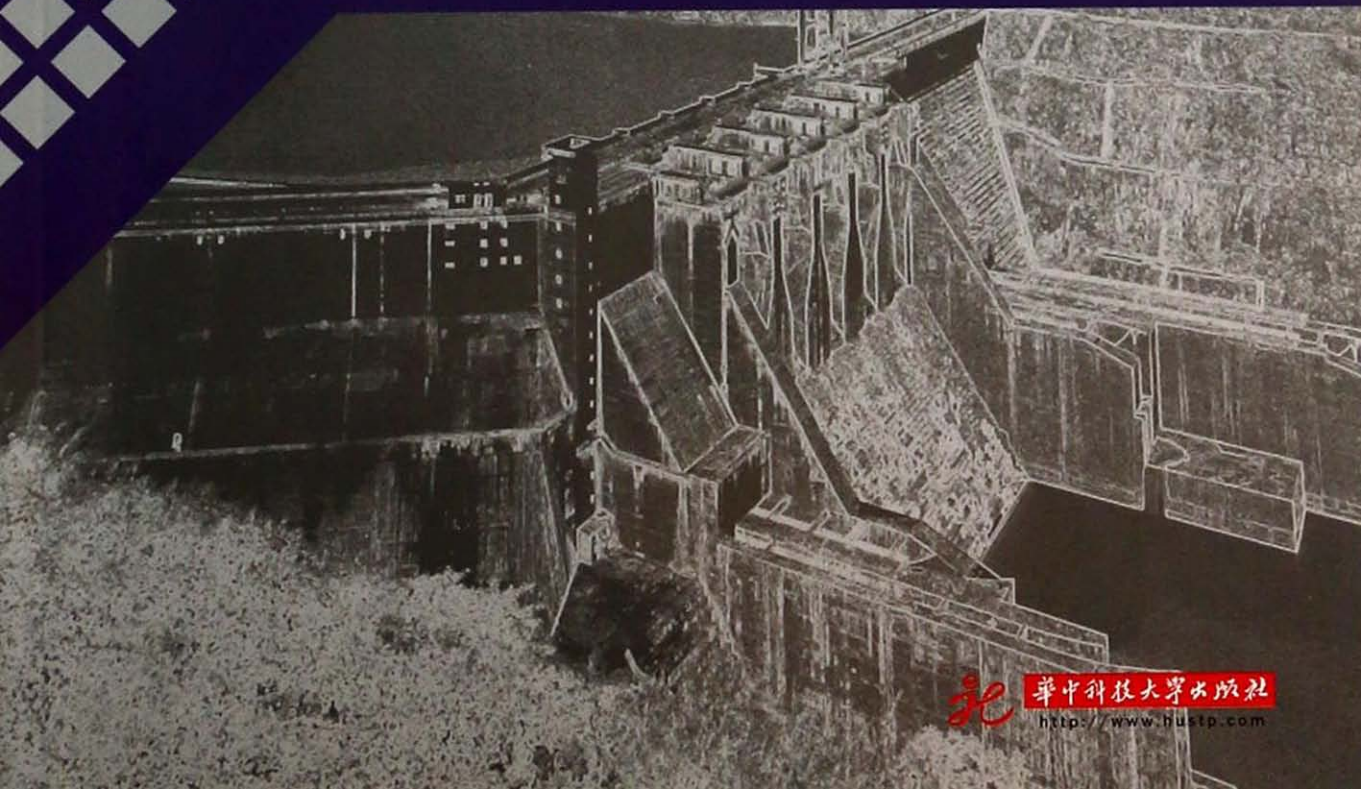




高职高专水利工程类专业“十二五”规划系列教材

工程力学

主编 © 邹 林



华中科技大学出版社

<http://www.hustp.com>

高职高专水利工程类专业“十二五”规划系列教材

工 程 力 学

主 编 邹 林

副主编 杨 艳 黄 莉

华中科技大学出版社

中国·武汉

内 容 提 要

全书分为工程力学预备知识,杆件内力分析,杆件强度、刚度、稳定性分析等三个基于行动领域的项目,共 12 个学习任务。重新整合后的提纲便于初学者掌握工程力学的主要内容,学习目标明确、重难点突出、条理清晰、简单易懂。本书既可作为高职高专工程类和土建类专业的工程力学教材,也可作为高等函授教育、自学考试用书,还可供有关工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

工程力学/邹 林 主编. —武汉:华中科技大学出版社,2013.9

ISBN 978-7-5609-8654-8

I. 工… II. 邹… III. ①工程力学-高等职业教育-教材 ②工程结构-高等职业教育-教材 IV. ① TB12 ② TU3

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2012)第 304601 号

工程力学

邹 林 主编

策划编辑:谢燕群

责任编辑:江 津

封面设计:李 嫚

责任校对:刘 竣

责任监印:周治超

出版发行:华中科技大学出版社(中国·武汉)

武昌喻家山 邮编:430074 电话:(027)81321915

录 排:武汉佳年华科技有限公司

印 刷:武汉科源印刷设计有限公司

开 本:787mm×1092mm 1/16

印 张:10.5

字 数:266 千字

版 次:2013 年 9 月第 1 版第 1 次印刷

定 价:19.80 元



本书若有印装质量问题,请向出版社营销中心调换
全国免费服务热线:400-6679-118 竭诚为您服务
版权所有 侵权必究

高职高专水利工程类专业“十二五”规划系列教材

编 审 委 员 会

主 任 汤能见

副主任(以姓氏笔画为序)

汪文萍 陈向阳 邹 林 徐水平 黎国胜

委 员(以姓氏笔画为序)

马竹青 陆发荣 吴 杉 张桂蓉 宋萌勃

孟秀英 易建芝 胡秉香 姚 珏 胡敏辉

高玉清 桂健萍 颜静平

前 言

工程力学是工科学生必修的专业基础课,是学生进入本专业学习的先行课程,本课程学习效果的好坏直接影响学生对后续课程的学习兴趣。遗憾的是,大部分学生都认为工程力学难学、枯燥,究其原因,高职高专的工程力学一直沿用本科的教学模式,内容的选取、章节的划分几乎和本科的教材一模一样,只是简单地进行了大量简化,被戏称为本科课程的“压缩饼干”,大量的原理及公式推导使学生渐渐对本课程失去了学习兴趣。

分析高职高专对学生培养的目标可知,我们培养的是技术技能型人才。技能型人才注重培养学生的动手能力和对知识的灵活运用,而不应当是像精英教育那样,注重逻辑思维和科研能力的培养。鉴于此,本课程一改以往“压缩饼干”的模式,采用项目导向、任务驱动的方式组织教学内容,内容的选取以专业必须、够用为原则,淡化或是缩小原理性知识的篇幅,注重工程力学结论在实际工程中的应用。

全书分为工程力学预备知识,杆件内力分析,杆件强度、刚度、稳定性分析等三个基于行动领域的项目,共 12 个学习任务。重新整合后的提纲便于初学者掌握工程力学的主要内容,学习目标明确、重难点突出、条理清晰、简单易懂。本书既可作为高职高专工程类和土建类专业的工程力学教材,也可作为高等函授教育、自学考试用书,还可供有关工程技术人员参考。

本书由长江工程职业技术学院邹林担任主编;长江工程职业技术学院杨艳和三峡电力职业技术学院黄莉担任副主编。本书编写过程中,长江工程职业技术学院、三峡电力职业技术学院各级领导和同事给予了大力支持,在此表示感谢。

由于编者水平有限,书中错误在所难免,希望广大读者批评指正。

编 者

2013 年 7 月

目 录

项目 1 工程力学预备知识	(1)
任务 1 力的基本知识	(1)
模块 1 基本概念	(1)
模块 2 静力学公理	(2)
模块 3 力矩和力偶	(4)
任务 2 物体受力分析	(9)
模块 1 约束与约束反力	(9)
模块 2 物体的受力分析与受力图	(13)
任务 3 力系合成与平衡	(17)
模块 1 平面汇交力系的合成与平衡	(17)
模块 2 平面力偶系的合成与平衡	(21)
模块 3 平面一般力系的合成与平衡	(22)
模块 4 平面平行力系的平衡	(26)
模块 5 物体系统的平衡问题	(27)
项目 2 杆件内力分析	(34)
任务 1 轴向拉压杆	(37)
任务 2 扭转杆件	(40)
模块 1 外力偶矩的计算	(40)
模块 2 扭转杆的内力——扭矩	(41)
模块 3 扭矩图	(42)
任务 3 弯曲梁	(44)
模块 1 梁的基本类型	(44)
模块 2 梁弯曲时横截面上的内力	(45)
模块 3 计算指定截面的内力值	(47)
模块 4 用“函数法”绘制梁的内力图	(50)
模块 5 剪力、弯矩和荷载集度之间的关系	(53)
模块 6 用“简易法”绘制梁的内力图	(57)
模块 7 用“叠加法”绘制梁的弯矩图	(59)
项目 3 杆件强度、刚度、稳定性分析	(67)
任务 1 平面图形的几何性质	(67)
模块 1 重心与形心	(68)
模块 2 静矩(面积矩)	(71)
模块 3 惯性矩与惯性积	(73)
任务 2 拉压杆件	(79)

模块 1	横截面上的正应力	(80)
模块 2	斜截面上的应力	(82)
模块 3	轴向拉(压)杆的强度条件	(83)
模块 4	轴向拉(压)杆件的变形及胡克定律	(86)
模块 5	材料在拉伸和压缩时的力学性能	(89)
模块 6	压杆件的稳定性分析	(93)
任务 3	连接件的强度计算	(104)
模块 1	剪切与挤压的概念	(104)
模块 2	剪切与挤压的实用强度条件	(106)
模块 3	连接件的实用强度计算示例	(107)
任务 4	圆轴扭转	(110)
模块 1	圆轴扭转时横截面上的应力	(110)
模块 2	极惯性矩和抗扭截面模量	(113)
模块 3	圆轴扭转时的强度计算	(113)
模块 4	圆轴扭转时的刚度计算	(115)
任务 5	梁弯曲时的强度计算	(118)
模块 1	横截面上的正应力和强度计算	(118)
模块 2	梁弯曲时的变形和刚度计算	(130)
模块 3	组合变形杆件的强度计算	(137)
附录 A	常用型钢规格表	(150)
参考文献		(160)

项目 1 工程力学预备知识

【知识目标】

- (1) 掌握静力学的基本概念和静力学公理的内涵。
- (2) 理解并熟练掌握各种常见的约束类型及约束反力的表示,并熟练绘制物系的受力图。
- (3) 深刻理解平面力系的合成与平衡方程在工程实例中的应用。

【能力目标】

- (1) 培养学生分析问题和解决问题的能力。
- (2) 培养学生自主探究力学知识的素养。

任务 1 力的基本知识

【任务知识点】

- (1) 力的基本概念。
- (2) 静力学公理。
- (3) 力矩和力偶。

模块 1 基本概念

1. 力和平衡的概念

1) 力的概念

力的概念是人类在长期的生活和生产实践中由感性认识到理性认识逐步形成的。

牛顿定律给出了力的科学定义:力是物体间相互的机械作用,这种作用使物体的机械运动状态发生改变,同时使物体发生变形。

力对物体产生的效应一般可分为两个方面:一是物体的运动状态发生改变;二是物体的形状和尺寸发生改变。前者称为力的运动效应或者外效应,后者称为力的变形效应或者内效应。实际上变形也是物体受力后内部各部分运动状态变化的结果。

实践表明,力对物体的作用效应取决于三个要素,即力的大小,力的方向和力的作用点。因此,力是矢量,可用一个有向线段来表示,如图 1-1-1 所示。

本书用黑体字母 $\boldsymbol{F}$ 表示力矢量,而用普通字母 F 表示力的大小。国际单位制中,衡量力的大小的单位为牛顿(N)或千牛顿(kN)。

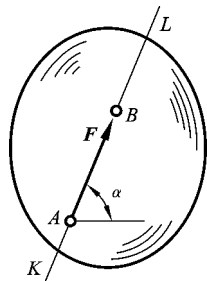


图 1-1-1 力的表示

2) 力系的概念

力系,是指作用于物体上的一群力。可以按其作用线的相互关系,分为共线力系、平行力系、汇交力系和任意力系等。

根据各力作用线所在的位置,力系可分为平面力系和空间力系两大类。

若两个力系分别作用于同一物体上,其效应完全相同,则称这两个力系为等效力系。在特殊情况下,如果一个力与一个力系等效,则称此力为该力系的合力,而力系中的各力称为此合力的分力。用一个简单的等效力系(或一个力)代替一个复杂力系的过程称为力系的简化。

3) 平衡的概念

平衡,是指物体相对于惯性参考系(如地面)保持静止或做匀速直线运动。它是物体机械运动的一种特殊形式。满足平衡条件的力系称为平衡力系。

2. 静力学的研究对象

静力学是研究物体在力系作用下的平衡条件的科学。它主要研究受力物体平衡时作用力所应满足的条件,同时也研究物体受力的分析方法,以及力系简化的方法等。

静力学的研究对象是刚体。所谓刚体是指在外力作用下形状和尺寸都不改变的物体。这是一个理想化的力学模型。

静力学中,我们将研究以下三个问题:物体的受力分析;力系的等效替换(或简化);建立各种力系的平衡条件。

模块 2 静力学公理

静力学公理是人类在长期的生产实践中经验的归纳和总结,又经过实践反复检验,被确认是符合机械运动本质的最普遍、最一般的客观规律,是整个静力学理论的基础。它正确反映和概括了物体受力的一些基本性质,是研究力系简化和力系平衡条件的依据。

公理 1 二力平衡公理 作用于同一刚体上的两个力,使刚体保持平衡的充分必要条件是两个力大小相等,方向相反,作用在同一条直线上,如图 1-1-2 所示。

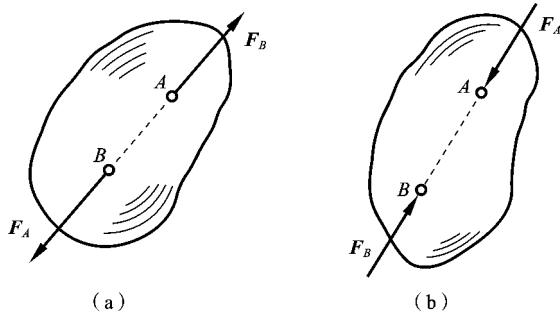


图 1-1-2 二力平衡公理

二力平衡公理表明了作用于刚体上的最简单力系平衡时所必须满足的条件。

工程结构中构件受两个力作用处于平衡的情形是常见的,如图 1-1-3 所示。

仅受两个力作用而处于平衡的构件称为二力构件或二力杆件,简称二力杆。它可以是直杆、曲杆或折杆。

公理 2 加减平衡力系公理 在作用于刚体的任意力系上,加上或减去平衡力系,并不改变原力系对刚体的作用效应。

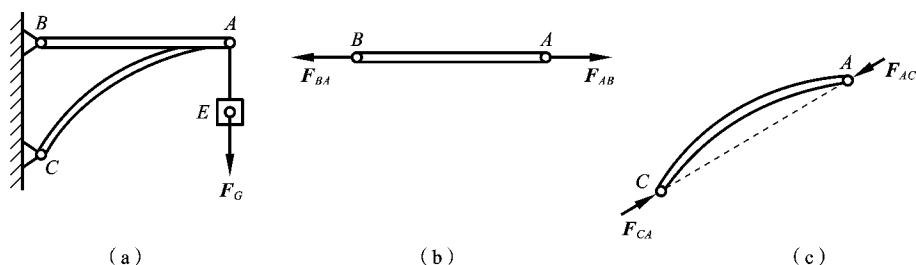


图 1-1-3 支架的二力平衡

这个公理是研究力系等效替换的重要依据。

公理 3 力的平行四边形法则 作用于物体上的同一点的两个力系,可以合成为作用于该点的一个合力。合力的大小和方向,由这两个力为邻边所构成的平行四边形的对角线表示,如图 1-1-4(a)所示。

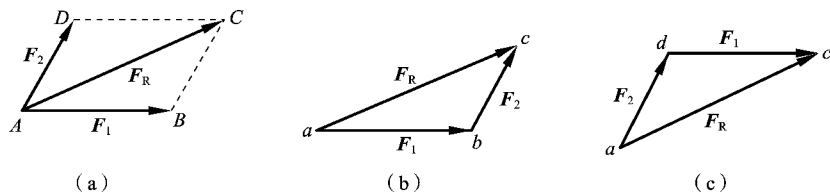


图 1-1-4 力的平行四边形法则

合力矢与分力矢的关系可表示为

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

即合力矢等于这两个分力矢的矢量和。

力的平行四边形法则可以简化为力的三角形法则,如图 1-1-4(b)、(c)所示。将力的平行四边形法则加以推广,可以得到求平面汇交力系合力矢量的力多边形法则。

这个公理是复杂力系简化的基础。

公理 4 作用与反作用定律 两个物体相互作用的力总是同时存在的,两个力的大小相等,方向相反,沿着同一直线,分别作用在这两个物体上。若用 F 表示作用力,又用 F' 表示反作用力,则

$$F = -F'$$

这个公理概括了物体间相互作用的关系,表明作用力和反作用力总是成对出现,并同时消失的。

应当注意的是,必须把两个平衡力和作用力与反作用力严格区别开来。

根据上述静力学公理可以推导出下面两个重要推论。

推论 1 力的可传性 作用于刚体上某点的力,可以沿着它的作用线移到刚体上任一点,并不改变该力对刚体的作用效应。

证明 在刚体的点 A 上作用力 F ,如图 1-1-5(a)所示。根据加减平衡力系公理,可在力的作用线上任取一点 B ,并加上两个相互平衡的力 F_1 和 F_2 ,使 $F = F_1 = -F_2$,如图 1-1-5(b)所示。由于力 F 和 F_2 也是一个平衡力系,故可除去,这样只剩下一个力 F_1 ,如图 1-1-5(c)所示。即原来的力 F 沿其作用线移到了点 B 。

由此可见,对于刚体来说,力的作用点已不是决定力的作用效应的要素,它已被作用线所

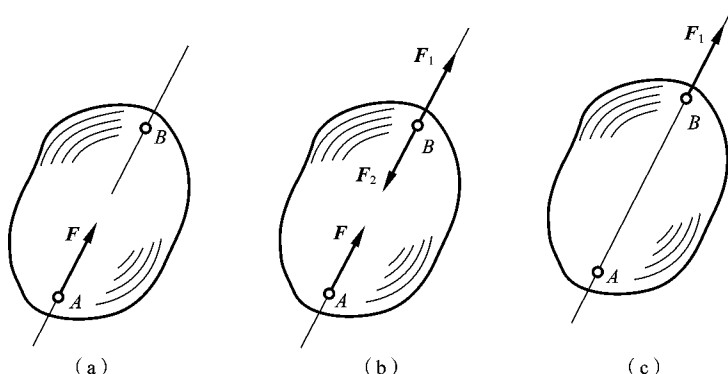


图 1-1-5 力的可传性

代替。因此,作用于刚体上的力的三要素是力的大小、方向和作用线。

作用于刚体上的力可以沿着作用线移动,这种矢量称为滑动矢量。

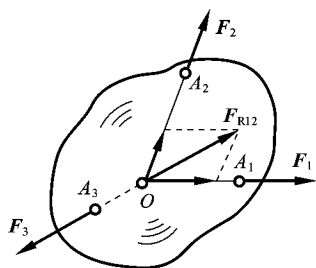


图 1-1-6 三力平衡汇交

推论 2 三力平衡汇交定理 刚体在三个力作用下处于平衡时,若其中两个力的作用线汇交于一点,则第三个力的作用线必通过该点且三力共面。

证明 如图 1-1-6 所示,在刚体的点 A_1 、 A_2 、 A_3 上,分别作用三个相互平衡的力 F_1 、 F_2 、 F_3 。根据力的可传性,将力 F_1 和 F_2 移到汇交点 O ,然后根据力的平行四边形法则,得合力 F_{R12} ,则力 F_3 与 F_{R12} 平衡。由二力平衡公理可知, F_3 与 F_{R12} 必共线,所以力 F_3 的作用线必通过 O 点并与力 F_1 和 F_2 共面。定理得证。

模块 3 力矩和力偶

力对刚体的作用效应是使刚体的运动状态发生改变(包括移动与转动),其中力对刚体的移动效应可用力矢来度量;而力对刚体的转动效应可用力对点的矩(简称力矩)来度量,即力矩是度量力对刚体转动效应的物理量。

1. 平面力对点之矩(力矩)

如图 1-1-7 所示,力 F 与点 O 位于同一平面内,点 O 称为矩心,点 O 到力的作用线的垂直距离 d 称为力臂。在平面问题中,力对点的矩的定义为:力对点的矩是一个代数量,它的绝对值等于力的大小与力臂的乘积,其正负号规定为力使物体绕矩心逆时针转向时为正,反之为负。力矩的单位为 $\text{N} \cdot \text{m}$ 或 $\text{kN} \cdot \text{m}$ 。

力 F 对于点 O 的矩以 $m_O(F)$ 表示,即

$$m_O(F) = \pm Fd = \pm 2\triangle OAB \text{ 面积} \quad (1-1-1)$$

矩心 O 不仅可以取在物体绕之转动的固定支点,而且可以取在物体上或物体外任一点。

由力矩的定义可以得出如下结论:

(1) 力对点之矩不仅与力的大小和方向有关,而且与矩心位置有关。同一个力对不同点的力矩,一般是不相同的;

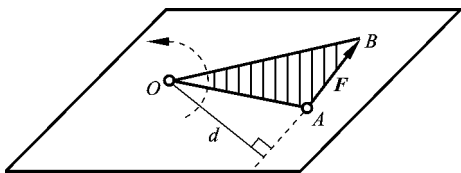


图 1-1-7 力矩

(2) 当力的大小为零或力的作用线通过矩心(即力臂 $d=0$)时,力矩恒等于零;

(3) 当力沿其作用线滑动时,不改变力对指定点之矩。

2. 合力矩定理

平面力系的合力对平面内任一点之矩,等于其各分力对同一点之矩的代数和,即

$$m_O(F_R) = m_O(F_1) + m_O(F_2) + \cdots + m_O(F_n) = \sum_{i=1}^n m_O(F_i) \quad (1-1-2)$$

证明 如图 1-1-8 所示,已知正交两分力 F_1 和 F_2 作用于物体上的点 A ,其合力为 F_R 。在力系平面内任取一点 O 为矩心,以 O 为坐标原点,建立直角坐标系 Oxy ,并使 Ox 、 Oy 轴分别与力 F_2 和 F_1 平行。设点 A 的坐标为 (x, y) ,合力 F_R 与 x 轴的夹角为 α 。根据力对点之矩的定义

$$m_O(F_R) = m_O(F_1) + m_O(F_2) + \cdots + m_O(F_n) = \sum_{i=1}^n m_O(F_i)$$

可得

$$m_O(F_1) = F_1 \cdot d_1 = F_1 x$$

$$m_O(F_2) = -F_2 \cdot d_2 = -F_2 y$$

$$m_O(F_R) = -F_R \cdot d$$

由图 1-1-8 知

$$d = OC \cdot \cos\alpha = (y - x \tan\alpha) \cos\alpha$$

故有

$$\begin{aligned} m_O(F_R) &= -F_R (y - x \tan\alpha) \cos\alpha = -F_2 (y - x \tan\alpha) = -F_2 y + F_1 x \\ &= m_O(F_1) + m_O(F_2) = \sum m_O(F) \end{aligned}$$

应当指出,虽然这个定理是由两个共点的正交力组成的简单力系导出的,但是它适用于任何平面力系。合力矩定理给出了合力和其各分力对同一点力矩的关系。由此可简化力矩的计算。

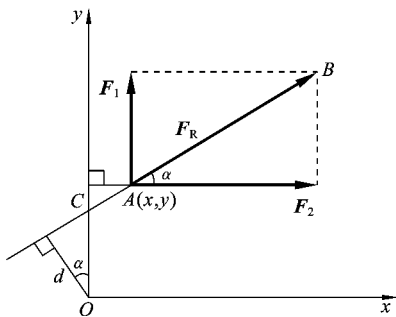


图 1-1-8 合力矩

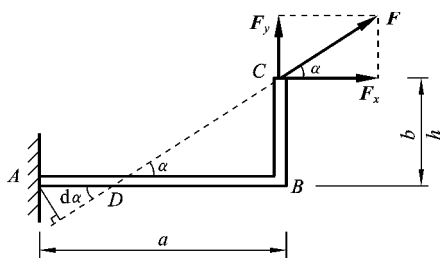


图 1-1-9 例 1-1-1 图

【例 1-1-1】 试计算图 1-1-9 中力 F 对点 A 之矩,已知 F 、 a 、 b 。

解 本例题有两种解法。

(1) 根据力矩定义求解。

先求力臂 d 。由图中几何关系有

$$\begin{aligned} d &= AD \sin\alpha = (AB - DB) \sin\alpha = (AB - BC \cot\alpha) \sin\alpha \\ &= (a - b \cot\alpha) \sin\alpha = a \sin\alpha - b \cos\alpha \end{aligned}$$

所以

$$m_A(F) = F \cdot d = F(a \sin\alpha - b \cos\alpha)$$

(2) 根据合力矩定理求解。

将力 F 在点 C 分解为正交的两个分力 F_x 和 F_y , 由合力矩定理可得

$$\begin{aligned} m_A(F) &= m_A(F_x) + m_A(F_y) = -F_x \cdot b + F_y \cdot a \\ &= -Fb\cos\alpha + Fasin\alpha = F(asin\alpha - b\cos\alpha) \end{aligned}$$

本例题两种解法的计算结果是相同的, 而当力臂不易确定时, 用后一种解法较为简便。

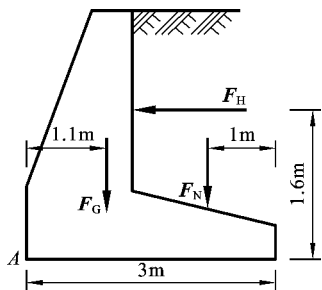


图 1-1-10 例 1-1-2 图

【例 1-1-2】如图 1-1-10 所示, 已知挡土墙重 $F_G = 75 \text{ kN}$, 铅垂土压力 $F_N = 120 \text{ kN}$, 水平土压力 $F_H = 90 \text{ kN}$, 试分析挡土墙是否会绕点 A 倾倒。

解 挡土墙受自重和土压力作用, 其中水平压力对点 A 的力矩 $m_{\text{倾}}$ 有使挡土墙绕点 A 倾倒的趋势, 而自重和铅垂土压力对点 A 的力矩 $m_{\text{抗}}$ 起着抵抗倾倒的作用。若 $m_{\text{抗}} > m_{\text{倾}}$, 则挡土墙不会绕点 A 倾倒; 若 $m_{\text{抗}} < m_{\text{倾}}$, 则挡土墙将会绕点 A 倾倒。

因为

$$m_{\text{倾}} = m_A(F_H) = 90 \times 1.6 \text{ kN} \cdot \text{m} = 144 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$m_{\text{抗}} = m_A(F_G) + m_A(F_N) = -75 \times 1.1 \text{ kN} \cdot \text{m} - 120 \times (3-1) \text{ kN} \cdot \text{m} = -322.5 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

即 $|m_{\text{抗}}| > m_{\text{倾}}$, 因此挡土墙不会绕点 A 倾倒。

3. 力偶与力偶矩

实践中, 我们常常见到汽车司机用双手转动方向盘(见图 1-1-11)、钳工用丝锥攻螺纹(见图 1-1-12)等。在方向盘、丝锥等物体上, 都作用了成对的等值、反向且不共线的平行力。等值反向平行力的矢量和显然等于零, 但是由于它们不共线而不能相互平衡, 它们能使物体改变转动状态。这种由两个大小相等、方向相反且不共线的平行力组成的力系, 称为力偶, 如图 1-1-13 所示, 记作 (F, F') 。力偶的两力之间的垂直距离 d 称为力偶臂, 力偶所在的平面称为力偶的作用面。

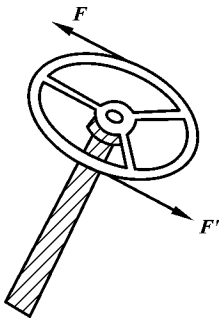


图 1-1-11 方向盘

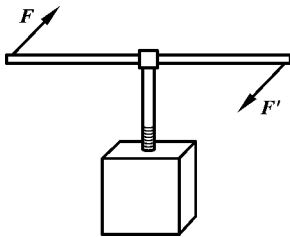


图 1-1-12 丝锥攻螺纹

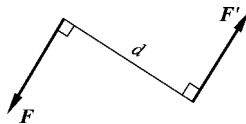


图 1-1-13 力偶

需要注意的是, 组成力偶的两个力虽然大小相等、方向反向, 但不共线, 因此力偶并不是平衡力系。力偶仅对刚体产生转动效应。

力偶的转动效应可用力偶矩来度量, 其值等于力与力偶臂的乘积, 用符号 $m(F, F')$ 表示, 简记为 m , 即

$$m = \pm F \cdot d \quad (1-1-3)$$

在平面问题中,力偶矩是一个代数量,其绝对值等于力的大小与力偶臂的乘积,正负号表示力偶的转向,一般以逆时针转向为正,反之为负。力偶矩的单位与力矩的相同,也是 $\text{N} \cdot \text{m}$ 或 $\text{kN} \cdot \text{m}$ 。力偶矩的大小、力偶的转向、力偶的作用平面称为平面力偶的三要素。

4. 力偶的性质

力和力偶是静力学中的两个基本要素。由力偶的定义及其对刚体的作用效应,可知力偶具有如下性质。

(1) 力偶只能和力偶平衡。因为力偶不能合成为一个力,即力偶不能与一个力等效,也不能与一个力平衡。

(2) 力偶对其作用面内任一点之矩恒等于力偶矩,与矩心位置无关。

证明 设有力偶 (F, F') , 其力偶矩 $m = F \cdot d$, 如图 1-1-14 所示。在力偶作用平面内任取一点 O 为矩心。设点 O 到力 F' 作用线的垂直距离为 x 。力偶对点 O 的力矩,即组成力偶的两个力对点 O 力矩的代数和为

$$m_O(F, F') = m_O(F) + m_O(F') = F(x+d) - F' \cdot x = F \cdot d = m$$

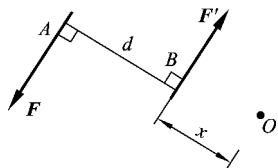


图 1-1-14 力偶 (F, F')

这个性质表明,力偶使物体绕其作用面内任一点的转动效应都是相同的。

(3) 作用在同一平面内的两个力偶,若二者力偶矩大小相等,转向相同,则两力偶等效。

由力偶的等效性可以得到如下两个推论。

推论 1 只要保持力偶矩的大小和转向不变,力偶可以在其作用面内任意转移,而不改变它对刚体的作用效应。

推论 2 只要保持力偶矩的大小和转向不变,可以同时改变组成力偶的力的大小和力偶臂的大小,而不改变力偶对刚体的作用效应。

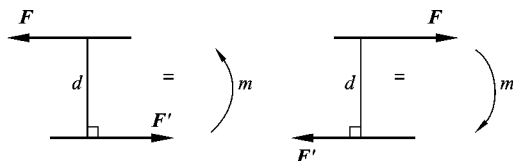


图 1-1-15 力偶及力偶矩的表示

关于力偶的等效性和推论,不难通过实践加以验证。如钳工用丝锥加工螺纹和司机转动方向盘,只要保持力偶矩大小和转向不变,双手施力的位置可以任意调整,其效果

相同。

由此可见,力偶的臂和力的大小都不是力偶的特征量,只有力偶矩是平面力偶作用的唯一量度。通常用图 1-1-15 所示的符号表示力偶, m 为力偶矩。

5. 力的平移定理

力的可传性表明,力可以沿其作用线滑移到刚体上的任意一点,而不改变力对刚体的作用效应。但当力平行移动到刚体上任意一点时,力对刚体的作用效应将会改变。

力的平移定理 作用于刚体上的力可以平行移动到刚体上任意一点,为保持原有的作用效应,必须同时附加一个力偶,附加力偶的力偶矩等于原来的力对平移点的力矩。

证明 设力 F 作用于刚体上点 A , 如图 1-1-16(a) 所示。为将力 F 等效地平行移动到刚体上任意一点 B , 为此, 根据加减平衡力系公理, 在点 B 加上两个等值、反向的力 F' 和 F'' , 并使

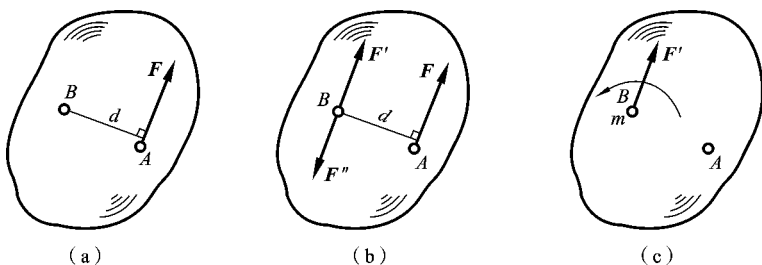


图 1-1-16 力的平移定理

$F' = -F'' = F$, 如图 1-1-16(b) 所示。显然, 力 F 、 F' 、 F'' 组成的力系与原来的力 F 等效。由于在力系 F 、 F' 和 F'' 中, 力 F 与力 F'' 等值、反向且作用线平行, 它们组成力偶。于是, 作用在点 B 的力 F' 和力偶 (F, F'') 与原力 F 等效。亦即要把作用于点 A 的力 F 平行移动到任一点 B , 必须同时附加了一个力偶, 如图 1-1-16(b) 所示。由图 1-1-16(c) 可见, 附加力偶的力偶矩为

$$m = F \cdot d = m_B(F)$$

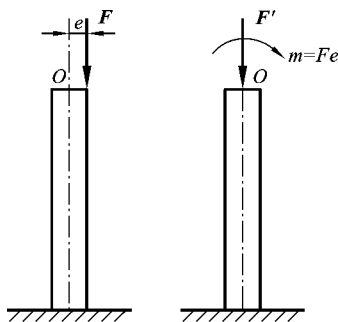


图 1-1-17

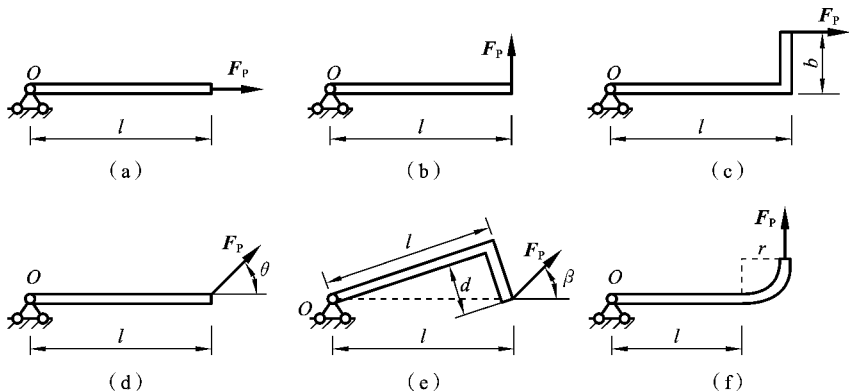
力的平移定理表明, 一个力可以分解为作用在同一平面内另一点的一个力和一个力偶。反之, 也可以将同一平面内的一个力和一个力偶合成为作用在另一点的一个力。

力的平移定理不仅是力系向一点简化的依据, 而且可以用来分析工程某些力学问题。如图 1-1-17 所示的偏心受压柱, 若将偏心压力 F 平移到柱截面形心点 O 处, 得到一个中心压力 F' 和一个力偶矩为 m 的力偶。力 F' 使柱产生压缩变形, 而力偶使柱产生弯曲变形。可见, 偏心受压对构件的安全是不利的。

应当注意的是, 力的平移定理只适用于刚体, 而不适用于变形体, 并且力只能在同一刚体上平行移动。

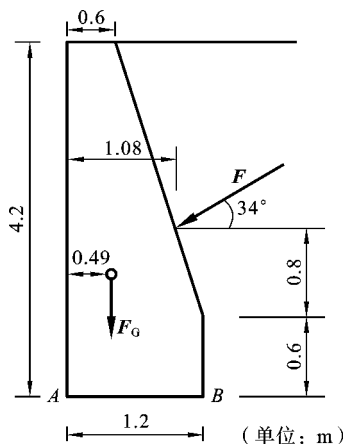
知识技能训练

1.1 计算图题 1.1 中力 F_P 对点 O 的力矩。



图题 1.1

1.2 挡土墙如图题 1.2 所示,已知单位长墙重 $F_G=95\text{ kN}$,墙背土压力 $F=66.7\text{ kN}$ 。试计算各力对前趾点 A 的力矩,并判断墙是否会倾倒。



图题 1.2

任务2 物体受力分析

【任务知识点】

- (1) 约束与约束反力。
- (2) 物体的受力分析与受力图。

模块1 约束与约束反力

根据物体在空间的运动是否受到周围其他物体的限制,通常将物体分为两类:自由体和非自由体。例如,飞行的飞机、炮弹和火箭等,在空间的位移不受任何限制,称为自由体。又如在工程结构中,梁的位移受到墙体和柱的限制,板的位移受到墙体、梁的限制,基础的位移受到地基的限制等,这些位移受到限制的物体称为非自由体。

限制非自由体运动的周围物体称为该非自由体的约束。例如,墙体和柱对梁,墙体或梁对板,地基对基础等,都是约束。由于约束限制了物体的运动,即改变了物体的运动状态。因此,约束必然受到被约束物体的作用力,同时约束亦给被约束物体以反作用力,这种力称为约束反力,简称反力。约束反力的方向,总是与约束所能阻碍的物体运动的方向相反,约束反力的作用点就在约束物体与被约束物体的接触处。应用这个准则,可以确定约束反力的方向(或作用线)及作用点的位置,至于约束反力的大小则是未知的。

作用在物体上的力除了约束反力外,还有荷载,如重力、土压力、水压力等,它们的作用使物体的运动状态发生变化或产生运动趋势,称为主动力。主动力一般是已知的,或可根据已有的资料确定。约束反力由主动力引起,随主动力的改变而改变,故又称为被动力。在静力学问题中,可以用力系的平衡条件来确定未知的约束反力。

下面介绍几种在工程中常见的约束类型和确定约束反力方向的方法。

1. 柔性约束

由不计自重的绳索、链条和胶带等柔性物体所构成的约束称为柔性约束,如图 1-2-1 所示。柔性约束只能限制物体沿柔性体中心线离开柔性体的运动,而不限制其他方向的运动,即柔性体给物体的约束反力只能是拉力。因此,柔性约束的约束反力作用在接触点,方向沿着柔性体中心线背离被约束物体。常用符号 F_T 表示。

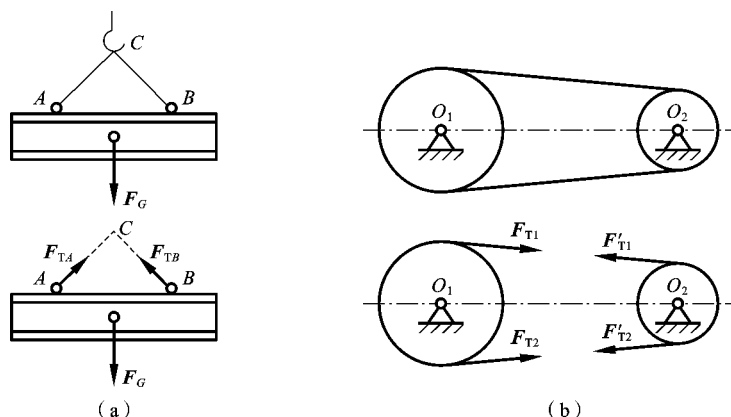


图 1-2-1 柔性约束

2. 光滑接触面约束

不计摩擦的光滑平面或曲面若构成对物体运动的限制则称光滑接触面约束,如图 1-2-2 所示。

这类约束不能限制物体沿约束表面切线的位移,只能限制物体沿接触面公法线并向约束内部的运动。因此光滑接触面约束的约束反力,作用在接触点,方向沿接触面公法线且指向被约束物体,即为压力。这种约束反力又称为法向约束反力,通常用符号 N 表示。

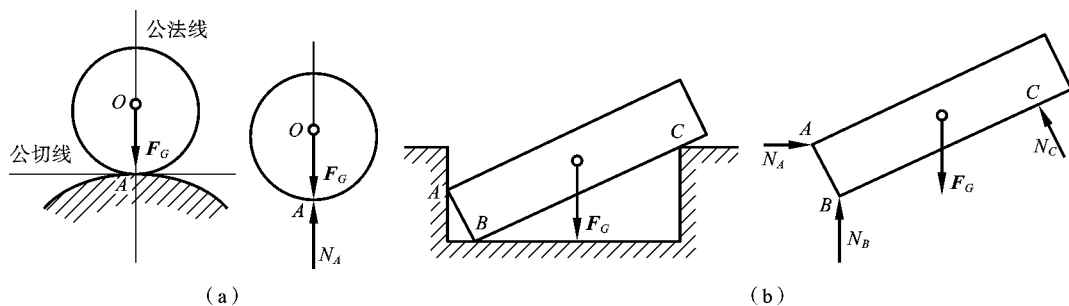


图 1-2-2 光滑接触面约束

3. 光滑圆柱铰链约束

将两个具有相同直径圆孔的构件 A 和 B,用销钉 C 插入孔中相连,如图 1-2-3(a)所示。不计销钉与孔壁的摩擦,销钉对所连接的物体形成的约束称为光滑圆柱铰链约束,简称铰链约束或中间铰。图 1-2-3(b)所示为铰链约束的结构简图。铰链约束的特点是只限制物体在垂直于销钉轴线平面内沿任意方向的相对移动,但不限制物体绕销钉轴线的相对转动和沿其轴线方向的相对滑动。在主动动力作用下,当销钉和销钉孔在某点 D 光滑接触时,销钉对物体的约束反力 F_C ,作用在接触点 D,且沿接触面公法线方向,即铰链的约束反力作用在垂直销钉轴