

工程力学

GONGCHENG LIXUE

主 编 韩美娥 邹炳文
副主编 刘礼贵 赵 霞 卢其宜
参 编 余茂武



重庆大学出版社

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

内 容 简 介

本书是根据教育部高等职业教育工程力学课程的教学基本要求编写而成。突出高等职业教育的特色,共11章,以静力学和材料力学为主,主要介绍了静力学的概念,平面基本力系,平面任意力系,空间力系,轴向拉伸与压缩,剪切,圆轴的扭转,直梁弯曲,组合变形的强度计算,压杆稳定等内容。

本书可按60~80学时教学,可作为高等职业院校机电类与近机类各专业工程力学课程教材,同时也可供有关工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

工程力学/韩美娥,邹炳文主编. —重庆:重庆大学出版社,2007.7

ISBN 978-7-5624-4150-2

I. 工… II. ①韩…②邹… III. 工程力学—高等学校: 技术学校—教材 IV. TB12

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2007)第 083887 号

工程力学

主 编:韩美娥 邹炳文

副主编:刘礼贵 赵 霞 卢其宜

参 编:余茂武

责任编辑:王维朗 曾令维 版式设计:曾令维 王维朗

责任校对:文 鹏 责任印制:张 策

*

重庆大学出版社出版发行

出版人:张鸽盛

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 (市场营销部)

全国新华书店经销

重庆大学建大印刷厂印刷

*

开本:787×1092 1/16 印张:14.25 字数:356千

2007年7月第1版 2007年7月第1次印刷

印数:1—4 000

ISBN 978-7-5624-4150-2 定价:25.00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

本书是根据教育部高等职业教育工程力学课程的教学基本要求,围绕高职高专培养应用型人才的目标,并考虑到学生继续学习和深造的需要编写的。

本着突出高等职业教育的特色为原则。编写过程中,对传统工程力学的教学内容作了精心的选择与编排,在内容整合上汲取了各高职院校近年来力学课程改革的成功经验,汲取了其他同类教材的优点,注意密切联系工程实际以培养读者分析问题和解决问题的能力。

本书以静力学和材料力学为主,教学时数为60~80学时,可作为高等职业院校机电类与近机类各专业工程力学课程教材,同时也可供有关工程技术人员参考。

参加本书编写的有:江西电力职业技术学院刘礼贵(副教授),江西现代职业技术学院邹炳文(高级讲师),江西机电职业技术学院赵霞(副教授),江西机电学院余茂武(副教授),江西机电职业技术学院卢其宜(副教授),江西机电职业技术学院韩美娥(副教授)。韩美娥、邹炳文任主编,刘礼贵、赵霞、卢其宜任副主编,余茂武参编。全书由韩美娥统稿。

本书采用我国法定计量单位。有关量、单位与符号均执行国家标准一系列新规定。为了方便读者学习,各章节均配有思考题及习题并附有部分习题答案。

由于编者水平有限,不妥之处恳请读者批评指正。

符号说明

1. 重量

G 或 Q, W

2. 一般的载荷

力为(P)、力偶为(M)、分布载荷为(q)、摩擦力为(F)、合力为(R)

3. 约束反力

柔索的拉力(T)、光滑接触面约束(N)、光滑铰链约束、固定铰链支座、轴承等(N_x, N_y 或 R_x, R_y)、二力杆、可动铰链支座(N)、固定端(R_x, R_y, M_0)

4. 内力

轴力(N)、剪力(Q)、挤压力(P_j)、扭矩(M_n)、弯矩(M)、临界力(F_{Per})

5. 应力

正应力(σ)、切应力(τ)、临界应力(σ_{cr})、循环特性(r)

6. 系数

摩擦系数(f)、横向变形系数(泊松比)、长度系数(μ)、动荷系数(K_d)

7. 加速度(a)、功率(P)、转速(n)

8. 变形

绝对变形(Δl)、线应变(ε)、角应变(γ)、挠度(y)、扭转角(φ)、单位长度扭转角、转角(θ)、材料拉压弹性模量(E)、剪切弹性模量(G)、延伸率(δ)、断面收缩率(ψ)

9. 几何量

直径(d)、几何尺寸(L, a, b, c, h, t, δ)、圆轴任一点的半径、曲率半径(ρ)、偏心距(e)、角度(α, β, γ)、面积(A)、极惯性矩(I_p)、轴惯性矩(I_x, I_y)、抗扭截面系数(W_n)、抗弯截面系数(W_x, W_y)

10. 矢量用粗黑体字, 标量用非黑体字

11. 书中的单位使用国际单位制

目 录

绪论	1
----------	---

第 1 篇 静力学

第 1 章 静力学的基本概念和受力图	5
1.1 静力学公理	5
1.2 约束与约束反力	7
1.3 物体的受力分析与受力图	11
小结	16
思考题	16
习题 1	16
第 2 章 平面基本力系	19
2.1 平面汇交力系	19
2.2 力矩与平面力偶系	26
小结	30
思考题	31
习题 2	32
第 3 章 平面任意力系	36
3.1 平面任意力系的简化	36
3.2 平面任意力系的平衡方程及其应用	40
3.3 静定与超静定问题的概念 物体系统的平衡	45
3.4 考虑滑动摩擦时的平衡问题	49
小结	53
思考题	55
习题 3	56

第4章 空间力系	59
4.1 力在空间直角坐标轴上的投影	59
4.2 力对轴之矩	62
4.3 空间力系的平衡方程及其应用	64
4.4 轮轴类零件平衡问题的平面解法	69
4.5 重心	71
小结	77
思考题	78
习题4	78

第2篇 材料力学

第5章 轴向拉伸与压缩	84
5.1 轴向拉伸与压缩的概念	84
5.2 轴向拉伸与压缩时横截面上的内力——轴力	85
5.3 轴向拉伸与压缩时横截面上的应力	87
5.4 轴向拉伸与压缩时的变形 胡克定律	88
5.5 材料在轴向拉伸与压缩时的力学性能	90
5.6 轴向拉伸与压缩时杆件的强度计算	94
5.7 应力集中的概念	97
5.8 拉伸与压缩静不定问题简介	98
小结	99
思考题	101
习题5	102
第6章 剪切	106
6.1 剪切的概念	106
6.2 剪切的实用计算	107
6.3 挤压及其实用计算	109
6.4 切应变 剪切胡克定律	113
小结	114
思考题	114
习题6	115
第7章 圆轴的扭转	117
7.1 扭转的概念	117
7.2 扭矩 扭矩图	118
7.3 圆轴扭转时的应力与变形	121

7.4 圆轴扭转时的强度和刚度计算	124
小结	126
思考题	127
习题7	128
第8章 直梁弯曲	130
8.1 平面弯曲的概念及梁的计算简图	130
8.2 梁弯曲时横截面上的内力——剪力与弯矩	132
8.3 剪力方程与弯矩方程 剪力图与弯矩图	134
8.4 剪力、弯矩与载荷集度的关系	139
8.5 梁弯曲时横截面上的正应力	141
8.6 梁弯曲时的正应力强度计算	146
8.7 弯曲切应力简介	149
8.8 提高梁弯曲强度的一些措施	151
8.9 梁的变形	153
小结	157
思考题	158
习题8	159
第9章 组合变形的强度计算	164
9.1 拉伸(压缩)与弯曲组合变形的强度计算	164
9.2 弯曲与扭转的组合变形	168
小结	172
思考题	173
习题9	174
第10章 压杆稳定	177
10.1 压杆稳定的概念	177
10.2 细长压杆的临界力	179
10.3 欧拉公式的适用范围与经验公式	180
10.4 压杆的稳定性计算	185
10.5 提高压杆稳定性的措施	188
小结	190
思考题	190
习题10	190

第 11 章 动载荷与交变应力·····	192
11.1 动载荷与交变应力 ·····	192
11.2 持久极限及其影响因素 ·····	196
小结 ·····	197
思考题 ·····	198
习题 11 ·····	198
附录 ·····	200
附录 1 型钢表 ·····	200
附录 2 习题答案 ·····	212
参考文献 ·····	217

绪 论

力学是一门基础学科,它同数、理、化、天、地、生并列为七大基础学科之一。力学的应用范围十分广泛,它又属于技术科学,它植根于国民经济的各个产业门类。哪里有技术难题,几乎哪里就有力学难题。

工程力学(engineering mechanics)涉及众多的力学学科分支与广泛的工程技术学科。作为高等工科学校的一门课程,工程力学只是其中最基础的部分。它涵盖了原有理论力学和材料力学两门课程的主要经典内容,同时,适当地增加了面向 21 世纪的新内容。工程力学课程不仅与力学密切相关,而且紧密联系于广泛的工程实际。

20 世纪以前,推动近代科学技术与社会进步的蒸汽机、内燃机、铁路、桥梁、船舶、兵器等,都是在力学知识的累积、应用和完善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、大跨度悬索桥、海洋平台、精密机械、航空航天器、机器人、高速列车、海底隧道以及大型水利工程等许多重要工程更是在工程力学指导下得以实现,并不断发展完善的。

20 世纪产生的另一些高新技术,如核反应堆工程、电子工程、计算机工程等,虽然是在其他基础学科指导下产生和发展起来的,但都对工程力学提出了各式各样的、大大小小的问题。例如,核反应堆堆芯与压力壳,在核反应堆的核心部分——堆芯的核燃料元件盒,由于热核反应产生大量的热量和气体,从而受到高温和压力作用,当然还受到核辐照作用。在这些因素的作用下,元件盒将产生怎样的变形,这种变形又将对反应堆的运行产生什么影响?此外,反应堆压力壳在高温和压力作用下,其壁厚如何选择才能确保反应堆安全运行?又如计算机硬盘驱动器,若给定不变的角加速度,如何确定从启动到正常运行所需的时间以及转数;已知硬盘转台的质量及其分布,当驱动器达到正常运行所需角速度时,驱动电动机的功率如何确定,等等,也都与工程力学有关。

需要指出的是,除了工业部门的工程外,还有一些非工业工程也都与工程力学密切相关,体育运动工程就是一例。棒球运动员用球棒击球前后,棒球的速度和方向都发生了变化,如果已知这种变化即可确定棒球受力;反之,如果已知击球前棒球的速度,根据被击后球的速度,就可确定球棒对球所需施加的力。赛车结构为什么前细后粗,为什么车轮也是前小后大?这些都是工程力学的基础知识。

一、工程力学的任务

工程力学是研究工程结构的受力分析、承载能力的基本原理和方法的科学。它是工程技术人员从事结构设计和施工所必须具备的基础。工程力学涉及众多的力学分支学科,本书只是其中最基础的部分,主要研究物体的机械运动和杆件弹性变形的一般规律。它是高等工科院校的一门理论性较强的技术基础课程,为后续课程的学习和解决工程实际问题提供力学的基本理论和方法。

机械运动在物理学中已讲过,是指物体在空间的位置随时间而发生的改变。如固体的移动和变形,气体和液体的流动等。

变形是指物体在外力作用下形状和尺寸的改变。物体的变形按其性质可分为两种:一种是弹性变形,它是随外力的解除而消失的变形;另一种是塑性变形,或称残余变形,它是在外力解除后而不能消失的变形。

本课程的任务,概括起来可分为两类。

(1)研究物体的机械运动与所受力之间的关系。这里包括力的一般性质,力系的简化及物体在力的作用下平衡规律的研究;物体运动几何性质的描述;物体运动状态改变与其所受力之间的关系。以便掌握物体机械运动的基本规律和研究方法。

(2)研究物体变形与所受力之间的关系。即研究物体在外力作用下变形和破坏的规律,为解决构件强度、刚度和稳定性问题提供基本理论和计算方法。即研究构件的受力、变形、失效、强度、刚度、稳定性的规律和相关的计算公式。构件的基本变形主要有拉压、剪切、扭转、弯曲,这四种基本的变形形式是日常生活中常见的。

构件是各种工程结构组成单元的统称。如机械中的轴、杆件,建筑物中的梁、柱等。它们在工作中都要受到力的作用。这些构件应该满足要连续、均匀及各向同性的假设。

强度是指构件抵抗破坏的能力;

刚度是指构件抵抗变形的能力;

稳定性是指构件保持其原有直线平衡状态的能力。

强度、刚度和稳定性统称为构件的承载能力。设计工程构件时,在材料选用和形状尺寸选取上,既要保证构件有足够的承载能力,又要尽量节省材料,节约资金,达到既安全又经济的要求。

二、工程力学研究的主要对象

1. 工程构件分类:杆件、块体、平板、壳

凡是一个方向的尺寸(长度)远大于其他两个方向(宽度和高度)的构件称为杆件,简称为杆。有一个方向的尺寸(厚度)远小于其他两个方向(长度和宽度)尺寸的构件称为板(平面形状)或壳(曲面形状)。三个方向(长、宽、高)的尺寸相差不多的构件称为块体。

2. 工程力学主要研究对象是杆件

由于工程力学也可以看做是由理论力学和材料力学两部分内容组成的,因此工程力学的力学模型为刚体、质点以及变形固体。

三、工程力学的研究方法

工程力学的研究方法是实验观察—假设建模—理论分析—实验(实践)验证。这是自然

科学研究问题的一般方法。

本课程研究的物体,大多是各种工程结构物及其构件。这些结构物和构件,形状大小各异,组成也很复杂。因此,在研究它们的运动和变形时,首先必须根据问题的性质,抓住主要方面,略去次要因素,合理简化,抽象为力学模型。这是重要的一步。在研究物体的平衡规律时,由于物体变形量很小或变形因素对问题的研究影响很小,可忽略物体的变形而将其抽象为“刚体”。在研究物体机械运动的几何性质和运动状态改变与受力之间关系时,因物体的运动范围远大于物体本身的大小,则可将物体抽象为一个“质点”,或者由质点组成的“质点系”。但在研究物体的变形与受力之间关系时,则不能再将物体视为刚体,而应看成可变形固体。建立模型之后,可运用数学方法进行分析计算。这种解决工程力学问题的方法称为理论方法。然而,许多工程实际问题,仅靠理论方法还不能有效地解决,但通过实验的方法可得到满意的结果。另外,在解决构件的承载能力问题时,需要通过实验测定材料的力学性质。可见,实验方法也是解决工程力学问题的一个必不可少的方法。

随着计算机技术的迅速发展,计算机分析模拟方法在工程力学领域中已得到日益广泛的应用,并促进着工程力学研究方法的更新。将工程力学与计算机应用有机地结合在一起,建立较为统一的计算机分析理论体系及程序设计原理,并提供工程力学基本内容的源程序,这方面已经有大量的商品化软件系统可供使用。例如 ANSYS 软件是 ANalysis SYStem 的简写,诞生于 20 世纪 70 年代,是融结构、流体、电场、磁场、声场分析于一体的大型通用有限元分析软件。由世界上最大的有限元分析软件公司之一的美国 ANSYS 开发,它能与多数 CAD 软件接口,实现数据的共享和交换,如 Pro/Engineer, NASTRAN, Alogor, I-DEAS, AutoCAD 等,是现代产品设计中的高级 CAD 工具之一。在有限元的发展史上,一直作为一个重要成员存在,在激烈的市场竞争中,生存下来并不断发展壮大,目前是世界上最有影响的有限元软件之一。可以计算结构应力并用三维图形模拟显示。

第 **I** 篇

静 力 学

静力学研究物体在力系作用下处于平衡的规律。

力是物体间的相互机械作用。这种作用有两种效应:使物体产生运动状态变化和形状变化。前者称为运动效应,后者称为变形效应。力对物体的效应取决于力的大小、方向和作用点三个要素。

平衡是指物体相对于惯性参考系处于静止或匀速直线运动的状态。它是机械运动的特殊形式。在工程实际中,通常把固连于地球的参考系作为惯性参考系来研究物体相对于地球的平衡问题,所得结果能很好地与实际情况相符合。

刚体是静力学中所采用的一种理想模型,它是指在力作用下不变形的物体。事实上,任何物体受力后或多或少都会发生变形。因此,实际上并不存在绝对的刚体。但是,对那些在运动中变形极小,或虽有变形但不影响其整体运动的物体,忽略变形,对问题的研究结果不仅没有显著影响,而且可以使问题得以简化。这时,该物体可抽象为刚体。将物体抽象为刚体是有条件的,这与所研究的问题的性质有关。当物体的变形(即使很小)成为所研究问题的主要方面而不应忽视时,则不能抽象成为刚体,而应当成变形体处理。

静力学中所研究的物体只限于刚体,所以也称为刚体静力学,它是研究变形体力学的基础。

本篇着重研究以下三个问题:

(1) 物体的受力分析 分析某个物体或物体系统共受几个力,以及每个力的作用位置和方向。

(2) 力系的等效与简化 将作用在物体上的较复杂的力系用一个最为简单的、与其作用效果相等的力系来代替。

(3) 力系的平衡条件 研究物体处于平衡时,作用于物体上的力系所应满足的条件。

第 1 章

静力学的基本概念和受力图

学习目标

- (1) 掌握静力学的基本概念,基本公理推论的内容及适用范围。
- (2) 熟悉工程中常见的几种约束类型及其受力特点,能正确画出其约束反力。
- (3) 能熟练地对单个物体与物体系统进行受力分析,画出受力图,注意作用与反作用定律的应用。
- (4) 会找出物系中的二力杆并判断其受拉压特点。

本章将阐述静力学公理,工程中常见的典型约束,以及物体的受力分析。静力学公理是静力学理论的基础。物体的受力分析是力学的基本技能。

1.1 静力学公理

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,可以合成为一个合力。该点也是合力的作用点,合力的大小和方向由这两个力为邻边构成的平行四边形的对角线确定。

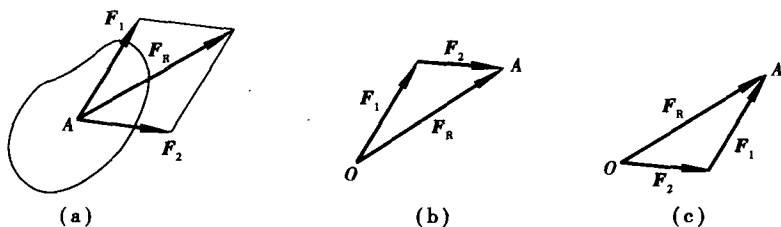


图 1.1 力的合成与分解法则

如图 1.1(a)所示。或者说,合力矢等于这两个力矢的几何和,即

$$\mathbf{F}_R = \mathbf{F}_1 + \mathbf{F}_2 \quad (1.1)$$

力的平行四边形也可演变成为力三角形,由它能更简便地确定合力的大小和方向,如图 1.1(b)、(c)所示,而合力作用点仍在汇交点 A。这个公理表明了最简单力系的简化规律,它是复

杂力系简化的基础。

公理 2 二力平衡条件

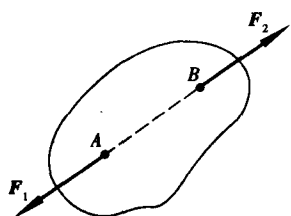


图 1.2 二力平衡条件

作用在刚体上的两个力,使刚体保持平衡的必要与充分条件是:这两力的大小相等,方向相反,且在同一直线上,如图 1.2 所示,即

$$F_1 = -F_2 \quad (1.2)$$

这个公理揭示了作用于物体上的最简单的力系在平衡时必须满足的条件。对刚体来说这个条件既是必要的,又是充分的;但对于变形体,它只是平衡的必要条件,而不是充分条件。例如,软绳受两个等值、反向、共线的拉力作用可以平衡,而受两个等值、反向、共线的压力作用就不能平衡。工程上,把只受两个力作用而处于平衡的物体,称为二力构件(或称二力杆)。根据二力平衡条件可知,二力构件不论形状如何,其所受的两个力的作用线,必沿两力作用点的连线。这一性质在对物体进行受力分析时极为有用。

公理 3 加减平衡力系原理

在刚体上加上或减去任意个平衡力系,并不改变原力系对刚体的作用。

作用于刚体上的力系如果可以用另一个适当的力系来代替,且对刚体产生相同的效应,则这两个力系互称为等效力系。由此公理可知,作用于刚体上的已知力系与加上(或减去)任一平衡力系后的力系等效。

这个公理是研究力系简化的重要理论依据。但必须注意,此公理也只适用于刚体而不适用于变形体。

由上述公理可以导出如下重要推论:

推论 1 力的可传性

作用在刚体上某点的力,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。

如图 1.3(a)所示的刚体,在 A 点受力 F 作用,若在力 F 的作用线上任一点 B 加上一平衡力系 F_1, F_2 ,且使 $F = F_2 = -F_1$ (图 1.3(b)),则 F 与 F_1 又构成一平衡力系。将此力系去掉后,可得到作用于 B 点的力 F_2 (图 1.3(c))。于是,原来的力 F 与力系 (F, F_1, F_2) 及力 F_2 等效,即原作用于 A 点的力 F 沿其作用线移到了 B 点。

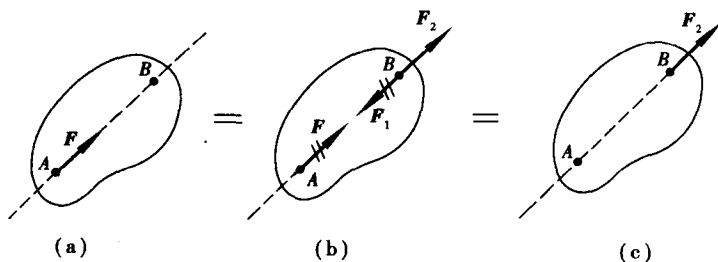


图 1.3 力的可传性

根据力的可传性,力对刚体的效应与力的作用点在其作用线上的位置无关。因此,对于刚体来说,力的三要素之一的作用点可代之以作用线。在这种情况下,力矢可沿其作用线任意滑动,成为滑动矢量。

推论2 三力平衡汇交定理

作用于刚体上的三个互相平衡的力,若其中两个的作用线汇交于一点,则此三个力必在同一平面内,且第三个力的作用线通过汇交点。

设有三个互相平衡的力 F_1, F_2, F_3 分别作用于刚体上的 A, B, C 三个点(图 1.4)。已知 F_1 和 F_2 的作用线交于 O 点,根据力的可传性,将力 F_1 和 F_2 移到汇交点 O ,并用力的平行四边形规则,求得其合力 F_{12} ,则 F_3 应与 F_{12} 平衡。由于两力平衡必须共线,所以,力 F_3 必定与力 F_1 和 F_2 共面,且通过力 F_1 和 F_2 的汇交点 O 。

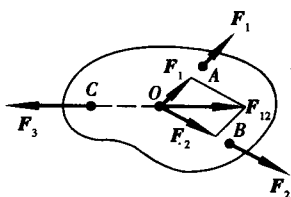


图 1.4 三力平衡汇交定理

三力平衡汇交定理说明了不平行的三个力平衡的必要条件,有时用此来确定第三个力的作用线的位置。

公理4 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。

这个公理提供了把变形体抽象为刚体模型的条件。

公理5 作用和反作用定律

作用力和反作用力总是同时存在,两力的大小相等,方向相反,沿着同一直线,分别作用在两个相互作用的物体上。

这一公理概括了物体间相互作用力的关系,表明作用力和反作用力总是成对出现的。它是分析物体受力时必须遵循的原则。

1.2 约束与约束反力

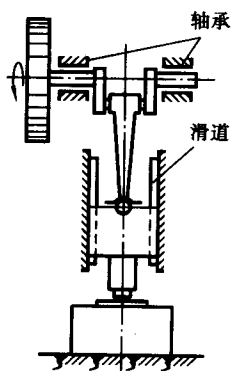
一、约束的概念

图 1.5 冲床的约束

在力学中通常把物体分为两类:一类称为自由体,它们在空间的位移不受任何限制。例如在空中飞行的飞机、炮弹和火箭等。另一类称为非自由体,它们在空间的位移受到一定的限制。例如,悬挂在屋顶的电灯受到绳子的限制不能下落;门、窗只能绕合页轴转动;图 1.5 所示的曲柄冲压机冲头受到滑道的限制只能沿铅垂方向平动,飞轮受到轴承的限制只能绕轴转动;图 1.6 所示的桥梁的桁架,由于受到左右支座的限制而固定不动等。

工程实际中的构件或机械的零件都是非自由体。对非自由体的某些位移起限制作用的周围物体称为约束。例如绳子是电灯的约束;合页是门、窗的约束;滑道是冲头的约束;轴承是飞轮和轴的约束;支座是桥梁的约束等。

既然约束阻碍着物体的运动,那么当物体沿着约束所能限制的方向运动或有运动趋势时,约束对该物体必然有力的作用,以阻碍物体的运动,这种力称为约束反力,简称反力。因此,约束反力的方向总是与该约束所能阻碍的运动方向相反,这是确定约束反力方向的准则。

物体所受的力,除约束反力外,还有如重力、水压力、风力、电磁力等,它们是促使物体运动

或使物体有运动趋势的力,称为主动力(或载荷)。在一般情况下,约束反力是由主动力的作用而引起的,因此,它是一种被动力。

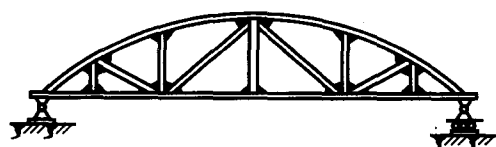


图 1.6 桥梁的约束

静力分析的重要任务之一就是确定未知约束反力。

二、工程中常见的约束类型及约束反力

工程中约束的种类很多,对于一些常见的约束,按其所以具有的特性,可以归纳为下列几种基本类型。

1. 柔性约束(柔索)

柔性约束是由绳索、胶带或链条等柔性物体构成的。因绳索不能受压,只能受拉。所以,柔索约束反力总是沿着绳索的中心线,使物体受到拉力。因此,柔性约束对物体的约束反力,作用在接触点,方向沿着柔索背离物体。通常用 F 或 F_T 表示这类约束反力。如图 1.7(a) 所示,用绳索悬挂一重物,则绳索对重物的约束反力是沿绳索的拉力 F_{T1} 和 F_{T2} ,如图 1.7(b) 所示。

注意:

(1) 柔性约束对物体的反力也可以用 N, T, S 以及这些字母带下标表示。采用哪种符号视个人习惯而定。但是不要用 A, B, C 以及 W, G, M 等字母表示约束反力。

(2) 不能画施力,图 1.7(b) 中的两个拉力是约束对物体的力,画在物体上指向是离开物体,不能画成压力。

(3) 本例中的物体受三个相互不平行动力的作用而平衡,可用三力平衡汇交定理分析,它们的力作用线汇交于一点。即图 1.7(b) 中的重力作用延长线只能画在 F_{T1} 和 F_{T2} 的交点上,且为垂直向下。

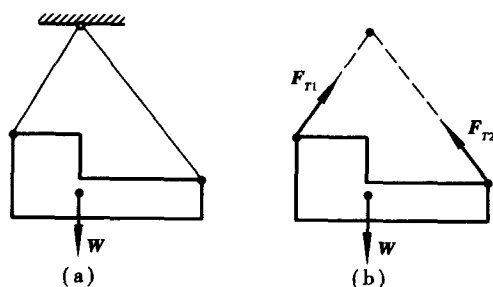


图 1.7 柔性约束

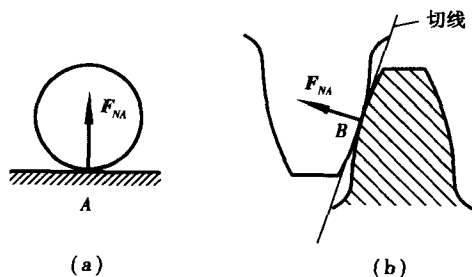


图 1.8 光滑接触面约束

2. 光滑接触面约束

光滑接触面约束可忽略摩擦,将接触表面视为理想光滑的约束。此时,不论接触面是平面或曲面,都不能限制物体沿约束表面切线的运动,而只能限制物体沿着接触表面法线方向,并向约束内部的运动。因此,光滑接触面对物体的约束反力通过接触点,方向沿接触表面的公法线方向,并指向受力物体。这种约束反力称为法向反力,通常用 F_N 表示。例如,支持物体的固定面、啮合齿轮的齿面都可视为光滑接触面(图 1.8(a)、(b)),它们的约束反力分别为图 1.8 中的 F_{NA} 和 F_{NB} 。

注意:

(1) 光滑接触面约束对物体的反力也可以用 N , 以及字母带下标表示, 例如 N_A, N_B 或 N_1, N_2 , 采用哪种符号视个人习惯而定。

(2) 光滑接触面约束可以分为几种情况, 例如曲面和平面、曲面和曲面、曲面和尖点、平面和尖点。尖点接触, 尖点即半径等零的圆弧, 过尖点任一直线都是其法线, 公法线即另一物体表面法线。

3. 光滑圆柱形铰链

圆柱形铰链也称为铰链, 它是用一圆柱形销钉将两个或更多的构件连接在一起。即在构件的连接处各加工出一直径相同的圆孔, 用销钉穿起来。如图 1.9(a) 所示的曲柄连杆机构中, 曲柄 OA 和连杆 AB 在 A 处的连接、连杆 AB 和滑块 B 在 B 处的连接均为铰链连接。图 1.9(b) 是铰链的结构图。若相互接触的两圆柱面是光滑的, 则销钉只能限制被约束构件在垂直于销钉轴线的平面内的径向运动, 不能限制被约束构件绕圆孔中心 A 的转动, 因此, 约束反力 F_A 沿圆柱面在接触点 a 的公法线, 并通过铰链中心 A (图 1.9(c))。但接触点 a 的位置与被约束构件的受力情况和运动情况有关, 不能预先确定。

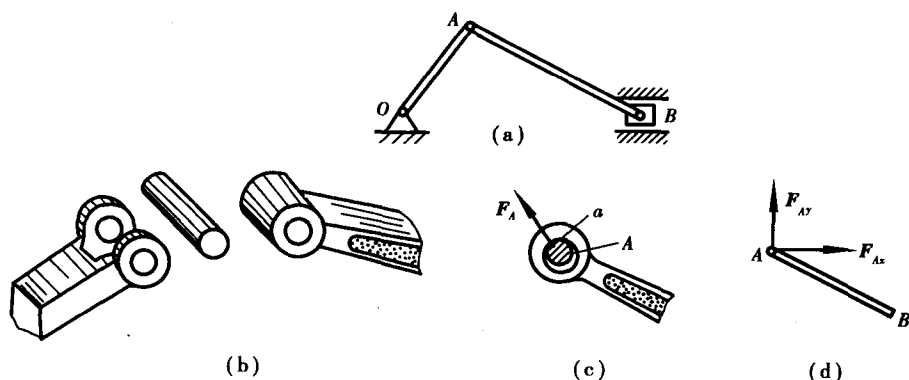


图 1.9 光滑圆柱铰链约束

因此, 约束反力 F_A 也不能预先确定, 通常用通过铰链中心 A 的两个互相垂直的分力 F_{Ax}, F_{Ay} 来表示, 如图 1.9(d) 所示。 F_{Ax}, F_{Ay} 的指向暂可任意假定。如果铰链连接中有一个构件与地面或机架相连, 便构成固定铰链支座, 简称固定铰支, 如图 1.10(a) 所示。这种支座的约束性质与圆柱形铰链相同, 其简图及约束反力表示法分别如图 1.10(b)、(c) 所示。

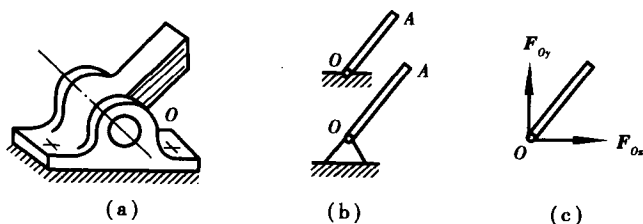


图 1.10 固定铰支座约束反力

注意:

(1) 光滑圆柱铰链约束对物体的反力也可以用其他字母带下标表示, 例如 N_{Ox}, N_{Oy} , 以及 X_O, Y_O 。