

STATICS

01 力與力學概要

本章大綱

- 1-1 力的定義與要素
- 1-2 力學的定義
- 1-3 牛頓運動定律(Newton's law)
- 1-4 單位與因次

學習重點

本章主要在讓學習者了解力的定義，以及力存在所必需具備的要素，並清楚力學的基本分類和牛頓三大運動定律的基本觀念，藉以奠定力學的學習基礎。此外，力學分析時常會應用到的各種單位必需加以熟識，並能以因次分析方法來簡化運算時出現的複雜單位問題，使研修力學能變得較為簡易而有趣。



生活實例

我們日常生活周遭的一切，包含樓房、橋樑、汽車、飛機，甚至人造衛星等，在建造時，首先要考慮的就是它們的力學問題，這樣才能確保功能性與安全性。因此，學習力學分析能力，是每個有志於投入工程領域學子的基本必要課題。



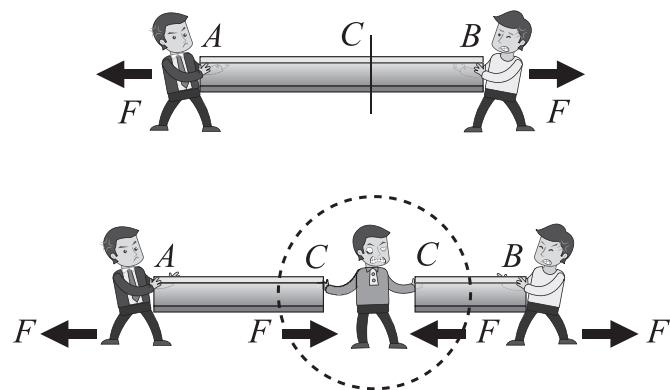
建築物或橋樑的設計，必需符合力學平衡的原理，才能達到安全耐用的目的。本章將開啓基礎力學研習之門，讓力學從此成為生活中有趣而實用的一部分。

1-1 力的定義與要素

我們日常生活中常會提到**力(force)**，究竟什麼是力呢？簡單的說，力就是「**一種可以使物體產生變形、破壞、運動或位移的物理量**」。力雖然肉眼看不見，但卻可以用人類的感官系統來感受它的存在。一般來說，力必需包含三個基本要素，那就是**力的大小、力的方向和力的施力點**，也就是說，力是可以計量的，而且具有方向性，但必需要有一個作用點或施力點，這樣，力的性質和存在的特性才可以顯現。

以力存在的特性來說，一般可以將它分為接觸力和超距力兩種。所謂接觸力就是施力和被施力物體之間有接觸才會產生的力，如摩擦力、碰撞力等。接觸力本質上是一種**表面力(surface force)**，只發生在相互接觸的兩個物體表面之上。另外一種不必相互接觸就可以產生的力就是超距力，如磁力、重力等。超距力是一種**徹體力(body force)**，它會分布在整個物體上。另外，以存在的狀態來說，力又可以分為**外力(external force)**和**內力(internal force)**兩種。外力是指由物體外部所施加於物體的作用力，而內力則是指物體受到外力作用時系統內部各單元之間所產生的相互抵抗力。內力的大小和外力相同，當外力的作用存在時內力就會存在，但當外力作用消失的同時，內力也就隨之消失了，也就是說外力和內力會同時存在於一個物體上，不過兩者存在的方式和意義不同，需要加以分別，不可混淆。

圖 1-1 中，當一根桿件(member)受到大小為 F 的拉力(tension force)作用時，對桿件來說 F 是由外部施加上去的，因此是外力，此時如果將桿件從中間切開，它的內部會存在一對大小相等但方向相反的力，這一對力就是這個桿件的內力。



桿件AB受拉力 F 作用，
將其自C點剖開會顯現出內力！

圖 1-1 桿件的內力

內力會存在於整個桿件之中，因此，將圖 1-1 中所有介於 A 點和 B 點之間的任何點剖開，都會有內力顯現出來，而且所顯現出的內力大小和方向都會和由 C 點剖開時的情況相同，但如果不將桿件剖開，內力仍然存在，只是不會呈現出來。

同一個物體中的不同單元所互相施加的力對整個物體來說算是內力，不會對物體的存在狀態或運動情形有所影響。例如坐在車上的乘客對車子施加推力並不會改變車子的行車速度，因為兩者可視為同一個物體的不同單元，當乘客對車子施力的同時，車子也會給乘客一個反向力來相互抵消，兩者是一種內力關係。不過，如果是在研究乘客對車子上的某個單元施力，會讓這個單元產生多大的反作用力或位移時，則乘客和汽車上的這個單元各自變成一個獨立個體，乘客的施力對這個單元來說就變成了外力。當然，乘客下車後，站在地面上對車子推一把，因為乘客和車子已不再是同一個單元，此時乘客對車子的作用力就是外力，必然會對車子的行駛速度或方向產生影響。

力的另一個特性是具有可傳遞性，傳遞方向就是延著力的**作用線(line of action)**方向。當作用力施加在作用線上任何一點之上時，所產生的外在效應如**反作用力(reaction force)**和運動狀態的改變都會相同，但是它的內在效應如**變形量(deformation)**和**內應力(stress)**則會不同，如圖 1-2 所示，當作用力被施加於 B 點時，O 點上的反作用力和作用力施加於 A 點時是相同的，但桿件的變形量卻不同，其中 A 點和 B 點之間完全沒有受力，當然也就不會有內力和變形量存在。

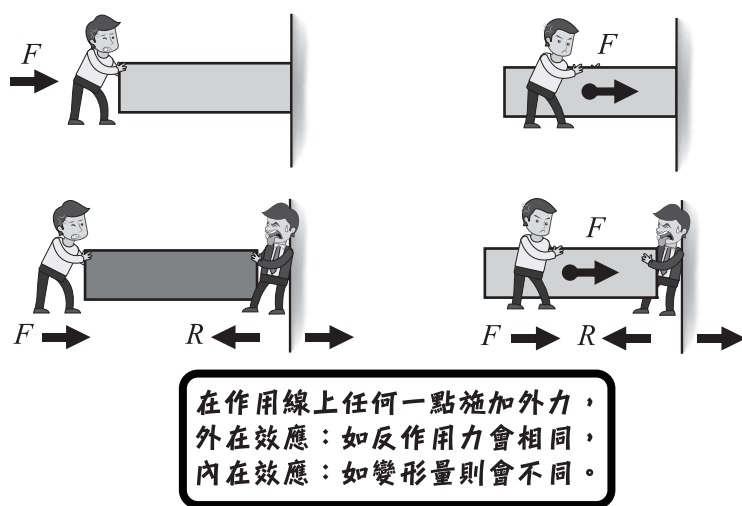


圖 1-2 外力作用點的效應

1-2 力學的定義

力會存在我們所能及的所有環境、系統或結構中，力和物體之間具有某些相關性，研究這兩者之間相關性的科學就稱它為「**力學**」(mechanics)。前述的物體可以是固體、液體或氣體，研究的對象可以是物體的整體或物體的個別**元素**(element)。通常，可以依不同的研究領域將力學種類區分為「**固體力學**」(solid mechanics)和「**流體力學**」(fluid mechanics)兩大類。固體力學又可以分為不考量物體變形，只考量物體狀態變化的「**剛體力學**」(rigid-body mechanics)，以及考量物體變形的「**非剛體力學**」(non-rigid-body mechanics)。至於流體力學則是指對液體與氣體等具有流動特性物體的力學研究，共同認知的力學領域以圖 1-3 表示，可以清楚知道彼此間的相互關係。

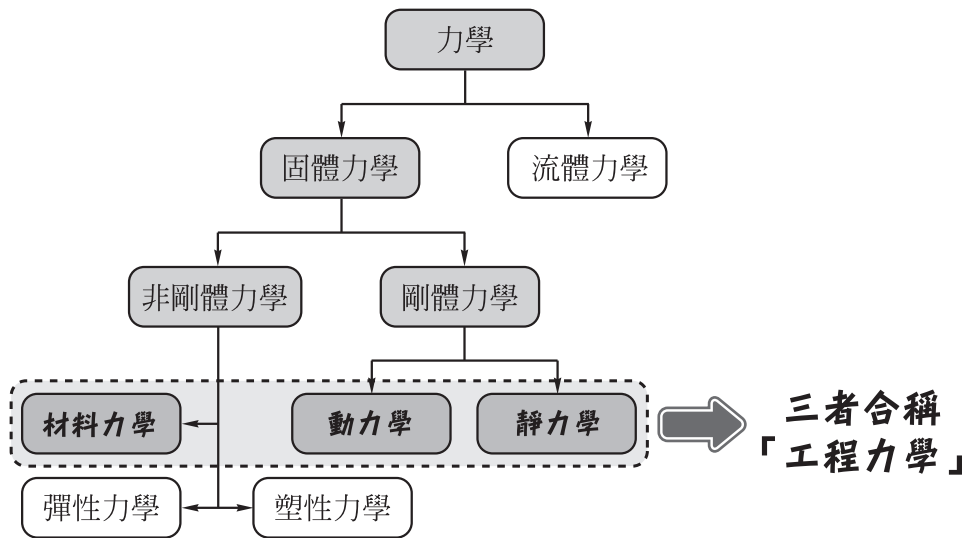


圖 1-3 力學的分類

我們所稱的**工程力學**(engineering mechanics)是在工程設計中最為常用到，而且也必需考量的基本力學項目，包含最基礎的**靜力學**(statics)、**動力學**(dynamics)和**材料力學**(mechanics of materials)三個部分，其中靜力學和動力學是屬於剛體力學領域，而材料力學則是屬於非剛體力學的範疇。為了更進一步清楚了解工程力學所包含三個部分的內涵，將進一步說明如下：

靜力學(statics)

當物體受到外力作用後，若系統達到力的平衡狀態，這種力學問題屬於靜力學範疇。譬如一個鉛球置放在水平桌面上，鉛球的重量 W 是一種受到**地心引力(gravity force)**作用而產生的力，會向下垂直作用在桌面上，此時桌面會產生一個大小相等但方向相反的反作用力 R 作用在鉛球上。作用力 W 和反作用力 R 作用在同一個點上或同一條直線上，且兩個力的大小相等又方向相反，合力為零，此時作用在鉛球上的所有力達到平衡狀態，如圖 1-4 所示，就是一種靜力學問題。

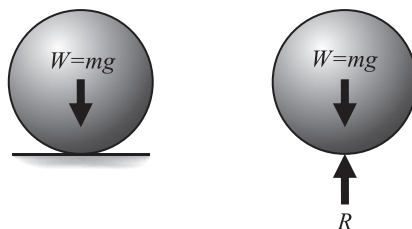


圖 1-4 鉛球靜止於桌面上的靜力學問題

如果要知道作用力和反作用力的大小，可以應用力平衡的關係式來求得，亦即 $W + R = 0$ ，得到 $R = -W$ ，驗證了作用力 W 和反作用力 R 具有大小相等但方向相反的相互關係。

動力學(dynamics)

如果同一個物體的所有作用力之間無法達成力的平衡，此時合力不為零，依牛頓第二運動定律，力作用在具有**質量(mass)**的物體上，則該物體必然會產生**加速度(acceleration)**，有加速度就會產生**速度(velocity)**，有速度就會產生**位移(displacement)**，因而物體會產生運動，這就是動力學。動力學又可細分為「**運動學(kinematics)**」和「**動力學(dynamics)**」兩個部分。當一個物體受力產生運動時，如果只討論物體的位移 S 、速度 V 、加速度 a 和時間 t 之間的相互關係，而不牽涉作用力 F 和物體質量 m 之間的相互關係時，我們稱之為運動學。但如果作用力 F 和質量 m 的因素都必需同時被考量，則就是屬於動力學的範疇了，如圖 1-5 所示。和靜力學一樣，運動學和動力學的研究中都不考慮物體材料的特性，也不考慮物體因受力所產生的變形等問題。

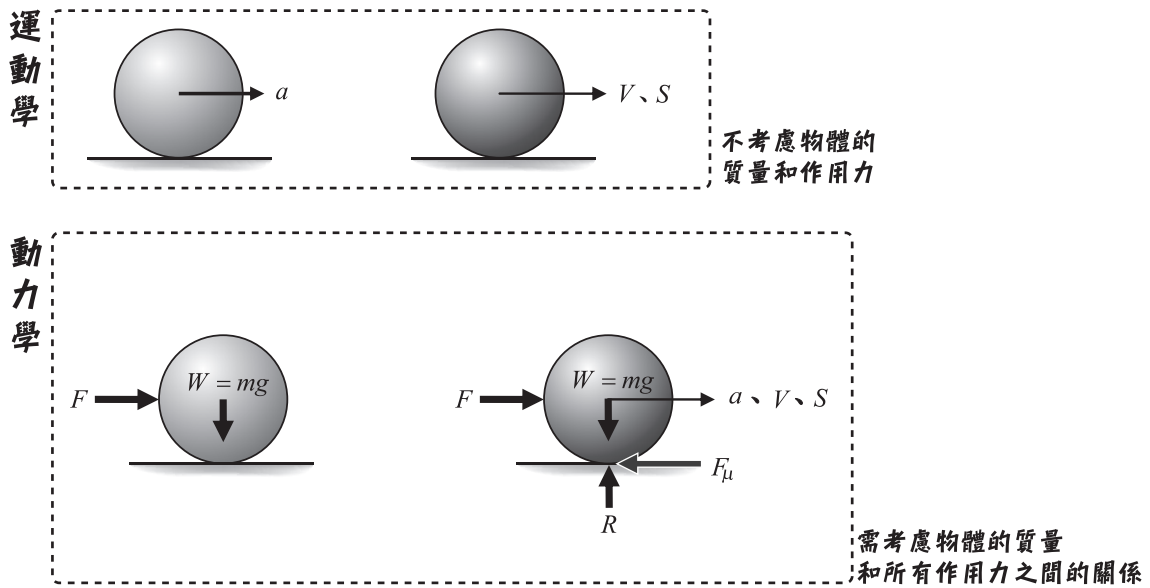


圖 1-5 運動學與動力學

材料力學(mechanics of materials)

當一個物體或結構物受到力的作用時，如果探討物體以及結構物的變形量或它們內部的受力狀況時，此種議題就屬於材料力學的範疇了，如圖 1-6 所示。

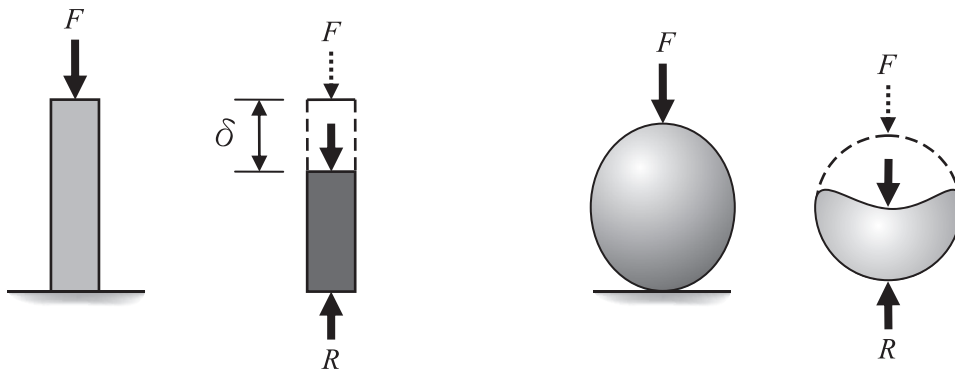
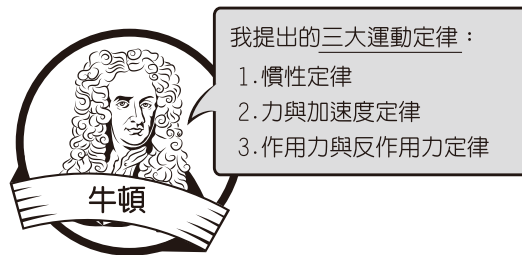


圖 1-6 材料力學探討物體受力變形和內部受力狀況

當力作用在一個物體上時，物體會產生相對效應，該效應可分為內在和外在兩類，內在效應包括產生變形和產生內在應力，會在材料力學中討論，外在效應則包含產生反作用力但不改變物體運動狀態的部分，是屬於靜力學問題，但如果產生反作用力，而且運動狀態也被改變了，就是屬於動力學的問題了。

1-3 牛頓運動定律(Newton's law)

英國偉大的物理學家牛頓是力學研究的鼻祖，除了發現了地心引力與萬有引力以外，所歸納的物體三大運動定律更是後人研究力學的重要理論依據。

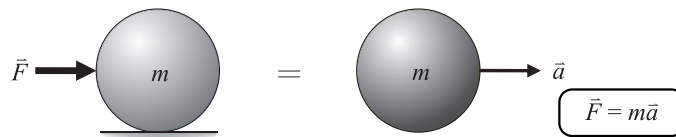


牛頓第一運動定律(Newton's first law)

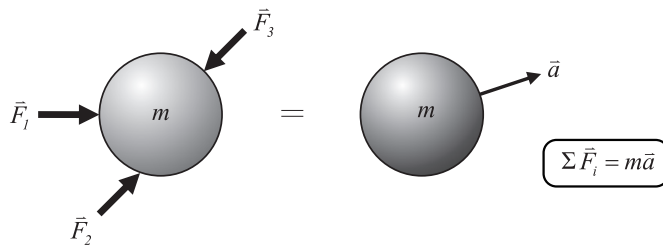
牛頓第一運動定律又稱為慣性定律，它的內涵是：「**當一個物體在不受外力的情況下，靜者恆靜，動者恆作等速直線運動**」。慣性定律包含了三項重點：亦即物體不受外力、靜者恆靜、動者恆作等速直線運動或稱等速度運動。依上述內涵所述，慣性定律也可以說是靜力學的定律，對於剛體來說，物體不受外力和物體受外力作用但合力為零達成平衡狀態的情況是相同的，因此是靜力學問題，靜者恆靜，物體永遠靜止當然也是靜力學的問題，至於動者恆作等速直線運動這一項呢？假如有一顆球在完全沒有摩擦力作用的平面上滾動，在不受外力的情況下，它以等速直線永遠向前滾動，除了球作用在平面上的重量或稱重力以外，就是一個大小相等、方向相反的反作用力作用於球，兩者互相抵消。球雖然同時受到這兩個外力作用，但因為達成了平衡狀態，因此也是屬於靜力學的範疇。

牛頓第二運動定律(Newton's second law)

牛頓第二運動定律又稱為力與加速度定律，它的內涵是：「當質量為 m 的物體受到一個作用力 F 作用時，必然會產生加速度 a 」。必需注意的是物體一定要有質量 m ，且要有作用力 F 的作用，作用後的結果才會產生加速度 a ，如此才能構成牛頓第二運動定律的應用條件。前述 m 、 F 、 a 三項要件中，任何兩者存在就一定可以得到第三者。如果考慮作用力 F 與加速度 a 都在一條直線上發生，可以直接用純量方式表示三者的關係式，亦即， $F = ma$ 。如果不是在一直線上發生，需要考慮方向，就用向量 $\vec{F} = m\vec{a}$ 表示，如圖 1-7 所示。



當一個物體受到多個力同時作用時，關係式必須修正為 $\Sigma \vec{F}_i = m\vec{a}$ ：



如果是多個物體分別受到多個力作用的系統，則以 $\Sigma \vec{F}_i = \Sigma m_i \vec{a}_i$ 表示：

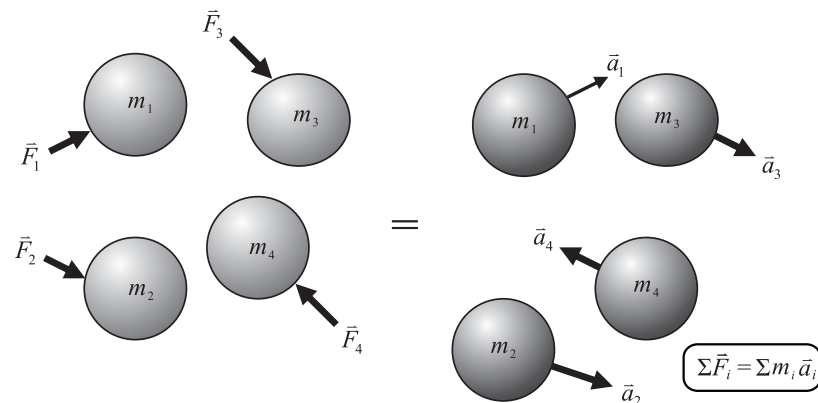


圖 1-7 力、質量和加速度之關係

牛頓第三運動定律(Newton's third law)

牛頓第三運動定律又稱為作用力與反作用力定律，它的內涵是：「**當物體受到一個力作用時，物體必在該作用點上產生一個大小相等但方向相反的反作用力**」。此時該作用點的合力達成平衡，但是因為作用力和反作用力分別作用在不同物體上，假若物體的運動受到限制，比如說將物體置放於桌面上，垂直方向受到限制，因此就不會產生移動，但假若此時拿一撞球桿在水平方向撞擊該物體，在撞擊點上物體會受到向前方向的作用力 F ，球桿則會受到大小相等但方向往後反作用力 $-F$ ，其施力處達到力的平衡，但因物體和桿的運動在水平方向上並沒有受到限制，因此都會依牛頓第二運動定律分別產生運動，亦即物體受力向前方運動，球桿則受反作用力作用而往相反方向移動。

空間中一個內部裝有炸藥的靜止物體，如果將炸藥引爆使該物體一分為二，此兩個分裂後的物體會分別受到大小相等但方向相反的兩個力的作用，類似作用力與反作用力的關係一般。以整個物體來說，爆炸後產生的力像是內力，可以互相抵消，不過因為物體一分為二，本來可以互相抵消的作用力與反作用力是分別作用在不同物體上的，如圖 1-8 所示，因此對分裂後的物體來說，這些作用力應該算是由內力轉外力，可以依據牛頓第二運動定律分別來描述炸裂後兩個物體的運動狀況。

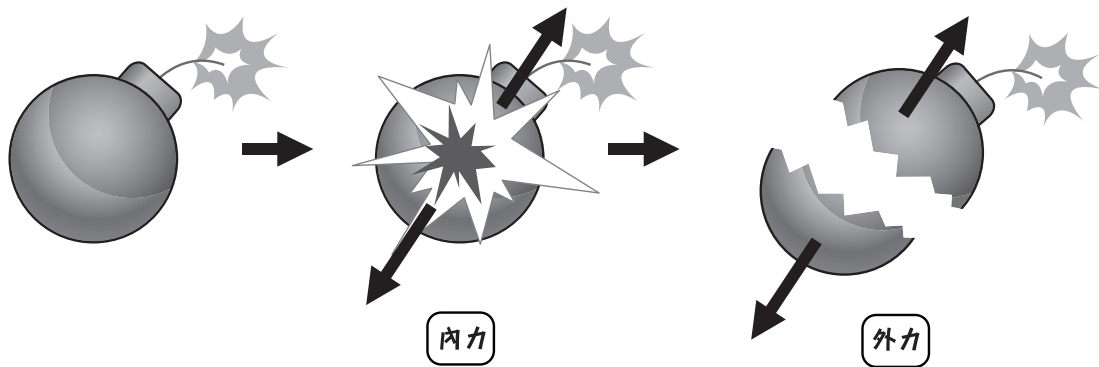


圖 1-8 物體因內力作用導致分裂並產生外力效應