



中国石油大学(北京)
现代远程教育系列教材

结构力学

Structural Mechanics

刘福江 编著



中国石油大学出版社
CHINA UNIVERSITY OF PETROLEUM PRESS

Structural Mechanics

结构力学

刘福江 主编

图书在版编目(CIP)数据

结构力学/刘福江主编. —东营:中国石油大学出版社, 2014. 12

ISBN 978-7-5636-4585-5

I. ①结… II. ①刘… III. ①结构力学 IV.
①O342

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2014)第 312371 号

书 名: 结构力学

作 者: 刘福江

责任编辑: 曹秀丽(电话 0532—86981532)

封面设计: 青岛友一广告传媒有限公司

出 版 者: 中国石油大学出版社(山东 东营 邮编 257061)

网 址: <http://www.uppbook.com.cn>

电子信箱: shiyoujiaoyu@126.com

印 刷 者: 沂南县汶凤印刷有限公司

发 行 者: 中国石油大学出版社(电话 0532—86981532, 86983437)

开 本: 180 mm×235 mm 印张: 12.5 字数: 252 千字

版 次: 2014 年 12 月第 1 版第 1 次印刷

定 价: 25.00 元

中国石油大学(北京)现代远程教育系列教材

编审委员会

主 任：张云祥

委 员：谢咏才 张自强 杨淑亚

刘 涛 杨 磊 秦 瑾

夏金玉 刘万忠 李 锋

出版说明

当代,以国际互联网普及应用为标志的信息化浪潮席卷全球,技术革命正越来越深刻地改变着人类的生产、生活和思维方式。尤其从20世纪下半叶起,以多媒体、计算机和互联网为主要标志的电子信息通讯技术引发了一场教育和学习方式的深刻变革。

现代远程教育就是利用计算机、计算机网络和多媒体等现代信息技术传授和学习知识的一种全新教育模式。自1999年始,我国现代远程高等教育遵循以成人从业人员为主要教育对象,以应用型、复合型人才为主要培养目标,在促进教育信息化、大众化,以及构建终身教育体系等方面积累了丰富的经验,取得了可喜的成效。目前,现代远程高等教育已经成为我国高等教育体系的重要组成部分,成为非传统高等教育的主力 and 骨干。在这种全新的教育教学模式下,教师通过以网络为主的沟通途径(渠道)实施导学、助学、促学和评价,而学生通过线上、线下的自主学习和协作学习,不断提高自身的知识和能力水平。

为使现代远程教育更好地适应成人学习的特点和需求,中国石油大学(北京)远程教育学院组织出版了这套《中国石油大学(北京)现代远程教育系列教材》。这些纸质教材既是网络课程的一个重要组成部分,与网络课程相辅相成,又可作为成人学习的主要读物独立使用。

这套教材的主编,多是本学科领域的学术带头人和教学名师,且具有丰富的远程教育经验。在编写过程中,编者力求做到知识结构严谨、层次清晰、重点突出、难点分散、文字通俗、分量适中,以体现教材的指导和辅导作用,引导学生在学的过程中做到学、思、习、行统一,充分发挥教材的置疑、解惑和

激励功能。在大家的共同努力下,这套系列教材较好地体现了我们的初衷:一是教育理念的先进性,遵循现代教育理念,使其符合学习规律和教改精神,体现以人为本、以学为本;二是内容的先进性,体现在科学性与教学性结合,理论与实践性结合,前沿性与实用性结合,创新性与继承性结合;三是形式的先进性,体现在版式和结构的设计新颖、活泼。

我们期待着本丛书能够得到同行专家及使用者的批评和帮助。

编审委员会

2009年5月

Preface 前言

结构力学是一门古老的学科,又是一门迅速发展的学科。一方面,新型工程材料和工程结构的大量出现给结构力学提供了新的研究内容并提出了新的要求,计算机技术的发展为结构力学提供了有力的计算工具。另一方面,结构力学对数学及其他学科的发展也起到了推动作用。

结构力学是固体力学的一个分支,是研究工程结构受力和传力的规律,以及如何进行结构优化的学科。结构力学研究的内容有结构的组成规则,结构在各种效应(外力、温度变化、施工误差及支座变形等)作用下的响应,内力(轴力、剪力、弯矩、扭矩)的计算,位移(线位移、角位移)的计算,以及结构在动力荷载作用下的动力响应(自振周期、振型)的计算等。

结构力学是土木工程专业的一门专业(技术)基础课。一方面,它以高等数学、理论力学、材料力学等课程为基础;另一方面,它又是钢结构、钢筋混凝土结构、土力学、地基基础、结构抗震等专业课的基础。该课程在基础课与专业课之间起着承上启下的作用,是土木工程专业的重要主干课程之一。

本书内容主要包括绪论,平面体系的几何构造分析,静定梁、静定刚架和静定桁架,结构位移计算,超静定结构力法,位移法,力矩分配法等。全部内容共分为七章,每章包括预期目标、知识结构框图、学习提示、问题导引、基本内容、要点回顾、探索与实践及其参考答案等。远程教育学院的学生可以根据需要完成全部或者部分习题。

本书不强调公式推导,而强调解题训练,以期培养学生的以下能力:分析能力——对常用的杆件结构具有选择计算简图的初步能力,并能根据具体问题选择恰当的计算方法;计算能力——具有对各种静定、超静定结构进行计算的能力;判断能力——具有对计算结果进行校核、对内力分布的合理性作出定性判断的能力;自学能力——具有自学和独立获取结构力学及相关课程知识的能力。

本书以方便教师教学和学生自学为原则,在选择和编写教材内容时,力求取材适当,叙述透彻,脉络清晰,符合认识规律,书中既有为 student 打好基础而精选的内容,又反映了本学科的新发展。

本书是为远程教育的学生编写的,可适用于土木工程专业岩土工程、结构工程、路桥、水利等各类专门化方向的本科生,也可供参加成人教育考试、高等教育自学考试的学生、全日制本科生和研究生以及有关工程技术人员参考。

由于编者水平有限,书中可能存在疏漏和不妥之处,恳请广大读者批评指正。

编 者

2014 年 8 月

第1章 绪 论	1
1.1 结构力学的定义	2
1.2 结构的计算简图	4
1.3 结构的分类	8
1.4 荷载的分类	10
第2章 结构几何构造分析	12
2.1 概 述	12
2.2 几何构造分析中的几个概念	13
2.3 几何不变体系的基本组成规律	17
2.4 平面杆件体系的计算自由度	19
2.5 几何组成分析举例	22
第3章 静定结构受力分析	28
3.1 梁的内力计算	29
3.2 静定多跨梁	33
3.3 静定的平面刚架	36
3.4 静定平面桁架	41
3.5 三铰拱	51
3.6 总 结	56
第4章 结构位移计算	71
4.1 应用虚力原理求刚体体系的位移	72
4.2 结构位移计算的一般公式	75
4.3 荷载作用下的位移计算	80
4.4 荷载作用下的位移计算举例	82
4.5 图乘法	84

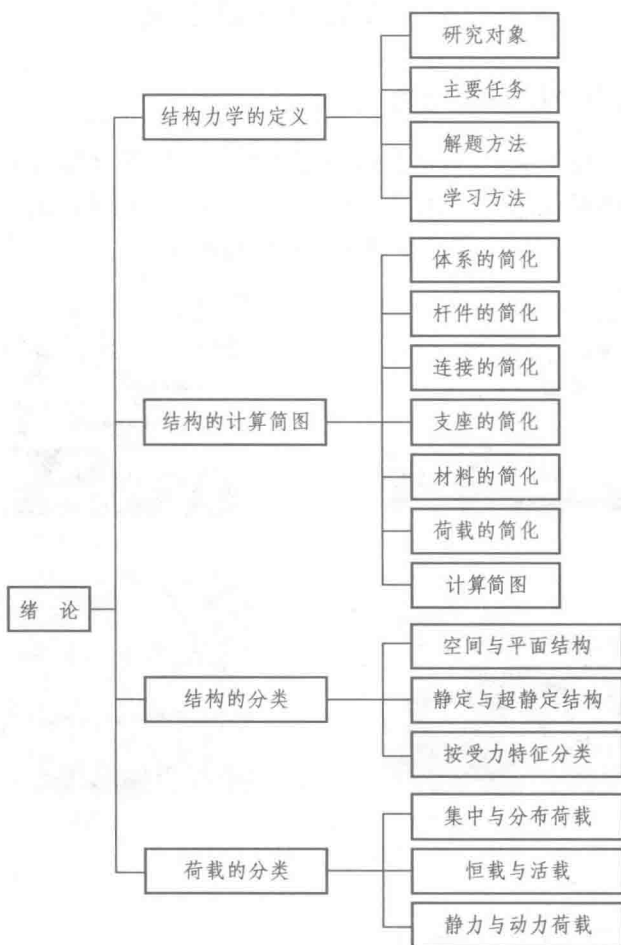
4.6 温度作用时的位移计算	89
第5章 力法	101
5.1 超静定结构的组成和超静定次数	102
5.2 力法的基本概念	103
5.3 超静定刚架	108
5.4 超静定桁架和组合结构	110
5.5 对称结构的计算	112
5.6 两铰拱	117
5.7 支座移动和温度改变时的计算	120
第6章 位移法	134
6.1 位移法的基本概念	135
6.2 等截面杆件的刚度方程	137
6.3 无侧移刚架的计算	142
6.4 有侧移刚架的计算	146
6.5 位移法的基本体系	152
6.6 对称结构的计算	156
第7章 力矩分配法	170
7.1 力矩分配法中的基本概念	171
7.2 多结点的力矩分配	175
7.3 对称结构的计算	178
7.4 无剪力分配法	179
参考文献	190

第1章 绪 论

【预期目标】

了解结构力学研究对象、基本任务和解题方法,能够对实际结构进行简化,能分清地基与结构相连接的各种支座和对应的反力,能够对结构进行分类,搞清楚梁、拱、刚架、桁架、组合结构、悬索结构各自内力的特点。

【知识结构框图】



【学习提示】

本章主要介绍结构力学的基本概念,在以后学习中将反复遇到,必须熟练牢记,为以后章节的学习奠定基础。

【问题导引】

1. 结构力学的研究对象是什么?
2. 结构力学的解题方法有哪些?
3. 杆件间连接如何简化?
4. 结构与基础的连接部分简化为支座,支座主要有哪些?其反力特点是什么?
5. 按照受力特征分类,杆件结构通常可分为梁、拱、刚架、桁架、组合结构、悬索结构,其各自内力的特点是什么?

1.1 结构力学的定义

1.1.1 结构力学的研究对象

建筑物和工程设施中承受、传递荷载而起骨架作用的部分称为工程结构,简称为结构。房屋中的梁柱体系,水工建筑物中的闸门和水坝,公路和铁路上的桥梁和隧洞等,都是工程结构的典型例子,图 1-1 是 4 个典型工程结构示例。



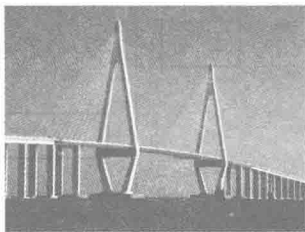
(a) 东方明珠电视塔



(b) 钻井平台



(c) 鸟巢



(d) 跨海大桥

图 1-1 典型工程结构示例

1.1.2 结构力学的主要任务

结构力学是固体力学的一个分支,是研究工程结构受力和传力的规律,以及如何进

行结构优化的学科。结构力学以结构为研究对象,其基本任务是研究结构的组成规律及合理形式,即杆件如何拼装成为结构,如何拼装才能成为好的结构;研究结构在荷载、温度变化、支座移动等外部因素作用下的内力、变形和稳定性问题的计算原理和方法。具体说来,结构力学的任务包括以下几个方面。

(1) 研究结构的组成规律,以保证结构能够承受荷载而不致发生相对运动;探讨结构的合理形式,以便有效地利用材料并充分发挥其性能。

(2) 计算结构在荷载、温度变化、支座移动等外部因素作用下的内力,为结构的强度计算提供依据,以保证结构满足安全性和经济性的要求。

(3) 计算结构在荷载、温度变化、支座移动等外部因素作用下的变形和位移,为结构的刚度计算提供依据,以保证结构不发生超过规范限定的变形而影响正常使用。

(4) 研究结构的稳定计算,确定结构丧失稳定性的最小临界荷载,以保证结构处于稳定的平衡状态而正常工作。

(5) 研究结构在动力荷载作用下的动力特性。

本书的内容重点为前三个方面。

1.1.3 结构力学的解题方法

结构力学问题的研究方法包含理论分析、实验研究和数值计算三个方面。实验研究方面的内容在实验力学和结构检验课程中讨论,理论分析和数值计算方面的内容在结构力学课程中讨论。

在结构分析中,首先把实际结构简化成计算模型(称为结构计算简图),然后再对计算简图进行计算。结构力学中介绍的解题方法是多种多样的,但所有各种方法都要考虑下列三个方面的条件:

(1) 力系的平衡条件或运动条件。

(2) 变形的几何连续条件。

(3) 应力与变形间的物理条件(或称为本构方程)。

结构力学的基本解法是直接运用上述三个方面条件进行解算的,可称为“平衡-几何”解法。这些解法如果采用虚功和能量形式来表述,则称为“虚功-能量”解法。

1.1.4 结构力学的学习方法

结构力学是一门专业基础课。该课程的基础是高等数学、理论力学和材料力学,本课程的学习又为钢筋混凝土结构、钢结构、砌体结构、桥梁、隧道等专业课程提供必要的基本理论和计算方法。因此,结构力学是一门承上启下的课程,它在结构、水利、道路、桥梁及地下工程等各专业的学习中占有重要的地位。

学习本课程时应特别注重分析能力、计算能力、自学能力和表达能力的培养。

分析能力:选择结构计算简图的初步能力、对结构的受力状态进行平衡分析的能力、

对结构的变形和位移进行几何分析的能力、根据具体问题选择恰当计算方法的能力。

计算能力:对各种结构进行计算的能力、对计算结果进行校核的能力、使用结构计算程序的能力。

自学能力:吸收、消化、运用并拓展已学知识的能力,通过有选择地阅读参考书籍、资料、网上检索等手段摄取新知识的能力。

表达能力:表述问题应做到语言精练、文字流畅,作业、计算书要整洁、清晰、严谨,应做到步骤分明、思路清楚、图形简洁、数字准确。

学习结构力学课程必须贯彻理论与实践相结合的原则。在参观、实习及日常生活中,要留心观察实际结构的构造情况,分析结构的受力特点,将结构力学的理论应用于实际工程,利用所学习的理论、方法解决实际结构的力学分析问题。只有联系实际学习理论,才能深刻地理解、掌握书本知识,为将来解决实际工程问题做好铺垫。

做题练习、进行自我测试是学好结构力学课程的重要环节之一。不做一定数量的习题,就很难对基本概念和方法有深入的理解,很难培养较好的计算能力,只有高质量地完成足够数量的习题,才能掌握相关的概念、原理和方法。

1.2 结构的计算简图

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,在对实际结构进行力学计算以前,必须对其加以简化,略去不重要的细节,显示其基本特点,用计算简图来代替实际结构。选择计算简图的原则是:

- (1) 从实际出发——计算简图要反映实际结构的主要性能。
- (2) 分清主次,略去细节——计算简图要便于计算。

1.2.1 结构体系的简化

一般结构实际上都是空间结构,各部分相互连接成为一个空间整体,以承受各个方向可能出现的荷载。但在多数情况下,常可以忽略一些次要的空间约束而将实际结构分解为平面结构,使计算得以简化。本书主要讨论平面结构的计算问题。

1.2.2 杆件的简化

杆件的截面尺寸(宽度、厚度)通常比杆件长度小得多,截面上的应力可根据截面的内力(弯矩、轴力、剪力)来确定。因此,在计算简图中,杆件用其轴线表示,杆件之间的连接区用结点表示,杆长用结点间的距离表示,而荷载的作用点也转移到轴线上。但当截面尺寸增大时(例如超过长度的 $1/4$),杆件还用其轴线表示简化将引起较大的误差。

1.2.3 杆件间连接的简化

杆件间的连接部分简化为结点。结点通常简化为以下两种理想情形。

(1) 铰结点:被连接的杆件在连接处不能相对移动,但可相对转动。所以铰结点可以传递力,但不能传递力矩。这种理想情况,实际上很难遇到。木屋架的结点比较接近于铰结点。见图 1-2 和图 1-3。

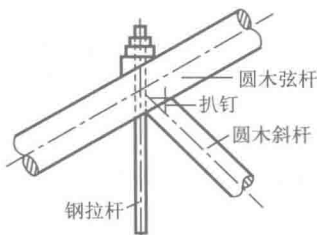


图 1-2



图 1-3

(2) 刚结点:被连接的杆件在连接处既不能相对移动,又不能相对转动。所以刚结点既可以传递力,也可以传递力矩。现浇钢筋混凝土结点通常属于这类情形。见图 1-4 和图 1-5。

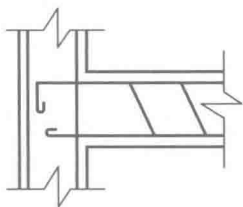


图 1-4



图 1-5

1.2.4 支座的简化

结构与基础的连接部分简化为支座,按其受力特征一般简化为以下四种情形。

1) 滚轴支座

被支承的部分可以转动和水平移动,不能竖向移动,所提供的反力只有竖向反力,见图 1-6。滚轴支座是可动铰支座,在计算简图中用一根支杆表示,见图 1-7。

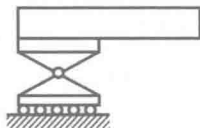


图 1-6



图 1-7

2) 铰支座

被支承的部分可以转动,不能移动,能提供两个反力 F_x 、 F_y ,在计算简图中用两根相交的支杆表示,见图 1-8 和图 1-9。

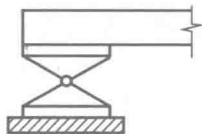


图 1-8

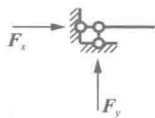


图 1-9

3) 定向支座

被支承的部分不能转动,但可沿一个方向平行滑动,能提供反力矩 M 和一个反力 F_y 在计算简图中用两根平行支杆表示,见图 1-10 和图 1-11。

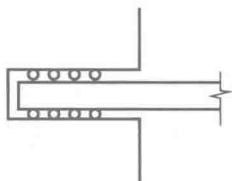


图 1-10

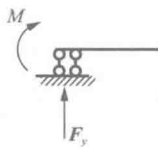


图 1-11

4) 固定支座

被支承的部分完全被固定,能提供两个反力 F_x 、 F_y 和一个反力矩 M ,见图 1-12 和图 1-13。

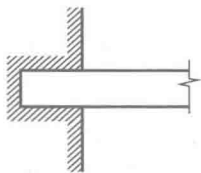


图 1-12

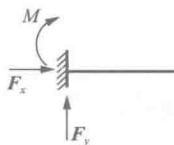


图 1-13

1.2.5 材料的简化

在土木、水利工程中结构所用的建筑材料通常为钢、混凝土、砖、石及木料等。在结构计算中,为了简化,对组成各构件的材料一般都假设为连续的、均匀的、各向同性的、完全弹性或弹塑性的。上述假设对于金属材料在一定受力范围内是符合实际情况的;对于混凝土、钢筋混凝土、砖、石等材料则带有一定程度的近似性。至于木材,因其顺纹与横纹方向的物理性质不同,故应用这些假设时须予以注意。

1.2.6 荷载的简化

结构承受的荷载可分为体积力和表面力两大类。体积力是指结构的自重或惯性力等；表面力则是由其他物体通过接触面而传给结构的作用力，如土压力、车辆的轮压力等。在杆件结构中把杆件简化为轴线，因此不管是体积力还是表面力都可以简化为作用在杆件轴线上的力。荷载按其分布情况可简化为集中荷载和分布荷载。

1.2.7 计算简图

图 1-14 所示为钢筋混凝土厂房结构，其中梁和柱都是预制的。柱子下端插入基础的杯口内，然后用细石混凝土填实。梁与柱的连接是通过将梁端和柱顶的预埋钢板进行焊接而实现的。在横向平面内柱与梁组成排架（见图 1-15），各个排架之间，在梁上有屋面板连接，在柱的牛腿上有吊车梁连接。计算上述的厂房结构时，可采用图 1-16 所示的计算简图。

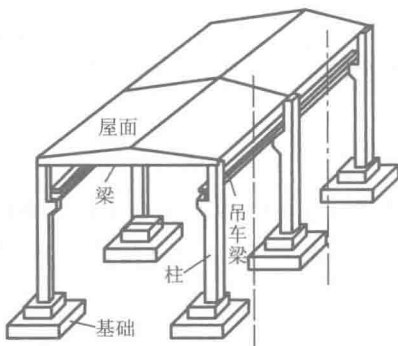


图 1-14

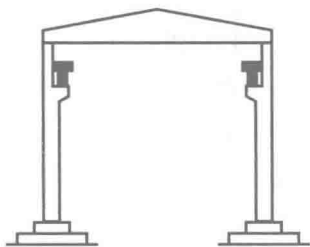


图 1-15

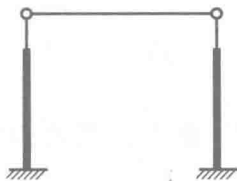


图 1-16

首先，厂房结构虽然是由许多排架用屋面板和吊车梁连接起来的空间结构，但各排架在纵向上以一定的间距有规律地排列着。作用于厂房上的荷载，如恒载、雪载和风载等一般是沿纵向均匀分布的，通常可把这些荷载分配给每个排架，而将每一排架看作一个独立的体系，于是实际的空间结构便简化成平面结构（见图 1-15）。