

工程力学

湖南农学院

浙江农业大学 山西农业大学

江苏农学院 西南农业大学

甘肃农业大学 贵州农学院

安徽农学院 华南农业大学

合编

农业出版社

工 程 力 学

湖南农学院 浙江农业大学 山西农业大学
江苏农学院 西南农业大学 甘肃农业大学 合编
贵州农学院 安徽农学院 华南农业大学

农 业 出 版 社

(京)新登字 060 号

工 程 力 学

湖南农学院 浙江农业大学 山西农业大学
江苏农学院 西南农业大学 甘肃农业大学 合编
贵州农学院 安徽农学院 华南农业大学

* * *

责任编辑 李耀辉

农业出版社出版(北京市朝阳区农展馆北路2号)
新华书店北京发行所发行 北京密云印刷厂印刷

850×1168mm32 开本 15.375 印张 389 千字
1993 年 10 月第 1 版 1993 年 10 月北京第 1 次印刷

印数 1—5,610 册 定价 7.00 元

ISBN 7-109-03027-X/O · 73

主 编:刘玉堂

副主编:罗国强

编 者:(按姓氏笔画排列)

马尚文 李卫星 李 真 李德威

林家声 唐盛球 梁 加 郭玉明

龚世夫 谢扬敬 魏恩静

主 审:王笃敬 黄文彬

副主审:魏恩静 谢扬敬

内 容 提 要

本书是为高等农林院校不同层次专业的教学需要而编写的。适用于食品科技、农畜产品加工、农村电气化、农村能源、森保水保等专业,学时数为50—80,也可作为专科学校的教材以及有关工程技术人员的参考书。

由九所高等农业院校联合编写的这本教材,是将理论力学和材料力学两部分内容相互渗透、协调。概念准确,文字简明、精炼,专业覆盖面广。

考虑到农林院校不同专业对工程力学的要求差异较大,将内容分为四篇:静力学、材料力学、运动学与动力学、专题(供选用)。

为配合本书的使用,编者编写了书中全部习题的题解,由湖南农学院力学教研室提供。

前 言

随着教学改革的不深入发展,各高等农林院校都相继开办了不同层次的食物科技、农畜产品加工、农村电气化、农村能源等专业。为了满足这些专业对“工程力学”课程的教学要求,于1990年,在山西农业大学王笃敬教授的热忱支持下,由湖南农学院牵头,编写了大纲,寄至全国二十多所兄弟院校征求意见,最后归纳为本书的编写大纲。因此,可以说,这本书是各兄弟农林院校同行共同劳动的结晶。

在保证现行教学体系相对稳定的前提下,编写时力求做到:基本概念,基本理论论述严谨;专业覆盖面宽;理论力学和材料力学两部分内容尽量相互渗透、协调;文字简单明了。初稿完成后,于1991年6月在长沙召开了审稿会议;会后理论力学部分(第一篇,第三篇,第四篇第十九、二十章)由唐盛球修改合稿,并主持上述内容的定稿会;材料力学部分(第二篇,第四篇第二十一、二十二章)由刘玉堂和罗国强修改合稿。马尚文对全书的修改提了不少有益的意见。并于1991年10月在杭州召开了定稿会议。全书由主编单位湖南农学院主编刘玉堂副教授和副主编单位浙江农业大学副主编罗国强副教授定稿。

在本书的编、审过程中,得到了湖南农学院、浙江农业大学、山西农业大学以及其他院校的大力支持。

主审王笃敬和黄文彬教授,副主审魏恩静和谢扬敬副教授,对本书的修改提出了许多宝贵意见。农业出版社李耀辉同志为教材的出版做了许多工作。在此一并致谢。

由于编者的水平有限加之时间仓促,书中难免会有不妥之处,深望读者提出意见。

编 者

1992年7月

目 录

绪论.....	(1)
---------	-----

第一篇 静力学

第一章 基本概念	(5)
§ 1-1 力、刚体和平衡的概念	(5)
§ 1-2 作用和反作用定律 约束和约束反力	(8)
§ 1-3 分离体和受力图	(12)
第二章 平面汇交力系	(18)
§ 2-1 平面汇交力系合成的几何法 平衡的几何条件	(18)
§ 2-2 力在直角坐标轴上的投影 合力投影定理	(21)
§ 2-3 平面汇交力系合成的解析法 平衡方程	(23)
第三章 力矩和力偶	(29)
§ 3-1 力对点的矩	(29)
§ 3-2 力偶和力偶矩	(30)
§ 3-3 平面力偶系的合成和平衡条件	(32)
§ 3-4 力的平移	(34)
第四章 平面一般力系	(38)
§ 4-1 平面一般力系向一点简化	(38)
§ 4-2 简化结果及其分析 合力矩定理	(40)
§ 4-3 平面一般力系的平衡方程	(42)
§ 4-4 物体系的平衡	(49)
§ 4-5 考虑摩擦存在的平衡问题	(53)
第五章 空间力系	(67)

§ 5-1 力沿直角坐标轴的分解及其投影	(67)
§ 5-2 力对轴的矩	(69)
§ 5-3 空间一般力系的平衡条件和平衡方程	(72)
§ 5-4 平行力系的中心 物体的重心 平面图形的形心	(76)

第二篇 材料力学

第六章 材料力学的基本概念	(89)
§ 6-1 材料力学的任务	(89)
§ 6-2 变形固体的基本假设	(90)
§ 6-3 杆件变形的基本形式	(91)
第七章 拉伸和压缩	(92)
§ 7-1 概念和实例	(92)
§ 7-2 轴向拉伸或压缩时的内力和应力	(93)
§ 7-3 轴向拉伸或压缩时的变形	(97)
§ 7-4 拉伸与压缩时材料的机械性质	(101)
§ 7-5 许用应力和拉压强度条件	(108)
§ 7-6 简单拉、压静不定问题	(113)
§ 7-7 变形的概念	(115)
§ 7-8 应力集中的概念	(118)
第八章 剪切和挤压	(124)
§ 8-1 概念和实例	(124)
§ 8-2 剪切的实用计算	(125)
§ 8-3 挤压的实用计算	(126)
第九章 扭转	(132)
§ 9-1 概念和实例	(132)
§ 9-2 外力偶矩和扭矩的计算	(133)
§ 9-3 纯剪切 剪切虎克定律	(136)
§ 9-4 圆轴扭转时的应力和变形	(139)
§ 9-5 圆轴扭转时的强度和刚度条件	(146)
第十章 平面弯曲内力和强度	(153)
§ 10-1 概念和实例	(153)

§ 10-2	剪力和弯矩 剪力方程和弯矩方程 剪力图和弯矩图	(156)
§ 10-3	梁纯弯曲时横截面上的正应力	(162)
§ 10-4	横力弯曲时梁横截面上的剪应力简介	(169)
§ 10-5	梁的弯曲强度条件及其应用	(170)
§ 10-6	提高弯曲强度的一些措施	(177)
第十一章	平面弯曲刚度	(188)
§ 11-1	弯曲构件的挠度和转角	(188)
§ 11-2	挠曲线的近似微分方程及其应用	(191)
§ 11-3	用叠加法求变形 刚度条件	(197)
§ 11-4	用变形比较法解简单静不定梁	(208)
第十二章	应力状态及强度理论	(215)
§ 12-1	应力状态的概念	(215)
§ 12-2	二向应力状态分析——解析法	(218)
§ 12-3	广义虎克定律 弹性变形能	(224)
§ 12-4	强度理论的概念	(228)
§ 12-5	常用的四种强度理论	(230)
第十三章	组合变形强度计算	(238)
§ 13-1	概述	(238)
§ 13-2	弯曲与拉伸(压缩)的组合变形	(239)
§ 13-3	偏心拉伸或压缩	(244)
§ 13-4	弯曲与扭转的组合变形	(247)
第十四章	压杆稳定	(256)
§ 14-1	概述	(256)
§ 14-2	细长压杆的临界压力公式	(257)
§ 14-3	临界应力和中、小柔度杆的临界应力	(260)
§ 14-4	压杆稳定的计算	(264)

第三篇 运动学与动力学

第十五章	点的运动	(278)
§ 15-1	点的平面曲线运动 运动方程	(278)

§ 15-2	点的速度和加速度在直角坐标轴上的投影	(281)
§ 15-3	点的速度和加速度在自然坐标轴上的投影	(287)
§ 15-4	质点动力学的基本定律	(293)
§ 15-5	质点的运动微分方程	(295)
§ 15-6	达朗伯原理 动静法	(300)
第十六章	刚体的基本运动	(307)
§ 16-1	刚体的平动	(307)
§ 16-2	刚体平动时惯性力系的简化 质心运动定理	(308)
§ 16-3	刚体绕定轴转动	(313)
§ 16-4	转动刚体上各点的速度和加速度	(316)
§ 16-5	刚体转动微分方程	(320)
§ 16-6	转动惯量与回转半径	(323)
第十七章	点的复合运动	(332)
§ 17-1	复合运动的基本概念	(332)
§ 17-2	点的速度合成定理	(335)
第十八章	刚体的平面运动	(343)
§ 18-1	平面图形的运动方程 平面运动分解为平动和转动 ...	(344)
§ 18-2	平面图形内各点的速度分析——合成法	(347)
§ 18-3	平面图形内各点的速度分析——瞬心法	(354)

第四篇 专 题

第十九章	功能原理	(368)
§ 19-1	力的功	(368)
§ 19-2	质点和刚体的动能和动能定理	(375)
第二十章	单自由度系统的振动	(389)
§ 20-1	概述	(389)
§ 20-2	自由振动	(390)
§ 20-3	阻尼振动	(394)
§ 20-4	强迫振动	(398)
§ 20-5	减振和隔振的概念	(403)
第二十一章	交变应力	(408)

§ 21-1 概述	(408)
§ 21-2 持久极限及其影响因素	(412)
§ 21-3 构件的疲劳强度计算	(419)
§ 21-4 提高构件疲劳强度的措施	(422)
第二十二章 动应力的计算	(426)
§ 22-1 动应力的概念	(426)
§ 22-2 构件作匀加速直线运动和匀速转动时的应力计算	(426)
§ 22-3 冲击和振动	(431)
附录:	
附录 I 平面图形的几何性质	(447)
§ I-1 静矩	(447)
§ I-2 惯性矩、惯性积和惯性半径	(449)
§ I-3 平行移轴公式和组合图形惯性矩的计算	(453)
§ I-4 主轴和主惯性矩的概念	(455)
附录 II 型钢表	(458)
附录 III 习题答案	(466)

绪 论

一、概 述

工程力学通常包括“理论力学”和“材料力学”两门课程的有关内容。它是研究物体的机械运动和构件承载能力的一门科学。

理论力学是研究物体机械运动一般规律的科学。所谓机械运动,是指物体在空间的位置随时间的变化。它是宇宙间一切物质运动最普遍、最简单的形式。在力学范围内,通常把机械运动简称为运动。

理论力学和现代工程技术有着极为广泛的联系。如人造卫星的发射和航天飞机的研制,农机、化工、轻工等工业生产中的结构物和机器等,它们有的作直线运动,有的作回转运动,有的作各种复杂运动,而有的则是静止(静止是机械运动的特例)。因此,研究机械运动的规律以及静止物体的受力分析和平衡问题,都要用到理论力学的知识。

为了便于研究,理论力学通常分为三部分,即静力学、运动学和动力学。

静力学是研究物体平衡的科学,是研究材料力学和动力学的基础,在工程中具有重要的意义。平衡是物体机械运动的特殊形式,在工程上平衡是指物体相对于地球保持静止或作匀速直线运动的状态。在静力学中主要研究力系的简化和物体的平衡条件。

运动学是研究物体在空间的位置随时间变化规律的科学,在工程中有其独特的意义。如对一部机器,为了满足生产的需要,首先要求各零部件能正确实现预先规定的运动,这就需要运动学的

知识。

动力学研究的是物体机械运动的变化和作用在物体上的力之间的关系,它在理论力学中占有主体地位。动力学的知识在工程技术中应用甚广,动力机械设计,结构动力分析等工程问题都需要动力学的知识。

材料力学是关于各种类型构件强度、刚度及稳定性计算的科学。是工程设计的必要基础。

机械或工程结构的每一组成部分称为构件,材料力学研究的构件形状多为杆件或简单的杆系结构。当机械或工程结构工作时,每一构件都将受到载荷的作用。如贮气罐或氧气瓶,在规定压力下不应爆破,这属于强度问题。可见,强度是指构件在载荷作用下抵抗破坏的能力。在载荷的作用下,构件的形状和尺寸会发生变化,称为变形。某些构件的变形,不能超过正常工作允许的限度。如吊车梁,即使它的强度符合要求,若变形过大,也会影响起吊小车的行走。可见,刚度是指构件在外力作用下抵抗变形的能力。有的构件为细长直杆,如千斤顶中的螺杆,在压力作用下有被压弯的可能,为了保证其正常工作,要求这类杆件始终保持直线形式,即要求原有的直线平衡形态保持不变。这属于稳定性问题。可见,稳定性是指构件保持原有平衡形态的能力。构件的强度、刚度和稳定性统称为构件的承载能力,所以,材料力学又可认为是研究构件承载能力的一门科学。

材料力学的内容包括物体受力和变形的研究及材料在不同情况下的机械性质的研究。构件的安全和最经济地使用材料,这两个要求是相互矛盾的,这一对矛盾促使材料力学按照科学的方法不断地发展。

考虑到内容的相互联系和不同层次的需要,本书的编排为:第一篇静力学;第二篇材料力学;第三篇运动学和动力学;第四篇专题。

二、地位、作用和研究方法

工程力学是现代工程技术的重要理论基础之一。它是工科各类专业重要的一门技术基础课,它以高等数学和物理为基础,而又为结构力学、机械原理和机械零件等后续课程提供依据。此外,它也为进一步学习弹性力学和断裂力学等课程奠定必要的基础知识。因此,可以说它在基础课和专业课之间起着桥梁的作用。

工程力学的研究按宏观的连续介质力学方法进行。一般遵循实验、观察分析、假设推理、检验等步骤,理论和实验占有同等重要的位置。

第一篇 静力学

静力学主要研究作用在物体上力系的简化和受力物体的平衡条件。

作用于物体上的一群力称为一个力系。所谓平衡,是指物体相对于惯性参考系处于静止或匀速直线运动的状态。在工程力学问题中,平衡是相对于地球而言的。

物体在力系作用下如保持平衡,则作用于该物体上的力系称为平衡力系。

在静力学中,我们将研究以下三个问题:

一、物体的受力分析

即找出作用于物体上的力系。具体做法是分析某个物体共受几个力的作用以及每个力的大小、方向和作用线位置。

二、力系的等效变换

所谓力系的等效变换,就是将作用于某一物体上的已知力系用另一个与它等效的力系来代替。如果用一个简单的力系等效地替换一个复杂力系,则称为力系的简化。如果一个力系可以用一个力来等效,则该力就称为原力系的合力。在工程实际中,作用于物体上的力系往往相当复杂,因此无论是静力学问题还是动力学问题,都需要对力系进行简化,以便于了解原力系对物体作用的效应。

三、力系的平衡条件

即研究物体平衡时,作用于物体上的力系所需满足的条件。

第一章 基本概念

§ 1-1 力、刚体和平衡的概念

一、力的概念

力是物体间相互的机械作用,这种作用使物体的机械运动状态发生变化或能引起物体的变形。

可见,力不能脱离物体而出现。同时,有力就必定至少存在着两个物体。

力使物体运动状态发生变化的效应称为力的外效应,或运动效应;而力使物体发生变形的效应则称为力的内效应,或变形效应。本篇只研究力的外效应,第二篇再研究力的内效应。

实践表明,力对物体的作用效应决定于三个因素:(1)力的大小;(2)力的方向;(3)力的作用点。此乃力的三要素。

我们用一个矢量来表示力的三个要素,如图 1-1 所示。此矢量的长度 AB 按一定的比例尺表示力的大小;矢量的方向表示力的方向;矢量的始端 A 点表示力的作用点。矢量 AB 所沿着的直线(图 1-1 上的虚线)表示力的作用线。我们常用 F 表示力的矢量,而用普通字母 F 表示力的大小。

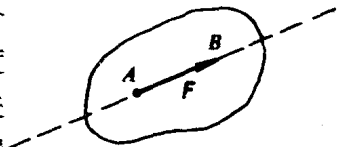


图 1-1

在国际单位制中,力的单位是“牛顿”(代号为牛或 N)、“千牛顿”(千牛或 kN)等。

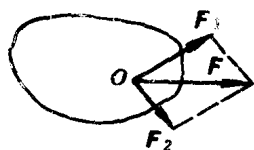


图 1-2

作用于物体上同一点的两个力可合成
为作用于该点的一个力,称为合力,此合力
的大小和方向由以原来二力为邻边所构成
的平行四边形的对角线所确定,这称为力的
平行四边形法则(图 1-2)。如果以 F_1 、 F_2 表

示原来的两力,以 F 表示合力,则有

$$F = F_1 + F_2 \quad (1-1)$$

即合力等于两分力的矢量和。

为了简便,在利用作图法求两共点力的合力时,可先从两分力
的共同作用点 O 画出某一分力矢,再自此分力矢的终点画出另一
分力矢,最后由 O 点至第二分力矢的终点作一矢量,就是合力 F 。
这一作图过程见图 1-3(a)或(b)。虽然二者作图次序不同,但最后
结果相同。以上作图法称为力的三角形法则。

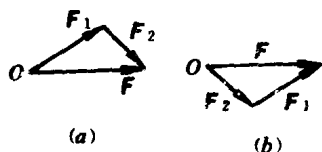


图 1-3

力的平行四边形法则是力系简
化的主要依据之一,同时,它也是力
的分解法则。在力的分解过程中以同
一个力为对角线可作出无限多个不
同的平行四边形,故若无其他条件限
制,则将一个力分解为两共点力的解

答就不是唯一的。在实际问题中,常常是根据需要而将力沿两指定的
方向分解。

二、刚体的概念

所谓刚体是这样的物体:在力的作用下,其内部任意两点之间的
距离始终保持不变。即假设物体没有任何变形。实际上任何物
体在力的作用下,都会产生程度不同的变形。但是,这些微小的变
形,对研究物体的平衡问题不起主要作用,从而可以略去不计,这
样可使问题的研究大为简化。

本篇所研究的物体一律假定为刚体。