

结构力学

清华大学建筑工程系

中国建筑工业出版社

结 构 力 学

清 华 大 学 建 筑 工 程 系

中 国 建 筑 工 业 出 版 社

本书系统简明地叙述了结构力学的基本问题，其中包括：静定结构的受力分析，影响线和包络图的作法，结构的位移计算，方法、位移法和渐近法计算超静定结构。本书最后一章，对结构的分析方法和计算简图的确定作了较系统的论述。全书引用了较多的建筑实例，力求结合工程实际进行理论讲解。

本书可供土建技术人员和高等院校土建专业的师生参考。

结 构 力 学

清华大学建筑工程系

*

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

*

开本：850×1168毫米 1/32 印张：16 1/4 字数：441 千字
1974年3月第一版 1974年12月第二次印刷
印数：33,106—78,380册 定价：1.80元
统一书号：15040·3128

毛主席语录

认识从实践始，经过实践得到了理论的认识，还须再回到实践去。

在生产斗争和科学实验范围内，人类总是不断发展的，自然界也总是不断发展的，永远不会停止在一个水平上。因此，人类总得不断地总结经验，有所发现，有所发明，有所创造，有所前进。

目 录

第一章 绪论	1
第一节 结构力学的任务	1
1-1 结构力学的内容及其作用	1
1-2 结构力学的发展	3
1-3 结构力学中理论和实际的结合	6
第二节 结构计算简图的概念及结构的分类	7
2-1 计算简图的概念	7
2-2 支座和结点的分类	9
2-3 结构的分类	13
第三节 结构的几何构造分析	15
3-1 名词解释	15
3-2 几何不变体系的组成规律	18
3-3 几何构造分析举例	22
3-4 几何构造与静定性的关系	23
3-5 小结	25
第四节 结构在荷载作用下的计算问题	27
4-1 荷载	27
4-2 结构静力计算问题分类	28
4-3 叠加原理	29
第二章 静定结构的受力分析	32
第一节 杆件的受力分析	33
1-1 用截面法求指定截面的内力	33
1-2 荷载与内力之间的关系	35
1-3 用叠加法作弯矩图	38
1-4 斜杆的受力分析	42
1-5 曲杆的受力分析	46
第二节 静定多跨梁和静定刚架	49
2-1 静定多跨梁	49
2-2 刚架及其应用	53

2-3	靜定剛架的受力分析	58
第三节	三铰拱及悬索	69
3-1	三铰拱的反力和内力	70
3-2	三铰拱的压力线及合理轴线	79
3-3	悬索	85
第四节	靜定平面桁架和组合结构	88
4-1	桁架的特点及組成	88
4-2	数解法	92
4-3	图解法	102
4-4	桁架的形式及其力学特性	107
4-5	組合結構的計算	114
第五节	靜定空間桁架	123
5-1	空間桁架的应用	123
5-2	結点法	126
5-3	分解成平面桁架法	131
第六节	靜定結構总論	134
6-1	靜定結構受力分析的方法	134
6-2	靜定結構的一般性質	138
6-3	各种結構型式的受力特点	142
第三章	影响线及包络图	146
第一节	移动荷载	146
第二节	影响线的概念及其作法	149
2-1	影响线的概念	149
2-2	直接荷载作用下梁的影响线	151
2-3	結点荷载作用下梁的影响线	154
2-4	桁架的影响线	157
2-5	小結	160
第三节	影响线的应用	163
3-1	求反力及內力的数值	163
3-2	定荷载的最不利位置	165
3-3	临界位置的判定	166
3-4	等代荷载的利用	170
第四节	简支梁的包络图及绝对最大弯矩	173
第四章	结构的位移计算	178

第一节	功和功能原理	178
1-1	功	179
1-2	实功与虚功	179
1-3	功能原理	182
第二节	静定桁架的位移	188
2-1	应用虚功原理求桁架的位移	188
2-2	荷载产生的位移	191
第三节	静定梁和刚架的位移	196
3-1	梁的位移	196
3-2	图乘法	201
3-3	静定刚架的位移	208
3-4	温度产生的位移	209
第四节	位移计算的补充和综合	215
4-1	剪力对位移的影响	216
4-2	位移计算的一般公式	218
4-3	广义位移的计算	224
4-4	位移互等定理	230
第五节	结语	232
第五章	用力法计算超静定结构	234
第一节	超静定结构的组成及超静定次数	234
1-1	超静定结构的组成	234
1-2	超静定次数	236
第二节	力法的基本原理	238
2-1	力法的基本未知量和基本体系	238
2-2	力法方程——一次超静定结构	239
2-3	力法方程——多次超静定结构	242
2-4	力法的要点	249
第三节	超静定刚架和桁架	250
3-1	超静定刚架	250
3-2	结构对称性的利用	256
3-3	交叉梁系	263
3-4	厂房排架	267
3-5	超静定桁架	271
3-6	超静定组合结构	277
第四节	超静定拱	287

4-1	工程中的拱结构	287
4-2	两铰拱的计算	290
4-3	无铰拱的计算	295
4-4	数值解法	305
第五节	其它计算问题	313
5-1	支座移动及温度改变作用下的计算	313
5-2	超静定结构影响线的概念	320
5-3	超静定结构的位移计算	323
5-4	超静定结构计算的校核	325
第六节	超静定结构的特性	330
6-1	多余联系的存在及其影响	330
6-2	各杆刚度改变对内力分布的影响	333
6-3	温度及沉陷等变形因素的影响	336
第七节	结语	341
第六章	用位移法计算超静定结构	343
第一节	等截面杆件的转角位移方程	343
第二节	位移法的基本未知量和基本方程	350
2-1	位移法的基本未知量	350
2-2	位移法的基本方程	352
2-3	例题	355
第三节	位移法讨论	365
3-1	位移法的计算步骤	365
3-2	位移法的物理概念	365
3-3	力法与位移法的比较	367
第七章	渐近法	369
第一节	力矩分配法的基本概念	369
1-1	名词解释	369
1-2	基本运算(单个结点的分配)	372
第二节	用力矩分配法计算连续梁及无结点线位移的刚架	378
2-1	多结点的力矩分配	378
2-2	对称性的利用	386
2-3	连续梁的内力包络图	392
2-4	支座移动及温度改变产生的内力	397
2-5	小结	400
第三节	有结点线位移的刚架	404

3-1	力矩分配法与位移法的联合应用	404
3-2	单跨对称刚架的计算——无剪力分配	410
3-3	无剪力分配与力矩分配的联合应用	416
第四节	用迭代法计算有结点线位移的刚架	423
4-1	引言	423
4-2	迭代公式	424
4-3	例题	429
4-4	迭代法讨论	436
第五节	变截面杆件	440
5-1	引言	440
5-2	弯曲常数及杆端弯矩公式	441
5-3	例题	445
第六节	桁架的次内力	449
6-1	桁架次内力的来源	449
6-2	桁架次内力的计算步骤	451
6-3	桁架三角形的角变公式	453
6-4	例题及讨论	455
6-5	小结	459
第七节	结语	460
第八章	计算简图与分析方法	463
第一节	计算简图的概述	463
第二节	支座、结点和构件的简化	464
2-1	支座的简化	464
2-2	结点的简化	469
2-3	构件的简化	473
第三节	结构体系的简化	476
3-1	将空间结构分解为平面结构	477
3-2	交叉体系的荷载传递方式及其简化	480
3-3	将体系分解为基本部分和附属部分	484
3-4	忽略次要变形	489
第四节	计算简图小结	496
第五节	计算方法	500
第六节	结构实验	505
第七节	结语	507

第一章 绪 论

第一节 结构力学的任务

毛主席教导我们：“理论的基础是实践，又转过来为实践服务。”结构力学是在生产实践和科学实验的基础上发展起来的。结构力学的知识是为工程结构的设计和施工服务的。

1-1 结构力学的内容及其作用

建筑物中支承荷载而起骨架作用的部分叫做结构。房屋建筑中，由屋架、梁、柱、基础等构件组成的体系是在建筑物中起骨架作用的，这个体系叫做房屋结构。水工建筑中承受水压力的闸门和水坝，公路及铁路中支承行车荷载的桥梁等构筑物，都是结构的例子。

工程力学，着重讨论静力学的基本规律及单个杆件的强度、刚度和稳定的计算问题。而结构力学，则着重讨论结构整体的力学计算问题，包括以下三个方面：

（1）对实际结构进行力学计算所必需的简化工作，即计算简图的选择；

（2）结构的组成规律及其力学性能；

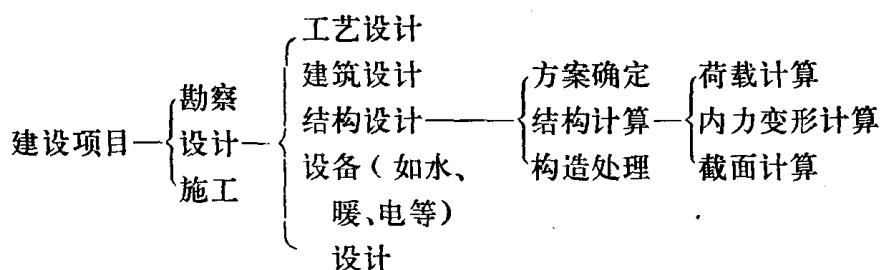
（3）结构的反力、内力和变形的计算方法，各种计算方法的适用范围。

本书只讨论杆件结构（由杆件组成的结构）的静力计算问题，包括工业与民用建筑、地下建筑和水工结构等专业都要学习的比较基本的内容。对于结构的动力计算、薄壁结构（板和壳）和实体结构（例如重力坝）的力学分析、电子数字计算机在结构力学中的应用以及其他结构力学的专门问题，本书未作讨论。至于结构构件截

面的应力分析和强度设计以及构造处理，则是有关工程结构书籍加以研究的内容。

学习结构力学时，对结构力学的作用应有正确的理解。

房屋建筑、地下建筑、水工建筑都是我国社会主义建设事业的项目。一个建设项目通常要经过勘察、设计和施工三个阶段。在整个建设过程中必须贯彻执行党的“鼓足干劲，力争上游，多快好省地建设社会主义”的总路线，以及“自力更生，艰苦奋斗，破除迷信，解放思想”等有关方针政策。一个建设项目的**设计**包括工艺设计、建筑设计、结构设计、设备设计等几方面。结构设计又包括确定方案、结构计算、构造处理等几个部分。结构计算则包括荷载计算、内力和变形计算、构件截面计算等几项工作。下列简图说明各项工作之间的关系。



在这里，结构力学的知识主要用于选择结构方案，计算结构的内力和变形。总起来看，结构力学是进行结构设计的一项重要工具。那种只注意计算，不注意工艺、材料、方案、构造以及施工等条件的设计，是不符合实际的。另一方面，那种单凭经验办事，忽视结构的分析和计算的作法也是错误的。我们要同时避免这两种倾向。

过去编写的结构力学，往往脱离无产阶级政治，脱离设计和施工，鼓吹力学理论来自“天才、学者”的头脑，搞烦琐哲学，故弄玄虚；夸大力学在结构设计中的作用，给人以“力学可以解决一切结构设计问题”的错误印象。我们要坚决批判这些错误思想，要按照“理论和实际统一”的原则来学习结构力学。

1-2 结构力学的发展

恩格斯指出：“科学的发生和发展一开始就是由生产决定的”。

我国古代劳动人民在房屋建筑、桥梁和水工建筑方面有许多辉煌的成就。四川灌县的都江堰建于秦代（公元前221—206年）。河北省赵县的石拱桥建于隋代（公元581—618年），跨度达37米多。许多宏伟的建筑物是用木架结构建成的，故宫的天安门和太和殿就是著名的例子。这些古代的工程结构，主要是根据实践经验和粗略估计建造的，并没有进行力学计算，但长期的建筑实践早已为结构力学奠定了必要的基础。

自十九世纪三十年代开始，铁路建筑兴起。由于铁路桥梁建筑的迫切需要，人们着手研究解决桁架和连续梁的计算方法。十九世纪后半期，由于工业的发展，钢结构广泛应用，结构设计的需要，促使人们研究并建立了结构变形和超静定结构的计算理论。在二十世纪里，钢筋混凝土结构广泛应用，因而刚架和板、壳结构的计算理论得到了发展。百余年来，随着生产的发展，新的结构力学问题提出来了，新的计算理论和计算方法跟着建立起来了。而过时的、烦琐的理论和方法则被淘汰。结构力学的理论就是这样经过人民群众世世代代的努力，在生产劳动的基础上建立，并在“实践、认识、再实践、再认识”的过程中逐步得到提高。

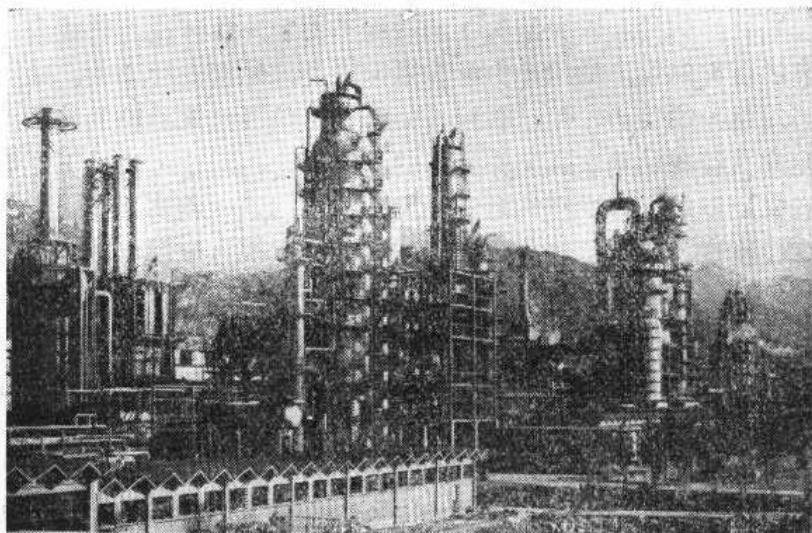
半殖民地半封建的旧中国是十分落后的。那个时候，我们几乎没有自己的结构设计，没有自己建成的象样的结构工程。我国革命的胜利为社会主义建设开辟了广阔的前途。解放以来，在毛主席的无产阶级革命路线指引下，我国人民在房屋建筑、水利建设和桥梁工程等方面取得了很大的成就。1957年建成的武汉长江大桥，1959年建成的人民大会堂，1960年建成的新安江水电站，就是突出的例子。随着生产建设的蓬勃发展，我国结构设计的水平有了较大的提高。在北京就曾使用了跨度为60米的预应力钢筋混凝土屋架，42米×42米的扁壳屋盖和高层装配式框架结构。与此同时，结构力学在我国也得到很大的进展，在刚架的静力计算、厂房排架分析、薄壳

结构、结构抗震等方面取得不少有价值的成果。但在刘少奇一类骗子反革命修正主义路线的干扰下，“洋奴哲学”、“爬行主义”以及理论脱离实际的坏学风，影响了我国建筑结构设计工作的进一步发展，出现“肥梁、胖柱、厚墙、深基础、重屋盖”的现象，浪费了国家大量建设资金。同时，结构力学的发展，也远远落后于生产建设的需要。

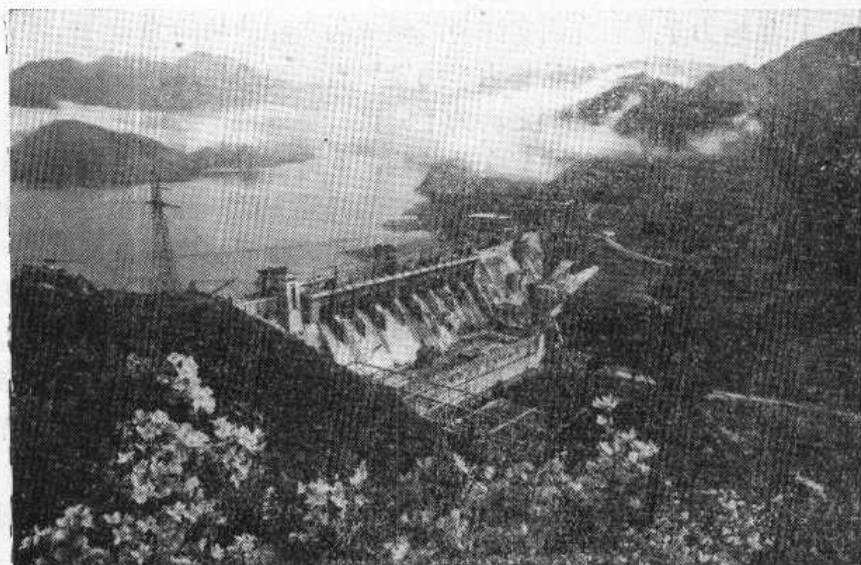
“路线是个纲，纲举目张。”1964年，毛主席发出了开展群众性设计革命的伟大号召。在毛主席无产阶级革命路线指引下，我国工人阶级和科学技术人员在结构改革的群众运动中，意气风发，斗志昂扬，阔步前进。文化大革命以来，新型构件，如圆管结构、薄壳基础、鱼腹式吊车梁等大量涌现。宏伟的南京长江大桥，于1968年建成了。首都体育馆使用了99米×112.2米的网架屋盖。电子计算技术已用来解决不少复杂的结构力学问题。这一切标志着我国结构工程的技术水平正在迅速提高。



南京长江大桥



北京石油化工总厂厂区一角



新安江水电站

图 1-1

目前，由于工程建设的需要，结构力学发展很快。空间结构（包括杆件结构和板壳结构）的结构形式和计算理论，已成为一项重要的研究问题。结构动力学在迅速成长，地震、冲击波、风力和机器对结构的动力作用已有较多的研究。结合建筑材料的性质，研究建立更符合结构实际工作情况的计算理论，对改进设计工作有重要意义；钢结构考虑塑性时的强度和稳定问题，钢筋混凝土结构的强度、刚度、抗裂度和徐变等问题都受到重视。应用电子计算机解决结构计算问题日趋普遍；与此相应，矩阵法、差分法和有限单元法亦得到很大的发展。在一定条件下，选择最优结构的重要问题，已经有了初步的研究成果。除计算理论以外，结构的实验应力分析一直是一个重要的发展方向。

1-3 结构力学中理论和实际的结合

毛主席教导我们：“真正的理论在世界上只有一种，就是从客观实际抽出来又在客观实际中得到了证明的理论”，在结构力学的学习和研究中，我们必须贯彻理论与实际相结合的原则。

1. 结构力学是研究由实际材料做成的实际结构的力学计算问题，因此，科学实验对结构力学的发展有重要的作用。材料的力学性能只有通过实验才能确定。为了验证计算理论，必须进行结构实验。设计中遇到新型的或复杂的结构，有时也利用模型试验来分清主要的和次要的因素，从而确定合理的计算方法。此外，为了全面了解实际结构的性能，有时还需要对结构进行现场实测。

2. 结构力学是为结构设计和施工服务的，因此设计和施工的经验对结构力学的发展有重要的作用。设计和施工实践，一方面是结构计算理论的基础，并给它提出新的研究课题；另一方面又从不同的角度检验结构计算的可靠性。结构力学应该不断总结我国三大革命运动中的新成就，从实践中吸取营养。

3. 数学是结构力学常用的工具，熟练地掌握数学工具，正确地进行运算，对结构的力学分析是十分重要的。但是，结构力学中一些计算理论和计算方法的价值只能以其在结构设计中解决实际问题的有效程度来衡量，而不是由其使用的数学方法的高深程度来衡量。

恩格斯曾经指出：“数学的应用：在固体力学中是绝对的，在气体力学中是近似的，在液体力学中已经比较困难了；在物理学中多半是尝试性的和相对的；在化学中是最简单的一次方程式；在生物学中 $=0$ 。”结构的力学分析应该采用什么数学方法作工具，要由实际问题的需要来确定。

4. 在学习过程中，要注意结构力学的理论是怎样服务于实际工程的，要把精力集中在培养分析问题和解决问题的能力上。既要联系实际研究理论问题，又要灵活应用理论解决实际问题。学习时要学会抓主要矛盾，分清主次，掌握重点。首先要了解概念、原理和方法，然后再完成习题和作业。在整个学习过程中，要注意参观实际结构，学习结构的施工图，了解结构的构造处理；也要充分利用形象模型，加深对理论的认识。书中的例题和习题，是根据工业与民用建筑、地下建筑、水工结构等专业的需要编写的，学习时，可以根据需要从中选用。

思考题

1. 结构力学与结构设计有什么关系？
2. 科学实验和数学分析在结构力学中起什么作用？

第二节 结构计算简图的概念及结构的分类

计算简图是进行结构计算时用以代表实际结构的经过简化的模型。下面将对计算简图中使用的支座和结点进行分类，并介绍结构的分类（实际上是计算简图的分类）方法。

2-1 计算简图的概念

实际结构是很复杂的，完全按照结构的实际情况进行力学分析是不可能的，也是不必要的。因此，对实际结构进行力学计算以前，必须加以简化，略去不重要的细节，表现其基本特点，用一个简化的图形代替实际结构，这种图形叫做结构的计算简图。

计算简图的概念通过实例才容易理解。图1-2a示跨度为6米、吊车起重量为5吨的组合式吊车梁。上弦为钢筋混凝土T形截面

梁，下面的杆件由角钢及钢板组成，结点为焊接。吊车梁两端通过钢板焊接支于钢筋混凝土柱的牛腿上面。图1-2b示吊车梁的计算简图。由于吊车梁的支座仅由较短的焊缝与牛腿联结，对吊车梁支承端的转角不能有很大的约束，故可看作铰支座。钢筋混凝土上弦的截面较大，连续成为整体，所以在计算简图中 AB 取为连续杆。铰 C 及铰 D 画于杆的一旁。其余杆件基本上承受轴向内力，由于结点构造引起的附加弯矩是很小的，所以可看作两端由铰连接的杆，简称为链杆。在计算简图中，各链杆都用其轴线表示。

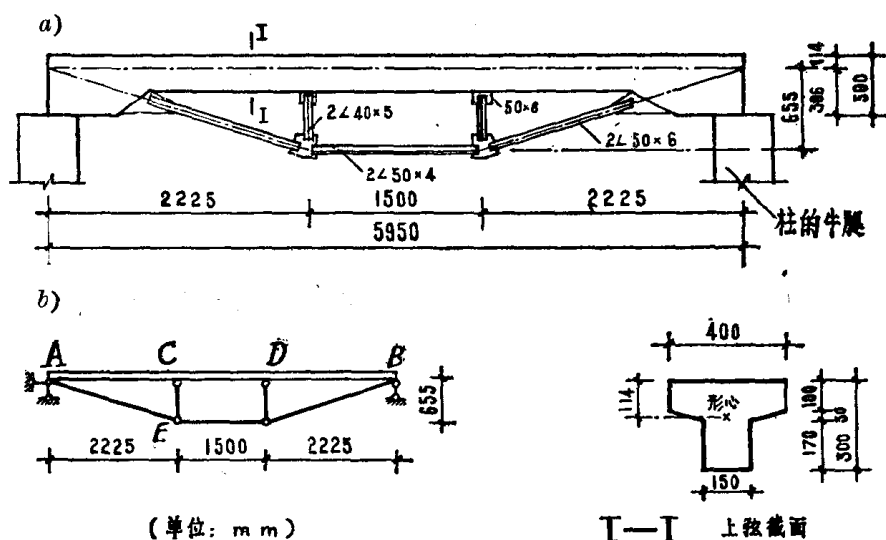


图 1-2

一般说来，计算简图是在结构计算中用来代替实际结构的一个模型。计算简图应当满足下列要求：

1. 反映实际结构的工作性能；
2. 便于计算。

选取计算简图时，必须分清主次，抓住本质和主流，略去不重要的细节。“不能把过程中所有的矛盾平均看待，必须把它们区别为主要的和次要的两类，着重于捉住主要的矛盾”。

计算简图的选择是力学计算的基础，极为重要。如果把计算简