

21 世纪高等职业教育通用教材

工 程 力 学

(第二版)

主 编 朱熙然 陶 琳
主 审 曹严华 王武林

上海交通大学出版社

内 容 简 介

本书根据高等职业教育的特色和“必需、够用”的原则,对教材内容作了精心的选择和编排。全书共分三篇。第一篇为静力学,介绍了静力学的基础知识,平面力系,空间力系等;第二篇为运动学和动力学,介绍了点的运动,刚体的平面运动,动能定理等;第三篇为材料力学,介绍了拉伸和压缩,剪切,扭转,弯曲,组合变形等。内容精练、非常实用。

本书适用于高等职业院校机械、建筑、化工、纺织、地质和水利等专业,可作为工科类高等职业学校和大专院校的教材,也可供工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

工程力学/朱熙然,陶琳主编. —2版. —上海:上海交通大学出版社,2005

ISBN7 - 313 - 02117 - 8

. 工... . 朱... 陶... . 工程力学
. O12

中国版本图书馆 CIP 数据核字(1999)第 26531 号

工 程 力 学

(第二版)

朱熙然 陶琳 主编

上海交通大学出版社出版发行

(上海市番禺路 877 号 邮政编码 200030)

电话:64071208 出版人:张天蔚

立信会计出版社常熟市印刷联营厂印刷 全国新华书店经销

开本:880mm×1230mm 1/32 印张:12.875 字数:358千字

1999年7月第1版 2005年1月第2版 2005年1月第10次印刷

印数:32451~36500

ISBN7 - 313 - 02117 - 8/O · 155 定价:19.00元

版权所有 侵权必究

21 世纪高等职业教育通用教材

编审委员会

主任名单

(以姓氏笔划为序)

编审委员会顾问

叶春生 詹平华

编审委员会名誉主任

李 进 李宗尧

编审委员会主任

闵光太 潘立本

编审委员会常务副主任

东鲁红

编审委员会副主任

孔宪思	王俊堂	王继东	白玉江
冯拾松	匡亦珍	朱懿心	吴惠荣
李 光	李坚利	陈 礼	赵祥大
洪申我	饶文涛	秦士嘉	黄 斌
董 刚	薛志信		

序

发展高等职业教育,是实施科教兴国战略、贯彻《高等教育法》与《职业教育法》、实现《中国教育改革与发展纲要》及其《实施意见》所确定的目标和任务的重要环节;也是建立健全职业教育体系、调整高等教育结构的重要举措。

近年来,年轻的高等职业教育以自己鲜明的特色,独树一帜,打破了高等教育界传统大学一统天下的局面,在适应现代社会人才的多样化需求、实施高等教育大众化等方面,做出了重大贡献。从而在世界范围内日益受到重视,得到迅速发展。

我国改革开放不久,从1980年开始,在一些经济发展较快的中心城市就先后开办了一批职业大学。1985年,中共中央、国务院在关于教育体制改革的决定中提出,要建立从初级到高级的职业教育体系,并与普通教育相沟通。1996年《中华人民共和国职业教育法》的颁布,从法律上规定了高等职业教育的地位和作用。目前,我国高等职业教育的发展与改革正面临着很好的形势和机遇:职业大学、高等专科学校和成人高校正在积极发展专科层次的高等职业教育;部分民办高校也在试办高等职业教育;一些本科院校也建立了高等职业技术学院,为发展本科层次的高等职业教育进行探索。国家学位委员会1997年会议决定,设立工程硕士、医疗专业硕士、教育专业硕士等学位,并指出,上述学位与工程学硕士、医学科学硕士、教育学硕士等学位是不同类型的同一层次。这就为培养更高层次的一线岗位人才开了先河。

高等职业教育本身具有鲜明的职业特征,这就要求我们在改革课

程体系的基础上,认真研究和改革课程教学内容及教学方法,努力加强教材建设。但迄今为止,符合职业特点和需求的教材却还不多。由泰州职业技术学院、上海第二工业大学、金陵职业大学、扬州职业大学、彭城职业大学、沙洲工学院、上海交通高等职业技术学校、上海交通大学技术学院、上海汽车工业总公司职工大学、立信会计高等专科学校、江阴职工大学、江南学院、常州技术师范学院、苏州职业大学、锡山职业教育中心、上海商业职业技术学院、潍坊学院、上海工程技术大学等百余所院校长期从事高等职业教育、有丰富教学经验的资深教师共同编写的《21世纪高等职业教育通用教材》,将由上海交通大学出版社等陆续向读者朋友推出,这是一件值得庆贺的大好事,在此,我们表示衷心的祝贺。并向参加编写的全体教师表示敬意。

高职教育的教材面广量大,花色品种甚多,是一项浩繁而艰巨的工程,除了高职院校和出版社的继续努力外,还要靠国家教育部和省(市)教委加强领导,并设立高等职业教育教材基金,以资助教材编写工作,促进高职教育的发展和改革。高职教育以培养一线人才岗位与岗位群能力为中心,理论教学与实践训练并重,二者密切结合。我们在这方面的改革实践还不充分。在肯定现已编写的高职教材所取得的成绩的同时,有关学校和教师要结合各校的实际情况和实训计划,加以灵活运用,并随着教学改革的深入,进行必要的充实、修改,使之日臻完善。

阳春三月,莺歌燕舞,百花齐放,愿我国高等职业教育及其教材建设如春天里的花园,群芳争妍,为我国的经济建设和社会发展作出应有的贡献!

叶春生

2000年7月

前 言

本书是为高等职业教育工程力学课程编写的教材。

在编写本书时,我们本着高等职业教育的特色和“必需、够用”的原则,对教材内容作了精心的选择和编排。繁琐的推导过程和没有实用价值的内容尽可能省略,进一步突出了实用性。

本书适用于高等职业院校机械、建筑、化工、纺织、地质和水利等专业,可作为工科类高等职业学校和大专院校的教材,也可供工程技术人员参考。

本书由朱熙然、陶琳任主编,曹严华、王凤才和程宜康任副主编。曹严华、王武林审读全稿,并提出许多宝贵的修改意见;在第二次印刷前,主审曹严华再次审读全书,又提出一些宝贵的修改意见,特此表示衷心的感谢。

参加本书编写的还有:杨六顺、阙梅生、邵建忠、陈敏、王筱玲、刘永丰和王武林等老师。

限于我们的水平,缺点和错误在所难免,恳请广大读者批评指正。

编 者

2004年6月

目 录

第一篇 静力学.....	1
引言.....	3
1 静力学的基础知识	4
2 平面力系.....	27
3 摩擦.....	54
4 空间力系 重心.....	65
第二篇 运动学和动力学	83
引言	85
5 点的运动	87
6 刚体的基本运动	101
7 点的合成运动	112
8 刚体的平面运动	124
9 质点动力学基础	137
10 刚体动力学基础.....	145
11 动能定理.....	157
12 动静法.....	176
第三篇 材料力学.....	187
引言.....	189

13	轴向拉伸和压缩	193
14	剪切	226
15	扭转	243
16	弯曲	264
17	组合变形	304
18	压杆稳定	326
19	动载荷(简介)	345
20	交变应力	356
习题答案		367
附录 型钢表		379

第一篇 静力学

引言

静力学的基础知识

平面力系

摩擦

空间力系 重心

引 言

静力学主要研究物体在力作用下的平衡问题。

平衡是机械运动的一种特殊形式,是指物体相对于地球保持静止或匀速直线运动状态。平衡总是相对的,工程意义上的平衡则是相对地面或相对固结于地面的其他物体而言的。受力作用而平衡的物体,必须满足一定的条件,这条件称为力系的平衡条件。

在工程实际问题中,物体的受力情况通常比较复杂,要将实际物体简化成可以计算的力学模型,必须把复杂的力系简化,由此建立相应的平衡条件。因此,静力学要研究两个问题:

- (1) 力学模型的建立和力系的简化。
- (2) 力系的平衡条件及其应用。

静力学理论在机械工程中有着广泛的应用。有许多机械零件、构件在工作时处于平衡状态或近似于平衡状态,要合理设计机械零件和构件的形状、尺寸,必须首先运用静力学知识对零构件进行受力分析,并根据平衡条件求出这些力,再根据材料力学知识进行相应的设计。静力学知识在建筑、水利工程中应用也极其广泛,如移动式吊车起吊重物时,必须根据平衡条件确定起吊重量、平衡重量及刚架几何尺寸的相互关系,以确保吊车不至于翻倒;设计屋架时,必须将所受重力、风雪压力等加以简化,再根据平衡条件求屋架各杆的受力,确定其尺寸。可以说,工程中只要有受力分析,就一定会用到静力学知识。

1 静力学的基础知识

本章将介绍静力学的一些基本概念、公理、物体的受力和受力图, 同时还将介绍力的投影计算、力矩计算和力偶的概念。

1.1 静力学的基本概念

1.1.1 力的概念

力是物体之间相互的机械作用, 这种作用使物体的机械运动状态发生变化。力使物体运动状态改变表现为外在和内在的两个方面。外在的也就是动态的, 表现为物体运动状态的改变; 内在的也就是形态的, 表现为物体形状的改变。这种动态和形态的改变称为力的外效应和内效应。静力学将不考虑力的内效应, 而只研究力的外效应。

力使物体运动状态发生改变, 取决于力的大小、方向、作用点, 这三者通常被称为力的三要素。

力的大小反映物体间机械作用的强度, 力的单位采用国际单位制, 用牛顿(N) 或千牛顿(kN) (1 千牛 = 1 000 牛) 表示。

力的作用点就是物体之间的相互作用的位置。应该说物体之间相互作用是具有一定作用面积的, 当作用面积很小, 可以看作一个点时, 就称该点为力的作用点, 这样的力称为集中力。当物体之间相互作用的面积必须考虑时, 则称为分布力。分布力有线分布力、面分布力和体分布力。

具有大小、方向并满足一定运算规则的量称为矢量。力就是这样的物理量, 所以力是矢量。本书中用黑体字母表示矢量, 而以普通字母表示矢量的模(即大小)。例如用 \mathbf{F} 表示力的矢量, F 表示这个力的大小。

作用在物体上的一群力称为力系, 如果一个力系作用于物体而不改变物体的原有运动状态, 则称该力系为平衡力系。如果两个力系对物体的作用效应完全相同, 则称这两个力系互为等效力系。当一个力系与一个力的作用效应完全相同时, 把这—个力称为该力系的合力, 而该力系中的每一个力称为合力的分力。

1.1.2 平衡的概念

平衡状态是指物体相对于地球(或固结于地面的其他物体)保持静止或作匀速直线运动的状态。物体受力系作用而平衡, 则该力系应满足一定的条件, 这条件称为平衡条件。静力学的重要任务就是研究物体在力系作用下的平衡条件, 并由平衡条件解决工程实际问题。

1.1.3 刚体的概念

任何物体受力作用后或多或少总要产生变形。我们在研究物体平衡规律时, 可以忽略物体的变形, 把受力不变形的物体抽象成为刚体, 这是理想化了的力学模型。如果研究的问题必须考虑变形, 那将是本课程中材料力学部分所研究的问题。

1.2 静力学公理

公理是人类在长期实践中被验证为正确的结论。它无须任何证明, 已为大家所公认。静力学的全部理论都是建立在下面的五个静力学公理基础之上的。

1.2.1 二力平衡公理

当一个刚体受两个力作用而平衡时, 其充分与必要的条件是: 这两个力大小相等, 方向相反, 作用线共线。

如图 1.1 所示, 刚体上 A、B 两点受力 F_1 、 F_2 作用, 如果刚体处于平衡状态, 则 F_1 、 F_2 的作用线—



图 1.1

定过 AB 两点连线, 大小相等, 指向相反。二力之间的关系在数学上可以表达为

$$F_1 = - F_2$$

工程上将只受二个力作用而平衡的构件称为二力构件。如果物体是一不计自重的杆件, 则称为二力杆。

1.2.2 加减平衡力系公理

在刚体的原有力系中, 加上或减去任何平衡力系, 不会改变原力系对刚体的作用效应。

这一公理的正确性是显而易见的, 因为一个平衡力系是不会改变物体的原有状态的。依据这一公理, 可以得出一个重要推论:

作用于刚体上的力可以沿其作用线移至刚体内任一点, 而不改变原力对刚体的作用效应。这称为力的可传性原理(证明略)。

例如: 将作用于(见图 1.2)小车 A 点的力 F 沿其作用线移动到 B 点, 力 F 对小车的效应不变, 即推车和拉车的效果一样。这很容易从实践中得到证实。

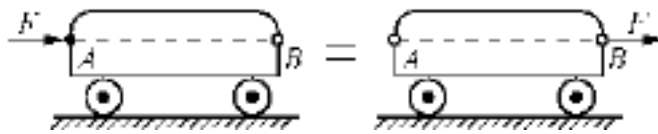


图 1.2

需要指出的是, 力的可传性原理只是对刚体才成立, 对变形体不能应用。例如, 在弹簧的两端作用两个大小相等、共线但指向背离的力时, 弹簧受拉而伸长。如果将两力沿作用线分别移至另一力的作用点时, 弹簧受压而缩短。因此, 研究平衡问题时, 刚体可以应用力的可传性原理。另外, 力沿作用线移动, 只能移至该刚体内各点, 而不能移到其他刚体上。

1.2.3 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, 仍作用于该点, 其作用线、大小和指向, 由这两个力为边所组成的平行四边形的对角线来确定。

力的平行四边形公理是求两共点力合力的基本运算法则(见图 1.3(a)),也是求其他矢量(速度、加速度)的基本的法则。求共点力 F_1 与 F_2 的矢量和 R 的数学表达式为

$$R = F_1 + F_2$$

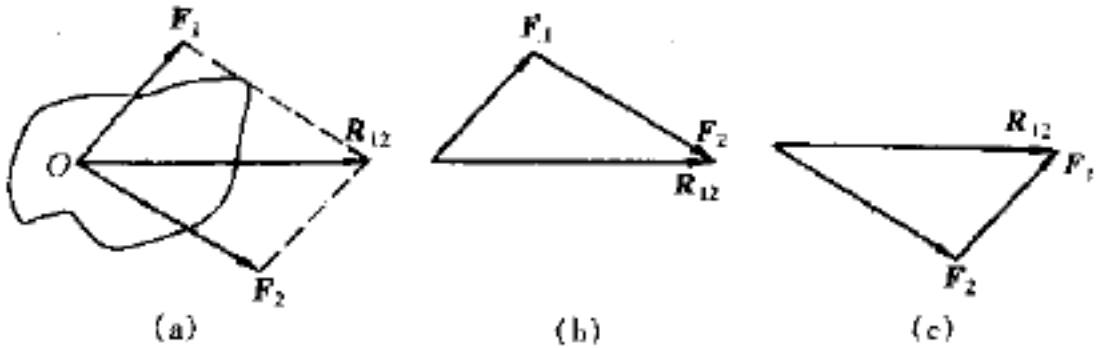


图 1.3

合力还可以通过画力的三角形来求出(见图 1.3(b)),只要将两个被求和的力,大小按一定比例,方向不变地首尾相连,合力就是从第一个画的力的起点连结第二个画的力的终点的“矢”。合力大小为矢长(矢量的模),可按同一比例算得。当然,在作力的三角形时, F_1 和 F_2 可不分先后,这不会改变合力的大小和方向(见图 1.3(c))。但是,力三角形中的每一力矢只具有大小、方向意义,而不表示力作用点或力作用线的位置。应用力三角形求解力的大小和方向时,可用数学中的三角公式或在图上量测。

推论:如果刚体受同一平面的三个互不平行的力作用而平衡,则此三个力的作用线必定汇交于一点。这称为三力平衡汇交定理。

如图 1.4 所示,刚体上 A、B、C 三点分别受力 F_1 、 F_2 、 F_3 作用而平衡。如果 F_1 、 F_2 、 F_3 作用线共面,由力的可传性原理可将 F_1 、 F_2 沿各自的作用线移至它们的交点 O,再由平行四边形公理求出它们的合力 R 。此时原力系等价于 F_3 和 R ,刚体受二力作用而平衡,由二力平衡公理可知, F_3 和 R 必等值、反向和共线。即 F_3 作用线必通过

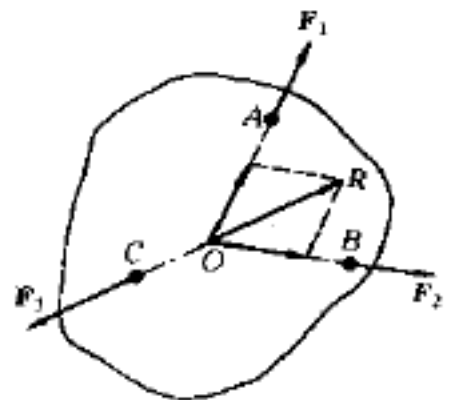


图 1.4

O 点, 也就是说 F_1, F_2, F_3 汇交于同一点 O。

1.2.4 作用与反作用公理

两物体间相互作用时的作用力和反作用力, 分别作用在两个物体上, 总是大小相等、方向相反、作用线共线。

作用力与反作用力没有平衡的概念, 因为它们分别作用在两个物体上, 它们同时产生, 同时消失。这与二力平衡公理有本质的区别。

1.2.5 刚化公理

变形体在已知力系作用下平衡, 如果将此变形体看作刚体(刚化), 则其平衡状态不变。

刚化公理告诉我们, 可以利用刚体平衡条件来处理变形体的平衡问题。换言之, 处于平衡状态的变形体, 都可以把它视为刚体来研究。

1.3 约束与约束反力

可以在空间任意运动的物体称为自由体, 如飞行中的飞行、炮弹等。在空间运动受到阻碍的物体称为非自由体。例如, 地面上的建筑物、沿铁轨上行驶的机车等等。

力学中在研究非自由体的运动和受力时, 把限定其运动的其他物体称为约束。当非自由体在力的作用下沿着被限定运动的方向有运动趋势时, 约束将对该物体施加一个与运动趋势方向相反的作用力, 以阻止运动的发生。这样的力称为约束反力, 简称反力。

与约束反力对应, 将主动作用在物体上, 使物体产生运动趋势的力称为主动力。工程中又称为载荷。

比如, 桥梁所受的重力和车辆的作用力是主动力。而桥墩就是约束, 它对桥梁的支承力就是约束反力。因此, 分析主动力和约束反力, 应从使物体产生运动还是限制物体运动这两个角度来分析。

约束反力阻止物体运动的作用是通过约束体与物体间相互接触来实现的, 所以它的作用点应在相互接触处, 它的方向总是与约束体所能阻

止的运动方向相反。约束反力的大小,在静力学中将由平衡条件求出。

约束在实际情况中是复杂的,但是从约束是对物体运动的限制这一点出发,我们可以将工程中常见的约束归类,并且理想化。可以根据各种约束类型的特征来说明其反力的表示方法。本节介绍几种常见的约束类型及其相应约束反力的特点。

1.3.1 柔索约束

构成柔索约束的物体有不计自重的绳索、链条、传动皮带等。这一类物体的特点是只能受拉伸,不能承受压缩和弯曲。柔索约束的约束特点是限制物体沿柔索伸长方向的运动,相应的约束反力方向沿柔索背离物体,作用在连接点或假想截割处。柔索约束反力常用符号为 T (见图 1.5)。

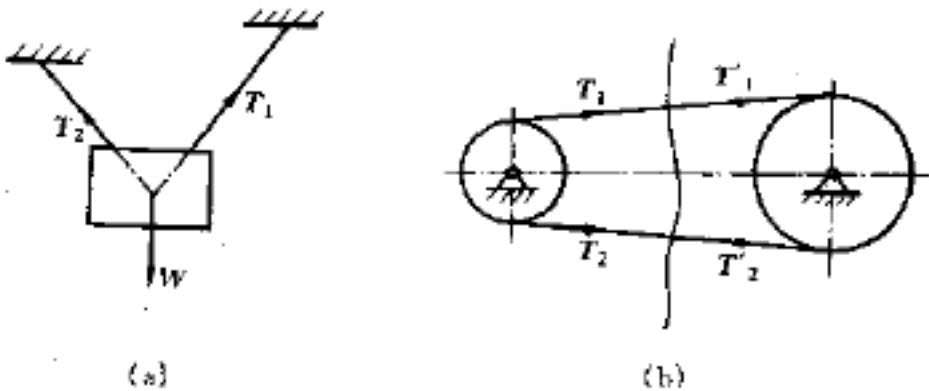


图 1.5

1.3.2 光滑接触面约束

光滑接触面是指物体与约束体之间的接触面是理想光滑的,这类约束的特点是只阻碍物体沿接触面公法线方向指向约束内部的运动,其约束反力方向必定是沿着接触面在接触点的公法线方向而指向物体,作用在接触处。如图 1.6(a) 所示,斜面上一球靠在光滑斜面上,并用一绳索系住。斜面对球的运动限制是限制球沿球与斜面接触点法线向着斜面的运动,所以斜面的反力 N 沿着该法线并指向球。由于这类约束是单面约束,因此其反力常又称为法向反力。光滑接触面约束反

力一般用字母 N 表示(见图 1.6(b))。

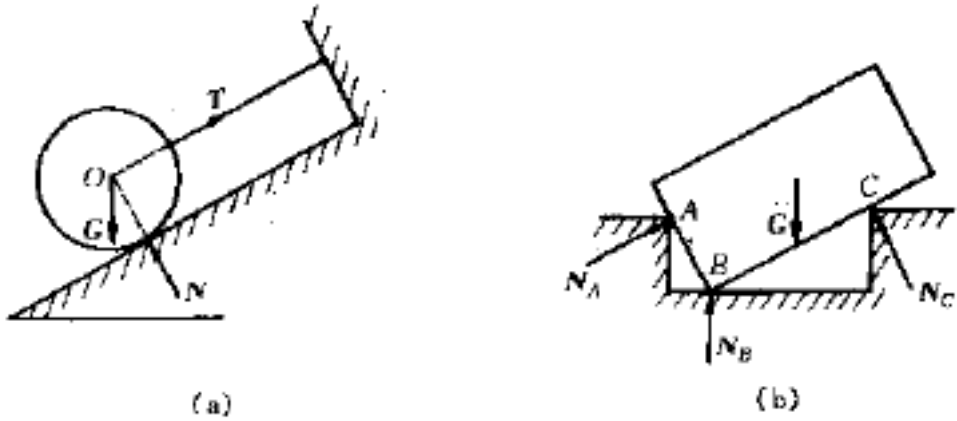


图 1.6

1.3.3 光滑圆柱形铰链约束

工程中的光滑圆柱形铰链可以简化为如图 1.7(a) 所示的模型, 将两物体钻同样直径的圆孔, 再用圆柱形销钉插上, 销钉与物体上孔的接触认为是光滑的, 可以相对转动, 但是限制两物体的径向移动。这种使物体只能相对绕销钉转动而不能相对移动的约束称为光滑圆柱铰链约束, 简称铰链约束。

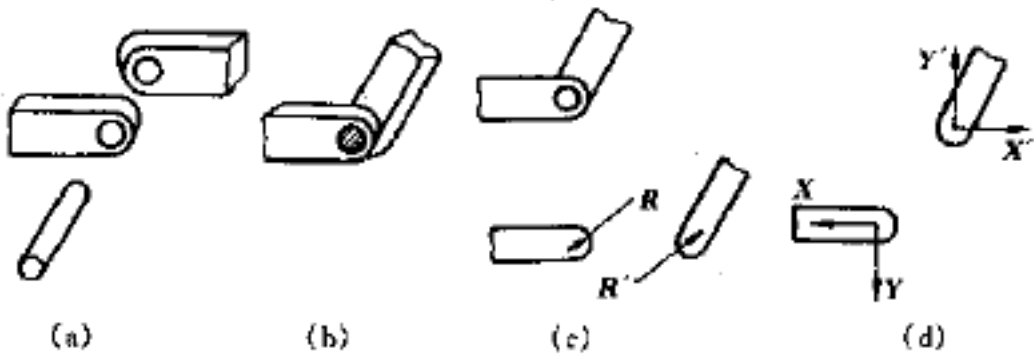


图 1.7

根据光滑圆柱铰链的约束特点可知, 约束反力是过铰链中心, 但大小、方向未定的一个力(见图 1.7(c)), 该力的方向与铰链所限制的运动方向相反。为了能表示这一个大小、方向未定的力, 可以用过铰链中心的一对大小未知的正交分为 X 、 Y 来表示(见图 1.7(d))。

需要指出的是, 图 1.7(a) 所示的光滑圆柱形铰链约束中的两个物