

结构力学

吕子华 顾子政 盛克勤 合编



中国建筑工业出版社

TU311

4

中等专业学校教学参考书

结 构 力 学

吕子华 顾子政 盛克勤 合编



中国建筑工程出版社

本书是根据原高等教育出版社出版的中等专业学校教材《结构力学》(1965年修订本)一书的纸型重印的。全书根据原中华人民共和国建筑工程部教育局1962年5月审订的土建类中等专业学校适用的“结构力学教学大纲(草案)”编写。内容包括:平面结构几何稳定性的分析、多跨静定梁与静定刚架、三铰拱、静定平面桁架、静定结构的影响线和变位、用力法计算超静定结构、用弯矩分配法计算连续梁,以及挡土墙。可作为土建类中等专业学校教学参考书。

中等专业学校教学参考书

结 构 力 学

吕子华 顾子政 盛克勤 合编

(根据原高等教育出版社纸型重印)

中国建筑工业出版社出版(北京西郊百万庄)
新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售
中国建筑工业出版社印刷厂印刷(北京阜外南礼士路)

开本: 850×1168毫米 1/32 印张: 9¹¹/₁₆ 字数: 247 千字

1978年12月新一版 1980年12月第二次印刷

印数: 75,141—105,740册 定价: 0.85元

统一书号: 15040·3550

修訂版序

本书是遵照建筑工程部教育局的指示,在1961年7月人民教育出版社出版的《結構力学》一书的基础上修訂而成的。

在当前教学中,必須貫徹“少而精”的原則和不断改进教学方法,使学生有充分思考的余地和练习的时间,以便把最基本的知識和技能学到手。因此,初版在內容上就显得量多、面广,有些地方也嫌深些,影响了把最基本的内容教好、学好。

在这次修訂中,我們本着“少而精”的原則,着重闡述了靜定結構、用力法計算超靜定結構及用弯矩分配法計算連續梁等基本內容。刪去了初版中的形变法、单层鉸接排架分析和結構动力学基础等章节。同时,为了加强对学生的基本技能的訓練,也刪去了初版中一些較為繁瑣的例題和习題,增加了一些有关基本技能培养方面的例題和习題。

由于初版在照顾土建类各专业使用方面还考虑得不够周到,所以,在修訂时,增加了三鉸拱的压力綫、一組集中行动荷載作用下的最不利位置等两节內容,供有关专业采用。在用力法計算超靜定結構一章中增加了三弯矩方程式一节,供不讲授用弯矩分配法計算連續梁的专业采用。

为了考虑到各校能灵活地选用教材,所以,在靜定結構的影响綫一章中仍保留了靜力和机动两法。

本书修訂的要求是以工业与民用建筑专业为主,同时兼顾到土建类其他专业的需要,因此,各校可根据不同专业的具体要求,加以取舍。

由于我們的政治和业务水平有限,书中定有不少缺点或錯誤,

請各校教師和讀者給予批評和指正。

本書修訂工作由南京建築工程學校呂子華同志(修訂第一、六、九等三章)、蘇州建築工程學校顧子政同志(修訂第二、三、八等三章)和盛克勤同志(修訂第四、五、七、十等四章及第八章的三彎矩方程式部分)共同進行的。在修訂過程中,曾吸收了北京、西安、福建、山東和長春等建築工程學校及南京航務工程學校等兄弟學校的意見。全書最後由北京建築工業學院王啟宏同志審閱,在此一併表示謝意。

編 者

1964年11月

主要符号

W	自由度数	α, β	轉角、夹角
m	盘体个数	θ	角变位
h	单鉸总数	Δ	綫变位、广义位移
r	鏈杆支承总数	T	外力功
P	荷载、广义力	V	内力功
M	弯矩	γ	平均剪应变、容重
Q	剪力	ds	微弧长
N	軸力	μ	改正系数
q	分布荷载集度	$m_k, m_k, \bar{q}_k$	虚拟荷载作用下杆内的 弯矩、軸力、剪力
R	支承反力、合力	ω	M 图面积
V	竖向反力	X_1, X_2, X_3	多余未知力、广义力
H	水平反力	i	刚度系数
x, y	坐标軸、坐标	M_A^E	端A的固端(gudian)弯 矩
E	彈性模量、靜土压力	B_i^ϕ	第 <i>i</i> 跨右支座的虛反力
EJ	抗弯刚度	A_i^ϕ	第 <i>i</i> 跨左支座的座反力
G	剪切模量、荷重	γ_s	水(shui)的容重
l	长度	ψ	內摩擦角
F	截面面积	E_s	主动(zhudong)土压力
f	拱高、摩擦系数	E_b	被动(beingong)土压力
e	偏心距	p	超载
M_C^u	C点以左(zuo)之力对于 C点的力矩	h_0	等效高度
M_C^y	C点以右(you)之力对于 C点的力矩	c_x, c_y	形心位置
S	桁架杆件內力	σ	正应力
P_{lj}	临界(linjie)荷载	τ	剪应力
δ	虛位移、綫变位	K_q	傾覆(qingfu)稳定系数
φ	虛角位移、休止角	K_h	滑动(huadong)稳定系数

說明：本书符号下标与以往教材中所采用的有所不同。取用的原则如下：

(1)凡国家标准规定或国际上较通用的仍一律采用。下角排小写斜体(有些习惯上用正体的仍用正体，如 $\max, \min$ 等)。

(2)说明意义的符号下标，各国均用本国文字的字首，本书则采用汉语拼音的字头，并排成小写正体。如“ C 点以左(zuo)之力对于 C 点的弯矩”用 M_C^{zo} 表示，临界(linjie)荷载用 P_{lj} 表示等。

本书是第一次試用汉语拼音字首作为符号下标，讀者如有意見，請写在意見表內，寄給北京高等教育出版社。

目 录

修訂版序	vii
主要符号	x
第一章 緒論	1
§ 1-1. 結構力学的研究对象和任务	1
§ 1-2. 結構力学的发展簡史	2
§ 1-3. 結構的計算簡图	5
§ 1-4. 結構的分类	7
§ 1-5. 結構的荷載	10
§ 1-6. 結構力学的理論基础	11
第二章 平面結構几何稳定性的分析	14
§ 2-1. 概念	14
§ 2-2. 結構的自由度	16
§ 2-3. 結構稳定和靜定的必要条件	21
§ 2-4. 結構的几何組成分析	24
习题	34
第三章 多跨靜定梁与靜定剛架	36
§ 3-1. 多跨靜定梁的概念	36
§ 3-2. 多跨靜定梁的組成及其受力特性	36
§ 3-3. 多跨靜定梁的計算	41
§ 3-4. 等弯矩的多跨靜定梁	44
§ 3-5. 多跨靜定梁的性能	46
§ 3-6. 靜定剛架的概念	47
§ 3-7. 靜定剛架的數解法	49
习题	60
第四章 三鉸拱	62
§ 4-1. 拱的概念	62
§ 4-2. 求三鉸拱支承反力的數解法	64
§ 4-3. 求三鉸拱截面內力的數解法	67
§ 4-4. 三鉸拱的压力綫	72
§ 4-5. 三鉸拱在豎向荷載作用下的合理拱軸	73
§ 4-6. 三鉸拱的性能	75
习题	76

第五章 靜定平面桁架	77
§ 5-1. 桁架的一般概念	77
§ 5-2. 桁架的分类	79
§ 5-3. 結点数解法	81
§ 5-4. 截面法	89
§ 5-5. 图解法	99
§ 5-6. 三铰拱式桁架	105
§ 5-7. 桁架的性能	106
习题	111
第六章 靜定結構的影响綫	115
§ 6-1. 关于影响綫的概念	115
§ 6-2. 用靜力法繪制簡單梁的影响綫	116
§ 6-3. 用靜力法繪制桁架的影响綫	122
§ 6-4. 影响綫与內力图的区别	126
§ 6-5. 利用影响綫求內力	128
§ 6-6. 利用影响綫确定荷载的最不利位置	131
§ 6-7. 在一組集中移动荷载作用下簡支梁的絕對最大弯矩	138
§ 6-8. 虛功原理	141
§ 6-9. 繪制影响綫的机动法	143
§ 6-10. 用机动法繪制多跨靜定梁的影响綫	147
习题	149
第七章 靜定結構的变位	152
§ 7-1. 結構变位的概念	152
§ 7-2. 外力的实功	153
§ 7-3. 內力的实功	154
§ 7-4. 变形位能 外力功与內力功的关系	156
§ 7-5. 虛功	158
§ 7-6. 功的互等定理	160
§ 7-7. 結構变位的計算	162
§ 7-8. 用图乘法計算梁及剛架的变位	168
§ 7-9. 桁架的穩变位	177
§ 7-10. 結構的相对变位	179
§ 7-11. 变位互等定理	182
习题	184
第八章 用力法計算超靜定結構	187
§ 8-1. 超靜定結構的类型及其应用	187
§ 8-2. 超靜定結構的特征	188

§ 8-3. 超静定次数的判定	192
§ 8-4. 用力法计算超静定结构的概念	195
§ 8-5. 用力法计算超静定刚架	198
§ 8-6. 用力法计算超静定桁架	212
§ 8-7. 用力法计算无铰拱——弹性中心法	214
§ 8-8. 圆形管道的计算	222
§ 8-9. 用三弯矩方程式计算连续梁	224
第九章 用弯矩分配法计算连续梁	237
§ 9-1. 引言	237
§ 9-2. 杆端弯矩与杆端角变位的关系	237
§ 9-3. 弯矩分配法的物理概念	239
§ 9-4. 弯矩分配法的基本要素	240
§ 9-5. 弯矩分配法的应用步骤	243
§ 9-6. 连续梁的内力图 and 支承反力	246
§ 9-7. 连续梁的最不利荷载位置	253
§ 9-8. 连续梁的包络图	259
§ 9-9. 用表绘制连续梁的包络图	261
第十章 挡土墙	275
§ 10-1. 概述	275
§ 10-2. 散填体的物理性质	276
§ 10-3. 土压力	278
§ 10-4. 主动土压力	280
§ 10-5. 土压力分布图	283
§ 10-6. 各种因素对土压力的影响	284
§ 10-7. 被动土压力	289
§ 10-8. 挡土墙的稳定性校核	290
§ 10-9. 挡土墙的强度校核	292

思想为指导。毛主席在《實踐論》一文中讲过：“理論的基础是實踐，又轉过来为實踐服务”^①。結構力学的产生与发展过程正是这样。人們通过生产实践，积累了大量的实际經驗，提出了許多与生产密切相关的实际問題。通过科学的分析、概括、研究和提高，上升而为理論，用之于生产实践，促进了生产的发展，并在实践过程中得到檢驗和修正。由于人們在生产实践中不断积累新的經驗和对自然規律的进一步認識，使这种理論又得到丰富和提高，然后再在实践来推动生产。結構力学就是这样通过“实践—理論—实践”的反复过程，不断丰富、提高和发展起来的。因此，对結構力学的学习和研究，也必須遵循“实践—理論—实践”这一原則。

§ 1-2. 結構力学的发展簡史

恩格斯曾經說过：“科学的发生和发展从开始起便是由生产所决定的”^②。远在古代，人們在同大自然作斗争的过程中，就逐渐积累了一些力学知識。后来，由于农业的发展（水利灌溉）、城市的形成和大建筑物的兴建，积累的实际經驗愈来愈多，一些原来极为朴素的力学知識，经过人們的綜合和概括，就构成了古典力学中最先引进的那些基本公理。往后，随着社会生产力的进一步发展，研究的对象愈来愈广泛，力学知識的积累愈来愈丰富，为了适应生产力的发展需要，根据研究对象和要求的不同，逐漸形成了理論力学、材料力学和結構力学等各个分支。

勤劳勇敢的我国人民通过自己的生产活动，对結構力学作出了重大的貢獻。在房屋建筑方面，較突出的是“木构架結構”的形成和“斗拱”的运用。木构架結構早在公元前十二世紀前后即已出現，它是一种由木材做成的橫梁和立柱所組成的构架，建筑物的全

① 《毛澤东选集》，第一卷，人民出版社，1952年，第273頁。

② 恩格斯：《自然辯证法》，人民出版社，1955年，第149頁。

部重量由构架承担。现代一切形式的大小建筑，其结构方法莫不脱胎于上述原则，只是构架的形式略有不同而已。在木构架结构形成的同时，我国古代建筑中也巧妙地运用了斗拱。斗拱的作用是承托由梁传来的屋顶荷载，并把荷载集中起来通过立柱传至基石。它是横向结构与竖向结构的重要关节，它的存在，减低了梁端的巨大剪力和应力集中现象。

在桥梁建造方面，我国古代已经达到了高度的技术水平。如南北朝(公元420—580年)时即已流行于我国西北一带的飞桥，稍后流行于西南各省的竹索桥，以及遍及全国各地的砖石拱桥等。最著名的有赵州石拱桥，建于隋朝(公元581—618年)，是我国古代著名匠师李春的杰作。该桥采取了长达37米的大跨度；为了减少拱身的竖向荷载以及洪水时期水流对桥身的侧向荷载，设计人在该桥的主拱上做了四个小拱。这种“敞肩拱”的做法，在七百年后才开始在欧洲出现。

在水工建筑方面，最突出的是四川灌县的都江堰，建于秦朝(公元前221—202年)。筑堰的材料是当地出产的竹子和卵石，用直径1米，长约33米的竹笼，中间填满卵石，堆砌成堤，把岷江分成内外两江。内江灌溉，外江排洪。这座构造简单而规模宏伟的结构，已经使用了两千多年，至今仍然完好。

从以上所述的情况看来，结构力学在我国的发展是很早的。

十五世纪以后，在欧洲许多国家中，由于资本主义开始萌芽，生产向前发展，对技术科学提出了一系列新的要求，因而力学也随之发展起来。不过，在十六到十八世纪期间，主要是使理论力学和材料力学得到巨大的发展，并从理论方面为结构力学的进一步发展创造了条件。十九世纪中叶，由于资本主义正处在上升阶段，工业生产的规模愈来愈大，对外贸易日趋频繁，因而对工厂结构、铁路桥梁和船舶制造等，都提出了较高的要求，使得结构力学向前跨

了一大步。到了二十世紀，新型建築結構的層出不窮，大型水工建築物的興建，以及飛機和船舶上輕型構件的採用等等，促使結構力學迅速發展起來。

解放以前，由於几千年的封建主義壓迫，近百年來的帝國主義的侵略，以及三十多年國民黨的反動統治，我國人民長期處在水深火熱之中，社會生產力一直處於停滯狀態，使我國古代勞動人民在結構力學方面所取得的卓越成就，沒有得到應有的推廣和發展，因而我國的科學事業（包括結構力學在內），在一個相當長的歷史時期內，受到了極大的摧殘與損害。

解放以後，在偉大的中國共產黨和毛主席的英明領導下，我國的社會主義建設事業取得了巨大成就，科學技術得到迅速發展，在結構力學方面也取得了不少成績，主要表現在下述幾個方面：

(1)建造了許多規模巨大的結構物 建國以來，全國各地建造了許許多多結構新穎、規模巨大的建築物。在橋梁結構方面，如我國的武漢長江大橋，全長連引橋共 1670 米，它是亞洲最大的鐵路公路兩用橋。在建築結構方面，如規模宏偉的人民大會堂，具有雙曲扁殼大廳的北京火車站。在水工結構方面，如已正式投入運轉的新安江水电站。在船舶結構方面，也獲得很大的成就。這些結構物的建造，是我國結構力學獲得巨大發展的具體標志。

(2)建立了一支力學工作者隊伍 解放以前，由於帝國主義的扼殺和反動政府的摧殘，我國的力學工作者寥寥無幾。解放以後，黨和政府對新生力量的培養極為重視。相繼建立了我國有史以來的第一個力學研究所、力學學會組織和中國建築科學研究院等，並經常召開力學學術會議。同時在許多高等院校中增設了力學系科，這都是培養力學工作者的強大障礙。特別是許多結構新穎、規模巨大的建築物的興建，使我國的技術工作者在獲得多方面綜合訓練的同時，在力學方面也提高了自己的素養，從而初步形成一支遍

个极为重要的組成部分；簡图选择正确与否，直接关系着計算結果与真实情况的符合程度，因而选择时必须縝密考虑。一个成熟的結構計算簡图，应该具备下列两个条件：

(1)通过这种計算簡图得到的結果，应该尽可能正确地反映問題的本质。

(2)根据这种計算簡图进行計算时，必须使分析計算工作簡單、方便。

对于一个实际結構來說，能够滿足上述兩項要求的計算簡图，一般可能不止一个，这就要求人們应有一定的結構計算經驗，并且善于判断一个問題中各个不同因素的相对重要性，准确而果断地决定計算簡图的取舍。在一些比較复杂的情况中，为了适应不同的精度要求，对于同一的結構有时还可采用几种計算簡图。例如作初步設計时，可以采用一个比較簡單、比較粗糙的計算簡图，而在初步設計的基础上作定型設計时，則可采用一个比較复杂、比較精确的計算簡图。

如对于图 1-2, *a* 所示的工业厂房的鋼屋架，其所有結点都是用鉚釘連接起来的。它的計算簡图通常多采用如图 1-2, *b* 所示的鉸結桁架，这种桁架是根据下列假定得来的：

(1)屋架的每一杆件都是絕對平直，并以其几何軸綫代替，这些軸綫位于同一平面內。

(2)屋架的所有結点都是无摩擦的理想鉸結，即各杆間的夹角可以自由改变；汇集于同一結点的杆件，其几何軸綫严格地相交于鉸的中心。

(3)荷載作用綫位于屋架几何軸綫所在的平面內，并作用于桁架各結点上。

(4)屋架兩端的不动支座和可动支座也认为是沒有摩擦的鉸結。

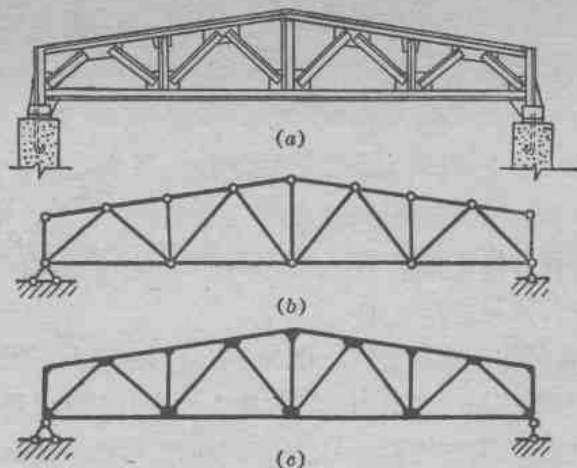


图 1-2

屋架的实际情况与具有上述四项条件的理想桁架还有相当的距离，特别是关于“铰结”的假定是与实际情况不符的。如果放弃这一假定而假定所有的结点都是“刚结”，即各杆间的夹角丝毫不能改变，就会得到图 1-2, c 所示的比較精确的计算简图。这一假定当然也不完全符合实际情况，但要比铰结的假定好些；可是在计算工作上，却也因此变得复杂了。通常在設計比較重要的鋼桁架时，是采用“铰结”桁架作为初步設計的计算简图，而以“刚结”桁架作为定型設計的依据。鉴于铰结与刚结的假定都与实际情况有着不同程度的距离，目前正进行着关于“彈性结点”的研究，因为就受力性能而論，实际桁架的结点應該是介于铰结与刚结之間的。

由此可見，一个实际结构的计算简图，并不是固定不变的，随着科学水平的提高，它也会不断地变更和改进，逐步地向着更能反映结构真实的境界发展。

§ 1-4. 结构的分类

由前节所述可知，结构力学研究的并不是真正的结构物，而是

具备一定条件的、代表实际结构的計算簡图。但为簡便起見,今后仍将这些計算簡图称为結構;如無特殊情形,我們不再一一加以說明。

在結構力学中,对結構进行分类的目的,固然是为了学习时有一定的系統性,而更重要的还是由于各类結構在計算方法上有所不同。在进行具体分类时,因观点不同而各异,今簡要介紹如下。

(一)按几何观点分类

(1)实体結構 这类結構的共同特点是形体碩大,通常由磚、石、混凝土等耐压材料砌筑而成,其稳定性多由本身重量来維持;就使用观点而言,其三向尺寸都具有同等的重要性。例如桥墩、桥台、重力壩、重力式擋土墙(图 1-3)等等。

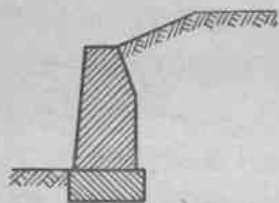


图 1-3

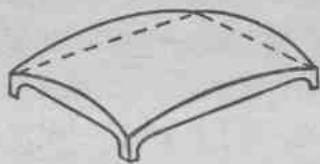


图 1-4

(2)薄壁結構 这类結構的共同特点是一向尺寸(厚度)远小于其余两向尺寸(宽度与长度);通常由金屬、木材、鋼筋混凝土等材料造成,一般多用以承受弯曲。例如薄板、薄壳(图 1-4)等等。

(3)杆件結構 这类結構是由一根或多根杆件通过一定的联接方式所組成,而这些杆件的一向尺寸(长度)远远超过其余两向尺寸(宽度与厚度)。例如剛架(图 1-5)、桁架(图 1-6)等等。

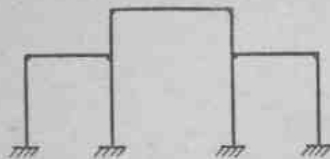


图 1-5

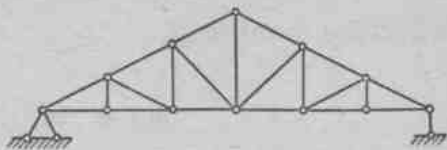


图 1-6

(二)按空間观念分类

(1)平面結構 如果結構的几何軸綫与荷載作用綫位于同一平面内,則此类結構称为平面結構。

(2)空間結構 如果結構的几何軸綫不位于同一平面,或者荷載的作用綫不位于結構平面内,則此类結構称为空間結構。

由于一切結構都具有三向尺寸,因此实际上沒有一个結構不是空間的。不过,在許多場合下,根据結構的組成特点及荷載的傳遞途徑,往往可以把結構分解为几个独立的平面結構,从而使計算大为簡化。但是,并不是任何空間結構都可以分解为平面結構的。例如,图 1-7, *a* 所示的多跨橢圓形薄壳結構和图 1-7, *b* 所示的网状圓屋頂,在一般情况下則不宜分解。关于結構的計算問題,本书以平面結構为限。

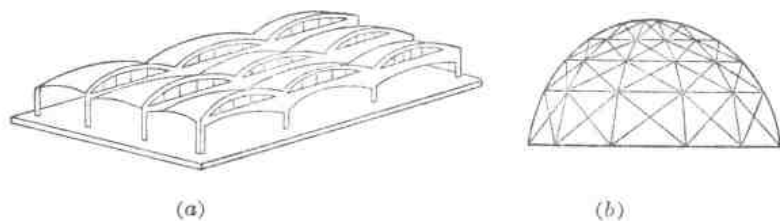


图 1-7

(三)按支座反力的方向分类

(1)梁式結構 不管它的外观造型如何,凡是在豎向荷載作用下,支座只能产生豎向反力的結構,統称为梁式結構。如图 1-8, *a* 所示。

(2)拱式結構 不管它的外观造型如何,凡是在豎向荷載作用下,支座不仅能够产生豎向反力,而且也能产生水平反力的結構,統称为拱式結構。如图 1-8, *b* 所示。

(四)按計算方法分类

(1)靜定結構 結構的支座反力和內力,可由靜力平衡方程式