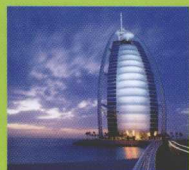




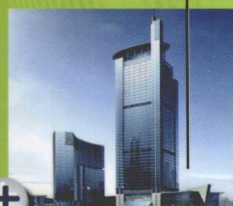
职业教育建筑类规划教材

BUILDING



# 土木工程力学

卢光斌 编



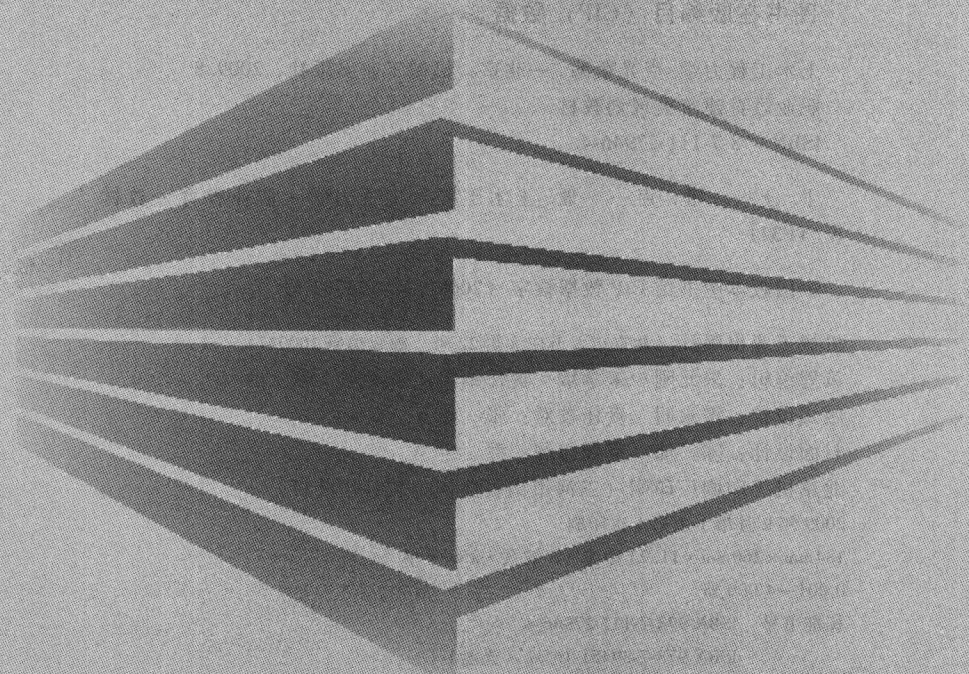
机械工业出版社  
CHINA MACHINE PRESS



职业教育建筑类规划教材

# 土木工程力学

卢光斌 编  
陈哲勇 主 审



机械工业出版社

本书根据教育部关于职业教育的培养目标及对课程结构改革、教材改革的要求编写,是许多力学教师的创新及作者本人长期探索、积累的成果。

职业教育的教学重在定性分析。运用力学小实验加强定性分析,是本书的特色。本书设置了56个小实验。小实验具有单一性、可操作性以及可以避免系统理论支持的特点,它的加入使学生在较短的时间内学好必要的力学知识成为可能。

本书的体系简练,主要用轴向拉压杆和梁作为学习基础知识的载体,集中力量提高学生的力学素养。桁架、悬索结构、拱、超静定刚架、组合结构则安排在“结构的合理形式”中学习它们的特点。全书共10章:力学模型,力系的等效与简化,力系的平衡,内力与内力图,应力与强度条件,位移与刚度条件,压杆稳定,结构的合理形式与构件的合理截面,移动荷载、动力荷载两章供选学。本书附有光盘《力学小实验》。

本书可作为高职(少学时)、中职土建类专业力学课程教材。

### 图书在版编目(CIP)数据

土木工程力学/卢光斌编. —北京:机械工业出版社,2009.8

职业教育建筑类规划教材

ISBN 978-7-111-27946-4

I. 土… II. 卢… III. 土木工程—工程力学—职业教育—教材  
IV. TU311

中国版本图书馆CIP数据核字(2009)第133701号

机械工业出版社(北京市百万庄大街22号 邮政编码100037)

策划编辑:朱元刚 宋学敏 责任编辑:朱元刚 陈 俞

版式设计:霍永明 责任校对:张 媛

封面设计:陈 沛 责任印制:乔 宇

北京机工印刷厂印刷(三河市南杨庄国丰装订厂装订)

2009年9月第1版第1次印刷

184mm×260mm·11.25印张·2插页·256千字

0 001—4 000册

标准书号:ISBN 978-7-111-27946-4

ISBN 978-7-89451-165-2(光盘)

定价:25.00元(含1DVD)

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

销售服务热线电话:(010)68326294

购书热线电话:(010)88379639 88379641 88379643

编辑热线电话:(010)88379182

封面无防伪标均为盗版

## 主要符号表

$A$	面积	$T$	外加扭转力偶矩
$a$	间距	$W$	功, 重量, 抗弯截面系数
$b$	宽度	$W_p$	抗扭截面系数
$D, d$	直径	$\alpha$	倾角
$E$	弹性模量	$\beta$	角
$f$	动摩擦因数	$\theta$	梁横截面的转角, 单位长度相对扭转角
$f_s$	静摩擦因数		
$F$	力	$\varphi$	相对扭转角
$F_{xA}, F_{yA}$	A 处铰支座约束力	$\varphi_m$	摩擦角
$F_N$	轴力	$\gamma$	切应变
$F_P$	荷载	$\Delta$	变形, 位移
$F_{Pcr}$	临界荷载	$\delta$	厚度
$F_Q$	剪力	$\varepsilon$	线应变
$F_R$	合力, 主矢	$\lambda$	柔度, 长细比
$F_S$	牵引力, 拉力	$\mu$	长度系数
$F_T$	拉力	$\nu$	泊松比
$F_x, F_y$	力在 $x$ 轴, $y$ 轴上的投影	$\rho$	密度, 曲率半径
$G$	切变模量	$\sigma$	正应力
$g$	重力加速度	$\sigma^+$	拉应力
$h$	高度	$\sigma^-$	压应力
$I$	惯性矩	$\sigma_b$	抗拉强度
$I_p$	极惯性矩	$\sigma_c$	许用压应力
$I_{xy}$	惯性积	$\sigma_c$	挤压应力
$I, L$	长度, 跨度	$[\sigma]$	许用应力
$m$	质量	$\sigma_{cr}$	临界应力
$M$	力偶矩, 弯矩	$\sigma_e$	弹性极限
$M_y, M_z$	力对 $y$ 轴, $z$ 轴之矩, 弯矩	$\sigma_p$	比例极限
$M_A$	力对 A 点之矩	$\sigma_s$	屈服点
$M_x$	扭矩	$\tau$	切应力
$q$	分布荷载集度	$[\tau]$	许用切应力
$R, r$	半径	$w$	挠度



# 前 言

本书根据教育部关于职业教育的培养目标及对课程结构改革、教材改革的要求编写，融入了许多力学教师的创新及作者本人的长期探索、积累。

职业教育的教学重在定性分析，定量分析为定性分析服务。工程力学的基本分析方法除理论分析外，还有实验分析。本书设置了56个力学小实验，发挥其定性分析的长处，并避开一些知识点的系统理论支持，使学生在较短的时间内学好必要的力学知识成为可能。书中从独特角度，选用了一些土木工程图片，辅助定性分析。选编的习题，许多可在课堂上以做实验、讨论、小结等形式进行作业。多种教学手段的运用，有利于学生完成注意、感知、思维、记忆等认识的全过程。

职业教育力学教学的目标在于，学习力学的基本思想方法，提高力学素养，为学习后续课程，为从事本专业工程工作打下力学基础。本书将建立力学模型、等效与简化、平衡的思想方法放在首先的位置；用轴向拉压杆和梁作为学习外力、内力、应力与强度条件、稳定条件、位移与刚度条件这一知识主线的载体，集中力量学好基础知识，锻炼能力；桁架、悬索结构、拱、超静定刚架、组合结构则安排在“结构的合理形式”中学习它们的特点。带\*号的第3篇移动荷载、动力荷载供相关专业的学生选学。

小实验的特点是，模拟构造原理单一，操作简便。在典型的、比较完整的现实中学习力学原理；构思实验，制作模型，反复调试，流畅地演示，一次次实践创新的过程；动手能力在动手的过程中得到培养。理论分析与力学小实验成为力学教学的两条腿，是本教材的特色。

本书由武汉铁路桥梁学校卢光斌编写，陈哲勇主审。本书所附光盘名为“力学小试验”，由陈哲勇演示、监制。

不妥之处，恳请指正。

编 者



# 目 录

## 主要符号表

### 前言

绪论 .....	1
0.1 土木工程与力学 .....	1
0.2 土木工程力学的研究对象 .....	1
0.3 土木工程力学的任务 .....	1
0.4 土木工程力学的基本方法 .....	2

## 第1篇 静力分析

第1章 力学模型 .....	6
1.1 力的模型 .....	6
1.2 结构的计算简图 .....	7
1.3 平面体系的几何组成分析 .....	11
1.4 受力图 .....	17
小结与讨论 .....	23
习题 .....	23
第2章 力系的等效与简化 .....	29
2.1 力系的合成与力的分解 .....	29
2.2 力在坐标轴上的投影 .....	30
2.3 力矩 .....	33
2.4 力偶 .....	35
2.5 力系的简化 .....	36
小结与讨论 .....	39
习题 .....	40
第3章 力系的平衡 .....	45
3.1 力系的平衡条件 .....	45
3.2 单个刚体的平衡问题 .....	48
3.3 简单刚体体系的平衡问题 .....	50
3.4 静定与超静定的概念 .....	52
3.5 考虑摩擦时的平衡问题 .....	53
小结与讨论 .....	55
习题 .....	56

## 第2篇 强度、刚度、 稳定性分析

第4章 内力与内力图 .....	62
4.1 变形固体 .....	62
4.2 内力 .....	64
4.3 轴向拉压杆的内力 .....	64
4.4 梁的内力 .....	67
4.5 梁的内力函数与内力图 .....	72
4.6 扭转杆的内力 .....	76
小结与讨论 .....	76
习题 .....	77
第5章 应力与强度条件 .....	84
5.1 杆件横截面上的应力 .....	84
5.2 轴向拉压杆的强度计算 .....	85
5.3 轴向拉伸压缩时材料的力学 性能 .....	88
5.4 梁的强度计算 .....	93
5.5 圆截面等直杆扭转时的强度 计算 .....	100
5.6 组合变形杆的应力分析 .....	102
小结与讨论 .....	105
习题 .....	106
第6章 位移与刚度条件 .....	111
6.1 轴向拉压杆的变形与位移 .....	111
6.2 梁的位移与刚度条件 .....	112
小结与讨论 .....	115
习题 .....	115
第7章 压杆稳定 .....	118
7.1 压杆稳定的概念 .....	118
7.2 临界压力的欧拉公式 .....	120
7.3 压杆的稳定性计算 .....	123
小结与讨论 .....	125
习题 .....	125



<b>第 8 章 结构的合理形式 构件的合理截面</b> .....	128
8.1 桁架 .....	128
8.2 悬索结构 .....	133
8.3 拱 .....	134
8.4 超静定结构 .....	135
8.5 构件的合理截面 .....	140
小结与讨论 .....	142
习题 .....	143

**\* 第 3 篇 移动荷载  
动力荷载**

<b>第 9 章 移动荷载</b> .....	148
9.1 移动荷载的力学模型 .....	148

9.2 静力法作简支梁的影响线 .....	150
9.3 影响线的应用 .....	151
小结与讨论 .....	155
习题 .....	155
<b>第 10 章 动力荷载</b> .....	157
10.1 惯性力 .....	157
10.2 交变应力与疲劳破坏 .....	160
小结与讨论 .....	160
习题 .....	161

**附 录**

附录 A 力学小实验索引 .....	164
附录 B 型钢规格表 (摘录) .....	166
参考文献 .....	174



# 绪 论

## 0.1 土木工程与力学

用建筑材料（土、石、砖、木、混凝土、钢、铝、聚合物、钢筋混凝土、复合材料等）建筑房屋、道路、铁路、桥梁、隧道、河、港、市政设施等建筑物或构筑物的生产活动和工程技术称为土木工程。

力学是研究宏观机械运动规律及其应用的学科。**机械运动**指物体之间或物体内部各部分之间相对位置的变动，包括物体相对于地球的运动、物体的变形、流体的流动等。平衡是机械运动的特殊情况，指物体相对于地球保持静止，或作匀速直线平移。

土木工程是力学重要的发展源泉和应用园地之一，力学是土木工程重要的理论基础。人类早就会建造房屋了（见彩图 7a），直到掌握了丰富的力学知识以后，各种各样的摩天大楼、跨海大桥、特大跨度的公共建筑、水下隧道、高速公路才得以建成（彩图）。

力学在应用、发展的过程中，对应研究运动、力与运动的关系、力与变形的关系，对应不同几何特征的研究对象，对应材料的不同性能、不同的工作状态，对应不同的研究手段，形成了不同的分支学科。比如，理论力学、材料力学、结构力学、板壳力学、弹塑性力学、流体力学、复合材料力学、实验力学、计算力学等。作为职业教育的一门课程，“土木工程力学”的内容只是力学中最基本的应用广泛的部分。它将理论力学、材料力学、结构力学三门课程的主要内容整合成为一体。

## 0.2 土木工程力学的研究对象

建筑物或构筑物中承受外部作用的骨架称为**结构**。可能出现的外部作用包括荷载作用（恒载、活载、风载、水压力、土压力等）、变形作用（地基不均沉降、材料胀缩变形、温度变化引起的变形、地震引起的地面变形等）、环境作用（阳光照射、风化、环境污染引起的腐蚀、火灾等）。

组成结构的基本部件称为**构件**。按照几何特征，构件可分为杆件、板壳和实体（图 0-1）。杆件的几何特征为长条形，长度远大于其他两个尺度（横截面的宽度和高度）。板壳的厚度远小于其他两个尺度（长度和宽度），板的几何特征为平面形，壳的几何特征为曲面形。实体的几何特征为块状，长、宽、高三个尺度大体相近，内部大多为实体。

杆件按照一定的方式连接与支承，形成杆件结构。土木工程力学的研究对象是杆件结构。

## 0.3 土木工程力学的任务

杆件结构是由杆件组成的一种体系。杆件体系必须按一定的规律组成，才能保持稳定



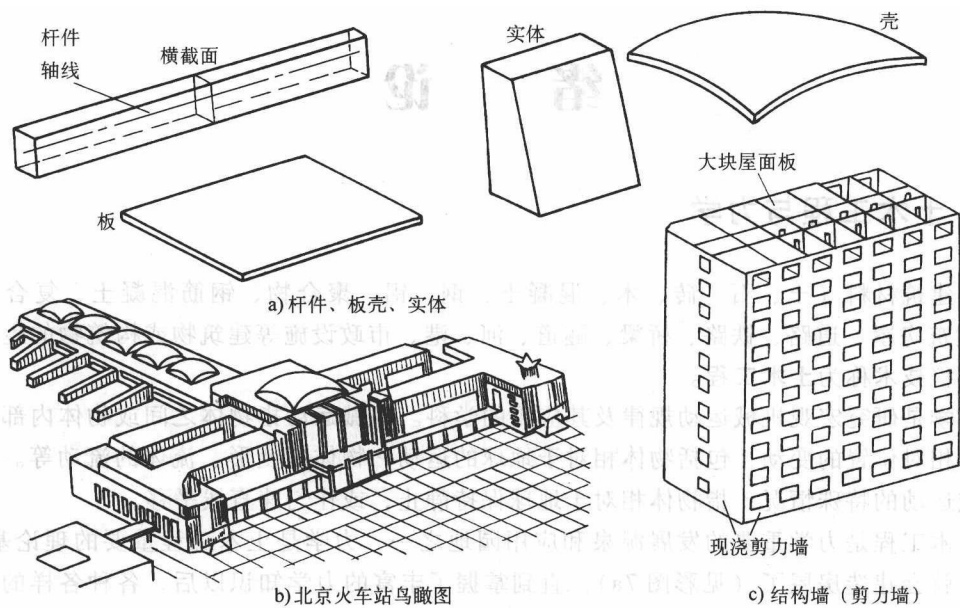


图 0-1 构件按几何特征分类

的骨架而承受各种外部作用。不同结构形式在承受相同的外部作用时，某种结构形式就可能比另一种结构形式合理（彩图 8、彩图 9）。在结构分析中，须把实际的结构及其承受的作用简化为计算模型，这样的模型称为结构的计算简图。

结构必须具备可靠、适用、耐久的功能。

**强度：**在使用期内，务必使结构和构件安全可靠，不发生破坏，具有足够的承载能力。结构和构件抵抗破坏的能力称为**强度**。

**刚度：**在使用期内，务必使结构和构件不发生影响正常使用的变形。结构或构件抵抗变形的能力称为**刚度**。

**稳定性：**在使用期内，务必使结构和构件的平衡形态保持稳定。结构或构件保持原有平衡形态的能力，称为**稳定性**（图 0-2）。

土木工程力学的任务是：

- 1) 讨论结构的组成规律和合理形式，以及结构计算简图的合理选择。
- 2) 讨论结构的外力、内力、应力和位移，对结构或构件进行强度和刚度计算。
- 3) 讨论结构或构件的稳定性以及动力荷载下的反应。

## 0.4 土木工程力学的基本方法

结构的力学分析手段包括理论分析、实验研究和数值计算三个方面。过程如下：

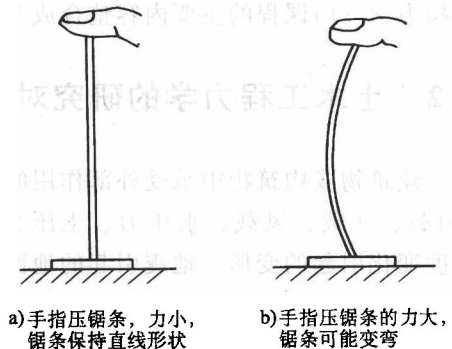
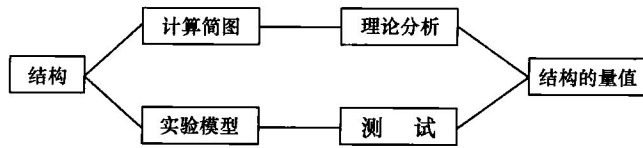


图 0-2 受压杆件可能丧失直线平衡形态





本课程既用理论分析方法，又通过实验，特别是通过大量的力学小实验进行定性分析。作为一门应用学科的课程，在学习时应当重视力学分析与工程实际的联系，从力学角度培养土木工程人员必备的工程素养。

本课程是一门力学的基础课程，在理论分析中应用了力学的许多基本思想方法。比如分解、合成、简化、平衡、变形协调、比拟等。在学习本课程时，应当重视学习力学的思想方法，提高力学素养。

土木工程力学又是土木专业的技术基础课程，具有较强的基础性。学习本课程，为后续课的学习打基础，为终生学习打基础。因此，在掌握知识的同时，应当重视相关能力的培养，包括分析能力、计算能力、自学能力、动手能力、表达能力，尤其应当重视勤奋、严谨、求实、创新等品格的培养。









# 第 1 篇 静力分析

- ▶ 第 1 章 力学模型
- ▶ 第 2 章 力系的等效与简化
- ▶ 第 3 章 力系的平衡

# 第1章 力学模型

## 1.1 力的模型

### 1.1.1 力的运动效应和变形效应

力是物体之间相互的机械作用，这种作用的效应是改变物体的运动状态（称为力的运动效应，或称力的外效应），使物体变形（称为力的变形效应，或称力的内效应）。例如，用脚踢足球的过程，就明显地反映了力的两种效应（图1-1）。例如，教室的楼盖梁，在学生未进教室之前，它有一种位置、形状；学生全部进入教室之后，荷载增加，虽然梁未发生整体移动，它的弯曲变形却增大了，只不过工程结构的变形一般为小变形，不易被肉眼察觉。

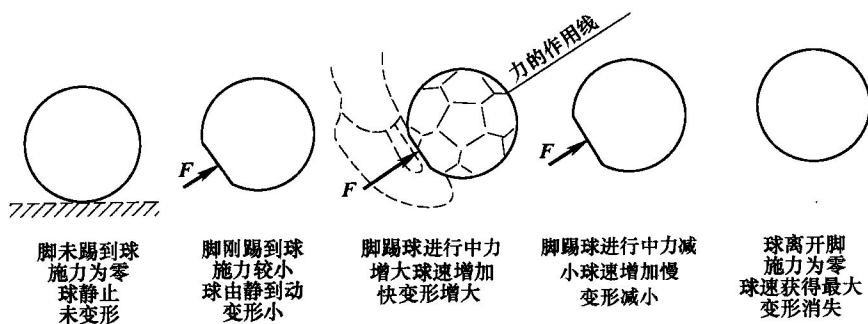


图 1-1 力的两种效应

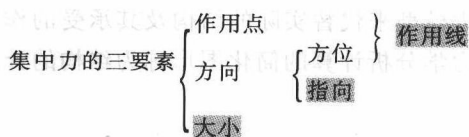
在分析力的运动效应时，可以不考虑物体的变形。这时，我们把实际的变形物体抽象为受力而不变形的物体——刚体。当物体运动的尺度远大于物体自身的尺度时，往往可以忽略自身的尺度，把物体抽象为具有质量而忽略不计尺寸的点——质点。质点的集合构成质点系。当我们把刚体内部的微小组成部分看成质点时，刚体则为特殊的质点系，其中任意两个质点间的距离保持不变。

### 1.1.2 集中力 分布力

如图 1-1 中所示的接触力，作用在物体表面的一定部位、一定范围，并且有一定的方向和大小。在研究力对物体的运动效应时，我们把力抽象为作用在一个点上，并用矢量表示方向和大小。这类起点或终点分别置于一一点上的力矢量是力的一种模型，称为集中力。过集中力的作用点沿力的方位的直线，称为力的作用线。在刚体上，无论力的作用点在作用线的任何位置，力对刚体的作用效应都是相同的。在力学分析中，常将作用在刚体上的力沿其作用线移动。因此，集中力的三要素有两种表示：







将实际的力抽象为集中力，便于表达力的要素，便于进行力学分析，特别是便于应用数学手段进行分析。力矢量用粗体字  $F$  表示，明体字  $F$  表示矢量的大小。在国际单位制中，力的单位是 N（牛顿），工程中常用 kN（千牛顿）。

重力属于体积力<sup>⊖</sup>。例如，房梁的各个微小的组成部分都有质量，都受到地球引力的作用。在研究房梁的平衡（研究力的运动效应）时，房梁的自重可以抽象为集中力，作用在房梁的重心，铅垂向下；在研究房梁的变形（研究力的变形效应）时，房梁的自重必须表示为沿房梁轴线分布的力（图 1-2）。力在一定范围内连续分布，用力的分布集度矢量表示力的作用，这类力的模型称为分布力。分布力矢量的方向与作用在该处微小范围的集中力矢量  $dF$  的方向相同，分布力矢量的大小表示力在该处的密集程度。

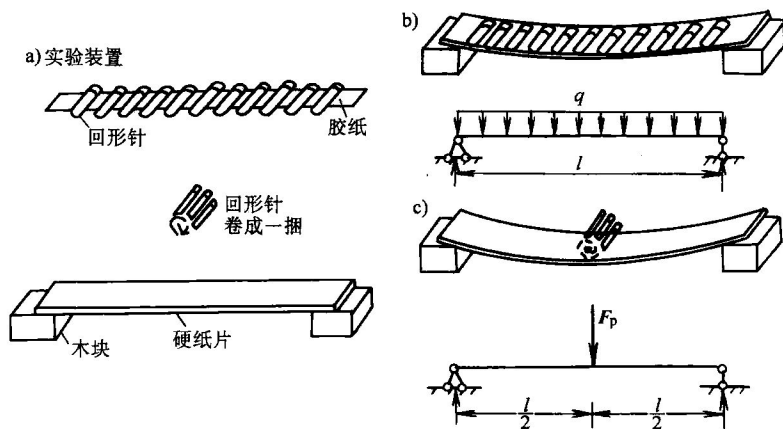


图 1-2 小实验分布荷载变为集中荷载，梁的变形增大

力沿线的密集程度  $q$  称为力的线集度（图 1-2b）：

$$q = \frac{dF}{dl} \quad (\text{单位: kN/m})$$

力在面上的密集程度  $p$  称为力的面集度：

$$p = \frac{dF}{dA} \quad (\text{单位: kN/m}^2)$$

## 1.2 结构的计算简图

实际结构总是比较复杂的。完全按照结构的实际情况进行力学分析，既繁、难，也不必要。因此，在对实际结构进行力学分析计算之前，必须略去次要的细节，显示基本特

⊖ 连续分布于物体内部各点上的力称为体积力。



点，用一个简化的图形作为模型来代替实际的结构及其承受的作用。这种反映结构的主要特点，代替实际结构进行力学分析计算的简化图形称为结构的计算简图。

### 1.2.1 结构的简化

#### 1. 将空间杆件结构简化为平面杆件结构

一般的杆件结构都是空间结构（图 1-3a）。当某一平面内的杆系可以简化为独立承受该平面内的荷载时，则可把这个平面杆系分离出来，按平面杆件结构分析计算（图 1-3b）。

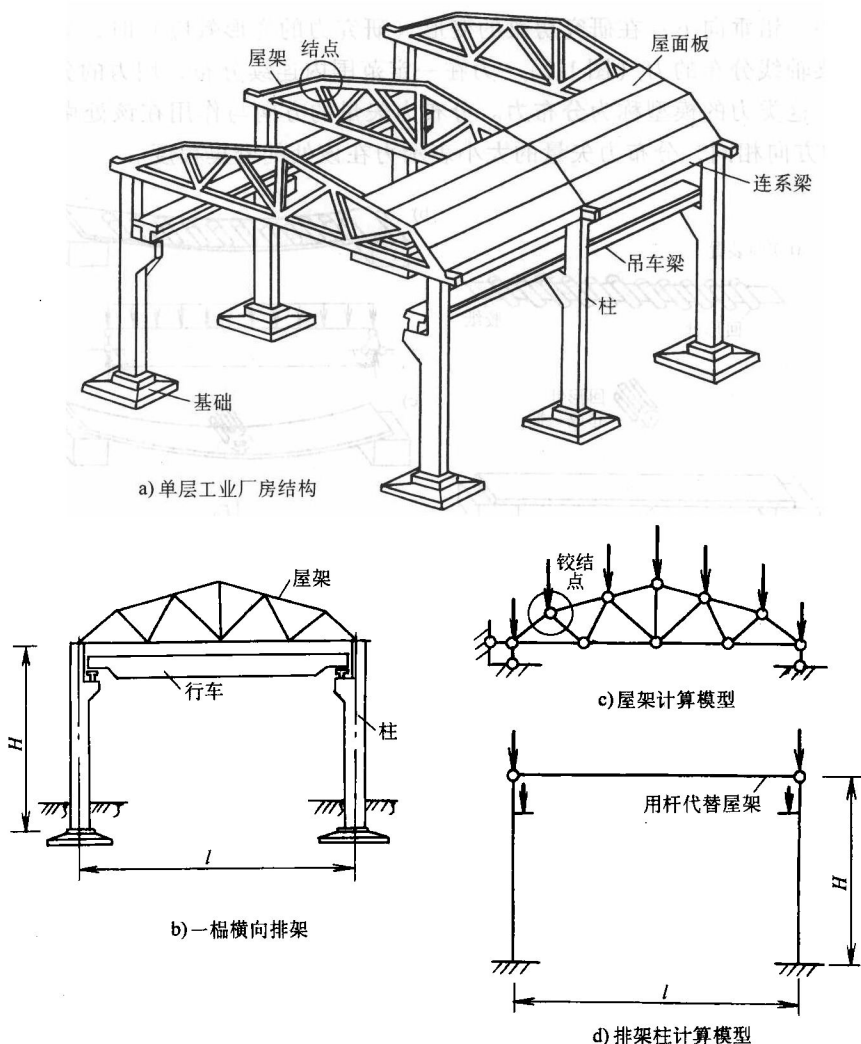


图 1-3 单层厂房的计算简图

#### 2. 用杆件的轴线代替杆件（见图 1-3c、d）

#### 3. 用符号表示杆件之间理想化的结点

杆件结构中，杆件之间的连接区叫做结点。按杆件的受力、位移特点，经常将实际的



结点简化为两种理想化的结点：

(1) **铰结点** 被连接的杆件在连接处不能相对移动，但可相对转动。铰用小圆圈作为符号。

装配式钢筋混凝土门式刚架的顶铰就是铰结点（图 1-4a、c）。工程中还根据被连接杆件的受力特点将结点抽象为铰结点（图 1-3a、c）。两端铰结，中间不受力（包括略去自重，或将自重分散到两端）的直杆，叫做链杆（图 1-3c）。

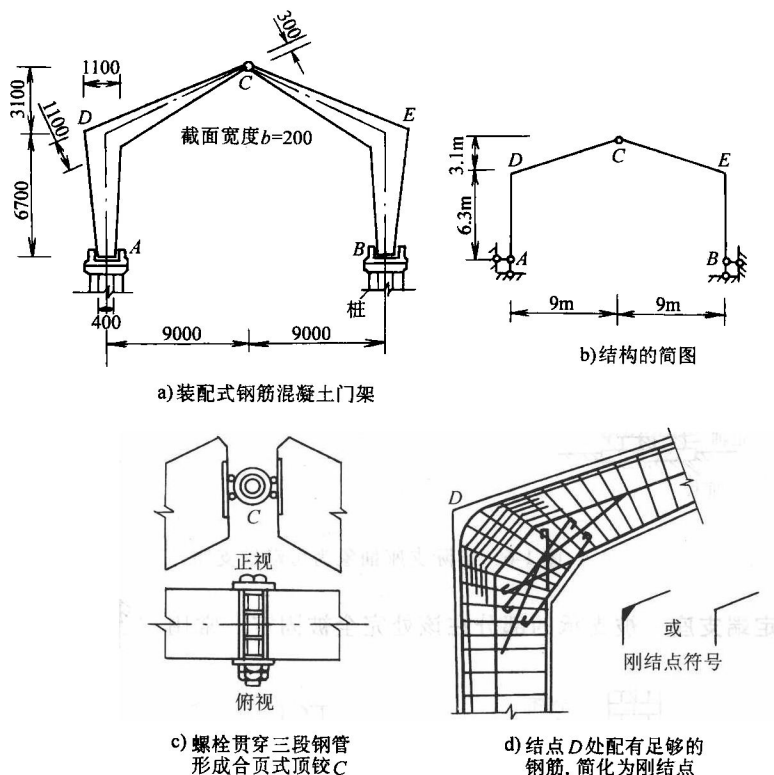


图 1-4 门式刚架的计算模型

(2) **刚结点** 被连接的杆件在连接处既不能相对移动，又不能相对转动。刚结点用深色小块作为符号，也可以用线段相接的形状表示（图 1-4d）。

门式刚架的  $D$  结点便简化为刚结点（图 1-4a、b）。

#### 4. 用符号表示理想化的支座

结构与基础或其他支承物的连接区称为**支座**。按照杆件受力、位移的特点，平面杆件结构实际的支座经常简化为三种理想化的支座：

(1) **固定铰支座** 被支承的部分在该处可以转动，不能移动。常用两根相交的链杆作为符号（图 1-5）。

(2) **可动铰支座** 被支承的部分在该处可以转动和沿支承面方位作微小移动。常用一根垂直于支承面的链杆作为符号（图 1-6）。





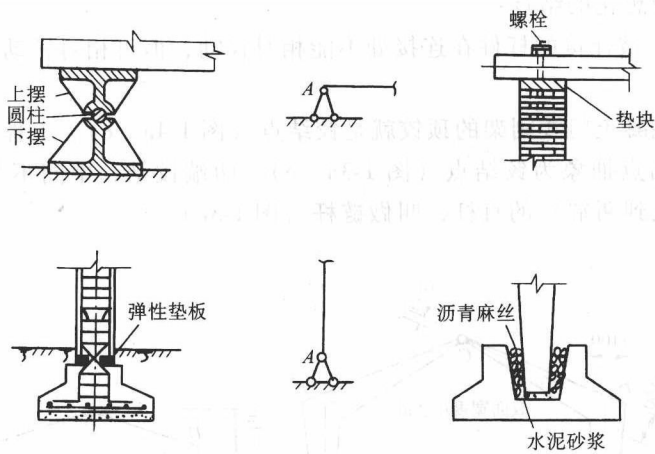


图 1-5 实际支座抽象为固定铰支座

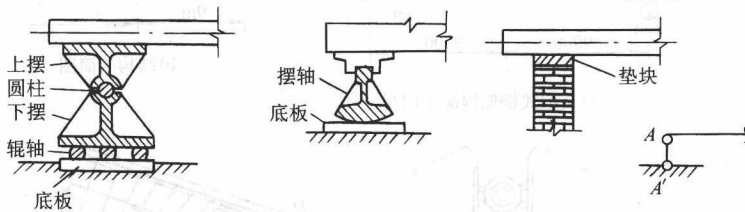


图 1-6 实际支座抽象为可动铰支座

(3) **固定端支座** 被支承的部分在该处完全被固定。常用“ $\lrcorner$ ”作为符号（图 1-7）。

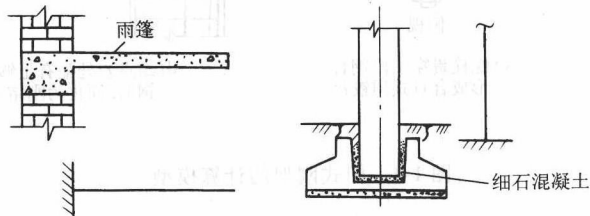


图 1-7 实际支座抽象为固定端支座

### 1.2.2 荷载的简化

结构构件的自重、楼面上人群或各种物品的重量、厂房中设备的重量、车轮的轮压、水压、风压、雪压等，都是以力的形式直接作用在结构上的，称为**直接作用**，习惯上称为**荷载**。

荷载按其作用的范围可以简化为**集中荷载**和**分布荷载**。在杆件结构的计算简图中，杆件用轴线代替，分布荷载则表现为沿着一条线分布，荷载密集程度用力的线集度  $q$  表示（图 1-8）。

