

中華民國第 60 屆中小學科學展覽會 作品說明書

高級中等學校組 物理與天文學科

探究精神獎

051817

吹冷哈熱——探討氣流引入效應之影響

學校名稱：國立臺南第一高級中學

作者： 高二 史奇樂 高二 吳欣俞 高二 霍民邦	指導老師： 劉演文
-----------------------------------	--------------

關鍵詞：絕熱膨脹、氣流引入、蒸發降溫

摘要

人們在日常生活中對著皮膚噓口吹氣時，皮膚表面會覺得涼爽；但若是張口哈氣，則會感覺溫熱。為了量化這個現象的成因，在經過文獻探討及現象觀察後，作者以初步實驗分別測量了「絕熱膨脹」、「氣流引入」、「蒸發降溫」三種效應，得知「氣流引入」的表現最符合現象的結果。為了進一步證實「氣流引入」就是吹冷哈熱的主要原因，我們設計實驗讓這三種效應出現在單一事件中，發現溫度變化中至少 60% 以上是「氣流引入」導致的降溫效果。此外，作者進行更深入的實驗探討氣流引入的過程及特性，得到氣體流動路徑方向上氣流引入百分比與距離間分別有對數及線性關係，而氣流分佈截面也與我們對此現象的觀察結果一致，最後綜合得到經驗公式印證實驗結果成立。

壹、 研究動機

在冷風颼颼的冬天裡，我們常會雙手互搓並對著掌心張嘴「哈氣」取暖；而當皮膚被高溫物品碰觸而燙傷時，我們又會噓口對著受傷部位「吹氣」來減緩疼痛。在這兩種情況中，同樣是經由口腔內吐出的溫熱氣體，然而接觸到皮膚時，人體所感受到的冷熱程度卻不相同，究竟是甚麼因素導致了這種差異呢？

在先行研究當中，我們藉由文獻探討發現三個可能原因：「絕熱膨脹」是氣體本身的膨脹降溫、「氣流引入」是吹出的氣流在抵達皮膚之前與環境中空氣的混合效應、「蒸發降溫」是氣流吹過皮膚表面時水分蒸發的降溫效果。然而我們所找到的資料對於這些效應的說明都只有定性的討論，而缺乏定量的實驗佐證。因此我們決定設計實驗，對上述三種作用的影響分別進行研究，以明確的科學數據說明吹氣致冷現象背後的機制。

在比較三個效應後，我們發現「絕熱膨脹」和「蒸發降溫」效應的實驗結果與實際的吹氣致冷現象有所出入。然而，這無法證實「氣流引入」就是造成吹氣致冷及哈氣致熱的原因。因此我們決定設計進一步的實驗，針對「氣流引入」作用的影響進行測量，以證實「氣流引入」便是吹氣致冷及哈氣致熱現象的主要原因，同時也探討「氣流引入」過程中的變化。



圖 1 (取自中視新聞影片)
 (早期有許多說法是以絕熱膨脹效應來解釋)

貳、 研究目的

- 一、 觀察吹氣致冷的現象並探討其可能成因。
- 二、 研究絕熱膨脹、氣流引入、蒸發降溫對吹氣致冷現象的影響。
- 三、 探討氣流引入效應隨距離與風速的變化。
- 四、 研究吹氣與哈氣氣體流動的情形。
- 五、 探討吹氣與哈氣氣體溫度分布的情形。

參、 研究設備及器材

一、 測量儀器

		
記憶式熱線 風速風量溫度計	TES-1310 探針型數位溫度計	PASCO 高速反應溫度探針
		
紅外線測溫槍	PASCO CI-6532A Pressure Sensor	FLIR ONE 紅外線熱顯像儀

		
游標尺	電子秤	PASCO550 通用主機

表 3-1 測量器材

二、自製器材

(一) 材料



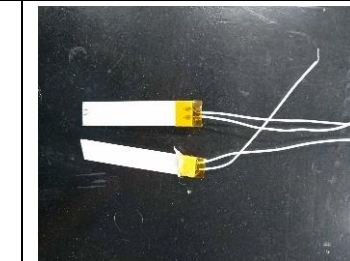






		
馬桶疏通器	130cm 厚紙筒	薄型高溫陶瓷加熱器
		
黏土	培養皿	紗布
		
直流電源裝置	115cm PVC 塑膠管	造霧器

表 3-2 自製器材材料

(二) 製作方式

- 1、 將馬桶疏通器切開，前半部連同把手作為推進處，後半部作為活塞。
- 2、 利用塑膠管連結馬桶疏通器前後兩部份，以增加推進距離及時間。
- 3、 利用電鑽在厚紙筒前端鑽洞，放入兩片薄型高溫陶瓷加熱器和溫度計的探針，並利用熱熔膠槍將洞孔封緊，避免漏氣影響實驗結果。
- 4、 以長度 130cm 的厚紙筒模擬口腔氣室，藉由較長的推進距離降低誤差。
- 5、 將加熱器連接電源，以調整電壓的方式改變加熱程度模擬口腔氣溫。

- 6、 在不同的培養皿上鑽出不同口徑的孔洞，分別為 0.40cm、0.80cm、1.20cm、1.70cm、2.7cm，模擬人們吹氣和哈氣時不同的張口程度。

3. 其他

		
熱熔膠槍	電鑽	球
		
電工膠帶	灑水器	球針

表 3-3 其他器材

肆、 研究過程或方法

一、 研究架構

本研究首先收集相關文獻和理論，列出三個可能造成吹氣致冷及哈氣致熱現象的可能原因，分別為「絕熱膨脹」、「氣流引入」和「蒸發降溫」，再進一步進行初步實驗觀察並比較各效應所導致的百分比，發現「氣流引入」為主要效應。故進一步利用自製的器材搭配不同口徑的出風口，模擬口腔吹氣與哈氣的情形，研究影響氣流引入的因素及氣流引入對於此效應的影響。

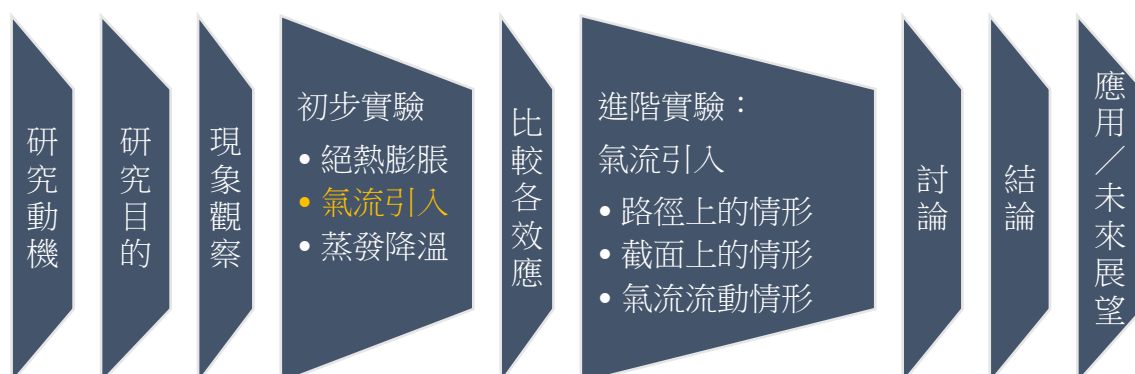


圖 4-1 研究架構

二、現象觀察

(一) 流體現象觀察

- 1、為了觀察氣流引入效應，我們曾嘗試以紅外線熱顯像儀(FILIR ONE)來拍攝口腔吹氣及實驗時厚紙筒推出氣體時的氣流狀況，可惜因空氣的能量密度不足以顯示出明確的氣流混合影像。
- 2、因此我們改以利用兩種不同直徑的針筒分別將熱水注入冷水和冷水注入熱水中，模擬在冬天和夏天時吹氣與哈氣的氣流變動情形。並利用 FILIR ONE 紅外線熱顯像儀觀察，使現象視覺化，可以發現：
 - (1) 不同口徑造成的液體流動情形差異不明顯。
 - (2) 熱水注入冷水中的現象較冷水注入熱水中明顯。
 - (3) 射出的液體溫度會介於針筒內的溫度與外界液體的溫度之間。
 - (4) 射出的液體會帶動旁邊液體流動，兩液體間逐漸融合，距離針筒出口處越遠，融合效應越明顯，導致溫度逐漸與外界液體溫度相近。
 - (5) 液體距離出口處越遠，流動的散佈面積越大。

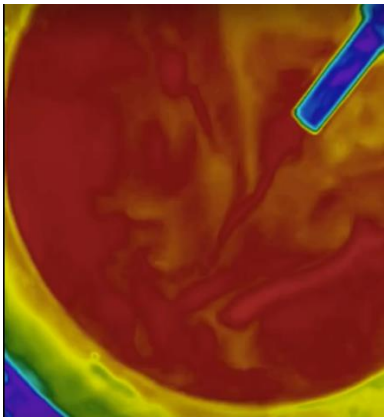

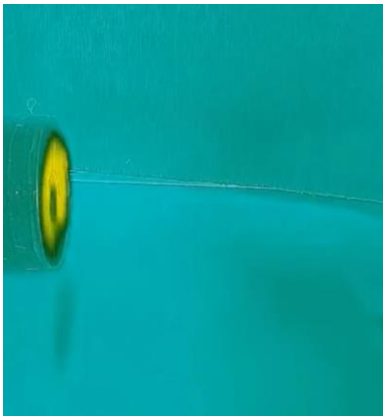



冷水注入熱水	熱水注入冷水	自製器材
		
		

表 4-2-1：流體現象觀察

(二) 觸物現象觀察




時間	1s	2s	3s
圖片			

表 4-2-2 觸物分析

- 1、 在自製儀器的氣腔內放置乾冰，乾冰昇華成冷的二氧化碳，使空氣中的水蒸氣凝結成白色的小水滴。隨著二氧化碳移動，白色的小水滴分布也會跟著改變，是氣流流動的情形能夠視覺化，改善空氣能量密度過低造成在紅外線熱顯像儀中效果不明顯的缺陷。

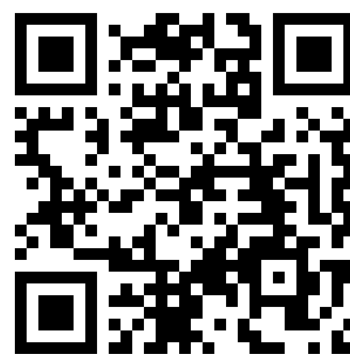


圖 4-2-2 觸物分析影片連結

- 2、 由（表 4-2-2）可見，氣流在接觸到障礙物後，沿著障礙物表面向外移動。故由此可知，吹氣或哈氣時，口腔氣體接觸到皮膚表面時，會沿著皮膚表面向外移動，使原本在皮膚表面和人體溫度接近的氣體被帶走，而造成皮膚感受到與平時不同的溫度。
- 3、 由於此實驗含有冷的二氧化碳，且過程中涉及相態的變化，造成潛熱的釋放與吸收。因次若測量過程中溫度的變化，其物理意義不大，故僅觀察氣流及水滴的分布情形。

(三) 氣流現象觀察

- 1、將造霧氣置於自製器材前，利用造霧氣產生高溫的水蒸氣，水蒸氣遇冷形成小水滴，液體的能量密度較氣體高，固可使氣流流動情形視覺化。
- 2、由於熱顯像儀僅以色調表示溫度高低，故將影片匯入 tracker 中，利用強度分析功能，得出 RGB 色彩模型之數值，由於 B 值的趨勢與溫度的趨勢較一致，利用 B 值強度搭配已知位置的溫度，將 B 值推算成溫度。
- 3、由實驗數據可以發現，越靠近出風口的位置，其溫度越高，然而，有部分數據點並非呈現相同的趨勢，因 B 值對應溫度之函數並非嚴格遞增。
- 4、相對於溫度計僅能觀測測量「點」的溫度，熱顯像儀可觀測測量「面」的溫度，且能夠觀察溫度隨時間的變化情形，但無法準確紀錄數據。

		與出風口距離 (cm)										
		0.0	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0	4.5	5.0
截面上與中心的距離 (cm)	1.0	35.3	37.8	43.1	34.0	35.3	33.0	32.8	34.6	34.4	34.1	34.4
	2.0	38.2	42.8	43.1	34.0	34.3	34.6	34.4	34.7	34.6	34.5	34.7
	3.0	37.7	43.9	42.7	33.6	34.3	34.2	34.4	34.3	34.4	34.5	34.5
	4.0	37.6	43.6	42.9	33.6	33.8	34.3	34.1	34.4	34.5	34.5	34.5
	5.0	41.8	44.0	39.5	33.9	34.0	34.3	34.1	34.6	34.9	34.8	34.7
	6.0	39.8	42.7	42.5	35.9	33.9	34.2	34.2	34.5	34.8	34.8	34.8
	7.0	38.4	42.0	42.2	37.4	32.8	34.4	34.5	34.5	34.7	34.8	34.8
	8.0	40.0	41.4	40.4	36.4	33.4	34.2	34.5	34.8	34.7	34.5	34.8
	9.0	40.1	41.3	39.1	36.7	33.0	34.3	34.5	34.8	34.5	34.5	34.8
	10.0	39.7	40.9	38.5	35.9	32.8	33.3	34.5	34.8	34.6	34.8	34.8
	11.0	39.0	39.8	38.4	36.1	32.7	33.5	34.6	34.8	34.8	34.7	34.8
	12.0	38.6	38.8	37.5	35.9	32.7	32.9	35.0	34.5	34.9	34.9	34.9
	13.0	38.5	38.4	36.9	35.8	32.6	33.0	34.2	34.9	34.7	34.9	34.9
	14.0	37.9	38.6	37.0	36.3	33.1	32.9	34.4	34.3	35.1	34.9	34.9
	15.0	38.0	38.0	36.8	35.4	32.9	32.7	33.9	34.3	35.2	34.8	35.0
	16.0	37.6	37.4	37.1	36.0	34.1	32.5	33.1	33.9	35.3	34.7	35.0
	17.0	37.1	37.0	37.2	35.4	34.1	32.5	34.0	34.2	34.7	34.8	35.0
	18.0	36.9	36.9	37.3	36.3	34.3	32.7	33.5	34.5	34.4	34.9	34.8
	19.0	36.7	37.2	36.5	35.5	34.1	32.9	33.9	34.2	34.2	34.8	34.8
	20.0	36.5	33.7	36.5	35.5	33.9	32.9	33.6	34.1	34.1	34.5	34.5

表 2-3 氣流現象觀察

三、初步實驗

(一) 絕熱膨脹

1、 理論

- (1) 熱力學第一定律：系統內能變化等於外界供熱及對系統作功之和。

$$dE = dQ + dW$$

- (2) 絕熱膨脹：

絕熱過程中系統與環境沒有熱能交換，故 $nC_v dT = 0 - PdV \dots \textcircled{1}$

對理想氣體物態方程式 $PV = nRT$ 作微分，得 $PdV + VdP = nRdT \dots \textcircled{2}$

將上兩式中之 ndT 消去，得： $PdV + VdP = -\frac{R}{C_v}PdV$ ，

代入 $R = C_p - C_v$ 且除以 PV ，又絕熱指數 $\gamma = \frac{C_p}{C_v}$ ，可得 $\frac{dP}{P} + \gamma \frac{dV}{V} = 0$

- (3) 上式積分後得 $\ln P + \gamma \ln V = \text{定值}$ ，可寫成 $PV^\gamma = \text{定值}$ 。同理，亦可

導出： $TV^{\gamma-1} = \text{定值}$ 。消去 V ，可得 $TP^{\frac{1-\gamma}{\gamma}} = \text{常數} \rightarrow T \propto P^{\frac{\gamma-1}{\gamma}}$

- (4) 因空氣主要由雙原子氣體組成， $\gamma \approx \frac{7}{5}$ ，故絕對溫度 $T \propto P^{\frac{2}{7}} \approx P^{0.2857}$

2、 實驗步驟

- (1) 取 15 顆皮球打氣後共同放置於實驗室內三天，測量平衡時的室溫。
- (2) 利用 PASCO CI-6532A Pressure Sensor 測量球內氣壓及實驗室氣壓 10 秒，每秒記錄二十個數據，計算出 10 秒內的平均氣壓。
- (3) 利用記憶式熱線風速溫度計測量由球針噴出的氣流之溫度 5 秒。探針位於球針上方 1cm 處，以降低氣流引入對此實驗的影響。測量氣體噴出時前 5 秒內的溫度，每秒紀錄 60 個數據並計算其平均值。
- (4) 僅考慮絕熱膨脹的效應，比較氣溫的理論值及實際值的差異。



圖 4-3-1-2-1 測量球內的氣壓

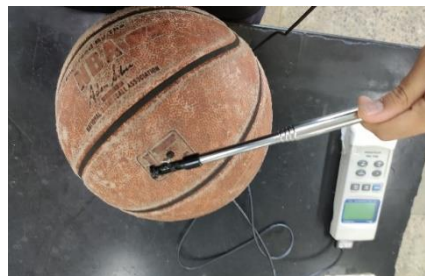


圖 4-3-1-2-2 測量出口溫度

3、 實驗結果

- (1) 實驗室氣壓：99kPa
- (2) 實驗室溫度=球內氣體溫度：31.5°C
- (3) 實驗數據：(假設球內原體積為 V)

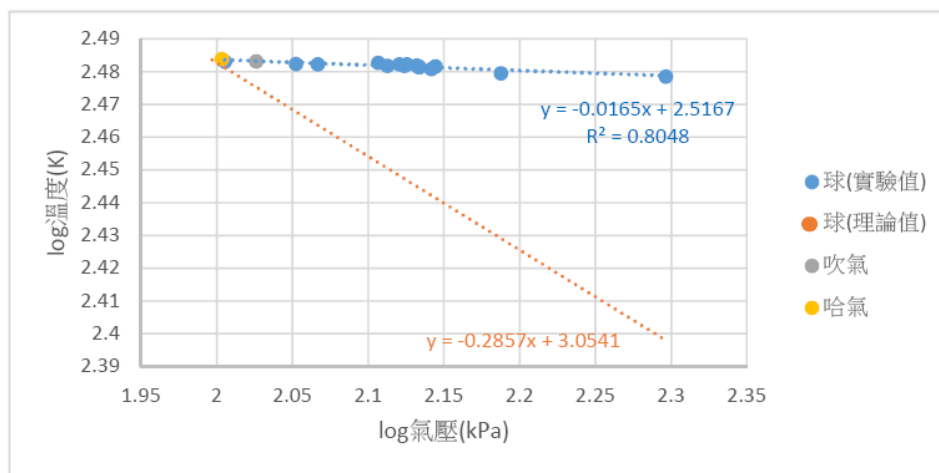


圖 4-3-1-3 絕熱膨脹之實驗數據 (取對數)

4、 討論

- (1) 實驗時已將儀器和出風口處的距離固定為 1cm，使其保有膨脹空間而非直接測量出口溫度，但仍接近出風口以避免氣流引入影響。
- (2) 由實驗數據可知，球內的初壓力皆大於大氣壓力，且初壓力越大，噴出球針後的氣流溫度越低，此趨勢與絕熱膨脹的理論是一致的。
- (3) 由絕熱膨脹可知 $T \propto P^{\frac{2}{\gamma}} \approx P^{0.2857}$ ，故將所測得的球內初壓與噴出氣體的末溫以 10 為底數取對數做圖，理論斜率應為 $-\frac{2}{\gamma} \approx -0.2857$ 。
- (4) 根據實驗數據所繪製的回歸直線斜率 -0.0165，較理論值小很多。也就是說，絕熱膨脹的效果不明顯。雖然氣體仍有降溫，但降溫幅度並不如絕熱膨脹預測的那般劇烈，故可推斷吹氣致冷的過程中，皮膚和嘴巴的相距更遠，故絕熱膨脹並非主要影響因素。
- (5) 將初測量吹氣和哈氣時的氣壓及氣流溫度的數據繪製於圖中進行比較，可以發現其數據較接近實驗數據之回歸直線，然而初步實驗中的初溫較高，因此除了壓力差外，還有其他因素影響。

(二) 氣流引入

1、 理論

由於氣體在快速流動時靜壓較小，因此會引入環境中的空氣，又因為空氣的莫耳比熱相同，故藉由能量與溫度變化量的公式 $Q = \sum mc\Delta T$ ，再比較實驗前後氣溫變化，即可知氣流引入環境中溫度不同的空氣比例。

2、 實驗步驟

- (1) 每次對氣室的推進時間固定為 7~8 秒內。
- (2) 藉由自製器材模擬口腔情形，利用數位溫度計測量當電源定為 0V、3V、6V、9V 時，高溫陶瓷加熱器造成的氣室內溫度分別為何。
- (3) 利用記憶式熱線風速風量溫度計測量當出風口徑為 0.40cm、0.80cm、1.20cm、1.70cm、2.70cm 時，出口風速分別為何。
- (4) 每次實驗後，將推桿後拉，使氣室的體積回復最大，靜待陶瓷加熱器重新加熱。當溫度計的讀數固定不變時，再進行下一次的推進。
- (5) 利用膠帶、紗布、黏土製作可固定的目標物。
- (6) 以直尺在實驗桌上標記 5cm、10cm、15cm 的位置放置目標物。調整不同口徑的出風孔及設定氣腔氣溫後推出氣體，以紅外線測溫槍測量目標物放在不同位置時其表面的溫度，多次測量後計算平均值。
- (7) 利用手機拍攝儀器的顯示螢幕，再將影片匯入 tracker 軟體中，逐格紀錄影格畫面中的數據，每秒紀錄 60 個數據並分析數據。
- (8) 在烤箱重複步驟(1)~步驟(7)，探討氣室溫度小於環境氣溫之情形。



圖 4-3-2-2-1



圖 4-3-2-2-2

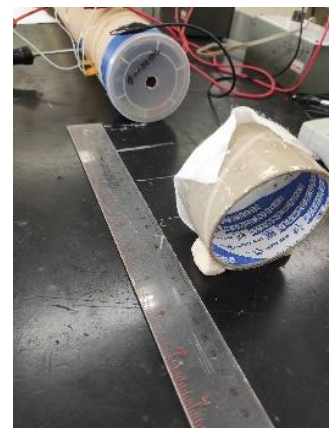


圖 4-3-2-2-3

3、 實驗結果

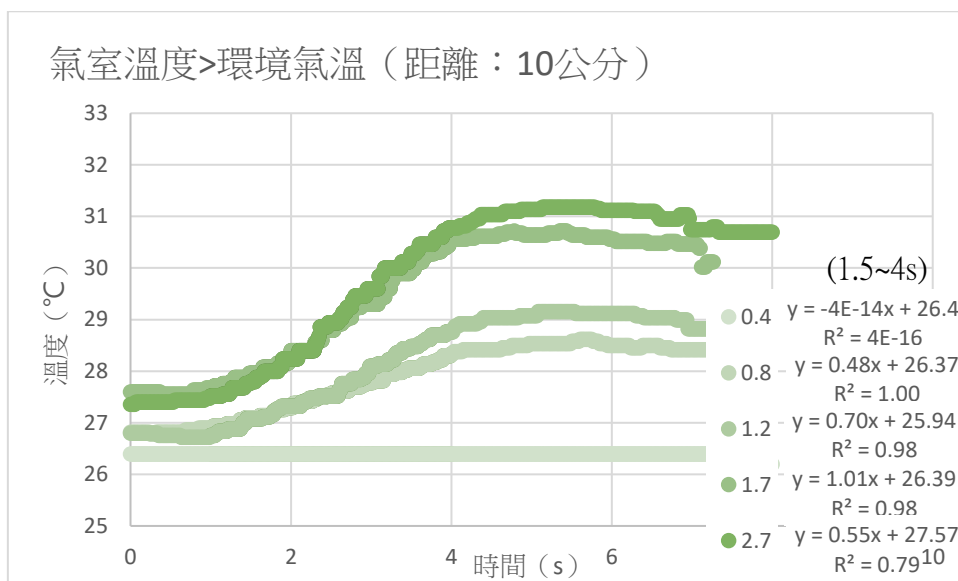


圖 4-3-3-1 氣室溫度大於環境氣溫的溫度趨勢圖

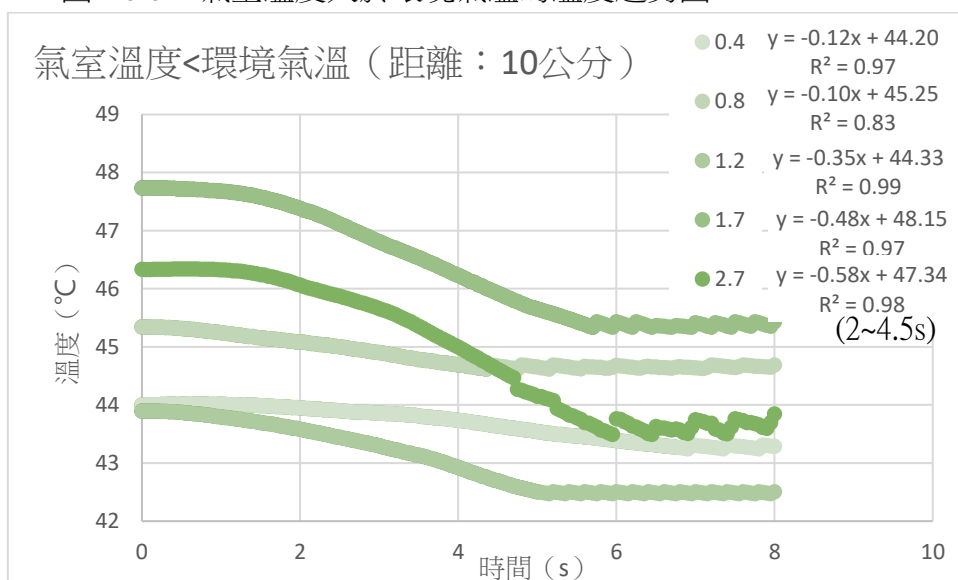


圖 4-3-3-2 氣室溫度小於環境氣溫的溫度趨勢圖

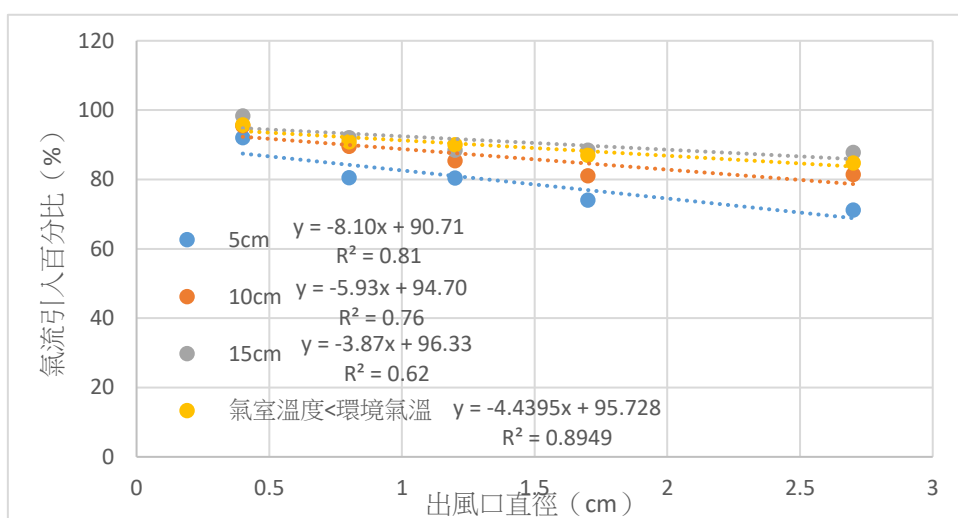


圖 4-3-3-3 氣流引入百分比與出風口直徑之關係

4、 討論

- (1) 因氣室內氣體與環境氣體的成分相同，故莫耳比熱相同。
- (2) 由能量與溫度變化的公式可知，設氣室溫度 T_1 、環境氣溫 T_2 、目標物表面溫度 T ，且接觸目標物的氣體是由 N_1 莫耳氣室氣體和 N_2 莫耳環境氣體組成，在無熱量喪失的情況下：

$$\begin{aligned}(N_1 + N_2)T &= N_1T_1 + N_2T_2 \\ \rightarrow N_1(T - T_1) &= N_2(T_2 - T) \\ \rightarrow N_1 : N_2 &= (T_2 - T) : (T - T_1) \\ \text{氣流引入百分比例} &= \frac{N_2}{N_1 + N_2} * 100\% \\ &= \frac{T - T_1}{(T_2 - T) + (T - T_1)} * 100\% \\ &= \frac{T - T_1}{T_2 - T_1} * 100\%\end{aligned}$$

- (3) 未加熱時，氣室氣溫與外界環境溫度相同，相較別組數據，氣流引入百分比比較無規律，甚至出現超過 100%的數據。
- (4) 當氣室溫度大於環境氣溫，口徑越小，溫度上升越少，口徑越大，溫度上升越多，故感受到「吹冷哈熱」的現象；當氣室溫度小於環境氣溫，口徑越小，溫度下降越少，口徑越大，溫度下降越多，故感受到「吹熱哈冷」的現象。因此，在氣溫大於人體溫度（如：沙漠、印度……），應該會感受到「吹熱哈冷」的現象。
- (5) 不論距離為何，出風口直徑越大，在目標物上測得的氣流引入百分比越小，也就是說，原氣室內的氣體佔到達目標物的氣體比例較高，導致目標物溫度和室溫差異較大。
- (6) 不論出風口直徑為何，目標物距離出風口越遠，目標物的氣流引入百分比越大，也就是說，引入的外界環境的氣體越多，而原氣室內的氣體溫度高於外界環境的氣體溫度，故會導致目標物表面溫度和室溫差異較小，溫度上升幅度較小。

(三) 蒸發降溫

1、 理論

- (1) 物質發生相變所需要的能量 Q 為物體質量 m 乘以潛熱 L ， $Q=mL$ 。
- (2) 一大氣壓下水的汽化熱為 2.266kJ/g ，藉由比較實驗前後，目標物液態水的含量變化，即可得知僅考慮蒸發降溫效應下的氣溫變化。

2、 實驗步驟

- (1) 利用電子秤測量目標物重量。
- (2) 以灑水器噴灑水分於目標物紗布上。(如圖 4-3-3-2-2)
- (3) 再以電子秤測量目標物含水分時的初重量，減去目標物重量，即可得目標物上水分的重量。(如圖 4-3-3-2-3)
- (4) 固定每次推進的時間為 7~8 秒內，每個實驗推進十次。
- (5) 每次推進後，將推桿後拉，使氣室的體積回復最大，並靜待陶瓷加熱器重新對氣腔內的氣體加熱。待 TES-1310 探針型數位溫度計上的讀數固定不變時，再進行下一次的推進。
- (6) 調整不同的出風口徑及氣腔氣溫後推出氣體，以紅外線測溫槍測量當目標物位於不同位置及含水量時，目標物的表面溫度變化，測量多次並計算平均。
- (7) 利用電子秤測量目標物末重量，減去目標物含水分時的初重量，即可得實驗過程中水分的蒸發量。
- (8) 比較紗布上水分含量對於目標物表面溫度的影響，並計算每次推進時目標物的平均水分蒸發量，及每次推進時所下降的平均溫度值。



圖 4-3-3-2-2：利用灑水器在紗布上灑水

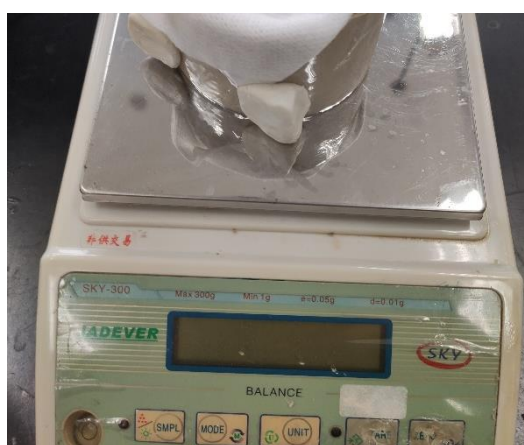


圖 4-3-3-2-3：利用電子秤測量目標物的質量變化

3、 實驗結果

電壓 (V)	0		6	
出風口直徑 (cm)	0.400	2.700	0.400	2.700
平均一次推進造成的含水量變化(g)	0.006	0.008	0.006	0.016
平均一次推進造成的溫度變化量(°C)	0.020	0.030	0.030	0.030

表 4-3-3-3 蒸發降溫實驗結果

4、 討論

- (1) 因推進一次導致的蒸發量極小，甚至小於電子秤所能感應的最小值，且導致的溫度變化量也很小，也小於紅外線測溫槍所能感應的最小值。故此實驗測量推進十次前後溫度和質量變化再進行比較。
- (2) 吹氣或哈氣過程時間皆較此實驗時間短故手汗的影響較此實驗小。
- (3) 由實驗數據（表 4-3-3-3）可知，出風口直徑越大，造成目標物上水分蒸發量越多，應造成較大的降溫，但實驗結果未發現此現象。
- (4) 由實驗數據（表 4-3-3-3）可知，電壓越高，水分蒸發量越多，推測原因是溫度越高蒸發速率越快，故質量變化較大。而溫度變化量與水的質量變化量相關性低，推測原因為水的比熱大且氣體溫度高於目標物初溫進而加熱目標物，造成降溫效果不明顯。

(四) 結論

- 1、 絕熱膨脹：雖然吹氣和哈氣時口腔內氣壓不同，可能會導致吹出的氣體溫度差異，但影響其實不大。
- 2、 氣流引入：除了距離之外，原出風口孔徑大小亦會影響氣流引入的效果。因此，哈氣與吹氣時的嘴型不同，確實會導致氣流引入的程度差異，進而影響最後抵達目標物的氣體溫度。
- 3、 蒸發降溫：皮膚表面的水分蒸發效應對於溫度差異影響也不大。
- 4、 初步實驗針對目前社會大眾對於造成吹氣與哈氣的溫度差異的三種主要因素（絕熱膨脹、氣流引入、蒸發降溫），進行深度的探討與量化研究，由實驗佐證，這三種因素中，氣流引入的效應才是最為顯著的。

四、實驗：計算各效應對於吹氣致冷現象的影響百分比

根據初步實驗可以發現，氣流引入效應較符合吹氣致冷及哈氣致熱的現象，然而，氣壓變化仍是會造成溫度的改變，而水分也會對於溫度產生影響，因此仍無法明確的看出溫度的變化當中，「氣流引入」的效應影響最大。故此實驗藉由與初步實驗相同的裝置及實驗方法，測量氣腔內與距離出風口一公分處的溫度差異作為絕熱膨脹造成的溫度變化，測量出風口到目標物前的溫度差異作為氣流引入造成的溫度變化，並在目標物上噴水後，測量目標物前與目標物上的溫度差異作為蒸發降溫造成的溫度變化。三者共同比較後，計算各效應對於吹氣致冷現象的影響百分比。

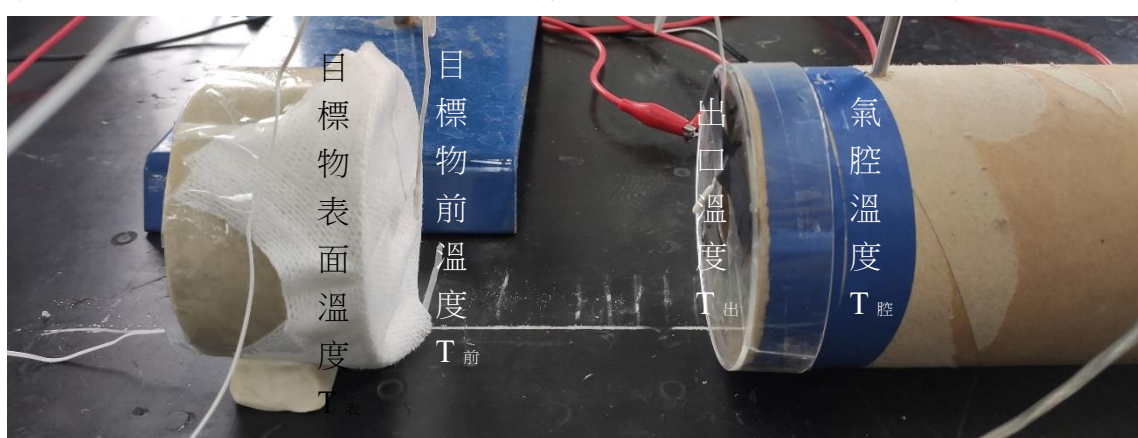


圖 4-4：計算各效應對於吹氣致冷現象的影響百分比

五、實驗：探討氣流引入在路徑上的情形

藉由初步實驗中的氣流引入實驗可以發現，不論口徑大小，當出風口與目標物距離越遠，氣流引入百分比比例越高，且初步實驗的實驗結果看似呈現性關係。然而，就出風口的位置，也就是距離出風口 0 公分處，其氣流引入百分比應為極低，故無法滿足線性關係。因此，氣流引入百分比在路徑上的分布情形應有除了線性以外的特殊關係，利用與初步實驗相同的裝置及實驗方法，尋找氣流引入百分比與距離之確切關係。

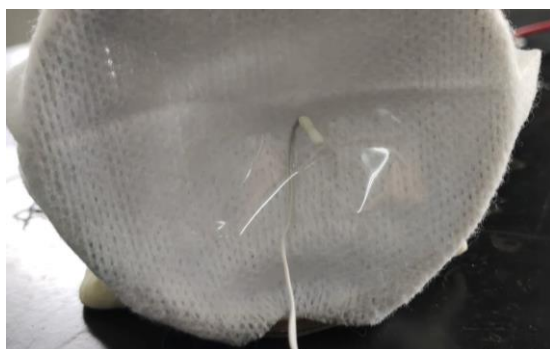


圖 4-5-1：實驗圖片



圖 4-5-2：實驗圖片

六、實驗：探討氣流引入在截面上的情形

藉由初步實驗中的氣流引入實驗可以發現，氣體流動的過程中，隨著距離出風口越遠，其氣流引入百分比越大。然而，氣體流動過程中，氣壓並沒有變小的趨勢，故氣體引入越來越多空氣，應該會造成流動的體積不斷變大，進而造成氣體流動的截面積越來越大。利用與初步實驗相同的裝置及實驗方法，將 PASCO 高速反應溫度探針固定在目標物上，距離出風口 0cm、1cm、2cm 處的位置，觀察其溫度隨距離的分布情形。

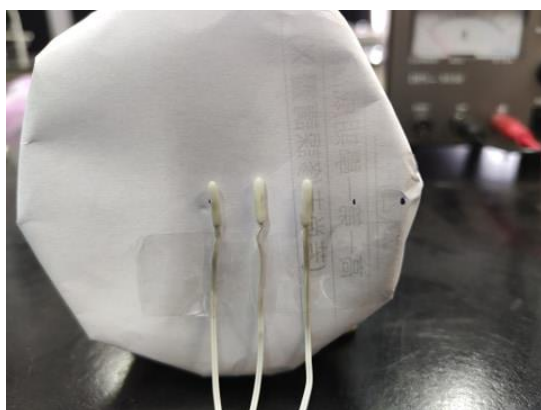


圖 4-6-1：實驗圖片



圖 4-6-2：實驗圖片

七、實驗：探討氣體流動情形

相較於大氣中的成分氮氣佔 78%、氧氣佔 21%、氫氣佔 0.96%、二氧化碳佔 0.03%、其他氣體佔 0.01%，人體呼出的空氣氮氣佔 78%、氧氣佔 13%、二氧化碳佔 4%、水氣佔 5%、其他氣體佔 1%，其二氧化碳和水氣比例提高許多。因此，此實驗利用與初步實驗相同的裝置，在氣腔內放置乾冰以提供二氧化碳來源，或以造霧器提供水蒸氣來源，而乾冰昇華後的二氧化碳溫度較低，會造成沸點較低的水氣凝結，使氣流流動情形可被視覺化，以模擬更接近實際吹氣與哈氣的情形。



圖 4-7-1 利用乾冰探討氣體流動情形



圖 4-7-2 利用造霧器探討氣體流動情形

伍、 研究結果與討論

一、 計算各效應對於吹氣致冷現象的影響百分比

(一) 實驗數據

- 1、 電壓：10V
- 2、 目標物與出風口的距離：10 公分



圖 5：原始數據雲端連結

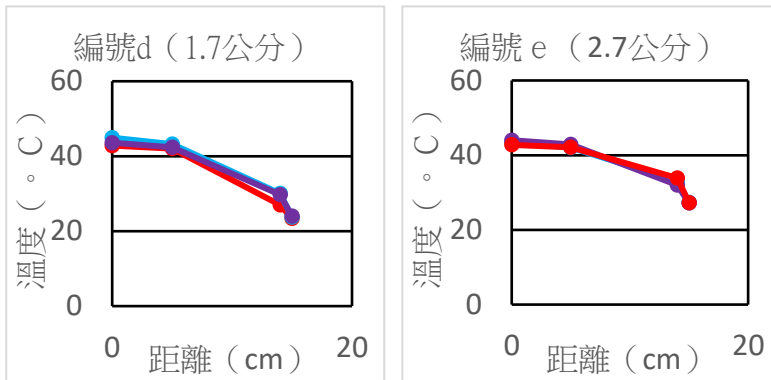


圖 5-1-1 不同位置之溫度

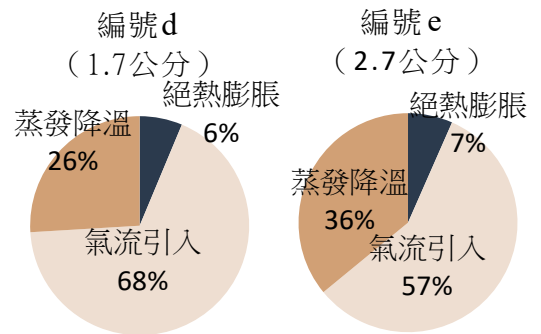


圖 5-1-2 各效應對於吹氣致冷

現象影響百分比

(二) 討論

- 1、 由於 PASCO 高速反應溫度探針具有一定的體積及表面積，至少會遮住長 1 公分、寬 0.3 公分的氣體流動，故若使用口徑較小的出風口，測量時對於氣體流動的影響太大，故僅比較編號 d 和編號 e。
- 2、 絕熱膨脹效應影響百分比 $P_{絕} = \frac{T_{出} - T_{腔}}{T_{表} - T_{腔}} * 100\%$ ，氣流引入效應影響百分比 $P_{流} = \frac{T_{前} - T_{出}}{T_{表} - T_{腔}} * 100\%$ ，蒸發降溫效應影響百分比 $P_{蒸} = \frac{T_{表} - T_{前}}{T_{表} - T_{腔}} * 100\%$ 。
- 3、 此實驗為了凸顯蒸發降溫就算對於吹氣致冷及哈氣致熱現象會造成影響，但其影響仍不及氣流引入效應，故在目標物上噴灑較多的水分，相對於平時正常人的手汗量仍多很多，故實際的蒸發降溫 $P_{蒸}$ 會較小。
- 4、 因蒸發降溫受目標物表面的水分量影響，故蒸發降溫 $P_{蒸}$ 變化幅度較大。
- 5、 對於國內大眾普遍認為的效應「絕熱膨脹」(如：2009 年的臺北縣教師聯合甄選參考答案、現行的地科課本)，初步實驗中比較相同的溫度差情況下，其所需的壓力大於口腔實際情形，而此實驗則是比較相同的風速情況下 (及相同壓力差)，其造成的溫度變化小於實際情形。

二、探討氣流引入在路徑上的情形

(一) 實驗數據 (電壓：5V)

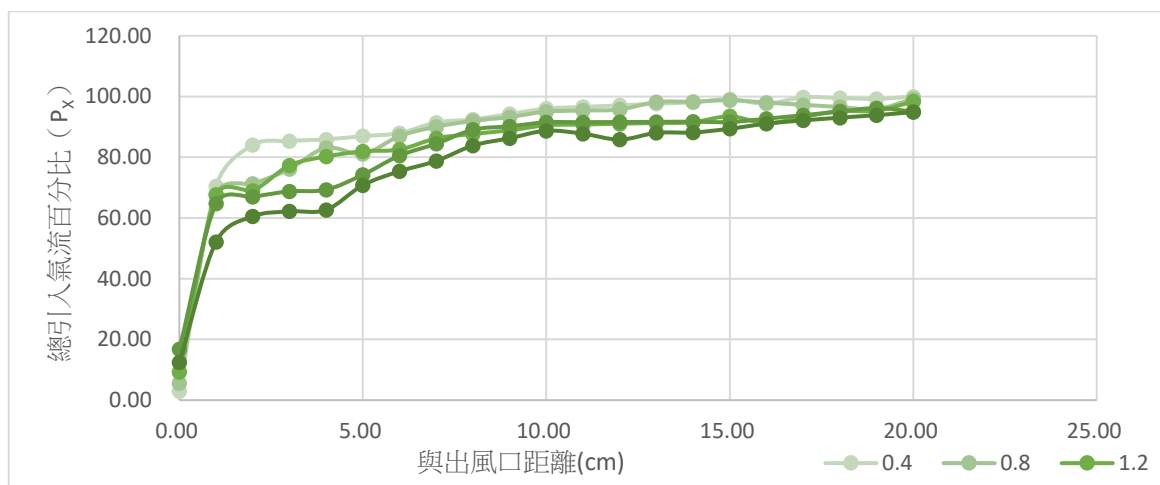


圖 5-2-1 總引入氣流百分比 (Px) 隨距離的分布

與出風口距離		0cm~5cm		5cm~20cm	
編號	口徑	方程式	R ²	方程式	R ²
a	0.4	$y = 3.34\ln x + 79.40$	0.98	$y = 0.71x + 87.21$	0.83
b	0.8	$y = 2.95\ln x + 73.13$	0.98	$y = 0.64x + 87.08$	0.66
c	1.2	$y = 2.77\ln x + 72.64$	0.97	$y = 0.82x + 80.55$	0.88
d	1.7	$y = 2.18\ln x + 66.74$	0.99	$y = 0.79x + 80.89$	0.75
e	2.7	$y = 2.08\ln(x) + 59.77$	0.95	$y = 1.10x + 73.45$	0.84

表 5-2 總引入氣流百分比 (Px) 隨距離的分布

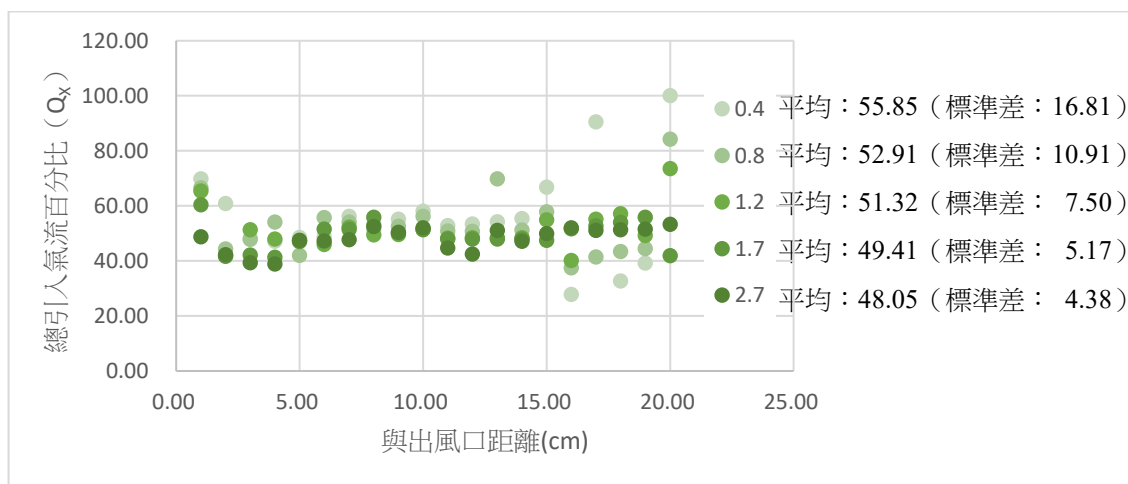
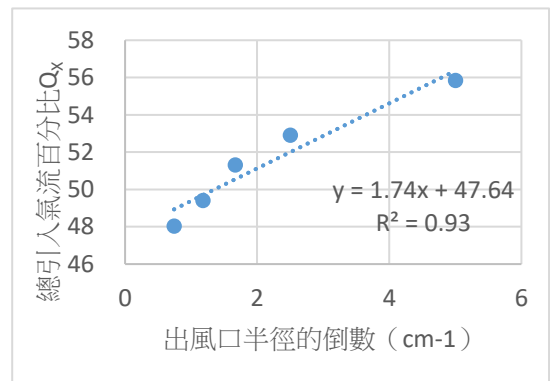


圖 5-2-2 引入氣流百分比 (Qx) 隨距離的分布

(二) 討論

- 1、 (圖 5-2-1) 中的總引入氣流百分比 P_x 與初步實驗中的引入氣流百分比概念相同，為氣流從出風口流動至目標物過程中引入的所有氣流量。
- 2、 (圖 5-2-2) 中的引入氣流百分比 Q_x 為距離出風口 $X-1$ 公分處到 X 公分處的引入氣流量，故無 Q_0 。若同時測量多點位置的溫度，則較接近出風口的儀器可能會影響氣流流動情形，進而改變較遠離出風口的數據。而每次實驗時室溫略有差異，故 Q_x 是利用不同次測量的結果搭配 P_x 推算：(設位置 X 的表面溫度 T_x 、氣腔溫度 T_1 、測量位置 X 時的室溫 $T_{2(x)}$ 、測量位置 X 時氣流位於 $X-1$ 位置的理論溫度 T'_{x-1})

$$\begin{aligned}
 P_{X-1} &= \frac{T_{X-1} - T_1}{T_{2(X-1)} - T_1} * 100\% \\
 &= \frac{T'_{X-1} - T_1}{T_{2(X)} - T_1} * 100\% \\
 \rightarrow T'_{X-1} &= \frac{P_{X-1}(T_{2(X)} - T_1)}{100\%} + T_1 \\
 \rightarrow Q_x &= \frac{T_x - T'_{X-1}}{T_{2(X)} - T'_{X-1}} * 100\%
 \end{aligned}$$



- 3、 由 (圖 5-2-2) 可知，出風口口徑越小，引入氣流百分比 Q_x 越大，且與出風口半徑的倒數呈現性關係： $Q_x(r) = \frac{1.74}{r} + 47.64$ 。而空氣是由氣流外圍引入，引入氣流量應與氣流圓周長成正相關，然而，單位時間通過該截面的氣流與氣流的截面積成正相關，故引入氣流百分比 Q_x 與 r 成反比。
- 4、 由 (圖 5-2-1) 可知，總引入氣流百分比 P_x 在距離出風口 0~5 公分是以對數函數的方式遞增，距離出風口 5~20 公分是以線性關係遞增。
- 5、 由 (圖 5-2-1) 可知，出風口口徑越小，0~5 公分的 P_x 的方程式係數越大，代表其氣流引入量越多。
- 6、 由 (圖 5-2-2) 可知，引入氣流百分比 Q_x 隨距離變化不大，當出風口口徑越小，在距離較遠處，表面溫度較接近室溫，導致引入氣流百分比 Q_x 數據歧異度較大，而具有較大的標準差。

三、探討氣流引入在截面上的情形

(一) 實驗數據

- 1、 目標物與出風口的距離：10 公分
- 2、 電壓：10V
- 3、 室溫：28.6°C

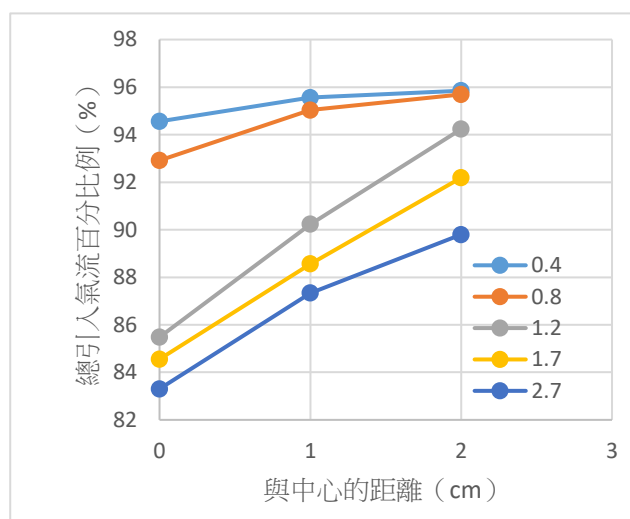


圖 5-3 氣流引入在截面上的情形

(二) 討論

- 1、 出風口口徑越大，其初始氣團的截面周長越長，氣流引入越多，然而，初始氣團的截面積較大，攜帶較高溫的氣腔氣體較多，故引入氣流百分比比較低。因此，不論與中心的距離，編號 a 口徑 0.4 公分的總引入氣流百分比比例皆較其他組的數據高，而其溫度也較接近室溫，故總引入氣流百分比比例隨距離的變化較不顯著。
- 2、 不論口徑大小，外圍的引入氣流百分比皆較高，顯示環境氣流是藉由周圍引入。除此之外，0~1 公分的總引入氣流百分比比例差皆較 1~2 公分的總引入氣流百分比比例差大，由此可知，外圍的空氣較容易與外界環境進行交互作用，而較容易受環境氣溫影響，因此與環境溫度差異較小。且外界環境溫度影響的效果隨與環境的距離而遞減，且不為一次倍數關係。

四、探討氣體流動情形

(一) 實驗數據

1、乾冰

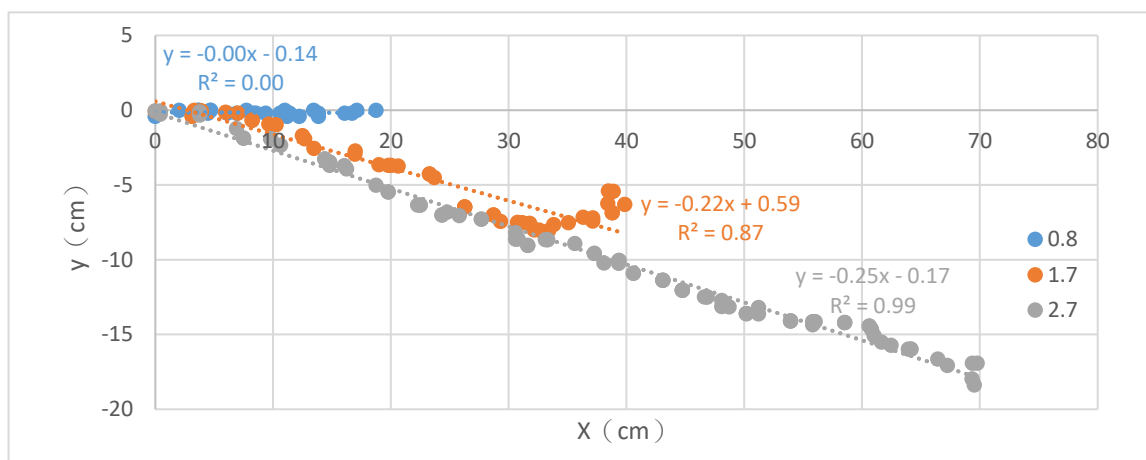


圖 5-4-1-1 氣流的分布

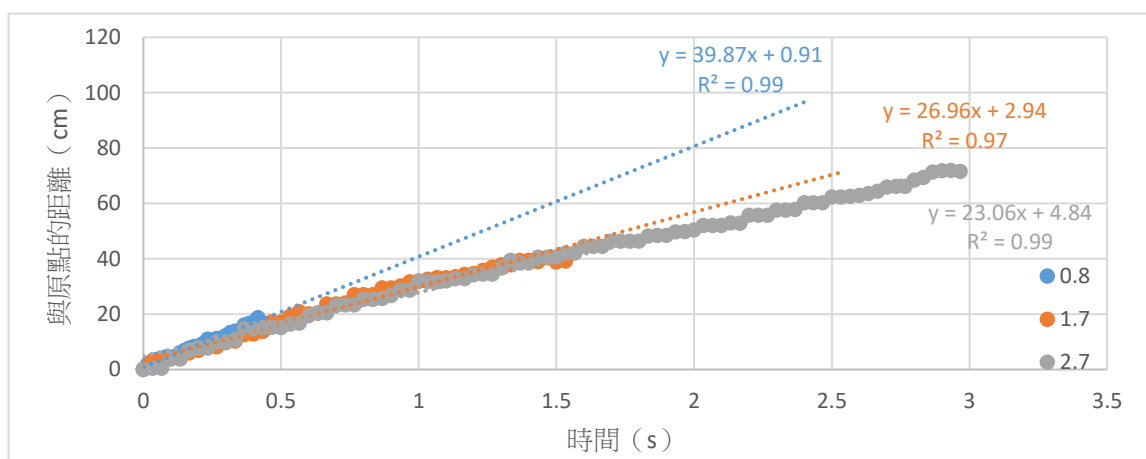


圖 5-4-1-2 氣流隨時間的距離

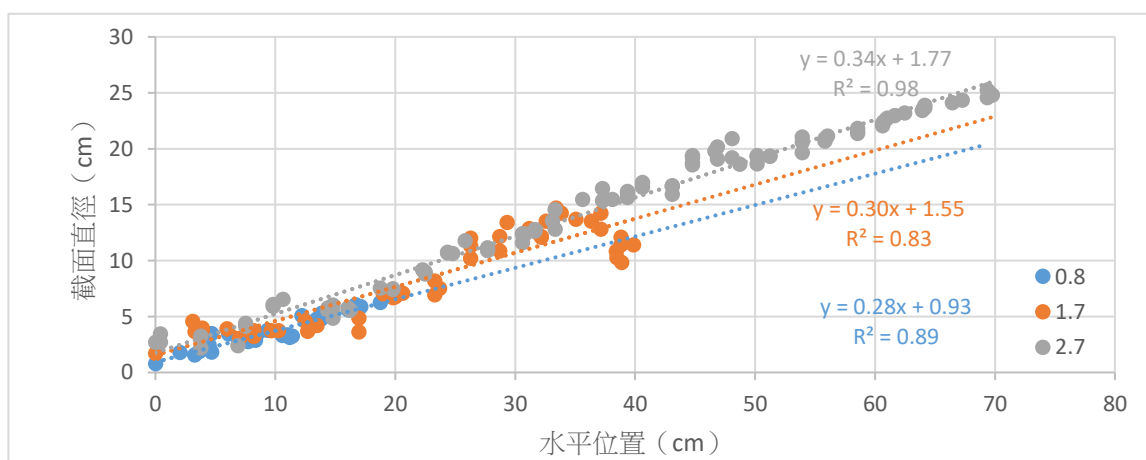


圖 5-4-1-3 氣流截面直徑的分布

2、 造霧器

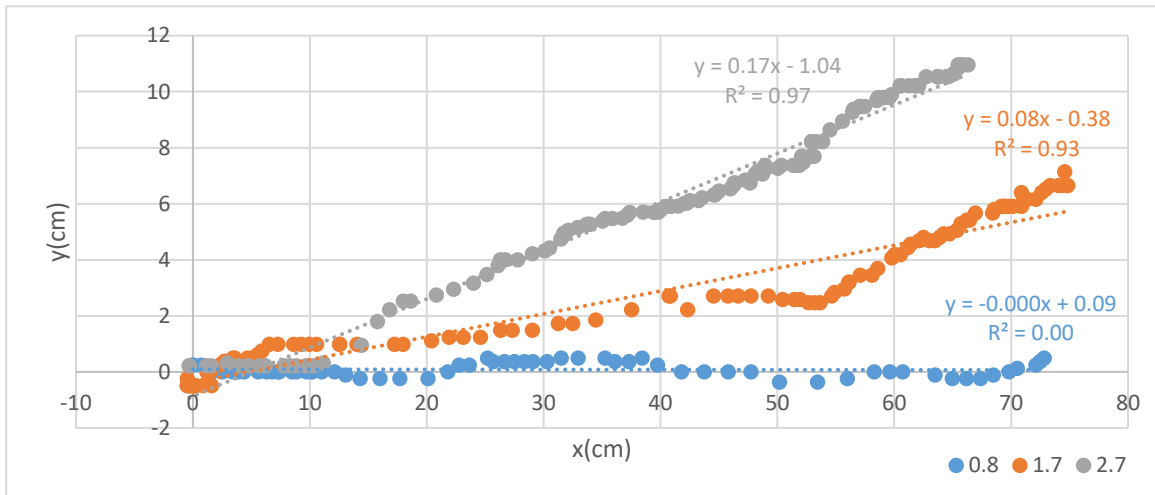


圖 5-4-2-1 氣流的分布

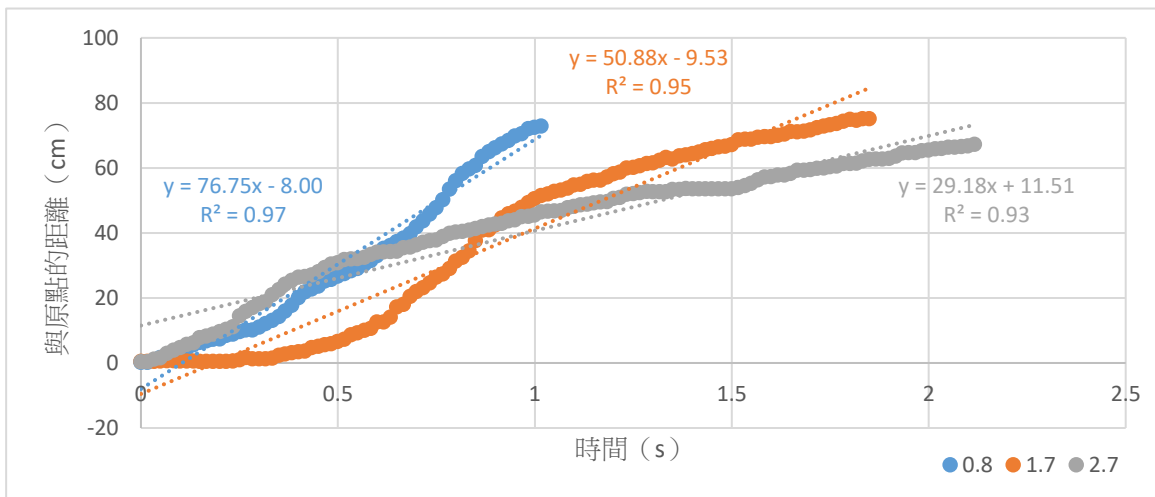


圖 5-4-2-2 氣流隨時間的距離

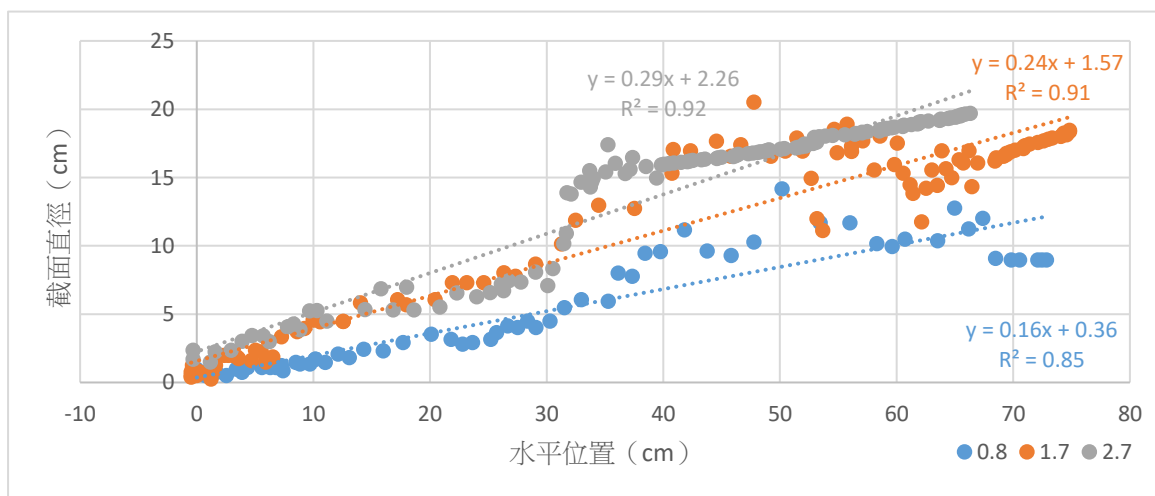
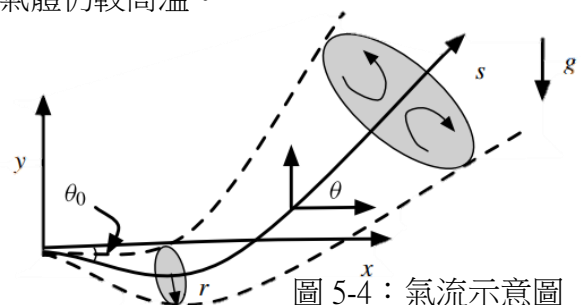


圖 5-4-2-3 氣流截面直徑的分布

(二) 討論

- 1、 由實驗結果可知，若採用乾冰，口徑越小，氣流引入百分比越高，溫度較快接近環境溫度，造成凝結的水蒸氣較快蒸發，氣流顏色變淡的速度較快，當氣流顏色與背景差異低於人眼可辨識的極值後，便無法記錄數據；若採用造霧器，由於造霧器會持續產生煙霧，則不受口徑影響。
- 2、 不論使用乾冰或造霧器，編號 b 口徑 0.8 的氣流斜率較小，幾乎呈現水平分布，編號 e 口徑 2.7 的氣流斜率的絕對值較大。
- 3、 若採用乾冰，則氣流中含有較多二氧化碳，造成氣流的密度較空氣大，氣流下沉，故（圖 5-4-1-1）的數據分布在第四象限；若採用造霧器，則氣流中含有較多水蒸氣，造成氣流的密度較空氣小，氣流上升，故（圖 5-4-2-1）的數據分布在第一象限。不論使用乾冰或造霧器，數據點趨勢相當符合線性關係，因此將所有數據點垂直投影至趨勢線上，計算其到原點的距離，繪製（圖 5-4-1-2）及（圖 5-4-2-2）以比較風速隨時間與距離的變化關係，由此可知，氣流成等速移動。
- 4、 藉由（圖 5-4-1-1）及（圖 5-4-2-1）的趨勢線斜率，可得知氣流移動方向與水平面的夾角，在 tracker 軟體中繪製與氣流移動方向垂直的向量，測量水平方向每一點垂直氣流移動方向的截面最大直徑。
- 5、 由（圖 5-4-3）可知，巨觀情形下，氣流的截面直徑隨距離原點越遠而呈線性增加，而藉由實驗二可發現，在大於 5 公分處的氣流引入百分比隨距離呈現線性增加，兩者互相呼應。
- 6、 觀察氣流的影片可以發現，氣流周圍的顏色較淡，推測氣流是由外界引入，故口徑較大，其推出的氣流截面周長也較大，但其原有的氣體含量與半徑呈正相關，故混合後的氣體仍較高溫。



陸、 討論

參考氣象局所提供的體感溫度，計算公式如下：(T 為氣溫 (單位°C)， e 為水氣壓 (單位 hPa)， V 為風速 (單位 m/s)， RH 為相對濕度)

$$\text{體感溫度} = 1.04T + 0.2e - 0.65V - 2.7 \quad \left(e = \frac{RH}{100} * 6.105 * e^{\frac{17.27T}{237.7+T}} \right)$$

而其中，本研究探討吹氣與哈氣造成 T 不同的原因，並推算其經驗公式。

在僅探討「氣流引入」效應下，與嘴巴距離 x 公分處的目標點溫度 T 與初始溫度 (即氣室溫度 T_1)、環境氣溫 T_2 、出風口半徑 r 相關。設從嘴巴吐出的氣體體積為 V_0 ，則與嘴巴距離 x 公分處氣流總體積 V_x 為：

$$V_x = (1 + Q(r))^x V_0$$

$$\text{引入的氣體量 } V'_x = (1 + Q(r))^x V_0 - V_0 = V_0 [(1 + Q(r))^x - 1]$$

假設其中並未發生熱量損耗：

$$\begin{aligned} \Delta H &= \sum ms\Delta T = 0 \\ &\rightarrow V_0(T - T_1) + V_x(T - T_2) = 0 \\ &\rightarrow T = \frac{V_0 T_1 + V_x T_2}{(V_0 + V_x)} = \frac{V_0 T_1 + V_0 [(1 + Q(r))^x - 1] T_2}{V_0 + V_0 [(1 + Q(r))^x - 1]} \\ &= \frac{V_0 T_1 + [(1 + Q(r))^x - 1] V_0 T_2}{V_0 (1 + Q(r))^x} = \frac{T_1 + [(1 + Q(r))^x - 1] T_2}{(1 + Q(r))^x} \\ &= \frac{T_1 - T_2}{(1 + Q(r))^x} + T_2 \end{aligned}$$

由實驗二可知，氣流引入百分比 $Q(r) = \frac{1.74}{r} + 47.64$ ，故：

$$T = \frac{T_1 - T_2}{[1 + (\frac{1.74}{r} + 47.64)]^x} + T_2$$

當 $x=0$ 時，也就是在嘴巴出風口處，目標點溫度 $T=T_1$ ，也就是溫度和口腔相同。

當 x 為無窮大時，目標點溫度 $T=T_2$ ，也就是溫度和環境氣溫相同。

在相同的距離 x 的情況下。當 r 越小，也就是較接近吹氣的情形， $Q(r)$ 越大，目標點溫度 T 越接近於環境氣溫 T_2 ；當 r 越大，也就是較接近哈氣的情形， $Q(r)$ 越小，目標點溫度 T 越接近於初始溫度 T_1 。

將實驗二中的所有數據帶入經驗公式中，並比較實驗值與理論值繪製圖 6。

由（圖 6）可知，實驗值的趨勢線方程式可知，趨勢線方程式斜率為 0.9737，相當接近於 1，因此，實驗值與理論值的偏差不大。

實驗值的趨勢線與理論值的趨勢線交於 $T = 36^\circ\text{C}$ 時，代表當目標點溫度 $T < 36^\circ\text{C}$ 時，也就是環境氣溫 T_2 較初始溫度 T_1 低時，引入氣流會導致氣流溫度下降，實驗值較理論值高，其實際氣流引入量較少；但當 x 的目標點溫度 $T > 36^\circ\text{C}$ 時，也就是環境氣溫 T_2 較初始溫度 T_1 高時，引入氣流會導致氣流溫度上升，實驗值較理論值低，其實際氣流引入量較少。由此可知：

- 一、不論何種情況下，其實際氣流引入量皆會較理論值少，推測是因為氣流會受空氣阻力影響，導致氣流速度下降，造成氣流引入量下降。
- 二、當環境氣溫 T_2 較初始溫度 T_1 低時，會感受到「吹冷哈熱」的情形；當環境氣溫 T_2 較初始溫度 T_1 高時，會感受到「吹熱哈冷」的情形，此實驗結果可與初步實驗中「氣流引入」之實驗互相對照。

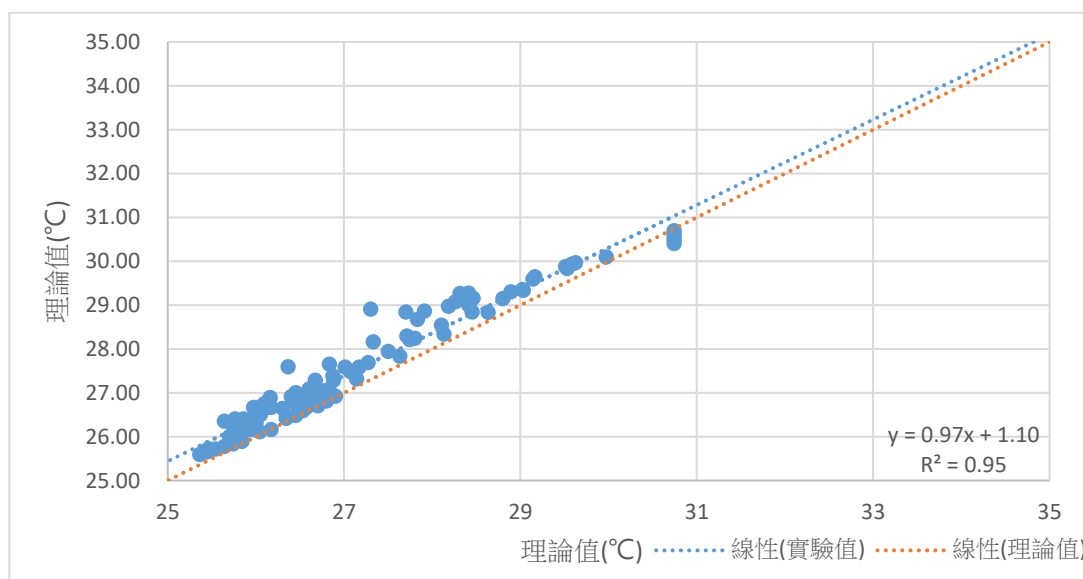


圖 6 經驗公式推導之溫度與實驗值之關係

柒、 結論

一、 結論

此研究發現引入氣流百分比與距離的獨特的函數關係及剖析氣流流動在路徑與上截面情形，理論與實際相符，故確定了吹冷哈熱的主要因素為「氣流引入」。

(一) 初步實驗

「絕熱膨脹」和「蒸發降溫」效應對吹氣致冷現象的影響不大，而「氣流引入」因吹氣與哈氣時口型的不同對溫度會造成影響，為證實「氣流引入」就是造成吹氣致冷及哈氣致熱的原因，我們設計進一步的實驗並探討「氣流引入」過程中的變化。

(二) 實驗：計算各效應對於吹氣致冷現象的影響百分比

同一情況下，氣流引入平均 $P_{流}$ 57.46% 遠大於絕熱膨脹平均 $P_{絕}$ 6.59% 與蒸發降溫平均 $P_{蒸}$ 35.94% ，又因實驗時目標物水分遠大於實際手汗，故實際的蒸發降溫 $P_{蒸}$ 會較小。由此推斷，氣流引入的效應最顯著。

(三) 實驗：探討氣流引入在路徑上的情形

總引入氣流百分比 P_x 在距離出風口 0~4 公分是以對數函數的方式遞增，距離出風口 4~20 公分是以線性關係遞增，而 4~10 公分與 10~20 公分的斜率不同，距離 0~10 公分，口徑越小，遞增越快。另外，不論距離遠近，引入氣流百分比 Q_x 變化不大。

(四) 實驗：探討氣流引入在截面上的情形

與中心的距離越小，氣流引入百分比越低；與中心的距離越大，氣流引入百分比越高。故外界環境的氣體是由氣團的外圍開始對其影響。

(五) 實驗：探討氣體流動情形

氣流成等速移動，並在巨觀情形下，氣流的截面直徑隨距離原點越遠而呈線性增加，而藉由實驗二可發現，在大於 5 公分處的氣流引入百分比隨距離呈現線性增加，兩者互相呼應。

二、 誤差討論

- (一) 本實驗吹出氣體的過程是利用人工推進活塞，為了降低誤差，故僅選取特定時間長度的實驗，去除推進過快或過慢的數據，並由同一人進行操作，且風速與截面積的關係符合流體連續方程。
- (二) 由於實驗在不同日期進行，且實驗過程中的環境溫度可能改變，故在實驗過程中全程開啟空調、關窗、不開電扇，以維持恆溫環境。若實驗結果比較時受室溫影響時，僅比較引入氣流百分比，使實驗數據能夠依不同的室溫環境進行比較。

三、 應用

- (一) 近期的嚴重特殊傳染性肺炎新型冠狀病毒(2019-nCoV)的肆虐，許多新聞媒體及科學家研究飛沫及空氣傳染的範圍，而在探討氣體流動情形之實驗中，其現象兩者雷同。若改在自製儀器內放置熱水，在推出氣腔後水蒸氣會因溫度降低而達露點進而凝結成小水滴，可達到類似的效果，便可進一步探討相關議題。
- (二) 燒開水的水壺上蒸氣溫度高，若使用較小的出風口口徑，能夠引入較大的氣流，降低溫度，避免燙傷。
- (三) 電腦硬碟的散熱主要有兩個葉片，前葉片往內吹，可使用口徑較大的人風口，使氣流在到達硬碟時維持較低的溫度，而後葉片往外吹，可使用口徑較小的出風口，使氣流開電腦後較快降溫，避免燙傷。

四、 未來展望

- (一) 將路徑與截面上的分布情形更細節的描述，若能將空間中的每個點的溫度皆紀錄，並進而推算引入氣流百分比，便可描繪出立體空間中的氣流引入情形，搭配相關的氣體動力學理論，進一步完整地闡述現象。
- (二) 此研究僅探討原氣室溫度高於環境溫度的情況，期盼未來能進一步研究當原氣室溫度低於環境溫度的情況。並透過可定速的的儀器取代人工推進，且同時其溫度須全程固定，以改進實驗結果並排除人為誤差因素。

捌、 參考資料及其他

- 一、 Serway & Jewett Principle of Physics 初版 臺中市 蒼海書局 47~89
2003
- 二、 David Halliday & Robert Resnick & Jearl Walker Fundamentals of Physics Extended 8th
Edition 初版 臺北縣 全華圖書 14-1~14-38 2008
- 三、 A. W. JONES 1982 Effects of temperature and humidity of inhaled air on the
concentration of ethanol in a man's exhaled breath Clinical Science 63 441-445
- 四、 李通藝 基礎地球科學（上冊） 四版 新北市 康熙文化事業股份有限
公司 63 2016
- 五、 John W M Bush & Eline Dehandschoewercker & Lydia Bourouiba 2014 Violent
expiratory events: On coughing and sneezing Journal of Fluid Mechanics 745
537-563
- 六、 休伊特 觀念物理 3: 物質三態·熱學 初版 臺北市 遠見天下文化
出版股份有限公司 200 2018
- 七、 Robert G. Steadman 1984 A Universal Scale of Apparent Temperature Journal of
Climate and Applied Meteorology 23 1674-1687

【評語】 051817

1. 內容的新穎性：吹氣及哈氣聲雖已有探討，但以絕熱膨脹、氣流引入、蒸發降溫效應來探究，尚有探討空間。
2. 實驗設計、數據、分析的創新性：實驗設計及流程，雖能顯現探討議題，但較少新穎現象。記載實驗數據，可再思考邏輯歸納應，再強化物理參數定量分析。
3. 內容完整性：實作的好題材，物理內涵清楚，或許可以往設計成裝置，增強吹風降溫的效能。

研究動機

人們在日常生活中對著皮膚噓口吹氣時，皮膚表面會覺得涼爽；但若是張口哈氣，則會感覺溫熱。為了量化這個現象的成因，在經過文獻探討及現象觀察後，作者以初步實驗分別測量了「絕熱膨脹」、「氣流引入」、「蒸發降溫」三種效應，得知「氣流引入」的表現最符合現象的結果。為了進一步證實「氣流引入」就是吹冷哈熱的主要原因，我們設計實驗讓這三種效應出現在單一事件中，發現溫度變化中至少60%以上是「氣流引入」導致的降溫效果。此外，作者進行更深入的實驗探討氣流引入的過程及特性，得到氣體流動路徑方向上氣流引入百分比與距離間分別有對數及線性關係，而氣流分佈截面也與我們對此現象的觀察結果一致，最後綜合得到經驗公式印證實驗結果成立。

研究目的

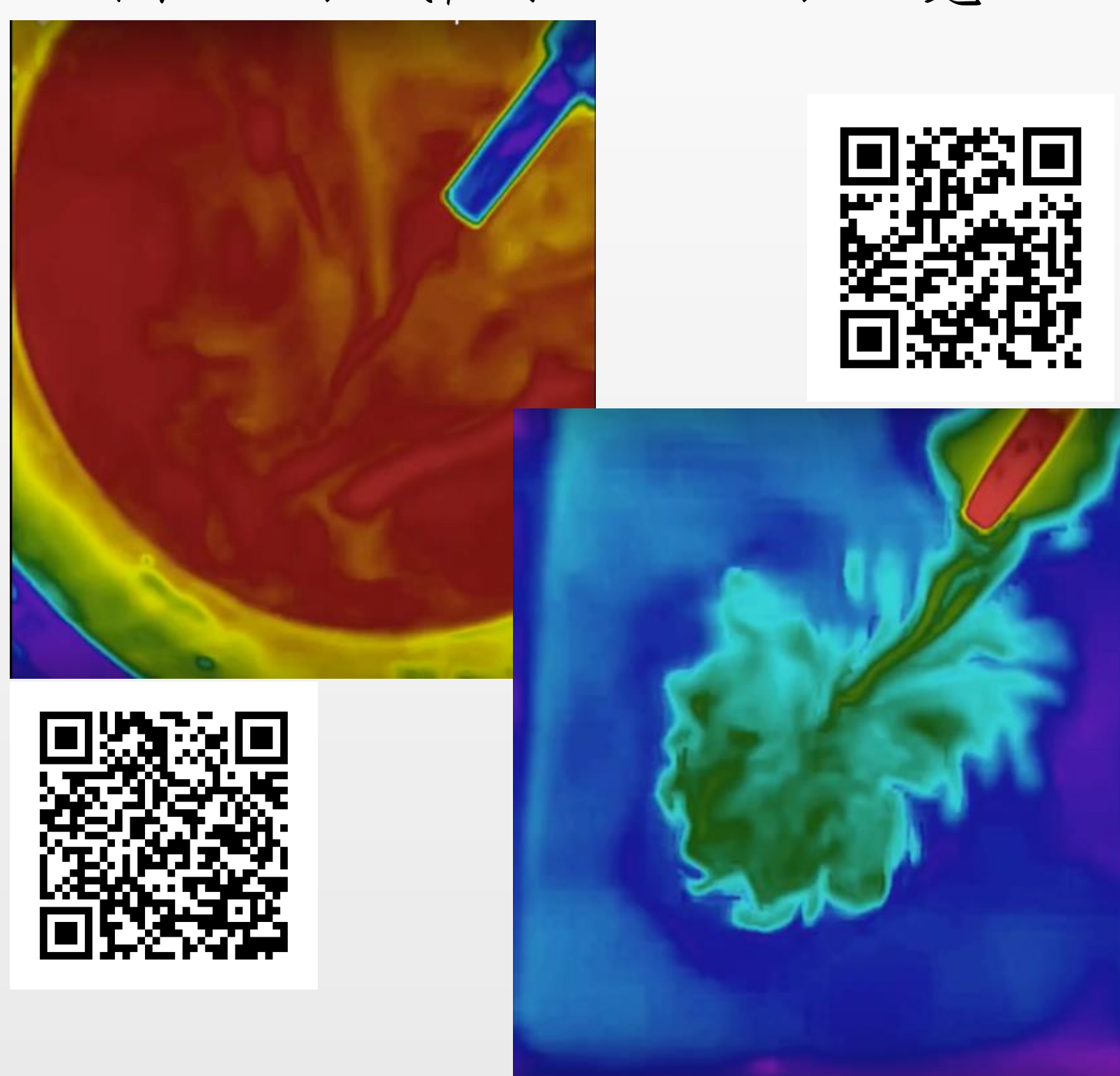
- 一. 觀察吹氣致冷的現象並探討其可能成因。
- 二. 研究絕熱膨脹、氣流引入、蒸發降溫對吹氣致冷現象的影響。
- 三. 探討氣流引入效應隨距離與風速的變化。
- 四. 研究吹氣與哈氣氣體流動的情形。
- 五. 探討吹氣與哈氣氣體溫度分布的情形。

研究架構



流體現象觀察

1. 為觀察氣流引入效應，我們曾嘗試以紅外線熱顯像儀(FLIR ONE)來拍攝口腔吹氣及實驗時厚紙筒推出氣體時的氣流狀況，可惜因空氣的能量密度不足以顯示出明確的氣流混合影像。
2. 因此我們改以利用兩種不同直徑的針筒分別將熱水注入冷水和冷水注入熱水中，模擬在冬天和夏天時吹氣與哈氣的氣流變動情形。並利用FLIR ONE紅外線熱顯像儀觀察，使現象視覺化。

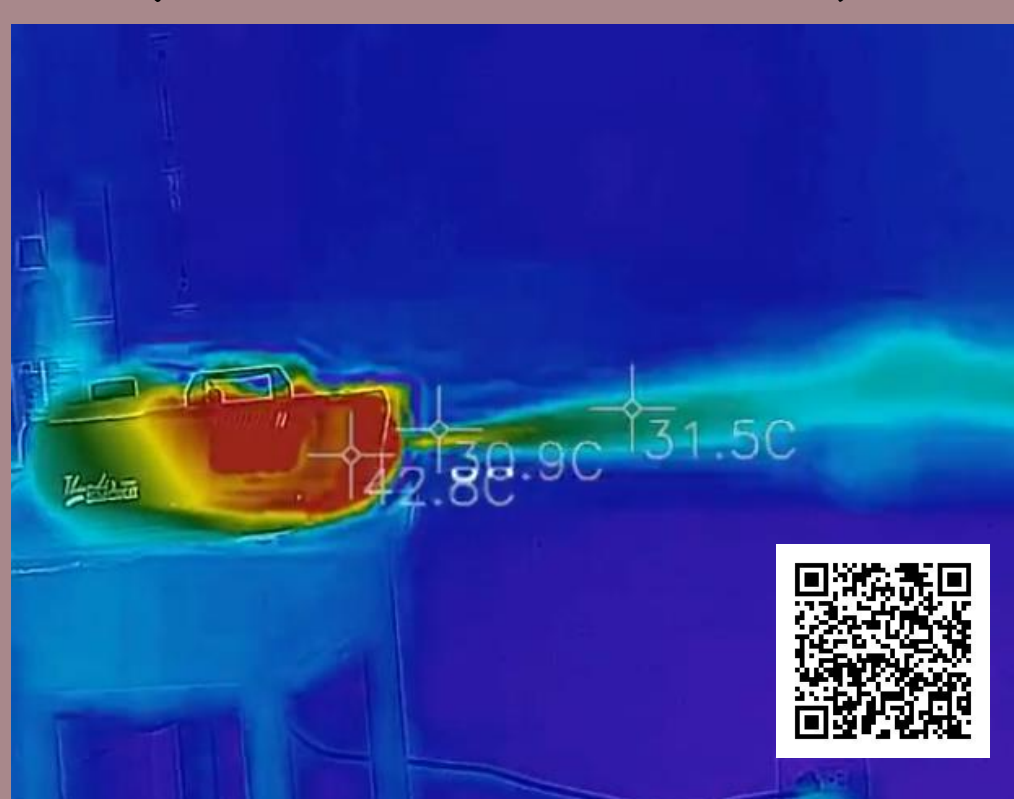


觸物分析



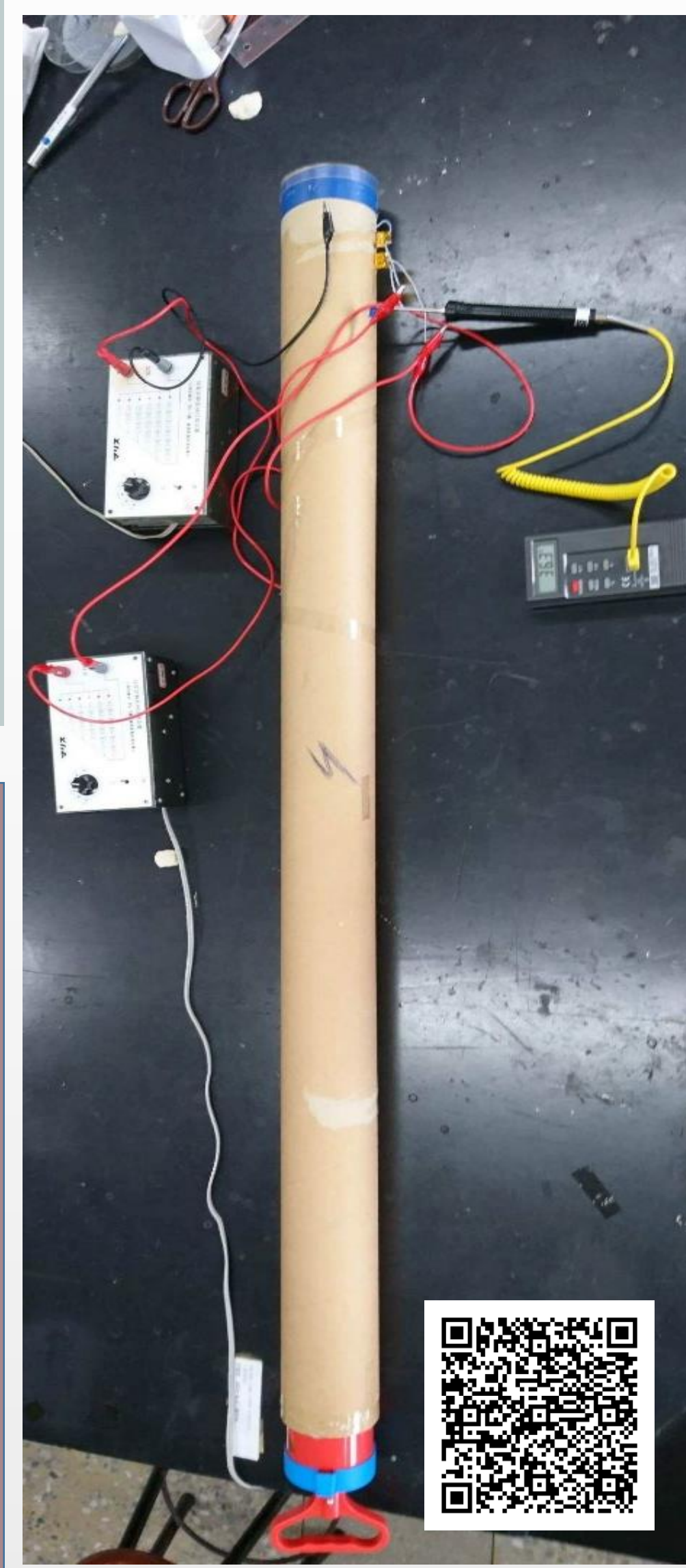
隨著二氧化碳移動，白色的小水滴分布也會跟著改變，使氣流流動的情形能夠視覺化，改善空氣能量密度過低造成在紅外線熱顯像儀中效果不明顯的缺陷。

氣流現象觀察

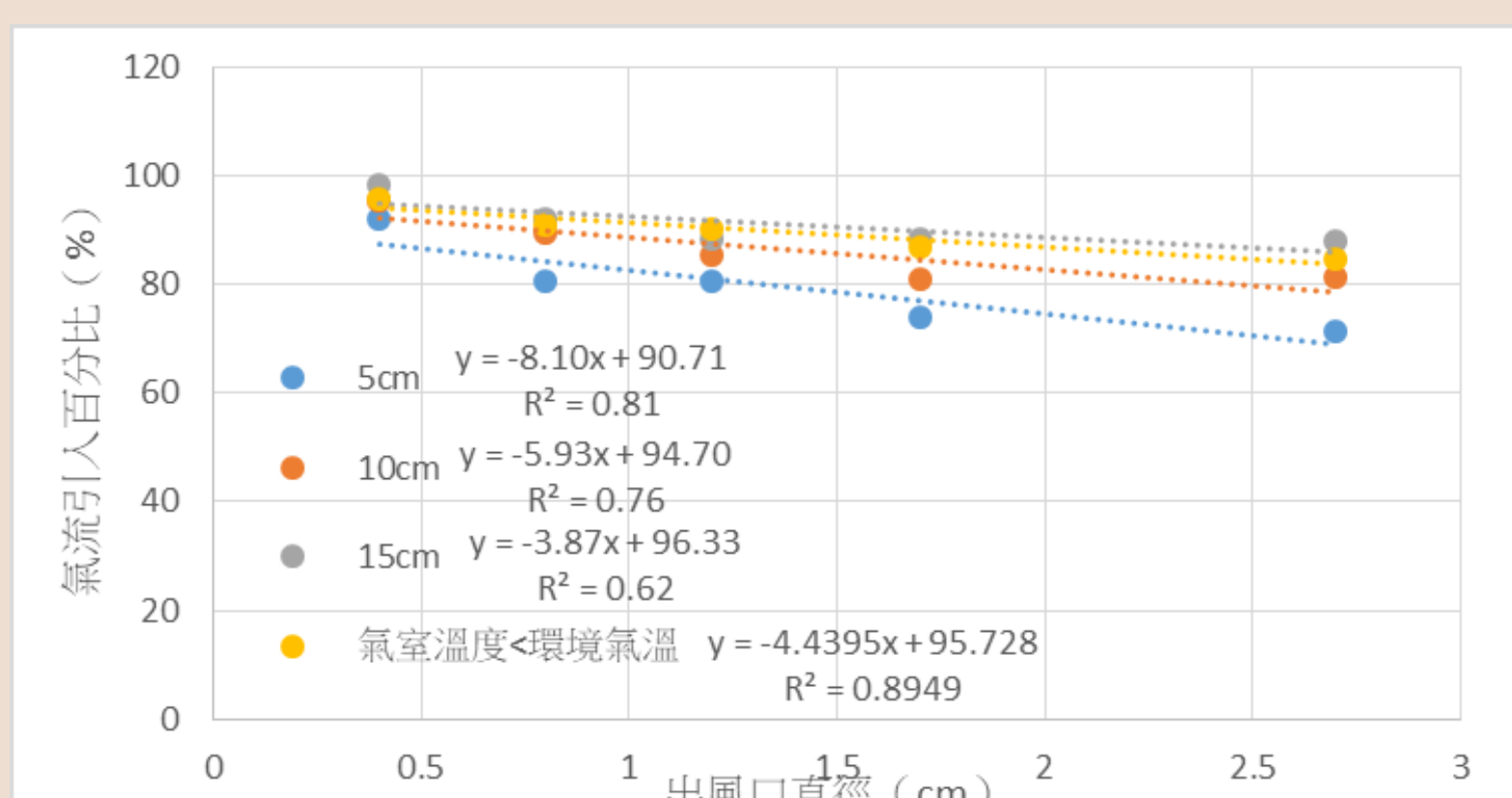
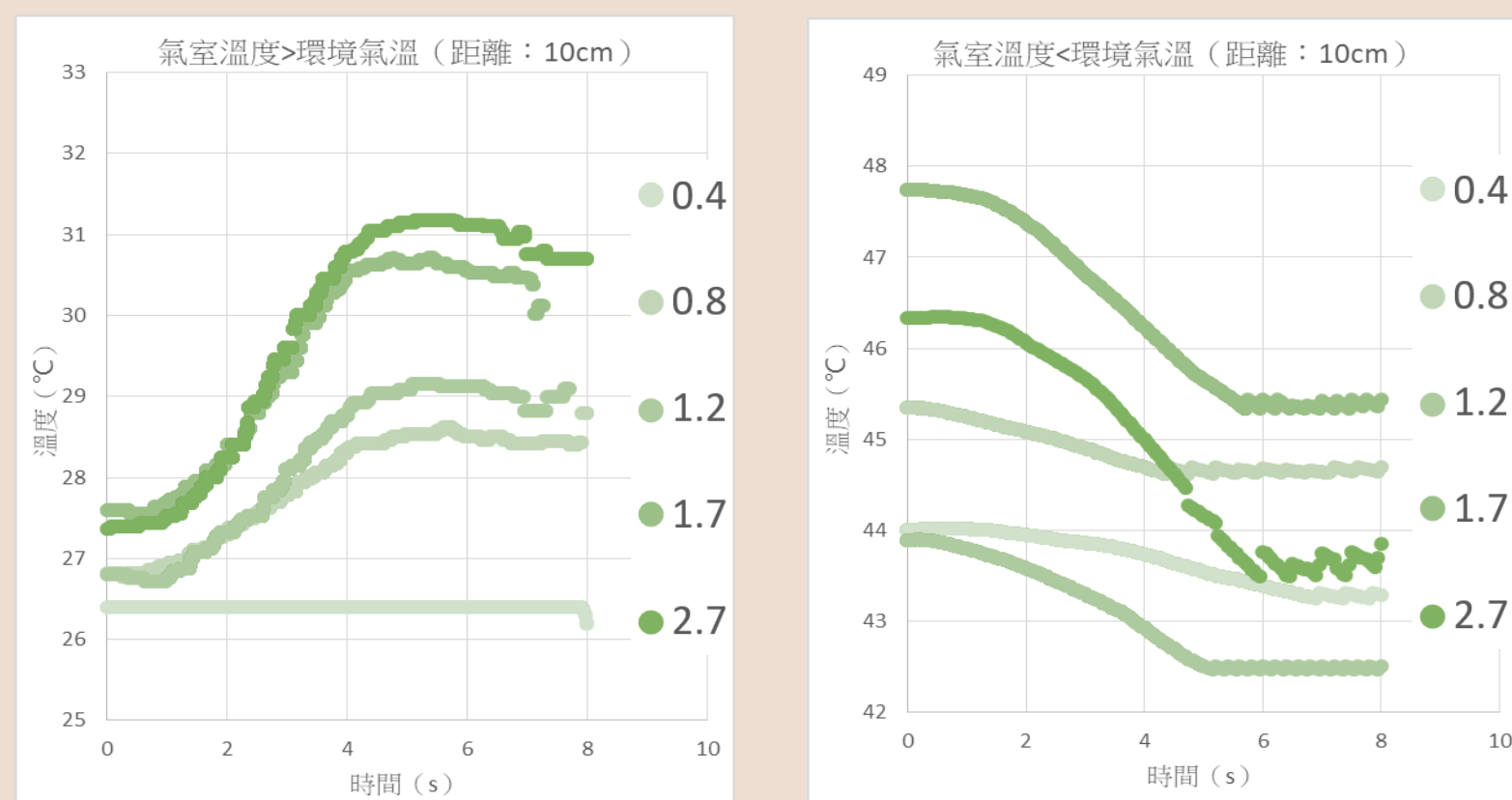


以造霧氣產生高溫水蒸氣，遇冷形成小水滴使之視覺化，熱顯像儀以色調表示溫度高低，發現越靠近出風口的位置，其溫度越高。

自製儀器



氣流引入



能量與溫度變化量的公式： $Q = \sum mc\Delta T$

$$(N_1 + N_2)T = N_1T_1 + N_2T_2$$

$$\text{氣流引入的百分比} = \frac{N_2}{N_1 + N_2} * 100\%$$

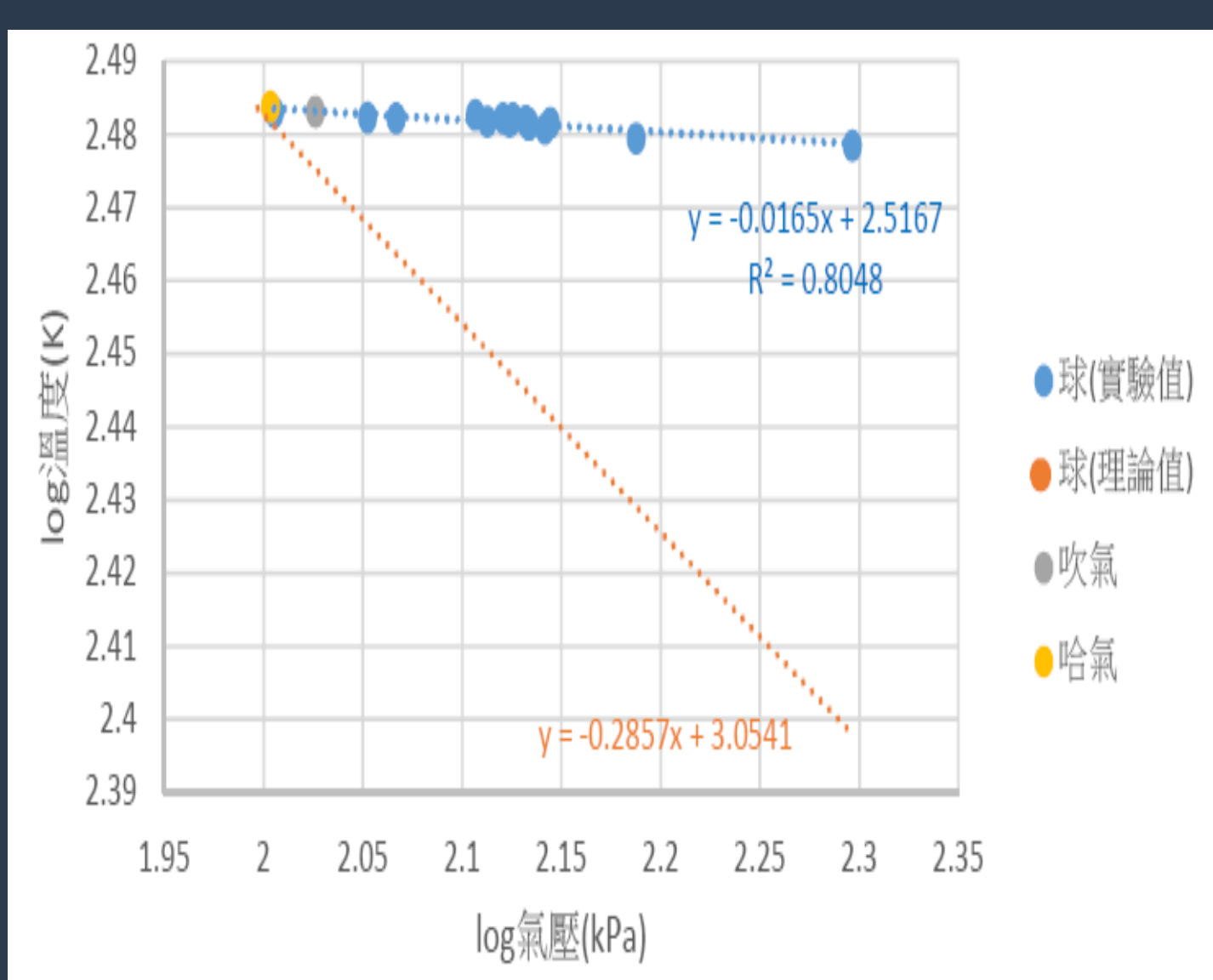
$$= \frac{T - T_1}{(T_2 - T) + (T - T_1)} * 100\% = \frac{T - T_1}{T_2 - T_1} * 100\%$$

絕熱膨脹

$dE = dQ + dW \rightarrow nCvdT = 0 - PdV$
 $PV = nRT \rightarrow PdV + VdP = nRdT$
 $T \propto P^{\frac{\gamma-1}{\gamma}}$
 $T \propto P^{\frac{2}{7}}$

空氣主要由雙原子氣體組成 → 絕熱指數： $\gamma \approx \frac{7}{5}$

同初溫，同末壓 → $\log T' = -\frac{2}{7} \log P + A$



蒸發降溫

- 物質發生相變時，所需要的能量Q為此物體的質量m乘以潛熱L
- 一大氣壓下水的汽化熱為2.266kJ/g，藉由比較實驗前後，目標物液態水的含量變化，即可得知僅考慮蒸發降溫效應下的氣溫變化。

電壓 (V)	0		6	
出風口直徑 (cm)	0.40	2.70	0.40	2.70
平均一次推進造成的含水量變化 (g)	0.006	0.008	0.006	0.016
平均一次推進造成的溫度變化量 (°C)	0.02	0.03	0.03	0.03

1. 由於PRSCD高速反應溫度探針具有一定的體積及表面積，故僅比較編號d和編號e。

$$P_{絕} = \frac{T_{出} - T_{腔}}{T_{表} - T_{腔}} * 100\%$$

$$P_{流} = \frac{T_{前} - T_{出}}{T_{表} - T_{腔}} * 100\%$$

$$P_{蒸} = \frac{T_{表} - T_{前}}{T_{表} - T_{腔}} * 100\%$$

3. 為了凸顯蒸發降溫就算對於吹氣致冷及哈氣致熱現象會造成影響，故在目標物上噴灑較多的水分，而實際的蒸發降溫 $P_{蒸}$ 會較小。

4. 因蒸發降溫受目標物表面的水分量影響，故 $P_{蒸}$ 變化幅度較大。

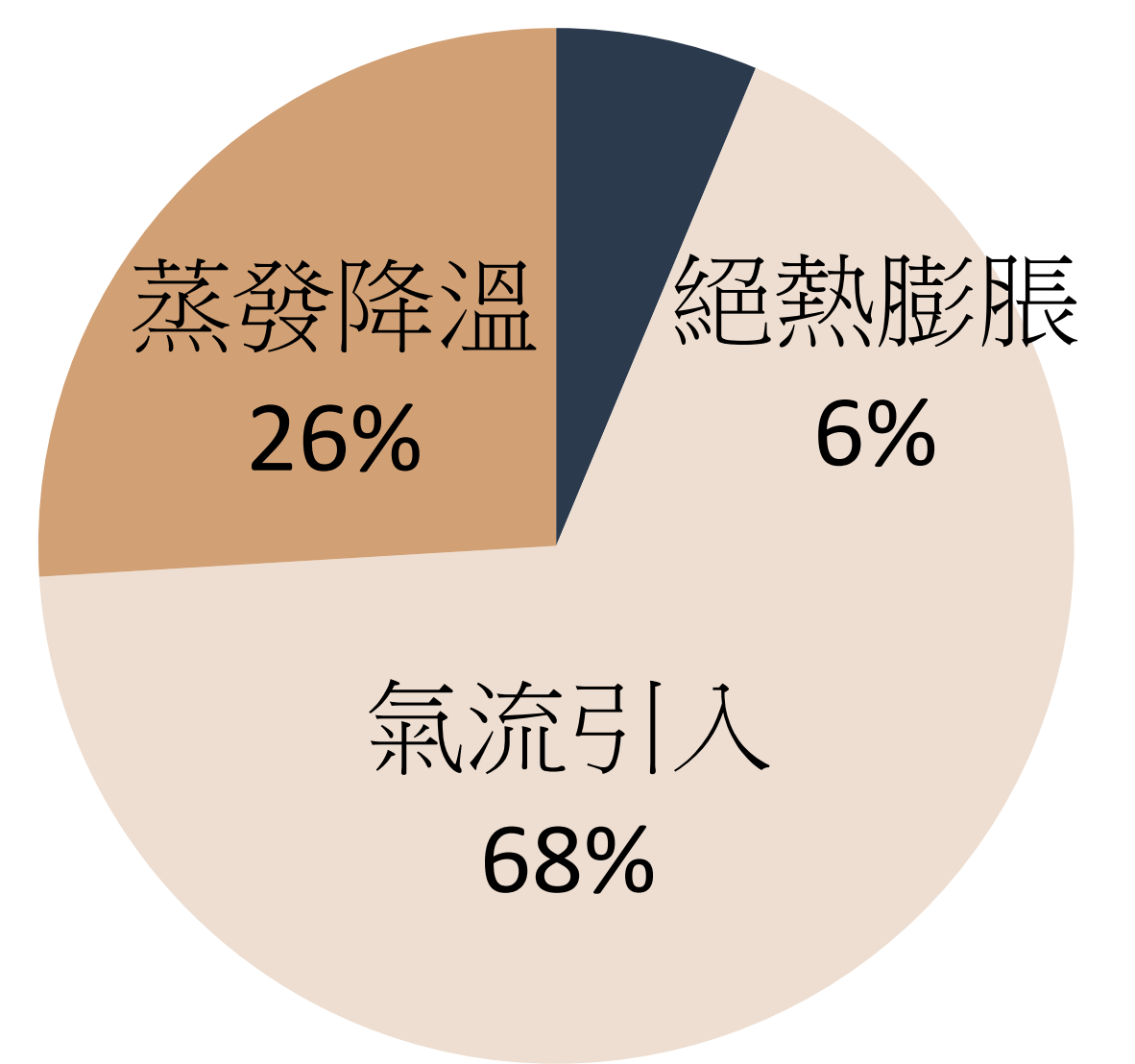
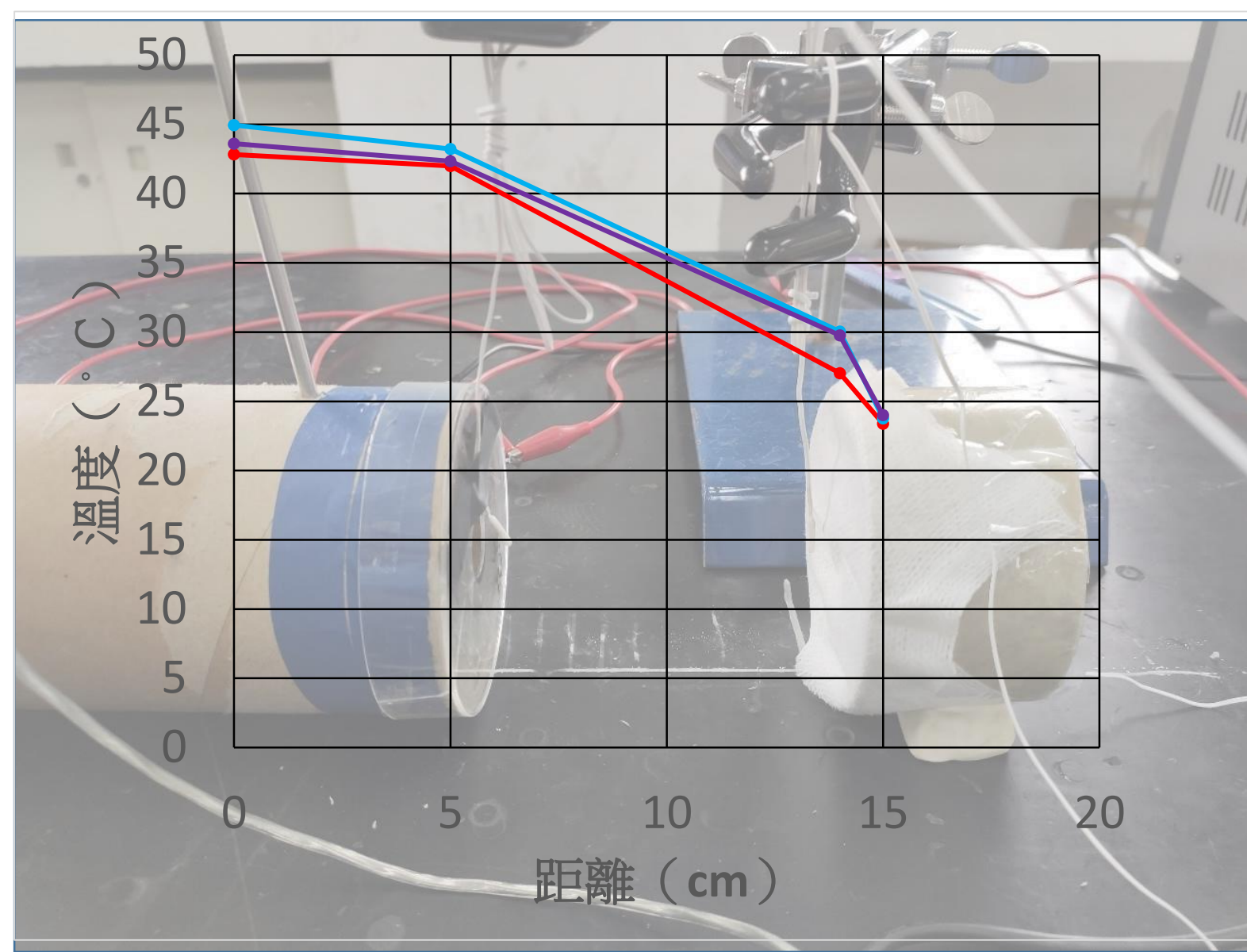
5. 對於國內大眾普遍認為的效應「絕熱膨脹」，初步實驗中比較相同的溫度差情況下，其所需的壓力大於口腔實際情形，而此實驗則是比較相同的風速情況下（及相同壓力差），其造成的溫度變化小於實際情形。

6. 氣流引入 $P_{流}$ 遠大於其他兩者的影響百分比，由此可知，氣流引入的效應最顯著。

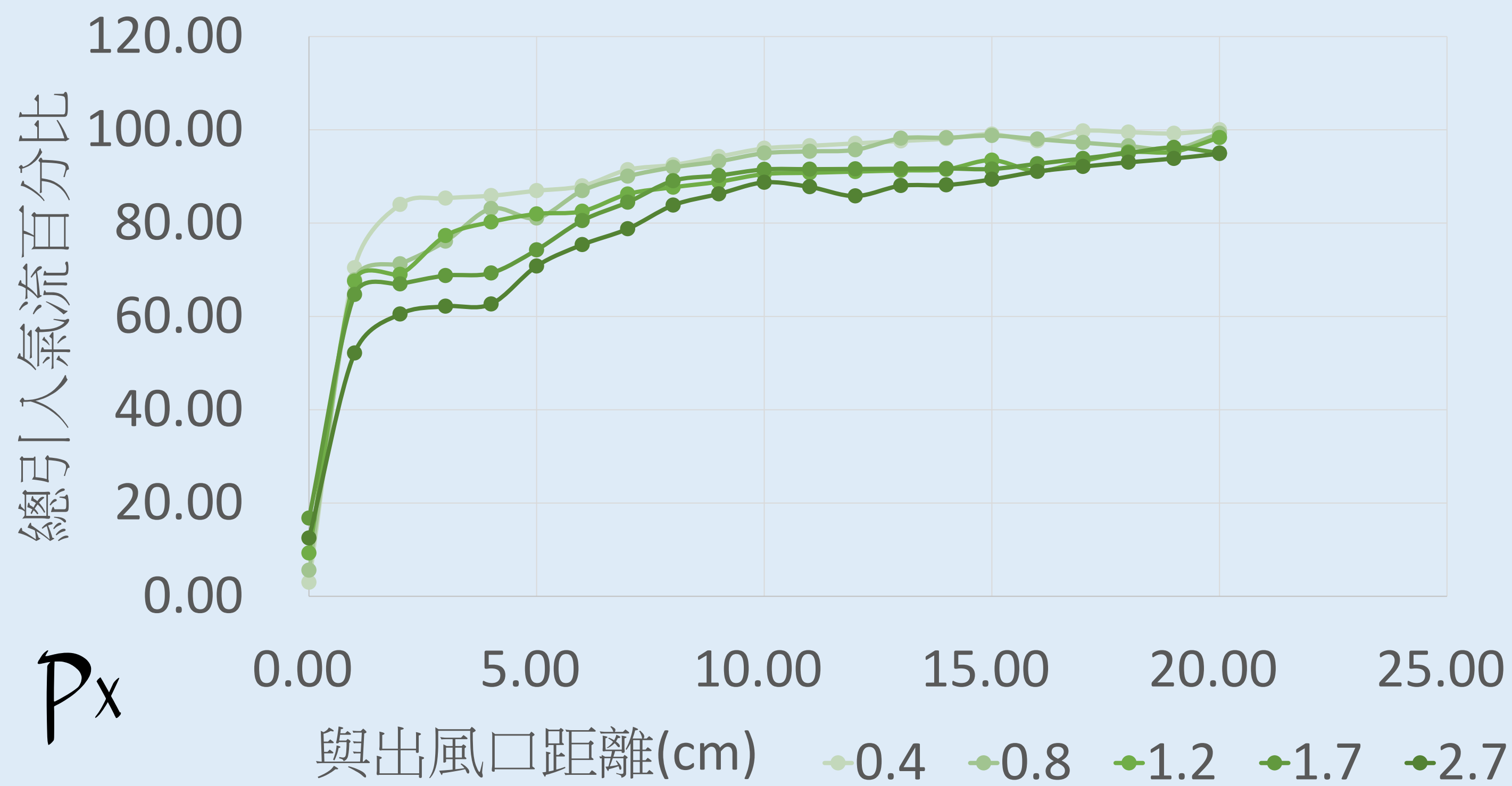
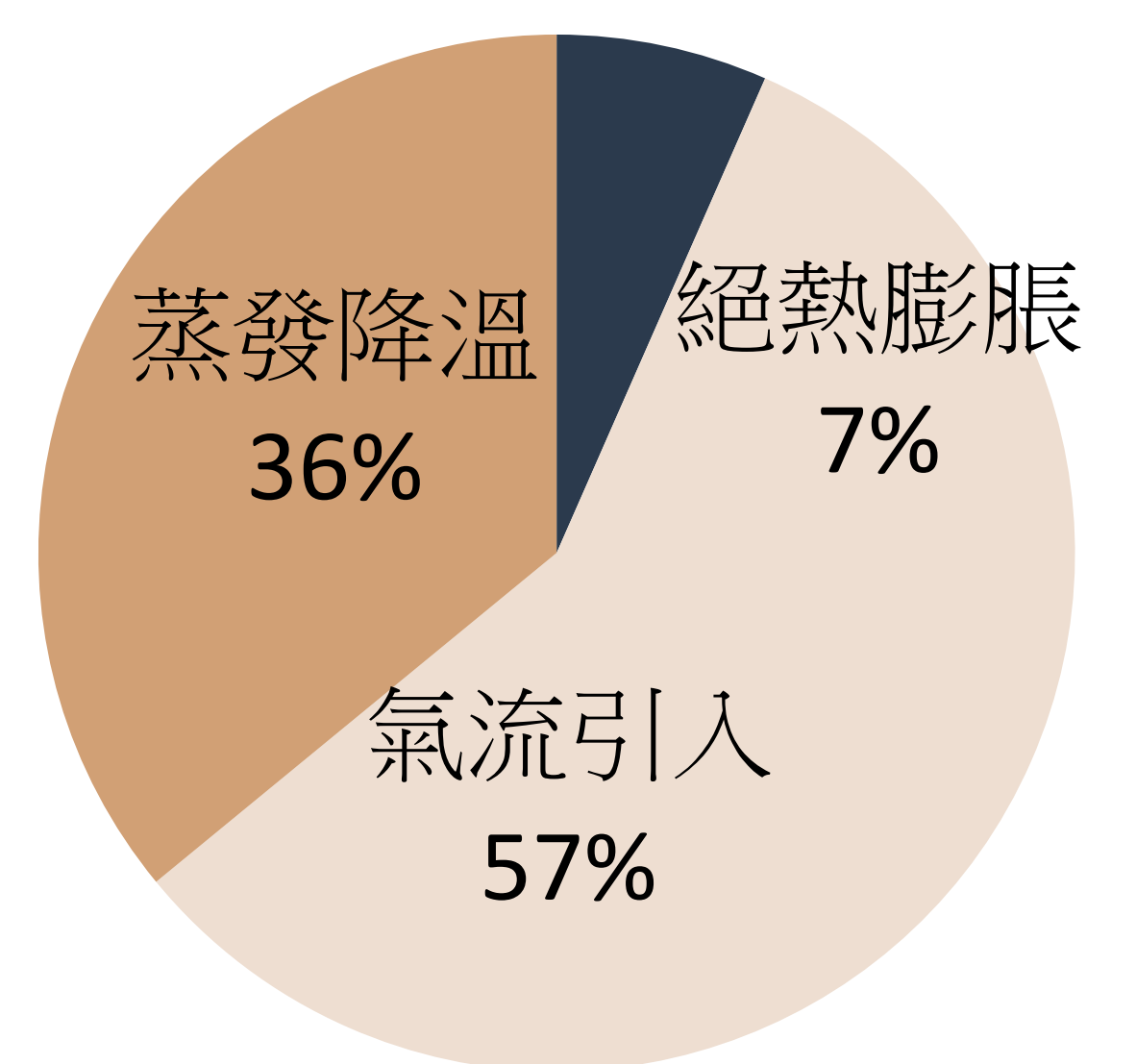
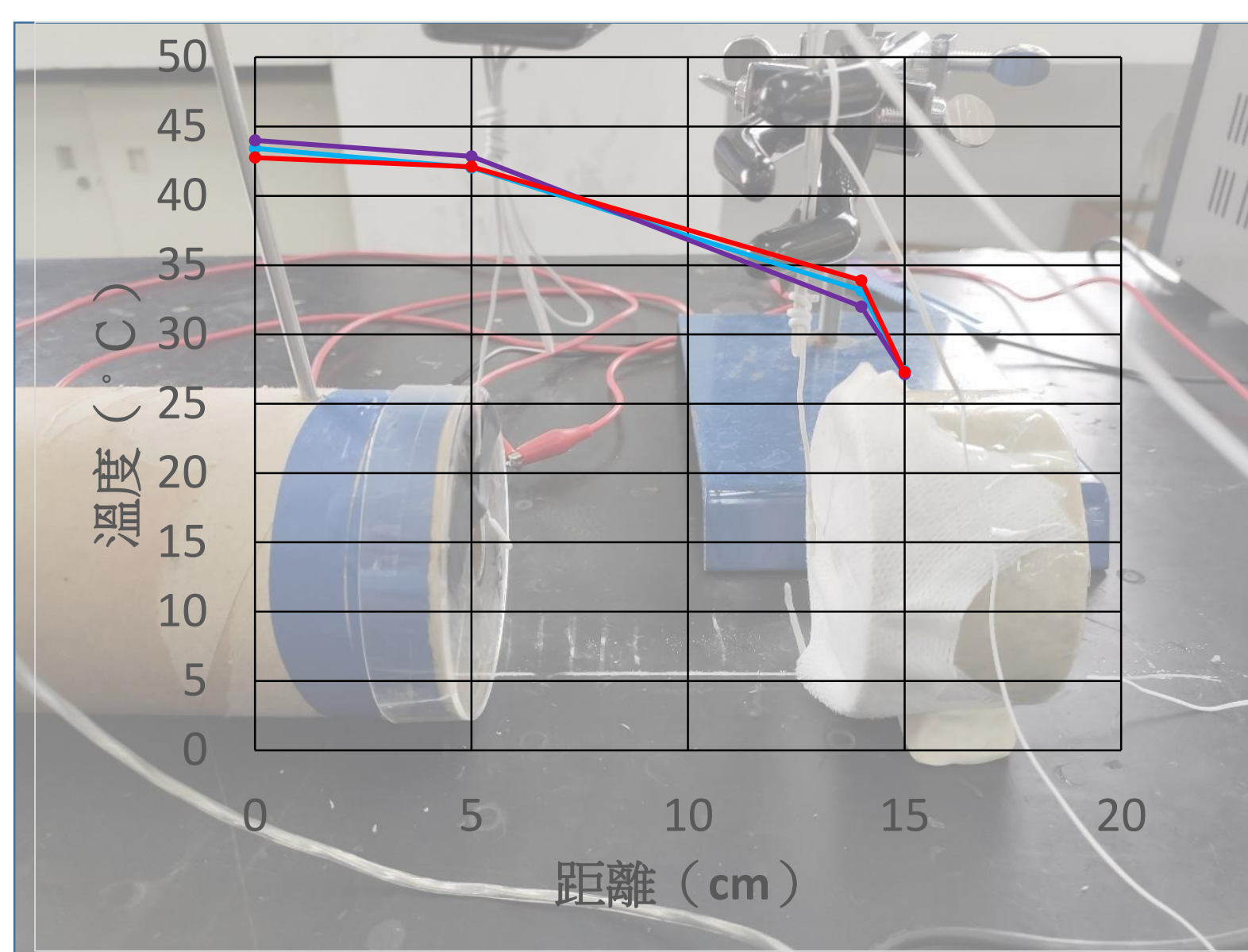
各效應的影響百分比



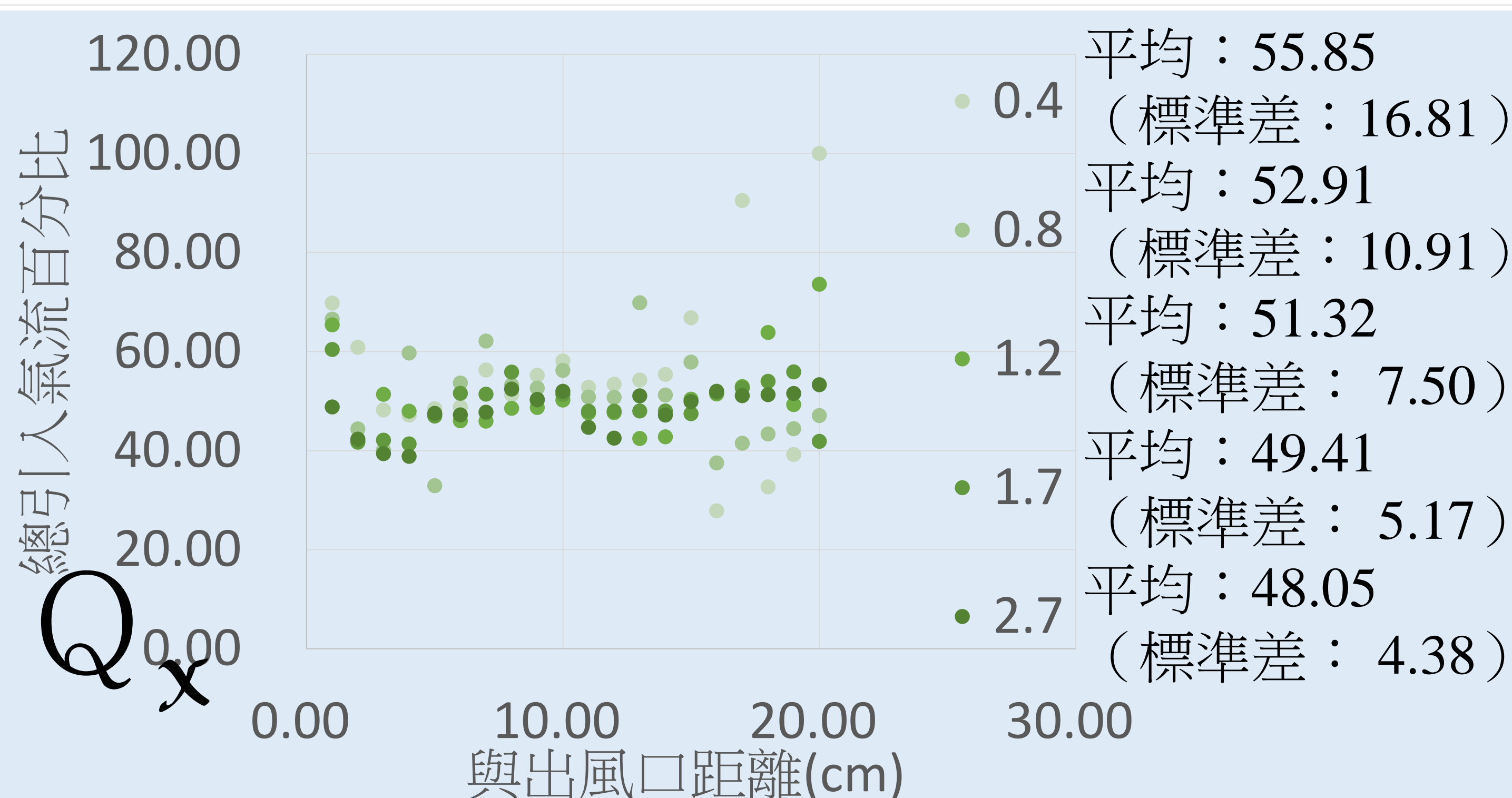
編號d：1.7公分



編號e：2.7公分



與出風口距離		0cm~5cm		5cm~20cm	
編號	口徑	方程式	R2	方程式	R2
a	0.4	$y = 3.34\ln x + 79.40$	0.98	$y = 0.71x + 87.21$	0.83
b	0.8	$y = 2.95\ln x + 73.13$	0.98	$y = 0.64x + 87.08$	0.66
c	1.2	$y = 2.77\ln x + 72.64$	0.97	$y = 0.82x + 80.55$	0.88
d	1.7	$y = 2.18\ln x + 66.74$	0.99	$y = 0.79x + 80.89$	0.75
e	2.7	$y = 2.08\ln(x) + 59.77$	0.95	$y = 1.10x + 73.45$	0.84



探討氣流引入在路徑上的情形

1. 引入氣流百分比 Q_x 為距離出風口 $x-1$ 公分處到 x 公分處的引入氣流量。若同時測量多點溫度，則可能會影響實驗數據，故 Q_x 是利用不同次測量的結果搭配 P_x 推算：

$$P_{X-1} = \frac{T_{X-1} - T_1}{T_{2(X-1)} - T_1} * 100\%$$

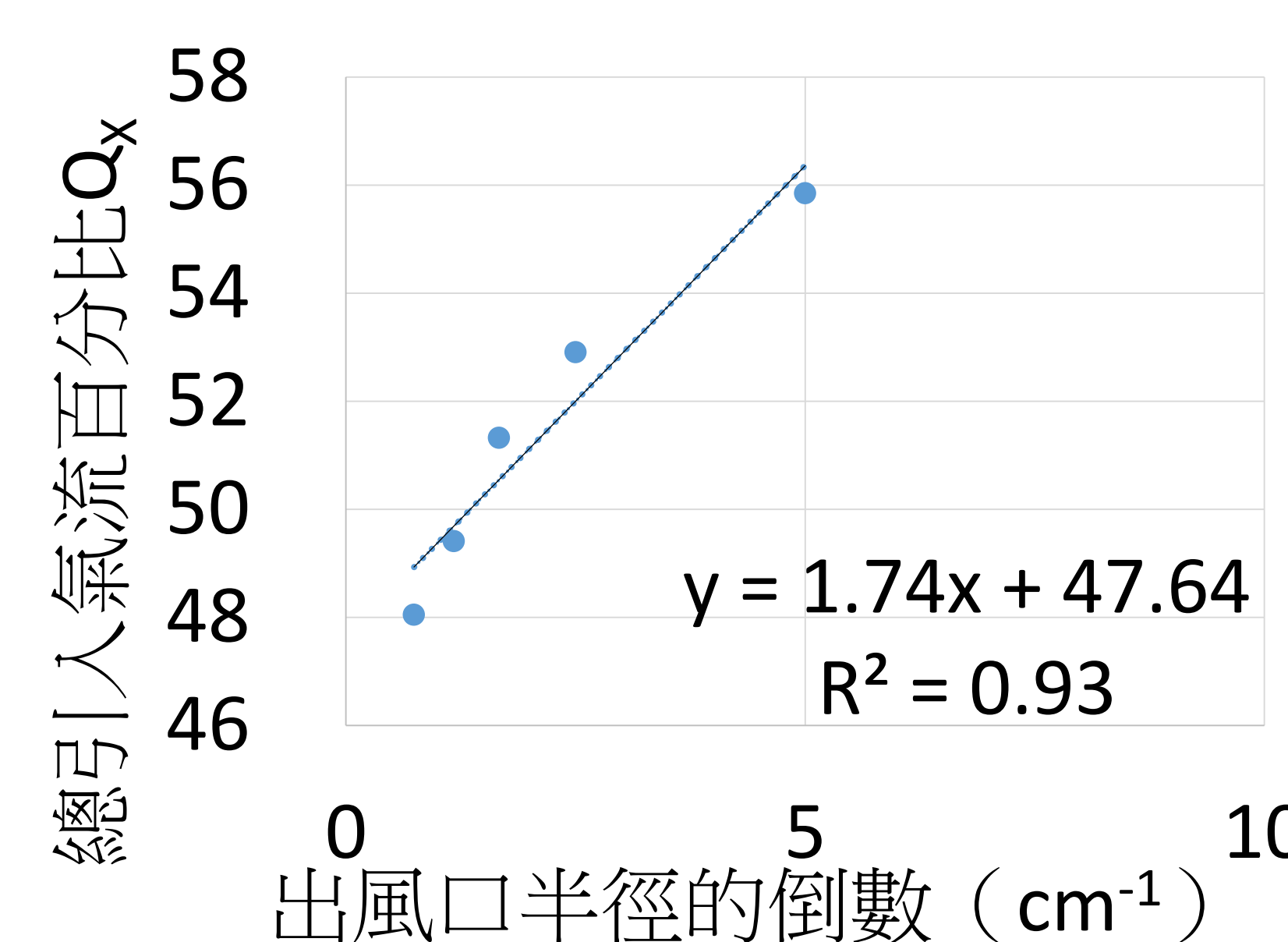
$$\rightarrow P_{X-1} = \frac{T'_{X-1} - T_1}{T_{2(X)} - T_1} * 100\%$$

$$\rightarrow T'_{X-1} = \frac{P_{X-1}(T_{2(X)} - T_1)}{100\%} + T_1$$

$$\rightarrow Q_x = \frac{T_x - T'_{X-1}}{T_{2(X)} - T'_{X-1}} * 100\%$$

2. 出風口口徑越小，引入氣流百分比 Q_x 越大，且與出風口半徑的倒數呈現性關係： $Q_x = 1.74/r + 47.64$ 。而空氣是由氣流外圍引入，引入氣流量應與氣流圓周長成正相關，然而，單位時間通過該截面的氣流與氣流的截面積成正相關，故引入氣流百分比 Q_x 與 r 成反比。

3. 總引入氣流百分比 P_x 在距離出風口0~5公分是以對數函數的方式遞增，距離出風口5~20公分是以線性關係遞增。



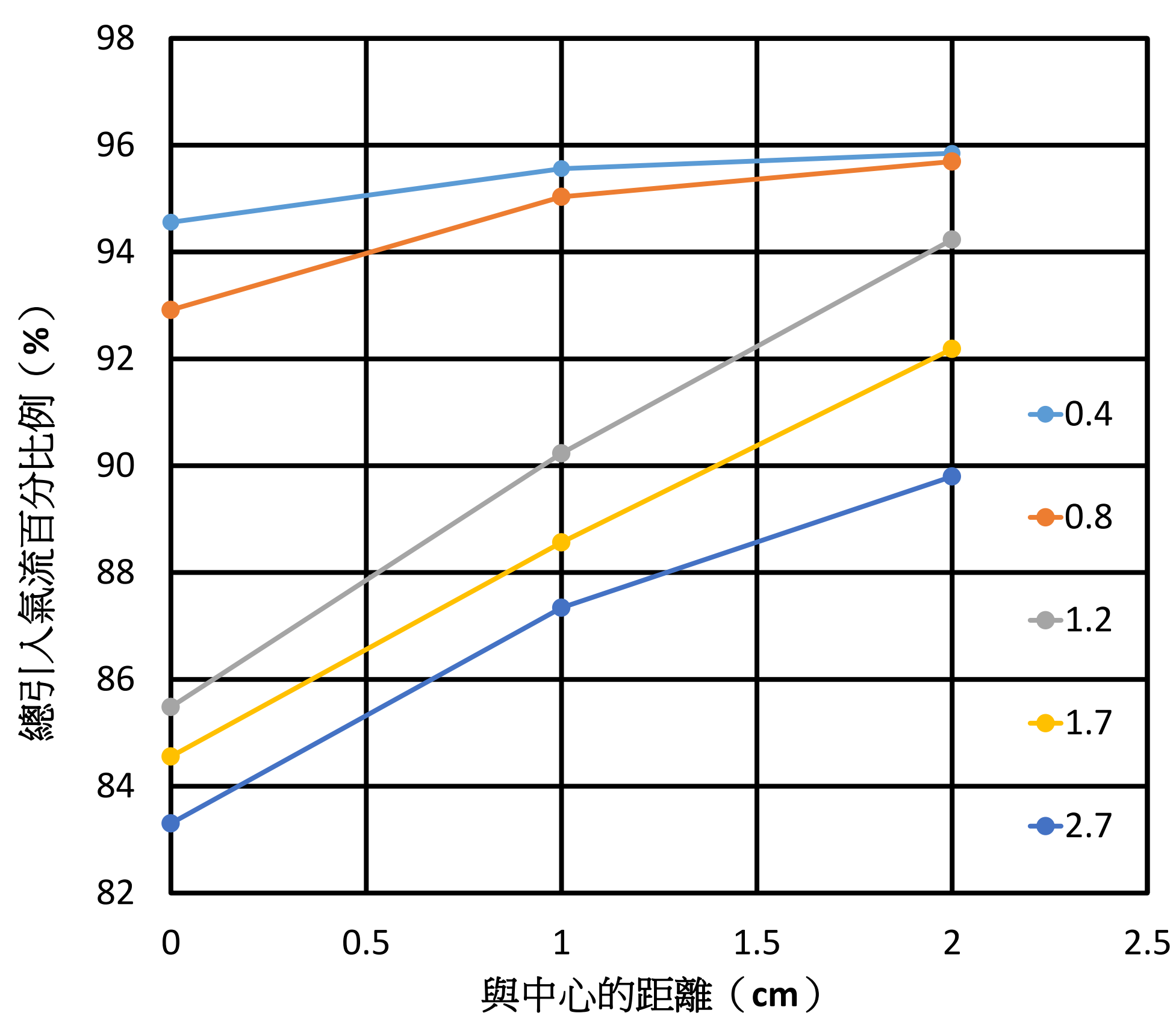
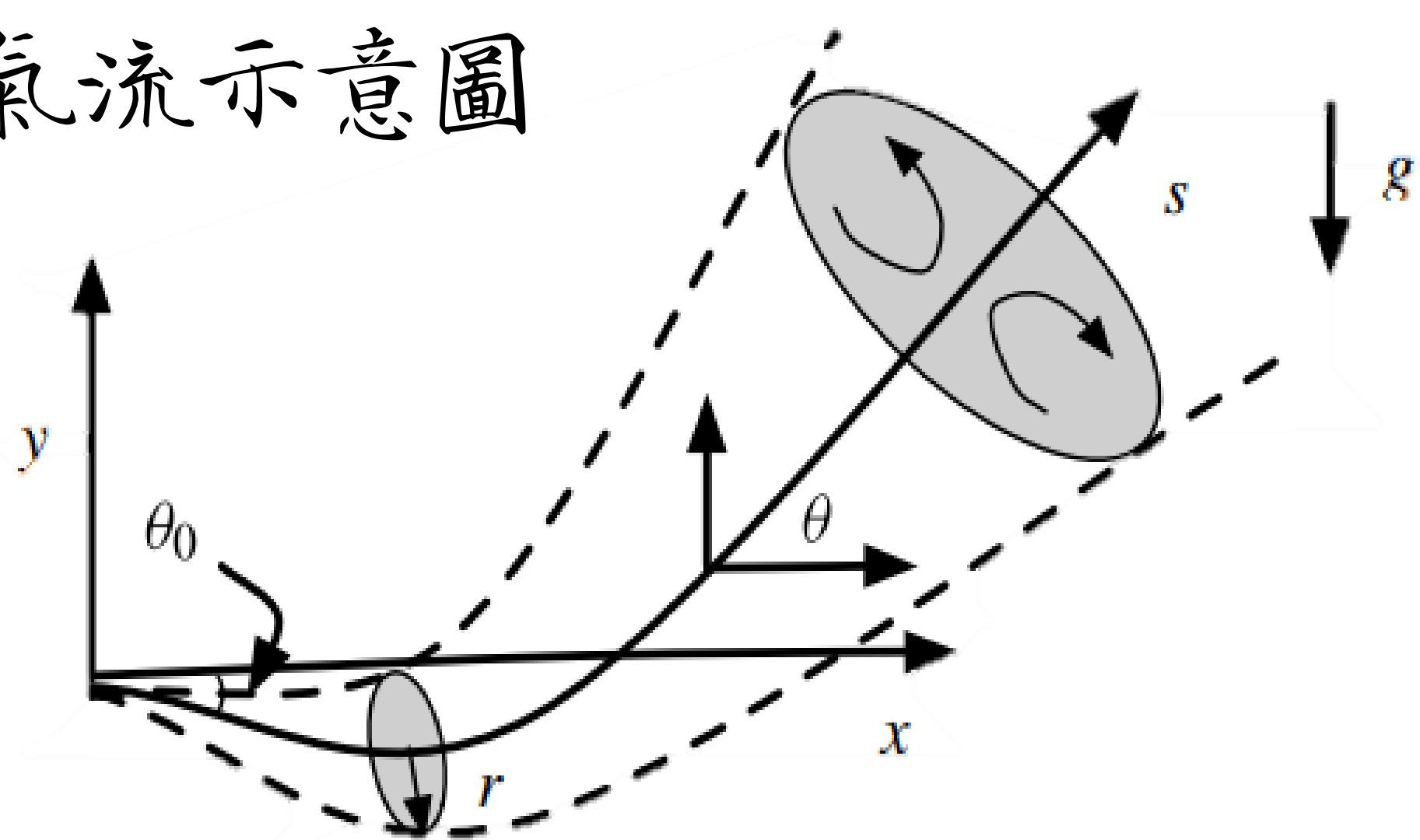
若採用乾冰，則氣流中含有較多二氧化碳，造成氣流的密度較空氣大，氣流下沉，故數據分布在第四象限；若採用造霧器，則氣流中含有較多水蒸氣，造成氣流的密度較空氣小，氣流上升，故數據分布在第一象限。

氣流成等速移動。且編號b口徑0.8的數據較少，編號e口徑2.7的數據較多。由於口徑越小，氣流引入百分比越高，溫度較快接近環境溫度，造成凝結的水蒸氣較快蒸發，氣流顏色變淡的速度較快

巨觀情形下，氣流的截面直徑隨距離原點越遠而呈線性增加，而藉由路徑實驗可發現，在大於5公分處的氣流引入百分比隨距離呈現線性增加，兩者互相呼應。

觀察影片可以發現，氣流前端外圍部分空氣會有往外擴散並減慢速度的趨勢，且氣流周圍的顏色較淡，推測氣流是由外界引入，故口徑較大，其推出的氣流截面周長也較大，但其原有的氣體含量與半徑呈正相關，故混合後的氣體仍較高溫。

氣流示意圖



氣象局所提供的體感溫度 = $1.04T + 0.2e - 0.65V - 2.7$

$$e = \frac{RH}{100} * 6.105 * e^{\frac{17.27T}{237.7+T}}$$

與嘴巴距離x公分處氣流總體積 $V_x = (1 + Q(r))^x V_0$

引入的氣體量 $V'_x = V_0[(1 + Q(r))^x - 1]$

假設其中並未發生熱量損耗： $\Delta H = \sum ms\Delta T = 0$

$$\rightarrow V_0(T - T_1) + V'_x(T - T_2) = 0 \rightarrow T = \frac{V_0 T_1 + V'_x T_2}{(V_0 + V'_x)}$$

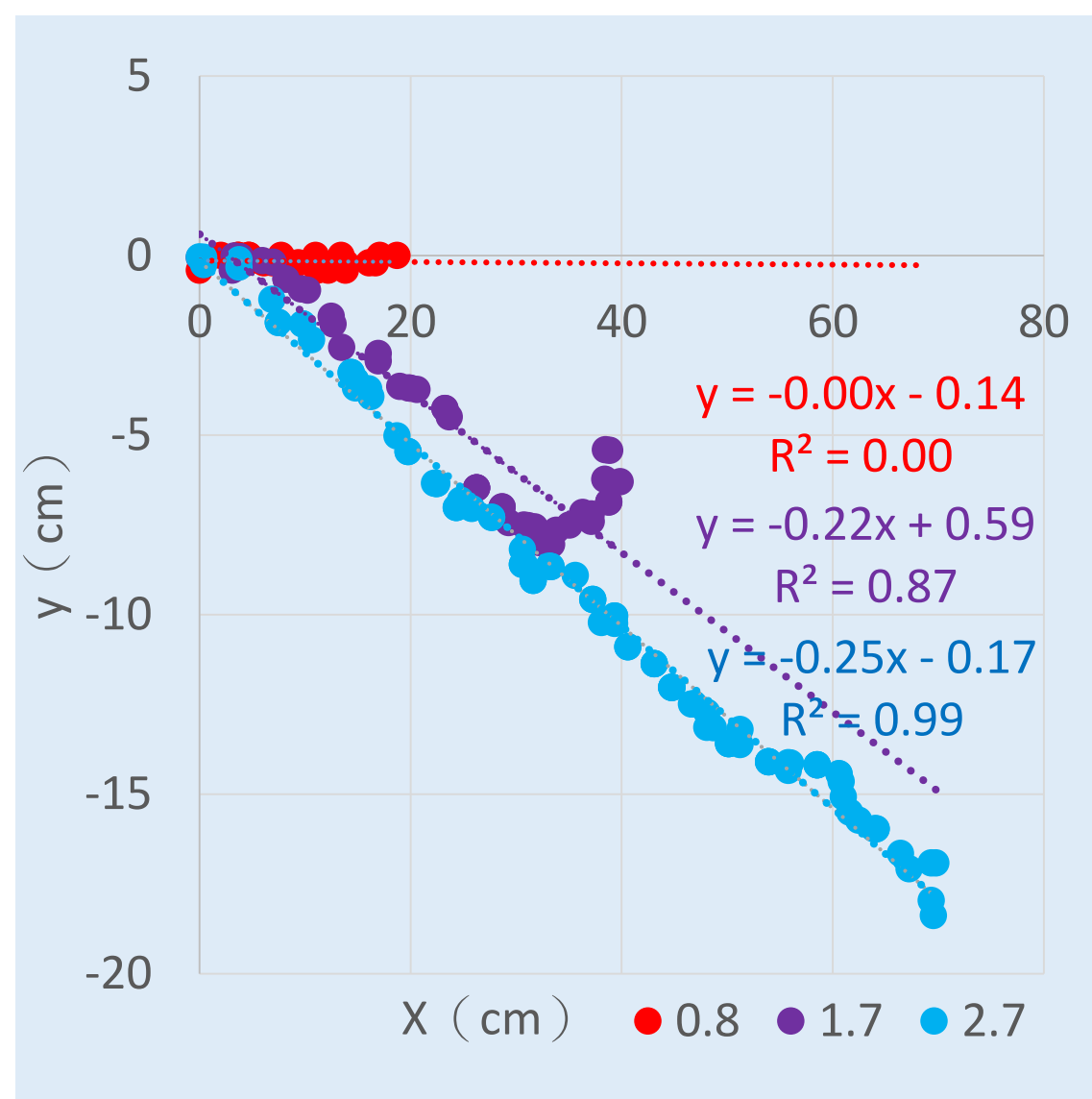
$$\rightarrow T = \frac{T_1 - T_2}{(1 + Q(r))^x} + T_2 = \frac{T_1 - T_2}{[1 + (\frac{1.74}{r} + 47.64)]^x} + T_2$$

1. 不論何種情況下，其實際氣流引入量皆會較理論值少，推測是因為氣流會受空氣阻力影響，導致氣流速度下降，造成氣流引入量下降。
2. 當環境氣溫 T_2 較初始溫度 T_1 低時，會感受到「吹冷哈熱」的情形；當環境氣溫 T_2 較初始溫度 T_1 高時，會感受到「吹熱哈冷」的情形，可與初步實驗互相對照。

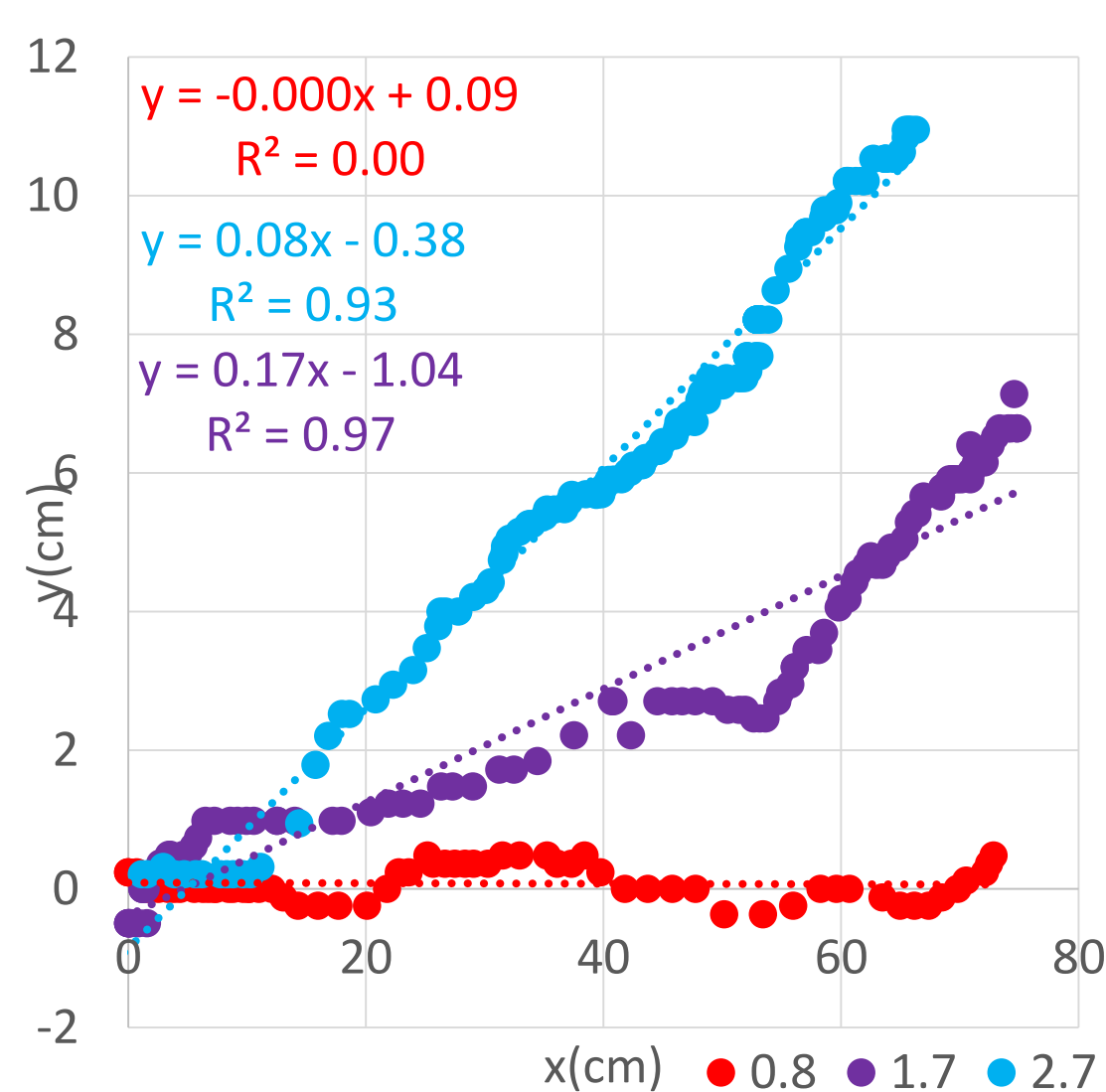
經驗公式

探討氣體流動情形

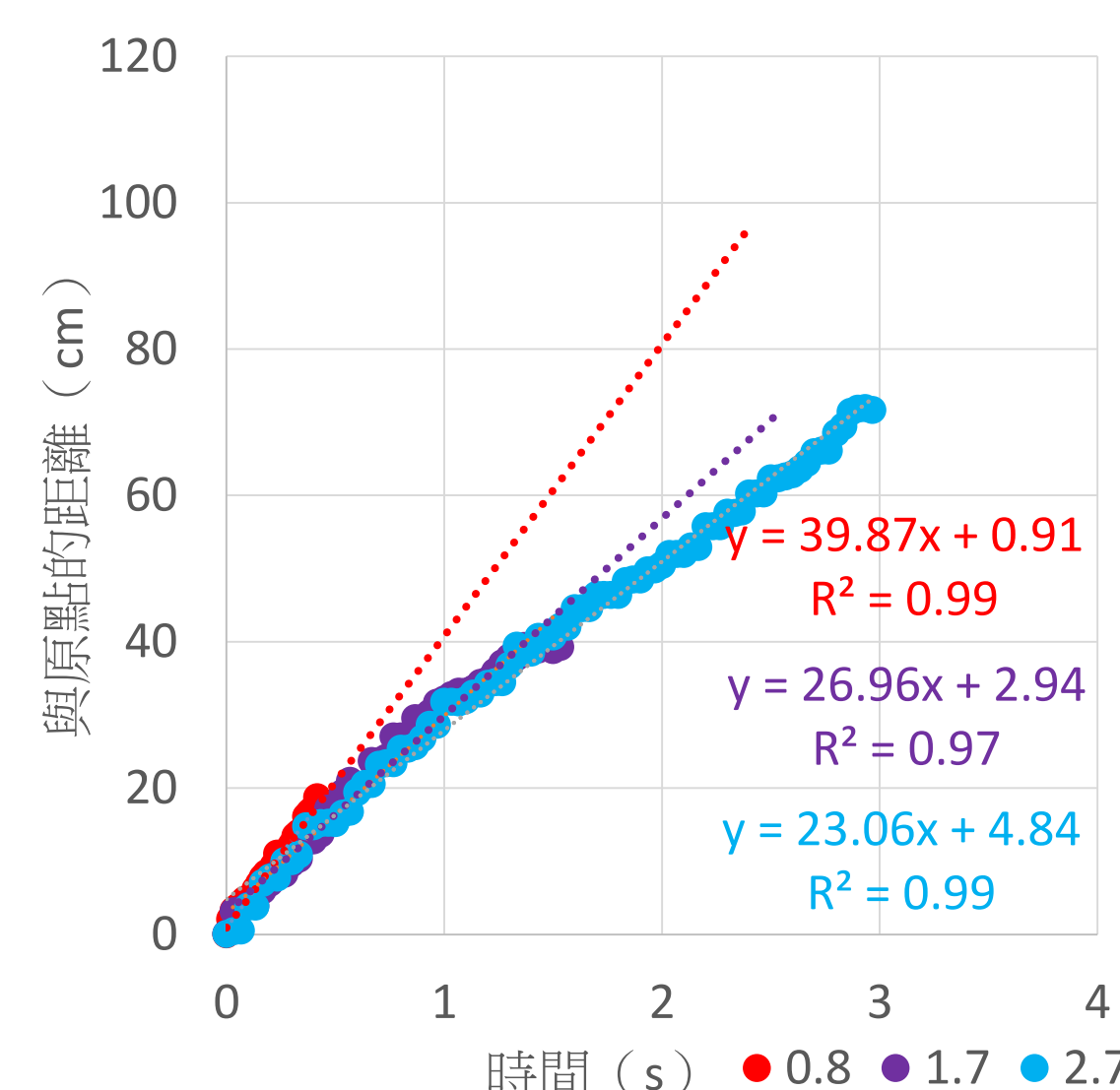
氣流的分布



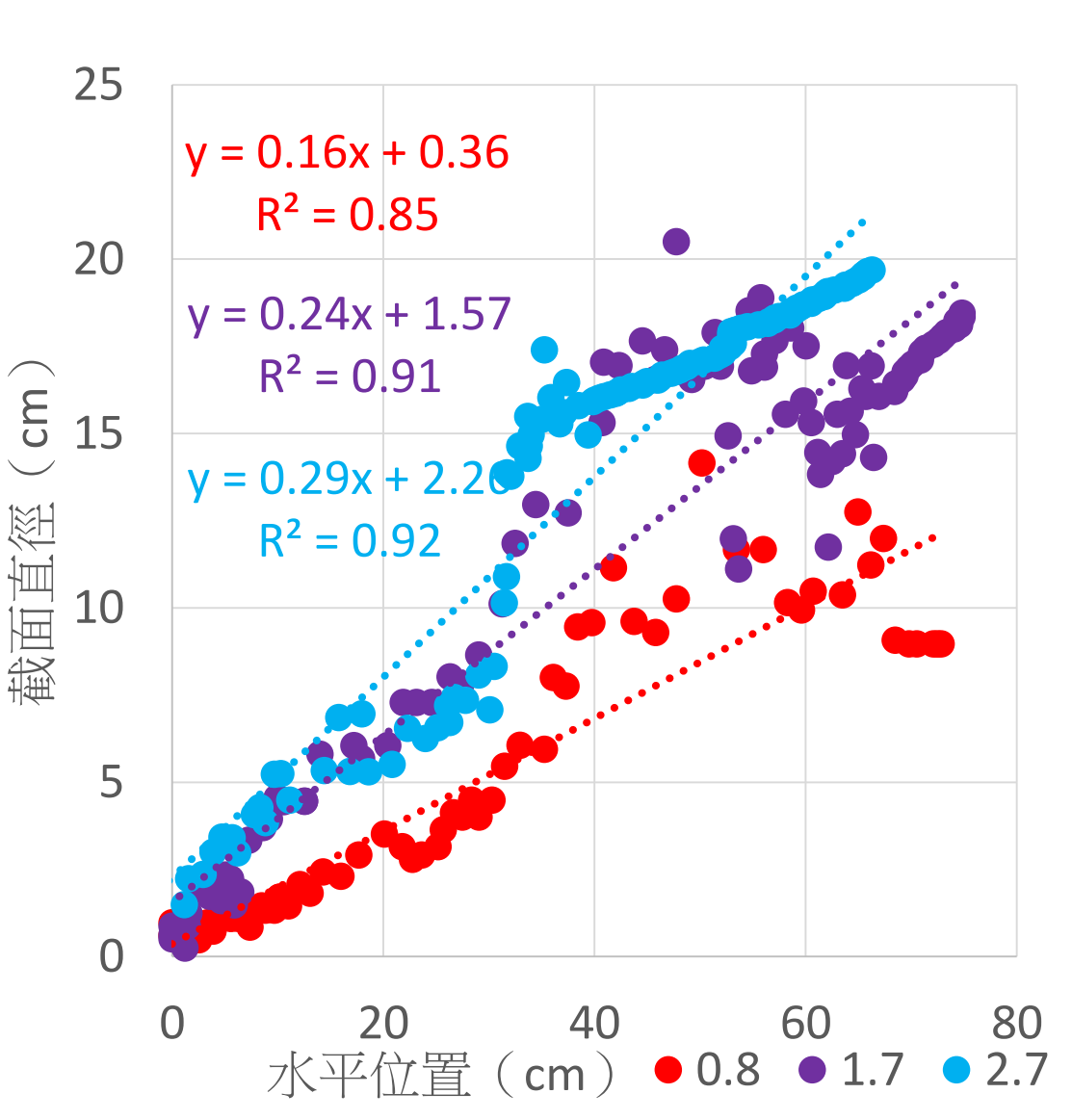
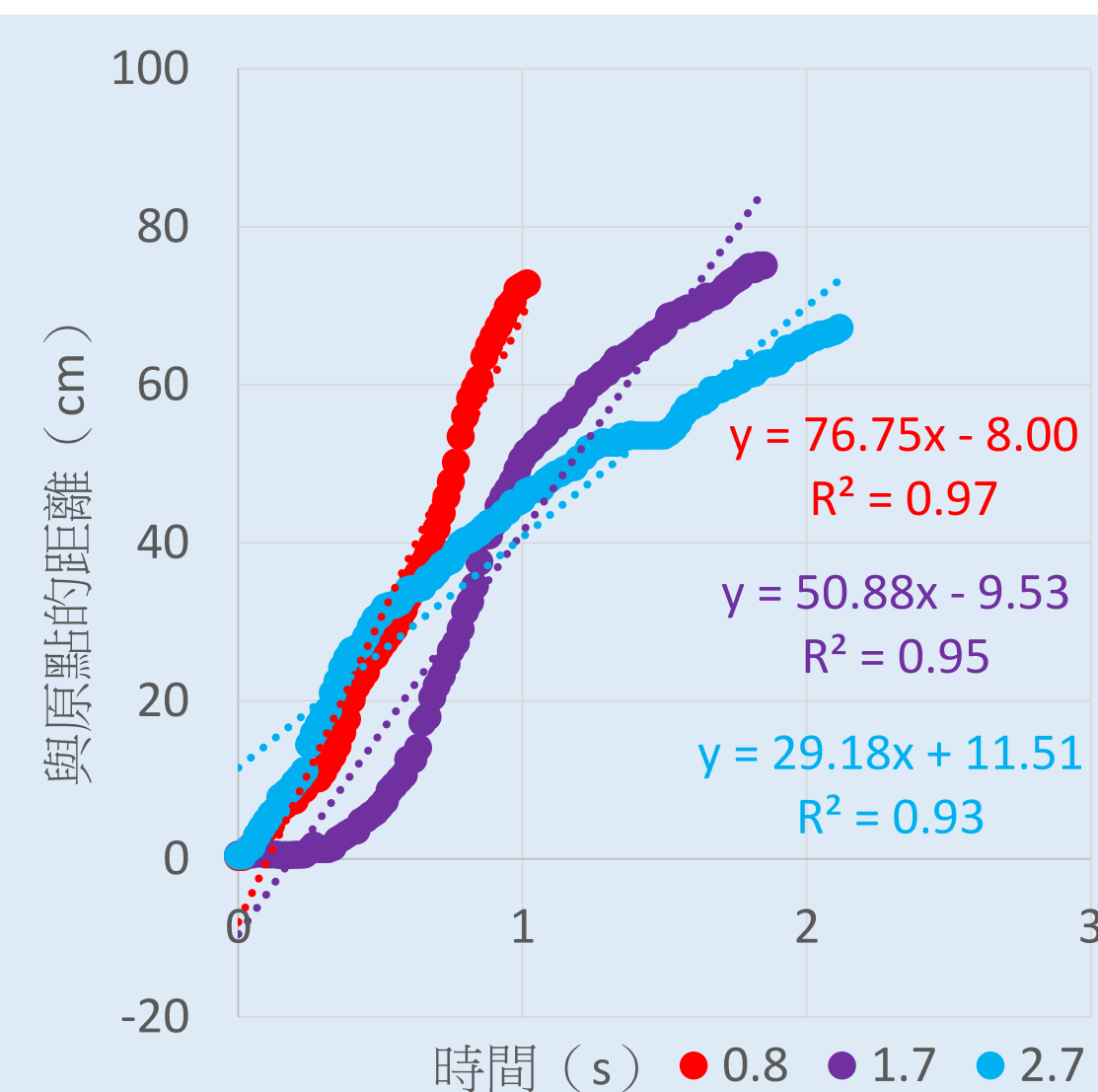
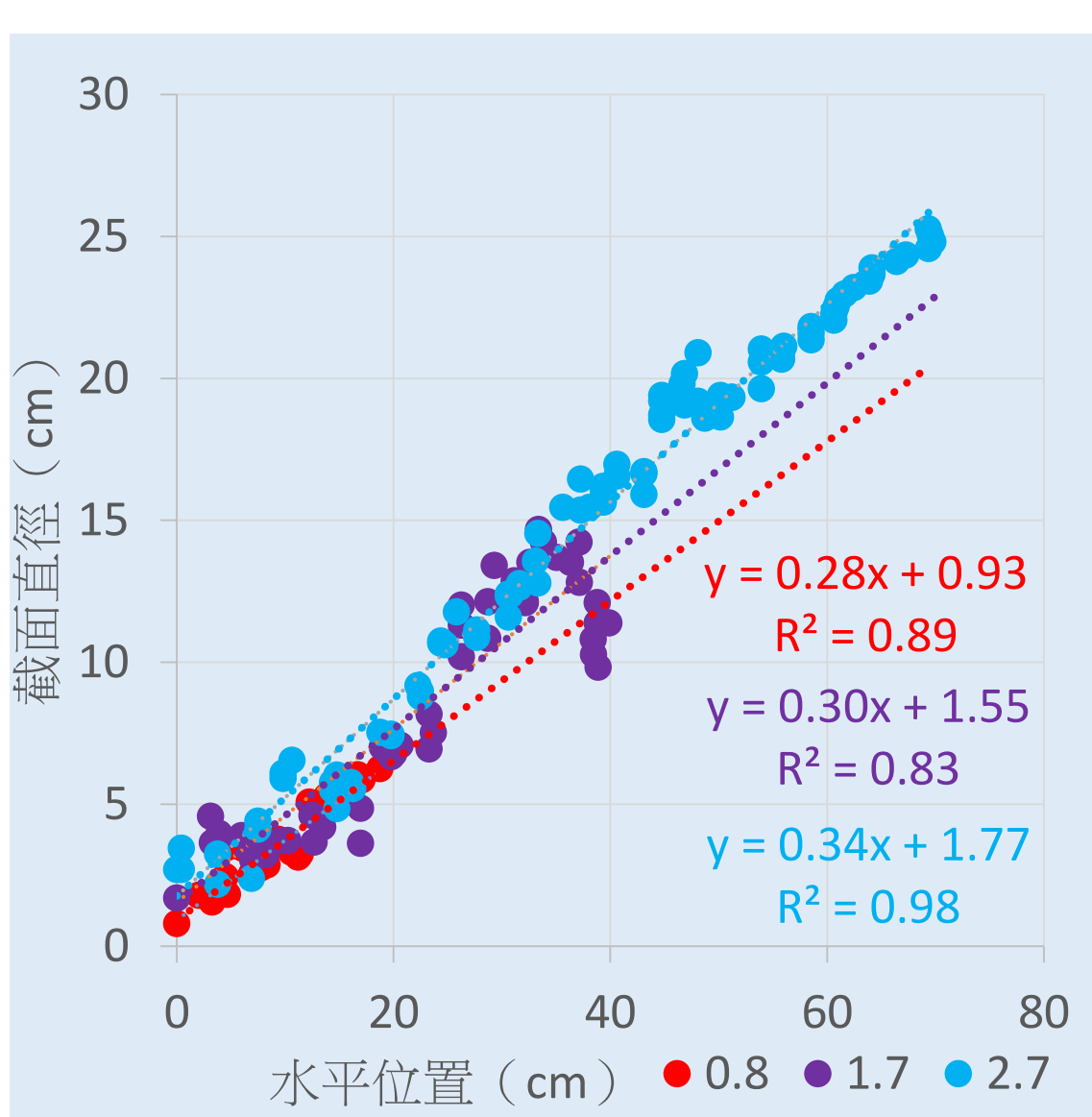
造霧器



氣流隨時間的距離

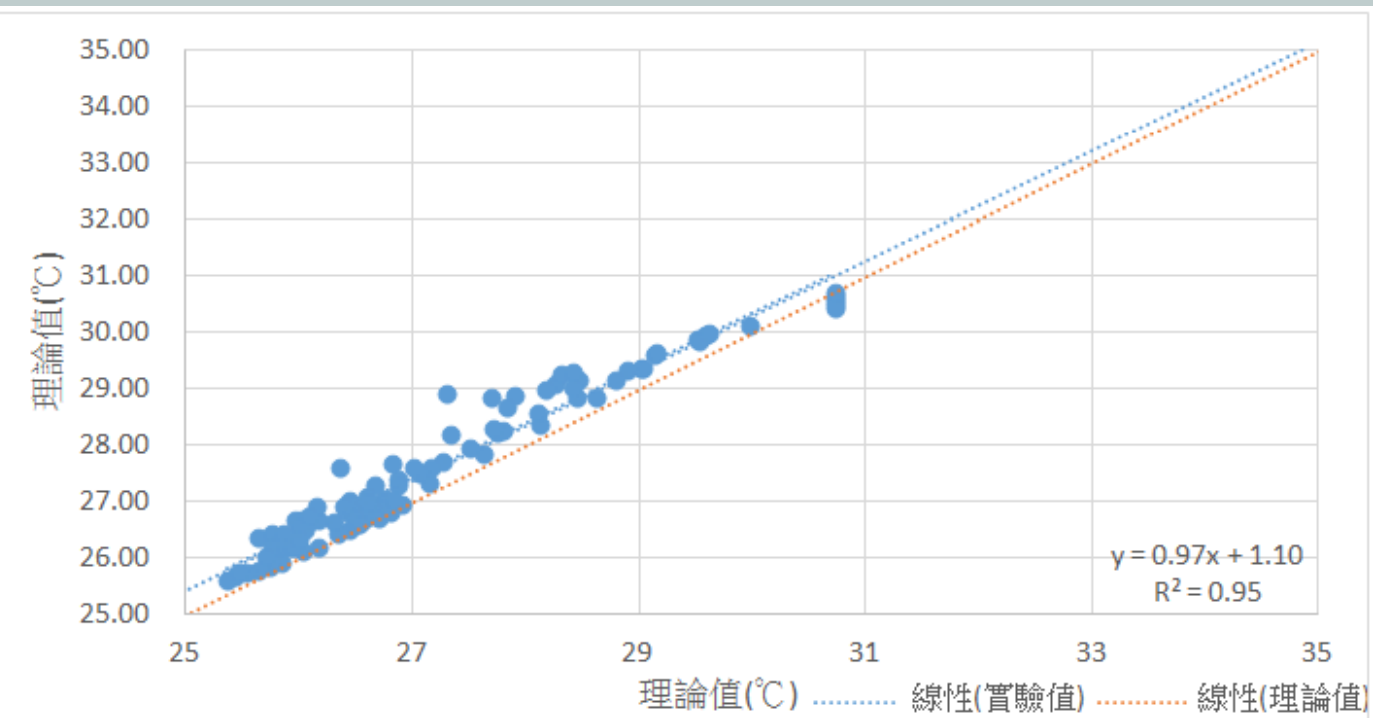


氣流截面直徑的分布



在截面上的情形

1. 出風口口徑越大，其初始氣團的截面周長越長，氣流引入越多，然而，初始氣團的截面積較大，攜帶較高溫的氣腔氣體較多，故引入氣流百分比低。
2. 不論與中心的距離，編號a口徑0.4公分的總引入氣流百分比皆較其他組的數據高，而其溫度也較接近室溫，故總引入氣流百分比隨距離的變化較不顯著。
3. 不論口徑大小，外圍的引入氣流百分比皆較高，顯示環境氣流是藉由周圍引入。且0~1公分的總引入氣流百分比差皆較1~2公分的總引入氣流百分比差大，故外圍的空氣較容易與外界環境進行交互作用，而較容易受環境氣溫影響，因此與環境溫度差異較小。



應用

1. 2019-nCoV肆虐，可進一步探討飛沫及空氣傳染的範圍
2. 水壺上蒸氣溫度高，可使用較小出風口口徑，能夠引入較大的氣流，降低溫度，避免燙傷
3. 電腦硬碟的散熱，可使葉片的口徑前大後小而快速降溫。