

中華民國第 62 屆中小學科學展覽會

作品說明書

國中組 物理科

佳作

030104

改變流體速度的通道 - 特斯拉閥

學校名稱：桃園市立文昌國民中學

作者： 國二 吳庭光 國二 張嘉紘 國二 王宥宏	指導老師： 周振華
---	------------------

關鍵詞：特斯拉閥、流速、流體

摘要

本研究主要針對特斯拉閥的概念自製通道，探討通道擋板以及通過液體對於順、逆流差異進行探討。我們使用車床切割壓克力形成各式通道，並拍攝流體經過的過程、計算流體的順逆流差異。結果發現：以擋板形狀及排列方式而言，交叉三角形的順逆差效果最好；通道寬度則是寬度越寬流速就越快，因此擋板凸出程度越多流速就越慢，且凸出程度越大，順逆差異就越明顯、擋板間距在 2.8 ~ 3.2 公分時順逆差異最佳；水溫提高雖有助於提升順逆差，但卻會因流體寬度變窄的影響而效果變差；流體的黏度愈小，順逆差異就愈明顯。

壹、前言

一、 研究動機：

我們在一篇科學知識類的文章中看到有關特斯拉閥的報導，它可以讓液體由順、逆向輸入後有不同的流速。文中還提到未來進行太空旅行時，可以用它來控制燃料的燃燒速度，進而控制太空梭的移動。因此我們決定用相似概念，自行設計類似的通道來研究這個現象。



(圖 1) 特斯拉閥示意圖

二、 研究目的：

(一) 研究一：觀察通道對順逆差異的影響

1. 實驗（一）：了解擋板間距對順逆差百分比的影響（斜擋板）
2. 實驗（二）：了解擋板形狀對順逆差百分比的影響
3. 實驗（三）：了解擋板排列方式對順逆差百分比的影響
4. 實驗（四）：了解通道寬度對流速的影響
5. 實驗（五）：了解擋板的凸出程度對順逆差百分比的影響
6. 實驗（六）：了解擋板間距對順逆差百分比的影響（交叉三角形擋板）

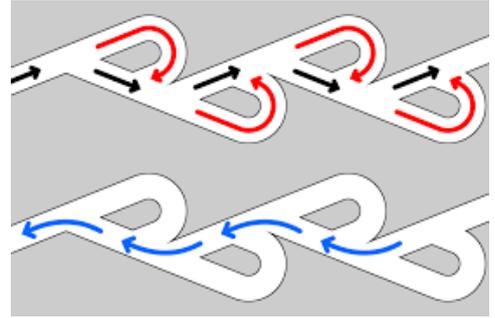
(二) 研究二：觀察流體狀態對順逆差異的影響

1. 實驗（七）：溫度對順逆差百分比的影響
2. 實驗（八）：甘油的濃度與黏滯係數關係
3. 實驗（九）：黏度對順逆差百分比的影響

三、 文獻回顧：

(一) 特斯拉閥：

特斯拉閥是一種不用機械結構，只靠圖形排列的不對稱性，使流體自通道兩側流入的流速不同的裝置。如圖所示，當我們從左側的閥門灌入水後，擋板之前就會產生回流，且當從另一測灌入水後，擋板的排列就會使得水在通道中流速較快。



(圖 2) 特斯拉閥的原理

(二) 黏滯係數（黏度）：

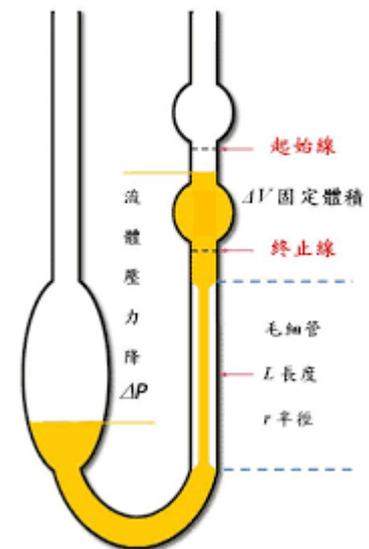
在查詢液體對於器壁的附著力時，我們發現了「黏度 η (Viscosity)」這個概念，黏度的大小受到物質的種類、濃度、溫度等因素影響。

相對黏度係數可以透過奧士華黏度計（如圖 3）測得，首先使用安全吸球將溶液吸超過起始線，之後拔掉安全吸球，使溶液液面下降，當碰到起始線時開始計時，直到液面碰到終止線時停止計時，此段時間為流動時間 t ，則待測流體與水的相對黏度 η_r 有下列關係：

$$\eta_r = \frac{\eta}{\eta_0} = \frac{\rho t}{\rho_0 t_0}$$

其中上式的 η_0 為水的黏滯係數、 η 為待測流體的黏滯係數、 ρ_0 為水的密度、 ρ 為待測液體的密度、 t_0 為水的流動時間、 t 則是待測流體的流動時間。

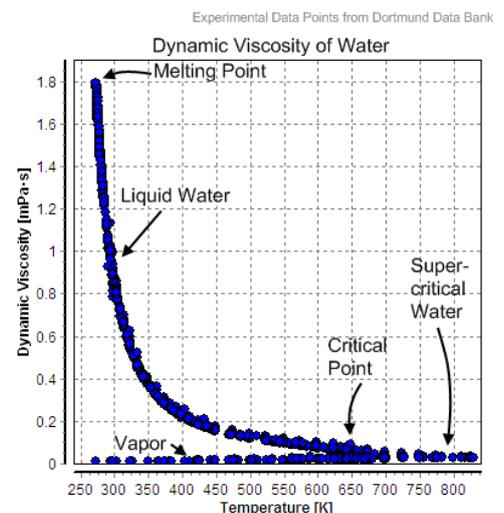
我們將透過此器材來進行實驗，推算出流體的黏滯係數。



(圖 3) 奧士華黏度計

(三) 水的溫度與黏度：

在查詢黏度時，我們還看到水的黏度與溫度息息相關，如（圖 4）可以發現水在熔點（273K）至沸點（373K）之間時，隨著溫度上升，黏度會巨幅的下降。



(圖 4) 水的溫度與黏度關係圖

貳、研究設備與器材

常見器材		
<p>燒杯、剪刀、氣球、寶特瓶、電工膠帶、透明塑膠片、手機、自來水、色素、量筒、塑膠手套、鐵環、鐵架、三爪夾、玻璃滴管、安全吸球。</p>		
丁酮	壓克力板	CNC 機台
Tinkercad 軟體	BravoProdigy 軟體	VCarve 軟體
Tracker 軟體	恆溫槽	黏度計

參、研究過程及方法

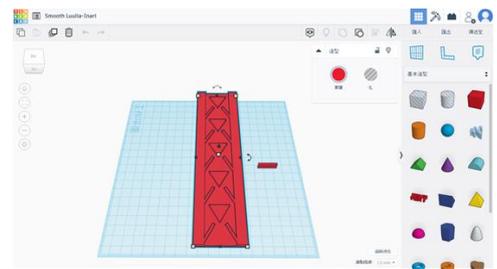
一、研究架構



二、研究工具與流程：

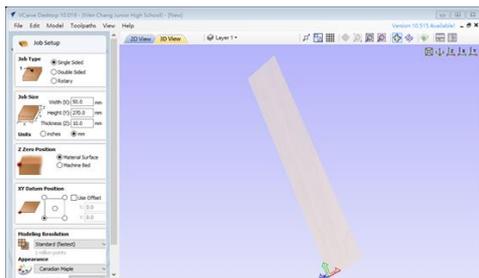
(一) 使用 Tinkercad 軟體進行模型設計：

Tinkercad 是一款免費的網頁設計軟體，能使 3D 繪畫的初學者輕易上手，可用於 3D 設計、電子器材設計與程式撰寫。因此我們使用此軟體設計出不同形狀的通道。



(圖 5) Tinkercad 操作畫面

(二) 使用 VCarve 軟體將設計圖轉為 CNC 路徑規劃檔案 (tap 檔)：



(圖 6) VCarve 操作畫面

Vcarve Desktop 可讓使用者導入及加工 3D 文件、規劃 2D 刀具切割之路徑和把 STL 檔轉成 TAP 檔。而本研究使用了裡面規劃 2D 刀具切割的功能。

(三) 使用 BravoProdigy 軟體操作 CNC 機台：

Bravoprodigy 是 Bravoprodigy 公司開發的 CNC (Computer Numerical Control 車床) 機台操作軟體，只要輸入繪製好的 tap 檔並執行即可切出圖形。

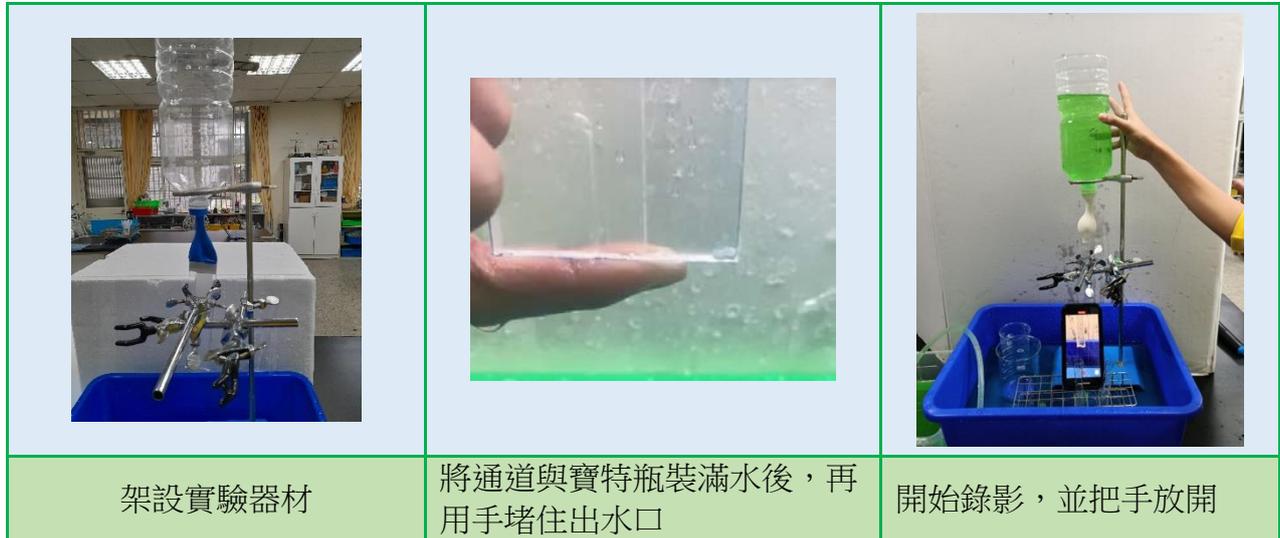


(圖 7) BravoProdigy 操作畫面

(四) 將透明塑膠片貼在壓克力上：

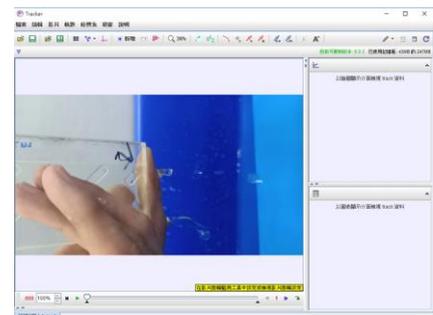
使用丁酮 ($\text{CH}_3(\text{CO})\text{C}_2\text{H}_5$) 滴在壓克力上，並將塑膠透明片慢慢貼於壓克力上，即可使得切割好的通道形成封閉通道。

(五) 進行實驗：



(六) 使用 Tracker 軟體將實驗影片分析：

Tracker 是擁有追蹤功能、數據生成與分析、模型生成器、創建質量粒子和二維系統的運動學和力學模型的軟體。而本研究使用到影片逐幀播放的功能，計算影片幀數來推算時間，進而推出流速。



(圖 8) Tracker 操作畫面

三、 名詞定義：

(一) 順逆時間差與順逆差百分比：

由於我們設計的通道形狀寬度、形狀各有差距，且**特斯拉閥**的概念主要在強調順、逆流的差別，因此我們使用液體流完的「順逆時間差百分比」（簡稱：順逆差百分比）做為比較基準，物理意義為「逆向比順向慢了多少百分比」。

其中：

1. 順逆時間差 = 逆向平均時間 - 順向平均時間。
2. 順逆差百分比 = 順逆時間差 / 順向平均時間 × 100 %。

(二) 流速的計算：

由於缺乏專業流速計，因此本研究的流速為**平均流速 = 總水流量 / 平均時間**。

肆、研究結果與討論

【研究一：觀察通道對順逆差異的影響】

一、實驗（一）擋板間距對順逆差百分比的影響（斜擋板）

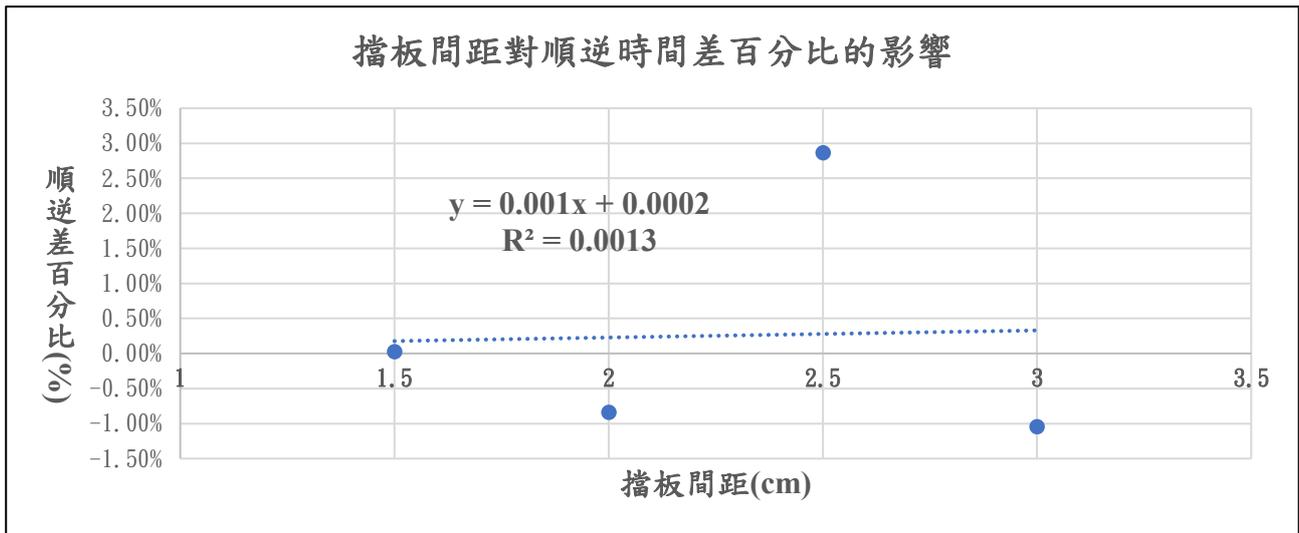
我們先設計出一般的擋板，想了解擋板間距對流速的影響。而我們選這個圖形是因為我們在尋找資料時看到某影片裡的設計後，我們想實驗裡面的圖形是否符合特斯拉拉閘的特性。

（一）實驗方法：

	擋板距離			
	1.5 cm	2 cm	2.5 cm	3 cm
操縱變因				
控制變因	液體種類		水	
	液體溫度		20 °C	
	通道長度		20 cm	
	通道寬度		2.8 cm	
	擋板角度		45 度	
	水流量		1849 mL	
應變變因	順逆差百分比			

（二）實驗結果：

擋板距離	1.5 cm	2 cm	2.5 cm	3 cm
順向平均時間 (s)	113.47	93.64	83.92	79.4
逆向平均時間(s)	113.44	92.86	86.33	78.57
順逆時間差(s)	-0.03	-0.79	2.40	-0.83
順逆差百分比 (%)	-0.03%	-0.84%	2.87%	-1.04%
順向平均流速 (mL / s)	16.30	19.75	22.04	23.88
逆向平均流速 (mL / s)	16.30	19.91	21.42	23.53



(圖 9、擋板間距對順逆時間差百分比的影響關係圖)

(三) 分析與討論：

1. 實驗結果討論：

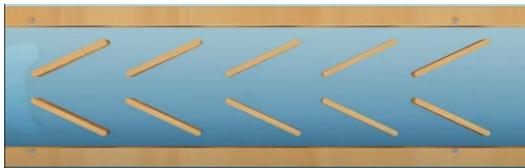
由實驗結果 (圖 9) 可看出，在斜擋板的情形下，間距 2.5 cm 的情況，順逆差異最明顯，但由 $R^2 = 0.0013$ 得知，擋板間距與順逆差異並沒有明顯的關係，甚至還有些數據是逆向比順向快一點點，我們觀察原始時間數據猜想，或許這個形狀的擋板並沒有造成順、逆差異，有些微負值只是實驗誤差。

2. 關於水流量的設定：

原先我們使用的瓶子是比較小的 600 mL 寶特瓶，但發現順、逆向的數據沒甚麼差異，因此後來更換成較大的寶特瓶，經過裁剪底部後有些微的容量損失，測量後發現剩下 1849 mL。

3. 擋板形狀的選用及排列：

我們根據查找到文獻資料中所提到的圖形去作修改，並也採用當中的平行排列。



(圖 10) 參考資料中的形狀

4. 通道長度的設定：

學校提供我們的 CNC 車床機器僅能切割長度最大約 20 公分，因此我們後續都使用 20 公分的壓克力進行切割。

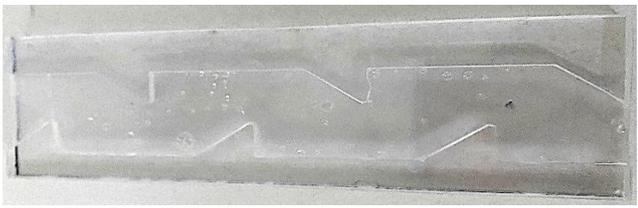
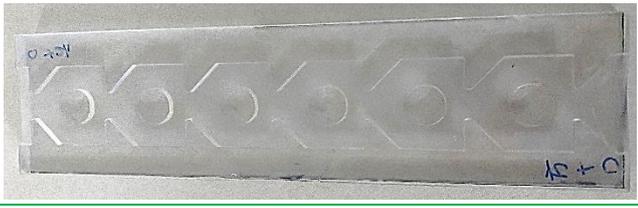
5. 通道寬度的設定：

當初我們設計的通道寬 3 公分，但切割後實際測量發現僅有 2.8 公分。

二、實驗（二）擋板形狀對順逆差百分比的影響

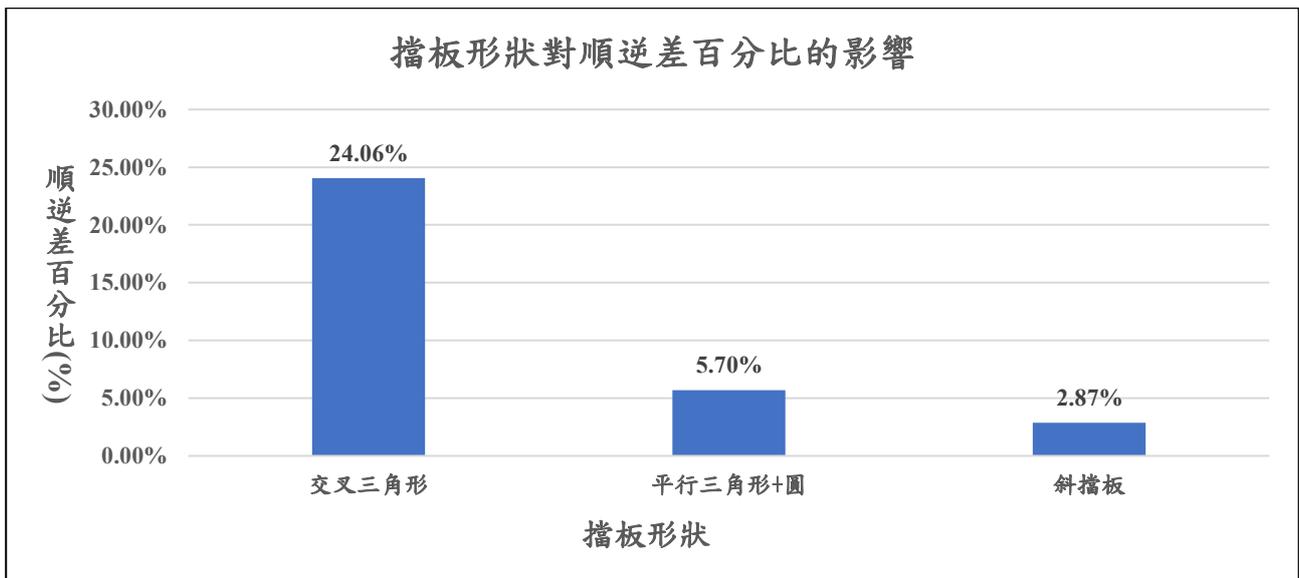
由於實驗（一）的斜擋板似乎沒有明顯的順逆差異，因此我們設計不同形狀的擋板來研究形狀對流速的影響。

（一）實驗方法：

操縱變因	擋板形狀	
	交叉三角形	
	平行三角形 + 圓形	
	2.5 cm 斜擋板	
控制變因	液體種類	水
	液體溫度	20 °C
	通道長度	20 cm
	通道寬度	2.8 cm
	擋板角度	45 度
	水流量	1849 mL
應變變因	順逆差百分比	

（二）實驗結果：

擋板形狀	交叉三角形	平行三角形 + 圓形	斜擋板 2.5 cm
順向平均時間 (s)	30.15	94.26	83.92
逆向平均時間 (s)	37.4	99.63	86.33
順逆時間差 (s)	7.25	5.37	2.41
順逆差百分比 (%)	24.06%	5.7%	2.87%



(圖 11、擋板形狀對順逆差百分比的影響比較圖)

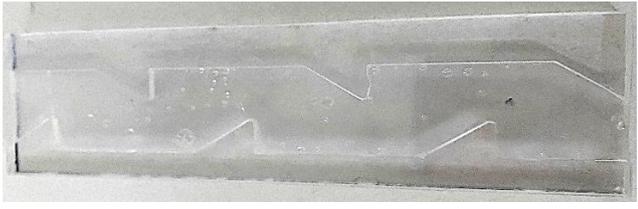
(三) 分析討論：

根據實驗結果(圖 11)發現，在我們設計的圖形中，以**交叉三角形**的擋板造成最大的順逆差異，因此後續的實驗皆以交叉三角形擋板進行實驗。

三、實驗(三) 擋板排列方式對順逆差百分比的影響：

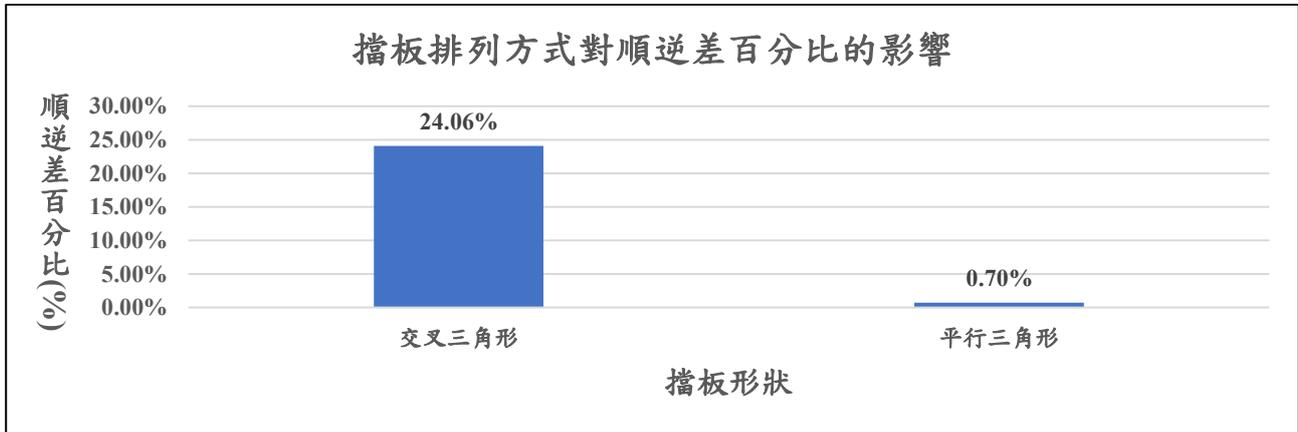
由於實驗(二)我們發現三角形有很好的效果，於是想要了解三角形的排列方式是否會影響順逆差百分比。

(一) 實驗方法：

操縱變因	擋板排列方式	
	交叉三角形	
	平行三角形	
控制變因	液體種類	水
	液體溫度	20 °C
	擋板形狀	三角形
	通道長度	20 cm
	通道寬度	2.8 cm
	水流量	1849 mL
應變變因	順逆差百分比	

(二) 實驗結果：

擋板排列	交叉三角形	平行三角形
順向平均時間 (s)	30.15	62.57
逆向平均時間 (s)	37.4	63.01
順逆時間差 (s)	7.25	0.44
順逆差百分比 (%)	24.06%	0.70%



(圖 12、擋板排列方式對順逆差百分比的影響比較圖)

(三) 分析討論：

由實驗結果 (圖 12) 可知以交叉排列的方式最為理想，並且我們推測可能是因為平行三角形中的兩個三角形的間距太小，導致水流太小，使結果不明顯。

四、實驗 (四) 通道寬度對流速的影響：

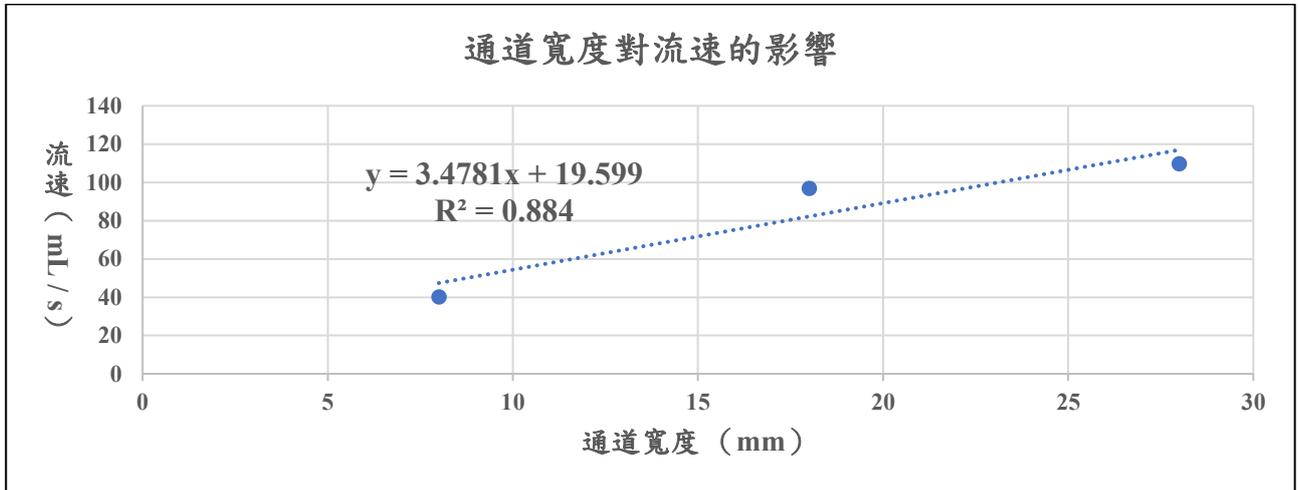
由實驗 (三) 的結果我們想到通道寬度會影響流速，因此想知道寬度與流速的關係為何。

(一) 實驗方法：

操縱變因	通道寬度		
控制變因	液體種類	水	
	液體溫度	20 °C	
	圖形	無	
	通道長度	20 cm	
	水流量	1849 mL	
應變變因	平均流速		

(二) 實驗結果：

通道寬度	8 mm	18 mm	28 mm
平均時間 (s)	46.05	19.11	16.85
平均流速 (mL/s)	40.15	96.76	109.71



(圖 13、通道寬度對流速的影響關係圖)

(三) 分析討論：

由實驗結果 (圖 13) 知，通道寬度與流速可能呈正相關，即通道寬度愈寬，流速愈快，這與我們的認知相同，而且可以大致看出隨著寬度增加，流速增加的趨勢有漸緩的情形。

五、實驗 (五) 擋板的凸出程度對順逆差百分比的影響

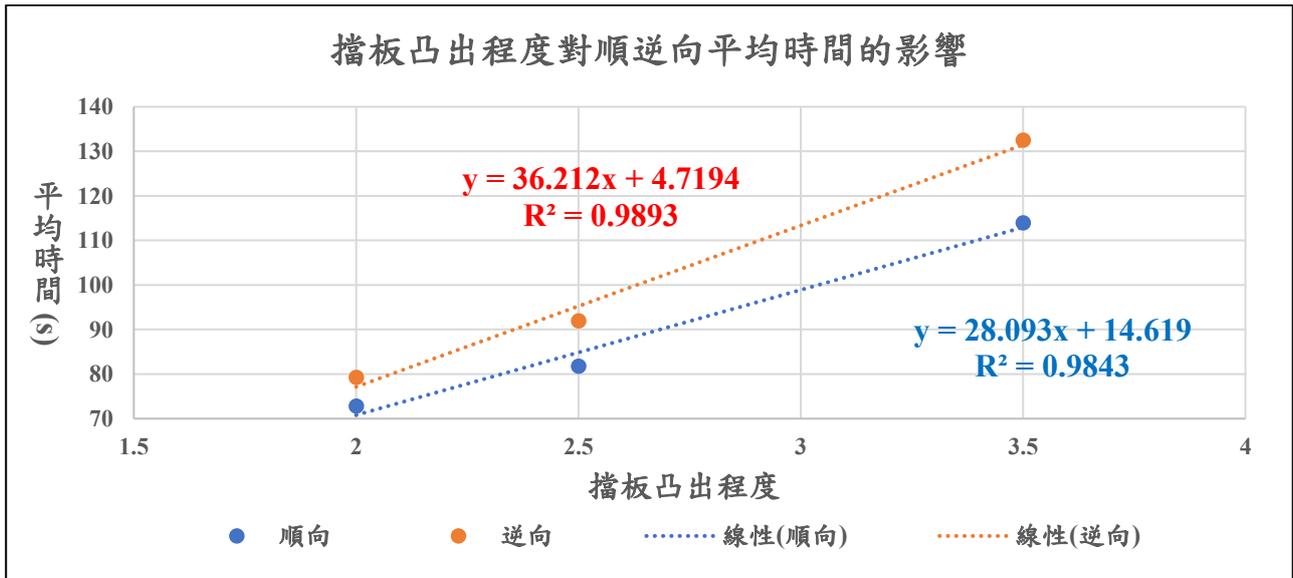
由實驗 (四) 發現通道寬度會影響流速，因此我們想知道在有擋板的情況下，擋板凸出程度對順逆向的影響和通道寬度的結果有什麼異同之處。

(一) 實驗方法：

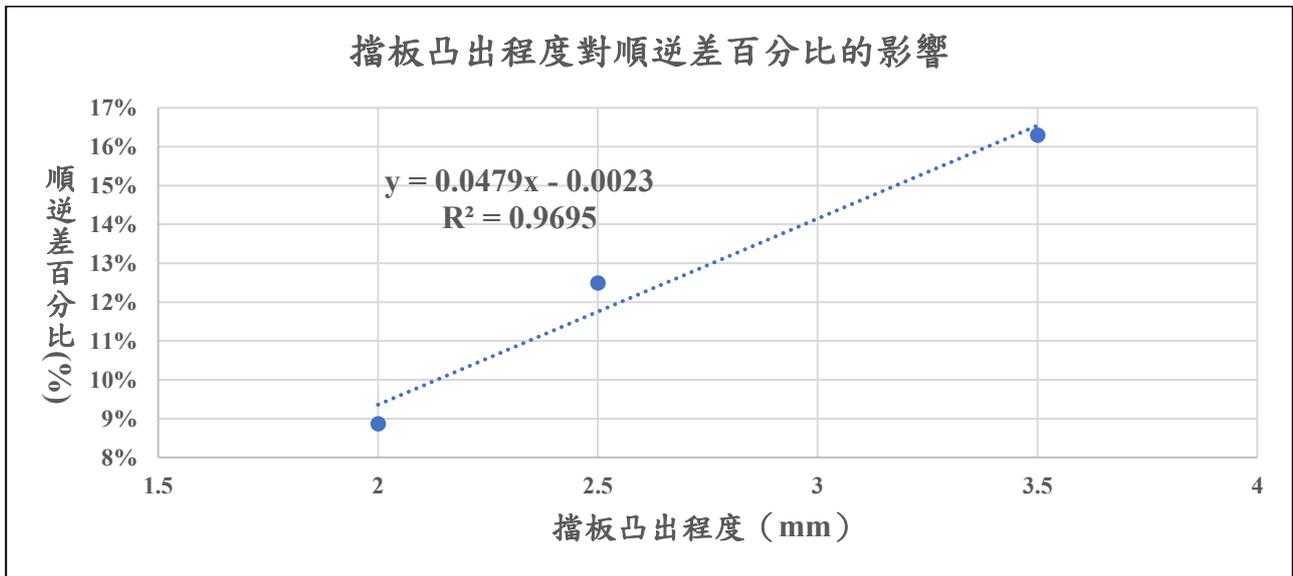
操縱變因	擋板凸出程度	
控制變因	液體種類	水
	液體溫度	20 °C
	擋板形狀	交叉三角形
	通道寬度	8 mm
	通道長度	20 mm
	水流量	1849 mL
應變變因	順逆差百分比	

(二) 實驗結果：

擋板凸出程度	2 mm	2.5 mm	3.5 mm
順向平均時間 (s)	72.85	81.78	113.97
逆向平均時間 (s)	79.31	91.99	132.55
順逆時間差 (s)	6.46	10.21	18.58
順逆差百分比 (%)	8.87%	12.49%	16.30%



(圖 14、擋板凸出程度對順逆平均時間的影響關係圖)



(圖 15、擋板凸出程度對順逆差百分比的影響關係圖)

(三) 分析討論：

1. 擋板凸出程度對順逆向平均時間的影響：

由實驗結果（圖 14）可看出擋板凸出程度與平均時間呈正相關，即擋板凸出程度愈多，平均流完的時間就愈久。而且還可以看出，擋板凸出程度愈多，對逆向的減速效果會比順向流速更明顯。

2. 擋板凸出程度對順逆差百分比的影響：

由實驗結果（圖 15）可知，擋板凸出程度與順逆差百分比有明顯的正相關，也就是凸出程度愈大，順逆差就愈明顯，這裡更加支持了前一點「凸出程度對逆向的影響大於順向」的論點；且這張圖與實驗（四）有類似的結果，所以我們推斷是因為水流經過擋板時，通道寬度不同導致。

六、實驗（六）擋板間距對順逆差百分比的影響（交叉三角形擋板）

在實驗（二）、（三）我們發現擋板以交叉三角形的效果最好，因此我們決定使用交叉三角形再做一次實驗（一）。

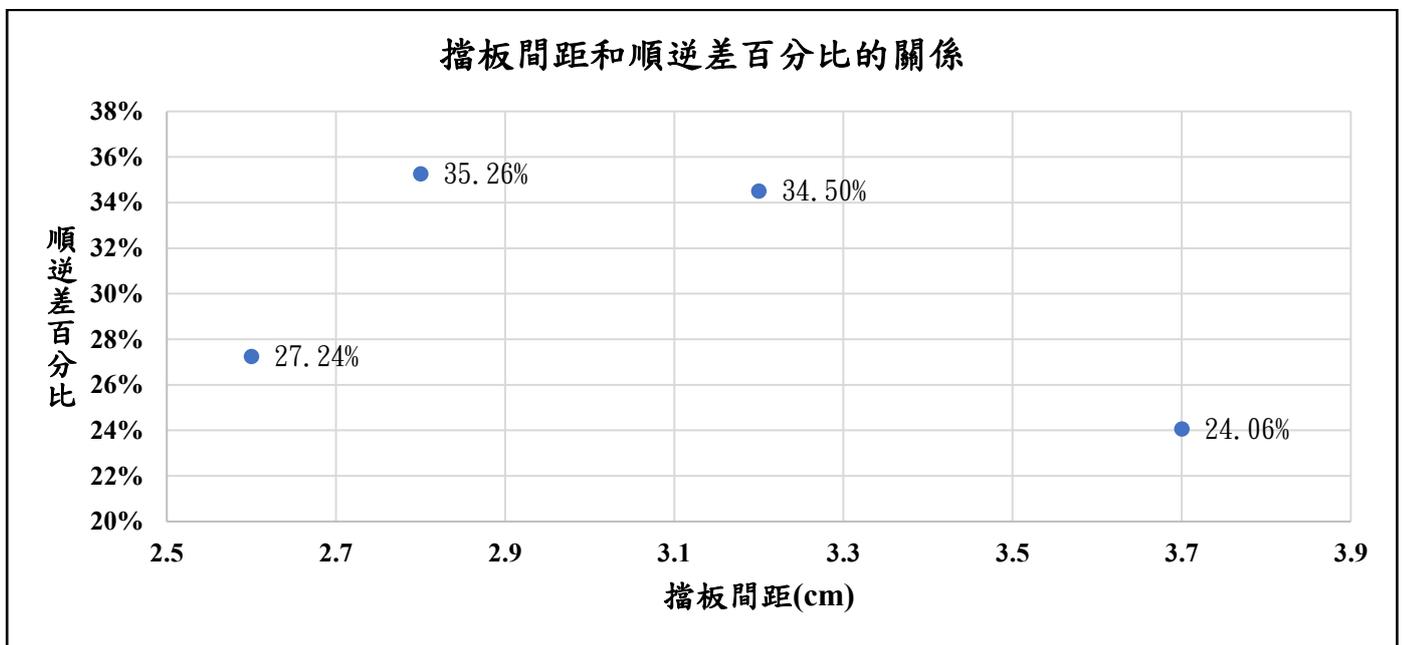
(一) 實驗方法：

操縱變因	擋板間距			
		液體種類	水	通道寬度
控制變因	液體溫度	20 °C	通道長度	20 mm
	擋板形狀	交叉三角形	水流量	1849 mL
應變變因	順逆差百分比			

(二) 實驗結果：

擋板間距 (cm)	2.6	2.8	3.2	3.7
順向平均時間 (s)	47.54	53.85	34.39	30.15
逆向平均時間 (s)	60.49	72.84	46.26	37.40
順逆時間差 (s)	12.95	18.99	11.87	7.25
順逆差百分比 (%)	27.24%	35.26%	34.50%	24.06%

(三) 分析討論：



(圖 16、擋板間距和順逆差百分比的關係)

由上圖我們發現擋板間距在 2.8 ~ 3.2 公分這個區間時順逆差百分比最高，並且在過了這個區間後即開始下降。我們推測是因為若擋板間距太近會使得各擋板產生的回流不明顯，而隔的太遠的話又會使得擋板變少讓順逆差百分比下降。

【研究二：觀察流體狀態對順逆差異的影響】

一、實驗（七）溫度對順逆差百分比的影響

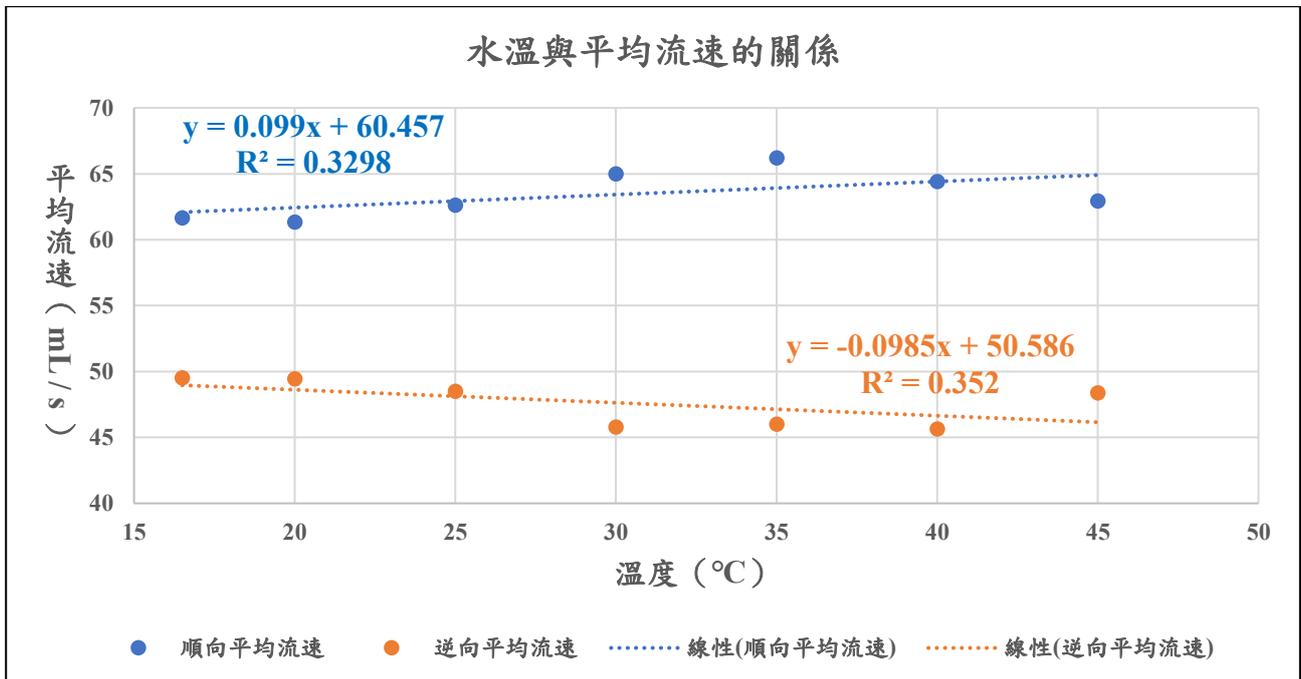
在實驗（四）、（五）我們發現通道寬度會影響流速，於是我們思考可能跟水和器壁的附著力有關，經過資料查詢發現溫度會影響水的黏度，於是我們想到可以做不同水溫對流速的影響。

(一) 實驗方法：

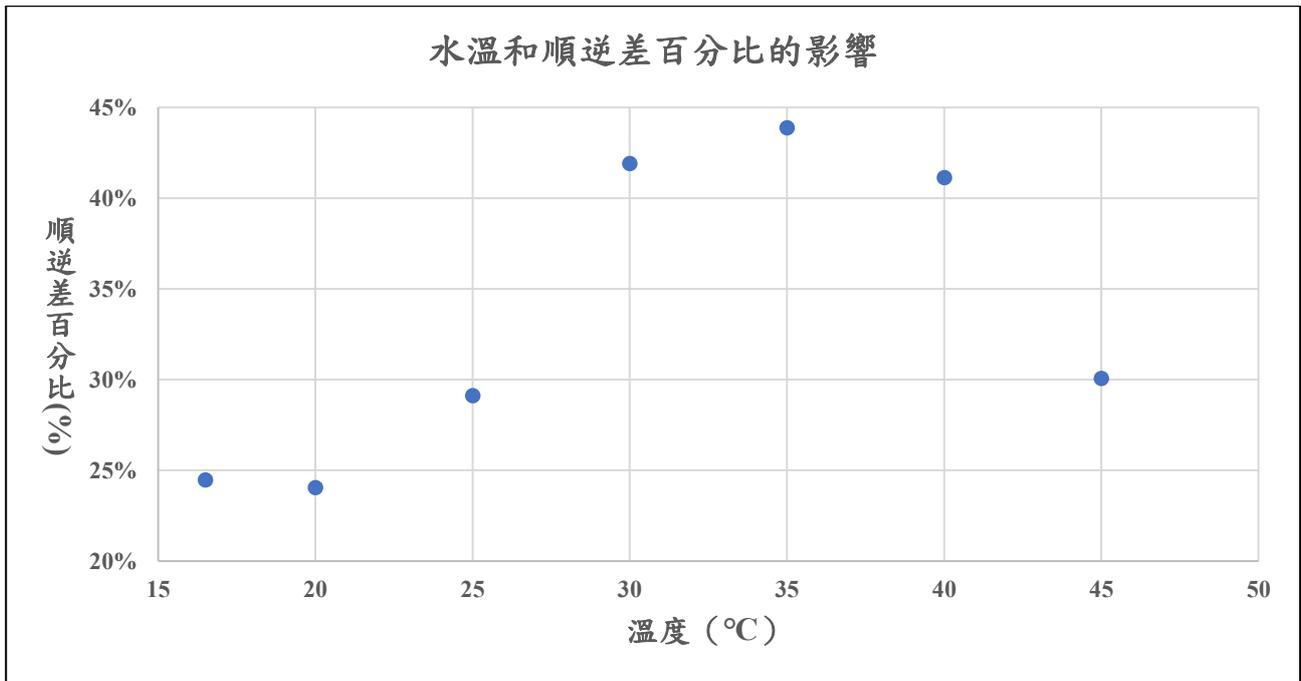
操縱變因	水溫高低	45 °C ~ 16.5 °C
控制變因	液體種類	水
	擋板形狀	交叉三角形
	通道長度	20 cm
	通道寬度	28 mm
	擋板角度	45 度
	水流量	1849 mL
應變變因	平均流速、順逆差百分比	

(二) 實驗結果：

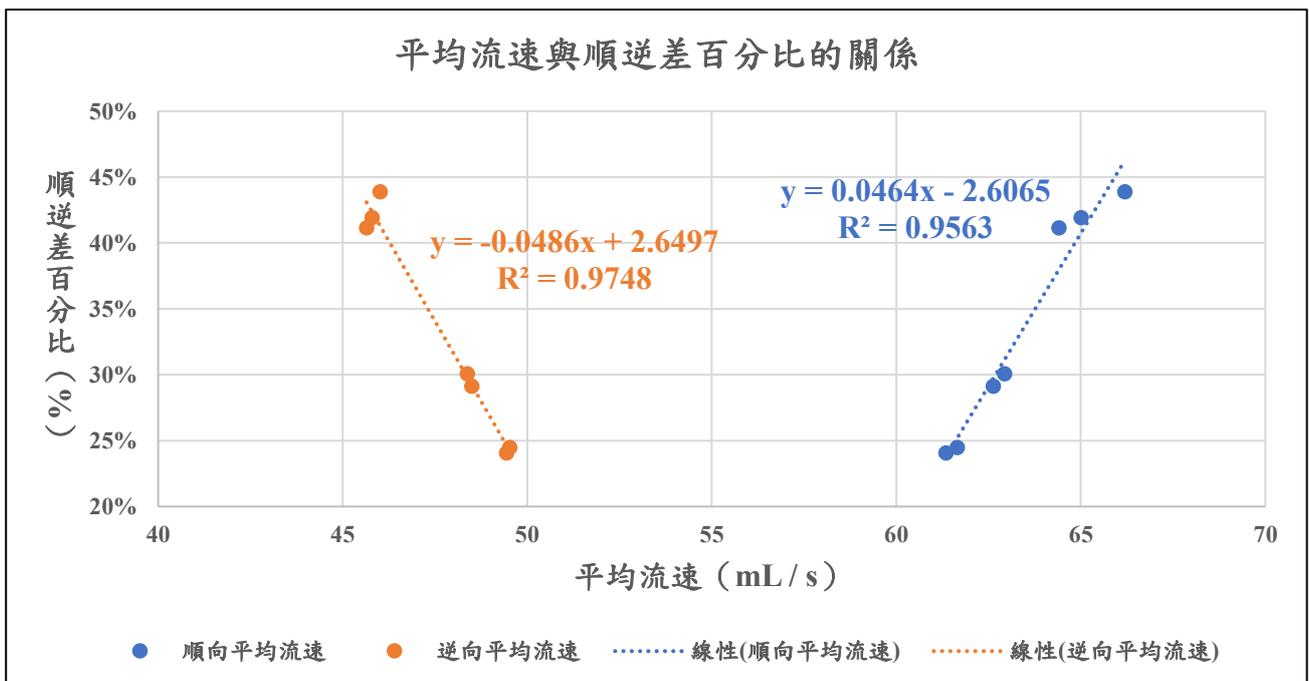
水溫	順向時間	逆向時間	順逆時間差	順逆差百分比	順向流速	逆向流速
16.5°C	29.99 s	37.34 s	7.34 s	24.49 %	61.64mL/s	49.52mL/s
20°C	30.15 s	37.40 s	7.25 s	24.06 %	61.34mL/s	49.44mL/s
25°C	29.53 s	38.13 s	8.6 s	29.13 %	62.62mL/s	48.50mL/s
30°C	28.45 s	40.38 s	11.93 s	41.93 %	65.00mL/s	45.79mL/s
35°C	27.93 s	40.19 s	12.26 s	43.89 %	66.19mL/s	46.01mL/s
40°C	28.71 s	40.52 s	11.81 s	41.14 %	64.40mL/s	45.65mL/s
45°C	29.38 s	38.22 s	8.8 s	30.08 %	62.93mL/s	48.38mL/s



(圖 17、水溫與平均流速的關係圖)



(圖 18、水溫與順逆差百分比的關係圖)



(圖 19、流速與順逆差百分比的關係圖)

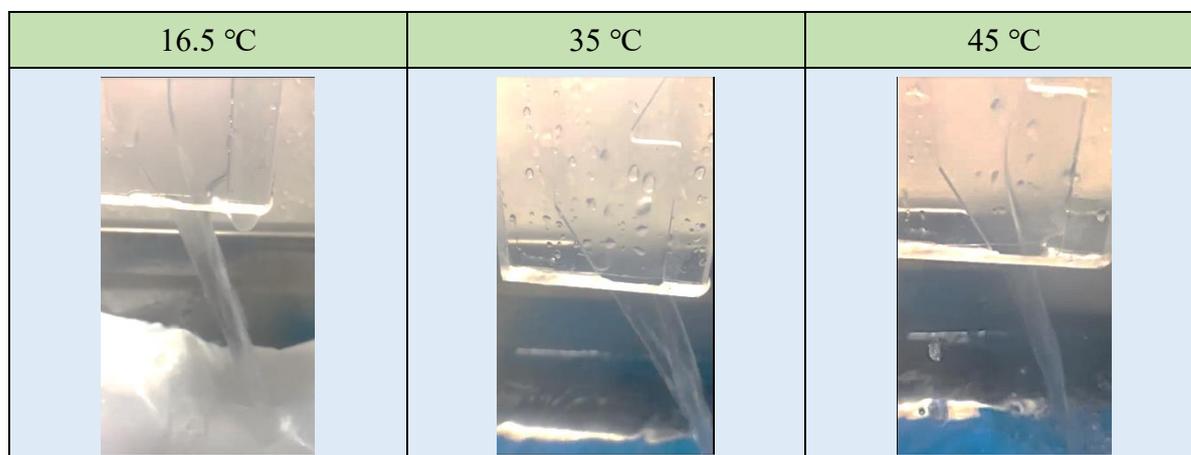
(三) 分析討論：

1. 由 (圖 17) 知：溫度對於順向、逆向的平均流速的影響幾乎是相反的。
2. 由 (圖 18) 知：隨著溫度上升，順逆差百分比會漸大，至 35 °C 達到高峰後降低，整體的趨勢經猜測可能是一個高斯分布（常態分佈）。
3. 由 (圖 19) 知：

因順向流速和順逆差百分比呈高度正相關、逆向和順逆差百分比呈高度負相關，故知隨著順向流速愈快，逆向流速愈慢，且順逆差會愈明顯。

4. 關於溫度高於 35 °C 後溫度下降的情形：

一開始我們推測隨著溫度上升，順逆流的差異會愈來愈明顯，但我們發現當溫度高於 35 °C 後，可能是水的黏度過低，導致順向時在通道的尾端無法填滿出口，使得水流寬度變小，致使順向的流速會開始下降。



二、 實驗（八）甘油的濃度與黏滯係數關係：

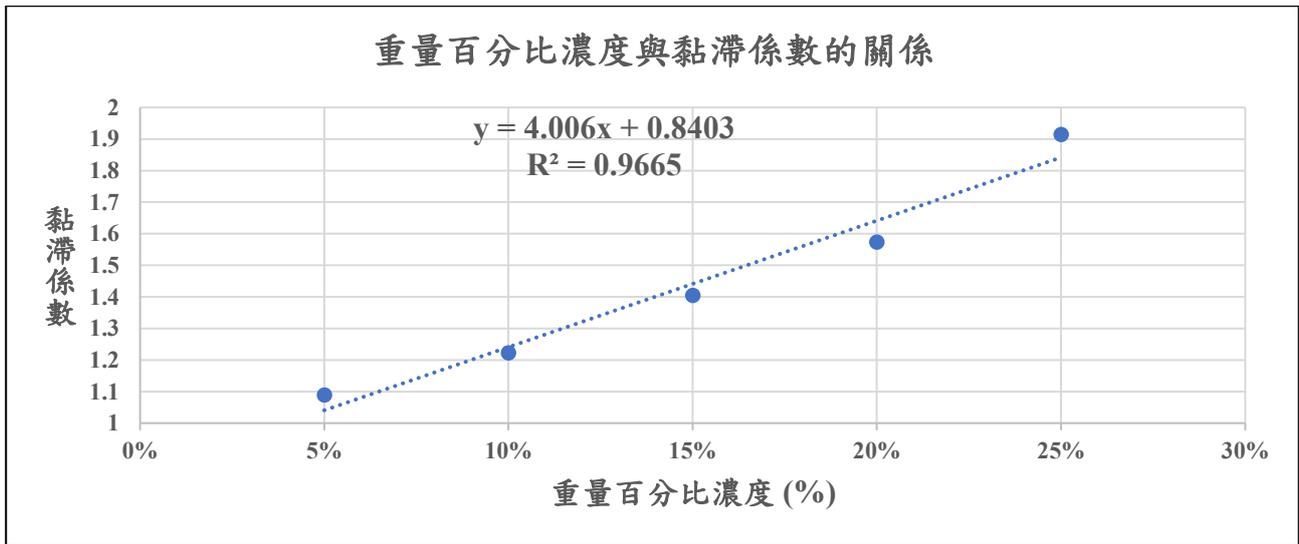
我們想知道甘油的濃度與相對黏滯係數之間的關係，以便於後續研究黏度是否影響順逆流的差異，因此我們使用奧士華黏度計來進行此實驗。

（一） 實驗方法：

操縱變因	重量百分比濃度	0 % ~ 25 %
控制變因	液體種類	甘油
	體積	10 mL
應變變因	黏滯係數（黏度）	

（二） 實驗結果：

重量百分比濃度	0 % (水)	5 %	10 %	15 %	20 %	25 %
平均流動時間 (s)	40.54	44.00	48.92	55.56	61.98	75.25
液體密度	1.0000	1.0038	1.0134	1.0252	1.0298	1.0317
相對黏滯係數	1.000	1.089	1.223	1.405	1.574	1.915



(圖 20、甘油的黏滯係數與重量百分比濃度的關係圖)

(三) 分析討論：

由實驗結果 (圖 20) 可知，**重量百分比濃度與黏滯係數呈高度正相關**，即濃度愈濃，黏度即愈大。

三、 實驗 (九) 黏度對順逆差百分比的影響：

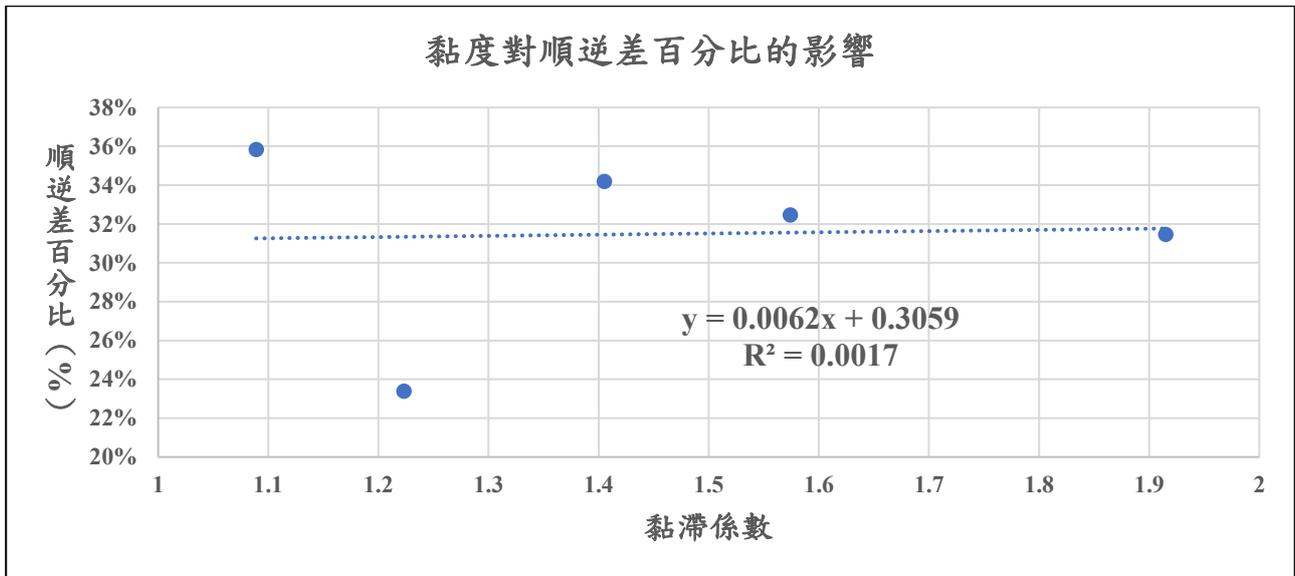
由於我們在前面的實驗中發現水溫的改變可能會影響到其黏度，因此我們決定測試黏度是否影響順逆差，因此我們使用不同濃度的甘油進行實驗。

(一) 實驗方法：

操縱變因	黏度	
控制變因	液體種類	甘油
	溫度	20 °C
	擋板形狀	交叉三角形
	通道寬度	28 mm
	擋板角度	45 度
	水流量	1849 mL
應變變因	順逆差百分比	

(二) 實驗結果：

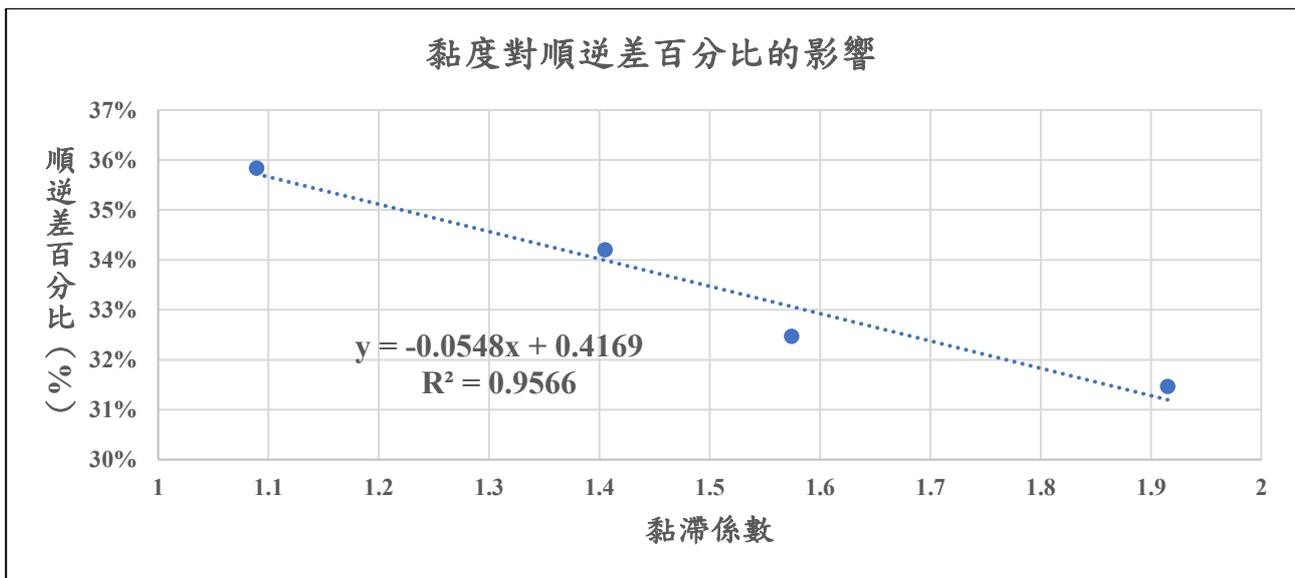
黏滯係數	1.915	1.574	1.405	1.223	1.089
順向平均時間 (s)	30.17	30.3	29.98	30.13	29.58
逆向平均時間 (s)	39.67	40.14	40.24	37.18	40.18
順逆時間差 (s)	9.49	9.84	10.26	7.05	10.6
順逆差百分比 (%)	14.67	14.96	15.72	11.64	16.49



(圖 21、黏度與順逆差百分比的關係圖)

(三) 分析討論：

由實驗結果（圖 21），原本我們認為黏度與順逆差百分比無關，但後來我們發現 10 % 甘油（黏滯係數 = 1.223）的實驗結果可能有誤，於是將之剔除後重作圖如下：



(圖 22、剔除 10%甘油數據後，黏度與順逆差百分比的關係圖)

由上圖可知，黏度與順逆差百分比呈現高度負相關，即黏度愈小，順逆差百分比愈大。由此圖亦可推知，在實驗（七）中，水溫在 35 °C 以下時，溫度愈高，順逆差愈明顯，可能和黏度的下降有相當程度的關係，但超過 35 °C 後，黏度過低使得流體寬度變窄、流速下降，因此可推知寬度對順逆差的影響大於黏度。

伍、結論

一、 研究一：觀察通道對順逆差異的影響

（一） 實驗（一）擋板間距對順逆差百分比的影響（斜擋板）

斜擋板間距 2.5 cm 的順逆差異最明顯，但擋板間距與順逆差異並無明確關係。

（二） 實驗（二）擋板形狀對順逆差百分比的影響

交叉三角形狀的擋板有最明顯的順逆差異。

（三） 實驗（三）擋板排列方式對順逆差百分比的影響

交叉三角形的排列比平行排列能造成更明顯的順逆差異。

（四） 實驗（四）通道寬度對流速的影響

通道寬度愈寬，流速愈快，且隨著寬度增加，流速增加的趨勢有漸緩的情形。

（五） 實驗（五）擋板的凸出程度對順逆差百分比的影響

擋板凸出程度愈多，平均流完的時間就愈久，且對逆向的減緩效果會比順向流速更明顯，因此順逆差百分比愈大。

（六） 實驗（六）擋板間距對順逆差百分比的影響（交叉三角形擋板）

擋板間距在 2.8 ~ 3.2 公分這個區間時順逆差百分比最高。

二、 研究二：觀察流體狀態對順逆差異的影響

（一） 實驗（七）溫度對順逆差百分比的影響

1. 溫度對於順向、逆向的平均流速的影響幾乎是相反的。
2. 隨著溫度上升，順逆差百分比會漸大，至 35 °C 達到高峰後降低。
3. 順向流速愈快，逆向流速會愈慢，因此順逆差會愈明顯。
4. 35 °C 溫度高於後，可能是黏度過低，使得通道無法被填滿而流速降低。

（二） 實驗（八）甘油的濃度與黏滯係數關係

重量百分比濃度愈濃，黏滯係數就愈大。

（三） 實驗（九）黏度對順逆差百分比的影響

1. 流體的黏度愈小，順逆差愈明顯。
2. 綜合實驗（四）、（七）、（八）可知，通道寬度對於順逆差異的影響大於黏度。

陸、未來展望

本次研究利用自行設計的通道，了解各種變因對順逆差百分比的影響，並將分析出的數據加以整合，希望之後能做出更多樣實驗來找出順逆差百分比最佳的通道，讓此研究能應用到生活中。

柒、參考文獻資料

- 一、Stith, D. (2019). The Tesla valve—A fluidic diode. *The Physics Teacher*, 57(3), 201-201.
- 二、Arunachala, U., Rajat, A., Shah, D., & Sureka, U. (2019). Stability improvement in natural circulation loop using tesla valve—an experimental investigation. *Int. J. Mech. Prod. Eng. Res. Dev*, 9, 13-24.
- 三、Jin, Z. J., Gao, Z. X., Chen, M. R., & Qian, J. Y. (2018). Parametric study on Tesla valve with reverse flow for hydrogen decompression. *International Journal of Hydrogen Energy*, 43(18), 8888-8896.
- 四、Thompson, S. M., Paudel, B. J., Jamal, T., & Walters, D. K. (2014). Numerical investigation of multistaged tesla valves. *Journal of Fluids Engineering*, 136(8).
- 五、Nguyen, Q. M., Huang, D., Zauderer, E., Romanelli, G., Meyer, C. L., & Ristroph, L. (2021). Tesla's fluidic diode and the electronic-hydraulic analogy. *American Journal of Physics*, 89(4), 393-402.
- 六、朝陽科技大學應用化學系（2007）。以黏度法測定聚合物之分子量。取自：
https://www.cyut.edu.tw/~wjchien/pchemlab/lab1_vis.pdf
- 七、維基百科，自由的百科全書—黏度。取自：<https://zh.wikipedia.org/wiki/黏度>

【評語】 030104

1. 研究主題：本作品以自製特斯拉閥，探討通道擋板及液體順流與逆流差異，值得鼓勵。
2. 創意、學術或實用價值：本作品自行設計製作特斯拉閥通道，分析各項變因對順逆差百分比的影響，可為實作應用參考。建議可探討與特斯拉提出型態比較，分析更佳化因素，思考發展新穎結構具體實例。
3. 科學方法之適切性：本作品系統化設計流體通道的擋板形狀、排列方式、液體種類、和溫度效應，其科學方法適切。建議可分析流動行為以獲得具體的物理原理，討論相應變數機制本質。

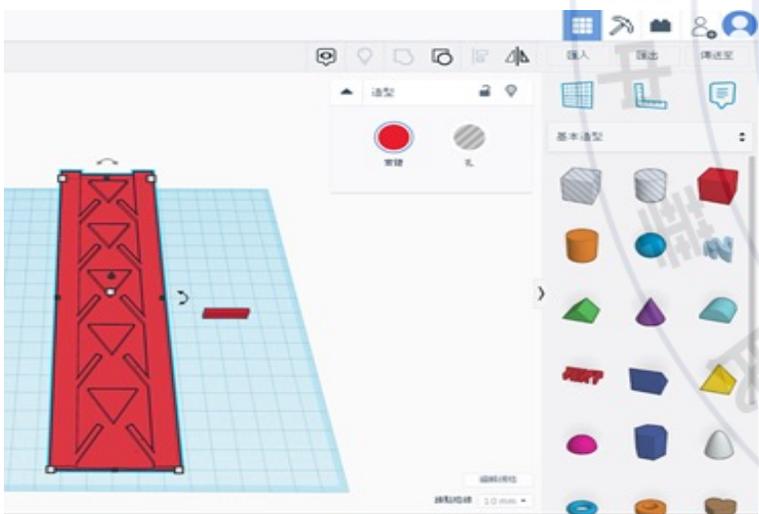
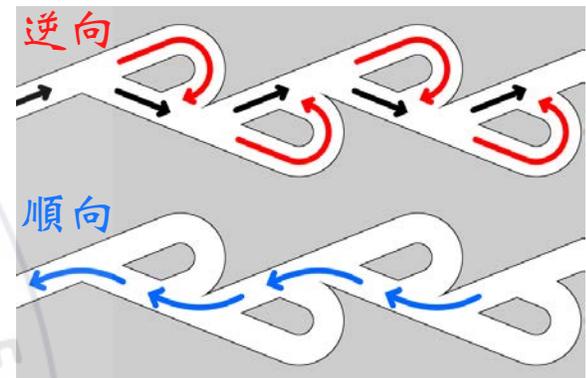
作品簡報

改變流體速度的通道 - 特斯拉閥

國中組 物理組

前言

我們在一篇科學知識類的文章中看到有關**特斯拉閘**的報導，它可以讓液體由**順、逆向輸入**後有不同的**流速**。因此我們決定用相似概念，自行設計出順逆差效果最好的圖形。



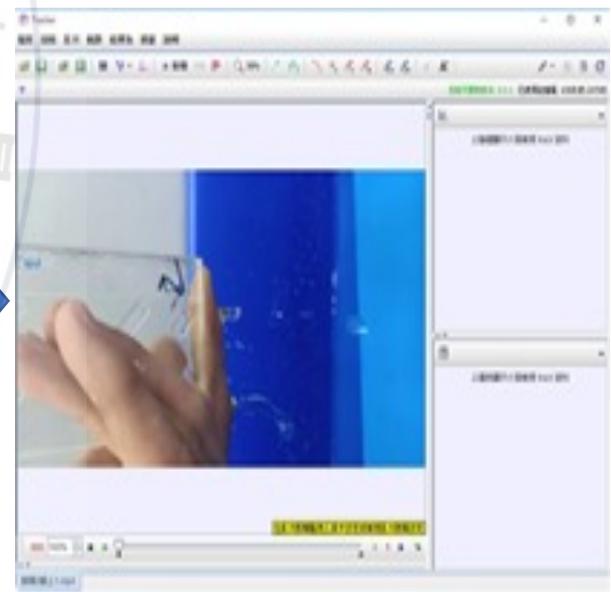
使用Tinkercad進行模型設計



使用CNC雕刻圖形



架設、進行實驗



分析實驗影片

特斯拉閥

擋板設計

擋板間距對順逆差百分比的影響（斜擋板）

擋板形狀對順逆差百分比的影響

擋板排列方式對順逆差百分比的影響

通道寬度對單位時間流量的影響

擋板的凸出程度對順逆差百分比的影響

擋板間距對順逆差百分比的影響（交叉三角形擋板）

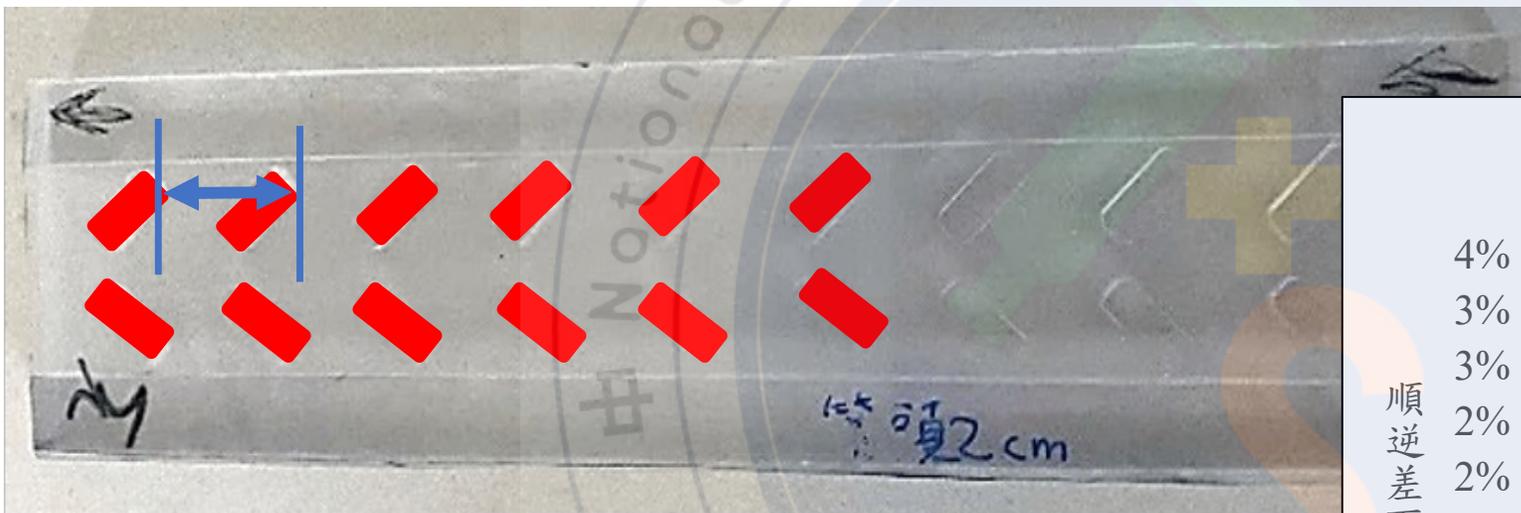
流體狀態

溫度對順逆差百分比的影響

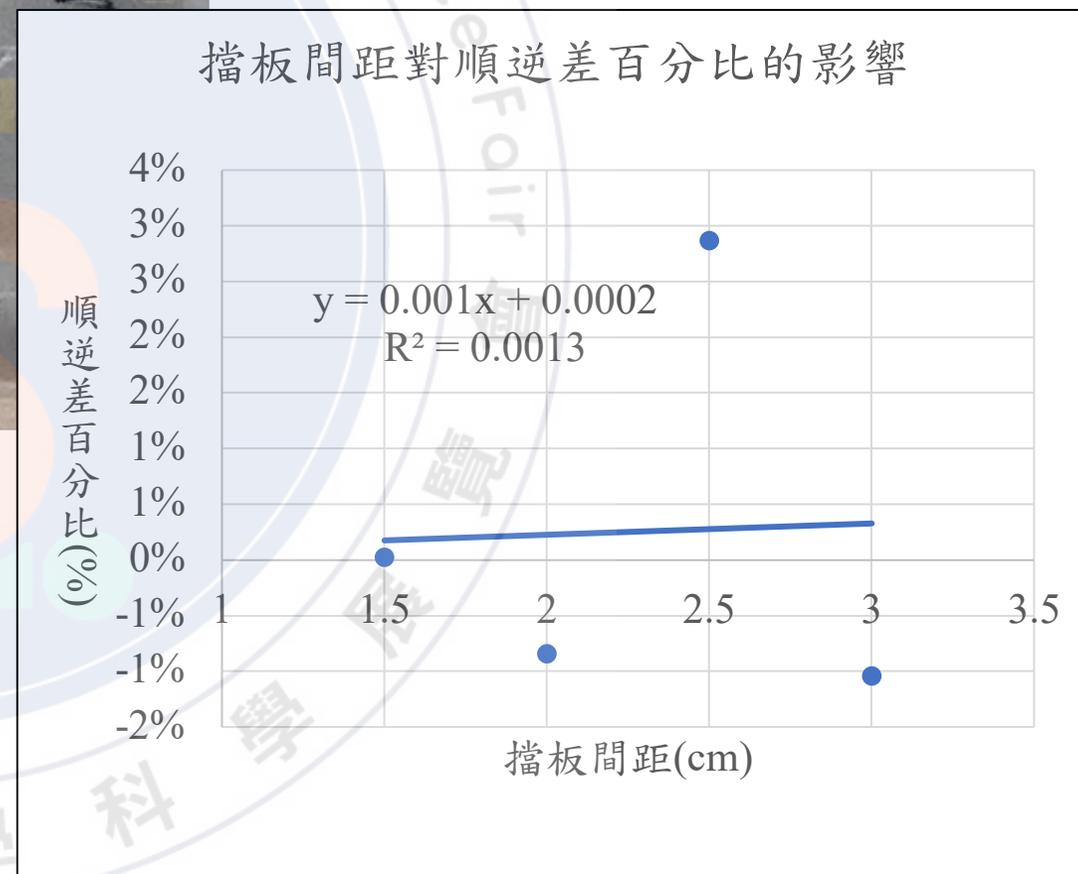
甘油的濃度與黏滯係數的關係

黏度對順逆差百分比的影響

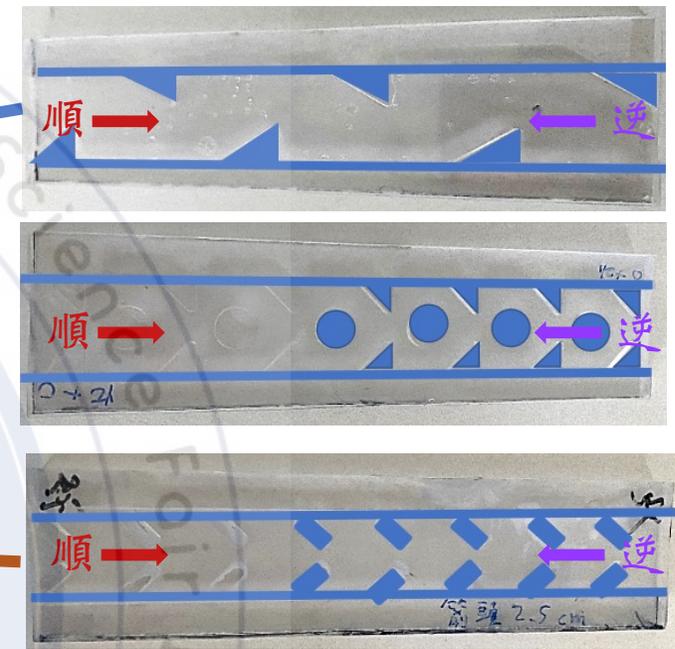
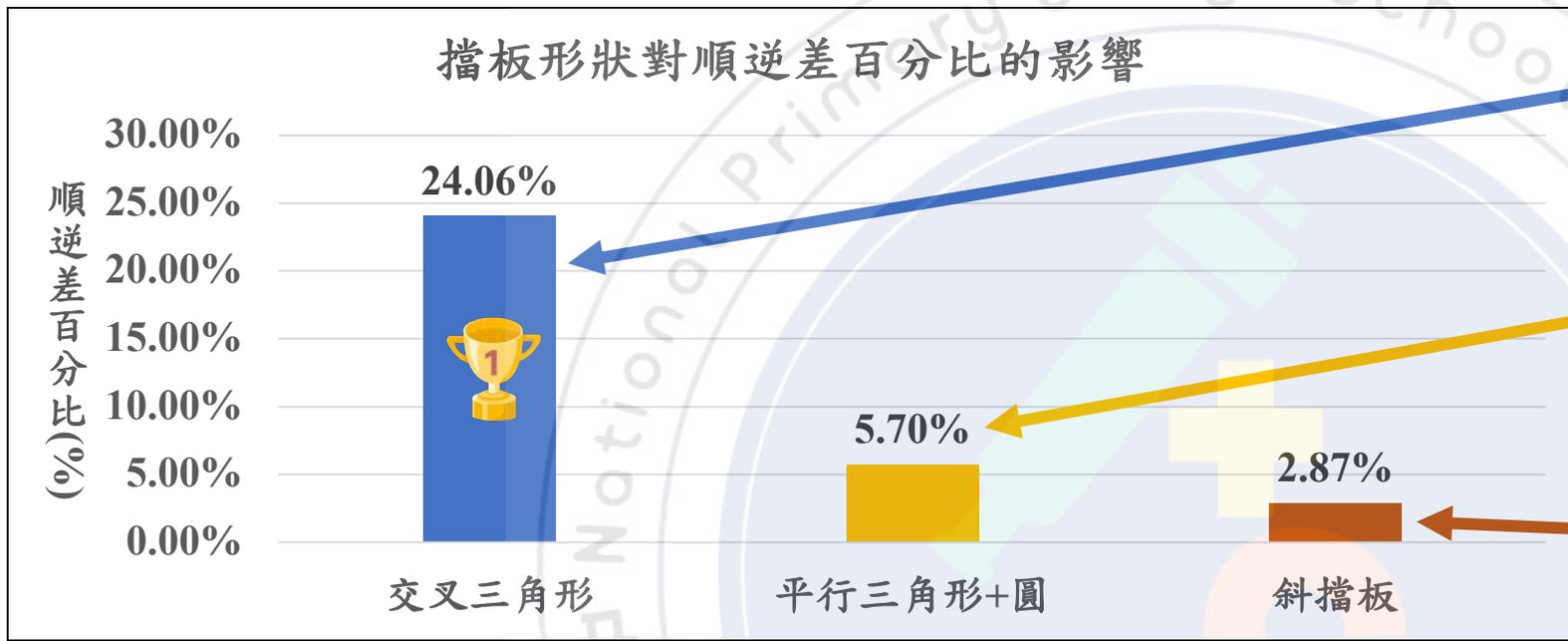
了解擋板間距對順逆差百分比的影響(斜擋板)



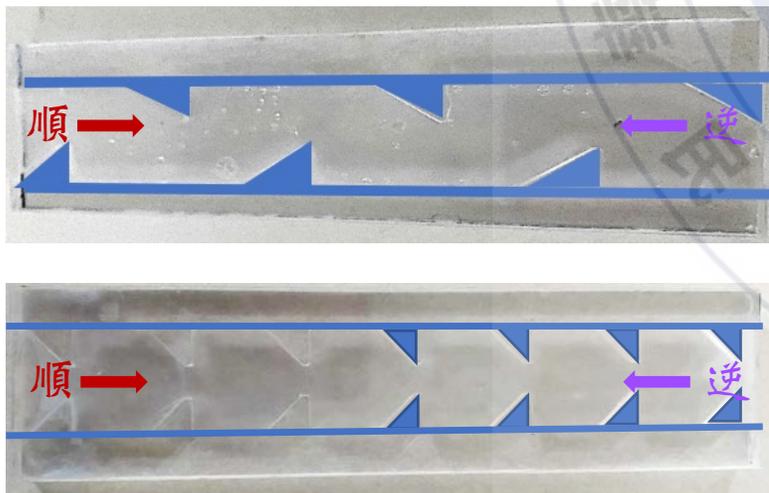
實驗結果：
斜擋板間距與順逆差百分比沒有明顯的關係



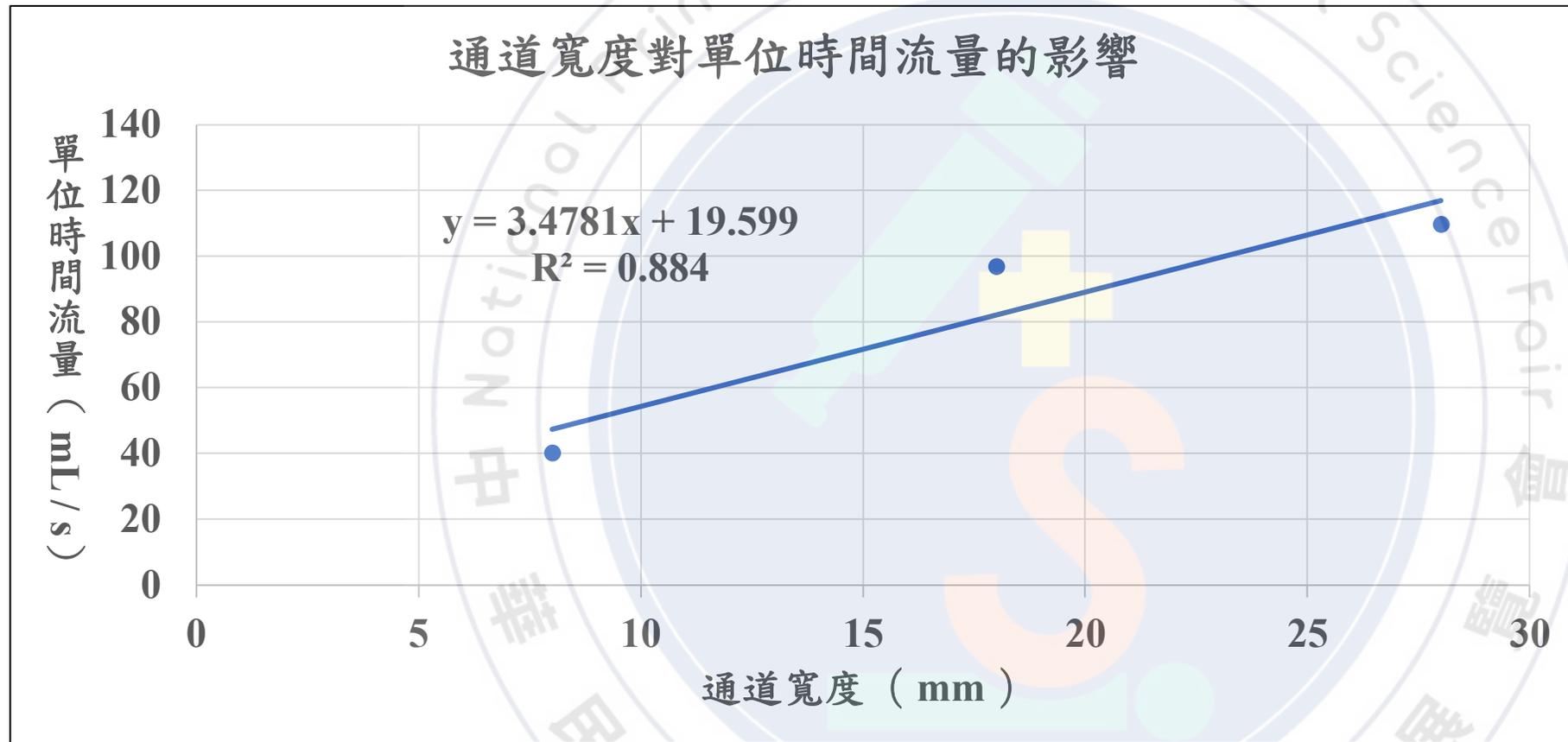
了解擋板形狀對順逆差百分比的影響(斜擋板)



了解擋板排列方式對順逆差百分比的影響

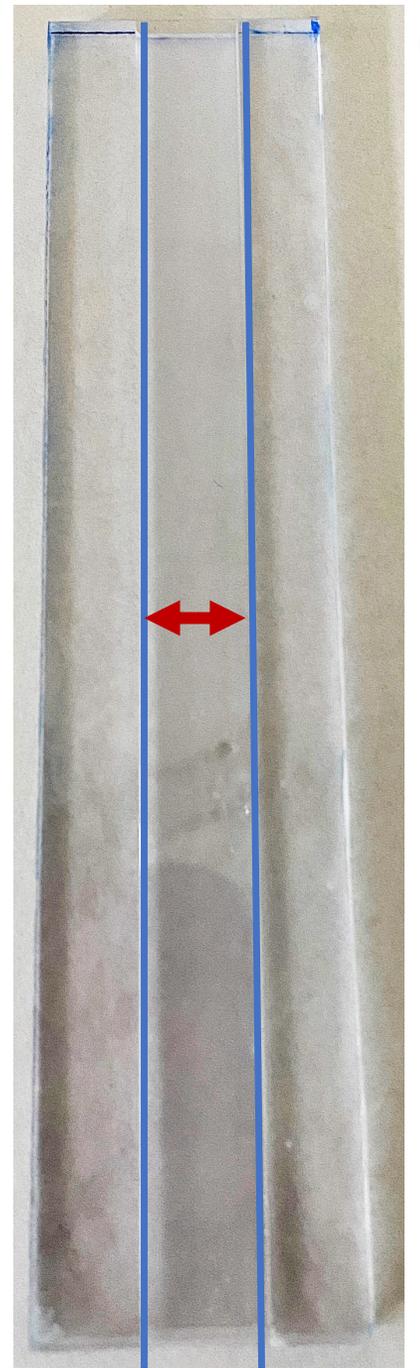


了解通道寬度對流量的影響



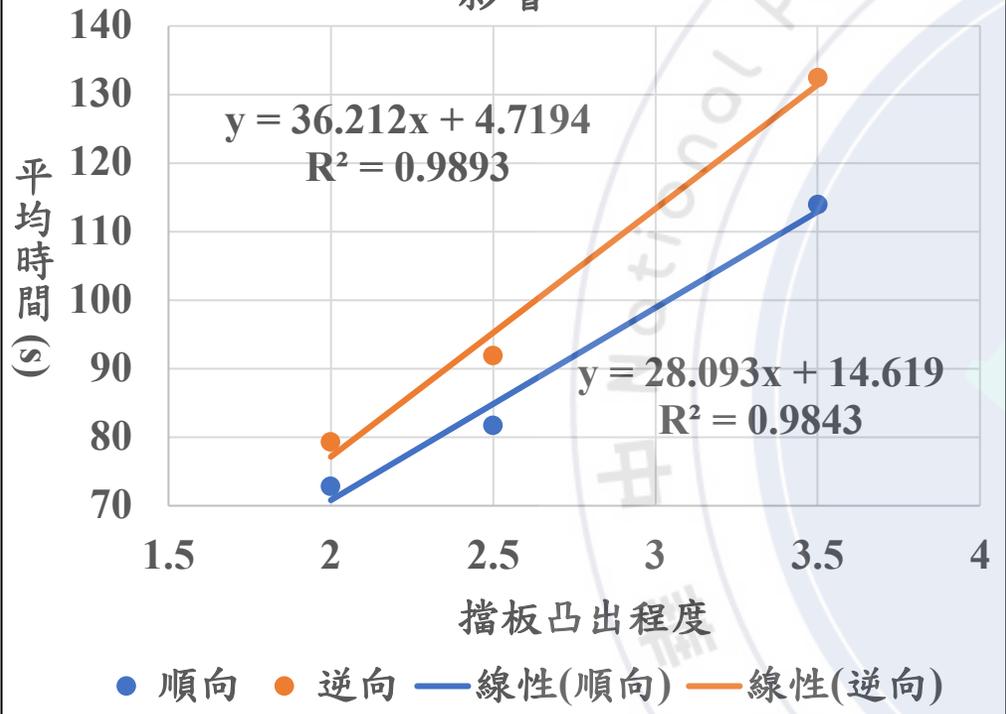
實驗結果：

通道寬度越寬，單位時間流量也會越大，但增加的趨勢會漸緩

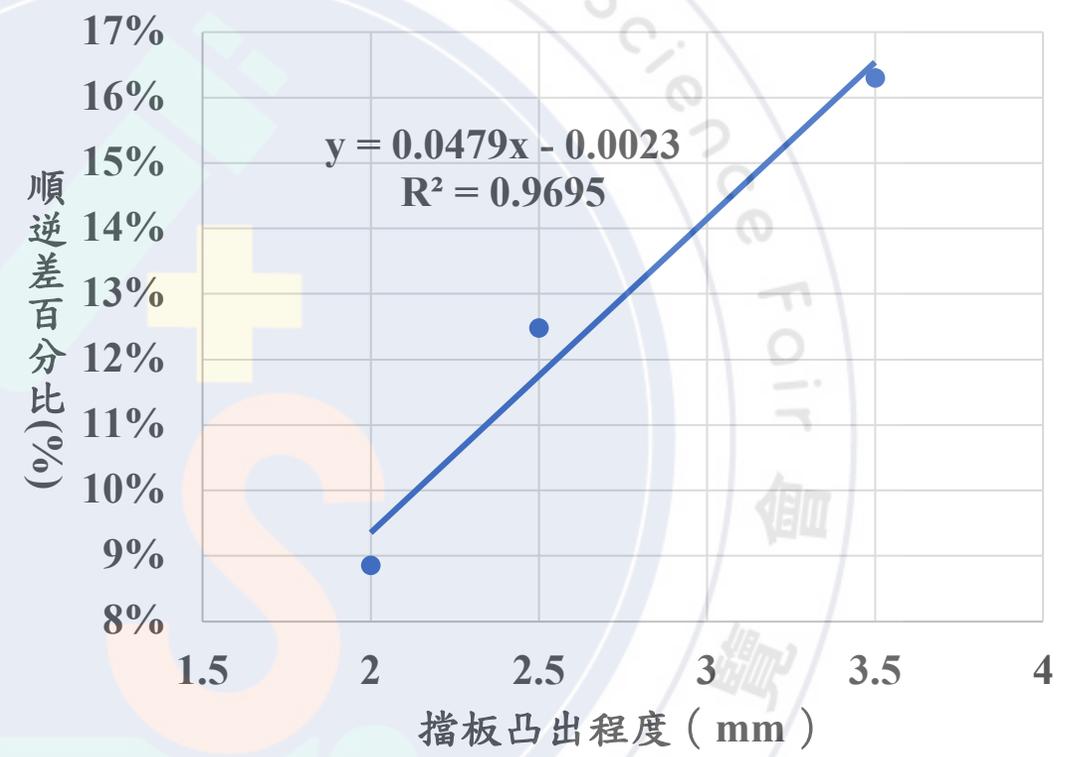


了解擋板的凸出程度對順逆差百分比的影響

擋板凸出程度對順逆向平均時間的影響

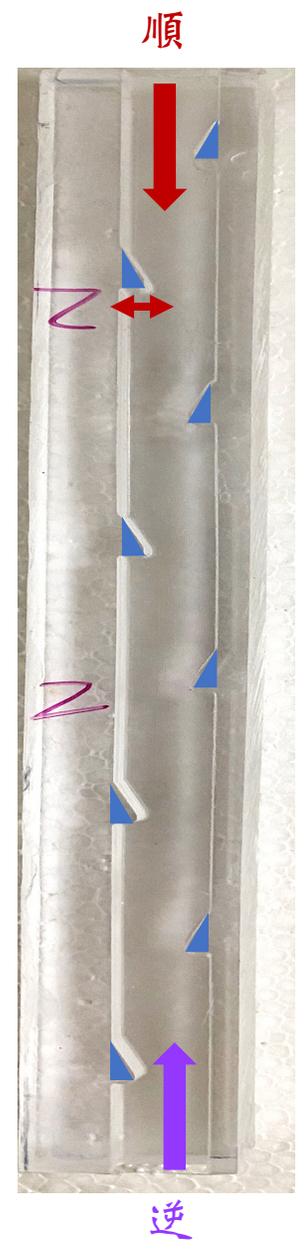


擋板凸出程度對順逆差百分比的影響

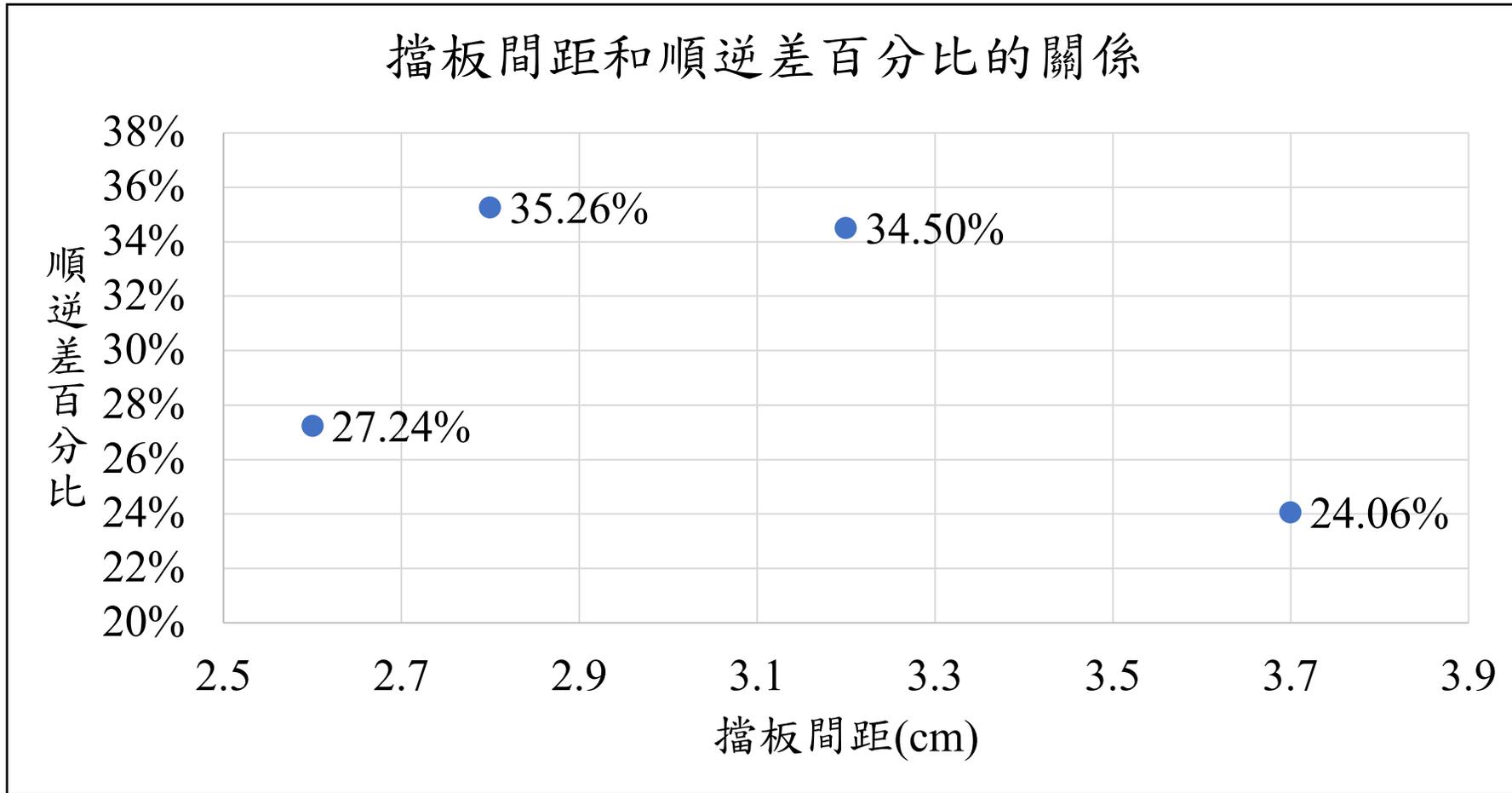


擋板越凸出，平均流量就越慢，且對逆向有較大的影響

擋板越凸出，順逆差百分比就越明顯



了解擋板間距對順逆差百分比的影響(交叉三角形擋板)

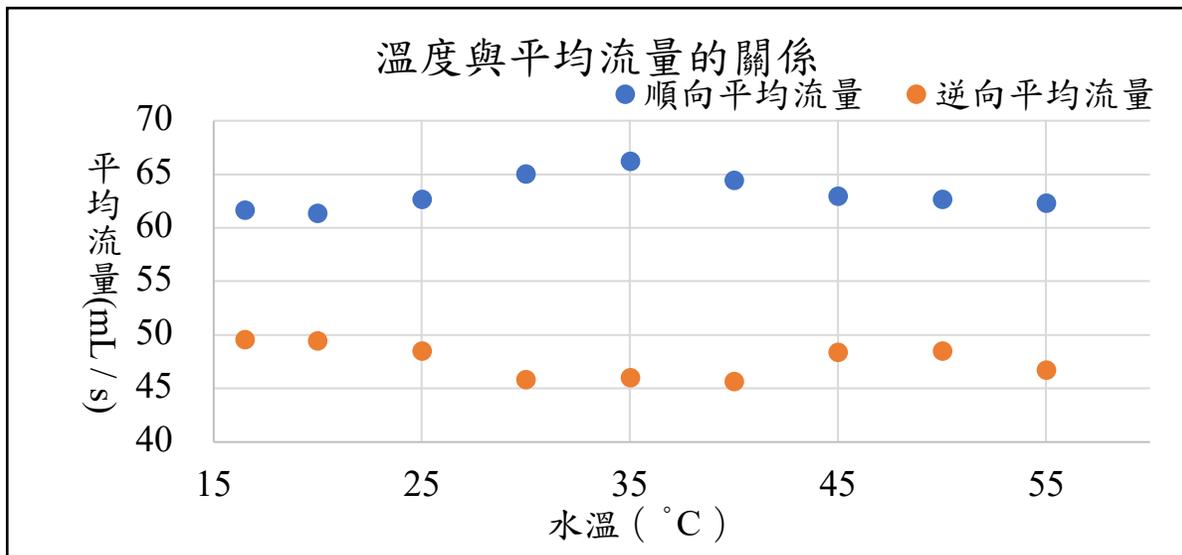


擋板間距2.8~3.2 cm，這個區間順逆差百分比最高，過了區間後開始下降。

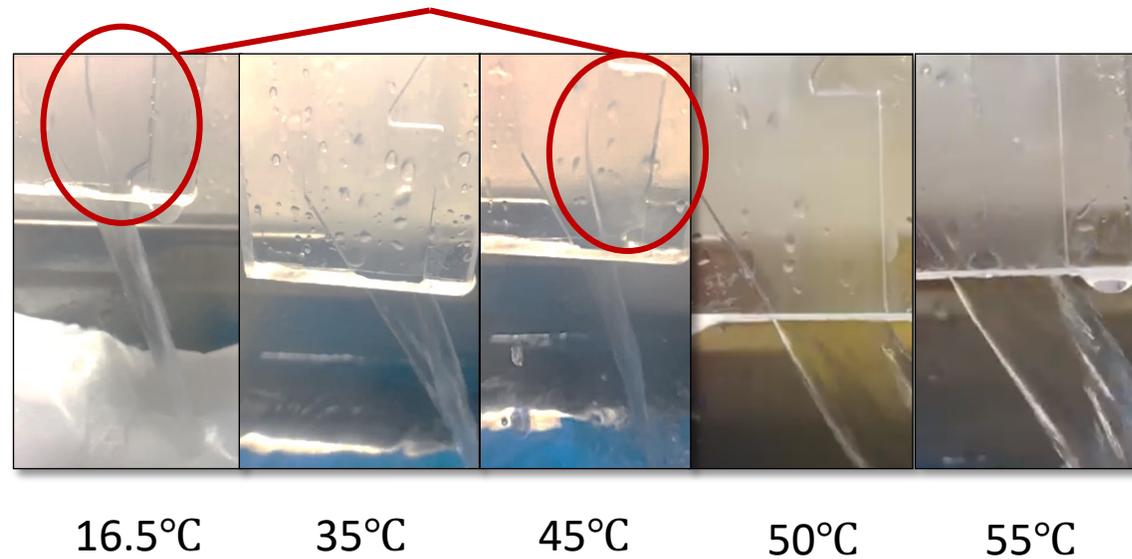


【研究二：觀察流體狀態對順逆差異的影響】

溫度對順逆差百分比的影響

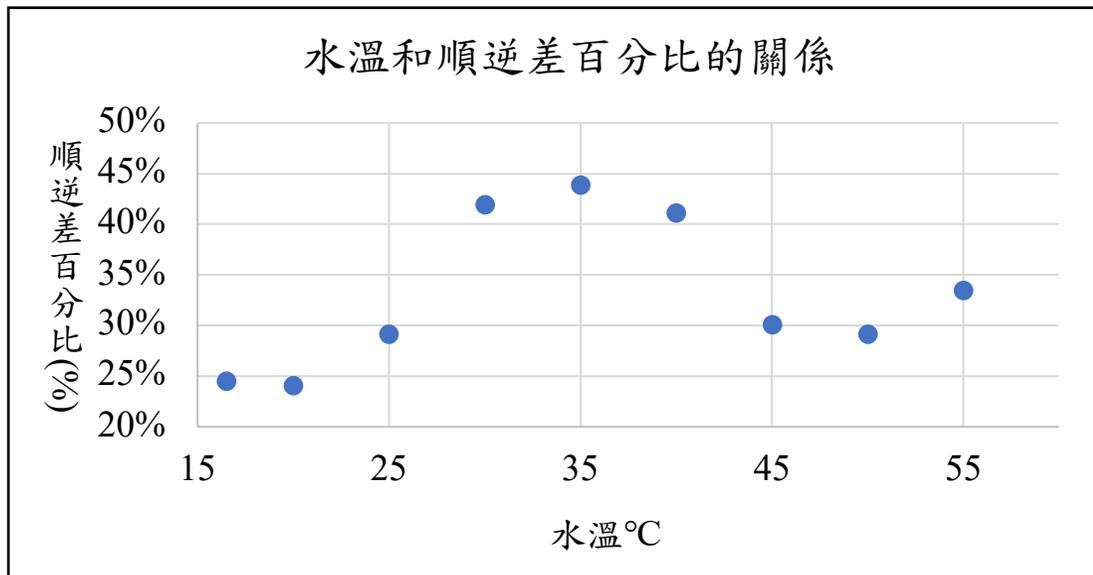
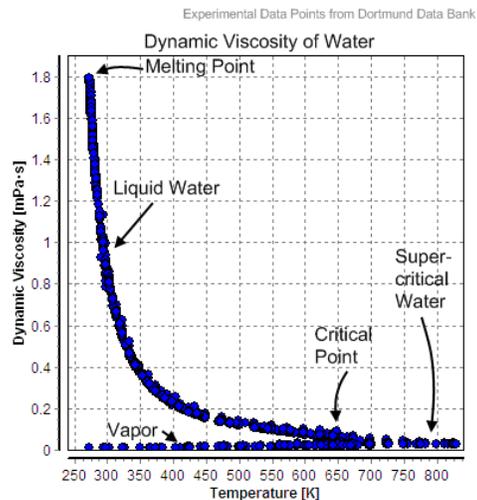


水流沒填滿出口

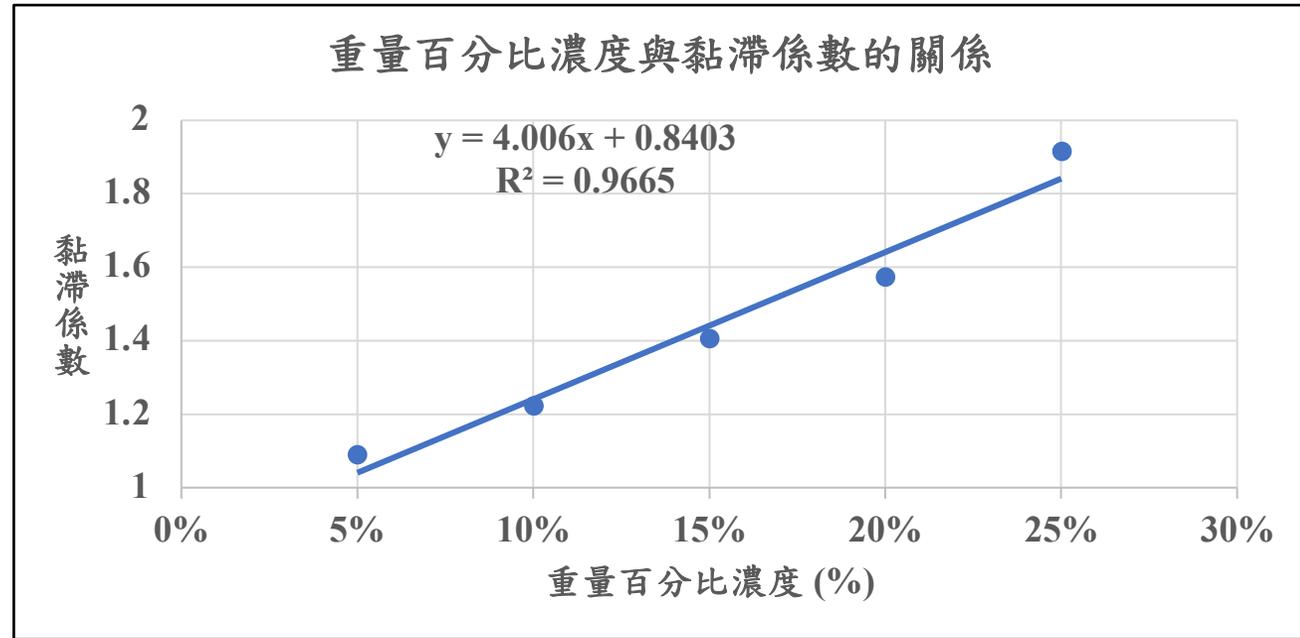
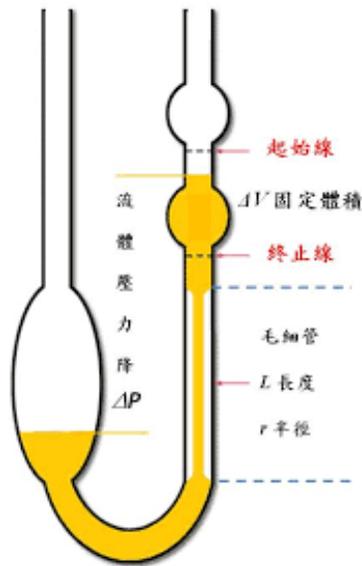


順向平均流量越快，逆向平均流量就越慢，順逆差百分比就越明顯

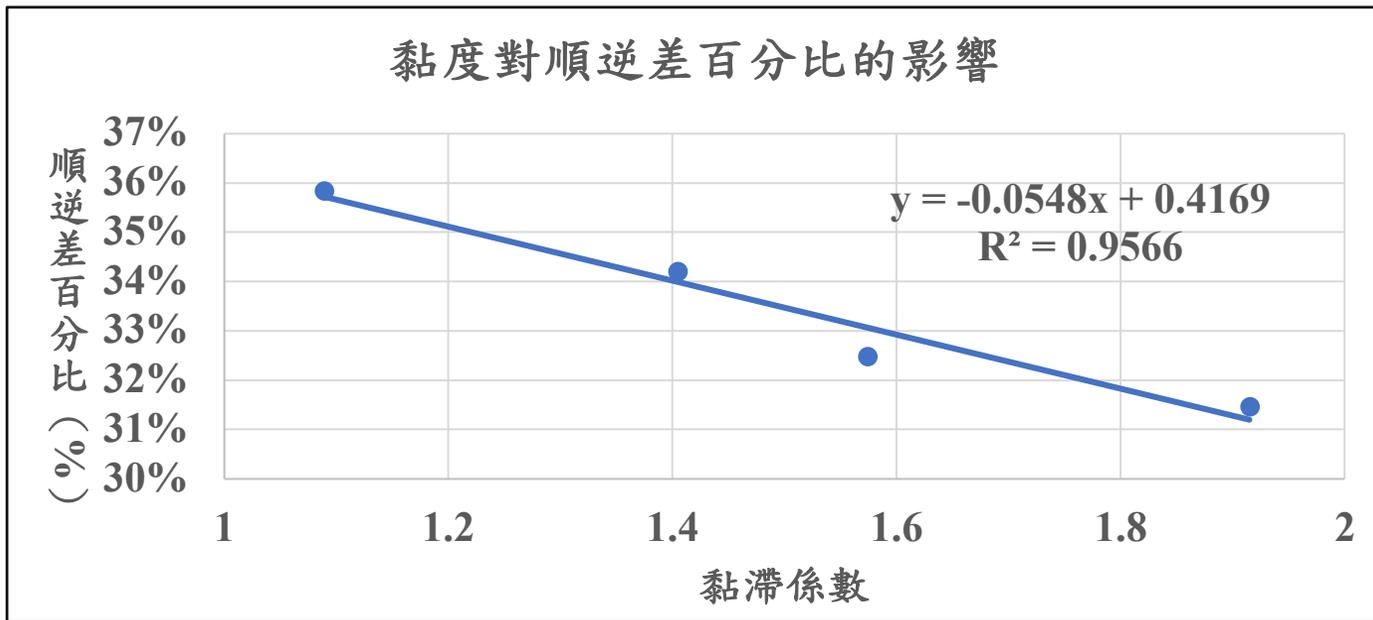
原本預測溫度愈高，順逆差異愈大，但水溫在35°C之後，由於水流出現沒有填滿出水口的情況，通道變窄，順逆差異隨之下降。



查詢資料發現水溫會影響黏度進而影響平均流量，因此要做黏度對於順逆差異的實驗，我們先進行甘油濃度對於黏滯係數的影響。



黏度對順逆差百分比的影響



濃度越大，黏滯係數愈大。

黏度越小，順逆差百分比越大。

結論

【研究一：觀察通道對順逆差異的影響】

結合上述的結果，如果要製作順逆差百分比最好的通道，要擁有以下特點：

1. 擋板為交叉三角形
2. 通道寬度大
3. 擋板凸出程度明顯
4. 擋板間距在 2.8 ~ 3.2 cm 區間

【研究二：觀察流體狀態對順逆差異的影響】

如果液體有以下特點，順逆差百分比會越好

1. 溫度接近 35 °C
2. 黏度越小

未來展望

未來我們期許能印製特斯拉閥的原圖形狀，並分析其結構的各項變因，再找出除了三角形擋板以外，更有用的擋板形狀。

除此之外，建議後人可以思考：如何應用此順逆向差異來製作物品或研究，例如：特斯拉閥水鐘、化學氣相反應槽(擴散速率)、推進器等。

參考資料

1. Arunachala, U., Rajat, A., Shah, D., & Sureka, U. (2019). Stability improvement in natural circulation loop using tesla valve—an experimental investigation. *Int. J. Mech. Prod. Eng. Res. Dev*, 9, 13-24.
2. Jin, Z. J., Gao, Z. X., Chen, M. R., & Qian, J. Y. (2018). Parametric study on Tesla valve with reverse flow for hydrogen decompression. *International Journal of Hydrogen Energy*, 43(18), 8888-8896.
3. Thompson, S. M., Paudel, B. J., Jamal, T., & Walters, D. K. (2014). Numerical investigation of multistaged tesla valves. *Journal of Fluids Engineering*, 136(8).