

普通高等院校基础力学系列教材

王焕定 编著

结构力学

清华大学出版社

普通高等院校基础力学系列教材

王焕定 编著

结构力学

清华大学出版社
北京

内 容 简 介

本书选材适合中少学时的结构力学课程。与同类教材相比有如下特点:注意了与先修课程的平滑过渡;尽可能适合各种接受能力的读者学习;精选了经典内容,注意了手算内容和电算的结合;注意启发式教学,为学生独立思考留了适当的空间。全书共分七章:体系的几何组成分析,静定结构受力分析,静定结构位移计算,力法,位移法,影响线及其应用,矩阵位移法。

与本书配套出版的还有学生学习用书——《结构力学学习指导》,教师教学用书——《结构力学教师用书》,以及供教师课堂教学使用的多媒体教学课件——《结构力学电子教案》。

本书可供普通高校、高职、高专的土木、交通、水利等专业作为教材,也可供相关专业的专升本、自学考试读者和工程技术人员使用。

版权所有,翻印必究。举报电话:010-62782989 13901104297 13801310933

图书在版编目(CIP)数据

结构力学/王焕定编著. —北京:清华大学出版社,2004.9

(普通高等院校基础力学系列教材)

ISBN 7-302-09207-9

I. 结… II. 王… III. 结构力学—高等学校—教材 IV. O342

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2004)第 081713 号

出 版 者:清华大学出版社

<http://www.tup.com.cn>

社 总 机:010-62770175

地 址:北京清华大学学研大厦

邮 编:100084

客户服务:010-62776969

责任编辑:杨 倩

印 装 者:北京鑫海金澳胶印有限公司

发 行 者:新华书店总店北京发行所

开 本:170×230 印张:14 字数:248 千字

版 次:2004 年 9 月第 1 版 2004 年 9 月第 1 次印刷

书 号:ISBN 7-302-09207-9/O·388

印 数:1~3000

定 价:19.00 元

本书如存在文字不清、漏印以及缺页、倒页、脱页等印装质量问题,请与清华大学出版社出版部联系调换。联系电话:(010)62770175-3103 或 (010)62795704

普通高等院校基础力学系列教材

编委会名单

主 任：范钦珊

编 委：王焕定 王 琪

刘 燕 殷雅俊

PREFACE

普通高等院校基础力学系列教材

序

普通高等院校基础力学系列教材包括“理论力学”、“材料力学”、“结构力学”、“工程力学(静力学+材料力学)”以及“工程流体力学”。目前出版的是前面的3种,“工程力学(静力学+材料力学)”将在以后出版。

这套教材是根据我国高等教育改革的形势和教学第一线的实际需求,由清华大学出版社组织编写的。

从2002年秋季学期开始,全国普通高等学校新一轮培养计划进入实施阶段。新一轮培养计划的特点是,加强素质教育、培养创新精神。根据新一轮培养计划,课程的教学总学时数大幅度减少,为学生自主学习留出了较大的空间。相应地,课程的教学时数都要压缩,基础力学课程也不例外。

怎样在有限的教学时数内,使学生既能掌握力学的基本知识,又能了解一些力学的最新进展;既能培养学生的力学素质,又能加强工程概念?这是很多力学教育工作者所共同关心的问题。

现有的基础教材大部分都是根据在比较多的学时内进行教学而编写的,因而篇幅都比较大。教学第一线迫切需要适用于学时压缩后教学要求的小篇幅的教材。

根据“有所为、有所不为”的原则,这套教材更注重基本概念,而不追求冗长的理论推导与繁琐的数字运算。这样做不仅可以满足一些专业对于力学基础知识的要求,而且可以切实保证教育部颁布的基础力学课程教学基本要求的教学质量。

为了让学生更快地掌握最基本的知识,本套教材在概念、原理的叙述方面作了一些改进。一方面从提出问题、分析问题和解决问题等方面作了比较详尽的论述与讨论;另一方面通过较多的例题分析,特别是新增加了关于一些重要概念的例题分析,著者相信这将有助于读者加深对于基本内容的了解和掌握。

此外,为了帮助学生学习和加深理解以及方便教师备课和授课,与每门课

程主教材配套出版了学习指导、教师用书(习题详细解答)和供课堂教学使用的电子教案。

本套教材内容的选取以教育部颁布的相关课程的“教学基本要求”为依据,同时根据各院校的具体情况,作了灵活的安排,绝大部分为必修内容,少部分为选修内容。每门课程所需学时一般不超过 60。

范钦珊

2004 年 7 月于清华大学

FOREWORD

前言

本套《结构力学》教材是适应中少学时结构力学课程教学的需要,在保证教育部颁布的基本要求前提下,用较少的时间教授结构力学的基本内容,因此尽量在注重基本概念、注重能力培养、考虑学时压缩的实际情况方面下功夫,希望能够既节省授课学时,又不降低课程的基本要求。

本套教材包括主教材——《结构力学》,学生学习指导书——《结构力学学习指导》,教师教学参考书——《结构力学教师用书》(习题详细解答)和供课堂教学使用的《结构力学电子教案》。

本书是结构力学主教材。为了与前修课程理论力学和材料力学的“平滑”连接,适当回顾了前修课程的相关内容,但对初学结构力学的读者,也许还嫌不够。这些安排至少可使读者了解前修内容与结构力学的学习关系密切,要切实掌握结构力学知识,就必须很好地掌握这些前修课程内容。

全书除绪论外,共分7章:体系的几何组成分析,静定结构受力分析,静定结构位移计算,力法,位移法,影响线及其应用,矩阵位移法。全书定位在中少学时的教学安排,内容大约按50学时左右选取。因此,对少于此学时的使用者,可酌情删减部分内容。例如可以不选第6章、第7章内容,或不选第7章内容等。本书可作为中少学时各专业学习结构力学的教材或参考书,也可作为专升本,自学考试等的学习材料。

为便于读者学习,与本书配套出版学生学习用书——《结构力学学习指导》,内容包括每章的学习目的、基本要求、解题分析步骤、易出错的地方、思考题及参考答案、附加例题和学习建议等。

对使用本书的教师,提供了供课堂教学使用的《结构力学电子教案》,包含如下内容:与本书配套的(PowerPoint)电子教案(含部分小程序)、供学生操练和自我测试的教学辅助软件及教学计算程序等。另外,与本书配套出版教师教学用书——《结构力学教师用书》,内容包括本书习题的全解、一些补充材料

等。希望上述内容,能为教师的教学提供方便。

本书的部分内容取自编者与张金生、张永山、王伟合作完成的“十五”教材《结构力学 I》,为此特向上述诸位深表谢意!

作 者

2004 年 7 月于哈尔滨工业大学土木学院

CONTENTS

目录

绪论	1
0.1 结构力学的研究对象和研究内容	1
0.2 一些工程结构实例与计算简图	2
0.3 学习建议	7
第1章 体系的几何组成分析	9
1.1 基本概念	9
1.2 静定结构的组成规则	14
思考题	19
习题	19
第2章 静定结构受力分析	21
2.1 弹性杆内力分析回顾	21
2.2 静定结构的内力分析方法	23
2.3 桁架受力分析	26
2.4 三铰拱受力分析	35
2.5 静定梁受力分析	39
2.6 静定刚架受力分析	42
2.7 静定组合结构受力分析	47
2.8 静定结构性质	49
思考题	51
习题	51
第3章 静定结构位移计算	57
3.1 基本概念	57
3.2 荷载下位移计算公式	61
3.3 荷载下位移计算举例	64
3.4 其他外因下的位移计算	72

3.5 互等定理	76
思考题	79
习题	80
第4章 力法	85
4.1 基本概念	85
4.2 荷载下超静定结构计算	90
4.3 其他外因下超静定梁计算	104
4.4 超静定结构位移计算	108
思考题	109
习题	110
第5章 位移法	115
5.1 基本概念	115
5.2 位移法解超静定结构	124
5.3 无侧移结构的弯矩分配法	132
思考题	139
习题	140
第6章 影响线及其应用	143
6.1 基本概念	143
6.2 静力法作影响线	144
6.3 机动法作影响线	150
6.4 影响线的应用	154
思考题	163
习题	164
第7章 矩阵位移法	167
7.1 基本概念	167
7.2 单元分析	170
7.3 整体分析	177
7.4 计算机分析	192
思考题	208
习题	209
索引	211
参考文献	214

什么是结构力学,其研究对象、研究内容以及研究方法是什么,结构力学与理论力学和材料力学、结构力学与后续课程、结构力学与土木工程有何关系,等等,即为本书绪论所要介绍的主要内容。除此之外,还对如何学好结构力学给予了建议。

0.1 结构力学的研究对象和研究内容

0.1.1 研究对象

结构力学作为力学学科的一个分支,其研究对象涉及较广。因为本书定位在普通高校中少学时专业使用,因此其研究对象仅为由杆件所组成的平面体系,即**结构**(structure)。这种体系能承担外界荷载作用,并起传力骨架作用。

以此为对象的结构力学也称为经典结构力学或杆系结构力学。

0.1.2 课程所涉及的内容

结构力学的研究内容包括以下三方面:

(1) **分析** 在已知结构和荷载(也可称为已知系统和作用)的前提下,根据材料力学中已经介绍的强度、刚度和稳定性等方面的要求,通过分析计算(analysis compute),使所设计的结构既经济合理,又安全可靠。

(2) **识别** 和传统的分析不同,很多问题往往需要在已知系统外部作用结果(也称**响应**或**反应**,response)的情形下,根据结构信息反过来确定外界的作用信息。或者根据外界的作用信息,确定系统的有关信息。如果将外界作用下系统的反应(结果)分析称为**正问题**,则在已知反应情形下,确定外界作用或系统的信息则称为**反问题**。确定外界作用信息的反问题称为**荷载识别**(load identification),而后一类则称为**系统识别**(system identification)。对于

大型复杂结构,经过识别对其“健康”状况做出判断,以便对症下药进行适当的“诊治”,这是目前土木工程的热点高科技课题之一。

(3) 控制 控制理论(control theory)和控制技术(control technique)在土木工程(建筑结构、桥梁结构和水工结构等)方面的应用,直到 20 世纪 70 年代才被提出,它是人们在抵御外界作用方面往智能化结构方向迈出的可喜一步,它也是土木工程领域的另一热点高科技课题。

根据本书的定位,将仅介绍结构在实际工程中常见的各种可能外界作用下的受力、变形分析的基本概念、基本原理和基本方法。结构的强度、刚度分析,属于结构力学最经典的内容。

0.1.3 结构力学与其他课程和结构设计的关系

理论力学、材料力学以及高等数学和计算机基础知识都是结构力学的基础,特别是理论力学中关于力系的平衡、约束的性质、质点系及刚体虚位移原理;材料力学中的内力分析、强度、刚度分析等重要内容,不仅作为结构力学的基础,而且在结构力学中将得到扩展和延伸。因为,学习结构力学同时可以巩固已经学过的理论力学和材料力学中某些相关的基本概念、基本理论和基本方法,读者学习本课程时应当与理论力学和材料力学贯通起来,形成总体的力学概念。

结构力学与理论力学和材料力学又是不同的,结构力学与工程结构联系更为紧密,其基本概念、基本理论和基本方法将作为钢筋混凝土结构、钢结构、地基基础和结构抗震设计等工程结构课程的基础;结构力学的分析结果又是各类结构的设计依据。当前的计算机辅助设计软件,其核心计算部分的基本理论和方法也都以结构力学作为基础。

0.2 一些工程结构实例与计算简图

图 0-1~图 0-7 所示的高层建筑、大型水利工程、桥梁结构、大跨结构、高耸结构、核电站结构和体育馆建筑等,都是工程结构的具体例子。而实际工程结构是很复杂的,如果不作任何简化,即使在计算机飞速发展的今天,分析计算也将十分困难。

分析实际结构,需利用力学知识、工程结构知识和实践经验。首先要经过科学的抽象,并根据实际受力、变形规律等主要因素,对结构进行合理的简化。这一过程称为力学建模(mechanics modeling),经简化后可以用于分析计算的模型,称为结构的计算简图(structural compute diagram)。

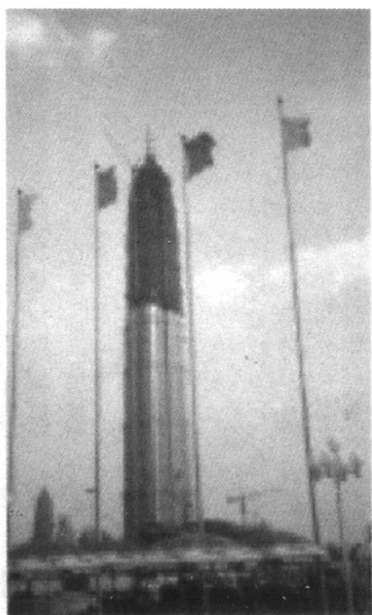


图 0-1 上海金茂大厦



图 0-2 施工中的长江三峡五级船闸



图 0-3 长江西陵大桥

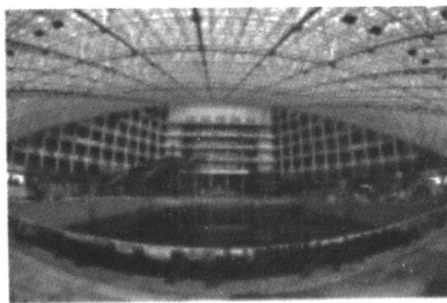


图 0-4 哈尔滨梦幻乐园网架屋盖



图 0-5 天津电视塔

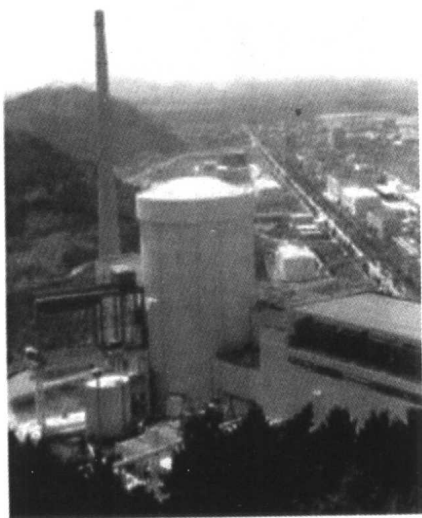


图 0-6 秦山核电站安全壳

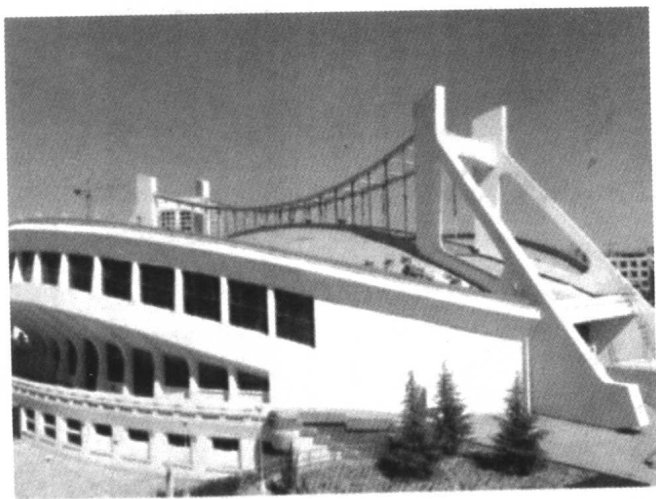


图 0-7 北京朝阳门体育馆

确定计算简图的原则是：

(1) 尽可能符合实际——计算简图应尽可能反映实际结构的受力、变形等特性。

(2) 尽可能简单——忽略次要因素,尽量使分析过程简单。

结构的计算简图可从体系、构件、构件间的联结(结点)、支座以及荷载等方面进行简化。

理论力学中已经引入了支座和结点的计算简图,现归纳、补充如下:

支座是将结构和基础联系起来的装置。其作用是将结构固定在基础上,并将结构上的荷载传递到基础和地基。支座对结构的约束力称为**支座反力**(reactions at support),支座反力总是沿着它所限制的位移方向。

本书中所用的支座计算简图及相应的支座反力如图 0-8 所示,有以下几种形式:

(1) **固定铰支座**: 限制各方向位移,但不限制转动。其反力可用沿坐标的分量表示,如图 0-8(a)所示。

(2) **可动铰支座**: 限制某些方向位移,但不限制转动。其反力沿所限制的位移方向,如图 0-8(b)所示。

(3) **固定端(固定支座)**: 限制全部位移(移动和转动),其反力用沿坐标的分量和力偶来表示,如图 0-8(c)所示。

(4) **定向支座**: 限制某些方向的位移和转动,而允许某一方向产生位移,其反力除所限制位移方向力外,还有支座反力偶,如图 0-8(d)所示。在结构分析中,由于利用对称性往往出现这种支座。

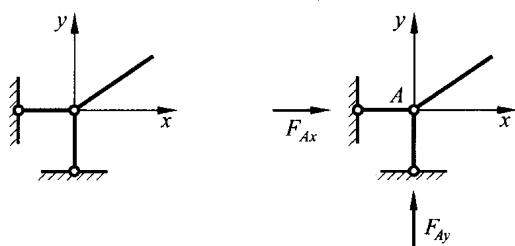
对于由杆件所组成的系统(杆系结构),杆件简化为其截面形心轴线。杆件(轴线)的交汇点称为**结点**(joint 或 node)。由于连接情况不同,结点可分为铰结点、刚结点和组合结点,其简图如图 0-9 所示。

(1) **铰结点** 各杆件在此点互不分离,但可以相对转动,因此相互间作用为力,如图 0-9(a)所示。

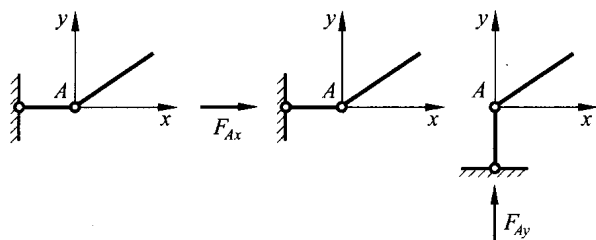
(2) **刚结点** 各杆件在此点既不能相对移动,也不能相对转动(保持夹角不变),因此相互间作用除力以外还有力偶,如图 0-9(b)所示。

(3) **组合结点** 各杆件在此点不能相对移动,部分杆件间还不能相对转动;也即部分杆件之间属铰结点,另一部分杆件之间属刚结点,如图 0-9(c)所示。

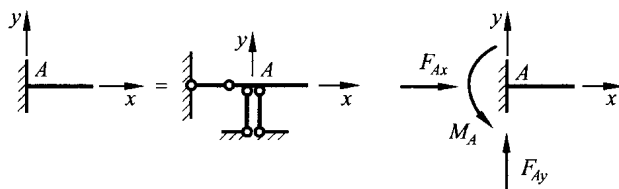
关于各类结构的计算简图,将在后面有关章节中讨论。



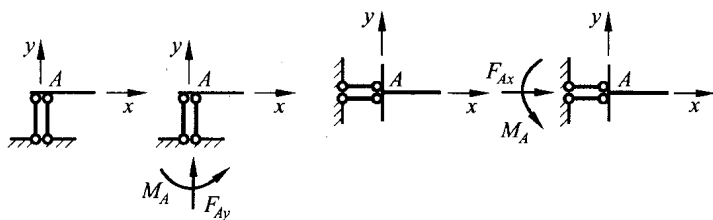
(a) 平面固定铰支座及反力



(b) 可动铰支座及反力

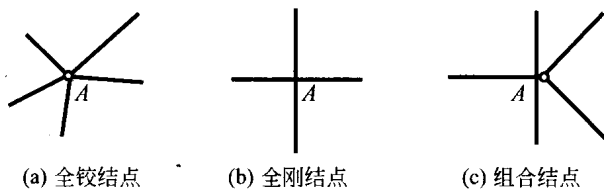


(c) 平面固定端支座及反力



(d) 定向支座及反力

图 0-8 支座计算简图、所约束的位移和反力



(a) 全铰结点

(b) 全刚结点

(c) 组合结点

图 0-9 全铰、全刚和组合结点计算简图

0.3 学习建议

初学结构力学一般都会感觉结构力学一听就懂,一做题却又不知所措,因此认为结构力学是三门力学中最难学的一门课程。

产生这样感觉的原因可能有如下几方面:

(1) 实际上理论力学和材料力学已经为结构力学几乎提供了全部的基本原理和方法,因此一听感觉这都是熟悉的,当然就好懂。但是,结构力学中各章的联系特别紧密,如果有一章达不到熟练掌握的程度,势必导致后面章节的学习困难。特别是第2章静定结构受力分析,它实际只用到平衡条件(列平衡方程)、截面法和平衡微分关系等,这些都是理论力学和材料力学应该掌握的知识,好像没有什么新知识。可是如果浅尝辄止,达不到熟练掌握的程度,第3章静定结构位移计算的学习就将产生困难,从而恶性循环,也就越学越难了。

(2) 和其他课程一样,结构力学必须做一定量的习题,通过做习题体会和加深理解所学原理、方法。由于结构力学一题可有多种解法,灵活程度较大,不同的解法工作量相差可能很大,这需要经过边练习边总结去积累经验,不做一定的练习和总结是达不到深刻理解和掌握的。可初学者往往由于种种原因,忽略了练习,或只是盲目做题、对答案,不思索、不总结,结果自然达不到熟练和灵活自如。长此以往,理当越学越难。

(3) 如果理论力学和材料力学的基础不是很好,加上学完后又有遗忘,开始学结构力学又不及及时弥补和在第二章加把劲做到熟练掌握,实际不是结构力学难,是因基础不牢固而误认为结构力学最难学。

综上所述,本套教材除这本主教材外,还出版有学生学习用书—《结构力学学习指导》,为不同接受能力的读者准备了“思考题参考答案”、“附加例题”、“练习和测试系统”等辅助材料,以供读者结合自身情况选学。建议:

(1) 在自行思考的基础上,参看思考题答案以加深对基本概念的理解和拓宽思路。

(2) 根据自己的情况,多看一些例子,从中总结解题经验。

(3) 自行做一定量的练习,而且边做边总结经验。

(4) 每学完一章,用练习和测试系统做一些练习,进一步积累经验,测试当前自己的掌握程度,及时消除“隐患”。

只要按上述建议付出了努力,不管基础如何,同学们会觉得结构力学实际是三门力学课程中最好学的,而且还能弥补基础之不足的课程。