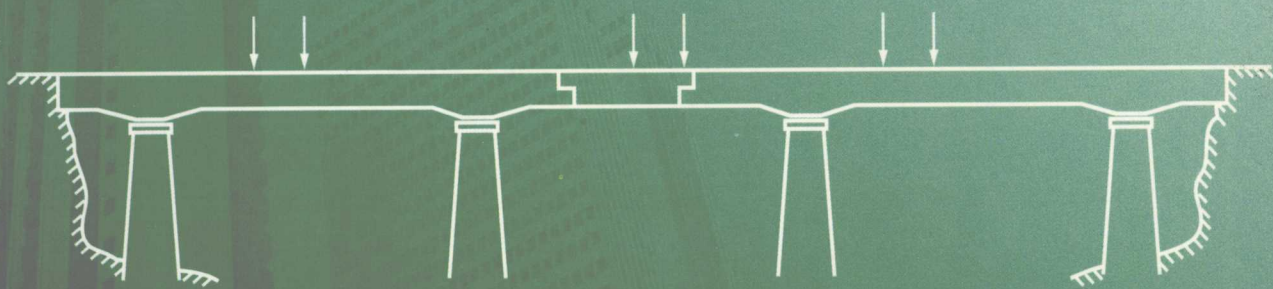


# 建筑力学

主编 郭英斗 主审 苏显文



# 建筑力学

第2版

主编 陈永强 副主编 陈永强 陈永强

建筑力学

中国建筑工业出版社

TU311  
1004

用教材

# 建 筑 力 学

(上册)

主编 郭英斗

主审 苏显文

西南交通大学出版社

· 成 都 ·

## 内 容 简 介

上册主要介绍力学的基本概念：几何体系的组成分析；物体受力分析的方法；平面力系的平衡方程及其应用；各种基本变形（轴向拉伸、压缩、扭转、弯曲等）形式下结构内力的计算、内力图的绘制；基本变形杆件的强度计算以及压杆的稳定性计算。

---

### 图书在版编目（CIP）数据

建筑力学. 上 / 郭英斗主编. —成都：西南交通大学出版社，2003.8  
高等职业技术教育试用教材  
ISBN 7-81057-741-7

I. 建... II. 郭... 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（2003）第 059251 号

---

## 建 筑 力 学 （上册）

主编 郭英斗

\*

责任编辑 王旻

封面设计 肖勤

西南交通大学出版社出版发行

（成都二环路北一段 111 号 邮政编码：610031 发行部电话：87600564）

<http://press.swjtu.edu.cn>

E-mail: cbsxx@swjtu.edu.cn

四川森林印务有限责任公司印刷

\*

开本：787 mm × 1092 mm 1/16 印张：14.625

字数：354 千字 印数：1—4000 册

2003 年 8 月第 1 版 2003 年 8 月第 1 次印刷

ISBN 7-81057-741-7/TU · 316

定价：19.00 元

# 前 言

本教材是根据新编写并修订的《铁路高等职业教育建筑力学课程教学大纲》编写的，适用于土建类专业及相近专业（如铁道工程、工业与民用建筑工程、桥梁与隧道工程、给水与排水工程等）的教学用书。

该书在编写过程中，多方面吸取了力学教学改革和教材建设的经验，打破了传统的按照《静力学》、《材料力学》、《结构力学》进行体系划分的格局，而将三门力学知识进行了有机的融合，既保证了力学理论体系的完整性，明确了集中训练的目的，便于学生对内容的理解和掌握，同时又避免了不必要的重复，以期在有限的课时内达到较理想的教学效果。

参加教材编写的人员有：郭英斗（包头铁路工程学校，第一、十一、十二章、附录）、苏显文（陕西铁路工程职业技术学院，第十、十三、十四章）、刘淑宏（齐齐哈尔铁路工程学校，第二、三章）、蔺学明（成都铁路工程学校，第四、五章）、马晓倩（天津铁路工程学校，第六、七章）、朱耀淮（衡阳铁路工程学校，第八、九章）。全书由郭英斗主编，苏显文主审。

为方便学生学习，还编写了与该教材配套的练习题册，具体分工如下：雷桂珍（陕西铁路工程职业技术学院，第十、十三、十四章）、杨树宇（包头铁路工程学校，第一、十一、十二章）、刘淑宏（第二、三章）、蔺学明（第四、五章）、马晓倩（第六、七章）、汤池（衡阳铁路工程学校，第八、九章）。练习题册由雷桂珍主编，杨树宇主审。

教材和练习题册中所有插图全部由杨树宇用计算机绘制。

本书在编写过程中，得到了铁路兄弟学校领导和诸多同仁的大力支持，在此谨表谢意！

由于时间仓促，加上编者水平的限制，教材和练习题册中不可避免地存在着不足和疏漏，欢迎在使用时提出宝贵意见，以便于进一步的修订。

编 者

2003.5

# 目 录

|                    |     |
|--------------------|-----|
| 第一章 绪 论            | 1   |
| 第一节 建筑力学的任务        | 1   |
| 第二节 建筑力学的基本假定      | 4   |
| 第三节 结构的计算简图        | 5   |
| 第四节 平面体系的几何组成分析    | 9   |
| 第二章 力学基础           | 19  |
| 第一节 力的概念           | 19  |
| 第二节 工程中常见的约束及约束反力  | 21  |
| 第三节 物体受力分析与受力图     | 24  |
| 第四节 力的投影           | 26  |
| 第五节 力矩和力偶          | 29  |
| 第六节 平面力系的简化        | 34  |
| 第三章 力系的平衡计算        | 38  |
| 第一节 平面力系的平衡计算      | 38  |
| 第二节 空间力系的平衡计算      | 51  |
| 第四章 内力与内力图         | 53  |
| 第一节 内力             | 53  |
| 第二节 简单结构内力图        | 54  |
| 第三节 利用微分关系作内力图     | 71  |
| 第四节 利用叠加原理作梁的内力图   | 75  |
| 第五章 静定结构的内力        | 82  |
| 第一节 概述             | 82  |
| 第二节 多跨静定梁          | 84  |
| 第三节 静定平面刚架         | 88  |
| 第四节 静定平面桁架         | 94  |
| 第五节 三铰拱            | 102 |
| 第六节 静定组合结构         | 110 |
| 第七节 静定结构特性         | 110 |
| 第六章 轴向拉伸、压缩杆件的强度计算 | 115 |
| 第一节 轴向拉伸、压缩杆件的变形   | 115 |

|            |                  |            |
|------------|------------------|------------|
| 第二节        | 斜截面上的应力          | 121        |
| 第三节        | 材料在拉伸、压缩时的力学性能   | 124        |
| 第四节        | 轴向拉伸、压缩杆件的强度计算   | 129        |
| 第五节        | 连接件的工程假定计算       | 134        |
| <b>第七章</b> | <b>扭转杆件的强度计算</b> | <b>140</b> |
| 第一节        | 纯剪切              | 140        |
| 第二节        | 圆截面杆件的扭转         | 143        |
| 第三节        | 圆截面杆件扭转时的强度计算    | 147        |
| *第四节       | 矩形截面杆件的扭转        | 149        |
| <b>第八章</b> | <b>弯曲杆件的强度计算</b> | <b>152</b> |
| 第一节        | 纯弯曲杆件的应力         | 152        |
| 第二节        | 剪切弯曲杆件的应力        | 157        |
| 第三节        | 平面应力状态           | 163        |
| 第四节        | 剪切弯曲杆件的主应力       | 169        |
| 第五节        | 弯曲杆件的强度计算        | 175        |
| 第六节        | 提高弯曲强度的措施        | 184        |
| *第七节       | 强度失效的判别准则        | 188        |
| <b>第九章</b> | <b>压杆稳定</b>      | <b>197</b> |
| 第一节        | 概述               | 197        |
| 第二节        | 临界力和临界应力         | 198        |
| 第三节        | 临界应力总图           | 204        |
| 第四节        | 压杆的稳定计算          | 205        |
| 第五节        | 提高压杆稳定性的措施       | 210        |
| 附录 I       | 截面的几何性质          | 213        |
| 附录 II      | 型钢规格表            | 219        |
| 参考文献       |                  | 228        |

# 第一章 绪 论

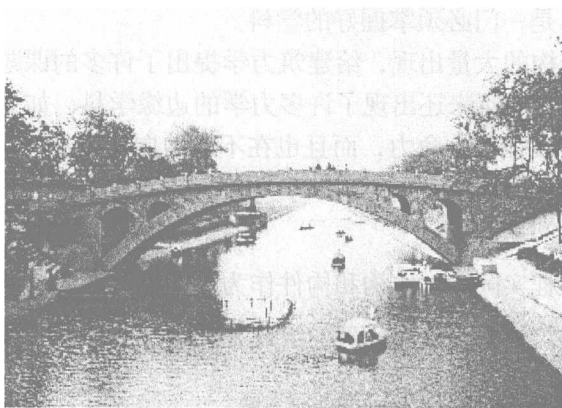
## 第一节 建筑力学的任务

### 一、土木工程与力学的关系

人类其实在很早就能够应用力学原理进行各种土木工程的建设，只不过是当时的数学知识比较贫乏，加上研究手段低下和实验设备落后而没能上升到理论，而且有许多错误的认识。经典力学是人类社会的生产和科学实践发展的必然产物，其学科体系是在 15 世纪至 17 世纪间逐步形成并不断成熟和发展起来的。

我国劳动人民具有非凡的智慧和创造力，创造出了光辉灿烂的民族文化，同时也对世界的发明创造和科学进步做出了巨大的贡献。我国的力学水平自古以来也一直处在世界的领先地位，我国古代劳动人民在很早以前就发明和使用杠杆、滑轮等简单机械，并且积累了大量的力学知识和经验，在《墨经》中就有关于力、重心以及力矩等一些力学的基本概念。在李冰父子率领下建造的大型水利工程都江堰，以及雄伟壮观的万里长城，都是世界建筑史上的奇迹，也说明我国当时的力学水平已经站在了世界的前列。

在建筑方面，隋朝工匠李春建造的赵州桥（如图），拱跨达 36 m 之多，不仅结构美观，而且桥两端设置了圈拱，使桥的自重减轻，虽经过一千多年的风吹雨打，并经历过多次地震的考验，至今仍屹立在河北省的洺河上，证明其设计完全符合力学原理。17 世纪末建造的泸定铁索桥，长达百米，目前仍完好无损。



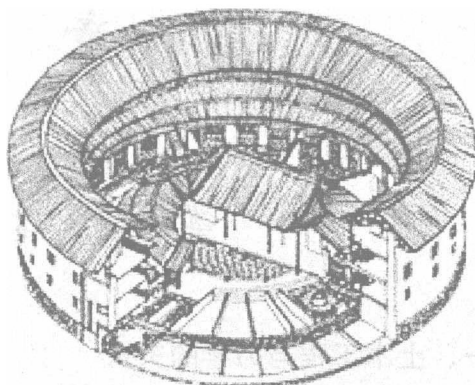
赵州桥



新中国成立后，中国人民的创造潜力得到了充分发挥。在解放初期自行设计、独立施工的南京长江大桥、人民大会堂等一些典型建筑，下面一组照片集中体现了我国人民的聪明才智和无限的创造力。



大跨度悬索桥



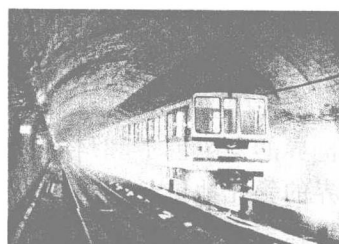
民族建筑



古典建筑



高大建筑



铁路隧道

在结构的设计计算和施工的过程中，是离不开建筑力学这门学科的，比如设计房屋时如何确定梁、柱、板、基础等构件的形式和尺寸才能保证安全；桥梁能否在列车荷载作用时不至于破坏和产生过大的变形；隧道衬砌和边墙能否承受来自地层和侧面土层的压力；水堤在水压力作用下能否崩溃；挡土墙在侧面土的压力下要保证不滑动、不倾覆，地基土应有足够的承载力等问题，都需要根据力学知识进行计算。因此土木工程中的力学知识是进行各种计算和结构设计的基础，是一门必须掌握好的学科。

建筑中各种新型结构的大量出现，给建筑力学提出了许多的课题，同时也为建筑力学的发展提供了广阔的空间。近年来还出现了许多力学的边缘学科，如生物力学、地质力学等，但经典力学仍然体现出极强的生命力，而且也在不断地向前发展。

## 二、建筑力学的研究对象

建筑力学以建筑工程实际中的结构和构件作为基本研究对象。所谓结构，是指在构筑物中，由砖、石、砼等建筑材料，按照合理的组成方式组成，并能承担预定的荷载任务，从而在构筑物中起到骨架作用的部分。

工程中的结构形式具有多样性，按照建筑材料的不同可将结构分为钢结构和圬工结构；按照几何组成又可分为静定结构和超静定结构等。

所谓构件：是指为了对结构进行分析计算，从结构中分离出来的部分，如板、梁、柱、基础等，它们是组成结构的基本单位。

由于结构形式的种类繁多，决定了构件的种类也必然很多。如果构件一个方向的尺寸比另外两个方向的尺寸大得多，称为杆件，图 1.1 (a)、(b)；当构件两个方向的尺寸比另一个方向的尺寸大得多，称为薄壁构件或壳体，图 1.1 (c)；当三个方向的尺寸相差不多时，称为实体构件，图 1.1 (d)。如果结构中的构件都是杆件，则称为杆系结构。建筑力学中主要研究的是杆系结构，其他类型的结构，如薄壁结构、实体结构等都属弹性力学的研究范畴，在本门课程中不再涉及。对于杆件，其各横截面形心的连线称为杆件的轴线。

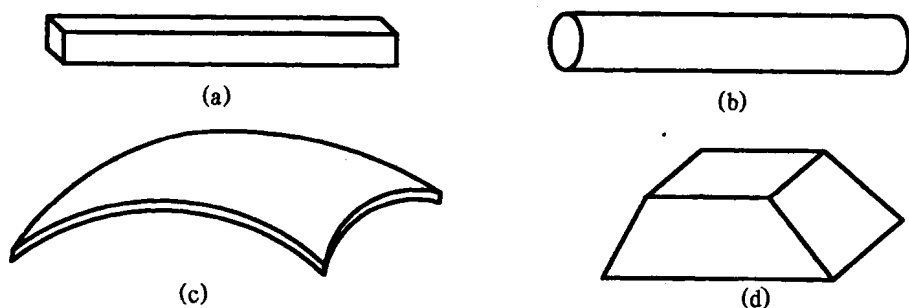


图 1.1

### 三、建筑力学的任务

建筑物最基本的要求是安全、适用、经济、美观。所谓安全，是指结构在使用过程中不发生断裂、倒塌等现象；建筑力学的主要任务是根据结构或构件的特点，对构件和结构进行简化和受力分析，研究它们的平衡规律，据此来计算在外荷载和其他因素影响下结构和构件的内力，以及结构的位移，进而对结构和构件进行强度、刚度和稳定性方面的计算和校核，以期能够研究构件的承载能力，为后续课程和专业课程的学习和研究打下坚实的基础。构件的承载能力应该包括以下几个方面：

#### 1. 强 度

强度是指结构或构件抵抗破坏的能力，即构件或结构在外荷载以及其他因素作用下不能发生破坏。

#### 2. 刚 度

刚度是指结构或构件抵抗变形的能力，即结构或构件在外荷载和其他因素影响下所产生的变形不能过大。

#### 3. 稳 定 性

稳定性是指结构或构件保持原有的平衡形态的能力。

建筑力学只为研究结构或构件的承载能力提供基本的计算理论和计算方法，要想全面研究工程中的实际结构，还必须学习和掌握相关的专业知识，并与工程实际相结合。

## 四、建筑力学的学习方法

建筑力学的基本理论是通过长期的生产实践和科学实验总结出来的所形成的一门基础学科，建筑力学的内容本身具有较强的系统性，各部分内容之间都有很紧密的联系。在学习和研究中要根据所研究事物的实质，抓住问题的关键和主要因素而舍去次要因素。在学习时要树立唯物主义的世界观，要善于发现现实生活和生产实践中与建筑力学有关的问题，从实践到理论，再从理论回到实践中去，用实践去检验理论，并通过实践进一步补充和发展理论，循序渐进，才能切实掌握建筑力学的基本理论和基本方法，才能融会贯通。

在学习建筑力学时，应该以概念和定律为立足点，深入理解并掌握其中的基本概念和基本原理，从已经建立的概念、定理和原理出发，根据所研究对象的具体条件，运用数学知识进行推理和演绎，重点弄清力学公式的来源、公式中各个符号的物理意义以及公式的适用范围和条件，而不能只满足于对公式的推导，更重要的是能够对公式有较深入的理解。

温故知新，是学习任何一门学科的关键，只有及时温习前面已学过的知识，才能将现有的理论加以巩固，并为后面的学习打下坚实的基础。

做适量的习题是学好建筑力学的另一个重要过程和手段。通过一定量习题的练习，不仅能尽快消化所学内容，掌握和提高基本计算技能，同时也能养成独立思考的习惯，培养分析问题和解决问题的能力。在做习题时应该注意，首先要复习相关的内容，只有真正懂得后再去做题才会有好的收效。其次是不能生搬硬套公式，要真正懂得分析问题的方法，掌握解题步骤。三是要注重培养和提高基本计算技能，在计算过程中要细心，对计算方法和计算过程要认真检查，以保证计算结果的准确性。四是要学习和利用现代先进的计算手段和计算技术，减轻手算工作量，提高工作效率。

## 第二节 建筑力学的基本假定

结构和构件都是由各种建筑材料组成的。由于不同的结构和构件在工作时的性能不同，因此各种建筑材料所处的工作环境也各不相同，所表现出来的力学性能也不尽相同。在计算时应考虑主要因素，略去次要因素。为了简化计算，对建筑力学中的材料和所形成的结构做如下假定：

### 1. 材料的假定

(1) 连续性假定：假定组成材料的物质在材料所占有的体积内是连续分布的，即材料间无空隙。有些材料如常用的钢材，在冶炼的过程中会存在着一些杂质和气孔，而使材料间断，但这些因素对材料的影响很小或由于不能确切计算，通常将其略去。

(2) 均匀性假定：组成材料的各种物质，在材料所占有的体积内是均匀分布的。一些建筑材料是由多种物质混合而成，例如混凝土是由水泥、砂、石子、水等物质组成，在进行力学计算时均假定这些物质在构件内是均匀分布的。

(3) 各向同性假定：假定材料在各个方向上所表现出来的力学性能都相同。建筑材料的

种类比较多，部分材料在不同的方向上的力学性能是不同的，比如木材，其沿纤维纵向和横向的力学性能很显然是不同的。但为了简化计算，在计算中均做此类假定。

## 2. 结构的假定

(1) 小变形原理：结构或构件受到任何微小的力作用时都会产生变形，但这种变形与结构的尺寸相比很小，可以忽略不计，也就是在分析结构的受力以及进行结构的平衡计算时均不考虑变形的影响。

(2) 完全弹性法则：该理论认为形成结构的材料由于受到外荷载或其他因素的作用，结构会产生变形。变形一般分为两种：一种变形的特点是，当荷载作用时变形产生并存在，当荷载撤去后变形即随之消失，这种变形称为弹性变形；另外一种变形的特点是，当撤去荷载后，部分变形不能消除而残留，这种变形称为塑性变形。也就是说，塑性变形是不可恢复的变形。在建筑力学的普通计算中，假定材料产生的变形都是弹性变形，而不考虑由于产生塑性变形对材料性能的改变。

# 第三节 结构的计算简图

## 一、结构计算简图的概念

建筑力学中所谈到的结构及构件都是从工程实际中简化而来的。实际工程中的结构类型和结构的受力特点非常复杂，如果完全按照结构实际情况进行力学分析，将是十分困难和繁琐的，也是不必要的。为了使结构的计算得以简化，在计算中只表现出其主要特点，通常的做法是抓住主要特征，即只考虑主要因素而略去次要因素的影响，而用一个简单的图形来代替，这种图形称为结构的计算简图。

一般地，选取结构计算简图应遵循以下原则：

(1) 结构的计算简图应尽可能地反映结构的实际情况，即使力学计算模型与工程结构相一致或相符合，从而使计算结果精确、可靠；

(2) 在选取计算简图时应考虑主要因素的影响而略去次要因素，尽可能使力学计算得以简化。

必须指出的是，确定结构的计算简图并不是一件非常容易的事情。特别是对于一些比较复杂的结构，进行结构的简化时，需要有一定的专业知识和实践经验，并能够对结构的构造、各部分之间的受力情况和相互作用进行正确判断，甚至有时还需要利用模型试验和现场测试才能得出正确的力学计算简图。

## 二、结构计算简图示例

在介绍结构简图之前，先来介绍与简图相关的结点和支座的概念。

### 1. 结 点

结点是指杆件与杆件联结的地方。一般有铰结点和刚结点之分，个别部位的联结还存在

着组合结点。

(1) **铰结点**：铰就是人们常说的销钉，是指用一圆柱形的销钉将两个或更多的杆件联结在一起的装置。铰也称圆柱铰链，如图 1.2 (a) 所示。它允许被联结的杆件在结点处绕着铰的几何中心转动。其简化图形可以用 1.2 (b) 表示。

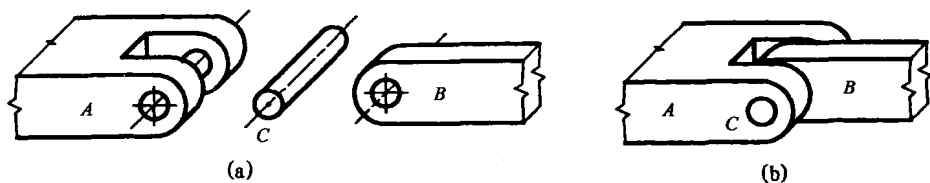


图 1.2

(2) **刚结点**：刚结点是指杆件间的联结比较坚固，被联结的构件间不能绕着该结点产生转动。例如钢材与钢材间的焊接，钢筋混凝土现浇构件间的联结均属于此种类型，如图 1.3 (a)、(b) 所示，图 1.3 (c) 表示了刚结点的力学简化形式。

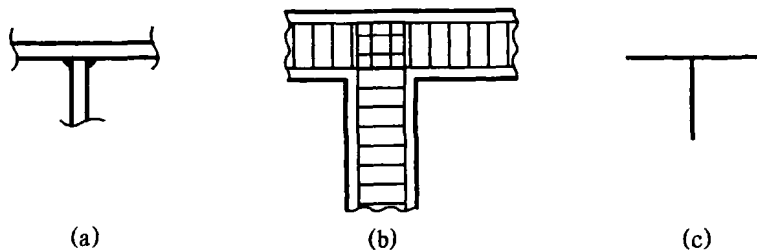


图 1.3

(3) **组合结点**：在同一结点上，某些杆件间的联结采用刚结点，而另外一些杆件的联结则采用铰结点，这种结点不是完全铰结，也不是完全刚结。该类结点在后面的梁和刚架中比较常见，其简化形式如图 1.4 所示。

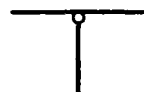


图 1.4

## 2. 支 座

支座是指用来把结构与地基联系起来的装置。支座的构造形式很多，在力学计算简图中，根据支座对结构或构件所产生的作用的不同，可以将支座归纳成下列几种类型：

(1) **可动铰支座**：这种支座的构造如图 1.5 (a) 所示，桥梁中使用的辊轴支座和摇轴支座都属于此种类型。可动铰支座通常可以用一根与支承面垂直的链杆来代替，图 1.5 (b) 或图 1.5 (c)，有时也称活动铰支座。

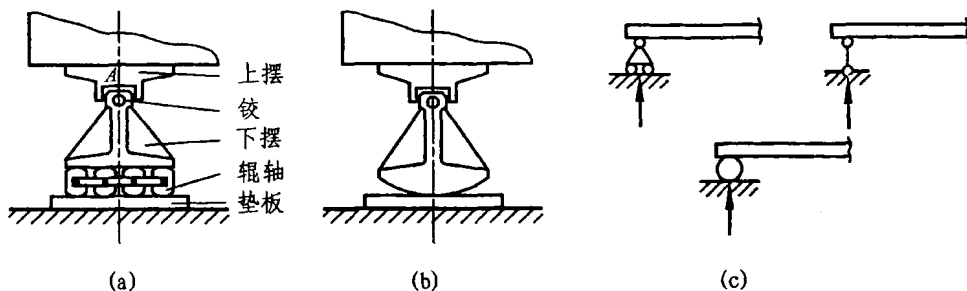


图 1.5

(2) 固定铰支座：这种支座的构造如图 1.6 (a) 所示，它只允许结构绕铰  $A$  的几何中心转动，但不允许  $A$  点作水平和竖直方向的移动。图 1.6 (b) 表示的是固定铰支座的力学简化形式。

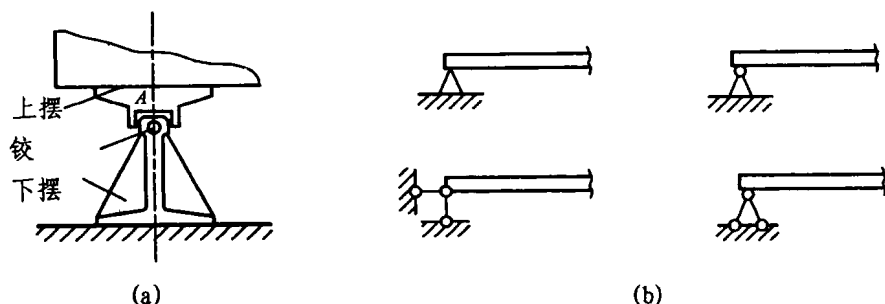


图 1.6

(3) 固定端支座：固定端支座不允许结构在支座处产生任何的移动和转动，比如阳台的挑梁与圈梁的联结如图 1.7 (a)、柱与基础的联结大多属于此类型，如图 1.7 (b)。当只分析挑梁或柱的受力时，可简化为图 1.7 (c)、(d) 所示的形式。

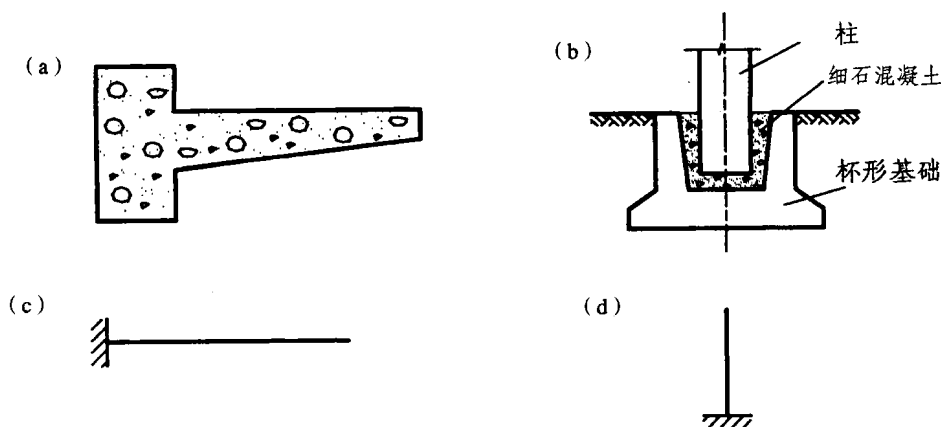


图 1.7

(4) 滑动支座：这种支座在土木工程中并不常用，机械工程中气缸对活塞的作用与之相当。它只允许杆件沿与支承面平行的方向产生移动，而限制了构件垂直于支承面方向的移动，以及绕支座的转动。在后面讲的结构计算简化的过程中会涉及这类支座，其简化的力学模型如图 1.8 所示。

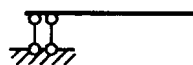


图 1.8

### 3. 结构计算简图

如图 1.9 (a)，一根梁两端搁在墙上，上面放一重物。简化时，梁本身可以用其轴线来代替。考虑到墙面对梁端有摩擦力，而梁受热膨胀时仍可伸长，故将其一端视为可动铰支座，另一端视为固定铰支座。这样便得到图 1.9 (b) 所示的计算简图。

又如图 1.10 (a) 所示的工厂厂房，其主要构件是梁、柱、基础等，其中的每一横排的梁、柱、基础处于同一平面内，梁与柱、柱与基础的联结都非常牢固，可以把梁与柱的联结看成

是刚性结点，柱与基础的联结看成是固定端支座，而得到如图 1.10 (b) 所示的计算简图。

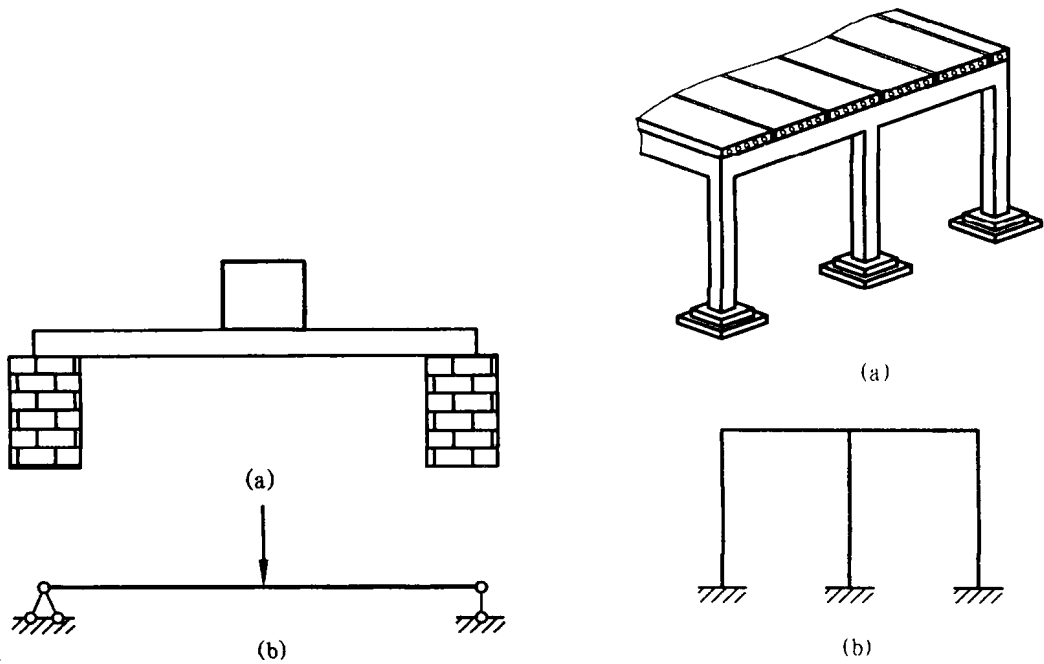


图 1.9

图 1.10

再如图 1.11 (a) 为钢筋混凝土屋架，考虑到杆件的主要受力特点，计算时可以采用图 1.11 (b) 所示的计算简图，即假定各杆间的联结均为铰结。这样虽然与实际情况不太符合，但可以使计算大大简化，而且计算结果所产生的误差也能为工程实际所接受。如果将杆件间的联结改为刚结，则计算结果就非常精确，如图 1.11 (c)，但这样就会使得计算变得十分复杂。

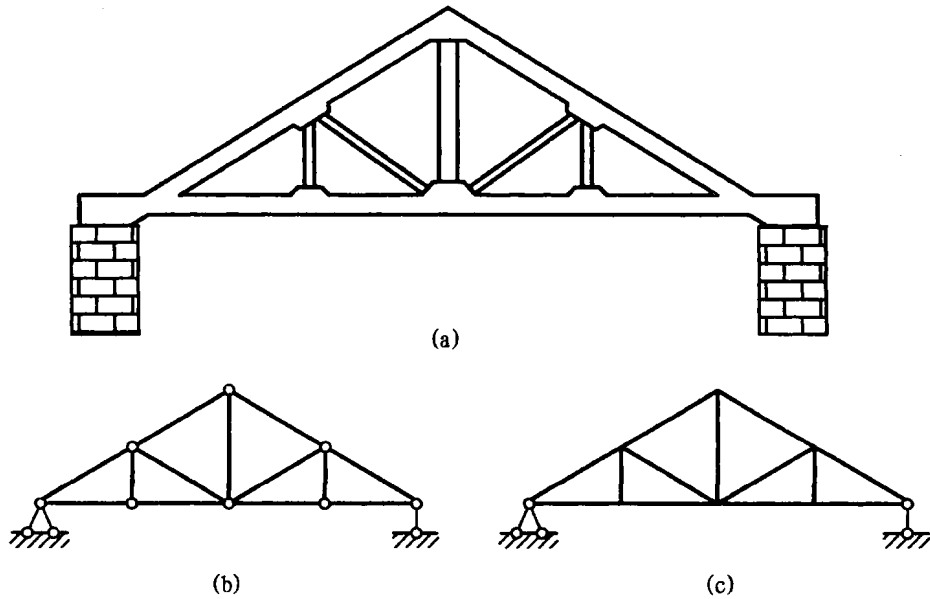


图 1.11

## 第四节 平面体系的几何组成分析

### 一、几何不变体系

建筑工程中的结构是由很多杆件相互联结而形成的。那么是不是杆件之间进行任意的拼接，都可以作为结构来使用呢？下面通过例子来进行说明。

图 1.12 (a) 所示体系，在外荷载或其他因素作用下，当略去材料本身的变形后，这个体系能够保持其原有的形状，杆件间的相对位置也没有改变，我们把这种能够保持原有的几何形状的体系称为几何不变体系。

但对于图 1.12 (b) 所示的体系，体系上施加外荷载后，体系不仅不能保持原有的几何形状，同时杆件间的相对位置也发生了明显的改变，这种体系称为几何可变体系。

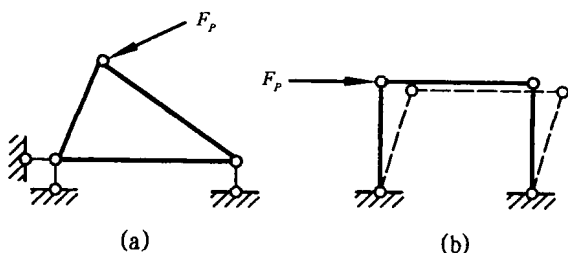


图 1.12

很显然，只有几何不变体系才能在工程中作为结构来使用。而对于几何可变体系，由于体系的形状和杆件间的相对位置不确定，因此是不能作为结构来使用的。

对于一个体系，判断其为几何不变的，还是几何可变的，称为体系的几何组成分析或构造分析。

### 二、约束与自由度

#### 1. 约束的概念

凡是能够限制物体运动的装置，就称为约束。例如将物体放在桌面上，如图 1.13 (a)，桌面就对物体的向下运动产生了限制，桌面对物体来说就是约束，这种约束称为光滑接触面约束；又如用绳索吊起一重物，则绳索限制了物体的运动，图 1.13 (b) 这种约束称为柔索约束等。

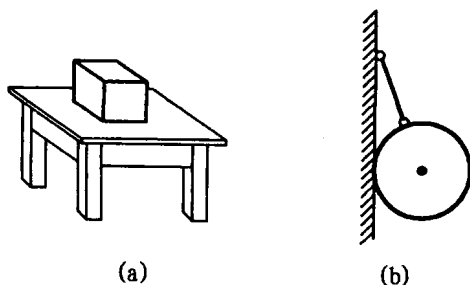


图 1.13



## 2. 约束的类型

除了上面提到的约束外，工程中还有另外一些约束，下面分别进行介绍。

(1) 链杆约束：链杆是指两端用铰与其他构件相连的直杆。链杆上不承受与杆的轴线不平行的力的作用。如果链杆的一端与地基相连，就是在前面讲过的可动铰支座。

(2) 铰约束：铰就是前面所说过的圆柱铰链。联结两个杆件的铰称为单铰，联结多个杆件的铰称为复铰。

## 3. 体系的自由度

体系的自由度是指体系在运动时能够独立变化的几何参数的数目。换句话说，就是指为了确定体系的位置所需要的独立坐标的数目。

图 1.14 所示平面内的一点  $A$ ，它在平面中的位置需要用该点的两个坐标  $(x, y)$  来确定，因此一个点在平面内具有 2 个自由度。

又如图 1.15 所示平面内的刚片 I，确定它在平面中的位置则需要用该刚片上一点  $A$  的坐标  $(x, y)$  以及刚片上通过  $A$  点的一条直线  $AB$  的倾角  $\alpha$  来确定，则一个刚片在平面内具有 3 个自由度。

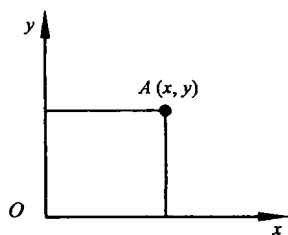


图 1.14

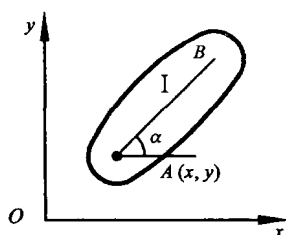


图 1.15

一般地，一个几何体系如果具有  $n$  种独立运动的方式，我们就说该体系具有  $n$  个自由度，或称具有  $n$  度自由。对于几何不变体系，其对大地的自由度必然小于或等于零。凡自由度大于零的体系，都是几何可变体系。

体系的自由度会因为是在体系中加入约束而减少。凡是能够使体系减少一个自由度的装置称为一个约束。下面首先来讨论在体系中加入约束后对体系的自由度影响的情况，也就是讨论各种约束能够使体系的自由度减少的数目。

(1) 链杆约束：图 1.16 中，刚片 I 通过一根链杆与地基相连，则刚片 I 的运动图形式为：刚片 I 绕着  $A$  点进行转动，以及刚片 I 与链杆一起同时绕着  $B$  点转动。此时刚片 I 在平面中的位置用其上面的一条直线  $AC$  的倾角  $\alpha$  以及链杆  $AB$  的倾角  $\beta$  就能确定，刚片 I 的自由度由原来的 3 个减少为 2 个，自由度减少了 1 个。也就是说一根链杆能够使体系减少一个自由度，因此一根链杆相当于一个约束。

(2) 单铰约束：单铰是指只联结两个刚片的铰，如图 1.17 所示。铰  $A$  联结着刚片 I 和刚片 II，它是一个单铰。刚片 I 具有 3 个自由度。如果刚片 I 的位置已经确定，则刚片 II 只能绕着铰  $A$  转动，其自由度变为 1。这样两个刚片的总自由度由 6 个减少为 4 个，可见一个单铰能使体系减少两个自由度，因此一个单铰相当于两个约束，也就是相当于两根链杆的约束。