



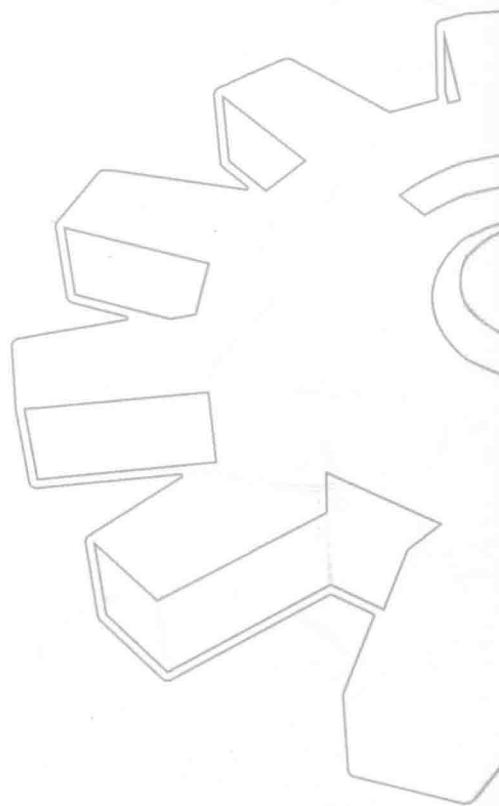
高职高专“十二五”规划教材



工程力学

GONGCHENG LIXUE

主编 程婧璠



 吉林大学出版社



工程力学

ORIGINAL PAPER

高职高专“十二五”规划教材

工程力学

主 编 程婧璠

副主编 虞 沧 刘 兵 卢 颢

吉林大学出版社

内容简介

本书共 12 章, 主要内容包括静力学基础、平面力系、空间力系、轴向拉伸与压缩、剪切与挤压、圆轴扭转、平面弯曲、应力状态与强度理论、组合变形时杆件的强度计算、压杆稳定、质点的运动、刚体的平动与绕定轴转动。全书遵循“以应用为目的”“以必需、够用为度”“以掌握概念、强化应用为原则”的要求, 着重培养学生分析问题、解决问题的能力, 在内容方面力求做到简化理论推导, 突出应用, 在例题和习题的选择方面力求简明易懂。

本书可作为高职高专和技师学院机械、机电类专业的教材, 也可供相关领域的工程技术人员参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

工程力学/程婧璠主编. —长春: 吉林大学出版社, 2011. 3

(高职高专“十二五”规划教材)

ISBN 978-7-5601-7066-4

I. 工… II. 程… III. ①工程力学—高等职业教育—教材 IV. ①TB12

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2011) 第 036800 号

书 名: 高职高专“十二五”规划教材

工程力学

作 者: 程婧璠 主编

责任编辑、责任校对: 邵宇彤

吉林大学出版社出版、发行

开本: 787×1092 毫米 1/16

印张: 12 字数: 276 千

ISBN 978-7-5601-7066-4

封面设计: 超视觉工作室

北京市彩虹印刷有限责任公司 印刷

2011 年 3 月 第 1 版

2012 年 5 月 第 2 次印刷

定价: 23.00 元

版权所有 翻印必究

社址: 长春市明德路 501 号 邮编: 130021

发行部电话: 0431-88499826

网址: <http://www.jlup.com.cn>

E-mail: jlup@mail.jlu.edu.cn

出版说明

作为高等教育的重要组成部分，高等职业教育是以培养具有一定理论知识和较强实践能力，面向生产、面向服务和管理第一线职业岗位的实用型、技能型专门人才为目标的职业技术教育，是职业技术教育的高等阶段。目前，高等职业教育教学改革已经从专业建设、课程建设延伸到了教材建设层面。根据国家教育部关于要求发展高等职业技术教育，培养职业技术人才的大纲要求，我们组织编写了这套《高职高专“十二五”规划教材》。本系列教材坚持以就业为导向，以能力为本位，以服务学生职业生涯发展为指导思想，以与专业建设、课程建设、人才培养模式同步配套作为编写原则。

从专业建设角度看，相对于普通高等教育的“学科性专业”，高等职业教育属于“技术性专业”。技术性专业的知识往往由与高新技术工作相关联的那些学科中的有关知识所构成，这种知识必须具有职业技术岗位的有效性、综合性和发展性。本套教材不但追求学科上的完整性、系统性和逻辑性，而且突出知识的实用性、综合性，把职业岗位所需要的知识和实践能力的培养融会于教材之中。

从课程建设角度看，现有的高等职业教育教材从教育内容上需要改变“重理论轻实践”、“重原理轻案例”，教学方法上则需要改变“重传授轻参与”、“重课堂轻现场”，考核评价上则需改变“重知识的记忆轻能力的掌握”、“重终结性的考试轻形成性考核”的倾向。针对这些情况，本套教材力求在整体教材内容体系以及具体教学方法指导、练习与思考等栏目中融入足够的实训内容，加强实践性教学环节，注重案例教学，注重能力的培养，使职业能力的培养贯穿于教学的全过程。同时，使公共基础类教材突出职业化，强调通用能力、关键能力的培养，以推动学生综合素质的提高。

从人才培养模式角度看，高等职业教育人才的培养模式的主要形式是产学结合、工学交替。因此，本教材为了满足有学就有练、学完就能练、边学边练的实际要求，纳入新技术引用、生产案例介绍等来满足师生教学需要。同时，为了适应学生将来因为岗位或职业的变动而需要不断学习的情况，教材的编写注重采用新知识、新工艺、新方法、新标准，同时注重对学生创造能力和自我学习能力的培养，力争实现学生毕业与就业上岗的零距离。

为了更好地落实指导思想和编写原则，本套教材的编写者既有一定的教学经验、懂得教学规律，又有较强的实践技能。同时，我们还聘请生产一线的技术专家来审稿，保证教材的实用性、先进性、技术性。总之，该套教材是所有参与编写者辛勤劳作和不懈努力的成果，希望本套教材能为职业教育的提高和发展作出贡献。

这就是我们编写这套教材的初衷。

前 言

本书依据教育部最新制定的“工程力学”课程的教学基本要求编写而成，在编写过程中，充分吸取了近几年来高职高专教学改革的经验，从高等职业教育培养应用型、技能型人才的目标出发，遵循“以应用为目的”、“以必需、够用为度”、“以掌握概念、强化应用为原则”的要求，着重培养学生在工程力学方面分析问题、解决问题的能力。全书由具有多年教学经验的一线教师编写，在内容方面力求简化理论推导，加强实践应用，在例题和习题的选择方面力求简明易懂。

本书适合作为高职高专类 60 学时“工程力学”课程的教学用书。

本书由程婧璠任主编，虞沧、刘兵、卢颀任副主编，并由程婧璠在最后进行总纂。在编写过程中参考了有关专家、学者的相关著作和成果，在此表示衷心的感谢。由于编者水平有限，书中难免有疏漏及不当之处，希望读者批评指正。

编 者

2010 年 10 月

目 录

绪 论	1
第 1 章 静力学的基本概念	2
1.1 力	2
1.2 力对点之矩	6
1.3 力 偶	8
1.4 约束与约束反力	10
1.5 受力分析	14
思考题与习题	17
第 2 章 平面力系	21
2.1 平面任意力系的简化	21
2.2 平面力系的平衡方程及其应用	25
2.3 静定和超静定问题及物体系的平衡	31
2.4 考虑摩擦时的平衡问题	35
思考题与习题	41
第 3 章 空间力系	45
3.1 力在空间直角坐标轴上的投影	45
3.2 力对轴之矩	47
3.3 空间力系的平衡方程及其应用	49
3.4 重 心	52
思考题与习题	56
第 4 章 轴向拉伸与压缩	59
4.1 轴向拉伸与压缩的概念与实例	59
4.2 内力、截面法、轴力与轴力图	60
4.3 横截面上的应力	61
4.4 轴向拉伸与压缩的变形和胡克定律	63
4.5 材料在拉伸与压缩时的力学性能	65
4.6 轴向拉伸与压缩的强度计算	69
4.7 拉压超静定问题简介	73
思考题与习题	75
第 5 章 剪切与挤压	78
5.1 剪 切	78
5.2 挤 压	79
思考题与习题	82
第 6 章 圆轴扭转	84
6.1 扭转、扭矩与扭矩图	84
6.2 圆轴扭转时的应力与强度计算	86



6.3 圆轴扭转的变形及刚度计算	90
思考题与习题	94
第7章 平面弯曲	96
7.1 平面弯曲的概念	96
7.2 剪力与弯矩	97
7.3 纯弯曲时梁横截面上的正应力	104
7.4 弯曲正应力的强度计算	108
7.5 弯曲切应力简介	111
7.6 梁的弯曲变形概述	114
7.7 提高梁承载能力的措施	118
思考题与习题	121
第8章 应力状态与强度理论	127
8.1 应力状态的概念	127
8.2 材料的破坏形式	128
8.3 应力状态分析简介	129
8.4 空间应力状态	133
8.5 强度理论	134
思考题与习题	140
第9章 组合变形时杆件的强度计算	144
9.1 拉伸(或压缩)与弯曲组合变形的强度计算	144
9.2 扭转与弯曲组合变形的强度计算	148
思考题与习题	152
第10章 压杆稳定简介	154
10.1 压杆稳定的概念	154
10.2 细长压杆临界力的计算	155
10.3 稳定性校核	158
10.4 提高压杆稳定性的措施	159
思考题与习题	160
第11章 质点的运动	162
11.1 用矢量法表示点的速度和加速度	162
11.2 用直角坐标法表示点的速度和加速度	163
11.3 用自然坐标法表示点的速度和加速度	165
11.4 质点动力学基本方程	167
思考题与习题	170
第12章 刚体的平动与绕定轴转动	172
12.1 刚体的平动	172
12.2 刚体绕定轴转动	173
思考题与习题	176
附录 型钢表	177
参考文献	181

绪 论

工程力学是研究物体机械运动一般规律和工程构件的强度、刚度、稳定性的计算原理及方法的科学。它综合了理论力学和材料力学两门课程中的有关内容,是一门理论性和实践性都较强的技术基础课程。

理论力学研究物体机械运动的一般规律,它包括静力学、运动学和动力学几方面的内容。静力学研究物体在力的作用下的平衡规律,研究的对象是体积、形状永不变化的刚体;运动学研究物体机械运动的几何规律,研究的对象是速度远小于光速的宏观物体;动力学以牛顿定律为基础,研究物体运动状态变化与作用力之间的关系。

材料力学研究工程构件的强度、刚度和稳定性问题,即研究构件的变形和破坏规律。因此必须把构件看做可变形的固体。研究构件的强度、刚度和稳定性时,为简化计算,略去材料的一些次要性质,并根据与问题有关的主要因素对变形固体作出一些假设,将其抽象成理想模型。材料力学中对变形固体采用了下列基本假设:

1. 连续性假设

认为组成固体的物质不留空隙地充满了该固体所占有的空间。固体内即使存在空隙,与构件的尺寸相比也极其微小,可以忽略不计,于是认为固体在该固体所占有的空间内是连续的。

2. 均匀性假设

认为在固体内各处有相同的力学性质,即可以认为各部分的力学性质是均匀的,从固体中取出一部分,不论大小,也不论从何处取出,力学性质总是相同的。

3. 各向同性假设

认为无论沿任何方向,固体的力学性质都相同。沿各个方向的力学性质相同的材料称为各向同性材料。

4. 小变形假设

材料力学研究的主要问题是微小的弹性变形问题。这种小变形与构件的原始尺寸相比是微不足道的,在分析和推导中许多简化和近似处理都是以小变形假设为前提的。

学习工程力学要注意观察实际工程设备的工作情况,对力学理论要勤于思考。学习本课程既可以直接解决一些简单的工程实际问题,又可以为后续有关课程的学习打好基础。同时,掌握工程力学的研究方法有助于其他科学技术理论的学习,有助于提高分析问题和解决问题的能力,为今后从事科研工作,解决生产实际问题打下基础。

第 1 章

静力学的基本概念

● 学习目标

正确理解力的概念及静力学基本公理,掌握力的投影及合力投影定理,掌握力矩和力偶的概念及性质,正确理解常见的约束及其约束反力的特点,熟练绘制物体的受力图。

1.1 力

一、力的概念

力是人们在劳动和实践活动中逐渐形成的概念。力是物体之间的相互机械作用。这种作用对物体产生两种效应,即引起物体机械运动状态的变化和使物体发生变形。前者称为力的外效应或运动效应,后者称为力的内效应或变形效应。力对物体的施力方式有两种:一种是通过物体间的直接接触而施力,另一种是通过力场对物体施力。

实践表明,力对物体的作用效应决定于三个要素,即:大小、方向和作用点,简称为力的三要素。当这三个要素中有任何一个改变时,力的作用效应也将改变。

1. 力的大小

它表示物体之间机械作用的强度。在国际单位制中,力的单位是牛顿(N)或千牛顿(kN)。

2. 力的方向

它表示物体的机械作用具有方向性。力的方向包括力的作用线在空间的方位和力沿作用线的指向。

3. 力的作用点

它是物体间机械作用位置的抽象化,物体相互接触发生机械作用时,力总是分布地作用在一定的面上。如果力作用的面积较大,这种力称为分布力。如果力作用的面积很小,可以近似地看成分布在一个点上,这种力称为集中力,此点称为力的作用点。

4. 力的表示方法

力是矢量,在图上它可用一有向线段(矢线)来表示,如图 1-1 所示。线段的长度(按一定的比例)表示力的大小,线段的箭头表示力的指向,线段的始端或末端表示力的作用点,线段所在的直线称为力的作用线。

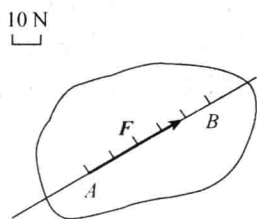


图 1-1 力的表示

二、力的性质

性质1(二力平衡公理):刚体上仅受两个力作用而平衡的必要与充分条件是此二力必须等值、反向、共线,即 $F_A = -F_B$, 如图 1-2 所示。

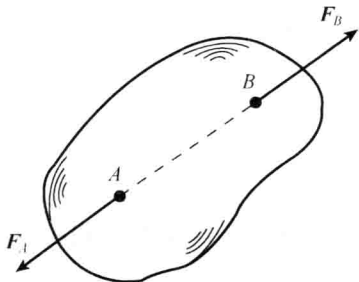


图 1-2 二力平衡的条件

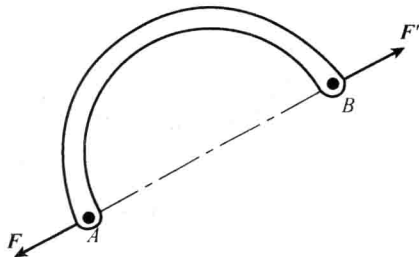


图 1-3 二力构件上的两个力

二力平衡公理是刚体受最简单的力系作用时的平衡条件。对于刚体,这个条件既必要又充分;而对于变形体,这个条件虽然必要,但不充分。通常把仅受两个力作用而平衡的构件称为二力构件,简称二力杆。根据二力平衡公理可知,二力构件上的两个力的作用线必沿二力作用点的连线,且等值、反向,如图 1-3 所示。

性质2(加减平衡力系公理):对于作用在刚体上的任何一个力系,可以加上或减去任一对平衡力系,并不改变原力系对于刚体的作用效应。

推论(力的可传性原理):作用于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,如图 1-4(a)所示。在其作用线上任取一点 B ,并在 B 处加上一对平衡力 F_1 和 F_2 ,使 F, F_1, F_2 共线,且 $F_2 = -F_1 = F$, 如图 1-4(b)所示。根据性质 2,将 F, F_1 所组成的平衡力系去掉,刚体上只剩下 F_2 ,且 $F_2 = F$, 如图 1-4(c)所示,由此得证。

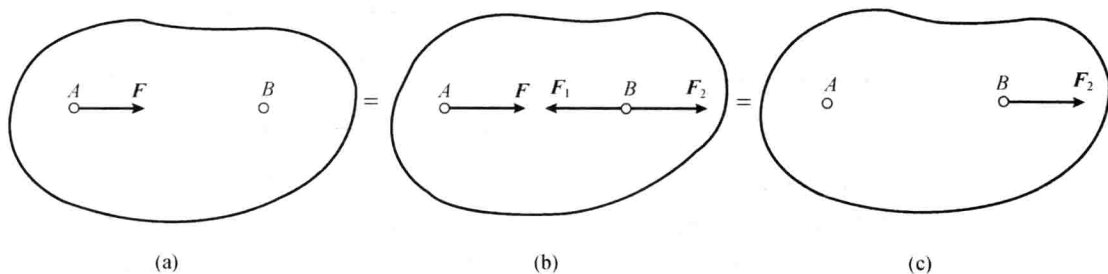


图 1-4 力的可传性原理

力的可传性原理说明,力是滑移矢量。该原理只适用于刚体而不适用于变形体。

性质3(力的平行四边形法则):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以这两个力为邻边所作的平行四边形的对角线来确定。

该法则说明,力矢量可按平行四边形法则进行合成与分解,如图 1-5 所示。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:

$$F_R = F_1 + F_2$$

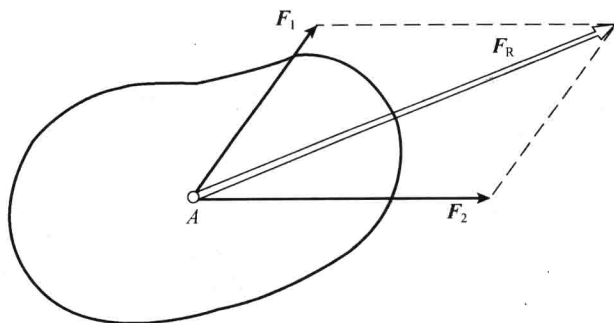


图 1-5 力的平行四边形法则

平行四边形法则可推广到作用在同一点的 n 个力 $F_1, F_2, F_3, \dots, F_n$ 作用的情况:

$$\mathbf{F}_R = \mathbf{F}_1 + \mathbf{F}_2 + \dots + \mathbf{F}_n = \sum_{i=1}^n \mathbf{F}_i \quad (1-1)$$

在平面直角坐标系中,利用正交分解法,可以把力进行分解.

$$\mathbf{F} = \mathbf{F}_x + \mathbf{F}_y$$

上式中, $\mathbf{F}_x, \mathbf{F}_y$ 分别表示力沿平面直角坐标系 x 轴、 y 轴方向上的分力.

如图 1-6 所示,在物体上的 A 点有一个作用力 $\mathbf{F}$,在力的作用线所在平面内取直角坐标系 Oxy .从力 $\mathbf{F}$ 的两端 A, B 分别向 x 轴和 y 轴作垂线,得垂足 A', B' 和 A'', B'' .线段 $A'B'$ 称为力 $\mathbf{F}$ 在 x 轴上的投影,用 F_x 表示;线段 $A''B''$ 称为力 $\mathbf{F}$ 在 y 轴上的投影,用 F_y 表示.

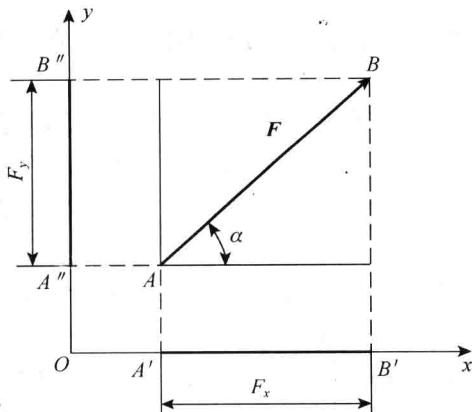


图 1-6 力的投影

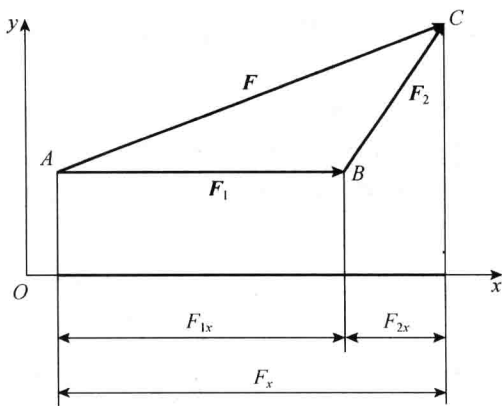


图 1-7 合力的投影

力的投影是代数量,其正负号规定如下:若由 A' 到 B' (或 A'' 到 B'') 的方向与 x 轴 (或 y 轴) 的正向一致时,则力 $\mathbf{F}$ 的投影 F_x (或 F_y) 取正值;反之取负值.若已知力 $\mathbf{F}$ 与 x 轴所夹角 α 为锐角,则

$$\left. \begin{aligned} F_x &= \pm F \cos \alpha \\ F_y &= \pm F \sin \alpha \end{aligned} \right\} \quad (1-2)$$

可以证明,如图 1-7 所示,合力 $\mathbf{F}$ 在任意轴上的投影等于两分力 $\mathbf{F}_1$ 和 $\mathbf{F}_2$ 在同一轴上的投影的代数和,即

$$\begin{aligned} F_x &= F_{1x} + F_{2x} \\ F_y &= F_{1y} + F_{2y} \end{aligned} \quad (1-3)$$

上述关系可推广到由 n 个力 $F_1, F_2, \dots, F_n$ 组成的力系, 从而得到合力 F 在坐标轴上的投影为

$$\sum_{i=1}^n F_{ix} = F_{1x} + F_{2x} + \dots + F_{nx} = F_x$$

$$\sum_{i=1}^n F_{iy} = F_{1y} + F_{2y} + \dots + F_{ny} = F_y$$
(1-4)

式(1-4)即为合力投影定理: 合力在任意轴上的投影等于各分力在同一轴上投影的代数和。

例 1-1 如图 1-8 所示, 在物体上的 O, A, B, C, D 点分别有作用力 F_1, F_2, F_3, F_4 和 F_5 , 且 $F_1 = F_2 = F_3 = F_4 = F_5 = 20 \text{ N}$, 各力的方向如图 1-8 所示, 求各力在 x, y 轴上的投影。

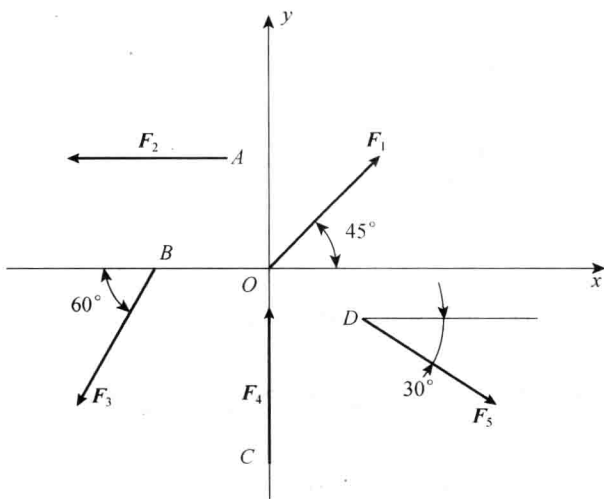


图 1-8 例 1-1 图

解: 由式(1-2)得各力在 x 轴上的投影为

$$F_{1x} = F_1 \cos 45^\circ \approx 20 \text{ N} \times 0.707 = 14.14 \text{ N}$$

$$F_{2x} = -F_2 = -20 \text{ N}$$

$$F_{3x} = -F_3 \cos 60^\circ = -20 \text{ N} \times 0.5 = -10 \text{ N}$$

$$F_{4x} = 0 \text{ N}$$

$$F_{5x} = F_5 \cos 30^\circ \approx 20 \text{ N} \times 0.866 = 17.32 \text{ N}$$

各力在 y 轴上的投影为

$$F_{1y} = F_1 \sin 45^\circ \approx 20 \text{ N} \times 0.707 = 14.14 \text{ N}$$

$$F_{2y} = 0 \text{ N}$$

$$F_{3y} = F_3 \sin 60^\circ \approx -20 \text{ N} \times 0.866 = -17.32 \text{ N}$$

$$F_{4y} = 20 \text{ N}$$

$$F_{5y} = -F_5 \sin 30^\circ = -20 \text{ N} \times 0.5 = -10 \text{ N}$$

推论(三力平衡汇交定理): 刚体受共面但互不平行的三个力作用而平衡时, 此三力必汇交于一点。

证明: 设刚体上 A_1, A_2, A_3 三点受共面且平衡的三个力 F_1, F_2, F_3 的作用, 如图 1-9 所示. 根据力的可传性原理, 将 F_1, F_2 移至其作用线汇交点 B 处, 并根据性质 3, 将其合成为 F_R , 则刚体上仅受力 F_3 和 F_R 的作用. 根据性质 1, F_3 和 F_R 必在同一直线上, 所以 F_3 必过 B 点, 于是证得 F_1, F_2, F_3 均通过 B 点.

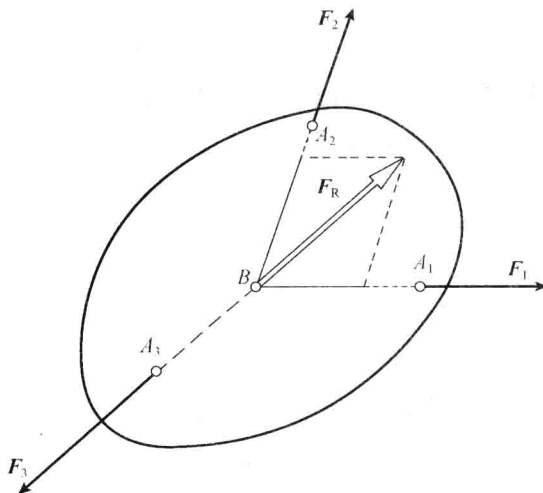


图 1-9 三力平衡汇交定理的证明

该定理说明了不平行的三力平衡的必要条件, 当两个力的作用线相交时, 可用来确定第三个力的作用线的位置.

性质 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的, 且两个力等值、反向、共线, 分别作用于两个物体上. 这两个力互为作用力和反作用力.

该公理概括了自然界中物体间相互作用的关系, 表明一切力总是成对出现的, 揭示了力的存在形式和力在物体间的传递方式.

1.2 力对点之矩

一、力矩的概念

如图 1-10 所示, 用扳手拧紧螺母时, 作用于扳手上的力 F 可使扳手与螺母一起绕螺母中心 O 转动. 由经验可知, 力 F 使扳手绕 O 点的转动效应取决于力 F 的大小和 O 点到力的作用线的垂直距离 d . 这种转动效应可用力对点的矩来度量. 定义 Fd 为力 F 对点 O 之矩, 简称力矩, 用 $M_O(F)$ 表示. O 点称为力矩中心, 简称矩心; d 称为力臂. 则力矩的计算公式为

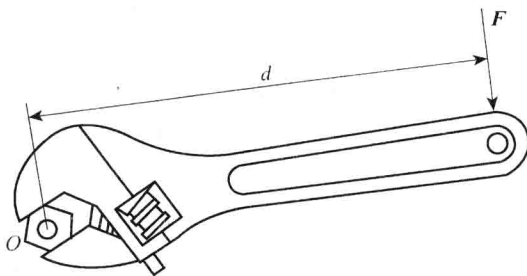


图 1-10 扳手

$$M_O(\mathbf{F}) = \pm Fd \quad (1-5)$$

在平面上,力矩的绝对值等于力的大小与力臂的乘积。力矩的正负号规定为:当力使物体绕矩心逆时针方向转动时,力矩取正号;顺时针方向转动时,力矩取负号。力矩的单位为 $\text{N} \cdot \text{m}$ 或 $\text{kN} \cdot \text{m}$ 。

应当注意:一般来说,同一个力对不同的点产生的力矩是不同的,因此不指明矩心而求力矩是无任何意义的。在表示力矩时必须标明矩心。

二、力矩的性质

从力矩的定义式 $M_O(\mathbf{F}) = \pm Fd$ 可知,力矩有以下几个性质:

(1) 力 $\mathbf{F}$ 对 O 点之矩不仅取决于力 $\mathbf{F}$ 的大小,同时还与矩心的位置即力臂 d 有关。同一个力对不同的矩心,其力矩是不同的(包括数值和符号都可能不同)。

(2) 当力的作用线通过矩心时,力矩等于零。

显然互相平衡的两个力对于同一点之矩的代数和等于零。

三、合力矩定理

假设 $\mathbf{F}_R$ 是平面汇交力系 $\mathbf{F}_1, \mathbf{F}_2, \dots, \mathbf{F}_n$ 的合力,则 $\mathbf{F}_R$ 对任一点 O 之矩等于力系中各分力对同一点之矩的代数和,即

$$M_O(\mathbf{F}_R) = M_O(\mathbf{F}_1) + M_O(\mathbf{F}_2) + \dots + M_O(\mathbf{F}_n) = \sum_{i=1}^n M_O(\mathbf{F}_i) \quad (1-6)$$

式(1-6)称为合力矩定理。

当力臂不容易求出时,常将力分解为两个正交的分力,然后应用合力矩定理计算力矩。

例 1-2 如图 1-11 所示的支架,已知 $F=10 \text{ kN}$, $AD=DB=2 \text{ m}$ 。试求力 $\mathbf{F}$ 对 A, B, C, D 四点的力矩。

解:由力矩定义得

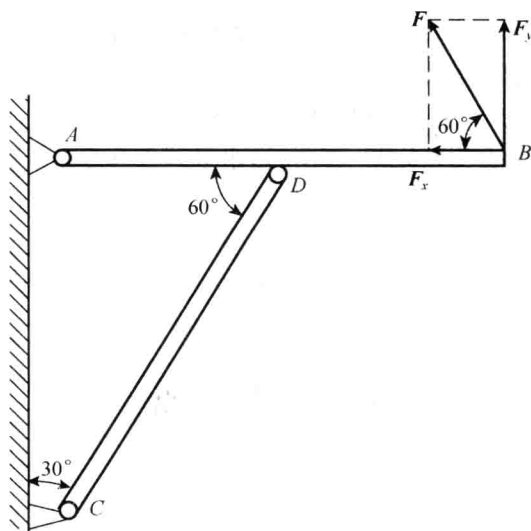


图 1-11 例 1-2 图

$$M_A(\mathbf{F}) = F \times 4 \text{ m} \times \sin 60^\circ = 10 \text{ kN} \times 4 \text{ m} \times \sin 60^\circ \approx 34.6 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$M_D(\mathbf{F}) = F \times 2 \text{ m} \times \sin 60^\circ = 10 \text{ kN} \times 2 \text{ m} \times \sin 60^\circ \approx 17.3 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

力 $\mathbf{F}$ 的作用线通过 B 点, 所以

$$M_B(\mathbf{F}) = 0 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

计算 $M_C(\mathbf{F})$ 时, 可用合力矩定理, 使计算简单化. 将 $\mathbf{F}$ 沿竖直和水平方向分解为 $\mathbf{F}_y, \mathbf{F}_x$, 得

$$\begin{aligned} M_C(\mathbf{F}) &= M_C(\mathbf{F}_x) + M_C(\mathbf{F}_y) \\ &= F \cos 60^\circ \times 2 \text{ m} \times \tan 60^\circ + F \sin 60^\circ \times 4 \text{ m} \\ &= 10 \text{ kN} \times \cos 60^\circ \times 2 \text{ m} \times \tan 60^\circ + 10 \text{ kN} \times \sin 60^\circ \times 4 \text{ m} \\ &\approx 51.96 \text{ kN} \cdot \text{m} \end{aligned}$$

例 1 3 如图 1-12 所示的结构受三个力作用, 已知 $F_1 = 500 \text{ N}$, $F_2 = 200 \text{ N}$, $F_3 = 400 \text{ N}$. 分别求三个力对 A 点的矩.

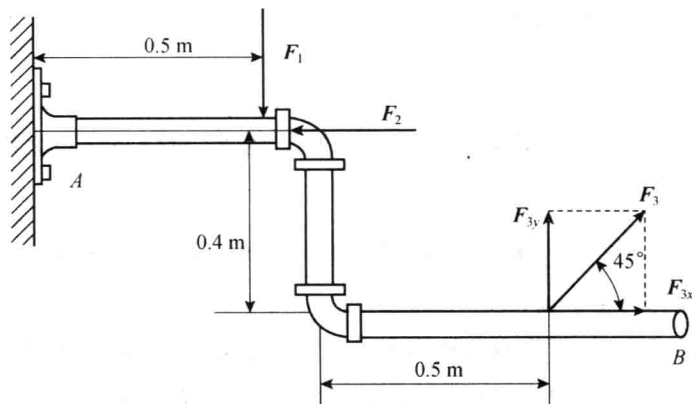


图 1-12 例 1-3 图

解: 由力矩定义得

$$M_A(\mathbf{F}_1) = -F_1 \times 0.5 \text{ m} = -500 \text{ N} \times 0.5 \text{ m} = -250 \text{ N} \cdot \text{m}$$

$\mathbf{F}_2$ 的作用线通过 A 点, 所以

$$M_A(\mathbf{F}_2) = 0 \text{ N} \cdot \text{m}$$

计算 $M_A(\mathbf{F}_3)$ 时, 可用合力矩定理. 将 $\mathbf{F}_3$ 沿水平和竖直方向分解为 $\mathbf{F}_{3x}, \mathbf{F}_{3y}$, 得

$$\begin{aligned} M_A(\mathbf{F}_3) &= M_A(\mathbf{F}_{3x}) + M_A(\mathbf{F}_{3y}) \\ &= F_3 \cos 45^\circ \times 0.4 \text{ m} + F_3 \sin 45^\circ \times (0.5 + 0.5) \text{ m} \\ &= 400 \text{ N} \times \cos 45^\circ \times 0.4 \text{ m} + 400 \text{ N} \times \sin 45^\circ \times 1 \text{ m} \\ &\approx 395.92 \text{ N} \cdot \text{m} \end{aligned}$$

1.3 力 偶

一、力偶的概念

在生活及生产实践中, 经常见到一些物体同时受到大小相等、方向相反、作用线互相平

行的两个力作用的情况. 例如, 用手拧水龙头, 作用在开关上的两个力 F 和 F' ; 司机用双手转动方向盘时的作用力 F 和 F' , 如图 1-13 所示. 像这样一对等值、反向、不共线的平行力组

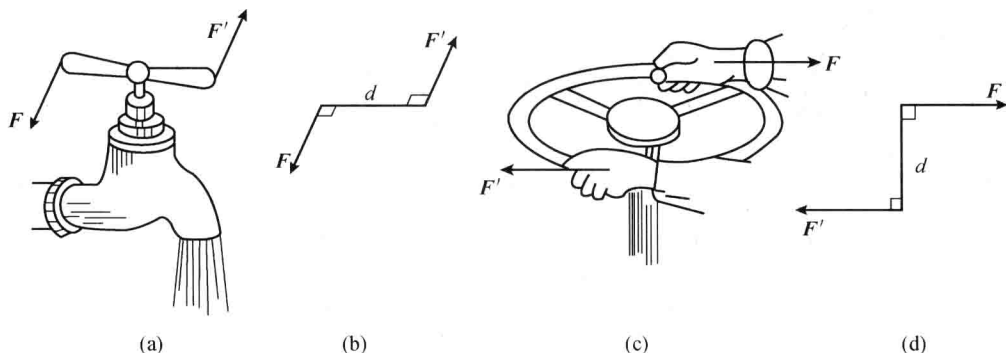


图 1-13 力偶示例

成的特殊力系, 称为力偶, 记作 (F, F') . 力偶中两个力的作用线所决定的平面称为力偶作用面, 两个力的作用线之间的垂直距离称为力偶臂, 用 d 表示.

力偶对刚体的作用效应是只能使其转动. 在力偶作用面内, 力偶使物体转动的效应不仅与力 F 的大小有关, 还与力偶臂 d 有关. 用乘积 Fd 表示力偶使物体转动的效应, 称为力偶矩, 记作 $M(F, F')$ 或 M , 计算公式为

$$M(F, F') = M = \pm Fd \quad (1-7)$$

式(1-7)中符号“ $\pm$ ”表示力偶的转向, 规定力偶使物体逆时针方向转动时力偶矩取正号, 顺时针方向转动时力偶矩取负号. 力偶矩单位和力矩单位相同, 为 $N \cdot m$ 或 $kN \cdot m$.

二、力偶的性质

性质 1: 力偶在任一轴上投影的代数和恒等于零(如图 1-14 所示), 故力偶无合力. 即力偶不能与一个力等效, 也不能简化为一个力.

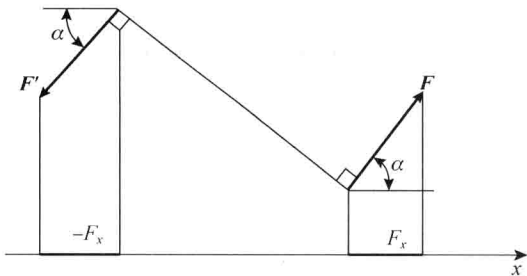


图 1-14 力偶的投影

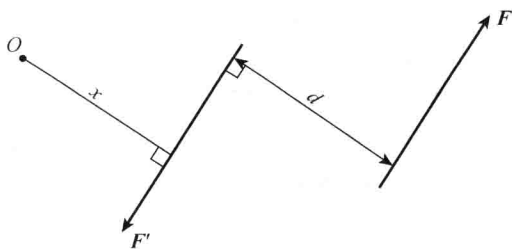


图 1-15 力偶矩示例

性质 2: 力偶对其作用平面内任一点的矩恒等于力偶矩, 而与矩心位置无关.

证明: 如图 1-15 所示, 已知力偶 (F, F') 的力偶矩 $M = Fd$. 在其作用面内任意取点 O 作为矩心, 设点 O 到 F' 的垂直距离为 x , 则力偶 (F, F') 对 O 点之矩为

$$M_O(F) + M_O(F') = F(x + d) - F'x = Fd$$

所以力偶对任一点的矩等于它的力偶矩, 与矩心位置无关.

性质 3: 只要保持力偶矩的大小和转向不变, 力偶可以在其作用平面内任意移动和转动,