



中等專業學校教學用書

工 程 力 学

第三部分 結構靜力学

Г. М. 伊凡諾夫 著

Д. В. 倍其柯夫 主編

高等教育出版社



中等專業學校教學用書



工 程 力 学

第三部分 結構靜力学

Г. М. 伊 凡 諾 夫 著

Д. В. 倍 其 柯 夫 主 編

赵 超 夔 譯

高等教育出版社

本書原系根据苏联国立建筑書籍出版社 (Государственное издательство литературы по строительству и архитектуре) 出版的伊凡諾夫 (Г. М. Иванов) 付博士著“工程力学第三部分——結構靜力学” (Техническая механика) 1957 年版譯出。原書由 Д. В. 倍其柯夫教授主編, 并經苏联冶金与化工企業建設部教育司审定为土木建筑中等技术学校的教科書。

本書是根据苏联教学大綱編写的, 全書計分十章, 講述靜定結構和超靜定結構計算的基本問題, 并附有許多例题。其中靜定結構部分包括有多跨梁、桁架与三鉸拱等的解析計算法与圖解法, 以及影响綫、位移的求法等。超靜定結構部分包括有力法、三弯矩方程、挡土牆等。

工 程 力 学

第三部分 結構靜力学

Г. М. 伊 凡 諾 夫 著

赵 超 燮 譯

高等教育出版社出版 北京宣武門內承恩寺 7 号

(北京市書刊出版業營業許可証出字第 054 号)

京华印書局印刷 新华書店發行

統一書号 15010·722 開本 850×1168 $\frac{1}{32}$ 印張 7 $\frac{6}{16}$

字數 174,000 印數 0001—5,000 定價 (10) 1.10

1958 年 10 月第 1 版 1958 年 10 月北京第 1 次印刷

序

过去已出版了“工程力学”教程的头两部分：第一部分“理論力学”和第二部分“材料力学”。

“結構靜力学”这本教科书是“工程力学”的第三部分，也就是“工程力学”的最后部分。

本书讲述結構計算理論，它是按照現行的土木建筑中等技术学校的結構靜力学教学大綱編写的。书中有相当数量的例题來說明理論部分，同时这些例题都是經過仔細研究的。书后还附录一些必需的參考資料。

作者对本书讀者們的一切意見表示感謝和重視。有关本书的意見請按下列地址寄交苏联国立建筑書籍出版社：Ленинград，Невский 28。

目 录

序.....	iii
第一章 緒論.....	1
§ 1. 結構靜力學的任务及与其他課程的关系·基本假設	1
§ 2. 結構的类型	6
§ 3. 支座及其分类	8
§ 4. 荷载的分类.....	11
§ 5. 結構靜力學的发展簡史.....	14
第二章 平面結構的几何不变性的研究.....	22
§ 6. 几何不变性結構和几何可变性結構.....	22
§ 7. 自由度·結構的几何組成分析.....	24
§ 8. 危形結構.....	31
第三章 靜定多跨梁和靜定剛架.....	33
§ 9. 靜定多跨梁的一般概念.....	33
§10. 靜定多跨梁的解析法.....	35
§11. 图解法.....	40
§12. 靜定剛架弯矩图、剪力图和軸向力图的作法	44
第四章 影响綫.....	52
§13. 影响綫的一般概念.....	52
§14. 簡支梁的影响綫.....	55
§15. 悬臂梁的影响綫.....	58
§16. 靜定多跨梁的影响綫.....	62
§17. 节点傳遞荷载下的影响綫.....	64
§18. 荷载的最不利位置.....	66
第五章 桁架.....	71
§19. 桁架的一般概念.....	71
§20. 桁架的分类.....	74
§21. 最簡單桁架的組成·桁架几何不变和靜定的条件.....	76
§22. 求桁架各杆內力的解析法.....	82
§23. 求桁架各杆內力的图解法.....	96

§24. 最简单桁架内力影响线的概念	108
§25. 主要桁架的优缺点	111
第六章 三铰拱	113
§26. 拱的一般概念	113
§27. 解析算法	115
§28. 图解法	120
§29. 拱的合理轴线	126
第七章 弹性结构的基本定理·位移的求法	128
§30. 一般概念	128
§31. 外功和内功	130
§32. 功互等定理(貝第定理)	134
§33. 位移互等定理(馬克斯維爾定理)	135
§34. 内力作的虚功·求位移的一般公式	137
§35. 图形相乘法(維列沙金法)	141
第八章 超静定结构·力法	146
§36. 超静定结构的一般概念	146
§37. 力法·典型方程	152
§38. 用力法计算最简单的超静定结构	155
§39. 基本结构的选择	165
§40. 利用简单超静定刚架计算较复杂刚架的概念	168
§41. 作图正确性的验算	170
§42. 按现成公式计算刚架	171
§43. 刚架近似算法的概念	173
第九章 连续梁的计算	179
§44. 三弯矩方程	179
§45. 连续梁的弯矩、剪力和支座反力的求法	183
§46. 用三弯矩方程计算连续梁	186
§47. 定点法的概念	190
§48. 求连续梁 M 和 Q 最大值时的荷载位置	195
§49. 用表计算连续梁的例题	196
第十章 挡土墙	202
§50. 一般概念	202
§51. 基本计算假设	203
§52. 主动压力和被动压力	207
§53. 土压力分布图	210

§54. 均布活载的影响	211
§55. 地下水的影响	213
§56. 挡土墙稳定性和强度的验算	214
附录 1 最简单超静定刚架的计算公式	224
附录 2 求挡土墙主动土压力的公式	226
本书所用公式表	227

第一章 緒論

§1. 結構靜力學的任务及与其他 課程的关系·基本假設

結構及其各部分的尺寸和形状，根据工程計算和經濟核算来确定。梁、柱等构件都是最简单的結構，这些构件連接起来就組成复杂結構(图 1, *a*, *б*)。

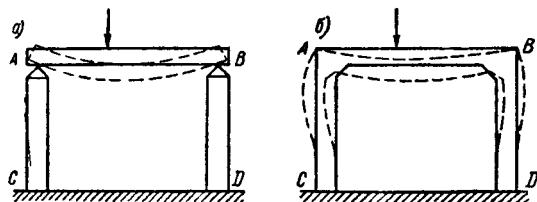


图 1.

构件之間有各种不同的連接。图 1, *a* 是由梁 AB 和两个支柱 AC 、 BD 連接成的复杂結構，梁和支柱之間沒有摩擦力。在这种情形下，可以認為梁和支柱各自单独工作。因此，計算整个結構时可以分开来按梁和支柱計算，不过这时应考虑梁对支柱的压力。

图 1, *б* 是一个复杂結構，水平构件和豎向构件在节点 A 和 B 处剛性連接。因此作用在任一构件上的外力，要引起整个結構工作。結構物中每个构件的工作和其余构件的工作有关时，則这种結構物叫做体系。

研究計算結構强度、剛度和穩定性的原理和方法的科学叫做建筑力学或結構理論。研究建筑力学时要根据理論力学、材料力

学、弹性力学和塑性力学的定律和結論。建筑力学研究靜力和动力对結構的作用。

結構靜力学是建筑力学的一部分，因为它和建筑力学研究相同的問題，但是結構靜力学只研究靜力对結構的作用。

設計新結構时，結構計算应保証結構具有足够的强度、剛度和穩定性，以及符合經濟節約的原則。結構强度和穩定性的合理計算能保証結構使用时所需的安全度，但不是多余的安全度。因而，在計算中，安全度問題应当与經濟問題紧密联系，所謂經濟問題就是結構材料、制造和施工的费用应最少。剛度計算可以限制变形在某一限度內，在这个限度內的变形不会阻止結構的正常使用，当然也不会威胁使用的安全。

在实际建筑中，常常需要解决現有結構如何适应新工作条件的問題，这些条件是在設計时沒有考虑到和沒有估計到的。例如由于工艺过程的改变，应当装置更重的設備或改变設備的位置。在这种情形下，用計算可以来确定結構是否需要加固或者能否改建。

要解决結構的强度、剛度和穩定性問題，必須会計算結構在外力作用下所發生的內力和变形。建筑工作者掌握外力与其所引起的內力和变形之間的互相作用規律，就可以自覺地大胆地創造新的合理的結構形式：符合多、快、好、省、安全的要求。

这样，归納起来說，結構靜力学的任务是研究：

- 1) 結構在外力作用的最不利情形下，內力和变形的分布規律和數值；
- 2) 結構的組成規律；
- 3) 創造合理的結構形式。

在理論研究結構的計算方法时，常常不能考慮結構的所有实际工作条件。這個問題是非常复杂的。如果要考慮結構的所有实际工作条件，計算就非常复杂，以致于实际应用时就非常不方便。

因此理論研究時要利用假設，這就是略去影響計算結果準確度較小的次要因素，而只考慮結構主要的實際工作條件。這樣一方面能簡化計算並適合於實際應用，另一方面能保證計算結果與實際相當準確地相合。

為了驗證結構靜力學以及材料力學中所採用的假設是否適用，可以廣泛採用實驗研究，因為只要理論能成立，就可以用實踐來証實。理論與實踐的密切聯繫是繼續發展結構計算方法的有效途徑，這樣在計算中能更全面地反映真實工作條件。需要在實踐中驗算的理論研究，在實驗科學面前提出許多新的問題，並得到進一步發展。

材料力學和結構靜力學計算原理中的基本假設有：

- 1) 物體的勻質性、各向同性和連續性；
- 2) 應力與變形之間的綫性關係；
- 3) 物體的彈性性質不隨時間變化；
- 4) 容許有理想鉸和絕對剛性固定；
- 5) 實際結構用計算簡圖來代替；
- 6) 空間結構可分解為平面結構來計算；
- 7) 結構的幾何不變性等。

計算簡圖是實際結構的簡化圖形。選擇計算簡圖時，必須盡量使符合結構的工作條件。正確選擇的計算簡圖應使其計算結果確實可靠，因此如何選擇計算簡圖是一個有很大實踐意義的問題。

我們現在來研究屋頂桁架的計算簡圖，在理論力學中曾講過桁架的概念（圖2）。我們認為桁架各杆和屋頂檁條可用它們的幾何軸綫來代替。假設各杆端用理想鉸連接，這種鉸內沒有摩擦力。用假設的支座代替實際支座，假設支座的構造在下面再講。所有這些假設就確定了屋頂的計算簡圖。

計算簡圖工作與實際結構工作的誤差程度可能不同。例如，

各杆之間实际采用鉚接、焊接或榫接,这时不能认为是理想铰,也不能认为是绝对刚性连接:它处于中间地位;这时实际连接与计算简图的近似程度,取决于杆连接的单位刚度 $\frac{EI}{l}$, l 是杆长。杆的实际连接随着单位刚度的减小而接近于计算铰。

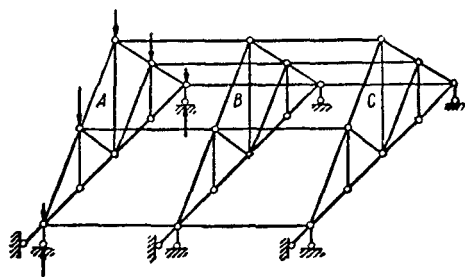


图 2.

图 2 所示的结构有三向尺寸, 所以是空间结构。但是在普通荷载作用下为了简化计算, 这个结构可以分成单独的平面结构, 就是各个桁架 A、B、C。这时假

设屋顶的外力按杠杆定律分配给各个桁架, 由于檩条变形桁架中所发生的内力等于零。

结构静力学只研究固定的和不变的结构。计算这种结构时, 力独立作用性原理或迭加原理有很大的实践意义。利用这个原理可以很简单地解决极大多数的问题。

在结构中由于外力作用发生内力和变形, 则内力和变形也就是这个作用的效果(或结果)。迭加原理的意思是这样的, 在结构中由于某力系 $Q_1, Q_2, \dots, Q_n$ 引起的效果, 等于每个力单独作用所引起效果的代数和:

$$\vartheta = \vartheta_1 + \vartheta_2 + \dots + \vartheta_n, \quad (1)$$

式中 ϑ_1 ——力 Q_1 的效果,

ϑ_2 ——力 Q_2 的效果等等。

为了说明迭加原理, 我们研究悬臂梁 AB 在外力 P, Q, q 作用下的例子(图 3)。这些力(图 3, a)共同作用的效果, 等于每个力单独作用时所引起效果的代数和, 也就是:

$$\text{支座反力 } A = A_P - A_Q + A_q,$$

支座弯矩

$$M = M_P - M_Q + M_q,$$

轉角 $\varphi = \varphi_P - \varphi_Q + \varphi_q,$

垂度 $f = f_P - f_Q + f_q.$

同样地可以說出任一截面 $\alpha-\alpha$ 的内力。由于力 P 、 Q 和 q 作用而引起的弯矩图和剪力图，可以由每个力单独作用时引起的弯矩图、剪力图迭加求得。

特别是，按照迭加原理

可以証明任一力 Q 作用的效果，等于力 $Q=1$ 的效果 $\vartheta_Q=1$ 与已知力 Q 的乘积：

$$\vartheta = \vartheta_{Q=1} Q.$$

这就有可能采用单位荷载进一步簡化計算，例如求桁架各杆的内力。

迭加原理只能用来計算不变形結構，因为只有在此情形下列靜力学方程时，才可認为結構在外力作用下外力和内力作用点和方向是不变的。

因此，自然得到結構上各个作用力可以迭加的结果。

但在实际上，在外力作用下不变結構发生彈性变形，而使力作用点发生位移 Δl ，同时使内力方向发生一些变化(图3)，应用迭加原理时，略去了这些变形，因此迭加原理是近似的，不过略去变形的数值非常小，实际上是足够准确的。讲到彈性变形，我們所研究的材料服从虎克定律。在个别情形下，迭加原理不能用于不变結構。这些例外的情形在較完全的結構靜力学中将有所介紹。

結構靜力学的研究方法有解析法、图解法和图解解析計算法。

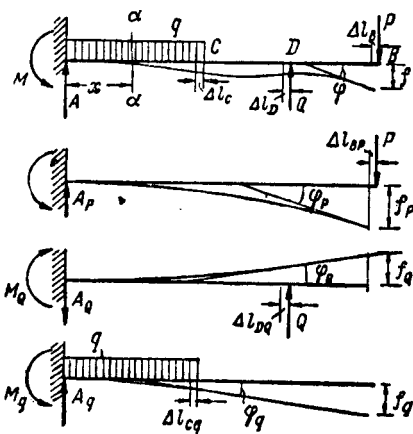


图 3.

解析計算法的解答是普遍的,可以用于其他相似的情形。但是,解題时总要進行很多的計算工作,同时非常容易出錯。图解法很明显并相当准确,但是这种解法有特殊的性質,因此每个相似的情形需要单独地解。图解解析法是綜合了解析法和图解法的优点。

結構靜力学与材料力学有共同的任务,都是研究結構的强度、刚度、稳定性和經濟性的条件,同时与許多作为計算方法根据的一般假設有关,以及理論密切联系实际。但是材料力学限于研究結構和机器的部件,也就是个别杆件(杆、梁、支柱、軸等)。結構靜力学研究整个杆件結構,也就是复杂的結構。因此正如前面所講的,結構靜力学还要研究結構的組成規律及其合理形式。这样,結構靜力学是材料力学自然的延續和进一步的发展。

結構靜力学和材料力学一样,都是研究建筑結構的理論基础。

§2. 结构的类型

今后我們將采用結構的計算簡图,为了簡便起見称之为結構或体系。

正确地掌握結構类型是有实践意义的,因为計算特点与結構类型有关。通常按結構的某些特征来分类。

按几何特征可分为三种結構类型:

1) 杆件結構,也就是由許多构件組成的結構,构件的长度大大地超过橫截面的尺寸。通常由鋼木、鋼筋混凝土制造的桁架和剛架就是这种結構(图 4, a, b)。

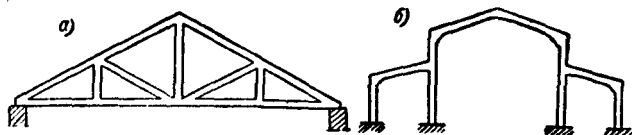


图 4.

这种結構可以分为平面結構和空間結構。平面結構的各杆几

何軸綫和外力(包括支座反力)作用綫都在一个平面內(图 5, a);
空間結構的各杆軸綫和力作用綫不在一个平面內(图 5, b 和图 2)。

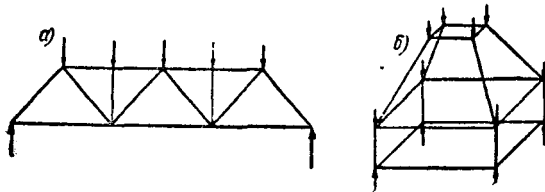


图 5.

2) 块体結構, 这种結構的长度和横截面的尺寸相同。用磚石或混凝土建造的擋土牆、坝、桥墩、房屋基础都是块体結構(图 6)。

3) 薄壁結構, 这种結構的厚度比其寬度、长度小得很多。壳(图 7, a)、褶(图 7, b)和板(图 7, c)都是这种結構。这种結構可以用鋼筋混凝土、鋼和木来建造。

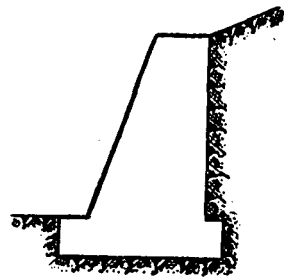


图 6.

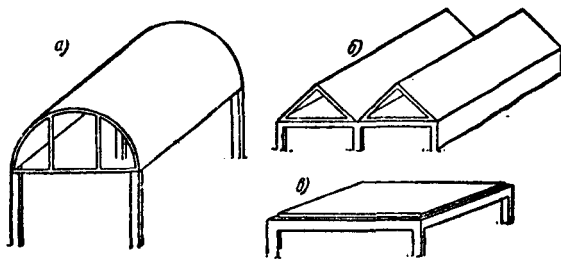


图 7.

按照构件的連接方法可分为:

- 1) 鉸接結構, 桁架就是这种結構(图 8, a);
- 2) 剛接結構, 例如剛架(图 1, b 和图 4, b);
- 3) 混合連接結構, 例如下撑式梁(图 8, b)。

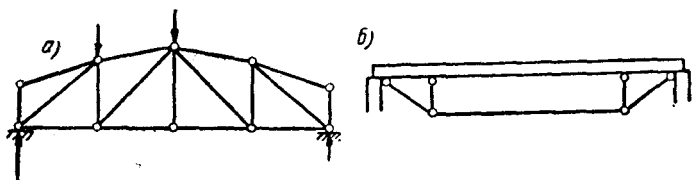


图 8.

按照支座反力的方向结构可分为两种类型:

1) 无推力结构, 这种结构在竖向外力作用下只发生竖向支座反力(图 8, a);

2) 推力结构, 这种结构在竖向外力作用下发生斜向支座反力, 它可分解为竖向分力和水平分力(图 9)。

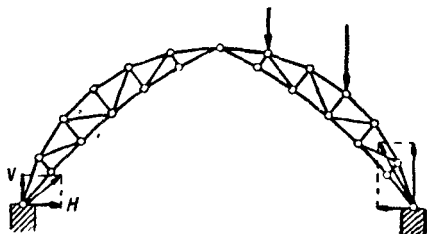


图 9.

最后, 按照结构的机动特征可分为几何不变的和几何可变的。
下章再来研究机动分析。

后面我们只研究平面结构。

§3. 支座及其分类

连接结构与地基或限制结构位移的约束(控制)构造叫做支座。

作用在结构上的外力尽量要使结构运动, 但是遇到支座的抵抗, 因此在支座处发生支座反力。为了确定支座反力必须求出支座反力的大小、方向和作用点。如果假想撤去支座, 并用支座反力

代替它的影响,則結構可以看作是在外力作用下处于平衡的物体。

支座反力的大小取决于外力,而反力的方向和作用点則取决于支座构造。支座是空間結構,但是我們將它看作是平面結構,所以支座也認為是結構的平面組成部分。这就确定平面結構支座反力的位置。

表 1 是鉸接支座和固定端支座的构造簡图和假設簡图。在計算簡图中,我們采用这些支座的鏈杆式假設簡图。

連接結構两部分只容許互相繞定軸轉动的构造叫做圓柱鉸。

表 1.

支座名称	构造簡图	假設簡图	
		鏈杆式	构造式
鉸接滚动 支座			
鉸接固定 支座			
固定端			

1. 铰接滚动支座容許繞定軸轉动和平行于規定直綫移动。这种支座由搖座 A 和 B 用圓柱鉸 C 連接成。搖座 A 与結構固定相联, 而搖座 B 支在圓柱輓軸 D 上, 圓柱輓軸放在一支座平板上。假設鉸 C 和輓軸 D 中的摩擦力都等于零。这种支座构造容許結構自由地发生位移, 可以繞圓柱鉸軸发生角位移, 也可以平行支座平面发生綫位移。由于在这两个方向沒有阻力, 所以也就不能发生支座反力。結構在垂直于支座平面的方向不能发生位移。因而铰接滚动支座限制結構在一个方向的位移, 并在这方向发生支座反力 V 。力座反力 V 通过鉸的中心 C , 因为只有在这种情形下, 鉸 C 的弯矩才等于零。

这个支座的鏈杆式假設簡图用一个铰接鏈杆表示, 这根鏈杆安放在限制結構位移的方向。假設支座鏈杆是无限长的, 因此鏈杆繞下面固定鉸軸轉动时, 上面鉸画出的圓弧可以認為是垂直于杆軸的直綫。这种簡图容許結構自由地轉动和平动。此外假設支座鏈杆是絕對剛性的, 这样結構就不能沿杆軸方向发生位移, 并在这个方向发生支座反力。

2. 铰接固定支座与上述支座不同, 它沒有圓柱輓軸, 并且搖座 B 固定在地基上。这种支座的构造只容許結構繞圓柱鉸 C 的軸发生角位移, 因此支座反力的反弯矩 M 等于零。結構在任何方向都不能移动, 因而发生通过鉸 C 的支座反力 R 。在一般情形下, 支座反力与 x 軸和 y 軸成一角度。这个反力可以分解为豎向分力 V 和水平分力 H 。这样, 铰接固定支座限制結構在两个方向的位移。

因此假設的支座鏈杆簡图, 可以用两个互相垂直的連接体系与地基的鏈杆来表示; 支座分反力的方向沿支座鏈杆的軸綫。

3. 固定端支座不容許有任何方向的位移, 也就是限制結構在三个方向的位移。在一般情形下, 支座反力 R 不通过固定端平面的中心 C , 这时反力方向与 x 軸和 y 軸成一角度。經過支座反力