

中華民國第 58 屆中小學科學展覽會

作品說明書

國小組 物理科

(鄉土)教材獎

080115

「水煙囪灌溉裝置」-用科學方法解決問題

學校名稱：高雄市彌陀區南安國民小學

作者：	指導老師：
小六 李秉澂	孫愛婷
小六 曾汶皓	李秀玫
小六 林家嫻	
小六 林羿岑	
小六 鍾舒晴	

關鍵詞：水煙囪、灌溉

摘要

我們透過科學方法、運用簡易材料，再現民國 60 年代家鄉長者為解決生活難題，發明水由低往高處送的水煙囪灌溉裝置。藉由訪察、操作模型後，得以透視隱藏在磚塊內部的水流，另外發現建造者將第一支水煙囪頂端加蓋後的秘密。

我們猜測被關在第一支水煙囪內部的空氣，會對灌溉時間、水量造成影響。然而透過實驗只能說明：水煙囪底面積、輸水管裝設高度、輸水管徑、灌溉閥管徑會造成影響，但影響的因素應該不只這些。僅利用國小階段學的空氣占有空間、連通管原理，無法完整解釋灌溉時的科學原理，我們認為本實驗仍有繼續研究的空間，甚至發展為結合現代需求的蓄水裝置。我們希望透過科學展覽，讓更多人認識家鄉的水煙囪，讓長者的智慧得以流傳下去。

壹、研究動機

在我們居住的地方，有個特別的東西—水煙囪。之前老師曾在四年級下學期奇妙的水單元時提及過水煙囪，五上學期末又讓我們觀看水煙囪的模型後，從此對它的構造與水流現象更加好奇了，因為它好像和四年級學過的連通管原理不太相同。希望透過研究水煙囪，能揭開水煙囪磚塊內部的神秘之處，了解古時長輩的智慧，同時也希望我們的研究是有價值且可靠的，能為家鄉的觀光文化發展盡一份心力。

表 1-1 教學相關單元

教學相關單元		
三年級上學期	四年級下學期	六年級下學期
空氣-空氣占有空間 空氣可被擠壓	奇妙的水-連通管原理	簡單機械-動力傳送

貳、 研究目的

一、研究目的

希望透過研究了解水煙囪內部水流，並以現代人追求快速、方便的前提下探討研究問題，藉由研究知道水煙囪如何灌溉，甚至能有其他的發現。

條列研究目的如下：

- 【研究一】訪談水煙囪製作者與觀察水煙囪
- 【研究二】了解水煙囪的管線連接，並以易取得的材料製成測量工具
- 【研究三】探討第一支水煙囪加蓋是否影響輸水狀況
- 【研究四】探討加蓋後，第一支水煙囪空氣量是否影響第三支水煙囪的蓄水時間
- 【研究五】探討加蓋後，第一支水煙囪空氣量是否影響第三支水煙囪開始灌溉的時間
- 【研究六】探討加蓋後，輸水管徑是否影響第三支水煙囪蓄水時間
- 【研究七】探討加蓋後，輸水管徑是否影響第三支水煙囪開始灌溉的時間
- 【研究八】探討單支水煙囪加蓋時，空氣量是否影響灌溉水量與灌溉水柱噴出距離
- 【研究九】探討灌溉閥管徑是否影響灌溉水量、灌溉水柱噴出距離

二、名詞釋義

（一）水煙囪：建造者稱之為「天井」，目前居民以水煙囪稱呼之。利用地下水源，並搭配管路與磚塊水泥疊高的空間，將灌溉水由山腳傳輸到半山腰的灌溉工具。

（二）第三支水煙囪蓄滿時間：從沉水馬達電源開啟後，至第三支水煙囪內部容量被水充滿時的時間長度。

（三）第三支水煙囪開始灌溉間：先打開第三支水煙囪灌溉閥，接著打開沉水馬達電源。從電源開啟至灌溉水從第三支灌溉閥滴出時的時間長度。

三、研究限制

（一）寶特瓶與管線連接處使用易取得的熱熔膠，但有漏水的問題，可能會影響實驗結果。

（二）水煙囪模型是依據生活中易取得的材料製作，難以使用磚塊來製作，但我們認為其中的科學原理不會受到太大的影響。

參、研究設備及器材

一、研究設備

表 3-1 研究設備

設備	數量	設備	數量
沉水馬達(2000L/H)	1	相機	1
錄音筆	1	錄影機	1
電鑽	1	電腦	1

二、研究器材

表 3-2 研究器材

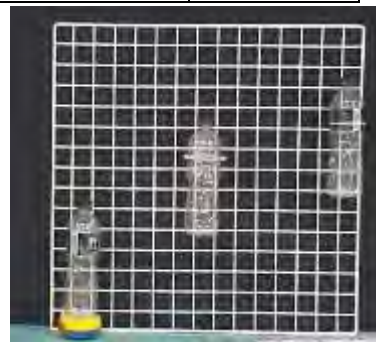
設備	數量	設備	數量	設備	數量
寶特瓶	若干	束帶	若干	水族三通調氣閥	3 個
L 型網格	2 座	網格(15X15)	2 張	水桶	3 個
老虎鉗	2 把	熱熔槍	1 支	熱熔膠	若干
塑膠收納箱	2 個	一分半水管	500 公分	二分半水管	300 公分
三分水管	300 公分	管徑不同的球閥開關	2	剪刀	若干
沉水馬達轉接頭	6 個	鐵絲	1 捆	自製 S 鈎	數個



照片 3-1 沉水馬達出水口與水管的轉接頭



照片 3-2 研究工具相關材料



照片 3-3 網格、寶特瓶與束帶

肆、研究過程或方法

一、研究歷程

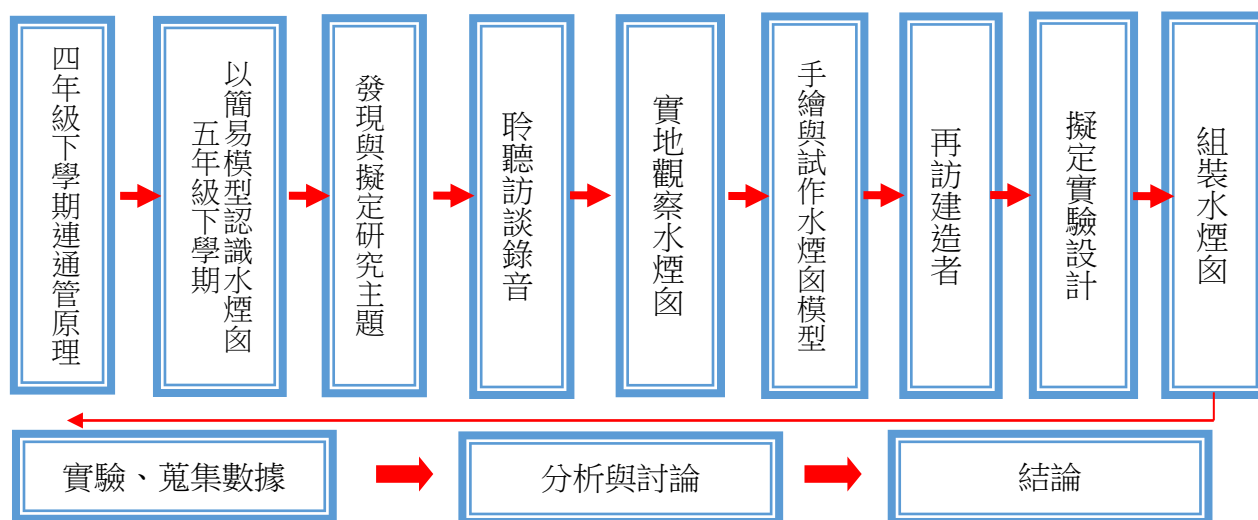


圖 4-1 研究歷程

二、研究架構

【研究一】訪談水煙囱製作者與觀察水煙囱，了解它在灌溉系統中的角色

【研究二】了解水煙囱的管線連接，並以易取得的材料製成測量工具

【研究三】第一支水煙囱加蓋是否影響輸水情形

【研究四】探討加蓋後，第一支水煙囱空氣量是否影響第三支水煙囱蓄水速度

【研究五】探討加蓋後，第一支水煙囱空氣量是否影響第三支水煙囱開始灌溉時間

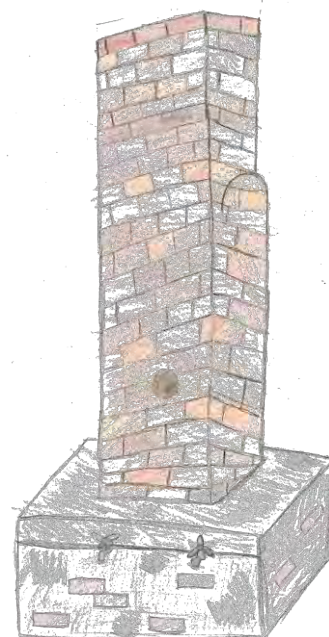
【研究六】探討加蓋後，輸水管徑是否影響第三支水煙囱的蓄水時間

【研究七】探討加蓋後，輸水管徑是否影響第三支水煙囱開始灌溉的時間

【研究八】探討單獨一支水煙囱時，空氣量是否影響灌溉水量與灌溉水柱噴出距離

【研究九】探討水煙囱灌溉閥管徑是否影響灌溉水量、灌溉水柱噴出距離

圖 4-2 研究架構

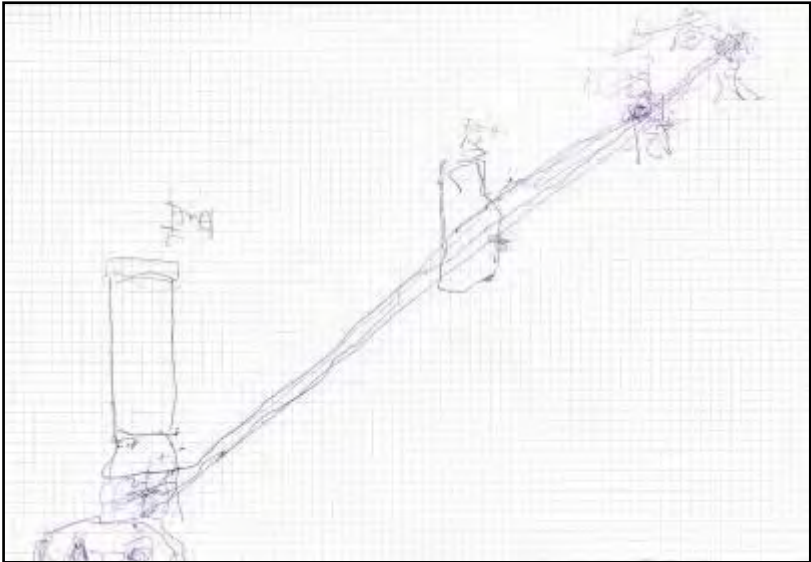


三、研究過程與方法

(一)【研究一】訪談水煙囱製作者與觀察水煙囱

1.聆聽並整理訪談內容

表 4-1 訪談錄音檔重點整理

(1)水煙囱用途	想透過管線將地下水由低處送往高處田地輸送
(2)水煙囱的數量與分布位置	共四座，依據田地分布的位置設置，最高的那支建造於 <u>溪底山</u> 半山腰。
(3)灌溉順序	第三支水煙囱想灌溉時，第一、二支的灌溉閥必須關上。
(4)第一支水煙囱	製作初期發現水從第一支水煙囱頂部溢出來，索性在第一支水煙囱頂端用磚頭與水泥封住，水就往高處輸送了。
(5)製作者手繪圖	
(6)與管線或構造相關的訊息	<p>①水源是地下水，圓井內的幫浦抽取後，連接水泥管，接著讓水泥管埋在地底下一公尺，並將水傳輸到海拔最低的第一支水煙囱。</p> <p>②每支水煙囱以地底的水泥管連接。</p> <p>③每支水煙囱都有灌溉孔口，裝有バルブ(閥)。</p> <p>④起初第一支水煙囱頂端未加蓋，水無法傳送到海拔最高的水煙囱；將第一支頂端封住後，就能輸送上去了。</p> <p>⑤幫浦打開或關上時會聽到水煙囱內傳來轟轟轟的聲音</p>

2.觀察水煙囪外型、建材

表 4-2 現存水煙囪外觀比較



3.估計水煙囪高度

表 4-3 現存水煙囪高度估計

編號	同學 1	當日身高	同學 2	當日身高
1		 $139.1 \div 9 = 15.5$ $15.5 \times 8 = 124$ $139.1 + 124 = 263.1$		 $166.0 \div 9 = 18.4$ $18.4 \times 7 = 128.8$ $128.8 + 166 = 294.8$
估算	$(263.1 + 294.8) \div 2 = 279.0(\text{公分})$ 即 2.79 公尺			
2		 $139.1 \times 4 = 556.4$ $139.1 \div 10 = 13.9$ $13.9 \times 4 = 55.6$ $556.4 + 55.6 = 612$		 $166.0 \div 12 = 13.8$ $13.8 \times 7 = 96.6$ $498 + 96.6 = 594.6$
估算	$(612 + 594.6) \div 2 = 603.3(\text{公分})$ 即 6.03 公尺			
3		 $139.1 \times 5 = 695.5$ $139.1 \div 12 = 11.6$ $11.6 \times 10 = 116$ $695.5 + 116 = 811.5$		 $166.0 \times 5 = 830$
估算	$(811.5 + 830) \div 2 = 820.8(\text{公分})$ 即 8.20 公尺			

如表 4-3，以兩位同學身高當比例尺，估算後取平均值。估算結果，編號 1 水煙囪為 279.0 公分，即 2.8 公尺；編號 2(訪談者)水煙囪為 603.3 公分，即 6.03 公尺；編號 3 水煙囪為 820.8 公分，即 8.20 公尺。

4.定位水煙囪位址

利用 GOODGLE EARTH 定位系統，僅存的三座水煙囪經緯度如下：

編號 1：22°45' 55.9" N 120°14' 44.0" E	編號 2：22° 45' 58.6" N 120°14' 41.3" E
編號 3：22°45' 59.7" N 120°14' 46.1" E	



圖 4-3 Google Earth 上俯瞰現存的三支水煙囪

5.實察後疑問：(1) 現存水煙囪的建造者是誰 (2) 水源的位置 (3) 水煙囪簡易模型的管路連接正確性

6.再訪水煙囪製作者並釐清疑問

時間：2018 年 2 月

地點：建造者家門口

(1) 現存水煙囪的建造者：編號 1 的建造者是水伯，編號 2 的建造者是訪談對象，編號 3 的建造者是前村長。

(2) 水源的位置：就在編號 2 水煙囪旁邊

(3) 水煙囪簡易模型的管路連接正確性：如照片



照片 4-1 老師上課前做的簡易模型

(4) 其它：訪談前巧遇前村長，他陳述過去在建造者蓋水煙囪後，許多村民跟進，因此以前不少座水煙囪，後來才漸漸廢棄拆除的。他說「第一支水煙囪必須比最後一支水煙囪還要高」。

(二)【研究二】了解水煙囪的管線連接，使用便利的材料製成測量工具

1.初步設計圖

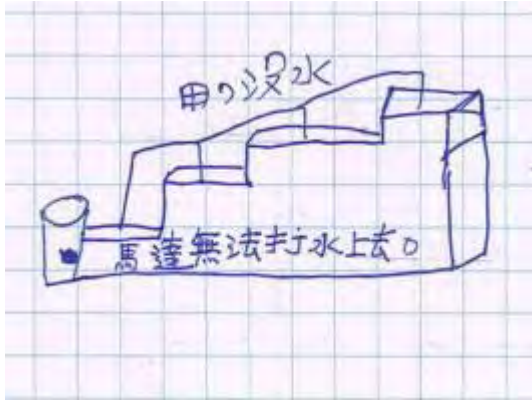


圖 4-4 初步設計圖(一)

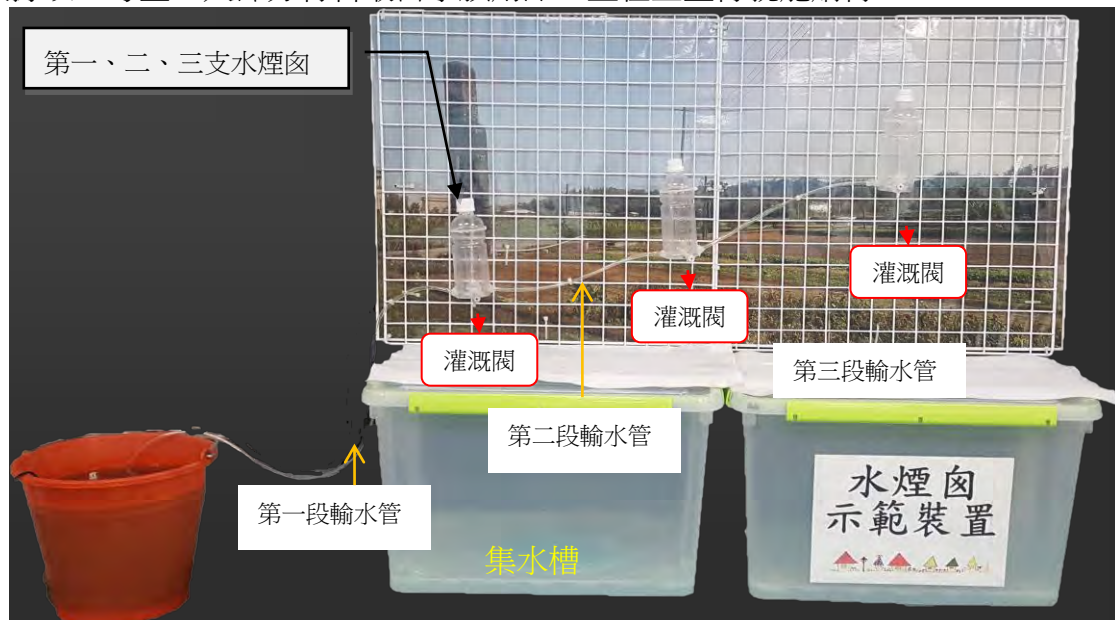


圖 4-5 初步設計圖(二)

2.測量工具構想與成品

- (1) 使用經濟實惠、可觀察水流的材料製作水煙囪、灌溉閥
- (2) 測量工具的規模：教室內方便操作為主
- (3) 幫浦：可以抽水與輸水即可
- (4) 方便觀察：固定水煙囪、方便觀察水平面。

根據以上考量，大部分材料取自水族用品，並在五金行就能購得。



照片 4-2 水煙囪測量工具組裝完成

(三)【研究三】探討為第一支水煙囪加蓋是否影響輸水情形

1.操作變因：第一支水煙囪之瓶蓋

表 4-4 操作第一支水煙囪頂端加蓋

組別	對照組	實驗組 1	實驗組 2
頂端	第一支水煙囪不加蓋	第一支水煙囪加蓋	第一、二支水煙囪加蓋

2.應變變因：灌溉水不再往上傳送的時間、水位

3.控制變因：沉水馬達、管徑、輸水管長度、擺放位置等

4.假設：不加蓋時水傳輸到第三支水煙囪的時間花費較多，水面可能會符合連通管原理保持在相同高度。加蓋時花費的時間可能較少，水可能在第一支水煙囪中填滿後，再往下一支水煙囪前進。

(四)【研究四】探討加蓋後，第一支水煙囪空氣量是否影響第三支水煙囪的蓄水時間

1.操作變因：第一支水煙囪容量

表 4-5 操作第一支水煙囪容量

組別	實驗組 1	實驗組 2	對照組	實驗組 3	實驗組 4	實驗組 5
容量	30 ml	225ml	370ml	1060ml	1525ml	6000ml

2.應變變因：灌溉水傳送到第三支水煙囪的時間

3.控制變因：沉水馬達、管徑、輸水管長度、擺放位置等

4.假設：第一支水煙囪空氣量愈多時，第三支水煙囪蓄水時間愈快。我們認為第一支水煙囪的空氣量愈多，可能會產生愈大的壓力，擠壓第一支水煙囪內的水較快流向第三支水煙囪。

5.實驗方法：架設測量工具，使用容量不同的寶特瓶來操作第一支水煙囪的空氣量。

開啟沉水馬達電源，三位同學分別按下碼表，當第三支水煙囪蓄滿溢水時，停止碼表。

此實驗重覆 10 次後計算時間平均。

(五)【研究五】探討加蓋後，第一支水煙囪空氣量是否影響第三支水煙囪灌溉的時間

1.操作變因：第一支水煙囪之容量

表 4-6 操作第一支水煙囪容量

組別	實驗組 1	實驗組 2	對照組	實驗組 3	實驗組 4	實驗組 5
容量	30 ml	225ml	370ml	1060ml	1525ml	6000ml

2.應變變因：灌溉水傳送到第三支水煙囪的時間

3.控制變因：沉水馬達、管徑、輸水管長度、擺放位置等

4.假設：第一支水煙囪容量愈大，第三支水煙囪開始灌溉的時間愈快。我們認為理由與研究四雷同，容量愈大空氣量愈多，擠壓力量大，水會愈快流向第三支水煙囪，灌溉時間也愈快。

5.實驗方法：架設測量工具，使用容量不同的寶特瓶來操作第一支水煙囪的空氣量。預先打開第三支水煙囪灌溉閥，沉水馬達電源開啟後，三位同學個別操作 3 個碼表。第三支水煙囪開始灌溉時，停止碼表。此實驗重覆 10 次後計算時間的平均。

(六)【研究六】探討加蓋後，輸水管管徑是否影響第三支水煙囪蓄水時間

1.操作變因：第一至三段輸水管的管徑

表 4-7 操作第一至三段輸水管徑

組別	對照組(一分半)	實驗組 1(二分半)	實驗組 2(三分)
水管內徑	4.5mm	7.5mm	9mm

2.應變變因：第三支水煙囪蓄滿時間

3.控制變因：沉水馬達、第一支水煙囪容量、輸水管長度、擺放位置等

4.假設：管徑愈大，第三支水煙囪蓄滿時間應該會愈快。我們認為管徑較大時，沉水馬達輸水量可即時透過較大的空間，傳送到下一支水煙囪。實驗初期，我們在沉水馬達出水口裝上轉接頭時發現出水量變少了。所以對於此實驗的結果我們挺有把握的。

5.實驗方法：架設測量工具，操作第一至三段的輸水管徑。開啟沉水馬達電源，三位同學分別按下碼表，第三支水煙囪蓄滿溢水時停止碼表。實驗重覆 10 次後計算時間平均。

(七)【研究七】探討加蓋後，輸水管管徑是否影響第三支水煙囪開始灌溉的時間

1.操作變因：第一至三段輸水管的管徑

表 4-8 操作第一至三段輸水管徑

組別	對照組(一分半)	實驗組 1(二分半)	實驗組 2(三分)
水管內徑	4.5mm	7.5mm	9mm

2.應變變因：第三支水煙囪開始灌溉的時間

3.控制變因：第一支水煙囪容量、輸水管長度等

4.假設：管徑愈大時第三支水煙囪開始灌溉的時間可能愈快。推測這個想法的理由與上個研究相同。

5.實驗方法：架設測量工具並操作輸水管徑，預先打開第三支水煙囪的灌溉閥，開啟沉水馬達電源開啟。經由三個人按 3 個碼表，當第三支水煙囪開始灌溉時，停止碼表。此實驗 10 次後計算平均。

(八)【研究八】探討單支水煙筒加蓋時，空氣量是否影響灌溉水量與灌溉水柱噴出距離

1.操作變因：單獨一支寶特瓶內空氣量多寡

表 4-9 操作瓶內空氣量

組別	對照組	實驗組 1	實驗組 2
空氣量	無空氣	空氣 525ml	空氣 1025ml

2.應變變因：灌溉水量、灌溉水柱噴出距離

3.控制變因：輸水管長度、寶特瓶總容量等

4.假設：在研究四、五發現實現結果和原先假設不符。我們試圖透過其他實驗設計探討空氣量對灌溉水量、灌溉水柱噴出距離的關係。此研究假設「空氣量愈多，單位時間蒐集的灌溉水量較多、灌溉水柱噴的距離愈遠」

5.實驗方法：架設單個寶特瓶，開啟沉水馬達電源時瓶內的水蓄到保留所操作的空氣量時，立即關上瓶蓋、打開灌溉閥，測量 20 秒內灌溉閥接取到的水量，以及灌溉水柱開口至灌溉水降下時最末端的距離。

(九)【研究九】探討灌溉閥管徑是否影響灌溉水量、灌溉水柱噴出距離

1.操作變因：灌溉閥管徑

表 4-10 操作灌溉閥管徑

組別	對照組	實驗組
灌溉閥管徑	管徑二分半	管徑一分半

2.應變變因：單位時間內的灌溉水量、灌溉水柱噴的距離

3.控制變因：沉水馬達、輸水管長度、擺放位置、寶特瓶容量等

4.假設：同研究八的測量裝置，當灌溉管徑變小時，灌溉水柱可能會噴得更遠，但灌溉水量可能會比較少。

5.實驗方法：以研究八的測量工具與方法，只更換管徑較小的灌溉閥，觀察灌溉水量與灌溉水柱噴的距離。

伍、研究結果

一、【研究一】訪談水煙筒製作者與觀察水煙筒

(一) 當初製作者為使地下水源由低往高處送，在無人教導的前提下，憑著感覺製作水煙筒。使用建材包括水泥管、幫浦、磚塊、水泥、閥等材料。目前位於溪底山腳下、

北緯 22° 45'55.9"、東經 120° 14'44.0"處（即圖 4-3 的編號 2），高度約 6.03 公尺的水煙囪，是當時建立在海拔最低的第一支水煙囪，水煙囪旁設置幫浦抽取地下水源，共從山腳下到半山腰製作了四支水煙囪。而訪察時觀察到的編號 1 與編號 3 水煙囪，是當地村民仿效製成的。

二、【研究二】了解水煙囪的管線連接，並以易取得的材料製成測量工具

（一）2017 年 3 月 25 日老師首次前往建造者家中訪談，我們則在 2018 年 2 月份中午前往製作者家中訪談，將水煙囪簡易模型呈現給製作者看，當天確認了水煙囪的管路安裝位置與實體水煙囪的差異，他說模型與實體大致相同。2018 年 6 月份再次前往訪談，詢問當時為什麼要將水泥管埋在地底下。

（二）水煙囪實體與水煙囪測量工具各部位對照表

表 5-1 實體與測量工具對照表

實體	測量工具
水煙囪(磚塊、水泥)	透明寶特瓶
水泥管	水族用透明塑膠管
幫浦	水族用沉水馬達
地勢高度	將寶特瓶依照一定比例固定於網格上方
灌溉孔口	水族用三通空氣閥
地下水源	水桶內裝滿水

（三）水煙囪管路連接

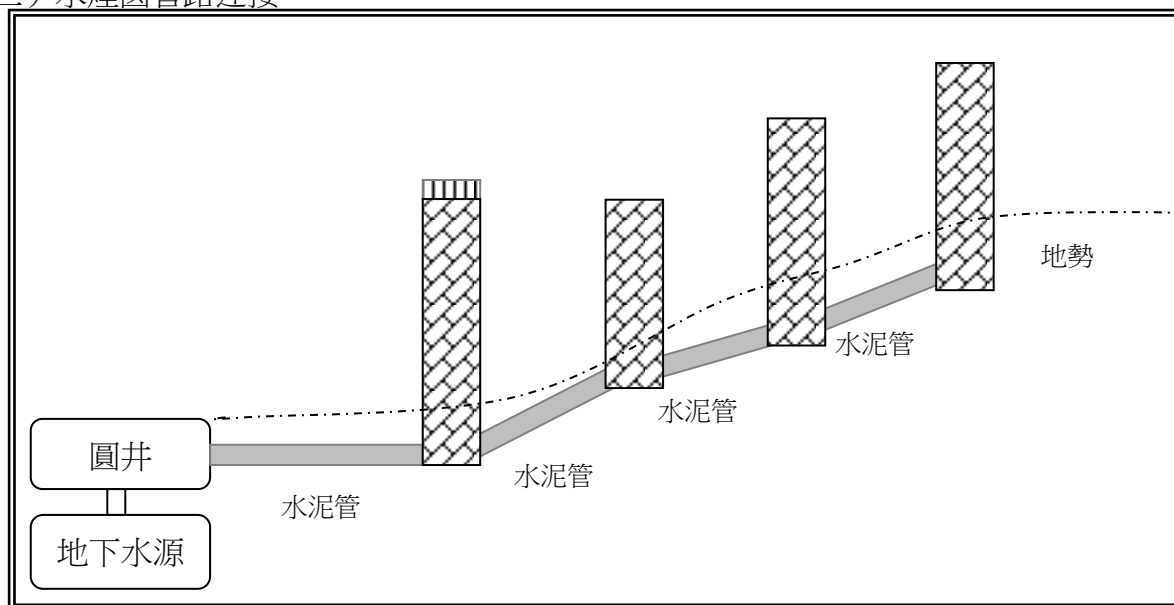


圖 5-1 水煙囪管路連接示意圖

- 1.圓井內的幫浦抽取水源後，連接水泥管。
- 2.透過埋在地底一公尺深的水泥管，將水傳輸到第一支水煙囪。
- 3.第一支水煙囪頂端加蓋。
- 4.每支水煙囪以地底的水泥管連接。
- 5.每支水煙囪都有灌溉孔口，裝有バルブ(閥)。

三、【研究三】探討第一支水煙囪加蓋是否影響輸水狀況

(一) 實驗數值

表 5-2 第一支水煙囪加蓋時輸水不在上升的時間

水煙囪加蓋情形	第一支不加蓋	第一支加蓋
水不再往上傳輸的時間(秒)	99.1	89.5

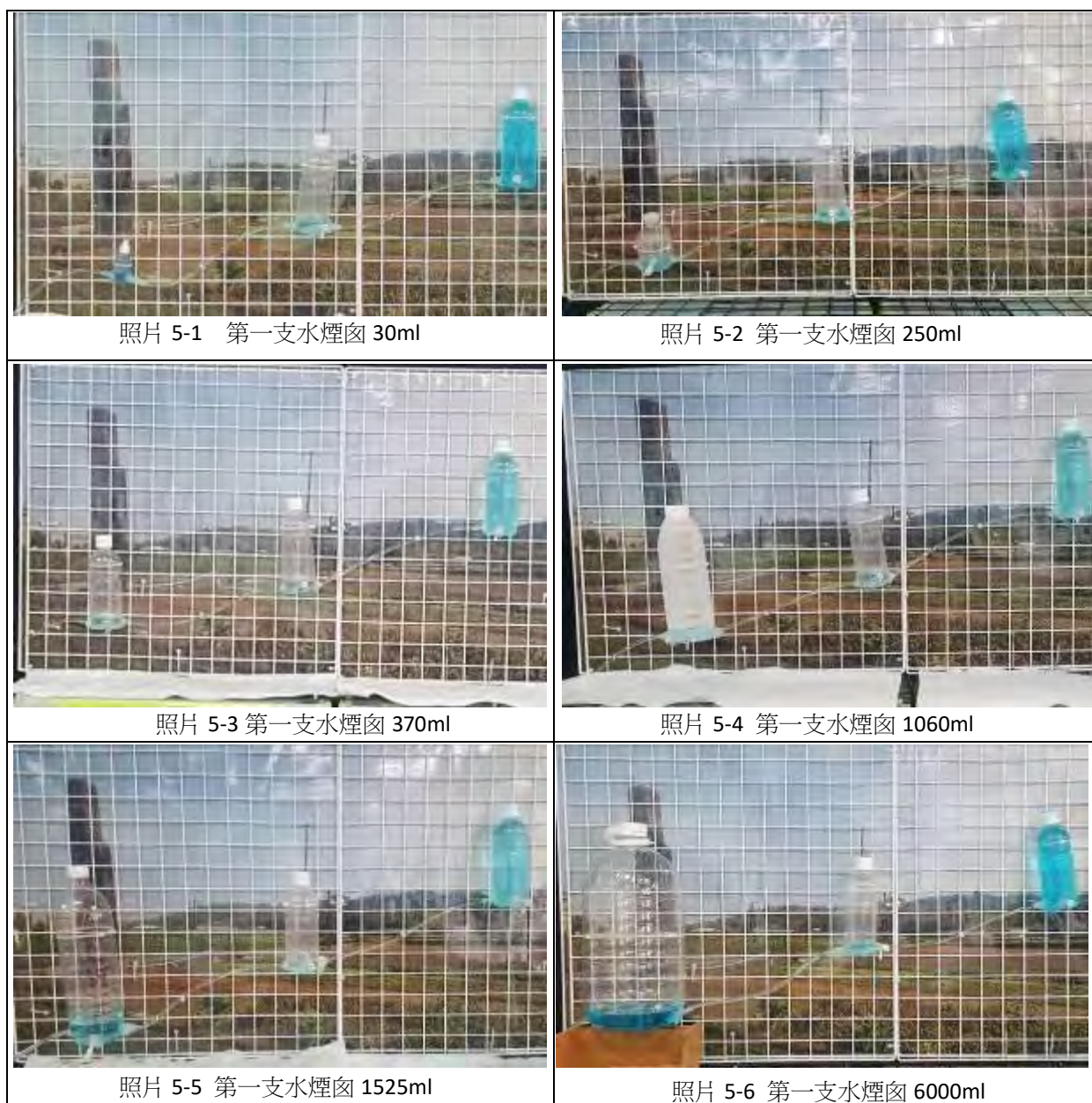
四、【研究四】探討加蓋後，第一支水煙囪空氣量是否影響第三支水煙囪的蓄水時間

(一) 實驗數值：第三支水煙囪蓄滿時間與每秒可蓄水量

表 5-3 第一支水煙囪容量不同-第三支蓄滿時間、每秒蓄水量數值

第一支水煙囪容量	30ml	250ml	370ml	1060ml	1525ml	6000ml
第三支蓄滿時間(秒)	31.6	45.6	32.6	59.9	40.7	61.2
該容量每秒可蓄水量(ml)	11.7	8.1	11.4	6.2	9.1	6.0

(二) 實驗照片：不同的容量蓄水情形



五、【研究五】探討加蓋後，第一支水煙囪空氣量是否影響第三支水煙囪

開始灌溉的時間

(一) 實驗數值

表 5-4 第一支水煙囪容量不同-第三支開始灌溉時間數值

第一支水煙囪容量(ml)	30ml	250ml	370ml	1060ml	1525ml	6000ml
第三支開始灌溉時間(秒)	9.4	15.6	9.5	15.3	17.0	28.2

(二) 實驗照片



照片 5-7 第一支水煙囪 250ml 時，第三支開始灌溉的情形

六、【研究六】探討加蓋後，輸水管徑是否影響第三支水煙囪蓄滿時間

(一) 實驗數值

表 5-5 輸水管徑不同時-第三支水煙囪蓄滿時間

管徑	內徑一分半	內徑二分半	內徑三分
第三支水煙囪蓄滿時間(秒)	32.6	10.9	8.2

(二) 實驗照片



照片 5-8 輸水管內徑 2 分半時，第三支水煙囪蓄滿情形

七、【研究七】探討加蓋後，輸水管徑是否影響第三支水煙囪開始灌溉的時間

(一) 實驗數值

表 5-6 輸水管徑不同時第三支灌溉時間數值

管徑	一分半	二分半	三分
第三支開始灌溉的時間(秒)	9.4	4.3	3.4

八、【研究八】探討單支水煙囪加蓋時，空氣量是否影響灌溉水量與灌溉水柱噴出距離

(一) 實驗數值

表 5-7 空氣量不同，灌溉水量與灌溉水柱噴出距離

空氣量	0ml	525ml	1025ml
水柱距離(公分)	25.7	28.1	27.2
20 秒內灌溉輸水量(毫升)	1032.1	1027.7	1062.3
每秒灌溉輸水量(毫升)	51.6	51.4	53.1

(二) 實驗照片



照片 5-10 氣量 0 毫升時，20 秒內灌溉水量與水柱噴出距離

九、【研究九】探討灌溉閥管徑是否影響灌溉水量、灌溉水柱噴出距離

(一) 實驗數值

表 5-8 灌溉閥管徑一分半、二分半時，灌溉水量與灌溉水柱噴出距離

灌溉管徑	空氣量	0ml	525ml	1025ml
一分半	20 秒內灌溉水量(ml)	468.0	488.3	458.8
	每秒灌溉水量(ml)	23.4	24.4	22.9
	水柱距離(cm)	46.8	38.6	41.3
二分半	20 秒內灌溉水量(ml)	25.7	28.1	27.2
	每秒灌溉水量(ml)	1032.1	1027.7	1062.3
	水柱距離(cm)	51.6	51.4	53.1

陸、討論

一、【研究一】訪談水煙囪製作者與觀察水煙囪

建造背景為民國 60 幾年，為了解決灌溉問題，以當時現有資源製作出來的灌溉裝置。

(一)解決地勢問題：田地廣布在標高 52 公尺的惡地地形、山腳斜坡。

(二)抽水馬達馬力不足：馬達馬力不夠，海拔高處時難以將水垂直抽取至地面。

(三)PVC 管尚未普遍：當時水泥管普遍，PVC 管較少且貴，所以水煙囪之間的管線是以「水泥管」連接，而不是現代常見的 PVC 管。

建造者當初發現在第一支水煙囪頂端加蓋，水位才得以上升至海拔最高處的水煙囪，另在第一支水煙底部加裝水龍頭(如照片 6-1)，當舊式抽水器取不到民生用水時，便從水煙囪取水，一舉兩得。水煙囪約被使用至民國 80 幾年。



照片 6-1 水龍頭

二、【研究二】了解水煙囪的管線連接，並以易取得的材料製成測量工具

(一)管線漏水問題

將水管穿入寶特瓶，並用熱熔膠封上，時常發生接縫處漏水或整片掉落的情況，實驗時間受耽誤不少，往後的實驗可繼續克服該問題。

(二)水泥管裝設於地底的原因

建造者認為水泥管可能受到水的壓力導致爆裂，因此認為必須將管路設成暗渠，埋在地底一公尺深處，透過泥土的力量避免水泥管爆裂。

三、【研究三】探討為第一支水煙囪加蓋對輸水狀況的影響

(一)研究三主要想了解建造者對第一支水煙囪頂端加蓋所造成的影響。經過實驗(如照片 6-2)證實起初假設是正確的，即「不加蓋時水傳輸到第三支水煙囪的時間花費較多，另水位符合連通管原理，水面保持在相同高度」，也因為水位到達第一支水煙囪頂端就溢出了，不加蓋時的水位最高點會受水煙囪高度影響。



照片 6-2 對照組-第一支不加蓋時水平面示意照



照片 6-3 實驗組第一支加蓋、第二支不加蓋水面水平面示意照

照片 6-2、照片 6-3 可觀察到第一支水煙囪加蓋後，水平面的高度比不加蓋時高約 2 個網格，而圖 6-1 表示水位停留在最高點花費的時間，也就是第一支水煙囪頂端加蓋後，主要的效果讓水位升更高、花費時間也愈少。



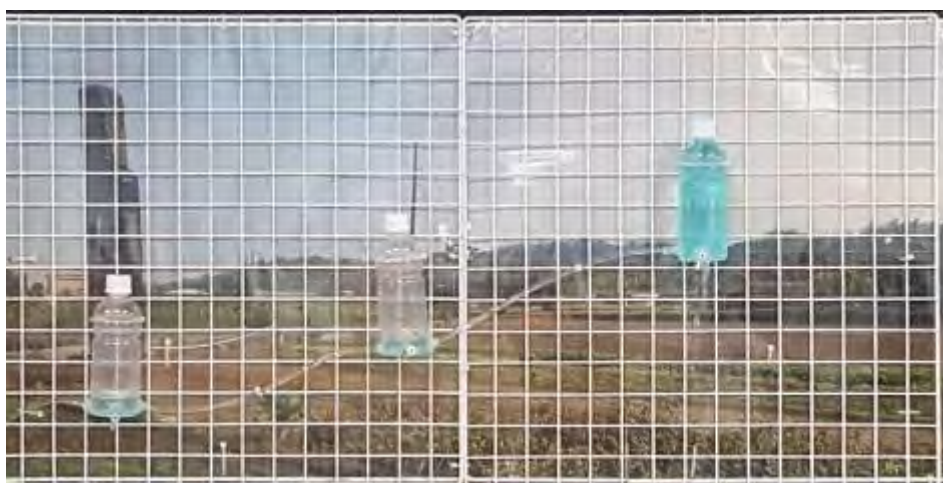
圖 6-1 第一支水煙囪是否加蓋-水不再往上传輸的時間

(二) 研究三發現針對加蓋後第一支水煙囪內部水位高度的假設是錯誤的，如照片 6-3 所示。幫浦開啟後，第一支水煙囪內部水位只須高過第二段輸水管，就會往第二支傳遞。然而水從第二支水煙囪頂端溢出後，第三支的最高水位便與第二支水煙囪頂端相同。

(三) 回想前村長提及「第一支水煙囪需建造得比海拔最高的水煙囪灌溉口還高」，可推測前村長的第一支水煙囪頂端應該是未加蓋的。

(四)「若第二支水煙囪頂端也加蓋呢？」如照片 6-4 發現加蓋後水位上升愈高，圖 6-2 也顯示第二支也加蓋後花費的時間縮短更多。為什麼頂端封住後水位能升更高呢？是否是單純的空氣占有該空間，以致水位只要高過輸水管出口便可上升？花費時間縮短的原因，是因為水的流速受到什麼影響而變快？還是因為第一、二支水煙囪不必被填滿節省下來的時間？我們認為值得再探討。

(五)我們發現當時建造者若將第二支水煙囪也加蓋，可以更節省灌溉時間。研究四至七的實驗，我們都蓋上第一、二支的瓶蓋，以便有效率的完成實驗。



照片 6-4 第一支加蓋、第二支加蓋的水面

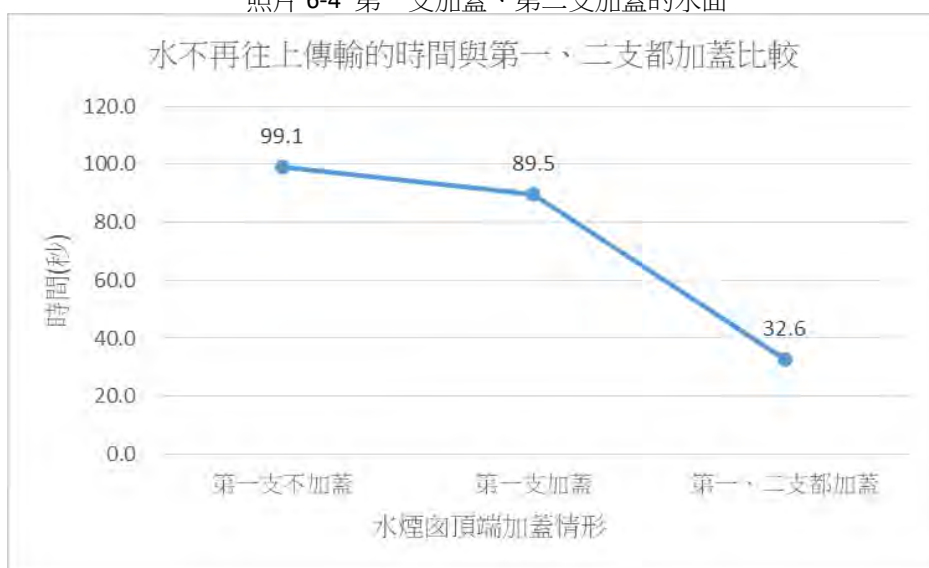


圖 6-2 比較第一、二支頂端加蓋情形與蓄水時間的變化

四、【研究四】探討加蓋後，第一支水煙囪空氣量對第三支水煙囪蓄水時間影響

(一) 透過研究一至三實驗後，我們發現透過操作某些變因，能縮短灌溉時間。縮短灌溉時間，也符合一般人追求工作效率的態度。因此我們的研究方向則盡力想找出縮短灌溉時間的變因。延續研究三的發現，第一支水煙囪內部的空氣量是否會影響灌溉時間呢？實驗初期在網路上蒐得「水錘泵」裝置，裝置內部的空氣也能使水由低往高處流。因此我們也很想證實第一支水煙囪的空氣量會影響灌溉時間。

(二) 我們利用周遭可取得的寶特瓶來操作水煙囪內部空氣量：寶特瓶愈大，內含空氣量愈多。如圖 6-3 所示，空氣量不同時，蓄滿第三支寶特瓶花費的時間也不同，第一支水煙囪容量最少，蓄滿第三支水煙囪時間為 31.6 秒；容量最大時為 61.2 秒。

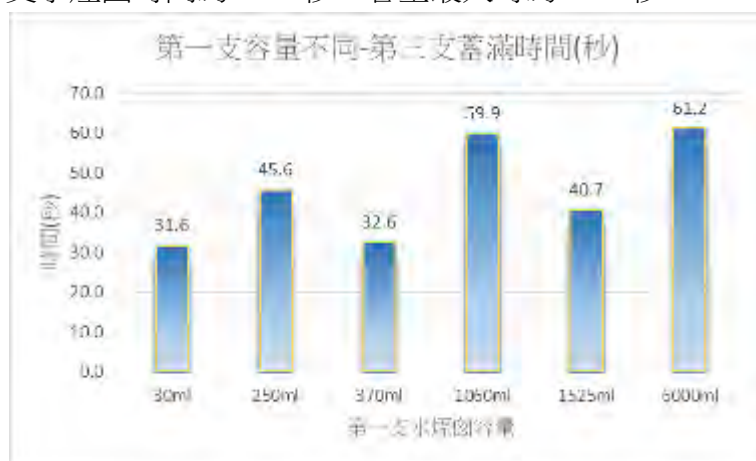


圖 6-3 第一支容量不同-第三支蓄滿時間

(二) 由圖 6-3 發現，雖然研究結果與假設相反，空氣量愈多蓄滿的時間花費愈多，不過 370ml 至 1525ml 間的水煙囪，蓄滿時間沒有明顯趨勢，引發我們下列的想法。

(三) 由照片 5-1~5-6 發現不論空氣量多寡，一旦水位高過第二段輸水管，水便往第二支水煙囪傳輸。有同學認為那是因為水一定要填滿輸水管底下的容量才會往上傳輸，水煙囪「底面積大小」與「底面積到輸水管的高度」可能會影響實驗結果。表 6-1 推算出輸水管之下的容量：

表 6-1 各寶特瓶低於第二段輸水管的底部容量

第一支水煙囪容量	底面積直徑	底面積半徑	底面積	輸水管高度	底部至輸水管的容量
30ml	1.2	0.6	1.1	1.5	1.7
250ml	6	3	28.3	1	28.3
370ml	5.5	2.75	23.7	1	23.7

第一支水煙筒容量	底面積直徑	底面積半徑	底面積	輸水管高度	底部至輸水管的容量
1060ml	7*5(長 X 寬)	7*5(長 X 寬)	35.0	1	35.0
1525ml	6*6(長 X 寬)	6*6(長 X 寬)	36.0	2	72.0
6000ml	14	7	153.9	2.5	384.7

註：由於鑽孔困難，輸水管高度理當應控制在相同高度

表 6-2 不同容量的容器底部容量與蓄滿時間

不同容量的容器	30ml	370ml	250ml	1060ml	1525ml	6000ml
底部至輸水管的容量	1.7	23.7	28.3	35.0	72.0	384.7
第三瓶蓄滿水時間(秒)	31.6	32.6	45.6	59.9	40.7	61.2

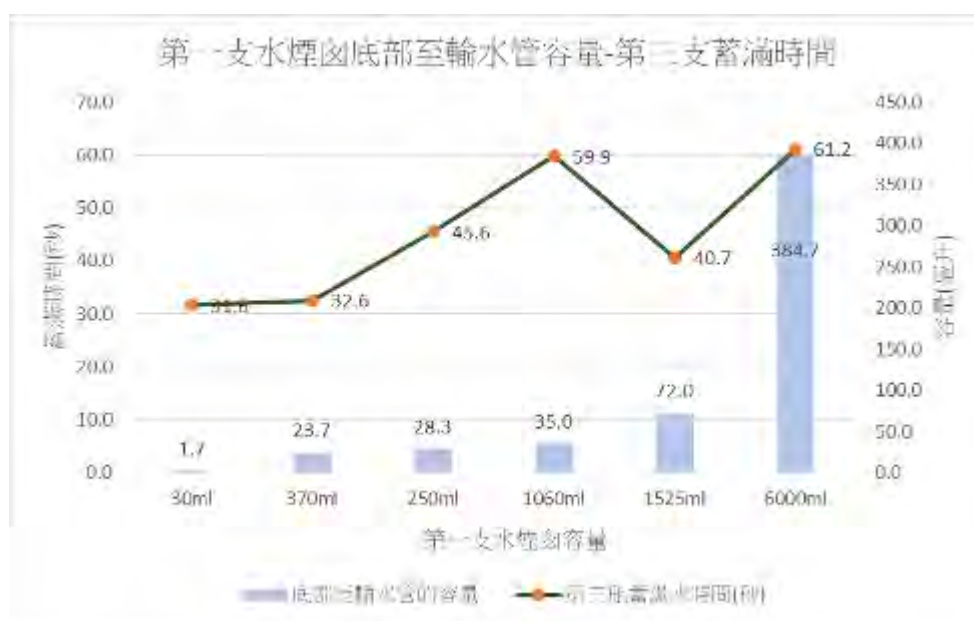


圖 6-5 第一支水煙筒底部容量與蓄滿時間

如圖片 6-5 所示，除了 1525ml 的瓶子，其餘都符合底部容量愈大，蓄滿時間愈長。因此認為研究四可能是實驗假設或設計錯誤，因此無法觀察出空氣量對灌溉時間的影響。

然而此設計我們發現即便第一支水煙筒矮小，仍能以將近快了一半的時間蓄滿第三支水煙筒。也許第一支、第二支加蓋時，第一支水煙筒不須建造的很高大，也可有效率地讓第三支水煙筒灌溉。

五、【研究五】探討加蓋後，第一支水煙筒空氣量對第三支水煙筒開始灌溉時間的影響

表 6-3 底部容量不同-第三支蓄水時間與灌溉時間

不同容量的容器	30ml (1.7c.c.)	370ml (23.7c.c.)	250ml (28.3c.c.)	1060ml (35c.c.)	1525ml (72c.c.)	6000ml (384.7c.c.)
第三瓶蓄滿水時間(秒)	31.6	32.6	45.6	59.9	40.7	61.2
第三支開始灌溉時間(秒)	9.4	9.5	15.6	15.3	17	28.2

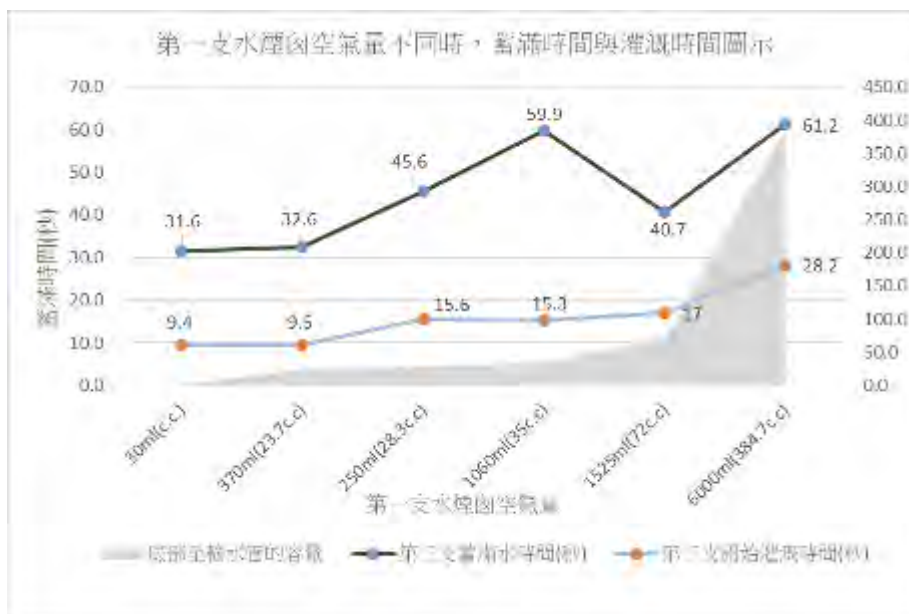


圖 6-6 底部容量與第三支蓄滿時間、灌溉時間之圖示

由圖 6-6 觀察到實驗結果與假設「第一支水煙筒容量愈大時，第三支水煙筒開始灌溉的時間會比較快」相反。根據研究四對底部容量的猜測，我們認為第三支水煙筒「蓄滿時間」和「開始灌溉」的折線圖走勢應該會雷同。

如圖 6-6，我們認為除了 1060 毫升、1525 毫升外，都符合底部容量愈大，第三支水煙筒蓄滿與灌溉時間愈長。也就是說第二段輸水管以下的底部容積愈大，開始灌溉與蓄滿水的時間，必須先花在將底部容積填滿後，才能往上传輸。第一支水煙筒的底部面積與輸水管裝設高度會影響灌溉時間，而實驗中 1060、1525 毫升的例外情形，可能是受到控制變因未控制好而造成的。

六、【研究六】、【研究七】探討加蓋後，輸水管徑是否影響第三支水煙囪蓄水時間與開始灌溉時間

觀察過沉水馬達的出水量，我們對於該結果比較有把握，如圖 6-7，當輸水管徑愈大，第三支水煙囪蓄滿的時間愈短，開始灌溉的時間也會愈短。



圖 6-7 管徑不同時第三支水煙囪之蓄滿時間、開始灌溉時間

七、【研究八】探討單支水煙囪加蓋時，空氣量對灌溉水量與灌溉水柱噴射距離的影響

(一)經過研究四、研究五的結果發現實驗設計問題導致影響灌溉時間的因素不單純只有空氣量。透過更改實驗設計(如照片 5-10)，仍想再次探討水煙囪內部空氣量對灌溉水量、水柱噴射距離的影響。

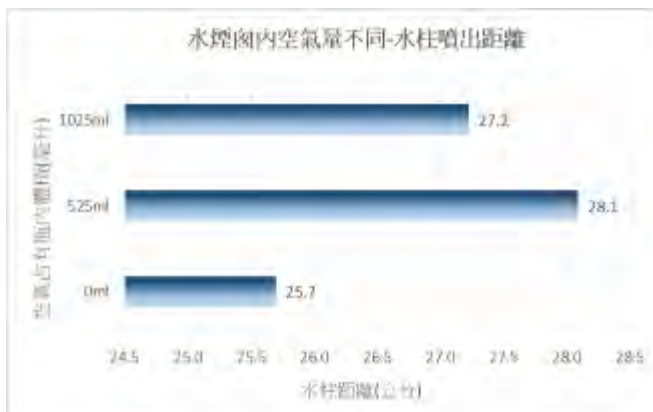


圖 6-8 單支水煙囪內空氣量不同，水柱噴出距離



圖 6-9 單支水煙囪內空氣量不同，灌溉水量

如圖 6-8，瓶內空氣量不同時，水柱距離沒有明顯的規律。由圖 6-9 也看不出空氣量不同時對灌溉水量的影響。

針對上述結果，我們請教一位到學校帶營隊的教授，他表示沉水馬達水流量過大(2000L/H)，可能會使得水煙囪內部空氣壓力不足以對應變變因產生明顯影響。但將測量裝置的灌溉閥管徑減小，應該會看到「灌溉閥管徑較小時，單位時間內水量可能會宣洩得比較少，但空氣壓力擠壓下水柱距離會噴得比較長。」實驗結果如下。

九、【研究九】探討水煙囪灌溉閥管徑對灌溉水量、灌溉水柱噴射距離的影響

改變灌溉閥管徑，再行測量：研究九可以分析「空氣量不同時與灌溉水量、水柱距離的關係」、「與研究八比較灌溉閥管徑不同時，灌溉水量與水柱距離的關係」。

（一）再次探討灌溉閥變小時，空氣量對灌溉水量、水柱距離的影響

如圖 6-10、圖 6-11 水柱噴出距離、灌溉水量皆未呈現明顯規律，也就是說灌溉閥管徑變小後，仍看不出空氣量對水柱噴射距離及灌溉水量的影響。



圖 6-10 單支水煙囪內空氣量不同-噴出距離(灌溉閥 1 分半時)



圖 6-11 單支水煙囪內空氣量不同-灌溉水量(灌溉閥 1 分半時)

（二）灌溉閥管徑不同時每秒灌溉水量

為了驗證營隊教授的假設，比較研究八與九的實驗結果，如圖 6-12：當空氣量為 0 毫升時，灌溉閥管徑較大時「每秒灌溉水量」也較多，與假設相同。空氣量為 525 毫升、1025 毫升時，也有相同結果。與研究六、七「輸水管徑愈大，每秒蓄水量較多」的實驗結果雷同。

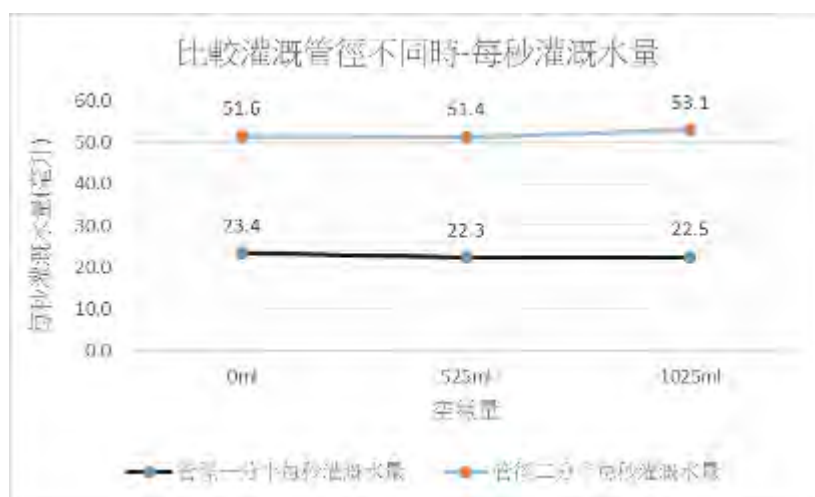


圖 6-12 灌溉管徑不同時每秒灌溉水量

（三）灌溉閥管徑不同時水柱噴出距離

如圖 6-13：當空氣量為 0 毫升時，灌溉閥管徑較小時水柱距離皆噴的比較長，與假設相同。空氣量為 525 毫升、1025 毫升時，也有相同結果。

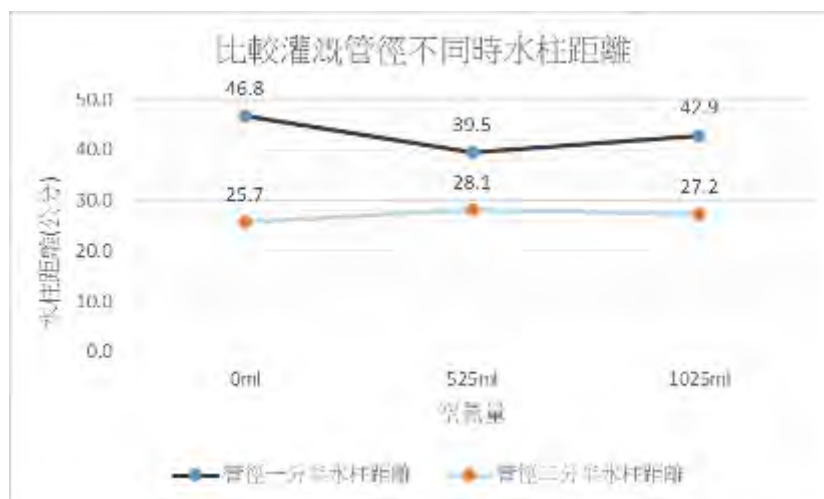


圖 6-13 灌溉管徑不同時水柱噴出距離

根據(一)、(二)與(三)的發現，確實灌溉閥管徑會影響灌溉水量及水柱噴射距離，然而我們仍然無法得知空氣量是否會對灌溉水量、噴射距離造成影響，因此也無法從這個設計繼續推測空氣量是否會影響灌溉時間。只不過我們能夠說：當相同條件下，灌溉閥愈大則灌溉水的噴射距離愈近，單位時間內得到的水量較多。

柒、結論

經過漫長的研究，我們以實驗觀察到的數值與現象，為本研究做出一些結論

一、長者解決問題的智慧

經過實驗發現，阿公能透過抽水馬達的力量與空氣占有空間的特性，解決當時代的限制，讓水由低往高處流，我們非常的欽佩他。

二、水煙囪頂端加蓋的角色

當時阿公為第一支水煙囪頂端加蓋確實是神來一筆！加蓋後第一支水煙囪內部的空氣佔有空間，水流得以往下一段輸水管流通，第一支水煙囪不符合連通管原理，水位得以傳輸更高，花費時間更短。

三、管徑的角色

透過實驗發現：

(一)輸水管徑愈大，把水往上傳的時間愈快

(二)灌溉閥管徑愈大，灌溉的水量愈多；但是如果灌溉閥管徑愈小，灌溉水量雖然愈少，水柱會噴更遠。

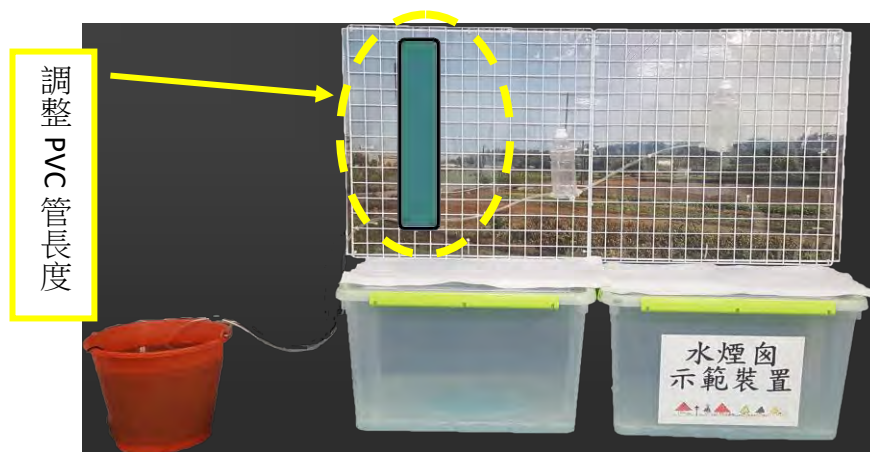
另外改變管徑實驗中，管徑愈大時測量裝置傳出「轟轟轟」的聲音愈明顯，和建造者告訴我們的現象相似，讓我們好想分享這個趣事給他。

四、實驗中管線漏水問題

實驗時水管與水瓶之間的接縫會有漏水問題，某些條件時水管漏水的情形愈嚴重。訪談時建造者也提及水泥管可能會爆開，應該和特定變因有關係！若能肯定變因，在建造初期就能採取較佳的做法，降低日後資源耗損情形。

五、實驗設計與測量工具

透過研究四、五，研究八、九得到的發現，有機會時我們最想改良裝置中第一支水煙囪的設計，如照片 7-1。或者透過其他的實驗設計方式觀察第一支水煙囪內的空氣對灌溉時間的影響。如此重視「空氣量」的原因是因為我們認為這樣能更確立第一支水煙囪的高度是否愈高愈好，也想藉此找出驗證水煙囪灌溉裝置的科學原理。



照片 7-1 日後研究可調整第一支水煙囪

六、未來發展

透過學者專家的建議，除了空氣量，我們後來得知除了空氣量，地勢坡度、水煙囪數量等變因可能也會影響灌溉時間、水量。由於透過我們的搜尋，尚無法在網路上尋找到與水煙囪相關的資料，我們認為這個主題仍有繼續研究的價值，甚至能將長者的智慧結合現代需求，將水煙囪轉變成蓄水裝置、灑水裝置，或更多創意性的可能。希望往後學弟妹們能繼續研究，讓長輩的智慧別被遺忘，能結合時代的進步，繼續流傳下去。

捌、參考資料及其他

- 1.農田水利入口網多語詞彙取自 <http://doie.coa.gov.tw/words.php>
- 2.台灣 wiki「水錘泵」取自 <http://www.twwiki.com/wiki/水錘泵>

【評語】 080115

此作品為研究水由低往高處送的水煙囪灌溉裝置，此裝置為前人的智慧，就地取材，頗富有鄉土性。此研究並以製作模型來模擬水煙囪運作的情況，的確能呈現出水煙囪的運作原理和現象，值得肯定。

摘要

我們透過科學方法、運用簡易材料，再現民國60年代家鄉長者為解決生活難題，發明水由低往高處送的水煙囪灌溉裝置。藉由**訪察、操作模型**後，得以透視隱藏在磚塊內部的水流，另外發現建造者將第一支水煙囪頂端加蓋後的秘密。

我們猜測被關在第一支水煙囪內部的空氣，會對灌溉時間、水量造成影響。然而**透過實驗只能說明：水煙囪底面積、輸水管裝設高度、輸水管徑、灌溉閥管徑會造成影響**，但影響的因素應該不只這些。僅利用國小階段學的空氣占有空間、連通管原理，無法完整解釋灌溉時的科學原理，我們認為本實驗仍有繼續研究的空間，甚至發展為結合現代需求的蓄水裝置。我們希望透過科學展覽，讓更多人認識家鄉的水煙囪，讓長者的智慧得以流傳下去。

研究動機

在我們居住的地方，有個特別的東西—水煙囪。之前老師曾在四年級下學期奇妙的水單元時提及過水煙囪，五上學期末又讓我們觀看水煙囪的模型後，從此對它的構造與水流現象更加好奇了，因為它好像和四年級學過的連通管原理不太相同。希望透過研究水煙囪，能揭開水煙囪磚塊內部的神秘之處，了解古時長輩的智慧，同時也希望我們的研究是有價值且可靠的，能為家鄉的觀光文化發展盡一份心力。

研究目的

希望透過研究了解水煙囪內部水流，並以現代人追求快速、方便的前提下探討研究問題，藉由研究知道水煙囪如何灌溉，甚至能有其他的發現。

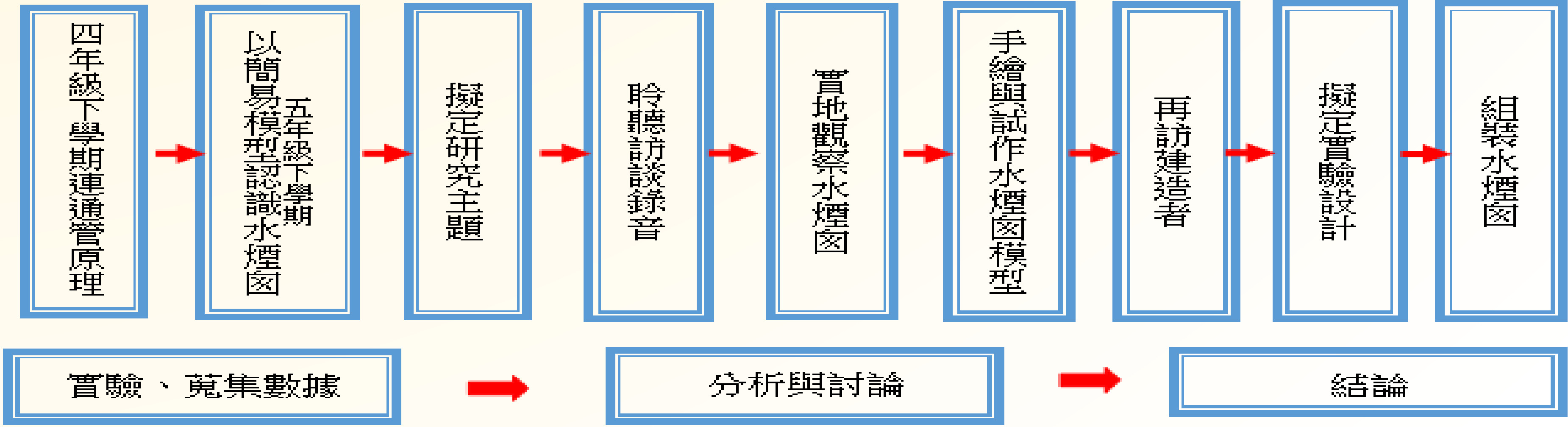


圖 4-1 研究歷程

名詞釋義

水煙囪：建造者稱之為「天井」，目前居民以水煙囪稱呼之。利用地下水源，並搭配 管路與磚塊水泥疊高的空間，將灌溉水由山腳傳輸到半山腰的灌溉工具。

第三支水煙囪蓄滿時間：沉水馬達電源開啟後，至第三支水煙囪內部容量被水充滿時的時間長度。

第三支水煙囪開始灌溉間：先打開第三支水煙囪灌溉閥，接著打開沉水馬達電源。從電源開啟至灌溉水從第三支灌溉閥滴出時的時間長度。

研究過程與方法

【研究一】訪談水煙囪製作者與觀察水煙囪

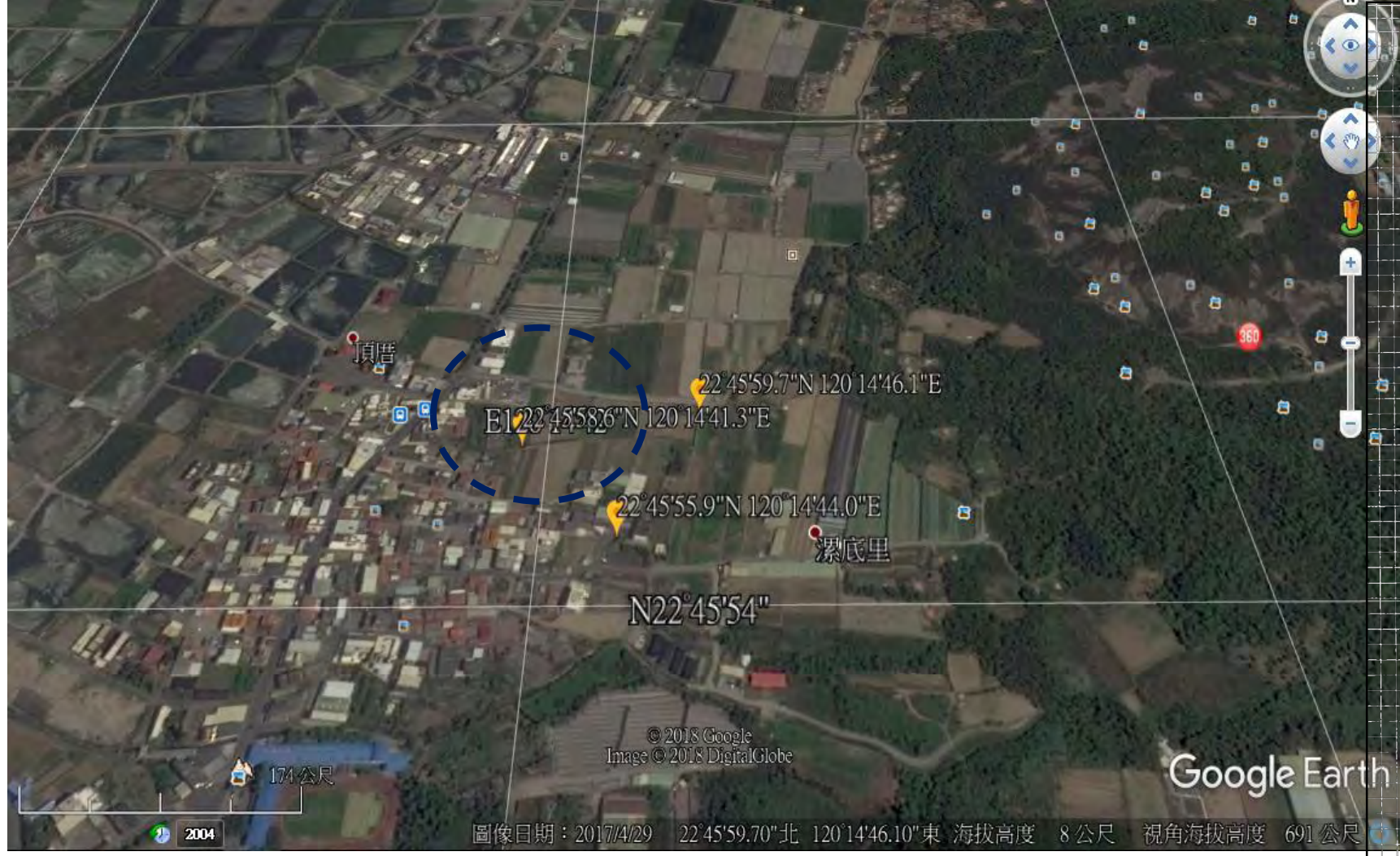


圖4-3 Google Earth上俯瞰現存的三支水煙囪



建造者手繪圖

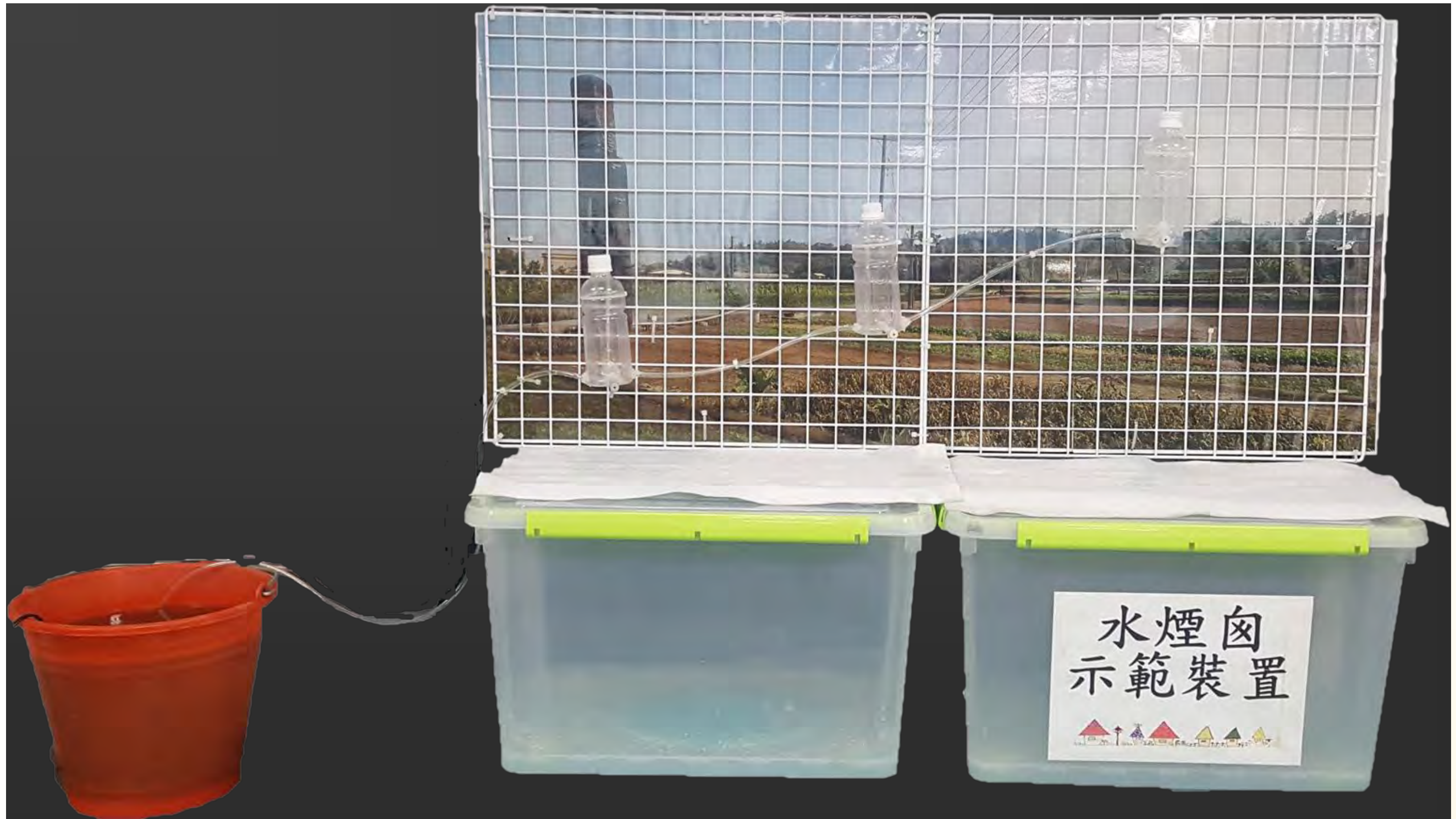


用身高估計高度

水煙囪建造背景為民國60幾年，為「解決地勢問題」、「抽水馬達馬力不足」、「**PVC管尚未普遍**」等問題，使用建材包括水泥管、幫浦、磚塊、水泥、閥等材料製作出來的灌溉裝置，共從山腳 下到半山腰製作了四支水煙囪。製作成功後，村民仿效之，

水煙囪在民國80幾年才被閒置，目前位於漯底山腳下、北緯22° 45′55.9″、東經120° 14′44.0″處，高度約6公尺的水煙囪，是當時建立在海拔最低的第一支水煙囪。

【研究二】了解水煙囪的管線連接，並以易取得的材料製成測量工具



實體	測量工具
水煙囪	透明寶特瓶
水泥管	水族用透明塑膠管
幫浦	水族用沉水馬達
地勢高度	將寶特瓶依照一定比例固定於網格上方
灌溉孔口	水族用三通空氣閥
地下水源	水桶內裝滿水

【研究三】探討第一支水煙囪加蓋是否影響輸水狀況



照片 6-2 對照組-第一支不加蓋時水平面示意照



照片 6-3 實驗組第一支加蓋、第二支不加蓋水面水平面示意照

水煙囪加蓋情形	第一支不加蓋	第一支加蓋
水不再往上傳輸的時間(秒)	99.1	89.5

經過實驗證實「不加蓋時水傳輸到第三支水煙囪的時間花費較多」。
第一支水煙囪不加蓋時，水平面如照片 6-2 所示水位符合連通管原理。
如照片 6-3 所示第一支水煙囪加蓋後，第一支內部水流不會填滿空瓶，且水位升更高，水位比不加蓋時高於兩個網格(約8公分)，花費時間卻更短。
若第二支水煙囪也加蓋呢？



照片 6-4 第一支加蓋、第二支加蓋的水面

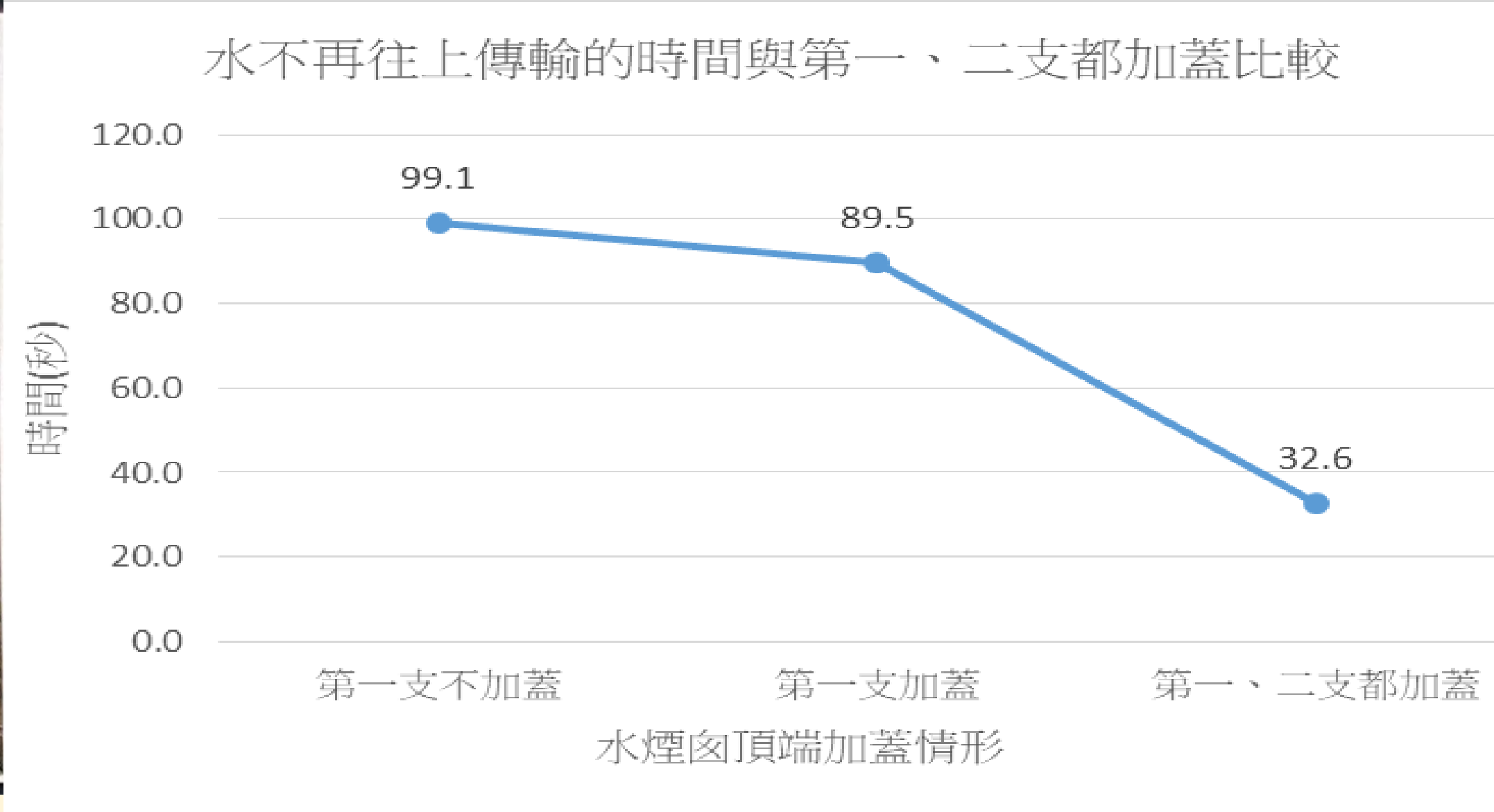
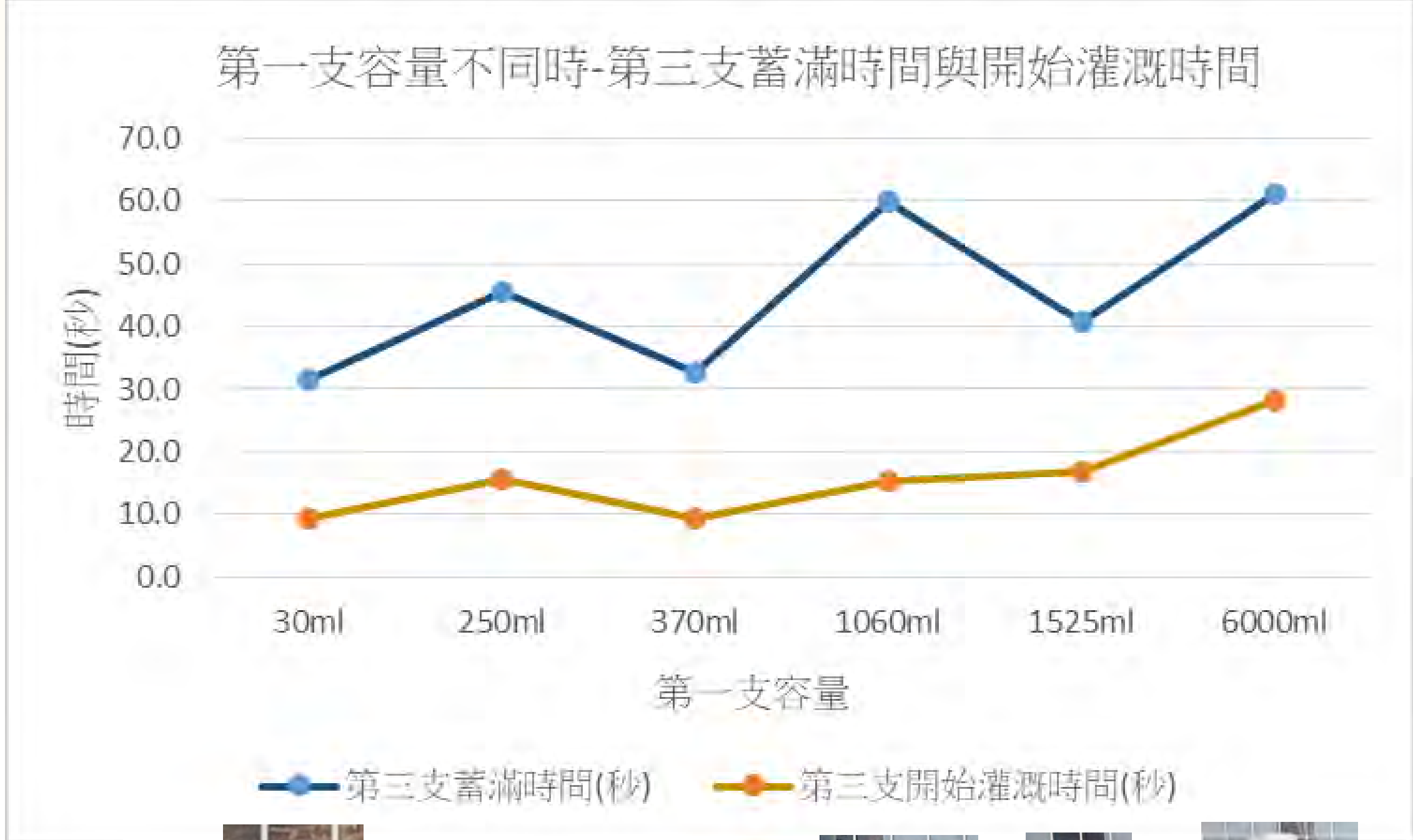


圖6-2 比較第一、二支頂端加蓋情形與蓄水時間的變化

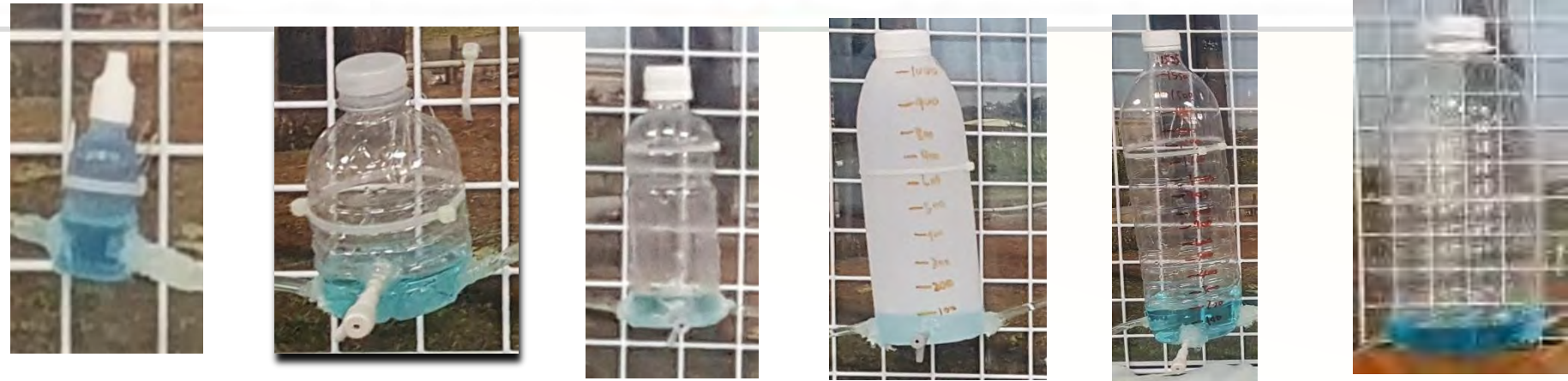
第二支水煙囪也加蓋時，最終的水平面更高，且花費更短的時間。此發現是我們認為得以節省灌溉時間的方法。

【研究四】、【研究五】探討加蓋後，第一支水煙囪空氣量是否影響第三支水煙囪蓄水時間、開始灌溉的時間

假設：第一支水煙囪空氣量愈多時，第三支水煙囪蓄水時間愈快、灌溉時間也愈快。我們認為第一支水煙囪的空氣量愈多，可能會產生愈大的壓力，擠壓第一支水煙囪內的水較快流向第三支水煙囪。



不同容量的容器	30ml	250ml	370ml	1060ml	1525ml	6000ml
第三支蓄滿時間(秒)	31.6	45.6	32.6	59.9	40.7	61.2
第三支開始灌溉時間(秒)	9.4	15.6	9.5	15.3	17.0	28.2



我們利用周遭可取得的寶特瓶來操作水煙囪內部空氣量：寶特瓶愈大，內含空氣量愈多。然而，第一支水煙囪容量為30ml時，蓄滿第三支水煙囪時間為31.6秒；容量6000ml時為61.2秒。

不論空氣量多寡，一旦水位高過第二段輸水管，水便往第二支水煙囪傳輸。有同學認為那是因為水一定要填滿輸水管底下的容量才會往上傳輸，水煙囪「底面積大小」與「底面積到輸水管的高度」可能會影響實驗結果。

不同容量的容器	30ml	370ml	250ml	1060ml	1525ml	6000ml
底部至輸水管的容量	1.7	23.7	28.3	35.0	72.0	384.7
第三瓶蓄滿水時間(秒)	31.6	32.6	45.6	59.9	40.7	61.2

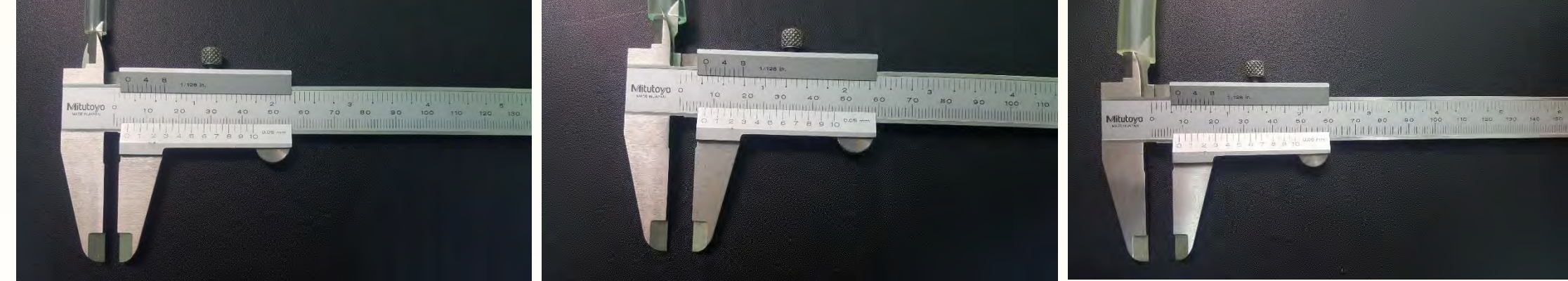
除了**1525ml**的瓶子，其餘都符合底部容量愈大，蓄滿時間愈長。在此我們發覺應該是實驗設計錯誤了，操作變因不只有「空氣量」，就連水煙囪的底面積也必須相同。而此失誤讓我們發現即便第一支水煙囪矮小，卻也能以快了一半的時間蓄滿第三支水煙囪。也許第一支、第二支加蓋時，第一支水煙囪不須建造的很高大，也可有效率地讓第三支水煙囪開始灌溉。

【研究六】、【研究七】探討加蓋後，輸水管徑是否影響第三支水煙囪蓄滿時間與開始灌溉的時間

管徑	內徑一分半	內徑二分半	內徑三分
第三支水煙囪蓄滿時間(秒)	32.6	10.9	8.2

管徑	一分半	二分半	三分
第三支開始灌溉的時間(秒)	9.4	4.3	3.4

管徑	一分半	二分半	三分半
內徑(mm)	4.5	7.5	9
外徑(mm)	6.5	11	12



透過研究六、七得知，若要使灌溉的時間更迅速，就使用較大管徑的輸水管。

【研究八】探討一支水煙囪加蓋時，空氣量對灌溉水量與灌溉水柱噴出距離

【研究九】探討水煙囪灌溉閥管徑對灌溉水量、灌溉水柱噴出距離的影響



照片 5-10氣量0毫升時，20秒內灌溉水量與水柱噴出距離

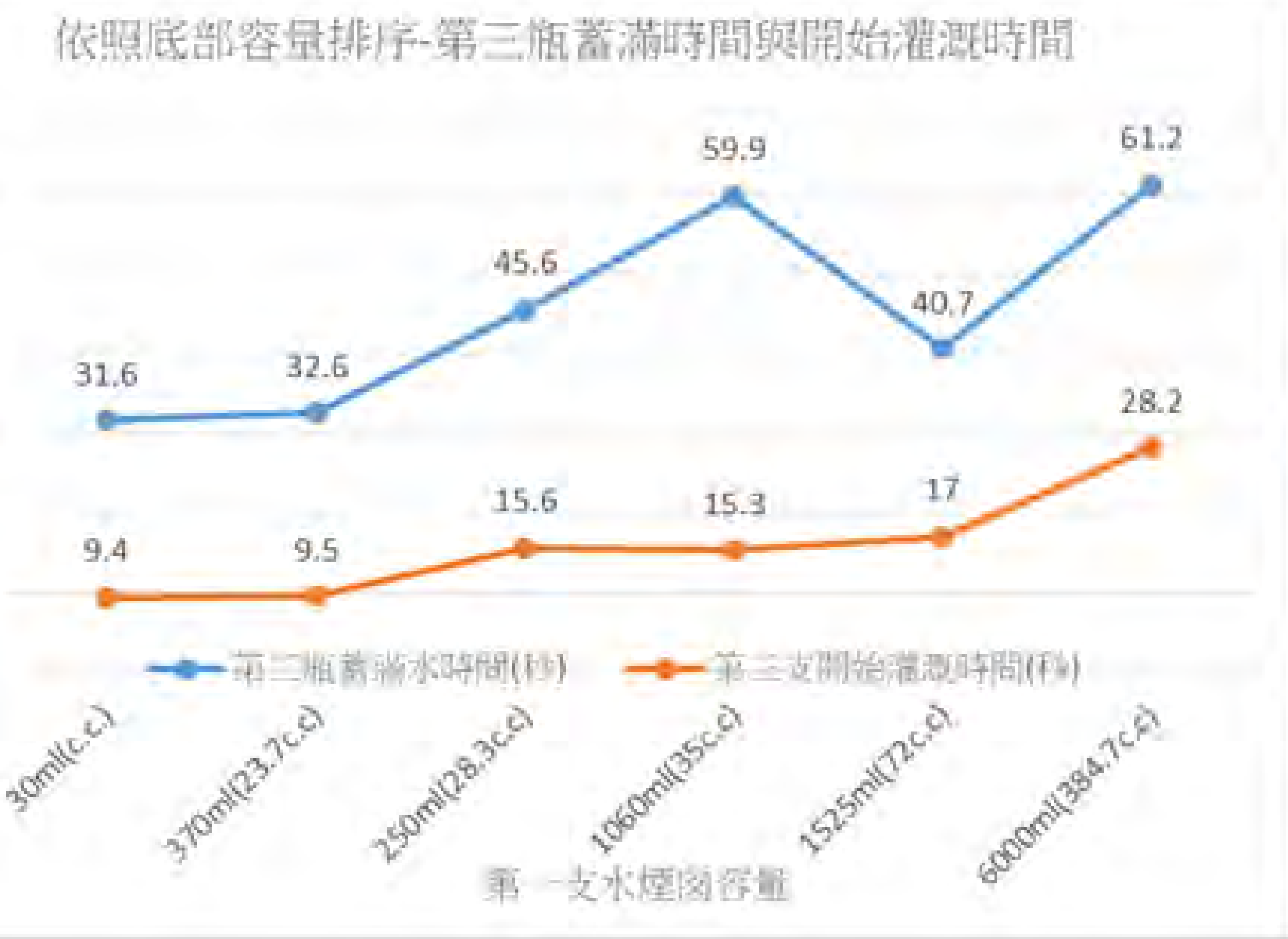


圖 6-7 底部容量不同時-第三支蓄滿時間與灌溉時間

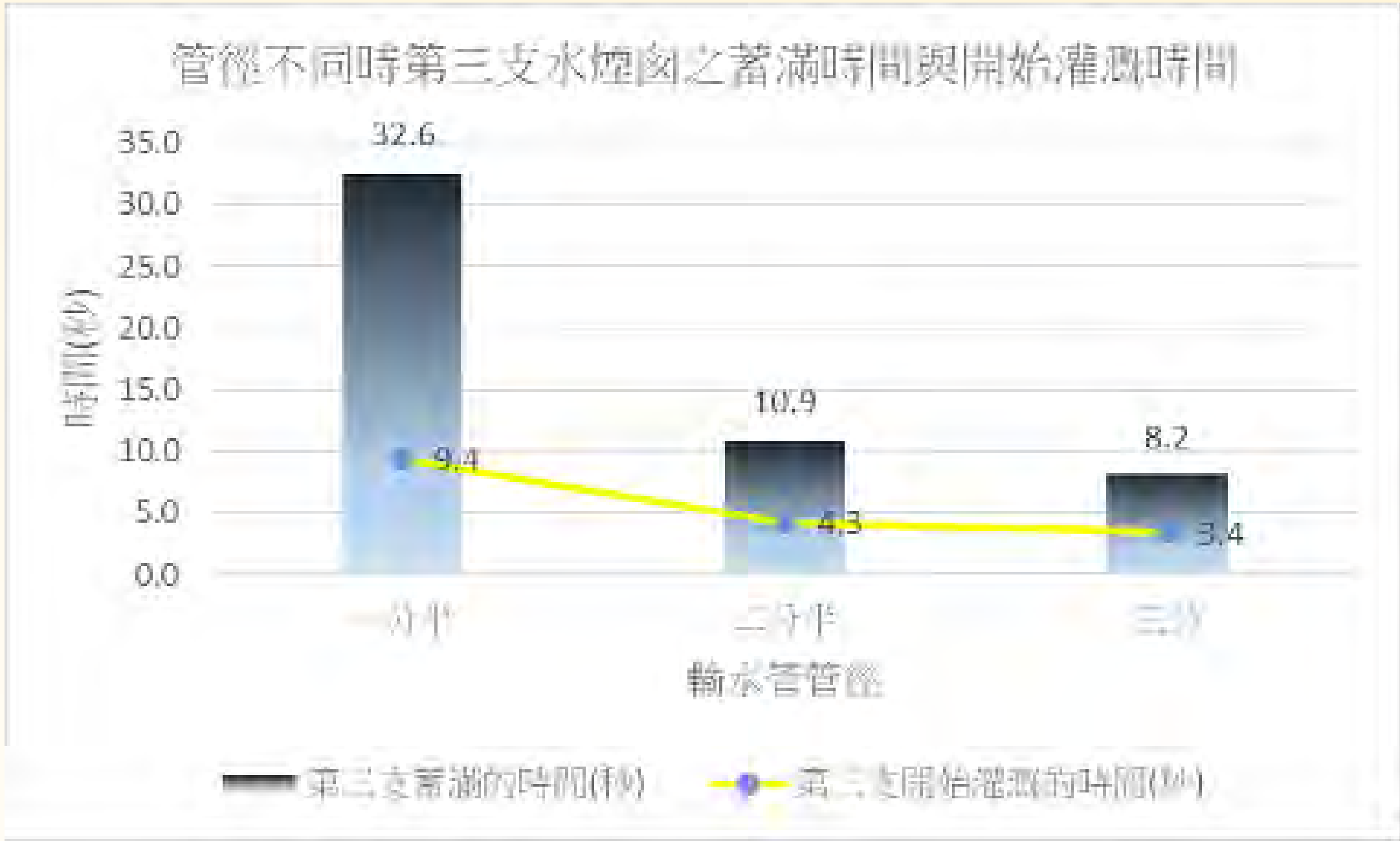


圖 6-7 管徑不同時第三支水煙囪之蓄滿時間、開始灌溉時間

透過改變實驗設計(如照片 5-10)，再次探討水煙囪內部空氣量改變時能觀察到什麼現象。

灌溉管徑	空氣量	0ml	525ml	1025ml
一分半	20秒內灌溉水量(ml)	468.0	488.3	458.8
	每秒灌溉水量(ml)	23.4	24.4	22.9
	水柱距離(cm)	46.8	38.6	41.3
二分半	20秒內灌溉水量(ml)	25.7	28.1	27.2
	每秒灌溉水量(ml)	1032.1	1027.7	1062.3
	水柱距離(cm)	51.6	51.4	53.1

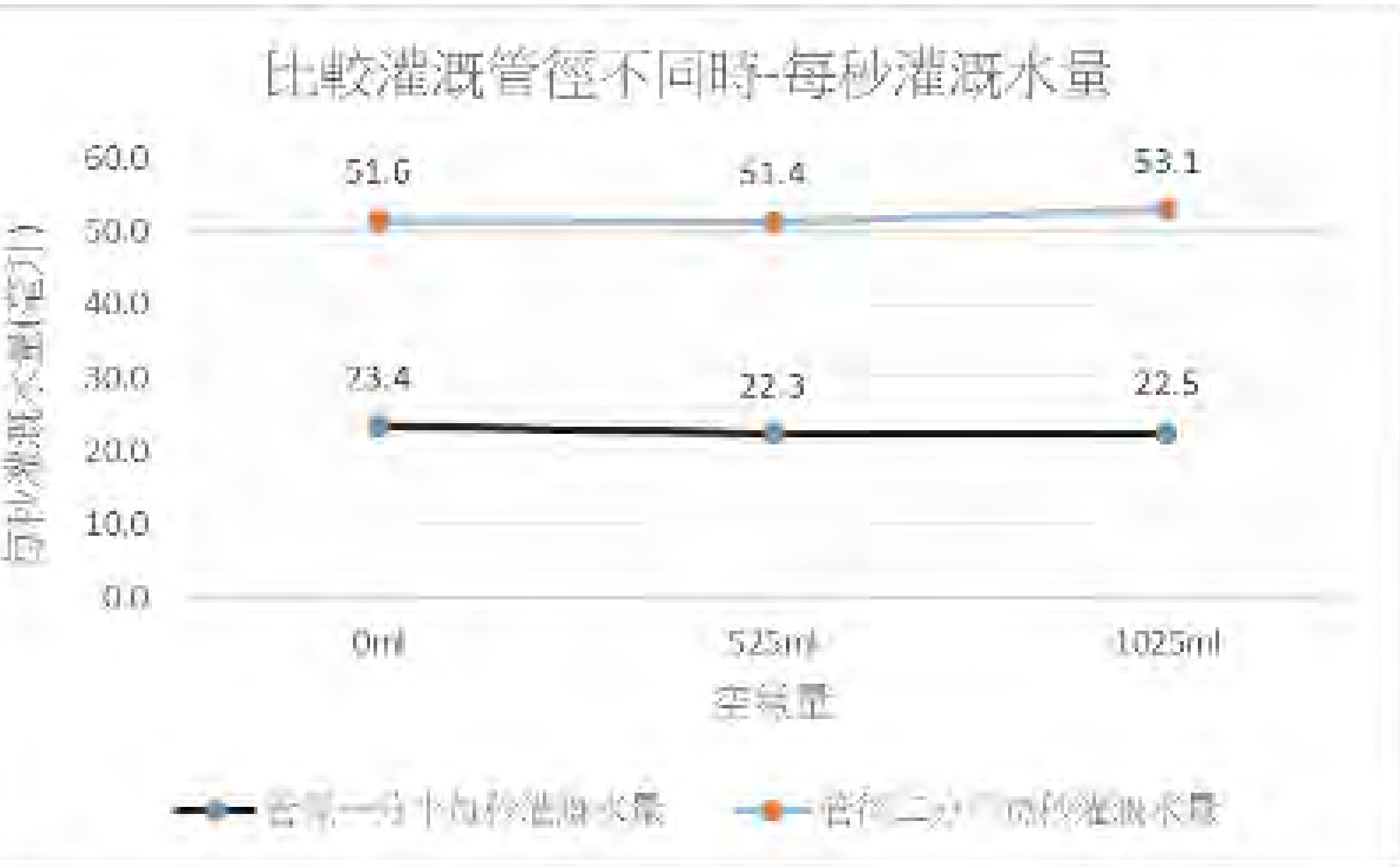


圖 6-12 灌溉管徑不同時每秒灌溉水量

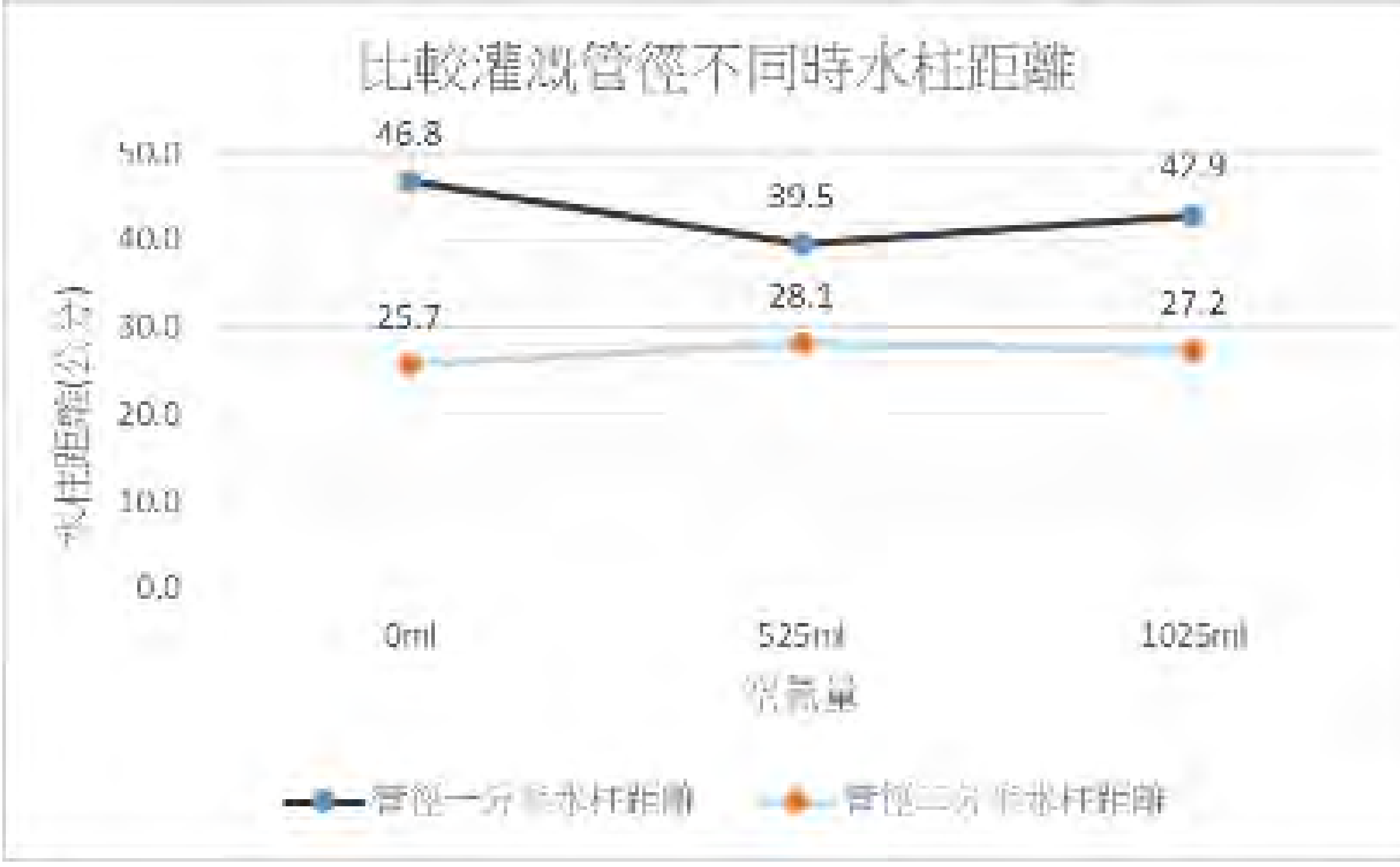


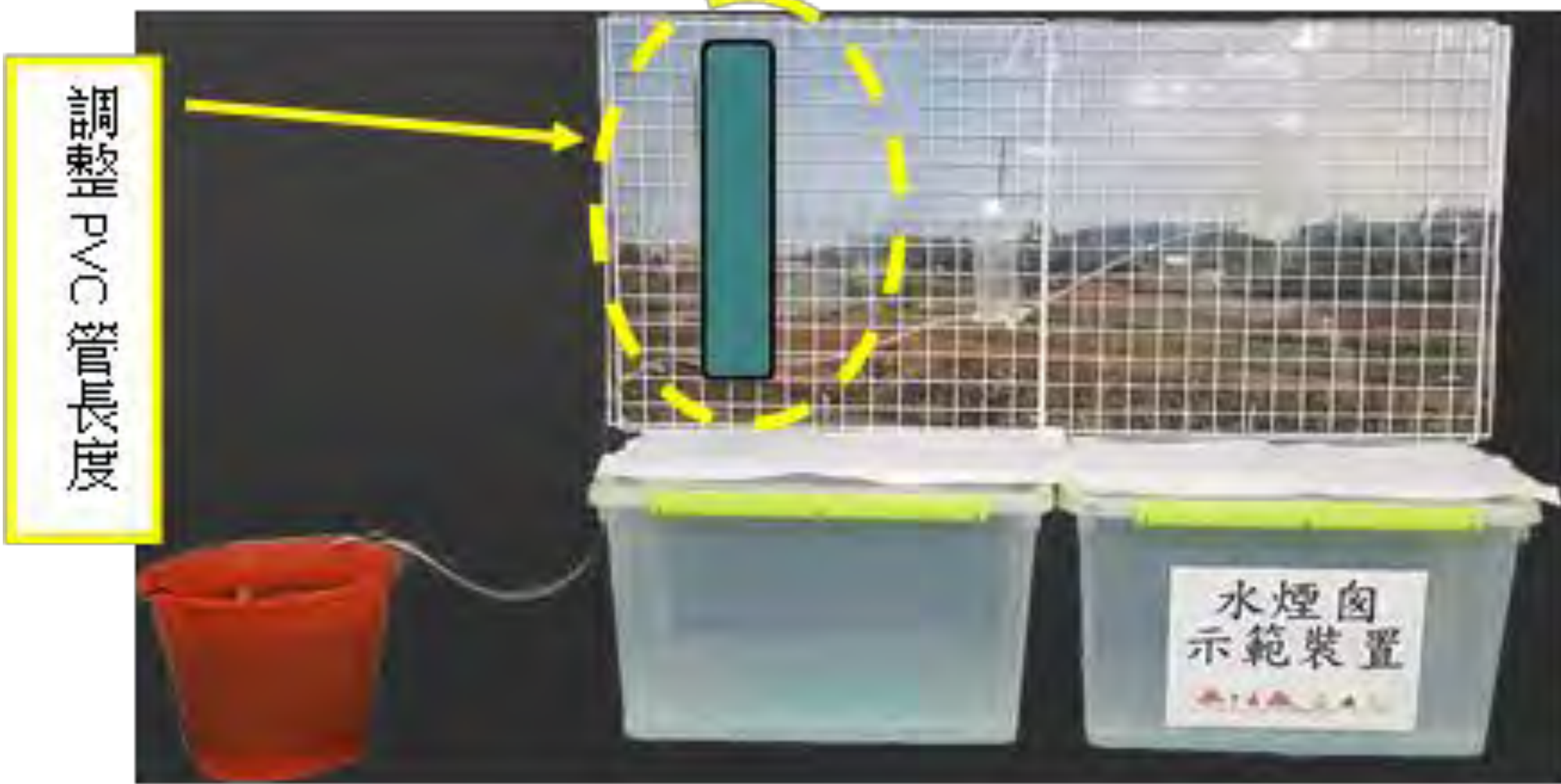
圖 6-13 灌溉管徑不同時水柱噴出距離

根據實驗結果，灌溉閥管徑會影響灌溉水量及水柱噴射距離，但該實驗設計下當空氣量不同時，仍無法看出灌溉水量、噴射距離是否有連續的趨勢。

結

- 透過科學方法，透明的測量工具，得以檢視水煙囪內部水流。
- 內部水流受到馬達、第一支水煙囪內部空氣、以及連通管原理的影響。
- 解開了水煙囪的用途與原理之謎。
- 未來發展可由「實驗設計」、「測量工具」、「改良成為蓄水工具」。

論



照片 7-1 日後研究可調整第一支水煙囪