

高等学校适用

机械基础

王德厚 主编

机械工业出版社



高等学校适用

机械基础

主 编 王德厚

副主编 康德孚 陈 琪



机械工业出版社

(京)新登字054号

内 容 简 介

本书根据原教育部1983年11月批准职工高等工业专科学校《机械基础》教学大纲编写而成。为了满足一般高等院校各非机类专业的需要,本书在内容和层次上做了适当的扩充和调整。全书共分两篇,计十七章。第一篇工程力学基础,内容包括:静力学基本概念和物体的受力分析、力矩力偶、平面力系、空间力系简介、轴向拉伸与压缩、圆轴扭转、梁的弯曲、圆轴弯、扭组合强度计算、压杆稳定问题和动载强度简介。第二篇常用机构与机械零件,内容包括:平面机构运动简图、平面连杆机构、凸轮机构和间歇机构、机械零件设计概论、螺纹联接和螺旋传动、带传动和链传动、齿轮传动和轮系、轴与轴毂联接、轴承、联轴器、离合器和制动器。

本书主要用于一般高等院校本、专科非机类或近机类专业,也可作为有关成人院校相应专业的教材以及有关工程技术人员的学习参考书。

机 械 基 础

主编 主德厚

责任编辑:李旭涛

封面设计:郭景云

机械工业出版社出版(北京阜成门外百万庄南街一号)

(北京市书刊出版业营业登记证出字第117号)

北京市大兴兴达印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·新华书店经售

开本 787×1092¹/₁₆·印张22⁷/₈·字数560千字
1993年1月北京第1版·1993年1月北京第1次印刷
印数 0001—3 000·定价:11.90元

ISBN 7-111-03609-3/TH·425

前 言

本书系根据1983年11月原教育部批准的职工高等工业专科学校《机械基础》教学大纲编写的。考虑一般高等院校工科非机类专业的特点和需要,本书在内容和层次方面做了适当扩充和调整。在编写过程中,注意到内容取舍、例题和习题的选择尽量照顾到各专业的要求;文字叙述力求繁简适度、简明易懂、使全书具有完整的系统性;并采用了最新国家标准及符号。书中带星号的内容为照顾较多学时专业讲用或选学,教师可根据专业要求和学时数进行必要的调整和补充。为方便教学,每章后备有一定数量的思考题和习题,并在书后附有部分习题答案。

参加本书的编写单位有:河北农业大学、东北农学院、山东农业大学、新疆石河子农学院。

参加编写的人员有:康德孚(第一、二、十五、十六章)、王德厚(绪论、第三、四、五、六章)、王凤礼(第七章)、安俊杰、陈琪(第八、九、十、十一、十四章)、吴雪飞(第十二、十三章)、孟庆兰(第十七章)。王德厚担任主编,康德孚、陈琪担任副主编。

本书承华北电力学院梁立德教授主审,对稿件内容提出不少宝贵意见。还有其他不少同志为编写本书做了一定工作,在此一并表示衷心的感谢。

河北农业大学 **孙国社** 副教授曾为本书的编写和组织做了大量工作。

限于编者水平,加之时间仓促,书中缺点和疏漏之处在所难免,切望使用本书的师生和读者予以指正。

编 者

1992年7月

目 录

绪论	1
----	---

第一篇 工程力学基础

第一章 静力学基本概念和物体受力分析	3
§ 1-1 力的概念	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
思考题与习题	13
第二章 平面力系	16
§ 2-1 平面汇交力系	16
§ 2-2 力矩与平面力偶系	25
§ 2-3 平面一般力系	30
§ 2-4 空间力系简介	42
思考题与习题	49
第三章 轴向拉伸与压缩	56
§ 3-1 轴向拉伸与压缩的概念	56
§ 3-2 拉(压)杆件横截面上的内力与应力	57
§ 3-3 拉(压)杆件变形·虎克定律	61
§ 3-4 材料的拉、压机械性质	64
§ 3-5 轴向拉(压)时的强度条件	71
§ 3-6 联接件的强度计算	76
思考题与习题	81
第四章 圆轴扭转	86
§ 4-1 扭转的概念	86
§ 4-2 圆轴扭转时的内力	86
§ 4-3 薄壁圆筒的扭转	89
§ 4-4 圆轴扭转时的应力和强度条件	91
§ 4-5 圆轴扭转变形和刚度条件	96
思考题与习题	99
第五章 梁的弯曲	101
§ 5-1 平面弯曲的概念	101
§ 5-2 梁横截面上的内力	102
§ 5-3 梁的正应力及其强度条件	110
§ 5-4 梁的变形及刚度条件	123
§ 5-5 圆轴弯、扭组合强度计算	138

V

思考题与习题	142
第六章 压杆稳定问题	147
§ 6-1 压杆稳定的概念	147
§ 6-2 压杆的临界压力	148
§ 6-3 压杆稳定性计算	152
§ 6-4 提高压杆稳定性的措施	153
思考题与习题	154
第七章 动载强度简介	156
§ 7-1 动载强度的概念	156
§ 7-2 动应力的计算	156
§ 7-3 交变应力	164
思考题与习题	170

第二篇 常用机构及机械零件

第八章 平面机构的运动简图	172
§ 8-1 机构的基本概念	172
§ 8-2 运动副及其分类	174
§ 8-3 平面机构的自由度及其具有运动确定性的条件	175
§ 8-4 平面机构的运动简图	180
思考题与习题	180
第九章 平面连杆机构	182
§ 9-1 平面连杆机构的特点和应用	182
§ 9-2 铰链四杆机构的基本类型及其特性	182
§ 9-3 铰链四杆机构的演化	188
§ 9-4 平面四杆机构设计简介	193
思考题与习题	196
第十章 凸轮机构和间歇运动机构	198
§ 10-1 凸轮机构的应用和分类	198
§ 10-2 从动件常用的运动规律	200
§ 10-3 用图解法设计平面凸轮的轮廓	202
§ 10-4 设计凸轮机构应注意的几个问题	204
§ 10-5 间歇运动机构	206
思考题与习题	210
第十一章 机械零件设计概论	212
§ 11-1 机械零件设计的内容和方法	212
§ 11-2 机械制造中的常用材料和选用原则	214
§ 11-3 提高金属材料性能的热处理方法	220
§ 11-4 机械零件的结构工艺性及标准化的意义	222
思考题与习题	224
第十二章 螺纹联接和螺旋传动	225
§ 12-1 螺纹的形成及其主要参数	225

§ 12-2	螺旋副的受力分析、自锁和效率	227
§ 12-3	螺纹联接的基本形式及其预紧和防松	231
§ 12-4	螺栓联接的强度计算	234
§ 12-5	螺旋传动简介	239
思考题与习题		239
第十三章 带传动和链传动		241
§ 13-1	带传动的工作原理及特点	241
§ 13-2	带传动的工作情况分析	242
§ 13-3	V带传动的设计计算	244
§ 13-4	V型带轮的结构及张紧装置	251
§ 13-5	链传动简介	254
思考题与习题		255
第十四章 齿轮传动与轮系		256
§ 14-1	齿轮传动的特点和分类	256
§ 14-2	齿廓啮合的基本定律	257
§ 14-3	渐开线的形成及其特性	258
§ 14-4	渐开线标准直齿圆柱齿轮各部分名称及几何尺寸计算	260
§ 14-5	一对渐开线圆柱齿轮的啮合传动	263
§ 14-6	渐开线齿轮的切齿原理和根切现象	264
§ 14-7	齿轮轮齿的失效形式和齿轮材料选择	266
§ 14-8	齿轮传动精度	269
§ 14-9	直齿圆柱齿轮的强度计算	270
§ 14-10	斜齿圆柱齿轮传动的特点、几何参数与尺寸计算	276
§ 14-11	直齿圆锥齿轮传动的特点、几何参数和尺寸计算	279
§ 14-12	齿轮结构	283
§ 14-13	蜗杆传动	284
§ 14-14	轮系及其传动比计算	290
思考题与习题		297
第十五章 轴和轴毂联接		300
§ 15-1	轴的分类和轴的材料	300
§ 15-2	轴的结构设计	302
§ 15-3	轴的强度计算	305
§ 15-4	轴毂联接	310
思考题与习题		313
第十六章 轴承		314
§ 16-1	滑动轴承的主要类型	314
§ 16-2	轴瓦及轴承衬的材料与结构	315
§ 16-3	滑动轴承的润滑	318
§ 16-4	非液体摩擦滑动轴承的校核计算	320
§ 16-5	滚动轴承的类型、代号和选择	321
§ 16-6	向心滚动轴承的寿命计算	326
§ 16-7	滚动轴承部件的组合设计	333

Ⅷ

§ 16-8 滑动轴承与滚动轴承的比较.....	336
思考题与习题.....	337
第十七章 联轴器、离合器和制动器	338
§ 17-1 概述.....	338
§ 17-2 联轴器.....	339
§ 17-3 离合器.....	343
§ 17-4 自动离合器.....	346
§ 17-5 制动器.....	347
思考题与习题.....	348
附录 I	349
附录 II	350

绪 论

机械是人类利用能量转换借以减轻体力劳动、提高生产效率的主要工具。机械生产是现代生产的主要方式。机械生产的发展程度是衡量一个国家工业化水平的重要标志。

随着近年来我国经济发展的需要,在许多院校中,食品工程、农畜林渔产品加工、农业电力以及工业企业管理等专业得到了迅速发展。从事这类具有工科性质的非机械类专业工作的工程技术人员和工作者,在工作中必然要接触到各种各样的机械与设备,处理诸如机械与设备的使用、维修、管理、革新乃至设计和制造等问题。因此,关于机械方面的知识与其它专业知识一样,同样是必不可少的。尤其利用机械生产是实现生产自动化和生产现代化的基础,以及一些中小新兴企业目前技术力量尚显不足、分工不能过细,在这种情况下,学习和掌握有关机械方面的知识尤其显得必要。

非机械类专业范围很广,诸如电力、电子、勘察、冶金、石油、化工、土建、轻纺等均属此类。各个专业的性质和要求不同,加上学时的限制,不可能设置有关机械方面的更多课程,只能利用有限的学时提供有关力学和机械方面必要的、带有共性的基础理论和基本知识,培养学生对机械设备方面的分析能力和一定的设计计算能力。同时还要照顾到不同专业的需要和解决实际问题能力的需要,使教材内容具有一定的深度和广度,使读者在掌握必要的基本理论、基本知识和基本方法的同时,拓宽、拓深知识领域和计算方法,以能进一步提高分析、解决较为复杂实际问题的能力。

力学知识是研究工程结构和机械设备的理论基础,它本身具有完整的、严密的独立系统,为研究机械与设备的受力分析、运动分析或设计提供了理论依据和计算方法。一切机械和设备都是由零件或构件组成的,机构又是机械中的主要组成部分。因此,常用机构和通用零件是本书的主要研究对象。为此,本书内容仅分两篇:

第一篇 工程力学基础

该篇主要包括静力学和材料力学部分。主要介绍物体的受力分析、力系的合成与平衡计算以及研究构件受力变形和破坏的规律、材料的力学性能以及构件承载能力的分析和计算。本篇不仅为机械与设备同时也为其它工程结构的分析、设计计算提供基本理论和计算方法,因此,该篇是本书的理论基础。

第二篇 常用机构及机械零件

该篇主要包括机械设备常用的机构和通用零件,介绍常用机构的类型、结构、工作原理、运动特点和简单设计方法;介绍一般通用零件的工作原理、选用材料 and 设计方法等。该篇为本书的主体。

研究机械的目的是为了更好地分析现有的机械和设计新的机械,为生产建设服务。研究的方法通常采用理论分析计算方法,即抓住问题的实质,忽略其它次要因素,使问题得到合理的抽象和简化,从而建立力学模型,再以力学理论分析为基础,进行逻辑推演和数学运算,求得问题的解答。这样的解答一般具有足够的精确性。但是有的问题,主要因素不清楚,或者构件的受力、形状比较复杂,仅靠理论分析无法解决,对此通常需要依据别人或前

人的经验或参照其它相近的机械进行分析，或者依靠实验方法，取得一定数据后再行分析计算，以使问题得到解决。因此除了理论分析之外，在课程中，经验的应用和实验方法占有重要地位。

机械基础是一门技术基础课。其内容理论系统性强，是一门理论与实际、概念与计算并重的课程。在学习本课程以前，应使学生掌握物理学、数学、工程制图以及金属加工工艺等方面的知识。同时，通过对本课程的学习，对专业的一些后继课程如食品加工与设备、饲料加工与设备、电力工程等专业课打好基础。在本课程的学习中，学生应循序渐进、不断分析总结，独立完成作业和实验，培养分析问题、解决问题的能力，以取得较好的学习效果。

第一篇 工程力学基础

第一章 静力学基本概念和物体受力分析

静力学是研究物体平衡规律的一门科学。物体在空间的位置随时间而改变的运动，称为机械运动。平衡是物体机械运动的一种特殊形式。在工程上，物体相对于地球保持静止或作匀速直线运动的状态称为平衡。有许多机器的零件和结构构件，如悬挂的重物、桥梁、机床的床身等相对于地球静止，是处于平衡状态；作匀速直线运动的火车也是处于平衡状态。应该指出的是，一切物体无不在永远地运动着，所谓平衡都只是相对的和暂时的。

一个物体所受的力往往有好几个，同时作用在同一物体上的若干力称为力系。如果物体在力系的作用下处于平衡状态，这种力系称为平衡力系。力系平衡所满足的条件称为平衡条件。

在静力学中我们把物体看作刚体。所谓刚体，就是在力的作用下保持形状和大小不变的物体。实际上刚体并不存在，物体受到力的作用总要产生不同程度的变形，但当这个变形量远小于物体的尺寸和运动范围，对物体的平衡问题影响甚微时，可以忽略不计，认为该物体是不变形的。刚体是把实际物体经过抽象得到的理想化的力学模型，这样处理使问题的研究得到简化。在静力学中研究的对象主要是刚体，故静力学也称为刚体静力学。静力学解决的基本问题是：

- (1) 物体和物体系统的受力分析；
- (2) 力系的简化；
- (3) 力系的平衡条件及其应用。

静力学理论是从生产实践中总结、提炼和发展起来的，它是对机械零件、结构构件进行受力分析和承载能力计算的基础，在工程技术中有着广泛的应用。

§ 1-1 力的概念

一、力的定义

力的概念是人们在长期的生活和生产实践中，从感性认识到理性认识逐步形成和建立起来的。起初，人们在推、拉、提、掷等动作中，由于肌肉的紧张收缩，感受到自己对物体施加了力，从而使物体的运动状态发生变化。随着科学和生产的发展，通过观察和实践进一步认识到，力的作用不仅存在于人和物体之间，而且物体与物体之间也产生力的作用。所谓力就是物体间的相互机械作用，这种作用的效应使物体的运动状态或形状发生改变。例如人推车的力改变了车子的运动状态，使它由静止到运动或由慢到快，锻锤对锻件的冲击力使工件改变了形状等。力使物体运动状态发生改变的效应称为力的外效应，使物体形状发生改变的效应称为力的内效应。静力学的研究对象是刚体，因而只研究力的外效应。力的内效应将在

研究构件的承载能力时加以讨论。

二、力的三要素

实践表明,力对物体作用效果决定于力的大小、方向和作用点(作用位置),通常称之为力的三要素。只要改变其中一个要素,力的作用效果就不相同。力是矢量,一般用黑体字母(如 $\mathbf{F}$)表示,对应的明体字母(如 F)则表示该矢量的大小(又称模)。力的大小是指物体间相互作用的强度,可以用弹簧秤或测力计来测定。在我国法定计量单位中,力取国际单位制(SI)中力的单位,以牛顿或千牛顿为单位度量力的大小,其代号为牛(N)或千牛(kN)。

力的方向用方位和指向合起来表明,力的作用点就是力对物体作用的位置。由于力是通过物体间的直接接触,或通过物体和场(如重力场)的相互作用而产生的,因而一般说力的作用位置并不是一个点,往往是物体的某一部分面积或体积。例如两物体接触时,它们之间的相互压力分布在接触表面上,重力分布在物体整个体积上,它们是分布力。但在很多情况下,我们可以把分布力简化为作用于一个点上的集中力。例如当分布力的作用面积不大时,可以把该面积抽象为一个点,而认为力作用在这一点上。又如可把物体所受的重力简化为作用于物体重心的集中力。

综上所述,由于力是矢量,在画图时力可用有向线段来表示。线段的长度代表力的大小,线段所在的直线代表力的作用线,箭头的指向代表力的方向,线段的起点或终点代表力的作用点,如图1-1所示。用解析法计算力的大小时线段 AB 的长度可以不按比例画出。

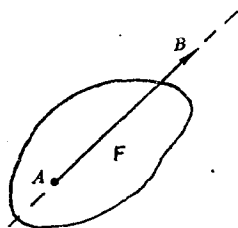


图 1-1 力的图示

若两个力系分别作用于同一物体而效应相同时,则这两个力系称为等效力系,等效的两个力系可以互相替换。若一力系与另一力等效,则此力就称为该力系的合力,而力系中的各力,称为此合力的分力。由等值、反向、相互平行的二力构成的特殊力系,称为力偶,力偶可以使物体产生纯转动。

§ 1-2 静力学公理

静力学公理是人们在长期的生活和生产活动中,经过实践、认识、再实践、再认识的过程,将所积累的经验加以归纳、总结和抽象而建立起来的,又经过实践的反复检验得到验证。公理不可能用更简单的原理去代替,也无需证明且为大家所公认。静力学的这些公理概括了力的基本性质,成为建立静力学的理论基础。

一、公理1 二力平衡公理

作用于刚体上的两个力,使刚体保持平衡的必要和充分条件是:这两个力大小相等、方向相反且作用于同一直线上(简称等值、反向、共线)。

公理1揭示了作用于刚体上最简单的力系平衡时所必须满足的条件。对刚体来说,这个条件是必要与充分的。图1-2表示了满足公理1的两种情况,刚体在 A 、 B 点分别受到力 $\mathbf{F}_1$ 和 $\mathbf{F}_2$ 作用。显然,要使刚体平衡,这两个力必须大小相等、方向相反且作用在同一直线上。

必须指出,二力平衡条件只适用于刚体。对于非刚体,这一条件并不充分。例如一段绳

索, 两端受到等值、反向、共线的两个拉力作用时, 则绳索处于平衡。但如受到等值、反向、共线的两个压力则不能保持平衡。

在工程上, 只受两个力的作用而处于平衡的刚体称为二力体或二力构件。若刚体为杆件则称为二力杆。此时两力的作用线必沿二力作用点的连线。

二、公理2 加减平衡力系公理

在已知力系中加上或减去任意一个平衡力系, 并不会改变原力系对刚体的作用效果。

由前所述, 由于平衡力系中的各力对刚体的作用效应互相抵消, 使物体保持平衡或运动状态不变, 显然可知公理2的正确性。这个公理是力系简化的重要理论依据。

推论 力的可传性原理

作用于刚体上的力可沿其作用线移至刚体内任意一点, 而不改变此力对刚体的作用效果。力的这一性质称为力的可传性原理。

证明: 设力 F 作用于小车的 A 点 (图1-3a), 在其作用线上任取一点 B , 并在 B 点加上等值、反向、共线的一对力 F_1 和 F_2 , 且令 $F_1 = -F_2 = F$ (图1-3b), 由公理2知, 这并不影响原来的力 F 对于小车的外效应, 因此力 F 与力系 F 、 F_1 、 F_2 等效。从另一角度看, F 与 F_2 也是一对平衡力, 再根据公理2把它们去掉, 于是只剩下作用于 B 点的力 F_1 (图1-3c), 显然它与原来作用于 A 点的力 F 等效。经验又告诉我们, 在水平路面上, 用同样大小的水平力推车与拉车, 可以产生同样的外效应。如果受力体不是小车, 而是任一刚体, 上述推论也是成立的。可见, 力对于刚体的作用效应与力的作用点在作用线上的位置无关, 换言之, 即力可以沿其作用线在刚体内任意移动而不改变它对刚体的作用效应。

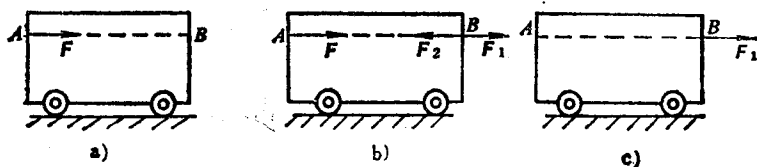


图 1-3 力的可传性原理的证明

必须注意, 力的可传性原理只适用于刚体而不适用于变形体。例如, 直杆 AB 两端受到两个等值、反向、共线的拉力 F_1 和 F_2 而保持平衡 (图1-4a)。若将这两个力沿作用线分别移到杆的另一端 (图1-4b), 虽然直杆仍然平衡, 但它的变形情况却由拉伸变为压缩。可见力的作用点沿其作用线移动改变了它的内效应。

三、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一个合力, 合力也作用于该点, 合力的大小和

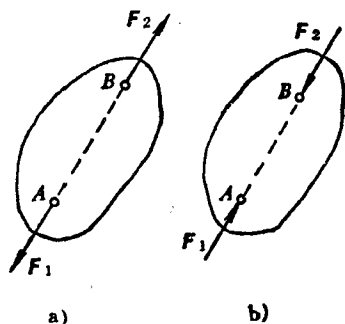


图 1-2 力的平衡

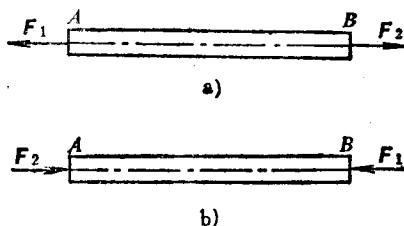


图 1-4 直杆的平衡

方向由以这两分力为邻边所构成的平行四边形的对角线来表示。

设在刚体上A点作用有力 F_1 和 F_2 (图1-5a), 如以 R 表示它们的合力, 则可以写成矢量表达式为

$$R = F_1 + F_2$$

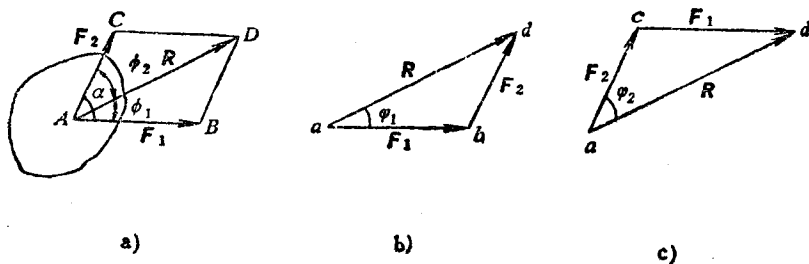


图 1-5 力的平行四边形法则

即合力 R 等于两分力 F_1 与 F_2 的矢量和 (或称几何和)。公理3反映了力是矢量这一特征, 而矢量相加与数量相加不同, 必须用平行四边形的关系确定, 它是力系简化的重要基础。

因为合力 R 的作用点也通过A点, 当用几何作图法求合力的大小和方向时, 往往无需作出整个平行四边形。可改用下述简单的方法: 即先选取恰当的比例尺, 用线段 $\overline{ab}$ 及 $\overline{bd}$ 分别表示力 F_1 及 F_2 的大小。从任选点 a 为起点, 作 $\overline{ab}$ 表示力矢 F_1 , 在其末端 b 作 $\overline{bd}$ 代表力矢 F_2 , 则 $\overline{ad}$ 即表示合力 R (图1-5b)。由此三个只表示力的大小和方向的分力矢和合力矢所构成的三角形 abd 称为力三角形, 这种求合力矢的作图规则称为力的三角形法则。若先作 $\overline{ac}$ 表示 F_2 , 再作 $\overline{cd}$ 表示 F_1 同样可得表示 R 的 $\overline{ad}$ (图1-5c), 这说明合力矢与两分力矢作图时首尾连接的先后次序无关。

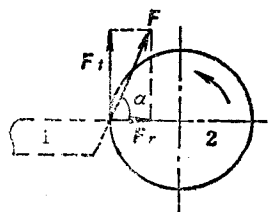


图 1-6 车刀的切削力
1—车刀 2—工件

后次序无关。

反之, 利用平行四边形法则, 又可将一个已知力分解为作用在同一点上的两个分力。由于同一对角线可以作出无穷多个平行四边形, 因此, 若无附加条件, 一个力分解为两个分力并不是唯一解。工程上常把一个力沿两个给定方向进行分解, 用得最多的是将力沿两个相互垂直的方向分解, 这种分解称为正交分解。如图1-6所示, 车刀1对工件2的切削力 F 可分解为切向力 F_t 和径向力 F_r 。

推论 三不平行力平衡汇交定理

当刚体受共面三个互不平行的力作用而平衡时, 若其中两个力的作用线相交于一点, 则另外一个力的作用线也必然汇交于同一点。

证明: 设在同一平面内有三个互不平行的力 F_1 、 F_2 和 F_3 分别作用于刚体上 A_1 、 A_2 和 A_3 三点, 使刚体处于平衡 (图1-7)。已知 F_1 和 F_2 的作用线交于B点, 由刚体上力的可传性, 可将力 F_1 和 F_2 移至交点B, 并用公理3求其合力 R_{12} 。根据已知条件, 则刚体在力 R_{12} 和 F_3 作用下平衡。由公理1知, 力 F_3 和 R_{12} 必等值、反向、共线, 因此 F_3 的作用线也必然通过力 F_1 与 F_2 的交点B。

三不平行力平衡汇交定理是三力平衡的必要条件。当刚体受不平行三力作用而处于平衡时, 利用这个定理可以确定其中一个未知力的方向。

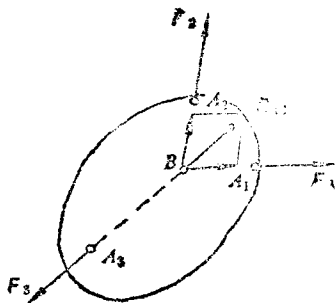


图 1-7 三不平行力平衡汇交定理

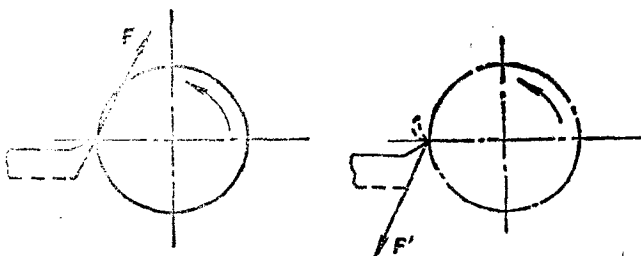


图 1-8 作用力与反作用力

四、公理4 作用与反作用定律

两物体相互作用时，作用力与反作用力总是同时存在的，其大小相等、方向相反、沿同一直线，分别作用在两个物体上。

这个公理概括了自然界中物体间相互作用力的关系，表明作用力与反作用力总是同时成对地出现。已知作用力就可以知道反作用力，它是进行物体受力分析时必须遵循的重要依据。因为机械中力的传递，是通过零件之间的作用与反作用而进行的。

必须注意，作用力与反作用力是分别作用在两个物体上的，因此不能将作用与反作用定律错误地与公理1混同起来。例如车刀在工件上切槽时（图1-8），车刀作用于工件上的切削力为 F ，同时工件必有反作用力 F' 加于车刀上， F 与 F' 总是等值、反向、共线，分别作用于工件和车刀两个物体上。

§ 1-3 约束与约束反力

在空间不受限制而自由运动的物体称为自由体。通常，物体总是以各种形式与其它物体互相联系，互相制约，从而不能自由运动，这种运动受到限制而不能作任意运动的物体称为非自由体。这种对物体运动起限制作用的其它物体称为约束物，简称约束。约束是以物体相互直接接触的方式构成的。例如，机械中轴受轴承的限制，只能作旋转运动；内燃机的活塞受到气缸的制约，只能作往复移动等等。

在分析物体的受力情况时，常将力分为主动力和约束反力（简称反力）。使物体产生运动或运动趋势的力称为主动力，如重力、切削力，流体压力等，在静力学中一般作为已知条件给出。约束阻碍限制被约束物体的自由运动，改变了物体的运动状态，故把约束限制物体运动的力称为约束反力。由于约束反力是物体间直接接触产生的，作用在接触处，其作用是限制被约束物的运动，故约束反力的方向总是与该约束所能限制的运动方向相反。这是确定约束反力方向的准则，据此可以确定约束反力作用线的位置和指向。至于它的大小通常为未知，需由平衡条件求出。

下面介绍工程中常见的几种基本约束类型，并根据约束的特性分别说明其约束反力的确定方法。

一、柔性约束

工程中应用的绳索、胶带、链条等都可以视为柔性约束。理想的柔性约束（柔性体）不计重量、不可伸长，只能承受拉力，不具备抵抗压缩和弯曲的能力。被约束着的物体，不能

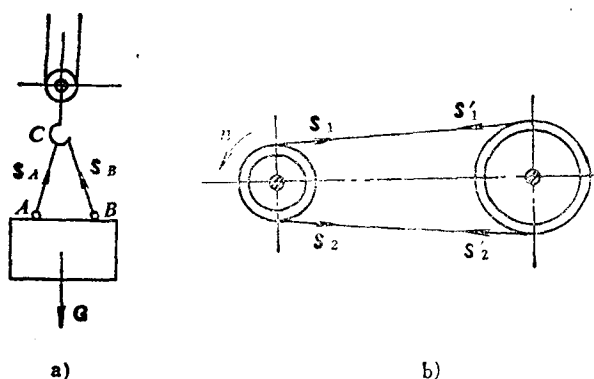


图 1-9 柔性约束

沿着拉长柔性体的方向运动，所以柔性体的约束反力只能是拉力，其方向沿柔性体的中心线而背离受约束物体，通常用符号 S 表示。如图 1-9a 所示， S_A 、 S_B 即为绳索 AC 和 BC 对重物的约束反力；图 1-9b 中 S_1 、 S_2 为小带轮所受到的胶带的约束反力。

二、光滑面约束

两物体接触时，其接触面绝对光滑，摩擦力可忽略不计；这类约束不限制物体沿接触面公切线方向运动，只限制物体沿接触面公法线方向的运

动。所以光滑面的约束反力是施加于被约束物接触处表面的压力，方向沿接触表面的公法线而指向受力物体，通常用符号 N 表示，如图 1-10 所示。

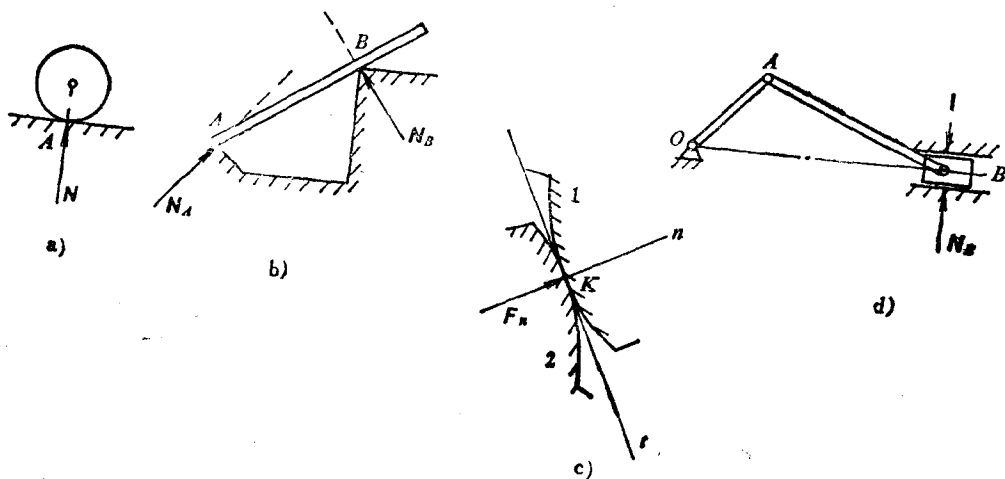


图 1-10 光滑面约束

顺便说明，若接触处的面积很小，则约束反力可视为集中力。在图 1-10a、b、c 中，因接触点和接触处的公法线可完全确定，因而这种约束反力的方向也就可以预先确定；若被约束物以平面与光滑面接触，此时约束反力为沿整个接触表面的分布力，一般情况下其合力作用点是不能预先确定的。若各点压力均匀分布时，约束反力通过接触面的中心。在图 1-10d 中，由于滑槽在上、下两面限制滑块构成双面约束，若不能肯定滑槽的哪一面限制滑块的运动，则反力 N_B 的指向可先假设，最后由平衡条件确定。

实际上并不存在绝对的光滑面，当物体的接触面间摩擦力较少或可忽略不计时，则可视作光滑面约束。

三、圆柱铰链约束

约束物与被约束物体以光滑圆柱面连接在一起构成的约束称为圆柱铰链约束，或简称铰

链。例如，门窗上的合页、机器上的轴与轴承等。这类约束如图1-11a所示，构件A和B为被约束物，它们的圆柱孔插入约束物圆柱销C，忽略摩擦和圆销与孔壁的间隙。这类约束只允许被约束物绕圆柱销轴线转动，而不能沿销轴垂直方向移动。因圆柱销和孔之间为光滑面接触，故其约束反力 R 是过接触点沿径向的压力。由于接触点 K 在圆周上的位置无法事先确定，所以只能判定约束反力必通过轴心，沿某一半径方向。在受力分析时，常将此约束反力 R 用通过圆柱孔中心 C 且正交的两个分力 X_c 和 Y_c 表示，如图1-11b所示。

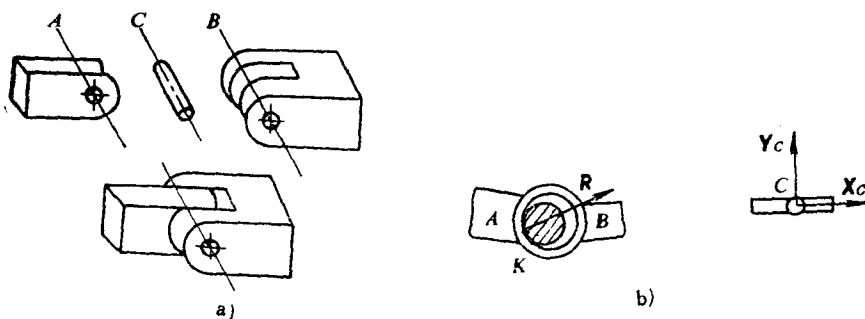


图 1-11 圆柱铰链约束

圆柱形铰链大致还可包括以下几种情况：

1. 固定铰链支座

当铰链中的一个绕销轴的物体固定不动时，这种铰链约束称为固定铰链支座。其简图和约束反力的画法如图1-12a、b所示。

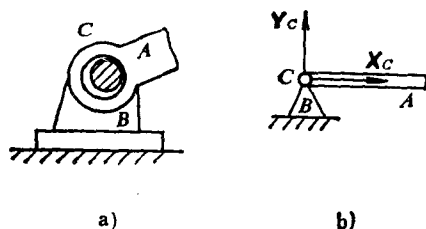


图 1-12 固定铰链支座

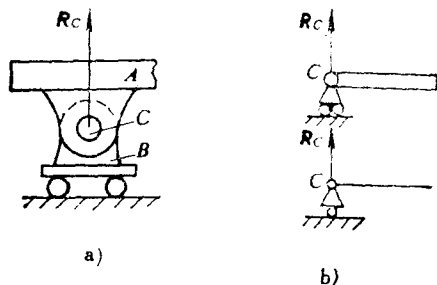


图 1-13 活动铰链支座

2. 活动铰链支座

当在固定铰链支座底座与支承面之间安装上滚轴时，这种支座称为活动铰链支座。如图1-13a所示。这种约束不能限制物体沿支承面的切向移动和绕销轴的转动，仅限制物体沿支承面的法线方向的移动，由此可以确定其反力 R 必通过铰链中心并与支承面相垂直。活动铰链支座的简图和约束反力的画法如图1-13b。

3. 滑动轴承和径向滚动轴承

滑动轴承和径向滚动轴承，它们都允许轴绕自身的轴线转动和沿轴向移动，但限制轴沿垂直轴线任何方向的移动。因此这种轴承的约束反力用垂直于轴线方向上的两个正交分力 Z_A 、 X_A 表示，如图1-14a、b所示。

4. 圆锥滚子轴承和球铰链