

# 結構分析

原著者 Russell C. Hibbeler

譯著者 王 明 雄

曉園出版社

北京·廣州·上海·西安

大學的 D. Kirkner 教授，Washington 州立大學的 T. Murray 和 R. Astaneh 教授，Virginia 軍事學院的 K. Basham 教授以及 West Virginia 理工學院的 L. Armbruster 教授，最後感謝我的內人 Conny 長久以來毫無怨尤的給予我支持、愛心、以及鼓勵。

---

## 结 构 分 析

R. C. 希布勒 原著

王明雄 译著

·  
晓园出版社

世界图书出版公司北京公司 重印

北京朝阳门内大街 137 号

新燕印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经销

·  
1993 年 6 月 第 一 版 开本 850×1168 1/32

1993 年 6 月 第一次印刷 印张: 20.5

印数 0001-800 字数: 52 万字

ISBN 7-5062-1624-8/TH·20

定价: 15.90 元 (W, 9303/26)

世界图书出版公司通过中华版权代理公司向台湾晓园出版社购得重印权

限国内发行

# 譯 序

結構學為土木、建築中相當重要的一環，也是國家多項考試中必考的科目，雖然目前結構書籍很多，但是大半均偏重於理論性的探討，而很少能將理論和實際的結構問題緊密的配合在一起，因此對於初學結構課程的學生而言，常常無法將所學的各種理論和技巧，有系統、條理的應用於實際的結構分析中，筆著有鑒於此，乃選擇由 Russell C. Hibbeler 先生所撰寫的結構學一書，經過消化、吸收後，以淺顯的文字加以譯述，以作為結構學的入門書籍，本書的特點主要是能將實際複雜的結構問題化繁為簡，用深入淺出的方式交待給讀者，並且當每一單元的主題討論後，即用“分析程序”的方式，提綱挈領，條理清晰的勾繪出思考程序，最後再輔以實例的說明，來加深讀者的理解，個人認為經由這種方式來引導讀者進入繁雜的結構學是最恰當不過了，全書內容充實，圖文並茂，實為不可多得的結構學書籍，本書的內容概分三大部份，所討論的主題涵蓋了古典方法以及偏重於利用電腦進行計算的矩陣法等，書末並附有習題以供參考，同時筆者將書末附錄中用 BASIC 語言撰寫的程式 STRAN 實際在 IBM PC 上測試，證實無誤，並將程式中各項敘述的目的詳加解釋，以幫助讀者能夠輕易的了解該程式的作法，並能利用此程式在個人電腦上進行結構分析，最終目的是希望讀者能夠獨立撰寫自己的結構分析程式，筆者以工作之餘暇編譯此書，雖曾慎予校對，恐仍有疏漏之處，尚祈先進不吝指正。

王 明 雄  
謹識

# 原 序

本書的目的主要是希望能夠幫助學生於結構分析的理論以及有關的應用上有較清晰的了解，同時於書中，並特別著重於如何啓發學生能夠將實際的桁架、樑以及剛架結構，經過合理的簡化後，建立結構模型，再予以分析，為了達到這些目的，本書在各章內容的安排上所採用的方式是先將各章所要討論的各項主題之中有關的理論依序於用粗體字所標示的各節中予以詳盡、扼要的討論，然後當每一獨立主題介紹過後即以“分析程序”引導學生能夠有更系統性的了解，最後再藉著實例的計算來說明實際的應用。

本書所討論的例子大多數為實際工程上經常會遭遇到的問題，因為我們希望能夠藉著這些問題的討論以激起學生對於各種結構分析方法的肯定及興趣，並且能夠應用所學到的技巧以及理論將複雜的問題化繁為簡，以最簡單的方式而得到合理的結果，書中所採用的計算單位有SI及FPS兩種，於每章的最後並有根據教材的順序所設計的各類問題以提供學生練習，並測驗了解的程度。其中和同一主題有關的所有問題是根據難易的程度，依序排列，如果問題中牽涉到複雜的數值運算時建議各位利用電腦以代替手算，在所有的問題中除了每隔四題有標上星號的問題外，其餘各題的解答均可在本書的附錄上找到。

本書的內容主要可分成三個部份，其中前二部份屬於古典的分析方法，所討論的主題分別為“靜定結構”以及“超靜定結構”，第三部份的主題則為“矩陣法應用於結構分析”。由於近幾年的發展主要偏重於將電腦利用矩陣法來進行結構分析，並且廣泛的受到工程師歡迎。原因是工程師不必再重蹈以往利用古典的方法分析結構時所須耗費的冗長計算，雖然如此，但是作者認為對一個初學結構分析課程的學生

來說，他仍然必須先熟悉古典分析方法，因為經由這些方法的應用，才能夠使他對於工程科學中的基本靜力學以及材料力學有更深刻的了解，而且藉著各種分析技巧有系統的介绍可同時增強解題的熟練，如此，當結構體承受載重時，學生即可憑著以往解題的經驗，正確的判斷出載重可能的傳遞方式，以及結構體所可能產生的變形，最後並可利用古典分析方法來檢查電腦程式所求得的結果以避免一時盲目相信電腦的權威性。

本書總共分為14章，第1章扼要的討論各種結構型式以及載重類型，接著有5章專門討論靜定結構的分析方法，其中第2章介紹如何求出作用在結構支承以及接頭上的力量，第3章介紹剪力、彎矩函數以及剪力圖和彎矩圖的求法，第4章分析各種類型的靜定桁架，第5章介紹樑、大樑以及桁架的影響線，第6章介紹幾種用來近似分析超靜定結構常用的方法，在本書的第二部份也是分成5章來討論超靜定結構的分析，其中第7章介紹計算變位的幾何法以及能量法，第8章中有符合變位法、三彎矩方程式，以及樑的影響線求法，第9章專門介紹斜角-變位法、第10章則介紹彎矩分配法，最後在第11章討論樑和剛架結構中有不均勻桿件時的分析方法，本書的第三部份介紹如何應用矩陣法分析結構，首先於第12章扼要的討論矩陣代數，然後於第13、14章中分別利用整體勁度法發展桁架以及剛架具體的分析方法，由於目前工程界已經廣泛的將這些分析技巧應用在電腦上，因此本書也特別利用BASIC語言以及這二章所介紹的方法撰寫電腦程式STRAN，並將其列於書末的附錄上，以供參考。

這幾年來本書的原稿先後經過多次的重寫，很多我的同事以及學生對於有關的教材均提供了很多相當具有建設性的意見，因此本人對這些有價值的批評由衷的表示感謝，尤其謝謝撰寫附錄A中電腦程式STRAN的A. Ernest先生以及幫我校對本書各章末問題的C. H. Ton先生，同時我也感謝審稿的諸位編輯先生，尤其是Notre Dame

# 目 錄

|     |             |     |
|-----|-------------|-----|
| 第一章 | 結構和載重的類型    | 1   |
| 1.1 | 介 紹         | 1   |
| 1.2 | 結構分類        | 2   |
| 1.3 | 載 重         | 10  |
|     | 問 題         | 17  |
|     | 參考文獻        | 19  |
| 第二章 | 靜定結構的分析     | 23  |
| 2.1 | 支承反力與理想化的結構 | 23  |
| 2.2 | 疊加原理        | 28  |
| 2.3 | 結構桿件的平衡     | 29  |
| 2.4 | 樞接結構的平衡     | 33  |
| 2.5 | 穩定度以及靜定度    | 43  |
|     | 問 題         | 49  |
| 第三章 | 結構桿件上所產生的內力 | 59  |
| 3.1 | 作用於指定位置上的內力 | 59  |
| 3.2 | 剪力及彎矩函數     | 64  |
| 3.3 | 樑的剪力及彎矩圖    | 70  |
| 3.4 | 剛架的剪力圖和彎矩圖  | 91  |
| 3.5 | 由疊加法繪製彎矩圖   | 97  |
|     | 問 題         | 103 |
| 第四章 | 靜定桁架的分析     | 113 |
| 4.1 | 桁架的類型       | 113 |

|      |         |     |
|------|---------|-----|
| 4.5  | 簡單桁架    | 120 |
| 4.6  | 節點法     | 121 |
| 4.7  | 零力桿件    | 127 |
| 4.8  | 切面法     | 130 |
| 4.9  | 複合桁架    | 137 |
| 4.10 | 複式桁架    | 144 |
| 4.11 | 靜定性和穩定度 | 149 |
| 4.12 | 空間桁架    | 154 |
|      | 問 題     | 163 |
|      | 參考文獻    | 175 |

## 第五章 靜定結構的影響線 177

|     |                       |     |
|-----|-----------------------|-----|
| 5.1 | 影響線                   | 177 |
| 5.2 | 樑的影響線                 | 188 |
| 5.3 | 影響線之特性                | 193 |
| 5.4 | 樓版大樑的影響線              | 204 |
| 5.5 | 桁架的影響線                | 209 |
| 5.6 | 橋樑上的活載重               | 215 |
| 5.7 | 系列集中載重對某點所產生的最大剪力以及彎矩 | 217 |
| 5.8 | 絕對最大剪力及彎矩             | 226 |
|     | 問 題                   | 232 |
|     | 參考文獻                  | 243 |

## 第六章 超靜定結構的近似分析 245

|     |                  |     |
|-----|------------------|-----|
| 6.1 | 近似法的使用           | 245 |
| 6.2 | 桁 架              | 246 |
| 6.3 | 房屋剛架上的垂直載重       | 250 |
| 6.4 | 橋門剛架和桁架          | 255 |
| 6.5 | 承受橫向載重的房屋剛架：橋門法  | 262 |
| 6.6 | 承受橫向載重的房屋剛架：懸臂樑法 | 267 |

問 題 273

參考文獻 281

## 第七章 變 位 283

7.1 變位圖 283

利用幾何法計算變位 286

7.2 彎矩面積定理 285

7.3 共軛樑法 296

利用能量法計算變位 308

7.4 外功以及內功 308

7.5 虛功方程式 312

7.6 虛功法：桁架 314

7.7 虛功法：樑和剛架 321

7.8 卡式定理 333

7.9 卡式定理應用於桁架 335

7.10 卡式定理應用於桁架和剛架 340

問 題 347

參考文獻 357

## 第八章 超靜定結構的分析 359

8.1 符合變位法：一般程序 359

8.2 Maxwell 交互變位定理、Betti 法則 364

8.3 符合變位法：樑 366

8.4 符合變位法：剛架 377

8.5 符合變位法：桁架 382

8.6 組合結構 385

8.7 三彎矩方程式 388

8.8 超靜樑的影響線 396

8.9 剛架的影響線大致形狀 408

問 題 410

參考文獻 422

## 第九章 斜(傾)角變位法 425

- 9.1 斜角-變位方程式 425
- 9.2 樑的分析 431
- 9.3 剛架的分析：無側向位移 440
- 9.4 剛架的分析：有側向位移 446
- 問題 455
- 參考文獻 461

## 第十章 彎矩分配法 463

- 10.1 一般性原則以及定義 463
- 10.2 彎矩分配法：樑 463
- 10.3 修正勁度 475
- 10.4 彎矩分配法應用於剛架：無側移 483
- 10.5 彎矩分配法應用於剛架：有側移 484
- 10.6 彎矩分配法應用於多層剛架 495
- 問題 496
- 參考文獻 501

## 第十一章 非稜體桿件所組成之樑以及剛架的分析 503

- 11.1 非稜體桿件的變位 503
- 11.2 利用共軛樑法求出非稜體桿件的載重特性 505
- 11.3 利用文獻資料之非稜體桿件的載重性質 513
- 11.4 應用彎矩分配法分析具有非稜桿件的結構 517
- 11.5 斜角-變位方程式應用於非稜體桿件 525
- 問題 526
- 參考文獻 529

## 第十二章 結構分析之矩陣代數 531

- 12.1 矩陣基本的定義以及類型 531
- 12.2 矩陣的運算 533
- 12.3 行列式 537
- 12.4 逆矩陣 540
- 12.5 高斯消去法求解聯立方程式 542
- 問題 544
- 參考文獻 545

## 第十三章 勁度法分析桁架 547

- 13.1 介紹 547
- 13.2 桁架桿件的勁度矩陣 548
- 13.3 變位以及力量轉換矩陣 550
- 13.4 桿件的整體勁度矩陣 554
- 13.5 結構的勁度矩陣 555
- 13.6 應用勁度法分析桁架 561
- 13.7 空間桁架的分析 570
- 問題 572
- 參考文獻 573

## 第十四章 勁度法分析平面剛架 575

- 14.1 剛架元素 575
- 14.2 剛架元素的勁度矩陣 576
- 14.3 變位以及力量轉換矩陣 581
- 14.4 元素的整體勁度矩陣 583
- 14.5 應用勁度法分析剛架 584
- 問題 594
- 參考文獻 597

**附錄A 電腦應用於結構分析 599**

A.1 結構分析的電腦系統 599

A.2 電腦程式 STARN 分析桁架、樑以及剛架結構 600.

**附錄B STRAN 程式說明 609**

**習題答案 619**

**索引 629**

# 第一章

## 結構和載重的類型

本章將對產生結構的每一必須階段，加以解釋，並對各種類型的結構桿件、支承予以定義，最後，對於結構分析以及設計中所必須考慮的各類類型載重給予簡潔的介紹。

### 1.1 介紹

結構是將一連串相互連接的元件經過適當組合後，使其能夠有效的支承載重，一般較常見的例子有房屋、橋樑、高塔、水箱以及水壩等。產生上述結構所必須經過的程序包括規劃、分析、設計以及施工。以下將對各項程序予以扼要的討論，並說明實際進行各項程序時所必須考慮的事情。

**規劃 (Planning)** 開發一個供給公共使用並且具有特殊機能的結構物時，首先，必須考慮的是如何才能選擇一個安全、優美而又經濟的結構型式。通常在結構工程中，本階段屬於最困難而又相當重要。因為最後要決定到底什麼樣的結構型式（如拱型結構 (arch)，桁架 (truss)，剛架 (frame) 等) 是最合適的選擇之前，往往必須對各種不同的結構型式，所可能產生的不同答案，予以研究。一旦決定後，則和結構有關的載重、材料、桿件 (member) 安排、以及尺寸將接著被決定。因此，各位可明顯的看出，想正常地執行這些規劃活動所需要的技巧，是來自個人在發展藝術以及工程科學上，多年經驗所累積的成果。

**分析 (Analysis)** 爲了對結構作適當的分析，因此對於實際結構中如何支承桿件或是桿件之間的連接方式，均須給予相當的理想化，一旦各種假設決定後，我們就可應用本書所要介紹的各種結構力學理論，求出作用在結

## 2 第一章 結構和載重的類型

構桿件上的內力以及變位 (displacement)。

**設計 (Design)** 如果作用在桿件上的內力求出後，我們即可在合乎規範所要求的強度 (strength) 以及變位規定下決定桿件尺寸，同時還可更進一步的根據所要求的強度以及使得桿件能夠正確組合的條件下，進行桿件之間接頭的細部設計。

**施工 (Construction)** 整個過程的最後階段，即是將各項設計後所完成的結構桿件，依據所計劃的施工程序逐項予以組立，而在施工進行的各個階段中必須隨時檢查，使得完工後的成品能夠符合施工圖說中的設計。

### 1.2 結構分類

對一個結構工程師而言，能夠辨識出各種不同類型結構桿件的相異性，並且有能力將各種結構根據型式和機能的不同而加以分類，是相當重要的。現在我們將介紹和這方面有關的一些基本觀念。並於本書以後適當的章節中加以闡述。

**結構桿件 (Elements of Structures)** 以下介紹一般結構體中較常使用的結構元件：

**繫桿 (Tie rods)** 結構元件中用來承受拉力的元件。我們常稱之為繫桿或是撐柱 (bracing strut)，由於其為承受拉力的緣故。因此繫桿通常屬於細長型，而所採用的斷面型式，大多如圖 1-1 中所標示的圓桿 (rod)、條鋼 (bar)、角鋼 (angle)、以及槽型鋼 (channel) 等。

**樑 (Beams)** 這類元件於外觀上大多屬於平直的方式，其主要是用來承受垂直載重 (如圖 1-2a)。樑元件通常是根據支承方式的不同而加以分類 (如圖 1-2b)，當樑元件不為均勻斷面時，我們稱其為漸縮 (taper)，或是托肩樑 (haunch beam) (如圖 1-3a)，有時為了加大斷面而在樑的頂端以及底部加上平板 (圖 1-3b)。我們根據樑承受載重時的行為特性，因此在設計樑的時候主要的著眼點在於使其具有抵抗彎矩 (bending moment) 的能力 (圖

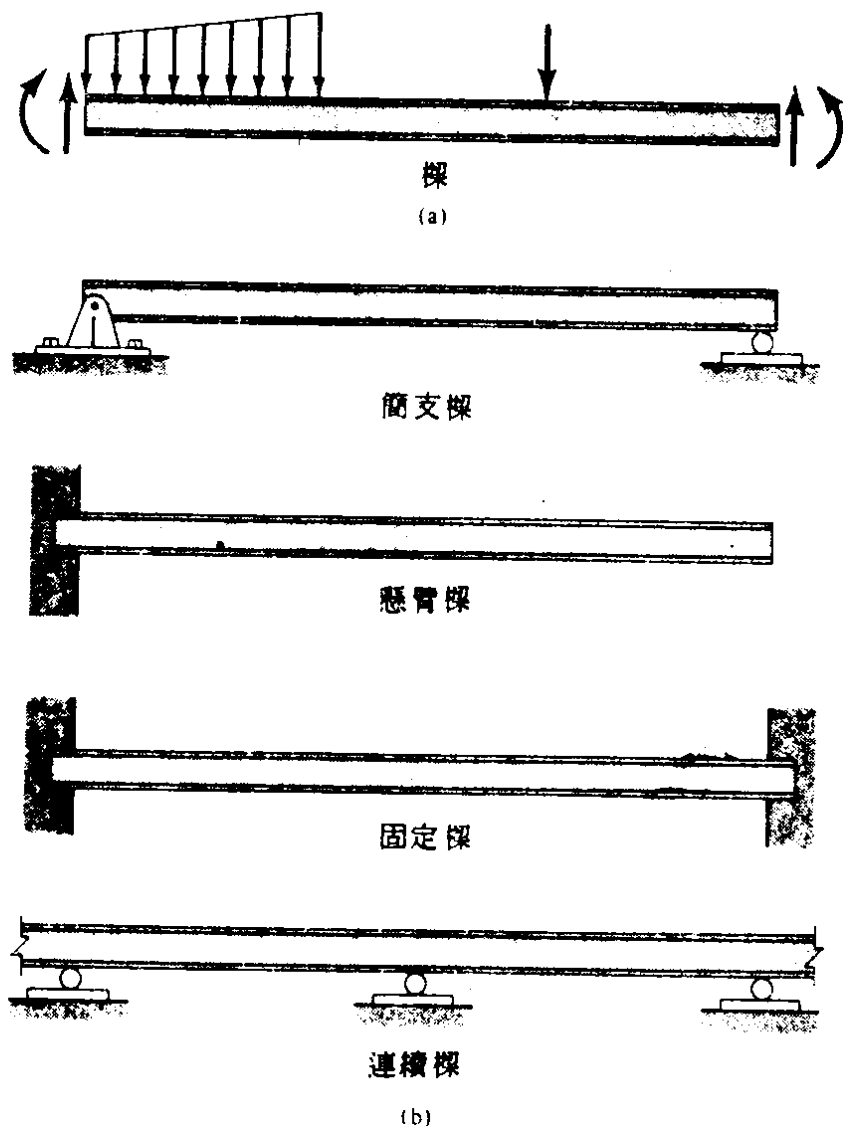
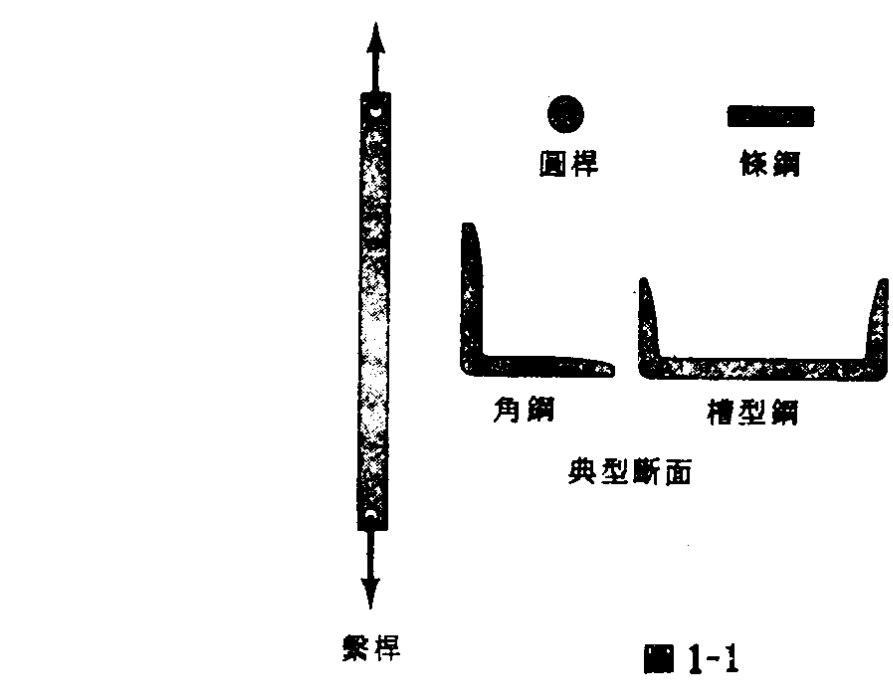
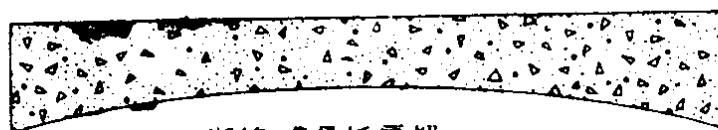


圖 1-2

#### 4 第一章 結構和載重的類型

1-2a)，但是如果樑本身的長度很短，而且所承受的載重又很大時，剪力 (shear) 反而可能控制整個樑的設計。



漸縮 或是托肩樑

(a)



組合樑

(b)

圖 1-3



(a)

(b)

圖 1-4

當樑是用鋼或是鋁等金屬材料製作時，所設計的斷面 (cross section) 型式可採用圖 1-4a 中所建議的幾種方式將最為有效。我們由材料力學可知樑件斷面中，上下翼緣 (flange) 部份的主要機能是用來抵抗彎矩  $M$ ，而腹板 (web) 部份則用來抵抗剪力，具有這種特性的斷面常稱之為“寬翼緣” (wide flange) (圖 1-4b)。一般在碾鋼廠中所製作的成品有長達 75ft 的，因此，如果須要較短的長度時，那麼於圖 1-4b 中合乎“美國標準”同樣也是屬於寬緣斷面的型鋼斷面即可作為選擇。當所設計的樑須要很長的跨度 (span)，而且必須承受較大的載重時，斷面型式則可採用一種類似板樑 (plate girder) 的形式，也就是以較大的平板當作斷面中的腹板，然後再用另外的平板在與腹板之間用螺栓 (bolt) 或是焊接 (welding) 的方式固定後，該平板即可成為斷面中的翼緣部份 (圖 1-5a)。等到樑建造完成後，一般的

作法是先將其分段後再運至工地，然後再用接續板（splice）在大樑（girder）承受彎矩最小的位置上予以接合（圖 1-5b）。

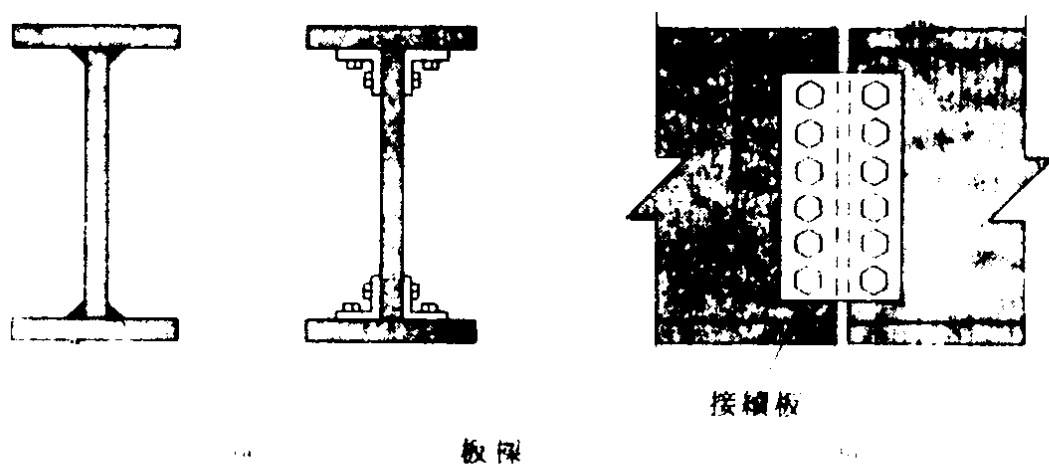


圖 1-5

至於混凝土樑的斷面通常為矩形，主要是因為此種斷面在工地上製造較簡單。由於混凝土的抗拉強度很低，因此設計時必須利用鋼筋來代替混凝土承受拉力（tension）（圖 1-6a），至於預鑄混凝土樑則是先於預鑄廠中，製作後再運至工地。

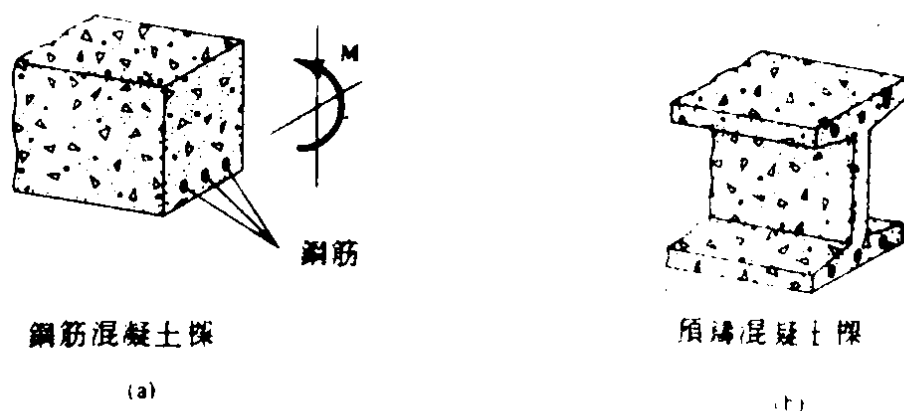


圖 1-6

**柱子 (Columns)** 元件於外型上多為垂直，而且設計時主要的機能是用來抵抗軸向載重者稱之為“柱子”（columns）（圖 1-7a）。一般用金屬材料製作的柱子，採用的斷面大多屬於薄管（tube）或是寬翼緣的型式，而用混凝土澆鑄成的柱子，大多為具有加強鋼筋的圓形或是方形斷面（圖 1-7b），有時候柱子不但承受軸壓力，同時還須抵抗彎矩，這種類型