物理第十五册目錄

第三部份第三講

頁數

第三部份第四講

第二講(E) 習題解答

第 四 章

1. $b=v/t=3/10$厘米/秒^2；$K=m\times b=25\times 0.3=7.5$達因。 2 $2{,}500\times v=10\times 300$；$v=3{,}000/2{,}500=1.2$米/秒。3. $b=7/(4\times 60)$ $K=(480{,}000/9.81)\times(7/240)=1{,}427$仟克*。4. $b=750/(1/200)=150{,}000$米/秒^2；$x=(51.5/9.81)\times 150{,}000\approx 787.4$公噸*。 5. 55仟米/時 $=55/3.6$米/秒$=15.3$米/秒；$b=v^2/2s=1.95$米/秒^2；$K=(1{,}900/9.81)\times 1.95=377$仟克*。 6. $b=1.5/3=0.5$ 米/秒^2；加速力$=(100/9.81)\times 0.5=5.09$仟克*；摩擦$=0.01\times 100=1$ 仟克*；共需力6.09仟克*。7. $180{,}000=(20/9.81)\times b$；$b=88{,}290$ 米/秒^2；$t=\sqrt{2s/b}\approx 0.01$秒；$v=\sqrt{2b\times s}\approx 890$ 米/秒。 8. 重量和落體加速度互成正比，故$100:16=9.81:x$；$x=(16\times 9.81)/100\approx 1.57$ 米/秒^2。 9. 全部質量爲531,000 仟克；$b=20/180=1/9$米/秒^2；$K=(531{,}000/9.81)\times 1/9=6{,}014$仟克*。 10. 1節（浬/時）$=1{,}852$米/時；25節$=(1{,}852\times 25)/3{,}600\approx 13$米/秒；$b=13/(10\times 60)$；$K=(30{,}000{,}000/9.81)\times(13/600)\approx 66{,}000$仟克*。 11. 150仟克*之力分解成一個水平分力和一個鞦韆繩方向上的分力；前者亦爲150仟克*，這是因爲此處之半個力平行四邊形乃是一個等腰直角三角形的緣故。促成平衡的水平拉力遂亦等于 150 仟克*。

第 五 章

1. $A=3{,}300\times 20=66{,}000$米仟克*；L（功率）$=66{,}000/(2\times 60\times 75)=7.3$PS。 2. 摩擦阻力$=0.02\times 20=0.4$仟克*；質量$=20/9.81$仟克；加速度＝力/質量$=0.196$米/秒^2；滑動行程$s=v^2/(2\times b)=40.8$米；$A=0.4\times 40.8=16.3$米仟克*；利用$A=1/2\times m\times v^2$之公式亦能求得同一結果。3. 54仟米/時$=54/3.6=15$米/秒；L(功率)$=60\times 15=900$

米仟克*/秒≙900/75＝12PS≙12×0.736＝8.83 仟瓦。 4. L(功率)＝(1,200×20)/(60×75)＝ 5.3 PS。 5. 36節＝18.52 米/秒；排水量15,000公噸*＝15,000,000仟克質量；A (功)＝〔$\frac{1}{2}$(15,000,000/9.81)×18.52²/367,000〕≈715 仟瓦時。 6. 曳引力500×1/20＝25 仟克*；L (功率)＝(25×1.4)/102＝0.34kW＝0.47 PS。 7. g×980.31×30＝235,274.4爾格。 8. 40＝300×x/75；x＝10 米。 9. b＝$\frac{1}{4}$米/秒²；s＝$\frac{1}{2}$b×t²＝200米；加速功＝$\frac{1}{2}$(150,000/9.81)×100 米仟克*；摩擦功＝$\frac{1}{200}$×15,000×200米仟克*；全部之功≈914,500米仟克*；L (功率)＝914,500/(75×40)＝305PS；L (功率)＝914,500/(102×40)＝224仟瓦；A(功)＝914,500/367,000＝2.5kWh；費用爲0.25馬克。 10. b＝150厘米/秒²；舉重功＝500×981×300；加速功＝500×150×300；兩者之比例爲981：150≈6：1。 11. 摩擦功＝20×10＝200 米仟克*；舉重功＝60×10＝600米仟克*。

第二講內容測驗解答

1. 所謂動量，指的是質量乘以速度之積，所謂衝量則爲力乘以時間之積。

2. 力之衝量等于動量之變化。

3. 在衝撞中，每一質量均受到同一大小之動量。

4. 就每一系統言，如果所發生者僅屬系內的變化，則全部動量之和恒保持不變。

5. 所謂功，指的是力乘以力方向上的行程之積，或是行程方向上的力乘以行程之積。功率指的是單位時間內所作之功。

6. 物理量度制中的功之單位，乃是爾格，這是等于1達因之力沿着一段1厘米行程所作之功。在工程量度制中的功之單位則爲米仟克（1米仟克*），這是等于1仟克*之力沿着一段1米行程所作之功。換算公式爲：1米仟克*＝9.81×10⁷ 爾格；10⁷ 爾格＝1焦耳；1米仟

克* =9.81 焦耳。

7. 功（米仟克*）＝力（仟克*）×行程（米）。功（爾格）＝力（達因）×行程（厘米）。

8. 舉重功（米仟克*）＝重量（仟克*）×（垂直的）舉高度（米）；舉重功（爾格）＝質量（克）×落體加速度（厘米/秒²）×舉高度（厘米）。摩擦功（米仟克*）＝摩擦阻力（仟克*）×行程（米）。加速功（爾格）＝質量（克）之半×終速（厘米/秒）之平方；加速功（米仟克*）＝質量（工程質量單位）之半×終速（米/秒）之平方。

9. 在此種情形下，我們取用力方向上的行程或行程方向上的力來計算。

10. 功率之量度單位是馬力（PS）、瓦特（W）、仟瓦（kW）。換算公式爲：1 PS＝75 米仟克*/秒；1 瓦特＝1 焦耳/秒＝1/9.81 米仟克*/秒；1 kW＝1,000 W；1 PS＝736 W＝0.736 kW；1 kW＝102 米仟克*/秒。

11. 1 仟瓦時＝367,000米仟克*。功（仟瓦時）＝功率（仟瓦）×時間（小時）。

12. 簡單的槓桿定律曰：作用力乘作用力臂如果等于負荷乘負荷臂時，槓桿即能取得平衡。通用之槓桿定律曰：若有數目不拘的諸力作用於槓桿，而諸力轉距之和等於零時，槓桿即能取得平衡。

13. 所謂槓桿臂，指的乃是作用力（負荷）至槓桿旋轉點之間的間隔而言。此項間隔乃是旋轉點到力方向的最短距離，或是等于由旋轉點到力方向上所作垂直線之長度。

力、運動、能以及工程上的應用

第 六 章（續）

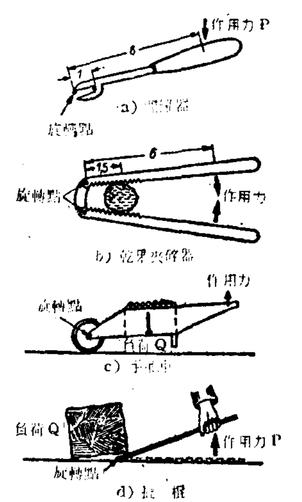
簡單機械（續）

A. 課 程

〔50〕**槓桿充作工具、傳動比（續）**

b. 單臂槓桿（註）**用作增力器。作用力臂大于負荷臂。**

如同以往所述情形一樣，此處也是將較小之力轉變成較大之力。第 38a—d 諸圖所示卽爲此類槓桿的形式：(a) **開罐器**，(b) **乾果夾碎器**，(c) **手推車**，(d) **不用墊塊之撬棍**。其他用途如安全活門、門上把手等等。根據第 38 圖所示，開罐器上力之轉變比爲6：1；乾果夾碎器上力之轉變比爲 1.5：6或1：4。



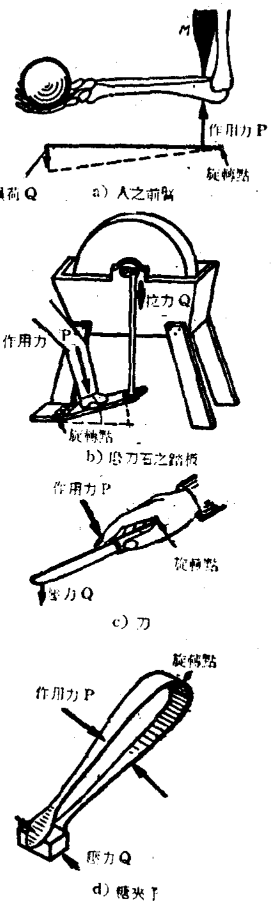
第 38 圖 作爲單臂槓桿之開罐器、乾果夾碎器、手推車和不用墊塊之撬棍

c. 槓桿用作增速器。作用力臂小于負荷臂。

在某一類工具中，我們所利用的完全是一種作用力臂大于負荷臂的槓桿，此種槓桿可以將較大之 P 力轉變成較小的 Q 力。請先研究第39a—d諸圖上幾種單臂槓桿的例子：(a) 人之**前臂**，(b) **踏板**，(c) **刀**，(d) **糖夾**。就下臂而言，肌肉M着力於靠近肘關節之處，並以

（註） 在處理單臂槓桿的命題時，初學者每易將槓桿臂弄錯；所以要請各位再注意一下：槓桿臂恆爲作用力（負荷）到槓桿旋轉點之間的間隔。

收縮肌肉的方法來舉起手上所持之負荷Q。負荷臂之長約為臂力M之作用力臂的12倍，因此，臂力遂亦為手上所持負荷之12倍。此項力之犧牲却賺得手之迅速活動性。手的動作速度約為肌肉收縮的12倍，這是因為手在同一段時間內可移動一段約為12倍的行程所致。又如磨刀石和縫紉機等的踏板作用，也是屬於此類將槓桿用作一種所謂**速度槓桿**的實例。**速度恆按照負荷臂和作用力臂二者之比（q：p）而增大**。其他應用此類槓桿的例子則如：下顎、鐮刀、叉、連枷（打禾器）、火鉗、彈性夾子、筆桿、鉛筆等。

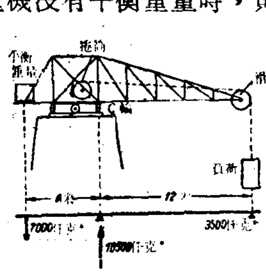


第 39 圖　人之前臂、踏板、刀及糖夾子均為單臂槓桿

〔51〕**槓桿原理應用于工程結構之平衡計算**　有許多工程上的命題，如果應用槓桿定律來計算，比較要便利得多。

1. 起重機當作槓桿

第40圖所示，為一架具有水平吊臂之旋轉起重機，下面裝了許多輪子，目的是為了要能使它在固定的基礎上轉動。茲設其所需吊起的負荷為3,500仟克*。倘若起重機沒有平衡重量時，則它勢非被負荷吊翻不可，而且是一定會以C輪為中心而傾翻。現在，讓我們來計算那個能防止傾覆的平衡重量之大小。設負荷距C點12米，平衡重量距C點6米。我們在不計起重吊架重量，以及不計捲筒吊索和滑輪三者重量的情形下將起重機縮繪成一個雙臂槓桿的示意圖，然後根據槓桿定律就容易看出平衡重量之應力

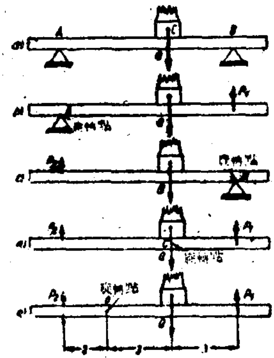


第 40 圖　旋轉起重機轉變為槓桿

爲7,000仟克*。C輪所受到的支承壓力爲3,500＋7,000＝10,500仟克*。

2. 桁梁當作槓桿

對于鐵製或木製的桁梁，我們亦可將其縮繪成一根支撐在A和B兩點的直桿（第41圖 a）來示意。在A和B之間的C點上，桁梁承受了Q＝16,000仟克*之負荷。當我們在想像中用一起重機來代替支座B，而此起重機乃以P_1力將桁梁向上拉住時（第41圖b），此一桁梁遂立即變成了一根槓桿。根據作用＝反作用定律，支座B處有一大小相等而方向相反的反壓力，P_1即代表此一反壓力。于是Q便繞着A點向右旋轉，P_1則繞着A點向左旋轉。在現有的平衡情形之下，遂由槓桿方程式$16,000\times5=P_1\times8$求得$P_1=10,000$仟克*。因此，支座B一定是受到了一同樣大小的壓力，而支座A則受到所餘16,000－10,000＝6,000仟克*之壓力。

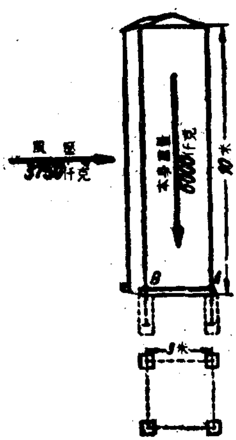


第 41 圖　桁梁轉變成槓桿

我們也可以選用B來代替A作爲旋轉點（第41圖c）。于是，作爲反壓力之P_2遂向右旋轉，而負荷Q則向左旋轉。根據槓桿方程式得$16,000\times3=P_2\times8$，故$P_2=6,000$仟克*；而P_1則仍爲賸餘之16,000－6,000＝10,000仟克*。

最後，我們也可以將槓桿當作是繞着C旋轉的（第41圖d）。此時之槓桿方程式遂爲$P_2\times5=P_1\times3$；根據此式和另一方程式$P_1+P_2=16,000$，又可求得同一大小之支承壓力。

我們甚至于可在槓桿上選用任意一點O來作爲旋轉點（第41圖e）。在不計及槓桿本身重量的情形下，恒有P_1、Q、P_2三力發生旋轉作用。此時，平衡條件遂爲$P_2\times2+16,000\times3=P_1\times6$。根據此一方程式和另一方程式$P_1+P_2=16,000$，復可求得同樣大小之支承壓力。

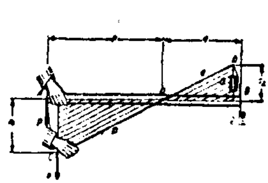


第 42 圖　塔轉變爲槓桿

3. 塔之結構當作槓桿

設有一正方形的木塔，重6,000仟克*，高10米，底界面積爲3×3米，受到一强風之吹襲(第42圖)。就獨立建築物而言，我們可以假定，最强的風在每1平方米上將產生125仟克*之壓力；所以在該塔$10\times3=30$平方米的側面上共計受到$30\times125=3,750$仟克*之壓力。又因風壓係平均分佈在整個側面的關係，所以此項風壓之作用就和一個着力在側面的中心，也就是着力在5米高處之3,750仟克*之力所生作用完全一樣。此力試圖將木塔在A點處傾覆；其轉矩則爲$3,750\times5=18,750$力仟克米(請勿和工程上用的功之單位米仟克*相混淆)。至于塔之6,000仟克*重量，乃係着力於塔之中心；故該重量以A點作爲旋轉點時，則在槓桿矩爲1.5米處所產生之轉矩，其大小等于$6,000\times1.5=9,000$力仟克米；方向適與上一轉矩相反。因此，兩者並不能取得平衡，而留下一項$18,750-9,000=9,750$力仟克米之傾覆力矩。倘若沒有堅强的螺釘將木塔和其基礎鎖連在一起，則木塔勢非傾倒不可。這幾塊基礎有如平衡重量一樣，不啻產生了一種垂直向下的作用。就本例而言，祇有B側的兩塊基礎才和問題有關，二者離開A旋轉點之間隔各爲3米。這兩塊基礎，就平衡狀態而言，一共要能產生大如9,750或各自產生4,875力仟克米之轉矩才行。這也就是說，每一塊基礎在槓桿臂爲3米之處必須具有$4,875/3=1,625$仟克*之重量始克有濟。

〔52〕**槓桿上的功** 直到目前爲止，我們在槓桿的例子中都是以槓桿的平衡狀況爲準來進行研究的，亦卽就槓桿的靜止狀態來應用槓桿定律的。但槓桿定律卽使對于以P力推動一槓桿來舉升一負荷Q或克服一阻力的情形，仍然是適用的，祇不過要達成一前提，卽摩擦可不必計而運動則須爲等速，亦卽毋須額外的力來克服慣性和摩擦才行。我們在下面所作簡單機械的功之計算上，便將首先遇到此一前提。



第 43 圖　槓桿上的功：$P\times s_1=Q\times s_2$

現在，讓我們來計算利用槓桿時所能獲得之功，以及在應用時所需付出之功。請先就雙臂槓桿將重量Q由B舉高至D的這一情

形（第43圖）來討論。此處所作之功爲 $Q \times s_2$。但這項功是由手力 P 從 A 垂直向下壓至 C所導致的，故付出之功等于$P \times s_1$。其中之 s_1 和 s_2 係位於力之方向上，亦即爲在垂直方向上所量得之行程。根據第41節所述，僅有此種行程，始和此題有關，而AC和BD二圓弧所代表之行程則否。

繪有影線的兩三角形係屬彼此相似，故 $q : p = s_2 : s_1$；根據槓桿定律，又爲$P : Q = q : p$。從這兩個聯立方程式中遂能求得$P : Q = s_2 : s_1$或 $P \times s_1 = Q \times s_2$。這也就是說：**應用槓桿時，我們在負荷一方面所能得到的功必然和作用力一方面所付出之功相等。**

〔53〕**秤**　所有的秤，除了彈簧秤以外，其作用莫不以槓桿定律作爲依據。

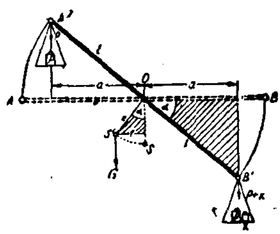
1. 精密天秤

精密天秤是由天秤桿以及掛在兩端之二等重秤盤組成。天秤桿在中央受到支撐，故其作用就如同一個兩臂相等的雙臂槓桿一樣。準此，祇當兩秤盤的負荷相等時，天秤桿始能取得平衡。至於天秤桿的重心S則必須位置於支點之下，才能使天秤桿處於**穩定平衡**，並且能夠搖動，直至其取得靜止位置爲止。爲了便於觀察天秤桿的偏差起見，在桿之中央裝有一個垂直向下的所謂秤舌，秤舌尖端可在一刻度標尺面前擺動。第44圖所示，爲用於科學上的**精密天秤**。爲了避免氣流影響天秤之調節起見，此種天秤必須裝置在密閉的玻璃盒中才行。秤盤係利用一種三角缺口形的座承頂掛在秤桿兩側的堅硬刀口上，而秤桿本身也是棲息在這種刀口上面。所有這三個刀口必須準確地互相平行，並且是位於同一個平面上。由于此種磨製得非常精細的刀口所施予軸承上的壓力非常强烈的緣故，故非應用瑪瑙、人造寶石或鋼料作爲軸承材料不可。爲了保養目的，凡是不用天秤時，須使一項裝在秤架上可以向上移動的舉高設備將刀口舉離軸承。最後，在秤桿中央上部有一個小砝碼裝在一根細小的螺桿上面，若將此項小砝碼旋高或旋低，即能稍許變動秤桿重心和旋轉點之間的距離。此外，亦可利用一種所謂**小騎士**來引起微小的負荷變化。這是一種彎成鈎狀的金屬細線，重0.01克*或0.001克*，可以放置在桿臂上不同之處。譬如說，如果臂

長係分成10等分，而在第8分格上掛了一個0.01克*之小騎士時，則後者就秤盤端尾言便能發生0.008克*之作用（$0.01 \times 8 = 0.008 \times 10$）。

倘能以愈少之法碼卽可導致天秤桿產生顯著的偏差時，則此一天秤所具之靈敏度愈大。設天秤桿每邊之桿臂長變爲1（第45圖）；兩邊之秤盤均負有P力；S爲秤桿之重心，秤桿之重量G乃着力在S上；e爲重心離開旋轉點O之間隔。我們如果在右邊秤盤上放置一微小之過重砝碼x時，則右盤便會下降而左盤便會上升。此際，秤桿遂進入新的平衡位置A′B′，後者和AB之間乃形成一α角。重心S則擧高至S′，而重心離開旋轉點之間隔e也同樣會形成一α角。就這一新的平衡位置而言，兩P力之槓桿臂其長度均等于a，而秤桿重量G乃着力在S′點，其槓桿臂爲f。於是，就轉動以後桿槓之平衡而言，由于$(P+x) \times a - G \times f - P \times a = 0$，遂得$x \times a = G \times f$。從兩個繪有影線的三角形又得$\sin\alpha = f/e$，$\cos\alpha = a/l$，故$f = e \times \sin\alpha$，$a = l \times \cos\alpha$。代入上一方程式以後，遂爲$x \times l \times \cos\alpha = G \times e \times \sin\alpha$，接着就可以求得

第44圖　精密天秤



第45圖　天秤靈敏度：

$$\mathrm{tg}\alpha = \frac{X \times l}{G \times e}$$

$$\sin\alpha/\cos\alpha = \mathrm{tg}\alpha = \frac{x \times l}{G \times e}$$

因此：

1. 天秤桿l愈長，

2. 秤桿本身重量G愈小，以及

3. 重心離開旋轉點之間隔e愈小，則天秤愈爲靈敏，這也就是說，在某一定的超重量之下，其所現出之偏差α（tgα係隨α而增大）愈大。

對于最好的天秤，我們往往要求其能指出秤盤上所置重量之

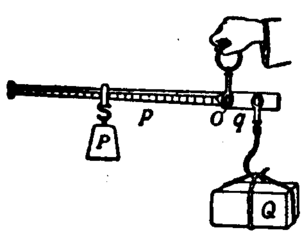
1/1,000,000,000，就是在荷重若爲1仟克時，猶能辨認出1/1,000毫克之過重。

倘若天秤不能符合兩臂長度相等及兩個秤盤恰好等重之先決條件時，我們應用**高斯（Gauss）氏雙重稱衡法**，仍然是可以進行準確稱衡工作的。法將物體先放置在一個秤盤上，稱衡結果設爲P；再換置在另一秤盤上，所得結果設爲Q。又設重量P和Q之槓桿臂各爲r和l，而G爲物體之實有重量，則在第一次稱衡中應爲$P \times r = G \times l$，在第二次中應爲$Q \times l = G \times r$。將二式相乘以後，$r \times l$乃在式之兩邊消去，於是就得到$P \times Q = G^2$。這就是：$G = \sqrt{P \times Q}$。

就粗率一點的量度工作而言，在此種情況之下，**鮑達（Borda）氏取代法**亦可採用。玆設所欲稱定者爲1仟克之某一貨物，此時即可在一秤盤上放置一仟克砝碼，在另一秤盤上傾倒如此之多的砂粒；直至兩盤恰好取得平衡爲止。然後自前一秤盤中取出砝碼，代以如此之多的貨物，直至重行取得平衡爲止。由於貨物恰好是取代仟克砝碼之故，所以貨物亦具有同樣多的質量或重量。

2. 便秤

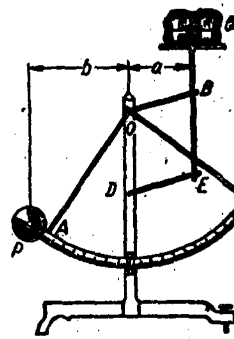
便秤係由一雙臂槓桿組成。負荷係掛在槓桿較短的之一端，其離開旋轉點O之間隔q恒有一定。在較長之槓桿臂上則有一可以移動的滑動秤錘P（第46圖）。在稱衡時，祇須移動秤錘，直到得取平衡時爲止，而此項平衡是可由秤在懸空時的水平位置加以辨認的。槓桿方程式$P \times p = Q \times q$中之P和q其大小乃是一定不變的；又因由此一方程式可以導致$q/P = p/Q$，而q/P爲一常數，故p/Q之亦必爲一常數，其理至明。這就是說，滑動秤錘之槓桿臂p恒與與當時之負荷Q互成比例；這也就是說，n倍的p即代表n倍的Q。因此，我們可以在較長之秤臂上劃分成若干如此之長的等份，使滑動秤錘放在1、2、3…分度上時，恰好能和1、2、3……仟克*之負荷取得平衡。



第46圖 便秤

3. 信秤

信秤係由一種彎臂槓桿（第47圖）組成。在此彎臂槓桿 OA 股之末端負有一不變之重量 P，另一股 OB之末端則有一垂直桿BE，桿之頂端負有一承放負荷 Q之秤盤，另由一套平行四邊形導桿 OBDE 保持 BE 桿取得垂直位置。當 OB 股隨着負荷 Q之重量而下沉至不同的程度時，另一股 OA 即連同重錘 P一併上升，直至臻於平衡為止。除此以外，彎曲臂桿另和一根經過檢定的弧形標尺 AC 連在一起。我們在AC 標尺上遂能讀出負荷之重量。

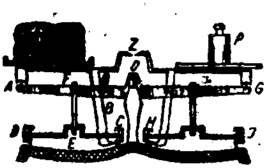


第 47 圖　信秤

所當注意者，此處之槓桿臂並不是槓桿之兩股OA和OB，而是力方向至轉點 O之間的間隔 a 和 b 。至於秤之檢定工作，這也就是弧形標尺 AC 之檢定工作，最好以實驗來達成任務。

4. 平板秤

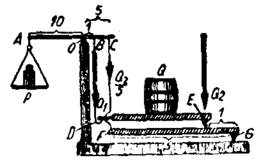
平板秤的用途最為普遍，在構造方面則為若干槓桿之組合（第48圖）；其中計有一個等臂的雙臂槓桿AOG，以O作為旋轉點；兩個短單臂槓桿DC和JH，各以 D、J 為旋轉點；以及 FE 和 BB 兩根連桿。我們可在想像之中，將所欲稱衡之負荷Q分解成Q_1+Q_2之和；Q_1着力在刀口 A 上，Q_2 則藉 BB 着力在刀口C上。由于DE＝EC之關係，C上之壓力 Q_2 可在 E 處引起一與其相應之雙倍大的壓力$2Q_2$。此項壓力$2Q_2$經由連桿EF傳至F，並因AF＝FO之故，結果在A上遂又產生一與 Q_2 相等之壓力。據此，整個結構所發生的作用，就好像是使全部負荷Q_1+Q_2 壓在刀口A上似的。並且不論Q_1 和Q_2 大小如何，結果全是一樣。因此，不管我們將負荷 Q放在秤盤上任何位置，均不影響稱衡之準確性。至于砝碼 P在右側作用于 G點的情形也是如此。一當P＝Q時，AG槓桿便能取得平衡，兩個指針 Z亦立于同一高度。



第 48 圖　平板秤

5. 十進秤或臺秤

臺秤（第49圖）也是一種槓桿的組合。稱衡時可將負荷放置在秤臺DE上面；DE係以其左端D掛在一根直立的DB桿上，右端E則以刀口壓在一個以G作爲旋轉點的單臂槓桿上面，槓桿不受拘束的一端F則另掛在一根直立桿FC上。這兩根垂直拉桿FC和DB各以其頂端C和B固定在一根雙臂槓桿之右臂上面。此一槓桿以O作爲旋轉點，其另一較長之桿臂上，則有秤盤（連同砝碼P在內）掛于A處。各槓桿臂之長度乃如此選定，卽其相互之間須使保持AO：OB：OC＝10：1：5和GE：GF＝1：5的關係。我們可在想像之中，將負荷Q分成 Q_1+Q_2；Q_2壓在刀口E上，此一壓力乃與FC桿上所產生的拉力 $Q_2/5$ 相應；Q_1則以DB拉着槓桿AOBC。在槓桿AOBC取得平衡時，必定是 $P\times10=Q_1\times1+Q_2/5\times5=Q_1+Q_2=Q$，亦卽 $P=Q/10$。因此，祇需要負荷Q十分之一的重量卽能取得平衡，此卽所以稱爲**十進秤**之原因。至於將負荷放置在秤臺上的任何位置，這也就是說不論分力 Q_1 和 Q_2 之大小如何，其和完全不受影響而與Q恒屬相等。



第 49 圖　十進秤或臺秤

若取用AO：OB：OC＝100：1：10，和GE：GF＝1：10時，則負荷Q祇需要 Q/100 之砝碼卽能取得平衡。此種形式之秤稱爲**百進秤**，可用以稱衡較重之負荷如滿載之車輛等。

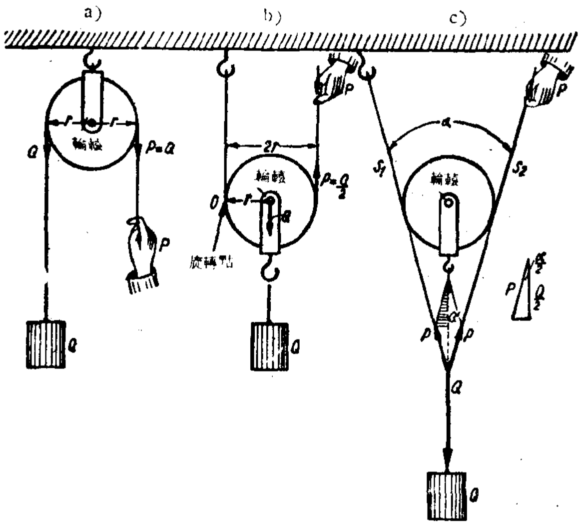
6. 彈簧秤

最後尙需提到彈簧秤，但這在以前已經討論過了（測力計）。

〔54〕**定滑輪和動滑輪上之功與平衡條件**　第50圖所示爲一懸掛在橫樑上的**定滑輪**。滑輪之軸棲息在一種謂**輪轂**之中。如將一負荷Q掛在定滑輪上時，便可利用繩索以P力將負荷拉高。此種滑輪可以當作一種等臂的雙臂槓桿來觀察。在定滑輪取得平衡的情形之下，由於發生作用之兩力恒具有同一槓桿臂 r 之故，所以P＝Q。傳動比n則爲P：Q＝1：1。

卽使在向上拉曳時，並無摩擦發生，而Q之質量亦未受到加速時，仍然是 P＝Q。我們很容易看出一點，那就是：作用力之行程恒與負荷之行程相等。因此，**所施P力之功亦恆與舉起負荷Q所需之功相**

等。定滑輪之唯一用途，僅在于能够利用它任意改變力之方向而已。



第 50 圖 (a)定滑輪 (b、c)動滑輪

第50圖b 所示爲一**動滑輪**。動滑輪在轉動時可隨同升降，這是它和定滑輪不同之處。我們可將動滑輪視爲一種以 O作爲瞬時旋轉點的單臂槓桿。故$P:Q=r:2r$，這也就是 $P=Q/2$。其傳動比則爲$P:Q=1:2$。所以在利用動滑輪時是可以省力的。但是我們又可以看出一點，那就是：爲了將 Q舉高一段距離 s時，則作用力勢非沿着一段2s 之行程發生作用不可。因此，**我們在動滑輪中所投入之功和我們可以從動滑輪所取得之功乃係同一大小**；這和定滑輪的情形完全一樣。

就定滑輪而言，由于兩力之槓桿臂恒爲同一圓之半徑，彼此總是相等的，所以兩繩索末端之方向對於 $P=Q$ 這一平衡條件並無影響。另一方面，動滑輪上的繩索方向則可影響作用力和負荷二者之比（第50圖c）。在此種情形之下，我們倘將 Q' 力（$=Q$）按照力之平行四邊形定律分解成P和 P這兩個分力，結果Q遂與 S_1 和 S_2 兩繩索上大小相等之二拉力 P取得平衡。從繪有影線的三角形中可得$\cos\alpha/2=Q/2:P$，以及 $P=\frac{Q}{2}:\cos\frac{\alpha}{2}$；故傳動比爲$P:Q=1:2\cos\frac{\alpha}{2}$。

〔55〕**滑輪組之功和平衡條件**　滑輪組乃是定滑輪和動滑輪之組合。

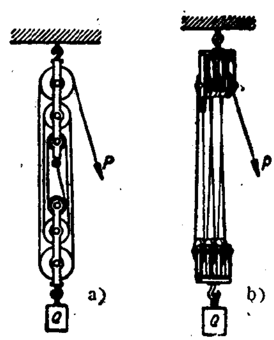
1. 普通滑輪組

這是由數目相等的定滑輪和動滑輪組成的。而這些滑輪或者是上下相間地坐落在同一個輪轂（第51圖a），或者是左右毗鄰地裝在同一根軸心上面（第51圖b）。繩索之一端固定在上輪轂上，這也就是等于繫牢在一個固定的吊掛設備上，然後依次將繩索繞過每一個下面的動滑輪和上面的定滑輪。另在繩索不受拘束之一端以P力拉曳，而負荷則吊掛在活動的輪轂上。

我們不妨將所有各段繩索視爲互相平行的，結果當不會發生顯著的誤差。至于繩索不受拘束一端之方向，這也就是P之着力方向，則並無關宏旨。當取得平衡時，負荷Q乃平均分佈在所有各段繩索上面，譬如就每三個定滑輪和動滑輪，也就是共有六段繩索之情形而言，則每一段繩索僅承擔$\frac{Q}{6}$之負荷。因此，導致平衡之力也必定是$P=\frac{Q}{6}$。若有n個定滑輪和n個動滑輪時，則平衡條件遂爲

$$P=\frac{Q}{2\times n}。$$

若欲舉升負荷Q，而舉升之運動並無摩擦且爲等速時，則所需之P力大小仍和上面一樣。因此，在舉升時遂能省力。其傳動比乃爲$P:Q=1:2n$。



第 51 圖　普通滑輪組

唯得之于力則須失之于行程。倘欲一組共有$3\times2=6$滑輪之滑輪組將一負荷舉升2米時，則每一段繩索均非縮短2米，而不受拘束之繩端勢非拉曳一段$6\times2=12$米之距離不可。在此種情況之下，若$Q=150$仟克*時，則$P=Q/6=25$仟克*。作用力×作用力行程之積25×12米仟克*仍然等於負荷×負荷行程之積150×2米仟克*。因此在**應用滑輪組時，並無功之變化發生**。應用之目的僅爲省力而已

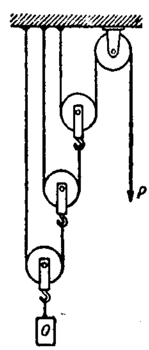
；但此項省力之效果却係以行程之耗費換取而來。作用力P在同一時間內所曳引之距離乃等於負荷Q行程之六倍。故P亦以6倍于Q之速度而移動。這也就是說，我們乃以增加行程以及速度的方法來達到省力之目的。

2. 冪次滑輪組

此種滑輪組阿基米德氏早就提到過了，現在幾乎祇還具有理論上的意義。在構造上它是由若干動滑輪和一個定滑輪所組成（第52圖）。這些動滑輪是一個接着一個地聯結在一起，並且總是把繩索的自由端接在毗鄰滑輪的軸轅上，而最上面一個動滑輪的繩索自由端則係從一個定滑輪上面繞過。至于所有動滑輪的左端則都是各自固定在橫樑上。這就很容易看出，每用一個動滑輪時，恆能將作用力減爲作用在該動滑輪上的負荷之一半，但是在最後一個定滑輪上却無省力可言。倘若共有三個動滑輪時，它們所承受之負荷則自左起依次各爲Q、Q/2、Q/4；而最後一個負荷因爲是分佈在繩索之兩端的，故 $P=Q/8=Q/2^3$。

倘欲將最下面那個動滑輪上的負荷Q舉高一段s時，我們就得要將中間一個動滑輪舉高 2s，上面一個動滑輪舉高 $2\times2s=4s$ 才行，結果，繩索之一端遂勢非從定滑輪上拉過 $2\times4s=8s$ 不可。因此，作用力之行程乃等于負荷行程之 $8=2^3$ 倍。（但在此情況下，作用力之功仍然是等於負荷之功。）就n個動滑輪而言，遂爲

$$P=\frac{Q}{2^n},$$



第 52 圖　冪次滑輪組

力之行程則爲負荷行程之 2^n 倍；而傳動比則爲 $P:Q=1:2^n$，所以要比普通滑輪組之具有同一數目n個動滑輪者（1:2n）更爲有利。

3. 差動滑輪組

這是一種很普遍的滑輪組，係由兩個固定在同一根軸心上的定滑