

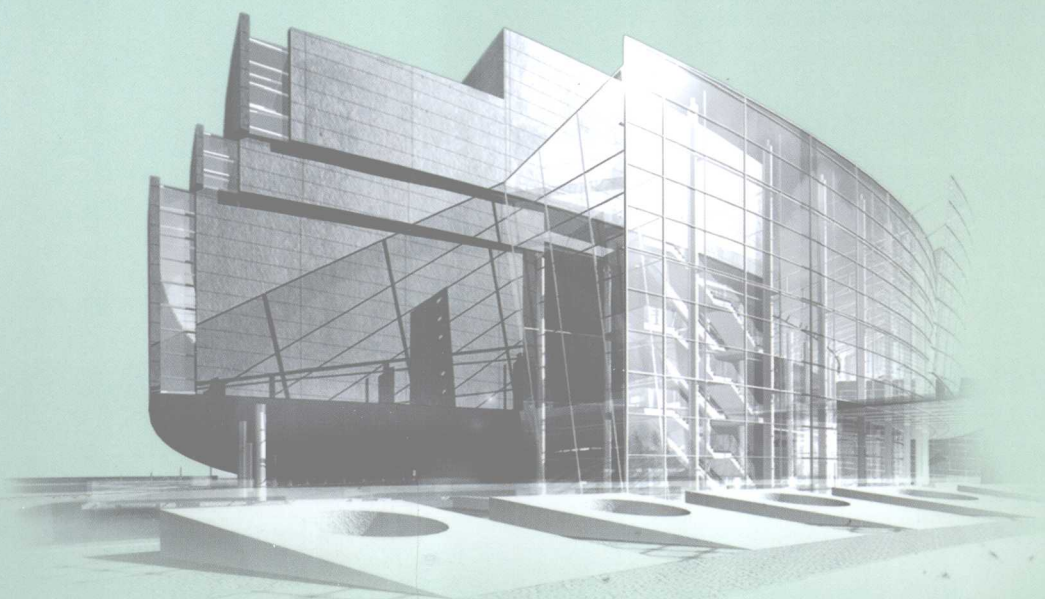
普通高等院校
土木工程专业规划教材

结构力学

教程

刘金春 杜青 刘然慧 刘润星 主编

上



人民交通出版社
China Communications Press

0342
99-上

普通高等院校
土木工程专业规划教材

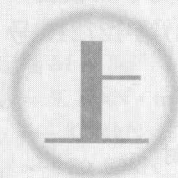
0342
99-上

JIEGOU LIXUE JIAOCHENG

结构力学

教程

刘金春 杜青 刘然慧 刘润星 主编



人民交通出版社

内 容 提 要

本教材是根据教育部批准试行的《高等工业学校结构力学教学基本要求》和当前课程教学实践及土木工程学科关于教材系列的规划而编写的,可作为工业与民用建筑、土建结构、桥梁与隧道、水工结构、地下建筑、防灾减灾与防护、铁道及公路工程等专业的结构力学教材,也可供土建类其他各专业及有关工程技术人员参考使用。

本教材分上、下两册出版,上册内容包括:绪论、平面体系的几何组成分析、静定结构的内力分析、静定结构的影响线、静定结构的位移计算、力法解超静定结构等。下册内容包括:位移法解超静定结构、渐近法和超静定结构的影响线、结构矩阵位移法、结构动力学、结构的极限荷载、弹性结构的稳定计算等。不同的专业可根据专业的需要各自取舍。每章后附有较丰富的习题及部分习题答案。

本教材在编写过程中,吸取了现有教材的优点并反映当代结构力学的研究成果,力图阐述原理严密,概念清晰,理论联系实际,说理透彻;力图使本教材能体现学科上的科学性、系统性和内容的先进性;力图适应我国国情和教学上不同层次的要求,既方便教师教,也方便学生自学。

图书在版编目(CIP)数据

结构力学教程(上、下册)/刘金春,杜青等主编. —北京:人民交通出版社,2008.8

ISBN 978-7-114-07329-8

I. 结… II. ①刘…②杜… III. 结构力学—教材 IV. 0342

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 127210 号

普通高等院校土木工程专业规划教材

书 名: 结构力学教程(上册)

著 作 者: 刘金春 杜 青 刘然慧 刘润星

责任编辑: 赵瑞琴

出版发行: 人民交通出版社

地 址: (100011)北京市朝阳区安定门外外馆斜街 3 号

网 址: <http://www.ccpress.com.cn>

销售电话: (010)59757969, 59757973

总 经 销: 北京中交盛世书刊有限公司

经 销: 各地新华书店

印 刷: 北京宝莲鸿图科技有限公司

开 本: 787×1092 1/16

印 张: 20

字 数: 504 千

版 次: 2008 年 8 月 第 1 版

印 次: 2008 年 8 月 第 1 次印刷

书 号: ISBN 978-7-114-07329-8

印 数: 0001~3000 册

定 价: 78.00 元(上、下册)

(如有印刷、装订质量问题的图书由本社负责调换)

前 言

本书是根据教育部批准试行的《高等工业学校结构力学教学基本要求》和当前课程教学实践及土木工程学科关于教材系列的规划而编写的,可作为工业与民用建筑、土建结构、桥梁与隧道、水工结构、地下建筑、防灾减灾与防护、铁道及公路工程等专业的结构力学教材,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,上册内容包括:绪论、平面体系的几何组成分析、静定结构的内力分析、静定结构的影响线、静定结构的位移计算、力法解超静定结构等。下册内容包括:位移法解超静定结构、渐近法和超静定结构的影响线、结构矩阵位移法、结构动力学、结构的极限荷载、弹性结构的稳定计算等。不同的专业可根据专业的需要各自取舍。每章后面均附有较丰富的习题和部分习题答案,以活跃思维,启发思考,有助于精解多练,提高对本专业问题的本质的认识。

本书在编写过程中,吸取了现有教材的优点并反映当代结构力学的研究成果,力图体系完整,特色鲜明,阐述原理严密,概念清晰,文字精练、生动,使本教材内容体现现代科学性、系统性、先进性和教学适用性,力图适应我国国情和教学上不同层次的要求,便于因材施教。

本书从“大土木”的专业要求出发,精选内容,抓住关键,突出重点,特别注意了教材内容的更新和吸收各校教学改革的阶段性成果,以适应 21 世纪土木工程人才的培育要求,是一套适应新专业的全新教材。

本书由河北工业大学刘金春担任主编并编写第一、九、十二、十三章,由河北工业大学杜青任主编并编写第三、五、八章,由山东科技大学刘然慧任主编并编写第二、七、十章,由内蒙古大学刘润星任主编并编写第四、十四章。参加本书编写工作的还有:山西师范大学葛吉虹并编写第十一章,内蒙古大学李万龙并编写第六章。全书经刘金春、刘然慧修改定稿。

本书在编写过程中,吸收、引用了部分国内优秀结构力学教材的观点、例题和习题。编者在此谨向这些文献的作者们致以衷心的感谢。

在本书的编写和出版过程中,得到了窦远明教授、魏连雨教授、阎西康教授的大力支持,他们对编写大纲及书稿提出了许多宝贵意见,在此,编者向他们深表感谢。

本书在编写过程中,我们虽夙兴夜寐、尽心竭力,但限于水平和经验,加之时间仓促,书中难免存在缺点和错误,诚恳地希望读者提出批评和指正。

编 者

目 录

第一章 绪论	1
§ 1-1 结构力学的研究对象和基本任务	1
§ 1-2 结构的计算简图及其分类	2
§ 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	12
§ 1-6 荷载的性质与分类	15
第二章 平面体系的几何组成分析	17
§ 2-1 概述	17
§ 2-2 几何组成分析的几个概念	18
§ 2-3 几何不变体系的简单组成规则	22
§ 2-4 瞬变体系的概念	25
§ 2-5 平面体系几何组成分析方法	26
§ 2-6 三刚片体系中虚铰在无穷远处的情况	30
§ 2-7 平面体系在静力学解答方面的特性	32
第三章 静定梁、静定平面刚架受力分析	41
§ 3-1 单跨静定梁的受力分析	41
§ 3-2 多跨静定梁的受力分析	49
§ 3-3 静定平面刚架的受力分析	52
§ 3-4 静定空间刚架的计算	65
第四章 三铰拱的受力分析	77
§ 4-1 概述	77
§ 4-2 三铰拱的受力分析	78
§ 4-3 三铰拱的图解法	85
§ 4-4 三铰拱的合理拱轴	88
第五章 静定平面桁架的受力分析	96
§ 5-1 桁架的特点、组成及其分类	96
§ 5-2 结点法	99
§ 5-3 截面法	103
§ 5-4 结点法与截面法的联合运用	107
§ 5-5 桁架内力图解法	112
§ 5-6 几种桁架受力性能的比较	114
§ 5-7 组合结构的内力计算	117
§ 5-8 零荷载法分析体系的几何组成性质	120

§ 5-9	静定结构的特性	122
第六章	影响线及其应用	135
§ 6-1	移动荷载和影响线的概念	135
§ 6-2	静力法作单跨静定梁的影响线	136
§ 6-3	间接荷载作用下的影响线	142
§ 6-4	机动法作静定梁的影响线	144
§ 6-5	三铰拱的影响线	149
§ 6-6	桁架内力影响线	150
§ 6-7	影响线的应用	157
§ 6-8	公路、铁路的标准荷载制及换算荷载	166
§ 6-9	简支梁的内力包络图和绝对最大弯矩	170
第七章	弹性体系的位移计算	182
§ 7-1	概述	182
§ 7-2	线性变形体系的实功及变形位能	184
§ 7-3	虚功原理	190
§ 7-4	静定结构在荷载作用下的位移计算	196
§ 7-5	图乘法	205
§ 7-6	静定结构由于温度变化及制造误差引起的位移计算	212
§ 7-7	静定结构在支座移动时的位移计算	216
§ 7-8	线弹性结构的互等定理	217
§ 7-9	位移影响线	221
§ 7-10	空间刚架在荷载作用下的位移计算	223
第八章	力法	236
§ 8-1	超静定结构的组成和超静定次数的确定	236
§ 8-2	力法原理和力法方程	241
§ 8-3	荷载作用下超静定结构的内力计算	246
§ 8-4	对称结构的计算	258
§ 8-5	交叉梁系的计算	269
§ 8-6	力法计算超静定拱	273
§ 8-7	温度改变、支座移动和有制造误差时超静定结构的计算	289
§ 8-8	超静定结构的位移计算	295
§ 8-9	超静定结构最后内力图的校核	299

第一章 绪 论

§ 1-1 结构力学的研究对象和基本任务

建筑结构(或简称结构)是指由建筑材料按照合理方式组成,并能承受一定荷载作用的物体或体系。换句话说,结构是建筑物中由承重构件(梁、柱等)组成的体系,是建筑物的骨架,用以承受作用在建筑物上的各种荷载。结构一般是由多个构件联结而成的,如桁架、框架等;最简单的结构是单个构件,如梁、柱等。公路和铁路工程中的桥梁、涵洞、隧道、挡土墙,以及房屋、堤坝、水塔等用以担负预定任务、支承荷载的建筑物,都可称为结构。

结构力学以结构为研究对象,研究结构的组成规律和合理形式以及结构在荷载、温度变化等因素作用下的内力、变形和稳定的计算原理和计算方法等。

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。具体说来,结构力学包括以下几方面的任务:

(1)计算由荷载(包括静力及动力荷载)、温度变化等因素在结构各部分所产生的内力,为结构的强度计算提供依据,以保证结构满足安全和经济的要求。

(2)计算由上述各因素所引起的变形和位移,为结构的刚度计算提供依据,以保证结构在使用过程中不致发生不能允许的过大变形。

(3)分析确定结构丧失稳定性的最小临界荷载,使结构物所承受的最大荷载小于该临界荷载值,以保证结构能处于稳定的平衡状态而正常工作。

(4)研究结构的组成规律,以保证在荷载作用下结构各部分不致发生相对运动。探讨结构的合理形式,以便能有效地利用材料,充分发挥其性能。

以上几个方面均要涉及内力和位移的计算问题。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。本书对静定和超静定结构的分析方法作了比较深入的阐述,以便读者能深刻地理解基本概念,掌握计算方法。

结构分析是结构设计中非常关键的一个重要环节。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。因而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。

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练习题来熟练掌握。因此,在学习本课程的过程中,不但要注意搞清基本概念,而且更为重要的是,要认真做好练习题和多做练习题,要强化对解题和运算能力的基本训练,培养分析问题和解决问题的能力,从而达到弄懂概念,掌握理论和熟练方法技巧的目的。

历来的结构分析都要涉及大量的数学计算。在计算手段不发达的时代,为了避免求解联

立线性方程组这一繁琐的数学计算,工程师和学者们常在物理概念十分明瞭的经典方法之外,引入各种力学概念和公式,以寻找其他的解决途径。电子计算机的出现,对结构力学产生了巨大的影响。过去由于缺乏现代化的计算手段,结构分析都是靠“手算”。现在情况不同了,过去无法解决的许多大型结构的计算问题,现在已经成为“电算”中的常规问题了。“电算”提高了结构力学解决问题的能力,同时使结构分析进入了一个崭新的历史阶段。因此,一些与“电算”关系密切的内容,例如能量原理、矩阵分析、有限元法、程序设计等,已经在结构力学中取得了愈来愈重要的地位。在人类已经掌握先进计算技术的今天,历史赋予力学研究者的主要任务,不再是计算手段,而是要开拓新领域,研究新问题,探求新的机理。因此,结构力学也和其他学科一样,发展进程日益加快。这就要求学生在校学习期间,注意培养自学和独立思考能力,以便在毕业走上工作岗位后,能通过自学不断地吸收新知识,研究新问题,充分发挥自己的才能。以往认为在校所学知识能够用一辈子的旧观念,已经被时代抛弃了。

结构力学原本是作为验算结构设计方案的工具而起作用的,计算对象是某一已被选定的结构。随着科学技术的发展,结构力学所要解决的问题,也在不断地充实和更新。例如,自从优化设计方法创立起来,结构计算和结构设计方案的优选已融合为一个整体,浑然难分。又如,历来的结构力学所要解决的问题,通常是已知结构本身的几何与物理参数,以及结构所受的外部作用,待求的是结构的反应。然而现在提出了相反的问题,这就是:根据外因和结构反应,寻求结构自身的几何与物理性质。除此之外,还有其他许多新的问题。因此,当前正面临着科学技术迅速发展的历史新阶段,要求人们用发展的观点来学习结构力学。

§ 1-2 结构的计算简图及其分类

一、结构的计算简图

在结构设计中,需要对实际结构进行力学分析,计算结构在荷载或其他因素作用下的内力和变形。但实际结构的组成、受力和变形情况往往很复杂,影响力学分析的因素很多,要完全按实际结构进行计算,通常很困难,甚至不可能。同时,在工程上要求计算过分精确,也是不必要的。因此,必须把实际结构抽象和简化为既能反映实际受力情况而又便于计算的图形。这种简化的图形就是计算时用来代替实际结构的力学模型,一般简称为计算简图。

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差错,甚至造成工程事故。所以,必须缜密地选择计算简图。

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,受到许多因素的影响。主要有以下因素。

(1) 结构的重要性:对于重要的结构应采用比较精确的计算简图,以提高计算的可靠性。反之,则可用较粗略的计算简图。

(2) 设计阶段:在初步设计阶段可使用较粗略的计算简图;在技术设计阶段再使用比较精确的计算简图。

(3) 计算问题的性质:通常对于结构的静力计算,可使用比较复杂的计算简图;对于结构的动力和稳定计算,由于计算比较复杂,要采用比较简单的计算简图。

(4)计算工具:使用的计算工具越先进,采用的计算简图就可以更精确些。若用计算尺计算,则计算简图应力求简单;应用电子计算机计算时,则可采用较为精确的计算简图。

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的位置,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 5 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。

1. 第一个例子结构计算简图的选取

第一个例子如图 1-1a)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)结构各部分联系的简化

首先我们看到,这个房屋顶盖是一空间结构,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 1-1b)所示。

(2)支座的简化

事实上,在屋面板与檩条之间、檩条与桁架上弦杆之间及桁架与支承垫块之间等

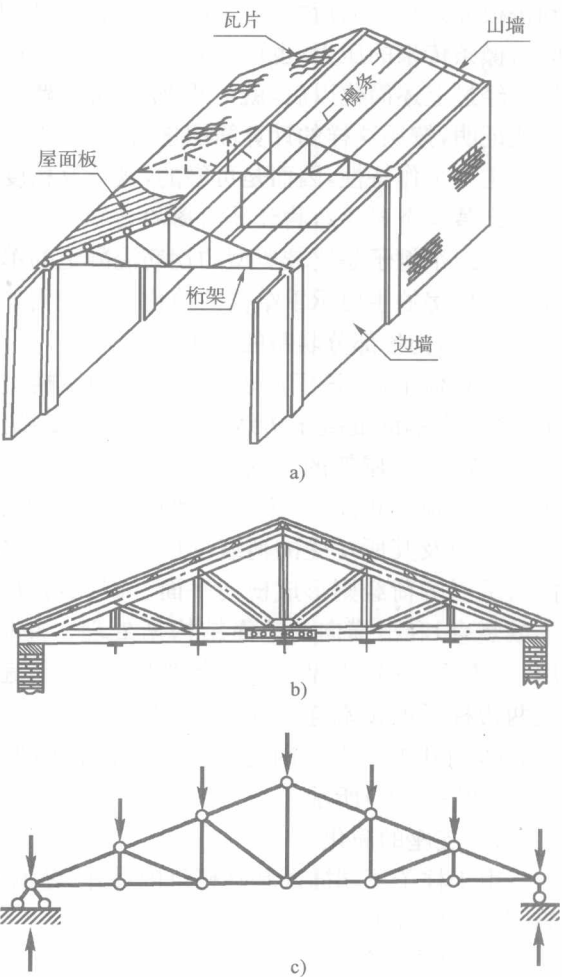


图 1-1 砖木结构民用房屋计算简图

a)砖木民用房屋结构;b)顶盖结构;c)竖向荷载下顶盖结构计算简图

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。例如在如图 1-1b)所示的构造中,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,各杆轴线相交的几何中心称为结点。由图 1-1b)所示构造可以看到,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的有关结点上。

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 1-1c)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。

2. 第二个例子结构计算简图的选取

第二个例子是比较典型的钢筋混凝土的单层工业厂房,图 1-2a)所示的是它的横剖面图。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,它的主要承重结构包括 4 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杯口内且被固定。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。左横向平面结构中,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;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,其计算简图分别如图 1-2b)和图 1-2c)所示。

(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,这样不但抗弯刚度大,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结的,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,结点连接刚性比较强,故应把它看作为连成一体折线形杆(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结的两力杆。

(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分别如图 1-2b)和图 1-2c)所示。

上面所举的两个例子,都是可以分解为平面结构的平面结构。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,在大会堂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、悬吊屋顶、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,但它的工作状况主要是空间性质的,故对于这样的一类结构,必须按空间结构的特点进行计算。

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。如何选取合适的计算简图,是结构设计中十分重要而又比较复杂的问题,不仅要掌握选取的原则,而且要有较多的实践经验。除学习本课程外,还有待于今后学习建筑结构等专业课和在工作实践中进一步解决这个问题。对于新的结构形式往往还需要通过反复试验和实践才能确定。不过,对于常用的结构形式,前人已积累了许多宝贵的经验,我们可以采用这些已为实践验证的常用的计算简图。

二、结构的分类

如上所述,结构力学研究的并不是实际的结构物,而是代表实际结构的计算简图。在本书中,今后即以“结构”一词,作为“结构计算简图”的简称,而不再加以说明,因此,所谓结构的分

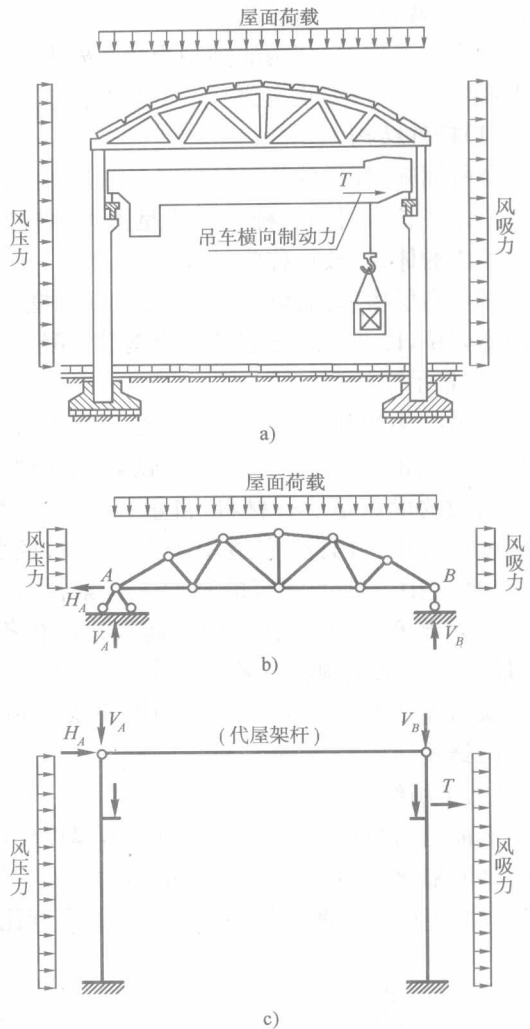


图 1-2 钢筋混凝土单层工业厂房计算简图

a)横剖面;b)竖向荷载下屋架结构计算简图;c)变截面柱(排架)计算简图

类,实际上就是计算简图的分类。

在实际工程中,结构的类型很多,按照不同的特征可以有不同的分类,常见的结构形式主要有以下 6 种。

(1)杆件结构

众所周知,杆件的几何特征是长条形的,横截面高、宽两个方向的尺寸要比杆长小得多。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,故也称为杆件体系。

例如高层房屋的钢筋混凝土框架或钢框架,南京长江大桥等大跨度钢桁架桥,以及各地崛起的钢或钢筋混凝土电视塔(图 1-3)。

(2)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,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 1-4),以及北京、上海等各大城市建成的一些大型体育场馆建筑的顶盖(图 1-5)等,它们都是悬吊结构。

(3)平板结构

平板结构的几何特征是平面形的,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。

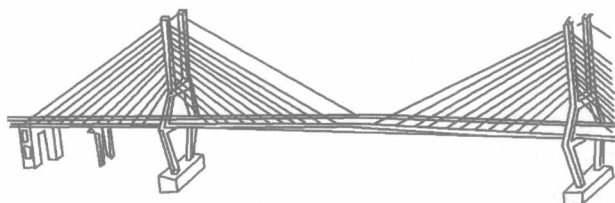


图 1-4 上海南浦大桥(主跨 423m)

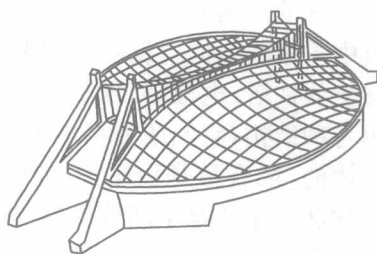


图 1-5 北京排球馆

(4)壳体结构

壳体结构的几何特征是曲面形的,其厚度也比长、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,故也叫做薄壳结构。当壳体的厚度比较大时,则称为厚壳结构。

(5)块体结构

块体结构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,故也叫做实体结构。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筑的挡土墙等,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。

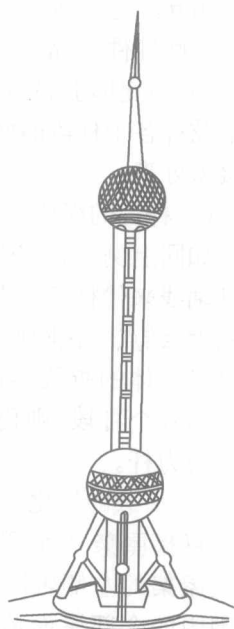


图 1-3 上海东方明珠电视塔
(总高 450m)

(6) 薄膜充气结构

众所周知,薄膜是只能承受拉力的面片材料。如果薄膜两侧所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,全部是由充气薄膜与地面形成的封闭空间体。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,全部是由充气的垫形成的密封空间体。例如,日本东京市内的体育竞技场,其顶盖结构是一气垫式充气结构,四边长各为 180m,顶高为 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。

人类认识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,例如重量仅为 $1\sim 2\text{kg}/\text{m}^2$ 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,1963~1974 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技术。最近几年来,国内也已开始从事这方面的试验研究和实际应用。

§ 1-3 支座的形式与分类

把结构与基础联系起来的装置叫做支座。支座的作用是把结构固定于基础上;同时,结构所受的荷载通过支座传于基础和地基。支座对结构的反作用力称为支座反力。平面支座的支座构造形式很多,按约束效用区分,平面结构的支座主要有以下 6 种类型:

一、可动铰支座

可动铰支座也称滚轴支座(图 1-6)。它的特征是允许被支承的结构既可以绕铰中心(圆柱中心轴)转动,也可以沿着支承面移动。支座反力只有作用点及作用线均为已知的一个力,如图 1-6b)所示的竖向反力(V)。另一种构造较为简单的辊轴支座,如图 1-6c)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 1-6d)],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,并能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。

二、固定铰支座

固定铰支座(图 1-7)的特征是允许被支承的结构绕铰中心(圆柱中心轴)转动,但不允许沿支承面移动。支座反力可分解为如图 1-7b)所示的水平反力 H 和竖向反力 V 。在垫块式支座中,若用螺栓把结构锚在支座上[图 1-7c)],则结构除可绕支座转动外,也不能有任何移动,

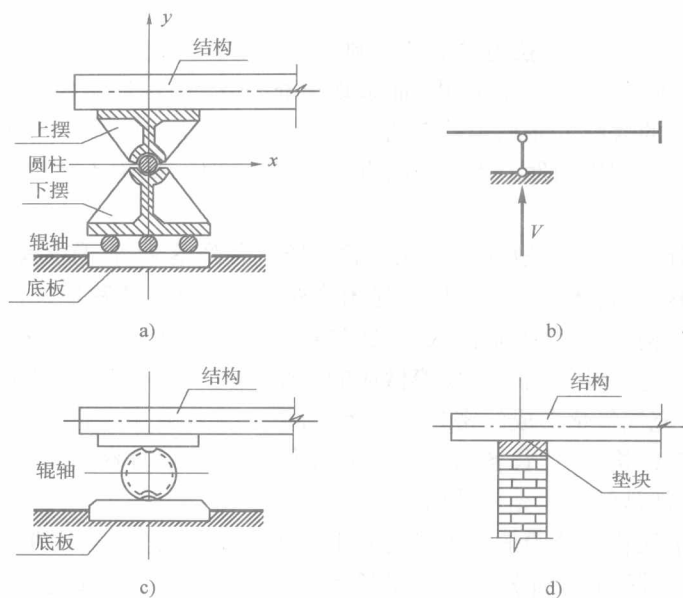


图 1-6 可动铰支座

a)可动铰构造;b)计算简图;c)可动铰构造;d)垫块式支座构造

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 1-7d)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 1-7e)]。

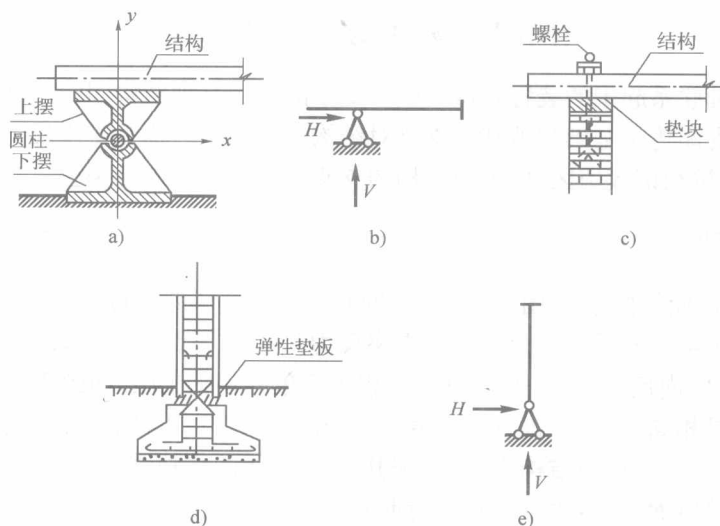


图 1-7 固定铰支座

a)固定铰支座构造;b)计算简图;c)固定铰支座构造;d)固定铰支座构造;e)计算简图

三、固定支座

固定支座(图 1-8)的特征是结构与支座联结处既不允许转动,也不允许发生水平和竖向移动。支座反力可分解为如图 1-8b)、图 1-8c)所示的水平反力 H 、竖向反力 V 和反力矩 M 。在钢筋混凝土结构中,柱子与基础的连接常采用固定支座的形式,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先分别预制,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充实[图 1-8d)]。其计算简图如图 1-8e)、图 1-8f) 所示。

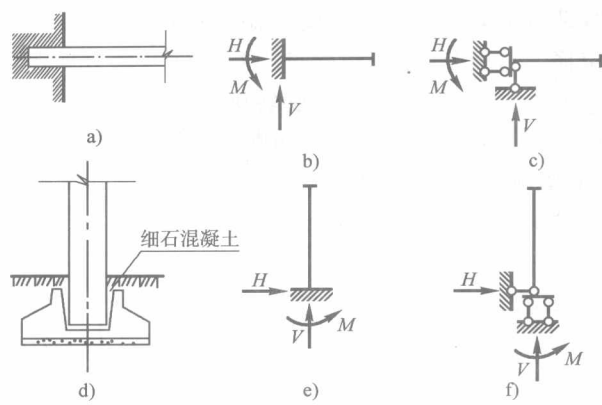


图 1-8 固定支座
a)固定支座构造;b)、c)计算简图;d)预制柱杯口基础;e)、f)计算简图

四、定向支座

定向支座也称滑移支座(图 1-9)。它的特征是允许被支承的结构沿支承面移动,但不允许有垂直支承面的移动和绕支承端的转动。支座反力可分解为如图 1-9b)所示的竖向反力 V 和反力矩 M 。

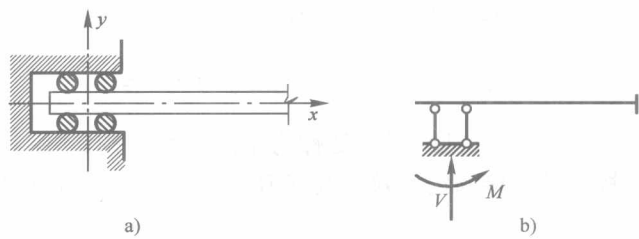


图 1-9 定向支座
a)定向支座构造;b)定向支座计算简图

五、伸缩弹性支座

这类支座在承受(拉力或压力)荷载的同时,本身将产生一定的(拉伸或压缩)弹性变形。例如图 1-10a)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 1-10b) 所示。

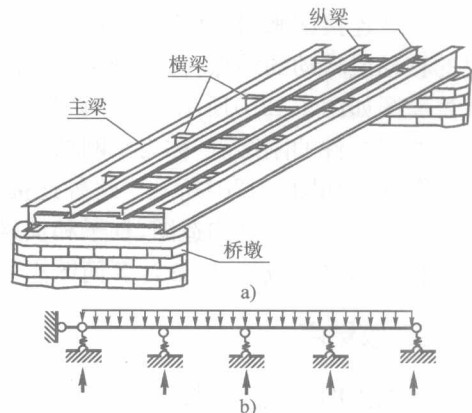


图 1-10 伸缩弹性支座
a)桥梁结构;b)纵梁计算简图

六、旋转弹性支座

这类支座在承受力矩荷载的同时,本身将产生一定的转角弹性变形。例如图 1-11a) 所示的梁,当荷载作用在伸臂部分时,截面 B 在承受力矩荷载 ($M=Pa$) 的同时,由于左边梁的变形,还将发生一个转角位移。这就是说,左边梁对于右边伸臂部分所起的作用,实际上就等同于一个旋转弹性支座。因此,可以把它简化为旋转弹性支座,如图 1-11b) 或图 1-11c) 所示。另外,在某些高耸建筑中,例如图 1-11d) 所示的烟囱,当遇到地基土壤比较松软的情况时,为了考虑地基不均匀变形的影响,有时也需要把基础简化成为旋转弹性支座,如图 1-11e) 或图 1-11f) 所示。这种弹性支座具有三个反力分量。

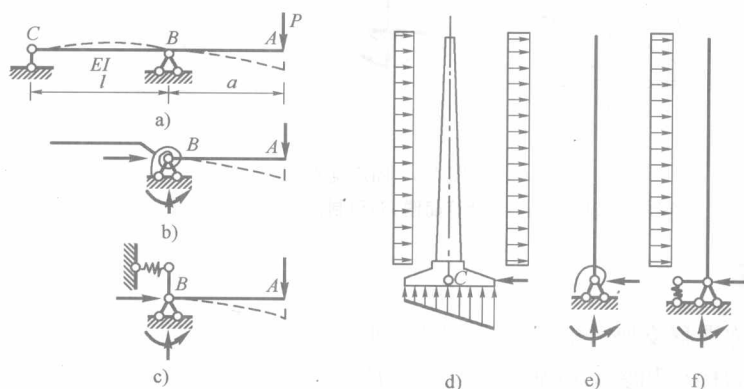


图 1-11 旋转弹性支座

a) 伸臂梁; b)、c) 旋转弹性支座计算简图; d) 高耸的烟囱; e)、f) 旋转弹性支座计算简图

§ 1-4 结点的形式与分类

结构中两个或两个以上的杆件共同联结处称为结点。钢结构、木结构和钢筋混凝土结构的结点构造方式很多,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几种类型:

一、刚结点

各杆连接起来,相互之间不可能发生任何相对的移动或转动的结点,称为刚结点。图 1-12a) 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 1-12b) 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 1-12c) 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 1-12d) 所示。这种连接两根以上杆件的刚结点,称为复刚结点。图 1-12e) 所示为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的移动或转动,其计算简图亦可取如图 1-12d) 所示。

二、铰结点

铰结点的特征是各杆可以绕结点自由转动。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 1-13a)、图 1-13b) 分别表示一个木屋架的结点和它的计算简图。但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

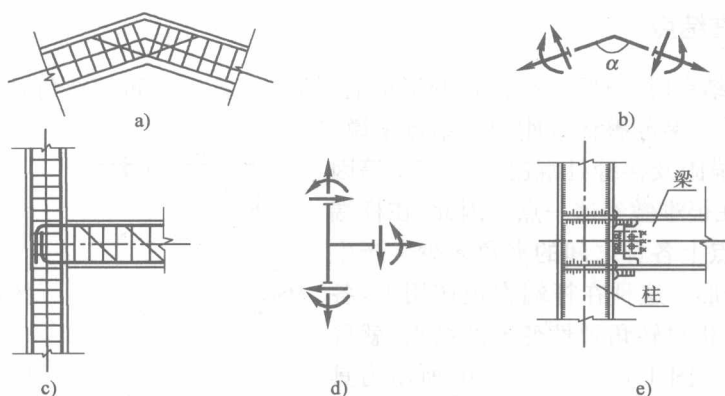


图 1-12 刚结点

a)钢筋混凝土刚结点构造;b)计算简图;c)钢筋混凝土梁柱结点做法;d)计算简图;e)钢结构梁柱结点做法

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 1-13c)表示钢桁架的一个结点,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下桁架受力特点,在计算图中也取做铰结点,如图 1-13d)所示。

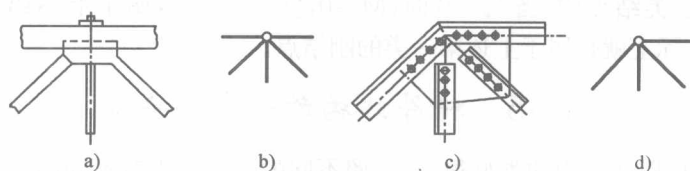


图 1-13 铰结点

a)木屋架结点构造;b)计算简图;c)钢桁架结点构造;d)计算简图

三、组合结点

若干杆件会交于同一结点,当其中某些杆件的联结应视为刚结,而另一些杆件间简化为铰结符合实际时,便形成了组合结点。图 1-14 所示为一加劲梁的计算简图,梁两端放置于支座上(支座未画出)。当横向荷载作用于实际工程中的加劲梁时,横梁以受弯为主,其他杆件主要承受轴力。为了表现这种受力特点,结点 C 即取为一组合结点。

四、定向结点

两杆连接起来,相互之间不能发生相对转动而只能沿某一方向发生相对平移的结点,称为定向结点。图 1-15a)所示为允许剪切平移的定向结点,可简称为剪移定向结点。图 1-15b)所示为允许轴向平移的定向结点,可简称为轴移定向结点。此类结点的实例虽然少见,但在结构计算中却经常用到。

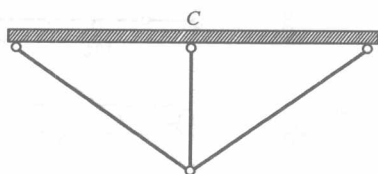


图 1-14 组合结点



图 1-15 定向结点

a)剪移定向结点;b)轴移定向结点