

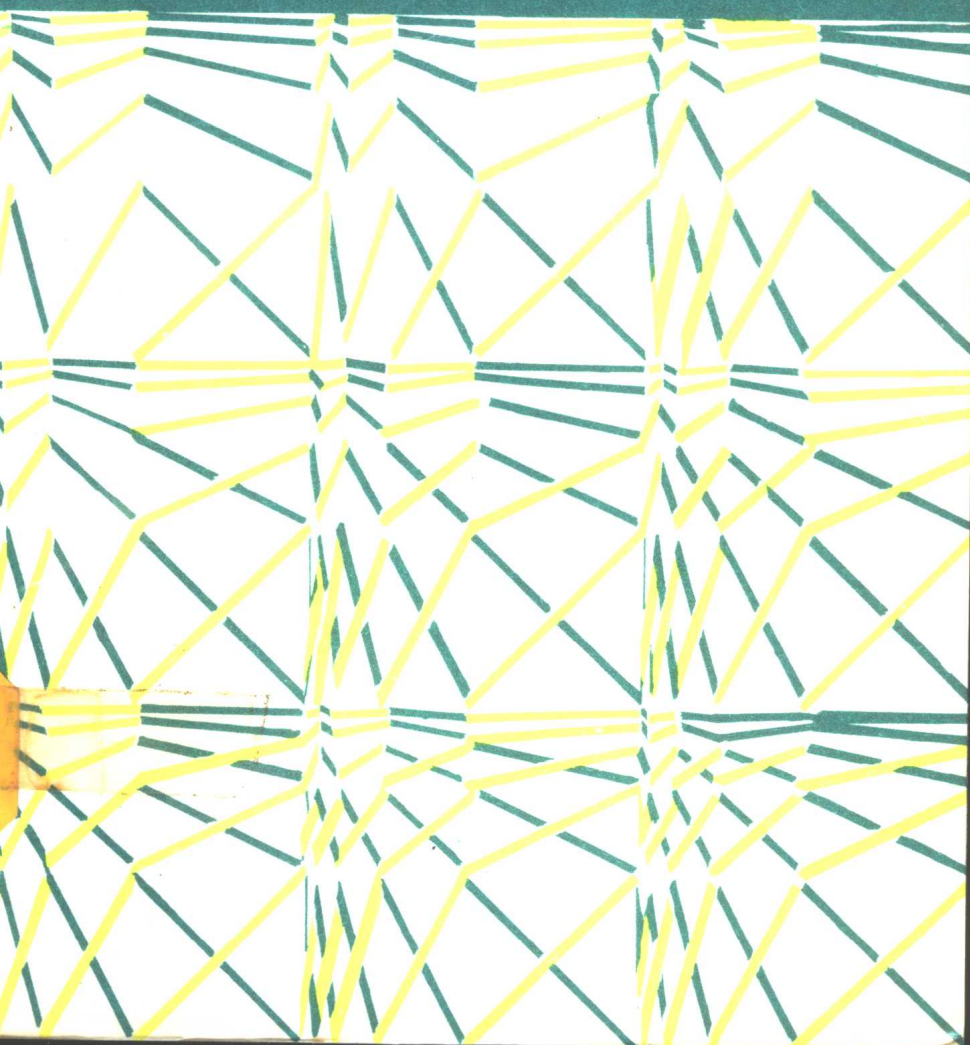
建筑力学

杆件体系

[苏] A·Φ·斯米尔诺夫 主编

颜景田 译

哈尔滨工业大学出版社



建 筑 力 学

杆 件 体 系

[苏] A.Φ.斯米尔诺夫 主编

顏 景 田 译

哈尔滨工业大学出版社

内 容 摘 要

本书是经苏联高等及中等专业教育部批准为高等院校土建类专业教材，是建筑力学教程的第一部分。线性代数是用电电子计算机进行结构计算时建立数学模型的基础，因此本书在内容阐述中引进了线性代数的矩阵工具。本书借助于建筑力学的知识来说明线性代数的基本概念和基本运算。在叙述杆件体系的计算方法时，也对计算更复杂非杆件结构起基础作用的问题，给予了很大的注意。本书用杆件体系的实例指明位移法的变化形式，在位移法中则按有限单元法里所采用的形式进行计算。

本书可供土建类专业本科生、研究生使用，也可供教师及工程技术人员参考。

主审：全苏函授工业大学建筑力学教研室及O.B. 卢任教授
(莫斯科建筑工程学院)

主编：苏联科学院通讯院士A. Φ. 斯米尔诺夫

著者：A. Φ. 斯米尔诺夫, A.B. 阿列克桑德洛夫, Б. Н. 拉谢尼科夫, Н. Н. 沙波什尼科夫

建 筑 力 学

杆 件 体 系

[苏] A. Φ. 斯米尔诺夫 主编

颜景田 译

●
哈尔滨工业大学出版社出版发行
哈尔滨建工学院附属印刷厂印刷

●
开本 787×1092 1/32 印张17.75 字数395 000

1988年12月第1版 1988年12月第1次印刷

印数 1-2 000

ISBN 7-5603-0158-4/TU·3 定价2.70元

序 言

建筑力学教程由三部分组成：《杆件体系静力学》、《薄壁空间体系》及《弹性体系动力学和稳定》。本书是第一部分。

本书内容符合苏联高等及中等专业教育部批准的教学大纲的杆件体系部分。书中反映了莫斯科荣膺列宁与红旗勋章的铁路运输工程学院建筑力学教研室讲授本课程的多年经验。本书内容明显地不同于现有建筑力学教程的内容。放弃传统的讲述方法是因为对培养建筑力学专门人才的水平提出了现代化要求，以及在结构计算和设计领域里计算技术提供了许多可能性而引起的。

在阐述教程的各部分时，使用了线性代数的矩阵工具。在本书第一篇里辟出了专门一章从建筑力学角度解释向量、矩阵、线性变换等概念。这一工具被看作是建立结构计算模型的基础。

本教程中所讨论的杆件体系，在各种结构物的承重结构中得到了极广泛的应用。但在大多数情况下工程师们不得不和更复杂的体系打交道。这些复杂体系中除杆件体系外，还包括其它类型构件：平板、薄壳、大型实体。大家知道，计算这种体系时广泛使用有限单元法。因此在讲述杆件体系的计算方法时，对于那些更复杂的非杆件结构的计算也起基础作用的原则，给予了很大的注意。它们是：变形体系计算问题的变分表达法，刚度矩阵及柔度矩阵的连续使用，由于选择体系各种基底状态而对这些矩阵的性质进行分析，用来描

述结构应力应变状态的参数二重性等。

阐述位移法时对该法的变化形态给予了极大的注意，在这种变化形态中考虑杆件的纵向变形，而全部计算则按有限单元法所取的形式进行。按作者的想法，通过杆件体系的例题学生们应能掌握代表有限单元法性质的全部基本概念（局部坐标系，整体坐标系，单元及整个结构的刚度矩阵，超级单元概念等）。有限元法在本教程第二部分详细进行讨论。

近来对非线性问题中结构的表现进行分析成了迫切的任务。建筑力学非线性问题总的求解方法也在本教程的第二部分阐述，因为这些方法对杆件及非杆件体系原则上是共同的。然而本教程中对非线性问题也给予一定的注意。这在讲述变分原理的章节中也有所反映。

增加新问题自然就要求削减教程的某些传统章节。这里只减掉了一部分题材，而这些题材从作者的观点来看，它们在结构计算和设计自动化现代方法的发展方面不是特别迫切的，而且在其它文献中已有详细阐明。

作者力求用例题来讲教程。由于教程要侧重在阐明结构的计算方法的思想方面，因而例题局限在必要的最低限度。

第一章由A.Φ.斯米尔塔夫编写；第十、十二、十三章（§ 87除外）由A.B.阿列克桑德罗夫编写；第三～第九章由Б.Я.拉谢尼科夫编写，第二、十一章及附录由H.H.沙波什尼科夫编写，§ 87由Б.Я.拉谢尼科夫及H.H.沙波什尼科夫共同编写。

译 者 的 话

自1956年同济大学力学教研组翻译出版И.М.拉宾诺维奇所著《杆件体系结构力学》及1965年哈尔滨建筑工程学院郭长城和王惠德同志重译该书的补充、修订第三版以来，已时过二十多年。在此期间因受中苏间科技文化交流之所限，未见有苏联其它版本结构力学的中译本问世。苏联的高校教材早已以其体系严谨、内容丰富、理论联系实际等特点而为广大读者所称颂。在1985年结构力学及弹性力学教学与教材经验交流会上，哈尔滨建筑工程学院郭长城教授及刘芝瑞副教授发表了“苏联现用三本结构力学教材的评介”一文。该文引起了许多同行专家的兴趣，并被选登在“结构力学及弹性力学教学与教材研究”1986年第1期上。该文在与苏联其它教材及我国教材分析、对比的基础上，建议并推荐首先翻译苏联科学院通讯院士А.Ф.斯米尔诺夫教授所主编的建筑力学。译者最近得到了这套共三册的教材，便决心把它翻译过来，介绍给我国读者，以期对我国高校的教材建设，以及对广大土建类专业的本科生和研究生的学习，能有较大的参考价值 and 帮助，起到有益的作用。

这套教材的特点是它适应了使用电子计算机进行结构计算的需要，对结构力学的传统讲法作了较大改革，将其内容进行了一些更新，而把结构力学的讲述侧重在结构的矩阵算法上来，较好地反映了建筑力学的现代发展趋势。本书是这套教材的第一分册。

在翻译这套教材的过程中，译者得到了郭长城教授的热

情支持。他还对译文进行了仔细、认真的审阅，并提出了许多宝贵的修改意见。在此译者谨向他表示衷心的感谢。

在翻译过程中，发现原文印刷错误30余处，在译文中已作了更正。

译 者

于哈尔滨建筑工程学院

1988年5月

目 录

序 言

第一篇 建筑力学中结构物的计算模型

第一章 结构物及作用其上的荷载

§ 1	总论	(1)
§ 2	结构物种类及其特点	(2)
§ 3	荷载及其它外界作用的种类	(9)
§ 4	现实结构物及其计算简图	(12)
§ 5	结构物计算的现代方法	(17)
§ 6	结构物计算方法的发展	(20)

第二章 杆件体系构成的分析及其种类

§ 7	基本原则	(24)
§ 8	杆件体系构成的几何分析	(25)
§ 9	杆件体系的种类	(42)

第三章 建筑力学中的线性变换及矩阵

§ 10	静定体系中确定内力问题的虚位移原理	(51)
§ 11	在建筑力学问题中使用线性代数方法的基本概念	(60)
§ 12	基底力·基底的变化	(79)
§ 13	广义位移·它们在基底变化时的变换	(89)

第二篇 静定体系的计算

第四章 非移动荷载时内力的确定

- § 14 非移动荷载时静定体系中内力的确定·梁式体系·最简单的刚架和桁架……………(97)
- § 15 联系替代法……………(104)
- § 16 结点及杆的平衡方程组……………(110)
- § 17 确定内力的机动法……………(113)
- § 18 关于分析体系荷载的概念……………(118)

第五章 移动荷载作用时内力的确定

- § 19 包络图及影响线……………(121)
- § 20 简单梁中内力的影响线……………(125)
- § 21 结点传递荷载时影响线的建立……………(128)
- § 22 用联系替代法建立影响线……………(132)
- § 23 影响矩阵概念与影响线概念的联系……………(135)
- § 24 建立影响线的机动法……………(137)
- § 25 用非移动荷载给影响线加载……………(140)
- § 26 用移动荷载给影响线加载……………(143)

第六章 静定桁架的计算

- § 27 桁架计算简图的选择……………(147)
- § 28 桁架的平衡方程组……………(152)
- § 29 桁架构成的解析分析……………(159)
- § 30 非移动荷载时桁架应力状态的分析……………(165)
- § 31 桁架里内力的影响线……………(175)

§ 32	关于利用荷载变换计算桁架的概念·····	(183)
------	----------------------	-------

第七章 推力体系

§ 33	三铰拱和刚架·····	(189)
§ 34	非移动荷载时三铰体系中内力的确定·····	(193)
§ 35	拱的合理外形·····	(196)
§ 36	三铰刚架及拱中影响线的建立·····	(200)
§ 37	关于计算拱式桁架的概念·····	(206)

第八章 用莫尔法确定位移

§ 38	引言·····	(209)
§ 39	莫尔积分·····	(211)
§ 40	莫尔积分的计算·····	(221)
§ 41	温度变化引起位移的确定·····	(229)
§ 42	体系的柔度矩阵和刚度矩阵·····	(230)
§ 43	用莫尔法计算位移的矩阵形式·····	(235)
§ 44	杆件体系的静力几何分析·····	(251)
§ 45	利用弹性荷载建立位移图·····	(258)

第三篇 弹性体系力学的基本能量 定理及变分原理

第九章 基本能量定理·柔度矩阵及刚度矩阵的性质

§ 46	一些基本概念及定理·····	(262)
§ 47	线性弹性体系的变形能·····	(265)
§ 48	互等定理·····	(270)

- § 49 基底力和基底位移变化时弹性体系柔度矩阵及刚度矩阵的变换……………(278)
- § 50 弹性体系柔度矩阵及刚度矩阵的若干共同性质……………(288)
- § 51 利用局部平衡力确定体系的柔度矩阵……(295)

第十章 变形体系的变分原理

- § 52 变形体系的总能量……………(297)
- § 53 位移变分原理 (拉格朗日定理) ……(304)
- § 54 根据位移变分原理计算弹性体系……………(308)
- § 55 应力或内力的变分原理 (卡斯提良诺定理)
……………(316)
- § 56 内力变分原理在弹性体系计算中的应用…(320)

第四篇 超静定体系的计算

第十一章 力 法

- § 57 超静定体系的计算特点……………(330)
- § 58 超静定次数的确定……………(330)
- § 59 典型方程及其特点……………(337)
- § 60 计算的一般算法·超静定体系中位移的确定……………(347)
- § 61 典型方程组中未知量的划分方法……………(359)
- § 62 超静定体系承受移动荷载的计算特点……(374)
- § 63 超静定体系的某些性质·温度作用及支座沉降的计算……………(386)
- § 64 超静定体系计算的矩阵形式……………(395)

- § 65 用卡斯提良诺定理计算超静定体系…………(411)
- § 66 使用电子计算机进行计算·逐单元法…………(417)

第十二章 位移法

- § 67 方法的实质…………(422)
- § 68 作为基本体系单元的杆中的反力及内力表
…………(425)
- § 69 体系的动不定次数…………(432)
- § 70 典型方程及计算的一般程序…………(438)
- § 71 互等定理的应用…………(447)
- § 72 体系对称性的利用…………(452)
- § 73 斜构件刚架的计算特点…………(458)
- § 74 支座位移时刚架的计算特点…………(463)
- § 75 温度改变时杆件体系的计算…………(467)
- § 76 影响线的建立…………(473)
- § 77 考虑杆的纵向变形使用位移法的特点…………(481)
- § 78 局部及整体坐标系里杆的刚度矩阵…………(482)
- § 79 更复杂情况下单杆刚度矩阵的建立…………(488)
- § 80 结构刚度矩阵的组成…………(497)
- § 81 体系杆中内力的确定·计算例题…………(503)
- § 82 复杂单元(超单元)基本体系的使用…………(510)

第十三章 混合法

- § 83 引言…………(520)
- § 84 典型方程…………(521)
- § 85 方程组系数计算的统一形式…………(526)
- § 86 对称体系受不对称外界作用的计算特点…(530)

§ 87 杆件体系建筑力学的一般方程·····	(534)
附录 应用计算器及电子计算机进行矩阵的运算·····	(541)
参考文献·····	(552)

第 一 篇

结构力学中结构物的计算模型

第一章 结构物及作用其上的荷载

§ 1 总 论

设计每个结构物时，必须确定其所有构件的尺寸。为此要进行计算，通过计算来确定在一定计算荷载作用下构件截面中的内力。内力的总和即：弯矩、扭矩、纵向力和剪力，使我们可以确定结构物各部分的应力状态，并根据这些应力状态来判断结构物所有构件及结点的强度。

不仅在一般使用荷载作用下结构物应是坚固的，而且在较严重超载的特殊情况下也应是坚固的。例如在地震力较强地区发生地震时，必须保证结构物的强度，这时却不一定要保证其一系列其它质量，其中包括抗裂度。

强度问题在一整套学科里进行研究，从诸如物理学、建筑材料学这样的一般技术学科，到非常实用的领域：桥梁、隧道和房屋设计，结构物的检验等等。

土建专业未来的工程师们首先在《材料力学及弹塑性理论基础》教程中认真地了解到强度计算问题。在此教程中主要是阐述解答强度问题的现象学方法，这种方法是以前实验获得的材料主要物理力学性能、 σ - ϵ 图等为根据的；研究在各

种变形（拉伸、压缩、弯曲、扭转）情况下杆件强度的计算方法；讨论平板、某些类型的壳体、大型实体结构物的计算。材料力学中解答强度问题，主要是针对结构的单个构件。

在建筑力学中阐述的类似问题，则针对整个结构物（或针对其某个大部分），即由许多构件：杆件、平板、薄壳等组成的体系。

为了确信结构物完好可用，除解决强度问题外，必须验算其变形，即通常说的刚度。建筑力学中研究确定位移和评估结构物刚度的一般方法。此外还完成结构物稳定的计算。材料力学中已经研究了中心受压直杆稳定的最简单情形（纵向弯曲）。在一定的成组力的作用下，变形体系整体的稳定问题，则复杂得多。大部分结构物还要考虑在各种动荷作用下（风荷载、车辆荷载等）进行计算。结构物的稳定和动力学问题也在建筑力学教程中加以研究。

因此，建筑力学是一门关于结构物在静力及动力作用下，结构物强度、刚度和稳定的计算原理和计算方法的科学。

§ 2 结构物种类及其特点

结构物按其用途可划分为：居住建筑、公共建筑、工业建筑、运输建筑。独特的结构物（高层房屋、大跨桥梁、大型体育建筑群）应该特殊分出。每组结构物都有自己固有的特点。例如居住建筑按常规总是按定型设计建造。根据地质及气候条件除基本计算外，还要进行补充计算。例如对居住房屋的砖墙来说强度计算不是主要的，而热工计算是主要的。

在工业厂房中要考虑到所安装设备的动力荷载以及特殊的（例如冶炼车间）温度作用。运输结构物的强度则主要取

决于重型活动荷载。对于使用寿命以数百年计的独特建筑的计算，设计人员负有特别重要的责任。例如计算奥斯坦金（Останкин）电视塔时，曾考虑了60-80年出现一次的飓风的可能性。

根据结构物的结构方案宜将基本上承受作用荷载的构件体系分离出来。人们区分以下代表性形式的体系。杆件体系本身分为平面和空间体系。例如桁架（图1）、刚架（图2）、拱（图3）属平面杆件体系。图4示出空间刚架，它们常用于工业厂房的骨架。

近年来开始广泛采用所谓网架结构，用来建造各种工程项目的楼盖（图5、6）。还必须提到平板体系（图7）。由平面大板组成的多层房屋的承重结构就属于这种体系。

壳状承重空间结构分在特殊的一组。例如图8所表示的由平面大板组成的拱顶壳。这种体系用于各种仓库、汽车停车场、粮库等处。

可以覆盖大面积的悬挂式体系也归属于特殊等级的结构物。图9、10示出了用于体育馆和大型车库的悬挂式结构，就是例子。

各种构件的混合体系经常被采用，例如杆件与平板或者杆件与缆索的悬挂式结构。图11所示的克雷拉特斯基（莫斯科）自行车比赛场的承重结构由四个基本拱及正交缆索体系状的悬挂式屋盖组成，缆索体系将屋面重量及雪荷载传至基本承重拱上。

像水工（水坝）、运输（桥梁、隧道、地铁）这样的专门结构物占有特殊位置，设计它们时出现一些特殊的计算问题。水工构筑物的体量大是它的特点。与杆件体系不同，这样的构筑物常常采用大体量构件，构件的所有尺寸具有同一

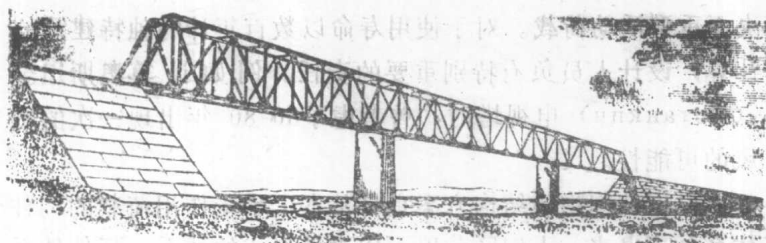


图 1

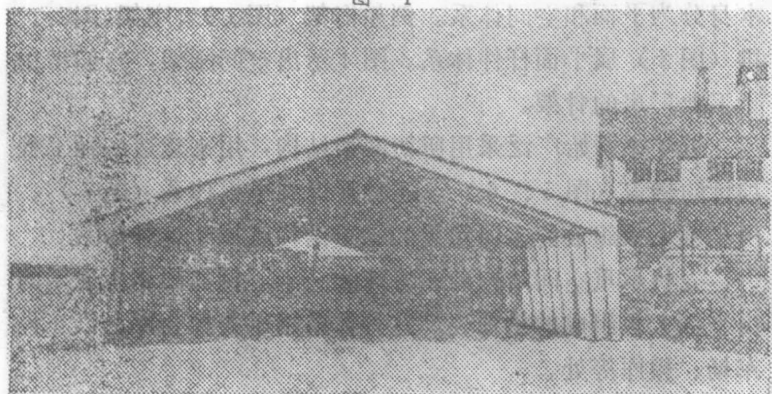


图 2

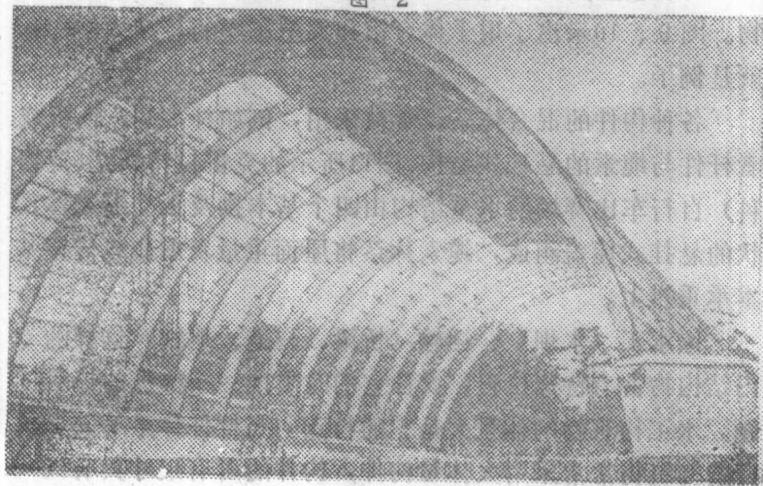


图 3