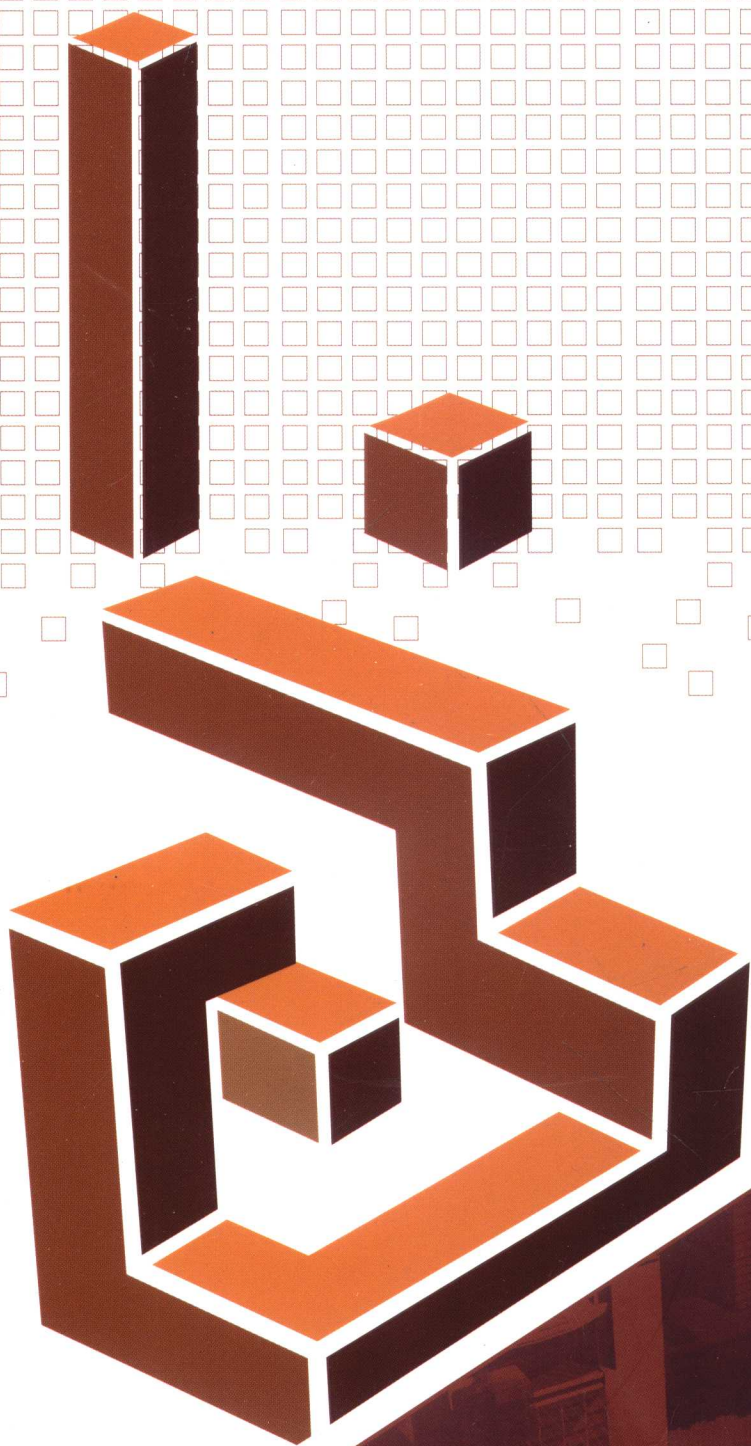


普通高等教育规划教材

建筑力学

王兴国 王国诚 主编



化学工业出版社

TU311
20148

阅 览

普通高等教育规划教材

建筑力学

王兴国 王国诚 主编



化学工业出版社

· 北京 ·

本书将理论力学、材料力学和结构力学三门课程的精华，按照相互关系整合，既保留了原三门课程在各自一定范围内的系统性，又注意了各部分之间的连贯性。主要内容包括：绪论、建筑力学基础知识、平面力系的简化与平衡、平面体系的几何组成分析、静定结构的内力、截面的几何性质、应力和变形计算、材料的力学性能、构件的强度和刚度计算、压杆稳定、静定结构的位移计算、力法、位移法、力矩分配法、影响线及其应用等。每章后有思考题和习题，并附有习题答案。

本书适用于普通高等院校给水排水工程、工程管理、工程造价、建筑学、城市规划等非土木工程类本科专业教材。也可作为高职高专院校相关专业教材，同时可供有关工程技术人员参考。



图书在版编目 (CIP) 数据

建筑力学/王兴国, 王国诚主编. —北京: 化学工业出版社, 2013. 7

普通高等教育规划教材

ISBN 978-7-122-17299-0

I. ①建… II. ①王…②王… III. ①建筑科学-力学-高等学校-教材 IV. ①TU311

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2013) 第 093587 号

责任编辑: 王文峡

文字编辑: 刘志茹

责任校对: 吴静

装帧设计: 尹琳琳

出版发行: 化学工业出版社 (北京市东城区青年湖南街 13 号 邮政编码 100011)

印 装: 大厂聚鑫印刷有限责任公司

787mm×1092mm 1/16 印张 19 $\frac{3}{4}$ 字数 512 千字 2013 年 9 月北京第 1 版第 1 次印刷

购书咨询: 010-64518888 (传真: 010-64519686) 售后服务: 010-64518899

网 址: <http://www.cip.com.cn>

凡购买本书, 如有缺损质量问题, 本社销售中心负责调换。

定 价: 39.80 元

版权所有 违者必究

本书编写人员

主 编 王兴国 王国诚

副 主 编 刘克玲 马丽慧

编写人员（按姓名笔画排序）

马 丽 马丽慧 王永跃 王兴国

王国诚 刘克玲 杨 梅 李志萍

陈培奇 高宝奎

主 审 高宝奎 王永跃

前 言

建筑力学课程是高等院校给水排水工程、工程管理、城市规划、建筑学等专业的一门重要的技术基础课。近年来,随着我国高等教育改革的不断深化,各专业的人才培养目标更加具体,专业教学计划越来越贴近实际需要,对基础课的要求也越来越高。各院校建筑力学课程共同面临的问题是如何在有限的学时内,使学生更好地掌握建筑力学的基本原理和方法,为后续课程及工程实践打下良好的力学基础。

本教材根据高校给水排水工程、工程管理、工程造价、城市规划、建筑学等专业对力学知识的要求,将理论力学、材料力学、结构力学三门课程的基本内容按照力学知识的内在联系进行了整合,内容包括绪论、建筑力学基础知识、平面力系的简化与平衡、平面体系的几何组成分析、静定结构的内力、截面的几何性质、应力和变形计算、材料的力学性能、构件的强度和刚度计算、压杆稳定、静定结构的位移计算、力法、位移法、力矩分配法、影响线及其应用等内容,并附型钢表。在教材的编写过程中,尽量做到从认识过程的连续性和统一性出发,淡化三大力学课程之间的明显界限,消除课程之间的一些重复内容,弱化一些原理和公式的推导过程,重点突出基本概念、基本方法,便于学生建立一个完整的建筑力学知识体系。

本教材由河北联合大学、天津城建大学的一线教师共同编写。第1章由王兴国(天津城建大学)、马丽慧(河北联合大学)编写,第2章、第3章、第5章由马丽(天津城建大学)编写,第4章、第14章、第15章由刘克玲(天津城建大学)编写,第6章、第10章、附录由王国诚(天津城建大学)编写,第7~9章由杨梅(河北联合大学)编写,第11章、第12章、第13章由马丽慧编写。天津城建大学李志萍、陈培奇老师也参加了本书编写的基础工作。本书编写大纲由王兴国、王国诚拟订,全书由王国诚统稿。

本书由中国石油大学(北京)高宝奎教授、天津城建大学王永跃教授主审,他们提出了许多宝贵意见。在本书编写过程中,参考了大量同类文献,化学工业出版社编辑对本书的出版做出了许多工作,在此一并感谢。

由于编者水平有限,书中难免存在不足之处,诚请读者批评指正。

编者
2013年5月

目 录

1 绪论	1
1.1 建筑力学的任务和内容	1
1.1.1 建筑力学的研究对象	1
1.1.2 建筑力学的任务和内容	1
1.2 刚体、变形固体及其基本假设	3
1.2.1 刚体	3
1.2.2 变形固体	3
1.2.3 变形固体基本假设	3
1.3 荷载的概念及其分类	4
1.3.1 按荷载作用的性质划分	4
1.3.2 按荷载作用的时间长短划分	4
1.3.3 按荷载作用的范围划分	4
1.4 杆件变形的基本形式	4
1.4.1 杆件的几何特征	4
1.4.2 杆件的基本变形形式	4
思考题	5
2 建筑力学基础知识	6
2.1 力、力矩和力偶	6
2.1.1 力的概念	6
2.1.2 平面力系中力对点之矩的概念	7
2.1.3 力偶的概念	8
2.2 约束与约束反力	9
2.2.1 约束与约束反力概念	9
2.2.2 工程上常见的约束类型及其约束力的表示方法	10
2.3 结构的计算简图	13
2.4 物体的受力分析	14
2.5 力的等效平移	16
思考题	17
习题	18
习题参考答案	19
3 平面力系的简化与平衡	20
3.1 平面汇交力系的简化与平衡	20
3.1.1 平面汇交力系简化的几何法	20
3.1.2 平面汇交力系平衡的几何条件	21
3.1.3 平面汇交力系合成的解析法	21
3.2 平面力偶系的合成与平衡	25
3.2.1 平面力偶系的简化	25
3.2.2 平面力偶系的平衡条件和平衡方程	25
3.3 平面任意力系的简化与平衡	26
3.3.1 平面任意力系的简化	26
3.3.2 平面任意力系的平衡条件·平衡方程	29
3.4 平面平行力系的平衡	32
3.5 物体系统的平衡问题	32
思考题	34
习题	35
习题参考答案	38
4 平面体系的几何组成分析	40
4.1 几何组成分析的基本概念	40
4.2 几何不变体系的基本组成规则	41
4.2.1 三刚片规则	41
4.2.2 两刚片规则	42
4.2.3 二元体规则	42
4.2.4 瞬变体系	43
4.3 几何组成分析举例	43
4.4 静定结构与超静定结构常见的结构形式	45
思考题	46
习题	47
习题参考答案	48
5 静定结构的内力	49
5.1 轴向拉伸与压缩内力 截面法 轴力图	49
5.1.1 轴向拉伸与压缩概念	49
5.1.2 轴向拉压内力——轴力	49
5.1.3 轴力图	50
5.2 扭转内力	52
5.2.1 扭转变形概念	52
5.2.2 扭矩、扭矩图	53
5.3 单跨静定梁的内力计算	55
5.3.1 概述	55
5.3.2 单跨静定梁的内力计算	56
5.4 内力方程与内力图	60
5.5 快速绘制内力图	61
5.5.1 荷载、剪力和弯矩间的关系	61
5.5.2 剪力图、弯矩图的规律	62
5.5.3 叠加原理作弯矩图	66
5.6 静定多跨梁	67

5.7 静定平面刚架	70	积分	114
5.7.1 单体刚架	70	7.5.3 叠加法求梁的变形	119
5.7.2 三铰刚架	72	7.6 应力状态	123
5.7.3 主从刚架	73	7.6.1 应力状态概述	123
5.8 静定平面桁架	75	7.6.2 平面应力状态的应力分析	124
5.8.1 桁架的特点及分类	75	7.7 组合变形中的应力计算	129
5.8.2 静定平面桁架的内力计算	76	7.7.1 斜弯曲	130
5.9 三铰拱	78	7.7.2 偏心压缩(或拉伸)	131
5.9.1 支座反力的计算	79	7.7.3 弯曲与扭转	132
5.9.2 内力的计算	80	思考题	134
5.9.3 三铰拱的合理拱轴线	82	习题	134
思考题	82	习题参考答案	135
习题	83	8 材料的力学性能	137
习题参考答案	85	8.1 材料的单向拉伸力学性能	137
6 截面的几何性质	87	8.1.1 低碳钢的单向拉伸试验	137
6.1 静矩和形心	87	8.1.2 其他几种材料在拉伸时的力学性能	139
6.2 惯性矩、惯性积和极惯性矩	89	8.2 材料的单向压缩力学性能	140
6.3 惯性矩、惯性积的平行移轴和转轴公式	91	8.2.1 低碳钢的单向压缩试验	140
6.3.1 惯性矩、惯性积的平行移轴公式	91	8.2.2 铸铁、混凝土的单向压缩试验	141
6.3.2 惯性矩、惯性积的转轴公式	91	8.3 影响材料力学性能的因素	142
6.4 形心主轴和形心主惯性矩	92	8.4 强度条件和刚度条件	142
6.4.1 主惯性轴、主惯性矩	92	8.4.1 许用应力和强度条件	142
6.4.2 形心主轴、形心主惯性矩	93	8.4.2 构件的刚度条件	143
思考题	95	8.5 强度理论概述	143
习题	96	8.5.1 材料的破坏形式	144
习题参考答案	97	8.5.2 常用强度理论	144
7 应力与应变	98	思考题	148
7.1 应力和应变的概念	98	习题	148
7.1.1 应力的概念	98	习题参考答案	148
7.1.2 应变的概念	98	9 构件的强度和刚度计算	149
7.2 轴向拉伸和压缩的应力及变形计算	99	9.1 轴向拉伸和压缩变形的强度计算	149
7.2.1 轴向拉压杆横截面上的应力	99	9.2 剪切与挤压强度计算	152
7.2.2 轴向拉压杆的变形	100	9.2.1 剪切的概念及工程实例	152
7.3 圆轴扭转的应力及变形计算	101	9.2.2 剪切的实用计算	152
7.3.1 薄壁圆筒扭转时的切应力	101	9.2.3 挤压的实用计算	153
7.3.2 圆轴扭转时的应力	103	9.3 圆轴扭转的强度条件和刚度条件	156
7.3.3 圆轴扭转的变形	105	9.3.1 强度条件	156
7.4 弯曲应力的计算	106	9.3.2 刚度条件	156
7.4.1 纯弯曲时梁横截面上的正应力	106	9.4 梁的强度条件及其应用	157
7.4.2 横力弯曲时的正应力	109	9.4.1 梁的正应力强度条件	157
7.4.3 梁的切应力	111	9.4.2 梁的切应力强度条件	160
7.5 弯曲变形	113	9.4.3 提高弯曲强度的措施	162
7.5.1 基本概念	113	9.5 弯曲刚度条件和提高弯曲刚度的措施	163
7.5.2 梁的挠曲线近似微分方程及其		9.5.1 弯曲刚度条件	163

9.5.2 提高梁刚度的措施	165	11.4.3 例题	210
9.6 组合变形的强度计算	165	11.5 线弹性体的互等定理	213
9.6.1 斜弯曲	165	11.5.1 功的互等定理	213
9.6.2 拉伸(压缩)与弯曲	169	11.5.2 位移互等定理	214
9.6.3 偏心拉伸(压缩)截面核心	172	11.5.3 反力互等定理	214
9.6.4 弯扭组合变形强度的计算	176	思考题	215
思考题	177	习题	216
习题	177	习题参考答案	218
习题参考答案	179	12 力法	220
10 压杆稳定	181	12.1 超静定结构的概念和超静定次数的确定	220
10.1 压杆稳定的概念	181	12.1.1 超静定结构的概念	220
10.2 两端铰支细长压杆临界力的欧拉公式	183	12.1.2 超静定次数的确定	221
10.3 不同支撑条件下细长压杆临界力的欧拉公式	184	12.2 力法基本原理	222
10.4 欧拉公式的应用范围——临界应力总图	185	12.2.1 力法的思路	222
10.4.1 欧拉公式的适用范围	185	12.2.2 力法的基本结构	222
10.4.2 中、小柔度杆的临界应力	188	12.2.3 力法的基本未知量	223
10.5 压杆的稳定计算	190	12.2.4 力法方程	223
10.5.1 压杆的稳定许用应力折减系数	190	12.3 力法求解超静定结构	226
10.5.2 压杆的稳定条件	191	12.3.1 力法求解超静定梁	226
思考题	194	12.3.2 力法求解超静定刚架	229
习题	194	12.3.3 力法求解超静定桁架	232
习题参考答案	197	12.3.4 力法求解排架	233
11 静定结构的位移计算	198	12.4 结构对称性的利用	234
11.1 结构位移概述	198	12.4.1 概述	234
11.1.1 结构位移概念	198	12.4.2 奇数跨对称刚架的等代结构	236
11.1.2 引起结构位移的原因	198	12.4.3 偶数跨对称刚架的等代结构	237
11.1.3 计算结构位移的目的	199	思考题	242
11.1.4 线弹性变形体系的假设及其特性	199	习题	242
11.2 虚功原理	199	习题参考答案	244
11.2.1 结构上力所做的功	199	13 位移法	247
11.2.2 杆件的弹性变形能	200	13.1 等截面单跨超静定梁的杆端内力和转角位移方程	247
11.2.3 虚功原理的推导	201	13.1.1 杆端力和杆端位移的符号规定	247
11.2.4 虚功原理的应用	202	13.1.2 杆端单位位移引起的内力——刚度系数(形常数)	248
11.3 单位荷载法	203	13.1.3 荷载作用下的杆端力——载常数	249
11.3.1 单位荷载法计算公式推导	203	13.1.4 转角位移方程	250
11.3.2 单位荷载法的计算步骤	203	13.2 位移法基本结构和基本未知量	251
11.3.3 例题	203	13.2.1 位移法的基本结构	251
11.4 图乘法	207	13.2.2 位移法的基本未知量	251
11.4.1 图乘法的推导	207	13.3 位移法的基本思路	253
11.4.2 图乘法的注意事项	208	13.4 位移法典型方程和计算步骤	256
		13.4.1 位移法典型方程	256

13.4.2 位移法计算步骤	258	15.1 影响线的概念	283
13.4.3 利用受力平衡建立位移法 方程的方法	258	15.2 静力法绘制单跨静定梁的影响线	284
13.5 位移法解超静定结构	260	15.2.1 简支梁的影响线	284
13.6 力法与位移法的比较	265	15.2.2 伸臂梁的影响线	285
思考题	266	15.3 机动法作静定梁的影响线	287
习题	266	15.4 连续梁的影响线	290
习题参考答案	268	15.5 影响线的应用	291
14 力矩分配法	270	15.6 简支梁的绝对最大弯 矩及内力包络图	294
14.1 力矩分配法的基本概念	270	15.6.1 简支梁的绝对最大弯矩	294
14.2 用力矩分配法计算连续 梁和无侧移刚架	276	15.6.2 简支梁的内力包络图	295
思考题	280	思考题	295
习题	280	习题	295
习题参考答案	282	习题参考答案	296
15 影响线及其应用	283	附录 常用型钢规格表	297
		参考文献	305

1 绪 论

本章学习目标

- ☑熟悉建筑力学的研究对象。
- ☑掌握建筑力学的任务和内容。
- ☑掌握强度、刚度、稳定性的概念。
- ☑掌握刚体、变形固体的概念。
- ☑掌握变形固体的基本假设。
- ☑熟悉荷载分类。
- ☑掌握杆件的基本变形形式。

1.1 建筑力学的任务和内容

1.1.1 建筑力学的研究对象

建筑物在施工和使用过程中,要承受和传递各种荷载,在建筑物中承受和传递各种荷载而起骨架作用的部分称为结构,组成结构的每一个部件称为构件。结构一般由若干构件按照合理方式组成,并具备足够的承载力。如图 1-1 所示房屋结构,由屋架、吊车梁、柱子及基础等构件组成。屋架承受屋面荷载并将荷载传给柱子,吊车荷载通过吊车梁传给柱子,柱子将其受到的荷载传给基础,最后传给地基。

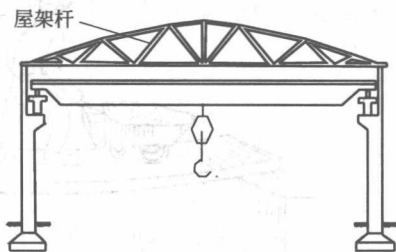


图 1-1

建筑结构的承载能力与结构的几何特征有着密切的联系。按照不同的特征,结构可划分为不同的类型。如按照构件的轴线与荷载是否能简化到同一平面内,结构可分为平面结构和空间结构。按照构件的几何特征又可分为杆系结构、板壳结构和实体结构。

① 杆系结构:杆系结构是由若干杆件相互连接而组成的结构。杆件的几何特征是其长度方向的尺寸远远大于另外两个横向尺寸。如吊车梁、柱子等构件都属于杆件。梁、刚架都是平面杆系结构。

② 板壳结构:其几何特征是厚度方向的尺寸远远小于另外两个方向的尺寸,如楼板、壳体屋盖等都属于板壳结构。

③ 实体结构:其几何特征是长、宽、高三个方向的尺寸量级相同,如水坝等。

建筑力学主要研究平面杆系结构。

1.1.2 建筑力学的任务和内容

建筑力学的任务是研究能使建筑结构安全、正常地工作且符合经济要求的理论和计算方法,讨论和研究结构的几何组成规则,以及在荷载或其他因素(温度变化、支座移动等)作用下建筑结构和构件的强度、刚度和稳定性问题。其目的是保证结构正常工作,并能充分发挥材料的性能,使设计的结构既安全可靠又经济合理。

建筑力学的内容主要包含以下几部分。

① 静力学基础：研究物体受力分析、力系的简化、平衡问题以及杆系结构的组成规律等。

② 静定结构内力分析：研究静定结构内力的计算方法及其分布规律。

③ 强度、刚度、稳定性问题。

强度是构件抵抗破坏的能力。构件在过大的荷载作用下可能发生破坏。如图 1-2(a) 所示，人、小车及载重的重量太大，可能会造成踏板的破坏。强度问题是研究构件满足强度要求的计算理论和方法，解决强度问题的关键是对构件进行应力分析。

刚度是构件抵抗变形的能力。刚度大，即表明构件在荷载作用下不易变形，抵抗变形的能力强。如图 1-2(a) 所示，踏板要有足够的抵抗变形能力，不然会影响人推小车及载重的工作。刚度问题是研究构件满足刚度要求的计算理论和方法，解决刚度问题的关键是确定构件的位移。

稳定性是构件在荷载作用下保持其平衡形式不发生突然改变的能力。特别是对于细长受压杆件，当压力超过一定的数值，压杆便无法保持直线形状，从而改变原来受压的工作性质而发生破坏。如图 1-2(b) 所示，在过大的压力作用下，细长的钢柱发生失稳破坏。稳定性问题研究构件满足稳定性要求的计算理论和方法，解决稳定性问题的关键是确定构件的临界力。

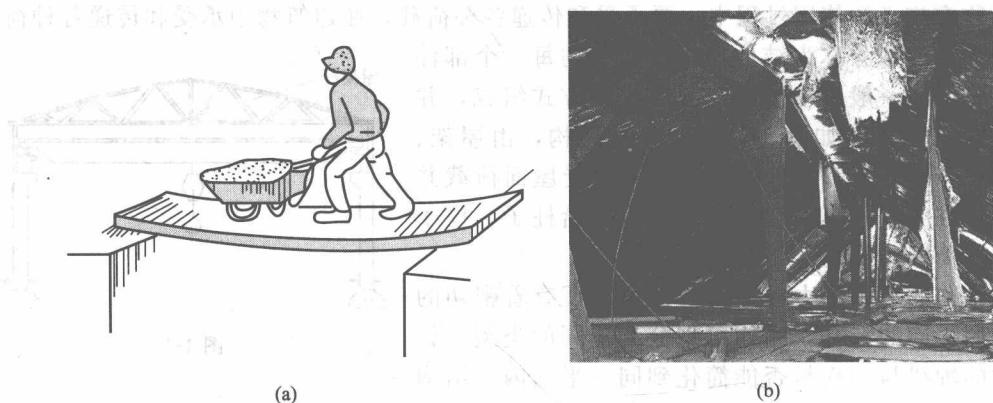


图 1-2

其实，人们一直很关注建筑结构中材料的力学性能以及各种结构的受力性能，例如工程中常用的钢筋混凝土简支梁，梁下部承受的拉力主要由钢筋承担，上部的压力主要由混凝土承担等。建筑结构的设计离不开力学，只有如此，才能设计出具有一定承载能力的结构。然而，结构的这种能力是和构件的材料性质、截面的几何形状和尺寸、工作条件以及受力性质等因素有关。众所周知，如果其他条件不变，构件尺寸设计的过小，当其承担大于构件承载能力的荷载时，就将不安全，这其中会因为变形过大而影响正常工作，或是强度不够发生破坏。相反，如果截面设计的过大，其承载能力远大于所受的荷载，也会造成材料的浪费。

④ 超静定结构的计算方法：由于能够提高承载能力，超静定结构在工程中得到广泛应用。仅用平衡方程往往不能完全确定超静定结构的内力，还需考虑变形协调条件。当计算出超静定结构的内力后，其强度、刚度、稳定性问题便迎刃而解。本书着重研究超静定结构的内力计算方法。

1.2 刚体、变形固体及其基本假设

工程实际中建筑结构存在多种形式,使用着各种各样的材料,受外界影响因素很多,因此要想对结构的受力进行完全真实的分析相当困难,甚至是不可能的。这就要采取抽象化和数学演绎的方法,在一定研究范围内,依据所研究问题的性质,抓住主要因素、忽略次要因素,做出一些假设,使复杂真实的结构简化成具有某些共性的理想物体。

建筑力学所研究的物体主要有两种力学模型:刚体和变形固体。

1.2.1 刚体

所谓刚体是指在任何外力作用下,其形状和大小都不会改变的固体。显然这是一种理想的模型,实际上,任何物体在力的作用下都会发生变形,只是有些变形很小,以至于肉眼观察不到。但在力学问题中,当变形与所研究的问题无关,或对所研究的问题影响甚微时,可以忽略不计,将物体视为刚体,从而将问题大大简化。

例如建筑结构中常见的梁,当研究其平衡问题时,可认为它是刚体,当研究它的强度、刚度问题时,又必须把它看做是变形体。因此,刚体的概念是相对的。

1.2.2 变形固体

如前所述,如果不能忽略变形对所研究问题的影响,则需将物体看成是变形固体。即在外力作用下或多或少地产生变形的物体。一般变形固体会产生两种不同性质的变形:弹性变形和塑性变形。弹性变形是在外力撤除后可消失的变形,塑性变形是外力撤除后不能消失的变形。

1.2.3 变形固体基本假设

由于变形固体的结构和形态比较复杂,为使问题得到简化,通常对变形固体作出以下四点基本假设。

① 连续性假设。假设物质毫无空隙地充满了整个构件占有的空间,也可认为是密实的。根据这个假设,在进行理论分析时,与构件相关的力学量可以用连续函数来表示。

② 均匀性假设。假设物体内各部分的力学性质是完全相同的。如果从构件中截取部分进行研究,不论其体积、大小和位置如何,都保持和整体同样的力学性质。

③ 各向同性假设。假设材料沿任何方向的力学性质完全相同,这类材料也称为各向同性材料。但是有些建筑材料沿各方向的力学性质不同,比如木材,其顺纹和横纹方向的力学性质完全不同。如图 1-3 所示。

④ 小变形假设。当外力不超过一定限度时,变形固体在外力作用下产生的变形与原始尺寸相比甚小。这样,在研究构件的受力、平衡和运动规律时可忽略其变形,仍可直接利用构件的原有尺寸来计算。在研究和计算变形时,变形的高次幂项也可忽略,从而使计算简化。

以上是有关变形固体的几个基本假设。实践表明,在这些假设基础上建立起来的理论符合工程实际。

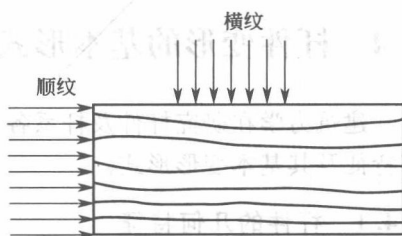


图 1-3

1.3 荷载的概念及其分类

建筑力学中,把作用在物体上的力分为两种。一种是使物体运动或使物体有运动趋势的主动动力,例如重力、地震作用等,一种是阻碍物体运动的力,又称为约束力。通常荷载是指作用在结构上的主动动力。荷载的形式多种多样,一般根据研究问题的方便作如下分类。

1.3.1 按荷载作用的性质划分

① 静荷载。是指缓慢施加到结构上的荷载,其大小、方向不随时间变化或变化可以忽略不计,不会使结构产生明显冲击和振动,因而可以忽略惯性力影响的荷载。例如图 1-2(a) 中踏板自重即可看做作用于踏板上的静荷载。

② 动荷载。是指大小、方向随时间明显变化的荷载,其显著特点是使构件产生加速度,使结构的内力、变形随时间变化。例如地震时由于地面运动在结构上产生的惯性力等。

1.3.2 按荷载作用的时间长短划分

① 恒载。是指永久作用在结构上的不变荷载。在结构的使用阶段,其大小、方向、位置均不改变,例如结构的自重等。

② 活载。是指暂时作用在结构上的可变荷载,例如车辆荷载、雪荷载及人群荷载等,图 1-2(a) 中人和小车可看做作用在踏板上的活载。

1.3.3 按荷载作用的范围划分

① 分布荷载。分布作用在体积、面积、线段上的荷载,分别称为体荷载、面荷载和线荷载,并统称为分布荷载。其中按分布均匀程度又分为非均匀分布荷载和均匀分布荷载。通常将杆件所受的分布荷载简化为作用到杆件的轴线上,这样,杆件所受的分布荷载均为线荷载。

② 集中荷载。作用在结构上的荷载一般总是分布在一定的面积上,当分布的面积远小于结构尺寸,可认为荷载集中作用于一点,称为集中荷载。

1.4 杆件变形的基本形式

建筑力学在研究杆件及杆系各部分的强度、刚度和稳定性问题时,首先要了解杆件的几何特征及其基本变形形式。

1.4.1 杆件的几何特征

尽管杆件的外形千差万别,但只要抓住轴线和横截面两个几何要素,就能够准确地描述杆件的特征。

若用一个平面假想地将一根杆件截开,杆件将露出一对截面。在一根杆件上可以截出无数个截面,所有截面形心的连线称为杆件的轴线,与轴线垂直的截面称为横截面。杆系结构中杆件的轴线多为直线,也有轴线为曲线和折线的杆件,根据轴线的特征,杆件可以分为直杆、曲杆和折杆。根据横截面的特征,杆件可分为等截面杆和变截面杆。本教材主要研究等截面直杆。

1.4.2 杆件的基本变形形式

杆件变形是杆件受力后,其长度、形状发生的改变。根据受力情况的不同,变形具有不

同的形式，具体有以下四种基本变形形式。

① 轴向拉伸与轴向压缩 在一对大小相等、方向相反、作用线与杆轴线重合的外力作用下，杆件的主要变形是沿杆轴线伸长或缩短，这种变形形式称为轴向拉伸与轴向压缩，如图 1-4 所示。

② 剪切 在一对大小相等、方向相反、作用线平行、相近而不重合的外力作用下，杆件的主要变形是这两个力之间的横截面沿外力作用方向发生错动。这种变形称为剪切，如图 1-5 所示。



图 1-4

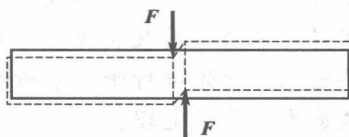


图 1-5

③ 扭转 在一对大小相等、转向相反、位于垂直杆轴线的两平行平面内的外力偶作用下，杆件的任意两横截面将绕轴线发生相互错动。这种变形称为扭转，如图 1-6 所示。

④ 弯曲 在一对大小相等、转向相反、位于杆的纵向对称平面内的外力偶或垂直于杆轴线的横向外力作用下，杆件的轴线在纵向平面内由直线变为曲线。这种变形称为弯曲，如图 1-7 所示。

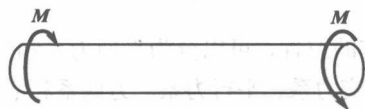


图 1-6

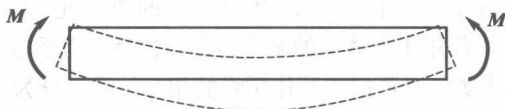


图 1-7

思考题

- 1-1 简述变形固体的基本假设。
- 1-2 简述杆件的基本变形形式及各自受力特征、变形特点。
- 1-3 使杆件发生扭转的外力偶与使杆件发生弯曲的外力偶有何不同？
- 1-4 简述建筑力学的任务。
- 1-5 解释杆件的强度、刚度、稳定性。

2 建筑力学基础知识

本章学习目标

- ☑理解力、力矩和力偶的概念。
- ☑掌握约束的性质及相应的约束反力。
- ☑熟练地对物体进行受力分析并正确地画出受力图。
- ☑熟悉力的平移定理。

2.1 力、力矩和力偶

2.1.1 力的概念

(1) 力的概念

力是物体间相互的机械作用，这种作用使物体的机械运动状态及形状发生改变。力对物体的作用效应决定于力的大小、方向和作用点三个因素，通常称为力的三要素。故力应以矢量表示。在国际单位制中，力的单位是 N 或 kN。

作用于物体上的多个力称为力系。力系按其作用线所在的位置，可以分为平面力系和空间力系两大类；又可以按其作用线的相互关系，分为共线力系、汇交力系、平行力系、力偶系和任意力系。

物体在力的作用下相对于惯性参考系保持静止或做匀速直线运动的状态称为平衡。平衡是物体机械运动的一种特殊形式。在一般工程问题中，所谓平衡则是指物体相对于地球的平衡，特别是指物体相对于地球的静止。

如果一个力系作用于某物体而使其保持平衡状态，则该力系称为平衡力系。一个力系必须满足某些条件才能使物体保持平衡状态，则这些条件称为平衡条件。

如果用一个简单力系等效地替换一个复杂力系，则称为力系的简化。如果复杂的力系能用与之等效的一个力来代替，则这个力称为原力系的合力。而该力系的各力称为此力的分力。

(2) 静力学公理

公理是人们在生活和生产过程中总结、积累的经验，又经过长期实践，反复验证，被大家确认是符合客观实际的最普遍、最一般的规律。研究力系简化和平衡的基本理论依据是静力学公理。

公理 1 力的平行四边形法则 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，由这两个力为邻边所构成的平行四边形的对角线确定。

如图 2-1(a) 所示。或者说，合力矢等于这两个力矢的矢量和，即

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

求两个共点力的合力时也可以应用三角形法则，如图 2-1(b) 所示，即让力矢 \mathbf{F}_1 和 \mathbf{F}_2 首尾相连，封闭的第三边即代表合力矢 \mathbf{F}_R 的大小和方向，而合力的作用

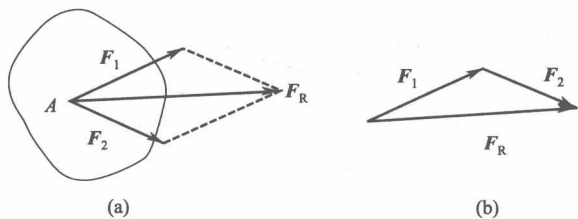


图 2-1

点仍在 A 点。

这个公理说明了力系的简化规律，它是复杂力系简化的基础。

公理 2 二力平衡原理 作用在刚体上的两个力，使刚体保持平衡的必要与充分条件是：这两个力的大小相等、方向相反且在同一条直线上。如图 2-2 所示，用矢量表示为 $F_A = -F_B$ 。

公理 3 加减平衡力系原理 在作用于刚体上的任一力系中，加上一个平衡力系或减去一个平衡力系，并不改变原力系对于刚体的作用效应。

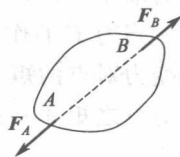


图 2-2

这个公理是研究力系等效变换的重要依据。

根据以上所述的公理，可以推导出如下推论：

力的可传性：作用在刚体上某点的力，可以沿着它的作用线移到刚体内的任意一点，并不改变该力对刚体的作用。

证明：设有力 F 作用在刚体上的 A 点，如图 2-3(a) 所示。在力的作用线上任取一点 B，并加上两个互相平衡的力 F_1 和 F_2 ，使 $F_1 = -F_2 = F$ ，如图 2-3(b) 所示，根据加减平衡力系原理，图 (b) 应与图 (a) 等效。又由于力 F 和 F_2 也是一个平衡力系，可以撤去，所以只剩下一个力 F_1 ，如图 2-3(c) 所示，图 (c) 应与图 (b) 等效，于是力 F 与力 F_1 等效，即原来的力 F 从原来的 A 点沿着它的作用线移到 B 点。

由此推论可以看出，对于刚体而言，力的作用点已经不是决定力的作用效应的要素，而已被作用线所代替。

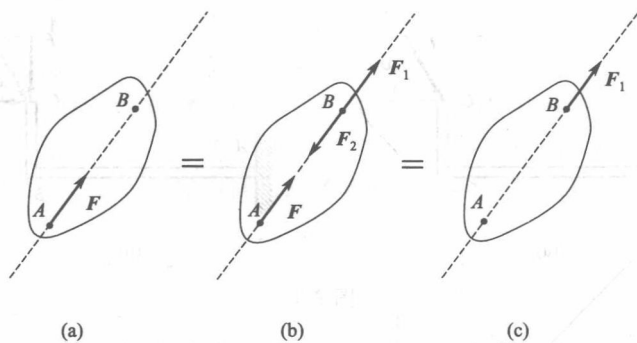


图 2-3

公理 4 作用和反作用定律 作用力和反作用力总是同时存在，两个力的大小相等、方向相反、沿着同一条直线，且分别作用在两个相互作用的物体上。

这个公理表明了物体间相互作用的关系。无论物体是静止的或运动着的，这一公理都成立。还应指出，作用力和反作用力是分别作用在两个物体上的，它区别于二力平衡原理中的两个平衡力。

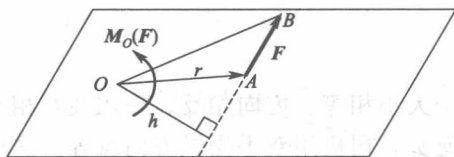


图 2-4

2.1.2 平面力系中力对点之矩的概念

(1) 平面力系中力对点之矩的概念

力对刚体的运动效应可分为移动效应和转动效应，其中力对刚体的移动效应可由力的大小、方向、作用点来决定，即用力矢来度量；而力对刚体的转动效应不仅与力矢有关，还与力矢到转动中心点的距离有关，所以力对刚体的转动效应要用力对点之矩来度量。如图 2-4 所示，力 F 与点 O 所在的平面称为力矩平面，点 O 称为

矩心，点 O 到力 F 作用线的垂直距离 h 称为力臂。将力 F 的大小与力臂的乘积，并冠以适当的正负号后，称为力 F 对 O 点之矩，用符号 $M_O(F)$ 表示，即

$$M_O(F) = \pm Fh = \pm 2S_{OAB} \quad (2-1)$$

式中， S_{OAB} 为三角形 OAB 的面积。力矩正负号的规定为：当力 F 使物体绕矩心 O 逆时针转动时取正号；顺时针转动时取负号。力矩的单位是 $N \cdot m$ 或 $kN \cdot m$ 。

当力 F 的作用线通过矩心时，它对矩心的力矩为零；当力 F 沿其作用线滑动时，并不改变力对点的矩。但应注意，同一个力对不同的点之矩一般是不同的，因此必须指明矩心，力对点之矩才有意义。另外，矩心可取在物体上的任一点，或者可以选取物体外的点作为矩心。

(2) 合力矩定理

合力矩定理 平面汇交力系的合力对于所在平面内任一点之矩等于所有各分力对于该点之矩的代数和。即

$$M_O(F_R) = \sum_{i=1}^n M_O(F_i) \quad (2-2)$$

当力矩的力臂不易求出时，常将力分解为两个容易确定力臂的分力（通常分解为正交力），然后应用合力矩定理计算力矩。

【例 2-1】 如图 2-5(a) 所示， AB 长为 3m， BC 长为 1m， $F=100N$ ，夹角 $\alpha=60^\circ$ 。试计算力 F 对 A 点之矩。

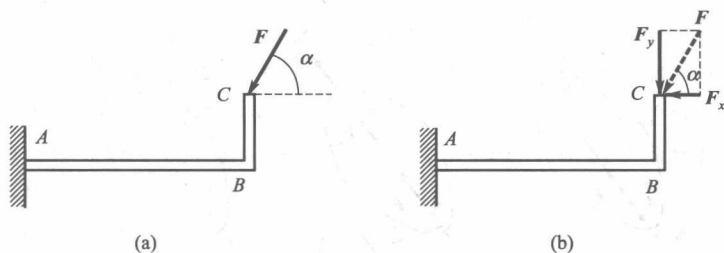


图 2-5

解： A 点到力 F 的力臂不易求出，此时将力 F 分解为水平力 F_x 和铅垂力 F_y ，如图 2-5(b) 所示，然后用合力矩定理计算，则

$$\begin{aligned} M_A(F) &= M_A(F_x) + M_A(F_y) \\ &= F \cos \alpha \times 1 - F \sin \alpha \times 3 \\ &= 100 \cos 60^\circ \times 1 - 100 \sin 60^\circ \times 3 \\ &= -36.60 (N \cdot m) \end{aligned}$$

2.1.3 力偶的概念

(1) 力偶的概念

在生活和生产实践中，人们经常在物体上施加两个大小相等、方向相反、作用线互相平行的力而使物体转动。例如，人们用两个手指拧动水龙头，司机用双手操纵方向盘等。这种作用在同一刚体上等值、反向、不共线的一对平行力，称为力偶，记为 (F, F') 。

力对刚体有移动和转动两种效应，而力偶对刚体仅仅有转动效应。既然力偶与力对物体的运动效应不同，则力偶不能用一个力来代替，即力偶中的两个力不能合成为一个力。所以，力偶也是构成力系的基本元素。