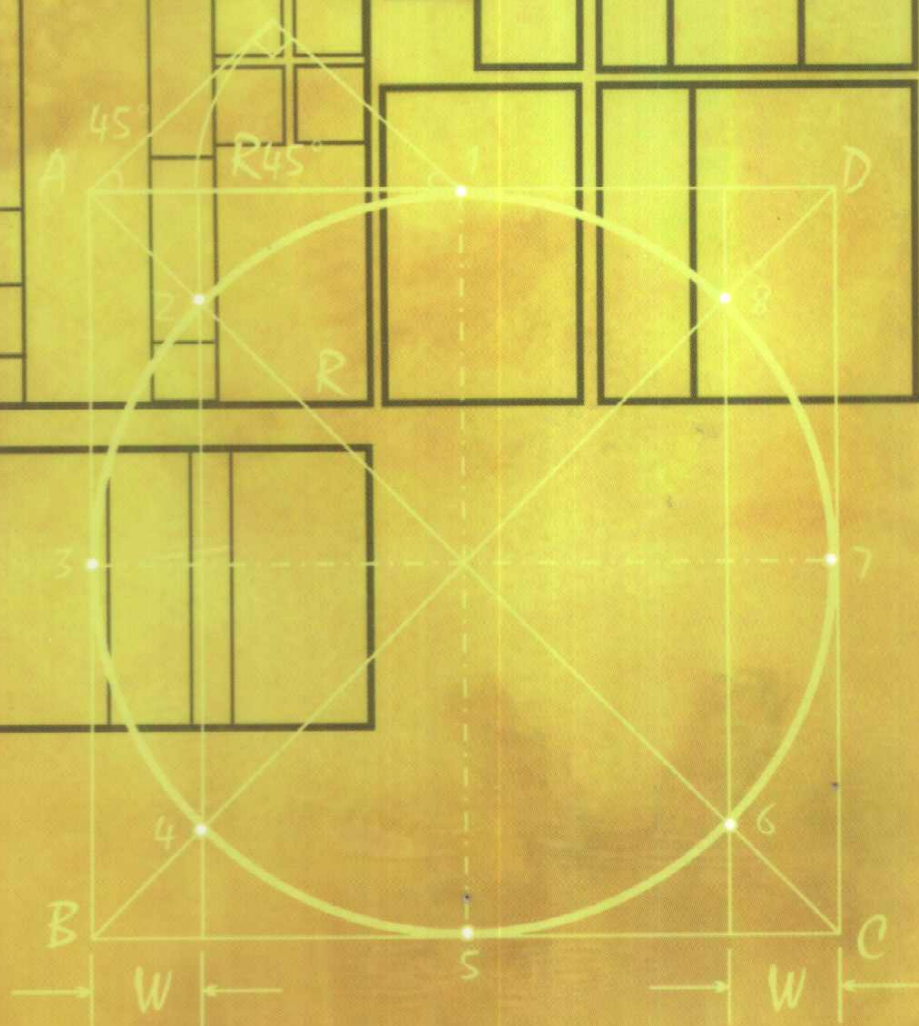


编著

编著



中国建材工业出版社

建筑力学

钟光珞 编著
张为民

中国建材工业出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

建筑力学/钟光珞, 张为民编著. —北京: 中国建材工业出版社, 2002. 4
ISBN 7-80159-249-2

I. 建… II. ①钟…②张… III. 建筑力学 IV. TU311

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2002) 第 017268 号

建筑力学

钟光珞 张为民 编著

*

中国建材工业出版社出版

(北京海淀区三里河路 11 号 邮编 100831)

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经销

北京丽源印刷厂印刷

开本: 787mm×1092mm 1/16 印张: 18.75 字数: 440 千字

2002 年 4 月第 1 版 2002 年 4 月第 1 次印刷

印数: 1~3 000 册 定价: 24.00 元

ISBN 7-80159-249-2/TU·122

前言

建筑力学是土建类建筑学、城市规划、交通工程等专业的重要技术基础课。近年来,随着教育改革的不断深入发展,课程内容、体系、学时等各种因素也在变化中,因此根据教学的实际需要编写了本教材。该教材从力学知识的统一性和连贯性出发,淡化了理论力学、材料力学和结构力学三者之间的明显分界,重在杆件和结构的力学计算与分析,目的是使学生掌握结构分析的基本概念和方法,为后续课程打下良好的力学基础。另外,在内容上注意适当的删繁就简,突出重点,便于学生对于基本内容的掌握。

本教材适用于 90~120 学时的建筑力学课程,亦可适用于土建类其它专业中少学时力学教程。

该书第一章、第九章~第十一章、第十四章~第十六章及附录一、附录二由钟光珞编写,第二章~第八章、第十二章、第十三章由张为民编写。限于编者水平,文中不足之处敬请指正。

编者
2002 年元月

目 录

第一章 绪论	(1)
第一节 基本假设	(1)
第二节 基本概念	(2)
第三节 计算简图	(5)
第四节 杆件的基本变形	(6)
第二章 平面杆件体系的几何组成分析	(8)
第一节 几何不变体系、几何可变体系的概念	(8)
第二节 自由度和约束的概念	(9)
第三节 无多余约束的几何不变体系组成规则	(11)
第四节 体系几何组成分析举例	(13)
第三章 刚体平衡	(17)
第一节 力的基本知识	(17)
第二节 平面汇交力系和平面力偶系	(20)
第三节 平面一般力系	(24)
第四节 空间力系	(30)
第四章 杆件的轴向拉伸和压缩	(35)
第一节 轴向拉伸和压缩的概念	(35)
第二节 内力、截面法	(36)
第三节 轴向拉(压)杆横截面上的应力	(38)
第四节 拉(压)杆的变形	(41)
第五节 拉伸和压缩时材料的力学性能	(43)
第六节 拉(压)杆的强度条件及其应用	(48)
第七节 拉伸和压缩超静定问题	(50)
第八节 联结件的剪切和挤压强度计算	(52)
第五章 圆轴扭转	(60)
第一节 外力偶矩、扭矩和扭矩图	(60)
第二节 圆轴扭转时横截面上的应力和应变	(62)
第三节 圆轴扭转时横截面上的切应力和强度条件	(64)
第四节 圆轴扭转的变形和刚度条件	(68)
第六章 梁的弯曲内力	(73)
第一节 剪力和弯矩	(73)
第二节 列方程作内力图	(76)
第三节 简易法作内力图	(79)
第四节 叠加法作梁的弯矩图	(82)
第七章 梁的应力和变形	(89)

第一节 弯曲正应力	(89)
第二节 弯曲切应力	(92)
第三节 弯曲强度条件	(96)
第四节 弯曲变形	(100)
第八章 静定梁的影响线	(111)
第一节 影响线的概念	(111)
第二节 静力法作单跨静定梁的影响线	(112)
第三节 机动法作静定梁的影响线	(116)
第四节 影响线的应用	(119)
第九章 应力状态和强度理论	(122)
第一节 应力状态概述	(122)
第二节 平面应力状态分析 (解析法)	(123)
第三节 强度理论	(130)
第四节 梁的主应力及强度计算	(132)
第十章 组合变形	(138)
第一节 斜弯曲	(138)
第二节 偏心压缩 (拉伸)	(141)
第三节 弯扭组合	(146)
第十一章 压杆稳定	(153)
第一节 压杆稳定的概念	(153)
第二节 细长压杆的临界力和临界应力	(154)
第三节 欧拉公式的适用范围和临界应力总图	(157)
第四节 压杆稳定的实用计算	(160)
第十二章 静定结构内力计算	(168)
第一节 静定平面刚架	(168)
第二节 三铰拱	(176)
第三节 平面桁架	(181)
第十三章 静定结构位移计算	(188)
第一节 变形体系的虚功原理	(188)
第二节 荷载作用下的位移计算 (单位荷载法)	(189)
第三节 图乘法	(191)
第四节 支座移动和温度改变时的位移计算	(196)
第十四章 力法	(202)
第一节 超静定结构概述	(202)
第二节 力法基本概念	(203)
第三节 荷载作用时超静定结构的内力计算	(205)
第四节 对称结构的计算	(218)
第五节 支座移动和温度改变时超静定结构的内力计算	(223)
第六节 超静定结构的位移计算	(226)

第七节	超静定结构特性·····	(230)
第十五章	位移法·····	(235)
第一节	位移法基本概念·····	(235)
第二节	等截面直杆的形常数和载常数·····	(236)
第三节	位移法基本未知量和基本结构·····	(240)
第四节	位移法典型方程及计算步骤·····	(241)
第五节	对称性的利用·····	(245)
第六节	算例·····	(249)
第十六章	力矩分配法·····	(254)
第一节	力矩分配法基本概念·····	(254)
第二节	单结点的力矩分配·····	(256)
第三节	多结点的力矩分配·····	(260)
附录一	截面的几何性质·····	(268)
第一节	静矩和形心·····	(268)
第二节	惯性矩、极惯性矩、惯性积和惯性半径·····	(269)
第三节	惯性矩和惯性积的平行移轴公式·····	(272)
第四节	主轴、主惯性矩、形心主轴和形心主惯性矩·····	(274)
附录二	型钢表·····	(276)
表附 2-1	热轧等边角钢 ·····	(276)
表附 2-2	热轧不等边角钢 ·····	(281)
表附 2-3	热轧普通槽钢 ·····	(285)
表附 2-4	热轧普通工字钢 ·····	(287)
主要参考书目	·····	(289)

第一章

绪 论

建筑力学主要研究土建结构的力学性能。结构,是指建筑物中承担荷载起骨架作用的部分,组成结构的部件称为构件。建筑力学研究的主要内容包括:刚体的平衡问题;构件(主要是杆件)在外部因素作用下的内力与变形分析;结构(主要是杆系结构)的几何组成、受力变形特性及内力、位移的计算等。

在平衡分析中,不考虑受力物体本身的变形,即视为刚体,然后研究各种力系对于物体作用的总效应和力系的平衡条件。其基本问题为:讨论各种力系的简化方法及其平衡条件。

构件的受力分析包括对各种基本变形形式下构件的强度、刚度和稳定性分析,同时研究各种材料的主要力学性质。构件本身为可变形固体。

结构分析中讨论各种结构的几何特性,并进而进行内力、应力、位移和变形的计算,为解决结构的设计与校验问题奠定基础。

第一节 基本假设

自然界中的物体不仅受多种外部因素的影响,其本身性质也是五花八门、多种多样的。在建筑力学的研究中,不可能将各种因素同时加以考虑。这就需要忽略若干次要性质,集中讨论其主要性质,即将复杂的真实物体抽象简化为只具有主要性质的理想物体,然后再对其进行研究。

一、刚体与变形固体

在静力平衡问题的研究中,将被研究物体视为刚体。实际上自然界中并不存在绝对的刚体——永不变形的固体。一般的固体,例如房屋的各个部分或机器的各个零、部件,受力后都将发生变形,但这种变形通常都非常小。因此,在进行力的外效应(力作用使物体的机械运动状态发生改变)计算时,都不考虑它们受力后所发生的微小变形,而把它们看作是不变形的刚体。力使受力物体发生变形,称为力的内效应或变形效应。在考虑力对物体的内效应时,则必须考虑物体几何形状与尺寸的变化,即将物体视为可变形固体。本教材第2章所讨论物体均视为刚体,其余各章均为可变形固体。

二、完全弹性体与小变形

变形固体在外力作用下产生的变形,就其变形性质可以分为两种:弹性变形和塑性变形。弹性变形是指变形体上外力去掉后可以消失的变形。塑性变形是指外力去掉后残留的变形,又称残余变形。

去掉外力后能完全恢复原状的物体称为完全弹性体。虽然自然界并不存在完全弹性

体,但常用的一些工程材料,如金属、木材等,当外力不超过某一限度时,很接近于完全弹性体,这时可以将其看作完全弹性体。本书中所讨论的问题,除特别指明外,均将所研究物体视为完全弹性体。

工程中大多数的构件,在荷载下产生的变形与构件本身尺寸相比很小,称为“小变形”。本书中所研究的变形均属小变形的范围。因此,在研究构件的平衡问题时,可以用构件变形前的原始尺寸进行计算;在进行变形计算时,也可以略去变形的高次项。

三、材料的连续、均匀和各向同性

连续是指固体内部没有空隙。相应地,固体内出现的物理量(如变形、位移等)也可以看成是连续的,从而可以用坐标的连续函数来描述。

均匀是指固体内各处的力学性质完全相同。从而可以取出物体的任意微小部分来研究,其结果可以推广至整个物体;同时,也可以将那些用大尺寸试件在实验中获得的材料的力学性质用到任何微小部分上去。

各向同性是指固体在各个方向上具有相同的力学性质。这样,在研究了材料沿某一方向的力学性质后,就可以将其结论用于任何方向。

根据上述假设,将常用的工程材料如钢、铸铁、塑料以及混凝土等简化为连续、均匀,各向同性的理想介质,不仅使工程计算得以大大简便,更重要的是这些假设虽具有近似性,但已为实践所验证:依据它们所得出的结论是可以满足工程所需精确度的。

第二节 基本概念

建筑力学研究中,涉及到荷载、反力、内力、位移等多种物理量,下面进行简单地介绍。

一、荷载

构件在正常工程情况下,通常都承受一定的力。如建筑物中的梁承受楼板或屋顶传给它的重量,螺钉承受被紧固物对它的作用力等等。这些重量和力统称为加在构件上的荷载。工程中常见的荷载有以下几种:

1. 集中力

荷载作用在很小的面积上时,可以近似地看作一个集中力,其大小等于分布荷载的合力,作用在该小面积所在处的一个点上。

通常用 F_p 表示集中力,其单位为 N, kN 等。

2. 分布力

荷载作用在构件的部分或全部面积上,其集度的大小可以随作用点的不同而不同。

通常用 q 表示分布力,在杆系分析中分布荷载的单位为 N/m, kN/m 等。

3. 集中力偶

两个大小相等、方向相反的平行力组成一个力偶。当荷载的分布范围与构件的尺寸相比很小时,可以看作是一个集中力偶。

通常用 M 或 T 表示集中力偶,其单位为 $N \cdot m$, $kN \cdot m$ 等。

4. 分布力偶

当一系列力偶作用在物体的部分或全部面积上,其大小可以随作用点的不同而不同,则称该种荷载为分布力偶。

通常用 m 或 t 表示分布力偶,在杆系分析中,其单位为 $\text{N}\cdot\text{m}/\text{m}$, $\text{kN}\cdot\text{m}/\text{m}$ 等。

若按荷载的作用时间分类,荷载又可以分成静荷载与动荷载两种。

静荷载,是指荷载由零开始缓慢、平稳地增加到终值,而后保持不变。本书中所涉及的荷载,除特别指明外,均为静荷载。

动荷载,是指荷载的大小、方向随时间变化而改变的荷载。如荷载方向、大小随时间发生周期性变化的循环荷载;荷载大小、方向在短时间内急剧变化的冲击荷载等。

如果从引起荷载的原因分类,又可以将荷载分为风荷载、地震荷载,温度荷载等等。

总之,荷载体现了被研究物体所承受的外部作用力,是引起构件内部作用力和构件变形的外部因素。

二、约束和约束反力

工程结构物、机器以及组成它们的构件,不论相对于地面是静止的还是运动的,一般都受到其它物体的阻碍、限制而不能任意运动。这种对物体的运动起限制作用的物体,称为被考察物体的约束。

约束物体对被约束物体的作用,称为约束反力,简称反力。常见的约束有以下几种:

1. 柔索

绳子、皮带、链条等柔索约束只能限制被约束物体沿柔索轴线离开方向的运动,因此只能产生单方向的约束反力——沿着轴线方向,且背离受约束物体的拉力,如图 1-1 中绳索的约束反力 S_1 和 S_2 。

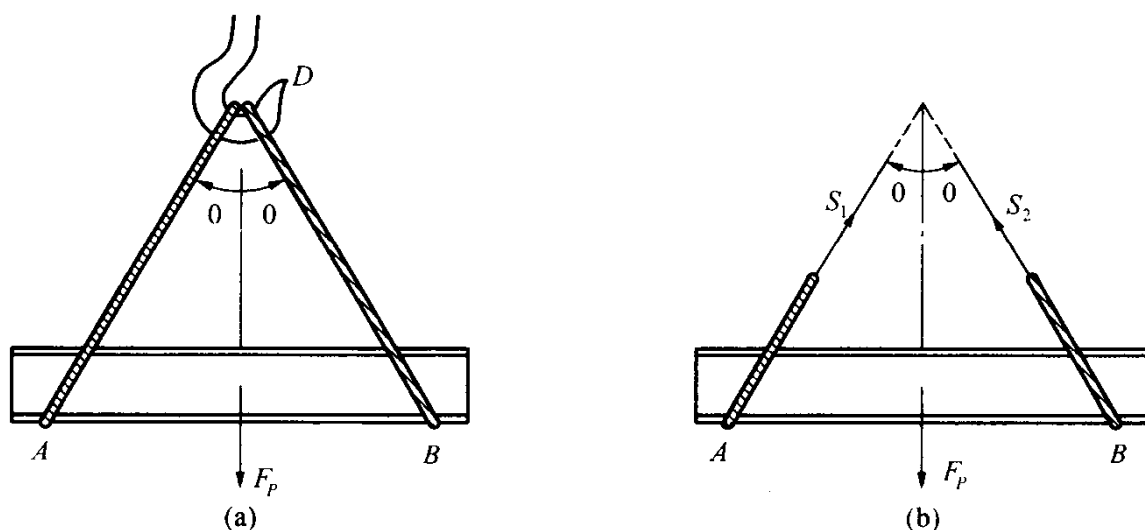


图 1-1

2. 光滑面

当两物体接触面上的摩擦力与其他作用力相比很小时,可以忽略摩擦力,这样的接触面则称为光滑面。因为光滑面只能限制物体沿着接触点公法线向着光滑面方向的运动,所以光滑面的约束反力通过接触点沿着接触面公法线,指向被约束物体,如图 1-2 中钢轨对车

轮的约束反力 F_N 。

3. 光滑圆柱铰

在两个构件上分别开一直径相同的圆孔,再用圆柱形销子插入两圆孔中,将两构件连接起来,使构件只能绕销钉的轴线转动(图 1-3a)。由于是光滑圆柱铰,接触面摩擦力不计,约束反力应通过接触点的公法线且指向被约束物体(图 1-3b、c)。因为接触点 K 的位置往往不能预先确定,所以约束反力 F_R 的方向也不能预先确定,通常用通过铰中心垂直于铰轴线的两个未知分力 F_x 和 F_y 表示(图 1-3d)。

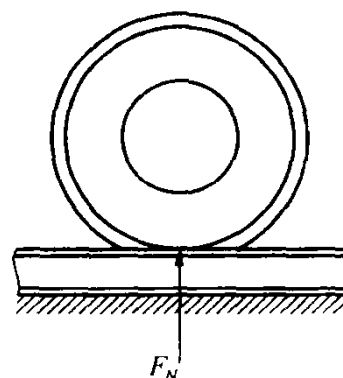


图 1-2

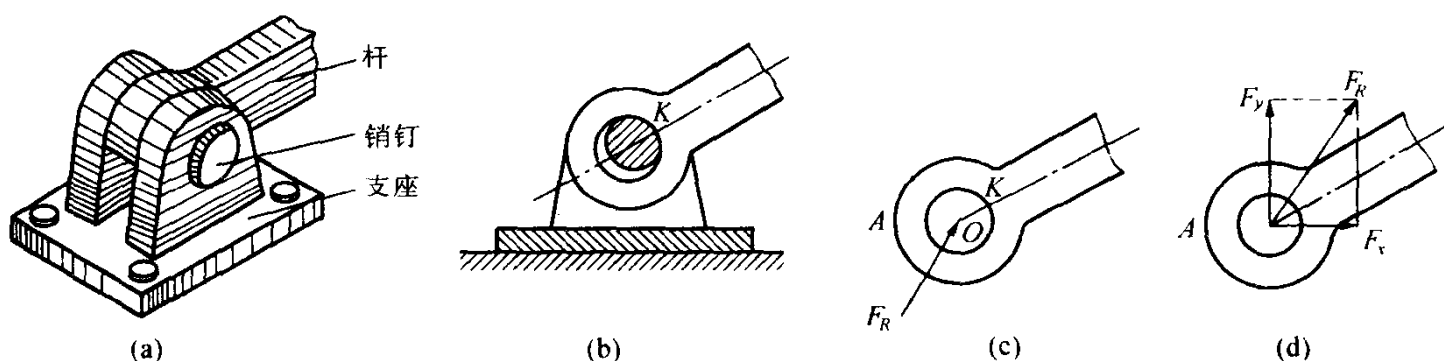


图 1-3

4. 链杆

用一重量可忽略不计的刚性直杆,两端用铰分别和两个构件联结的约束叫链杆,如图 1-4a 中的 DE 杆即为链杆。链杆只能阻止构件沿链杆两端铰中心线方向的运动,约束反力通过铰中心,沿着链杆轴线,指向与被约束物体的运动方向相反,可以是拉力也可以是压力,如图 1-4b、c 所示。

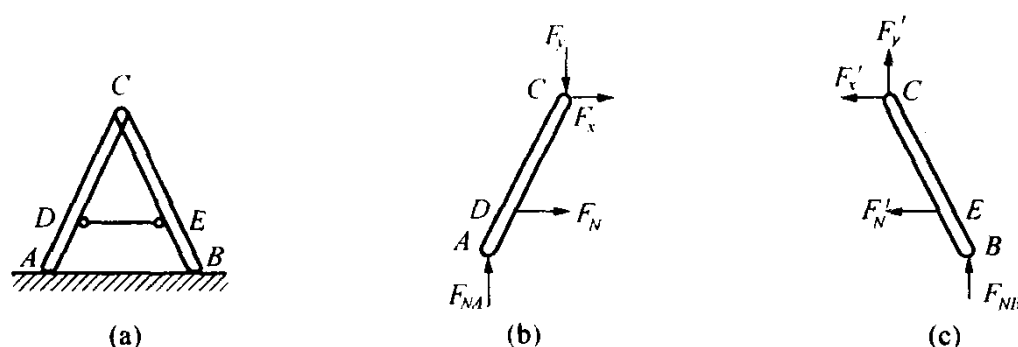


图 1-4

三、内力

通常构件是由可变形的固体材料加工制成,其内部各质点间存在着相互作用的内聚力。当构件受到外力作用产生变形时,其内部各质点的相对位置也发生改变,相互间的作用力与反作用力也随之改变。工程上把这种由于外力所引起的构件内部的力的改变量,称为构件的内力。

四、位移

位移即是位置的移动。对于刚体来说,发生位移的前后刚体本身的尺寸、形状不变,因此可以用刚体上任一点的位移来表示整个刚体的移动,即刚体上各点的位移相同。对于变形体,受外部因素作用后,物体本身的尺寸、形状也发生变化,各点具有不同的位移。由于变形固体本身的连续性,其上各点的位移通常可以表示为位置坐标的连续函数。

第三节 计算简图

进行物体的受力和计算时,通常需要对实际物体进行简化,保留其主要的受力特性,忽略次要的因素以便于计算,简化后物体的这种图形称为计算简图。

例如图 1-5a 为放置于墙上的梁,在 C 处放置一宽度为 d 的重物。该梁的实际受力情况如图 1-5b 所示。由于 A 和 B 处墙对梁的反力为非均匀的分布力,其分布规律尚需仔细研究,因此使梁 AB 的受力分析相当繁琐。为此,进行以下简化:

首先将实际的梁用其轴线代表;然后将墙对梁的约束作用代之以相应的支座;最后在 d 很小的情况下,将小段分布力 q 用集中力 $F_P = qd$ 代替。同物体的计算简图如图 1-5c 所示。

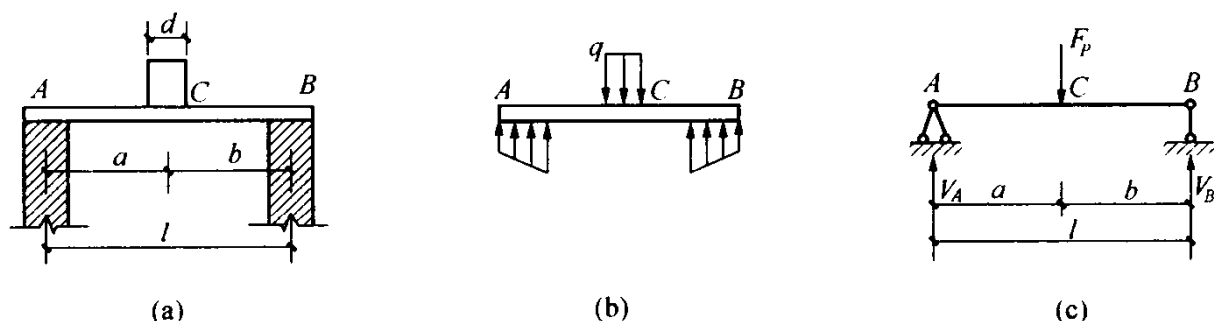


图 1-5

由上例可知,计算简图通常是由下面几个方向进行简化后所得。即:物体本身图形的简化,如杆件通常用其轴线表示等;荷载的简化,如小段分布力通常用其合力作为集中力处理等;约束的简化,即将实际中各式各样的约束抽象化为典型的几类约束处理,如上例中将墙对梁的约束简化为固定铰支座(左端点)和可动铰支座(右端点)。

把结构与地基或其它支承物连接起来的约束叫支座。对于平面结构常用以下三种支座。

1. 固定铰支座

支座固定在支承物上,结构与支座通过光滑圆柱铰联结,称为固定铰支座。固定铰支座的计算简图如图 1-6a、b 所示,其约束反力通过铰中心且垂直于铰轴线,方向不能预先确定。通常用通过铰中心的水平反力 F_x 和竖向反力 F_y 表示如图 1-6c。

2. 可动铰支座

可动铰支座在固定铰支座底板下装有可以在支承面上自由滚动的辊轴,允许结构沿平行于支承面方向的移动,称为可动铰支座。可动铰支座计算简图如图 1-7a、b 所示,其约束反力通过铰中心且垂直于支承面,通常用 F_y 表示如图 1-7c。

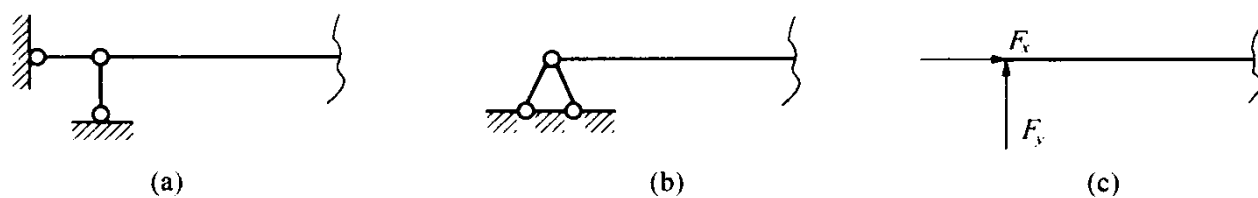


图 1-6

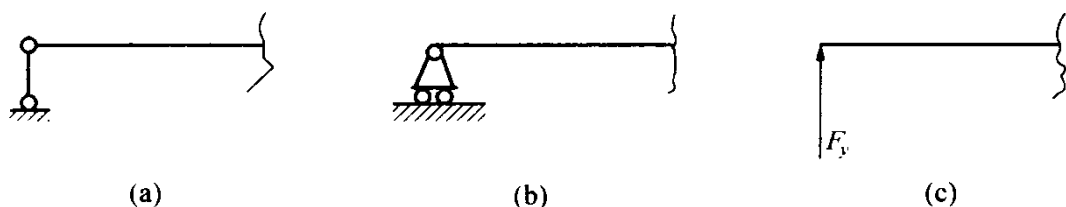


图 1-7

3. 固定支座

固定支座限制了结构在联接点处的上下和左右移动,也限制了该点处结构截面的转动,称为固定支座。固定支座的计算简图如图 1-8a 所示,其约束反力有通过连接点的水平反力 F_x 和竖直反力 F_y ,还有反力偶矩 M ,如图 1-8b 所示。

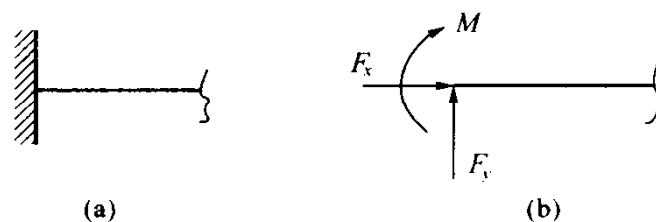


图 1-8

第四节 杆件的基本变形

杆件,是指其长度相对于两个横向尺寸大得多的构件。例如图 1-9 中所示构件,其长度 l 远大于横截面的高度 h 和宽度 b ,称为杆件。

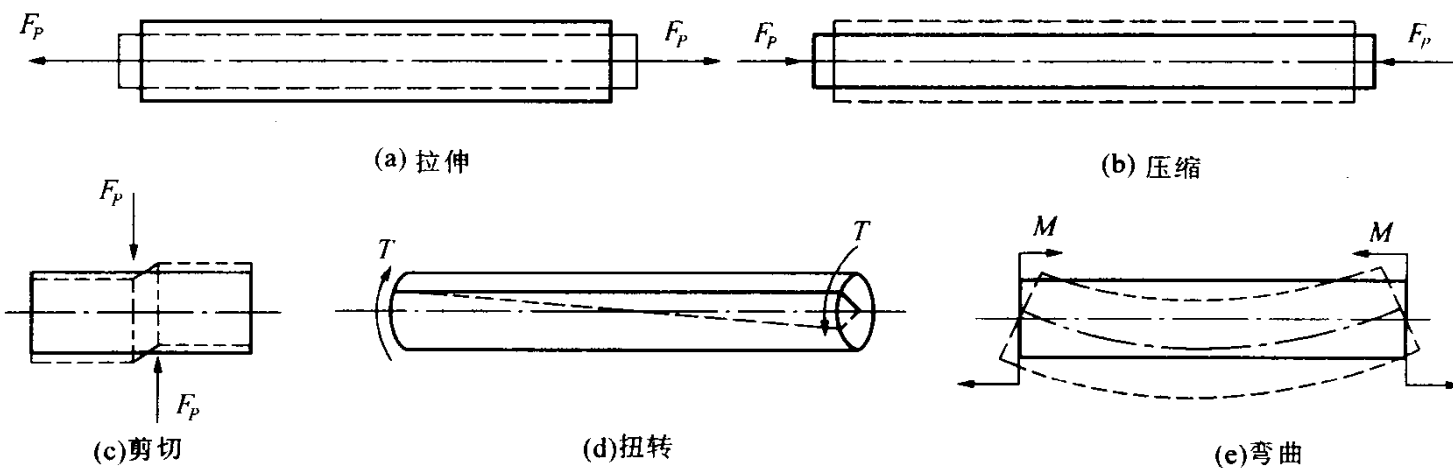


图 1-9

就杆件本身而言,可以按其轴线的形状分为直杆、曲杆和折杆;也可以按其横截面分为等截面杆和变截面杆,而变截面杆又可以细分为阶梯杆和截面连续变化的渐变杆,下面主要讨论等截面直杆的基本变形。

1. 轴向拉伸和压缩:在一对大小相等、方向相反、作用线与杆轴线重合的外力作用下,使杆件的长度发生伸长或缩短。这种变形称为轴向拉伸或压缩(图 1-9a,b)。

起吊重物的钢索、桁架中的杆件、柱子和基础等,在受力过程中均发生轴向拉伸或压缩变形。

2. 剪切:在一对相距很近、大小相等、方向相反、作用线垂直于杆件轴线的外力作用下,使杆件的横截面沿外力作用方向发生错动。这种变形称为剪切(图 1-9c)。

销钉、螺栓等连接件受力时常发生剪切变形。

3. 扭转:在一对大小相等、转向相反、位于垂直于杆轴线的两平面内的力偶作用下,杆件任意两个横截面发生绕轴线的相对转动。这种变形称为扭转(图 1-9d)。

机械中的传动轴即发生扭转变形。

4. 弯曲:在垂直于杆件轴线方向的横向力作用下,或在一对大小相等、转向相反、位于杆的纵向平面内的力偶作用下,杆件的轴线由直线变为曲线。这种变形称为弯曲(图 1-9e)。

楼板梁、火车轮轴等都发生弯曲变形。

以上为杆件的四种基本变形。在实际中,构件的变形可能是四种基本变形中的某一种,也可能是几种基本变形的组合,称为组合变形。

第二章

平面杆件体系的几何组成分析

建筑力学的重点是杆件结构。所谓杆件结构是由若干杆件相互联结所组成的体系,并与基础联结成一体。体系的几何组成分析是研究结构计算的基础。它除了研究结构的组成方法外,还与结构的受力分析密切相关。

在分析杆件体系的形状时,不考虑杆件的变形,即将杆件视为不发生变形的刚体(平面刚体,称为刚片)。本章的讨论中,杆件都看作刚片。

第一节 几何不变体系、几何可变体系的概念

根据杆件体系的形状和位置,杆件体系可分为两类:

(1)几何不变体系——体系的几何形状和位置都不能改变。如图 2-1a、b 所示。

(2)几何可变体系——体系的几何形状和位置是可以改变的。如图 2-2a、b 所示。

为了能够承受荷载,结构的几何形状必须是不能改变的。几何可变体系不能用作结构。与几何不变和几何可变体系相应的还有内部几何不变和内部几何可变体系两种情况。

图 2-1c 所示铰结三角形,虽然其位置在平面内是可以改变的,但铰结三角形的形状是不能改变的,称为内部几何不变体系,简称内部不变。图 2-2c 所示铰结四边形,不仅其位置在平面内是可以改变的,四边形的形状也是可以改变的,称为内部几何可变体系,简称内部可变。内部几何不变体系可视为一刚片。

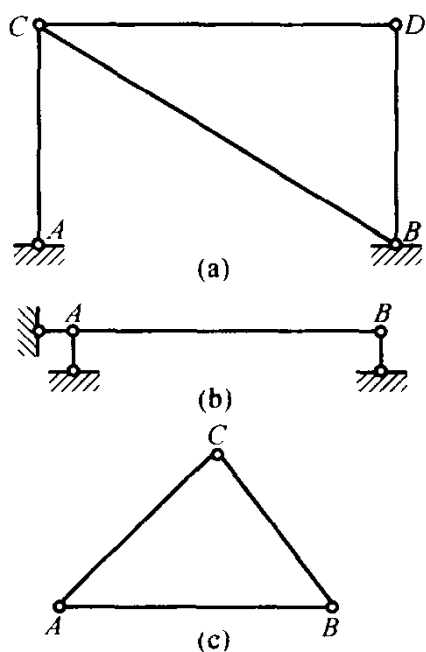


图 2-1

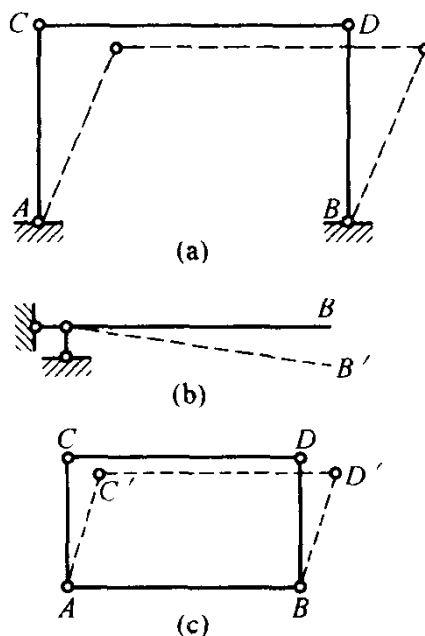


图 2-2

第二节 自由度和约束的概念

一、自由度

体系机动分析中所说的自由度是体系运动时可以独立改变的几何参数的数目,即确定体系位置所需的独立坐标的数目。

1. 一个点的自由度

平面内一个点的运动可以分解为两个方向的移动,或一个点的位置需由两个独立的坐标来确定,如图 2-3 所示。所以一个点在平面内具有两个自由度。

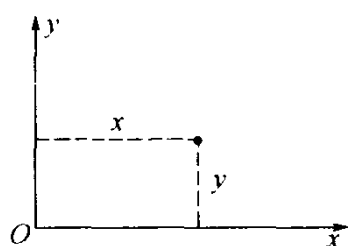


图 2-3

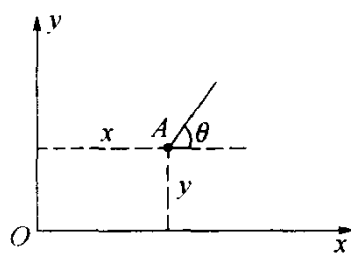


图 2-4

2. 刚片的自由度

平面内一个刚片的运动可以分解为两个方向的移动和绕某点的一个转动。如图 2-4 所示刚片的位置由三个坐标 x_A 、 y_A 和 θ 来确定。所以一个刚片在平面内具有三个自由度。

二、约束

使体系减少自由度的装置或联结称作约束。能减少几个自由度就叫做几个约束。

1. 链杆

如图 2-5a 所示,两刚片用链杆 AB 联结后,相互间沿 AB 方向的移动受到约束,使相互之间的自由度减少了一个。因此,一个链杆联结相当于一个约束。

2. 简单铰

连结两个刚片的铰叫做简单铰。如图 2-5b 所示,两刚片未用简单铰联结前,相互之间有三个自由度,用铰 A 联结后,相互间只能绕 A 相对转动,即只有一个自由度。所以简单铰减少了两个自由度,简单铰相当于两个约束。

3. 简单刚结

连接两个刚片的刚结叫做简单刚结。如图 2-5c 所示。两刚片用刚结点联结后,相互之间没有相对运动,使相互间自由度减少了三个。因此,一个简单刚结相当于三个约束。也可以这样理解:两刚片用刚结点联结后可看成

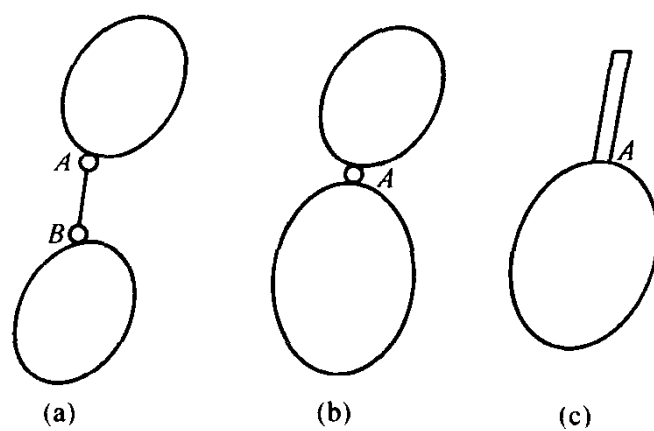


图 2-5

为一个刚片。

4. 复铰

联结三个或三个以上的刚片的铰称为复铰。复铰的作用可以通过单铰来分析。图 2-6 所示的复铰 A 联结三个刚片, 它的联结过程可想象为: 先有刚片 1, 然后用单铰将刚片 2 联结于刚片 1, 再以单铰将刚片 3 联结于刚片 1。这样, 联结三个刚片的复铰相当于两个单铰。同理, 联结 N 个刚片的复铰可折算成 $(n-1)$ 个简单铰, 相当于 $2(n-1)$ 个约束。

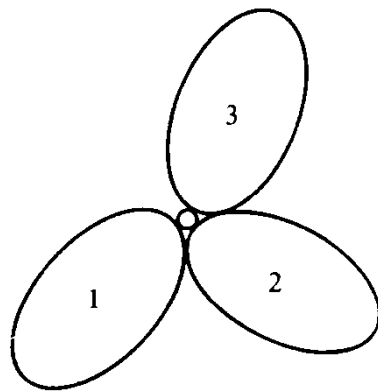


图 2-6

三、约束代换和瞬铰

一个简单铰相当于两个约束, 两根链杆也相当于两个约束, 因此一个简单铰相当于两根链杆。也就是说, 约束是可以代换的。如图 2-7a 所示两刚片用两根链杆 AB 和 AC 相连后, AB 和 AC 交于刚片 1 的 A 点, 则 A 成为具有确定位置的实际的简单铰。铰 A 的作用是使刚片 1 只能绕 A 转动。如果联结两刚片的两个链杆不在刚片上相交(如图 2-7b 所示), 这时两链杆的作用是使刚片 1 只能绕瞬心 O 转动(瞬心 O 在二链杆延长线的交点处)。所以刚片 1 与刚片 2 用图示两链杆相联结, 相当于把刚片 2 扩展在点 O 以单铰与刚片 1 联结。交点 O 处的铰并不是真实的, 称为虚铰。在运动过程中虚铰(瞬心)的位置要改变, 因此又称瞬铰。在研究指定位置的运动时, 虚铰和实铰所起的作用是相同的, 它们都是相对转心。

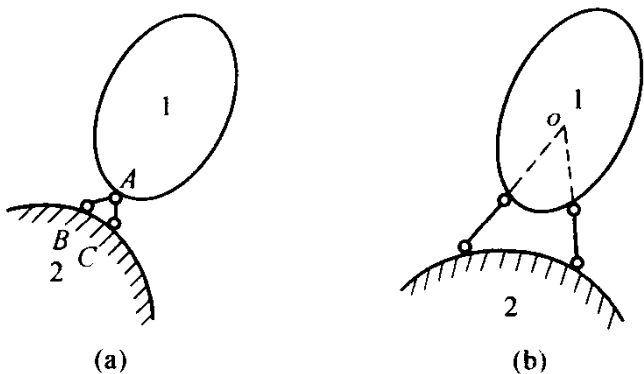


图 2-7

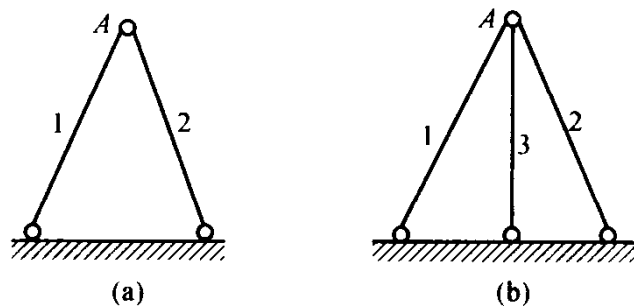


图 2-8

四、必要约束和多余约束

在杆件体系中能限制体系自由度的约束, 称为必要约束; 而对限制体系自由度不起作用的约束, 称为多余约束。

图 2-8a 中点 A 用两根不共线的链杆与基础相连, A 点的两个自由度受到了约束。因此, 链杆 1 和 2 都是必要约束。如果 A 点再增加一个链杆 3 与基础相连, 如图 2-8b 所示, 则链杆 3 即为多余约束。实际上, 三根链杆中的任何一根, 都可看成是多余约束。