

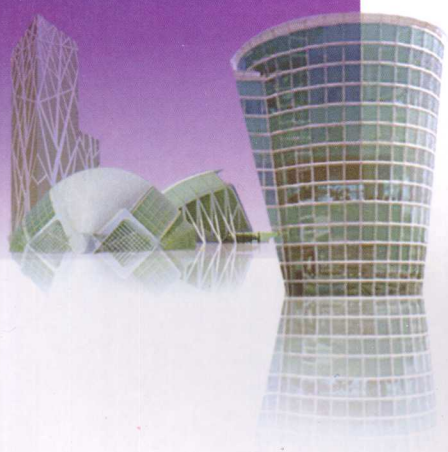
21 世纪高等学校教材

理论力学

THEORETICAL MECHANICS

主 编 李卓球

主 审 黄玉盈



武汉理工大学出版社

理论力学

主 编 李卓球
副主编 周金枝 侯作富 磨季云
主 审 黄玉盈

武汉理工大学出版社

· 武汉 ·

内 容 简 介

根据高等学校理论力学课程教学的基本要求,本书结合工科相关专业应用基础的特点,在保留理论力学经典内容的前提下,适当更新和精炼了教材内容。

本书主要内容为静力学、运动学、动力学等三大部分。

本书适用于高等学校工科力学和工程类各专业的理论力学教材,各专业可以根据需要选用全部或部分内容,也可供有关工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

理论力学/李卓球主编. —武汉:武汉理工大学出版社,2009.7

ISBN 978-7-5629-2972-7

I.理… II.李… III.理论力学-高等学校-教材 IV.031

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2009)第 131271 号

出版发行:武汉理工大学出版社

武汉市武昌珞狮路 122 号 邮编:430070

<http://www.techbook.com.cn> 理工图书网

E-mail:wutp8@163.com

印 刷 者:武汉理工大印刷厂

经 销 者:各地新华书店

开 本:787×1092 1/16

印 张:17.75

字 数:454 千字

版 次:2009 年 8 月第 1 版

印 次:2009 年 8 月第 1 次印刷

印 数:1—5000 册

定 价:28.00 元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页等印装质量问题,请向出版社发行部调换。

本社购书热线电话:(027)87394412 87383695 87384729

版权所有,盗版必究。

前 言

理论力学是高等学校本科相关专业的基础课程,是培养学生工程应用的分析能力和科学研究素养的重要课程。本书依据国家力学教学指导委员会的工科理论力学教学大纲,突出教材的基本概念、基本原理、基本方法,力图做到理论严谨、逻辑清晰、由浅入深、论述简明。同时,在保持基本内容的前提下,考虑到教学课时的限制,对部分内容进行了精简,并删减了个别章节,如删减了机械振动基础这一章。

本书分为静力学、运动学和动力学三大部分,共十三章。

本书适用于高等学校工科学类和工程类各专业的理论力学教材,各专业可以根据需要选用全部或部分内容,也可供有关工程技术人员参考。

参加编写本书的有:武汉理工大学李卓球教授(绪论)、朱四荣教授(第8章、第9章)、黄莉副教授(第10章)、董北川副教授(第11章)、王茵副教授(第12章);湖北工业大学周金枝教授与黄菊华副教授(第1章、第2章)、朱若燕副教授与姜久红副教授(第3章);长江大学侯作富教授(第5章)、胡述龙副教授(第6章)、张新红副教授(第7章);武汉科技大学磨季云副教授(第4章)、姜翠香副教授(第13章)。全书由李卓球教授任主编,周金枝、侯作富、磨季云任副主编。朱四荣教授为全书的统稿做了大量工作。

在本书的编写中,得到了作者所在单位教师的帮助和支持。武汉理工大学郑立霞副教授编写了第8~11章的习题部分,武汉科技大学陈桂娟讲师编写了第4、12、13章的习题部分,部分习题选自其他作者的教材,在此向他们表示衷心的感谢。

本书由华中科技大学黄玉盈教授主审,黄教授提出了许多精辟而中肯的意见,笔者在此表示由衷的感谢。

鉴于编者水平有限,书中缺点和错误难以避免,热忱期待读者给予批评指正。

衷心感谢为该教材的编写、出版、使用提供支持和方便的所有同志。

编 者

2009年4月于武昌马房山

目 录

0 绪论	(1)
0.1 理论力学的研究对象与内容	(1)
0.2 理论力学的研究方法	(1)
0.3 学习理论力学的目的	(2)

第一篇 静 力 学

1 静力学基本概念与受力分析	(4)
1.1 静力学基本概念	(4)
1.2 静力学公理	(5)
1.3 约束与约束力·物体的受力分析	(7)
思考题	(16)
习 题	(16)
2 平面力系	(18)
2.1 平面汇交力系合成与平衡的几何法	(18)
2.2 平面汇交力系合成与平衡的解析法	(20)
2.3 平面力系中力对点之矩的概念及计算	(25)
2.4 平面力偶	(26)
2.5 平面任意力系合成与平衡	(29)
思考题	(44)
习 题	(47)
3 空间力系	(53)
3.1 空间力的分解及其投影	(53)
3.2 力对轴之矩	(54)
3.3 空间力系的合成与平衡	(57)
3.4 重心和形心	(62)
思考题	(66)
习 题	(66)

4 摩擦	(69)
4.1 滑动摩擦.....	(69)
4.2 考虑摩擦时物体的平衡问题.....	(72)
4.3 滚动摩擦.....	(75)
思考题	(77)
习题	(78)

第二篇 运 动 学

5 点的运动学描述和刚体的简单运动	(83)
5.1 点的运动学描述.....	(83)
5.2 刚体的平移.....	(91)
5.3 刚体的定轴转动.....	(91)
5.4 轮系的传动比.....	(94)
5.5 以矢量表示角速度和角加速度·以矢积表示点的速度和加速度.....	(96)
思考题	(98)
习题	(99)
6 点的合成运动	(106)
6.1 绝对运动、相对运动和牵连运动.....	(106)
6.2 速度合成定理	(110)
6.3 加速度合成定理	(114)
思考题.....	(120)
习题.....	(121)
7 刚体的平面运动	(127)
7.1 刚体平面运动的描述	(127)
7.2 平面运动刚体上各点的速度	(129)
7.3 平面运动刚体上各点的加速度	(135)
思考题.....	(141)
习题.....	(144)

第三篇 动 力 学

8 动量定理	(154)
8.1 动量与冲量	(154)

8.2 质点系的动量定理	(155)
8.3 质心运动定理	(159)
思考题	(162)
习题	(163)
9 动量矩定理	(167)
9.1 质点和质点系的动量矩	(167)
9.2 动量矩定理	(168)
9.3 刚体绕定轴的转动微分方程	(172)
9.4 刚体对轴的转动惯量	(175)
9.5 质点系对于质心的动量矩定理	(179)
9.6 刚体的平面运动微分方程	(180)
思考题	(182)
习题	(183)
10 动能定理	(189)
10.1 力的功	(189)
10.2 质点和质点系的动能	(193)
10.3 动能定理	(195)
10.4 功率 · 功率方程 · 机械效率	(199)
10.5 势力场 · 势能 · 机械能守恒定律	(201)
10.6 普遍定理的综合应用举例	(204)
思考题	(206)
习题	(207)
11 达朗贝尔原理	(213)
11.1 惯性力 · 达朗贝尔原理	(213)
11.2 刚体惯性力系的简化	(217)
11.3 刚体绕定轴转动时轴承的附加动约束力	(222)
思考题	(225)
习题	(227)
12 虚位移原理	(230)
12.1 约束、自由度与广义力	(230)
12.2 虚位移、虚功和理想约束	(232)
12.3 虚位移原理及应用	(233)
思考题	(239)
习题	(240)

13 动力学普遍方程和拉格朗日方程	(244)
13.1 动力学普遍方程.....	(244)
13.2 拉格朗日方程.....	(246)
思考题.....	(251)
习题.....	(251)
 习题参考答案.....	(256)
索引.....	(267)
Synopsis	(270)
Contents	(271)
主要符号表.....	(274)
主要参考文献.....	(275)

0 绪 论

0.1 理论力学的研究对象与内容

理论力学是研究物体在力作用下作机械运动的基本规律的科学。

物体在空间的相对位置随时间的改变称为机械运动。

由伽利略、牛顿等科学巨匠总结的基本定律发展而成的力学知识体系称为牛顿力学或经典力学。理论力学是经典力学的基础部分,其研究对象是速度远小于光速的宏观物体的机械运动。这种宏观物体的机械运动是日常生活及实际工程中最常遇到的,包括物体的平衡状态也是一种特殊的机械运动,理论力学则是研究这些运动的最基本、最普遍的规律。因此,理论力学有着非常广泛的应用。

本课程内容包括静力学、运动学、动力学三个部分。

静力学是研究物体在力作用下平衡规律的科学。静力学不考虑质点和物体的运动,其主要特征是与时间无关。静力学主要研究两个问题,即作用在物体上的力系的简化和物体在力系作用下的平衡条件。

运动学是研究点和物体的几何位置随时间变化的科学。运动学不涉及引起这种变化的作用力,而是从几何的角度来研究物体的运动规律,包括研究物体的运动轨迹、速度和加速度等。

动力学则以静力学和运动学为基础,考虑作用力和运动两大因素,是研究物体的机械运动与作用力之间关系的科学。

0.2 理论力学的研究方法

0.2.1 建立力学模型

理论力学所研究的对象是运动的物体,是一种具体的客观存在,为了探索物体在机械运动中的基本规律,必须首先对物体作必要的简化,建立力学模型。

例如,在研究航天飞机的运动时,虽然航天飞机本身较大,但与它的运动轨迹相比要小得多,因此,可将航天飞机简化为一个质点模型。这样,有利于研究航天飞机的运动规律。

例如,在研究汽缸内活塞的运动时,活塞在受到外力作用下而使自身产生微小变形,但为了研究活塞的运动规律,忽略它的微小变形,将活塞建立为受力不变形的刚体模型。

又如,活塞与连杆之间的机械运动是相互制约的,为了研究它们之间的相互作用力,需要将它们的连接简化为理想约束模型。

这些力学模型有一个共同的特点是:抓住研究对象的主要因素,舍弃其次要因素,以建立抽象化的模型。但是,任何抽象化的模型都是相对的。当条件改变时,必须考虑影响事物的新的因素,建立新的模型。例如,在分析物体内部的受力状态时,刚体模型是不适用的,必须考虑

到物体的变形,以建立弹性体的模型。这些内容将在材料力学、弹性力学等课程中进行介绍。

由此可见,通过合理简化建立力学模型,是进行理论分析计算的基础。我们不仅要掌握一些基本的、典型的力学模型的建立方法,而且要善于将复杂的研究对象合理简化为分析模型,这将有助于提高我们的抽象思维能力和创新思维能力。

0.2.2 归纳和演绎

在建立力学模型的基础上,运用归纳和演绎的方法,以公理和定律为基础,应用逻辑推理和数学推演,得到从多方面揭示机械运动规律的定理、定律和公式,建立严密而完整的理论体系。这就是理论力学基本的理论分析方法。

归纳与演绎是两种不同的推理和认识现实的科学方法。一般来说,归纳是由特殊推到一般的科学方法,演绎是由一般推到特殊的科学方法。

当我们对一个具体机械装置进行研究时,通常先采用演绎的方法,利用一般的定理、定律和公式进行演绎分析计算,获得该机械装置的运动规律;同时,还应该对这一具体物体的研究成果进行归纳,寻找出具有普遍性的规律和结论,并获得触类旁通的分析方法。

0.3 学习理论力学的目的

理论力学是一门技术基础课。学习理论力学的目的是:

(1)由于机械运动是一般工程类专业必须要研究的工程问题,因此学习理论力学可以为解决工程问题打下一定的基础。其中,对于有些工程问题可以直接应用理论力学的基本理论和方法去解决,对于有些比较复杂的问题,可以用理论力学和其他专业课的知识共同来解决。

(2)理论力学是研究力学中最普遍、最基本的规律,是学习很多工程专业的基础。例如,机械原理及机械零件、机械设计基础、粉体力学、化工装置设计、精密机械与仪器设计、材料力学、结构力学、流体力学、飞行力学等,都以理论力学为基础,所以理论力学是学习一系列后续课程的必选的技术基础课程。

(3)理论力学是人类长期进行科学实践的产物,它的研究方法具有一定的代表性。因此充分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、正确分析问题和解决问题的能力,为今后解决生产实际问题,从事科学研究工作打下基础。

第一篇 静 力 学

引 言

静力学是研究物体在力系作用下的平衡规律。在静力学中,我们把物体视为刚体,因此这一部分内容也称为刚体静力学。刚体静力学主要研究两个问题,即作用在刚体上的力系的等效和简化与刚体在力系作用下的平衡条件。

(1)力系的简化:将作用于刚体上的力系代换为与它等效的另一简单的力系,称为力系的简化或力系的等效代换。

(2)刚体在力系的作用下处于平衡时力系应满足的条件,称为力系的平衡条件。根据平衡条件,可以求出作用在平衡刚体上的某些未知力。

静力学的主要任务包括三个方面:物体的受力分析方法;力系的等效与简化;力系的平衡条件及其应用。

静力学中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。

1 静力学基本概念与受力分析

本章主要内容:静力学的基本概念,静力学公理,约束与约束力的基本概念;通过实例介绍物体受力分析的基本方法。

1.1 静力学基本概念

1.1.1 力与力系的概念

力是物体之间的相互机械作用。这种作用使物体的机械运动状态发生变化或使物体的形状发生改变。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。在静力学中只研究力的外效应。

实践表明,作用于物体的力因其大小、方向、作用位置的不同,将使物体产生不同的效应。因此,力对物体的作用效果取决于力的三个要素:力的大小,力的方向,力的作用点。

力是矢量。在图 1-1 中,用有向线段 AB 表示一个力矢量,其中线段的长度表示力的大小,线段的方位和指向代表力的方向,线段的起点(或终点)表示力的作用点,线段所在的直线称为力的作用线。用黑体字 $\boldsymbol{F}$ 表示力矢量,而普通字母 F 表示力的大小。

在国际单位制(SI)中,力的单位是“牛顿”(N)。

力的作用点是物体相互作用位置的抽象化。两个物体接触处实际上是物体的某一部分面积或体积,物体间的相互作用力分布在这一部分面积或体积上,这种分布作用的力称为分布力。当力的作用面积很小时,作用力可简化为集中作用在一个点上的力,这样的力称为集中力。分布力作用的强度用 q 表示,称为分布荷载集度。

力系是指作用在物体上的一群力。若对于同一物体,有两组不同力系对该物体的作用效果完全相同,则这两组力系称为等效力系。一个力系用其等效力系来代替,称为力系的等效替换。用一个最简单的力系等效替换一个复杂力系,称为力系的简化。若某力系与一个力等效,则此力称为该力系的合力,而该力系的各力称为此力的分力。

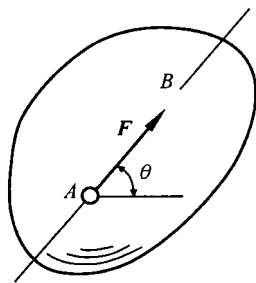


图 1-1

1.1.2 刚体的概念

刚体,是指在力的作用下不变形的物体。即在力的作用下,其内部任意两点的距离保持不变的物体。这是一种理想化的力学模型,事实上,受力时不变形的物体是不存在的,不过,当物体的变形很小,在所研究的问题中将它忽略不计,且不会对问题的性质带来本质的影响时,该物体就可近似看做刚体。刚体是在一定条件下,研究物体受力和运动规律时的科学抽象,这种抽象不仅使问题大大简化,也能得出足够精确的结果。因此,静力学又称为刚体静力学。但是,在需要研究力对物体的内部效应时,这种理想化的刚体模型就不适用,而应采用变形体模

型,并且变形体的平衡也是以刚体静力学为基础的。

1.1.3 平衡的概念

在工程中,把物体相对于地面静止或作匀速直线运动的状态称为平衡。根据牛顿第一定律,物体如不受到力的作用则必然保持平衡。但客观世界中任何物体都不可避免地受到力的作用,如果物体在某个力系作用下处于平衡,则此力系称为平衡力系。力系平衡时所满足的条件称为力系平衡条件。

1.2 静力学公理

静力学中所有定理和结论都是建立在几个基本公理的基础上,这些公理为无数实践、实验所验证。静力学公理概括了力的基本性质,是建立静力学理论的基础。

1.2.1 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邻边构成的平行四边形的对角线确定,如图 1-2(a)所示。图中 F_R 表示合力, F_1 、 F_2 表示分力。合力 F_R 等于分力 F_1 和 F_2 的矢量和,用矢量等式表示为

$$F_R = F_1 + F_2$$

由图 1-2(b)可见,在求合力 F_R 时,也可不必作出整个力的平行四边形,只要从任意点 O 作力矢

F_1 ,再以力矢 F_1 的末端作为力矢 F_2 的始端作力矢 F_2 (即两分力首尾相接),最后由第一个力的起点至第二个力的终点形成三角形的封闭边,即为此二力的合力矢 F_R ,如图 1-2(c)所示,称为力的三角形法则。

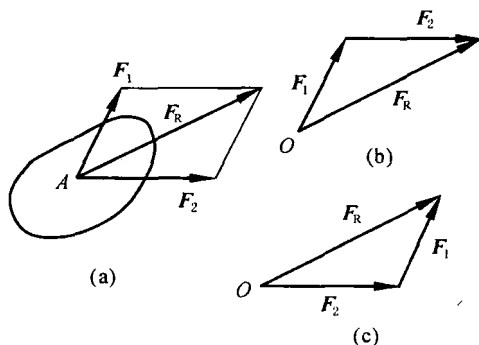


图 1-2

1.2.2 公理 2 (二力平衡原理)

受两力作用的刚体,其平衡的充分和必要条件是:两个力大小相等,方向相反,且作用在同一直线上(简称等值、反向、共线),如图 1-3 所示,即

$$F_1 = -F_2$$

这一公理揭示了作用于刚体上的最简单的力系平衡时所必须满足的条件,满足上述条件的两个力称为一对平衡力。需要说明的是,对于刚体,这个条件既必要又充分,但对于变形体,这个条件是不充分的。

例如,在一重量忽略不计的刚性杆上加一对大小相等,方向相反,作用于同一直线的拉力 F_1 、 F_2 或压力 F_3 、 F_4 ,如图 1-4(a)、(b)所示。由公理 2,此杆将保持平衡。若将刚杆换成绳索,在拉力作用下可以平衡,而在压力作用下则不能平衡,因此刚体平衡的充分必要条件仅是变形体平衡的必要条件。

只在两个力作用下而平衡的刚体称为二力构件或二力杆,根据二力平衡条件,二力杆两端

所受两个力大小相等、方向相反,作用线沿两个力的作用点连线。

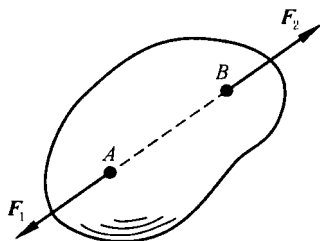


图 1-3

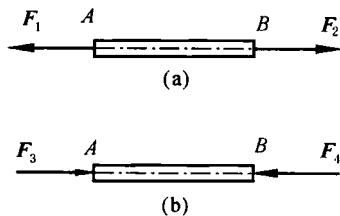


图 1-4

1.2.3 公理 3 (加减平衡力系公理)

在已知力系上加上或减去任意个平衡力系,并不改变原力系对刚体的作用。这一公理是研究力系等效替换与简化的重要依据。根据上述公理可以导出如下两个重要推论:

推论 1 (力的可传性)

作用于刚体上某点的力,可以沿着它的作用线滑移到刚体内任意一点,并不改变该力对刚体的作用效果。

证明:设在刚体上点 A 作用有力 F ,如图 1-5(a)所示。根据加减平衡力系公理,在该力的作用线上的任意点 B 加上平衡力 F_1 与 F_2 ,且使 $F_2 = -F_1 = F$,如图 1-5(b)所示。

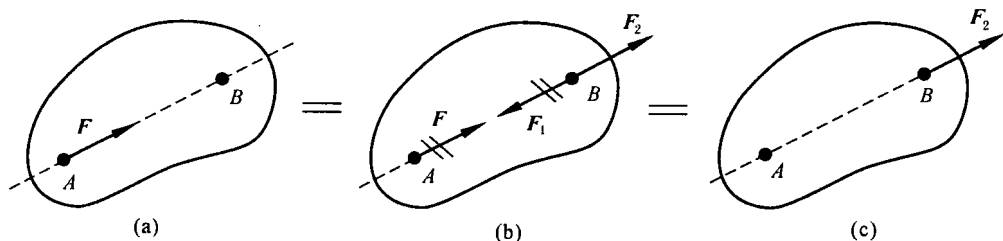


图 1-5

由于 F 与 F_1 组成平衡力,根据加减平衡力系公理,可将它们从力系中去除,而不改变原力系的作用效应。故刚体上只剩下力 F_2 [图 1-5(c)],即将原来的力 F 沿其作用线移到了点 B。

由此可见,对刚体而言,力的作用点不是决定力的作用效应的要素,它已被作用线代替。因此作用于刚体上的力的三要素是:力的大小、方向和作用线。作用于刚体上的力可以沿着其作用线滑移,该力矢是滑移矢量。

推论 2 三力平衡汇交定理

若刚体受三个力作用而平衡,且其中两个力的作用线相交于一点,则此三个力必共面且汇交于同一点。

证明:刚体受三力 F_1 、 F_2 、 F_3 作用而平衡,如图 1-6 所示。

根据力的可传性,将力 F_1 和 F_2 移到汇交点 O,并合成为力 F_{12} ,则 F_3 应与 F_{12} 平衡。根据二力平衡条件, F_3 与 F_{12} 必等值、反向、共线,所以 F_3 必通过 O 点,且与 F_1 、

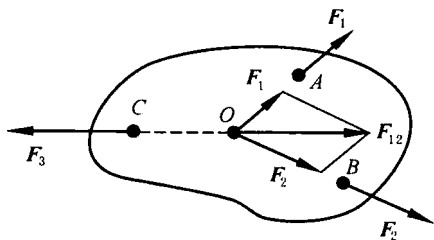


图 1-6

F_2 共面。

1.2.4 公理4 (作用与反作用定律)

两物体间相互作用的力,即作用力与反作用力总是大小相等,方向相反,沿同一条直线,分别作用在两个物体上。若用 F 表示作用力, F' 表示反作用力,则 $F=-F'$ 。

该定律概括了物体间相互作用的关系,无论物体是处于平衡状态或运动状态,都普遍适用。作用力和反作用力总是成对出现的,但它们分别作用在两个物体上,因此不能视作平衡力。

1.2.5 公理5 (刚化原理)

变形体在力系作用下处于平衡状态时,如果将此变形体刚化为刚体,则此刚化后的物体在原来力系作用下仍然保持平衡。这一公理提供了把变形体抽象为刚体模型的条件。

如柔性绳索在等值、反向、共线的两个拉力作用下处于平衡,可将绳索刚化为刚体,其平衡状态不会改变。而绳索在两个等值、反向、共线的压力作用下则不能平衡,这时,绳索不能刚化为刚体。可见,刚体的平衡条件是变形体平衡的必要条件,而非充分条件。

刚化原理建立了刚体与变形体平衡条件的联系,提供了用刚体模型来研究变形体平衡的依据。在刚体静力学的基础上考虑变形体的特性,可进一步研究变形体的平衡问题。

1.3 约束与约束力·物体的受力分析

1.3.1 约束与约束力

在空中运动不受限制可以有任意方向位移的物体称为自由体,如空中飞行的炮弹、飞机、人造卫星等。而某些物体的位移受到事先给定的限制,不可能在空间作随意运动的物体称为非自由体,如在轴承内转动的转轴、汽缸中运动的活塞等。对非自由体的位移起限制作用的周围物体称为约束,例如,铁轨对于机车、轴承对于电机转轴、吊车钢索对于重物等,则铁轨、轴承、吊车钢索等都是相应物体的约束。

既然约束阻碍物体沿某些方向运动,那么,当物体沿着约束所能阻碍的运动方向有运动趋势时,约束对它就有改变运动状态的作用,也就是力。这种约束作用于被约束物体上的力,称为约束力。约束力的方向总是与约束所能阻碍的物体的运动方向相反。约束力的作用点就是物体上与作为约束的物体相接触的点。约束力的大小一般都是未知的,在静力学中,约束力与物体所受的其他已知力(主动力)组成平衡力系,可由力系的平衡条件求出。

约束力以外的其他力称为主动力,如重力、水压力、风压力、电磁力和弹簧力等。物体所受的主动力一般都是已知的。

下面介绍工程实际中常见的几种约束,说明这几种约束的性质以及相应的约束力的特征。

1.3.2 常见约束类型及约束力

(1) 柔索约束

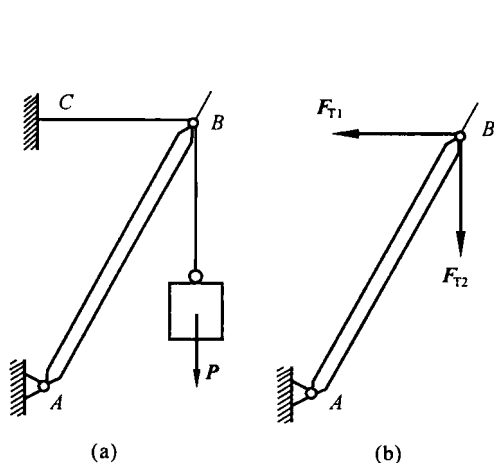


图 1-7

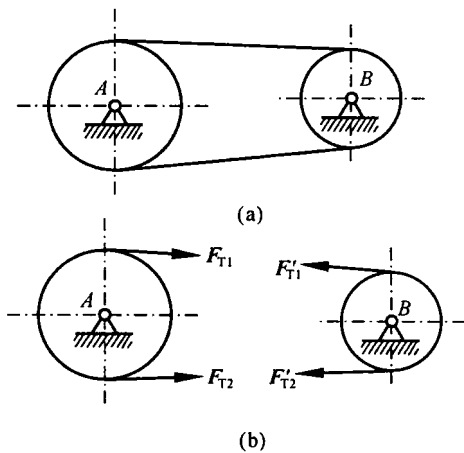


图 1-8

由绳索、链条、皮带等所构成的约束统称为柔索约束,这种约束的特点是柔软易变形,它给物体的约束力只能是拉力。因此,柔索对物体的约束力作用在接触点,方向沿柔索且背离物体。如图 1-7、图 1-8 所示。

(2) 光滑接触面约束

物体受到光滑平面或曲面的约束称作光滑面约束。这类约束只能限制物体沿接触点公法线而趋向支承面的运动。因此光滑接触面约束力作用在接触点,方向沿接触表面的公法线,并指向被约束物体,称为法向约束力,记为 F_N 。如图 1-9、图 1-10 所示。

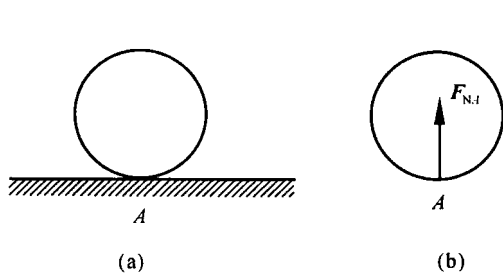


图 1-9

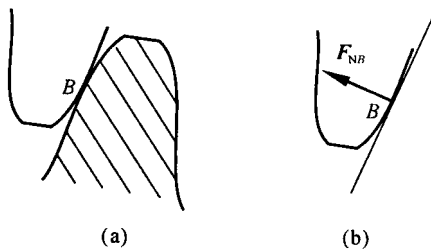


图 1-10

(3) 光滑圆柱铰链约束

如图 1-11(a)、(b),在两个构件 A、B 上分别有直径相同的圆孔,再将一直径略小于孔径的圆柱体销钉 C 插入该两构件的圆孔中,将两构件连接在一起,这种连接称为铰链连接,两个构件受到的约束称为光滑圆柱铰链约束。受这种约束的物体,只可绕销钉的中心轴线转动,而不能相对销钉沿任意径向方向运动。这种约束实质是两个光滑圆柱面的接触[图 1-11(c)],其约束力作用线必然通过销钉中心并垂直圆孔在 D 点的切线,约束力的指向和大小与作用在物体上的其他力有关,所以光滑圆柱铰链的约束力的大小和方向都是未知的,通常用大小未知的两个正交分力 F_x 、 F_y 表示,如图 1-11(d)所示。光滑圆柱铰链的简图如图 1-11(e)所示。

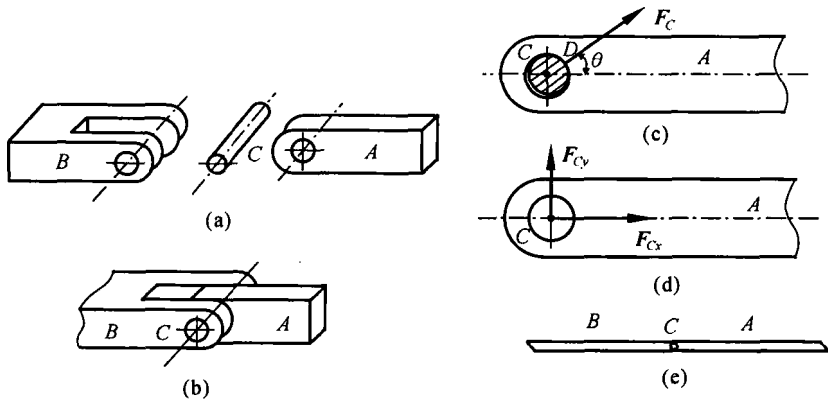


图 1-11

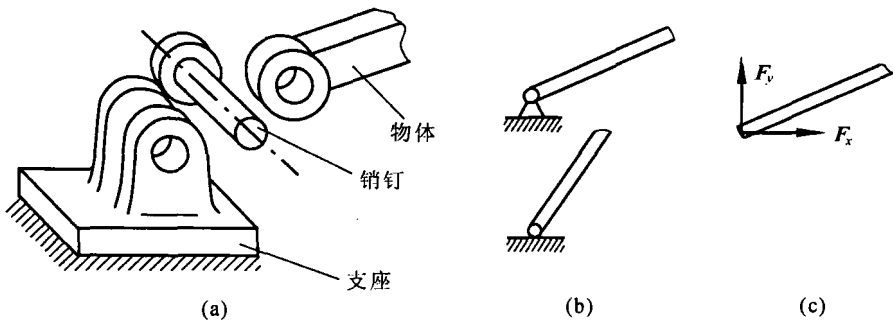


图 1-12

(4) 固定铰支座

这类约束可认为是光滑圆柱铰链约束的演变形式,两个构件中有一个固定在地面或机架上,其结构简图如图 1-12(b)所示。这种约束的约束力的作用线也不能预先确定,可以用大小未知的两个正交分力表示,如图 1-12(c)所示。

(5) 滚动铰支座(辊轴支座)

在桥梁、屋架等工程结构中经常采用这种约束,如图 1-13(a)所示为桥梁采用的滚动铰支座,这种支座可以沿固定面滚动,常用于支承较长的梁,它允许梁的支承端沿支承面移动。因此这种约束的特点与光滑接触面约束相同,约束力垂直于支承面指向被约束物体,如图 1-13(c)所示。

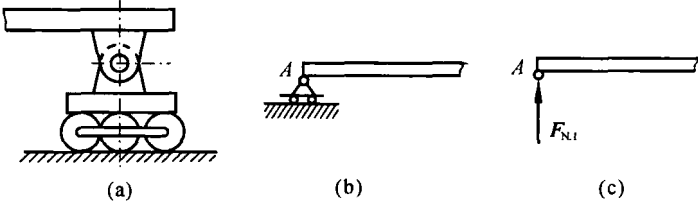


图 1-13

(6) 球形铰支座

构件的一端为球体,能在球壳中转动,如图 1-14(a)所示,这种约束称为球形铰支座,简称球铰。球铰能限制物体任何径向方向的位移,所以球铰的约束力的作用线通过球心并可能指向任一方向,通常用过球心的三个互相垂直的分力 F_{Ax} 、 F_{Ay} 、 F_{Az} 表示,如图 1-14(c)所示。