

中等專業學校教學用書

學力靜構結

宋 華 樾 編

人民鐵道出版社

中等專業學校教學用書

結 構 靜 力 學

宋 華 樾 編

人 民 鐵 道 出 版 社

一 九 五 八 年 · 北 京

本書系為中等專業學校學生而編寫的，並經鐵道部教育局批准為鐵路中等專業學校教學用書。

本書內容簡練，由淺入深，包括：平面結構的穩定性，多孔靜定梁的計算，三鉸拱，靜定平面桁架，靜定結構的影響綫，靜定剛架，擋土牆計算，結構變位，超靜定結構。在每章之末，除附有習題之外，並有本章簡單提要。為了實用和照顧到中學生的接受能力，關於結構的解算方法，本書是以數解法和圖解法並重，而且以講解靜定結構為重點，對於超靜定結構則盡量壓縮，並以力法為主，這是本書的特點。

本書除可作教材之用外，並可供具有初中文化水平，對工程力學具有一定知識的職工自修用。

中等專業學校教學用書

結構靜力學

宋華樾編

人民鐵道出版社出版

(北京市霞公府17號)

北京市書刊出版業營業許可証出字第010號

新華書店發行

人民鐵道出版社印刷廠印

(北京市建國門外七聖廟)

書號：933 開本 $850 \times 1168 \frac{1}{32}$ 印張 $8\frac{1}{2}$ 字數 208 千

1958年4月第1版

1958年4月第1版第1次印刷

印數 0,001—2,000 冊 定價 (10) 1.40 元

目 录

緒言	1
1. 什么是結構靜力学	1
2. 为什么要學習結構靜力学	4
3. 結構靜力学發展簡史	5
第一章 平面結構穩定性的研究	
1-1 穩定結構和不穩定結構	7
1-2 盤体和自由度	8
1-3 結構几何組成的分析	11
1-4 桁架的穩定性	14
第二章 多孔靜定梁	
2-1 多孔靜定梁的概念	18
2-2 多孔靜定梁的數解法	21
2-3 多孔靜定梁的圖解法	24
第三章 三鉸拱	
3-1 拱的基本知識	30
3-2 三鉸拱的數解法	31
3-3 三鉸拱的圖解法	40
第四章 靜定平面桁架	
4-1 概論	48
4-2 桁架的分類	50
4-3 桁架數解法之一: 节点法	53
4-4 桁架數解法之二: 截面法	59
4-5 截面法在較复杂情况下的应用	62

4-6	节点法和截面法的联合应用	65
4-7	桁架数解法之三: 通路法	66
4-8	平弦桁架杆件内力的求法	70
4-9	桁架的图解法	74
4-10	馬克斯威尔—克列蒙圖	77
4-11	用馬克斯威尔—克列蒙圖来分析几种普通的桁架	80
4-12	图解法和数解法的联合应用	84
4-13	截面法的图解—卡尔曼图解法	85
4-14	三鉸拱式桁架	88

第五章 靜定結構的影响綫

5-1	影响綫的概念	95
5-2	簡支梁的影响綫	97
5-3	悬臂梁的影响綫	101
5-4	多孔靜定梁的影响綫	103
5-5	节点傳遞荷載时主梁的影响綫	105
5-6	利用影响綫求梁的内力	107
5-7	一組集中活載最不利位置的条件	110
5-8	影响綫直綫綫段的一种特性	114
5-9	梁内絕對最大弯矩的临界位置	115
5-10	簡單桁架杆件内力的影响綫	117
5-11	釐路标准活載和等效(換算)均布活載	122
5-12	反复应力和反斜桿	129

第六章 靜定剛架

6-1	概論	137
6-2	簡支剛架計算	139
6-3	三鉸剛架	141

第七章 擋土牆

7-1	擋土牆的概念	146
7-2	散填体的物理性質	147

7-3	庫倫理論	148
7-4	列博汉定理	151
7-5	彭斯立作圖法	154
7-6	卡尔曼作圖法	158
7-7	沿牆高的压力分佈圖	161
7-8	散填体頂面荷載的影响	162
7-9	特殊情况下的应力圖	164
7-10	散填体的压力公式	166
7-11	散填体的被动压力	170
7-12	擋土牆的强度計算	172
7-13	擋土牆的稳定性驗算	174
7-14	擋土牆的合理形式	178

第八章 結構的变位

8-1	結構变位的概念	184
8-2	外力的功	185
8-3	功的互等定理和变位互等定理	186
8-4	內力的功	188
8-5	求变位的一般公式	192
8-6	求变位的一些例題	193
8-7	用圖形相乘求变位	198
8-8	对称結構变位計算的簡化	204

第九章 超靜定結構

9-1	超靜定結構的概念	209
9-2	力法	211
9-3	用力法解連續梁——三弯矩方程式的推导	214
9-4	連續梁的弯矩、剪力和支承反力的一般公式	218
9-5	連續梁固定端和悬臂端的处理	221
9-6	連續梁上最不利的活載位置	226
9-7	用力法計算超靜定剛架	228

9-8 对称性的利用·····	232
9-9 未知贅力方向的选择·····	235
9-10 刚性悬臂的应用·····	237
9-11 未知贅力的分組·····	242
9-12 荷载的分解·····	245
9-13 总弯矩圖的檢查·····	247
9-14 用力法計算兩鉸拱·····	248
9-15 用力法計算無鉸拱·····	254
9-16 超靜定結構的近似計算·····	258

主要参考書目录

1. 結構靜力学 Б·Н·日莫契金等著 大連工学院譯
2. 結構靜力学 Я·Д·李夫施茨等著 建筑工程部譯
3. 結構力学 А·И·賽霍維奇內著 同济大学譯
4. 建筑靜力学 金宝楨等編著
5. 結構力学 梁治明編著
6. 建筑力学教程 И·М·拉宾諾維奇著

緒 言

1. 什么是結構靜力学

什么是結構靜力学？这是在學習這一課程首先要了解的問題。我們曾經在理論力学中學過靜力学，因此可以想象結構靜力学和靜力学有關係。我們也曾遇到過結構這一名詞，比如：『文章結構』、『經濟結構』等等，是指許多事物用確定的方法連系起來的一個整體或它的一部分，是一般的、廣義的結構。但是在本課程內所涉及的結構，是專指工程結構而言，它的範圍比較狹。它是指在一定的力系作用下仍然維持平衡的某一物體或這物體中的一部分。比如：一座橋梁，一幢房屋，都可以稱之為工程結構；因為它們在一定的荷載下仍然能維持平衡，能充分發揮它們的作用。同樣，一座橋梁中的某一橋墩、橋台以及其他各部分；一幢房屋中的屋架、梁、柱、牆和基礎等等，也同樣符合『在一定力系的作用下維持平衡』的要求，因此也同樣稱之為工程結構。

從此，我們可以知道：結構的種類很多，而為了更清楚的劃分起見，一般把結構進行分類，劃分的方法很多，比如：

一、按使用材料的不同分類：如鋼結構、木結構、磚石結構、鋼筋混凝土結構等等。

二、按所在地位的不同分類：如上部結構、下部結構、復蓋結構等等。

三、按構成形式的不同（幾何特徵）分類：

（1）實體結構 它的橫向尺寸和長度都比較大，通常用承受

压力的磚、石、混凝土等材料構成。如擋土牆、堤壩等（圖1）。

（2）薄壁（薄壳）結構

它的厚度远小于它的寬度，通常用鋼筋混凝土、金屬和木材構成。如谷倉、水塔等。

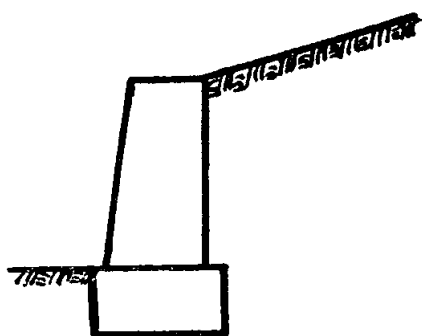
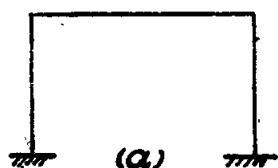


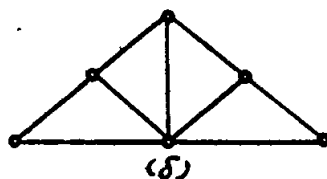
圖 1

（3）桿件結構 桿件的橫向尺寸远小于它的長度，通常由

金屬、混凝土和木材構成。桿件結構又因桿件位置的不同分为平面結構和空間結構；因桿件連接方式的不同而分为剛架結構（圖2-a）和桁架結構（圖2-b）。



(a)



(b)

圖 2

一般說來，如果桿件的軸綫和作用的力都在同一平面以內時，叫做平面結構。但实际上所有的結構都是空間的，只是在某些情況下，由于結構各部分的相互关系，並且由于作用力的特殊，可以把空間結構分割成几个平面結構，使計算簡化。比如把桥梁桁架看作平面結構，就是一个例子。

剛架結構的节点屬於剛接，节点处桿件的交角不允許因受力而改变（圖3-a）。桁架結構的节点屬於鉸接，节点不能承受任何微小的力矩（圖3-b）。但实际上桁架的桿件也並不能隨意繞节点而轉動。

四、按支承推力的有無分类：如有橫推力結構（拱式結構）、無橫推力結構（梁式結構）等。

五、按反力和內力的求法分类：如靜定結構、超靜定結構

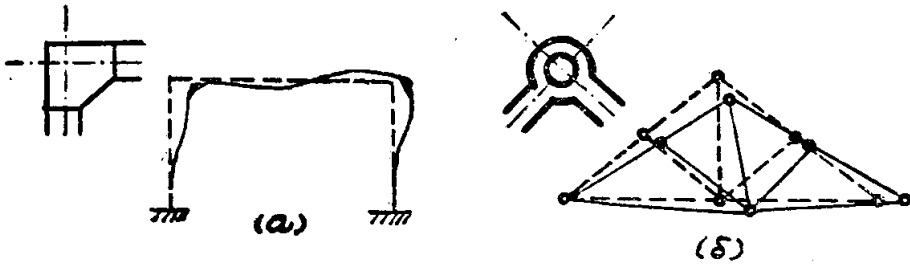


圖 3

等。

在結構的分类清楚以后，还需要了解結構的荷載，也就是作用于結構的一定的力。結構的荷載可以有下列几种分类：

一、按荷載作用的延續時間分为恒載和活載。

恒載是指經常作用于結構的力。如結構的自重，屋面系和樓板的重量，桥面的軌道的重量，擋土牆所受的土压力等等。

活載是指临时作用于結構的力，不經常存在。如列車的重量，風、雪的重量等等。

二、按荷載作用的性質分为靜力荷載和动力荷載。

靜力荷載是指不变的或緩慢地变化着的荷載，它的位置和数量可以說和時間無關。

动力荷載是指突然地变化着的荷載，它的位置和数量有着週期性的变化。很明显，在靜力学的範圍內，是不討論动力荷載的。有些动力影响，在靜力計算中，是采用系数的方法来解决的。比如列車在桥梁上的运动和冲击，有着週期性的变化，屬於动力荷載，我們在靜力学中，只考虑它的重量，而用冲击系数来表示动力影响，就是一个例子。

現在我們知道：有那些結構，有那些荷載。但是，某些結構在某些荷載的作用下，是否能維持平衡呢？从靜力学和材料力学的观点来看，也就是說，結構的强度、剛度和穩定性，是否可靠呢？这就是結構靜力学所要解决的問題。

因此，結構靜力學是一門利用理論力學和材料力學來進行結構的計算分析的科學，它闡明各種結構的強度、剛度和穩定性的計算方法。

這裡還要再指出一點：在進行結構計算時，我們並不能把實際的結構搬到紙上來，而要用所謂『計算簡圖』來進行分析；計算簡圖是實際結構的簡化圖形，對它的選擇是很重要很嚴謹的過程。一方面必須使結構計算能夠簡化，另一方面必須使簡圖最接近於實際結構的情況。否則計算的結果就會不可靠，甚至會造成錯誤。如果利用這種不可靠的計算來進行建設，至少是造成國家財富的浪費，甚至造成人民生命的死亡。因此，不可不慎重從事。

2. 為什麼要學習結構靜力學

根據上面的敘述，我們已經知道結構靜力學是研究各種結構計算方法的科學。如果對結構靜力學的內容和本課程的任務作進一步的說明，同時把它和其他課程的關係研究一下，為什麼要學習結構靜力學這一問題，就可以迎刃而解了。

一、結構靜力學的內容和本課程的任務

結構靜力學包含着三個內容：

第一、擬定連接個別構件使成為一個完整體系的一般規則，使這一個體系能保證共同作用，以抵抗外力，維持平衡。

第二、計算結構構件中的內力。知道了外力並且決定了計算簡圖以後，就可以計算這一個體系中所有構件內力的大小，並選定構件的截面尺寸，或者將擬定的尺寸加以驗算，以保證構件本身的強度、剛度和穩定性。

第三、研究整個體系的剛度和穩定性。

根據教學大綱所規定的任務，本課程主要講第一和第二兩個內容，而更主要的是研究第二個內容。因為，一般的工程技術，首先是以強度計算作為基礎的。

二、結構靜力学和其它課程的关系

上面已經提到結構靜力学和理論力学与材料力学的直接連系，这里不再重复。

結構靜力学和建筑結構有着不可分割的关系。如上所述，一般工程技术以强度計算作为基础，而建筑結構就是以結構靜力学作为基础来进行各种結構的設計。在进行結構設計时，必然要設法提高結構的承載能力，減少結構的使用材料，降低結構的造价。一句話，要又好又省，还得在好和省的基础上，造得又快又多，这是我国社会主义經濟建設的要求。但是，提高承載能力和节省材料、降低造价之間存在着矛盾。提高承載能力必須加大構件、加多構件或加强連接，这样就要增加材料和提高造价。如果合理地来解决这一矛盾，必須先进行結構計算，就是說要应用結構靜力学的知識。

其他的專業課程，比如工業及民用房屋建筑、桥隧建筑等，都要用結構靜力学所叙述的方法来进行結構分析，以肯定整个建筑物的强度、剛度和稳定性，以寻求最合理的施工方案，以达到最經濟的造价。

因此，可以看出結構靜力学在學習工程技术上的重要性。將要作为工程技术人員的我們，應該認真地學習这一門科学並且切实地牢固地掌握它，是無庸置疑的了。

3. 結構靜力学發展簡史

任何一种科学理論的發展，总是和生产技术的發展相連的，結構靜力学也不例外。

結構靜力学是發展較晚的一門科学、在十八世紀以前，它是和材料力学一起，被作为建筑力学的一部分。而十八世紀的学者們所研究的，只限于普通的單跨梁。

到十九世紀初期，由于资本主义生产的發展，提出了兴建鐵路的要求，就产生了建筑長跨桥梁的需要，于是学者們研究了連

續梁和桁架的計算理論問題，因而為結構靜力學積累了豐富的資料，為結構靜力學作為獨立的科學提供了條件。

到十九世紀末葉和本世紀的初期，鋼筋混凝土結構得到了很大的發展。由於這種結構的整體性要求新的建築形式；隨之而來的是要求新的計算方法，於是學者們研究了超靜定結構的計算理論問題，特別是關於剛架的研究。

生產實踐不斷向前發展，因此在不同的時期向科學家們提出了不同的要求。近年來由於巨大房屋建築的發展，又提出了有關結構穩定的問題。

俄羅斯和蘇聯的學者們在結構靜力學的發展方面是有著輝煌的貢獻的，無論在桁架的計算，剛架的計算和結構穩定的研究方面，都有巨大的成就，都處於先進的地位。

在舊中國，由於生產技術的落後，阻礙了科學的發展。但是，由於我國勞動人民的無比的智慧，也曾經給我們遺留下驚人出色的建築結構。值得提出的是遠在公元六七世紀間隋朝的李春，就建造了一座長達38公尺的石拱橋，至今還屹立在河北趙縣的汶水之上。這座橋在減輕洪水的威脅方面，採用小拱排洪的方法，這種措施要比西歐早800年。在十七世紀末葉，四川瀘定建造了一座跨越大渡河的鐵索橋，長達104公尺。而房屋建築中的斗拱，橋梁建築中的飛橋，都是利用懸臂的方法來縮短梁長。這些，都說明我國勞動人民的智慧。

中華人民共和國成立以後，黨對於科學事業，給予了最大的注意，提出要在一定的時期內趕上世界科學水平。不少的科學家，在孜孜不倦的工作着；不少的科學家，取得了一定的成就。在力學方面也是一樣。今年科學院頒布的科学獎金中，有關力學的論文，就佔有一定的比例。我們可以深信，在黨的領導下，我們的科學事業，也會和我們的建設事業一樣，要在世界的科學史上，寫下我們祖國科學家們的輝煌的貢獻！

第一章 平面結構穩定性的研究

在緒言里，我們曾經提到一般的工程技术，首先是以强度計算作为基础。这样一句話，还有一个前提，就是結構本身已經是稳定的否則計算也失去了意义。因此，在进行結構計算以前，必須先研究結構的稳定性。在本課程的範圍內，只涉及平面結構的稳定性。

1-1 稳定結構和不稳定結構

每一結構在外力作用的影响下都要發生变形，就是要改变本身的原狀。例如在桁架中，受压桿件在外力作用下縮短，而受拉桿件却伸長，桁架因之产生撓度，桁架外形也隨之發生变化。这种只是由於內部構件变形而产生的外形变化，在一般的情况下，实际並不大。

但是，可能有这样的結構，当它承受一个非常小的荷載以后，即使它的構件的尺寸没有什么改变，而它整个的形式已經变了样。例如鉸接的長方形（圖1—1-a），即使在極小的外力下，也要变成平行四边形；如果在一个簡支梁上加一个鉸，就会使梁的中段很容易上下移动（圖1—1-b）显然，这样的結構是不稳定的，我們就叫它不稳定結構。

如果在長方形中，加一根对角斜桿（圖1—1-c），或是把梁中的鉸去掉（圖1—1-d），从几何形狀来看，它們就变成了稳定結構。

当然，我們不願意建筑一座不稳定的桥梁，或一所不稳定的房屋。在建筑結構中，必須採用稳定結構。

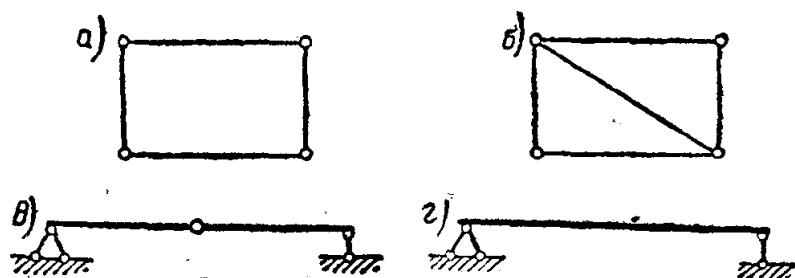


圖 1-1

1-2 盤体和自由度

整个結構或結構的一部分，如果已經断定它是穩定的，我們就叫它『盤体』（今后常常要引用盤体这个概念）。

很明显，一根梁，一根連桿，一座稳定的建筑基础，以至于整个的地球，都可以看作一个盤体。

如果結構是不稳定的，它的全部或一部就有某种变位的自由。而为了获得結構的稳定，就必须用一些附加的連系，来限制它的自由。这种变位的自由程度，就是自由度。維持稳定所需要的連系，当然和自由度有关。

如何决定結構的自由度呢？为便于了解起见，我們先来研究一个單独的沒有任何控制的一个平面剛体（也是一个盤体）。这个剛体，既然沒有任何控制，就是自由体，它在平面內的运动，也不受限制。这样，当它在平面內运动时，它的位置由三个因素来决定，即：

1. 剛体内任一点 A 的横坐标 x ；
2. A 的縱坐标 y ；
3. 通过 A 的任一直线和横坐标軸的

交角 α 。

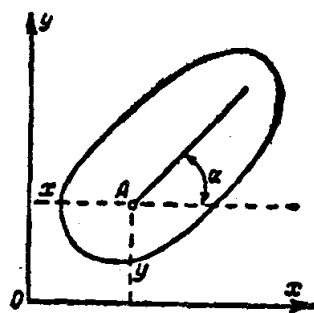


圖 1-2

也就是說，座標 x, y 說明剛體的移動情況，交角 α 說明剛體的轉動情況。 x, y, α 是剛體運動的三個變數。也就是說，這樣一個單獨的沒有任何控制的剛體，有着三度自由。一個整體，同樣有着三度自由。

現在我們來研究整個結構的自由度：

一個整體結構是把許多盤體用鉸相連並用支承連桿固定于基礎上。如圖 1—3 所示。

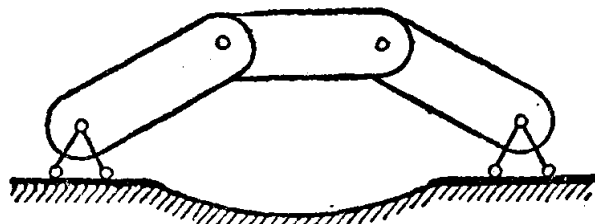


圖 1—3

假定這一結構並沒有被連接起來，它的自由度應該等于三倍的盤體數。但是，實際上它被連接起來

了，它的自由被限制了，因此自由度也就減少。當兩個盤體被鉸連接以後，它們只能繞着鉸轉動，同時和鉸一同移動，不可能單獨移動。它們的自由度等于四（鉸的位置和兩個交角）。因此，每一個鉸減少了兩度自由。

這樣，依次用鉸來連接盤體，最後整個結構的自由度將等于三倍的盤體數減去兩倍的鉸數。此外，由於支承連桿的存在，每一連桿要減少一度自由（只限制了一個方向的移動）。如果我們採用一些符號，這一結論，就可以化為一個簡單的公式：

$$W = 3D - 2III - C_{on} \quad (1)$$

式中： W ——結構的自由度；

D ——盤體數；

III ——鉸數；

C_{on} ——支承連桿數。

如 $W=0$ ，表示結構穩定；如 $W>0$ ，表示結構不穩定；如 $W<0$ ，結構也還是穩定的，但是存在着多余的、沒有必要的連

桿或盤體，這種結構，屬於超靜定範圍，因為靜力學的方程式，不足以解決有多餘連桿的結構計算。

例題 1—1。如圖1—3所示的結構：

$$D = 3;$$

$$III = 2 \text{ (連接支承連桿的鉸不考慮);}$$

$$C_{on} = 4。$$

$$\therefore W = 3 \times 3 - 2 \times 2 - 4 = 1 > 0。$$

$\therefore$ 結構是不穩定的，自由度 = 1。

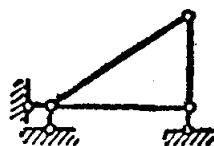


圖 1—3

例題 1—2。如圖1—4的結構：

$$D = 3;$$

$$III = 3 \text{ (下面的鉸連接兩個盤體，要考慮);}$$

$$C_{on} = 3。$$

$$\therefore W = 3 \times 3 - 2 \times 3 - 3 = 0。$$

$\therefore$ 結構是穩定的。

例題 1—3。如圖1—5的結構：

$$D = 1;$$

$$III = 0;$$

$$C_{on} = 4。$$

$$\therefore W = 3 \times 1 - 0 - 4 = -1 < 0。$$

$\therefore$ 結構穩定，有一多餘連桿。



圖 1—5

上述公式的推演，是假定一個鉸連接兩個盤體，這種鉸稱為單鉸。在實用中，一個鉸可以連接許多盤體，這種鉸稱為復鉸。比如一個鉸連接三個盤體，就減少了四度自由（原來三個盤體可以單獨移動，鉸接後只能共同移動， $3 \times 2 - 2 = 4$ ）；一個鉸連接四個盤體，就減少了六度自由，等於三個單鉸。因此可以說，當一個復鉸連接着 n 個盤體時，可以用 $(n - 1)$ 個單鉸來代替這一復鉸，然後公式（1）同樣能適用。

例題 1—4。如圖1—6：

$$D = 7;$$

$$III = 1 + 2 + 2 + 1 + 3 = 9;$$

（1，4是單鉸，2，3相當於2個單鉸，5相當於3個單鉸）