

全国大学版协优秀畅销书

21世纪
高等学校
本科系列教材

工程力学

Gongcheng Lixue

■ 主 编 刘德华 程光均



重庆大学出版社

<http://www.cqup.com.cn>

工 程 力 学

主 编 刘 德 华 程 光 均
参 编 黄 超 余 茜
主 审 张 祥 东

重庆大学出版社

内 容 提 要

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(2008年版)”编写,作为高等工业学校建筑环境与设备、给排水工程、环境工程、工程管理、工程造价、房地产、建筑材料、建筑装饰、建筑学等专业的工程力学教材,适用课时数为54~70。

本书内容包括:绪论、基本知识和物体的受力分析、力系的简化、力系的平衡、杆件的内力分析与内力图、平面图形的几何性质、应力及强度计算、变形及刚度计算、应力状态与强度理论、组合变形、压杆稳定等11章及两个附录。

图书在版编目(CIP)数据

工程力学/刘德华等主编. —重庆:重庆大学出版社,2010.8

(土木工程专业本科系列教材)

ISBN 978-7-5624-5448-9

I. ①工... II. ①刘... III. ①工程力学—高等学校—教材 IV. ①TB12

中国版本图书馆CIP数据核字(2010)第100808号

工程力学

主 编 刘德华 程光均

参 编 黄 超 余 茜

主 审 张祥东

策划编辑:彭 宁

责任编辑:谭 敏 谭筱然 版式设计:彭 宁

责任校对:贾 梅 责任印制:赵 晟

*

重庆大学出版社出版发行

出版人:邓晓益

社址:重庆市沙坪坝正街174号重庆大学(A区)内

邮编:400030

电话:(023) 65102378 65105781

传真:(023) 65103686 65105565

网址:<http://www.cqup.com.cn>

邮箱:fxk@cqup.com.cn(营销中心)

全国新华书店经销

重庆华林天美印务有限公司印刷

*

开本:787×1092 1/16 印张:14.5 字数:362千

2010年8月第1版 2010年8月第1次印刷

印数:1—3 000

ISBN 978-7-5624-5448-9 定价:29.50元

本书如有印刷、装订等质量问题,本社负责调换

版权所有,请勿擅自翻印和用本书

制作各类出版物及配套用书,违者必究

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(2008年版)”编写。本书也是为满足教学第一线的需要而编写的,其内容涵盖了“理论力学”中的“静力学”和“材料力学”中的大部分内容,适用于建筑环境与设备、给排水工程、环境工程、工程管理、工程造价、房地产、建筑材料、建筑装饰、建筑学等专业的工程力学课程教学。

为了做到用有限的学时使学生既掌握最基本的经典内容,又能了解基础力学的工程应用以及最新进展,本书在以下几方面做了一些新的探索:①介绍力系的简化与平衡,从空间到平面,从一般到特殊;②将各种内力、应力与强度条件、变形与刚度条件分3章集中介绍;③精选措词,务求准确覆盖力学基本概念的内涵。

本书编写分工为:重庆大学刘德华编写第1、5、9、10章,程光均编写第2、3、4章,黄超编写第7、8、11章,余茜编写第6章及附录。由刘德华、程光均主编。

本书的编者均是处于教学第一线的教师,教材内容和教学实践联系紧密,具有很好的可操作性。全书经传阅、讨论、修改、互校后,由主编统纂修改定稿。

本书由重庆大学张祥东审阅,提出了许多宝贵意见,编者对此深表谢意。

本书为重庆大学“十一五”校级规划教材,在编写过程中重庆大学给予了大力支持和帮助。许欢欢、郑猛、赵明同志绘制所有插图,在此,一并表示衷心的感谢!

限于编者水平,本书难免存在缺点和不妥,希望各位教师 and 读者提出宝贵的意见,以便今后改进。

编者

2010年3月

目 录

第 1 章 绪论	1
1.1 工程力学的任务	1
1.2 工程力学的两种分析模型	2
1.3 变形固体的基本假设	2
第 2 章 基本知识和物体的受力分析	4
2.1 基本概念	4
2.2 基本公理	5
2.3 约束和约束反力	8
2.4 物体的受力分析和受力图	14
思考题	17
习题	17
第 3 章 力系的简化	20
3.1 力的投影与分解	20
3.2 力矩	22
3.3 力偶及其性质	27
3.4 力的平移定理	29
3.5 一般力系的简化	30
思考题	37
习题	38
第 4 章 力系的平衡	42
4.1 力系的平衡	42
4.2 力系平衡方程应用举例	45
4.3 物体系统的平衡	50
思考题	56
习题	57
第 5 章 杆件的内力分析与内力图	64
5.1 基本概念与基本方法	64
5.2 轴力与轴力图	66
5.3 扭矩与扭矩图	68
5.4 梁的内力	70
习题	80
第 6 章 平面图形的几何性质	83
6.1 形心和静矩	83

6.2	惯性矩、惯性积和极惯性矩	85
6.3	惯性矩和惯性积的平行移轴公式、主轴和主惯性矩	88
6.4	回转半径	89
	思考题	90
	习题	91
第7章	应力及强度计算	93
7.1	应力及应变的基本概念	93
7.2	轴向拉压杆横截面和斜截面上的应力	95
7.3	材料在拉伸与压缩时的力学性能	97
7.4	轴向拉压杆件的强度计算	101
7.5	连接件的实用计算	104
7.6	圆轴扭转的应力及强度计算	108
7.7	梁的应力及强度计算	112
	思考题	125
	习题	126
第8章	变形及刚度计算	135
8.1	轴向拉压杆的变形	135
8.2	圆轴扭转时的变形和刚度计算	137
8.3	梁的变形及刚度计算	138
8.4	简单超静定问题	146
	思考题	149
	习题	151
第9章	应力状态与强度理论	159
9.1	应力状态的概念	159
9.2	平面应力状态分析	161
9.3	空间应力状态下的最大应力	165
9.4	广义胡克定律	166
9.5	强度理论	169
	思考题	174
	习题	174
第10章	组合变形	178
10.1	概述	178
10.2	斜弯曲	179
10.3	拉伸(压缩)与弯曲的组合变形	182
10.4	偏心拉伸(压缩)与截面核心	184
10.5	弯曲与扭转的组合变形	187
	习题	189

第 11 章 压杆稳定	193
11.1 压杆稳定的概念	193
11.2 两端铰支细长压杆的临界力	194
11.3 杆端约束的影响	197
11.4 临界应力曲线	199
11.5 压杆的稳定计算	202
11.6 提高压杆稳定性的措施	204
思考题	205
习题	206
附录	209
附录 A 简单荷载作用下梁的转角和挠度	209
附录 B 型钢表	211
参考文献	223

第 1 章

绪 论

工程力学(engineering mechanics)是研究物体机械运动的一般规律及物体在力(系)作用下变形规律的科学。很多重要工程(如高层建筑、大跨度桥梁、海洋平台、高速列车及大型水利工程等)都是在工程力学指导下才得以实现的,同时,实际工程的发展又给工程力学提出了许多新的、需要重新思考和解决的问题。因此,工程力学不仅与力学密切相关,而且与工程实际紧密联系。

1.1 工程力学的任务

任何结构物和机械都是由一些部件或零件所组成,这些部件和零件统称为**构件**(member)。组成结构物或机械的各个构件通常都会受到各种外力的作用,工程构件在外力作用下丧失正常功能的现象称为**失效**(failure)或**破坏**。工程构件的失效形式主要分为三类:**强度失效**(failure by lost strength)、**刚度失效**(failure by lost rigidity)和**稳定失效**(failure by lost stability)。要使结构或机械正常工作,组成结构或机械的每一构件,必须满足以下 3 个方面的要求:

1) 构件在荷载作用下不会发生不可恢复的塑性变形或断裂,这就要求构件必须具有足够的**强度**(strength)。所谓强度,是指构件抵抗破坏的能力。

2) 构件在荷载作用下不会发生过量的变形,这就要求构件必须具有足够的**刚度**(rigidity)。所谓刚度,是指构件抵抗变形的能力。

3) 构件在荷载作用下,应能保持原有形状下的平衡,即稳定的平衡,这就要求构件必须具有足够的**稳定性**(stability)。

构件的强度、刚度和稳定性均与该构件材料的力学性能有关,这些力学性能都需要通过实验测定。因此,实验研究和理论分析同样都是完成工程力学任务所必需的重要手段。

研究作用在构件上的力系的简化和力系的平衡,以及研究杆件的强度、刚度和稳定性是工程力学的主要任务。

1.2 工程力学的两种分析模型

工程构件受力后,其几何形状和几何尺寸都要发生改变,这种改变称为**变形**(deformation),这些构件都称为**变形体**(deformation body)。但如果物体的变形与其原始尺寸相比很小,而忽略这种变形后,对所研究问题结果的精确度影响甚微,且可使问题大为简化,此种情形就可以把这个物体抽象化为**刚体**(rigidity body)。所谓刚体是指在运动中和受力作用后,形状和大小都不发生改变,而且内部各点之间的距离不变的物体。刚体是从实际物体抽象得来的一种理想的力学模型,自然界并不存在。

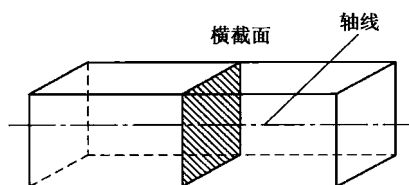


图 1.1

构件的几何形状是多种多样的,但根据其几何特征,可把构件分为**杆件**(bar)、**板**(plane)与**壳**(shell)、**块体**(body)3类。所谓杆件,是指纵向尺寸远远大于另两个横向尺寸的构件,如图 1.1 所示。杆件是材料力学的主要研究对象。

板和壳是指一个方向的尺寸(厚度)远远小于其他两个方向尺寸的构件。板的形状扁平而无曲度,而壳体则呈曲面形状。块体则是指 3 个相互垂直方向的尺寸均属同一量级的构件。

杆件的形状可由**横截面**(normal cross section)和**轴线**(axis of the bar)两个几何特征来描述。所谓横截面就是垂直于杆件长度方向的截面;而轴线则是各个横截面形心的连线。因此,轴线垂直于横截面且通过横截面的形心。杆件的轴线是直线的称为**直杆**(straight bar),轴线是曲线的称为**曲杆**(curved bar)。沿轴线各处横截面的形状和大小完全相同的杆称为**等截面杆**(prismatic bar),否则就是**变截面杆**(variable cross-section bar),本书将着重讨论等截面直杆。

1.3 变形固体的基本假设

为了使研究的问题得到简化,常常略去材料的次要性质,根据其主要性质作出假设,将它们抽象为一种理想模型,然后进行理论分析。为此,对变形固体提出如下几个基本假设与工作假设。

1. 连续、均匀性假定

连续是指材料内部没有空隙,均匀是指材料的性质各处都相同。这一假定称为**连续均匀性假设**(continuity and homogenization assumption)。

根据这一假定,物体因受力和变形而产生的内力和位移都将是连续的,因而可以表示为各点坐标的连续函数,从而有利于建立相应的数学模型。所得的理论结果便于应用于工程设计。

2. 各向同性假设

在所有方向上均具有相同的力学性能的材料,称为**各向同性**(isotropy)材料。大多数工程材料虽然微观上不是各向同性的,例如金属材料,其单个晶粒呈结晶各向异性,但当它们形成

多晶聚集体的金属时,呈随机取向,因而在宏观上表现为各向同性。如果材料在不同方向上具有不同的力学性能,则称这类材料为**各向异性**(anisotropy)材料。如木材、胶合板、复合材料等就属于这种类型。

3. 小变形假设

小变形假定(assumption of small deformation)即假设物体在外力作用下所产生的变形与物体本身的几何尺寸相比是很小的。根据这个假设,当考察变形固体的平衡等问题时,可以不考虑物体的变形,而仍按其变形前的原始尺寸进行计算。这样做不但引起的误差很微小,而且使实际计算大为简化。

4. 线弹性假设

工程上所用的材料,当荷载不超过一定的范围时,材料在卸去荷载后可以恢复原状。但当荷载过大时,则在荷载卸去后只能部分地复原,而残留一部分不能消失的变形。在卸去荷载后能完全消失的那一部分变形称为**弹性变形**(elastic deformation),不能消失而残留下来的那一部分变形则称为**塑性变形**(ductile deformation)。**线弹性**(linear elasticity)是指作用于物体上的外力与弹性变形始终成正比。许多构件在正常工作条件下其材料均处于线弹性变形状态。所以,材料力学中所研究的大部分问题都局限在线弹性范围内。

上述假设中的1、2为材料力学的基本假设,其余两个为工作假设。除这4个假设外,还有一些其他的工作假设,将在相关章节中介绍。

第 2 章

基本知识和物体的受力分析

2.1 基本概念

2.1.1 力的概念

力(force)的概念从生产实践中产生,但其科学概念产生于牛顿定律。力是物体与物体之间的一种相互机械作用。这种机械作用对物体有两种效应:其一使物体的运动状态发生变化,称为力对物体的运动效应(effect of motion);其二使物体的形状或尺寸发生变化,称为力对物体的变形效应(effect of deformation)。物体间机械作用形式多种多样,可归纳为两类:一类是物体相互间的直接接触作用,如弹力、摩擦力、流体压力和黏性阻力等;另一类是通过场的相互作用,如万有引力、静电引力等。力不能脱离物体存在,且有力必定至少存在两个物体。

实践表明,力对物体的作用效应取决于力的大小、方向和作用点,这三者称为力的三要素(three elements of a force)。力的大小反映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机械作用具有方向性,它包括力所顺沿的直线(称为力的作用线)在空间的方位和力沿其作用线的指向。力的作用点是物体间相互机械作用位置的抽象化。实际上物体相互作用的位置并不是一个点,而是物体的某一区域,如果这个区域相对于物体很小或由于其他原因以致力的作用区域可以不计,则可将它抽象为一个点,此点称为力的作用点,而作用于这个点上的力,称为集中力(concentrated force)。在国际单位制中,集中力的单位以“牛顿”或“千牛顿”度量,分别以符号“N”或“kN”表示。

如果力的作用区域不能忽略,则称为分布力(distributed force)。如力均匀分布于作用区域称为均布力,否则称为非均布力。如果力分布在某个面上,称为面分布力,如水压力、风压力等,它常用每单位面积上所受力的大小来度量,称为面分布力集度,国际单位是 N/m^2 (牛/米²);如果力分布在某个体积上,称为体分布力,例如重力,它常用每单位体积上所受力的大小来度量,称为体分布力集度,国际单位是 N/m^3 (牛/米³);。

而当荷载分布于狭长形状的体积或面积上时,则可忽略横向范围而简化为沿其长度方向中心线分布的线分布力,它常用单位长度上所受力的大小来度量,称为线分布力集度,用符号

q 表示,国际单位是 N/m (牛/米)。

由于力对物体的作用效应取决于力的三要素,因此,图中常用一沿力的作用线的有向线段表示,即用矢量表示,这种强调作用点位置的矢量称为**定位矢量**(fixed vector)。此矢量的起点或终点表示力的作用点,长度按一定比例尺表示力的大小,指向表示力的方向。如果不在图中强调力的大小,线段的长度不必严格按照比例画出。如图 2.1 表示了物体在 A 点受到力 $\boldsymbol{F}$ 的作用。本书中用黑体字母 $\boldsymbol{F}$ 表示力矢量,而用普通字母 F 表示力的大小。

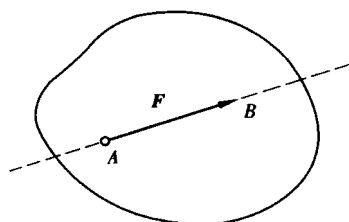


图 2.1

2.1.2 平衡的概念

平衡(equilibrium)是指物体相对于惯性参考系保持静止或做匀速直线平动的状态。在一般的工程技术问题中,平衡常常是相对于地球表面而言的。例如静止于地面上的房屋、桥梁、水坝等建筑物,在平直轨道上做匀速运动的列车等,都是相对于地面处于平衡状态的。平衡是物体机械运动的特殊情况。一切平衡都是相对、有条件和暂时的,而运动是绝对的和永恒的。

2.1.3 力系的概念

同时作用于物体上的一群力,称为**力系**(system of forces)。根据力系中各力作用线的分布情况分为:各力作用线位于同一平面内,称为**平面力系**(coplanar force system);否则称为**空间力系**(three dimensional force system)。根据力系中各力作用线的关系分为:作用线汇交于同一点,称为**汇交力系**(concurrent force system);作用线相互平行,称为**平行力系**(parallel force system);全部由力偶组成的力系称为**力偶系**(system of couples);否则称为**一般力系**(arbitrary force system)。力系分类如下:

$$\text{力系} \begin{cases} \text{平面力系} \begin{cases} \text{汇交力系} \\ \text{平行力系} \end{cases} \\ \text{空间力系} \begin{cases} \text{力偶系} \\ \text{一般力系} \end{cases} \end{cases}$$

对同一物体作用效应相同的两个力系称为**等效力系**(equivalent force system)。使物体处于平衡状态的力系称为**平衡力系**(force system of equilibrium)。

2.1.4 力系的简化(或合成)

用一个更简单的力系等效代替原力系的过程称为**力系的简化**(reduction of force system)。特别地,如果用一个力就可以等效地代替原力系,则称该力为原力系的**合力**(resultant),而原力系中各力称为该力的**分力**。对力系进行简化有利于揭示力系对刚体的作用效应。

2.2 基本公理

公理是人们在长期的生活和生产实践中,经过反复的观察和实验总结出来的客观规律,并

被认为是无须再证明的真理。工程静力学的基本公理是关于力的基本性质的概括和总结,是研究力系的简化和平衡的基础。

2.2.1 力的平行四边形法则

作用于物体上同一点的两个力 F_1 和 F_2 可以合成为一作用线过该点的合力 F_R , 合力 F_R 的大小和方向, 由以力 F_1 和 F_2 为邻边所构成的平行四边形的对角线确定, 这称为力的平行四边形法则。如图 2.2(a) 所示。记为:

$$F_R = F_1 + F_2 \quad (2.1)$$

即合力 F_R 等于两分力 F_1 和 F_2 的矢量和。

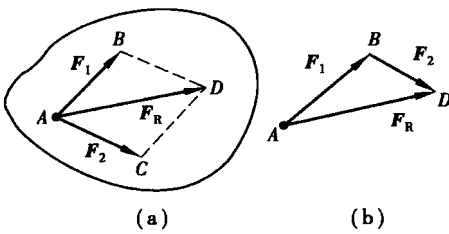


图 2.2

为了简便, 作图时可直接将力矢 F_2 平移连在力矢 F_1 的末端 B , 连接 A 和 D 两点即可求得合力矢 F_R , 见图 2.2(b)。这个三角形 ABC 称为力三角形, 这样求合力矢的作图方法称为力的三角形法则。

力的平行四边形法则既是力系合成的法则, 同时也是力分解的法则。根据这一法则可将一个力分解为作用于同一点的若干个分力。实用计算中, 往往采用正交分解。

2.2.2 作用与反作用定律(牛顿第三定律)

两物体间相互作用的力总是大小相等、方向相反、作用线沿同一直线, 分别且同时作用在这两个物体上, 这称为作用与反作用定律。

这个定律概括了任何两个物体间相互作用的关系。有作用力, 必定有反作用力, 两者总是同时存在, 又同时消失。

2.2.3 二力平衡公理

刚体在两个力作用下保持平衡的必要充分条件是: 这两个力大小相等、方向相反、作用线沿同一直线, 这称为二力平衡公理。见图 2.3。

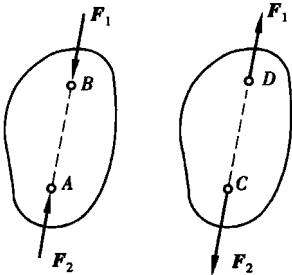


图 2.3

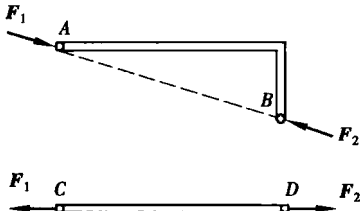


图 2.4

这个公理所指出的条件, 对于刚体是必要且充分的, 但对于变形体就不是充分的。例如, 不计重量的软绳在两端受到大小相等、方向相反的拉力作用可以平衡, 但如果是压力就不能平衡。同时也应注意, 作用力与反作用力虽然也是大小相等、方向相反、作用线沿同一直线, 但它

们分别且同时作用在不同的两个物体上,并不互成平衡力,因此不能把二力平衡公理同作用与反作用定律混淆。二力平衡公理是推证力系平衡条件的基础。

仅在某两点受力作用并处于平衡的物体(或构件)称为**二力体**(body of two forces)或**二力构件**(members subjected to the action of two forces)。二力体所受的二力,必沿此二力作用点的连线,且等值、反向,见图 2.4。

2.2.4 加减平衡力系公理

在作用于刚体的任意力系上,增加或减去若干个平衡力系,都不会改变原力系对刚体的作用效应,这称为**加减平衡力系公理**。

这个公理的正确性是显而易见的,因平衡力系中各力对刚体作用的总效应等于零。加减平衡力系公理是研究力系等效变换的重要依据。

2.2.5 刚化公理(principle of rigidization)

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,其平衡状态不变,这称为**刚化公理**。

这个公理指出,刚体的平衡条件,对于变形体的平衡也是必要的。因此,可将刚体的平衡条件,应用到变形体的平衡问题中去。

必须指出,刚体的平衡条件,只是变形体平衡的必要条件,而非充分条件。例如,绳索在等值、反向、共线的两个拉力作用下处于平衡,如将绳索刚化为刚体,其平衡状态保持不变;而绳在两个等值、反向、共线的压力作用下并不能平衡,此时绳索就不能刚化为刚体。但刚体在上述两种力系的作用下都是平衡的。这说明对于变形体的平衡来说,除了满足刚体平衡条件之外,还应满足与变形体的物理性质相关的附加条件(如绳索不能受压)。

2.2.6 两个推论

1. 力的可传性(transmissibility of force)

作用于刚体上的力,可以沿其作用线滑移至该刚体内任意一点,而不改变该力对该刚体的作用效应。

证明:设力 F 作用于刚体的 A 点,见图 2.5(a)。在力 F 的作用线上任取 B 点,并且在 B 点加一对沿 AB 的平衡力 F_1 和 F_2 ,且使 $F_1 = -F_2 = F$,见图 2.5(b)。由加减平衡力系公理知, F, F_1, F_2 三力组成的力系与原力 F 等效。再从该力系中减去由 F 和 F_2 组成的平衡力系,则剩下的力 F_1 (见图 2.5(c))与原力 F 等效。即把原来作用在 A 点的力 F 沿作用线移到了任取的 B 点。

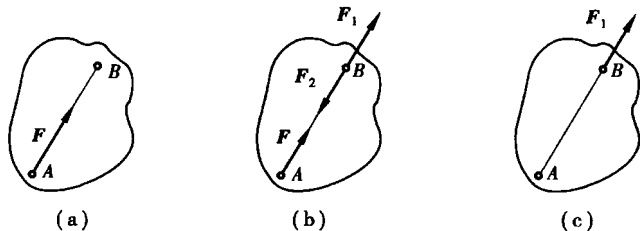


图 2.5

力的可传性在生产实践中也可以得到验证。例如,若保持力的大小、方向和作用线不变,则推车和拉车效果相同。

由此可见,对于刚体来说,力的三要素转化为:力的大小、方向和作用线。作用于刚体上的力是滑动矢量(sliding vector)。力的可传递性不适用于变形体,而且只对同一刚体适用,不能将力沿其作用线从一个刚体滑移到另一个刚体上去。

2. 三力平衡汇交定理

刚体在不平行的3个力作用下平衡的必要条件是此三力的作用线汇交于一点且共面。

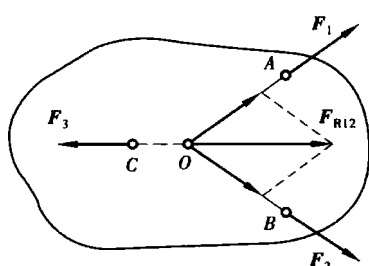


图 2.6

证明:设在刚体的 A, B, C 三点上,分别作用不平行的三个相互平衡的力 F_1, F_2, F_3 (图 2.6)。根据力的可传性,将力 F_1, F_2 移到其汇交点 O ,然后根据力的平行四边形法则,得合力 F_{R12} ,则力 F_3 应与 F_{R12} 平衡。由二力平衡公理知,力 F_3 与 F_{R12} 必共线,由此可知力 F_3 的作用线必通过 O 点并与力 F_1, F_2 共面。

三力平衡汇交定理只说明了不平行三力平衡的必要条件,而不是充分条件。它常用来确定刚体在不平行三力作用下平衡时,其中某一未知力的作用线方位。

2.3 约束和约束反力

凡能在空间自由运动的物体称为自由体(free body)。例如,航行的飞机,正在掉落的苹果等。如果物体的运动受到一定的限制,使其在某些方向的运动成为不可能,则这种物体称为非自由体或受约束体(constrained body)。例如,用绳索悬挂的重物,搁置在墙上的梁,沿轨道行驶火车等。

对非自由体的运动所预加的限制条件称为约束(constraint)。如上述绳索是重物的约束,墙是梁的约束,轨道是火车的约束。绳索、墙和轨道分别限制了各相应物体在它们被限制的方向上的运动。

既然约束限制着被约束物体的运动,那么当被约束物体沿着约束所限制的方向有运动趋势时,约束对该被约束物体必然有力作用,以阻碍该被约束物体的运动,这种力称为约束反力(reactions of constraint)或约束力(constraint force)。约束反力的方向总是与约束所能阻止的被约束物体的运动趋势方向相反,它的作用点就是约束与被约束物体的接触点,而约束反力的大小是未知的。

与约束反力相对应,凡能主动引起物体运动或使物体有运动趋势的,称为主动力(applied forces)。如重力、土压力、水压力等。作用在结构物体上的主动力称为荷载(loads)。通常主动力是已知的,约束反力是未知的。约束反力由主动力引起且随主动力的改变而改变。另外,约束的类型不同,约束反力的作用方式也不相同。

工程中的约束的构成方式是多种多样的,为了确定约束反力的作用方式,必须对约束的构成及性质进行具体分析,并结合具体工程,进行抽象简化,得到合理、准确的约束模型。下面介绍在工程中常见的几种约束类型及其约束反力的特性。

2.3.1 柔索约束

由柔软而不计自重的绳索、胶带、链条等所构成的约束统称为**柔索约束** (flexible cable constraint)。由于柔索约束只能限制被约束物体沿柔索中心线伸长方向的运动,所以柔索约束的约束反力必定过连系点,沿着柔索约束的中心线且背离被约束物体,表现为拉力,用符号 F_T 表示。如图 2.7 所示。柔索约束是工程中常见的约束。

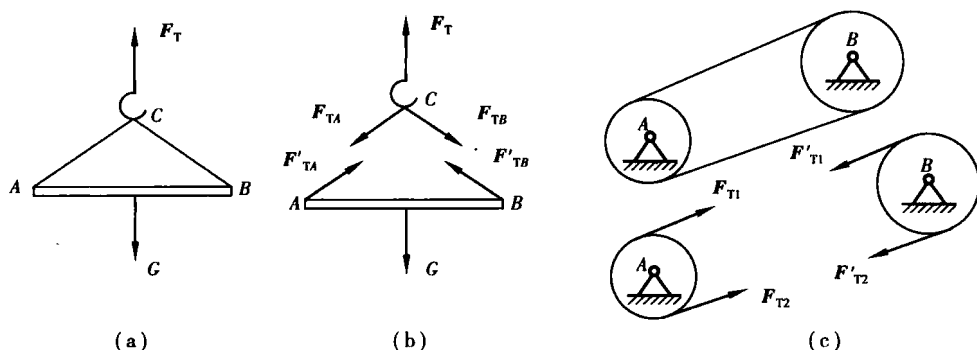


图 2.7

2.3.2 光滑接触面约束

两物体直接接触,当接触面摩擦可忽略不计时,就属于**光滑接触面约束** (smooth surface constraint)。这种约束只能限制物体沿着接触面在接触点的公法线方向且指向接触面的运动,而不能限制物体沿接触处切面方向或离开接触面的运动。因此,光滑接触面约束的约束反力过接触点,沿接触面的公法线并指向被约束物体的接触面(表现为压力)。通常用 F_N 表示,如图 2.8 所示。

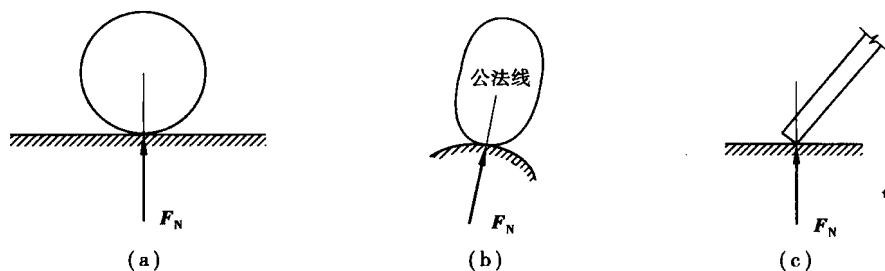


图 2.8

2.3.3 光滑圆柱形铰链约束

两物体分别被钻上直径相同的圆孔并用销钉连接起来,不计销钉与销钉孔壁间的摩擦,这类约束称为**光滑圆柱形铰链约束** (smooth cylindrical pin constraint),简称**铰链约束** (pin constraint),见图 2.9(a)。铰链约束是连接两个物体(或构件)的常见约束方式,它可用图 2.9(b)所示力学简图表示。铰链约束的特点是只能限制被连接的两物体在垂直于销钉轴线平面内任意方向的相对移动,但不能限制被连接的两物体绕销钉轴线的相对转动和沿销钉轴线的相对滑动。因此,铰链的约束反力作用在销钉与圆孔的接触点,位于与销钉轴线垂直的平面内,并

通过销钉中心线。但是由于销钉与圆孔接触点的位置随物体所受荷载的改变而改变,所以约束反力作用线方位无法预先确定,见图 2.9(c) 中 F_A 。工程中常用通过铰链中心的相互垂直的两个分力 F_{Ax} , F_{Ay} 表示,见图 2.9(d)。

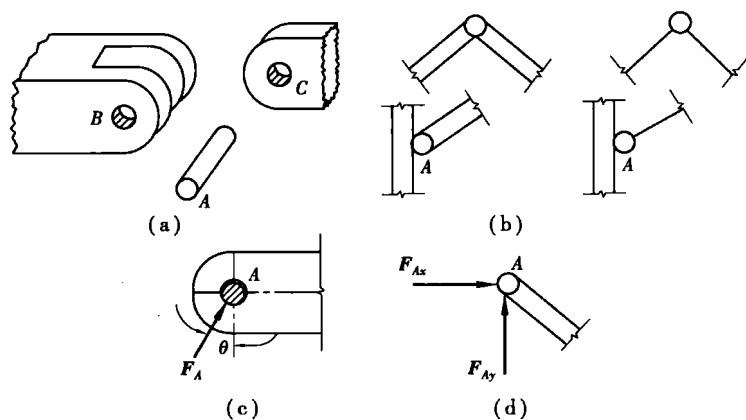


图 2.9

圆柱形铰链约束只适用于平面机构或结构。

2.3.4 链杆约束

两端用铰链与不同的物体连接且中间不再受力(包括不计自重)的直杆称为**链杆**,见图 2.10(a) 中杆 AB 。这种约束只能限制物体上的铰结点沿链杆轴线方向的运动,而不能限制其他方向的运动。因此,链杆的约束反力沿着链杆中心线,根据实际情况既可表现为拉力,也可表现为压力。常用符号 F 表示。图 2.10(b), (c), (d) 分别为链杆的力学简图及其约束反力的表示方法。

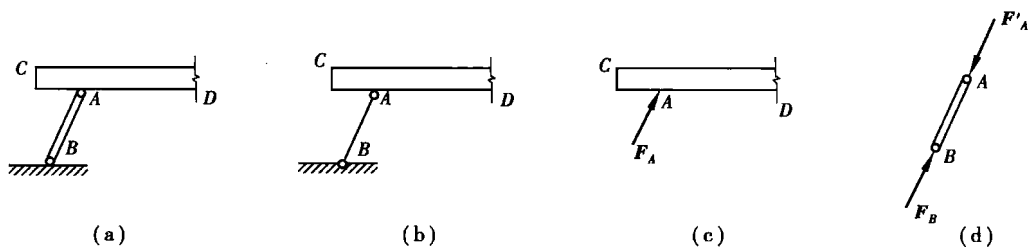


图 2.10

2.3.5 固定铰支座

将结构物或构件连接在墙、柱、机座等支承物上的装置称为**支座**。将结构物或构件用光滑圆柱形铰链与支承底板连接在支承物上而构成的支座,称为**固定铰支座**。图 2.11(a), (b) 为其构造示意图,图 2.11(d) 为其力学简图。通常为避免在构件上钻孔而削弱构件的承载能力,可在构件上固结另一用以钻孔的物体并称为上摇座,而将底板称为下摇座,见图 2.11(c)。

固定铰支座就其构造和约束性质来说,与圆柱铰链约束相同。因此,固定铰支座的约束反力与圆柱铰链约束反力形式也相同,通常用两个相互垂直的分力 F_{Ax} , F_{Ay} 表示,见图 2.11(e)。