



21 世纪高等学校机电类规划教材

JIDIANLEI GUIHUA JIAOCAI

简明 工程力学

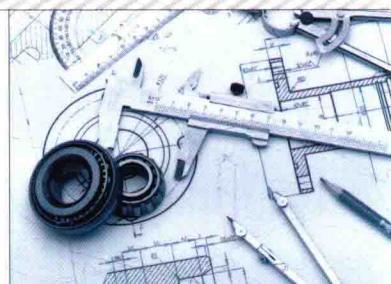
- ◆ 闫新生 主编
- ◆ 王长虎 唐利娟 副主编



中国工信出版集团



人民邮电出版社
POSTS & TELECOM PRESS





21 世纪高等学校机电

JIDIANLEI GUIHUA JIAOCAI

简明 工程力学

◆ 闫新生 主编

◆ 王长虎 唐利娟 副主编

人民邮电出版社
北京

图书在版编目 (C I P) 数据

简明工程力学 / 闫新生主编. — 北京 : 人民邮电出版社, 2016.2
21世纪高等学校机电类规划教材
ISBN 978-7-115-39802-4

I. ①简… II. ①闫… 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(2015)第163374号

内 容 提 要

本书是根据新形势下应用型本科教学的实际情况, 结合新时期高等院校工程力学课程教学大纲的基本要求编写的。本书精选了工程实践以及后续专业课程中必须掌握的知识、技能, 由简到繁、由浅入深展开讲解。本书较系统地讲述了相应的理论知识, 还通过一些工程实例介绍生产中的实际应用, 使学生在有限的学时内既能学到工程力学的知识, 又能与工程实际相结合, 达到学以致用目的。

本书内容包括理论力学和材料力学两部分, 全书共三篇十二章, 第一章~第四章为静力学基础, 第五章~第九章为强度、刚度及稳定性分析, 第十章~第十二章为运动和动力分析。为了让学生更好地理解与掌握教材内容, 全书每章附有思考题、习题及参考答案, 以达到精讲、精练的目的。

本书可作为高等学校工科类应用型本科各专业工程力学课程的教材, 也可作为成人教育及其他工程技术人员等的参考用书。

-
- ◆ 主 编 闫新生
 - 副 主 编 王长虎 唐利娟
 - 责任编辑 许金霞
 - 责任印制 沈 蓉 彭志环
 - ◆ 人民邮电出版社出版发行 北京市丰台区成寿寺路 11 号
 - 邮编 100164 电子邮件 315@ptpress.com.cn
 - 网址 <http://www.ptpress.com.cn>
 - 北京天宇星印刷厂印刷
 - ◆ 开本: 787×1092 1/16
 - 印张: 12.25 2016 年 2 月第 1 版
 - 字数: 306 千字 2016 年 2 月北京第 1 次印刷
-

定价: 34.00 元

读者服务热线: (010) 81055256 印装质量热线: (010) 81055316
反盗版热线: (010) 81055315

随着科学技术的迅速发展,学生的知识结构需要相应调整,教学计划与管理也在发生变化。工程力学是理工科专业传统的技术基础课,在目前教学中,教材内容多与学时少的矛盾很突出,不同的学科、不同的学生对课程的要求也不尽相同。编者注意到在我国高等教育的发展与改革中,学校的数量与类型增多,对课程提出了不同层次的要求。编者本着“提高重心、降低起点”的原则,总结了长期讲授本课程的教学经验和教学改革成果,参照教育部高等学校力学教学指导委员会制定的“力学课程教学基本要求”,为适应应用型本科教学需要编写了本教材。

本书以应用型人才培养为目标,按照教育部高等学校力学教学指导委员会力学基础课程教学指导分委员会工科非力学专业力学基础课教学的基本要求,紧密联系工程实际,强化基本概念、基本理论和基本方法,结合工程案例,注重培养工程素质和应用能力。本书作为非力学专业工程力学课程教材的改革尝试,注重知识体系的完整性和实用性,突出工程实际的训练。本书以培养学生的技术应用能力为主线设计培养方案,以应用为主旨构建课程体系和教材内容,旨在培养高等技术应用型人才。在编写过程中,力求以“应用”为导向,基础理论以“必需、够用”为度,以“讲清概念,强化应用”为重点,突出了教学内容的实用性。在介绍工程力学知识时,删除了烦琐的数学推导,文字与内容力求简练。本书在以下几方面做了一些尝试。

1. 在体系编排上,改变了原“理论力学”和“材料力学”两门课程自成体系的格局,将两门课程整合优化成三篇12章,而且每章的知识结构也做了适当调整。第二篇强度、刚度及稳定性分析改革了材料力学的内容体系。形成了以杆件的内力分析、应力与强度计算、变形与刚度计算、应力状态分析、压杆稳定等为主线的新体系。

2. 在内容安排上,注意处理好本课程与前修课程和后续课程间的衔接;处理好内部相关内容间的关系;精选经典内容,渗透现代力学思想;加强工程意识和工程方法的训练。第三篇运动和动力分析,鉴于前修课程“大学物理”中部分内容有所涉及,故进行了简化整合,以免重复。

3. 在每章后面都附有思考题、习题,旨在指导学生学习,启发学生思考;书末附有习题参考答案。

全书由闫新生统稿,王长虎参加了第二篇的编写,唐利娟参加了第三篇的编写。

本书可作为高等学校应用型本科工科机械类、土建类、材料类专业“工程力学”课程的教材,也可作为高职高专、成人高校相应专业的自学和函授教材,还可供有关工程技术人员参考。

应用型本科教材建设目前仍处于探索阶段,限于作者水平,加之时间仓促,书中难免存在不妥之处,恳请广大读者批评指正。

绪 论	1	思考题	51
第一篇 静力分析	3	习题四	51
第一章 静力学基础	4	第二篇 强度、刚度及稳定性分析	53
第一节 力、刚体和平衡的概念	4	第五章 杆件的内力分析	55
第二节 静力学的基本公理	5	第一节 杆件的外力与变形特点	55
第三节 约束与约束反力	7	第二节 内力及其截面法	57
第四节 物体的受力分析与受力图	9	第三节 杆件的内力计算	58
思考题	12	第四节 内力方程及内力图	62
习题一	13	思考题	66
第二章 平面汇交力系	15	习题五	67
第一节 平面汇交力系合成与平衡的 几何法	15	第六章 杆件的强度计算	70
第二节 平面汇交力系合成与平衡的 解析法	17	第一节 应力的概念	70
思考题	19	第二节 轴向拉(压)杆及梁弯曲的 正应力	70
习题二	20	第三节 杆件横截面上的切应力	75
第三章 平面任意力系	22	第四节 材料在拉伸和压缩时的 力学性能	80
第一节 力对点之矩	22	第五节 截面的几何性质	83
第二节 力 偶	24	第六节 杆件的强度计算	86
第三节 力的平移定理	27	第七节 剪切、挤压的实用计算	96
第四节 平面任意力系的平衡	30	思考题	98
第五节 静定和超静定问题及物体 系统的平衡	33	习题六	99
第六节 考虑摩擦时物体的平衡	36	第七章 杆件的刚度计算	103
思考题	39	第一节 直杆的轴向变形和 扭转角	103
习题三	40	第二节 直杆的横向变形和转角	104
第四章 空间力系	43	第三节 杆件的刚度计算	107
第一节 力的投影与分解	43	思考题	110
第二节 力对轴之矩	44	习题七	110
第三节 空间力系的平衡	45	第八章 应力状态与强度理论	113
第四节 物体的重心	48		

第一节 应力状态的概念	113	第五节 质点的运动微分方程	144
第二节 平面应力状态	114	思考题	146
第三节 强度理论	117	习题十	147
第四节 弯曲与扭转组合变形强度 计算	120	第十一章 刚体的基本运动与动力学 基础	149
思考题	122	第一节 刚体的平动	149
习题八	122	第二节 刚体的定轴转动	150
第九章 压杆稳定	125	第三节 基本运动刚体动力学方程	153
第一节 压杆稳定的概念	125	思考题	158
第二节 理想压杆临界力的计算	126	习题十一	158
第三节 欧拉公式的适用范围	129	第十二章 点和刚体的复合运动	160
第四节 压杆的稳定计算	133	第一节 点的合成运动	160
第五节 压杆的合理截面设计	134	第二节 刚体平面运动	164
思考题	135	第三节 刚体平面运动各点的速度 分析	166
习题九	135	思考题	170
第三篇 运动和动力分析	137	习题十二	171
第十章 质点运动与动力学基础	138	附录 A 知识拓展	173
第一节 点的运动方程	138	附录 B 常用型钢规格表	178
第二节 点的速度和加速度	139	习题参考答案	184
第三节 点的运动学问题举例	142	参考文献	190
第四节 质点动力学基本定律	143		

一、工程力学的研究对象及主要内容

工程力学是一门研究物体机械运动和构件承载能力的科学。所谓**机械运动**是指物体在空间的位置随时间的变化,而构件**承载能力**则指机械零件和结构部件在工作时安全可靠地承担外载荷的能力。

例如,工程中常见的起重机,设计时,要对各构件在静力平衡状态下进行受力分析,确定构件的受力情况,研究作用力必须满足的条件。当起重机工作时,各构件处于运动状态,对构件进行运动和动力分析,这些问题均属于研究物体机械运动所涉及的内容。为保证起重机安全正常工作,要求各构件不发生断裂或产生过大变形,则必须根据构件的受力情况,为构件选择适当的材料、设计合理的截面形状和尺寸,这些问题则是属于研究构件承载能力方面的内容。

工程力学有其自身的科学系统,本课程包括静力分析,强度、刚度及稳定性分析,运动和动力分析三部分。

静力分析主要研究力系的简化及物体在力系作用下的平衡规律。

强度、刚度及稳定性分析主要研究构件在外力作用下的强度、刚度及稳定性分析等的基本理论和计算方法。

运动和动力分析是从几何角度来研究物体运动的规律以及物体的运动与其所受力之间的关系。

二、工程力学在工程技术中的地位和作用

工程力学是工科各类专业中一门必不可少的专业基础课,在基础课和专业课中起着承前启后的作用,是基础科学与工程技术的综合。掌握工程力学知识,不仅为了学习后继课程,具备设计或验算构件承载能力的初步能力,而且还有助于从事设备安装、运行和检修等方面的实际工作。因此,工程力学在应用型专业技术教育中有着极其重要的地位和作用。

力学理论的建立来源于实践,它是以对自然现象的观察和生产实践经验为主要依据,揭示了唯物辩证法的基本规律。因此,工程力学对于今后研究问题、分析问题、解决问题有很大帮助,促进我们学会用辩证的观点考察问题,用唯物主义的认识观去理解世界。

三、学习工程力学的要求和方法

工程力学来源于实践又服务于实践。在研究工程力学时,现场观察和实验是认识力学规律的重要的实践环节。在学习本课程时,观察实际生活中的力学现象,学会用力学的基本知识去解释这些现象;通过实验验证理论的正确性,并提供测试数据资料作为理论分析、简化计算的依据。

工程实际问题,往往比较复杂,为了使研究的问题简单化,通常抓住问题的本质,忽略次要因素,将所研究的对象抽象化为力学模型。如研究物体平衡时,用抽象化的刚体这一理想模型取代实际物体;研究物体的受力与变形规律时,用变形固体模型取代实际物体;对构件进行计算时,将实际问题抽象化为计算简图等。所以,根据不同的研究目的,将实际物体抽象化为不同的力学模型是工程力学研究中的一种重要方法。

工程力学有较强的系统性,各部分内容之间联系较紧密,学习要循序渐进,要认真理解基本概念、基本理论和基本方法。要注意所学概念的来源、含义、力学意义及其应用;要注意有关公式的根据、适用条件;要注意分析问题的思路,解决问题的方法。在学习中,一定要认真研究,独立完成一定数量的思考题和习题,以巩固和加深对所学概念、理论、公式的理解、记忆和应用。

四、刚体、变形固体及其基本假设

工程力学中将物体抽象化为两种计算模型:刚体和理想变形固体。

刚体是在外力作用下形状和尺寸都不改变的物体。实际上,任何物体受力的作用后都发生一定的变形,但在一些力学问题中,物体变形这一因素与所研究的问题无关或对其影响甚微,这时可将物体视为刚体,从而使研究的问题得到简化。

理想变形固体是对实际变形固体的材料理想化,做出以下假设。

(1)连续性假设。认为物体的材料结构是密实的,物体内材料是无空隙的连续分布。

(2)均匀性假设。认为材料的力学性质是均匀的,从物体上任取或大或小一部分,材料的力学性质均相同。

(3)各向同性假设。认为材料的力学性质是各向同性的,材料沿不同方向具有相同的力学性质,而各方向力学性质不同的材料称为各向异性材料。本教材中仅研究各向同性材料。

按照上述假设理想化的一般变形固体称为**理想变形固体**。刚体和变形固体都是工程力学中必不可少的理想化的力学模型。

变形固体受荷载作用时将产生变形。当荷载撤去后,可完全消失的变形称为**弹性变形**;不能恢复的变形称为**塑性变形**或残余变形。在多数工程问题中,要求构件只发生弹性变形。工程中,大多数构件在荷载的作用下产生的变形量若与其原始尺寸相比很微小,称为小变形。小变形构件的计算,可采取变形前的原始尺寸并可略去某些高阶无穷小量,可大大简化计算。

综上所述,工程力学把所研究的结构和构件看作是连续、均匀、各向同性的理想变形固体,在弹性范围内和小变形情况下研究其承载能力。

第一篇 静 力 分 析

物体在空间的位置随时间的改变而改变,称为机械运动,这是人们在日常生活和生产实践中最常见的一种运动形式,可以是物体之间相对位置在空间的变化,也可以是物体内部各部分之间相对位置的变化。力是物体间相互的机械作用,机械运动状态的变化是由这种相互作用引起的。

工程力学的主要研究对象是工程构件、结构和机构。实际中的工程力学问题往往相当复杂,在研究具体问题时,必须抓住主要因素,略去次要因素,将研究对象抽象为力学模型,包括质点、质点系、刚体和变形固体等。

静力分析研究的是物体在力系作用下的平衡规律。也就是说,研究物体受到力系作用以后符合什么条件才能平衡。所谓“平衡”是指物体相对于地球保持静止或做匀速直线运动。如桥梁、楼房、做匀速直线飞行的飞机等,都处于平衡状态。平衡是物体机械运动的一种特殊形式。

力系是指作用于物体上的一群力,在静力学中,将研究以下 3 个方面的问题。

(1) 物体的受力分析。分析某个物体上共受几个力以及每个力的方向和作用位置。

(2) 力系的简化。把作用在物体上的一个力系用另一个与它等效的力系来代替,这两个力系互为等效力系。用一个简单力系等效地替换另一个复杂力系称为力系的简化。

(3) 建立各种力系的平衡条件。研究物体平衡时,作用在物体上的各种力系所需要满足的条件即平衡条件。工程中常见的力系,按其作用线所在的位置,可分为平面力系和空间力系两大类。不同的力系,它的平衡条件也各不相同。满足平衡条件的力系称为平衡力系。

静力学是动力学的特例,因此力系的简化理论和物体受力分析的方法也是研究动力学的基础。

力系的平衡条件在工程中有着十分重要的意义,是设计结构、构件时进行静力计算的基础。土木工程中房屋、桥梁、水坝、闸门,许多机器零件和结构件,如机器的机架、传动轴、起重机的起重臂、车间天车的横梁等,正常工作时处于平衡状态或可以近似地看作平衡状态。为了合理地设计这些零件或构件的形状、尺寸,选用合理的材料,往往需要首先进行静力学分析计算,然后对它们进行强度、刚度和稳定性计算。因此,静力分析在工程中有着最为广泛的应用。

本章将阐述静力学公理,并介绍工程中常见的约束和约束反力的分析以及物体的受力图。静力学公理是静力分析的理论基础,物体的受力分析是力学中重要的基本技能。

第一节 力、刚体和平衡的概念

静力学是研究物体的平衡问题的科学。主要讨论作用在物体上的力系的简化和平衡两大问题。所谓平衡,在工程上是指物体相对于地球保持静止或匀速直线运动状态,它是物体机械运动的一种特殊形式。

一、刚体的概念

工程实际中的许多物体,在力的作用下,它们的变形一般很微小,对平衡问题影响也很小,为了简化分析,我们把物体视为刚体。所谓刚体,是指在任何外力的作用下,物体的大小和形状始终保持不变的物体。静力学的研究对象仅限于刚体,所以又称之为刚体静力学。

二、力的概念

力的概念是人们在长期的生产劳动和生活实践中逐步形成的,是通过归纳、概括和科学的抽象而建立的。力是物体之间相互的机械作用,这种作用使物体的机械运动状态发生改变,或使物体产生变形。力使物体的运动状态发生改变的效应称为外效应,而使物体发生变形的效应称为内效应。刚体只考虑外效应;变形固体还要研究内效应。经验表明力对物体作用的效应完全决定于以下力的三要素。

(1) 力的大小:是物体相互作用的强弱程度。在国际单位制中,力的单位用牛顿(N)或千牛顿(kN), $1\text{ kN}=10^3\text{ N}$ 。

(2) 力的方向:包含力的方位和指向两方面的涵义。如重力的方向是“竖直向下”,“竖直”是力作用线的方位,“向下”是力的指向。

(3) 力的作用位置:是指物体上承受力的部位。一般来说是一块面积或体积,称为分布力;而有些分布力分布的面积很小,可以近似看作一个点时,这样的力称为集中力。

如果改变了力的三要素中的任一要素,也就改变了力对物体的作用效应。

既然力是有大小和方向的量,所以力是矢量。可以用一带箭头的线段来表示,如图 1-1 所示,线段 AB 长度按一定的比例尺表示力 F 的大小,线段的方位和箭头的指向表示力的方向。线段的起点 A 或终点 B 表示力的作用点。线段 AB 的延长线(图中虚线)表示力的作用线。

本教材中,用黑体字母表示矢量,用对应字母表示矢量的大小。

一般来说,作用在刚体上的力不止一个,我们把作用于物体上的一群力称为**力系**。如果作用于物体上的某一力系可以用另一力系来代替,而不改变原有的状态,这两个力系互称**等效力系**。如果一个力与一个力系等效,则称此力为该力系的**合力**,这个过程称为**力的合成**;而力系中的各个力称为此合力的**分力**,将合力代换成分力的过程称为**力的分解**。在研究力学问题时,为方便地显示各种力系对物体作用的总体效应,用一个简单的等效力系(或一个力)代替一个复杂力系的过程称为**力系的简化**。力系的简化是刚体静力学的基本问题之一。

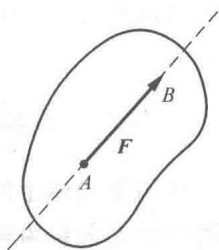


图 1-1

第二节 静力学的基本公理

所谓公理就是无须证明就为大家在长期生活和生产实践中所公认的真理。静力学公理是静力学全部理论的基础。

公理 1 二力平衡公理

作用于同一刚体上的两个力平衡的必要与充分条件是:力的大小相等,方向相反,作用在同一直线上。可以表示为: $F = -F'$ 或 $F + F' = 0$ 。

此公理给出了作用于刚体上的最简力系平衡时所必须满足的条件,是推证其他力系平衡条件的基础。在两个力作用下处于平衡的物体称为**二力体**,若物体是构件或杆件,也称**二力构件**或**二力杆件**简称**二力杆**。

应用此公理,可进行简单的受力分析。构件 AB 在 A、B 各受一力而平衡,则此二力的作用线必定在 A、B 两点的连线上。

公理 2 加减平衡力系公理

在作用于刚体的任意力系中,加上或减去平衡力系,并不改变原力系对刚体的作用效应。

推论 1 力的可传性原理

作用于刚体上的力可以沿其作用线移至刚体内任意一点,而不改变该力对刚体的效应。

证明:设力 F 作用于刚体上的点 A,如图 1-2 所示。在力 F 作用线上任选一点 B,在点 B 上加一对平衡力 F_1 和 F_2 ,使

$$F_1 = -F_2 = F$$

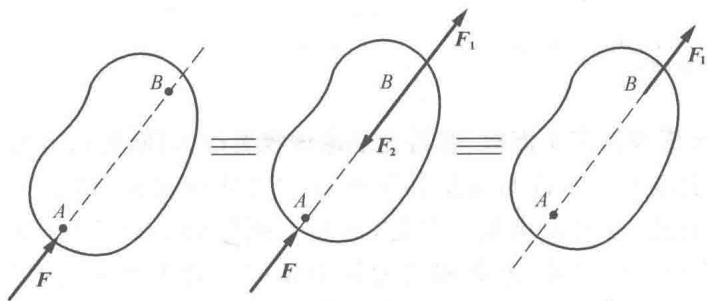


图 1-2

则 F_1 、 F_2 、 F 构成的力系与 F 等效。将平衡力系 F 、 F_2 减去,则 F_1 与 F 等效。此时,相当于力 F 已由点 A 沿作用线移到了点 B。

由此可知,作用于刚体上的力是滑移矢量,因此作用于刚体上力的三要素为大小、方向和作用线。

公理 3 力的平行四边形法则

作用于物体上同一点的两个力可以合成为作用于该点的一个合力,它的大小和方向由以这两个力的矢量为邻边所构成的平行四边形的对角线来表示。如图 1-3(a)所示,以 F_R 表示力 F_1 和力 F_2 的合力,则可以表示为: $F_R = F_1 + F_2$ 。即作用于物体上同一点两个力的合力等于这两个力的矢量和。

在求共点两个力的合力时,我们常采用力的三角形法则:如图 1-3(b)所示。从刚体外任选一点 a 作矢量 ab 代表力 F_1 ,然后从 b 的终点作 bc 代表力 F_2 ,最后连结起点 a 与终点 c 得到矢量 ac ,则 ac 就代表合力矢 F_R 。分力矢与合力矢所构成的三角形 abc 称为力的三角形。这种合成方法称为力三角形法则。

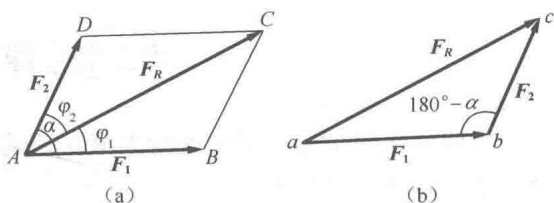


图 1-3

推论 2 三力平衡汇交定理

刚体受同一平面内互不平行的三个力作用而平衡时,则此三力的作用线必汇交于一点。

证明:设在刚体上三点 A 、 B 、 C 分别作用有力 F_1 、 F_2 、 F_3 ,其互不平行,且为平衡力系,如图 1-4 所示,根据力的可传性,将力 F_1 和 F_2 移至汇交点 O ,根据力的可传性公理,得合力 F_{R1} ,则力 F_3 与 F_{R1} 平衡,由公理 1 知, F_3 与 F_{R1} 必共线,所以力 F_3 的作用线必过点 O 。

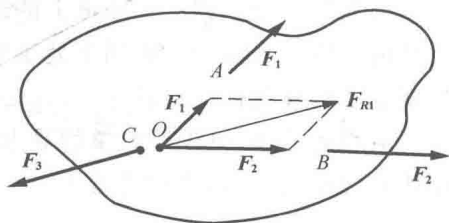


图 1-4

公理 4 作用与反作用公理

两个物体间相互作用力,总是同时存在,它们的大小相等,指向相反,并沿同一直线分别作用在这两个物体上。

物体间的作用力与反作用力总是同时出现,同时消失。可见,自然界中的力总是成对地存在,而且同时分别作用在相互作用的两个物体上。这个公理概括了任何两物体间的相互作用的关系,不论对刚体或变形体,不管物体是静止的还是运动的都适用。应该注意,作用力与反作用力虽然等值、反向、共线,但它们不能平衡,因为二者分别作用在两个物体上,不可与二力平衡公理混淆起来。

公理 5 刚化原理

变形体在已知力系作用下平衡时,若将此变形体视为刚体(刚化),则其平衡状态不变。

此原理建立了刚体平衡条件与变形体平衡条件之间的关系,即关于刚体的平衡条件,对于变形体的平衡来说,也必须满足。但是,满足了刚体的平衡条件,变形体不一定平衡。例如一段软绳,在两个大小相等,方向相反的拉力作用下处于平衡,若将软绳变成刚杆,平衡保持不变。反过来,一段刚杆在两个大小相等、方向相反的压力作用下处于平衡,而绳索在此压力下则不能平衡。可见,刚体的平衡条件对于变形体的平衡来说只是必要条件而不是充分条件。

第三节 约束与约束反力

工程上所遇到的物体通常分两种：可以在空间作任意运动的物体称为自由体，如飞机、火箭等；受到其他物体的限制，沿着某些方向不能运动的物体称为非自由体。如悬挂的重物，因为受到绳索的限制，使其在某些方向不能运动而成为非自由体，这种阻碍物体运动的限制称为约束。约束通常是通过物体间的直接接触形成的。

既然约束阻碍物体沿某些方向运动，那么当物体沿着约束所阻碍的运动方向运动或有运动趋势时，约束对其必然有力的作用以限制其运动，这种力称为**约束反力**。简称反力。约束反力的方向总是与约束所能阻碍的物体的运动或运动趋势的方向相反，它的作用点就在约束与被约束的物体的接触点，大小可以通过计算求得。

工程上通常把能使物体主动产生运动或运动趋势的力称为**主动力**。如重力、风力、水压力等。通常主动力是已知的，约束反力是未知的，它不仅与主动力的情况有关，同时也与约束类型有关。下面介绍工程实际中常见的几种约束类型及其约束反力的特性。

一、柔性约束

绳索、链条、皮带等属于柔性约束。理想化条件：柔索绝对柔软、无重量、无粗细、不可伸长或缩短。由于柔索只能承受拉力，所以柔索的约束反力作用于接触点，方向沿柔索的中心线而背离物体，为拉力。一般用 F_T 表示，如图 1-5 和图 1-6 所示。

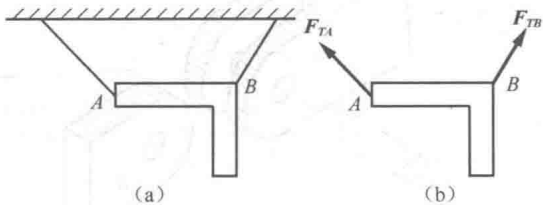


图 1-5

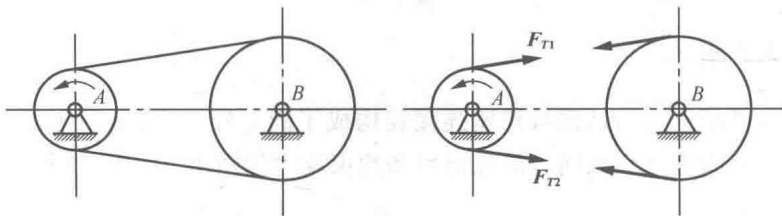


图 1-6

二、光滑接触面约束

当物体接触面上的摩擦力可以忽略时即可看作光滑接触面，这时两个物体可以脱离开，也可以沿光滑面相对滑动，但沿接触面法线且指向接触面的位移受到限制。所以光滑接触面约束反力作用于接触点，沿接触面的公法线且指向物体，为压力。一般用 F_N 表示，如图 1-7 和图 1-8 所示。

三、光滑铰链约束

工程上常用销钉来联接构件或零件，这类约束只限制相对移动不限制转动，且忽略销钉与构件间的摩擦。若两个构件用销钉连接起来，这种约束称为铰链约束，简称铰连接或中间铰，如图 1-9(a)所示。图 1-9(b)为计算简图。铰链约束只能限制物体在垂直于销钉轴线的平

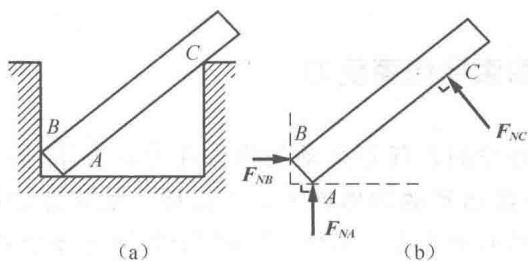


图 1-7

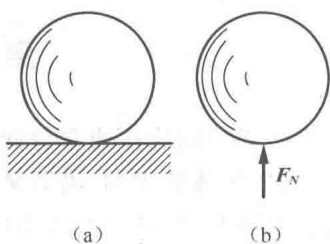


图 1-8

面内相对移动,但不能限制物体绕销钉轴线相对转动。如图 1-9(c)所示,铰链约束的约束反力作用在销钉与物体的接触点 D ,沿接触面的公法线方向,使被约束物体受压力。但由于销钉与销钉孔壁接触点与被约束物体所受的主动动力有关,一般不能预先确定,所以约束反力 F_C 的方向也不能确定。因此,其约束反力作用在垂直于销钉轴线平面内,通过销钉中心,方向不定。为计算方便,铰链约束的约束反力常用过铰链中心两个大小未知的正交分力 F_{Cx} 、 F_{Cy} 来表示,如图 1-9(d)所示。两个分力的指向可以假设。

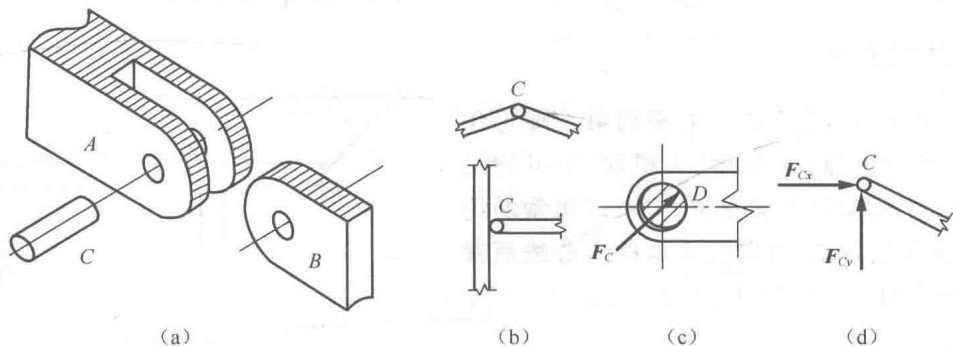


图 1-9

四、固定铰支座

将结构物或构件用销钉与地面或机座连接就构成了固定铰支座,如图 1-10(a)所示。固定铰支座的约束与铰链约束完全相同。简化记号和约束反力如图 1-10(b)和图 1-10(c)所示。

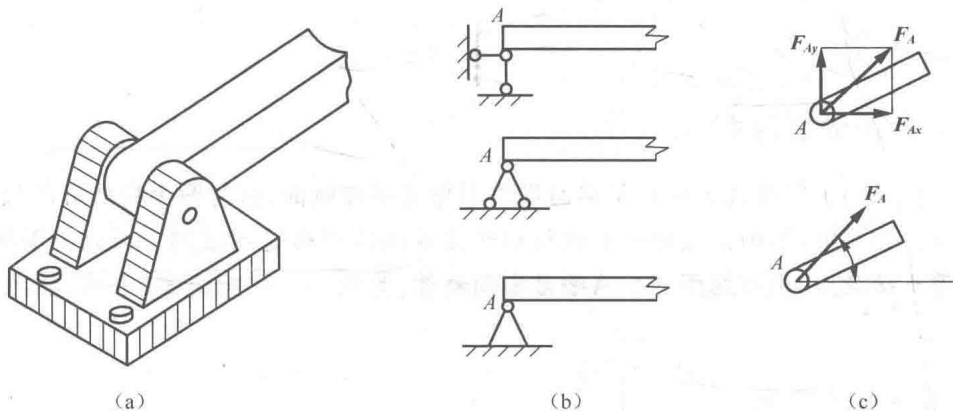


图 1-10

五、辊轴支座

在固定铰支座和支承面间装有辊轴,就构成了辊轴支座,又称活动铰支座,如图 1-11(a)

所示。这种约束只能限制物体沿支承面法线方向运动,而不能限制物体沿支承面移动和相对于销钉轴线转动。所以其约束反力垂直于支承面,过销钉中心,指向可假设。简化记号和约束反力如图 1-11(b)和图 1-11(c)所示。

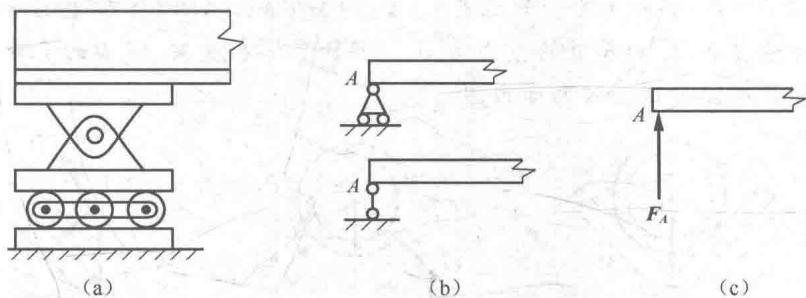


图 1-11

六、链杆约束

两端以铰链与其他物体连接中间不受力且不计自重的刚性直杆称为链杆,如图 1-12(a)所示。这种约束反力只能限制物体沿链杆轴线方向运动,因此链杆的约束反力沿着链杆两端中心连线方向,指向或为拉力或为压力。简化记号和约束反力如图 1-12(b)和图 1-12(c)所示。链杆属于二力杆的一种特殊情形。

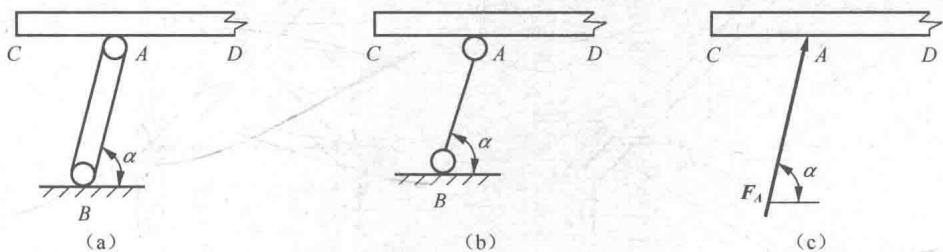


图 1-12

七、固定端约束

将构件的一端插入一固定物体(如墙)中,就构成了固定端约束。在连接处具有较大的刚性,被约束的物体在该处被完全固定,既不允许相对移动也不可转动。固定端的约束反力,一般用两个正交分力和一个约束反力偶来代替,如图 1-13 所示。

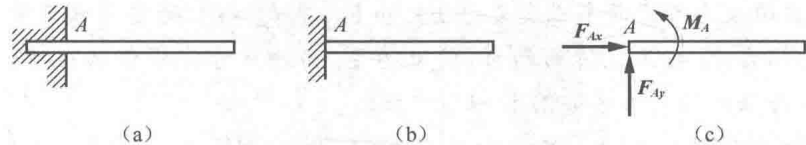


图 1-13

第四节 物体的受力分析与受力图

静力学问题大多是受一定约束的非自由刚体的平衡问题,解决此类问题的关键是找出主动力与约束反力之间的关系。因此,必须对物体的受力情况作全面的分析,即物体的受力分

析,它是力学计算的前提和关键。物体的受力分析包含两个步骤:一是将该物体从与它相联系的周围物体中分离出来,解除全部约束,单独画出该物体的图形,称为取分离体。二是在分离体上画出全部主动力和约束反力,这称为画受力图。

【例 1-1】图 1-14(a)所示为一管道支架,支架的两根杆 AB 和 CD 在 E 点相铰接,在 J、K 两点用水平绳索相连,已知管道的重力为 W 。不计摩擦和支架、绳索的自重,试作出管道、杆 AB、杆 CD 以及整个管道支架的受力图。

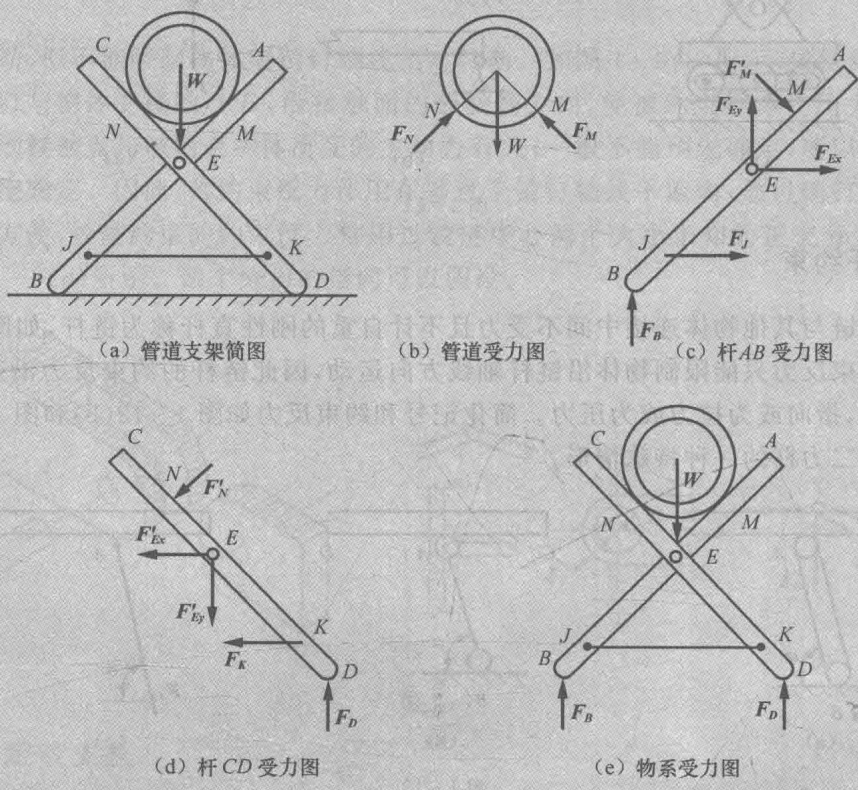


图 1-14

解 (1) 管道为研究对象,其上作用有主动力 W ,在 M 和 N 处为光滑面约束,其约束力 F_M 和 F_N 为分别垂直于杆 AB 和 CD 并指向管道中心的压力,于是可作出管道的受力图如图 1-14(b)所示。

(2) 杆 AB 为研究对象,在 M 处的作用力 F'_M 为 F_M 的反作用力,故指向应与 F_M 相反; E 处为中间铰链,其约束力可用两个正交分力 F_{E_x} 和 F_{E_y} 来表示; J 处为柔索约束,约束力 F_J 为沿着柔索方向的拉力; B 处为光滑面约束,约束力 F_B 为垂直于光滑面的压力,即方向垂直向上。于是可得到杆 AB 的受力图如图 1-14(c)所示。

(3) CD 的受力分析与杆 AB 的分析基本相同,故不再赘述。其受力图如图 1-14(d)所示。

(4) 整个管道支架(物系)为研究对象,由于 M 、 N 、 E 、 J 、 K 各处的约束力都是物系的内力,不应画出,故只需画出物系的主动力 W 和 B 、 D 两处的约束力 F_B 和 F_D ,于是可得受力图如图 1-14(e)所示。

【例 1-2】水平梁 AB 用斜杆 CD 支撑, A 、 C 、 D 三处均为光滑铰链连接,如图 1-15(a)所示。梁上放置一重为 W_1 的电动机。已知梁重为 W_2 ,不计杆 CD 自重,试分别画出杆 CD 和梁 AB

的受力图。

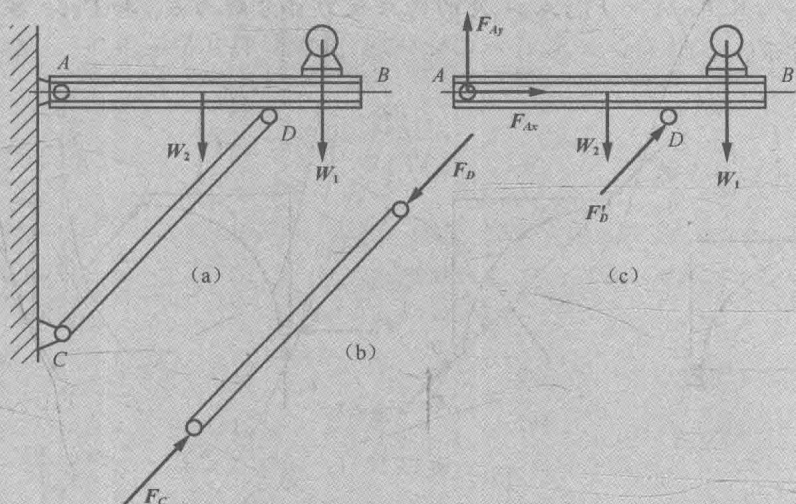


图 1-15

解 (1) CD 为研究对象。由于斜杆 CD 自重不计, 只在杆的两端分别受铰链的约束反力 F_C 和 F_D 的作用, 由此判断 CD 杆为二力杆。根据公理 1, F_C 和 F_D 两力大小相等、沿铰链中心连线 CD 方向且指向相反。斜杆 CD 的受力图如图 1-15(b) 所示。

(2) 梁 AB (包括电动机) 为研究对象。它受 W_1 、 W_2 两个主动力的作用; 梁在铰链 D 处受二力杆 CD 给它的约束反力 F_D' 的作用, 根据公理 4, $F_D' = -F_D$; 梁在 A 处受固定铰支座的约束反力, 由于方向未知, 可用两个大小未知的正交分力 F_{Ax} 和 F_{Ay} 表示。梁 AB 的受力图如图 1-15(c) 所示。

【例 1-3】简支梁两端分别为固定铰支座和可动铰支座, 在 C 处作用一集中荷载 F , 如图 1-16(a) 所示, 梁重不计, 试画梁 AB 的受力图。

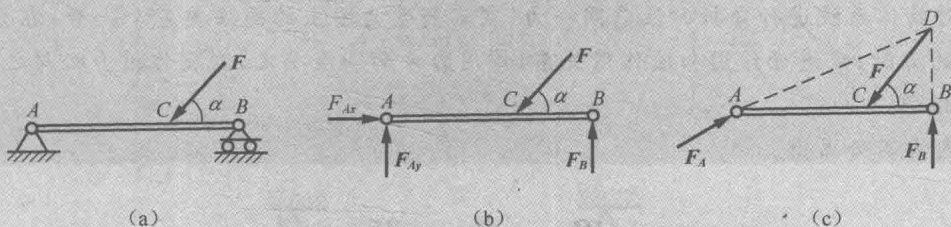


图 1-16

解 取梁 AB 为研究对象。作用于梁上的力有集中荷载 F , 可动铰支座 B 的反力 F_B , 铅垂向上, 固定铰支座 A 的反力用过点 A 的两个正交分力 F_{Ax} 的 F_{Ay} 表示。受力图如图 1-16(b) 所示。由于梁受三个力作用而平衡, 故可由推论 2 确定 F_A 的方向。用点 D 表示力 F 和 F_B 的作用线交点。 F_A 的作用线必过交点 D , 如图 1-16(c) 所示。

【例 1-4】三铰拱桥由左右两拱铰接而成, 如图 1-17(a) 所示。设各拱自重不计, 在拱 AC 上作用荷载 F 。试分别画出拱 AC 和 CB 的受力图。

解 (1) 取拱 CB 为研究对象。由于拱自重不计, 且只在 B 、 C 处受到铰约束, 因此 CB 为二力构件。在铰链中心 B 、 C 分别受到 F_B 和 F_C 的作用, 且 $F_B = -F_C$ 。拱 CB 的受力图如图 1-17(b) 所示。