

靜 力 學

Statics

修 訂 版

原著者：Slaby and Tyson

譯述者：朱 紹 鎔

科技圖書股份有限公司

靜 力 學

Statics

修 訂 版

原著者：Slaby and Tyson

譯述者：朱 紹 鎔

科技圖書股份有限公司

修訂版前言

本書講述應用力學的靜力學部分，提供結實的基本理論與問題解答的技術，建立攝取將來新知識的基礎。蓋結實的靜力學觀念與方法，是學習任何種類技術所不可缺少的預習課程也。

靜力學的學習方法，不外數學與圖解兩種。要使學生能做能想，首先要教他們用數學來表示基本原理，繼用圖解法來分析，這是雙關的辦法，用圖解法來加強數學分析，用數學法來支援圖解分析，洞察這門力學的基本觀念與解題技術，本書的目標與特點盡在其中矣。

原著者一在「普林司登」大學，一在「布朗克司」短期大學（即吾國所稱的技藝專科學校）任教多年，深感需要而合作寫成此書，以供訓練合格工程師及工程技師之用。這是一本具有簇新內容與方法的好書，非常適合本國工業專科學校各科的應用力學教本，由於書內所用數學理論較少，亦可供高級工職各科的應用力學教本，以奠定技術訓練的良好基礎。

本書前由臺大土木系副教授朱紹銘先生細心改譯，文筆流暢，嘉惠後學，實屬難能。

本書自印行以來已重版多次，但因原版採用十六開本，常被坊間書肆置在高架上，不易找到而致失諸交臂，甚為可惜。茲趁修正本改版之便，改排成二十五開本，頁數增多，書脊加寬，書名自顯，一索即得。希讀者能細讀此書將得一結實基礎作為日後光明前途的立足據點，則不勝欣慰矣。

科技圖書公司編輯部謹誌

目 錄

修訂版前言

第一章 基本觀念

第一節	概述	1
第二節	力之觀念	2
第三節	向量觀念	5
第四節	無向量	7
第五節	力系	7
第六節	力系之平衡	8
第七節	剛體與力之着力點	9
第八節	合力與一力系之等合力	10
第九節	力與力系的合成與分解	12
第十節	力之力矩	12
第十一節	分離體圖	18
第十二節	綜結與例題	29
	習題	39

第二章 靜力學基本定理

第一節	平行四邊形定理與三角形定理	51
第二節	平衡定理	55
第三節	力之疊置與傳導	59
第四節	作用與反作用定理	59
第五節	分力原理或投影原理	62
第六節	力矩原理	69
	習題	70

2 靜 力 學

第三章 共面力系及簡單結構靜力學

第一節	概述·····	79
第二節	共面共線力系之合力·····	79
第三節	共面共點力系之合力·····	83
第四節	共面不共點力系之合力·····	90
第五節	共面平行力系之合力·····	102
第六節	共面力偶系之合力·····	123
第七節	共線力系之平衡·····	125
第八節	共面共點力系之平衡·····	130
第九節	共面不共點力系之平衡·····	155
第十節	共面平行力系之平衡·····	168
	習題·····	171

第四章 平面桁架

第一節	概述·····	182
第二節	多餘或過多構件·····	183
第三節	載重平面桁架之外反作用力·····	186
第四節	平面桁架構件之內應力·····	193
	習題·····	209

第五章 三向度力系

第一節	概述·····	215
第二節	共點不共面力系·····	215
第三節	不共面，不共點，不平行力系·····	224
第四節	空間不共面平行力系·····	231
	習題·····	237

第六章 靜摩擦力與動摩擦力

第一節	概述·····	245
第二節	靜摩擦·····	246
第三節	靜摩擦係數·····	250

第四節	摩擦之基本定律	254
第五節	靜滾動摩擦與滾動阻力	261
第六節	皮帶摩擦	266
	習題	270

第七章 分佈力系：流體靜力學及形心

第一節	概述	278
第二節	平行力系之中心	278
第三節	重心與形心	281
第四節	對稱軸	285
第五節	對稱中心	287
第六節	形心之求法	289
第七節	均勻分佈平行力系	311
第八節	不均勻分佈平行力	314
第九節	固體之重心	321
第十節	懸(繩)索	327
	習題	338

第八章 向量代數概論*

第一節	向量加法	347
第二節	向量減法	350
第三節	向量與無向量之乘法	350
第四節	向量被無向量除法	352
第五節	單位向量	352
第六節	向量積	374
第七節	無向量積或點積	375
第八節	交叉積	391
	習題	412

第九章 虛 功*

第一節	功之定義	415
第二節	虛位移與虛功	417

4 靜 力 學

第三節 靜平衡分析.....	418
習題.....	424

*上課時間不足，可略去不講。

第一章 基本觀念

第一節 概 述

力學乃物理學之一支，研究物體之運動與力之作用的科學。它可分為兩個主題，即靜力學與動力學。動力學(dynamics)乃研究物體之運動及力使物體運動或變更其運動之科學。本書所討論之靜力學(statics)乃研究力或力系在靜止或作等速運動時所需平衡條件之一種科學。

二千多年前，哲學家與學者已研究過平衡與運動。他們尋求基本定理用來說明運動並解釋其原因。公元前四世紀，一位希臘哲學家對於力系在槓桿之平衡及直線運動之位移(displacement)兩方面作了很深的研究。公元前三世紀，希臘之大數學家及發明家「阿基米得」(Archimedes)發現了槓桿、滑輪，及浮體等原理，他並發明了一個將水提升之器具，後來稱為阿基米得螺旋。這器具目前仍在尼羅河谷灌溉方面使用着。

以後約壹千幾百年間，尚無有關於力學方面之研究記載。在十五世紀，「達文西」(Leonardo da Vinci)創立了靜平衡時，力矩之觀念。他被認為係意大利文藝復興時代之偉大藝術家，實驗科學家、發明家、建築師、土木與軍事工程師，可收集成上千頁之論文，但這些論文很少應用在工程上。

十七世紀後半期及十八世紀初，一個偉大的英國科學及數學家「牛頓」(Isaac Newton)

2 靜 力 學

收集前人論著整理力學方面之著述，正式敘述創立了牛頓力學定理。後來許多數學家——包括「阿爾伯」(D' Alembert)，「拉倫治」(Lagrangé) 及「漢彌爾頓」(Hamilton)等——用不同方式來說明牛頓定理，但他們絕無建議說明牛頓定理是無効的。在20世紀初期「愛因斯坦」(Albert Einstein) 用相對論說明牛頓定理係在一特殊情況有效，當速度接近光速時，牛頓定理便無効了。大多數工程上之應用，其速度均在光速以下，因之牛頓定理仍然為工程與技術科學之基礎。

第二節 力之觀念

力，乃一物體作用於另一物體後，使後者變更其運動之狀況或有發生變化趨勢。要瞭解什麼叫做力，及物理學上的拉力與推力，可用我們每天所得之經驗來解釋。例如自一支承點用一繩懸掛一重物來說明力(見圖 1.1)。地心

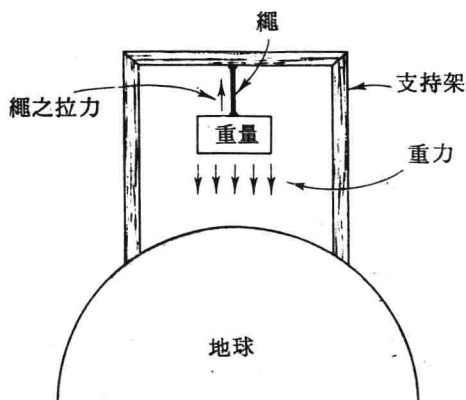


圖 1.1

引力所生之重力拉着此物體向下，但繩索却將此物體向上拉。繩索直接接觸了此物體，因此它拉物體之力，稱為接觸力 (contact force)。地球未直接接觸此物體，它對物體所生之地心引力稱非接觸力 (noncontact force)。(另一非接觸力之例乃係電磁力)。

要定出力之更進一步觀念，吾人可用物理學上之質點 (particles) 觀念來說明。質點乃一實心小球體，其直徑趨近於零。這無限小球體之質點，在物理觀念上是一理想物體，它具有之質量是盡可能的小。(質量之定義，為重量被重力加速度來除)。如果其位置經過任一已知時間後仍然與各參考面保持原有距離，我們認為此點係靜止的 (見圖 1.2 及圖 1.3)。除非有外力作用，靜止之質點永遠保持靜止。

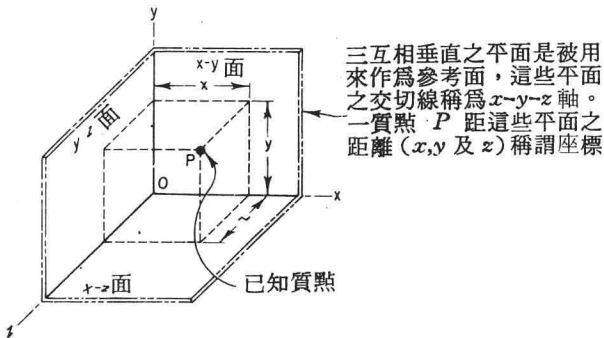


圖 1.2

假定一質點在空間靜止的懸掛着 (見圖 1.3)，同時亦假定另一質點 Q 對參考面是在移動着，此參考面乃係前述質點 P 靜止時之同一參考面。(見圖 1.4)。

假定質點 Q 與質點 P 接觸， Q 將使 P 變更了它與參考面之位置，換句話說，質點 Q 使質點 P 發生運動。質點 Q 對質點 P 所加之外來效應，我們定之為力 (見圖 1.5)。

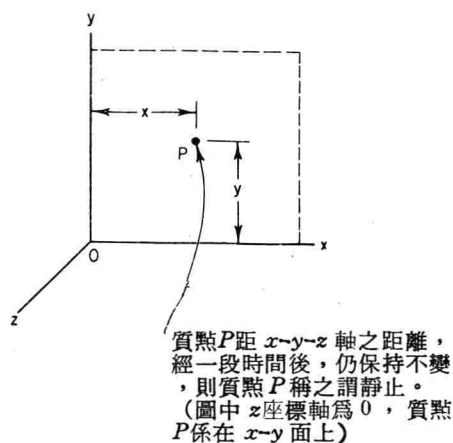


圖 1.3

假定質點 Q 沿一直線運動。
此參考面僅係 x - y 軸。 Q 距
 x 與 y 軸之距離，隨時間而
變，則 Q 為不平衡態。

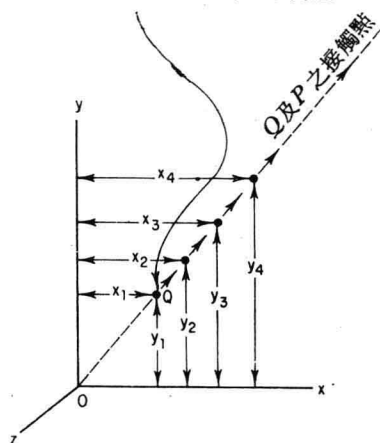


圖 1.4

第三節 向量觀念

物理方面要完全說明力，我們可用圖 1.5 來說明，此圖前已用來解釋了力的觀念。質點 Q 在空間係沿着一有一定方向之定直線與質點

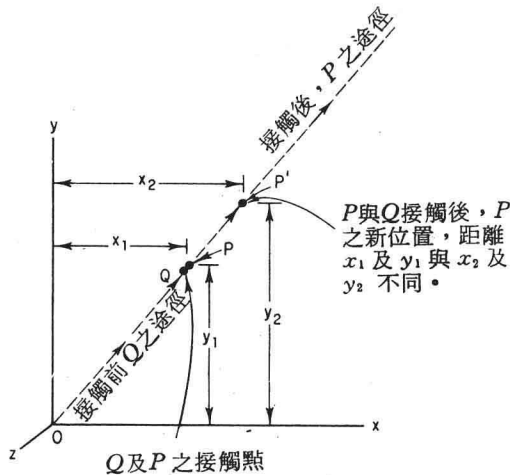


圖 1.5

P 在空間某定點處碰擊，在該點產生一外效應。這外效應之強弱在一瞬間發生，有一定之大小。從物理觀念而言，爲了完整的說明力，它具有有一些特殊基本要素。這些要素如下：

(1) 力必須有一定大小(magnitude)，那是用來表示力之強弱。工程方面力之大小通常在公制用公斤(kg)，英制用磅(lb)來表示。

(2) 力必須有一着力點(point of application)。此例係指質點 P 與質點 Q 之接觸點。

(3) 力必須有一作用線(line of action)。此力係指質點 Q 之運動路徑。

6 靜 力 學

(4)力必須有一指向(sense)或方向，乃表示力作用時之方位。

這四個要素使我們可用圖形來表示一力，這圖形之觀念稱之謂向量(vector)。一直線取一定長度，距參考面有一定位置，並用一箭頭置於此直線之一端指明其作用方向，像這樣一線段可用來表示一力(見圖 1.6)。因此，力乃一向量，並有一定之着力點。概言之，有大小，着力點，指向或方向之向量可用來表示力。

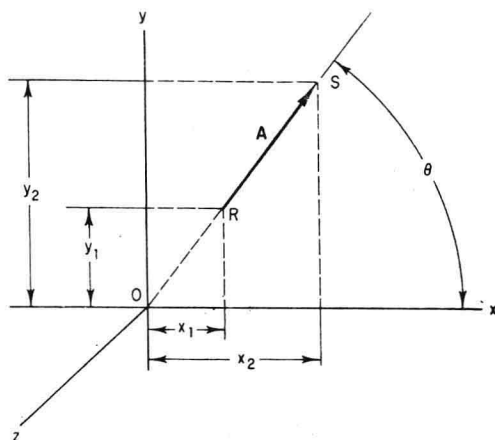


圖 1.6

在本書中，向量是用粗體字母來表示，如 $\mathbf{A}$, $\mathbf{i}$, $\mathbf{j}$ 或 $\mathbf{k}$ 。亦有用斜體字母或數字在其上加一短箭矢來表示，如 $\vec{RS}$, $\vec{F}_1$, 或 $\vec{0-1}$ 。圖 1.6 中，箭矢之尖端 S 與箭矢之尾端 R 間之長度用來表示向量之大小。在符號方面表示大小的用斜體大寫字母和數目字，並示其絕對值： $|\vec{A}|$, $|\vec{F}_1|$, $|\vec{RS}|$ 或 A , F_1 和 RS 。在本書中，按以上定義所記符號以後可能有所變更，此乃為了參閱他書時學生能習慣於不同之符號。若

不照向量比例尺畫出的力，或不記成向量，可用斜體字來表示。像這樣僅知大小的力，可用數目字來表示。(例如 50 kg)。

圖 1.6 中向量 RS 可用 $\mathbf{A}$ 來表示。 $\mathbf{A}$ 用來表示線段 RS 之長度，同時也表示其作用線與指向。如果 $\mathbf{A}$ 之大小為 10 kg(公斤)，採用向量比例尺為 $1\text{ cm}=2.0\text{ kg}$ ，則 R 與 S 間之距離應畫為 5cm。向量 $\mathbf{A}$ 之方位用座標 (x_1, y_1) 與 (x_2, y_2) 來表示。蓋此例中， z 之座標面為零，只有 $x-y$ 之座標面。向量與軸之關係可用向量指向與 x 軸所夾之角 θ 來表示。向量 $\mathbf{A}$ 之指向是用箭頭來表示的。

第四節 無 向 量

向量有大小，方向與指向。可用一線段來表示這些特性。另一方面，一個無向量 (scalar quantity) 只有大小，亦可用一線段來表示，此線段只有長度，而無一定指向與方向。無向量僅用數目字表示。無向量之例子很多，如溫度 (以度表示)，長度 (以公尺，公分或呎，吋表示)，及速率 (以每小時公里，每秒公尺，或每小時哩，每秒公尺等表示)。

第五節 力 系

第三節所論的力，係一外效應，可用向量來表示，現在要考慮有許多力作用於質點上時。如果任何一羣力，不論它的性質，作用於一質點或一物體上，我們就叫這羣力為力系 (force system)。

舉例說明，當一噴射機飛行時，作用於機腹上的基本力是向下之重力，因機舵或因機翼之橫斷面形狀而產生之上浮力，因使機身與機翼向前進行，由噴射引擎所生之推力，還有因飛機向前飛行時周圍空氣對機身與翼面所生之阻力。

這一羣力構成了一個力系（見圖 1.7）。

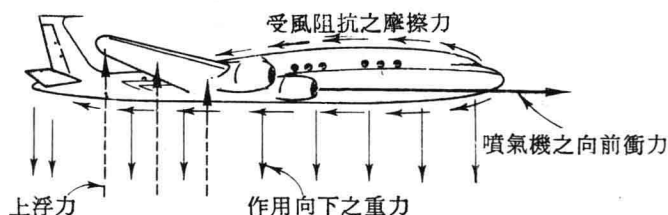


圖 1.7

本書中所要討論之力系一般類型可被分為以下各類，茲簡述其定義如次：

- (1)共面力系：各力之作用線在同一平面。
- (2)不共面力系：各力之作用線不在同一平面。
- (3)共點力系：各力之作用線交會於一點（這種力系可為共面的或不共面的）。
- (4)不共點力系：各力之作用線，不交會於一點（這種力系可為共面的或不共面的或相互平行的）。

第六節 力系之平衡

以上已說明力與力系之定義，現藉向量觀念

來應用這些定義。本章開始已經敘述過，在靜力學中，若力系作用於任一靜止物體時，未能使此物體移動，我們即認為此力系是平衡力系。因之，如有一靜止狀態之物體，有一已知力系作用於此物體時，我們的興趣在了解當此力系作用於此物體後，此物體是否仍在靜止狀態。如果此物體由其原來位置向前運動。則認為是一組不平衡力系作用於此物體上。要使此物體回復其靜止狀態，必須要有另一外來力系作用於此已知物體上方可。在另一方面而言，當原始力系作用於物體時，物體保持靜止，則作用於物體之全部力系必為平衡或是在平衡狀態 (state of equilibrium)。

第七節 剛體與力之着力點

在靜力學中，假定受任意力系作用之物體為剛體 (rigid body)。更進一步而言，假定力系作用於一點。

剛體是一物體，此物體由很多單獨之質點組成，組成此物體之質點，相互間之距離固定，且受力或力系作用於此物體時，亦不改變其距離（見圖 1.8）。因此，在考慮一物體之靜力平衡時，我們認為剛體在力之作用下不發生變形。（註）

第二個假定是各力作用於有一定形狀之物體時，是聚在一點。事實上，此假定是不對的

註：這是一個簡化的假定。就物理觀點言，力作用於一物體時，一定會使物體變形。亦即質點間之距離在外力作用下發生變化。材料力學係研究由於外力作用，而生內力變化之科學。

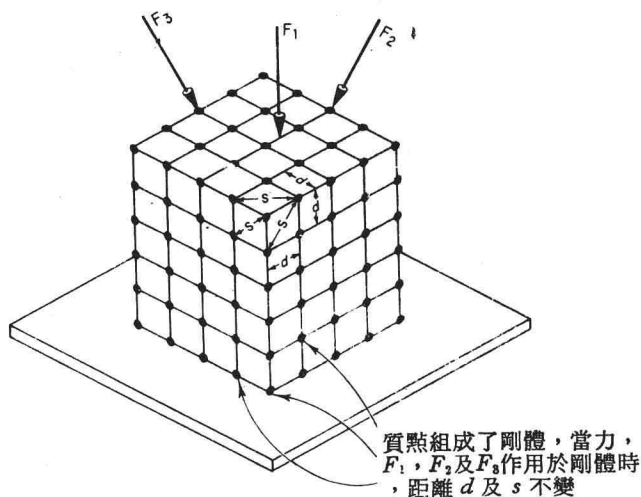


圖 1.8

，一點在數學上的定義是一沒有大小之幾何要素。實際上，當一力作用於物體時，力與物體表面接觸係一小面積，無論如何，在靜力平衡研究上，我們假定力作用於物體上僅為一點。

第八節 合力與一力系之等合力

為了說明一力系是否在平衡狀態，我們必須知道一已知力系作用於一點或剛體上所產生之整個效應。一力系之整個效應是這力系之合力 (resultant) 造成的，亦可用向量來表示，合力乃任何力系最簡單之形式 (見圖1.9)。

如果力系是在平衡狀態，則此力系之合力為零，如果一平衡力系作用於一靜止之剛體，若對此靜止物體不生任何效應，則此力系之合