

# 第一章

## 結構學基本觀念介紹

- 
- 1-1 結構學之涵義
  - 1-2 平衡的基本定義
  - 1-3 線性與非線性結構
  - 1-4 荷載
  - 1-5 平面結構之型式
  - 1-6 支承的型式
  - 1-7 外約束力與內約束力
  - 1-8 自由體原理
  - 1-9 平面結構的靜力平衡方程式
  - 1-10 平面結構的接續與條件方程式
  - 1-11 多跨靜定梁
  - 1-12 二力物體
  - 1-13 疊加原理
  - 1-14 靜定結構與靜不定結構
  - 1-15 對稱結構與反對稱結構

## 1-2 結構學

### 1-1 結構學之涵義

能表示出作用於結構物上之力量如何傳達至基礎的系統稱為結構系統 (structural system)。結構學是一門研究結構系統力學行為的學問，也就是說，結構學是研究在任意力系作用下，結構系統中任一斷面之受力狀況及其變形的一門學問。

在分析結構之力學行為時，必須考慮到以下之三個基本原則：

(1) 力系的平衡 (equilibrium of forces)

所有內外力應保持結構系統處於受力平衡之狀態。

(2) 材料的應力和應變關係 (stress-strain relationship)

視材料反應之方式而定，在古典結構分析 (classical structural analysis) 中，多假設為線性與彈性之關係。

(3) 變形的一致性 (compatibility of displacement)

結構系統之變形須保持一致性，無間斷或重疊之虞。

除此之外，邊界條件之設定亦為結構分析時不可或缺的重要考量。

### 1-2 平衡的基本定義

一結構系統受外力作用後仍能保持靜止狀態，則稱此結構系統處於靜力平衡 (static equilibrium)。當結構系統處於靜力平衡時，其整體或局部個體上之合力與合力矩均須為零。合力為零，則表示無相對移動發生；而合力矩為零，則表示無相對轉動發生。至於和移動加速度及速度有關之動力平衡 (dynamic equilibrium) 則不在本書探討之範疇。

## 1-3 線性與非線性結構

一結構系統在受到外力作用後，可藉由力與位移間之關係繪出力-位移曲線。若該曲線呈線性關係時，則稱此結構系統為**線性結構**（linear structure）；反之，則稱為**非線性結構**（nonlinear structure）。

對於線性結構而言，材料於承受外力期間，其行為必須保持是彈性且符合虎克定律（Hook's law）的；同時結構之應力與應變均為極小，因此在分析時可依據結構原有的形狀來計算。

對於非線性結構，一般可分為材料的非線性（material nonlinearities）與幾何的非線性（geometric nonlinearities）兩種。所謂材料的非線性，係指材料之應力-應變關係不為線性；而所謂幾何的非線性，係指材料之應力-應變關係為線性，但力與位移之間卻是非線性的關係。

另外需要說明的是，力-位移曲線的斜率稱為該結構的**勁性**（stiffness），勁性愈大，表示該結構愈不容易變形。

本書內容除有特別說明之外，一般皆假設結構系統為線性。

## 1-4 荷載

作用在結構系統上的荷載，按其性質可分為**靜力荷載**（static loads）及**動力荷載**（dynamic loads）。不致使結構系統產生顯著衝擊和振動，因而可略去慣性效應的荷載稱為靜力荷載；反之，會使結構系統產生顯著衝擊和振動，因而必須考慮慣性效應的荷載稱為動力荷載。

荷載又可按其作用時間的長短分為靜荷載（dead loads）和活荷載（live

#### 1-4 結構學

loads) 兩大類。靜荷載是指永遠作用在結構系統上之荷載，如結構構件的自重及永久附於結構系統上之固定設備的自重等，這類荷載屬於靜力荷載。活荷載是指暫時作用在結構系統上之荷載，如風荷重、雪荷重、地震荷重、移動人群及移動之車輛等等，其中雪荷重及移動人群可視為靜力荷載；而風荷載、地震荷載及高速行駛的車輛，由於所引起的振動及慣性力不能忽略，因此應視為動力荷載。對於動力荷載之動態效應的研究，則是屬於結構動力學 (structural dynamics) 之範圍。

### 1-5 平面結構之型式

本書主要是研究平面梁 (beam)、剛架 (rigid frame)、桁架 (truss)、拱 (arch) 及組合結構 (composite structure) 之力學行為，現對這些平面結構作一說明。

#### 一、梁

為一承受橫向荷載 (transverse loading) 之結構系統，主要之斷面內力為彎矩及剪力。所謂斷面內力係指結構體在承受外力作用時，為了要與外力維持靜力平衡，因此各斷面上均存有抵抗力，而這些抵抗力就稱之為斷面的內力。另外，由於梁主要是考量彎矩效應的影響，因此可稱為撓曲結構 (flexural structure) 或抗彎結構。

## 二、剛架

剛架可視為由梁桿件所組成的結構，其特點為連接桿件的節點 (joint) 全部或部分具有剛性 (此處所謂具有剛性之節點乃是指具有抵抗力與力矩能力之節點)。斷面內力包含彎矩、剪力及軸向力。剛架亦屬於撓曲結構，對撓曲結構而言，所謂節點係指：

- (1) 桿件與桿件之交點
- (2) 支承所在處
- (3) 懸伸桿件之自由端
- (4) I 值變化處
- (5) 非剛性接續處

有關平面結構之接續 (connection)，詳見 1-10 節之說明。

## 三、桁架

### (一) 桁架之基本假設

欲令桁架之桿件僅承受拉力或壓力，則需訂定以下之假設：

- (1) 各桿件均為直線桿件，亦即桿件兩端節點之連線須與桿件之形心軸重合。
- (2) 各桿件在其兩端節點處以光滑無摩擦之樞釘 (pin) 連接成穩固架構。由此項假設可瞭解，桁架中任何節點均為鉸接點。(鉸節點無法傳遞彎矩)
- (3) 荷載與支承反力同平面，且均作用於節點上。
- (4) 各桿件之形心軸相交於節點處。
- (5) 各桿件之重量與荷載相較甚小，得略而不計。

## 1-6 結構學

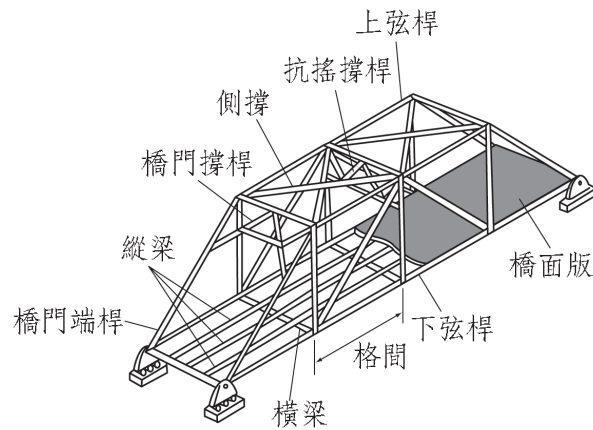
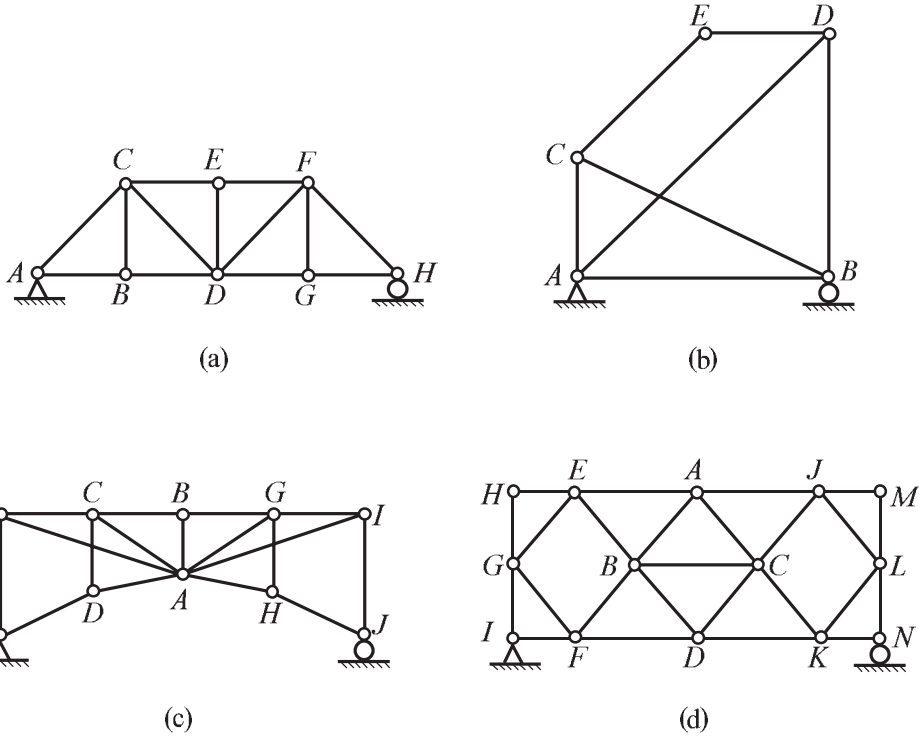
凡滿足上述假設條件之桁架均稱為理想桁架，而理想桁架之各組成桿件均為承受軸向力作用之二力桿件（two-force member）。此處所謂二力桿件係指直線形狀之桿件，其上僅受兩個力作用，且僅有兩個著力點，而此二力必大小相等、方向相反且作用在同一直線上。

事實上桁架桿件之桿端是在連接板（gusset plate）上栓接或銲接，桿件中除軸向力外尚有因軸向力造成桿件變形而引致之次要彎矩（secondary moment），若可不計此次要彎矩之效應，則可以理想桁架取代真實桁架來進行分析。

### (二) 桁架的組成

#### 1. 簡單桁架（simple truss）

先將三根桿件之桿端以無摩擦之樞釘鉸接成穩固的三角形，此三角形是為基本的桁架剛性單元（rigid unit），然後在此平面內每增加兩根桿件即增加一節點，但此二新增桿件不得共線，依此方式擴展而成的桁架稱為簡單桁架（是為一靜定的桁架剛性體（rigid body））。所謂剛性單元或剛性體，係指不計材料本身變形，而在任意荷載作用下，幾何形狀均保持不變的單元或體系謂之。圖 1-1(a)、(b)、(c)、(d)所示均為簡單桁架，各桁架圖中之三角形  $ABC$  均為基本的桁架剛性單元，另外可由其他英文字母之排列順序明瞭新增節點的擴增次序。這裡要特別說明的是，我們亦可適當的選擇其他三角形來作為基本的桁架剛性單元。圖 1-1(c)所示為一以空間結構形式來表示的  $N$  式桁架及其各部分的名稱。



(e) 典型桁架橋樑各部分名稱 [摘自林永盛編著「基本結構理論分析」圖 2-1，高立圖書有限公司，1994。]

圖 1-1 簡單桁架之範例

## 1-8 結構學

## 2. 複合桁架 (compound truss)

複合桁架是將兩個或兩個以上的簡單桁架經適當連結後而形成的穩固桁架，其連結的方式大致可分為：

- (1) 藉由不相互平行，延長線也不同時交於一點的三根桿件來連結，見圖 1-2(a)、(b)。
- (2) 藉由一個鉸接（即用樞釘鉸接，如同兩根不平行之桿件）及一根桿件（此桿件之延長線不通過此一鉸接點）來連結，見圖 1-2(c)。
- (3) 上述之連結桿件由簡單桁架替代後再進行連結，見圖 1-2(d)、(e)，而此連結用的簡單桁架又稱之為次桁架 (secondary truss)。

圖 1-2(a)所示之複合桁架是由兩個簡單桁架  $ABC$  及  $DEF$  藉由不相互平行且延長線也不同時交於一點的三根桿件  $BD$ 、 $GH$  及  $CE$  連結而成。圖 1-2(b)所示之複合桁架亦是由兩個簡單桁架  $ABC$  及  $DEF$  藉由不相互平行且延長線亦不同時交於一點的三根桿件  $AD$ 、 $BF$  及  $CE$  連結而成。圖 1-2(c)所示之複合桁架則是由兩個簡單桁架  $ABC$  及  $BDE$  在  $B$  點鉸接，並藉由桿件  $CE$  連結而成。圖 1-2(d)所示之桁架是將圖 1-2(c)中之連結桿件  $CE$  以簡單桁架  $CEFG$  取代後所形成之複合桁架。圖 1-2(e)所示之複合桁架，係由兩個簡單桁架  $ABHI$  及  $DEFJ$  藉由兩個簡單桁架  $BCD$  和  $FGH$  以及桿件  $JI$  連結而成。圖 1-2(f)與圖 1-2(g)所示的桁架結構在本質上是相同的，圖 1-2(f)所示為一複合桁架，是由兩個簡單桁架  $ABC$  及  $CDE$  在  $C$  點鉸接，並藉由桿件  $AE$  連結而成，其中  $AE$  桿件提供了  $E$  點的水平約束，而輓支承提供了  $E$  點的垂直約束。在圖 1-2(f)所示的桁架中，若將  $E$  點處改為鉸支承，取代原有  $AE$  桿件所提供的水平約束及輓支承所提供的垂直約束，則就形成了圖 1-2(g)所示的三鉸拱結構（又稱桁架拱結構）。



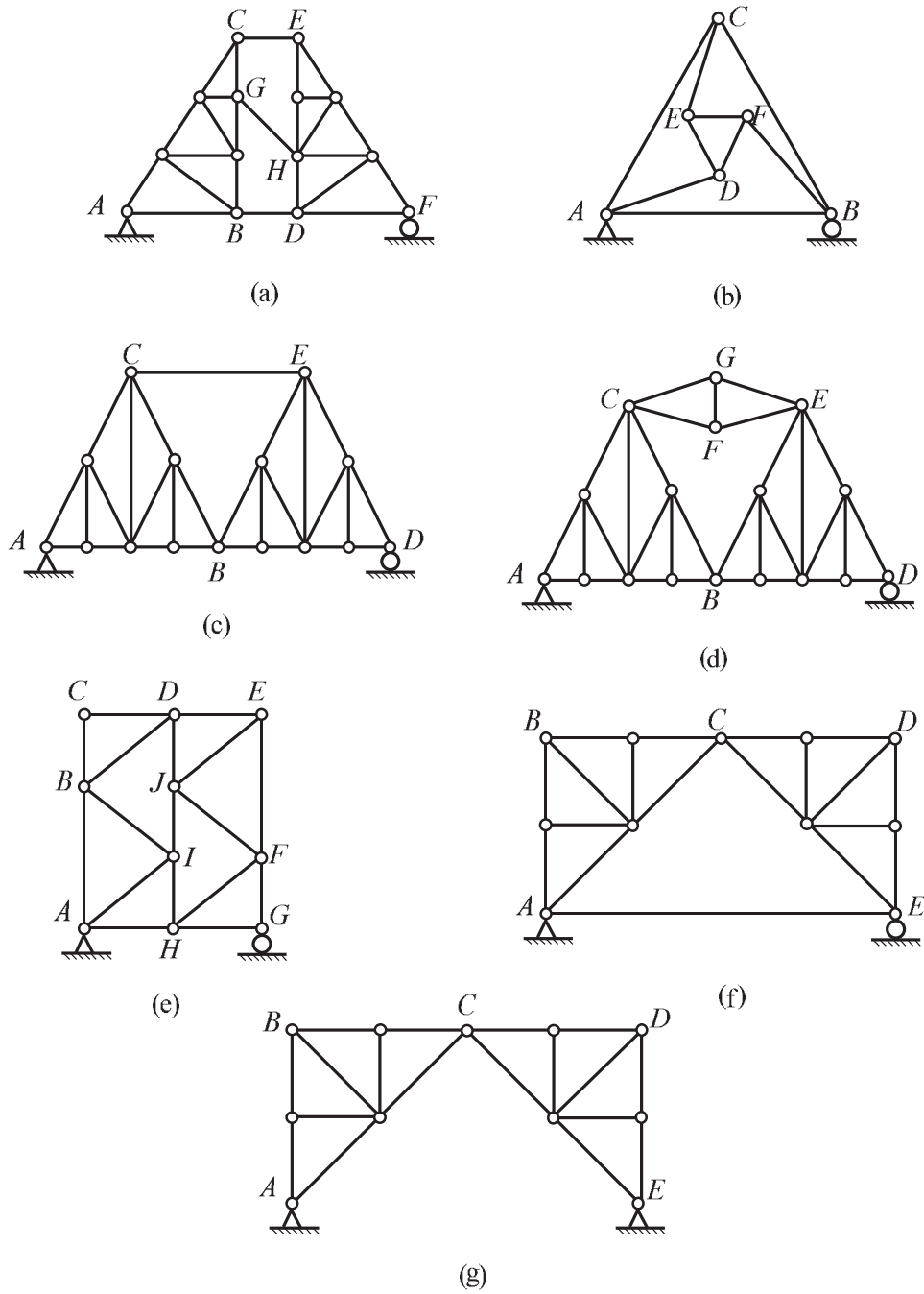


圖 1-2 複合桁架之範例

## 1-10 結構學

## 3. 複雜桁架 (complex truss)

凡是不屬於簡單桁架或複合桁架之靜定桁架，均稱為複雜桁架，如圖 1-3(a)、(b)所示。

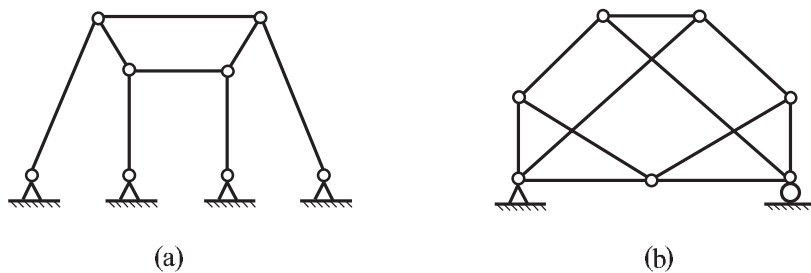


圖 1-3 複雜桁架之範例

## 討論 1

桁架結構中，上下弦桿擔負著有如梁中之彎矩效應，而腹桿擔負著有如梁中之剪力效應，圖 1-4(a)所示為一梁結構之自由體，斷面中存有剪力  $V$  及彎矩  $M$ 。圖 1-4(b)所示為一桁架結構之自由體，上下弦桿之軸向力可形成如同梁中之彎矩效應，而斜腹桿之垂直分力則有如梁中之剪力效應。

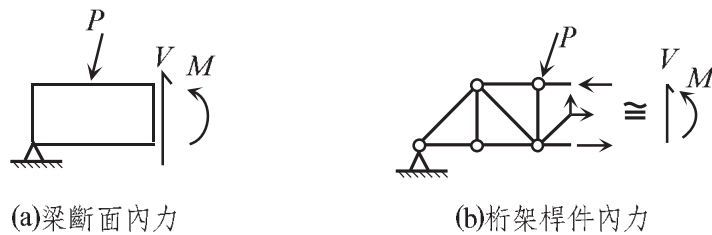


圖 1-4

藉由梁的撓曲變形，判斷出桁架上下弦桿何者受張力，何者受壓力。

## 討論 2

桁架所有節點均為鉸接，因此桁架的穩定性是依賴桿件的佈置而非節點的剛性。不同於桁架，剛架的穩定性則有賴於節點的剛性。