



普通高等教育“十二五”规划教材

工程力学

Engineering Mechanics

郭光林 何玉梅 张慧玲 安逸 编著



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

014061625

TB12-43
122

普通高等教育“十二五”规划教材

工 程 力 学

郭光林 何玉梅 张慧玲 安逸 编著

课程 (90) 目录表



TB12-43
122



机械工业出版社



北航

C1748102

014081852

本书是为适应近年来由于高教改革,多数高校对工程力学课程的教学内容和学时数进行了调整这种新形势而编写的。

本书的主要特色有:突出基本概念,陈述简单明了;内容上由浅入深,循序渐进;形式上图文结合,力求清晰;注重将问题的分析与工程背景相结合,以提高学生的兴趣;增加了能量法一章,有助于培养学生应用能量法分析和解决问题的能力。全书共15章,主要内容包括:绪论、力的概念和物体的受力分析、力矩的概念和力系的等效与简化、刚体和刚体系统的平衡问题、材料力学的基本概念、轴向拉伸和压缩、剪切和挤压的实用计算、扭转、弯曲内力、弯曲应力和强度、弯曲变形和刚度、应力状态分析和强度理论、组合变形、压杆稳定、能量法、动载荷和疲劳强度等。

本书为高等学校本科工科各专业工程力学课程的教材,也可供独立学院、高职高专、成人高校师生及有关工程技术人员参考。

李永联 李永联 李永联 李永联 李永联

图书在版编目(CIP)数据

工程力学/郭光林等编著. —北京:机械工业出版社,2014.7
普通高等教育“十二五”规划教材
ISBN 978-7-111-47118-9

I. ①工… II. ①郭… III. ①工程力学-高等学校-教材
IV. ①TB12

中国版本图书馆CIP数据核字(2014)第134178号

机械工业出版社(北京市百万庄大街22号 邮政编码100037)
策划编辑:李永联 责任编辑:李永联 任正一
版式设计:霍永明 责任校对:张莉娟
责任印制:刘 岚
北京京丰印刷厂印刷
2014年9月第1版·第1次印刷
184mm×260mm·16印张·387千字
标准书号:ISBN 978-7-111-47118-9
定价:29.50元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换
电话服务 网络服务
社服务中心:(010) 88361066 教材网: <http://www.cmpedu.com>
销售一部:(010) 68326294 机工官网: <http://www.cmpbook.com>
销售二部:(010) 88379649 机工官博: <http://weibo.com/cmp1952>
读者购书热线:(010) 88379203 封面无防伪标均为盗版

Preface

“工程力学”是各高等学校工程类专业开设的专业基础课。近年来，随着高等教育改革的不断深化，多数高等学校对工程力学课程的教学内容及学时进行了调整，本书就是为了适应这种新的教学形势而编写的。

本教材的主要特色有：

- 1) 突出基本概念，陈述简单明了。在介绍力、力偶和力系规律时，既强调了空间概念，又突出了平面力系的特点及应用，使学生更易理解掌握。
- 2) 内容上由浅入深，循序渐进。由基本变形到组合变形，环环紧扣。
- 3) 形式上图文结合，力求清晰。
- 4) 注重将问题的分析与工程背景相结合，例题和习题尽可能提取工程问题，以提高学生的学习兴趣。
- 5) 有别于许多同类教材，本书增加了能量法这一章，有助于培养学生应用能量法分析和解决问题的能力。

本书由何玉梅编写第1~第3章；张慧玲编写第4~第10章；郭光林编写绪论、第11~第15章；安逸编写附录A、B，并承担书中部分插图的绘制工作。

由于编者业务水平所限，书中不足之处在所难免，恳请读者批评指正。

编 者

何玉梅

张慧玲

郭光林

安逸

张慧玲

郭光林

安逸

张慧玲

郭光林

安逸

张慧玲

郭光林

安逸

Contents

前言	5.1 轴向拉伸和压缩的工程实例	48
绪论	5.2 轴力和轴力图	49
0.1 工程力学的研究对象	5.3 拉伸或压缩杆件横截面上的正应力	50
0.2 工程力学的研究任务	5.4 拉伸或压缩杆件的变形	51
0.3 工程力学的研究方法	5.5 拉伸或压缩杆件的强度计算	53
第1章 力的概念和物体的受力分析	5.6 拉伸和压缩时材料的力学性能	56
1.1 力的概念和静力学基本公理	5.7 拉伸或压缩静不定问题	60
1.2 约束和约束力	5.8 温度应力和装配应力	62
1.3 受力分析和受力图	5.9 应力集中的概念	64
习题	习题	65
第2章 力矩的概念和力系的等效与简化	第6章 剪切和挤压的实用计算	69
2.1 力对点之矩和力对轴之矩	6.1 剪切实用计算	69
2.2 力偶及其性质	6.2 挤压实用计算	70
2.3 力系的简化	习题	72
习题	第7章 扭转	74
第3章 刚体和刚体系统的平衡问题	7.1 扭转的概念	74
3.1 力系的平衡方程	7.2 扭矩和扭矩图	75
3.2 刚体和刚体系统的平衡问题	7.3 圆轴扭转时横截面上的切应力和强度计算	76
3.3 平面简单桁架的受力分析	7.4 圆轴扭转时的变形和刚度计算	82
3.4 静定和静不定问题的概念	习题	84
习题	第8章 弯曲内力	86
第4章 材料力学的基本概念	8.1 弯曲的概念	86
4.1 外力 内力 截面法	8.2 剪力和弯矩	89
4.2 应力	8.3 剪力方程和弯矩方程 剪力图和弯矩图	91
4.3 应变 小变形假设	8.4 载荷集度、剪力和弯矩间的微分关系	95
4.4 杆件受力和变形的基本形式	习题	99
习题	第9章 弯曲应力和强度	102
第5章 轴向拉伸和压缩	9.1 纯弯曲和横力弯曲	102

9.2 纯弯曲正应力	102	第 13 章 压杆稳定	182
9.3 弯曲切应力	108	13.1 压杆稳定的概念	182
9.4 弯曲强度的计算	113	13.2 压杆的临界载荷 欧拉公式	183
9.5 提高梁强度的措施	119	13.3 经验公式 临界应力总图	185
习题	122	13.4 压杆稳定性设计	189
第 10 章 弯曲变形和刚度	126	13.5 提高压杆稳定性的措施	193
10.1 弯曲变形的基本概念	126	习题	194
10.2 挠曲线微分方程 积分法	127	第 14 章 能量法	198
10.3 叠加法	132	14.1 杆件的应变能计算	198
10.4 弯曲刚度计算	136	14.2 互等定理	199
10.5 提高梁刚度的措施	138	14.3 莫尔积分及图乘法	201
10.6 简单的静不定梁	139	习题	207
习题	140	第 15 章 动载荷和疲劳强度	209
第 11 章 应力状态分析和强度理论	144	15.1 基本概念	209
11.1 应力状态的概念	144	15.2 等加速直线运动构件的动应力	209
11.2 平面应力状态分析的解析法	145	15.3 等角速旋转构件的动应力	210
11.3 平面应力状态分析的图解法	147	15.4 冲击载荷和冲击应力	213
11.4 三向应力状态简介	149	15.5 交变应力和疲劳破坏	216
11.5 广义胡克定律	153	15.6 疲劳极限及其影响因素	219
11.6 应变能密度	156	习题	222
11.7 强度理论概述	158	附录	224
11.8 常用的四种强度理论	158	附录 A 平面图形的几何性质	224
11.9 莫尔强度理论	163	A.1 静矩和形心	224
习题	164	A.2 惯性矩和惯性半径	226
第 12 章 组合变形	167	A.3 惯性积	228
12.1 基本概念	167	A.4 平行移轴公式	228
12.2 斜弯曲	168	A.5 转轴公式 主惯性矩	229
12.3 拉伸(压缩)和弯曲的组合 变形	172	习题	233
12.4 弯曲和扭转的组合变形	174	附录 B 型钢表	234
习题	178	参考文献	248

绪 论

0.1 工程力学的研究对象

力学和工程学的结合，促成了工程力学的形成和发展。无论是在历史悠久的土木工程、水利工程、机械工程和船舶工程中，还是在后起的航空航天工程、核技术工程、生物工程中，工程力学都有着广泛的应用。力学的发展使汽车发动机效率提高了约 1/3。仅以小轿车为例，全世界每年节省燃料费约 2000 亿美元，排气污染减少了 90% 以上。力学解决了各种飞行器的空气动力学性能问题、推进器动力学问题、飞行稳定性和操纵性问题及结构和材料的强度问题等。

20 世纪以来，工程力学发展的标志性成就有：人类载人航天技术（见图 0-1）、高速磁悬浮列车、跨江大桥、超高层建筑和巨型水利枢纽（如长江三峡水利工程，见图 0-2）等。

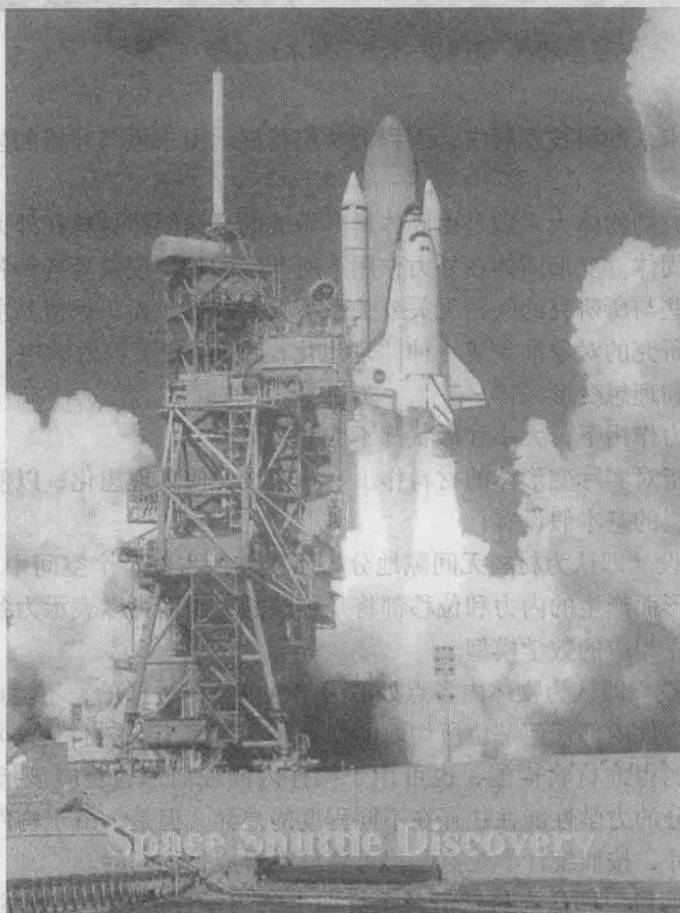


图 0-1 发现号航天飞机



图 0-2 长江三峡水利工程

可以预见，在未来的科技发展中，工程力学仍将展示出永恒与旺盛的生命力并发挥巨大的影响。

工程力学所研究的物体大多数是由固体材料做成的，而固体材料在外力作用下都会发生变形，故称为变形固体。变形固体在外力作用下所产生的物理现象是各种各样的，为了便于研究，常常舍弃那些与所研究的问题无关或关系不大的特征，而只保留其主要特征，并通过作出某些假设将所研究的对象抽象成一种“理想化模型”。在工程力学中，将物体抽象成两种计算模型：刚体和理想变形固体。

刚体是指在外力作用下，大小和形状都不变的物体。

理想变形体是指对实际变形体的材料作出一些假设，使其理想化，以便于研究和计算。

理想变形体材料的基本假设有：

(1) 连续性假设 即认为材料无间隙地分布于物体所占的整个空间中。根据这一假设，物体因受力和变形而产生的内力和位移都将是连续的，因而可以表示为各点坐标的连续函数，从而有利于建立相应的数学模型。

(2) 均匀性假设 即认为物体各点处的力学性能都是一样的，不随点的位置而变化。

按此假设，从构件内部任何部位所切取的微元体，都具有与构件完全相同的力学性能。同样，通过试样所测得的材料性能，也可用于构件内的任何部位。应该指出，对于实际材料，其基本组成部分的力学性能往往存在不同程度的差异，但是，由于构件的尺寸远大于其基本组成部分的尺寸，按照统计学观点，仍可将材料看成是均匀的。

(3) 各向同性假设 即认为材料沿各个方向上的力学性能都是相同的。我们把具有这种属性的材料称为各向同性材料，如低碳钢、铸铁等。在各个方向上具有不同力学性能的材

料则称为各向异性材料,如由增强纤维(碳纤维、玻璃纤维等)与基体材料(环氧树脂、陶瓷等)制成的复合材料。本书仅研究各向同性材料的构件。按此假设,我们在计算中就不用考虑材料力学性能的方向性,而可沿任意方位从构件中截取一部分作为研究对象。

0.2 工程力学的研究任务

工程力学是研究物体机械运动的一般规律和工程构件的设计计算原理的科学。通常包括静力学和材料力学等内容。静力学主要研究力系的规律,特别是力系的平衡规律及其工程应用,在静力学中,通常将变形体简化为刚体。而材料力学主要研究构件(等截面直杆)的设计计算原理及其应用,此时通常采用理想变形体模型。为了保证机械或工程结构能正常工作,要求每一个构件都具有足够的承受载荷的能力,即需满足强度、刚度和稳定性的要求。

所谓**强度**指构件抵抗破坏(断裂或产生显著塑性变形)的能力。构件具有足够的强度是保证其正常工作最基本的要求。例如,构件工作时发生意外断裂或产生显著塑性变形是不容许的。

所谓**刚度**指构件抵抗弹性变形的能力。为了保证构件在载荷作用下所产生的变形不超过许可的限度,必须要求构件具有足够的刚度。例如,如果机床主轴或床身的变形过大,将影响加工精度;齿轮轴的变形过大,将影响齿与齿间的正常啮合等。

所谓**稳定性**指构件保持原有平衡形式的能力。在一定外力作用下,构件突然发生不能保持其原有平衡形式的现象,称为失稳。构件工作时产生失稳一般也是不容许的。例如,桥梁结构的受压杆件失稳将可能导致桥梁结构的整体或局部塌毁。因此,构件必须具有足够的稳定性。

构件的设计,必须符合安全、适用和经济的原则。材料力学的任务是:在保证满足强度、刚度和稳定性要求的前提下,以最经济的代价,为构件选择适宜的材料,确定合理的形状和尺寸,并提供必要的理论基础和计算方法。一般说来,强度要求是基本的,只是在某些情况下才提出刚度要求。至于稳定性问题,只是在特定受力情况下的某些构件中才会出现。

0.3 工程力学的研究方法

工程力学的研究方法主要有三种:理论分析方法、实验方法和计算机方法。

1. 理论分析方法

静力学中的物体受力分析、力系简化与力系等效、力系平衡等这些理论分析方法使工程结构的静力分析成为可能。

而材料力学也主要依据内力分析、变形和应力计算等理论分析方法来解决构件的强度、刚度和稳定性问题。

此外,工程力学还面临着许多新设计思想和新结构形式的挑战,这些也需要运用理论分析方法进行探索性研究和设计。

必须指出,上述许多理论方法是建立在一些基本假使之上的,其计算结果的可靠性往往还需要实验方法来验证。

2. 实验方法

工程力学结构分析的步骤是首先确定计算模型，然后选择理论方法进行结构的强度、刚度和稳定性计算。在此过程中，计算模型的合理与否往往需要通过实验检验，比如需要通过实验来测定材料的力学性能，甚至最终工程力学的理论分析结果还得通过实验来检验。还有一些尚无理论分析结果的问题，也必须借助于实验的手段来解决。所以，实验研究和理论分析都是工程力学解决问题的重要手段。图 0-3 所示为飞机静载试验。

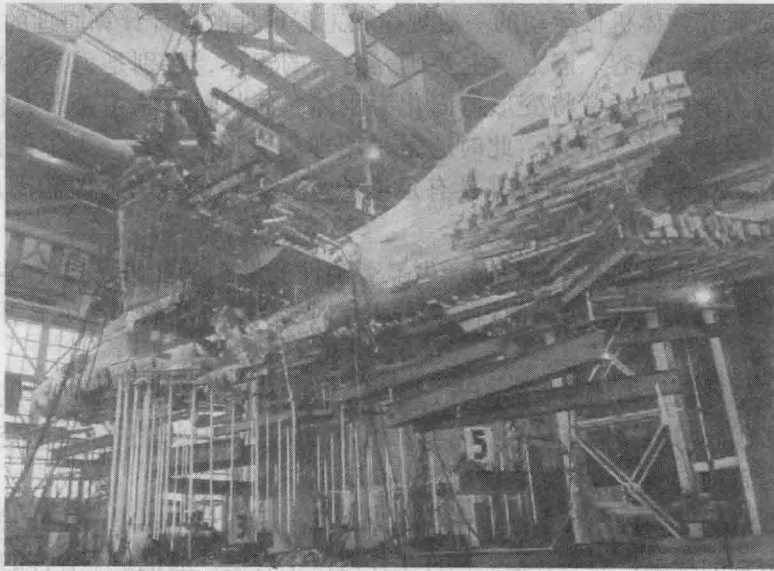


图 0-3 飞机静载试验

3. 计算机方法

现代计算机技术的飞速发展和广泛应用，为工程力学开辟了新的研究方法，使得所能解决的问题要比以前单纯地运用理论分析方法和实验方法广泛得多、深刻得多。现在即使是传统的理论分析方法和实验方法，往往也需要计算机协助完成。比如计算机方法可以帮助推导理论公式，计算机应用专用软件可以进行工程结构计算、分析和设计，计算机还可以采集实验数据和分析实验结果。在工程设计和研究的前沿领域，利用计算机技术可以方便地进行模拟分析和研究。图 0-4 所示为人造骨骼的计算机分析。



图 0-4 人造骨骼的计算机分析

第 1 章 力的概念和物体的受力分析

内 容 提 要

- (1) 力与力系的概念
- (2) 静力学基本公理
- (3) 工程中常见的约束及约束力的分析
- (4) 物体受力分析的基本方法

1.1 力的概念和静力学基本公理

1.1.1 力的概念

1. 力与力的投影

力是物体间的相互机械作用,这种作用使物体的机械运动状态发生变化。力对物体产生的效应一般可分为两个方面:一是物体运动状态的改变,称为力的运动效应;一是物体形状的改变,称为变形效应。

力是矢量,力对物体的作用效果决定于三个要素:力的大小、力的方向和力的作用点,其单位为牛[顿](N)。

在空间直角坐标系中,力可用其在坐标轴上的投影表示为

$$F = F_x i + F_y j + F_z k \quad (1-1)$$

如图 1-1 所示。式(1-1)中, F_x , F_y , F_z 分别为力矢量 F 在 x 轴、 y 轴、 z 轴上的投影,是代数量。

2. 力与力系

作用在物体上的力的集合称为力系。

作用在实际物体上的力系有各式各样。如果力系中力的作用线都分布在同一平面内,则称其为平面力系;如果力系中力的作用线并不都分布在同一平面内,而是呈空间分布的,则称其为空间力系;如果力系中力的作用线都汇交于一点,则称其为汇交力系;如果力系中力的作用线都平行,则称其为平行力系。

使同一刚体产生相同作用效应的力系称为等效力系。作用于刚体、并使刚体保持平衡的力系称为平衡力系,或零力系。

如果某力系与一个力等效,则这一力称为力系的合力,而该力系中的各个力则称为这一合力的分力。

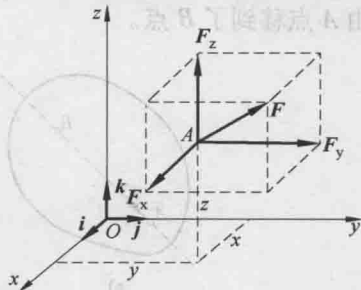


图 1-1 力的直角坐标表示

1.1.2 静力学基本公理

静力学中常用的基本公理有：二力平衡公理、加减平衡力系公理、作用力与反作用力定律和刚化原理。

1. 二力平衡公理

刚体在两个力作用下保持平衡的必要和充分条件是：这两个力沿着同一作用线，大小相等，方向相反，如图 1-2 所示，称为二力平衡公理，即

$$F_1 = -F_2 \quad (1-2)$$

这个公理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。满足二力平衡公理的刚体也称为二力构件或二力体。

2. 加减平衡力系公理

在作用于刚体的力系中，加上或减去任意的平衡力系，不会改变原力系对刚体的作用效应，称为加减平衡力系公理。

加减平衡力系公理是研究力系简化的重要依据。根据上述公理可以导出以下推论：

推论 I：力的可传性原理——作用于刚体上某点的力，可以沿其作用线移到刚体内任意一点，而不改变该力对刚体的作用效应。

设 F 作用于刚体上 A 点，如图 1-3a 所示，根据加减平衡力系公理，可在力的作用线上任一点 B 加上一对大小均为 F 的平衡力 F_1 、 F_2 （见图 1-3b），新力系 (F, F_1, F_2) 与原来的力 F 等效。而 F 和 F_1 为二力平衡的力系，减去后不改变原力系的作用效应（见图 1-3c）。于是，力 F_2 与原力系 F 等效。力 F_2 与力 F 大小相等，作用线和指向相同，只是作用点由 A 点移到了 B 点。

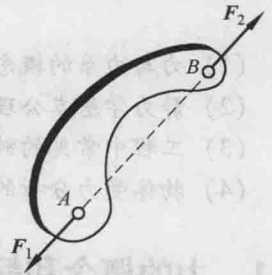


图 1-2 二力构件

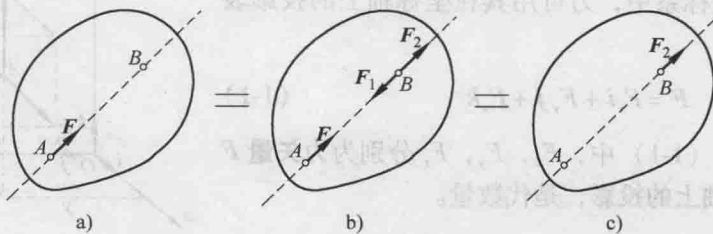


图 1-3 力的可传性原理

由此表明，对于刚体，力的作用点已不是决定力的作用效应的要素，可以为力的作用线代替，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。

推论 II：三力平衡汇交定理——作用于刚体上三个相互平衡的力，若其中两个力的作用线汇交于一点，则三个力必在同一平面内，而且第三个力的作用线一定通过汇交点。

如图 1-4a 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 和 F_2 的作用线或延长线汇交于 O 点，根据力的可传性原理，将 F_1 、 F_2 移到汇交点 O ，如图 1-4b 所示，由力的平行四边形法则得合力 F_{12} ，则有力 F_3 应与 F_{12} 平衡，那么力 F_3 必定与 F_1 和 F_2 共面，且通过力 F_1 与 F_2 的交点 O 。

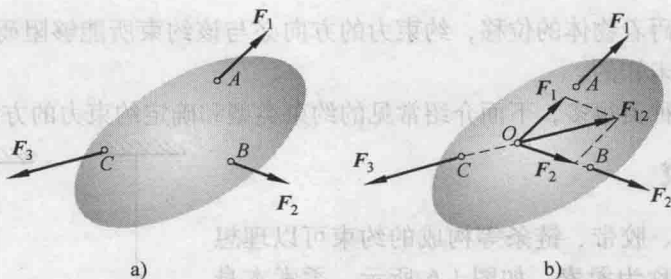


图 1-4 三力平衡汇交定理

3. 作用力与反作用力定律

作用力与反作用力总是同时存在，两个力的大小相等、方向相反，沿着同一作用线，分别作用在两个相互作用的物体上。

这个公理概括了物体间相互作用的关系，表明作用力和反作用力总是成对出现的。

必须强调的是，由于作用力和反作用力分别作用在两个物体上，因此，不能认为作用力与反作用力相互平衡。

4. 刚化原理

变形体在某一力系作用下处于平衡，如将此变形体刚化为刚体，其平衡状态保持不变，称为刚化原理。

这个公理提供了把变形体模型化为刚体的条件。

如图 1-5 所示，绳索在等值、反向、共线的两个拉力作用下平衡，如将绳索刚化为刚性杆，其平衡状态保持不变。但是，绳索在等值、反向、共线的两个压力作用下不能平衡，这时绳索就不能刚化为刚性杆，因为刚性杆在上述两种力系作用下都是平衡的。

由此可见，刚体的平衡条件是变形体平衡的必要条件，而非充分条件。

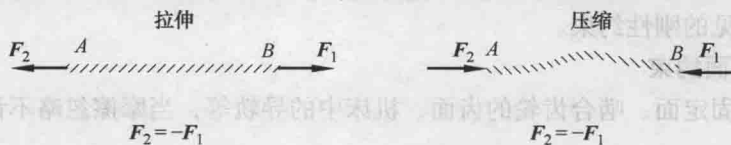


图 1-5 刚化原理

1.2 约束和约束力

作用在物体上的力可分为两类：一类是主动力，例如物体的重力、风力、气体压力等，主动力的作用大小一般是已知的；另一类是约束物体对于被约束物体的约束力。

物体的运动如果没有受到其他物体的直接制约，例如飞行中的飞机、火箭、炮弹等，这类物体在空间的位移不会受任何限制，称为自由体。物体的运动如果受到其他物体的直接制约，例如在地面上行驶的车辆受到地面的制约、桥梁受到桥墩的制约、各种机械中的轴受到轴承的制约等，这类物体在空间的位移受到限制，称为非自由体或受约束体。

对非自由体的某些位移起限制作用的周围物体称为约束。约束对被约束物体的作用力称

为约束力。约束阻碍着物体的位移，约束力的方向必与该约束所能够阻碍的位移方向相反，而约束力的大小是未知的。

工程中约束的种类很多，下面介绍常见的约束类型和确定约束力的方法。

1.2.1 柔性约束

由柔软的缆索、胶带、链条等构成的约束可以理想化为柔性约束，统称为**柔索**。如图 1-6 所示，柔索本身只能承受拉力，因此，这种约束对物体的约束力也只能是拉力，作用在接触点，方向沿着柔索并背离物体。

在图 1-7 所示的带轮传动机构中，带虽然有紧边和松边之分，但两边的带所产生的约束力都是拉力，只不过紧边的拉力要大于松边的拉力。

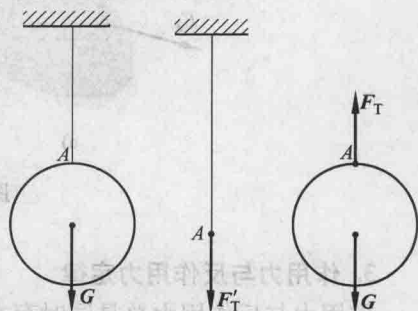


图 1-6 柔性约束

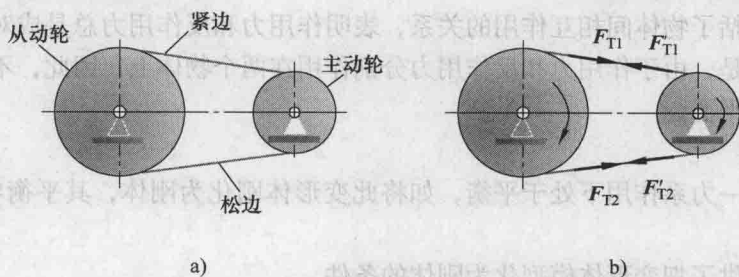


图 1-7 带轮的约束力

1.2.2 刚性约束

若约束物体与被约束物体都是刚体，则二者之间为刚性接触，这种约束称为刚性约束。下面介绍几种常见的刚性约束。

1. 光滑支承面约束

支持物体的固定面、啮合齿轮的齿面、机床中的导轨等，当摩擦忽略不计时，都属于光滑支承面约束。

两个物体的接触面处光滑无摩擦时，约束物体只能限制被约束物体沿接触面公法线并向约束内部方向的运动，而不限制沿接触面公切线方向的运动。因此，光滑支承面约束对物体的约束力作用在接触点处，方向沿着接触面的公法线方向，并指向被约束物体。如图 1-8 所示。

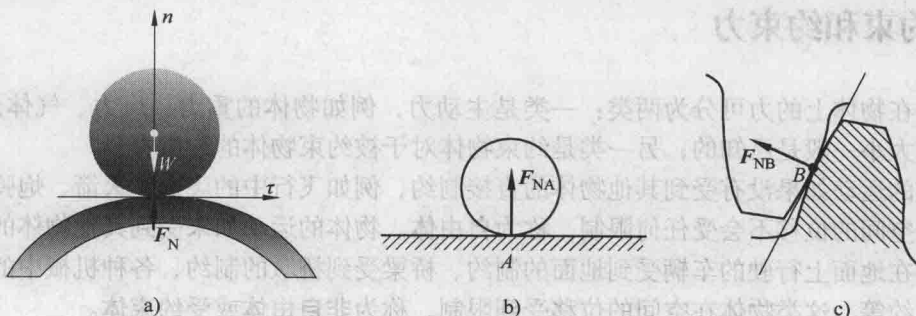


图 1-8 光滑面约束

2. 光滑平面圆柱铰链

如图 1-9 所示, 两个带有销钉孔的构件通过圆柱销钉联接而成, 称为活动铰链, 这时两个相连的构件互为约束与被约束物体。这种联接允许两构件绕销钉轴有相对转动, 而不能有相对移动。在光滑接触情况下, 若将销钉与被约束物体视为一整体, 则其与约束物体之间为线 (销钉圆柱体的母线) 接触, 在平面图形上则为一。由于销钉的圆柱体与圆孔之间有间隙, 接触点的位置随主动力而改变, 约束力通过圆孔中心, 大小和方向均不能确定, 所以通常用两个相互垂直的分量 F_{Ax} 、 F_{Ay} 来表示。

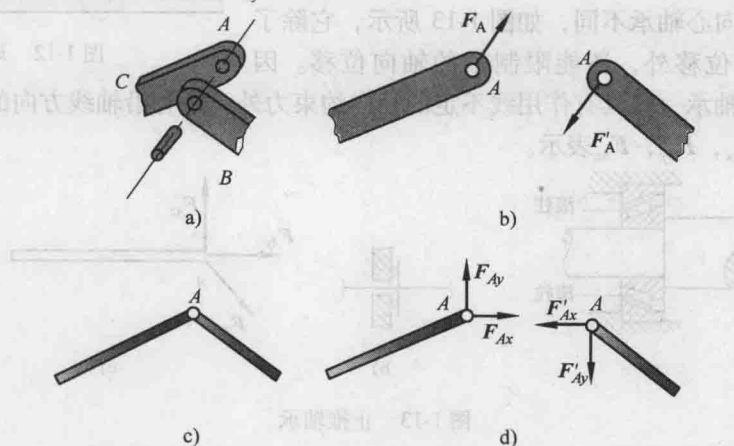


图 1-9 光滑圆柱铰链

在实际工程结构中, 如果铰链联接中有一个固定在地面或机架上作为支座, 则称为固定铰链支座, 如图 1-10 所示。

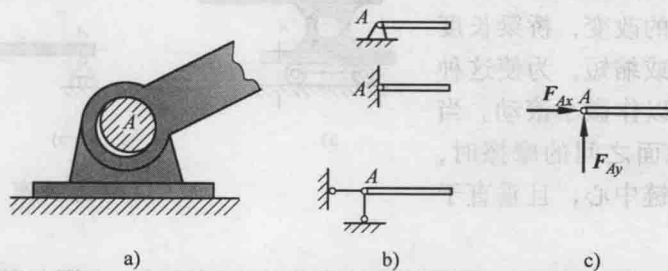


图 1-10 固定铰链支座

支承传动轴的向心轴承, 如图 1-11 所示, 也是一种光滑铰链约束, 轴可在轴承孔内任意转动, 也可沿孔的中心线移动, 但不能沿径向向外移动, 约束力可表示为 F_{Ax} 、 F_{Ay} 。

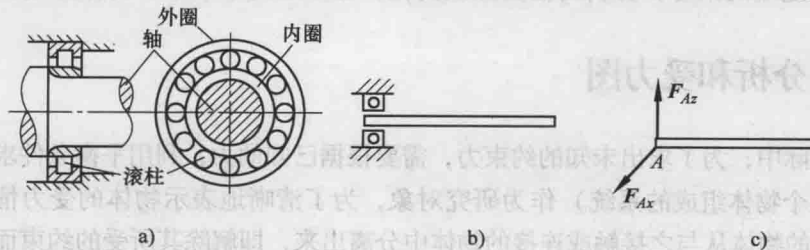


图 1-11 向心轴承

3. 光滑球形铰链

球形铰链简称球铰。如图 1-12 所示，通过圆球与球窝将两个构件连接在一起，这种约束使构件的球心不能有空间任意方向的移动，只能绕球心任意转动。忽略摩擦，与圆柱铰链分析类似，球铰的约束力是通过球心但方向不能预先确定的一个空间力，可用三个正交分量 F_{Ox} 、 F_{Oy} 、 F_{Oz} 表示。

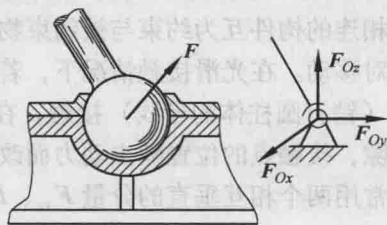


图 1-12 球铰

4. 止推轴承

止推轴承与向心轴承不同，如图 1-13 所示，它除了能限制轴的径向位移外，还能限制轴的轴向位移。因此，除了与向心轴承一样具有作用线不定的径向约束力外，还有沿轴线方向的约束力，可用三个正交分量 F_{Ax} 、 F_{Ay} 、 F_{Az} 表示。

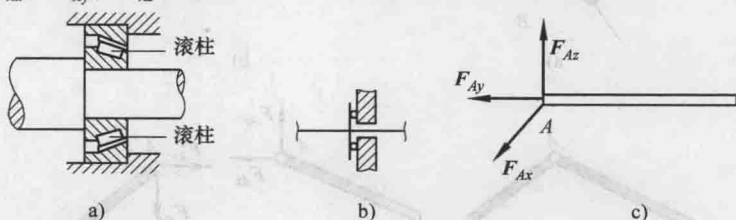


图 1-13 止推轴承

5. 辊轴支座

在桥梁、屋架结构中采用的辊轴支承，如图 1-14 所示，是在铰链支座与光滑支承面之间安装几个辊轴而构成的，可以沿支承面移动。采用这种支承结构，主要是考虑到由于温度的改变，桥梁长度会有一些量的伸长或缩短，为使这种伸缩自由，辊轴可以作微小滚动。当不考虑辊轴与接触面之间的摩擦时，其约束力必通过铰链中心，且垂直于支承面。

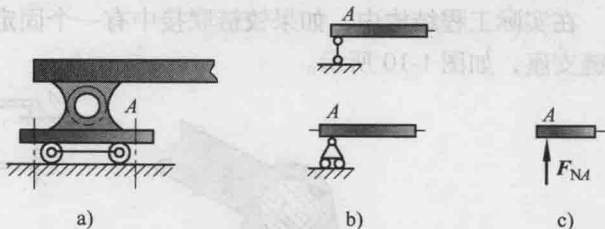


图 1-14 辊轴支座

一般工程结构中的辊轴支承，既限制被约束物体向下运动，也限制其向上运动。因此，约束力 F_N 垂直于接触面，可能指向被约束物体，也可能背离被约束物体。

以上只介绍了几种简单约束，在工程中，约束的类型远不止这些，有的约束比较复杂，比如常见的固定端约束等，分析时需要加以简化，在以后的章节中，再作介绍。

1.3 受力和受力图

在工程实际中，为了求出未知的约束力，需要根据已知的力，利用平衡条件求解。选择某一物体（或几个物体组成的系统）作为研究对象，为了清晰地表示物体的受力情况，需要假想地将所研究的物体从与之接触或连接的物体中分离出来，即解除其所受的约束而代之以相应的约束力。解除约束后的物体称为分离体。分析作用在分离体上的全部主动力和约束力，画出

每个力的作用位置和力的作用方向，称为分离体的受力图。这种分析过程称为受力分析。

当选择若干个物体组成的系统作为研究对象时，作用于系统上的力可分为两类：系统外的物体作用于系统内的物体上的力——外力，系统内物体间的相互作用力——内力。应该指出，内力和外力的区分不是绝对的，内力和外力，只有相对于某一确定的研究对象才有意义。由于内力总是成对出现的，不会影响所选择的研究对象的平衡状态，因此，在受力图上不必画出。此外，当所选择的研究对象不止一个时，要正确应用作用力与反作用力定律，确定相互联系的研究对象在同一约束处的约束力应该大小相等、方向相反。

例 1-1 杆 AB 受重力 W 作用，如图 1-15a 所示，所有接触处均为光滑接触，试画出其受力图。

解：(1) 取分离体：解除 AB 杆约束，即将 AB 杆从图 1-15a 中取出，其分离体如图 1-15b 所示。

(2) 画出主动力：在图 1-15b 所示的分离体上画上主动力 W 。

(3) 分析约束类型，画出约束力： AB 杆在 A 、 D 处为光滑面约束，在 E 处为柔性约束。由于杆在 A 、 D 光滑面接触处约束力沿其公法线方向，因此，在 D 处约束力 F_{ND} 垂直于杆的表面；在 A 处约束力 F_{NA} 垂直于与杆接触的约束表面。在 E 处柔性约束的约束力 F_T 应沿柔体的方向，并且为拉力。

于是 AB 杆的受力图如图 1-15b 所示。

例 1-2 平面承重支架如图 1-16a 所示，在 C 点上作用荷载 F_P ，若不计各杆件的重力，试分别画出杆 AC 和 BD 的受力图。

解：(1) BD 杆的受力图：在不计自重的情况下， BD 杆仅在 B 、 D 两处受约束力， BD 杆又处于平衡状态，因此， BD 杆为二力构件（即二力杆），所以 B 、 D 两端的受力一定沿着 B 、 D 的连线方向。于是， BD 杆的受力图如图 1-16c 所示，而且 B 点和 D 点的约束力 F_B 和 F_D 满足 $F_D = -F_B$ 的关系。

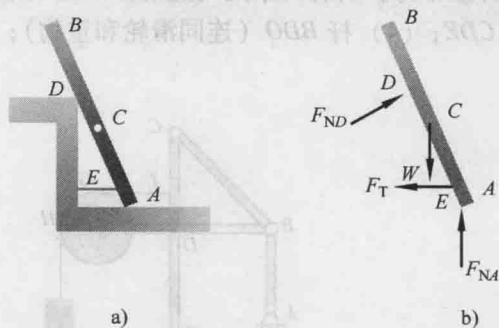


图 1-15 例 1-1 图

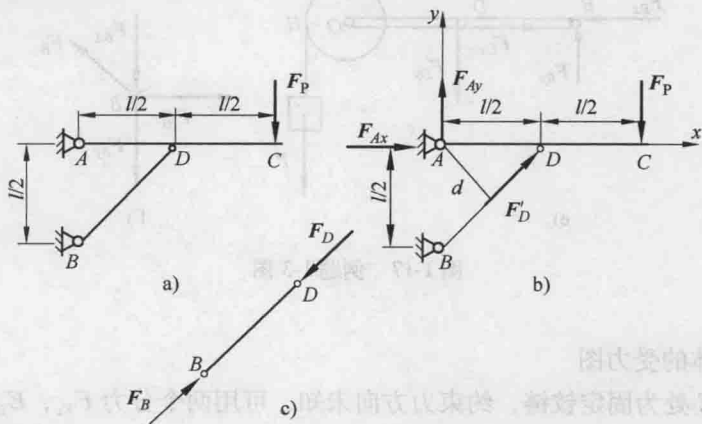


图 1-16 例 1-2 图