

高职高专机电类专业“十一五”规划教材



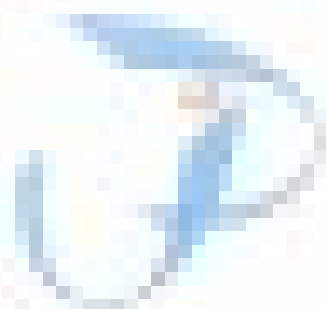
工 程 力 学

GONGCHENG LIXUE

主编 赵 曼 朱全志



郑州大学出版社



工 程 力 学

CONSTRUCTIVE ENGINEERING

第 1 卷 第 1 期



高职高专机电类专业“十一五”规划教材



工程力学

GONGCHENG LIXUE

主编 赵 曼 朱全志



郑州大学出版社

内容简介

全书分3篇共16章。第一篇为静力学,包括了静力学基础、平面基本力系、平面一般力系、空间力系共四章内容;第二篇为材料力学,包括了轴向拉伸与压缩、剪切与挤压、圆轴的扭转、弯曲、应力状态与强度理论、组合变形、压杆稳定、动载荷和交变应力简介共八章内容;第三篇为运动力学基础,包括了点和刚体的运动、合成运动和平面运动、质点运动和定轴转动微分方程、动能定理和动静法共四章内容。每章后附有内容小结、思考与练习题,书后附录有型钢表。本教材供高职高专机电一体化或近机械类各专业使用,也可作为成人高校理工科学生及工程技术人员参考用书。

图书在版编目(CIP)数据

工程力学/赵曼,朱全志主编. —郑州:郑州大学出版社,2008. 12

高职高专机电类专业“十一五”规划教材

ISBN 978 - 7 - 81106 - 893 - 1

I. 工… II. ①赵…②朱 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(2008)第 128835 号

郑州大学出版社出版发行

郑州市大学路 40 号

出版人:邓世平

全国新华书店经销

新乡凤泉印务有限公司印制

开本:787 mm × 1 092 mm

印张:19.25

字数:459 万字

版次:2008 年 12 月第 1 版

邮政编码:450052

发行部电话:0371 - 66966070

1/16

印次:2008 年 12 月第 1 次印刷

书号:ISBN 978 - 7 - 81106 - 893 - 1

定价:35.00 元

本书如有印装质量问题,由本社负责调换

作者名单

主 编 赵 曼 朱全志
编 委 (以姓氏笔画为序)
王晓梅 吕纯洁 朱全志
刘继军 张晓伏 陈夫进
赵 曼

前言

本书是为适应机械类或近机械类专业工程力学(60~90学时)教学需要而编写的教材。本教材是在总结了多年教学实践经验的基础上,参考了国内外多种优秀教材编写而成的。本书内容简明扼要,繁简有度;考虑到各专业的特点,书中避免了过多的理论推导,突出了为工程实际培养应用型人才的特点,加强了内容的针对性、实用性和可读性。以结构的静力分析、运动分析、强度和刚度分析为主,紧密结合工程实际。通过本书的学习,读者能够解决工程实际中一般的力学问题,并为进一步阅读其他力学著作打好基础。本书也可作为工程技术人员的参考书。

本书分为3篇共16章,由赵曼、朱全志任主编。具体编写分工为:王晓梅编写第1、2章,陈夫进编写第3、4章,赵曼编写第5、6章,刘继军编写第7章,张晓伏编写第8章,吕纯洁编写第10、11、12章,朱全志编写第9、13、14、15、16章。全书由朱全志统稿。

在教材的编写中,为了突出本教材的特色,我们付出了许多努力,但由于编者水平有限,本书难免存在不妥之处,恳请读者给予批评指正。

编者
2008年6月

绪论	1
第一篇 静力学	3
第1章 静力学基础	5
1.1 静力学的任务及基本概念	5
1.2 静力学公理与推论	6
1.3 约束与约束反力	8
1.4 物体受力分析与受力图	11
第2章 平面基本力系	16
2.1 平面汇交力系	16
2.2 平面力偶系	22
2.3 力的平移定理	28
第3章 平面一般力系	32
3.1 平面一般力系的简化	33
3.2 平面一般力系的平衡条件和平衡方程	36
3.3 物体系统的平衡	42
3.4 考虑摩擦时的平衡问题	45
第4章 空间力系	58
4.1 力在直角坐标轴上的投影	58
4.2 力对轴之矩	61
4.3 空间力系的平衡条件和平衡方程	62
4.4 空间力系平衡问题的平面解法	65
4.5 物体的重心和平面图形的形心	66
第二篇 材料力学	75
第5章 轴向拉伸与压缩	77
5.1 概述	77
5.2 轴向拉伸与压缩时横截面上的内力	78

5.3 轴向拉伸与压缩时横截面上的应力	80
5.4 轴向拉伸与压缩时的强度计算	82
5.5 拉(压)杆的变形计算	86
5.6 材料在拉伸或压缩时的力学性能	89
5.7 许用应力 安全系数	93
5.8 拉伸、压缩超静定问题	94
5.9 应力集中的概念	97
第6章 剪切	103
6.1 剪切的概念和实例	103
6.2 剪切和挤压的实用计算	104
6.3 计算实例	106
第7章 圆轴的扭转	112
7.1 圆轴扭转的概念和外力偶矩的计算	112
7.2 圆轴扭转时横切面上的内力	113
7.3 纯剪切 剪切胡克定理	115
7.4 圆轴扭转的应力和强度条件	117
7.5 圆轴扭转的变形和刚度条件	121
第8章 弯曲	126
8.1 平面弯曲的概念	126
8.2 梁弯曲时横截面上的内力	128
8.3 梁弯曲时横截面上的应力	138
8.4 梁弯曲时的强度计算	146
8.5 提高梁抗弯强度的措施	149
8.6 梁的弯曲变形概述	152
第9章 应力状态与强度理论	163
9.1 应力状态的概念	163
9.2 平面应力状态	165
9.3 三向应力状态简介	169
9.4 广义虎克定理	170
9.5 强度理论	171

第 10 章 组合变形	179
10.1 概述	179
10.2 拉伸(压缩)与弯曲组合变形的强度计算	180
10.3 扭转与弯曲组合变形的强度计算	183
第 11 章 压杆稳定	191
11.1 压杆稳定和欧拉公式	191
11.2 压杆的稳定性	196
第 12 章 动载荷和交变应力简介	202
12.1 动载荷的概念及简单运动构件的应力计算	202
12.2 构件受冲击时的应力和应变	204
12.3 交变应力与疲劳失效	207
12.4 疲劳极限与疲劳强度	210
第三篇 运动力学基础	215
第 13 章 点和刚体的运动	217
13.1 点的运动	217
13.2 刚体的基本运动	226
第 14 章 合成运动和平面运动	236
14.1 点的合成运动	236
14.2 刚体的平面运动	241
第 15 章 质点运动和定轴转动微分方程	254
15.1 质点运动微分方程	254
15.2 刚体运动微分方程	258
第 16 章 动能定理和动静法	265
16.1 动能定理	265
16.2 动静法	274
附录	289
参考文献	296

绪 论



工程力学研究的对象、任务与内容

在大量机械、机电设备及生产、交通运输等工程中,常常把按照一定规律组合而成的若干构件,称为**结构**。组成结构的每一部分叫做**构件**。工程力学主要研究杆件的力学问题。所谓**杆件**,是指其长度尺寸远大于其横向尺寸的诸如杆、梁、轴等构件。

工程力学是研究物体机械运动规律及构件强度、刚度、稳定性等计算原理的科学。本课程内容主要包括以下3个部分:静力学、材料力学和运动力学。

静力学的主要任务是:分析物体的受力及其平衡条件。

材料力学的主要任务是:研究构件在外力作用下变形、受力和破坏的规律,为合理设计构件提供有关强度、刚度和稳定性分析的基本理论和方法。

运动力学的主要任务是:研究质点运动和刚体基本运动,以及受力物体的运动与作用力之间的关系。

工程力学在工程技术中的地位

工程力学是一门理论性较强的技术基础学科。工程力学的定理、定律和结论广泛应用于各行各业的工程技术之中,它是解决工程实际问题的重要基础,而且工科专业的很多课程,都要以工程力学为基础,所以它是学习后续课程的重要基础。

工程力学的研究方法

首先,通过观察生活和实践中的各种现象,经过分析、综合和归纳,总结出力学的最基本的概念和规律,例如古代的人们为了搬运重物的需要,使用了杠杆、斜面和滑轮等。制造和使用这些生产工具,使得人类对于机械运动有了初步认识,并逐步形成了一些有关力学的基本概念和规律,例如,力、力矩、杠杆原理、二力平衡公理等。

其次,在观察和实验的基础上,用抽象的方法建立力学模型。

抽象化的方法就是从影响事物的复杂因素中,抓住主要因素,忽略次要因素。例如在研究物体的平衡问题时,忽略了产生的变形,得到刚体的模型;在研究物体的机械运动时,忽略了物体的几何形状和尺寸,得到质点的模型;在研究物体的内力、变形时,得到变形固

体的模型等。

最后,在建立力学模型的基础上,根据公理、定律和基本假设,借助数学工具,通过演绎、推理的方法,得到各种定理和结论

本篇静力学主要讨论物体的平衡问题。

一般情况下,工程结构或构件总是同时受到若干个力的作用。力学中把同时作用于物体上的若干个力总称为**力系**。把对同一个物体产生相同效应的两个力系互称为**等效力系**。在力学分析中,在不改变力系对物体作用效应的前提下,用一个简单的力系来代替复杂的力系,就称为**力系的合成(力系的简化)**。

物体在力系作用下,相对于地面保持静止或作匀速直线运动的状态,称为**平衡**。平衡是物体运动的一种特殊形式,如桥梁、大坝相对于地面是静止的;作匀速直线飞行的飞机,在直线轨道上作匀速运动的火车等,相对于地面是作匀速直线运动的,这些都是平衡的实例。一般情况下,力系作用会使物体的运动状态发生变化,只有当力系满足一定的条件时,才能使物体处于平衡状态。力学中把作用于物体上使之保持平衡状态的力系称为**平衡力系**。物体在力系作用下处于平衡时应满足的条件,称为**力系的平衡条件**。

工程结构及其构件在一般情况下都应处于平衡状态,故工程力学首先研究的是力系的平衡问题。静力学部分是工程力学的基础部分,在工程实际中有着广泛的应用,在本篇中,首先对物体进行受力分析,即研究物体受到哪些力的作用;其次对作用于物体上的复杂力系加以简化;最后找出力系的平衡条件,并利用平衡条件来解决工程中的一些实际问题。

第1章



静力学基础

1.1 静力学的任务及基本概念

静力学研究物体受力分析的基本方法、力系的简化及物体在力作用下处于平衡的规律。静力学不但在工程技术中有着广泛的应用,而且还为学习后继专业课奠定基础。

1.1.1 静力学的基本概念

1.1.1.1 力

(1) 力 力是物体间的相互作用。力对物体有两种作用效应:一种是物体的外效应,即力使物体的运动状态发生改变,也叫运动效应;一种是物体的内效应,即力使物体产生变形,也叫变形效应。一般来说这两种效应都是同时存在的。在本篇静力学部分,主要研究物体的外效应,即力的运动效应。

(2) 力的三要素 实践证明,力对物体的作用效应取决于力的三要素,即力的大小、方向和作用点。只要三要素之一发生变化,力对物体的作用效应就必定发生改变。力的大小是物体间的相互作用的量度,度量力的大小的单位将随采用的单位制不同而不同,本书采用国际单位制(SI),力的单位是牛或牛顿,国际代号为 N,较大的单位千牛用 kN 来表示。力的方向包含方位和指向两个意思。力的作用点指的是力在物体上的作用位置。有时物体间相互作用的位置并非一个点,而是物体的一部分面积,这种力称为分布力。一般来说,当作用面积很小时,就抽象为一个点,认为力集中作用于这一点,这种力称为集中力。集中力在实际中并不存在,它是分布力理想化的模型。力学上把通过力的作用点而代表力的方位的直线,称为力的作用线。

综上所述,力具有大小和方向,所以力是矢量。它可以用一个有方向的线段来表示,线段的长度按选定的比例尺来表示力的大小,而线段的起点或终点表示力的作用点;通过力的作用点沿力的方向作一直线表示力的方位,此线称为力的作用线,而线段终点标出的箭头表示了力的指向。一般印刷体格式用一加大大写字母来表示力矢,如 F 。而手写体,

一般在表示力的字母名称上要加一箭头来表示矢量属性,如 $\vec{F}$ 。本书中受力图上力的字母都用白斜体表示,仅表示大小。

1.1.1.2 刚体

任何物体受力后都将发生不同程度的变形,但在工程实际中物体的变形通常是很微小的,很多情况下,在研究物体的平衡问题时,变形只是次要因素,因而可以忽略不计。因此,在静力学中引入刚体的概念。所谓**刚体**,是指在力的作用下不发生变形的物体,即物体在受力后任意两点之间的距离,永远都保持不变。很显然实际中并不存在这样的物体,刚体只是一种理想化了的力学模型,但这种理想化是有条件的,在研究物体的变形以及物体的截面内力分布时,即使变形很小,也要考虑物体的变形情况,即把物体视为是变形体而不能再看做刚体。

1.2 静力学公理与推论

静力学公理是人类从反复的实践中总结出来的,其正确性已被人们所公认。静力学中的全部理论,就是以静力学公理为依据推导出来的。所以静力学公理是静力学的基础。

1.2.1 二力平衡公理

作用于刚体上的两个力,使刚体处于平衡状态的充分和必要条件是:此两力的大小相等、方向相反、作用线沿同一直线,这就是**二力平衡公理**。而对于只受两个力作用而处于平衡状态的刚体,称为**二力构件**,如图 1.1(a) 所示。由二力平衡条件可知,二力构件不论其形状如何,所受二力作用线必沿二力作用点的连线。若一根直杆只在两点受两力作用而处于平衡状态,则此两力作用线必与杆的轴线重合,此杆被称为**二力杆**,如图 1.1(b) 所示。

需要注意的是,二力平衡公理的适用对象必须是刚体。例如,变形体受两个大小相等,方向相反,作用于同一条直线上的两个力作用时,就不能保持平衡。

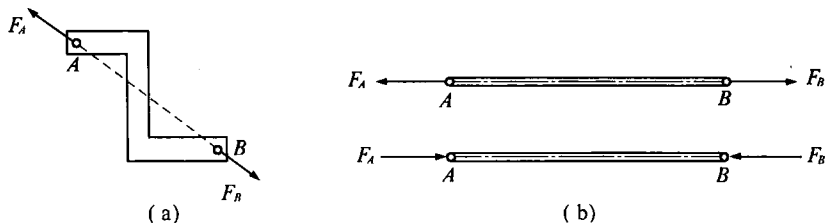


图 1.1

1.2.2 加减平衡力系公理

1.2.2.1 加减平衡力系公理

在作用于刚体的已知力系中,加上或减去任意一平衡力系,而不改变原力系对刚体的作用效果,这就是**加减平衡力系公理**。这是因为平衡力系对刚体的作用总效应为零,所以

它不会改变刚体的平衡或运动状态。这个公理是力系简化的重要理论依据。

1.2.2.2 力的可传性原理

由二力平衡公理和加减平衡力系公理可推导出力的可传性原理:作用于刚体上的力,它的作用点可在刚体上沿作用线任意移动,而不改变它对刚体的作用效果。

证明:设力 F 作用于 A 点,如图 1.2(a),根据加减平衡力系公理,可在力的作用线上任取一点 B ,加上一个平衡力系,如图 1.2(b),并使力的大小 $F_1 = F_2 = F$,由于 F, F_2 是平衡力系,可以去掉,所以只剩下作用于 B 点的 F_1 ,如图 1.2(c),则力 F_1 和力 F 等效,相当于把力 F 从 A 点移动到了 B 点。由此,力的可传性得到证明。

需要注意的是,力的可传性只适用于刚体,且只适用于同一个刚体。

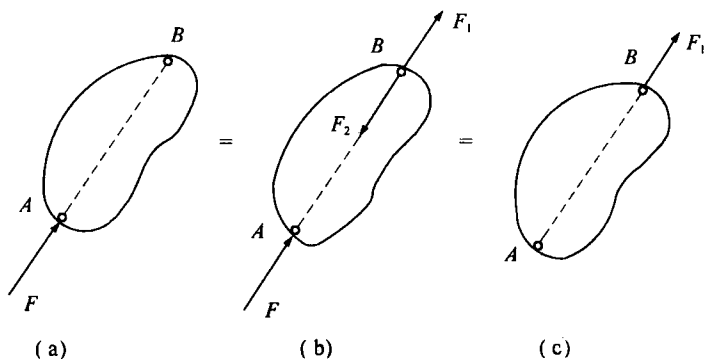


图 1.2

1.2.3 二力合成公理

1.2.3.1 力的平行四边形法则

作用于刚体上同一点的两个力,可以合成为作用于该点的一个合力,合力的大小和方向由这两个力为邻边所作的平行四边形的对角线确定,这被称为平行四边形法则。如图 1.3(a)所示。如将原来的两个力称为分力,则可将此公理简述为合力等于其分力的矢量和。写成矢量式为: $R = F_1 + F_2$ 。

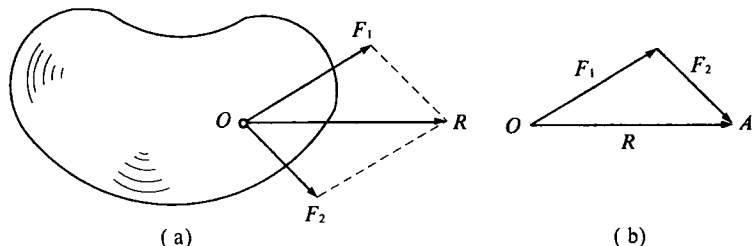


图 1.3

1.2.3.2 力的三角形法则

由平行四边形法则可以做出两个分力的合力,但是为了方便,通常只作出半个四边形就够了,如图 1.3(b),从 O 点先画出矢量 F_1 ,以矢量 F_1 末端为起点画出矢量 F_2 ,然后连接起点 O 和末点 A ,合力 R 由反向封闭的矢量 OA 决定。这被称为力的三角形法则。



1.2.3.3 三力平衡汇交原理

由力的平行四边形法则可推导出共面且互不平行的三力平衡时的汇交原理。

推论:当刚体受到作用线不平行的三力作用而平衡时,则此三力的作用线必汇交于一点且共面。这就是三力平衡汇交原理。

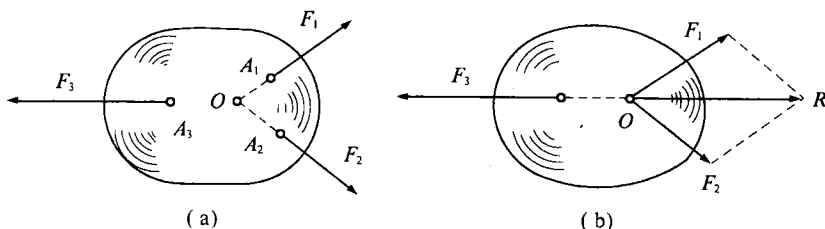


图 1.4

证明:如图 1.4 所示,设在刚体的点 A_1 、 A_2 、 A_3 分别作用互成平衡的三个力 F_1 、 F_2 、 F_3 ,已知力 F_1 、 F_2 的作用线相交于某点 O ,这两个力的合力 R 与 F_3 组成平衡力系,根据二力平衡公理知 R 与 F_3 必共线,即力 F_3 必通过 F_1 和 F_2 的交点 O ,定理由此得证。

1.2.4 作用与反作用公理

作用与反作用公理:两物体间的作用力和反作用力总是同时存在,大小相等,方向相反,沿同一直线分别作用于两个物体上。此公理概括了任何物体间相互作用的关系,不论物体是处于何种状态,也不论物体是刚体还是变形体,该公理都普遍适用。这是分析物体间相互作用力的一条重要规律。作用力与反作用力,一般用同一个字母表示,为便于区别,在其中一个字母的右上角,加一小撇“'”表示,如 F 表示作用力,则 F' 表示反作用力。

但是注意不要把二力平衡条件和作用力与反作用力性质弄混淆了,对二力平衡条件来说,两力作用于同一刚体上,而作用力与反作用力则是分别作用于两个不同的物体上。

1.2.5 硬化公理

硬化公理:当变形体在已知力系作用下平衡时,若把变形后的变形体换成刚体(硬化),则平衡状态保持不变。

值得注意的是,硬化要在变形体发生变形后平衡时进行,硬化后把变形也保留下来。

这个原理对研究变形体的平衡有非常重要的意义。因为现实中的物体总是变形体,把处于平衡状态的变形体视为刚体来研究,可使问题得到简化,同时也建立了刚体力学与变形体力学之间的联系。

1.3 约束与约束反力

1.3.1 约束与约束反力的概念

如果物体在空间沿任何方向的运动都不受限制,这种物体被称为**自由体**。如飞行的飞机、火箭等。在各种机器和工程中,物体总是以各种形式与周围的物体相联系并受到周