

高等专科工业与民用建筑专业系列教材

结 构 力 学

王金海 主编

王金海 颜永弟 编
游 渊 何 蓉

中国建筑工业出版社

前 言

本书是根据国家教育委员会颁布试行“结构力学课程基本要求”和建设部(1993) 441号文件《关于普通高等学校专科房屋建筑工程专业教育的培养目标、毕业生基本要求和培养方案、教学基本要求通知》的精神进行编写的。

编写中针对专科培养规格和要求,为培养主要从事建筑施工、建筑技术管理、一般房屋建筑工程设计的工程技术人员和完成工程师的初步训练。在保证必需的基础理论够用的前提下,加强技术基础课、专业课教学的同时,注意提高学生的自学能力和解决工程实际问题的能力,突出培养应用型人才的要求。

全书共有十二章,是按“房屋建筑工程(工民建)专业”90学时要求编写,有关教学内容的取舍,视各校的具体情况和学时安排自行酌处。

为较好地反映专科教学的特点和需要,本书在内容的取材和阐述方面,强调为解决生产实践中的结构力学问题打好基础,重视力学概念和理论知识的应用,力求使学生熟悉各类常用杆件结构的受力特性;在理论证明和公式推导上适当从简,以必需、够用为度,充分体现专科培养应用型人才的特点;在写法上力求简明易懂,循序渐进,力求符合学生的认识规律,利于教学和学习;在各章中选配了较多的示例、思考题与较多的难易搭配的习题作业,突出了各章的重点、难点和学习中应注意的问题,起到指导学生自学和独立思考解决问题的作用。

本书由重庆建筑大学王金海主编,参编有王金海(第一、七、十一章)、颜永弟(第二、五、九、十章)、游渊(第四、六、八章)、何蓉(第三、十二章)。

在编写过程中得到重庆建筑大学建筑工程学院、结构力学教研室的大力支持和帮助,我们在此表示深切的谢意。

由于编写时间仓促和编者水平有限,书中难免存在不妥或错误之处,欢迎使用该书的教师和读者提出宝贵意见,利于今后改进。

(京) 新登字 035 号

全书共十二章, 主要讲述: 绪论, 平面体系的几何组成分析, 静定梁与多跨静定梁, 静定平面刚架, 三铰拱的内力计算, 静定平面桁架, 虚功原理和静定结构位移计算, 用力法计算超静定结构, 位移法, 力矩分配法, 影响线及其应用, 矩阵位移法等。其中附有 FORTRAN 语言编写的刚架分析源程序、总框图、子框图和计算例题。

本书可作为高等专科土建类专业的结构力学教材, 亦可作为高等函授教育、自学考试用书, 并可供有关工程技术人员参考。

高等专科工业与民用建筑专业系列教材

结 构 力 学

王金海 主编

王金海 颜永弟 编
游 渊 何 蓉

*

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: 21 $\frac{1}{4}$ 字数: 517 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: 22.80 元

ISBN 7-112-02996-1

TU·2288 (8111)

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)

出版说明

为了满足高等专科学校房屋建筑工程（工业与民用建筑）专业的教学需要，培养从事建筑工程施工、管理及一般房屋建筑结构设计的高等工程技术人才，中国建筑业出版社组织编写了这套“高等专科工业与民用建筑专业系列教材”。全套教材共15册，其中《混凝土结构》（上、下）、《砌体结构》、《钢结构》、《土力学地基与基础》、《建筑工程测量》、《建筑施工》、《建筑工程经济与企业管理》8册是由武汉工业大学、湖南大学等高等院校编写的原高等专科“工业与民用建筑专业”系列教材，经原作者重新精心修订而成的。按照教学计划与课程设置的要求，我们又新编了《建筑制图》、《建筑制图习题集》、《房屋建筑学》、《建筑材料》、《理论力学》、《材料力学》、《结构力学》等7册。

本系列教材根据国家教委颁发的有关高等专科学校房屋建筑工程专业的培养目标和主要课程的教学要求，紧密结合现行的国家标准、规范，以及吸取近年来建筑领域在科研、施工、教学等方面的先进成果，贯彻“少而精”的原则，注重加强基本理论知识、技能和能力的训练。考虑到教学的需要和提高教学质量，我们还将陆续出版选修课教材及辅助教学读物。

本系列教材的编写人员主要是武汉工业大学、湖南大学、西安建筑科技大学、哈尔滨建筑大学、重庆建筑大学西北建筑工程学院、沈阳建筑工程学院、山东建筑工程学院、南京建筑工程学院、武汉冶金科技大学等有丰富教学经验的教师。

本系列教材虽有8册书已在我国出版发行近10年，各册书的发行量均达10~20万册，取得了一定的成绩，但由于教学改革的不深入，以及科学技术的进步，这套教材的安排及书中不足之处在所难免，希望广大读者提出宝贵意见，以便不断完善。

目 录

第一章 绪论	1
第一节 结构力学的研究对象及其任务	1
第二节 结构的计算简图	4
第三节 平面杆件结构的分类	10
第四节 荷载的分类	13
思考题	14
第二章 平面体系的几何组成分析	15
第一节 几何组成分析的基本概念	15
第二节 几何不变体系的简单组成规则	18
第三节 几何可变体系	20
第四节 几何组成分析的方法	21
第五节 几何组成与静力学特征	25
思考题	26
习 题	27
第三章 静定梁和多跨静定梁	30
第一节 单跨静定梁	30
第二节 简支斜梁	36
第三节 曲梁	39
第四节 多跨静定梁	40
思考题	46
习 题	46
第四章 静定平面刚架	48
第一节 概述	48
第二节 刚架的支座反力	50
第三节 静定刚架的内力计算和内力图绘制	52
第四节 静定平面刚架内力计算示例	56
思考题	61
习 题	62
第五章 三铰拱的内力计算	65
第一节 概述	65
第二节 三铰拱的反力和内力	66
第三节 三铰拱的合理拱轴	73
思考题	74
习 题	75
第六章 静定平面桁架	77
第一节 概述	77

第二节	平面桁架的数解法	80
第三节	桁架外形与受力性能的比较	89
第四节	组合结构	91
	思考题	93
	习 题	93
第七章	虚功原理和静定结构的位移计算	96
第一节	概述	96
第二节	功、广义力、广义位移、外力实功和应变能	98
第三节	虚功和虚功原理	101
第四节	静定结构在荷载作用下的位移计算	104
第五节	图乘法	111
第六节	静定结构由于温度变化引起的位移计算	119
第七节	静定结构由于支座移动所引起的位移计算	122
第八节	弹性体系的互等定理	125
	思考题	127
	习 题	128
第八章	用力法计算超静定结构	131
第一节	概述	131
第二节	超静定次数的确定	133
第三节	力法基本概念	135
第四节	力法典型方程	137
第五节	荷载作用下各种超静定结构的力法计算	139
第六节	对称性的利用	154
第七节	支座移动时超静定结构的内力计算	161
第八节	温度变化时超静定结构的内力计算	163
第九节	超静定结构的位移计算	166
第十节	超静定结构最后内力图的校核	167
第十一节	超静定结构与静定结构比较	170
	思考题	171
	习 题	172
第九章	位移法	179
第一节	概述	179
第二节	等截面直杆的转角位移方程	179
第三节	位移法的基本概念	186
第四节	位移法基本未知量数目的确定	194
第五节	位移法的典型方程	197
第六节	剪力分配法	207
第七节	直接利用平衡条件建立位移法方程	211
	思考题	214
	习 题	215
第十章	力矩分配法	219
第一节	概述	219

第二节	力矩分配法的基本概念	219
第三节	多结点力矩分配法	227
第四节	无剪力分配法	234
	思考题	240
	习 题	240
第十一章	影响线及其应用	242
第一节	影响线的概念	242
第二节	用静力法作单跨静定梁的影响线	243
第三节	机动法作单跨静定梁的影响线	250
第四节	利用影响线计算固定荷载作用下的反力和内力	251
第五节	最不利荷载位置的确定	254
第六节	简支梁的内力包络图	258
第七节	简支梁的绝对最大弯矩	260
第八节	连续梁的影响线及其应用简介	262
	思考题	268
	习 题	268
第十二章	矩阵位移法	271
第一节	概述	271
第二节	单元刚度矩阵	272
第三节	结构刚度矩阵	279
第四节	等效结点荷载	284
第五节	结构的内力计算	287
	思考题	303
	习 题	303
附录 1	平面刚架单元固端力汇总表	306
附录 2	平面刚架分析程序及算例	306
	习题部分参考答案	326

第一章 绪 论

第一节 结构力学的研究对象及其任务

在土建工程中,凡由建筑材料做成并能支承荷载而起骨架作用的各种建筑物和构筑物,统称为**建筑结构**,简称为**结构**。例如建筑工程中的工业厂房与民用房屋、高耸的电视塔、烟囱、水塔等是建筑物和构筑物中结构的实例;在道路桥梁工程中铁路大桥、公路桥、城市道路高架桥、涵洞、隧道、挡土墙等交通设施;水利工程中的闸门结构、堤坝等等都是土

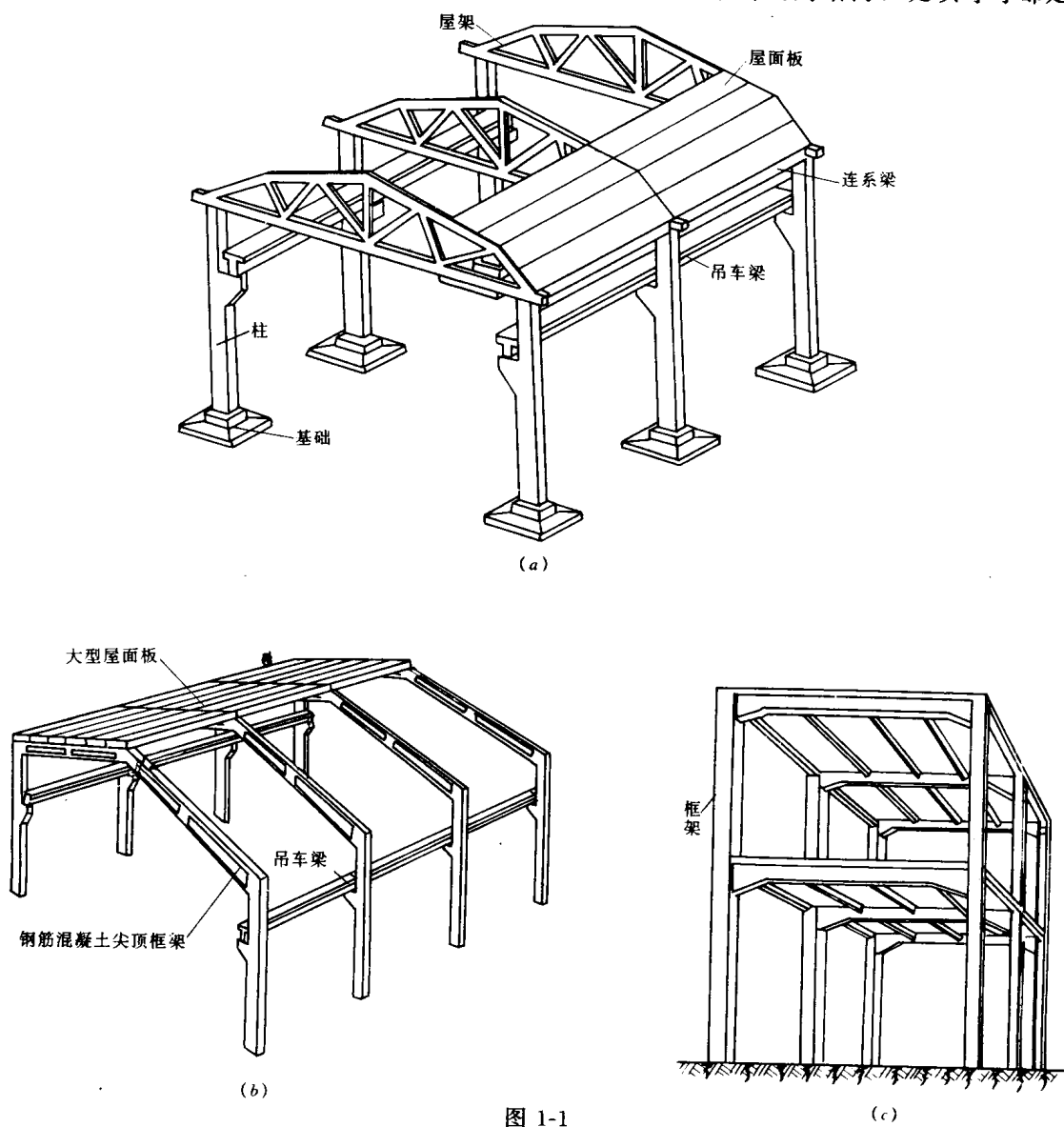


图 1-1

木工程、水利工程中的结构实例。图 1-1 (a) 是由屋面构件、屋架、柱子、吊车梁和基础所构成的单层工业厂房结构；图 1-1 (b)、(c) 为钢筋混凝土尖顶刚架和单跨两层刚架，它们承受屋面和吊车梁传来的荷载，都是常见的杆件结构典型实例。

图 1-2 是我国著名的赵州石拱桥（安济桥），它是距今 1300 多年隋代时，由工匠李春主持修建的，其跨度达 37.47m，拱高达 9m，并在大拱背上还做了小拱，不仅减轻了拱桥的自重，又可宣泄洪水，还增加了拱桥的安全和美观。1000 多年来这座形式优美的拱桥完整无损，也为当代设计创造新颖拱式桥梁提供了借鉴。



图 1-2

图 1-3 为一桁架桥梁结构示意图，它是一个空间受力杆件体系，当在竖向荷载作用时，如不考虑两榀主桁架间连系杆件的空间受力作用，则主桁架就可视为一榀平面桁架来分析（图中实线表示）。

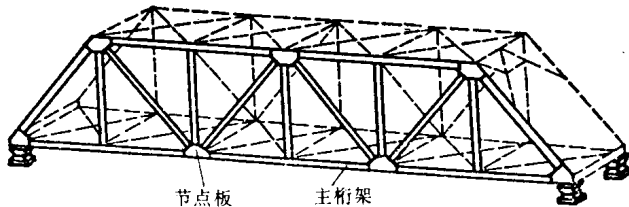


图 1-3

由上看出，结构的类型是多种多样的，为便于分析，结构按不同特征进行分类。

按空间观点，结构分为平面结构和空间结构。如果组成结构的所有杆件的轴线都位于同一平面内，并且荷载也作用于该平面内，则这类结构称为平面杆件结构；否则，便是空间杆件结构。实际工程中的结构都是空间结构，但在许多情况下有些结构可近似分解为若干平面杆件结构来计算。但有些结构必须按空间杆件结构来分析，如图 1-4 所示桁架就是一个空间杆件结构的实例。

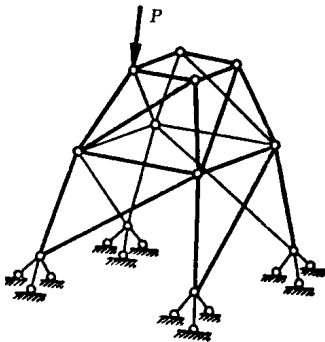


图 1-4

按几何观点，结构可分为杆件结构、薄壁结构和实体结构。

杆件结构是由若干根杆件所组成的结构，其中“杆件”是指其长度远远大于截面的其他两个尺度（即截面的高度和宽

度)。图 1-1、图 1-3、图 1-4 所示结构均是杆件结构的典型实例。

薄壁结构是指其厚度远小于其他两个尺度的结构，当它为平板状结构（图 1-5a）时，称为**薄板**；当它是由若干块薄板所构成（图 1-5b）时，称为**折板结构**；当它具有曲面或球面外形（图 1-5c、d）时，称为**薄壳结构**。

实体结构是指三个方向的尺度约为同量级的结构，例如图 1-5（e）、（f）所示的坝体和挡土墙就是实体结构的实例。

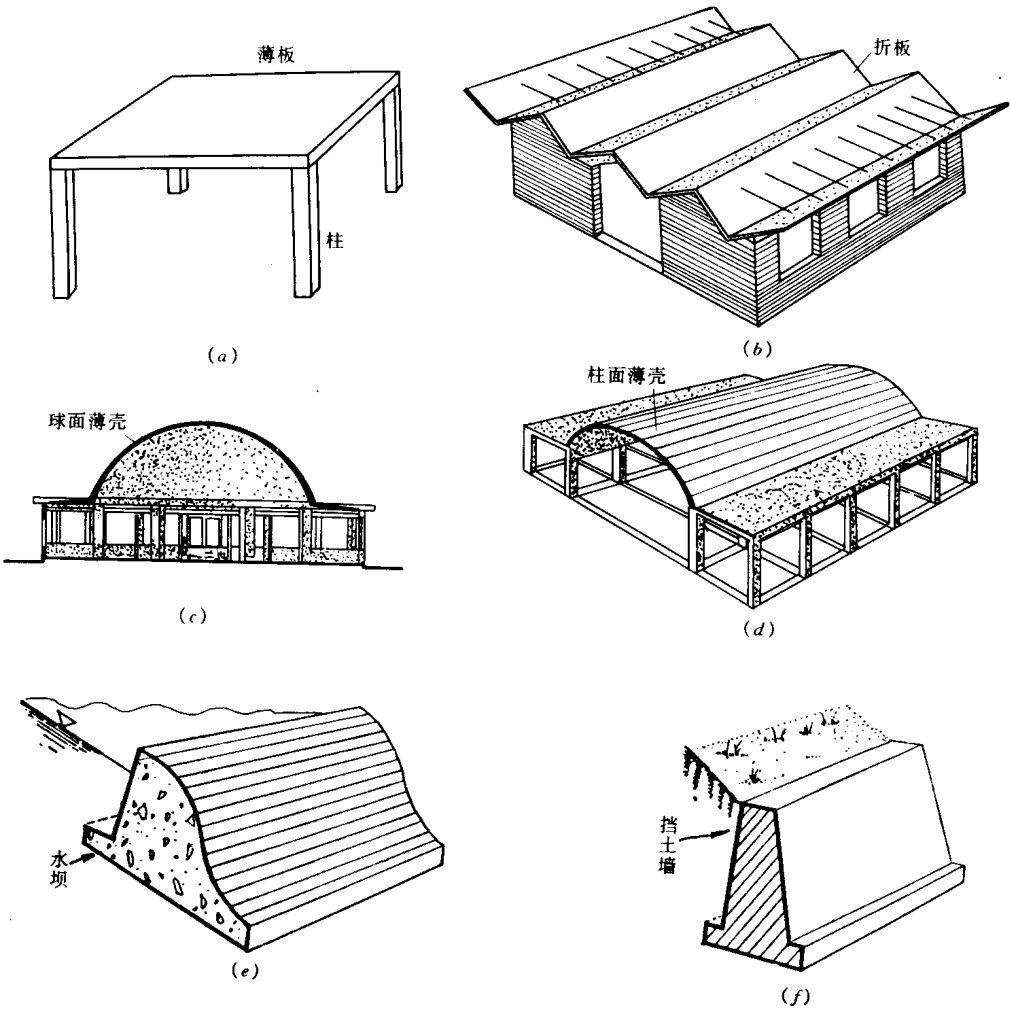


图 1-5

材料力学与结构力学的基本区别在于：前者主要是研究材料的强度和单根杆件的强度、刚度和稳定性的计算；而结构力学的研究对象则主要由杆件所组成的结构。所以本书主要讨论平面杆件结构的计算。

结构力学的任务是研究结构的组成规律、合理形式及其力学性能，研究结构在荷载、温度变化、支座移动等外因作用下的强度、刚度和稳定性的计算原理和计算方法。

计算结构的强度和稳定性在于保证结构经济与安全的双重要求；计算结构的刚度，在

于保证结构不致发生过大的变形，并满足使用的要求。

对结构进行强度计算，首先要计算结构的内力，然后利用材料力学的强度条件选定或核算杆件截面尺寸。在分析结构的刚度和稳定性时，也要涉及到结构内力的计算问题。因此，研究杆件结构在各种外因影响下的内力计算和了解各种结构的受力特性，便成为本课程的重要的学习内容。

结构力学是土建、水利类各专业必修的一门主要技术基础课程，在专业学习中占有重要地位。学习结构力学要以高等数学、矩阵代数、理论力学和材料力学等课程为基础。在学习中要用到理论力学和材料力学所提供的刚体静力学平衡条件、虚位移原理和单杆的强度、刚度和稳定性等方法；同时，该课程又为学习钢木结构、钢筋混凝土结构、地基基础、建筑施工等专业课程提供所必须的力学基础。

针对普通高等专科学校专科房屋建筑工程（工民建）专业要求，为培养从事建筑施工、检测等技术和管理工作或从事一般房屋建筑工程设计工作的应用性人才的特点。本课程强调为解决生产实践中的结构力学问题打好基础，重视力学概念和理论知识的应用。所以，本书主要讨论平面杆件结构的内力和变形等内容的计算，不讲结构的稳定性计算。为适应电子计算机的普及和应用，与现代计算结构力学的发展相适应，在第十二章中扼要地介绍了杆件结构矩阵位移法的基本内容，为今后的学习和工作创造一定的条件。

应当指出，学习本课程要注意理论联系实际。对各种计算方法要了解它们各自的基本思路。注意各章节之间的内在联系，注意从对比中去认识事物，注意如何把待解决的新问题转化为老问题进行解决。要保证有足够的习题量，要求多做习题，不做一定数量的习题将很难真正掌握本课程中的概念、原理和计算方法。

第二节 结构的计算简图

实际结构的组成、受力和变形等情况都是很复杂的，在结构设计时想要完全严格按照结构的实际进行力学分析，从目前的科学技术水平来讲，是很难做到的。即使有这种可能，其分析方法也是十分复杂的，更没有实用价值。所以，在进行实际结构的力学分析时，必须对结构作一些必要的简化，突出其主要特点，略去某些次要因素，采用一种简化了的图形来代替实际结构。这种经过简化并用于进行计算的结构图形就称为结构的计算简图。

结构计算简图，在力学分析中代表实际结构，是进行结构分析的依据。结构计算简图的选择是否合理，直接影响计算工作量和设计精度，因此在结构分析中选择结构计算简图是必须先解决的重要课题。如果计算简图不能正确地反映结构的实际受力状态，甚至选择错误，会使计算产生误差甚至造成工程事故。因此在选择计算简图时，应持慎重态度，并遵守如下两条原则：

1. 抓住主要因素，略去次要因素，使计算简图能反映实际结构的主要受力状态；
2. 根据需要与可能，从实际出发，力求使计算简图便于分析和计算。

在实际工程设计中，为适应具体要求，在选择结构计算简图时，往往根据结构的重要程度、不同的设计阶段和计算手段选择不同的计算简图。

恰当合理的计算简图既要能反映结构主要受力性能，又要便于计算。为此，必须对实际结构进行简化处理，这种简化通常包含对杆件的简化、支座的简化、结点的简化以及荷

载的简化。在这里只简略地介绍前三种简化，第四种将由后续各类结构设计课讨论。

一、杆件的简化

根据杆件受力后的变形特点，由材料力学可知，各种杆件在结构计算简图中均用其轴线来代替。例如等截面直杆的轴线为一条直线；曲杆的轴线为一条曲线；变截面杆件的轴线用其两端形心连成的直线或曲线（折线）来代替。

二、支座的简化

将结构与基础或其他支承物体联结起来的装置称为支座。根据支座的实际构造和约束特点，在计算简图中常简化为：

1. 可动铰支座（活动铰支座）

桥梁结构中常用的辊轴支座和滚动支座如图 1-6 (a)、(b) 所示，都是活动铰支座的实例。这种支座的特点是：它既允许结构能绕铰 A 转动，又允许结构沿支承面 $m-n$ 有微小的移动，但限制了铰 A 沿垂直于支承面方向的移动。因此，在忽略支承面上摩擦力的影响下，支座反力 R_A 将通过铰 A 的中心并垂直于支承面 $m-n$ ，即支座反力 R_A 的方向和作用点都是确定的，只是它的大小是未知的。根据上述特征，在杆件结构的计算简图中，这种支座常用一根链杆 AB 或一个简化的辊轴圆圈表示，如图 1-6 (c)、(d) 所示。

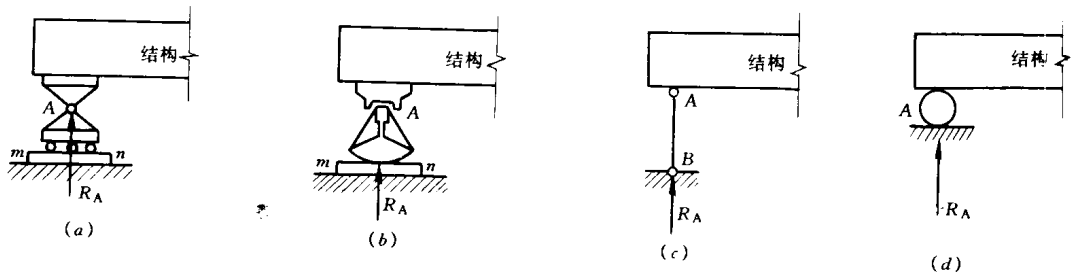


图 1-6

2. 固定铰支座图

固定铰支座对结构的约束特征是：结构可以绕铰 A 转动，但沿水平和竖向的移动受到限制，如图 1-7 (a) 所示。此时支座反力 R_A 仍通过铰 A 的中心，但其大小和方向均为未知的。通常可将反力 R_A 分解为水平和竖向的分力 H_A 、 V_A ，计算时较为方便。根据这种支座的位移和受力特点，在计算简图中常用交于 A 点的两根链杆来表示，如图 1-7 (b)、(c) 所示。

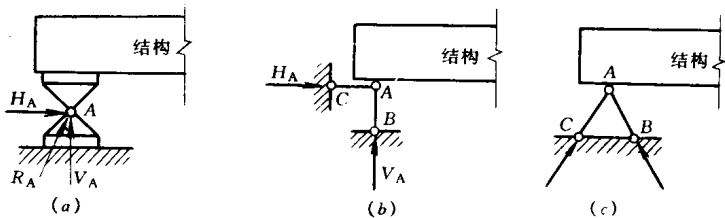


图 1-7

在实际工程中，凡属于不能移动但可以作微小转动的支承结构，都可视为固定铰支座。例如：插入杯口基础中钢筋混凝土预制柱，当杯口中用沥青麻刀填充缝隙时，则柱子与基础的联结可视为固定铰支座如图 1-8 (a) 所示，其计算简图如图 1-8 (b) 所示。

3. 固定铰支座

图 1-9 (a) 所示一悬臂梁，当梁端插入墙体有一定深度时，则可视为固定铰支座。固定铰支座的特点是：结构与支座相联结的 A 处，既不能发生转动，也不能发生水平和竖向的移动。相应的支座反力，通常可用反力矩 M_A 和水平及竖向分反力 H_A 、 V_A 来表示 (图 1-9b) 这种支座的计算简图可用既不全平行又不全相交于一点的三根支杆来表示 (图 1-9c、d)，支杆中的反力可以组成两个分反力 H_A 、 V_A 和一个反力矩 M_A 。

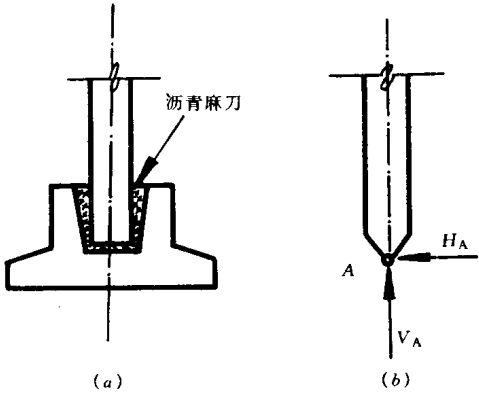


图 1-8

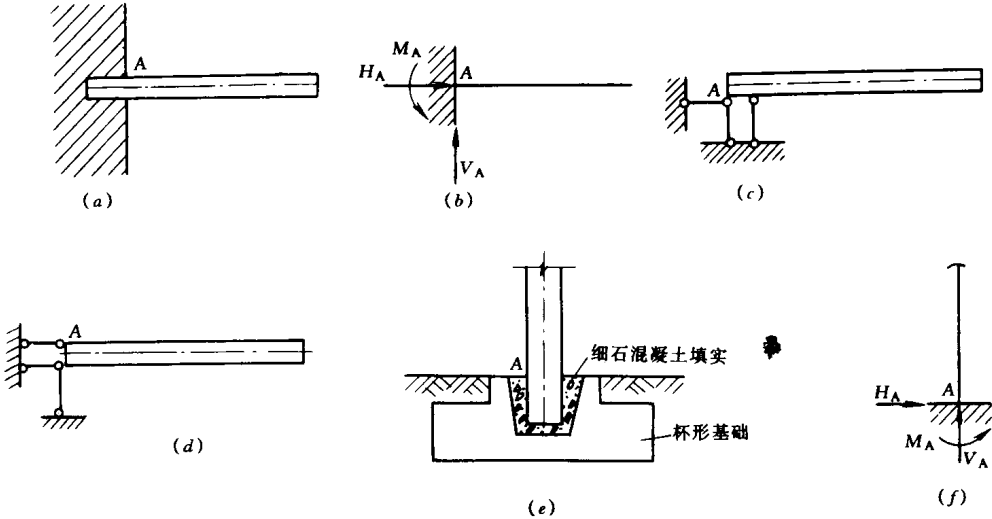


图 1-9

图 1-9 (e) 所示为插入杯口基础足够深度的钢筋混凝土预制柱，杯口内用细石混凝土填充，则杯口面 A 处可视为固定铰支座，其计算简图如图 1-9 (f) 所示。

4. 滑动铰支座 (定向支座)

图 1-10 (a) 所示为滑动铰支座的示意图，这类支座能限制结构的转动和沿一个方向上的移动，但允许结构在另一方向上有滑动的自由。例如图 1-10 (a) 所示的结构在支座处的转动和竖向移动均受到限制，但可沿水平方向有微量滑动；可用两根竖向平行支杆来表示这类滑动铰支座的约束和受力特征 (图 1-10b)。相应的支座反力有两个：限制竖向移动方向的反力 V 和限制转动方向的反力矩 M 。图 1-10 (c) 为限制转动和限制水平方向移动，允许竖向有微量滑动的计算简图。

上述四种支座，均建立在支座本身是不能变形的假设上，计算简图中相应的支杆，也被认为其本身是不能变形的刚性链杆，所以这类支座称为刚性支座。若要考虑支座本身的

变形，则这类支座称为弹性支座。本书只涉及刚性支座。

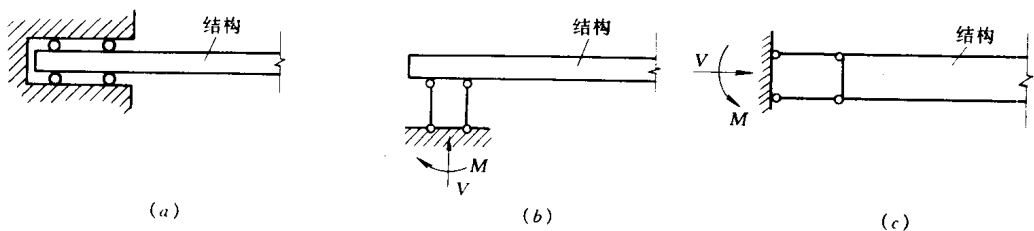


图 1-10

三、结点的简化

杆件结构中各杆件间相互联接处称为结点。在木结构、钢结构和钢筋混凝土结构中的结点，虽然它们的具体构造形式不尽相同，但在计算简图中通常将结点归结为铰结点、刚结点和半铰结点（不完全铰结点）。

1. 铰结点

铰结点的特点是：所联结的各杆可以绕结点中心自由转动，因而常用一理想光滑的铰来表示。这种理想情形，在实际工程中很难实现，例如图 1-11 (a) 所示为木屋架的支座结点构造图，显然各杆件并不能自由转动，但由于联结不可能很严密牢固，杆件能作微小的转动。事实上结构在荷载作用下所产生的转动也相当小，因此该结点可假定为铰结点（图 1-11b）。一般地讲，木结构的结点比较接近于铰结点。又如图 1-12 (a) 所示的钢桁架一结点，它虽然是将各杆件焊接在结点板上，但由于这种桁架结构，杆件的抗弯刚度通常不大，主要承受轴向力，由结点的刚性所产生的影响是次要的，因此也可将该结点简化为铰结点（图 1-12b）。由此所引起的误差在多数情况下是允许的。

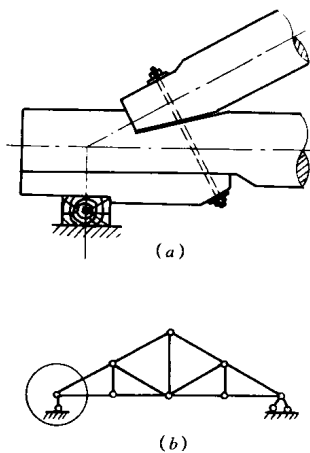


图 1-11

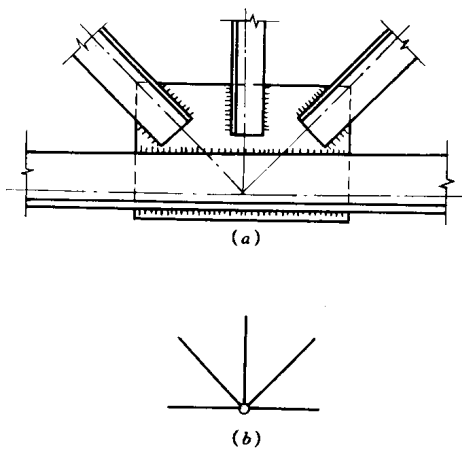


图 1-12

2. 刚结点

刚结点的特点是：所联结的各杆件之间不能在结点处产生相对转动，即在刚结点处各杆之间的夹角在刚架变形前后保持不变（图 1-13a 中 A、B、C、D 刚结点）。此时，各杆件的杆端在刚结点处一般要产生和传递弯矩。

图 1-13 (b) 所示为钢筋混凝土刚架边柱与横梁的结点构造图。由于边柱与横梁间为整体浇筑，同时横梁上层的受拉钢筋伸入柱内布置，这样就保证了横梁与边柱能相互牢固地联结在一起，构成了刚结点，其计算简图如图 1-13 (c) 所示。

3. 半铰结点

在连续梁和刚架中还有一种半铰结点，如图 1-14 (a) 所示连续梁中 A、B…结点。图 1-14 (b) 所示刚架中的 D 点也是半铰结点。这种结点对连续杆件来讲，类似刚结点，但是其上的弯矩不向铰结点一边的杆件（或支杆）传递。

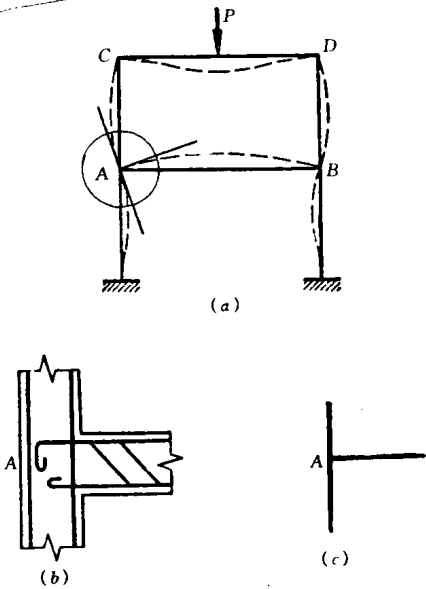


图 1-13

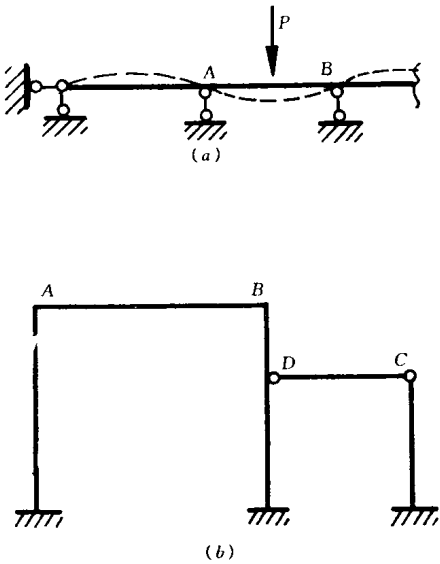


图 1-14

四、结构计算简图示例

为说明实际结构的简化过程，举例说明如下：

【例 1-1】 作图 1-15 (a) 所示一现浇式钢筋混凝土厂房结构的计算简图。

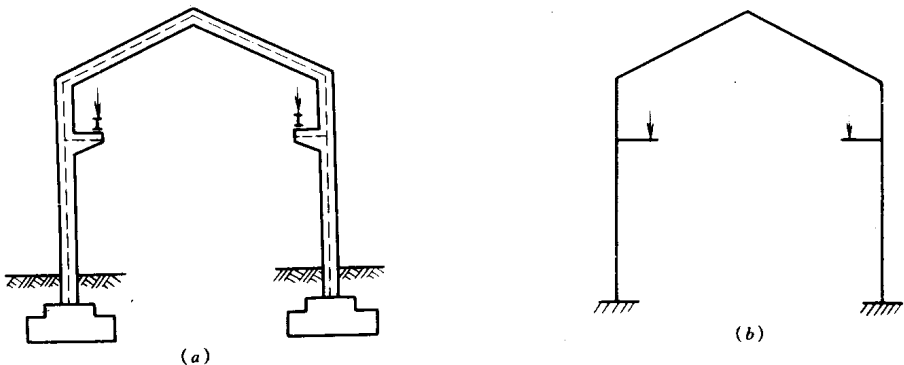


图 1-15

【解】

该结构的施工程序是先浇筑基础部分，接着浇筑柱子和斜梁，使刚架成为一个整体。

这样，梁和柱各用其杆件轴线来代替；梁与柱的联结处形成刚结点；柱和基础的联结处形成固定支座。其刚架的计算简图如图 1-15 (b) 所示。

【例 1-2】 如图 1-16 (a) 所示一钢筋混凝土楼盖，它由预制钢筋混凝土空心板和梁组成，试选取梁的计算简图。

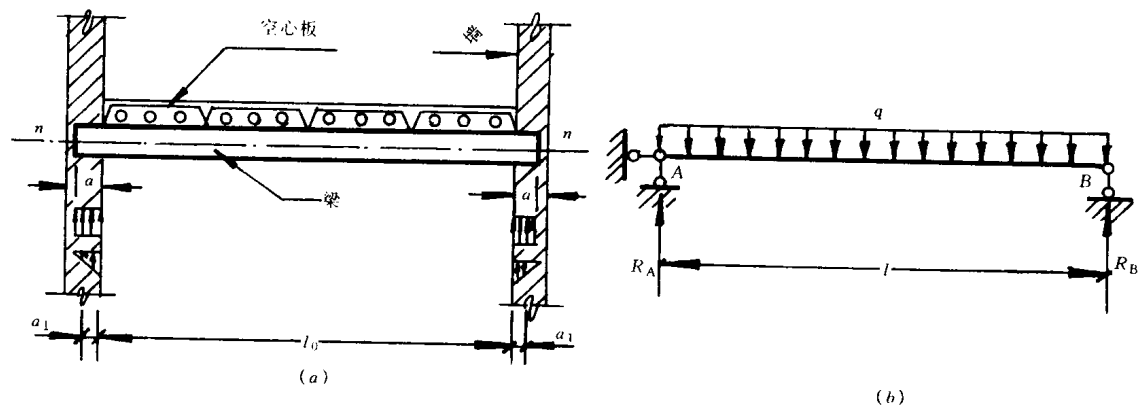


图 1-16

【解】

1. 结构体系的简化

梁的纵轴线为 $n-n$ ，在计算简图中以此线表示 AB 梁，由楼板传来的楼面荷载以及梁的自重均简化为均布荷载 q 竖向作用在 $n-n$ 轴线平面内，如图 1-16 (b) 所示。

2. 梁的跨度确定

梁支承在砖墙上，梁的两端支承面积为 ab (a 为梁端在墙上的搁置长度、 b 为梁的宽度)，其上的反力分布是很复杂的。为了简化计算；通常假定反力沿 a 方向为均匀分布或按三角形，而沿梁的宽度 b 方向为均匀分布。

据此，可以确定 A 、 B 处反力的合力 R_A 和 R_B 的作用点，从而确定梁的计算跨度 l 为 $l=l_0+2a_1$ ，如图 1-16 (a) 所示。当假定反力为均匀分布时， $2a_1=a$ ，即 $l=l_0+a$ 。当假定反力为三角形分布时， $2a_1=\frac{2}{3}a$ ，即 $l=l_0+\frac{2}{3}a$ 。为了简化计算，有时也取 $l=1.05l_0$ 作为计算跨度，其中 l_0 为净跨。当 a/l_0 的比值较小时，按这种方法确定的 l 值是足够精确的。

3. 支座的简化

由于梁端嵌入墙内的实际长度比较短，加以用砂浆砌筑的墙体本身的坚实性较差，所以在受力后有产生微小松动的可能，不能起固定支座的约束作用。另外，考虑到梁作为整体虽不能有水平移动，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，则该梁称为简支梁。

经过以上这些简化，即得到如图 1-16 (b) 所示楼盖梁的计算简图。

【例 1-3】 如图 1-17 (a) 所示单层工业厂房，由于屋架及其支承柱的轴线均位于同一平面内，而且由屋面板和吊车梁传来的荷载也都位于屋架和柱所组成的排架平面内，故得到如图 1-17 (a) 所示的平面排架。对于这类称排架的结构，如何进行简化而得到计算简图呢？

【解】

首先，分析屋架的计算简图。由于钢屋架中所有杆件的结点都是采用简单焊接联结，故