

結構靜力学

(靜定結構部分)

461
461
2

建築力學教程

第三冊

結構靜力學

(靜定結構部份)

Б.Н.日莫其金 著
Д.П.巴謝夫斯基

大連工學院 譯
土木系結構教研室

大連工學院

前 言

本書係根據蘇聯國家建築及都市建設出版社（Государственное издательство архитектуры и Градостроительства）1950年出版的日莫其金（Г. Н. Жемочкин）與巴謝夫斯基（Д. П. Пашевский）合著的“建築力學教程”第三冊（Курс строительной механики, часть III）“結構靜力學”（Статика сооружений）譯出的，原書經蘇聯部長會議建築事業委員會教育處（Отдел учебных заведений Комитета по делам архитектуры при Совете министров СССР）同意作為建築學院的教科書。

參加本書翻譯工作的為：大連工學院彭聲漢（序言，第九章），趙國藩（第一、二、三、四、十一、十三、十三、十四、十六章），楊國賢（第五、六、七、十章），戴宗信（第八、十五章）；本書的初校者：楊國賢、戴宗信。再校者：趙國藩（序言，第一、二、三、四、八、十五章），彭聲漢（第五、六、七、十、十六章），楊國賢（第十一、十二、十三、章），戴宗信（第九、十四章）。

序 言

關於建築力學已經出版了許多很好的教科書和教學參考書，但是這些書基本上都是以結構專業或技術學校的學生為對象的，一直到現在還沒有一本符合於建築學院或建築系的教學大綱的教科書。本書出版的目的是要彌補這個現存的缺陷。

本書共分三冊：理論力學，材料力學及結構靜力學。敘述理論力學的這一部份所以要編入本書的原因，是由於在建築學院或建築系中，理論力學不是獨立的課程，而是作為學習材料力學和結構靜力學的輔助課程。

未來的建築師們，從其業務範圍看來，不一定要直接掌握結構的設計和計算，可是無疑的，他們將要去選擇結構的簡圖和確定結構及其構件一般的尺寸。因此，本書除了敘述計算理論的基本原理外，還着重地敘述了進行結構草圖設計時，為了事先決定尺寸所適用的近似的計算方法。

本書係由莫斯科建築學院建築力學教研組的全體教員共同編輯的，基本上是與教學大綱的需要及該課程在總的教學計劃中所應佔的比重相符合的。本書各冊的編者為：理論力學——B. Ф. 托奇斯基講師；材料力學——С. Н. 尼基法洛夫教授；結構靜力學——第一章至第四章為А. П. 巴謝夫斯基講師，其餘各章為B. H. 日莫其金教授。B. H. 日莫其金教授為總編輯。

編寫綜合的建築力學教科書，實際上還是初步的嘗試，這也許能符合建築學院學生的需要。當然，本書在講敘方法及其他方面不可能沒有缺陷的，讀者如果有關於本書的任何意見和願望，編者當滿懷謝忱地接受，並將在再版時加以考慮。

*

* *

結構靜力學在研究方法和研究對象方面和材料力學有許多共同之處，因此，以前它是和材料力學在一起學習，作為是建築力學總的課程中的一部份。僅僅在近百年來，由於積累了很豐富的資料，所以才把結構靜力學分出來作為一個獨立的課程。

結構計算理論的發展總是與技術的發展相關連的。理論是力求解答在實際生活中所發現的問題，所以在各個不同的時期，理論發展的水平，總的說來，是相應於技術和經濟發展的水平。

十八世紀的學者還在研究普通的單跨梁，而在十九世紀的初期，由於開始了鐵路的興建，就產生了建築長跨橋梁的需要。隨之而來的，就提出上關於研究連續梁和桁架的計算理論的問題。

雖然研究桁架的計算理論是十九世紀的事情，但是個別先進的天才學者已經走在自己的時代的前面。比如，還在1773年，俄羅斯的天才學者和發明家И. П. 庫里賓 (1735—1818) 就已經設計了一座跨越涅瓦河長達300 m 的木拱橋。如果這座橋造成的話，那麼它將是那個時期的最宏偉的建築物了，不過這個設計一直沒有付諸實現，僅僅是做了一座大小為真正結構的 $\frac{1}{10}$ 的模型，這座模型曾經承受過荷重的試驗。

在這些對桁架計算問題的研究起了極大推動作用的學者之中，首先應該指出的是，著名的橋樑建築家，А. И. 茹拉夫斯基工程師 (1821—1891)。Ф. С. 揚生斯基教授 (1856—1899) 亦曾從事於桁架計算理論方面的工作，對桁架受壓形斜桿工作性能的闡明，是應該歸功於揚生斯基教授的。

Н. А. 別列留布斯基教授 (1845—1922) 曾設計並建造過許多的橋樑。在過去的尼古拉也夫鐵路上（現在的十月鐵路）根據他的設計，曾經用金屬橋代替了七十座的木橋。

許多新的桁架計算方法是 А. И. 波洛斯庫達濶夫教授 (1845—1922) 研究出來的。當設計跨越葉尼塞河的橋樑時，他採出了極其新穎的結構形式。以後這種結構形式不僅在俄羅斯，而且在別的國家中，亦被廣泛的地加以採用。

十九世紀末和二十世紀初，鋼筋混凝土結構得到了很大的發展，促使學者們從事於超靜定結構（剛架）計算方法的研究。

僅僅到二十世紀的二十年代，一些實際中可以應用的計算方法方始成功地研究出來。在這方面，蘇聯的科學是居於領導地位的。許多計算剛架的方法已經極其成功的為設計師們在他們日常的工作中所應用，而在外國却尚未為人所知。

從事於研究剛架計算問題的有：В. Г. 加列爾金院士 (1871—1945)，Н. С. 斯特聶列斯基，И. М. 拉賓諾維奇，И. А. 拍斯切爾那克，В. Н. 日莫其金，А. А. 葛復茲捷夫等教授。

近來由於巨型房屋樓蓋的需要，空間桁架和空間剛架得利了發展。必須指出來的是，В. Н. 高爾布諾夫教授及 А. А. 烏曼斯基教授在這種結構計算理論方面所作的研究工作。

當建築現代的巨大的建築時，不僅要注意結構的強度，而且亦要注意結構的穩定。А. Н. 金尼克院士，И. Я. 施塔爾曼，В. З. 符拉索夫，Н. В. 高爾

諾烏和夫等教授均進行了關於穩定問題的研究工作。

在實踐中，又提出了關於各種型式薄殼結構的計算問題。在本世紀的二十年代裡，出現了圓柱形的梁式薄拱。外國所建立的計算這種結構的方法是假定沒有彎矩產生；但是蘇聯學者的研究，指出這種“無彎矩”的理論是不能反映結構的實際工作情況的。他們就建立了叫做“彎矩”理論的計算方法，從事於薄殼結構計算理論研究工作的有：B. Г. 加列爾金院士 A. H. 達尼林院士，B. З. 符拉索夫，П. А. 拍斯切爾那克，A. A. 葛復茲捷夫，A. И. 路尼耶，A. A. 高爾金維耶日爾等教授。

蘇聯在結構動力學方面的科學亦獲得了巨大的成就。

目 錄

序 言	
-----	-------

第一章 總 論

§ 1. 結構靜力學的任務	 1
§ 2. 結構計算簡圖的分類	 1
§ 3. 結構計算簡圖的示例	 3
§ 4. 荷 重	 8

第二章 平面結構穩定性的研究

§ 5. 穩定結構及不穩定結構。自由度	 9
§ 6. 幾何組成的分析	 13
§ 7. 習 題	 16

第三章 多跨靜定梁

§ 8. 梁的型式	 18
§ 9. 數解法	 19
§ 10. 圖解法	 23
§ 11. 節點荷重	 25
§ 12. 感應線的概念	 26
§ 13. 單跨梁的感應線	 27
§ 14. 多跨靜定梁的感應線	 32
§ 15. 用機動法求感應線	 34
§ 16. 用感應線求應力	 37
§ 17. 多跨梁的特性	 39
§ 18. 習 題	 41

第四章 三 鉸 拱

§ 19. 概 論	 43
§ 20. 數解法	 45

§ 21. 拱的計算例題	53
§ 22. 圖解法	55
§ 23. 感應線	59
§ 24. 三鉸拱的特性	62
§ 25. 習題	63

第五章 靜定梁式桁架

§ 26. 概論	65
§ 27. 桁架穩定性的檢查	66
§ 28. 數解法	70
§ 29. 桁架計算的例題	76
§ 30. 圖解法	78
§ 31. 感應線	84
§ 32. 各種類型的梁式桁架的分析	90
§ 33. 習題	94

第六章 三鉸拱式桁架

§ 34. 概論	97
§ 35. 三鉸拱式桁架的計算	99
§ 36. 組合式結構	102
§ 37. 習題	105

第七章 懸索桁架

§ 38. 懸式桁架	107
§ 39. 索式桁架	111

第一章

總論

§ 1. 結構靜力學的任務

材料力學係研究外力對於構件或桿件的基本作用（拉、壓、彎曲、扭轉）以及這些作用的組合作用（複雜抵抗）。結構靜力學係研究外力對於由許多梁木或桿件組成的結構（即整個結構）的作用。

結構靜力學的任務為：

- a) 決定在外力作用下發生於結構中的內力及變形。
- b) 規定結構組成的法則。
- B) 從結構在經濟方面達到合理適用的觀點來研究結構。

必須具有結構計算的技能，始能成功地完成上述的任務。我們不能認為結構靜力學是包羅了計算一切各種不同結構的方法，而為每一種結構都建立一套它自己的計算方法。所有結構的計算都是根據少數法則出發的，根據這些法則，按照實際情形，對於不同類型的結構建立最便利的計算方法，以求能較為迅速、簡單地得到最後的結果。

結構靜力學為今後有關各工程結構課程的基礎，並為研究這些課程作了準備。

§ 2. 結構計算簡圖的分類

計算結構時，為簡化起見，所處理者常常不是原來的結構而是它們的計算簡圖。

結構的計算簡圖是真正結構的簡化圖形。

計算簡圖的選擇是很重要很嚴謹的過程。一般總是盡可能的選擇最能使計算簡單而且在工作條件方面又最能接近真正結構的計算簡圖。

在本教程前面的章節中，我們也曾用過計算簡圖。

例如，在求梁的彎矩或撓度時，是用計算簡圖來代替真正的梁，這個計算

簡圖是表示梁軸的直線。

在計算簡圖中，梁真正的支座是用假想的支承連桿來代替。

類似於上述情形，今後在計算某一桁架時（圖 1, a）也用計算簡圖來代替桁架（圖 1, б）。在計算簡圖中，組成桁架的桿件僅用它們的軸線來表示，而桁架的剛性節點為簡化起見則以鉸來代替。

在研究各種結構計算方法以前，首先應按照某些共同的以及特別的特徵統一地將結構合理的分為各種類型。結構分類時，要利用它們的計算簡圖。

結構可按照不同的特徵進行分類。

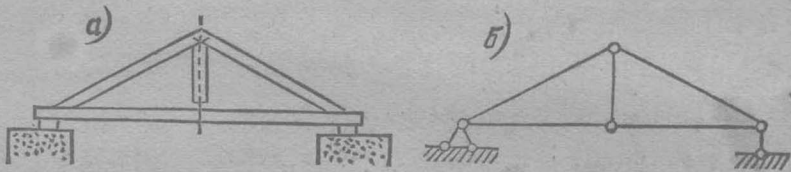


圖 1

а) 平面結構及空間結構

如果所有組成結構的構件的軸線均位於同一平面，並且荷重亦作用於此同一平面，則此結構稱為平面結構，如果構件的軸線不位於同一平面，或者是荷重不作用於結構平面內時，則此結構稱為空間結構。

大多數的空間結構為簡化計算起見可分為若干個平面結構。

我們主要是研究平面結構而不是空間結構。

空間結構並不是一定都能分成為平面結構，有好多結構是必需作為空間結構來分析研究的。

б) 桿件結構、薄壁結構及實體結構

桿件結構乃指由桿件（或梁木）組成的結構，這種構件的兩個量度遠較第三個量度為小。

如果結構構件的一個量度（厚度）遠小於其他兩個量度，則由這種構件組成的結構：當由平面圍成的薄版組成時稱為樅板結構，當用曲面圍成的構件組成時，稱為薄殼結構。

實體結構指的是三個方向的量度大約為同級量的結構，例如：擋土牆、堤壩、基礎。

B) 靜定結構及超靜定結構

根據計算的方法，所有結構可分為靜定結構及超靜定結構。靜定結構計算時，僅靜力方程式即可滿足。而超靜定結構在計算內力時，還需要有含有表示材料彈性性質因素的補充方程式。

靜定結構與超靜定結構的區別以前已經在建築力學教程第二冊“材料力學”，114 頁 § 48 中有所說明。

§ 3. 結構計算簡圖的示例

a) 梁

以前在“材料力學”中詳細討論過的單跨梁(圖2, a)是一種最簡單的結構。

用若干單跨梁來跨越某些毗鄰的跨度是不合適的(圖2, b)，只有當材料的性質不許可或者是很難作成更合理的結構時可以採用這種方式(例如採用木梁的情形)。

比較合理的是用一個整個的連續多跨梁(圖2, b)來代替這些單跨梁，這樣，彎矩的數值可以合理地予以減低。這種連續多跨梁我們都知道是一種超靜定梁。

如將鉸置於跨中，可使結構仍為靜定，並可減低彎矩。

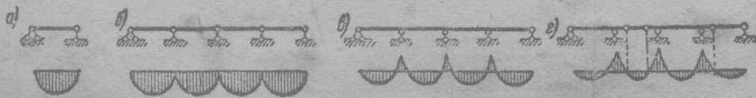


圖 2

6) 拱

梁不適於跨越較長的跨度，因為梁需有很大尺寸的截面，因而自重亦很大。這種情況下，往往是採用拱。拱是一個曲形構件(或兩個以鉸相連的曲形構件)組成的結構。拱主要是承受軸向力，拱的彎矩較之相同跨度的梁的彎矩小些，所以截面亦比較小些。

拱可為三鉸拱(圖3, a)雙鉸拱(圖3, b)及無鉸拱(圖3, b)，後面兩種為超靜定結構。



圖 3

Б) 梁式桁架

拱並不經常都可用來跨越很長的跨度，因為拱需要有很堅強的支承，因而施工也比較複雜。這樣，梁在走向長跨時就向着另一條道路發展。

矩形截面梁的主要缺點就是它的材料只有邊緣處是充分利用了（圖4，a），而在中和軸附近的各點，該處的法向應力很小，這些地方的材料大部份是沒有發揮它們的作用。

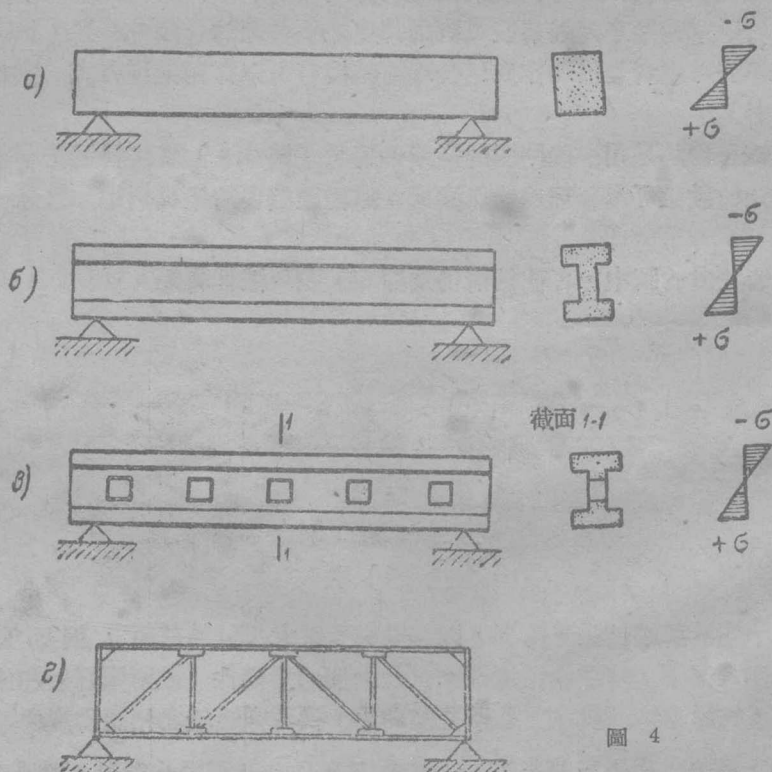


圖 4

在梁的發展過程中，把梁的材料盡可能地置放在遠離中和軸的地方是—

合理的方法（圖 4, б）。這樣一來，就出現了工字截面梁。

但是這種工字截面梁腹板材料仍不能全部充份受力，這種情形當跨度很長時顯得更不合適。

更進一步的改善是把腹板切成孔缺（圖 4, в），這時自然就轉變成由各個桿件組成的結構，桿件由鉸相連接，承受軸向內力（圖 4, г）。

這時就得到一種新的性能的結構——桁架。

桁架所用材料遠較梁所用材料節省，因此桁架可用來跨越很長的跨度。

桁架的種類很多，無論是木製桁架或金屬桁架都用得很廣泛。

根據桁架的用途、使用材料、跨長等，可以做成各種形狀的桁架。圖 5, а 所示者為梁式桁架，圖 5, б 所示者為懸臂梁式桁架。

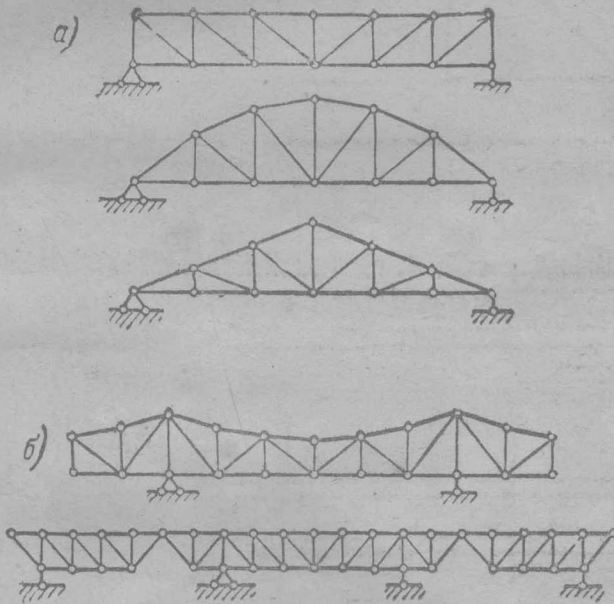


圖 5

г) 拱式桁架及懸式桁架

同上所述，梁可演變為拱，梁式桁架也可演變為拱式桁架。拱式桁架本身即具有桁架和拱的性能（圖 6, а, б）。懸式桁架亦可歸類於拱式桁架（圖 6, в）。

在懸式桁架發展的過程中，出現了鏈索桁架。鏈索桁架主要由下部懸掛有

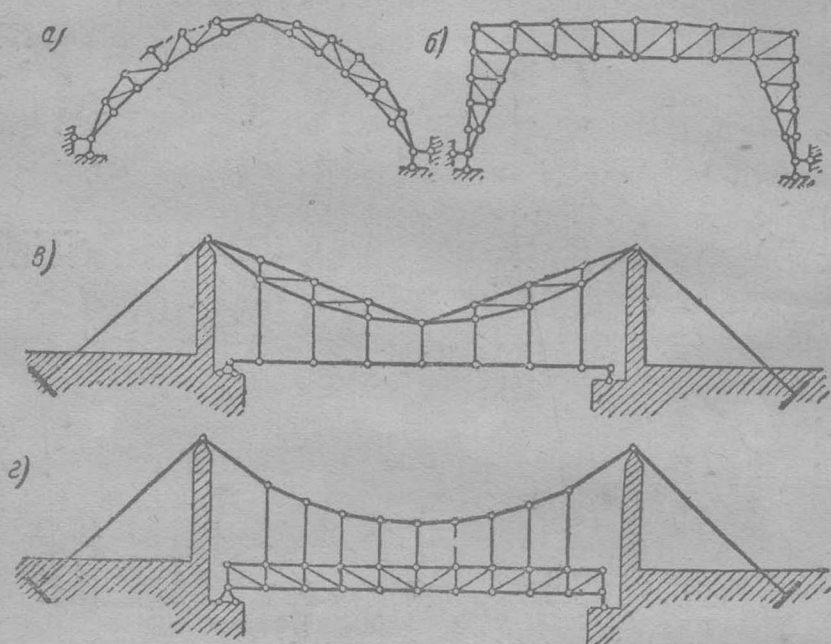
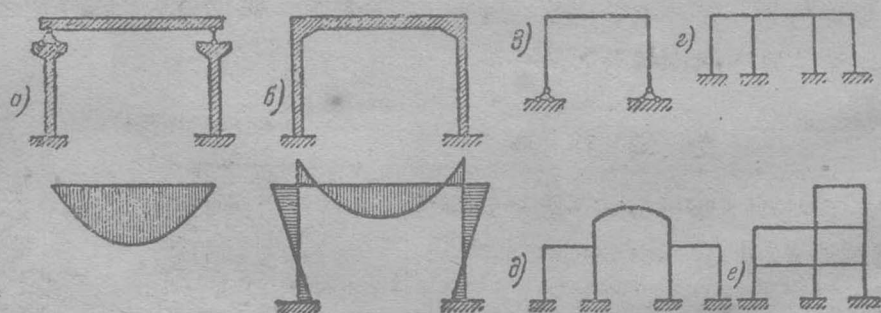


圖 6

剛性桁架的鏈索組成，（圖，6，r）。鏈索桁架可用於跨度很長的橋樑。桁架可為靜定結構亦可為超靜定結構。



7

А) 剛 架

單跨梁簡支於與梁同樣材料作成的柱上時（圖7，a），如果令梁與柱連結為一體，則梁內的彎矩可大大的減少（圖 7，б）。這時，原來的簡支梁就變成

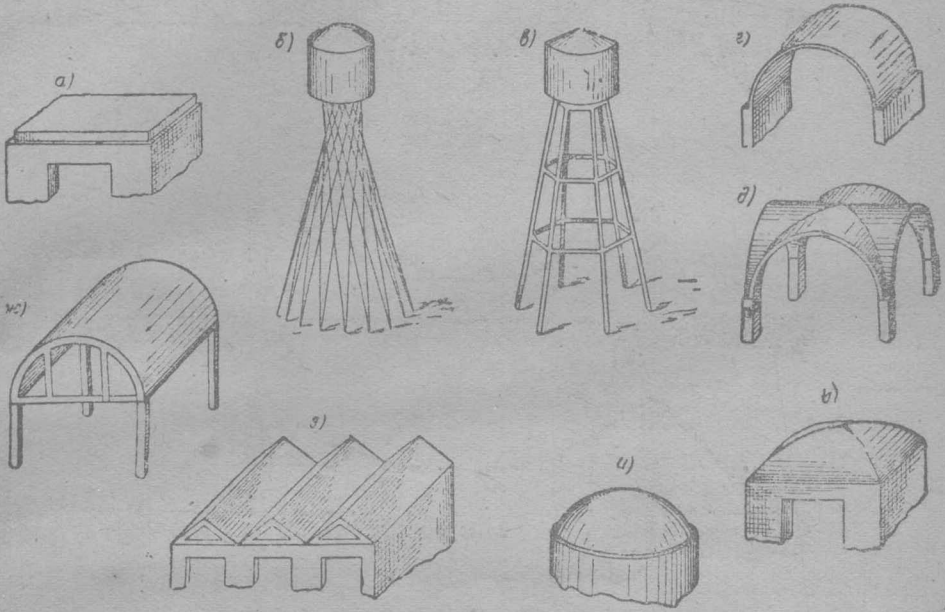


圖 8

部份固定端的梁來承受荷重，跨中的彎矩是減少了，但柱內却有彎矩產生。

這種結構即叫做剛架。剛架的型式很多（圖 7，B—e）。我們所常遇到的有：單跨剛架、多跨剛架、單層剛架、多層剛架。剛架也可以與拱聯合組成。一般講來，剛架是超靜定結構。

e) 空間結構

空間結構（即計算時不能分為平面結構的結構）有：周邊支持的版（圖 8，a），空間桁架（圖 8，б）空間剛架（8，B），圓柱形薄拱（圖 8，r）十字薄拱（圖 8，A），交集薄拱（圖 8，e）梁式柱形薄拱（圖 8，ж），褶板（圖 8，з），圓屋頂（圖 8，и）。

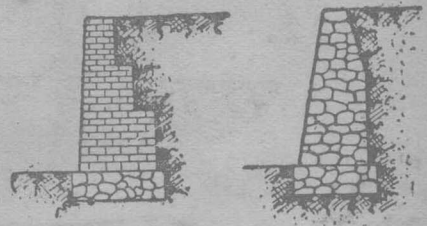


圖 9

只有空間桁架可能是靜定結構，其他結構均為超靜定結構。

e) 擋 土 牆

擋土牆係作為支持土壤或某種散填物體之用（圖 9）。

§ 4. 荷 重

在“材料力學”中我們已經討論過分佈荷重及集中荷重。

此外，我們還在連續梁計算的一章中說明荷重可分為永久荷重（如結構的自重）及臨時荷重（如人、裝備、貨物等的重量，風壓力，雪荷重）。現在我們要補充說明荷重還可分為靜荷重及動荷重（例如列車，汽車），動荷重是可以改變它自己所在的位置的。

根據荷重對結構的作用的性質，又可分為靜力荷重及動力荷重。

靜力荷重作用於結構上時，係逐漸到達其最後的計算值。

動力荷重有：衝擊荷重，瞬加荷重，往復週期荷重。衝擊荷重，例如：打樁時打在樁上的樁鎚的鎚擊；某一物體落在樓板上的作用。瞬加荷重即在瞬時之內能把全部荷重作用於結構的荷重。例如：汽車進入橋梁時，車輪壓力的作用。往復週期荷重係按照一定週期往復作用於結構上的荷重。例如各種置放在結構上的正在開動的機器，發動機即給結構作用有這種往復週期的荷重。

結構除了承受荷重外還可承受另外一些作用，例如：溫度的作用，材料的收縮，支承沉陷或移動。

第二章

平面結構穩定性的研究

§ 5. 穩定結構及不穩定結構。自由度

每一結構在外界作用的影響下要發生變形，因此就要改變其自身的形狀。例如桁架中，受壓桿在外力作用下縮短而受拉桿則伸長，桁架因而產生撓度，其外形亦隨之發生變化。實際上這種變化並不大，因其產生僅係由於結構內部各桿件的變形。

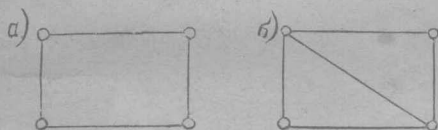


圖 10

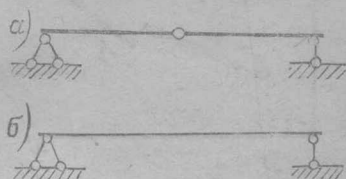


圖 11

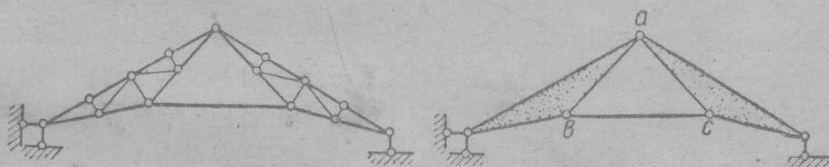


圖 12

但是可能有這樣的結構，就是當作用一個非常微小的荷重時，其構件的尺寸甚至都沒有什麼改變，而其整個的形式已經變了樣。例如鉸接的四邊形（圖10,a）及跨中置有一鉸的單跨梁（圖11,a）便屬於這種結構。這類結構即稱為幾何的不穩定結構（或簡稱不穩定結構）。如在四邊形中加一對角斜桿（圖10,b）或去掉梁中的鉸（圖11,b）則結構就變為幾何的穩定的結構。

顯然，在建築物中僅能採用幾何的穩定的結構；相反的，在機械上應