

中華民國 第 50 屆中小學科學展覽會
作品說明書

高中組 生活與應用科學科

佳作

040819

溢流切斷裝置之研究

學校名稱：桃園縣私立新興高級中學

作者： 高二 連品涵 高二 呂佩琪 高二 王麗惠 高二 陳冠樺	指導老師： 王建民 蔣漢旗
---	-----------------------------

關鍵詞：斜面原理、虎克定律、白努利方程式

壹、摘要

本溢流切斷裝置包含特製玻璃空管、浮子及彈簧。正立時，浮子重力與彈簧彈力合力等於零，因此彈簧完全壓縮呈開啓狀態；傾斜時，浮子重量於斜面之分力變小，使彈簧壓縮量減少，將浮子上推呈關閉狀態。因銅浮子表面 μ_s (0.4152) 較不鏽鋼 (0.2131) 大，較為粗糙，導致開始作動角度較大。為配合浮子作動，選用彈性係數較小之 k3 彈簧 (彈性係數 3.119gw/cm)，k1 (19.567gw/cm)、k2 (32.262gw/cm) 則因無法被浮子壓縮而不採用。為了加強氣密，挑選出不受浮力影響且密合度高的橡皮球。由流體流量定角試驗可測得不鏽鋼、銅浮子開始作動角度為 47.8°、65.3°，完全關閉角度為 67.0°、83.1°。裝置完成後，將其應用於生活中，包含：瓦斯桶關閉裝置、垃圾桶關閉裝置、飼料餵食器、水位預報裝置、娃娃車煞車器、水溝蓋防盜器、機車傾倒警報裝置、拐杖警報裝置，共計八項之設計，呈現裝置應用之廣度。

貳、研究動機

台灣位於環太平洋地震帶，因此時常發生地震，而地震的同時也常伴隨著災害的發生，如傾倒的瓦斯桶因洩漏而造成火災、裝水容器傾倒於電器物品導致電線走火等。若能設計截流裝置，並應用於盛裝液體或氣體之容器，在其完全傾倒前即有效關閉，則這類災害的發生率將可有效降低。因此本團隊針對此專題進行初步研究，確認其可行性後，進行細部篩選及驗證，並利用高中所學之斜面原理、虎克定律⁽⁴⁾⁽⁵⁾及白努利方程式⁽⁸⁾等，設計出一套能夠有效截流，且氣密性優良的「溢流切斷裝置」。

參、研究目的

- 一、溢流切斷裝置：
 - (一) 了解裝置作動原理
- 二、浮子材質分析：
 - (一) 了解不同材質浮子對裝置作動之影響
- 三、彈簧彈性係數測量：
 - (一) 虎克定律之運用
 - (二) 了解不同條件彈簧對浮子作動之影響
- 四、各浮子對特製玻璃空管管壁之最大靜摩擦力測量：
 - (一) 靜力平衡之斜面原理和摩擦力運用
 - (二) 浮子質量於斜面分力之分析
- 五、氣密性試驗：
 - (一) 白努利方程式之運用
- 六、流體流量定角試驗：
 - (一) 利用自製角度測量儀進行試驗
 - (二) 利用自製皂泡流量計測量氣體流量
 - (三) 測量液體流量
 - (四) 作動角度分析
- 七、推廣生活應用

肆、研究設備及器材

一、研究設備及器材

太陽能電池組 (12V)	1 組
砝碼組	1 組
自製角度測量儀	1 個
自製皂泡流量計	1 個
垃圾桶	1 個
蜂鳴器 (3V)	2 個
彈簧	數個
量筒 (100mL)	數個
熱塑性塑膠蓋	數個
特製玻璃空管 (長 5.50cm ; 內徑 1.08cm)	數個
PE 塑膠瓶	數個
熱溶槍	1 支
滴管	數支
PE 瓦楞板	數片
攝影機	1 臺
自製浮子 (不鏽鋼、銅、鋁)	各 1

二、自製儀器

(一) 溢流切斷裝置

1. 材料 (如圖 4-1) :

自製浮子 (不鏽鋼、銅、鋁)	各 1	特製玻璃空管	數個
彈簧	1 個	熱塑性塑膠蓋	數個

2. 目的 :

- A. 可用於瓦斯鋼瓶或其他填裝流體的容器，避免在極度震動下導致流體溢出容器。
- B. 可置於吊橋、電線桿等傾斜至一定程度即造成危險的物品，作為發佈警報的通電開關。



圖 4-1 溢流切斷裝置使用材料

(二) 角度測量儀

1. 材料：

木棍	1 支	木盒	1 個
PE 瓦楞板	1 片	量角器	1 個
圓形木片	2 片		

2. 目的：配合皂泡流量計及溢流切斷裝置，測量流量與角度之關係。

3. 操作方式：

A. 液體流量測量

- 將溢流切斷裝置放置於測量儀中間圓盤內（如圖 4-2）。
- 於特製玻璃空管之側管連接裝水容器。
- 固定高度差，使液體由 200mL 減少至 100mL，同時以碼錶計時並計算流量變化。

B. 氣體流量測量

- 將溢流切斷裝置放置於測量儀中間圓盤內（如圖 4-2）。
- 於溢流切斷裝置頂管連接皂泡流量計，側管連接氣體來源。
- 轉動角度測量儀，測量皂泡膜移動 10mL 的時間，並計算流量變化（如圖 4-3）。



圖 4-2 角度測量儀



圖 4-3 配合皂泡流量計之使用情形

(三) 皂泡流量計（如圖 4-4）

1. 材料：

轉印貼紙	1 張	自製皂泡流量計玻璃管	1 個
藍色膠帶	1 卷		

2. 目的：測量氣體流量。

3. 校正過程：

- 以保鮮膜將皂泡流量計玻璃管下端兩出口封閉。
- 於玻璃管上取一基準點為刻度 0mL，並以藍色膠帶上緣作為標記。
- 將水加至刻度 0mL 後，以 10mL 的水為一單位，逐一標示各點。

4. 操作方式：

- 於下端乳膠套內加入皂泡液。
- 側管連接氣體來源，並擠壓乳膠套產生皂泡膜（如圖 4-5）。
- 測量皂泡膜移動 10mL 所需的時間，並計算流量。

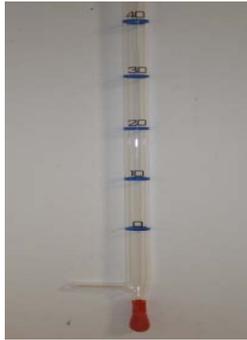


圖 4-4 皂泡流量計



圖 4-5 皂泡流量計形成之泡膜

(四) 瓦斯桶關閉裝置 (如圖 4-6)

1. 材料：

溢流切斷裝置	1 組	PE 塑膠瓶	1 個
--------	-----	--------	-----

2. 目的：於瓦斯桶傾倒導致氣體外洩前，將鋼瓶瓶口自動封閉。



圖 4-6 瓦斯桶關閉裝置

(五) 垃圾桶關閉裝置 (如圖 4-7)

1. 材料：

PE 瓦楞板	1 片	垃圾桶	1 個
溢流切斷裝置	1 組	強力磁鐵	2 個

2. 目的：垃圾桶傾倒時，能即時將垃圾桶蓋緊閉。



圖 4-7 垃圾桶關閉裝置

(六) 飼料餵食器 (如圖 4-8)

1. 材料：

溢流切斷裝置	1 組	寶特瓶	1 個
--------	-----	-----	-----

2. 目的：省去一般飼料罐旋轉、翻蓋等開罐步驟。

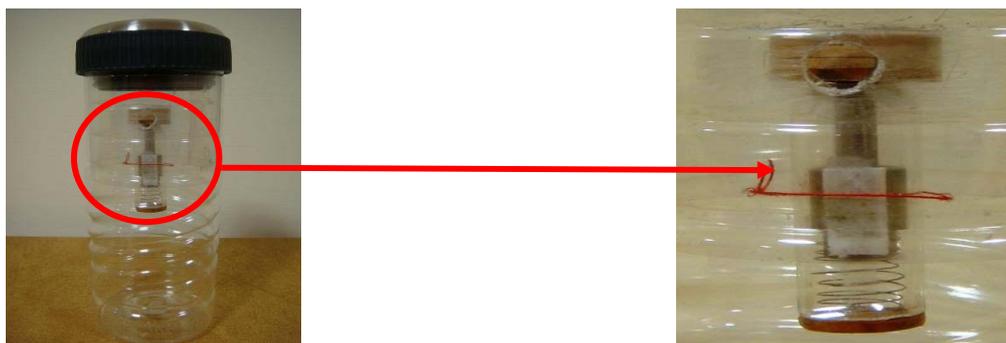


圖 4-8 飼料餵食器

(七) 水位預報裝置 (如圖 4-9)

1. 材料：

溢流切斷裝置	1 組	木棒	數支
太陽能電池組	1 組	伸縮桿	1 支
漆包銅線	1 卷	蜂鳴器	1 個
PE 瓦楞板	3 片	浮球	1 顆

2. 目的：利用水位上升帶動浮力桿，並以桿中浮子作為警報開關。

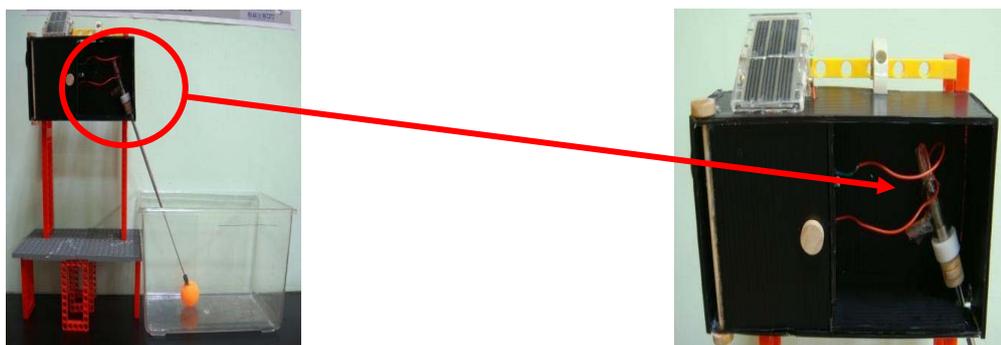


圖 4-9 水位預報裝置

(八) 娃娃車煞車器 (如圖 4-10)

1. 材料：

溢流切斷裝置	1 組	不織布	4 片
齒輪輪軸組	1 組	塑膠積木條	數個

2. 目的：利用斜坡傾斜角度，帶動裝置使娃娃車停止下滑。

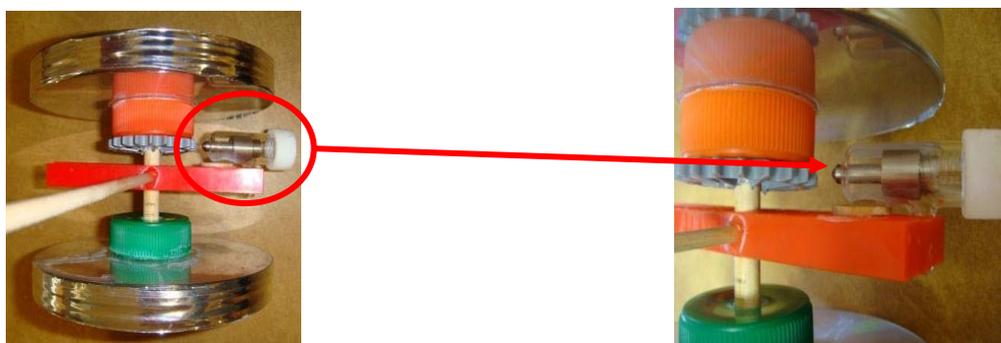


圖 4-10 娃娃車煞車器

(九) 水溝蓋防盜器 (如圖 4-11)

1. 材料：

溢流切斷裝置	1 組	蜂鳴器	1 個
太陽能電池組	1 組	木板	數片
漆包銅線	1 卷	木塊	數個

2. 目的：作為水溝蓋之防盜系統，且運用太陽能之電力發電。

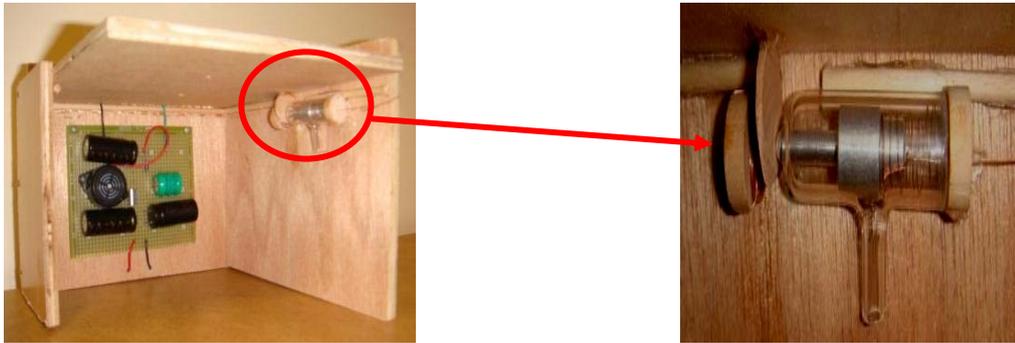


圖 4-11 水溝蓋防盜器

(十) 機車傾倒警報裝置 (如圖 4-12)

1. 目的：機車傾倒時可響起警報聲。

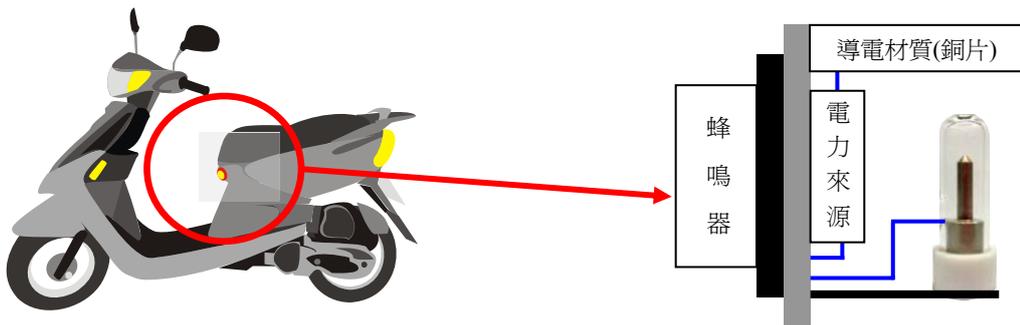


圖 4-12 機車傾倒警報裝置

(十一) 柺杖警報裝置 (如圖 4-13)

1. 目的：若柺杖掉落，視障者可依據警報聲尋回柺杖。

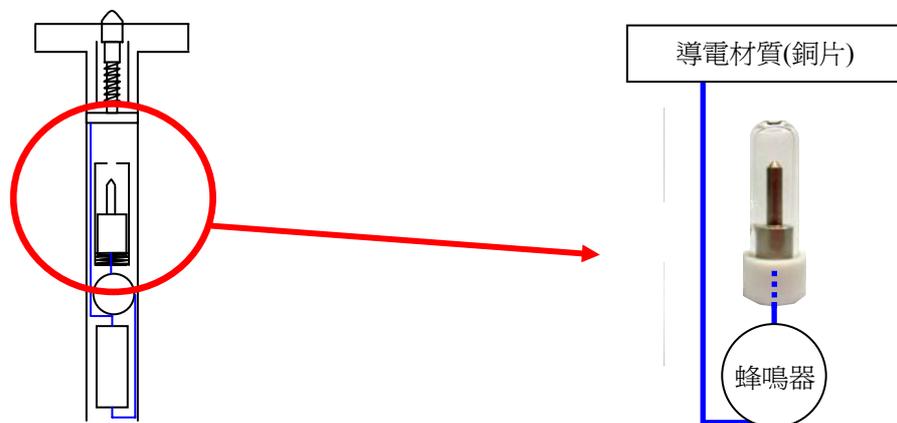


圖 4-13 柺杖警報裝置

伍、研究過程或方法

一、研究流程圖：

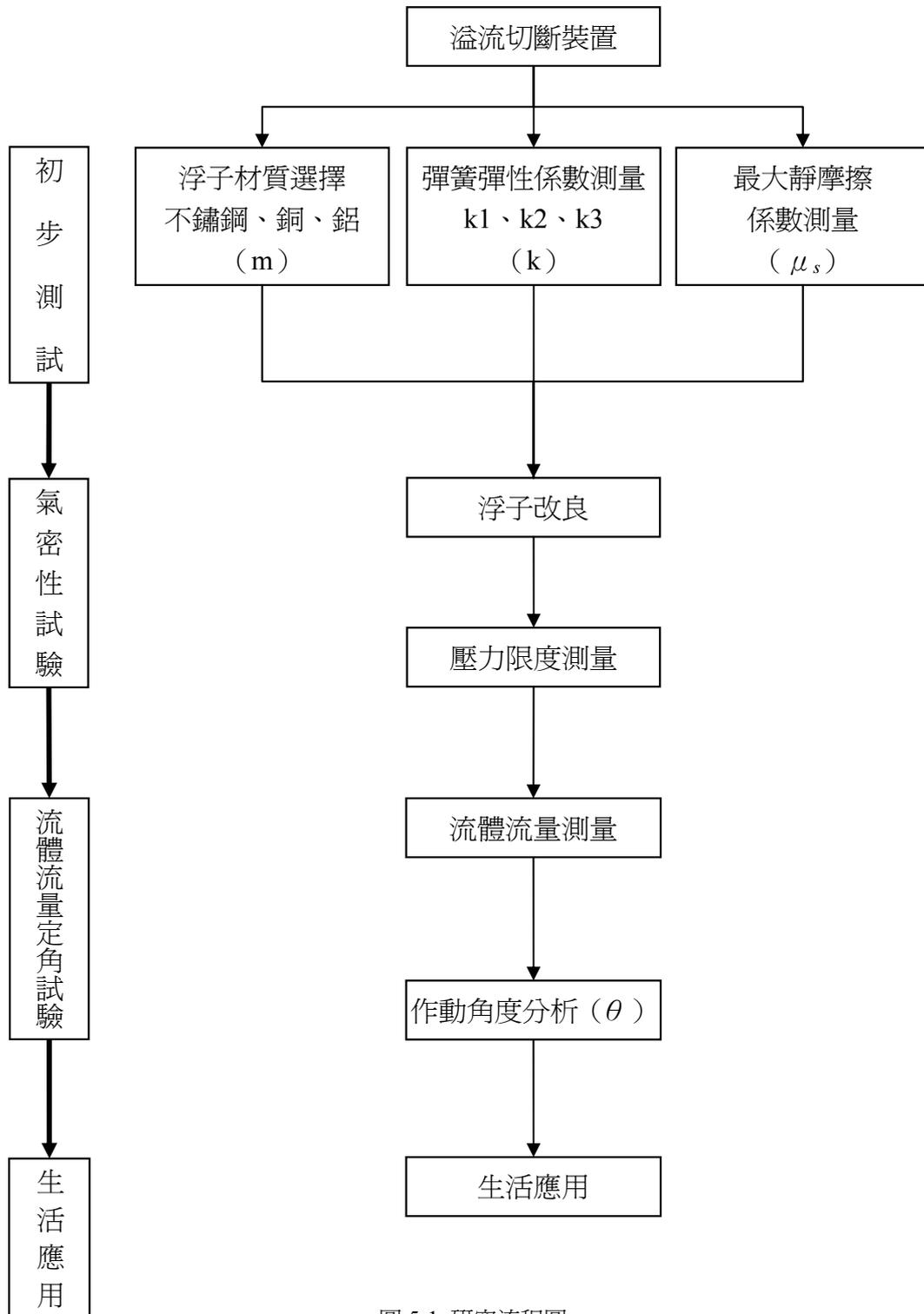


圖 5-1 研究流程圖

二、研究原理

(一) 溢流切斷裝置：

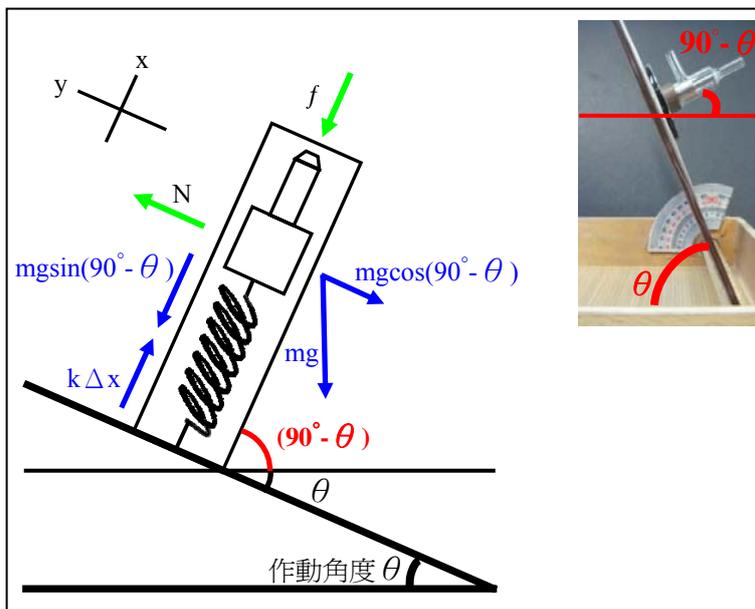


圖 5-2 裝置作動原理示意圖

$$\begin{aligned}
 & mgsin(90^\circ - \theta) + \mu_s N = k\Delta x \\
 \therefore & mgsin(90^\circ - \theta) + \mu_s mgcos(90^\circ - \theta) = k\Delta x \\
 \Delta x = & \frac{mgsin(90^\circ - \theta) + \mu_s mgcos(90^\circ - \theta)}{k}
 \end{aligned}$$

(二) 浮子材質：

1. 不鏽鋼⁽¹⁾：在鋼中添加 Cr 和 Ni 可以改良鋼的耐蝕性，不容易生鏽，而其中 Cr 含量較多的鋼叫做不鏽鋼。
2. 銅⁽²⁾：銅即純銅，又名紫銅。具有極高之電、熱傳導性、加工性、延展性、高純度，適合精打、細打。
3. 鋁⁽³⁾：重量輕，且導熱度、導電度、耐蝕性、延展性良好，並可製成鋁合金以提高其強度。

(三) 彈簧彈性係數測量⁽⁴⁾：

1. 彈性力⁽⁵⁾：當彈性物體受外力作用時，彈性體的結構因形變而產生一種內力（恢復力），此種內力即為彈性力。
2. 虎克定律：在彈性限度內，彈性體的恢復力與其形變量成正比。
 - A. 公式： $F = k\Delta x$ （註：F→彈性力；k→彈性係數； Δx →形變量）
 - B. 意義：使物體產生單位形變量所需的外力。
 - a. k 值愈大，愈不易形變。
 - b. k 值愈小，愈容易形變。

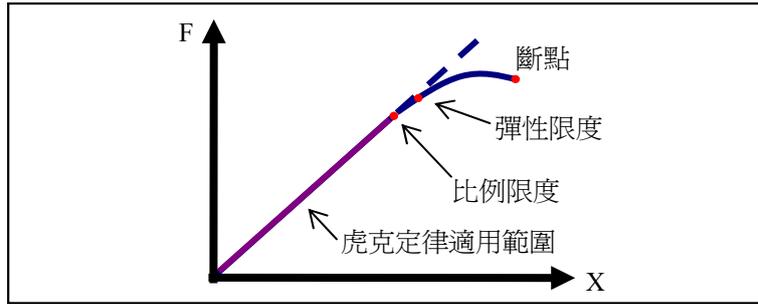


圖 5-3 彈性限度示意圖

(四) 最大靜摩擦力測量：

1. 摩擦力 (f)⁽⁶⁾：

沿水平方向推動物體，若物體維持不動時，則地面作用於物體的摩擦力與推力相互抵銷，即推力和摩擦力大小相等，方向相反，稱此摩擦力為靜摩擦力。若繼續推動此物體，則靜摩擦力隨之等值變大。當推力增至某一大小時，物體開始滑動，此時的摩擦力為最大靜摩擦力。一旦物體滑動後，摩擦力會略減且保持定值，稱為動摩擦力。

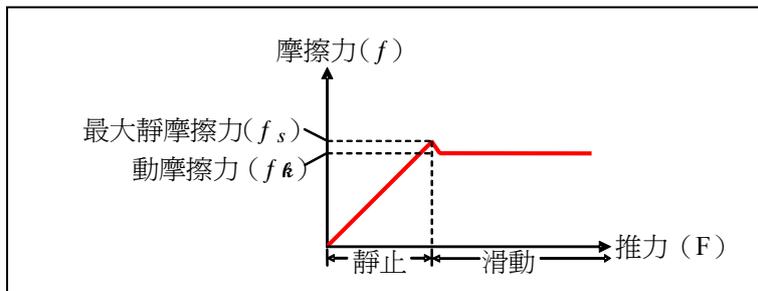


圖 5-4 摩擦力示意圖

2. 最大靜摩擦係數測量方法⁽⁷⁾：

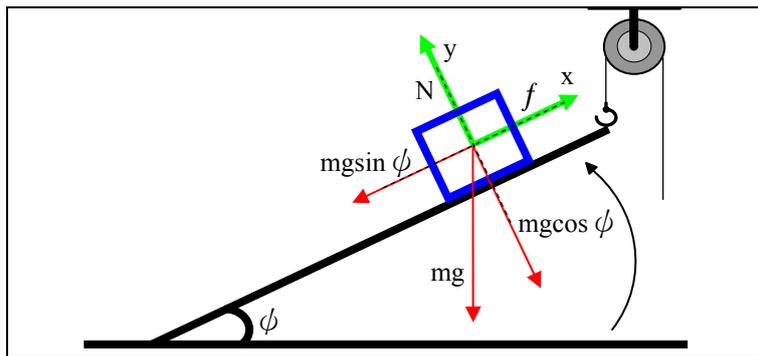


圖 5-5 最大靜摩擦係數測量示意圖

$$f_s = \mu_s N$$

$$\therefore f_s = F = \mu_s N$$

$$mgsin \phi = \mu_s mgcos \phi$$

$$\mu_s = \frac{mgsin \phi}{mgcos \phi} = \frac{sin \phi}{cos \phi} = \tan \phi$$

(五) 氣密性試驗：

1. 白努利方程式⁽⁸⁾

A. 條件：以密度不變、無黏滯性的理想流體作穩流運動。

B. 公式：

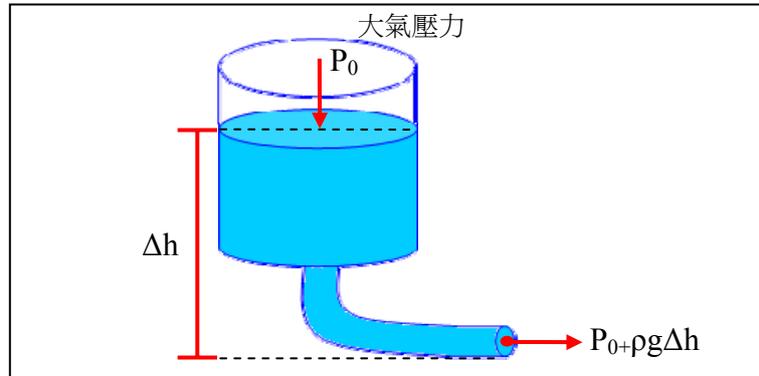


圖 5-6 水壓測量示意圖

$$P_1 + \frac{1}{2}\rho V_1^2 + \rho g y_1 = P_2 + \frac{1}{2}\rho V_2^2 + \rho g y_2$$

∴ 當流體靜止時 $V_1 = V_2 = 0$ ∴ $P_1 + \rho g y_1 = P_2 + \rho g y_2$

$$\Delta P = P_2 - P_1 = \rho g (y_2 - y_1) = \rho g \Delta h$$

(六) 警報裝置電路設計圖

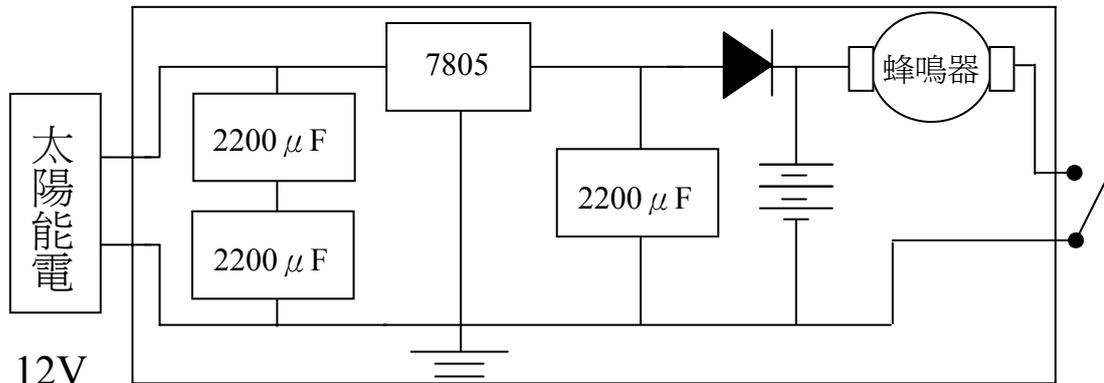


圖 5-7 警報裝置電路設計圖

三、研究過程或方法

(一) 溢流切斷裝置

1. 本裝置包含浮子、彈簧、特製玻璃空管與熱塑性塑膠蓋（如圖 4-1）。

(二) 浮子材質

1. 取三種不同材質之金屬塊，分別為不鏽鋼、銅、鋁（如圖 5-8）。

2. 設計裝置浮子及特製玻璃空管之造型。

3. 將設計圖及金屬塊送至金屬加工廠進行加工，製成浮子。



圖 5-8 三種材質浮子

(三) 彈簧彈性係數測量 (如圖 5-9)

1. 測量三個彈簧之彈性係數。
2. 步驟：
 - A. 將欲測彈簧置於特製玻璃空管中。
 - B. 以 1 克砝碼為單位，逐一放於彈簧上，並拍攝砝碼所壓縮的長度。



圖 5-9 彈簧彈性係數測量

(四) 最大靜摩擦係數測量 (如圖 5-10)

1. 測量不鏽鋼及銅浮子對特製玻璃空管管壁之最大靜摩擦係數。
2. 步驟：
 - A. 將量角器固定，且與桌面垂直。
 - B. 將浮子放置於量角器 0° 之準線上，以量角器中心為支點，並拍攝其作動情形。

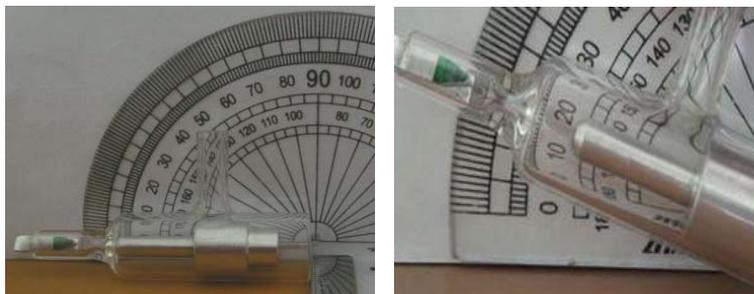


圖 5-10 最大靜摩擦係數測量

(五) 氣密性試驗

1. 尋找加強氣密之材質 (如圖 5-11)



圖 5-11 不同氣密材質與浮子的配合

2. 液體壓力限度測量

- A. 製作自製水壓裝置 (如圖 5-6)。
- B. 依照比例繪製刻度尺。
- C. 將溢流切斷裝置加裝於水壓裝置。
- D. 以 0.1atm 為單位持續加壓, 直到超過裝置所能承受之最大極限。

3. 氣體壓力限度測量

- A. 將溢流切斷裝置以水管連接於可調整氣壓的氮氣鋼瓶上, 且將裝置另一端水管置入裝有水之錐形瓶中。
- B. 觀察錐形瓶中的水是否產生氣泡 (產生氣泡表示氣體洩漏)。

(六) 流體流量定角試驗

1. 由流量推算出溢流切斷裝置之作動角度。
2. 步驟:
 - A. 將溢流切斷裝置置於角度測量儀上, 並測量其完全開啓之流量。
 - B. 測量裝置完全關閉之流量並記錄其角度 (如圖 5-12)。



圖 5-12 流體流量定角試驗示意圖

陸、研究結果

一、溢流切斷裝置

表 6-1 溢流切斷裝置之挑選項目

浮子	不鏽鋼、銅、鋁
彈簧	k1、k2、k3
加強氣密材質	熱溶膠、輕型黏土、保麗龍、軟橡皮、橡皮球

二、浮子材質比較

表 6-2 三種浮子材質比較

	不鏽鋼	銅	鋁
質量 (g)	11.02	11.96	3.73
體積 (mL)	1.41	1.43	1.38
密度 (g/mL)	7.81	8.36	2.70

三、彈簧彈性係數測量



圖 6-1 不同材質浮子配合 k1、k2、k3 彈簧

表 6-3 彈簧之壓縮量測量

彈簧	砝碼重									
	0g	1g	2g	3g	4g	5g	6g	7g	8g	9g
k1	0.00	0.05	0.10	0.15	0.20	0.25	0.30	0.37	0.41	0.45
k2	0.00	0.03	0.06	0.09	0.11	0.15	0.18	0.22	0.24	0.28
k3	0.00	0.30	0.60	1.00	1.30	1.65	1.95	2.25	2.55	2.85

單位：cm

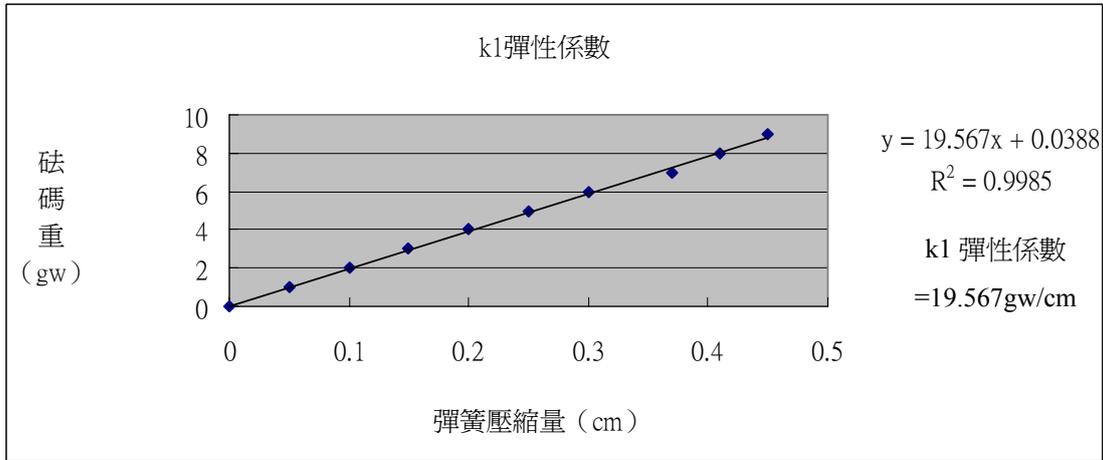


圖 6-2 k1 彈簧之彈性係數線性圖

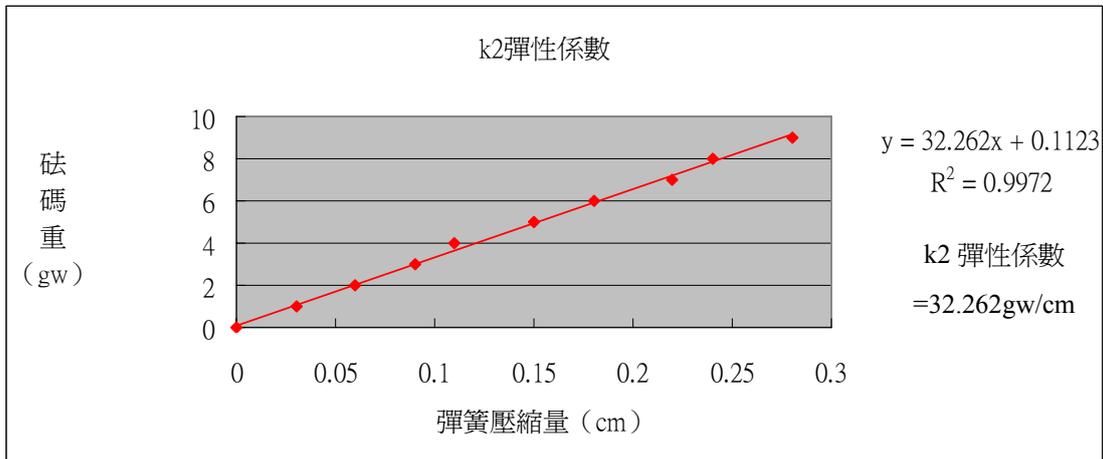


圖 6-3 k2 彈簧之彈性係數線性圖

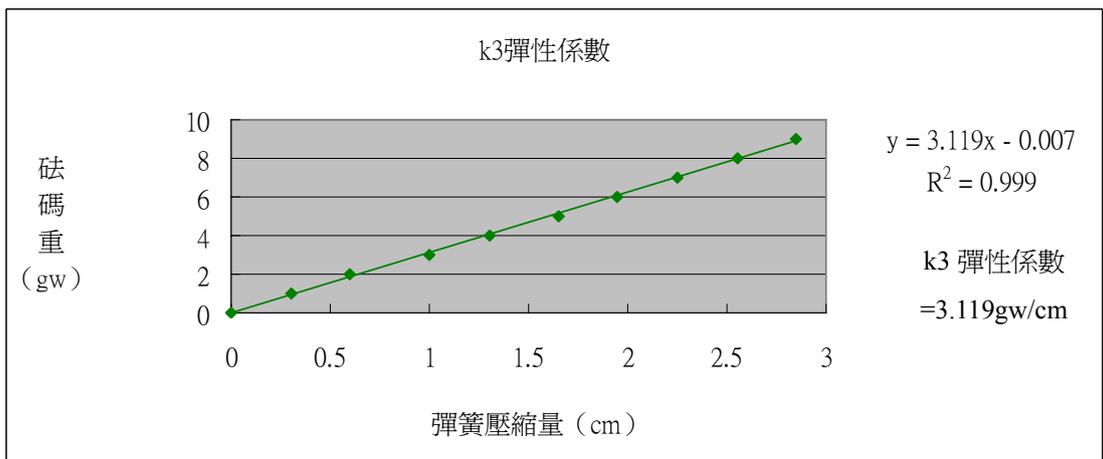


圖 6-4 k3 彈簧之彈性係數線性圖

四、浮子對特製玻璃空管管壁之最大靜摩擦係數測量

表 6-4 不鏽鋼浮子對特製玻璃空管管壁之最大靜摩擦係數

不鏽鋼浮子					
	恰要動之 ϕ 角	$\tan \phi$ 值= μ_s		恰要動之 ϕ 角	$\tan \phi$ 值= μ_s
01	12.3	0.2180	11	11.9	0.2107
02	12.1	0.2144	12	12.1	0.2144
03	11.5	0.2034	13	12.2	0.2162
04	11.7	0.2070	14	11.8	0.2089
05	12.2	0.2162	15	12.1	0.2144
06	11.9	0.2107	16	12.3	0.2180
07	11.8	0.2089	17	12.1	0.2144
08	12.2	0.2162	18	12.0	0.2125
09	12.3	0.2180	19	12.3	0.2180
10	11.8	0.2089	20	12.0	0.2125
μ_s 平均值：0.2131					

表 6-5 銅浮子對特製玻璃空管管壁之最大靜摩擦係數

銅浮子					
	恰要動之 ϕ 角	$\tan \phi$ 值= μ_s		恰要動之 ϕ 角	$\tan \phi$ 值= μ_s
01	22.7	0.4183	11	21.9	0.4019
02	22.5	0.4142	12	22.1	0.4060
03	23.1	0.4265	13	22.4	0.4121
04	21.9	0.4019	14	22.6	0.4162
05	23.3	0.4306	15	22.4	0.4121
06	22.3	0.4101	16	23.1	0.4265
07	22.5	0.4142	17	23.2	0.4286
08	22.4	0.4121	18	22.8	0.4203
09	22.7	0.4183	19	21.9	0.4019
10	22.5	0.4142	20	22.7	0.4183
μ_s 平均值：0.4152					

五、氣密性試驗

表 6-6 浮子前端加強氣密材質之比較

	熱溶膠	輕型黏土	保麗龍	軟橡皮	橡皮球
優點	不易剝落	易塑形且質地較軟	質地軟易密合	質地軟易密合	與玻璃頂管出口處密合
缺點	不易塑形	溶於水	有浮力影響	易黏於裝置玻璃頂管出口處	無
結果	洩漏	不洩漏	不洩漏	不洩漏	不洩漏

表 6-7 溢流切斷裝置所能承受之流體壓力限度

	不鏽鋼浮子	銅浮子
液體壓力限度	2.0	2.0
氣體壓力限度	2.0	2.0

單位：atm



圖 6-5 各氣密材質使用後之情形

六、流體流量定角試驗

表 6-8 不鏽鋼浮子作動角度之流體流量

不鏽鋼浮子			
角度	全開	關閉 1/2	全關
液體流量	4.17	2.19	0.00
氣體流量	3.90	2.01	0.00

單位：mL/s

表 6-9 銅浮子作動角度之流體流量

銅浮子			
角度	全開	關閉 1/2	全關
液體流量	4.16	2.17	0.00
氣體流量	3.88	2.01	0.00

單位：mL/s

	開始作動角度	完全關閉角度
不鏽鋼	47.8°	67.0°
銅	65.3°	83.1°

七、最佳組合之溢流切斷裝置

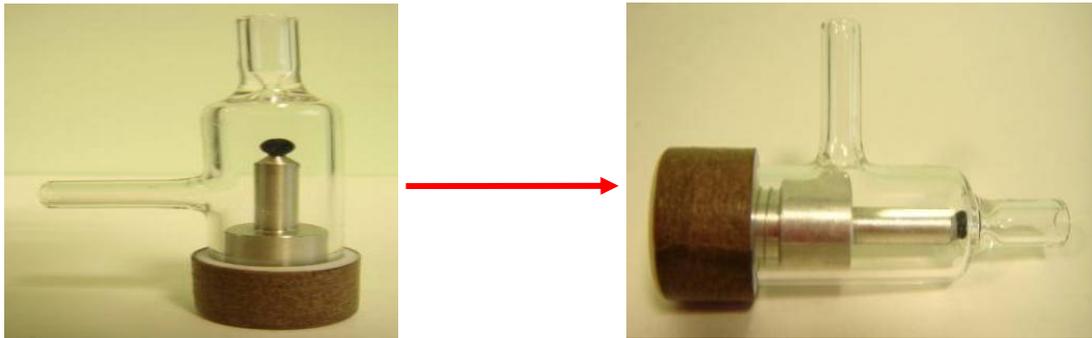


圖 6-6 最佳組合之溢流切斷裝置

八、生活應用

(一) 瓦斯桶關閉裝置

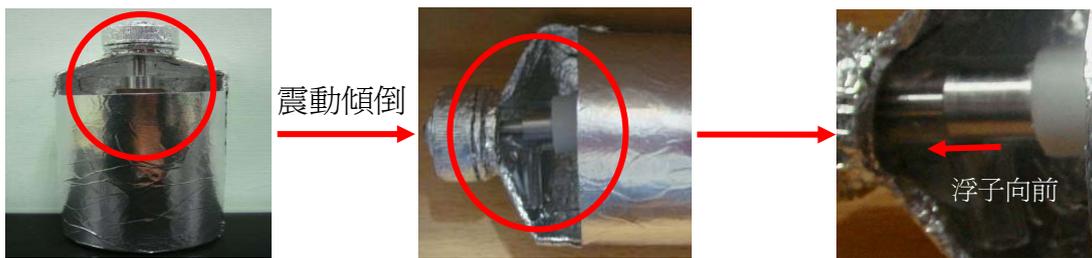


圖 6-7 瓦斯桶關閉裝置之作動情形

(二) 垃圾桶關閉裝置



圖 6-8 垃圾桶關閉裝置之作動情形

(三) 飼料餵食器



圖 6-9 飼料餵食器之作動情形

(四) 水位預報裝置

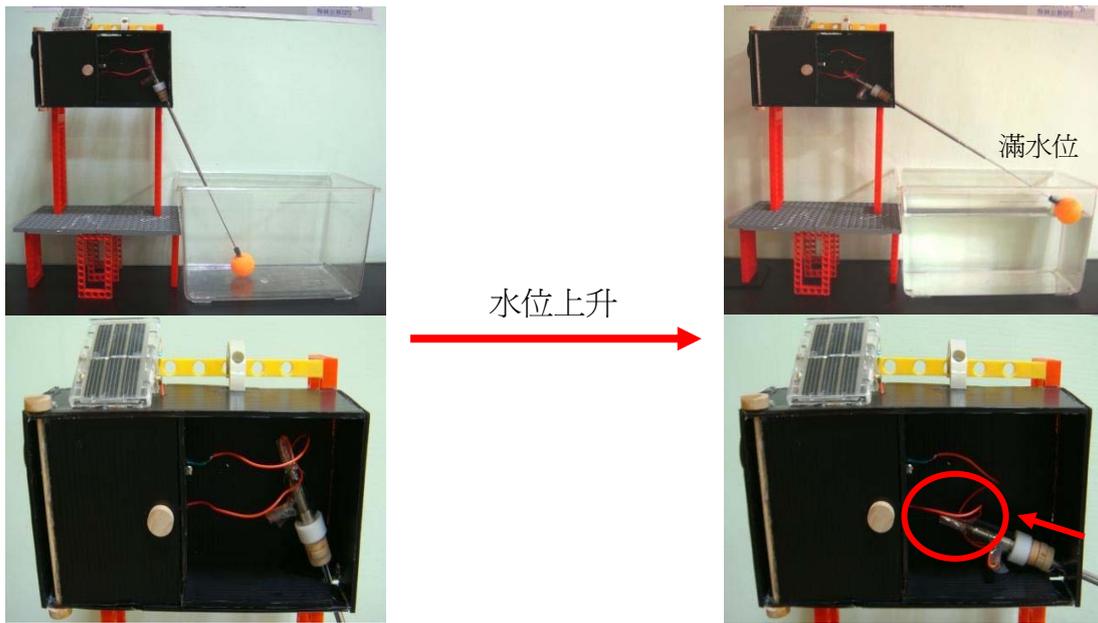


圖 6-10 水位預報裝置作動情形

(五) 娃娃車煞車器



圖 6-11 娃娃車煞車器作動情形

(六) 水溝蓋防盜器



圖 6-12 水溝蓋防盜器之作動情形

(七) 機車傾倒警報裝置



圖 6-13 機車傾倒警報裝置之示意圖

(八) 柺杖警報裝置

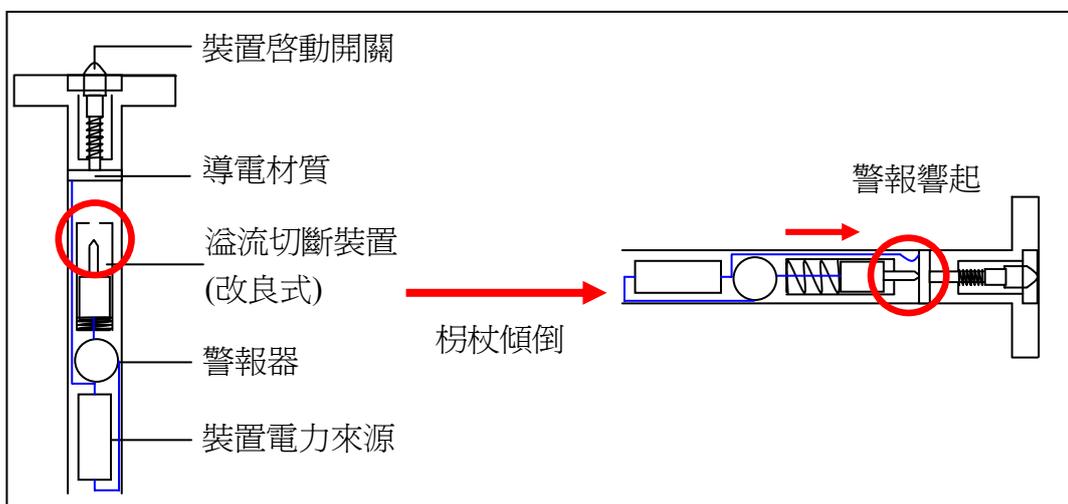


圖 6-14 柺杖警報裝置之示意圖

柒、討論

一、溢流切斷裝置

本裝置包含特製玻璃空管、浮子、彈簧及加強氣密材質。由三種浮子材質（不鏽鋼、銅、鋁）、三種彈簧（ k_1 、 k_2 、 k_3 ）與五種氣密材質（熱溶膠、輕型黏土、保麗龍、軟橡皮、橡皮球）進行挑選（如表 6-1），以選出最佳組合並進行各項測試。當裝置正立時，浮子的重力恰等於彈簧的彈力，因此彈簧完全壓縮，為開啓狀態；傾斜時，浮子作動角度增大，其重量於斜面之分力 $mg\sin(90^\circ - \theta) + \mu_s mg\cos(90^\circ - \theta)$ 減小，使彈簧壓縮量減少，將浮子向上推至頂管，為關閉狀態。

二、浮子材質的選擇

根據文獻⁽¹⁾⁽²⁾⁽³⁾中，提到不鏽鋼、銅、鋁為生活中常見且實用的金屬，因此將三種金屬製成樣式相同之浮子（如圖 5-8），並測得其質量依序為 11.02g、11.96g、3.73g（如表 6-2）。將不鏽鋼浮子作為基準，並探討其質量差距之影響。由於不鏽鋼與銅浮子質量相近，且作動情形相似，因此決定保留銅浮子與不鏽鋼浮子進行比較。由表 6-2 可知，因鋁浮子之質量較輕，推測其無法有效作動。為了證實此推測，本團隊將鋁浮子配合 k_1 、 k_2 、 k_3 彈簧進行測試，如圖 6-1 所示，鋁浮子皆無法作動，因此將其排除。

三、彈簧的選擇

對於彈簧的挑選，是以彈簧與浮子的作動情形為依據。 k_1 、 k_2 、 k_3 彈簧之彈性係數分別為 19.567gw/cm、32.262gw/cm、3.119gw/cm（如圖 6-2、圖 6-3 及圖 6-4），其中 k_1 、 k_2 之彈性係數與 k_3 差異甚大，由圖 6-1 可看出，排除鋁浮子後，剩下質量為 11.02 克的不鏽鋼浮子及 11.96 克的銅浮子皆無法與 k_1 、 k_2 彈簧配合使用，而 k_3 彈簧則可被不鏽鋼浮子及銅浮子壓縮。因此，以下試驗皆以彈性係數為 3.119gw/cm 的 k_3 彈簧進行，並將其選為此研究的「理想彈簧」。

四、浮子對特製玻璃空管管壁之最大靜摩擦力

根據最大靜摩擦係數測量方法（如圖 5-10），當浮子靜置於恰要動之斜角時，利用 $f_s = \mu_s N$ 推得不鏽鋼、銅浮子之最大靜摩擦係數分別為 0.2131 與 0.4152。如圖 5-2 所示，當浮子傾斜一角度時，浮子斜面分力加上摩擦力會與彈簧彈力相等，公式為 $mg\sin(90^\circ - \theta) + \mu_s mg\cos(90^\circ - \theta) = k\Delta x$ 。由此公式可推得浮子恰要動之 Δx ，進而比較摩擦力影響。比較情形如下：

$$\text{已知 } \Delta x = \frac{mg\sin(90^\circ - \theta) + \mu_s mg\cos(90^\circ - \theta)}{k}, k = 3.119\text{gw/cm}$$

不鏽鋼浮子之 $\mu_s=0.2131$ ，銅浮子之 $\mu_s=0.4152$

(一) 不鏽鋼浮子

1. 考慮摩擦力之 Δx_A 值： $\Delta x_A = \frac{0.072+0.017}{3.119} \cdot 102 = 2.910 \text{ (cm)}$

2. 不考慮摩擦力之 Δx_a 值： $\Delta x_a = \frac{0.072}{3.119} \cdot 102 = 2.354 \text{ (cm)}$

由 $\frac{\Delta x_A - \Delta x_a}{\Delta x_a} = \frac{2.910 - 2.354}{2.354} = 0.236$ ，可知其差異為 23.6%

(二) 銅浮子

1. 考慮摩擦力之 Δx_B 值： $\Delta x_B = \frac{0.048+0.044}{3.119} \cdot 102 = 3.008 \text{ (cm)}$

2. 不考慮摩擦力之 Δx_b 值： $\Delta x_b = \frac{0.048}{3.119} \cdot 102 = 1.569 \text{ (cm)}$

由 $\frac{\Delta x_B - \Delta x_b}{\Delta x_b} = \frac{3.008 - 1.569}{1.569} = 0.917$ ，可知其差異為 91.7%

由於不鏽鋼與銅浮子是否考慮摩擦力之差異皆大，因此選用浮子時，不可將其對特製玻璃空管管壁之摩擦力忽略。

註：1N=1/9.8kgw=1000/9.8gw \approx 102gw

五、氣密材質挑選與試驗

(一) 浮子的改良

爲了加強溢流切斷裝置之氣密，由五種材質進行試驗(如圖 5-11)。以下分別說明各種材質之差異及氣密結果(如圖 6-5、表 6-6)：

1. 熱溶膠：此材質雖易取得，但因不易塑形導致無法與頂管密合而洩漏，因此無法使用。
2. 輕型黏土：此材質雖易於塑形且不會洩漏，但其易溶於水的特性，若用於液體截流方面，將無法使用。
3. 保麗龍：此材質質地軟，可與特製玻璃空管頂管密合而不會洩漏，但若用於液體截流方面，本材質因受浮力影響而無法有效作動，因此無法使用。
4. 軟橡皮：此材質可依特製玻璃空管形狀塑形，因此不會洩漏。但由於此種材質本身帶有黏性，在浮子關閉完成後無法與特製玻璃空管分離，因此無法使用。
5. 橡皮球：此材質雖不易取得，但對於本裝置所要求的條件爲體積小、不溶於水、不受浮力影響、不造成洩漏皆符合，因此將其定爲此研究的「理想加強氣密材質」。

(一) 壓力限度測量

根據溢流切斷裝置對液體壓力及氣體壓力的耐壓限度進行分析：

1. 水壓：1atm 相當於 1033.6gw/cm^2 ，約每 10m 水柱為 1.0atm。利用開管式水壓裝置（如圖 5-6），測量出溢流切斷裝置可承受 1.0atm。若將水壓裝置視為密閉式真空容器，則加上外界之 1.0atm 後，裝置實際所能承受之最大水壓為 2.0atm。
2. 氣壓：由於氮氣在常溫下不易產生化學反應，且價格低廉，因此使用氮氣鋼瓶測量溢流切斷裝置所能承受之最大氣壓。由研究結果得知，溢流切斷裝置可承受 2.0atm 的氣體壓力（如表 6-7）。
3. 總結：溢流切斷裝置所能承受之水壓與氣壓皆為 2.0atm，若超過其所能承受之限度，裝於底管之蓋子便無法負荷而彈開，造成溢流切斷裝置無法使用。由於壓力之 SI 單位為 N/m^2 ，若分子及分母同乘公尺（m），則變為 $\text{N} \cdot \text{m/m}^3 = \text{焦耳/立方公尺}$ （ J/m^3 ），就能量觀點而言，即為單位體積所具有的能量，與氣體或液體無太大關係，故其所測得之結果皆為 2.0atm。

六、流體流量定角試驗

(一) 液體與氣體流量之差異

由本試驗測得，使用不鏽鋼浮子時，裝置全開之液體流量約為 4.17mL/s，氣體流量約為 3.90mL/s（如表 6-8），液體較氣體流量多 0.27mL/s；裝置關閉 1/2 時，液體流量約為 2.19mL/s，氣體流量則約為 2.01mL/s，此時，液體較氣體流量多 0.18mL/s。同理，銅浮子全開之液體流量約為 4.16mL/s，氣體流量約為 3.88mL/s（如表 6-9），液體較氣體流量多 0.28mL/s；裝置關閉 1/2 時，液體流量約為 2.17mL/s，氣體流量則約為 2.01mL/s，此時，液體較氣體流量多 0.16mL/s。由上述結果得知，分子性質的差異將造成液體與氣體流量的不同⁽⁹⁾。液體密度大、分子間距離近、作用力大，因此分子為連續洩出；氣體密度小、分子間距離遠、作用力小，分子非連續洩出，因此液體流量較氣體流量多。

(二) 裝置作動與流量的關係

此項測驗必須測量裝置作動對流體流量的關係。如表 6-8、表 6-9 所示，使用不鏽鋼及銅浮子測量液體流量時，全開之平均流量分別為 4.17mL/s、4.16mL/s，關閉 1/2 時為 2.19mL/s、2.17mL/s；而測量氣體流量時，全開之平均流量分別為 3.90mL/s、3.88mL/s，關閉 1/2 時則皆為 2.01mL/s。由上述測量過程亦可得不鏽鋼及銅浮子隨作動角度逐漸增加，流量便隨之減少，且液體及氣體截流效果皆佳。

(三) 作動角度分析

由流體流量定角試驗可分別測得不鏽鋼與銅浮子之開始作動及完全關閉之角度。如表 6-10 所示，溢流切斷裝置開始作動時，配合 k3 彈簧的不鏽鋼浮子之作動角度為 47.8° ，銅浮子為 65.3° ，由此可得銅浮子因摩擦力過大使得開始作動角度較大。溢流切斷裝置完全關閉時，測得不鏽鋼浮子之完全關閉角度為 67.0° ，銅浮子為 83.1° ，可知銅浮子作動仍然較不鏽鋼浮子慢。經由上述分析，不鏽鋼浮子完全關閉時的角度較小，作動較快，為本裝置之最佳浮子的選擇。

(四) 角度測量儀

起初角度測量儀以紙板製作，但實驗過程中角度測量儀會接觸到水而破壞其主體，因此改以木頭製作，中間放置溢流切斷裝置的紙板也以 PE 瓦楞板取代，以免在實驗過程中接觸到水，導致數據不精確。

(五) 皂泡流量計

以皂泡流量計配合溢流切斷裝置及角度測量儀使用（如圖 4-3），目的在於觀察溢流切斷裝置角度變化造成氣體流量的改變。使用皂泡流量計前必須配製濃度適中的肥皂水，置於皂泡流量計玻璃管下端的乳膠套內。若肥皂水濃度太濃，皂泡膜不易形成；若濃度太低，則產生的皂泡膜容易破掉，使實驗不便觀察與進行。測量前必須另加入肥皂水潤滑皂泡流量計玻璃管內部管壁，以避免在觀察時皂泡膜破掉。

七、最佳組合之溢流切斷裝置

(一) 最佳組合之溢流切斷裝置

由浮子材質挑選中，將 3.73 克的鋁浮子排除，並觀測不鏽鋼及銅浮子配合三種彈簧之作動情形（如圖 6-1），發現皆可與彈性係數為 3.119gw/cm 之 k3 彈簧有效作動，因此選擇 k3 彈簧。在氣密性試驗中，以五種氣密材質（如圖 5-11）挑選出氣密性最佳的橡皮球（如表 6-6、如圖 6-5）。為了比較不鏽鋼與銅浮子之作動差異，分別將兩浮子配合 k3 彈簧進行流體流量定角試驗，並得其作動角度。如表 6-10 所示，不鏽鋼浮子之完全關閉角度為 67.0° ，銅浮子為 83.1° 。由於不鏽鋼浮子之關閉角度較小、速度較快，因此選擇不鏽鋼浮子。經實驗統整後，將不鏽鋼浮子、k3 彈簧、橡皮球結合，製成溢流切斷裝置（如圖 6-6）。

(二) 溫度對裝置作動的影響

將溢流切斷裝置置於溫度約 60°C 、 0°C 與室溫下，並觀察其作動情形。結果得知，溢流切斷裝置仍然可有效作動。因此證實，溢流切斷裝置可適用於溫差變化大的環境下。

八、生活應用

(一) 瓦斯桶關閉裝置：

瓦斯桶內的氣體以液態丙烷、丁烷為主⁽¹⁰⁾，使用前期，瓦斯桶內大多為液體，使用後期則多為氣體，而溢流切斷裝置對於液體或氣體都適用，不需憂慮液氣轉換的問題。根據作動角度分析顯示，不鏽鋼浮子之開始作動角度為 47.8° ，完全關閉角度為 67.0° ；銅浮子之開始作動角度為 65.3° ，完全關閉角度為 83.1° （如表 6-10），得不鏽鋼浮子開始作動及完全關閉皆較銅浮子快，因此選擇不鏽鋼浮子便可立即防止瓦斯外洩。

(二) 垃圾桶關閉裝置：

本裝置以翻蓋式垃圾桶為設計考量，並製作去除頂管及側管之玻璃空管。此裝置之主要目的在於利用其傾倒之角度帶動浮子作動，若浮子之開始作動角度愈小，則垃圾桶關閉時間愈早，效果愈佳。根據作動角度分析顯示（如表 6-10），不鏽鋼浮子之開始作動角度為 47.8° ，而銅浮子為 65.3° ，不鏽鋼浮子之開始作動角度較快，因此本研究團隊以不鏽鋼浮子作為本裝置之最佳浮子。由於垃圾桶蓋在傾倒時，打開的速度過快，但若於垃圾桶蓋及不鏽鋼浮子前端加裝強力磁鐵則可克服此問題，且能增加瞬間作動的速度，當傾斜角度超過約 47.8° 時，浮子與蓋上的磁鐵將逐漸接近至相吸，即可完成垃圾桶關閉程序。

(三) 飼料餵食器：

市面上的飼料罐，使用前需做旋轉蓋、掀蓋等開罐動作，使用後尚須蓋回；本裝置之設計可免除上述步驟（如圖 6-9），配合餵飼料時傾倒帶動內部之作動，將飼料出口開啓，使用完畢後，回正即可將出口關閉。將特製玻璃空管之頂管及側管去除，並於浮子前端連接關閉出口之圓形木片，即可作為本裝置開啓及關閉之開關。

(四) 水位預報裝置：

由水位的變化使裝置作動（如圖 6-10），在正常水位時，將裝置中的浮力桿置於水面，當水位逐漸上升，浮力桿便受到浮力而上浮，並將浮力桿中連接電路的溢流切斷裝置製成預報開關，當水位不斷上升，浮力桿傾斜至約 67.0° 時，浮力桿中的不鏽鋼浮子接觸到頂端的銅線，使裝置通電而蜂鳴器開始作用。將其置於浴缸、魚缸等裝水容器，則可於水位達極限前有效預報水位。

(五) 娃娃車煞車器：

市面上娃娃車的煞車器必須以人工控制的方式使用，若無事先開啓煞車裝置，則娃娃車將因地面傾斜向前滑行而造成危險。爲了預防危險的發生，將溢流切斷裝置結合齒輪，設計成娃娃車的煞車器（如圖 6-11），不必事先開啓煞車裝置，即可利用地面傾斜之角度帶動裝置內部的浮子，使浮子前端與輪子上的齒輪相接合，娃娃車即可停止向前滑動。另於浮子後端連接解除自動煞車之功能，則可於行經斜坡時正常使用。

(六) 水溝蓋防盜器

由於金屬價格較高，使得道路水溝蓋失竊的事件層出不窮，因此便利用溢流切斷裝置設計出「水溝蓋防盜裝置」（如圖 6-12）。取一絕緣材質垂直固定於水溝蓋上，利用此絕緣材質將原本無法壓縮彈簧的鋁浮子往內壓縮，使得裝置電路形成斷路。一旦水溝蓋遭偷竊，鋁浮子前端因失去絕緣材質的阻隔而向前彈出，接觸到銅片形成迴路，便可驅動警鈴通報至警局。

(七) 機車傾倒警報裝置

利用傾斜時立即作動之特性，將裝置裝設於機車車箱內側，而警報器外接於機車車箱外，則可成爲機車傾倒之警報器（如圖 6-13），若機車停放時不慎撞倒，則可提醒將機車扶起；機車成排傾倒也可及時處理。

(八) 柺杖警報裝置

新聞時常播報老人家突然性的發病，因疏忽而無法即刻送醫，因此，欲使柺杖能成爲救命工具。將溢流切斷裝置安裝於柺杖內部，利用溢流切斷裝置傾斜而驅使警報裝置之電路形成迴路，發出警報，並且於柺杖把手處設計開關，可於不使用時將警報功能解除（如圖 6-14）。此外，本裝置還可應用於視障者之導盲手杖，若手杖不慎脫離手中，即可根據警報器之鳴聲找回手杖。

(九) 裝置電路設計：

爲了響應環保而將設計出的應用裝置以太陽能電池發電，並以 $2200\ \mu F$ 的電容來穩定直流電，並加裝二極體，使蓄電池不回充。由於太陽能板所發出的電壓不穩定，因此連接 7805 穩壓 IC 以提供 5V 的穩定電壓，使 3V 的蜂鳴器作用（如圖 5-7）。

九、經濟環保評估

當溢流切斷裝置用於流體截流時，其中包含特製玻璃空管、不鏽鋼浮子、彈簧及橡皮球，估計成品價格為 300 元/個，若本裝置量產則估算價格可降至 150 元/個。生活應用項目中，瓦斯桶關閉裝置可有效降低火災的發生，且可保障無價的生命；飼料餵食器除了節省餵食步驟，亦可重複使用作為飼料填充罐，可減少塑膠飼料罐之生產，符合環保概念；家中的浴缸及魚缸等裝水容器，時常因疏忽而過量用水，而水位預報裝置可於水位超過極限前預報，避免水資源的浪費，更可降低水費的支出；娃娃車煞車器能避免於斜坡處鬆手，娃娃車下滑而造成意外；水溝蓋防盜器能有效降低水溝蓋的偷竊率，減少政府支出，且利用裝設於路燈上的太陽能電池發電，省下電費。綜觀上述評估，本裝置可利用低成本達到極高的經濟效益。

十、未來展望

以金屬製成的浮子，必須另加上加強氣密材質才能防止流體洩漏，但若將整個浮子改為橡皮球材質，則可能因質量過輕而如同鉛浮子無法配合彈簧使用。為了避免質量過輕，浮子下方以金屬製作，而浮子前端則使用橡皮球材質，將兩者製成一體，就可避免加強氣密材質脫落。另外，於進行壓力限度測量時，由於前端加強氣密材質的效果顯著，而導致壓力漸漸增加時，下方的蓋子無法承受，而與溢流切斷裝置主體脫離，因此，可用不鏽鋼取代玻璃空管與蓋子，製作成一體成形，使其可承受的壓力提高。

捌、結論

	結果		說明			
浮子材質選擇	不鏽鋼、銅		鋁浮子過輕無法有效作動。			
彈簧選擇	彈性係數為 3.119gw/cm 之 k3 彈簧		k1 及 k2 彈簧彈性係數過大，無法配合浮子使用。			
浮子對玻璃管之 μ_s 測量	不鏽鋼	銅	兩浮子之最大靜摩擦力皆大，因此無法忽略。			
	0.2131	0.4152				
氣密材質選擇	橡皮球		具有優良氣密性，液體及氣體之截流皆適用。			
流體壓力限度測量		不鏽鋼	銅	就能量觀點而言，壓力乃單位體積所具有能量，因此與氣體或液體無太大關係，故所測得結果皆為 2.0atm。		
	體液	2.0atm	2.0atm			
	體氣	2.0atm	2.0atm			
流體流量定角試驗	液體		不鏽鋼	銅	由全開及關閉 1/2 之流量進行比較，兩者相差約 1/2，而全關時流量皆為 0 mL/s，此結果顯示本裝置關閉 1/2 始能有效減少流量，全關時可完全截流。	
		全開	4.17mL/s	4.16mL/s		
		關閉 1/2	2.19mL/s	2.17mL/s		
		全關	0.00mL/s	0.00mL/s		
	氣體		不鏽鋼	銅		
		全開	3.90mL/s	3.88mL/s		
		關閉 1/2	2.01mL/s	2.01mL/s		
		全關	0.00mL/s	0.00mL/s		
	作動角度		不鏽鋼	銅		以流量推得開始作動角度及完全關閉角度。
		開始作動	47.8°	65.3°		
完全關閉		67.0°	83.1°			
最佳組合之溢流切斷裝置	不鏽鋼浮子+k3 彈簧+橡皮球		關閉角度較小、速度快，且氣密性優良。			
生活應用	不鏽鋼浮子+k3 彈簧	瓦斯桶關閉裝置	不鏽鋼浮子質地堅硬且全關角度較小，適用於其他應用；鋁浮子質量較輕，適用於水溝蓋防盜器。			
		垃圾桶關閉裝置				
		飼料餵食器				
		水位預報裝置				
		娃娃車煞車器				
		機車傾倒警報裝置				
		拐杖警報裝置				
	鋁浮子+k3 彈簧	水溝蓋防盜器				

玖、參考資料及其他

- 一、呂璞石、黃振賢 金屬材料 文京圖書有限公司 初版 第二章 鋼和鐵 P.228
六十一年八月三十一日
- 二、晟富金屬工業：
http://www.cf-metal.com/productb_1.html
- 三、呂璞石、黃振賢 金屬材料 文京圖書有限公司 初版 第三章 非鐵金屬材料
P.297、P.275、P.278 六十一年八月三十一日
- 四、林明瑞、張仁昌、劉國棟、劉怡君 物理上冊 南一書局 試閱版 第三章 靜
力平衡 第一節 力的測量 P.92~93 九十六年四月
- 五、吳文政 牛頓運動定律及動量、衝量 建宏出版社 第一章 靜力平衡 第二節
彈性力 P.8~9
- 六、林明瑞、張仁昌、劉國棟、劉怡君 基礎物理 南一書局 修訂版 第二章 力
與運動 第四節 摩擦力的性質及其運用 P.48~49 九十六年八月
- 七、林明瑞、張仁昌、劉國棟、劉怡君 物理上冊 南一書局 試閱版 第三章 靜
力平衡 第七節 靜摩擦力 P.129~130 九十六年四月
- 八、吳文政 轉動，彈力學及流體力學 建宏出版社 第三章 流體力學 第八節
白努利方程式及其應用 P.163~164
- 九、葉名倉、劉如熹、邱智宏、陳建華、陳偉民、周芳妃 基礎化學 南一書局 再
版 第一章 緒論 第一節 化學簡介 P.8~9 九十八年八月
- 十、葉名倉、劉如熹、邱智宏、陳建華、陳偉民、周芳妃 基礎化學 南一書局 再
版 第四章 生活中的能源 第二節 能源與生活 P.128 九十八年二月

【評語】 040819

溢流切斷裝置之研究，成功地將生活發現的問題，以科學方法予以解決，製作出的裝置可以成功地應用於特定流體溢流的阻斷，甚至應用至傾倒警示及剎車裝置。

惟裝置本身的阻斷強度受限於浮子及彈簧的彈性限度，應用範圍受限制，值得再做進一步的研究。