

# 浮沈子—有趣的科學實驗

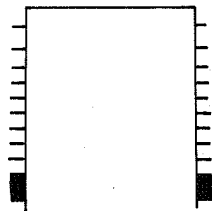
張富雄

國立臺灣師範大學附屬高級中學

民國 53 年在台北市北投國中任教時，赫然發現「浮沈子」乙項在理化儀器目錄中。當時就在一個大量筒中裝水約五分之四滿再置入浮沈子，用手掌迅速密蓋筒口來改變氣體壓力，使人形浮沈子潛降。此後常將浮沈子設計為波義耳定律計算題應用於教學。近讀九月份科學教育月刊第 35 頁的「浮沈的玩偶與浮體的比重」，文中提出多種樣式浮沈子的製作方法甚為實用有趣。本文擬就其教學上應用加以討論。

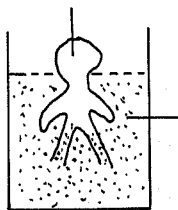


圖一 人形浮沈子



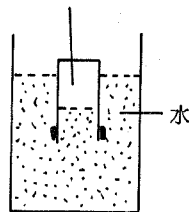
圖二 簡化的浮沈子，均勻管柱上刻度可顯示體積。下端厚玻璃緣，可降低重心。

氣體壓力等於大氣壓



圖三 浮沈子浮在水面

氣體壓力等於大氣壓



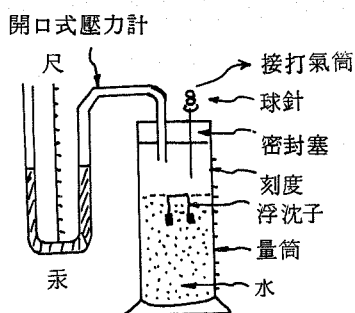
圖四 簡化的浮沈子浮在水面

## 如何放置浮沈子

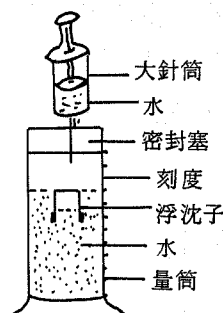
在水中，水會部分進入浮沈子內，浮在水面時浮沈子內的氣體壓力約等於液面大氣壓力。放置浮沈子的方法；通常將浮沈子開口向下，垂直輕放入水中，最理想的情況是水幾乎沒頂。欲達此理想，可調節浮沈子內液體或氣體量；先將浮沈子在空中開口向上，注入適量水液，以手指按住開口，使開口向下輕置水中後，手指再放開。試得理想位置時即以油性筆作記號，俾日後再用方便。另一方法類似排水集氣法；在水中用細管吹適量氣體進入裝滿水的浮沈子內。

## 改變液面壓力的方法

如圖五所示打氣筒打氣，量筒內氣體壓力由氣壓計及開口式壓力計得知。打氣時量筒內氣體體積不變，但氣體的量改變致壓力改變。



圖五 打氣、放氣式改變液面氣壓裝置



圖六 抽水、注水式改變液面氣壓裝置

圖六所示為注水、抽水式，大型注射筒內裝水，注水至有刻度的量筒內，量筒內氣體的量不變，體積改變造成壓力變化。例如氣體體積減半則氣壓加倍。

## 浮沈原理

浮沈子不動時； 浮力等於重量。

浮沈子下潛時； 浮力小於重量。

而浮力等於物體排開的流體重量；浮力等於浮沈子排開水的體積乘以水的密度。藉著水面壓力增大，再由水來傳達壓力，使浮沈子中氣體體積減小，如此，進入浮沈子內的水量增多，致浮沈子連同氣體及水的總重量增大，當浮力小於重量時浮沈子開始下沈。

巴斯噶原理是液體內一點受壓時，液體傳達壓力至液內各點，其壓力強度不變。當施壓於水面時；壓力由水傳達至浮沈子內的氣體，使其體積變小。此時，因浮沈子內水液在氣體下方，液壓傳達使水的向上壓力增大，若干學生可能認為浮沈子受到較大的向上壓力，故應上升，這是沒有認清浮沈子上部也受到向下壓力增大所致。

實際上，浮沈子一旦下沈後，因液深漸大，液壓增大，使浮沈子內氣體體積更小，浮力更減而加速下降。

另一種浮沈解釋法是密度的改變；當

浮沈子平均密度等於流體密度時； 浮沈子不動。

浮沈子平均密度大於流體密度時； 浮沈子下沈。

浮沈子平均密度是指浮沈子材料、內部氣體及流體的總平均密度，本文為便於定量討論，祇考慮玻璃製門形浮沈子。密度等於質量除以體積，浮沈子材料的質量固定，氣體質量相對很小可以忽略，當浮沈子內氣體受壓而體積減小時，進入浮沈子內的流體量增多，使浮沈子內流體的重量變大，即浮沈子的總質量增加，在浮沈子包含氣體、流體的總體積不變之下，浮沈子的平均密度因而增大。

## 波義耳定律的使用

問題：玻璃比重 1.2，有一玻璃製浮沈子重 12 克，在一大氣壓下置於水中，設  $1 \text{ atm} = 1000 \text{ gw/cm}^2$ ，試回答下列問題：

- (1) 一大氣壓的空氣多少  $\text{cm}^3$  在浮沈子內時，恰能使其浮於水面沒頂？
- (2) 若浮沈子內存有一大氣壓空氣  $4 \text{ cm}^3$ ，當水面氣壓多大時，浮沈子開始下沈？
- (3) 水面氣壓  $1 \text{ atm}$ ，若注  $1 \text{ atm}$  空氣  $2.1 \text{ cm}^3$  於浮沈子內，手持其至  $100 \text{ cm}$  水深處，再放手。浮沈子將上升、不動還是下沈？
- (4) 同(3)，若扶至  $50 \text{ cm}$  水深處放手，浮沈子將如何？
- (5) 同(3)，若扶至  $20 \text{ cm}$  水深處放手，浮沈子將如何？

本題關鍵概念為；浮體浮力等於物重，液壓傳達，壓力改變氣體體積，氣體體積改變浮力。

解答：

- (1) 先計算浮沈子本身的水中淨重；

$$\text{玻璃體積 } V = M/D = 12 \text{ g} / (1.2 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}) = 10 \text{ cm}^3。$$

$$\text{玻璃浮力 } F = D \cdot V = (1 \text{ g/cm}^3) \cdot 10 \text{ cm}^3 = 10 \text{ g}。$$

浮沈子在水中淨重等於物重減去玻璃浮力即  $12 - 10 = 2 \text{ (g)}$ 。水的密度  $1 \text{ g/cm}^3$ ，故需排開  $2 \text{ cm}^3$  水的浮力來抵消  $2 \text{ g}$  的浮沈子淨重。因此需  $2 \text{ cm}^3$  氣體。

- (2) 由(1)知氣體體積從  $4 \text{ cm}^3$  變成小於  $2 \text{ cm}^3$  時，浮沈子將下降。

依波義耳定律； $P_1 V_1 = P_2 V_2$ ， $1 \cdot 4 = P_2 \cdot 2$ ，得  $P_2 = 2 \text{ (atm)}$ ，故壓力大於  $2 \text{ atm}$  時浮沈子下沉。

- (3) 液面下所呈液壓  $P = h \cdot D$ ，其與大氣壓的和才是浮沈子內氣體所受總壓。

$$100 \text{ cm 深的水壓 } P = 100 \text{ cm} \cdot (1 \text{ g/cm}^3) = 100 \text{ g/cm}^2，\text{爲 } \frac{100}{1000} = 0.1 \text{ (atm)}。$$

浮沈子內氣體受壓  $1 + 0.1 = 1.1 \text{ (atm)}$ ，其體積依波義耳定律； $1 \cdot 2.1 = 1.1 \cdot V_2$ ，得  $V_2 = 1.91 \text{ (cm}^3)$ 。

此時氣體排水  $1.91 \text{ g}$ ，浮力小於淨重，故浮沈子下沉。

- (4)  $50 \text{ cm 深的水壓爲 } 50 \text{ cm} \cdot (1 \text{ g/cm}^3) = 50 \text{ g/cm}^2。$

$$1 + (50/1000) = 1.05 \text{ (atm)}。$$

$$1 \cdot 2.1 = 1.05 \cdot V_2，\text{得 } V_2 = 2.0 \text{ (cm}^3)。$$

此時氣體排水  $2.0 \text{ g}$ ，浮力等於淨重，故浮沈子停住不動。

- (5)  $20 \text{ cm 深的水壓爲 } 20 \cdot 1 = 20 \text{ (g/cm}^2)。$

$$1 + (20/1000) = 1.02 \text{ (atm)}。$$

$$1 \cdot 2.1 = 1.02 \cdot V_2，\text{得 } V_2 = 2.06 \text{ (cm}^3)。$$

此時氣體排水  $2.06 \text{ g}$ ，浮力大於淨重，故浮沈子上升。

液體密度會影響浮力；因浮力等於排開流體體積乘以流體密度。例如上題的浮沈子；注入  $5 \text{ cm}^3$  的  $1 \text{ atm}$  空氣時恰可使其浮於密度  $0.8 \text{ g/cm}^3$  的油面沒頂。其計算方法是；

$$\text{玻璃的浮力爲 } (0.8 \text{ g/cm}^3) \cdot 10 \text{ cm}^3 = 8 \text{ g}。$$

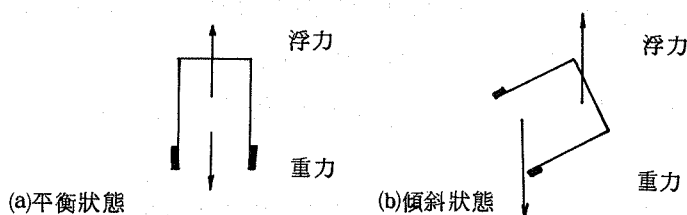
$$\text{浮沈子在油中淨重爲 } 12 - 8 = 4 \text{ (g)}。$$

$$\text{需排開油 } 4 \text{ g}，\text{排開油的氣體體積爲 } 4/0.8 = 5 \text{ (cm}^3)。$$

## 穩定的浮沈子

浮沈子像浮標一樣；在水中必須形成不倒翁式的穩定平衡，任何外力打擾皆形成恢

復原狀的力矩。浮沈子的質量中心位置愈低於其浮力中心，則其傾倒時恢復力矩愈大；圖七(a)顯示平衡的浮沈子，其質量中心受向下的重力，而浮力中心受向上的浮力，兩力方向相反但在同一直線上。當浮沈子受外力作用傾斜如圖七(b)時，浮力與重力的方向仍然相反，但兩力不在同一直線上，因浮力在上且向上，重力在下且向下，故形成恢復原



圖七 浮沈子的恢復力矩

狀的力矩。製作浮沈子時加密度大的物質在其底部，可降低重心位置。保留空間於浮沈子上部，利用氣體密度小，會上浮的特性，使氣體與浮沈子材料的聯合浮力中心位在浮沈子的頂部。

## 結 語

浮沈子的結構簡單，製作不難，但設計一個能夠顯示原理的浮沈子需要巧思。學生利用簡單材料自製浮沈子時；可激發其思考「如何」及「為何」。浮沈子的浮沈涉及浮體原理、液壓傳達、氣體定律、流體密度、力的平衡、恢復力矩及能量轉移等多項概念，甚至可討論溫度的影響及水蒸氣分壓的存在，既能作定性討論，又可行定量探究，藉此能激發學生的科學玩具創造思考。設計一個浮沈子的教學單元適用於國中生創造性思考活動。

## 參考資料

1. 蕭次融，「浮沈的玩偶與浮體的比重」，科學教育月刊，民國79年9月。
2. R.B. Sund, B.W. Tillery and L.W. Trowbridge. elementary science discovery lessons, the physical sciences. Allyn and Bacon, Inc., Boston, 1970.
3. 池本義夫編，藤岡由夫等監修，第59頁，三訂增補；物理實驗事典。講談社，東京都文京區音羽2-12-21，昭和60年12月。