

结构力学

郑有昉 主编

同济大学出版社

结 构 力 学

郑有畛 主编

同济大学出版社

内容提要

本教材是根据国家教委批准试行的《高等工业学校结构力学教学基本要求》，为满足少学时类结构力学课程教学的实际需要而编写的。

内容包括：绪论、平面体系的几何组成分析、静定结构的受力分析、静定结构的影响线、结构的位移计算、力法、位移法、弯矩分配法与剪力分配法、矩阵位移法等。

本教材可作为给水排水、环境工程、水文地质、岩土工程、建筑制品、建筑管理、工民建专修科等非结构重点各专业的结构力学教材，其他如建筑学、室内装饰、建筑城规等专业也可使用，同时亦可供有关工程技术人员参考。

责任编辑 方 芳

封面设计 王肖生

结 构 力 学

郑有畛 主编

同济大学出版社出版

(上海四平路 1239 号)

新华书店上海发行所发行

望亭发电厂印刷厂印刷

开本：787×1092 1/16 印张：18.75 字数：480 千字

1995 年 9 月第 1 版 1995 年 9 月第 1 次印刷

印数：1-2000 定价：12.70 元

ISBN7-5608-1565-0/TU·168

前 言

本教材是根据国家教委批准试行的《高等工业学校结构力学教学基本要求》，为满足少学时类结构力学课程教学的实际需要而编写的。该教材的油印本，已经过同济大学给水排水、环境工程、水文地质、岩土工程、建筑制品、建筑管理、工民建专修科等各专业多次使用，这次经过适当修改与充实后付诸正式出版。

本教材主要讲静定结构和超静定结构的计算等结构力学的基本内容，每章后面都有比较丰富的习题，以供选用，并附有习题的部分答案。在编写过程中，作者根据同济大学结构力学教研室历年来在结构力学教学实践中所积累的基本经验，注意加强基本概念和基本理论的阐述，重视内容的取材与合理组织，循序渐进，深入浅出，力图使本教材能体现学科上的科学性与系统性及内容上的先进性，有利于教学，以便学生掌握基本理论和培养学生的解题能力。

本教材可作为非结构重点各专业的结构力学教材，此外，建筑学、室内装饰、建筑城规等专业也可使用，同时亦可作为有关工程技术人员的参考用书。

本教材在内容上有一定的深度和广度，在安排上有一定的灵活机动性。适宜的教学时数为 56~72，如教学时数不足，后面某些章节的内容可酌情取舍。

本教材由郑有珍主编，史明华、李丽莲、徐胜祥、郑有珍等人参加了具体的编写工作。在编写过程中，曾得到周竞欧教授和同济大学结构力学教研室全体老师的热情关心与大力支持，对本书提出了很多宝贵意见，并提供了不少资料，在此深表感谢。

限于编者水平，书中不足之处在所难免，恳请有关专家和使用本教材的老师和读者多加指正。

编 者

1995 年 6 月于同济大学

AC90/64

目 录

前言	(1)
第一章 绪 论	(1)
§ 1-1 结构力学的研究对象与任务	(1)
§ 1-2 结构计算简图的概念	(3)
§ 1-3 支座的形式与分类	(7)
§ 1-4 结点的形式与分类	(10)
§ 1-5 杆件结构的形式与分类	(13)
§ 1-6 荷载的性质与分类	(17)
第二章 平面体系的几何组成分析	(19)
§ 2-1 几何组成分析的目的	(19)
§ 2-2 平面体系的自由度和约束	(20)
§ 2-3 几何不变体系的组成规则	(23)
§ 2-4 体系的几何组成分析举例	(27)
§ 2-5 体系的几何特征与静力特性的关系	(30)
习 题	(34)
第三章 静定结构的受力分析	(38)
§ 3-1 用叠加法作弯矩图	(38)
§ 3-2 多跨静定梁	(42)
§ 3-3 静定平面刚架	(46)
§ 3-4 三铰拱	(56)
§ 3-5 静定平面桁架	(63)
§ 3-6 组合结构	(74)
习 题	(77)
第四章 静定结构的影响线	(86)
§ 4-1 影响线的概念	(86)
§ 4-2 用静力法作静定梁的影响线	(87)
§ 4-3 用机动法作静定梁的影响线	(95)
§ 4-4 影响线的应用	(99)
§ 4-5 简支梁的绝对最大弯矩和内力包络图	(105)
习 题	(110)
第五章 结构的位移计算	(113)
§ 5-1 概述	(113)
§ 5-2 线性变形体系的功能原理	(116)
§ 5-3 结构位移计算的一般理论	(124)
§ 5-4 在荷载作用下结构的位移计算	(126)
§ 5-5 用图形相乘法替代积分运算	(130)

§ 5-6 由于温度变化引起的结构位移计算	(137)
§ 5-7 由于支座位移引起的结构位移计算	(140)
习 题	(143)
第六章 力 法	(149)
§ 6-1 概述	(149)
§ 6-2 解除多余约束的方法与力法的基本结构	(152)
§ 6-3 力法的基本原理与典型方程	(157)
§ 6-4 超静定结构在荷载作用下的计算	(162)
§ 6-5 对称性的利用	(174)
§ 6-6 超静定结构的位移计算	(182)
§ 6-7 超静定结构在温度变化影响下的计算	(184)
§ 6-8 超静定结构在支座位移影响下的计算	(186)
习 题	(190)
第七章 位移法	(196)
§ 7-1 基本概念	(196)
§ 7-2 等截面直杆的物理方程	(198)
§ 7-3 位移法基本未知量个数的确定	(205)
§ 7-4 引用虚拟约束建立位移法典型方程与算例	(207)
§ 7-5 对称性的利用	(217)
§ 7-6 采用先离散后组装建立位移法方程与算例	(221)
习 题	(226)
第八章 弯矩分配法和剪力分配法	(232)
§ 8-1 弯矩分配法的基本概念	(232)
§ 8-2 用弯矩分配法计算无结点线位移的刚架	(237)
§ 8-3 剪力分配法	(251)
习 题	(261)
第九章 矩阵位移法	(264)
§ 9-1 概述	(264)
§ 9-2 单元分析	(264)
§ 9-3 结构分析	(272)
§ 9-4 引入支座约束条件	(277)
§ 9-5 非结点荷载处理	(281)
§ 9-6 算法举例	(283)
习 题	(293)

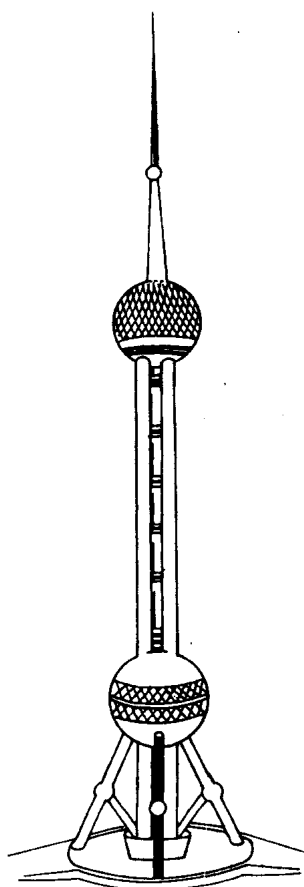
第一章 绪 论

§ 1-1 结构力学的研究对象与任务

凡用建筑材料修造起来的各种建筑物，如工业厂房、民用房屋、桥梁、隧道、水坝、闸门、输电塔及电视塔等，它们都有用来支承荷载和维护型态的骨架，这种骨架通常就称为结构。在建筑工程领域内，常见的结构形式主要有以下六种：

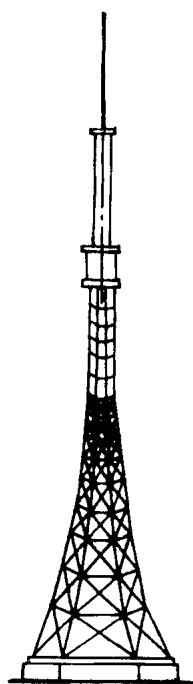
一、杆件结构

杆件的几何特征是长条形的，其横截面高、宽两个方向的尺寸要比杆件长度小得多。杆件结构是由杆件按照一定的方式连接起来组合而成的体系，故又称为杆件体系。如目前在多层与高层建筑中采用较为普遍的钢筋混凝土框架，过去在全国各大河流上修建的钢桁架桥，以及近年来全国各地兴建起来的钢或钢筋混凝土的电视塔（图 1-1）等，它们都是杆件结构。



东方明珠广播电视塔

450m



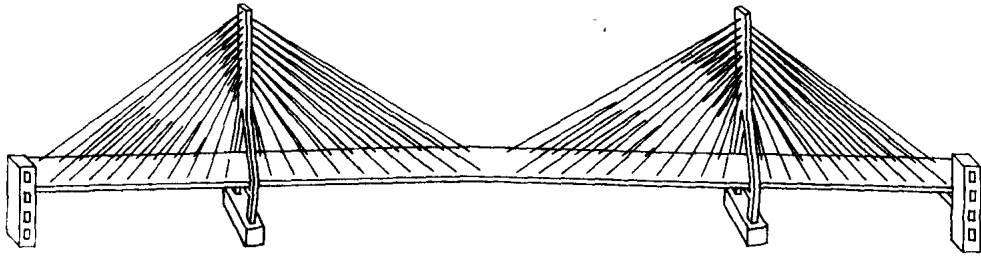
上海电视塔

210m

图 1-1

二、悬吊结构

悬吊结构的几何特征与杆件结构相类似，但悬吊结构主要由仅能承受拉力的细长线材如钢索、铁索或其他缆索等柔性构件组成。这种结构的优点是节省材料，自重很轻，可以做成很大的跨度，其缺点是刚度比较小。因此，它适用于大跨度的轻型屋盖，大跨度的公路桥，跨越大山谷或大河流的轻便人行索桥，以及用作山间交通运输的架空索道等。例如，我国西南地区建造在各大河流上的许多悬索桥，最近几年来全国各地修建的斜拉桥（图 1-2），以及北京、上海等各大城市建成的一些大型体育场建筑的顶盖等，它们都是悬吊结构。



上海杨浦大桥(主跨 462m)

图 1-2

三、平板结构

平板结构的几何特征是平面形的，其厚度要比长、宽两个方向的尺寸小得多。由于大多数平板的厚度都比较小，故也叫做薄板结构。如一般工业与民用建筑中现浇或预制装配整体式的钢筋混凝土楼板是薄板结构。当平板的厚度比较大时，则称为厚板结构。

四、壳体结构

壳体结构的几何特征是曲面形的，其厚度比长、宽两个方向的尺寸要小得多。由于大多数壳体的厚度比较小，故叫做薄壳结构。当壳体的厚度比较大时，则称为厚壳结构。

五、块体结构

块体结构的几何特征是呈块状的，其长、宽、高三个方向的尺寸大体相近，且内部大多为实体，故叫做实体结构。如大型发电机和钢铁冶炼高炉的底座或基础，都是块体结构。此外，如重力式堤坝和港口码头边坡等处修建的挡土墙等，就其几何特征看，有时也形似杆件，比较长，但其横截面的尺寸相当大，它的受力特性与块体结构基本相同，所以也把它作为块体结构。

六、薄膜充气结构

众所周知，薄膜是只能承受拉力的面片材料。如果薄膜两侧受到的气体压力不同，即产生压差，它将朝着气体密度小的方向鼓出，而呈现出充气状态，直到它的位置和形状都稳定时为止。凡是充气受压的薄膜都能承受一定的外力，人们利用这种规律，可使薄膜和加压的气体介质变成能承受荷载的结构物件，用这样的方法做成的结构，就称为薄膜充气结构或简称为充气结构。

按几何特征区分，若外形是敞开式的，如风筝、扬帆和降落伞等，称为敞开式充气结构。如果外形是封闭的，则称为封闭式充气结构。封闭式充气结构又有两种形式：一种是用单层薄膜做成的气承式充气结构，除了为人货出入和供气换气而开些孔洞外，是由薄膜与地面当中充气形成的封闭空间体；另一种是用双层薄膜做成的气垫式充气结构，除了为

调节内部压力而开些小孔外，全部是由薄膜内部充气形成的密封空间体。如日本东京市内的体育竞技场，其顶盖是一气垫式充气结构，四边各长为 180m，顶高 60m，可同时容纳 5 万人。其他如各种气球和气垫船艇等，也都是气垫式充气结构。

人类利用充气加压稳定薄膜的原理，已有几千年的历史，但它被运用到建筑技术中，却还只有 30 多年的时间。据目前所知，充气建筑是最为轻巧的一种建筑物，例如重量仅 $1\sim 2\text{kg}/\text{m}^2$ 的大面积覆盖材料，覆盖跨度却可达到 100m。所以最近 20 多年来，国外充气建筑的发展速度非常迅速。例如，1963~1964 年在美国纽约和 1970 年在日本大阪举行的世界博览会上，都大量地采用了各种形式的充气建筑。在其他场所，如游泳池、运动场、展览馆、会议厅、剧场、餐厅、仓库、暖房等的顶盖，又如高空探测气球、充气帐篷、充气扶梯、充气桥梁、气垫船艇等，也都相当普遍地采用充气结构。最近几年来，国内也开始从事这方面的试验研究和实际应用。

以上分别介绍了六种形式的结构。但实际的建筑物，则往往是由多种形式结构组成的。

根据目前国内学科的划分方法，本课程的主要研究对象是杆件结构。因而，通常所说的结构力学，指的就是杆件结构力学。因为杆件结构也称杆件体系，所以，结构力学也叫杆件体系结构力学。

在建筑工程领域内，杆件结构是应用最多、使用最为广泛的一种结构形式。在所有工程的结构设计中，几乎都含有杆件结构的设计。结构力学的主要任务是：

- (1) 研究杆件结构的组成规律，使结构具有可靠的几何组成和合理的组成方式；
- (2) 研究杆件结构在荷载作用下，结构内力和位移的计算原理与方法，从而保证结构能满足强度、刚度和稳定性的要求，达到安全、适用和经济的目的；
- (3) 随着社会生产力的发展和新建筑材料的出现，创造新的结构形式，研究建立新的计算理论与方法。

理论力学主要研究物体机械运动的基本规律和力学一般原理。材料力学主要研究单个杆件的强度、刚度和稳定性。结构力学则以理论力学和材料力学的知识为基础，主要研究杆件结构的强度、刚度和稳定性，从而为钢、木结构和钢筋混凝土结构等后续专业课程及以后的结构设计，提供一般的计算原理与分析方法。因此，结构力学是介于基础课与专业技术课之间的专业基础课，或者叫做技术基础课。

§ 1-2 结构计算简图的概念

实际的结构一般都很复杂，想要完全按照结构的真实情况去进行分析，往往很难办到，对于少数问题也许有可能，但从实用观点来看是没有必要的。因此，对实际结构进行力学分析时，总是需要作出一些简化和假设，略去某些次要因素，保留其主要受力特性，从而使计算切实可行。这种把实际结构作适当简化，用作力学分析的结构图形，就称为结构计算简图，或者叫做结构计算模型。

对实际结构作力学分析，是通过结构计算简图来进行的，结构计算简图的力学分析结果，又是实际结构杆件截面的设计依据。因此，合理选取结构计算简图，是结构设计中非常重要的一项工作，同时也是力学分析时必须首先解决的一个问题。一般说来，选取结构计算简图时，应当符合以下两点原则：

(1) 结构计算简图必须能够反映实际结构的主要受力特性, 确保计算结果可靠;

(2) 在满足计算精度要求的条件下, 结构计算简图应当尽量简单, 使得计算方便可行。

由于选取结构计算简图, 不但需要有比较丰富的专业知识, 而且还要具有一定的结构设计实践经验, 因此这里不准备作深入详细地讨论, 而只就一般性的问题, 初步作一些介绍。

在杆件结构中, 根据杆件轴线和荷载作用线在空间所处位置的不同, 可划分为平面结构和空间结构。当结构所有杆件的轴线和荷载作用线都处在同一平面内时, 称它为平面结构; 否则, 就称为空间结构。严格说来, 实际的结构都是空间结构。然而, 对于绝大多数的空间结构来说, 它的主要承重结构和力的传递路线, 大多是由若干平面组合形成的。由于平面力系的计算要比空间力系简单得多, 所以通常总是尽可能地把它简化为平面结构来计算。

对于杆件结构来说, 选取结构计算简图所要涉及的内容, 主要有五个方面: ① 结构各部分联系的简化; ② 支座的简化; ③ 结点的简化; ④ 杆件的简化; ⑤ 荷载的简化。为了具体说明结构计算简图选取的方法, 下面举两个例子。

第一个例子如图 1-3a 所示, 这是一座比较典型的砖木结构民用房屋, 现在单就顶盖结构的简化方法说明如下。

(1) 结构各部联系的简化

首先我们看到, 这个房屋顶盖是一个空间结构, 它的主要承重结构是由以下三个部分组成的: ① 平面的三角形屋(桁)架; ② 檩条; ③ 铺设在檩条上的屋面板等。屋面的重量(荷载)通过屋面板传给檩条; 檩条两端搁置在桁架的上弦杆上面, 它把荷载传给桁架; 再由桁架把荷载传到两边柱子或砖墙顶部的垫块上面。由此可见, 该房屋顶盖结构虽是一个空间结构, 但它的主要承重结构及力的传递路线, 是由桁架、檩条和屋面板等三个竖直平面组成的。因此, 可以把它分解为三个平面结构来处理, 其中平面桁架的构造如图 1-3b 所示。

(2) 支座的简化

事实上, 在屋面板与条之间、檩条与桁架上弦杆之间及桁架与支承垫块之间等各个相互接触的地方, 都占有一定的接触面积, 而且在这些面积上的压力也并不是均匀分布的。为了简化计算, 通常可以假定每个接触面上的压力是均匀分布的, 并且可由作用于该面积形心上的合力来代替。例如图 1-3b 中, 桁架两端垫块上的反力可分别用一个竖向合力来表示。

(3) 结点的简化

在结构中的每个连接点上, 各杆轴相交的几何中心称为结点。由图 1-3b 可以看到, 桁架的上、下两弦是分别由两根杆件组成的。其中, 上弦的两根杆件在顶端相连, 而下弦的两根杆件, 则在跨度中点用铁板和螺栓对头拼接起来。在每个结点上的各根杆件, 并不是用铰相连的, 但在计算时可把所有结点近似地当作铰来处理。

(4) 杆件的简化

桁架中的每根杆件可用其轴线来代替, 并且把上、下弦杆在每个结点上都看作不是连续的。

(5) 荷载的简化

屋面板上的重量可以认为是均匀分布，并按梁的计算理论可求出屋面板的反力，这样就得到每根檩条承受的荷载；再求出檩条两端的反力，便得到桁架所承受的荷载。在桁架各结点之间由檩条传来的压力，也可把它简化到其邻近有关结点上。

经过上述简化以后，就可得到屋（桁）架的计算简图及其所承受的荷载，如图 1-3c 所示。实践证明，按照这样的计算简图进行计算，不仅计算起来不太复杂，而且计算结果能够反映桁架的主要工作特性，因而是可靠的，其计算精度一般能满足实际需要。

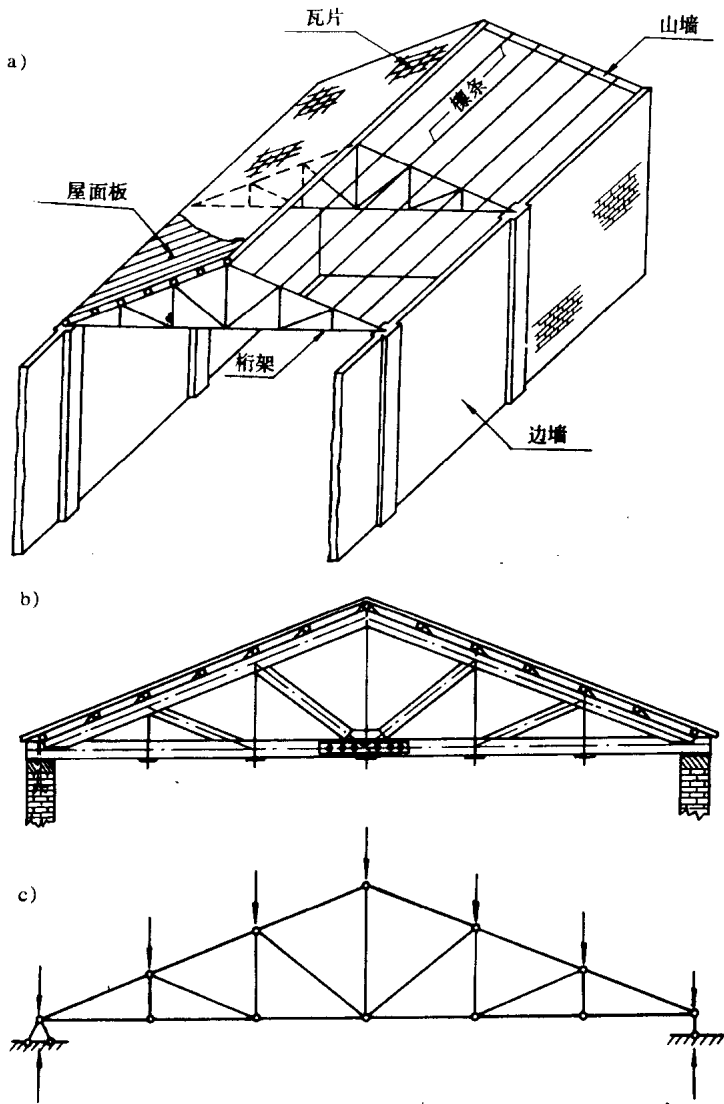


图 1-3

第二个例子是比较典型的钢筋混凝土的单层工业厂房，图 1-4a 所示是它的横剖面图。现就该厂房的主要承重结构的简化方法说明如下：

(1) 结构各部分联系的简化

从整体上看，该厂房也是一个空间结构，它的主要承重结构也包括四个部分，即大型屋面板、预应力钢筋混凝土折线形屋架、阶形变截面柱和杯形基础等。其中，大型屋面板

的两端搁置（焊牢）在屋架的上弦杆上面，屋面荷载通过大型屋面板传给屋架；屋架两端分别与两边柱子的顶端相连（焊牢或用螺栓连接），柱子下端则插入基础内而被固定。这样，大型屋面板及其所承受的荷载形成沿厂房纵向的（水平或竖直）平面，而屋架、柱子、基础和它们所承受的荷载则形成横向平面。因此，该厂房的主要承重结构，可把它分解为沿纵向（水平或竖直）和沿横向的平面结构来处理。在横向平面结构中，由于屋架实际上起着双重作用：一方面，它把大型屋面板传来的荷载，传递到两边柱子的顶端结点上上去；另一方面，它又把两边柱子的顶端连接起来，从而使两边柱子能协同工作，把柱子顶端和柱子上所承受的荷载传到基础上去。因此，为了计算方便，常把这两部分分开计算，其计算简图如图 1-4b 和 c 所示。

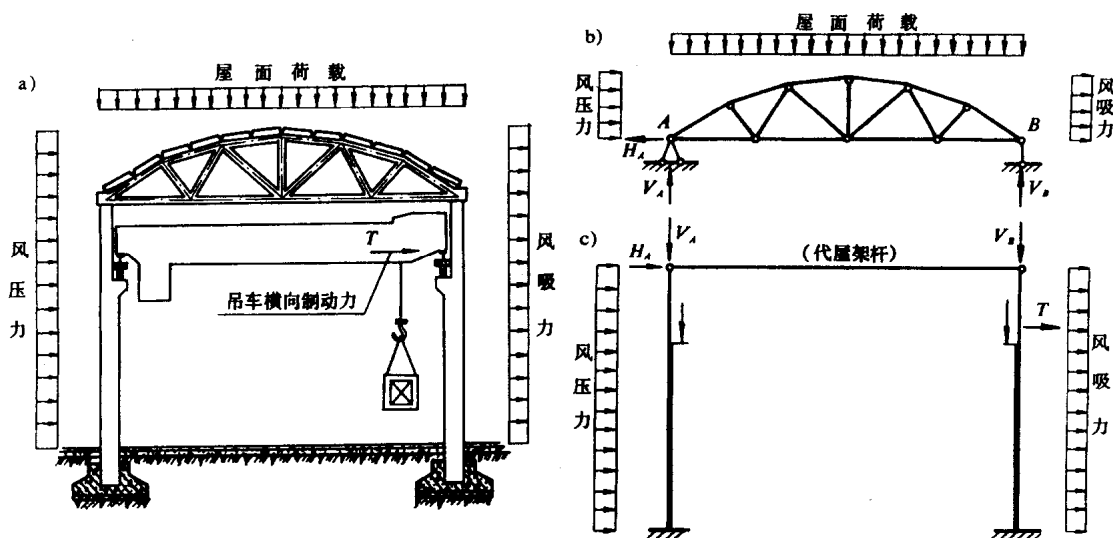


图 1-4

(2) 支座的简化

由于柱子下端插入基础杯口内，周围缝隙用细石混凝土填实，因而被嵌固在基础上，可作为固定支座处理。

(3) 结点的简化

由于折线形屋架上弦杆所受的压力一般都比较大，因而用的截面也比较大。这对于钢筋混凝土材料来说，上弦杆通常是浇制成一个整体的，不但抗弯刚度大，而且结点刚性也很强。在这种情况下，上弦杆各个杆段的端部，就不能再把它们当作是铰接的，而应当把它们看成是相互刚性连接或者是连续的。然而对于其他一些杆件，一般说来仍比较细长，抗弯刚度较小，由变形引起的弯曲应力不大，故腹杆和下弦杆各个杆段的两端均可把它们当作是铰接来处理。

(4) 杆件的简化

如同上例所说，屋架中的每根杆件均可用其轴线来代替。考虑到上弦杆的抗弯刚度比较大，结点连接刚性也比较强，故应把它看作为连成一体的折线形杆（梁），然而腹杆和

下弦杆的各个杆段，则仍把它们看作为两端铰接的两力杆。

(5) 荷载的简化

每榀屋架所承受的荷载，应当包括从该榀屋架的左侧轴距中线到右侧轴距中线范围内的全部屋面荷载和屋盖自重。为了计算方便，屋盖自重可以作为均匀分布荷载处理。

根据以上几点简化，得出的结构计算简图如图 1-4b, c 所示。

上面所举的两个例子，都是可以分解为平面结构的空間结构。但是应当注意，并不是所有的空間结构都是可以分解为平面结构来计算的。例如，在一些大会议厅、体育场馆和电影院等建筑中采用较多的屋顶空間网架结构、输电线路上的铁塔、电视塔、起重机塔架及悬吊屋顶等各种结构，它们或者根本不是由平面结构组成的；或者虽是由平面结构组成，它的工作状态主要是空間性质的，故对这样的一类结构，必须按空間结构的特点进行计算。

由此可见，在选取结构计算简图时，必须从实际情况出发，并以实践经验为基础，作出合理的假定。但须指出，在选取一个新型结构的计算简图时，必须通过实践来验证，而绝不容许单凭自己的主观臆断轻易作出决定。否则，若与结构的实际工作情况不符，将会导致严重后果。

最后，应当指出，一个结构的计算简图并非是永远不变的。一方面，它将随着人们认识的发展和计算技术的进步，可以不断放宽对简化的要求，从而使计算简图更趋近于结构的实际工作情况。例如，自从电子计算机出现之后，对结构的简化要求就可大为放宽，计算结果更为精确。另一方面，也因需要不同而异。例如，在结构初步设计中，为了粗略估算杆件的截面，可以选用比较简单的计算简图，而在正式设计时，则又采用比较复杂更能反映实际情况的计算简图作精确计算。此外，有时也因荷载情况不同，而选取不同的计算简图。例如，在多层和高层刚架计算中，在竖直荷载作用下，一般假定刚架没有侧移，只有在水平荷载作用下，才考虑刚架侧移的影响，两种情况的计算简图差别很大。

§ 1-3 支座的形式与分类

有关支座问题，在理论力学和材料力学课程中曾已讨论过一些，这里将进一步介绍平面结构的支座形式及其计算简图的分类。

如所周知，支座是支承结构物的装置，它的作用是限制结构沿某一个或几个方向的运动，并因此产生相应的反作用力，所以支座是限制结构运动的外部约束。按约束效用区分，平面结构的支座主要有以下五种类型：

一、活动铰支座

这类支座仅能限制结构沿某一个方向移动，比较理想的构造形式如图 1-5a 所示。其中，上摆与结构连成一体，圆柱嵌于上、下摆之间的弧形槽内，结构可绕圆柱中心轴自由转动；而在下摆与底板之间，则又安置若干与圆柱平行的辊轴，结构可沿垂直于圆柱轴线且与底板平面平行的 (x 轴) 方向自由移动。因此，它只能产生通过圆柱中心轴而垂直于底板平面的一个反力 (V)，其计算简图可用一根支杆表示，如图 1-5b 表示。另一种构造较为简单的辊轴支座，如图 1-5c 所示，它的约束效用与上述支座是相同的，因而也只能产生一个竖向反力。以上两种形式的支座，在大型钢桥中应用比较普遍。在中、小型结构中，大都采用比较简便的垫块式支座 (图 1-5d)，这种形式的支座与结构的接触面积，虽

比以上两种情形要大一些，但与整个结构相比仍然是很小的，故在计算时可将其简化为点支座。由于结构可绕该支座转动，并在水平方向沿垫块接触面滑移，所以也只能产生一个垂直于垫块接触面的竖向反力。

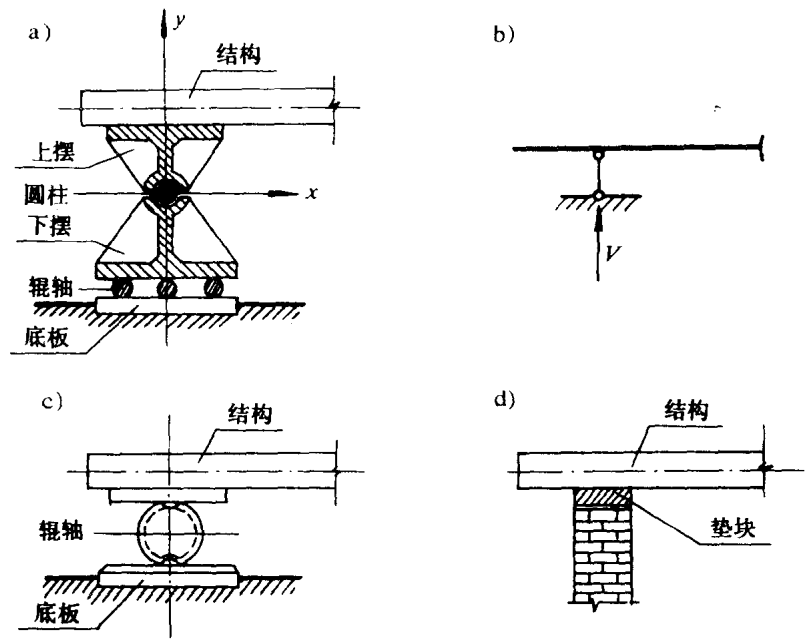


图 1-5

二、固定铰支座

这类支座能限制结构沿两个方向的运动，比较理想的构造形式如图 1-6a 所示。其中，下摆完全固定在基础上，结构只能绕圆柱中心轴转动，但不能有任何移动。因此，它能产生通过并垂直于圆柱中心轴的两个反力 (H 和 V)，其计算简图可用两根支杆表示，如图 1-6b 所示。在垫块式支座中，若用螺栓把结构锚在支座上 (图 1-6c)，则结构除可绕支座转动外，也不能有任何移动，所以，这种支座也能产生两个反力。在钢筋混凝土结构中，如果地基土壤较为松软，在柱子与基础的连接处，常采用交叉布筋的方法做成固定铰支座，如图 1-6d 所示。在这种情况下，由于柱子下端不能移动而只可转动，故亦只能产生两个反力 (图 1-6e)。

三、固定支座

这类支座不容许结构发生任何的移动或转动，如图 1-7a 所示。因此，它可能产生三个反力 (H , V , M)，其计算简图可用固定端 (图 1-7b) 或不交于一点的三根支杆表示 (图 1-7c)。在钢筋混凝土结构中，柱子与基础的连接常采用固定支座，习惯的做法有两种：一种是现场浇捣一次完成；另一种是柱子和基础分别预制，然后装配，将预制柱插入基础预留的杯口内，并在缝隙中灌以细石混凝土捣密实 (图 1-7d)。其计算简图如图 1-7e 或 f 所示。

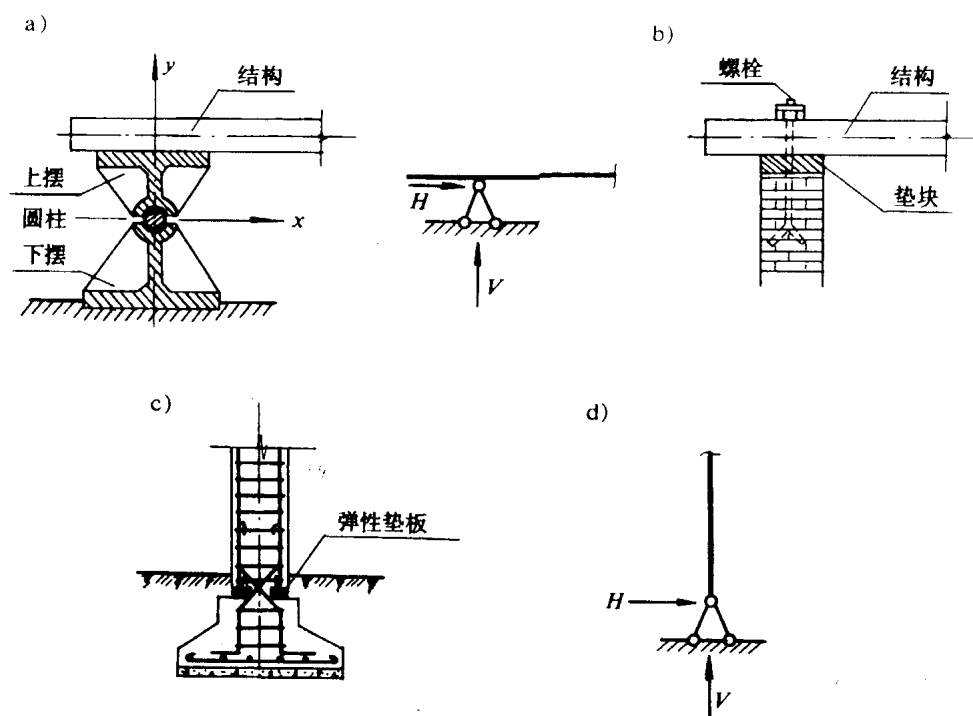


图 1-6

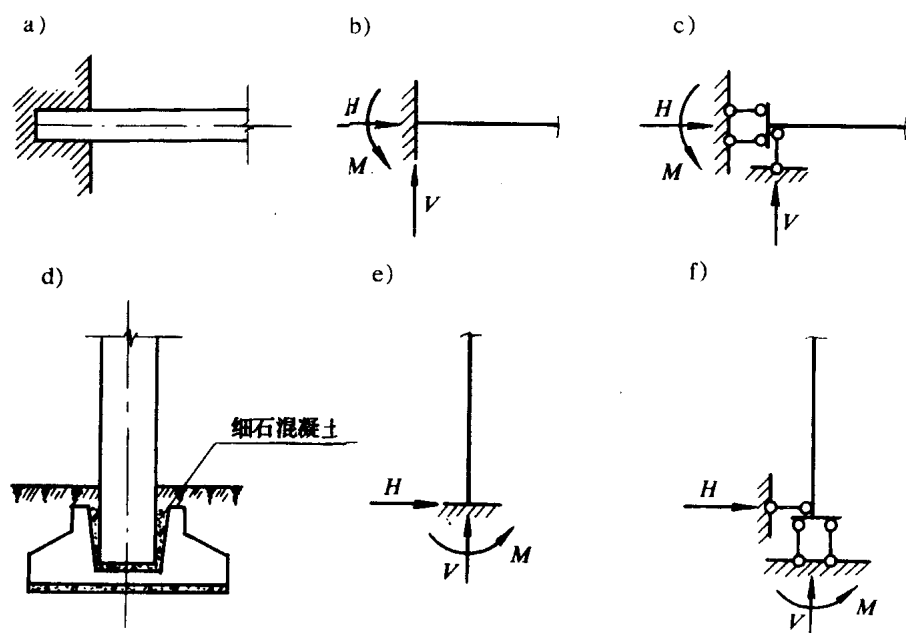


图 1-7

四、定向支座

这类支座只能限制结构转动和沿一个 (y 轴) 方向移动, 但可沿另一个 (x 轴) 方向自

由移动，如图 1-8a 所示。因此，它可产生相应的两个反力 (V , M)，其计算简图如图 1-8b 所示。

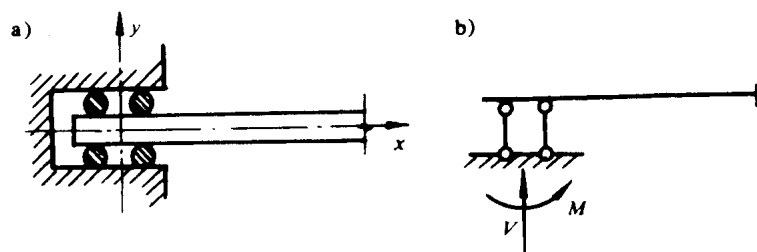


图 1-8

五、伸缩弹性支座

这类支座在承受（拉力或压力）荷载的同时，它本身将产生一定的（拉伸或压缩）弹性变形。例如图 1-9a 所示的桥梁结构，它是由纵梁、横梁、主梁和桥墩等组成的，桥面板上的荷载通过纵梁依次传递给横梁、主梁和桥墩。对于纵梁来说，其以下部分是它的支座，这种支座在承受荷载的同时，它本身将产生一定的竖向位移，而且各支承点的反力与其位移是相关的。因此，在计算纵梁的内力时，可将各个支承点简化为具有一定刚度的伸缩弹性支座，如图 1-9b 所示。

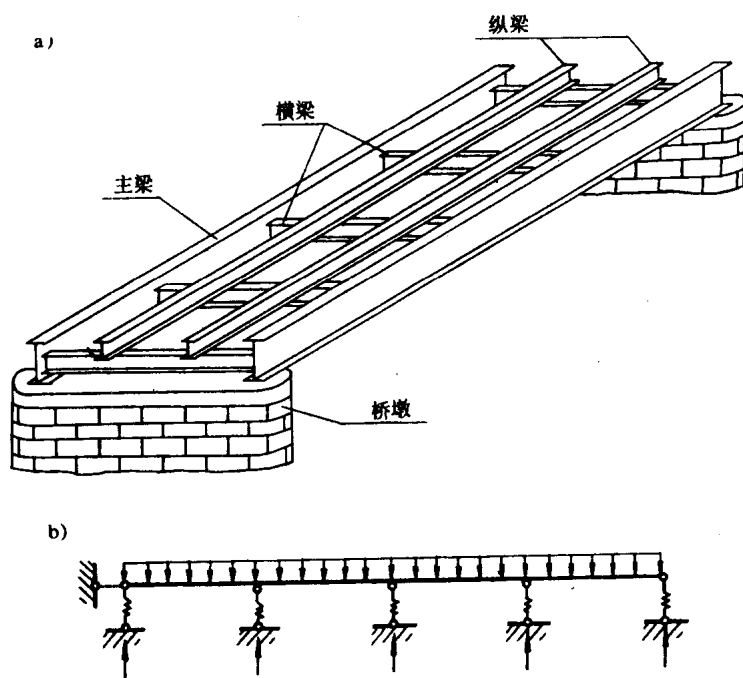


图 1-9

§ 1-4 结点的形式与分类

在杆件结构中，除某些比较简单的情形外，一般都包含着若干杆件。为了把这些个别

的杆件组成一个结构，就需要用适当的方式把它们相互连接起来。按各种连接的约束效用及其力学特性区分，平面杆件结构的结点一般可划分为以下四种类型：

一、铰结点

各杆连接起来，相互之间可以自由转动而不产生摩擦阻力的连接点，称为铰结点。图 1-10a 所示为一装配式钢筋混凝土三铰门式刚架的顶铰结点构造图。这是一种较为典型的铰结点，其计算简图如图 1-10b 所示，两杆可绕结点作相对自由转动，夹角 α 是可以改变的。这种仅连接两根杆件的铰结点，称为单铰结点。图 1-10c 所示为一木屋架的结点构造图，由于木材承受拉力时，结点连接较为困难，所以常采用圆钢作为拉杆。此种结点，一般也可看作铰结点，其计算简图如图 1-10d 所示。这种连接两根以上杆件的铰结点，称为复铰结点。图 1-10e 所示为一钢屋架的结点构造图，其各杆借助于结点板用电焊（或铆钉、螺栓等）连接起来，这种连接方式刚性较大，各杆之间不能相互转动。但由于钢屋架的杆件一般都比较细长，它主要是承受轴向力，由于结点连接刚性引起弯曲变形所产生的弯曲应力，一般说来是不大的，所以通常计算时，也可把这种结点当作铰结点来处理，其计算简图亦可取如图 1-10d 所示。

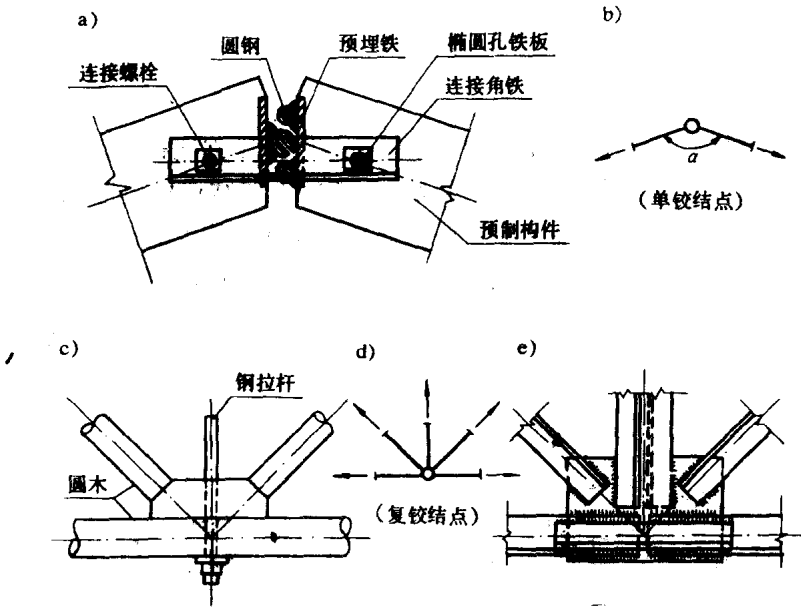


图 1-10

二、刚结点

各杆连接起来，相互之间不可能发生任何相对移动或转动的结点，称为刚结点。图 1-11a 所示为一钢筋混凝土结构的刚结点构造图，其计算简图如图 1-11b 所示。由于两杆牢固地连接成一个整体，夹角 α 是不能改变的。这种仅连接两根杆件的刚结点，称为单刚结点。图 1-11c 所示亦为钢筋混凝土结构的刚结点构造图，其计算简图如图 1-11d 所示。这种连接两根以上杆件的刚结点，称为复刚结点。图 1-11e 所示为一钢结构的刚结点构造图，柱子和横梁用电焊和螺钉牢固地连接起来，各杆之间也不能发生任何相对移动或转动，其计算简图亦可取如图 1-11d 所示。