

21世纪高等院校工程管理专业教材

建筑力学

JIANZHU LIXUE

杜贵成 宁欣 刘禹 编著

 东北财经大学出版社
Dongbei University of Finance & Economics Press



21世纪高等院校工程管理专业教材

建筑力学

JIANZHU LIXUE

杜贵成 宁欣 刘禹 编著

 东北财经大学出版社 大连
Dongbei University of Finance & Economics Press

© 杜贵成 宁欣 刘禹 2014

图书在版编目 (CIP) 数据

建筑力学 / 杜贵成, 宁欣, 刘禹编著. —大连: 东北财经大学出版社, 2014. 12

(21 世纪高等院校工程管理专业教材)

ISBN 978-7-5654-1703-0

I. 建… II. ①杜… ②宁… ③刘… III. 建筑科学-力学-高等学校-教材 IV. TU311

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2014) 第 232407 号

东北财经大学出版社出版

(大连市黑石礁尖山街 217 号 邮政编码 116025)

教学支持: (0411) 84710309

营 销 部: (0411) 84710711

总 编 室: (0411) 84710523

网 址: <http://www.dufep.cn>

读者信箱: dufep@dufe.edu.cn

大连华伟印刷有限公司印刷

东北财经大学出版社发行

幅面尺寸: 170mm×240mm

字数: 533 千字

印张: 26

插页: 1

2014 年 12 月第 1 版

2014 年 12 月第 1 次印刷

责任编辑: 李 彬 龚小晖 王 斌

责任校对: 贺 欣

封面设计: 张智波

版式设计: 钟福建

ISBN 978-7-5654-1703-0

定价: 42.00 元

21 世纪高等院校工程管理专业教材编写委员会

主 任

王立国 教授，博士生导师

委 员

(以姓氏笔画为序)

马秀岩 王全民 王来福 刘 禹 刘秋雁

李 岚 张建新 宋维佳 武献华 梁世连

总序

8年前，我们依照建设部高等院校工程管理专业学科指导委员会制定的课程体系，组织我院骨干教师编写了“21世纪高等院校工程管理专业教材”。目前，这套教材已出版的有《工程经济学》、《可行性研究与项目评估》、《工程项目管理学》、《房地产经济学》、《项目融资》、《工程造价》、《工程招标投标管理》、《工程建设合同与合同管理》、《城市规划与管理》、《国际工程承包》、《房地产投资分析》、《土木工程概论》、《投资经济学》、《建筑结构——概念、原理与设计》、《物业管理理论与实务》等17部。

上述教材的出版，既满足了校内本科教学的需要，也满足了其他院校和社会上实际工作者的需要。其中，一些教材出版后曾多次印刷，深受读者的欢迎；一些教材还被选入“普通高等教育‘十一五’国家级规划教材”。从总体上看，“21世纪高等院校工程管理专业教材”已取得了良好的效果。

为进一步提升上述教材的质量，加大工程管理专业学科建设的力度，新一届编委会决定，对已出版的教材逐本进行修订，并适时推出本科教学急需的新教材。

组织修订和编写新教材的指导思想是：以马克思主义经济理论和现代管理理论为指导，紧密结合中国社会主义市场经济的实践，特别是工程建设的管理实践，坚持知识、能力、素质的协调发展，坚持本科教材应重点讲清基本理论、基本知识和基本技能的原则，不断创新教材编写理念，大力吸收工程管理的新知识和新经验，力求编写的教材融理论性、操作性、启发性和前瞻性于一体，更好地满足高等院校工程管理专业本科教学的需要。

多年来，我们在组织编写和修订“21世纪高等院校工程管理专业教材”的过程中，参考了大量的国内外已出版的相关书籍和刊物，得到中华人民共和国国家发展和改革委员会、中华人民共和国住房和城乡建设部等部门的大力支持。同时，东北财经大学出版社有限责任公司的领导、编辑为这套系列教材的及时出版提供了必要的条件，做了大量的工作，在此一并致谢。

编写一套高质量的工程管理专业的系列教材是一项艰巨、复杂的工作。由于编著者的水平有限，书中的缺点与不足在所难免，竭诚欢迎同行专家与广大读者批评指正。

21世纪高等院校工程管理专业教材编委会主任 王立国

前言

建筑力学作为工程管理专业四大平台体系的工程技术类的核心课程，为其他工程技术课程的学习奠定了力学基础。

近年来，随着教育的不断深入，课程内容、体系、学时等各种因素都在不断变化。根据教学的需要和知识掌握规律，并体现力学理论与建筑结构设计的特点，从力学理论的系统性与连贯性出发，本书一改以往建筑力学只把理论力学、材料力学、结构力学按土木工程专业学习力学的惯例简单组合在一起的编写习惯，结合建筑设计的特点由浅入深地介绍力学原理在建筑设计中的应用，同时也考虑到学员在学习建筑力学时保持力学思想应用于建筑设计中的连贯性与递进性，从而达到学员系统理解与掌握建筑力学的基本原理的目的，为后续课程的学习打下良好的力学基础。

本书编写的具体特点如下：

第一，本书编写从知识体系上分为四个部分。

第一部分，力学的基本概念与基本原理的介绍；

第二部分，建筑结构的基本知识介绍；

第三部分，利用力学原理解决静定的建筑设计问题；

第四部分，利用力学原理解决比较复杂的建筑设计问题。

第二，本书编写从结构体系上分为两大主线。

第一主线，刚体的受力特征与分析；

第二主线，变形体的受力特征与分析。

本书具体编写是按静力学的基本知识、建筑结构基本知识、平面体系的几何组成分析、静定结构内力计算、静定结构的影响线及其应用、弹性变形体的基本知识、结构构件的强度与刚度问题、静定结构位移计算、压杆稳定问题和超静定结构问题的顺序，把理论力学、材料力学和结构力学三大力学知识有机贯通，汇成一体，另成建筑力学新体系。因此，本教材具有既考虑建筑设计思路，又兼顾静定结构与超静定结构计算的特点。

本书可作为高等院校工程管理、城市规划、交通工程、建筑学等非结构专业学生学习建筑力学的教材，也可供高职高专院校与成人高校师生及有关工程技术人员参考。

本书编写者有：杜贵成（第一章～第六章、附录）、宁欣（第七、八、九章）、刘禹（第十章）。全书由杜贵成统稿。编者水平有限，书中缺点和错误在所难免，

恳请使用本书的读者予以批评指正。

编 者

2014年9月于东北财经大学

目录

第一章 静力学基本知识	1
学习目标	1
第一节 静力学的基本概念	1
第二节 静力学公理与定理	5
第三节 力的合成与分解	9
第四节 平面力系的合成	12
第五节 平面力系的平衡	18
第六节 空间力系	22
第七节 小结	29
关键概念	32
复习思考题	32
习题	33
第二章 建筑结构的基本知识	38
学习目标	38
第一节 建筑与结构	38
第二节 结构上的作用	43
第三节 约束及约束反力	49
第四节 结构计算简图	51
第五节 建筑结构的分类	55
第六节 小结	58
关键概念	58
复习思考题	58
习题	59
第三章 平面体系的几何组成分析	61
学习目标	61
第一节 概述	61
第二节 平面体系自由度的计算	62
第三节 结构几何组成规则	65
第四节 结构几何组成分析示例	68
第五节 静定结构与超静定结构	71

第六节 小结	72
关键概念	73
复习思考题	73
习题	74
第四章 静定结构内力计算	76
学习目标	76
第一节 概述	76
第二节 静定结构的受力分析	77
第三节 静定梁的内力计算	90
第四节 静定平面刚架的内力计算	104
第五节 平面桁架的内力计算	112
第六节 三铰拱的内力计算	124
第七节 静定平面组合结构的内力计算	131
第八节 静定结构的基本特性	133
第九节 小结	135
关键概念	137
复习思考题	137
习题	138
第五章 静定结构的影响线及其应用	143
学习目标	143
第一节 影响线的概念	143
第二节 静力法作影响线	144
第三节 机动法作影响线	155
第四节 影响线的应用	157
第五节 小结	168
关键概念	169
复习思考题	169
习题	170
第六章 弹性变形体的基本知识	173
学习目标	173
第一节 弹性变形体的概念及基本假设	173
第二节 杆件变形的基本形式	174
第三节 正应力与剪应力的概念	176
第四节 正应变与剪应变的概念	177
第五节 胡克定律与泊松比	178
第六节 材料拉伸与压缩时的力学性质	181
第七节 失效、许用应力	185

第八节 二向应力状态下的强度条件——强度理论	186
第九节 小结	190
关键概念	191
复习思考题	191
第七章 结构构件的强度与刚度问题	192
学习目标	192
第一节 拉(压)杆的强度计算	192
第二节 扭转	202
第三节 弯曲	212
第四节 弯曲中心的概念	234
第五节 杆件在组合变形下的强度计算	235
第六节 小结	246
关键概念	247
复习思考题	247
习题	248
第八章 静定结构位移计算	252
学习目标	252
第一节 概述	252
第二节 变形体的虚功原理	254
第三节 结构位移计算的一般公式	259
第四节 静定结构在荷载作用下的位移计算	261
第五节 图乘法	266
第六节 静定结构在非荷载作用下的位移计算	272
第七节 弹性结构的互等定理	276
第八节 小结	280
关键概念	282
复习思考题	282
习题	283
第九章 压杆稳定问题	287
学习目标	287
第一节 概述	287
第二节 压杆稳定的临界荷载	289
第三节 压杆的临界应力与临界应力总图	292
第四节 稳定条件与合理设计	295
第五节 小结	297
关键概念	297
复习思考题	297

习题	297
第十章 超静定结构计算	301
学习目标	301
第一节 超静定结构概述	301
第二节 力法	304
第三节 位移法	335
第四节 力矩分配法	351
第五节 小结	368
关键概念	369
复习思考题	369
习题	371
附录 I 平面图形的几何性质	375
第一节 静矩与形心	375
第二节 惯性矩、惯性积和惯性半径	377
第三节 平行轴定理	380
第四节 转轴公式、主惯性轴和主惯性矩	381
习题	383
附录 II	386
第一节 热轧等边角钢	386
第二节 热轧不等边角钢	390
第三节 热轧普通工字钢	393
第四节 热轧普通槽钢	394
部分习题答案	396
参考文献	403

第一章

静力学基本知识

□ 学习目标

本章是力学的基础，除了对于概念的理解，更重要的是对于平衡、作用与反作用的理解。核心问题是关于平衡力系的拆解过程所体现出来的整体与部分一致性的平衡关系，以及各部分之间的作用与反作用原则。这不仅是本章的核心问题，更是本教材的核心理念，从宏观的受力、传力，到微观的应力、变形等关键概念，该原理贯穿始终。



第一节 静力学的基本概念

一、刚体的概念

刚体是在任何情况下大小和形状都不变的物体。显然，这是一个理想化的概念，实际上并不存在这样的物体。

在研究物体的力学平衡问题时，物体会发生微小的变形，但其微小变形不起主要作用，可以忽略不计，此时把物体视为刚体，不会影响研究问题的结果，同时可使问题的研究大为简化。因此，在研究问题时，刚体的概念是非常必要的。

例如图 1-1 所示的桥梁，由于车辆与桥梁自身的重量，使桥梁产生微小的变形，其变形一般不会超出桥梁长度的 $1/500$ 。这样如此微小的变形对于应用平衡条件求桥梁的支座反力及内力，几乎毫无影响。因此，就可以把桥梁看成为不变形的刚体。

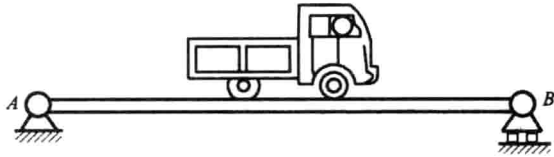


图 1-1

将物体视为刚体是有条件的，这主要与研究问题的性质有关。如果所研究的问题是作用在物体上的力的简化与平衡问题，就可以把物体视为刚体。如果对构件进行强度、刚度和稳定性等力学方面的研究，就要把研究的物体看作变形体。关于变形体的性质及其应用将于第六章及之后章节详细介绍。

二、力的概念

(一) 力的概念

力是物体之间相互的机械作用，这种作用使物体的运动状态发生改变（包括变形）。因此，力不能离开物体而存在，它们总是成对出现的。

物体在力的作用下，产生如下的效应：

一是使物体的运动状态发生变化（物体发生移动或转动）——外效应；

二是使物体发生变形——内效应。

当研究第一种效应时，考虑作用物体上的力之简化与平衡问题，将物体视为假想的刚体。

(二) 力的性质

力对物体的作用效应取决于力的三个要素。力的三要素是：大小、方向和作用点。

力是矢量，可用一有向线段来表示，如图 1-2 所示。这矢量的长度 AB （按一定的比例尺）表示力的大小；矢量的方向表示力的方向；矢量的始端（点 A ）或末端（点 B ）表示力的作用点；矢量 \vec{AB} 所沿着的直线（图 1-2）的虚线）表示力的作用线。

在国际单位制（SI）中，以牛顿（N）或千牛顿（kN）作为力的计算单位。

三、力矩与力偶的概念

(一) 力矩

力使物体移动的效应取决于它的大小与方向，而力使物体转动的效应则取决于力矩。生活实践中，广泛使用的杠杆、铡刀、剪刀、扳手等省力工具（或机械），它们的工作原理中都包含着非常生动的力矩效应。

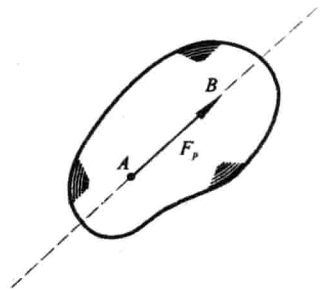


图 1-2

以扳手扳动螺母为例，作用于扳手一端的力 F_{p1} 使扳手同螺母绕点 O （亦即绕点 O 垂直于图面的轴）转动，如图 1-3 (a) 所示。当要拧紧螺母时，手上用的力 F_{p1} 越大，螺母拧得越紧。有时为了省力，采取加长扳手，使手上的用力点离绕点 O 远一点，如图 1-3 (b) 所示。这样，拧紧螺母的力 F_{p2} 就会比原来的力 F_{p1} 小一些。由此可知，力 F_p 使物体绕 O 点转动的效应，不仅与力 F_p 的大小有关，而且还与力的作用线到 O 点的垂直距离 h 有关。因此， F_p 与 h 乘积 ($F_p h$) 就是力的转动效应的度量，力 F_p 对矩心 O 之矩，称为力矩。力矩使物体绕矩心产生的转动方向用力矩的正负值表示，当力矩使物体产生逆时针方向转动时，力矩取为正值，反之取为负值。如图 1-3 所示的 F_{p1} ， F_{p2} ， F_{p3} 各力对矩心 O 的矩应取负值。

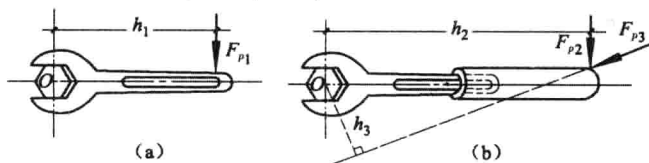


图 1-3

力 F_p 对于矩心 O 的矩以记号 $M_O(F_p)$ 表示，于是，计算公式为

$$M_O(F_p) = \pm F_p \cdot h \quad (1-1)$$

力矩的单位常用 $\text{N} \cdot \text{m}$ 或 $\text{kN} \cdot \text{m}$ 。

当力矩用矢量表示，如图 1-4 (a) 所示，设平面上作用一力 F_p ，在同平面内任取一点 O ，点 O 称为矩心，从点 O 沿力 F_p 作用面的法线 On 作一矢量来表示 (图 1-4 (b))，矢量的模表示力矩的大小。矢量的指向按右手螺旋法则确定，即四指表示力矩转向 (图 1-4 (b) 虚线)，拇指表示力矩矢量的指向。由此可知，力对垂直于力作用平面的某一轴的转动效应，力对轴之矩，如图 1-4 (c) 所示，力 F_p 对其作用平面的垂直轴 (On) 之矩可以表示为

$$M_n(F_p) = F_p h \quad (1-2)$$

式中， h ——力 F_p 距力的作用平面与垂直轴 (On) 交点 O 的距离。

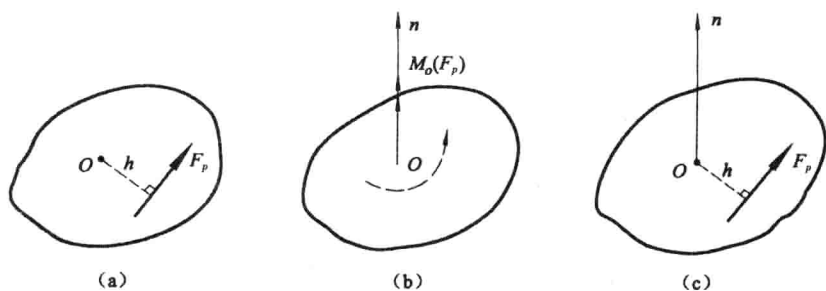


图 1-4

(二) 力偶

1. 力偶的概念

作用在同一物体上的两个大小相等、方向相反，且不共线的平行力，称为力

偶，以符号 (F_p, F'_p) 表示，如图 1-5 所示。力偶的两力之间的垂直距离 h 称为力偶臂，力偶所在的平面称为力偶的作用面。力偶对物体的作用效果是使物体产生单纯的转动。力偶中的两个力在任何坐标轴上投影之和等于零。

在生活和生产实践中，常常会遇到利用力偶作用进行工作的情况。例如，钳工用丝锥攻丝，汽车司机用双手转动方向盘（图 1-6）等。

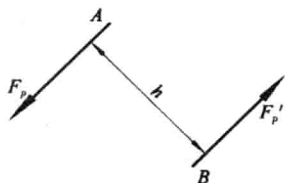


图 1-5

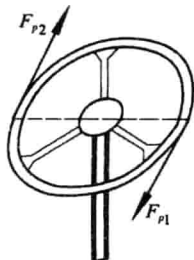


图 1-6

为了衡量力偶对物体产生的转动效应，用力偶矩 M 来度量，力偶矩是力偶的一个力 (F_p) 与力偶臂 h 的乘积，它的计算公式为

$$M = F_p h \quad (1-3)$$

常用图 1-7 所示的符号表示力偶， M 为力偶的矩。

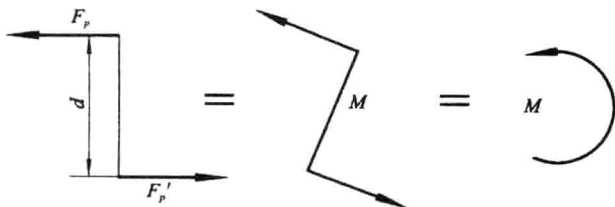


图 1-7

2. 力偶的性质

力偶的性质：只要保持力偶矩的大小、转向不变，力偶在其平面内的位置可以任意旋转或平移。

由此可得推论：

- (1) 力偶对刚体的作用与力偶在其作用面内的位置无关。
- (2) 只要保持力偶矩的大小和力偶的转向不变，可以同时改变力偶中力的大小和力偶臂的长短，而不改变力偶对刚体的作用。

由此可见，力偶中力的大小、力偶臂的长短以及在作用面内的位置都不是决定力偶对刚体作用的独立因素，只有力偶矩是力偶作用的唯一量度。

四、平面力系

一组力同时作用在一个物体上，这一组力就称为力系。力系是指力与物体作用与力在其作用平面内分布的方式。

如果有一力系可以代替另一力系作用在物体上而产生同样的机械运动效果，则两力系互相等效，可称为等效力系。

在工程实践中，经常会遇到所有的外力都作用在一个平面内的情况，这样的力系称为平面力系。

平面力系可按力系中的各力的相互关系分为平面汇交力系、平面平行力系和平面任意（一般）力系。

当平面力系中各力的作用线都汇交于一点时，称为平面汇交力系。

当平面力系中各力的作用线都互相平行时，称为平面平行力系。

当平面力系中各力的作用线既不全部平行，又不全部汇交于一点时，称为平面任意（一般）力系。

五、合力与平衡状态

如果某力与一力系等效，则此力为该力系的合力。也就是说：如果用一个力来代替一力系作用在物体上而产生同样的机械运动效果，则这个力即为该力系的合力。

当物体只受有合力作用时，物体一定是沿着合力的指向作机械运动。如果作用在物体上的合力不等于零，那么，物体就一定是运动的；如果合力等于零，那么，物体一定是处于平衡状态（物体保持静止或作匀速直线运动）。换言之，要使物体处于平衡状态，则作用在物体上的力系应是一组平衡力系。

第二节 静力学公理与定理

一、静力学公理

（一）公理一 二力平衡条件

作用在刚体上的两个力，使刚体保持平衡的必要和充分条件是：这两个力的大小相等，方向相反，作用在同一个刚体，且在同一直线上。这就是二力平衡条件。如图 1-8 所示，即

$$F_{p1} = -F_{p2} \quad (1-4)$$

这个公理表明了作用于刚体上的最简单的力系平衡时所必须满足的条件。值得注意的是，公理一只适用于刚体，对于变形体只是必要条件而不是充分条件。例如绳索在等值、反向、共线的两个拉力作用下可以处于平衡状态；若绳索在两个等值、反向、共线的压力作用下则不能平衡。

由此可见，对于变形体的平衡来说，除了满足刚体静力学的平衡条件外，还应满足与变形体的物理性质有关的相关条件。

工程上常遇到仅在两点受力作用而处于平衡状态的构件或杆件，通常称之为二

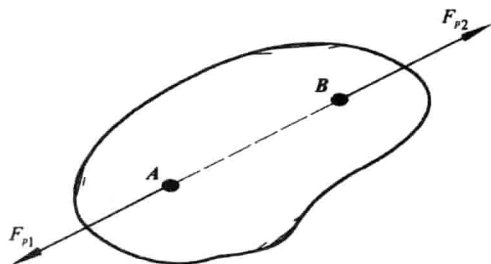


图 1-8

力构件或二力杆。

(二) 公理二 加减平衡力系原理

加减平衡力系原理：在作用于刚体的任意已知力系中，加上或减去任意的平衡力系，不改变原力系对刚体的作用效果。就是说，如果两个力系只相差一个或几个平衡力系，则它们对刚体的作用效果是相同的，因此这两个力系可以等效替换。

根据上述公理可以导出下列推论：

推论一 力的可传性原理

力的可传性原理：作用于刚体上的力在刚体内沿着它的作用线移到任意一点，并不改变该力对刚体的作用。

证明：设有力 F_p 作用在刚体上的 A 点，如图 1-9 (a) 所示。根据加减平衡力系原理，可在力的作用线上任取一点 B ，并加上两个相互平衡的力 F_{p1} 和 F_{p2} ，使 $F_{p2} = -F_{p1} = F_p$ ，如图 1-9 (b) 所示。由于力 F_p 和 F_{p2} 也是一个平衡力系，故可去掉；这样只剩下一个力 F_{p2} ，如图 1-9 (c) 所示。力 F_{p2} 与力 F_p 的大小、方向、作用线都相同，只是作用点从 A 点移动到 B 点，因此，作用效果不变。

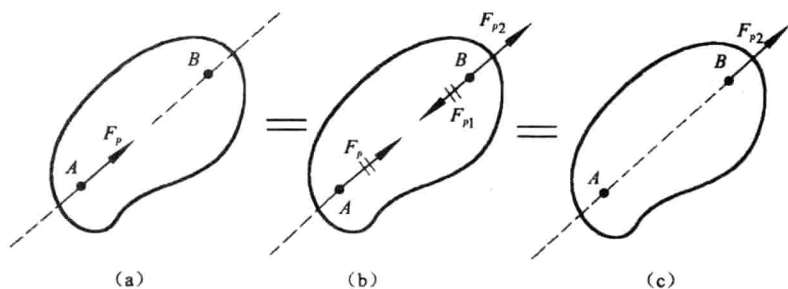


图 1-9

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果的要素，它已为作用线所代替。因此，作用于刚体上的力的三要素是：力的大小、方向和作用线。

应当指出：力的可传性只适用于刚体，不适用于变形体。

(三) 公理三 力的平行四边形法则

力的平行四边形法则：作用于刚体上一点的两个力的合力也作用于同一点，且