

密閉的浮沉子

設計者/大學入學考試中心
蕭次融

一、目的

以簡單的器材製作浮沉子，體驗浮沉原理，探究從「寶特瓶外」手壓時物體浮沉的變因，並操控浮沉子的沉浮次序。本實驗要求學生親自製作浮沉子並調整浮沉子的密度，以體會浮力原理，享受操控浮沉子的樂趣，進而比賽誰最能操控浮沉子聽話，使其依序下沉，反序上浮。

二、原理

物體在水中，若物體的密度大於其周圍的水的密度，物體就下沉。反之，若小於水的密度，物體就不會下沉，而下沉的物體就會上浮。以此推之，若兩者的密度相等，物體就會停在水中。物體的密度(D)與質量(M)以及體積(V)的關係如下：

$$D = \frac{M}{V}$$

由上式可知要改變物體的密度有兩種方式：一為固定 M ，改變 V ，另一為固定 V ，改變 M 。就浮沉子而言，這兩種方式均可以做到，均可以使浮沉子的密度比其周圍的水密度大或小，甚至相等。若能夠如此調整就可操控浮沉子的下沉或上浮，以及停在水中。

「帕斯卡原理」說：「密閉流體的任一部分受壓，所受的壓力強度會傳至流體的每一部分，大小不變」。因此，在裝滿水的密閉寶特瓶外的任一地方施壓，瓶內的浮沉子會感受到壓力。若浮沉子有小孔可讓水進出，則水會從小孔進入浮沉子內，浮沉子增加重量而往下沉；若放鬆壓力，則被壓進浮沉子內的水就會流出來，浮沉子減輕重量而浮上來。浮沉子的這種沉浮原理與潛水艇的沉浮原理相同，活動一就是基於這個原理而設計的競賽。

若浮沉子完全密閉，水不能進出浮沉子，就不能改變其重量，但若能改變其在水中的體積，就可依阿基米得原理改變其在水中所得的浮力，也可以操縱其沉浮次序。例如用塑膠滴管所製成的密閉浮沉子，因塑膠的軟硬不同，浮沉子受壓改變體積的程度以及快慢的速率不同，就可以因其在水中所得浮力改變的快慢，用來控制其沉浮次序。浮沉子的這種沉浮原理與魚兒沉浮的原理相似。活動二就是基於這個原理而設計的競賽。

三、活動一：可調整重量的浮沉子依序沉浮

★場地需求

沒有特別的需求，課桌椅也可以。

★使用器材

大會器材：吸管（內徑約0.5～0.7 CM）10支、銅釘（6分）60支（競賽後大會統一回收）

自備器材：寶特瓶（透明，約600 mL）、蠟燭、打火機、鉗子、尺、剪刀、美工刀、簽字筆（油性）、茶杯、抹布、浮沉勾（製作方法，見附件一）

★競賽說明

(一)操作方式

於40分鐘內，在現場每兩人隊員一組製作 n 個可調整重量的浮沉子（ n 的大小不限，製作方法，見附件一），在其上端的兩面均要寫號碼（必須順號，不可缺號），並調整好後放進透明的寶特瓶（約600 mL）內，使其能依編號（1、2、3、... $n-1$ 、 n ）順序下降後，再依順序（ n 、 $n-1$ 、...、3、2、1）上升。

- 1.每隊要製作浮沉子兩瓶，每兩人隊員一組，要合力製作一組浮沉子共用，輪流操控同一個寶特瓶，使其自製的浮沉子依序沉浮。
- 2.大會提供吸飲料用的吸管（內徑約0.5～0.7公分）10支及6分的銅釘60支。
- 3.製作與調整時間共40分鐘。
- 4.各隊自備剪刀、美工刀、鉗子、打火機、蠟燭（不得使用其他火源，違規者取消該隊參賽本項資格）、油性色筆、尺、寶特瓶（用油性筆，劃一中線）、抹布、「救生員（浮沉勾）」或鑷子等。

(二)注意事項

1. 操控浮沉子時，必須一個浮沉子完成動作後，才輪到下一個，例如下沉時，1號浮沉子完全沉到瓶底，其他浮沉子全部浮在瓶內的上端，而且各浮沉子的頭部都要頂出水面，即所謂的「頂天立地」，等候裁判認定1號浮沉子已完成動作後，說「下一個」口令時，才可使2號浮沉子開始下降，而在2號的浮沉子下沉的過程中，1號浮沉子要「立地」，3號以上的浮沉子要「頂天」等候，以此類推至n號浮沉子。
2. 操作「下沉」時，任一浮沉子的下端過了「中線」，就「視同下沉」，若這個浮沉子不該下沉，就算這個浮沉子違規下沉。要下沉的浮沉子過了中線後，要使其底端立在寶特瓶的底部，亦即「立地」後，才可以視為完成了下沉的動作。
3. 操作「上浮」時，注意事項類同上述的下沉動作，亦即最後下沉的n號浮沉子上浮到「頂天」，裁判說「下一個」口令後，(n-1)號的浮沉子才可開始上浮的動作。在上浮的過程中，n號要頂天，(n-2)號以下的浮沉子要立地等候。
4. 在操作「上浮」的過程中，任一浮沉子的頂端過了「中線」，就「視同上浮」，因此，若這個浮沉子不該上浮，就算其違規上浮了。
5. 已依序完成上浮動作的浮沉子，在操作其他浮沉子上浮時，不論任何原因下降了，也視同違規。
6. 操作1~3號的浮沉子時，不管下沉或上浮，均須單手操控，違者不計其成績。
7. 評分方法見後述，從評分的例子可以看出，要得點高，關鍵在於操控動作要確實，不在於浮沉子多。
8. 本項活動所需的浮沉子，雖然必須在現場指定的時間內製作，但因其製作與調整吸水量，均需要相當多的練習才能熟練，而所需材料均很容易取得，因此各位參賽者，要在事先勤加練習製作與調整以便操控浮沉子。

(三) 評分標準

1. 任何依序下降或上升的每一個浮沉子，成功就得1點，而未依序下降或上升的浮沉子，亦即下降時超前，上升時落後，則視同違規，扣0.5點。浮沉子的編碼必須順號，任何缺號或未兩面都寫號碼的浮沉子，均視同違規，每一缺號或未兩面都寫號碼的浮沉子均扣0.5點。
2. 例如下降的順序是1253476，則因5號與7號的浮沉子超前下降，就視5號與7號的浮沉子違規，因此只剩下12346號的5個浮沉子依序下沉，可得5點，但因5號與7號違規，扣 $(0.5 \times 2) = 1$ 點，所以實得4點；若是1345627則因3456均超前於2，先下降，故只能算127號的3個浮沉子，共得3點，但因3、4、5、6號四個浮沉子違規超前扣 $(0.5 \times 4) = 2$ 點，所以實得1點；若是2345671，則只能算1號浮沉子成功，故可得1點，但因其他6個浮沉子均超前扣 $(0.5 \times 6) = 3$ 點，所以實得-2點(負二點)。同理，上升時也以類似的方式計點，示例如表一。
3. 每隊四人的成績加總排序後，依六等第計分法(見表二)計分，得成績 x ，作為該隊活動一的成績。

表一：依序沉浮的計點方式舉例

下降				上升			
次序	得點	扣點	實得	次序	得點	扣點	實得
$\overset{\cdot}{1}\overset{\cdot}{2}\overset{\cdot}{5}\overset{\cdot}{3}\overset{\cdot}{4}\overset{\cdot}{7}\overset{\cdot}{6}$	5	1	4	$\overset{\cdot}{7}\overset{\cdot}{6}\overset{\cdot}{5}\overset{\cdot}{3}\overset{\cdot}{4}\overset{\cdot}{1}\overset{\cdot}{2}$	5	1	4
$\overset{\cdot}{1}\overset{\cdot}{3}\overset{\cdot}{4}\overset{\cdot}{5}\overset{\cdot}{6}\overset{\cdot}{2}\overset{\cdot}{7}$	3	2	1	$\overset{\cdot}{5}\overset{\cdot}{6}\overset{\cdot}{7}\overset{\cdot}{4}\overset{\cdot}{1}\overset{\cdot}{2}\overset{\cdot}{3}$	3	2	1
$234567\overset{\cdot}{1}$	1	3	-2	$654321\overset{\cdot}{7}$	1	3	-2
$\overset{\cdot}{1}\overset{\cdot}{2}\overset{\cdot}{3}\overset{\cdot}{5}\overset{\cdot}{4}$	4	0.5	3.5	$\overset{\cdot}{4}\overset{\cdot}{5}\overset{\cdot}{3}\overset{\cdot}{2}\overset{\cdot}{1}$	4	0.5	3.5
$\overset{\cdot}{1}\overset{\cdot}{2}\overset{\cdot}{3}\overset{\cdot}{4}$	4	0	4	$\overset{\cdot}{4}\overset{\cdot}{3}\overset{\cdot}{2}\overset{\cdot}{1}$	4	0	4

註：表中次序欄的數字表示浮沉子的編號，數字上標有

一小點的，表示該浮沉子可以得點。

四、活動二：密閉浮沉子的依序沉浮

★場地需求

沒有特別的需求，課桌椅也可以。

★使用器材

大會器材：無。

自備器材：見後面十二的材料總表。

★競賽說明

(一)操作方式

- 1.活動二所用的浮沉子為密閉型的，製作過程比較費時，但可使用任何材料與方式製作，只要其沉浮的原理是基於改變浮沉子的體積而沉浮者均可以。因此材料自備，瓶子及浮沉子的材質、大小、形狀以及製作的方法均不限。另外，浮沉子的個數 n 也不限，但長度必須小於7公分，製作方法見附件一。每一個浮沉子均要用油性筆在浮沉子任一地方的兩面寫編號。於比賽前預先製作完成四瓶密閉式浮沉子攜至會場。在本項競賽開始前，要自行檢查浮沉子確實能依序沉浮，等候比賽。
- 2.不同於活動一的操作方式，每一瓶的浮沉子只由一個人操作。每隊四人，各自使用其各自的寶特瓶。
- 3.計點方式如同活動一，每一依序沉或浮成功者得1點，違規沉或浮者扣0.5點。

(二)補充說明

- 1.密閉浮沉子除了在其任一地方的兩面寫1、2、3……、 n 等數字外，不得外加任何東西，違規者每一浮沉子扣0.5點。
- 2.依序沉浮的評分、以及注意事項均與活動一相同，但判斷沉浮成功與否的依據如下：例如1號浮沉子沉到瓶底時，2號浮沉子必須頂天（浮沉子的頂端，頂到水面），依此類推。浮上時，反過來， n 號浮沉子浮到上面頂天時（ $n-1$ ）號的浮沉子要立地準備上浮。

(三)評分標準

活動二的計點方式如前述，與活動一的完全相同。

五、評等

1. 活動一：四個人的得點相加，按得點總和高低排序後，依六等第計分法（見表二）計分，得成績 x 。
2. 活動二：將四個人的得點相加，按得點的總和高低排序，然後依六等第計分法計分，得成績 y 。
3. 名次
4. 活動一的成績（ x ）加上活動二的成績（ y ）後得 z 。
5. 依 z 的高低排序後，再以六等第計分法計分與名次，分數最高的隊伍頒發單項競賽優勝獎。若得分相同時以活動二得點高者獲得，若活動二的得分再相同時，以抽籤決定單項競賽優勝獎。
6. 本項競賽：「依序沉浮的浮沉子」的得分與大會的另外三項競賽成績相加後，依成績高低排序，總成績高者，依序頒發大會獎，總成績相同時，依競賽手冊中各競賽項目的排序一一參酌，以其得分作為評比的標準。
7. 六等第記分法如表二：

表二：六等第記分法

名次	一	二	三	四	五	六
隊數	1	3	6	10	15	其它
得分	30	21	15	12	9	6

六、活動三：創意浮沉子

★競賽說明

只要能符合以改變浮沉子本身的體積沉浮者即可，沒有任何限制。歡迎有創意的造型與創意的操作方式，例如美麗的舞女跳華爾滋。

活動三的評分方式，依整體創意50%、功能30%、美觀20%等特色評分，得分最高的隊伍，頒發創意獎。此項評分獨立計算，不列入總成績內。

七、競賽時間

(一)製作時間 (含競賽說明) : 40分鐘

(二)評審時間 (含評分說明) : 30分鐘

八、總評分

活動一與活動二，分別排序，並分別以六等第計分得 x 與 y 後， x 與 y 相加即得 z ，再按 z 的高低排序後，依六等第計分法計分得名次，為本項目成績。最高分者若不只一隊則以活動二成績較佳者為第一名，可獲單項冠軍。(參見五、評等)

活動三，創意競賽成績不併入大會獎計分，另予頒發數名創意獎。

九、給評分者的建議

(一)檢查事項

- 1.活動一：(1)寶特瓶用簽字筆或橡皮圈劃有中線；
(2)每一個浮沉子頂上雙面均寫編號，浮沉子的數目不限；
(3)製作浮沉子時，只可以用打火機或蠟燭。
- 2.活動二：(1)寶特瓶用簽字筆或橡皮圈劃有中線；
(2)每一個浮沉子，必須在其任一地方的兩面書寫編號，浮沉子的數目不限；
(3)任一密閉浮沉子，均不得外加任何東西。
- 3.檢查未通過者，取消該項目參賽資格。**競賽時，號碼脫落或消失者，每一浮沉子扣0.5點。**
- 4.評分時一定要嚴格遵守「頂天立地」的要求，以執行判別得點與否，如此才可避免爭議。例如下沉時，第一個下沉的浮沉子一定要沉到瓶底(所謂立地) 時，第二個要沉的浮沉子要在瓶內水面的頂端(所謂頂天)，始可得點，否則判定下沉無效。同樣上浮時，準此方式判定。

(二)學生操作

- 1.比賽活動一時；(1)寶特瓶可放在桌上，或手拿瓶子，懸空操控均可，但1~3 號浮沉子的下沉與上浮必須單手操作。
(2)注意每一操作必須確實，亦即遵守「頂天立地」，學生完成一個動作後必須喊口令「下一個」，學生才可啟動下一個動作。

2.比賽活動二時；同活動一

十、給競賽者的建議

- (一)請參考「給評分者的建議」，確實做到符合各檢查項目以及操作時應注意事項。
- (二)活動一與活動二的器材均容易取得，因此要事先勤加演練。
- (三)活動一的 n 個浮沉子，頂端的兩面均須有編號，違者會被取消參賽資格。
- (四)調整浮沉子的沉浮次序很費時，因此在現場一組兩人共同製作了4個浮沉子後，建議留一人製作5、6、……、 n 號的浮沉子，另一人開始調整浮沉子的沉浮次序。
- (五)製作活動二的浮沉子，雖然可以使用一般喝飲料用的塑膠吸管，但因其沉浮是基於體積的改變，因此浮沉子的材質要軟的比較好，而且可壓的空間要大一點（氣體的壓縮性比較大），3 mL塑膠滴管的頭球部分是很好的材料，其製作方法請參閱十一所列的參考文獻。
- (六)活動二的製作很費時，要浮沉子完全密閉。浮沉子密封後，其重量不能再調整，因此要多製作幾個替換。
- (七)活動二的裝置，因必須事先（可能好幾天前就開始）製作，因此時間一久，瓶內的水可能會有氣泡或長霉菌，而影響浮沉子的沉浮。因此建議使用煮開過的熱水。稍冷後即倒入瓶內，蓋好蓋子，等其冷到室溫，才放入浮沉子。

十一、參考文獻

1. 蕭次融，「浮沉潛艦」，在〈動手玩科學2〉，pp.10~17，遠哲科學教育基金會，台北，2002年9月。
2. 蕭次融，「聽話的浮沉子」在〈第十三屆遠哲科學趣味競賽〉分區手冊，pp.17~34，2007年7月。
3. 蕭次融、余甄紘，「聽話的浮沉子」pp.31~35，307期，2008年4月；
「跳號沉浮的浮沉子」pp.35~39，308期，2008年5月，科學教育月刊，台灣師範大學。

十二、材料總表

名稱	品名	規格	數量	備註
活動一	吸管	內徑0.5~0.7CM	10支	大會發給
	銅釘	6分長	60支	大會發給(賽後回收)
	寶特瓶(透明)	約600 mL	2支	自備
	茶杯(透明)	約250 mL	2個	
	簽字筆	油性	2支	
	剪刀		1把	
	美工刀		1把	
	蠟燭		4支	
	打火機		1個	
鉗子		2把		
	浮沉勾	見附件二	2支	
活動二	密閉浮沉子	見附件一	4套	自備

十三、時間總計

(一)本項競賽時間：共計70分鐘

(二)製作時間(含說明及領取材料)16隊共為40分鐘

(三)評審時間：16隊共30分鐘

附件一、浮沉子的製作與操作

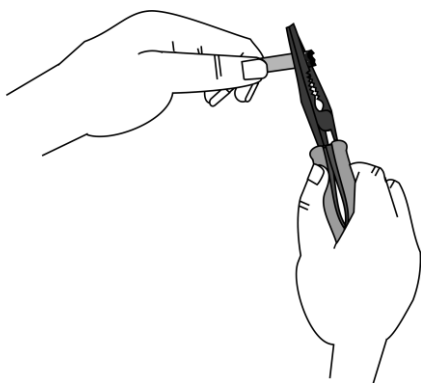
附件二、浮沉勾的製作

附件一、浮沉子的製作與操作

(浮沉子)浮沉玩偶的種類很多，作法亦多。以下僅舉簡便的例子供作參考：

(一)使用吸飲料用的吸管製作浮沉子

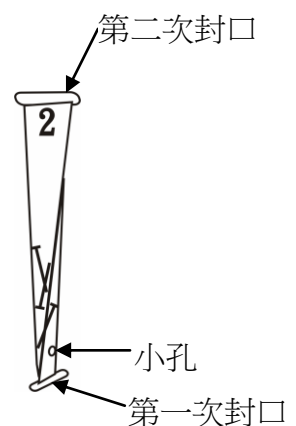
1. 剪一段吸飲料用的吸管(約5公分長)，用打火機、酒精燈或蠟燭火焰底部的外焰熱一熱(吸管靠近外焰，不可放進焰內)，使吸管稍微熔化後用箝子夾緊，以封住管口如圖一，或放在瓶蓋上，用打火機或剪刀等的邊緣壓扁管口，使其密封，如圖二。
2. 在吸管內放入2~4支(視吸管的粗細與長短而定)的銅釘(不易生銹)後，用同樣的方式封住吸管另一頭的管口。封這一個管口時，要與先前封住的管口垂直，如圖三。然後在兩端均封了口的吸管上端寫一個號碼(例如圖三的上端寫一個2字)，另一端用另一支銅釘扎一小孔，如圖三中吸管的下端有一小孔。
3. 同上述製作步驟1與2的方式，製作一組n個浮沉子。在n個浮沉子的上端兩面都分別寫編號1~n。
4. 以上是活動一要使用的浮沉子製作程序。活動二的浮沉子要完全密閉，因此在上述步驟2的最後，不需要在浮沉子的一端扎小孔，其餘步驟完全相同。



圖一、使用箝子製作浮沉子



圖二、用打火機壓扁(封住)管口



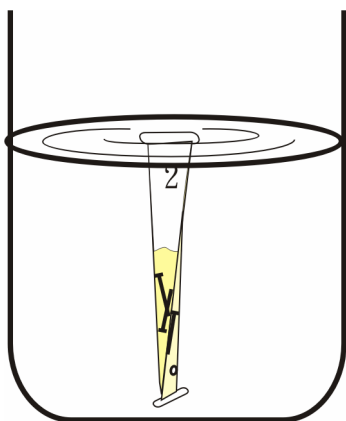
圖三、吸管的兩次封口互相垂直

(二)觀察浮沉子的沉浮

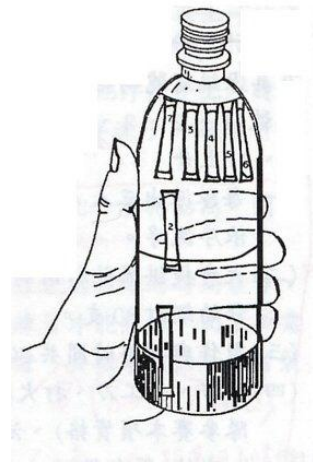
- 1.將製作好的浮沉子，放入茶杯內的水中（注意看浮沉子的末端，有一小孔的那一端要在下面），用手指壓扁浮沉子的中腹部位後，在水中放開手指，浮沉子就會吸進一點水。
- 2.要細心調整浮沉子內的水量，當手指放開後，浮沉子必須只露出水面一點點如圖四，如果不是這樣就要重覆步驟1。
- 3.調整好的浮沉子放入寶特瓶（瓶內裝水約9.5分滿），蓋緊瓶蓋後，用手掌輕壓瓶子，試試浮沉子是否會沉下瓶底？放鬆壓力，浮沉子是否會浮上來？若不是，就必須取出浮沉子，重新在杯中調整浮沉子內的水量，很可能只差一滴或半滴水而已。然後再放入茶杯內，確定其浮沉情況適當後，才可放入瓶內再試。
- 4.若成功了，就注意觀察浮沉子在沉浮的過程中，浮沉子內的水面是否上升或下降，其水面高低相差如何？

(三)操控浮沉子依序沉浮

- 1.將編號1與2的浮沉子，同前述步驟1~3的方法調整，放入寶特瓶內，當手掌壓寶特瓶時，是否1號會先下沉，之後2號才開始下沉？放鬆手壓時，2號會先於1號浮上來？
- 2.同樣方法調整浮沉子3號後，放入寶特瓶內，試一試3個浮沉子是否會依序下沉，並反序浮上來。若成功了，就用同樣的方法調節4~7號的浮沉子，在茶杯內調整其浮沉程度適當後，才放入寶特瓶內，試試其是否依序下沉，反序上浮，以挑戰聽話的七個浮沉子，如圖五。



圖四、浮沉子的頂端，只露出水面一點點



圖五、操控浮沉子的方式

(四)補充說明

1.本來好好的浮沉子，為什麼現在不聽話了？

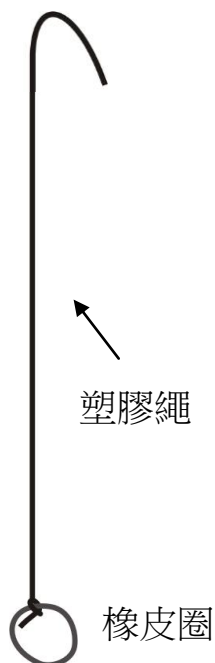
很可能是因為吸管(浮沉子)內的水位太低。在這種情況下，若壓放寶特瓶的力道太大，就會導致浮沉子內的空氣，以氣泡的方式跑出來，如此水就會進入浮沉子，浮沉子的密度變大就會沉在瓶底，即使放鬆手壓的壓力，浮沉子也不再浮起來。另外，吸管放在寶特瓶內太久了會長霉，而瓶內的水溫改變，也會影響浮沉子的沉浮。

2.要如何才能將沉在瓶底的浮沉子拿出來？

使用「救生員」把寶特瓶內的水倒出來，當然可以拿出浮沉子，但這樣不僅浪費水，也不方便。最好的方法是用「救生員(浮沉勾)」如附件二，將浮沉子套鈎上來。

附件二、浮沉勾的製作

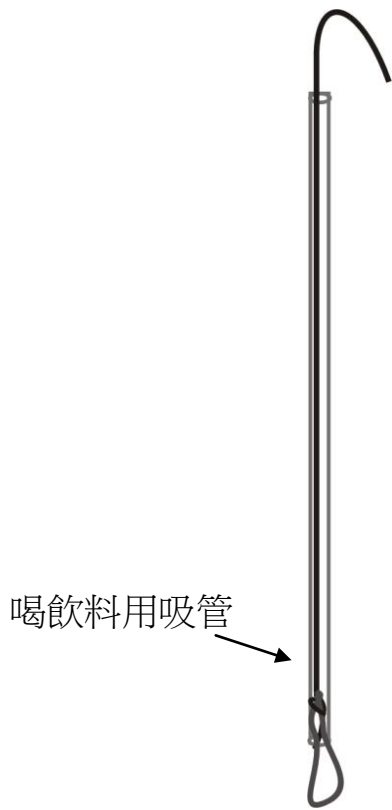
- 1.取一條塑膠繩子，約33公分長。
- 2.在繩子的一端綁一個小橡皮圈，如圖一。
- 3.繩子的另一端穿過喝飲料用的吸管，如圖二，就完成了一個浮沉勾。
- 4.要取出沉在瓶底的浮沉子，要先使橡皮圈與吸管成為約直角，比較容易從上套住沉在瓶底而直立的浮沉子，如圖二，
- 5.若要取出平躺於瓶底的浮沉子，就要調整浮沉勾的橡皮圈，使其幾乎平行於吸管如圖三，如此比較容易橫移橡皮圈，以套上躺於瓶底的浮沉子。
- 6.將浮沉勾伸入寶特瓶內，橡皮圈套住了浮沉子後，一手的大姆指與食指抓住吸管的頂端，另一手的大姆指與食指拉緊塑膠繩（請見圖四的左右手指架勢），使圈圈套緊浮沉子，就可以將沉在瓶底的浮沉子勾上來。



圖一、塑膠繩子的一端綁住一個小橡皮圈



圖二、塑膠繩穿過喝飲料用的吸管，橡皮圈與吸管成直角



圖三、橡皮圈與吸
管平行



圖四、手指抓住吸管的頂
端，另一手的手指
拉緊塑膠繩以束
緊浮沉子