

五年制高等职业教育
教材

工程力学

江苏科学技术出版社

五年制高等职业教育教材

工 程 力 学

主 编 白鸿辉
主 审 曾宗福 刘静予

江苏科学技术出版社

图书在版编目(CIP)数据

工程力学/白鸿辉主编. —南京:江苏科学技术出版社,2005.7

五年制高等职业教育教材

ISBN 7—5345—4330—4

I. 工... II. 白... 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(2004) 第 086851 号

工程力学

主 编 白鸿辉

责任编辑 谷建亚

出版发行 江苏科学技术出版社
(南京市湖南路 47 号,邮编:210009)

经 销 江苏省新华书店
照 排 南京奥能制版有限公司
印 刷 南京紫藤制版印务中心

开 本 787mm×960mm 1/16
印 张 14.75
字 数 270 000
版 次 2005 年 7 月第 1 版
印 次 2005 年 7 月第 1 次印刷
印 数 1—3 000 册

标准书号 ISBN 7—5345—4330—4/G·972
定 价 22.00 元

图书如有印装质量问题,可随时向我社出版科调换。

全国广播电视大学职业教育教材建设委员会

主 任 吴汉德

副 主 任 张长荫 孙 旭

委 员 刁纯志 马俊玲 韦建文 火寿平

孙庆武 刘海鸥 吴星飞 李向阳

张 超 陈 骥 范月媛 张吉先

闻金宝 戴世行

秘 书 长 刘兴武

副秘书长 孙广能 张 光 徐东丽

出版说明

五年制高等职业教育是我国高等职业教育的重要组成部分,其目的是培养拥护党的基本路线,适应社会生产、建设、管理、服务第一线需要的,德、智、体、美等方面全面发展的高等技术应用型专门人才。

广播电视大学自举办以来,始终把培养造就劳动和生产一线的应用型人才作为最基本的培养目标,并主要采用远程教育的形式为广大求学者提供了多种规格、多种层次的教学支持服务,为适应国家经济建设和社会发展对教育的多方位需求和国家劳动就业准入制度的逐步全面实施,广播电视大学系统从1999年起开始试办五年制高等职业教育,目前已形成了一定的规模。

为了推进在现代远程教育环境下高等职业教育的发展,我们组织了部分具有丰富的教学经验、学术造诣比较高的专家学者编制了一批具有远程高等职业教育特色的五年制高等职业教育的系列教材,供广大师生使用。

编写具有远程职业教育特色的五年制高等职业教育教材是一种新的探索和尝试,尽管我们作了很大努力,但限于经验和水平,教材中肯定会有不足之处,敬请广大师生同仁给予批评指正。

**全国广播电视大学
职业教育教材建设委员会**

2003年6月

前 言

本教材是由全国广播电视大学职业教育教材建设委员会组织编写的系列教材之一。本教材遵循高职教育培养面向基层、面向生产、面向服务和管理第一线职业岗位的实用型、技能型人才的培养目标,着眼于能力培养,本着“精练”、“实用”突出高职特色,为专业课学习打好基础。

本教材主要内容包括:静力学基础知识,平面汇交力系,力矩和力偶,平面一般力系,摩擦,空间力系及重心,运动学与动力学知识,材料力学基本知识,拉伸与压缩,剪切,挤压,圆杆件的扭转、弯曲,动荷应力与交变应力,实验,专题介绍等。

本教材主要特点有:注重基础,梯度适当,循序渐进,突出实用。通过本教材的学习,使受教育者了解静力学的基本知识,掌握一般构件的受力分析方法,了解有关运动学及动力学的基本知识,熟悉构件变形的基本形式,掌握强度计算的常用方法、材料力学性质的实验方法等。

本教材采用国际计量单位制。每章后面有思考题、习题,书后附有相关计算图表等。

本教材是供广播电视大学高等职业教育理工类各专业教学使用,同时也可供有关工程技术人员参考。

参加本教材编写的有湖南广播电视大学白鸿辉、张旭,长沙理工大学文华,湖南交通职业技术学院贺剑波,由白鸿辉任主编,张旭任副主编,主审曾宗福、刘静予。

本教材的编写得到了教材建委会的指导和帮助,还得到了有关院校的大力支持,在此谨向他们表示诚挚的谢意。

本教材的编写系职业教育改革的一种新的尝试。由于编者水平所限,加之时间仓促,书中有不当之处,敬请专家、学者及使用者不吝指正。

《工程力学》课程编写组

2004年4月

一、工程力学研究的对象及作用

工程力学来源于生产实践,是一门与工程技术联系很密切的技术基础学科,也是一门研究物体机械运动规律和构件承载能力的科学。

本书内容主要由理论力学和材料力学、实验等几大部分所构成。

理论力学部分主要研究物体的机械运动规律和宏观受力状况。物体的机械运动是物质运动形式中最简单、最基本的一种运动,如机器的运转、车辆的行驶、起重机吊运重物等,都是机械运动的实例。平衡是机械运动的特殊形式。

材料力学部分主要通过讨论构件的强度、刚度和稳定性等来找出确定构件承载能力的方法。构件的承载能力是指机械零件和其他承载体在工作时安全可靠地承受外载荷的能力。

工程力学是对机械零件和其他构件进行受力分析、受力计算和承载能力计算的基础,是从事工程技术工作人员必备的基础知识。

例如,实际工程中的起重机,在设计时要确定起重机的最大起重量,组成起重机各部各构件的受力情况,就必须对它们在静力平衡状态下进行受力分析,研究作用力应满足的条件。当构件处于运动状态时,即起重机吊运重物过程中的启动、刹车、运行、回转等,就需要对构件进行运动分析和动力分析,这些问题都是研究物体机械运动所涉及的内容。而起重机各构件要安全可靠地工作,确保起重机安全吊运重物,在已知构件受力的情况下,合理地确定构件的结构形状、尺寸及材料等,这些问题则属于研究构件承载能力方面的内容。

二、工程力学的研究与学习方法

在研究工程力学的过程中,要注意抓住问题的本质,忽略次要因素,使问题的讨论简单化,通常把研究对象抽象化为力学模型。例如,在研究物体机械运动时,物体的变形极其微小,就把变形忽略不计,将物体视为刚体;而在研究力与变形规律时,变形是主要因素,刚体模型不再适用,得到的是变形固体模型。再如,在讨论构件的受力计算问题时,要把实际问题抽象为计算简图来进行分析。由此可见,对不同

问题采用不同的力学模型是研究工程力学问题的重要方法。

学习工程力学时要认真理解基本概念和基本定律,掌握基本方法,认真思考和演算一定数量的习题,并重视把所学的知识与实践相联系,以巩固和不断加深对所学知识的理解,培养分析问题和解决问题的能力。

目 录

绪 论	(1)
-----	-----

第一篇 静 力 学

第一章 静力学基本知识	(2)
1.1 力、刚体和平衡的概念	(2)
1.2 静力学基本公理	(4)
1.3 约束与约束反力	(8)
1.4 研究对象及其受力图	(11)
思考题	(14)
习题	(14)
第二章 平面力系	(16)
2.1 力系的分类和特征	(16)
2.2 平面汇交力系合成的几何法	(16)
2.3 平面汇交力系平衡的几何条件	(17)
2.4 平面汇交力系合成的解析法	(18)
2.5 平面汇交力系平衡的解析条件	(21)
2.6 力矩、合力矩定理	(24)
2.7 力偶及其性质	(26)
2.8 平面力偶系的合成及平衡	(28)
2.9 力的平移定理	(30)
2.10 平面一般力系及其简化	(32)
2.11 平面一般力系的平衡	(36)
2.12 简单物体系统的平衡	(42)
思考题	(44)
习题	(45)
第三章 空间力系	(50)
3.1 力在空间直角坐标轴上的投影	(50)
3.2 力对轴之矩	(52)
3.3 空间力系的平衡	(53)

3.4 齿轮和轴的受力分析	(54)
3.5 重心	(57)
思考题	(62)
习题	(63)
第四章 摩擦	(65)
4.1 滑动摩擦的概念	(65)
4.2 摩擦的平衡问题基础	(67)
4.3 滚动摩擦简介	(71)
思考题	(72)
习题	(73)

第二篇 运动学和动力学

第五章 运动学基础	(76)
5.1 点的运动	(76)
5.2 刚体的平动	(81)
5.3 刚体的定轴转动	(83)
5.4 点的合成运动	(87)
思考题	(93)
第六章 动力学基础	(94)
6.1 质点动力学基础	(94)
6.2 刚体的平面运动	(97)
6.3 刚体定轴转动动力学基础	(104)
6.4 功、功率、效率	(108)
6.5 动静法	(110)
思考题	(114)
习题	(115)

第三篇 材料力学

第七章 材料力学的基本知识	(118)
7.1 材料力学的任务及其基本假设	(118)
7.2 构件变形的基本形式	(120)
思考题	(122)
第八章 拉伸与压缩	(123)
8.1 拉伸与压缩的概念	(123)

8.2	内力、截面法、轴力图	(123)
8.3	横截面上的应力	(126)
8.4	拉(压)杆的变形及材料的力学性能	(128)
8.5	轴向拉伸或压缩时的强度计算	(135)
8.6	应力集中的概念	(138)
	思考题	(138)
	习题	(139)
第九章	剪切、挤压	(140)
9.1	剪切的概念及实用计算	(140)
9.2	挤压的概念及实用计算	(141)
9.3	剪切时的变形、剪切虎克定律	(143)
	思考题	(144)
	习题	(144)
第十章	圆轴的扭转	(146)
10.1	扭转的基本概念及实例	(146)
10.2	扭转时的内力	(146)
10.3	圆轴扭转时横截面上的应力	(149)
10.4	圆轴扭转时的强度计算	(152)
10.5	圆轴相对扭转角及刚度条件	(153)
	思考题	(156)
	习题	(157)
第十一章	梁的弯曲	(158)
11.1	梁弯曲的基本知识	(158)
11.2	弯曲时横截面上的内力	(159)
11.3	梁的强度计算及强化措施	(162)
11.4	弯曲刚度	(170)
11.5	组合变形	(172)
	思考题	(175)
	习题	(176)
第十二章	压杆稳定	(178)
12.1	压杆稳定的基本知识	(178)
12.2	欧拉公式的适用范围,非细长杆临界应力的经验公式	(180)
12.3	增强压杆稳定性的途径	(182)
	思考题	(183)

第十三章 动荷应力与交变应力	(184)
13.1 动载荷应力	(184)
13.2 交变应力	(185)
13.3 构件疲劳极限及其影响因素	(188)
思考题	(189)

第四篇 实验及工程中力学问题简介

第十四章 实验	(192)
14.1 材料试验机	(192)
14.2 材料拉伸、压缩试验	(194)
14.3 弯曲正应力的电测实验	(198)
14.4 弯曲梁正应力的测定	(201)
思考题	(204)
第十五章 工程中力学问题简介	(205)
15.1 超静定结构的特性	(205)
15.2 几种典型工程中的力学专题简介	(207)
附录	(215)
附录 I 工程常用量的单位换算表	(215)
附录 II 简单形体的形心位置	(217)
附录 III 梁在简单荷载作用下的变形	(219)
附录 IV 型钢规格表(摘录)	(221)

第一篇

静 力 学

在生产实践和日常生活中,人们经常可见到的一种运动就是机械运动。所谓机械运动,是指物体在空间的位置随时间而发生变化。静力学的主要任务就是研究物体机械运动的特殊情形——物体在力的作用下处于平衡时的规律。所谓平衡通常是指物体相对于地面保持静止或作匀速直线运动的状态。实际上,任何物体都在永恒地运动着,平衡只是相对的。例如,在地面上看来是静止的建筑物,实际上仍随着地球的自转和公转在太阳系中运动。

静力学的基本知识在实际工程中得到了广泛的应用,因为人们在工程实践中,经常会遇到物体(构件)处于平衡状态下的受力分析问题。例如,简易吊车,为了保证它能可靠地工作,需要合理地确定组成吊车的各构件的尺寸,为此就必须首先分析和计算各构件所受的力;又如建筑物悬伸出的阳台,为了确保悬伸阳台的承载安全性,就必须分析悬伸阳台的悬伸梁的受力情况,以便确定出悬伸梁满足安全条件的尺寸和配筋(钢筋)情况。通过静力学学习,就为解决这类问题提供了必要的基础知识。

1.1

力、刚体和平衡的概念

一、力的概念

人用手推门时,人手和门之间有了相互作用,这种作用使得门沿着人手推门的方向被打开;当锻锤锻打在工件上时工件就会产生较大变形等。人们在长期的生活和生产实践中,通过观察和分析逐步获得了力的科学概念,即力是物体间的相互机械作用,力不能脱离物体而存在。力作用于物体时将会产生两类效果:一类是使物体机械运动状态发生变化,称为力的外效应,由理论力学加以讨论;另一类是使物体产生变形,称为内效应,由材料力学加以讨论。

力对物体的作用效应,由力的三个要素来决定,即:① 力的大小;② 力的方向;③ 力的作用点。在这三个要素中,改变任何一个要素时,力的作用效果就会随之改变。

在力学中有两种量：标量和矢量。只考虑大小的量称为**标量**，如时间、质量、长度等。既考虑大小也考虑方向的量称为**矢量**，力与速度都是矢量。力这个矢量可用一具有方向的线段来表示。

如图 1-1 所示的有向线段 $\overrightarrow{AB}$ 是一个力矢。线段的长度(按一定的比例尺)表示力的大小($F=50\text{ N}$ ，每格 10 N)，箭头的指向表示力的方向；线段的起点 A 表示力的作用点。本书用黑体字母如 $\mathbf{F}$ 等表示矢量，而以普通字体的同一字母 F 等表示力的大小(该矢量的模)。书写时也可在普通字母上画“ $\rightarrow$ ”符号(带箭头的横线)，如 $\vec{F}$ 等表示矢量。

按照国际单位制(SI)的规定，力的单位用牛顿(N)或千牛(kN)。在工程单位制中，力的单位是公斤力(kgf)。二者的换算关系为 $1\text{ kgf}=9.8\text{ N}$ 。

物体上作用着的一组力称为力系。对同一物体作用效应相同的两力系，彼此互称为等效力系。若一个力与一力系等效，则称此力为该力系的合力，而力系中的各个力都是其合力的分力。把各分力代换成合力的过程，称为**力系的合成**。把合力代换成几个分力的过程，称为**力的分解**。用一简单力系代替复杂力系的方法称为**力系的简化**。

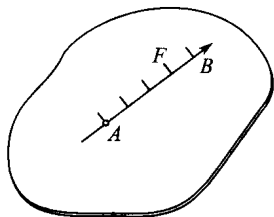


图 1-1

二、刚体的概念

力学中的**刚体**，是指在任何外力作用下，大小和形状始终保持不变的物体。事实上，刚体是不存在的。只是在工程实际中构件的变形，通常极其微小，这种微小的变形对研究物体的平衡影响很小，故可忽略不计。这样，物体就被看成是不变形的，这就使得研究的问题大为简化。静力学中所研究的物体都可视为刚体。

三、平衡的概念

平衡是物体机械运动的一种特殊状态，平衡一般是指物体相对于地球保持**静止或作匀速直线运动的状态**。事实上，任何物体都在永恒地运动着，平衡只是相对的。例如：地面上的建筑物看上去是静止的，而实际上它们在随着地球的自转和公转在太阳系中运动。

1.2 静力学基本公理

公理即符合客观现实的真理。人们在长期实践中认识并总结出了静力学的最基本的四条公理,它的正确性早已被事实所证明。静力学的全部理论,就是以静力学公理为依据建立起来的。

公理一 二力平衡公理

作用于刚体上的两个力,使刚体保持平衡的必要且充分条件是:这两个力大小相等,方向相反,作用在同一直线上。

对于柔性体来说,公理一给出的条件是必要的,但不是充分的。例如,当绳索一类的柔性体受两个等值、反向的拉力作用时可以平衡(如图 1-2(a)所示),但当受两个等值、反向的压力作用时就不能平衡了(图 1-2(b)所示只对刚体构件适应,对柔性体不适应)。

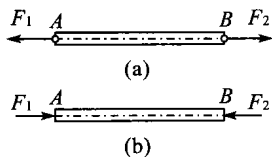


图 1-2

工程上,把只受两力作用而处于平衡的构件,称为二力构件。构件的形状为杆状时,就称为二力杆。二力构件的受力特点是,不论构件形状如何,所受的两力必定沿作用点的连线。工程上常根据这一特点来确定出二力构件的受力方向。图 1-3(a)所示某棘轮机构中的棘爪 AB,当不计其自重时,就可看成是二力杆, F_A 、 F_B 两力必定沿 A、B 两点的连线(如图 1-3(b))。

公理二 加减平衡力系公理

若物体在力系作用下处于平衡状态,这样的力系就称为平衡力系。

在作用于刚体上的已知力系中加上或减去任一平衡力系,并不改变原力系对刚体的作用效应。这个公理是力系简化的重要理论依据。据此,有如下推论:

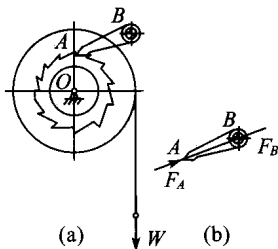


图 1-3

力的可传性原理:

推论 1 作用于刚体上的力,可沿其作用线移到刚体内任一点,而不改变它对刚体的作用效应。

借助于图 1-4 就可证明这个推论。如图 1-4(a)所示,已知小车在 A 点受推力 F 的作用。在 F 力作用线上的任一点 B,沿 F 作用线加上一对相互平衡的力

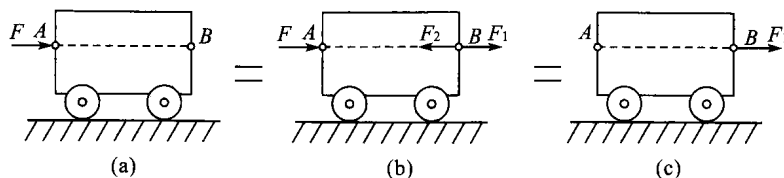


图 1-4

F_1 、 F_2 ，并使它们的大小与 F 力的大小相等，如图 1-4(b) 所示。再从图 1-4(b) 中减去一对互相平衡的力 F 、 F_2 ($F = -F_2$)，如图 1-4(c) 所示。显然，三种情况都是等效的。这样就把原作用于 A 点的力 F ，沿着作用线移到了 B 点。实际经验也告诉我们，在 A 点推车与在 B 点拉车两者的外效应是相同的。

由力的可传性原理可知，力对刚体的作用决定于：力的大小、方向和作用线三个要素。

应当注意，力的可传性原理只适用于刚体，而不适用于变形体。

如图 1-5 所示的变形杆 AB，原来受两拉力作用而伸长(图 1-5(a))。若将两力沿着作用线分别移至杆的另一端(图 1-5(b))，杆将受压而缩短。这说明，对于变形体，随着力沿作用线移动，虽然其外效应未改变，但内效应却改变了。

公理三 力的平行四边形公理

作用于物体上同一点的两个力的合力也作用在该点上，合力的大小和方向由以该两力为邻边所构成的平行四边形的对角线来表示。

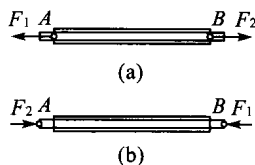


图 1-5

该公理表明，两个相交力的合成不能简单地将其数值大小相加，而必须按平行四边形法则相加，即矢量加法。合力等于两分力的矢量和，可用矢量式表示为

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

上述矢量等式与代数等式 $R = F_1 + F_2$ 的含义不同。在 $\mathbf{F}_1$ 、 $\mathbf{F}_2$ 两力不共线的情况下， $R \neq F_1 + F_2$ 。

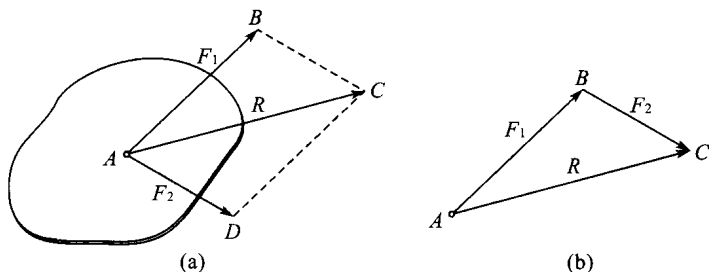


图 1-6

用平行四边形法则求合力 $\mathbf{R}$ 时，可以只作出平行四边形的一半(如图 1-6