

21 世纪普通高等院校规划教材

GONGCHENG LIXUE

工程力学

陈国平 陶俊林 主编



西南交通大学出版社
[Http://press.swjtu.edu.cn](http://press.swjtu.edu.cn)

21 世纪普通高等院校规划教材

工 程 力 学

陈国平 陶俊林 主编

西南交通大学出版社
· 成 都 ·

内 容 提 要

本书共 14 章, 其中静力学 3 章, 动力学 2 章, 材料力学 9 章。静力学部分阐述了静力学的基本概念、物体及物体系统的受力分析、力系的简化和计算方法, 具体涉及的内容有平面力系、空间力系和力偶系的理论和问题。动力学部分包括动力学的三个基本定理, 即动量定理、动量矩定理、动能定理的理论和应用, 以及动静法的理论和应用。材料力学部分包括拉伸和压缩、剪切和挤压、扭转、弯曲、强度理论、组合变形和压杆稳定的内容, 详细阐述了这些内容的理论和工程应用问题。教材的每一章后面都有小结、思考题、习题和习题答案。

本书可作为普通高等院校工科类专业的教材和教学参考书, 并可供工程技术人员参考。

图书在版编目 (C I P) 数据

工程力学 / 陈国平, 陶俊林主编. — 成都: 西南交通大学出版社, 2009.7

21 世纪普通高等院校规划教材

ISBN 978-7-5643-0332-7

I. 工… II. ①陈…②陶… III. 工程力学—高等学校—教材 IV. TB12

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2009) 第 131719 号

21 世纪普通高等院校规划教材

工 程 力 学

陈国平 陶俊林 主编

*

责任编辑 孟苏成

封面设计 本格设计

西南交通大学出版社出版发行

(成都二环路北一段 111 号 邮政编码: 610031 发行部电话: 028-87600564)

<http://press.swjtu.edu.cn>

成都蓉军广告印务有限责任公司印刷

*

成品尺寸: 185 mm × 260 mm 印张: 24.375

字数: 607 千字 印数: 1—3 000 册

2009 年 8 月第 1 版 2009 年 8 月第 1 次印刷

ISBN 978-7-5643-0332-7

定价: 39.80 元

图书如有印装质量问题 本社负责退换
版权所有 盗版必究 举报电话: 028-87600562

前 言

本书是“21 世纪普通高等院校规划教材”系列教材之一——《工程力学》。该书的编写工作由西南科技大学土木工程与建筑学院的工程力学系承担，本教材项目的编写负责人是陈国平和张怀红。

本书根据培养应用型人才的教学需要，结合目前学生状况，以及培养人才的规格，由西南科技大学组织有多年教学经验和丰富教学实践经验的教师编写。本书编写的指导思想是使教材内容、习题难度等符合应用型教学需要，培养面向 21 世纪的工程师以及新技术开发人员。

在基础理论知识选择上，本着以够用为度，坚持基本理论为主的原则，不过多地强调理论推导，主张掌握基本原理，并辅之相应的例题、习题加深学生的理解，并将每一章的习题答案附在相应的章后，方便学生参考，并易于核对和掌握。

本书结合工程实际的应用，注重与同类教材的区别，突出理论与实践相结合，着重培养学生综合运用知识的能力、动手能力和创新精神。

本书共 14 章，其中静力学 3 章，动力学 2 章，材料力学 9 章。静力学部分阐述了静力学的基本概念、物体及物体系统的受力分析、力系的简化和计算方法，具体涉及的内容有平面力系、空间力系和力偶系的理论和问题。动力学内容包括动力学的三个基本定理，即动量定理、动量矩定理、动能定理的理论和应用，以及动静法的理论和应用。材料力学部分包括拉伸和压缩、剪切和挤压、扭转、弯曲、强度理论、组合变形和压杆稳定的内容，详细阐述了这些内容的理论和工程应用问题。教材的每一章后面都有小结、思考题、习题和习题答案。

本书参考了大量国内发行的同类教材，并已一一列于书后，在此，谨向这些教材的作者致以谢意。本书由西南科技大学的陈国平、陶俊林、赵明波、韩志型、郑旭、朱国权、张怀红老师共同编写完成，其中朱国权编写了第 1 章、第 2 章和第 4 章；郑旭编写了第 3 章；陶俊林编写了第 5 章和第 6 章；赵明波编写了第 7 章、第 8 章和第 9 章；韩志型编写了第 10 章、第 11 章和第 12 章；第 13 章和第 14 章，以及内容提要、前言、全书的审稿和修改由陈国平最后完成，张怀红老师在该教材的组织申报方面做了大量的工作，并给教材的编写提出了很多好的建议。

由于编写时间仓促及编者水平所限，书中难免有不当和欠妥之处，恳请读者批评指正。

编 者

2009 年 5 月

目 录

第 1 章 静力学的基本概念	1
1.1 静力学基本概念	1
1.2 静力学公理	2
1.3 约束与约束力	4
1.4 物体的受力分析	7
本章小结	9
思考题	9
习 题	10
第 2 章 平面力系	12
2.1 平面汇交力系	12
2.2 平面力偶系	17
2.3 平面一般力系	21
2.4 工程中的平面力系问题	25
本章小结	33
思考题	34
习 题	35
习题答案	39
第 3 章 空间力系	40
3.1 力在空间坐标轴上的投影	40
3.2 力对轴之矩	41
3.3 空间力系的简化	44
3.4 空间力系的平衡	49
3.5 工程中的空间力系问题	50
本章小结	56
思考题	58
习 题	58
习题答案	64
第 4 章 轴向拉伸和压缩	65
4.1 材料力学相关问题	65
4.2 轴向拉(压)杆的内力和轴力图	67
4.3 轴向拉(压)杆的应力	70
4.4 轴向拉伸和压缩变形的计算	73
4.5 轴向拉伸和压缩时材料的力学性能	77

4.6 轴向拉伸和压缩时构件的强度条件	81
4.7 应力集中的概念	82
4.8 应变能的概念 功能原理	83
4.9 拉伸和压缩静不定问题	86
本章小结	88
思考题	88
习 题	89
习题答案	95
第 5 章 剪切和挤压	97
5.1 工程问题	97
5.2 剪切实用计算	101
5.3 挤压实用计算	105
5.4 焊缝实用计算	109
本章小结	110
思考题	111
习 题	111
习题答案	117
第 6 章 扭 转	118
6.1 工程问题	118
6.2 扭转构件横截面上的内力	120
6.3 剪应力互等定理	122
6.4 圆轴扭转时的应力和变形	124
6.5 圆轴扭转时的强度和刚度条件	129
6.6 扭转变形能	135
6.7 扭转静不定问题	137
本章小结	140
思考题	141
习 题	142
习题答案	148
第 7 章 弯曲内力	150
7.1 概 述	150
7.2 剪力与弯矩	152
7.3 剪力图和弯矩图	156
7.4 弯矩、剪力与载荷集度间的微分关系	162
7.5 叠加法作梁的内力图	167
7.6 其他结构的内力计算	169
本章小结	172
思考题	173

习 题	174
习题答案	181
第 8 章 弯曲应力	183
8.1 引 言	183
8.2 平面图形的几何性质	184
8.3 弯曲正应力	190
8.4 梁的弯曲正应力强度计算	195
8.5 梁的切应力及其强度计算	200
8.6 提高梁弯曲强度的措施	206
本章小结	210
思考题	212
习 题	213
习题答案	220
第 9 章 弯曲变形	221
9.1 弯曲变形的概念	221
9.2 梁的挠曲线近似微分方程	222
9.3 用二次积分法计算梁的变形	224
9.4 用叠加法计算梁的变形	229
9.5 梁的刚度校核	233
9.6 简单超静定梁	233
9.7 提高梁抗弯刚度的措施	238
本章小结	239
思考题	240
习 题	240
习题答案	248
第 10 章 应力状态与强度理论	251
10.1 应力状态的概念	251
10.2 平面应力状态分析——解析法	253
10.3 平面应力状态分析的图解法——莫尔应力圆及其应用	259
10.4 空间应力状态及广义胡克定律	263
10.5 强度理论	269
本章小结	276
思考题	278
习 题	279
习题答案	283
第 11 章 组合变形	284
11.1 组合变形概述	284

11.2 斜弯曲	285
11.3 弯曲与拉伸(压缩)组合变形	291
11.4 弯曲与扭转组合变形	298
本章小结	301
思考题	303
习 题	303
习题答案	308
第 12 章 压杆稳定	309
12.1 工程中的稳定问题	309
12.2 细长压杆的临界压力	310
12.3 欧拉公式的适用范围 中小柔度杆的临界应力	314
12.4 压杆的稳定性计算	319
12.5 提高压杆稳定性的措施	323
本章小结	323
思考题	324
习 题	326
习题答案	330
第 13 章 动力学基本定理	331
13.1 动量定理	331
13.2 动量矩定理	333
13.3 动能定理	338
本章小结	347
思考题	348
习 题	349
习题答案	354
第 14 章 动静法	356
14.1 达朗贝尔原理	356
14.2 刚体惯性力系的简化	359
本章小结	366
思考题	366
习 题	366
习题答案	370
附录 型钢表	372
参考文献	381

第 1 章 静力学的基本概念

1.1 静力学基本概念

静力学研究受力系作用处于平衡状态的物体系统。这里的力系 (forces system) 指作用在同一物体或同一物体系统上的一组力。而力 (force) 是物体间的相互作用, 这种作用使物体的运动状态发生变化——**运动效应** (effect of motion), 或使物体发生变形——**变形效应** (effect of deformation)。**平衡状态**指相对于惯性参考系静止或作匀速直线运动的状态。**物体系统**在静力学中往往首先简化为各种力学模型, 如质点、刚体、刚体系统、变形体及一般质点系。所谓**模型**指对实际物体与实际问题的合理抽象与简化。**静力学模型**包括三个方面的内容, 即物体的合理抽象与简化、受力的合理抽象与简化、接触与连接方式的合理抽象与简化。

在实际工程构件受力后, 几何形状和几何尺寸都要发生改变, 这种改变称为**变形** (deformation), 这些构件都称为**变形体** (deformation body)。当研究构件的受力时, 在很多情况下, 变形都比较小, 对构件的运动和平衡影响甚微, 由此, 在工程静力学中, 可以忽略这种微小变形, 将变形体抽象简化为不变形的**刚体** (rigidity body)。刚体指在外界的任何作用下其形状和大小都始终保持不变的物体, 或者在力的作用下, 其任意两点间的距离保持不变的物体。如果变形体在某一力系作用下处于平衡, 则忽略变形, 将实际变形体抽象为刚体, 其平衡不变, 这一论断称为**刚化原理** (rigidity principle)。刚体是一个理想化的模型。

物体受力一般是通过物体间直接或间接接触进行的, 按作用方式可分为超距力和接触力两类, 如通过场起作用的重力和电磁力等为超距力, 而通过物体间相互接触而起作用的摩擦力和压力等为接触力; 按作用位置可分为**分布力** (distributed force) 和**集中力** (concentrated force) 两类, 分布力又可分为体积力和表面力。体积力作用于物体内部的各个质点, 如重力; 表面力作用于物体表面, 如压力。分布力的分布强度可以用单位体积和单位面积所受力的的大小来度量, 称为**载荷集度**, 常用单位为 MN/m^3 和 MN/m^2 (MPa)。在接触处, 一般不是一个点, 而是具有一定面积的一个面, 因此无论是施力体还是受力体, 在接触面受到的力都是作用在接触面积上的分布力。如果分布力的作用区域远小于物体的尺寸, 例如汽车轮胎对路面的压力, 凳子的四根腿对地面的压力等, 虽然力的作用范围是一个面, 但是从整体上考虑, 为了方便计算, 可以简化为作用于一点, 称为**集中力**, 常用单位有 N, kN, MN。如果表面力作用在一个很狭窄的区域内, 则可简化为**线力**, 其单位有 N/m, kN/m, MN/m 等。按力作用的性质, 还可以分为静载荷和动载荷。静载荷是缓慢地施加于物体上, 由零逐渐增加至某一确定的值并不再改变的力, 如将铁锤轻放于玻璃表面上, 此时施加的力就是静载荷; 动载荷又可分为冲击载荷和交变载荷, 前者是在短时间内力从零快速增加至最大值, 如钉锤砸东西施加的力, 后者的大小或方向随时间作周期性的改变, 并多次重复地作用在物体上, 如内

燃机中连杆因活塞往复运动而受到的力。在本课程中，主要讨论静载荷问题。

1.2 静力学公理

公理指的是人们在生活和生产实践中长期积累的经验总结，又经过实践反复检验，被确认是符合客观实际的最普遍、最一般的规律。

公理 1 力的平行四边形法则

力是矢量，其量纲为牛顿 (N)。作用在物体上同一点的两个力，可以合成为一个合力。合力的作用点也在该点，合力的大小和方向，由这两个力为边构成的平行四边形的对角线来确定，如图 1.1 (a) 所示。或者说，合力矢等于这两个力矢的几何和，即

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

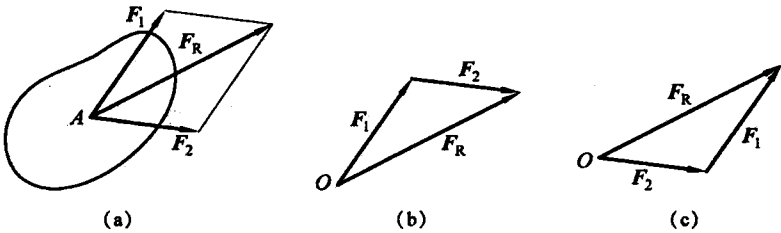


图 1.1 力的合成

也可作一力三角形，来求两汇交力合力的大小和方向，如图 1.1 (b)、(c) 所示。该公理是复杂力系简化的基础。

公理 2 二力平衡原理

不计自重的刚体在二力作用下平衡的必要和充分条件是：二力沿着同一作用线，大小相等，方向相反，称为二力平衡原理，即

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

作用有二力的刚体称为二力构件或二力杆，如图 1.2 所示即为二力平衡构件。

该公理表明了作用于刚体上最简单力系平衡时所必须满足的条件。

公理 3 加减平衡力系原理

作用于刚体的力系中，加上或减去任意个平衡力系，不改变原力系对刚体的作用效应，称为加减平衡力系原理。

该原理是力系简化的重要依据之一。

根据上述公理可以导出下列推理：

推理 1 力的可传性定理

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

设 $\mathbf{F}$ 为作用于刚体上 A 点的已知力，如图 1.3 (a) 所示，在力的作用线上任意一点 B 增加一对大小均为 F 的平衡力 $\mathbf{F}_1, \mathbf{F}_2$ ，见图 1.3 (b)，根据加减平衡力系原理，新力系 ($\mathbf{F}$ ，

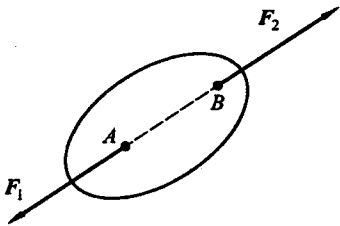


图 1.2 二力平衡

F_1, F_2) 与原来的力 F 等效。而 F 和 F_1 为平衡力系，减去后不改变力系的作用效应，见图 1.3 (c)。于是力 F_2 与原力系 F 等效，即相当于原来的力 F 沿其作用线滑移到了 B 点。

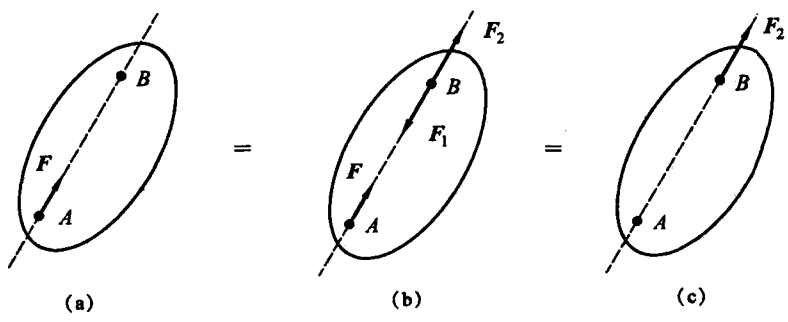


图 1.3 力的可传性

可见，对于刚体来说，力的作用点已不是决定力的作用效应的要素，而是作用线。因此作用于刚体上的力的三要素 (three elements of a force) 是：力的大小、方向和作用线。

作用于刚体上的力可以沿着作用线移动，这种矢量称为滑动矢量 (sliding vector)。

推理 2 三力平衡汇交定理

作用于刚体上的三个力，若构成平衡力系，且其中两个力的作用线汇交于一点，则第三个力必在同一平面内，且其作用线必通过汇交点，如图 1.4 所示。

图 1.5 (a) 所示吊车结构的 BC 杆和 AB 梁为二力平衡和三力汇交的实例。其中的直杆 BC ，如果是平衡的，杆两端的约束力 F'_{RC} 和 F'_{RB} 必然大小相等、方向相反，并且同时沿着同一直线作用，如图 1.5 (b) 所示。梁 AB 在三个力的作用下保持平衡，且 F_{RB} 和 W 的延长线必然会汇交于一点，因此满足三力汇交的条件，如图 1.5 (c) 所示。

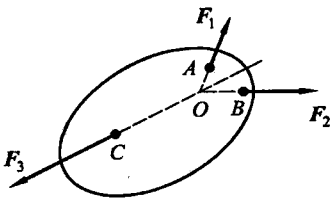


图 1.4 三力汇交

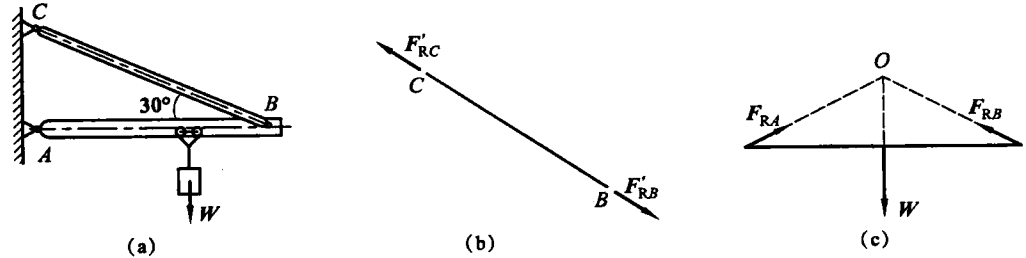


图 1.5 三力汇交例子

需要注意一点，对于只能受拉不能受压的柔性体，上述二力平衡的充要条件是不成立的，如图 1.6 (a) 所示的绳索，当两端受拉时，如果保持平衡，则 $F_1 = -F_2$ ；如果两端受压时，见图 1.6 (b)，即使 $F_1 = -F_2$ ，绳索并不能保持平衡。

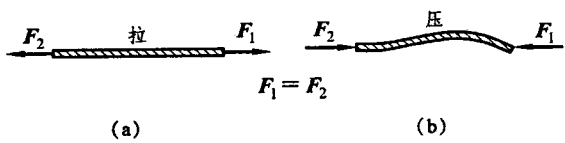


图 1.6 受拉 (压) 绳索

1.3 约束与约束力

对于空中飞行的飞机、子弹和火箭等，它们在空间的位移不受任何限制，这种位移不受限制的物体称为**自由体 (free body)**。对于某些物体，如机车，其运动受铁轨的限制，只能沿轨道运动；再如被吊起的重物，只能由钢索吊住，不能下落。这类位移受到限制的物体称为**非自由体或受约束体 (constrained body)**。对非自由体的某些位移起限制作用的周围物体称为**约束 (constraint)**。例如铁轨对机车，钢索对重物等，都是约束 (constraint)。

约束是接触和连接方式的简化模型，其作用是对与之连接物体的运动施加一定的限制条件。如地面限制车辆在地面运动；桥墩限制桥梁的运动，使之保持固定的位置。从力学角度来看，约束对物体的作用实际上就是力，这种力称为**约束力 (constraint force)**，因此约束力的方向必与该约束所能阻碍的位移方向相反。应用这个准则，可以确定约束力的方向或作用线的位置。对于约束力的大小，在静力学中可通过和其他已知力组成平衡力系，通过方程进行求解。

作用在物体上的力大致可分为两大类，即主动力和约束力。约束力为约束施加物体的力，约束力之外的力称为主动力 (active force) 或载荷 (loads)。如重力、风力、弹簧力、电磁力等均属于载荷。

下面介绍几种在工程中常见的约束类型和确定约束力方向的方法。

1.3.1 刚性光滑面约束

约束体与被约束体都是刚体，因而两者之间为刚性接触，这种约束称为刚性约束。如果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二者接触面公法线方向的运动，而不能限制沿接触面切线方向的运动。这种约束称为**光滑面约束 (smooth surface constraint)**。

例如，支持物体的固定面 (见图 1.7)，啮合齿轮的齿面 (见图 1.8)，滑槽与销钉 (见图 1.9)，如摩擦忽略不计时，都属于这类约束。

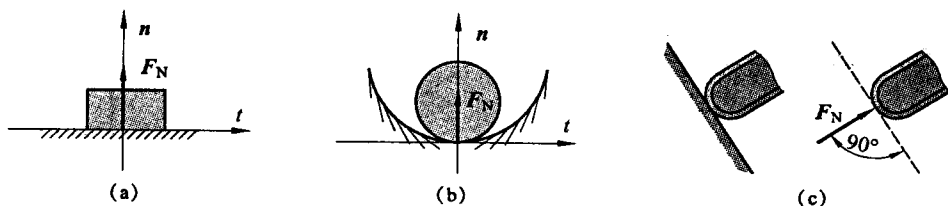


图 1.7 固定面的约束

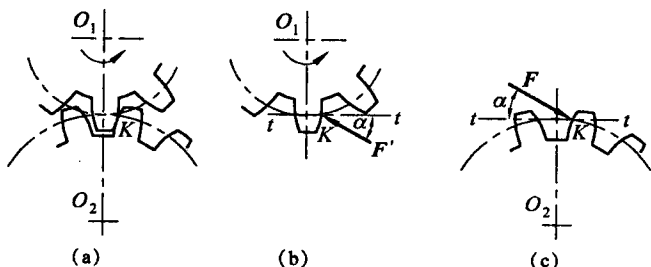


图 1.8 啮合齿轮的齿面约束

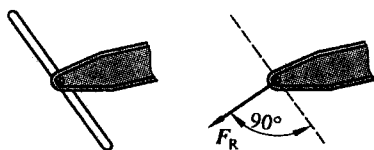


图 1.9 滑槽与销钉约束

对这类约束，其约束力作用在接触点处，其方向只能沿接触面的公法线方向，并指向被约束物体（单侧约束）。

桥梁、屋架结构中采用的辊轴支承（又称为辊轴支座）也是一种光滑面约束，如图 1.10 (a) 所示就是采用这种约束，主要考虑到温度改变时桥梁的长度会有一定量的伸长或缩短，为了使这种伸缩自由，辊轴可以沿伸缩方向前后作微小的滚动。当不考虑辊轴与接触面之间的摩擦时，辊轴支承实际上是光滑面约束。其简图和约束力方向如图 1.10 (b) 所示。

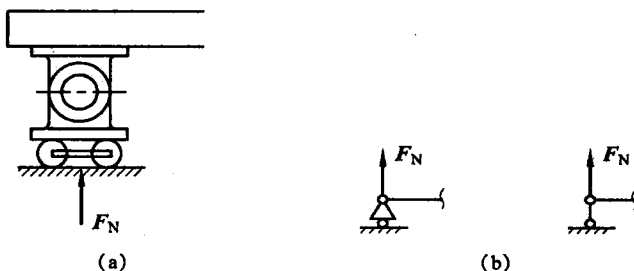


图 1.10 辊轴支承约束

1.3.2 绳索、链条及胶带约束

绳索吊住重物时，由于柔软的绳索本身只能承受拉力，所以它给物体的约束力也只可能是拉力，如图 1.11 所示其作用点在接触点，方向沿着绳索背离物体。对链条或胶带，同样是只能承受拉力的柔索，当它们绕在轮子上时，对轮子的约束力沿轮缘的切线方向，如图 1.12 所示。



图 1.11 绳索约束



图 1.12 链条约束

1.3.3 刚性光滑铰链约束

这类约束有光滑圆柱铰链约束、球形铰链约束、向心轴承约束、止推轴承约束等。

1. 光滑圆柱铰链约束

光滑圆柱铰链又称为柱铰，或者简称为铰链，若约束物体为固定支座，则又称为固定铰（链）支座。其结构简图如图 1.13 所示，约束与被约束物体通过销钉连成一体。这种连接方式的特点是限制了被约束物体，使其只能绕销钉轴转动，而不能移动。

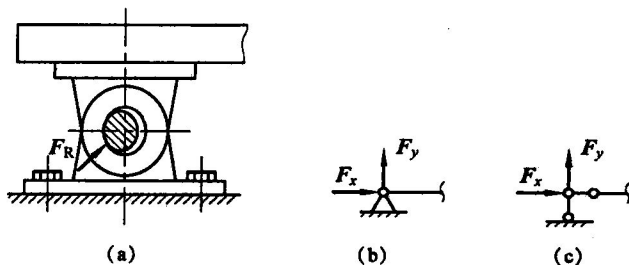


图 1.13 光滑圆柱铰链约束

若将销钉与被约束物体视为一整体，则与其约束物体（固定支座）之间为线（销钉圆柱体的母线）接触，在平面图形上则为一。接触线（或点）的位置随载荷的方向而改变，因此在光滑接触的情况下，这种约束的约束力通过圆孔中心，其大小和方向均不确定，通常用分量表示。在平面问题中，这些分量分别为 F_x 、 F_y ，即 $F_R = (F_x, F_y)$ 。这种约束的符号如图 1.13 (b) 和图 1.13 (c) 所示。

支承传动轴的向心轴承，如图 1.14 (a) 所示，也是一种固定铰支座约束，其力学符号如图 1.14 (d) 所示。

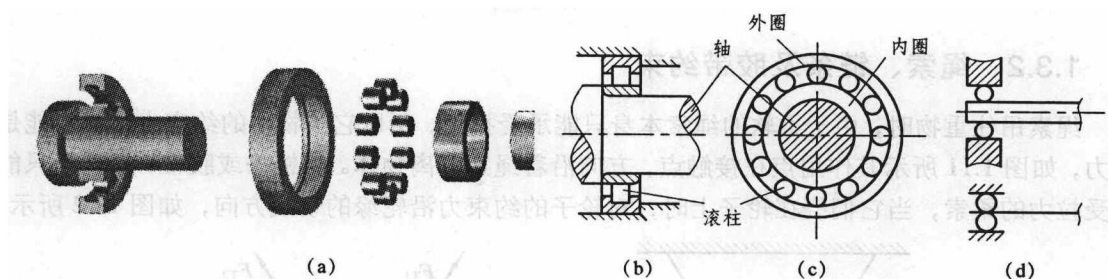


图 1.14 向心轴承约束

在实际工程结构中，经常有两个构件通过铰链连接起来，这种铰链称为活动铰链，其结构简图如图 1.15 (a) 所示。这是两个相连的构件互为约束与被约束物体，其约束力与固定铰支座相似，如图 1.15 (b) 所示，图 1.15 (c) 所示为该铰链的力学符号。

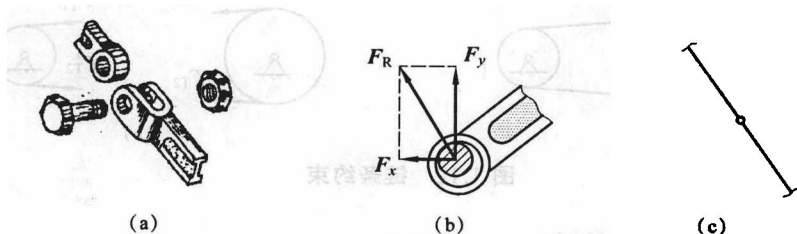


图 1.15 活动铰链约束

2. 球形铰链约束

球形铰链简称球铰，它是通过圆球和球壳将两个构件连接在一起，如图 1.16 (a) 所示。它使构件的球心不能有任何位移，但可绕球心任意转动。若忽略摩擦，其约束力应是通过接触点与球心，但方向不能预先确定的一个空间法向约束力，可用三个正交分力 F_{Rx} 、 F_{Ry} 、 F_{Rz} 表示，如图 1.16 (b) 所示。其力学符号如图 1.16 (c) 所示。

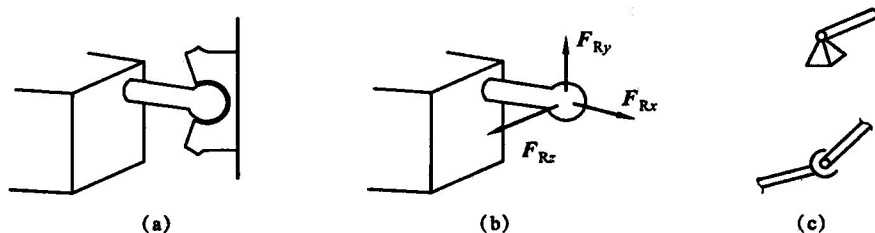


图 1.16 球形铰链约束

3. 止推轴承约束

图 1.17 (a) 所示的止推轴承，除了与向心轴承一样具有作用线不定的径向约束力外，由于限制了轴的轴向运动，因而还有沿轴线方向的约束力，如图 1.17 (c) 所示。其力学符号如图 1.17 (d) 所示。

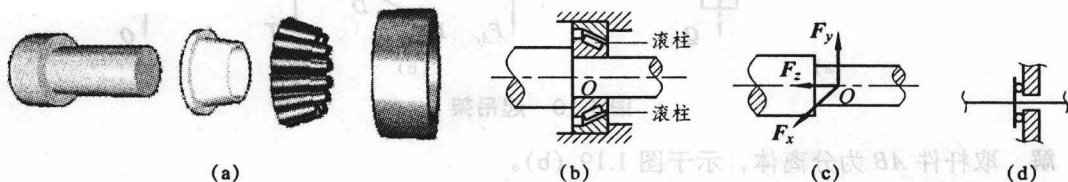


图 1.17 止推轴承约束

工程中还有一种常见的固定端约束，如图 1.18 (a) 所示。其约束力分布比较复杂，一般加以简化，如图 1.18 (b) 所示。除了水平方向和竖直方向上有约束力，还受到一个约束力偶的作用。



图 1.18 固定端约束

1.4 物体的受力分析

在工程实际中，为了求出未知的约束力，需要根据已知力，应用平衡条件求解。为此，首先要确定构件受了几个力，每个力的作用位置和力的作用方向，这种分析过程称为物体的受力分析。

进行受力分析时，一般先选择某一物体（或几个物体组成的系统）作为分析研究对象，并假想将所研究的物体从与之接触或连接的物体中分离出来，即解除其所受到的约束而用相应的约束力来代替。

解除约束后的物体，称为研究对象或分离体。单独画出分离体的简图，然后分析分离体上受到的作用力（包括主动力和约束力），并在分离体的简图上全部画出来。这种表示物体受力的简明图形，称为受力图。该过程即为受力分析，是解决静力学问题的一个重要步骤。

具体过程如下：

根据需要选定合适的研究对象，确定分离体。

画出所有作用在分离体上的主动力（一般为已知力）。

在分离体的所有约束处分析约束的性质，画出相应的约束力。

例题 1.1 由杆件 AB 和 CD 组成的起吊架起吊重量为 Q 的重物，如图 1.19 (a) 所示。不计杆件自重，试作杆件 AB 的受力分析。

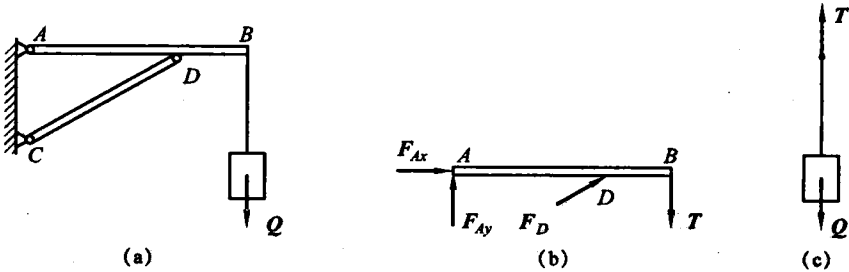


图 1.19 起吊架

解 取杆件 AB 为分离体，示于图 1.19 (b)。

杆 AB 上没有主动力。

A 点为固定铰支座，约束力可分解为二垂直分力 F_{Ax} 、 F_{Ay} ，二力的指向是假定的。

D 点为铰链连接，因 CD 杆是二力杆，故铰 D 处的约束力作用线沿杆 CD ，其指向可随意假定。

B 处为柔索约束，约束力为绳索的拉力 T 。从重物的受力图上，由二力平衡条件及作用力与反作用力可知 $T=Q$ 。如图 1.19 (c) 所示。

杆 AB 的受力图如图 1.19 (b) 所示。

例题 1.2 如图 1.20 (a) 所示的结构中，构件 AB 重为 P_1 ， BC 重 P_2 ， BC 上受载荷 F 的作用，试画出 AB ， BC 及整体结构的受力图。

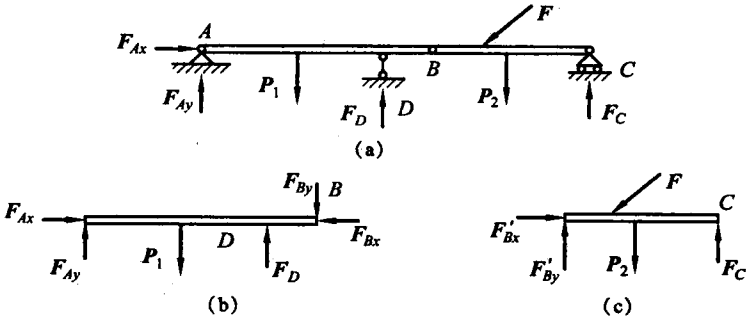


图 1.20 某受力结构

解 先取 AB 为分离体。所受主动力是重力 P_1 。在固定铰支座 A 处受到约束力为 F_{Ax} , F_{Ay} 。在链杆支座 D 处受到的约束力为 F_D 。杆 BC 通过铰 B 和 BC 连接, 因此在铰 B 处受到 BC 杆对其的约束力 F_{Bx} , F_{By} 。受力图如图 1.20 (b) 所示, 图中各约束力方向的指向都是假定的。

再取 BC 为分离体, 所受主动力为载荷 F 和自身重力 P_2 。所受约束力有滚动支座 C 对其的约束力 F_C ; 杆 AB 通过铰 B 对杆 BC 施加的约束力为 F'_{Bx} 和 F'_{By} , 它们分别是 F_{Bx} 和 F_{By} 的反作用力, 其方向分别与 F_{Bx} 和 F_{By} 相反。受力图如图 1.20 (c) 所示。

最后取整体为分离体, 同样的方法进行分析, 画出受力图如图 1.20 (a) 所示。

注意, 在整体的受力图中, 铰 B 处的力并未在受力图中画出。此时铰 B 处受到的力属于内力, 是成对出现的平衡力, 故在整体受力图中不必画出。

分离体内各部分之间的相互作用力, 称为内力。分离体外的其他物体对分离体的作用力, 称为外力。受力图上只画外力, 不画内力。内力与外力的区分是相对的, 根据研究对象选择的不同而改变。

在进行受力分析时, 需要注意以下几点:

- (1) 必须明确研究对象。是由单个还是多个组成, 不同对象的受力图不同。
- (2) 正确确定研究对象受力的数目。先画主动力再画约束力。
- (3) 正确画出约束力。凡是研究对象和外界接触的地方, 都可能存在约束力。
- (4) 当分析的物体之间存在相互的作用力时, 应遵循作用力与反作用力的关系。

本章小结

1. 力和刚体的概念是最基本的力学概念, 它们是概括了一般事物的某种本质特征而抽象化形成的。

2. 静力学公理是力学的基本常识。

公理 1 给出了力合成的几何法。

公理 2 给出了一物体上两个力应满足的平衡条件。

公理 3 给出了刚体上力系等效变换的一种基本形式。

3. 约束是对物体间的相互作用的形式的归纳和抽象化。

4. 物体的受力分析是本课程中重要的第一个基本训练。

思考题

1-1 以下说法对吗? 为什么?

(1) 处于平衡状态的物体就可视为刚体。

(2) 变形微小的物体就可视为刚体。

1-2 为什么说二力平衡条件、加减平衡力系原理合力的可传性等只能适用于刚体?

1-3 观察日常生活和工程实际中的各种约束, 并分析其约束力的特征。它们分别可归为哪种约束类型?

1-4 凡两端用铰链连接的杆都是二力杆吗? 凡不计自重的刚性杆都是二力杆吗?