



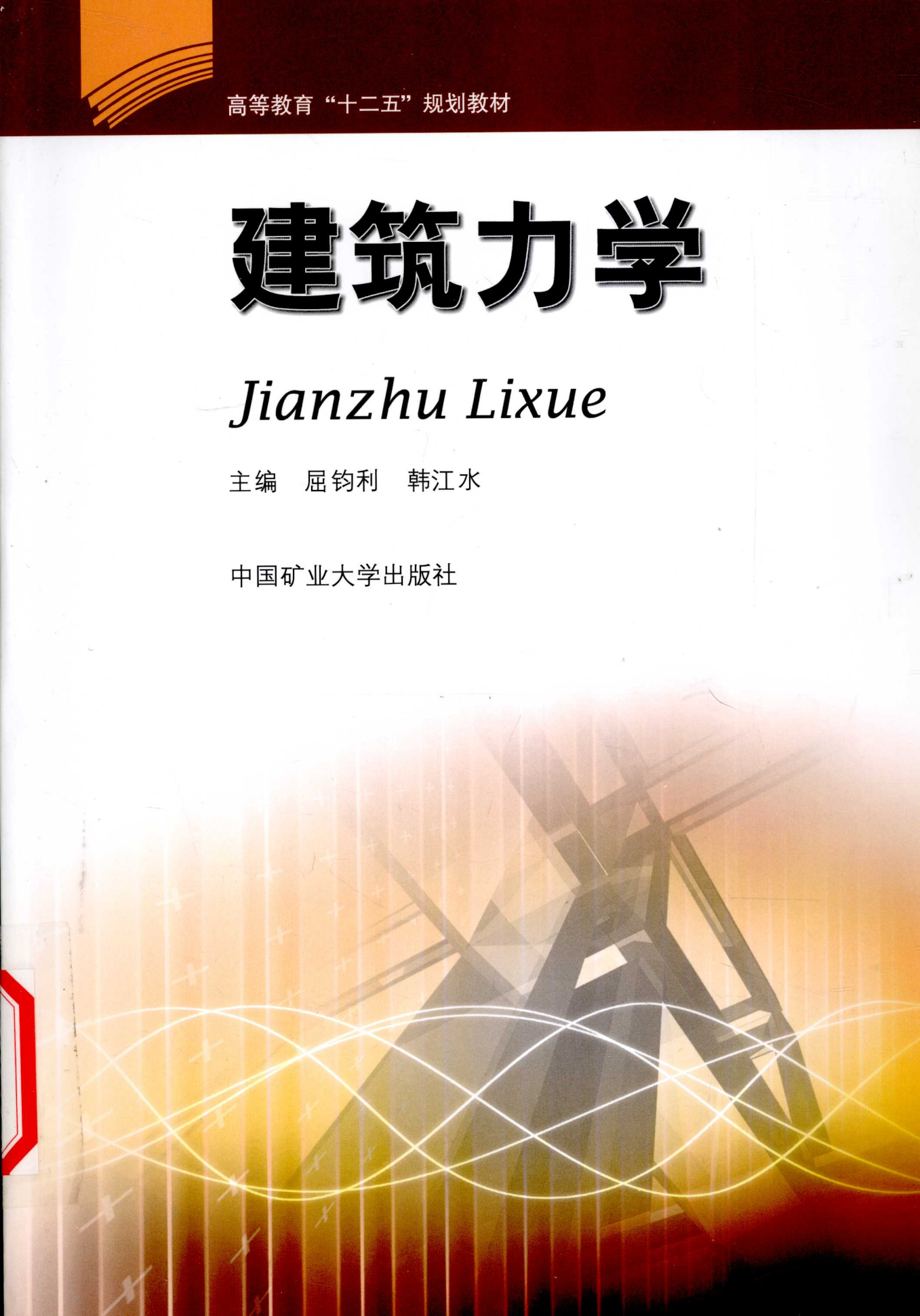
高等教育“十二五”规划教材

建筑力学

Jianzhu Lixue

主编 屈钧利 韩江水

中国矿业大学出版社



高等教育“十二五”规划教材

建筑力学

主 编 屈钧利 韩江水
副主编 尚宇梅 侯俊锋
编 写 (以姓氏笔画为序)

宁民霞 闫 明 邹彩凤
尚宇梅 屈钧利 侯俊锋
韩江水 锁要红

湖北工业大学图书馆



01316366

-67



中国矿业大学出版社

Xy

Tu311
116

内 容 提 要

本教材是根据原国家教委审定的《高等工科院校建筑力学课程教学的基本要求》编写的,由静力学、材料力学、结构力学三篇共十七章组成,适用于建筑学、城市规化、工程管理、给水排水、建筑环境与设备等专业。

本教材可作为普通高等院校、独立学院、继续教育学院工科相关专业建筑力学课程的教材及自学参考用书,也可供有关工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

建筑力学/屈钧利,韩江水主编. —徐州:中国矿业大学出版社,2012.1
ISBN 978-7-5646-1296-2

I. ①建… II. ①屈…②韩… III. ①建筑力学—高等学校—教材 IV. ①TU311

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2011)第222275号

书 名 建筑力学
主 编 屈钧利 韩江水
责任编辑 姜 华 吴学兵
出版发行 中国矿业大学出版社有限责任公司
(江苏省徐州市解放南路 邮编 221008)
营销热线 (0516)83885307 83884995
出版服务 (0516)83885767 83884920
网 址 <http://www.cumtp.com> E-mail: cumtpvip@cumtp.com
印 刷 徐州中矿大印发科技有限公司
开 本 787×1092 1/16 印张 22.75 字数 568 千字
版次印次 2012 年 1 月第 1 版 2012 年 1 月第 1 次印刷
定 价 36.00 元

(图书出现印装质量问题,本社负责调换)

前 言

本教材是按照原国家教委审定的《高等工科院校建筑力学课程教学的基本要求》，结合作者多年来为工科相关专业讲授建筑力学课程的教学经验和教改实践编写而成。

本教材具有以下几个特点：

一、在教学课时压缩的情况下，按照课程的基本要求，坚持学以致用即必须够用的原则，精选内容。在内容的编写上，力求把本课程的基本概念写得准确、通俗，把基本理论阐述得系统、清楚，把基本方法介绍得全面、明确。结合工程实例列举例题，以帮助读者理解基本概念，掌握基本理论和基本方法。

二、注重加强分析问题方法的训练，如受力分析、结构计算简图的选取和解题思路的分析等，注重加强课程内容与工程实际的结合，培养学生具备工程观念、将实际工程问题抽象化为力学模型的能力，注重加强综合应用方面的训练，培养学生分析和求解实际问题的能力。

三、本教材按照 60~90 学时的教学要求编写，分为静力学、材料力学、结构力学三篇 17 章内容，各部分之间有一定的联系又相对独立，根据专业要求的不同，可选择本教材全部或部分内容讲授。每章后配有一定数量的习题和思考题。

四、本书有与之相配套的计算机辅助教学(CAI)课件，该课件覆盖了全书的主要内容，图文并茂，生动形象、使用方便。通过 CAI 多媒体教学，大大地增加了课堂教学的信息量，改变了传统的授课方式，精简了学时，提高了教学质量，实现了教学手段的现代化。

本教材由屈钧利、韩江水任主编，尚宇梅(西安财经学院)、侯俊锋任副主编，参加编写的人员还有锁要红、邹彩凤、宁民霞、闫明。具体编写分工为：第 2 章、第 5 章由韩江水编写；绪论、第 1 章、第 3 章、第 7 章、附录 I、附录 II 由屈钧利编写；第 4 章、第 8 章由闫明与屈钧利合编；第 6 章、第 10 章由锁要红编写；第 9 章由宁民霞编写；第 11 章、第 12 章由邹彩凤编写；第 13 章、第 14 章、第 15 章由尚宇梅编写；第 16 章、第 17 章由侯俊锋编写。

韩江水教授审阅了全部书稿。

在本书编写过程中，编者参阅了国内出版的一些同类教材、教辅资料，得到了中国矿业大学出版社等单位的支持和帮助。编者在此对他们及对本书所引用文献的著作者表示衷心的感谢。

由于水平所限，书中难免有错误和不妥之处，恳请读者批评指正。

编 者

2011 年 10 月

目 录

绪论	1
----	---

静 力 学

第一章 静力学基础	4
-----------	---

第一节 静力学公理	4
第二节 约束和约束反力	7
第三节 物体的受力分析 受力图	10
思考题	14
习题	16

第二章 平面汇交力系与平面力偶系	19
------------------	----

第一节 平面汇交力系合成与平衡的几何法	19
第二节 平面汇交力系合成与平衡的解析法	23
第三节 力对点之矩 合力矩定理	27
第四节 平面力偶理论	29
思考题	32
习题	34

第三章 平面力系	38
----------	----

第一节 力线平移定理	38
第二节 平面力系的简化 主矢和主矩	39
第三节 平面力系的平衡条件 平衡方程	43
第四节 物体系统的平衡问题	48
第五节 摩擦	52
思考题	59
习题	61

第四章 空间力系	67
----------	----

第一节 力对点之矩与力对轴之矩的关系	67
第二节 空间力系向一点简化 主矢与主矩	69
第三节 空间力系的平衡方程及应用	70
第四节 物体的重心	73
思考题	78
习题	79

材料力学

第五章 拉伸与压缩	88
第一节 概述	88
第二节 轴向拉(压)杆件横截面上的内力和应力	88
第三节 轴向拉(压)杆件斜截面上的应力	91
第四节 轴向拉(压)时杆件的变形 虎克定律	93
第五节 材料在拉伸—压缩时的力学性质	96
第六节 安全系数、许用应力和强度计算	100
第七节 拉(压)超静定问题	102
第八节 联接件的实用计算	107
思考题	110
习题	110
第六章 扭转	115
第一节 薄壁圆筒扭转	115
第二节 受扭杆件的内力——扭矩 扭矩图	117
第三节 圆轴扭转时的应力和强度条件	119
第四节 圆轴扭转时的变形和刚度条件	123
第五节 等直非圆截面杆的自由扭转	124
思考题	126
习题	126
第七章 弯曲内力	129
第一节 概述	129
第二节 剪力和弯矩 剪力图和弯矩图	130
第三节 载荷集度 q 、剪力 Q 和弯矩 M 间的关系	137
思考题	140
习题	141
第八章 弯曲应力	146
第一节 纯弯曲时梁横截面上的正应力	146
第二节 横力弯曲时梁横截面上的正应力 正应力强度条件	149
第三节 梁横截面上的剪应力 剪应力强度条件	151
第四节 提高弯曲强度的措施	154
思考题	157
习题	157
第九章 弯曲变形	160
第一节 梁挠曲线的微分方程	160
第二节 用积分法求梁的变形	161

第三节 按叠加原理计算梁的变形	164
第四节 用变形比较法解简单超静定梁	168
第五节 梁的刚度校核 提高梁刚度的措施	169
思考题	170
习题	170
第十章 应力状态和强度理论	173
第一节 概述	173
第二节 平面应力状态分析的解析法	174
第三节 平面应力状态分析的图解法	176
第四节 三向应力状态分析	179
第五节 强度理论及应用	183
思考题	189
习题	189
第十一章 组合变形	193
第一节 组合变形的概念	193
第二节 斜弯曲	193
第三节 拉伸(压缩)与弯曲组合变形 截面核心	197
第四节 扭转与弯曲的组合变形	201
思考题	204
习题	204
第十二章 压杆稳定	206
第一节 压杆稳定性的概念	206
第二节 细长压杆临界力的欧拉公式	207
第三节 压杆的临界应力 临界应力总图	209
第四节 压杆的稳定性计算	212
思考题	213
习题	214
结构力学	
第十三章 平面体系的几何组成分析	219
第一节 几何组成分析的目的	219
第二节 几何不变体系组成的简单规则	219
第三节 体系几何组成分析步骤和示例	223
思考题	224
习题	224
第十四章 静定结构的内力分析	226
第一节 多跨静定梁	226

第二节	静定平面刚架	228
第三节	三铰拱	234
第四节	静定平面桁架和组合结构	240
第五节	静定结构的基本性质	247
思考题		248
习题		250
第十五章	静定结构的位移计算	254
第一节	静定结构的位移	254
第二节	刚体体系的虚功原理	255
第三节	荷载作用下结构位移计算	257
第四节	用图乘法计算结构的位移	262
第五节	支座移动、温度改变引起的位移	267
第六节	互等定理	269
思考题		270
习题		271
第十六章	超静定结构的计算	274
第一节	超静定结构概述	274
第二节	力法	277
第三节	位移法	295
第四节	力矩分配法	311
第五节	超静定结构的基本性质	317
思考题		317
习题		318
第十七章	影响线及其应用	323
第一节	影响线的基本概念	323
第二节	静力法作简支梁的内力影响线	324
第三节	影响线的应用	327
第四节	简支梁的内力包络图	330
第五节	连续梁的内力包络图	333
思考题		335
习题		336
附录 I	平面图形的几何性质	337
第一节	形心与静矩	337
第二节	惯性矩、惯性积	338
第三节	惯性矩、惯性积的平行移轴公式	340
附录 II	型钢表	343
参考文献		355

绪 论

一、建筑力学的研究对象和内容

土建工程中的各类建筑物或构筑物是由若干构件,如梁、板、柱、基础、屋架等按照合理方式组成的建筑结构。按其组成构件的几何性质不同,结构可分为杆系结构(如桁架、刚架、梁等)、薄壁结构(如板壳、水池、拱坝等)、实体结构(如挡土墙、重力坝等)、建筑力学主要研究的是杆系结构。

建筑力学是相关专业的一门技术基础课,涉及内容广泛。本书由静力学、材料力学、结构力学的相关内容组成,具体研究杆系结构或构件在荷载或其他因素(支座位移、温度变化)作用下:

- (1) 力系的简化和力系的平衡问题;
- (2) 强度、刚度和稳定性的计算原理和计算方法。
- (3) 结构的组成规律和合理形式。

力系的简化和力系的平衡问题是对结构(或构件)进行强度、刚度和稳定性计算的基础。而计算强度、刚度和稳定性的目的,则是在于保证结构满足安全和经济的要求下,不致发生使用上不能容许的位移。强度、刚度和稳定性的计算不仅发生在结构的设计阶段,而且对已有的结构当所受荷载发生改变时也需要进行校核,以保证其安全使用。研究结构的组成规律及合理形式,在于保证所设计的结构是几何不变体系,使之能承受荷载并维持平衡,且能有效地利用材料使其性能得到充分的发挥。

土木工程领域有着大量的建筑力学问题,如结构体系的静力计算、动力分析等问题。本书仅介绍平面杆系结构(或构件)的静力计算问题。

二、建筑力学的研究方法

力学的研究方法不例外地遵循实践—理论—实践这条认识论的规律。建筑力学的研究方法,简要说就是:从观察、实践出发,经过抽象化和归纳,建立概念和公理或定律,用数学演绎法推导出定理和结论,再回到实际中去解决实际问题并验证理论。有些工程问题目前尚无理论结果,须借助实验方法解决。因此,理论研究和实验分析同是建筑力学解决问题的方法。

三、建筑力学的学习方法

从对建筑力学研究方法的论述中,可以得到学习建筑力学在方法上应注意的问题。第一,深刻、反复地理解基本概念和公理或定律。读者可以利用自己的实践经验或在日常生活中对一些现象的观察,来加深对基本概念和公理或定律的实质的理解。第二,要透彻理解由基本概念和公理或定律导出的定理和结论,以及从这些定理和结论中引出的基本方法,切不可因为这些定理和结论的形式比较简单而掉以轻心。第三,要掌握抽象化的方法,逐步培养把具体问题抽象成为力学模型的能力。抽象的方法,就是在一定的研究范围内,根据问题的性质,抓住主要的、起决定作用的因素,撇开次要的、偶然的因素,深入事物的本质,了解

其内部联系的方法。例如,在研究物体的平衡问题时,往往忽略物体(构件)受力时可变形的性质,而将物体(构件)视为刚体;在研究平面桁架结构问题时,将其简化为不计杆重仅在各端以铰链方式连接而组成的几何形状不变的结构;在研究厂房结构时,根据其几何组成和受力特点,将其简化为排架结构;等等。然而,任何抽象化的模型都是有条件的、相对的,当所研究问题的条件改变时,原来的模型就不一定适用,必须再考虑影响问题的新的因素,建立新的模型。例如同一个物体,在研究其受外力作用下的平衡问题时,应用刚体模型可以得到满意的结果;但要研究物体内部的受力情况和它的变形时,再用刚体模型就会得出非常荒谬的结果,这时需要建立理想弹性体的模型。在形成建筑力学的概念和理论系统的过程中,除了抽象的方法外,数学演绎法也起着重要的作用。数学演绎的方法,就是在经过实践证明为正确的理论基础上,经过严密的数学推演,得到定理和公式构成系统理论的方法。第四,学习过程中要善于观察,发现问题并解决问题;要勤于思考,不但知其然还知其所以然;要乐于实践,通过实践不断提高解决问题的能力;初步的实践就是做习题,通过大量做习题才能加深对理论的理解和熟悉理论的运用。做习题不能简单地套用公式,只有反复吃透基本理论和掌握分析问题的方法,才能解决“理论好懂,做题难”的问题。

根据建筑力学课程的特点,学生学好本门课程的关键,除悉心听教师讲授外,更主要的是反复阅读、刻苦钻研教材和勤于实践。因此要求读者:

第一,阅读教材时要逐字逐句地仔细咀嚼,而后达到深入理解。这是学好本课程的第一步,也是最重要的一步。实在看不懂的段落,可以暂时绕过去,过后再回过头来反复攻读疑难部分。教材中的例题能帮助读者理解基本概念、基本理论,特别是帮助读者掌握基本理论的实际应用方法,因而例题是教材的重要组成部分。阅读例题时要注意解题的理论依据、物理意义以及解题的方法和步骤。

第二,要认真思考、回答每章后所附的思考题,并认真做习题。这是对自己是否理解和掌握教材内容的检验。如果发现有些问题还不清楚,应该再回过头去钻研教材的有关部分。

建筑力学是一门理论性、实践性都较强的技术基础课。它是以高等数学和大学物理等课程为基础,又是学习建筑结构、建筑施工技术、地基与基础等有关后续课程的必备条件。学习建筑力学有助于学习其他基础理论,掌握新的科学技术;有助于培养正确的分析问题和解决问题的能力。

静力学

静力学研究力系的简化和力系作用下刚体的平衡条件及其应用。

力是物体之间相互的机械作用,这种作用使物体的运动状态和形状发生了改变,前者为力的运动效应(也称外效应),后者为力的变形效应(也称内效应)。

实践证明,力的效应取决于力的三个要素:力的大小、方向和作用点。

力是矢量,本书中的矢量均用黑体字母表示。力 $\mathbf{F}$ 的大小用非黑体字母 F 表示,即 $F = |\mathbf{F}|$ 。力的单位是牛[顿](N)或千牛[顿](kN)且 $1 \text{ kN} = 10^3 \text{ N}$ 。

力的方向包括力所顺沿的直线在空间的方位和力沿其作用线的指向。

力的作用点是力作用位置的抽象。实际上,力的作用位置不是一个几何点,而是一部分面积或体积。譬如,两物体接触时其相互间的压力就分布在整个接触面上、重力分布在整个体积上等,这样的力称为分布力。但当力的作用面积或体积相对于物体的几何尺寸为很小以致可忽略其大小时,则可抽象或简化为点,称为力的作用点。作用于该点上的力称为集中力,过力作用点表示力方位的直线称为力的作用线。

通常一个物体总是受到许多力的作用,我们把作用在物体上的一群力称为力系。如果作用于某一物体的力系用另一个力系来代替,而不改变物体的运动状态,则称此两力系为等效力系。用一个简单力系等效地替换一个复杂力系称为力系的简化。

平衡是物体机械运动的一种特殊形式,即物体相对于惯性参考系(如地面)保持静止或者做匀速直线运动的情形。例如,地面上的各种建筑物、桥梁,在直线公路上匀速行驶的汽车,做匀速直线运动的飞机等,都是处于平衡状态。物体处于平衡状态时,作用于物体上的力系称为平衡力系,该力系所应满足的条件称为平衡条件。研究物体的平衡问题,实际上就是研究作用于物体的力系的平衡条件及其应用。

刚体是指在力的作用下,其内部任意两点间的距离都不会改变的物体,或者说,其大小和形状始终保持不变的物体。刚体是真实物体的一种抽象化的力学模型,在自然界中是不存在的。事实上,任何物体在力的作用下都将产生程度不同的变形,只是许多物体在力的作用下变形很小,以致在所研究的问题中忽略此变形并不影响该问题的实质,而且还可使问题大为简化。静力学中所研究的物体都是刚体,所以静力学亦称为刚体静力学。

静力学研究以个问题:① 物体的受力分析;② 力系的简化;③ 力系的平衡条件及其应用。

在实际工程中有大量的静力学问题。例如,在土木工程中,做各种结构设计时,需要对其进行受力分析,而静力学理论是结构受力分析的基础。在机械工程中,进行机械设计时,往往要应用静力学理论分析机械零、部件的受力情况,作为其强度设计的依据。即便是工程上的动力学问题,也可将其化成静力学问题来求解。因此,静力学在工程技术中有着广泛的应用。

第一章 静力学基础

本章将介绍静力学公理,以及工程上常见的约束和对物体进行受力分析的方法。

第一节 静力学公理

公理是人类经过长期缜密观察和经验积累而得到的结论,它被反复的实践所验证,是无需证明而为人们所公认的结论。

静力学公理是关于力的基本性质的概括和总结,是静力学理论的基础。

公理一 二力平衡条件

作用在同一刚体上的两个力使刚体保持平衡的必要和充分条件是:这两个力大小相等、方向相反,并作用在同一直线上。如图 1-1 所示,即

$$\boldsymbol{F}_1 = -\boldsymbol{F}_2 \quad (1-1)$$

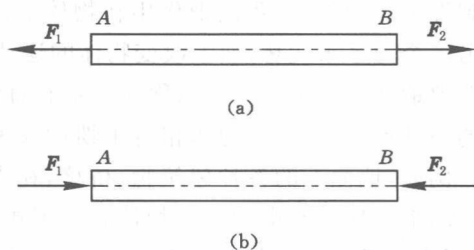


图 1-1

该公理揭示了作用于刚体上的最简单的力系平衡时所必须满足的条件。它是刚体平衡最基本的规律,是推致力系平衡条件的理论基础。

值得指出,该平衡条件对刚体而言是充要的,对于变形体则是非充分的。如图 1-2 所示的变形体,在其两端作用着大小相等、方向相反、共线的两力 $\boldsymbol{F}_1$ 、 $\boldsymbol{F}_2$ 。图 1-2(a)所示情况变形体可平衡,图 1-2(b)所示情况变形体不平衡。

工程上常遇到只受两个力作用而处于平衡状态的物体,称为二力体或二力构件,如图 1-3 所示。如果物体为杆件也称为二力杆。由公理一知,二力构件所受两力的作用线必沿两力作用点的连线且等值、反向。



图 1-2

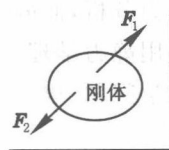


图 1-3

公理二 加减平衡力系公理

在作用于刚体的力系中,加上或减去任何的平衡力系,并不改变原力系对刚体的效应。

该公理是力系简化的理论依据。利用该公理可得到如下推论:

推论 1 力的可传性

作用在刚体上的力可沿其作用线移动到该刚体内的任意一点,而不改变该力对刚体的效应。这种性质称为力的可传性。

例如,在图 1-4 中,保持力的大小、方向和作用线均不变,则用手推车和拉车的效果完全相同。

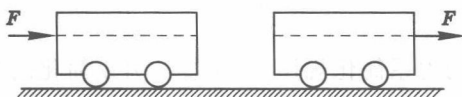


图 1-4

证明:在图 1-5(a)所示刚体上的 A 点作用着力 F ,根据公理二,可在力的作用线上任取一点 B,并在点 B 加上一平衡力系 F_1 、 F_2 ,使 $F = F_2 = -F_1$,如图 1-5(b)所示。但在力 F 、 F_1 、 F_2 组成的力系中,力 F 和 F_1 也是一平衡力系,由公理二取去这个平衡力系。这样,只剩下一个作用于点 B 的力 F_2 ,显然它与 F 具有相同的效应,这样就吧原来作用于点 A 的力 F 沿其作用线移动到了任一指定点 B,如图 1-5(c)所示。

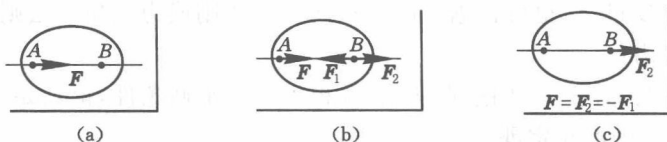


图 1-5

由此可见,对刚体而言,力的作用点这一要素可被力的作用线所代替。因此,作用于刚体上的力的三要素是:力的大小、方向和作用线。即作用于刚体上的力是滑动矢量。

值得注意,加减平衡力系公理和力的可传性都只适用于刚体。公理中所说的效应,是指力的外效应。对于变形固体,加减平衡力系和力沿其作用线移动都会改变力对物体的变形和物体内部受力情况。例如,图 1-6(a)所示杆件在平衡力系 F_1 和 F_2 的作用下产生拉伸变形。如果取掉这一平衡力系,则拉伸变形消失,即杆件恢复到原有长度。若将力 F_1 沿其作用线移至点 A,力 F_2 移到点 B,则杆件产生压缩变形,如图 1-6(b)所示。

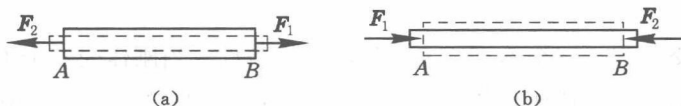


图 1-6

公理三 力的平行四边形法则

作用在物体上同一点的两个力,可合成为一个也作用在该点的合力,合力的大小和方向

由这两个力为邻边所构成的平行四边形的对角线来表示,如图 1-7(a)所示。或者说,合力矢等于这两个力矢的矢量和,即

$$\mathbf{R} = \mathbf{F}_1 + \mathbf{F}_2 \quad (1-2)$$

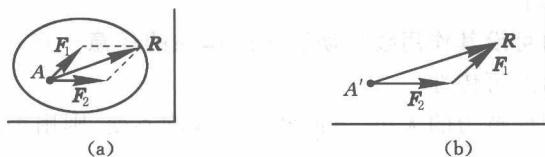


图 1-7

该公理给出了最简单的力系简化规律,它是复杂力系简化的基础。

公理三适用于刚体和变形体。对变形体,二力要有共同的作用点;对刚体,二力作用线相交即可。

为了方便,也可利用力三角形法则求两个共点力的合力。在图 1-7(b)中,从 A' 点作一个与 $\mathbf{F}_2$ 大小相等、方向相同的矢量,过矢量 $\mathbf{F}_2$ 矢端点作与力 $\mathbf{F}_1$ 大小相等、方向相同的矢量,则矢量 $\mathbf{R}$ 即表示力 $\mathbf{F}_1$ 、 $\mathbf{F}_2$ 的合力。这种求合力的方法,称为力三角形法则。图 1-7(b)中的三角形称为力三角形。但应注意,力三角形只表明力的大小和方向,并不表示各力的作用点或作用线。

由力的平行四边形法则或力三角形法则可求得作用在物体上同一点的两个力的合力,且合力是唯一的。反过来,也可根据力的平行四边形法则或力三角形法则,把一个力分解为若干组共点的两个力。

由力的可传性与力的平行四边形法则,并根据二力平衡条件,得到如下推论:

推论 2 三力平衡汇交定理

刚体受三力作用而平衡时,若其中任意两力的作用线汇交于一点,则第三力的作用线必过该汇交点,且三力作用线共面。

证明:设在刚体的 A、B、C 三点分别作用有平衡力 $\mathbf{F}_1$ 、 $\mathbf{F}_2$ 、 $\mathbf{F}_3$,其中 $\mathbf{F}_1$ 和 $\mathbf{F}_2$ 的作用线相交于 O 点,如图 1-8 所示。由力的可传递性,可将 $\mathbf{F}_1$ 和 $\mathbf{F}_2$ 分别从 A 点和 B 点移到 O 点,再用力的平行四边形法则求得二力的合力 $\mathbf{R}$,则三力平衡被简化为刚体在 $\mathbf{R}$ 和 $\mathbf{F}_3$ 作用下平衡。由二力平衡公理知, $\mathbf{R}$ 与 $\mathbf{F}_3$ 共线, $\mathbf{F}_3$ 的作用线过 O 点,且 $\mathbf{F}_1$ 、 $\mathbf{F}_2$ 和 $\mathbf{F}_3$ 共面。定理得证。

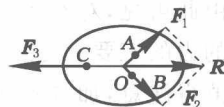


图 1-8

本定理在证明过程中应用了二力平衡公理和力的可传性,因此三力平衡汇交定理只适用于刚体。

三力平衡汇交定理是三个不平行力平衡的必要条件。当刚体受三个不平行力的作用而处于平衡时,如果已知其中两个力的作用线的位置,则由此公理可确定第三个力作用线的位置。

公理四 作用与反作用定律

两物体间相互作用的一对力总是大小相等、指向相反,沿同一直线分别作用在两物体上,这两个力互为作用力和反作用力。

该公理概括了物体间相互机械作用的关系,表明作用力和反作用力总是相互依存、同时出现、同时消失。

值得注意,由于分别作用在两个物体上,作用力与反作用力虽然等值、反向、共线,但并不是一对平衡力。二力平衡公理和作用与反作用定律的区别在于,前者只适用于刚体且二力作用在一个刚体上;后者无论是刚体还是变形体、无论物体是处于平衡状态还是运动状态都适用,且二力分别作用在两个物体上。

公理五 刚化原理

变形体在某一力系作用下处于平衡时,如将此变形体刚化为刚体,则平衡状态保持不变。

将一个变形体换成大小和形状完全相同的刚体,称为刚化。如图 1-9 所示,绳索在两个等值、反向、共线的拉力作用下处于平衡,如将绳索刚化为刚体,则平衡状态保持不变;反之,绳索在两个等值、反向、共线的压力作用下则不能平衡,这时绳索就不能刚化为刚体。因此,刚体平衡的必充条件对变形体来说只是必要条件,而非充分条件。

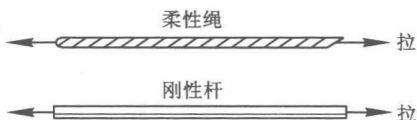


图 1-9

刚化原理可以把任何处于平衡状态的变形体刚化为刚体,进而应用静力学理论加以分析,扩大了静力学理论的应用范围。

第二节 约束和约束反力

物体在空间运动时位移不受限制,如飞行的飞机、导弹和人造卫星等,这样的物体称为自由体;反之,物体在空间运动时位移受到周围其他物体的限制,这样的物体称为非自由体。如放置在桌面上的小球、支撑于墙上的梁、机场跑道上的飞机等。

对非自由体的运动施加限制作用的物体称为该非自由体的约束。在上面的例子中,桌面、墙体、跑道分别是小球、梁、飞机的约束。非自由体也称为被约束的物体。

约束既然限制了物体的某些方向的运动,也就承受了物体对它的作用力,同时约束也给予物体一反作用力。这种约束作用在被约束物体上的力称为约束反力,简称反力。约束反力的方向总是与物体(非自由体)被限制运动的方向相反。约束反力的大小一般是未知的。

约束反力以外的力,即能主动引起物体运动或使物体有运动趋势的力称为主动力,如已知的荷载、重力、风力、水压力等。物体所受的主动力,一般都是已知的。

一般情况下,有主动力作用才会引起约束反力,因此约束反力也称为被动力。

静力学中的问题往往是如何运用平衡条件,由已知的主动力去求未知的约束反力,而约束反力与约束的类型有关。工程中常见的约束类型有以下四种。

一、柔索约束

绳索、链条、皮带等柔软物体所形成的约束称为柔索约束。这类约束的性质决定了它们

只能承受拉力不能抵抗压力和弯矩。也就是说,当物体受到柔索约束时,该约束只能限制物体沿着柔索伸长方向的运动。因此,约束反力沿着柔索,方向背离被约束物体。

图 1-10(a)中用绳索吊起一重物,绳索只能限制重物沿着绳索向下运动。因此,绳索对重物的约束反力,作用在连接点 A,方向沿着绳索竖直向上[图 1-10(b)]。

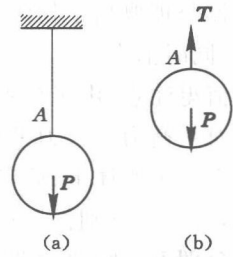


图 1-10

二、光滑接触面约束

支承物体的固定平面[图 1-11(a)]、曲面[图 1-11(b)]、啮合齿轮的齿面[图 1-11(c)]等,当接触面光滑、摩擦可以忽略不计,就形成了光滑接触面约束。

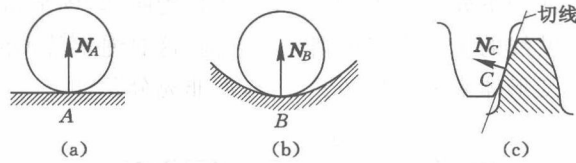


图 1-11

不论接触面形状如何,这类约束不能限制物体沿接触处的公切线方向运动,只能限制物体沿接触处的公法线且指向接触面的运动。因此,光滑接触面约束的约束反力作用在接触点处,沿接触面在该点的公法线指向被约束的物体(为压力),该约束反力也称法向反力。图 1-11(a)、(b)、(c)中的反力为 N_A 、 N_B 、 N_C ,图 1-12 中的反力为 N 、 N_A 、 N_B 、 N_C 。

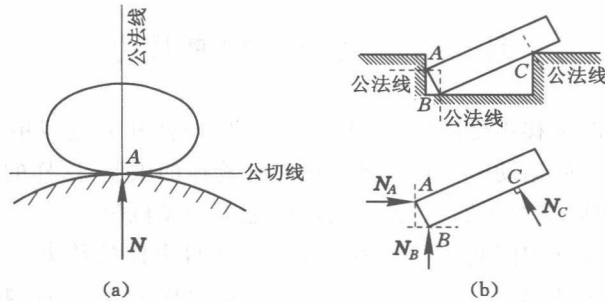


图 1-12

三、光滑铰链约束

1. 光滑圆柱形铰链

两个构件上分别被钻直径相同的孔,并用圆柱形销钉插入两构件的孔中,略去摩擦,这样所构成的约束称为光滑圆柱形铰链约束,如图 1-13(a)、(b)所示。这种约束只能限制物体 A 或 B 在垂直于销钉轴线的平面内沿任何方向的移动,不能限制物体 A 或 B 绕销钉轴线的转动。事实上,圆柱形销钉与圆孔是光滑接触面约束,由光滑接触面约束的特点可知,约束反力过接触点,沿接触处的公法线指向被约束的物体,如图 1-13(c)所示。由于接触点的位置不能预先确定,因此,约束反力的方向也就不能预先确定,通常用两个正交的分力

F_x 、 F_y 来代替未知的约束力 F , 两分力的指向可任意假定, 由计算结果来判定 F 的方向, 如图 1-13(d) 所示。

用圆柱形销钉连接几个构件时, 连接处称为铰接点, 所形成的铰链也称为中间铰。顺便指出, 在铰链结构中, 可以把圆柱形销钉看做固连于两个构体中的某一个构体上, 这样对约束反力的特征没有影响, 如图 1-14 所示。

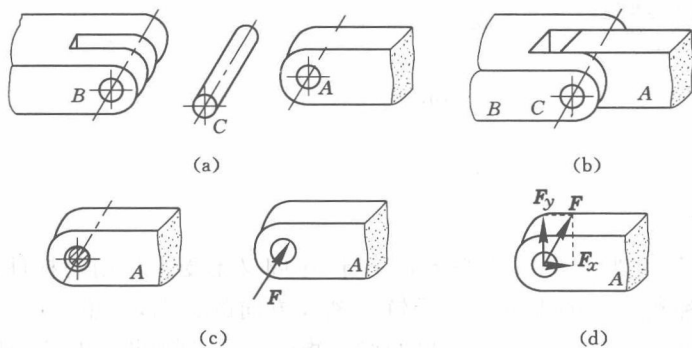


图 1-13

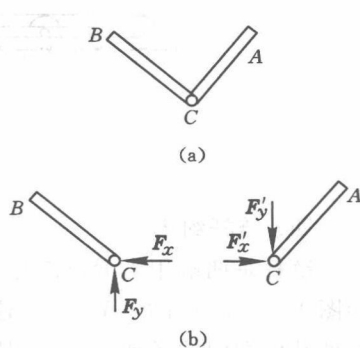


图 1-14

2. 固定铰支座

用圆柱形销钉把构件和底座连接, 并固定于支承物上形成固定铰链支座, 简称固定铰支座, 其结构如图 1-15(a) 所示。这种约束通常用图 1-15(b) 所示简图表示, 约束反力特征与圆柱形铰链的约束反力完全相同, 用两个正交反力 F_x 、 F_y 表示, 如图 1-15(c) 所示。

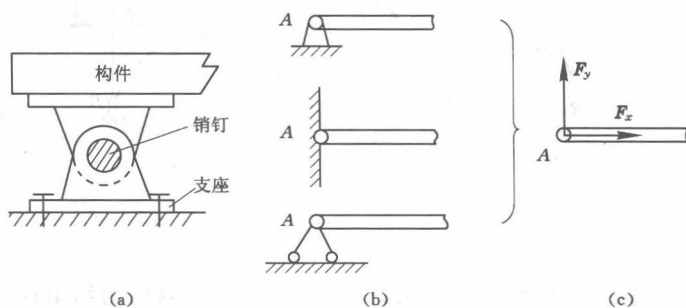


图 1-15

3. 可动铰支座

在铰链支座底部和支承面之间安装一排可沿支承面滚动的滚子就构成了复合约束, 即可动铰支座, 这种支座也称辊轴支座, 其结构如图 1-16(a) 所示。这种约束只能阻止物体沿支承面法线方向移动, 而不能阻止物体沿支承面的切线方向移动, 所以其约束反力垂直于支承面, 且作用线过铰链中心, 指向待定。图 1-16(b) 是可动铰支座的简图, 其约束反力如图 1-16(c) 所示。

屋架、桥梁等工程结构在温度等影响下要发生变形, 故这些结构通常一端采用固定铰支座, 另一端采用可动铰支座支承, 以适应这种伸缩变形。这样的支承方式称为简支。