

现代远程教育教材

建筑力学

JIANZHU LIXUE

陈孝坚 李鹏 编



重庆大学出版社

<http://www.cqup.com.cn>

建筑力学

陈孝坚 李 鹏 编

重庆大学出版社

内 容 提 要

建筑力学是建筑类有关专业的一门综合性专业基础课程,主要包括静力学基础、静力学基本计算、平面力系的平衡问题,以及构件4种基本变形、组合变形、理想压杆的稳定计算,还包括体系的几何组成分析、常见静定结构的内力分析和位移计算、求解常见超静定结构的方法、位移法和力矩分配法等。各章附有习题,并在书末给出了部分习题的参考答案。

本书适于以培养应用型人才为目标的建筑类各专业的本科学生作教材使用,也可供各类工程技术人员参考。本书特别适合远程教育的学员使用,由于教材具有直观易懂的特点,从而更便于自学,而教材的编写目的正在于此。

图书在版编目(CIP)数据

建筑力学/陈孝坚,李鹏编. —重庆:重庆大学出版社,2008.11

ISBN 978-7-5624-4633-0

I. 建… II. ①陈…②李… III. 建筑力学—高等学校—教材 IV. TU311

中国版本图书馆CIP数据核字(2008)第162623号

建筑力学

陈孝坚 李 鹏 编

责任编辑:曾显跃 李定群 版式设计:曾显跃

责任校对:任卓惠 责任印制:赵 晟

*

重庆大学出版社出版发行

出版人:张鸽盛

社址:重庆市沙坪坝正街174号重庆大学(A区)内

邮编:400030

电话:(023) 65102378 65105781

传真:(023) 65103686 65105565

网址:<http://www.cqup.com.cn>

邮箱:fxk@cqup.com.cn (市场营销部)

全国新华书店经销

自贡新华印刷厂印刷

*

开本:787×1092 1/16 印张:18.75 字数:468千

2008年11月第1版 2008年11月第1次印刷

印数:1—3 000

ISBN 978-7-5624-4633-0 定价:29.50元

本书如有印刷、装订等质量问题,本社负责调换

版权所有,请勿擅自翻印和用本书

制作各类出版物及配套用书,违者必究

前言

本书根据教育部关于高等院校应用型人才培养目标的要求编写,既注意吸收经典力学的理论及方法,又注意与工程实际相结合,有利于学生在学习过程中完成由学习知识到应用知识和技能转变。

本书具有以下4个特点:

①表达方式的直观性:大量的图片取代文字叙述,对许多力学现象增加了定性分析。

②课程学习的阶段性:对部分知识点采用“先其然,后其所以然”的做法,首先要求理解和掌握“是什么”、“怎么做”,然后要求理解“为什么”,对于部分推导过程复杂的计算公式,将其推导过程置于书末的附录中,以利于分层次、分阶段学习。

③语言表述的通俗化:在语言文字表述中力求通俗易懂、深入浅出。

④构成体系的模块化:教材在构成体系上采用章下直接设置知识点的方式,一个知识点即为一个小单元,相当于一个小专题。

在教材的审编过程中,赵更新教授、张国忠教授曾提出了许多宝贵的意见,在此致以诚挚的感谢与敬意。在资料的收集、语言文字的表述及图片的选用和绘制过程中,李奇副教授和王仁健、肖庆年老师做了许多工作,在此致以谢意。

书中不妥与疏漏之处,恳请各位同行和广大读者提出宝贵意见,以便进一步完善和提高。

编者

2008年9月

目 录

第1章 绪 论	1
1.1 建筑力学的研究对象与中心任务	1
1.2 建筑力学的分析方法与学习方法	2
第2章 静力学基础	4
2.1 静力学基本概念	4
2.2 静力学基本原理	5
2.3 工程常见约束	8
2.4 构件及结构的受力分析	13
习题	17
第3章 静力学基本计算	19
3.1 力在坐标轴上的投影	19
3.2 合力投影定理	21
3.3 力矩	22
3.4 力偶与力偶矩	24
3.5 力的平移原理	26
习题	28
第4章 平面力系的平衡方程	29
4.1 平面力系平衡问题总论	29
4.2 平面一般力系平衡方程及应用	30
4.3 平面特殊力系的平衡	32
4.4 物体系统的平衡	36
习题	39

第 5 章 轴向拉伸与压缩	43
5.1 轴向拉伸与压缩概述	43
5.2 轴向拉(压)杆的内力与轴力图	44
5.3 拉(压)杆横截面上的应力	46
5.4 轴向拉(压)时的变形	49
5.5 材料在拉(压)时的力学性能	51
5.6 拉(压)杆的强度计算	55
习题	58
第 6 章 剪切与联接的实用计算	60
6.1 剪切的实用计算	60
6.2 挤压的实用计算	62
习题	65
第 7 章 扭转变形	67
7.1 扭转变形概述	67
7.2 轴的扭矩与扭矩图	68
7.3 圆轴扭转时横截面上的应力及强度计算	70
7.4 圆轴扭转时的变形与刚度条件	73
习题	75
第 8 章 弯曲梁	77
8.1 弯曲变形概述	77
8.2 梁的内力计算	78
8.3 简单梁受典型荷载时的内力图	81
8.4 内力方程法作内力图	83
8.5 微分关系法作内力图	87
8.6 叠加法作内力图	89
8.7 梁的正应力计算	91
8.8 梁的正应力强度计算	94
8.9 梁的切应力及强度计算	97
8.10 提高梁强度的措施	100
8.11 梁的变形概念	103
8.12 简单梁受典型荷载时的变形	104
8.13 积分法计算梁的位移	106
8.14 叠加法计算梁的位移	110
8.15 梁的刚度计算	111
习题	112

第9章 组合变形	121
9.1 组合变形概述	121
9.2 斜弯曲	122
9.3 拉(压)与弯曲组合	126
习题	131
第10章 压杆稳定	135
10.1 压杆稳定性概述	135
10.2 压杆稳定的临界力计算	137
10.3 压杆稳定的临界应力	139
10.4 压杆稳定的实用计算	140
10.5 提高压杆稳定性的措施	145
习题	146
第11章 平面体系的几何组成分析	149
11.1 几何组成分析概述	149
11.2 几何不变体系的组成规则	152
11.3 平面体系的几何组成分析	155
习题	156
第12章 静定平面结构的内力分析	158
12.1 静定梁	158
12.2 静定平面刚架	165
12.3 三铰拱	170
12.4 静定平面桁架	175
12.5 静定结构特征	180
习题	182
第13章 静定结构的位移计算	186
13.1 结构的位移概述	186
13.2 虚功原理与单位荷载法	187
13.3 静定结构在荷载作用下的位移	191
13.4 图乘法	194
13.5 静定结构在支座移动时的位移	197
13.6 互等定理	199
习题	201

第 14 章 超静定结构的内力计算	203
14.1 超静定结构概述	203
14.2 力法的基本原理与基本方程	204
14.3 力法的典型方程	207
14.4 力法的计算举例	209
14.5 等截面单跨超静定梁的杆端内力	214
14.6 位移法的基本原理	217
14.7 位移法的计算举例	223
14.8 力矩分配法	230
14.9 超静定结构特征	236
习题	237
附 录	241
附录 A 平面力系的简化及平衡条件	241
附录 B 平面力系平衡方程的其他形式	244
附录 C 拉(压)杆斜截面上的应力	245
附录 D 两个力学现象	246
附录 E 圆轴扭转时横截面上应力及变形公式推导	248
附录 F 截面的几何性质	253
附录 G 弯矩、剪力、荷载集度间的关系	260
附录 H 梁的正应力与变形计算公式推导	261
附录 I 矩形截面梁的切应力计算公式推导	265
附录 J 铰支细长压杆的临界力计算公式推导	267
附录 K 支座位移引起的杆端内力计算式推导	269
附录 L 型钢表	272
部分习题参考答案	281
参考文献	289

第 1 章

绪 论

1.1 建筑力学的研究对象与中心任务

力学是研究机械运动规律及其应用的学科,其基本原理和思想体系将追溯到牛顿著《自然哲学的数学原理》中的力学部分,即所谓的牛顿力学。由经典力学的基础知识和建筑结构专业力学知识构成的建筑力学,在建筑工程中发挥了巨大的基础性作用,形成了一门应用性极强的学科。

建筑力学的研究对象为杆状构件及杆系结构。在建筑物或构筑物中起骨架(承受和传递荷载)作用的主要部分称为建筑结构,组成建筑结构的基本单元称为构件。如图 1.1 所示为工业厂房剖面图,其中的屋架、行车、牛腿边柱均为杆件结构。

对于非杆系结构的其他结构,如薄壁结构、实体结构等,则有相应的力学课程(如板壳理论、弹性力学等)对其基本理论和计算方法进行专门的分析和研究。当然,对于非规则构件、结构或实际工程中较复杂的结构体系,通常是不太可能应用经典力学理论而得到精确解,此时通常采用数值解法(如结构有限元法),并结合电算而得到近似解。

建筑力学的主要任务是研究杆状构件及杆系结构在荷载及其他因素作用下的工作状况。

早在古罗马时期,在名曰《建筑十章》的建筑学巨著中首次系统地提出了建筑设计的基本目标,即是安全性、经济性、功能性和艺术性原则,这一设计思想经历 2 000 年的历史沉淀,又经现代科学和艺术的陶冶而日趋成熟和完善。对建筑物设计的安全性要求,主要体现于结构设计过程中,其核心是结构的力学问题。

构件(或结构)工作安全,必须满足 3 个最基本的条件:

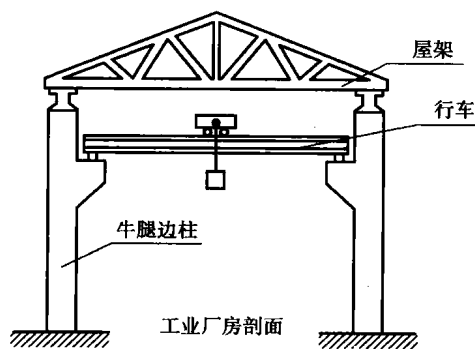


图 1.1

- ①强度 构件(或结构)抵抗破坏的能力。
- ②刚度 构件(或结构)抵抗变形的能力。
- ③稳定性 构件(或结构)保持原有平衡形态的能力。

这样,建筑力学的任务又可具体地表述为:研究构件或杆系结构的强度、刚度和稳定性,并从该角度,在保证结构安全可靠且经济节约的前提下,为构件(或结构)设计计算提供基本的理论和计算方法。

1.2 建筑力学的分析方法与学习方法

1.2.1 建筑力学的分析方法

宏观上,建筑力学通过两个渠道(或者合二为一)对结构的内力与变形,进而也对其强度、刚度和稳定性进行了综合分析。其分析流程如图 1.2 所示。

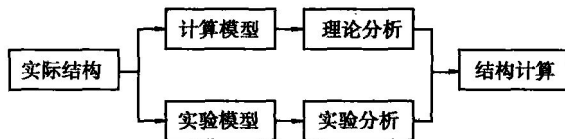


图 1.2

在定量分析和计算上,静力平衡方程及其应用起到核心和关键作用。在具体的分析过程中,将杆件变形归纳为 4 种基本形式,并作了 3 个基本假设。

(1) 杆件的 4 种基本变形形式

①轴向拉伸与压缩 在杆的轴线上作用一对平衡外力,将引起杆沿轴线方向伸长或缩短的变形。如图 1.3 所示杆的轴向拉伸变形。

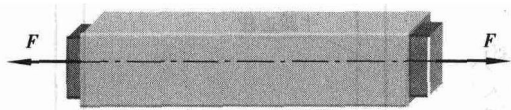


图 1.3

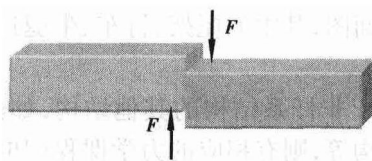


图 1.4

②剪切变形 杆件受到一对大小相等、方向相反、作用线互相平行且相距很近的横向外力作用时,将引起其横截面沿力的方向发生相对错动的变形称为剪切变形,如图 1.4 所示。

③扭转变形 杆件受一对力偶(或力偶系)的作用,且力偶作用面垂直于杆轴线,则杆的各横截面绕轴线发生相对转动,称为扭转变形,如图 1.5 所示。

④弯曲变形 在杆的横向方向上作用外力(集中力、集中力偶、分布力等),杆的轴线由原来的直线变形为曲线,如图 1.6 所示。

(2) 3 个基本假设

①均匀、连续性假设 认为物体在其整个体积内无空隙地充满了物质,且物体内物质的力学性质各处相同。

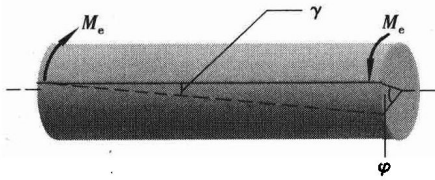


图 1.5

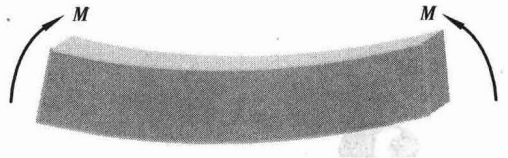


图 1.6

②各向同性假设 认为材料沿不同方向具有相同的力学性质。

③小变形假设 认为构件的变形是微小的或其变形量相对构件原几何尺寸是微小的。

上述基本假设基于实际工程结构与结构理论计算之间的差异,以达到既能对结构进行简化并进行抽象的、数值化的分析和计算,又不偏离实际结构的本质特性。

1.2.2 建筑力学课程的学习方法

根据建筑力学的内容特性和教材的特点,在学习过程中应侧重以下4个方面:

①抓住教材整体内容的核心。建筑力学核心的部分就是物体平衡方程的应用,无论是计算构件受到的外力还是计算构件内部的受力或变形,都贯穿并体现于教材内容始终。

②明确知识体系的框架结构。构件所受外力分类、构件变形分类和杆系结构分类,是课程各部的基本构成体系的特点。

③理论与实际相结合。应将理论学习与教材中的实验部分及工程实际结合起来,以便于直观理解和实际应用。

④充分利用教材特点,降低学习难度。教材采用知识点单元和附录的形式,降低了因前后逻辑关系较强而带来的负面影响,教材将课程学习分为两步:首先将重点置于理解和应用其分析结论上,而后将部分烦琐的推导过程和需要深入探讨的内容置于教材后面的附录中,这样,有益于各层次的学员学习。

第 2 章

静力学基础

2.1 静力学基本概念

概念是知识体系网络最基本的结点。

(1) 力的概念

力是物体之间的相互机械作用, (特别是) 其作用效应: 一方面是使物体空间位置发生变化(称为外效应), 另一方面是使物体形状、尺寸发生变化(称为内效应)。

力的作用效果取决于力的 3 要素: 力的大小、方向、作用点。如图 2.1 所示, 可用一带箭头的有向线段表示, 有向线段的长短、箭头方向、起点(或终端) 分别依次代表其 3 要素。力的国际单位是 N(牛顿), 单位换算关系可表示为: $1 \text{ GN} = 10^3 \text{ MN}$, $1 \text{ MN} = 10^3 \text{ kN}$, $1 \text{ kN} = 10^3 \text{ N}$ 。力是矢量, 它不仅有大小, 而且有方向。

(2) 力系的概念

力系是指两个(或以上)力的统称。例如, 在图 2.2 中, 物体受到 3 个力作用, 由于该 3 力的作用线互相平行, 故可称为平行力系。

(3) 平衡的概念

相对地面静止的物体称为处于平衡状态。如图 2.3 所示, 放置在地面上的物体受重力和地面反力的共同作用而相对地面静止, 因此, 该物体处于平衡状态。

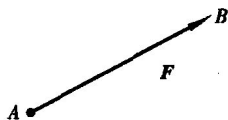


图 2.1

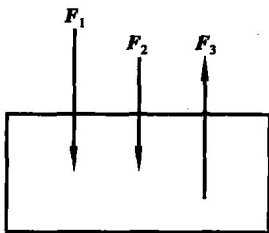


图 2.2

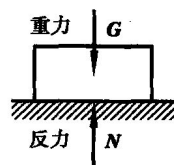


图 2.3

(4) 平衡力系的概念

作用在物体上且使该物体处于平衡状态的力系称为平衡力系。如图 2.3 所示, 放置在地面上的物体受重力和地面反力的共同作用, 显然该物体处于平衡状态, 此时, 由重力与反力组成的力系称为平衡力系。

(5) 等效力系的概念

两个力系分别作用在同一物体上, 如果可以互相替换而不改变其外效应, 则该两个力系互为等效力系。值得注意的是: “等效”是指外效应相同, 而内效应则可能发生变化。

(6) 合力与分力的概念

作用在物体上的力系, 其作用效果若等效于一个力的作用效果(指外效应), 则该力称为原力系的合力, 原力系中的每一个力称为该合力的分力。

(7) 刚体的概念

所谓刚体, 是指在外力作用下形状及尺寸均不发生改变的物体。理想的刚体是不存在的, 通常把在外力作用下形状及大小发生很小改变, 或不计在外力作用下形状及尺寸发生改变的物体视为刚体。这样, 不仅使其中的计算过程得到大大的简化, 而且也具有足够的精度。当然, 在研究物体内效应时, 刚体模型就不适宜了。

(8) 变形体的概念

变形体是指在外力作用下形状及尺寸均发生改变的物体。

2.2 静力学基本原理

简短的几个基本原理, 居然能牢固地支撑起庞大的建筑力学科学体系!

原理包含公理和定理两大类。建筑力学的基本理论建立在牛顿力学基础之上, 而牛顿力学的逻辑系统及其构成形式又受到欧几里得著《几何原本》中的公理系统思想的影响, 即

建立基本概念→确定公设(公理)→推导出定理(计算理论)→应用

原理 1(力的平行四边形法则):

作用在物体同一点上的两个力可以合成为一个作用线经过该点的合力, 该合力的大小及方向由以原二力为相邻边所确定的平行四边形的对角线来表示(或确定)。如图 2.4(a)所示, 矢量力 F 是力 F_1 与 F_2 的合力。力的合成也可采用力的三角形法则: 矢量力 F 是由力 F_1 与 F_2 首尾相接而成, 如图 2.4(b)所示。

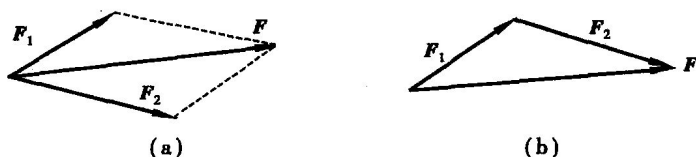


图 2.4

力的分解是合成的逆运算, 在图 2.5(a)中, 力 F_1 与 F_2 是力 F 的分力; 力 F_3 与 F_4 也是力 F 的分力。显然, 分解的方法是无数的, 但正交分解最为常见, 如图 2.5(b)所示显示了力的正

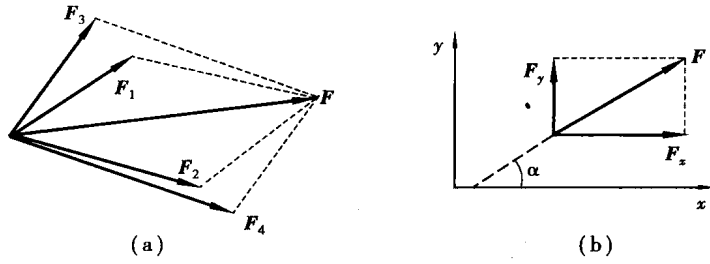


图 2.5

交分解状况,即力 F_x 与 F_y 是力 F 的分力, α 为力 F 与 x 轴夹角,合力与分力之间的数值关系为

$$F_x = F \times \cos \alpha \quad (2.1)$$

$$F_y = F \times \sin \alpha \quad (2.2)$$

对于作用在同一点上的多个力也可进行合成,其基本方法是多次使用力的三角形的法则,即力的多边形法则。在图 2.6(a)中,作用在 A 点上的 4 个力 F_1, F_2, F_3 及 F_4 ,其合力为 F 。其中, F_{12} 代表 F_1 与 F_2 的合力, F_{123} 代表 F_1, F_2, F_3 的合力。其合成过程如图 2.6(b)所示,其中,封闭边代表合力。

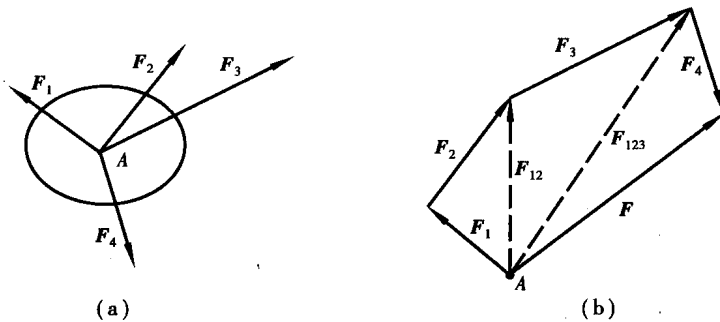


图 2.6

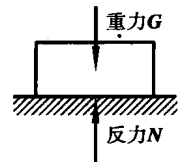


图 2.7

原理 2(二力平衡原理):

如果一个物体受到两个力的作用,其平衡的充分必要条件是:该二力大小相等、方向相反、作用线共线。只受到两个力作用的物体称为二力体,受到两个力作用的杆件称为二力杆。如图 2.7 所示,放置在地面上的物体受到地面对它的反力 N 和地球对它的引力 G 作用,如果平衡则满足 $N = G$ 。

原理 3(作用力与反作用力原理):

两物体之间的相互作用力总是同时成对地出现,其大小相等、方向相反、作用线共线,而且分别作用在这两个物体上。如图 2.8 所示,物体受到地面的反力 F_1 与物体对地面的压力 F_2 就是作用力与反作用力关系。

值得注意的:无论物体是否处于平衡状态,该原理都是成立的。例如,空中自由下落的物体,它对地球的引力与地球对它的引力属于作用力与反作用力关系,但该物体并不平衡,因为该二力不作用在同一物体上,不是二力平衡关系。

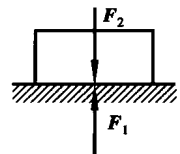


图 2.8

原理 4(加减平衡力系原理):

在物体上(无论其是否处于平衡状态)加上或减去一个平衡力系都不会改变物体的外效应,但内效应则可能发生改变。如图 2.9 所示,杆件由压缩的平衡状态转化为拉伸的平衡状态。

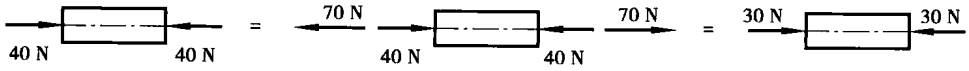


图 2.9

推论 1(又称为力的可传性):

作用在刚体上的力可在该物体上沿力的作用线任意移动而不改变原力对物体的外效应。如图 2.10 所示的 3 种受力状态,图 2.10(a)中在物体的 A 点作用力 F ,以图 2.10(a)为基础,在其上的 B 点加上一对平衡力 F_1 和 F_2 ,并且要求 F_1, F_2 与 F 力的大小相等作用线共线,从而得到图 2.10(b);根据加减平衡力系原理可知;图 2.10(a)与图 2.10(b)所示物体的受力状态,其外效应不变,同理,图 2.10(c)与图 2.10(b)的外效应不变,因而图 2.10(a)与图 2.10(c)的外效应相同,相当于把作用在 A 点上的力在该物体上沿力的作用线任意移到 B 点而没有改变原力对物体的外效应。

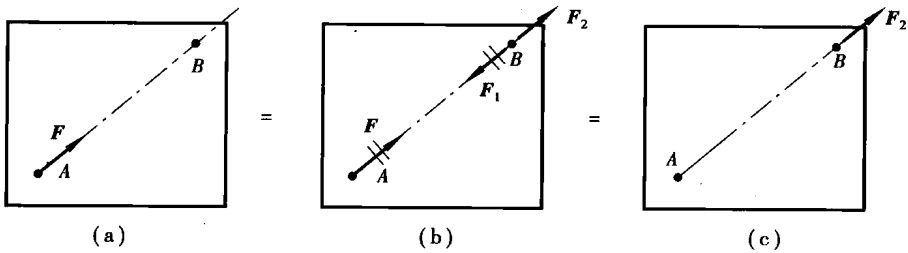


图 2.10

例如,作用在物体上的 4 个力的作用点并不相同,如图 2.11(a)所示。但应用力的可传性,可将所有的力沿其作用线移动到 A 点而成为共点力系且不改变其外效应,如图 2.11(b)所示。

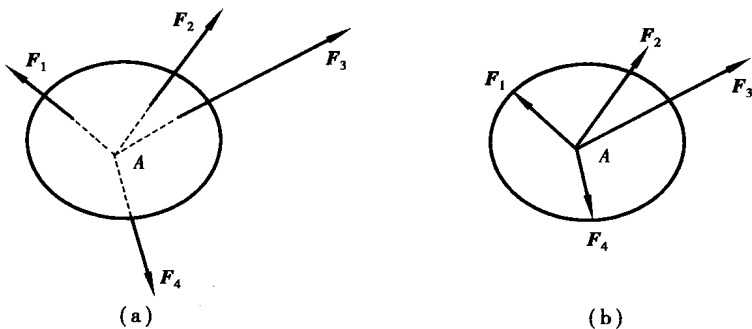


图 2.11

推论 2(又称为三力平衡汇交定理):

一个物体只受到 3 个力的作用,且该三力不互相平行,则物体平衡的必要条件是该三力汇交于一点。

物体受 F_1, F_2, F_3 3 个力作用, 由于三力不互相平行则可假设 F_1 与 F_2 汇交于 A 点(见图 2.12(a)), F_{12} 代表 F_1 与 F_2 的合力, 该三力平衡的充分条件, 是 F_{12} 与 F_3 大小相等、方向相反、作用线共线。如图 2.12(b) 所示的 3 个力 F_1, F_2, F_3 虽然汇交, 但并不平衡。因此, 三力汇交是平衡的必要条件而不是充分条件。

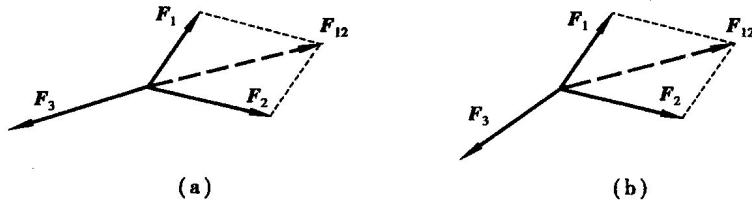


图 2.12

三力汇交定理的实质是: 作用在物体上的 3 个力, 若三力互相平行是可能平衡的, 如图 2.13(a) 所示; 若三力汇交于一点也是可能平衡的, 如图 2.13(b) 所示; 但三力若既不互相平行也不汇交, 则一定不能平衡, 如图 2.13(c) 所示。

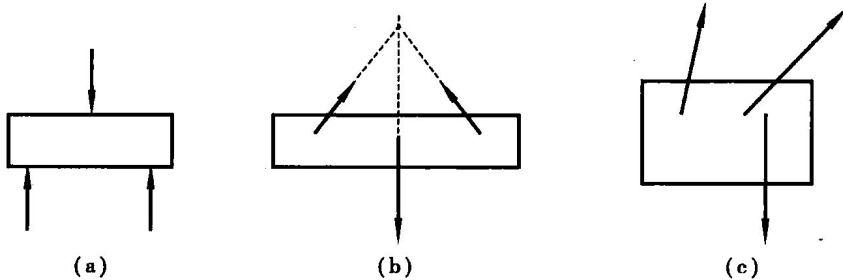


图 2.13

2.3 工程常见约束

结构的计算模型是实际结构与力学计算理论之间的桥梁, 分析模型中构件之间的相互作用, 可将其简化为几种常见约束形式。

2.3.1 荷载的分类

作用在构件上的力, 在宏观上有主动与被动之分。其中主动力被称为荷载, 被动力则被称为约束反力。

对于作用在建筑结构上的荷载, 根据作用时间性质可分为恒荷载、活荷载与偶然荷载。恒荷载是指作用在构件上且不随时间变化而变动的荷载, 例如, 结构自身的重力荷载等; 活荷载则是指作用在构件上且随着时间变化而变动的荷载, 例如, 建筑结构受到的风雪荷载等; 偶然荷载是指不一定出现, 一旦出现其值较大且持续时间较短, 例如, 地震荷载等。建筑力学主要分析恒荷载和活荷载, 而对于属于偶然荷载的地震荷载, 则属于结构抗震有关课程研究的范畴。

特别值得注意的是:如果按荷载形式分类则可分为集中荷载(见图 2.14(a))与分布荷载(见图 2.14(b))。集中荷载是指荷载作用在一点上,分布荷载是指荷载作用在一个区域并按某种形式分布。分布荷载又可分为面分布荷载和线分布荷载,平面问题主要讨论线分布荷载,如图 2.14(b)所示线分布荷载,线密度为 q (即是单位长度上受到的荷载),单位是牛顿/米(N/m)。就外效应而言,可将线分布荷载简化为较熟悉的集中荷载:集中荷载的大小等于线密度乘以受载长度,即分布荷载图形的面积 $F = ql$,作用点在线分布荷载图形的形心处,如图 2.14(d)所示。对于其他形式的线分布荷载,简化方法类似,如图 2.14(c)所示为三角形(线形)分布荷载的简化图。

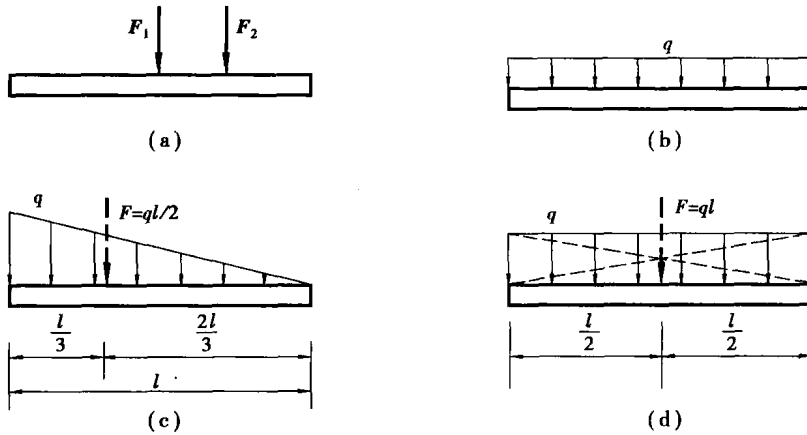


图 2.14

2.3.2 约束及约束反力

(1) 约束

阻碍物体运动(或运动趋势)的机构,如图 2.15(a)所示,斜面上的物体在考虑摩擦的条件下,虽然由于摩擦力不够大而物体依然下滑,但斜面对物体下滑运动仍然有阻碍作用,对下滑物体而言,斜面就是约束。如图 2.15(b)所示,斜面上的物体在摩擦力的作用下,阻止了物体下滑运动而处于静止状态,但物体仍然有下滑运动趋势,此时,斜面阻碍了物体下滑运动趋势,斜面就是约束。同样,如图 2.15(c)所示,物体放置在水平地面上处于静止状态,地面对物体而言就是约束。

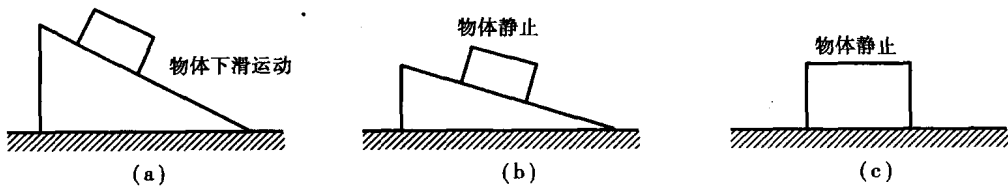


图 2.15

(2) 约束反力

约束对物体所产生的阻碍其运动(或运动趋势)的力。约束之所以能阻碍物体运动(或运动趋势),那是因为约束对所研究物体产生了阻碍其运动(或运动趋势)的约束反力。如图 2.16(a)和图 2.16(b)所示斜面上物体受到的摩擦力和法向反力(斜面的支持力)属于约束反力,如图 2.16(c)所示水平地面上物体受到的法向反力(支持力)也属于约束反力。由此可