

普通高等工科教育规划教材

工 程 力 学

基础部分

哈尔滨工业大学国家工科力学基地 组编

主 编 程 靳
参 编 程燕平 李 涛
毕贤顺 王 刚



机械工业出版社

内容提要

本书内容包括原国家教委颁布的高等工科院校理论力学及材料力学基本要求的内容。为满足 21 世纪教学改革的需要,本书引入了笛卡尔张量、连续介质力学基本理论及流体力学基础以及几种大型力学通用程序的介绍。增添这些内容的目的是使工科大学生对力学的基本概念、基础理论及力学中的物理量有更深入的理解,并能正确使用几种大型力学通用程序。

本书共 3 册,第 1 册为基础部分,包括刚体静力学(原理论力学静力学)及变形体静力学(原材料力学杆、轴、梁等内容),适用于少学时类专业。第 2 册为通用部分,含运动学、动力学、连续介质力学及组合变形等,适用于中学时类专业。第 3 册为专题部分,含原理论力学、材料力学的专题及力学通用程序介绍,适用于多学时类专业。

本书可作为高等工科院校各类专业理论力学、材料力学(统称工程力学)课程的教材,可作为夜大、电大、函授大学相应专业的自学和函授教材,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. 1, 基础部分/程靳主编. —北京: 机械工业出版社, 2002. 7

普通高等工科教育规划教材

ISBN 7-111-09996-6

. 工... . 程... . 工程力学 . TB12

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2002)第 050656 号

机械工业出版社(北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

责任编辑: 季顺利 版式设计: 张世琴 责任校对: 李秋荣

封面设计: 姚毅 责任印制: 路琳

北京机工印刷厂印刷·新华书店北京发行所发行

2002 年 8 月第 1 版·第 1 次印刷

1000mm×1400mm B5·7.125 印张·272 千字

0 001—4 000 册

定价: 17.00 元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

本社购书热线电话(010) 68993821、68326677-2527

封面无防伪标均为盗版

序

高等学校工科（这里“工科”特指机械、建筑、交通、航空航天等类型专业）的力学课程，在传统上由“理论力学”及“材料力学”组成。然而高等学校工科力学课程究竟应包含哪些内容，多年来一直是教育界和力学界讨论的话题之一。应该说，力学课程的内容是随着时间、时代而改变的。由于科学技术的不断发展，力学课程的内容也应不断变化。

在 20 世纪 70 年代之前，由于计算机很少，在力学计算上大量采用手算，当时设置的“理论力学”及“材料力学”课程内容适应并满足了当时的需要。比如压力机机身的刚度计算就简化为弯曲梁的计算，用材料力学方法就可解决。而现在由于计算机的大量采用，对这一问题可采用有限元法计算，或者使用通用程序。这表明，以前的力学课程强调手算（这部分内容一般要求学生熟练掌握，并占用大量学时）是适应当时的需要的，但不满足 21 世纪的需要。

在 21 世纪，高等工科院校学生掌握坚实而宽广的力学基础是最重要的。例如，大量构件的强度、刚度计算，机构的运动学、动力学分析等，虽然有多种大型通用程序，但在使用时必先将实际问题化为力学模型，而这一工作要求使用者有较强的力学基础。要善于进行受力分析及运动分析，要清楚地理解有限运动与无穷小变形之区别，要善于将实际材料化为某些理想材料的本构方程，要正确理解力学中的各类物理量，如应力张量、应变张量等。这其中许多内容属连续介质力学范畴，在过去的“理论力学”、“材料力学”中是欠缺的。

一些先进国家工科力学的内容与 20 世纪 70 年代前相比已经有很大的不同。其内容虽然包括我国现有“理论力学”、“材料力学”内容，但手算内容要求很浅（学生了解即可），甚至删去。大量增添了连续介质力学（含流体力学）内容，且较详细，这些内容是我国现有“理论力学”、“材料力学”中所没有的。多数力学课程中都包含笛卡尔张量（少数学校甚至讲述普遍张量），学生只有具备张量概念才能正确理解应力张量、应变张量等力学概念，这些都是使用通用程序时必须具备的知识，无法依靠计算机。

基于这些想法，我们编写了“工程力学”教材，以替代原有的“理论力学”、“材料力学”教材。

本书适用于高等工科院校各类型专业作为力学教材（替代“理论力学”、“材料力学”）使用。

本书分为第 一、二、三册出版。第 一册为基础部分，包括刚体静力学（原理
此为试读，需要完整PDF请访问：www.ertongbook.com

序

论力学静力学)及变形体静力学(原材料力学杆、轴、梁等基本内容),适用于少学时类专业。即第 册相当于传统教材中少学时类使用的《工程力学》教材。第 册为通用部分,含运动学、动力学、连续介质力学(含笛卡尔张量及流体力学)及组合变形、强度理论等,适用于中学时类专业,即第 册涵盖了近机类中学时专业使用的传统理论力学、材料力学教材内容。对于一般院校中学时类专业,仅使用第 、 两册即可。第 册为专题部分,其内容包括原理论力学、材料力学的专题部分及若干大型力学通用程序介绍,适用于多学时类专业。各专业可根据需要,选取其中的若干章、节讲授。为了便于教师讲授本教材,我们编印了与本书配套的教学参考书。有需要者请向哈尔滨工业大学理论力学教研室函索。

本书由博士生导师程靳教授主编,参加编写的有程燕平(第一、二、三、四、十九、二十、二十一、二十二、二十三、二十四、二十八章),李涛(第五、六、七、八、九、二十五、二十六、二十七章),程靳(第十、十一、十二、十三、十四、二十九、三十、三十一、三十二、三十三章),毕贤顺(第十五、十六、十七、十八章),王刚(第三十四章),全书由程靳、程燕平统稿。

哈尔滨工程大学朱加铭教授审阅了书稿,并提出了许多宝贵意见,特此致谢。

本书是国内首次在高等工科院校基础力学课程中引入连续介质力学内容,由于我们水平和条件所限,会有许多缺点和错误,衷心希望大家提出批评和指正。

编者

2002年4月

目 录

序			
第一篇 刚体静力学			
引言	1		
第一章 静力学公理和物体的 受力分析	3		
第一节 静力学公理	3		
第二节 约束和约束力	6		
第三节 物体的受力和受 力图	10		
习题	15		
第二章 汇交力系 力矩和 力偶	17		
第一节 汇交力系合成与平衡的 几何法	17		
第二节 汇交力系合成与平衡的 解析法	20		
第三节 力对点的矩与力对轴 的矩	26		
第四节 力偶 力偶矩 力偶的 性质	31		
第五节 力偶系的合成与平衡	35		
习题	39		
第三章 任意力系	44		
第一节 任意力系向一点的简化 主矢和主矩	44		
第二节 任意力系简化的最后结 果 合力矩定理	48		
第三节 空间任意力系的平衡条 件和平衡方程	51		
第四节 平面任意力系的平衡条 件和平衡方程	55		
第五节 物体系的平衡 静定和 超静定问题	58		
第六节 物体的重心	64		
习题	69		
第四章 摩擦	77		
第一节 概述	77		
第二节 滑动摩擦	78		
第三节 考虑滑动摩擦时物体的 平衡问题	80		
第四节 摩擦角和自锁现象	85		
第五节 滚动摩擦	88		
习题	92		
第二篇 变形体静力学			
引言	97		
第五章 杆系结构的内力与 应力	99		
第一节 变形体的基本假设	99		
第二节 内力与截面法	100		
第三节 应力、应变及简单胡克 定律	101		
第六章 简单基本变形分析	105		
第一节 拉伸与压缩变形	105		
第二节 拉伸与压缩时材料的力 学性能	112		
第三节 许用应力 强度条件	120		
第四节 剪切的工程计算	123		
第五节 扭转变形	128		
第六节 应力集中及变形能	140		
习题	144		
第七章 弯曲变形分析	147		
第一节 弯曲内力	147		

目 录

第二节 弯曲时横截面上的应力 ...	154	习题	189
第三节 弯曲变形与积分法	166	第九章 超静定问题	192
习题	175	第一节 简单超静定问题的求解 ...	192
第八章 压杆的稳定性	179	第二节 温度应力与装配应力	196
第一节 概述	179	第三节 力法的正则方程	198
第二节 确定临界力的欧拉法	180	习题	199
第三节 不同杆端约束情况下的 欧拉公式	182	附录	201
第四节 欧拉公式的应用范围 柔度	183	附录 A 截面的几何性质	201
第五节 压杆的稳定条件及稳定 计算	186	第一节 静矩与形心	201
第六节 提高压杆稳定性的一些 措施	188	第二节 惯性矩 极惯性矩及惯 性半径	203
		第三节 平行移轴公式	205
		附录 B 型钢表	205
		附录 C 习题答案	216

第一篇 刚体静力学

引言

静力学可分为刚体静力学与变形体静力学。刚体静力学是研究物体的受力分析、力系的等效替换(或简化)和各种力系的平衡条件的科学。以下简称刚体静力学为静力学,在刚体静力学中所说的物体一般均指的是刚体。

物体的受力分析 静力学首先对物体进行受力分析,定性地给出物体的受力情况,画出物体的受力图,然后才能给出定量的求解。物体的受力分析是静力学主要研究的问题之一。

力系的等效替换(或简化) 用一个比较简单的力系等效代替一个比较复杂的力系,进而确定复杂力系对物体的总效应,并为建立各种力系的平衡条件打基础,是静力学主要研究的问题之二。

各种力系的平衡条件 研究与建立各种力系的平衡条件,并应用这些条件去解决实际问题,是静力学主要研究的问题之三。

力的概念 力是物体间相互的机械作用,这种作用效果使物体的运动状态发生变化,或者使物体产生变形。力对物体的作用效果由三个要素——力的大小、方向、作用点来确定,称为力的三要素。力是矢量,在正式出版的印刷物上,矢量用黑体字母表示。

力系 作用于物体上的一群力称为力系。力是矢量,力矢所在直线称为力的作用线。从力系的作用线分布情况来看,有共点、汇交、平行、任意力系之分。若各力作用线都作用在同一平面内,称为平面力系;若各力作用线是空间分布,称为空间力系。这样就有平面共点、汇交、平行、任意力系,空间共点、汇交、平行、任意力系之分。此外还有力偶系。静力学的主要任务之一就是要建立这各种力系的平衡条件。

平衡 物体处于永恒的运动中,平衡是物体运动的一种特殊形式。若物体相对于惯性参考系静止或作匀速直线运动,则称此物体处于平衡。虽然从理论上讲,惯性参考系在宇宙中并不存在,但对大多数工程

问题，把固结于地球上的参考系作为惯性参考系，所得结果可以满足工程上的要求，所以静力学中一般把固结于地球上的参考系作为惯性参考系。

变形体与刚体 实际问题往往比较复杂，依据所研究的目的不同，需要提炼出称之为力学模型的物体进行研究。对同一个物体，由于研究的目的不同，往往给以不同的看待。一列火车，当我们只关心它的位置与速度时，其运动的范围比其自身的尺寸要大得多，就可以作为一个数学上的几何点考虑。当我们关心它的牵引力与总的阻力，载重及整体运动的加速度时，可以作为一个质点来考虑。当我们设计或研究火车由什么样的零部件组成及火车各个零部件如何运动时，就分别作为刚体与刚体系来考虑。而当我们考虑各零部件在力的作用下的承受能力及是否安全时，就必须作为变形体来考虑。任何物体在力的作用下都要产生变形，称为变形体。当物体的变形可以不考虑或暂时可以不考虑的情况下，就可以把物体作为刚体来处理。所谓刚体就是绝对不变形的物体，或者说，物体内任意两点间的距离不改变的物体称为刚体。刚体是一种抽象的力学模型，在实际中并不存在。但在处理一些实际问题时，这种抽象不仅是合理的，而且是必需的。在刚体静力学中，我们主要涉及到的是刚体。

按照有关规定，本书采用中华人民共和国法定计量单位（简称法定单位），力的单位用牛 [顿] 或千牛 [顿]，分别以符号“N”与“kN”表示。其他单位不一一列举。

第一章 静力学公理和物体的受力分析

本章介绍静力学的五条公理，约束和约束力的概念，物体的受力分析方法，并对画物体的受力图进行练习。

第一节 静力学公理

静力学中有几条重要的公理，一般有下列五条，分列如下。

公理一 力的平行四边形公理（法则）

作用在物体上同一点的两个力，可以合成为一个合力。合力的作用点仍在该点，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 1-1 所示。或者说，合力矢等于这两个力矢的矢量和，以数学公式表示为

$$F_R = F_1 + F_2 \quad (1-1)$$

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。

公理二 二力平衡公理

作用在同一刚体上的两个力，使刚体保持平衡的必要和充分条件是，这两个力的大小相等、方向相反、且在同一直线上，如图 1-2 所示。简言之，为这两个力等值、反向、共线。这是一个最简单的平衡力系（不受力除外）。

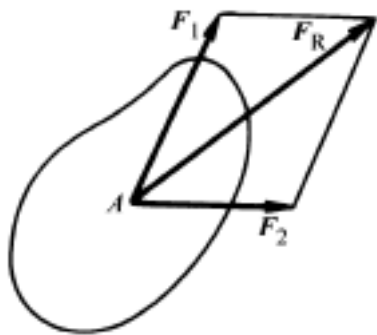


图 1-1

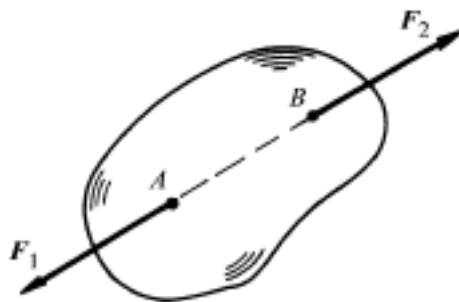


图 1-2

刚体在两个力作用下平衡，两个力等值、反向、共线，对刚体是充分必要条件。对变形体，这个条件是不充分的。如不计自重的软绳受两个等值、反向、共线的拉力作用可以平衡，而受两个等值、反向、共线的压力就不能平衡。

在后面对物体进行受力分析时，常遇到只受两个力作用而平衡的构（杆）件，工程上称为二力构件或二力杆，其判别依据就是二力平衡公理，根据公理二，该两力必沿作用点的连线。

公理三 加减平衡力系公理

一个平衡力系不会改变刚体的运动状态，也就是说，平衡力系对刚体的作用效果为零，因而有，在已知力系上加上或减去任意的平衡力系，新力系与原力系对刚体的作用效果相同。

这个公理是研究力系等效替换的重要依据和主要手段。

根据上述公理，可以导出下述推理：

推理一 力的可传性

作用于刚体上某点的力，可以沿着它的作用线移到刚体内此作用线上任意一点，并不改变该力对刚体的作用。

证明：设有力 F 作用在刚体上的点 A ，如图 1-3a 所示，根据加减平衡力系公理，在力的作用线上任取一点 B ，并加上两个相互平衡的力 F_1 和 F_2 ，且使三个力的大小相等，方向如图 1-3b 所示，则 a、b 图中两个力系等效。由于力 F 与 F_1 也是一个平衡力系，减去此平衡力系，则 b、c 图中两个力系等效，也即 a、c 图中两个力等效，力 F 沿其作用线“传递”到了刚体内此力作用线上任意一点 B ，两个力作用效果相同。推理一得证。

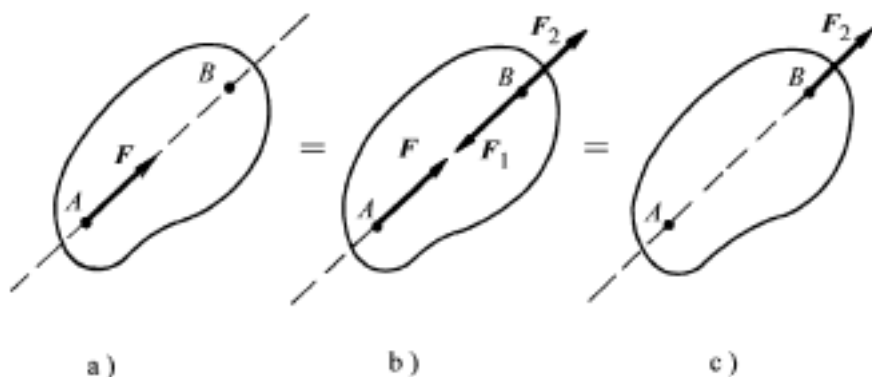


图 1-3

由此可见，对于刚体来说，力的三要素已变为：力的大小、方向和作用线。作用于刚体上的力矢可以沿着作用线移动，这种矢量称为滑动矢量。

公理三及推理一只适用于刚体而不适用于变形体。例如，在图 1-4a 中直杆受平衡力 F_1 与 F_2 作用，产生拉伸变形。如果将此二力沿作用线移动到图 b 所示位置，直杆将产生压缩变形。如果从杆上减去平衡力系 (F_1 、 F_2)，则杆的变形将消失，见图 c。因此，在研究物体的变形时，是不能应用公理三与推理一的。

对变形体来说，力的三要素仍为：力的大小、方向和作用点。这种只能固定在某一点的矢量称为定位矢量。



图 1-4

推理二 三力平衡汇交定理

如果刚体在三个力作用下平衡，其中两个力的作用线汇交于一点，则第三个力的作用线必通过此汇交点，且三个力共面。

证明：如图 1-5 所示，在刚体的 A、B、C 三点上，分别作用三个相互平衡的力 F_1 、 F_2 、 F_3 ，其中 F_1 、 F_2 两力的作用线汇交于 O 点，根据推理一，将力 F_1 和 F_2 移到汇交点 O，然后根据力的平行四边形公理，得合力 F_{12} 。由二力平衡公理，力 F_3 与力 F_{12} 平衡， F_3 与 F_{12} 共线，力 F_3 必通过汇交点 O，且 F_3 必位于 F_1 与 F_2 两力所在的平面内，三力共面。推理二得证。

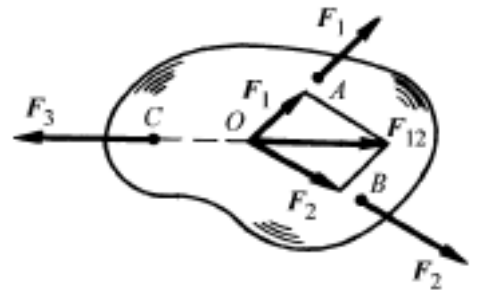


图 1-5

要注意此定理的表述条件，刚体在汇交于一点的三个共面力作用下，不一定平衡。

刚体只受同平面三个汇交力作用而平衡，有时称为三力构件。若三个力中已知两个力的交点及第三个力的作用点，即可判定出第三个力作用线的方位。在画一些物体的受力图和用几何法求平面汇交力系的平衡问题时，此定理会带来一些方便。

公理四 作用反作用公理（定律）

作用力与反作用力总是同时出现，同时消失，两力等值、反向、共线，作用在相互作用的两个物体上。

作用反作用公理概括了任何两个物体间相互作用力之间的关系。不论对刚体还是变形体，不论对静止的物体还是对运动的物体，不论是惯性参考系还是非惯性参考系，作用反作用公理都是适用的。

在画物体的受力图时，对作用力与反作用力一定要给予足够的重视。

公理五 刚化公理

变形体在某一力系作用下处于平衡，如将此变形体看作（刚化）为刚体，其平衡状态保持不变。

如图 1-6 所示，无重绳索在等值、反向、共线的两个拉力作用下处于平衡，如将绳索看作（刚化为）刚体，其平衡状态保持不变。

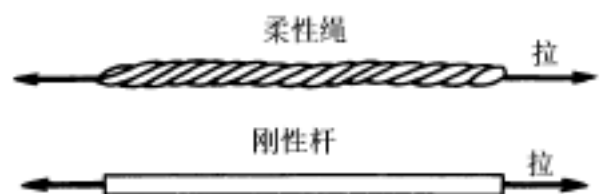


图 1-6

由此公理，如果一变形体在某一力系作用下处于平衡，一刚体在此力系作用下肯定

平衡。在这种情况下，此力系无论是作用在刚体上还是变形体上，其所满足的平衡条件是一样的。所以，据此公理，我们建立各种力系的平衡条件时，均在刚体上推得，然后可推广应用于处于平衡的变形体上。在建立各种力系的平衡条件时，我们正是这样做的。

但要注意，变形体在一力系作用下平衡，此力系必为平衡力系。若变形体在一平衡力系作用下，则变形体未必平衡，也即在刚体上建立的力系的平衡条件是变形体平衡的必要条件，而非充分条件。

第二节 约束和约束力

工程和日常生活中的物体其位移大多都受到一定的限制，例如，钉子对于黑板、地板对于课桌、灯绳对于灯管、轴承对于轴，如此等等。钉子限制黑板的位移，地板限制课桌的位移，灯绳限制灯管的位移，轴承限制轴的位移，等等如此。我们把限制物体位移的物体称为约束。则钉子对于黑板，地板对于课桌，灯绳对于灯管，轴承对于轴均为约束。约束给被约束物体一般都有力作用，约束给予被约束物体的力称为约束力，它是被动力。除约束力外，物体上受到的各种载荷，如重力、风力、切削力、发动机所产生的驱动力等，它们是促使物体运动或有运动趋势的力，称为主动力。在实际工作中，确定主动力是十分重要且比较复杂的工作，可根据实际情况确定。如设计要求（起重吨位、载重量等），进行调查研究（如风载、雪载、水压力等）或实验测定（如切削力、驱动力等），这涉及到较多的专业知识。因此，在静力学中主动力一般都作为已知条件给出。这样，作用于任何结构或机构上的力都可分为两类，主动力与约束力。静力学求解的主要任务就是，根据力系的平衡条件，确定（求出）约束力。

在实际中，存在着各种各样的约束，样式繁多，难以一一列举。工程中一般将一些常见的约束理想化，归纳为几种基本类型，并根据各种约束的特性定性地给出其约束力的情况。

1. 光滑（面、线、点）接触约束

当一物块放于地板上时（图 1-7a），其接触处为一个面；当一圆柱放于地板上时（图 1-7b），其接触处为一条线；当一钢球放于钢板上时（图 1-7b），其接触处为一个点。若接触处（面、线、点）的摩擦力可以忽略不计，则称为光滑接触约束。显然对图 1-

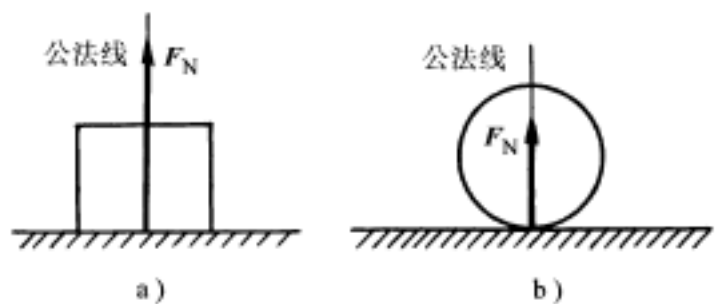


图 1-7

7a、b 所示光滑接触，不论是面、线、点接触，其总的约束力均沿接触处的公法线方向。此结论可推广到任意光滑接触的情况，如图 1-8、图 1-9 所示。事实上，当接触处被视为光滑时，此类约束只能限制物体在接触处公法线方向的位移，而不能限制物体在接触处公切线方向的位移。因此，光滑接触约束，其约束力沿着接触处的公法线方向，作用在接触处，指向被约束物体。

对图 1-10 所示齿轮啮合情况，视其中任一齿轮为约束，另一齿轮则为被约束物体，设其接触处光滑，则约束力如图 1-10 所示。

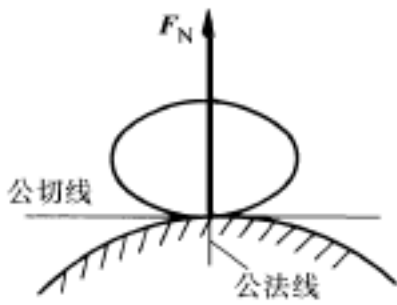


图 1-8

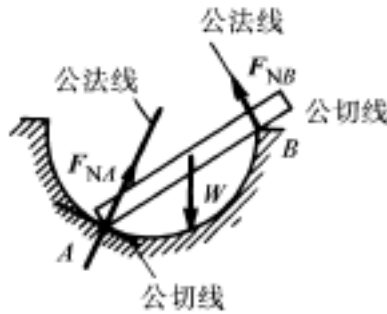


图 1-9

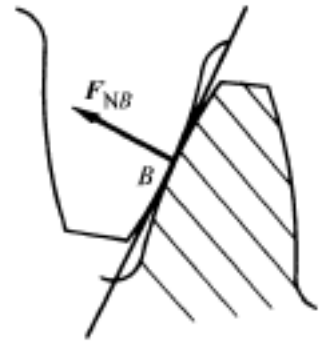


图 1-10

2. 柔性体（绳索、传动带、链条等）约束

属于这类约束的有各种绳索，传动带，链条等柔性体构成的约束。视此类约束为绝对柔软，则对柔性体本身来说，只能承受拉力而不能承受压力，或者换句话说，此类约束的特点是只能限制物体沿着柔性体伸长方向的位移，因此，柔性体约束的约束力只能是拉力，作用在连接点或假想截割处，沿着柔性体的轴线（切线）而背离被约束的物体，如图 1-11、1-12 所示。

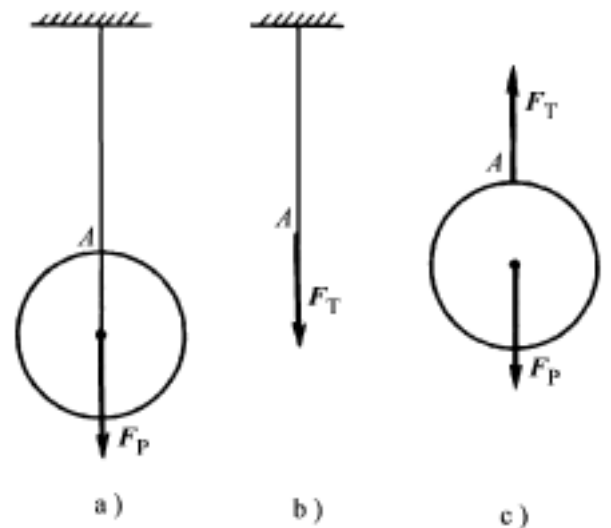


图 1-11

对图 1-13 所示的带（链条）传动，带或链条对两个轮是个约束，这也是柔性体约束，对两个轮来说，其约束力如图 1-13 所示。

3. 光滑铰链（圆柱形销钉、固定铰支座、径向轴承等）约束

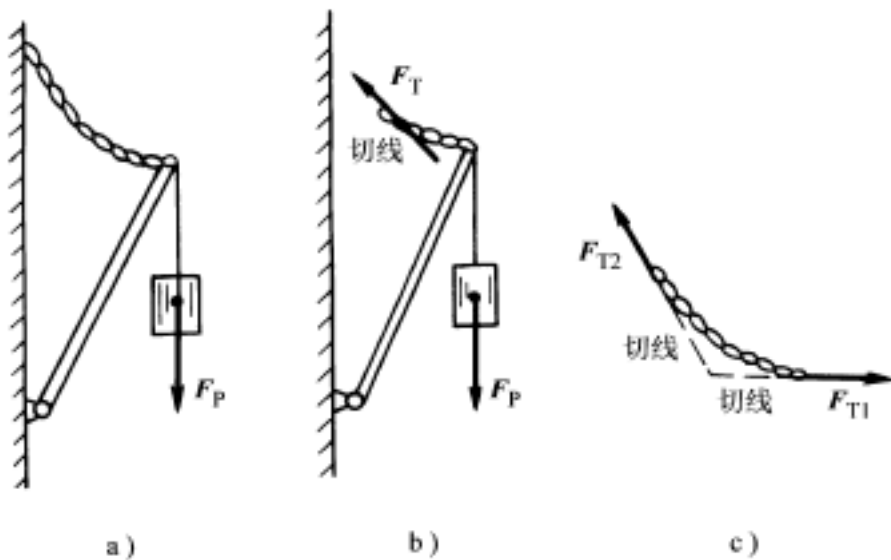


图 1-12

(1) 圆柱形销钉是工程上用来连接构件的一种常用方式, 将两个构件在需要连接处钻上同样大小的圆孔, 然后用圆柱形销钉穿入圆孔内将两个构件连接起来, 如图 1-14a、b 所示。把销钉与其中任一构件 (如构件 B) 做为约束, 若圆孔与销钉接触处均光滑, 则此约束只能限制另一构件沿圆孔径向方向的位移, 但指向不定, 如图 1-14c 所示。为画图简便, 此种类型的约束以图 1-14d 所示的形式画出。为以后求解此未知力方便, 通常以两个正交分力 F_x 、 F_y 表示, 如图 1-14e 所示。

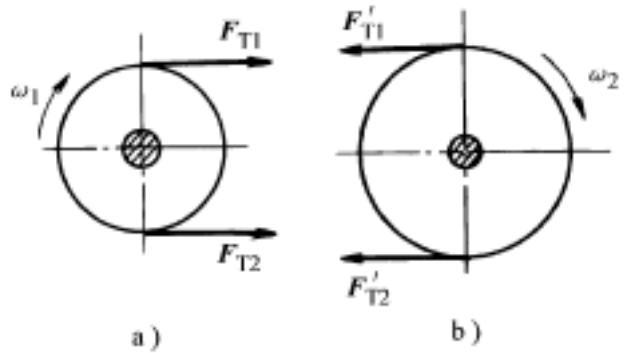


图 1-13

(2) 在圆柱形销钉连接方式中, 若其中一构件固定于基础 (或机架) 上, 则此构件成为另一构件的支座, 称为固定铰链支座, 这也是工程中常见的一种连接方式, 如图 1-15a 所示。此时把支座看作为约束, 则约束性质和圆柱形销钉相同, 其简化表示及约束力表示如图 1-15b、c、d、e 所示。

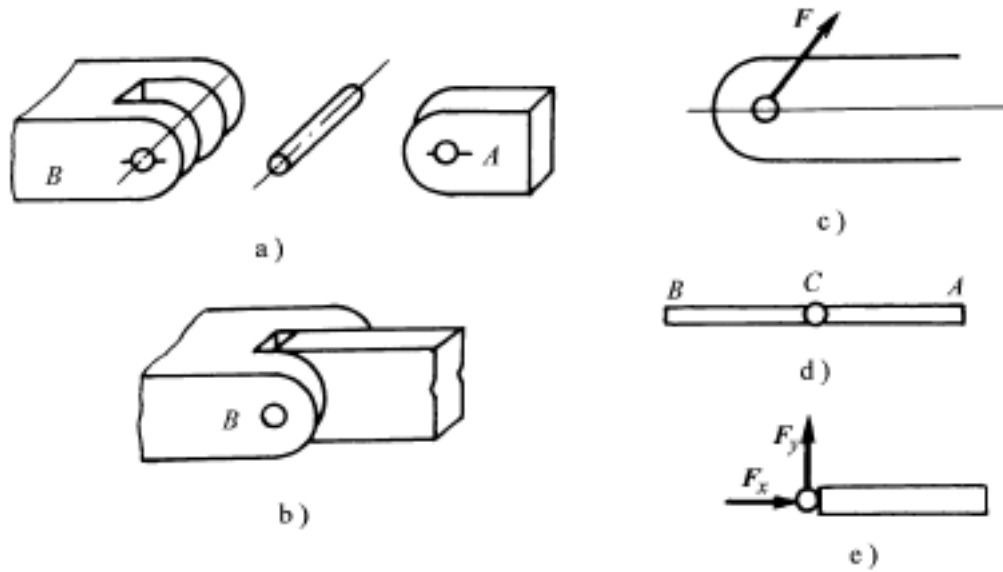


图 1-14

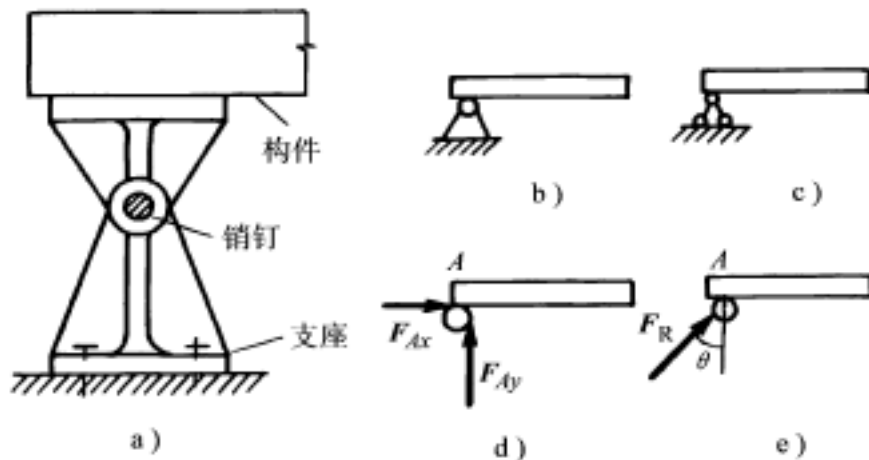


图 1-15

(3) 向心轴承（径向轴承）是工程中常见的一种轴承形式，如图 1-16a 所示。轴承对于轴是约束，其约束性质与圆柱形销钉完全相同，也可用两个正交分力表示，如图 1-16b，或从轴的轴线方向看去而表示为图 1-16c。

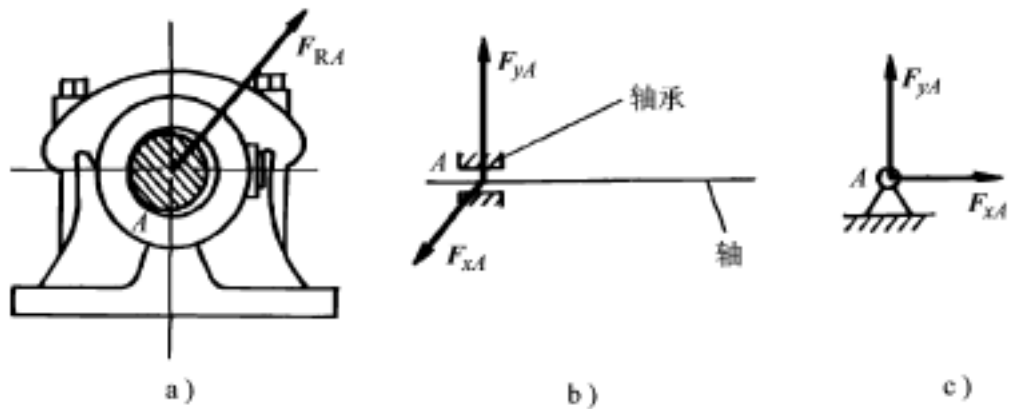


图 1-16

圆柱形销钉、固定铰支座、向心（径向）轴承等类约束，其约束性质相同，归为一类，统称为光滑铰链约束。

对于光滑铰链约束，其约束力实质是一个力，为求解方便，一般分解为两个正交分力。但在其作用线能够确定的情况下，为求解方便，有时也画为一个力。

4. 其他类型约束

工程中有多形式的约束，现再介绍几种如下。

(1) 滚动支座：在固定铰支座下面，装上一排滚子或类似滚子的物体，就构成了滚动支座，又称为辊轴支座或活动支座，如图 1-17a 所示，其简图如图 1-17b 所示。在桥梁、屋架等结构中，其一端常采用滚动支座，以适应结构的热胀冷缩现象（另一端必采用固定支座，为何？）。滚动支座的约束性质和光滑面约束性质相同，其总的约束力必垂直于支承面，通过销钉中心，如图 1-17c 所示。

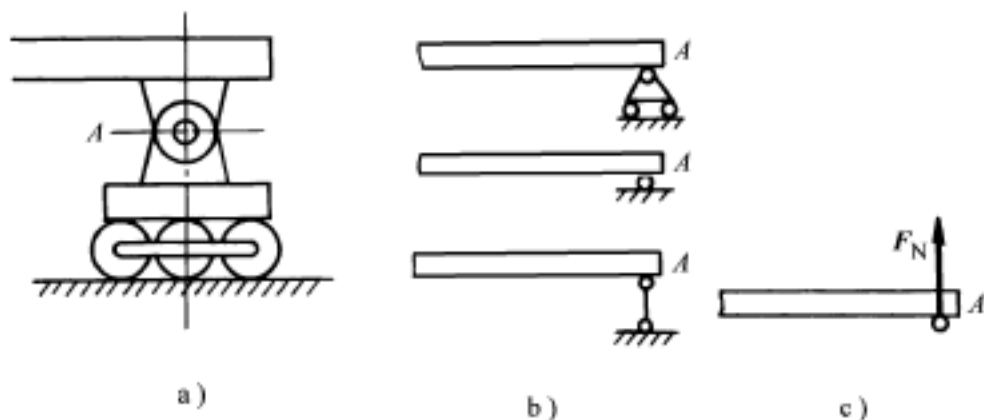


图 1-17

(2) 球铰链：固连于物体上的圆球嵌入另一物体的球壳内而构成的约束称为球铰链，如图 1-18a 所示。球壳限制圆球沿球壳法线方向的位移，但不能限制带圆球的构件绕球心的转动，略去摩擦，其约束性质与铰链相似，但约束力通过球心

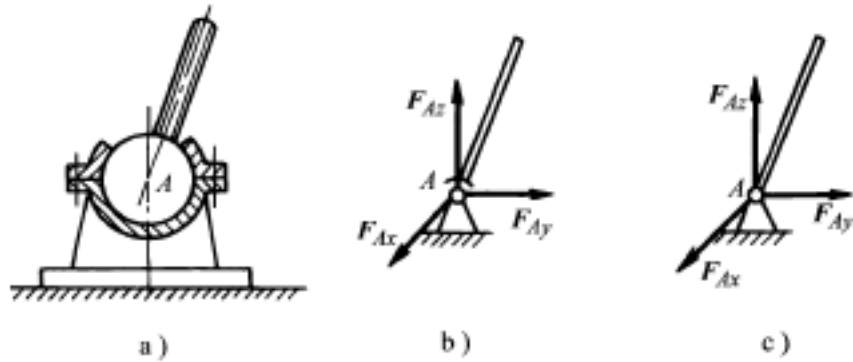


图 1-18

可指向空间任意方位，为方便计，一般以三个正交分力 F_{Ax} 、 F_{Ay} 、 F_{Az} 表示，其简图及约束力表示如图 1-18b、c 所示。

(3) 推力轴承：图 1-19 所示轴承（及类似轴承）称为推力轴承，与径向轴承不同之处是，它除了能限制轴的径向位移外，还能限制轴沿轴向的位移。因此，它比径向轴承多承受一个沿轴向的约束力，可用三个正交分量 F_x 、 F_y 、 F_z 表示，如图 1-19 所示。

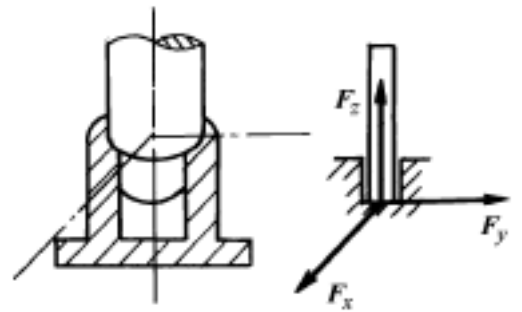


图 1-19

在以后的某些章节中，我们将再介绍一些约束。

工程中存在的约束多种多样，教材上只介绍了简单的常见的几种。有的约束比较复杂，分析时需要专门的知识经验，给以适当的简化和抽象，这在实际中是个很重要的问题，这已超过一般教材所述范围，所以不再叙述。

第三节 物体的受力和受力图

任何一个结构或机构，均受到力的作用。各物体的受力情况如何，是工程中十分关心的问题。只有首先定性给出各物体的受力情况，然后才能给予定量的求解，接着才能解决其他问题。为此，分析物体的受力情况，确定物体受几个力，各力的作用点（线）及方位（向）如何，是解决静（动）力学问题重要的一步。这种分析过程称为物体的受力分析。

为了把分析结果清晰地表示出来，需要把要研究的物体从周围的物体中分离出来，单独画出它的简图，这个步骤叫做取研究对象或取分（隔）离体，此简图叫做分（隔）离体图。然后把此物体所受的所有力（所有主动力和约束力）画出来，这种表示物体受力的简明图形称为物体的受力图。下面举例说明。

例 1-1 如图 1-20a 所示，水平梁 AB 用斜杆 CD 支撑，A、C、D 三处均为光滑铰链连接。均质梁重 F_{P1} ，其上安置一重为 F_{P2} 的电动机。如不计杆 CD 的自重，

试分别画出杆 CD 和梁 AB (包括电动机) 的受力图。

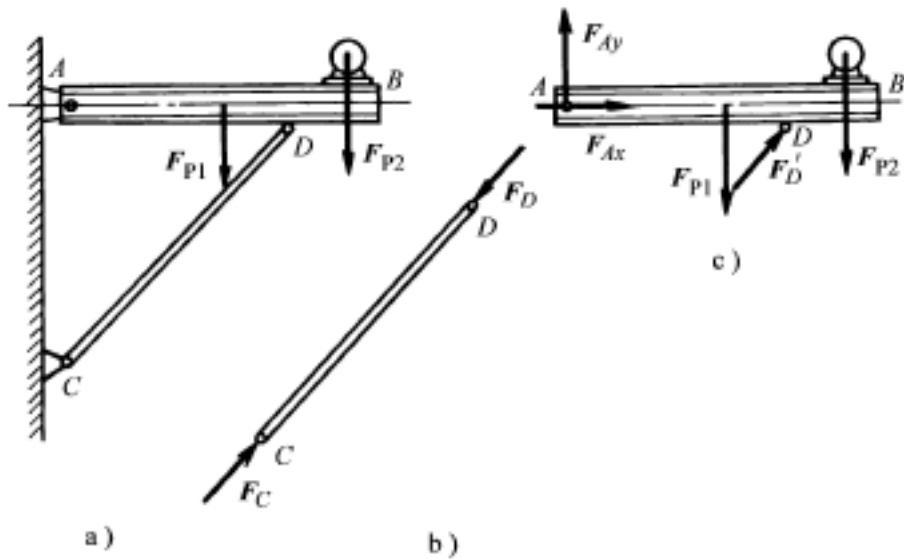


图 1-20

解: (1) 先分析斜杆 CD 的受力情况。由于斜杆的自重不计, 因此只在杆的两端分别受到铰链的约束力 F_C 和 F_D 的作用。根据光滑铰链性质, 这两个约束力必定分别通过铰链 C、D 的中心, 方向暂时不能确定。如果进一步考虑到杆 CD 只在 F_C 和 F_D 两个力作用下处于平衡, 则根据二力平衡公理, 这两个力必定沿同一直线, 且等值、反向。由此可确定 F_C 和 F_D 的作用线应沿 C 与 D 的连线 (由经验判断, 此处杆 CD 受压力。但在一般情况下, 力的指向不能定出, 需根据平衡条件才能确定)。

斜杆 CD 的受力图如图 1-20b 所示。

只在两个力作用下平衡的构件, 称为二力构件, 若构件为直杆或弯杆, 则称为二力杆。根据二力平衡公理, 它所受的两个力必定沿两力作用点的连线, 且等值、反向。在题目中若有二力构件 (杆) 存在且能判断出来, 往往会给求解带来方便。

(2) 取梁 AB (包括电动机) 为研究对象。它受有 F_{P1} 、 F_{P2} 两个主动力作用。梁在铰链 D 处受有二力杆 CD 给它的约束力 F_D 的作用。根据作用和反作用公理, 此二力应该反向。梁在 A 处受固定铰支座给它的约束力作用, 由于方位未知, 用两个大小未定的正交分力 F_{Ax} 和 F_{Ay} 表示。

梁 AB 的受力图如图 1-20c 所示。

例 1-2 如图 1-21a 所示的三铰拱桥, 由左、右两拱铰接而成。设各拱自重不计, 在拱 AC 上作用有载荷 F_P 。试分别画出拱 AC 和 CB 的受力图。

解: (1) 先分析拱 BC 的受力。由于拱 BC 自重不计, 且只在 B、C 两处受到铰链约束, 因此, 拱 BC 为二力构件。在铰链中心 B、C 处分别受 F_B 、 F_C 两力的作用, 且 $F_B = -F_C$, BC 拱的受力图如图 1-21b 所示。