

工 程 力

主编 汤玉珠 张灿书 张兆玉

主审 程玉虎 兰 青

石油大学出版社

工 程 力 学

主 编 汤玉珠 张灿书 张兆玉
主 审 程玉虎 兰 青

石油大学出版社

内 容 提 要

本书分《理论力学》和《材料力学》两部分。理论力学部分包括静力学、运动学、动力学三篇共十六章。材料力学部分包括轴向拉伸与压缩、扭转、梁的内力及应力、应力状况理论和强度理论、组合变形的强度计算、压杆稳定、交变应力、能量法共九章。每章末均附有小结和习题。

本书可作为工科学校机械、机电、土建、轻纺、冶金、地质等类专业理论力学和材料力学课程的教材,也可供有关的工程技术人员参考。

工 程 力 学

汤玉珠 张灿书 张兆玉 主编

*

石油大学出版社出版发行

(山东省东营市)

新华书店经销

济宁市教育印刷厂印刷

*

开本 787×1092 1/16 19 625 印张 493 千字

1996 年 7 月第 1 版 1996 年 7 月第 1 次印刷

印数 1—3000 册

ISBN 7-5636-0871-0/O. 42

定价:18.50 元

编 委 名 单

主 编	汤玉珠	张灿书	张兆玉
副主编	王道东	王子山	张 健
	方树春	李 昕	马翠英
	庄 竞	孙志春	吴 冉
	杨淑启	孟昭霞	祖辛云
	黄 晖	梁成忠	甄洪流

编 委(以姓氏笔画为序)

马翠英	方树春	王子山
王道东	兰 青	庄 竞
孙志春	汤玉珠	李 昕
张兆玉	张灿书	张 健
吴 冉	杨淑启	孟昭霞
祖辛云	聂成林	梁成忠
黄 晖	程玉虎	甄洪流

前 言

本书是根据国家教育委员会审定的工科各专业《工程力学教学大纲》编写的。

本书在内容选择上,力图为读者掌握结构的受力分析、机械运动规律、强度、刚度、稳定问题,提供基本的力学理论和计算方法,为学习后续课程、培养分析和解决基本工程力学问题能力打下良好的基础。

本书在写作方法上,力求深入浅出,通俗易懂,既保证基本理论的系统性和严谨性,又密切联系实际,使读者学以致用。为了帮助学生总结复习,每章后均附有小结和习题。

本书由汤玉珠、张灿书、张兆玉任主编,程玉虎、兰青任主审。

编写过程中得到一些老同志的大力支持和帮助,在此深表谢意。

由于编者水平所限,加之时间仓促,书中谬误之处在所难免,恳求读者批评指正。

编 者

一九九六年七月

目 录

理 论 力 学

绪论.....	(3)
---------	-----

第一篇 静力学

引言.....	(5)
第一章 静力学基础及受力分析.....	(6)
§ 1—1 静力学的基本概念.....	(6)
§ 1—2 静力学的基本性质.....	(7)
§ 1—3 约束和约束反力.....	(9)
§ 1—4 分离体和受力图.....	(11)
习题.....	(13)
第二章 平面汇交力系.....	(15)
§ 2—1 平面汇交力系的几何合成法.....	(15)
§ 2—2 平面汇交力系平衡的几何条件.....	(17)
§ 2—3 三力平衡定理.....	(17)
§ 2—4 力在轴上的投影.....	(18)
§ 2—5 合力投影定理 汇交力系合成的解析法.....	(19)
§ 2—6 汇交力系平衡的解析条件.....	(20)
习题.....	(23)
第三章 力偶系.....	(25)
§ 3—1 力对点的矩.....	(25)
§ 3—2 平面力偶与力偶矩 力偶的等效.....	(27)
§ 3—3 平面力偶系的合成和平衡条件.....	(29)
习题.....	(31)
第四章 平面任意力系.....	(33)
§ 4—1 力的平移定理.....	(33)
§ 4—2 平面任意力系向一点简化.....	(34)
§ 4—3 平面任意力系的简化结果.....	(35)
§ 4—4 平面任意力系的平衡方程及举例.....	(36)
§ 4—5 静定与静不定问题的概念.....	(38)
§ 4—6 物系的平衡.....	(38)

习题	(41)
第五章 平面桁架	(43)
§ 5—1 桁架的概念	(43)
§ 5—2 节点法	(43)
§ 5—3 截面法	(45)
习题	(46)
第六章 摩擦	(47)
§ 6—1 滑动摩擦	(47)
§ 6—2 考虑摩擦时的平衡问题	(48)
§ 6—3 滚动摩擦的概念	(50)
习题	(52)
第七章 空间力系	(54)
§ 7—1 力对轴之矩	(54)
§ 7—2 力对点之矩与力对通过该点之轴的矩的关系	(55)
§ 7—3 空间任意力系向一点简化	(56)
§ 7—4 空间任意力系的平衡方程	(57)
§ 7—5 平行力系中心和重心	(59)
§ 习题	(64)

第二篇 运动学

引言	(67)
第八章 点的运动	(68)
§ 8—1 描述点的运动的方法	(68)
§ 8—2 点的速度与加速度	(70)
§ 8—3 求点的速度、加速度的直角坐标法	(71)
§ 8—4 求点的速度和加速度的自然坐标法	(73)
习题	(78)
第九章 刚体的基本运动	(80)
§ 9—1 刚体的平行移动	(80)
§ 9—2 刚体的定轴转动	(81)
§ 9—3 转动刚体上各点的速度和加速度	(83)
§ 9—4 定轴转动刚体传动比的计算	(86)
习题	(88)
第十章 点的合成运动	(89)
§ 10—1 点的合成运动的概念	(89)
§ 10—2 点的速度合成定理	(90)
§ 10—3 牵连运动为平动时点的加速度合成定理	(92)
§ 10—4 牵连运动是定轴转动时点的加速度合成定理	(94)

习题	(96)
第十一章 刚体的平面运动	(98)
§ 11—1 刚体平面运动的概念	(98)
§ 11—2 刚体的平面运动分解为平动和转动	(99)
§ 11—3 平面图形上各点的速度分析	(100)
§ 11—4 平面图形上各点的加速度	(105)
习题	(107)

第三篇 动力学

引言	(109)
第十二章 动力学基本方程	(110)
§ 12—1 动力学基本定律	(110)
§ 12—2 质点运动微分方程	(111)
§ 12—3 质点动力学的两类问题	(112)
习题	(116)
第十三章 动量定理	(117)
§ 13—1 动力学普遍定理概述	(117)
§ 13—2 质点动量定理	(117)
§ 13—3 质点系动量定理	(120)
§ 13—4 质心运动定理	(123)
习题	(126)
第十四章 动量矩定理	(128)
§ 14—1 质点的动量矩定理	(128)
§ 14—2 质点系的动量矩定理	(130)
§ 14—3 刚体绕定轴的转动微分方程	(133)
§ 14—4 转动惯量	(135)
§ 14—5 质点系相对质心的动量矩定理 刚体的平面运动微分方程	(139)
习题	(143)
第十五章 动能定理	(145)
§ 15—1 功和功率	(145)
§ 15—2 动能	(149)
§ 15—3 动能定理	(150)
§ 15—4 势力场 势能 机械能守恒定理	(153)
习题	(157)
第十六章 动静法	(160)
§ 16—1 惯性力的概念	(160)
§ 16—2 达朗伯原理	(160)
§ 16—3 刚体惯性力系的简化	(164)

习题	(168)
----	-------

材 料 力 学

绪论	(173)
第一章 轴向拉伸与压缩	(175)
§ 1—1 拉伸与压缩的概念	(175)
§ 1—2 内力 截面法 应力	(175)
§ 1—3 拉伸与压缩时的力学性能	(177)
§ 1—4 拉(压)杆的强度计算	(181)
§ 1—5 拉(压)杆的变形 虎克定律	(184)
§ 1—6 静不定杆系分析	(187)
§ 1—7 拉(压)杆联接部分的强度计算	(190)
习题	(194)
第二章 扭转	(196)
§ 2—1 扭转的概念 外力偶矩计算	(196)
§ 2—2 扭矩的计算 扭矩图	(197)
§ 2—3 剪应力互等定理 剪切虎克定律	(199)
§ 2—4 圆轴扭转时横截面上的应力	(201)
§ 2—5 极惯性矩和抗扭截面模量	(203)
§ 2—6 破坏实验和强度条件	(204)
§ 2—7 圆轴表层斜截面上的应力 破坏分析	(205)
§ 2—8 圆轴扭转变形和刚度条件	(207)
习题	(210)
第三章 梁的内力	(212)
§ 3—1 基本概念	(212)
§ 3—2 载荷和支反力	(212)
§ 3—3 剪力和弯矩	(214)
§ 3—4 剪力、弯矩方程和剪力、弯矩图	(217)
§ 3—5 弯矩、剪力和载荷集度间的微分关系及应用	(221)
习题	(224)
第四章 梁的应力	(226)
§ 4—1 基本概念	(226)
§ 4—2 对称弯曲正应力	(226)
§ 4—3 惯性矩 移轴公式	(229)
§ 4—4 对称弯曲剪应力	(232)
§ 4—5 弯曲强度计算及应用	(235)
§ 4—6 弯曲变形	(239)
§ 4—7 提高梁强度的主要措施	(243)
习题	(247)

第五章 应力状态理论和强度理论	(248)
§ 5—1 应力状态的基本概念	(248)
§ 5—2 平面应力状态应力分析	(249)
§ 5—3 应力圆	(250)
§ 5—4 最大应力和主应力	(251)
§ 5—5 三向应力状态的最大应力	(253)
§ 5—6 广义虎克定律	(254)
§ 5—7 强度理论	(255)
习题	(260)
第六章 组合变形的强度计算	(261)
§ 6—1 基本概念	(261)
§ 6—2 拉伸(压缩)与弯曲组合强度计算	(261)
§ 6—3 弯曲与扭转的组合变形	(263)
习题	(267)
第七章 压杆稳定性	(270)
§ 7—1 压杆稳定的概念	(270)
§ 7—2 细长压杆的临界力	(270)
§ 7—3 欧拉公式的适用范围 非细长杆临界应力的经验公式	(272)
§ 7—4 压杆稳定校核	(274)
§ 7—5 提高压杆稳定性的措施	(275)
习题	(277)
第八章 交变应力	(279)
§ 8—1 交变应力的概念及其循环特征	(279)
§ 8—2 疲劳破坏	(280)
§ 8—3 材料的持久极限及其测定	(281)
§ 8—4 影响持久极限的主要因素	(282)
§ 8—5 构件的疲劳强度计算	(285)
习题	(287)
第九章 能量法	(288)
§ 9—1 能量法的基本概念	(288)
§ 9—2 外力功和变形能的计算	(288)
§ 9—3 单位载荷法	(293)
§ 9—4 单位载荷法在求解静不定问题中的应用	(297)
习题	(300)

理 论 力 学

绪 论

一、理论力学的性质和任务

理论力学是工科院校机械、机电、工民建、轻纺、冶金、地质等类专业所必须开设的技术基础课程,主要讲述力学的基本理论和基本知识,以及它们在工程上的简单应用,并在基础课和专业课之间起桥梁作用,是一系列后继课程的基础,如学习材料力学、机械原理、机械零件以及一些专业课程都要用到理论力学的知识。

此外,理论力学所阐明的原理和方法,也广泛地用于解决与结构设计有关的问题。如各种机器的设计和制造,汽车、轮船、火箭、宇宙飞船等各种运转机构的操纵,各种化工、轻工设备的安装、使用与维修,不管提出的问题多么复杂,但解决这类问题,或多或少都依赖于理论力学的一般原理。因此,掌握理论力学的知识,对学生毕业后处理各种工程实际问题有着重要的意义。

理论力学是研究物体机械运动一般规律的科学。

所谓机械运动是指在空间中物体间的相对位置随时间而变化的现象。物体的相对静止(平衡),则是这种运动的特殊情形。人们的日常生活和生产实践与机械运动有着密切的关系。例如,各种交通工具的运行,机器的运转,大气和河水的流动,人造卫星和宇宙飞船的运动,建筑物的振动等等,都是机械运动。可见对机械运动的研究,有着重要的实际意义。

使物体机械运动状态发生改变的根本原因是物体之间的相互机械作用,即力的作用,所以物体机械运动的一般规律,具体地体现为力与机械运动改变之间的关系。力对物体的作用,除能改变物体的机械运动状态外,还可以使物体发生变形。出于科学的分工,理论力学将不研究物体的变形规律,而将其留给“材料力学”去研究。

就其内容上讲,理论力学是以伽利略和牛顿所归纳的基本定律为基础的,属于古典力学的范畴。由于这些定律在人类社会的技术进步过程中,已为大量的证据所确认,所以在一般情况下,可以充分信赖基于这些定律所推得的结论。但也应指出,后继科学发展揭示:当物体运动的速度接近光速时,其运动规律应用相对论力学定律来描述,而“基本”粒子的运动,则由量子力学定律来描述。然而,对于解决一般工程技术问题,古典力学的应用比相对论力学简单得多,也足够准确。因此,古典力学仍然有着强大的生命力。

按照所研究的问题的性质,理论力学可分为静力学、运动学和动力学三部分。

静力学:研究力的一般性质,讨论物体平衡时作用力之间的关系。

运动学:从几何的角度来研究物体运动规律,不考虑物体运动状态发生变化的原因,即不考虑作用于物体上的力。

动力学:研究物体的运动与其所受力之间的关系,并从这种关系出发来阐明物体运动的各种现象。

二、理论力学的特点

理论力学是最古老的科学之一。它的产生和发展的过程就是人类对物体机械运动认识的

深化过程,而这种认识的深化过程具体体现为由实践—理论—实践的无数次循环反复。由实践到理论,主要通过以下三个环节来实现。

(1) 通过抽象化建立“理想模型”。即在各种现象中抓住起决定性作用的主要因素而撇开次要的、局部的、偶然性的因素,并深入现象的本质,明确事物间的内在联系,将各种力学现象加以抽象化,就可得到我们需要的“理想模型”。例如我们经常接触到的“质点”、“刚体”、“光滑约束”等概念,就是经过抽象化以后所提出来的“理想模型”。

(2) 在“理想模型”的基础上,将长期以来从生产活动中直接观察实验所积累的经验加以分析、综合和归纳,建立最基本的公理或定律,作为本课程最基本的理论基础。

(3) 根据这些公理或定律,考虑到问题的具体条件,通过演绎推理的方法,从而得出各种形式的定理和结论。在演绎推理过程中,需要广泛地使用数学工具,通过数学语言,有助于更进一步揭示各种物理量间的内在联系及机械运动规律的实质。可见力学与数学有着极其密切的关系。现代高速电子计算机的发展,大大促进了数学在力学研究中的应用。

综上所述,理论力学的主要特点是:理论性强,具有高度的抽象性和概括性,并需广泛地使用数学工具。当然在运用数学工具时,不能脱离具体的研究对象,只有把数学运算与力学现象的物理本质紧密地结合起来,才能得到符合实际的正确理论。此外,理论来源于实践,并要受到实践的检验,最终必须应用于实践。针对本课程理论性强的特点,还应特别注意理论与实际的联系。在学习理论的同时,要逐步培养分析实际问题和运用理论解决实际问题的能力。

三、如何才能学好理论力学

根据理论力学的特点,采用相应的学习方法,将有助于学好本课程。首先要强调的是关于对基本概念的学习。

初学者常会出现“似懂非懂的现象”,并感到“理论易懂题难解”。具体的表现是对一些概念和定理,从文字上看好象是懂了,但是不能抓住它们的实质,弄不清它们的具体实际意义,以及各种有关概念、定理之间的内在联系。在运用它们解题时,只会生搬硬套,不灵活运用,从而导致做题困难。出现这种现象的一个根本原因就在于忽视了对基本概念的深入学习和彻底了解。

这里要强调指出物理课程中的力学部分与理论力学中的某些部分,就其内容上讲虽然是相似的,但两者并不完全相同,前者初学者由于习惯于物理学中的有关概念和解题方法,常常会不自觉地产生不重视理论力学中所提出的概念和更普遍的解题方法,不愿意深入地重新加以研究,这样就有碍于对它们的接受和运用。

对于基本概念,初学者除了在学习理论部分时必须加以重视和深入钻研外,在学习例题,特别是做作业的时候,也应该重视对基本概念的学习。在学习例题时,不仅要学会如何应用有关的公式,更重要的是要考查一下这个例题有哪些特点,运用了哪些基本概念,它们又是怎样与实际相联系的。

完成适当数量的习题作业,是学好理论力学的一个重要环节。实践表明,解题是理论联系实际的一种主要形式,只有通过解题才能加深对基本概念的理解。只学理论不做习题,一定什么也学不到手或学了也巩固不了。为了使做题能获得更大的效果,每解完一道题后,应该对解题的过程作一回顾,特别是发现解题有错误时,首先应该检查基本概念是否正确,一旦发现是基本概念上的错误,就应该重新复习、仔细钻研,直至将其了解清楚。

以上仅就应该重视基本概念的学习这一方面而初步地讨论了“理论力学”的学习方法,更多、更好地学习方法还有待于同学们通过学习,自己来进行探索和总结。

第一篇 静 力 学

引 言

静力学主要研究两个问题,即作用在刚体上的力系的简化和刚体在力系作用下的平衡条件。

(1) 力系的简化:作用在刚体上的一群力,称为力系。若作用在刚体上的一力系可用另一力系来代替而不改变它对刚体的效应,则称这两个力系为等效力系或互等力系。所谓力系的简化,是用一个简单的等效力系,来代替作用在刚体上的一个复杂的力系。研究力系简化的目的,就是要简化刚体的受力情况,以便于进一步分析和研究。

(2) 刚体的平衡条件:刚体的平衡条件是指刚体处于平衡状态时作用于刚体上的力系应满足的条件。根据平衡条件,可以求出作用在平衡刚体上的某些未知力。

第一章 静力学基础及受力分析

§ 1-1 静力学的基本概念

一、力的概念

力的概念是人们从长期的观察和实践中经过抽象而得到的。例如,人推车时,车子由静止转为运动,运动由慢变快;行驶中的汽车刹车时,靠摩擦力能使它停下来;人造地球卫星在地球引力作用下不断改变运动方向而绕着地球运行。上述物体运动状态的变化,是由于物体间的相互作用而产生的,这种作用也称为机械作用。物体间相互的机械作用,还能引起物体的变形,如杆件受拉力作用而伸长,受压力作用而缩短等。所以力的概念可概括为:力是物体间相互的机械作用,其结果使物体的运动状态发生改变或使物体的形状发生变化。

由此可知,物体受力后产生的效应有两种:一种是机械运动状态的变化;另一种是变形。前者是力对物体的外效应或运动效应,后者是力对物体的内效应或变形效应。在理论力学中主要研究力的外效应。

还应指出:力是物体间相互的机械作用,力是不能脱离物体而存在的。在分析物体的受力情况时,必须分清物体间相互作用的关系,不然就无法分析物体的受力情况。

实践表明力对于物体的效应决定于力的大小、方向和作用点(作用位置),通常称之为力的三要素。力的大小是指物体间相互作用的强度,可以用弹簧秤或测力计来测定。在国际单位制(SI)中,以牛顿(牛, N)作为力的计算单位,牛顿的一千倍,称为千牛顿(千牛, kN);在工程单位制(LFT)中力的单位是公斤力(kgf)或吨力(tf);两者的换算关系为

$$1\text{kgf}=9.8\text{N}$$

$$1\text{tf}=9.8\text{kN}=9800\text{N}$$

根据以上所述,力是有大小和方向的量,是矢量,能按矢量运算规则进行运算。力的三要素可以用一个矢量来表示。沿力的作用方位并通过力的作用点 A 画一条直线 mn (见图 1-1)称为力的作用线。从点 A 开始,沿作用线按一定比例尺(例如 1mm 代表 10N)量取一线段,使其长度 AB 代表力的大小。在线段的末端 B 加上箭头,代表力的指向。方位和指向合起来,简称方向。代表力大小的线段 AB 加上箭头后,构成了表示该力的矢,称为力矢。力矢常用黑体字母或带箭头的字母来表示,如 F 或 $\vec{F}$ 表示,而用不带箭头的同一字母 F 表示力矢的大小(模)。

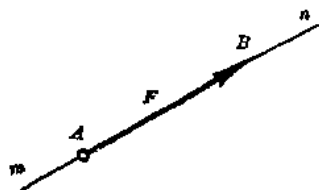
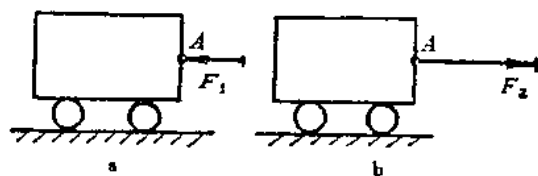


图 1-1



比例尺 1cm=200N

图 1-2

图 1-2a 中表示用 160N 的力向左推车,图 1-2b 中则表示用 320N 的力向右拉车。力的作用点都是小车上的 A 点。

当作用力是压力时,常用力的矢端表示力的作用点,如图 1-2a。

二、刚体的概念

在理论力学中,我们将着重研究力的运动效应。在物体的变形很微小的情况下,可把变形忽略不计,将原物体用一理想化的模型——刚体来代替。所谓刚体,即在力的作用下不发生变形的物体。例如,当两人用直杆抬重物时,直杆微小弯曲变形对两人所受压力的分配影响极小,因此,计算每人所受压力时,可以忽略直杆的变形,用刚体来代替。

刚体实际上是不存在的,它不过是人们在研究客观世界时,把实际的物体经过抽象化所得到的理想模型。这样的抽象,不仅是解决实际工程问题所允许的,也是认识力学规律所必需的。这样做,就是先撇开研究问题的次要因素而抓住其主要因素。长期的实践证明,引用“刚体”这一概念在许多情况下得到的结果是足够精确的。在静力学中研究的对象主要是刚体,因此静力学也称为刚体静力学。

力学中另一个重要的模型是质点。在某些实际问题中,物体的大小和形状可以不考虑,例如,炮弹或飞机在空中飞行,地球绕太阳公转,问题若不涉及物体的转动,则可以用质点来代替实际物体。所谓质点,是指具有一定质量而其形状与大小可以忽略不计的物体。由许多(从两个直到无限多个)相互联系着的质点组成的系统,称为质点系。例如,由太阳、行星、卫星组成的太阳系,就是一个质点系。刚体则是由无限多的质点组成,其中任何两个质点间的距离始终保持不变,故刚体可称为不变质点系。

三、平衡的概念

物体受一力系作用,如物体相对于周围物体保持其静止或作匀速直线运动的状态,则称该物体处于平衡状态,作用于物体上的力系称为平衡力系。应该注意,平衡是有条件的,因为一切物体无不在永远地运动着,所谓平衡都只是相对的和暂时的。工程上所指的物体平衡,一般是相对于地球而言的。

要使物体保持平衡状态,作用于物体上的一群力(称为力系)要满足一定的条件,这些条件称为力系的平衡条件。研究物体的平衡问题,就是研究物体在各种力系作用下的平衡条件,并应用这些平衡条件解决工程技术问题。

§ 1-2 静力学的基本性质

静力学的基本性质是人类经过长期的缜密观察和经验积累而得到的结论,是人们关于力的基本性质的概括和总结,它们无需证明而为大家所公认,是静力学全部理论的基础。

性质 1 (二力平衡原理):如果刚体只受两个力的作用而处于平衡状态,则这两个力一定是大小相等、方向相反,且作用在同一直线上。这就是二力平衡原理。

如图 1-3,杆 AB 受到两个共线力 F_A 和 F_B 作用而处于平衡状态时,则必须

$$F_A = -F_B$$

F_A 和 F_B 称为作用在同一物体上的一对平衡力。

“二力平衡原理”是最简单也是最基本的原理,它是研究物体在受力复杂情况下平衡条件的基础。