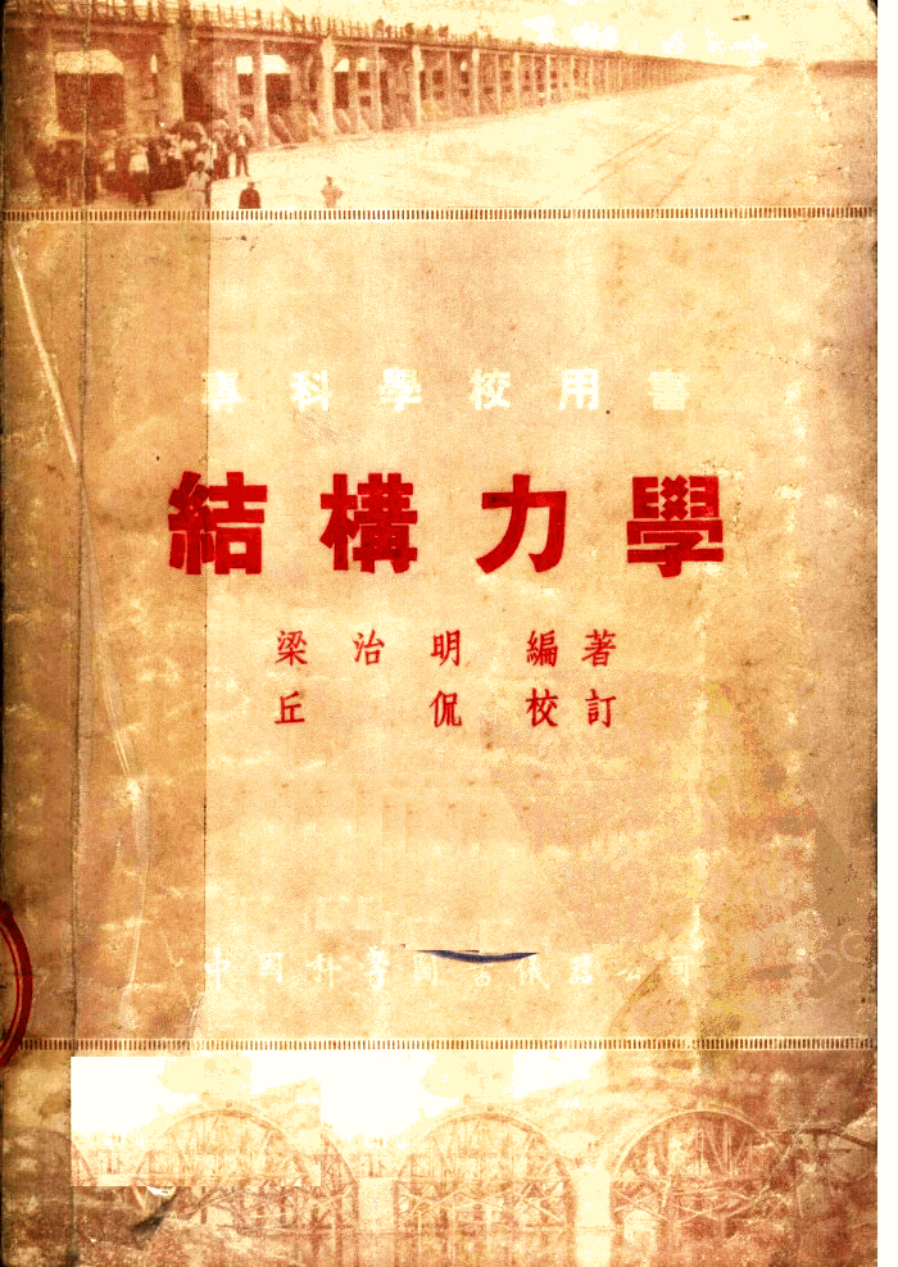




專科學校用書

結構力學

梁治明 編著
丘侃 校訂

中國科學圖書儀器公司

目 錄

第一章 概論	1
1-1 工程結構.....	1
1-2 結構的設計.....	1
1-3 結構所受的力.....	2
1-4 結構的分類.....	4
1-5 房屋及橋梁的構造.....	5
1-6 實際的與理想的結構.....	7
第二章 結構的反力及穩定問題	10
2-1 前言.....	10
2-2 結構的支座.....	10
2-3 靜力平衡方程式.....	12
2-4 反力的數解.....	13
2-5 反力的圖解.....	18
2-6 條件方程式.....	22
2-7 三鉸拱反力的圖解.....	29
2-8 反力的靜定及穩定問題.....	32
習題.....	38
第三章 梁結構	41
3-1 前言.....	41
3-2 剪力圖及彎矩圖.....	41
3-3 荷重、剪力及彎矩的關係.....	45
3-4 用圖解法求剪力圖及彎矩圖.....	45
3-5 有橫梁時主梁的剪力圖及彎矩圖.....	56
習題.....	59
第四章 桁架應力分析	62
4-1 前言.....	62
4-2 實際的與理想的桁架.....	62
4-3 簡單桁架.....	64
4-4 聯合桁架.....	66
4-5 節點法.....	68
4-6 節點法的圖解.....	74
4-7 截面法.....	77
4-8 截面法的圖解.....	81
4-9 節點法與截面法的配合應用.....	84
4-10 複雜桁架.....	90
4-11 桁架的靜定及穩定問題.....	91
習題.....	96
第五章 感應線	101
5-1 前言.....	101
5-2 感應線的意義.....	101
5-3 梁的感應線.....	103
5-4 有橫梁時主梁的感應線.....	107
5-5 桁架的感應線.....	110
5-6 感應線的應用.....	115
5-7 絕對最大剪力及彎矩.....	121
習題.....	125

第六章 屋頂及橋梁桁架	129
6-1 前言.....	129
6-2 屋頂桁架的型式.....	131
6-3 屋頂的荷重.....	133
6-4 屋頂桁架應力的計算.....	140
6-5 簡單橋梁桁架的型式.....	143
6-6 公路橋梁的荷重.....	145
6-7 鐵路橋梁的荷重.....	148
6-8 換算均佈活荷重.....	152
6-9 橋梁桁架應力的計算.....	158
6-10 反覆應力,反斜桿.....	159
6-11 長跨簡單橋梁.....	164
6-12 長跨橋梁.....	168
6-13 三鉸拱桁架的應力.....	172
6-14 懸臂桁架橋的應力.....	175
習題.....	177
第七章 超靜定結構的近似分析	180
7-1 前言.....	180
7-2 結構的超靜定次數.....	181
7-3 交叉斜桿支撐架.....	184
7-4 多重腹系桁架.....	188
7-5 門架.....	192
7-6 廠房排架.....	197
7-7 樓房排架.....	204
習題.....	217
第八章 結構的撓度	221
8-1 前言.....	221
8-2 計算結構撓度的方法.....	221
8-3 卡氏第一定理.....	222
8-4 虛功法原理.....	229
8-5 用虛功法求桁架的撓度.....	230
8-6 用虛功法求梁及剛架的撓度.....	235
8-7 用面矩法求梁的撓度.....	239
8-8 用共軛梁法求梁的撓度.....	244
8-9 用維氏-莫氏圖求桁架的撓度.....	250
8-10 麥氏撓度互等定理.....	256
習題.....	259
第九章 超靜定結構的分析	263
9-1 前言.....	263
9-2 超靜定結構分析的方法.....	263
9-3 最小功法(卡氏第二定理).....	264
9-4 撓度法(麥氏-莫氏法).....	269
9-5 傾角撓度法.....	279
9-6 彎矩分配法.....	287
9-7 剛架有側移時的彎矩分配.....	296
習題.....	301

第一章

概 論

1-1 工程結構 房屋、橋梁、堤、壩是土木工程中的重要建築物，這些建築物都是一個整個的物體或是由許多部分連接而成的物體，能支持其本身的重量及其他一定的外加力量，以達到建造的目的。凡是這樣的物體都稱為結構。因此，如涵洞、水塔、水管、梁、柱、牆以及一個結構的任一部分都是結構。

各種結構的功用、形式雖不相同，但在分析其力的作用時基本原理是一樣的。本書所講述的即是這些原理及其應用，研究的對象以土木結構為主，但對別種工程結構也可適用。

1-2 結構的設計 一個結構工程包括調查、研究、設計、施工等階段。成功的工程應當是在實際的客觀條件下，適當地滿足三個要點，即：(1)適合使用的需要，有相當的安全和穩固；(2)人力物力的節省；及(3)美觀。重要的、艱鉅的結構，在施工以前的調查、研究、設計工作尤應抓緊時間審慎從事，以免形成嚴重的浪費或甚至發生事故，招致災害。

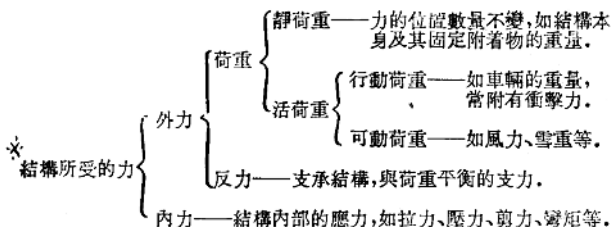
設計工作可分為兩步。第一步設計是就結構建造的目的和要求，再結合當時當地的具體情況，決定結構的型式、材料、荷重，

各部主要尺寸等重要綱領。此步工作常稱為規劃或功用設計。規劃工作關係工程的成敗得失至鉅，必須先作好調查、研究的準備工作，工程師更須有豐富的經驗和精明的判斷能力。第二步設計首先是計算結構各部在荷重作用下所能發生的最大應力及變形，稱為結構分析。其次是根據應力大小決定結構各部的型式，大小及接合方法等，稱為結構設計。最後是繪製結構全部總圖及各部詳圖，作為施工的準則，稱為結構製圖。

以上設計的各項工作，因為工作性質顯然不同，各步的劃分相當明確，但各步的先後層次實際上常並不如此簡單，而是互相牽連的。例如一個結構經過初步的規劃，常可得到幾種可能的型式，須待第二步設計中得出較具體的結果，才能比較優劣，決定去取。再如作結構分析時，須知結構本身的重量，有時尚須知各部的尺寸，實際上只得先行估計，經過結構設計得出確值，再反覆地校核修正。

1-3 結構所受的力 結構所受的力可分成外力及內力兩類。外力是自外面作用於結構上的力，包括結構所承載的荷重及支承結構維持其平衡的反力。內力是在結構內部因外力等作用而發生的應力。荷重又可分為靜荷重及活荷重。可總結列表說明如次頁所示。

各種荷重作用的久暫頻稀很不相同，對結構的影響也有差別。因此，在設計時常將各種荷重分為主要荷重，附加荷重及特殊荷



重三類。何種荷重應屬於何類須視結構的具體情形而定。一般常將靜荷重，車輛、設備等活荷重及衝擊力列為主要荷重；風力，雪荷重，溫度影響力等列為附加荷重；此外如地震力，因水災而引起的水壓力，因部分結構破壞而引起的後果等則列為特殊荷重。設計時，材料的容許應力即按以上各類荷重組合的情況而分別採用一定的數值。

靜荷重的正確值必須待結構各部設計之後才能決定，所以在計算時必須先作估計，待設計之後再加修正。常見的一些結構型式，如某些橋梁、屋架等，多有根據已成結構的重量經統計而作出的公式或圖表，可以作為估計靜荷重的參考。

活荷重的決定更較困難複雜，因各種活荷重發生的可能性、作用的久暫，應如何組合等都須考慮。如估計過低即不安全，如估計過高又形成浪費。尋常的橋梁、房屋等結構，各工程機關、各大都市常根據實際情況並研究先進經驗訂出規範，規定活荷重的標準，計算時自可遵循。特殊的結構，其活荷重的決定則惟有賴於週密的研究和精確的判斷。

1-4 結構的分類 工程結構大體上可分為實體結構，薄壁結構及架成結構三大類。實體結構的長、寬、高尺度大致相仿，多藉材料本身的重量以維持穩定，例如重力壩、圬工牆、橋墩等。薄壁結構指厚度遠較其長度、寬度為小的板形、殼形結構，例如樓版、水池、殼形屋頂等。架成結構指由若干桿形構成部分搭接而成的結構，例如普通橋梁、屋架等。以上三類中架成結構是本書主要的研究對象。

架成結構中的主要組成單位稱為構件。構件所受的力不外(1)軸向拉力，(2)軸向壓力，(3)彎曲力矩及(4)扭力。構件以軸向拉力為主的稱為拉桿；以軸向壓力為主的稱為壓桿或柱；以彎曲力矩為主的稱為梁。至於以扭力為主的稱為軸，在機械中常見，在土木結構中則很少用到。

各構件接合之處稱為節點。由於節點接合情形的不同，架成結構可分為桁架，剛架及混合構架三類。桁架的各節點都認為是鉸接的，即接合處認為並無阻力阻止連接各桿的轉動。剛架的各節點則都認為是剛接的，即接合處認為完全固定，各桿在連接處不能作相對的轉動。如架成結構的各節點一部分可認為是鉸接的，其餘部分可認為是剛接的，即稱為混合構架。

結構按所受的力系可分為平面結構及空間結構。結構所受的力系，在計算時如可認為是一個共面力系時，即稱為平面結構。反之，力系如不能認為是共面的，此結構即稱為空間結構。多數結構所受的力系雖不是共面的，但在計算時常可將結構分解成

幾部，各自構成共面力系，或可將所受的力分解為幾個共面力系計算。

結構的荷重如已確定，則分析一個結構，即是運用理論力學及材料力學的原理，以計算結構的反力及內力。如反力及內力只須用靜力學原理即可計算時，此結構稱為靜定結構，如靜力學原理不足以計算時，即稱為超靜定結構。

1-5 房屋及橋梁的構造 房屋及橋梁的構造型式甚多，本節用幾個很簡單的型式說明一些具體的構造情形，藉此可對實際的結構有所瞭解，並對結構各部間力的作用關係可有較明晰的概念。

圖1-1 示一個常見的屋架構造情形。屋架的主要結構部分是幾個平行排列的桁架。兩相鄰桁架的距離即是每間的寬度。桁

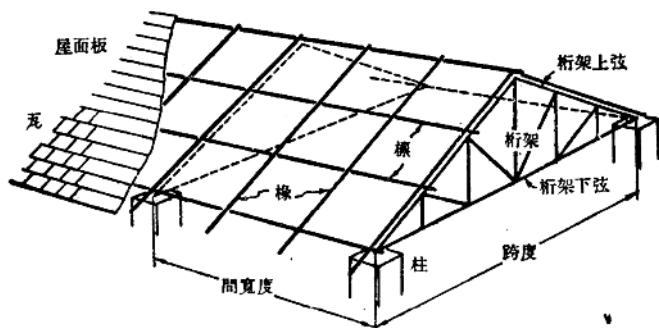


圖 1-1 屋架的構造

架下面支承在牆頂上，兩支點之間的距離稱為跨度，即是每間的深度。屋頂桁架基本上是一個梁的作用，在桁架上面有標和椽，椽上是屋面板及瓦，瓦上尚有風、雪等荷重。所以從力的作用關係看，自上而下，先是風、雪、瓦、屋面板的荷重傳至椽，椽傳至標，標傳至桁架，桁架傳至牆或柱，最後傳至牆腳基礎。分析各部應力時，可將椽、標、桁架等部分分開計算，各部分都成平面結構。

圖 1-2 示鐵路鋼鉸梁橋的構造情形。短跨度的鋼橋，其主要梁可用工字梁，但工字梁尺碼是有限度的，如跨度較大，主梁可用

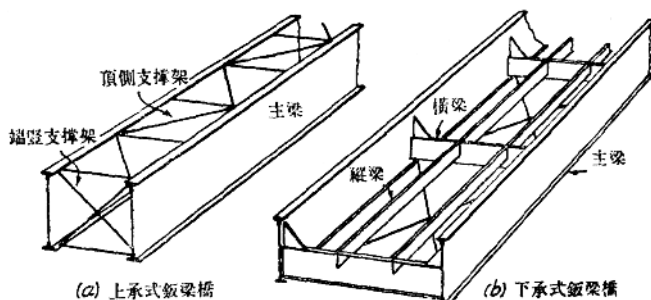


圖 1-2 鉸梁橋的構造

鋼鉸、角鋼等拼接而成，稱為鉸梁。圖 1-2(a) 所示的鉸梁橋，枕木直接擱置在主梁上，構造簡單經濟，稱為上承式鉸梁橋。有時因橋下淨空等關係須採取圖 1-2(b) 所示的型式，稱為下承式鉸梁橋。下承式鉸梁橋須在兩主梁之間橫向連以橫梁，並在各橫梁之間縱向連以縱梁，縱梁之上置枕木。縱梁及橫梁合稱為橋面系，上承式鉸梁橋如兩主梁相距較遠，也需有橋面系的構造。

由圖可見車輛等荷重經枕木先落至縱梁上，然後由縱梁傳至橫梁，橫梁傳至主梁。分析時將各部分分開，即都成平面結構。

鈹梁橋的跨度有限，過大即不經濟，可採用桁架橋。桁架橋也分上承式及下承式，圖 1-3 示鐵路上承式桁架橋的構造情形，構

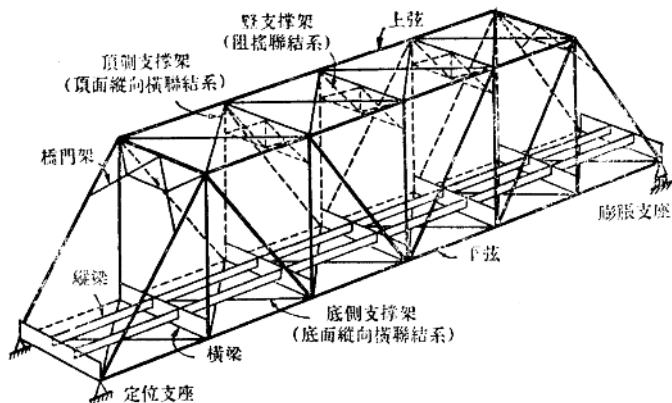


圖 1-3 桁架橋的構造

造原理與鈹梁橋相同，但用桁架代替主梁。注意橫梁與桁架相接都在桁架的節點處，車輛等荷重通過橋面系而作用在桁架的節點上。下承式桁架橋的桁架較高時，頂部須用側支撐將兩桁架連接，車輛在橋中穿行(圖 1-3)，稱為穿式。如桁架較矮，頂部不能有側支撐時，即稱為半穿式。

1-6 實際的與理想的結構 無論結構如何簡單，其實際的受力情形總是極端複雜的，在計算時必須加以種種安全而合理的

假定，將實際情形簡化成理想情形，計算才易着手。例如圖 1-4 (a) 所示的實際結構，在分析時可簡化如圖 (b) 所示的理想情形。在圖 (b) 中柱底假定為完全固定，原有基脚部分錨栓等細節全部

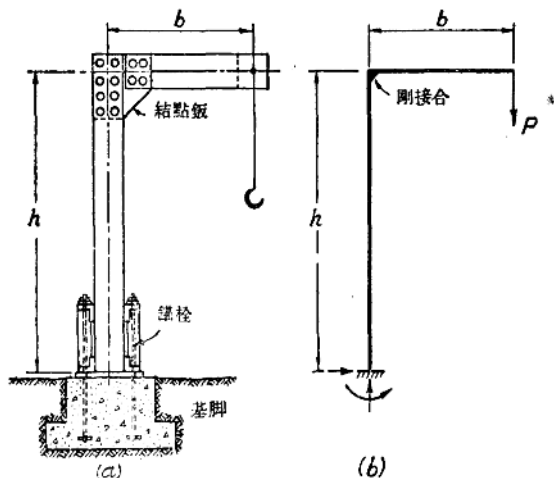


圖 1-1 實際的與理想的結構

略去；柱與梁的接合認為是剛接，事實上結點鉸並非絕對剛體，所以柱與梁間實可轉動相當角度。計算時可取柱底墊鉸至梁中線的距離作為柱的有效長度，取柱中線至荷重作用線之間的距離作為梁的有效長度。再如分析圖 1-1、1-2、1-3 等結構時，結構各桿都可用桿的中線代表；支座或各構件相接之處本有相當面積，都可認為是一個點，作用於此處的力即成為集中力；桁架各節點則可認為是鉸接的。

簡化時所作的假定是否能成立，須視計算的結果與實際情形是否尚能符合。所以，如何將實際結構簡化成理想情形須憑相當的經驗及正確的判斷。草率的、脫離實際的假定是不能成立的。但也應指出：以後所分析的結構已是經過簡化的理想情形，因此計算的結果必然是近似的，用普通計算尺計算的結果一般已足夠精確，過分「精確」的數字事實上常是毫無意義的。

第 二 章

結構的反力及穩定問題

2-1 前言 一個結構通常是附着在地上或別一結構上的，當結構受有荷重的作用，在附着處即發生支承力量，約束結構使其維持平衡，此項力量如何分佈於附着面上是一個複雜問題，但如附着面不大，則只是結構的局部問題。無論力量如何分佈，必有一合力，即所謂反力或約束力。分析結構時，常須先求反力。本章討論平面結構靜定反力的計算方法及其支承的穩定問題。

2-2 結構的支座 反力是一個力，所以決定一個反力須確知反力的(1)數值，(2)方向，(3)作用點或作用線。重要的架成結構常用特製的支座支承，以確定反力的性質。常見的支座有三類，即：(1)輻軸支座，(2)鉸支座，(3)固定支座。現分述如下：

輻軸支座的構造是使結構在支座處可以轉動，並可在某一方移動，因此反力的作用點及方向已由支座的構造決定，只有反力的數值是未知數，須視荷重情形而定。圖 2-1(a) 至 (d) 都是此類支座的各種構造情形，注意圖 (d) 是一根鏈桿，其作用與輻軸相同。

鉸支座的構造是使結構在支座處可以轉動，但不能向任何方

向移動，因此除反力的作用點已知外，反力的數值及方向都是未知數。在計算時以反力的橫向及豎向分反力為未知數常較方便。鉸支座的作用相當於用兩根不平行的鏈桿支承結構，兩桿的應力代表兩反力未知數。圖(e)示一個鉸支座的構造情形。

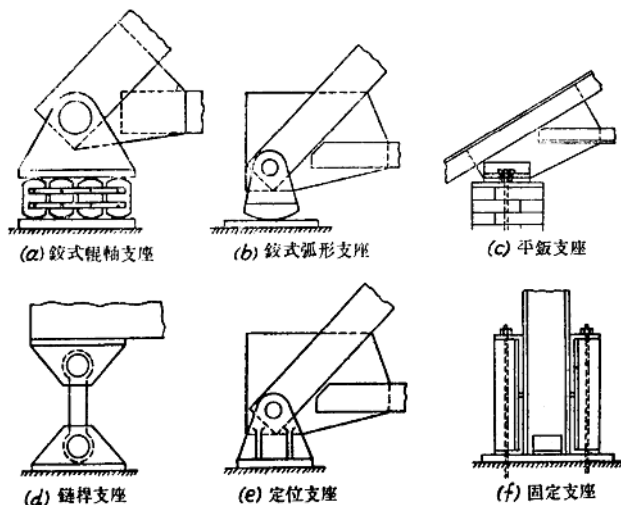


圖 2-1 支座的構造

固定支座的構造是使結構在支座處不能轉動，也不能移動，因此反力的數值、方向及作用線全是未知數，須視荷重情形而定。在計算時，以在支座處的橫向、豎向分反力及一個力矩為未知數常較方便。固定支座的作用相當於三根不平行不匯交的鏈桿。圖(f)示一個固定支座的構造情形。

以上三種支座的情形及符號等見表 2-1。

表 2-1 支座的符號及反力情形

	輻軸支座	鉸支座	固定支座
圖上常用的符號			
用鏈桿支承的情形	 一桿(與可移動方向垂直)	 二桿(不平行)	 三桿(不平行, 不匯交)
反力情形			
反力未知數數目	1個	2個	3個

圖 2-1 所示各式支座多用於較重要的鋼結構，普通不甚重要的結構常無此種特殊裝置。例如圖 1-1 所示的屋頂桁架常只在牆頂加一墊木，桁架即擱置其上，計算反力時須作若干假定才能使其成為靜定。支座情形對超靜定結構特別重要，例如固定支座是否絕對固定對應力影響甚大，此點在分析超定結構時當再論及。

2-3 靜力平衡方程式 平面結構所受的外力(荷重及反力)是一個共面力系，各力一般是不平行、不交於一點的。從靜力學知結構在此種力系的作用下，可以有三個獨立的靜力平衡方程

式表示各力的關係。三方程式常見的形式是：

$$\left. \begin{aligned} \Sigma X &= 0, \\ \Sigma Y &= 0, \\ \Sigma M &= 0. \end{aligned} \right\} \quad (2-1)$$

在已知荷重情形下，上面三個聯立方程式中如有三個反力未知數，反力一般可以解得。如此，結構的反力即是靜定的。

從靜力學知三個靜力平衡方程式不一定要用上面的形式，也可以任選兩點 a, b 或三點 a, b, c 作力矩中心，寫靜力平衡方程式為：

$$\left. \begin{aligned} \Sigma X &= 0, \\ \Sigma M_a &= 0, \\ \Sigma M_b &= 0, \end{aligned} \right\} \quad \text{或} \quad \left. \begin{aligned} \Sigma M_a &= 0, \\ \Sigma M_b &= 0, \\ \Sigma M_c &= 0. \end{aligned} \right\} \quad (2-2)$$

但選 a, b 兩點時，兩點的連線不可垂直於 x 方向；選 a, b, c 三點時，三點不可在一直線上。否則三方程式有不獨立現象而不能解。

2-4 反力的數解 結構的反力有三個未知數時，支承的情形不外有三種，即：

- (1) 三個輥軸支座，
- (2) 一個鉸支座及一個輥軸支座，
- (3) 一個固定支座。

輥軸支座處有一個反力未知數，即反力大小的數值。鉸支座

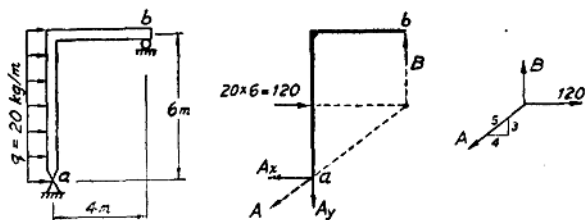
處常以反力的橫分力及豎分力為兩個反力未知數。固定支座處常以反力的橫分力、豎分力及力矩為三個反力未知數。

列方程式時，前節所舉三種聯立方程式形式都可用，實際上無論 $\sum X = 0$ 或 $\sum M = 0$ ，只要列出三個獨立方程式即可。最好每寫一個方程式，只包含一個未知數，避免解聯立方程式，如此不僅計算可省事，更可減少發生錯誤的機會。

獨立方程式只有三個，但在計算時，常用一第四方程式做為校核計算數字有無錯誤之用。

以下例題示反力的計算。學習時最好在明瞭題意以後，先自行思索解答作法，再與書上方法比照。

例題 2-1 求此結構的反力。



第一法：

$$\sum X = 0, \pm \quad 120 - A_x = 0, \quad \therefore A_x = 120 \text{ kg} \leftarrow$$

$$\sum M_a = 0, \oplus \quad (120)(3) - (B)(4) = 0, \quad B = 90 \text{ kg} \uparrow$$

$$\sum Y = 0, \uparrow \quad 90 - A_y = 0, \quad A_y = 90 \text{ kg} \downarrow$$

覆核：

$$\sum M_b = 0, \oplus \quad (120)(6) - (120)(3) - (90)(4) = 0, \quad 0 = 0.$$