

21世纪高等学校土木建筑类
创新型应用人才培养规划教材

建筑力学

主 编 李香兰

副主编 李 琪 李曼曼 刘方华 仇丽梅 刘志宏



WUHAN UNIVERSITY PRESS

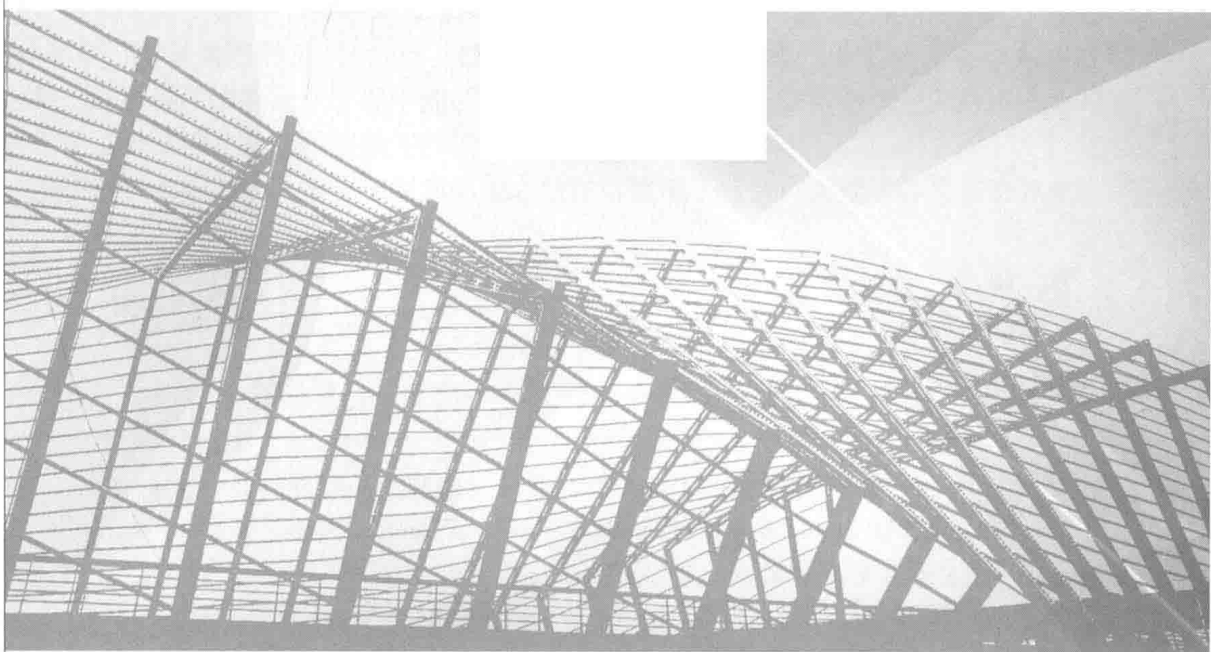
武汉大学出版社

21世纪高等学校土木建筑类
创新型应用人才培养规划教材

建筑力学

主 编 李香兰

副主编 李 琪 李曼曼 刘方华 仇丽梅 刘志宏



WUHAN UNIVERSITY PRESS

武汉大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

建筑力学/李香兰主编. —武汉:武汉大学出版社,2014.12
21世纪高等学校土木建筑类创新型应用人才培养规划教材
ISBN 978-7-307-14951-9

I. 建… II. 李… III. 建筑力学—教材 IV. TU311

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2014)第 291161 号

责任编辑:谢文涛

责任校对:汪欣怡

版式设计:韩闻锦

出版发行:武汉大学出版社 (430072 武昌 珞珈山)

(电子邮件:cbs22@whu.edu.cn 网址:www.wdp.com.cn)

印刷:湖北金海印务有限公司

开本:787×1092 1/16 印张:13.75 字数:330千字

版次:2014年12月第1版 2014年12月第1次印刷

ISBN 978-7-307-14951-9

定价:29.00元

版权所有,不得翻印;凡购买我社的图书,如有质量问题,请与当地图书销售部门联系调换。

前 言

本书根据教育部高等学校力学教学指导委员会发布的《理工科非力学专业力学基础课程教学基本要求》，并兼顾到学生继续学习和深造的需要编写而成。本书可作为高等学校工程管理、工程造价、建筑工程技术专业建筑力学课程的教材。

本书放宽了对建筑力学深度和难度的要求，注重基本理论、基本方法和基本计算的训练，注重创新能力的培养和工程概念的学习。在内容的选取上，借鉴了国内外的优秀教材，并考虑到建筑力学与很多工程问题密切相关的情况，在例题和习题的选择上涉及大量工程实例。

本书共分 12 章，另有 3 个附录。正文部分的内容包括：绪论、静力学基础知识、平面汇交力系、力矩与平面力偶系、平面一般力系、材料力学的基本概念、轴向受力构件、受扭构件、受弯构件、组合变形、几何组成分析、静定结构的受力分析。

本书由江西科技学院李香兰任主编，由江西科技学院李琪、李曼曼、刘方华任副主编。具体编写分工如下：李香兰编写第 1、2、3、4、7 章和附录 A、B、C，刘方华编写第 5、6 章，李琪编写第 8、10、11、12 章，李曼曼编写第 9 章。全书由李香兰负责统稿和定稿。江西科技学院土木工程学院领导及学院岩土与力学教研室全体教师对本书编写工作给予了全力支持，在此深表感谢！

由于编者水平有限，书中疏漏和不妥之处在所难免，恳请广大读者多提宝贵意见。

编 者

2014 年 6 月

目 录

第 1 章 绪论	1
1.1 建筑力学的研究对象	1
1.2 学习建筑力学的意义	1
1.3 建筑力学的学习要求	2
第 2 章 静力学基础知识	3
2.1 力的基本概念	3
2.1.1 力的基本概念	3
2.1.2 力系和平衡	3
2.2 静力学基本公理	3
2.2.1 二力平衡公理	4
2.2.2 加减平衡力系公理	4
2.2.3 力的平行四边形法则	4
2.2.4 作用力与反作用力公理	5
2.3 约束与约束反力	5
2.3.1 柔体约束	6
2.3.2 光滑接触面约束	6
2.3.3 光滑圆柱铰链约束	7
2.3.4 固定铰支座	7
2.3.5 可动铰支座	8
2.3.6 固定端支座	8
2.3.7 链杆约束	8
2.4 物体的受力和受力图	9
2.5 结构计算简图及荷载分类	11
2.5.1 结构计算简图	11
2.5.2 结构的简化	11
2.5.3 荷载分类	11
思考题	12
习题	13
第 3 章 平面汇交力系	15
3.1 平面汇交力系合成的几何法	15

3.1.1	两力汇交的合成	15
3.1.2	多个汇交力的合成	15
3.2	平面汇交力系平衡的几何条件	17
3.3	平面汇交力系合成的解析法	17
3.3.1	力在直角坐标轴上的投影	17
3.3.2	合力投影定理	18
3.3.3	用解析法求解汇交力系的合力	19
3.4	平面汇交力系平衡的解析条件	21
	思考题	23
	习题	23
第4章	力矩与平面力偶系	25
4.1	力对点之矩与合力矩定理	25
4.1.1	力对点的矩	25
4.1.2	合力矩定理	26
4.2	力偶及其基本性质	28
4.2.1	力偶及力偶矩	28
4.2.2	力偶的基本性质	29
4.3	平面力偶系的合成与平衡	30
4.3.1	平面力偶系的合成	30
4.3.2	平面力偶系的平衡条件	31
	习题	32
第5章	平面一般力系	35
5.1	力的平移定理	35
5.2	平面一般力系向作用面内任一点的简化	35
5.3	平面一般力系的平衡条件及其应用	37
5.3.1	平面一般力系的平衡条件	37
5.3.2	平面平行力系的平衡条件	39
5.3.3	平面一般力系的平衡条件的应用	39
5.4	物体系统的平衡	41
	思考题	42
	习题	43
第6章	材料力学的基本概念	47
6.1	变形固体及其基本假设	47
6.1.1	变形固体的概念	47
6.1.2	变形固体的基本假设	47
6.2	杆件变形的基本形式	48

6.3 内力、截面法、应力	49
6.4 变形和应变	51
第7章 轴向受力构件	52
7.1 轴向拉伸和压缩时的内力	52
7.1.1 轴向拉伸和压缩的概念	52
7.1.2 轴向拉压杆件的内力	52
7.1.3 内力图-轴力图	54
7.2 杆件在轴向拉伸和压缩时的应力	56
7.2.1 拉压杆横截面正应力	56
7.2.2 拉压杆斜截面上的应力	58
7.3 轴向拉压杆件的变形	60
7.3.1 轴向拉压杆的变形	60
7.3.2 泊松比	60
7.3.3 胡克定律	61
7.4 材料在拉伸和压缩时的力学性能	62
7.4.1 低碳钢常温拉压性能	63
7.4.2 其他材料拉压性能	66
7.4.3 塑性材料和脆性材料的比较	69
7.5 轴向拉压杆的强度条件及其应用	69
7.6 应力集中	71
7.6.1 应力集中的概念	71
7.6.2 应力集中对构件强度的影响	72
习题	73
第8章 受扭构件	78
8.1 剪切与挤压的概念	78
8.1.1 剪切的定义	78
8.1.2 挤压的定义	78
8.2 连接件强度计算	79
8.3 剪切胡克定律与剪应力互等定理	81
8.3.1 剪切胡克定律	81
8.3.2 剪应力互等定理	82
8.4 圆轴扭转时的内力	82
8.4.1 扭转的定义	82
8.4.2 圆轴扭转时的内力-扭矩	83
8.5 扭转时横截面上应力	84
8.5.1 圆轴扭转时横截面上的剪应力	84
8.5.2 矩形截面扭转时横截面上的剪应力	85
习题	86

第 9 章 受弯构件	89
9.1 平面弯曲	89
9.1.1 平面弯曲	89
9.1.2 单跨静定梁的几种形式	89
9.2 梁的弯曲内力——剪力和弯矩	90
9.2.1 截面法求内力	90
9.2.2 简易法求内力	93
9.3 用内力方程法绘制剪力图和弯矩图	94
9.4 用微分关系法绘制剪力图和弯矩图	98
9.4.1 荷载集度、剪力和弯矩之间的微分关系	98
9.4.2 用微分关系绘制剪力图和弯矩图	99
9.5 用叠加法画弯矩图	103
9.6 梁弯曲时的应力及强度计算	107
9.6.1 平面弯曲梁横截面应力分析	107
9.6.2 提高梁强度的措施	112
9.7 梁的变形	114
9.8 梁的应力状态	120
9.8.1 应力状态的概念	120
9.8.2 平面应力状态分析	123
习题	126
第 10 章 组合变形	130
10.1 组合变形的概念	130
10.2 斜弯曲变形的应力和强度计算	133
10.2.1 梁在斜弯曲情况下的应力	133
10.2.2 梁在斜弯曲情况下的强度条件	135
10.2.3 梁在斜弯曲情况下的变形	136
10.3 拉压和弯曲组合变形	137
10.4 偏心拉压杆件的强度计算及截面核心	138
10.4.1 偏心拉压的应力计算	139
10.4.2 偏心拉压的最大应力及强度条件	140
思考题	145
习题	147
第 11 章 几何组成分析	151
11.1 几何组成分析的概述	151
11.1.1 几何不变体系与几何可变体系的概念	151
11.1.2 几何组成分析的目的	152
11.2 几何组成分析的几个概念	152
11.2.1 刚片	152

11.2.2 自由体和自由度	152
11.2.3 约束	153
11.2.4 平面杆件体系的计算自由度	157
11.3 平面几何不变体系的组成规则	158
11.3.1 三角形规则	158
11.3.2 三刚片规则	159
11.3.3 二刚片规则	159
11.3.4 二元体规则	159
11.4 几何组成分析的步骤和示例	160
11.4.1 几何组成分析的步骤	160
11.4.2 几何组成分析的示例	160
习题	161
第 12 章 静定结构的受力分析	163
12.1 静定梁的受力分析	163
12.1.1 简支梁内力分析回顾	163
12.1.2 多跨静定梁受力分析	166
12.2 静定平面刚架受力分析	169
12.2.1 刚架的特点和类型	169
12.2.2 刚架受力分析	169
12.3 三铰拱受力分析	173
12.3.1 三铰拱的几何组成和类型	173
12.3.2 三铰拱的支座反力和内力	174
12.4 静定平面桁架受力分析	177
12.4.1 桁架的特点和组成	177
12.4.2 静定桁架结构的内力计算	179
12.5 静定结构受力分析总论	182
12.5.1 静定结构受力分析的方法	182
12.5.2 静定结构的一般性质	183
12.5.3 各种结构型式的受力特点	183
习题	184
附录 A 平面图形的几何性质	187
附录 B 常用型钢规格表	197
附录 C 希腊字母发音对照表	209
参考文献	210

第1章 绪 论

1.1 建筑力学的研究对象

建筑物中由若干构件连接而成的能承受“作用”的平面或空间体系称为建筑结构，在不致混淆时可简称结构。

作用分为直接作用和间接作用。直接作用习惯上称为荷载，系指施加在结构上的集中力或分布力系，如结构的自重、楼面荷载、风荷载、雪荷载等；间接作用指引起结构外加变形或约束变形的原因，如地基变形、混凝土收缩等。

组成结构的各单独部分统称为构件，在实际工程中，构件的形状可以是各种各样的，但经过适当的简化，一般可以归纳为四类，即杆、板、壳和块。所谓杆件，是指长度远大于其他两个方向尺寸的构件。杆件的形状和尺寸可由杆的横截面和轴线两个主要几何元素来描述。杆的各个截面形心的连线称为轴线，垂直于轴线的截面称为横截面。轴线为直线、横截面相同的杆称为等值杆。我们主要研究等值杆的变形。

1.2 学习建筑力学的意义

建筑力学是一门基础课程，为土木工程等结构设计以及解决施工现场中的受力问题提供必要的理论依据，为进一步学习相关专业课程打下基础。

建筑施工的主要任务是将设计图变成实际建筑物，作为施工技术及施工管理人员，应该懂得所施工结构物中各种构件的作用，知道它们会受到哪些力的作用，各种力的传递途径，以及构件在这些力的作用下会发生怎样的破坏等。只有这样，才能很好地理解设计图纸的意图和要求，科学地组织施工，保证施工质量，避免发生工程事故。同时，懂得力学知识，也更容易采取既便于施工而又保证构件承载能力的改进措施。

在施工现场有很多临时设施和机具，修建这些临时设施也要进行结构设计，如对一些重要的结构梁板施工时，为了保证梁板的形状、尺寸和位置的正确性，必须对安装的模板及其支架系统进行设计或验算，而这些工作都应由施工技术人员完成。懂得力学知识，才可能合理、经济地完成设计任务，否则不但不经济，还有可能酿成事故；机具和设备也需要施工技术人员具备力学知识，才能合理进行使用。

建筑施工中工程事故时有发生，其中很多是由于施工者缺少或者不懂力学知识而造成的。例如，由于不懂力矩的平衡要求，造成阳台的倾覆；不懂梁的内力分布，将钢筋配置错误而引起楼梯折断；不懂结构的几何组成规则，缺少必要的支撑而导致结构发生“几何可变”，甚至倒塌等。

因此,建筑力学知识是建筑工程设计人员和施工技术人员必不可少的基础知识,学好这门知识是现代施工所必需的。

1.3 建筑力学的学习要求

1. 注意建筑力学各部分的学习重点

建筑力学包括理论力学、材料力学两部分。理论力学部分主要对物体进行受力分析,正确理解平衡的概念;材料力学部分主要研究材料的力学性能,深刻理解变形和内力的概念。

2. 注意理论联系实际

本课程的理论来源于实践,是大量建筑实践的经验总结。因此,在学习中一方面要通过课堂学习和各个实践环节结合身边的建筑物实例进行学习;另一方面要有计划、有针对性地到施工现场进行学习,增加感性认识、积累实践经验。

3. 注意建筑力学和后续课程的关系

建筑力学是后续课程建筑结构设计的基础,只有通过力学分析才能得出内力,而内力是结构设计的依据。但是,力学中的理论和公式在建筑结构设计中不能直接应用,因此应该注意。

第2章 静力学基础知识

2.1 力的基本概念

2.1.1 力的基本概念

力是物体间的一种相互机械作用，力的作用将使物体发生运动效应和变形效应。力的运动效应又称外效应，力的作用改变物体的运动状态，即产生加速度；力的变形效应又称内效应，力的作用使物体发生形状和尺寸的改变。

力按照作用方式不同有超距力和接触力；按照作用空间位置分，有分布力和集中力；按力的性质分，有静力和动力。

2.1.2 力系和平衡

我们把这种在力的作用下不产生形变的物体称为刚体。刚体是对实际物体经过科学抽象和简化的一种理想模型。但当变形对于物体分析影响很大时，就不能再把物体看成刚体，它就是变形体。

力学中研究的运动是物体机械运动，机械运动是指随时间推移物体空间位置的变动。在本书中，一般以地面为参考系，当物体相对于地面保持静止状态或者匀速直线运动状态时，称为物体处于平衡状态。

作用在同一物体或物体系统上的一组力称为力系。根据构成力系各力的作用线间的关系，可以将力系分为如下几种情形：

当构成力系各力的作用线不在同一平面时，该力系称为空间力系或空间一般力系。

当构成力系各力的作用线在同一平面时，该力系称为平面力系或平面一般力系。

当构成力系各力的作用线汇交同一点时，该力系称为汇交力系。

当构成力系各力的作用线相互平行时，该力系称为平行力系。

当力系是由两个及两个以上力偶组成时，该力系称为力偶系。

2.2 静力学基本公理

静力学公理是人们从实践中总结得出的最基本的力学规律，这些规律的正确性已为实践反复证明，是符合客观实际的。它阐述了力的一些基本性质，是静力学分析的基础。

2.2.1 二力平衡公理

作用于刚体上的两个力，使物体平衡的充分与必要条件是：这两个力大小相等、方向相反，且作用在同一条直线上。

这一结论是显而易见的。如图 2.1 所示直杆，在杆的两端施加一对大小相等的拉力 (F_1 、 F_2) 或压力 (F_1 、 F_2)，均可使杆平衡。

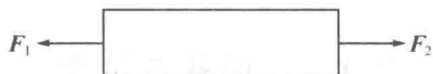


图 2.1

应当指出，该条件对于刚体来说是充分而且必要的；而对于变形体，该条件只是必要的而不充分。如当受到两个等值、反向、共线的压力作用时柔索就不能平衡。

在两个力作用下处于平衡的物体称为二力体；若为杆件，则称为二力杆。根据二力平衡公理可知，作用在二力体上的两个力，它们必通过两个力作用点的连线（与杆件的形状无关）且等值、反向。

2.2.2 加减平衡力系公理

在作用于刚体上的已知力系上，加上或减去任意平衡力系，不会改变原力系对刚体的作用效应。这是因为平衡力系中，诸力对刚体的作用效应相互抵消，力系对刚体的效应等于零。根据这个原理，可以进行力系的等效变换。

推论：力的可传性原理。

作用于刚体上某点的力，可沿其作用线任意移动作用点而不改变该力对刚体的作用效应。利用加减平衡力系公理，很容易证明力的可传性原理。如图 2.2 所示，设力 F 作用于刚体上的 A 点。现在其作用线上的任意一点 B 加上一对平衡力系 F_1 、 F_2 ，并且使 $F_2 = -F_1 = F$ ，根据加减平衡力系公理可知，这样做不会改变原力 F 对刚体的作用效应，再根据二力平衡条件可知， F_1 和 F 亦为平衡力系，可以撤去。所以，剩下的力 F_2 与原力 F 等效。力 F_2 即可看成力 F 沿其作用线由 A 点移至 B 点的结果。同样必须指出，力的可传性原理也只适用于刚体而不适用于变形体。因此，对刚体来说，力作用三要素为：大小、方向、作用线。

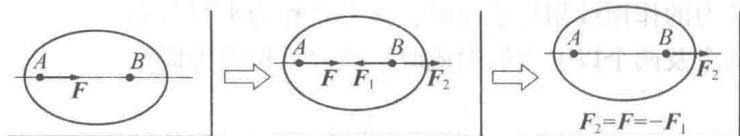


图 2.2 力的可传性

2.2.3 力的平行四边形法则

作用在物体上同一点的两个力，可合成为一个合力。此合力也作用于该点，合力的大

小和方向，由这两力矢为邻边所构成的平行四边形的对角线确定。即合力矢等于这两个分力矢的矢量和，如图 2.3(a) 所示。其矢量表达式为

$$R = F_1 + F_2$$

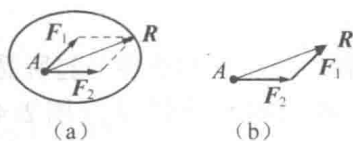


图 2.3 力的合成

在求两共点力的合力时，为了作图方便，只需画出平行四边形的一半，即三角形便可。如图 2.3(b) 所示，其方法是自任意点 A 开始，先画出一矢量 F_2 ，然后再由 F_2 的终点画另一矢量 F_1 ，最后由 A 点至力矢 F_1 的终点作一矢量 R ，它就代表 F_1 、 F_2 的合力矢。合力的作用点仍为 F_1 、 F_2 的汇交点 A 。这种作图法称为力的三角形法则。显然，若改变 F_1 、 F_2 的顺序，其结果不变。

三力平衡汇交定理：作用于刚体上平衡的三个力，如果其中两个力的作用线交于一点，则第三个力必与前面两个力共面，且作用线通过此交点，构成平面汇交力系。这是物体上作用的三个不平行力相互平衡的必要条件。

应当指出，三力平衡汇交定理只说明了不平行的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不平行三力作用下平衡时，其中某一未知力的作用线。

2.2.4 作用力与反作用力公理

两个物体间相互作用的一对力，总是大小相等、方向相反、作用线相同，并分别而且同时作用于这两个物体上。

这个公理概括了任何两个物体间相互作用的关系。有作用力，必定有反作用力；反过来，没有反作用力，也就没有作用力。两者总是同时存在，又同时消失。因此，力总是成对地出现在两个相互作用的物体上的。

要区别二力平衡公理和作用力与反作用力公理之间的关系，前者是对一个物体而言，而后者则是对物体之间而言。

2.3 约束与约束反力

一个物体的运动受到周围物体的限制时，这些周围物体就称为该物体的约束。物体受到的力一般可以分为两类：一类是使物体运动或使物体有运动趋势，称为主动力，如重力、水压力等，主动力在工程上称为荷载；另一类是对物体的运动或运动趋势起限制作用的力，称为被动力。约束对物体运动的限制作用是通过约束对物体的作用力来实现的，通常将约束对物体的作用力称为约束反力，简称反力，约束反力的方向总是与约束所能限制的运动方向相反。通常主动力是已知的，约束反力是未知的。

2.3.1 柔体约束

由柔软的绳子、链条或胶带所构成的约束称为柔体约束。由于柔体约束只能限制物体沿柔体约束的中心线离开约束的运动，所以柔体约束的约束反力必然沿柔体的中心线而背离物体，即拉力，通常用 F_T 表示。

如图 2.4(a) 所示的起重装置中，桅杆和重物一起所受绳子的拉力分别是 F_{T1} 、 F_{T2} 和 F_{T3} (图 2.4(b))，而重物单独受绳子的拉力则为 F_{T4} (图 2.4(c))。

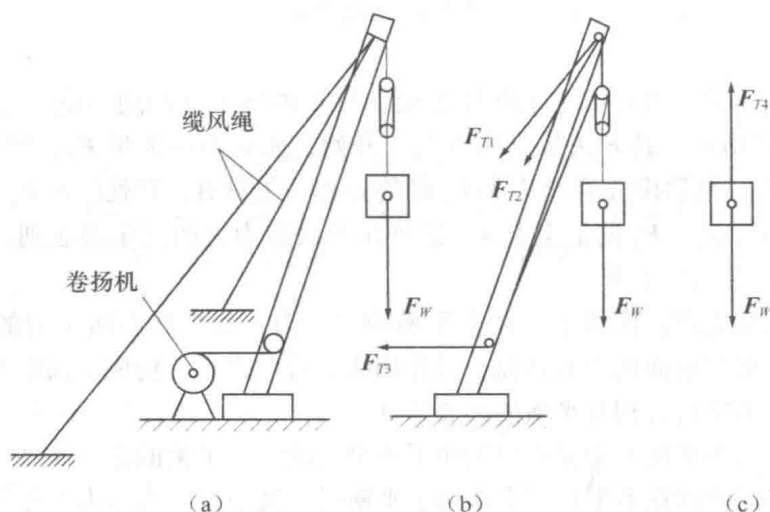


图 2.4 柔体约束

2.3.2 光滑接触面约束

当两个物体直接接触，而接触面处的摩擦力可以忽略不计时，两物体彼此的约束称为光滑接触面约束。光滑接触面对物体的约束反力一定通过接触点，沿该点的公法线方向指向被约束物体，即为压力或支持力，通常用 F_N 表示，如图 2.5 所示。

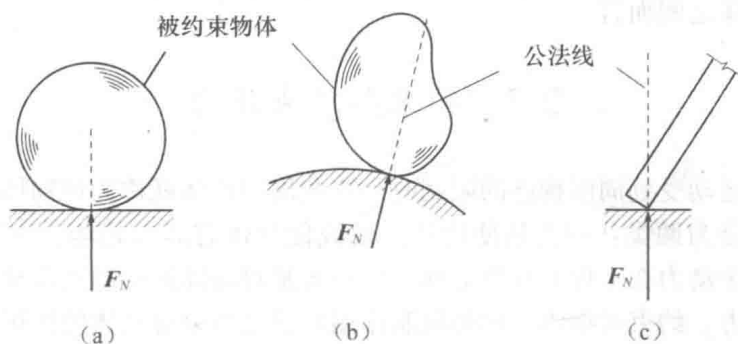


图 2.5 光滑接触面约束

2.3.3 光滑圆柱铰链约束

圆柱铰链约束是由圆柱形销钉插入两个物体的圆孔构成的，如图 2.6(a)、(b)所示，且认为销钉与圆孔的表面是完全光滑的，计算简图如图 2.6(c)所示。

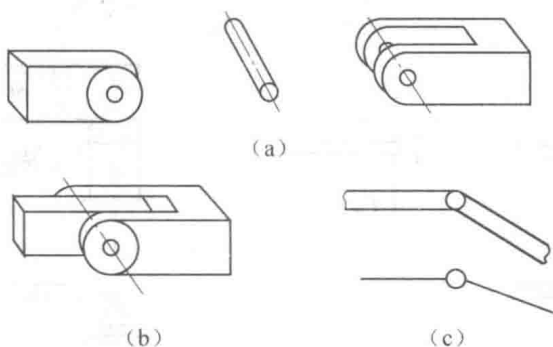


图 2.6 圆柱铰链约束

圆柱铰链约束只能限制物体在垂直于销钉轴线平面内的任何移动，而不能限制物体绕销钉轴线的转动。如图 2.7 所示，其约束反力在垂直于铰链轴线的平面内，过销钉中心，方向不确定(图 2.7(a))。一般情况下可用图 2.7(b)所示的两个正交分力表示。

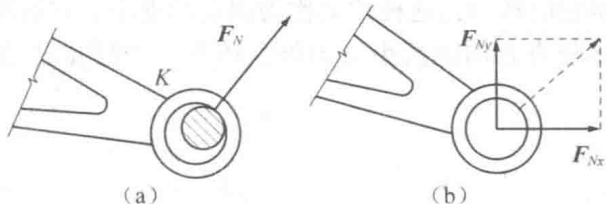


图 2.7 圆柱铰链约束及约束反力

2.3.4 固定铰支座

用光滑圆柱铰链将物体与支承面或固定机架连接起来，称为固定铰支座，如图 2.8(a)所示，计算简图如图 2.8(b)所示。

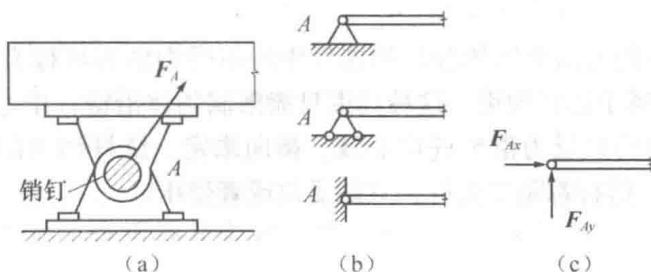


图 2.8 固定铰支座及约束反力

2.3.5 可动铰支座

在固定铰支座的座体与支承面之间加辊轴就成为可动铰支座，其简图如图 2.9(a)、(b)所示，其约束反力必垂直于支承面，如图 2.9(c)所示。在房屋建筑中，梁通过混凝土垫块支承在砖柱上，如图 2.9(d)所示，不计摩擦时可视为可动铰支座。

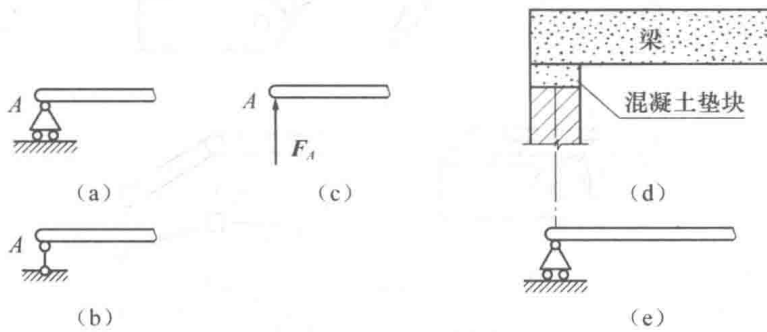


图 2.9 可动铰支座

2.3.6 固定端支座

如房屋的雨篷、挑梁，其一端嵌入墙里(图 2.10(a))，墙对梁的约束既限制它沿任何方向移动，同时又限制它的转动，这种约束称为固定端支座。它的简图可用图 2.10(b)表示，它除了产生水平和垂直方向的约束反力外，还有一个阻止转动的约束反力偶，如图 2.10(c)所示。

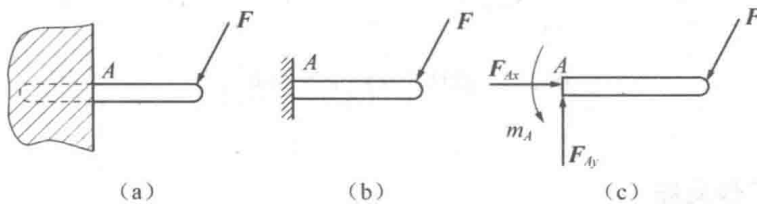


图 2.10 固定端支座

2.3.7 链杆约束

两端用铰链与不同的两个物体分别相连且中间不受力的直杆称为链杆，图 2.11(a)、(b)中 AB 、 BC 杆都属于链杆约束。这种约束只能限制物体沿链杆中心线趋向或离开链杆的运动。链杆约束的约束反力沿链杆中心线，指向未定。链杆约束的简图及其反力如图 2.11(c)、(d)所示。链杆都是二力杆，只能受拉或者受压。