

有趣的靜力平衡玩具

周鑑恒

萬能科技大學 航空光機電系

本文改良一項靜力平衡教具。此教具利用磁力和若干條細絲的張力，維持物體的靜力平衡。在視覺上形成物體懸浮空中的奇異景象，十分具有教學價值。

關鍵字: 靜力平衡、磁力、力矩平衡

壹、前言

一項簡單而具有創意的教具，常常能引發意想不到的學習效果。本文介紹的教具是經過改良的創作，可用來演示靜力平衡的若干細節，其中用磁力---一種超距力---取代實際細絲的張力，除了使這項教具與眾不同之外，更能表現出靜力平衡的重要細節：力平衡時，物體所受的力，可以有不同的形態。

貳、簡單有趣的靜力平衡

靜力平衡是力學的基礎，在力學的教科書中，當談到牛頓運動定律或力的定義時，都會提及。在教科書中，討論靜力平衡時，往往畫力圖、或者做相關的計算。如果在比較艱澀的計算或分析之前，能夠演示一項有趣的教具，引起學生的興趣與好奇，同時展示靜力平衡的重要細節，將有助於提升靜力平衡的教學氣氛與品質。

有關靜力平衡的教具或玩具，在市面上其實不少，例如：平衡鳥、木樁上的酒瓶、平衡的叉子等等，都有其趣味性與美感，也都頗為引人入勝。這些已知的教/玩具如圖一(a)所示，相信許多讀者都十分熟悉。



圖一(a)



圖一(b)

圖一(a)：左圖為木樁上平衡的酒瓶。這項靜力平衡的玩具非常有趣，乍看之下令人感覺訝異，是一個非常流行的靜力平衡演示教具/玩具。右圖所示，為在餐桌上，利用刀叉及火柴棒，簡單製作成的靜力平衡小演示教具，看起來也非常特別，尤其是能夠隨興取用餐桌上已有的餐具製成，更散發一種即興的歡樂氣氛。

圖一(b)：這項教具就是本文所改良教具的前身。圖左的設計用鏈條來提供拉力，是不錯的巧思，因為鏈條明顯僅能提供拉力，而不能提供支撐的力量，所以感覺起來就相當令人匪夷所思。而本文改良的部分是將中間的鏈條改成磁力，這麼一來，就完全看不到抵銷重力的物件，更完全沒有提供支撐力量的感覺，更為引人入勝。右圖利用很細的拉索來進行靜力平衡，同時上方做了蝴蝶的裝飾，也是不錯的表現方式，均有可取之處。

圖片來源：

張慧貞(2016)。懸浮酒瓶之平衡，物理雙月刊，圖 1。取自：https://pb.ps-taiwan.org/catalog/ins.php?index_m1_id=3&index_id=213 (左)；Dreamstime.com。取自：<https://cn.dreamstime.com/%E5%BA%93%E5%AD%98%E7%85%A7%E7%89%87-%E5%B9%B3%E8%A1%A1-image48155685> (右)



圖一(C)



圖一(d)

圖片來源：

脆笛捲心酥(2020)。玩具人(Toy People News)，取自：[https://www.toy-people.com/?p=52593Instructables\(2020\).Levitating Side Table Made From Old Cardboard Boxes,from https://www.pinterest.com/pin/548946642083289575/](https://www.toy-people.com/?p=52593Instructables(2020).Levitating%20Side%20Table%20Made%20From%20Old%20Cardboard%20Boxes,from%20https://www.pinterest.com/pin/548946642083289575/)

在這些教具當中，有一項特別的教具，其實是一個簡單的靜力平衡裝置，用細絲(或用細的繩子、鏈條)將一個物體懸空起來，因為完全使用拉力，來抵銷重力並維持力矩平衡，看起來令人一時間難以置信(圖一(b))。其實它只是相當簡單的靜力平衡現象，不過演示效果相當不錯，總能吸引人們的目光，所以這項教具頗具教學價值。

參、靜力平衡的意義

所謂靜力平衡是指：某個靜止的物體所受的力，以及它所受的力矩，達到相互抵銷的狀態。也就是說，這個物體的受力處於力平衡以及力矩平衡的狀態。所謂力平衡就是這個物體所受外力的向量和為零。所謂力矩平衡，就是這個物體所受的外力，對任何一個靜止點所造成的力矩的向量和，也必須是零。

肆、改良的設計

這項教具或玩具原始的設計是，用細的繩索提供作用在物體上的力，因為物體的形狀有些怪異，所以讓人一時之間感覺有些奇幻，事實上，連接這個物體接近重心部分的拉索，提供向上的力量，以抵銷物體所受的重力，但是因為物體的形狀比較複雜，它所受的力矩必須要靠物體外側的若干條細索提供適當的拉力，來維持這個物體穩定的力矩平衡。如此一來，這個看起來不容易平衡的物體，才能夠穩穩地懸吊起來。雖然懸吊的方式令人一時之間匪夷所思，但是它能展示靜力平衡的重要細節，又能引起人們的好奇。特別是，如果選用很細的細絲，而這些細絲事實上又能提供很大的力量，在視覺上，更有一種奇幻的氛圍。

本文所提出的創新教具，就是改良此項教具而產生的創作。其中形狀奇怪的物體四周，仍用細絲(或鏈子)的張力提供必需的外力，以便維持力矩的平衡，但將物體原來用細絲(繩索)提供向上拉的力，改成磁鐵的磁力。也就是說，形狀看起來不容易平衡的物體，近中心附近所受的向上的力，是由看不見的超距力(也就是磁力)來提供。而四周仍然使用細絲提供必要的張力，以維持力矩平衡。

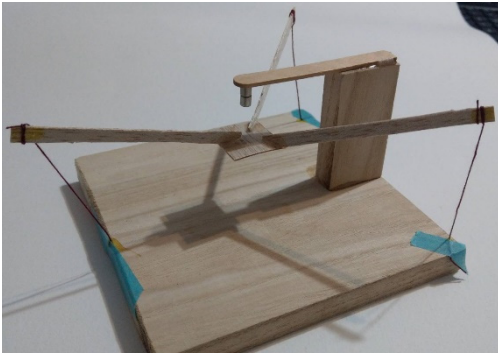
這樣的設計，主要是要同時維持形狀看起來不容易平衡的物體之力矩平衡與力平衡。向上的拉力以磁力取代，依舊能夠以簡單的方法維持它的力矩平衡。但是如果四周的張力也使用磁力來取代，因為磁力的特性，力矩平衡與力平衡都不容易維持。不過，將中間唯一向上的拉力以磁力取代，人們在一時之間更看不出其中端倪，更容易引起好奇以及興趣。

伍、製作與成品

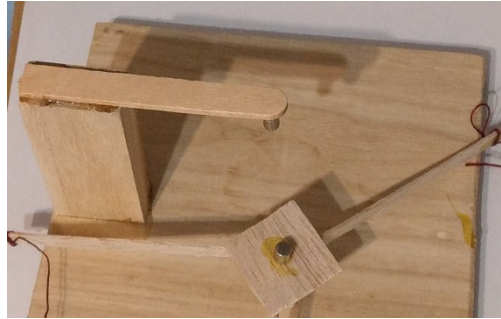
圖二所示，為這項創意的概念驗證，使用很小的磁鐵來進行初步的實驗，實驗非常成功。因為是驗證的性質，所以外觀上比較粗糙，但是這個實驗簡單證明這項創意的可行性。

首先製作底座，用一片木板製成底座，底座上延伸出一個支架，支架的形狀可以任意創作，在視覺上不引起注意為要，在支架的頂部，固定一個磁鐵，磁鐵與磁力的大小，

當然要配合要懸掛物體的重量(見圖二(b))。在初次嘗試時，不妨以小的強力磁鐵進行實驗。



圖二(a)



圖二(b)

圖二：作者在創作初期所進行的簡單驗證。所使用的磁鐵很小，創意教/玩具模型的尺寸也不大，但是已經充分證實“懸空”物體受到向上拉力可以利用磁力來取代，因此在可以目視的部分，這整個物體都不會被看到受到任何支撐的力量，它卻能夠懸浮在空中。右圖是物體底下的磁鐵以及底座支架上的磁鐵之特寫鏡頭。這兩個磁鐵在組裝完成後，因為異極相吸的緣故，所以會互相吸引。

接著製作一個形狀奇怪的物體，這個物體基本上是一個平台，平台上方延伸出三四支桿狀物，這個物體的總體形狀當然可以做任何必要的修改與美化，不過它的基本構造大致如此。在這個物體中間平台的底部，固定一個磁鐵(見圖二(b))，而物體向上方延伸的桿狀物的尖端則另外用細絲拴住。

其次，要調整物體中間平台的磁鐵與底座支架上磁鐵之間的距離，以便大概能夠抵銷物體所受的重量。然後再調整物體向四方延伸的桿狀物尖端細絲的張力與長度，以維持靜力平衡。這個步驟其實並不難達成，完成之後，如果因為物體的若干變形或安裝上的誤差，而不能被凌空吸住，可以在支架上或在底座支架頂端的磁鐵上，再增加磁鐵，這樣就能增強磁力，就能夠成功地將整個物體隔空吸在半空中，而以四周桿狀物的拉索，則用來避免失去力矩平衡、以及被上方的磁鐵吸住。

驗證了創作概念後，證實利用磁力確實可以達到同樣的目的。於是作者放大尺寸，做另一個更突出本創意的靜力平衡教具(圖三為掌握了設計要點之後放大並加強視覺效果的作品)。放大底盤，長與寬均是 30 公分，高度約 35 公分。上方類似桌面的懸空物體，長寬也都是 30 公分。磁鐵的高度約 2.6 公分、直徑約 2.6 公分，安裝在底座支架上，“懸空”物體下方的磁鐵厚度約 6 公厘，直徑約 2.6 公分。底座以及底座延伸出來的支架，分別用三夾板以及白楊木製作。上方的物體主要用巴沙木製作，所以它的重量其實不重，此“懸浮”物體只有與磁鐵連結的底部，用厚度 3 釐米的三夾板製成。

製作時，先將三夾板底座上方安裝一個倒 L 型的支架，支架的上用 AB 膠黏妥上述的超強磁鐵(高度 2.6 公分的超強磁鐵)。上方“懸浮”物體的製作方法如下：先將兩根巴沙木棒黏在薄的三夾板上，用 AB 膠黏接較為妥當，因為 AB 膠硬化之後非常堅硬，強度也足夠。之後再將巴沙木薄片(厚度約 4 釐米，寬度約 4 公分，長度約 30 公分的巴沙木)黏成正方形，再將這個正正方形與兩根與底部連接的巴沙木棒用 AB 膠黏在一起，形成一個強度足夠的物體。物體底部三夾板的底下再黏上上述的超強磁鐵(厚度約 6 釐米，直徑約 2.6 公分)。

接著把這個懸浮的靜力平衡教具組裝起來。因為磁鐵互相吸引的力量其實並不小，使演示的效果更為令人驚奇，所以在組裝的時候，先在底座支架上的磁鐵下方，用膠帶黏上一塊海綿或者是絲瓜布，作為緩衝(如圖三(a)所示)，以防意外使兩個磁鐵吸在一起，而破壞較為脆弱的巴沙木結構。然後在沒有拉索作用的情形(圖中白色的細線)，磁鐵就足以隔著厚厚的絲瓜布或者是海棉塊吸住整個物體，在此狀況下，只需對稱的利用三根細線就能將“懸浮”物體拉在底座上，此時細線宜拉緊。換言之，細線的一端綁在“懸浮”的物體上，另外一端綁在底座上，此時再用膠帶略略調整細線的長度，讓整個上方懸浮的物體略略離開海棉塊或者是絲瓜布，也就大功告成。



圖三(a)

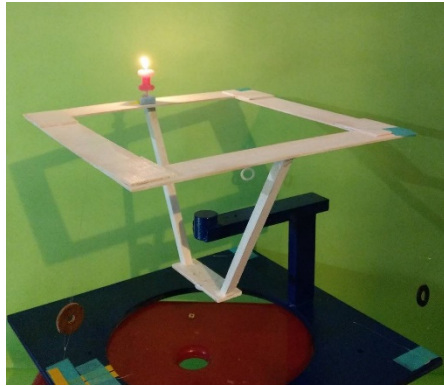


圖三(b)

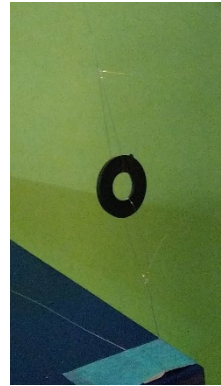
圖三:(a)製作完成這具教具之後，還需要適當結合上方的物體與下方的底座，以營造上方物體懸浮的意象。為了避免意外，先將底座支架上磁鐵的下方，用膠帶黏妥一塊海棉或絲瓜布。(b)組裝完成之後，即拆除絲瓜布，就可以看到上方物體似乎無緣無故的懸浮在空中，並且還須拉索向下拉住。

在整個視覺效果較佳、尺寸較大的創新教具完成之後，還可以進行若干的改良(見圖四)，以使這項教具的效果更為顯著。例如：將底盤漆成深色(例如：黑色、深藍色等等)；

或者將拉索改成鍊子，因為人盡皆知鍊子完全不可能提供支撐的力量，只有拉力，所以當三根細線改成鍊子之後，視覺效果更為震撼(避免有些人把細絲想成是非常堅硬的桿子而支撐整個上方的物體，使用鍊子可以完全去除這種可能性，以突出這項教具驚奇之處)。另外，如果可能，還可以減少拉索的數目，同時在懸空物體的上方再擺上若干小物體，更為增加這項教具神奇的視覺效果。



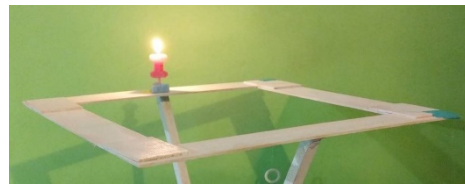
圖四(a)



圖四(b)



圖四(c)



圖四(d)

圖四：這項作品經過將底座以及上方懸浮的物體塗成對比色；細絲用環扣住，以凸顯細絲不可能提供支撐力；選用更細的拉索(圖上(b))；在上方物體上再置放小的裝飾品(燭火，圖(c)、(d)所示)，因為靜力平衡之所以引人注意，有部分原因是視覺造成的奇異效果，在看起來懸空的平台上燃燒燭火，進一步突破本文運用磁力的改進後所呈現的有趣景象(圖上(a))。

陸、應用與結語

平心而論，作為討論力學的開頭，靜力平衡當然非常重要，也不可以忽略，但是靜力平衡的確也稍嫌枯燥，因為靜力平衡討論的是：平衡而不動的狀態。如何使學習者感到有興趣，是一個蠻具挑戰性的工作。當然在市場上，因應這項要求與挑戰，已經有不少靜力平衡的教/玩具，例如上述的平衡鳥、不倒翁、木樁酒瓶等等，當然也包括這項教具的原型。

本文中研發的這項教具，看起來更為玄奇，同時也更有討論的空間。例如，在這項靜力平衡的實驗中，超距的磁力也包含在內，而共同形成靜力平衡的狀態，這點就顯示

了，無論是哪種形式的力，都可以一視同仁地造成力平衡。此外，為什麼只能用磁力取代中間的拉力，而難以用磁力也取代物體周邊的拉力，這也是非常值得探討的問題。當然這就涉及磁力隨距離變化的情形、以及穩定平衡與不穩定平衡的主題，所以這項教具能夠除了引起興趣之外，更能提供深入討論的空間。

在運用這項教具的實務方面，可以製作成動手做教具的套件，讓學習者在科學活動中親自組裝並加以調整，而對靜力平衡有更深入的了解；也可以放大它的尺寸，作為演示之用。當然尺寸放大時，因為磁鐵大小的限制而有所限制，同時也要注意大磁力所造成的危險性。

此外，在以磁力取代中間拉力的設計中，所用到的其它細絲，都要避免具有彈性，也就是說，這些細絲在受力時，長度盡量不要發生變化，否則會造成不必要的困擾。而細絲本身也可以作若干改良，例如：在細絲當中加環，讓觀眾明白知道這個細絲絕對不同於細細的桿子，絕對不會提供支撐的力量，所以觀眾會覺得一個奇怪的現象：整個物體受到重力，卻不往下墜，還要用只能提供張力的繩索向下拉。另外，這些細絲，必要時可以用很細的細絲，因為現代工藝通常都可以製成直徑很小、但是能夠提供很大拉力的細絲。

因為這項作品用磁力取代了中間的拉索，所以也衍生了若干的問題。必要時，可以進一步加裝輔助的零件，以便很方便的組裝這項作品。例如，在底座適當的地方加裝類似傳統弦樂器調整弦張力的簡單裝置，以便能夠仔細而輕鬆的調整用到的各條細絲之長度。

因為磁力的大小終究比較有限，所以看起來懸空物體的重量必須越輕越好，所以利用巴沙木或者其它輕質的木料，再利用適當的結構，製成又輕又硬的物體，也是一個有趣的課題，讓參與者能夠理解如何製作又輕又硬的物體。

參考文獻：

1. D. Halliday, R. Resnick and J Walker (2004), Fundamentals of Physics 7th ed. , Chapter 13, New York, John Wiley& Sons, Inc.
2. 張慧貞 (2016)。懸浮酒瓶之平衡，物理雙月刊。取自：https://pb.ps-taiwan.org/catalog/ins.php?index_ml_id=3&index_id=213
3. Dreamstime.com。取自：<https://cn.dreamstime.com/%E5%BA%93%E5%AD%98%E7%85%A7%E7%89%87-%E5%B9%B3%E8%A1%A1-image48155685>
4. Instructables(2020).Levitating Side Table Made From Old Cardboard Boxes,from <https://www.pinterest.com/pin/548946642083289575/>;
5. 脆笛捲心酥(2020)。玩具人(Toy People News)，取自：<https://www.toy-people.com/?p=52593>