



普通高等教育“十三五”规划教材

理论力学

L I L U N L I X U E

主编 张克义 王珍吾



东南大学出版社
SOUTHEAST UNIVERSITY PRESS

普通高等教育“十三五”规划教材

理论力学

主 编 张克义 王珍吾
副主编 符春生 史永芳 阮启坊
参 编 张 兰
参 编 曾 娟 余宏涛 史冬敏

东南大学出版社
· 南京 ·

内 容 简 介

本书是按照教育部关于工科理论力学的教学基本要求编写的。全书分为三篇:静力学、运动学和动力学。静力学部分主要讲述物体受力分析的方法和力系的简化与平衡;运动学部分主要从几何的观点论述质点和刚体的运动规律;动力学部分讨论物体的运动及其受力的关系。全书内容涵盖了理论力学课程的基本要求,共分14章,内容包括绪论、静力学公理及物体的受力分析、平面汇交力系与平面力偶系、平面任意力系、空间力系、摩擦、运动学基础、点的合成运动、刚体的平面运动、质点动力学基本方程、动量定理、动量矩定理、动能定理、达朗贝尔原理、虚位移原理及动力学普遍方程。书后还附有各章习题(计算题)部分答案。

本书可以作为50~70学时的理论力学课程教学用书,也可以作为工程力学课程中理论力学部分教学的教材,还可以作为相关专业的电大、夜大和函授的自学教材,也可供其他专业学生和技术人员参考使用。

图书在版编目(CIP)数据

理论力学 / 张克义, 王珍吾主编. — 南京: 东南大学出版社, 2017. 1

ISBN 978-7-5641-6634-2

I. ①理… II. ①张… ②王… III. ①理论力学—高等学校—教材 IV. ①031

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2016)第 160899 号

理论力学

出版发行: 东南大学出版社

社 址: 南京市四牌楼 2 号 邮编: 210096

出 版 人: 江建中

责任编辑: 史建农 戴坚敏

网 址: <http://www.seupress.com>

电子邮箱: press@seupress.com

经 销: 全国各地新华书店

印 刷: 常州市武进第三印刷有限公司

开 本: 787mm×1092mm 1/16

印 张: 19

字 数: 490 千字

版 次: 2017 年 1 月第 1 版

印 次: 2017 年 1 月第 1 次印刷

书 号: ISBN 978-7-5641-6634-2

印 数: 1—3000 册

定 价: 45.00 元

本社图书若有印装质量问题,请直接与营销部联系。电话:025-83791830

前 言

本书是按照教育部关于工科理论力学的教学基本要求编写的。

全书分为三篇:静力学、运动学和动力学。静力学部分主要讲述物体受力分析的方法和力系的简化与平衡;运动学部分主要从几何的观点论述质点和刚体的运动规律;动力学部分讨论物体的运动及其受力的关系。

全书内容涵盖了理论力学课程的基本要求,共 14 章,内容包括绪论、静力学公理及物体的受力分析、平面汇交力系与平面力偶系、平面任意力系、空间力系、摩擦、运动学基础、点的合成运动、刚体的平面运动、质点动力学基本方程、动量定理、动量矩定理、动能定理、达朗贝尔原理、虚位移原理及动力学普遍方程。书后还附有各章习题(计算题)部分答案。

本书是编者多年教学工作的经验总结。

理论力学是工科类专业一门重要的专业基础课。由于它的理论性强,逻辑严密,使得学生在学习本课程时感觉有一定的难度,因而在编写本书的过程中,强调基础知识,注意由浅入深,遵循由概念到理论的过程。为了使学生更好地掌握本书的基本知识,每章后面都安排了大量的概念题,包括填空题、判断题和选择题。这些习题的安排注重基础性,同时又不失普遍性、典型性和新颖性。学生通过练习这些基本概念题,可以及时巩固学过的知识,理解书中的基本概念和定理。各章后面安排了适当的计算题(书后附有部分计算题答案),学生通过练习,巩固学过的内容,同时提高应用知识解决实际问题的能力。

本书由东华理工大学张克义、井冈山大学王珍吾任主编,东华理工大学符春生、三峡大学科技学院史永芳、井冈山大学阮启坊、南昌理工学院张兰任副主编,参与编写的还有三峡大学科技学院曾娟、东华理工大学余宏涛和史冬敏。全书最后由张克义负责统稿。本书绪论,第 1、2 章,由张克义编写;第 3、4 章由王珍吾编写;第 5、6 章由符春生编写;第 7、8 章由史永芳编写;第 9、10 章由阮启坊编写;第 11、12 章由张兰编写;第 13 章由余宏涛编写;第 14 章由史冬敏编写。

本书可以作为 50~70 学时的理论力学课程教学用书,也可以作为工程力学

课程中理论力学部分教学的教材,还可作为相关专业的电大、夜大和函授的自学教材,也可供其他专业的学生和技术人员参考使用。

由于编者水平所限,书中难免存在不妥之处,敬请读者批评指正。

编者

2016年10月

目 录

绪论	1
----	---

第一篇 静力学部分

1 静力学公理及物体的受力分析	3
1.1 静力学的基本概念	3
1.2 静力学公理	4
1.3 约束与约束反力	7
1.4 物体的受力分析和受力图	11
本章小结	16
复习思考题	17
2 平面汇交力系与平面力偶系	21
2.1 平面汇交力系合成与平衡的几何法	21
2.2 平面汇交力系合成与平衡的解析法	24
2.3 平面力对点之矩	29
2.4 平面力偶系	33
本章小结	36
复习思考题	37
3 平面任意力系	43
3.1 力的平移定理	43
3.2 平面任意力系的简化	44
3.3 平面任意力系的平衡条件和平衡方程	49
3.4 物体系统的平衡静定和静不定问题	53
3.5 平面桁架	57
本章小结	60
复习思考题	61
4 空间力系	65
4.1 空间力系	65
4.2 力对点之矩和力对轴之矩	68
4.3 空间力偶	72
4.4 空间任意力系向一点简化矢和主矩	73
4.5 空间任意力系平衡方程	75

4.6 平行力系的重心·····	79
本章小结·····	84
复习思考题·····	85
5 摩擦 ·····	89
5.1 摩擦及其分类·····	89
5.2 滑动摩擦·····	90
5.3 摩擦角和摩擦自锁·····	92
5.4 考虑摩擦时物体的平衡问题·····	93
5.5 滚动摩阻·····	97
本章小结·····	99
复习思考题·····	100

第二篇 运动学部分

6 运动学基础 ·····	104
6.1 运动学的基本概念·····	104
6.2 点的运动学·····	105
6.3 刚体的平动·····	112
6.4 刚体绕定轴的转动·····	114
6.5 定轴轮系的传动比·····	120
本章小结·····	123
复习思考题·····	124
7 点的合成运动 ·····	129
7.1 点的合成运动的基本概念·····	129
7.2 点的速度合成定理·····	132
7.3 牵连运动为平动时点的加速度合成定理·····	136
7.4 牵连运动为转动时点的加速度合成定理·····	139
本章小结·····	146
复习思考题·····	147
8 刚体的平面运动 ·····	151
8.1 平面运动概述·····	151
8.2 用基点法求平面图形内各点速度·····	153
8.3 用瞬心法求平面图形内各点速度·····	156
8.4 用基点法求平面图形内各点的加速度·····	161
8.5 运动学综合应用举例·····	164
本章小结·····	168
复习思考题·····	169

第三篇 动力学部分

9 质点动力学基本方程	175
9.1 动力学基本定律	175
9.2 质点运动微分方程的三种形式	176
9.3 质点动力学的两类基本问题	177
本章小结	182
复习思考题	183
10 动量定理	186
10.1 动量与冲量	186
10.2 动量定理	188
10.3 质心运动定理	192
本章小结	195
复习思考题	196
11 动量矩定理	201
11.1 动量矩的概念	201
11.2 转动惯量	203
11.3 动量矩定理	208
11.4 刚体定轴转动微分方程	211
11.5 质点系相对于质心的动量矩定理	214
11.6 刚体平面运动微分方程	216
本章小结	219
复习思考题	220
12 动能定理	226
12.1 动能的概念和计算	226
12.2 功的概念和计算	228
12.3 动能定理	234
12.4 功率和机械效率	238
12.5 势力场、势能和机械能守恒定律	240
12.6 动力学普遍定理的综合应用	243
本章小结	246
复习思考题	248
13 达朗贝尔原理	255
13.1 惯性力、质点的达朗贝尔原理	255
13.2 质点系的达朗贝尔原理	258
13.3 刚体惯性力系的简化	259
本章小结	265
复习思考题	266

14 虚位移原理及动力学普遍方程	272
14.1 自由度和广义坐标.....	272
14.2 虚位移、虚功和理想约束	274
14.3 虚位移原理及应用.....	278
14.4 动力学普遍方程.....	282
本章小结.....	284
复习思考题.....	285
各章计算题答案	289
参考文献	296

绪 论

一、理论力学的研究内容

理论力学是研究物体机械运动一般规律的科学。

物体在空间的位置随时间的改变,称为机械运动。在所有的运动形式中,机械运动是最简单的一种。例如,车辆的行驶、机器的运转、水的流动、建筑物的振动及人造卫星的运行等,都是机械运动。平衡是机械运动的特例,例如物体相对于地球处于静止的状态。

理论力学研究的内容是速度远小于光速的宏观物体的机械运动,它以伽利略和牛顿总结的基本定律为基础,属于古典力学的范畴。至于速度接近于光速的物体和基本粒子的运动,则超出了理论力学的研究范围,必须用相对论和量子力学的观点来加以解释。

理论力学通常分为静力学、运动学和动力学三部分。

(1) 静力学——主要对物体进行受力分析,对各种力系进行简化,建立各种力系的平衡条件。

(2) 运动学——从几何上来研究物体(点或刚体)的运动(如轨迹、速度、加速度等),而不考虑引起物体运动的物理因素。

(3) 动力学——研究物体的运动变化与其所受的力之间的关系。

在理论力学中,力是一个很重要的概念。力是物体间的相互作用,这种作用使物体的机械运动状态或形状发生改变。力使物体机械运动状态发生变化的效应称为力的运动效应(也称外效应);力使物体发生变形的效应称为力的变形效应(也称内效应)。在理论力学中只讨论力的运动效应。

二、理论力学的研究方法

科学的认识过程符合辩证唯物主义的认识论。理论力学的发展也遵循这个正确的认识规律。第一,通过观察生活和生产实践中的各种现象,进行多次的科学实验,经过分析总结,得到力学最基本的规律。第二,在基本规律的基础上,建立力学模型,形成概念,然后经过逻辑推理和数学演绎,建立理论体系。第三,将理论力学的理论用于实践,用实践来验证和发展理论力学体系。

理论力学普遍采用抽象化和数学演绎的方法来研究物体的机械运动。

抽象化的方法是根据所研究问题的性质,抓住主要的、起决定作用的因素,撇开次要的、偶然的因素,深入事物的本质,了解其内部联系。理论力学中,可把实际物体抽象为力学模型作为研究对象。理论力学中的力学模型有质点、质点系和刚体。

数学演绎是建立理论力学体系的重要方法。经过抽象化,将长期实践和实验所积累的感

性材料加以分析、综合、归纳,得到一些基本的概念、定律和原理之后,再以此为基础,经过严密的数学推演,得到一些定理和公式,构成了系统的理论力学理论。这些理论揭示了力学中一些物理量之间的内在联系,并经实践证明是正确的。

近代计算机的发展和普及,为解决复杂的力学问题提供了数值计算的方法。计算机已成为学习理论力学知识的有效工具,并在逻辑推演、公式推导、力学理论的发展中发挥重大作用。

三、学习理论力学的目的

理论力学研究的是力学中最一般、最基本的规律,它是机械、航空、水利、土建类专业的技术基础课。许多后继课程,例如材料力学、机械原理、机械设计、结构力学、弹塑性力学、流体力学、飞行力学、断裂力学、振动理论等课程,都要以理论力学的理论为基础。理论力学分析问题、解决问题的思路和方法,对学好后续课程也很有帮助。

一些日常生活中的现象和工程技术问题,可直接运用理论力学的基本理论去分析研究。比较复杂的问题,则需要用理论力学知识结合其他专业知识进行研究。所以,学习理论力学知识,可为解决工程实际问题打下一定的基础。

理论力学的研究方法与其他学科的研究方法有不少相同之处。理解理论力学的研究方法,不仅可以深入地掌握这门学科,而且有助于学习其他科学技术理论,有助于培养辩证唯物主义世界观,对于掌握科学的逻辑思维方法,培养正确地分析问题和解决问题的能力,也起着重要作用。

伴随着科学技术的日益发展和我国现代化进程的加快,会不断提出新的力学问题。在机械行业,机械结构小型化、轻量化设计,复合材料的研制,机械人、机械手的研究和应用等,给力学知识的发展和应用提供了新的机遇和天地。学好理论力学知识,将有利于我们去解决和理论力学有关的新问题,从而解决生产实际问题,更好地从事科学研究工作,促进科学技术的进步。

第一篇 静力学部分

1

静力学公理及物体的受力分析

本章导读 >>>

本章介绍静力学的基本概念和静力学公理是静力学的重要基础。本章引入了约束和约束反力的概念,介绍了几种常见的约束。对物体进行受力分析,正确地画出物体的受力图是静力学乃至动力学的重要内容。

教学目标

了解:静力学公理。

掌握:力的基本概念和性质、约束及约束反力。

应用:几种常见约束的约束反力特性。

分析:熟练地取出隔离体并正确地画出其受力图。

1.1 静力学的基本概念

静力学研究物体在力系作用下的平衡规律。它包括物体的受力分析、力系简化、各种力系的平衡条件等内容。在工程中,平衡是指物体相对于地面保持静止或做匀速直线运动,是物体机械运动的一种特殊情况。

力系是指作用在物体上的一群力。在保持力系对物体作用效果不变的条件下,用另一个力系代替原力系,称为力系的等效替换。这两个力系互为等效力系。若一个力与一个力系等效,则称此力为该力系的合力,而该力系的各力称为此力的分力。

用一个简单力系等效替换一个复杂力系,称为力系的简化。通过力系的简化可以容易地了解力系对物体总的的作用效果。在一般情况下,物体在力系的作用下未必处于平衡状态,只有当作用在物体上的力系满足一定的条件时,物体才能平衡。物体平衡时作用在物体上的力系所满足的条件,称为力系的平衡条件。满足平衡条件的力系称为平衡力系。力系的简化是建立平衡条件的基础。平衡力系可以简化,非平衡力系亦可以简化。因此,力系简化方法在动力

学中也得到了应用。

凡对牛顿运动定律成立的参考系称为惯性参考系,工程中一般可以把固结在地球上或相对地球做匀速直线运动的参考系看做惯性参考系。

1.1.1 刚体

所谓刚体是指在任意力(或力系)作用下不变形的物体。其特点表现为物体受力后内部任意两点的距离始终保持不变。这是一种理想化的力学模型。实际上,物体受力后均会产生不同程度的变形。但当变形十分微小,对所研究的问题不起主要作用时,可以略去不计,这样可使问题大为简化。在静力学中,所研究的物体只限于刚体,故又称为刚体静力学。

1.1.2 力

力是物体间相互的机械作用,这种作用对物体产生两种效应,即引起物体机械运动状态的变化和使物体产生变形,前者称为力的外效应或运动效应,后者称为力的内效应或变形效应。物体对物体的施力方式有两种:一种是通过物体间的直接接触而施力;另一种是通过力场对物体施力。

实践表明,力对物体的作用效果取决于力的大小、方向和作用点三个要素,简称力的三要素。力的大小指物体之间机械作用的强度。在国际单位制中,力的单位是牛顿(N)或千牛顿(kN)。力的方向表示物体的机械作用具有方向性。力的方向包括力的作用线方位和力沿作用线的指向。力的作用点是指物体间机械作用的位置。物体相互接触发生机械作用时,力总是分布在一定的面上。如果力作用的面积较大,这种力称为分布力。反之,如果力作用的面积很小,可以近似地看成作用在一个点上,这种力称为集中力,此点称为力的作用点。用通过力的作用点表示力的方位的直线称为力的作用线。

力的三要素表明力是矢量,且为定位矢量。它可以用一条具有方向的线段表示。如图 1-1 所示:线段的长度按一定的比例尺表示力的大小,箭头的指向表示力的方向,线段的起点(或终点)表示力的作用点,而与线段重合的直线表示力的作用线。本书中矢量的符号用粗斜体表示,如图 1-1 中作用于 A 点的力用矢量 $\boldsymbol{F}$ 表示。

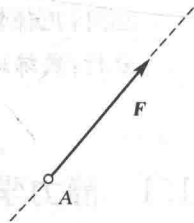


图 1-1

1.2 静力学公理

静力学公理是人们关于力的基本性质的概括和总结,它们是静力学理论的基础。公理是人们在生活和生产活动中长期积累的经验总结,又经过实践的反复检验,证明是符合客观实际的最普遍、最一般的规律。

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。合力的作用点也在该点,合力的大小和方向由这两个力为边构成的平行四边形的对角线确定,如图 1-2(a)所示。或者说,合力矢等于两个分力矢的矢量和,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 1-2(b)或图 1-2(c)所示,而合力作用点仍在汇交点 A。

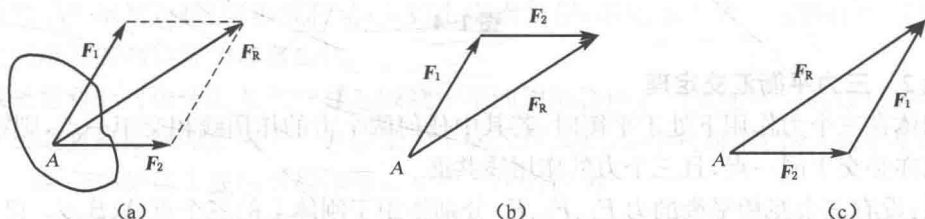


图 1-2

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 二力平衡公理

作用在同一刚体上的两个力使刚体平衡的充要条件是:这两个力大小相等,方向相反,且作用在同一条直线上。如图 1-3 所示的刚体在力 F_1 和 F_2 作用下平衡,则有 $F_1 = -F_2$ 。

该公理给出了作用在刚体上的最简单力系平衡时所必须满足的条件,它是以后推证平衡条件的基础。这个条件对于刚体是充分必要的,对于变形体只是必要但不是充分的。

只在两个力作用下平衡的构件,称为二力构件(简称二力杆)。由二力平衡公理可知,二力杆所受的两个力必定沿两力作用点的连线,且等值、反向。力在工程实际中经常遇到二力杆,比如不考虑自重而只在两端受有约束反力而平衡的构件就是二力杆。

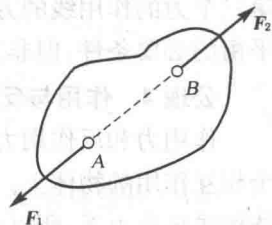


图 1-3

公理 3 加减平衡力系公理

在已知力系上加上或减去任意的平衡力系,并不会改变原力系对刚体的作用效果。该公理提供了力系简化的重要理论基础。

根据公理 3 可以导出下列推论:

推论 1 力的可传性原理

作用在刚体上的力,可以沿其作用线移到刚体内任意一点,而不改变该力对刚体的作用效果。

证明:如图 1-4(a)所示的刚体,在点 A 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' 、 F'' 且使 $F'' = -F' = F$,如图 1-4(b)所示。由于 F 与 F' 构成一平衡力系,将此平衡力系去掉后,可得到作用于 B 点的力 F'' ,如图 1-4(c)所示。由于 $F'' = F$,所以原作用于 A 点的力 F 可以沿其作用线移到 B 点。推论证毕。

由此可见,作用在刚体上的力的三要素可表示为力的大小、方向和作用线。作用于刚体上

的力可以沿着作用线移动,这种矢量称为滑动矢量。

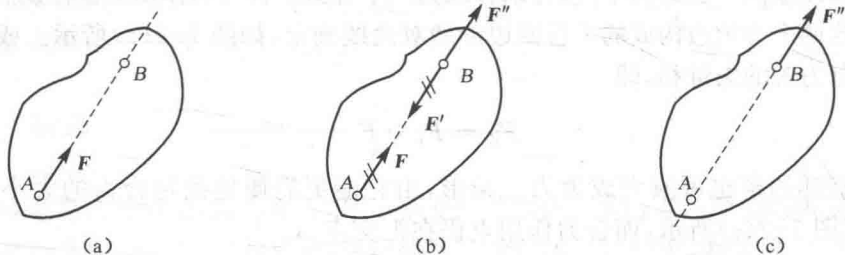


图 1-4

推论 2 三力平衡汇交定理

当刚体在三个力作用下处于平衡时,若其中任何两个力的作用线相交于一点,则第三个力的作用线亦必交于同一点,且三个力的作用线共面。

证明: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三个点 A、B、C。已知 F_1 和 F_2 的作用线交于点 O,根据力的可传性,将力 F_1 和 F_2 移到汇交点 O。根据力的平行四边形法则,得 F_1 和 F_2 的合力 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。推论证毕。

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。在画物体的受力图时,若已知两个力的作用线,可用此定理来确定第三个力的作用线的方位。但是,值得注意的是,三力汇交是刚体平衡的必要条件,但非充分条件。

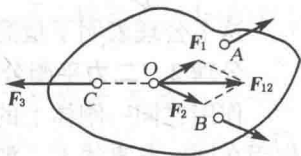


图 1-5

公理 4 作用与反作用公理

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,沿同一直线分别作用在两个相互作用的物体上。由于作用力和反作用力分别作用在两个不同的物体上,这两个力并不能构成平衡力系,所以必须把作用与反作用公理与二力平衡公理区别开来。

这个公理概括了自然界物体间相互作用的关系。它表明作用力与反作用力总是成对出现。在对两个相互作用的物体分别进行受力分析时,必须遵循该公理。

公理 5 刚化原理

变形体在某一力系作用下处于平衡,如把此变形体刚化为刚体,则平衡状态保持不变。

这个原理提供了把变形体抽象成刚体的条件,建立了刚体力学与变形体力学的联系。

刚体的平衡条件对变形体来说只是必要的,而不是充分的。例如,如图 1-6(a)所示的刚性杆在两个等值反向的拉力作用下处于平衡。若将其变为绳索,则平衡状态保持不变;但对刚性杆受两个等值反向压力作用而平衡时,如果将该刚性杆变为绳索,则不能保持平衡状态,如图 1-6(b)所示。



图 1-6

1.3 约束与约束反力

我们经常看到的物体,如吹出的气泡、飞行的飞机、发射的炮弹等,它们在空间的位移不受任何限制。凡位移不受任何限制可以在空间作任意运动的物体称为**自由体**。

相反,有些物体在空间的位移受到一定的限制,如火车受铁轨的限制,只能沿轨道运动;电机转子受轴承的限制,只能绕轴线转动;重物由钢索吊住,不能落地等。这种在空间某些方向的位移受到限制的物体称为**非自由体**。

约束是指对非自由体的某些位移起限制作用的周围物体。约束通常是通过与被约束体之间相互连接或直接接触而形成的。铁轨是火车的约束,轴承是电机轴的约束,钢索是重物的约束。这些约束分别阻碍了被约束物体沿着某些方向的运动。

约束作用于被约束物体上的力称为**约束反力**,正是约束反力阻碍物体沿某些方向运动。

在静力学中,对约束反力和物体受到的其他已知力(称为主动力)组成平衡力系,主要分析计算约束反力的大小和方向。约束反力的方向总是与约束所能阻止的运动方向相反,这是确定约束反力方向的准则;至于约束反力的大小,在静力学中可由静力平衡条件确定。在工程实际中,物体间连接方式很复杂,为分析和解决实际力学问题,必须将物体间各种复杂的连接方式抽象化为几种典型的约束模型。

下面介绍工程中常见的几种典型的约束模型,并根据它们的构造特点和性质,分析约束反力的作用点和方向。

1.3.1 柔性体约束(柔索约束)

如胶带、绳索、传动带、链条等柔软的不可伸长的不计重力的柔性连接物体所构成的约束均为柔索约束。

柔索约束的特点是只能承受拉力,不能承受压力,因而只能限制物体沿着柔性体伸长方向的运动。所以柔性体的约束反力是作用在接触点,方向沿柔索背离物体,恒为拉力,通常用 F 或 F_T 表示。

图 1-7(a)所示为起重机用绳索吊起大型机械主轴。绳索的约束反力都通过它们与吊钩的连接点,沿着各绳索的轴线,背离吊钩。吊钩和主轴的受力图如图 1-7(b)、(c)所示。

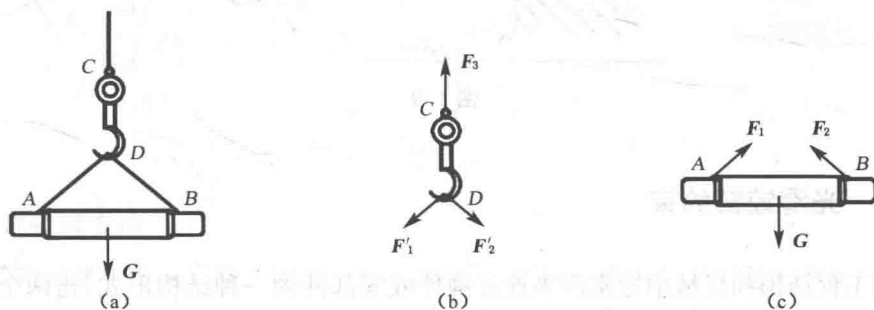


图 1-7

链条和胶带也只能承受拉力,当它们绕在轮子上,对轮子的约束力沿轮缘的切线方向。例如图 1-8 所示的皮带传动机构,皮带给带轮的约束反力沿着皮带方向,背离带轮,恒为拉力。 F_1 与 F'_1 , F_2 与 F'_2 , 分别是作用力与反作用力。应该注意:两边的皮带拉力 F_1 与 F_2 (F'_1 和 F'_2) 大小不相同。

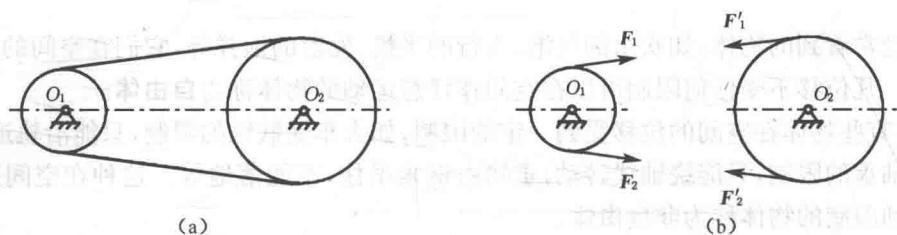


图 1-8

1.3.2 光滑接触面约束

凡是两物体直接接触、不计接触处摩擦而构成的约束均属于光滑接触面约束。

光滑接触表面的约束特点是:不能限制物体沿切线方向位移,它只能阻碍物体沿接触表面公法线向约束内部的位移,因此,其反力作用在接触点上,方向沿接触表面的公法线,指向被约束的物体,只能是压力。光滑接触面的反力又称为法向反力,通常用 F_N 表示。

图 1-9 所示为各种光滑接触面约束。图 1-9(a) 是重量为 G 的物块 A 放在光滑的水平地面上,地面对物块的约束反力可简化为 F_{NA} ; 图 1-9(b) 是重量为 G 的球 B 放在光滑的凹槽内,凹槽对球的约束反力为 F_{NB} ; 图 1-9(c) 是两个互相啮合的轮齿,不计齿面之间的摩擦,右齿对左齿 C 的约束反力为 F_{NC} 。各图中的约束反力均为光滑接触面的约束反力,恒为压力。

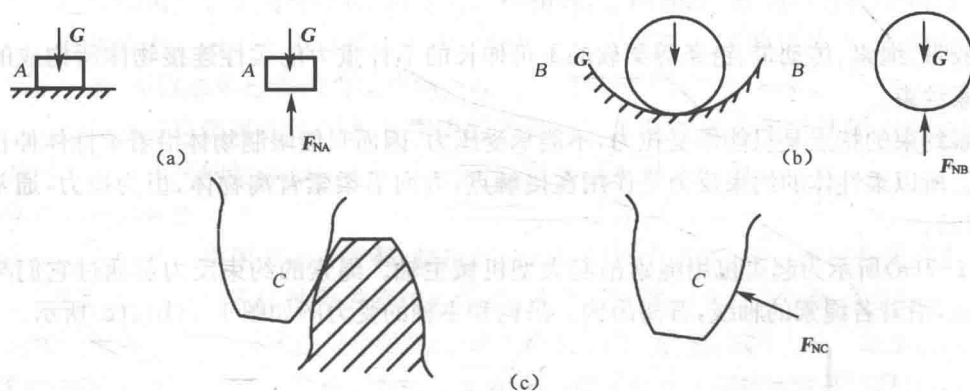


图 1-9

1.3.3 光滑铰链约束

铰链是工程结构和机械中通常用来连接构件或零部件的一种结构形式,指两个带有圆孔