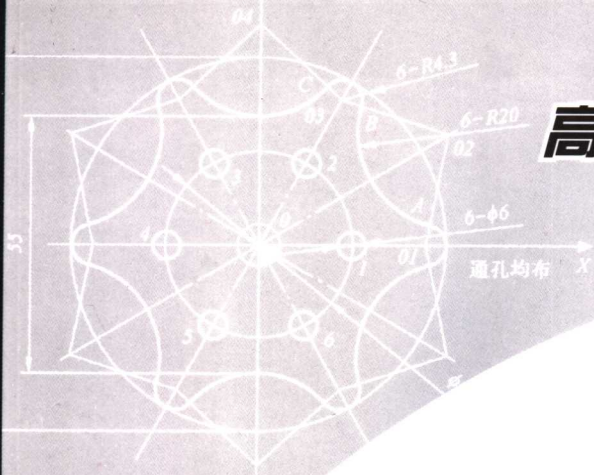
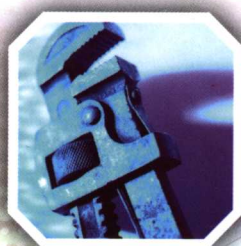


高职高专机电类规划教材



工程力学

■ 章志芳 主编 ■ 张薇 副主编 ■ 魏茂通 主审



人民邮电出版社
POSTS & TELECOM PRESS

高职高专机电类规划教材

工 程 力 学

章志芳 主 编

张 薇 副主编

魏茂通 主 审

人 民 邮 电 出 版 社

北 京

图书在版编目 (CIP) 数据

工程力学 / 章志芳主编. —北京: 人民邮电出版社,
2007.12

(高职高专机电类规划教材)

ISBN 978-7-115-16816-0

I. 工… II. 章… 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 (2007) 第 141854 号

内 容 提 要

本书共 10 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、组合变形、压杆稳定和刚体运动。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。

高职高专机电类规划教材

工程力学

◆ 主 编 章志芳

副 主 编 张 薇

主 审 魏茂通

责任编辑 潘新文

◆ 人民邮电出版社出版发行 北京市崇文区夕照寺街 14 号

邮编 100061 电子函件 315@ptpress.com.cn

网址 <http://www.ptpress.com.cn>

北京华正印刷有限公司印刷

新华书店总店北京发行所经销

◆ 开本: 787×1092 1/16

印张: 10.25

字数: 243 千字

印数: 1—3 000 册

2007 年 12 月第 1 版

2007 年 12 月北京第 1 次印刷

ISBN 978-7-115-16816-0/TN

定价: 17.00 元

读者服务热线: (010)67170985 印装质量热线: (010)67129223

高职高专机电类规划教材

编 审 委 员 会

主 任 郭建尊

副主任 赵小平 孙小捞 马国亮

委 员 (以姓氏拼音为序)

毕建平	陈建环	陈桂芳	陈 静	程东风	杜可可
巩运强	霍苏萍	郝 屏	黄健龙	孔云龙	李大成
李俊松	娄 琳	李新德	李秀忠	李银玉	李 英
李龙根	马春峰	宁玉伟	瞿彩萍	施振金	申辉阳
申晓龙	田光辉	童桂英	王 浩	王宇平	王金花
解金榜	于保敏	杨 伟	曾和兰	张伟林	张景耀
张月楼	章志芳	张 薇	赵晓东	周 兰	

丛书前言

目前, 高职高专教育已成为我国普通高等教育的重要组成部分。“十一五”期间, 国家将安排 20 亿元专项资金用来支持 100 所高水平示范院校的建设, 如此大规模的建设计划在我国职业教育发展历史上还是第一次, 这充分表明国家正在深化高职高专教育的深层次的重大改革, 加大力度推动生产、服务第一线真正需要的应用型人才的培养。

为适应当前我国高职高专教育如火如荼的发展形势, 配合高职高专院校的教学和教材改革, 进一步提高我国高职高专教育质量, 人民邮电出版社在相关教育、行政主管部门的大力支持下, 组织专家、高职高专院校的骨干教师及相关行业的工程师, 共同策划编写了一套符合当前职业教育改革精神的高质量实用型教材——“高职高专机电类规划教材”。

本系列教材充分体现了高职高专教育的特点, 突出了理论和实践的紧密结合, 本着“易学, 易用”的编写原则, 强调学生创造能力、创新精神和解决实际问题能力的培养, 使学生在 2~3 年的时间内充分掌握基本技术技能和必要的基本知识。

本系列教材按照如下的原则组织、策划和编写, 以尽可能地适应当今高职高专教育领域教学改革和教材建设的新需求和新特点。

1. 着重突出“实用”特色。概念理论取舍得当, 够用为度, 降低难度。对概念和基本理论, 尽量用具体事物或案例自然引出。
2. 基本操作环节讲述具体详细, 可操作性强, 使学生很容易掌握基本技能。
3. 内容紧随新技术发展, 将新技术、新工艺、新设备、新材料引入教材。
4. 尽可能将实物图和原理图相结合, 便于学生将书本知识与生产实践紧密联系起来。
5. 每本书配备全面的教学服务内容, 包括电子教案、习题答案等。

本系列教材第一批共有 22 本, 涵盖了高职高专机电类各专业的专业基础课和数控、模具、CAD/CAM 专业的大部分专业课, 将在 2007 年年底前出版。

为方便高职高专老师授课和学生学习, 本系列教材将提供完善的教学服务体系, 包括多媒体教学课件或电子教案、习题答案等教学辅助资料, 欢迎访问人民邮电出版社网站 <http://www.ptpress.com.cn/download/>, 进行资料下载。

我们期望, 本系列教材的编写和推广应用, 能够进一步推动我国机电类职业技术教育的教学模式、课程体系和教学方法的改革, 使我国机电类职业技术教育日臻成熟和完善。欢迎更多的老师参与到本系列教材的建设中来。对本系列教材有任何的意见和建议, 或有意向参与本系列教材后续的编审工作, 请与人民邮电出版社教材图书出版分社联系, 联系方式: 010-67145004, panxinwen@ptpress.com.cn。

“高职高专机电类规划教材”丛书编委会

2007.5

编 者 的 话

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 40~60 学时工程力学课程的教学用书。书中带有“*”号的章节可在学时充裕的情况下选用。

建议课时分配如下表所示。

章 节	内 容	建 议 课 时
第 1 章	静力学基础	4~6
第 2 章	平面力系	6~8
第 3 章	空间力系	3~4
第 4 章	轴向拉伸与压缩	6~8
第 5 章	剪切与挤压	3~4
第 6 章	圆轴扭转	6~8
第 7 章	平面弯曲	8~10
第 8 章	组合变形	3~4
第 9 章	压杆稳定简介	2~4
*第 10 章	刚体运动简介	2~4

本书由章志芳副教授任主编,张薇任副主编。参加本书编写的人员有:刘宏杰(第 1、2 章)、章志芳(第 3、4、5、6 章),张薇(第 7、9 章、附录),贺平平(第 8、10 章)。魏茂通教授对本书进行了认真仔细的审核,并对本书的编写提出了许多宝贵的意见和建议,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

2007 年 7 月

目 录

第 1 章 静力学基础	1
1.1 力	1
1.1.1 力的概念	1
1.1.2 力的性质	2
1.2 力对点之矩	5
1.2.1 力矩的定义	5
1.2.2 力矩的性质	5
1.2.3 合力矩定理	5
1.3 力偶	6
1.3.1 力偶的定义	6
1.3.2 力偶的性质	7
1.3.3 平面力偶系的合成	8
1.4 约束与约束反力	8
1.4.1 约束的概念	8
1.4.2 常见的约束类型	8
1.5 受力图	11
小结	13
思考题与习题	14
第 2 章 平面力系	17
2.1 平面任意力系的简化	17
2.1.1 力的平移定理	17
2.1.2 平面任意力系向一点简化	18
2.2 平面力系的平衡方程及其应用	19
2.2.1 平面任意力系的平衡方程	19
2.2.2 平面特殊力系的平衡方程	22
2.3 物体系的平衡	25
2.3.1 静定和超静定问题的概念	25
2.3.2 物体系的平衡	26
2.4 摩擦的概念	28
2.4.1 滑动摩擦	29
2.4.2 摩擦角与自锁	29
2.4.3 考虑摩擦时物体的平衡问题	31

2.4.4 滚动摩擦简介	33
小结	33
思考题与习题	34
第3章 空间力系	38
3.1 力在空间直角坐标轴上的投影	38
3.1.1 直接投影法	39
3.1.2 二次投影法	39
3.1.3 合力投影定理	40
3.2 力对轴之矩	41
3.2.1 力对轴之矩的概念	41
3.2.2 合力矩定理	41
3.3 空间力系的平衡方程式及应用	42
小结	46
思考题与习题	46
第4章 轴向拉伸与压缩	49
4.1 轴向拉伸与压缩的概念	50
4.2 内力、截面法、轴力与轴力图	50
4.2.1 内力的概念	50
4.2.2 轴力与轴力图	51
4.3 横截面上的应力	52
4.3.1 应力的概念	52
4.3.2 横截面上的正应力	53
4.4 轴向拉伸与压缩的变形和胡克定律	54
4.4.1 纵向线应变和横向线应变	54
4.4.2 胡克定律	55
4.5 材料在拉伸与压缩时的力学性能	56
4.5.1 拉伸实验和应力—应变曲线	56
4.5.2 低碳钢拉伸时的力学性能	57
4.5.3 其他材料拉伸时的力学性能	58
4.5.4 材料压缩时的力学性能	59
4.6 轴向拉伸与压缩的强度计算	59
4.6.1 极限应力、许用应力、安全因数	59
4.6.2 拉(压)杆的强度条件	60
4.6.3 应力集中	62
小结	63
思考题与习题	64

第 5 章 剪切与挤压	67
5.1 剪切	67
5.1.1 剪切的概念	67
5.1.2 剪切的实用计算	67
5.2 挤压	68
5.2.1 挤压的概念	68
5.2.2 挤压的实用计算	69
小结	70
思考题与习题	71
第 6 章 圆轴扭转	73
6.1 扭转、扭矩与扭矩图	73
6.1.1 圆轴扭转的概念与实例	73
6.1.2 扭矩与扭矩图	74
6.2 圆轴扭转时的应力与强度计算	75
6.2.1 圆轴扭转时横截面上的切应力	75
6.2.2 I_p 与 W_p 的计算	77
6.2.3 圆轴扭转时的强度计算	77
6.3 圆轴扭转的变形及刚度计算	79
6.3.1 圆轴扭转时的变形公式	79
6.3.2 圆轴扭转的刚度条件	80
小结	82
思考题与习题	82
第 7 章 平面弯曲	84
7.1 平面弯曲的概念	84
7.1.1 平面弯曲的概念与实例	84
7.1.2 梁的类型	85
7.2 剪力与弯矩	85
7.2.1 剪力与弯矩的计算	85
7.2.2 剪力图与弯矩图	88
7.3 纯弯曲时梁横截面上的正应力	91
7.3.1 纯弯曲的概念	91
7.3.2 梁横截面上的正应力分布规律	92
7.3.3 正应力的计算公式	93
7.3.4 常用的 I_z 和 W_z 的计算公式	93
7.4 弯曲正应力的强度计算	94
*7.5 弯曲切应力简介	97

*7.6 梁的弯曲变形概述	100
7.6.1 挠度与转角	100
7.6.2 叠加法求梁的变形	101
7.6.3 梁的刚度条件	104
7.7 提高梁承载能力的措施	104
小结	106
思考题与习题	107
第8章 组合变形	111
8.1 拉伸(或压缩)与弯曲组合变形的强度计算	111
8.2 扭转与弯曲组合变形的强度计算	115
小结	119
思考题与习题	119
第9章 压杆稳定简介	122
9.1 压杆稳定的概念	122
9.2 细长压杆临界力的计算	123
9.2.1 用欧拉公式计算压杆的临界压力	123
9.2.2 欧拉公式的适用范围及经验公式	124
9.3 稳定性校核	126
9.4 提高压杆稳定性的措施	127
小结	128
思考题与习题	128
*第10章 刚体运动简介	130
10.1 质点运动的表示方法	130
10.1.1 用矢量法表示点的速度和加速度	130
10.1.2 用直角坐标法表示点的速度和加速度	131
10.1.3 用自然坐标法表示点的速度和加速度	133
10.2 刚体的平行移动	136
10.3 刚体绕定轴转动	137
10.3.1 转动方程	138
10.3.2 角速度与角加速度	138
10.3.3 定轴转动刚体上各点的速度和加速度	138
小结	140
思考题与习题	140
附录 型钢表	143
习题答案	149
参考文献	154

第 1 章 静力学基础

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。

静力学是研究刚体在力系作用下的平衡规律的科学。**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。**平衡**是指物体相对于地球处于静止或匀速直线运动状态，是物体机械运动中的一种特殊状态。如果力系使物体处于平衡状态，则称该力系为**平衡力系**。对同一物体作用效应相同的两力系，彼此称为**等效力系**。若一个力与一个力系等效，则此力为该力系的合力。用简单力系等效替代复杂力系，称为力系的简化。

静力学研究的主要问题是：

- (1) 力系的简化；
- (2) 建立物体在各种力系作用下的平衡条件。

1.1 力

1.1.1 力的概念

力的概念产生于人类从事的劳动和实践活动。当人们用手握、推、拉物体时，由于肌肉紧张而感到力的作用。**力**是物体间的相互机械作用，这种作用可以使物体的运动状态或形状发生改变。前者称为力的外效应或运动效应，后者称为物体的内效应或变形效应。

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。力的三要素中当任一个要素改变时，力的作用效应也随之改变。国际单位制中，力的单位用 N 或 kN 表示。

力是矢量，图示时，常用带箭头的有向线段表示，如图 1.1 所示。线段长度 AB 表示力的大小，箭头表示力的方向，线段的起点（或终点）表示力的作用点。

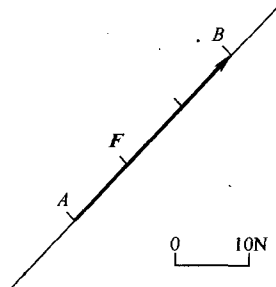


图 1.1 力的图示

1.1.2 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。

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。

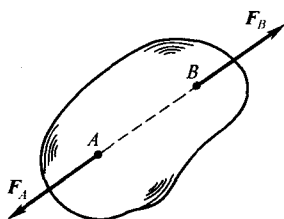


图 1.2 二力平衡的条件

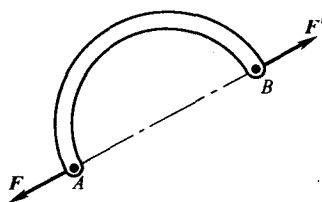


图 1.3 二力构件上的两个力

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1 (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。

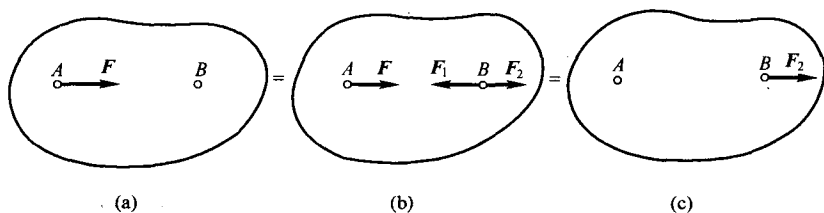


图 1.4 力的可传性原理

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。

该公理说明, 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:

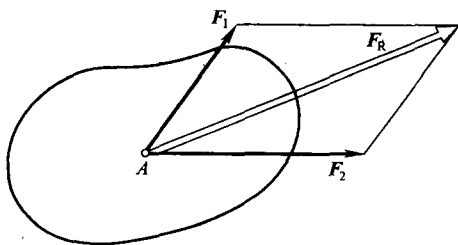


图 1.5 力的平行四边形法则

$$\mathbf{F}_R = \mathbf{F}_1 + \mathbf{F}_2$$

平行四边形法则可推广到作用在同一点的 n 个力 $\mathbf{F}_1$ 、 $\mathbf{F}_2$ 、 $\mathbf{F}_3$ 、 $\cdots$ 、 $\mathbf{F}_n$ 作用的情况:

$$\mathbf{F}_R = \mathbf{F}_1 + \mathbf{F}_2 + \cdots + \mathbf{F}_n = \sum \mathbf{F} \quad (1.1)$$

在平面直角坐标系中, 利用正交分解法, 可以把力进行分解。

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

式中, $\mathbf{F}_x$ 、 $\mathbf{F}_y$ 分别表示力沿平面直角坐标轴 x 、 y 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 ab 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。

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 轴所夹锐角 α , 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:

$$\left. \begin{aligned} F_x &= F_{1x} + F_{2x} \\ F_y &= F_{1y} + F_{2y} \end{aligned} \right\} \quad (1.3)$$

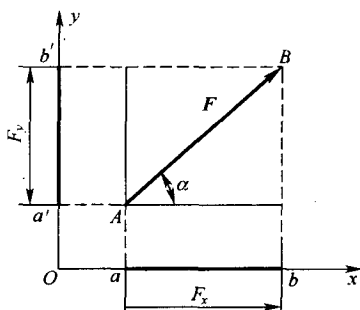


图 1.6 力的投影

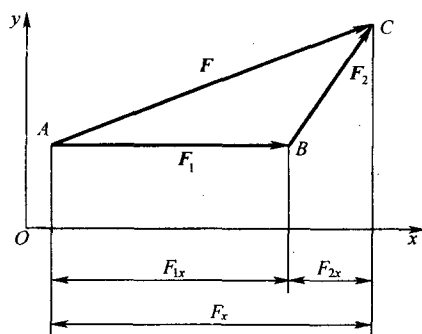


图 1.7 合力的投影

上述关系可推广到由 n 个力 $\mathbf{F}_1$ 、 $\mathbf{F}_2$ 、 $\cdots$ 、 $\mathbf{F}_n$ 组成的力系, 从而得到合力 $\mathbf{F}$ 在坐标轴上的投影为

$$\left. \begin{aligned} \sum F_x &= F_{1x} + F_{2x} + \cdots + F_{nx} = F_x \\ \sum F_y &= F_{1y} + F_{2y} + \cdots + F_{ny} = F_y \end{aligned} \right\} \quad (1.4)$$

上式即为合力投影定理: 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 $\mathbf{F}_1$ 、 $\mathbf{F}_2$ 、 $\mathbf{F}_3$ 、 $\mathbf{F}_4$

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。

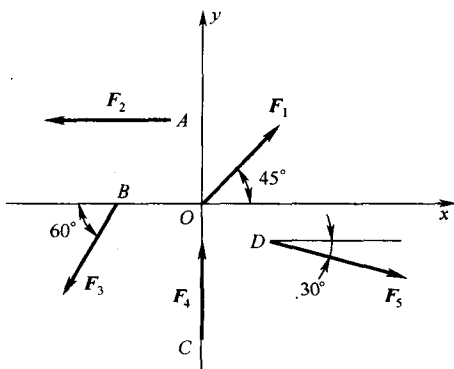


图 1.8 各力的方向

解：由式 (1.2) 得各力在 x 轴上的投影为

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

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

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

$$F_{4x} = 0$$

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

各力在 y 轴上的投影为

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

$$F_{2y} = 0$$

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

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

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

推论 2 (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，于是得证 F_1 、 F_2 、 F_3 均通过 B 点。

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。

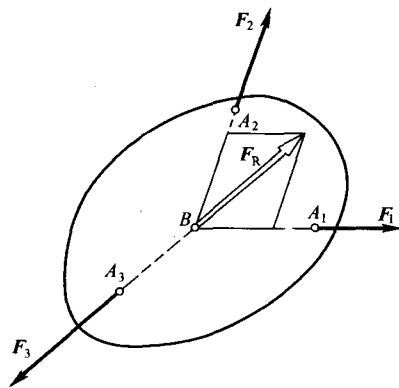


图 1.9 三力平衡汇交定理的证明

1.2 力对点之矩

1.2.1 力矩的定义

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

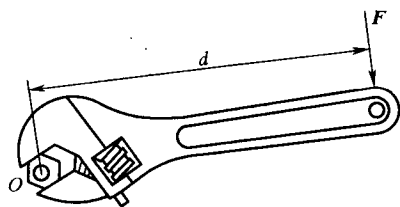


图 1.10 扳手

$$M_O(F) = \pm Fd \quad (1.5)$$

在平面上, 力对点之矩是一个代数量, 它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: 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 $\text{kN}\cdot\text{m}$ 。

1.2.2 力矩的性质

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

- (1) 力 F 对 O 点之矩不仅取决于力 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。

1.2.3 合力矩定理

假设 F_R 是平面汇交力系 F_1 、 F_2 、 $\dots$ 、 F_n 的合力, 则 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:

$$M_O(F_R) = M_O(F_1) + M_O(F_2) + \dots + M_O(F_n) = \sum M_O(F) \quad (1.6)$$

上式称为合力矩定理。

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 F 对 A 、 B 、 C 、 D 四点的力矩。

解: 由力矩定义得

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

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

力 F 的作用线通过 B 点, 所以

$$M_B(F) = 0$$

计算 $M_C(F)$ 时, 可用合力矩定理, 使计算简单化。将 F 沿竖直和水平方向分解为 F_y 、

F_x , 得:

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

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。

解: 由力矩定义得:

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

F_2 作用线通过 A 点, 所以

$$M_A(F_2) = 0$$

计算 $M_A(F_3)$ 时, 可用合力矩定理。将 F_3 沿水平和竖直方向分解为 F_{3x} 、 F_{3y} , 得:

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

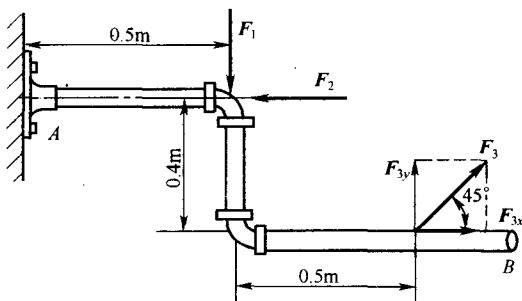


图 1.12 例 1.3 图

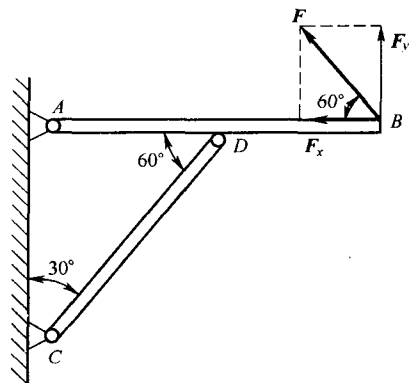


图 1.11 支架

1.3 力 偶

1.3.1 力偶的定义

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。这一对等值、反向、不共线的平行力组成的特殊力系, 称为力偶, 记作 (F, F') 。力偶中两个力作用线所决定的平面称为力偶作用面, 两个力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 再冠以相应的正负号表示力偶使物体转动的效应, 称为力偶矩, 记作 $M(F, F')$ 或 M , 即:

$$M(F, F') = M = \pm Fd \quad (1.7)$$

力偶矩是一个代数量, 式中符号“ $\pm$ ”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 $\text{N} \cdot \text{m}$ 或 $\text{kN} \cdot \text{m}$ 。

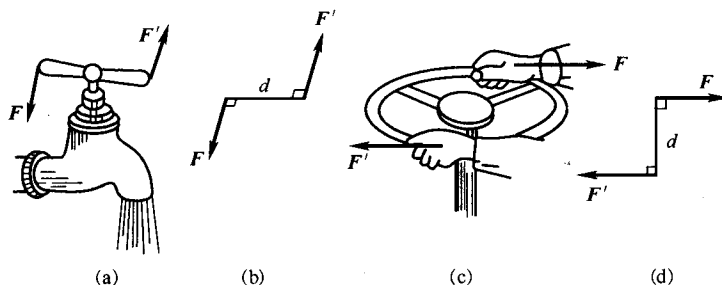


图 1.13 力偶示例

1.3.2 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。

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。

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。

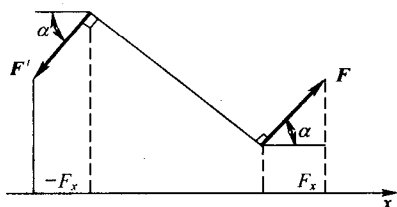


图 1.14 力偶的投影

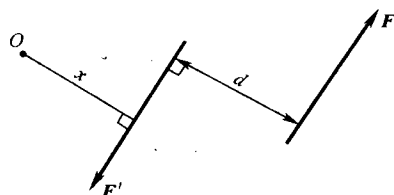


图 1.15 力偶矩示例

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, 且可以任意改变力偶中力的大小和力偶臂的长短, 而不改变其对物体的作用效果。因此, 力偶可以用带箭头的弧线表示, 如图 1.16 所示。

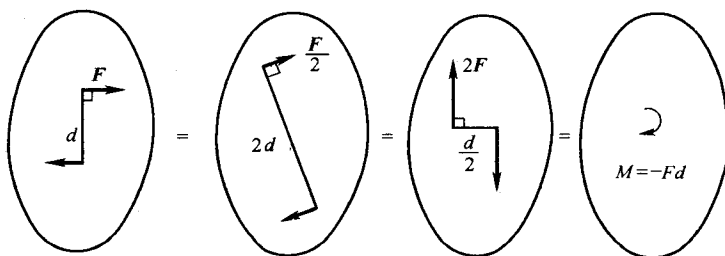


图 1.16 力偶表示法