

中華民國第 63 屆中小學科學展覽會

作品說明書

國小組 物理科

團隊合作獎

080101

「液」立不「搖」～探討液體搖晃因素之研究

學校名稱：臺北市私立復興實驗高級中學(附設國小)

作者： 小六 吳定燁 小六 謝馥帆 小五 高語彤 小五 謝秉璇 小五 林沅萱 小五 劉雨潔	指導老師： 陳佳宜 盧世晟
---	-----------------------------

關鍵詞：液體搖晃、振幅、阻尼

摘要

本研究旨在探討影響液體搖晃的因素及如何減緩液體搖晃振幅。研究中我們研發了第一代、第二代以及最後利用第三代自動式搖晃裝置，然後探討不同液體的種類、黏滯度、水量及搖晃強弱對溶液振幅的影響。實驗結果發現，溶液黏滯度越低、水量越少及搖晃強度越大時，溶液波振幅越大；除此之外，我們也進行減緩液體晃動的實驗設計。實驗結果發現：液面添加奶泡、降低容器內壁光滑度可減緩液體搖晃，溶液波減晃率最高可達 26.4%。容器內放入筷子、湯匙等物品，以及利用托盤將容器分隔為多個較小區域空間，也能降低溶液波晃動，不僅如此，在容器內直立 3 個托盤，將容器分隔為 4 個小區域的方式，溶液波減晃率高達 88.4% 為最佳。

壹、動機

在學校自然課搬移實驗水盆，水盆內的液體因搖晃灑出來弄濕衣物，我們想了解有沒有什麼方法，可以減緩液體搖晃。我們查詢到一篇有趣的科學文章簡述如下：「台灣咖啡連鎖店到處林立，人手一杯外帶咖啡，為了便於攜行，店家會在紙杯上套一個封蓋，除了保溫也防止咖啡因為晃動而濺出。令人好奇的是，如果不加封蓋，哪一種咖啡比較不容易灑出杯外？詢問店員，十之八九會告訴你是拿鐵咖啡」，我們好奇為什麼是拿鐵咖啡？我們也查詢到油罐車在路上行駛，車子翻覆造成傷亡的新聞，都是因液體受到晃動所造成的影響，因此我們開始實驗，探討液體搖晃的因素及減緩液體搖晃的方式，避免液體晃動導致意外受傷。

貳、研究目的 (含目的、文獻回顧)

一、目的

- (一) 研究搖晃裝置進行探討液體搖晃實驗。
- (二) 探討影響液體搖晃振幅的因素，包括：
 1. 溶液種類、2. 溶液黏滯度、3. 水量、4. 搖晃強度。
- (三) 探討減緩液體搖晃振幅的方法，包括：
 1. 液面添加物、2. 降低容器內壁光滑度、3. 容器內部放入物品。
- (四) 比較各種溶液減晃方法的效果，並提出適合的減晃方式。

二、文獻回顧一：液體力學

(一) 層流與紊流 (Laminar flow and turbulent flow) :

1. 層流：為流體的一種流動狀態。當流速很小時，流體分層流動，互不混合或很少部分混合稱為層流，或稱為片流；逐漸增加流速，流體的流線開始出現波浪狀的擺動，擺動的頻率及振幅隨流速的增加而增加，此種流況稱為過渡流；當流速增加到很大時，流線不再清楚可辨，流場中有許多小漩渦，稱為湍流，又稱為亂流、擾流或紊流。
2. 紊流：在流體動力學中，是一種流體運動，其特徵是壓力和流速的無序變化。它與層流相對。湍流十分常見，例如海浪、湍急的河流、滾滾的暴風雲或煙囪冒出的煙霧，自然界中發生或工程應用中產生的大多數流體流動都是湍流。湍流是由流體流動部分中的過度動能引起的，它克服了流體黏度的阻尼效應。出於這個原因，湍流通常在低黏度流體中出現。一般而言，在湍流中，會出現大小不一的非定常渦流，它們相互影響，因此由於摩擦效應而產生的阻力增加。這增加了通過管道泵送流體所需的能量。

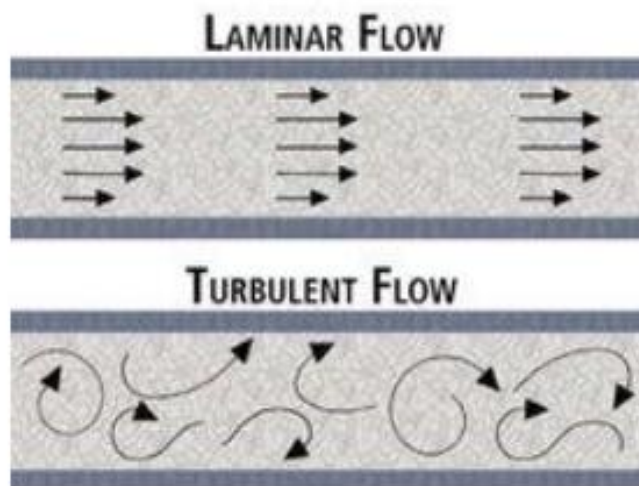


圖1-1 層流與紊流示意圖

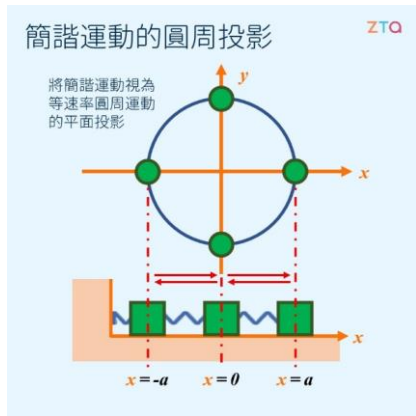
3. 黏滯係數 (Viscosity)：是黏性的程度，是材料的首要功能，也稱動力黏度、黏（滯）性係數、內摩擦係數。不同物質的黏度不同，例如在室溫（25°C）及常壓（1巴）下，空氣的黏度為 $18.5\mu\text{Pa}\cdot\text{s}$ ，大約比在相同溫度下的水黏度小50倍。在常溫（20°C）常壓下，汽油的黏度為 $0.65\text{mPa}\cdot\text{s}$ ，水為 $1\text{mPa}\cdot\text{s}$ ，血

液（37°C）為4~15mPa·s，橄欖油為 10^2 mPa·s，蓖麻油為 10^3 mPa·s，蜂蜜為 10^4 mPa·s，焦油為 10^6 mPa·s，瀝青為 10^8 mPa·s。最普通的液體黏度大致在1~1000mPa·s，氣體的黏度大致在1~10 μ Pa·s。一些像黃油或人造黃油的脂肪很黏，更像軟的固體，而不是流動液體。黏度較高的物質，比較不容易流動；而黏度較低的物質，比較容易流動。例如油的黏度較高，因此不容易流動；而水黏度較低，不但容易流動，倒水時還會出現水花，倒油時就不會出現類似的現象。

- (二) 阻尼：指任何振動系統在振動中，由於外界作用（如流體阻力、摩擦力等）和系統本身固有的原因引起的振動幅度逐漸下降的特性，以及此一特性的量化表徵。在實際振動中，由於摩擦力總是存在的，所以振動系統最初所獲得的能量，在振動過程中因阻力不斷對系統做負功，使得系統的能量不斷減少，振動的強度逐漸減弱，振幅也就越來越小，以至於最後的停止振動，像這樣的因系統的力學能，由於摩擦及轉化成內能逐漸減少，振幅隨時間而減弱振動，稱為阻尼振動。

三、文獻回顧二：簡諧運動

- (一) 簡諧運動（SHM，Simple Harmonic Motion）是最基本也是最簡單的一種機械振動，一維的簡諧運動有以下三種特徵：
1. 物體在原點（平衡位置）兩側的運動模型呈現對稱狀態。
 2. 物體所受力的大小（代表物體的加速度），會和物體位移的大小成正比。
 3. 物體受力方向和位置相反，就是受力方向永遠朝向原點。
- (二) 簡諧運動的模型：根據以上簡諧運動的特徵，可以用下面的公式來代表。物體運動的模型符合這個公式，就是一維的簡諧運動。



$$F = -kx$$

F 代表物體所受的力

x 代表物體的位置

k 代表力和位置的比值

負號代表受力的方向和位置

的方向相反

圖1-2 簡諧運動的圓周投影

簡諧運動可以用物體作圓周運動時，在 x 軸方向投影的運動軌跡來表示。

這個運動的軌跡，會和彈簧運動軌跡一樣，具有下面的特徵：

1. 物體在原點的運動速率最快，離開原點的位置越遠，物體的運動速率會越來越慢，到兩端時速率為零。
2. 物體在原點的受力為零，離開原點的位置越遠，物體的受力會越來越大，到兩端時受力最大。

(三) 簡諧運動的常例

我們日常生活中經常可以看見的簡諧運動，首先就是彈簧的往復運動。彈簧的往復運動符合簡諧運動 $F = -kx$ 的公式，這時候 k （力和位置的比值）被稱為彈性係數。

另一個常見的簡諧運動，就是如下圖的曲柄往復運動。這個運動的原理，是用一根長條形的曲柄，一端連接到一個作圓周運動的物體上，另一端連接到一個作直線運動的物體，使曲軸的一端呈現圓周運動，另一端呈現直線往復運動。在許多的機械裝置中都有這種運動，例如發動機，藉由簡單機械裝置，將圓周運動的輸出轉換為直線往復運動，或是將直線往復運動的輸出轉換為圓周運動。

本實驗所用的自動搖晃裝置器材，就是運用曲柄往復運動原理的的機械結構。

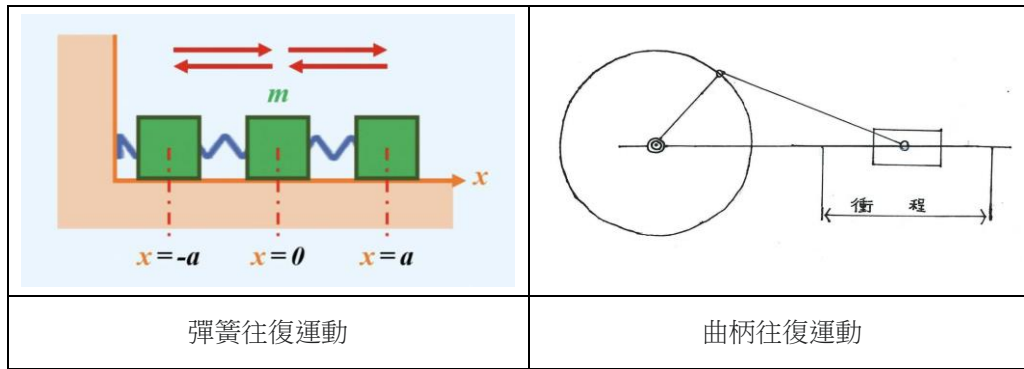


圖1-3 簡諧運動的常例

參、研究設備及材料

- 一、**研究設備**：鐵尺、捲尺、量杯、電子秤、塑膠平底托盤、電動打奶泡機、燒杯、滴管、量筒、漏斗、木板、音響、喇叭、手機相機、手機計時器、手機節拍器 app Pro Metronome、電腦 tracker 軟體、長方體透明容器。
- 二、**研究材料**：保麗龍球、竹筷、網狀泡棉、海綿、橡皮筋、棉線、冰棒棍、膠帶、保鮮膜、潤滑油、水、全脂鮮奶(瑞穗)、低脂鮮奶(瑞穗)、甘油、優酪乳(統一 AB)。



圖2-1 研究設備及材料

肆、研究過程與方法

一、研究架構

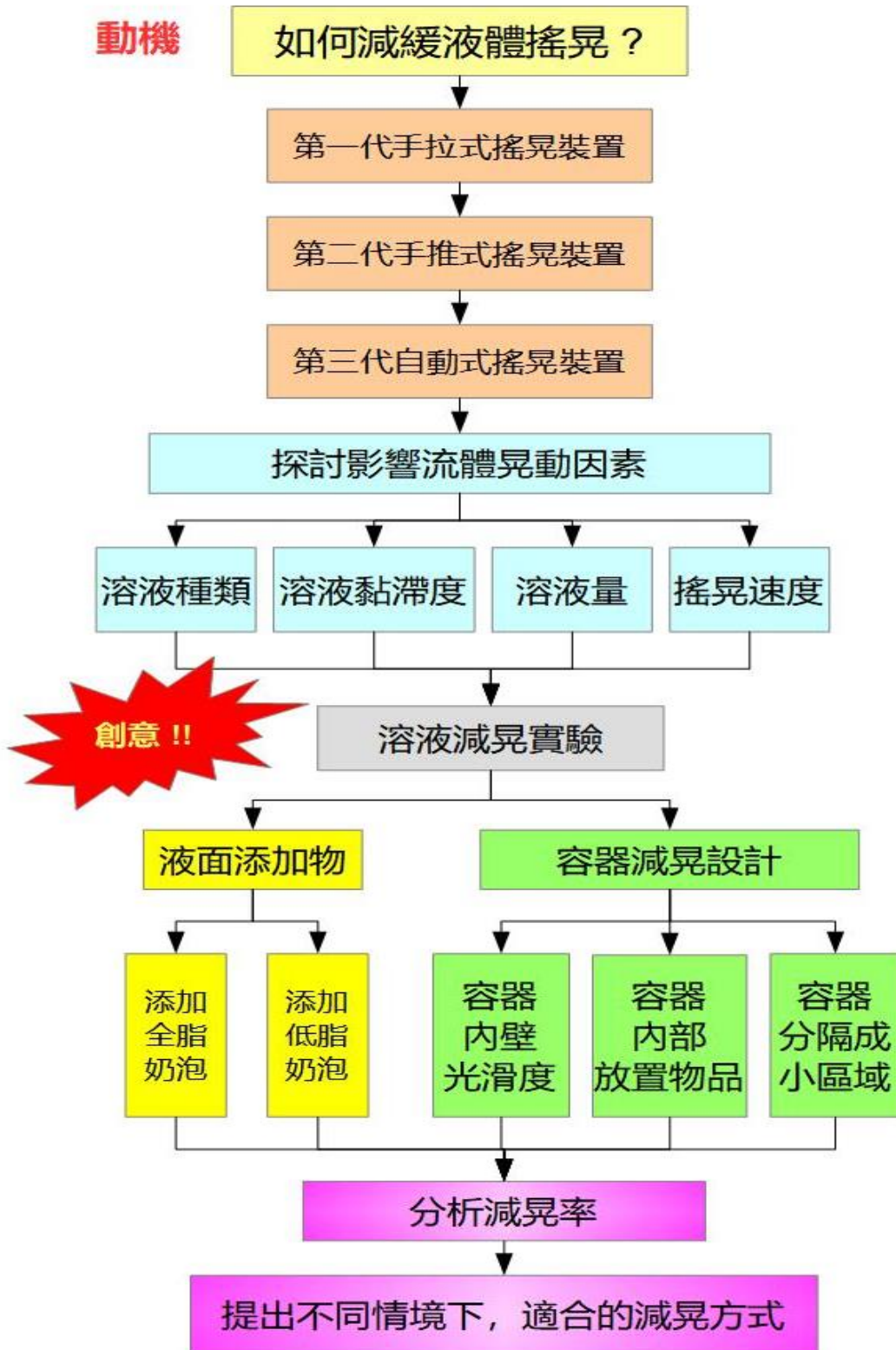


圖3-1 研究架構圖

二、第一代手拉式搖晃裝置

取一底盤，中間使用多個紅色小柱子用以固定水杯，利用棉繩將底盤與主體連接，調整棉繩長度，使底盤呈水平不傾斜，將水杯置於底盤中間，再用橡皮筋固定，棉繩將底盤拉起，可懸空搖晃，完成第一代手拉式搖晃裝置。經實驗結果發現，使用第一代手拉式搖晃裝置，每位同學拉的力道不同，誤差太大，因此我們進行改良為第二代手推式搖晃裝置。

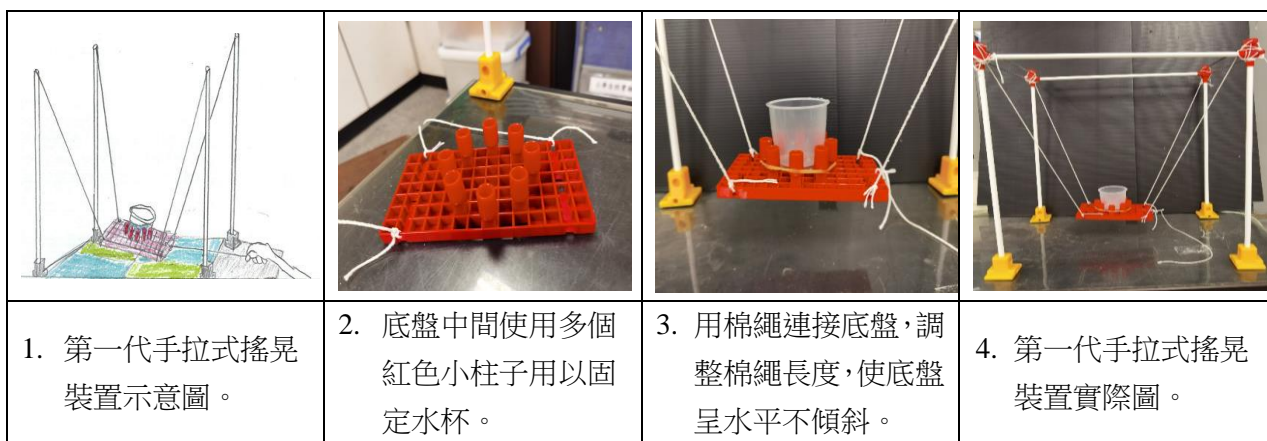


圖3-2 第一代手拉式搖晃裝置實驗

三、第二代手推式搖晃裝置（利用手機節拍器app Pro Metronome發出聲響，增加搖晃頻率精準度）

將數根桿子放在木板下，木板上放置底盤，再將容器放置於底盤上，利用手機節拍器app Pro Metronome產生固定的節拍聲音，在桌面設定一固定距離，板下的桿子滑動如同滾輪，再利用app Pro Metronome，二位同學在此範圍內，依照節拍器發出的節奏，雙手來回推動木板，固定搖晃頻率。

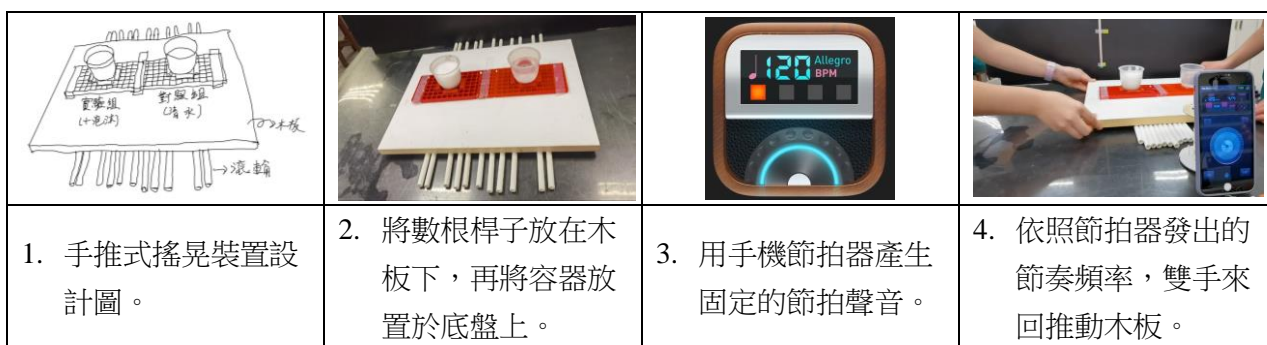


圖3-3 第二代手推式搖晃裝置實驗

經實驗結果，發現第二代手推式搖晃裝置比起第一代手拉式搖晃裝置精準許多。我們思考，若能使用馬達自動轉動，比起手動應更為方便。與老師討論，老師說她曾經參加一個創客DIY的課程研習，課程內容有個往復運動機製作，應該可以進行我們搖晃的實驗。這個往復運動機包含一個變速齒輪組，正好是我們六年級自然的單元。於是我們進行深入的研究，了解其運轉原理，成為我們實驗中的第三代自動搖晃裝置。

四、 第三代自動式搖晃裝置

(一) 構造解說如下圖所示。

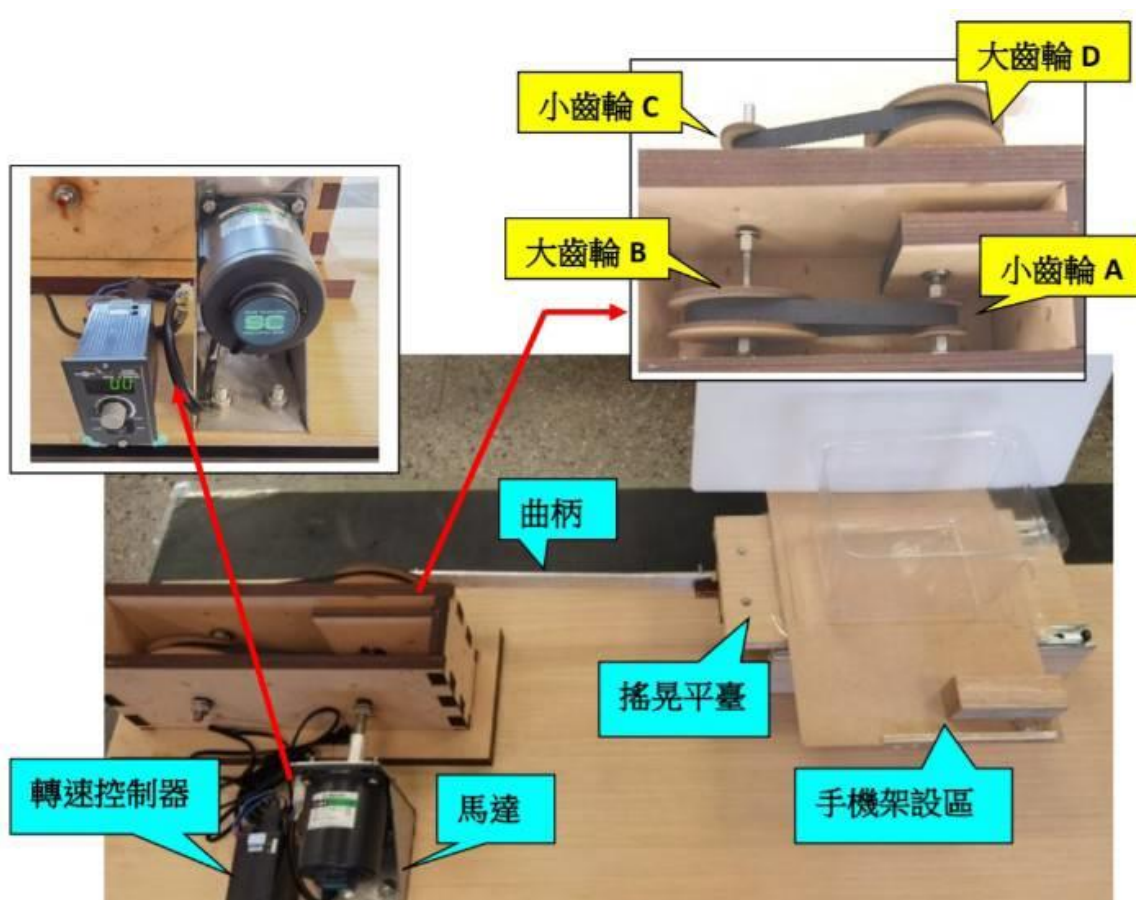


圖 3-4 自動式搖晃裝置各部位構造解說圖

(二) **自動式搖晃裝置的組成**：包括一個底板、一個馬達、一個馬達控制元件、一個齒輪箱、一個曲柄、一個具有直線滑槽的往復運動元件。其中齒輪箱內包括兩個完全相同的齒輪組，每個齒輪組都是由一個小齒輪透過皮帶驅動一個大齒輪。第一個齒輪組的小齒輪與馬達使用一根相同的轉軸，第一個齒輪組的大齒輪與第二個齒輪組的小齒輪使用另一根相同的轉軸。

(三) **作動原理**：自動式搖晃裝置的馬達和齒輪箱，它們的輸出都是圓周運動。馬達輸出經過齒輪箱後會降低轉速，再用曲柄的簡單機械結構拉動搖晃平台，可以將圓周運動轉變為一維直線簡諧運動。自動式搖晃裝置的作動過程如下：

1. 先由馬達控制元件驅動馬達，使馬達轉軸輸出圓周運動。
2. 再透過同一根轉軸，帶動第一個齒輪組的小齒輪 A 作圓周運動。
3. 再透過第一個齒輪組的皮帶，帶動第一個齒輪組的大齒輪 B 作圓周運動。
4. 再透過同一根轉軸，帶動第二個齒輪組的小齒輪 C 作圓周運動。
5. 再透過第二個齒輪組的皮帶，帶動第二個齒輪組的大齒輪 D 作圓周運動。
6. 再透過曲柄，拉動往復運動元件，沿著滑槽產生一維直線往復運動。

(四) **自動式搖晃裝置的輸出與轉換數據**：

1. 自動式搖晃裝置的齒輪箱，是由兩個完全相同的大小齒輪組所組成。對於同一個大小齒輪組，因為是透過同一條皮帶驅動，所以大齒輪和小齒輪的圓周運動切線速率會相同，這就使得大小齒輪的轉速會和它的半徑成反比。

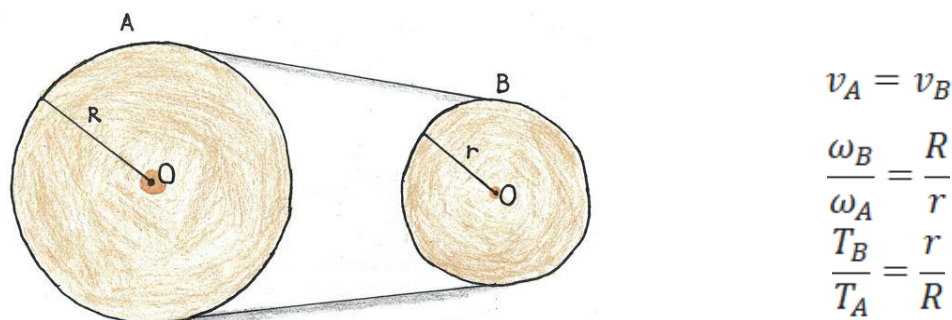


圖 3-5 齒輪組驅動示意圖與各項參數計算式

2. 齒輪箱內的大齒輪的半徑為約 5.61cm，小齒輪的半徑為約 1.78cm，一個齒輪組的轉速比約為 3.15 ($\approx 5.61 \div 1.78$)，兩個齒輪組的轉速比約為 9.92 ($\approx 3.15^2$)。所以，馬達的輸出經過齒輪箱轉換後，轉速會降低約 9.92 倍。
3. 依照本實驗使用的兩個主要轉速 400RPM 和 500RPM，轉速降低 9.92 倍後，轉速分別變成 40.3RPM 和 50.4RPM，頻率分別為 0.67 轉/s 和 0.84 轉/s，跟實驗測量的數據大致相當。

五、實驗過程與步驟

(一) 實驗 1：探討不同溶液對液面搖晃的影響。

1. 分別將 1400c.c.的清水、牛奶、優酪乳、甘油倒入一透明容器底面積大小為 27cm×18cm，測得容器水高約 3cm，放置於搖晃平臺上。
2. 開啟電源，設定馬達轉速為 400RPM，觀察、錄製影片並分析、記錄液體搖晃情形。
3. 利用甘油及水調配出 0%(清水)、20%、40%、60%、80%、100%(純甘油)甘油水溶液，放置於搖晃平臺上，重覆步驟 2。



圖 3-6 搖晃不同種類溶液

(二) 實驗 2：探討不同水量對液面搖晃的影響。

1. 1400c.c.的清水倒入一透明容器底面積大小為 27cm×18cm，測得容器水高約 3cm，放置於搖晃平臺上
2. 開啟電源，設定馬達轉速 400RPM，觀察、錄製影片並分析、記錄液體搖晃情形。
3. 分別在透明容器中裝入 4、5、6、7cm 高的清水，放置於搖晃平臺上，重覆步驟 2。

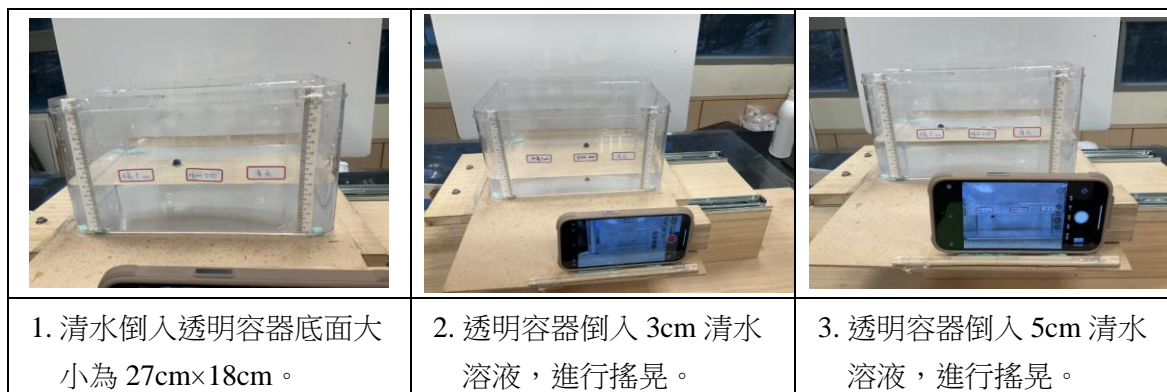


圖 3-7 搖晃不同水量溶液

(三) 實驗 3：探討不同搖晃程度對液面搖晃的影響。

1. 將 1400c.c.的清水倒入一透明容器底面大小為 27cm×18cm，測得容器水高約 3cm，放置於搖晃平臺上。
2. 開啟電源，分別設定馬達轉速為 200、300、400、500、600RPM。
3. 觀察、錄製影片並分析、記錄液體搖晃情形。

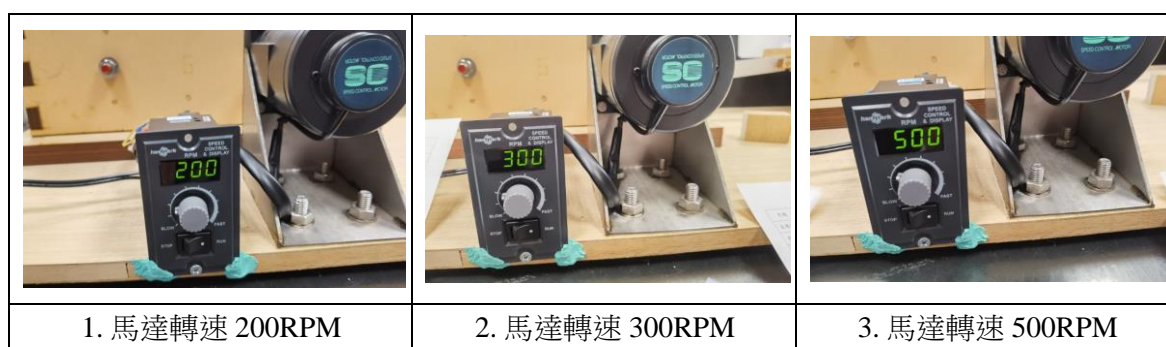


圖 3-8 以不同馬達轉速搖晃

經過前三個實驗後，我們思考有什麼方法可以減緩液體的晃動？討論後決定分三個部份再進行研究，我們分別針對「液體液面添加物」、「容器兩側內壁光滑度」及「容器內部放入物品」進行測試，以下是想法設計草圖。

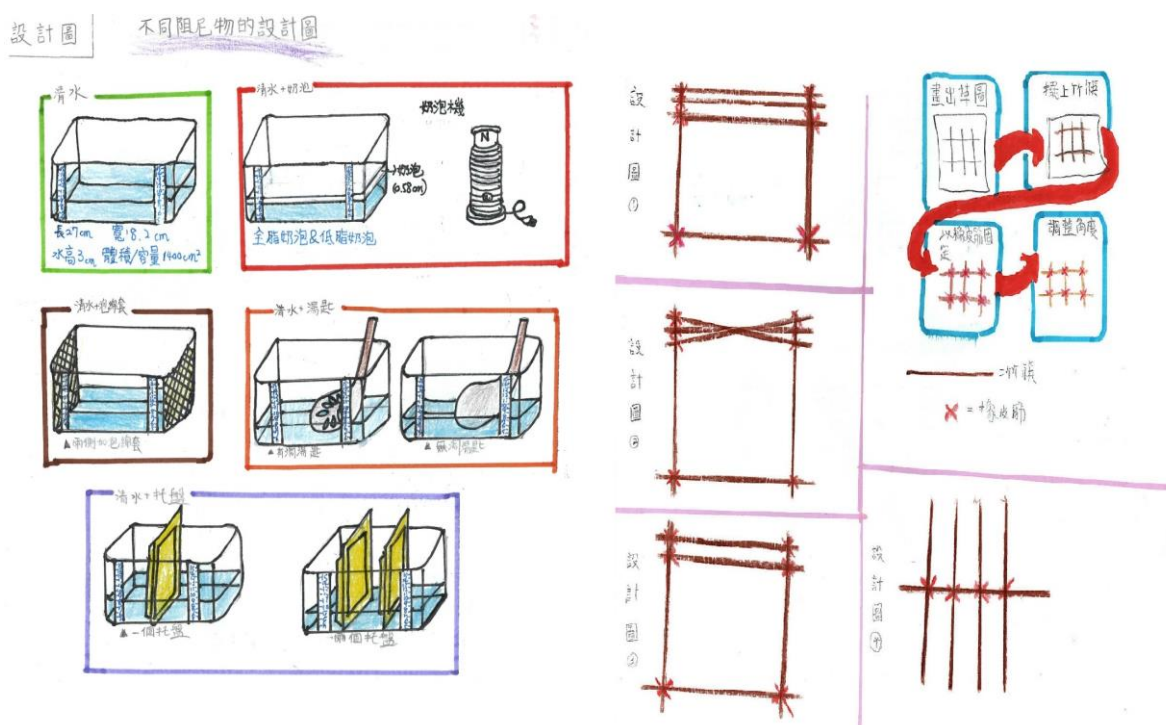


圖 3-9 減晃方式發想圖

(四) 實驗 4：探討液體液面添加物對液面搖晃的影響。

1. 將 1400c.c.的清水倒入一透明容器底面積大小為 27cm×18cm，測得容器水高約 3cm，放置於搖晃平臺上。
2. 利用奶泡機分別將 150c.c.全脂及低脂牛奶打成奶泡，並將奶泡放置於清水上方，奶泡高度約 0.58cm。
3. 開啟電源，分別設定馬達轉速為 400、500RPM。
4. 觀察、錄製影片並分析、記錄液體搖晃情形。

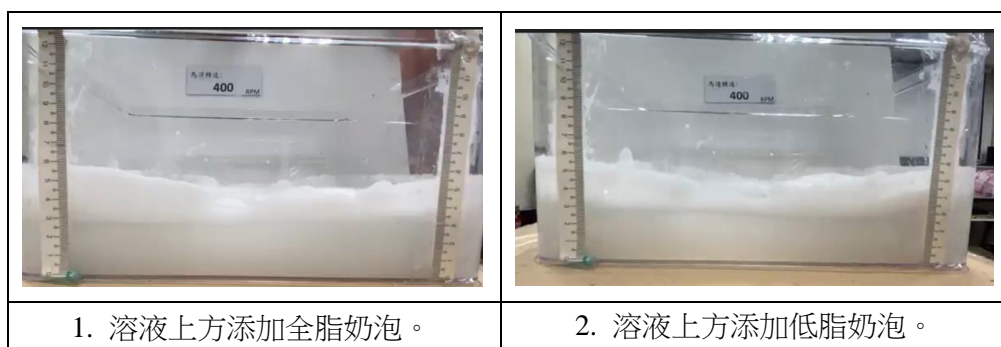


圖 3-10 液體液面添加物搖晃實驗

(五) 實驗 5：探討容器內壁光滑度不同對液面搖晃的影響。

1. 分別在透明容器短邊及長邊內壁的單側、兩側及四側擺放泡棉。
2. 將 1400c.c.的清水倒入透明容器，測得容器水高約 3cm，放置於搖晃平臺上。
3. 開啟電源，分別設定馬達轉速為 400 RPM、500RPM，觀察、錄製影片並分析、記錄液體搖晃情形。

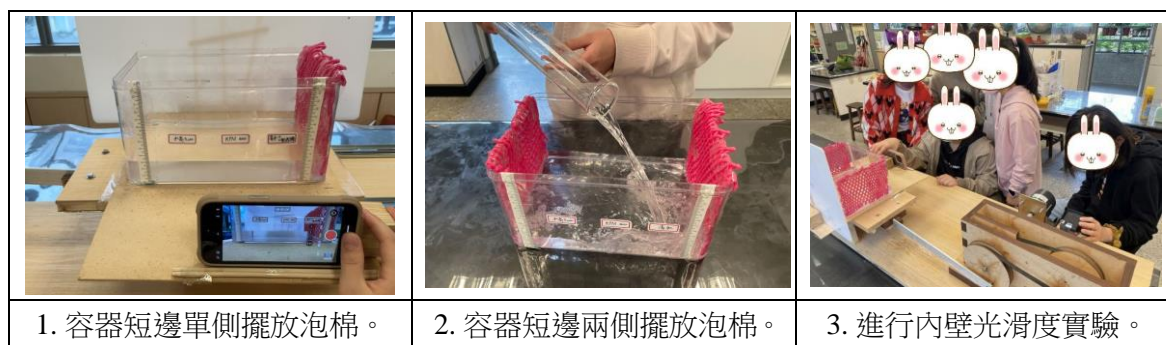


圖 3-11 容器內壁光滑度搖晃實驗

(六) 實驗 6：探討容器內部放入物品對液面搖晃的影響。

1. 將 1400c.c.的清水倒入一透明容器底面積大小為 27cm×18cm，測得容器水高約 3cm，放置於搖晃平臺上。

2. 分別在容器中放入不同物品及不同擺放方式來進行減晃實驗，放入物品有：竹筷、無洞湯匙、有洞湯匙、托盤等 9 種方式。
3. 開啟電源，分別設定馬達轉速為 400、500RPM，觀察、錄製影片並分析、記錄液體搖晃情形。

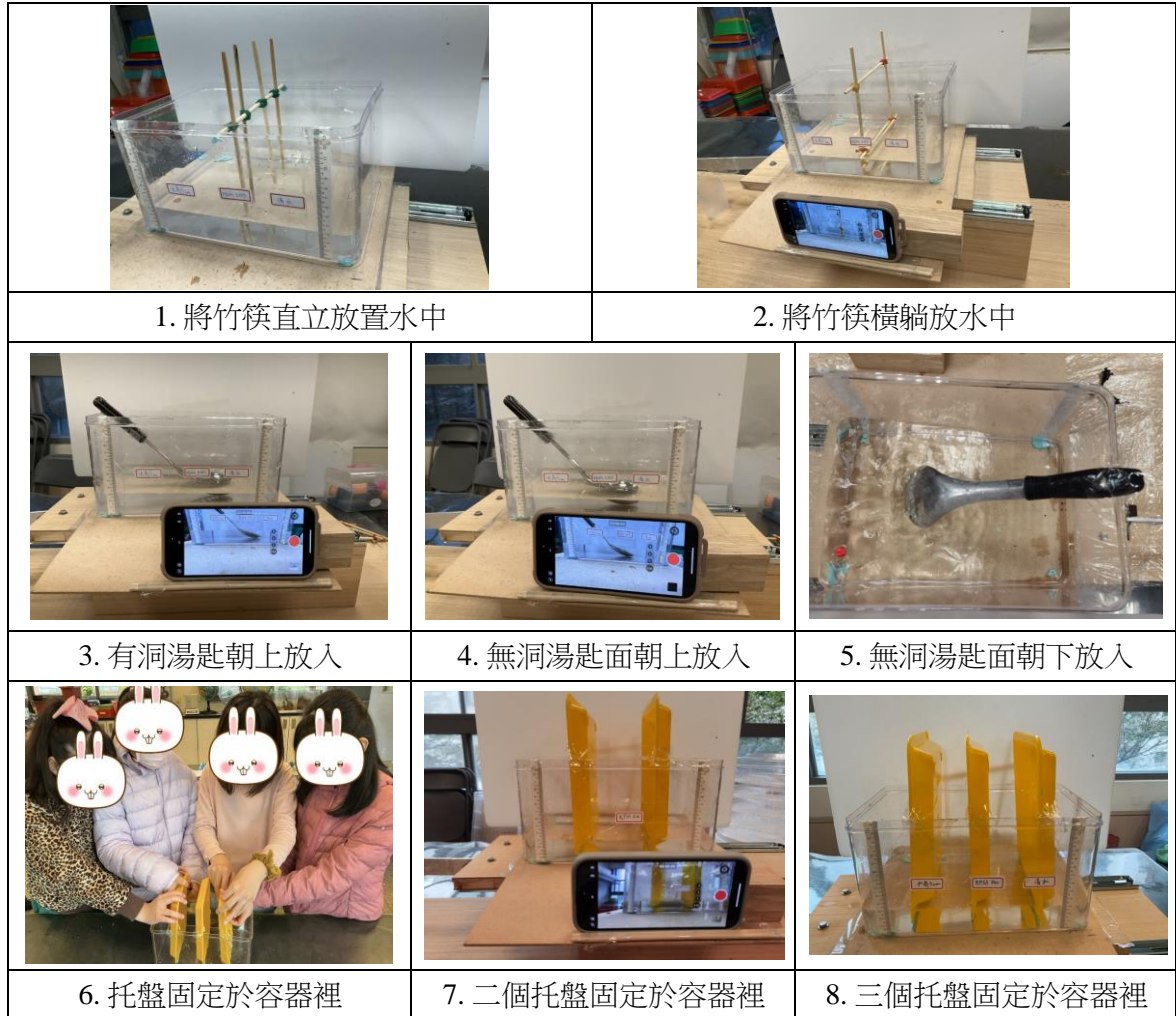
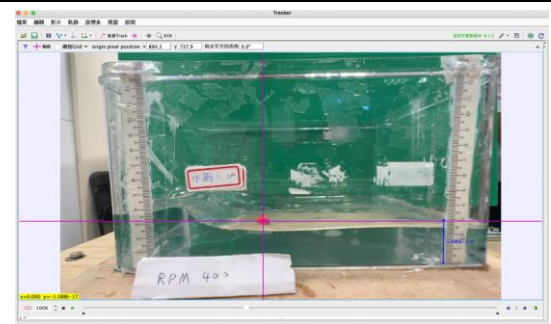


圖 3-12 液體內部障礙物搖晃實驗

(七) 使用 tracker 軟體進行水波搖晃振幅分析。

1. 步驟 1：開啟預載的範例影片，影片檔案放置於先前安裝影片及實驗檔案的路徑。



2. 步驟 2：點選左上角藍色校正桿圖示，再點選「新增」，按「校正桿」，調整校正桿長度。
3. 步驟 3：按左上角桃紅色十字架，設定座標初始值。

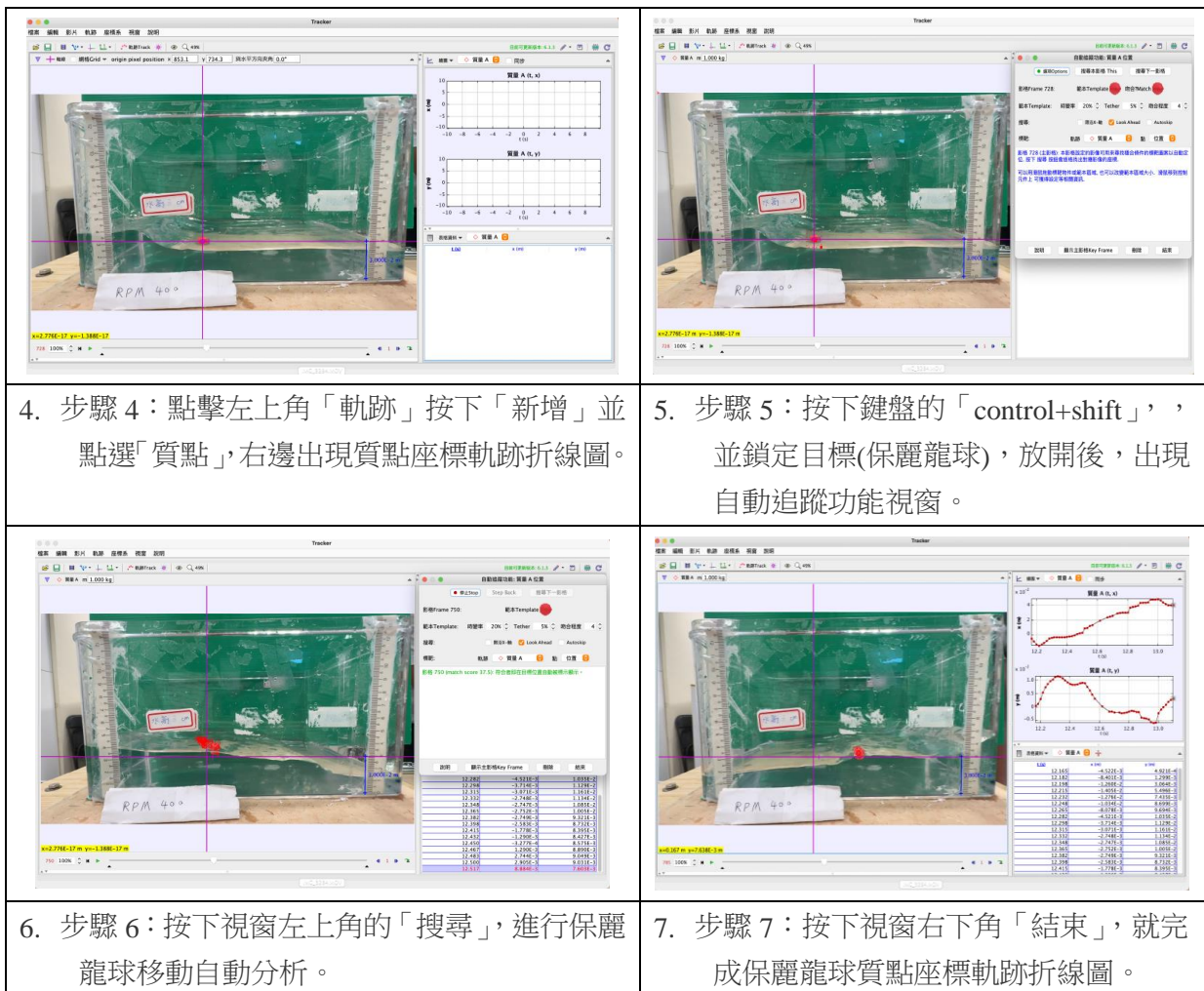


圖 3-13 使用 tracker 軟體進行溶液波搖晃振幅分析

(八) 計算並探討各種減晃設計對液面搖晃之減晃率。

1. 計算實驗 4~6 流體經減晃設計實驗後，對液面搖晃的影響比較。當實驗組溶液波振幅(cm)數值越小，為搖晃程度越小；數值越大，為搖晃程度越大。
2. 我們定義液體減晃率公式如下：(A 為 amplitude 振幅代號)

$$\text{減晃率}(\%) = \frac{A_{w_0} - A_w}{A_{w_0}} \times 100\%$$

A_{w_0} = 對照組(無減晃方式)溶液波振幅

A_w = 實驗組(減晃方式)溶液波振幅

伍、研究結果

一、實驗 1：探討不同溶液對液面搖晃的影響。

(一) 實驗結果

表 4-1 不同溶液搖晃振幅數據表（單位：cm）

溶液種類	第一次波振幅	第二次波振幅	第三次波振幅	平均波振幅
清水	1.58	1.62	1.69	1.63
牛奶	1.54	1.50	1.53	1.52
優酪乳	1.43	1.48	1.42	1.44
甘油	0.99	1.06	1.01	1.02

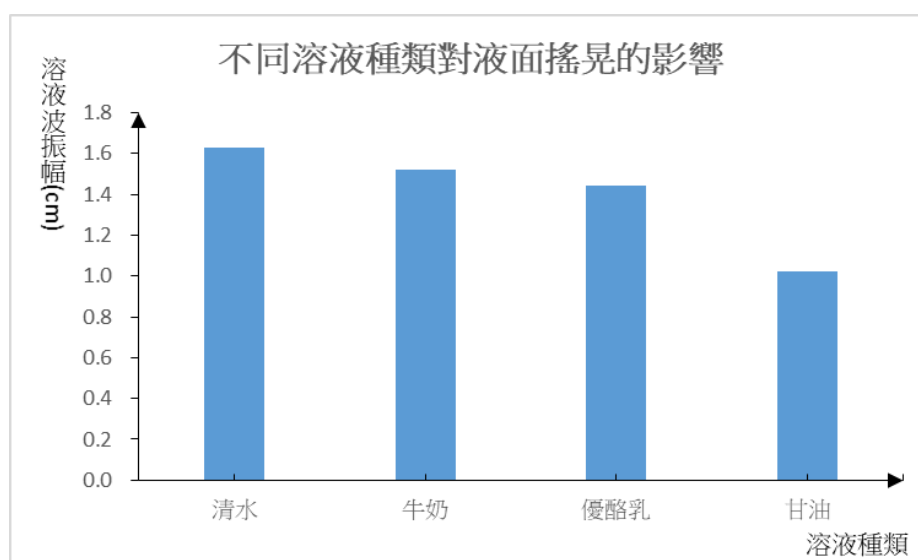


圖 4-1 不同溶液搖晃振幅數據圖（單位：cm）

表 4-2 不同甘油與水混合濃度溶液搖晃振幅數據表（單位：cm）

甘油與水混合濃度	第一次波振幅	第二次波振幅	第三次波振幅	平均波振幅
0%(清水)	1.58	1.62	1.69	1.63
20%	1.46	1.56	1.53	1.52
40%	1.38	1.33	1.36	1.36
60%	1.28	1.26	1.25	1.26
80%	1.10	1.21	1.16	1.16
100%(純甘油)	0.99	1.06	1.01	1.02

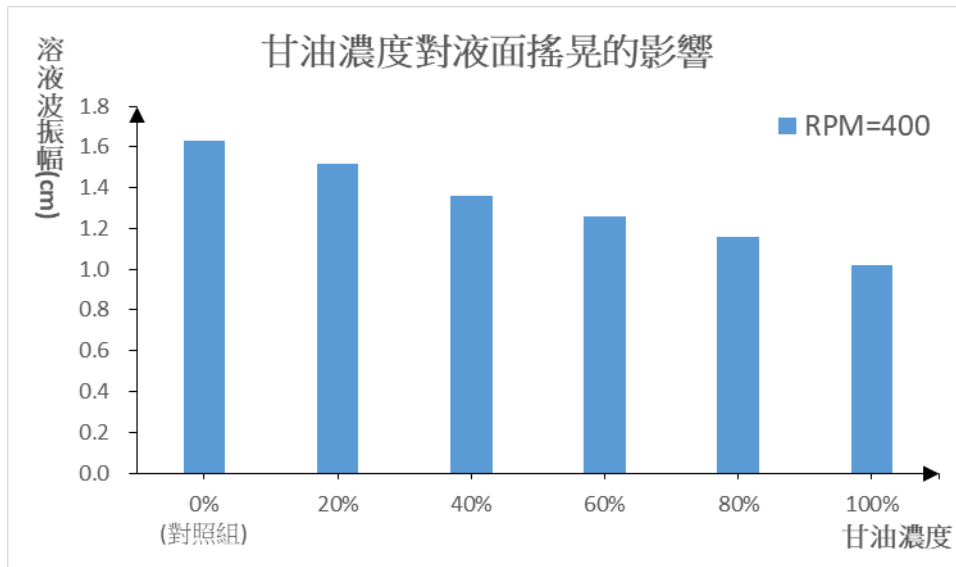


圖 4-2 不同甘油濃度搖晃振幅數據圖（單位：cm）

(二) 實驗發現：

1. 不同種類溶液在相同搖晃頻率下，溶液搖晃振幅會不同。
2. 實驗中以清水搖晃振幅最大，液面振幅 1.63cm，其次是牛奶和優酪乳，甘油搖晃振幅最小，液面振幅 1.02cm。
3. 不同濃度的甘油水溶液，溶液搖晃振幅會不同，濃度越小搖晃振幅越大。
4. 因此接下來的實驗，我們以搖晃振幅最大的清水溶液來進行。

二、實驗 2：探討不同水量對液面搖晃的影響。

(一) 實驗結果

表 4-3 不同水量液面搖晃振幅數據表 (單位：cm)

溶液液高(cm)	第一次波振幅	第二次波振幅	第三次波振幅	平均波振幅
3	1.58	1.62	1.69	1.63
4	1.44	1.52	1.45	1.47
5	1.38	1.30	1.32	1.33
6	1.22	1.22	1.19	1.21
7	1.12	1.10	1.07	1.10

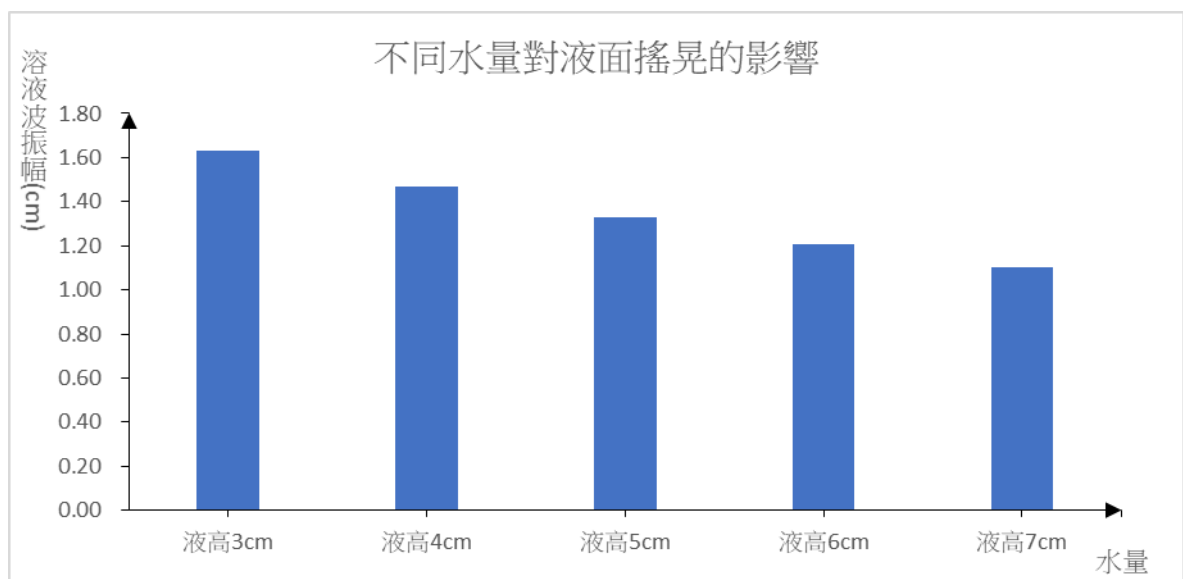


圖 4-3 不同水量液面搖晃振幅數據圖 (單位：cm)

(二) 實驗發現：

1. 清水溶液在不同水量固定搖晃程度下，水波搖晃振幅會不同。
2. 實驗中溶液液高 3cm 搖晃振幅最大，溶液液高 7cm 搖晃振幅最小。
3. 實驗中當溶液液高 3cm 在相同搖晃程度下，液面振幅最大為 1.63cm，因此之後實驗以溶液液高 3cm 來進行。

三、實驗 3：探討不同搖晃程度對液面搖晃的影響。

(一) 實驗結果：

表 4-4 不同馬達轉速液面搖晃振幅數據表 (單位：cm)

馬達轉速 (RPM)	第一次波振幅	第二次波振幅	第三次波振幅	平均波振幅
200	0.30	0.38	0.32	0.33
300	1.06	1.10	1.02	1.06
400	1.58	1.62	1.69	1.63
500	2.74	2.74	2.77	2.75
600	5.50	5.38	5.44	5.44

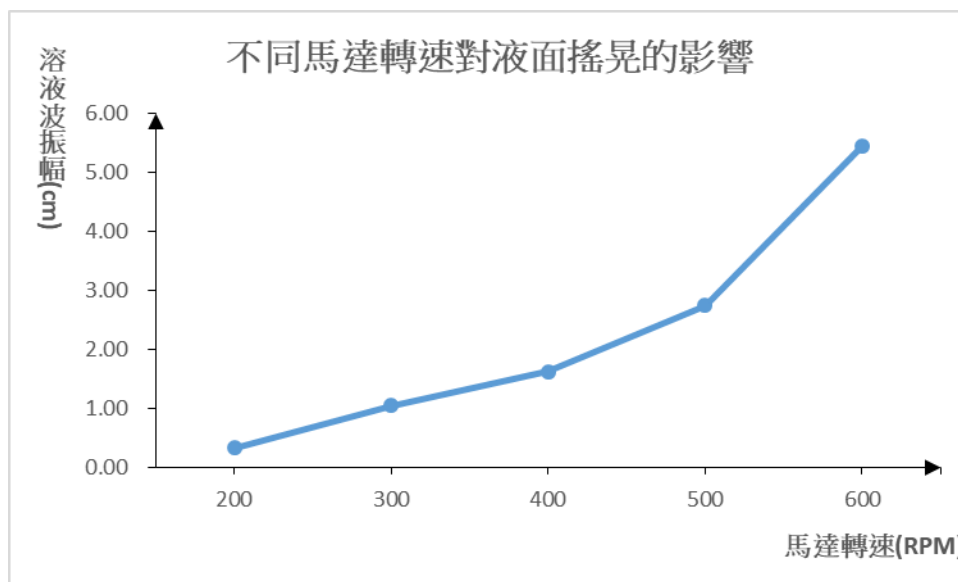


圖 4-4 不同馬達轉速液面搖晃振幅數據表

(二) 實驗發現：

1. 清水溶液在不同搖晃程度下，水波搖晃振幅會不同。
2. 實驗中馬達轉速 RPM=600 搖晃振幅最大，液面振幅 5.44cm，馬達轉速 RPM=200 搖晃振幅最最小，液面振幅 0.33cm。
3. 原本討論接下來的實驗由馬達轉速 RPM=600 搖晃振幅最大來進行，但因在此搖晃程度進行實驗時，水會濺出容器外，因此以馬達轉速搖晃振幅次之的 RPM=500、RPM=400 來進行。

四、實驗 4：探討液體液面添加物對液面搖晃的影響。

(一) 實驗結果：

表 4-5 不同液面添加物的液面搖晃振幅數據表（單位：cm）

液面添加物	馬達轉速 (RPM)	第 1 次波振幅	第 2 次波振幅	第 3 次波振幅	平均波振幅
液面無添加物 (對照組)	400	1.58	1.62	1.69	1.63
	500	2.74	2.74	2.77	2.75
液面添加 150cc 低脂奶泡	400	1.30	1.30	1.32	1.31
	500	2.33	2.36	2.28	2.32
液面添加 150cc 全脂奶泡	400	1.20	1.22	1.18	1.20
	500	2.22	2.26	2.20	2.23

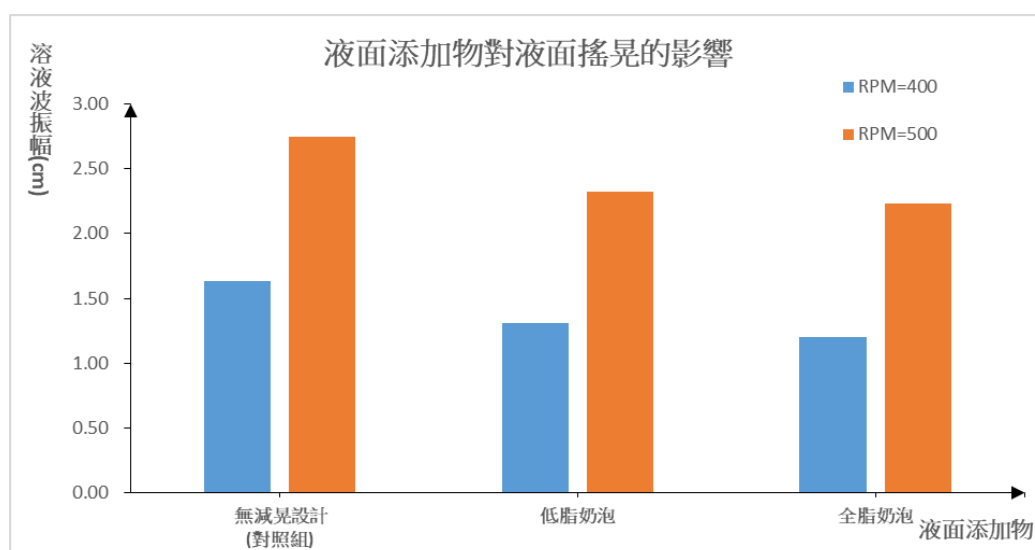


圖 4-5 不同液面添加物的液面搖晃振幅數據圖

(二) 實驗發現：

1. 液體液面添加全脂奶泡及低脂奶泡，水波搖晃振幅都會減小。
2. 實驗中，在 RPM=400 及 RPM=500 的搖晃程度下，液面添加全脂奶泡減晃效果比添加低脂奶泡好。
3. 實驗中，在 RPM=400 及 RPM=500 的搖晃程度下，將液體液面添加全脂奶泡，液面振幅分別為 1.20cm 及 2.23cm，比起原本容器液面振幅 1.63cm 及 2.75cm，分別減少 0.43cm 及 0.52cm。

五、實驗 5：探討容器內壁光滑度不同對液面搖晃的影響。

(一) 實驗結果：

表 4-6 容器內壁光滑度的液面搖晃振幅數據表（單位：cm）

內壁光滑度	馬達轉速 (RPM)	第 1 次波振幅	第 2 次波振幅	第 3 次波振幅	平均波振幅
無減晃設計 (對照組)	400	1.58	1.62	1.69	1.63
	500	2.74	2.74	2.77	2.75
短邊單側擺放泡棉	400	1.43	1.40	1.45	1.43
	500	2.59	2.48	2.50	2.52
短邊雙側擺放泡棉	400	1.31	1.28	1.27	1.29
	500	2.46	2.38	2.36	2.40
長邊單側擺放泡棉	400	1.44	1.38	1.42	1.41
	500	2.50	2.58	2.55	2.54
長邊雙側擺放泡棉	400	1.26	1.29	1.35	1.30
	500	2.40	2.35	2.36	2.37
容器四側擺放泡棉	400	1.32	1.26	1.28	1.29
	500	2.42	2.38	2.38	2.39

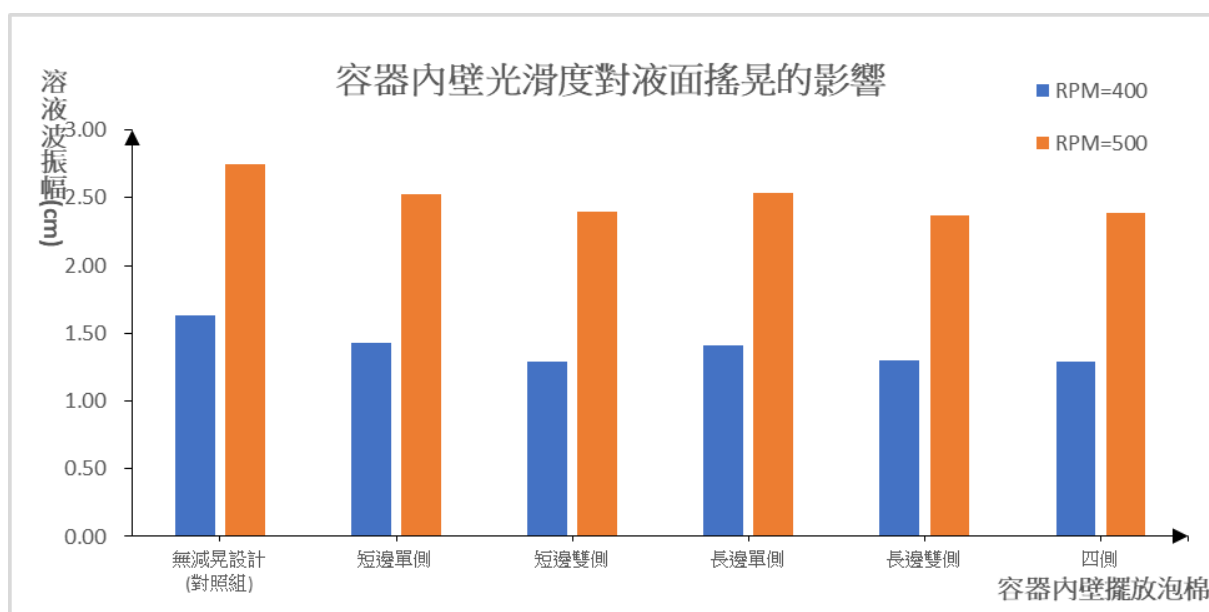


圖 4-6 容器內壁光滑度的液面搖晃振幅數據圖

(二) 實驗發現：

1. 實驗改變容器內壁光滑度，水波搖晃振幅會不同。
2. 實驗中，在 RPM=400 及 RPM=500 的搖晃程度下，不管是在長邊或是短邊雙側擺放泡棉減晃效果都比只單側擺放泡棉好。

3. 容器四側擺放泡棉減晃效果和分別在長邊、短邊雙側擺放泡棉效果差不多。
4. 實驗中，在 RPM=400 及 RPM=500 的搖晃程度下，容器四側擺放泡棉，液面振幅分別為 1.29cm 及 2.39cm，比起原本容器液面振幅 1.63cm 及 2.75cm，分別減少 0.34cm 及 0.36cm。

六、實驗 6：探討容器內部放入物品，對液面搖晃的影響。

(一) 實驗結果：

表 4-7 容器內放入不同物品的液面搖晃振幅數據表（單位：cm）

容器內放入不同物品的減晃設計		馬達轉速 (RPM)	第 1 次波振幅	第 2 次波振幅	第 3 次波振幅	平均波振幅
無減晃設計 (對照組)		400	1.58	1.62	1.69	1.63
		500	2.74	2.74	2.77	2.75
方式 A	竹筷橫放水面下	400	1.38	1.32	1.39	1.36
		500	2.46	2.38	2.42	2.42
方式 B	竹筷直立水中	400	1.41	1.38	1.46	1.42
		500	2.48	2.58	2.52	2.53
方式 C	無洞湯匙 (湯匙面朝上)	400	1.44	1.43	1.40	1.42
		500	2.48	2.40	2.42	2.43
方式 D	無洞湯匙 (湯匙面朝下)	400	1.44	1.48	1.48	1.47
		500	2.51	2.43	2.49	2.48
方式 E	有洞湯匙 (湯匙面朝上)	400	1.60	1.52	1.57	1.56
		500	2.59	2.63	2.67	2.63
方式 F	有洞湯匙 (湯匙面朝下)	400	1.49	1.58	1.52	1.53
		500	2.68	2.60	2.57	2.62
方式 G	一個托盤直立水中	400	0.93	0.90	0.84	0.89
		500	1.52	1.44	1.47	1.48
方式 H	二個托盤直立水中	400	0.41	0.30	0.36	0.36
		500	0.55	0.59	0.56	0.57
方式 I	三個托盤直立水中	400	0.23	0.23	0.25	0.24
		500	0.32	0.31	0.33	0.32

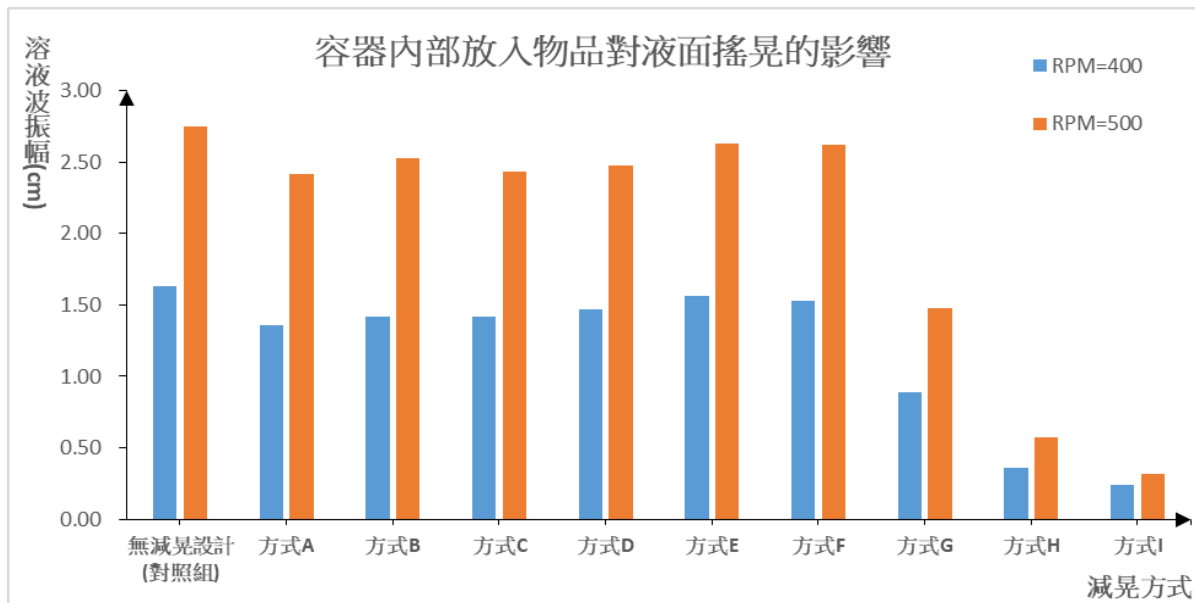


圖 4-7 容器內放入不同物品的液面搖晃振幅數據圖

(二) 實驗發現：

1. 實驗容器內部放入不同物品，水波搖晃振幅會不同。
2. 在 RPM=400 實驗中，將一個托盤、二個托盤及三個托盤直立水中搖晃振幅會較小，液面振幅分別為 0.89cm、0.36cm 及 0.24cm，比起原本容器液面振幅 1.63cm，分別減少 0.74cm、1.27cm 及 1.39cm，減晃效果較佳。
3. 在 RPM=500 實驗中，將一個托盤、二個托盤及三個托盤直立水中搖晃振幅也是較小，液面振幅分別為 1.48cm、0.57cm 及 0.32cm，比起原本容器液面振幅 2.75cm，分別減少 1.27cm、2.18cm 及 2.43cm，減晃效果較佳。
4. 在 RPM=400 實驗中，減晃效果由優至劣順序如下：三個托盤直立水中 > 二個托盤直立水中 > 一個托盤直立水中 > 竹筷橫放水面下 > 竹筷直立水中 = 無洞湯匙(湯匙面朝上) > 無洞湯匙(湯匙面朝下) > 有洞湯匙(湯匙面朝下) > 有洞湯匙(湯匙面朝上)。
5. 在 RPM=500 實驗中，減晃效果由優至劣順序如下：三個托盤直立水中 > 二個托盤直立水中 > 一個托盤直立水中 > 竹筷橫放水面下 > 無洞湯匙(湯匙面朝上) > 無洞湯匙(湯匙面朝下) > 竹筷直立水中 > 有洞湯匙(湯匙面朝下) > 有洞湯匙(湯匙面朝上)。
6. 在容器內部放入不同物品的 9 種方式實驗中，以方式 I；在容器內部直立三個托盤，減晃效果最佳。

七、計算並探討各種減晃設計對液面搖晃之減晃率。

(一) 實驗結果：

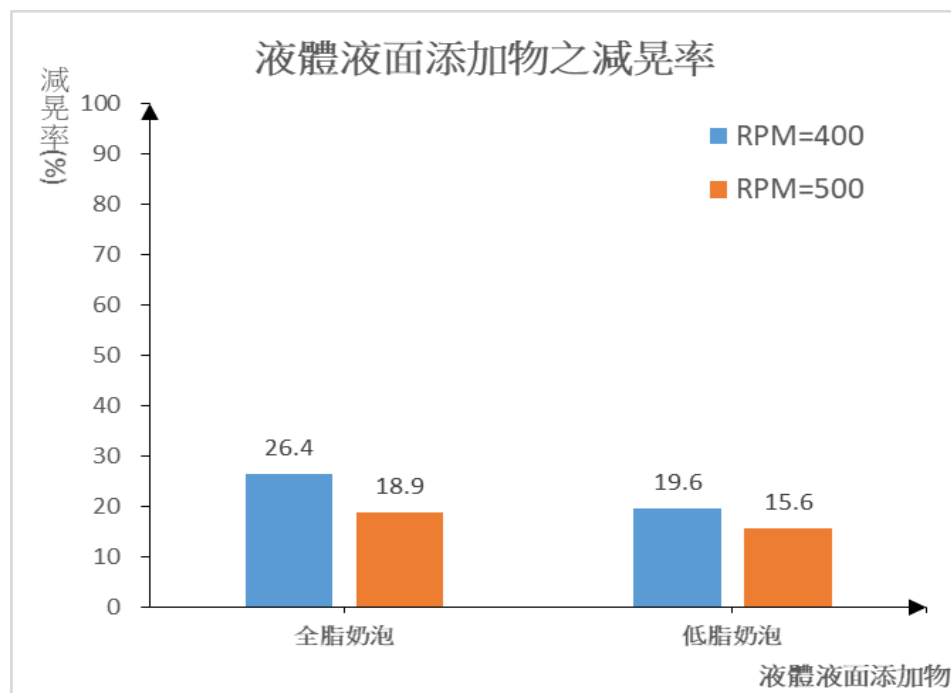


圖 4-8 液體液面添加物之減晃率數據圖

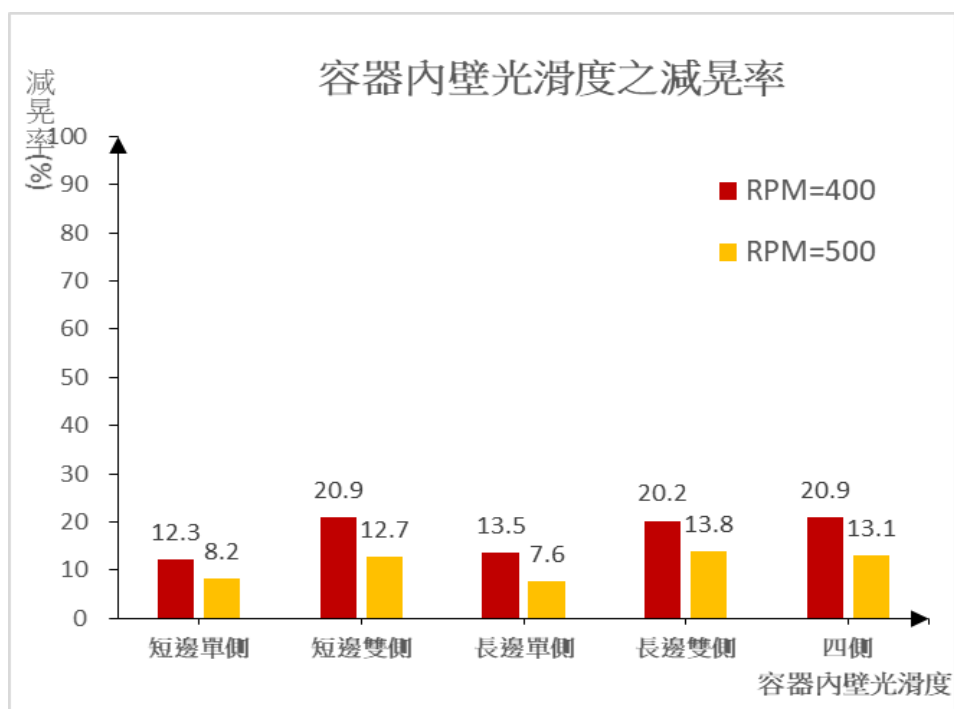


圖 4-9 容器內壁光滑度之減晃率數據圖

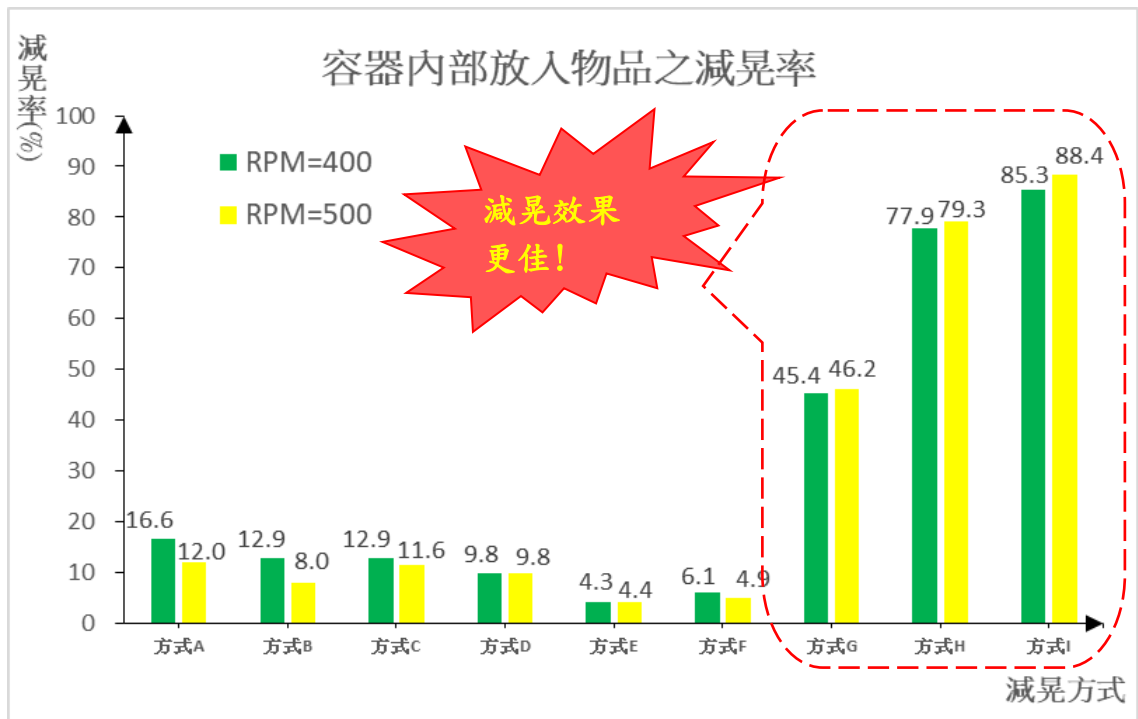


圖 4-10 容器內部放入不同物品之減晃率數據圖

(二) 實驗發現：

1. 實驗中在液面添加奶泡、改變容器內壁光滑度及容器內部放入不同物品，都具有減緩溶液搖晃振幅的效果。
2. 實驗中在液面添加奶泡，減晃率最高可達 26.4%。
3. 在容器內壁光滑度實驗中，內壁短邊及長邊雙側擺放泡棉比單側擺放泡棉降低液體水波振幅效果佳，四邊擺放泡棉與長邊雙側、短邊雙側降低液體水波振幅效果差異不大，減晃率分別為 20.9%、20.2%、20.9%。
4. 實驗中在容器內部放入不同物品的 9 種減晃方式中，也都具有減緩溶液晃動的效果，其中以方式 G~I 將托盤直立在容器中減晃效果較佳，而方式 I：在容器內部直立三個托盤，減晃率竟可高達 88.4% 及 85.3%。

陸、討論

- 一、由實驗 1 的實驗結果發現，在相同馬達轉速搖晃不同種類溶液，液面搖晃程度會不同，我們思考是否與液體的黏滯度有關，經實驗設計比較液體流經坡度長 10cm 斜面所需時間，時間越長，表示流速越慢，黏度越大。由實驗中發現，不同濃度甘油水溶液黏度由高至低分別為：100%(純甘油) > 80%甘油 > 60%甘油 > 40%甘油 > 20%甘油 > 0%甘油(清水)。黏度較高的物質，比較不容易流動；黏度較低的物質，比較容易受搖晃而晃動，水波的振幅與黏度成負相關。

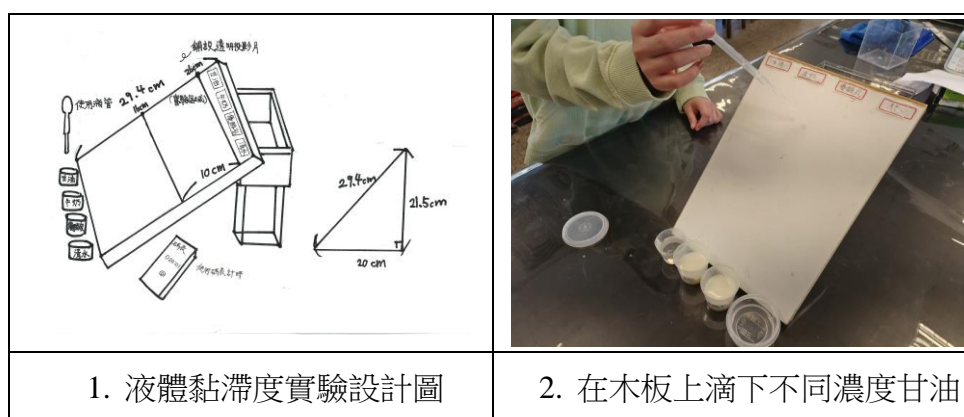


圖 5-1 液體黏滯度實驗

表 5-1 液體黏滯度與液波振幅大小順序比較表

甘油濃度	第 1 次時間(s)	第 2 次時間(s)	第 3 次時間(s)	平均時間(s)	黏滯度大小順序	水波振幅大小順序
0%(清水)	49.04	50.22	59.67	52.98	6	1
20%	92.88	86.47	96.25	91.87	5	2
40%	151.28	144.33	142.29	145.97	4	3
60%	220.47	216.46	214.38	217.10	3	4
80%	302.46	300.94	292.46	298.62	2	5
100%(純甘油)	393.98	386.12	382.12	387.41	1	6

- 二、根據實驗 2 的實驗結果發現，在相同馬達轉速下，不同水量會影響液面搖晃程度，水深越大，水波振幅越小；水深越小，水波的振幅越大。我們認為這是因為：
- (一) 水波是介質波，要靠介質(水)傳遞能量，介質數量越多、質地越緊密，傳遞水波的能力越大，波速也越大。水越深表示水量越多，這時候波速(v)也會越大。

(二) 由於 $v(\text{波速}) = f(\text{頻率}) \times \lambda(\text{波長})$ ，在相同馬達轉速時，水波頻率(f)為相同，則波速(v)越大，波長(λ)就越大。

(三) 水平面上的波形面積或波線長度的大小，代表水波的能量大小。在相同馬達轉速下，水波的能量大致相同，波形面積或波線長度也大致相同，則波長(λ)越大，水波的振幅(A)就會越小。

(四) 因此，水深越大的時候，波速(v)越快，波長(λ)越大，水波的振幅(A)就會越小；水深越小的時候，波速(v)越小，波長(λ)越小，水波的振幅(A)就會越大。

三、根據實驗 3 的實驗結果發現，不同搖晃程度會影響液面搖晃程度，我們觀察到馬達轉速越大，液面搖晃振幅越大。我們也發現增加流速，液體的流線開始出現波浪狀的擺動及周圍的流向與境界層，如下圖所示。而圖 5-3 分別為流速低、中、高的液體，產生的渦旋領域。

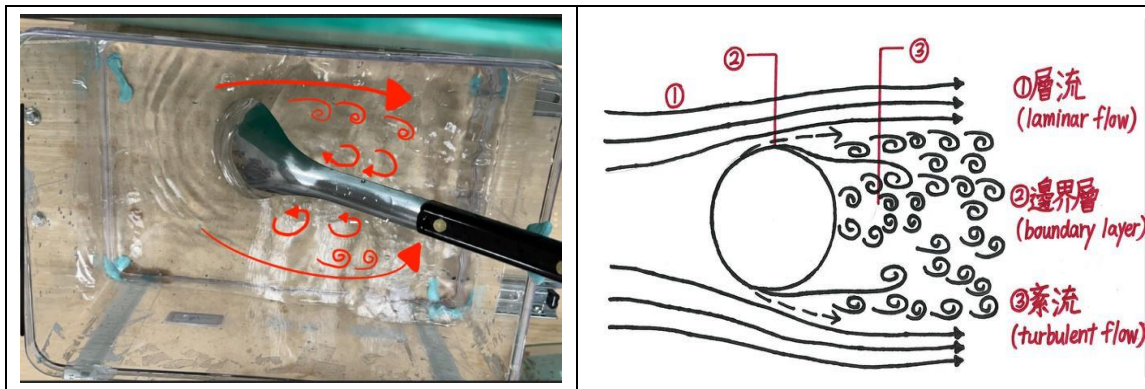


圖 5-2 流體在障礙物後方形形成渦流的現象

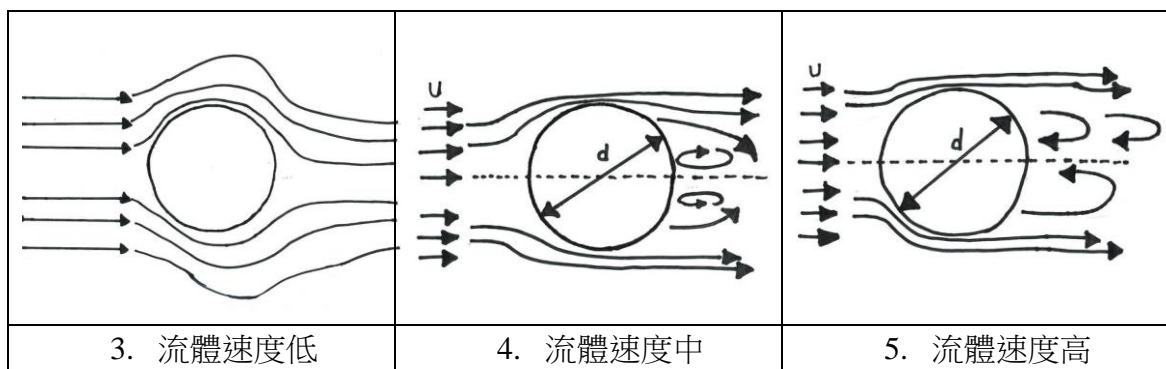


圖 5-3 不同流體速度在障礙物後方形形成渦流的現象

四、自然頻率 (natural frequency) 是指一個系統在沒有外力或是阻尼的情形下，會傾向於振盪的頻率。系統在特定頻率底下，比其他頻率以更大的振幅做振動的情形，此特定頻率稱之為共振頻率。在共振頻率下，很小的週期驅動力便可產生巨大的振動。我們

測量實驗中溶液(水)的自然頻率、馬達(400、500 RPM)的驅動頻率及溶液搖晃頻率，發現水的自然頻率約為 9.93Hz，實驗 4~6 的馬達驅動頻率及溶液搖晃頻率都小於 1Hz，避開了水的自然頻率。實驗 4~6 各種減晃方式的各種頻率關係圖如下，發現水的搖晃振動頻率與馬達的驅動頻率大致相當，這是因為**避開溶液的自然頻率，可以避免受到水波共振的影響，減低搖晃程度。**

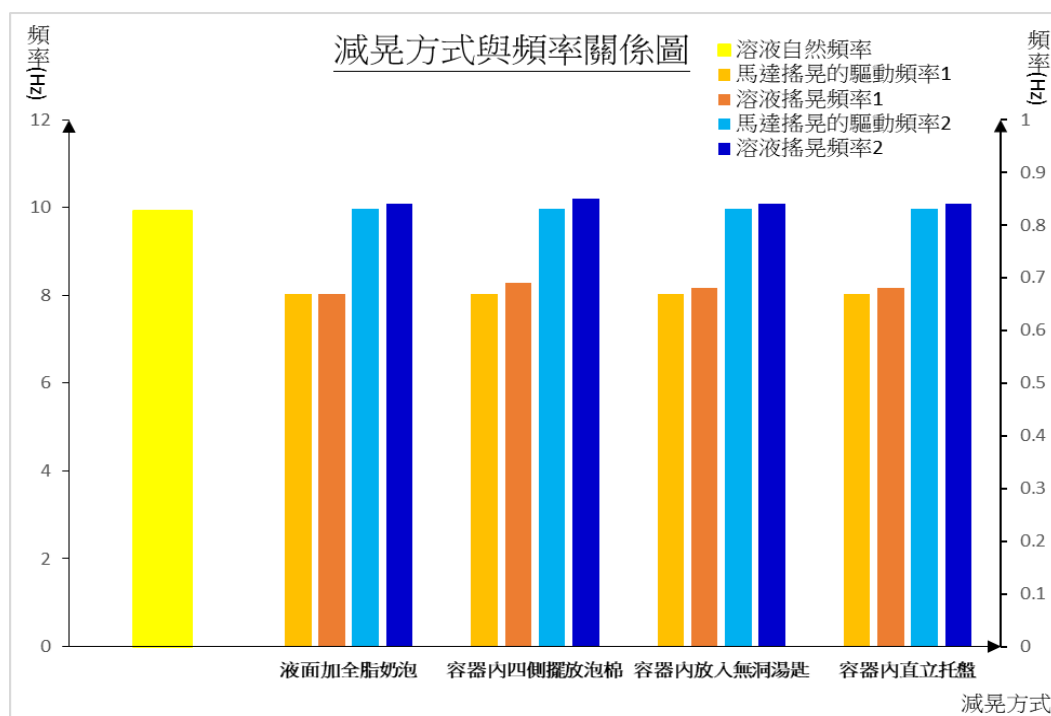


圖 5-4 各種減晃方式與頻率關係圖

五、根據實驗 4 的實驗結果發現，在相同馬達轉速下，**液體液面添加奶泡能降低水波的振幅**，我們認為奶泡與容器兩側內壁產生阻尼效應，可以消耗液面振動時的能量，**具有降低水波的振幅的效果**。同時我們也利用顯微鏡觀察，發現全脂奶泡泡沫間的間隔較大，而低脂奶泡泡沫排列較密，**泡沫的間隔大小可能會影響水波的振幅**。

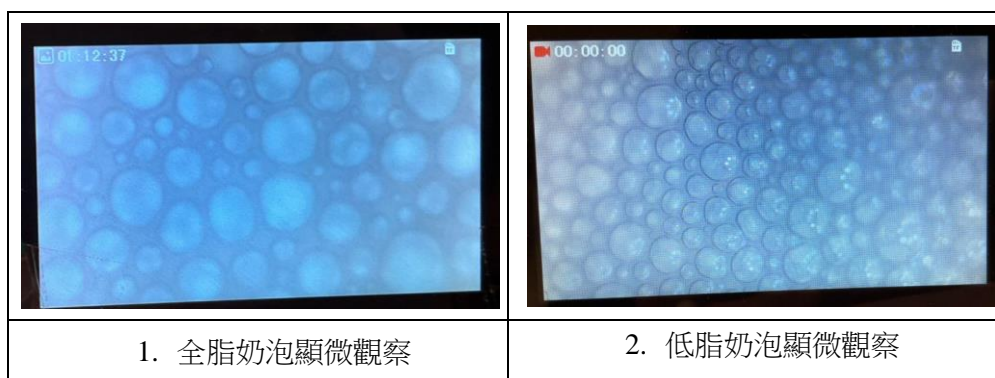


圖 5-5 奶泡顯微觀察照片

六、根據實驗 6 的實驗結果發現，**在水中加入障礙物，可以降低水波的振幅**，我們認為這是因為：

- (一) 由於水波的振幅和能量成正相關，**當水流繞過障礙物時，水的層流狀態會被破壞，變成紊流的狀態，紊流會消耗更多的水波能量，降低水波的振幅。**
- (二) 當水流繞過障礙物時，**在障礙物後方就會形成一個低水壓的區域，吸回部分水量而產生渦流，消耗水波的能量，降低水波的振幅。**
- (三) 在水中放入無孔洞的湯匙，比起放入有孔洞的湯匙，前者(無孔洞湯匙)的減震效果較好。我們認為這是因為，**水流繞過無孔洞障礙物時，在障礙物後方形成的低水壓區域會較大，會吸回更多的水量，產生更大的渦流，消耗更多的水波能量，水波的振幅就會越小。**

七、根據實驗 6 的實驗結果發現，**將托盤直立在水中，可以最大程度降低水波的振幅**，我們認為這是因為：

1. **如果將托盤頂到容器底部**，使容器分隔為多個小區域，更能有效降低水波的振幅。我們認為這是因為，容器被分隔的小區域，**每個小區域的寬度不足以讓液體完成一個完整的波型，無法產生最大的波峰（谷）**。另外，因為**托盤頂到容器底部**，小區域的最低水深必定高於容器底部隙縫，會提供較大的水壓，阻止隔壁小區域的水流過來，**降低晃動的幅度**。
2. **如果沒有將托盤頂到容器底部**，將會出現小區域的最低水深低於容器底部隙縫的情形，這時候小區域的水壓將不足以阻止隔壁小區域的水流過來，**晃動的幅度會較大**。

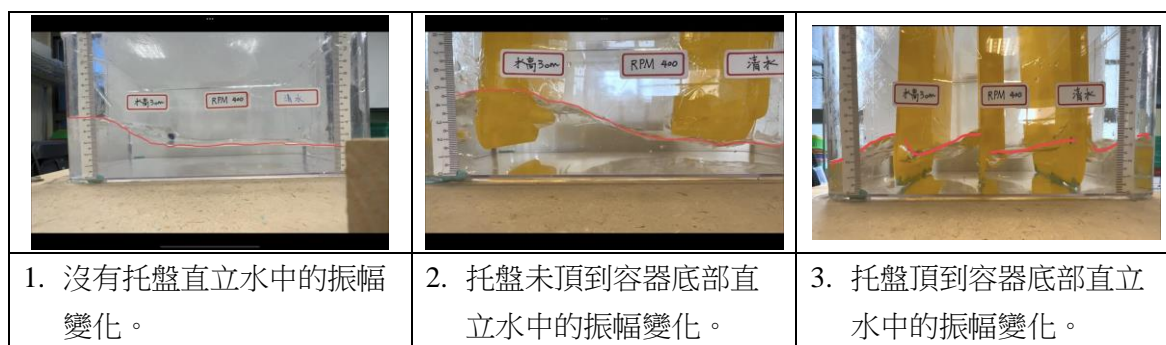


圖 5-6 托盤直立水中晃動觀察照片

柒、結論

- 一、在相同馬達轉速搖晃下，不同種類溶液會影響液面搖晃程度，黏度較高的物質，水波的振幅小；而黏度較低的物質，水波的振幅大，**水波的振幅與黏度成負相關**。
- 二、在相同馬達轉速搖晃下，不同水量會影響液面搖晃程度，水量越多水深越高，水波的振幅越小，水量越少水深越低，水波的振幅越大，**水波的振幅與水量成負相關**。
- 三、在相同溶液相同水量下，不同馬達轉速搖晃會影響液面搖晃程度，馬達轉速越大，水波的振幅大，馬達轉速越小，水波的振幅小，**水波的振幅與馬達轉速成正相關**。
- 四、驅動頻率**避開溶液自然頻率**，可以**避免溶液的共振效應**，減低溶液搖晃程度。
- 五、**液體液面添加奶泡能降低水波的振幅**，液面添加全脂奶泡比添加低脂奶泡降低液體水波振幅效果佳。
- 六、**減少容器內壁光滑度能降低水波的振幅**，內壁雙側擺放泡棉比單側擺放泡棉降低水波振幅效果佳，但四邊、長邊雙側、短邊雙側擺放泡棉降低水波振幅效果差異不大。
- 七、**在液體中加入障礙物能降低水波的振幅**，竹筴橫放水面下比筴直立水中降低液體水波振幅效果佳；湯匙面朝上比湯匙面朝下降低液體水波振幅效果佳；無洞湯匙比有洞湯匙降低液體水波振幅效果佳。
- 八、將托盤直立於容器中能降低水波的振幅，**將容器區域分隔成較多小區域降低液體水波振幅效果為最佳**。
- 九、最後，我們比較各種減晃方式之減晃率，並提出不同情況較適用方式如下表所示。

表 6-1 減晃方式適用環情境分析表

適用情境	減晃方式	減晃率(%)
咖啡、巧克力飲品種類。	溶液上方添加奶泡：如：全脂奶泡、低脂奶泡...等。	15.6~26.4
拿取盛裝無蓋飲料溶液行走時，如：飲料、咖啡。(減少塑膠杯蓋使用，具環保)	減少容器內壁光滑度，如：外帶紙杯內壁增加紋路設計。	7.6~20.9
拿取盛裝無蓋湯飲溶液行走時，如：湯桶、飲料、咖啡。	在容器中放入障礙物，如：竹筴、湯匙等。	4.3~16.6
載送化學液體的車子，如：油罐車。	將容器區域分隔成較多小區域。	45.4~88.4

捌、參考資料及其他

- 一. 維基百科，層流紊流。取自 <https://zh.m.wikipedia.org/zh-mo/%E5%B1%82%E6%B5%81>。
- 二. 維基百科，黏滯係數。取自 <https://zh.wikipedia.org/zh-tw/%E9%BB%8F%E5%BA%A6>。
- 三. 維基百科，阻尼。取自 <https://zh.m.wikipedia.org/zh-hant/%E9%98%BB%E5%B0%BC>。
- 四. 維基百科，共振。取自 <https://zh.m.wikipedia.org/zh-tw/%E5%85%B1%E6%8C%AF>。
- 五. 美式、拿鐵哪個比較不容易灑出來？科學家教你：看它內建的天然避震器，公民報橘。
取自 <https://buzzorange.com/ctiorange/2022/05/05/latte-foam-suspension/>。
- 六. 郭西川(2016)，拿鐵咖啡的物理，科技大觀園。取自
<https://scitechvista.nat.gov.tw/Article/c000003/detail?ID=a2ec8cb5-4e0e-4ce3-8d55-f35c938fcdf5>。
- 七. 搖不出的咖啡，中華民國第 52 屆中小學科學展覽會，高中組生活與應用科學科。
- 八. 止一剎的花火-泡沫對水花濺起高度之影響，中華民國第 57 屆中小學科學展覽會，國中組物理科。
- 九. 奶泡阻尼效應之研究，中華民國第 57 屆中小學科學展覽會，高中組 農業與食品學科。

【評語】 080101

實驗器材製作與設計相當用心，認真嘗試並改進不同實驗裝置，實驗數據取樣與觀測仔細，變因設想面廣，能夠有效運用數位工具進行觀測與分析。

實驗設計建議考慮論證邏輯的連貫性，用以實際提供研究題目想要推理的證據，可以幫助進一步理解當中的物理機制與來龍去脈。

作品海報



「液」立不「搖」～



探討液體搖晃因素之研究

摘要

本研究旨在探討影響液體搖晃的因素及如何減緩液體搖晃振幅。研究中我們研發了第一代、第二代以及最後利用第三代自動式搖晃裝置，然後探討不同液體的種類、黏滯度、水量及搖晃強弱對溶液振幅的影響。實驗結果發現，溶液黏滯度越低、水量越少及搖晃強度越大時，溶液波振幅越大；除此之外，我們也進行減緩液體晃動的實驗設計。實驗結果發現：液面添加奶泡、降低容器內壁光滑度可減緩液體搖晃，溶液波減晃率最高可達26.4%。容器內放入筷子、湯匙等物品，以及利用托盤將容器分隔為多個較小區域空間，也能降低溶液波晃動，不僅如此，在容器內直立3個托盤，將容器分隔為4個小區域的方式，溶液波減晃率高達88.4%為最佳。

壹、動機

在實驗室搬水盆，水盆的液體因搖晃而灑出，同學提午餐的湯桶時，搖晃湯桶導致湯灑出來而不慎燙傷，新聞中發現油罐車會因搖晃而翻倒，手拿黑咖啡比拿鐵咖啡易灑出，這些都是因為液體受到搖晃所造成的影響，因此我們想要尋找能夠減緩液體搖晃的方法。



貳、研究目的

- (一)研究搖晃裝置進行探討液體搖晃實驗。
- (二)探討影響液體搖晃振幅的因素，包括：1.溶液種類、2.溶液黏滯度、3.水量、4.搖晃強度。
- (三)探討減緩液體搖晃振幅的方法，包括：1.液面添加物、2.降低容器內壁光滑度、3.容器內部放入物品。
- (四)比較各種溶液減晃方法的效果，並提出適合的減晃方式。

參、研究設備及器材

- ◆ 研究設備：鐵尺、捲尺、量杯、電子秤、塑膠平底托盤、電動打奶泡機、燒杯、滴管、量筒、漏斗、木板、音響、喇叭、手機相機、手機節拍器app Pro Metronome、電腦tracker軟體、長方體透明容器。
- ◆ 研究材料：保麗龍球、竹筷、網狀泡棉、海綿、橡皮筋、棉線、冰棒棍、膠帶、保鮮膜、潤滑油、水、全脂鮮奶(瑞穗)、低脂鮮奶(瑞穗)、甘油、優酪乳(統一AB)。

肆、研究過程

研究架構



研究搖晃裝置進行液體搖晃實驗

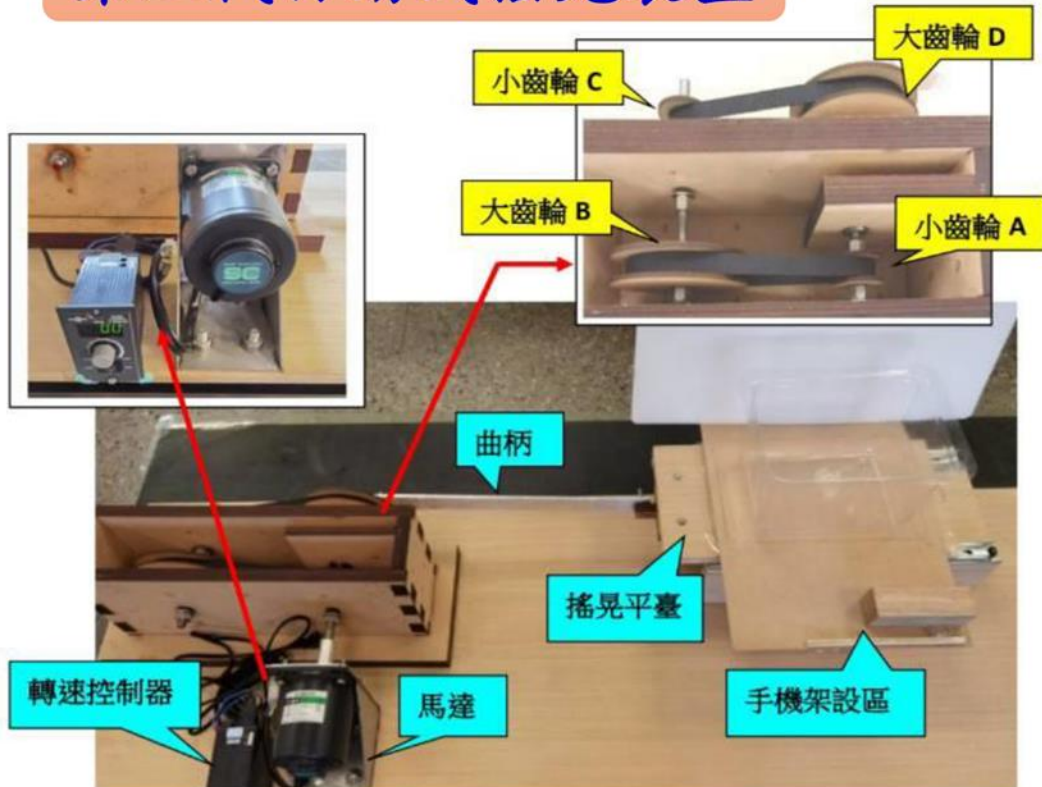
第一代手拉式搖晃裝置



第二代手推式搖晃裝置

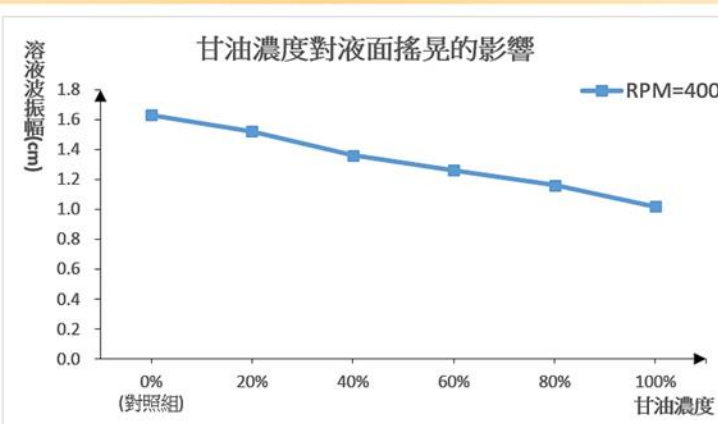
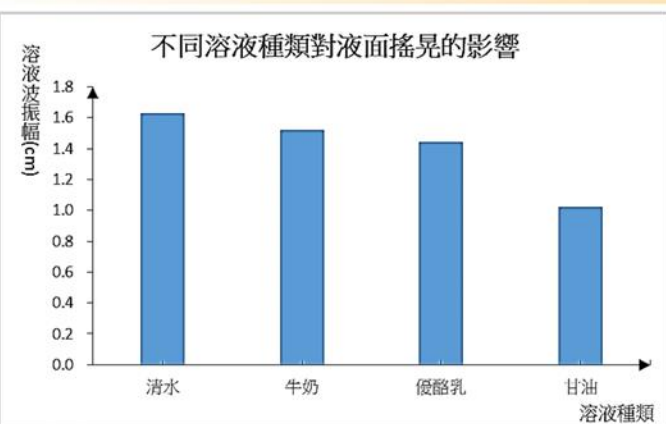


第三代自動式搖晃裝置

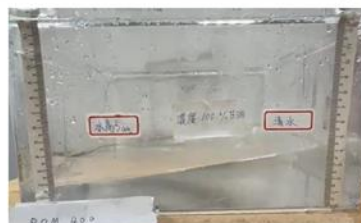


伍、研究方法與結果

實驗1、探討不同溶液對液面搖晃的影響



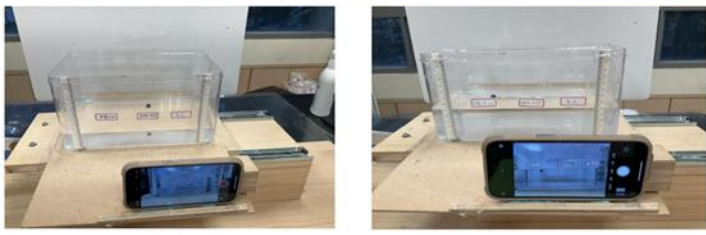
分別在一透明容器中裝入等量的清水、牛奶、優酪乳、甘油及利用甘油及水調配出0%(清水)、20%、40%、60%、80%、100%(純甘油)甘油水溶液，放置於搖晃平臺上。開啟電源，設定馬達轉速。觀察並記錄液體搖晃情形，使用tracker軟體追蹤液面運動軌跡。



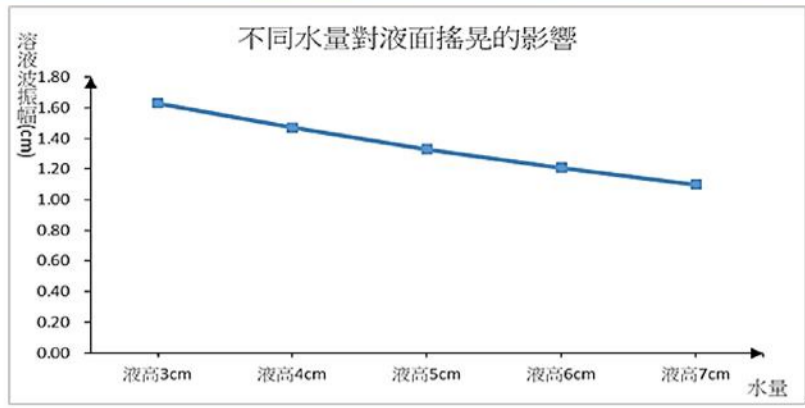
實驗發現：

- ◆ 實驗中以清水搖晃振幅最大，液面振幅1.6cm，其次是牛奶和優酪乳，甘油搖晃振幅最小，液面振幅1.0cm。
- ◆ 不同濃度的甘油水溶液，濃度越小搖晃振幅越大。
- ◆ 接下來的實驗，我們以搖晃振幅最大的清水溶液來進行。

實驗2、探討不同水量對液面搖晃的影響



將1400c.c.的清水倒入一透明容器底面積大小為27cmx18cm，測得容器水高約3cm，再依序裝入4~7cm高的水量，放置於搖晃平臺上。開啟電源，設定馬達轉速，觀察並記錄液體搖晃情形。



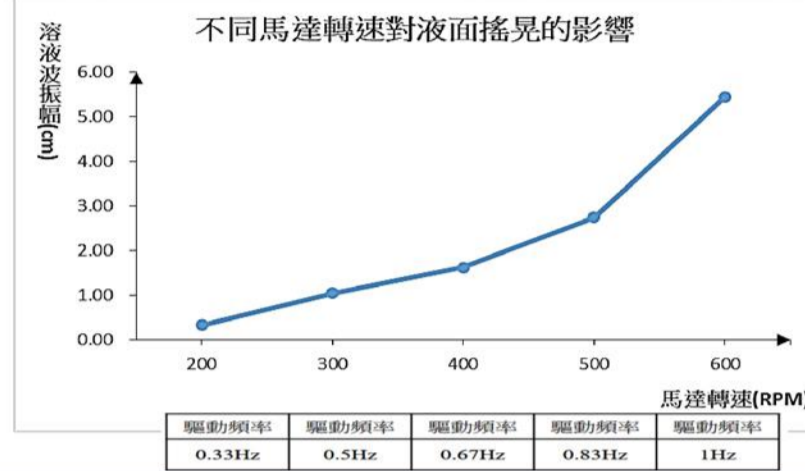
實驗發現：

- ◆ 水波搖晃振幅會不同，溶液液高3cm搖晃振幅最大，溶液液高4cm次之，溶液液高7cm搖晃振幅最小。
- ◆ 因此之後實驗以溶液液高3cm來進行。

實驗3、探討不同搖晃程度對液面搖晃的影響



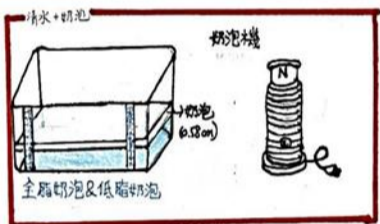
將1400c.c.的清水倒入一透明容器底面積大小為27cmx18cm，測得容器水高約3cm，放置於搖晃平臺上。開啟電源，分別設定馬達轉速為200、300、400、500、600RPM。觀察、錄製影片並分析、記錄液體搖晃情形。



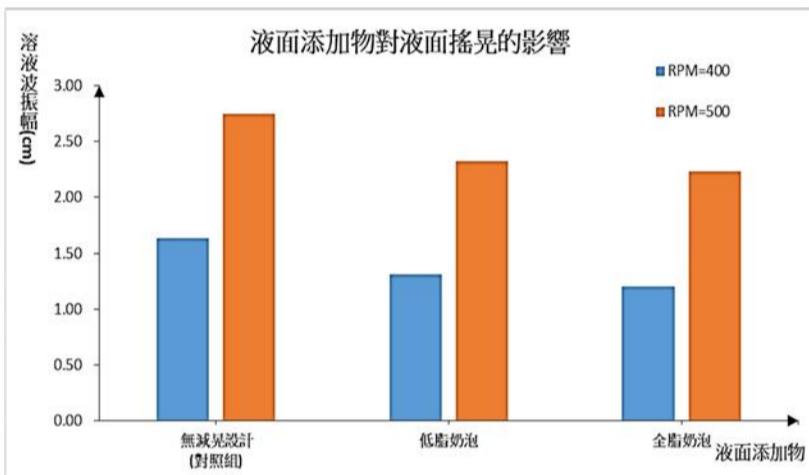
實驗發現：

- ◆ 實驗中，液面搖晃振幅 RPM=600>500>400>300>200。
- ◆ 以後實驗以馬達轉速搖晃振幅次之的500RPM、400RPM來進行。

實驗4、探討液體液面添加物對液面搖晃的影響



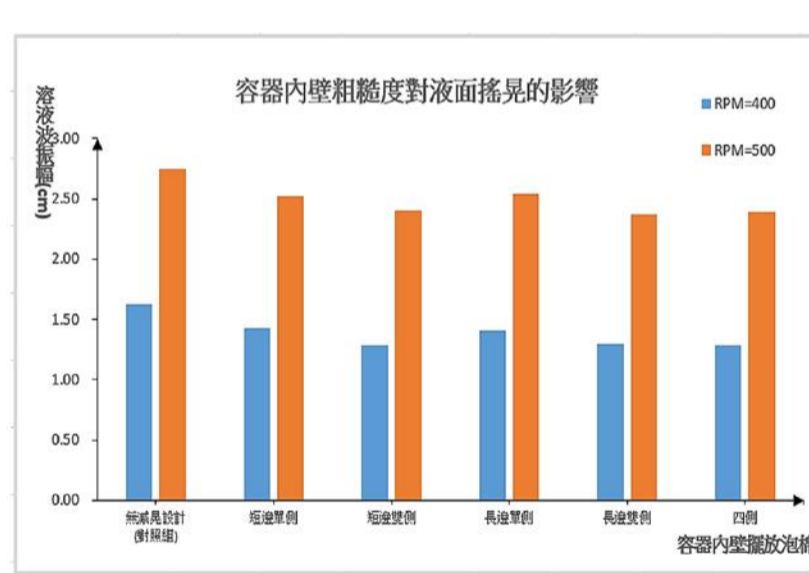
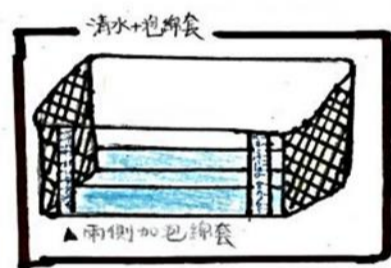
利用奶泡機分別將150c.c.全脂及低脂牛奶打成奶泡，並將奶泡放置於清水上方。開啟電源，分別設定馬達轉速為400、500RPM。觀察、錄製影片並分析、記錄液體搖晃情形。



實驗發現：

- ◆ 液體液面添加全脂奶泡及低脂奶泡，水波搖晃振幅都會減小。
- ◆ 實驗中，在500RPM、400RPM的搖晃程度下，液面添加全脂奶泡減晃效果比添加低脂奶泡好。

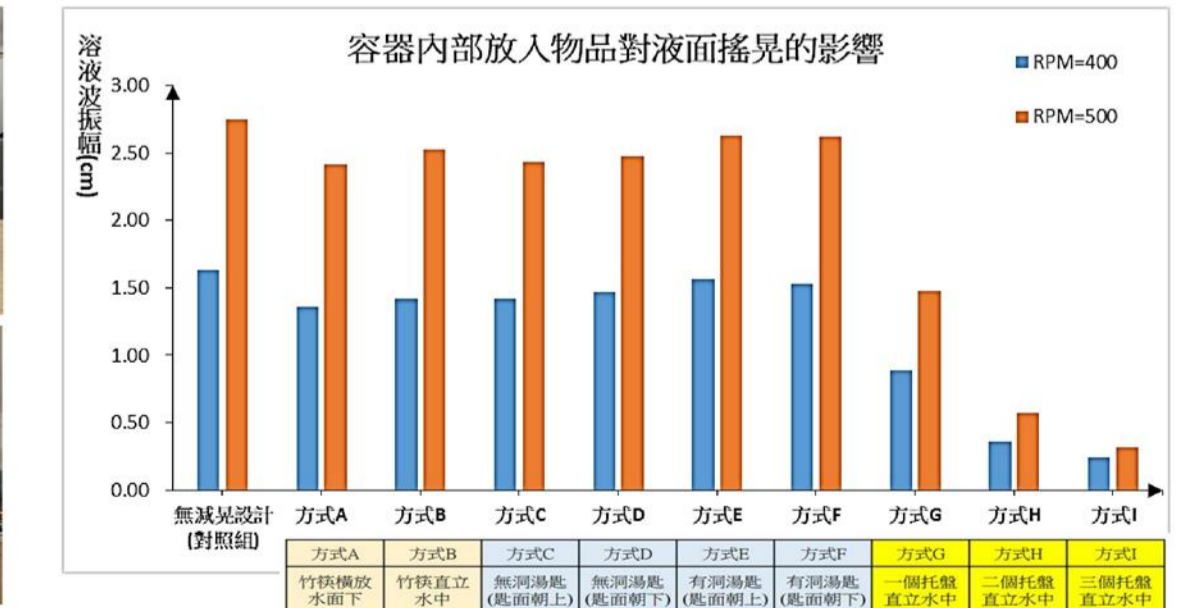
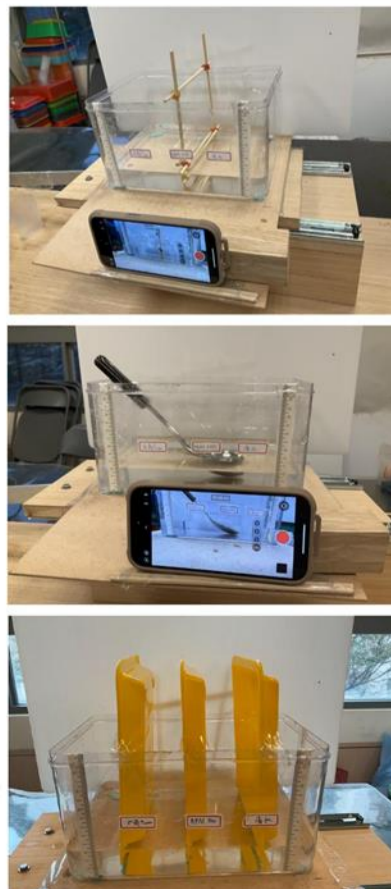
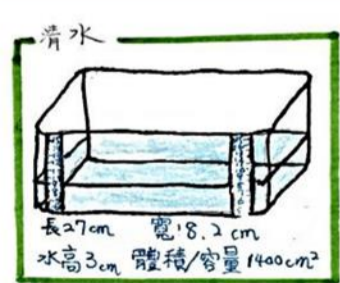
實驗5、探討容器兩側內壁粗糙度不同對液面搖晃的影響



實驗發現：

- ◆ 實驗中，不管在容器長邊或是短邊兩側擺放泡棉減晃效果比單側擺放泡棉好。
- ◆ 在容器四側擺放泡棉減晃效果和分別在長邊、短邊雙側擺放泡棉效果差不多。

實驗6、探討容器內部放入物品對液面搖晃的影響。

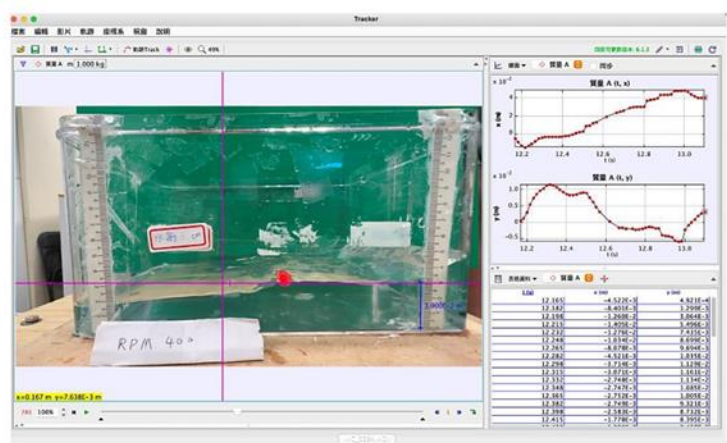


實驗發現：

- ◆ 實驗中，不管在容器長邊或是短邊兩側擺放泡棉減晃效果比單側擺放泡棉好。
- ◆ 在容器四側擺放泡棉減晃效果和分別在長邊、短邊雙側擺放泡棉效果差不多。

實驗發現：

- ◆ 在RPM=400實驗中，減晃效果由優至劣順序如下：三個托盤直立水中>二個托盤直立水中>一個托盤直立水中>竹筷橫放水面下>竹筷直立水中=無洞湯匙(匙面朝上)>無洞湯匙(匙面朝下)>有洞湯匙(匙面朝下)>有洞湯匙(匙面朝上)。

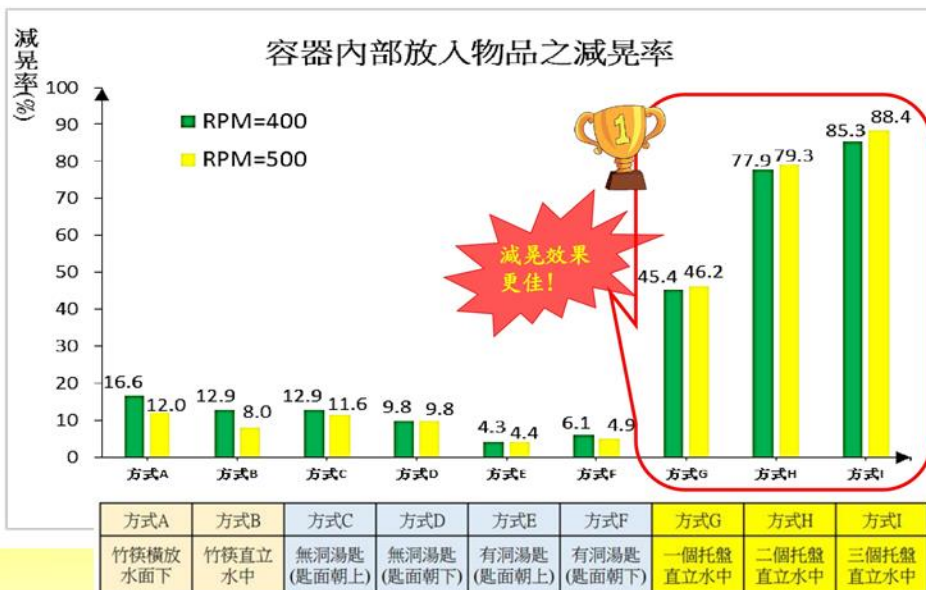
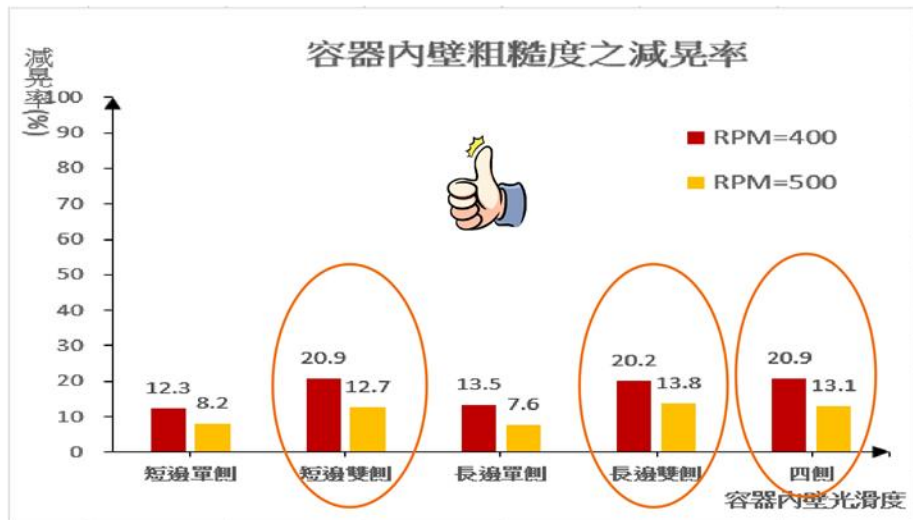
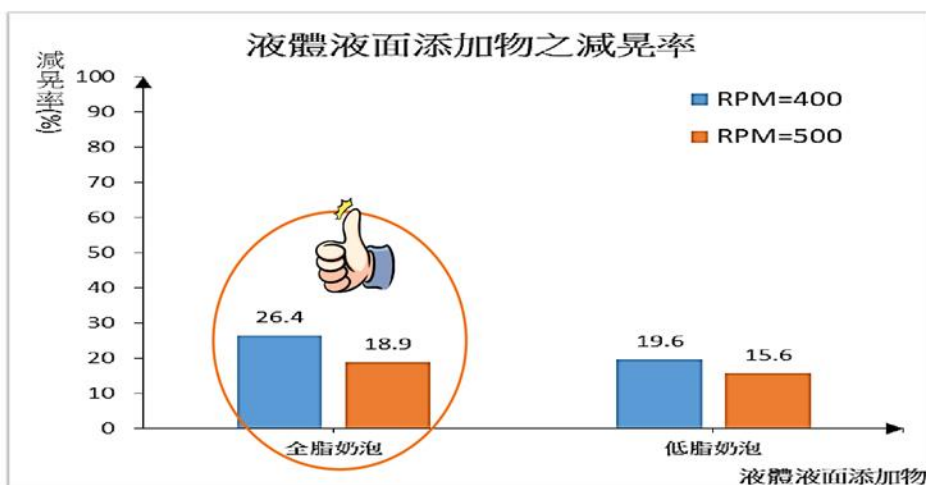


- 開啟預載的範例影片。
- 再點選「新增」，按「校正桿」，調整校正桿長度1cm。
- 設定座標初始值。
- 點擊「軌跡」按下「新增」並點選「質點」。
- 鎖定目標(保麗龍球)，進行保麗龍球移動自動分析折線圖。

$$\text{減晃率}(\%) = \frac{A_{w_0} - A_w}{A_{w_0}} \times 100\%$$

A_{w_0} = 對照組(無減晃方式)溶液波振幅

A_w = 實驗組(減晃方式)溶液波振幅

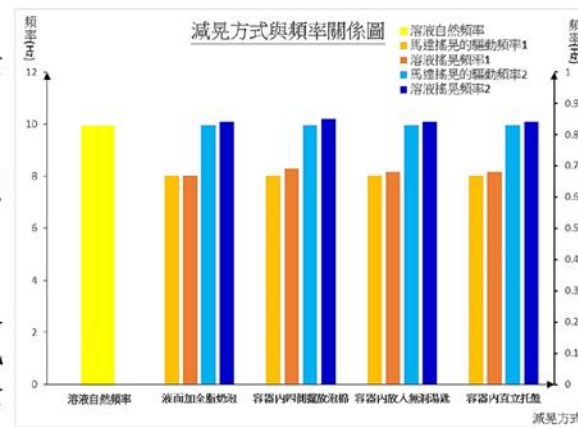


陸、討論

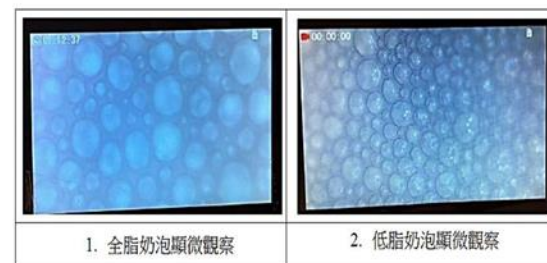
- 一、我們設計黏滯係數實驗，發現純甘油的黏滯度最高，黏度高的物質，比較不容易流動。
- 二、不同水量會影響液面搖晃，溶液高度越高，波振幅越小。我們推測因為水波是介質波，溶液高度越大，介質越多，傳遞波的能力越大，波速(v)也會越大。因為 $v=f\lambda$ ，波速(v)越大，波長(λ)就越大，振幅(A)就會越小。
- 三、我們發現水流繞過障礙物時，層流被破壞，變成紊流，在障礙物後方形形成一個低水壓區域，吸回部分水量產生渦流，消耗水波能量降低水波振幅。下圖分別為流速低、中、高的液體產生的渦旋領域。

甘油濃度	平均時間(s)	黏滯度大小順序	水波振幅大小順序
0%(清水)	52.98	6	1
20%	91.87	5	2
40%	145.97	4	3
60%	217.10	3	4
80%	298.62	2	5
100%(純甘油)	387.41	1	6

- 四、自然頻率是指一個系統在沒有外力或是阻尼的情形下，會傾向於振盪的頻率。外力的驅動頻率如果和物體的自然頻率接近甚至相同的時候，物體振動的振幅會呈現倍數增長，稱為共振。我們測量透明塑膠盒水的自然頻率約為9.93赫茲，馬達的驅動頻率和水的搖晃頻率小於1赫茲。所以我們實驗避開水的自然頻率，避开了水波共振的影響，可降低搖晃程度，增加實驗準確度。



- 五、顯微鏡觀察發現泡沫的間隔大小可能會影響水波振幅。



- 六、托盤頂到容器底部，每個小區域寬度不足以讓液體完成一個完整波型，無法產生最大振幅，且減晃率和馬達轉速成正相關。但托盤如沒有頂到容器底部，水波會從容器底部的縫隙流到隔壁小區域，仍然可以完成一個完整的波形，減晃效果就會變差。

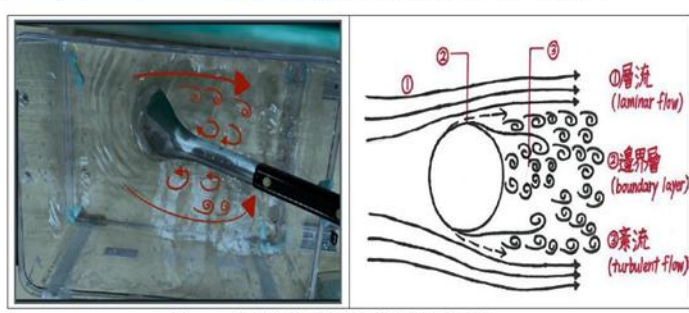
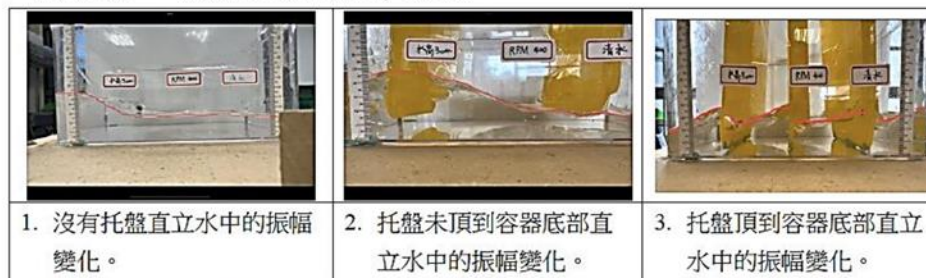


圖 5-2 流體在障礙物後方形形成渦流的現象

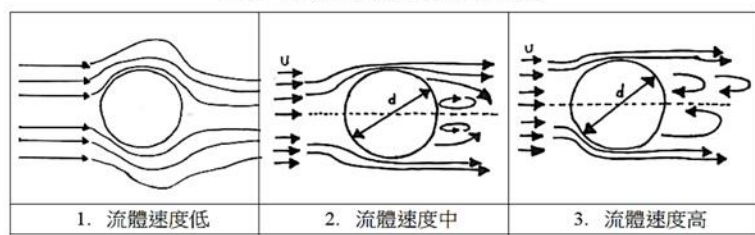


圖 5-3 不同流體速度在障礙物後方形形成渦流的現象

柒、結論

- 一、水波的振幅與溶液黏滯度或溶液量成負相關，與搖晃強度成正相關。
- 二、液體液面添加奶泡、增加容器內壁粗糙度、在液體中加入障礙物，能消耗溶液動能，降低水波的振幅。
- 三、驅動頻率避開溶液自然頻率，可以避免溶液的共振效應，減低溶液搖晃程度。
- 四、托盤直立於容器中，將容器區域分隔成較多小區域，可以破壞溶液的波形，降低水波振幅效果為最佳。
- 五、最後，我們將實驗中減晃方式之減晃率進行比較，討論並提出不同情況較適用方式如右表所示。

表 6-1 減晃方式適用環境分析表

適用情境	減晃方式	減晃率(%)
咖啡、巧克力飲品種類。	溶液上方添加奶泡：如：全脂奶泡、低脂奶泡...等。	15.6-26.4
拿取盛裝無蓋飲料溶液行走時，如：飲料、咖啡。(減少塑膠杯蓋使用，具環保)	增加容器內壁粗糙度，如：外帶紙杯內壁增加紋路設計。	7.6-20.9
拿取盛裝無蓋湯飲溶液行走時，如：湯桶、飲料、咖啡。	在容器中放入障礙物，如：竹筷、湯匙等。	4.3-16.6
載送化學液體的車子，如：油罐車。	將容器區域分隔成較多小區域。	45.4-88.4

捌、參考文獻資料

- 一 維基百科，層流紊流。取自 <https://zh.m.wikipedia.org/zh-mo/%E5%B1%82%E6%B5%81>。
- 二 維基百科，黏滯係數。取自 <https://zh.wikipedia.org/zh-tw/%E9%BB%8F%E5%BA%A6>。
- 三 維基百科，阻尼。取自 <https://zh.m.wikipedia.org/zh-hant/%E9%98%B1%E5%B0%BC>。
- 四 維基百科，共振。取自 <https://zh.m.wikipedia.org/zh-tw/%E5%85%B1%E6%8C%AF>。
- 五 美式、拿鐵哪個比較不容易灑出來？科學家教你：看它內建的天然避震器，公民報。取自 <https://buzzorange.com/ctiorange/2022/05/05/latte-foam-suspension/>。
- 六 郭西川(2016)，拿鐵咖啡的物理，科技大觀園。取自 <https://scitechvista.nat.gov.tw/Article/c000003/detail?ID=a2ec8cb5-4e0e-4ce3-8d55-f35c938fcd15>。
- 七 搖不出的咖啡，中華民國第52屆中小學科學展覽會，高中組生活與應用科學科。
- 八 止一剎的花火-泡沫對水花濺起高度之影響，中華民國第57屆中小學科學展覽會，國中組物理科。
- 九 奶泡阻尼效應之研究，中華民國第57屆中小學科學展覽會，高中組農業與食品科學科。