

普通高等职业教育规划教材

机械工程学

JIXIE GONGCHENG LIXUE

■ 任树棠 主编

3

机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS



本书是根据教育部对高等职业教育基础课程教学的基本要求和高等职业教育人才培养目标的精神,按照全国高等职业教育力学教学研究和教材建设研讨会制定的《工程力学》教材编写大纲编写的。

全书共分三篇十九章。第一篇为刚体静力分析,包括静力分析基础,平面力系的简化与合成,平面力系的平衡,空间力系及其平衡,物体的重心与形心;第二篇为杆件承载能力分析,包括杆件基本变形时的内力分析,杆件基本变形时的应力分析,材料的失效分析及强度设计准则,杆件的静力强度设计,杆件的刚度设计,压件稳定性设计,疲劳失效与抗疲劳设计;第三篇为运动与动力分析,包括点的曲线运动,刚体的基本运动,点及刚体的合成运动,动力分析基础,动能定理,动静法。

本书涵盖了中等职业教育的内容,可作为高职高专院校、中等专业学校、成人高等学校机械类、近机类各专业的教材,也可作为工程技术人员的参考资料。

图书在版编目(CIP)数据

机械工程力学/任树棠主编. —北京:机械工业出版社, 2005 6

(2006.7重印)

普通高等职业教育规划教材

ISBN 7-111-15982-9

I. 机… II. 任… III. 机械工程学: 工程力学-高等学校: 技术学校-教材 IV. TH113

中国版本图书馆CIP数据核字(2004)第143400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:曲彩云 责任印制:侯新民

唐山丰电印务有限公司印刷

2006年7月第1版第2次印刷

184mm×260mm·17.5印张·419千字

定价:35.00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)68326294

编辑热线:(010)68354423)

封面无防伪标均为盗版

前 言

根据 21 世纪科学技术发展的趋势及其对高等职业技术人才素质的要求,编写本书的指导思想是:突出高等职业教育的特点,重组课程体系,精简课程内容,建立与我国高等职业教育发展需要相适应的力学知识构架;使受教育者具备必需的力学知识,具备良好的科学素质和思维品质,具备解决工程实际问题的能力和创新能力。编写本书的思路和目标是:体系要新,内容要精;学时要少,质量要高。其特点是:

1) 以研究机械工程构件的承载能力为主线,将理论力学、材料力学的知识重组,体现融会贯通、相互渗透的特点。

2) 突出机械工程力学的任务,打破按杆件基本变形小循环的课程体系,以研究构件的强度、刚度、稳定性和疲劳设计的基本理论和计算方法,形成新的课程体系。

3) 根据职业教育的特点,坚持少而精原则,简化理论推导,强化工程应用;注重知识的拓展和内容的更新。

4) 内容通俗易懂,便于自学,选材及选题都考虑到理论联系实际和对基本技能的培养,注意到对创新思维能力的训练。

本教材编写过程中,参考了许多国内外已公开出版的书籍和资料,从中引用了一些例题和习题,在此谨向有关作者表示敬意。

本教材编写过程中得到了包头轻工职业技术学院、北京轻工职业技术学院有关领导的大力支持,在此表示感谢。

参加本书编写的人员有:海淑萍(第一~五章),宿宝龙(第六~八章、第十四章、第十五章),任树棠(绪论、第九~十三章),闫永平(第十六~十九章)。任树棠任主编,闫永平任副主编。北京轻工职业技术学院朱运利任主审。

限于作者水平,书中不妥和疏漏之处在所难免,欢迎读者批评指正。

编 者
2005 年 1 月

序

一、工程力学在高等职业技术教育中的地位与作用

力学是一门传统而又古老的学科，它既是基础学科，也是直接应用于工程技术的学科。机械工程力学的形成与发展始终与生产力发展和技术进步密切相关，其理论和研究方法不仅为学生进一步学习专业课奠定基础，而且在他们整个知识结构和能力结构的培养过程中，起到相当大的作用。力学处于整体知识链的关键地位；力学起着从基础知识向专业知识过渡的桥梁作用；力学是抽象思维和形象思维相互转变的中间媒体。工程力学的基础理论、基本方法原本就是力学工作者创造性的成果，那么，力学工作者创建工程力学的创新思维、创新方法、创新素质，都可以在对工程力学的学习中得到训练和培养。工程力学不仅对学习专业知识是重要的，而且对开发学生智力、培养敏锐的观察能力、丰富的想象力、科学的思维方式和创新能力以及解决生产实际问题的能力都将产生重大的影响。

二、机械工程力学的研究对象和内容

工程力学来源于工程实际，又应用于工程实际，直接为发展生产力服务。在高等职业技术教育中，机械工程力学不同于流体工程力学、建筑工程力学等其他学科，它的主要任务是为机械设计提供基本的力学理论、计算方法和实验技术。因此，机械工程力学的主要内容有：

1. 刚体的静力分析——主要研究力系的简化与刚体在力系作用下的平衡问题。它是解决力学问题的基础，也常常直接用于解决工程问题。

2. 杆件的承载能力分析——主要研究在外力作用下，杆件的变形、内力和应力。它用于解决变形固体的强度、刚度和稳定性问题，同时为解决安全与经济性这一对矛盾提供理论与方法。

3. 运动与动力分析——主要从几何的角度研究物体运动以及运动和受力的关系。运动分析关系到机构或机器能否实现其预定的功能；动力分析涉及到强度、振动和机械平衡等问题，它们对构件的安全和机器的寿命提供理论依据。

著名教授钱学森说过：“工程力学走过了从工程设计的辅助手段到中心主要手段，不是唱配角而是唱主角了”。工程力学已广泛应用于机械、交通、纺织、轻工、化工、石油等众多工程领域。

三、学习工程力学的基本要求和方法

教与学是相互促进、共同提高的两个重要组成部分，在教学过程中，教师“要引导思维，不要代替思维，更不要窒息思维”；在学习过程中，学生“要积极思维，不要被动思维，更不要拒绝思维”。对于高等职业技术学院的学生，学习中要注意以下几点：

1. 会听课。要用心听课，这样才能很快抓住知识的要领。

2. 会提问。要学会提出问题，只有深入思考，才能提出问题。弄清新旧知识之间的联系与区别，提出问题，才能促进更深入的思考，领会所学知识。

3. 会总结。学完一部分内容后，要将主要内容归纳总结，把书本知识变为自己的知识。

4. 会应用。工程力学的特点是源于实际，用于实际。学习中要联系实际就要做一定数量的习题。不联系实际，不做习题是学不好工程力学的。

5. 会创新。学以致用，用就要创新。工程力学的产生和发展过程，就是不断创新的过程。要学会举一反三、多向思维，把书本知识转变为分析问题、解决问题的能力。

伟大的科学家伽俐略说过：“力学是一门美丽而有用的科学”。让我们共同把“美丽”变成动力，把动力变成能力，把能力变成建设祖国的活力吧！

目 录

前言
序

第一篇 刚体静力分析

第一章 静力分析基础	1
第一节 静力分析基本概念	1
第二节 静力学公理	2
第三节 约束与约束反力	4
第四节 受力分析与受力图	8
小结	11
思考题	12
习题	13
第二章 平面力系的简化与合成	16
第一节 平面汇交力系的合成	16
第二节 力对点之矩	19
第三节 平面力偶系	21
第四节 平面任意力系的简化	23
小结	26
思考题	27
习题	27
第三章 平面力系的平衡	30
第一节 平面任意力系的平衡方程及其应用	30
第二节 平面特殊力系的平衡	32
第三节 物系的平衡	34
第四节 考虑摩擦的平衡问题	36
小结	40
思考题	41
习题	41
第四章 空间力系及其平衡	46
第一节 力在空间直角坐标轴上的投影	46
第二节 力对轴之矩	48
第三节 空间力系的平衡	49
第四节 空间平衡力系的平面解法	49
小结	51

思考题	52
习题	53
第五章 物体的重心与形心	55
第一节 物体的重心与形心的概念	55
第二节 物体重心与形心位置的求法	56
小结	58
思考题	58
习题	59
第二篇 杆件承载能力分析	
第六章 杆件基本变形时的内力分析	62
第一节 内力 截面法	62
第二节 轴向拉伸(压缩)杆横截面的内力分析	63
第三节 扭转圆轴横截面的内力分析	65
第四节 平面弯曲梁横截面的内力分析	66
小结	70
思考题	70
习题	71
第七章 杆件基本变形时的应力分析	74
第一节 轴向拉伸(压缩)杆横截面的应力分析	74
第二节 扭转圆轴横截面的应力分析	78
第三节 平面弯曲梁横截面的正应力分析	81
小结	86
思考题	86
习题	87
第八章 应力状态理论	93
第一节 点的应力状态及分类	93
第二节 二向应力状态分析	94
小结	97
思考题	97
习题	97
第九章 材料的失效分析及强度设计准则	99
第一节 常用工程材料轴向拉伸与压缩时的力学性能	99
第二节 强度失效判据与设计准则	103
第三节 强度失效判据与设计准则的应用	106
小结	110
思考题	111
第十章 杆件的静力强度设计	112
第一节 杆件轴向拉伸(压缩)时的强度设计	112

第二节	圆轴扭转时的强度设计	114
第三节	梁平面弯曲时的强度设计	115
第四节	联接件的强度设计	119
第五节	组合变形时的强度设计	124
	小结	130
	思考题	131
	习题	131
第十一章	杆件的刚度设计	135
第一节	圆轴扭转时的刚度设计	135
第二节	梁平面弯曲时的刚度设计	137
第三节	简单超静定问题的解法	145
第四节	提高杆件强度和刚度的措施	152
	小结	156
	思考题	157
	习题	157
第十二章	压杆稳定性设计	160
第一节	压杆稳定问题在工程中的重要性	160
第二节	细长中心压杆的临界力	162
第三节	三类压杆的区分和经验公式	165
第四节	压杆稳定性设计准则	167
第五节	提高压杆稳定性的措施	169
	小结	171
	思考题	171
	习题	172
第十三章	疲劳失效与抗疲劳设计	174
第一节	交变应力、疲劳失效及其特性	174
第二节	疲劳极限与 $\sigma - N$ 曲线	177
第三节	影响疲劳极限的因素	179
第四节	提高构件疲劳强度的途径	181
第五节	抗疲劳设计的基本概念	183
	小结	185
	思考题	185
第三篇 运动与动力分析		
第十四章	点的曲线运动	186
第一节	用自然法描述点的运动	187
第二节	用直角坐标法描述点的运动	189
	小结	191
	思考题	192

习题	193
第十五章 刚体的基本运动	195
第一节 刚体的平行移动	195
第二节 刚体绕定轴的转动	196
第三节 转动刚体内各点的速度和加速度	198
小结	201
思考题	201
习题	202
第十六章 点及刚体的合成运动	204
第一节 点的合成运动	204
第二节 刚体的平面运动	209
小结	214
思考题	215
习题	216
第十七章 动力分析基础	218
第一节 质点的动力学基本方程	218
第二节 刚体绕定轴转动的动力学基本方程	222
小结	228
思考题	228
习题	229
第十八章 动能定理	232
第一节 力的功	232
第二节 动能	236
第三节 动能定理	237
小结	240
思考题	241
习题	242
第十九章 动静法	244
第一节 惯性力与达朗伯原理	244
第二节 刚体惯性力系的简化	248
第三节 弹性构件的动应力分析	251
小结	254
思考题	255
习题	255
附录 型钢规格表	258
参考文献	269

第一篇 刚体静力分析

刚体静力分析是研究物体在力系作用下的平衡规律及其在工程中的应用。所谓力系，是指作用在物体上的一群力。平衡是指物体相对于地面保持静止或匀速直线运动状态，是物体机械运动的一种特殊状态。例如，相对于地面静止的房屋，高压输电铁塔，在直线轨道上匀速行驶的火车等，相对于地面都处于平衡状态。但是它们均随着地球的自转和公转又在不停地运动着。故平衡是相对的、暂时的和有条件的。

刚体静力分析主要研究作用在物体上的力系的简化方法、研究物体受力分析方法及物体在力系作用下的平衡条件，并用这些平衡条件解决工程技术问题。

刚体静力分析所建立的基本概念、理论和方法是重要的力学基础知识。

第一章 静力分析基础

静力学主要研究物体在力系作用下的平衡规律。

同时作用于同一物体上的一群力称为力系。平衡是指物体相对于地面保持静止或匀速直线运动的状态，是物体机械运动的一种特殊情况。能够使物体处于平衡状态的力系称为平衡力系，平衡力系所必须满足的条件称为平衡条件。

对同一物体产生相同作用效应的诸力系称为等效力系。将复杂力系简化为与之等效的简单力系的过程称为力系的简化。静力学的任务就是在力系的简化基础上，建立力系的平衡条件。

静力学主要研究力系的简化、力系的平衡条件及其应用这两个基本问题。

第一节 静力分析基本概念

一、力的概念

力是物体间相互的机械作用，这种作用的效应是使物体的运动状态发生变化，同时使物体的形状发生变化。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。静力学部分仅研究力的外效应。

力是物体相互间的机械作用，若将两物体间相互作用力之一称为作用力，另一个则称为反作用力，且作用力与反作用力等值、反向、共线，分别作用于两个相互作用的物体上。力学上习惯于将作用力与反作用力用同一字母表示，在反作用力上加“'”以示区别。如图1-1所示，若绳对重物的拉力 F_1 为作用力，则绳所受的力 F'_1 为反作用力。

实践表明，力对物体的作用效应，取决于力的大小、方向和作用点，这三个因素称为力的三要素。

只有大小的量称为标量，例如长度、时间、重量都是标量。既有大小又有方向的量称为矢量，如力和速度都是矢量。

力是矢量，用一有向线段表示，如图 1-2 所示，线段 AB 的长度按一定比例画出，表示力的大小，线段的方位和指向表示力的方向，线段的起点 A 或终点 B 表示力的作用点，故力是矢量。本书中用黑体字母表示矢量，如 \mathbf{F} 表示一个力矢量；而用相应的明体字母表示该矢量的大小，如 F 表示这个力的大小。通过力的作用点沿力的矢量方位画出的直线 KL ，称为力的作用线。

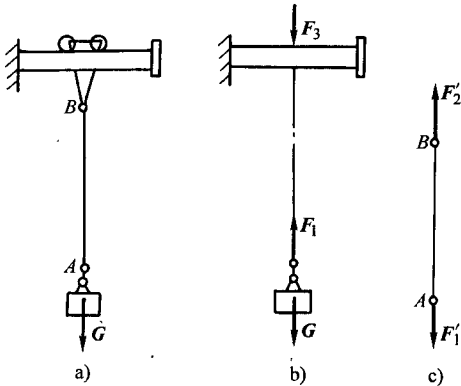


图 1-1

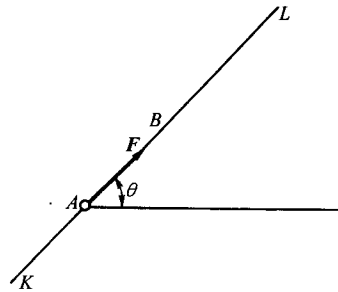


图 1-2

我国法定计量单位规定，力的单位是牛顿或千牛顿，简称为牛 (N) 或千牛 (kN)，其换算关系为 $1\text{kN}=1000\text{N}$ 。

二、刚体的概念

在日常生活和工程实际中，许多物体在力的作用下，其变形一般都很小，在大多数情况下，物体的微小变形与其实际尺寸相比很小，在所研究的力学问题中，如忽略这种变形而不会产生较大的误差时，就可以把这个物体抽象化为刚体，从而使研究的问题简化。所谓刚体，是指在外力的作用下，大小和形状始终保持不变的物体。刚体是从实际物体抽象得来的一种理想的力学模型。

必须指出，在所研究的问题中，当变形因素转化为主要因素时，如在研究力所产生的内效应时，就不能再把物体视为刚体了。

第二节 静力学公理

公理是人类在长期的实践中所积累的经验，经过抽象、归纳出来的客观规律。静力学公理是关于力的基本性质的概括和总结，是静力学以及整个力学的理论基础。

公理一：二力平衡公理

作用于同一刚体上的二力使刚体平衡的必要与充分条件是：此二力大小相等、方向相反且作用于同一直线上。

该公理是关于平衡的最简单、最基本的性质，是各种力系平衡的理论依据。

凡是只在两个点受力，且不计自重的平衡物体称为二力构件或二力杆。由二力平衡公理

可知，无论二力是直的还是弯的，其所受的二力必沿两受力点的连线且等值反向。如图 1-3a 中的 BC 杆就是二力杆，其受力如图 1-3b 所示。

公理二：加减平衡力系公理

在作用于刚体上的已知力系中，加上或减去任意一个平衡力系，并不改变原力系对刚体的作用效应。

如图 1-4 所示，力 F 作用于 A 点，若在其作用线上的任意一点 B 处加上一等值、反向的平衡力系 F' 和 F'' ，且 $F' = F'' = F$ ，根据加减平衡力系公理，此时力系对刚体的作用效应不变。由于 F'' 与 F 也构成平衡力系，同理去掉 F'' 与 F 也不改变力系对刚体的作用效应，于是刚体就只受余下的 F' 的作用，且与 F 等效。由此可得到如下推论：

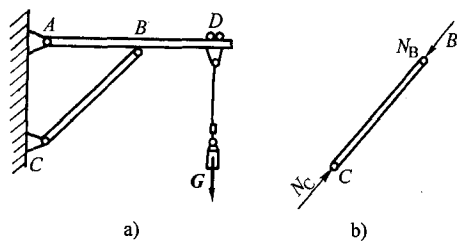


图 1-3

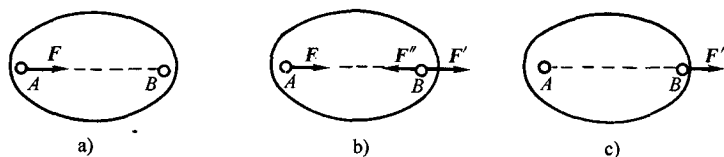


图 1-4

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上的任一点，而不改变它对刚体的作用效应。

公理二及其推论是力系等效变换的依据。由力的可传性原理可知，对于刚体而言，力的三要素为：力的大小、方向、作用线。

需要说明的是，公理一、二及其推论仅适用于刚体。

公理三：力的平行四边形法则

作用于物体上的同一点的两个力的合力仍作用于该点，其大小和方向由以此二力为邻边所构成的平行四边形的对角线来表示。

在图 1-5 中，分力 P_1 、 P_2 以矢量 AB 、 AC 表示，平行四边形 $ABCD$ 的对角线 AD 就表示合力 R ，这个公理表明矢量加法法则，可用矢量等式表示为：

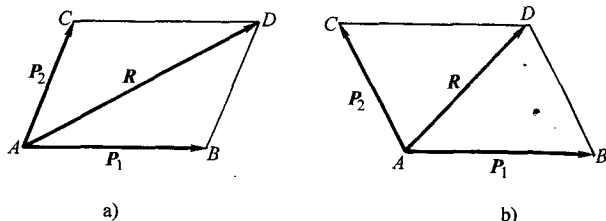


图 1-5

$$\mathbf{R} = \mathbf{P}_1 + \mathbf{P}_2$$

应该注意：矢量等式中的矢量，都应该写成黑体字，矢量等式的意义不同于数量等式

$R = P_1 + P_2$ ，因为数量相加是代数和，而矢量相加则是几何和。

平行四边形法则又称为矢量加法，它不仅适用于力的合成，对所有矢量（如速度等）的合成均适用。

该公理是力系简化的基本依据。由公理三可得出如下推论：

推论：三力平衡汇交定理。

刚体受三个共面但不平行的力作用而处于平衡时，此三个力的作用线必然汇交于一点。

公理四：作用与反作用公理

两物体间的相互作用力总是大小相等、方向相反、沿同一直线，且分别作用在这两个物体上。

该公理说明，力总是成对出现的，有作用力就必有反作用力，二者同时存在同时消失。作用力和反作用力分别作用在两个物体上，与二力平衡有本质的区别。

为了说明公理四与公理一的区别，分析放在地面上的重物的受力情况（图 1-6）。

重物受到地球的吸引，地球给重物以作用力 G （即重力），重物必以反作用力 G' （也就是重物对地球的吸引力）作用于地球。这两个力 G 和 G' 符合公理四。重物压地面的作用力 N 作用在地面，地面必有反作用力 N' 支承重物，这两个力 N 和 N' 也符合公理四。重物是受力 G 和 N' 作用而平衡，这是符合公理一。地球受力 N 和 G' 作用而平衡，这也是符合公理一的。

作用力和反作用力常用同一字母表示，但其中一个加一撇，如 N 和 N' 。

还应注意：作用力和反作用力的关系，只存在于相互作用的两个物体之间，而与第三者无关。因此，分析物体受力时，应判明作用力和反作用力是发生在哪两个物体之间。

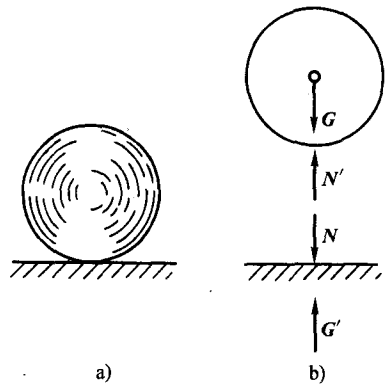


图 1-6

第三节 约束与约束反力

一、约束的概念

在空间可以自由运动的物体，如空中飞行的飞机、炮弹等，称为自由体。如果物体的运动或运动趋势受到周围物体的限制，使其在某些方向上不能运动，则称这类物体为非自由体。如列车只能沿轨道行驶，门、窗由于合页的限制只能绕固定轴转动等，列车、门、窗就是非自由体。

在工程实际中，每个构件都以一定的形式与周围物体相联接，因而其运动受到一定的限制。凡是对物体的运动起限制作用的周围物体，称为对物体的约束。例如，放在地面上的物体，其向下的运动受到地面的限制，地面就是物体的约束。

约束之所以能限制被约束物体的运动，是因为约束对被约束物体有力的作用。约束作用于被约束物体的力称为约束反力，简称约束力或反力。约束力的方向总是与约束限制物体运动的方向相反，约束力的作用点在约束与被约束物体的接触处。

作用在物体上促使物体运动或有运动趋势的力，称为主动力。作用在物体上限制物体运

动的力，称为约束力。主动力在工程中也称为载荷。

二、工程中常见的约束及其反力的特点

1. 柔性约束

由柔软的绳索、橡胶带、链条等所形成的约束，称为柔性约束。柔性约束的约束力只能是拉力，方向沿着柔性体的中心线且背离被约束物体，作用点在接触点处。例如用钢丝绳吊起一减速器箱盖，如图 1-7a 所示，钢丝绳对减速器箱盖的约束力 F_B 、 F_C 分别作用于 B、C 两点；沿着钢丝绳中心线而背离减速器箱盖。链条或橡胶带也只能承受拉力，当它们绕过轮子时，如图 1-7b 所示，约束力沿轮缘的切线方向。

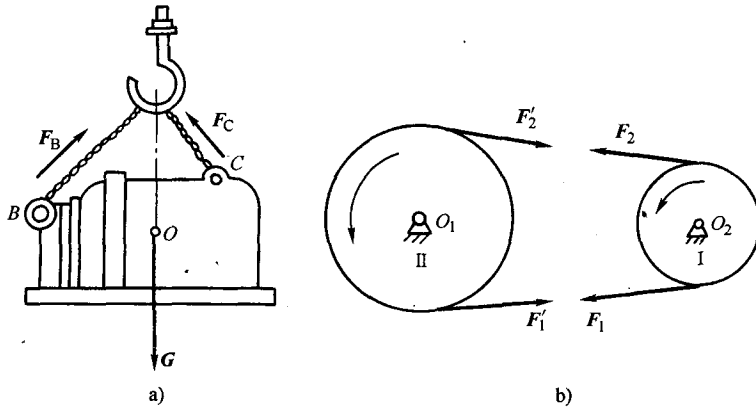


图 1-7

2. 光滑面约束

当两个物体的接触面视为理想光滑时，不论支承面的形状如何，只能限制物体沿着接触面的公法线而指向支承面的运动。所以光滑面约束的约束力作用在接触处，方向沿着接触面在接触处的公法线并指向被约束的物体，即，物体受压力。如图 1-8a 表示圆球受光滑面约束，约束力沿接触处的公法线指向球心；图 1-8b 表示齿轮啮合时一个轮齿受到约束；图 2-8c 表示物体受光滑地面约束；图 1-8d 表示直杆 A、B、C 三处受到的约束。这类约束又称为法向反力。

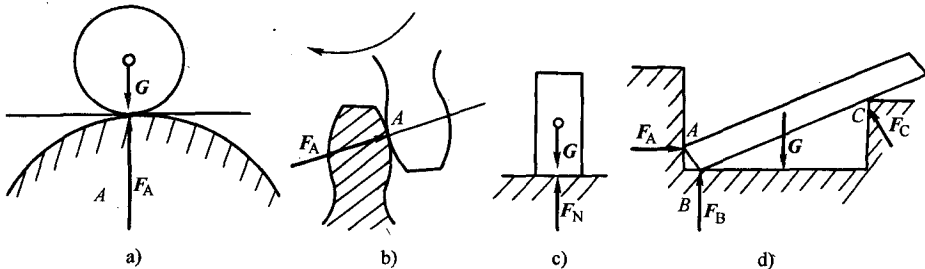


图 1-8

3. 铰链约束

(1) 中间铰链 图 1-9a 所示圆柱销钉限制了所连接构件的相对移动，不限制构件绕销

钉轴线的相对转动，这种约束称柱形铰链约束，用图 1-9b 表示。铰链约束通常用来连接两个或两个以上构件且处在结构物的内部，称为中间铰链。

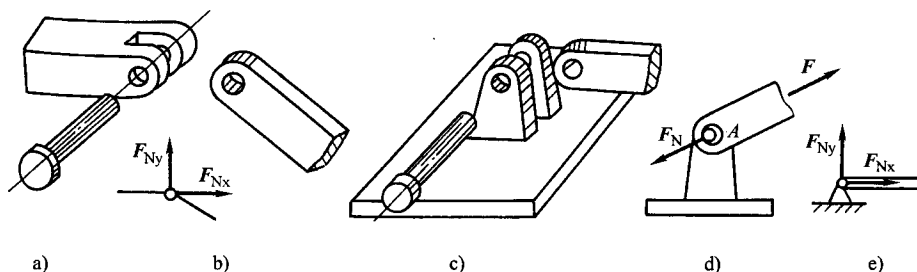


图 1-9

(2) **固定铰支座** 将圆柱销钉连接的两构件中的一个固定起来，称为固定铰支座，如图 1-9c 所示。起重机与机架的连接、钢桥架同固定支承面的连接就应用了这种支座。这种约束限制了构件的移动，不限制构件绕圆柱销的转动。

图 1-9d 所示的圆柱销与销孔，构件在主动力作用下，是两个圆柱光滑面的点接触，其约束力必沿接触点的公法线过铰链的中心。由于主动力的作用方向不同，构件销钉的接触点就不同，所以约束力的方向不能确定。

对于中间铰和固定铰支座约束的约束力过铰链的中心，方向不确定时，通常用两个正交的分力 F_x 、 F_y 来表示（图 1-9b、e）。

当中间铰链或固定铰链连接的是二力构件时，其约束力的作用线可由二力平衡条件确定（如图 1-10）所示，不用两正交分力表示。

(3) **活动铰支座** 如图 1-11a 所示，在铰支座的下边安装上辊轴称为活动铰支座。活动铰支座只限制构件沿支承面法线方向的移动，所以活动铰支座约束力的作用线过铰链中心，垂直于支承面，指向未知，用符号 F_N 表示。图 1-11b 为活动铰支座的几种力学简图及约束力的画法。

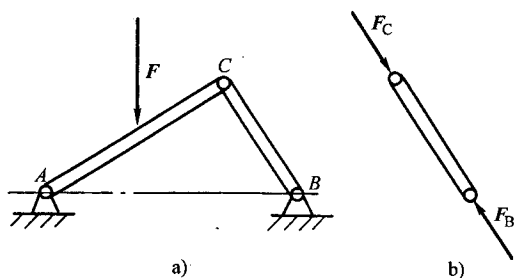


图 1-10

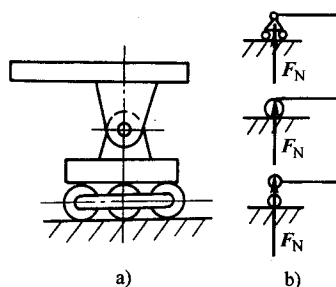


图 1-11

图 1-12a 所示杆件 A、B 两端分别为固定铰支座和活动铰支座，在主动力 F 作用下，其约束力如图 1-12b 所示。

(4) **空间球铰链** 球铰链是固连于物体的球嵌入另一物体上的球窝面内构成的一种约束（图 1-13）。这种铰链在空间问题中应用比较广泛。例如机床上照明灯具的固定，汽车上变速操纵杆的固定以及照相机与三角架之间的接头等等。在不计摩擦的情况下，构成铰链的两

个物体之间是光滑面接触，物体只能绕球心相对转动，因而约束力必通过球心且垂直于球面（即沿半径方向）。由于预先不能确定接触点的位置，故约束力在空间的方位不能确定。图 1-13b 是球铰链简图的表示方法。约束力一般以三个正交分量 F_{Ax} 、 F_{Ay} 、 F_{Az} 来表示。

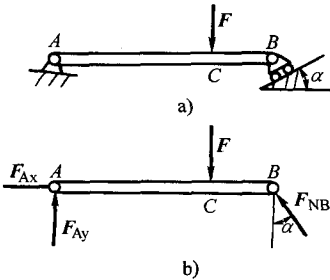


图 1-12

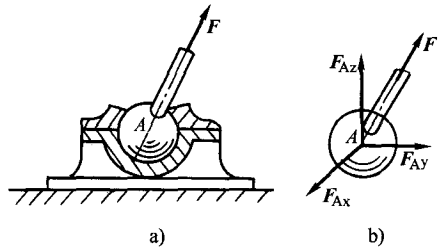


图 1-13

4. 固定端约束

固定端约束是工程中常见的一种约束类型。如图 1-14a、b 所示，一端牢固地嵌入墙内的物体 AB 和夹紧在刀架上的车刀等。这种约束能限制物体在平面内任意方向的移动和转动。

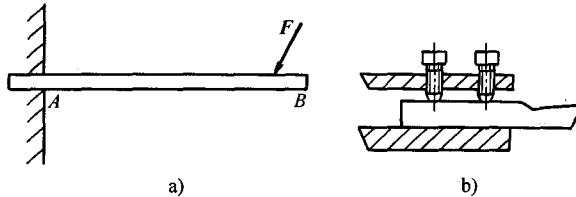


图 1-14

图 1-15a 是固定端约束的计算简图。A 端约束既能限制杆 AB 的移动，也能限制其转动，所以固定端 A 点的约束力有一个 F_A 和一个反力偶 M_A ， F_A 的方向一般不能预先确定，通过可分解为 F_{Ax} 、 F_{Ay} 两正交分力， M_A 的转向事先无法确定，可先假设。

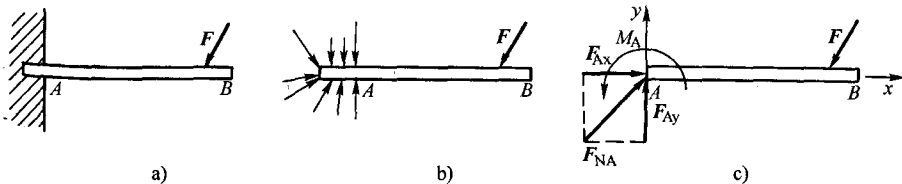


图 1-15

5. 轴承

(1) 径向轴承 如图 1-16a 所示，径向轴承只能限制轴沿径向的移动，其计算简图如图 1-16b 所示。

(2) 推力轴承 推力轴承一般用来支承轴并限制轴沿轴向及径向的移动。不考虑摩擦时，轴径与轴承的接触实际上也是光滑面接触，但由于接触点随着轴的转动不能预先确定，

故约束力在空间的方位也就不能确定。其约束力一般用三个正交分力 F_x 、 F_y 、 F_z 来表示，如图 1-17 所示。

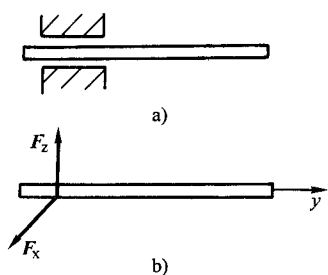


图 1-16

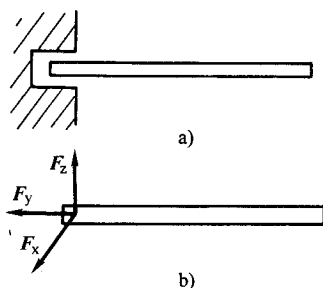


图 1-17

第四节 受力分析与受力图

一、物体的受力分析

在对物体进行力学分析过程中，首先要明确研究对象，然后分析研究对象受到哪些力的作用及各力作用线的位置，这一过程称为物体的受力分析。

进行受力分析时，必须先解除研究对象的全部约束（即从与它相联系的周围物体中分离出来），并单独画出其轮廓图，这一步骤称为取分离体（隔离体）。然后将研究对象受到的全部主动力和约束力画在分离体图上，得到表示物体受力情况的简明图形，称为研究对象的受力图。

画受力图的步骤如下：

- 1) 明确研究对象，画出分离体。
- 2) 在分离体上画出全部主动力。
- 3) 在分离体上画出全部约束力。

恰当地选取研究对象，正确分析其受力并画出受力图，是解决力学问题首要的关键步骤，必须认真对待，反复练习，熟练掌握。

二、单个物体的受力图

例 1-1 一运货小车由钢绳牵引沿轨道匀速提升。小车和货物共重为 G ，重心在 C 点，如图 1-18a 所示。略去摩擦及钢绳重量，试画出运货小车的受力图。

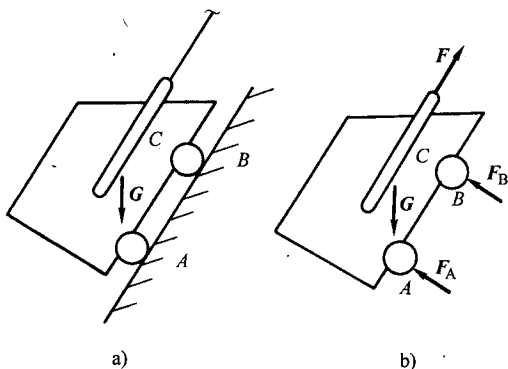


图 1-18

解：取小车为研究对象，解除约束。小车和货物的重力 G 作用在重心处，方向铅垂向下。约束力有钢绳的拉力 F ，方向沿钢绳中心线背离小车；轨道的法向反力 F_A 、 F_B ，沿接触处的公法线，指向小车。小车的受力图如图 1-18b 所示。

例 1-2 物体 AB 的 A 端为固定铰支座， B 端为活动铰支座，中点 C 受力 F 作用，如图 1-19a 所示。不计物重，试画出 AB 的受力图。