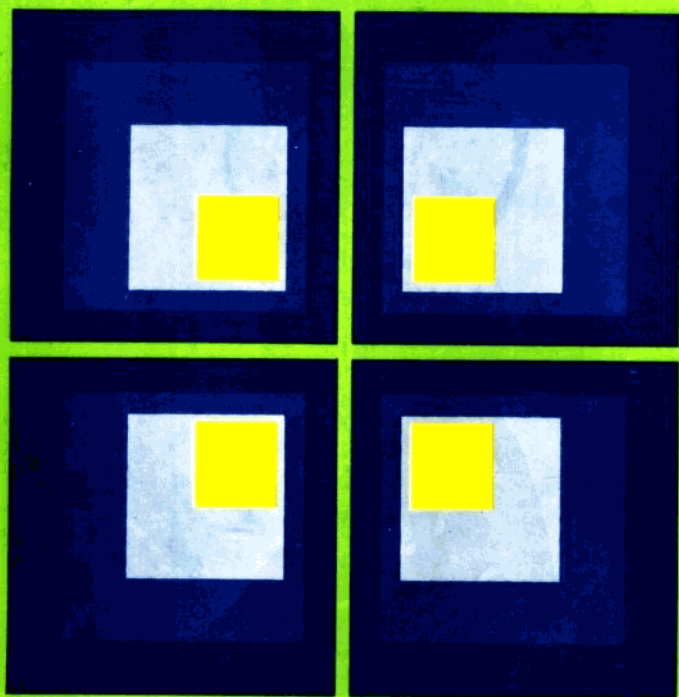


力學應用

陳 健 著



力學應用 目錄

第一章 概 論

1-1 工程結構物.....	1
1-2 結構之設計.....	1
1-3 結構之分類.....	2
1-4 結構所受之力.....	5
1-5 結構受力之理想情形與實際情形.....	5
1-6 橋梁與房屋結構.....	6

第二章 結構之反力與穩定問題

2-1 概說.....	11
2-2 結構之支座.....	11
2-3 條件方程式.....	22
2-4 三鉸拱反力之圖解法.....	26
2-5 反力之靜定與穩定問題.....	31

第三章 桁架應力之分析

3-1 概說.....	43
3-2 實際桁架與理想桁架.....	44
3-3 桁架之靜定性與超靜定性.....	45
3-4 桁架各部之名稱及其種類.....	51
3-5 複雜桁架.....	81

第四章 影響線

4-1 概說.....	91
4-2 梁之影響線.....	91
4-3 桁架之影響線.....	103
4-4 影響線之應用.....	107
4-5 絕對最大剪力與絕對最大彎矩.....	114

第五章 屋頂與橋梁桁架

5-1 概說.....	119
5-2 屋頂桁架之型式.....	120
5-3 屋頂之載重.....	127
5-4 屋頂桁架之支座及反力.....	133
5-5 屋頂桁架之應力計算.....	135
5-6 簡單橋樑桁架之型式.....	144
5-7 換算均佈活載重.....	146
5-8 橋梁桁架應力之計算.....	154
5-9 反覆應力與反斜桿件.....	165
5-10 長跨簡單橋梁.....	179
5-11 長跨橋梁.....	185
5-12 三鉸拱桁架之應力.....	189
5-13 懸臂桁架橋之應力.....	192

第六章 力矩分配導論

6-1 概說.....	199
6-2 力矩分配法之基本要素.....	202

6-3	剛度分配因數與力矩傳遞因數·····	205
6-4	列表形式·····	207
6-5	力矩分配法之範例·····	208
6-6	樞接端點之修正·····	215
6-7	對稱與反對稱剛架·····	217
6-8	連續梁支點移動之力矩·····	225
6-9	有側傾之剛架·····	228

第一章 概 論

1-1 工程結構物

凡物體依據合理之方法組成，能承受其他物體所施之力，而將之傳遞於另一物體者，皆可稱之為結構 (Structure)。以結構為研究對象之學問，謂之結構學，即由已知之外力作用，分析出結構各部分之作用情形，也就是根據已知之外力，而求出未知之內心之一門學問，故知結構學乃是力學應力之一門學問。廣義而言，任何物體，大者如橋梁、房屋、飛機、機械等，小者如磚石、草木等，皆可視為結構。但就工程範圍而言，如梁 (beam, girder)、柱 (column)、桁架 (truss)、剛節構架 (rigid frame)、水壩 (dam) 等等，通稱為工程結構物。

1-2 結構之設計

設計且建造結構物乃工程師之主要任務。故工程師首先要認識結構，了解結構，然後方能進一步運用結構，如何在滿足安全及經濟兩條件下，設計建造一適用之結構物。一般之結構設計，可分下列四步驟進行：

(1) 規劃 (planning)：此項工作最為重要，負責之工程師必須具有充份之經驗及學識，就已知之工程資料而決定最適用之結構物型式，包括適當之工程材料、設計載重及各部分之大概尺寸、將來之發展等等。此階段為最重要。如設計一房屋，可選擇木造、鋼造、鋼筋混凝土

土造等不同型式，何者最佳？其用桁架或剛架，其長度，其高度等問題，都是應予考慮之因素，故有時需作多種設計加以比較。

(2) 結構分析(structural analysis)：根據結構所受之外力，以結構力學之原理，計算由第一步驟所決定之結構各部分內力以及變形，此部分為力學之應用，為結構學之範圍，亦即本書所敘述之內容。

(3) 結構設計(structural design)：根據第二步驟結構分析之資料，亦即根據各部分應力之大小，作詳細設計，選定結構各部分之型式，尺寸及接合方法等問題。此步驟為結構細部設計，必須參考法定規範，以符合規定。

(4) 結構製圖(structural drawing)：根據結構設計之詳細資料，繪製結構物之各部詳細圖，作為施工計劃及估價之依據。

1-3 結構之分類

結構之分類方法很多，茲分述如下：

1. 依所使用之材料而分：(1) 木料結構，(2) 鋼鐵結構，(3) 土石結構：磚石及混凝土等，(4) 各種材料混合之結構。

2. 依構成之型式而分：(1) 實體結構：如堤壩、橋墩、橋臺、擋土牆、牆柱等。(2) 架成結構：是以直桿或梁柱依一定方法結合而成一體。其因結合之方式不同，又分桁架(truss)及剛架(rigid frame)，例如屋架及橋架即是。(3) 板殼結構：是指厚度遠較其長寬為小之結構，如儲油池、水箱、樓板等。

3. 依其受力之位置而分：(1) 平面結構(planar structure)：結構所受之外力全在同一平面內，則其所生之內力亦在此平面內如圖 1-1 之(a)(b)(c)均為平面結構。(2) 空間結構(space structure)：結構所受之外力及其內力不在同一平面內，如圖1-1之(d)，(e)，(f)

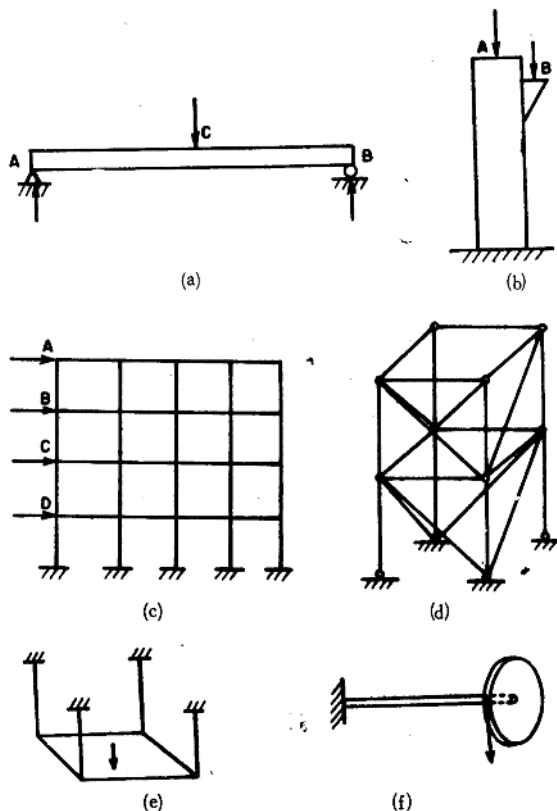


圖 1-1

所示之空間桁架、空間平板及輪軸結構。

4. 依其所在之地位而分：(1) 上部結構 (superstructure)：結構之在上部者，如桁架、剛架等。(2) 下部結構 (substructure)：位於下部者，如橋臺、橋墩、基礎等。

5. 依解題之方法而分：(1) 靜定結構 (statically determinate structure)：可用平衡方程式解出所有未知之內力之結構。通常平面結構之平衡方程式最多有三個。設平面之座標為 $x-y$ 座標系，則三平衡方程式為式中之 $\sum M$ 表示所有力對平面某一點之力矩和。而空

$$\begin{cases} \sum F_x = 0 \\ \sum F_y = 0 \\ \sum M = 0 \end{cases} \quad \text{或} \quad \begin{cases} \sum F_x = 0 \text{ 或 } \sum F_y = 0 \\ \sum M_A = 0 \\ \sum M_B = 0 \end{cases} \quad \text{或} \quad \begin{cases} \sum M_A = 0 \\ \sum M_B = 0 \\ \sum M_C = 0 \end{cases}$$

(AB 兩點連線應不垂直 x 或 y 軸) (但 A, B, C 三點應不共線) 間結構則至多有六個平衡方程式。故平面靜定結構，其未知數不能超過三個，而空間之靜定結構，其未知數不能超過六個。(2) 超靜定結構 (statically indeterminate structure)：此類結構之未知內力數目超過其平衡方程式，亦即僅由平衡方程式聯立無法求出所有未知之內力，必須由結構之變形關係，增加方程式，配合平衡方程式，方能求得問題之解答。

構成結構之基本桿件，依其受力之方式，一般可分三大類：

1. 二力構件 (two force member)：此類桿件祇承受軸向之拉力 (tension) 或壓力 (compression)，即通稱之拉桿或壓桿，如桁架結構之桿件即屬之。由二力構件構成之結構，分析較為簡單，佔結構學之重要部分，本書之一大半均敘述其分析方法。

2. 多力構件 (multiple force member)：此類桿件之受力點在兩個以上，桿件之內力不僅有拉力 (或壓力)，且有剪力及彎矩，如一般之梁、柱等桿件。

3. 扭力構件 (torsional member)，此類桿件可能除了承受彎矩 (bending moment) 外，兼受扭力 (torsion) 如輪軸等。受扭力之桿件分析於材料力學中已詳述，本書不再贅述。

1-4 結構所受之力

一結構所受之力，若來自外界者，則對該結構而言，稱之為外力；若來自結構之內部者，則對該結構而言，稱之為內力。前者除結構外來之作用力，尚包括結構之自重及因載重後於支承端之反力 (reaction) 在內。後者係結構因受外力，內部產生之力。結構之載重，可分為 (1) 靜載重：如自重及固定於結構之重量。(2) 動載重：如輪重 (包括衝擊力)、風載重、雪及冰載重及地震力。內力是指結構各桿件內部之力，如拉力、壓力、剪力、彎矩等。

1-5 結構受力之理想情形與實際情形

若要分析一受力結構之實際情形，既費時，且非常複雜。通常為了簡化計算之繁雜，將複雜之實際情形，加入某些合理之基本假設之條件，化為較簡單之理想情形。於加入這些條件後，可簡易地求得其結果，此結果必須與實際情形所得者近似，則此種分析法方可應用。若是方法雖然簡易，但所得之結果與實際者相差太大，則此分析法不適用，必須另找較精確之分析法。茲以一普通橋為例，此橋梁為由橋板、橫梁、大梁、橋墩等組成，其力之傳遞為外在載重壓於橋板，力由橋板傳至橫梁，再傳至大梁，由大梁再傳至橋墩。載重如輪壓、行人等及板梁間力之作用，實際情形並非集中於一點，但為簡化分析起見，假設為集中載重，如此計算之結果，與實際情形非常相近。又於分析桁架或剛架結構，亦有數項基本假設，將結構化為理想情形，則較容易分析計算，於以後之章節將再討論。

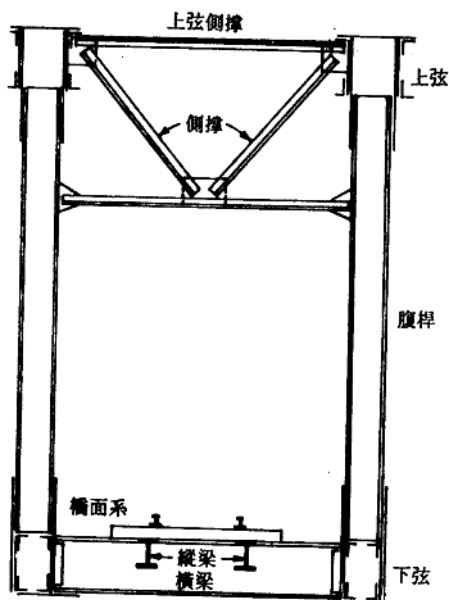
1-6 橋梁與房屋結構

凡結構跨越天然或人造障礙如河流、街道、鐵路或公路而用以便利交通者，皆為橋梁。橋梁之本身如桁架、橋板、橫梁等稱為橋梁之上部結構，而用以支持橋梁之橋臺 (abutment)、橋墩 (pier) 及基礎等則稱為下部結構。橋梁之材料不外磚石、木材、混凝土、鋼鐵等，公路橋梁之橋面，係採用木材、混凝土或鋼板，此種橋面稱為實橋面。鐵路橋面鋪有道渣者亦為實橋面，但為經濟起見，通常將枕木直接置於橋梁之上，而不鋪道渣，此種橋面稱為空橋面。以鋼鐵為材料之橋梁，稱為鋼橋，又可分為輾型梁橋，鋼板橋及桁架橋三種，視其跨度之長短而定。輾型梁橋和鋼板橋僅用於跨度較短之橋梁，若跨度較大，以採用桁架橋為宜。

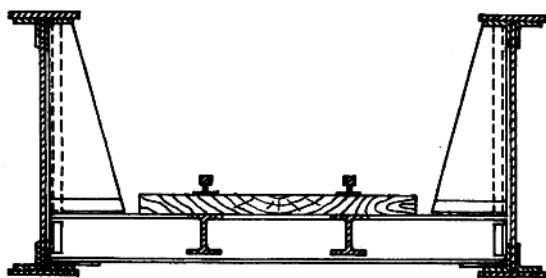
橋梁依其承載方式之不同，可分為上承式與下承式兩種。如橋面支承於鉸梁之下翼緣或桁架之下弦，則該橋稱為下承橋；下承橋又分為穿越式與半穿越式兩種。下承桁架橋有頂側支撐者如圖 1-1(a) 稱為穿越式 (through bridge)，此因車輛穿越而過。若桁架或鉸梁之深度不夠，不能有支撐者，稱為半穿越式 (half through bridge)。下承橋之橋面常支承於縱梁，縱梁支承於橫梁，而橫梁再支承於橋梁之鉸梁或桁架上，此種縱梁橫梁系統為橋面系。圖 1-1(b) 為一半穿越式鉸梁橋，而圖 1-1(c) 為一上承式鉸梁橋。

橋面系與穿越式桁架間之關係圖如圖 1-2 (a) (b) 所示，而圖 1-2(c) 為其簡單之示意圖。

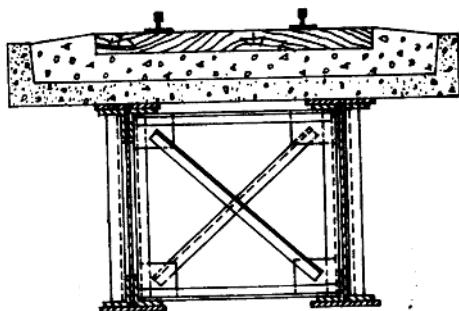
房屋之結構型式通常可分為桁架結構與剛架結構。後者為靜不定結構，其構件之連接為鉚接或焊接，分析之方法較為複雜。今以一房屋桁架為例，說明承受外力時之力之傳遞。圖1-3(a)、(b)表示一



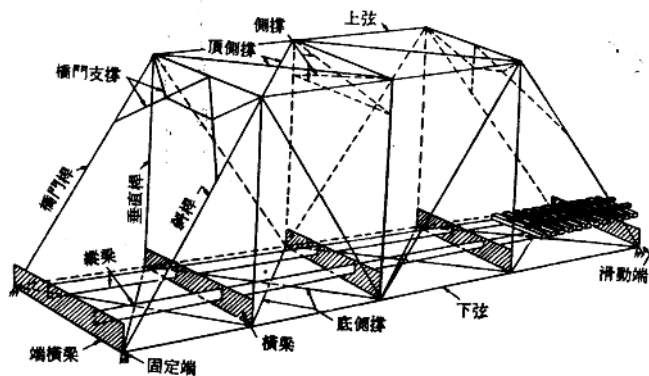
(a) 下層穿越式桁架橋



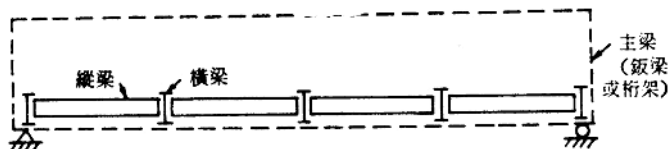
(b) 下層半穿越式鉸梁橋



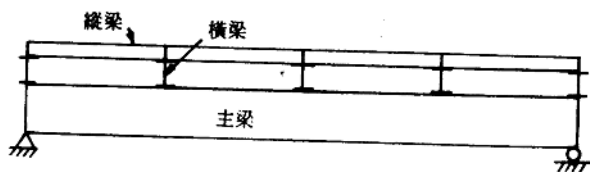
(c) 上層鋼梁橋
圖 1-2



(a) 橋面系包含橫梁及縱梁

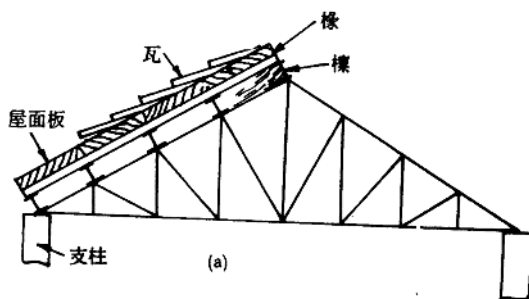


(b) 橋面系與主梁之真實位置關係圖

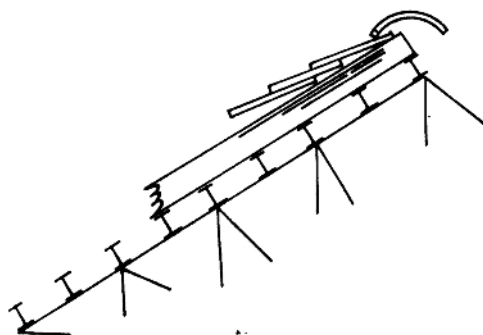


(c) 橋面系與主梁之簡單示意圖

圖 1-2



(a)



(b) 標置於節點上及節點間

圖 1-3

屋架，其中之椽及檁相當於梁之作用，可將風力與雪載重等活動載重及瓦、屋面板等靜載重傳至桁架本身，再由桁架傳至支柱，由支柱將全部載荷傳至基礎。分析此種結構時，可將椽、檁及桁架各部分開設計之。

第二章 結構之反力與穩定問題

2-1 概 說

當結構承受載重時，於支承端必有反力產生，使結構能維持靜力之平衡狀態。且藉反力以安全傳達於基礎。故反力之大小與方向視其載重而定，結構所誘生之內力，亦常依反力而計算之。反力數值之計算，如何方能得到精確，在結構學中亦為重要之一部分。本章擬就平面結構之一般支承情況，討論反力之計算方法、反力之靜定或靜不定問題以及反力之穩定或不穩定問題，俾學者對結構反力有一基本認識和瞭解。

2-2 結構之支座

由已知外力之作用，於結構之支座必有反力產生。而每一反力實代表三未知量，即（1）大小，（2）方向（或傾斜度），（3）作用點（或作用線），故決定一反力必需確知此三未知量。構造物與其支承部分相接之支座構造，理論上可分三類，即（1）滾軸支座（roller support），或稱滾接端（roller end），（2）鉸支座（hinge support），或稱鉸接端（hinge end）及（3）固定支座（fixed support），或稱固定端（fixed end）。滾軸支座與鉸支座均假定無摩擦力，滾軸支座可自由滑動及轉動，但不能上下移動，故反力數祇有一個，而鉸支座祇能自由轉動，故反力數有二，而固定支座不能上下、左右移動又不能

轉動，故有三個反力數。圖2-1(a)，(b) 各表示桁架之較支座及滾軸支座簡略構造。

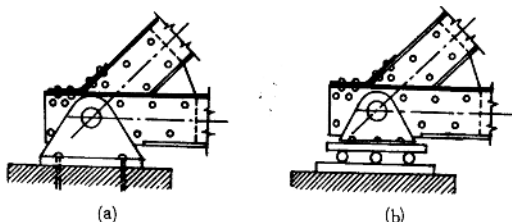


圖 2-1

支端之反力，亦可用鏈桿 (link) 表示，一根鏈桿代表一個反力。另有一種沒有任何支座之端點，稱為自由端 (free end)。以上所述支端之符號及反力情形等，詳見表 2-1。

若結構之反力祇有三未知量時，可應用靜力平衡方程式解之，此種結構稱為靜定結構。結構反力之靜定穩定問題於本章第 5 節討論。應用靜力平衡方程式 (詳見 1-3)，解靜定結構之反力時，無論利用 $\sum F=0$ 或 $\sum M=0$ ，以使每一方程式祇含有一未知量為佳，如此可避免解聯立方程式，而簡化計算，茲舉數例如下：

例題 2-1 圖 2-2 之梁，B 端滾動方向之水平與垂直之比為 3 : 1，求支端 A, B 之反力。

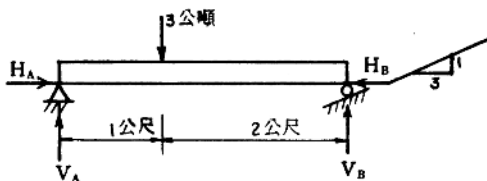
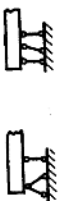


圖 2-2

解 由 $\sum M_B=0$ 得 $V_A \times 3 - 3 \times 2 = 0$
 $\therefore V_A = 2$ 公噸

表 2-1

支 座 情 形	滾 軸	鉸 支 座	固 定 支 座
常用符號 及反力情形	 		
實際情形	  (承受壓力) (承受壓力或張力)		 或  (嵌入壁內) (以鋼索或焊接或用鋼筋混凝土鑄成一體。)
鏈桿符號	 (一樣)	 (二桿不平行)	 (三桿不平行及不相交)
反力數目	R=1	R=2	R=3
支座活動情形	可移動及轉動	可轉動	不能移動及轉動