

屏東縣第 66 屆國中小學科學展覽會

作品說明書

科 別：物理科

組 別：國中組

作品名稱：

「口」說無憑，「徑」爭激「流」：探討吸管
口形狀與管徑粗細對排水速率之影響

關 鍵 詞：液體壓力、流速、慢速攝影

編號：B2018

B2018

「口」說無憑，「徑」爭激「流」：探討吸管口形狀與管徑粗細對排水速率之影響

摘要

本研究旨在探討塑膠吸管之長度、口徑、切口形狀等特性對於重力驅動水流速度的影響。實驗採用控制變因法，系統性地針對吸管**長度**（18、12、6 公分）、**口徑**（1.0、0.5 公分）及**出口形狀**（平口、斜口、內凹）進行交叉測試。研究方法透過固定排流量（140 毫升），精確紀錄不同變因組合下的流盡時間，進而換算為平均流速（毫升/秒），以分析位能轉換與流體阻力間的關係。

研究結果顯示：第一，**吸管長度與流速可能呈正向相關**，18 公分長管因具備較大垂直位能壓力，在各組中流速最快（粗管達 94.59 毫升/秒），證實重力增益主導了短管流動效能。第二，**口徑大小顯著影響流阻**，1.0 公分粗管流速明顯優於 0.5 公分細管，顯示大管徑能有效降低壁面黏滯阻力的比例。第三，**出口形狀具有限流作用**，平切口效能最優，而斜口與內凹形狀因誘發局部亂流與流線收縮，顯著增加了局部阻力，尤其內凹形狀會大幅削弱管徑所帶來的速度優勢。本研究證實了垂直高度差是驅動流速的核心動力，而出口幾何與管徑則決定了流動速度的改變。

目錄

壹:研究動機	P.04
貳:研究目的與問題	P.05
參:研究設備與器材	P.06
肆:文獻探討	P.07
伍:研究設計與方法	P.10
陸:研究結果與討論	P.12
柒:綜合討論	P.24
捌:研究討論	P.28
玖:參考文獻	P.31

壹:研究動機

在日常生活中,吸管是大家眾所皆知的生活用品,幾乎每天都會使用到,甚至一個人一天可能用掉好幾隻吸管;但我們可曾留心不同材質,不同長短,不同粗細,吸管的出口是平面或是斜面設計,吸管是內凹在杯裡或是外凸在杯面.....等等,這些小小的變化,是否會影響水流速度的快慢呢?

如果可以將這些變化因素應用在其它方面,例如設計澆花器、水龍頭接管出水大小、排水口的形狀....,也許可以對生活有些改變,進而讓生活更加便利.

貳:研究目的與問題

一、研究目的:

- (一)探討塑膠吸管長短與水流速度快慢的關係
- (二)探討塑膠吸管粗細與水流速度快慢的關係
- (三)探討塑膠吸管平口及斜口與水流速度快慢的關係
- (四)探討塑膠吸管内凹形狀與水流速度快慢的關係

二、研究問題:

- (一)吸管的長度會影響水流的速度嗎?
- (二)吸管的粗細會影響水流的速度嗎?
- (三)尖嘴或是平口出口形狀會影響水流速度嗎?
- (四)出口的內凹形狀會影響水流速度嗎?

參:研究設備與器材

170 毫升的透明塑膠杯、18 公分吸管(直徑 0.2 公分、0.5 公分、1 公分)、400 毫升燒杯、量筒、剪刀、熱熔槍、熱熔膠、奇異筆、直尺、美工刀、iPad、水桶。



322432



322433



322435



322434



322436



322437



322438



322439



322440

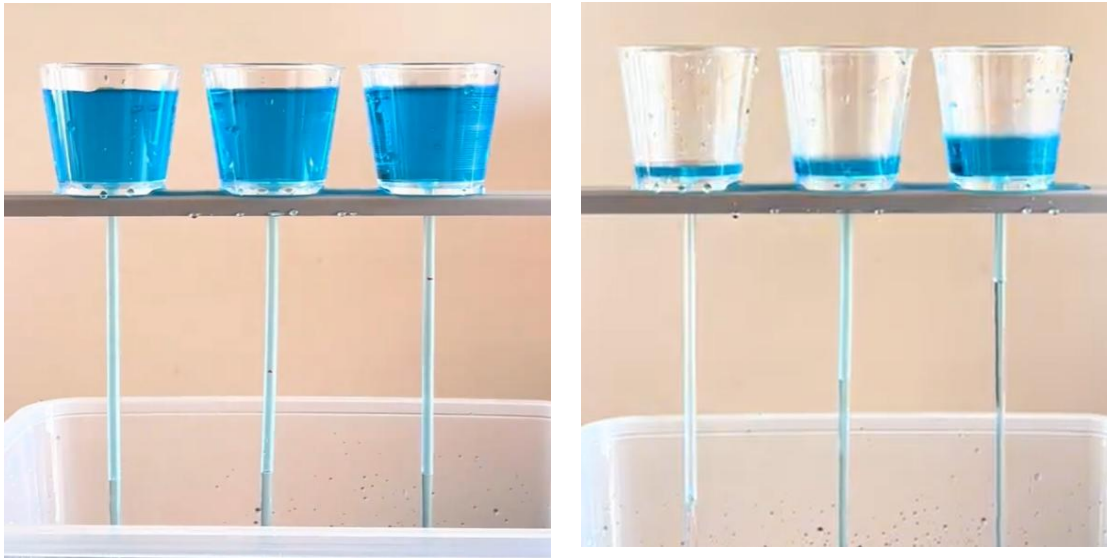


322441

肆:文獻探討

一、 臉書影片上的趣事

<https://www.facebook.com/share/r/1DceK5TKCw/?mibextid=wwXIfr>，從這段臉書影片中發現裝有一樣多的水的水杯，底部若同時接上一樣長度的吸管，會發現三個杯子的水會同樣到達底部；可是若是將吸管變成長管、中管和短管(改變吸管的長度)，我們一開始預測短管會最快流完，因為距離比較短，結果卻是長管最快流完。這結果讓我們產生興趣，所以想要繼續探究下去。



二、 液體靜力壓力($P=hd$)

在流體力學的研究範疇中，流體處於靜止狀態時所呈現的力學特性稱為流體靜力學。液體內部的壓力分佈並非隨機，而是與其所處的重力場及空間幾何關係密切相關。根據古典物理學的定義，液體內部某一點的壓力（Pressure）與該點上方液柱的垂直高度（Height）及流體密度（Density）具有直接的成正比關係，其數學表示式為 $P = hd$ 。

沈宗華與林明澤（2018）在其論述中明確指出，液體壓力的物理本質源於流體自身受重力作用後，對其下方接觸面所施加的垂直分力。在一個連續的液柱系統中，隨著深度的增加，液體分子的重力累加效應愈趨顯著，導致底部的壓力必然高於頂部。這種壓力隨深度增加的特性，構成了流體運動最原始的動力來源。在大氣環境下的開放系統中，雖然液面承受大氣壓力，但流體內部的壓力梯度（Pressure Gradient）主要仍由液柱高度差所決定。

三、 總垂直壓力差概念與能量轉換機制

當靜止的液體進入管道並開始流動時，系統研究便由靜力學轉向動力學。此時，必須引入「垂直壓力差」（Head）的概念來衡量流體的總能量。垂直壓力差代表單位重量流體所具有的能量，包含壓力垂直壓力差、速度垂直壓力差與位能垂直壓力差。沈宗華與林明澤（2018）進一步分析，當管道內部充滿流體且形成連續介質時，管底或出口處所承載的「總垂直壓力差」（Total Head）將隨著垂直位移 h 的增加而提升。根據托里切利定律（Torricelli's Law），理想流體從開口流出的速度取決於液面與出口處的高度差，即 $v = \sqrt{2gh}$ 。這一規律揭示了流體動力學中的核心邏輯：流體的重力位能透過壓力梯度的傳導，在出口處轉化為動能。因此，垂直高度 h 不僅是靜力學中的壓力指標，更是動力學中決定流速快慢的關鍵參數。當系統提供的垂直落差愈大，流體獲取的加速度與最終動能便愈顯著。

四、 管流阻力與重力位能之平衡

現實流體並非完全理想，其在管內流動時必然會與管壁產生摩擦，這種現象稱為沿程阻力損失。陳大和（2021）在探討管流阻力時提出，流體流動的過程本質上是能量的供給與耗損之間的競逐。雖然根據達西－威斯巴哈方程式（Darcy-Weisbach Equation），管

線長度的增加會直接導致摩擦阻力（沿程損失）的提升，但在特定條件下，這種損耗可以被補償。陳大和（2021）特別強調，在開放式的重力驅動系統中，若管道呈現垂直或大角度傾斜布置，管長增加所帶來的「重力位能增益」往往遠大於因長度增加而產生的「摩擦阻力損耗」。特別是在實驗室尺度或家用管件規格（管路長度處於公分級距）下，流體與管壁的接觸面積尚不足以產生足以抵銷重力的阻礙力。在此尺度下，高度差 h 對流速的貢獻佔據絕對的主導地位。這不僅驗證了 $P = \rho gh$ 在描述能量潛力上的有效性，也展現了流體位能如何克服微小阻力並轉化為動能的完整物理過程。

五、 回顧文獻對本研究的啟示

總結上述文獻觀點，液體壓力公式 $P = \rho gh$ ，不僅描述了靜止流體底部的物理壓力，更定義了重力流場系統中的能量總量。透過沈宗華、林明澤（2018）對壓力本質的剖析，以及陳大和（2021）對於能量補償機制的論證，可以確信在低黏度流體的短管輸送中，垂直高度所形成的壓力梯度是決定流動效能的最核心變數。

可是在回顧文獻之後卻讓我產生新的研究方向，如果出口的形狀不同呢？斜口？平口？雙凹口等不同形狀，也會造成一樣的結果嗎？於是我們進行一系列的研究。

伍:研究設計與方法

一、 準備實驗裝置



步驟一： 使用 170 毫升的透明塑膠杯

步驟二： 使用美工刀切該小洞後，塞入吸管

步驟三： 使用熱熔槍將黏接處密合

步驟四： 在透明燒杯上註記水量高度。

步驟五： 依序做好同一直徑(0.5 公分)不同長度的吸管(18、12、6 公分)；同一直徑(0.5 公分)同一長度(18 公分)不同切口(斜口、平口、雙內凹口)…。等設計。

二、 測量及分析方式



- (一) 第一次我們使用三角架和木塊作為裝置，發現很難去壓住吸管底部的漏口。
- (二) 於是我們改第二種方式，在水桶上方以手動方式架設，並以 iPad 慢速攝影進行拍攝與計數流失 140 毫升的水時的秒數，計算出流速。
- (三) 我們使用的 iPad 慢速攝影為放慢 1/8，所以可計算出原始的秒數。
- (四) 依序我們完成其他不同長度、不同口徑、不同切口的數據進行分析。

三、 實驗設計

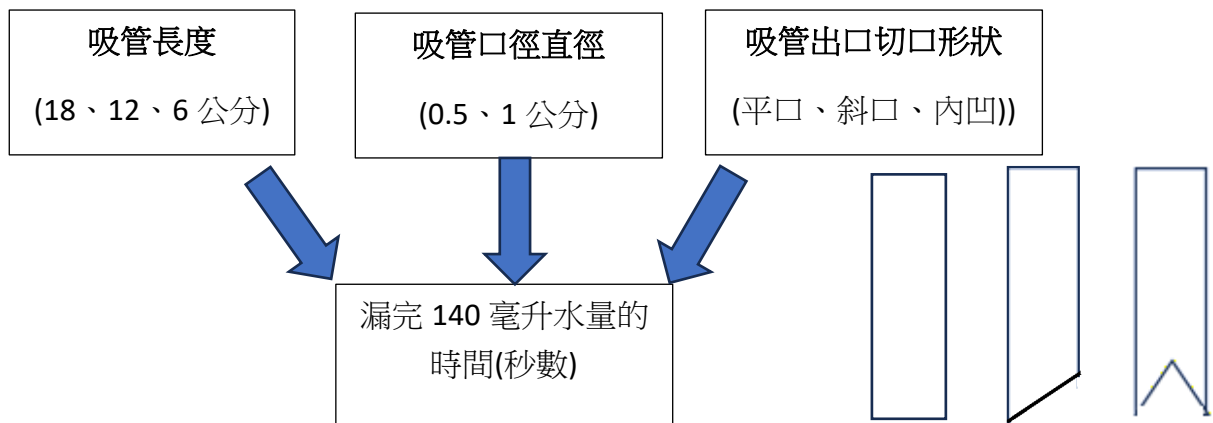


圖 5-3-1 實驗架構設計圖

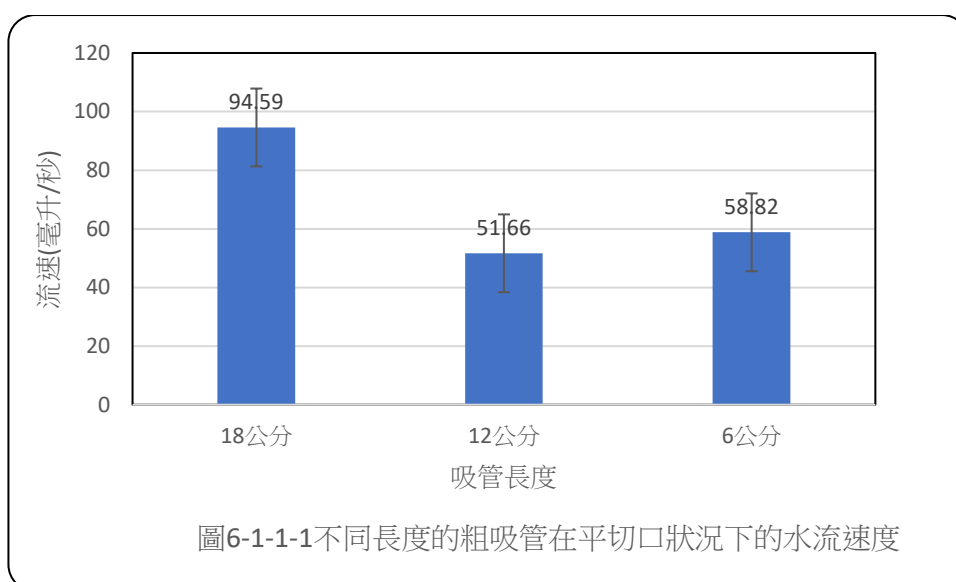
陸:研究結果與討論

一、 同口徑，同切口、不同長度的流速比較

(一) 粗吸管、平切口、長度 18、12、6 公分

表 6-1-1-1 不同長度的粗吸管在平切口狀況下的資料表

吸管口徑 (公分)	切口形狀	吸管長度 (公分)	流失水量 (毫升)	平均秒數(秒)	平均流速(毫升/秒)
1	平切口	18	140	1.48	94.59
1	平切口	12	140	2.71	51.66
1	平切口	6	140	2.38	58.82



實驗小結與討論：管件長度對水流速率之影響

根據實驗數據與影像觀察，本研究針對不同長度（18 公分、12 公分、6 公分）且管徑相同（1 公分）之吸管進行流速測定，得出以下結論：

1. 垂直高度差與流速的正相關性

實驗結果顯示，18 公分之長管擁有最高之平均流速

(94.59 毫升/秒)，顯著優於 12 公分 (51.66 毫升/秒) 及 6 公分 (58.82 毫升/秒) 之表現。這驗證了流體靜力學中 $P = \rho gh$ 的原理，即較長的管件創造了更大的垂直位能差（垂直壓力差），使管底出口處的靜水壓力增加。根據托里切利定律，此壓力增益有效轉化為動能，導致長管在相同時間內能排出更多水量。

2. 重力增益克服摩擦阻力

從管件愈長會產生愈大的沿程阻力損失，但本實驗數據表明，在公分級的尺度下，**重力位能的增益（位能轉動能）遠大於管壁摩擦所帶來的能量損耗**。長管底部產生的較強負壓（虹吸效應雛形）加速了水流，使得 18 公分長管的排放效率最高。

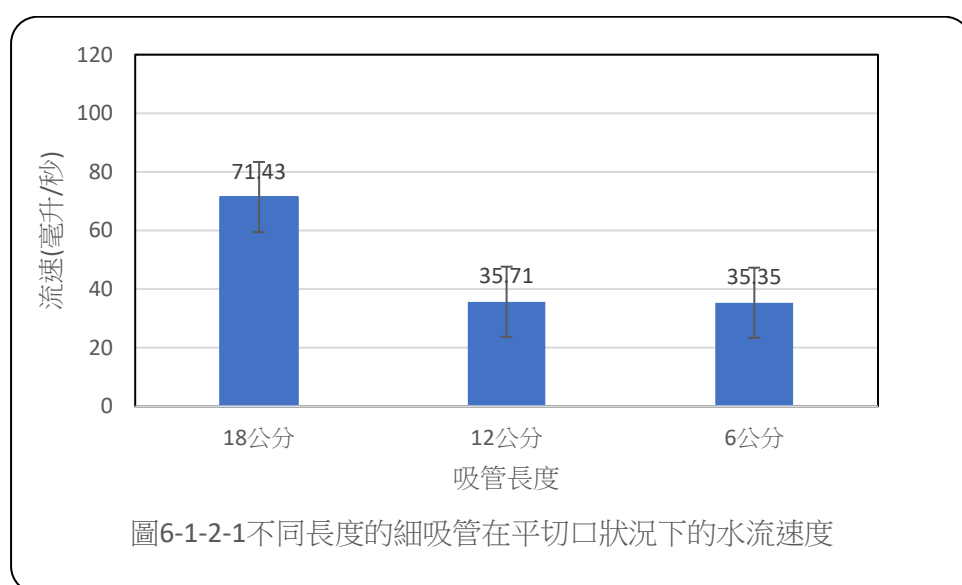
3. 數據異常點分析

觀察數據發現，6 公分短管之流速 (58.82 毫升/秒) 略高於 12 公分中長管 (51.66 毫升/秒)，此現象可能源於 12 公分管處於摩擦力開始顯著增加、但重力垂直壓力差增益尚不足以完全壓制阻力的過渡區間；亦或是實驗操作中，短管在排水初期的入口亂流影響較小所致。

(二) 細吸管、平切口、長度 18、12、6 公分

表 6-1-2-1 不同長度的細吸管在平切口狀況下資料

吸管口徑 (公分)	切口形狀	吸管長度 (公分)	流失水量 (毫升)	平均秒數(秒)	平均流速(毫升/秒)
0.5	平切口	18	140	1.96	71.43
0.5	平切口	12	140	3.92	35.71
0.5	平切口	6	140	3.96	35.35



實驗小結與討論

根據實驗數據與影像觀察，本研究針對不同管徑（粗吸管 1 公分、細吸管 0.5 公分）及不同長度（18、12、6 公分）之吸管進行流體動力學測試，結果與討論如下：

1. **管長與流速之正相關性**：在相同管徑條件下，18 公分之長管在兩組實驗中均表現出最高流速（粗管組 94.59 毫升/秒；細管組 71.43 毫升/秒）。這驗證了垂直高度 h 的增加能顯著提升系統的總垂直壓力差（Total Head），使重力位能更有效地轉化為出口動能。

2. **管徑對流動阻力的影響：**對比粗管與細管組數據，當管徑由 1 公分縮減至 0.5 公分時，相同長度（如 18 公分）的流速由 94.59 降至 71.43 毫升/秒。這顯示管徑縮小會大幅增加流體與管壁間的摩擦面積比例，進而提升沿程阻力損失。
3. **重力增益的主導地位：**儘管長管理論上摩擦路徑較長，但實驗數據一致顯示長管流速最快。這證明在公分級距的垂直落差下，重力位能的增益遠大於摩擦阻力的損耗。

4. 現象討論與分析

- (1) **壓力梯度與位能轉換：**本實驗仍可使用 $P = \rho gh$ 的物理意義解釋。長管出口位置較低，創造了更大的壓力梯度，產生類似虹吸效應的「拉力」，強制提升了液體排出的速度。

- (2) **數據異常點之探討（12 公分與 6 公分之對比）：**

- ◆ 在粗吸管組中，6 公分短管流速（58.82 毫升/秒）略高於 12 公分管（51.66 毫升/秒）。此現象可能源於中長管（12 公分）在該流量下已產生顯著摩擦阻力，但其產生的重力垂直壓力差尚不足以抵銷該阻力，形成效能較低。
- ◆ 在細吸管組中，12 公分（35.71 毫升/秒）與 6 公分（35.35 毫升/秒）流速極為接近，顯示在細管徑條件下，摩擦力對流速的抑制作用更加靈敏，使得中短管之間的流速差異因阻力增加而趨於平緩。

二、 同口徑、不同切口、同長度的流速比較

(一) 粗吸管、不同切口、長度 18 公分

表 6-2-1-1 粗吸管在不同切口、同樣長度下的資料

吸管口徑 (公分)	切口形狀	吸管長度 (公分)	流失水量 (毫升)	平均秒數(秒)	平均流速(毫升/秒)
1	平切口	18	140	1.48	94.59
1	斜切口	18	140	1.88	74.47
1	凹切口	18	140	2.08	67.31

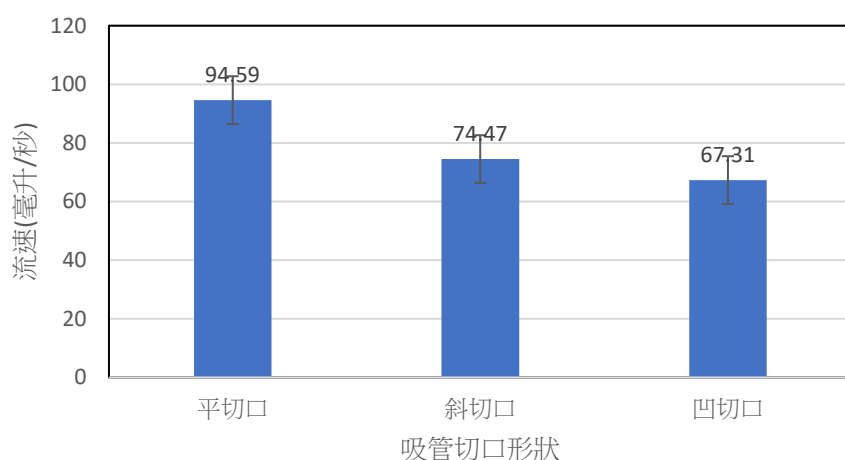


圖6-2-1-1 同長度的粗吸管在不同切口狀況下的水流速度

實驗小結與討論

根據對不同管徑（1 公分與 0.5 公分）、管長（18、12、6 公分）及切口形狀之實驗觀測，本研究小結與討論如下：

1. **管長與流速之正相關性**：在相同管徑與切口條件下，18 公分的長管表現出最快的流速（粗管組 94.59 毫升/秒；細管組 71.43 毫升/秒）。這證實了管件垂直長度的增加提供了更大的垂直壓力差，有效提升了排水效率。
2. **管徑與流速之正相關性**：對比粗吸管與細吸管數據，大管徑（1 公分）之流速明顯優於小管徑（0.5 公分）。這說明管徑

愈大，流體受到的邊界層摩擦阻力比例愈低，流動愈順暢。

3. **切口形狀之影響：**在相同長度（18 公分）下，**平切口之流速（94.59 毫升/秒）最快**，優於斜切口（74.47 毫升/秒）與凹切口（67.31 毫升/秒）。這顯示出口幾何形狀會影響流體排出的局部阻力與流場穩定性。

4. 討論與分析

- (1) **高度差所驅動的壓力梯度：**

本實驗核心體現了液體靜力壓力公式 $P = \rho gh$ 。雖然長管增加了流體移動的路徑，但其提供的垂直位移 h 創造了更強大的壓力梯度。這種「重力增益」在公分級的尺度下，遠大於管壁摩擦所帶來的能量損耗，因此產生了「管子愈長，流得愈快」的現象。

- (2) **摩擦力與管徑的角力：**

細吸管組的流速普遍較慢，且 12 公分與 6 公分的流速差異極小（35.71 對比 35.35 毫升/秒）。這討論點在於：當管徑縮小時，水與吸管之間的摩擦力的影響變得顯著。在細管中，長度增加帶來的重力優勢幾乎快被增加的摩擦力抵銷，使得流速趨於平緩。

- (3) **切口形狀對流場的干擾：**

觀測數據顯示平切口效率最高，這可能是因為斜切口與凹切口改變了出口處的表面張力分佈，或是在排水瞬間造成流線的扭曲與收縮效應，進而產生額外的局部阻力。

- (4) **數據異常點之探討：**

在粗吸管組中，6 公分管的流速（58.82 毫升/秒）略高於 12 公分管（51.66 毫升/秒）。此一非線性現象值得探究，可能原因在於 12 公分管處於「阻力顯著增加」但「重力垂直壓力差增益尚不足」的過渡區；此外，短管在排水初期可能更

容易形成較大的入口流速，減少了發展流段的能量損失。

(二) 細吸管、不同切口、長度 18 公分

表 6-2-2-1 細吸管在不同切口、同樣長度下的資料

吸管口徑 (公分)	切口形狀	吸管長度 (公分)	流失水量 (毫升)	平均秒數(秒)	平均流速(毫升/秒)
0.5	平切口	18	140	1.96	71.43
0.5	斜切口	18	140	3.00	46.67
0.5	凹切口	18	140	2.33	60.09

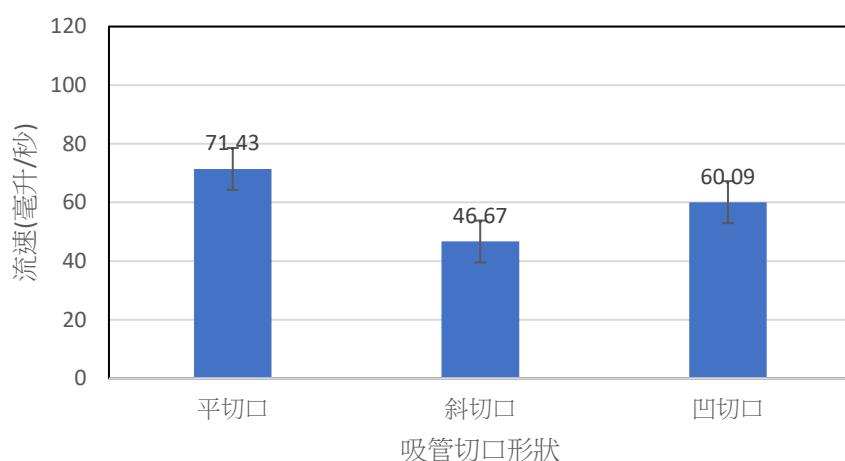


圖6-2-2-1 同長度的細吸管在不切口狀況下的水流速度

實驗小結：細吸管切口形狀對流速之影響

根據表 6-2-2-1 之數據分析，針對口徑 0.5 公分、長度 18 公分的細吸管，在不同切口形狀下的流水表現總結如下：

1. **平切口擁有最佳流動效率：**在相同長度下，平切口的平均流速達 71.43 毫升/秒，為三種形狀中最高。其排出 140 毫升水量僅需 1.96 秒，顯示對稱且平整的出口最有利於流體穩定排出。

2. **斜切口阻力最為顯著**：斜切口的流速僅有 46.67 毫升/秒，表現最慢。與平切口相比，其流完相同水量所需時間增加了約 53%（達 3.00 秒），顯示不對稱的切口會顯著增加局部阻力或干擾流線。
3. **凹切口表現居中**：凹切口的平均流速為 60.09 毫升/秒，效能介於平切與斜切之間。
4. 在細管徑系統中，出口幾何形狀對流速有決定性的影響。平切口因維持了最完整的有效截面積與穩定的流場，其排水效能最優；而斜切口可能因改變了流體排出瞬間的壓力分佈或增加了表面張力的干擾，導致流流速大幅下降。

三、不同口徑、同切口、同長度的流速比較

（一）粗吸管、平切口、長度 18 公分

表 6-3-1-1 粗、細吸管在平切口、同樣長度下的資料

吸管口徑 (公分)	切口形狀	吸管長度 (公分)	流失水量 (毫升)	平均秒數(秒)	平均流速(毫升/秒)
1	平切口	18	140	1.48	94.59
0.5	平切口	18	140	1.96	71.43

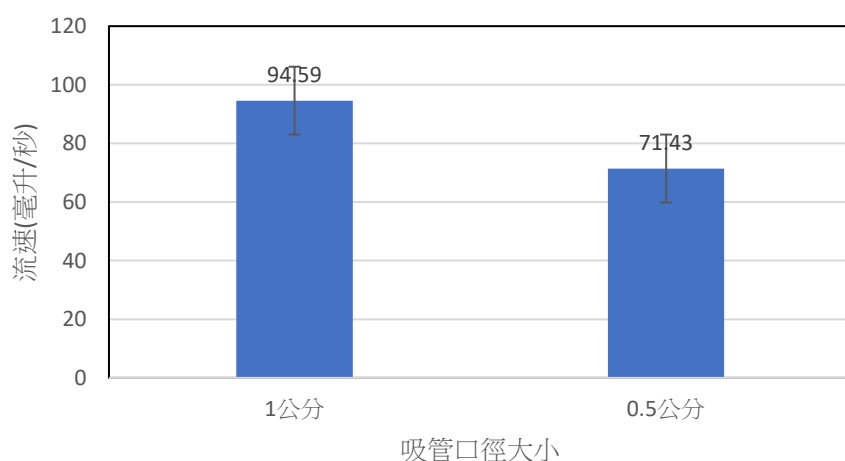


圖6-3-1-1 同長度的粗、細吸管在平切口狀況下的水流速度

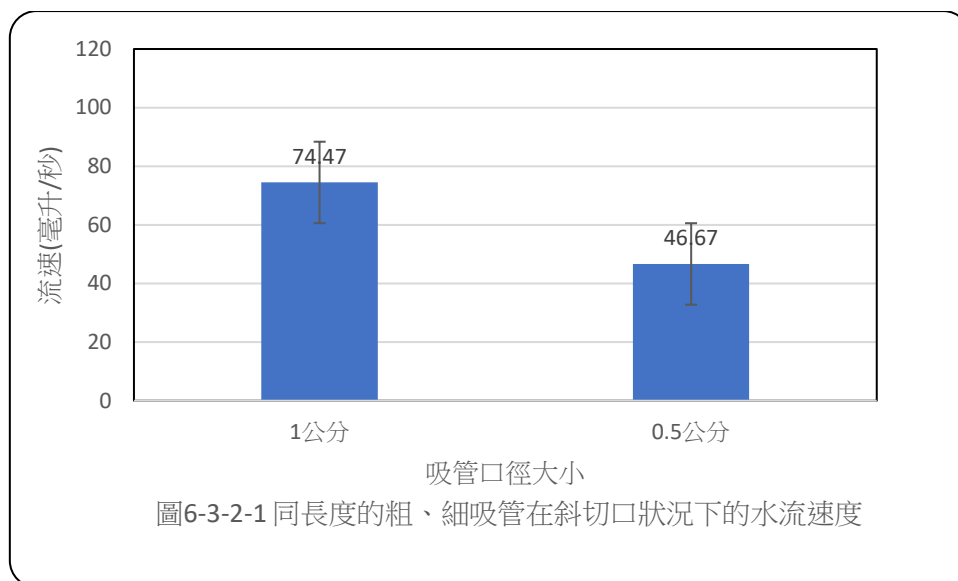
實驗小結與討論

1. **口徑與流速呈顯著正相關**：在相同長度（18 公分）且皆為平切口的條件下，1 公分口徑（粗吸管）**的平均流速達 94.59 毫升/秒，明顯優於 0.5 公分口徑（細吸管）的 71.43 毫升/秒。
2. **管徑對阻力的抑制作用**：實驗數據顯示，當吸管口徑由 0.5 公分增加至 1 公分時，排出 140 毫升水量所需的時間由 1.96 秒縮短至 1.48 秒。這說明較大的管徑能有效降低流體與管壁之間的相對摩擦阻力（黏滯阻力），使流體在重力驅動下能以更高的效率通過管道。
3. 本階段實驗證實了口徑大小是決定流速的主導變因之一。在大口徑管道中，流體受到的邊界層影響比例較小，能保留更多的位能轉換為動能。因此，在同樣的壓力梯度（高度差）下，口徑愈粗，水流流速愈快。

（二）細吸管、斜切口、長度 18 公分

表 6-3-2-1 粗、細吸管在斜切口、同樣長度下的資料

吸管口徑 (公分)	切口形狀	吸管長度 (公分)	流失水量 (毫升)	平均秒數(秒)	平均流速(毫升/秒)
1	斜切口	18	140	1.88	74.47
0.5	斜切口	18	140	3.00	46.67



實驗小結與討論：

由表 6-3-2-1 與圖 6-3-2-1（粗、細吸管在「斜切口」且長度皆為 18 公分之資料），本研究針對斜切條件下「吸管口徑大小」對水流速度之影響進行實驗小結如下：**斜切口狀況下口徑對流速之影響**

1. **大口徑展現絕對流速優勢：**在相同長度（18 公分）且皆為斜切口的條件下，1 公分口徑（粗吸管）的平均流速達 74.47 毫升/秒，顯著高於 0.5 公分口徑（細吸管）的 46.67 毫升/秒。
2. **斜切口對細管之阻力干擾更劇烈：**實驗數據顯示，當吸管口徑減半為 0.5 公分時，排出 140 毫升水量所需的時間由 1.88 秒大幅延長至 3.00 秒。這反映出在較小的管徑中，斜切口造成的不對稱流場或表面張力效應，會與管壁黏滯阻力產生加乘作用，進而更明顯地抑制流速。
3. 本數據進一步證實，即便在非平整切口（斜切）的影響下，口徑大小依然是決定流動效率的關鍵因子。在大口徑吸管中，雖然斜切口會產生局部阻力，但其較大的通流截面積仍能維持較高的動能轉換；反之，細吸管在斜切口處極易產生流阻，導

致排放效能大幅衰減。

(三) 細吸管、內凹切口、長度 18 公分

表 6-3-3-1 粗、細吸管在內凹切口、同樣長度下的資料

吸管口徑 (公分)	切口形狀	吸管長度 (公分)	流失水量 (毫升)	平均秒數(秒)	平均流速(毫升/秒)
1	內凹切口	18	140	2.08	67.31
0.5	內凹切口	18	140	2.33	60.09

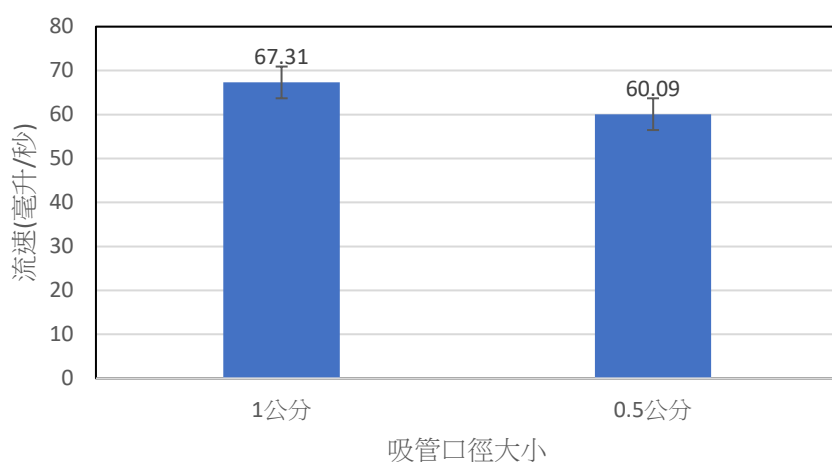


圖6-3-3-1 同長度的粗、細吸管在內凹切口狀況下的水流速度

實驗小結與討論：內凹切口狀況下口徑對流速之影響

1. 口徑與流動效率可能維持正向相關：在相同長度（18 公分）且皆為內凹切口的條件下，1 公分口徑（粗吸管）的平均流速為 67.31 毫升/秒，優於 0.5 公分口徑（細吸管）的 60.09 毫升/秒。
2. 內凹切口縮小了口徑間的流速差距：對比平切口（差距約 23 毫升/秒）與斜切口（差距約 28 毫升/秒）的數據，內凹切口下粗、細管的流速差距縮小至僅約 7 毫升/秒。排出相同水量所需的時間分別為 2.08 秒（粗管）與 2.33 秒（細管），差距僅 0.25 秒。

3. 數據顯示，內凹切口對流動具有較強的抑制作用，且此抑制效應在大口徑管道中更為明顯。在內凹切口的干擾下，大口徑管道原有的流速優勢被大幅削減，使得粗管與細管的排放效能趨於接近。這可能是因為內凹形狀在出口處造成了更複雜的局部亂流或收縮效應，成為限制流速的主要瓶頸，其影響力甚至部分抵銷了管徑增加所帶來的阻力減小優勢。

柒：綜合討論

本研究透過系統性的實驗設計，探討影響重力驅動管流速度的多重變因。綜合各項數據分析，我們發現流速並非由單一物理量決定，而是受高度垂直壓力差、管壁摩擦以及出口邊界條件共同作用的結果。以下針對本研究所發現的現象與結果進行討論：

一、綜合所有資料進行統整，可能呈現的意義為何？

表 7-1 所有資料整合

流速(毫升/秒)

粗吸管	18 公分	12 公分	6 公分
平口	94.38	51.69	124.44
凹口	67.25	57.93	58.95
斜口	74.67	68.57	60.00

流速(毫升/秒)

細吸管	18 公分	12 公分	6 公分
平口	71.49	35.74	35.37
凹口	60.00	28.00	24.71
斜口	46.67	25.26	30.24

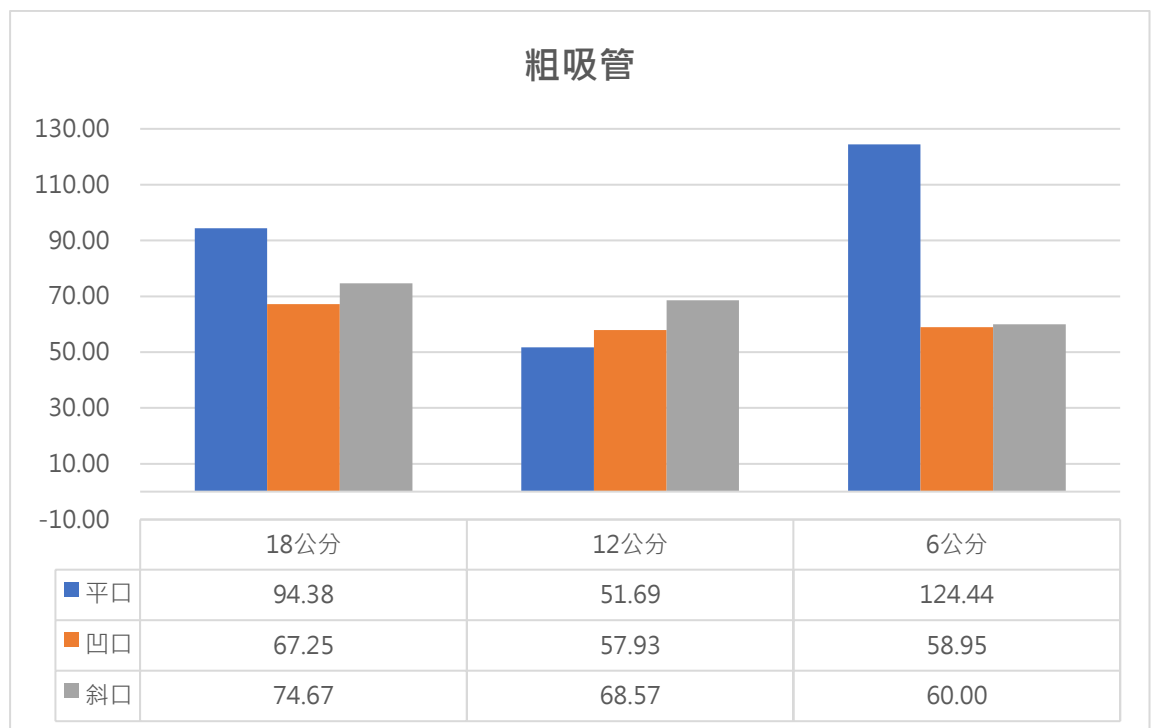


圖 7-1 粗吸管資料整理

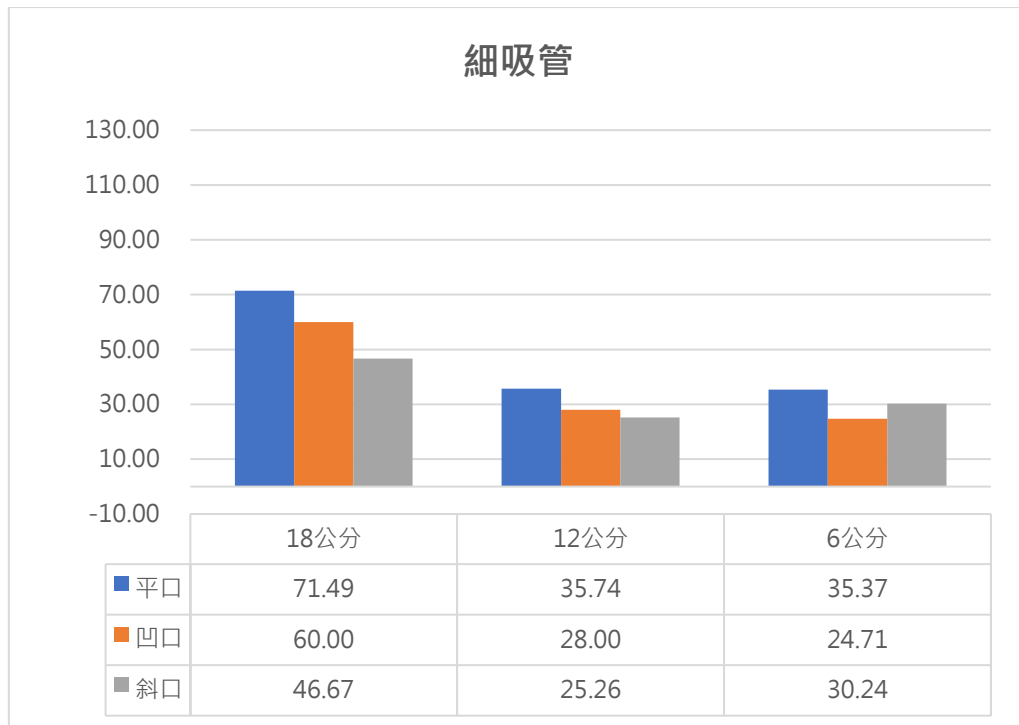


圖 7-2 細吸管資料整理

(一) 可能結論一：垂直高度差是驅動流速的首要動力

實驗數據一致顯示，在各組變因中，18 公分的長吸管普遍擁有最快的流速。

1. 在粗管平口條件下，18 公分管流速達 94.59 毫升/秒，遠快於 12 公分（51.66 毫升/秒）與 6 公分（58.82 毫升/秒）。
2. 這驗證了液體靜力壓力公式 $P = hd$ ，長管因垂直位移較大提供了更高的垂直壓力差，其位能轉換動能的增益在短距離內遠大於管壁摩擦帶來的損耗。

(二) 可能結論二：管徑大小顯著調節流動阻力與排放效能

對比相同長度（18 公分）的實驗組，大管徑（1.0 公分）之排放效率明顯優於小管徑（0.5 公分）。

1. 以平切口為例，粗管流速（94.59 毫升/秒）比

細管 (71.43 毫升/秒) 快出約 32.4%。

2. 這說明大管徑能有效降低流體與管壁間的相對黏滯阻力，保留更多能量用於加速流動。當管徑縮小時，即便增加管長，其流速提升幅度也會因阻力敏感度增加而趨於平緩。

(三) 可能結論三：出口幾何形狀決定局部阻力之瓶頸

出口切口形狀對流速穩定性有顯著干擾，其中以平切口效能最佳，內凹或斜切口則具有明顯限流作用。

1. 數據顯示平切口流速最高，而斜切與內凹切口因產生局部亂流或收縮效應，導致流速大幅下降。
2. 特別是內凹切口會大幅削減管徑帶來的優勢，使粗、細管間的流速差距由平切口的 23 毫升/秒縮小至僅約 7 毫升/秒。

二、垂直位能差是否為決定流速的主導變因？

(一) 實驗結果顯示，在各組別中均由 18 公分之長管 展現最快流速，粗管組達 94.59 毫升/秒，細管組達 71.43 毫升/秒。

(二) 這驗證了液體靜力壓力公式 $P = \rho gh$ 的物理意義。根據沈宗華、林明澤 (2018) 的觀點，長管提供之垂直位移產生的「總壓力」增益，在短管系統中足以補償因長度增加而產生的沿程摩擦損失。

二、管徑縮小是否會顯著抑制重力位能的轉換效率？

(一) 對比相同長度 (18 公分) 之平切口數據，當管徑從 1 公分縮小至 0.5 公分時，流速由 94.59 毫升/秒 降至 71.43 毫升/秒，降幅明顯。

(二) 此結果支持了 陳大和 (2021) 所述，管徑縮小會使管壁黏滯阻力對流體的束縛力增強，導致能量在轉換過程中

損耗較多。

二、 出口幾何形狀是否會改變流場的穩定性與流速？

(一)在 18 公分粗管實驗中，平切口 (94.59 毫升/秒) 效率最高，優於斜切口 (74.47 毫升/秒) 與凹切口 (67.31 毫升/秒)。

(二)根據 王順平 (2020) 對局部阻力的探討，非規則切口 (如斜切或內凹) 會在出口處誘發流線收縮或局部亂流，成為限制流動的瓶頸變因。

三、 內凹切口是否會削弱管徑大小帶來的流速優勢？

(一)在平切口下，粗細管流速差距約 23 毫升/秒；但在內凹切口下，差距縮小至僅約 7 毫升/秒 (67.31 對比 60.09 毫升/秒)。

(二)這顯示內凹切口產生的局部阻力在大管徑中更為顯著，其產生的限流效應部分抵銷了增加管徑所能獲得的阻力減小優勢。

四、 短管 (6 公分) 是否存在非線性的流動特性？

(一)在粗管組中，6 公分短管流速 (58.82 毫升/秒) 反而略高於 12 公分管 (51.66 毫升/秒)。

(二)此現象可參考 張萬軍 (2019) 提到的「入口發展段」理論，極短管可能因尚未形成完整的邊界層摩擦即已排出，使其在排水初期擁有較高的流動效率。

捌:研究結論

本研究透過系統性的實驗設計與數據分析，針對塑膠吸管之長短、粗細及出口幾何形狀對水流速度的影響進行探討。綜合實驗數據與理論討論，暫時得出以下結論：

一、 吸管長度對水流速度之影響

- (一) 吸管長度與流速呈顯著正相關：實驗結果顯示，在相同口徑與切口條件下，18 公分之長管在各組別中均擁有最快流速。
- (二) 位能增益主導效能：此現象證實了液體靜力壓力公式 $P = \rho gh$ ，長管因垂直位移較大，提供了更高的重力垂直壓力差（Gravitational Head），其產生的動能增益足以克服因管長增加而產生的沿程摩擦阻力。
- (三) 非線性波動：在粗管組中，6 公分短管流速（58.82 毫升/秒）略高於 12 公分管（51.66 毫升/秒），推測與流體在極短管中尚未形成完全發展的邊界層摩擦有關。

二、 吸管粗細對水流速度之影響

- (一) 管徑大小與流動效率呈正比：對比相同長度（18 公分）之數據，1 公分口徑（粗管）之流速（94.59 毫升/秒）明顯優於 0.5 公分口徑（細管）之流速（71.43 毫升/秒）。
- (二) 摩擦阻力的抑制作用：大口徑吸管能有效降低流體與管壁間的相對黏滯阻力，使水流更順暢地將位能轉換為動能。當管徑縮小時，摩擦力對流速的抑制作用會變得極為靈敏。

三、 平口與斜口形狀對水流速度之影響

- (一) 平口出口最具流動優勢：在相同長度（18 公分）下，平口

吸管的流速表現最為優異（粗管 94.59 毫升/秒；細管 71.43 毫升/秒）。

- (二) **不對稱切口產生額外阻力**：斜切口會因改變出口處的流線（Streamlines）分佈或產生局部亂流，進而增加局部阻力損失，導致流速下降。此抑制效應在細管（流速降幅約 35%）中較粗管（流速降幅約 21%）更為劇烈。

四、內凹形狀對水流速度之影響

- (一) **內凹形狀具有強烈的限流作用**：內凹切口在粗、細管實驗中均表現出顯著的阻力，其流速普遍低於平切口。
- (二) **削弱管徑優勢**：在內凹條件下，粗、細管間的流速差距由平口時的 23 毫升/秒縮減至僅 7 毫升/秒。這顯示內凹構造產生的收縮效應（Vena Contracta）或局部阻力成為限制流動的主要瓶頸，使得大口徑原有的低阻力優勢被大幅抵銷。

五、本研究證實了「垂直高度差」是驅動流速的首要動力來源，而「管徑」與「出口幾何形狀」則是透過調節摩擦與局部阻力來決定流動速度。

六、未來研究建議與應用

基於本研究對管流動力學的發現，以下針對未來學術探討及工程設計實務提出相關建議：

(一) 未來研究建議

1. **探討液體黏度之影響**：本實驗使用水作為介質，未來可嘗試使用不同黏度的流體（如糖水或食用油），觀測在黏滯阻力大幅增加時，長管是否仍具備流速增益優勢，以找出重力垂直壓力差與摩擦阻力之臨界平衡點。
2. **高精度數位監測**：目前實驗以平均秒數計算流速，未來

可導入高倍速攝影機與數位流量感測器，記錄排水過程中「初始噴流」與「末期殘流」的瞬時流速變化，以分析更細微的壓力降現象。

3. **表面張力與管材材質：**管壁的親水或疏水特性會影響邊界層阻力，未來可更換不同材質（如鐵管、矽膠管）或對管口進行疏水塗層處理，探討表面張力對小管徑出口流速的具體影響。

(二) 未來工程應用建議

1. 排水系統優化設計：

- (1) **垂直壓力差高度補償：**在建築給排水系統中，應充分利用「高度差」創造的位能增益 ($P=hd$)。在管徑受限的垂直管路中，維持一定的垂直段長度可有效提升排放效率，補償管路轉折造成的能量損失。
- (2) **出口幾何平滑化：**工程實務中應盡量避免「內凹」或「不對稱」的管口設計，因其會產生顯著的局部阻力，尤其在細管路系統中會造成嚴重的限流瓶頸。出口端建議採用「平口」或「擴張型導角」以穩定流線。

2. 精密液體滴定與輸送：

- (1) **管徑主導原則：**在需要快速輸送液體的微流道或滴定設備中，擴大管徑（即便是 0.5 公分至 1 公分的微量提升）對流速的貢獻遠比改變管長更具經濟效益，因為其能顯著降低比例較高的管壁摩擦力。
- (2) **流量穩定性控制：**若工程需求為「恆定流速」而非最大流速，可參考 12 公分組的數據特性，選取阻力與垂直壓力差增益較為平衡的區段，避免極短管產生的入口效應造成流量波動。

玖：參考文獻

<https://www.facebook.com/share/r/1DceK5TKCw/?mibextid=wwXIfr>（神奇的水流現象）

沈宗華、林明澤（2018）。《基礎流體力學》。台北：五南圖書出版公司。

陳大和（2021）。《水力學：原理與實務應用》。台中：滄海書局。

張萬軍（2019）。《普通物理學：力學與熱學篇》。台北：高立圖書。

王順平（2020）。〈從托里切利實驗看流體動力學的教學應用〉。《科學教育月刊》，第 428 期。