



21世纪高等职业技术教育 机电一体化专业规划教材
数控技术

工 程

力 学

■ 主编 禹加宽 周祥基

Gongcheng lixue



北京理工大学出版社

BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS

21 世纪高等职业技术教育机电一体化·数控技术专业规划教材

工 程 力 学

主编 禹加宽 周祥基

 **北京理工大学出版社**

BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS

内 容 简 介

本书根据《高职高专教育近机械类专业力学课程教学基本要求》编写。理论力学部分主要讲静力学知识,包括静力学的基础知识、平面力系、空间力系和刚体的定轴转动等;材料力学部分主要研究工程构件在载荷作用下变形和破坏的规律,在保证构件既安全又经济的前提下,为构件选用合适的材料,确定合理的截面形状和尺寸提供理论依据,包括材料力学的基础知识、拉伸与压缩、剪切、扭转、弯曲、应力状态、强度理论、组合变形、压杆稳定、交变应力和疲劳破坏等。本书还提供了较多的例题和习题,以便教师的选用和学生的预复习。

本书可作为高职机械、机电数控技术等近机械类专业理论力学和材料力学课程的教学用书,也可以作为其他各工科专业学生和工程技术人员的参考教材。

版权专有 侵权必究

图书在版编目(CIP)数据

工程力学 / 禹加宽, 周祥基主编. —北京: 北京理工大学出版社, 2006. 8.

ISBN 7-5640-0686-2

I. 工… II. ①禹… ②周… 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 (2006) 第 081226 号

出版发行 / 北京理工大学出版社

社 址 / 北京市海淀区中关村南大街 5 号

邮 编 / 100081

电 话 / (010) 68914775 (办公室) 68944990 (批销中心) 68911084 (读者服务部)

网 址 / <http://www.bitpress.com.cn>

经 销 / 全国各地新华书店

印 刷 / 北京地质印刷厂

开 本 / 787 毫米 × 960 毫米 1/16

印 张 / 13.25

字 数 / 259 千字

版 次 / 2006 年 8 月第 1 版 2006 年 8 月第 1 次印刷

印 数 / 1~4000 册

定 价 / 20.00 元

责任校对 / 张 宏

责任印制 / 吴皓云

图书出现印装质量问题, 本社负责调换

出版说明

当前，高度发达的制造业和先进的制造技术已经成为衡量一个国家综合经济实力和科技水平的重要标志之一，成为一个国家在竞争激烈的国际市场上获胜的关键因素。

如今，中国已成为制造业大国，但还不是制造业强国。我们要从制造业大国走向制造业强国，必须大力发展以数控技术为主的先进制造技术，提高计算机辅助设计与制造（CAD/CAM）的技术水平。

制造业要发展，人才是关键。尽快培养一批高技能人才和高素质劳动者，是先进制造业实现技术创新和技术升级的迫切要求。高等职业教育既担负着培养高技能人才的任務，也为自身的发展提供了难得的机遇。

为适应制造业的深层次发展和数控技术的广泛应用，根据高等职业教育发展与改革的新形势，北京理工大学出版社组织知名专家、学者，与生产制造企业的技术人员反复研讨，以教育部《关于加强高职高专人才培养工作的若干意见》等文件对高职高专人才培养的要求为指导思想，确立了“满足制造业对人才培养的需求，适应行业技术改革，紧跟前沿技术发展”的思路，编写了这套高职高专教材。本套教材力图实现：以培养综合素质为基础，以能力为本位，把提高学生的职业能力放在突出位置，加强实践性教学环节，使学生成为企业生产服务一线迫切需要的高素质劳动者；以企业需求为基本依据，以就业为导向，增强针对性，又兼顾适应性；课程设置和教学内容适应技术发展，突出机电一体化、数控技术应用专业领域的新知识、新技术、新工艺和新方法；教学组织以学生为主体，提供选择和创新的空間，构建开放、富有弹性、充满活力的课程体系，适应学生个性化发展的需要。

本套教材的主要特色有：

1. 借鉴国内外职业教育先进教学模式，顺应现代职业教育教学制度的改革趋势；
2. 以就业为导向，进行了整体优化；
3. 理论与实践一体化，强化了知识性和实践性的统一。

本套教材适合于作为高职高专院校机电一体化、数控技术、机械制造及自动化、模具设计与制造等专业的课程教学和技能培训用书。

北京理工大学出版社

前 言

本书是为了适应高等职业技术教育发展的需要,参照教育部最新制定的“高职高专教育近机械类专业力学课程教学基本要求”编写而成。本书适合作为高职机械、机电、数控技术等近机械类理论力学(60学时)和材料力学(70学时)课程的教学用书。

随着我国工业化进程的加速、产业结构的调整和升级,数控技术在现代企业大量应用,使制造业朝着数字化的方向迈进。同时经济发展对高素质技能人才的需求不断上升,当前急需一大批能够熟练掌握数控技术基本知识和能力的数控应用型高素质人才。

工程力学是一门与工程技术密切联系的技术基础课,是研究物体运动一般规律和有关构件的强度、刚度和稳定性理论的科学,在机械及轻工、化工、纺织、建筑等众多相关专业中占有重要的地位。工程力学的定律、定理与结论广泛应用于各种工程技术之中。例如,机床、内燃机、起重机等各种各样的机械,它们都是由许多不同构件组成的,当机械工作时,这些构件将受到外力(通常称为载荷)的作用,都要涉及机械运动和强度计算等问题。因此,对机械的研究、制造和使用都是以力学理论为基础的,所以,工程力学是解决实际问题的重要基础。

工程力学包括理论力学和材料力学两大部分内容。本书在编写过程中,充分考虑到学生的知识水平和能力特点,体现高等职业教育力学课程的特色,着重于基本理论的应用,把培养学生解决实际问题的能力放在首位。在教材内容编排上,进一步协调各教材内容之间的关系,使教材内容安排和衔接更为合理;在内容选取上,以必需和够用为度,理论推导从简,加强与工程实际的联系。在兼顾到实用性和完整性这两个方面,本书对传统工程力学内容进行了重新选择和组织,理论力学部分重点学习静力学,即学习物体受力分析方法和物体平衡的一般规律,主要内容包括静力学的基础知识、平面力系、空间力系和刚体的定轴转动等;材料力学部分主要研究工程构件在载荷作用下变形和破坏的规律,在保证构件既安全又经济

的前提下,为构件选用合适的材料,确定合理的截面形状和尺寸提供理论依据,主要包括材料力学的基础知识、拉伸与压缩、剪切、扭转、弯曲、应力状态、强度理论、组合变形、压杆稳定、交变应力和疲劳破坏等。在本书中,对某些定理、推论仍给予适当的推导,让学生了解如何从复杂的事物中得到符合实际的简化结果。同时,在本书中提供了较多的例题和习题,以便教师的选用和学生的预复习。

本书可作为高职机械类及近机类专业教材,也可以作为其他各工科专业学生和工程技术人员参考教材。

参加本书编写的有:江苏省射阳职业高级中学周祥基(第1、2章),江苏联合职业技术学院盐城机电分院丁育林(第3、4章),卞洪元(第5、6、7章)、禹加宽(第8、9、10、11章)。全书由禹加宽、周祥基任主编。

限于编者水平,加之时间仓促,对书中存在的缺点、错误和不足之处,希望读者批评指正。

编者

目 录

第一篇 理论力学

第1章 静力学基础	(3)
1.1 静力学基本概念	(3)
1.2 约束与约束力	(7)
1.3 受力图	(10)
1.4 载荷	(14)
小结	(15)
思考题	(16)
习题	(17)
第2章 平面力系的合成与平衡	(21)
2.1 平面汇交力系的合成与平衡	(21)
2.2 力矩、平面力偶系的合成与平衡	(27)
2.3 平面平行力系的合成与平衡	(33)
2.4 平面一般力系的简化	(35)
2.5 平面一般力系的平衡方程及其应用	(38)
2.6 静定与超静定问题及物系的平衡	(40)
2.7 摩擦	(44)
小结	(51)
思考题	(53)
习题	(54)
第3章 空间力系的合成与平衡	(60)
3.1 力在空间直角坐标轴上的投影	(60)
3.2 力对轴之矩	(62)

3.3 空间任意力系的平衡方程	(64)
3.4 重心	(70)
小结	(76)
思考题	(76)
习题	(77)
第4章 刚体定轴转动	(81)
4.1 转动方程、角速度和线速度	(81)
4.2 功率、转速与转矩间的关系	(84)
小结	(85)
思考题	(86)
习题	(86)

第二篇 材料力学

第5章 轴向拉伸与压缩	(90)
5.1 轴向拉伸与压缩的概念	(90)
5.2 截面法、轴力与轴力图	(90)
5.3 拉压时横截面上的正应力	(93)
5.4 轴向拉压杆的变形和胡克定律	(95)
5.5 材料在轴向拉压时的力学性能	(98)
5.6 轴向拉压杆的强度计算	(103)
5.7 拉压超静定问题	(105)
小结	(107)
思考题	(108)
习题	(109)
第6章 剪切与挤压	(112)
6.1 剪切与挤压概念	(112)
6.2 剪切与挤压实用计算	(114)
6.3 剪切虎克定律、切应力互等定律	(116)
小结	(117)
思考题	(118)
习题	(118)

第7章 圆轴扭转	(120)
7.1 扭转的概念和外力偶矩的计算	(120)
7.2 扭矩和扭矩图	(121)
7.3 圆轴扭转时的应力与强度条件	(124)
7.4 圆轴扭转时的变形及刚度条件	(129)
小结	(132)
思考题	(133)
习题	(133)
第8章 平面弯曲内力	(135)
8.1 平面弯曲的概念	(135)
8.2 梁的内力——剪力与弯矩	(137)
8.3 剪力图与弯矩图	(139)
8.4 弯矩、剪力和载荷集度	(140)
小结	(144)
思考题	(145)
习题	(145)
第9章 弯曲强度与刚度	(148)
9.1 梁弯曲时横截面上的正应力	(148)
9.2 梁弯曲时正应力强度计算	(153)
9.3 弯曲切应力简介	(156)
9.4 梁的弯曲变形与刚度	(159)
9.5 提高梁的强度和刚度的措施	(163)
小结	(165)
思考题	(166)
习题	(166)
第10章 应力状态 强度理论 组合变形	(170)
10.1 应力状态的概念	(170)
10.2 平面应力状态分析	(172)
10.3 强度理论	(175)
10.4 组合变形的强度计算	(178)

第一篇 理论力学

理论力学是研究物体机械运动的规律及其应用的科学。

运动是物质存在的形式，是物质的固有属性。它包括了宇宙中发生的一切变化与过程。因此，物质的运动形式是多种多样的，从简单的位置变化到各种物理现象、化学现象，直至人的思维与人们的社会活动。

所谓机械运动，是指物体在空间的位置随时间的变化，这是宇宙间物质运动的一种最简单的形式。例如星球的运行，飞机、轮船、汽车的行驶，机器的运转等，都是机械运动。所谓物体的平衡，一般是指物体相对地球处于静止状态或作匀速直线运动，这是机械运动的特殊情形。

理论力学包括静力学、运动学和动力学三个部分，本篇着重讨论静力学。静力学研究物体受力分析方法和物体在力系作用下处于平衡的条件。物体平衡时的运动规律较运动状态发生变化时的规律要简单一些，所以静力学是理论力学中较浅显易懂的部分。

静力学物体受力分析方法和力系平衡条件在工程技术中应用很广。例如，常见的机械零件，如轴、齿轮、螺栓等，以及手动工具和低速机械等，它们在工作时大多处于平衡状态，或者可以近似地看作处于平衡状态。为了合理地设计或选择这些机械零件的形状、尺寸，保证构件安全可靠地工作，就要运用静力学知识，对构件进行受力分析，并根据平衡条件求出未知力，为构件的应力分析做好准备。所以，静力学又是学习材料力学的基础。此外，本篇还对运动学中的刚体定轴转动的内容进行了初步介绍。

第 1 章

静力学基础

静力学是研究刚体在力系作用下的平衡规律的科学。它包括确定研究对象, 进行受力分析, 简化力系, 建立平衡条件求解未知量等内容。刚体是指在力的作用下不变形的物体。力系是指作用于被研究物体上的一组力。若两力系分别作用于同一物体而效应相同, 则二者互称等效力系; 若力系与一力等效, 则称此力为该力系的合力。所谓力系的简化, 就是用简单的力系等效替代复杂的力系。工程中, 平衡是指物体相对于地球处于静止状态或匀速直线运动状态, 是物体机械运动中的一种特殊状态。如果力系可使物体处于平衡状态, 则称该力系为平衡力系。

1.1 静力学基本概念

1.1.1 力的概念

力是人们在长期的生活和生产等实践活动中逐渐形成的概念, 比如, 当人们推车、踢球、举重、打铁时, 由于肌肉的紧张而感到力的作用。力是物体之间相互的机械作用。这种作用对物体产生两种效应: 一种是引起物体机械运动状态发生改变, 称为力的外效应; 另一种是使物体产生变形, 称为力的内效应或变形效应。物体的运动状态发生变化是指物体速度大小或运动方向的改变, 物体的变形是指物体的形状或大小发生变化。静力学只研究物体的外效应, 材料力学将研究力的内效应。

1.1.2 力的三要素

实践证明, 力对物体的作用效应取决于力的大小、方向和作用点, 这三个因素称为力的三要素。当这三个要素中有任何一个改变时, 力的作用效应也将随之改变。力的大小是指物体间相互作用的强弱程度, 力大则对物体的作用效果也大, 力小则作用效果也小。力的大小可以用测力器测定。在国际单位制中, 力的度量单位是牛, 用符号 N 表示。符号 kN 表示千牛。

$$1 \text{ 千牛 (kN)} = 1\,000 \text{ 牛 (N)}$$

力有方向, 假设用同样大小的力推动小车: 从小车后面推, 小车前进; 从小车前面推, 小车后退。说明力的作用方向不同, 产生的效果也不同。

力对物体的作用效果还与力在物体上的作用点有关。将长方形木块放置在桌面上, 施以同样大小和方向的力推木块, 如果力的作用点较低, 木块将向前移动, 如图 1-1 (a) 所示; 如果力的作用点较高, 木块将翻倒, 如图 1-1 (b) 所示。

力的大小、方向和作用点决定了力对物体的作用效果, 改变这三个因素中的任何一个因素, 都会改变力对物体的作用效果。因此, 我们把力的大小、方向和作用点称为力的三要素。

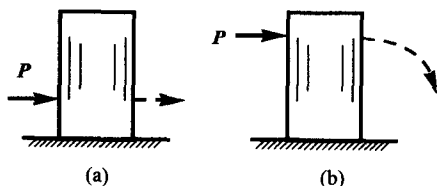


图 1-1

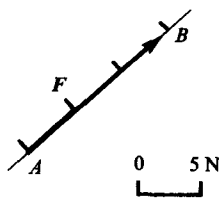


图 1-2

1.1.3 力的表示法

力是一个既有大小又有方向的物理量, 因此力是矢量。图示时, 常用一带箭头的线段表示力的三要素 (图 1-2)。线段长度 AB 按一定的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。与线段重合的直线称为力的作用线。本书中, 力矢用黑体字母表示, 如 $\boldsymbol{F}$, 力的大小是标量, 用明体字母表示, 如 F 。

若力矢 $\boldsymbol{F}$ 在平面 Oxy 中, 则其矢量表达式为

$$\boldsymbol{F} = F_x + F_y = F_x \boldsymbol{i} + F_y \boldsymbol{j} \quad (1.1)$$

式 (1.1) 中, F_x, F_y 分别表示力 $\boldsymbol{F}$ 沿平面直角坐标轴 x, y 方向上的两个分量; F_x, F_y 分别表示力 $\boldsymbol{F}$ 在坐标轴 x, y 上的投影; $\boldsymbol{i}, \boldsymbol{j}$ 分别为坐标轴 x, y 上的单位矢量。

1.1.4 静力学基本公理

静力学公理, 是人类在长期的生活和生产实践中, 将所积累的经验加以抽象、归纳、总结而建立的, 它概括了力的一些基本性质, 是建立静力学全部理论的基础。

公理 1 二力平衡公理

作用在同一刚体上的两个力, 使刚体平衡的充分必要条件是: 此两力必须大小相等、方

向相反,且作用在同一条直线上,即 $F_1 = -F_2$ (图 1-3)。

这一公理揭示了作用于刚体上最简单的力系平衡时所必须满足的条件。

工程上常遇到只受两个力作用而平衡的构件,称为二力构件。根据公理 1,二力构件上的两力必沿两力作用点的连线,且等值、反向。无数事例说明,一个物体只受到两个力的作用而平衡时,这两个力一定满足二力平衡公理。

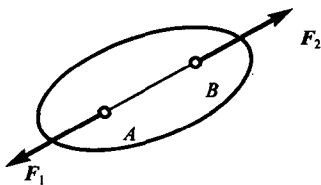


图 1-3

公理 2 加减平衡力系公理

对于作用在刚体上的任何一个力系,可以增加或去掉任一平衡力系,而并不改变原力系对于刚体的作用效应。

这是因为一个平衡力系作用在物体上,对物体的运动状态是没有影响的,所以在原来作用于物体的力系中加入或减去一个平衡力系,物体的运动状态是不会改变的,即新力系与原力系对物体的作用效果相同。

推论 1 力的可传性原理

刚体上的力可沿其作用线移动到该刚体上任一点而不改变此力对刚体的作用效应。

证明: 设力 F 作用于刚体上的 A 点 (图 1-4 (a)), 在其作用线上任取一点 B , 并在 B 点处添加一对平衡力 F_1 和 F_2 , 使 F, F_1, F_2 共线, 且 $F_2 = -F_1 = F$ (图 1-4 (b))。根据公理 2, 将 F, F_1 所组成的平衡力系去掉, 刚体只剩下 F_2 , 且 $F_2 = F$ (图 1-4 (c)), 由此得证。

力的可传性说明, 对刚体而言, 力是滑动矢量, 它可沿其作用线滑移至刚体上的任一位置。需要指出的是, 此原理只适用于刚体而不适用于变形体。

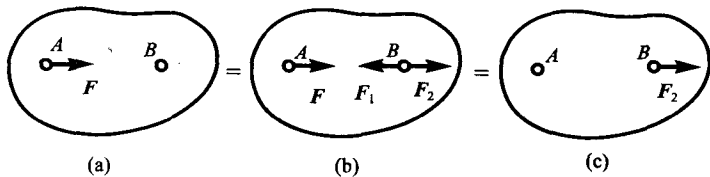


图 1-4

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的合力也作用于该点, 且合力的大小和方向可用这两个力为邻边所作的平行四边形的对角线来确定。

该公理说明, 力矢量可按平行四边形法则进行合成与分解 (图 1-5), 合力矢量 F_R 与分力矢量 F_1, F_2 间的关系符合矢量运算法则

$$F_R = F_1 + F_2 \quad (1.2)$$

即合力等于两分力的矢量和。

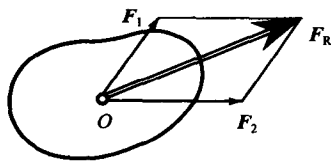


图 1-5

在工程中常利用平行四边形定则将一力沿两个规定的方向分解，使力的作用效应更加突出。例如，在进行直齿圆柱齿轮的受力分析时，常将齿面的法向正压力 F_n 分解为沿齿轮分度圆的圆周切线方向的分力 F_t 和指向轴心的压力 F_r (图 1-6)。 F_t 称为圆周力或切向力，作用是推动齿轮绕轴转动； F_r 称为径向力，作用是使齿面啮合。

推论 2 三力平衡汇交原理

刚体受三个共面但互不平行的力作用而平衡时，三力必汇交于一点。

证明：设刚体上 A, B, C 三点受共面且平衡的三力 F_1, F_2, F_3 作用 (图 1-7)，根据力的可传性将 F_1, F_2 移至其作用线交点 O ，并根据公理 3 将其合成为 F_R ，则刚体上仅有 F_3 和 F_R 作用。根据公理 1， F_3 和 F_R 必在同一直线上，所以 F_3 一定通过 O 点，于是得证 F_1, F_2, F_3 均通过点 O 。

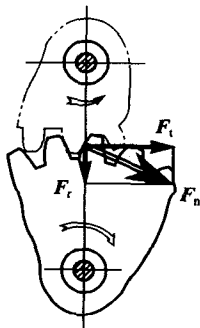


图 1-6

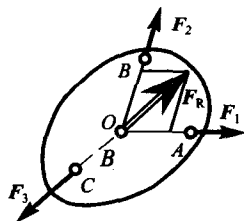


图 1-7

此定理说明了共面且不平行的三力平衡的必要条件。利用该条件，当知两个力的作用线相交时，可确定共面的第三个力的作用线的方位。

公理 4 作用与反作用公理

两物体间相互作用的力总是同时存在，并且两力等值、反向、共线，分别作用于两个物体。

这两个力互为作用与反作用的关系。

这个公理表明，力总是成对出现的，就是说，当物体 A 有一个力作用于物体 B 时，则物体 B 必定同时对物体 A 有一个反作用力。例如，桌面上有一个圆球处于静止状态 (图 1-8 (a))，圆球对桌面有一个作用力 F'_N 作用在桌面上，而桌面对圆球同时也有一个反作用力 F_N 作用在圆球上，力 F'_N 和 F_N 的大小相等，方向相反，沿同一条直线，分别作用

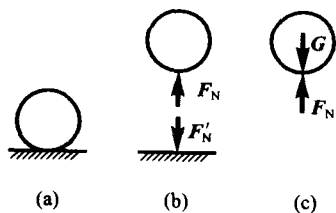


图 1-8

在桌面和圆球上,如图1-8(b)所示。

圆球上作用着两个力 G 和 F_N (图1-8(c))。 G 为圆球的重力, F_N 是桌面对圆球的作用力,因圆球处于静止状态,故作用在圆球上的两个力 G 和 F_N 是一对平衡力。

由此可见,力总是成对地以作用与反作用的形式存在于物体之间,并通过作用与反作用而传递。各种自然现象与机械受力分析都遵循这条规律。

需要指出的是,作用与反作用关系与二力平衡条件有着本质的区别:作用力和反作用力是分别作用在两个物体上;而二力平衡条件中的两个力则是作用在同一物体上,它们是平衡力。

1.2 约束与约束力

自然界的一切事物总是以各种形式与周围的事物互相联系又互相制约的。在机械上,任何构件的运动都被与它相联系的构件所限制。比如,轴受轴承的限制,使它只能绕轴心旋转;车床尾架受床身导轨的限制,使它只能沿床身作平移运动。一个物体的运动受到周围其他物体的限制,这种限制条件称为约束。例如,轴承对轴而言就是一种约束,导轨是对车床尾架的约束。据前所述,力的作用是使刚体的运动状态发生变化,而约束的存在限制了物体的运动。于是,约束一定有力作用于被约束的物体上。约束作用于该物体上的限制其运动的力,称为约束力。作用于被约束物体上的约束力以外的力统称为主动力,如重力,推力等。可见,在约束力的三要素中,约束力的大小是未知的,它与主动力的值有关,在静力学中将通过刚体的平衡条件求得;约束力的方向总是与约束所能限制的运动方向相反;约束力的作用点在约束与被约束物体的接触处。

下面介绍工程上常见的约束类型及其约束力的表示方法。

1.2.1 柔性约束

当绳索、链条和胶带等柔性体用于阻碍物体的运动时,叫做柔性约束。柔性体本身只能承受拉力,不能承受压力。其约束特点是:限制物体沿柔性体伸长的方向运动,只能给物体提供拉力,用符号 T 表示。

如图1-9(a)中用两条绳索吊住一只球,绳索分别作用于球的拉力为 T_1 , T_2 ,它和球的重力 G 平衡。图1-9(b)中胶带对胶带轮的拉力 T_1 , T'_1 , T_2 , T'_2 均属于柔性约束力。

1.2.2 光滑接触面约束

当两物体接触面上的摩擦力很小,可以略去不计时,即构成光滑接触面约束。此时,被约束的物体可以沿接触面滑动或沿接触面的公法线方向脱离,但不能沿公法线方向压入接触面。因此,光滑接触面的约束力的作用线,沿接触面公法线方向,指向被约束的物体,恒为