

高 级 技 工 学 校 教 材



工程力学

劳动和社会保障部中国就业培训技术指导中心
全国职业培训教学工作指导委员会机电专业委员会
组织编写

中央广播电视大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

工程力学/劳动和社会保障部中国就业培训技术指导中心,全国职业培训教学工作指导委员会机电专业委员会组织编写. - 北京:中央广播电视大学出版社,2004.11

高级技工学校教材

ISBN 7-304-02845-9

I. 工… II. ①劳…②全… III. 工程力学-技工学校-教材 IV. TB12

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2004)第 099592 号

版权所有,翻印必究。

工程力学

劳动和社会保障部中国就业培训技术指导中心 组织编写
全国职业培训教学工作指导委员会机电专业委员会

出版·发行:中央广播电视大学出版社

电话:发行部:010-68519502 62529338 总编室:010-68182524

网址:<http://www.crtvup.com.cn>

地址:北京市海淀区西四环中路 45 号

邮编:100039

经销:新华书店北京发行所

策划编辑:苏 醒

封面设计:王 容

责任编辑:冯 欢

版式设计:张 彦

责任印制:赵联生

责任校对:刘 仙

印刷:北京宏伟双华印刷有限公司

印数:0001-3000 册

版本:2004 年 11 月第 1 版 2004 年 11 月第 1 次印刷

开本:787×1092 1/16

印张:12.75

字数:290 千字

书号:ISBN 7-304-02845-9/O·140

定价:23.50 元

(如有缺页或倒装,本社负责退换)

高级技工学校教材

机电类专业编审工作委员会

主任：陈 宇 郝广发

副主任：孙长庆 张永麟 杨黎明

委员：(按姓氏笔画排序)

于 平	王 军	王兆山	王洪琳	王晓君
付志达	付元胜	冯振君	刘大力	刘亚琴
许炳鑫	孙国庆	李 涛	李长江	李木杰
李鸿仁	李超群	杨耀双	杨君伟	杨柳青
何阳春	张 斌	张仲民	张跃英	陈 蕾
林 青	林爱平	周学奎	单渭水	郝晶卉
赵杰士	贾恒旦	董桂桥	甄国令	

《工程力学》编写人员

主 编：陈彩云

主 审：文航星

编 者：陈彩云 陈立群 黎兴才

序

为实施人才强国战略,加快高技能人才培养,劳动和社会保障部组织实施了国家高技能人才培养工程。为配合这项工程实施,我部委托中国就业培训技术指导中心、全国职业培训教学工作指导委员会机电专业委员会,组织专家编写了高级技工学校机床切削加工、机械设备维修、模具制造与维修、数控机床加工、电气维修5个专业的配套教材。

高级技工学校是我国培养高技能人才的重要基地。这次编写的5个专业的配套教材,是高级技工学校多年教学实践经验的积累和总结。教材依据《国家职业标准》和《高级技工学校专业教学计划》,瞄准经济发展对技能人才的要求,以职业技能为核心,注重教学内容的科学性、先进性和规范性,突出实践创新能力的培养。本套教材在编写中,特别注意了中、高级技能人才培养的衔接,教材的适用范围为具备中级职业资格水平的读者对象。本套教材同时可作为相关职业(工种)高级工、技师等企业职工培训教材,也可作为相关专业高职院校的课程教材,并且还可为相关专业技术人员作为参考。

本套教材的编写得到了学校、企业等有关方面的大力支持,30多所高级技工学校和企业的专家参加了教材的编审工作,付出了辛勤的劳动,在此向所有参与教材编审工作的同志和给予大力支持的学校、企业表示感谢。

劳动和社会保障部培训就业司

2004年10月

前 言

本书是根据劳动和社会保障部颁布的《高级技工学校专业目标教学计划》和《国家职业标准》相关工种高级工内容要求编写的。

本书广泛吸取了各院校近年来工程力学课程教学改革的成功经验和好的做法,围绕高技能人才的培养目标,结合教学实习现状和生源状况,克服了原有教材中理论内容偏深、偏多、偏难的弊端,以简明、实用为主,弱化了学科体系,强化了工程实用。

在编写方法上,以强化应用为重点,突出了基本概念、基本理论和基本分析方法的应用。引导学员掌握分析问题的方法和思路,进而增强逻辑思维能力和解决问题的能力。

全书共分为两篇,第一篇(第一章至第四章)介绍了理论力学的主要理论及应用,第二篇(第五章至第十一章)介绍了材料力学的主要理论及应用。

本书第一章至第四章由陈立群高级讲师编写;第五章至第七章、第十一章由陈彩云高级讲师编写;第八章至第十章由黎兴才高级讲师编写,全书由陈彩云担任主编。

本书承蒙文航星老师详细审阅,并提出了许多宝贵的意见,在此向地致以衷心的感谢。在本书的编写过程中,参考了国内的一些优秀教材,并选用了其中的部分例题,在此也向这些教材的编者一并致谢。

由于编者水平有限,书中定有错误和不妥之处,恳请读者批评指正。

编 者

2004年10月

目 录

绪 论	1
-----	---

第一篇 理论力学

第一章 静力学基础	4
第一节 力的概念及其性质	4
第二节 平面汇交力系的合成运算	9
第三节 力对点之矩	13
第四节 力 偶	16
第五节 约束与约束反力	19
第六节 受力图	22
第二章 平面力系	28
第一节 平面任意力系的简化及其结果讨论	28
第二节 平面任意力系的平衡方程及其应用	31
第三节 摩擦时的平衡问题	36
第四节 物体系统的平衡问题	42
第五节 平面静定桁架内力计算	46
第三章 空间力系	53
第一节 空间汇交力系的合成与平衡	53
第二节 空间任意力系的平衡方程及其应用	59
第三节 物体的重心与形心	66

第四章 刚体运动学	76
第一节 刚体的基本运动	76
第二节 定轴转动刚体上各点的速度和加速度	79
第三节 定轴转动刚体传动比的计算	82
第四节 刚体的平面运动	85

第二篇 材料力学

第五章 材料力学的基本概念	92
第一节 材料力学的任务	92
第二节 材料力学的基本假设	93
第三节 杆件变形的的基本形式	94
第六章 轴向拉伸与压缩	97
第一节 轴向拉伸与压缩的概念	97
第二节 横截面上的内力	98
第三节 横截面和斜截面上的应力	101
第四节 轴向拉伸压缩变形及虎克定律	104
第五节 材料的力学性能	107
第六节 许用应力及拉（压）杆的强度条件	112
第七节 应力集中的概念	116
第八节 拉压静不定问题	117
第七章 剪切和挤压	120
第一节 剪切和挤压的概念及虎克定律	120
第二节 剪切的实用计算	122
第三节 挤压的实用计算	122

第四节 应用实例.....	123
第八章 圆轴扭转.....	129
第一节 扭转概述.....	129
第二节 扭矩与扭矩图.....	130
第三节 圆轴扭转时的应力与强度计算.....	133
第四节 圆轴扭转时的变形与刚度计算.....	137
第九章 直梁弯曲.....	143
第一节 平面弯曲概述.....	143
第二节 弯曲的内力——剪力和弯矩.....	146
第三节 剪力图、弯矩图的绘制.....	149
第四节 弯曲正应力及其强度计算.....	154
第五节 弯曲切应力及其强度计算.....	161
第六节 梁的弯曲刚度计算.....	165
第七节 提高梁的强度和刚度的措施.....	168
第十章 组合变形.....	171
第一节 组合变形概述.....	171
第二节 拉伸（压缩）与弯曲组合变形强度计算.....	172
第三节 弯曲与扭转组合变形强度计算.....	175
第十一章 压杆的稳定.....	180
第一节 压杆稳定性概念及细长压杆临界力.....	180
第二节 压杆稳定计算及提高压杆稳定性措施.....	184
附 录.....	188
参考文献.....	192

绪 论

工程力学是研究物体机械运动,力与机械运动关系以及工程材料的力学性能,构件的强度、刚度及稳定性的一门科学。作为高等职业技术教育的一门技术基础课,工程力学课程将研究内容限定为理论力学和材料力学两门课程的有关内容。

一、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。它由静力学、运动学和动力学3部分组成,其任务是使学生掌握质点、质点系和刚体机械运动的基本规律和研究方法。机械运动是指物体在空间的位置随时间的变化而变化,这是自然界中物质运动的一种最简单的形式。例如,飞船的运行,飞机、汽车、轮船的行驶,工厂机器的运转等,都是机械运动。

理论力学部分着重讨论静力学。静力学是关于物体平衡的科学,其任务是研究物体在各种力系作用下的平衡条件及其应用。静力学中的平衡是物体机械运动的一种特殊情况。在一般工程问题中,平衡是指物体相对于地球处于静止状态或处于惯性运动状态。设以地球作为惯性参照系,平衡最简单的例子有静止的物体、点的匀速直线运动、刚体的匀速直线平动和刚体绕固定对称轴的匀速转动等。

在静力学中,我们常把研究的物体抽象成刚体,即静力学的研究对象是刚体。所谓刚体,就是指在外力作用下形状和大小都保持不变的物体。事实上,任何物体在受力时或多或少都要发生变形,但如果物体的变形很小,而且不影响所研究的问题的实质,我们就可以忽略物体的变形而把它视为刚体。因此,刚体是在研究物体运动的平衡规律时被抽象化了的理想模型。

本书静力学着重研究以下两个基本问题:

(1) 力系的简化。力系是指作用在物体上的一组力。如果一力系能用另一力系来代替,而对物体产生同样作用效果,则此两力系等效。所谓力系的简化,就是将原力系用一个更为简单并和它等效的力系来加以代替。由于平衡是运动的特殊情况,因此从力系的简化可以导出力系的平衡条件及平衡方程。

(2) 力系的平衡。当物体处于平衡状态时,作用在物体上的各种力系必须满足一定的条件;反之,只有满足一定条件的力系才能使物体保持平衡。对物体进行受力分析、列出各种力系的平衡条件、求解物体的平衡问题是静力学的基本任务。

二、材料力学

材料力学是研究构件强度、刚度和稳定性等计算原理的科学。工程上当结构或机械承受载荷或传递运动时,各构件或零件都必须能正常工作,这样才能保证整个结构或机械的正常工作。为此,首先要求构件在受到载荷作用时不发生破坏或显著的塑性变形。其次,对于许多构件,工作时产生过大变形一般也是不允许的,例如,机床主轴或机身在工作时如果变形过大,将影响加工精度。此外,有些构件在某种载荷作用下,将发生不能保持其原有平衡形式的现象。如房屋中受压柱如果是细长的,在压力超过一定限度后,就有可能显著地变弯。构件在一定载荷作用下突然发生不能保持其原有平衡形式的现象,称为失稳。构件失稳的后果往往是严重的,如房屋的受压柱如果失稳,将可能导致房屋的整体或局部倒塌。针对上述3种情况,本书材料力学着重研究以下3个基本问题:

(1) 强度问题。构件在载荷作用下,抵抗破坏或过量塑性变形的能力。例如,储气罐不应爆破,机器中的齿轮轴不应断裂等。

(2) 刚度问题。构件在载荷作用下,抵抗弹性变形的能力。如机床主轴不应变形过大,否则影响加工精度。

(3) 稳定性问题。构件在压力载荷作用下,保持其原有平衡状态的能力。例如,千斤顶的螺杆、内燃机的挺杆等。

工程力学在工程技术中有着广泛的应用。例如,在各种工程结构构件或机械零部件的设计计算中,常需先进行静力学分析,应用平衡条件求出未知力,然后应用静力学分析结果对构件的强度和刚度进行计算。因此,学好工程力学对专业课的学习和工程应用是非常重要的。

第一篇 理论力学

第一章 静力学基础

静力学是研究物体在各种力系作用下平衡规律的科学，力系是指作用在同一物体上的一组力。本章主要讨论静力学的一些基本概念，为学习后续章节打基础。

第一节 力的概念及其性质

一、力的概念

物理中已经对力的概念给出了如下定义：力是物体间的相互机械作用，这种作用使物体的运动状态和形状发生变化。力的概念产生于人类从事的生产劳动中，当人们用手拿、搬、举物体时，由于肌肉紧张而感受到力的作用，这种作用广泛地存在于人与物及物与物之间。若把力理解为脱离物质并与物质运动无关的特殊因素而单独存在，则是完全错误的。因此，当我们分析力的时候，必须明确它是哪个物体对哪个物体的作用，即明确施力物体和受力物体。

力对物体的作用效果，主要表现在两方面：其一是使物体运动状态发生变化的效应称为力的外效应；其二是使物体产生变形的效应称为力的内效应。本篇着重研究力的外效应，至于对内效应的研究则属于材料力学范畴，将在本书第二篇材料力学部分进行讨论。

由实践经验证明，力对物体的效应取决于以下3大要素：

1. 力的大小

力的大小是指物体间相互作用的强弱程度，它可以用测力器来测量。为了度量力的大小，本书采用我国统一法定计量单位，即国际单位制SI为基础，力的单位是“牛顿”(N)，或“千牛顿”(kN)。在工程单位制中，力的常用单位是“千克力”(kgf)，有时也采用吨力(tf)。牛顿和千克力的换算关系是：

$$1\text{kgf} = 9.807\text{N} \approx 9.8\text{N}$$

2. 力的方向

力的方向是指力使静止的自由质点运动的方向。它包含“方位”和“指向”两个意义。例如，我们说重力的方向是铅垂朝下的，其中“铅垂”是力的方位，“朝下”是力的指向。

3. 力的作用点、作用线

物体上承受力作用的一点称为力的作用点。通过力的作用点沿力的方向的直线称为力的作用线。

以上力的三要素中，若改变其中任何一个要素，则力对物体的作用效果就改变了。力是

具有大小和方向的量,即力是矢量,又称力矢量,或简称力矢,通常以 $\vec{F}$ 、 $\vec{N}$ 、 $\vec{P}$ 、 $\vec{T}$ 、 $\vec{R}$ 、 $\vec{G}$ 、 $\vec{W}$ 等粗体字母表示, N 而以对应的细体字母 F 、 N 、 P 、 T 、 R 、 G 、 W 等表示矢量的大小。图示时,力常用一个带箭头的线段来表示,线段长度按一定比例代表力的大小,线段的方向和箭头表示力的方向,其起点或终点表示力的作用点。图 1-1 所示为力 $\vec{F}$ 的表示方法。

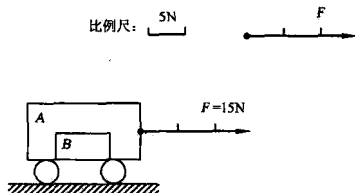


图 1-1 力的表示方法

物体所受的力通常分为体积力和面积力两种。体积力是指物体的每一个质点上都受到该种力的作用,例如重力等。面积力是指物体的表面受到其他物体作用的力,例如人推车、蒸汽对活塞的压力等。若物体的体积或接触面积较小,则往往视之为一,这样可将其视为集中力,如重力及上图中的推力。本课程所研究的力大多可视之为集中力。

另外,对所选择的研究对象而言,也可以将力分为内力和外力两类。凡是研究对象以外的物体作用于研究对象的力统称外力;而研究对象内部各部分之间相互作用的力则统称为内力。见图 1-1,力 $\vec{F}$ 拉小车时,对小车而言,力 $\vec{F}$ 是外力,而物体 B 对小车 A 的压力则是内力,因为研究小车时,物体 A 和 B 是作为一个整体进行研究的。由此可见,外力和内力的区分,完全取决于研究对象的选取。

二、力的性质

静力学公理是人类通过长期实践,从积累的经验中总结抽象出来的最简单的原理,并为实践所验证的基本力学性质,它是静力学的基础。静力学的全部理论都是建立在下述 4 个公理基础上的。

公理一 二力平衡公理

刚体只受两个力作用而处于平衡状态,必须也只需这两个力等值(大小相等)、反向(方向相反)、共线(沿着同一条作用线)。

在工程实际中,常遇到仅受二力作用而处于平衡的物体,这样的物体称为二力体,在构造物中则称为二力构件,如构件呈杆状时,则称为二力杆。二力构件及二力杆的受力特点是:所受二力必沿作用点的连线且二力大小相等、方向相反。如图 1-2 所示为工程上常见的棘轮机构简图, AB 为二力构件。图 1-3 所示刚体, AB 杆为二力杆。可见,利用这一公理极易确定二力体所受到两个力的作用线。

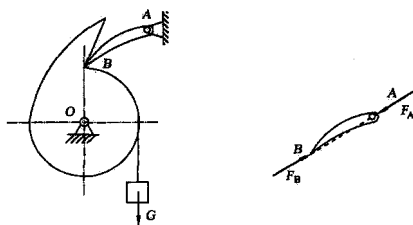


图 1-2 棘轮机构

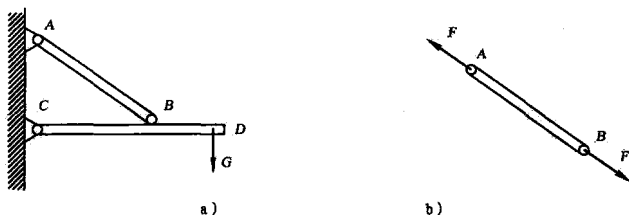


图 1-3 二力杆

公理二 加减平衡力系公理

在作用着已知力系的刚体上，加上或减去任意的平衡力系并不改变原力系对刚体的作用效果。

此公理对于研究各种力系的合成有着重要的应用价值，它常用来简化力系。

推论 1: 力的可传性原理 作用于刚体上某点的力，可以沿其作用线移到刚体上任意一点，而不改变该力对刚体的作用效果。

原理证明如下：

(1) 设力 $\vec{F}$ 作用于刚体 A 点 (图 1-4a)。

(2) 在力 $\vec{F}$ 的作用线上任取一点 B，并在 B 点加上一组沿力 $\vec{F}$ 作用线方向的平衡力 $\vec{F}_1$ 和 $\vec{F}_2$ ，使 $F_1 = F = F_2$ (图 1-4b)。

(3) 据加减平衡力系公理，除去 $\vec{F}$ 和 $\vec{F}_2$ 所组成的一对平衡力，则刚体上只剩 $\vec{F}_1$ ，且 $F_1 = F$ (图 1-4c)，力 $\vec{F}$ 在刚体上实现了传递。

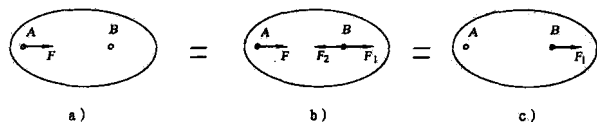


图 1-4 力的可传性

必须注意, 公理二和力的可传性原理都只适用于刚体, 而不适合于变形体, 而且它们只适用于研究刚体的外效应, 而不适用于研究刚体的内效应。例如, 在求刚体内力时, 就不能把外力沿其作用线任意移动, 移动后物体内力将发生变化。

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, 可以合成为一个合力, 合力也作用于该点上。合力的大小和方向可用由此两力为邻边所构成的平行四边形的对角线来确定 (图 1-5a)。

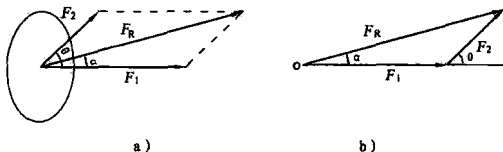


图 1-5 力的平行四边形公理

力是矢量, 其运算也应按照矢量运算法则来进行, 其矢量合成式为:

$$\vec{F}_R = \vec{F}_1 + \vec{F}_2 \quad (1-1)$$

为使作图简便, 通常在求合力大小和方向时, 可以用力三角形 (见图 1-5b) 代替力平行四边形, 即依次将 F_1 和 F_2 首尾相接。最后, 三角形的封闭边即为此二力的合力 F_R 。合力 F_R 的大小和方向可以用下列三角公式进行计算:

$$F_R = \sqrt{F_1^2 + F_2^2 + 2F_1F_2 \cos \theta} \quad (1-2)$$

$$\sin \alpha = \frac{F_2 \sin \theta}{F_R} \text{ 或 } \tan \alpha = \frac{F_2 \sin \theta}{F_1 + F_2 \cos \theta}$$

反之, 一个力也可以分解成两个分力, 分解也按力的平行四边形公理来进行。只不过两个分力不是唯一的, 而是有无穷种分解方法 (图 1-6)。

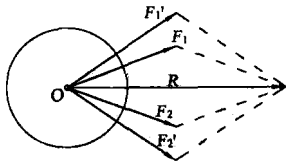


图 1-6 力的分解

推论 2: 三力平衡汇交定理

若作用于物体同一平面上的 3 个互不平行的力构成平衡力系, 则它们的作用线必汇交于同一点。这就是三力平衡汇交定理。

证明如下:

(1) 设刚体上 A 、 B 、 C 3 点作用有共面力 $\vec{F}_1$ 、 $\vec{F}_2$ 、 $\vec{F}_3$ (图 1-7a)。

(2) 按力的可传性原理将 $\vec{F}_1$ 、 $\vec{F}_2$ 移至交点 O ，并根据公理三，将 $\vec{F}_1$ 、 $\vec{F}_2$ 合成为 $\vec{F}_R$ (图 1-7b)。

(3) 现刚体上只作用两个力 $\vec{F}_3$ 和 $\vec{F}_R$ ，根据公理一， $\vec{F}_3$ 与 $\vec{F}_R$ 必在同一直线上，所以 $\vec{F}_3$ 必通过 O 点。于是， $\vec{F}_1$ 、 $\vec{F}_2$ 、 $\vec{F}_3$ 均通过 O 点。

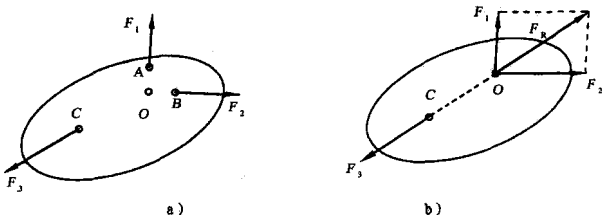


图 1-7 三力平衡汇交定理

物体只受同平面 3 个力作用而平衡，称为三力构件。若 3 个力中已知两个力的交点及第三个力的作用点，即可判断出第三个力作用线的方位。例如，起重机吊起一根木材 (图 1-8a)，它受到重力 G 和两根钢丝绳的拉力 T_B 、 T_C 作用而平衡。根据三力平衡原理，这 3 个力必汇交于同一点，即 G 的作用线过 A 点 (图 1-8b)。

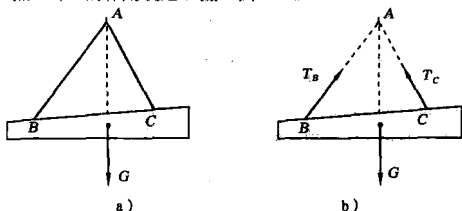


图 1-8 三力构件

公理四 作用力与反作用力公理

两个物体间的作用力与反作用力总是成对出现的，且大小相等、方向相反，沿着同一条直线，但分别作用在两个物体上。

我们在前面已经学过，力是两个物体间的相互机械作用，公理四进一步说明，力总是成对存在的，且作用力与反作用力必定等值、反向、共线。例如，设有一吊灯用链条悬挂于天花板上 (图 1-9a)。吊灯除受到重力作用外，链条还对吊灯有一作用力 $\vec{T}_A$ ，同时吊灯对链条有一反作用力 $\vec{T}_A'$ ，这两个力都以 A 点为作用点，但分别作用在链条和吊灯上，它们等值、反向、共线，即 $T_A = -T_A'$ 。同理 B 点，天花板对链条的作用 $\vec{T}_B$ 和链条对天花板的反作