

# 2022年【全國科學探究競賽-這樣教我就懂】

## 高中(職)組 成果報告表單

題目名稱：淨水增壓實驗與探究

### 一、摘要：

每個人每天都會需要上廁所，也就是說馬桶在我們生活中的重要性可不小，然而現在因地球暖化所造成氣候變遷、水資源不足，讓缺水這件事顯然成了一個大問題，我們每天光是上個廁所沖一次水，就要花費8~12公升的水量，一整天下來的沖水量是很可觀的，但其實我們在日常生活中就可以去改善，從小細節去改變。

本實驗的裝置設計運用了魚缸內的造浪泵來作為此次實驗的增壓器，利用壓力的變化與水量的不同，找出是否可透過增壓來減少用水量但仍然能將排泄物沖排乾淨，從實驗結果可得知，增加壓力可以節省較多的水量來沖排等量的排泄物。

### 二、探究題目與動機

2015年聯合國有宣布了「2030永續發展目標」，簡稱為SDGs，其中第六項為「確保所有人都能享有水、衛生及其永續管理」。談到了水資源的問題，台灣是個水資源不足的國家，然而發現台灣馬桶的用水量確實不容小覷。為了防止水資源的浪費，我們希望改善馬桶沖水量的問題，進一步去調整，以達到省水的目的。

為了達到馬桶沖水淨化的能力，我們使用大量的水，利用水量所形成的位能強化去污能力，如果減少用水意味著能量的減少，如何透過減少水量、增加水壓，亦能維持一定的去污能力便是我們要克服的問題。



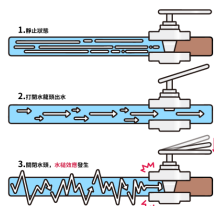
(圖源:聯合國永續發展目標網站)

### 三、探究目的與假設

在增加沖水的能量的問題上，可設置水流加壓器，以增加沖水的水壓。因此水流加壓器的設計變成了問題可解與否的關鍵。

馬桶沖水去污的原理，是利用水錘效應增加的水壓產生虹吸現象，完成穢物的排出。因此水流加壓器應可以增加水錘效應的水壓，同時以最少的(高動能)水移動穢物，達到省水的目的，並且能夠將穢物清理乾淨。

### 一、水錘效應



圖一 正水錘效應(圖片來源:Tasker好文章--解決水錘效應方法)

當水流在水管中流動的時候，如果突然將管路中的閘門關閉，水流會因為流動的慣性力，使得水分子往前推擠，如此便造成管內壓力的上升，這便是狹義的水錘效應，如圖一。廣義的水錘效應可分為正水錘效應與負水錘效應，若水分子往前推擠，造成管內壓力上升是為正水錘效應；在關閉的閘門後，因為水分子慣性的脫離流出，造成管內壓力的下降，便造成了負水錘效應。馬桶的正水錘效應並不明顯，乃因為馬桶底部U型管的水封非鋼性固著體，而是具有彈性的移動體，因此推論馬桶注入的水流壓力可以增加正水錘效應，使排糞管的虹吸現象較易完整產生。水錘效應的數學模型方程式如下：

$$\frac{\partial V}{\partial x} + \frac{1}{Bm} \frac{\partial P}{\partial t} = 0$$

$$\frac{\partial V}{\partial t} + \frac{1}{\rho} \frac{\partial P}{\partial x} + \frac{f}{2D} |V| = 0$$

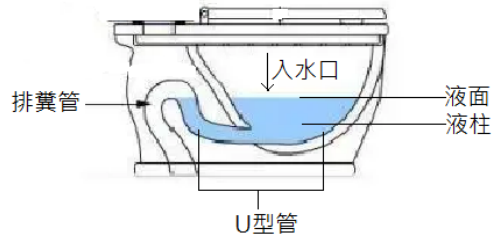
$\rho$ :流體密度

$Bm$ :相等體積模量

$f$ :摩擦係數

$V$ :內管流體速度

## 二、虹吸現象



圖二 馬桶冲水的虹吸結構(圖片來源:每日頭條--什麼是虹吸式馬桶)

馬桶冲排的效果，與糞管的虹吸現象有很大的關係。如圖二，排糞U型管利用液態分子間的引力與位能差所造成水柱壓力差，再透過U型管讓水流往低處(即水由壓力大往壓力小方向移動)。具體而言，當馬桶U型管的入水口，受到馬桶冲水處推擠所形成的液壓，大於U型管液柱的重力(及化糞池的氣壓)，U型管的液柱液體(及排泄物)會被U型管的入水口液壓推出排糞管，而形成虹吸現象。當馬桶冲水停止，U型管入水口的壓力便降低，排糞管的排出的水流會產生部分的真空，導致液柱坍塌，也就是沒有位能差，U型管的液柱便達到液壓平衡，則虹吸現象現象就會停止，馬桶缸內的液面便回復初始的靜態，也就是產生了水封。

馬桶虹吸現象的產生除了受到入水口液壓的影響，也深受排糞管管徑大小的影響。在入水口的壓力相同時，管徑較大的排糞管，空氣易在管內進出，不易形成封閉點，排糞所需的虹吸現象，也較不容易產生；然而當排糞管管徑較小時，虹吸現象雖較易產生，但卻會讓排糞流速減慢，產生排糞管堵塞的現象。

由此可知馬桶冲排的效果，與糞管的虹吸現象有很大的關係。然而若就排糞管管徑探討馬桶冲排水量的問題，會發現當馬桶冲水時，若排水管較粗(管徑較大)，雖較不易造成排泄物堵塞，但虹吸現象較不易產生，且需耗費大量的水；相反的，若排水管較細(管徑較小)，可在較省水的情況下產生虹吸現象，但卻容易造成排泄物的堵塞。

如何讓排泄物完整冲下去，不留殘餘沾染在馬桶，亦能省水，我們推論是否可以增加壓力讓兩者目的皆能達成？

故本實驗主要是利用增壓器，讓水流速度增加，進而讓馬桶中的排泄物清除乾淨。

實驗變因：

操作變因:水壓、水量

控制變因:馬桶種類、穢物質量(15g)&濕度(仿製)

應變變因:剩餘穢物量(仿製)

由上述推論,本實驗目的如下:

(1)製作一個可供加壓的實驗裝置

(2)探討沖水有無加壓的清潔能力

(3)不同沖水量不同壓力趨勢分析計算沖水有無加壓對排泄物回歸直線方程式

(4)省水效益分析

#### 四、探究方法與驗證步驟

##### 1.製作一個可供加壓的實驗裝置

我們利用空的寶特瓶當作水箱並架到梯子高處,連接另一加裝馬達的寶特瓶,延伸出一條水管當作出水口,固定在馬桶曲面上,馬桶下方則連接S型管,其目的是為了產生虹吸現象,並在管下面放置一水箱當作化糞池。而為了防止漏水,我們在裝置的連接處用熱溶膠和發泡劑封住,如下圖所示。



圖三:實驗裝置圖

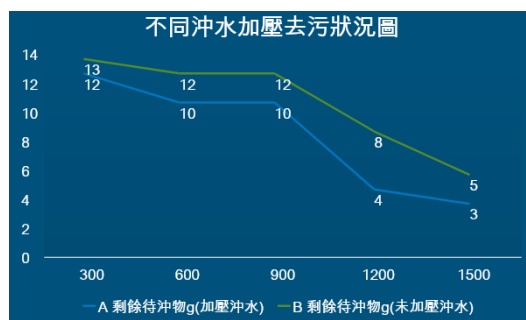
##### 2.探討沖水有無加壓的清潔能力

我們用麵粉和水,以2:1的方式是做成麵糰,模擬糞便15g,放在塑膠片上秤重後,用膠帶固定在馬桶曲面,並分別以300ml、600ml、900ml、1200ml、1500ml的水量,在有加壓和沒加壓的環境下經水沖洗後,比較沖洗前和後的重量變化,進行分析(如圖)。

實驗數據		
水量 \ 壓力	有加壓	沒加壓
300ml	12g	13g
600ml	10g	12g
900ml	12g	12g
1200ml	4g	8g
1500ml	3g	5g

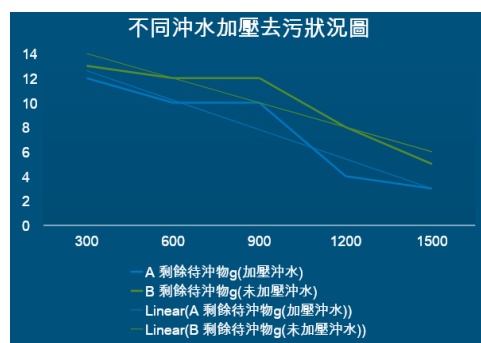
圖四：實驗數據圖

我們發現到，一開始加壓和沒加壓的沖排效果差異不大，但是到了900ml後兩者間的差距越來越明顯，我們推測可能是因為在900ml前，水清泡在加壓器的面積不多，也就是加壓器的影響較少，所以沖排差異並不大，而隨著水量的增加，代表著加壓器的影響力越大，造成前期和後期兩者間的差距變大。



圖五：以不同水壓與水量分析去汙狀況

### 3.不同沖水量不同壓力趨勢分析計算沖水有無加壓對排泄物回歸直線方程式



圖六:有無加壓狀態之下去汙狀況與趨勢線圖

以實驗數據算出有無加壓狀態之下的趨勢線與方程式，如下：

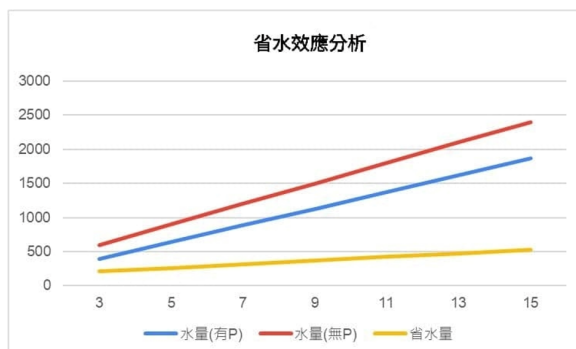
$$\text{有加壓: } X = -\frac{Y}{150} - 16$$

$$\text{無加壓: } X = \frac{-900Y + 13650}{7.3}$$

由此可推論出，隨著排泄物被沖排的量愈多，使用的水量雖然亦會跟著上升，但水流如果有加壓，會比無加壓的狀態之下可節省較多的水量來沖走與在有加壓時等量的排泄物。

### 4.省水效益分析

在實驗中，我們可以證明水流經由加壓後，可以用較少的水沖走排泄物，同時我們也可以在實驗數據中得出的趨勢線，方便觀察用水量和沖去量在有無加壓環境下的關係(如圖):



圖七:省水效應分析圖

圖中顯示，在沖走等量的排泄物的情況下，有加壓用的水量明顯低於未加壓的，而隨著沖排的量增加，省水曲線也呈現上升的趨勢。可以知道，當需要沖走的排泄物越多時，用有加壓的馬桶省水量將是很可觀的。

## 五、結論與生活應用

由此實驗結果可得知，水流經過加壓之後可以在同樣的水量條件下，將排泄物沖排得較乾淨。假設一人一天上一次大號，排泄物為150g，從上圖推論，在有加壓的狀況下，一人一次就可以省掉5公升的沖水量，一年下來全台灣人就可以省下42噸沖馬桶的水量

$365 \times 5 \times 23000000 \div 1000 = 42$ 公噸水量

也就是說，加強馬桶沖水的力道，勢必可以改善用水的問題。而又能產生虹吸現象，讓穢物可以被沖排下去，進而達到省水目的。

## 參考資料

未來城市。聯合國「永續發展目標」(Sustainable Development Goals, SDGs) (2021年07月30日)

<https://reurl.cc/l9qv9v>

YouTube。水錘效應有多可怕?--科普記 (2021年05月30日)

<https://reurl.cc/Rjpvjn>

第61屆中小學科展作品說明書--「看我的吸星大法」－運用虹吸鐘於發電之探討--第13頁

<https://reurl.cc/X4dLIM>

維基百科(無日期)。虹吸。數學模型方程式。

<https://reurl.cc/zMvAWe>

維基百科(無日期)。水錘作用。

<https://reurl.cc/Qjy4Lb>

Tasker好文章(2021年05月20日)。水錘效應發生原理。圖片

<https://reurl.cc/pWzLLI>