

中華民國第四十八屆中小學科學展覽會
作品說明書

國中組 生物及地球科學科

第二名

031723

海洋密度流之探討

學校名稱：台北市立龍門國民中學

作者： 國二 李佩庭 國二 歐柏昇	指導老師： 陳英杰
---------------------------------	------------------

關鍵詞： 海洋、密度、密度流

海洋密度流之探討

壹、摘要

本研究利用簡易器材自製實驗裝置，模擬海洋中的密度流現象。實驗方法為配製濃度或溫度不同之鹽水，模擬不同密度之海水，使用自製裝置觀察它們在接觸時所產生的交互運動，並比較溫度、鹽度差異及旋轉效應對其交互運動和速率的影響。實驗結果說明，海洋中之海水密度流，是由於海水溫度、鹽度之差異，造成海水密度不同所形成，但其流動緩慢，且外加旋轉作用對於密度流有顯著之影響。此外，本研究自製之模型裝置，具有操作簡易及結果容易觀察之特點，可應用於國中自然科之教學上。

貳、研究動機

暑假時觀賞有線電視關於海洋的節目，介紹洋流的形成及分佈。洋流可分為風生洋流及深海洋流，上層海域洋流主要是因風吹所引起的，稱為風生洋流，人們對此類洋流有較好的觀察與瞭解。深海洋流主要是因密度差異引起兩層海水的對流現象，一般稱為溫鹽洋流或密度流，人類對其非常不瞭解。上學期學校理化課時我們學到物質的密度，而且在科研社上課時老師播放的影片中有介紹密度流，由於不清楚上述現象的成因，因此想利用課餘時間進行實驗探討。

參、研究目的

- 一、設計實驗裝置探討密度流的形成原因。
- 二、探討鹽水濃度差與密度流速率之關係。
- 三、觀察濃差密度流與溫差密度流之流線。
- 四、了解兩組密度流同步形成之流動情形。
- 五、模擬海洋密度流經過障礙物時之情形。
- 六、分析外加旋轉作用對於密度流之影響。

肆、研究設備及器材

滴管、塑膠注射筒（注射孔內徑 0.1 cm；0.2 cm）、電子秤、鐵架、廣用夾、壓克力管（管徑 2 cm；4 cm）、玻棒、燒杯（100mL、500mL）、量筒（25mL；100mL；1000mL）、橡皮塞、迴紋針、刮勺、吸量管（10mL）、安全吸球、雙凸透鏡、碼錶、滴定管、滴定管架、塑膠吸管（內徑 0.2cm；0.5cm；1.0cm）、保鮮膜、秤量紙、直尺、自製透明壓克力模擬箱（80cm×6cm×40cm；80cm×6cm×20cm；30 cm×30 cm×20 cm）、數位相機、數位攝影機、腳架、砝碼、鑽孔器、木架、製冰盒、紅墨水（水溶性）、藍墨水（水溶性）、凡士林、食鹽、水、氯化銨、氫氧化鋇、鋼杯、電動轉盤（直徑 1m）。

伍、研究過程或方法

一、實驗一：

- (一)將 50 cm 長皮尺以膠帶黏於直徑 2 cm、長 40 cm 的壓克力管外壁上。
- (二)配製 1.0% 鹽水及 1.5%、2.0%、2.5%、3.0%、3.5% 紅鹽水靜置一天。
- (三)先將壓克力管插入 1000mL 的量筒內，再利用迴紋針將二者固定。
- (四)將 1.0% 鹽水倒入 1000mL 的量筒中，至液面達皮尺刻度 0.5cm 位置。
- (五)利用塑膠注射筒吸取 1.5% 的紅色鹽水 10mL，將其以廣用夾固定於壓克力管上方，調整注射筒位置使注射孔剛好接觸液面，如圖 1-1，開始觀察紅色鹽水在壓克力管中流動的情形。
- (六)每十秒鐘記錄一次紅色鹽水底端的位置，如圖 1-2，並記錄至紅色鹽水底端達 30.5cm 處。
- (七)分別以 2.0%、2.5%、3.0%、3.5% 的紅色鹽水進行上述操作，並將結果作圖分析。



圖 1-1



圖 1-2

二、實驗二：

- (一)配製 3.1%、3.2%、3.3%、3.4%、3.5% 紅色鹽水及 3.0% 的鹽水，靜置一天備用。
- (二)將 3.0% 的鹽水倒入 100mL 的量筒中，並以塑膠注射筒吸取 10mL 的 3.1% 紅色鹽水，再將其以廣用夾固定於量筒上方，然後調整注射筒位置，使注射孔剛好接觸到 3.0% 的鹽水表面。
- (三)按下碼錶開始計時，觀察由塑膠注射筒流出的紅色鹽水之流動情形；並且每隔十五秒測量一次紅色鹽水底部位置的量筒刻度數。
- (四)重複上述操作五次，並計算五次結果之平均值。
- (五)依序將 3.1% 的紅色鹽水換成 3.2%、3.3%、3.4%、3.5% 的紅色鹽水，重複上述實驗，並依據結果作圖分析。

三、實驗三：

- (一)配製 3.5% 鹽水及 3.0%、3.1%、3.2%、3.3%、3.4% 的紅色鹽水，靜置一天備用。
- (二)將 3.0% 紅色鹽水倒入 100mL 的量筒中，再以塑膠注射筒吸取 10mL 的 3.5% 鹽水，並將其以廣用夾固定於量筒上方，然後調整注射筒位

置，使注射孔剛好接觸到 3.0%的紅色鹽水表面。

(三)當紅色鹽水頂端向上移動至注射筒刻度 0mL 處時，按下碼錶開始計時，測量紅色鹽水頂端由注射筒刻度 0mL 處向上移動至刻度 25mL 處（位移 6cm）所需時間，並計算平均流速。

(四)依序將 3.0%的紅色鹽水換成 3.1%、3.2%、3.3%、3.4%的紅色鹽水，重複上述實驗。

四、實驗四：

(一)利用厚度 1 cm的透明壓克力板製作一長 80 cm、寬 6 cm、高 20 cm之透明壓克力模擬箱，中間附有活動隔板，模擬箱底部外表面貼上 80 cm皮尺，如圖 2。

(二)將上述模擬箱之隔板放入箱中並以手壓緊，兩邊分別注入 3.5%紅色鹽水 200mL 以及 3.0%透明鹽水 200mL。

(三)抽開隔板，攝影記錄兩邊鹽水相互流動情形，並測量紅色鹽水前緣從皮尺刻度 40 cm移動至 0 cm所需時間。

(四)將模擬箱兩邊注入之鹽水量更改成 400mL、600 mL，重複上述操作（二）、（三），並將結果比較分析。

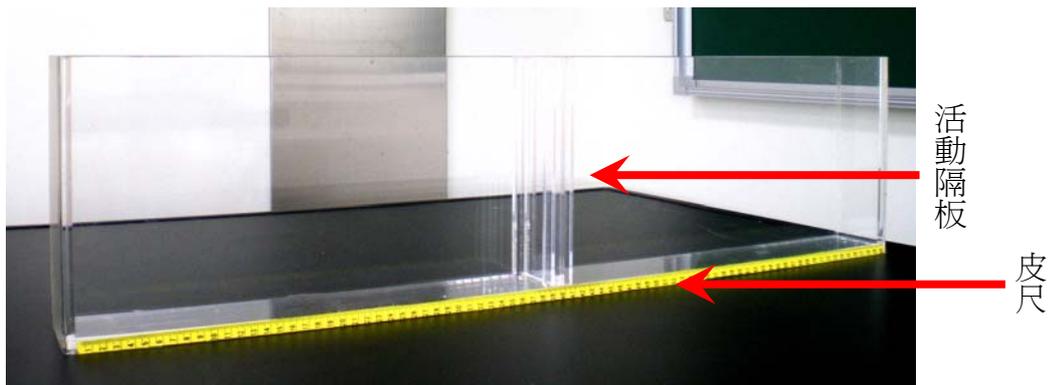


圖 2

五、實驗五：

(一)將圖 2 之模擬箱的活動隔板插入並以手壓緊，兩邊分別注入 200mL 3.5% 紅色鹽水以及 3.0%透明鹽水。

(二)抽開隔板，每隔一分鐘測量一次紅色鹽水前緣的位置，並測量紅色鹽水前緣從皮尺刻度 40 cm移動至 0 cm所需時間。

(三)以 3.1%、3.2%、3.3%、3.4%取代 3.0%透明鹽水，進行上述操作。

六、實驗六：

(一)利用厚度 1 cm的透明壓克力板製作一長 80 cm、寬 6 cm、高 40 cm之透明壓克力模擬箱，中間附有活動隔板。

(二)製冰盒中注入 3.5%紅色鹽水，再放入冰箱製成冰塊備用

(三)模擬箱中加入 3.0%鹽水約九分滿。

(四)將 3.5%紅色鹽水所製成之冰塊，放置在自製木架上但不接觸到水面。

(五)添加 3.0%透明鹽水於模擬箱中直到自製冰塊底部沒入液面下 2 cm 為止，觀察冰塊熔化後產生的紅色鹽水流入模擬箱中之情形，如圖 3。

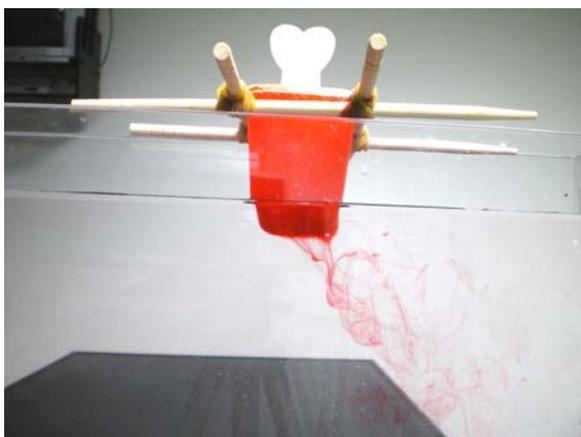


圖 3

七、實驗七：

- (一)取 100mL 冰水放入小鋼杯，加入氫氧化鋇配成飽和溶液。
- (二)1000mL 燒杯盛滿 3.5%鹽水，將上述小鋼杯利用自製木架置入鹽水中，如圖 4。
- (三)鋼杯中加入 40g 的粉狀氯化銨，並用玻璃棒攪拌後，測量鋼杯內溶液之溫度。
- (四)觀察鹽水中密度流生成之情形，並攝影分析。



圖 4

八、實驗八：

- (一)將圖 2 模擬箱的活動隔板插入並以手壓緊，兩邊分別注入 4°C 的 3.5% 紅色鹽水 400mL 以及 25°C 的 3.5%鹽水 400mL。
- (二)抽開隔板，測量紅色鹽水前緣從皮尺刻度 40 cm 移動至 0 cm 所需時間，並計算平均流速。

九、實驗九：

- (一)在實驗六之模擬箱中倒入 3.0%鹽水約九分滿。
- (二)取二支塑膠注射筒，分別吸取 10mL 的 3.5%紅色鹽水，利用鐵夾將

- 其固定，使注射筒在液面正上方，如圖 5。
- (三)將二支注射筒之注射口同時接觸液面，觀察 3.5%紅色鹽水流入 3.0%鹽水中之情形。
- (四)輕敲模擬箱外壁，觀察密度流的流線變化。

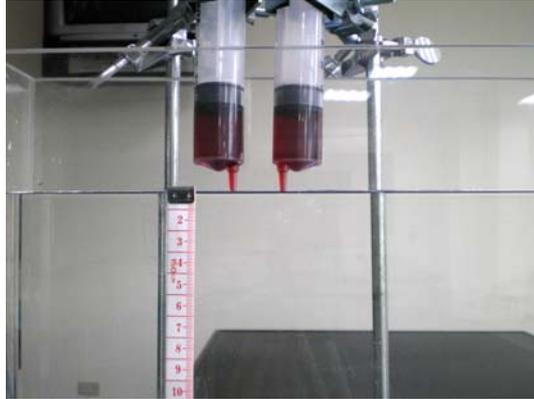


圖 5

十、實驗十：

- (一)將實驗六之模擬箱，加入 3.0%鹽水約九分滿。
- (二)利用釣魚線將安全吸球與銅製重錘連接，並放入上述模擬箱中，使安全吸球浮在模擬箱中央，當作障礙物。
- (三)取一支塑膠注射筒，吸取 10mL 的 3.5%紅色鹽水，利用鐵夾將其固定，使注射筒在障礙物正上方。
- (四)將注射筒之注射口接觸液面，觀察 3.5%紅色鹽水流入 3.0%鹽水中之情形，如圖 6，並攝影分析。

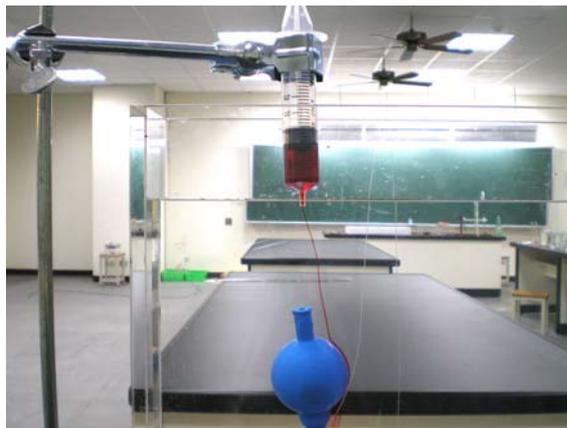


圖 6

十一、實驗十一：

- (一)在圖 2 之模擬箱的左側放入雙凸透鏡作為障礙物，如圖 7，中間放入活動隔板並壓緊，兩邊分別注入 600mL 3.5%紅色鹽水(右側)以及 543 mL (600mL 扣除凸透鏡體積)的 3.0%鹽水(左側)。

- (二)抽開隔板，觀察並記錄 3.5%紅色鹽水水平流入 3.0%鹽水中的情形，以及從皮尺刻度 40 cm移動至 0 cm所需時間。

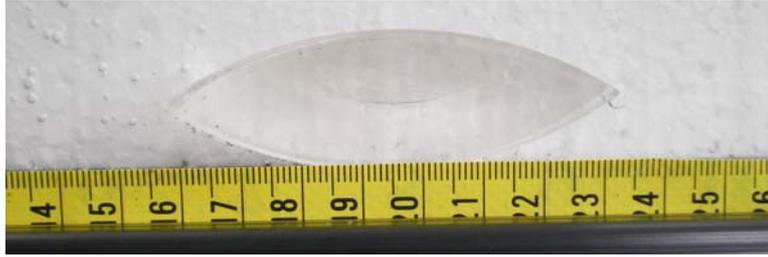


圖 7

十二、實驗十二：

- (一)配製 3.0%鹽水及 3.5%紅色鹽水，靜置一天備用。
(二)將 3.0%鹽水倒入 1000mL 的量筒中，再將其放置於圖 8 之電動轉盤上。
(三)利用塑膠注射筒吸取 3.5%紅色鹽水 10mL，將其以廣用夾固定於量筒上方，啓動轉盤以每分鐘 5 轉之速率轉動 10 分鐘後，調整注射孔使其剛好接觸液面，開始觀察紅色鹽水在量筒中流動的情形。



圖 8

十三、實驗十三：

- (一)將圖 2 之模擬箱的活動隔板插入並以 1 kg砝碼壓緊，兩邊分別注入 200mL3.5%紅色鹽水以及 3.0%鹽水，再將其放置於圖 8 之電動轉盤上，如圖 9。
(二)啓動轉盤以每分鐘逆時針 5 轉之速率轉動 10 分鐘後，抽開隔板觀察 3.5%紅色鹽水在模擬箱中流動的情形。

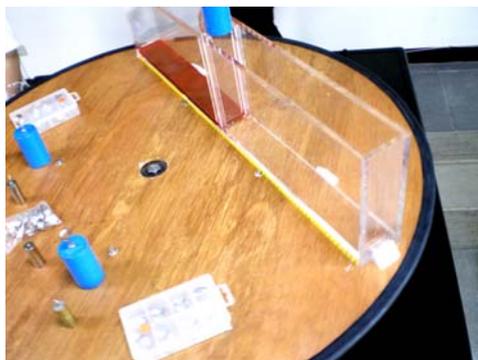


圖 9

十四、實驗十四：

- (一)將塑膠壓克力圓管（長 25cm；內徑 4cm）下方塗上凡士林後，放入模擬箱（30 cm×30 cm×20 cm）中央固定。
- (二)將 3.1%紅色鹽水倒入壓克力圓管中至高度 10 cm位置，接著將 3.0%鹽水倒入模擬箱內至高度 10 cm位置，如圖 10。
- (三)待鹽水靜止後，向上取出圓管，觀察並攝影記錄紅色鹽水之流動情形。
- (四)重複上述操作(一)及(二)，再將圖 10 裝置放置於圖 8 之轉盤上，啟動轉盤以每分鐘 6 轉之速率轉動 10 分鐘後，向上取出圓管並利用攝影記錄紅色鹽水之流動情形。

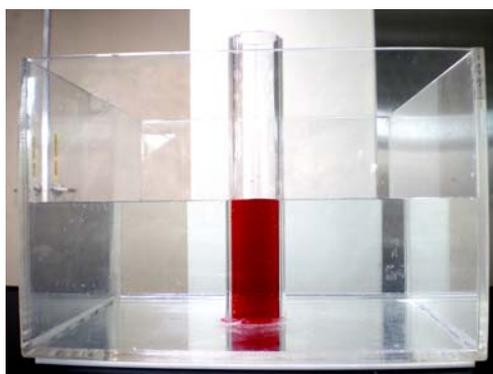


圖 10

十五、實驗十五：

- (一)將壓克力板（30 cm×32.5 cm）斜放於模擬箱（30 cm×30 cm×20 cm）中，斜角 25 度。
- (二)壓克力箱倒入 3.0%鹽水至高度 15 cm處。
- (三)利用附安全吸球之吸量管吸取濃度 3.5%紅色鹽水 10mL，再以廣用夾將其固定於模擬箱上方，如圖 11。
- (四)調整吸量管位置使管口沒入液面下，並利用安全吸球將紅色鹽水自吸量管釋出，同時攝影記錄紅色鹽水之流動情形。
- (五)重複上述操作(一)、(二)及(三)，再將圖 11 之裝置放置於圖 8 之轉盤上，以每分鐘逆時針 6 轉之速率轉動 10 分鐘後，重複上述操作(四)。

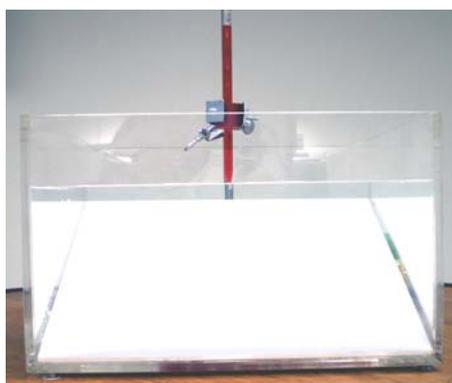


圖 11

陸、研究結果

一、實驗一：

不同濃度鹽水的密度流，流動情形不同。其中以 3.5% 的紅色鹽水向下移動的平均速率最大；1.5% 的紅色鹽水最小，如圖 12 所示。

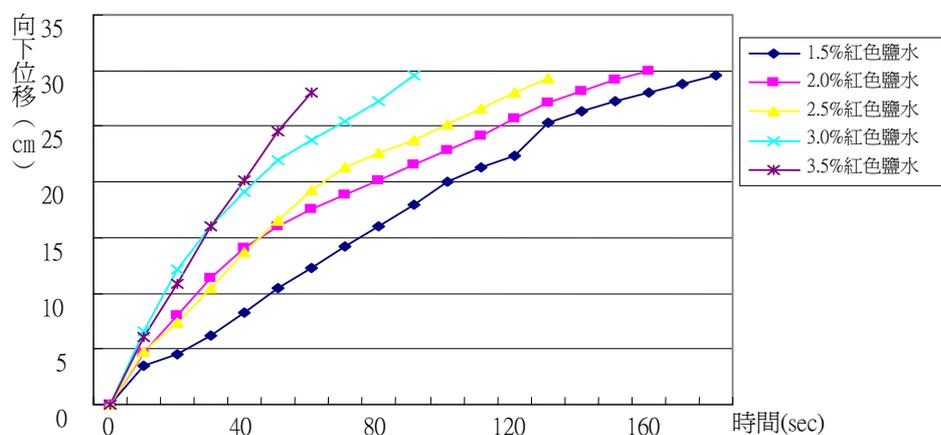


圖 12

二、實驗二：

不同濃度鹽水的密度流，流動情形不同。其中以 3.5% 的紅色鹽水向下移動的平均速率最大；3.1% 的紅色鹽水最小，如圖 13 所示。

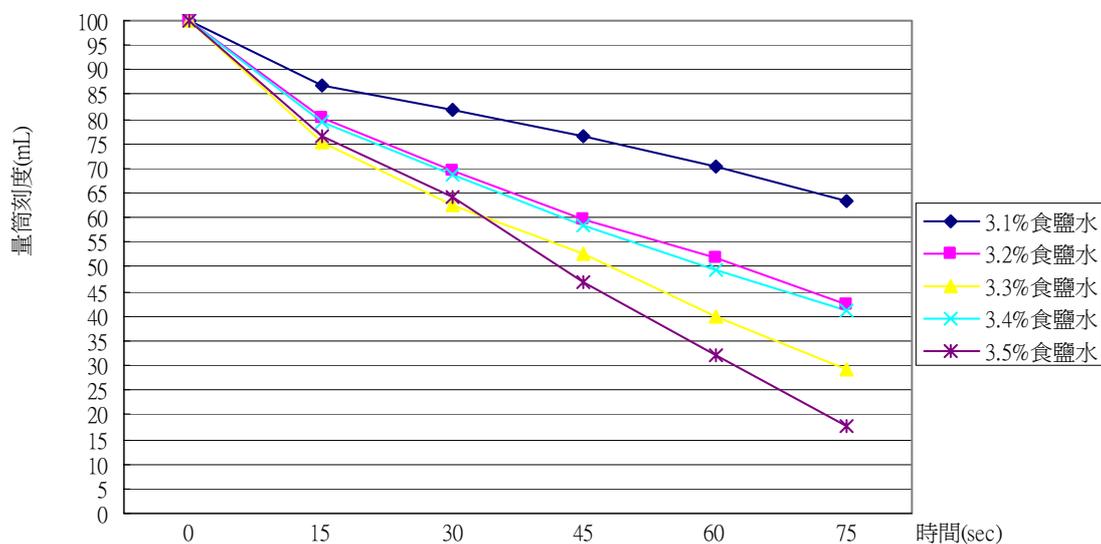


圖 13

三、實驗三：

各種濃度紅色鹽水向上流入 3.5% 鹽水之結果：

紅色鹽水濃度	3.0%	3.1%	3.2%	3.3%	3.4%
位移 6cm 所需時間(sec)	80	95	110	137	172
平均流速(cm/sec)	0.075	0.063	0.055	0.044	0.035

四、實驗四：

(一)3.5%紅色鹽水與 3.0%鹽水相互流動之情形如圖 14。



圖 14

(二) 不同體積之 3.5%紅色鹽水與 3.0%鹽水之水平流動實驗結果：

鹽水體積 (mL)	200	400	600
紅色鹽水前緣從刻度 40 cm 到達刻度 0 cm所需時間(sec)	482	97	41
平均水平流速(cm/sec)	0.083	0.412	0.976

五、實驗五：

3.5%紅色鹽水與不同濃度鹽水之水平流動實驗結果：

位 置 濃度	時間 1分	2分	3分	4分	5分	6分	7分	8分	9分
3.0%	22.5	17.8	13.5	10.7	7.3	4.7	2.2	0.1	
3.1%	26.5	21.5	18.0	14.0	10.8	8.1	5.8	3.3	1.5
3.2%	22.3	21.5	18.5	15.8	13.3	10.6	9.4	8.2	5.8
3.3%	23.5	22.5	21.0	19.0	16.5	14.0	12.0	11.0	8.5
3.4%	27.3	24.5	22.2	19.9	17.6	15.8	13.7	12.1	11.0
位 置 濃度	時間 10分	11分	12分	13分	14分	15分	16分	17分	達終點 (刻度 0 cm) 所需時間
3.0%									8分 2秒
3.1%									9分 56秒
3.2%	3.7	1.9							11分 57秒
3.3%	6.5	5.0	3.0	2.0	0.5				14分 44秒
3.4%	9.3	7.7	6.6	5.2	3.5	2.5	1.3	0.2	17分 10秒

六、實驗六：

冰塊融化後產生的低溫紅色鹽水所形成之密度流如圖 15-1 至 15-6。

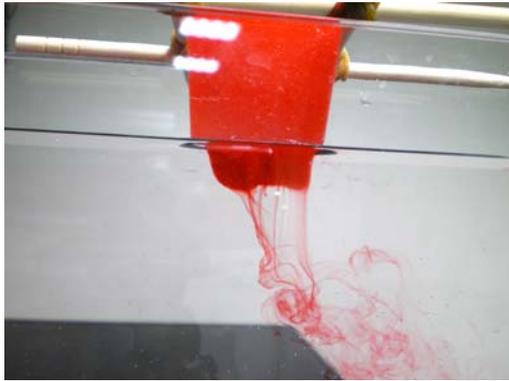


圖 15-1

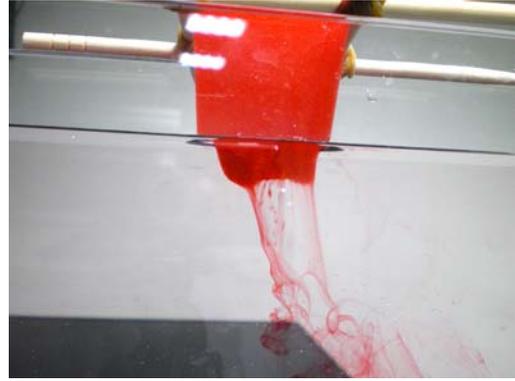


圖 15-2



圖 15-3

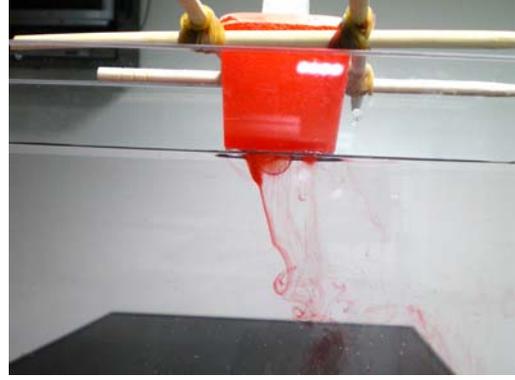


圖 15-4

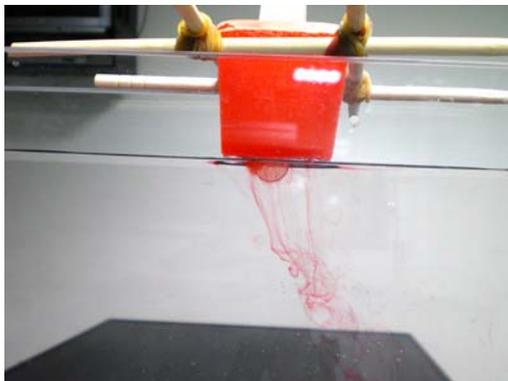


圖 15-5

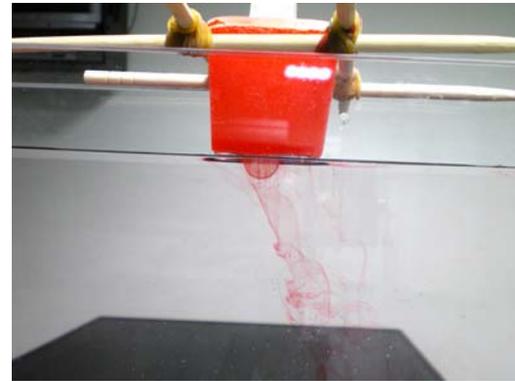


圖 15-6

七、實驗七：

(一)鋼杯內溶液溫度降為 -10°C 。

(二)肉眼清晰可見鹽水形成多組流線波紋。

八、實驗八：

紅色鹽水前緣從刻度 40 cm 到達刻度 0 cm 所需時間為 77 sec，平均水平流速為 0.519 cm/sec。

九、實驗九：

兩組密度流同步形成時之流動情形如圖 16-1 至 16-24。

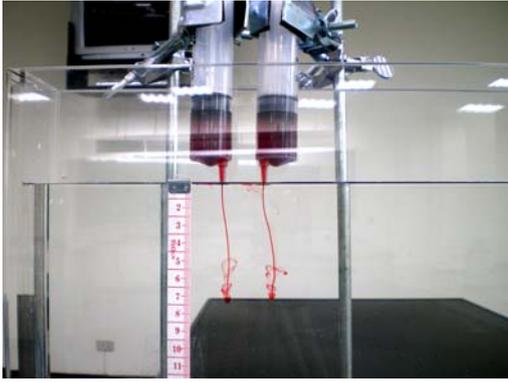


圖 16-1

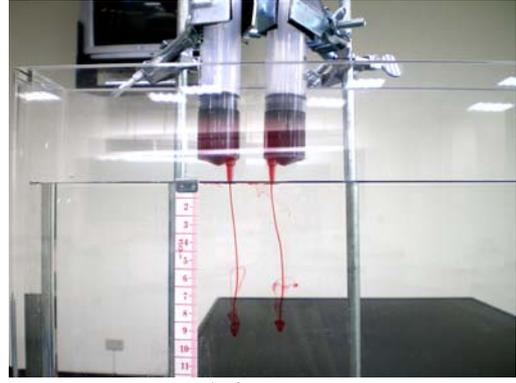


圖 16-2

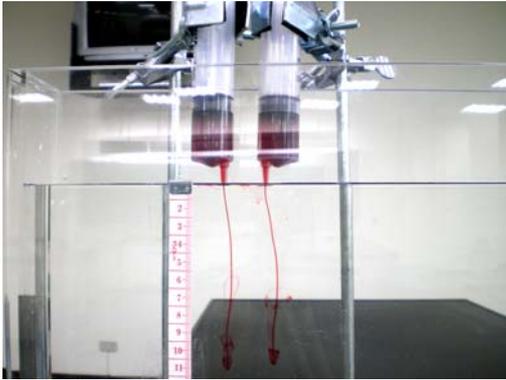


圖 16-3

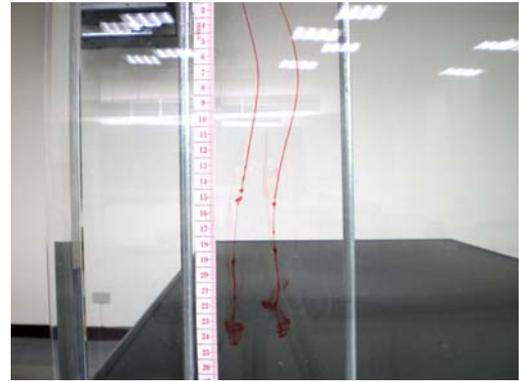


圖 16-4



圖 16-5

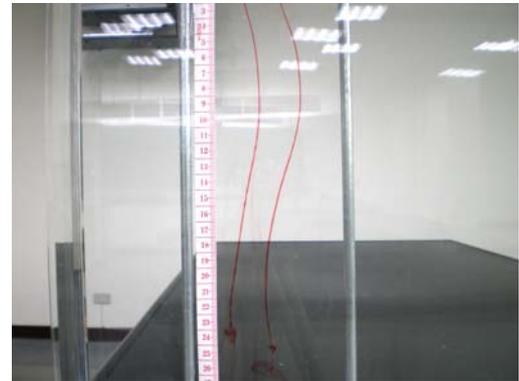


圖 16-6



圖 16-7

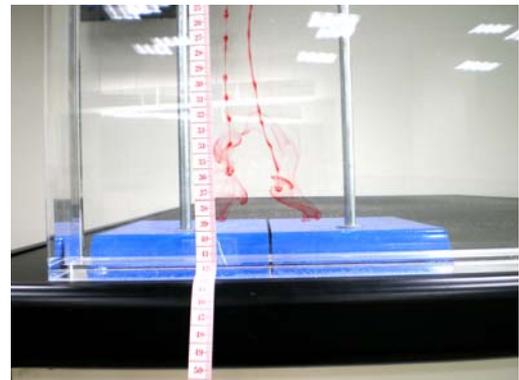


圖 16-8

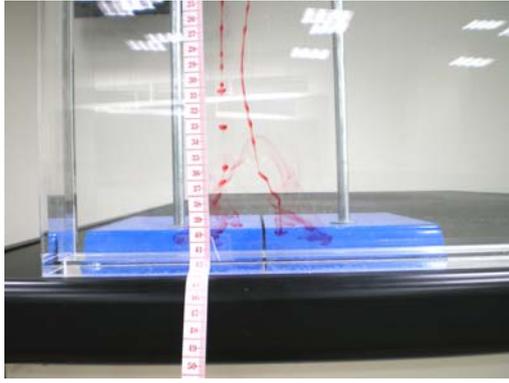


圖 16-9

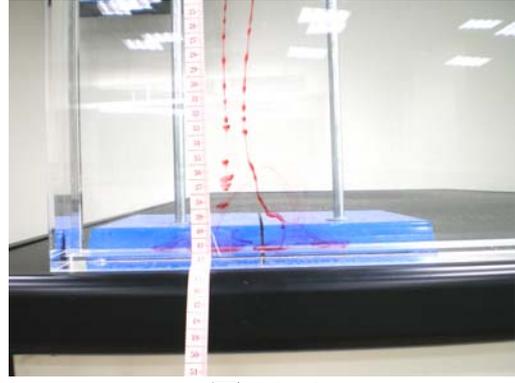


圖 16-10

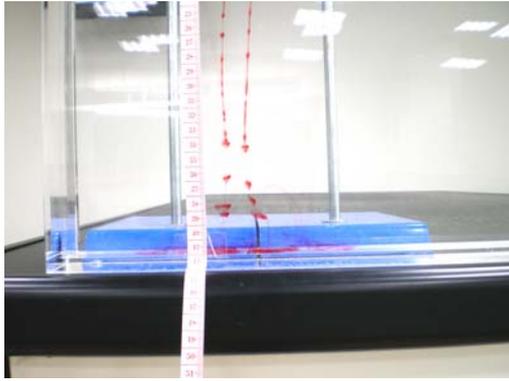


圖 16-11

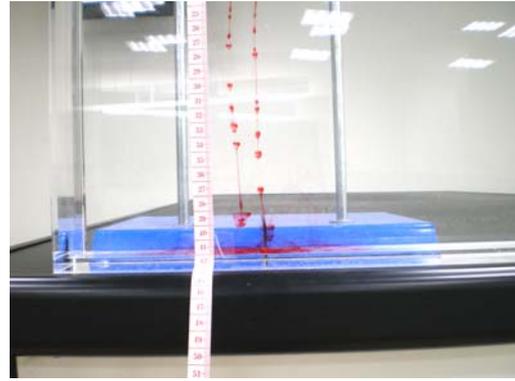


圖 16-12

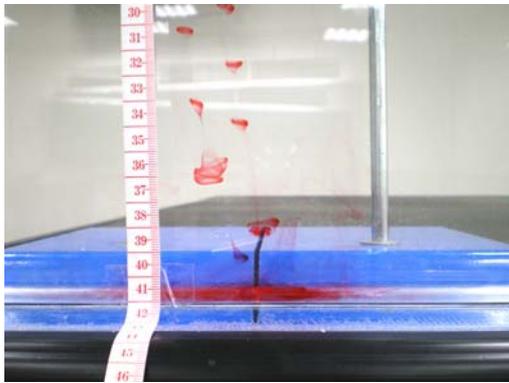


圖 16-13

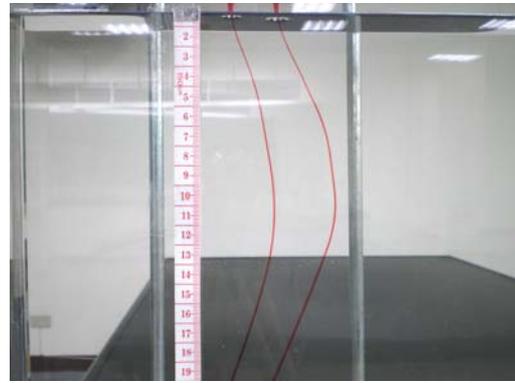


圖 16-14

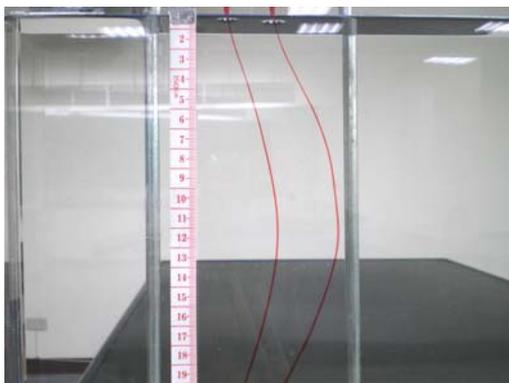


圖 16-15

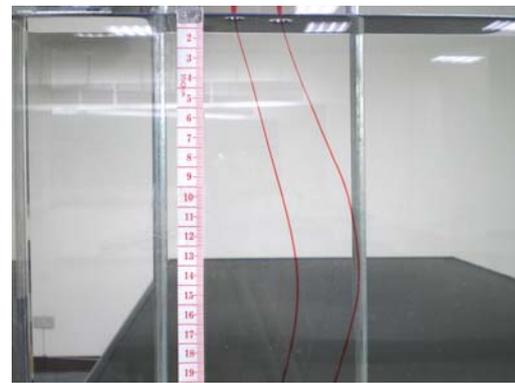


圖 16-16

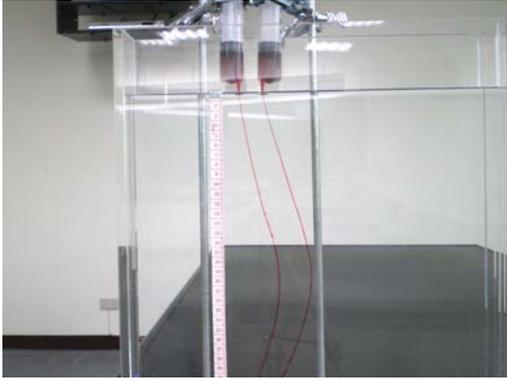


圖 16-17

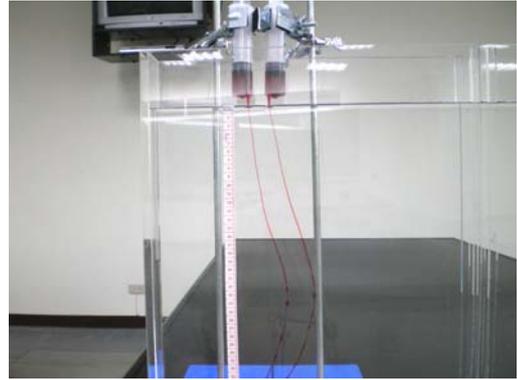


圖 16-18

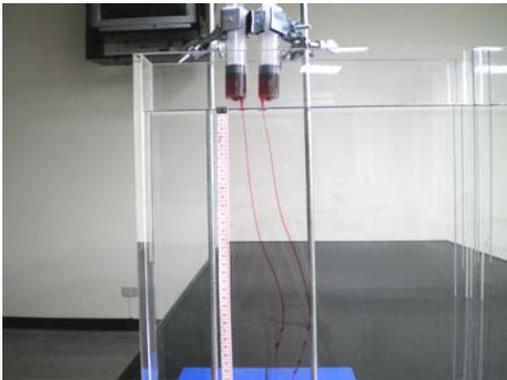


圖 16-19

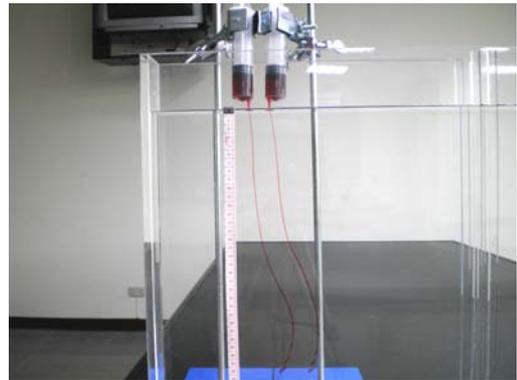


圖 16-20

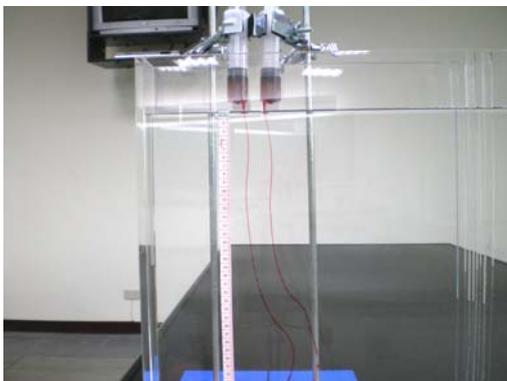


圖 16-21

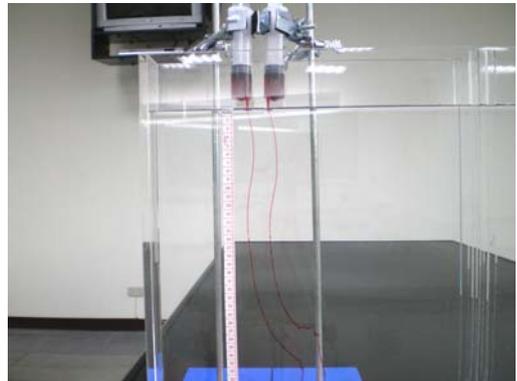


圖 16-22

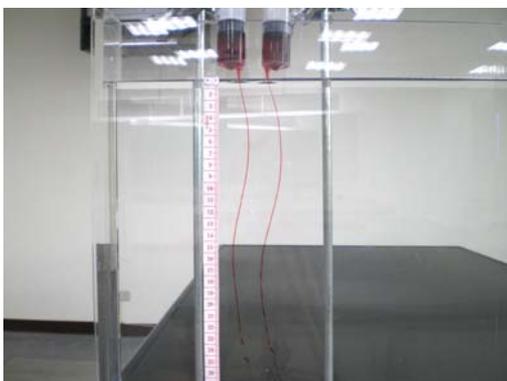


圖 16-23

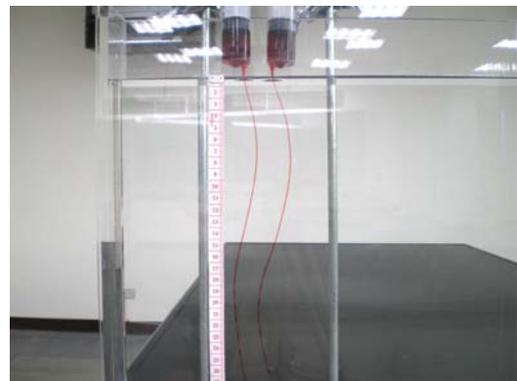


圖 16-24

十、實驗十：

向下移動之密度流遭遇障礙物時之流動情形如圖 17-1 至 17-6。



圖 17-1

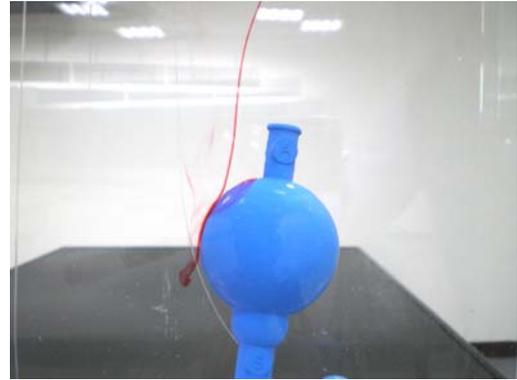


圖 17-2



圖 17-3



圖 17-4



圖 17-5



圖 17-6

十一、實驗十一

(一)水平移動之密度流遭遇障礙物時之流動情形如圖 18-1 至 18-9。

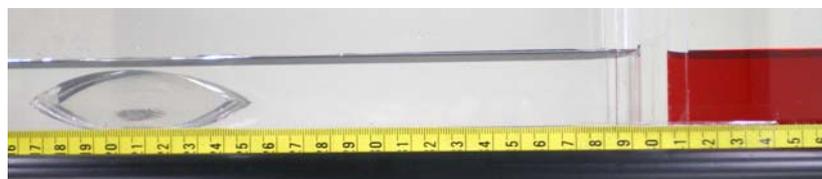


圖 18-1



圖 18-2

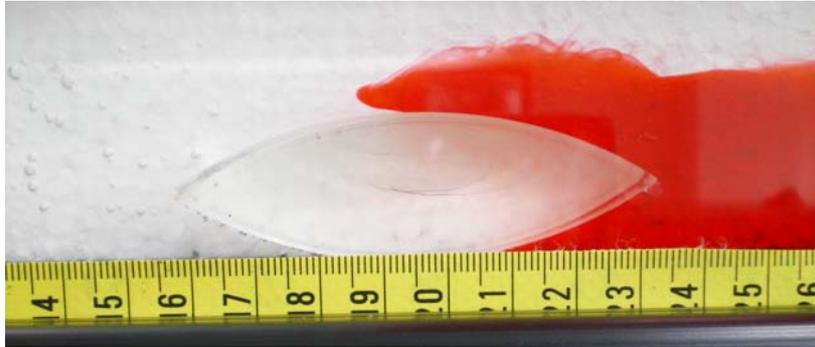


圖 18-3

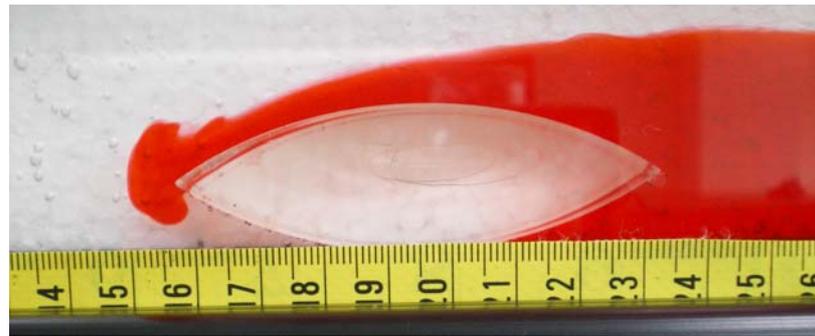


圖 18-4



圖 18-5



圖 18-6

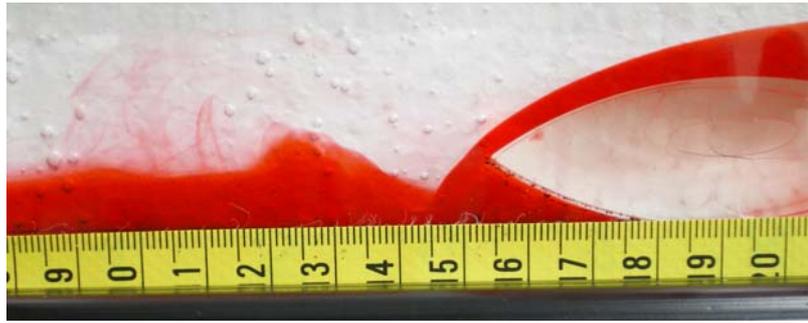


圖 18-7



圖 18-8



圖 18-9

(二)紅色鹽水前緣從刻度 40 cm 到達刻度 0 cm 所需時間為 61 sec，平均流速為 0.656 cm/sec。

十二、實驗十二

外加旋轉作用，3.5%紅鹽水於 3.0%鹽水中流動情形如圖 19-1 至 19-6。



圖 19-1

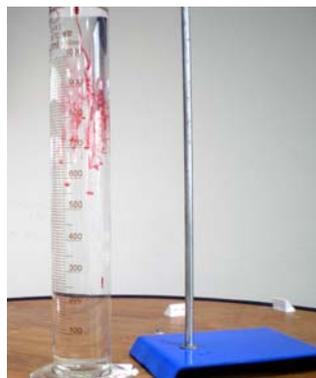


圖 19-2



圖 19-3



圖 19-4



圖 19-5

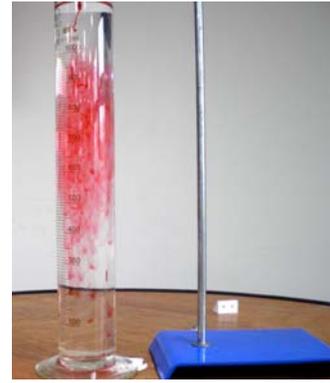


圖 19-6

十三、實驗十三

外加旋轉作用，3.5%紅色鹽水於模擬箱中流動之情形如圖 20-1 及 20-2。

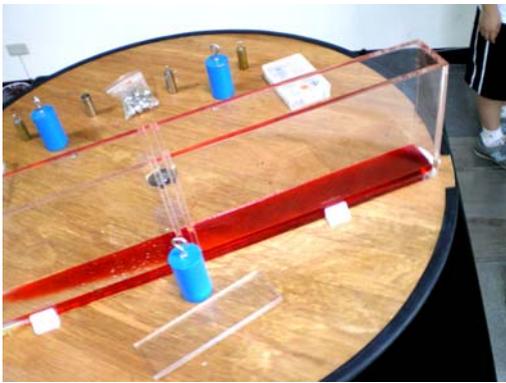


圖 20-1

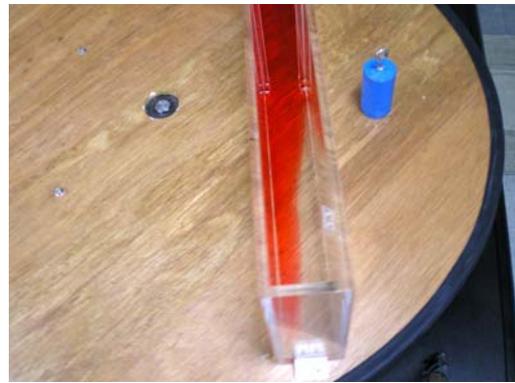


圖 20-2

十四、實驗十四

(一)無旋轉作用時，紅色鹽水從圓管中流出之流動情形如圖 21-1 至 21-6。

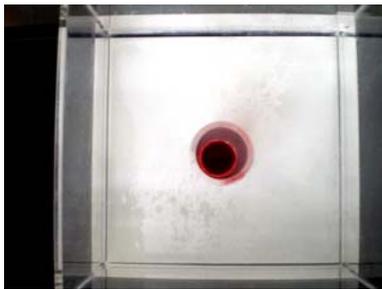


圖 21-1

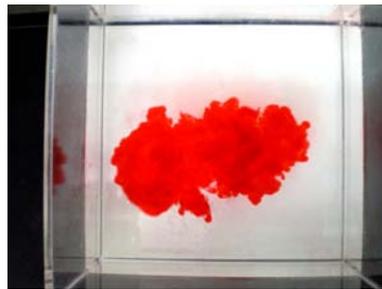


圖 21-2

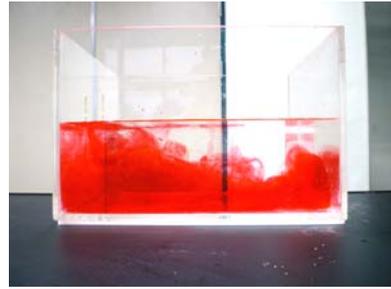


圖 21-3

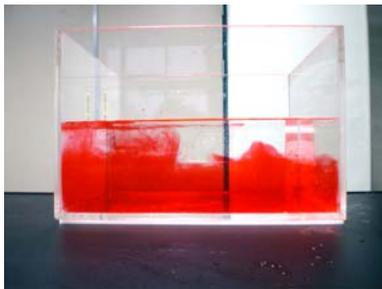


圖 21-4

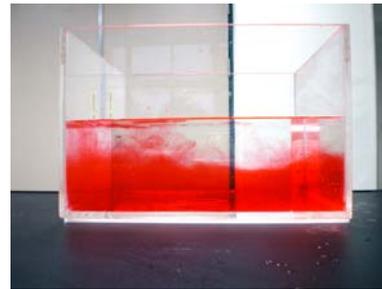


圖 21-5

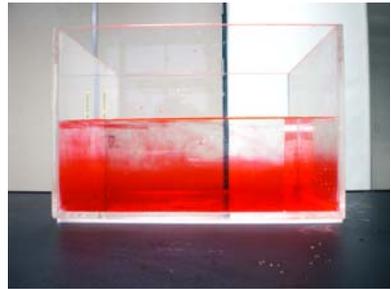


圖 21-6

(二) 外加旋轉作用下，紅色鹽水從圓管中流出之流動情形如圖 22-1 至 22-4。



圖 22-1



圖 22-2



圖 22-3



圖 22-4

十五、實驗十五

(一) 無旋轉作用時，紅色鹽水沿斜面向下之流動情形如圖 23-1 至 23-8。



圖 23-1

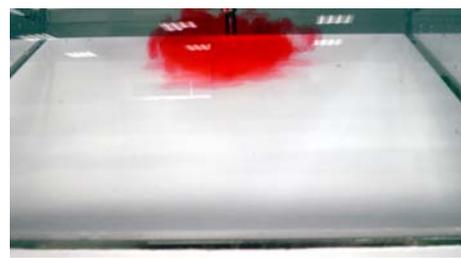


圖 23-2



圖 23-3

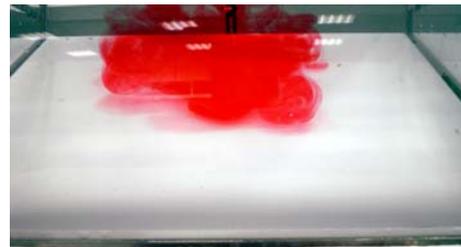


圖 23-4



圖 23-5



圖 23-6

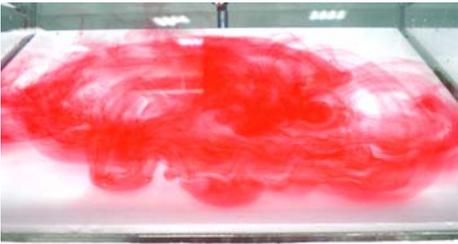


圖 23-7



圖 23-8

(二)外加旋轉作用下，紅色鹽水沿斜面向下之流動情形如圖 24-1 至 24-14。



圖 24-1



圖 24-2

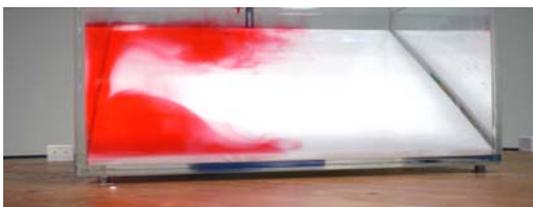


圖 24-3

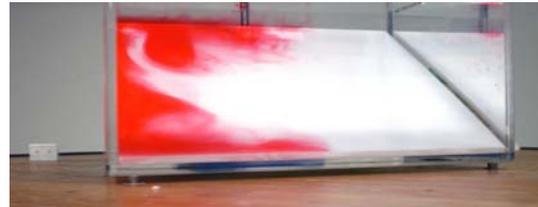


圖 24-4

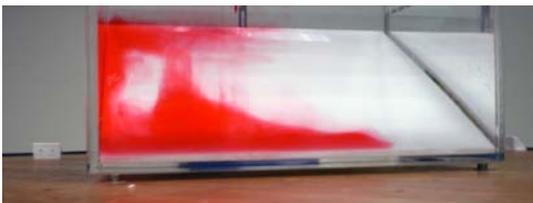


圖 24-5



圖 24-6

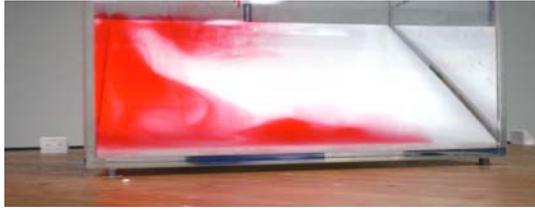


圖 24-7

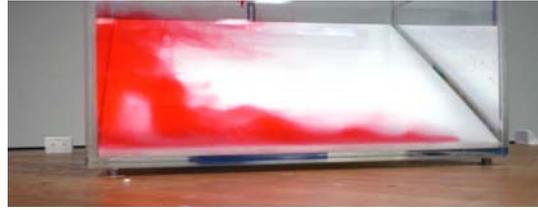


圖 24-8

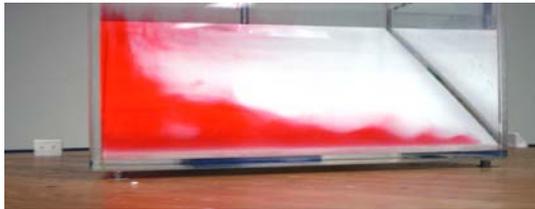


圖 24-9

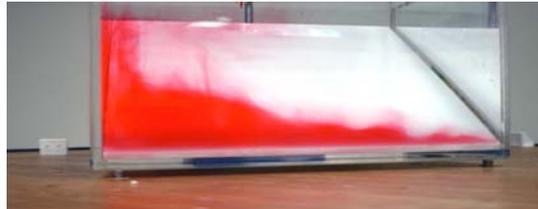


圖 24-10

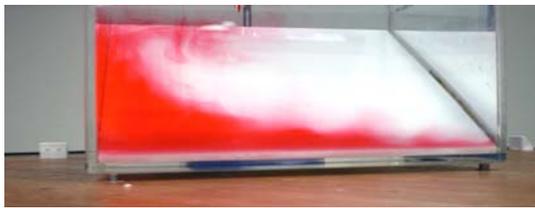


圖 24-11

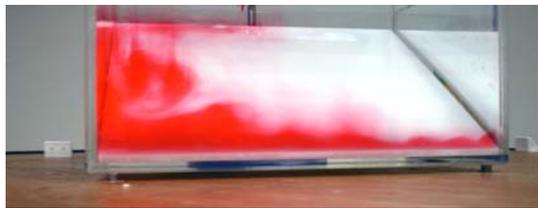


圖 24-12

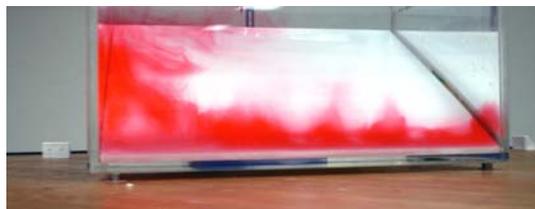


圖 24-13

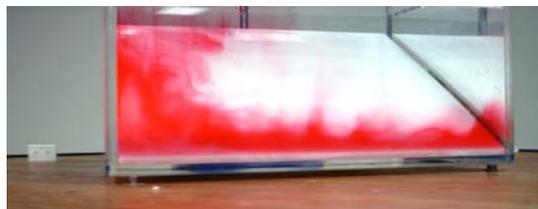


圖 24-14

柒、討論

- 一、由於海水中溫度、鹽度和所含懸浮物的不同，海水的密度各地均有所差異。而冷的海水重，會沉到溫暖的海水下面。含鹽量高的海水重，會沉到含鹽量低的海水下面，或是含泥量高的海水重，沉到輕而清澈的海水下面。密度流即是因海水密度不同所形成，根據文獻資料，深海中的密度流之流速普遍低於 1 cm/sec。
- 二、實驗一主要是模擬深海中壓力穩定之狀態下，海水密度微小變化所引起之密度流，因此並未拔除注射筒之活塞。當實驗進行一段時間後，可發現注射筒內之紅色鹽水體積並沒有改變，顯示當紅色高濃度鹽水以自然對流方式向下流入 1000mL 量筒中時，量筒內低濃度的鹽水也同時以自然對流方式向上流入注射筒內，符合深海裡的自然對流現象。
- 三、實驗一之結果（圖 12）顯示，鹽水濃度差異愈大，所形成之密度流向

- 下流速愈大。此外，為避免密度流直接在量筒中形成時，不易觀察紅色鹽水流動之位置變化，因此實驗一設計密度流於壓克力管內形成。
- 四、為減少實驗消耗之鹽水量及觀察時間，我們於實驗二中嘗試以 100mL 量筒取代 1000mL 之量筒進行實驗，但發現使用 100mL 量筒進行實驗時，由於觀察範圍小很容易造成視覺誤差。
 - 五、實驗三之結果顯示，各種濃度紅色鹽水向上流入 3.5% 鹽水中之平均速率，以 3.4% 的紅色鹽水最大而 3.0% 的紅色鹽水最小。換言之，鹽水濃度差異愈大，所形成之密度流向上流速愈大。
 - 六、實驗四主要是觀察濃度不同之鹽水交會時相互流動之情形，結果顯示模擬箱中盛裝之鹽水體積愈大，兩濃度不同之鹽水彼此交會時相互運動之水平速率愈大。此外，紅色鹽水流前進時，其前緣呈弧形(如圖 14)。
 - 七、實驗五是比較兩濃度不同之鹽水交會時，彼此相互流動之水平速率與濃度差之關係。結果顯示鹽水之濃度差愈大，相互運動之水平速率愈大。
 - 八、實驗六可清楚觀察到低溫鹽水在常溫鹽水中實際流動之情形，(如圖 15-1 至 15-6)可發現，當外加一低溫鹽水入模擬箱中，箱內部分之鹽水被冷卻，形成鹽水之溫差而造成密度流，但極不穩定。
 - 九、實驗七係探討溫度改變所引起之密度流現象，主要是利用化學方法製造冷劑來冷卻燒杯上部之鹽水，形成燒杯內上、下部溫度不同，藉以觀察溫度差異所形成之密度流流線。但因缺少追蹤劑輔助，僅能肉眼觀察而無法於攝影器材中呈現。
 - 十、實驗八係探討同濃度但不同溫度的鹽水交會時所形成之密度流，實驗結果顯示，溫度差異所形成之密度流和濃度差異所形成的密度流水平前進時，其前緣皆呈弧形。
 - 十一、實驗九中兩組密度流起初有相同的流動方向，流線外形相似均為 S 形，不隨時間改變(如圖 16-1 至 16-7)，但在距模擬箱底部約 12 cm 處時，兩組密度流向兩側互相遠離(如圖 16-8 至 16-10)，再經一段時間後，兩組流線下端呈不連續傘狀(如圖 16-11 至 16-13)。此現象可說明深海中由於各層海水密度不同，因此密度流速率不盡相同，造成海水中對流的方向、速度不一，也導致海水中有許多亂流產生。最後隨著時間增長，注射筒內紅色鹽水濃度因自然對流稀釋作用而降低，導致與模擬箱之鹽水濃度相近，流線因此趨於穩定(如圖 16-14 至 16-20)。
 - 十二、實驗九中輕拍模擬箱外壁，靠近拍打處之流線瞬間產生變化(如圖 16-21 及 16-22)，但經一段時間後又恢復穩定(如圖 16-23 及 16-24)。本部分操作係模擬海底地震發生時對深海密度流之影響。
 - 十三、分析實驗十拍攝之影片，可發現當密度流碰到障礙物時，將沿著其表面流動，並產生兩道紅色流線，兩者之間隔著一層透明鹽水(如圖

- 17-1 至 17-4)，其原因可能是當密度大的紅色鹽水沿障礙物表面往下流時，同時也有一道密度較小的鹽水流沿著障礙物表面往上移動。此外，密度流經過障礙物時遇凹進去的地方會凹進去，而隨時間增加其流線逐漸趨於穩定，且形狀與障礙物外形相似(如圖 17-5 及 17-6)。
- 十四、將實驗十一之結果與實驗四鹽水體積 600mL 之平均水平流速作比較可知，在相同條件下若存在障礙物，紅色鹽水之水平運動速率將受障礙物的影響而降低。此外，密度流水平移動遭遇障礙物時，將會沿著障礙物表面移動(如圖 18-1 至 18-5)，但於流經障礙物後發生不穩定現象，產生了許多劇烈的擾動(如圖 18-6 至 18-9)。
- 十五、實驗十二係探討外加旋轉作用對於密度流的影響，結果顯示外加旋轉作用會降低密度流向向下之流速，而且流線外型成樹枝狀擴展(如圖 19-4 至 19-6)，此與無旋轉作用時明顯不同。
- 十六、實驗十三之結果顯示，於外加旋轉作用之下，3.5%紅色鹽水前進時會向右偏，此與無旋轉作用時顯著不同。
- 十七、實驗十四中，無旋轉作用時，紅色鹽水從圓管中流出後，迅速向四面八方擴展，一段時間後紅色鹽水逐漸沈降至底部(如圖 21-6)。但外加旋轉作用，紅色鹽水從圓管中流出後形成許多像峰林之立體構造(如圖 22-2 至 22-4)。
- 十八、實驗十五中，無旋轉作用時，紅色鹽水自吸量管流出後迅速向四面八方擴展(如圖 23-7 至 23-8)。但外加旋轉作用，紅色鹽水自吸量管流出後，會沿斜面緩慢移動並向右偏(如圖 24-1 至 24-6)。
- 十九、比較圖 23-8 及圖 24-14 可發現，旋轉作用的有無對於密度流最終之狀態影響顯著。無旋轉作用時，不同濃度之鹽水交界面較為平整，而外加旋轉作用，不同濃度之鹽水交界面呈現凹凸不平。
- 二十、所有實驗中，均可觀察到每一組密度流之流線經過一段時間後便會產生節點，可能是因為有對流效應以及濃度差異減小所造成之流速改變的結果(如圖 16-4)。

捌、結論

- 一、本研究可說明海洋中之海水密度流，是由於海水溫度或鹽的濃度不同造成海水密度差異所形成，但其流速緩慢。
- 二、鹽水濃度差異愈大則密度差愈大，所形成之密度流其流速愈大。
- 三、濃度差異所形成之密度流其流線較穩定；溫度差異所形成之密度流其流線較不穩定。
- 四、同溫度時，濃度較大之鹽水密度較大；同濃度時，低溫鹽水比常溫鹽水密度大。
- 五、密度流前進路徑長或接近容器底部，其密度差異將減少而造成流速減緩。

- 六、溫度差異很大或濃度差異很大之鹽水所形成的密度流，流線極不穩定，且容易造成亂流。
- 七、兩組密度流同步形成時，其流線相似。
- 八、密度流遇障礙物時，均沿障礙物表面流動。
- 九、外加旋轉作用對於密度流之影響顯著，除造成密度流之前進方向與流速之變化外，亦改變流線外形。
- 十、本實驗所設計的簡易裝置，可應用於教學上，提昇自然科的教學效果。

玖、參考資料

- 王執明等（民 95）。**高級中學基礎地球科學**（81 頁）。臺北：龍騰。
- 馮士箝等（民 92）。**海洋科學導論**（56-58 頁）。臺北：藝軒。
- 劉德慶等（民 90）。**高級中學基礎地球科學**（120-125 頁）。臺南：南一。
- 魏國彥等（民 95）。**地球與環境（上）**（122-125 頁）。臺北：龍騰。
- 地球科學學習加油站**。http://140.111.1.12/senior/earth/yl_ld/main.htm
- 全國中小學科學展覽會歷屆優勝作品專輯**。
<http://www.ntsec.gov.tw/m1.aspx?sNo=0000263>

【評語】 031723

優點：

些微不同鹽度之間的互動實驗，相當精緻且設計有趣，對瞭解海洋相關概念有幫助。口頭表達清楚且明白，能克服觀察過程中所發生的困難，並做深入探討。

缺點：

不同溫度之間的互動實驗，溫差太大，例如實驗八，溫差達 21°C ，很難用之於自然界。

若能加強與相關海洋背景知識與理論的連接，會增進對溫鹽流機制之掌握。

建議改進事項：

不同水溫之間的實驗，如把溫差縮小，多做幾次，結果可能更好。建議能夠同一實驗作多次測量。