

建筑力学

主编 李舒瑶 许永安



北京理工大学出版社
BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS

建筑力学

主 编 李舒瑶 许永安

副主编 李默涵

参 编 李 静 宋晓芳
杨柯红

内 容 简 介

本书主要分为理论力学、材料力学、结构力学三大部分,各部分内容之间互相协调,有机结合,避免了三大力学内容之间的重复,力求言简意赅。其中理论力学部分主要包括绪论、静力学基础知识、平面力系;材料力学部分主要包括轴向拉压构件、平面图形的几何性质、平面弯曲构件、组合变形;结构力学部分主要包括平面体系的几何组成分析、静定结构内力计算、静定结构位移计算、超静定结构简析。

本书可作为高等院校建筑工程技术、工程造价、建筑电气与智能化等土建专业的教学用书,也可供相关人员参考使用。

版权专有 侵权必究

图书在版编目(CIP)数据

建筑力学/李舒瑶,许永安主编. —北京:北京理工大学出版社, 2018.9

ISBN 978 - 7 - 5682 - 6299 - 6

I. ①建… II. ①李… ②许… III. ①建筑科学 - 力学 - 高等学校 - 教材 IV. ①TU311

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2018) 第 205996 号

出版发行 / 北京理工大学出版社有限责任公司

社 址 / 北京市海淀区中关村南大街 5 号

邮 编 / 100081

电 话 / (010) 68914775 (总编室)

(010) 82562903 (教材售后服务热线)

(010) 68948351 (其他图书服务热线)

网 址 / <http://www.bitpress.com.cn>

经 销 / 全国各地新华书店

印 刷 / 北京紫瑞利印刷有限公司

开 本 / 787 毫米 × 1092 毫米 1/16

印 张 / 9.5

字 数 / 206 千字

版 次 / 2018 年 9 月第 1 版 2018 年 9 月第 1 次印刷

定 价 / 40.00 元

责任编辑 / 陆世立

文案编辑 / 赵 轩

责任校对 / 周瑞红

责任印制 / 李志强

图书出现印装质量问题,请拨打售后服务热线,本社负责调换

德是育人的灵魂统帅，是一个国家道德文明发展的体现。坚持“育人为本、德育为先”的育人理念，把“立德树人”作为教育的根本任务，为教材建设指引方向。

立德树人，德育为先。教材编写应将习近平新时代中国特色社会主义思想渗透至教材各个章节，帮助同学们用习近平新时代中国特色社会主义思想武装头脑，树立正确的世界观、人生观、价值观，加强自我修养，提高思想道德素质，促进大学生德、智、体、美全面发展。

立德为先，树人为本。教材编写应着力培养学生的社会责任感、创新精神和实践能力，通过改革教育内容和教学方法，突出学生主体地位，注重学生个性化发展，把大学生培养成“站起来能讲，坐下去能写，走出去能干”的“三能”人才，引导广大学生坚定理想信念，志存高远，脚踏实地，勇于做时代的弄潮儿。

教材注重引导学生积极参与教学活动过程，突破教材建设过程中过分强调知识系统性的思路，把握好教材内容的知识点、能力点和学生毕业后的岗位特点。编写以必需和够用为度，适应学生的知识基础和认知规律，深入浅出，理论联系实际，注重结合基础知识、基本训练以及实验实训等实践活动，培养学生分析、解决实际问题的能力。

本书是在理论力学、材料力学和结构力学这三门课程的基础上编写的，对三者进行了整合，减少了三者重叠的内容，并适应土建类本科生和建筑电气与智能化专业本科生的需要，注重学习内容的基础性，兼顾知识的完整性。教材的编写从解决问题入手，把能用同一种方法解决的问题设置成一章，归类讲解，方便学习；讲解顺序按照外力、内力、应力这条主线，最终是为了解决结构或构件的强度问题，让学生明确学习建筑力学的目的。本书能帮助学生有效地吸收课程知识，达到学有所用的目的，从而实现高等院校应用型人才培养目标。

本书由李舒瑶、许永安任主编，李默涵任副主编，李静、宋晓芳、杨柯红参与编写。

具体编写分工为：李舒瑶负责编写第十章，许永安负责编写第二章、第十一章，李默涵负责编写第三章、第六章，李静负责编写第五章、第八章，宋晓芳负责编写第一章，第七章，杨柯红负责编写第四章、第九章。

由于编者水平有限，书中难免有不足之处，敬请读者批评指正。

编者

目 录

第一章 绪论	(1)
第一节 建筑力学概述	(1)
一、建筑力学的概念	(1)
二、建筑力学的研究对象	(1)
三、建筑力学的内容	(3)
四、建筑力学的任务	(3)
第二节 刚体和变形体	(4)
第三节 荷载	(5)
一、荷载的定义及分类	(5)
二、荷载的简化和计算	(6)
第二章 静力学基础知识	(8)
第一节 力学基本概念	(8)
一、力	(8)
二、力系与平衡	(9)
第二节 静力学基本公理	(10)
第三节 约束与约束反力	(12)
一、约束与约束反力的概念	(12)
二、常见约束与约束反力	(13)
第四节 物体的受力分析和受力图	(18)
一、物体的受力分析	(18)
二、物体受力图的画法	(18)
第三章 平面力系	(22)
第一节 平面汇交力系	(22)
一、平面汇交力系合成的几何法	(22)

二、平面汇交力系平衡的几何条件	(23)
第二节 平面力偶系	(26)
一、力矩	(26)
二、力偶与力偶矩	(27)
三、平面力偶系的合成	(28)
四、平面力偶系的平衡条件	(28)
五、工程中的平面力系问题	(29)
第三节 平面任意力系	(31)
一、力的平移定理	(31)
二、平面任意力系向一点简化、主矢和主矩	(32)
三、简化结果分析及合力矩定理	(33)
四、平面任意力系的平衡	(34)
第四章 轴向拉压构件	(39)
第一节 轴向拉压构件的内力	(39)
一、轴向拉(压)杆件的概念	(39)
二、轴向拉(压)杆件的内力	(39)
三、轴向拉(压)杆件内力的计算	(40)
四、轴向拉(压)杆件轴力图的绘制	(41)
第二节 拉压杆件截面上的应力和强度	(42)
一、应力的概念	(42)
二、正应力公式的适用条件	(44)
三、轴向拉(压)杆的强度	(44)
第三节 轴向拉压构件变形及刚度计算	(45)
一、轴向变形	(45)
二、横向变形	(45)
三、泊松比	(46)
四、胡克定律	(46)
五、刚度	(46)
第四节 压杆稳定	(47)
一、问题的提出	(47)
二、压杆稳定的概念	(47)
三、轴向压杆的三种平衡状态	(47)
四、提高压杆稳定的措施	(49)
第五章 平面图形的几何性质	(51)
第一节 静矩和形心	(51)
一、平面图形的静矩	(51)
二、简单图形的形心	(52)

三、组合图形和静矩定理	(52)
第二节 惯性矩及平行移轴公式	(52)
一、惯性矩	(52)
二、惯性积	(54)
三、平行移轴公式	(54)
第六章 平面弯曲构件	(57)
第一节 平面弯曲杆件的内力	(57)
一、平面弯曲及梁的概念	(57)
二、梁的内力	(59)
第二节 静力法画受弯构件的内力图	(63)
一、梁的剪力方程和弯矩方程	(63)
二、梁的剪力图和弯矩图	(63)
第三节 直接法画受弯构件的内力图	(66)
一、梁内力图的特点和规律	(66)
二、直接法画梁的剪力图和弯矩图	(67)
第四节 受弯构件的应力及强度计算	(69)
一、纯弯曲时梁横截面上的正应力	(69)
二、梁横截面上的正应力强度条件	(73)
三、梁横截面上的切应力及强度计算	(76)
四、提高梁弯曲强度的措施	(77)
第七章 组合变形	(83)
第一节 组合变形的概念和计算思路	(83)
一、组合变形的概念	(83)
二、组合变形的计算思路	(84)
第二节 拉伸(压缩)与弯曲的组合变形	(84)
第三节 偏心压缩(拉伸)的强度计算	(87)
第八章 平面体系的几何组成分析	(92)
第一节 结构几何组成分析	(92)
一、几何组成分析概述	(92)
二、几何不变体系的组成规则	(95)
第二节 静定结构及超静定结构	(98)
一、静定结构	(98)
二、超静定结构	(98)
第九章 静定结构内力计算	(103)
第一节 多跨静定梁	(103)

一、多跨静定梁的组成	(103)
二、多跨静定梁的应用	(103)
三、多跨静定梁杆件间的支撑关系	(103)
四、多跨静定梁的内力分析	(104)
第二节 静定刚架	(107)
一、刚架的特征	(107)
二、刚架的应用	(107)
三、刚架的内力计算	(107)
第三节 静定桁架	(110)
一、桁架的特点	(110)
二、桁架的应用	(111)
三、桁架的形式	(111)
四、桁架的计算方法	(111)
五、桁架计算举例	(113)
第四节 三铰拱	(114)
一、拱的特征及其应用	(114)
二、拱式结构的应用	(114)
三、三铰拱的计算	(115)
四、轴力计算	(116)
第十章 静定结构位移计算	(120)
第一节 概述	(120)
一、结构的位移	(120)
二、计算结构位移的目的	(121)
第二节 刚体虚功原理及应用	(122)
一、刚体的虚功原理	(122)
二、刚体虚功原理的应用	(123)
第三节 变形体虚功原理及应用	(128)
一、变形体虚功原理	(128)
二、变形体虚功原理的应用	(130)
第十一章 超静定结构简析	(132)
第一节 力法的基本原理	(132)
第二节 位移法的基本原理	(134)
练习题参考答案	(138)
参考文献	(144)

★学习目标

1. 了解建筑力学的研究对象、内容和任务；
2. 理解刚体与变形体的概念、基本假定及适用范围；
3. 掌握杆件的四种变形形式。

第一节 建筑力学概述

一、建筑力学的概念

建筑力学是将静力学、材料力学、结构力学的主要内容按照相近、相似内容集于一处的原则，进行贯通融合而成的一门综合学科，是提供建筑结构受力分析和计算理论依据的一门学科。

二、建筑力学的研究对象

建筑力学的研究主体是各种各样的建筑物或构筑物。

建筑物是指具备、包含或提供人类进行生产、生活、游玩、观赏和其他活动的房屋和场所，如工厂、住宅、亭台楼阁、纪念性建筑物等。

图 1.1 为多层房屋建筑物的结构组成。

构筑物是指通常情况下，不包含或不提供人类居住功能的人工建筑，如水塔、水池、过滤池、澄清池、沼气池等。

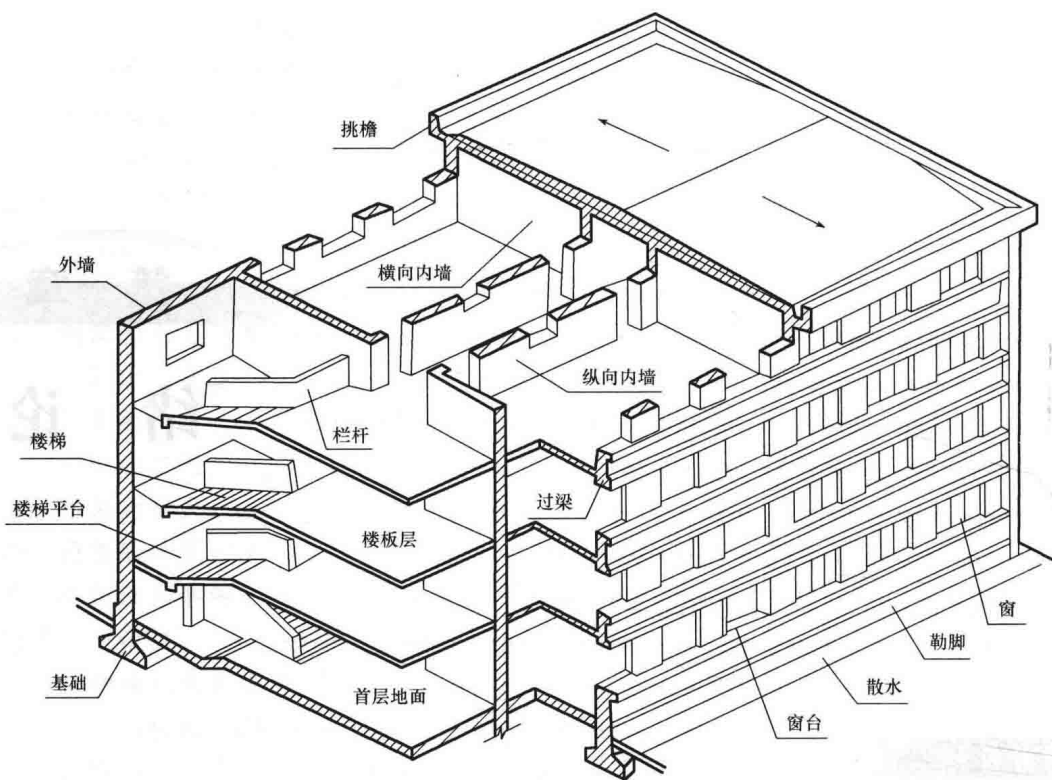


图 1.1 多层房屋建筑物的结构组成

建筑力学的研究对象是建筑物或构筑物的结构及构件。建筑（如厂房、桥梁、闸、坝、电视塔等）是由工程材料制成的构件（如梁、柱等）按合理方式连接而成的。

建筑构件是组成结构的基本部件，如板、梁、柱、基础等。按照几何特征，构件可分为杆件、板壳和块体。杆件的几何特征为长条形，长度远大于其他两个尺度（横截面的长度和宽度）；板壳的厚度远小于其他两个尺度（长度和宽度），板的几何特征为平面形，壳的几何特征为曲面形；块体的几何特征为块状，长、宽、高三个尺度大体相近，内部大多为实体。

建筑结构是指建筑物或构筑物中承受外部作用的骨架，如图 1.2 所示。结构一般是由多个构件连接而成，如桁架、框架等。最简单的结构是单个构件，如单跨梁、独立柱等。

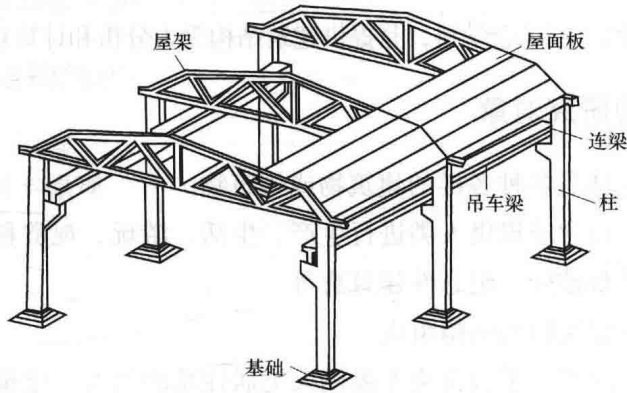


图 1.2 建筑物或构筑物中承受外部作用的骨架

三、建筑力学的内容

建筑结构在建造、使用过程中,一直在承受并传递着各种力的作用。可能出现的外部作用包括荷载作用(恒载、活载、风载、水压力、土压力等)、变形作用(地基不均匀沉降、材料胀缩变形、温度变化引起的变形、地震引起的地面变形等)、环境作用(阳光、风化、环境污染引起的腐蚀、火灾等)。建筑结构在承受荷载的同时,还会承受支撑它的周围物体的反作用力,这些荷载和周围物体的反作用力都是建筑结构受到的外力。通常,在外力作用下,组成结构的各个构件都将受到力的作用,并且产生相应的变形。例如,房屋中的梁要承受楼板传给它的重力,同时还要受到支撑这个梁的柱子的反作用力,在这些力的共同作用下,梁会产生一定的弯曲变形。如果构件受到的力太大,构件及整个建筑结构将会被破坏。

结构物若要正常工作,不被破坏,就必须保证在荷载作用下,组成结构物的每一个构件都可以安全、正常地工作。因此,结构物及其构件在力学上必须满足以下要求。

(1) 稳定性:在任何外力(荷载)的作用下,构件应保持原有形式下的平衡。构件保持原有形式平衡的能力,称为稳定性。

结构中,某些细长受压杆件,在受力较小时能够保持原有直线平衡状态,但受力超过某一定值(此值比按强度计算的值要小得多)后,压杆在直线状态下的平衡状态将变得不稳定,稍有扰动,压杆就会突然变弯,导致结构失效,这种现象称为失稳。要避免这种现象,必须使构件具有足够的稳定性。

(2) 强度:结构和构件必须具有一定的承载能力,才不会因承受过大荷载而发生失效破坏。结构和构件抵抗失效破坏的能力称为强度。

例如,厂房中的吊车梁,在吊车起吊重物时,可能因强度不足而发生弯曲断裂。因此,在设计梁时,就要保证它在正常工作情况下不会发生破坏,即构件必须具有足够的强度。

(3) 刚度:结构和构件抵抗变形的能力称为刚度。构件仅仅满足强度要求是不够的,如果变形太大,也会影响其正常工作和使用。变形是指结构和构件承受荷载时形状和尺寸均发生改变。

例如,在吊车起吊重物时,吊车梁产生的弯曲变形太大,就会影响吊车沿吊车梁行走;屋面上的檩条变形过大时,就会引起屋面漏水。因此,构件在外力作用下,所发生的变形需要限制在正常工作所容许的范围内,即构件必须具有足够的刚度。

四、建筑力学的任务

要使结构能承受荷载并维持平衡,作用于结构上的所有外力所构成的力系必须满足静力学的平衡条件,同时结构中的各构件还必须以合理的方式进行组合,满足强度、刚度及稳定性的要求。一般来说,设计者可以为构件选用较好的材料和较大的截面尺寸,但是这样会造成材料浪费,并且结构笨重。可见,安全与经济以及安全与重量之间存在矛

盾。合理地选用材料,恰当地确定构件的截面形状、尺寸,就成为构件设计的重要问题。因此,建筑力学的主要任务是研究结构的几何组成规则,力系的简化,力系的平衡问题,结构及其构件的强度、刚度、稳定性的问题。在既安全又经济的原则下,建筑力学为结构构件设计提供必要的理论基础和计算方法。

第二节 刚体和变形体

在外力作用下形状和大小不发生变化的物体,称为刚体。

实际工程中,物体或多或少会发生变形,有的结构在温度变化等一些外部因素作用下,各部分之间也会产生相互作用力,同时产生变形。在研究某些力学问题时,构件产生的变形对结构的影响很小,可以忽略不计。这时,可将构件视为刚体,从而使问题简化。

在外力作用下,形状发生改变的物体称为变形固体。在一些力学问题研究中,必须考虑变形因素的影响。

建筑力学主要研究的构件是杆件。杆件的几何特征可由横截面和轴线来描述。横截面是与杆长方向垂直的截面,而轴线是各截面形心的连线。各截面相同且轴线为直线的杆,称为等截面直杆。

杆件在不同形式的外力作用下,将发生不同形式的变形。杆件变形的基本形式有以下四种。

(1) 轴向拉伸和压缩——在一对大小相等、方向相反、作用线与轴线相重合的外力作用下,杆件将发生一定长度的改变(伸长或缩短),如图 1.3 所示。

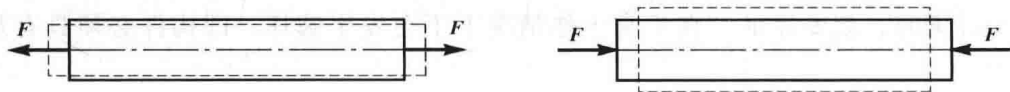


图 1.3 轴向拉伸和压缩

(2) 剪切——在一对相距很近、大小相等、方向相反的横向外力作用下,杆件的横截面将沿外力方向发生错动,如图 1.4 所示。

(3) 扭转——在一对大小相等、方向相反、位于垂直于杆轴线两平面内的力偶作用下,杆的任意两横截面将绕轴线发生相对转动,如图 1.5 所示。

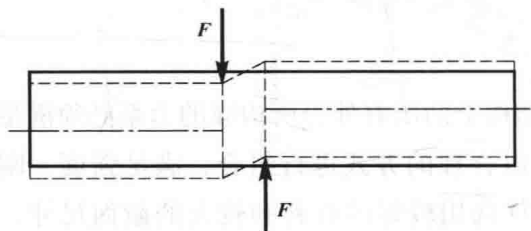


图 1.4 剪切

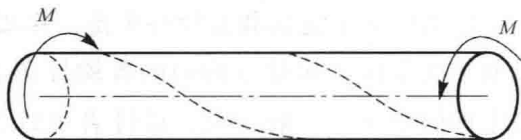


图 1.5 扭转

(4) 弯曲——在一对大小相等、方向相反、位于杆纵向平面内的力偶作用下，杆件的轴线由直线变成曲线，如图 1.6 所示。

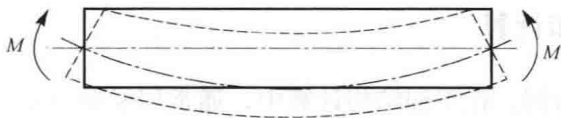


图 1.6 弯曲

工程实际中的杆件，可能同时承受不同形式的外力而发生复杂的变形，但都可看作上述基本变形的组合。由两种或两种以上基本变形组成的复杂变形，称为组合变形。

第三节 荷 载

使结构产生内力和变形（应力、应变）的所有原因，称为作用。作用包括直接作用和间接作用。直接作用是指以力的形式作用于结构上的作用；间接作用是指以变形形式作用于结构上的作用。作用对结构产生的效果、结局（内力、变形等）称为作用效应。当结构上的作用仅为荷载的直接作用时，作用称为荷载效应。

一、荷载的定义及分类

(1) 荷载的定义。工程上将作用在结构或构件上的主动力称为荷载。

(2) 荷载的分类。结构所承受的荷载往往比较复杂，为计算方便，参照有关结构设计规范，根据不同特点对荷载分类如下：

①按作用时间。荷载可分为恒荷载、活荷载和偶然荷载。恒荷载是指长时间作用结构上的不变荷载，如结构的自重、安装在结构上的设备的重量等，其荷载的大小、方向和作用位置是不变的；活荷载是指结构所承受的是可变荷载，如人群、风、雪等荷载；偶然荷载是指使用时不一定出现，一旦出现其值很大，持续时间短，如爆炸荷载。

②按作用范围。荷载可分为集中荷载和分布荷载。集中荷载是指荷载作用的面积相对于总面积而言很小，近似认为荷载是作用在一点上的，如检修荷载；分布荷载是指荷载分布在一定面积或长度上，如风、雪、结构自重等。其中，满布在结构某一体积、表面积、线段上的荷载，分别称为体分布荷载（ N/m^3 ，每体积重力）、面分布荷载（ N/m^2 ，每面积重力）、线分布荷载（ N/m ，每米重力）。结构自重是体分布荷载，风、雪和水的压力是面分布荷载，杆件自重可视为沿杆轴线的线分布荷载。分布荷载还可分为均布荷载及非均布荷载等。

③按作用性质。荷载可分为静力荷载和动力荷载。静力荷载是指缓慢施加而不引起结构振动因而可忽略其惯性力影响的荷载；动力荷载是指能引起明显的结构振动或冲击因而必须考虑其惯性力影响的荷载。

④按作用位置。荷载可分为固定荷载和移动荷载。固定荷载是指荷载作用位置不变的荷载，如结构的自重等；移动荷载是指可以在结构上自由移动的荷载，如车辆轮压等。

二、荷载的简化和计算

以等截面梁的自重为例。在工程结构计算中，通常用梁轴表示一根梁，等截面梁的自重总是简化为沿梁轴方向的均布线荷载 q 。如图 1.7 所示，一矩形截面梁的长为 l (m)，截面宽度为 b (m)，截面高度为 h (m)。

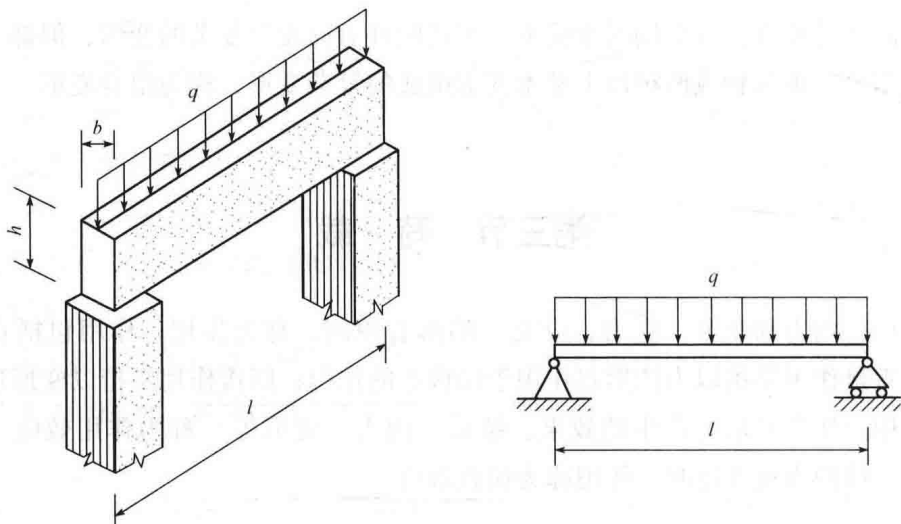


图 1.7 矩形截面梁

设此梁的单位体积重 γ (kN/m^3)，该梁总体积为 $V = bhl$ (m^3)，因此，梁总重 (kN) 为

$$Q = bhl\gamma \quad (1.1)$$

梁的自重沿梁跨度方向是均匀分布的，所以沿梁轴每米长的自重 q 为

$$q = Q/l \quad (1.2)$$

将 Q 代入式 (1.2)，得

$$q = bh\gamma \quad (1.3)$$

q 是梁自重简化为沿梁轴方向的均布线荷载值，均布线荷载 q 也称为线荷载集度。

本章小结

一、建筑力学概述

建筑力学是将静力学、材料力学、结构力学的主要内容按照相近、相似内容集于一处的原则，进行贯通融合而成的一门综合学科，是提供建筑结构受力和计算理论依据的一门学科。

建筑力学的研究主体是各种各样的建筑物或构筑物。建筑结构在建造、使用过程中一直在承受并传递着各种力的作用。可能出现的外部作用包括荷载作用、变形作用、环境作用等。

建筑力学的主要任务是研究结构的几何组成规则,力系的简化,力系的平衡问题,结构及其构件的强度、刚度、稳定性的问题。

二、刚体、变形体

刚体:在外力作用下形状和大小不发生变化的物体称为刚体。

变形体:在外力作用下,形状发生改变的物体称为变形固体。在一些力学问题研究中,必须考虑变形因素的影响。

三、杆件的四种变形

杆件在不同形式的外力作用下,将发生不同形式的变形。但杆件变形的基本形式有四种:

(1) 轴向拉伸和压缩——在一对大小相等、方向相反、作用线与轴线相重合的外力作用下,杆件将发生一定长度的改变(伸长或缩短);

(2) 剪切——在一对相距很近、大小相等、方向相反的横向外力作用下,杆件的横截面将沿外力方向发生错动;

(3) 扭转——在一对大小相等、方向相反、位于垂直于杆轴线两平面内的力偶作用下,杆的任意两横截面将绕轴线发生相对转动;

(4) 弯曲——在一对大小相等、方向相反、位于杆纵向平面内的力偶作用下,杆件的轴线由直线变成曲线。

四、荷载的定义、分类

(1) 荷载的定义。工程上,将作用在结构或构件上的主动力称为荷载。

(2) 荷载的分类。结构所承受的荷载往往比较复杂,为计算方便,参照有关结构设计规范,根据不同特点对荷载分类如下:

①按作用时间。荷载可分为恒荷载、活荷载和偶然荷载;

②按作用范围。荷载可分为集中荷载和分布荷载;

③按作用性质。荷载可分为静力荷载和动力荷载;

④按作用位置。荷载可分为固定荷载和移动荷载。

练习题

1. 杆件变形的四种基本形式有哪些?

2. 某钢筋混凝土梁宽度为 200 mm,高度为 500 mm,已知钢筋混凝土自重 25 kN/m^3 ,试计算沿跨度 l 方向自重引起的线荷载标准值是多少?

3. 某现浇钢筋混凝土走道板宽度为 70 mm,板面水泥砂浆厚 20 mm,板底纸筋灰厚 5 mm,已知钢筋混凝土自重为 25 kN/m^3 ,水泥砂浆自重 20 kN/m^3 ,纸筋灰自重 16 kN/m^3 ,计算板面均布面荷载标准值是多少?

第二章

静力学基础知识

★学习目标

1. 掌握力、力系和平衡的概念；
2. 掌握静力学公理；
3. 熟悉常见约束的特点及约束反力的画法；
4. 能熟练地对物体进行受力分析并画出其受力图。

第一节 力学基本概念

一、力

1. 力的概念

力是物体之间的相互作用。物体相互间的作用主要分为两类：一类是两物体直接接触时，它们之间产生的拉力或压力；另一类是地球与物体之间产生的吸引力，即地心引力，也叫重力。

力对物体产生的作用效应一般分为两个方面：一个是力使物体的运动状态改变；另一个是力使物体的形状改变。前者称为力的外效应或运动效应，后者称为力的内效应或变形效应。

2. 力的三要素

力对物体的作用效应取决于三个要素：大小、方向、作用点。