

高等学校专修科试用教材

结 构 力 学

(工程力学第三册)

兰州铁道学院 王业盛
长沙铁道学院 李廉锴
北方交通大学 张丽媛
江苏工业学院图书馆
藏书章

中 国 铁 道 出 版 社

1989年·北京

高等学校专修科试用教材

结 构 力 学

(工程力学第三册)

兰州铁道学院 王业敏 主编

长沙铁道学院 李廉锬 主审

北方交通大学 张丽媛

中 国 铁 道 出 版 社

1989年·北京

内 容 简 介

本书内容包括：绪论、结构的几何组成分析、静定结构在恒载作用下的计算、静定结构在移动荷载作用下的计算、静定结构位移的计算、力法、位移法、力矩分配法、超静定结构在移动荷载下的计算、直接刚度法。考虑到专修科的特点，在编写过程中，注意理论联系实际、精选内容、突出基本概念。

本书可作为高等工科学院专修科土木工程各专业结构力学教材，还可供自学者学习参考。

高等学校专修科试用教材

结 构 力 学

兰州铁道学院 王业敏 主编

中国铁道出版社出版、发行

责任编辑 李云国 程东海 封面设计 王毓平

各地新华书店经售

中国铁道出版社印刷厂印

开本：850×1168毫米 1/32 印张，10.25 字数：265 千

1989年4月 第1版 第1次印刷

印数：1—2000册 定价：2.65元

目 录

第一章 绪 论	1
第一节 结构力学的研究对象和任务	1
第二节 结构的计算简图	2
第三节 结构分类	5
第四节 荷载分类	7
第二章 结构的几何组成分析	9
第一节 几何组成分析的目的	9
第二节 自由度和约束	10
第三节 几何不变体系的组成规则	12
第四节 体系几何组成分析示例	16
第五节 静定结构和超静定结构	18
习 题	20
第三章 静定结构在恒载作用下的计算	23
第一节 多跨静定梁	23
第二节 静定刚架	30
第三节 三 铰 拱	40
第四节 静定桁架	52
习 题	62
第四章 静定结构在移动荷载作用下的计算	70
第一节 影响线的概念	70
第二节 影响线的绘制	72
第三节 影响线的应用	90
第四节 简支梁的绝对最大弯矩	104
习 题	107
第五章 静定结构位移的计算	112

第一节	概 述	112
第二节	虚功原理	114
第三节	结构位移计算的一般公式	118
第四节	荷载作用下结构位移的计算	120
第五节	用图乘法计算位移	124
第六节	温度改变下结构位移的计算	130
第七节	支座移动下静定结构的位移计算	133
第八节	互等定理	134
习 题		137
第六章	力 法	141
第一节	超静定结构概述、超静定次数的确定	141
第二节	力法的基本原理及其计算	145
第三节	超静定结构计算示例	161
第四节	单跨超静定梁的转角位移方程	184
习 题		186
第七章	位 移 法	190
第一节	位移法的基本概念、基本未知量的数目	196
第二节	位移法的计算步骤与示例	199
第三节	对称性的利用	208
习 题		214
第八章	力矩分配法	217
第一节	力矩分配法的概念	217
第二节	用力矩分配法计算连续梁和无侧移刚架	223
习 题		232
*第九章	超静定结构在移动荷载下的计算	234
第一节	位移影响线、机动法作影响线的概念	234
第二节	连续梁的影响线	237
第三节	连续梁的内力包络图	246
第四节	无铰拱的影响线	250
习 题		258

第十章 直接刚度法	259
第一节 概 述	259
第二节 单元刚度矩阵	260
第三节 单元刚度矩阵的坐标变换	269
第四节 整体刚度矩阵	276
第五节 加入约束后的刚度矩阵	287
第六节 非结点荷载	289
第七节 直接刚度法的计算步骤与示例	291
习 题	313

第一章 绪 论

第一节 结构力学的研究对象和任务

日常生活和生产活动中所接触到的房屋、桥梁、水塔、堤坝、电缆塔架以及其它各种类型的建筑物，一般是由若干部分（或称部件）组成的。例如房屋是由屋顶、梁或柱、墙和基础所组成；桥梁是由梁部、桥台及桥墩所组成。每个部件既承受荷载又传递荷载，在建筑物中起着骨架作用。这些部件可以是一根杆（例如梁），也可以是由若干根杆所组成（例如桁架），其外形虽然不同，但在建筑物中起的作用却是一样的，在工程中将这些能支承一定荷载并起骨架作用的部件或整体称为结构。

结构力学的任务是分析结构在荷载等因素作用下的几个问题：

（1）计算结构的内力 求得了内力就可用材料力学的知识进一步校核各杆件的强度。

（2）计算结构的变形 结构即使满足强度要求，但弹性变形如果过大，仍不能在工程上使用，所以结构的弹性变形必须限制在一定范围之内，这就是刚度的计算。

（3）分析结构的稳定性 这是保证受压结构不致因压力过大而丧失稳定，从而导致结构的破坏。

（4）讨论结构的组成规律及其合理形式 前者是为了保证各部分之间不致产生相对运动，能承受任意荷载而维持平衡；讨论后者是为了充分利用材料的强度。

前三个问题也是属于材料力学研究的内容，不过材料力学一般仅限于研究个别杆件，而结构力学则着重研究由杆件组成的结构。

第二节 结构的计算简图

在理论力学中学过，一片桁架通常简化成一组细长的直杆，各杆之间用无摩擦的铰相联结。但实际桁架，如图 1—1(a)，杆件之间是通过结点板焊接起来的，这就限制了杆端在结点的自由转动，当结点改变位置时，杆端必定产生弯曲。由试验和分析可知，对于细长的杆件来说，这种弯曲影响一般很小。这样，铰结桁架所求出的内力和实际桁架的内力比较接近(图 1—1 b)，这对于荷载不大跨度也不大的结构(如屋架)来说，其精确度也就足够了。事实上任何结构的实际构造和实际荷载都很复杂，不可能按实际情况进行结构分析，为了简化计算，必须略去结构的次要因素，保留其主要受力特征，从而得到一个简化的图形。这种近似于实际结构的简化图形就称为计算简图。只要计算简图所求得的应力及应变和实际结构的试验结果相比较，其误差在工程允许范围内，则这种计算简图是可取的。

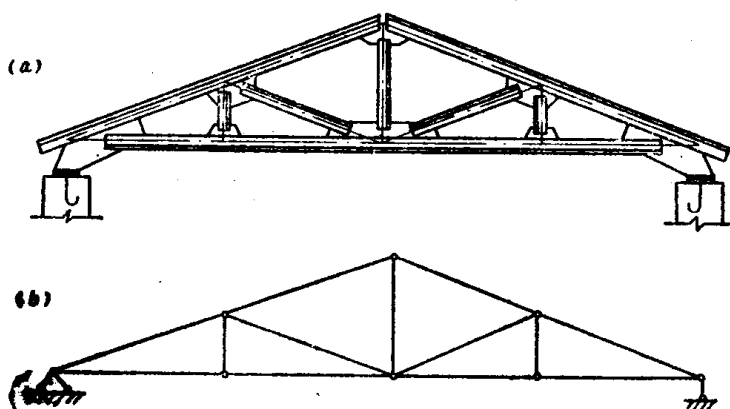


图 1—1

选取计算简图的一般原则是：(1) 尽可能反映结构的实际情况，使计算结果可靠。(2) 忽略次要因素，使计算比较简单。

选取计算简图还与下面因素有关：

(1) 设计阶段 初步设计采用粗略的计算简图，技术设计采用较精确的计算简图。

(2) 结构的重要性 重要结构采用较精确的计算简图，一般结构采用较粗略的计算简图。

(3) 计算工具 应用电子计算机时采用较精确的计算简图，手算则采用较粗略的计算简图。

因此，对同一结构而言，计算简图因所考虑的因素不同可采用不同的计算图形。

一个结构不论采取哪种计算简图，简化工作一般包括：结构简化，支座简化以及荷载简化。

(一) 结构简化 结构简化有两方面：一是所有杆件用截面形心所形成的轴线来表示；一是杆件之间的联结用铰结点或刚结点来表示。

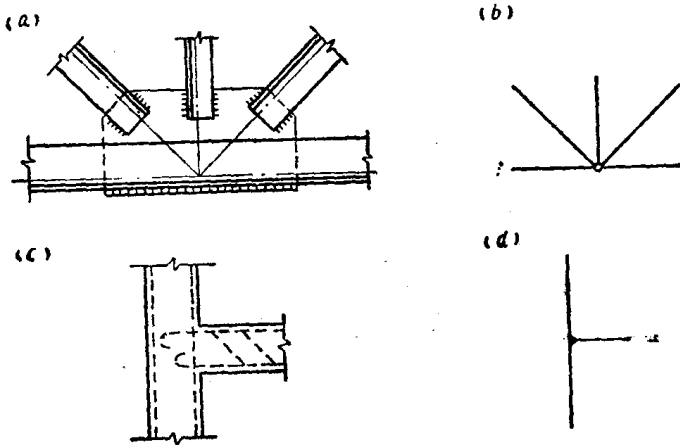


图 1-2

如图 1-2 (a) 所示为一钢桁架结点，如前所述可简化为铰结点，见图 1-2 (b)。图 1-2 (c) 所示为一钢筋混凝土刚架结点，由于结点处是整体浇成，钢筋的布置使各杆的杆端能够抵抗弯矩，所以这种结点只能简化成刚结点如图 1-2 (d)

所示。刚结点的特征是：当结构变形时，汇交于该结点的各杆的杆端之间无相对转动。

(二) 支座简化 支座是结构和地面或两个结构之间的联结装置。依照实际构造和约束的不同，简化为滑动铰支座，固定铰支座和固定支座。

(1) 滑动铰支座 如图 1—3 (a) 所示为大跨度桥梁所使用的实际支座示意图。这种支座既容许结构绕 A 转动，又容许结构沿支承面方向移动，但 A 点的竖向位移受到约束，其反力 R_A 为一通过 A 的集中力。从力的三要素看，只有一个未知量，其简化图用一根链杆来表示 (图 1—3 d)，因为链杆的运动情况与实际支座相同。所以这种简化图又称为链杆支座。

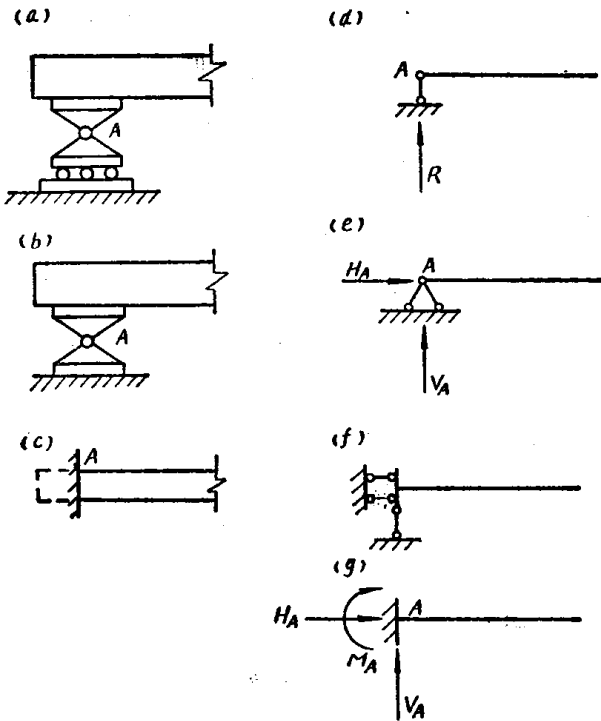


图 1—3

(2) 固定铰支座 (简称铰支座) 如图 1—3 (b)，这种支座只允许结构绕 A 点转动，而限制结构离开 A 点作任意方向

的移动。它所承受的反力是一个作用点通过铰 A 而方向和大小均为未知量的力。这种支座的简化图用两根交于一点的链杆表示 (图 1—3 e)，其反力通常用与结构轴线平行和垂直的作用于铰 A 的两个分力 H_A 及 V_A 来代替。

(3) 固定支座 如图 1—3 (c) 是插入墙内的一段梁 (如门框上的横梁)。梁在 A 处既不能移动，也不能转动，所以 A 处的反力是一个作用点、大小和方向都不知道的力，有三个未知量，其简化图形用三根不交于一点也不互相平行的链杆来代替 (图 1—3 f)，但为了作图简单，常用如图 1—3 (g) 所示简图来表示，其反力则用过 A 点并与结构轴线平行和垂直的两个分力 H_A 、 V_A 及分力矩 M_A 来表示。

(三) 荷载简化 杆件的自重，还有作用在杆件表面的外力 (如风压力，水压力)，都是连续分布力，这种荷载都简化成作用在杆件轴线上的分布荷载。有些外力，例如汽车轮胎，由于在结构上的接触面较小，则简化成集中荷载。

第三节 结构分类

按空间观点来分 结构可分为平面结构和空间结构两类。如果荷载的作用平面与结构所在平面平行，或荷载和结构在同一平面之内，则结构可分解成若干个平面结构，否则就是空间结构。如图 1—4 (a) 所示是一座铁路桁架桥的示意图。由于桥面系 (枕木、纵横梁等) 的自重及火车荷载与主桁架所在的平面平行，与主桁架平面垂直的风载和上、下平纵联所在的平面平行，因此，这个桁架桥可分解成几个平面结构如图 1—4 (b) 所示。实际上任何结构都是空间建筑物，只当结构各部分的组成特点以及荷载的传递途径符合上述要求时，才能分解成平面结构来计算。如图 1—5 是一个圆形屋顶，它由细长杆组成，结点位置放在双曲面上，主要承受屋面及自重荷载，这种结构具有明显的空间特征，因而是空间结构。

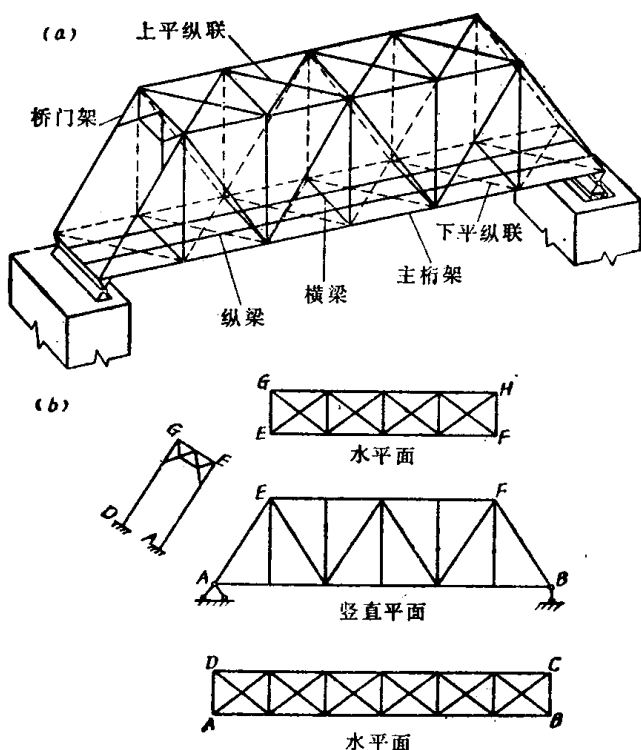


图 1—4

按几何尺寸来分 结构又可分为杆系结构、薄壁结构及实体结构三类。

(1) 杆系结构 这种结构中，每个杆件的宽度和高度远小于长度，其计算图形就是一根由截面形心所形成的轴线。前述桁架就是杆系结构的一种。

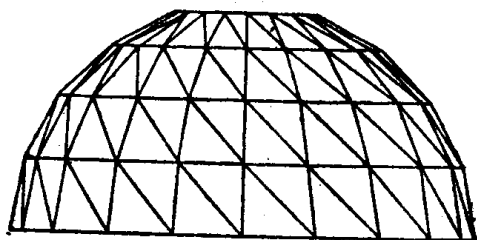


图 1—5

(2) 薄壁结构 这种结构的一个尺寸（如厚度）远小于其它两个尺寸（宽度及长度），其计算简图取截面中心线所形成的面来表示。如果中心面是曲面就称为壳，如图 1—6 (a)、(b) 所示即常用的壳体屋顶，前者称为筒壳，后者称为双曲壳。如果中心面是一个平面就称为板，如图 1—6 (c) 所示就是房屋中

常用的楼板。

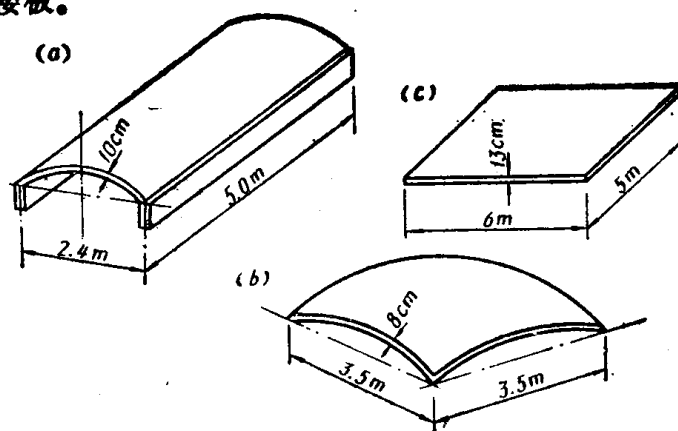


图 1-6

(3) 实体结构 这种结构一般较长，在沿长度方向上的荷载也大体相同，所以常取单位长度来进行计算。这样，计算对象在长、宽、高三个方面的尺寸相差不很大，属同一数量级。如挡土墙、堤坝就是这类结构，见图 1-7。

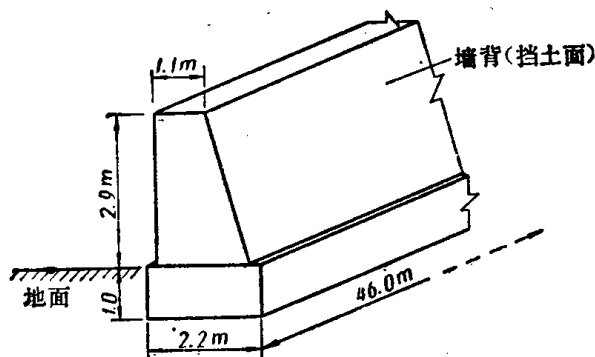


图 1-7

本书只讨论平面杆系结构。

第四节 荷载分类

荷载是作用在结构上的主动力，按分布情况可把荷载分为集

中荷载和分布荷载两大类。

按荷载作用时间的久暂，则荷载又可分为恒载及活载两大类。恒载是长期作用于结构的荷载，如自重，土压力等。活载是指短期作用的荷载，如雪载，风载，人群及车辆等。在活载当中，又依荷载是否随时间而变动位置分为不动活载及移动荷载两种。如雪载就是不动活载，人群、车辆、吊车、施工机具就是移动活载。

从荷载的作用性质来说，则荷载又分为静力荷载和动力荷载。静力荷载是缓慢作用在结构上而不引起结构振动的荷载。动力荷载则是其大小、方向或作用点都随时间而变化，并引起结构振动的荷载。如运行中的车辆，由于线路的不平顺而产生上下的跳动，或车轮有偏心质量，就是引起结构振动的动力荷载。

此外温度变化和基础下沉也将引起结构的变形，对某些结构，如后面将要提到的超静定结构，还要引起内力，广义地讲，这两种情况都当作静力荷载。

本书只讨论静力荷载。

第二章 结构的几何组成分析

第一节 几何组成分析的目的

结构在不考虑材料的变形情况下，其几何形状和位置必须固定不变，只有这样，结构才能抵抗任何方向的荷载，在建筑物中起承载传载和骨架的作用。

图 2—1 (a) 所示是两根杆件一端用铰 C 联结，另端用铰 A 及铰 B 与地相联而成的三角形 (由杆件组成的图形常称为体系)。此三角形体系在任意外力 P 的作用下，其几何形状及位置不可能改变，这种体系称为几何不变体系。

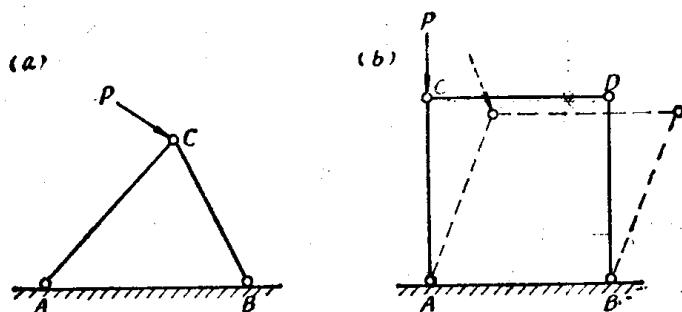


图 2—1

如图 2—1 (b) 所示体系，当外力方向与杆 AC 轴线重合时它可以暂时不动，但如果 P 的方向稍有倾斜，这个体系就会产生如图中虚线所示的相对运动，其原因是这个体系不能阻止水平方向上的移动，这种体系称为几何可变体系。显然几何可变体系在土木工程结构中是不能采用的。

体系几何组成分析的目的，就是讨论几何不变体系的组成规律，分析如何保证体系在几何组成形状上的不变性。

在体系几何组成的分析中，由于不考虑材料变形，所以不论是一根杆件或者是一个几何不变的体系都可以看成是一个刚体，平面内的刚体称为刚片。本章只讨论平面体系的几何组成分析。

第二节 自由度和约束

在上节图 2—1 (b) 所示的可变体系中，如在 D 点加一个如图 2—2 (a) 所示的链杆，或者在 C 和 B 之间加一根如图 2—2 (b) 所示的 BC 杆，这两种装置都可以防止原可变体系的水平运动。判断体系是否可变，先了解一下可变体系的运动性质是很有必要的。

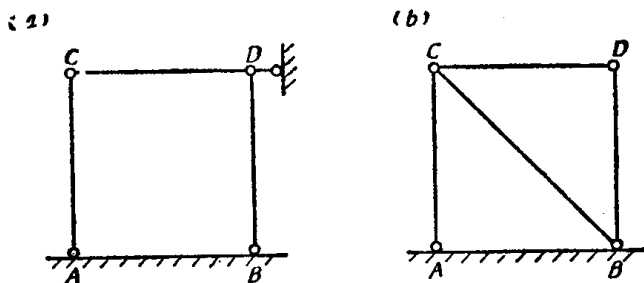


图 2—2

如图 2—3 (a) 所示，一个点在平面内的位置，只要两个独立坐标 x 、 y （通称几何参变量）就可确定。如从运动方式看，点在平面内只有水平和竖直这两种独立的运动方式。

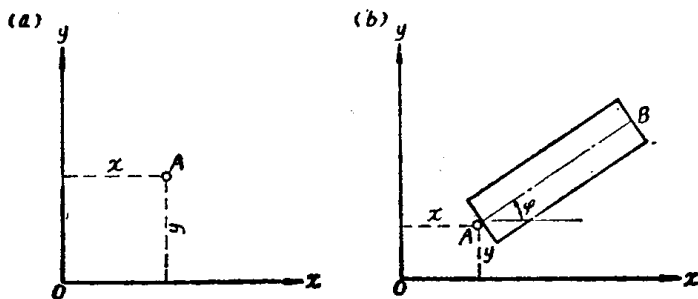


图 2—3