

## 第四章 衝力實驗

### 一、實驗目的

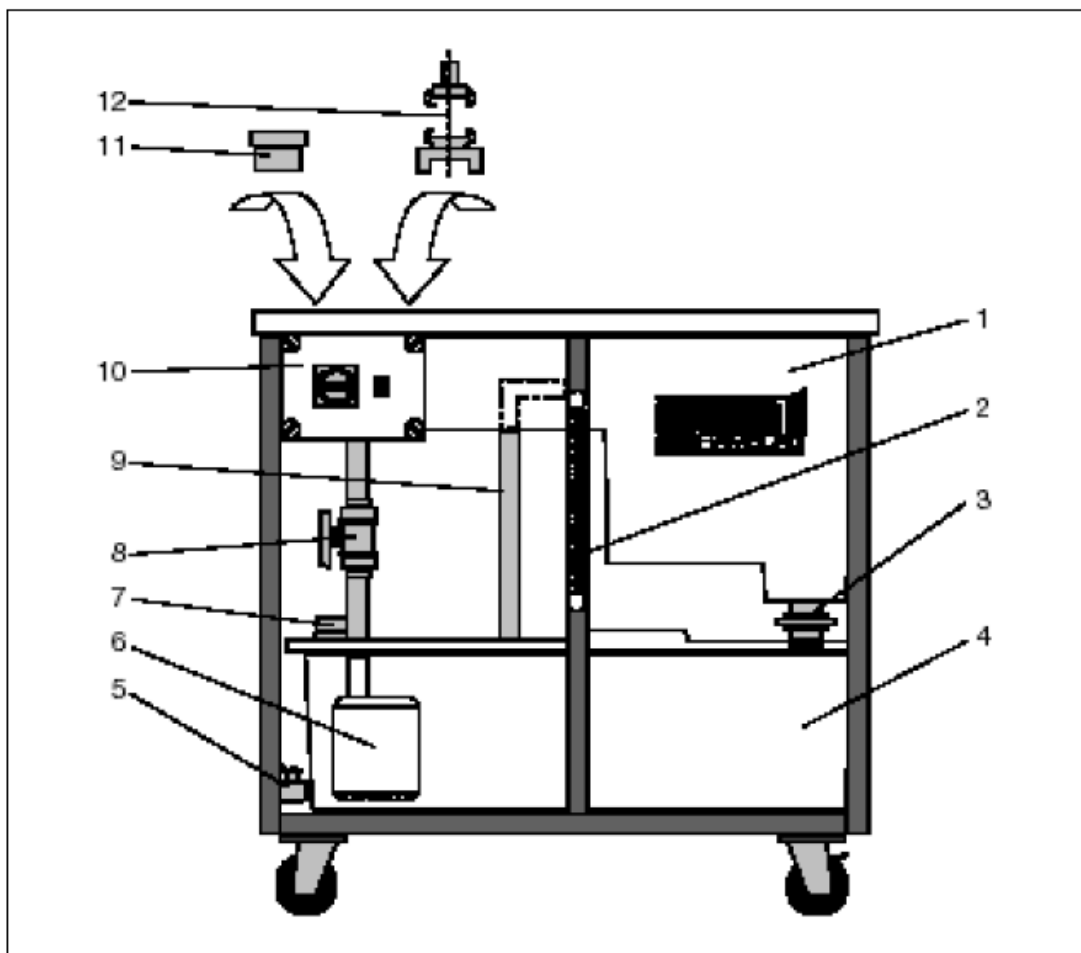
了解流體流動時，其動量變化與其承受力間之關係。使流體流經噴嘴後之噴射流直接衝擊在擋板上，以測量衝擊力，並和噴嘴所產生之衝量變化比較，即驗證動量方程式，觀察能量損失之存在。並了解在噴流作用下，其衝擊力及流量、擋板形狀之關係。

### 二、實驗設備

本實驗設備係由圖一水力桌及圖二噴射水衝擊裝置配合使用，包括：

#### (一) 水力桌

- |              |               |
|--------------|---------------|
| 1 附水道的體積測量水箱 | 2 遠端觀測計量器     |
| 3 滑動的閘門      | 4 儲水箱         |
| 5 排水栓        | 6 沉水馬達驅動抽水機   |
| 7 給水附件含抽水機   | 8 流量控制閥       |
| 9 溢出管        | 10 配電箱        |
| 11 排水蓋       | 12 附件給水連接無抽水機 |

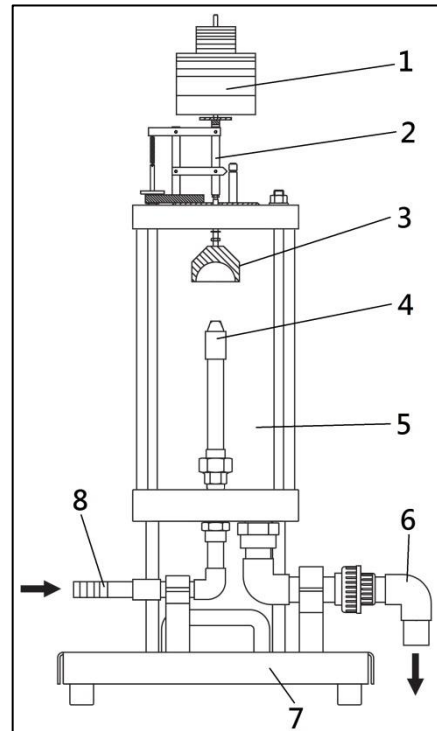


(二) 衝擊試驗台

單元基本組成：

- 裝載重物 [1]
- 控制桿裝置 [2]
- 變流裝置 [3]
- 噴嘴 [4]
- 有機玻璃水箱 [5]
- 排水口 [6]
- 基座盤 [7]
- 進水口 [8]

變流裝置可置更換不同的形狀——  
 平板、半球體、  
 傾斜板、圓錐體



三、實驗原理

動量方程式係由牛頓第二運動定律推導得到的，牛頓第二定律可表示為

$$\bar{F} = d\bar{p}/dt = dm\bar{V}/dt$$

式中， $\bar{F}$ ：作用於系統上之合力，N。

$\bar{p}$ ：動量，N/s。

$m$ ：流體質量，kg。

$\bar{V}$ ：流體速度，m/s。

應用系統和控制體積間之關係式，即上式可表為

$$\bar{F} = \frac{\partial}{\partial t} \int_{CV} \bar{V} \rho dV + \int_{CS} \bar{V} (\rho \bar{V} \cdot d\bar{A}) \quad (1)$$

上式中，

$\frac{\partial}{\partial t} \int_{CV} \bar{V} \rho dV$ ：控制體積(Control volume, CV)內，動量之變化率。

$\int_{CS} \bar{V} (\rho \bar{V} \cdot d\bar{A})$ ：通過控制表面(Control surface, CS)之淨動量通率。

假設流體為穩定流，則式(1)成為

$$\bar{F} = \int_{CS} \bar{V}(\rho \bar{V} \cdot d\bar{A}) \quad (2)$$

對於直角坐標系  $xyz$  而言，設流體在  $x$  方向之流速為  $u$ ，則式(2)在  $x$  方向之純量分量為

$$F_x = \rho Q u \quad (3)$$

同理，

$$F_y = \rho Q v, F_z = \rho Q w$$

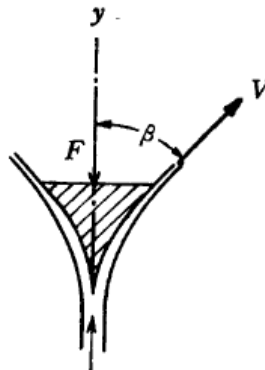
式中， $F_x, F_y, F_z$ ：分別作用於控制體積在  $x, y, z$  三方向之合力。

$u, v, w$ ：體積在  $x, y, z$  三方向之速度分量。

$Q$ ：流體流量， $m^3/s$ 。

$\rho$ ：流體密度， $kg/m^3$ 。

如下圖所示，考慮對稱  $y$  軸的葉片，若一噴射流水柱沿  $y$  軸以  $Q$  流量， $V_0$  之流速衝擊此葉片，並以  $\beta$  角的方向及  $V$  的速度離開。



沿  $y$  方向系統所受之力  $F$ ，由式(3)可得

$$-F = \rho Q (V \cos \beta - V_0)$$

$$\text{則 } F = \rho Q (V_0 - V \cos \beta) \quad (4)$$

假設：

1. 流體為穩定流。
2. 噴射流撞擊葉片之損失不計。
3. 葉片兩端之高度差與靜壓改變很小，可忽略。
4. 葉片表面極為光滑，流體流經葉片之摩擦損失不計。

根據上面之假設，由柏努力方程式可得，流體進入葉片之速度  $V_0$  等於流體流出葉片之速度  $V$ ，則式(4)成為

$$F = \rho Q V_0 (1 - \cos \beta) \quad (5)$$

流體離開噴嘴口之速度  $V_j$  為

$$V_j = Q/A_j \quad (6)$$

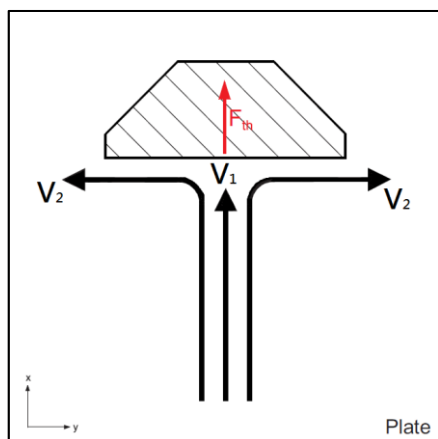
式中， $A_j$  為噴嘴口截面積，噴嘴口直徑為 10mm。流體衝擊葉片之速度  $V_0$  可由重力加速度對速度之影響而得

$$V_0^2 = V_j^2 - 2gS$$

$$\text{則 } V_0 = \sqrt{V_j^2 - 2gS} \quad (7)$$

式中， $S$  為噴嘴口至葉片之距離，m。

### 1. 平面板

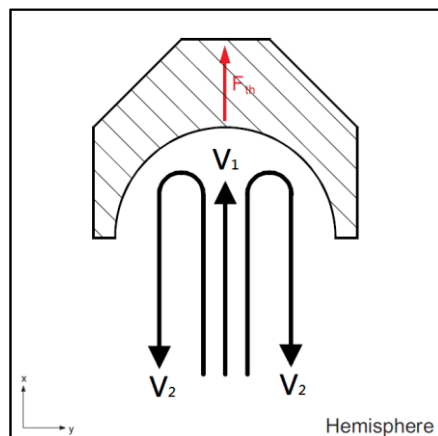


$$F_{th} = Q \cdot \rho \cdot (V_1 - V_2)$$

if  $V_2 = 0$  then

$$F_{th} = Q \cdot \rho \cdot V_1$$

### 2. 半球體

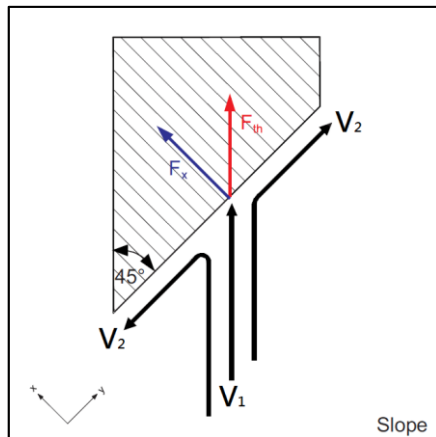


$$F_{th} = Q \cdot \rho \cdot (V_1 - V_2)$$

if  $V_2 = -V_1$  then

$$F_{th} = 2 \cdot Q \cdot \rho \cdot V_1$$

### 3. 傾斜板



$$F_x = Q \cdot \rho \cdot V_1 \cdot \cos \alpha$$

$$F_{th} = F_x \cdot \cos \alpha \text{ with } \alpha = 45^\circ$$

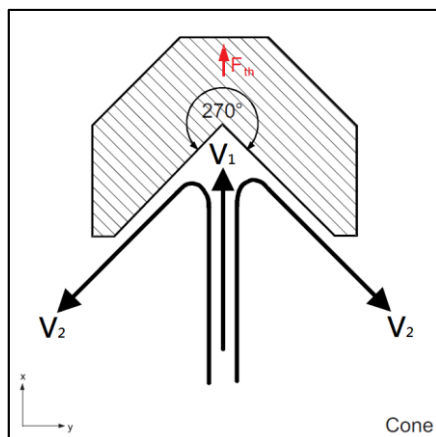
$$F_{th} = Q \cdot \rho \cdot V_1 \cdot \cos^2 \alpha$$



Attention!

Please note direction of coordinate axis!

### 4. 圓錐體



$$F_{th} = Q \cdot \rho \cdot (V_1 - V_{2x})$$

$$V_2 = -V_1 \cdot \cos \alpha \text{ with } \alpha = 45^\circ$$

$$V_{2x} = V_2 \cdot \cos \alpha$$

$$F_{th} = Q \cdot \rho \cdot V_1 \cdot (1 + \cos^2 \alpha)$$

## 四、實驗步驟

1. 啟動電源
2. 調整上方控制桿至水平。
3. 按下”馬達啟動”按鈕，使噴流沖至變流裝置。
4. 上方放置砝碼，使控制桿再次回復水平後，取下砝碼，加總砝碼對應衝力  $F$ 。

5. 關閉下方大水箱出水口，量測累積 10 公升所需時間。
6. 量測不同流量的數組數據。(平板、半球體、圓錐體 10 組，傾斜板 5 組)
7. 按下”馬達停止”按鈕。
8. 更換變流裝置。將上方 3 個固定板鬆開，拿起整組控制桿裝置，將變流裝置旋轉取下，更換另一個形狀上去，再將控制桿裝置放回、固定。
9. 重複步驟 2~8。
10. 關閉電源，水箱內的水排出。

## 五、實驗表格

表一 平面板試驗紀錄

試驗 次數	體積 (L)	時間 (s)	流量Q (L/s)	流速 $V_1$ (m/s)	衝力F (N)	$F_{th}$ (N)
1						
2						
3						
4						
5						
6						
7						
8						
9						
10						

表二 半球體試驗紀錄

葉片類型：						
試驗 次數	體積 (L)	時間 (s)	流量Q (L/s)	流速 $V_1$ (m/s)	衝力F (N)	$F_{th}$ (N)
1						
2						
3						
4						
5						
6						
7						
8						
9						
10						

表三 傾斜板試驗紀錄

葉片類型：						
試驗 次數	體積 (L)	時間 (s)	流量Q (L/s)	流速 $V_1$ (m/s)	衝力F (N)	$F_{th}$ (N)
1						
2						
3						
4						
5						

表四 圓錐體試驗紀錄

葉片類型：						
試驗 次數	體積 (L)	時間 (s)	流量Q (L/s)	流速 $V_1$ (m/s)	衝力F (N)	$F_{th}$ (N)
1						
2						
3						
4						
5						
6						
7						
8						
9						
10						



## 六、問題討論

1. 柏努力方程式的要件為何?
2. 由實驗結果，討論擋板形狀對衝擊力之影響。  
(衝力大小、能量損失大小等)
3. 由實驗結果，討論流量對衝擊力之影響。