

高等学校建筑工程专业系列教材

结 构 力 学

(上册)

重 庆 建 筑 大 学	张来仪		主 编
哈 尔 滨 建 筑 大 学	景 瑞		
重 庆 建 筑 大 学	张来仪	赵更新	
哈 尔 滨 建 筑 大 学	景 瑞	孙佩英	编
南 京 建 筑 工 程 学 院	刘郁馨		
苏 州 城 市 建 设 环 境 保 护 学 院	朱靖华		
西 安 建 筑 科 技 大 学	刘 铮		主 审

中国建筑工业出版社

前 言

本教材是根据国家教育委员会 1995 年批准修正的《结构力学课程教学基本要求》(多学时)所规定的内容,由重庆建筑大学、哈尔滨建筑大学、南京建筑工程学院、苏州城市建设环境保护学院联合编写的。适用于四年制建筑工程、交通土建工程、水利工程等专业本科生的教材,也可供土建类其他各专业及有关工程技术人员参考使用。

本书分上、下两册出版。上册包括绪论、平面体系的几何组成分析、静定结构的内力分析及位移计算、超静定结构的计算、影响线等。下册包括矩阵位移法、结构动力学、结构稳定计算、结构的极限荷载、结构非线性分析概论、结构力学的拓广及其在土建工程中的应用等。其中冠有 * 号的内容可供选学,不同专业可根据专业的需要酌情取舍。每章均有思考题,以活跃思维、启发思考,加深对基本概念的认识。

本书反映了参编四院校多年积累的教学经验,并注意吸取其他各兄弟院校教材的优点,力图保持结构力学基本理论的系统性和贯彻理论联系实际、由浅入深、方便教学等原则。同时考虑到现代科学技术的发展,适当介绍了一部分新内容。并注意培养学生独立思考、分析问题及解决问题的能力。当前,结构力学教学内容更新的重点是电子计算机在结构力学中的应用。为此,在选定编写内容时,减少了适用于手算的技巧方法,提高了对电算的要求。为了培养学生初步具有编写和使用结构计算程序的能力,与矩阵位移法紧密结合,编入了刚架静力分析的源程序。

参加本书编写的有:重庆建筑大学张来仪(第一章、第九章、第十四章)、赵更新(第八章、第十五章),哈尔滨建筑大学景瑞(第七章、第十二章)、孙佩英(第六章、第十章),南京建筑工程学院刘郁馨(第三章、第四章、第五章、第十三章),苏州城市建设环境保护学院朱靖华(第二章、第十一章)。本书主编:重庆建筑大学张来仪、哈尔滨建筑大学景瑞。

为了使读者对结构力学的发展和在土建工程中的应用有所了解,特邀请中国工程院院士、哈尔滨建筑大学王光远教授撰写“结构力学的拓广及其在土建工程中的应用”,作为本书的第十六章,供读者参考。

本书由西安建筑科技大学刘铮教授审阅,并提出了许多宝贵的意见,编者曾据此加以修改,对此,我们表示衷心的感谢。

由于编者水平有限,书中难免有不妥之处,恳请读者批评指正。

(京)新登字 035 号

本教材是根据国家教育委员会 1995 年批准修定的《结构力学课程教学基本要求》(多学时)所规定的内容,由重庆建筑大学、哈尔滨建筑大学、南京建筑工程学院、苏州城市建设环境保护学院联合编写的,分上、下两册出版。

上册内容包括:绪论、平面体系的几何组成分析、静定梁和静定刚架、三铰拱与悬索结构、静定桁架、虚功原理和结构的位移计算、力法、位移法、力矩分配法和近似法、影响线及其应用。各章均有思考题和习题,书末附有部分习题答案。

本书可作为高等院校建筑工程、交通土建工程、水利工程等专业本科生的教材,也可供土建类其他各专业及有关工程技术人员参考。

高等学校建筑工程专业系列教材

结 构 力 学

(上 册)

重 庆 建 筑 大 学	张来仪	主 编
哈 尔 滨 建 筑 大 学	景 瑞	
重 庆 建 筑 大 学	张来仪 赵更新	编
哈 尔 滨 建 筑 大 学	景 瑞 孙佩英	
南 京 建 筑 工 程 学 院	刘郁馨	
苏 州 城 市 建 设 环 境 保 护 学 院	朱靖华	
西 安 建 筑 科 技 大 学	刘 铮	上 审

*

中国建筑工业出版社出版(北京西郊百万庄)

新华书店总店科技发行所发行

北京市兴顺印刷厂印刷

*

开本: 787×1092 毫米 1/16 印张: 20 字数: 486 千字

1997 年 6 月第一版 1997 年 6 月第一次印刷

印数: 1—5000 册 定价: 21.00 元

ISBN 7-112-02986-4
TU · 2278 (8101)

版权所有 翻印必究

如有印装质量问题,可寄本社退换

(邮政编码 100037)

高等学校建筑工程专业力学系列教材

编写委员会成员名单

主任委员：王光远 中国工程院院士、哈尔滨建筑大学教授

委 员 (以姓氏笔画为序)：

王天明	重庆建筑大学副教授
王焕定	哈尔滨建筑大学教授
王福临	沈阳建筑工程学院副教授
刘 铮	西安建筑科技大学教授
乔宏洲	西安建筑科技大学副教授
朱象清	中国建筑工业出版社总编辑、编审
朱靖华	苏州城市建设环境保护学院讲师
吴德伦	重庆建筑大学教授
张如三	哈尔滨建筑大学教授
张来仪	重庆建筑大学建筑工程学院副院长、副教授
金康宁	武汉城市建设学院副教授
曹 峰	西北建筑工程学院副教授
蒋 桐	南京建筑工程学院教授
景 瑞	哈尔滨建筑大学校长、教授

目 录

第一章 绪论	1
第一节 结构力学的研究对象与任务	1
第二节 结构的计算简图	2
第三节 平面杆件结构的分类	8
第四节 荷载的性质与分类	9
第五节 结构力学的学习方法	10
第二章 平面体系的几何组成分析	12
第一节 几何组成分析的基本概念	12
第二节 平面杆件体系的计算自由度	15
第三节 几何不变体系的组成规律	18
第四节 几何组成分析举例	20
第五节 几何组成与静定性的关系	22
思考题	24
习题	24
第三章 静定梁和静定刚架	27
第一节 静定梁的受力分析	27
第二节 静定平面刚架的计算	34
* 第三节 静定空间刚架的计算	41
思考题	45
习题	45
第四章 三铰拱与悬索结构	51
第一节 概述	51
第二节 三铰拱的支座反力和内力	52
第三节 压力线与合理拱轴	56
* 第四节 悬索结构的计算	60
思考题	66
习题	66
第五章 静定桁架	69
第一节 概述	69
第二节 静定平面桁架的计算	71
第三节 平面桁架外形与受力特点	79
第四节 静定组合结构的计算	81
* 第五节 静定空间桁架的计算	83
第六节 静定结构小结	90
思考题	93
习题	93

第六章 虚功原理和结构的位移计算	98
第一节 概述	98
第二节 实功与虚功	98
第三节 广义力与广义位移	100
第四节 变形体虚功原理	101
第五节 静定结构在荷载作用下的位移计算	106
第六节 图乘法	110
第七节 静定结构由于温度改变引起的位移计算	117
第八节 静定结构由于支座移动引起的位移计算	121
第九节 具有弹性支座的静定结构的位移计算	123
第十节 互等定理	125
思考题	129
习题	130
第七章 力法	135
第一节 超静定结构的一般概念和超静定次数的确定	135
第二节 力法基本原理与力法的典型方程	139
第三节 荷载作用下各种结构的力法计算	143
第四节 温度改变时的计算	154
第五节 支座移动时的计算	156
第六节 超静定结构的位移计算	160
第七节 超静定结构最后内力图的校核	161
第八节 对称结构的计算	164
第九节 超静定拱的计算	171
思考题	179
习题	179
第八章 位移法	184
第一节 概述	184
第二节 等截面直杆的转角位移方程	185
第三节 位移法的基本概念	190
第四节 位移法的典型方程	194
第五节 位移法计算步骤及举例	196
第六节 支座位移和温度变化时的计算	204
第七节 直接利用平衡条件建立位移法方程	207
第八节 混合法	209
思考题	211
习题	212
第九章 力矩分配法和近似法	216
第一节 力矩分配法的基本概念	216
第二节 用力矩分配法计算连续梁和无结点线位移的刚架	224
第三节 无剪力分配法	233
第四节 多层多跨刚架的近似计算	238
思考题	244

习题	245
第十章 影响线及其应用	251
第一节 影响线的概念	251
第二节 静力法作静定梁的影响线	253
第三节 结点荷载作用下梁的影响线	258
第四节 静力法作静定桁架的影响线	260
第五节 机动法作静定梁的影响线	265
第六节 利用影响线计算影响量	271
第七节 我国铁路和公路的标准荷载制 (路、铁)	273
第八节 最不利荷载位置的确定	274
第九节 换算荷载 (路、铁)	284
第十节 简支梁的内力包络图	286
第十一节 简支梁的绝对最大弯矩	287
第十二节 用机动法作连续梁的影响线	290
第十三节 连续梁的内力包络图	292
思考题	296
习题	297
部分习题答案	302
参考文献	310

第一章 绪 论

第一节 结构力学的研究对象与任务

建筑物中支承荷载而起骨架作用的部分称为结构。房屋建筑中的屋架、梁、板、柱、框架、基础等组成的体系，称为房屋结构。水工建筑物中的闸门、水坝、水池，公路铁路上的桥梁、涵洞、隧道、挡土墙等都是结构的例子。

结构是由若干相互联系的构件组成的整体。按其构件的几何性质可分为以下三种：

一、杆件结构

这类结构是由若干杆件按照一定的方式联结起来组合而成的体系。杆件的几何特征是横截面高、宽两个方向的尺寸要比杆长小得多。例如房屋结构中的钢筋混凝土框架或钢框架（图 1-1），南京长江大桥等大跨度钢桁架桥，以及钢或钢筋混凝土电视塔等。

二、薄壁结构

这类结构由薄壁构件组成。它的厚度要比长度和宽度小得多。如楼板、薄壳屋面（图 1-2a）、水池（图 1-2b）、拱坝、薄膜结构等。

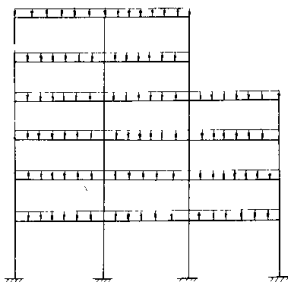


图 1-1

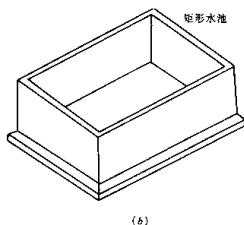
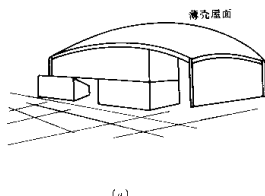


图 1-2

三、实体结构

这类结构本身可看作是一个实体构件或由若干实体构件组成。它的几何特征是呈块状的，长、宽、高三个方向的尺寸大体相近，且内部大多为实体。例如挡土墙（图 1-3）、重力坝、动力机器的底座或基础等。

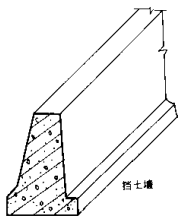


图 1-3

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。对于薄壁结构和实体结构的受力分析将在弹性力学中进行研究。

一个合理的结构必须是既安全地承担荷载又最经济地使用材料。结构力学是围绕荷载与结构的承载能力进行研究的。具体任务是研究结构的组成规律和合理形式，以及结构在外因作用下的强度、刚度和稳定性的计算原理和计算方法。研究组成规律的目的在于保证结构各部分不致发生相对运动；研究结构的合理形式是为了有效地利用材料，充分发挥其性能；进行强度和稳定性计算的目的在于保证结构的安全并使之符合经济的要求；计算刚度的目的在于保证结构不致产生

不能允许的过大位移。由于结构的强度、刚度和稳定性的计算都离不开结构的内力和位移计算，因此，研究杆件结构在各种外因作用下内力和位移的计算原理和方法便成为本课程的主要内容。

结构力学的先修课程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，从而为钢筋混凝土结构、钢、木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，或称做技术基础课。

第二节 结构的计算简图

在结构设计中，如果完全按照结构的真实情况进行精确的力学分析，是非常复杂的，甚至是不可能的，而从工程实际要求来说，也是不必要的。因此，对实际结构进行力学分析时，总是需要作出一些简化的假设，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，称为结构的计算简图。

计算简图是对结构进行力学分析的依据。计算简图的选择，直接影响计算的工作量和精确度。如果计算简图不能准确地反映结构的实际受力情况，或选择错误，就会使计算结果产生大的误差，甚至造成工程事故。因此，对计算简图的选择，必须持慎重态度。

计算简图的选择应遵循下列两条原则：

- (1) 正确地反映结构的实际受力情况，使计算结果接近实际情况；
- (2) 略去次要因素，便于分析和计算。

计算简图的选择，应按下列不同情况区别对待：

(1) 结构的重要性 对重要的结构应采用比较精确的计算简图，以提高计算结果的可靠性。

(2) 不同的设计阶段 在初步设计阶段，可以采用比较粗略的计算简图；而在技术设计阶段则应采用比较精确的计算简图。

(3) 计算问题的性质 对结构作动力计算或稳定性计算时, 由于计算比较复杂, 可以采用比较简单的计算简图; 而在作结构的静力计算时, 则应采用比较精确的计算简图。

(4) 计算工具的不同 手算时计算简图应力求简单; 用电子计算机计算, 则可采用较为精确的计算简图。

合理的计算简图, 是既要恰当地反映实际结构的受力情况, 又要使计算简化。为此, 必须对实际结构进行简化处理。这种简化通常包括以下六个方面。

一、结构体系的简化

严格说来, 工程中的实际结构都是空间结构, 各部分相互联结成为一个空间整体, 以承受各个方向可能出现的荷载。但在多数情况下, 常可以忽略一些次要的空间约束而将实际结构分解为平面结构, 使计算得以简化, 这种简化称为结构体系的简化。本教材主要讨论平面结构的计算问题。

二、杆件的简化

杆件有直杆与曲杆, 每根杆可以用其轴线表示。杆件之间的联结处用结点表示, 结点位于各杆轴线的交点处, 杆长用结点间的距离表示。

三、材料性质的简化

建筑工程中常用的建筑材料有钢、铁、混凝土、砖、石、木材等。在结构分析中, 为了简化计算, 对于组成各构件的材料一般都假设是连续的、均匀的、各向同性的、完全弹性或弹塑性的。

四、结点的简化

结构中各杆件相联结的地方称为结点。根据结构的受力特点和结点的构造情况, 在计算简图中通常将其简化为以下三种:

1. 铰结点

铰结点的特点是各杆件可以绕结点自由转动。因此, 铰结点只传递轴力和剪力, 不传递弯矩。理想的铰结点在实际结构中是很难实现的, 只有木屋架的结点比较接近。图 1-4a、b 分别表示一个木屋架的结点和它的计算简图。当结构的几何构造及外部荷载符合一定条件时, 结点刚性对结构受力状态的影响属于次要因素, 这时为了简化和反映结构受力特点, 也将结构的结点看作铰结点。如图 1-5a 示一钢桁架的结点, 虽然各杆件是用铆钉铆在联结板上牢固地连在一起, 但为了简化和反映结点荷载作用下桁架的受力特点, 在计算简图中也取作铰结点如图 1-5b 所示, 其变形图如图 1-5c 所示。

2. 刚结点

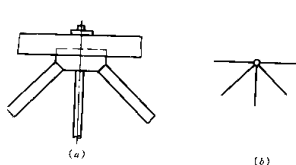


图 1-4

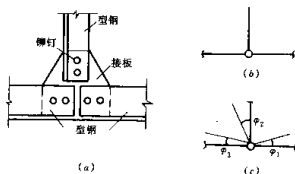


图 1-5

图 1-6a 为一钢筋混凝土框架中一结点的构造图，梁和柱用混凝土浇成整体，钢筋的布置也使各杆端能抵抗弯矩。计算中这种结点常视为刚结点，取如图 1-6b 所示的计算简图。刚

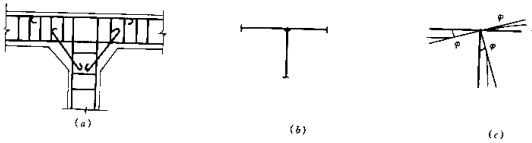


图 1-6

结点的特征是：当结构变形时，结点处各杆轴之间的夹角保持不变。因此刚结点既可传递轴力和剪力，也可传递弯矩。其变形图如图 1-6c 所示。

3. 组合结点

图 1-7a 所示为一加劲梁的计算简图，在横向荷载作用于加劲梁时， AB 杆以受弯为主，其他杆件主要承受轴力，且 AB 杆的抗弯刚度比其余各杆大得多。为了表现这种受力特点，结点 C 即取为一组合结点，又称为半铰，该结点的受力图如图 1-7b 所示。

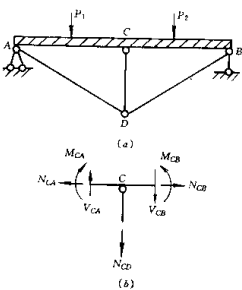


图 1-7

五、支座的简化

将结构支承于基础或其它支承物时的联结装置叫做支座。它的作用是限制结构沿某一个或几个方向的运动，并因此产生相应的约束反力。平面结构的支座主要有以下几种类型：

1. 可动铰支座

桥梁结构中常用的辊轴支座（图 1-8a）和滚动支座（图 1-8b），均属可动铰支座。这种支座的特点是：它既容许结构绕铰 A 转动，又容许结构沿支承面方向移动，但 A 点不能沿垂直支承面的方向移动。因此，在忽略摩擦力的前提下，反力 V_A 将通过铰 A 的中心，并垂直于支承面，在计算简图中常用垂直于支承面的链杆表示，如图 1-8c 所示。

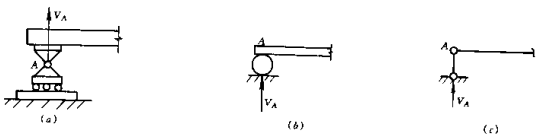


图 1-8

2. 固定铰支座

这种支座的构造简图如图 1-9a 所示。它使结构能绕铰 A 转动,但不能作水平和竖向移动。支座的反力 R_A 将通过铰 A 的中心,但其大小和方向都是未知的,通常可用其水平和垂直方向的分反力 H_A 和 V_A 表示。这种支座的计算简图可用交于 A 点的两根链杆来表示,如图 1-9b、c 所示。

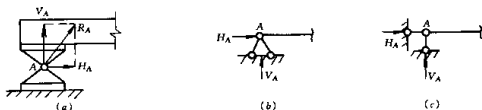


图 1-9

3. 固定支座

这种支座不容许结构在该处发生任何转动和移动,如图 1-10a 所示。能提供三个反力 H_A 、 V_A 、 M_A 。计算简图如图 1-10b 所示。

4. 定向支座

图 1-11a 表示一定向支座。这种支座允许结构沿支承面方向移动,但不能产生垂直于支承面的移动,也不能转动,提供两个反力 V_A 及 M_A 。在计算简图中用两根互相平行且垂直于支承面的链杆表示(图 1-11b)。

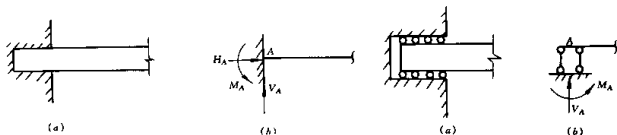


图 1-10

图 1-11

以上四种支座是针对平面结构简化而得的,若为空间结构,则可简化为可动球形铰支座(图 1-12a)、可动圆柱形铰支座(图 1-12b)、固定球形铰支座(图 1-12c)和固定支座(图 1-12d),各支座提供的反力如图 1-12a、b、c、d 所示。

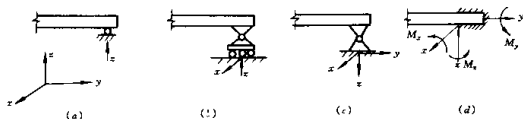


图 1-12

应指出,上述支座都假定支座本身是不变形的,因此它们总称为刚性支座。如果在结构计算中,需要考虑支座本身的变形时,则这种支座称为弹性支座。弹性支座又分为线弹



图 1-13

性支座(图 1-13a)和转动弹性支座(图 1-13b)。 K 分别表示弹性支座产生单位位移或单位转角时所产生的反力或力矩,称为弹性刚度系数,可由实验确定。

六、荷载的简化

详见本章第四节荷载的性质与分类。

下面给出两个选取结构计算简图的例子。

【例 1-1】 图 1-14a 是房屋建筑的楼面中经常见到的梁板结构。一单跨梁两端支承在砖墙上,梁上放预制板以支持楼面荷载(人群、设备重量等)。试选取梁的计算简图。

【解】 (1) 结构体系的简化

略去预制板对梁所起的约束作用。并将预制板传给梁的荷载和梁垫反力简化到梁轴所在竖向平面内,以梁的纵轴线代表实际的梁如图 1-14b 所示。

(2) 梁的跨度 梁与梁垫间接触面上的压力分布是很复杂的,当接触面的长度不大时,可取梁两端与梁垫接触面中心的间距作为梁的计算跨度 l ,如图 1-14b 所示。为了简化计算,有时也取 $l = 1.05l_0$ 作为计算跨度,其中 l_0 为梁的净跨度。

(3) 支座的简化 由于梁端嵌入墙内的实际长度比较短,加之梁与梁垫之间是用水泥砂浆联结的,坚实性较差,所以在受力后有产生微小松动的可能,不能起到固定支座的约束作用。另外,考虑到梁作为整体虽然不能有水平移动,但又存在着由于梁的变形而引起梁端部有微小伸缩的可能性。所以,通常把梁的一端简化为固定铰支座,另一端则简化为可动铰支座,这种型式的梁称为简支梁。

(4) 荷载的简化 梁的自重可简化为沿梁纵轴分布的均布荷载。人群等楼面荷载一般按均布考虑,将它与预制板、抹面等的重量合并在一起,折算成沿梁轴分布的均布荷载。经过以上简化,即可得到如图 1-14b 所示的计算简图。

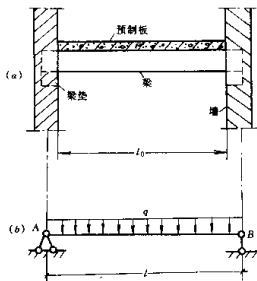


图 1-14

【例 1-2】 图 1-15a 示一钢筋混凝土厂房结构,屋架和柱都是预制的。柱子下端插入基础的杯口内,然后用细石混凝土填实。屋架与柱的联结是通过将屋架端部和柱顶的预埋钢板进行焊接而实现的。屋架在横向平面内与柱组成排架(图 1-15b),各个排架之间,在屋架上有屋面板连接,在柱的牛腿上有吊车梁连接,试选取计算简图。

(1) 结构体系的简化 从整体上看该厂房是一个空间结构。但从其荷载传递情况来看,屋面荷载和吊车轮压等都主要通过屋面板和吊车梁等构件传递到一个个的横向排架上,故在选择计算简图时,可以略去排架之间纵向联系的作用,而把这样的空间结构简化为一系列的平面排架来分析,如图 1-15b 所示。

(2) 屋架的计算简图 由于屋架承受的荷载是结点荷载,其内力主要是轴力,各杆一般来说比较细长,抗弯刚度较小,由变形引起的弯曲应力不大,故各结点可当作铰结点。屋架端部与柱顶的联结是在吊装就位后焊接在一起的,因此屋架端部与柱顶不能发生相对线

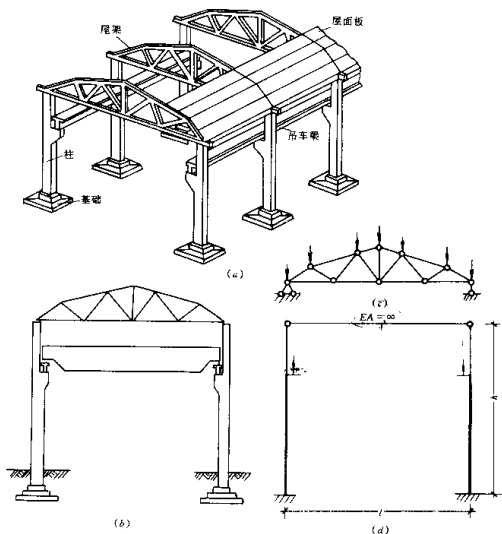


图 1-15

位移，但仍有可能发生微小的转动。这时，可把柱与屋架的联结看作铰结点，在竖向荷载作用下，可将屋架单独取出来进行计算，其两端支座分别为固定铰支座和可动铰支座，计算简图见图 1-15c 所示的铰结桁架。

(3) 排架柱的计算简图 由于上下两柱段的截面大小不同，因此上下柱应分别用一条通过各自截面形心的连线来表示。排架的计算跨度 l 可取下柱两轴线之间的距离。柱高 H 为基础面到屋架下弦之间的距离。柱子与基础的联结应视为固定支座。由于屋架的刚度很大，相应变形很小，因此认为两柱顶之间的距离在受荷载前后没有变化，即可用 $EA = \infty$ 的链杆来代替该屋架。经过上述简化后，可得图 1-15d 所示的计算简图，这种类型的计算简图称为排架。

上面所举的两个例子，都是可以分解为平面结构的空问结构。但是应当注意，并不是所有的空间结构都是可以分解为平面结构来计算的。例如在大会议厅和体育场馆建筑中采用较多的屋顶空间网架结构、输电线路上的铁塔、电视塔、起重机塔架等各种结构，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，但它们的工作状况主要是空

间性质的，故对这样的一类结构，必须按空间结构的特点进行计算。

如何选取合适的计算简图，是结构设计中十分重要而又复杂的问题。不仅要掌握选取的原则，而且要有丰富的结构设计经验。要对结构构造、施工等各方面有全面的了解，对结构各部分受力情况能正确地作出判断。所以，除学习本课程外，还有待于今后学习专业课和在工程实践中提高这方面的能力才能逐步解决这个问题。不过，对于常用的结构型式，已积累了许多宝贵的经验，我们可以采用其合理性已经过实践检验的那些常用的比较成熟的计算简图。还应指出，在选取一个新型结构的计算简图时，必须通过实验来验证，而决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，将会导致严重的后果。

第三节 平面杆件结构的分类

如上所述，结构力学所研究的是经过简化以后的结构计算简图。因此，所谓结构的分类，实际上就是结构计算简图的分类。

按照不同的构造特征和受力特点，平面杆件结构可分为下列几类：

(1) 梁 梁是一种受弯杆件，其轴线通常为直线。它可以是单跨的（图 1-16a、c），也可以是多跨连续的（图 1-16b、d）。

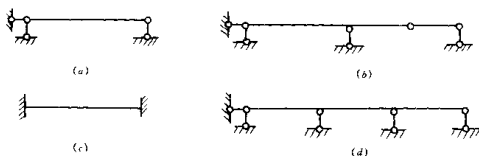


图 1-16

(2) 拱 拱的轴线通常为曲线，它的特点是：在竖向荷载作用下要产生水平反力，水平反力的存在将使拱内弯矩远小于跨度、荷载及支承情况相同的梁的弯矩（图 1-17）。

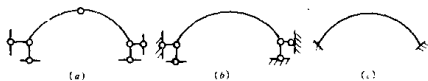


图 1-17

(3) 桁架 桁架是由若干杆件在每杆两端用理想铰联结而成的结构（图 1-18）。其各杆的轴线一般都是直线，当只受到作用于结点的荷载时，各杆只产生轴力。

(4) 刚架 刚架是由梁和柱等直杆全部或部分由刚结点组合而成的结构（图 1-19）。刚架中各杆件常同时承受弯矩、剪力及轴力，但多以弯矩为主要内力。

(5) 组合结构 由只承受轴向力的链杆和主要承受弯矩的梁或刚架杆件组合形成的结

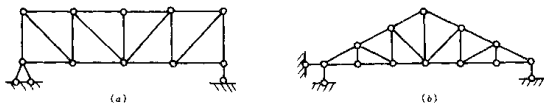


图 1-18

构，称为组合结构（图 1-20）。在工业厂房中，当吊车梁的跨度较大（12m 以上时），常采用组合结构，工程界称为桁架式吊车梁。

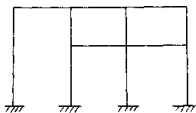


图 1-19

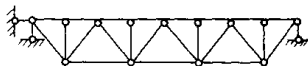


图 1-20

（6）悬索结构 如图 1-21 所示，它由受拉性能强的柔性缆索作为主要受力构件。主要用于桥梁工程和房屋屋盖结构中。

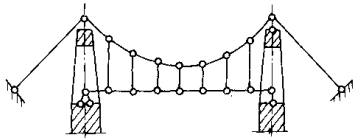


图 1-21

按照所用计算方法的特点，结构可分为静定结构和超静定结构。若一结构在承受任意荷载时，所有支座反力和任一截面上的内力都可由静力平衡条件求出其确定值，则此结构称为静定结构（图 1-16a、b）。反之，若上述的反力和内力不能仅靠静力平衡条件确定，还必须补充变形条件才能求得，则此结构称为超静定结构（图 1-16c、d）。

第四节 荷载的性质与分类

荷载通常是指作用在结构上的外力。例如：结构自重、水压力、土压力、风压力以及人群及货物的重量、吊车轮压等。此外，还有其他因素可以使结构产生内力和变形，如温度变化、地基沉陷、构件制造误差、材料收缩等。从广义上说，这些因素也可看作荷载。

合理地确定荷载，是结构设计中非常重要的工作。如果估计过大，所设计的结构尺寸将偏大，造成浪费；如将荷载估计过小，则所设计的结构不够安全。在结构设计中所要考虑的各种荷载，国家都有具体规定，设计时可查阅《结构荷载规范》和《抗震设计规范》等。

对于特殊的结构，必要时还要进行专门的实验和理论研究以确定荷载。

荷载按下列特征进行分类：

根据荷载作用时间的久暂，可分为恒载和活载。恒载是指长期作用在结构上的不变荷载，如结构的自重和结构上的固定设备重量等。活载是指暂时作用在结构上且位置可以变动的荷载，如楼面荷载、屋面荷载、吊车荷载、雪载和风载等。

对结构进行计算时，恒载和大部分活载（如雪载、风载）在结构上作用的位置可以认为是固定的，这种荷载称为固定荷载。有些活载，如桥梁上的列车荷载、吊车梁上的吊车荷载等，它们在结构上的位置是移动的，这种荷载称为移动荷载。

根据荷载的分布情况，可分为集中荷载和分布荷载。分布荷载可又分为均匀分布荷载、线性分布荷载（如三角形或梯形分布荷载）等。

荷载一般总是要分布在一定的面积上的，若分布面积远小于结构的尺寸，则可认为此荷载是作用在结构的一个点上，称为集中荷载。集中荷载有集中力和集中力偶两种。

根据荷载作用的性质，可分为静力荷载和动力荷载。如果施加荷载的速度非常缓慢，不引起结构振动，或者仅引起微小振动而惯性力可忽略不计的，称为静力荷载。恒载和上述大多数活载都属静力荷载。若荷载的大小、方向或位置随时间迅速变化，结构因此发生振动，在计算时必须考虑惯性力的影响，则称为动力荷载。例如动力设备运转时所产生的偏心力，汽锤冲击力、地震力、炸药爆炸时所产生的汽浪冲击力、海浪对于海洋工程结构的冲击力、高耸建筑物上的风力等都是动力荷载。

荷载的确定，常常是比较复杂的。在荷载规范未包含的某些特殊情况下，设计者需要深入现场，结合实际情况进行调查研究的，才能合理确定荷载。

第五节 结构力学的学习方法

结构分析是结构设计中非常关键的一个环节。因而学好结构力学，掌握杆件结构的计算原理与方法，是学好工程结构课的重要条件，同时也是作为一个结构工程师所必须具备的基础知识。因此读者在学习本门课程时，务必要充分重视和加倍努力，树立信心，以顽强的毅力克服学习中可能遇到的各种困难，一定要学好它，也一定能学好它。

在学习中必须贯彻理论与实际相结合的原则。要注意结构力学的理论是怎样服务于工程实际的。要留心观察实际结构，了解它们的构造，分析它们的受力特点，并考虑怎样用所学的理论和方法解决其力学分析问题。只有联系实际学习理论，才能做到用所学知识去解决实际问题。

结构力学的特点是，不但理论概念性比较强，而且方法技巧性要求高。理论概念需要通过练习来加深理解，方法技巧则需要通过多做来熟练掌握。因此，在学习本门课程的过程中，不但要注意搞清基本概念，而且更为重要的是要认真做好和多做练习题，这是学好结构力学的重要环节。但要注意以下两点：

(1) 做题前一定要看书复习，搞清概念及解题思路，抓住方法的本质、要点。按照例题照搬照套，急于完成作业而不经自己的思考，不会有好的效果。

(2) 作业要条理清晰、整洁、严谨。要培养对所得计算结果进行合理校核的能力。发现错误，要及时总结，找出原因，这样才能吸取教训，逐步提高。