

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

第三名

030117

沙墨乾渴、水山爆發-白板筆之創新設計

學校名稱：彰化縣立陽明國民中學

作者： 國一 陳勝文 國一 陳勝宏 國一 蔡永淇	指導老師： 蔡名峯 陳炳彰
---	-----------------------------

關鍵詞：膨脹率、毛細現象、孔隙率

摘要

市售棉心式白板筆是以毛細現象將墨水儲存於棉心，當墨水過量會有漏墨問題或無法將墨水以毛細現象完全導出。本創新直液式白板筆是類似鋼筆方式儲水，其物理原理與舊型棉心式完全不同，它是以內外壓自然平衡來導引墨水，實驗中以棉心吸水效率、墨水損失率與色彩分析相關的實驗驗證下，其可改善舊式白板筆的缺點。但新式白板筆仍會受環境溫度與壓力變化而有漏水狀況。本組以自製測試設備輔助下，模擬了溫度對應壓力的變化、墨管內空氣與墨水膨脹率不同產生漏墨與高山大氣壓力降低導致墨水溢出的實驗。根據實驗結果本組進一步設計以針筒活塞來調整壓力的新式白板筆，完全解決了漏墨的缺點，且此環保可重複使用的設計是值得持續研究與推廣。

壹、研究動機

2019 年台灣一年使用約四百萬隻白板筆，其為取代過去傳統粉筆下的結果。雖然電子白板也漸漸受到歡迎，但因費用較高所以白板筆還是無法被取代。

組員在上課時發現，老師上課中常會寫到淡墨或沒水，因而停止了上課步調來填裝新墨水，此時就聯想出白板筆為何不會因為地心引力而流出墨水，另外團員也提到過去父親放在車上的筆也因夏天溫度過高而有漏墨的狀況。經過與老師討論後發現白板筆設計有很多是運用物理上的特性，如毛細現象與膨脹現象等，此時也引出了我們的研究動機，最後所有組員一致決定要用直液式與棉心式白板筆來探討並解決漏水與淡墨問題。

貳、研究目的

一、探討棉心式與直液式白板筆的墨水使用問題。

- (一) 探討不同孔隙率下儲水棉心之吸水效率。
- (二) 探討兩種白板筆之墨水損失比與書寫路徑色彩特性。

二、探討直液式白板筆漏水因素與壓力平衡問題。

- (一) 探討不同溫度下空氣膨脹現象。
- (二) 探討不同溫度下酒精與水性墨水膨脹現象。
- (三) 探討白板筆相對溫度下壓力與體積的合理設計。
 - 1. T - P 探討空氣在溫度與壓力同升下對應零件的合理密合力量。
 - 2. T - V 不同比例空氣與墨水的變動性膨脹漏墨狀況。
 - 3. P - V 模擬高山大氣壓降的漏墨狀況。
- (四) 根據實驗結果進一步改良直液式白板筆的缺點。

三、探討白板筆頭各種物理性因素的最適性設計。

(一) 探討不同孔隙率之毛細現象流墨表現與孔隙含水率。

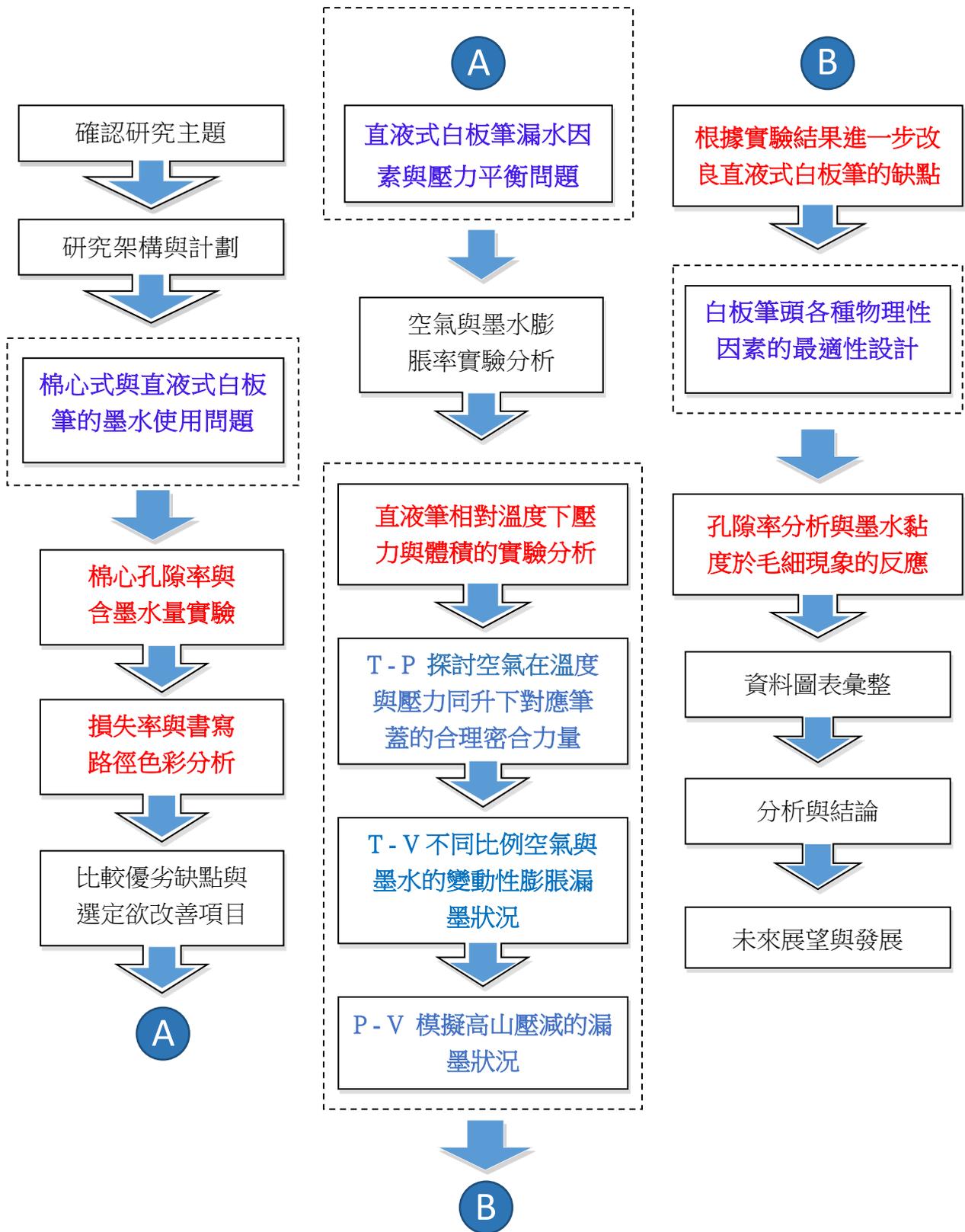
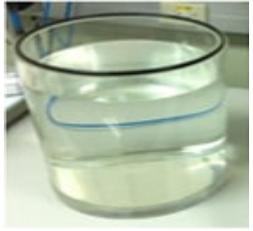
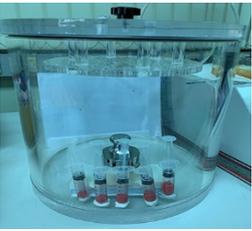


圖 1 實驗架構圖

參、研究設備及器材

			
圖 2-1 顯微鏡	圖 2-2 溫度測試器	圖 2-3 推拉力計	圖 2-4 白板
			
圖 2-5 恆溫控制器	圖 2-6 針筒	圖 2-7 劑量吸器	圖 2-8 實驗量杯
			
圖 2-9 精密量秤	圖 2-10 環測機	圖 2-11 壓力表	圖 2-12 酒精燈
			
圖 2-13 負壓桶	圖 2-14 量尺	圖 2-15 熱熔槍	圖 2-16 連通管燒杯
			
圖 2-17 虎鉗	圖 2-18 鑽台	圖 2-19 雷射切割機	圖 2-20 鋸子

肆、研究過程與方法

一、名詞解釋：

(一) **孔隙率**：(Porosity) 孔隙率的定義為孔隙的體積與材料總體積的比率，所以總是在 0 到 1 或百分比 100% 之間。(參考資料一)

1. **直接方法**：測量多孔樣品的表觀體積和同質量無孔樣品的體積。
2. **氣體擴散法**：已知密度的樣品可以放入已知體積的容器中，該容器與另一個抽成真空的容器相連接，當兩容器之間的門打開時，氣體就會從樣品逸出絕對氣體量，此為氣體擴散法。
3. **浸沒法**：在真空條件下，將多孔樣品浸入容易滲透入樣品孔隙液體中。

(二) **毛細現象**：(毛細管作用) 是指液體在細管狀物體內側，由液體與物體之間的附著物因內聚力而產生的表面張力組合而成。液體在不需施加外力的狀況下，流向細管狀物體的現象，該現象甚至使液體克服地心引力而上升，此為毛細現象。(參考資料一)

(三) **膨脹現象**：等壓時氣體的膨脹係數可從理想氣體方程式 $PV=nRT$ 來說明

原來體積： V_1 當溫度由 T_1 升至 T_2 時，升溫後體積為 V_2 ，所以膨脹量 = $V_2 - V_1$ 因 P 和 n (莫耳數) 不變 $V_1 / V_2 = T_2 / T_1$ ； $(V_2 / V_1) - 1 = (T_2 / T_1) - 1$ ； $(V_2 - V_1) / V_1 = (T_2 - T_1) / T_1$

體積膨脹率 = $(V_2 - V_1) / V_1 * 100 \% = (T_2 - T_1) / T_1 * 100 \%$

二、新設計的直液式白板筆與舊式棉心式白板筆的介紹：

(一) **直液式白板筆**：(如圖 3 所示) 儲水方式以墨管直接裝水(同鋼筆設計)，出水方式經過捲狀棉並未與筆頭直接接觸墨水，使用時不需外力按壓出墨，另外值得討論的是捲狀棉，此零件為捲狀沒有毛細能力，可防止墨水直接流出並讓空氣對流使內外壓平衡的暫存性棉心，先行實驗下可吸水 0.5ml。(參考資料六)。

(二) **棉心式白板筆**：(如圖 4 所示) 儲水方式為棉心吸墨方式，筆頭以毛細現象直接引水而出，隨著棉心孔隙率不同可填裝不同的墨水量，筆頭的孔隙率不同也會有流墨速度的差異。

三、研究過程與方法：

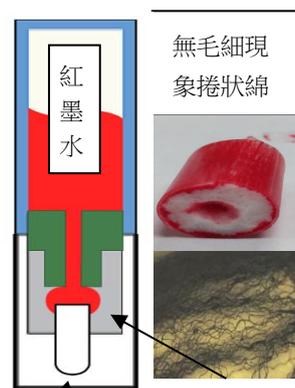


圖 3 直液式白板筆

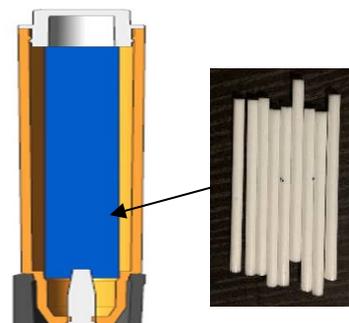


圖 4 棉心式白板筆

實驗一：探討棉心式與直液式白板筆的墨水使用問題

(一) 探討不同孔隙率下儲水棉心之吸水效率

一、**實驗想法**：一支筆可裝置的墨水越多表示 CP 值越高，而傳統白板筆是以棉心當成填墨基材，所以將以此實驗了解棉心吸水狀況的合理性與可靠度。

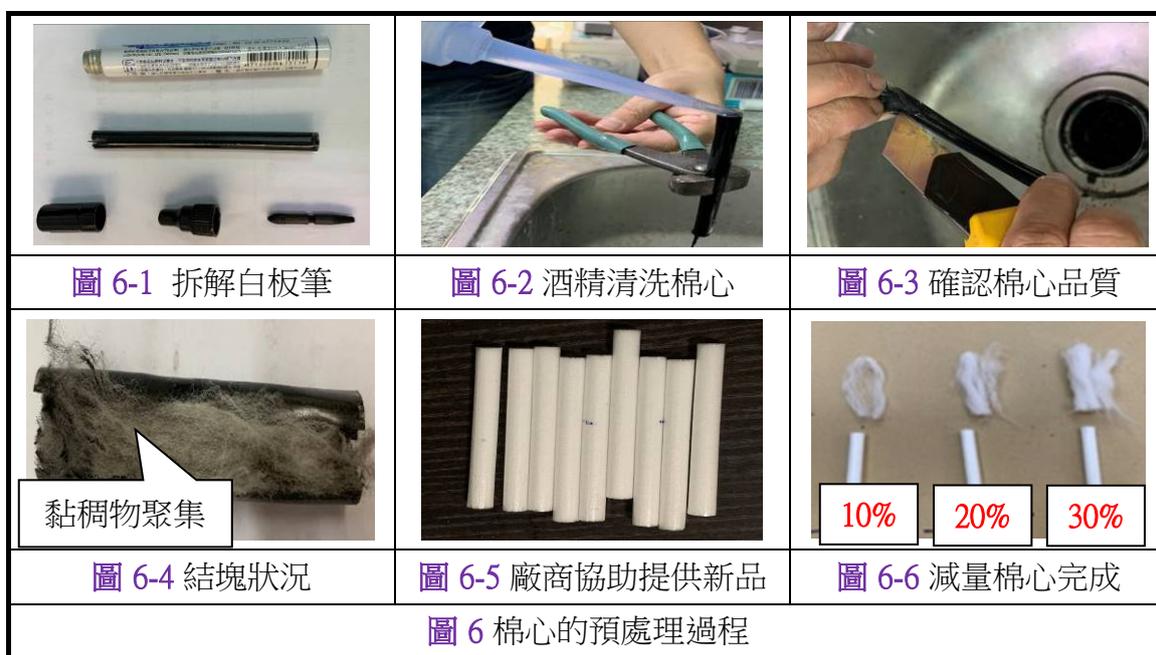
二、棉心處理過程：(如圖 6 所示)

收集棉心：主要來源希望能夠買到同一樣式的棉心，但文具店無單獨販售棉心所以就決定採買白板筆給老師使用到沒水後再予以清洗採樣。

1. 將所有乾枯的白板筆全部拆解然後取出棉心。
2. 將棉心浸入酒精中洗淨剩餘的墨水，再將其自然乾燥。
3. 乾燥後的棉心逐一量測重量並檢查棉心品質。
4. 因不良品過多所以拜訪了專業廠商，提供了未使用過的棉心實驗得以順利進行。
5. 顯微鏡下確認棉絲排列狀況(如圖 5 所示) 並將棉心用鑷子拔出約 10%、20%與 30%的棉絲並做三種外觀顏色記號分辨，進而完成了不同孔隙率的實驗棉心。



圖 5 棉絲排列狀況



三、選定吸水數據的測試方法：

- (一) **滴水法**：(如圖 7 所示) (飽和吸水度)單位質量棉心其吸水的最大量。將染色後純水持續滴入棉心，頻率為每 5 秒鐘滴入 1cc 的染色純水並觀察到無法再注入或有下滴狀況時，即可確認此時為最大飽和吸水量並記錄滴入重量。



(二) 浸泡法：(如圖 8 所示) (吸水率) 單位質量棉心在單位時間內吸水的狀態。將 90cc 染色純水置入容器中，使棉心載體吸入最大飽和量後，確認完成時間並記錄量杯剩下的水量，此時量杯內的重量差異即為棉心吸走的重量。

※運用兩種實驗方法相互交叉確認數字資料的可靠度



(二) 探討兩種白板筆之墨水損失比與書寫路徑色彩特性

一、實驗想法：一支筆如可寫的長度越長且顯色度也不會衰退下會是 CP 值很高的產品，所以找出不同系統下何者是較佳設計為此實驗想法。

二、實驗準備方法：

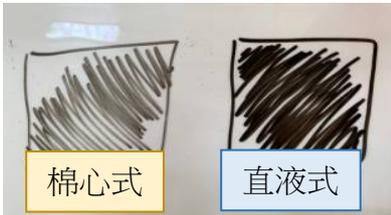
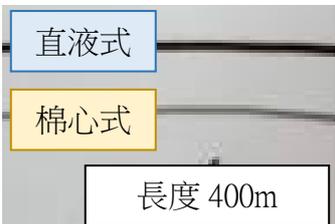
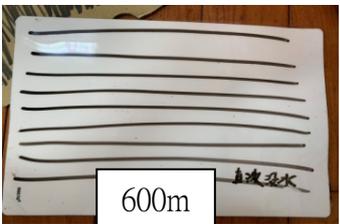
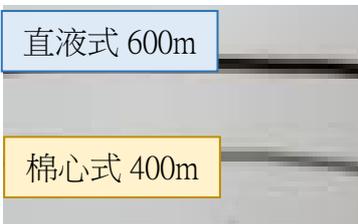
- (一) 將實驗一棉心式白板筆最佳化比重棉心與可灌入的最大墨水量共同準備 2 套材料。
- (二) 將直液式白板筆墨水取出並用酒精清洗乾淨並自然風乾。
- (三) 將傳統棉心可灌入最大量的墨水同步灌入直液式白板筆中(兩種筆的墨量都相同)。
- (四) 將雙方秤重記錄並靜置 1 小時使其吸水平衡。

三、實驗步驟：(如圖 9-1 ~ 圖 9-6 所示)

- (一) 將實驗組比較組兩隻筆用橡皮圈綁在一起以利畫線時可同步運作。
- (二) 在白板筆上用同樣的速率畫線(每一條線 20cm)，直到其中一隻筆沒水時即可卸下並持續測試另外一隻筆到沒水為止。
- (三) 記錄每 100 米下的路徑色彩特性(塗滿於預準備的空白表格內，以利於有效的色彩平面上比對判斷)。
- (四) 測試墨水損失率需先將要測試的白板筆量測重量，然後依步驟二畫完至淡墨，將淡墨後的重量與原重相減而得到差值，再將差值與原墨水重相除而得到墨水損失率。

$$\text{計算墨水損失率} = (\text{筆的原重} - \text{淡墨狀況下的重量}) / \text{墨水初始重}$$

- (五) 記錄兩支白板筆最終淡墨寫不出水來的實際長度、墨水損失率與色差狀況。

		
圖 9-1 連結 2 隻筆	圖 9-2 在白板上畫 20cm 長度	圖 9-3 每 100m 記錄色差度
		
圖 9-4 畫線中一隻沒水	圖 9-5 持續將另一隻筆畫完	圖 9-6 記錄兩隻筆各自長度

實驗二：探討直液式白板筆漏水因素與壓力平衡問題

(如圖 10 所示)進入實驗前先行計劃直液式白板筆墨水使用模擬狀況與物理運用的實驗條件。

- (一) 筆管內的空氣與液態墨水在相對溫度下的膨脹影響度都不同，所以 V_2 與 V_1 如果膨脹外排墨水且捲心綿又無法完全吸收就會產生漏水。所以**實驗一**將以**查理定律**架構下**實驗出各種膨脹率**並可順利帶入**實驗二**的實驗設計。
- (二) 直液式白板筆在溫度影響下因受到筆管限制了體積，所以需測試壓力來確認是否會產生零件氣密不足的洩壓漏墨狀況。所以**實驗二**將**探討空氣在溫度與壓力同升下對應零件的合理密合力量(T - P 理想氣體方程式)**。

(三) 剛買的直液式白板筆初始有 80%墨水 V_2 與 20%空氣 V_1 ，使體積比為 $V_2 > V_1$ 而快使用完墨時為 $V_1 > V_2$ 。因膨脹率的不同且墨水量多寡時也會有不同排墨量。所以設計**實驗二**也將測試不同比例空氣與墨水的變動性膨脹漏墨狀況(T - V)。

(四) (如圖 11 所示) 白板筆在高山大氣壓力的變化下是否會如餅乾包裝因高山降壓而膨脹(波以耳定律)進而開蓋後產生漏水問題。所以**實驗二**將模擬高山大氣壓力的變化下影響漏墨的狀況(P - V)。

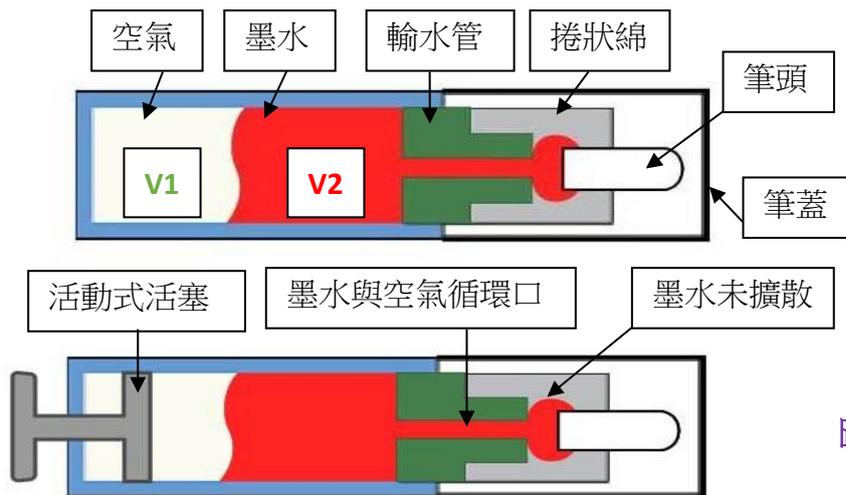


圖 10 直液式白板筆構造說明



圖 11 高山大氣壓變化影響

(五) 以理想氣體公式 $PV=nRT$ 判斷當筆受熱時其溫度升高體積 V 也隨之變大，但如筆蓋是封住的話則壓力 P 與溫度 T 變大但體積 V 受限制於墨管，所以**實驗二**將製作創意設計樣品，以壓力驅動活塞來改變體積使壓力平衡後不再漏水的實驗。

(一) 探討不同溫度下空氣膨脹現象

一、**實驗準備方向**：(如圖 12 所示) 在進入實驗前需欲先了解空氣膨脹率相對於墨水膨脹率的差異，以利實驗的混合式壓力、體積與溫度實驗的合理設計條件，另外本實驗將以**連通管排除量偵測方法**來實驗之。

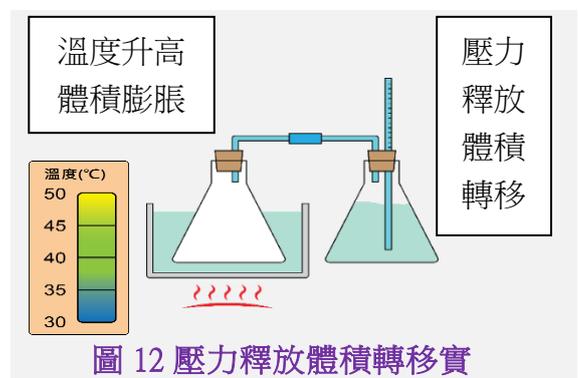
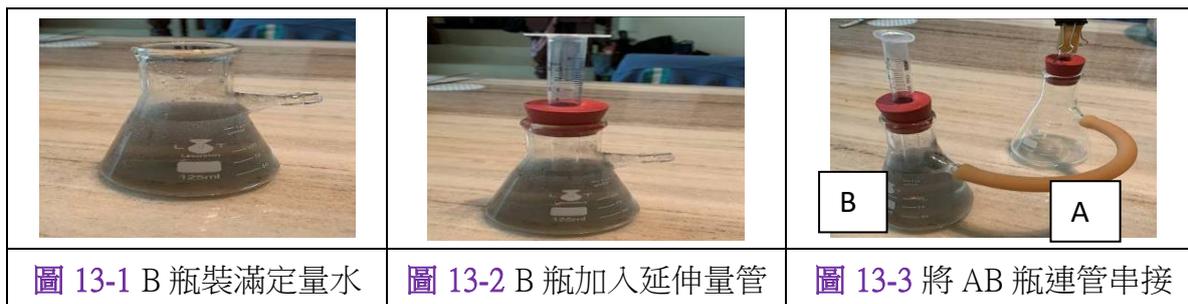


圖 12 壓力釋放體積轉移實

二、**實驗器材準備**：(如圖 13-1 ~ 13-3 所示)

- (一) 選擇 180ml 錐形燒杯 2 個，將 B 瓶裝滿定量水並加適當色素易於視別。
- (二) 活塞鑽 0.9cm 的洞後將的延伸量管裝上，並確認是否有漏氣。

(三) 將 AB 燒杯瓶以連接管連接並準備加熱器以隔水加熱的方式加溫。



三、實驗步驟：(如圖 14-1 ~ 14-3 所示)

- (一) 將 A 瓶燒杯置入加熱容器並直接隔水加熱到 30°C ，當成為基本起始溫度。
- (二) 重置 30°C 的起始位置後則將溫度加溫到 35°C 、 40°C 、 45°C 與 50°C 之實驗溫度。
- (三) 每定點溫度到達時都須恆溫 5 分鐘，確保空氣達到合理溫度，並用紅外線感溫槍再次確認溫度的狀況。
- (四) 記錄每一定點溫度下 B 瓶燒杯被排出與延伸管增加的水量並計算空氣的膨脹係數。

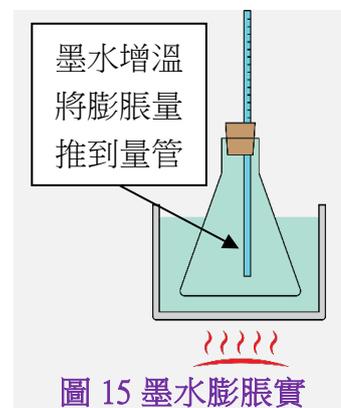


(二) 探討不同溫度下酒精與水性墨水膨脹現象

- 一、實驗準備方向：(如圖 15 所示) 墨水的基材大多會是酒精與純水，在進入**實驗二**前應先了解此兩種墨水膨脹率的差異，以利**實驗二**的混合式壓力、體積與溫度實驗的合理設計條件，另外本實驗將以**伽立略膨脹偵測法**來實驗之。

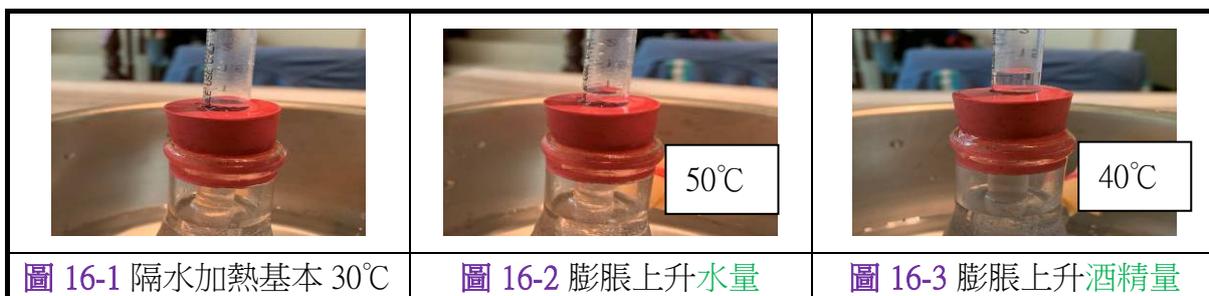
二、實驗器材準備：

- (一) 選擇 180ml 的錐形燒杯 1 個，將燒杯瓶裝滿定量水與酒精並加適當色素易於視別記錄。
- (二) 將鑽洞的活塞與延伸量管裝至燒杯瓶口。
- (三) 準備加熱器以隔水加熱的方式加溫。



三、實驗步驟：(如圖 16 所示)

- (一) 將燒杯置入加熱容器並直接隔水加熱到基本起始溫度 30°C。
- (二) 重置 30°C 的起始位置後則將溫度加溫到 35°C、40°C、45°C 與 50°C 之實驗溫度。
- (三) 每定點溫度到達時都須恆溫 5 分鐘，確保液體達到合理溫度，並用紅外線感溫槍再次確認溫度的狀況。
- (四) 記錄溫度上升後燒杯延伸管增加的上升水量與酒精量，並計算水與酒精的膨脹係數。



（三）探討白板筆相對溫度下壓力與體積的合理設計

一、實驗準備方向：

因應實驗一與實驗二的結果：空氣膨脹 > 酒精膨脹 > 純水膨脹，所以直液式白板筆漏水的因素為內壓變大(溫度變高體積不變)，但使用者開蓋即會洩壓溢出墨水，所以了解**壓力狀況**與墨水使用剩多少時會是膨脹後**漏水的最高峰**，為此次實驗準備的方向。另外每次爬山時攜帶的餅乾袋都會膨脹，同理聯想，直液式白板筆內部的空氣是否會因為**大氣壓力降低**導致開蓋時讓墨水溢出，所以也將以此實驗同步驗證之。

二、實驗器材準備：

(一) 自製設備設計：(如圖 17、圖 18 所示)

1. **載體部分**：以相對白板筆墨管空間 15 倍的體積購買一封閉空間容器(易加工與檢測)，上下開口處即以膠條與上下蓋鎖緊，以防空氣漏氣。
2. **溫度部分**：模擬溫差的加熱器於上方深入容器內，並以防漏膠帶封閉使不漏氣，並將連接線與溫度控制器串聯，即可形成回饋式恆溫控制。
3. **壓力回饋部分**：容器上蓋鑽 1 個 PT13 螺絲孔，將要偵測壓力的壓力計鎖上，另外在側邊鑽一小孔來接上**壓力**接頭，即可做為洩壓用的調整器。
4. **膨脹體積部分**：容器下蓋鑽 1 個 20mm 圓孔並將活塞針筒置入，做為壓力增加後可調節體積的可量測機構。

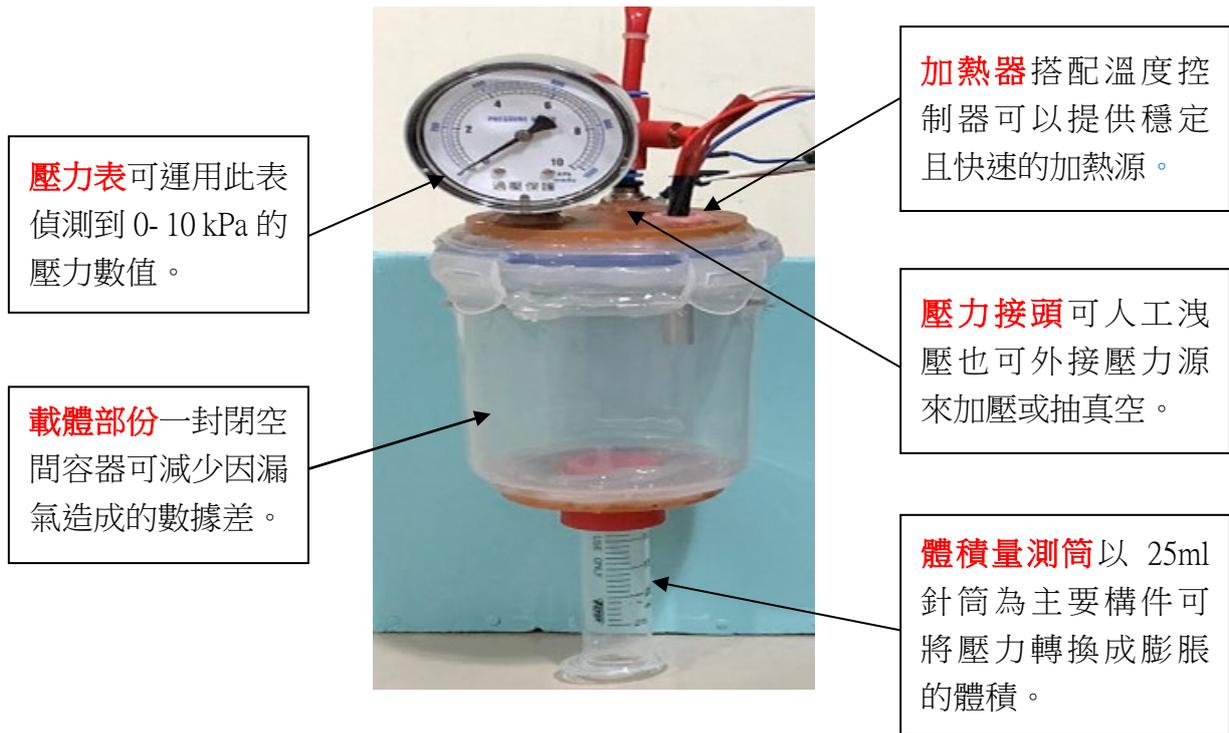
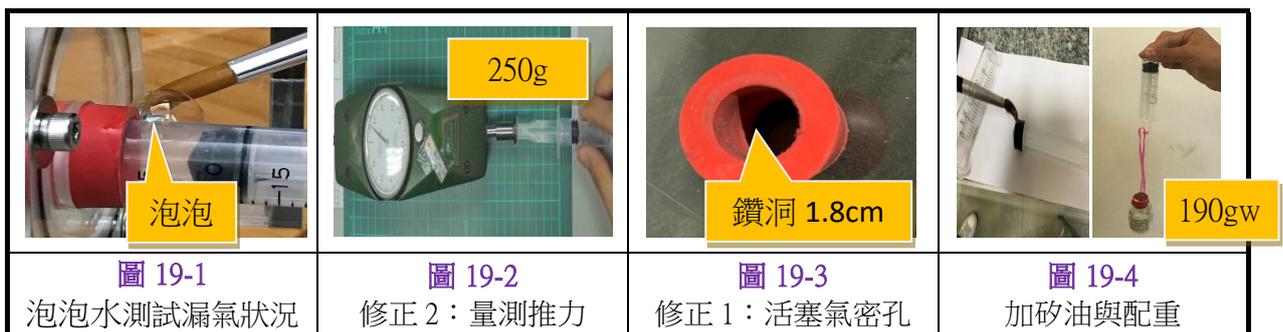


圖 18 自製測壓與流量設計圖

(二) 自製設備測試：(如圖 19-1，圖 19-2 所示)

問題(1) 將溫度計設定在 50°C，經恆溫後以紅外線感溫槍測試在 $\pm 2^\circ\text{C}$ 內。另於加壓用的壓力接頭上注入 10kPa 壓力後並沒有升壓，所以用水彩筆沾泡泡水確認漏風處，發覺 20mm 圓孔活塞針筒置入處有泡泡漏氣現象。

問題(2) 發覺需要 400gw 力量才能使針筒活塞移動，這表示推動針筒有一定的摩擦力。



(三) 修正自製設備設計：(如圖 19-3，圖 19-4 所示)

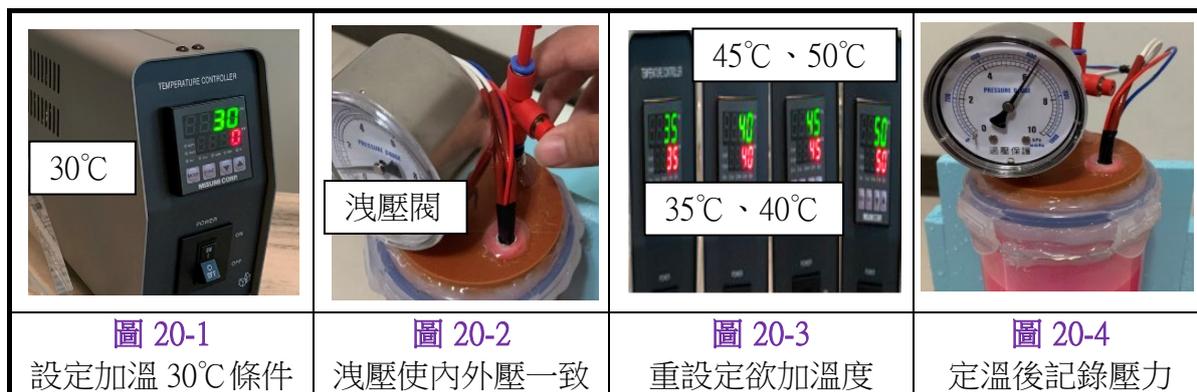
修正(1) 將活塞鑽 18mm 的洞後與圓徑 20mm 的針筒置入活塞，同時將其重新置入容器並重複確認步驟 2 驗證測試，結果沒有漏氣設變改善成功。

修正(2) 將針筒活塞加矽油後以推拉力計求出可移動力量為 200gw，故在針筒拉桿處配重 190gw 重物，也就是此設計可以用 10gw 的推力來移動活塞並測出溢墨量。

三、實驗步驟：(如圖 20-1 ~圖 20-4 所示)

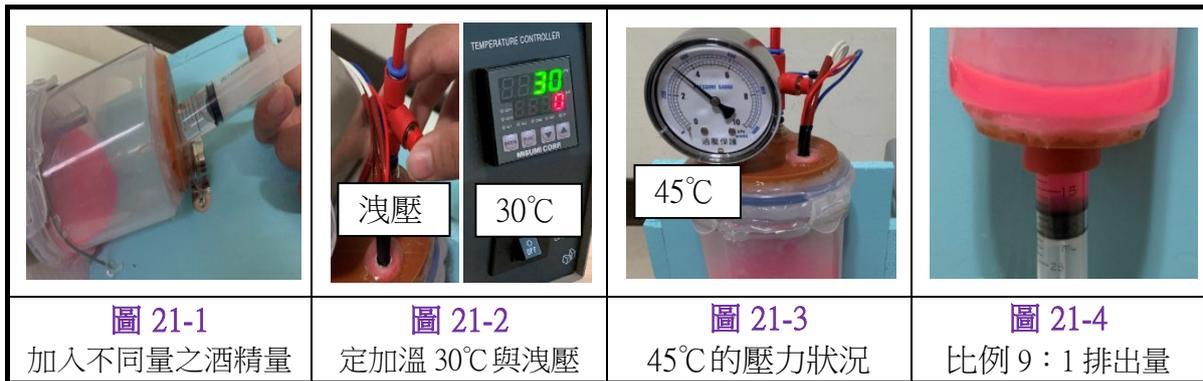
(一) T-P 探討空氣在溫度與壓力同升下對應零件的合理密合力量

1. 實驗載體以空氣 300ml(模擬白板筆 1：30) 於實驗桶內作為基礎加溫空間。
2. 將加溫控制器直接加熱到 30°C 並將洩壓閥打開，使溫度定溫但內外壓一致狀況。
3. 重置 30°C 的起始位置後則將溫度加溫到欲實驗溫度(35°C、40°C、45°C 與 50°C)。
4. 每定點溫度到達時都須恆溫 5 分鐘，確保空氣達到同溫並用紅外線感溫槍再次確認溫度，然後記錄每一定點溫度下的壓力反應狀況並以公式比對驗證。



(二) T-V 不同比例空氣與墨水的變動性膨脹漏墨狀況 (如圖 21-1 ~圖 21-4 所示)

1. 將相對比例的酒精與空氣(0.4：9.6) (1：9)(2：8)(3：7)(4：6)比例依序放入實驗桶中。
2. 將加溫控制器直接加熱到 30°C 並將洩壓閥打開，使溫度定溫且內外壓一致狀況。
3. 重置 30°C 的起始位置後，將溫度加溫到欲實驗的 45°C。
4. 當溫度達 45°C 時須恆溫 30 分鐘，使空氣與酒精同溫並用紅外線感溫槍再次確認溫度，然後記錄 45°C 定點溫度下的內壓反應狀況。
5. 重複步驟 1-4 並同步打開注射活塞，使壓力釋放產生酒精溢流狀況。
6. 將實驗一與實驗二的數據與本實驗溢流量的精確度做比對討論。



(選出漏墨的臨界值條件，並將市售直液式白板筆以環測機做比較組驗證)

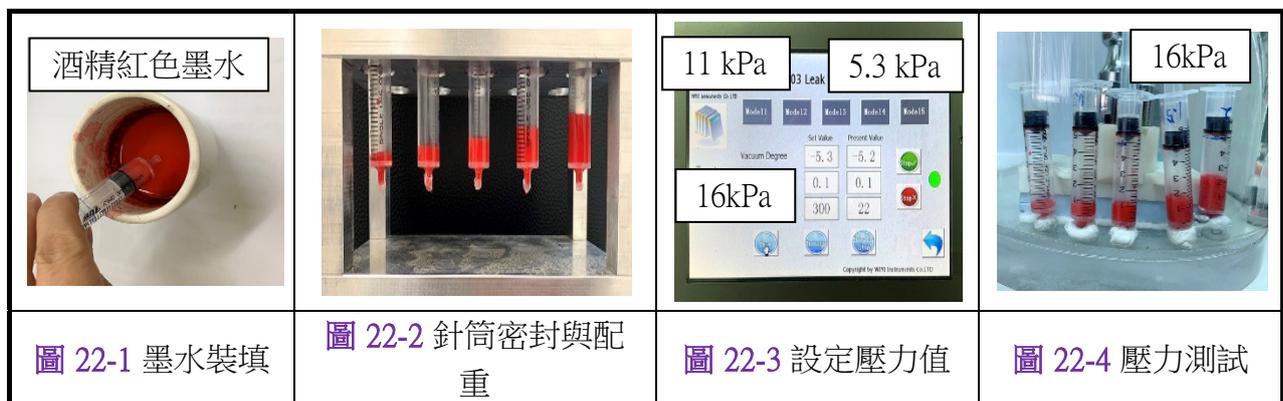
- 直接選定(1 : 9)(2 : 8)為實驗條件，並將墨水調整為相對比值，量測相對重量後即放入環測機以步驟(3)方式加溫，溫度到達時都須恆溫 5 分鐘才可開蓋確認是否漏水，最後將餘重紀錄並與原資料相對比較。

(三) P-V 模擬高山大氣壓降的漏墨狀況 (如圖 22-1 ~ 圖 22-4 所示)

- 將相對比例的水與空氣依(0.4 : 9.6)(1 : 9)(2 : 8)(3 : 7)(4 : 6)比例依序放入針筒並封住開口，然後將針筒均衡置放於負壓桶中準備測試。
- 推拉力計確認摩擦力，測量出針筒拉桿的相對力量並直接配重抵消摩擦力。
- 設定負壓 16kPa、11 kPa、5.3 kPa。(設定高度 1500m、1000m、500m 相對壓降差值)。
- 定點負壓到達時都須定壓 5 分鐘，以確保針筒活塞反應完成。
- 記錄負壓下 5 種墨水比例其空氣與墨水壓力移轉使針筒推桿移動之膨脹量。

(設定負壓為 16kPa、11 kPa、5.3 kPa，並將市售直液式白板筆以負壓機做比較組驗證)

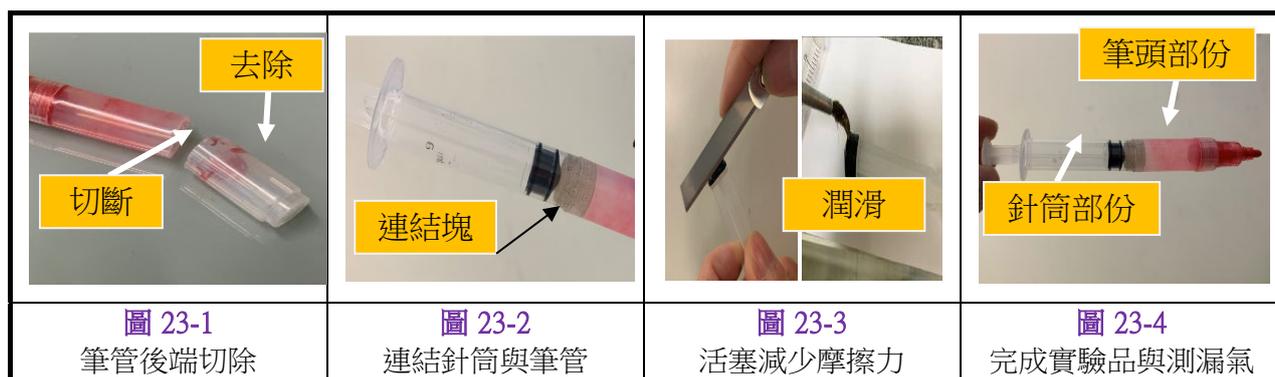
- 直接選定(2 : 8)為實驗條件，並將墨水調整為相對比值，量測相對重量後以開蓋方式直接放入負壓機測試是否漏水與量測最後餘重，最後紀錄並與原資料比對。



(四) 根據實驗結果進一步改良直液式白板筆的缺點

- 一、發想改善方向：在高山上大氣壓力減少使空氣膨脹(外部)，另外環境溫度上升但墨管體積被限制使壓力上升(內部)，在苦惱如何解決此問題時發現本次實驗設備運用了活塞的機構來測漏墨量，何不將此想法運用在可調整壓力體積的筆類設計上。
- 二、分析導引：在高山大氣壓減少相對只要增加體積即可平衡，也就是用壓力來移動活塞使體積增加。同理而論環境升溫造成筆管壓力增加，也可運用此壓力來移動活塞使體積增加平衡壓力。所以首先延用實驗三的壓力數據，同步驗算是否可推動活塞的摩擦力，才可解決漏水的問題。
- 三、實驗準備方向：實驗驗證前我們先用推拉力計測出實驗針筒之推力為 200 gw，所以在發想樣品製作前我們先經過減少磨擦面積處理與潤滑處理後，重新推拉力計測出即可以 25 gw 力量推動活塞。
- 四、發想樣品製作：(如圖 23-1 ~ 圖 23-4 所示)

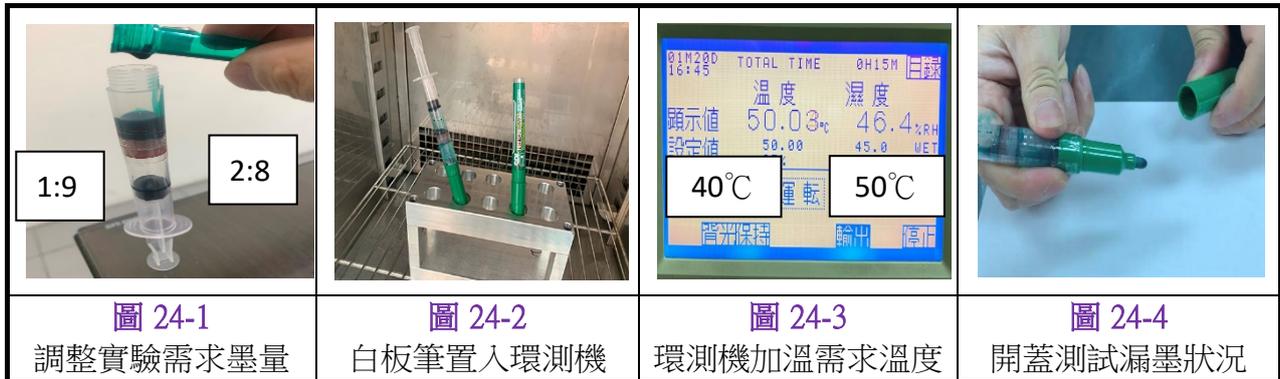
- (一) 將白板筆拆開並將墨水清除其留下乾淨筆身。
- (二) 將 25ml 的注射針管將前端切除並與乾淨筆身串接在一起。
- (三) 固定後放入水中並堆入活塞，以確認是否有氣密，最後加入適量墨水確認可書寫性。



五、實驗步驟：(如圖 24-1 ~ 圖 24-4 所示)

- (一) 將發想製作的樣品依相對比例的墨水與空氣調整為(1：9)(2：8)的狀況。(實驗組)
- (二) 將市售白板筆依相對比例的墨水與空氣調整為(1：9)(2：8)的狀況。(對照組)
- (三) 將兩組欲實驗樣品放入環測機中，直接加熱到 30°C 並將先行開蓋洩壓，使溫度定溫但內外壓一致狀況。

(四) 重置 30°C 的起始位置後則將溫度加溫到實驗溫度 40°C 與 50°C。每定點溫度到達時以紅外線感溫槍確認，然後開蓋確認是否有漏墨反應狀況並記錄漏墨量。



實驗三：探討白板筆頭各種物理性因素的最適性設計

(一) 探討不同孔隙率之毛細現象流墨表現與孔隙含水率

一、實驗筆頭的準備過程：(如圖 25-1 ~ 25-3 所示)

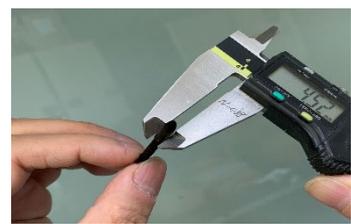
- (一) 將直液式與棉心式白板筆筆頭拆卸下來並以酒精清洗，雖清洗乾淨程度高於棉心但將會是實驗的不確定的因素 所以還是請求專業廠商提供實驗筆頭。
- (二) 取得 2 種不知條件且形狀相似的筆頭後其將兩種筆頭秤重並記錄，另外並量測出筆頭體積使轉換成水的比重 1.0 的重量(V_t)。
- (三) 吸入純水最大飽和量後，記錄飽水後的筆頭重量並計算充水前後重量差(V_v)。
- (四) 計算出孔隙率後即將兩種不同筆頭做為此次實驗的標準樣品。

二、實驗步驟與方法：(如圖 25-4 ~ 25-6 所示)

- (一) 將兩種黏度墨水管放與盤杯隔水加熱，確認盤杯與墨水的溫度在定溫 25°C 範圍內。
- (二) 其將 25°C 的墨水置入盤杯中並以保鮮膜包覆以防酒精揮發與保持溫度不要下降過快，然後即可準備吸墨測試。
- (三) 將不同孔隙率的筆頭以一定載入距離插入墨水中，開始計算記錄時間到筆頭佈滿墨水之狀況為止。

※ 孔隙率 P : Porosity = $(V_v / V_t) \times 100\%$ ($0\% \leq P \leq 100\%$)

※ 材料筆頭內所含孔隙的體積 V_v 與整支筆頭的體積 V_t 比值

		
圖 25-1 筆頭量測重量後記錄	圖 25-2 吸水筆頭量測重量後記錄	圖 25-3 量測體積並計算孔隙率
		
圖 25-4 墨水與盆器隔水加熱	圖 25-5 倒入墨水並包保鮮膜	圖 25-6 筆頭流墨測試與記錄

伍、研究結果與討論

實驗一：探討棉心式與直液式白板筆的墨水使用問題的結果與討論

(一) 在探討不同孔隙率下儲水棉心之吸水效率方面

一、**設計想法**：一支筆可裝置的水如果越多表示 CP 值越高，而傳統白板筆是以棉心當成填墨基材，所以將以此實驗了解棉心吸水狀況的合理性與可靠度。

二、**實驗假設**：假設棉心孔隙率越高可含水量越大。

三、**實驗設計**：

- (一) 操縱變因：棉心孔隙率。
- (二) 控制變因：墨水溫度與墨水黏度。
- (三) 應變結果：含水量與毛細現象的抓墨力。

四、**實驗結果**：(如表 1 所示)

- (一) 孔隙率越高其含水量越高(-20% > -10% > 0 > -30%)。
- (二) 在-30%樣品呈現反向的重量減少現象且浸泡法的重量都略高於滴水法。

表 1 棉心吸水重量狀況

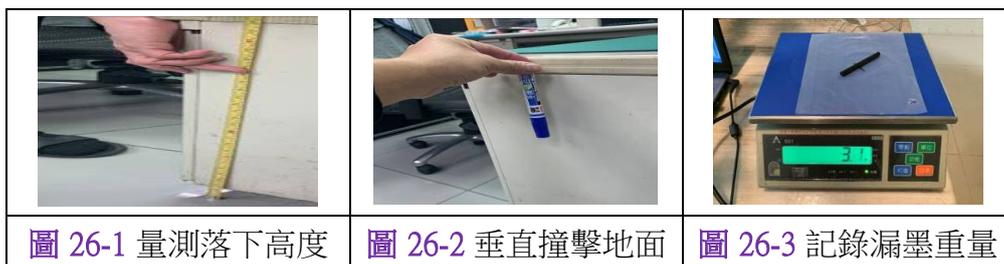
	孔隙狀況(%)	樣品 1(gw)	樣品 2(gw)	樣品 3(gw)	樣品 4(gw)	平均(gw)
滴水法 測試吸水	0	3.0	2.9	3.0	3.0	2.98
	-10	3.2	3.1	3.2	3.2	3.18
	-20	3.4	3.3	3.4	3.4	3.38
	-30	2.9	2.8	2.8	3.0	2.88
浸泡法 測試吸水	0	3.2	3.1	3.0	3.1	3.10
	-10	3.3	3.3	3.2	3.2	3.25
	-20	3.5	3.3	3.4	3.5	3.43
	-30	3.0	2.8	2.8	2.8	2.88

五、實驗分析：(如圖 26-1 ~ 26-3 所示)

- (一) 孔隙率高含水量越高但孔隙率到達一定程度後反而因抓水力不足而有漏水現象，所以補實驗測試了三種棉心的掉落測試來確認抓水力，(如表 2 所示)孔隙率高到一定程度後因抓水力差而產生漏水的結果是無誤的。
- (二) 此次實驗我們只跟廠商要到一種基本條件的棉心，所以比對我們自己調整棉心時實驗數字還是有誤差，但整體方向趨勢還是不變的。
- (三) 浸泡法的重量都高於滴水法，分析下為浸泡法於表層都有沾黏墨水與人為操作誤差所致，但團員都認為數字在合理範圍內。

表 2 掉落測試墨水餘重

	孔隙(%)	原重(gw)	摔後重(gw)	差重(gw)	狀況
(滴水法) 掉落測試 110CM	-10	3.2	3.1	0.1	好
	-20	3.4	3.1	0.3	差
	-30	2.9	2.7	0.2	差
	0.0	3.0	3.0	0.0	很好



(二) 在探討兩種白板筆之墨水損失比與書寫路徑色彩特性方面

一、**設計想法**：一支筆如可寫的長度越長且顯色度也不會衰退下將會是很棒的產品，所以找出不同系統中，何種白板筆是較佳設計為此實驗的設計想法。

二、**實驗假設**：以實驗組與對照組測試下會有劃線距離的差異，並因系統的不同而有色衰的現象產生。

三、實驗設計：

(一) 操縱變因：不同系統白板筆。

(二) 控制變因：定量的墨水與相同的畫線條件。

(三) 應變結果：畫線長度與墨水色衰狀況。

四、實驗結果：(如圖27所示)

(一) 直液式白板筆畫線長度600m > 棉心式白板筆400 m。

(二) 直液式白板筆在600m 開始有色差但同時也顯示出沒墨水的狀況了。

(三) 棉心式白板筆從300m 就有色差且持續到400 m 才顯色不出來。

(四) 棉心式白板筆墨水殘留率20% > 直液式白板筆10%。

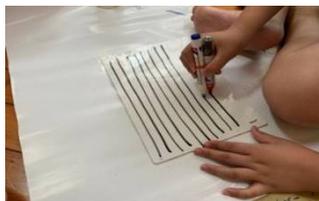
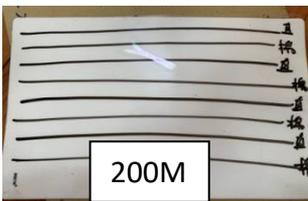
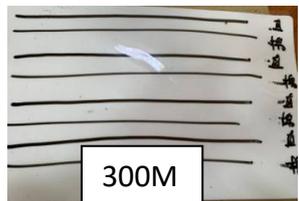
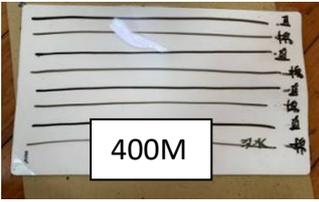
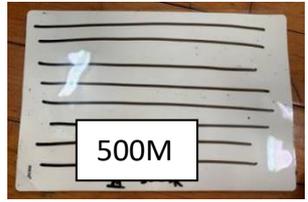
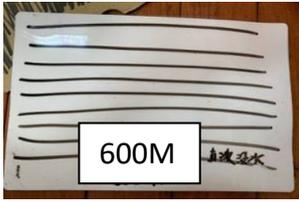
					
 直 1	 棉 7	 直 2	 棉 8	 直 3	 棉 9
					
 直 4	 棉 10	 直 5		 直 6	
NO : 8	NO : 9	NO : 10	NO : 6	色度開始變淡	
NO : 1	NO : 2	NO : 3	NO : 4	NO : 5	NO : 7 色度還保持一定黑度

圖 27 長度顏色對應狀況

表 3 墨水殘留率

	原重(gw)	測試後重(gw)	使用墨量(gw)	墨水重(gw)	墨水殘留率(%)
直液式	320	317.3	2.7	3.0	10
棉心式	263.4	261.0	2.4	3.0	20

五、實驗分析：(如表3所示)

(一) 直液式白板筆畫線長度大於棉心式，差異為棉心式內墨水無法完全被引導出棉心，但直液式無棉心所以殘墨問題較佳。

(二) (如圖 28 所示) 色差問題應為筆頭與棉心毛細現象互相牽引，所以棉心式白板筆一開始出水會較多但後半段就難引出墨水，直液式無棉心相互牽引所以色彩度較穩定。

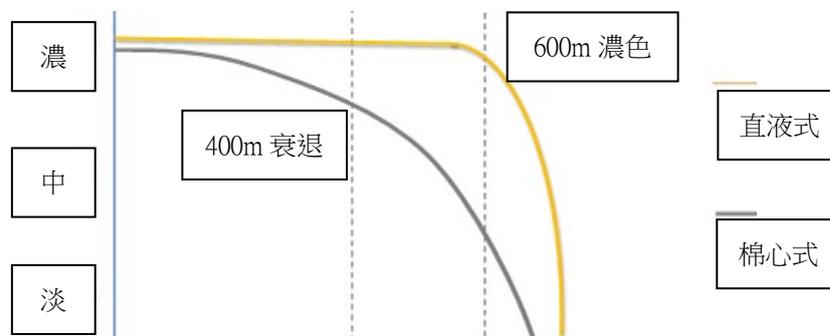


圖 28 色衰趨勢狀況

實驗二：探討直液式白板筆漏水因素與壓力平衡問題之結果與討論

(一) 在探討不同溫度下空氣膨脹現象方面

一、**設計想法：**白板筆內部除了墨水外其他部分就是空氣，所以此實驗先藉由溫度與空氣相對影響來確認膨脹量的設計想法。

二、**實驗假設：**假設溫度越高空氣膨脹量越大，所以筆的內壓過大下就有漏水現象。

(一) 操縱變因：變動的溫度。

(二) 控制變因：容器內定量的空氣。

(三) 應變變因：空氣加溫後的膨脹量(相對的排水量)。

三、**實驗結果：**(如表 4、圖 29 所示)

溫度越高空氣相對膨脹量越大，每增加 1°C 相對的膨脹量也定量增加。

四、**實驗分析：**(如表 4、圖 29 所示)

夏日高溫一般辦公室溫度均溫為 25°C 的狀況下，可以說明直液式白板筆必定會因相對

溫差而使筆管內空氣產生膨脹，其溫度越高相對膨脹量越大，在 20°C 溫差下實驗膨脹量 13ml，可以計算出空氣膨脹係數為 $(13/180)/20 = 0.36\%$ 。

表 4 溫度相對空氣膨脹率

	溫度°C	體積 ml	體積 ml	體積 ml	均量 ml	膨脹量 ml	膨脹率(%)
連通管排除量方法 (測 V 值)	30	180.0	180.0	180.0	180.0	0.0	基準
	35	183.2	183.0	183.0	183.0	3.2	1.78
	40	186.4	186.5	186.0	186.2	6.4	3.56
	45	189.6	189	189.5	189.3	9.6	5.35
	50	193.0	193.0	193.0	193.0	13.0	7.20

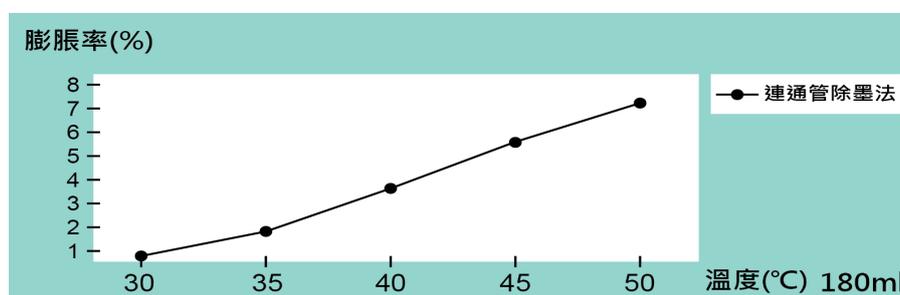


圖 29 溫度相對空氣膨脹關係趨勢

(二) 在探討不同溫度下酒精與水性墨水膨脹現象方面

一、**設計想法**：白板筆內為墨水與空氣的組合，所以此實驗先藉由溫度與墨水相對影響來確認膨脹量的設計想法。

二、**實驗假設**：白板筆內部除了空氣外其他部分就是墨水；所以此實驗先藉由溫度與墨水相對影響來確認漏水的實驗設計。

三、實驗設計：

- (一) 操縱變因：變動的溫度。
- (二) 控制變因：定量的墨水(無空氣)。
- (三) 應變變因：墨水加溫後的膨脹量。

四、實驗結果：(如表 2 所示)

- (一) 溫度越高墨水相對膨脹量越大，每增加 1°C 相對的膨脹量也定量增加。
- (二) 酒精墨水大於水性墨水膨脹量。

五、實驗分析：(如表 5 所示)

- (一) 溫度越高相對膨脹量越大，在 20°C 升溫下水性墨水實驗膨脹量為 0.8ml 其膨脹係數為 $(0.8/180)/20=0.022\%$ ，酒精墨水實驗膨脹量為 4.0ml 其膨脹係數為 $(4.0/180/20)=0.11\%$ 。
- (二) 相對比較實驗一其膨脹係數為空氣 0.36% > 酒精 0.11% > 純水 0.022%。

表 5 溫度相對酒精與水性墨水膨脹率

	溫度°C	體積 ml	體積 ml	體積 ml	平均量 ml	膨脹量 ml	膨脹率 (%)
水性墨水	30	180.0	180.0	180.0	180.0	0.0	基準
	35	180.2	180.2	180.2	180.2	0.2	0.11
	40	180.4	180.4	180.4	180.4	0.4	0.22
	45	180.6	180.6	180.6	180.6	0.6	0.33
	50	180.8	180.8	180.8	180.8	0.8	0.44
酒精墨水	30	180.0	180.0	180.0	180.0	0.0	基準
	35	181.0	181.0	181.0	181.0	1.0	0.55
	40	182.0	182.0	182.0	182.0	2.0	1.11
	45	183.0	183.0	183.0	183.0	3.0	1.65
	50	184.0	184.0	184.0	184.0	4.0	2.20

(三) 在探討白板筆相對溫度下壓力與體積的合理設計方面

一、T-P 探討空氣在溫度與壓力同升下對應零件的合理密合力量

- (一) **設計想法**：白板筆內部為空氣與墨水的組成，但其空氣膨脹率都大於其他液態墨水，所以此實驗先藉由溫度相對於空氣的壓力狀況來了解零件組裝時氣密抗壓性為何。
- (二) **實驗假設**：假設溫度越高空氣壓力越大，所以筆的內壓過大下就有漏水的疑慮。
- (三) **實驗設計**：
1. 操縱變因：變動的溫度。
 2. 控制變因：密封定量的空氣。
 3. 應變變因：壓力變大。
- (四) **實驗結果**：
1. 溫度越高相對壓力越大。
 2. 溫度與壓力成正比，每增加5°C 相對的壓力也等比增加。

3. 實驗值與計算式比對後方向正確且體積大小不影響壓力變化。

(五) **實驗分析：(如表 6 所示)** 以本次實驗溫差 20°C 其最大壓力為 6.6 kPa，所以在白板筆設計時其相對應的零件配合上都須高於此內壓才不會有漏水的疑慮，其實驗時空氣體積多寡不會影響壓力，在實驗一提到只會有漏墨量的問題。

表 6 溫度相對空氣之壓力表

空氣	溫度°C	壓力 kPa	壓力 kPa	壓力 kPa	平均 kPa	壓增量 kPa
300ml	30	0	0	0	0	0
	35	1.6	1.6	1.7	1.6	1.6
	40	3.3	3.4	3.3	3.3	1.7
	45	4.9	4.8	5.0	4.9	1.6
	50	6.5	6.7	6.6	6.6	1.7
200ml	50	6.5	6.5	6.6	6.5	N

$$P1 = 1\text{atm} \quad P1 : P2 = T1 : T2 \quad P2 = (273+50) / (273+30) / 1 = 1.066 \text{ atm} = 106.6 \text{ kPa}$$

增加量為 106.6 kPa - 100 kPa = 6.6 kPa 實驗值與驗算值相符合。 公式 $PV = nRT$

二、T - V 不同比例空氣與墨水的變動性膨脹漏墨狀況

(一) **設計想法：**白板筆內部除了空氣外其他部分就是墨水，所以此實驗先藉由溫度相對於空氣與墨水的膨脹率不同，並模擬在不同時期墨水與空氣比例不同的變動性膨脹漏水狀況(以 1 : 30 設備測試)。(膨脹係數空氣 0.36% > 酒精 0.11% > 純水 0.022%)

(二) **實驗假設：**假設溫度定溫下，空氣體積比例高於酒精墨水體積，相對漏水機會較高。

(三) **實驗設計：**

1. 操縱變因：空氣與酒精墨水比例不同。
2. 控制變因：相同 15°C 的溫差。
3. 應變變因：加溫後的膨脹量。

(四) **實驗結果：(如表 7 所示)**

1. 空氣比例越高膨脹量越大，漏墨風險落在 9 : 1 比例區間。
2. 墨水體積小於 0.5ml 後，因捲狀綿可吸水量為 0.5ml，其進入安全漏墨量。
3. 純水的膨脹率比酒精更小，所以影響整體數據無明顯變化。

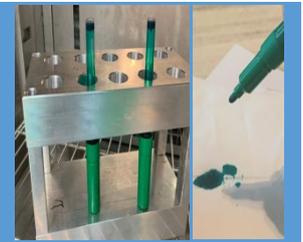
表 7 不同比例空氣與墨水變動性膨脹表

空氣：酒精	空氣膨脹 (計算)	酒精膨脹 (計算)	 棉吸量 ml	排水量 ml (實際實驗)/30倍	漏水 狀態	壓力 kPa
9.6：0.4	0.518	0.007	0.5	12.0/30=0.40	○	5.0
9：1	0.486	0.018	0.5	15.5/30=0.52	×	5.0
8：2	0.432	0.036	0.5	14.0/30=0.47	△	5.1
7：3	0.378	0.054	0.5	12.5/30=0.42	○	5.2

(五) 比對驗證：(如表 8) 選定酒精與空氣比值為(1：9)(2：8)作為市售白板筆之比對實驗條件，加溫 15°C 驗證後狀況為與表一有相同的狀況。(1：9)直接漏墨，(2：8)筆頭很濕潤。

表 8 不同比例空氣與墨水膨脹比對驗證表

空氣：酒精	筆重 gw	測試重 gw	漏墨重 gw	漏墨量 ml(計算)	漏水 狀態
9：1	24.0	23.9	0.1	0.12	×
8：2	24.2	24.2	0	0	○



漏水狀態：○良好 △普通 ×漏水

(六) 實驗分析：(如圖 30 所示) 空氣與酒精墨水膨脹率約差 3 倍，所以漏墨的最主要的來源還是空氣的膨脹為主。此次實驗中如要以設計參數討論解決方案，應可將體積也就是將裝墨水的墨管減少體積容量(空氣減少)或者將捲狀綿的設計調高含水量應可改善。另外比對驗證下的漏墨狀況完全符合自製測試機測試的結果，唯獨漏墨量有較原模擬數據多一些，但整體結果是不變的。

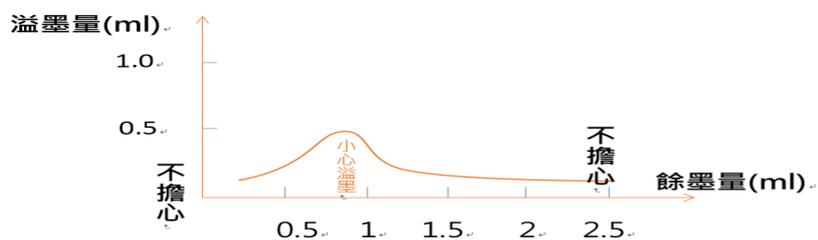


圖30 墨水與空氣比例之漏墨風險狀況

三、P-V 模擬高山大氣壓降的漏墨狀況

- (一) 設計想法：每次爬山時攜帶的餅乾袋都會膨脹，同樣想法如直液式白板筆內部的空氣狀況是否會因為大氣壓力降低而讓墨水漏墨，所以將以此驗證之。
- (二) 實驗假設：假設環境大氣壓力小於墨管壓力，所以筆的壓力釋放後就有漏水現象。

(三) 實驗設計：

1. 操縱變因：不同的大氣壓力。
2. 控制變因：定量比的空氣。
3. 應變變因：墨水的溢出量。(波以耳定律 $P_1V_1=P_2V_2$)

(四) 實驗結果：(如圖 31、表 9 所示)

1. 大氣壓越低相對膨脹越大，壓差相對於膨脹量成等比正向變大。
2. 在合適生活環境下，實驗一溫差 20°C 膨脹率為 7.2%，本實驗在 1500M 高山上空氣膨脹率為 18.8%，兩者差異甚大。

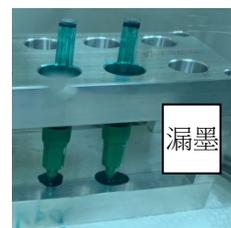
表9 大氣壓影響膨脹表

空氣：酒精 (ml)	1500M(16kPa) 膨脹量(ml)	1000M(11kPa) 膨脹量(ml)	500M(5.3kPa) 膨脹量(ml)	棉吸墨量 (ml)
9.6 : 0.4	11.4 (差1.8)	10.7(差1.1)	10.1(差0.5)	0.5
9 : 1	10.7(差1.7)	10.1(差1.1)	9.5(差0.5)	
8 : 2	9.5(差1.5)	8.9(差0.9)	8.4(差0.5)	
7 : 3	8.3(差1.3)	7.8(差0.8)	7.4(差0.4)	
6 : 4	7.1(差1.1)	6.7(差0.7)	6.3(差0.4)	
平均膨脹率	18.8%	12.6%	6.3%	

(五) 比對驗證：(表 10 所示)將直液式白板筆調整為墨水與空氣比例 2 : 8，其測試負壓的結果與表五有相同的狀況，在 5.3 kPa 負壓外所有實驗都呈現漏墨現象。

表10 大氣壓影響膨脹比對驗證表

負壓值	筆重 gw	測試重 gw	漏墨重 gw	漏墨量 ml(計算)	漏墨
(5.3kPa)	24.2	24.2	0	0	△
(11kPa)	24.2	23.8	0.4	0.46	×
(16kPa)	24.2	23.4	0.8	0.94	×



漏水狀態：○良好 △普通 ×漏水

(六) 實驗分析：(如表 9 用空氣 9ml 計算) $P_1V_1=P_2V_2$

1. 1atm = 76cm-Hg；每上升 100m 約降 0.8cm-Hg； $76 \times 9 = 64 \times V_2$ ； **$V_2 = 10.7\text{ml}$**
2. 在合適生活環境下，實驗一溫差 20 度膨脹率為 7.2%本實驗 1500m 高度膨脹率 18.8%，所以白板筆在大氣壓力影響力大於環境溫度。

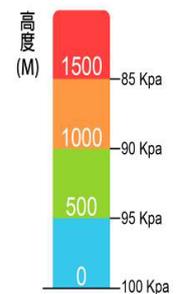


圖 31 氣壓狀況

（四）根據實驗結果進一步改良直液式白板筆的缺點

- 一、**設計想法：**(如圖32所示)在高山大氣壓減少與環境升溫相對都會造成筆管內外壓力不平衡，但只要增加體積即可平衡，所以本實驗設計想法即運用活塞調節壓力並使體積變動來解決漏水問題，另外也將以發想樣品實驗組與市售產品對照組來同步測試驗證改善。
- 二、**實驗假設：**發想樣品實驗組改善漏水問題，市售產品對照組有漏水現象。
- 三、**實驗設計：**

1. 操縱變因：溫差 10°C 與 20°C(起始溫 30°C)。
2. 控制變因：實驗組與對照組有相同定量的墨水。
3. 應變變因：加溫後的膨脹量(是否有漏水)。

四、實驗結果：(如表11、圖33所示)

1. 由實驗一、三回饋計算成**壓力與膨脹量統合表**並轉換成針筒活塞單位面積的推力，結果溫差 10°C 可以推動活塞，但 10°C 以下就無推動效果。
2. 實驗組溫度越高壓力越大推動活塞效果好，空氣體積量不影響壓力的變化。
3. 實驗組完全沒漏水，但比較組在溫差20°C 時有明顯的漏墨現象。

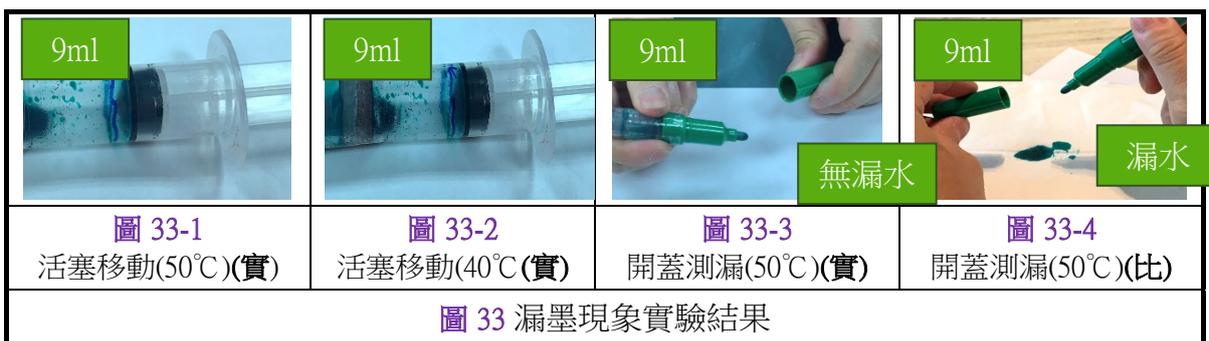


圖 32 比較圖

表11 壓力與膨脹量統合表

墨水：空氣 (10ml)	溫差 °C	壓力 P kPa	推力 F gw	漏墨量 %	漏墨量 ml	棉吸量 ml 	活塞阻力 gw	活塞面積 cm ²
1 : 9	10	3.3	26.8	3.56	0.32	0.5	25	0.785
	20	6.6	53.5	7.20	0.66	0.5		
2 : 8	10	3.3	26.8	3.56	0.28	0.5		
	20	6.6	53.5	7.20	0.56	0.5		

$$100\text{kPa} = 1033.6 \text{ gw/cm}^2 ; \quad F = P * A ; \quad \text{活塞面積 } A : 0.5\text{cm} * 0.5\text{cm} * 3.14 = 0.785\text{cm}^2$$



五、實驗分析：(如表12所示) 溫度越高壓力越大推動活塞效果好，但空氣體積不影響壓力的變化下，此次的解決方案明顯有效，但在於溫差低於10°C時即無有效推力，另外即使推力大於摩差力但在活塞移動的過程中壓力也會趨近推不動的臨界點 所以進一步的解決方案應可繼續減低摩擦力或手動推動活塞將空氣擠出筆管外。

表12 實驗組與比較組對應表

(10ml)	墨水:空氣	溫差 °C	推力 F gw	活塞移動	是否 漏墨	漏墨 gw	 棉吸量 ml
實驗組	1 : 9	10	26.8	△	否	0	0.5
		20	53.5	○	否	0	0.5
	2 : 8	10	26.8	△	否	0	0.5
		20	53.5	○	否	0	0.5
比較組	1 : 9	10	26.8	無活塞	否	0	0.5
		20	53.5	無活塞	是	0.1	0.5
	2 : 8	10	26.8	無活塞	否	0	0.5
		20	53.5	無活塞	是	0.1	0.5

活塞移動狀態：○全移動 △移動不完全 ×不移動

實驗三：探討白板筆頭各種物理性因素的最適性設計之結果與討論

(一) 在探討不同孔隙率之毛細現象流墨表現與孔隙含水量方面

一、設計想法：白板筆使用者如果寫字過快但出水速度過慢或筆頭儲水量較少時，字體的顏色會較淡，所以此實驗希望探討筆頭孔隙率相對墨水黏度的流墨狀況。

二、實驗假設：假設孔隙率相對於流墨速度與含水量成反比。

三、實驗設計：

- (一) 操縱變因：筆頭孔隙率。
- (二) 控制變因：墨水黏度。
- (三) 應變變因：流墨速度、含水量。

四、實驗結果：(如表 13、表 14 所示)

- (一) 筆頭孔隙率越大含水量越大，墨水黏度越高流墨速度越慢。

(二) 由黑色與紅色流速表顯示孔隙率越大流墨速度也隨之變慢。

表 13 孔隙率計算說明

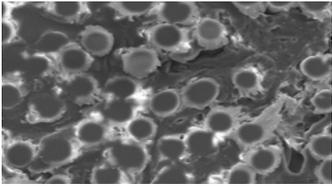
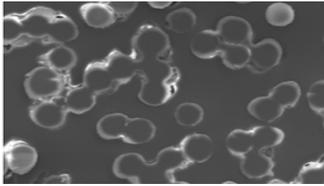
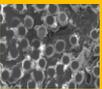
孔隙率 B 筆頭	孔隙率 A 筆頭
筆頭 50 支 14gw 平均 1 支 0.28 gw	筆頭 50 支 12gw 平均 1 支 0.30 gw
筆頭泡水 20 支 14gw 平均 1 支 0.7 gw	筆頭泡水 20 支 12gw 平均 1 支 0.6 gw
$(0.7-0.28) / 0.68 = 62\%$	$(0.6-0.3) / 0.68 = 44\%$
	
Porosity $(V_v / V_t) \times 100\%$ $V_t = 0.68g$	

表 14 墨水黏度與孔隙率流墨時間表

筆頭	黏度		實驗 1	實驗 2	實驗 3	實驗 4	平均
A 	紅色 (低)	時間(秒)	32	30	32	34	32
		重量 gw	0.42	0.43	0.42	0.41	0.42
	黑色 (高)	時間(秒)	39	40	42	40	40
		重量 gw	0.42	0.46	0.44g	0.46	0.45
B 	紅色 (低)	時間(秒)	38	36	37	39	37.5
		重量 gw	0.49	0.48	0.48	0.49	0.49
	黑色 (高)	時間(秒)	42	43	43	44	43
		重量 gw	0.52	0.51	0.52g	0.54	0.53

五、實驗分析：

(一) (如圖 34 所示)在我們實驗的過程中孔隙率越低其流墨速度越快，物理老師回應團員這狀況是因毛細能力，反向說明一根吸管插在水裡但水怎麼也吸不動，只能用外力像吸珍奶一樣來對抗地心引力，所以筆頭如沒有設計好毛細原理，當筆頭朝上或朝下時，就有產生漏水或淡墨的機會了。

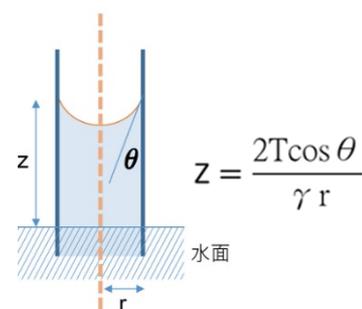


圖 34 毛細現象

(二) 孔隙率大表示相對空間內纖維絲較少使得含水多，但流墨速度慢，反之孔隙率小表示相對空間內纖維絲較多，使得含水少但流墨速度較快。

陸、結論

市售棉心式白板筆是以毛細現象將墨水儲存於棉心，當墨水過量會有漏墨問題或無法將墨水以毛細現象完全導出。本創新直液式白板筆是類似鋼筆方式儲水，其物理原理與舊型棉心式完全不同，它是以內外壓自然平衡來導引墨水，在(實驗一)(實驗三)相關的實驗驗證下，其可改善舊式白板筆的缺點。但新式白板筆仍會受環境溫度與壓力變化而有漏水狀況。本組以自製測試設備輔助下，在(實驗二)模擬了溫度對應壓力的變化、墨管內空氣與墨水膨脹率不同產生漏墨與高山大氣壓力降低導致墨水溢出的實驗。根據實驗結果本組進一步設計以針筒活塞來調整壓力的新式白板筆，完全解決了漏墨的缺點，且此環保可重複填充墨水使用的設計也為地球盡了一份力量，所以此創新設計是值得持續研究與推廣的。

實驗一、探討棉心式與直液式白板筆的墨水使用問題的結果與討論：

孔隙率越低儲水量越少但孔隙率越高且填入過多墨水後漏墨機率就會升高。棉心式墨水殘留率高於直液式白板筆，另外因毛細現象使棉心式白板筆在後段書寫時會有色差下降狀況，直液式筆則不會有此現象。

實驗二、探討直液式白板筆漏水因素與壓力平衡問題的結果與討論：

以台灣夏日高溫與一般辦公室溫度均溫為 25°C 的狀況下，相對溫差會使空氣與墨水產生膨脹狀況(查理定律)，其每增加 1°C 相對的膨脹量也定量增加，實驗後結果其膨脹係數為空氣 0.36% > 酒精 0.11% > 純水 0.022%。

(一) T - P 探討空氣在溫度與壓力同升下對應筆蓋的合理密合力量：

以本次理想氣體公式實驗下，溫度越高相對壓力等比越大，溫差 20°C 最大壓力為 6.6 kPa，所以白板筆在設計結構時，其相對應的零件配合上都須高於此壓力才不會有漏墨的危險，其實驗時空氣體積多寡不會影響壓力，只會影響漏墨量多少的問題。

(二) T - V 不同比例空氣與墨水的變動性膨脹漏墨狀況：

其空氣與酒精墨水膨脹率約差 3 倍，所以漏墨的疑慮最主要的來源還是空氣壓力與空氣膨脹的相互影響。在此次實驗中如要以設計參數討論解決方案，應可以將體積也就是將裝墨水的墨管減少體積容量(空氣減少)或者將捲狀綿的設計調高含水量，人因改善上應也可常裝滿墨水來避免空氣過量的漏墨問題。

(三) P - V 模擬高山大氣壓降的漏墨狀況：

在合適生活環境下，實驗一溫差 20°C 膨脹率為 7.2%，本實驗 1500M 高度膨脹率 18.75%，其說明在正常可活動環境下，大氣壓力的影響力大於環境溫度，而高度越高大氣壓越低，使相對墨管壓力內外不平衡，當一開蓋後壓力釋放即為漏墨的情況，應可在開蓋時筆頭朝上讓溢出的是空氣而不是墨水應可改善。(波以耳定律 $P_1V_1 = P_2V_2$)

(四) 根據實驗結果進一步改良直液式白板筆的缺點：

直液式筆漏墨的主因為內外壓力不平衡使影響空氣與墨水體積的外漏物理狀況，其本次改善方案以針筒活塞來調節體積，使壓力處於內外壓力平衡的方法，最後驗證有效改善漏墨問題。

實驗三、探討白板筆頭各種物理性因素的最適性設計之結果與討論：

筆頭孔隙率越高流墨速度越慢但儲水率較高，所以筆頭雖補水慢但寫字顏色較濃墨，另外相同孔隙率下筆頭使用不同黏度墨水則黏度越高流速越慢。

未來展望與發展：

團隊經過了此次科展學習到了書本上的各種物理原理，且因親手驗證，所以更能了解其奧妙而不是像過去的死背書。在此次相關實驗下，成員認為直液式白板筆有不錯的表現，為獨物理性漏水的因素還是有疑慮的，雖然團隊以創新活塞結構來解決漏水問題，但希望在未來能更進一步研究不漏水的解決方案或有更好的創新想法來突破改善。

柒、參考資料

- 一、毛細現象、孔隙率：有關物理的100個常識／邢豔編著，驛站文化出版。
- 二、理想氣體方程式：維基百科，<https://zh.wikipedia.org/wiki/理想氣體狀態方程式>。
- 三、中華民國第四十八屆中小學科學展覽會國中組理化科，液體體積膨脹的探討與研究，李松錡、黃心潔、許惟智。
- 四、波以耳定律：維基百科，<https://zh.wikipedia.org/wiki/波以耳定律>。
- 五、查理定律：維基百科，<https://zh.wikipedia.org/wiki/查理定律>。
- 六、棉心的技術資料：菲爾特股份有限公司，<https://www.e-filtration.com>。
- 七、理想氣體定律：50則非知不可的物理學概念／Joanne Baker 作；李明芝譯，五南圖書出版。

【評語】 030117

本作品擁有相當實用的發明與研究，完整地呈現了筆商開發新式墨水筆的過程。這新的設計也許可以用來解決教室與辦公室的書寫問題。團隊能應用物理原理，加以觀察並改良生活中之用品。

壹、研究動機

組員在上課時發現，老師上課中常會寫到淡墨或沒水而停止上課步調，填裝新墨水。此時就聯想出白板筆為何不會因為地心引力而流出墨水，另外團員也提到過去父親放在車上的筆也因溫度過高而有漏墨的狀況。經過與老師討論後發現白板筆設計有很多是運用物理上的特性，如毛細現象與膨脹現象等，因此誘發了我們的研究動機，所有組員一致決定探討並解決直液式與棉心式白板筆的漏水與淡墨問題。

貳、研究目的

一、探討棉心式與直液式白板筆的墨水使用問題。

- (一) 探討不同孔隙率下儲水棉心之吸水效率。
- (二) 探討兩種白板筆之墨水損失比與書寫路徑色彩特性。

二、探討直液式白板筆漏水因素與壓力平衡問題。

- (一) 探討不同溫度下空氣膨脹現象。
- (二) 探討不同溫度下酒精與水性墨水膨脹現象。
- (三) 探討白板筆相對溫度下壓力與體積的合理設計。
- (四) 根據實驗結果進一步改良直液式白板筆的缺點。

三、探討白板筆頭各種物理性因素的最適性設計。

- (一) 探討不同孔隙率之毛細現象流墨表現與孔隙含水率。

參、研究設備與器材



圖 2-1 顯微鏡



圖 2-2 恆溫控制器



圖 2-3 精密量秤



圖 2-4 環測機



圖 2-5 推拉力計



圖 2-6 針筒架

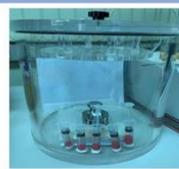


圖 2-7 負壓桶



圖 2-8 連通管燒杯

肆、研究過程與方法

一、名詞解釋：

- (一) **孔隙率**：(Porosity) 孔隙分數是表徵材料的孔隙部分的物理量。
- (二) **毛細現象**：(毛細管作用) 是指液體在細管狀物體內側，由液體與物體之間的附著物因內聚力而產生的表面張力組合而成，令液體在不需施加外力的情況下，流向細管狀物體的現象，該現象甚至令液體克服地心引力而上升。
- (三) **膨脹現象**：等壓時的氣體的膨脹係數可從理想氣體方程式 $PV=nRT$ 來說明

二、新設計的直液式白板筆與舊式棉心式白板筆的介紹：

(一) **直液式白板筆**：(如圖3所示)儲水方式以墨管直接裝水(同鋼筆設計)，出水方式經過捲狀棉並未與筆頭直接接觸墨水，使用時不需外力按壓出墨，另外值得討論的是捲狀棉，此零件為捲狀沒有毛細能力，可防止墨水直接流出並讓空氣對流使內外壓平衡的暫存性棉心，先行實驗下可吸水0.5ml。

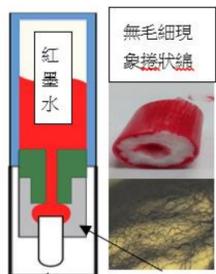


圖 3 直液式白板筆

(二) **棉心式白板筆**：(如圖4所示)儲水方式為棉心吸墨方式，筆頭以毛細現象直接引水而出，隨著棉心孔隙率不同可填裝不同的墨水量，筆頭的孔隙率不同也會有流墨速度的差異。

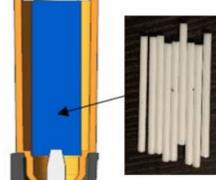


圖 4 棉心式白板筆

三、研究過程與方法：

實驗一：探討棉心式與直液式白板筆的墨水使用問題

(一) 探討不同孔隙率下儲水棉心之吸水效率

一、選定吸水數據的測試方法：

- (一) **滴水法**：(如圖7所示) (飽和吸水度)單位質量棉心其吸水的最大量。
- (二) **浸泡法**：(如圖8所示) (吸水率)單位質量棉心在單位時間內吸水的狀態。

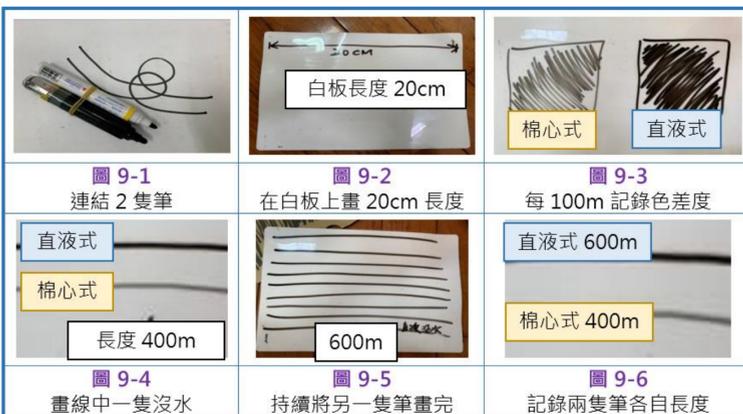


圖 7 滴水法最大飽和吸水量測試



圖 8 浸泡法最大飽和吸水量測試

(二) 探討兩種白板筆之墨水損失比與書寫路徑色彩特性



實驗二：探討直液式白板筆漏水因素與壓力平衡問題

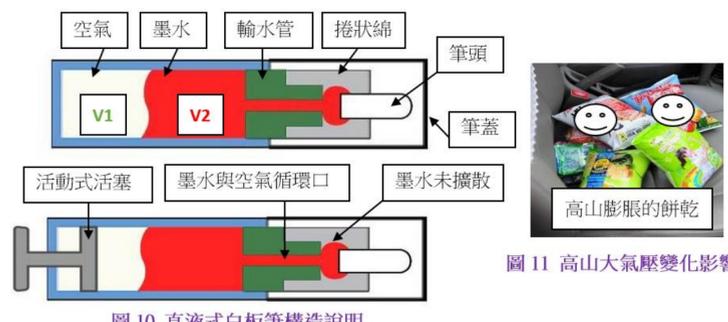


圖 10 直液式白板筆構造說明

圖10所示 直液式白板筆墨水使用模擬狀況與物理運用的條件。

- 1. 筆管內的空氣與液態墨水在相對溫度下的膨脹影響度都不同，所以V2與 V1如果膨脹外排墨水且捲心綿又無法完全吸收就會產生漏水。
- 2. (如圖11所示) 白板筆在高山大氣壓力的變化下是否會如餅乾包裝因高山降壓而膨脹(波以耳定律)進而開蓋後產生漏水問題。

(一) 探討不同溫度下空氣膨脹現象

一、實驗步驟：(如圖14-1 ~ 14-3所示)

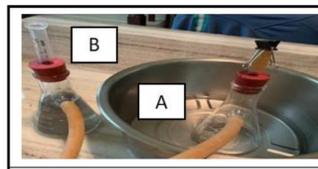


圖 14-1 A 瓶燒杯置入隔水加熱區



圖 14-2 膨脹狀況 40°C



圖 14-3 膨脹狀況 50°C

- (一) 將A瓶燒杯置入加熱容器並直接隔水加熱到30°C，當成為基本起始溫度。
- (二) 重置30°C的起始位置後則將溫度加溫到35°C、40°C、45°C 與50°C之實驗溫度。
- (三) 每定點溫度到達時都須恆溫5分鐘，確保空氣達到合理溫度，並用紅外線感溫槍再次確認溫度的狀況。
- (四) 記錄每一定點溫度下B瓶燒杯被排出與延伸管增加的水量並計算空氣的膨脹係數。

(二) 探討不同溫度下酒精與水性墨水膨脹現象

一、實驗步驟：(如圖如圖16-1 ~ 16-3所示)



圖 16-1 隔水加熱基本 30°C



圖 16-2 膨脹上升水量



圖 16-3 膨脹上升酒精量

(三) 探討白板筆相對溫度下壓力與體積的合理設計

一、實驗器材準備：

(一) 自製設備設計：(如圖17 ~ 18所示)



圖 17-1 模擬墨管體積



圖 17-2 恆溫控制避免溫差

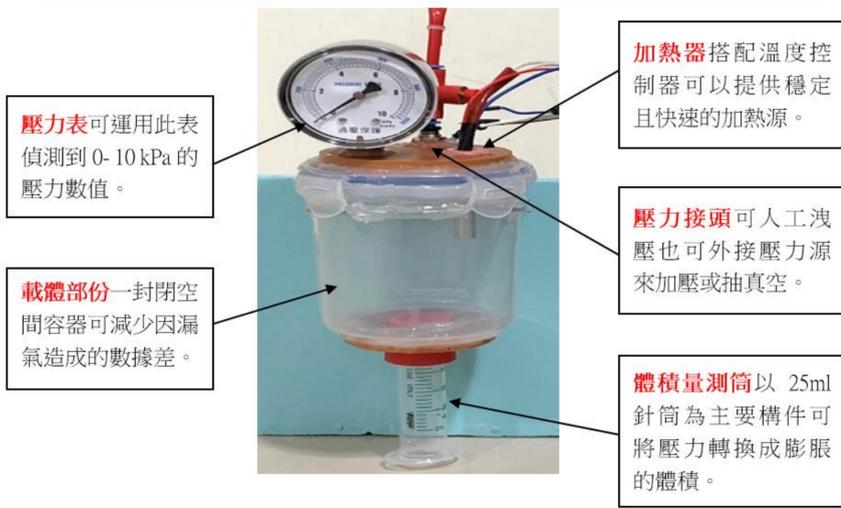


圖 17-3 測試壓力表



圖 17-4 漏水量(活塞筒)

圖 17 實驗器材



壓力表可運用此表偵測到 0-10 kPa 的壓力數值。

加熱器搭配溫度控制器可以提供穩定且快速的加熱源。

壓力接頭可人工洩壓也可外接壓力源來加壓或抽真空。

載體部份一封閉空間容器可減少因漏氣造成的數據差。

體積量測筒以 25ml 針筒為主要構件可將壓力轉換成膨脹的體積。

圖 18 自製測壓與流量設計圖

二、實驗步驟：(如圖20-1 ~ 圖20-4所示)

(一) T-P 探討空氣在溫度與壓力同升下對應零件的合理密合力量



圖 20-1 設定加溫 30°C 條件

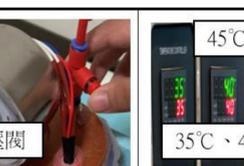


圖 20-2 洩壓使內外壓一致

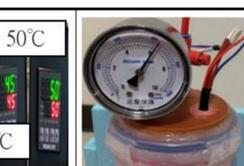
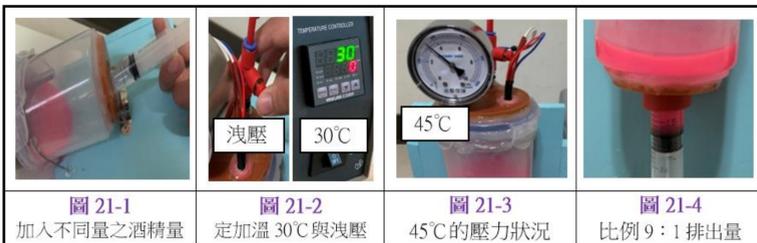


圖 20-3 重設定欲加溫度

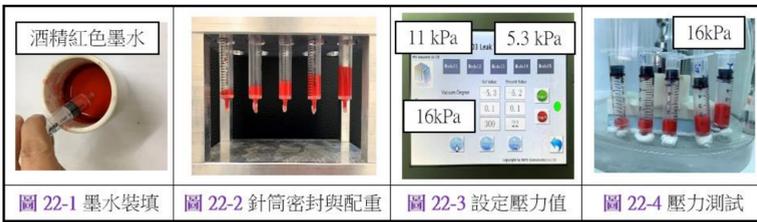


圖 20-4 定溫後記錄壓力

(二) T - V不同比例空氣與墨水的變動性膨脹漏墨狀況(如圖21-1 ~ 圖21-4所示)



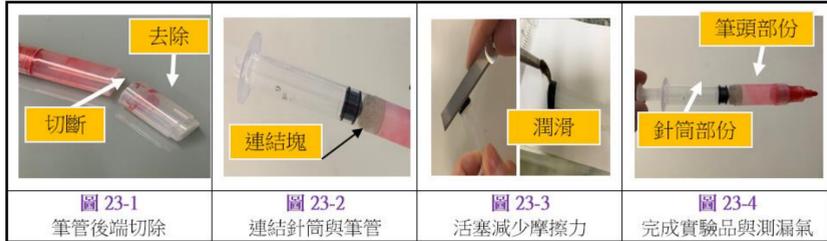
(三) P - V模擬高山大氣壓降的漏墨狀況(如圖22-1 ~ 圖22-4所示)



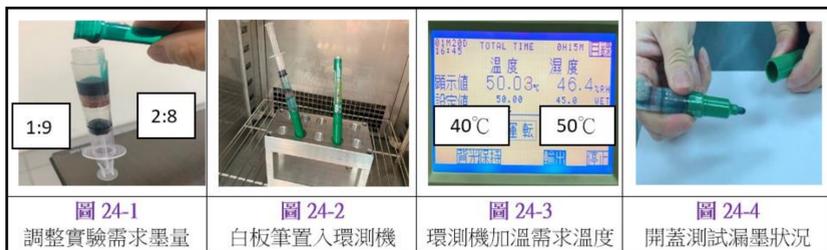
(四) 根據實驗結果進一步改良直液式白板筆的缺點

一、發想改善方向：在高山上大氣壓力減少使空氣膨脹(外部)，另外環境溫度上升但墨管體積被限制使壓力上升(內部)，在苦惱如何解決此問題時發現本次實驗設備運用了活塞的機構來測漏墨量，何不將此想法運用在可調整壓力體積的筆類設計上。

二、發想樣品製作：(如圖23-1 ~ 圖23-4所示)



三、實驗步驟：(如圖24-1 ~ 圖24-4所示)



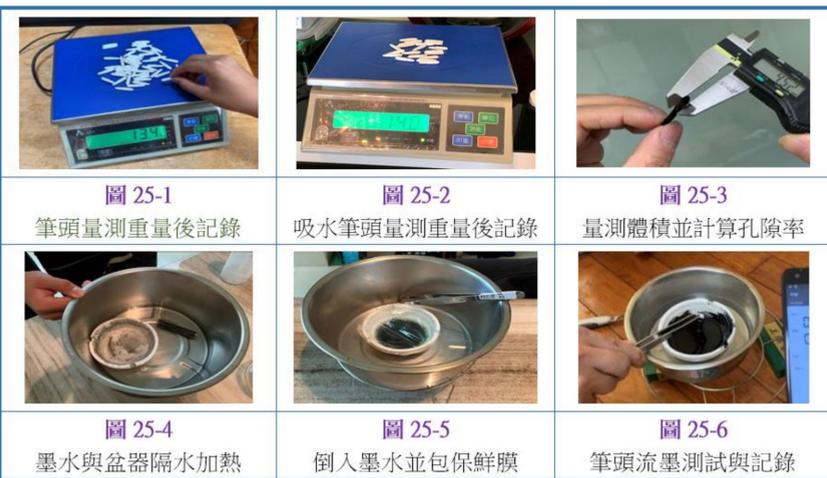
- (一) 將發想製作的樣品依相對比例的墨水與空氣調整。(實驗組)
- (二) 將市售白板筆依相對比例的墨水與空氣調整。(對照組)
- (三) 將兩組欲實驗樣品放入環測機中，直接加熱到30°C並將先行開蓋洩壓，使溫度定溫但內外壓一致狀況。
- (四) 重置30°C的起始位置後則將溫度加溫到實驗溫度40°C與50°C。每定點溫度到達時以紅外線感溫槍確認，然後開蓋確認是否有漏墨反應狀況並記錄漏墨量。

實驗三：探討白板筆頭各種物理性因素的最適性設計

(一) 探討不同孔隙率之毛細現象流墨表現與孔隙含水率

(一)實驗步驟：(如圖26-1 ~ 26-6所示)

※材料筆頭內所含孔隙的體積Vv與整支筆頭的體積Vt比值



伍、研究結果與討論

實驗一：探討棉心式與直液式白板筆的墨水使用問題的結果與討論

(一) 在探討不同孔隙率下儲水棉心之吸水效率方面



一、實驗結果：

- (一) 孔隙率越高其含水量越高(-20% > -10% > 0 > -30%)。
- (二) 在-30%樣品呈現反向的重量減少現象且浸泡法的重量都略高於滴水法。

二、實驗分析：(如圖26-1 ~ 26-3所示) 孔隙率高含水量越高但孔隙率到達一定程度後反而因抓水力不足而有漏水現象，所以補實驗測試了三種棉心的掉落測試來確認抓水力，(如表2所示)孔隙率高到一定程度後因抓水力差而產生漏水的結果是無誤的。

(一) 在探討兩種白板筆之墨水損失比與書寫路徑色彩特性方面

表 3 墨水殘留率

	原重(gw)	測試後重(gw)	使用墨量(gw)	墨水重(gw)	墨水殘留率(%)
直液式	320	317.3	2.7	3.0	10
棉心式	263.4	261.0	2.4	3.0	20

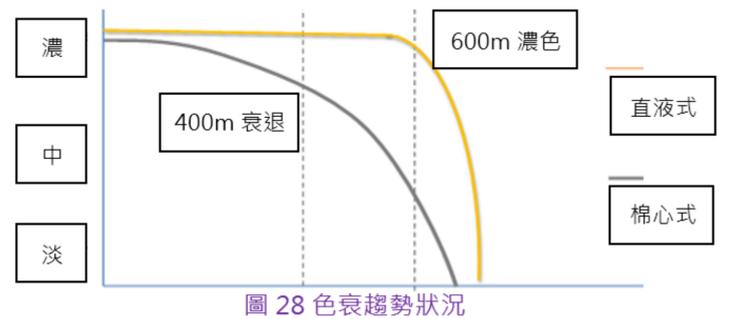


圖 28 色衰趨勢狀況

一、實驗結果：(如圖表3所示)

- (一) 直液式白板筆畫線長度大於棉心式，差異為棉心式內墨水無法完全被引導出棉心，但直液式無棉心所以殘墨問題較佳。
- (二) (如圖28所示) 色差問題應為筆頭與棉心毛細現象互相牽引，所以棉心式白板筆一開始出水會較多但後半段就難引出墨水，直液式無棉心相互牽引所以色彩度較穩定。

實驗二：探討直液式白板筆漏水因素與壓力平衡問題之結果與討論

(一) 在探討不同溫度下空氣膨脹現象方面

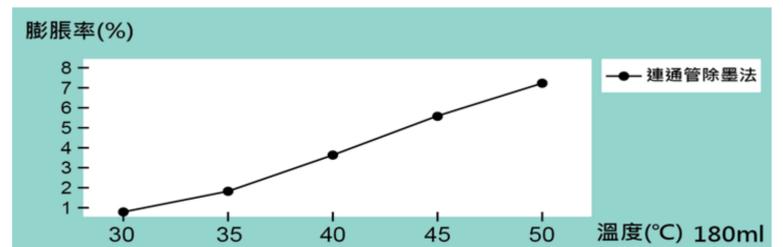


圖 29 溫度相對空氣膨脹關係趨勢

一、實驗結果：(如圖29所示)

溫度越高空氣相對膨脹量越大，每增加1°C相對的膨脹量也定量增加。

二、實驗分析：(如圖29所示)

夏日高溫一般辦公室溫度均溫為25°C的狀況下，可以說明直液式白板筆必定會因相對溫差而使筆管內空氣產生膨脹，其溫度越高相對膨脹量越大，在20°C溫差下實驗膨脹量13ml，可以計算出空氣膨脹係數為 $(13/180)/20 = 0.36\%$ 。

(二) 在探討不同溫度下酒精與水性墨水膨脹現象方面

表 5 溫度相對酒精與水性墨水膨脹率

	溫度 °C	平均量 ml	膨脹量 ml	膨脹率 (%)		溫度 °C	平均量 ml	膨脹量 ml	膨脹率 (%)
水性墨水	30	180.0	0.0	基準	酒精墨水	30	180.0	0.0	基準
	35	180.2	0.2	0.11		35	181.0	1.0	0.55
	40	180.4	0.4	0.22		40	182.0	2.0	1.11
	45	180.6	0.6	0.33		45	183.0	3.0	1.65
	50	180.8	0.8	0.44		50	184.0	4.0	2.20

一、實驗結果：(如表5所示)

- (一) 溫度越高墨水相對膨脹量越大，每增加1°C相對的膨脹量也定量增加。
- (二) 酒精墨水大於水性墨水膨脹量。

二、實驗分析：(如表5所示)

- (一) 溫度越高相對膨脹量越大，在20°C升溫下水性墨水實驗膨脹量為0.8ml其膨脹係數為 $(0.8/180)/20 = 0.022\%$ ，酒精墨水實驗膨脹量為4.0ml其膨脹係數為 $(4.0/180)/20 = 0.11\%$ 。
- (二) 相對比較實驗一其膨脹係數為空氣0.36% > 酒精0.11% > 純水0.022%。

(三) 在探討白板筆相對溫度下壓力與體積的合理設計方面

一、T - P 探討空氣在溫度與壓力同升下對應零件的合理密合力量

表 6 溫度相對空氣之壓力表

空氣	溫度°C	壓力 kPa	壓力 kPa	壓力 kPa	平均 kPa	壓增量 kPa
300ml	30	0	0	0	0	0
	35	1.6	1.6	1.7	1.6	1.6
	40	3.3	3.4	3.3	3.3	1.7
	45	4.9	4.8	5.0	4.9	1.6
	50	6.5	6.7	6.6	6.6	1.7
200ml	50	6.5	6.5	6.6	6.5	N

$P1 = 1atm$ $P1 : P2 = T1 : T2$ $P2 = (273+50) / (273+30) / 1 = 1.066 atm = 106.6 kPa$
增加量為 $106.6 kPa - 100 kPa = 6.6 kPa$ 實驗值與驗算值相符合。 公式 $PV = nRT$

(一) 實驗結果：

1. 溫度越高相對壓力越大。
2. 溫度與壓力成正比，每增加5°C相對的壓力也等比增加。
3. 實驗值與計算式比對後方向正確且體積大小不影響壓力變化。

(二) 實驗分析：(如表6所示)以本次實驗溫差20°C其最大壓力為6.6 kPa，所以在白板筆設計時其相對應的零件配合上都須高於此內壓才不會有漏水的疑慮，其實驗時空氣體積多寡不會影響壓力，在實驗一提到只會有漏墨量的問題。

二、T - V 不同比例空氣與墨水的變動性膨脹漏墨狀況

表 7 不同比例空氣與墨水變動性膨脹表

空氣：酒精	空氣膨脹 (計算)	酒精膨脹 (計算)	棉吸量 ml	排水量 ml (實際實驗)/30倍	漏水 狀態	壓力 kPa
9.6 : 0.4	0.518	0.007	0.5	12.0/30=0.40	○	5.0
9 : 1	0.486	0.018	0.5	15.5/30=0.52	×	5.0
8 : 2	0.432	0.036	0.5	14.0/30=0.47	△	5.1
7 : 3	0.378	0.054	0.5	12.5/30=0.42	○	5.2

(一) 實驗結果：(如表7所示)

- 空氣比例越高膨脹量越大，漏墨風險落在9：1比例區間。
- 墨水體積小於0.5ml後，因捲狀綿可吸水量為0.5ml，其進入安全漏墨量。
- 純水的膨脹率比酒精更小，所以影響整體數據無明顯變化。

(二) 實驗分析：(如圖30所示)空氣與酒精墨水膨脹率約差3倍，所以漏墨的最主要的來源還是空氣的膨脹為主。此次實驗中如要以設計參數討論解決方案，應可將體積也就是將裝墨水的墨管減少體積容量(空氣減少)或者將捲狀綿的設計調高含水量應可改善。

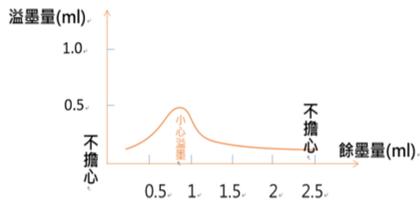


圖30 墨水與空氣比例之漏墨風險狀況

三、P - V 模擬高山大氣壓降的漏墨狀況

表9 大氣壓影響膨脹表

空氣：酒精 (ml)	1500M(16kPa) 膨脹量(ml)	1000M(11kPa) 膨脹量(ml)	500M(5.3kPa) 膨脹量(ml)	棉吸墨量 (ml)
9.6 : 0.4	11.4 (差1.8)	10.7(差1.1)	10.1(差0.5)	0.5
9 : 1	10.7(差1.7)	10.1(差1.1)	9.5(差0.5)	
8 : 2	9.5(差1.5)	8.9(差0.9)	8.4(差0.5)	
7 : 3	8.3(差1.3)	7.8(差0.8)	7.4(差0.4)	
6 : 4	7.1(差1.1)	6.7(差0.7)	6.3(差0.4)	
平均膨脹率	18.8%	12.6%	6.3%	

(一) 實驗結果：(如表9、圖31所示)

- 大氣壓越低相對膨脹越大，壓差相對於膨脹量成等比正向變大。
- 在合適生活環境下，實驗一溫差20°C膨脹率為7.2%，本實驗在1500M高山上空氣膨脹率為18.8%，兩者差異甚大。

(二) 實驗分析：(如表9用空氣9ml計算所示)

- 1atm = 76cm-Hg；每上升100m約降0.8 cm-Hg； $76 \div 9 = 64 \div V_2$ ； $V_2 = 10.7\text{ml}$
2. 在合適生活環境下，實驗一溫差20度膨脹率為7.2%本實驗1500m高度膨脹率18.8%，所以白板筆在大氣壓力影響力大於環境溫度。

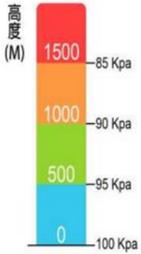


圖 31 氣壓狀況

(四) 根據實驗結果進一步改良直液式白板筆的缺點

一、設計想法：(如圖32所示)

在高山大氣壓減少與環境升溫相對都會造成筆管內外壓力不平衡，但只要增加體積即可平衡，所以本實驗設計想法即運用活塞調節壓力並使體積變動來解決漏水問題，另外也將以發想樣品實驗組與市售產品對照組來同步測試驗證改善。



圖 32 比較圖

二、實驗結果：(如表11、圖33所示)

表11 壓力與膨脹量統合表

墨水：空氣 (10ml)	溫差 °C	壓力 P kPa	推力 F gw	漏墨量 %	漏墨量 ml	棉吸量 ml	活塞阻力 gw	活塞面積 cm ²
1 : 9	10	3.3	26.8	3.56	0.32	0.5	25	0.785
	20	6.6	53.5	7.20	0.66	0.5		
2 : 8	10	3.3	26.8	3.56	0.28	0.5		
	20	6.6	53.5	7.20	0.56	0.5		

100kPa = 1033.6 gw/cm²； F = P * A； 活塞面積 A：0.5cm*0.5cm*3.14 = 0.785cm²

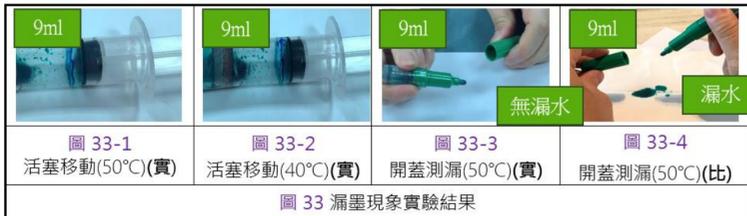


圖 33 漏墨現象實驗結果

- 由實驗一、三回饋計算成壓力與膨脹量統合表並轉換成針筒活塞單位面積的推力，結果溫差10°C可以推動活塞，但10°C以下就無推動效果。
- 實驗組溫度越高壓力越大推動活塞效果好，空氣體積量不影響壓力的變化。
- 實驗組完全沒漏水，但比較組在溫差20°C時有明顯的漏墨現象。

二、實驗分析：(如表12所示)

表12 實驗組與比較組對應表

(10ml)	墨水:空氣	溫差 °C	推力 F gw	活塞移動	是否漏墨	漏墨 gw	棉吸量 ml
實驗組	1 : 9	10	26.8	△	否	0	0.5
		20	53.5	○	否	0	0.5
	2 : 8	10	26.8	△	否	0	0.5
		20	53.5	○	否	0	0.5
比較組	1 : 9	10	26.8	無活塞	是	0.1	0.5
		20	53.5	無活塞	是	0.1	0.5
	2 : 8	10	26.8	無活塞	否	0	0.5
		20	53.5	無活塞	是	0.1	0.5

活塞移動狀態：○全移動 △移動不完全 ×不移動

溫度越高壓力越大推動活塞效果好，但空氣體積不影響壓力的變化下，此次的解決方案明顯有效，但在於溫差低於10°C時即無有效推力，另外即使推力大於摩差力但在活塞移動的過程中壓力也會趨近推不動的臨界點 所以進一步的解決方案應可繼續減低摩擦力或手動推動活塞將空氣擠出筆管外。

實驗三：探討白板筆頭各種物理性因素的最適性設計之結果與討論

(一) 在探討不同孔隙率之毛細現象流墨表現與孔隙含水量方面

表 13 孔隙率計算說明

孔隙率 B 筆頭	孔隙率 A 筆頭
筆頭 50 支 14g 平均 1 支 0.28 g	筆頭 50 支 12g 平均 1 支 0.30 g
筆頭泡水 20 支 14g 平均 1 支 0.7 g	筆頭泡水 20 支 12g 平均 1 支 0.6 g
$(0.7-0.28) / 0.68 = 62\%$	$(0.6-0.3) / 0.68 = 44\%$
Porosity (Vv/Vt) ×100% Vt = 0.68g	

表 14 墨水黏度與孔隙率流墨時間表

筆頭	黏度	平均	筆頭	黏度	平均		
A	紅色 (低)	時間(秒)	32	B	紅色 (低)	時間(秒)	37.5
		重量 g	0.42			重量 g	0.49
	黑色 (高)	時間(秒)	40		黑色 (高)	時間(秒)	43
		重量 g	0.45			重量 g	0.53

一、實驗結果：(如表13、表14所示)

- 筆頭孔隙率越大含水量越大。
- 由黑色與紅色流速表顯示孔隙率越大流墨速度也隨之變慢。
- 墨水黏度越高流墨速度越慢。

陸、結論

實驗一、探討棉心式與直液式白板筆的墨水使用問題的結果與討論：

孔隙率越低儲水量越少但孔隙率越高且填入過多墨水後漏墨機率就會升高。

實驗二、探討直液式白板筆漏水因素與壓力平衡問題的結果與討論：

以台灣夏日高溫與一般辦公室溫度均溫為25°C的狀況下，相對溫差會使空氣與墨水產生膨脹狀況。

(一) T - P 探討空氣在溫度與壓力同升下對應筆蓋的合理密合力量：

溫度越高相對壓力等比越大，所以白板筆在設計結構時，其相對應的零件配合上都須高於此壓力才不會有漏墨的危險。

(二) T - V 不同比例空氣與墨水的變動性膨脹漏墨狀況：

其空氣與酒精墨水膨脹率約差3倍，所以漏墨的疑慮最主要的來源還是空氣壓力與空氣膨脹的相互影響。

(三) P - V 模擬高山大氣壓降的漏墨狀況：

在合適生活環境下，實驗一溫差20°C膨脹率為7.2%，本實驗1500M高度膨脹率18.75%。

(四) 根據實驗結果進一步改良直液式白板筆的缺點：

直液式筆漏墨的主因為內外壓力不平衡使影響空氣與墨水體積的外漏物理狀況。

實驗三、探討白板筆頭各種物理性因素的最適性設計之結果與討論：

筆頭孔隙率越高流墨速度越慢但儲水率較高，所以筆頭雖補水慢但寫字顏色較濃，另外相同孔隙率下筆頭使用不同黏度墨水則黏度越高流速越慢。

柒、未來展望與發展

團隊經過了此次科展學習到了書本上的各種物理原理，且因親手驗證，所以更能了解其奧妙而不是像過去的死背書。在此次相關實驗下，成員認為直液式白板筆有不錯的表現，為獨物理性漏水的因素還是有疑慮的，雖然團隊以創新活塞結構來解決漏水問題，但希望在未來能更進一步研究不漏水的解決方案或有更好的創新想法來突破改善。

捌、參考資料

- 毛細現象、孔隙率：有關物理的100個常識 / 邢豔編著，驛站文化出版。
- 理想氣體方程式：維基百科，<https://zh.wikipedia.org/wiki/理想氣體狀態方程式>。
- 中華民國第四十八屆中小學科學展覽會國中組理化科，液體體積膨脹的探討與研究，李松錡、黃心潔、許惟智。
- 波以耳定律：維基百科，<https://zh.wikipedia.org/wiki/波以耳定律>。
- 查理定律：維基百科，<https://zh.wikipedia.org/wiki/查理定律>。
- 棉心的技術資料：菲爾特股份有限公司，<https://www.e-filtration.com>。
- 理想氣體定律：50則非知不可的物理學概念 / Joanne Baker 作；李明芝譯，五南圖書出版。