

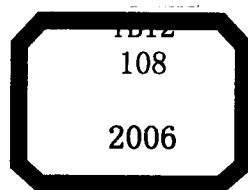


工程力学

GONGCHENG LIXUE

陈送财 主编

中国科学技术大学出版社



工 程 力 学

主 编 陈送财
副主编 史怀飏 丁学所

中国科学技术大学出版社

2006·合肥

内 容 简 介

本书内容共分为:绪论、结构计算简图和受力分析、力系简化的基础知识、平面力系的简化与平衡方程、静定结构的内力计算、轴向拉伸和压缩、剪切和扭转、梁的应力、组合变形、静定结构的位移、压杆稳定、力法、力矩分配法和影响线等 14 章。本书内容由浅入深、重点突出、层次清楚、注重实用与理论的结合,专为适应专科院校土建、水利、机电、管理类专业中少学时工程力学教学需要而编写。

图书在版编目(CIP)数据

工程力学/陈送财主编. —合肥:中国科学技术大学出版社,2006.12
ISBN 7-312-01840-8

I. 工… II. 陈… 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(2006)第 152225 号

出版 中国科学技术大学出版社
安徽省合肥市金寨路 96 号,邮编:230026
网址:<http://press.ustc.edu.cn>
印刷 合肥华星印务有限责任公司
发行 中国科学技术大学出版社
经销 全国新华书店
开本 787×1092 1/16
印张 20.5
字数 531 千
版次 2006 年 12 月第 1 版
印次 2006 年 12 月第 1 次印刷
印数 1—3000 册
定价 25.00 元

序

阅读陈送财等编写的《工程力学》书稿,并获悉即将出版,深感欣慰。新教材、新作者的涌现,标志着我国科技界、教育界的一代新人正日趋成熟。

在多年的教学和科研中我深感各类学校的教材应不断更新,必须随着科学技术和社会需要的发展和进步增添新的内容,应能够让学生和读者通过教材更快地接近工程实践。

《工程力学》是针对少学时土建类专业的基础课程,是将理论力学、材料力学、结构力学这三门力学进行有机整合而成的,具有突出实用性的特点。本书力求将这三方面的知识汇集起来,阐述三者的关系并强调它们各自的作用,重点在于对基础理论、基本方法的分析和介绍。

随着电子计算机的应用,力学分析中大量的人工计算工作被计算机所取代,今后分析方法的地位会因为电脑软、硬件的发展有所下降。但理论分析不仅仅是为了计算工程结构,更重要的是对结构的正确认识,是为了给出明确的物理概念、理解结构形成过程、正确认识结构自身的特性、各种参数的取舍等等,这些都是其他方法不可取代的。

希望这本书的出版,能为非土建类专业的学生以及从事土建专业的工程技术人员提供更多的帮助。

叶献国

2006年5月

前 言

本书是为适应专科院校土建、水利、机电、管理类专业中少学时工程力学教学需要而编写的教材。全书讲述了静力学基础,静定及超静定的外力和内力计算,构件的强度、刚度、稳定性等内容(打“*”号章节为选修内容)。

本书依据力学知识自身的内在联系,将静力学、材料力学、结构力学进行有机整合,以必需和够用为度,突出针对性和实用性,力求做到:由浅入深、由易到难、循序渐进、重点突出、层次清楚;对于教材内容的叙述,力求做到语言通俗,讲透重点;努力把力学概念与实际相结合,尽量减少繁杂的理论推导过程,着重于物理概念的阐述。为了便于学生自学,每章除正文外,还安排有学习小结、课后习题和参考答案,以帮助学生理清思路、摸索规律、掌握知识。

本书由陈送财主编,史怀飏、丁学所副主编,各章节的编写人如下:陈送财编写第1,2章;史怀飏编写第12,13章;丁学所编写第5,10章;李有香编写第6,7,9章;孔定娥编写第4,11,14章;吴瑞编写第3,8章。由陈送财、史怀飏对本书作了统稿和审定工作。

全书由合肥工业大学叶献国教授主审。

限于编者的水平有限,书中定有不少不足之处,恳请广大读者批评指正。

编 者

2006年10月1日

目 录

序	I
前 言	III
第 1 章 绪 论	1
§ 1.1 工程力学的任务和内容	1
§ 1.2 刚体、变形固体及其基本假设	2
§ 1.3 杆件及其变形的基本形式	3
§ 1.4 荷载的分类	5
课后习题	6
参考答案	6
第 2 章 结构计算简图和物体受力分析	7
§ 2.1 约束与约束反力	7
§ 2.2 结构计算简图	11
§ 2.3 物体受力分析	13
§ 2.4 小结	17
课后习题	18
参考答案	19
第 3 章 力系简化的基础知识	20
§ 3.1 平面汇交力系的合成与平衡条件	20
§ 3.2 力对点的矩	27
§ 3.3 力偶、力偶矩	29
§ 3.4 力的等效平移	31
§ 3.5 小结	32
课后习题	33
参考答案	37
第 4 章 平面一般力系的简化与平衡方程	39
§ 4.1 平面一般力系向一点的简化	39
§ 4.2 平面一般力系的平衡方程	42
§ 4.3 物体系统的平衡	45

§ 4.4 考虑摩擦的平衡问题*	48
§ 4.5 小结	52
课后习题	54
参考答案	58
第 5 章 静定结构的内力计算	60
§ 5.1 静定结构常见的基本形式	60
§ 5.2 构件的内力及其求解	60
§ 5.3 内力图——轴力、剪力和弯矩图	65
§ 5.4 弯矩、剪力、分布荷载集度之间的关系*	72
§ 5.5 叠加法作剪力图和弯矩图	80
§ 5.6 静定平面刚架	82
§ 5.7 静定平面桁架	87
§ 5.8 三铰拱*	92
§ 5.9 小结	97
课后习题	98
参考答案	106
第 6 章 轴向拉伸和压缩	109
§ 6.1 轴向拉伸和压缩的概念及实例	109
§ 6.2 轴向拉伸(压缩)杆横截面上的正应力	110
§ 6.3 容许应力和强度条件	114
§ 6.4 轴向拉伸或压缩时的变形	118
§ 6.5 材料的力学性质	121
§ 6.6 小结	124
课后习题	125
参考答案	128
第 7 章 剪切和扭转	130
§ 7.1 剪切的概念	130
§ 7.2 连接接头的强度计算	131
§ 7.3 扭转的概念	134
§ 7.4 扭矩的计算和扭矩图	134
§ 7.5 圆轴扭转时的应力和变形	137
§ 7.6 圆轴扭转时的强度和刚度条件	141
§ 7.7 小结	142
课后习题	143
参考答案	146
第 8 章 梁的应力	148
§ 8.1 平面弯曲的概念及实例	148

§ 8.2 常用截面的几何量	149
§ 8.3 梁的正应力	154
§ 8.4 梁的剪应力	157
§ 8.5 梁的强度条件	160
§ 8.6 小结	168
课后习题	169
参考答案	177
第 9 章 组合变形	179
§ 9.1 组合变形的概念	179
§ 9.2 斜弯曲	180
§ 9.3 拉伸(压缩)与弯曲的组合变形	184
§ 9.4 小结	191
课后习题	192
参考答案	194
第 10 章 静定结构的位移计算	196
§ 10.1 概述	196
§ 10.2 梁的挠曲线近似微分方程及其积分	197
§ 10.3 叠加法	204
§ 10.4 单位荷载法	207
§ 10.5 图乘法	212
§ 10.6 小结	218
课后习题	218
参考答案	221
第 11 章 压杆稳定	223
§ 11.1 压杆稳定的概念	223
§ 11.2 细长压杆的临界力、临界应力	224
§ 11.3 压杆的稳定计算	228
§ 11.4 提高压杆稳定的措施	230
§ 11.5 小结	231
课后习题	232
参考答案	235
第 12 章 力 法	236
§ 12.1 超静定结构的概念	236
§ 12.2 力法原理	239
§ 12.3 力法的计算步骤和例题	242
§ 12.4 结构对称性的利用	250

§ 12.5 超静定结构的主要特性·····	256
§ 12.6 小结·····	257
课后习题·····	258
参考答案·····	261
第 13 章 力矩分配法 ·····	263
§ 13.1 力矩分配法的基本概念·····	263
§ 13.2 用力矩分配法计算连续梁和无侧移刚架·····	269
§ 13.3 无剪力分配法·····	276
§ 13.4 小结·····	279
课后习题·····	280
参考答案·····	283
第 14 章 影响线 ·····	284
§ 14.1 影响线的概念·····	284
§ 14.2 静定梁的影响线·····	285
§ 14.3 影响线的应用·····	291
§ 14.4 简支梁的内力包络图和绝对最大弯矩·····	296
§ 14.5 小结·····	300
课后习题·····	300
参考答案·····	302
附录 型钢规格表 ·····	304
参考文献 ·····	317

第 1 章 绪 论

§ 1.1 工程力学的任务和内容

在生产、生活中,为了满足不同的使用要求,需要建造各种各样的建筑物,如为了工作和生活需要而建造的各种房屋,为跨越河流、渠道而建造的各种桥梁,为兴利除害而兴建的各种水利工程等。这些建筑物从开始建造,到建成使用的过程中,都要承受各种作用。所谓“作用”是使结构或构件产生内力(应力)、变形(位移、应变)的各原因的总称。作用可分为两大类:当以力的形式作用于结构或构件上时,称为直接作用,也叫结构的荷载;当以变形的形式作用于结构或构件上时,称为间接作用。工程实践中常见的作用多数是直接作用。例如,房屋——楼板要承受自身的重量、人、家具和设备的重量,梁要承受楼板传来的荷载或墙传来的荷载,墙或柱则承受楼板和梁传来的荷载等,所有这些荷载最后都要通过基础传到地基上。通常所说的结构就是指建筑物中承受荷载而起骨架作用的部分。房屋结构是由梁、板、柱、墙、基础等基本构件组成的。图 1-1 所示为一厂房的结构及构件的示意图。

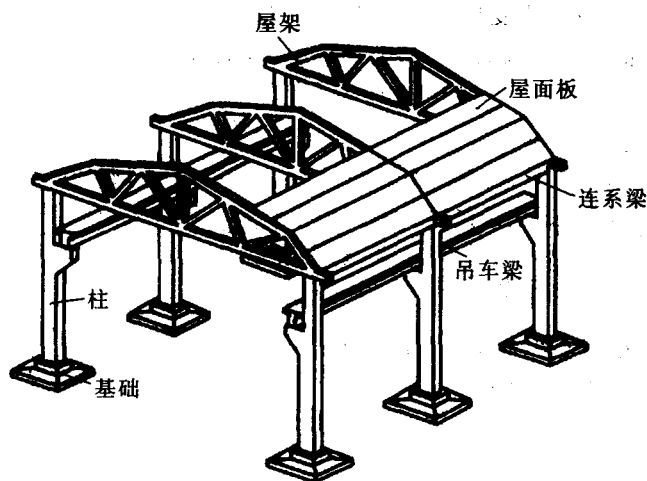


图 1-1 厂房的结构及构件的示意图

结构所承受的重量或力称为荷载。结构或构件在建造及使用过程中,均受到荷载作用,当荷载较大时,就会发生破坏,致使结构或构件丧失承载能力,这表明结构或构件所承受的荷载超过了它们的承载能力。要使结构或构件安全可靠,必须注意以下三个方面的问题:

1. 强度问题

强度是指结构或构件抵抗破坏的能力。结构和构件能承受所受荷载而不破坏,就认为该结构或构件的强度满足要求。

2. 刚度问题

刚度是指结构或构件抵抗变形的能力。任何结构和构件,在外力作用下都会产生变形,如果这种变形被限制在允许的范围内,就认为该结构或构件的刚度满足要求。

3. 稳定问题

稳定性是指结构或构件保持原有平衡状态的能力。工程中任何结构或构件都不允许因改变原有的平衡状态而导致破坏,这就要求结构或构件必须具有足够的稳定性。

为了保证结构能安全、正常地工作,要求结构中每一个构件都要有足够的强度、刚度和稳定性。工程上要求结构或构件必须有足够的承载能力,主要指满足强度、刚度、稳定性三方面性能,这就是工程力学的任务。

工程力学的内容非常丰富,按少学时大纲的教学要求,本书内容主要包含以下几个部分:

(一) 静力学基础及静定结构的内力计算

这是工程力学中的重要基础理论。其中包括物体的受力分析;力系简化理论及平衡方程;静定构件和结构的内力计算等。这些问题中,有些是与物体变形因素无关的,有些虽与物体变形因素有关,但由于我们局限于研究小变形的情况,变形因素对所研究问题的影响可忽略不计。所以,在这部分内容中以刚体作为研究对象,即将结构和构件的形状、大小均视为不会改变的物体——刚体。

(二) 强度和刚度分析

主要分析构件在各种基本变形形式下的应力、强度和计算方法,保证工程中的各种构件满足强度要求;其次分析静定结构的变形及计算方法,保证结构或构件满足刚度要求,也是研究超静定结构的基础。

(三) 稳定性问题

即研究不同约束条件下轴向受压直杆的稳定性问题。

(四) 超静定结构的内力计算

主要介绍力法、力矩分配法两种超静定结构的内力计算方法。求解超静定结构的内力是为了解决超静定结构的强度和刚度问题。

§ 1.2 刚体、变形固体及其基本假设

结构和构件可统称为物体。在工程力学中将物体抽象化为两种计算模型:刚体模型、理想变形固体模型。

形状和大小都不改变的物体称为刚体。实际上,任何物体受力的作用都发生或大或小的

变形,但在一些力学问题中,物体变形因素与所研究的问题无关,或对所研究的问题影响甚微时,我们就可以不考虑物体变形因素的影响,将物体视为刚体,从而使所研究的问题得到简化。

在另一些力学问题中,物体变形这一因素是不可忽略的主要因素,如不予考虑就得不到问题的正确解答。这时,我们将物体视为理想变形固体。所谓理想变形固体,是将一般变形固体的材料加以理想化,作出以下假设:

1. 材料均匀连续假设

认为材料的力学性能在各处都是均匀的,物体内部是毫无空隙的密实地充满着物质。

2. 材料各向同性假设

认为材料在各个不同方向都具有相同力学性能。有些材料沿不同方向的力学性能是不同的,称为各向异性材料。本教材中仅研究各向同性材料。

3. 小变形假设

认为构件受力后,其几何形状的改变与原尺寸比较起来是很微小的。

按照均匀、连续、各向同性和小变形假设而理想化后的物体称为理想变形固体。采用理想变形固体模型不但使理论分析和计算得到简化,且所得结果的精度能满足工程要求。

无论是刚体还是理想变形固体模型,都是针对所研究问题的性质,略去一些次要因素,保留对问题起决定性作用的主要因素,而抽象化形成的理想物体,它们在生活和生产实践中可能不存在,但解决力学问题时,它们是必不可少的理想化的力学模型。

变形固体受荷载作用时将产生变形。当荷载值不超过一定范围,荷载撤去后,变形随之消失,物体恢复原有形状;撤去荷载能恢复的变形称为弹性变形。当荷载值超过一定范围,荷载撤去后,一部分变形随之消失,而另一部分变形却保留下来,物体不能恢复原有形状;撤去荷载后不能恢复的变形称为塑性变形。在多数工程问题中,要求构件只发生弹性变形。也有些工程问题允许构件发生塑性变形。本教材仅局限于研究弹性变形范围内的问题。

§ 1.3 杆件及其变形的的基本形式

结构一般可按其几何特征分为三种类型:

1. 杆系结构

组成杆系结构的构件是杆件。杆件的几何特征是其长度远远大于横截面的尺寸,如图 1-2(a)所示梁,其两端搁在墙上,其截面尺寸远小于长度。

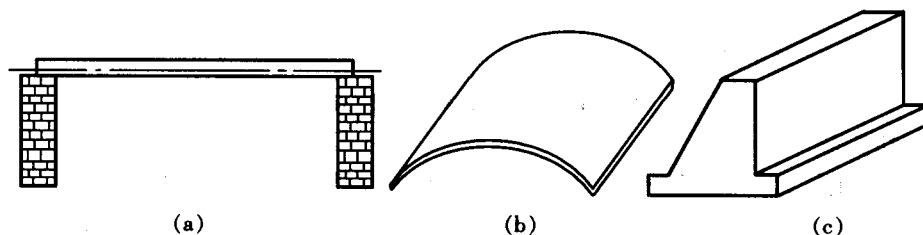


图 1-2 结构的类型

2. 薄壁结构

组成薄壁结构的构件是薄板或薄壳。薄板、薄壳的几何特征是其厚度远远小于它的另两个方向的尺寸,如图 1-2(b)所示屋盖。

3. 实体结构

它是三个方向的尺寸基本为同量级的结构,如图 1-2(c)所示挡土墙。

工程力学以杆系结构作为研究对象。

杆件的形状和尺寸可由杆的横截面和轴线两个主要几何量来确定。横截面是指与杆长方向轴线垂直的截面,而此轴线是各横截面形心的连线,如图 1-3(a)所示。杆系结构中的杆件轴线多为直线,也有轴线为曲线和折线的杆件。它们分别称为直杆、曲杆和折杆,如图 1-3(a)、图 1-3(b)、图 1-3(c)所示。

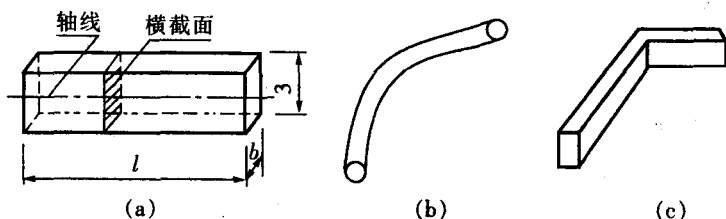


图 1-3 杆系结构

杆件受外力作用将产生变形。变形形式是复杂多样的,它与外力施加的方式有关。无论何种形式的变形,都可归结为四种基本变形形式之一,或者是基本变形形式的组合。直杆的四种基本变形形式是:

1. 轴向拉伸变形或轴向压缩变形

一对方向相反的外力沿轴线作用于杆件,杆件的变形主要表现为长度发生伸长或缩短。这种变形形式称为轴向拉伸变形或轴向压缩变形,如图 1-4(a)、图 1-4(b)所示。

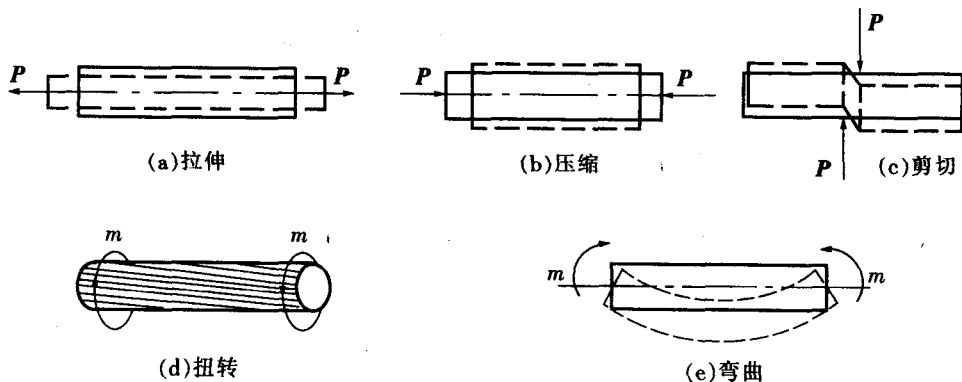


图 1-4 直杆的四种基本变形形式

2. 剪切变形

一对相距很近、方向相反的平行力沿横向(垂直于轴线方向)作用于杆件,杆件的变形主要表现为横截面沿力作用方向发生错动。这种变形形式称为剪切变形,如图 1-4(c)所示。

3. 扭转变形

一对方向相反的力偶作用在垂直于杆轴线的两平面内,杆件的任意两个横截面绕轴线发生相对转动。这种变形形式称为扭转变形,如图 1-4(d)所示。

4. 弯曲变形

一对方向相反的力偶作用于杆件的纵向平面(通过杆件轴线的平面)内,杆件的轴线由直线变为曲线。这种变形形式称为弯曲变形,如图 1-4 (e) 所示。

以上各种基本变形形式都是在特定的受力状态下发生的,杆件正常工作时的实际受力状态往往不同于上述特定的受力状态,所以,实际工程中杆件的变形多为各种基本变形形式的组合。当某一种基本变形形式起绝对作用时,可按这种基本变形形式进行分析,否则,即属于组合变形的问题(见第 9 章)。

§ 1.4 荷载的分类

结构或构件所承受的荷载形式多种多样,按荷载作用方式可分为不同的类型。

1. 按荷载作用的范围可分为分布荷载和集中荷载

分布作用在体积、面积和线段上的荷载分别称为体荷载、面荷载和线荷载,统称为分布荷载。如重力分布属于体荷载,风、雪的压力等属于面荷载。本教材中局限于研究由杆件组成的结构,可将杆件所受的分布荷载视为作用在杆件的轴线上。这样,杆件所受的分布荷载均为线性分布荷载,简称线荷载。

如果荷载作用的范围与构件的尺寸相比十分微小,这时可认为荷载集中作用于一点,并称之为集中荷载。

当以刚体为研究对象时,作用在构件上的线性分布荷载可用其合力(集中荷载)来代替。例如,线性分布的重力荷载可用作用在重心上的集中合力代替。当以变形固体为研究对象时,作用在构件上的分布荷载则不能用其集中合力来代替。

2. 按荷载作用时间的长短可分为恒荷载和活荷载

长期作用在结构上的不变荷载称为恒荷载。结构的自重、固定在结构上的永久性设备重量等属于恒荷载。

作用在结构上大小随时间改变的荷载称为活荷载。人群、风、雪、吊车荷载等属于活荷载。

3. 按荷载作用的性质可分为静荷载和动荷载

静荷载是逐渐均匀增加的荷载,施加荷载过程中,其大小、方向和作用位置的变化在结构上各点产生的加速度不明显,荷载达到最后值以后,结构处于静止平衡状态,不致引起结构的振动,可以忽略惯性力的影响。

动荷载是大小、方向或作用位置随时间迅速改变的荷载,在施加荷载过程中,结构上各点产生明显的加速度,结构的内力和变形都随时间而发生变化,引起结构的振动,不能忽略惯性力的影响。如机器设备的运动部分所产生的干扰力,爆炸冲击力,地震时由于地面运动在结构上产生的惯性力等荷载属于动荷载。

课后习题

- (1) “作用”是使结构或构件产生_____的各原因的总称。
- (2) 强度是指结构或构件抵抗_____的能力。
- (3) 刚度是指结构或构件抵抗_____的能力。
- (4) 稳定性是指结构或构件_____的能力。
- (5) 形状和大小都_____的物体称为刚体。
- (6) 撤去荷载_____的变形称为弹性变形。
- (7) 撤去荷载后_____的变形称为塑性变形。
- (8) 请举例说明轴向拉伸或压缩、剪切、扭转、弯曲变形。
- (9) 请举例说明分布荷载和集中荷载、恒荷载和活荷载、静荷载和动荷载。

参考答案

(略)

第2章 结构计算简图和物体受力分析

§ 2.1 约束与约束反力

可以自由运动的物体,称为自由体,其运动不受任何其他物体的限制。如飞行的飞机是自由体,它可以任意移动和旋转。平面中的自由体可以左右移动,可以上下移动,还可以转动。工程中的物体一般都是非自由体,非自由体不能自由地运动,其某些方向的移动和转动因受其他物体的限制而不能发生。限制非自由体运动的其他物体称为约束。约束的功能就是限制非自由体的某些运动。例如,桌子放在地面上,地面具有限制桌子向下移动的功能,桌子是非自由体,地面是桌子的约束;桥梁受到桥墩的约束而静止不动。约束对非自由体的作用力称为约束反力。显然,约束反力的方向总是与它所限制的运动方向相反。地面限制桌子向下移动,地面作用于桌子的约束反力垂直地面指向上。

工程中物体之间的约束形式是复杂多样的,为了便于理论分析和计算,只考虑其主要约束,忽略其次要约束,便可得到一些理想化的约束形式。本节中所讨论的正是这些理想化的约束,它们在力学分析和结构设计中被广泛采用。

§ 2.1.1 柔性约束

由绳索、钢丝、皮带、链条等柔软物体构成的约束称为柔性约束。柔性约束只能承受拉力,即只能限制物体沿柔性约束方向的运动,所以,柔性约束的约束反力 T 通过接触点,沿柔性约束方向而背离物体,为拉力。

如图 2-1(a)所示为一受绳索约束的物体 A。物体 A 所受的约束反力 T 如图中所示。约束反力 T 的反作用力 T' 作用在绳索上,使绳索受拉。

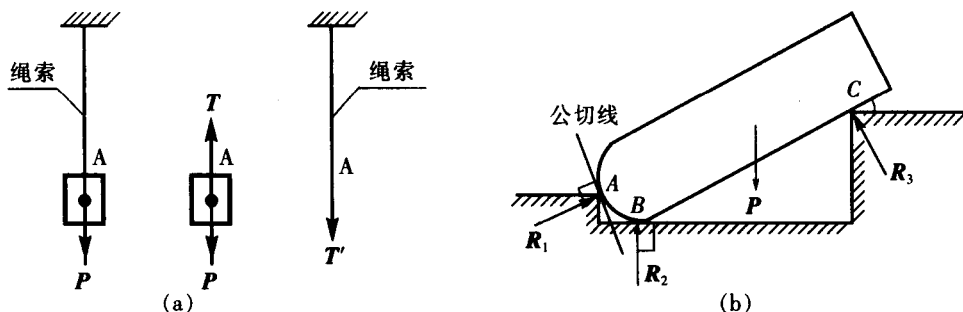


图 2-1 柔性约束和光滑约束

§ 2.1.2 光滑约束

光滑约束是由两个物体光滑接触所构成。两物体可以脱离开,也可以沿光滑接触处公切线方向相对滑动,但沿接触处法线方向且指向光滑约束的移动受到限制。光滑约束的约束反力作用于接触点,沿接触处的法线方向且指向物体,为压力。

如图 2-1(b)所示为光滑面约束及其约束反力的例子。物体为非自由体,各光滑接触点 A、B、C 的约束反力均沿接触处法线方向,指向物体。

§ 2.1.3 固定铰支座和铰链连接

在工程结构中常用圆柱形销钉将物体与固定在基础上的另一物体连接起来,这样就构成了固定铰支座。如图 2-2(a)所示的弧形闸门,在 A 处将腿架末端与固定构件用圆柱销钉连接,就是一个固定铰支座的实例。固定铰支座的基本构造如图 2-2(b)所示。图 2-2(c)所示为其三种简化符号图。如果不计摩擦,这种支座的销钉不能限制物体绕销钉转动,而能限制物体沿垂直于销钉中心线且过销钉中心的平面内任意方向的移动,当力使物体在此平面内有移动趋势时,销钉与销钉孔就在某一点接触。如图 2-2(b)中 A 点,由于销钉和销钉孔都是光滑的,根据光滑接触约束反力的特点,固定铰支座对物体的约束反力 R 必沿接触点的公法线方向,即通过接触点和铰链中心(销钉中心)。但是,由于物体的运动趋势不能预先确定,因而接触点位置也不能预先确定,因此,约束反力的方向一般是未知的。通过以上分析可知,固定铰支座的约束反力作用在垂直于销钉轴线且过销钉中心的平面内,通过铰链中心,方向未知。

固定铰支座的约束反力的大小和方向都是未知量。在平面问题受力分析中,通常将其分解为两个方位已知而大小未知的正交的分力 R_1 和 R_2 ,如图 2-2(d)所示。分力 R_1 和 R_2 的指向可先任意假设,由计算结果来确定假设的正确性,当按假设的力的方向计算结果为正,则说明假设的力的方向是正确的;当按假设的力的方向计算结果为负,则说明力的实际方向与假设的力的方向相反;当两个分力 R_1 和 R_2 确定后,根据力的平行四边形法则,约束反力 R 也就完全确定了。

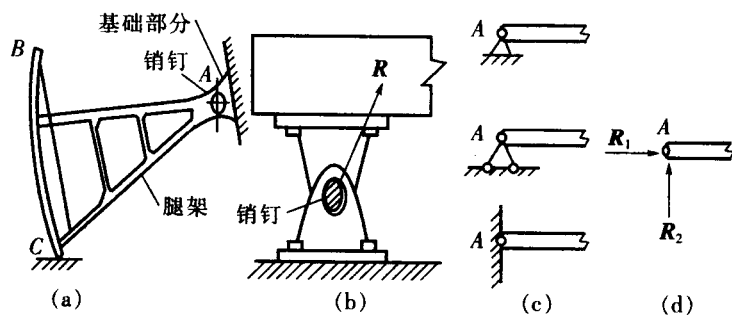


图 2-2 固定铰支座

如果两个物体用圆柱形销钉连接,则称为铰链连接,简称铰接,如图 2-3(a)所示,图 2-3(b)所示为铰链连接的简化符号图。铰的销钉对物体的约束力与固定铰支座完全相同。如图 2-3(c)所示。注意: R'_1, R'_2 与 R_1, R_2 是作用与反作用关系。