

21世纪普通高等院校规划教材
土木工程类

JIANZHU LIXUE

建筑力学

主 编 韩志型 李 丹
主 审 陈国平



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

21 世纪普通高等院校规划教材——土木工程类

建筑力学

主编 韩志型 李 丹

主审 陈国平

西南交通大学出版社

· 成 都 ·

图书在版编目 (C I P) 数据

建筑力学 / 韩志型, 李丹主编. —成都: 西南交通大学出版社, 2014.5

21 世纪普通高等院校规划教材. 土木工程类
ISBN 978-7-5643-2576-3

I. ①建… II. ①韩… ②李… 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 196378 号

21 世纪普通高等院校规划教材——土木工程类

建筑力学

主编 韩志型 李 丹

责任编辑	张 波
助理编辑	姜锡伟
封面设计	墨创文化
出版发行	西南交通大学出版社 (四川省成都市金牛区交大路 146 号)
发行部电话	028-87600564 028-87600533
邮政编码	610031
网 址	http://press.swjtu.edu.cn
印 刷	四川森林印务有限责任公司
成品尺寸	185 mm × 260 mm
印 张	23.5
字 数	584 千字
版 次	2014 年 5 月第 1 版
印 次	2014 年 5 月第 1 次
书 号	ISBN 978-7-5643-2576-3
定 价	48.00 元

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

前 言

本书根据教育部高等学校力学教学指导委员会 2008 年发布的理工科非力学专业力学基础课程教学基本要求,考虑提高工科人才力学综合素质和培养创新意识编写而成,可作为高等学校建筑学、城市规划、工程管理、安全工程、勘查技术与工程等专业建筑力学课程的教材。

建筑力学是城市规划、建筑学等专业主要的一门基础理论必修课,该课程在基础课和专业课之间起着承上启下作用,能使學生掌握建筑结构和构件在荷载或其他作用下的工作状况,是学习后续课程的基础。本书适当降低了对建筑力学深度和难度的要求,注重理论和实践相结合,注意培养学生创新能力;同时借鉴诸多优秀教材,去繁存精,适当增加建筑工程实际问题,在例题和习题中注重工程实例的选取。为了提升学生的学习兴趣以及巩固重点知识点,本书每章均有小结、力学在建筑中的应用、思考题和习题。

本书共分 15 章,主要内容包括建筑力学基础、平面力系的合成与平衡、拉伸与压缩、剪切与扭转、平面杆系的几何组成分析、静定结构的内力分析、梁的弯曲应力、梁的弯曲变形、应力状态与强度理论、杆件在组合变形下的强度计算、压杆稳定、静定结构的位移计算、力法、位移法、矩阵分配法。同时书后附有常用截面的几何性质等 3 个附录。

该书的编写由西南科技大学土木工程与建筑学院力学教研室承担,本教材由韩志型和李丹担任主编,具体编写分工如下:韩志型编写了第 1、6、9 和 11 章,李丹编写了第 3、4、7、10 章和附录 B、附录 C,富裕编写了第 5、12、13 章,彭芸编写了第 14、15 章,李朗编写了第 2 章、8 章和附录 A。全书由韩志型和李丹统稿,西南科技大学土木工程与建筑学院力学教研室主任陈国平审阅了全书。

限于编者水平,书中难免有疏漏和不妥之处,恳请读者批评指正。

编 者

2013 年 5 月

本书主要符号

A	——面积；
E	——弹性模量；
G	——剪切模量；
I	——惯性矩；
g	——重力加速度；
l 、 L	——跨度；
m	——质量；
q	——分布载荷集度；
R 、 r	——半径；
ε	——线应变；
μ	——长度因数；
λ	——柔度、长细比；
ν	——泊松比；
ρ	——密度；
F	——力；
F_{Ax} 、 F_{Ay}	—— A 处支座反力；
F_N	——轴力；
F_S	——剪力；
M	——弯矩；
F_{cr}	——临界力；
T	——扭矩；
σ	——正应力；
τ	——切应力；
$[\sigma]$	——许用正应力；
$[\tau]$	——许用切应力

目 录

第 1 章 绪 论	1
1.1 建筑力学的研究对象	1
1.2 建筑力学研究的主要内容	1
1.3 建筑力学的计算简图	2
1.4 平面杆件结构的分类	7
1.5 刚体、变形固体及基本假设	9
1.6 杆件的基本变形形式	9
小 结	10
力学在建筑中的应用	11
思考题	11
第 2 章 平面力系的合成与平衡	12
2.1 静力学的基本概念和基本公理	12
2.2 平面汇交力系的合成和平衡	18
2.3 平面力偶系的合成和平衡	23
2.4 平面一般力系	29
2.5 平面平行力系	36
2.6 物体系统的平衡问题	37
小 结	39
力学在建筑中的应用——纽约帝国大厦	41
思考题	41
习 题	44
参考答案	47
第 3 章 轴向拉伸与压缩	48
3.1 轴向拉伸与压缩的概念	48
3.2 内力及内力图	49
3.3 轴向拉（压）杆的应力	52
3.4 轴向拉伸和压缩变形的计算	56
3.5 材料的力学性能	59
3.6 强度条件	66
小 结	69
力学在建筑中的应用——赵州桥	69

思考题	70
习 题	70
参考答案	75
第 4 章 剪切与扭转	77
4.1 剪切与挤压的概念	77
4.2 扭转构件横截面的内力	79
4.3 圆轴扭转时的应力和变形	81
4.4 圆轴扭转时的强度计算和刚度计算	86
小 结	89
力学在建筑中的应用——上海环球金融中心	91
思考题	91
习 题	91
参考答案	94
第 5 章 平面杆系的几何组成分析	96
5.1 几何组成分析的基本概念	96
5.2 几何不变体系的组成规则	99
小 结	101
力学在建筑中的应用——国家体育场	102
思考题	102
习 题	103
参考答案	105
第 6 章 静定结构的内力分析	106
6.1 静定结构的基本特性	106
6.2 单跨静定梁的内力计算	107
6.3 梁的内力图——剪力图和弯矩图	112
6.4 多跨静定梁的内力	122
6.5 静定平面刚架	126
6.6 静定平面桁架的内力	130
小 结	137
力学在建筑中的应用——中国国家大剧院	138
思考题	139
习 题	139
参考答案	145
第 7 章 梁的弯曲应力	146
7.1 弯曲正应力	146

7.2 弯曲切应力	151
7.3 梁的强度条件	156
7.4 提高弯曲强度的措施	160
小 结	164
力学在建筑中的应用——金门大桥	165
思考题	166
习 题	166
参考答案	169
第 8 章 梁的弯曲变形	170
8.1 弯曲变形的概念	171
8.2 梁的挠曲线近似微分方程	172
8.3 用积分法求梁的转角和挠度	173
8.4 用叠加法求梁的转角和挠度（刚度校核）	179
8.5 梁的刚度校核和提高抗弯刚度的措施	181
小 结	183
力学在建筑中的应用——卡延塔	184
思考题	185
习 题	185
参考答案	188
第 9 章 应力状态与强度理论	190
9.1 应力状态的概念	190
9.2 平面应力状态分析	192
9.3 复杂应力状态下的应力应变关系	196
9.4 强度理论	198
9.5 梁的主应力及其强度计算	203
小 结	206
力学在建筑中的应用——国家游泳中心	208
思考题	208
习 题	209
参考答案	212
第 10 章 杆件在组合变形下的强度计算	213
10.1 叠加原理	214
10.2 斜弯曲	215
10.3 拉压与弯曲组合变形	219
10.4 偏心拉（压）	221
10.5 弯曲与扭转组合变形	225

小 结	229
力学在建筑中的应用——三峡大坝	231
思考题	231
习 题	231
参考答案	234
第 11 章 压杆稳定	235
11.1 工程中的压杆稳定问题	235
11.2 细长压杆的临界压力	236
11.3 压杆的临界应力	239
11.4 压杆的稳定计算	244
11.5 提高压杆稳定性的措施	246
小 结	247
力学在建筑中的应用——中央电视台新楼	248
思考题	248
习 题	249
参考答案	251
第 12 章 静定结构位移的计算	252
12.1 支座移动时静定结构位移的计算	252
12.2 荷载作用下静定结构位移的计算	254
12.3 图乘法	259
12.4 互等定理	264
小 结	267
力学在建筑中的应用——悉尼歌剧院	268
思考题	268
习 题	270
参考答案	272
第 13 章 力 法	273
13.1 超静定结构概述	273
13.2 力法的基本原理与典型方程	275
13.3 应用力法求解超静定结构	280
13.4 对称结构的计算	288
13.5 超静定结构的位移计算及内力图的校核	291
小 结	293
力学在建筑中的应用——哈利法塔	293

思考题·····	294
习 题·····	294
参考答案·····	296
第 14 章 位移法 ·····	297
14.1 位移法的基本概念·····	297
14.2 等截面直杆的转角位移方程·····	298
14.3 位移法的基本未知量和基本结构·····	308
14.4 位移法典型方程及应用·····	311
小 结·····	320
力学在建筑中的应用——台北 101 大楼·····	321
思考题·····	321
习 题·····	321
参考答案·····	325
第 15 章 力矩分配法 ·····	326
15.1 力矩分配法概述·····	326
15.2 用力矩分配法计算连续梁和无侧移刚架·····	330
小 结·····	335
力学在建筑中的应用——重庆菜园坝长江大桥·····	336
思考题·····	336
习 题·····	336
参考答案·····	340
附录 A 截面的几何性质 ·····	341
附录 B 简单荷载作用下梁的挠度和转角 ·····	352
附录 C 常用型钢规格表 ·····	355
参考文献 ·····	364

第1章 绪论

1.1 建筑力学研究的对象

建筑物是人类生产和生活的必要场合,是为实现某种目的而形成的空间结构,如房屋、桥梁等。在这些建筑物中,所有承受力的部分,如基础、柱、梁、板、墙等,都必须用力学的知识进行科学的设计,才能保证建筑物的安全使用。

土木工程中,将建筑物中承受和传递荷载并起骨架作用的部分称为**建筑结构**,简称**结构**。结构的组成部分统称为**构件**。如图 1.1 所示的单层厂房结构,由基础、柱子、梁、板等构件组成。构件一般分为三类,即杆件、薄壁构件、实体构件。**杆件**是指一个方向尺寸比其他两个方向的尺寸大得多的构件。**薄壁构件**是指一个方向的尺寸远小于其他两个方向尺寸的构件。**实体构件**是指三个方向的尺寸大约为同数量级的构件。对土建类专业而言,建筑力学的主要研究对象是杆件和由杆件组成的杆件结构。

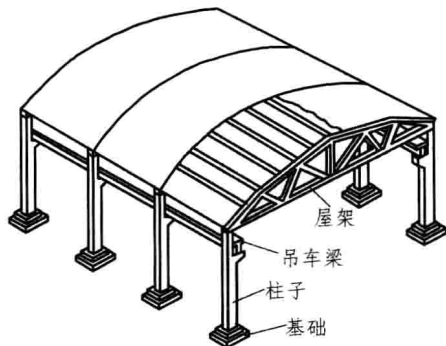


图 1.1 厂房结构

1.2 建筑力学研究的主要内容

结构的主要作用是承受荷载和传递荷载。要使建筑物能够正常使用,要求结构和构件必须满足以下力学方面的要求:

- (1) 构件和结构处于平衡状态,其力系满足平衡条件。
- (2) 构件必须按一定的几何规律组成结构,以确保在荷载作用下其空间几何形状不发生变化。
- (3) 构件必须具有足够的**强度**,即足够的抵抗破坏的能力。构件如果强度不够,在荷载作用或外界因素发生变化时容易产生破坏。
- (4) 构件必须具有足够的**刚度**,即足够的抵抗变形的能力。如果构件变形过大,会影响结构的正常使用,如吊车梁变形过大,会影响吊车的正常行驶。

(5) 构件必须具有足够的**稳定性**。所谓的稳定性是指构件保持原有平衡状态的能力。杆件受压力作用时, 必须保持原有的平衡状态, 否则将失稳而导致结构的破坏。

综上所述, 建筑力学研究的主要内容是刚体的平衡规律, 结构的几何组成规律, 构件的强度、刚度和稳定性计算。而强度、刚度、稳定性的计算又归结为对结构和构件内力和变形的计算。

1.3 建筑力学的计算简图

1.3.1 荷载的分类

建筑力学中将作用在物体上的力分为主动力和约束力。主动力指主动作用在物体上, 使物体运动或有运动趋势的力, 通常称为荷载, 如房屋的重力、冬季屋顶的雪荷载、桥梁承受的车辆荷载等。主动力通常是已知的。

在工程中, 作用在结构上的荷载是多种多样的。为了便于力学分析, 需要从不同的角度对它们进行分类。

1. 按作用时间长短分类

- (1) 恒载: 永久作用在结构上的不变荷载, 如结构自重、固定在结构上的设备重量等。
- (2) 活载: 暂时作用在结构上的可变荷载, 如车辆荷载、风荷载等。

2. 按性质分类

(1) 静荷载: 无加速度、非常缓慢地施加到结构上的荷载, 其大小、位置和方向不随时间变化或变化极为缓慢。缓慢加载, 就不会产生冲击; 无加速度, 则可略去惯性力的影响。

(2) 动荷载: 大小、位置和方向都有可能随时间迅速变化的荷载。在动荷载作用下, 结构必然产生冲击和显著的加速度, 必须考虑冲击力和惯性力的影响。

3. 按分布范围分类

(1) 集中荷载: 分布范围很小, 可近似认为作用在一点的荷载, 包括集中力和集中力偶。当荷载的作用范围远小于结构的尺寸时, 可近似看作一个集中力。当构成力偶的两个力之间的距离远小于结构的尺寸时, 可近似看作一个作用在一点上的集中力偶。

(2) 分布荷载: 荷载作用在构件的整个或部分范围内, 其集度随作用点的位置变化而变化。分布荷载根据作用范围又分为体分布荷载、面分布荷载和线分布荷载。

① 体分布荷载: 沿物体内各点分布的荷载, 如物体的自重、惯性力等, 其单位为 N/m^3 。

② 面分布荷载: 沿接触面分布的荷载, 如房屋受到的风荷载和雪荷载、水坝的水压力等, 其单位为 N/m^2 。

③ 线分布荷载: 沿直线或曲线分布的荷载, 其单位为 N/m 。作用在杆件上的荷载通常简化为沿杆长分布的线分布荷载。

工程中荷载的分布情况往往比较复杂, 在很多情况下, 都可简化为沿直线和平面均匀分布的荷载进行分析计算。例如, 等截面梁的自重可简化为沿梁轴线的均布荷载, 变截面梁的自重可简化为沿轴线的梯形分布荷载, 如图 1.2 所示。

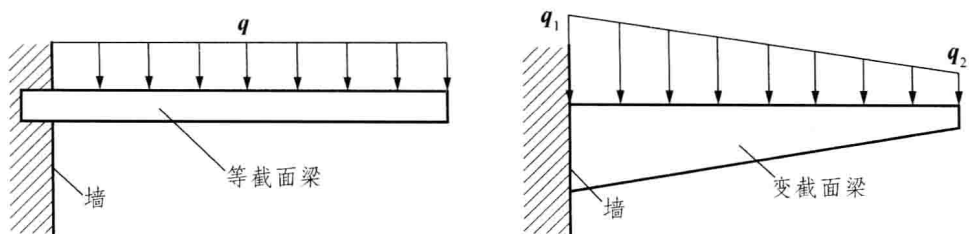


图 1.2 分布载荷

1.3.2 约束与约束力

对物体的运动起限制或阻碍作用的其他物体称为**约束体**，简称为**约束**。约束与被约束是相对的，取决于所研究的主要对象。例如，地基是柱子的约束，柱子则是梁的约束。约束作用于被约束物体上的力称为**约束反力**，简称**约束力**。约束力是被动力，其产生和存在取决于主动力的存在和作用方式，大小由平衡条件和平衡方程来确定。例如，桥墩对桥梁的支承力是约束力，其大小和方向取决于桥梁上承受的荷载。

工程中常见的约束有以下几种：

1. 柔性绳索约束

绳子、皮带、链条等柔索本身只能承受拉力，所以它们对物体的约束力也只能是拉力。如图 1.3 (a) 中绳索的约束反力 F_T 和图 1.3 (b) 中的 F_{T1} 、 F_{T2} 均为球和杆受到的绳索拉力作用。

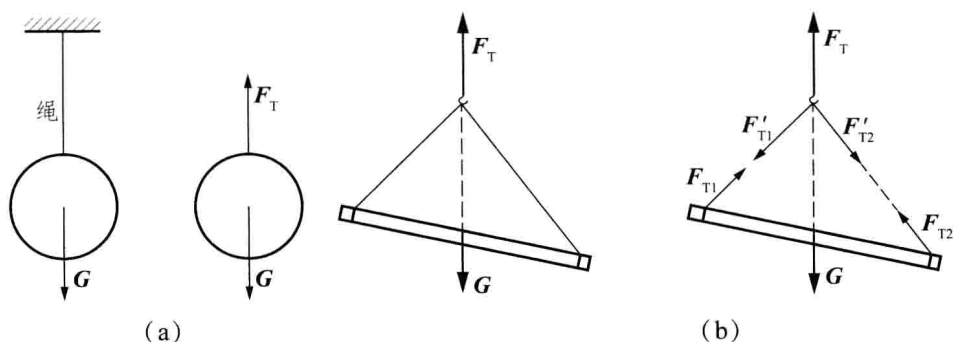


图 1.3 柔绳约束

2. 光滑接触面约束

当两物体接触面上的摩擦力与其他作用力相比很小时，可以忽略摩擦力，这样的接触面称为光滑面。因为光滑面只能限制物体沿着接触面公法线方向的运动，所以光滑面的约束反力通过接触点沿着接触面公法线方向，指向被约束物体，如图 1.4 中钢轨对车轮的约束反力。

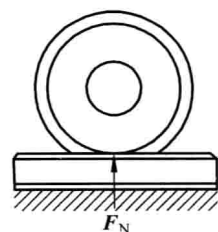


图 1.4 光滑面约束

3. 光滑圆柱铰链约束

光滑圆柱铰链又称为**柱铰**，或者简称为**铰链**。铰链连接就是将两

物体分别钻上直径相同的圆孔并用销钉或铆钉、螺栓连接起来，这样两个物体只能绕着销钉的轴线自由转动但不能相对移动，如图 1.5 (a) 所示。由于是光滑圆柱铰链，不计接触面摩擦力，约束反力应通过接触点的公法线且指向被约束物体。由于接触点的位置往往不能预先确定，所以约束反力 F_R 的方向也不能预先确定，通常用通过铰链中心垂直于其轴线的两个分力 F_x 和 F_y 来表示，如图 1.5 (b)、(c) 所示。铰链连接简图如图 1.5 (d) 所示。

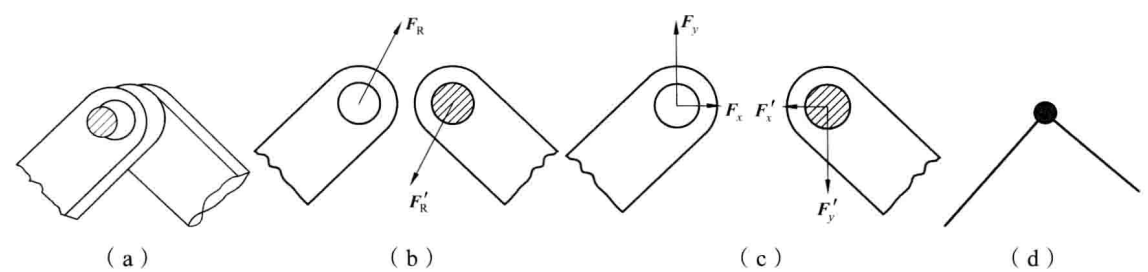


图 1.5 光滑圆柱铰链约束

4. 固定铰支座约束

它是由固定基座、销钉和杆件构成的。销钉只能限制构件在垂直于销钉轴线平面内的移动，但不能限制构件绕销钉轴线的转动。其约束反力特点与光滑圆柱铰链约束一样，也可以用通过铰链中心垂直于铰链轴线的两个分力 F_x 和 F_y 来表示，如图 1.6 所示。固定铰支座常用图 1.6 (f)、(g)、(h) 所示的几种简图表示。

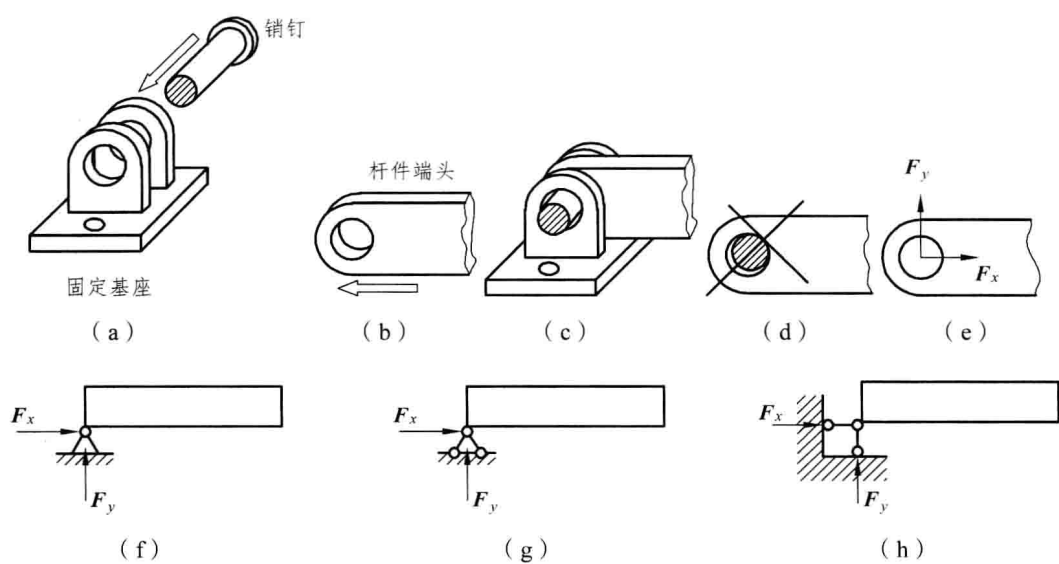


图 1.6 固定铰支座约束

5. 可动铰支座约束

可动铰支座是在支座下面装上辊轴，则支座可以在支承面上移动，如图 1.7 (a) 所示。相对于固定铰链支座的双向约束，可动铰支座只限制垂直于支承面方向的运动，所以其约束

力沿滚轴与支承面接触的公法线方向。可动铰支座常用如图 1.7 (b)、(c) 所示的简图表示。

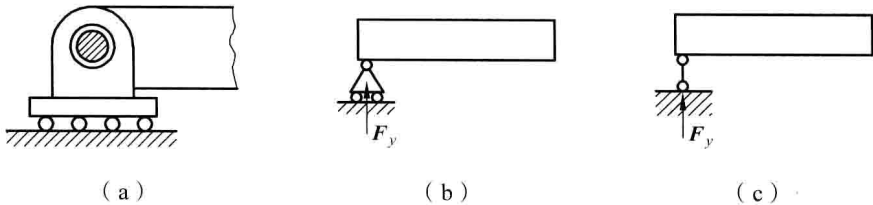


图 1.7 可动铰支座约束

6. 固定支座约束

固定支座约束也称为固定端约束，其特点是不允许约束与被约束物体之间有任何形式的相对运动，被约束物体既不能移动也不能转动。因此，固定端约束除产生水平方向的约束力 F_x 和竖直方向的约束反力 F_y 外，还有约束反力偶 M 。如图 1.8 (a)、(b) 所示，混凝土梁的端部嵌入墙体足够的深度或与混凝土柱体整体浇注而成时，梁和柱之间不能发生任何相对运动，这种约束方式即为固定端约束。固定端约束及其约束力如图 1.8 (c) 所示。

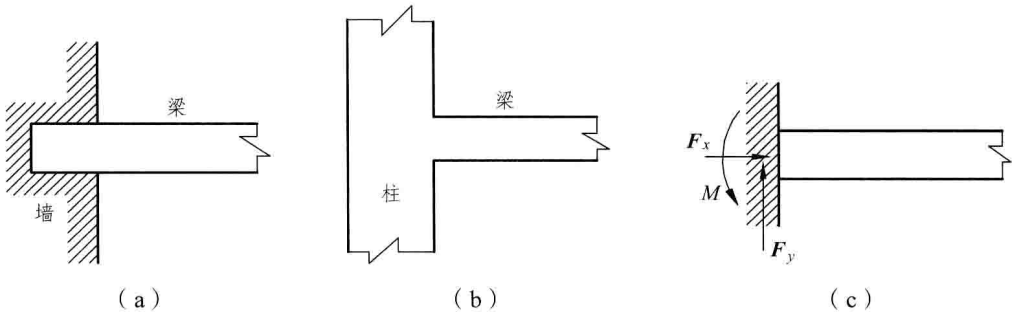


图 1.8 固定支座约束

7. 定向支座约束

在固定支座约束中，若某一个方向的移动不受限制，则这种支座称为定向支座，如图 1.9 所示。这种支座只允许结构沿辊轴滚动方向移动，而不能发生竖向移动和转动。所以定向支座在平面上的约束力只有两个：垂直于滚动方向的反力 F_{Ay} 和反力偶 M_A 。

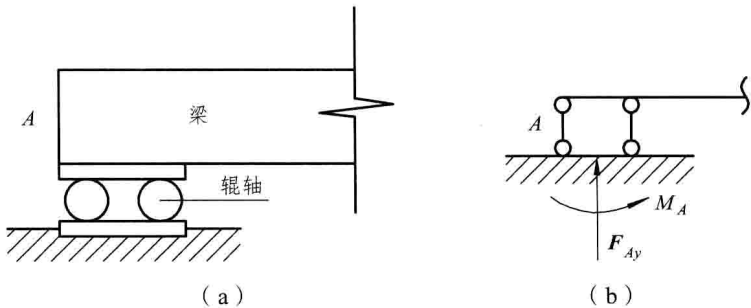


图 1.9 固定支座约束

8. 链杆约束

两端用光滑铰链与其他构件连接且不考虑自重的刚性杆称为链杆,如图 1.10 (a) 中的 AC 杆。链杆只在两端受力,故称为二力杆。两端承受的力可以是拉力,也可以是压力,取决于与它相连接的构件上的荷载。链杆两端的力 F_A 与 F_C 大小相等、方向相反、作用线共线,如图 1.10 (b) 所示,因而链杆对构件产生的约束力必沿铰链中心的连线,如图 1.10 (c) 所示。

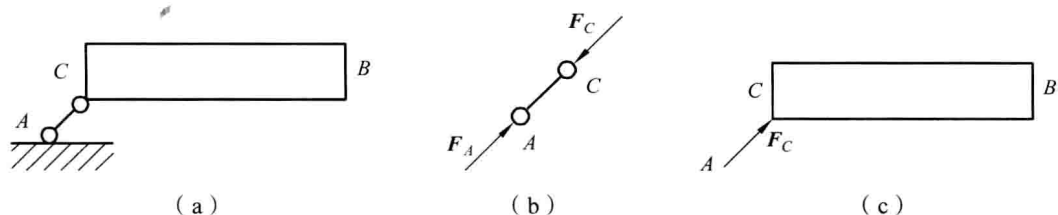


图 1.10 链杆约束

如图 1.6 (g)、(h) 所示,可用两根不平行的链杆表示或代替固定铰支座;可用一根链杆表示或代替可动铰链支座,如图 1.7 (c) 所示。

1.3.3 结构的计算简图

用一简化的理想模型代替实际结构,这一简化的理想模型称为结构的计算简图。简化后的结构应能反映原结构的主要受力和变形特点。实际结构主要从三个方面进行简化:结构的简化、支座(约束)的简化及荷载的简化。

1. 结构的简化

(1) 杆件的简化。杆件用其轴线来表示,因而直杆用直线表示,曲杆用曲线表示。

(2) 杆件间连接的简化。结构中杆件与杆件之间的相互连接处称为结点,结点通常简化为铰结点和刚结点这两种理想情形。

① 铰结点。铰结点的特点是被连接的杆件在结点处不能相对移动,但各杆可以绕结点中心自由转动。在铰结点处可以承受和传递力,但不能承受和传递力矩。如图 1.11 (a) 所示为木屋架的结点构造图,可认为各杆之间有微小的转动,各杆之间的连接可简化为铰结点,如图 1.11 (b) 所示。

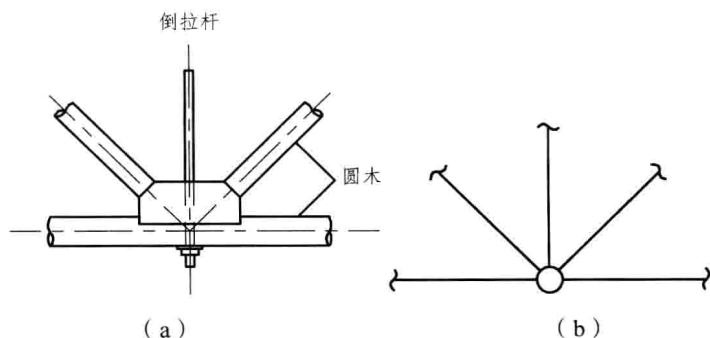


图 1.11 铰结点

② 刚结点。刚结点的特点是被连接的杆件在结点处不能相对移动，也不能相对转动。刚结点不但能承受和传递力，而且还能承受和传递力矩。图 1.12 所示是一钢筋混凝土框架边柱和梁的结点，由于梁和柱之间的钢筋布置以及混凝土将它们浇筑成整体，使梁和柱不能产生相对移动和转动，计算时简化为一刚结点，其计算简图如图 1.12 (b) 所示。

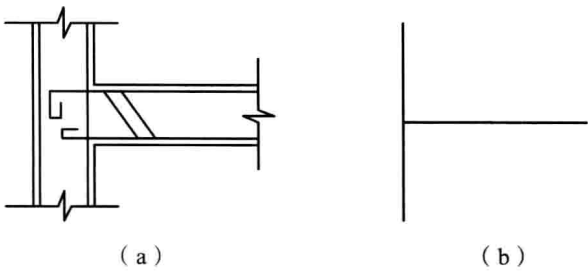


图 1.12 刚结点

2. 支座的简化

结构与基础的连接装置称为支座。支座的作用是把结构固定于基础上，同时，结构所受的荷载通过支座传到基础和地基。支座对结构的反作用力称为支座反力。平面结构的支座一般简化固定铰支座、可动铰支座和固定支座。

3. 荷载的简化

构件上的荷载一般简化为均布荷载、集中荷载和力偶等。

例如，图 1.13 (a) 所示吊车梁在起吊设备时，其计算简图如图 1.13 (b) 所示。梁的自重简化为均布荷载，设备重力简化为集中荷载。两边的支座分别简化为固定铰支座和可动铰支座。

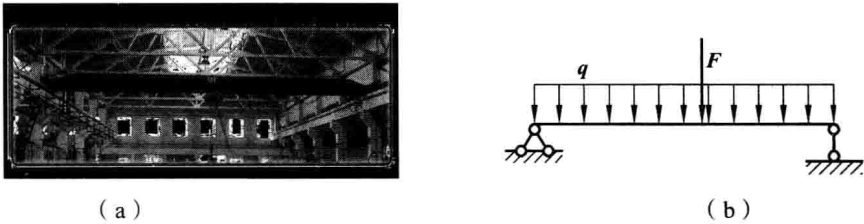


图 1.13 吊车横梁的计算简图

1.4 平面杆件结构的分类

杆件结构是应用最广的一种结构。常见的房屋结构很多就属于杆件结构。按照空间特征，杆件结构又分为平面杆件结构和空间杆件结构两类。平面杆件结构是指所有杆件的轴线都位于同一平面内，且荷载也作用在该平面内的结构。杆件轴线位于不同平面内的结构为空间杆件结构。实际上，很多结构都属于空间结构，但在计算时根据其受力特点可简化为平面结构来进行分析。

平面杆件结构按照受力特点主要分为以下几种基本类型。