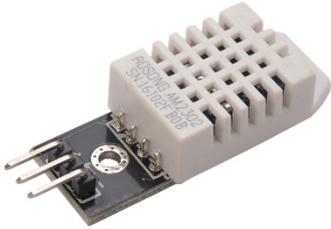
壹、研究動機

理化課時，老師說聲音在不同介質傳播的聲音速度不同，而固體中的音速又比氣體快，溫度越高音速越快，這些說法引發我對氣體中音速的好奇，進而研究測量音速的方法。為了解聲音在不同氣體、不同氣壓中的傳播速度，我在實驗中選擇了不同的氣體，如：氫氣、氧氣，並利用測距儀，分析其訊號，再計算出波速的大小。

貳、研究目的

- 一、探討不同溫度對聲音速度的影響及驗證 $v = 331.5 + 0.6T$ 公式的正確性。
- 二、探討空氣、 $\text{CO}_2(\text{g})$ 、 $\text{H}_2(\text{g})$ 、 $\text{O}_2(\text{g})$ 、 $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}(\text{g})$ 對聲音速度的影響。
- 三、探討不同氣壓對聲音速度的影響。

參、研究設備及器材

過濾瓶	薊頭漏斗	DHT22 溫度感測器
		
HC-SR04 超音波感測器	鎂帶	1N 鹽酸



肆、研究過程與方法

一、研究架構與裝置說明

(一)、研究架構

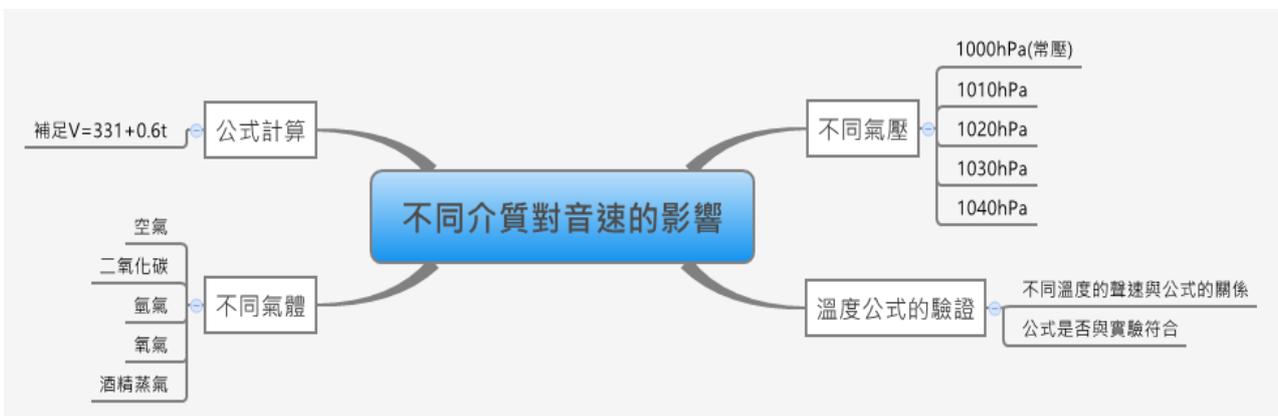


圖 4-1 研究架構

(二)、裝置說明

1. 超音波感測器

本次裝置所使用的超音波感測器是採用 I/O 觸發測距，給至少為 10 微秒的高電位信號，超音波感測器自動發送 8 個 40kHz 的方波，自動檢測是否有信號返回，如果有信號返回，通過 I/O 輸出一高電位，高電位持續的時間就是超聲波從發射到返回的時間。並利用 Arduino 來編寫程式，自動輸出資料後並由 excel 整理分析後完成。

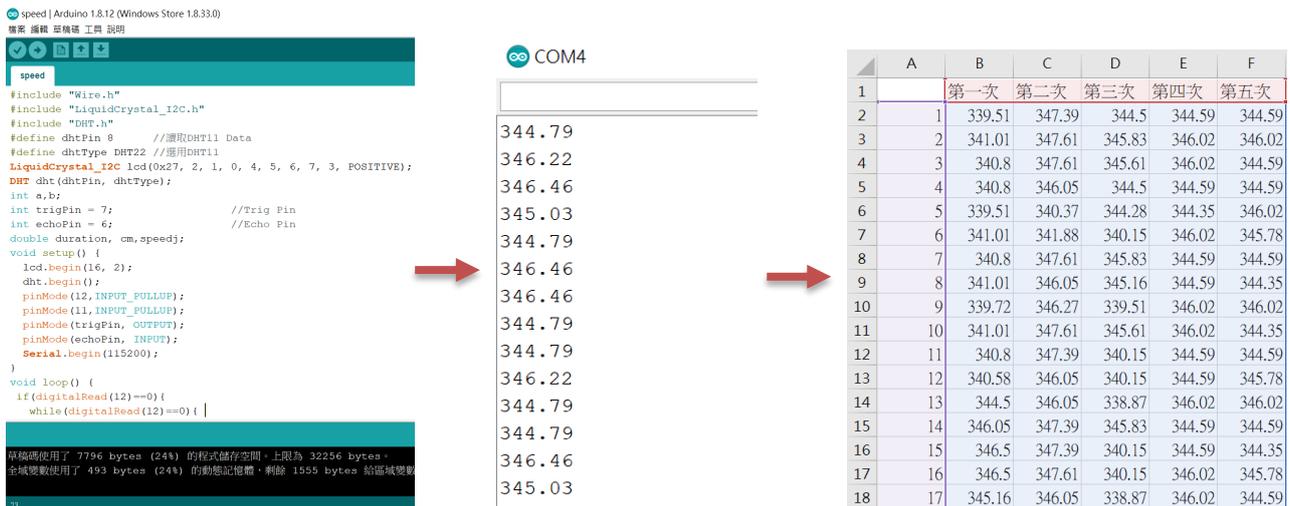


圖 4-2 實驗流程圖

2. 溫度感測器

DHT22 數位溫濕度感測器是一款含有已校準數位信號輸出的溫濕度複合感測器。它應用專用的數位模組採集技術和溫濕度傳感技術，確保該感測器具有極高的可靠性與卓越的長期穩定性。感測器包括一個電容式感濕元件和一個 NTC 測溫元件，並與一個高性能 8 位單片機相連接。

3. 壓力感測器

BMP180 是一款高精度、小體積、超低能耗的壓力感測器，可以應用在移動設備中。它的性能卓越，絕對精度最低可以達到 0.03hPa，並且耗電極低，只有 3 μ A。BMP180 採用強大的 8-pin 陶瓷無引線晶片承載 (LCC) 超薄封裝，可以通過 I2C 匯流排直接與各種微處理器相連。

二、探討溫度對聲音速度的影響及驗證 $v = 331.5 + 0.6T$ 公式的正確性

(一)、公式來源：

國中課本裡有一個溫度對音速的轉換公式為 $v = 331.5 + 0.6T$ ，此公式經上網查詢後有以下推導過程：

假設在一管子中，有氣流平行管壁通過，設觀察點位截面 a(設面積為 A)，

設通過截面前的氣體速度為 u 、密度為 ρ 、體積為 V 、壓力為 p ；氣體通過後產生微量變化，速度為 $u+\Delta u$ 、密度為 $\rho+\Delta\rho$ 、體積為 $V+\Delta V$ 、壓力為 $p+\Delta p$ 。如圖 4-3

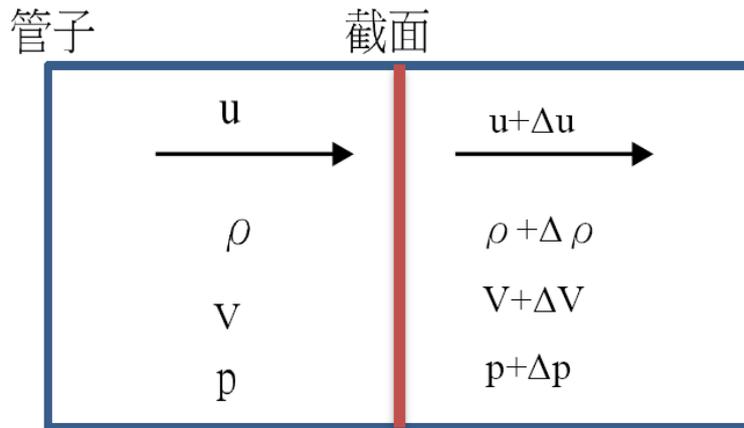


圖 4-3 管子

由牛頓第二運動定律得： $\Delta F = m \frac{\Delta v}{\Delta t} = \rho v A (\Delta t) \frac{\Delta v}{\Delta t}$

可列出 $[(p + \Delta p) - p]A = \rho u A [(u + \Delta u) - u]$

可得 $\Delta p = \rho u (\Delta u)$

則 $\rho u^2 = - \frac{dp}{du/u} \dots \dots \dots (1)$

又由兩端流量相同可得 $\frac{V+\Delta V}{V} = \frac{A(u+\Delta u)\Delta t}{Au(\Delta t)} = \frac{u+\Delta u}{u}$

可知 $\frac{\Delta u}{u} = \frac{\Delta V}{V} \dots \dots \dots (2)$

由定義， K 為不可壓縮率， $K = -V \frac{dp}{dV}$ (p 為壓力、 V 為體積)

則 $K = -V \frac{dp}{dV}$ 、(2) 代入 (1) 可得 $u = \sqrt{K/\rho}$

由於聲音傳遞非常快，因此設其傳遞過程為絕熱，滿足 $pV^\gamma = \text{定值}$

故 $\frac{dp}{dV} = -\gamma \frac{p}{V}$ ， $k = \gamma p$ (γ 為等壓莫耳比熱與等容莫耳比熱的比值)

又由氣體方程式 $pV = nRT$ ， $p = \rho RT/M$ 可得 (R 為氣體常數、 M 為平均分子量、 T 為絕對溫度)

$$u = \sqrt{K/\rho} = \sqrt{\frac{\gamma p}{\rho}} = \sqrt{\frac{\gamma RT}{M}}$$

對空氣而言， $\gamma = 1.4, R=8.3, M=28.8$

則空氣音速為 $v = \sqrt{401.8 \times (T + 273.15)}$

而跟國中所教的 $v = 331.5 + 0.6T$ ，這個公式是前者公式在一定溫度的線性近似值，如圖 4-4

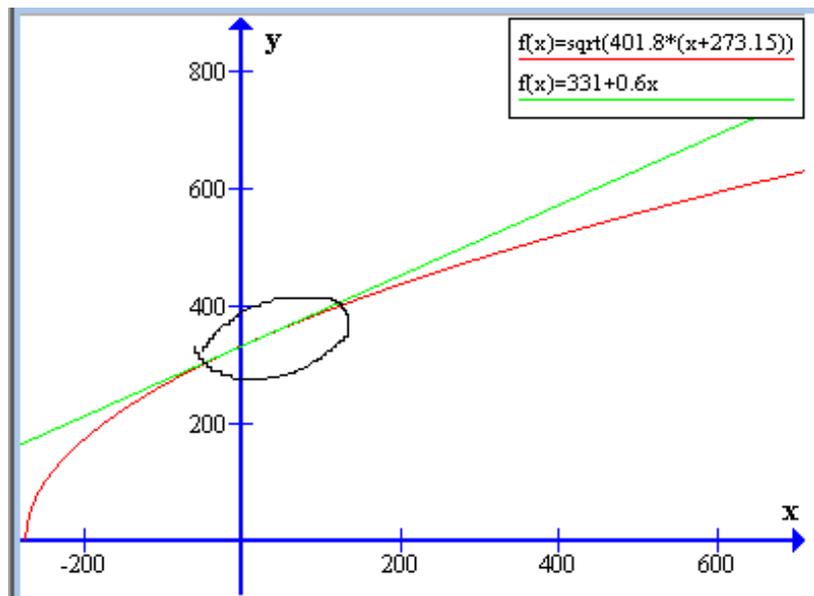


圖 4-4 溫度對乾空氣音速公式的比較

在這個 $-60\sim 60^{\circ}\text{C}$ 的範圍裡， $v = 331.5 + 0.6T$ 這個公式還是能符合現實狀況。

(二)、氣體測速

1.測速方式

(1)盒內長度

由溫度感測器測得當時溫度，並由 $v = 331.5 + 0.6T$ 計算出當時音速，再由超音波感測器測得聲音來回一次盒內所需時間 t ，由 $L = \frac{vt}{2}$ 這公式測得盒子的長度 L 。

(2)測得音速

利用已知盒內長度 L ，再由超音波感測器測得聲音來回一次盒內所需時間 t ，由 $L = \frac{vt}{2}$ 這公式測得聲音的速度 v 。

(三)、用實驗驗證 $v = 331.5 + 0.6T$ 的正確性

1.實驗步驟

(1)裝置如圖 4-5、4-6 所示，一超音波感測器固定於盒內一端，超音波感測器的訊號連接至電腦。

(2)將盒內溫度控制為定值。

(3)利用超音波測量收到訊號所需時間，可得聲波往返一次的平均時間。

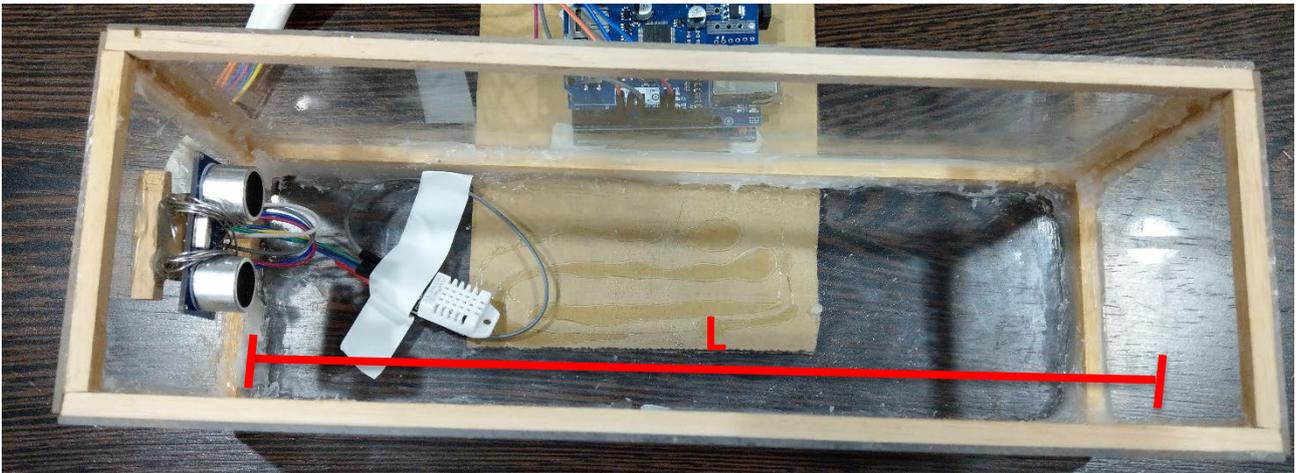


圖 4-5 測速裝置示意圖

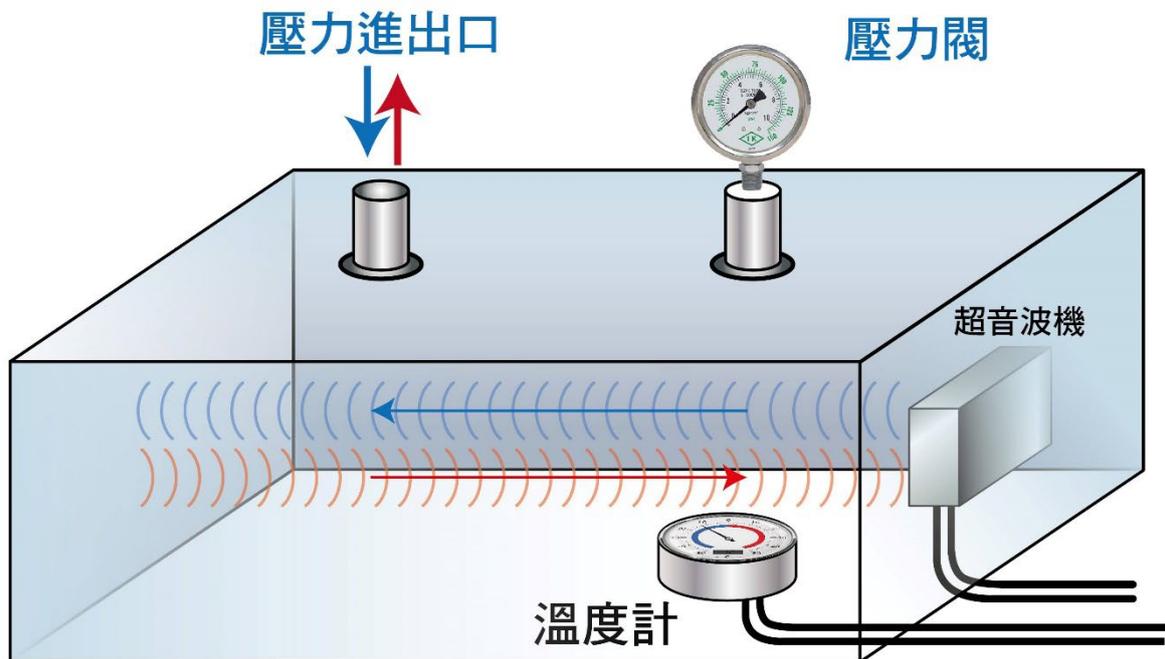


圖 4-6 測速裝置示意圖

- (4)利用盒子的長度 L ，計算出音速大小。
- (5)重覆 3~4 步驟多次，計算出同種氣體的平均音速
- (6)分別取不同溫度重覆 1~5 步驟，計算出不同氣體中的音速大小

三、不同氣體中的音速

(一)、氣體製備

1.二氧化碳

由小蘇打加檸檬酸產生二氧化碳， $3\text{NaHCO}_3 + \text{C}_6\text{H}_8\text{O}_7 \rightarrow \text{Na}_3\text{C}_6\text{H}_5\text{O}_7 + 3\text{H}_2\text{O} + 3\text{CO}_2 \uparrow$

2. 氫氣

由鹽酸加鎂產生氫氣， $2\text{HCl} + \text{Mg} \rightarrow \text{MgCl}_2 + \text{H}_2 \uparrow$

3. 氧氣

由雙氧水加催化劑產生氧氣， $2\text{H}_2\text{O}_2 \rightarrow 2\text{H}_2\text{O} + \text{O}_2 \uparrow$

4. 酒精蒸氣

由酒精蒸發產生酒精蒸氣， $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}_{(l)} \rightarrow \text{C}_2\text{H}_5\text{OH}_{(g)} \uparrow$

(二)、氣體測速

1. 測速方式

(1) 盒內長度

由溫度感測器測得當時溫度，並由 $v = 331.5 + 0.6T$ 計算出當時音速，再由超音波感測器測得聲音來回一次盒內所需時間 t ，由 $L = \frac{vt}{2}$ 這公式測得盒子的長度 L 。

(2) 測得音速

利用已知盒內長度 L ，再由超音波感測器測得聲音來回一次盒內所需時間 t ，由 $L = \frac{vt}{2}$ 這公式測得聲音的速度 v 。

2. 實驗步驟

(1) 裝置如圖 4-5、4-6 所示，一超音波感測器固定於盒內一端，超音波感測器的訊號連接至電腦。

(2) 將氣體灌入盒內，使盒內充滿氣體。

(3) 利用超音波測量收到訊號所需時間，可得聲波往返一次的平均時間。

(4) 利用盒子的長度 L ，計算出音速大小。

(5) 重覆 3~4 步驟多次，計算出同種氣體的平均音速

(6) 分別取空氣、二氧化碳、氫氣、氧氣和酒精蒸氣重覆 1~5 步驟，計算出不同氣體中的音速大小

四、不同氣壓中的音速

(一)、實驗步驟

1. 裝置如圖 4-5、4-6 所示，一測距儀固定於盒內一端，測距儀的訊號連接至電腦。

2. 將空氣灌入盒內並加壓，使盒內壓力到達定值。

3. 利用超音波測量收到訊號所需時間，可得聲波往返一次的平均時間。

4. 利用盒子的長度 L ，計算出音速大小。

5.重覆 3~4 步驟多次，計算出同種氣壓的平均音速

6.分別取 1000hPa(常壓)、1010hPa、1020hPa、1030hPa 和 1040hPa 重覆 1~5 步驟，計算出不同氣壓中的音速大小

伍、研究結果

一、探討 $v = 331.5 + 0.6T$ 公式的正確性及驗證溫度對聲音速度的影響

(一) 不同溫度對空氣音速的影響(溫度 $^{\circ}\text{C}$ ，速度 m/s)

溫度	速度										
55	364.14	49	360.62	44	357.88	39	354.29	34	351.35	29	348.80
54	363.45	48	359.53	43	357.56	38	353.92	33	350.14	28	347.63
53	361.85	47	359.26	42	356.36	37	354.13	32	350.13	27	347.43
52	362.45	46	358.13	41	355.52	36	352.90	31	349.55	26	346.45
51	361.62	45	358.16	40	354.83	35	352.21	30	348.95	25	345.86

圖 5-1 溫度對音速的影響(原始數據)

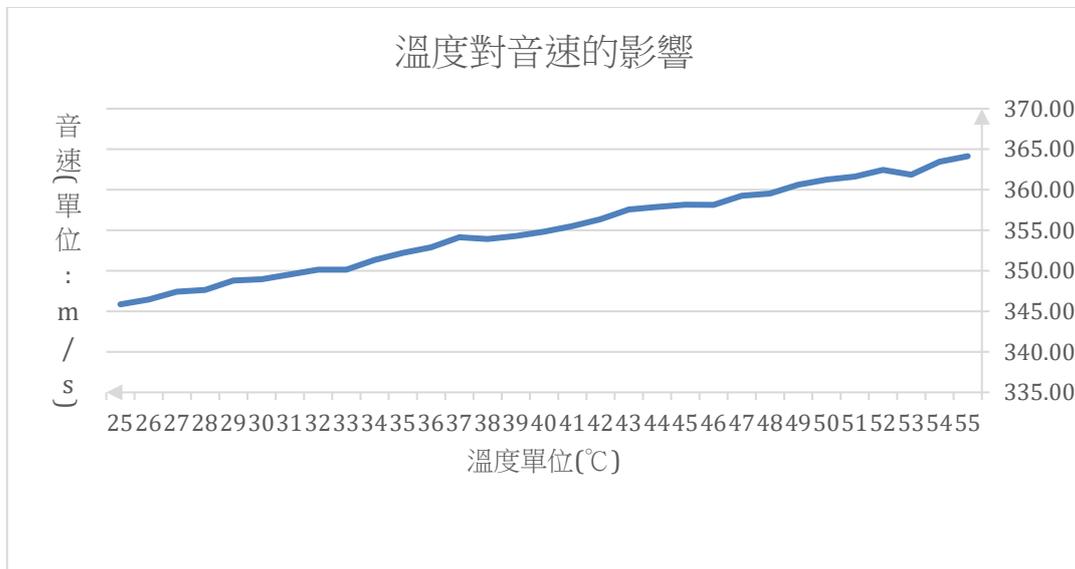


圖 5-2 溫度對音速的影響圖

由圖 5-1、5-2 可看出，溫度升高愈多，音速也會跟著提升。實驗顯示，當溫度上升 30°C ，音速會增加 19 m/s 。

二、不同氣體中的音速

(一) 空氣

	A	B	C	D	E	F		A	B	C	D	E	F
1		第一次	第二次	第三次	第四次	第五次	32	31	346.46	345.03	345.03	346.22	346.22
2	1	345.03	344.79	346.46	346.46	346.46	33	32	345.03	346.46	345.03	345.03	344.79
3	2	346.46	344.79	345.03	346.46	346.46	34	33	345.03	346.46	346.46	345.03	345.03
4	3	344.79	346.46	345.03	344.79	345.03	35	34	346.46	345.03	346.46	346.46	346.22
5	4	345.03	346.46	346.46	345.03	345.03	36	35	346.46	345.03	345.03	346.46	344.79
6	5	346.46	345.03	346.46	346.46	346.46	37	36	345.03	346.46	345.03	344.79	344.79
7	6	346.46	345.03	345.03	346.46	346.22	38	37	344.79	345.03	346.22	345.03	345.03
8	7	344.79	346.46	345.03	345.03	344.79	39	38	346.46	344.79	346.46	346.22	346.46
9	8	345.03	346.22	346.46	344.79	344.79	40	39	346.22	346.22	345.03	344.79	344.79
10	9	346.46	345.03	346.46	346.22	346.46	41	40	345.03	346.22	345.03	345.03	344.79
11	10	346.46	345.03	345.03	345.03	344.79	42	41	344.79	345.03	346.46	345.03	346.22
12	11	345.03	346.46	345.03	344.79	345.03	43	42	346.46	345.03	345.03	346.22	346.46
13	12	345.03	345.03	346.46	346.46	346.22	44	43	345.03	346.46	345.03	344.79	345.03
14	13	346.46	345.03	345.03	346.46	346.46	45	44	345.03	346.46	346.22	344.79	345.03
15	14	345.03	346.46	345.03	345.03	345.03	46	45	346.22	344.79	346.46	346.46	346.22
16	15	345.03	346.46	346.46	345.03	344.79	47	46	346.46	345.03	345.03	346.46	345.03
17	16	346.46	345.03	346.46	346.46	346.46	48	47	345.03	346.46	344.79	345.03	344.79
18	17	346.70	345.03	344.79	345.98	345.03	49	48	344.79	345.03	346.22	345.03	345.50
19	18	344.79	346.46	345.03	345.03	345.03	50	49	346.46	345.03	345.03	346.22	346.46
20	19	345.03	345.03	346.46	345.03	346.46	51	50	346.46	346.46	344.79	345.03	345.03
21	20	346.46	345.03	344.79	346.46	346.46	52	51	345.03	346.46	344.79	345.03	345.03
22	21	345.03	346.70	345.03	344.79	345.03	53	52	345.03	345.03	346.46	344.79	346.46
23	22	345.03	346.46	346.46	345.03	345.03	54	53	346.46	344.79	345.03	346.22	346.46
24	23	345.03	344.79	346.22	346.22	346.46	55	54	345.03	346.22	345.03	345.03	345.03
25	24	346.46	345.03	344.79	346.46	346.46	56	55	344.79	346.46	346.46	345.03	345.03
26	25	345.03	346.46	345.03	344.79	344.79	57	56	346.46	345.03	346.46	346.46	346.22
27	26	345.03	346.46	346.46	344.79	345.03	58	57	346.46	344.79	345.03	346.46	344.79
28	27	346.46	345.03	346.46	346.46	346.46	59	58	344.79	346.46	345.03	345.03	344.79
29	28	346.46	345.03	345.03	344.79	345.03	60	59	345.03	346.22	346.46	345.03	346.46
30	29	344.79	346.46	345.03	344.79	345.03	61	60	346.46	345.03	345.03	346.46	346.46
31	30	345.03	345.03	346.46	346.46	346.46	62	61	346.22	345.03	345.03	345.03	344.79

圖 5-3 空氣中的音速(原始數據)

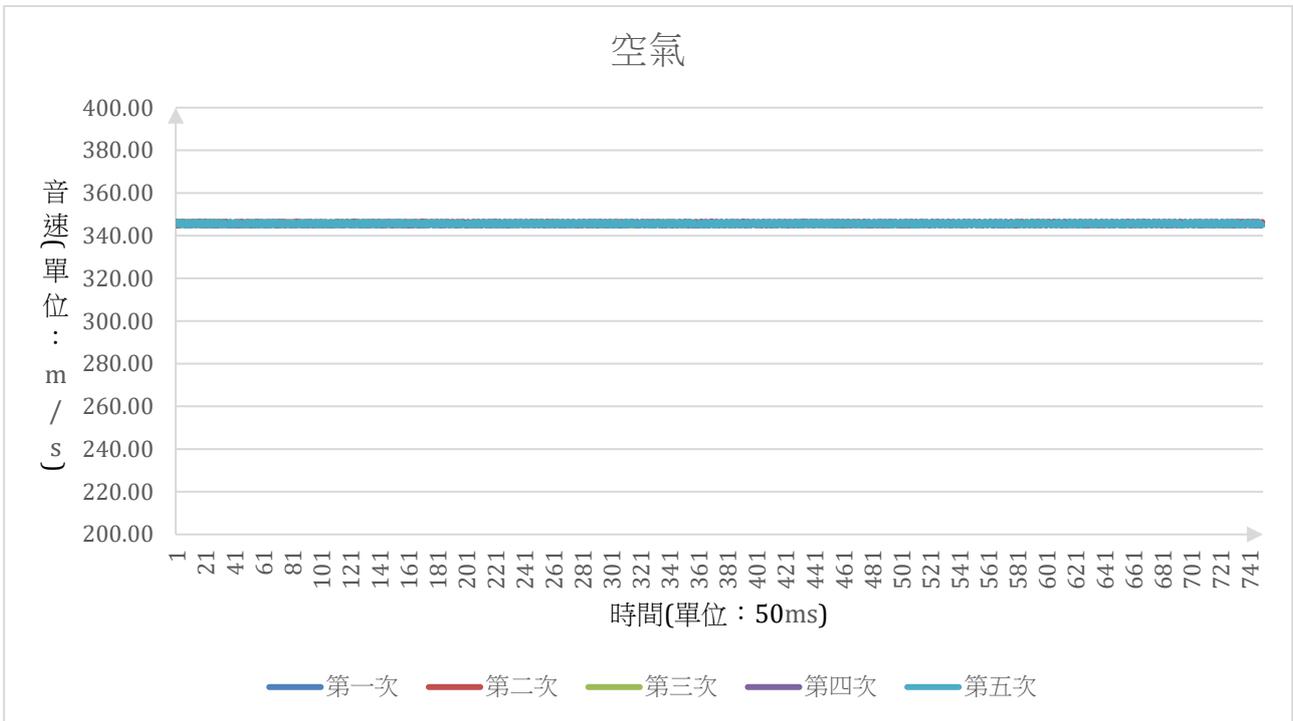


圖 5-4 音速在空氣中的情形

由圖 5-3、5-4 可看出，聲音在空氣中的速度很穩定，可以看出聲音在空氣中的速度約為 345m/s。

(二) 二氧化碳

	A	B	C	D	E	F								
1		第一次	第二次	第三次	第四次	第五次	34		33	307.53	347.61	338.65	344.59	346.02
2	1	339.51	347.39	344.5	344.59	344.59	35		34	300.17	347.61	343.84	344.59	344.59
3	2	341.01	347.61	345.83	346.02	346.02	36		35	304.58	346.05	340.15	345.78	344.59
4	3	340.8	347.61	345.61	346.02	344.59	37		36	317.69	346.27	345.16	345.78	346.02
5	4	340.8	346.05	344.5	344.59	344.59	38		37	321.86	347.61	343.84	344.59	344.59
6	5	339.51	340.37	344.28	344.35	346.02	39		38	315.83	347.39	339.72	344.59	344.59
7	6	341.01	341.88	340.15	346.02	345.78	40		39	321.48	346.27	340.15	344.59	346.02
8	7	340.8	347.61	345.83	344.59	344.59	41		40	325.36	346.05	340.8	346.02	346.02
9	8	341.01	346.05	345.16	344.59	344.35	42		41	319.19	347.39	344.5	344.59	344.59
10	9	339.72	346.27	339.51	346.02	346.02	43		42	324.77	347.61	343.84	344.59	344.59
11	10	341.01	347.61	345.61	346.02	344.35	44		43	329.34	340.58	345.16	346.02	346.02
12	11	340.8	347.39	340.15	344.59	344.59	45		44	333	346.05	345.16	344.59	344.59
13	12	340.58	346.05	340.15	344.59	345.78	46		45	334.24	347.61	340.15	344.59	344.59
14	13	344.5	346.05	338.87	346.02	346.02	47		46	328.94	347.61	343.84	344.59	345.78
15	14	346.05	347.39	345.83	344.59	344.59	48		47	332.39	347.39	340.15	346.02	344.59
16	15	346.5	347.39	340.15	344.59	344.35	49		48	327.54	346.27	340.8	346.02	344.59
17	16	346.5	347.61	340.15	346.02	345.78	50		49	323.6	346.05	340.15	346.02	345.78
18	17	345.16	346.05	338.87	346.02	344.59	51		50	326.94	347.39	343.84	344.59	346.02
19	18	339.51	346.05	343.84	344.35	344.59	52		51	331.57	341.88	345.61	344.59	344.35
20	19	345.83	347.39	340.15	344.59	345.78	53		52	318.63	346.27	340.15	346.02	344.35
21	20	345.16	347.61	345.16	346.02	344.59	54		53	328.14	346.27	345.16	344.35	346.02
22	21	351.93	340.37	343.84	346.02	344.59	55		54	322.44	341.88	338.87	344.59	344.35
23	22	351.93	346.05	343.84	344.59	346.02	56		55	323.22	347.61	344.5	346.02	344.59
24	23	339.51	347.61	340.15	344.59	346.26	57		56	327.74	347.39	340.8	344.35	346.02
25	24	339.51	347.39	340.15	345.78	344.59	58		57	326.35	346.05	345.83	344.59	345.78
26	25	345.83	347.61	339.51	346.02	344.59	59		58	332.39	346.05	344.28	346.02	344.59
27	26	335.49	346.05	338.87	344.59	346.02	60		59	327.74	347.39	338.87	345.07	344.35
28	27	338.87	340.37	340.15	346.02	344.59	61		60	326.35	347.61	340.8	344.35	345.78
29	28	321.29	347.61	340.8	346.02	344.59	62		61	327.74	346.27	345.16	338.75	344.59
30	29	327.74	347.61	344.5	344.59	346.26	63		62	318.06	346.05	343.84	337.84	344.35
31	30	323.02	346.05	344.28	344.59	346.02	64		63	321.29	347.39	343.84	341.06	346.02
32	31	321.48	340.37	340.15	346.02	344.59	65		64	322.63	347.61	340.15	341.3	345.78
33	32	317.69	347.61	345.16	345.78	346.02	66		65	313.26	346.27	345.83	332.67	344.59

圖 5-5 二氧化碳中的音速(原始數據)

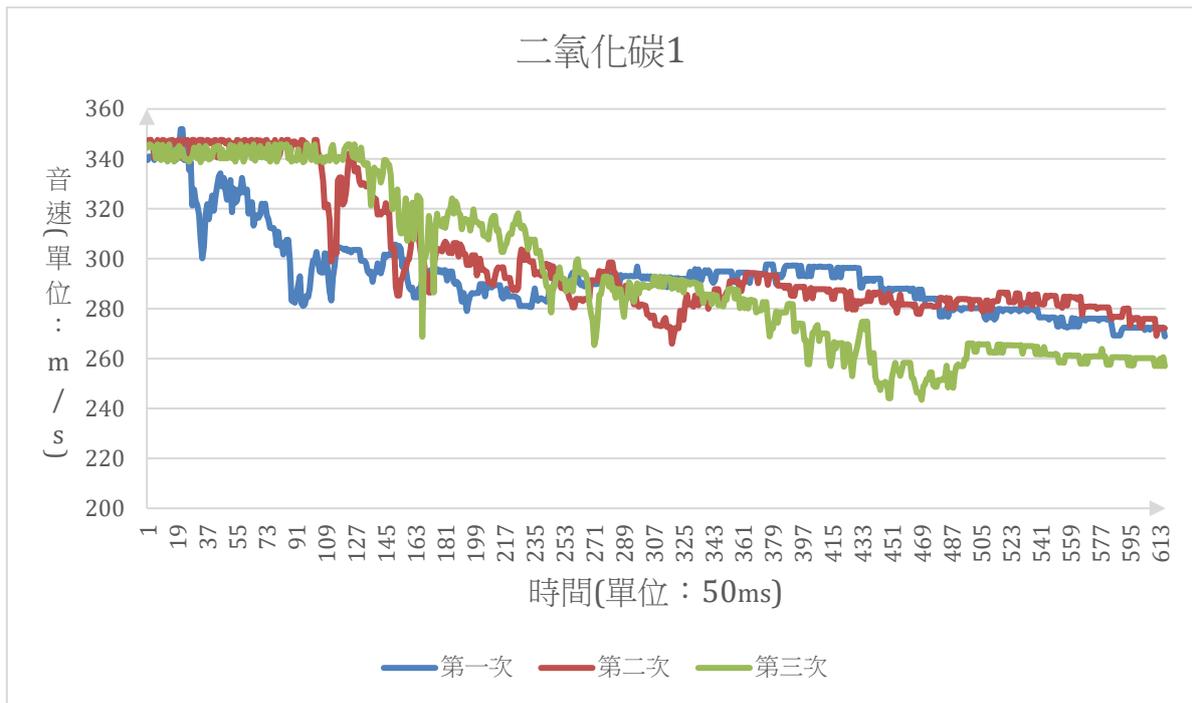


圖 5-6 音速在二氧化碳中的變化情形

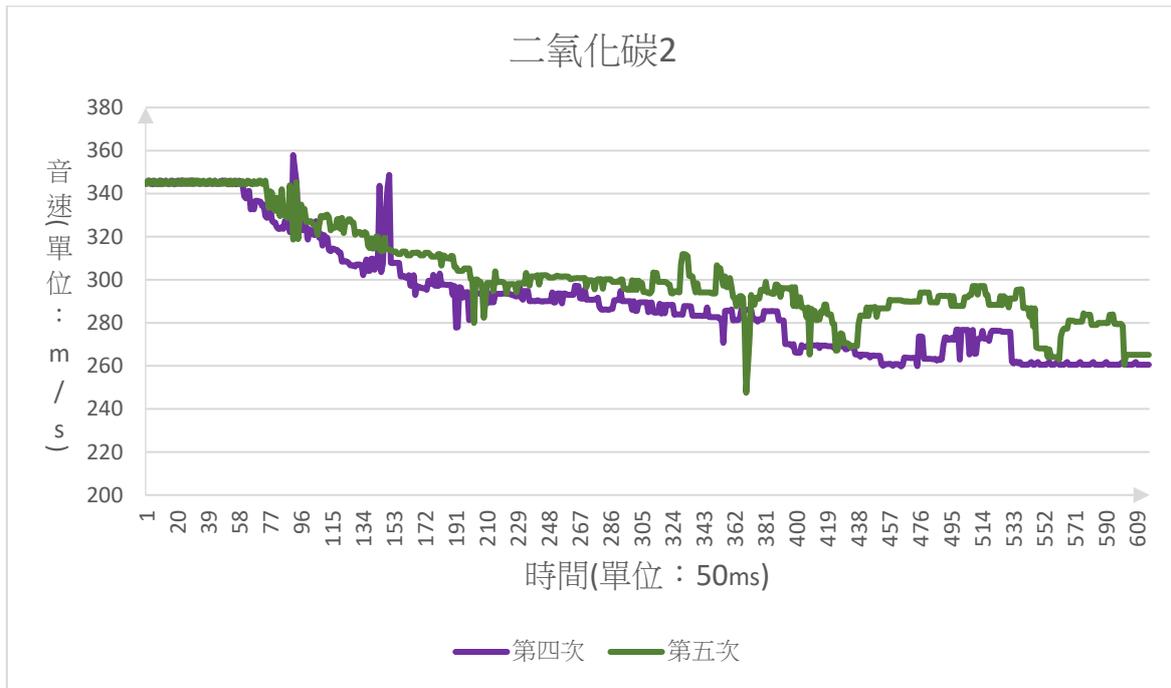


圖 5-7 音速在二氧化碳中的變化情形

由圖 5-5、5-6、5-7 可知，將二氧化碳灌入後音速由 345 m/s 降至約 270 m/s，下降了 75 m/s，約 21%，可以看出聲音在二氧化碳中傳遞速度較慢。

(三) 氫氣

序	A	B	C	D	E	F	序	A	B	C	D	E	F
1		第一次	第二次	第三次	第四次	第五次	33	32	339.29	346.27	341.01	341.23	344.35
2	1	340.8	346.27	340.8	342.31	344.35	34	33	339.51	345.83	342.31	342.31	346.02
3	2	340.58	346.27	341.01	342.53	346.02	35	34	340.8	339.51	342.1	342.31	344.35
4	3	339.29	344.94	342.1	342.53	344.59	36	35	340.58	344.94	340.8	342.31	344.59
5	4	340.58	344.94	342.1	341.23	344.59	37	36	339.29	346.27	340.8	341.01	346.02
6	5	340.8	346.27	342.1	342.53	346.02	38	37	339.29	345.83	342.31	342.31	346.02
7	6	340.8	346.27	341.01	342.53	346.02	39	38	340.8	344.72	342.1	342.31	344.59
8	7	339.51	344.94	340.8	342.31	344.59	40	39	340.8	344.72	340.8	342.53	344.59
9	8	339.29	344.72	342.31	341.01	344.59	41	40	339.29	346.05	341.01	341.01	345.78
10	9	340.8	346.05	342.1	342.31	346.02	42	41	339.29	346.05	342.31	341.23	344.59
11	10	340.8	346.27	340.8	342.31	344.59	43	42	340.8	344.72	342.1	342.53	344.35
12	11	339.29	346.27	341.01	342.31	344.35	44	43	340.8	344.72	340.8	342.31	345.78
13	12	339.51	344.94	342.31	341.01	346.02	45	44	339.29	344.72	340.8	341.01	346.02
14	13	340.8	344.72	342.31	342.53	344.59	46	45	339.51	346.05	342.31	341.23	344.59
15	14	340.58	346.27	340.8	342.53	344.59	47	46	340.58	346.05	342.31	342.31	344.59
16	15	339.29	346.05	340.8	342.53	346.02	48	47	340.58	346.05	340.8	342.31	346.02
17	16	339.51	344.94	342.1	341.01	346.02	49	48	339.29	344.72	340.8	341.01	344.59
18	17	340.8	344.94	342.1	341.01	344.59	50	49	339.51	344.72	342.1	342.31	344.59
19	18	340.8	346.05	340.8	342.31	344.59	51	50	340.58	346.05	342.1	342.31	346.02
20	19	339.29	346.27	340.8	342.53	346.02	52	51	340.58	346.05	340.8	342.53	346.02
21	20	339.29	346.27	342.1	341.01	346.02	53	52	339.29	344.72	340.8	341.01	344.35
22	21	340.8	344.94	342.1	341.01	344.59	54	53	339.29	344.72	341.44	342.31	344.59
23	22	340.8	344.94	341.01	342.31	344.59	55	54	340.8	346.05	342.31	342.31	346.02
24	23	339.29	346.27	340.8	342.31	346.02	56	55	340.8	346.05	342.1	342.31	346.02
25	24	339.29	346.27	342.31	341.01	344.59	57	56	340.58	344.72	340.8	341.01	344.35
26	25	340.58	344.94	342.1	342.31	344.59	58	57	339.29	344.72	340.8	342.31	344.35
27	26	340.8	344.94	340.8	342.31	346.02	59	58	339.51	341.01	342.31	342.31	346.02
28	27	340.8	346.27	340.8	342.31	344.59	60	59	340.8	346.05	342.1	342.31	344.35
29	28	339.29	346.27	342.1	341.01	344.59	61	60	340.8	339.51	340.8	341.01	344.59
30	29	340.58	344.94	342.31	342.31	345.78	62	61	339.51	344.5	340.8	342.53	346.02
31	30	340.8	344.94	342.1	342.53	346.02	63	62	339.29	341.01	342.1	342.53	346.02
32	31	340.58	345.83	340.8	342.31	344.59	64	63	340.8	346.05	342.31	342.53	344.59
33	32	339.29	346.27	341.01	341.23	344.35	65	64	340.8	346.05	340.8	341.01	344.59

圖 5-7 氫氣中的音速(原始數據)

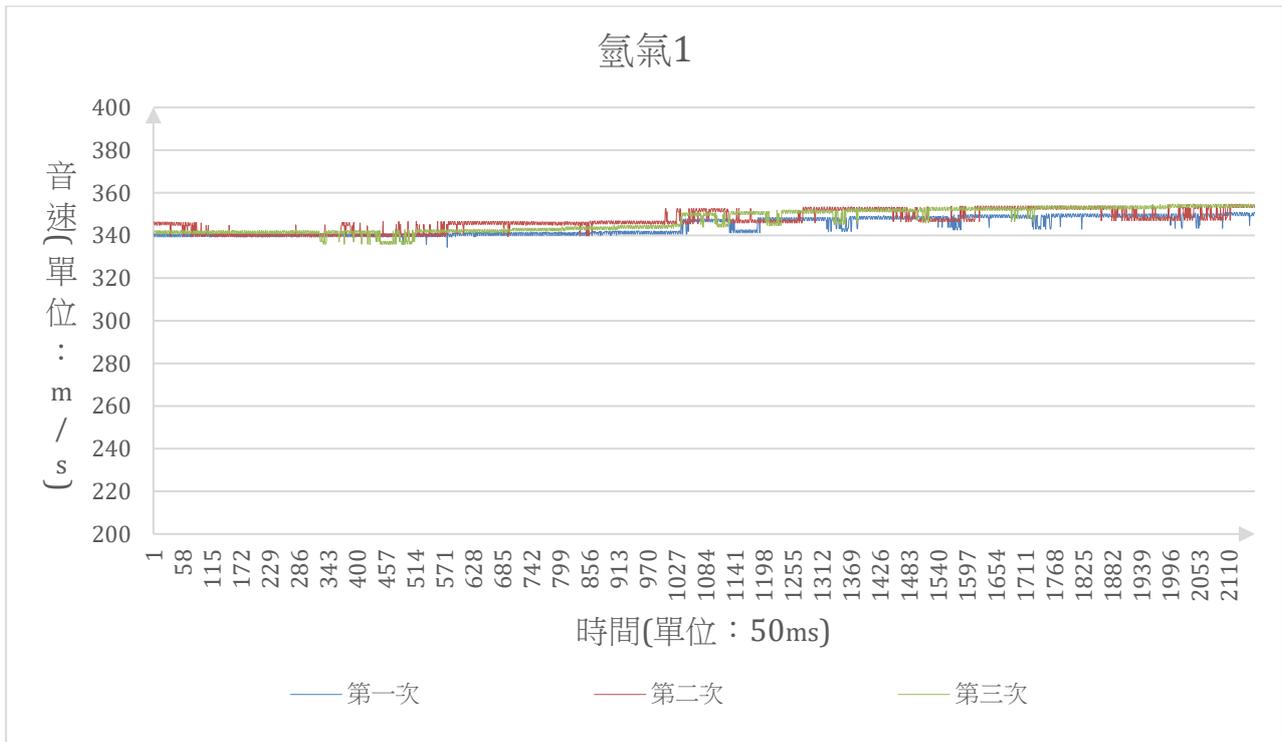


圖 5-8 音速在氫氣中的變化情形

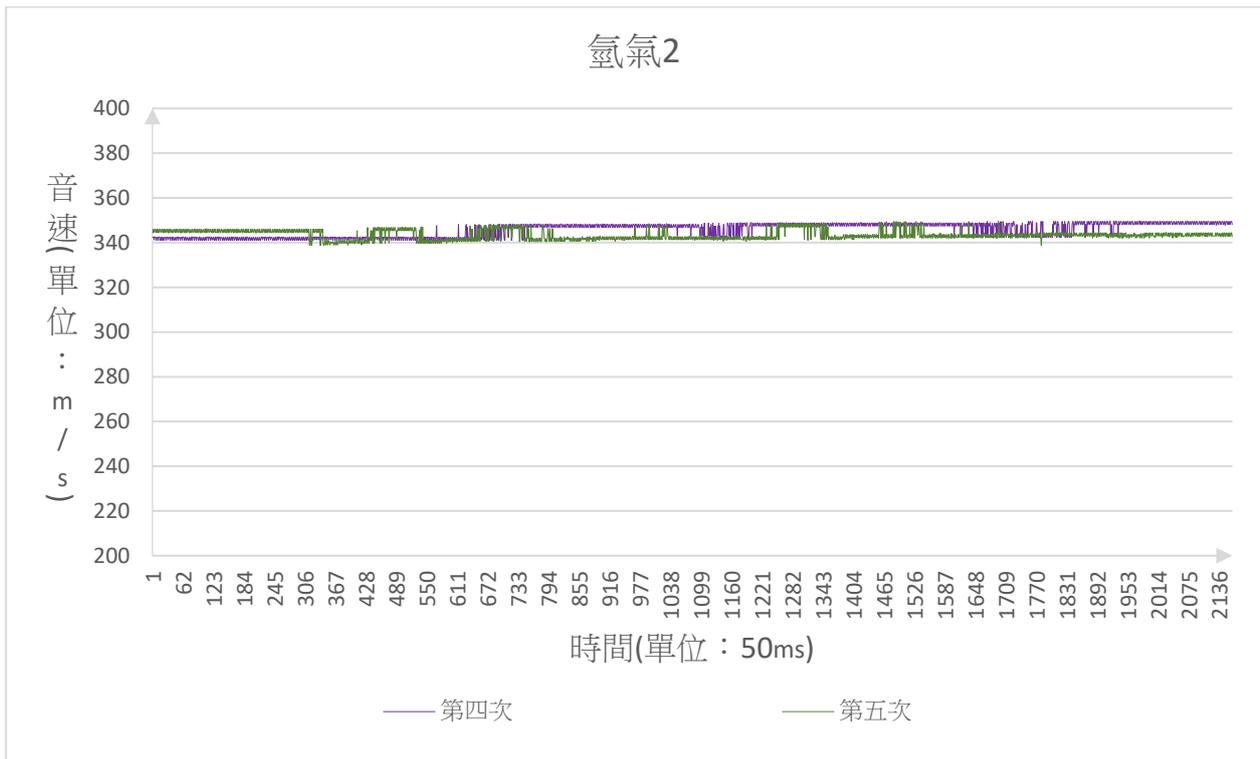


圖 5-9 音速在氫氣中的變化情形

由圖 5-7、5-8、5-9 可知，將氫氣灌入後音速由 345 m/s 上升至約 350 m/s，變化不大，可以看出聲音在氫氣中傳遞速度與空氣差不多。

(四) 氧氣

序	A	B	C	D	E	F
1		第一次	第二次	第三次	第四次	第五次
2	1	344.06	344.5	344.31	339.08	344.28
3	2	344.06	342.97	344.08	345.38	344.28
4	3	344.06	343.18	345.74	340.37	342.97
5	4	345.38	344.5	345.74	340.37	342.97
6	5	345.38	344.5	344.31	339.08	344.28
7	6	345.38	343.84	344.08	340.37	344.28
8	7	344.06	342.97	345.5	345.16	342.97
9	8	344.06	344.28	344.08	340.15	342.97
10	9	345.38	344.5	345.5	339.08	344.28
11	10	345.38	344.28	340.1	345.38	344.28
12	11	344.06	342.97	344.31	340.37	342.97
13	12	344.06	343.18	344.08	340.37	342.97
14	13	345.38	344.5	345.74	340.37	344.28
15	14	345.38	344.5	345.74	344.06	344.28
16	15	344.06	342.97	344.08	340.15	342.97
17	16	344.06	342.97	344.31	340.37	342.97
18	17	345.38	344.5	345.5	340.37	344.28
19	18	345.38	344.28	344.31	339.08	344.28
20	19	345.38	342.97	344.31	340.37	344.5
21	20	344.06	342.97	344.08	340.37	342.97
22	21	344.06	344.5	345.74	340.37	344.28
23	22	345.38	344.5	344.08	344.06	344.28
24	23	345.38	342.97	345.74	340.37	344.28
25	24	344.06	343.18	345.74	340.37	342.97
26	25	344.06	344.5	344.08	340.15	342.97
27	26	345.38	344.5	344.08	338.87	344.28
28	27	345.38	344.28	345.74	345.38	344.28
29	28	343.84	343.18	344.31	345.38	342.97
30	29	344.06	342.97	344.31	340.37	342.97
31	30	345.38	344.5	344.08	344.06	344.28
32	31	344.06	344.5	345.5	340.37	344.28
33	32	345.38	343.18	344.31	340.37	342.97

序	A	B	C	D	E	F
33	32	345.38	343.18	344.31	340.37	342.97
34	33	345.38	343.18	344.31	340.37	342.97
35	34	344.06	344.28	345.74	338.87	344.28
36	35	344.06	344.28	345.5	340.37	344.28
37	36	345.38	344.28	344.08	345.38	342.97
38	37	345.38	342.97	344.08	340.37	342.97
39	38	344.06	344.28	345.5	340.37	344.28
40	39	344.06	344.28	344.31	339.08	344.28
41	40	345.38	344.5	344.08	345.38	342.97
42	41	345.38	342.97	345.74	340.37	342.97
43	42	344.06	342.97	344.08	340.37	344.28
44	43	344.06	344.5	344.08	339.08	344.28
45	44	345.38	344.28	345.5	340.37	344.28
46	45	345.38	342.97	345.5	345.38	342.97
47	46	345.38	343.18	344.31	340.15	344.5
48	47	344.06	344.28	344.31	344.06	344.28
49	48	344.06	344.5	345.5	340.37	344.28
50	49	345.38	342.97	345.74	340.15	342.97
51	50	345.38	343.18	344.08	340.15	342.97
52	51	344.06	342.97	344.08	338.87	344.28
53	52	344.06	344.5	345.5	340.37	344.28
54	53	345.38	344.28	344.31	340.37	342.97
55	54	345.38	343.18	345.74	345.16	342.97
56	55	344.06	343.18	345.74	339.08	344.28
57	56	344.06	344.28	344.08	340.37	344.28
58	57	344.06	344.5	344.08	340.37	342.97
59	58	345.61	342.97	345.5	340.37	342.97
60	59	345.38	343.18	345.74	338.87	344.28
61	60	345.61	344.5	344.08	340.37	344.28
62	61	344.06	344.28	344.08	340.15	342.97
63	62	344.06	342.97	345.74	340.37	342.97
64	63	345.38	342.97	344.08	339.08	344.28
65	64	345.38	344.28	344.31	339.08	343.84

圖 5-10 氧氣中的音速(原始數據)

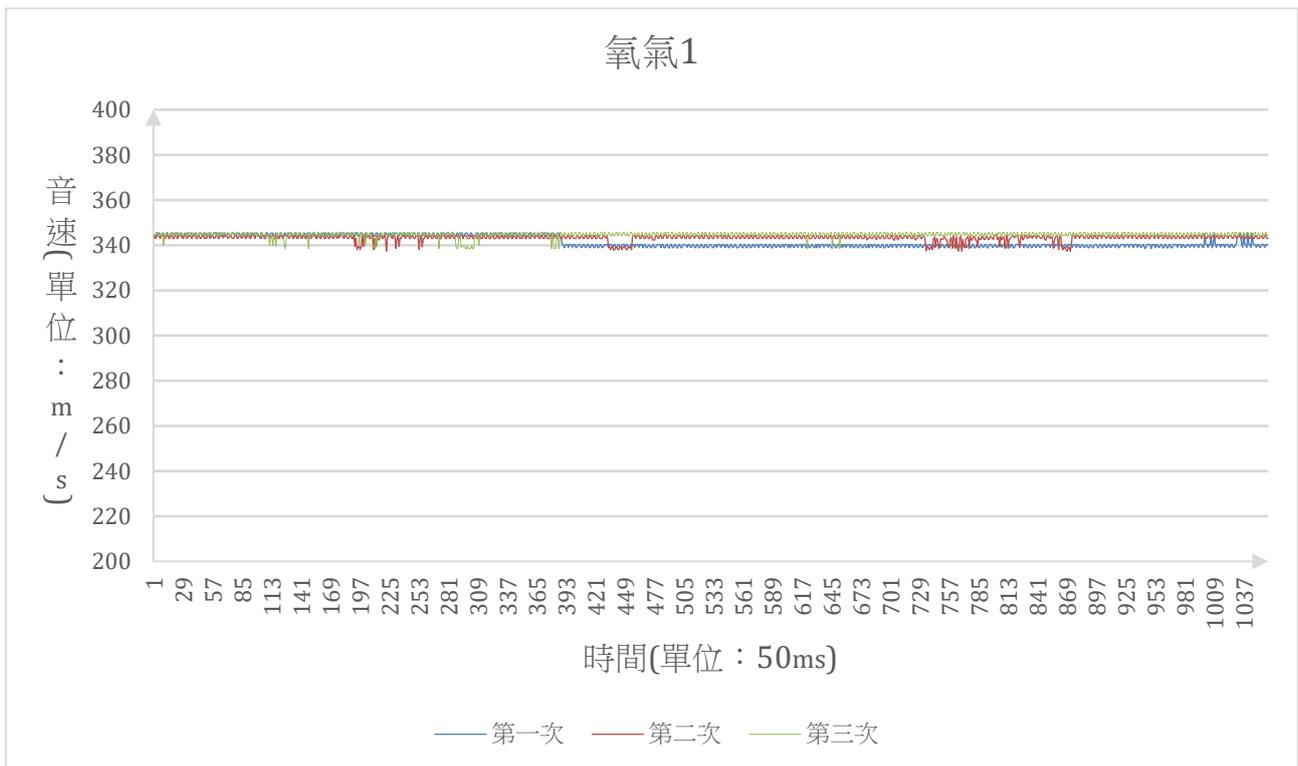


圖 5-11 音速在氧氣中的變化情形

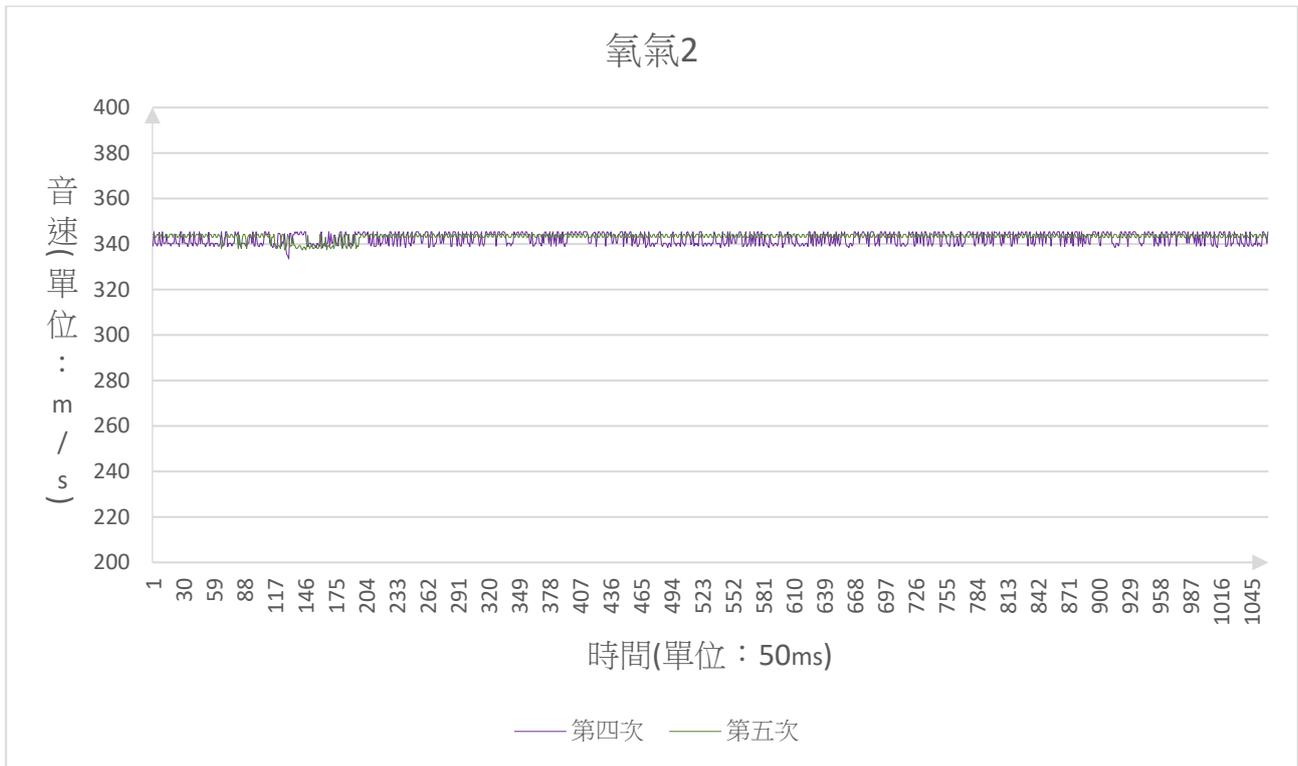


圖 5-12 音速在氧氣中的變化情形

由圖 5-10、5-11、5-12 可看出將氧氣灌入後音速變化不大，可以知道音速在空氣及氧氣中是差不多的。

(五) 酒精蒸氣

	A	B	C	D	E	F		A	B	C	D	E	F
1		第一次	第二次	第三次	第四次	第五次	32	31	340.79	342.66	339.4	340.79	335.98
2	1	346.46	345.03	345.74	339.4	339.86	33	32	340.79	336.2	339.4	340.79	334.85
3	2	345.03	346.46	345.98	340.79	338.48	34	33	347.43	337.57	333.73	339.17	333.07
4	3	345.03	346.46	341.02	340.79	338.48	35	34	345.74	337.8	335.53	339.4	335.3
5	4	346.46	345.03	347.43	339.4	339.86	36	35	345.98	336.2	335.3	359.42	335.75
6	5	346.46	345.27	339.63	338.71	339.86	37	36	341.72	336.43	336.2	345.98	334.4
7	6	345.27	346.46	345.74	340.79	339.63	38	37	340.79	337.57	337.8	345.74	338.48
8	7	345.03	345.03	347.43	340.1	338.48	39	38	339.63	338.48	337.11	353.07	333.96
9	8	346.46	345.03	345.98	338.71	338.48	40	39	339.63	337.11	343.37	353.07	339.86
10	9	345.03	346.46	345.98	339.4	339.86	41	40	340.79	336.88	338.48	357.62	340.56
11	10	339.63	346.46	346.22	340.79	338.48	42	41	340.79	338.48	338.48	365.74	345.03
12	11	346.46	345.03	341.02	340.1	337.8	43	42	339.4	337.8	326.54	359.42	345.03
13	12	342.43	339.17	345.74	338.71	338.48	44	43	333.29	336.88	331.52	364.14	340.79
14	13	336.43	340.79	345.74	339.4	339.86	45	44	334.4	337.11	333.07	365.74	338.48
15	14	341.02	339.63	347.19	340.79	333.73	46	45	334.4	338.48	333.07	370.62	333.73
16	15	334.63	339.4	347.43	341.49	341.02	47	46	333.29	338.48	331.52	364.14	339.4
17	16	341.49	340.1	339.4	331.52	336.2	48	47	333.29	336.88	337.11	359.17	339.86
18	17	345.98	337.11	339.4	332.4	336.66	49	48	333.29	336.88	336.2	357.62	338.48
19	18	339.4	338.48	340.79	334.4	335.3	50	49	334.4	338.25	336.43	364.14	338.71
20	19	347.19	341.96	340.79	333.51	333.96	51	50	334.63	338.25	337.8	365.47	339.86
21	20	341.02	336.2	339.4	332.18	340.1	52	51	333.07	336.88	337.8	357.88	346.46
22	21	339.86	336.43	345.74	333.07	335.3	53	52	333.29	337.11	336.88	357.62	345.03
23	22	337.8	337.57	347.19	333.73	334.4	54	53	334.63	338.25	337.57	365.74	345.27
24	23	340.1	336.2	345.98	333.73	333.07	55	54	334.63	342.43	330.2	357.88	353.32
25	24	340.79	341.72	345.98	334.4	333.29	56	55	333.96	333.29	330.2	370.62	347.43
26	25	339.4	337.57	347.19	333.07	334.4	57	56	333.96	340.1	331.52	339.86	345.74
27	26	333.07	343.13	347.43	333.07	335.08	58	57	335.3	341.72	336.88	364.14	364.94
28	27	340.79	341.72	345.74	334.63	329.99	59	58	335.3	333.73	336.2	370.62	340.79
29	28	340.79	341.72	339.4	340.79	334.63	60	59	333.96	339.4	336.43	365.74	345.74
30	29	339.4	337.57	340.79	333.96	334.63	61	60	333.29	340.1	335.53	364.14	339.17
31	30	345.03	337.57	339.4	334.18	335.98	62	61	333.73	335.3	336.88	357.88	340.56

圖 5-13 酒精蒸氣中的音速(原始數據)

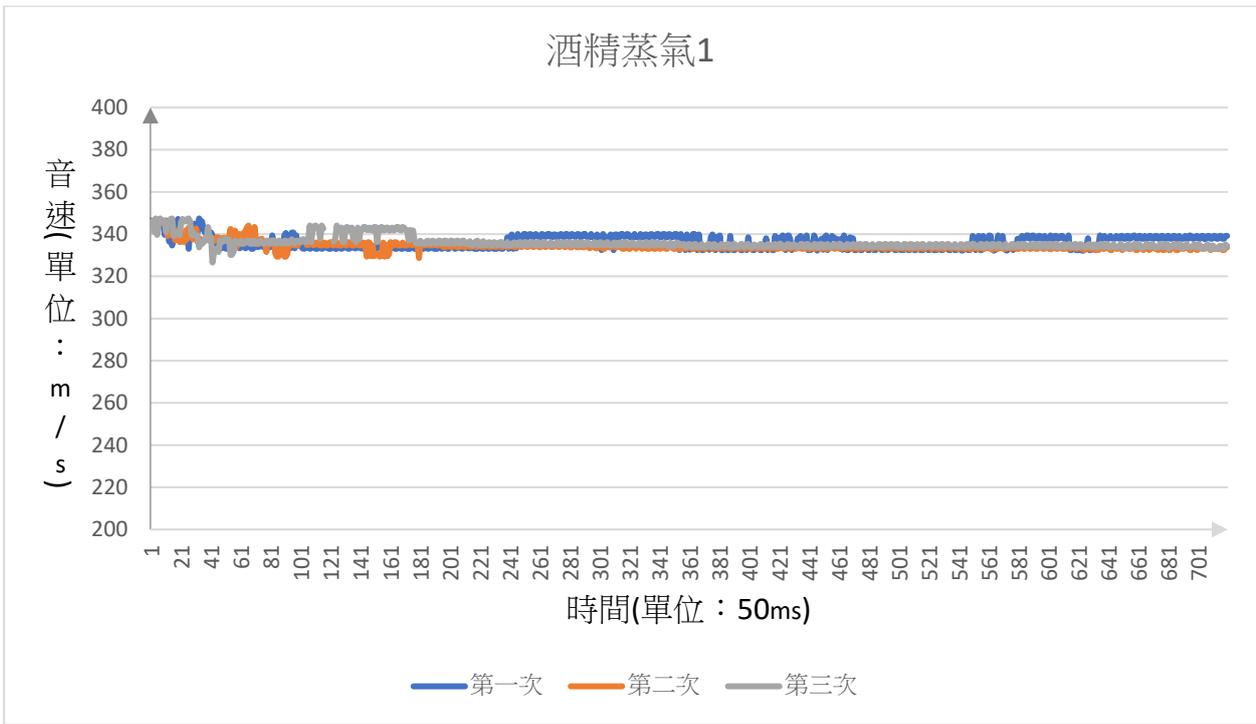


圖 5-14 音速在酒精蒸氣中的變化情形

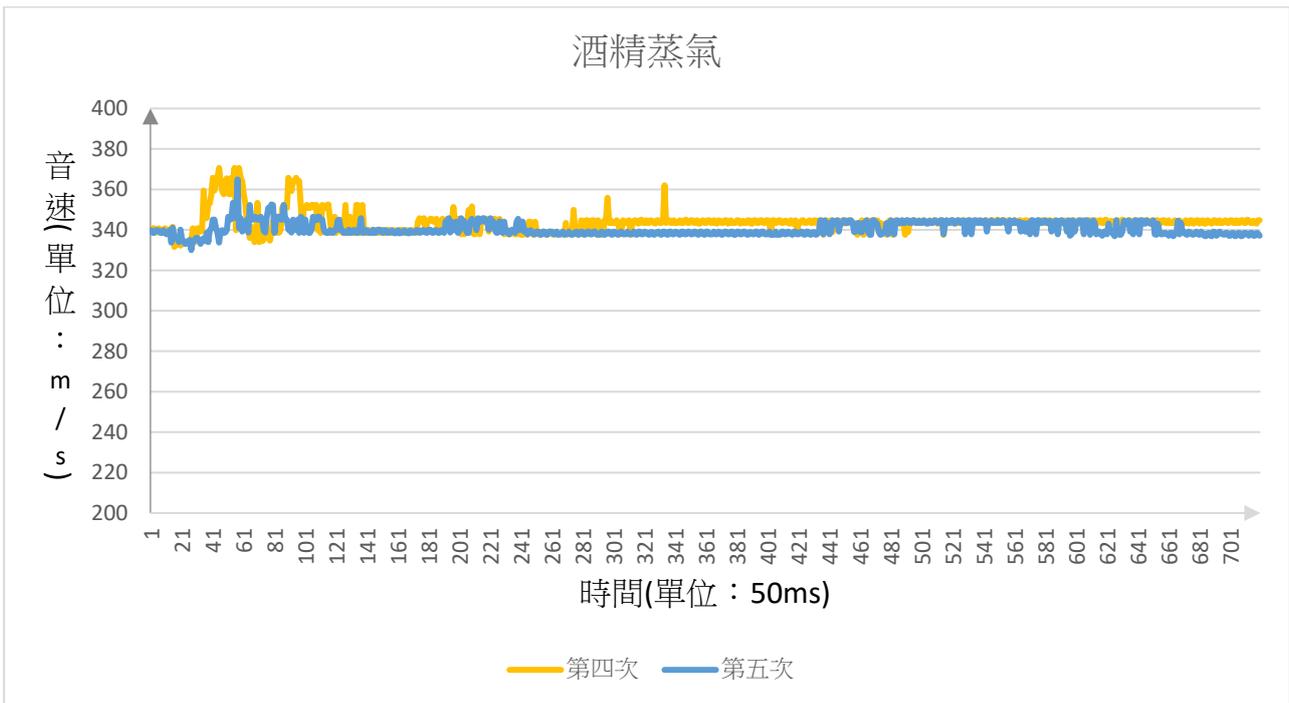


圖 5-15 音速在酒精蒸氣中的變化情形

由圖 5-14 可看出，酒精中的音速略為下降 5m/s，圖 5-15 則是大幅上升又下降並穩定，可以看出酒精蒸氣中的音速與空氣中的音速變化不大。

三、不同氣壓中的音速

(一) 1000hPa

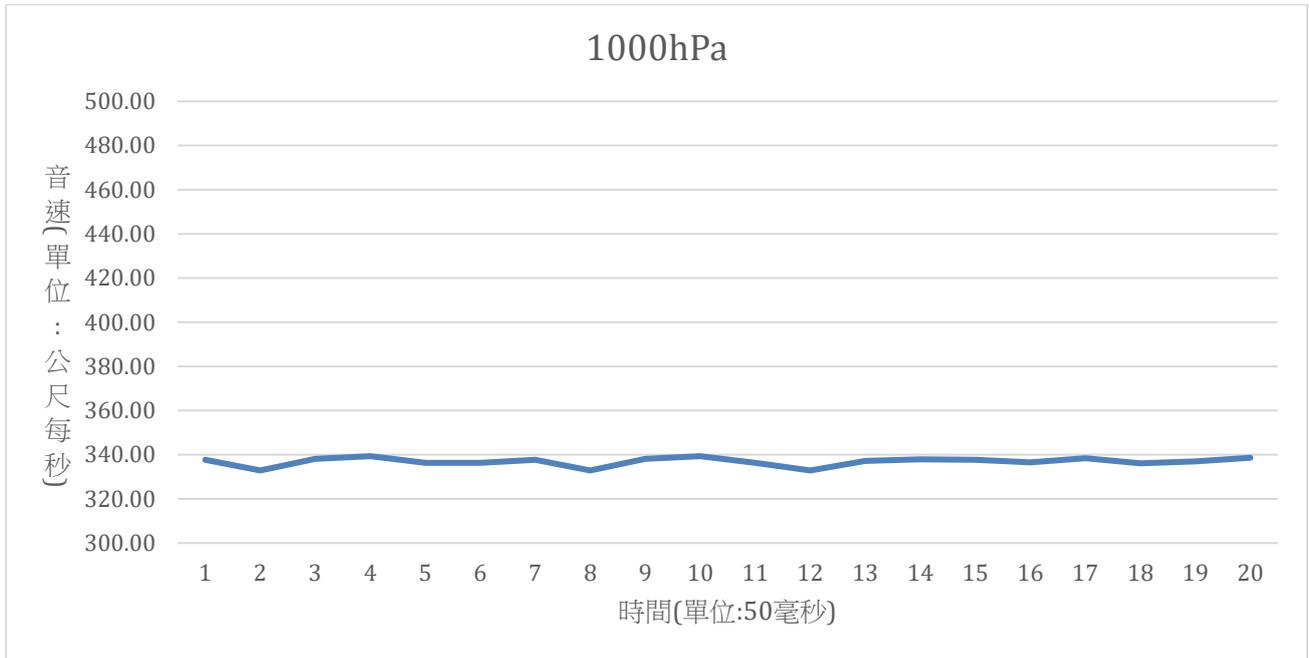


圖 5-16 音速在 1000hPa 中的變化情形

由圖 5-16 可看出，當未額外施加壓力時(1000 hPa)，音速為 340m/s，數值相當穩定。

(二) 1010hPa、1020hPa

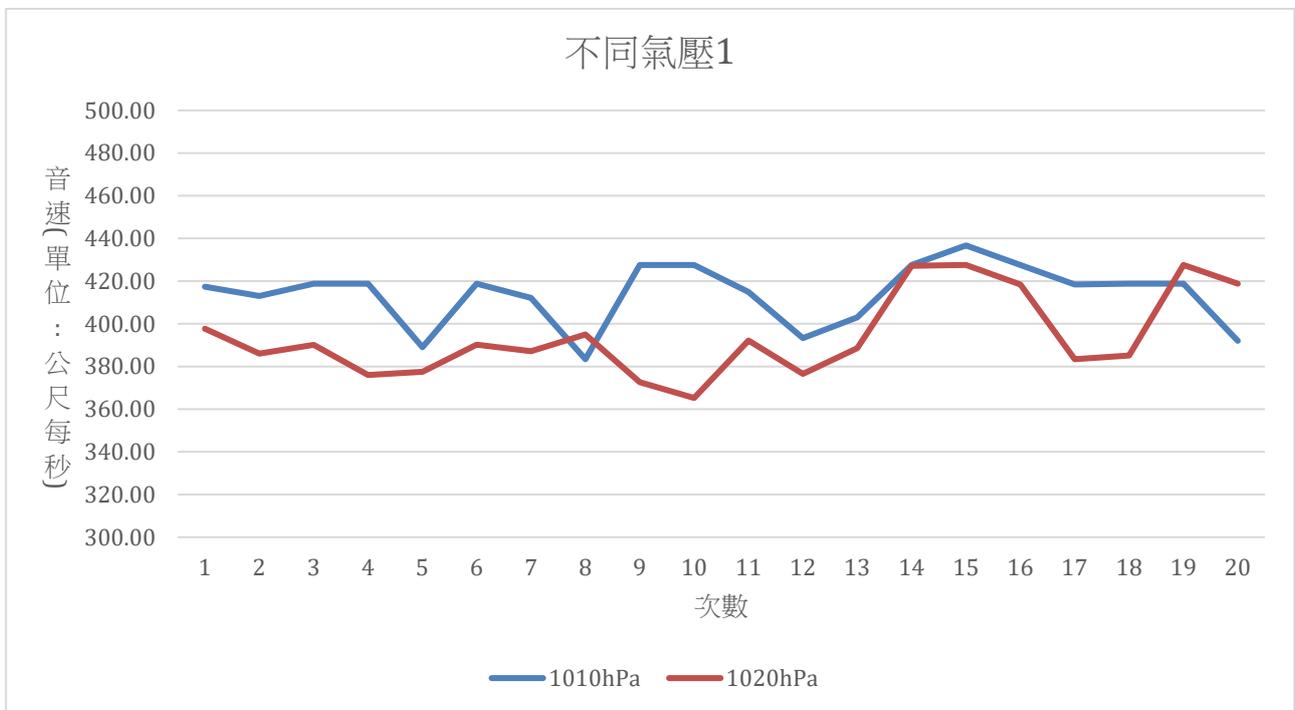


圖 5-17 音速在 1010hPa、1020hPa 中的變化情形

由圖 5-17 可看出，1010hPa 中的音速約為 420m/s，1020hPa 中的音速約為 410m/s，當額外

施加壓力後，觀察到音速均有上升的現象。

(三) 1030hPa、1040hPa

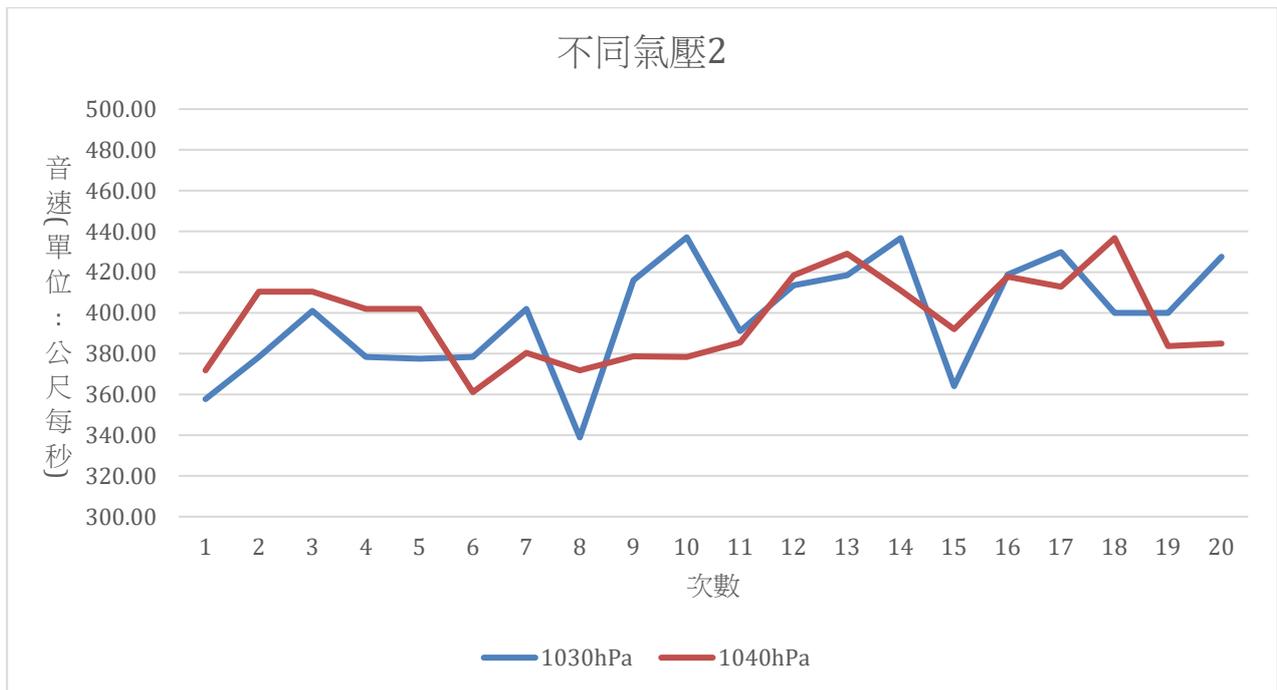


圖 5-18 音速在 1030hPa、1040hPa 中的變化情形

由圖 5-18 可看出，1030hPa 中的音速約為 400m/s，1040hPa 中的音速約為 400m/s，與未施加壓力(1000 hPa)前相比較，觀察到音速都有提升。

陸、討論

一、探討溫度對聲音速度的影響及驗證 $v = 331.5 + 0.6T$ 公式的正確性。

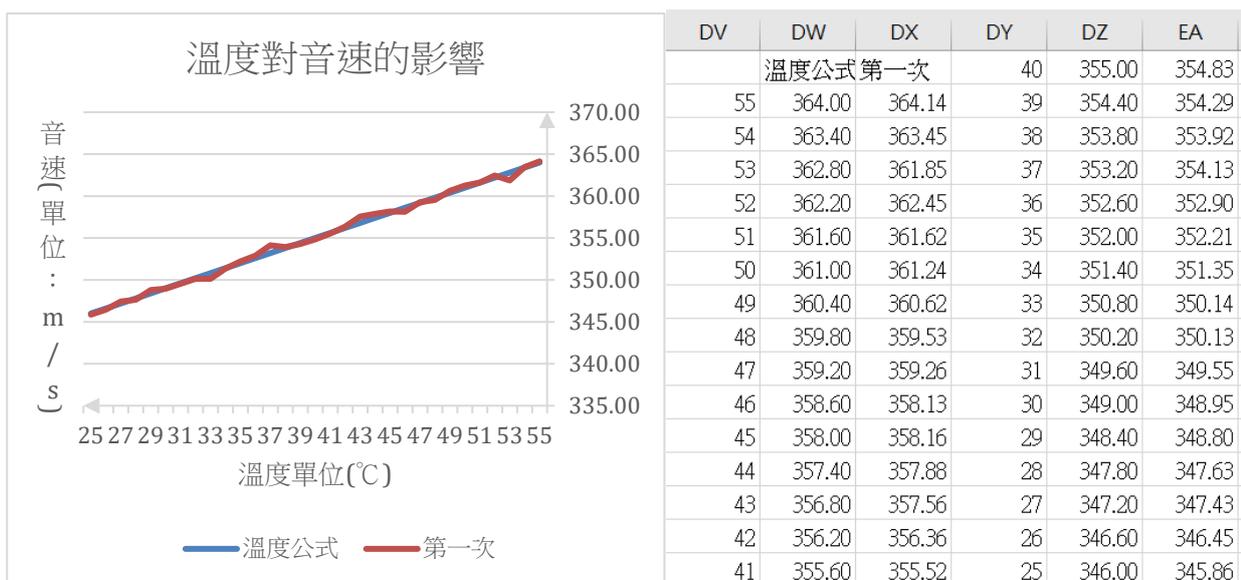


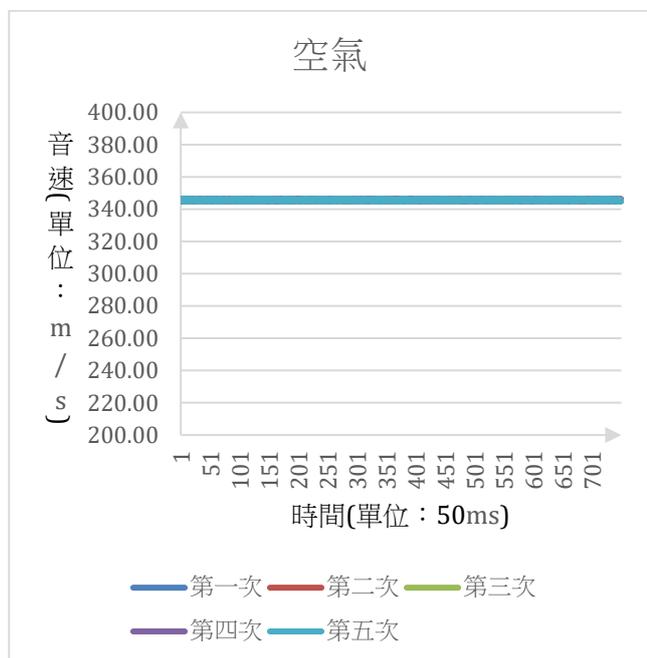
圖 6-1 音速在不同溫度中的變化情形及詳細數據

由圖 6-1 可以看出， $v = 331.5 + 0.6T$ 的圖形與實驗出的圖形幾乎重疊在一起，這代表著 $v = 331.5 + 0.6T$ 這個公式在特定的溫度範圍下是能與實驗結果符合得很好，代表此公式在之後

的實驗溫度範圍內是可靠的，我之後的實驗均會以此公式為基礎。

二、不同氣體中的音速

(一) 空氣



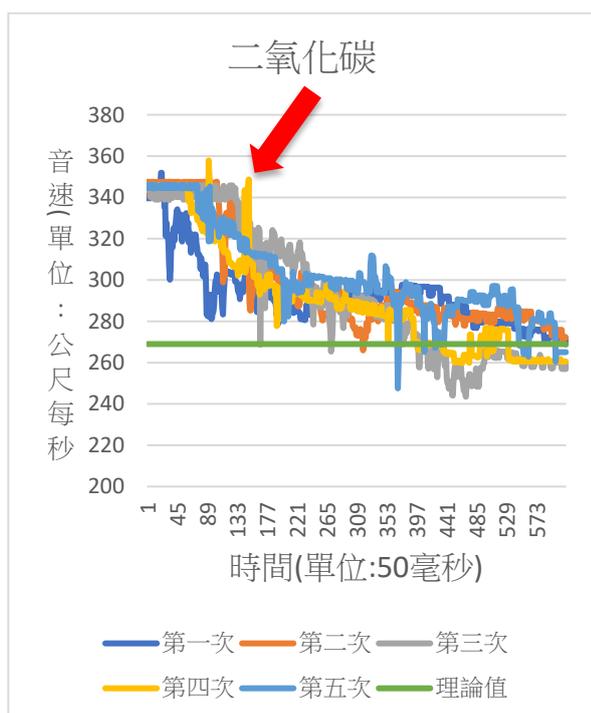
	一次	二次	三次	四次	五次
1	345.03	344.79	346.46	346.46	346.46
2	346.46	344.79	345.03	346.46	346.46
100	346.46	344.79	345.03	346.22	346.46
101	346.46	346.46	344.79	345.03	345.03
200	345.03	345.03	345.03	345.03	345.03
201	345.03	345.03	346.22	344.79	345.03
300	346.46	345.03	346.46	346.46	346.46
301	345.03	346.46	345.03	346.22	344.79
400	346.46	345.03	345.03	345.03	345.03
401	345.03	345.03	345.03	345.03	345.03
500	345.03	346.46	346.46	345.03	346.46
501	346.22	344.79	346.22	346.46	346.46
600	345.03	346.46	345.27	345.03	345.03
601	345.03	345.03	345.03	344.79	345.03
749	345.03	345.03	345.03	344.79	345.03
750	345.03	346.46	345.03	345.03	345.03

圖 6-2 音速在空氣中的變化情形及詳細數據

由圖 6-2 可以看出由超音波測出來的空氣音速很穩定，幾乎沒有變化，而且每次實驗的結果都是一樣的，沒有其他的變化。

因此我認為我的實驗裝置有足夠的穩定性與可信度去進行之後的實驗。

(二) 二氧化碳



	一次	二次	三次	四次	五次
1	339.51	347.39	344.5	344.59	344.59
2	341.01	347.61	345.83	346.02	346.02
50	326.94	347.39	343.84	344.59	346.02
51	331.57	341.88	345.61	344.59	344.35
100	295.39	340.58	339.51	324.25	326.80
101	299.33	341.01	340.15	318.67	326.80
150	305.62	304.23	323.60	333.33	314.47
151	305.62	288.75	324.19	342.94	313.87
200	286.29	293.30	314.90	294.29	305.25
201	286.29	296.04	314.35	281.21	300.30
400	292.99	284.78	257.80	270.12	296.56
401	296.86	287.36	257.68	266.24	287.69
500	280.19	279.90	256.94	272.18	287.85
501	280.19	283.43	259.79	276.85	287.85
600	272.40	276.31	257.31	260.55	279.49
601	272.40	276.31	260.42	260.55	279.49

圖 6-3 音速在二氧化碳中的變化情形及詳細數據

由上述之公式 $u = \sqrt{\frac{\gamma RT}{M}}$ (u 為音速， γ 為絕熱指數， T 為凱氏溫度， M 為平均分子量)。

可得出空氣音速：二氧化碳音速 = $\sqrt{\frac{1.4}{28.8}}$: $\sqrt{\frac{1.3}{44}}$

實驗時空氣音速為 345m/s，理論上二氧化碳音速為 269 m/s，實驗結果與理論值相近(見圖

6-3)，可知此公式 $u = \sqrt{\frac{\gamma RT}{M}}$ 可靠且被驗證。

箭頭處為二氧化碳快速灌入而導致數據有較大起伏，經過幾秒後略為平穩。

由此實驗可知，我的實驗確實能觀察到音速的下降，裝置應該有相當的可信度(代表氣體蒐集量與裝置密封性均足夠)

(三) 氫氣

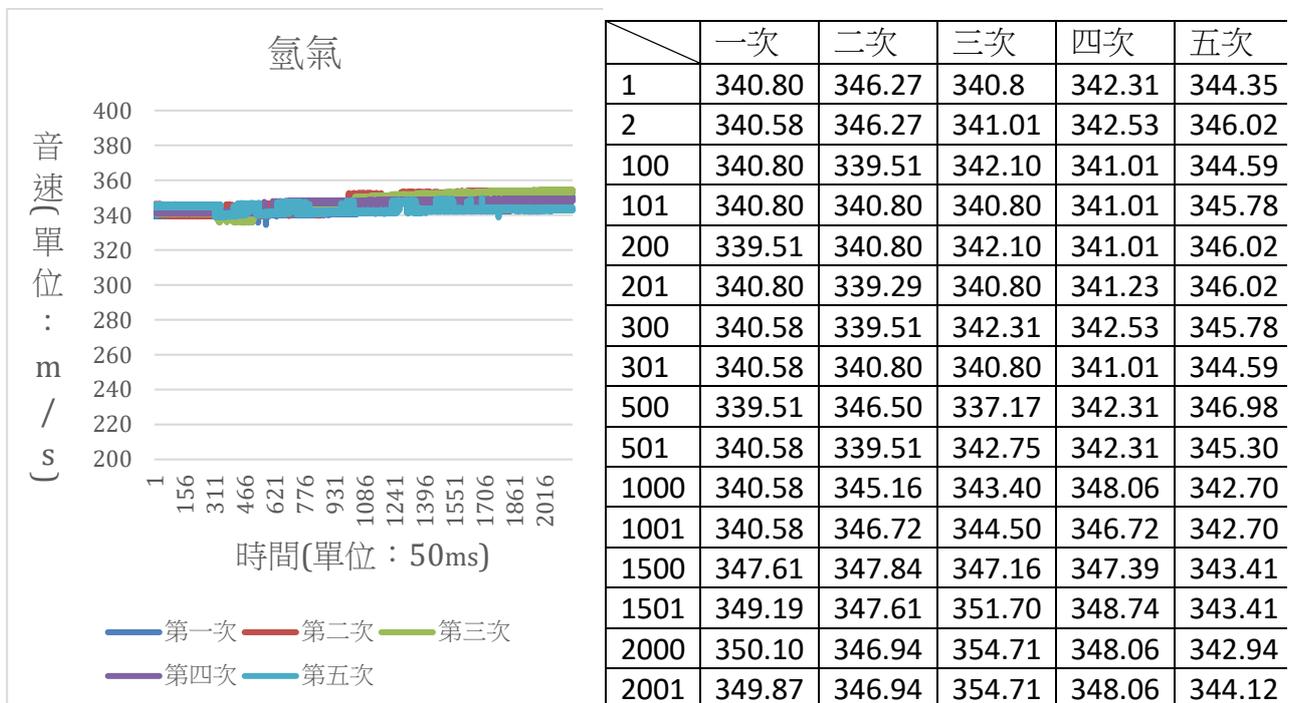


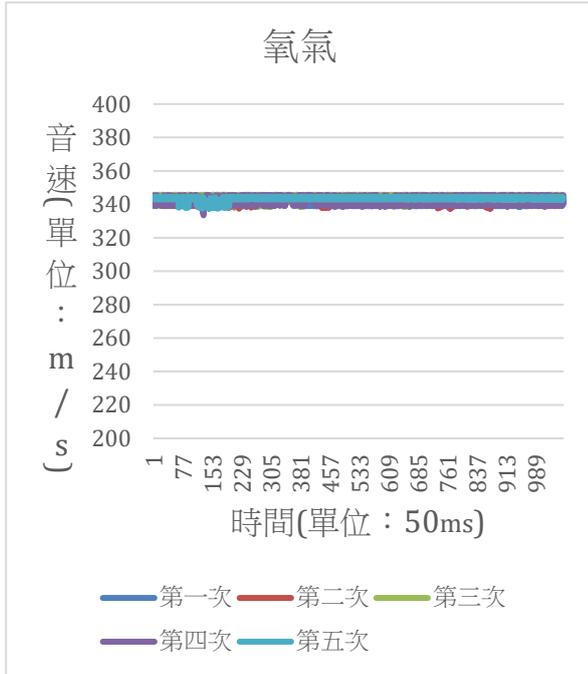
圖 6-4 音速在氫氣中的變化情形及詳細數據

由上述之公式 $u = \sqrt{\frac{\gamma RT}{M}}$ (u 為音速， γ 為絕熱指數， T 為凱氏溫度， M 為平均分子量)

可得出空氣音速：氫氣音速 = $\sqrt{\frac{1}{28.8}}$: $\sqrt{\frac{1}{2}}$

如圖 5-2，當時空氣音速為 345 m/s，則理論上氫氣音速為 1309 m/s，而實現結果卻只有略為上升，與實驗結果差距甚大，一開始推測是因為氫氣量太少，我已經做些方式去改善產量(將氣體用過濾瓶送入及用紙杯放在盒內產生氣體)以及提升裝置的密封性後，但聲音在氫氣中的速度仍然與理論值差距很大。且經過多次實驗後，結果都相近，雖然我觀察到這樣的現象，但目前無法做出更深入的解釋，有待之後進行更完善的實驗

(四) 氧氣



	一次	二次	三次	四次	五次
1	344.06	344.50	344.31	339.08	344.28
2	344.06	342.97	344.08	345.38	344.28
100	344.06	344.50	345.5	340.37	344.28
101	344.06	344.28	344.31	339.08	344.28
200	344.06	339.51	344.08	344.50	344.28
201	344.06	344.50	344.08	345.38	342.97
300	344.06	342.97	338.48	340.37	344.28
301	344.06	342.97	338.48	340.37	344.28
400	340.37	342.97	344.08	344.06	342.97
401	340.37	342.97	345.74	344.06	344.28
500	340.37	344.28	345.74	340.37	342.97
501	340.37	344.28	345.74	340.37	344.28
600	339.08	342.97	344.08	340.37	342.97
601	340.37	343.18	345.74	340.15	344.28
1000	345.16	344.28	344.31	339.08	344.06
1001	340.37	342.97	345.74	345.38	344.28

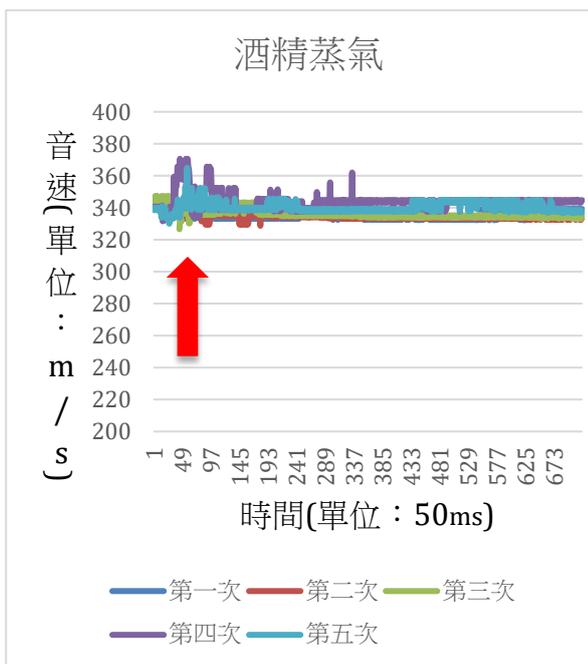
圖 6-5 音速在氧氣中的變化情形及詳細數據

由上述之公式 $u = \sqrt{\frac{\gamma RT}{M}}$ (u 為音速， γ 為絕熱指數， T 為凱氏溫度， M 為平均分子量)

可得出空氣音速：氧氣音速 = $\sqrt{\frac{1}{28.8}}$: $\sqrt{\frac{1}{32}}$

如圖 5-2，當時空氣音速為 345 m/s，則理論上氧氣音速為 327 m/s，如同之前氫氣的實驗，我也嘗試做了不同的灌氣方式及改善實驗設備的穩定性與密封性後，但氧氣的音速仍然與理論值有些許差距，實驗多次後依然如此。不過可能是因為氧氣與空氣的平均分子量差異不大，實驗誤差導致看不出音速的明顯差別。

(五) 酒精蒸氣



	一次	二次	三次	四次	五次
1	346.46	345.03	345.74	339.40	339.86
2	345.03	346.46	345.98	340.79	338.48
100	334.63	336.20	336.20	350.84	338.48
101	333.29	336.20	336.20	350.84	345.03
200	333.07	334.40	335.30	345.50	338.48
201	334.40	333.96	336.88	339.17	339.86
300	338.48	334.63	334.63	343.37	337.57
301	338.48	335.08	336.20	343.37	339.17
400	338.48	334.40	335.30	344.79	337.80
401	333.51	333.07	333.96	344.79	337.80
500	333.73	333.07	335.30	343.37	343.37
501	333.73	334.40	333.73	343.37	343.37
600	338.02	334.40	333.96	343.13	339.17
601	337.80	333.07	335.30	343.37	343.37
700	339.17	332.40	333.73	343.37	337.11
701	337.80	333.07	335.30	344.79	337.11

圖 6-5 音速在酒精蒸氣中的變化情形及詳細數據

由上述之公式 $u = \sqrt{\frac{\gamma RT}{M}}$ (u 為音速， γ 為絕熱指數， T 為凱氏溫度， M 為平均分子量)

可得出空氣音速：酒精蒸氣音速 = $\sqrt{\frac{1}{28.8}}$: $\sqrt{\frac{1}{46}}$

如圖 5-2，箭頭處為酒精噴霧剛噴入的時候，導致數據起伏較大，經一段時間後趨近於平穩。當時空氣音速為 345 m/s，則理論上酒精蒸氣音速為 272 m/s，而實驗結果幾乎沒有改變，與理論值差距甚大，在經過多種的灌氣方式，還在盒中靜置酒精讓他揮發 30 分鐘 (確保蒸氣量足夠)，但每次實驗結果的差距都不大，原本預期酒精蒸氣會如同二氧化碳一般(分子量相近)，造成音速的下降，但我並沒有觀察到音速下降的現象，如同之前的氫氣實驗一般，此現象我目前無法做出更深入的解釋，仍待之後更多的實驗去進行驗證。

三、不同氣壓中的音速

(一) 1000hPa 中的音速(常壓下)

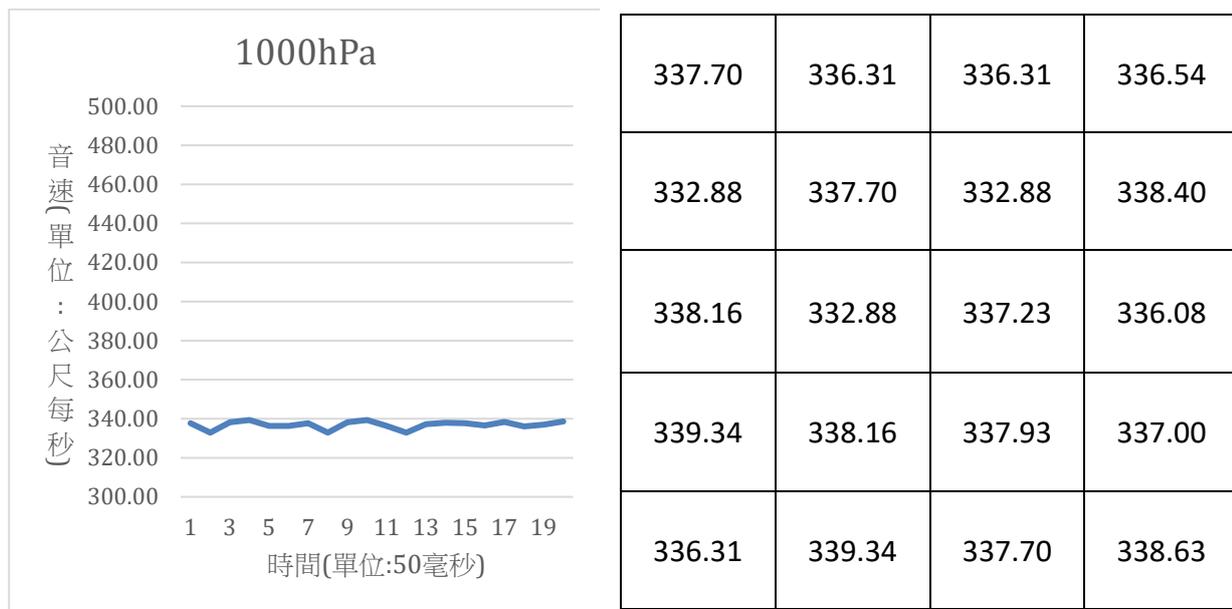


圖 6-6 音速在 1000hPa 中的變化情形及詳細數據

由圖 6-6 可以看出，1000hPa 中的音速非常的穩定，我之後的加壓實驗都會與此壓力做比較。由於加壓裝置不能穩定在一固定壓力下蒐集數據，所以我採用多次測量後，分別取 1010hPa、1020hPa、1030hPa、1040hPa 這四個壓力時的音速做成折線圖來進行比較。

(二) 1010hPa、1020hPa、1030hPa、1040hPa 中的音速

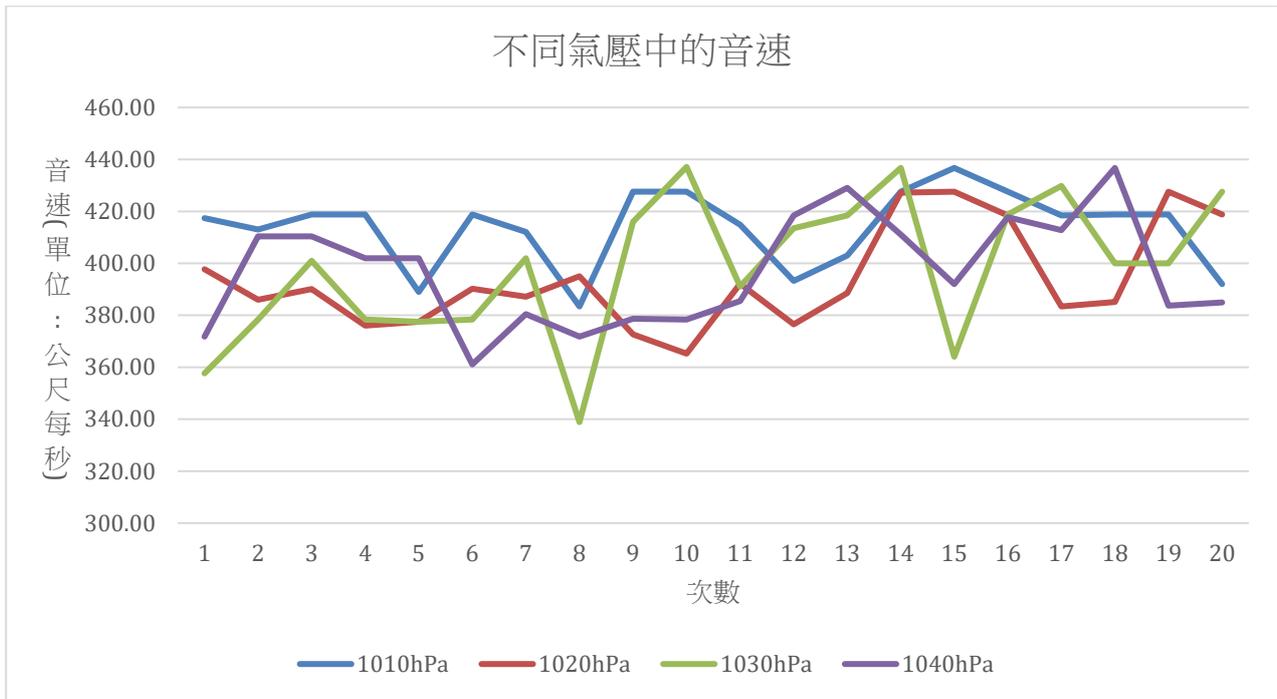


圖 6-7 音速在 1010hPa 中的變化情形及詳細數據

由上述之公式 $u = \sqrt{\frac{\gamma p}{\rho}}$ (u 為音速， γ 為絕熱指數， p 為壓力， ρ 為密度)

可以得出 1000hPa 空氣音速：1010hPa 空氣音速= $\sqrt{1000}$ ： $\sqrt{1010}$

1000hPa 空氣音速：1020hPa 空氣音速= $\sqrt{1000}$ ： $\sqrt{1020}$

1000hPa 空氣音速：1030hPa 空氣音速= $\sqrt{1000}$ ： $\sqrt{1030}$

1000hPa 空氣音速：1040hPa 空氣音速= $\sqrt{1000}$ ： $\sqrt{1040}$

圖 6-6、6-7 可以看出 1000hPa 空氣音速為 340m/s，

則 1010hPa 空氣音速理論值為 342m/s，實驗結果為 420m/s，

則 1020hPa 空氣音速理論值為 343m/s，實驗結果為 410m/s，

則 1030hPa 空氣音速理論值為 345m/s，實驗結果為 400m/s，

則 1040hPa 空氣音速理論值為 347m/s，實驗結果為 400m/s，

實驗結果與理論值有差距，而且數據起伏過大，推測是因為灌氣時有風且會晃動器材，才會導致音速測量結果不夠穩定，但整體而言仍可看出加壓後音速會確實較未加壓前上升，但整體趨勢不夠明顯，代表我的實驗器材還有改進空間。

柒、結論

- 一、在實驗溫度範圍內，國中課本提及的音速公式 $v=331.5+0.6T$ 與我的實驗結果符合得很好。
- 二、氣體的平均分子量越大，聲音速度就越慢，實驗結果證實音速在二氧化碳中確實與理論值符合的很好。但音速在氫氣與酒精蒸氣中就有明顯的偏差，目前我無法對氫氣與酒精蒸氣做出更深入的解釋。
- 三、實驗結果表示當加壓後音速會上升，與理論預測的趨勢相符，但仍有些許差距。

捌、參考資料

- 一、康軒文教事業股份有限公司，國民中學自然與生活科技第三冊(二上)第三章
- 二、文新壹、林祐謙、盧承濤，中華民國第 517 屆中小學科學展覽會，國中組物理與天文學科：看見聲音賽跑
(<https://www.ntsec.edu.tw/Science-Content.aspx?cat=12949&a=6821&fld=&key=&isd=1&icop=10&p=1&sid=13678>)
- 三、國立臺灣師範大學物理問題討論區-
(<http://www.phy.ntnu.edu.tw/demolab/phpBB/viewtopic.php?topic=23388>)
- 四、wikipedia：speed of sound
(https://en.wikipedia.org/wiki/Speed_of_sound)
- 五、維基百科：絕熱指數
(<https://zh.wikipedia.org/wiki/%E7%BB%9D%E7%83%AD%E6%8C%87%E6%95%B0>)
- 六、胡長松、吳唐林，中華民國中小學科學展覽會，國中組物理科：氣體壓力的變化會影響聲音的傳播速度嗎?
(<https://activity.ntsec.gov.tw/activity/race-1/28/pdf/28m/030.pdf>)

【評語】 030106

1. 能夠使用學習到的化學方法來製作所需要的氣體。
2. 能良好的分析所得實驗數據並應用理論解釋之。
3. 針對氣體是否已完全充滿空間，可以再設計一下實驗以增加設計的可信度。

摘要

對於在理化課聽到的物質密度越大，聲音傳播速度越快，溫度越高音速越快，公式 $v=331.5+0.6T$ 是溫度對聲音的關係，提出了質疑，本作品利用在盒中裝設超音波感測器來驗證 $v=331.5+0.6T$ 的準確性，以及在不同的氣體，不同氣壓下音速的改變，得出氣體平均分子量越大，聲音傳播的速度越慢的結果，而氣體中氣壓越大，聲音傳播的速度就越快。

壹、研究動機

理化課時，老師說聲音在不同介質傳播的聲音速度不同，而固體中的音速又比氣體快，溫度越高音速越快，這些說法引發我對氣體中音速的好奇，進而研究測量音速的方法。為了了解聲音在不同氣體、不同氣壓中的傳播速度，我在實驗中選擇了不同的氣體，如：氫氣、氧氣，並利用測距儀，分析其訊號，再計算出波速的大小。

貳、研究目的

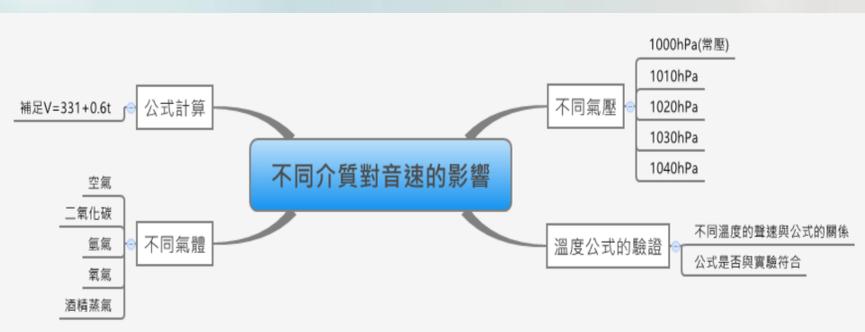
- 一、探討不同溫度對聲音速度的影響及驗證 $v = 331.5 + 0.6T$ 公式的正確性。
- 二、探討空氣、 $\text{CO}_2(\text{g})$ 、 $\text{H}_2(\text{g})$ 、 $\text{O}_2(\text{g})$ 、 $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}(\text{g})$ 對聲音速度的影響。
- 三、探討不同氣壓對聲音速度的影響。

參、研究設備及器材

- 一、研究設備
Arduino、HC-SR04超音波感測器、過濾瓶
BMP180壓力感測器、溫度感測器
- 二、實驗材料
鎂帶、鹽酸、胡蘿蔔、雙氧水、檸檬酸、小蘇打、酒精

肆、研究過程或方法

一、研究架構



二、探討溫度對聲音速度的影響及驗證 $v = 331.5 + 0.6T$ 公式的正確性

(一)公式來源：

國中課本裡有一個溫度對音速的轉換公式為 $v = 331.5 + 0.6T$ ，此公式經上網查詢後有另一個較正確的公式為

$$v = \sqrt{401.8 \times (T + 273.15)}$$

而跟國中所教的 $v = 331.5 + 0.6T$ ，這個公式是前者公式在一定溫度的線性近似值，如圖4-1

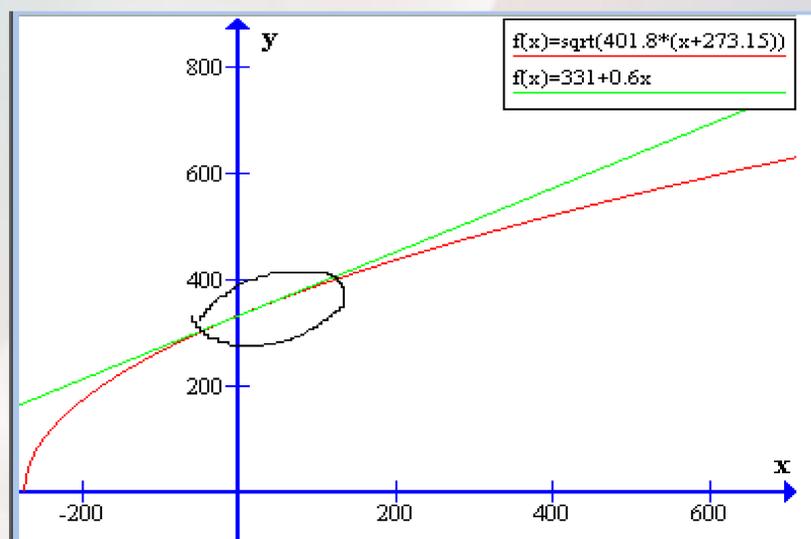


圖4-1溫度對乾空氣音速公式的比較

在這個 $-60\sim 60^\circ\text{C}$ 的範圍裡， $v = 331.5 + 0.6T$ 這個公式還是能符合現實狀況。

(二)測速方式

測距儀發射出超音波後，聲音經由盒子來回一次回到測距儀，將時間經過 $L = \frac{vt}{2}$ 公式計算之後即可得出音速

(L為距離，v為音速，t為時間)

(三)用實驗驗證 $v = 331.5 + 0.6T$ 的正確性

1.實驗步驟

- (1)裝置如圖4-2、4-3所示，一超音波感測器固定於盒內一端，超音波感測器的訊號連接至電腦。
- (2)將盒內溫度控制為定值。



圖4-2測速裝置

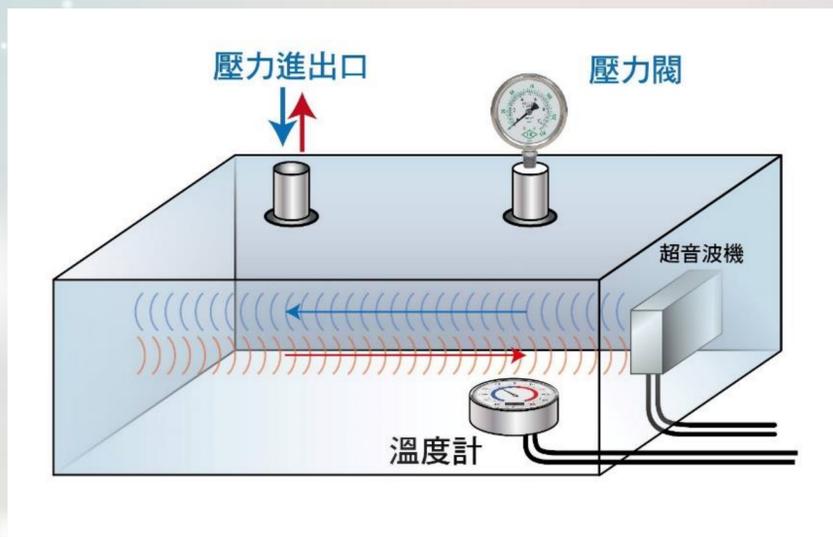


圖4-3測速裝置示意圖

- (3)重覆測量音速，計算出同樣溫度中的平均音速

三、不同氣體中的音速

- (一)將氣體灌入盒內，使盒內充滿氣體。
- (二)利用超音波測量收到訊號所需時間，可得聲波往返一次的平均時間，並計算出音速。
- (三)重覆2步驟多次，計算出同種氣體的音速
- (四)分別取空氣、二氧化碳、氫氣、氧氣和酒精蒸氣重覆1~3步驟，計算出不同氣體中的音速大小。

四、不同氣壓中的音速

- (一)將氣體加壓，使盒內壓力升高。
- (二)利用超音波測量收到訊號所需時間，可得聲波往返一次的平均時間，並計算出音速。
- (三)重覆2步驟多次，計算出同種氣壓的平均音速
- (四)分別取1000hPa(常壓)、1010hPa、1020hPa、1030hPa和1040hPa重覆1~3步驟，計算出不同氣壓中的音速大小。

伍、研究結果

一、探討 $v = 331.5 + 0.6T$ 公式的正確性及驗證溫度對聲音速度的影響

(一)不同溫度對空氣音速的影響(溫度 $^\circ\text{C}$ ，速度m/s)

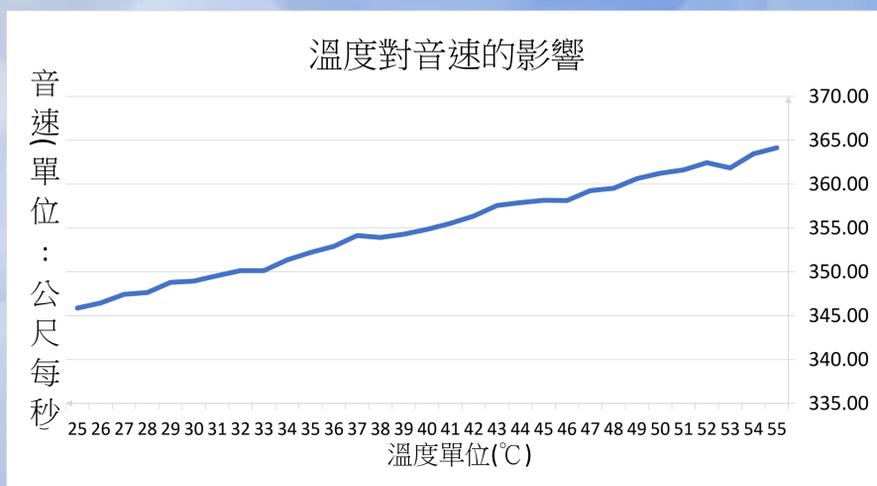


圖5-1溫度對音速的影響圖

由圖5-1可看出，溫度升高愈多，音速也會跟著提升。實驗顯示，當溫度上升 30°C ，音速會增加 19 m/s 。

二、不同氣體中的音速

(一) 空氣

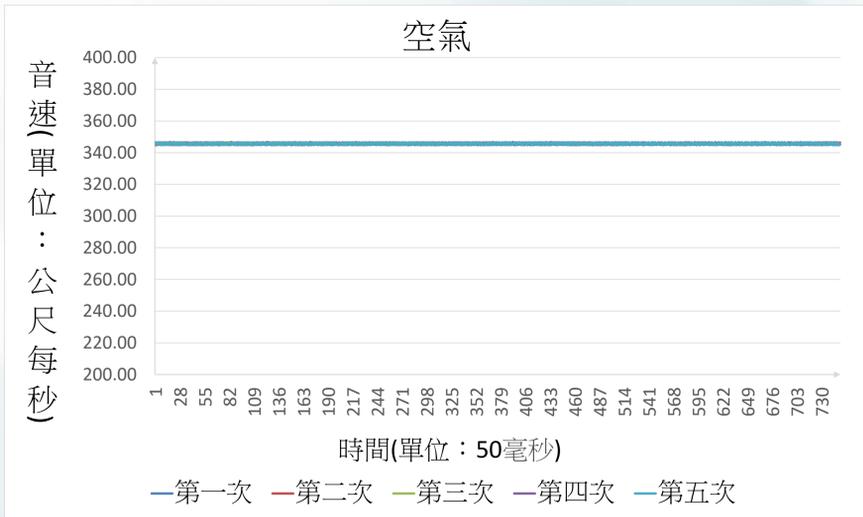


圖5-2音速在空氣中的情形

由圖5-2可看出，聲音在空氣中的速度很穩定，可以看出聲音在空氣中的速度約為345m/s。

(二) 二氧化碳

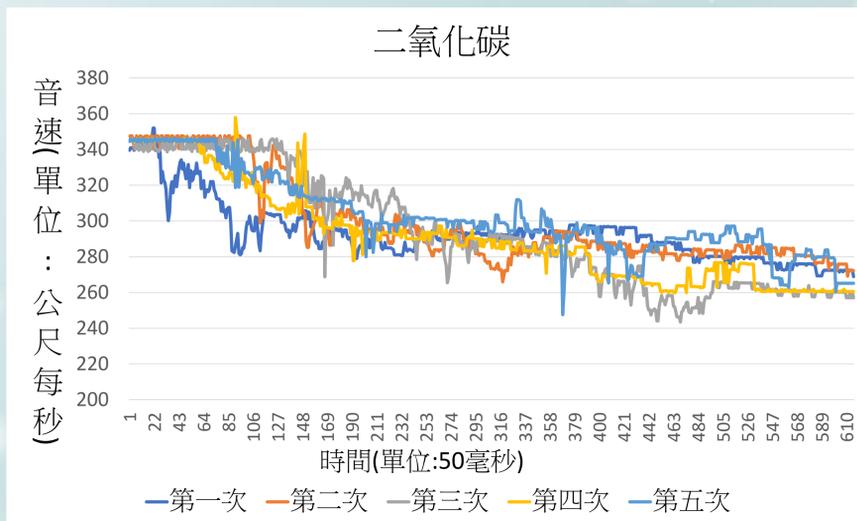


圖5-3音速在二氧化碳中的變化情形

由圖5-3可知，將二氧化碳灌入後音速由345 m/s降至約270 m/s，下降了75 m/s，約21%，可以看出聲音在二氧化碳中傳遞速度較慢。

(三) 氫氣

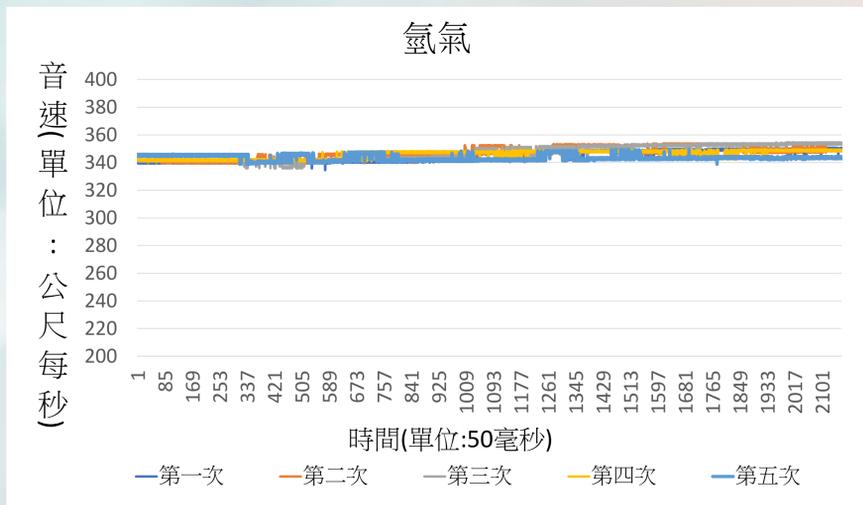


圖5-4 音速在氫氣中的變化情形

由圖5-4可知，將氫氣灌入後音速由345 m/s上升至約350 m/s，變化不大，可以看出聲音在氫氣中傳遞速度與空氣差不多。

(四) 氧氣

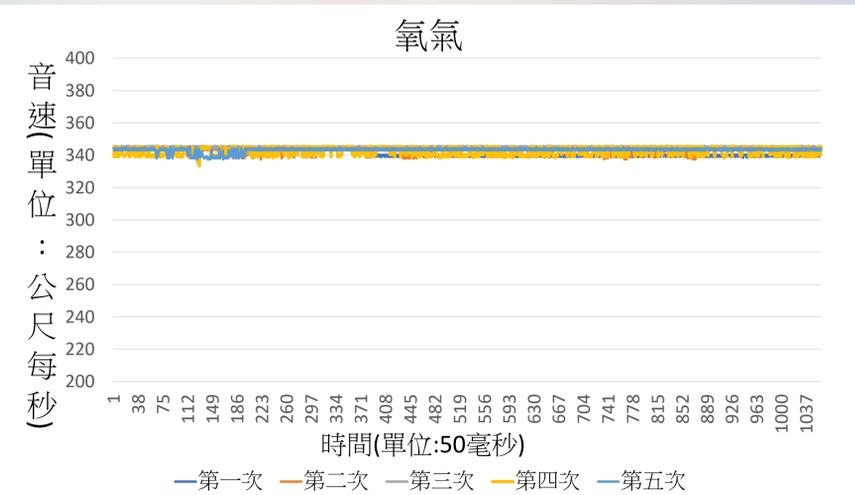


圖5-5 音速在氧氣中的變化情形

由圖5-5可看出將氧氣灌入後音速變化不大，可以知道音速在空氣及氧氣中是差不多的。

(五) 酒精蒸氣

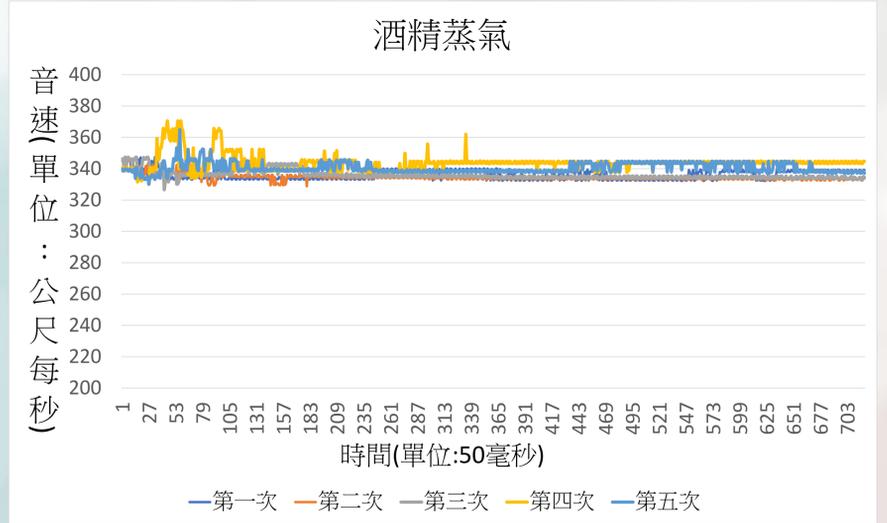


圖5-6 音速在酒精蒸氣中的變化情形

由圖5-6可看出，酒精中的音速略為下降5m/s，第四次則是大幅上升又下降並穩定，

可以看出酒精蒸氣中的音速與空氣中的音速變化不大。

三、不同氣壓中的音速

(一) 1000hPa

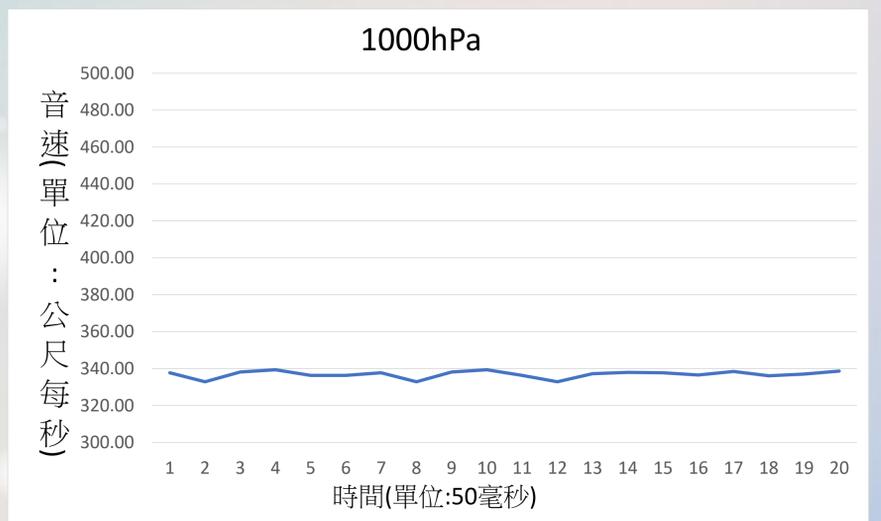


圖5-7 音速在1000hPa中的變化情形

由圖5-7可看出，當未額外施加壓力時(1000 hPa)，音速為340m/s，數值相當穩定。

(二) 1010hPa、1020hPa

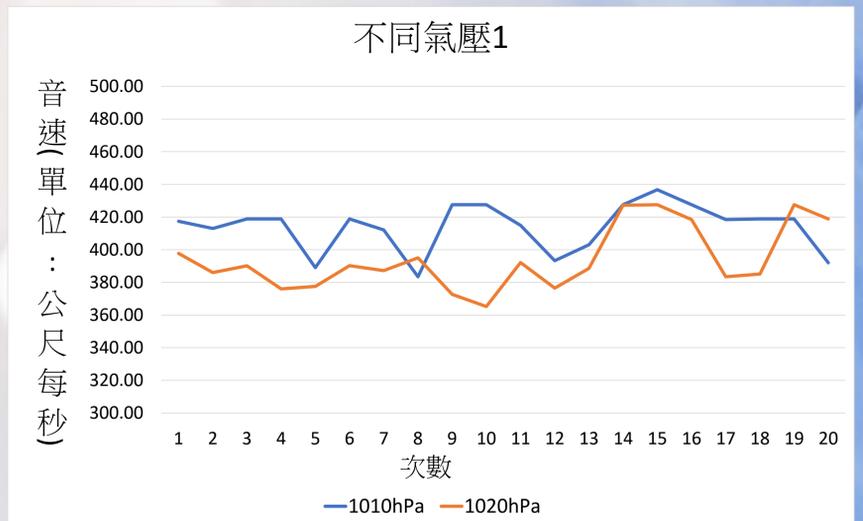


圖5-8 音速在1010hPa、1020hPa中的變化情形

由圖5-8看出，1010hPa中的音速約為420m/s，1020hPa中的音速約為410m/s，當額外施加壓力後，觀察到音速均有上升的現象。

(三) 1030hPa、1040hPa

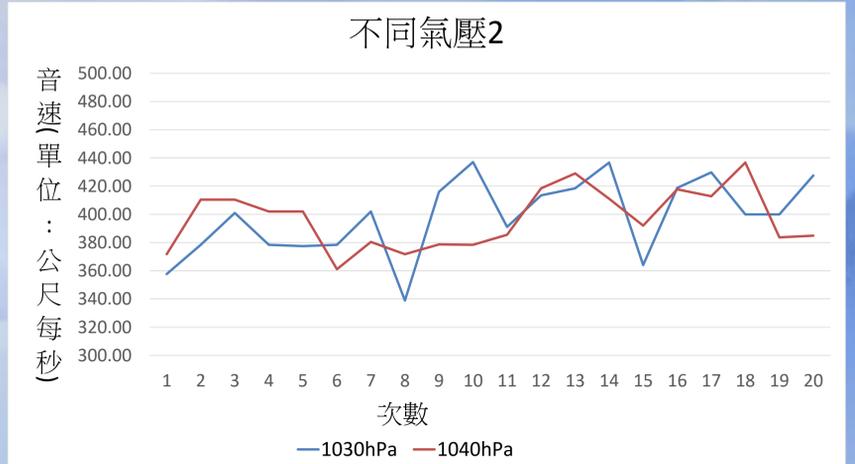


圖5-9 音速在1030hPa、1040hPa中的變化情形

由圖5-9可看出，1030hPa中的音速約為400m/s，1040hPa中的音速約為410m/s，與未施加壓力(1000 hPa)前相比較，觀察到音速都有提升。

陸、分析與討論

一、探討溫度對聲音速度的影響及驗證 $v = 331.5 + 0.6T$ 公式的正確性

由圖5-1可以看出， $v = 331.5 + 0.6T$ 的圖形與實驗出的圖形幾乎重疊在一起，這代表著 $v = 331.5 + 0.6T$ 這個公式在特定的溫度範圍下是能與實驗結果符合得很好，代表此公式在之後的實驗溫度範圍內是可靠的，我之後的實驗均會以此公式為基礎。

二、不同氣體中的音速

(一) 空氣

由圖5-2可以看出由超音波測出來的空氣音速很穩定，幾乎沒有變化，而且每次實驗的結果都是一樣的，沒有其他的變化。因此我認為我的實驗裝置有足夠的穩定性與可信度去進行之後的實驗。

(二) 二氧化碳

由上述之公式 $v = \sqrt{\frac{\gamma RT}{M}}$

(v 為音速， γ 為絕熱指數， T 為凱氏溫度， M 為平均分子量)

可得出空氣音速：二氧化碳音速 $=\sqrt{\frac{1.4}{28.8}} : \sqrt{\frac{1.3}{44}}$

如圖5-3，實驗時空氣音速為345m/s，理論上二氧化碳音速為

269 m/s，實驗結果與理論值相近，可知此公式 $v = \sqrt{\frac{\gamma RT}{M}}$ 可靠且被驗證。

由此實驗可知，我的實驗確實能觀察到音速的下降，裝置應該有相當的可信度(代表氣體蒐集量與裝置密封性均足夠)

(三) 氫氣

由上述之公式 $v = \sqrt{\frac{\gamma RT}{M}}$

(v 為音速， γ 為絕熱指數， T 為凱氏溫度， M 為平均分子量)

可得出空氣音速：氫氣音速 $=\sqrt{\frac{1}{28.8}} : \sqrt{\frac{1}{2}}$

如圖5-4，當時空氣音速為345 m/s，則理論上氫氣音速為1309 m/s，而實驗結果卻只有略微上升，與實驗結果差距甚大，一開始推測是因為氫氣量太少，我已經做些方式去改善產量(將氣體用過濾瓶送入及用紙杯放在盒內產生氣體)以及提升裝置的密封性後，聲音在氫氣中的速度仍然與理論值差距很大。

且經過多次實驗後，結果都相近，雖然我觀察到這樣的現象，但目前無法做出更深入的解釋，有待之後進行更完善的實驗

(四) 氧氣

由上述之公式 $v = \sqrt{\frac{\gamma RT}{M}}$

(v 為音速， γ 為絕熱指數， T 為凱氏溫度， M 為平均分子量)

可得出空氣音速：氧氣音速 $=\sqrt{\frac{1}{28.8}} : \sqrt{\frac{1}{32}}$

如圖5-5，當時空氣音速為345 m/s，則理論上氧氣音速為327 m/s，如同之前氫氣的實驗，我也嘗試做了不同的灌氣方式及改善實驗設備的穩定性與密封性後，氧氣的音速仍然與理論值有些許差距，實驗多次後依然如此。

不過可能是因為氧氣與空氣的平均分子量差異不大，實驗誤差導致看不出音速的明顯差別。

(五) 酒精蒸氣

由上之公式 $v = \sqrt{\frac{\gamma RT}{M}}$

(v 為速， γ 為絕熱指數， T 為凱氏溫度， M 為平均分子量)

可得出空氣音速：酒精蒸氣音速 $=\sqrt{\frac{1}{28.8}} : \sqrt{\frac{1}{46}}$

如圖5-6，當時空氣音速為345 m/s，則理論上酒精蒸氣音速為272 m/s，而實驗結果幾乎沒有改變，與理論值差距甚大，在經過多種的灌氣方式，還在盒中靜置酒精讓他揮發30分鐘(確保蒸氣量足夠)，但每次實驗結果的差距都不大，原本預期酒精蒸氣會如同二氧化碳一般(分子量相近)，造成音速的下降，但我並沒有觀察到音速下降的現象，如同之前的氫氣實驗一般，此現象我目前無法做出更深入的解釋，仍待之後更多的實驗去進行驗證。

三、不同氣壓中的音速

(一) 1000hPa中的音速(常壓下)

由圖5-7可以看出，1000hPa中的音速非常的穩定，我之後的加壓實驗都會與此壓力做比較。由於加壓裝置不能穩定在一固定壓力下蒐集數據，所以我採用多次測量後，分別取1010hPa、1020hPa、1030hPa、1040hPa這四個壓力時的音速做成折線圖來進行比較。

(二) 1010hPa、1020hPa、1030hPa、1040hPa中的音速

由上述之公式 $v = \sqrt{\frac{\gamma p}{\rho}}$

(v 為音速， γ 為絕熱指數， p 為壓力， ρ 為密度)

得出1000hPa空氣音速：1010hPa空氣音速 $=\sqrt{1000} : \sqrt{1010}$

1000hPa空氣音速：1020hPa空氣音速 $=\sqrt{1000} : \sqrt{1020}$

1000hPa空氣音速：1030hPa空氣音速 $=\sqrt{1000} : \sqrt{1030}$

1000hPa空氣音速：1040hPa空氣音速 $=\sqrt{1000} : \sqrt{1040}$

圖5-8、5-9可以看出1000hPa空氣音速為340m/s，

則1010hPa空氣音速理論值為342m/s，實驗結果420m/s，

則1020hPa空氣音速理論值為343m/s，實驗結果410m/s，

則1030hPa空氣音速理論值為345m/s，實驗結果400m/s，

則1040hPa空氣音速理論值為347m/s，實驗結果400m/s，

實驗結果與理論值有差距，而且數據起伏過大，推測是因為灌氣時有風且會晃動器材，才會導致音速測量結果不夠穩定，但整體而言仍可看出加壓後音速會確實較未加壓前上升，但整體趨勢不夠明顯，代表我的實驗器材還有改進空間。

柒、結論

- 一、在實驗溫度範圍內，國中課本提及的音速公式 $v=331.5+0.6T$ 與我的實驗結果符合得很好。
- 二、氣體的平均分子量越大，聲音速度就越慢，實驗結果證實音速在二氧化碳中確實與理論值符合的很好。但音速在氫氣與酒精蒸氣中就有明顯的偏差，目前我無法對氫氣與酒精蒸氣做出更深入的解釋。
- 三、實驗結果表示當加壓後音速會上升，與理論預測的趨勢相符，但仍有些許差距。

捌、參考資料

- 一、康軒文教事業股份有限公司，國民中學自然與生活科技第三冊(二上)第三章
- 二、文新壹、林祐謙、盧承濤，中華民國第 517屆中小學科學展覽會，國中組物理與天文學科：看見聲音賽跑
- 三、國立臺灣師範大學物理問題討論區-
- 四、wikipedia：speed of sound
- 五、維基百科：絕熱指數
- 六、胡長松、吳唐林，中華民國中小學科學展覽會，國中組物理科：氣體壓力的變化會影響聲音的傳播速度嗎？