

普通高等学校“十二五”规划精品教材

GONGCHENG LIXUE

工程力学

孟凡深 主编



黄河水利出版社

普通高等学校“十二五”规划精品教材

工 程 力 学

主 编 孟凡深

副主编 张东晓 张 岩 赵丽君

黄河水利出版社

· 郑 州 ·

内 容 提 要

本书是依据工程力学课程教学的基本要求编写的。本书共十二章,包括静力学和材料力学两部分。静力学部分包括静力学基础、平面汇交力系、力矩与平面力偶系、平面一般力系,材料力学部分包括材料力学的一般概念、轴向拉伸(压缩)、扭转、弯曲、应力状态和强度理论、组合变形、压杆稳定。各章节均有小结、思考题及习题,以助于学生学习掌握有关知识。

本书可作为高等院校土木工程、机械、自动化、工程造价、环境工程等专业的教材,也可作为有关工程技术人员参考用书。

图书在版编目(CIP)数据

工程力学/孟凡深主编. —郑州:黄河水利出版社,2009.7

普通高等学校“十二五”规划精品教材

ISBN 978 - 7 - 80734 - 646 - 3

I. 工… II. 孟… III. 工程力学 - 高等学校 - 教材
IV. TB12

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2009)第 074589 号

出 版 社:黄河水利出版社

地址:河南省郑州市顺河路黄委会综合楼 14 层

邮政编码:450003

发行单位:黄河水利出版社

发行部电话:0371 - 66026940、66020550、66028024、66022620(传真)

E-mail:hhsjcbbs@126.com

承印单位:河南省地质彩印厂

开本:787 mm × 1 092 mm 1/16

印张:17.75

字数:421 千字

印数:1—3 600

版次:2009 年 7 月第 1 版

印次:2009 年 7 月第 1 次印刷

定价:29.00 元

前 言

本书是根据高等教育有关工程力学教学内容和课程体系的改革计划而编写的,针对普通工科院校大学生的特点,结合多年的教学实践,兼顾土木工程、机械、材料、工程造价、建筑装饰、房地产管理、自动化、环境工程等有关专业对工程力学课程的教学要求。本书可作为工程力学课程的教材,也可作为有关工程技术人员参考用书。

本书着重阐述工程力学的基本概念、基本原理,重视引导学生对基本技能和技巧的掌握,重点培养学生分析问题和解决实际问题的能力。

本书涵盖了理论力学中的静力学和材料力学课程的基本内容,突出针对性、适用性和实用性,简化理论推导,力求深入浅出、通俗易懂、便于学习。每章编写有小结、思考题、习题及参考答案。

参加本书编写的人员有:孟凡深(第一章,第二章,第六章,第九章第一、二节,第十章第一、二节),张东晓(第三章,第十章第三、四、五、六、七节等),赵丽君(第十一章,第十二章),李萍(第五章),布欣、吕留根(第四章,第七章第一、二节),王新文、王彦红(第七章第三、四、五、六节),马云玲(第九章第三、四、五节),张岩(第八章)。全书由孟凡深任主编并统稿,张东晓、张岩、赵丽君任副主编。

本书在编写过程中参考了许多文献,在此对其作者表示衷心的感谢。

由于编者水平有限,书中缺点和错误之处在所难免,殷切希望读者和专家批评指正。

编 者

2009年5月

目 录

前 言

第一章 绪 论	(1)
第一节 工程力学的任务	(1)
第二节 工程力学的基本假设	(2)
第三节 工程力学的学习方法	(3)
第二章 静力学基础	(4)
第一节 基本概念	(4)
第二节 静力学公理	(6)
第三节 常见约束与约束力	(8)
第四节 物体的受力分析和受力图	(11)
小 结	(15)
思考题	(15)
习 题	(15)
第三章 平面汇交力系	(17)
第一节 平面汇交力系合成的几何法	(17)
第二节 平面汇交力系平衡的几何条件	(18)
第三节 平面汇交力系合成的解析法	(22)
第四节 平面汇交力系的平衡方程	(25)
小 结	(29)
思考题	(29)
习 题	(30)
第四章 力矩与平面力偶系	(34)
第一节 力矩与合力矩定理	(34)
第二节 力偶矩与力的平移定理	(36)
第三节 平面力偶系的合成与平衡	(40)
小 结	(43)
思考题	(44)
习 题	(44)
第五章 平面一般力系	(47)
第一节 力系的简化	(47)
第二节 平衡方程	(50)
第三节 物体系的平衡	(53)
第四节 静定与超静定问题	(57)

第五节 空间力系简介	(59)
小 结	(73)
思考题	(75)
习 题	(76)
第六章 材料力学的一般概念	(83)
第一节 概 述	(83)
第二节 内力与截面法	(83)
第三节 应力与应变	(84)
第四节 杆件变形的基本形式	(86)
小 结	(88)
思考题	(88)
第七章 轴向拉伸(压缩)	(89)
第一节 概 述	(89)
第二节 轴向拉伸(压缩)杆件的内力和应力	(90)
第三节 材料拉伸(压缩)的力学性能	(96)
第四节 许用应力	(102)
第五节 材料拉伸(压缩)的强度计算	(103)
第六节 材料拉伸(压缩)的变形和虎克定律	(105)
小 结	(110)
思考题	(110)
习 题	(111)
第八章 扭 转	(115)
第一节 概 述	(115)
第二节 外力偶矩与内力图	(115)
第三节 扭转轴的应力与强度计算	(118)
第四节 扭转轴的变形与刚度计算	(123)
小 结	(125)
思考题	(125)
习 题	(125)
第九章 弯 曲	(128)
第一节 概 述	(128)
第二节 弯曲变形的内力计算	(130)
第三节 截面几何性质	(141)
第四节 弯曲变形的应力与强度计算	(148)
第五节 梁的变形与刚度计算	(163)
小 结	(171)
思考题	(171)
习 题	(173)

第十章 应力状态和强度理论	(180)
第一节 应力状态的概念	(180)
第二节 平面应力状态分析的解析法	(184)
第三节 平面应力状态分析的图解法	(192)
第四节 三向应力状态简介	(198)
第五节 广义虎克定律	(200)
第六节 三向应力状态的变形比能	(202)
第七节 强度理论	(203)
小 结	(209)
思考题	(209)
习 题	(210)
第十一章 组合变形	(214)
第一节 概 述	(214)
第二节 斜弯曲	(215)
第三节 拉伸(压缩)与弯曲的组合	(219)
第四节 截面核心	(226)
第五节 扭转与弯曲的组合	(228)
小 结	(230)
思考题	(231)
习 题	(232)
第十二章 压杆稳定	(235)
第一节 概 述	(235)
第二节 压杆的临界力与临界应力	(236)
第三节 欧拉公式的适应范围、临界应力总图	(239)
第四节 压杆的稳定计算	(244)
第五节 提高压杆稳定性的措施	(253)
小 结	(255)
思考题	(255)
习 题	(256)
附录 型钢规格表	(258)
参考答案	(269)
参考文献	(276)

第一章 绪 论

第一节 工程力学的任务

工程力学一般包括理论力学的静力学和材料力学的有关内容,是研究物体机械运动的一般规律和有关构件的强度、刚度、稳定性理论的科学,是一门理论性和实践性都较强的专业基础课。

理论力学是研究物体机械运动一般规律的科学,包括静力学、运动学和动力学三方面的内容。物体在空间的位置随时间的变化称为机械运动。机械运动是日常生活和生产实践中最常见、最普遍的一种运动,如机器的运转、建筑物的振动等。平衡是机械运动的特殊情况,如物体相对于地球静止或做匀速直线运动,则称物体处于平衡状态。当作用在物体上的所有力满足一定的条件时,物体才能处于平衡状态。对处于平衡状态的物体所受的力进行分析,称为静力分析。静力分析是理论力学中静力学的内容。对处于平衡状态的物体进行受力分析是工程力学的主要任务之一。

工程中的机械、设备、结构的零部件称为构件。构件在工作时要承受荷载作用,并会产生变形。为使构件在确定的外力作用下正常工作而不失效,构件应当满足以下三个方面的要求:

(1)强度要求。所谓强度,是指构件承受荷载或抵抗破坏的能力,保证构件不破坏。

(2)刚度要求。所谓刚度,是指构件抵抗变形的能力,保证在正常情况下,构件受外力产生的变形不超过其相应的允许值。

(3)稳定性要求。稳定性是指构件保持原有平衡形态的能力。

如果构件的材料选用不当,或构件横截面的形状不合理,或横截面的尺寸不足,将不能满足上述三个方面的要求,就不能保证构件的正常工作。相反,如果不恰当地采用优质的材料或加大横截面的尺寸,虽然能够满足上述要求,但势必造成浪费,增加成本。必须切实解决构件的承载能力与经济合理性之间的矛盾,保证构件在使用工程中既安全,又节约。材料力学的主要内容就是研究构件在外力等因素作用下的受力、变形规律及材料的力学性能,建立保证构件正常工作而需要的强度条件、刚度条件和稳定性条件,为构件设计提供理论基础和计算方法。这是工程力学的另一项任务。

本书共分为三部分:

绪论(第一章):介绍工程力学的任务、基本假设和学习方法。

静力学(第二章至第五章):研究物体在力系作用下的力系等效、简化和平衡条件,同时研究物体受力的分析方法。在该部分,矢量用黑体表示。

材料力学(第六章至第十二章):研究构件在外力作用下的强度、刚度和稳定性问题,在保证既安全又经济的条件下,为构件设计和材料使用提供理论依据。

力学与现代生活、生产息息相关。力学是一门应用基础学科,也是自然科学中运用定量分析工具——数学最多、最深的一门学科,它研究自然界普遍存在的机械运动规律。20 世纪工程技术的迅猛发展极大地推动了力学的发展,使力学成为工程技术的基础,直接为工程技术服务。航天、航空、建筑、机械、交通、能源、材料、环境、生物医学等领域都需要力学。同时,力学的定量建模研究方法和手段还广泛应用到经济、金融和管理等其他领域。因此,力学已从一门基础学科发展成以工程技术为背景的应用基础学科,当今几乎所有的工程技术领域都离不开力学,它已渗透到工程技术的各个领域。

工程力学的力学知识和研究方法可以为后续课程如结构力学、钢筋混凝土结构、钢结构等专业课的学习打下良好的基础。

第二节 工程力学的基本假设

工程力学所研究的问题,都是工程实际中经常遇到的问题。而工程实际中,结构或构件的构造是复杂的,完全按照实际情况进行受力分析、计算有较大的难度,有时甚至不可能实现。因此,需要从工程实际中观察各种现象,找出主要因素,结合实际情况略去次要因素,经过抽象和简化建立便于分析和计算的力学模型。对同一个工程案例,为了不同的研究目的,所得的力学模型一般是不同的。但所简化的力学模型应该尽可能地反映构件的真实受力情况,并能够使计算尽可能简化,以便使用简单的模型解决复杂的工程问题。

工程力学中根据研究对象和研究目的不同,作以下基本假设。

一、刚体假设

在静力学中,主要研究物体在外力作用下的平衡问题。为了研究方便,将固体看做刚体。所谓刚体,是指在力的作用下不变形的物体,或变形很小对物体的平衡不起主要作用,可以忽略不计的物体。显然,这是一个理想化的力学模型。实际上,任何固体在外力作用下都会发生形状和尺寸的改变,即变形。变形固体是材料力学的研究对象。

静力学的研究对象只限于刚体。它也是研究变形体力学的基础。

二、研究变形固体的假设

变形固体的性质是复杂的,材料力学对变形固体作出了几个基本假设,作为理论分析的一般基础。

(1) 连续性假设。假设变形固体内部充满了物质,处处密实无空隙,在整个体积中各点是连续的。实际上,组成固体的粒子之间存在着空隙,但这种空隙与构件尺寸相比极其微小,可以忽略。

(2) 均匀性假设。认为变形固体内任一部分的力学性质是完全相同的,不考虑材料各处实际上存在的缺陷和微观晶粒的不同。

(3) 各向同性假设。认为材料的各个方向都有相同的力学性能,具有这种属性的材料叫各向同性材料,一般把钢铁、混凝土等看做各向同性材料。沿不同方向力学性能不同的材料称为各向异性材料,典型的各向异性材料有木材、胶合板等。

(4)小变形假设。认为构件的变形量远小于其外形尺寸。在研究构件的平衡问题时就采用构件变形前的尺寸进行分析,对计算变形的高次方项也可以忽略。

一般构件在正常工作中要求材料只发生弹性变形。材料力学所研究的对象主要限于线弹性范围内的小变形问题。

第三节 工程力学的学习方法

工程力学是一门专业基础课。对于工程技术人员,尤其是土建类专业的技术人员而言,工程力学是必须要掌握的一门主干课程。其他专业(如工程造价、房地产经营与管理、建筑装饰、工程监理等)也要掌握工程力学的基本原理和基本计算方法,对结构和构件的受力特性有一定的认识,为专业课的学习打下良好的基础,也为工程实践提供良好的力学理念。

工程力学来源于工程实际,又有着一定的抽象成分,既离不开理论的推导,又要运用试验的分析结果。要学好工程力学应注意以下几个方面的问题:

(1)重点掌握力学概念。工程力学的每部分内容都要涉及大量的力学概念,每个概念都有着一定的内涵和特定的物理意义。只有理解了每个力学概念,才能够切实掌握工程力学的分析方法和计算方法。因此,准确地掌握力学概念是学习工程力学的基础。

(2)正确对待理论分析。理论分析是以基本概念和定理为基础,以数学推导为手段,得到问题的解析解答,是工程力学的一种主要研究方法。工程力学中大量的公式就是通过理论分析的方法得到的。这就要求必须有着扎实的数学功底,并能够灵活运用,切不可出现畏难情绪。

(3)适当开展力学试验。试验分析在工程力学中占有重要的地位,材料力学中学习的构件强度、刚度和稳定问题都涉及材料的力学性能,而材料的力学性能通常需要依靠试验的手段得到。进行一定的力学试验,是工程力学这门课程的必要内容,也是加深理解、提高分析和解决问题能力的需要。

(4)认真完成习题训练。做习题可以进一步理解有关理论、概念和方法,是工程力学学习中重要的环节。要完成习题作业,就必须弄懂理论、搞清楚公式的物理意义和适用的条件,并能够准确地进行运算。这对学好工程力学是至关重要的。

第二章 静力学基础

第一节 基本概念

一、力

(一) 定义

人们在长期生活和生产实践中,建立了力的概念。力是物体之间相互的机械作用。这种作用对物体产生两种效应,即使物体的机械运动状态发生变化,或使物体发生变形。前者称为力的运动效应(或外效应),后者称为力的变形效应(或内效应)。

(二) 力的三要素

力的大小、方向、作用点是力的三要素。力的大小表示物体相互间机械作用的强弱程度,力的方向表示物体间的相互作用具有方向性,力的作用点表示物体所受机械作用的位置。显然,力的三要素中的任何一个要素发生改变,力的作用效果也将随之发生改变。可以认为,要说明一个力就必须说明这个力的大小、方向和作用点。

(三) 力的表示方法

力的三要素表明力是矢量,可以用一个矢量来表示力的三要素,如图 2-1 所示。矢量的起点或终点表示力的作用点,矢量的方向表示力的方向,矢量的长度(AB)按一定的比例表示力的大小。通常用黑体字母表示力的矢量,如 $\mathbf{F}$;力的大小是标量,用 F 表示。与力矢量线段重合的直线(一般用虚线),称为力的作用线。

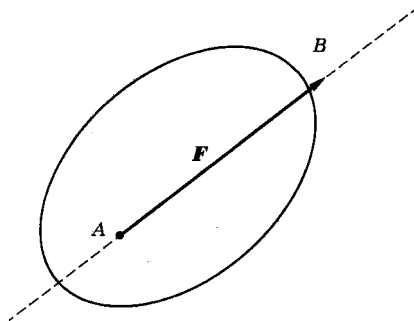


图 2-1 力矢

(四) 力的单位

国际单位制中力的计量单位是“牛顿”,简称“牛”,常用单位是牛(N)和千牛(kN)。

(五) 力系

作用于物体上的若干个力称为力系。如果一个物体在两个力系分别作用下其效应相同,那么称这两个力系为等效力系。如果一个力与一个力系等效,则称该力为这个力系的合力;力系中的各个力为合力的分力。在不改变作用效果的情况下,用一个简单力系代替复杂力系的过程,称为力系的简化或力系的合成。对力系进行简化是静力学的主要任务之一。

(六) 力系的平衡

物体的平衡是相对的,是有条件的。要使物体平衡,作用在物体上的力必须满足一定的条件。使一个力系成为物体平衡的条件,称为力系的平衡条件,这个力系称为物体的平衡力

系,物体在平衡力系的作用下处于平衡状态。研究刚体的平衡条件是静力学的另一主要任务。

二、力偶

在工程实际和日常生活中,为了使物体转动,就要在物体上施加大小相等、方向相反且不共线的两个平行力,这样两个力组成的力系称为力偶,其工程实例如图 2-2 所示,图 2-2(a) 为汽车司机用双手转动方向盘,图 2-2(b) 为电动机的定子磁场对转子作用的电磁力使之旋转。力偶的作用是使物体发生转动。物体受力偶作用的转动效果,不仅与力 F 的大小成正比,而且与两个力之间的距离 d 的大小成正比。力偶的组成表示如图 2-3 所示。

力偶和力一样是工程力学的基本量。力偶的性质和计算方法将在本书第四章中介绍。

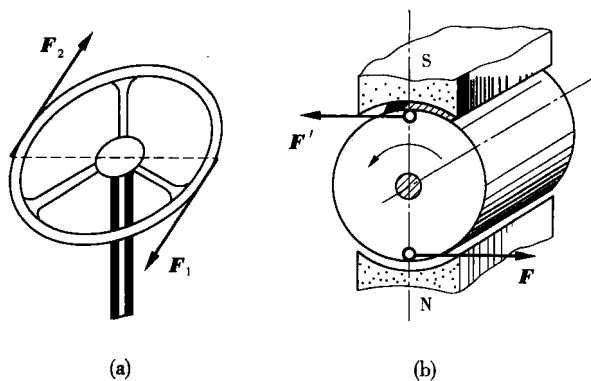


图 2-2 力偶的工程实例

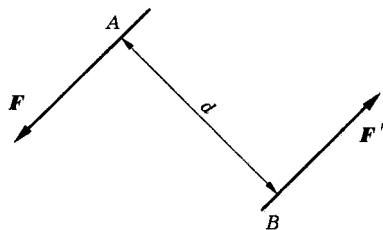


图 2-3 力偶的表示

三、荷载

工程力学把主动作用于结构或构件上的外力(包括力偶)称为荷载。荷载有多种形式,按不同性质分为以下几类。

(一) 按分布情况分

荷载按分布情况分为集中荷载和分布荷载。

1. 集中荷载

若荷载作用面积远小于构件尺寸,则可以把荷载简化为集中作用在一点上,称为集中荷载。集中荷载的单位是 N 或 kN。

2. 分布荷载

连续作用在结构或构件的长度或较大面积上的荷载分别称为线分布荷载和面分布荷载。分布均匀、大小处处相同的分布荷载为均布荷载,如屋面雪荷载、等截面梁的自重等都是均布荷载;反之,则称为非均布荷载。

沿构件长度方向均匀分布的荷载为线均布荷载,以每米长度的力的大小来表示,单位为 N/m 或 kN/m。在较大面积上均匀分布的荷载为面均布荷载,以每平方米面积上的力的大小来表示,单位为 N/m^2 或 kN/m^2 。

(二) 按作用时间分

荷载按作用时间分为恒载和活载。

1. 恒载

恒载是指永久作用在结构或构件上,大小和作用位置都不会发生改变的荷载。如结构自重等。

2. 活载

活载是指大小和作用位置都可能发生变化的荷载。如设备、风、雪及施工荷载等。

(三) 按作用性质分

荷载按作用性质分为静荷载和动荷载。

1. 静荷载

静荷载是指缓慢地加到结构上的荷载,其大小、位置和方向不随时间变化或变化相对较小。如构件自重和一般的活荷载等。

2. 动荷载

动荷载是指大小、位置或方向随时间迅速变化的荷载,能够使结构产生明显的加速度。如地震力等。

第二节 静力学公理

静力学公理是人们在长期的生活和生产实践中,通过经验积累与总结,又经实践反复检验、证明是符合客观实际的普遍规律,是研究力系简化和平衡条件等问题的最基本的力学规律。

公理一 二力平衡公理

刚体在仅受两个力作用下保持平衡的必要与充分条件是:这两个力大小相等、方向相反、作用在同一条直线上,简称等值、反向、共线。这两个力组成了最简单的平衡力系,如图 2-4 所示,必有

$$F_1 = -F_2 \quad (2-1)$$

二力平衡公理对刚体而言,既是必要条件又是充分条件;而对于非刚体而言,这个条件虽必要但不充分。例如,一段软绳受到两个等值反向的拉力时可以平衡,但受到两个等值反向的压力时就无法保持平衡。

当一个构件仅受到两个力作用而保持平衡时,不管构件的形状如何,只要确定这个构件只受两个力作用,并保持平衡,那么这两个力必然等值、反向,沿着二力作用点的连线,这样的构件称为二力构件。二力构件是一种比较常见的构件形式。

公理二 加减平衡力系公理

在作用于刚体上的已知力系中,加上或减去任一平衡力系,原力系对刚体的作用效果不会改变。这一性质称为加减平衡力系公理。如果两个力系只相差一个平衡力系,那么这两个力系对刚体的作用效果完全一样,可以等效代换。这个公理为力系简化提供了有效的工具。

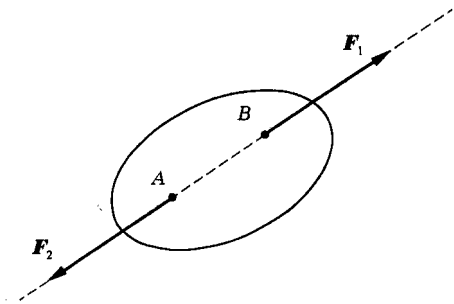


图 2-4 二力平衡

加减平衡力系公理的推论:作用于刚体上的力可沿其作用线移动到该刚体上任一点,而不改变该力对刚体的作用效果。这个推论也称为力的可传性原理。可用图 2-5 说明力的可传性原理。

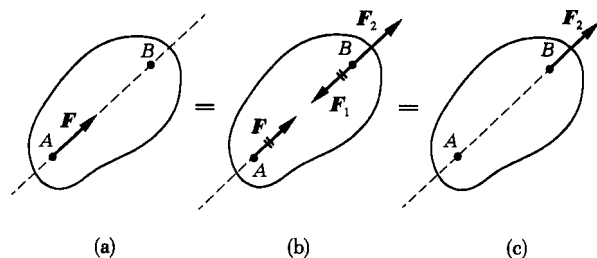


图 2-5 力的可传性原理

加减平衡力系公理及其推论只适用于刚体,对变形体就丧失了正确性。例如,变形杆在两个力 F 的作用下产生拉伸变形。若分别将两个力 F 移动到杆件的另一端,则杆件产生压缩变形,如图 2-6 所示。

公理三 力的平行四边形法则

作用在物体上同一点的两个力,可以合成为作用于该点的合力,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。这个性质就是力的平行四边形法则。

该法则表达了最简单情况下合力和分力之间的关系,是力系合成和分解的基础。就是说,力作为一个矢量可以按平行四边形法则进行合成与分解,如图 2-7(a) 所示。合力 F_R 和分力 F_1 、 F_2 之间的关系符合矢量运算规律,即

$$F_R = F_1 + F_2 \quad (2-2)$$

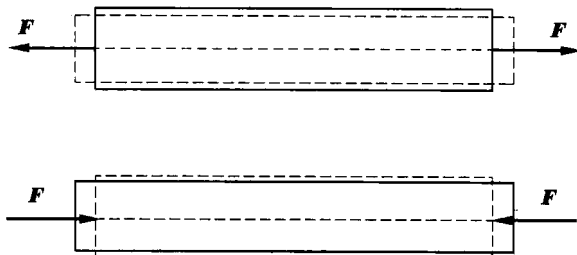


图 2-6 变形杆

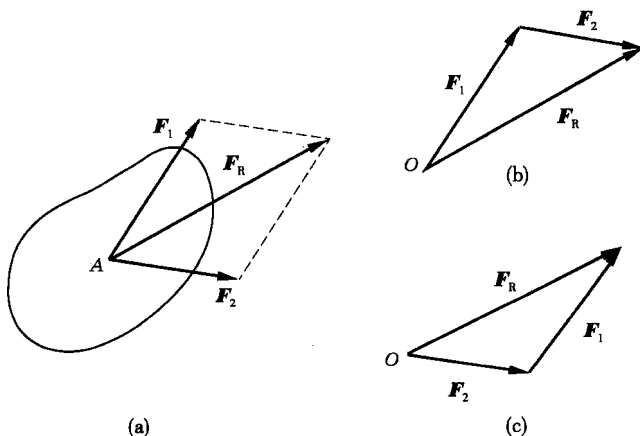


图 2-7 力的合成

推论 确定两个共点力的合力的大小、方向时,任选一点将这两个力矢首尾相接,则合力矢从第一个力的起点指到第二个力的终点。这个推论称为力的三角形法则。

如图 2-7(b)所示,在力矢 F_1 的末端接画力矢 F_2 ,再自力矢 F_1 的始端向力矢 F_2 的末端作一力矢,这个力矢就是合力矢 F_R 。也可以改变力的顺序,先作力矢 F_2 ,再作力矢 F_1 ,力的三角形有所变化,但合力的结果不变,如图 2-7(c)所示。

力的三角形法则只是一种矢量运算方法,不能完全表示力系的真实作用情况。因为力的三角形只表示各力的大小和方向,并不表示各力作用线的位置。

公理四 三力平衡汇交定理

作用于刚体上的三个互不平行的力平衡时,这三个力的作用线必在同一平面内,且作用线交于一点。证明如下:

如图 2-8 所示,设刚体在 F_1 、 F_2 、 F_3 三个力作用下处于平衡状态,且已知力 F_1 、 F_2 的作用线相交于 O 点。根据力的可传性原理,将力 F_1 、 F_2 的作用点移至汇交点 O 处,然后根据力的平行四边形法则,可求得力 F_1 、 F_2 的合力 F_{12} 。由于力系(F_1 、 F_2 、 F_3)为平衡力系,则力 F_3 应与力 F_1 、 F_2 的合力 F_{12} 平衡。根据二力平衡公理可知,力 F_3 与合力 F_{12} 共线,所以力 F_3 必与力 F_1 、 F_2 共面,且必通过力 F_1 、 F_2 的作用线汇交点 O 点。

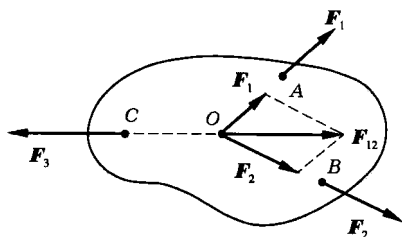


图 2-8 三力平衡汇交定理

这个定理说明了不平行的三力平衡的必要条件,只要知道其中两力的作用线的交点,第三个力的作用线的方位便由此确定。

公理五 作用力与反作用力公理

两物体间的作用力与反作用力总是同时存在的,并且两个力的大小相等、方向相反、沿着同一条直线,分别作用在两个互相作用的物体上。这一性质称为作用力与反作用力公理。

此公理揭示了自然界中物体之间相互作用力的关系,即作用力与反作用力总是成对出现、成对消失的。这一对力满足等值、反向、共线的条件,但它们是作用在两个不同的物体上,这也是其与二力平衡公理的本质区别。

第三节 常见约束与约束力

机械工程中的机器和建筑物是由许多零部件按照一定的接触方式连接组合而成的,它们的运动往往受到一定的限制。如在钢轨上行驶的火车、支撑在柱子上的屋架、悬挂在屋顶的日光灯等,都是运动受到其他物体限制的物体。这些限制总是由被限制物体周围的其他物体所组成。那些限制某一物体运动的其他物体称为约束。如钢轨限制火车只能沿轨道运行、柱子限制屋架的坠落等,钢轨对于火车是约束,柱子对于屋架也是约束。

约束限制了物体的运动,约束对物体的作用实际上就是力,这种力称为约束反力或约束力,简称反力。物体受的力可分为两类:一类就是约束力;另一类是除约束力外的其他力,称为主动力或载荷,如物体的重力、风力等就是主动力。主动力一般来说是已知力,约束力则不同,它的大小、方向、作用点与物体之间的连接方式、物体可能的运动状态及物体受的主动力

力等因素有关。

通过对一些常用约束的分析,可以确定这些约束的约束力作用点和作用线,而约束力的大小只能靠平衡方程求出。

下面介绍工程中常见的几种理想约束类型,并分析它们的约束力性质。

一、柔性约束

柔性约束是指由柔软的绳索、链条或皮带等构成的约束。这种约束只能承受拉力,而不能承受压力和抵抗弯曲。因此,柔性约束对物体产生的约束力只能是拉力。约束力的性质可以借助图 2-9 来说明。在用绳索悬挂一重物的组成系统中(见图 2-9(a)),绳索对重物的约束力作用点在绳索和重物的接触点,方向沿着绳索的中心线且背离重物,如图 2-9(b)所示。柔性约束力一般用 F_T 表示。皮带约束见图 2-10。

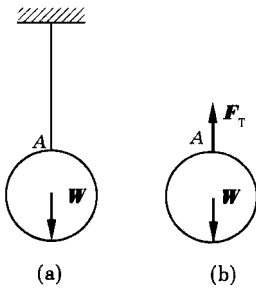


图 2-9 绳子约束

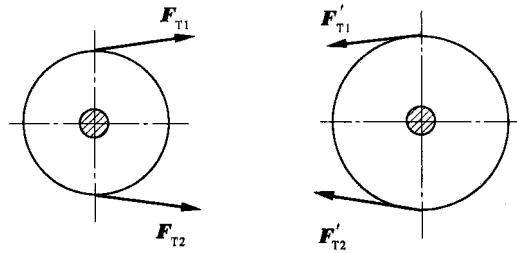


图 2-10 皮带约束

二、光滑接触面约束

若两个物体间的接触面是光滑的,可以忽略其摩擦,则其中的一个物体对另一个物体就构成了光滑接触面约束。接触面对被约束物体在其接触点相切面内任一方向的运动不加阻碍,接触面也不限制物体沿接触点的公法线方向脱离接触,但不允许物体沿公法线方向进入接触面。因此,光滑接触面约束的约束力必通过接触点,其方向为沿接触面在该点的公法线指向受约束的物体。这种约束力称为法向反力,常用 F_N 表示,如图 2-11 所示的 F_{NA} 和 F_{NC} 。

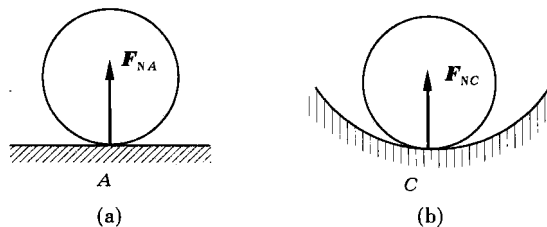


图 2-11 光滑接触面约束

光滑接触面的接触形式一般有面与面接触、点与面接触和点与线接触。

三、固定铰支座和铰链连接

(一) 固定铰支座

物体与固定于机架或地基等的连接处有相同直径的孔,用一圆柱形销钉将它们连接起来,忽略摩擦,那么机架或地基等对物体的约束称为固定铰支座,简称铰支座。如图 2-12 所示的拱形构件中 A 、 B 支座就是固定铰支座。销钉不能阻止物体的转动,也不能阻止物体沿销钉轴线方向的移动,只限制物体在垂直于销钉轴线的平面内移动。

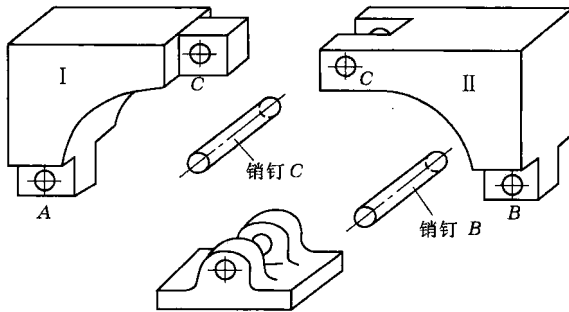


图 2-12 固定铰支座和铰连接

由于忽略销钉与圆孔之间的摩擦,它们的接触面是光滑的,固定铰支座可以对物体产生任意方向的约束力,但无论方向如何,这个约束力的作用线必然垂直于销钉轴线并通过销钉中心。铰支座的简化表示法有两种,铰支座的约束力一般用两个互相垂直的分力来表示,如图 2-13(a)所示。

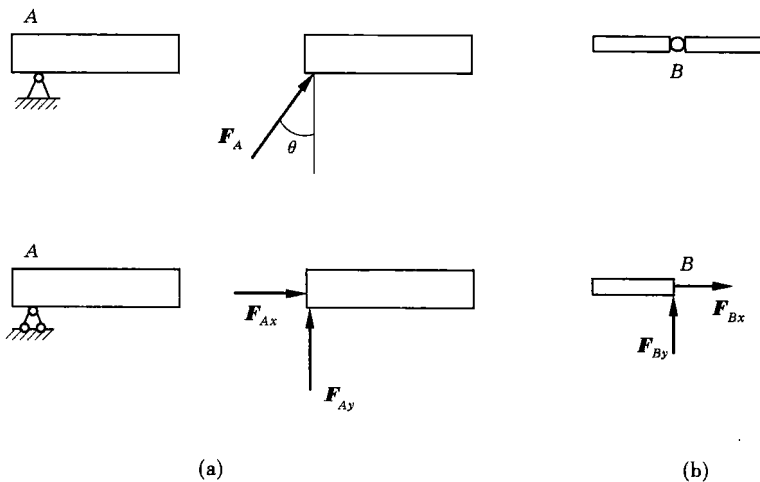


图 2-13 固定铰支座和铰连接表示

(二) 铰链连接

可以把两个构件用圆柱形光滑销钉连接起来,这样的连接方式称为铰链连接,简称铰连接。图 2-12 所示的 C 点连接方式就是铰连接。

铰连接中的销钉对构件的约束与铰支座的销钉对构件的约束相同,其约束力的作用线