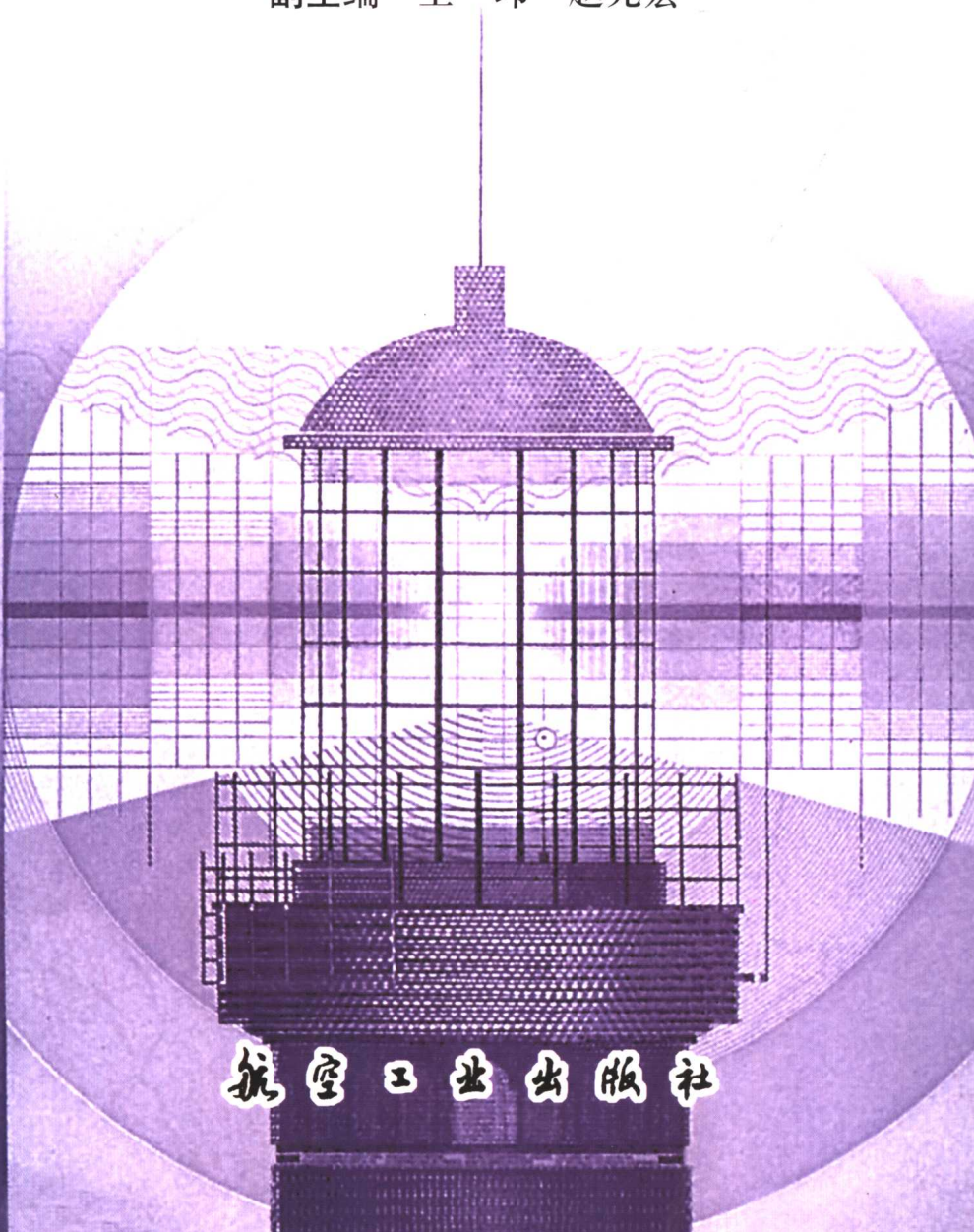


建筑力学

主 编 沈建康 王培兴
副主编 王 玮 赵光宏



航空工业出版社

建筑力学

主 编 沈建康 王培兴
副主编 王 玮 赵光宏

航空工业出版社

内 容 提 要

本书主要介绍的是建筑结构计算的力学原理和方法;建筑构件和建筑结构的强度、刚度、稳定性;几何不变体系的组成规律和合理形式;是建筑工程技术人员解决工程实际问题必须具备的基础知识。同时,作为建筑工程专业的主干,它也是一门应用性很强的专业技术基础课程,适用于土建工程技术人员自学参考和建筑类高等职业技术学院及普通大专院校的教学教材。

图书在版编目(CIP)数据

建筑力学/沈建康等主编. —北京:航空工业出版社,2004. 1

ISBN 7-80183-323-6

I. 建... II. 沈... III. 建筑力学 IV. TU311

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2003)第 126623 号

航空工业出版社出版发行

(北京市安定门外小关东里 14 号 100029)

北京大地印刷厂印刷

全国各地新华书店经售

2004 年 1 月第 1 版

2004 年 1 月第 1 次印刷

开本: 787×1092 1/16

印张: 28.375 字数: 700 千字

印数: 1-2000

定价: 42.00 元

前 言

本教材按照三年制高等职业教育建筑工程试点专业的教学要求,对力学课程体系进行了改革调整,根据多年的教学实践经验,将传统的《理论力学》、《材料力学》和《结构力学》三门课程综合为一门《建筑力学》课程,并实现了与后续专业课的衔接,是土木专业课的学科基础。

为了适应 21 世纪高等教育的改革,体现高等职业教育的特色和培养应用型人才的特点,在内容的选取和体系的安排上,特别注意体现高等职业教材“应用为主,实用够用为度”的编写原则,突出彰显了基础理论在应用方面的内容。在编写本书的过程中,文字上力求做到内容精简,由浅入深,通俗易懂;结构上遵循循序渐进,承上启下规律;在章节构造上有所改革和更新,既克服不必要的重复,又防止脱节;内容上既注意理论性,更注重实用性;为了适应新规范的需要,有些内容进行了更新,删除了旧规范的内容。为了便于学习、复习与巩固课程的要点,本教材在各章末均有小结,并选配有足够数量的例题和习题。

本书在编写过程中得到徐州建筑职业技术学院领导和土木系领导及全体教师的关心与支持,在此表示衷心的感谢。

由于编者的水平所限,时间仓促,书中不足之处在所难免,恳请读者予以批评指正。

编 者

2003 年 6 月

目 录

前 言

第一章 绪 论	(1)
第一节 建筑力学的任务和研究对象	(1)
第二节 结构的计算简图	(2)
第三节 杆系结构的分类	(7)
第四节 荷载的分类	(9)
第五节 建筑力学的基本模型和构件的基本变形形式	(11)
第二章 静力学的基本概念	(13)
第一节 力、力矩和力偶的概念	(13)
第二节 静力学公理	(16)
第三节 约束及约束反力	(21)
第四节 受力图	(25)
本章小结	(29)
思考题	(32)
习 题	(34)
第三章 平面力系的合成和平衡	(37)
第一节 平面汇交力系的合成与平衡	(37)
第二节 平面力偶系的合成与平衡	(47)
第三节 平面一般力系	(49)
第四节 平面平行力系的合成和平衡	(65)
本章小结	(68)
思考题	(70)
习 题	(71)
第四章 空间力系及重心	(79)
第一节 空间汇交力系的合成和平衡	(81)
第二节 空间力偶系的合成与平衡	(86)
第三节 空间一般力系的合成和平衡	(88)
第四节 重 心	(93)
本章小结	(98)
思考题	(100)
习 题	(100)

第五章 平面图形的几何特性	(105)
第一节 静 矩.....	(105)
第二节 惯性矩.....	(107)
第三节 惯性半径、极惯性矩、惯性积.....	(111)
本章小结.....	(114)
思考题.....	(117)
习 题.....	(119)
第六章 轴向拉伸和压缩	(121)
第一节 概 述.....	(121)
第二节 轴向拉(压)杆横截面上的内力、轴力图	(121)
第三节 轴向拉(压)杆横截面上的应力.....	(123)
第四节 轴向拉(压)杆斜截面上的应力.....	(125)
第五节 轴向拉(压)杆的变形·胡克定律	(126)
第六节 材料在拉伸和压缩时的力学性能.....	(131)
第七节 材料的强度设计值和强度条件.....	(135)
本章小结.....	(137)
习 题.....	(137)
第七章 扭 转	(141)
第一节 概 述.....	(141)
第二节 圆轴的扭矩和扭矩图.....	(141)
第三节 等直圆杆扭转时的应力与变形.....	(144)
第四节 圆轴扭转时的强度和刚度条件.....	(148)
第五节 剪应力互等定理.....	(150)
第六节 矩形截面等直杆在自由扭转时的应力和变形.....	(151)
本章小结.....	(154)
习 题.....	(154)
第八章 平面体系的几何组成分析	(157)
第一节 几何组成分析的目的.....	(157)
第二节 平面体系的自由度.....	(157)
第三节 几何不变体系简单组成规则.....	(163)
第四节 体系几何组成分析示例.....	(165)
第五节 静定结构与超静定结构的概念.....	(168)
本章小结.....	(169)
习 题.....	(169)

第九章 静定结构的内力分析	(173)
第一节 概 述.....	(173)
第二节 单跨静定梁.....	(173)
第三节 多跨静定梁.....	(187)
第四节 静定平面刚架.....	(190)
第五节 三铰拱.....	(196)
第六节 静定平面桁架.....	(202)
第七节 组合结构.....	(209)
第八节 静定结构的特性.....	(211)
本章小结.....	(212)
习 题.....	(213)
第十章 平面弯曲时梁的应力和变形	(219)
第一节 概 述.....	(219)
第二节 梁弯曲时的正应力和强度条件.....	(219)
第三节 梁弯曲时的剪应力和强度条件.....	(225)
第四节 梁弯曲时的变形与刚度计算.....	(230)
第五节 提高梁的强度和刚度措施.....	(238)
本章小结.....	(241)
习 题.....	(242)
第十一章 应力状态和强度理论	(245)
第一节 应力状态的概念.....	(245)
第二节 平面应力状态分析.....	(247)
第三节 强度理论.....	(254)
本章小结.....	(259)
习 题.....	(260)
第十二章 组合变形时杆件的强度计算	(263)
第一节 概 述.....	(263)
第二节 斜弯曲.....	(264)
第三节 拉伸(压缩)和弯曲组合变形的计算.....	(270)
第四节 偏心拉伸(压缩)的强度计算和截面核心.....	(272)
本章小结.....	(276)
习 题.....	(276)
第十三章 静定结构的位移计算	(279)
第一节 计算结构位移的目的.....	(279)

第二节	变形体的虚功原理	(280)
第三节	静定结构在荷载作用下的位移计算	(281)
第四节	图乘法	(287)
第五节	支座移动时静定结构的位移计算	(293)
第六节	静定结构由于温度改变引起的位移计算	(294)
第七节	弹性体系的互等定理	(297)
本章小结		(300)
习 题		(301)
第十四章	力 法	(305)
第一节	超静定结构的概念及超静定次数的确定	(305)
第二节	力法的基本原理	(307)
第三节	力法的典型方程	(310)
第四节	力法举例	(312)
第五节	对称性的利用	(322)
第六节	支座移动时超静定结构的计算	(329)
第七节	超静定结构的位移计算	(333)
第八节	超静定结构的特性	(334)
本章小结		(335)
习 题		(336)
第十五章	位移法	(341)
第一节	位移法的基本概念	(341)
第二节	等截面直杆的转角位移方程	(343)
第三节	位移法的基本未知量和基本结构	(346)
第四节	用位移法的典型方程计算梁和刚架	(349)
第五节	用结点和截面平衡条件计算梁和刚架	(356)
第六节	对称性的利用	(361)
本章小结		(365)
习 题		(366)
第十六章	渐近法	(371)
第一节	力矩分配法的基本原理	(371)
第二节	用力矩分配法计算连续梁和无侧移刚架	(378)
第三节	迭代法	(385)
本章小结		(396)
习 题		(396)

第十七章 影响线	(399)
第一节 影响线的概念	(399)
第二节 用静力法作单跨静定梁的影响线	(400)
第三节 用机动法作单跨静定梁的影响线	(403)
第四节 影响线的应用	(406)
第五节 简支梁的内力包络图和绝对最大弯矩	(412)
第六节 连续梁的影响线和内力包络图	(417)
本章小结	(421)
习 题	(422)
第十八章 矩阵位移法	(424)
第一节 概 述	(424)
第二节 局部坐标系下的单元刚度矩阵	(424)
第三节 整体坐标下的单元刚度矩阵	(428)
第四节 矩阵位移法的先处理法	(430)
第五节 非结点荷载的处理、等效结点荷载	(435)
第六节 平面刚架矩阵分析举例	(437)
本章小结	(442)
习 题	(442)

第一章 绪 论

第一节 建筑力学的任务和研究对象

我们日常生活中可见到各种各样的建筑物,例如:桥梁、水坝、电视塔、工业厂房、办公楼、教学楼等,这些建筑物是繁荣经济、发展生产所必需的,也是人们生活、学习和娱乐的场所。

一个庞大的建筑物,在建造之前,设计人员将对它所有构件一一进行受力分析,构件的尺寸大小、所用材料、排列位置都要通过结构计算来确定,这样才能保证建筑的牢固和安全。结构设计是一项繁复而细致的工作,它必须要有科学的计算理论作为依据才有可能进行,而《建筑力学》便是提供建筑结构受力分析和计算理论的一门科学,它将为您打开进入结构设计和解决施工现场中许多受力问题的大门。

一、建筑力学研究对象

在建筑物中,我们把由建筑材料按合理方式组成并起支承和传递荷载作用的骨架称为建筑结构,简称结构。一个建筑结构通常是由许多构件组成的。图 1-1 为一常见的楼层透视图。这种楼层结构由板、次梁、主梁、砖墙、柱等构件组成。在进行结构设计时,首先应对结构进行整体布置,确定结构的承重方案,然后对结构中的各个构件逐一进行计算,最后通过构造处理把各个构件联系起来构成一个整体结构图。因此建筑力学的研究对象是建筑结构及组成结构的各个构件。

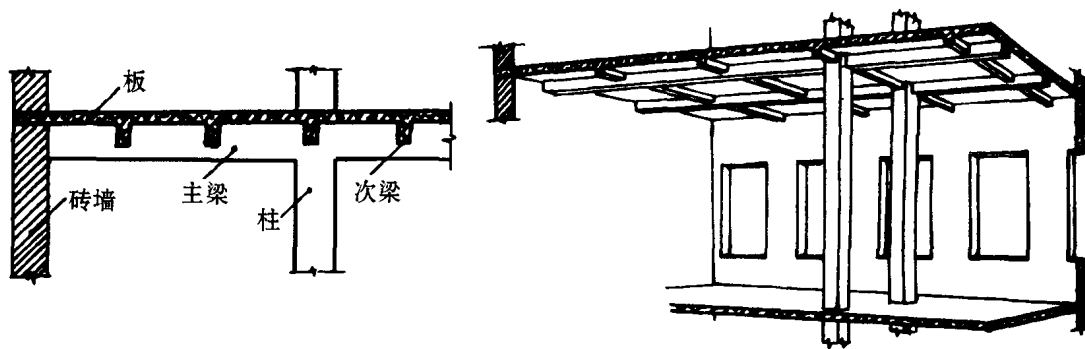


图 1-1

二、建筑力学的主要任务

承受和传递荷载的建筑结构构件,在荷载作用下,一方面会引起周围物体对它的反作用,例如一根受荷载作用的梁,搁在柱子上,梁对柱子有作用力,而柱对梁也起支承力作用,这样,任何一个构件,在设计时首先需要弄清楚它们受到哪些荷载作用以及周围物体对它们有什么反作用力。另一方面,当构件受到各种作用力的同时,构件本身发生变形,并且存在着破坏的可能,但结构构件本身是具有一定的抵抗变形和破坏能力的,即具有一定的承载能力的。这种承载能力的大小与构件的材料性质、截面几何形状和尺寸、受力性质等情况有

关。在结构设计中,如果把构件截面设计得过小,构件承载能力小于所受的荷载,则结构不安全,会变形过大不能正常工作或破坏;如果构件截面设计得过大,构件承载能力过分大于所受荷载,则用料过多,又会不经济。这样,任何一个结构或构件要对它的承载能力进行计算,使所设计的构件既安全又经济。因此,建筑力学的主要任务是讨论和研究建筑结构及其构件在荷载或其他因素作用下的工作性能,主要有以下几个方面。

1. 力系的简化和平衡 一般情况下,物体总是同时受到若干个力作用,作用在物体上的一群力,称为力系。使物体相对于地球保持静止或作匀速直线运动的力系,称为平衡力系。讨论物体在力系作用下处于平衡时,力系所满足的条件称为力系的平衡条件。作用在物体上的力是复杂的,因此在讨论力系的平衡条件中,往往用一个与原力系作用效果相同的简单力系来代替原来复杂的力系使得讨论比较方便,这种对力系作效果相同的代换称为力系的简化。对物体作用效果相同的力系,称为等效力系。如果一个力与一个力系等效,则该力称为此力系的合力,而力系中的各个力称为这个力的分力。力系的简化和力系的平衡问题是进行力学计算的基础,它贯穿于整本书中。

2. 强度问题 即研究材料、构件和结构抵抗破坏的能力。例如,房屋结构中的大梁,若承受过大的荷载,则梁可能发生弯曲破坏,造成安全事故。因此,设计梁时要保证它在荷载作用下正常工作情况时不会发生破坏。

3. 刚度问题 即研究构件和结构抵抗变形的能力。例如,屋面梁在荷载等因素作用下虽然满足强度要求,但由于其刚度不够,可能引起过大的变形,超出结构规范所要求的范围,而不能起作用。因此,设计时要保证它具有足够的刚度。

4. 稳定问题 即研究构件和结构保持平衡状态稳定性的能力。例如,房屋结构中承重的柱子,如果过细过长,当压力超过一定范围时,柱子就不能保持其直线形状,而突然从原来的直线形状变成曲线形状,丧失稳定,而不能继续承载,导致整个结构的倒塌。因此,设计时要保护构件具有足够的稳定性。

5. 研究几何组成规则 各个构件必须按照一定的合理组成方式组成的几何不变体才能应用于实际的建筑工程中。

第二节 结构的计算简图

实际结构的组成、受力和变形是很复杂的,想完全严格地按照结构的实际情况进行力学分析是非常困难的,也是没有必要的。因此,对实际结构进行力学分析时,必须作一些必要的变化,抓住主要方面,略去一些次要因素,突出地显示其基本特点,并进行科学的抽象,用一个简化了的理想模型(用简图表示)来代替实际结构。这种结构叫做**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,甚至选择错误,就会使计算结构产生误差,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如下两个基本原则。

1. 正确反映结构的实际受力情况,使计算结果具有真实、可靠性。
2. 所选计算简图应使结构、内力计算得到最大可能的简化。

计算结果的可靠性要求和计算过程的简单化要求往往是矛盾的,但又必须同时兼顾。所以在确立计算图时必须运用分析的方法,抓住问题的实质,分清主要和次要因素。在计算简图中略去某些次要问题而将反映问题本质的主要因素表达出来,才能使计算过程简便,计算结果可靠。

另外,为了更好地满足结构设计的要求,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,以提高计算结构的可靠性。

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,可采用比较简单的计算简图。而在结构的静力计算时,则应采用比较精确的计算简图。

4. 计算工具的不同。使用计算工具愈先进,就可以采用愈精确的计算简图。

合理的计算简图,既要恰当地反映实际结构的受力情况,又要使计算简化。因此,必须对实际结构进行简化处理。在做出结构的计算简图时,应按下列方式进行简化。

一、结构体系的简化

结构体系的简化包括平面简化、杆件简化及结点简化等内容。

1. 平面简化。一般的工程结构实际上都是空间结构,即各杆件相互连接成为一个空间整体以承受各种荷载。当空间结构在某个平面内的一些杆系主要承受该平面内的荷载时,则可以把空间结构分解成几个平面结构进行计算。这种简化称为结构体系的平面简化。

2. 杆件的简化。在计算简图中,结构的杆件通常以其纵轴线来代表,曲率不大的微曲杆件可以用直的轴线或折线来代替。例如:梁、柱等构件的纵轴线为直线,就用相应的直线来表示;而曲杆、拱等构件的纵轴线为曲线,则用相应的曲线表示。

3. 结点简化。结构中各杆件相互连接处称为结点。在实际结构中结点本身往往是很复杂的,但在计算简图中,通常简化为铰结点和刚结点两种。铰结点是指联接杆件的结点,是光滑无摩擦的理想铰,各杆可绕此铰结点作相对转动,因此铰结点上的弯矩为零。铰结点又分为单铰和复铰两种。单铰是指只连接两根杆件的铰,如图 1-2(a)所示;复铰是指连接两根以上杆件的铰结点,如图 1-2(b)、1-2(c)所示。刚结点是指各杆件刚固连接的点。各杆之间不能产生相对转角,刚结点所连接各杆之间的夹角在变形前后始终保持不变,如图 1-3 中 B、C 点,刚结点能够承受和传递弯矩。

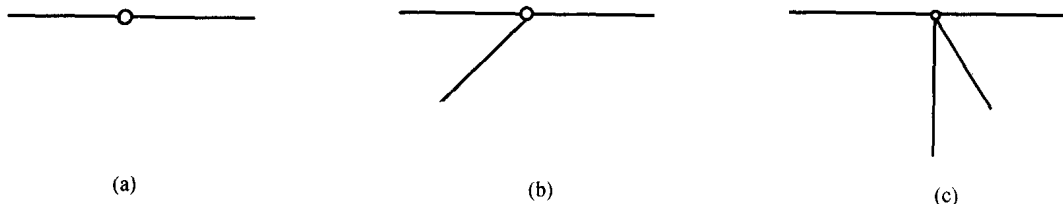


图 1-2

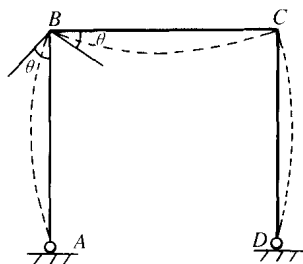


图 1-3

二、支座简化

将结构与基础或支承部分相连接的装置称为支座。它的作用是使结构保持稳定平衡,并将结构上的荷载传递到基础或支承部分上去。支座对结构的支承作用称为支座反力或约束反力。

平面结构中常用的支座形式有如下几种。

1. 活动铰支座(滚轴支座)

图 1-4(a)为桥梁中常被采用的活动铰支座示意图。这种活动铰支座既允许结构绕铰 A 转动,又允许结构通过滚轴沿着支座垫板水平方向移动,但是限制 A 点沿支承面的法线方向移动。当结构受到荷载作用时,只有垂直于支承面的法向反力 Y ,若略去摩擦力,则反力 Y 通过铰中心,这种支座常用图 1-4(b)所示的简图表示,或者用两端铰接而本身变形略去不计的杆件即链杆来表示,如图 1-4(c)所示。

在房屋建筑中,常在某些构件支承处垫上沥青杉板之类的柔性材料,这样当构件受到荷载作用时,它的 A 端可以在水平方向作微小的移动,又可绕 A 点作微小的转动。这种情况也可看成是活动铰支座,如图 1-5(a)、1-5(b)所示。

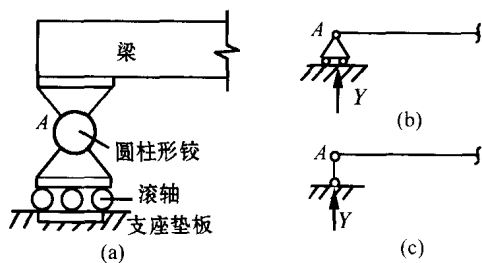


图 1-4

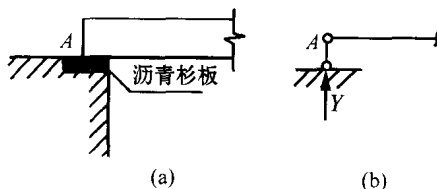


图 1-5

2. 固定铰支座

图 1-6(a)为桥梁中采用的另一种支座形式的示意图。它与活动铰支座不同之处,主要是最下部没有滚轴,因而支座不会有水平移动,只允许结构绕 A 铰转动。因此,当结构受荷载作用时,这种支座在 A 点有水平反力 X 和竖向反力 Y 。若略去 A 铰处的摩擦力,则反力 X 和 Y 均通过铰的中心 A,这种支座形式称为固定铰支座。常用图 1-6(b)或图 1-6(c)的简图表示。

在房屋建筑中,由于构造要求不同,但只要它具有约束两个方向移动的性能,而不约束转动,也可视为固定铰支座。如图 1-7(a)表示一木梁的端部,它通常与埋设在混凝土垫块中的锚栓相连接,在荷载作用下,梁端部 A 处的水平移动和竖向移动受到限制,但仍可绕 A 点作微小的转动,其简图用图 1-7(b)表示。图 1-7(c)所示为预制钢筋混凝土柱,将柱的下端插入杯形基础预留的杯口中后,用沥青麻丝填实,在荷载作用下,柱脚 A 的水平 and 竖向位移被限制,但它仍可作微小的转动,其简图用图 1-7(d)来表示。图 1-7(e)所示为现浇钢筋混凝土柱,柱在基础面上截面缩小,放有弹性垫板,其内钢筋交叉设置,这样在基础面上柱子虽不能有水平和竖向移动,但阻止转动的性能却大大削弱了,所以也可视为固定铰支座,其简图见图 1-7(d)。

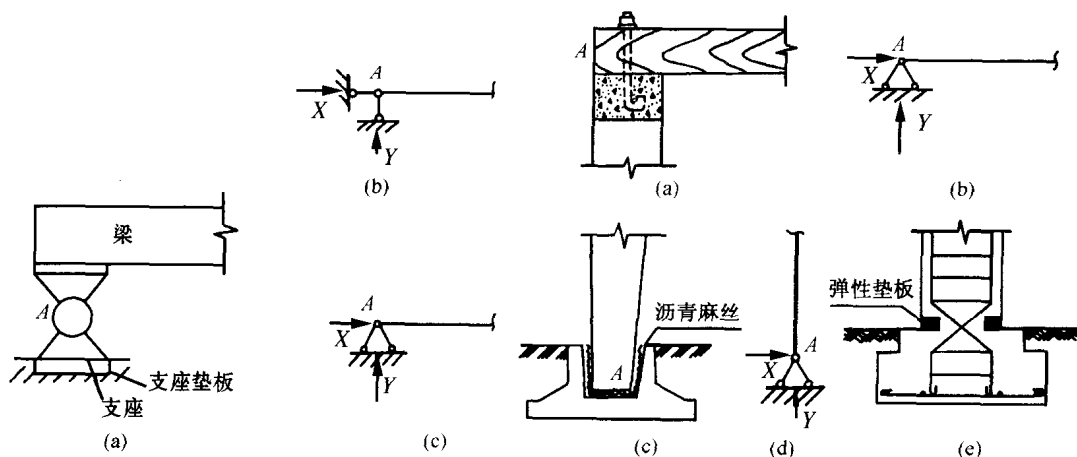


图 1-6

图 1-7

3. 固定端支座

图 1-8(a)所示的预制钢筋混凝土柱,在基础杯口内用细石混凝土浇灌填实。当柱插入杯口深度符合一定要求时,可认为柱脚是固定在基础内,限制了柱脚的水平移动、竖向移动和转动。当结构受到荷载作用时,为了分析方便,其反力可简化为水平反力 X 、竖向反力 Y 和反力矩 M ,这种支座形式称为固定端支座,可用图 1-8(b)所示的简图来表示。图 1-8(c)所示为常见的房屋雨篷,在荷载作用下的 A 端的水平、竖向移动和转动均受到限制,因此, A 端可视为固定支座,有三个方向的反力,其简图如图 1-8(d)所示。

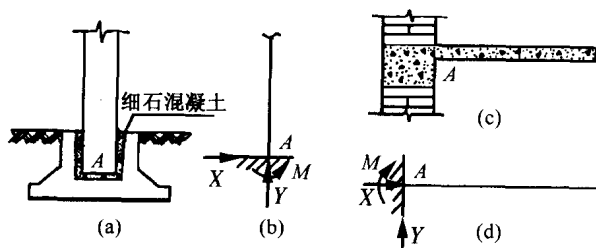


图 1-8

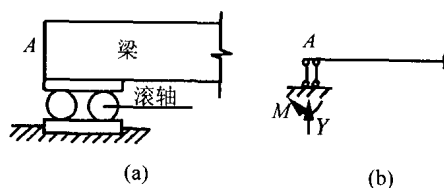


图 1-9

4. 定向支座(滑动支座)

图 1-9(a)所示的支座形式,只允许结构沿辊轴滚动的方向移动,而不能发生竖向移动和转动,称为定向支座。为了分析方便起见,其反力简化为垂直滚动方向的反力 Y ,以及反力矩 M ,它的简图以图 1-9(b)来表示。

三、荷载的简化

详见本章第四节荷载的分类。

例 1-1 图 1-10 为某单层工业厂房,各杆件结点都采用简单焊接,柱为预制柱,柱与基础的连接用细石混凝土填实,试分别对钢屋架和排架柱选取计算简图。

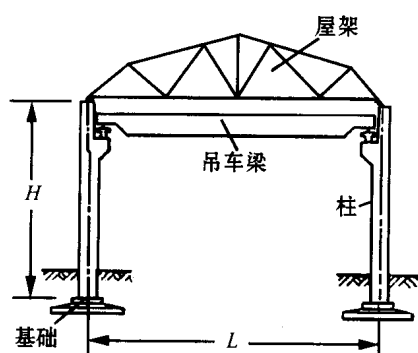


图 1-10

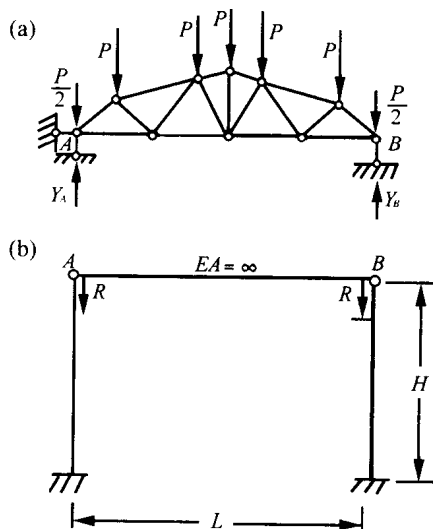


图 1-11

解:(1)结构体系的简化

由于各钢屋架及其支承柱的轴线均位于各自的同一平面内,且由屋面板和吊车梁传来的荷载均位于屋架和柱所组成的排架平面内。因此得图 1-10 所示的平面排架。

(2)钢屋架

钢屋架中各杆均用其轴线代替。由于钢屋架中所有杆的结点都采用简单焊接,但因焊缝长度有限,各杆之间可以发生微小的转动但不能相对移动。因此可简化为铰结点,并且钢屋架中各杆的轴线都位于同一平面内,并通过铰结点的中心。同样,钢屋架和钢柱之间也采用简单焊接,但因焊缝长度有限,对屋架的转动限制作用很小,而使得其端部有微小转动和伸缩的可能性。因此,可以把两端支座简化为一端为固定铰支座,另一端为活动铰支座。由屋面传来的荷载都可简化为结点集中荷载并全部作用于钢屋架所在平面内,最后得图 1-11(a)所示的简图,此简图也称为桁架。

(3)排架柱

由于上下两段柱的截面大小不同,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,如图 1-10 中的轴线表示。该排架计算跨度取下柱两轴线间的距离。屋架与柱顶的连接为简单焊接,取为铰结点。柱高取为从基础顶面到屋架下弦之间的距离,并以此作为排架的计算高度。由于屋架的刚度很大,相应变形很小,因此认为两柱顶 A、B 之间的距离

在受荷前后没有变化,即用 $EA = \infty$ 的梁来代替钢屋架。排架柱所受荷载为钢屋架给予排架柱的压力。排架柱与基础连接用细石混凝土填充缝隙,故取为固定端支座,计算简图如图 1-11(b)所示。

第三节 杆系结构的分类

由上一节可知,建筑力学研究的直接对象并不是实际的建筑物,而是代表实际结构的计算简图。因此,所谓结构的分类,实际上就是结构计算简图的分类。

结构的类型很多,可以按不同特征进行分类。

按照空间观点,结构可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在同一平面内,而且荷载也位于此平面内,则此结构称为平面结构;反之,如果组成结构的所有杆件不在同一平面内,则此结构称为空间结构。实际工程中的结构都是空间结构,但大多数结构在设计中被分解为平面结构来计算。但对于图 1-12(a)、1-12(b)所示的空间网架结构和空间薄壳结构,则应按空间结构进行计算。

按照几何观点,结构可分为杆系结构(或称为杆件结构)、薄壁结构和实体结构。薄壁结构是其厚度远小于其他两个尺度的结构。中间是一个曲面的薄壁结构,称薄壳结构,如图 1-12(b)所示。中间是一个平面的薄壁结构,称为薄板,如图 1-13(a)所示。由若干薄板围成的空间体系,称为褶皱板结构,如图 1-13(b)所示。实体结构是指三个方向的尺寸均为同一量级的结构,例如挡土墙、堤坝和块体基础等,如图 1-13(c)所示。



图 1-12

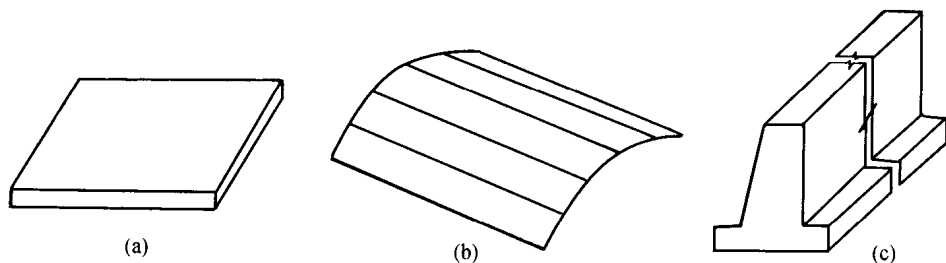


图 1-13

本书仅研究和讨论平面杆系结构,常见的有如下几种类型:

1. **梁** 它是一种受弯构件,其杆件轴线常见为直线,称为直梁或简称为梁。当杆件轴

线为曲线时称为曲梁。梁是一种常见的构件,有单跨梁,如图 1-14(a)、1-14(b)所示;多跨梁,如图 1-14(c)、1-14(d)所示两种。梁横截面上的内力一般有弯矩 M 和剪力 Q 。

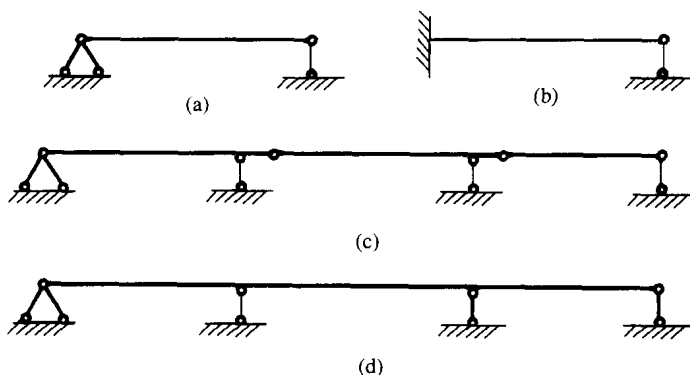


图 1-14

2. 刚架 由梁和柱整体连接成具有刚性结点的结构,称为刚架,如图 1-15 所示。刚架的结点大多数是刚性结点,也可以有部分铰结点。在荷载作用下,刚架横截面上一般有弯矩 M 、剪力 Q 和轴力 N 。

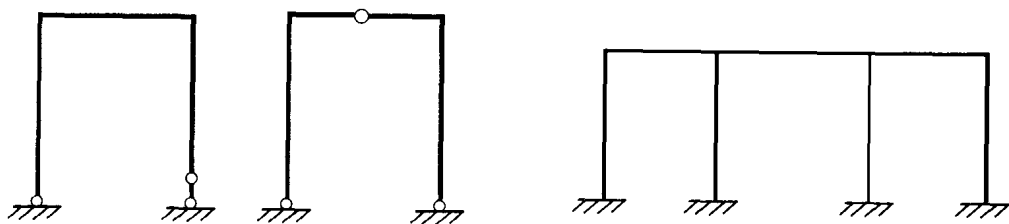


图 1-15

3. 拱 拱的轴线为曲线,且在竖向荷载作用下支座处不仅有竖向反力,而且还有水平反力,如图 1-16 所示。拱截面上的内力一般有轴力 N 、弯矩 M 和剪力 Q 。但拱通常以承受轴力为主。

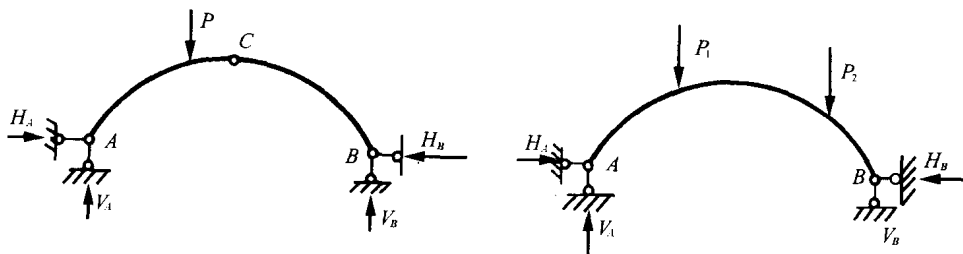


图 1-16