

建筑力学

ARCHITECTURAL MECHANICS

主编 王崇革

普通高等院校土木专业“十一五”规划精品教材

Civil Professional Textbooks for the 11th Five-Year Plan

主审 王来

图书在版编目(CIP)数据

建筑力学/王崇革 主编. —武汉:华中科技大学出版社,2008年4月
ISBN 978-7-5609-4436-4

I. 建… II. 王… III. 建筑力学 IV. TU311

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 001818 号

建筑力学

王崇革 主编

责任编辑:翟永梅
责任校对:高建东

封面设计:张璐
责任监印:熊庆玉

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
销售电话:(022)60266190 (022)60266199(兼传真)
网 址:www.hustpas.com

录 排:华中科技大学惠友文印中心
印 刷:华中科技大学印刷厂

开本:850 mm×1065 mm 1/16 印张:23 字数:470 000
版次:2009年4月第1版 印次:2009年4月第2次印刷 定价:42.00元
ISBN 978-7-5609-4436-4/TU·303

(本书若有印装质量问题,请向出版社发行部调换)

前 言

本书结合了现代工程的实际问题,同时适应现代工程技术发展的要求和计算机应用的普及,特别是迎合各力学学科的发展以及相互间的渗透与融合。在体系和内容上作了适当的调整与充实,对经典内容加以精选,力求简明实用、荟萃精华,汇集基本概念、原理、公式及工程技术中常用的力学参数等基础知识与技术资料,具有一定的广泛性和实用性。在编写的过程中注意了基本概念和分析方法的严格性,在篇幅上力求精练。

本书由王崇革(第0、1、2、3章)、葛吉虹(第5、11、12章、附录)、刘润星(第4、13章)、李云峰(第6、7章)、孙黄胜(第8、9章)和高秋梅(第10、14章)编著。全书由王崇革统编定稿,山东科技大学的王来教授对本书做了详细的校审。

本书内容主要包括:静力学基础;静定和超静定结构的内力计算;静定结构的变形及位移计算;以及结构与构件的强度、刚度和稳定性等。本教材可供高等工科院校的建筑学、城市规划、工程管理、交通工程、给水排水工程、建筑材料等专业的学生选用,也可供其他专业和有关工程技术人员选用。

由于编者水平有限,书中难免存在不足之处,殷切希望读者批评指正。

编 者

二〇〇八年三月

总 序

教育可理解为教书与育人。所谓教书,不外乎是教给学生科学知识、技术方法和运作技能等,教学生以安身之本。所谓育人,则要教给学生做人的道理,提升学生的人文素质和科学精神,教学生以立命之本。我们教育工作者应该从中华民族振兴的历史使命出发,来从事教书与育人工作。作为教育本源之一的教材,必然要承载教书和育人的双重责任,体现两者的高度结合。

中国经济建设高速持续发展,国家对各类建筑人才需求日增,对高校土建类高素质人才培养提出了新的要求,从而对土建类教材建设也提出了新的要求。这套教材正是为了适应当今时代对高层次建设人才培养的需求而编写的。

一部好的教材应该把人文素质和科学精神的培养放在重要位置。教材中不仅要内容上体现人文素质教育和科学精神教育,而且还要从科学严谨性、法规权威性、工程技术创新性来启发和促进学生科学世界观的形成。简而言之,这套教材有以下特点。

一方面,从指导思想来讲,这套教材注意到“六个面向”,即面向社会需求、面向建筑实践、面向人才市场、面向教学改革、面向学生现状、面向新兴技术。

二方面,教材编写体系有所创新。结合具有土建类学科特色的教学理论、教学方法和教学模式,这套教材进行了许多新的教学方式的探索,如引入案例式教学、研讨式教学等。

三方面,这套教材适应现在教学改革发展的要求,提倡所谓“宽口径、少学时”的人才培养模式。在教学体系、教材编写内容和数量等方面也做了相应改变,而且教学起点也可随着学生水平做相应调整。同时,在这套教材编写中,特别重视人才的能力培养和基本技能培养,适应土建专业特别强调实践性的要求。

我们希望这套教材能有助于培养适应社会发展需要的、素质全面的新型工程建设人才。我们也相信这套教材能达到这个目标,从形式到内容都成为精品,为教师和学生,以及专业人士所喜爱。

中国工程院院士 王 思 敬

2006年6月于北京

目 录

第0章 绪论	(1)
0.1 引言	(1)
0.2 建筑力学的任务和内容	(2)
0.3 结构与构件	(2)
0.4 刚体、变形固体	(3)
0.5 杆件的四种基本变形	(4)
0.6 荷载及其分类	(5)
第1章 物体系统的受力分析	(7)
1.1 刚体静力学基本概念	(7)
1.2 静力学公理	(8)
1.3 约束和约束反力	(11)
1.4 结构计算简图	(15)
1.5 受力分析与受力图	(18)
【本章要点】	(21)
【思考题】	(21)
【习题】	(21)
第2章 力系的等效与简化	(24)
2.1 力的投影与合力投影定理	(24)
2.2 力对点之矩及力偶理论	(26)
2.3 力向一点平移定理	(29)
2.4 平面任意力系的简化	(30)
2.5 平面任意力系的简化结果分析	(32)
【本章要点】	(36)
【思考题】	(36)
【习题】	(37)
第3章 力系的平衡	(40)
3.1 平面力系的平衡方程	(40)
3.2 物体系统的平衡	(47)
3.3 摩擦问题	(50)
【本章要点】	(56)
【思考题】	(57)

【习题】	(57)
第4章 平面体系的几何组成分析	(63)
4.1 几何不变体系和几何可变体系	(63)
4.2 几何组成分析的几个概念与计算自由度	(64)
4.3 几何不变体系的组成规则	(67)
4.4 静定结构和超静定结构	(72)
4.5 常见的结构形式	(73)
【本章要点】	(75)
【思考题】	(76)
【习题】	(76)
第5章 静定结构的内力计算	(78)
5.1 截面法求内力	(78)
5.2 内力方程和内力图	(83)
5.3 叠加法作内力图	(87)
5.4 静定多跨梁	(90)
5.5 静定平面刚架	(91)
5.6 三铰拱	(99)
5.7 静定平面桁架	(103)
5.8 几种常见结构形式的受力特点	(109)
【本章要点】	(111)
【思考题】	(112)
【习题】	(112)
第6章 轴向拉伸与压缩	(117)
6.1 轴向拉伸与压缩的概念	(117)
6.2 轴力与轴力图	(117)
6.3 横截面上的正应力	(119)
6.4 斜截面上的应力	(121)
6.5 轴向拉伸与压缩时的强度计算	(122)
6.6 拉伸和压缩时的变形	(124)
6.7 材料拉伸和压缩时的力学性质	(127)
6.8 应力集中的概念	(133)
【本章要点】	(134)
【思考题】	(135)
【习题】	(135)
第7章 剪切和扭转	(139)
7.1 剪切概述	(139)

7.2	联结接头的强度计算	(140)
7.3	扭转概述	(145)
7.4	扭矩的计算·扭矩图	(146)
7.5	圆轴扭转时的应力和变形	(149)
7.6	圆轴扭转时的强度和刚度计算	(156)
	【本章要点】	(160)
	【思考题】	(161)
	【习题】	(161)
第8章	弯曲应力	(165)
8.1	纯弯曲梁横截面上的正应力	(165)
8.2	弯曲切应力	(171)
8.3	弯曲梁的强度计算	(176)
8.4	提高梁的弯曲强度的措施	(180)
	【本章要点】	(185)
	【思考题】	(186)
	【习题】	(187)
第9章	组合变形	(190)
9.1	组合变形与力的独立作用原理	(190)
9.2	拉伸(压缩)与弯曲的组合变形	(191)
9.3	弯曲与扭转的组合变形	(196)
	【本章要点】	(201)
	【思考题】	(202)
	【习题】	(203)
第10章	梁与结构的位移计算	(205)
10.1	工程中的变形问题	(205)
10.2	挠曲线近似微分方程	(206)
10.3	积分法求梁的挠度和转角	(208)
10.4	叠加法求挠度和转角	(216)
10.5	单位荷载法	(218)
10.6	图乘法	(226)
10.7	弹性体的互等定理	(231)
10.8	结构的刚度校核	(234)
	【本章要点】	(236)
	【思考题】	(236)
	【习题】	(237)
第11章	力法	(241)
11.1	超静定次数	(241)
11.2	力法典型方程	(244)

11.3 用力法计算超静定结构	(249)
11.4 对称结构的计算	(256)
11.5 几种常见工程结构的受力特点	(260)
【本章要点】	(262)
【思考题】	(263)
【习题】	(263)
第12章 位移法	(266)
12.1 单跨超静定梁的杆端内力	(267)
12.2 位移法的基本概念	(271)
12.3 位移法基本未知量数目	(275)
12.4 位移法典型方程	(277)
12.5 用位移法计算超静定结构	(280)
12.6 超静定结构的特性	(287)
【本章要点】	(288)
【思考题】	(288)
【习题】	(289)
第13章 力矩分配法	(291)
13.1 力矩分配法的基本概念	(291)
13.2 用力矩分配法解连续梁	(298)
【本章要点】	(304)
【思考题】	(305)
【习题】	(305)
第14章 压杆稳定	(307)
14.1 压杆稳定的概念	(307)
14.2 细长压杆的临界力	(308)
14.3 临界应力及临界应力总图	(312)
14.4 压杆的稳定计算	(316)
14.5 提高压杆稳定性的措施	(319)
【本章要点】	(321)
【思考题】	(322)
【习题】	(322)
习题答案	(325)
附录A 平面图形的几何性质	(332)
附录B 型钢表	(341)
附录C 名词索引	(352)
参考文献	(355)

第 0 章 绪论

0.1 引言

力学是人类在认识自然、改造自然的过程中,经过客观自然规律的不断积累、应用和完善后得以发展起来的。它是一门涉及工程技术学科的力学学科分支。20 世纪以前,推动近代科学技术与社会进步的建筑、铁路、桥梁、船舶、兵器等行业,无一不是在力学理论的基础上逐渐形成和发展起来的。

20 世纪产生的诸多高新技术,如高层建筑(见图 0-1)、大跨度桥梁(见图 0-2)、高速公路(见图 0-3)、海洋钻井平台、大型水利工程(见图 0-4)、航空航天器以及高速列车等许多重要工程更是在力学理论指导下得以实现,并不断发展完善的。



图 0-1 高层建筑

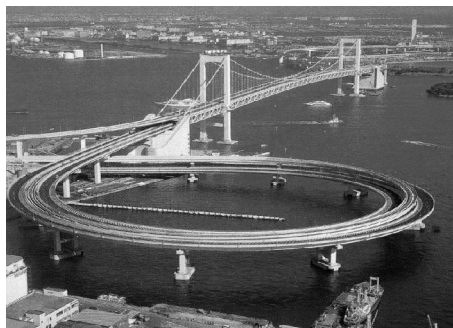


图 0-2 大跨度桥梁



图 0-3 高速公路

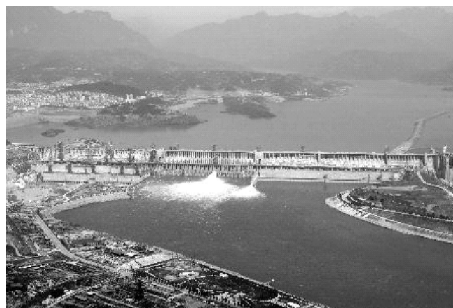


图 0-4 大型水利工程

0.2 建筑力学的任务和内容

建筑力学是将理论力学中的刚体静力学、材料力学、结构力学课程中的主要内容,根据土木工程专业基础力学知识的内在连续性和相关性,优化组合形成的新知识体系。它为适应于建筑学、城市规划、工程项目管理、房地产等专业培养目标的需要,满足相关专业对建筑力学知识的基本要求,并为建筑工程结构与构件的设计与计算提供基础知识。

建筑力学是研究结构的几何构成规则,以及在荷载或其他因素(支座移动、温度变化)作用下建筑结构及构件的强度、刚度和稳定性问题,以保证工程结构按设计要求正常工作,并能充分发挥建筑材料的力学性能,使设计的结构既安全可靠,又经济合理。

建筑力学的内容包括以下几方面。

① 刚体静力学基础 研究物体系统的受力分析、力系简化和物体系统静力平衡的一般规律。

② 内力分析 对静定结构和构件进行内力分析、内力图绘制。

③ 强度、刚度和稳定性问题。

强度是指结构或构件抵抗破坏的能力。刚度是研究结构或构件抵抗变形的能力。稳定性是指结构或构件在荷载作用下保持其平衡形式不发生突然改变的能力。

④ 结构的几何构成分析 研究结构的组成规律及合理形式。

⑤ 超静定结构问题 只用刚体静力学平衡不能完全确定工程中常见的超静定结构的支座反力和内力,必须考虑结构的物理关系、变形协调条件,从而获得补充方程方能求解。

0.3 结构与构件

工程结构是指工程中各种结构的总称,包括土木工程结构、水利工程结构、机械工程结构、航空航天结构和化工结构等。在土木工程结构中,承受和传递荷载并起骨架作用的部分称为结构。结构受荷载(如风力、屋面雪荷载、吊车荷载、构件自重等)作用时,其几何形状和尺寸均会发生一定程度的改变,称为变形。

结构的组成部分称为构件。建筑工程结构中的基础、梁、板、柱等均为构件(见图0-5)。

按照几何特征,结构可分为以下三种类型。

① 杆系结构 杆系结构由细长杆件所组成的系统。杆件的几何特征是其长度远远大于横截面的宽度和高度。

② 薄壁结构 薄壁结构由薄板或薄壳等组成的结构。薄板、薄壳的几何特征是

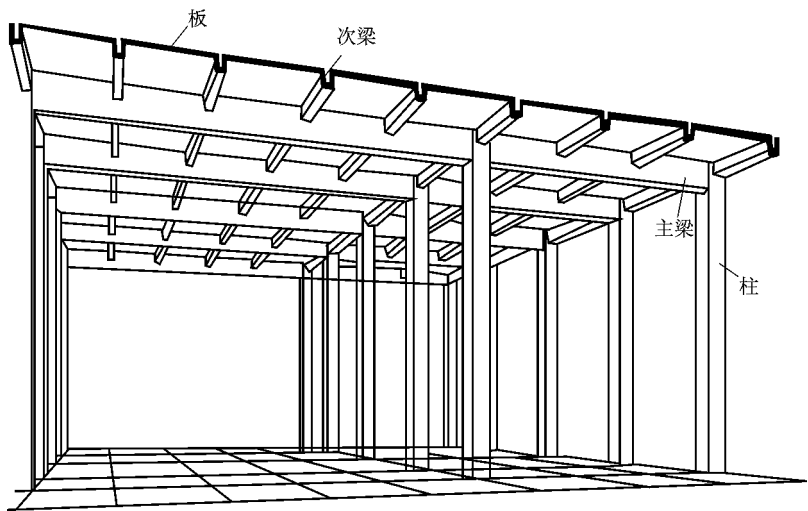


图 0-5

其厚度远远小于其他两个方向的尺寸。

③ 实体结构 实体结构是指三个方向的尺寸大约为同数量级的结构。

建筑力学的研究对象主要是杆系结构。

0.4 刚体、变形固体

结构和构件可统称为物体。建筑力学对所研究的物体采用两种计算模型：刚体模型和变形固体模型。

刚体是指在力的作用下,大小和形状始终不变的物体,也就是说,物体任意两点之间的距离保持不变。在实际情况中,任何物体在力的作用下或多或少都会产生变形,如果物体变形不大或变形对所研究的问题没有实质影响,则可将物体视为刚体。研究这些问题时,应用刚体模型。

如果在所研究的问题中,物体的变形成为主要因素,则应视为变形固体。

变形固体的变形分为两类:一类为外力解除后可消失的变形,称为弹性变形;另一类为外力解除后不能完全消失的变形,称为塑性变形或残余变形。只产生弹性变形的固体称为弹性体。

实际变形固体的结构和性态都比较复杂,但本教程所涉及的研究内容仅限于宏观性态。因此,为简化研究过程,得到便于实际工程应用的结果,一般需对变形固体作如下假设。

① 连续性假设 假设物体的材料结构是密实的,物体内的材料是无间隙的连续分布。

② 均匀性假设 假设材料的力学性质是均匀的,从物体上任取微小单元体,材

料的力学性质均相同。

③ 各向同性假设 假设材料沿任何方向的力学性质完全相同,这类材料称为各向同性材料。有一些材料(如碳纤维、玻璃、陶瓷等)沿不同方向的力学性质不同,称为各向异性材料。本书中仅研究各向同性材料。

按照连续、均匀、各向同性假设而理想化的一般变形固体称为理想变形固体。采用该模型不仅使理论分析得到简化,且所得结果的精度能满足实际工程的要求。

一般工程结构中,当外力不超过某一限度时,构件属于弹性体,且工作时所产生的弹性变形与构件尺寸相比非常微小,这类变形称为小变形。除特殊说明,本书的研究内容仅限于小变形和弹性体的范围。

0.5 杆件的四种基本变形

所谓杆件,是指长度远大于横向尺寸的构件。杆件各横截面形心的连线称为轴线。轴线为曲线的杆件称为曲杆,如图 0-6(a)所示;轴线为直线的杆件称为直杆,如图 0-6(b)所示。



图 0-6

(a)变截面曲杆;(b)等直杆

如果杆件截面的形状和尺寸沿杆件的轴线保持不变,称为等截面杆,如图 0-6(b)所示,否则称为变截面杆,如图 0-6(a)所示。

作用在杆上的外力是多种多样的,因此杆件的变形也各不相同。无论何种形式的变形,均可归结为以下四种基本变形之一,或是其中某几种基本变形的组合。直杆的四种基本变形介绍如下。

① 轴向拉伸或压缩 直杆受到与轴线重合的外力作用时,杆件的变形主要表现为轴线方向的伸长或缩短。这种变形形式称为轴向拉伸或轴向压缩,如图 0-7(a)、(b)所示。

② 剪切 一对相距很近、等值反向的平行力沿横向(垂直于杆轴)作用于杆件时,杆件的变形主要表现为两力之间的截面沿力的作用方向发生错动。这种变形形式称为剪切,如图 0-7(c)所示。

③ 扭转 直杆在两个横截面(垂直于轴线的平面)内,受到一对大小相等、方向相反的力偶作用时,杆件的相邻横截面绕轴线发生相对转动。这种变形形式称为扭转,如图 0-7(d)所示。

④ 弯曲 直杆在纵向平面(通过杆件轴线的平面)内,受到一对方向相反的力偶

作用时,杆件的轴线由直线变为曲线。这种变形形式称为弯曲(见图 0-7)。

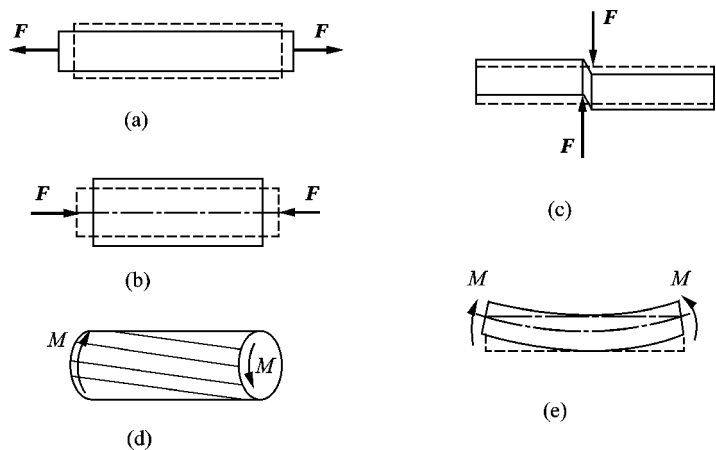


图 0-7

(a) 拉伸; (b) 压缩; (c) 剪切; (d) 扭转; (e) 弯曲

各种基本变形形式都是在上述特定的受力状态下发生的。实际情况中,杆件的受力状态往往比较复杂,多为四种基本变形形式的组合,即组合变形问题(详见第 9 章)。

0.6 荷载及其分类

荷载是指工程结构所承受的外力。在工程实际中,结构和构件所承受的荷载多种多样,为便于分析与计算,可将荷载按不同的方式分为不同的类型。

0.6.1 恒荷载与活荷载

荷载按其作用在结构上的时间长短,可分为恒荷载与活荷载。恒荷载是指长期作用在结构上的不变荷载,如结构的自重、固定在结构上的永久设备、土的压力等。活荷载是指暂时作用于结构上的可变荷载,如车辆荷载、吊车荷载、风荷载、雪荷载及人群荷载等。

0.6.2 静荷载与动荷载

荷载按其作用在结构上的性质分为静荷载与动荷载。静荷载是指由零逐渐缓慢增加至最终值的荷载,这样不致使结构产生显著的振动与冲击,可略去惯性力的影响。当增至最终值时,荷载的大小、作用位置及方向不再随时间变化。例如,将机器设备缓慢地放置在基础之上,机器对基础的作用力便是静荷载。动荷载是指大小或方向随时间而改变的荷载。例如,地震力、打桩机产生的冲击荷载等。动荷载是突然

施加或随时间迅速变化的荷载,它将使结构受到显著的冲击和振动,产生不容忽视的加速度。

0. 6. 3 分布荷载与集中荷载

荷载按其作用在结构上的范围分为分布荷载与集中荷载。分布作用在体积、面积和线段上的荷载称为分布荷载,亦可分别称为体荷载、面荷载和线荷载。连续分布于物体内部各点的重力属于体荷载,风、雪等压力属于面荷载。建筑力学研究的是杆系结构,可将杆件所受的分布荷载视为作用于杆件的轴线上。这样,杆件所受的分布荷载均为线荷载。

如果荷载作用的范围与物体的尺寸相比十分微小,这时可认为荷载集中作用于一点,并称为集中荷载。

当以刚体为研究对象时,作用于构件上的分布荷载可用其合力(集中荷载)来代替。例如,分布的重力荷载可用作用在重心上的集中合力来代替。当以变形固体为研究对象时,作用在构件上的分布荷载则不能任意地用其集中合力来代替。

第 1 章 物体系统的受力分析

刚体静力学主要研究物体在力系作用下的平衡问题。

物体在力系作用下处于平衡的条件称为力系的平衡条件。为了研究力系的平衡条件,除首先必须对物体进行受力分析以外,还必须将较为复杂的力系换成另一个与它作用效果相同的简单力系,这个过程称为力系的简化。因此,刚体静力学研究的主要内容是:物体受力分析;力系的简化;力系的平衡条件及应用。

1.1 刚体静力学基本概念

1.1.1 力和力系

力是物体间的相互作用,这种作用使物体的运动状态和物体的形状发生变化。物体间相互作用力和其形式有多种多样,归纳起来可分为两大类:一类是物体间的直接接触作用产生的作用力,如压力、摩擦力等;另一类是通过场的作用产生的作用力,如万有引力场、电磁场对物体作用的万有引力和电磁力。

力是物体间的相互作用。有一个力,就必然有一个施力物体和一个受力物体,离开物体间的相互作用是不能进行受力分析的。

从观察和实验可知,力对物体的作用效果完全取决于力的三要素,即力的大小、力的方向、力的作用点。其中任何一个要素发生变化,力的作用效应也随之发生变化。

力是具有大小和方向的量,即力是矢量,简称力矢。它常用带箭头的直线线段来表示,如图 1-1 所示。其中线段 AB 的长度(按一定的比例)表示力的大小,线段的方位(与水平方向的夹角 θ)和带箭头的指向表示力的方向,线段的起点表示力的作用点。过力的作用点沿力的矢量方向画出直线 KL ,称为力的作用线。

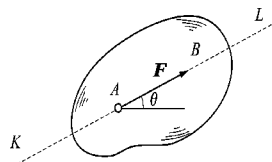


图 1-1

在国际单位制(SI)中,力的单位是 N(牛[顿])。

在工程单位制中,力的单位是 kgf(公斤力), $1 \text{ kgf} = 9.8 \text{ N}$ 。

在本书中,凡是矢量都用粗斜体字母表示,如力矢为 $\boldsymbol{F}$;而这个矢量的大小(标量)则用斜体的同一字母(细体)表示,如 F 。

作用在物体上的一群力称为力系。力的作用线在同一平面内,该力系称为平面力系;力的作用线为空间分布,该力系称为空间力系;在同一平面内,力的作用线汇交

于同一点,该力系称为平面汇交力系;在同一平面内,力的作用线相互平行,该力系称为平面平行力系;在同一平面内,力的作用线既不平行又不相交,该力系称为平面任意力系。力系作用于物体上而不改变其运动状态,则称该力系为平衡力系。如果两个力系分别作用于同一个物体上其效应相同,则这两个力系称为等效力系。若一个力与一个力系等效,则称这个力是这个力系的合力,而该力系中的每一个力是这个合力的分力。对一个比较复杂的力系,求与它等效的简单力系的过程称为力系的简化。

1.1.2 平衡的概念

平衡是指物体相对于惯性参考系保持静止或匀速直线运动状态。平衡是物体机械运动的一种特殊形式,如静止在地面上的楼房、桥梁等。通常所说的惯性参考系是指与地球固定连接的参考系。

1.1.3 刚体静力学

在实际问题中,任何物体在力的作用下或多或少都会产生变形,如果物体变形不大或变形对所研究的问题没有实质影响,则可将物体视为刚体,静力学主要是以刚体为研究对象的,所以也称刚体静力学。

1.2 静力学公理

静力学公理是人们在长期生活和生产中,经过反复的观察和实践总结出来的客观规律,它正确地反映了作用于物体上力的基本性质。静力学中所有的定理和结论都是由几个公理推演出来的,这些公理已为大量的实验、观察和实践所证实。

公理一 二力平衡公理

欲使作用于刚体上的两力平衡,必须也只需这两个力的大小相等、方向相反且作用在同一直线上(等值反向共线)(见图 1-2)。

这个公理只适用于刚体。二力等值、反向、共线是刚体平衡的必要与充分条件。

公理二 加减平衡力系公理

在作用于刚体的力系上增加或减去一组平衡力系,不改变原力系对刚体的作用效应。

这个公理也只适用于刚体。对变形体来说,增加或减去一组平衡力系,改变了变形体各处的受力状态,将引起其内、外效应的变化。

推论 1 力的可传性

作用于刚体上的力可沿其作用线移动到刚体内任一点,而不改变该力对刚体的作用效应。

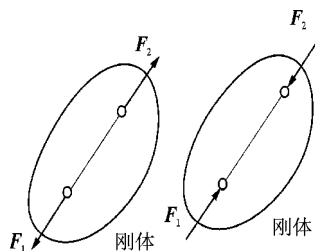


图 1-2

证明 设力 F 作用于刚体上的 A 点,如图 1-3(a)所示,在作用线上任一点 B 增加一组平衡力 F' 和 F'' ,且令 $F' = -F'' = F$,根据加减平衡力系公理,力 F 与三个力 F 、 F' 、 F'' 等效,如图 1-3(b)所示。在这三个力中,显然 F 与 F'' 构成一平衡力系,再去掉这两个力,则作用在刚体上 B 点的力 F' 与作用在 A 点的力 F 等效,即力 F 可以从 A 点沿其作用线任意移动到同一刚体内的 B 点,如图 1-3(c)所示。

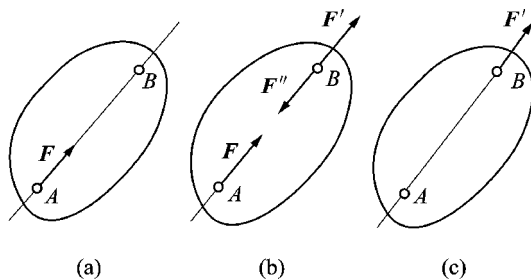


图 1-3

根据力的可传性,力在刚体上的作用点已被它的作用线所代替,所以作用于刚体上的力的三要素又可表述为:力的大小、作用线和指向,因此,作用于刚体上的力矢是滑动矢量。

公理三 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 1-4(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 1-4(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。

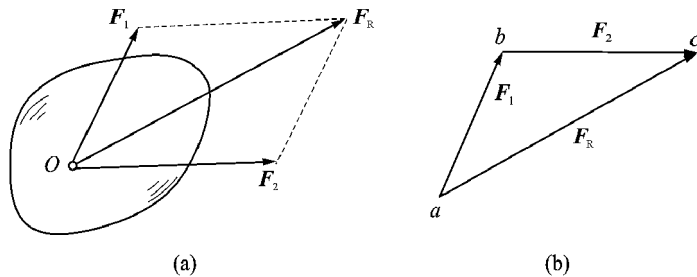


图 1-4

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 1-5(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 1-5