

21

世纪高等职业技术教育规划教材

土木工程类

胡拔香 李连生 主编
李兆亭 主审

工程力学 (上册)

Gongcheng Lixue



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

21 世纪高等职业技术教育规划教材——土木工程类

工 程 力 学

(上册)

胡拔香 李连生 主编

李兆亭 主审

西南交通大学出版社

·成都·

内 容 提 要

全书分上、下两册,共十五章。上册共八章,包括绪论,力系的平衡,轴向拉伸和压缩,扭转,平面图形的几何性质,弯曲内力,弯曲强度计算,组合变形。

本书可作为高等职业学校、高等专科学校、成人高校等院校土建类专业及相关专业的教材,也可供相关工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

工程力学.上册/胡拔香,李连生主编. —成都:西南交通大学出版社,2006.8

21世纪高等职业技术教育规划教材.土木工程类
ISBN 7-81104-377-7

I. 工... II. ①胡... ②李... 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(2006)第077124号

21世纪高等职业技术教育规划教材——土木工程类

工 程 力 学

(上册)

胡拔香 李连生 主编

*

责任编辑 张 波

责任校对 李 梅

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>

四川森林印务有限责任公司印刷

*

成品尺寸:185 mm×260 mm 印张:11.5

字数:286千字 印数:1—3 000册

2006年8月第1版 2006年8月第1次印刷

ISBN 7-81104-377-7

定价:18.50元

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

前 言

本书依据《高职高专教育土建类专业力学课程教学基本要求》编写，是高职高专力学系列课程教学内容及课程体系改革的成果。全书力求体现高职高专教育培养高等技术应用性人才的特点，精选静力学、材料力学和结构力学的有关内容，使之融会贯通，内容精炼，重点突出，应用性强。

本书计划需要 140 学时，根据专业需要，带 * 号的内容可以适当取舍。

全书分上、下两册，参加教材上册编写的人员有：胡拔香（陕西铁路工程职业技术学院，第一、二、三章）、马晓倩（天津铁路工程学校，第四、五章）、李连生（陕西铁路工程职业技术学院，第六、七章）、舒彬（陕西铁路工程职业技术学院，第八章）、袁光英（陕西铁路工程职业技术学院，附录、习题答案）。全书由胡拔香、李连生主编，李兆亭主审。

本书在编写过程中，得到了诸多同事的大力支持，在此谨表谢意！

由于编者水平有限，加之时间仓促，本教材难免有不妥之处，敬请同行和读者在使用过程中提出宝贵意见，以便进一步修订。

编者

2006.6

目 录

第一章 绪 论	(1)
1.1 工程力学的研究对象与任务	(1)
1.2 工程力学的基本假定	(2)
1.3 结构的计算简图	(3)
学习指导	(7)
学习要求	(7)
习 题	(7)
第二章 力系的平衡	(9)
2.1 力的概念	(9)
2.2 工程中常见的约束及约束反力	(12)
2.3 受力图与受力分析	(15)
2.4 力的投影	(19)
2.5 力矩和力偶	(22)
2.6 平面力系的合成	(26)
2.7 平面力系的平衡计算	(29)
2.8 空间力系的平衡计算	(40)
学习指导	(44)
学习要求	(44)
思 考 题	(44)
习 题	(47)
第三章 轴向拉伸和压缩	(53)
3.1 轴向拉伸和压缩时的内力	(53)
3.2 轴向拉(压)杆横截面上的应力	(56)
3.3 轴向拉(压)杆的变形·胡克定律	(58)
3.4 材料在轴向拉伸和压缩时的力学性能	(60)
3.5 轴向拉(压)杆件的强度计算	(65)
3.6 应力集中的概念	(68)
3.7 拉(压)杆连接部分的强度计算	(69)

学习指导	(72)
学习要求	(72)
思考题	(72)
习 题	(74)
第四章 扭 转	(77)
4.1 扭转时的内力	(77)
4.2 圆轴扭转时横截面上的应力	(78)
4.3 圆截面杆扭转时的强度计算	(81)
4.4 圆轴扭转的变形及刚度条件	(83)
学习指导	(84)
学习要求	(85)
习 题	(85)
第五章 平面图形的几何性质	(88)
5.1 重心和形心	(88)
5.2 静 面 矩	(92)
5.3 惯 性 矩	(94)
5.4 惯性半径·惯性积	(97)
5.5 形心主惯性轴和形心主惯性矩的概念	(98)
学习指导	(99)
学习要求	(100)
习 题	(100)
第六章 弯曲内力	(102)
6.1 梁的平面弯曲	(102)
6.2 梁的内力	(103)
6.3 利用微分关系作梁的内力图	(113)
6.4 利用叠加原理作梁的内力图	(117)
学习指导	(119)
学习要求	(120)
思考题	(120)
习 题	(121)
第七章 弯曲强度计算	(123)
7.1 梁弯曲时的正应力	(123)
7.2 梁的正应力强度计算	(128)
7.3 梁横截面上的剪应力及其强度计算	(132)
7.4 平面应力状态	(136)

7.5 剪切弯曲杆的主应力	(141)
7.6 提高弯曲强度的措施	(145)
学习指导.....	(148)
学习要求.....	(148)
思考题.....	(148)
习 题.....	(149)
第八章 组合变形	(152)
8.1 概 述	(152)
8.2 斜 弯 曲	(153)
8.3 拉伸（压缩）与弯曲组合变形的强度计算	(155)
学习指导.....	(161)
学习要求.....	(161)
思考题.....	(161)
习 题.....	(162)
型钢规格表.....	(164)
部分习题答案.....	(173)
参考文献.....	(176)

第一章 绪 论

1.1 工程力学的研究对象与任务

一、工程力学的研究对象

工程力学是一门专业基础课，它为土木工程等的结构设计提供基本的力学知识和计算方法，为进一步学习相关的专业课程打下必要的基础。

土木工程中的各类建筑物，如房屋、桥梁以及广告牌柱等，在使用过程中都要受到各种力的作用。主动作用于建筑物上的外力称为荷载。建筑物中承受和传递荷载起骨架作用的部分称为结构，结构中的每一个组成部分称为构件。

各类结构中构件的形状多种多样，其中大量的构件如梁、柱等，它们的长度比其他两个方向的尺寸大得多（5 倍以上），这类构件统称为杆件（图 1.1(a)、(b)）。当构件两个方向（长和宽）的尺寸远大于另一个方向（厚度）的尺寸时，称为薄壳或薄板（图 1.1(c)）。当构件三个方向（长、宽、高）的尺寸均接近时，称为实体构件（图 1.1(d)）。

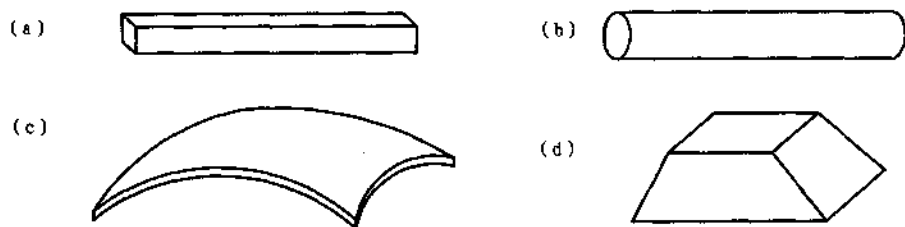


图 1.1

全部构件由杆件组成的结构称为杆系结构。除了杆系结构，实际工程结构中还有薄壁结构，如薄壳屋盖、储油罐等；实体结构，如挡土墙、墩台基础等。

工程力学的研究对象主要是杆系结构，其他类型的结构是弹性力学等研究的对象。

二、工程力学的任务

建筑物或结构要正常工作，必须有一定的承载能力，承载能力包括强度、刚度和稳定性。

强度 指结构或构件抵抗破坏的能力，即结构或构件在外荷载以及其他因素作用下不能发生破坏。结构的主要功能是承受荷载和传递荷载。对结构中的每个构件，我们要求其在规定的荷载作用下能安全工作，不会破坏。关于结构及构件的安全（或破坏）问题通常称为强度问题。

刚度 指结构或构件抵抗变形的能力。在荷载的作用下, 结构及构件的形状和尺寸都会发生变化, 这称为变形。一个结构在荷载作用下, 尽管有足够的强度, 但如果变形过大, 也会影响正常的使用。如厂房中的吊车梁, 变形过大将会影响吊车的正常行驶; 又如屋架中的檩条变形过大, 会引起屋面漏水。为保证结构的正常工作, 应控制结构及构件的变形。结构及构件的变形问题, 通常称为刚度问题。

稳定性 指结构或构件保持原有的平衡状态的能力。结构中某些细长的受压杆件, 如屋架中的压杆, 在压力较小时能维持其直线平衡状态。但当压力超过某一值时, 压杆的直线平衡状态已不稳定, 稍有扰动很容易突然变弯, 从而导致结构的破坏, 这种现象称为失稳。工程结构是不允许发生失稳的。结构平衡形式的稳定性问题, 称为结构的稳定问题。

工程力学的任务是研究杆件结构的强度、刚度和稳定性问题, 并讨论结构的组成规律与合理形式。根据结构或构件的特点, 对结构或构件简化和受力分析, 研究它们的平衡规律, 据此来计算在外荷载和其他因素影响下结构和构件的内力, 以及结构的位移, 进而对结构和构件进行强度、刚度和稳定性方面的计算和校核, 以便能够研究构件的承载能力。但本课程只能提供解决这些问题的一些基本知识和方法, 要完全解决问题, 还需要掌握有关的专业知识和一定的工程实践经验。

1.2 工程力学的基本假定

一、工程力学的基本假定

结构和构件都是由各种建筑材料组成的, 在计算时应考虑主要因素, 略去次要因素, 所以, 为简化计算, 做如下的基本假设:

1. 变形固体的连续、均匀、各向同性假设

结构的构件通常都是由固体材料做成。在讨论强度、刚度和稳定性问题时, 必须考虑其变形, 故把它们叫做变形固体。

物质的微观结构既不连续, 又不均匀, 且各向异性, 但本课程所讨论的结构构件, 其宏观尺寸比构件材料的微观物质的尺寸大得多, 而所研究的强度、刚度等问题只与材料的宏观性质有关。因此, 可以假设所研究的变形固体是密实、无空隙的, 各部分都有相同的物理特性, 而且在不同方向上这些物理特性也相同, 这样的变形固体, 通常称为连续、均匀、各向同性变形固体。实践证明, 对于大多数常用的结构材料, 如钢、混凝土、砖石等, 上述假设是合理的, 符合工程实际情况。

2. 结构及构件的弹性及微小变形假设

结构或构件受到任何微小的力作用时都会产生变形, 变形一般有两种: 弹性变形与塑性变形。在工程力学的普通计算中, 假定材料产生的变形都是弹性变形, 而不考虑由于塑性变形对材料性能的改变。另外, 假设固体在外力作用下所产生的变形与固体本身的几何尺寸相比较是非常小的, 根据这一假设, 当研究变形固体的平衡问题时, 一般可以略去变形的影响。

二、杆件的基本变形

杆件所受的外力是各种各样的, 当不同外力以不同方式作用于杆件时, 杆件将产生不同

形式的变形。归纳起来，杆件的变形可分为以下 4 种基本变形，即轴向拉伸或压缩、剪切、扭转和弯曲，分别如图 1.2(a)、(b)、(c)、(d) 所示。实际上杆件的变形有时可能只有一种基本变形，有时也可能是两种或两种以上基本变形的组合，这种情况称为组合变形。

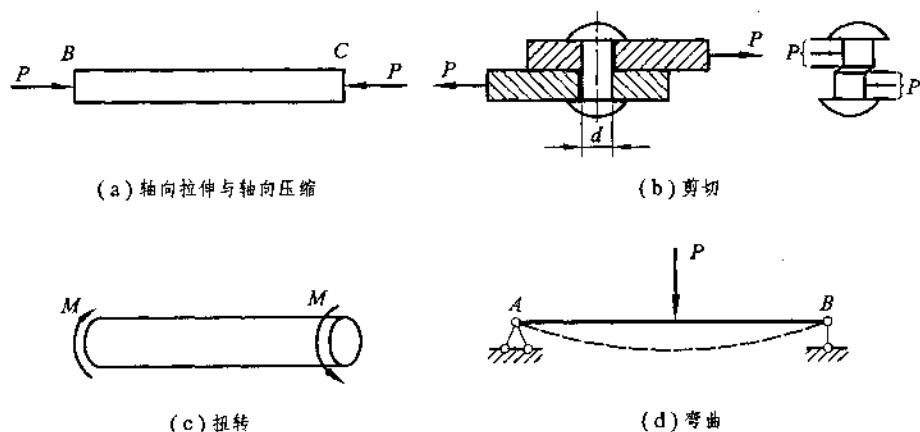


图 1.2

1.3 结构的计算简图

一、结构的计算简图

实际工程中，结构的构造多种多样，结构上作用的荷载也比较复杂，要完全按照结构的实际情况进行分析，会使问题非常繁杂，有时也没必要。分析实际结构时，必须对结构作一些简化，略去某些次要影响因素，突出反映结构主要的特征，用一个简化了的结构图形来代替实际结构，这种图形称为结构的计算简图。在工程力学中，以计算简图为依据进行力学分析和计算。所以，实际结构的计算简图的选取是一项十分重要的工作。

选取结构计算简图应遵循下列两条原则：

- (1) 正确反映结构的实际情况，使计算结果准确可靠。
- (2) 略去次要因素，突出结构的主要性能，以便于分析和计算。

工程中的结构都是空间结构，各构件互相联结成一个空间整体，以便承受各个方向可能出现的荷载。但是，在土建、水利等工程中，大量的空间杆件结构，在一定的条件下，根据结构的受力状态和特点，常可以简化为平面杆件结构进行计算。

对一个实际结构选取平面杆件结构的计算简图进行计算时，需要做以下三方面的简化：

1. 杆件及结点的简化

工程力学的研究对象是杆件，杆件有两个主要的几何特征：横截面和轴线。横截面是与杆件长度方向垂直的截面；轴线是所有横截面形心的连线。轴线与横截面垂直。因此，在计算简图中，就用轴线来表示杆件。

杆件与杆件联结的地方叫做结点。一般有铰结点和刚结点，个别部位的联结还存在着组合结点。

(1) 铰结点。铰结点的特征是其所铰结的各杆均可绕结点自由转动，杆件间的夹角可以改变大小（图 1.3 (a)、(b)）。在计算简图中，铰结点用杆件交点处的小圆圈来表示（图 1.3(c)）。

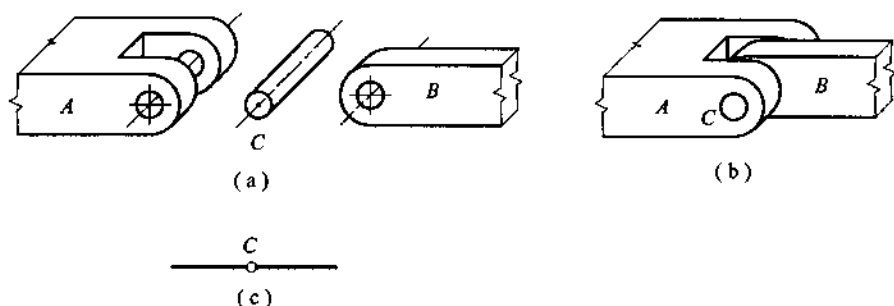
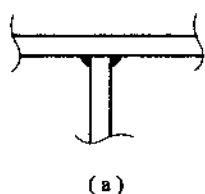


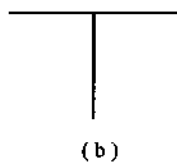
图 1.3

(2) 刚结点。刚结点的特征是其所联结的各杆之间不能绕结点有相对的转动，变形时，结点处各杆件间的夹角都保持不变（图 1.4(a)）。在计算简图中，刚结点用杆件轴线的交点来表示（图 1.4(b)）。

(3) 组合结点。在实际结构的一些结点处，一部分杆件刚结，一部分杆件铰结，这类结点是刚结点与铰结点的组合，称为组合结点（图 1.5）。



(a)



(b)

图 1.4

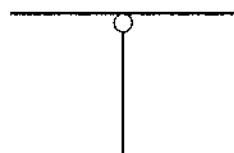
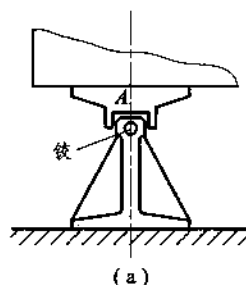


图 1.5

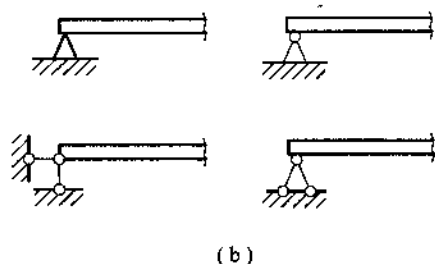
2. 支座的简化

支座是指构件与基础（或其他支撑构件）之间的连接构造。支座的形式很多，在平面杆件结构的计算简图中，支座的简化形式主要有：固定铰支座、可动铰支座、固定端支座和定向（滑动）支座。

(1) 固定铰支座：固定铰支座只允许构件在支承处转动，不允许有任何方向的移动。其构造简图如图 1.6(a) 所示，计算简图如图 1.6(b) 所示。



(a)



(b)

图 1.6

(2) 可动铰支座：可动铰支座允许构件在支承处转动和沿平行于支承平面的方向移动，但不允许结构沿垂直于支承面的方向移动（图 1.7(a)）。在计算简图中，可动铰支座用一根链杆来表示（链杆是两端铰结，中间不受力，自重和变形不计的直线杆件），链杆的方向与结构被限制移动的方向一致。计算简图如图 1.7(b) 所示。

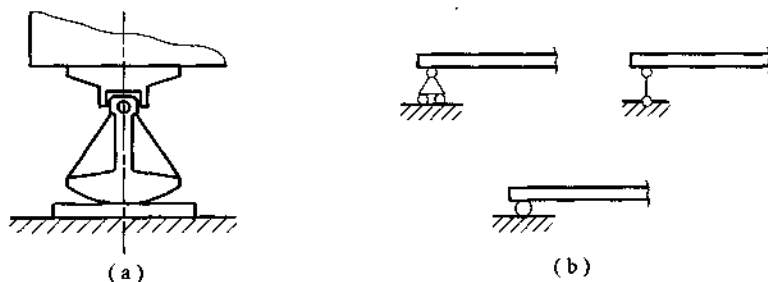


图 1.7

(3) 固定端支座：固定端支座使构件在支承处不能做任何移动，也不能转动（图 1.8(a)）。在计算简图中，固定端支座用一个与杆轴线相交的支承面来表示，如图 1.8(b) 所示。

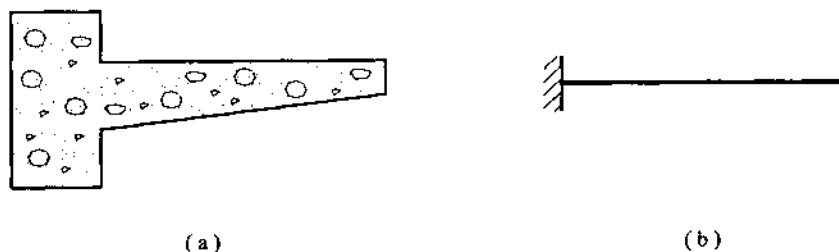


图 1.8

(4) 定向支座：定向支座使构件在支承处不能转动，也不能沿垂直于支承面的方向移动，但可沿支承面滑动。在计算简图中，定向支座用两根平行且等长的链杆表示，链杆的方向与约束构件移动的方向一致，如图 1.9 所示。

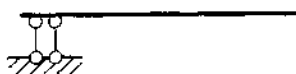


图 1.9

3. 荷载的简化

实际结构所承受的荷载一般是作用于构件内的体荷载（如自重）和表面上的面荷载（如人群、设备重量、风荷载等）。但在计算简图上，均简化为作用于杆件轴线上的分布线荷载、集中荷载、集中力偶，并且认为这些荷载的大小、方向和作用位置是不随时间变化的，或者虽有变化但极缓慢，使结构不至于产生显著的运动（如吊车荷载、风荷载等），这类荷载称为静力荷载。如果荷载变化剧烈，能引起结构明显的运动或振动（如打桩机的冲击荷载等），称为动力荷载。本课程讨论的主要是静力荷载。

结构的计算简图是工程力学分析问题的基础，极为重要。合理选定一个结构的计算简

图，特别是对于比较复杂的结构，需要有一定的专业知识和实践经验，对结构中各部分的构造要比较熟悉，它们之间的相互作用及力的传递状况要判断正确。这些，要求我们在实践中多观察、多分析思考，以便逐步掌握选择计算简图的方法。

工程中一些常用的结构形式，其通用的计算简图经实践证明都比较合理，因此我们可以直接采用。

二、计算简图示例

如图 1.10(a) 所示，小桥的一根梁两端搁在桥墩或桥台上，上面有一重物。简化时，梁本身可以用其轴线来代替。考虑到台面对梁端有摩擦力，而梁受热膨胀时仍可伸长，故将其一端视为可动铰支座，另一端视为固定铰支座，则其计算简图如 1.10(b) 所示。

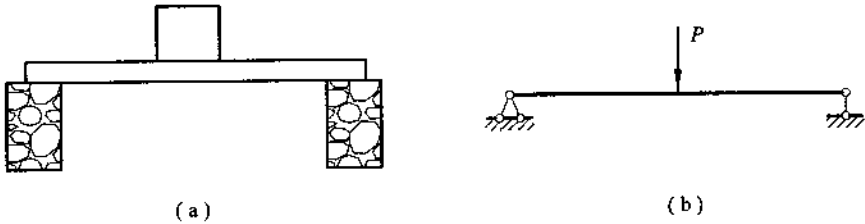


图 1.10

又如图 1.11(a) 所示的雨篷，其主要构件是一根立柱和两根梁。在计算简图中，立柱和梁均用它们各自的轴线表示。由于柱与梁的连接处用混凝土浇筑成整体，钢筋的配置保证二者牢固地联结在一起，变形时，相互之间不能有相对转动，故在计算简图中简化成刚结点。

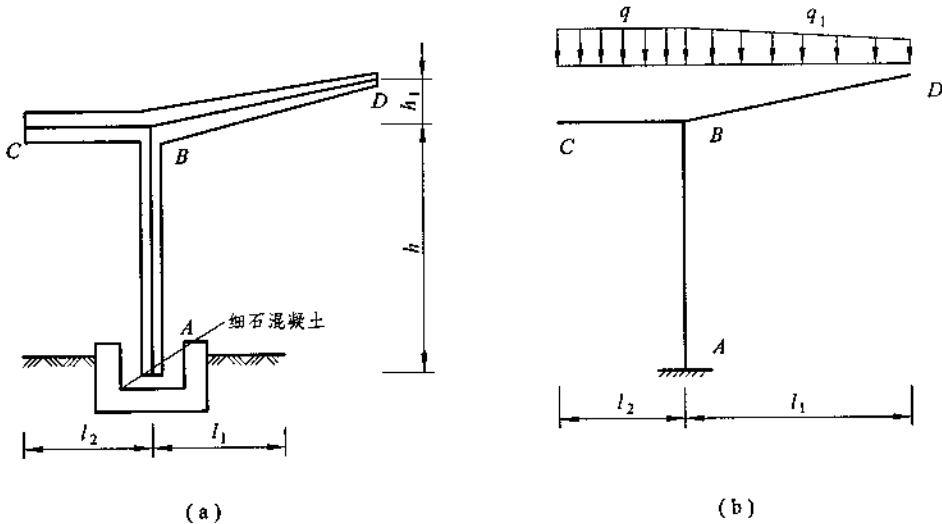


图 1.11

立柱下端与基础连成一体，基础限制立柱下端水平方向和竖直方向的移动，也不能有转动，故在计算简图中简化成固定支座。

作用在梁上的荷载有梁的自重、雨篷板的重量、积雪重量等，这些可简化为作用在梁轴

线上沿水平跨度分布的线荷载,如图 1.11(b) 所示。

再如图 1.12(a) 为钢筋混凝土屋架,考虑到杆件的主要受力特点,计算时可以采用图 1.12(b) 所示的计算简图,即假定各杆间的联结均为铰结。这样虽然与实际情况不太符合,但可以使计算大大简化,而且计算结果所产生的误差也能为工程实际所接受。如果将杆件间的联结改为刚结,则计算结果就比较精确,如图 1.12(c),但这样就会使得计算变得十分复杂。

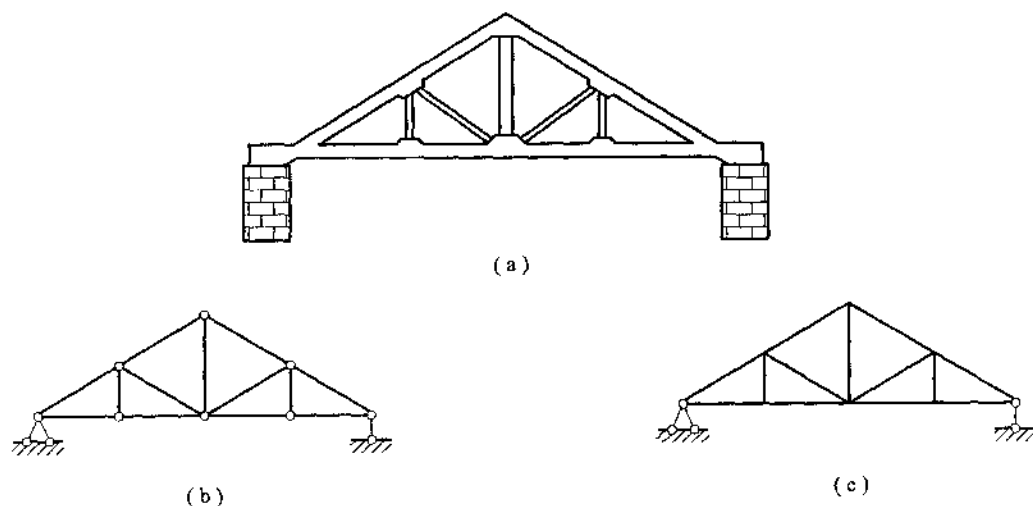


图 1.12

学习指导

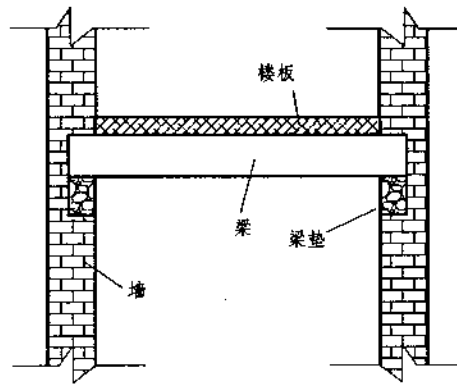
绪论这一章的内容是对工程力学课程作一个扼要的综合说明。由于读者对本课程还很生疏,要求对这些内容有初步的了解。另一方面,为便于以后学习,又要求读者能努力领会基本内容和基本概念。

学习要求

- (1) 了解工程力学课程的性质、任务和基本假设。
- (2) 了解选取结构计算简图的重要性和选取原则,知道简化的内容。熟悉平面杆件结构计算简图中常用支座、结点的种类、表示方法以及变形特点。

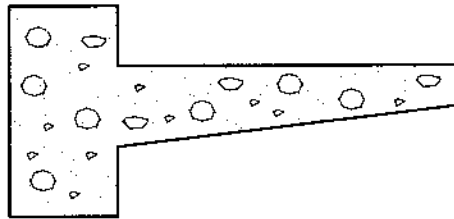
习 题

1.1 图示为房屋建筑中楼面的梁板结构,梁的两端支承在砖墙上,梁上的板用以支承楼面上的人群、设备重量等。试画出梁的计算简图。



习题 1.1 图

1.2 图示为钢筋混凝土的阳台挑梁，试画出梁的计算简图。



习题 1.2 图

第二章 力系的平衡

2.1 力的概念

一、力的含义

人们在长期的生产劳动和日常生活中逐渐形成并建立了力的概念。例如，人推车时，可使车由静到动、由慢到快，但同时又感觉到车对人也有作用；再如人的手用力拉弹簧，使弹簧发生伸长变形，同时肌肉紧张，感到弹簧也在拉手。这样，概括出力的定义为：力是物体间相互的机械作用，这种作用的效果会使物体的运动状态发生变化（外效应），或者使物体发生变形（内效应）。

既然力是物体与物体之间的相互作用，因此，力不可能脱离物体而单独存在，有受力体时必定有施力体。

二、力的三要素

实践证明，力对物体的作用效果取决于三个要素：① 力的大小；② 力的方向；③ 力的作用点。这三个要素叫做力的三要素。

力的大小表示物体间相互机械作用的强弱，力大说明机械作用强，力小说明机械作用弱。国际单位制中，力的单位为牛顿（N），工程中常用的单位有千牛（kN）、兆牛（MN）。

力的方向包含方位和指向，例如说“竖直向下”，“竖直”是力的方位，“向下”是力的指向。

力的作用点是指力作用在物体上的范围。当作用的范围很小以致可以忽略其大小时，就可以近似地看成一个点。作用于一点上的力称为集中力。

使物体产生运动或有运动趋势的力称为主动力，在工程中通常称主动力为荷载。除集中荷载外，还有作用在整个物体或其某部分上的分布荷载。当荷载分布于某一面积上时，称为面荷载；当荷载分布于某一面积上时，称为面荷载；当荷载可以简化为分布于构件的某一线段上时，称为线荷载。

三、力的图示法

力有大小和方向，说明力是矢量。图示时，可以用一带箭头的线段表示，如图 2.1 所示，线段的长度 AB 按一定的比例尺表示力的大小；线段的方位和箭头的指向表示力的方向；线段的起点（或终点）表示力的作用点。本书中，用黑体字母表示矢量，如力 $\mathbf{F}$ ；而用普通字母表示该矢量的大小，如 F 。

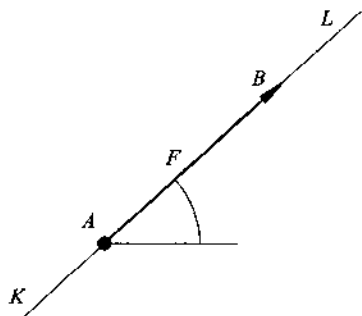


图 2.1

四、平衡的概念

工程中，平衡是指物体相对于地面处于静止状态或匀速直线运动状态。力系是指同时作用于被研究物体上的若干个力。如果两个力系对物体的作用效应相同，则称这两个力系为等效力系。如果一个力与一个力系等效，则此力称为该力系的合力，而该力系中的各个力称为合力的分力。如果物体在一个力系的作用下处于平衡状态，则该力系称为平衡力系。使一个力系成为平衡力系的条件称为力系的平衡条件。

五、刚体的概念

任何物体在力的作用下，都将引起大小和形状的改变，即产生变形。但是，在正常情况下，工程实际中许多物体的变形都非常微小，对于讨论物体的平衡问题影响甚小，可以忽略不计，因而可将物体看成是不变形的。

在任何外力作用下，大小和形状保持不变的物体，称为刚体。

当讨论物体受到力的作用后会不会破坏时，变形就是一个主要因素，这时就不能再把物体看作刚体，而应该看作变形体。但必须指出，以刚体为对象得出的力系的平衡条件，一般也可以推广应用于变形很小的变形体的平衡情况。

六、力的性质

1. 二力平衡条件

作用在同一刚体上的两个力，使刚体保持平衡的必要与充分条件是：这两个力大小相等，方向相反，作用在同一直线上（图 2.2）。

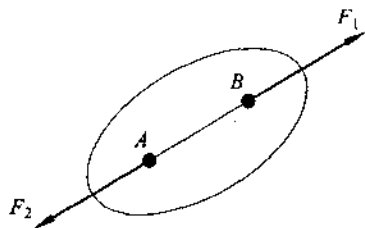


图 2.2