



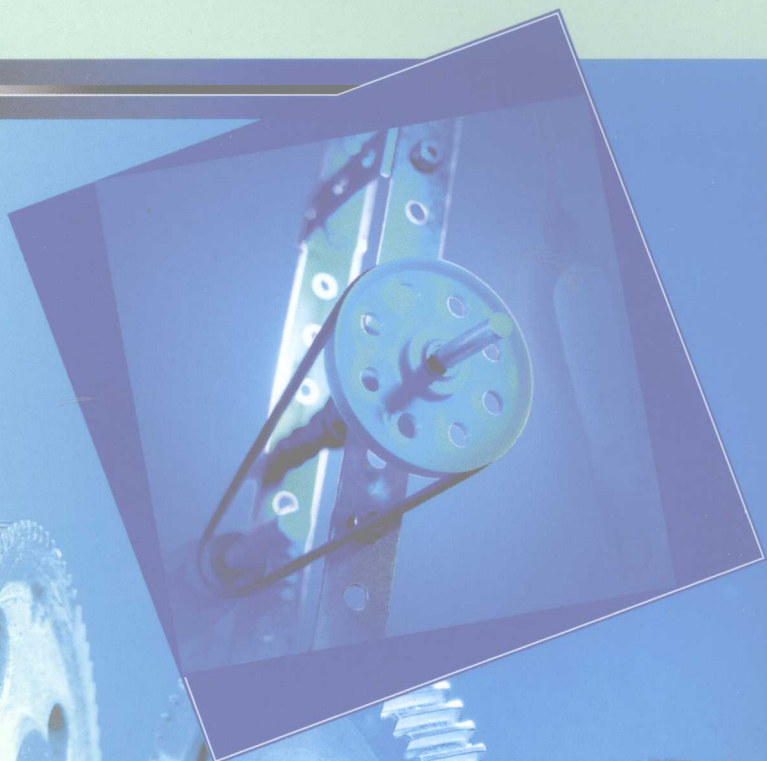
21st CENTURY
实用规划教材

21世纪全国高职高专
机电系列实用规划教材

工程力学

GONGCHENG LIXUE

主 编 余学进 姚桂玲
副主编 雷金波 熊运昌



北京大学出版社
PEKING UNIVERSITY PRESS

21 世纪全国高职高专机电系列实用规划教材

工 程 力 学

主 编	江西城市职业学院	余学进
	湖北教育学院	姚桂玲
副主编	南昌航空工业学院	雷金波
	南阳理工学院	熊运昌
参 编	湖北教育学院	赵昌发
	唐山科技职业学院	马美英



北京大学出版社
PEKING UNIVERSITY PRESS

内 容 简 介

本书共分两篇,第1篇是构件的受力分析及平衡计算(共3章),主要介绍理论力学中静力学部分。第2篇是构件的基本变形及强度计算(共5章),主要介绍材料力学部分。

全书基本概念和理论论述深入浅出、简明扼要、突出少而精,充分反映当今教学改革的趋势,涵盖了工程力学课程的基本要求。全书8章内容如下。

静力学基本概念及原理,平面力系,空间力系的平衡,轴向拉伸与压缩(含压杆稳定),剪切和挤压,圆轴的扭转,弯曲,组合变形(含强度理论)。

本书可作为高等院校工科各类专业工程力学课程的教材,也可作为成人教育相应专业的教材,也可供相关技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

工程力学/余学进,姚桂玲主编. —北京:北京大学出版社,2006.1

(21世纪全国高职高专机电系列实用规划教材)

ISBN 7-301-10464-2

I. 工… II. ①余… ②姚… III. 工程力学—高等学校:技术学校—教材 IV. TB12

中国版本图书馆CIP数据核字(2005)第161309号

书 名: 工程力学

著作责任者: 余学进 姚桂玲 主编

责任编辑: 李 虎

标准书号: ISBN 7-301-10464-2/TH·0056

出 版 者: 北京大学出版社

地 址: 北京市海淀区成府路205号 100871

网 址: <http://cbs.pku.edu.cn> <http://www.pup6.com>

电 话: 邮购部 62752015 发行部 62750672 编辑部 62750667

电子信箱: pup_6@163.com

排 版 者: 北京东方华北大彩印中心 电话: 62754190

印 刷 者: 河北滦县鑫华书刊印刷厂

发 行 者: 北京大学出版社

经 销 者: 新华书店

787毫米×1092毫米 16开本 11印张 250千字

2006年1月第1版 2006年1月第1次印刷

定 价: 18.00元

前 言

为了适应高等工业学校工程力学课程的教学改革和发展需要,根据教育部制定的工程力学课程基本要求和我们长期从事力学教学的经验,我们编写了这本工程力学教材。

工程力学是研究物体机械运动一般规律和工程构件的强度、刚度、稳定性的计算原理及方法的科学,它综合了理论力学和材料力学两门课程中的有关内容,是一门理论性和实践性都较强的课程,它是现代工程技术的重要理论基础之一,在基础课和专业课之间起着重要的桥梁作用。

本书内容以静力学和材料力学为主。适用于 60~80 学时工程力学的教学需要,也可用作本科相关专业少学时教材和成人教育的工程力学教材,还可供有关工程技术人员参考。

在本书编写中结合专业特点,积极吸取其他同类教材的优点,突出基本概念、基本理论。内容精炼、重在应用。在内容安排、例题和习题取舍上,力求符合学生的认知规律和教学规律。

学习这门课程,重在循序渐进,不断运用力学理论知识分析和解决实际问题,为今后从事科研工作和解决工程实际问题打下坚实的基础。

本书由江西城市职业学院、湖北教育学院、南昌航空工业学院、南阳理工学院、唐山科技职业学院共同编写而成,具体分工如下。

江西城市职业学院 余学进——前言,第 1、2 章

南昌航空工业学院 雷金波——第 3 章、目录、附录

湖北教育学院 姚桂玲——第 4 章

赵昌发——第 5、6 章

南阳理工学院 熊运昌——第 7 章

唐山科技职业学院 马美英——第 8 章

全书由余学进、姚桂玲主编,雷金波、熊运昌担任副主编,并由余学进教授统一全稿。在本书编写过程中江西城市职业学院的陈明德教授提出了许多宝贵的建议,南昌航空工业学院的彭迎凤副教授参加了书稿的讨论,在此谨向他们表示衷心的感谢。限于编者水平,本书难免存在缺点和错误之处,敬请读者批评指正。

编 者
2005.10

目 录

第 1 篇 构件的受力分析及平衡计算

第 1 章 静力学基本概念及原理.....	3
1.1 力和刚体的概念	3
1.1.1 力的概念.....	3
1.1.2 力系的分类.....	4
1.1.3 刚体的概念.....	4
1.2 静力学基本原理	4
1.2.1 二力平衡原理.....	4
1.2.2 加减平衡力系原理.....	5
1.2.3 力的平行四边形法则.....	5
1.2.4 作用与反作用定律.....	6
1.2.5 刚化原理.....	6
1.2.6 解除约束原理.....	6
1.3 约束与约束反力	6
1.3.1 柔性体约束.....	7
1.3.2 光滑接触面.....	7
1.3.3 铰支座与铰连接.....	8
1.3.4 径向轴承与止推轴承.....	10
1.3.5 固定支座.....	11
1.4 物体的受力分析和受力图	12
1.5 小结	13
1.6 思考与练习	13
第 2 章 平面力系.....	16
2.1 平面汇交力系	16
2.1.1 平面汇交力系合成的几何法.....	16
2.1.2 平面汇交力系合成的解析计算.....	17
2.1.3 平面汇交力系的平衡方程.....	19
2.2 力矩和平面力偶系的平衡	20
2.2.1 力对点的矩.....	20
2.2.2 力偶与力偶矩.....	21
2.2.3 平面力偶系的合成和平衡方程.....	22

2.3	平面任意力系的平衡	23
2.3.1	力的平移定理	23
2.3.2	平面任意力系的简化	24
2.3.3	平面任意力系的平衡方程	25
2.4	物体系统的平衡问题	28
2.4.1	静定与超静定问题	28
2.4.2	物体系统的平衡	29
2.5	小结	32
2.6	思考与练习	33
第3章	空间力系的平衡	35
3.1	空间力沿坐标轴的分解与投影	35
3.1.1	空间力沿坐标轴的分解	35
3.1.2	空间力沿坐标轴的投影	35
3.2	力对点之矩与力对轴之矩	36
3.2.1	力对点之矩	37
3.2.2	力对点之矩的矢积表示及解析表示	37
3.2.3	力对轴之矩	38
3.2.4	力对点之矩与对轴之矩的关系	40
3.3	空间力系的简化	41
3.3.1	空间任意力系向一点简化	42
3.3.2	特殊力系简化的结果	43
3.3.3	任意力系简化结果讨论	45
3.4	空间力系的平衡条件及平衡计算	47
3.4.1	空间任意力系的平衡条件	47
3.4.2	几种特殊空间力系的平衡条件	47
3.5	物体重心和平面图形形心	51
3.5.1	重心的基本公式	51
3.5.2	形心的基本公式	52
3.5.3	组合形体的重心或形心	52
3.6	小结	55
3.7	思考与练习	55

第2篇 构件的基本变形及强度计算

第4章	轴向拉伸与压缩	63
4.1	轴向拉伸与压缩的概念及实例	63
4.2	拉(压)杆的内力与截面法	64

4.2.1 内力的概念.....	64
4.2.2 截面法轴力与轴力图.....	64
4.3 横截面上的应力	67
4.3.1 应力的概念.....	67
4.3.2 拉(压)杆横截面上的正应力.....	68
4.4 轴向拉压杆的变形胡克定律	70
4.4.1 纵向线应变和横向线应变.....	70
4.4.2 胡克定律.....	71
4.5 拉压杆的强度计算	73
4.5.1 许用应力与安全系数.....	73
4.5.2 拉压杆的强度条件.....	73
4.6 材料在拉伸或压缩时的力学性能	76
4.6.1 材料拉伸时的力学性能.....	77
4.6.2 材料在压缩时的机械性质.....	81
4.7 拉压杆的超静定问题简介	83
4.7.1 超静定问题的概念及其解法.....	83
4.7.2 装配应力与温度应力简介.....	84
4.8 压杆稳定	85
4.9 小结	85
4.10 思考与练习	86
第 5 章 剪切和挤压	91
5.1 剪切的概念和实例	91
5.2 剪切和挤压的实用计算	92
5.2.1 剪切的实用计算.....	92
5.2.2 挤压实用计算.....	93
5.3 计算实例	94
5.3.1 强度计算问题.....	94
5.3.2 剪切破坏问题.....	97
5.4 小结	98
5.5 思考与练习	98
第 6 章 圆轴的扭转	102
6.1 扭转的概念	102
6.2 扭矩和扭矩图	103
6.2.1 外力偶矩.....	103
6.2.2 扭矩.....	103
6.2.3 扭矩图.....	104
6.3 扭转时的应力与强度计算	105

6.3.1 圆轴扭转时横截面上的应力	106
6.3.2 极惯性矩 I_p 和抗扭截面系数 W_n	107
6.3.3 圆轴扭转强度计算	108
6.4 扭转变形	109
6.5 小结	112
6.6 思考与练习	112
第 7 章 弯曲	115
7.1 弯曲的概念	115
7.2 梁的内力	116
7.2.1 剪力与弯矩	116
7.2.2 剪力图和弯矩图	121
7.3 剪力、弯矩与分布载荷	124
7.4 用叠加法作梁的剪力图和弯矩图	124
7.5 弯曲正应力	125
7.5.1 纯弯曲时梁横截面上的正应力	125
7.5.2 惯性矩的计算	127
7.5.3 抗弯截面模量	130
7.6 弯曲正应力强度条件及应用	130
7.6.1 弯曲正应力强度条件	131
7.6.2 弯曲正应力强度计算	131
7.7 弯曲剪应力	134
7.8 提高梁的弯曲强度的主要措施	137
7.9 梁的变形与刚度条件	140
7.9.1 梁的挠度与转角	140
7.9.2 挠曲线近似微分方程	141
7.9.3 求梁变形的查表法和叠加法	143
7.9.4 弯曲刚度条件	144
7.10 小结	145
7.11 思考与练习	146
第 8 章 组合变形	150
8.1 组合变形的概念	150
8.2 弯曲与拉伸(压缩)组合变形时的强度计算	150
8.3 圆轴弯曲与扭转组合变形强度计算	153
8.4 小结	157
8.5 思考与练习	157
附录 型钢表	160
参考文献	166

第 1 篇 构件的受力分析及平衡计算

物体受到力的作用时，其机械运动状态将发生变化，同时物体的形状也会发生改变。平衡是物体运动状态的一种特殊情况，在一般工程问题中，平衡是指物体相对于地球静止或作匀速直线运动。静力学是研究物体在力系作用下平衡规律的科学。力系是指作用在物体上的一组力。物体的平衡状态是指物体相对于地球处于静止或作匀速直线运动。物体处于平衡状态时，作用在该物体上的力系称为平衡力系。本篇主要研究物体(构件)在主动力和约束力作用下的平衡问题，研究如何将工程实际问题简化成为便于分析计算的力学模型。主要介绍以下内容：

力和力系的基本概念、基本原理，静力学研究的基本对象；约束及约束反力的概念，工程中不同约束类型的受力特点及其一般表达方法；物体受力分析的一般步骤；平面力系的概念及其分类；平面力系向一点简化方法及其结果；平面任意力系(包括各种特殊平面力系)的平衡方程及平面状态下物系平衡问题的解法；空间力沿坐标轴的分解和投影；力对点之矩的矢量表示，力对轴之矩的概念及其应用，主矢和主矩的概念；空间任意力系(包括各种特殊空间力系)的平衡方程及其应用；物体的重心和平面图形形心的概念。

本篇运用逻辑推理和数学演绎方法，由静力学基本原理出发，建立了严密而完整的理论体系。既可直接用于解决工程实际问题，也为很多工程专业课程如材料力学、结构力学、机械原理等奠定了理论基础。

第 1 章 静力学基本概念及原理

学习本章时要求读者必须明确和掌握的问题如下：

- (1) 了解和掌握力和力系的基本概念、基本原理，明确静力学研究的基本对象。
- (2) 了解和掌握约束及约束反力的概念，工程中不同约束类型的受力特点及其一般表达方法。
- (3) 了解和掌握物体受力分析的一般步骤及其在工程中的应用。

1.1 力和刚体的概念

力和刚体是静力学中两个重要的基本概念，力一般是指物体间相互机械作用，刚体是指在力的作用下不会变形的物体（即其内部任意两点之间的距离始终保持不变），它是一个理想化的力学模型。

1.1.1 力的概念

力是物体间的相互机械作用，这种作用使物体的运动状态发生改变，或使物体产生变形。力使物体改变运动状态的效应称为力的外效应，使物体产生变形的效应称为力的内效应。力对物体作用的效应取决于力的三要素，即力的大小、方向、作用点。

度量力的大小通常采用国际单位制(SI)，力的单位采用牛(N)或千牛(kN)。

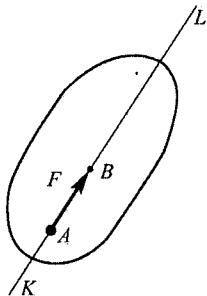


图 1.1 力的示意图

力的方向包含方位和指向两个意思，如铅直向下，水平向右等。

作用点指力在物体上的作用位置。

力具有大小和方向，所以力是矢量。

在图 1.1 中，矢量 $\overrightarrow{AB}$ 表示力 F ，黑体字母 F 表示矢量，矢量的长度表示力 F 的大小，而 A 是力 F 的作用点，矢量的指向表示力的方向。

1.1.2 力系的分类

力系依作用线分布情况有以下几种：若所有力的作用线在同一平面内时，称为平面力系；否则称为空间力系。若所有力的作用线汇交于同一点时，称为汇交力系；而所有力的作用线都相互平行时，称为平行力系。力偶系则是指力系中所有各力均以力偶的方式组成。

1.1.3 刚体的概念

静力学主要研究物体的平衡，即物体机械运动的一种特殊状态，此时物体的变形成为次要因素，可以忽略不计。这就引出一种理想的物体概念，即刚体的概念。所谓刚体是指在力作用下体积和形状都不会改变的物体，其内部任意两点间距离始终保持不变。这是一个理想化的力学模型。

必须指出刚体概念的应用有一定范围。当研究力对物体的外效应时，可把物体抽象为刚体。而在研究物体的内部和破坏时，如材料力学中就不能把物体作为刚体，否则会导致错误。

实践经验表明，作用于刚体的力可沿其作用线移动而不改变其对刚体的运动效应，例如，用小车运送物品时如图 1.2 所示，不论在车后 A 点用力 F 推车，抑或在车前同一直线上的 B 点用力 F 拉车，效果都是一样的。力的这种性质称为力的可传性。



图 1.2 力的可传性

1.2 静力学基本原理

牛顿运动定律是研究物体机械运动一般规律的基础，也是研究机械运动的特殊情形——平衡问题的基础。这里只提出静力学中用到的几个原理。这几个原理，有的就是牛顿定律本身的内容；有的则是可由牛顿定律导出的结论。不过这里将不加证明，而只作为由实践验证的原理提出来。下面就讲述这几个原理。

1.2.1 二力平衡原理

作用于同一刚体的两个力平衡的必要与充分条件是：两个力大小相等、方向相反、作用线在同一直线上。

例如，在一根静止的刚杆的两端沿着同一直线 AB 施加两个拉力 F_1 及 F_2 (图 1.3(a)) 或压力 F_1 及 F_2 (图 1.3(b))，使 $F_1 = -F_2$ ，由经验可知，刚杆将保持静止，既不会移动，也不会转动，所以 F_1 与 F_2 两个力平衡。反之，如果 F_1 与 F_2 不满足上述条件，即或者它们的作用线不同，或者 $F_1 \neq -F_2$ ，则刚体将从静止开始运动，就是说，两个力不能平衡。



图 1.3 二力平衡构件

1.2.2 加减平衡力系原理

在任一力系中加上一个平衡力系，或者减去一个平衡力系，所得新力系与原力系对于刚体的作用效应相同。

推论 1: 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，而不改变它对于刚体的效应。

1.2.3 力的平行四边形法则

作用在一个物体上的两个共点力可以合成为一个合力，合力作用于两分力的公共作用点。合力的大小和方向由以这两力为边的平行四边形对角线确定。

如图 1.4(a)所示作矢量 $\vec{AB}$ 及 $\vec{AD}$ 分别代表力 F_1 及 F_2 ，以 AB 和 AD 为邻边作平行四边形 $ABCD$ ，则对角线矢量 $\vec{AC}$ 即代表 F_1 与 F_2 的合力 F_R ；力 F_1 及 F_2 则称为 F_R 的分力。

平行四边形法则表明，共点的两个力的合力等于这两个力的矢量和，用矢量方程表示，就是

$$\vec{F}_R = \vec{F}_1 + \vec{F}_2$$

有时用三角形法则求合力的大小和方向：在图 1.4(b)中，作矢量 $\vec{AB}$ 代表力 F_1 ，再从 F_1 的终点 B 作矢量 $\vec{BC}$ 代表力 F_2 ，最后从 F_1 的起点 A 向 F_2 的终点 C 作矢量 $\vec{AC}$ ，则 AC 即为合力 F_R 。

推论 2: 三力平衡汇交定理

当刚体受三个力作用而平衡时，若其中任何两个力的作用线相交于一点，则剩余一力的作用线必交于同一点，且三个力的作用线位于同一平面内，如图 1.5 所示。

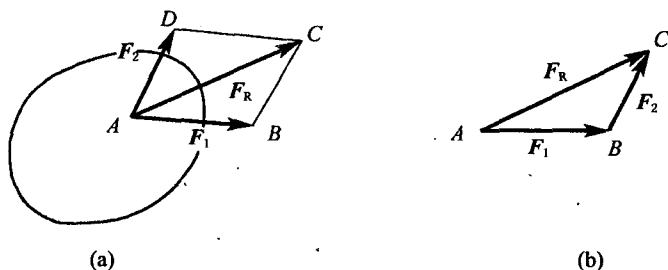


图 1.4 力的合成

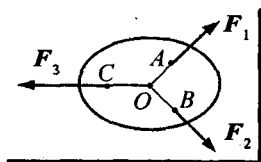


图 1.5 三力平衡汇交

1.2.4 作用与反作用定律

两物体间相互作用的力(作用力与反作用力)总是同时存在、大小相等、作用线相同而方向相反,分别作用在两个相互作用的物体上。

1.2.5 刚化原理

如果变形体在某一力系作用下处于平衡,若将此变形体刚化为刚体,其平衡状态不变。

例如,在图 1.6(a)中,弹簧 AB 在力 F_1 、 F_2 的作用下保持平衡。若将该弹簧刚化成为图 1.6(b)中的刚杆,其平衡状态不改变。

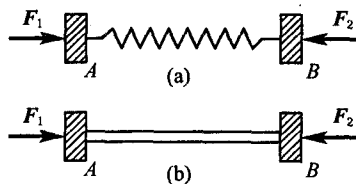


图 1.6 刚化原理说明

此原理建立了刚体的平衡条件和变形体的平衡条件之间的联系,它说明了变形体平衡时,作用在其上的力系必须满足把变形体刚化为刚体后刚体的平衡条件。这样就能把刚体的平衡条件应用到变形体的平衡问题中去,从而扩大了刚体静力学的应用范围,这在弹性体静力学和流体静力学中有重要的意义。

必须指出,刚体的平衡条件是变形体平衡的必要条件,而非充分条件。因此,要研究变形体是否平衡,仅有刚体平衡条件是不够的,还需考虑变形体的特性。

1.2.6 解除约束原理

当任何约束解除时,可用相应的约束反力代替。

此原理表明,在静力学中,约束对物体的作用,完全取决于约束反力。

1.3 约束与约束反力

力学里考察的物体,有的不受什么限制而可以自由运动,称为**自由体**,如飞机;有的则在某处受到限制而使其沿某些方向的运动成为不可能,如用绳子悬挂而不能下落的重物,支承于墙上而静止不动的屋架等,称为**非自由体**或**受约束体**。阻碍物体运动的周围物体则称为**约束**。约束是以物体相互接触的方式构成的,上述绳索对于所悬挂的重物和墙对于所支承的屋架都构成了约束。

约束对于非自由体施加的力称为**约束反力**,或**约束力**、**反力**。与约束力相对应,有些力主动地使物体运动或使物体有运动趋势,这种力称为**主动力**。如重力、水压力、土压力等都是主动力,工程上也常称作**荷载**。

主动力一般是已知的,而约束力则是未知的。但是,某些约束的约束力的作用点、方

位或方向，却可根据约束本身的性质加以确定，确定的原则是：约束力的方向总是与约束所能阻止的运动方向或运动趋势相反。下面是工程中常见的几种约束的实例、简化记号及对应的约束力的表示法。对于指向不定的约束力，图中的指向是假设的。

1.3.1 柔性体约束

绳索、链条、皮带等属于柔性体约束。由于柔性体只能承受拉力，所以柔性体给予所系物体的约束力作用于接触点，方向沿柔性体中心线而背离物体如图 1.7 所示。

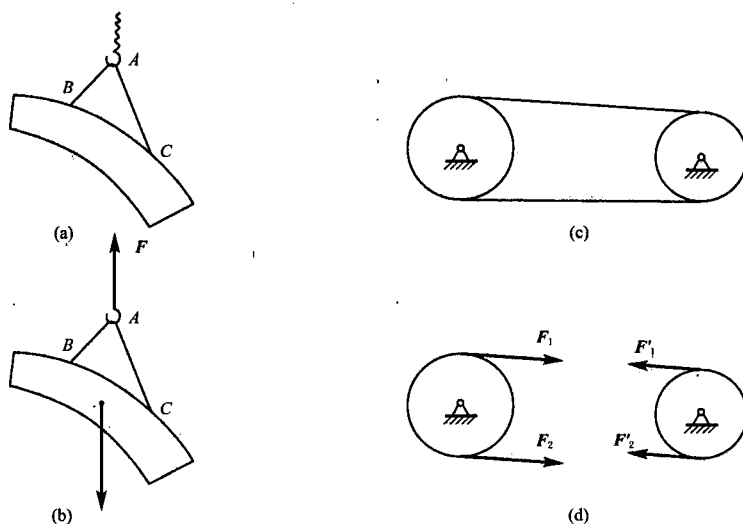


图 1.7 柔性体约束

1.3.2 光滑接触面

当两物体接触面上的摩擦力可以忽略时，即可看作光滑接触面。这时，不论接触面形状如何，只能阻止接触点沿着通过该点的公法线趋向接触面的运动。所以，光滑接触面的约束力通过接触点，沿接触面在该点的公法线上，并为压力(指向物体内部)，如图 1.8 所示。

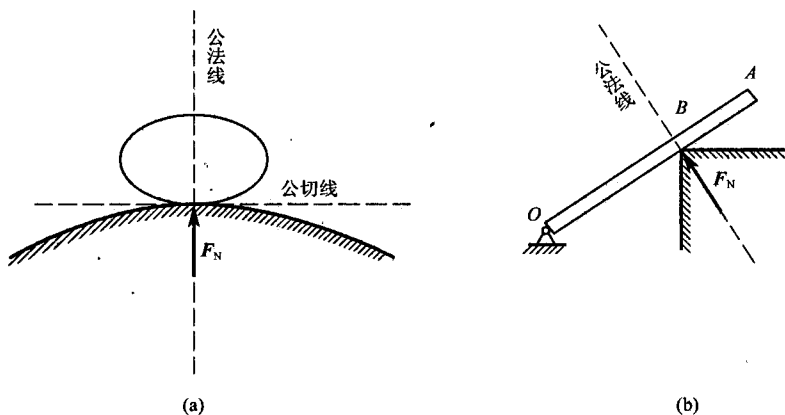


图 1.8 光滑面约束

1.3.3 铰支座与铰连接

在工程中铰支座和铰连接应用很多，主要有以下几种类型：

1) 固定铰支座

工程上常用一种叫做支座的部件，是指将一个构件支承于基础或另一静止的构件上的一种装置。如将构件用圆柱形光滑销钉与固定支座连接，该支座就称为**固定铰支座**，简称**铰支座**。图 1.9(a)所示的是构件与铰支座连接示意图，销钉不能阻止构件转动，也不能阻止构件沿销钉轴线移动，而只能阻止构件在垂直于销钉轴线的平面内的移动。当构件有运动趋势时，构件与销钉可沿任一母线(在图上为一点 A)接触。又因假设销钉是光滑圆柱形的，故可知约束力必作用于接触点 A 并通过销钉中心，如图 1.9(b)中的 F_A ，但接触点 A 不能预先确定， F_A 的方向实际是未知的。可见，铰支座的约束力在垂直于销钉轴线的平面内，通过销钉中心，方向不定。图 1.9(c)、(d)所示的是铰支座的常用简化表示法。铰支座的约束力可表示为一个未知的角度和一个未知大小的力，如图 1.9(e)所示，但这种表示法在解析计算中不采用。常用的方法是将约束力表示为两个互相垂直的力，如图 1.9(f)所示。

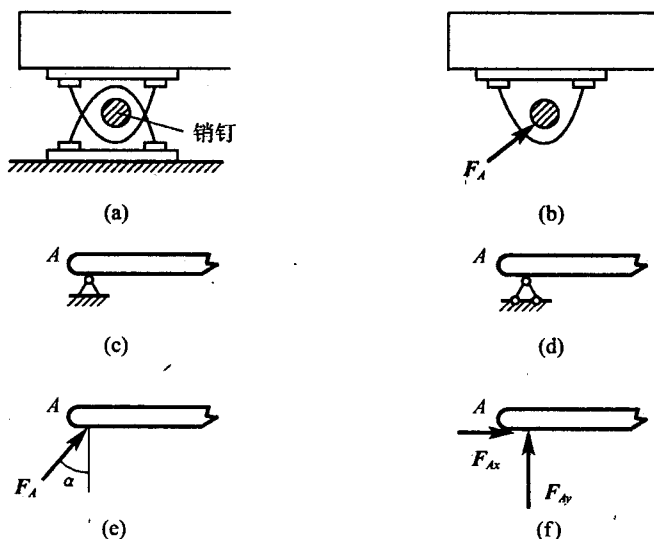


图 1.9 固定铰支座

2) 铰连接(或中间铰支座)

两个构件用圆柱形光滑销钉连接起来，这种约束称为铰链连接，简称为铰连接，如图 1.10(a)所示。如图 1.10(b)所示的是铰连接的表示法。铰连接的销钉对构件的约束与铰支座的销钉对构件的约束相同，其约束力通常也表示为两个互相垂直的力。如图 1.10(c)所示的是左边构件通过销钉对右边构件的约束力。

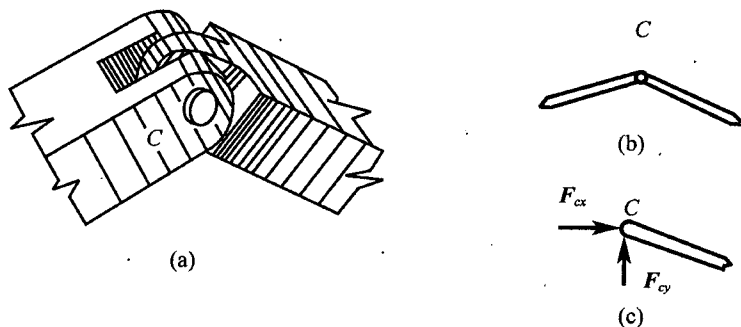


图 1.10 铰链连接

如用光滑销钉使一个构件直接与固定物体连接,也叫**铰连接**。这时铰的作用与固定铰支座相同。

3) 活动铰支座或辊轴支座

将构件用销钉与支座连接,而支座可以沿着支承面运动,就成为**活动铰支座**,或者称**辊轴支座**。图 1.11(a)所示的是辊轴支座的示意图,图 1.11(b)、(c)、(d)所示的是辊轴支座的常用简化表示法。假设支承面是光滑的,辊轴支座不能阻止沿着支承面的运动,而能阻止物体与支座连接处向着支承面或离开支承面的运动。所以,辊轴支座的约束力通过销钉中心,垂直于支承面,指向不定(即可能是压力又可能是拉力)。图 1.11(e)所示的是辊轴支座约束力的表示法。

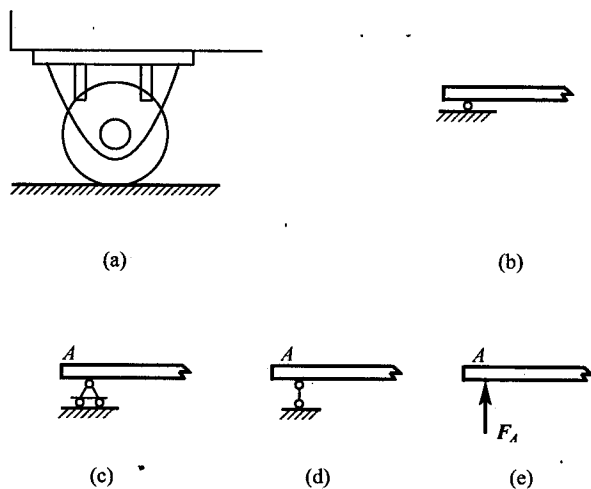


图 1.11 活动铰支座

4) 滑移支座

这种支座只允许构件沿平行于支承面的方向移动,不允许有垂直于支承面方向的移动,也不允许转动,故滑移支座的约束力可表示为垂直于支承面方向的一个力和一个力偶。图 1.12(a)所示的为一滑移支座的示意图。图 1.12(b)、(c)所示的即为这种支座的简化表示法与约束力表示法。