



新世纪高职高专实用规划教材

● 建筑系列

建筑力学(上册)

JIANZHU LIXUE

张 毅 主 编

董桂花 徐继忠 潘立常 副主编



清华大学出版社

新世纪高职高专实用规划教材 建筑系列

建 筑 力 学

(上册)

张 毅 主 编

董桂花 徐继忠 潘立常 副主编

清华大学出版社

北 京

内 容 简 介

本书是根据高职高专院校建筑工程类专业建筑力学课程的教学要求编写的,全书共分为三篇。第一篇为静力学,包括:静力学基础、平面汇交力系、力矩及平面力偶系、平面一般力系、空间力系及重心共5章。第二篇为材料力学,内容包括:材料力学基础、轴向拉伸和压缩、剪切、扭转、截面的几何性质、弯曲内力、弯曲应力、弯曲变形、应力状态理论和强度准则、组合变形的强度计算、压杆稳定共11章。第三篇为结构力学,内容包括:结构的计算简图、平面体系的几何组成分析、静定结构的内力分析、静定结构的位移计算、力法、位移法、力矩分配法、影响线共8章。

本书作者在教材编写中尽量体现“新”和“精”的特色,在内容的组织编写上,以“必须、实用、够用”为原则,简化理论推导过程,剔除较为复杂、难以理解的高深内容,注重教材的科学性及实用性。

本书可作为建筑工程类各专业高职高专教材,也可作为相关专业普通专科、电大、职大、函大等自学培训的教学用书,还可作为设计人员和工程技术人员的参考书。

版权所有,翻印必究。举报电话:010-62782989 13501256678 13801310933

本书封面贴有清华大学出版社防伪标签,无标签者不得销售。

本书防伪标签采用特殊防伪技术,用户可通过在图案表面涂抹清水,图案消失,水干后图案复现;或将表面膜揭下,放在白纸上用彩笔涂抹,图案在白纸上再现的方法识别真伪。

图书在版编目(CIP)数据

建筑力学(上册)/张毅主编;董桂花,徐继忠,潘立常副主编. —北京:清华大学出版社,2006.6
(新世纪高职高专实用规划教材 建筑系列)
ISBN 7-302-13027-2

I. 建… II. ①张… ②董… ③徐… ④潘… III. 建筑力学—高等学校:技术学校—教材 IV. TU311

中国版本图书馆CIP数据核字(2006)第047861号

出 版 者:清华大学出版社 地 址:北京清华大学学研大厦
http://www.tup.com.cn 邮 编:100084
社 总 机:010-62770175 客户服务:010-62776969
组稿编辑:彭 欣 李春明
文稿编辑:李春明
封面设计:陈刘源
排版人员:房书萍
印 刷 者:清华大学印刷厂
装 订 者:三河市李旗庄少明装订厂
发 行 者:新华书店总店北京发行所
开 本:185×260 印张:23.25 字数:555千字
版 次:2006年6月第1版 2006年6月第1次印刷
书 号:ISBN 7-302-13027-2/O·544
印 数:1~4000
定 价:31.00元(上、下册总定价48.00元)

前 言

我国传统的高等教育，一直以培养高、精、尖研究型人才为目标。近年来，我国经济高速发展，各行各业急需大批的实用型技术人才，传统的高等教育已不能满足经济快速发展的需要。

近几年国家大力扶持高职高专和各种层次的职业教育。目前，我国的职业教育已初具规模，但由于受传统教学方式的影响，教材建设已严重滞后。为了满足培养建筑工程类专业实用型技术人才，对建筑力学高职教材的需求，清华大学出版社和所有编者经过精心策划，仔细调研，以编者多年的建筑力学的教学及工程实践经验为基础，以易懂、易掌握、够用、能够满足结构类课程的需要为原则，对建筑力学的知识进行重新组织，简化常规力学教材中冗繁内容，注重实用性编写了这本建筑力学教材。

本书在编写过程中，参考了已出版的部分教材，在内容组织上以必须、实用及够用为原则，一方面注重理论教学的系统性，另一方面针对重点内容，着重增加练习。本书对知识的讲解深入浅出，淡化理论推导，注重实用性，具备较强的教学适用性，每章前均有“本章学习要求”，每章后均有“思考题”与“习题”，既便于教师教学和学生自学习，也有利于自学。

本书由山东城建职业学院张毅任主编，董桂花、徐继忠、潘立常任副主编，济南工程职业技术学院谷长水、杨勇，山东城建职业学院孙巨凤、张凤玲、济南城建公司华艳秋等参加编写。具体分工为：董桂花编写了静力学第1章、第2章、第3章、第4章及第5章；张毅编写材料力学第6章、第7章、第8章、第10章、第14章及结构力学第7章；张凤玲编写材料力学第9章、第11章、第12章、第13章及结构力学第8章；潘立常编写结构力学第3章、第4章、第5章；孙巨凤编写了材料力学第15章和第16章。谷长水与杨勇编写了结构力学第1章、第2章、第6章。全书由张毅、徐继忠与潘立常负责统稿、书稿的初审及版面的初步规划等工作，济南城建公司华艳秋参编材料力学第7章并与济南工程技术学院的刘伟进行部分文字编辑工作。

本书的编者均为从事力学课程教学十几年的一线双师型教师，本书经过清华大学出版社和各位编者的精心策划，准确定位，注重教材与其他相关课程的应用情况，具有较强的教学适用性及较宽的专业适应面。

本书在编写过程中得到了山东城建职业学院和清华大学出版社的鼓励和支持，全体编者在此表示深切的谢意，编写过程中参阅了其他一些院校编写的教材，在参考文献中一并列出。

由于编者的水平有限，时间仓促，书中缺点和错误在所难免，敬请同行及读者朋友提出宝贵意见，以便不断完善。

编 者

2006年2月

绪 论

建筑工程中的各类建筑物，如房屋、桥梁、蓄水池等，都是由许许多多构件组合而成的。这些建筑物，在建造之前，都要由设计人员对组成它们的构件一一进行受力分析，对构件的尺寸大小、所用的材料进行结构计算来确定，这样才能保证建筑物的牢固和安全。建筑力学便是为这些建筑结构的受力分析和计算提供理论依据的一门科学。本教材将研究这些理论的最基本的部分。

在进入各种具体问题的讨论之前，下面先就建筑力学的研究对象和主要内容作一个简单介绍。

1. 建筑力学的研究对象

建筑物在建造和使用过程中都会受到各种力的作用，工程中习惯于把作用于建筑物上的外力称为荷载。

在建筑物中，承受并传递荷载而起骨架作用的部分称为结构。结构可以是一根梁或一根柱，也可以是由多个结构元件(称为构件)所组成的整体。例如，工业厂房的空间骨架就是由屋架、柱子、吊车梁、屋面板及基础等多个构件组成的整体结构。

当我们对建筑物进行结构设计时，一般的做法是先对结构进行整体布置，把结构分为一些基本构件，对每一构件进行设计计算，然后再通过构造处理，把各个构件联系起来构成一个整体结构。

建筑力学的主要研究对象就是组成结构的构件和构件体系。

2. 建筑力学的主要内容

在荷载作用下，承受荷载和传递荷载的建筑结构和构件，一方面会引起周围物体对它们的反作用，另一方面，构件本身也因受荷载作用而将产生变形，并且存在着发生损坏的可能。所以结构构件本身应具有一定的抵抗变形、抵抗破坏和保持原有平衡状态的能力，即要有一定的强度、刚度和稳定的承载能力。这种承载能力的大小与构件的材料性质、截面几何形状及尺寸、受力特点、工作条件、构造情况等有关。在结构设计中，其他条件一定时，如果构件的截面设计得过小，当构件所受的荷载大于构件的承载能力时，则结构不安全，它会因变形过大而影响正常工作，或因强度不够而导致破损。当构件所受的荷载比构件的承载能力小得多时，则要多用材料，造成浪费。因此，我们在对结构或构件进行承载能力计算时，应使所设计的构件既安全又经济。上述这些便是建筑力学所研究的主要内容。这些内容将分静力学、材料力学、结构力学三个部分来讨论。

静力学主要研究物体在力系作用下的平衡问题，它包括力的基本性质、物体的受力分析、力系的合成与简化、力系的平衡条件及其应用等。

材料力学主要研究结构中各类构件以及构件的材料在外力作用下其本身的力学性质，即研究它们的内力和变形的计算以及强度、刚度和稳定的校核等问题。

结构力学主要研究结构的简化、结构的几何组成规律、结构内力和位移的计算原理与计算方法。

目 录

第一篇 静力学

第 1 章 静力学基础.....	2	2.4.3 用解析法求平面 汇交力系的合力.....	27
1.1 基本概念	2	2.5 平面汇交力系平衡的解析条件	29
1.1.1 刚体	2	2.6 小结	32
1.1.2 力	2	2.7 思考题.....	32
1.1.3 平衡	3	2.8 习题	33
1.1.4 力系	3	第 3 章 力矩 平面力偶系	37
1.1.5 荷载	4	3.1 力对点的矩 合力矩定理	37
1.2 静力学公理	4	3.1.1 力对点的矩.....	37
1.2.1 作用与反作用公理.....	4	3.1.2 合力矩定理.....	39
1.2.2 二力平衡公理.....	4	3.2 力偶及其特性.....	41
1.2.3 加减平衡力系公理.....	5	3.2.1 力偶.....	41
1.2.4 力的平行四边形公理.....	6	3.2.2 力偶的性质.....	41
1.3 约束与约束反力.....	8	3.3 平面力偶系的合成与平衡	43
1.3.1 约束与约束反力的概念.....	8	3.3.1 平面力偶系的合成.....	43
1.3.2 工程中常见的约束 及其约束反力.....	8	3.3.2 平面力偶系的平衡条件.....	45
1.3.3 支座及其反力.....	11	3.4 小结	45
1.4 受力图	13	3.5 思考题.....	46
1.4.1 单个物体的受力图.....	14	3.6 习题	48
1.4.2 物体系统的受力图.....	15	第 4 章 平面一般力系	51
1.5 小结	17	4.1 力的平移定理.....	52
1.6 思考题	18	4.2 平面一般力系向作用面 内任一点简化.....	54
1.7 习题	19	4.2.1 简化方法和结果.....	54
第 2 章 平面汇交力系	21	4.2.2 主矢和主矩.....	54
2.1 力系的类型概述.....	21	4.2.3 结论.....	55
2.2 平面汇交力系合成的几何法.....	21	4.2.4 简化结果的讨论.....	55
2.3 平面汇交力系平衡的几何条件	23	4.2.5 平面一般力系的 合力矩定理.....	56
2.4 平面汇交力系合成的解析法.....	25	4.3 平面一般力系的平衡方程	56
2.4.1 力在坐标轴上的投影.....	25		
2.4.2 合力投影定理.....	26		

4.3.1 平衡方程的基本形式.....	56	5.1.2 力沿空间直角坐标轴 的分解.....	92
4.3.2 平衡方程的其他形式.....	59	5.1.3 空间汇交力系的合成.....	92
4.3.3 应用平衡方程的解题步骤.....	60	5.1.4 空间汇交力系的平衡条件.....	94
4.4 平面平行力系的平衡方程.....	62	5.1.5 几种空间约束的类型.....	95
4.5 物体系统的平衡.....	65	5.2 空间一般力系.....	97
4.6 考虑摩擦时物体的平衡.....	70	5.2.1 力对轴的矩.....	97
4.6.1 滑动摩擦.....	70	5.2.2 空间一般力系的平衡方程.....	99
4.6.2 考虑摩擦时物体的 平衡问题.....	73	5.3 重心.....	101
4.7 小结.....	76	5.3.1 重心的概念.....	101
4.8 思考题.....	78	5.3.2 重心和形心的坐标公式.....	102
4.9 习题.....	80	5.3.3 确定物体重心的几种方法.....	104
第5章 空间力系 重心	89	5.4 小结.....	108
5.1 空间汇交力系.....	90	5.5 思考题.....	110
5.1.1 力在空间直角坐标轴上 的投影.....	90	5.6 习题.....	110

第二篇 材料力学

第6章 材料力学基础	116	7.2.1 轴力.....	124
6.1 材料力学的任务.....	116	7.2.2 轴力图.....	125
6.1.1 结构材料的基本要求.....	116	7.3 轴向拉(压)杆横截面上的应力.....	127
6.1.2 材料力学的研究对象 及几何特征.....	117	7.3.1 轴向拉(压)杆横截面 上的应力.....	127
6.2 变形固体的性质及其基本假设.....	117	7.3.2 正应力公式的使用条件 及应力集中的概念.....	129
6.2.1 变形固体的概念.....	117	7.4 轴向拉(压)杆斜截面上的应力.....	130
6.2.2 变形固体的基本假设.....	117	7.5 轴向拉压时杆件的强度计算.....	131
6.3 杆件变形的基本形式.....	118	7.6 拉(压)杆的变形 胡克定律.....	136
6.4 内力、截面法及应力的概念.....	119	7.6.1 纵向变形及线应变.....	136
6.4.1 内力.....	119	7.6.2 胡克定律.....	137
6.4.2 截面法.....	119	7.6.3 横向变形及泊松比.....	137
6.4.3 应力.....	120	7.7 材料在拉伸和压缩时的 力学性能.....	140
6.5 小结.....	121	7.7.1 材料拉伸时的力学性能.....	140
6.6 思考题.....	122	7.7.2 材料在压缩时的力学性能.....	144
第7章 轴向拉伸和压缩	123	7.7.3 两类材料的力学性能 的比较.....	147
7.1 轴向拉压的概念.....	123		
7.2 轴向拉压时的内力.....	124		

7.7.4 许用应力与安全系数.....	148	9.6.1 强度条件.....	184
7.8 拉压超静定问题.....	148	9.6.2 圆轴扭转时的变形.....	184
7.8.1 超静定的概念.....	148	9.6.3 刚度条件.....	185
7.8.2 超静定问题的解法.....	149	9.6.4 计算举例.....	186
7.8.3 装配应力及温度应力.....	152	9.7 小结.....	188
7.8.4 讨论.....	154	9.8 思考题.....	189
7.9 小结.....	154	9.9 习题.....	190
7.10 思考题.....	155	第 10 章 截面的几何性质.....	193
7.11 习题.....	156	10.1 静矩和形心.....	193
第 8 章 剪切.....	162	10.2 惯性矩与惯性积.....	195
8.1 剪切的概念.....	162	10.2.1 惯性矩.....	195
8.2 剪切与挤压的实用计算.....	163	10.2.2 惯性积.....	196
8.2.1 剪切强度的实用计算.....	163	10.2.3 极惯性矩.....	197
8.2.2 挤压强度的实用计算.....	164	10.3 平行移轴定理及组合截面 惯性矩的计算.....	197
8.3 小结.....	168	10.3.1 平行移轴定理.....	197
8.4 思考题.....	168	10.3.2 组合截面惯性矩的计算.....	199
8.5 习题.....	169	10.4 转轴定理 主惯性轴 主惯性矩... 200	
第 9 章 扭转.....	172	10.4.1 转轴定理.....	200
9.1 扭转的概念.....	172	10.4.2 形心主轴与形心 主惯性矩.....	201
9.2 外力偶矩的计算和扭转时的内力.....	173	10.5 小结.....	203
9.2.1 力偶矩的计算.....	173	10.6 思考题.....	205
9.2.2 扭转时的内力——扭矩.....	174	10.7 习题.....	205
9.2.3 扭矩图.....	175	第 11 章 弯曲内力.....	208
9.3 薄壁圆筒的扭转.....	176	11.1 梁的平面弯曲.....	208
9.3.1 薄壁圆筒扭转时 横截面上的剪应力.....	177	11.1.1 弯曲变形和平面弯曲.....	208
9.3.2 剪应力互等定理.....	178	11.1.2 梁的基本形式.....	209
9.3.3 剪切胡克定律.....	179	11.2 梁的内力.....	210
9.4 等直圆轴扭转时 横截面上的应力.....	179	11.2.1 剪力和弯矩.....	210
9.4.1 几何变形方面.....	179	11.2.2 剪力和弯矩的 正负号规定.....	210
9.4.2 物理关系方面.....	181	11.2.3 用截面法计算指定截面 上的剪力和弯矩.....	211
9.4.3 静力学关系方面.....	181	11.3 剪力方程和弯矩方程 梁的内力图.....	214
9.4.4 公式的适用范围.....	182	11.3.1 剪力方程和弯矩方程.....	214
9.5 极惯性矩和抗扭截面系数.....	182		
9.6 圆轴扭转时的强度条件 和刚度条件.....	184		

11.3.2 剪力图和弯矩图	215	13.1.2 梁的挠曲线及挠 曲线方程	264
11.4 弯矩、剪力与分布荷载集度 三者之间的微分关系及其应用	220	13.1.3 挠曲线近似微分方程	264
11.5 叠加法画弯矩图	224	13.2 积分法计算梁的变形	265
11.5.1 叠加原理	224	13.3 叠加法计算梁的变形	268
11.5.2 叠加法画弯矩图	225	13.4 梁的刚度校核及提高弯曲刚度 的措施	273
11.6 小结	227	13.4.1 梁的刚度校核	273
11.7 思考题	228	13.4.2 提高梁弯曲刚度的措施	274
11.8 习题	230	13.5 小结	275
第 12 章 弯曲应力	234	13.6 思考题	276
12.1 梁横截面上的正应力	234	13.7 习题	277
12.1.1 纯弯曲时梁横截面上 的正应力	235	第 14 章 应力状态理论和强度准则	280
12.1.2 正应力公式的适用条件	238	14.1 一点的应力状态概述	280
12.2 梁的正应力强度计算	240	14.1.1 一点应力状态的概念	280
12.2.1 梁的正应力强度条件	240	14.1.2 一点的应力状态的描述	281
12.2.2 梁的正应力强度计算	241	14.2 平面应力状态分析	282
12.3 梁横截面上的剪应力	244	14.2.1 平面应力状态的数解法	282
12.3.1 矩形截面梁的剪应力	244	14.2.2 平面应力状态的图解法 ——应力圆	285
12.3.2 工字形截面梁的剪应力	245	14.3 主应力与最大剪应力	288
12.3.3 圆形截面和圆环形截面梁 的最大剪应力	246	14.3.1 主应力与主平面的位置	288
12.4 梁的剪应力强度计算	248	14.3.2 最大剪应力	289
12.4.1 梁的剪应力强度条件	248	14.4 平面应力状态下的应力- 应变关系	291
12.4.2 梁的剪应力强度计算	248	14.5 强度准则	293
12.5 提高梁抗弯刚度的措施	251	14.5.1 强度准则的概念	293
12.5.1 合理安排梁的受力情况	251	14.5.2 常用的强度准则	293
12.5.2 选择合理的截面形状	253	14.5.3 强度理论的适用范围 及应用	296
12.5.3 采用变截面梁和 等强度梁	254	14.6 小结	299
12.6 弯曲中心的概念	254	14.7 思考题	301
12.7 小结	255	14.8 习题	301
12.8 思考题	257	第 15 章 组合变形的强度计算	306
12.9 习题	258	15.1 组合变形的概念	306
第 13 章 弯曲变形	263	15.1.1 组合变形的概念	306
13.1 弯曲变形的概念	263	15.1.2 组合变形的解题方法	307
13.1.1 挠度和转角	263		

15.2 斜弯曲	307	16.2.2 其他支承情况下细长 压杆的临界力	326
15.2.1 外力分解	307	16.3 欧拉公式的适用范围	
15.2.2 内力分析	308	临界应力总图	328
15.2.3 应力计算	308	16.3.1 临界应力	328
15.2.4 强度条件	308	16.3.2 欧拉公式的适用范围	329
15.3 偏心压缩(拉伸)	311	16.3.3 中长杆的临界应力计算	330
15.3.1 单向偏心压缩(拉伸)时的 应力和强度条件	311	16.3.4 临界应力总图	331
15.3.2 双向偏心压缩(拉伸)时的 应力和强度条件	315	16.4 压杆的稳定计算	332
15.3.3 截面核心的概念	317	16.4.1 压杆的稳定条件	332
15.4 小结	318	16.4.2 折减系数	332
15.5 思考题	319	16.4.3 稳定计算	337
15.6 习题	320	16.5 提高压杆稳定性的措施	340
第 16 章 压杆稳定	323	16.5.1 柔度方面	340
16.1 压杆稳定的概念	323	16.5.2 材料方面	341
16.1.1 问题的提出	323	16.6 小结	341
16.1.2 平衡状态的稳定性	324	16.7 思考题	342
16.2 细长压杆的临界力	325	16.8 习题	343
16.2.1 两端铰支压杆的临界力	325	附录 型钢规格表	345
		参考文献	358

第一篇 静 力 学

静力学是研究物体在力系作用下处于平衡状态的规律的。归结起来主要研究两个基本问题。一是力系的简化与合成。力系的简化与合成就是用一个简单力系代替复杂力系的过程，对力系进行简化有利于揭示力系对刚体的作用效应，同时有利于导出力系的平衡条件。二是力系的平衡条件及应用。研究力系的平衡条件，并应用这些平衡条件解决工程技术问题，是静力学的主要内容。

第 1 章 静力学基础

本章的学习要求：

- 深刻领会力、刚体、平衡的概念，这些是力学中最基本的概念。
- 深刻理解并熟记静力学公理及其适用范围。
- 熟练掌握常见约束及其约束反力。这是本章的难点，又是画受力图的基础。
- 物体的受力分析是本章的重点。要能正确地分析物体的受力情况，准确地画出单个物体和物体系统的受力图，这是解决力学问题的前提和关键。

1.1 基本概念

1.1.1 刚体

在任何外力作用下，大小和形状保持不变的物体，称为刚体。在本篇中，所研究的物体都是刚体。实际上，任何物体在力的作用下都将发生变形，但工程中的构件在正常情况下的变形都非常微小，例如建筑物中的梁，它在中央处最大的下垂量一般只有梁长度的 $1/250\sim 1/300$ 。这些微小的变形，对于讨论物体的平衡问题影响甚小，可以忽略不计，而且还可使问题大大简化。因此，可将物体视为刚体。

然而，当讨论物体受到力的作用后是否会被破坏时，变形就是一个主要的因素，这时就不能把物体看作刚体，而应该看作变形体。但须指出，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。

1.1.2 力

1. 力的定义

力是物体之间的相互机械作用，这种作用的效果会使物体的运动状态发生变化(外效应)，也会使物体发生变形(内效应)。

物体相互间的机械作用形式多种多样，可以归纳为两类。一类是两物体相互接触时，它们之间相互产生的拉力或压力；另一类是地球与物体之间相互产生的吸引力，对物体来说，这吸引力就是重力。

力不能脱离物体出现，而且有力必定至少存在两个物体，有施力体也有受力体。

2. 力的三要素

力对物体的作用效果取决于三个要素：力的大小、方向、作用点。力的大小反映物体相互间机械作用的强弱程度，它可以通过力的外效应和内效应的大小来量度。力的方向表示物体间的相互机械作用具有方向性，它包括力所顺沿的直线(称为力的作用线)在空间的方位和力沿其作用线的指向。力的作用点表示物体间相互机械作用位置的抽象化。实际上

物体相互作用的位置并不是一个点，而是物体的一部分面积或体积。如果这个面积或体积相对于物体很小或由于其他原因使力的作用面积或体积可以不计，则可将它抽象为一个点，此点称为力的作用点。力的三要素中的任何一个如有改变，则力对物体的作用效果也将改变。

力的三要素表明力是矢量，可用一条沿力的作用线的有向线段来表示。此有向线段的起点或终点表示力的作用点；此线段的长度按一定的比例表示力的大小；此线段与某定直线的夹角表示力的方位，箭头表示力的指向，故力是**定位矢量**。

图 1.1 表示出了物体在 A 点受到力 F 的作用。本书中用加黑的字母表示力矢量，如 F ，而用普通字母表示力矢量的大小，如 F 。而仅用符号不能确定它表示的力的作用点，这种只表示力的大小和方向，并可以从任一点画出的矢量称为**力矢**。

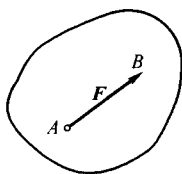


图 1.1 力的图示法

3. 力的单位

在国际单位制中，力的单位为 N (牛顿) 或 kN (千牛顿)，习惯用的工程单位是 kgf ，两种单位制的换算关系是： $1kgf=9.8N$ 。

4. 力的作用效应

力对物体的作用同时产生两种效应：运动效应与变形效应。改变物体运动状态的效应称为运动效应(或外效应)；使物体变形的效应称为变形效应(内效应)。内效应在第二篇和第三篇中研究，本篇只研究外效应。

1.1.3 平衡

物体相对于地球保持静止或做匀速直线运动的状态，称为平衡。例如，房屋、水坝、桥梁相对于地球是静止的；沿直线匀速起吊的构件相对于地球是做匀速直线运动，这些都是平衡的实例，它们的共同特点，就是运动状态没有发生变化。

1.1.4 力系

作用于物体上的一群力，称为**力系**。使物体保持平衡的力系，称为**平衡力系**。物体在力系作用下处于平衡时，力系所应该满足的条件，称为力系的**平衡条件**。在不改变作用效果的前提下，用一个简单力系代替一个复杂力系的过程，称为**力系的简化或力系的合成**。对物体作用效果相同的力系，称为**等效力系**。如果一个力与一个力系等效，则该力称为此力系的**合力**，而力系中的各个力称为这个合力的**分力**。

1.1.5 荷载

荷载分为集中荷载和分布荷载。凡荷载作用的范围相对较小,可以忽略不计时,作用在这个范围上的荷载,可以简化为**集中荷载**。凡荷载作用的范围较大,不能忽略时,称为**分布荷载**。当荷载分布于某一体积上时,称为**体荷载**(如物体的重力);当荷载分布于物体的某一面积上时,称为**面荷载**(如风、雪、水等对物体的压力);而当荷载分布于长条形状的体积或面积上时,则可简化为沿其长度方向中心线分布的**线荷载**。

物体上每单位体积、单位面积或单位长度上所承受的荷载分别称为**体荷载集度**、**面荷载集度**或**线荷载集度**,它们各表示对应的分布荷载密集的程度。荷载集度要乘以相应的体积、面积或长度后才是荷载(力)。均匀分布的荷载称为**均布荷载**;否则,即为**非均布荷载**。

线荷载集度的单位是 N/m , 而面荷载集度、体荷载集度的单位分别是 N/m^2 、 N/m^3 。

1.2 静力学公理

静力学公理是人类在长期的生产和生活实践中,经过反复观察和实验总结出来的普遍规律,并被认为是无需再证明的真理,它们是人们关于力的基本性质的概括和总结,是研究静力学的基础。

1.2.1 作用与反作用公理

两个物体间的作用力和反作用力,总是大小相等,方向相反,沿同一直线,并分别作用在这两个物体上。

这个公理概括了任何两个物体之间相互作用力的关系。如有作用力,就必定有反作用力,两者总是同时存在,又同时消失。例如,图 1.2 所示的物体 A 对物体 B 施加了作用力 F ,同时,物体 A 也受到物体 B 对它的反作用力 F' ,且这两个力大小相等、方向相反、沿同一直线作用。

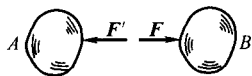


图 1.2 作用力与反作用力示意图

1.2.2 二力平衡公理

作用在同一刚体上的两个力,使刚体平衡的必要和充分条件是:这两个力大小相等、方向相反,且作用在同一直线上。

这个公理揭示了作用于刚体上的最简单力系平衡时所必须满足的条件,可称为二力平衡条件。图 1.3 所示为受两个力作用的刚体,很显然,刚体平衡的条件必须是:两个力 F_A 和 F_B 等值、反向、共线。应当指出,此公理只适用于刚体。对变形体,这个平衡条件是不充分的。例如,一根绳索两端受大小相等、方向相反的拉力能平衡;若受压力则不能平衡。

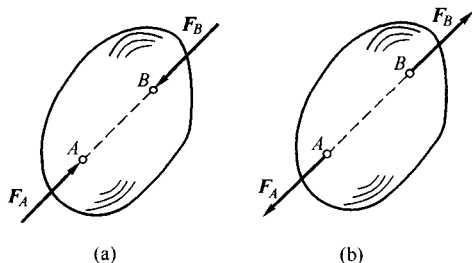


图 1.3 二力平衡条件示意图

必须注意，不能把二力平衡问题和作用力与反作用力关系混淆起来。二力平衡公理中的两个力是作用在同一物体上，而且是使物体平衡的。作用与反作用公理中的两个力是分别作用在不同的两个物体上，是说明一种相互作用关系的，虽然都是大小相等、方向相反、作用在一条直线上，但不能说是平衡。

若一根直杆只在两点受力而处于平衡，则作用在此两点的二力的方向必在这两点的连线上。此直杆称为二力杆(图1.4)。对于只在两点受力作用而处于平衡的一般物体，称为二力构件(图1.5)。

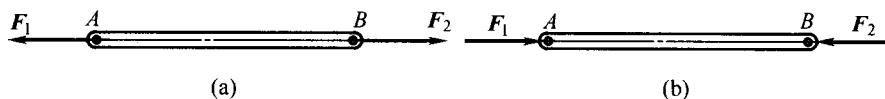


图 1.4 二力杆示意图

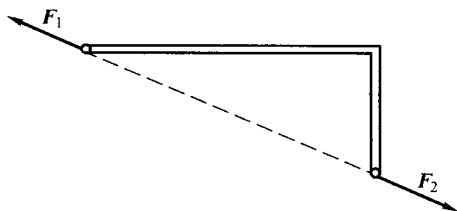


图 1.5 二力构件示意图

1.2.3 加减平衡力系公理

在作用于刚体的任意力系中，加上或减去任何一个平衡力系，并不改变原力系对刚体的作用效应。因为平衡力系对物体的运动效应为零，它不能改变物体的运动状态，所以在物体的原力系上加上或减去一个平衡力系，不会改变原力系对物体的运动效应。对于刚体来说，也就是改变不了原力系对刚体的作用效应。

推论：力的可传性原理

作用在刚体上的力，可沿其作用线移动到刚体内任意一点，而不改变原力对刚体的作用效应。

证明：

设力 F 作用在刚体上的 A 点(图 1.6(a))。在力 F 的作用线上任取一点 B ，并且在 B 点

加上一对沿 AB 线的平衡力 F_1 、 F_2 形成的平衡力系, 并使 $F_1 = -F_2 = F$ (图 1.6(b))。根据加减平衡力系公理, 由 F_1 、 F_2 、 F 三力组成的力系与原力 F 等效。再从该力系中减去由力 F 和 F_2 组成的平衡力系, 显然, 剩下的力 F_1 (图 1.6(c)) 与原力等效。这就相当于把作用在 A 点的力 F 沿其作用线移到了 B 点。

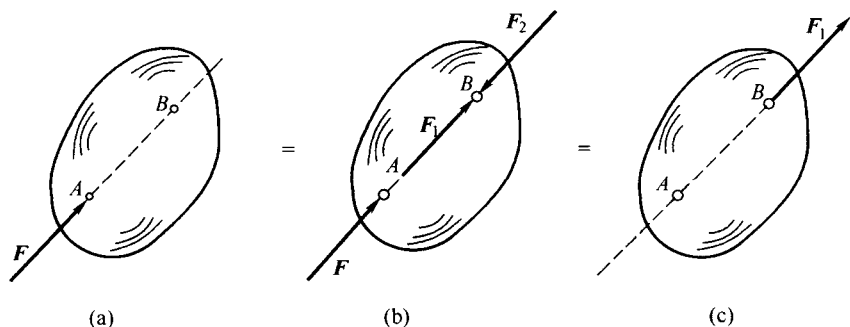


图 1.6 力的可传性原理示意图

由此可见, 对于刚体来说, 力的作用点已不是决定力的作用效应的要素, 它已为作用线所代替。因此, 作用于刚体上力的三要素是: 力的大小、方向和作用线。

应当指出, 加减平衡力系公理和力的可传性原理都只适用于研究物体的运动效应, 而不适用于研究物体的变形效应。例如, 图 1.7(a) 中, 直杆 AB 的两端受到等值、反向、共线的两个力 F_1 、 F_2 作用而处于平衡状态, 杆件发生的是压缩变形。如果将这两个力各沿其作用线移到杆的另一端 (图 1.7(b)), 虽然直杆 AB 仍然处于平衡状态, 但是, 这时杆件发生的就是伸长的变形了。这就说明当研究物体的变形效应时, 力的可传性原理就不适用了。

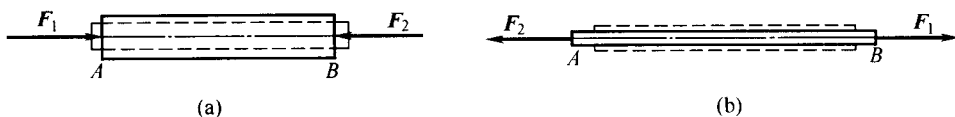


图 1.7 变形体: 力不可传示意图

1.2.4 力的平行四边形公理

作用于物体上同一点的两个力, 可以合成为一个合力, 合力也作用于该点, 合力的大小和方向由这两个力为边所构成的平行四边形的对角线来表示, 如图 1.8(a) 所示。

这个公理说明力的合成遵循矢量加法, 其矢量表达式为

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

即合力 $\mathbf{R}$ 等于两分力 $\mathbf{F}_1$ 、 $\mathbf{F}_2$ 的矢量和。为了简便, 在利用作图法求两共点力的合力时, 只需画出平行四边形的一半即可。其方法是: 先从两分力的共同作用点画出某一分力, 再自此分力的终点画出另一分力, 最后由第一个分力的起点至第二个分力的终点作一矢量, 即为合力, 作出的三角形, 称为力三角形, 这种求合力的方法称为力的三角形法则, 如图 1.8(b) 所示。

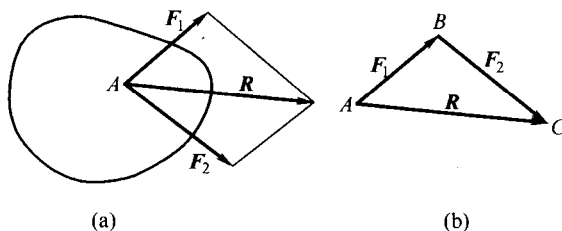


图 1.8 力的平行四边形法则示意图

两个共点力可以合成为一个力，反之，一个已知力也可以分解为两个分力。但是，将一个已知力分解为两个分力可得无数的解答。因为以一个力的矢量为对角线的平行四边形，可作无数个。如图 1.9 所示，力 F 既可以分解为力 F_1 和 F_2 ，也可以分解为力 F_3 和 F_4 ，等等。要得出惟一的解答，必须给出限制条件。在工程中，常把一个力 F 沿直角坐标轴方向分解，可得出两个互相垂直的分力 F_x 和 F_y ，如图 1.10 所示。 F_x 和 F_y 的大小可由三角函数公式求得

$$F_x = F \cos \alpha$$

$$F_y = F \sin \alpha$$

式中， α 为力 F 与 x 轴间的夹角。

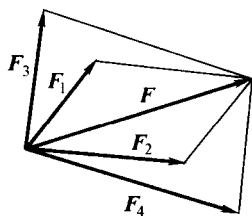


图 1.9 力的分解示意图

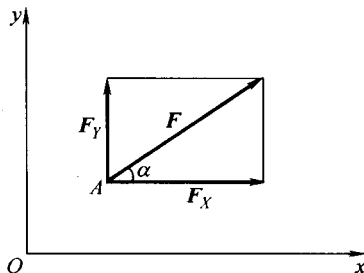


图 1.10 力沿直角坐标轴的分解示意图

力的平行四边形法则是力系简化的基础，同时，它也是力分解时所应遵循的法则。

推论：三力平衡汇交定理

一刚体受共面不平行的三个力作用而平衡时，这三个力的作用线必汇交于一点。

证明：

设一刚体在同一平面上的 A_1 、 A_2 、 A_3 三点上，分别作用着不平行的三个相互平衡的力 F_1 、 F_2 、 F_3 ，如图 1.11 所示。根据力的可传性原理，将力 F_1 、 F_2 移到该两力作用线的交点 A ，并按力的平行四边形公理合成为合力 R ， R 也作用在 A 点。因为三力 F_1 、 F_2 、 F_3 平衡，所以力 R 应与力 F_3 平衡。由二力平衡公理知，力 F_3 和 R 一定是大小相等、方向相反且作用在同一直线上，也就是说，力 F_3 必通过力 F_1 和 F_2 的交点 A ，即三个力 F_1 、 F_2 、 F_3 的作用线必汇交于一点。

三力平衡汇交定理只说明三力平衡的必要条件，而不是充分条件。它常用来确定刚体在共面不平行的三个力作用下平衡时，其中某一未知力的作用线方位。