

理论力学

高等工程专科学校教材

杨盛功 主编

华中理工大学出版社



031
88

高等工程专科学校教材

理论力学

杨盛功 主编

031
19

内 容 简 介

本书系根据华中、东北地区高等专科学校,教材建设协调委员会力学教材编写组制订的理论力学大纲编写的,可作为工科高等专科学校机械类各专业80~90学时理论力学课程的教学用书,并可作职工大学、业余大学的教学参考用书,以及有关工程技术人员自学用书。

本书内容精练,理论联系实际,重点突出,体现了专科应用型和少而精的原则,增多且增强了例题、习题等,有利于培养学生的能力,符合专科总的培养目标。

全书内容分静力学、运动学和动力学三部分。书中标有星号“*”的内容,可根据专业要求决定取舍。

高等工程专科学校教材

理 论 力 学

杨盛功 主编

责任编辑 杨志锋

*

华中理工大学出版社出版发行

(武昌喻家山)

新华书店湖北发行所经销

华中理工大学出版社沔阳印刷厂印刷

*

开本: 850×1168 1/32 印张: 8 字数: 208 000

1989年6月第1版 1991年4月第1次印刷

ISBN7-5699-0318-5/O·61

印数: 5 501—8 500

定价: 3.20元

序

十年来,我国的高等教育事业蓬勃发展,尤其是高等专科教育的发展更为迅速。为了进一步提高教学质量,急需编写、出版适合专科教学要求的教材。教材是师生进行教学活动的重要依据,决定着课程甚至专业的教学水平和教学效因果。此切实搞好教材建设,使专科学校的教材能充分体现专科的培养目标,符合教学大纲与教学计划的要求,是当前专科学校深化教学改革中的一项十分重要而又紧迫的工作。

各高等专科学校为了适应教学需要,根据专科的特点和教学要求,自编了部分教材或讲义,在一定程度上克服了长期使用本科教材因而难以体现专科特点的弊病。为了进一步提高教材编写和出版的质量,在国家教委的支持下,在华中理工大学出版社的积极倡导下,沈阳冶金机械专科学校、郑州机械专科学校、哈尔滨机电专科学校和湖南省轻工业专科学校等14所专科学校,于1987年5月成立了“东北、华中地区高等工程专科学校教材协调委员会”,组织和协调有关工程专科学校的教材编写工作。

经参加“协调委员会”的各校负责同志的协商,决定首先编写一套适用面较广的教材,并由各校组织学术水平较高、教学经验丰富的教师分工合作,进行编写。由于参加编写教材的教师的共同努力,以及华中理工大学出版社的大力支持,现已编写好了一套适用于高等工程专科学校的教材,它们是高等数学、线性代数、概率与数理统计、大专物理、理论力学、材料力学、工程力学、电工与电子技术、金属热加工、工程材料、机械原理、机械设计和机械工艺学。这些教材将由华中理工大学出版社陆续分批出版。

这套教材是在认真分析了十年来使用的国内外高校教材、自编讲义和较系统地总结了多年的教学经验的基础上编写出来的,因此较好地体现了专科特点,符合一般专科教学计划和教学大纲的要求,适合全日制

高等工程专科学校以及夜大、职大、函大的工程专科班使用。

这套教材的特点是，符合专科培养目标，内容的深度、广度适当，突出理论联系实际，注意知识的应用和学生能力的培养，适当介绍与反映了现代科学技术的新成就。这套教材不仅具有专科的特色和富于启发性，而且文字简练，结构严谨，插图清晰，是目前比较理想的专科教材，希望推广使用

由于编写高等工程专科教材是一项新的工作，很多问题尚在探索之中，加之水平有限，编写时间较短，书中难免存在缺点和错误。殷切希望使用本教材的教师和广大读者批评指正。

东北、华中地区高等工程专科学校

教材协调委员会 主任 于勤兹

于1988年5月

前 言

本书系根据华中、东北地区高等工程专科学校教材协调委员会,理论力学教材编写组制订的理论力学大纲编写的。可作为工科高等专科学校机械类各专业80~90学时理论力学课程教学用书。

按照编写大纲的要求,考虑到专科教学的特点以及学生的接受能力,本书在静力学中采用了平面力系和空间力系的安排;相对地增大了运动学在全书所占的比重;在动力学普遍定理中按定理分章,并重点讨论了质点系动力学普遍定理。这样,一方面突出了专科机械类教学的特点,同时也节省了篇幅,便于教师安排课堂教学。本书的例题和习题有两种类型,一类是典型题,着重于理论的应用,使学生巩固所学的知识,另一类是联系机械类各专业工程实际的题,以培养学生运用所学理论解决简单工程问题的能力。

参加本书编写的人员有郑州机械专科学校的杨盛功(绪论、第五、七、八、十三章)、沈阳冶金机械专科学校的吕荣学(第一、二章)和李真(第四章)、邵阳工业专科学校的李文俊(第三、十五章)、郑州纺织工学院的张继昌(第六、十二章)、湖南省纺织专科学校的李蔚楚(第九、十四章)、哈尔滨机电专科学校的周如恒(第十、十一章)。由杨盛功任主编,吕荣学任副主编,吕素霞制图和描图。

本书由沈阳黄金学院的谷安澜担任主审,他对原稿进行了认真的审阅,提出了许多宝贵的意见。在编写过程中,还得到了有关兄弟院校的大力支持和帮助,对此我们表示衷心的感谢。

书中标有*号部分,可根据专业需要确定取舍。

由于时间仓促和编者的水平有限,书中定有不少缺点和错误,希望读者批评指正。

编 者

1988年3月

目 录

绪 论	(1)
-----------	-------

第一篇 静力学

第一章 静力学的基本概念和公理	(5)
§ 1-1 静力学的基本概念	(5)
§ 1-2 静力学公理	(6)
§ 1-3 约束与约束反力	(10)
§ 1-4 研究对象与受力图	(13)
习题	(16)
第二章 平面力系	(19)
§ 2-1 力在坐标轴上的投影	(19)
§ 2-2 力矩与平面力偶理论	(21)
§ 2-3 力的平移定理	(27)
§ 2-4 平面任意力系向一点简化	(28)
§ 2-5 平面任意力系简化结果的讨论	(30)
§ 2-6 平面力系的平衡方程	(31)
§ 2-7 物体系统的平衡·静定与静不定问题的概念	(35)
§ 2-8 简单平面桁架的内力计算	(41)
习题	(44)
第三章 摩擦	(52)
§ 3-1 滑动摩擦	(52)
§ 3-2 考虑摩擦时物体平衡问题的解析法	(53)
§ 3-3 摩擦角与自锁	(55)
§ 3-4 考虑摩擦时物体平衡问题的几何法	(57)
§ 3-5 滚动摩擦	(58)
习题	(59)

第四章 空间力系	(63)
§ 4-1 力在空间坐标轴上的投影	(63)
§ 4-2 力对轴的矩	(64)
§ 4-3 力对点的矩	(66)
§ 4-4 空间力系的平衡方程	(67)
§ 4-5 平行力系中心和重心	(74)
习题	(79)

第二篇 运动学

第五章 点的运动	(86)
§ 5-1 用矢量法表示点的运动规律、速度和加速度	(86)
§ 5-2 用直角坐标法表示点的运动规律、速度和加速度	(87)
§ 5-3 用自然坐标法表示点的运动规律、速度和加速度	(90)
习题	(96)
第六章 刚体的基本运动	(99)
§ 6-1 刚体的平行移动	(99)
§ 6-2 刚体的定轴转动	(100)
§ 6-3 转动刚体内各点的速度和加速度	(102)
§ 6-4 定轴轮系传动比的概念	(106)
§ 6-5 角速度和角加速度的矢量表示	(108)
习题	(108)
第七章 点的合成运动	(111)
§ 7-1 点的合成运动的概念	(111)
§ 7-2 点的速度合成定理	(113)
§ 7-3 牵连运动为平动时点的加速度合成定理	(115)
§ 7-4 牵连运动为转动时点的加速度合成定理	(119)
习题	(128)
第八章 刚体的平面运动	(134)
§ 8-1 刚体平面运动的简化·平面运动方程	(134)
§ 8-2 用基点法求平面图形上各点的速度	(136)
§ 8-3 用速度瞬心法求平面图形上各点的速度	(140)

§ 8-4	用基点法求平面图形上各点的加速度	(145)
§ 8-5	刚体绕平行轴转动的合成	(149)
习题		(151)

第三篇 动力学

第九章	质点运动微分方程	(159)
§ 9-1	动力学基本定律	(159)
§ 9-2	质点运动微分方程	(160)
习题		(165)
第十章	动量定理	(168)
§ 10-1	动量定理	(168)
§ 10-2	质心运动定理	(174)
习题		(177)
第十一章	动量矩定理	(181)
§ 11-1	动量矩定理	(181)
§ 11-2	刚体绕定轴转动的微分方程	(186)
§ 11-3	转动惯量	(189)
习题		(192)
第十二章	动能定理	(197)
§ 12-1	力的功	(197)
§ 12-2	动能定理	(201)
§ 12-3	功率和功率方程	(207)
§ 12-4	势力场和势能 • 机械能守恒定律	(210)
§ 12-5	普遍定理的综合运用	(212)
习题		(215)
第十三章	达朗伯原理	(221)
§ 13-1	惯性力和质点达朗伯原理	(221)
§ 13-2	质点系的达朗伯原理	(222)
§ 13-3	刚体平面运动的微分方程	(228)
习题		(230)
*第十四章	机械振动基础	(236)

§ 14-1 单自由度系统的自由振动	(236)
§ 14-2 单自由度系统自由振动固有频率的计算	(238)
§ 14-3 单自由度系统的受迫振动	(242)
§ 14-4 防振的概念	(248)
§ 14-5 转轴的临界转速	(249)
习题	(251)
* 第十五章 虚位移原理	(254)
§ 15-1 基本概念	(254)
§ 15-2 虚位移与理想约束	(256)
§ 15-3 虚位移原理	(259)
§ 15-4 虚位移原理的应用	(260)
习题	(265)
习题答案	(268)

标星号 * 的章节内容, 可根据专业要求决定取舍。

绪 论

1. 理论力学的研究对象和内容

理论力学是研究物体机械运动一般规律的科学。机械运动是指物体在空间的位置随时间的变化（包括物体对于其他物体的相对静止），它是物质运动中的最简单的运动形式。例如，机器的运转，建筑物的振动，人造卫星的运行等。

理论力学属于古典力学的范畴，它的内容以伽利略和牛顿所总结的基本定律为基础，适用于对速度较低的宏观物体的机械运动的研究。对于速度接近于光速的物体和基本粒子的运动，则必须用相对论力学和量子力学的理论进行研究。这说明古典力学的应用范围受到限制，但在一般的工程问题中，由于物体是宏观的，其运动速度又远小于光速，用古典力学进行研究既方便又有足够的精确度，因此它在现代科学技术中，具有很重要的实际意义。

理论力学的内容分为三部分，即静力学、运动学和动力学。

静力学研究物体平衡时作用力之间的关系，同时也研究力系简化的方法。

运动学是从几何观点出发研究物体运动的规律，而不考虑物体运动的原因。

动力学研究作用于物体上的力与物体运动变化之间的关系。

2. 理论力学的研究方法

理论力学的研究方法和其他科学一样，必须遵循辩证唯物主义认识论的规律。具体地说，就是从实践出发，经过抽象、综合

和归纳，建立力学的基本定律和公理，再用数学演绎和逻辑推理得到定理和结论，然后再通过实践来验证理论。

观察和实验是力学发展的基础。人类通过长期的观察和进行多次的实验，使认识不断提高和深化，逐步归纳和总结出力学的最基本的规律。例如摩擦定律和惯性定律就是建立在大量实验基础上的。近代力学的研究和发展，实验更是重要的研究方法之一。

在理论力学发展的过程中，抽象化和数学演绎这两种方法起着重要的作用。

所谓抽象化，就是在研究复杂的客观事物的过程中，抓住主要的、起决定作用的因素，撇开次要的、局部的、偶然性的因素，找出其内部联系，从而得到理想的力学模型。例如研究物体机械运动时，忽略物体的变形得到刚体的力学模型，忽略物体的尺寸得到质点的力学模型。

通过抽象化，在建立力学模型的基础上，从基本规律出发，再用数学演绎和逻辑推理的方法得出正确的具有物理意义和实用价值的定理和结论。因此，在理论力学中数学是重要的工具，它不仅应用于理论的推导，而且运用于量的计算。计算机的发展和在工程技术中的广泛应用，为复杂的力学问题的计算开辟了更加广阔的道路。

从实践得到理论，再由理论回到实践，循环往复，每一循环都在原有的基础上前进一步，理论力学就是沿着这条道路不断发展的。

3. 理论力学的任务

理论力学是现代工程技术的重要理论基础之一，它的理论运用于各种科学技术和工程技术中。工程技术人员应该掌握一定的理论力学知识，以便在生产实践中应用它们，促进科学技术和生产的发展。

理论力学是一门重要的技术基础课，为学习一系列后继课程

提供基础。在材料力学、机械原理、流体力学和许多专业课程中的理论推导和计算等，经常用到本课程中的原理和方法。

理论力学的分析和研究方法在科学研究中有一定的典型性。通过对本课程的学习，有助于培养学生建立辩证唯物主义世界观，有助于培养学生分析问题和解决问题的能力，为今后解决生产实际问题和从事科学研究打下基础。

第一篇 静力学

静力学研究物体在力系作用下平衡的规律，或者说研究物体平衡时作用力之间的关系。在静力学中主要研究两个问题：(1)力系的简化。将作用于刚体上的力系代换为与它等效的比较简单力系。(2)力系的平衡条件。推证刚体在力系作用下处于平衡状态时力系应满足的条件。

在工程实际中，平衡问题的研究有着广泛的应用，工程中的许多机器的零件和结构构件都是处于平衡状态的，为了合理地设计这些零件和构件，首先要分析它们所受的力，在此基础上选用合适的材料，确定所需的尺寸，以满足安全和经济的要求。这些问题的分析和解决，都是以静力学的基本知识为基础的。

第一章 静力学的基本概念和公理

§ 1-1 静力学的基本概念

静力学是研究物体平衡的科学。所谓平衡，是指物体相对于地球处于静止或匀速直线运动状态。平衡是物体机械运动的特殊形式，在工程实际中，有着广泛的应用。

静力学所研究的物体一般是指刚体。所谓刚体，是指在力的作用下保持其大小和形状不变的物体。这是一个理想化的力学模型。实际上物体在力的作用下，将产生不同程度的变形，在研究平衡问题时，忽略掉微小的变形，能使所研究的问题大为简化。但是当变形这一因素在所研究的问题中转化为主要因素时，必须把物体作变形体来处理，这种问题将在材料力学及弹性力学等课程中研究。

除了平衡和刚体的概念外，工程中常会遇到力的概念。力是物体间的相互作用，这种作用使物体的运动状态发生变化，或使物体发生变形。力使物体运动状态发生变化的效应称为力的外效应，是理论力学研究的内容。力使物体形状改变的效应称为力的内效应，是材料力学等课程研究的内容。实践证明，力对物体的效应取决于力的大小、方向和作用点，称为力的三要素。

本书采用国际单位制(SI)。力的单位用牛顿，记作N，有时也用千牛顿(kN)。工程技术中有些采用工程单位制，力的单位用公斤力(kgf)或吨力(tf)。其换算关系是 $1\text{kgf}=9.8\text{N}$ 。

力是矢量，可用一个带箭头的有向线段表示。线段的长度按一定比例尺表示力的大小，线段的方位和箭头的指向表示力的方

向，线段的起点（或终点）表示力的作用点。本书用黑体字母表示矢量，并用对应的普通字母代表力的大小。

作用于物体上的一群力称为力系。如果物体在某一力系下保持静止或运动状态不变时，此力系为平衡力系。平衡力系中的任一力为其余力的平衡力。若两个力系分别作用于同一物体而效应相同时，此两力系互为等效力系。当作用在物体上的一个力和力系等效时，此力称为该力系的合力，而力系中的每一个力为合力的分力。

§ 1-2 静力学公理

静力学公理是人类对力学现象经过长期的观察和实践，将所积累的经验加以抽象、归纳和总结而建立的，它们概括了力的一些基本性质，是构成静力学全部理论的基础。

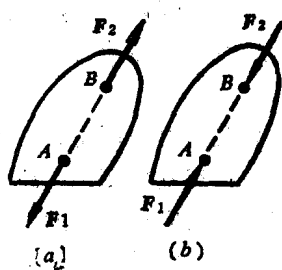


图 1-1

公理1（二力平衡公理） 作用于刚体上的两个力，使刚体处于平衡的必要和充分条件是：这两个力的大小相等、方向相反且作用在同一直线上。图1-1表示满足公理1的两种情况。

公理1给出了作用于刚体上最简单力系的平衡条件，它是推证刚体平衡条件的基础。但是，对于变形体来说平衡只是必要条件而不是充分条件。

受两个力作用处于平衡的刚体称为二力体。如果是构件或杆件，则称为二力构件或二力杆。

公理2（加减平衡力系公理） 在作用于刚体的任意力系上，加上或减去任意平衡力系，并不改变原力系对刚体的效应。

推论1（力的可传性原理） 作用于刚体上的力，可沿其作用

线移到刚体内任一点，而不改变此力对刚体的效应。

证明：设力 F 作用于刚体的 A 点，如图1-2(a)所示。在力的作用线上任取一点 B ，加一平衡力系 F_1 和 F_2 ，使 $-F_1 = F_2 = F$ ，如图1-2(b)。由公理2知，这不改变原力对刚体的效应。再在该力系中除去平衡力系 F 和 F_1 ，这样只剩下作用于 B 点的力 F_2 。相当于将力 F 自 A 点沿力的作用线移到 B 点，如图1-2(c)。

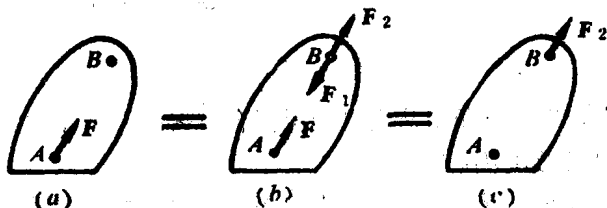


图 1-2

必须指出，力的可传性只适用于刚体而不适用于变形体。根据力的可传性原理，对刚体来说，力的三要素中的作用点可用作用线代替。

公理3（力的平行四边形公理）作用于物体上同一点的两个力可以合成为一个合力，合力作用于该点，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表示。

如图1-3(a)所示，物体上 A 点作用有力 F_1 和 F_2 ，如以 R 表示它们的合力，根据公理3，合力 R 可用两分力的矢量和表示，即

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

由图1-3(b)可知，在求合力时，不必作出平行四边形，只要从一点 a 作力矢 F_1 与原 F_1 平行，在其末端 b 作力矢 F_2 与原 F_2 平行（即两分力首尾相接），则矢量 $\vec{ad}$ 就表示合力矢 R 。合力矢和分力矢所组成的三角形 abd 称为力三角形，这一合成方法称为力三角形法则。如果先画 F_2 ，后画 F_1 ，如图1-3(c)所示，也能得到合力矢 R ，可见，求合力矢与两分力矢的画图先后次序无关。