

高等农林院校精品课程建设教材

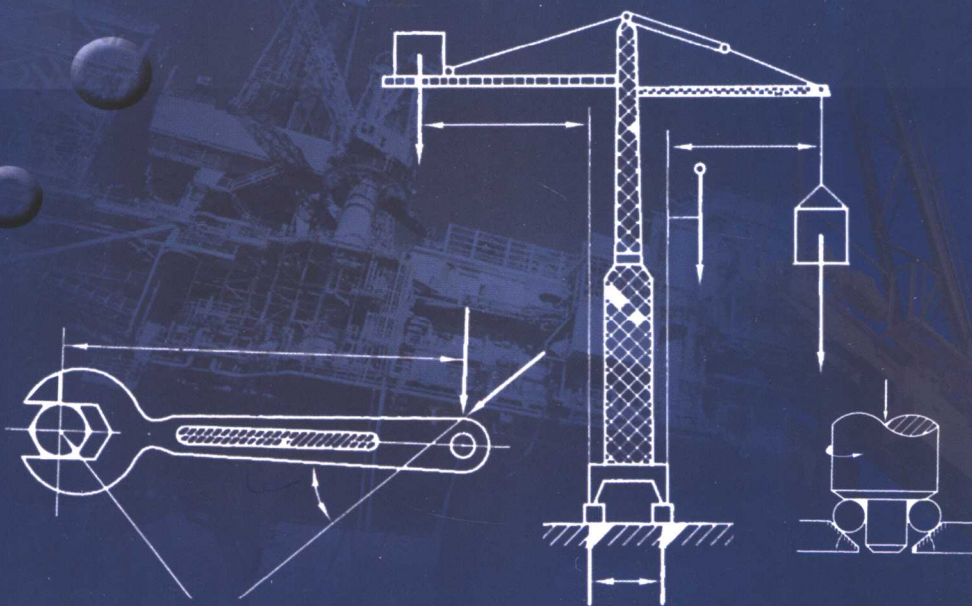
GAO DENG NONG LIN YUAN XIAO JING PIN KE CHENG JIAN SHE JIAO CAI

理论

LI LUN LI XUE

力学

白 英 李瑞英 主编



中国农业大学出版社

高等农林院校精品课程建设教材

理 论 力 学

白 英 李瑞英 主编

中国农业大学出版社

图书在版编目 (C I P) 数据

理论力学/白英, 李瑞英主编. —北京: 中国农业大学出版社, 2004.8

ISBN 7-81066-775-0/O·38

I. 理... II. ①白...②李... III. 理论力学 IV. O31

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2004) 第 061312 号

书 名 理论力学

作 者 白 英 李瑞英 主编

策划编辑 张秀环

责任编辑 张苏明 阚 春

封面设计 郑 川

责任校对 张苏明

出版发行 中国农业大学出版社

社 址 北京市海淀区圆明园西路 2 号

邮政编码 100094

电 话 发行部 010-62731190, 2620

读者服务部 010-62732336

编辑部 010-62732617, 2618

出 版 部 010-62733440

网 址 <http://www.cau.edu.cn/caup>

E-mail caup@public.bta.net.cn

经 销 新华书店

印 刷 涿州星河印刷有限公司

版 次 2004 年 8 月第 1 版 2004 年 8 月第 1 次印刷

规 格 787 × 1 092 16 开本 20 印张 494 千字

印 数 1~3 300

定 价 23.00 元

图书如有质量问题本社发行部负责调换

主 编 白 英 李瑞英

副主编 金淑青 赵满全

参 编 韩克平 李晓丽

主 审 姜衍礼

前 言

这本《理论力学》教材是为了适应我国高等院校工科类理论力学课程教学改革的需要而编写的,可作为机械、水利、土木工程、农业工程、林业工程等专业理论力学本科课程的教材或教学参考书,也可供有关工程技术人员参考。

本教材是编者多年教学经验的总结。在章节的安排和内容的取舍上,充分借鉴了国内外同类教材的长处。本书的编写原则是,既能满足机械、水利、土木工程、农业工程、林业工程等专业理论力学课程的教学要求,又能兼顾其他相近专业的教学特点,具有较广泛的适应性。本教材的编写力求体现以下特色:(1)概念清晰,论述严谨,内容精炼;(2)提高起点,避免重复,注意与相关课程的内容衔接;(3)力学术语、物理量、名称和符号的用法准确、规范;(4)广泛吸收近年来本课程教学研究的最新成果;(5)精选例题和习题,使其具有更强的针对性和实用性。

本教材是在韩克平、白英主编的《理论力学》基础上,综合各方面意见后重新编写的。参加编写工作的有白英、李瑞英、金淑青、赵满全、李晓丽、韩克平等6名同志。白英、李瑞英任主编,金淑青、赵满全任副主编。各部分分工如下:

李晓丽(第1,2章)

赵满全(第3,4章)

金淑青(第5~7章)

李瑞英(第8~10章)

白英(第11,12,15章)

韩克平(绪论,第13,14章)

中国农业大学理论力学教研室姜衍礼教授对全书进行了审阅,提出了许多宝贵意见,为本书增色不少。内蒙古农业大学水利与土木建筑工程学院白英老师、叶志刚同学承担了插图绘制工作,内蒙古农业大学教务处以及水利与土木建筑工程学院工程力学教研室、中国农业大学出版社对本书的出版给予了大力支持,在此一并表示感谢。

因编者水平有限,书中难免存在一些差错和疏漏,敬请读者批评指正。

编 者

2004年3月

目 录

绪 论	(1)
-----	-----

第一篇 静力学

1 静力学基础	(4)
1.1 力和刚体的概念	(4)
1.2 静力学公理	(5)
1.3 约束和约束反力	(8)
1.4 物体的受力分析和受力图	(11)
习题 1	(14)
2 平面力系	(18)
2.1 力在轴上的投影和力对点的矩	(18)
2.2 平面力偶理论	(21)
2.3 平面任意力系向作用面内一点简化	(22)
2.4 平面力系的平衡条件和平衡方程	(26)
2.5 平面力系平衡方程式应用	(29)
2.6 物体系的平衡·静定与静不定的概念	(34)
2.7 简单平面桁架的内力计算	(41)
习题 2	(45)
3 空间力系	(54)
3.1 力在空间直角坐标轴上的投影	(54)
3.2 空间力偶理论	(56)
3.3 力对轴的矩和力对点的矩	(59)
3.4 空间一般力系的简化	(63)
3.5 空间一般力系简化结果分析	(65)
3.6 空间力系的平衡条件与平衡方程	(66)
3.7 空间力系的平衡问题	(67)
3.8 平行力系的中心与重心	(70)
习题 3	(76)
4 摩擦	(83)
4.1 滑动摩擦	(83)

4.2 摩擦角和自锁现象	(85)
4.3 考虑摩擦的平衡问题	(87)
习题4	(93)

第二篇 运动学

5 点的运动学	(98)
5.1 点的运动方程·点的速度和加速度	(98)
5.2 点的速度和加速度在直角坐标轴上的投影	(101)
5.3 点的速度和加速度在自然坐标轴上的投影	(104)
习题5	(109)
6 刚体的基本运动	(113)
6.1 刚体的平行移动	(113)
6.2 刚体绕定轴的转动	(115)
6.3 绕定轴转动刚体上点的速度和加速度	(116)
6.4 角速度和角加速度矢量·用矢量积表示点的速度和加速度	(118)
6.5 轮系的传动比	(120)
习题6	(121)
7 点的合成运动	(124)
7.1 点的合成运动的概念	(124)
7.2 点的速度合成定理	(125)
7.3 牵连运动为平动时点的加速度合成定理	(128)
7.4 牵连运动为转动时点的加速度合成定理	(130)
习题7	(135)
8 刚体的平面运动	(140)
8.1 刚体平面运动的概述和运动分解	(140)
8.2 平面图形上点的速度分析——基点法	(142)
8.3 平面图形上点的速度分析——瞬心法	(145)
8.4 平面图形上点的加速度分析	(148)
8.5 运动学综合问题分析	(151)
习题8	(156)

第三篇 动力学

9 质点动力学基本方程	(164)
9.1 动力学基本定律	(164)
9.2 质点的运动微分方程	(165)
9.3 质点动力学的2类问题	(166)
习题9	(171)
10 动量定理	(174)
10.1 动量和冲量	(174)
10.2 动量定理	(177)

10.3 质心运动定理	(181)
习题 10	(184)
11 动量矩定理	(188)
11.1 质点和质点系的动量矩	(188)
11.2 动量矩定理	(190)
11.3 刚体的转动惯量·平行移轴定理	(194)
11.4 刚体绕定轴转动的微分方程	(199)
11.5 质点系相对于质心的动量矩定理	(203)
11.6 刚体平面运动微分方程	(205)
习题 11	(207)
12 动能定理	(215)
12.1 力的功	(215)
12.2 质点及质点系的动能	(221)
12.3 动能定理	(223)
12.4 功率与功率方程·机械效率	(229)
12.5 势力场·势能·机械能守恒定律	(231)
12.6 动力学普遍定理的综合应用	(236)
习题 12	(242)
13 达朗伯原理	(250)
13.1 惯性力的概念	(250)
13.2 质点的达朗伯原理	(251)
13.3 质点系的达朗伯原理	(252)
13.4 刚体惯性力系的简化	(254)
习题 13	(258)
14 虚位移原理	(263)
14.1 约束及其分类	(263)
14.2 虚位移及其计算	(265)
14.3 虚功与理想约束	(266)
14.4 虚位移原理	(267)
习题 14	(272)
15 机械振动基础	(276)
15.1 振动系统力学模型的简化	(276)
15.2 单自由度系统的自由振动	(278)
15.3 计算固有频率的能量法	(282)
15.4 阻尼对自由振动的影响——衰减振动	(284)
15.5 单自由度系统的强迫振动	(288)
15.6 隔振的概念	(291)
习题 15	(293)
参考答案	(298)
参考文献	(311)

绪 论

(1) 理论力学的研究对象

理论力学是研究物体机械运动一般规律的科学。

所谓机械运动,是指物体在空间的相对位置随时间而改变的现象。物体的平衡是机械运动的特殊情况,理论力学也研究物体的平衡问题。然而,在宇宙中没有绝对的平衡,一切平衡都只是相对的和暂时的。

机械运动是自然界和工程技术中最常遇到的运动,因而力学是发展最早的自然学科之一,可见力学的研究具有实际的意义。

理论力学所研究的内容是以伽利略和牛顿所建立的力学基本定律为基础的,属于经典力学的范畴。近代物理学的发展暴露了经典力学的局限性:不适用于速度接近于光速的物体的运动,也不适用于微观粒子的运动。但是,对于速度远小于光速的宏观物体的运动,经典力学并未丧失其重要意义,它具有足够的精确度。因此,在日常生活和一般的工程技术问题中,经典力学仍然是研究机械运动的既准确又方便的工具。

(2) 理论力学的任务及其研究内容

理论力学是我国高等工科院校各专业的一门理论性较强的技术基础课。它是各门力学学科的基础,并在许多工程技术领域中有广泛的应用。

理论力学课程的任务是:使学生掌握质点、质点系和刚体机械运动(包括平衡)的基本规律和研究方法。通过本课程的学习,为学好有关的后继课程如材料力学、结构力学、弹性力学、机械原理、机械零件、结构工程以及许多其他专业课程打好必要的基础,并为将来学习和掌握新的科学技术创造必要的条件。通过学习,使学生初步学会应用理论力学的基本理论与研究方法,分析、解决一些较简单的工程实际问题。通过学习,也可以结合课程的特点,不断培养学生辩证唯物主义世界观,培养学生分析问题和解决问题的能力。

本课程包括3部分内容:静力学、运动学和动力学。

静力学:研究力系的简化以及物体在力系作用下平衡的一般规律。

运动学:仅从几何学观点出发,研究物体的运动特征,如轨迹、速度和加速度,而不考虑引起物体运动的原因。

动力学:研究物体的运动与作用于物体上的力之间的关系。

上述三大部分内容既是相互独立的,又是相互关联而不可分割的。如静力学可认为是动力学的特殊情况,但因为静力学已积累了丰富的内容,从而成为相对独立的部分。

(3) 理论力学的学习方法

理论力学同其他学科一样,都不能离开人类认识世界的客观规律,这就是“通过实践发现真理,又通过实践而证实真理和发展真理”。

由于理论力学源于以牛顿定律为基础的经典力学,因此,深刻理解和熟练运用这些公理、定律、定理是学好本课程的关键。

这些公理、定律和定理来源于实践又服务于实践,有的与我们日常生活和生产实践密切相关,书中的大量例题、习题也正是这种依赖关系的再现。所以,在学习本课程过程中,必须完成

足够数量的习题;在深刻理解基本概念、基本理论的基础上,勤于思考,举一反三;注意培养逻辑思维能力、抽象化能力、数学演绎与运算能力。可以相信,只要注意能力的培养,一定会在本课程的学习过程中取得优异成绩。

第一篇 静力学

静力学研究作用于物体上力系的平衡。

所谓力系,是指作用在物体上的一组力的总称。

“平衡”是指物体机械运动的一种特殊状态,即物体相对于惯性参考系保持静止或作匀速直线运动的状态。在实际工程问题中,一般是把地球取作惯性参考系,因而通常所说的平衡状态,就是指物体相对于地球处于静止或匀速直线运动的状态。

如果一个物体在某个力系作用下处于平衡状态,则称该力系为平衡力系。

一个平衡力系,其中各个力之间应该满足一定的条件,正是这种条件使力系成为平衡力系。使一个力系成为平衡力系的条件称为力系的平衡条件。

在静力学中,我们将研究以下 3 方面的问题:

(1) 物体的受力分析

分析某个物体所受各力的大小、方向和作用位置。

(2) 力系的简化

用一个简单的力系来等效地替换一个复杂的力系,称为力系的简化。力系的简化表现出不同力系的共同本质,明确了力系对物体作用的总效果。

(3) 建立各种力系的平衡条件

力系的平衡条件是进行静力学计算的基础。

工程中常见的力系,按其作用线所在的位置,可以分为平面力系和空间力系两大类;又可以按其作用线的相互关系,分为共线力系、平行力系、汇交力系和任意力系。不同力系的平衡条件各有其不同的特点。

利用力系的平衡条件,可以求出力系中的未知量,为工程结构(构件)和机械零件的设计提供依据。因而,静力学在工程中有着最广泛的应用。

1 静力学基础

1.1 力和刚体的概念

1.1.1 力的概念

力是人们从物体之间的相互作用中抽象出来的一个概念。在自然界中,物体之间相互作用的形式是多种多样的。其中最常见的是所谓机械作用,即使物体机械运动状态发生变化(包括变形)的作用,人们就把物体之间相互的机械作用称为力。

物体之间机械作用的方式有 2 种:一种是通过物体之间的直接接触发生作用,如人用手推车,两物体发生碰撞等;另一种是通过场的形式发生作用,如地球以重力场使物体受到重力作用,电场对电荷的引力或斥力作用等。

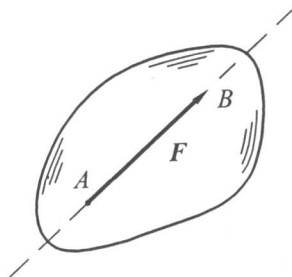


图 1-1

实践表明,力的作用效果取决于 3 个要素,称为力的三要素,它们是力的大小、力的方向和力的作用点。这 3 个要素表明:力是矢量,如图 1-1 所示。矢量线段的长度按一定比例表示力的大小,矢量线的方位和矢量的指向表示力的方向,矢量的起点或终点可以表示力的作用点。

表示力的矢量称为力矢,力矢线段所在的直线称为力的作用线。力矢通常用黑体字母表示,书写时为方便起见,也可以在字母的上方加一带箭头的横线或仅用一横线表示力矢。

本书采用国际单位制(SI),其中力的单位用牛顿(N)或千牛顿(kN)。

1.1.2 刚体的概念

力系对物体的作用效应可分为外部效应和内部效应:外部效应使物体的运动状态发生变化,内部效应使物体变形。在静力学中,主要研究物体的平衡,即物体机械运动的一种特殊状态,此时物体的变形为次要因素,可以忽略不计。这就抽象出一种理想物体,即刚体的概念。

所谓**刚体**,就是指在力的作用下,物体内部任意两点之间的距离永不改变。这是一个理想化的力学模型。

在静力学中所研究的受力物体都是刚体。基于这一点,本书介绍的静力学也称为刚体静力学。

需要指出的是,刚体这个概念的应用是有一定范围的。当研究力对物体作用的外部效应时,可以把物体抽象为刚体。然而在研究力对物体作用的内部效应时,如材料力学研究物体的变形时,就不能把物体抽象成刚体,否则会导致错误的结果,甚至无法进行研究。

1.2 静力学公理

人们在长期的生活和生产活动中发现和总结出一些最基本的、又经过实践的反复检验并被证明是符合客观实际的最普通、最一般的规律。这些规律通称为静力学公理。

公理 1 力的平行四边形法则

作用于物体上同一点的2个力的合力仍作用在该点上,合力的大小和方向用以这2个力为邻边所作的平行四边形的对角线来确定,如图1-2所示。

该法则指出了2个共点力合成的基本法则,即合力等于2个分力的几何和。其数学表达式为

$$\boldsymbol{F} = \boldsymbol{F}_1 + \boldsymbol{F}_2 \quad (1-1)$$

公理 2 二力平衡条件

刚体只受2个力作用而保持平衡的充分与必要条件是这2个力等值、反向、共线。

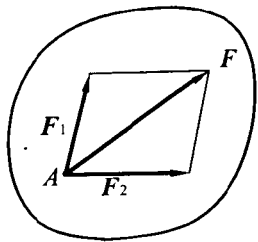


图 1-2

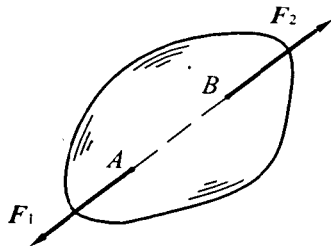


图 1-3

图1-3中物体在 $\boldsymbol{F}_1$ 与 $\boldsymbol{F}_2$ 2个力作用下处于平衡状态,于是有

$$\boldsymbol{F}_1 = -\boldsymbol{F}_2 \quad (1-2)$$

二力平衡条件表明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。

公理 3 加减平衡力系原理

在作用于刚体上的力系中,任意加上或减去一个平衡力系不会改变原力系对刚体的作用效果。

根据这个原理,为了实现简化力系的目的,可以人为地在刚体上加上或减去任意的平衡力系。这个公理是研究力系等效变换的重要依据。

公理 4 作用与反作用定律

两物体之间的相互作用力总是等值、反向、共线,分别作用在这2个物体上。

这个定律揭示了物体之间相互作用力的定量关系,表明作用力与反作用力总是成对出现的。这是研究由多个物体组成的物体系统的平衡问题的基础。

公理 5 刚化原理

若变形体在某力系作用下处于平衡状态,则将此变形体刚化为刚体后其平衡状态不变。该原理给出了把变形体看做刚体模型的条件。例如一根绳索,在一对等值、反向、共线的拉

力作用下处于平衡状态,若将该绳索刚化为一根刚性杆,则这根杆在原力系作用下仍然平衡,如图 1-4 所示。但是若绳索所受的是一对压力,则不能保持平衡,此时绳索就不能简化为刚体,由此可知,作用在刚体上的平衡力系所满足的平衡条件,只是使变形体平衡的必要条件而非充分条件。

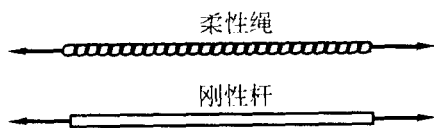


图 1-4

作为上述诸公理的应用,可以得到以下几个十分有用的推理。

推理 1 力的可传性

作用在刚体上的力可以沿着其作用线在刚体内任意移动。

证明:设在刚体上 A 点处作用着力 F ,现在将其沿作用线移到 B 点,移动过程如图 1-5 所示。即在 B 点沿着力 F 的作用线加上一对平衡力 $F = -F_1 = F_2$,再将力 F_1 与 F 所构成的平衡力系减去,则在刚体上就只有 $F_2 = F$ 作用在 B 点。

按照这个推理可知:作用在刚体上的力的三要素为力的大小、方向和作用线。

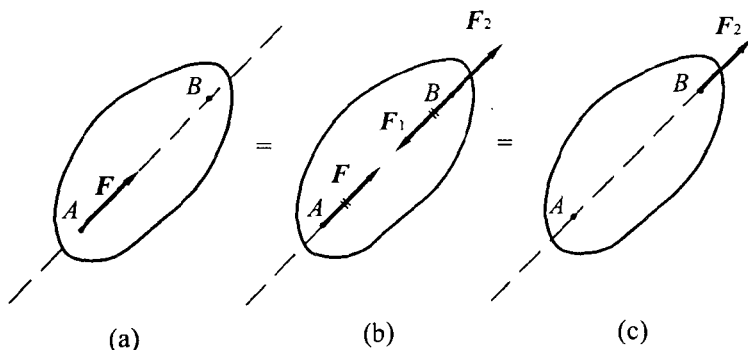


图 1-5

推理 2 三力平衡汇交定理

若刚体在 3 个互不平行的共面力作用下处于平衡状态,则这 3 个力的作用线必汇交于一点。

该推理的证明,请读者参照图 1-6 自行给出。

各个力的作用线共平面且汇交于一点的力系称为平面汇交力系。三力平衡汇交定理指出了 3 个不平行的共面力构成平衡力系的必要条件,即这 3 个力构成一个平面汇交力系。

推理 3 力的三角形法则——用几何法求 2 个共点力的合力

设在刚体上的 A 点处作用着 2 个力 F_1 和 F_2 ,由平行四边形法则可以求得合力 F ,见图 1-7(a)。由于 $ABCD$ 构成一个平行四边形,故有 $AC \parallel BD$,于是 BD 线段的长度和方向就是力矢 F_2 的大小和方向,而三角形 ABD 中的 AD 线段,其长度、方向和起点与合力 F 完全相同,从而也可以由下述方法求力 F_1 与 F_2 的合力:将力 F_1 与 F_2 首尾相接,再由第一个力的起点向第二个力的终点引矢量,则该矢量就是合力矢 F ,如图 1-7(b)所示。这样力 F_1, F_2 与合力 F 构成了一个三角形,称为力三角形。上述求合力的方法称为力的三角形法则。

在应用力的三角形法则求 2 个共点力的合力时,必须注意力三角形的矢序规则,即,2 个分力矢 F_1 与 F_2 要首尾相接,而合力矢 F 则是从第一个分力矢的起点指向第二个分力矢的终

点。作图时分力矢的顺序可以随意确定,例如也可以先作 F_2 ,再作 F_1 ,这样得到的力三角形形状有变化,合力矢 F 不变,如图 1-7(c) 所示。

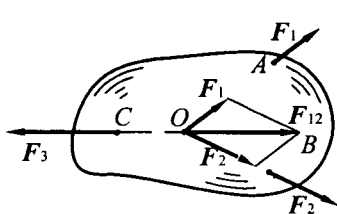


图 1-6

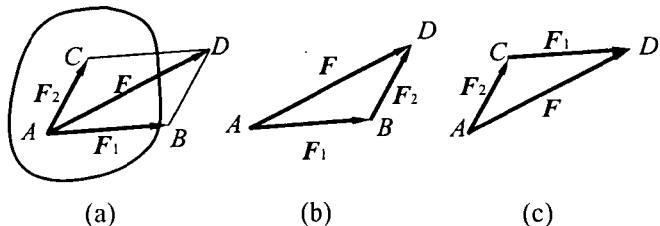


图 1-7

推理 4 力的多边形法则——用几何法求平面汇交力系的合力

设在刚体上 A 点处作用着一个平面汇交力系,如图 1-8(a) 所示。为简明起见,图中画了 4 个力 F_1, F_2, F_3 和 F_4 。力求其合力,可以连续应用力的三角形法则,即先将 F_1 与 F_2 首尾相接,求得它们的合力 $F' = F_1 + F_2$,再将 F' 与 F_3 首尾相接,求得合力 $F'' = F' + F_3 = F_1 + F_2 + F_3$,最后将 F'' 与 F_4 首尾相接,求得该力系的合力

F , 并有 $F = F_1 + F_2 + F_3 + F_4 = \sum_{i=1}^4 F_i$ 。求和过程见图 1-8(b)。

由图看出:各分力矢与合力矢 F 一起构成了一个多边形,称该多边形为力多边形。在这个力多边形中,各分力首尾相接,而合力 F 是多边形的封闭边,其方向由第一个力矢的起点指向最后一个力矢的终点,这就是作力多边形所必须遵循的矢序规则。

若平面汇交力系由 n 个力组成,其合力矢以 F 表示,则有

$$F = F_1 + F_2 + \cdots + F_n = \sum_{i=1}^n F_i \quad (1-3)$$

它仍作用在原力系的汇交点上,其大小和方向由各分力首尾相接的所得到的力多边形的封闭边确定。

推理 5 平面汇交力系平衡的几何条件

由上述多边形法则知:若平面汇交力系有合力,则合力矢由力多边形的封闭边确定,如果所研究的力系是一个平衡的平面汇交力系,那么这个力系将无合力,即合力矢为零。这样按力的多边形法则作出的力多边形将自行封闭,也就是说第一个力的起点将与最后一个力的终点重合。所以有:平面汇交力系平衡的几何条件是力多边形自行封闭。

利用这一条件,可以求得一个平衡的平面汇交力系中的某些未知力的大小或方向。这种研究平面汇交力系平衡问题的方法称为几何法。如图 1-9 所示平面汇交力系的合力可用上述方法求得。

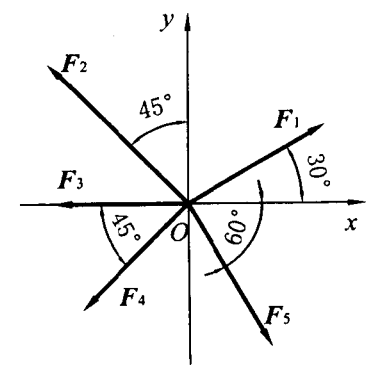


图 1-9

1.3 约束和约束反力

工程中的机械或结构,总是由许多零部件组成的,这些零部件按照一定的方式相互连接组成一个结构,因此它们的运动(位移)必然互相牵制。如果从中取出一个物体作为研究对象,则它的运动当然也会受到与它连接或接触的周围其他物体的限制。也就是说,它是一个运动受到约束的物体,简称为被约束体。

限制被约束体运动的周围物体称为约束。

例如图 1-10 中,圆柱形滚子静止在水平路面上。取滚子为研究对象,则它是被约束体,而路面就是它的约束。

再如图 1-11 中,实物由绳索挂在空中。取实物作研究对象,则它是被约束体,而绳索是它的约束。

约束限制被约束体的运动(位移),是因为被约束体在给约束一个作用力时,约束对被约束体也施加了一个反作用力。约束对被约束体的反作用力称为约束反力,简称反力。

在对物体进行受力分析时,首先是如何确定约束反力的方向。显然约束反力的方向应当与它所能限制的被约束体的运动方向相反。这是确定约束反力方向的基本原则。

至于约束反力的大小和作用点,前者一般未知,需要利用平衡条件来求;后者即约束反力的作用点,应在被约束体与约束的接触处。若被约束体是刚体,则只需确定约束反力的作用线方位即可。

下面把工程上常见的一些约束进行分类,并分析约束反力的特点。

1.3.1 光滑面约束

在约束与被约束体的接触面比较光滑的情况下,可忽略摩擦因素,就得到了光滑面约束。如车轮与轨道的接触面,图 1-10 中与滚子接触的路面,都可以认为是光滑面约束。

这类约束起着阻碍物体沿接触面的公法线向约束内部运动的作用。因此其约束反力的方向沿接触面公法线指向被约束体,故称为法向反力。

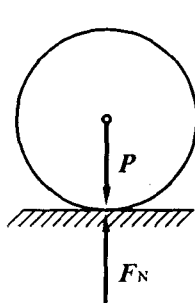


图 1-10

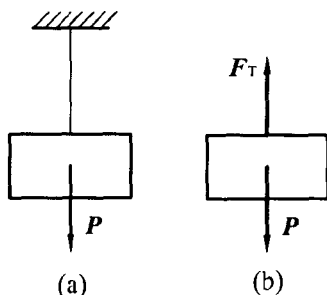


图 1-11

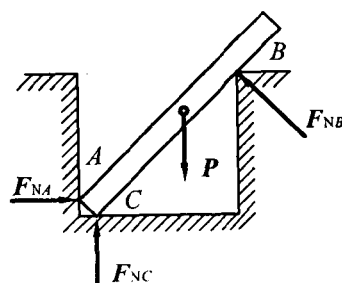


图 1-12

图 1-10 中的路面对滚子的约束反力 F_N 就是法向反力。又如图 1-12 中所示直杆放在槽中,在 A, B, C 3 处受到槽的约束,这种约束为尖端支承约束,此时可将尖端支承处看做小圆

弧与直线相切,则约束反力仍然是法向反力。

1.3.2 柔性约束

这类约束一般由柔软的绳索、链条或皮带等构成。由于这些物体只能承受拉力,故这类约束的反力只能是拉力。图 1-11 中吊住重物的绳索就是一个柔性约束,其反力为拉力 F_T 。

链条或胶带也都只能承受拉力,它们结在轮子上,对轮子的约束反力沿轮缘的切线方向,如图 1-13 所示。

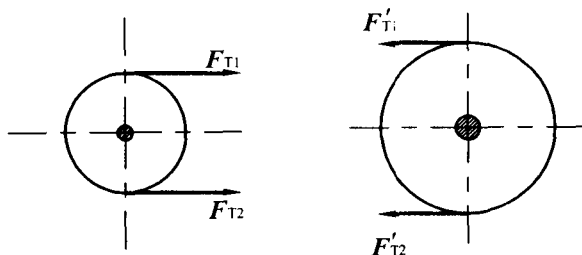


图 1-13

1.3.3 圆柱铰链(平面铰链)约束

为了将 2 个构件 A 与 B 连接在一起,可以在 A 和 B 上各钻一圆孔,然后用圆柱形销钉将它们串起来,如图 1-14 所示。这种约束称为圆柱铰链。

一般认为销钉与构件光滑接触,所以这也是一种理想光滑表面约束,约束反力 F_N 应通过接触点 K 沿公法线方向(通过销钉中心)指向构件,如图 1-15(a)所示。但实际上预先很难确定接触点 K 的位置,因此反力 F_N 的方向无法确定。为克服这一困难,通常用一对互相垂直的分力 F_x 与 F_y 表示约束反力 F_N ,待根据平衡条件计算出 F_x 与 F_y 的大小后,再根据需要用平行四边形规则求得合力 F_N 的大小和方向,见图 1-15(b)。

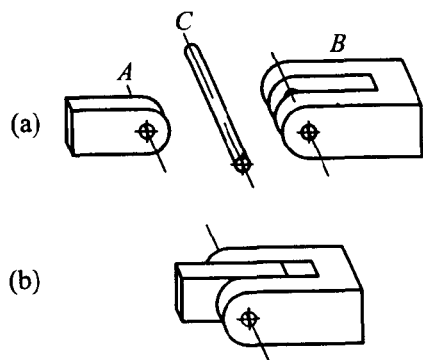


图 1-14

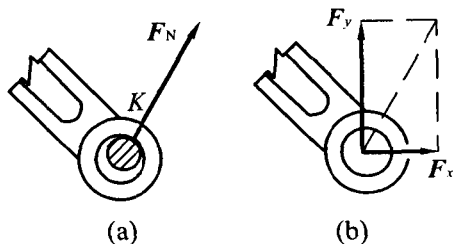


图 1-15

由于这种铰链限制构件在垂直于销钉的平面内相对移动,故也称为平面铰链。这种约束在工程上有广泛应用,见下面的例子。