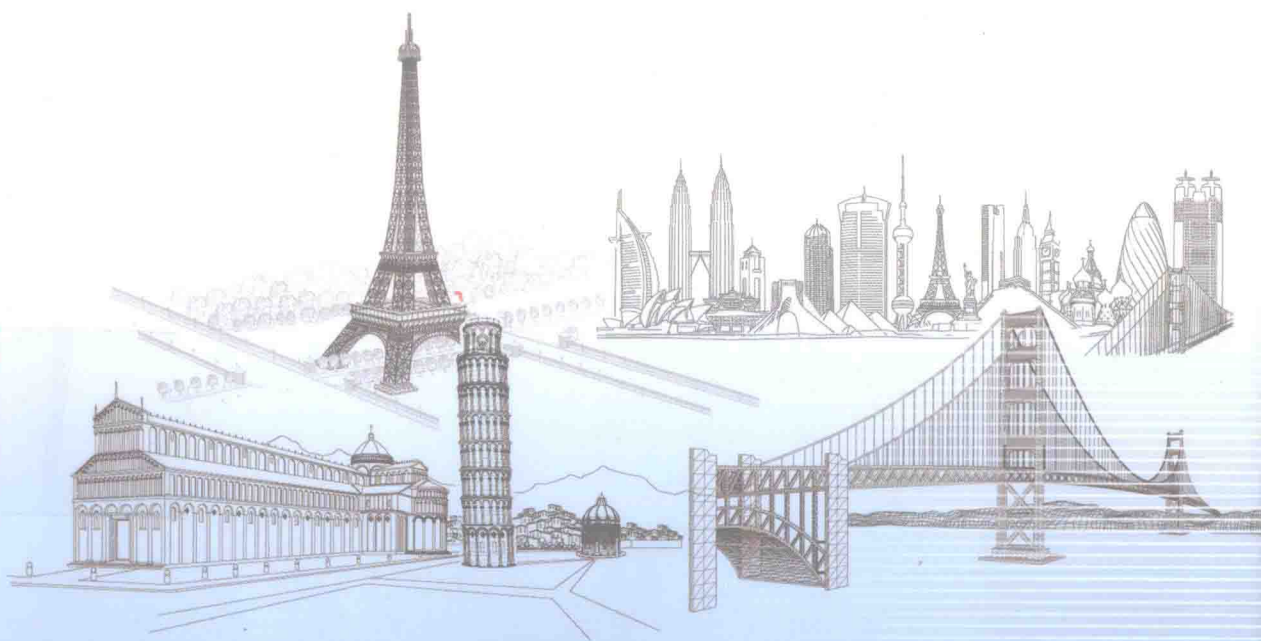




高等学校土木工程专业“卓越工程师”教育“十三五”规划教材
普通高等教育土木工程专业指导性规范配套“十三五”规划教材

建筑力学

■ 主 编 朱占元 陈 佳
■ 副主编 陈 伟 陈士军



武汉理工大学出版社

高等学校土木工程专业“卓越工程师”教育“十三五”规划教材
普通高等教育土木工程专业指导性规范配套“十三五”规划教材

建筑力学

朱占元 陈 佳 主 编

陈 伟 陈士军 副主编

武汉理工大学出版社

· 武 汉 ·

内 容 提 要

本书根据最新颁布的国家教育部高等学校力学教育委员会力学基础课程教学分委员会关于“理工科非力学专业力学基础课程教学基本要求”进行编写,涵盖了“理论力学”、“材料力学”、“结构力学”三门课程的教学内容,明确地将内容分为基本部分(必修内容)和专题、提升部分(选修内容),选材适当,内容精炼,说明透彻,注重联系实际,符合认知规律。

本书共 10 章,内容包括:绪论、静力学基本知识、平面力系的合成与平衡、静定结构的内力分析与计算、杆件的应力计算、组合变形杆的应力计算、变形计算、杆件承载能力设计、力法、位移法和力矩分配法。

本书适用于普通高等学校土木、水利类专业选用,也可作为成人教育、网络教育、自学考试的教材,还可供国家注册结构工程师考试人员和有关工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

建筑力学/朱占元,陈佳主编. —武汉:武汉理工大学出版社,2016. 8

ISBN 978-7-5629-4352-5

I. ①建… II. ①朱… ②陈… III. ①建筑力学-教材 IV. ①TU311

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2016)第 066786 号

项目负责人:高 英

责 任 编 辑:王一维

责 任 校 对:梁雪姣

装 帧 设 计:一 尘

出 版 发 行:武汉理工大学出版社

社 址:武汉市洪山区珞狮路 122 号

邮 编:430070

网 址:<http://www.wutp.com.cn>

经 销:各地新华书店

印 刷:武汉兴和彩色印务有限公司

开 本:787×1092 1/16

印 张:19

字 数:492 千字

版 次:2016 年 8 月第 1 版

印 次:2016 年 8 月第 1 次印刷

印 数:1—3000 册

定 价:32.5 元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页等印装质量问题,请向出版社发行部调换。

本社购书热线电话:027-87664138 87785758 87165708(传真)

· 版权所有 盗版必究 ·

前 言

本书是根据国家教育部高等学校力学教育委员会力学基础课程教学分委员会关于“理工科非力学专业力学基础课程教学基本要求”编写而成的,涵盖了“理论力学”、“材料力学”、“结构力学”三门课程的教学内容。可作为建筑学、工程管理、工程造价等土建类专业的建筑力学、工程力学课程教材。

本书凝聚了编者多年从事力学教学的经验与体会,在编写过程中特别考虑了三门课程在力学知识上的统一性和连贯性,精选理论力学、材料力学、结构力学的有关内容融会贯通而成。在内容上,尽可能减少三门课程不必要的重复,注重物理概念的建立,强化力学建模能力和解决工程实际问题能力的培养,力求做到选材适当、语言精炼、结构清晰、阐述透彻、重点突出、例题典型、符合认知规律。为了课堂教学的需要,书中各章都精选了与教学内容相关的思考题,可作为课堂讨论和课后复习之用。本书除有大量基础的例题和习题之外,还选用了一些难度较大的例题和习题,以供有兴趣或者考研究生的读者参考。

本书由朱占元、陈佳担任主编,由四川农业大学、东华理工大学和云南农业大学合作编写。具体编写分工如下:陈伟、黄星、王立娜负责编写第1~3章,陈佳、李静、鹿庆蕊负责编写第4~7章,朱占元、陈士军负责编写第8~10章、附录。全书经讨论、修改、互相校核后由主编统稿。

限于编者的水平,教材中难免存在缺点和不妥之处,希望教师和读者提出宝贵意见,以便今后改进。

编 者
2016年1月

目 录

1 绪论	(1)
1.1 建筑力学的任务和内容	(1)
1.2 质点、刚体、变形体及其基本假设	(2)
2 静力学基本知识	(4)
2.1 基本概念	(4)
2.2 静力学公理	(5)
2.3 力矩和力偶	(7)
2.4 约束与约束力	(9)
2.5 物体的受力分析及受力图	(13)
2.6 平面体系的几何组成	(17)
本章小结	(24)
思考题	(24)
习题	(25)
3 平面力系的合成与平衡	(27)
3.1 平面汇交力系的合成与平衡	(27)
3.2 平面力偶系的合成与平衡	(32)
3.3 平面任意力系的合成与平衡	(34)
本章小结	(39)
思考题	(40)
习题	(40)
4 静定结构的内力分析与计算	(44)
4.1 杆件变形的基本形式	(44)
4.2 结构计算简图的分类	(45)
4.3 静定结构横截面上的内力	(47)
4.4 多跨静定梁及斜梁结构的内力计算	(64)
4.5 静定平面桁架的内力计算	(70)
4.6 静定平面刚架的内力计算	(72)
4.7 三铰拱	(81)
本章小结	(85)
思考题	(86)
习题	(87)
5 杆件的应力计算	(93)
5.1 概述	(93)
5.2 轴向拉(压)杆横截面及斜截面上的应力	(94)

5.3	材料在拉伸与压缩时的力学性质	(97)
5.4	圆截面杆扭转时横截面上的应力	(102)
5.5	平面弯曲的概念	(104)
5.6	梁弯曲时的正应力及其应用	(105)
5.7	梁弯曲时的剪应力	(112)
*5.8	平面应力状态分析	(115)
	本章小结	(122)
	思考题	(122)
	习题	(123)
6	组合变形杆的应力计算	(127)
6.1	概述	(127)
6.2	斜弯曲	(128)
6.3	拉伸(压缩)与弯曲组合变形	(132)
6.4	偏心拉伸(压缩)	(134)
6.5	弯曲与扭转组合变形	(140)
	本章小结	(143)
	思考题	(143)
	习题	(144)
7	变形计算	(147)
7.1	轴向拉(压)杆的变形胡克定律	(147)
7.2	弯曲变形	(149)
7.3	梁的刚度条件	(160)
7.4	虚功原理和单位荷载法	(163)
7.5	图乘法	(172)
7.6	静定结构由于支座位移和温度变化所引起的位移计算	(178)
7.7	互等定理	(181)
	本章小结	(184)
	思考题	(184)
	习题	(185)
8	杆件承载能力设计	(188)
8.1	设计准则	(188)
8.2	拉压杆的设计	(190)
8.3	梁的设计	(195)
8.4	轴的设计	(204)
	本章小结	(206)
	思考题	(207)
	习题	(208)
9	力法	(213)
9.1	超静定结构与超静定次数	(213)

9.2	力法的基本原理	(215)
9.3	超静定梁、刚架和排架的力法计算	(223)
9.4	超静定桁架和组合结构的力法计算	(228)
9.5	结构对称性的利用	(232)
9.6	支座位移时超静定结构的计算	(238)
	本章小结	(241)
	思考题	(242)
	习题	(242)
10	位移法和力矩分配法	(247)
10.1	位移法的基本概念	(247)
10.2	等截面直杆的形常数和载常数	(249)
10.3	位移法的基本未知量和基本体系	(252)
10.4	力矩分配法的概念	(259)
10.5	单结点的力矩分配	(263)
10.6	多结点的力矩分配	(266)
	本章小结	(272)
	思考题	(273)
	习题	(273)
	附录 型钢规格表	(276)
	习题答案	(289)
	参考文献	(296)

1 绪 论

建筑力学是为建筑专业的学生开设的一门理论性、实践性较强的专业基础课。建筑设计理念取决于人们对建筑的价值观念,从本质上讲建筑最基本的价值是人的居住场所。建筑理论家维特鲁威早在 2000 多年前的古罗马奥古斯都时期就提出了“坚固、适用、美观”的建筑设计原则,在西方建筑史上,更是把“坚固”作为第一准则,“适用”为第二准则。正是如此的设计理念才使得希腊、罗马和埃及的众多古老建筑经历几个世纪的风雨沧桑仍能完好地保留下来。

建筑力学分析和研究建筑物的结构和构件在各种条件下的强度、刚度、稳定性等方面的问题,以保证建筑物在使用过程中抵御各种外施荷载,提供一个安全、稳固的居住场所,为满足生活需要和达到人们潜意识中对美的欣赏和追求做好物质准备。这正是建筑力学肩负的使命。

1.1 建筑力学的任务和内容

1.1.1 课程任务

建筑力学是研究建筑物的结构和构件承载能力的一门学科。

建筑物在施工和使用过程中要承受各种力的作用,我们把主动作用在结构上的外力称为荷载。例如建筑物受到自重、风荷载、雪荷载的作用。在建筑物中,承受荷载并传递荷载而起骨架作用的部分称作结构,即用以抵抗施加在建筑物上荷载的建筑物的组成部分;组成结构的单个物体被称作构件。

房屋结构中的构件按其几何特征可分为:①其长度远大于横截面的宽度和高度的为杆件,如梁和柱;②其厚度远远小于它的另两个方向尺寸的为板或壳,如楼板和屋盖等;③三个方向尺寸都是同量级的为块体,如地基基础或桥梁中的桥墩等。由杆件组成的结构称作杆件结构。建筑力学的主要研究对象为杆件结构。

首先房屋建筑的结构各部件间绝对没有相对运动,即结构或构件必须能够在荷载作用下维持平衡状态,进而各结构或构件在使用过程中不能被破坏,且在某些情况下也不允许产生过大的变形。例如,搁置在房屋墙体上的梁,如果变形过大将影响室内的正常活动;细长的受压杆不能承受过大的荷载作用,因为过大的荷载有可能使细长受压杆件失去其原有的直线形式的平衡而变弯,从而导致其突然失稳而破坏。

总之,为了承担作用在建筑物上的荷载以支撑建筑物,结构应具备如下四种能力。

(1)维持平衡。结构应首先保证其各组成部分之间不会发生相对运动,使之能够在荷载的作用下维持平衡。

(2)足够的强度。结构应具备足够的强度,即抵抗破坏的能力。

(3)足够的刚度。结构应具备足够的刚度,即抵抗变形的能力。

(4)良好的稳定性。结构应具备良好的稳定性,即保持其原有平衡状态的能力。

一般来说,只要结构或构件选择稳固的连接、较好的材料和较大的截面尺寸就可以满足平衡、强度、刚度和稳定性的要求。但这势必造成材料的浪费和经济上的损失。所以,如何保证所设计的构件既安全可靠又经济适用,就必须对上述四种能力与结构或构件本身的材料性能、截面形状、尺寸和支承方式等一系列因素间的关系进行分析,研究构件的受力情况,平衡条件和变形、破坏规律,这就是建筑力学所要解决的问题。

综上所述,建筑力学这门课程的任务就是研究结构的几何构成规则,以及在外施荷载作用下结构或构件的强度、刚度和稳定性的问题,以保证建筑结构满足安全、适用、耐久的结构功能要求,使建筑材料达到物尽其用、经济合理的目的。由此可见,建筑力学在实现建筑第一准则中发挥着不可或缺的作用。

虽然实现建筑第一准则主要是结构工程师的职责,但作为工程设计龙头的建筑工程师也必须具备一定的建筑力学知识。因为建筑方案的制定过程是一个交织现实和创意矛盾的创造过程,对建筑力学知识的了解和感悟会涉及很多力学问题,如结构的选型、平面柱网的布置等,它可以帮助建筑师开拓思路,在矛盾中找到平衡点。因此,建筑力学对建筑工程师来讲也是一门应该有所了解的学科。

1.1.2 课程主要内容

建筑力学的主要内容包括两个方面:一是经典力学的基础力学知识;二是结合建筑结构本身特征的专业力学知识。

经典力学的基础力学知识主要介绍静力学、材料力学、结构力学中的力学原理和方法。它是学习专业力学知识的基础。其中:静力学主要研究物体在力的作用下的平衡规律;材料力学和结构力学主要研究材料在荷载作用下的变形、破坏规律,为合理设计杆件结构提供强度、刚度和稳定性方面的基本理论和计算方法。

结合建筑结构本身特征的专业力学知识,主要介绍在建筑工程背景下提出的有关力学概念和分析方法,从而最终解决建筑结构的存在和坚固问题。

建筑力学是一门具有双重性的学科,它既有注重纯粹理性思辨的一面,也有注重工程技术性的一面。对于不同的内容,应该从不同的角度去思考。对基础力学的内容,学习时可以相对增加些哲理方面的揣摩,而对于专业力学方面的内容,更应该注重体会它的技巧性和方法性。

1.2 质点、刚体、变形体及其基本假设

生产实践和日常生活中的物体都具有很多特征,如颜色、形状、大小等。在我们所要研究的领域中,需要将物体抽象化,去掉无关特征,建立物体的力学理想模型。在静力学中,将物体抽象成质点和刚体;在材料力学和结构力学中,则将物体抽象成变形固体。

1.2.1 质点

当我们所讨论的问题只与物体的质量和质心空间位置有关,而与物体的大小和形状无关时,可以把物体抽象成一个只有质量而没有大小的点,称为质点。强调一点,是否将物体抽象成质点,完全取决于所讨论问题本身的性质,和物体的大小无直接关系。例如,在研究天体运

动时,地球、太阳被简化成质点;而在微生物研究中,把肉眼不可见的细胞作为质点。

1.2.2 刚体

当我们所讨论的问题与物体的质量、位置、大小和形状有关,而与物体的变形无关时,如研究物体在外力作用下的运动或平衡规律时,即可将物体抽象成一个有质量、大小和形状,但不会产生变形的理想模型,即刚体。若物体受力后产生的变形很微小,可忽略不计时,也可近似地视为刚体。

1.2.3 变形体及其基本假设

实际上,刚体在自然界中是不存在的。任何物体在承受荷载时,它的形状和尺寸都会发生变化,并且当荷载超过一定限度时,物体都将发生破坏。

当我们所讨论的问题涉及力的内效应,即力对物体产生的变形效应时,就必须如实地将物体看成可变形的、可破坏的变形固体。为了方便研究问题,进一步对变形固体作出如下基本假设:

(1)连续性假设。假设物体内材料是无空隙地连续分布,结构是密实的。

(2)均匀性假设。假设物体内各点处的材料力学性质是均匀、相同的。

(3)各向同性假设。假设物体内材料沿任何方向的力学性质是完全相同的,即各向同性材料。

(4)小变形假设。假设构件在荷载作用下的变形与构件原始尺寸相比非常小,因此对构件进行受力分析时可忽略其变形,采用构件原始尺寸,以使问题得以简化。

材料力学和结构力学的理论就是建立在上述基本假设之上的。按照连续性、均匀性、各向同性、小变形假设而理想化的一般变形固体称为理想变形固体。

变形固体受荷载作用将产生变形。当荷载不超过某一限度时,撤去荷载则变形会随之消失,这种变形称为弹性变形;当荷载超过某一限度时,撤去荷载仅部分变形会消失,还有部分变形不会消失,这种撤去荷载后不会消失的变形称为塑性变形或残余变形。

2 静力学基本知识

静力学研究刚体在力的作用下平衡的一般规律。

本章旨在让大家对静力学基本知识有足够了解,故对力、平衡、力矩、力偶等概念进行了介绍,并详细讲解了静力学的基本公理,常见的约束及其约束反力的特点,如何对物体进行受力分析及物系几何可变与不可变的判定。要求了解静力学基本概念,掌握静力学基本公理、常见约束及其约束反力的特点,熟练运用两刚片原则和三刚片原则进行结构几何组成分析。

2.1 基本概念

2.1.1 力的概念

力的概念是人们在长期的生产和生活中形成的,经历了从感性到理性的认识过程,最终形成的抽象概念。力是物体间的相互机械作用,这种作用使物体的机械运动状态或形状发生改变,前者称力的外效应或运动效应,后者称力的内效应或变形效应,在静力学中仅研究其外效应。

实践证明,作用于物体上的力,因其大小、方向、作用位置的不同,将对物体产生不同的作用效应,因此,力对物体的作用效应取决于三个要素,即力的三要素:力的大小、方向、作用点。

(1) 力的大小,用国际单位制(SI)中的牛(N)或千牛(kN)来度量。

(2) 力的方向,这里包含两部分内容,就是力作用的方位和指向。例如,人们说重力的方向是竖直向下,这里的“竖直”就是方位,“向下”就是指向。

(3) 力的作用点,指力的作用位置。当两个物体相互接触而产生力时,接触的往往是一部分面积或体积,而非一点。分布在一部分面积或体积上的力,称为分布力,分布在面积上的称为面分布力,分布在体积上的力称为体分布力。分布力作用的强度用分布荷载集度来度量。当接触面积相对较小时,可以抽象地看作集中于一点,这样的力称为集中力,这个点就是力的作用点。分布力和集中力都是相对研究问题本身而定的,例如重力,重力本身是分布于物体内部每一点上的体分布力,但对于静力学的部分问题,则把重力视为作用于物体重心的集中力。

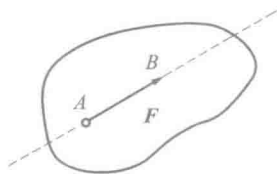


图 2-1

由力的三要素可知,力是矢量,记作 F , 可以用一个几何图像“矢”来表示,如图 2-1 所示,用一有向线段表示。力的大小按一定的比例,由线段 AB 的长度表示,力的方向由线段的方位和方向共同表示,线段的起点或终点表示力的作用点。力所在的直线称为力的作用线。

2.1.2 力系的概念

力系指作用在刚体上的一群力。

按照组成力系中各力的作用线相对位置,力系可分为:平面力系和空间力系。所有力的作用线在同一平面内,称为平面力系,否则为空间力系。平面力系中,当所有力系的作用线相互平行时,称为平面平行力系;汇交在一点时,称为平面汇交力系;既不平行也不相交的,称为平面任意力系。空间力系亦按相同方式分类。

作用于同一个刚体上的两个力系,若它们的作用效应相同,则这两个力系称为等效力系。若一个力对刚体的作用效应与一个力系相同,这个力称为此力系的合力,力系中的各个力分别为这个合力的分力。

2.1.3 平衡的概念

平衡是物体的一种特殊运动状态,是指物体相对于惯性参考系,处于静止或匀速直线运动状态。事实上,运动是绝对的,平衡是相对的。一力系作用在物体上,使得物体处于平衡状态,此力系称为平衡力系。

2.2 静力学公理

公理是人们在长期的生产和生活实践中积累起来的经验的总结,并且经过反复的实践检验,确认为符合客观实际的最普遍、最一般的规律。

公理 1 力的平行四边形法则

作用在物体上同一点的两个力,可以合成一个合力。合力的作用点也在该点,合力的大小和方向,由以这两个力为边所构成的平行四边形的对角线确定,如图 2-2(a)所示。或者说,合力矢等于这两个力矢的矢量和,即:

$$\mathbf{F}_R = \mathbf{F}_1 + \mathbf{F}_2 \quad (2-1)$$

求两汇交力合力的大小和方向(即合力矢)时,也可用作力三角形的方法确定,如图 2-2(b)、(c)所示。

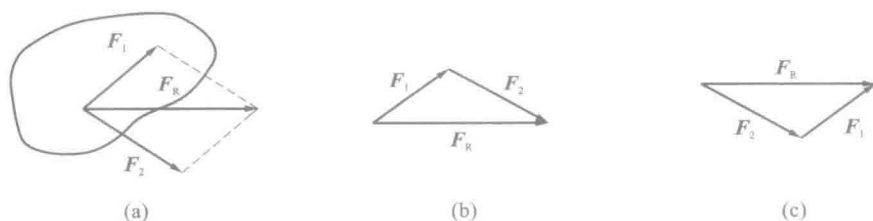


图 2-2

公理 1 是复杂力系简化的基础,反映了力的方向性特征。

公理 2 二力平衡条件

作用于刚体上的两个力,使刚体保持平衡的充分和必要条件是:这两个力的大小相等、方向相反,且作用于同一直线上。如图 2-3 所示,即:

$$\mathbf{F}_1 = -\mathbf{F}_2 \quad (2-2)$$

公理 2 表明了作用于刚体上最简单力系平衡时所必须满足的条件。但对于变形体而言,此二力平衡条件只是必要条件而非充分

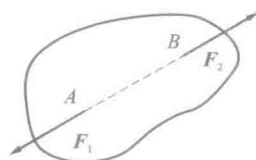


图 2-3

条件。

工程中常常遇到只受两个力作用(或者说只有两个着力点)而平衡的构件,称为二力构件或二力体,如图 2-4(a)所示。当二力构件为直杆时称为二力杆,如图 2-4(b)所示。根据二力平衡公理可知,二力构件所受的两个力必然大小相等、方向相反,作用线沿两个力作用点的连线。

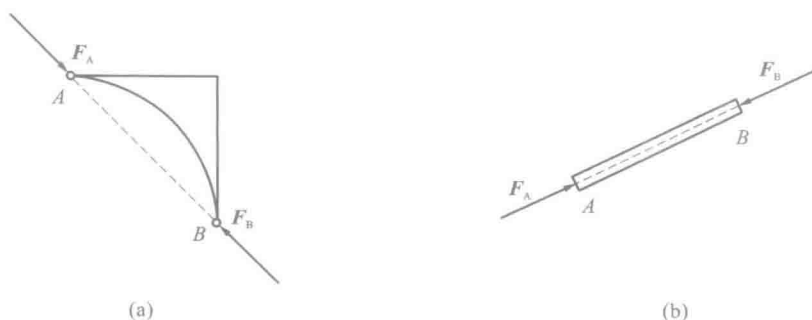


图 2-4

公理 3 加减平衡力系原理

在已知力系上加上或减去任意的平衡力系,并不改变原力系对刚体的作用。

这个公理是研究力系等效替换的重要依据。

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内任意一点,并不改变该力对刚体的作用。

证明:如图 2-5(a)所示刚体,在刚体 A 点作用一力 F 。在力 F 的作用线上任取一点 B,加上一组由 F_1 和 F_2 组成的平衡力系,并保证 $F = F_1 = -F_2$,如图 2-5(b)所示。由条件可知, F 与 F_2 也是一个平衡力系,故可减去,这样只剩下一个力 F_1 ,相当于原力 F 沿其作用线移到了点 B,如图 2-5(c)所示。

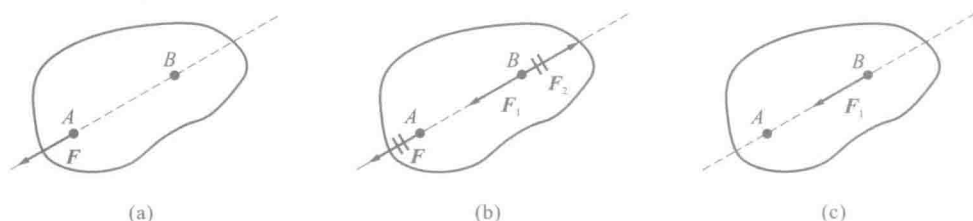


图 2-5

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。

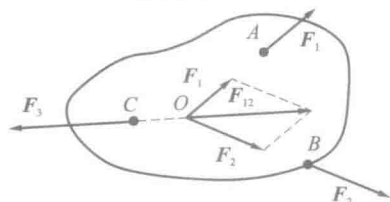


图 2-6

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。

推论 2 三力平衡汇交定理

作用于刚体上三个互相平衡的力,若其中两个力的作用线汇交于一点,则此三力必在同一平面内,且第三个力的作用线通过交点。

证明:如图 2-6 所示,在刚体 A 、 B 、 C 三点上,分别作用三个互相平衡的力 F_1 、 F_2 、 F_3 。根据力的可传性,将力 F_1 和 F_2 沿作用线移至两力的汇交点 O ,由力的平行四边形法则,得力 F_1 与 F_2 的合力 F_{12} 。再根据二力平衡条件,力 F_3 应与力 F_{12} 共线,所以力 F_3 必定与力 F_1 、 F_2 共面,且通过力 F_1 与 F_2 的交点 O 。定理得证。

公理 4 作用和反作用定律

作用力和反作用力总是同时存在,且大小相等、方向相反、沿同一直线,分别作用在两个相互作用的物体上。一般用 F' 表示力 F 的反作用力,且有 $F = -F'$ 。

公理 4 就是牛顿第三定律,它概括了自然界中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的,有作用力必有反作用力。

必须强调指出的是,由于作用力与反作用力分别作用在两个物体上,因此,不能认为作用力与反作用力相互平衡,组成平衡力系。

公理 5 刚化原理

变形体在某一力系作用下处于平衡,如将此变形体刚化为刚体,其平衡状态保持不变。

公理 5 提供了把变形体抽象为刚体模型的条件。如图 2-7 所示,绳索在等值、反向、共线的两个拉力作用下处于平衡,如将绳索刚化成刚体,其平衡状态保持不变。若绳索在两个等值、反向、共线的压力作用下并不能平衡,这时绳索就不能刚化为刚体。由此可见,刚体的平衡条件是变形体平衡的必要条件,而非充分条件。在刚体静力学的基础上,考虑变形体的特性,可进一步研究变形体的平衡问题。



图 2-7

2.3 力矩和力偶

2.3.1 力矩的概念

力对点的矩描述了力使物体转动的效果。对于平面问题,可用一个代数量来描述力对点的矩。

现以扳手拧螺母为例来说明,如图 2-8 所示,在扳手的 A 点施加一力 F ,将使扳手和螺母一起绕螺钉中心 O 转动。显然,扳手的转动效果包括转动方向和转动强弱。为了便于说明,将转动中心 O 点称为矩心,点 O 到力 F 作用线的垂直距离 d 称为力臂。当物体(扳手)的转动平面为 O 与力 F 所确定的平面时,称为平面问题,此时,力使物体(扳手)转动的效应,用力 F 对 O 点之矩来表达,简称力矩,以符号 $M_O(F)$ 表示为:

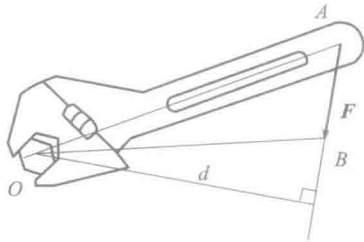


图 2-8

$$M_O(F) = \pm Fd \quad (2-3)$$

其中正负号表示力矩的转向。通常规定:力使物体绕矩心逆时针转动时,力矩为正,反之为负。力矩的单位是牛·米($\text{N} \cdot \text{m}$)或千牛·米($\text{kN} \cdot \text{m}$)。

空间力对点的矩因有大小、作用面以及在作用面内的转向三个要素,故必须定义为矢量。关于力矩的矢量定义,本书不再介绍,读者可参考其他有关教材。

2.3.2 力偶的概念

(1) 力偶的概念

力偶是指作用在物体上的一对等值、反向且不共线的平行力,如图 2-9 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作用面。

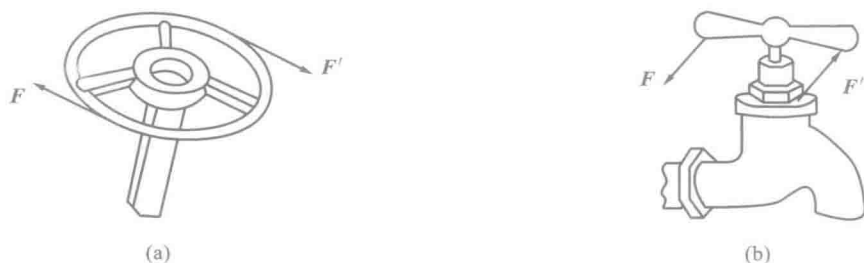


图 2-9

力偶的作用效应,用力与力偶臂的乘积 Fd 来度量,并称其为力偶矩,用符号 M 表示,即力偶矩的定义是:

$$M = \pm Fd \quad (2-4)$$

正负号表示力偶的转向:一般以逆时针为正,反之则为负。平面力偶矩是一代数量。

(2) 力偶的性质

①性质一:力偶没有合力,因为力偶是一对大小相等、方向相反的平行力,故其在坐标轴上的投影为零,即无合力,如图 2-10 所示。由于力偶只能使物体产生转动,不产生移动的效应,所以力偶是独立于力之外的另一种最简单的力系,它不能再简化了。由于力和力偶的效应不同,所以力偶不能用一个力来代替,当然也不能用一个力来平衡。力偶只能用另外一个力偶来平衡。

②性质二:力偶中的两个力对其作用平面内任一点的矩的代数和恒等于力偶矩,与矩心 O 的位置无关,如图 2-11 所示。

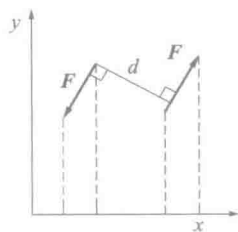


图 2-10

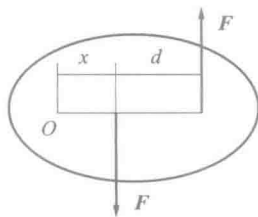


图 2-11

③性质三:只要不改变力偶的转向和力偶矩的大小,力偶可以在其作用面内(包括在其平行平面内)任意移动和转动,并可任意改变其力和力偶臂的大小,而不改变它对刚体的转动效应,如图 2-12 所示。因此可得如下结论:在同平面内的两个力偶,如果其力偶矩相等,则两力

偶彼此等效。称为力偶的等效定理。

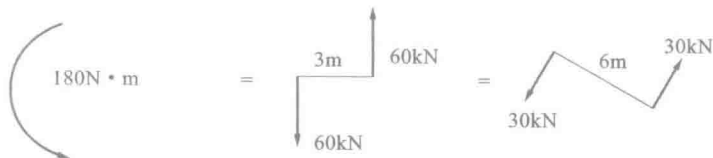


图 2-12

2.4 约束与约束力

如果一个物体的位移不受任何限制,可以在空间自由运动,则此物体称为**自由体**。例如,可在空中自由飞行的飞机、炮弹等。反之,若一个物体的位移受到一定的限制,使其在空间不能沿某些方向运动,则此物体称为**非自由体**。如火车受到钢轨的限制,只能沿轨道方向行驶;在汽缸中运动的活塞受到汽缸的限制;重物由钢索吊住,不能下落等。工程实际中绝大多数物体都是非自由体。对非自由体的某些位移起限制作用的周围物体称为**约束**。上述例子中,钢轨对于火车,汽缸对于活塞,钢索对于重物等,都是约束。

既然约束阻碍着物体的位移,也就是约束能够起到改变物体运动状态的作用,所以约束对物体的作用,实际上就是力,这种力称为**约束反力**,简称**约束力**或**反力**。因此,约束力的作用点在约束与被约束物体相互接触之处,方向必与该约束所能够阻碍的位移方向相反。应用这个准则,可以确定约束力的方向或作用线的位置,至于约束力的大小,一般都是未知的。

除约束力外,作用于物体上的力还有如重力、风力、切削力、气体压力等,它们是促使物体运动或使物体产生运动趋势的力,称为**主动力**,工程上常称为**荷载**。约束力多由主动力引起,且会随主动力的变化而变化,大小取决于主动力,故又称为**被动力**。

下面介绍几种在工程中常见的简单约束类型。

2.4.1 柔性体约束

绳索、链条、皮条等柔软物体所构成的约束,当不考虑其自重和变形时,便可视为柔性体约束。例如,吊住重物的绳索(图 2-13)、传动用的链条或皮带(图 2-14)等。

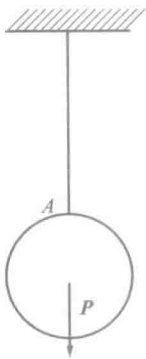


图 2-13

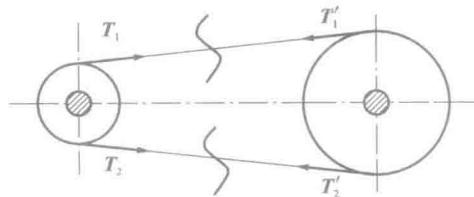
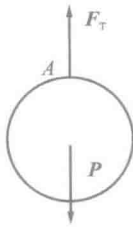


图 2-14

柔性体约束的特点:限制物体沿着柔性体中心线背离柔性体方向的运动,它只能承受拉

力,而不能承受压力。

柔性体的约束力特点:只能是拉力,作用点在接触点,方向沿着柔性体中心线且背离被约束物体,一般用 T 或 F_T 表示。

2.4.2 光滑接触面约束

如果物体的接触面摩擦力很小或润滑条件较好时,可认为接触面为理想光滑,看成是光滑接触面约束。例如,支承物体的固定面(图 2-15)、机床中的导轨等,当摩擦忽略不计时,都属于这类约束。

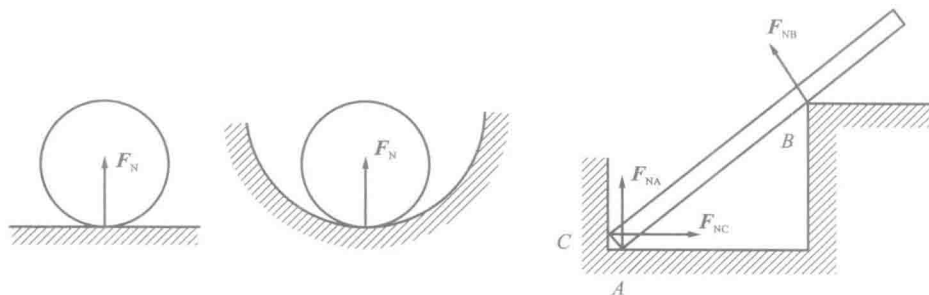


图 2-15

光滑接触面约束的特点:不论接触面的形状如何,它只能限制物体沿两接触面公共法线方向并趋向接触面的运动,而不能限制物体沿着接触表面切线方向运动,这类约束只能承受压力,而不能承受拉力。

光滑接触面的约束力特点:只能是压力,作用点在接触点,方向沿着接触面在接触点处的公共法线且指向被约束物体。因约束力沿法线方向,故又称为法向约束力或法向反力。一般用 F_N 表示。

2.4.3 光滑铰链约束

光滑铰链约束主要包括三种:圆柱铰链、固定铰链支座和向心轴承等。

(1) 圆柱铰链(中间铰链)

如果将两个钻有同样大小圆孔的物体,通过圆柱形销钉串联起来,就构成了圆柱铰链,简称铰链,如图 2-16(a)所示,而图 2-16(b)为其简图。

约束的特点:只能限制物体沿径向的相对移动,不能限制物体绕圆柱销钉轴线的转动和沿圆柱销钉轴线的滑动。

约束力特点:在忽略摩擦力的情况下,圆柱销钉与圆孔是光滑曲面接触,因此约束力 F_C 本质是光滑接触面约束力,作用点在接触点,作用线沿圆柱销钉与圆孔接触面的公共法线方向,垂直于销钉轴线,并通过圆柱销钉中心。但由于接触点不稳定,其方向不能预先确定,要取决于物体所受的主动动力状态,如图 2-16(c)所示。在进行计算时,为了方便,通常表示为过铰链中心的两个大小未知的正交分力 F_{Cx} 和 F_{Cy} ,如图 2-16(d)所示。

(2) 固定铰链支座

如果铰链连接中有一个构件固定在地面或机架上作为支座,则这种约束被称为固定铰链支座,简称固定铰支座,如图 2-17(a)所示;其计算简图有以下几种,如图 2-17(b)、(c)、(d)所示。