

JIEGOU LIXUE

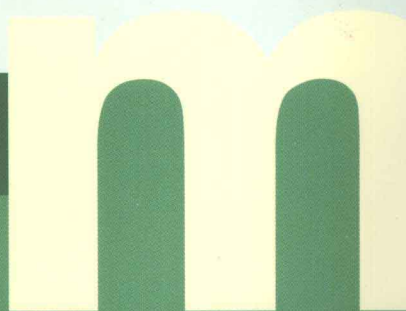
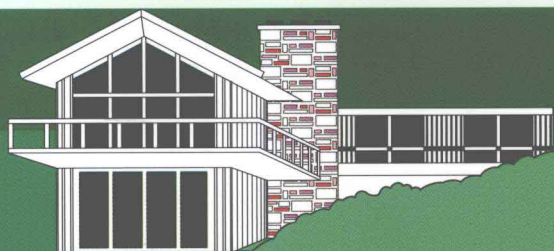


普通高等教育土木类专业“十二五”规划教材



结 构 力 学 (上册)

●主 编 樊友景 高洪波



郑州大学出版社

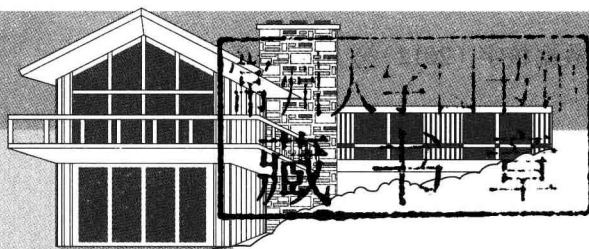
JIEGOU LIXUE

普通高等教育土木类专业“十二五”规划教材



结 构 力 学 (上册)

●主 编 樊友景 高洪波



郑州大学出版社

郑 州

内 容 简 介

本书是普通高等教育土木类专业“十二五”规划教材之一,内容精选,文字简练,叙述深入浅出,通俗易懂,图文配合紧密,并研制了相应的教学课件,与纸质教材配套使用,方便了教与学。

本书可作为高等院校土木类专业教学用书,也可供相关专业的科技人员、工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

结构力学.上册/樊友景,高洪波主编.—郑州:郑州大学出版社,2012.12

ISBN 978-7-5645-1012-1

I. ①结… II. ①樊… ②高… III. ①结构力学—高等学校—教材 IV. ①0342

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2012) 第 169502 号

郑州大学出版社出版发行

郑州市大学路 40 号

出版人:王 锋

全国新华书店经销

河南写意印刷包装有限公司印制

开本:787 mm×1 092 mm 1/16

印张:18.75

字数:447 千字

版次:2012 年 12 月第 1 版

邮政编码:450052

发行电话:0371-66966070

印次:2012 年 12 月第 1 次印刷

书号:ISBN 978-7-5645-1012-1

定价:32.00 元

本书如有印装质量问题,请向本社调换

编写指导委员会

The compilation directive committee

.....

名誉主任 王光远

主 任 高丹盈

委 员 (以姓氏笔画为序)

王 锋 王新武 司马玉州 刘立新

刘希亮 关 罡 李广慧 李纪周

李晓峰 张 伟 张 玲 张国强

陈 淮 赵顺波 姚庆钊 祝彦知

夏锦红 原 方 钱文军 陶炳海

鲍 鹏

秘 书 崔青峰 刘 开

本书作者

Authors

主 编 樊友景 高洪波
副 主 编 曾宪桃 徐红玉 宁永胜
编 委 (以姓氏笔画为序)
 宁永胜 任振华 李 珂
 孟海平 徐红玉 高洪波
 曾宪桃 蔺新艳 樊友景

再版说明

.....

2006年以来,国家实施了“高等学校本科教学质量与教学改革工程”,进一步明确提出:提高质量是高等教育发展的核心任务;提高质量的核心是大力提升人才培养水平;提高质量的关键是明确人才培养目标,加快专业改革与建设步伐,加大课程改革与建设的力度。几年来,各院校在专业建设、课程建设方面取得了丰硕的成果,而教材既是教育教学成果的直接体现,也是深化教学内容和改革教学方法的重要推动力。为此,教育部要求加强新教材和立体化教材建设,提倡和鼓励根据教学需要编写适应不同层次、不同类型院校,具有不同风格和特点的高质量教材。

为更好地贯彻落实《国家中长期教育改革和规划纲要(2010—2020年)》和推进高等教育改革与发展,服务高等教育事业,在前版的基础上,我们总结了各校教育教学改革成果,分专业多次召开了教育教学研讨和教材编写会议,组织学术水平高、教学经验丰富的一线教师,使用最新的规范标准编写了本版教材。

希望本版教材的出版对高等教育土木类专业教育教学改革和教学质量提高起到更大的推动作用,也希望使用本版教材的师生多提意见和建议,以便修订完善。

编写指导委员会

2011年8月

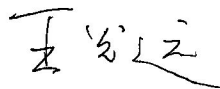
序

Preface

近年来,我国高等教育事业快速发展,取得了举世瞩目的成就。随着高等教育改革的不断深入,高等教育工作重心正在由规模发展向提高质量转移,教育部实施了高等学校教学质量与教学改革工程,进一步确立了人才培养是高等学校的根本任务,质量是高等学校的生命线,教学工作是高等学校各项工作的中心的指导思想,把深化教育教学改革,全面提高高等教育教学质量放在了更加突出的位置。

教材是体现教学内容和教学要求的知识载体,是进行教学的基本工具,是提高教学质量的重要保证。教材建设是教学质量与教学改革工程的重要组成部分。为加强教材建设,教育部提倡和鼓励学术水平高、教学经验丰富的教师,根据教学需要编写适应不同层次、不同类型院校,具有不同风格和特点的高质量教材。郑州大学出版社按照这样的要求和精神,组织土建学科专家,在全国范围内,对土木工程、建筑工程技术等专业的培养目标、规格标准、培养模式、课程体系、教学内容、教学大纲等,进行了广泛而深入的调研,在此基础上,分专业召开了教育教学研讨会、教材编写论证会、教学大纲审定会和主编人会议,确定了教材编写的指导思想、原则和要求。按照以培养目标和就业为导向,以素质教育和能力培养为根本的编写指导思想,科学性、先进性、系统性和适用性的编写原则,组织包括郑州大学在内的五十余所学校的学术水平高、教学经验丰富的一线教师,吸收了近年来土建教育教学经验和成果,编写了本、专科系列教材。

教育教学改革是一个不断深化的过程,教材建设是一个不断推陈出新、反复锤炼的过程,希望这些教材的出版对土建教育教学改革和提高教育教学质量起到积极的推动作用,也希望使用教材的师生多提意见和建议,以便及时修订、不断完善。



2006年7月

前言 (第二版)

Preface

.....

本书作为普通高等教育土木类专业“十二五”规划教材之一,根据教育部结构力学教学指导委员会 2004 年通过的土木工程专业结构力学教学基本要求和结构力学在土木工程专业中的地位,由郑州大学、河南科技大学、河南理工大学、信阳师范学院、安阳工学院、湖北工程学院联合编写完成。参编教师均长期工作在教学、科研第一线,具有坚实的理论基础、丰富的教学经验和工程实践。

本书将“创新实用”作为教材编写的基本原则,既吸取了以往教材的长处,又反映了作者长期积累的教学经验;教材既注重结构力学内容的系统性和完整性,满足土木工程专业各方向的教学要求,又注重其实用性,尽量与相关课程和工程实际相联系。编写时精选内容,理论联系实际,注意文字简练,叙述深入浅出,通俗易懂,图文配合紧密。

参加本书编写工作的有湖北工程学院曾宪桃(第 1 章),河南理工大学孟海平(第 2 章),安阳工学院李珂(第 3 章 3.4~3.7、第 7 章),郑州大学宁永胜(第 4 章),河南科技大学徐红玉(第 5 章),湖北工程学院任振华(第 6 章),河南理工大学蔺新艳(第 8 章),信阳师范学院高洪波(第 9 章、第 10 章),郑州大学樊友景(第 3 章 3.1~3.3、第 11 章、第 12 章)。全书由樊友景、高洪波通稿,其中,高洪波负责第 7 章、第 8 章、第 9 章、第 10 章,其余均由樊友景负责。

限于编者水平,书中难免存在不妥之处,敬请读者批评指正。

编者

2012 年 5 月

前言 (第一版)

Preface

.....

本书作为普通高等教育土木工程专业“十一五”规划教材之一,内容紧扣“高等学校土木工程专业本科教育培养目标和培养方案及课程教学大纲”,严格按照教育部结构力学教学指导委员会 2004 年年会通过的土木工程专业结构力学教学基本要求,本着实用创新、面向对象的原则,由学术水平高、教学经验丰富的一线教师编写。

本书具有以下特点:一、注重实用创新的基本原则,吸取了以往的教学经验及有关教材的长处,既保持结构力学基本理论的系统性,又在内容上满足土木工程专业中各个专业方向的教学要求,便于学生自学,深入浅出,反映作者在工程结构分析中的新成果;二、注重对学生知识转化为能力的培养,理论联系实际,教材内容方便课堂教学精讲精练,课后作业按难易程度逐步展开,循序渐进;三、关注现代结构和结构设计技术的发展,教材内容与相关课程和工程实际密切相联。

本书由曾宪桃、樊友景任主编,参加本书编写的有:河南理工大学曾宪桃(第 1 章),平顶山工学院杜留记(第 2 章),黄淮学院李纪周(第 3 章),河南工业大学陈丽(第 4 章、第 8 章部分内容),郑州大学宁永胜(第 5 章),河南科技大学徐红玉(第 6 章),华北水利水电学院唐克东(第 7 章、第 8 章部分内容),河南理工大学王有凯(第 9 章),信阳师范学院高洪波(第 10 章),郑州大学樊友景(第 11、12 章)。

本教材在编写出版过程中得到了兄弟院系领导、专家和郑州大学出版社的大力支持,在此深表谢意。另外,在编写过程中,还学习、参阅、引用了许多优秀的文献资料,在此,对相关文献资料的作者也一并表示由衷的感谢。

限于编者水平,书中难免有疏漏和不足之处,敬请专家、读者指正,提出建议,以便作进一步修订完善。

编者

2007 年 5 月

目录

CONTENTS



1

第1章 绪论	1
1.1 结构力学的研究对象及研究内容	1
1.2 结构的计算简图	3
1.3 杆件结构的分类	10
1.4 荷载的分类	12
第2章 平面体系的几何构造分析	14
2.1 几何构造分析的几个概念	14
2.2 平面杆件体系的计算自由度	19
2.3 平面几何不变体系的组成规则	22
2.4 几何构造分析方法和举例	24
第3章 静定结构受力分析	34
3.1 截面内力计算及内力图特征	34
3.2 静定多跨梁	40
3.3 静定平面刚架	43
3.4 静定平面桁架	57
3.5 组合结构	64
3.6 三铰拱	66
3.7 静定结构的特性	74
第4章 虚功原理和静定结构位移计算	85
4.1 结构位移计算概述	85
4.2 实功与虚功 广义力与广义位移	87
4.3 刚体体系虚功原理及其应用	90
4.4 变形体的虚功原理及结构位移计算的一般公式	94
4.5 荷载作用下的位移计算	99
4.6 图乘法及其应用举例	104
4.7 静定结构由于支座移动所引起的位移计算	114
4.8 静定结构由于温度改变所引起的位移计算	115
4.9 线性变形体系的互等定理	117
第5章 力法	129
5.1 超静定结构的组成和超静定次数的确定	129
5.2 力法的基本概念	133
5.3 超静定梁、刚架和排架	139

5.4	超静定桁架和组合结构	149
5.5	对称性的利用	152
5.6	超静定拱计算	161
5.7	温度改变和支座移动时超静定结构的计算	165
5.8	超静定结构位移的计算	170
5.9	超静定结构计算的校核	173
5.10	超静定结构的特性	177
第6章	位移法	190
6.1	单跨超静定梁的杆端力	190
6.2	位移法的基本概念	195
6.3	位移法基本未知量及基本体系	197
6.4	无侧移刚架的计算	202
6.5	有侧移刚架的计算	206
6.6	直接由平衡条件建立位移法基本方程	212
6.7	对称结构的计算	215
6.8	支座位移和温度改变时的计算	217
第7章	渐近法	225
7.1	力矩分配法的基本概念	225
7.2	多结点的力矩分配	231
7.3	对称结构的计算	238
7.4	无剪力分配法	241
第8章	影响线及其应用	251
8.1	移动荷载和影响线的概念	251
8.2	静力法作简支梁影响线	253
8.3	结点荷载作用下简支梁的影响线	258
8.4	静力法作静定桁架的影响线	260
8.5	机动法作影响线	263
8.6	影响线的应用	269
8.7	简支梁的包络图和绝对最大弯矩	276
8.8	用机动法作连续梁的影响线	281
8.9	连续梁的内力包络图	282

第1章 绪论

要点提示

本章主要介绍结构力学的研究对象和研究内容、计算简图、结构和杆件结构的分类以及荷载分类等问题。其中,结构计算简图是重点,是后续章节学习的基础。

1.1 结构力学的研究对象及研究内容

1.1.1 结构

广义的结构(structure)指物质“各组成部分的搭配和排列”。工程结构(engineering structure)是指建筑物或工程设施中承受、传递荷载(作用)而起骨架作用的部分,通常简称结构。房屋建筑中的梁柱体系(图 1.1),水工结构物中的闸门和大坝(图 1.2),道路工程中的桥梁(图 1.3)和隧道(图 1.4)等,都是工程结构的典型例子。



图 1.1

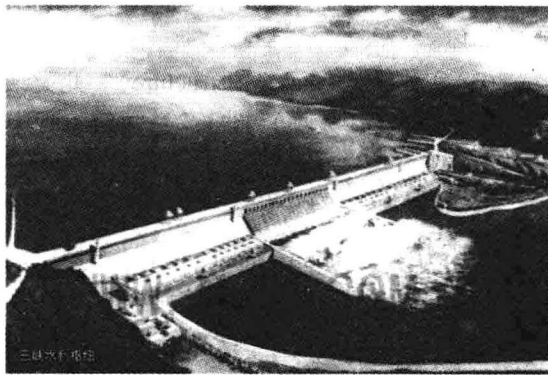


图 1.2



图 1.3



图 1.4

由于“结构各组成部分的搭配和排列”的情况不同,按构件的几何性质又可将结构分为三大类:

(1) 杆件结构(structure of bar system)。由杆件通过不同的联结和搭配组成的结构(图 1.1)。杆件的几何特征是其横截面尺寸要比长度小得多。梁、拱、桁架、刚架均可视为杆件结构。

(2) 板壳结构(plate and shell structure)。也称薄壁结构。它们的厚度比长度和宽度小得多。房屋建筑中的楼板和壳体屋盖、水利工程中的弧形拱坝均为板壳结构。图 1.5 所示为壳体屋盖。

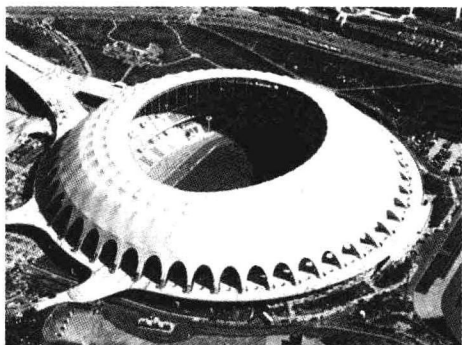


图 1.5

(3) 实体结构(massive structure)。此类结构在长、宽、高三维尺度上大小相当。水利工程中的重力坝(大坝)(图 1.2)、建筑工程中的块体基础以及挡土墙等均属实体结构。

1.1.2 结构力学的研究对象

结构力学(structure mechanics)作为力学学科的一个分支,其研究对象涉及较广。根据所涉及的研究范围不同,可将结构力学分为“狭义结构力学”、“广义结构力学”和“现代结构力学”。

狭义(special)结构力学。其研究对象为由杆件所组成的体系,即杆件结构,通常所说的结构力学就是指杆件结构力学,又称为经典结构力学。

广义(general)结构力学。其研究对象为可变形的结构,除可变形杆件组成的体系外,还包括可变形的连续体(板体、块体、壳体等)。

现代(modern)结构力学。将工程项目中的各类结构从论证到设计,从施工到使用期内维护的整个过程作为大体系结构,研究大体系结构中的各种力学问题,其研究范围更广。

1.1.3 结构力学的研究内容

前面已学过理论力学、材料力学,后续课程还有弹性力学。结构力学与理论力学、材料力学、弹塑性力学密切相关而又有所区别。理论力学着重讨论物体机械运动的基本规律,研究对象是质点和刚体(刚体是理论力学中的理想模型)。材料力学、结构力学、弹性力学着重讨论结构及其构件的强度、刚度、稳定性和动力反应等问题,其中材料力学以单个杆体为主要研究对象,有时还研究材料的塑性、蠕变、疲劳以及破坏等问题;结构力学以杆件结构为主要研究对象;弹塑性力学研究对象可以是各种固体,特别是各种结构,包括实体结构如板、壳结构、建筑地基、地下洞室、围岩、堤坝、边坡等。

结构力学的任务是根据力学原理研究在外力和其他外界因素作用下结构的内力和变形、结构的强度、刚度、稳定性和动力反应以及结构的组成规律。具体说来有以下几个方面的内容:

- (1) 研究结构的组成规律和合理形式,以及实际结构计算简图的合理选择;
- (2) 研究结构内力和变形的计算方法,进行结构强度和刚度验算;
- (3) 研究结构的稳定性以及在动力荷载作用下的结构反应。

解决结构力学问题的手段包括理论分析、实验研究和数值计算三个方面。实验研究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研究内容在结构力学中讨论。

在结构分析中,首先要将实际结构简化成结构计算模型即结构计算简图,今后所称的结构指的是其计算简图。对结构进行分析计算时,常常要考虑三方面的条件:

- (1) 力系的平衡条件,即平衡条件(equilibrium condition)。

在外界因素的作用下,结构的整体及其中任何一部分都应满足力系的平衡条件。

- (2) 变形的几何连续条件,即几何条件(geometrical condition)。

连续的结构发生变形后,仍是连续的,材料没有重叠或缝隙。同时,结构的变形和位移满足支座和结点的约束条件。

- (3) 应力与变形间的本构关系,即物理条件(physical condition)。

把结构的应力和变形联系起来的物理条件,即物理方程或本构方程。

以上三个基本条件,贯穿于结构力学课程的全部计算方法中,只是对于不同的问题,应用方式不同而已。如静定结构(statically determinate structure)问题,只需考虑平衡条件即可求解;超静定结构(statically indeterminate structure)问题,必须综合考虑三方面条件方能求解。

1.2 结构的计算简图

1.2.1 确定结构计算简图的原则

实际结构复杂多变,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,在进行力学分析时,总是要对实际结构做出一些假设和简化,略去某些次要因素,保留其主要的受力特征,把实际结构简化和抽象为既能反映实际受力情况又便于计算的图形。这种简化的图形就是计算时用来代替实际结构的力学模型,一般称为结构计算简图,或结构计算模型(computing model of structure)。

结构计算简图是对结构进行力学分析的依据,同时结构计算简图的力学分析结果又是实际结构杆件截面设计的依据。如果结构计算简图不能准确地反映结构的实际受力情况或选择错误,就会使计算结果产生很大的偏差,有可能造成不必要的浪费,甚至造成工程事故。所以对结构计算简图的选择,必须坚持科学谨慎的态度。

结构计算简图的选择应遵循下列两条原则:

(1) 结构计算简图应能正确地反映实际结构的主要受力情况和变形性能,使计算结果接近实际情况。

(2) 保留主要因素,略去次要因素,使结构计算简图便于计算。

应当指出,结构计算简图的选择在上述原则指导下,要根据当时当地的具体要求和条件来选用,并不是一成不变的。对于同一结构,根据不同的情况可以取不同的计算简图。例如在结构初步设计阶段,可以采用较为粗略但比较简单的计算简图;而在技术设计阶段则应采用较为复杂但比较精确的计算简图;在进行动力计算或稳定性分析时,由于计算比较复杂,可以采用较为粗略但比较简单的计算简图;在进行静力计算时,则应采用较为复杂但比较精确的计算简图。此外,由于使用的计算工具不同,所选取的计算简图也可不同。例如,手算时计算简图应力求简单,而用计算机计算时可采用较为精确的计算简图。

1.2.2 杆件结构的简化

合理的结构计算简图,既要恰当地反映实际结构的受力情况,又要使计算简化。在选取计算简图时,对实际结构可从下列几个方面进行简化:

1.2.2.1 结构体系的简化

严格地说,一般结构实际上都是空间结构,各部分相互联结成为一个空间整体,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简化为平面结构,使计算得以简化。本书主要讨论平面结构的计算问题。有一些结构具有明显的空间特征而不宜简化成平面结构,将作空间结构处理。

1.2.2.2 杆件的简化

杆件的截面尺寸(宽度、厚度或直径)通常比杆件长度小得多,截面变形符合平截面假设。截面上的应力可根据截面的内力(弯矩、剪力、轴力)来确定,截面上的变形可根据轴线上的应变分量来确定。因此,在结构计算简图中,杆件用其纵轴线表示,如梁、柱等构件的纵轴线为直线,就用相应的直线表示;又如曲杆、拱等构件的纵轴线为曲线,则用相应的曲线表示。对由单个杆件联结起来的结构,杆件之间的联结区域用结点表示,杆长用结点间的距离表示,而荷载的作用点也转移到纵轴线上。但当截面尺寸增大时(如超过杆长的 $1/4$),杆件用其轴线表示,将引起较大的误差。

1.2.2.3 杆件间联结的简化

结构中杆件与杆件之间的相互联结处,简化为结点。钢结构、钢筋混凝土结构及组合结构中杆件与杆件之间相互联结的构造方式虽然很多,但其结点通常简化为以下两种理想情形:

(1) 铰结结点(hinged joint)。被联结的杆件的联结处不能相对错动,但可相对转动,即在联结处可以承受和传递力,但不能承受和传递力矩。理想铰结结点可用一个小圆圈表示。如图 1.6 所示,钢桁架的结点是通过结点板把各杆件焊接在一起的,实际上各杆端是不能相对转动的,但在桁架中各杆主要是承受轴力,因此计算时仍可将这种结点简化为铰结结点。

(2) 刚结结点(rigid joint)。被联结的杆件在联结处不能相对移动,也不能相对转动,即在联结处不但能承受和传递力,而且能承受和传递力矩。图 1.7 所示是一钢筋混凝土框架边柱和梁的结点,由于梁和柱之间的钢筋布置以及混凝土将它们浇筑成整体,使梁和柱不能产生相对移动和转动,计算时简化为一刚结结点。

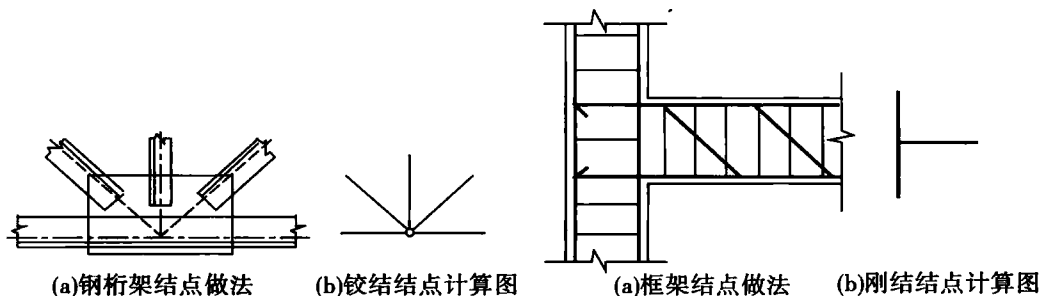


图 1.6

图 1.7

1.2.2.4 支座的简化

结构与基础或支承部分相联结的装置称为支座。支座的作用是把结构固定于基础或支承结构上,限制了结构沿某一个或几个方向的运动,同时结构所受的荷载通过支座传到基础或支承结构上。支座对结构的反作用力称为支座反力。平面结构的支座,通常可简化为以下四种形式:

(1) 可动铰支座(hinge support)。桥梁结构中常用的辊轴支座和摇轴支座均属可动铰支座。这种支座的特点是:它既容许结构在支承处绕圆柱铰 A 转动,又容许结构沿支承面水平方向移动,但 A 点不能沿垂直于支承面的方向移动。当不考虑摩擦力时,这种支座的反力 F_{RA} 将通过铰 A 的中心并与支承平面垂直,即反力的作用点和方向都是确定的,只有它的大小是一个未知量。根据活动铰支座的位移和受力特点,在计算简图中可以用一根垂直于支承面的链杆 AB 来表示,如图 1.8 所示。此时结构可绕铰 A 转动,链杆 AB 又可绕 B 转动,当转动很微小时, A 点的移动方向可看成是平行于支承面的。

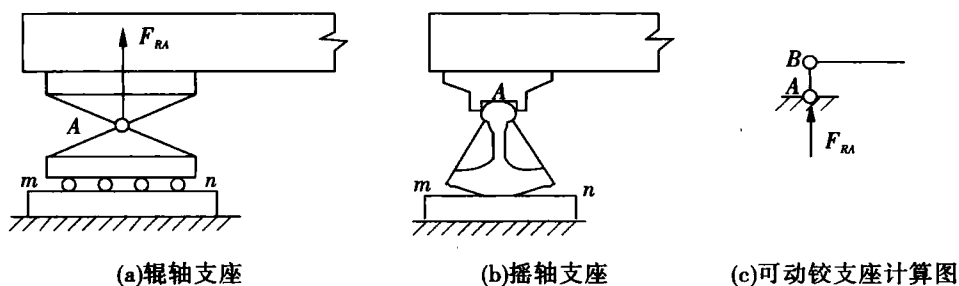


图 1.8

(2) 固定铰支座,常简称为铰支座。这种支座的构造如图 1.9(a)、(b)所示。它容许结构在支承处绕圆柱铰 A 转动,但 A 点不能做水平和竖向移动。能提供两个反力,都通过铰 A 中心,但大小是未知的。这种支座的计算简图可用交于 A 点的两根支承链杆来表示,如图 1.9(c)或(d)表示。

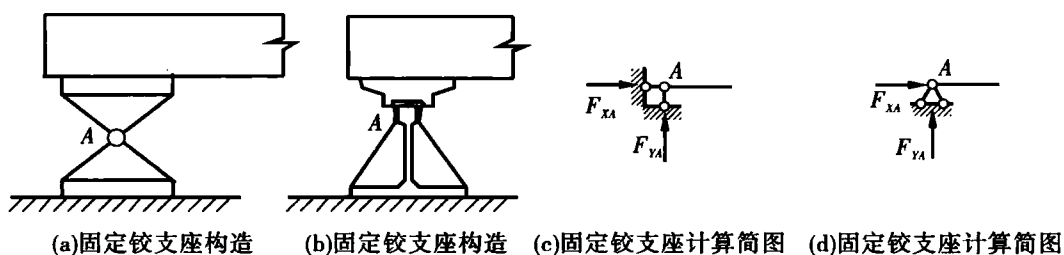


图 1.9

(3) 固定支座(fixed support)。被支承的部分完全被固定,即这种支座不容许结构在支承处发生任何形式的移动和转动,如图 1.10 所示。它的反力通常用水平反力 F_x 、竖向反力 F_y 和反力偶 M 来表示,计算简图如图 1.10(b)所示。

(4) 定向支座(directional support)。被支承的部分不能转动,也不能沿垂直于支承面的方向移动,但可沿支承面水平方向滑动,其反力为一个垂直于支承面的力 F_y 和一个反力矩 M ,在计算简图中用两根垂直于支承面的平行链杆表示,如图 1.11 所示。

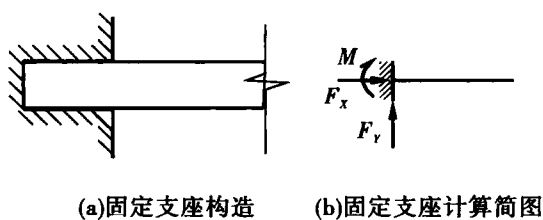


图 1.10

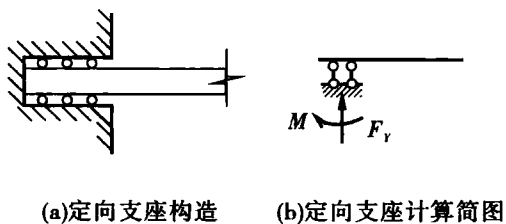


图 1.11