

165237



212281

工程力学教程 静力学

徐芝綸 薛鴻達 吳永祺
合 編

3732

12

13

上海新亞書店出版

5(3)32

2842

T1K/3

165237

工程力學教程

第一冊

靜 力 學

徐芝綸 薛鴻達 吳永祺

合 編

新亞書店出版

工程力學教程

第一冊

靜 力 學

版權所有

不准翻印

一九五二年十月初版

一九五二年十一月再版

定價人民幣一三五〇〇元

編 者

徐芝綸 薛鴻達 吳永祺

出 版 者

新 亞 書 店

上海河南中路159號

電話：9 4 2 5 8

總發行所

中國科技圖書聯合發行所

4室

：21968

分 銷 處

上海、重慶、
漢口、貴陽

新亞書店

前 言

這部工程力學教程，準備分四冊出版。第一冊是靜力學，第二冊是運動學及動力學，第三冊是材料力學，第四冊是水力學。多年來，我們在大學土木、水利、造船等系講授工程力學，總是苦於沒有適當的教本。各書店所印行的幾種教本，大多譯自英、美書籍，教材又多偏重於機械工程方面，並且篇幅多而書價貴；工程力學的各科目間，本應有密切的聯繫，過去的教本，往往因個別編譯，以致內容上缺乏了系統性；尤其是所採度量衡制，常多呎磅制，更與新中國的情況根本不適合。由於這些原因，我們在講授時不得不採用了筆記與講義的方式，這樣辦，同學的學習，教師的輔導，雙方都感不便。因此，我們把歷年講授的教材整理出來，合編一部比較有系統的工程力學教本，以期解決教學上的許多困難。現在，大家都已認識到，蘇聯的先進的科學技術，最值得我們學習，工程力學亦不例外，因而我們在編輯時，以蘇聯的教本為主要的參考。

我們編寫本書時，特別注意下列的各點：

1. 學習工程力學，首先對於各項原理，要有正確觀念，才會掌握各項原理正確的運用。演算問題的目的，是在訓練我們運用力學原理來解決實際問題的能力，所以祇會代公式，解問題，並不能算已學會了工程力學。我們編寫時，對於各項觀念，解釋力求明確，論證力求嚴密而合乎邏輯，至於教材的排列孰先孰後，亦求有合理的系統。例如：關於各種力系的獨立平衡方程，結構物的靜定而穩定的約束，都詳加說明；又如，角速度與角加速度不在質點運動中講述，而在剛體運動中方始講述。

2. 我們對於每個公式的導出，都有詳細的說明，更注意與所選例題配合，以作各個公式如何應用的例解。有許多次要的原理，不在正文內占去篇幅，而就利用例題作為說明。所選的習題，注意與實際工程問題的聯繫，更注意使同學得到適當的練習，並且配合一般教學與自修的時

間，因而本書習題的數目，比較同類教本爲少。那些祇是運算繁複的難題，我們就不選取，以免徒然耗費同學的精力。

3. 在課文與插圖中，採用正體字母(如 A, B, C, a, b, c)表示點、線、面的位置，採用粗筆斜體字母(如 F, Q, W, r, v, w)表示矢量，採用細筆斜體字母(如 F, Q, W, r, v, w)表示標量或矢量的大小(不包括其方向)。例如： $(M_O)_F$ 表示力 F (矢量)對於點 O (位置)的矩 M (數量)。

4. 本書適於大學本科教學之用，教材的解說採用初等微積分，如果加以適當的精簡，亦適合專修科的教學應用，例如：靜力學中的空間一般力系，懸索長度的計算，運動學中的質點對於剛體的相對運動，動力學中的強迫振動，有阻尼的振動，迴轉儀等。

編寫第一、二冊時的主要參考書如下：

Е. Л. Николаи: Теоретическая Механика, 1952.

А. Н. Некрасов: Курс Теоретической Механики, 1950.

Н. Е. Жуковский: Теоретическая Механика, 1950.

А. Н. Динника: Справочник по Технической Механике, 1949.

И. В. Мещерский: Сборник Задач по Теоретической Механике, 1951.

Н. Н. Бухгольц, И. М. Воронков и А. П. Минаков: Сборник Задач по Теоретической Механике, 1949.

S. Timoshenko & D. H. Young: Engineering Mechanics, Vol. I. II., 1937.

S. Timoshenko & D. H. Young: Advanced Dynamics, 1948.

J. P. Den Hartog: Mechanics, 1948.

我們於短期間編成這一部書，一定有許多不完善的地方，希望讀者多多提出意見，作爲今後改版時的參考。

目次

第一編 靜力學

第一章 導言	1
力學, 1. 力的概念, 2. 靜力學的基本原理, 3. 約束力與脫離體, 7. 力系的類型, 9.	
第二章 共面共點力系	10
力的合成, 10. 力的分解, 11. 平衡條件, 13. 三力平衡原理, 13. 投影法, 20. 力矩法, 24.	
第三章 共面平行力系	29
同向的二平行力, 29. 反向的二平行力, 30. 力偶, 31. 共面平行力 系, 34.	
第四章 共面一般力系	39
合成——投影力矩法, 39. 平衡條件, 40. 剛體在平面內的靜定而且 穩定的約束, 44. 圖解法, 48.	
第五章 平面力系的應用問題	55
平面桁架, 55. 桁架分析法之一——節點法, 58. 節點圖解法——桁 架內力圖, 59. 桁架分析法之二——截段法, 64. 簡單構架, 66. 載 荷沿水平跨度均勻分佈的懸索, 69.	
第六章 空間共點力系	74
合成及分解, 74. 投影法, 75. 力矩法, 79. 簡單空間桁架, 83.	
第七章 空間力偶系及空間平行力系	87
空間力偶系, 87. 力對於一點的矩與對於經過該點的軸的矩之間的關 係, 90. 空間平行力系, 90.	
第八章 空間一般力系	95
合成, 95. 平衡條件, 98. 空間靜定而且穩定的約束, 102.	

第九章 重心及形心 106

平行力系的中心, 106. 剛體的重心, 107. 幾何形體的形心, 108. 若干特殊形體的形心, 109. 巴古二氏定理, 110. 用積分法求形心, 112. 組合形體的形心, 115. 分佈平行力, 118.

第十章 摩阻 122

摩阻現象, 122. 摩阻定律, 123. 螺旋的摩阻, 126. 皮帶的摩阻, 128. 輪軸的摩阻, 130. 滾動阻力, 131.

第一編 靜力學

第一章

導言

1-1. 力學。 力學是研究物體運動的科學。大至天體的運行，小至分子、原子、電子的振動，都是力學研究的對象，至於靜止，可看做運動的特殊情況。理論力學研究物體運動的一般規律以及運動問題的一般解法；工程力學則將此等規律和方法應用於工程問題。

理論力學或工程力學都可分成三部門：

(1) **靜力學**——專論物體平衡的條件，即物體受力而不變更動態的條件。

(2) **運動學**——專論物體運動的幾何性質，即空間與時間的關係，而不計及改變或產生運動的原因。

(3) **動力學**——專論物體運動的改變與其所受外力之間的關係。

本書按照由簡入繁的次序和力學的歷史發展程序，將首先講述靜力學，其次講運動學，再次講動力學，全書都以簡單的工程問題作為論究的對象。

物體受力後，不但動態可能變更，形態也可能變更，而且往往動態不變而形態變更。由於一般工程材料在使用時的形變極為微小，研究物體的運動或平衡時，將形變略而不計，不致有什麼誤差。因此，應用力學中常假定所論究的物體是形態完全不變的剛體，即假定物體內各質點之間的距離永恆保持不變。關於彈性體的平衡和運動問題，通常在材料力學中討論。至於流體，即形變根本不能和運動分開討論的物體，則留待流體力學中討論。

工程力學(包括應用力學、材料力學、流體力學)的教學目的有三:
(1)訓練學生的思想方法,使學生能夠掌握力學的基本原理,合理地簡化工程問題,將其歸納為數學關係,再求出正確的解答,並判斷此解答是否能應用於該工程問題。(2)培養學生的基本工程知識,使學生能夠明瞭物體因受力而產生的結果,並掌握其基本規律,為以後的專業課程奠定基礎。(3)確立學生對工程數量的概念,使學生能夠熟悉工程上常用的數據及數字的計算方法,並能判斷計算的結果是否合理。

1-2. 力的概念。 力是改變或足以改變物體動態和形態的趨勢,此種趨勢須視力的下列三種性質而決定:(1)力的大小,(2)着力點,即力對物體的作用點,(3)力的方向,即力的方位與指向。這三種性質可稱為力的特徵。凡三特徵完全相同的力,改變物體動態和形態的趨勢也相同。着力點與方位可用一直線表明;這直線稱做力的作用線。

要表明力的大小,必須選擇一個標準的力作為單位力,而說明某一力是單位力的若干倍數。工程上普通用重力單位制,即以某一標準物體在地面上某一固定位置所受的重力作為力的單位。本書所用的單位是仟克,或公斤,即具有 1000 克質量(例如:4°C. 時的 1000 cc. 的水)的物體,在北緯 45° 的海平面處所受的重力,以後用 kg 代表;有時採用公噸(即 1000 kg)為單位,用 t 代表。

若某力可以假定集中作用於物體上的一點,則這一點稱做該力的着力點,而該力稱做集中力。實際上,任何一力都不可能集中作用於一點,必須有一相當的面積或體積,以分佈其作用,即力都是分佈力。分佈作用於面積上的力,如接觸力或流體壓力等,稱做面力;分佈作用於一體積內的力,如萬有引力或重力等,稱做體力。若面力所作用的面積遠較物體的全表面為小,為了簡化計算起見,可假設該力集中作用於一點。物體的重力,則可假定集中作用於物體的重心(見 §9-2)。

在物理學上,凡只有大小而無方向的量,稱做標量或純量,又稱非矢量或無向量。凡兼有大小與方向的量,則稱做矢量或向量。力既是有方向的量,當然是矢量。矢量可用有箭頭的直線段來表明。此種線段

稱做矢。以力矢而論，線段(或矢身)的長度按一定的比例尺表明力的大小，線段的方位表明力的方位，箭頭的指向表明力的指向。此種只表明矢量的大小與方向的矢，稱做自由矢。力的自由矢可畫在與該力作用線平行的任一直線上。若同時還須表明力的位置，那就得在力的作用線上畫力矢，並以着力點作為矢的起點或終點，此種矢稱做定位矢。

例如：圖 1-1 所示的線段 AB ，就是力 F 的定位矢^①，其長度表明力 F 的大小，其方位表明力 F 的方位，在其終點 B 的箭頭表明力 F 的指向，線 KL 是力 F 的作用線。線段 CD 是力 F 的自由矢，可畫在任一與作用線 KL 平行的直線 MN 上，但只表明力 F 的大小與方向，並不表明着力點或作用線的位置。凡討論有關力 F 的着力點或作

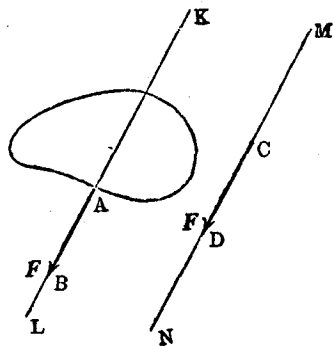


圖 1-1

用線的問題時，必須考察定位矢 AB ；只考察自由矢 CD 是不充分的。

1-3. 靜力學的基本原理。 一門學科的所謂基本原理，或公理，是由無數次縝密的觀察和經驗累積而得到的原理，不能用更基本的原理來證明，只能用實驗的方法證實。靜力學的全部原理與方法，以下列五個基本原理為根據。

原理一。不受力的物體保持平衡。 這一原理又稱做慣性定律。所謂平衡，就是動態維持不變：物體既不改變運動的快慢，也不改變運動的方向，即該物體靜止不動，或作勻速直線運動。根據這一原理，若某一物體未能平衡，就可斷定它必受有力的作用。因此，力的定義是：改變物體動態的趨勢，或破壞物體平衡的原因。

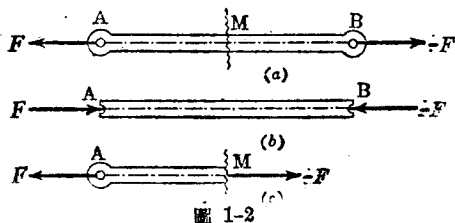
不受力的物體一定保持平衡，但受力的物體亦可能保持平衡。因為，作用於某一物體的力往往不止一個，而是多個，組成所謂力系。若力系

註① 粗體字母代表矢量，對應的細體字母代表其數量(大小)。例如， F 代表某一個力， F 代表該力的大小。

中的各力改變物體動態的趨勢互相抵消，那末該物體亦得保持平衡。這樣的力系，稱做平衡力系。當然，最簡單的平衡力系，須由兩個力組成。二力平衡的條件如下：

原理二。二力平衡，必須而且只須大小相等，方向相反，並作用於同一直線上。例如：有一重量可以

不計的桿件 AB (圖 1-2)，在其兩端各受有一力的作用，而仍保持平衡，則根據原理二，可知二力 F 大小相等，方



向相反，並同以直線 AB 為其作用線。圖 1-2(a) 所示的力 F 有拉長該桿的趨勢，因而稱做拉力；圖 1-2(b) 所示的力 F 有壓縮該桿的趨勢，因而稱做壓縮力。

假想將圖(a)的桿件在任一點 M 切斷，則由於 AM 一段桿件的平衡，圖 1-2(c)，又可斷定截面 M 上必有力 F 存在，與 A 端的力 F 大小相等，方向相反，並作用於同一直線上。對於受壓縮力的桿件，亦可得到相似的結論。此種存在於物體內部的力，亦即同一物體的兩部份互相作用的力，稱做內力。

若作用於某一物體的力系，由很多個力所組成，則該物體是否平衡，(即該力系是否為平衡力系)，很難判斷。因此，常須將該力系改換為較易考察的力系。當然，只有變更物體動態的趨勢相同的二個力系，才可以互換。這樣的二個力系，稱做當量力系。將一個力系歸併為力數較少的當量力系，稱做力的合成；反之，將一個力系擴增為力數較多的當量力系(也是為了較易考察)，稱做力的分解。若是某一力系可合成為一個力，則後者稱做前者的合力，而力系中的各力都稱做後者的分力。力的合成與分解，是以下列基本原理為根據的。

原理三。若矢 AB 及 AD，圖 1-3(a)，各代表在同一點 A 作用的二力， F_1 及 F_2 ，則平行四邊形 ABCD 的對角線 AC 即代表此二力的合力 R 。這一原理又稱做力的平行四邊形定律。顯然，AB, AD, 及 AC 各是分

力 F_1 , F_2 及合力 R 的定位矢。若用自由矢代表各力, 又可得力的三角

形定律如下: 設 AB 及 BC

各代表分力 F_1 及 F_2 , 圖

1-3(b), 則三角形 ABC 的

第三邊 AC 即代表合力 R 。

這一定律說明矢量合成律

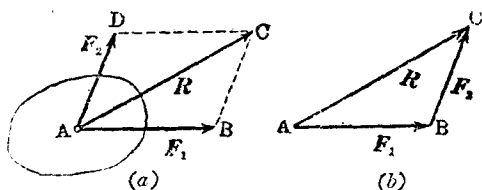


圖 1-3

可以應用於二力的合成, 即, 合力等於二分力的矢量和。分力矢與合力矢所構成的三角形稱做力矢三角形。用三角形定律求合力, 自然比用平行四邊形定律簡單, 但在有關着力點或作用線的問題中, 三角形定律不能適用, 因為力矢三角形的各邊是自由矢, 不能表明各力的位置。

顯然, 分力 F_1 與 F_2 作用於同一直線上, 成為共線力時, C 點, 圖 1-3(b), 亦將在 AB 線上, 即合力亦將與分力共線。若二分力的指向相同, 則合力矢的長度等於二分力矢長度之和, 即合力的數量等於二分力數量之和。若二分力的指向相反, 則合力的數量等於二分力數量之差。總之, 共線二力的合力, 其數量等於二分力數量的代數和。

原理四。任一力系不因加入或取消一個平衡力系而改變其作用。最簡單的平衡力系, 就是原理二所指的‘大小相等, 方向相反, 並且作用於同一直線上的兩個力’。由這一原理, 可推論出來力的一個重要特性。

設圖 1-4(a) 所示的物體受有某一力系的作用, 在點 A 的力 F 是此力系中的任一個力。根據原理四, 可在力 F 的作用線上任一點 B 加上兩個力, F' 及 F'' , 方向相反, 數量各與 F 相等, 並與 F 共線, 圖 1-4(b)。又因 F 與 F'' 成一平衡力系, 可以取消, 於是只在點 B 留下 F' , 與原來的力 F 數量相等, 方向相同, 並在同一直線上

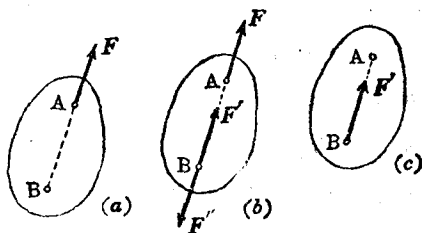


圖 1-4

作用, 圖 1-4(c)。這就是說, 力 F 由點 A 被移到點 B 。用語句表明, 即得力的可傳原理: 力可沿其作用線任意移動 (即: 力的作用線上任一

點都可作為着力點)而其作用不變。這一性質,又稱做力的可傳性。但是須注意,所謂作用不變,專就力對於物體的平衡或運動的效應而言。力的任一移動,都將使受力的物體形態變更的情形隨着改變^①。因此,力的可傳原理,只適用於力學中所討論的剛體問題。

根據這一原理,可將平行四邊形定律推廣運用。例如某一物體受有力 F_1 及 F_2 , 圖 1-5(a), 其作用線相交於點 C, 但其着力點是不同的兩

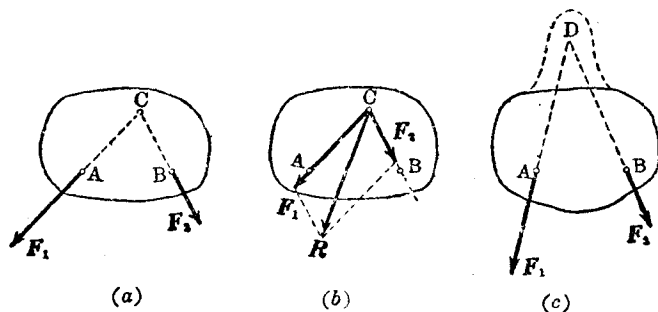


圖 1-5

點, A 及 B。根據力的可傳原理,可將二力矢移動到 C, 然後用平行四邊形原理求出合力 R , 圖 1-5(b)。若二力的作用線相交於物體範圍以外的一點 D, 圖 1-5(c), 可假想物體擴張到點 D 而求合力如前。求得合力後,再將合力沿其作用線移動到物體以內。

原理五。 二物體互相作用的力同時存在,大小相等,作用線相同,而方向相反,這一原理常稱做反作用定律。根據這原理,力不能單獨存在,若物體 A 受到物體 B 所施的力 F , 則同時 B 必受到 A 所施的力 F' (圖 1-6); F 與 F' 大小相等,作用線相同而方向相反,

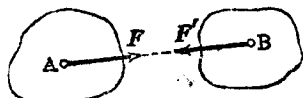


圖 1-6

如圖 1-6 所示。 F 是物體 A 由於施作用力 F' 而受到的反作用或反力; F' 是物體 B 由於施作用力 F 而受到的反作用或反力。前面已說明,任一物體的平衡,全繫於該物體所受的力,而與該物體對於其他物

註^① 例如,圖 1-2(a)中的桿 AB 是平衡的。根據力的可傳性,將 A 點的力 F 移到 B 點, B 點的力 F 移到 A 點,就成為圖 1-2(b)的情形,桿仍保持平衡。但在前一情形,桿有拉伸的形變,在後一情形,桿就有壓縮的形變了。

體所施之力並無直接關係。因此，考察物體 A 的平衡時，只須計及力 F 而不應計及 F' 。反之，考察 B 時，只須計及 F' 而不計及 F 。

1-4. 約束力與脫離體。力學中所考察的物體，往往不是可以自由運動，而是在某些點沿某些方向受到相當約束的。假使該物體在被約束處沿被約束方向有運動的趨勢，則將受到約束力，也就是反力。考察此種物體的平衡時，必須計及所有的約束力。例如圖 1-7(a) 中的圓球，在 A 和 B 受到地板和牆壁的約束，不能向下動，也不能向左動。

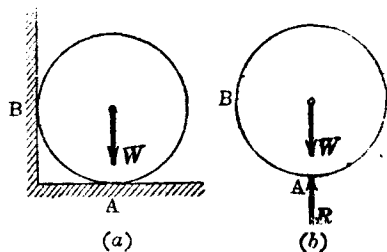


圖 1-7

由於圓球受重力 W ，有向下運動的趨勢，因而在 A 受有向上的反力 R ，圖 1-7(b)，但圓球並無向左動的趨勢，因而在 B 並無約束力或反力存在。若該圓球同時還受到向左的力，此力有使圓球向左動的趨勢，則在 B 點對於圓球亦將生出向右的約束力。

又如：掛在繩索上的圓球，圖 1-8(a)，受到重力 W 的作用，有向下墜落的趨勢，因而受到繩索的向上拉力 S 的約束，圖 1-8(b)。但當圓球有向上動或左右動的趨勢時，繩索卻不能加以約束，繩索只能受拉力，它只能約束圓球的向下運動。

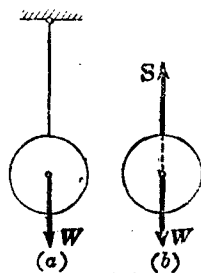


圖 1-8

又如圖 1-9(a) 所示的物體，除了受有地板的約束外，又受有鏈桿 AB 的約束。當物體受到力 P 的作用，有向右動的趨勢時，鏈桿即對物體

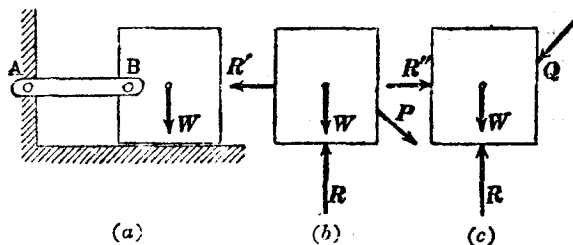


圖 1-9

施一向左的約束力(拉力) R' , 圖 1-9(b). 當物體受到力 Q 的作用, 有向左動的趨勢時, 鏈桿即對物體施一向右的約束力(壓縮力) R'' , 圖 1-9(c). 但當物體有向上或向下動的趨勢時, 鏈桿卻不能對物體有所約束, 因而並不能施出約束力. 實用上常以輥軸代替鏈桿, 參閱圖 2-15(b), 當物體有沿輥軸支承面的垂直方向運動時, 輥軸即施以約束力(拉力或壓縮力), 但不能約束物體沿支承面的運動.

物體被鉸(圖 2-15)或光滑的銷釘(圖 2-14)所約束時, 它與鉸或銷釘接觸的一點沿任何方向都不能移動. 因此, 鉸或銷釘對物體所施的約束力, 可以沿任何方向作用, 但必須經過鉸或銷釘的中心.

總之, 約束力因有約束而存在, 約束力的着力點在約束點, 約束力的方向與約束的方向相反. 若是物體在約束處, 沿約束方向並無運動的趨勢, 則約束力不存在.

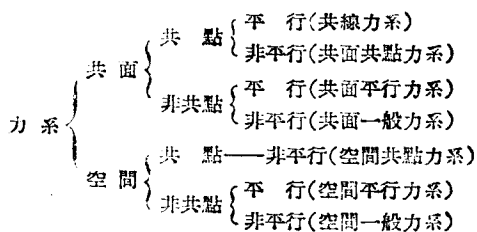
在考察物體的平衡時, 必須顧到物體所受的一切外力, 包括約束力在內. 爲了簡單明瞭, 可將物體所受的約束除去, 而代以約束力的力矢, 並用一簡圖表明. 這種使受力物體脫離約束的圖示, 稱做脫離體圖, 或自由體圖. 脫離體圖上應畫出該物體所受的一切外力, 而不得列入該物體對其他物體所施的任何的力. 在通常的靜力學問題中, 應顧及以下各力: (1) 重力——經過脫離體的重心, 鉛直向下, 如以上各圖中的 W . (2) 接觸面上約束力或反力——垂直於接觸面, 指向脫離體內部, 作用點在接觸面內, 如圖 1-7(b), 1-9(b), 1-9(c) 中的 R . (3) 繩索的拉力——沿繩索的中心線, 由脫離體向外作用, 如圖 1-8(b) 中的 S . (4) 鏈桿的拉力或壓縮力——沿鏈桿的中心線作用, 由脫離體向外作用或指向脫離體內部, 如圖 1-9(b) 中的 R' 或圖 1-9(c) 中的 R'' . 輥軸的反力與鏈桿相同, 惟作用線垂直於輥軸支承面, 圖 2-15(c). (5) 銷釘的約束力——經過銷釘的中心, 但方位與指向都是未知, 圖 2-14, 2-15.

作脫離體圖是解決靜力學問題的第一步工作, 亦是絕不可少的工作, 而且不容許有任何錯誤. 若是不畫出正確的脫離體圖, 則以後的分析工作將完全無用. 初學者可能發生的錯誤, 大致有下列三種: (1) 遺漏

脫離體所受的外力，(2)多加了脫離體內部互相作用的內力，(3)多加了脫離體所施於其他物體的作用力。在未進行分析工作以前，必須校核並改正此類錯誤。

1-5. 力系的類型。 靜力學專論受力物體的平衡條件，即作用於物體的力系的平衡條件。力系有各種不同的類型，因而力系的平衡條件也有不同的形式。因此，在應用平衡條件之前，必須首先確定該力系屬於那一個類型。

若一力系中各力的作用線都在同一平面內，則稱做共面力系，否則稱做非共面力系，即空間力系。若力系中各力的作用線都相交於同一點，則稱做共點力系，否則稱做非共點力系。若各力的作用線都互相平行，則稱平行力系，否則稱非平行力系。若力系中各力的作用線都在同一直線上，則稱共線力系。今將力系的類型，表列如下：



本書中第二章至第四章將分論共面共點力系(附共線力系)，共面平行力系，及共面一般力系。第六章至第八章將分論空間共點力系，空間平行力系，及空間一般力系。

第二章

共面共點力系

2-1. 力的合成。連續應用力的平行四邊形定律，可求出任何共面共點力系的合力。設有四個共面力 F_1, F_2, F_3, F_4 作用於一物體的 O 點，圖 2-1(a)，欲求其合力。先以力矢 F_1 及 F_2 為兩邊，作平行四邊形，求得合力 R_1 。仿此，將 R_1 與 F_3 合併而得 R_2 ，即 F_1, F_2, F_3 的合

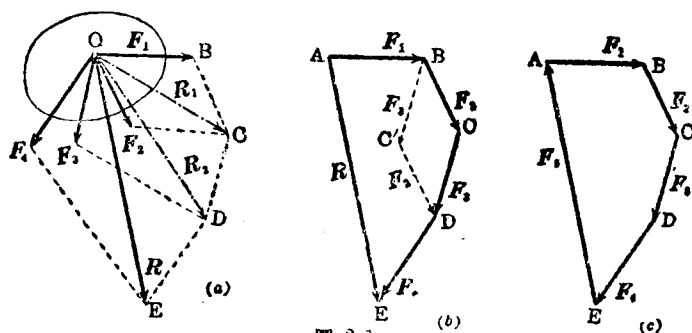


圖 2-1

力。最後將 R_2 與 F_4 合併成 R ，即得全力系的合力。若力系中包含更多的力，仍可繼續應用平行四邊形定律，最後合成一個力。顯然，合力 R 的着力點也在點 O。

既然合力 R 的着力點也在點 O，祇要求出合力的大小及方向，就可完全確定此合力，因而力的三角形定律亦可以應用。先作 F_1 的自由矢 AB，圖 2-1(b)，A 是矢的起點，B 是終點。從其終點 B 作 F_2 的自由矢 BC，於是 AC 為 R_1 的自由矢。仿此，從 C 作 F_3 的自由矢 CD，則 AD 為 R_2 的自由矢，最後從 D 作 F_4 的自由矢 DE，則 AE 便是力系的合力 R 的自由矢，AE 的長度及方向即代表合力 R 的大小及方向。若在點 O 引作與 AE 平行而長度相同，指向相同的矢，便是合力 R 的定位矢。