

先鋒工程的力學原理 (一)

前言：

在4年前，我獲當時任副香港總監（支援）盧偉誠先生（現為副香港總監（管理））委託，為他的著作撰寫其中一章——「先鋒工程的力學原理」，於是便開始搜集和整理資料。文章寫成後，得盧先生悉心批改，及後亦得青少年活動署助理總部總監（先鋒工程）麥錫康先生審閱，方告完成。至今盧先生的書雖未能面世，但我也想藉此與各童軍弟兄姊妹一同分享一下我研究的成果，望各位能多多賜教。

在許多先鋒工程製作中，我們都會經常運用到物理學中有關力學的原理。在這裏，我們將展示有關的原理怎樣應用到製作裏去。只要大家能掌握箇中的道理，就能有效地運用各種工具和材料去設計出穩固和實用的先鋒工程製作。

1. 三角學原理 Triangles

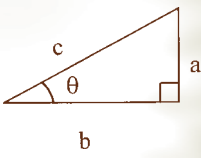
在眾多的先鋒工程設計中，都運用了三角形的設計。所以，我們必須要熟悉三角形的角度與它三邊的關係。

在一直角三角形中，對着直角的一邊，稱為斜邊 c，是三條邊最長的一邊。在其餘兩角取一角為 θ 。對着此角的為對邊 a，在其旁者，一是斜邊 c，另一為鄰邊 b。 θ 的值 (degree) 與邊的長度是有密切的關係。只要知道其中兩邊的長度，便可以求出 θ 的值。又或，如知道 θ 的值及其中一邊的長度，也可以求出其他兩邊的長度。角度和三邊的關係可列成下面三條公式。

正弦 $\sin \theta = \frac{\text{對邊}}{\text{斜邊}} = \frac{a}{c}$

餘弦 $\cos \theta = \frac{\text{鄰邊}}{\text{斜邊}} = \frac{b}{c}$ 及

正切 $\tan \theta = \frac{\text{對邊}}{\text{鄰邊}} = \frac{a}{b}$

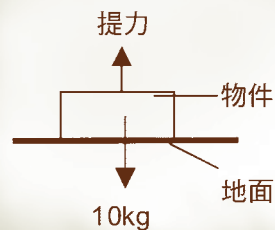


2. 力的概念、質量與重量 Force, Mass and Weight

無論要令物體由靜止狀態轉到運動狀態，抑或由運動狀態轉到靜止狀態，甚至有時要維持物體的運動狀態，都需要力的存在。力有很多種，本章會介紹不同種類的力在不同場合中所發揮的作用。

力的計算是以牛頓(N)為單位，1N的力能作用於一件1公斤(kg)的物體上使其加速每平方秒1米(1ms⁻²)。可是，對一般人來說，牛頓這個單位實在不易理解。因此，我們在這章裏採用公斤(kg)來取代牛頓作為力的計算。（注：牛頓的值大約是公斤的10倍）

舉例，假設有一件物件重10kg放在地上，於是物件因受地心吸力影響，以10kg的力向下壓着地面。同時，我們需要用10kg的力才能提起這件物件。



此外，一般人常稱一件物件的「重量」為10kg，或這件物件有10kg「重」，其實在物理學中，這個「10kg」是描述物件的「質量」而不是「重量」。質量是指物質裏共有多少「量」。而重量則是指該物體因受到地心吸力的影響下而擁有多少「重力」。在一般人來說，大家已接受用重量這個量詞來形容一件物體有多重。不過，在本章裏，我們仍然會用質量來形容物體有多重，而不是重量。

3. 角度與有效拉力 Angle and Effective Force

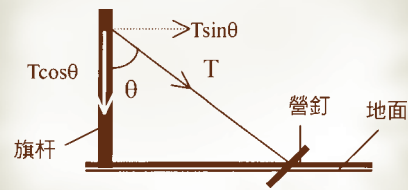
在豎立一枝旗杆時，我們會用3條繩索去固定旗杆。每條繩索的一端繫於旗杆身上，另一端則斜拉向地面，綁在營釘上。繫於旗杆的繩索角度不同，會產生不同的效能，即有不同的有效拉力。假若繩索以斜向 θ 的角度繫於旗杆時，繩索的作用力可分成橫向分力 (horizontal component) 和縱向分力 (vertical component) 這兩個分拆力 (component)。

其量值為

橫向分力 = $T \sin \theta$

縱向分力 = $T \cos \theta$

因此，如果要增加橫向拉力，就要使 θ 增大，即是將營釘和繩索向外移離旗杆。



4. 滑輪系統 Pulley System

人的力量是有限的，我們不易把一件重物提舉或用較大的力作用於一條繩纜上拉扯。有些先鋒工程製作是需要提舉或移動重物，非集多人的力量可以做到的。因此我們會應用滑輪系統去解決困難。滑輪系統的主要功能就是以較小的 施力 (effort)，去得到較大的負荷 (load)。以下是滑輪系統的理論。

A. 機械利益 Machine Advantage

如想以較少的力去拉動物件，我們可以用一個或一組滑輪及一條繩索去做一個系統。將施力繩繞在兩個滑輪組合之間，來回的次數越多，所需的施力就越少。將負荷除以施力就得出機械利益 (MA)。機械利益的值越大，代表小的施力能提供一個較大的負荷 (力)。機械利益的計算方法為：

$$\text{機械利益 (MA)} = \frac{\text{負荷 (L)}}{\text{施力 (E)}}$$



圖 (a) 所示，繩索的一端綁着重物 (負荷)，稱為負荷繩，另一端穿過滑輪，加以施力，稱為施力繩。圖 (b) 是將繩索穿過上下滑輪，做成兩根負荷繩。圖 (c) 下方為單滑輪，上方是雙滑輪，於是做成3條負荷繩。圖 (d) 上下均用了雙滑輪，故有4條負荷繩。在任何情況下，施力繩只有1條。因此，

$$\text{機械利益 (MA)} = \text{負荷繩的數目} : \text{施力繩的數目} = \text{負荷繩的數目}$$

以圖 (c) 為例，有3條負荷繩及1條施力繩
其機械利益MA為 3 : 1 = 3倍

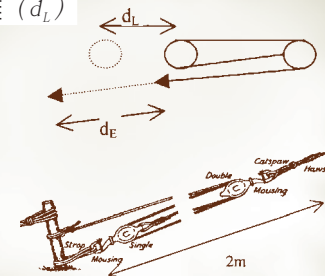
即是我們只需用3kg的力就可提起9kg的物件。

B. 速度比 Velocity Ratio

但是，當機械利益越大時，施力繩拉扯的需時和拉繩的距離就相對地增加，我們可以用速度比 (VR) 去計算拉扯繩所需的長度。速度比的計算公式為：

$$\text{速度比 (VR)} = \frac{\text{施力繩的長度 (d}_E\text{)}}{\text{滑輪之間縮短的距離 (d}_L\text{)}}$$

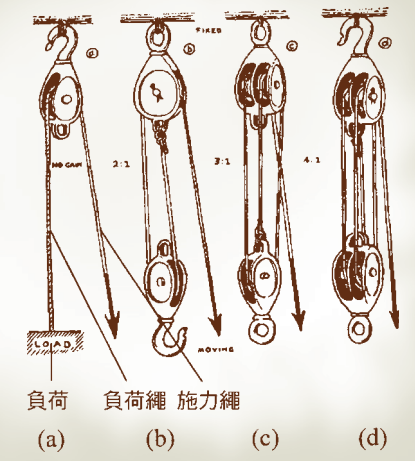
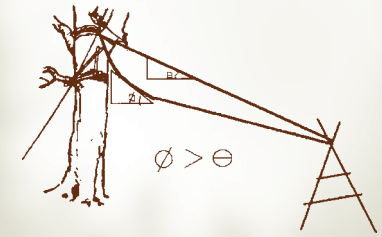
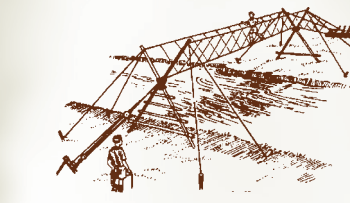
舉例：在右上圖的滑輪系統中，當施力繩拉長了3米 (d_E) 後，兩個滑輪便縮短了1米 (d_L) 的距離，其速度比為3 : 1。同時，如果兩組滑輪在未施力前的初始距離為2米 (右下圖)，整組滑輪繩所需繩索長度最少應為2米 X 3，相等於6米。



(注：在一個百份百效益的設計裏，其機械利益相等於速度比，即 MA = VR。)

C. 一些在先鋒工程中應用到滑輪系統的例子：

- i 馬騮橋：由於在馬騮橋上的主纜有一定的重量，再加上使用者的重量，因此主纜必須要有足夠的拉力 (tension) 才能使橋拉直。我們可使用一組的滑輪系統設於主纜的一端，另一端將繫於大樹或樁臺中。
- ii 空中走廊 (空中滑車)：跟馬騮橋一樣，主纜上必須有足夠的拉力，才能抵銷使用者在主纜滑行時，導致繩索向下墮的情況。可是，有時我們會故意不把主纜拉直，目的是利用使用者的重量造成主纜前部一個比較傾斜的角度，從而增加滑動的速度。



5. 摩擦力 Friction

大部分物體皆由粗糙的表面造成，當它們與其他物體接觸時，就產生對抗性的摩擦力。這種摩擦力會在不同情況下發揮不同的作用。當兩者的接觸面積及壓力越大時，摩擦力就越大。

A. 運動中的物體

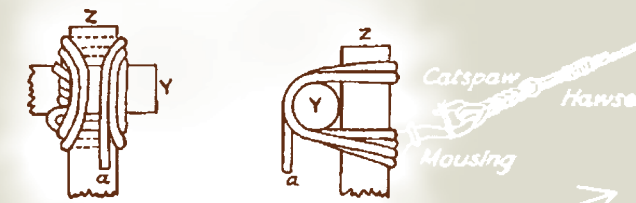
在運動中的物體，我們希望摩擦力越少越好。例如在空中走廊的建設中，我們將滑板用繩掛在主纜中，並裝上一個滑輪，作用是減少滑板繩與主纜在滑行時的摩擦力。



B. 靜止的物體

如果要保持物體處於靜止狀態，或者要物體與物體之間相對地靜止的時候，摩擦力就能發揮其作用。例如將繩索繫在竹、棍或其他物件上。又或用編結將兩枝或多枝竹、棍綁紮在一起時，我們是利用摩擦力將它們固定起來的。

除此以外，當用繩綁紮物體的力度越大 (緊)，便會把物體之間接觸面的壓力增加，其相互之間的摩擦力也就越大。因此，我們在打編結做到勒捆 (frapping) 的時候，應盡量把繩與繩平行繞着，不是繩搭繩，這樣才可增加相互間的摩擦表面。



(待續)