

2023 年臺灣國際科學展覽會 優勝作品專輯

作品編號 160005
參展科別 物理與天文學
作品名稱 液滴撞擊平板耗散能量之變因
得獎獎項

就讀學校 國立臺灣師範大學附屬高級中學
指導教師 潘國隆、戴仁欽
作者姓名 魏泓亦

關鍵詞 液滴碰撞、平板、韋伯數

作者簡介



我是魏泓亦，就讀師大附中高三。我喜歡聊天、看電影，雖然在做實驗時遇到很多困難，但是解決之後都讓我很開心，收穫很多。

摘要

本研究探討液滴碰撞時各種變因對撞擊前後耗散能量的影響，主要以直徑、速度、黏度作為變因進行實驗。實驗前，先完成接觸角、表面張力、黏度與密度等基本量測，再利用高速攝影機測量出液滴直徑、最大擴張直徑與液滴撞擊速度，將其數值代入能量守恆式，計算出耗散能量後，發現它受到直徑的二分之一一次方、速度的二分之三次方、黏度的二分之一影響，其中黏度也會造成能量與韋伯數關係圖的斜率些微變化。

Abstract

In this study, the various factors of the dissipative energy during the impact of the droplets were discussed. The experiments were mainly conducted with the diameter, velocity and viscosity as independent variables. Before the impact experiment, basic measurements about the contact angle, surface tension, viscosity and density were completed. Then the initial droplet diameter, maximum expansion diameter and droplet impact velocity were measured by a high-speed camera. These values were substituted into the energy conservation formula to calculate the dissipative energy. After the experiments, it is found that the dissipative energy is affected by the square root of the droplet diameter, the power to the two thirds of the impact velocity, and the square root of the viscosity. It is also found that viscosity also causes a slight change of the slope in the relationship between the dissipative energy and the Weber number.

壹、研究動機

液滴在生活上有許多的發展與應用，因此現今已有許多關於液滴撞擊的研究，對於液滴撞擊平板的研究占其中的一部分，目前許多研究以韋伯數、歐氏數…等無因次常數為主來討論撞擊平板時產生的現象或性質，如指狀數目、最大擴展直徑…等，對於能量的研究比較少見。

當固體的物體碰撞時會有能量的散失，而流體的碰撞也會伴隨著能量的散失，像是球狀的液滴撞擊平板，但是對流體的分析要比固體還要複雜許多，因此我便產生了疑問，有那些因素會造成液滴撞擊後的能量散失?這些變因又會對散失的能量有怎麼樣的影響?為了瞭解這些問題，我進行了這次的研究，以能量守恆的方式探討它們之間的關係。

貳、研究目的

- 一、探討液滴直徑對撞擊平板後耗散能量的影響
- 二、探討撞擊速度對撞擊平板後耗散能量的影響
- 三、探討黏度對撞擊平板後耗散能量的影響

參、文獻探討

- 一、實驗原理：液滴撞擊平板過程的能量守恆

以能量守恆的方法可以計算出撞擊前後能量的耗散，還可以估

算出液滴擴張的最大直徑(D_{max})

$$E_{S1} + K_1 = E_{S2} + K_2 + W = E_{S2} + W$$

E_{S1} 撞擊前的表面能、 K_1 是撞擊前的動能、 E_{S2} 是液滴擴張至最大直徑時的表面能、 K_2 是液滴擴張至最大直徑時的動能($K_2 = 0$)、 W 是撞擊前後耗散的能量。

液滴撞擊前為正球體，如圖(一)，因此表面能(E_{S1})為

$$E_{S1} = \pi D_0^2 \gamma_{LV}$$

D_0 為液滴撞擊前的半徑、 γ_{LV} 為液-汽間的表面張力

$$K_1 = \frac{1}{2} \left(\frac{1}{6} \pi D_0^3 \rho \right) V_0^2$$

ρ 是液體的密度、 V_0 是撞擊前的速度

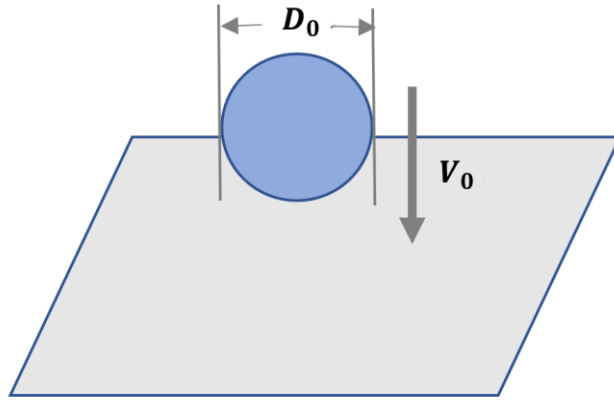
液滴撞擊後形成薄圓盤(厚度不計)，如圖(二)，因此表面能(E_{S2})為

$$E_{S2} = \frac{\pi}{4} D_{max}^2 \gamma_{LV} (1 - \cos \theta)$$

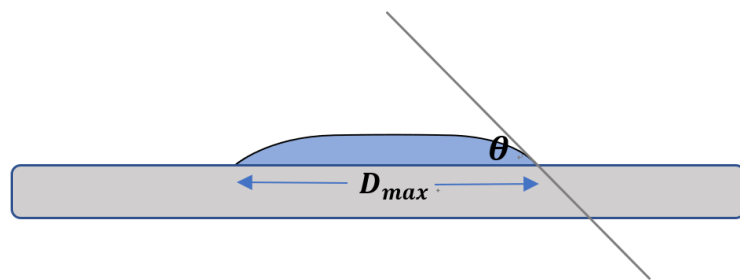
θ 為液滴到達最大直徑時的接觸角。

將上述三式代入能量守恆式，即可求出液滴撞擊平板時耗散的能量(W)為

$$W = \pi D_0^2 \left(\gamma_{LV} + \frac{D_0}{12} \rho V_0^2 \right) - \frac{\pi}{4} D_{max}^2 \gamma_{LV} (1 - \cos \theta)$$



圖(一) 液滴撞擊前



圖(二) 液滴撞擊後達到最大直徑(D_{max})

在 M. Pasandideh-Fard(1996)的研究模型中，將黏滯力作功視為液滴的耗散能量，接著算出耗散能量 W_μ 為

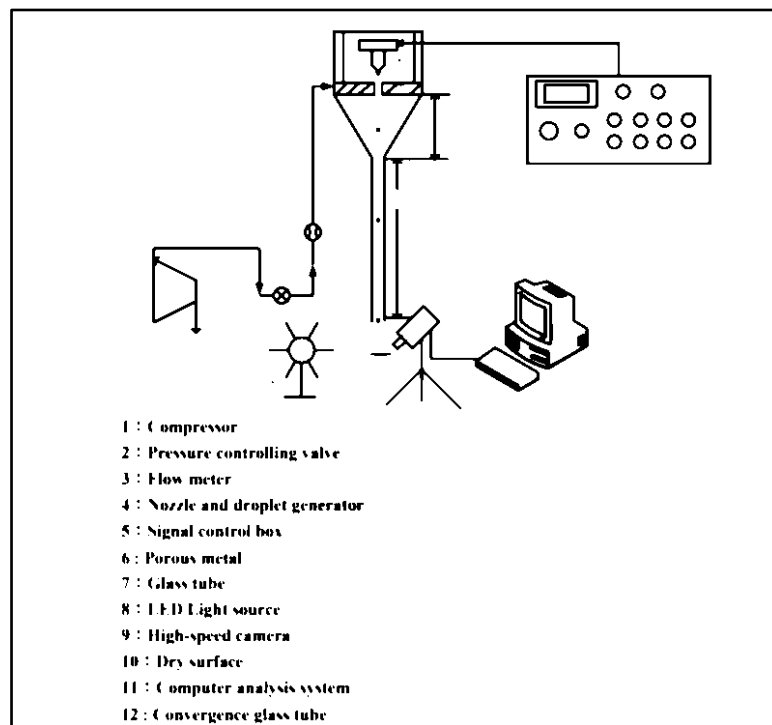
$$W_\mu = \frac{\pi}{3} \rho V_0^2 D_0 D_{max}^2 \frac{1}{\sqrt{Re}}$$

將耗散能量 W_μ 代入能量守恆式，得到液滴最大直徑(D_{max})與液滴原始直徑(D_0)的比值為

$$\frac{D_{max}}{D_0} = \sqrt{\frac{W_e + 12}{3(1 - \cos \theta) + 4(W_e/\sqrt{Re})}}$$

二、 實驗裝置

曾琨程(2008)的高速液滴撞擊平板研究中，以高速攝影機接上電腦，配合 LED 光源進行拍攝。液滴產生系統由液滴產生器、電子控制裝置組成，而液滴撞擊系統則由空壓機、管路配置、多孔金屬、漸縮之玻璃管、撞擊之平板組成，如圖(三)所示。

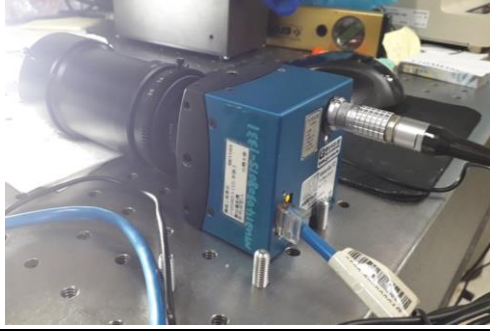


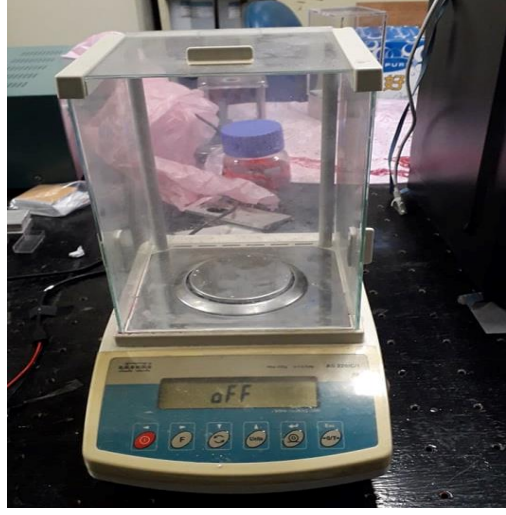

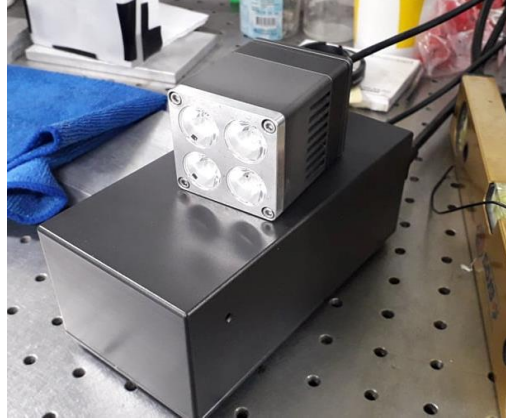


圖(三) 曾琨程(2008)之實驗設備簡圖

由於本實驗並非研究高速液滴的碰撞，因此不須使用上述的液滴產生系統與撞擊系統，改以支架、注射針頭、矽膠管、注射幫浦取代。

肆、研究設備及器材

一、實驗器材

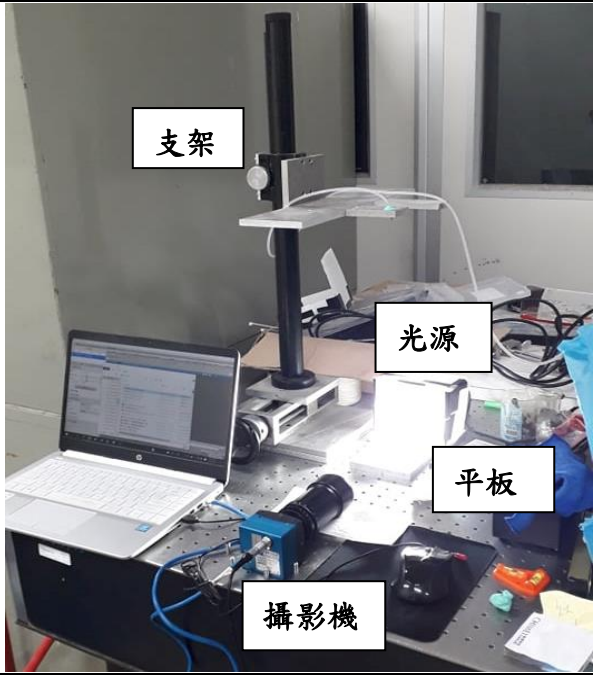
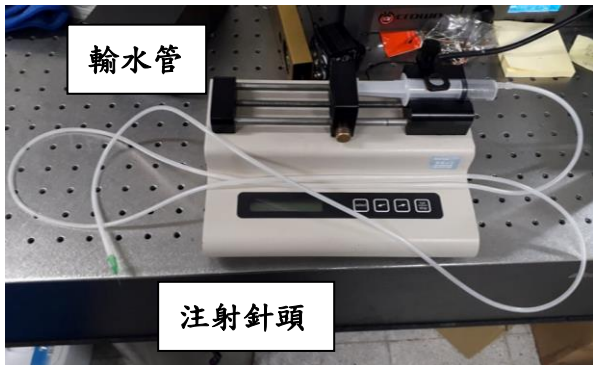
(一) 高速攝影機	(二) 注射幫浦
	
(三) 表面張力儀	(四) 電子秤
	
(五) 黏度測量計	(六) LED 光源
	

(七)其他器材: 支架、注射針頭、輸水管、注射針筒、平板、筆記型電腦、水平儀、光學尺、吸量管、Motion BLITZ Director 2(高速攝影軟體)、Matrox Inspector(分析影像)。

二、實驗藥品

(一)丙三醇(甘油)	(二)丙酮
------------	-------

三、實驗裝置圖示

圖片	說明
	實驗裝置全貌圖
	注射幫浦與輸水裝置

伍、研究過程或方法及進行步驟

一、基本測量

(一) 密度

以吸量管取出一定體積後，以電子秤測出其質量，即可算出液體的密度。

(二) 表面張力

將表面張力計內的白金板取出，以丙酮與蒸餾水清洗，再用噴火槍燒紅，清除雜質，確保白金板品質。將白金板放回，倒入實驗液體，經過一段時間後，表面張力趨於定值，紀錄此時的量值與不確定度。

(三) 黏度

以一次性針筒吸取適量液體，注入黏度計中，搭配循環水槽使其保持定溫，經過一段時間後，得到數據的平均值與標準差。

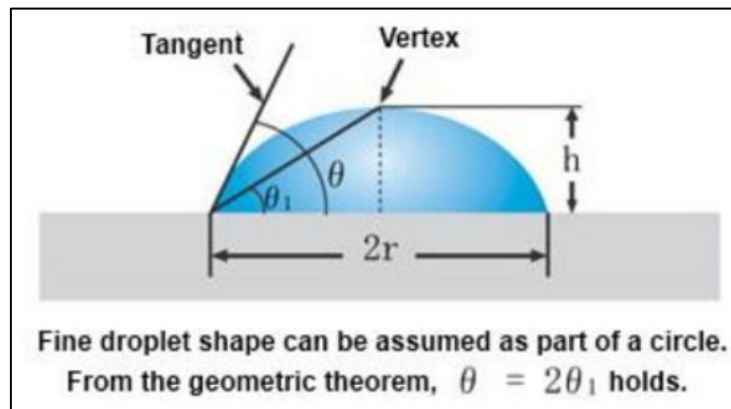
(四) 接觸角

當液滴靜止於平面時，可將其表面的弧線近似成圓的圓弧，再經由計算可得液滴的高與液滴半徑有下列關係

$$\tan \theta_1 = \frac{h}{r} \rightarrow \theta = 2 \tan^{-1} \frac{h}{r}$$

因此測量液滴的高與半徑後，即可計算出液滴的接

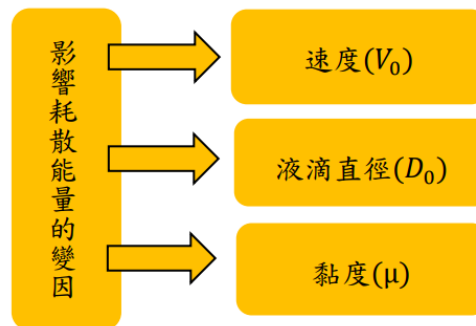
觸角。



圖(四) 液滴接觸角示意圖(精準股份有限公司

<https://applied.com.tw/page/products/?3.html>)

二、研究方法



圖(五)研究流程圖

(一) 液滴直徑(D_0)

由上述黏滯力作功(W_μ)與液滴直徑(D_0)的關係為 $W_\mu \propto$

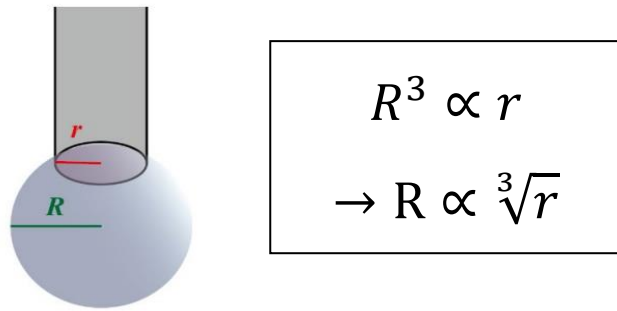
$\frac{D_0}{\sqrt{Re}} \propto D_0^{\frac{1}{2}}$ ，因此液滴直徑為耗散能量的變因之一。

在本實驗中，利用五種不同粗細的針孔來滴下液滴，

而不同管徑的針孔可以低落不同直徑的液滴，如圖

(六)，並以高速攝影機測量，以此來探討其與耗散能

量的關係。



圖(六) 液滴示意圖

(二) 速度(V_0)

由上述黏滯力作功(W_μ)與液滴速度(V_0)的關係為 $W_\mu \propto \frac{V_0^2}{\sqrt{Re}} \propto V_0^{\frac{3}{2}}$ ，因此液滴速度為耗散能量的變因之一。

可以藉由改變液滴掉落高度，以不同速度撞擊平板，探討撞擊速度對耗散能量的關係。

(三) 黏度(μ)

由上述黏滯力作功(W_μ)與黏度(μ)的關係為 $W_\mu \propto \frac{1}{\sqrt{Re}} \propto \mu^{\frac{1}{2}}$ ，因此黏度為耗散能量的變因之一。

甘油的黏度遠大於水，因此甘油與水的混合溶液可以大幅增加液體的黏度，而液體密度與表面張力的變化卻很小，如圖(四)。因此本實驗中，以不同濃度的甘油與水混合溶液產生的液滴撞擊平板，探討黏度與耗散能量的關係。

陸、研究結果

一、基本測量

(一) 密度

	V(cm ³)	M(g)	ρ (g/cm ³)
5%甘油	1	1.0159	1.0159
15%甘油	1	1.0380	1.0380
30%甘油	1	1.1007	1.1007

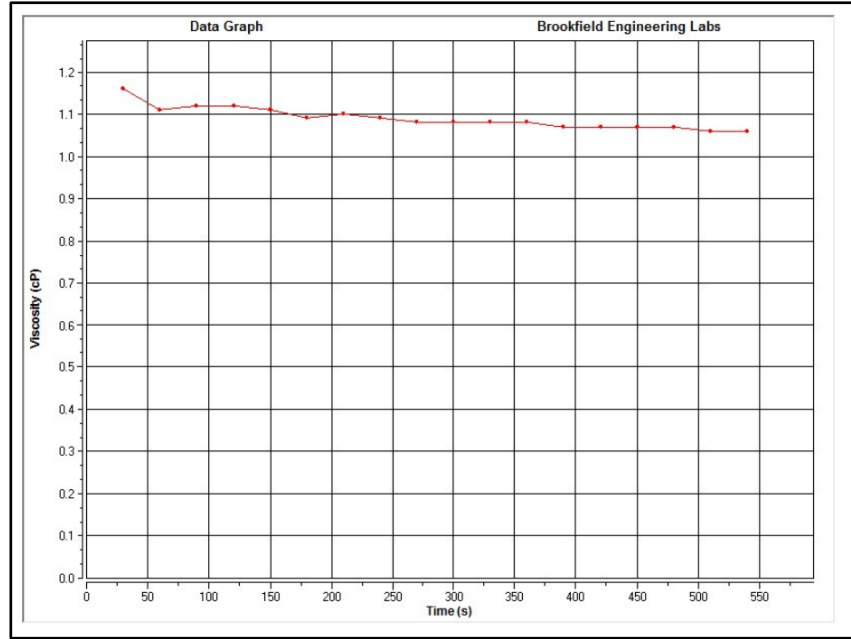
(二) 表面張力

	5%甘油	15%甘油	30%甘油
σ (mN/m)	69.206±0.203	66.971±0.198	66.780±0.044

(三) 黏度

1. 5%甘油水溶液

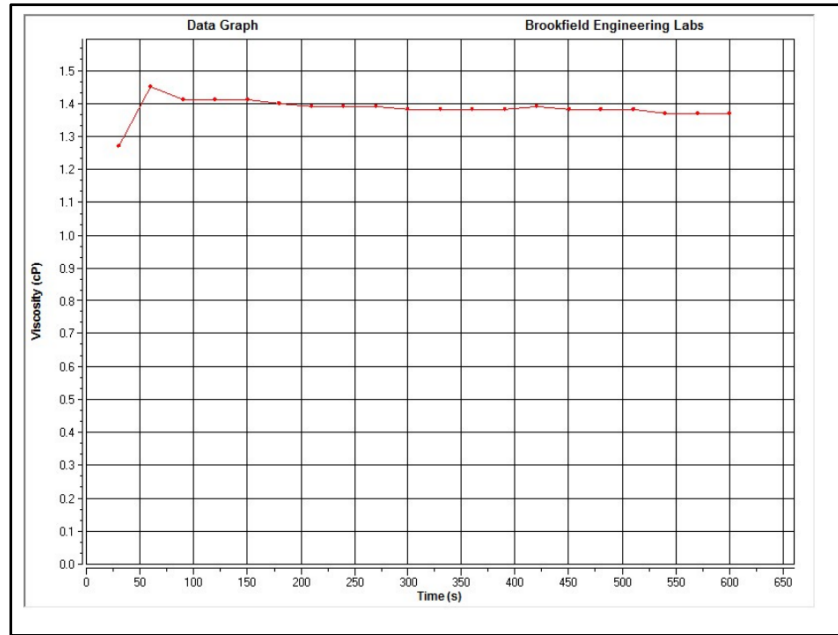
Test Data:										
Loop #	Step #	Point #	Viscosity cP	Speed RPM	Torque (%)	Shear Stress dyn/cm ²	Shear Rate 1/s	Temperature °C	Bath °C	Time (Sec)
0	1	1	1.16	100.00	37.7	8.67	750.000	24.9	EEEE	00:00:30.1
0	2	2	1.11	105.00	38.0	8.74	787.500	24.8	EEEE	00:01:00.1
0	3	3	1.12	110.00	40.3	9.26	825.000	24.8	EEEE	00:01:30.1
0	4	4	1.12	115.00	41.9	9.63	862.500	24.8	EEEE	00:02:00.1
0	5	5	1.11	120.00	43.3	9.95	900.000	24.8	EEEE	00:02:30.1
0	6	6	1.09	125.00	44.6	10.25	937.500	24.8	EEEE	00:03:00.1
0	7	7	1.10	130.00	46.5	10.69	975.000	24.8	EEEE	00:03:30.1
0	8	8	1.09	135.00	47.9	11.01	1013.000	24.8	EEEE	00:04:00.1
0	9	9	1.08	140.00	49.4	11.36	1050.000	24.9	EEEE	00:04:30.1
0	10	10	1.08	145.00	51.1	11.75	1088.000	24.9	EEEE	00:05:00.1
0	11	11	1.08	150.00	52.9	12.16	1125.000	24.9	EEEE	00:05:30.1
0	12	12	1.08	155.00	54.6	12.55	1163.000	24.9	EEEE	00:06:00.1
0	13	13	1.07	160.00	55.8	12.83	1200.000	24.9	EEEE	00:06:30.1
0	14	14	1.07	165.00	57.5	13.22	1238.000	24.9	EEEE	00:07:00.1
0	15	15	1.07	170.00	59.3	13.63	1275.000	25.0	EEEE	00:07:30.1
0	16	16	1.07	175.00	60.9	14.00	1313.000	25.0	EEEE	00:08:00.1
0	17	17	1.06	180.00	62.4	14.34	1350.000	25.0	EEEE	00:08:30.1
0	18	18	1.06	185.00	64.2	14.76	1388.000	25.0	EEEE	00:09:00.1



圖(七) 5%甘油黏度測量數據圖

2. 15%甘油水溶液

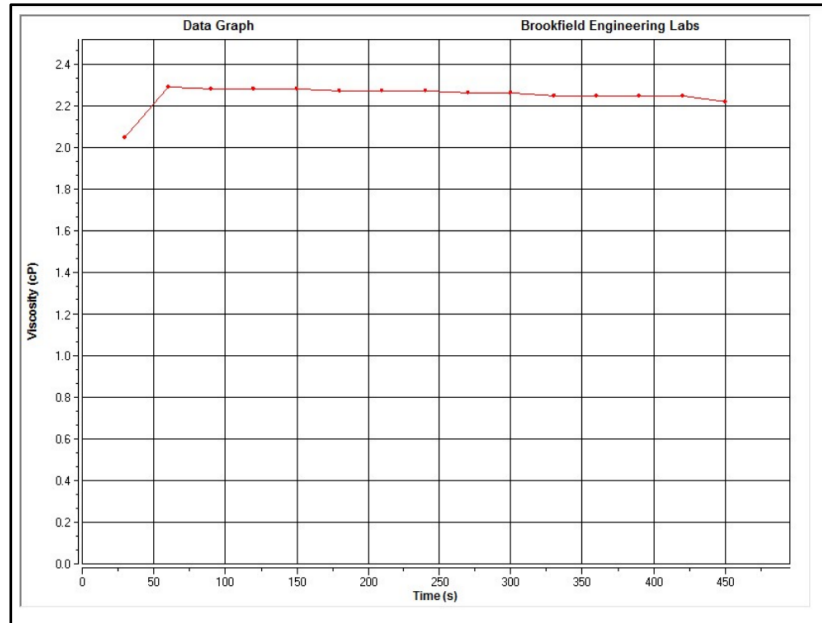
Test Data:										
Loop #	Step #	Point #	Viscosity cP	Speed RPM	Torque (%)	Shear Stress dyn/cm ²	Shear Rate 1/s	Temperature °C	Bath °C	Time (Sec)
0	1	1	1.27	110.00	45.7	10.51	825.000	25.2	EEEE	00:00:30.1
0	2	2	1.45	115.00	54.4	12.51	862.500	25.2	EEEE	00:01:00.1
0	3	3	1.41	120.00	55.2	12.69	900.000	25.2	EEEE	00:01:30.1
0	4	4	1.41	125.00	57.7	13.26	937.500	25.2	EEEE	00:02:00.1
0	5	5	1.41	130.00	59.6	13.70	975.000	25.1	EEEE	00:02:30.1
0	6	6	1.40	135.00	61.6	14.16	1013.000	25.1	EEEE	00:03:00.1
0	7	7	1.39	140.00	63.3	14.55	1050.000	25.1	EEEE	00:03:30.1
0	8	8	1.39	145.00	65.6	15.08	1088.000	25.1	EEEE	00:04:00.1
0	9	9	1.39	150.00	67.8	15.59	1125.000	25.1	EEEE	00:04:30.1
0	10	10	1.38	155.00	70.0	16.09	1163.000	25.1	EEEE	00:05:00.1
0	11	11	1.38	160.00	72.2	16.60	1200.000	25.1	EEEE	00:05:30.1
0	12	12	1.38	165.00	74.5	17.13	1238.000	25.1	EEEE	00:06:00.1
0	13	13	1.38	170.00	76.8	17.65	1275.000	25.1	EEEE	00:06:30.1
0	14	14	1.39	175.00	79.6	18.30	1313.000	25.1	EEEE	00:07:00.1
0	15	15	1.38	180.00	81.3	18.69	1350.000	25.1	EEEE	00:07:30.1
0	16	16	1.38	185.00	83.3	19.15	1388.000	25.1	EEEE	00:08:00.1
0	17	17	1.38	190.00	85.5	19.65	1425.000	25.1	EEEE	00:08:30.1
0	18	18	1.37	195.00	87.3	20.07	1463.000	25.1	EEEE	00:09:00.1
0	19	19	1.37	200.00	89.4	20.55	1500.000	25.1	EEEE	00:09:30.1
0	20	20	1.37	205.00	91.8	21.10	1538.000	25.1	EEEE	00:10:00.1



圖(八) 15%甘油黏度測量數據圖

3. 30%甘油水溶液

Test Data:										
Loop #	Step #	Point #	Viscosity cP	Speed RPM	Torque (%)	Shear Stress dyn/cm ²	Shear Rate 1/s	Temperature °C	Bath	Time (Sec)
0	1	1	2.05	100.00	66.9	15.38	750.000	25.1	EEEE	00:00:30.1
0	2	2	2.29	105.00	78.4	18.02	787.500	25.1	EEEE	00:01:00.1
0	3	3	2.28	110.00	82.0	18.85	825.000	25.1	EEEE	00:01:30.1
0	4	4	2.28	115.00	85.7	19.70	862.500	25.1	EEEE	00:02:00.1
0	5	5	2.28	120.00	89.1	20.48	900.000	25.1	EEEE	00:02:30.1
0	6	6	2.27	125.00	92.7	21.31	937.500	25.1	EEEE	00:03:00.1
0	7	7	2.27	130.00	96.3	22.14	975.000	25.1	EEEE	00:03:30.1
0	8	8	2.27	135.00	99.9	22.96	1013.000	25.1	EEEE	00:04:00.1
0	9	9	2.26	140.00	103.3	23.75	1050.000	25.1	EEEE	00:04:30.1
0	10	10	2.26	145.00	106.8	24.55	1088.000	25.1	EEEE	00:05:00.1
0	11	11	2.25	150.00	110.1	25.31	1125.000	25.1	EEEE	00:05:30.1
0	12	12	2.25	155.00	113.7	26.14	1163.000	25.1	EEEE	00:06:00.1
0	13	13	2.25	160.00	117.4	26.99	1200.000	25.1	EEEE	00:06:30.1
0	14	14	2.25	165.00	121.1	27.84	1238.000	25.1	EEEE	00:07:00.1
0	15	15	2.22	170.00	122.9	28.25	1275.000	25.1	EEEE	00:07:30.1



圖(九) 30%甘油黏度測量數據圖

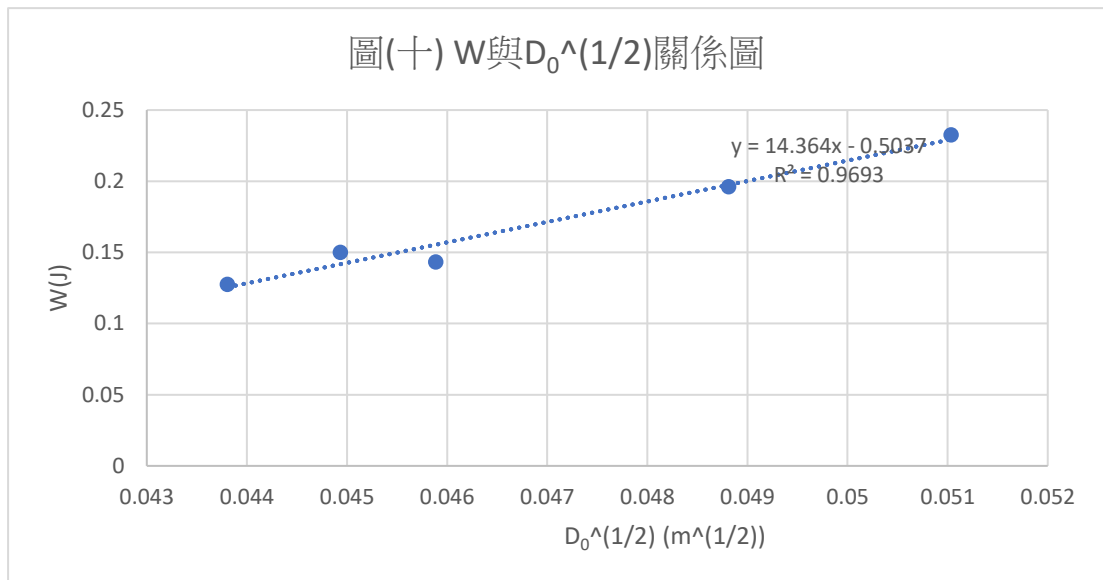
(四) 接觸角

純水	5%甘油水溶液	15%甘油水溶液	30%甘油水溶液
13.1°	12.9°	12.8°	12.5°

一、液滴直徑對耗散能量的影響

以下為經測量後的參數：液滴直徑(D_0)、液滴撞擊後的最大直徑(D_{max})、撞擊速度(V_0)、接觸角(θ)、表面張力(σ)、黏度(μ)、密度(ρ)，與由能量守恆式解出的耗散能量(W)

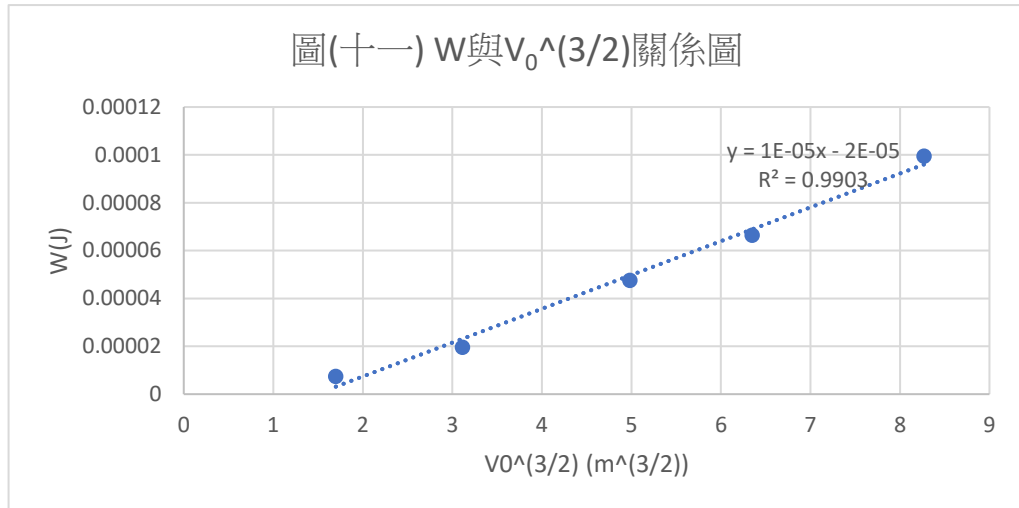
D_0 (m)	0.002382778	0.002604	0.002106	0.002019	0.001919
D_{max} (m)	0.009805556	0.011361	0.00888	0.008028	0.007589
V_0 (m/s)	2.533940278	2.581646	2.376829	2.509742	2.40307
θ (°)	13.1	13.1	13.1	13.1	13.1
σ (mN/m)	72.75	72.75	72.75	72.75	72.75
μ (cP)	1.02	1.02	1.02	1.02	1.02
ρ (g/m ³)	1000	1000	1000	1000	1000
W (J)	9.45835E-06	1.54821E-05	1.62E-06	2.57E-06	2.38E-07



二、撞擊速度對耗散能量的影響

以下為經測量後的參數：液滴直徑(D_0)、液滴撞擊後的最大直徑(D_{max})、撞擊速度(V_0)、接觸角(θ)、表面張力(σ)、黏度(μ)、密度(ρ)，與由能量守恆式解出的耗散能量(W)

Do(m)	0.003212	0.003009	0.003048	0.003004	0.002997
Dmax(m)	0.008353	0.009963	0.011829	0.012838	0.013752
Vo(m/s)	1.423122	2.132243	2.917819	3.429605	4.089546
θ (°)	13.1	13.1	13.1	13.1	13.1
σ (mN/m)	72.75	72.75	72.75	72.75	72.75
μ (cP)	1.02	1.02	1.02	1.02	1.02
ρ (g/m ³)	1000	1000	1000	1000	1000
W(J)	7.51E-06	1.97E-05	4.76E-05	6.64E-05	9.95E-05

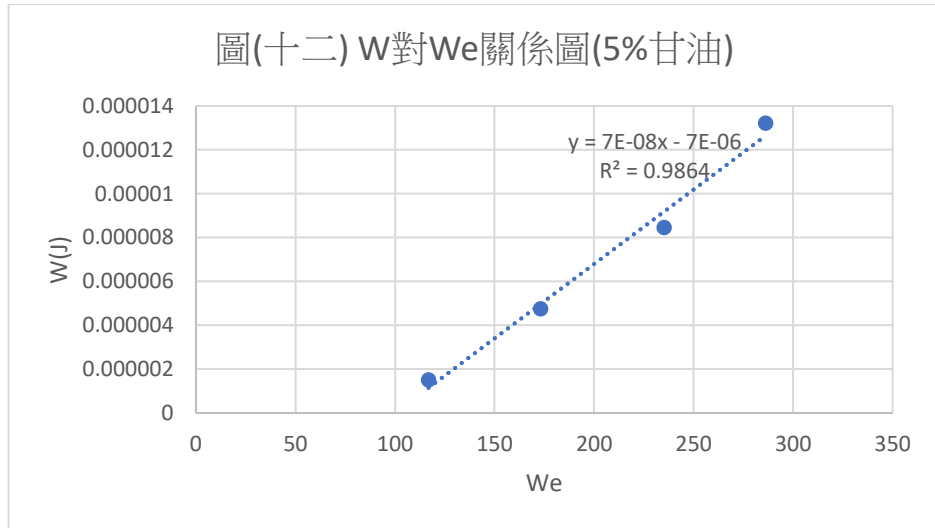


三、黏度對耗散能量的影響

(一) 以5%甘油液滴撞擊平板

以下為經測量後的參數：液滴直徑(D_0)、液滴撞擊後的最大直徑(D_{max})、撞擊速度(V_0)、接觸角(θ)、表面張力(σ)、黏度(μ)、密度(ρ)，與由能量守恆式解出的耗散能量(W)和經計算後的韋伯數(We)

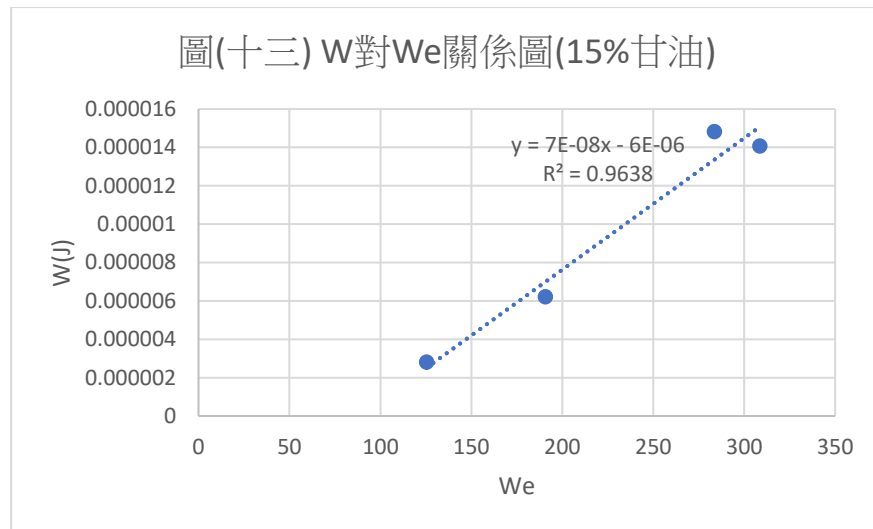
Do(m)	0.002363	0.002284	0.002229	0.002293
Dmax(m)	0.008405	0.009284	0.010064	0.01107
Vo(m/s)	1.834921	2.271561	2.680872	2.915269
θ (°)	12.9	12.9	12.9	12.9
σ (mN/m)	69.206	69.206	69.206	69.206
μ (cP)	1.09	1.09	1.09	1.09
ρ (g/m ³)	1015.9	1015.9	1015.9	1015.9
W(J)	1.50643E-06	4.75E-06	8.46E-06	1.32E-05
We	116.8109964	173.0098	235.2137	286.098



(二) 以15%甘油液滴撞擊平板

以下為經測量後的參數：液滴直徑(D_0)、液滴撞擊後的最大直徑(D_{max})、撞擊速度(V_0)、接觸角(θ)、表面張力(σ)、黏度(μ)、密度(ρ)，與由能量守恆式解出的耗散能量(W)和經計算後的韋伯數(We)

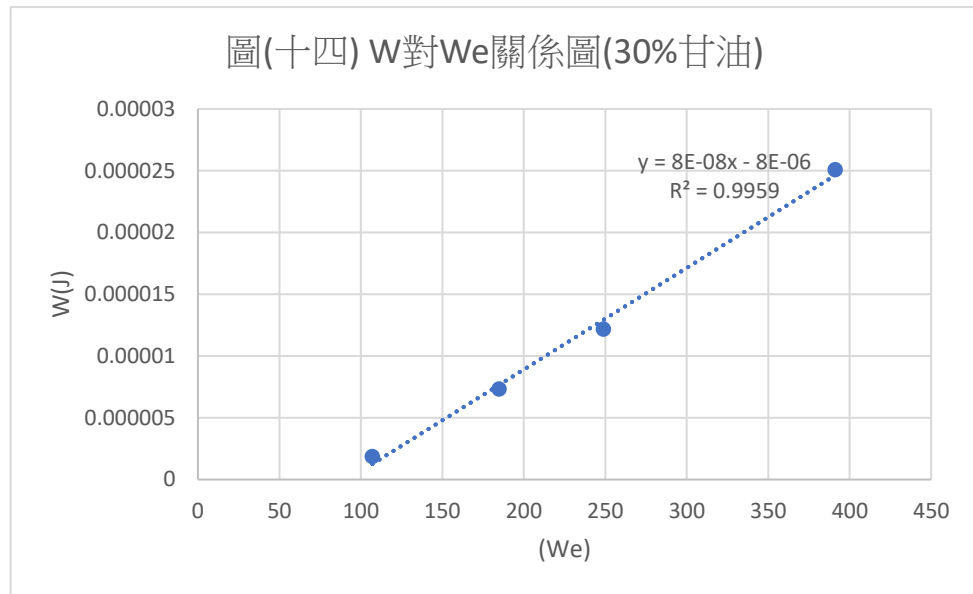
Do(m)	0.002369	0.00225	0.002323	0.002196
Dmax(m)	0.008192	0.009	0.010065	0.009969
Vo(m/s)	1.847712	2.338104	2.80659	3.010541
θ (°)	12.8	12.8	12.8	12.8
σ (mN/m)	66.971	66.971	66.971	66.971
μ (cP)	1.39	1.39	1.39	1.39
ρ (g/m ³)	1038.0	1038.0	1038.0	1038.0
W(J)	2.81E-06	6.22E-06	1.48E-05	1.41E-05
We	125.3543	190.6165	283.6535	308.5268



(三) 以30%甘油液滴撞擊平板

以下為經測量後的參數：液滴直徑(D_0)、液滴撞擊後的最大直徑(D_{max})、撞擊速度(V_0)、接觸角(θ)、表面張力(σ)、黏度(μ)、密度(ρ)，與由能量守恆式解出的耗散能量(W)和經計算後的韋伯數(We)

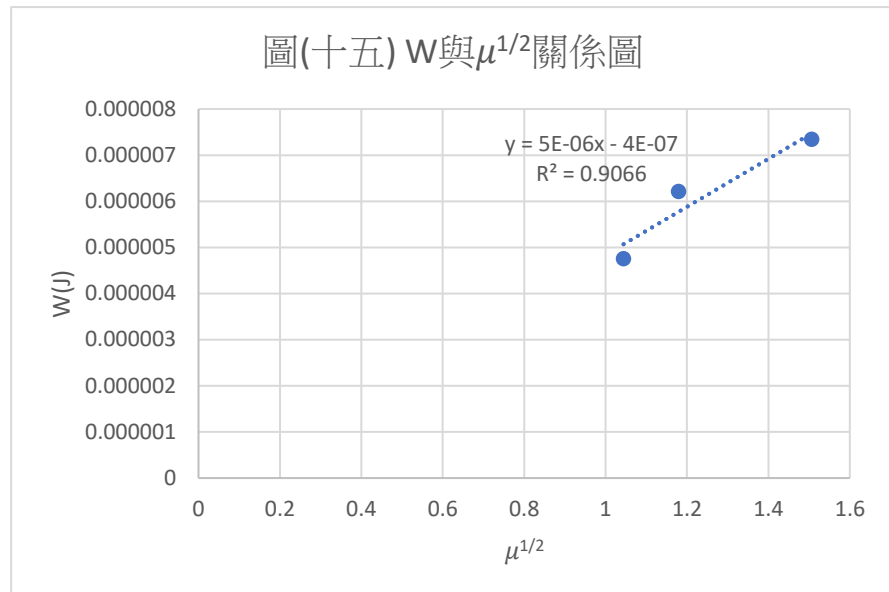
D_0 (m)	0.002296	0.002277	0.002263	0.002305
D_{max} (m)	0.007338	0.008442	0.008994	0.009936
V_0 (m/s)	1.681691	2.219089	2.583146	3.209032
θ (°)	12.5	12.5	12.5	12.5
σ (mN/m)	66.788	66.788	66.788	66.788
μ (cP)	2.27	2.27	2.27	2.27
ρ (g/m ³)	1100.7	1100.7	1100.7	1100.7
W(J)	1.85E-06	7.34E-06	1.22E-05	2.51E-05
We	107.0326	184.7877	248.893	391.1696



(四) 黏度與耗散能量的關係

以下為經測量後的參數：液滴直徑(D_0)、液滴撞擊後的最大直徑(D_{max})、撞擊速度(V_0)、接觸角(θ)、表面張力(σ)、黏度(μ)、密度(ρ)，與由能量守恆式解出的耗散能量(W)

Do(m)	0.002284	0.00225	0.002277
Dmax(m)	0.009284	0.009	0.008442
Vo(m/s)	2.271561	2.338104	2.219089
θ (°)	12.9	12.8	12.5
σ (mN/m)	69.206	66.971	66.788
μ (cP)	1.09	1.39	2.27
ρ (g/m ³)	1015.9	1038.0	1100.7
W(J)	4.75E-06	6.22E-06	7.34E-06



柒、討論

- 一、以純水液滴撞擊平板時，應維持在較低的高度低下。水滴運動的路徑愈短，撞擊速度愈能保持相同，誤差較小。
- 二、以純水液滴撞擊平板時，當水滴在高處低下時，過程中可發現水滴會發生拉伸震盪，使其直徑易變動，無法保持穩定。
- 三、當液滴撞擊速度較高時，由高速攝影機的時序可發現，其撞擊到平板後的擴張和震盪過程較快
- 四、每次低下液滴後，須以丙酮清洗，再用氣槍保持乾燥，避免前後實驗的影響

捌、結論

- 一、當液滴撞擊平板時，耗散能量為液滴直徑的二分之一次方的函數
- 二、當液滴撞擊平板時，耗散能量為撞擊速度二分之三次方的函數

- 三、 當液滴撞擊平板時，耗散能量與韋伯數為線性關係
- 四、 當不同黏度的液滴撞擊平板時，黏度愈高的液滴，耗散能量對韋伯數的斜率較大，此現象與雙液滴碰撞相同
- 五、 當不同黏度的液滴撞擊平板時，耗散能量為黏度的二分之一次方的函數
- 六、 未來展望
 - (一) 找尋適合的流體，使其水溶液的黏度、表面張力與水相近，研究密度對耗散能量影響
 - (二) 以其他平板進行實驗，探討表面粗糙度對耗散能量的影響
 - (三) 以高速液滴產生裝置進行實驗，觀察其變因對能量影響與本實驗的相異之處
- 七、 應用
 - (一) 了解變因對耗散能量函數後，可以耗散能量討論液滴撞擊後行為的邊界條件，例如: Deposition、Corona splash、rebound...
 - (二) 了解變因對耗散能量函數後，當液滴反彈時，可以能量守恆預測液滴的反彈高度
 - (三) 了解變因對耗散能量函數後，當液滴反彈時，可以能量守恆預測液滴的直徑大小

玖、參考資料

1. M. Pasandideh-Fard, Y. M. Qiao, S. Chandra, et al(1996). Capillary effects during droplet impact on a solid surface. *Physics of Fluids* 8, 650.
2. Ted Mao, David C. S. Kuhn, and Honghi Tran(1997). Spread and Rebound of Liquid Droplets upon Impact on Flat Surfaces. *AIChE Journal* Vol. 43, No. 9.
3. 曾琨程(2008年7月)。不同溶液之高速液滴與平板之碰撞。國立臺灣大學工學院機械工程學系碩士論文。
4. 洪誌隆(2015年7月)。液體黏滯性對雙液滴碰撞之影響:以甘油與奈米水溶液為例。國立臺灣大學工學院機械工程學系碩士論文。

【評語】 160005

種液滴撞擊板面的型態，非新穎議題，但值得再深入探討。實驗量測液滴直徑、液滴撞擊後的最大直徑、撞擊速度、接觸角，計算液滴撞擊後能量的損失。制式實驗，典型分析，描述清楚，但未見新穎現象，未考量測測準確度計，建議可思考新穎量測，推展參數範圍，探究是否有新穎現象。