

交通系统中等专业学校试用教材

结 构 力 学

Jiegou Lixue

(公路与桥梁专业用)

黄志平 詹斌全 秦瑞清 编

人 民 交 通 出 版 社

交通系统中等专业学校试用教材

结 构 力 学

Jiegou Lixue

(公路与桥梁专业用)

黄志平 詹斌全 秦瑞清 编

人 民 交 通 出 版 社

内 容 提 要

本书是根据 1981 年 2 月交通系统中等专业学校公路与桥梁专业教学大纲审定会议所讨论通过的结构力学教学大纲编写的, 编写中参照了 1982 年 2 月教育部颁发的中等专业学校土建类专业结构力学教学大纲。

全书共十一章。主要阐述体系的几何组成分析、静定结构的内力和位移计算、结构反力内力影响线的绘制和应用、力法计算超静定结构、位移法、力矩分配法以及结构矩阵分析等方面的基础内容。

本书可作为中等专业学校公路与桥梁、城市道路等专业结构力学课程的教材, 也可供其它土建类专业师生和有关工程技术人员参考之用。

交通系统中等专业学校试用教材

结 构 力 学

(公路与桥梁专业用)

黄志平 詹斌全 秦瑞清 编

人民交通出版社出版

新华书店北京发行所发行

各地新华书店经售

人民交通出版社印刷厂印

开本: 787×1092_{1/32} 印张: 21.75 字数: 529 千

1985年12月 第1版

1985年12月 第1版 第1次印刷

印数: 0001—22,950 册 定价: 3.60 元

目 录

第一章	绪论	1
§1-1	结构力学的研究对象和任务.....	1
§1-2	结构的计算简图.....	2
§1-3	杆件结构与荷载的分类.....	9
第二章	杆件体系的几何组成分析	13
§2-1	概述.....	13
§2-2	平面杆件体系的自由度.....	15
§2-3	几何不变体系的基本组成规则.....	19
§2-4	体系的几何组成分析.....	24
§2-5	小结.....	27
习题		28
第三章	静定梁和静定平面刚架	31
§3-1	单跨静定梁.....	31
§3-2	多跨静定梁.....	37
§3-3	静定平面刚架.....	42
§3-4	小结.....	49
习题		50
第四章	三铰拱	53
§4-1	概述.....	53
§4-2	三铰拱的计算.....	55
§4-3	三铰拱的压力线.....	60
§4-4	三铰拱的合理拱轴线.....	62
§4-5	小结.....	65
习题		66
第五章	静定平面桁架	68
§5-1	概述.....	68
§5-2	结点法计算桁架内力.....	70
§5-3	截面法计算桁架内力.....	75
§5-4	各式常见桁架的比较.....	78
§5-5	静定平面组合结构.....	80
§5-6	小结.....	83
习题		84
总结		86
第六章	静定结构的反力内力影响线	90

§6-1	移动荷载和影响线的概念	90
§6-2	简支梁的反力内力影响线	93
§6-3	外伸梁和三铰拱的反力内力影响线	95
§6-4	结点荷载作用下的影响线	99
§6-5	多跨静定梁的反力内力影响线	101
§6-6	影响线的应用	102
§6-7	等代荷载	116
§6-8	简支梁的绝对最大弯矩	121
§6-9	简支梁的内力包络图	123
§6-10	小结	126
习题		127
第七章	静定结构的位移计算	130
§7-1	概述	130
§7-2	弹性结构的实功原理	131
§7-3	弹性结构的虚功原理	135
§7-4	荷载作用下的位移	137
§7-5	图乘法	144
§7-6	温度改变和支座移动引起的位移	151
§7-7	结构位移计算的一般公式	156
§7-8	互等定理	157
§7-9	小结	160
习题		163
第八章	用力法计算超静定结构	166
§8-1	超静定结构概述	166
§8-2	超静定次数的确定	168
§8-3	力法的基本概念	171
§8-4	力法的计算步骤和示例	177
§8-5	对称性的利用	185
§8-6	温度改变和支座移动时超静定结构的计算	190
§8-7	超静定结构的位移计算和最后内力图的校核	195
§8-8	用三弯矩方程计算连续梁	197
§8-9	超静定结构的特性	205
§8-10	小结	207
习题		209
第九章	超静定拱	213
§9-1	概述	213
§9-2	弹性中心法计算对称无铰拱	215
§9-3	总和法	223
§9-4	无铰拱的反力内力影响线	229
§9-5	温度改变和混凝土收缩对无铰拱的影响	232

*§9-6	支座移动对无铰拱的影响.....	236
*§9-7	两铰拱的计算.....	238
§9-8	小结.....	243
习题		244
第十章	位移法和力矩分配法.....	246
§10-1	位移法的基本概念	246
§10-2	等截面直杆的转角位移方程	247
§10-3	位移法的基本未知量	254
§10-4	转角位移法	256
§10-5	对称性的利用	263
§10-6	力矩分配法的基本概念	266
§10-7	用力矩分配法计算连续梁和无侧移刚架	275
§10-8	小结	284
习题		286
*第十一章	矩阵位移法.....	290
§11-1	结构矩阵分析概论	290
§11-2	单元划分、杆端力和位移的矩阵表示	292
§11-3	单元刚度矩阵	294
§11-4	结构坐标系下的单元刚度矩阵	299
§11-5	结构原始刚度矩阵	304
§11-6	直接刚度法的求解原则	312
§11-7	示例	318
§11-8	非结点荷载的处理	334
§11-9	小结	338
习题		338
主要参考书目		340

第一章 绪 论

学 习 要 求

1. 明确结构力学的研究对象和任务。
2. 了解选取结构计算简图的意义、原则和方法。掌握铰结点、刚结点和各类支座的构造特点和力学特性。
3. 了解结构与荷载的分类。

§1-1 结构力学的研究对象和任务

建筑物中支承荷载的骨架称为**结构**。桥梁中由梁、拱、墩台等组成的体系，是结构的典型例子。结构一般由多个构件联结而成，但最简单的结构也可以是单个构件。

按照几何观点，结构可以分为：

1. 杆件结构

由杆件组成的结构称为**杆件结构**。杆件的几何特征是其横截面尺寸比长度小得多。梁（图1-1a）、刚架（图1-1b）、桁架（图1-1c）等等，都是杆件结构。

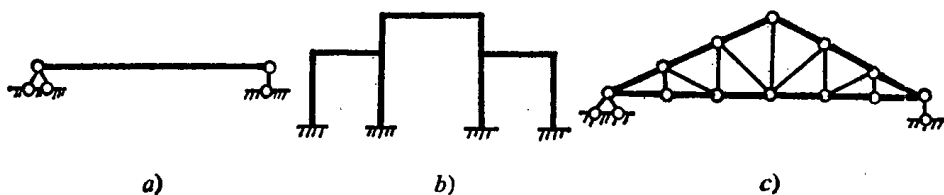


图 1-1

2. 板壳结构

由薄板或薄壳组成的结构称为**薄壁板壳结构**。薄板（图1-2a）和薄壳（图1-2b）的几何特征是它们的厚度比长度和宽度小得多。薄板呈平板状，薄壳具有曲面外形。薄壁板壳结构也称为**薄壁结构**。

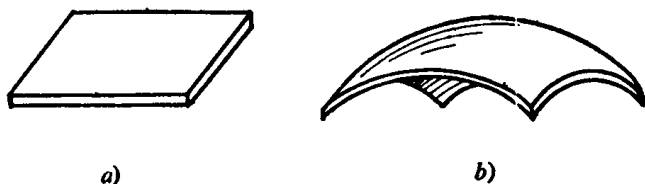


图 1-2

3. 实体结构

实体结构是指三个方向的尺寸大致为同一量级的结构。如桥墩（图1-3a）、桥台（图1-3b）、挡土墙（图1-3c）等。

结构力学的研究对象是杆件结构。它是一门研究杆件结构强度、刚度、稳定性和合理组成的科学。本书以后提到的“结构”一词，一般都指杆件结构。

结构力学与材料力学、弹性力学既有密切的关系，也有不同的分工。后两门力学也研究

结构及其构件的强度、刚度和稳定性问题，但材料力学以单个杆件为其主要研究对象，弹性力学以板壳结构和实体结构为其主要研究对象。

结构力学的任务包括以下四个方面：

1. 研究由荷载等因素在结构各部分所产生的内力（强度问题）。其目的是为了使结构具有足够但又非过分的坚固性。

2. 计算由荷载等因素所引起的结构各部分的变形（刚度问题）。其目的是为了使结构不致变形过大，尽管这种变形对结构的安全不一定有影响，但在实用上是不允许的。

3. 分析结构的稳定性（稳定性问题）。其目的是为了使结构能维持其原有的工作状态而不致丧失弹性稳定。根据教学大纲，本书对这一问题未作讨论。

4. 探讨结构的组成规律和合理形式（合理组成问题）。研究组成规律是为了保证结构的各部分不致发生相对运动，能够在承受荷载时保持几何不变。研究合理形式是为了有效地利用材料，使其性能得到充分的发挥。

总的来说，研究上述问题的目的是为了使结构满足安全、经济和适用的要求。

结构力学是在人们长期的生产斗争和科学实验的基础上发展起来的。结构力学作为力学的一个独立的分支学科，形成于十九世纪中叶，距今已有一百多年的历史。它的计算理论和计算方法，在工程建设的许多领域中得到广泛应用。它的许多新成就，给工程建设以有力的指导和推动。当代，由于现代科学技术的进一步发展，生产向结构力学提出了一系列新课题、新任务，结构力学仍然是一门朝气蓬勃的学科。值得指出的是自从电子计算机问世以来，结构力学发生了深刻的变化，出现了计算结构力学这个新的分支。借助电子计算机，原来手算不能解决的许多复杂的结构力学问题，都有可能获得解决。目前，有限单元法和结构优化设计这两个方面的研究和应用日益广泛，这就使我们有可能设计和建造各种更为复杂的工程结构，并且从许多可能的方案中寻求最优方案。

结构力学是本专业的一门技术基础课。它为学习专业课程和将来进行结构的设计与施工提供力学基础。学习结构力学应着重领会各种计算方法的原理和解题思路，并注意从许多具体的方法中学习分析问题的一般方法，以提高分析问题和解决问题的能力。学习结构力学还要注重理论联系实际。要认真地多做习题。做习题不仅是运用理论知识解决实际问题的一种基本训练，而且对掌握结构力学的原理和方法也是必须的。

复习思考题

1-1-1 何谓结构？按照几何观点，它可以分为哪几种类型？结构力学以哪一类结构为自己的研究对象？

1-1-2 结构力学是一门什么样的科学？它的任务包括哪几个方面？

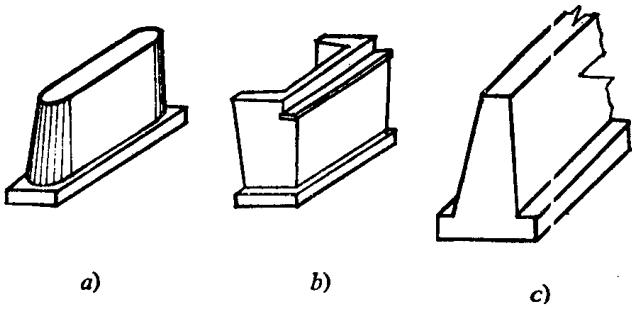


图 1-3

§1-2 结构的计算简图

(一)概述

结构的组成、受力和变形等情况通常很复杂，要完全按照它们的实际情形进行计算，既不可能，也无必要。因此，在对结构进行力学计算之前，需要将它简化为既能反映其主要力学性能又便于计算的理想模型。这种在结构计算中用来代替实际结构的理想模型，称为结构的计算简图。

计算简图是结构进行力学计算的依据，它的选取将直接影响计算的工作量和精确度。一般说来，选取计算简图应当遵循下述原则：

1. 尽可能反映结构的真实受力情况，使计算结果接近于实际情形。
2. 略去次要因素，使分析和计算简便。

同一结构由于具体情况的不同，可有不同的计算简图。工程性质重要，可选用较精确的计算简图，以提高计算的可靠性。反之，可选用较粗略的计算简图。在初步设计中，常选用较简单的计算简图，在最后设计中再改用较精确的计算简图。手算的计算简图可取得简单些，电算的计算简图可取得复杂些。

确定一个结构的计算简图，通常不是一件容易的工作。它需要有结构计算的丰富经验，和对实际结构的构造、受力情况等正确的了解和判断。对于初学者，要注意在以后的学习和工作中，逐步提高这方面的能力。

(二) 杆件结构的简化

选取计算简图的主要工作是将实际结构进行简化。杆件结构的简化主要包括以下几个方面：

1. 构件的简化

当构件的长度大于它的横截面尺寸（宽度或厚度）五倍以上时，就可以作为杆件来考虑。在计算简图中，杆件用其纵轴线来代替。梁、柱等构件的纵轴线为直线，就用相应的直线来代替。曲杆、拱等构件的纵轴线为曲线，就用相应的曲线来代替。

2. 结点的简化

杆件与杆件的联结处称为结点。根据构造的不同，各种实际结点可分别简化为铰结点或刚结点。

(1) 铰结点

铰结点的几何特征是汇交于结点的各杆的杆端不能有任何方向的相对移动，但可自由地绕结点作相对转动。图1-4a是一种典型的铰结点（合页式铰），图1-4b是它的计算简图，图1-4c表示被联结的两杆可以有相对转动。

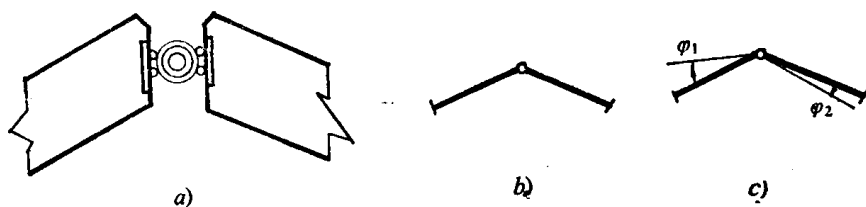
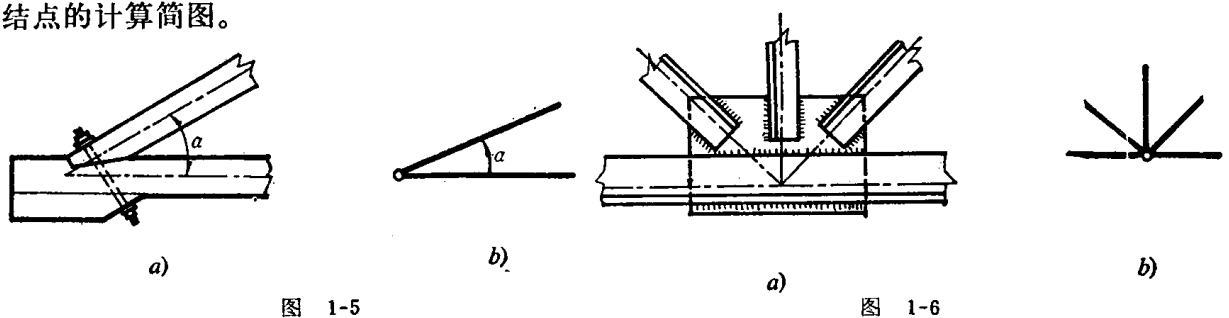


图 1-4

铰结点的力学特性是结点对杆端不存在转动约束作用，即不引起杆端弯矩，只能产生杆端轴力和剪力。

实际结构中联结杆件的铰大多是非典型铰。在选取计算简图时，凡近似符合上述几何特征的结点构造，都可以简化为铰结点。例如，图1-5a所示木屋架的端结点，虽然杆件并不能

任意自由转动，但由于联结不可能严密牢固，仍能作微小的转动。因为结构在荷载作用下实际所产生的转动也相当小，所以这个结点可当作铰结点。图1-5b是它的计算简图。一般说来，木结构的结点比较接近于铰结点。对于图1-6a所示钢桁架的结点，它虽然把杆件焊接在结点板上，但由于结点板刚度较小，杆件的抗弯刚度通常也不大，杆件主要承受轴向力，因此也可以将它简化为铰结点，由此引起的误差在多数情况下是可以允许的。图1-6b是这个结点的计算简图。



(2) 刚结点

刚结点的几何特征是汇交于结点的各杆的杆端相互固定在一起，既不能相对移动，也不能相对转动。例如，图1-7a所示钢筋混凝土结构的一个结点，三根杆件用钢筋联在一起并用混凝土浇注成整体，它的变形情况基本上符合上述特点，故可视为刚结点。图1-7b是它的计算简图。图1-7c表示当刚结点转动时，各杆件的杆端截面将随结点一起向同一方向转动相同的角度，各杆之间的夹角保持不变。

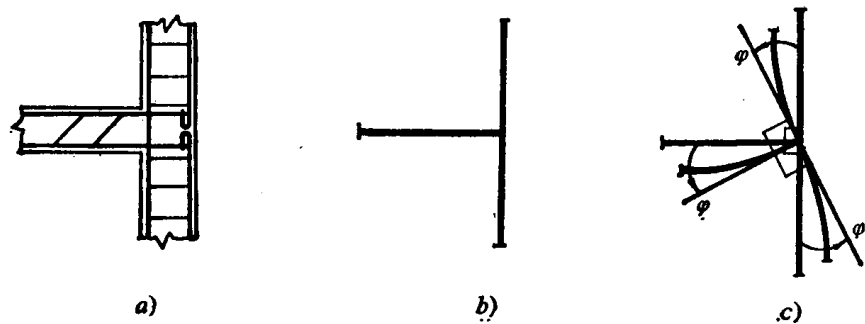


图 1-7

刚结点的力学特性是结点对杆端有阻止相对转动的约束力矩存在，即除产生杆端轴力和剪力以外，尚产生杆端弯矩。

除了刚结点和铰结点，有时我们还会遇到这两种结点在一起而形成的组合结点。在图1-8a中，结点E是EB、EI、EF三杆的联结处，其中EB、EI两杆为刚性联结，EF杆为铰联结，故此结点为组合结点。结点D的情形与此相同，也是组合结点。图1-8b是结点E的构造示意图。

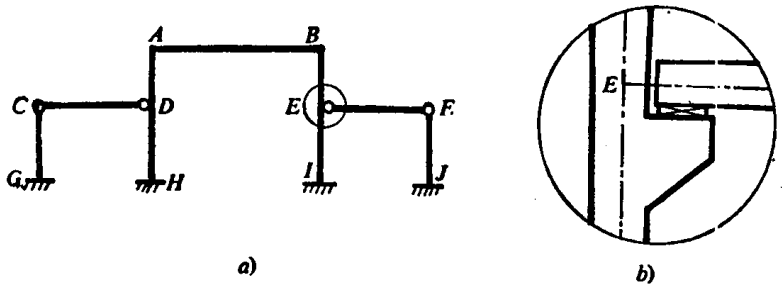


图 1-8

3. 支座的简化

联系上部结构和基础的装置称为支座，它起着传递荷载的作用。常见的支座有可动铰支座、铰支座、固定支座和定向支座四种。

(1) 可动铰支座

可动铰支座的构造简图如图1-9a和b所示，它的几何特征是结构可以绕铰心 A 自由转动，并可沿支承面方向作微小移动。它的力学特性是当不考虑支承面上的摩擦力时，其支座反力 R_A 将通过铰心并与支承面垂直，即反力的作用点和方向是确定的，只有大小是未知的。在计算简图中，这种支座常用一根链杆来表示（图1-9c）。

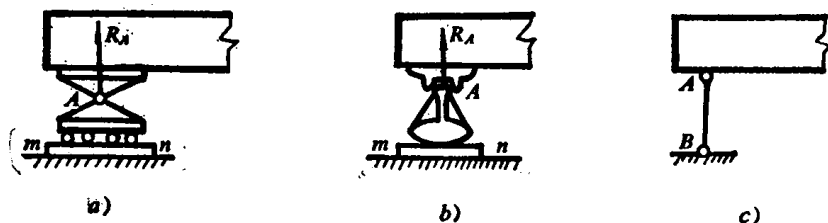


图 1-9

(2) 铰支座

铰支座的构造简图如图1-10a和b所示，它的几何特征是结构可以绕铰心 A 自由转动，但 A 点不能作水平移动和竖向移动。它的力学特性是支座反力 R_A 通过铰心但大小和方向都是未知的。通常用 R_A 的水平分量 H_A 和竖向分量 V_A 来表示铰支座的支座反力。在计算简图中，这种支座常用交于 A 点的两根链杆来表示（图1-10c、d）。

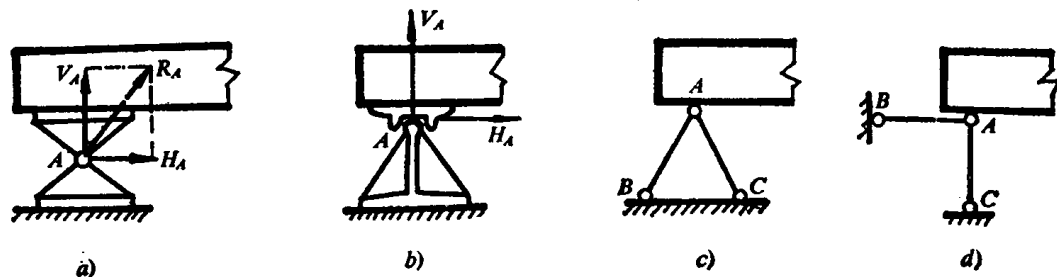


图 1-10

(3) 固定支座

固定支座的构造简图如图1-11a所示，它的几何特征是结构与支座的联结处既不能发生转动，也不能发生水平和竖向移动。它的力学特性是支座反力的大小、方向和作用点都是未知的。通常用水平分量 H_A 、竖向分量 V_A 和反力偶 M_A 来表示固定支座的支座反力。在计算简图中，这种支座有时也用三根既不全平行也不相交于一点的链杆来表示（图1-11b、c）。

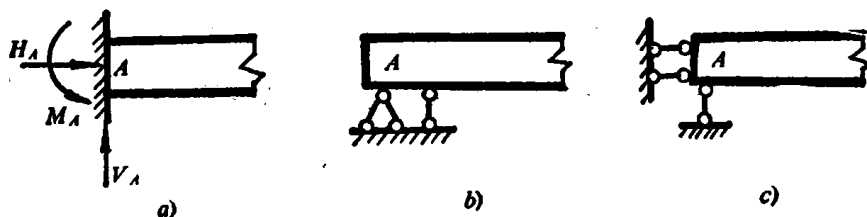


图 1-11

(4) 定向支座

定向支座的构造简图如图1-12a和b所示，它的几何特征是结构可以沿辊轴滚动的方向作微小移动，但不能沿垂直于滚动的方向移动，也不能发生转动。它的力学特性是只有垂直于辊轴滚动方向的反力，但其大小和作用点都是未知的。通常用垂直于支承面的分量 V_A 和反力偶 M_A 来表示定向支座的支座反力。在计算简图中，它常用两根垂直于支承面的平行链杆来表示（图1-12c）。

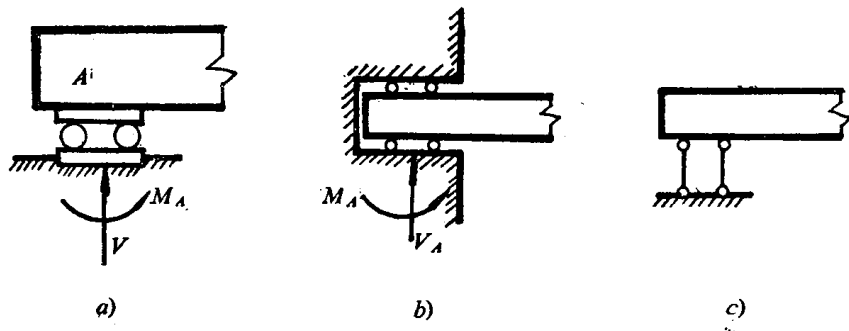


图 1-

实际结构中的支座有时并不象上面所述那样典型，选取计算简图时需要根据其具体的构造特点进行简化。例如，梁桥中常用的切线支座（图1-13）：图1-13a取作可动铰支座，图1-13b取作铰支座；房屋建筑中常见的杯形基础（图1-14）：图1-14a取作铰支座，图1-14b取作固定支座。又如图1-15所示石拱桥拱圈支座和钢筋混凝土双曲拱桥拱肋支座，在计算中均视为固定支座。

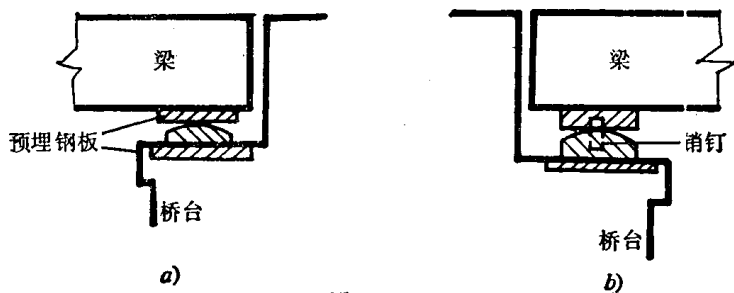


图 1-13

图1-14a取作铰支座，图1-14b取作固定支座。又如图1-15所示石拱桥拱圈支座和钢筋混凝土双曲拱桥拱肋支座，在计算中均视为固定支座。

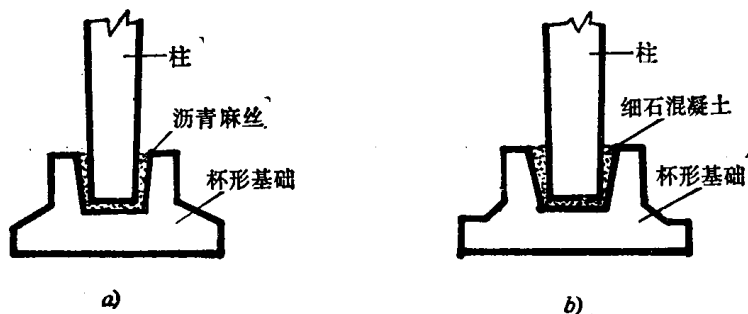


图 1-14

4. 材料性质的简化

在结构计算中，对于组成结构的材料一般都假设为均匀、连续和各向同性的。此外，本书在讨论各种计算方法时，还假设组成结构的材料是完全弹性体，并且服从虎克定律。完全弹性是指材料在外力作用下产生变形，当外力除去后能够恢复原来的形状，而且没有残余变形。服从虎克定律是指应力和应变呈线性关系，即 $\sigma = E\varepsilon$ 。由于我们只研究小变形结构（结构的变形与结构本身的原始尺寸相比极为微小），这样的假设对于钢材是符合实际的，对于混凝土、钢筋混凝土、木材、砖石等则带有一定的近似性。由服从虎克定律的完全弹性体组成的结构称为线弹性结构，简称线性结构或弹性结构。

(三) 荷载的简化

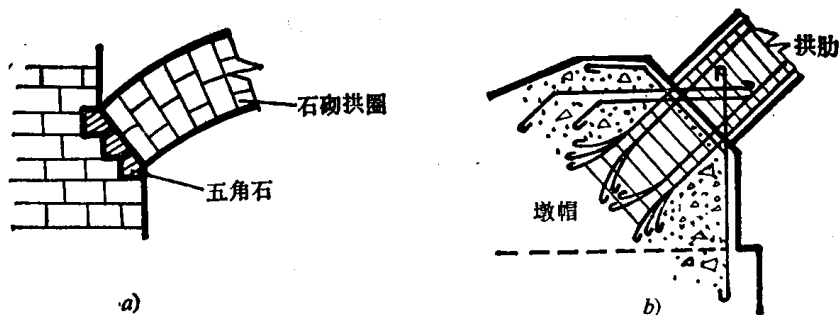


图 1-15

主动作用于结构上的外力称为荷载。例如结构的自重，行驶于桥梁上的车辆等等。选取结构计算简图的工作一般还包括确定和简化其所承受的荷载。

荷载按照其作用于结构上的范围，可分为集中荷载和分布荷载两类。实际上真正的集中荷载是不存在的，因为任何荷载都必须分布在一定的面积上或一定的体积内。但如果荷载分布的面积或体积相对于构件的尺寸来说很小，则可以把它简化为集中地作用在“一点”上的集中荷载。如车轮的轮压力，梁对桥墩和桥台的压力等。分布荷载又可分为面荷载和体荷载两类。面荷载是分布在一定的面积上的荷载，如人群荷载、土压力、雪荷载、风荷载等。体荷载是分布在一定的体积内的荷载，如结构的自重、惯性力等。在杆件结构的计算简图中，杆件是用其轴线来代表的，因此不论是集中荷载还是分布荷载，都需要将它们简化为作用在杆件的轴线上。沿杆件轴线分布的荷载称为线荷载。雪载、风载、等截面梁的自重等，可简化为沿杆轴线均匀分布的线荷载；土压力、变截面梁的自重等，可简化为沿杆轴线非均匀分布的线荷载。

(四)选取计算简图示例

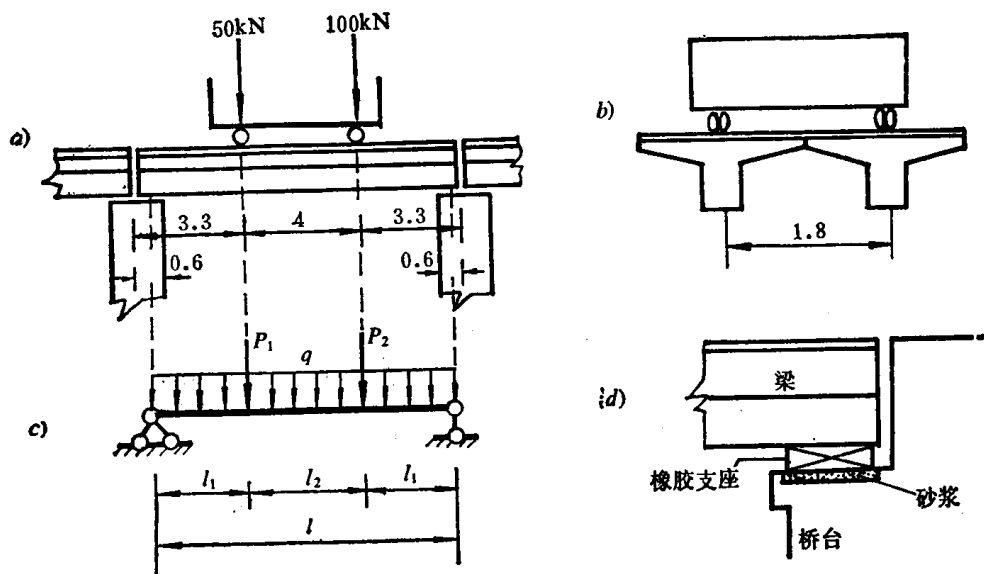


图 1-16

(尺寸单位: m)

例1-1 钢筋混凝土T形梁桥的构造简图和汽车位置如图1-16 a, b, d 所示。T形梁长10.6m，自重为100kN，每端通过橡胶支座搁置于桥台和桥墩上的长度为0.6m。汽车的前轴压力为50kN，后轴压力为100kN。试选取T形梁的计算简图。

解：(1) 简化结构

因为梁的截面尺寸比长度小得多，故可作为杆件，用其纵轴线表示。当梁的两端与支座的接触面不大时，可取两端接触面中心的间距作为梁的计算长度。由图1-16可见，计算长度

$$l = 10.6 - 0.6 = 10\text{m}$$

梁的两端用橡胶支座搁置于墩台之上，整个梁不能竖向移动，也不能水平移动（接触面上有摩擦）。但当梁受荷载作用发生微小弯曲时，其两端可作微小的自由转动。此外，当温度改变时，梁还能自由伸缩（伸缩力远大于摩擦力）。故此梁两端虽然都是相同的橡胶支座，但为了反映上述支座对梁的约束作用和便于计算，可将其一端简化为铰支座，另一端简化为可动铰支座。

(2) 简化荷载

作用在梁上的荷载有梁的自重力和汽车的重力。梁的自重力简化为沿梁轴线均布的线荷载，其荷载集度为

$$q = \frac{100}{10} = 10\text{kN/m}$$

汽车的前轴压力和后轴压力通过车轮作用在梁上。从横向看，左右轮的位置恰好各在两根梁的纵轴线上，故每梁各承受前后轴压力的一半。于是有

$$P_1 = 25\text{kN}$$

$$P_2 = 50\text{kN}$$

T形梁的计算简图如图1-16c所示。

例1-2 试选取图1-17a所示装配式钢筋混凝土屋架的计算简图，两根L形构件是预制的，将构件插入杯形基础后，四周缝隙用沥青麻丝填实，中间结点C为合页式铰。

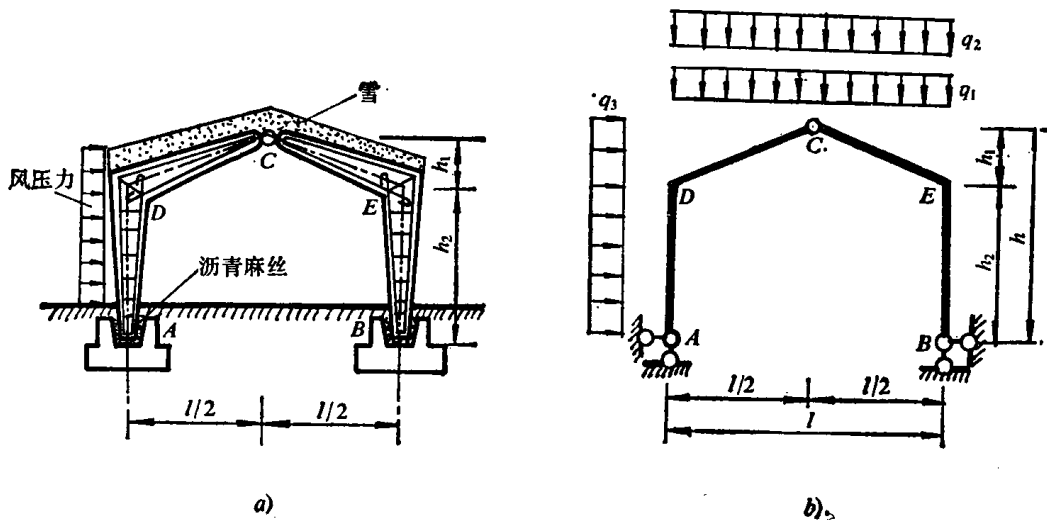


图 1-17

解：(1) 简化结构

两根L形构件简化为杆件，屋架的计算跨度和计算高度如图所示。结点D和E为刚结点，结点C为铰结点。支座A和B均取作铰支座。

(2) 简化荷载

斜梁 CD 、 CE 的自重力和屋面的重力简化为作用在梁轴线上,但沿水平方向均布的竖向线荷载 q_1 ,柱 AD 和 BE 的自重力因其对杆件的弯矩和剪力不产生影响,在计算简图上略去。雪压力也简化为作用在梁轴线上且沿水平方向均布的竖向线荷载,其集度 q_2 可根据规范查得的雪压值和每一斜梁分摊到的屋顶积雪面积等算出。风压力简化为作用在杆轴线上且沿竖向均布的横向线荷载,其集度 q_3 可根据规范查得的风压值和每一构件分摊到的房屋迎风面积等算出。整个屋架的计算简图如图1-17b所示。

复习思考题

1-2-1 什么是结构的计算简图? 选取计算简图应遵循哪些原则? 选取杆件结构的计算简图要做哪几个方面的简化工作?

1-2-2 试叙述铰结点、刚结点和可动铰支座、铰支座、固定支座、定向支座的几何特征和力学特性。

1-2-3 什么是弹性结构? 为什么可以把钢材、钢筋混凝土、混凝土、木材和砖石等材料组成的结构看作弹性结构?

§1-3 杆件结构与荷载的分类

(一) 杆件结构的分类

如前所述,计算简图是在结构计算中代替实际结构的理想模型。为简便起见,今后将这些计算简图也称为结构。结构的分类实际上是指结构计算简图的分类。

1. 按照空间观点,杆件结构可以分为平面结构和空间结构两类。

(1) 平面结构

如果组成结构的所有杆件的轴线都在同一平面内,且外力的作用线也在这个平面内,则结构称为平面结构(图1-18a)。

(2) 空间结构

如果组成结构的所有杆件的轴线不都在同一平面内,或外力的作用线不在结构平面内,则结构称为空间结构(图1-18b)。

需要指出的是,工程中的所有结构实际上都是空间结构,不过在大多数情况下

可以将它近似地分解为若干个平面结构来进行计算。本书只讨论平面结构。

2. 按照力学性能的不同,杆件结构可以分为梁、刚架、拱、桁架和组合结构五类。

(1) 梁

梁是一种以受弯为主的杆件,也是一种常见的简单结构。梁可以做成单跨的,也可以做成多跨的,其轴线通常为直线(也可以是曲线)(图1-19)。

(2) 刚架

刚架是由直杆组成的具有刚结点的结构,各杆主要受弯曲。刚架的结点大多数为刚结

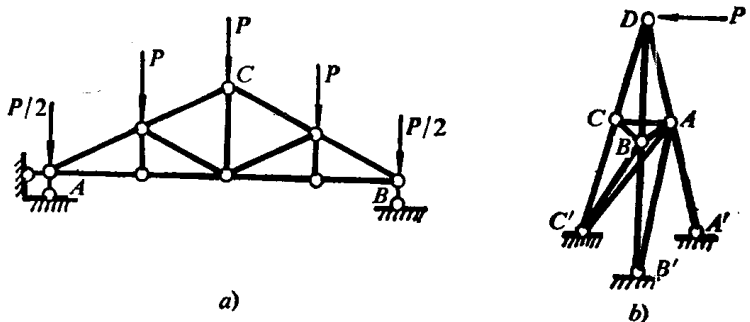


图 1-18

点,但也可以有部分铰结点或组合结点(图1-20)。

(3) 拱

拱是在竖向荷载作用下有水平支座反力的曲杆结构,它通常以受压为主(图1-21)。

(4) 桁架

仅在杆的两端与铰相联的直杆称为链杆。全由链杆组成的结构称为桁架(图1-18)。若荷载仅作用在桁架的结点上,则每根杆件将只承受轴力。

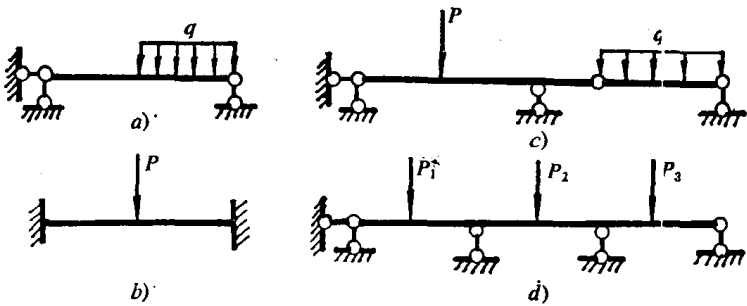


图 1-19

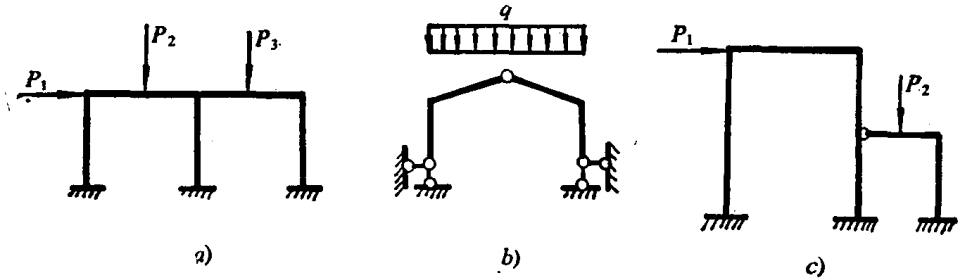


图 1-20

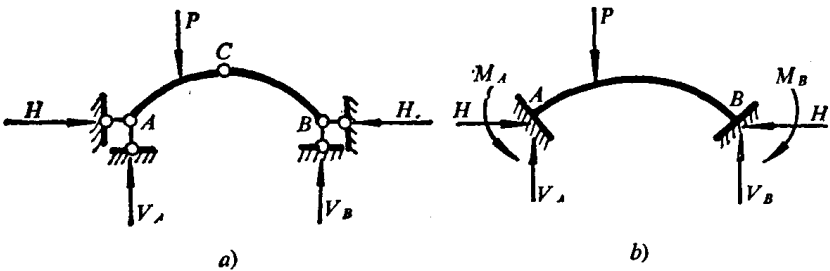


图 1-21

(5) 组合结构

组合结构是部分由桁架的链杆,部分由梁或刚架组合而成的结构(图1-22)。在这种结构中,链杆只承受轴向力,而梁或刚架部分则除轴力外,同时还承受弯矩和剪力。

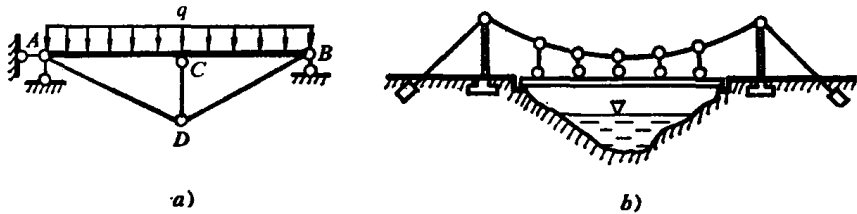


图 1-22

3.按照计算方法的特点,杆件结构又可分为静定结构和超静定结构两类。

(1) 静定结构

结构承受荷载时，若支座反力和任一截面上的内力可由静力平衡条件全部确定，则结构称为静定结构。

图 1-23a 所示简支梁，其三个支座反力可由整体平衡条件求得，其任一截面上的内力可由截面一侧的隔离体的平衡条件求得，故此梁为一静定结构。

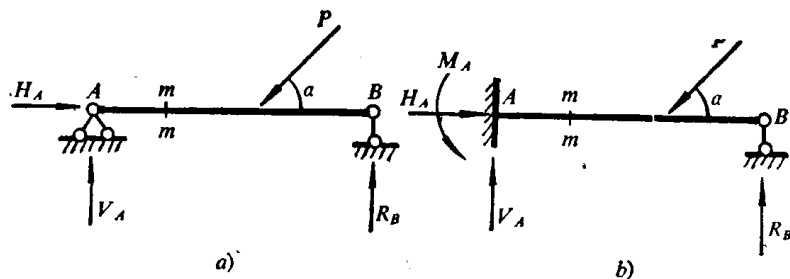


图 1-23

(2) 超静定结构

结构在承受荷载时，若支座反力和任一截面上的内力不能仅由静力平衡条件全部确定，还必须考虑结构的变形条件才能求出，则结构称为超静定结构。

图 1-23b 所示一端固定另一端可动铰支的梁，其四个支座反力不能单靠三个平衡方程求得，从而也就不能进一步确定各截面的内力。为了求出它的支座反力和内力，除了使用静力平衡条件外，尚须考虑变形条件，故此梁为一超静定结构。

(二) 荷载的分类

荷载除按其作用于结构上的范围进行分类外，还可根据作用时间的久暂、作用的动力效果等进行分类。

1. 根据作用时间的久暂，荷载可分为恒载和活载两类。

恒载是永久作用在结构上的荷载，如结构的自重力、土压力以及长期停放在结构上的设备或附属物的重力等。在结构使用过程中，这些荷载的大小、方向和作用点都不发生变化。

活载是暂时作用在结构上的荷载，如车辆、人群、风、雪等荷载。活载又可进一步分为定位活载和移动荷载两类。定位活载是指方向和作用点位置固定，但其大小可以改变的活载，如风载、雪载等。移动荷载是指大小和方向保持不变但作用点位置可以改变的荷载，如汽车荷载、列车荷载和吊车荷载等。

2. 根据作用的动力效果，荷载又可分为静力荷载和动力荷载两类。

静力荷载是缓慢地逐渐增加的荷载，其大小、方向和作用点的变化，不致引起显著的结构振动，因而可以略去惯性力的影响。静力荷载常简称为静荷载，恒载和大多数活载都属于这一类。

动力荷载是随时间迅速变化的荷载，会引起显著的结构振动，使结构产生不容忽视的加速度，因而计算时必须考虑它的惯性力。冲击荷载、突加荷载和动力机械运动时产生的荷载等，都是动力荷载的例子。动力荷载又常简称为动荷载。

车辆荷载、风载和地震力在设计中一般视为静力荷载，但在某些情况下要按动力荷载来计算。

3. 根据与结构的接触情况，荷载可分为直接荷载和间接荷载两类。

图 1-24 中的集中荷载 P 和均布荷载 q 是直接作用在纵梁上的，因此对纵梁来说便是直接荷载。但是对主梁来说，这些荷载是通过横梁（结点）间接施加于主梁的，因此更是间接荷载。间接荷载也称为结点荷载。

基于分类的出发点不同，荷载尚有其它分类方法，这里不再一一列举。

需要指出：结构除了承受荷载外，还受到其它因素的作用，如温度改变、支座移动和材料收缩等。这些可以使结构产生内力和变形的因素，从广义上讲，也可以称为荷载。