



普通高等教育“十一五”国家级规划教材

工程力学

(第二分册) 沈养中 主编



高等教育出版社
Higher Education Press

(第三版)



普通高等教育“十一五”国家级规划教材

工 程 力 学

(第二分册) (第三版)

沈养中 主编

高等教育出版社
Higher Education Press

图书在版编目(CIP)数据

工程力学. 第二分册 / 沈养中主编. —3 版. —北京: 高等教育出版社, 2008. 1

ISBN 978 - 7 - 04 - 022984 - 4

I. 工… II. 沈… III. 工程力学 - 高等学校: 技术学校 - 教材 IV. TB12

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2007)第 178295 号

策划编辑	张骁军	责任编辑	张玉海	封面设计	张志奇	责任绘图	尹 莉
版式设计	范晓红	责任校对	刘 莉	责任印制	陈伟光		

出版发行 高等教育出版社
社 址 北京市西城区德外大街 4 号
邮政编码 100011
总 机 010-58581000

经 销 蓝色畅想图书发行有限公司
印 刷 中青印刷厂

开 本 787×1092 1/16
印 张 9.75
字 数 220 000

购书热线 010-58581118
免费咨询 800-810-0598
网 址 <http://www.hep.edu.cn>
<http://www.hep.com.cn>
网上订购 <http://www.landaco.com>
<http://www.landaco.com.cn>
畅想教育 <http://www.widedu.com>

版 次 1999 年 7 月第 1 版
2008 年 1 月第 3 版
印 次 2008 年 1 月第 1 次印刷
定 价 12.80 元

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题,请到所购图书销售部门联系调换。

版权所有 侵权必究

物料号 22984-00



内容提要

本书是普通高等教育“十一五”国家级规划教材(高职高专教育),是在第二版的基础上根据高职高专教育的教学改革的新形势和高等教育大众化的特点修订而成的。

本书在编写、修订时精选传统内容、强调基本概念、重视宏观分析、降低计算难度、突出工程应用、注重职业技能和素质的培养,注意内容的深入浅出、通俗易懂,并配备了相应的教学软件包,便于教与学。本书采用模块式和贯通式相结合的方式编写,兼顾近机、近土各类专业的不同需要。

全书分为两分册。第一分册内容涵盖了原有理论力学和材料力学两门课程的主要内容,包括绪论、刚体静力分析基础、平面力系、弹性变形体静力分析基础、杆件的内力、杆件的应力与强度、杆件的变形与刚度、压杆稳定、运动力学基础、动荷载与交变应力。第二分册包含结构力学的主要内容,包括绪论、几何组成分析、静定结构的内力与位移、超静定结构的内力、矩阵位移法、结构计算的其他问题。每章后有思考题和习题,书后附习题答案。

本书可作为高等职业学校、高等专科学校、成人高校和本科院校举办的二级职业技术学院和民办高校的近机、近土各类专业工程力学课程的教材,也可作为有关工程技术人员参考用书。

第三版前言

本书的宗旨是使学生在较少的学时内,掌握工程力学的基本原理和基本方法,掌握分析和解决简单的工程力学问题的能力,为今后的学习和工作打下坚实的基础。本书采用模块式和贯通式相结合的方式编写,兼顾近机、近土各类专业的不同需要,各专业可根据培养目标的要求选择若干相关模块组织教学。

本书是在第二版的基础上,根据高职高专教育的教学改革的新形势和高等教育大众化的特点修订而成的。本次修订继续保持了前两版教材的特色,进一步精选传统内容、强调基本概念、重视宏观分析、降低计算难度、突出工程应用、注重职业技能和素质的培养,进一步注意内容的深入浅出、通俗易懂,并配备了相应的教学软件包,便于教与学。修订工作主要有以下几个方面:

1. 删去了第二版第一分册的第4章“空间力系与重心”。
2. 将第二版第一分册的第7章“杆件的应力与强度计算”和第8章“复杂应力状态下杆件的强度计算”整合为一章:本书第一分册的第6章“杆件的应力与强度”。
3. 在“压杆稳定”一章中增加了“折减系数法”的内容。
4. 配备了相应的教学软件包。内容有电子教案、学生复习自测系统、试题库、素材库。

参加本次修订工作的有:徐州建筑职业技术学院沈养中(第一分册第1至7章、第9章、第二分册第1至3章)、河北工程技术高等专科学校石静(第二分册第4、6章)、李桐栋(第一分册第8、10章、第二分册第5章)。全书由沈养中统稿。

本书承同济大学博士生导师张若京教授及上海应用技术学院陈位官教授审阅。他们对书稿提出了许多宝贵意见,在此表示衷心的感谢。

在本书的修订过程中,许多同行提出了很好的意见和建议,在此一并表示感谢。

鉴于编者水平有限,书中难免会有不妥之处,敬请同行和广大读者批评指正。

编者

2007年7月

第二版前言

本书是在第一版的基础上,依据教育部制定的高职高专力学课程教学基本要求进行修订的。

本次修订继续保持第一版教材的特色,进一步精选传统内容、突出工程应用,进一步注意内容的深入浅出、通俗易懂。修订工作有以下几个方面:

1. 对原书第一分册的少量内容和第二分册的大部分内容进行了改写,使之更便于教与学。
2. 为便于学生自学,在每章前增加了内容提要。为加强基本内容的训练,每章后增加了思考题,并对部分习题进行了调整。

3. 考虑到稳定性计算在杆件计算中的重要地位,将原书的第一分册的第11章分为两章:本书第一分册的第10章“压杆稳定”和第12章“动荷载与交变应力”。

4. 为让学生了解结构计算的现代方法,本书第二分册仍保留“矩阵位移法”一章,但进行了改写,使之更易于理解,并用C语言重新编制了连续梁计算源程序。

5. 考虑到动力分析的工程应用日趋重要,在本书第二分册的第6章“结构计算的其他问题”中增加了“结构动力分析简介”一节。

6. 按有关标准、规范的要求,统一了全书的符号、名词和术语。

参加本次修订工作的有:沈养中(第一分册第1至9章、第11章、第二分册第1至3章)、石静(第二分册第4、6章)、李桐栋(第一分册第10、12章、第二分册第5章)。全书由沈养中统稿。

本书第一分册承李永年、第二分册承薛光瑾审阅,他们对书稿提出了许多宝贵意见,对此,编者表示衷心的感谢。

在本书的修订过程中,许多同行提出了很好的意见和建议,在此一并表示感谢。

鉴于编者水平有限,书中难免会有不妥之处,敬请同行和广大读者批评指正。

编者

2003年3月

第一版前言

本书是根据教育部 1996 年修订的高等工程专科力学课程教学基本要求编写的。

本书力求做到精选传统内容,讲清概念和公式,理论推导从简或略去,重视宏观分析,注重工程应用,体现少而精的原则。在传统的理论力学部分,不采用将力系分得过细,而是突出平面力系。对空间力系只作简单介绍。不采用按变形类型叙述的做法,而是按内力、应力和强度,变形和刚度这样常规的工程设计思路进行编排,并且突出应力和强度计算问题,对压杆稳定、动荷载及疲劳强度等问题作简单介绍。在传统的结构力学部分,突出超静定结构计算,并增加“矩阵位移法”一章,让学生了解结构计算的现代方法。担任本书编写工作的有:河北工程技术高等专科学校沈养中(第一分册第一、二、三、四、十章),华南建设学院孙峰(第二分册第四、五、六章及附录一),南昌水利水电高等专科学校万度(第一分册第九章及第二分册第一、二、三章),太原电力高等专科学校张常青(第一分册第七、八章),常州工业技术学院唐国兴(第一分册第五、六、十一章)。本书由沈养中任主编,孙峰任副主编。全书由沈养中统稿。

本书承教育部高工专力学课程指导委员会主任陈贵龄、海南大学缪加玉教授、大连理工大学郑芳怀教授、南京机械高等专科学校张秉荣教授、南京交通高等专科学校许翥中教授和青岛化工学院张文教授审阅,他们对书稿提出了许多宝贵意见,对此,编者表示衷心的感谢。

在本书的编写过程中,许多同行提出了很好的意见和建议,在此一并表示感谢。

鉴于编者水平有限,书中难免会有不妥之处,敬请同行和广大读者批评指正。

编者

1999 年 3 月

郑 重 声 明

高等教育出版社依法对本书享有专有出版权。任何未经许可的复制、销售行为均违反《中华人民共和国著作权法》,其行为人将承担相应的民事责任和行政责任,构成犯罪的,将被依法追究刑事责任。为了维护市场秩序,保护读者的合法权益,避免读者误用盗版书造成不良后果,我社将配合行政执法部门和司法机关对违法犯罪的单位和个人给予严厉打击。社会各界人士如发现上述侵权行为,希望及时举报,本社将奖励举报有功人员。

反盗版举报电话:(010)58581897/58581896/58581879

传 真:(010)82086060

E-mail:dd@hep.com.cn

通信地址:北京市西城区德外大街4号

高等教育出版社打击盗版办公室

邮 编:100011

购书请拨打电话:(010)58581118

目 录

第 1 章 绪论	1	§ 4-2 力法	66
§ 1-1 杆件结构计算的任务	1	§ 4-3 位移法	74
§ 1-2 杆件结构的计算简图	3	§ 4-4 力矩分配法	84
思考题	6	思考题	93
第 2 章 几何组成分析	7	习题	93
§ 2-1 概述	7	第 5 章 矩阵位移法	99
§ 2-2 几何不变体系的组成规则	9	§ 5-1 概述	99
§ 2-3 几何组成分析举例	12	§ 5-2 用矩阵位移法计算连续梁	99
§ 2-4 体系的几何组成与静定性的 关系	14	§ 5-3 连续梁计算源程序	108
思考题	14	思考题	112
习题	15	习题	113
第 3 章 静定结构的内力与位移	17	第 6 章 结构计算的其他问题	115
§ 3-1 静定结构的内力	17	§ 6-1 影响线	115
§ 3-2 静定结构的位移	36	§ 6-2 结构动力分析简介	126
思考题	54	§ 6-3 结构选型与计算简图	134
习题	56	思考题	139
第 4 章 超静定结构的内力	63	习题	139
§ 4-1 概述	63	附录 习题参考答案	141
		主要参考书目	145

第1章 绪 论

本章介绍结构的概念与分类,杆件结构计算的任务,杆件结构的计算简图,平面杆件结构的简化与分类。

§ 1-1 杆件结构计算的任务

1-1-1 结构的概念

土木工程中的各类建筑物在使用过程中都要受到荷载^①的作用,在这些建筑物中承受和传递荷载而起骨架作用的部分或体系称为结构。房屋建筑中的工业厂房(图 1-1),公路、铁路上的桥梁和隧洞,水工建筑物中的闸门和水坝等,都是结构的典型例子。

结构中的每一个基本部分称为构件。单个构件是最简单的结构,如图 1-1 中的吊车梁、柱等。

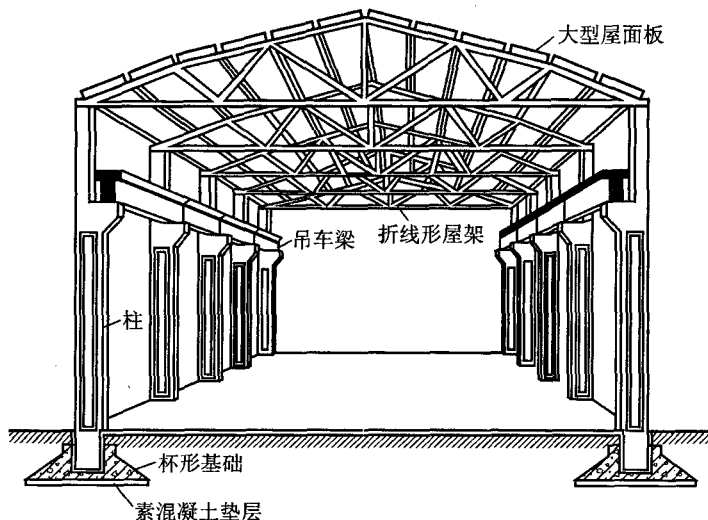


图 1-1

① 本分册中主动力统一称为荷载。

1-1-2 结构的分类

工程中结构的类型是多种多样的,可按不同的观点加以分类。

1. 按几何特征分类

(1) **杆件结构**。该类结构由杆件组成。杆件的特征是其长度 l 远大于其横截面尺寸 b 及 h (图 1-2a)。图 1-1 中的屋架就属于杆件结构。

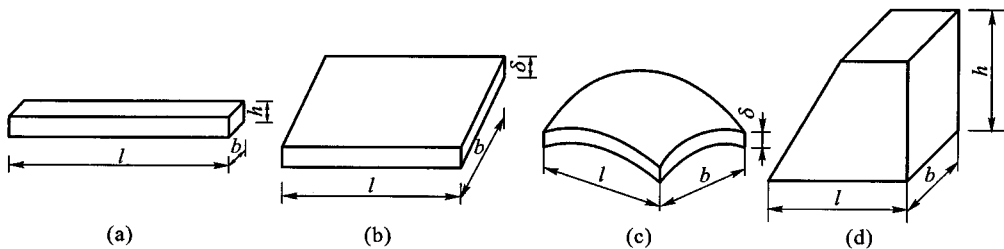


图 1-2

(2) **板、壳结构**。该类结构由薄板或薄壳组成。薄板和薄壳的特征是长、宽两个方向的尺寸 l, b 远大于厚度 δ (图 1-2b、c)。图 1-2b 中,构件为平板状,称为**薄板**;图 1-2c 中,构件具有曲面外形,称为**薄壳**。三角形折板屋顶(图 1-3a)和长筒壳屋顶(图 1-3b)就属于板、壳结构。

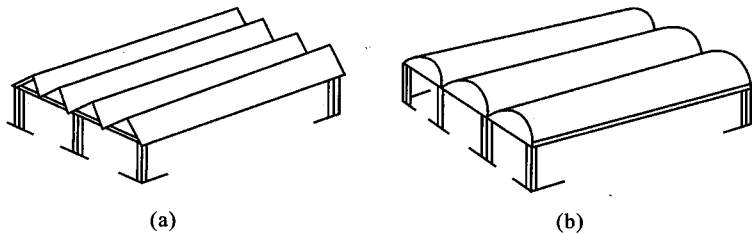


图 1-3

(3) **实体结构**。该类结构三个方向的尺度 l, b, h 具有相同量级 (图 1-2d),如挡土墙(图 1-4)、堤坝等。

2. 按空间特征分类

(1) **平面结构**。组成结构的所有杆件的轴线及外力都在同一平面内。

(2) **空间结构**。组成结构的杆件的轴线及外力不在同一平面内。

实际建筑物都是空间的,在许多情况下为简化计算起见,可分成若干个平面结构来处理(例如,图 1-1 中的厂房结构)。但有些空间结构不能简化为平面结构,则必须按空间结构来分析。

本书主要研究平面杆件结构。

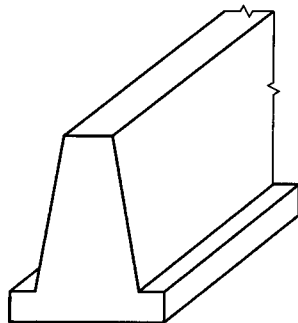


图 1-4

1-1-3 杆件结构计算的任务

在本书第一分册中,已经研究了单个杆件的强度、刚度和稳定性问题,本书将进一步研究杆件结构的强度、刚度和稳定性问题。为此,必须首先计算结构在荷载或其他因素(如温度改变、支座移动等)作用下的内力与位移,然后才能对结构进行强度、刚度和稳定性计算,以保证结构满足安全和经济的要求。另外,还必须研究结构的几何组成规律,以保证结构能承受荷载并维持平衡。

§ 1-2 杆件结构的计算简图

在对某一结构进行力学分析时,由于实际结构的受力和变形情况比较复杂,完全按照结构的实际工作状态进行分析往往是困难的,所以必须对结构加以简化,忽略某些次要因素,根据其主要因素取简化图形来计算。这种简化后的图形称为结构的计算简图。本书今后所称的结构都是指其计算简图。

选择结构计算简图的原则如下:

- (1) 必须使计算简图尽可能正确地反映结构的实际情况。
- (2) 忽略次要因素,便于分析计算。

要很好地符合这两项原则,选择最合理的计算简图,不仅需要较丰富的实践经验,还需要有较完备的力学知识,才能分析主、次要因素的相互关系,有时还要借助模型试验或现场实测才能确定较合理的计算简图。

1-2-1 平面杆件结构的简化

1. 杆件的简化

杆件结构中的杆件,在计算简图中都用杆轴线表示,其长度则用轴线交点间的距离来确定。

2. 结点的简化

杆件间的相互联结处称为结点。结点可简化为两种基本类型。

(1) 铰结点。铰结点的特征是所联各杆可以绕结点中心自由转动。在实际工程中,用铰结点联结杆件的情况很少。例如,在图 1-5a 所示木结构的结点构造中,是用钢板和螺栓将各杆端联结起来的,各杆之间不能有相对移动,但可允许有微小的相对转动,故可作为铰结点处理,其简图如图 1-5b 所示。

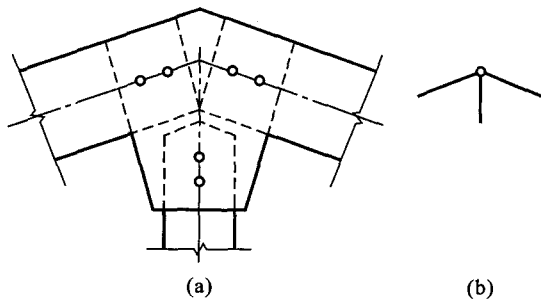


图 1-5

(2) 刚结点。汇交于该点的各杆端相互固结在一起,各杆之间既不能相对移动又不能相对转动,这种结点称为刚结点。图 1-6a 所示为钢筋混凝土结构的结点构造图,其简图如图 1-6b 所示。刚结点的特征是当结构发生变形时,汇交于该结点的各杆端间相对转角为零。

在实际结构的某些结点处,有些杆件为刚结,同时也有些杆件为铰结,这类结点是刚结点和铰结点的组合,称为**组合结点**(图 1-7)。

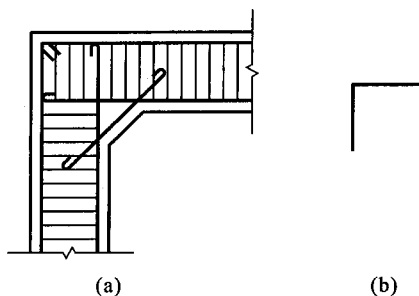


图 1-6

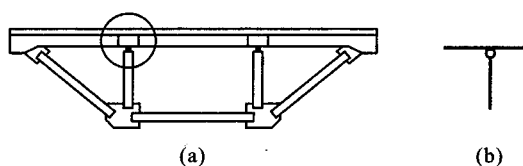


图 1-7

3. 支座的简化

对于活动铰支座、固定铰支座和固定端支座已在第一分册中作过详细介绍,此处仅补充介绍**定向支座**。

定向支座允许杆件沿平行于支承面的方向移动,但限制杆件的转动和垂直于支承面方向的移动(图 1-8a)。定向支座的反力为垂直于支承面的反力 F_N 和限制转动的反力偶矩 M ,图 1-8b 所示为定向支座的简化表示及反力的表示^①。当支承面与杆轴线垂直时,定向支座的简化表示及反力的表示如图 1-9 所示。

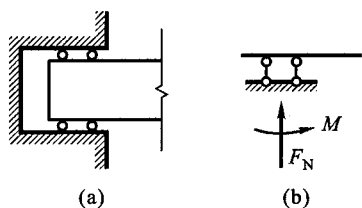


图 1-8

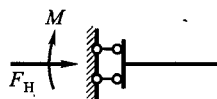


图 1-9

4. 荷载的简化与分类

荷载是作用于结构上的主动力。荷载一般简化为集中力、集中力偶和分布力。

作用于结构上的荷载可作如下分类:

(1) 按荷载作用的时间分类

① **恒载**。指长期作用于结构上的荷载,如结构的自重、永久固定于结构上的设备的重力等,其大小、位置、方向都不变。

② **活载**。指暂时作用于结构上且位置可以变动的荷载,如人群荷载、风荷载、雪荷载、车辆荷载、吊车荷载等。

^① 本分册为结构力学内容,其中主要叙述各力(包括外力、内力等)的数字运算。因此,本分册中各力用标量(白体字)表示,不再用矢量(黑体字)表示。

(2) 按荷载作用的性质分类

① **静荷载**。静荷载是指其大小、位置和方向都不随时间变化的荷载,加载过程缓慢、不会使结构产生振动,可以略去惯性力的影响。

② **动荷载**。动荷载是随时间变化的荷载,会使结构产生显著的冲击或振动,使之发生不容忽视的加速度和相应的惯性力。

下面以三角形屋架(图 1-10a)为例,说明实际结构的简化过程。

此屋架由木材和圆钢制成。上、下弦杆和斜撑由木材制成,拉杆使用圆钢,对其进行简化时各杆用其轴线代替;各杆间允许有微小的相对转动,故各结点均简化为铰结点;屋架两端搁置在墙上或柱上,不能相对移动,但可发生微小的相对转动,因此屋架的一端简化为固定铰支座,另一端简化为活动铰支座。作用于屋架上的荷载通过静力等效的原则简化到各结点上,于是屋架各杆的内力均为轴力,这样不仅计算方便,而且基本符合实际情况。通过以上简化可以得出屋架的计算简图(图 1-10b)。

对于工程中一些常用的结构形式,其计算简图经实践证明都比较合理,因此可以直接采用。

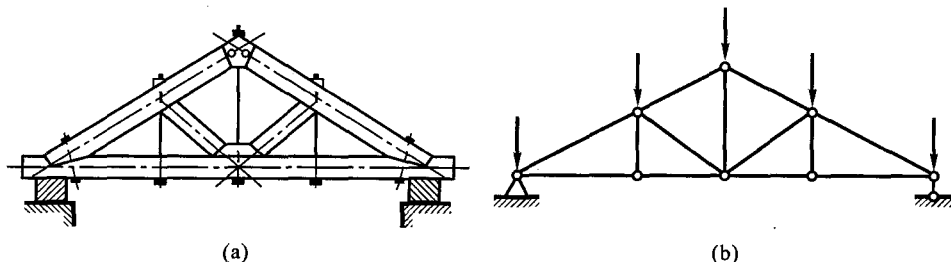


图 1-10

1-2-2 平面杆件结构的分类

按结构的受力特征,平面杆件结构可分为以下五类:

(1) **梁**。这是一种受弯构件,杆轴线一般为直线(图 1-11a)。梁有单跨和多跨两种形式。

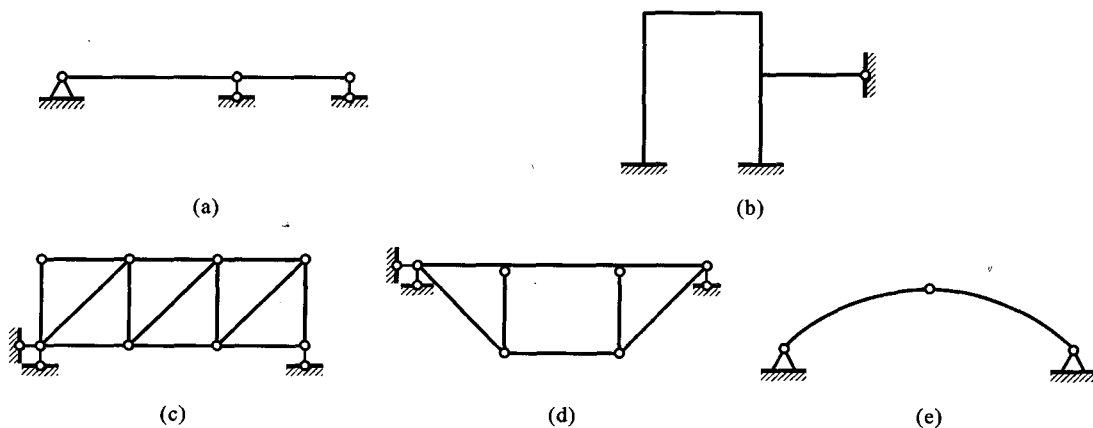


图 1-11

(2) **刚架**。刚架由直杆组成,其特点是杆件在联结处部分或全部为刚结点(图 1-11b)。刚架各杆主要承受弯矩,也承受剪力和轴力。

(3) **桁架**。桁架由直杆组成,所有结点均简化为铰结点(图 1-11c)^①。当桁架受到结点荷载时,杆件只承受轴力。

(4) **组合结构**。组合结构是桁架和梁或刚架组合在一起形成的结构(图 1-11d)。其特点是有些杆件只承受轴力,而另一些杆件还同时承受弯矩和剪力。

(5) **拱**。拱的轴线为曲线(图 1-11e)。其特点是在竖向荷载作用下会产生水平支座反力,这种水平支座反力可减少拱横截面上的弯矩。

思 考 题

- 1-1 何谓结构?试举出几个结构的实例。
- 1-2 杆件结构计算的主要任务是什么?
- 1-3 选择结构计算简图的原则是什么?平面杆件结构从哪些方面进行简化?
- 1-4 平面杆件结构分为哪几种类型?

^① 本分册中固定铰支座也采用两根链杆的画法。

第2章 几何组成分析

本章介绍平面杆件体系的几何组成分析,内容包括几何组成分析的目的、几何不变体系的组成规则、判别体系是否几何不变,正确区分静定结构和超静定结构。本章是以后进行结构内力计算的基础。

§2-1 概 述

2-1-1 几何不变体系和几何可变体系

杆件结构通常是由若干杆件按一定规律互相联结在一起而组成的体系,起着承受荷载和传递荷载的作用。在荷载作用下,材料会产生应变,因而结构会变形。但这种变形与结构的原有尺寸相比是很微小的,在几何组成分析中不考虑这种变形的影响。在这个前提下,体系可分为两类:一类是在任意荷载作用下,其原有的几何形状和位置保持不变,这样的体系称为几何不变体系(图2-1a)。另一类是在任意微小荷载作用下,不能保持固定的几何形状而发生相对运动,这样的体系称为几何可变体系(图2-1b)。

显然,工程结构必须是几何不变体系,决不能采用几何可变体系。

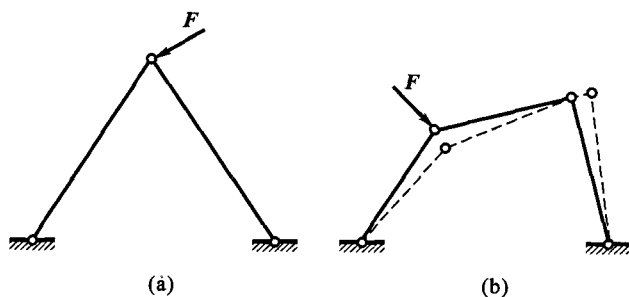


图 2-1

2-1-2 几何组成分析的目的

分析体系的几何组成,以确定它们属于哪一类体系,称为体系的几何组成分析。作这种分析的目的在于:

- (1) 判别某一体系是否几何不变,从而决定它能否作为结构;
- (2) 研究几何不变体系的组成规则,以保证所设计的结构是几何不变的;
- (3) 正确区分静定结构和超静定结构,为结构的内力计算打下必要的基础。

2-1-3 刚片、自由度和约束的概念

下面介绍几何组成分析中的若干基本概念。

1. 刚片

对体系进行几何组成分析时,由于不考虑材料的应变,故可将每一根杆件视为刚体,在平面体系中又把刚体称为刚片。体系中已被肯定为几何不变的某个部分,也可看成为一个刚片。同样,作为支承体系的基础也可看成为一个刚片。

2. 自由度

一个体系的自由度,是指该体系在运动时确定其位置所需的独立坐标的数目。

设平面上一个点 A ,确定其位置只要用 x 和 y 两个坐标变量就可以了(图 2-2a)。因此,平面上一个点就有 2 个自由度。一个刚片在平面内运动时,其位置可由它上面的任一点 A 的坐标 x 、 y 和过点 A 的任一直线 AB 的倾角 φ 来确定(图 2-2b)。因此,一个刚片在平面内就有 3 个自由度。

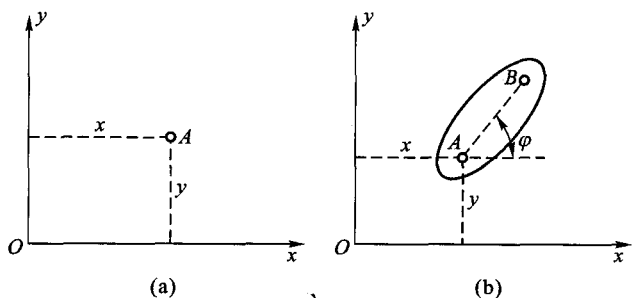


图 2-2

3. 约束对自由度的影响

约束是刚片与基础或刚片与刚片之间的某种联结装置,是限制体系运动的一种条件。显然,体系由于加入约束而使自由度减少。

如果用一根链杆将刚片 I 与基础相联结(图 2-3a),则刚片在链杆方向的运动将被限制。但还存在两种独立的运动形式,即点 A 绕点 C 的转动和刚片 I 绕点 A 的转动。加入链杆前刚片 I 有 3 个自由度,加入链杆后自由度减少为 2 个。可见,加入一根链杆可减少一个自由度,故一根链杆相当于一个约束。

如果在点 A 处再加上一根水平链杆(图 2-3b),即点 A 处成为一个固定铰支座,则刚片 I 只能绕点 A 转动,其自由度只有一个。可见,增加一个固定铰支座可减少 2 个自由度,故一个固定铰支座相当于两个约束。通过类似的分析可以知道,一个固定端支座相当于三个约束。

如果将刚片 I 与刚片 II 用铰 A 相联结(图 2-3c),设刚片 I 的位置可以由点 A 的坐标 x 、 y