

界面力學—表面張力之小兵立大功

篇名：

界面力學—
表面張力之小兵立大功

作者：

李景安。彰化女中。三年八班

壹 • 前言

之前在電視冠軍看到「拉長泡泡比賽」，每個選手都有獨門絕招讓泡泡能拉很長又維持不破，到底拉長泡泡有什麼技巧？這其中又包含什麼原理？而水蠅是如何在水上行走？植物吸收水分這件事，微觀來看，他的機制是如何形成的？以下將從原理著手，再一步一步來討論。

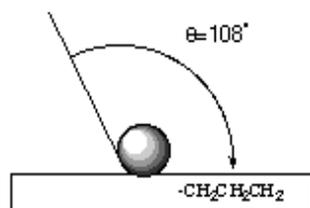
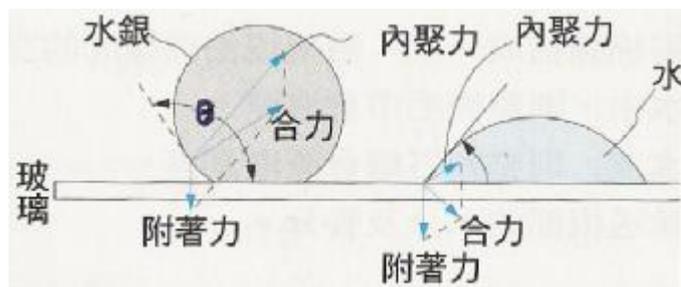
貳 • 正文

一、首先，介紹幾個影響界面的重要基本力

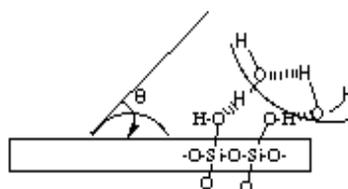
01、內聚力與附著力

內聚力，同類分子間的吸引力，如水分子間的吸引力，其方向對稱於液體的分布；附著力，異類分子間的吸引力，如液體分子與容器壁分子間的吸引力，其方向與管壁方向垂直。

而當內聚力大於附著力時，液滴與桌壁的接觸角(θ)為鈍角，如兩圖的左半邊，液滴內縮趨向球狀且不會濡溼界面；當附著力大於內聚力時，接觸角為銳角，如兩圖的右半邊，液滴被拉開成扁平狀且會濡溼界面。



非氫鍵分子：內聚力 > 附著力



帶氫鍵分子：附著力 > 內聚力

02、表面張力(surface tension)：

作用在液體表面，欲使液體表面積縮小的力量，稱為表面張力。一液體其內部的每一分子均受到他身旁其他分子的引力影響，然而在表面的分子，所受的吸引力僅限於涵蓋液體的這一方向，致使分子被往內拉而更緊密的擠在一起(如圖 1)。

確切一點的說法，液體表面有一層膜因分子間引力而受垂直向下的內聚力，此層分子間因引力方向向下，故位能較高，且根據位能公式- $\frac{GMm}{R}$ 得知，位置越偏上、 R 越大的分子(如 S 點)，其位能越高。而自然界的趨勢是位能愈小愈好(註 1)，所以說在此膜中的分子數愈少整個系統就會愈安定；而因為膜的厚度大約固定，所以導致此膜的表面積愈小愈安定。而平行於液面愈縮小其面積的分力稱為表面張力。

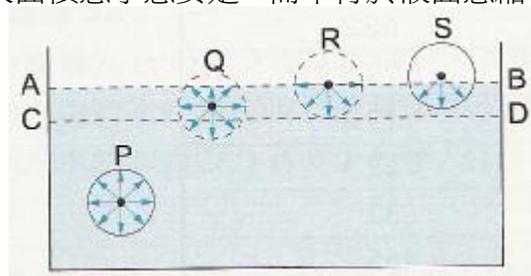


圖 1

而單純就物理上的定義來說，表面張力為液體表面接觸邊緣，每單位長度所受的垂直拉力。即 表面張力(T) = 垂直拉力(F) / 接觸長度

就能量的角度來看，表面張力就是液體表面每單位面積所儲存的位能。即 表面張力(T) = 內聚力所做的功 / 總面積增加量 = $\Delta W / \Delta A$ (J/m²)

而影響表面張力的因素有以下 4 點

- (1) 溫度增高，表面張力減少
- (2) 液體的種類與狀態，一般較易蒸發的液體，分子力較小，表面張力較小(如酒精)
- (3) 外加雜質，加入比原液體表面張力小的物質，表面張力會減小。如外加有機酸於水中，可減少水溶液的表面張力。
- (4) 不同的接觸面有不同的表面張力

液 體	表面張力 (N/m)
水 - 空氣	0.077
汞 - 空氣	0.47
酒精 - 空氣	0.0258
橄欖油 - 空氣	0.0327
橄欖油 - 水	0.021
酒精 - 水	0.0023

03、毛細現象(capillarity)

在一支非常狹窄的試管中，液面會產生彎曲的形狀。這種彎曲的現象，是由液體的表面張力所引起的，並且他的形狀是取決於液體潤濕管壁的程度。由於表面張力的緣故，一液體的表面其凸出部分這一邊的壓力是較凹入這一部份為大。因此，在管中的液體就會被往上推進，這過程就叫毛細現象。當液柱之壓力等於液面平坦時與凹入時所產生的壓力差時，液體就會停止上升。

二、應用

01、水上飄



有一種昆蟲水蠅，能自在的在水上漫步；日本的忍者，也有水上飄的一個技法；而中南美洲有一種蛇怪蜥蜴(Basilisk lizard)，每秒能在水上飛跑 1.5 米，並在水上連續跑 4.5 米以上。而水上飄的技術，必須要抵抗的是本身重量造成的下沉力，和行走時在水上踏步造成的衝力，從水蠅的水上漫步可得知－水上飄是需要有一個質量相對於觸地面積極小的身軀；而忍者水上飄又如何能解釋？以「水蜘蛛」(註 2)藉力，加上忍者的輕功疾行，減少在同一面積上的時間；而蜥蜴的水上飛跑，腳步分解動作呈現了完美的力學，「拍擊」、「撲打」、「還原」這三個連續動作(註 3)，就好像打水瓢一樣，以一個斜度將石頭射向水面，再巧妙地利用流體的特性白努力定理，水瓢再往上製造另一個斜拋運動。(註 4)

基本上，要打造一個現代人的「水蜘蛛」，考量到現代人沒有忍者的輕功疾行和平衡感，要克服的問題更加的繁雜。我們這部分討論的表面張力，佔了很重要的角色。爲了增加表面張力，我們需要一個很大的接觸面積，但受限於速度因子，過大的面積將使移動不方便；而我們也可以向蛇怪蜥蜴取經，它們腳掌底部有類似於葉子一樣的懸垂物，在水上行走時，懸垂物就張開，使腳掌與水面的接觸面積大增；我們可以假想，我們只是要將一個行走的人從郵輪上，搬到小船上，再到甲板上，再到一塊浮木上，然後中間一劃，兩腳各控制一塊木頭罷了！基於

以上考量，我覺得還是忍者的水蜘蛛最優良，但若改成葉片型或是水滴型的或許更好，考量了人體重心的移動會造成腳踏下去時有分力向前，所以厚度形狀之類的細節都可再商榷。也可以利用外加雜質使表面張力增加，或者是讓整個液面溫度減小，但那影響都是極小的，或許冬天晚上的海面(未結冰)是個條件挺符合實驗地點，但這一切只是從理論來考量。

02、植物水分吸收

有一題高中題目是這樣的(註 5)，他未提到葉的蒸散作用助水上升的數據，然而在生物說蒸散作用是主要的拉力，應該要抵過毛細作用所形成的拉力吧？先不管此，由於維管束是由植物纖維組成，半徑極小加上纖維內的空隙也極細，製造了一個毛細現象的最佳條件；水分子靠著分子間的氫鍵和與纖維的附著力，加上溶有許多離子增加了與纖維的附著力，便成就了植物吸收水分的大事。

例題 40

〈毛細現象與水分輸送〉

1893 年奧地利植物學家 Josef Bohm 認為水的輸送受三個因素影響：滲透壓、毛細現象、葉的蒸發。高 50 m 的樹木之木質管（流通樹汁的管），其半徑為 2×10^{-4} mm 的均勻圓柱體。如果表面張力是 0.05 Nt/m，且接觸角是 45° ，則使水分自根部到達樹頂的最小壓力應有多少？

【觀念】水在根部利用地底壓力與毛細現象沿著木質管上升

【詳解】(1) 毛細現象使水上升的高度 y_1

$$y_1 = \frac{2T \cos \alpha}{\rho g r} = \frac{2 \times 0.05 \times \cos 45^\circ}{10^3 \times 9.8 \times (2 \times 10^{-7})} = 36 \text{ m}$$

(2) 扣除 36 m 高的毛細現象，另外 14 m 的水柱壓力應由根部提供。

$$P = \rho g h = 10^3 \times 9.8 \times 14 = 1.4 \times 10^5$$

【答案】 1.4×10^5 牛頓/公尺²

03、界面活性劑

界面活性劑的定義可以這麼下：凡能使液體之表面張力大幅度降低而顯示出濕潤、滲透、分散、乳化、清潔等作用之物質皆是。凡一種化合物的分子若擁有一 COO^- 、 $-\text{SO}_3^-$ 、 $-\text{OSO}_3^-$ 及各級胺基等很容易親近水分子（強親水性）的根基和容易親近油分子疏離水分子（親油性或疏水性）的烷基，並且親水基與親油基之間有適當平衡時，該化合物就是界面活性劑。此外，雖然分子中僅有諸如 $-\text{OH}$ 、 $-\text{O}-$ 、 $-\text{CH}_2\text{CH}_2\text{O}-$ 等等弱親水基而已，然其數目很多時，也同樣具有強親水基之作用。所以它們與親油基適當平衡時所形成的化合物也可以表現出界面活性劑之特性。

他的原理是利用界面活性劑在界面會形成疏水端，而疏水端對水是相當排斥的，進而破壞了表面水與水之間的內聚力，也就是表面張力。

同時，界面活性劑在超過臨界微胞濃度之時，水溶液中的界面活性劑可以形成微胞，把疏水性的一端藏在內部，避免與水分子接觸。而這些微胞的生成，就是造成當我們在測定界面活性劑水溶液之密度、導電度、表面張力、滲透壓及清潔力等物理常數之時，所發現的現象－「界面活性劑濃度變化至某一數值之後，這些物理常數突然出現轉捩點」的原因。而這類微胞反微胞可以是一個相當完美的化學反應容器，可以使反應物在離子中反應而不與水反應，這可能是在油污處理之外，界面活性劑的另一項意料之外的用途吧！

04、連環泡

要拉最長最大的泡泡，首先一定不能讓他很快就破了，所以形狀很重要。表面積要越小越好，以減少他耗在表面張力的能量，且要盡量避免製造泡泡結構的不均勻，也就是說，在邊邊角角之處，特別脆弱造成受力不平均便容易崩解，所以以圓是最好的形狀。至於大小，就不一定是越小越好了，若越小可能會造成泡泡尾部因太接近而收斂了下來；而太大又會使表面積增大，變得更不穩定。

還需要注意的是，界面活性劑與水的比例；而這點，我想以臨界微胞濃度的那一點最好，因為濃度太小亂度太大，而超越臨界微胞濃度又會破壞泡泡膜的表面張力，拉鋸之後，或許就是那點吧！不同的界面活性劑有不同的臨界微胞濃度，因此必須多次嘗試並輔助以數學線性規劃之類的小技巧找出那點。切記在溶界面活性劑時不能將空氣打進液中，小時後大家都有經驗的，泡泡灌是越搖越多氣泡，越難吹！因為若在拉泡泡之時還有其他小泡泡的表面張力在拉鋸的話，會削弱大泡泡的表面張力。

而還有一點值得關切的是一泡泡前端缺乏補給；關於這點，我想可以在圓的表面做點手腳，材質可以取材自小時候泡泡灌裡那支，因為他表面是凹凸不平的(摸起來刺刺的)，所以在凹處可儲存一些液體以補給前端，泡泡就不容易破了。

說的如此容易，但其實包括跑的速度和時間的控制和溫度的變化，都是很難取到恰到好處的。

參・結論

因為這個世界充滿許多介質，所以生活中遍佈了許多界面。界面的力學特別混亂，他可以是一個肉眼可見的分界、也可以是一段混沌不明的過渡帶，他是一個相當脆弱的結構，但我們可以用許多方法去穩定他、或是增強他的結構；可以利用界面上的力來實行一些日常生活中不可能辦到的事情，就像反微胞一樣；或許截至目前為止，還有很多良好的界面活性劑還沒被開發，或許交界的力學還另有其他的力，而我們把他們忽略了？或許能製造一個界面活性劑使的物與物的摩擦力減少到幾乎沒有呢？

這是一個很值得再深究的力學，因為有時，越在界面這樣一個微觀而絲毫都不能忽略的地方，表面張力這樣的小兵也能立大功！

肆・引註資料

(註 1) 依據熱力學的觀點，在任何一個封閉的物理系統中，有用的能量必將趨於最小，其亂度 (entropy) 則必趨於最大。

(註 2) 圖轉自網站【歷史街道】 <http://www.asahi.co.jp/rekishu/04-03-24/01.htm>

(註 3) 參考報導【北方網】

<http://tech.enorth.com.cn/system/2006/01/04/001203294.shtml>

哈佛大學有機與進化生物研究生托尼婭·赫塞和她的導師喬治·勞德進行了一項實驗。他們在水池裡放入一些可反光的玻璃微粒，然後將蜥蜴放入池中，將它在水面跑的全過程用高速攝像機拍下來。由於水裡有玻璃微粒，他們可以更清楚地觀察蜥蜴在水上跑的動作。

錄像顯示，蛇怪蜥蜴在水上跑的每一步動作可以分成三部分：拍擊、撲打、還原。拍擊水面時，腳主要是垂直運動；撲打時，腳主要向後運動；而在還原過程中，腳抬起，離開水面，回到下一步的開始動作。

赫塞分析認為，蛇怪蜥蜴的腳向下拍擊水面，迫使水下沈或從腳下流走，同時在腳的周圍形成一個氣袋，這個動作產生了一個支撐力。這個支撐力足以在蜥蜴的腳掌向後撲打時，將蜥蜴的身體支撐在水面上。而腿向後撲打又產生了使它前進的力。換言之，蛇怪蜥蜴有高超的水面行走技術，能產生一種類似於斜面支撐力的強大力量，使它保持在水面上。

赫塞表示：『蛇怪蜥蜴水上疾跑有點像我們騎自行車。如果你不蹬踏板，自行車就會慢慢地停下來，你就會翻倒在地。如果蜥蜴不在水面上快跑的話，它也會翻倒的。所以，它們需要的就是在跑動過程中保持身體穩定的力。』

(註 4) 《Nature》page 29。2004。vol 427

當角度在 20 度的時後，可以得到最佳的打水飄效果，也就是可以打出最多次數的水飄

(註 5) 《南一版新超群物質科學物理篇》。陳忠城編著。南一。2005