

工学结合·基于工作过程导向的项目化创新系列教材
国家示范性高等职业教育土建类“十二五”规划教材



土木

工程力学



TJMU
GONGCHENGLIXUE

>>>主 编 王旭芳 王环武
>>>副主编 黄 伟 柳 爱
马莉骅 郑红勇
刘 冰



华中科技大学出版社

<http://www.hustp.com>

国家示范性高等职业教育土建类“十二五”规划教材

土木工程力学

主 编 王旭芳 王环武
副主编 黄 伟 柳 爱 马莉骅
郑红勇 刘 冰

华中科技大学出版社
中国·武汉

内 容 提 要

全书共分 15 个项目,内容包括:绪论、静力学基础与物体受力分析、静定结构的反力计算、杆件截面几何性质、平面杆系结构几何组成、构件的内力分析、轴向拉(压)杆的强度和变形计算、连接件及圆轴的强度计算、梁的强度和刚度计算、组合变形下构件的强度计算、压杆的稳定性计算、静定结构的内力分析、静定结构的位移计算、力法计算超静定结构内力、位移法和力矩分配法计算超静定结构、移动荷载作用下的结构内力分析。各项目都配有学习目标、小结、思考题和习题,并附有习题参考答案。书中带*号部分为不同学时、不同专业选修内容。

本书可作为高等职业院校、成人高校、继续教育学院等土木工程类专业的教材,以及专升本及自学用书,也可供有关工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

土木工程力学/王旭芳 王环武 主编. —武汉:华中科技大学出版社,2013.9
ISBN 978-7-5609-9064-4

I. 土… II. ①王… ②王… III. 建筑科学-力学-高等职业教育-教材 IV. TU311

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2013)第 114058 号

土木工程力学

王旭芳 王环武 主编

策划编辑:张毅康序

责任编辑:张毅

封面设计:李嫚

责任校对:马燕红

责任监印:张正林

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:武汉正风天下文化发展有限公司

印 刷:湖北恒泰印务有限公司

开 本:787mm×1092mm 1/16

印 张:20.75

字 数:528千字

版 次:2013年9月第1版第1次印刷

定 价:41.00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

前言



本书是以通过高等职业教育培养生产、建设、管理和服务第一线的高等技术应用型人才为目标,依据高职高专土木工程类专业的教学计划和教学要求编写。本书突出了高等职业教育的特点,以技能培养为指导思想,理论以“必需、够用”为度,简化了公式的推导,着重基本概念和理论的应用,结合工程实际选择典型例题,重视对学生工程意识的培养和解决实际问题的能力。

本书在内容组织上进行了较大的改革,按“模块化”结构形式对教材内容进行了科学整合,即分为结构静力学分析、结构几何组成分析、构件承载能力分析、结构承载能力分析四个模块。对每一个模块的内容,按“项目驱动”模式、以“工作任务”为导向来展开。

为了方便学生对知识进行归纳和总结,书中特别标出一些重要的结论和特别提示,典型的例题还给出了例题总结。书中各项目都配有学习目标、项目小结、思考题和习题。书中带*号部分为不同学时、不同专业选修内容。

参加本书编写工作的有:武汉铁路职业技术学院王旭芳(绪论、项目1、项目2、项目3、项目4、项目6)、马莉骅(项目5、项目7),长江勘测规划设计研究院王环武(项目9、项目11、项目14、项目15),台州职业技术学院柳爱(项目10、项目12),淮南联合大学黄伟(项目13),太原大学郑红勇(项目8),湖北工程学院刘冰参与了部分章节的编写及提供素材。

为了方便教学,本书还配有教学课件等教学资源包,相关教师和学生可以登录“我们爱读书”网免费注册并下载,或者发邮件至 husttujian@163.com 免费索取。

由于编者水平和时间有限,书中难免有不足之处,敬请广大读者给予指正。

编者

2013年7月

目录

绪论	(1)
----------	-----

模块 1 结构静力学分析

项目 1 静力学基础与物体受力分析	(6)
任务 1 力的性质及力的投影	(7)
任务 2 力矩和力偶	(15)
任务 3 荷载和约束	(20)
任务 4 结构计算简图及物体受力分析	(26)
项目 2 静定结构的反力计算	(36)
任务 1 平面力系的简化和平衡	(37)
任务 2 力系的平衡方程	(41)
任务 3 静定结构的反力计算实例	(43)

模块 2 结构几何组成分析

项目 3 杆件截面几何性质分析	(54)
任务 1 物体的重心	(55)
任务 2 简单平面图形的几何性质	(59)
任务 3 组合平面图形的几何性质	(63)
项目 4 平面杆系结构几何组成分析	(69)
任务 1 几何不变体系组成规则	(70)
任务 2 杆系结构几何组成分析及应用	(75)
任务 3 杆系结构几何组成与静定性关系	(76)

模块 3 构件承载能力分析

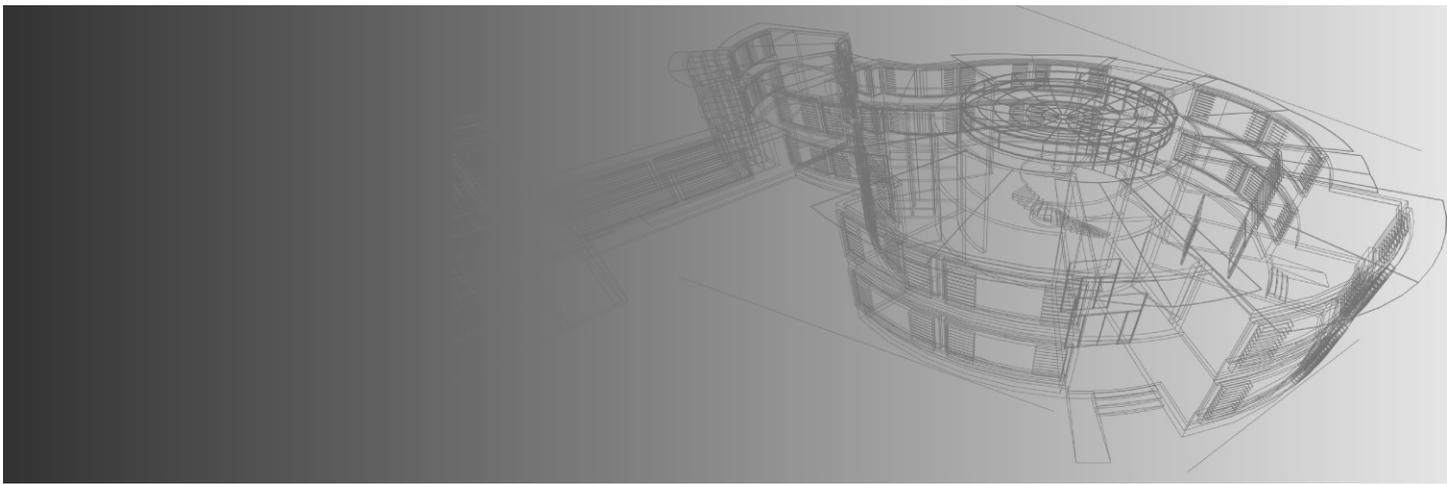
项目 5 构件的内力分析	(80)
任务 1 构件内力与变形的形式	(81)
任务 2 轴向拉(压)杆的内力分析	(83)
任务 3 圆轴扭转的内力分析	(86)

任务 4 梁弯曲的内力分析	(88)
项目 6 轴向拉(压)杆的强度和变形计算	(106)
任务 1 轴向拉(压)杆的应力及强度计算	(107)
任务 2 轴向拉(压)杆的变形计算及胡克定律	(116)
任务 3 材料在拉(压)时的力学性能	(120)
任务 4 应力集中及其影响	(126)
项目 7 连接件及圆轴的强度计算	(132)
任务 1 连接件剪切和挤压的实用计算	(133)
任务 2 圆轴扭转的强度和刚度计算	(137)
* 任务 3 矩形截面杆扭转简介	(142)
项目 8 梁的强度和刚度计算	(146)
任务 1 梁横截面的正应力和切应力	(147)
任务 2 梁的强度计算	(155)
* 任务 3 梁的主应力和主应力迹线	(160)
任务 4 梁的变形和刚度计算	(166)
任务 5 提高梁强度和刚度的措施	(171)
项目 9 组合变形下构件的强度计算	(179)
任务 1 斜弯曲梁的强度计算	(181)
任务 2 偏心拉(压)杆的强度计算	(184)
项目 10 压杆的稳定性计算	(191)
任务 1 压杆的临界力和欧拉公式	(192)
任务 2 压杆的稳定性计算	(197)

模块 4 结构承载能力分析

项目 11 静定结构的内力分析	(204)
任务 1 多跨静定梁内力图绘制	(205)
任务 2 平面刚架内力图绘制	(208)
任务 3 平面桁架结构内力计算	(214)
任务 4 三铰拱内力计算	(219)
任务 5 静定结构的基本特征	(226)
项目 12 静定结构的位移计算	(231)
任务 1 虚功原理及单位荷载法	(232)
任务 2 荷载作用下结构的位移计算	(237)
任务 3 图乘法	(239)
任务 4 支座和温度改变下结构的位移计算	(244)

项目 13 力法计算超静定结构内力	(251)
任务 1 力法基本原理与典型方程	(252)
任务 2 力法计算超静定结构内力举例	(258)
任务 3 对称性的应用	(266)
项目 14 位移法和力矩分配法计算超静定结构	(273)
任务 1 位移法原理	(274)
任务 2 单跨超静定梁的形常数和载常数	(277)
任务 3 位移法计算典型超静定结构	(280)
任务 4 力矩分配法原理	(283)
任务 5 力矩分配法计算连续梁和刚架	(287)
项目 15 移动荷载作用下的结构内力分析	(293)
任务 1 静力法作静定梁的影响线	(294)
*任务 2 机动法作梁的影响线	(299)
任务 3 影响线的应用	(303)
*任务 4 梁的内力包络图	(309)
附录 A 型钢规格表及截面特征	(317)
参考文献	(324)



绪 论

在人类的生产和生活实践中,要建造一些建筑物,如房屋建筑、隧道等地下工程建筑、水利建筑和道路桥梁等建筑物,如图 0-1 所示。这些建筑物的设计计算和施工都要用到力学知识。

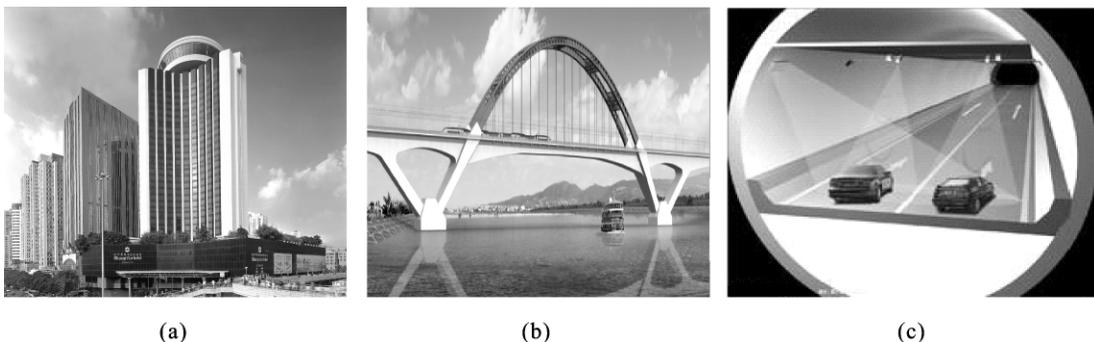


图 0-1

力学是研究力对物体作用效应的科学,其作用效应分为外效应(运动效应)和内效应(变形)两种。土木工程力学是力学中最基本的、应用最广泛的力学分支,它将静力学、材料力学、结构力学三门课程的主要内容融合为一体,其中静力学部分主要研究结构的静力平衡条件;材料力学部分主要研究构件的承载能力;结构力学部分则主要研究结构的几何组成及承载能力。土木工程力学是每一位从事建筑设计及施工工作的技术人员必须掌握的基本内容之一。

一、土木工程力学的研究对象

在建筑物中,承受并传递荷载的同时又起骨架作用的主要物体称为建筑结构,组成结构的基本部分称为构件。例如,图 0-2 所示的工业厂房结构是由屋架、柱、吊车梁及基础等构件组成的,它们起着支承荷载的骨架作用。在工程中,将主动作用在建筑物和工程结构上的外力称为荷载。

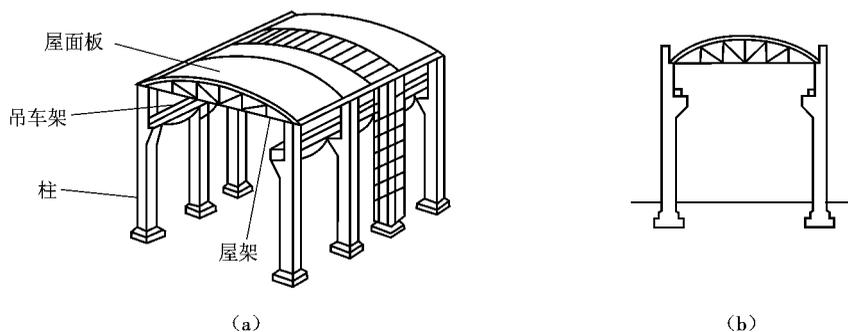


图 0-2

1. 变形固体及其基本假设

工程结构的构件都是由固体材料制成的,如钢、铸铁、木材、混凝土等,它们在外力作用下会发生变形,有些变形可直接观察到,有些变形则需通过仪器测出。在外力作用下会产生变形的固体称为变形固体。在进行力学理论分析时,为使问题简化,对实际变形固体的材料做出一定假设,将其理想化。理想变形固体材料的基本假设有以下三个。

1) 连续均匀假设

物体材料无空隙的连续分布,材料内各处性质均相同。因此,对物体进行内部分析时,可从物体任一位置取出微小部分,其结果可代表整个物体,同时一些物理量的分析可运用连续函数表示它们的变化规律。

2) 各向同性假设

对于各向同性材料(如钢材、铸铁、混凝土等),认为材料沿各个方向的力学性能均相同。因此,在获得材料在任一方向的力学性能后,就可将其结果用于其他方向。

有的材料沿不同方向表现出不同的力学性能(如木材、复合材料等),这类材料称为各向异性材料。本书主要研究各向同性材料。

3) 小变形假设

变形固体在外力作用下均会发生变形。撤去外力后构件可恢复的变形部分称为弹性变形,而不能恢复的变形部分称为塑性变形。只引起弹性变形的外力范围称为弹性范围,本书主要讨论材料在弹性范围内的变形及受力。

在实际工程中,构件在荷载作用下,其变形与构件的原始尺寸相比通常很微小,可以忽略不计,称为小变形。因此,在研究构件的平衡问题时,可按变形前的尺寸和形状进行计算,同时变形的高次幂项也可忽略不计,这样,计算工作将大为简化,而又不影响结果的实用精度。

2. 构件及杆系结构

根据构件的几何特征,构件可分为以下四种类型。

1) 杆件

杆件的几何特征是长度(纵向)远大于其横截面(横向)尺寸,如图 0-3(a)所示。根据杆的轴线(垂直于横截面)线形,杆件可分为直杆和曲杆,等直杆即轴线为直线且横截面形状、尺寸均不

改变的杆件。

2) 板和壳

板和壳的几何特征是厚度远小于另外两个方向的尺寸,如图 0-3(b)所示。平面形状的称为板,曲面形状的称为壳。

3) 块体

块体的几何特征是在三个方向的尺寸基本为同一数量级,如图 0-3(c)所示。

4) 薄壁杆

薄壁杆的几何特征是在三个方向的尺寸相差都很悬殊,如图 0-3(d)所示的槽钢,当 $l \geq b \geq t$ 时可认为是薄壁杆。

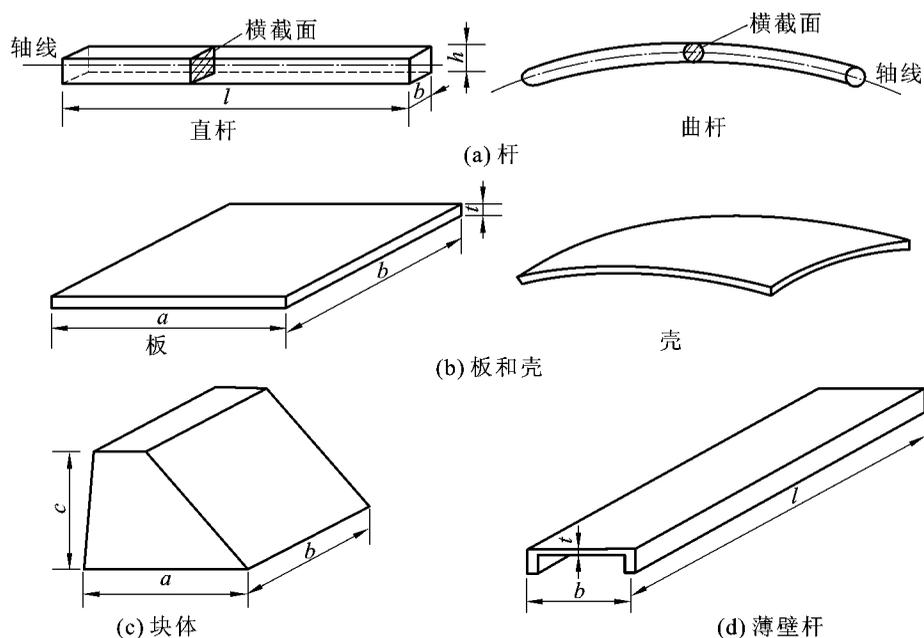


图 0-3

由杆件组成的结构称为杆系结构。杆系结构是建筑工程中应用最广的一种结构,它可以是单一的整体,如梁体、桥墩等单一整体,也可以是由多个构件组成的体系,例如,由基础、墩台和梁体组成的桥梁结构。

综上所述,本书研究的主要对象是连续均匀的、各向同性的、弹性变形的固体,且限于小变形范围内的杆系结构。

二、土木工程力学的任务

杆系结构作为承受和传递荷载的结构,必须满足一定的组成规律而保持结构的稳定,才能完成结构的使用功能。作为结构,它必须具备安全性、经济性、适用性和耐久性等要求,其中安全性是首要必备的。

要衡量结构的安全性,首先要研究结构在荷载作用下的平衡规律。所谓平衡,是结构相对

于地球保持静止状态或匀速直线运动状态。衡量结构是否具有足够的承载能力一般从强度、刚度、稳定性三方面考虑。

所谓强度,是指结构抵抗破坏的能力,即结构在使用寿命期限内,承受荷载而不破坏。有关这方面的计算统称为强度计算。

所谓刚度,是指结构抵抗变形的能力,即结构在荷载作用下产生的变形不允许超过某一限值。对于一些安全性能要求较高的结构,应进行刚度计算。

所谓稳定性,是指结构保持原有平衡状态的能力,即要求结构在正常工作时不突然改变原有平衡状态,以免因变形过大而破坏。本书稳定性的研究对象主要是轴向受压细长杆件(称为立柱),研究的目的是防止立柱因受压变弯失去原有的平衡能力而导致安全隐患发生。

结构在满足安全的前提下,还应考虑经济性、适用性和耐久性等要求,充分发挥材料的力学性能。设计合理的结构形式,能保证结构在使用寿命内正常工作。土木工程力学的任务就是为结构的设计和分析计算提供理论依据和计算方法。

三、土木工程力学的主要研究方法

土木工程力学是力学的一门分支课程,其主要的研究方法包括理论分析、实验分析和计算机分析三种。对力学的基本概念、定理的理解和运用以理论分析法为主;结构的承载能力分析因与所选材料的力学性能有关,必须通过材料实验才能测定;对于复杂建筑的结构计算,则可以利用计算机来完成。这三种研究方法是相辅相成、互相促进的,在学习过程中,掌握传统的理论分析和实验分析是很重要的。

土木工程力学是土建类专业的一门技术基础课程,具有承上启下的作用。在学习力学知识的同时,应加强理论分析和工程实践相结合,重视计算分析能力和创新能力的培养。

模块 1

结构静力学分析

MOKUAI 1
JIEGOU JINGLIXUE FENXI

静力学部分主要研究静力学基本理论以及结构在力系作用下的平衡规律，其主要内容包括静力学公理、约束的性质、平面力系的简化和平衡、静定结构的受力分析等问题。

项目

静力学基础与物体受力分析

学习目标



1. 知识目标

- (1) 掌握力、力矩和力偶的基本概念及性质。
- (2) 掌握静力学基本公理、定理。
- (3) 掌握常见约束及约束力性质。

2. 能力目标

- (1) 掌握绘制结构计算简图的方法。
- (2) 熟练掌握物体受力图的绘制。

我们在利用套筒扳手卸螺母时,如果无法拧动,在手柄两端加长套筒,就可以很轻松地卸下螺母。此实例很好地阐明了力偶矩的性质,说明力学知识在我们生活中无处不在。

任务 1 力的性质及力的投影

一、力、力系的概念

1. 力的概念

1) 力的定义

力是物体间相互的机械作用。因此,力不能脱离物体而存在,它总是成对出现的(施力体和受力体)。物体在力的作用下会发生两种效应:一是使物体运动状态发生变化,称为力的外效应或运动效应(平衡是其特殊情况);二是使物体产生变形,称为力的内效应或变形效应(刚体不发生变形则是在特定条件下的一种简化)。

力的外效应又可分为移动效应和转动效应两种。例如,车辆在牵引力的作用下沿直线前进,此为力的移动效应;拧紧螺栓时,作用在扳手上的力使扳手转动,此为力的转动效应。一般情况下,力对物体的外效应既有移动效应又有转动效应,例如,钻机在钻进过程中钻杆所受的力,既有使钻杆下移的移动效应,又有使钻杆旋转的转动效应。

2) 力的三要素

力对物体的作用效应取决于力的大小、方向和作用点,即力的三要素。三要素中任何一个的改变,都会使力对物体的作用效应发生变化,只有三要素完全相同的力,对物体的作用效应才相同,称为等效力。

3) 力的表示法

力具有大小和方向,这表明力是矢量,一般用黑体字母如 \mathbf{F} 表示力矢量,而用普通字母如 F 表示该矢量的大小。衡量力大小的单位,国际单位制(SI)中采用牛(N)或千牛(kN)。力矢量的几何图示用一个有向线段来表示力的三要素,如图 1-1 所示。线段的长度按一定的比例尺表示力的大小;线段的方位和箭头指向表示力的方向;线段的起点(或终点)表示力的作用点。通过力的作用点沿力的方位所画的直线,称为力的作用线。

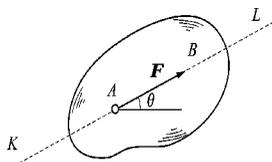


图 1-1

2. 力系的概念

作用在物体上的一组力称为力系。对同一物体作用效应完全相同的两力系,彼此称为等效力系。若一个力与一个力系等效,则此力称为该力系的合力,而力系中所有各力都可称为这个合力的分力。把力系的作用效应用一个力表示的过程,称为力系的合成;把一个力作用效应用几个分力表示的过程,称为力的分解。

如果物体在某一力系的作用下保持平衡状态,则该力系称为平衡力系。欲使物体处于平衡状态,则作用于物体上的力系必须满足一定条件,这些条件称为力系的平衡条件。研究力系的平衡条件及其应用是静力学的主要任务。

按照力系中各力作用线(或力偶作用面)是否位于同一平面内,将力系分为平面力系和空间力系两大类。按照各力作用线分布的不同,平面力系又可分为以下几种情况:

- (1) 平面汇交力系——各力作用线汇交于一点;
- (2) 平面平行力系——各力作用线相互平行;
- (3) 平面力偶系——平面力系中各力可以组成若干力偶或力系由若干力偶组成;
- (4) 平面一般力系——力系只由力组成,各力作用线既不完全交于一点,也不完全相互平行;或力系由力和力偶共同组成。

3. 刚体的概念

由于结构或构件在正常情况下产生的变形属于小变形范畴,在分析物体的平衡问题时,为使问题得以简化,认为物体在外力作用下并不发生变形。因此,在外力作用下其大小和形状均保持不变的物体称为刚体。

现实中刚体并不存在,它只是实际变形体的一种理想的力学模型。静力学主要研究物体的平衡问题,为了研究问题方便,将所有的物体均视为刚体,因此又称为刚体静力学。材料力学和结构力学主要研究结构或构件在外力作用下的变形和破坏,所以必须把物体看成变形体。

二、力的性质

力的性质是人类在长期的生活和生产实践中,对客观现实经过不断地分析、抽象、归纳和总结而得出的结论。力的性质是静力学的理论基础,也称为静力学公理。

1. 二力平衡公理

作用在同一刚体上的两个力,使刚体保持平衡的充要条件是:两个力大小相等,方向相反且作用在同一直线上。

本公理说明,两个等值、反向、共线的力构成最简单的平衡力系,它是推证其他力系平衡条件的基础。

【特别提示】 此公理仅适用于刚体,对刚体而言是充要条件,但对于变形体而言只是必要而非充分条件,例如,绳索受两个等值、反向、共线的压力作用时就不能平衡,如图 1-2 所示。

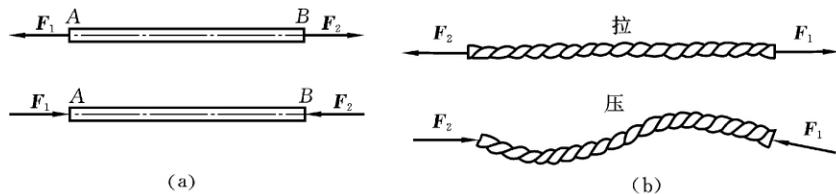


图 1-2

【结论】 只受两个力的作用而处于平衡状态的构件称为二力杆。二力杆所受的两个力方

向必沿着二力作用点的连线,且两者等值、反向,如图 1-3 所示支架中,不计杆件自重时,BC 杆为二力杆。

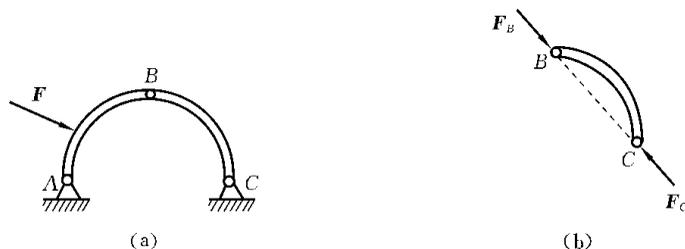


图 1-3

2. 加减平衡力系公理

在作用于刚体上的任一力系中,加上或减去任意一个平衡力系,都不改变原力系对刚体的作用效应。

利用本公理可进行力系的等效变换,常用来简化已知力系和推导一些定理。

【推论】 力的可传性原理:作用于刚体上的力,可沿其作用线滑移至该刚体上的任一点,而不改变该力对刚体的作用效应。

如图 1-4 所示,刚体上 A 点作用一力 F ,根据加减平衡力系公理,在力 F 作用线上任一点 B 加上一个平衡力系(F_1 、 F_2),且使 $F_1 = F_2 = F$ 。由于力 F 与 F_1 等值、反向、共线,形成一个新的平衡力系,由加减平衡力系公理,减去平衡力系(F_1 、 F),最后刚体上只剩力 F_2 的作用,等效于将 A 点作用力 F 沿其作用线滑移到任意点 B 处。

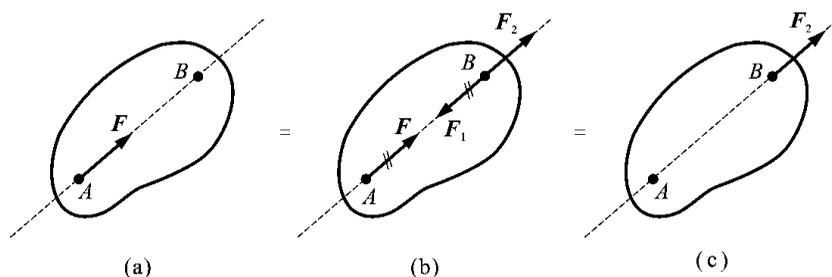


图 1-4

【特别提示】 加减平衡力系公理及其推论,都只针对运动效应而言的,因而只适用于刚体。如图 1-5(a)、(b) 所示的直杆均受一对平衡力系(F_1 、 F_2) 作用,当研究其平衡时,图 1-5(a)、(b) 所示两种情况都是等效的,即运动效应均为零。但当研究变形效应时,图 1-5(a) 所示杆件产生拉伸变形,而图 1-5(b) 所示杆件则产生压缩变形。同时,力的可传性原理只适用于一个刚体,不适用于两个刚体,即不能将作用于一个刚体上的力沿其作用线移至另一个刚体上。

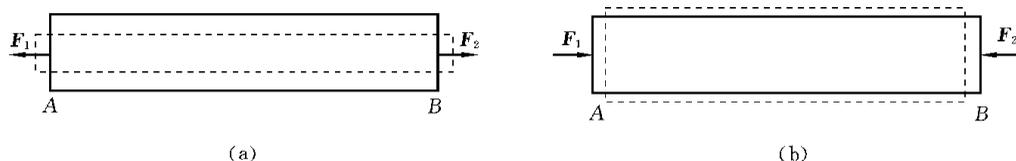


图 1-5

【结论】 由力的可传性原理可知:对于刚体而言,力的作用点并不重要,力的作用效应只与力的作用线有关,因此对刚体来说,力的三要素是大小、方向和作用线,或称力为滑移矢量。

3. 力的平行四边形法则

作用于物体同一点的两个力可以合成为作用于该点的一个合力,合力的大小和方向由以这两个力矢量为邻边所构成的平行四边形的对角线表示,如图 1-6(a) 所示。以 F_R 表示力 F_1 、 F_2 的合力,则按平行四边形法则相加,这个定律可表示为

$$F_R = F_1 + F_2$$

即作用于物体同一点的两个力的合力等于这两个力的矢量和。

事实上,将二力合成时,可以不必画出平行四边形,只需任选一点 a ,作 ab 表示力矢 F_1 ,过其末端 b 作 bc 表示力矢 F_2 ,则 ac 即为合力矢 F_R ,如图 1-6(b) 所示,由分力矢与合力矢所构成的三角形 abc 称为力三角形。

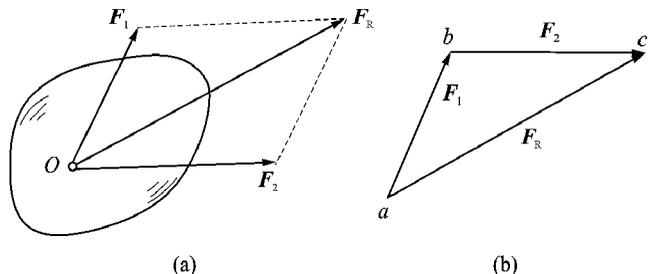


图 1-6

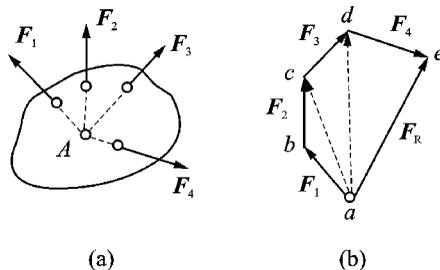


图 1-7

上述方法可以推广到 n 个力组成的平面汇交力系的合成,如图 1-7(a) 所示。设刚体上的 A 点作用有四个同平面的力 F_1 、 F_2 、 F_3 、 F_4 ,应用力三角形法则,各力依次合成,即先将 F_1 和 F_2 合成,则 ac 表示 F_1 和 F_2 的合力矢,再作 cd 表示 F_3 ,则 ad 表示 F_1 、 F_2 、 F_3 的合力矢,最后作 de 表示 F_4 , ae 即为 F_1 、 F_2 、 F_3 、 F_4 的合力矢 F_R ,如图 1-7(b) 所示,这种求合力矢 F_R 的方法称为力多边形法则,多边形 $abcde$ 称为力多边形, ae 称为力多边形的封闭边。因此,可得出如下结论:平面汇交力系合成的结果为一个合力,合力的作用线过力系的汇交点,其大小和方向可用力多边形的封闭边表示,即

$$F_R = F_1 + F_2 + \dots + F_n = \sum_{i=1}^n F$$

若力多边形的封闭边为零,即最后一个力的末端与第一个力的始端重合,则合力为零,这表示该平面汇交力系为平衡力系。因此,平面汇交力系平衡的充要条件(几何法)是:力多边形首尾相连,自行封闭。平面汇交力系平衡条件的矢量表达式为

$$F_R = F_1 + F_2 + \dots + F_n = \sum_{i=1}^n F = 0$$

4. 三力平衡汇交定理

若刚体在三力作用下平衡,而其中两个力的作用线相交,则第三个力的作用线必过该交点,且三力共面。