

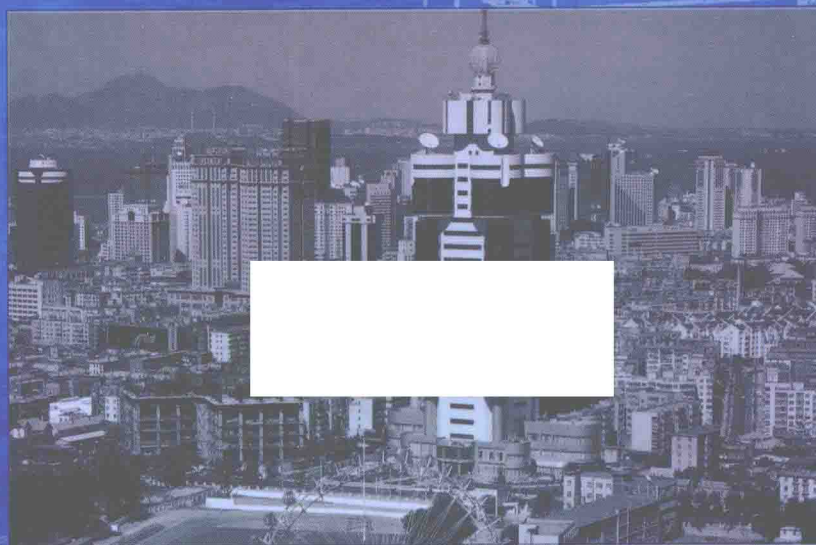


全国应用型高等院校土建类“十二五”规划教材

建筑力学

(下)

张明朗 袁维红 主编



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn



全国应用型高等院校土建类“十二五”规划教材

建 筑 力 学

(下)

张明朗 袁维红 主编



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

内 容 提 要

本书为“全国应用型高等院校土建类‘十二五’规划教材”分册之一,依据我国现行的规程规范,根据教学大纲及培养技术应用型人才的总目标编写。

全书分上、下册,共计4篇19章。上册3篇13章,第1篇静力学基础:静力学基本概念和受力分析;力系的等效与简化;重心、质心及形心;刚体和刚体系统的平衡。第2篇可变形固体杆件的静力响应分析:可变形固体的平衡和杆件内力分析;应力与应变基本概念;工程材料的基本静力学性能;弹性杆件横截面应力与应变分析;应力状态分析;弹性杆件的变形和杆件横截面的位移分析;压杆的平衡稳定性分析。第3篇可变形固体杆件的静力设计:构件的力学功能及杆形构件的静力学设计准则;杆形构件的静力学设计。下册1篇6章,包括土木工程结构基础知识;平面杆件体系的几何组成分析;静定结构的内力分析、能量法求静定结构位移;超静定结构分析;影响线。

本书可作为高职高专及应用型本科院校土建类专业的教材,也可供工程技术人员参考借鉴,还可作为成人、函授、网络教育和自学考试的学习用书。

图书在版编目(CIP)数据

建筑力学. 下 / 张明朗, 袁维红主编. — 北京 :
中国水利水电出版社, 2015. 7
全国应用型高等院校土建类“十二五”规划教材
ISBN 978-7-5170-3242-7

I. ①建… II. ①张… ②袁… III. ①建筑科学—力
学—高等学校—教材 IV. ①TU311

中国版本图书馆CIP数据核字(2015)第125690号

书 名	全国应用型高等院校土建类“十二五”规划教材 建筑力学(下)
作 者	张明朗 袁维红 主编
出版发行	中国水利水电出版社 (北京市海淀区玉渊潭南路1号D座 100038) 网址: www.waterpub.com.cn E-mail: sales@waterpub.com.cn 电话: (010) 68367658 (发行部)
经 售	北京科水图书销售中心(零售) 电话: (010) 88383994、63202643、68545874 全国各地新华书店和相关出版物销售网点
排 版	中国水利水电出版社微机排版中心
印 刷	北京纪元彩艺印刷有限公司
规 格	184mm×260mm 16开本 12.25印张 290千字
版 次	2015年7月第1版 2015年7月第1次印刷
印 数	0001—3000册
定 价	25.00元

凡购买我社图书,如有缺页、倒页、脱页的,本社发行部负责调换

版权所有·侵权必究

前 言

建筑力学是土建类各专业的一门重要的专业基础课，是后续学习结构分析、结构设计与工程施工等课程必需的理论基础。

本书编写聚焦于培养技术应用型人才，注重职业能力和就业竞争能力培养，有以下特点：

其一，注重继承。力学是一门既古老又现代的学科，有着完整的知识体系和严密的逻辑体系。建筑力学作为力学在土建类学科领域应用而形成的应用力学的分支，必须注重继承。本书充分总结教学与实践经验，对基本理论的讲授以应用为目的，在选取和组织内容时，注重力学自身的逻辑性、严密性、知识体系的相对完整性。

其二，注重发展与创新。随着时代的发展，科学技术的进步，学生学习方式的改变，建筑力学内容的选取与组织、语言表达方式、计算简图描绘方式等方面均需发展与创新。本书内容的选取注重以必需、够用为度，突出实训、实例教学，紧跟时代和行业发展步伐。如本书第1篇静力学基础，主要以力、力系为主线组织内容，第2篇可变形固体杆件的静力响应分析，主要以基本构件的变形为主线组织内容，为了便于学习，在第2篇第5章进行了详细的过渡安排，努力让初学者感到顺利、自然。本书在语言上力求简捷易懂，尽量对力学术语进行详细的解释。本书力求做到既便于教学，又便于学生自学。如每章开头都专门设了学习提示及学习要求，每章都提供适当的例题，每章后设有结论与讨论及习题，目的在于培养学生的自学能力。本书也力求体现高职高专、应用型本科教育注重职业能力和就业竞争能力培养的特点，在选取例题和习题时，尽量选取工程实际问题。

其三，注重激发阅读者兴趣，对书中主要原理、定理的首创者及首创时间进行了明确说明，对需要进一步学习的知识提出了一些经典的参考阅读书目，在每章的结论与讨论中，编写了一些帮助阅读者开阔思路的内容。

本书的第1、2、3、4、6章由王佳编写，第7章由白雪编写，第5、10、

11 章及附录由王兆南编写，第 9、12、13 章由李志刚编写，第 8 章由张明朗、袁维红编写，第 14 章由张明朗、李志刚编写，绪论、第 18 章由张明朗编写，第 15、16、17、19 章由袁维红编写。全书由张明朗、袁维红主编，张明朗统稿，蔺鹏臻主审。

在本书的编写过程中，得到许多同行的鼓励和支持，在此一并表示感谢！

限于编者水平，书中疏漏、欠妥之处在所难免，衷心希望同行和广大读者批评指正。

编 者

2015 年 5 月

目 录

前言

第 4 篇 土木工程结构的静力学响应分析

第 14 章 土木工程结构基础知识	3
14.1 土木工程结构的概念	3
14.2 土木工程结构的功能	4
14.2.1 基本功能	4
14.2.2 为完成基本功能而须具有的功能	4
14.3 土木工程结构的几何构成特点	5
14.4 土木工程结构的组成及类型	5
14.4.1 基本结构单元	5
14.4.2 土木工程结构的类型	5
14.4.3 杆件结构的类型	6
14.5 工程结构的计算简图	7
14.5.1 结构计算简图与计算模型的概念	7
14.5.2 结构计算简图的简化原则	8
14.5.3 实际杆件结构简化成计算简图的内容	8
14.5.4 结构计算模型与计算简图建立	10
14.5.5 单线图——结构计算简图的表示	11
14.6 结构上的荷载	12
14.6.1 研究作用于结构上的荷载的目的	12
14.6.2 荷载的类型	13
14.6.3 荷载的表示	13
14.6.4 荷载的计算	13
14.7 土木工程结构研究的内容	13
14.8 结论与讨论	14
14.8.1 基本概念	14
14.8.2 结构分析与结构设计	14
习题 14	14
第 15 章 平面杆件体系的几何组成分析	15
15.1 基本概念	15
15.1.1 几何不变体系和几何可变体系	15

15.1.2	几何组成分析的目的	16
15.1.3	刚片、自由度以及和约束有关的几个概念	16
15.1.4	平面杆件体系的计算自由度	18
15.1.5	平面杆件体系的分类	20
15.2	几何不变体系的组成规则	20
15.2.1	几何不变体系的组成规则	20
15.2.2	几何组成分析的步骤和示例	21
15.3	结论与讨论	24
15.3.1	基本概念	24
15.3.2	分析体系几何组成的目的	24
15.3.3	瞬变体系不能用作结构	24
习题 15		24
第 16 章	静定结构的内力分析	26
16.1	静定梁的内力分析	26
16.1.1	多跨静定梁的概念	26
16.1.2	多跨静定梁的内力计算	27
16.2	静定平面刚架的内力分析	28
16.2.1	静定平面刚架的概念	28
16.2.2	静定平面刚架的内力分析	28
16.3	静定平面桁架的内力分析	32
16.3.1	桁架的概念	32
16.3.2	简单静定平面桁架内力求解	33
16.4	三铰拱的内力分析	38
16.4.1	拱的概念	38
16.4.2	三铰拱的内力计算	38
16.5	静定组合结构的内力分析	41
16.5.1	组合结构的概念	41
16.5.2	组合结构内力计算	41
16.6	静定结构的静力特性	43
16.7	结论与讨论	43
习题 16		44
第 17 章	能量法求静定结构位移	48
17.1	结构的位移与位移计算的目的	48
17.1.1	杆系结构位移的概念	48
17.1.2	计算结构位移的目的	49
17.1.3	线弹性结构的概念	49
17.2	实功与虚功的概念	50

17.2.1 实功的概念	50
17.2.2 虚功的概念	51
17.3 弹性应变能	52
17.3.1 轴心拉压杆弹性应变能	52
17.3.2 梁的弹性应变能	53
17.3.3 实功法计算弹性体的位移	54
17.4 虚功原理	55
17.4.1 刚体虚位移原理	55
17.4.2 变形体虚力原理	56
17.5 虚功法计算静定桁架节点位移	58
17.5.1 虚功法计算静定桁架节点位移的总公式	58
17.5.2 荷载作用引起的桁架节点位移的计算公式	60
17.5.3 温度变化引起位移的计算公式	60
17.5.4 制造误差引起位移的计算公式	60
17.5.5 利用虚功法求桁架节点位移的步骤	60
17.6 虚功法计算静定梁及框架截面的位移	63
17.6.1 虚功法计算静定梁及框架位移的总公式	63
17.6.2 荷载作用引起静定梁及框架位移的计算公式	65
17.6.3 温度变化引起静定梁及框架位移的计算公式	65
17.6.4 利用虚功法求梁及框架上某一横截面位移的步骤	66
17.7 图乘法计算梁及框架截面的位移	75
17.7.1 图乘法基本原理	75
17.7.2 图乘法的应用	76
17.8 线弹性变形体的 3 个互等定理	79
17.8.1 功的互等定理	79
17.8.2 位移互等定理	80
17.8.3 反力互等定理	80
17.9 结论与讨论	81
17.9.1 基本概念	81
17.9.2 基本原理	81
17.9.3 求线弹性结构位移的方法	81
17.9.4 广义位移和广义虚单位荷载对应示例	82
习题 17	83
第 18 章 超静定结构分析	85
18.1 超静定结构及其超静定次数	85
18.1.1 超静定结构的概念	85
18.1.2 超静定次数的确定	86
18.1.3 超静定结构内力分析方法分类	87

18.1.4	超静定结构分析	88
18.2	变形协调法——力法	90
18.2.1	一次超静定结构的力法求解	90
18.2.2	多次超静定结构的力法求解	104
18.2.3	超静定结构的位移计算	117
18.2.4	力法计算中结构对称性的利用	118
18.2.5	力法的优、缺点	125
18.3	转角位移法分析超静定梁与框架	125
18.3.1	转角位移法求解思路简介	126
18.3.2	等截面直梁的转角位移方程	127
18.3.3	利用转角位移法分析超静定结构	136
18.3.4	转角位移法的基本体系	144
18.3.5	对称结构的位移法计算	157
18.4	力矩分配法	158
18.4.1	基本概念	159
18.4.2	单节点力矩分配法计算实例	161
18.5	超静定结构的特性	162
18.6	结论与讨论	163
18.6.1	基本概念	163
18.6.2	基本原理	163
习题 18		163

第 19 章	影响线	171
19.1	影响线的概念	171
19.2	静力法做影响线	173
19.2.1	反力的影响线	173
19.2.2	剪力的影响线	173
19.2.3	弯矩的影响线	174
19.2.4	内力的影响线与内力图的区别	176
19.2.5	间接荷载作用下影响线的绘制方法	177
19.3	机动法做影响线	178
19.3.1	机动法绘制静定梁影响线的原理	178
19.3.2	机动法绘制静定梁影响线的步骤	179
19.4	影响线的应用	180
19.5	结论与讨论	185
19.5.1	基本概念	185
19.5.2	基本原理	186
习题 19		186



第4篇

土木工程结构的静力学 响应分析

本篇主要介绍土木工程结构中平面结构的静力学响应分析。

第 14 章 土木工程结构基础知识

学习提示

本章主要介绍土木工程结构的概念、功能，土木工程结构的基本类型及土木工程结构的计算简图。这些内容是土木工程结构分析的基础。

学习要求

通过学习，掌握土木工程结构的概念，了解土木工程结构的基本类型，掌握土木工程结构计算简图的简化原则和简化方法。

14.1 土木工程结构的概念

土木工程结构是土木工程中各类建筑物的一部分或全部，它是由结构用建材制成的基本结构单元或由基本结构单元连接而成的体系，用来形成房屋建筑所需空间及形成交通建筑上所需跨越等；起到承受、传递自身荷载及其建筑物使用过程中作用于其上其他的荷载；若将构成这一体系的构件及地基看成是刚体，该体系和地基构成的新体系一般是几何不变体系。

图 14.1 所示为钢筋混凝土板架柱装配体系的单层厂房结构体系，图 14.2 所示为钢筋混凝土蓄水池，图 14.3 所示为钢筋混凝土框架结构体系。

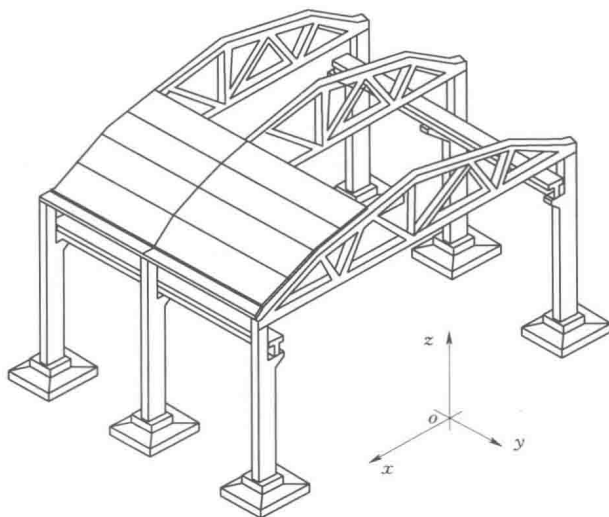


图 14.1

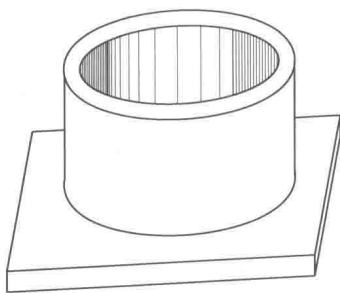


图 14.2

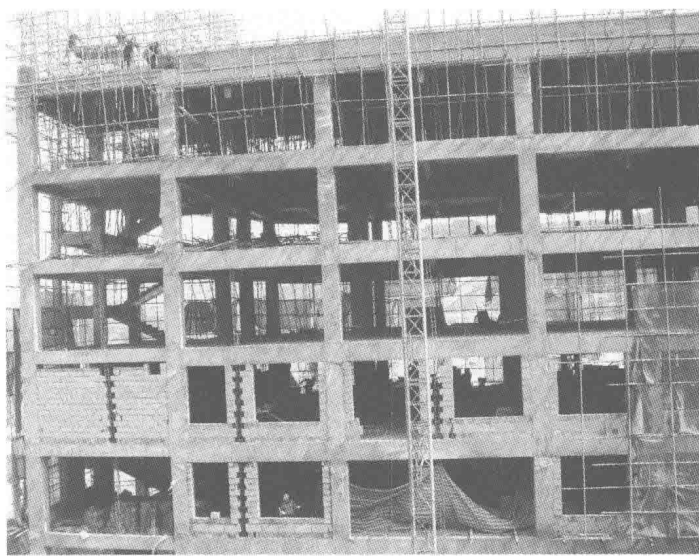


图 14.3

14.2 土木工程结构的功能

14.2.1 基本功能

土木工程结构作为建筑物的全部或一部分，其基本作用是完成建筑物的功能。不同的建筑物有不同的功能要求，房屋建筑的基本功能是提供给人类人造的空间或活动场所。房屋建筑工程结构的基本作用就是支撑起建筑上所需要的空间；桥梁的基本功能是形成跨越；大坝的主要作用是阻挡水流。

14.2.2 为完成基本功能而须具有的功能

任何土木工程结构要完成其基本功能，必须具有的功能是：在设计使用期间能够承受和传递自身荷载及建筑物使用过程中出现的其他荷载，不会失稳，不会发生破坏，并且不会出现影响使用的现象（过大的变形、裂缝等）。具体而言，建筑结构在建筑物使用期间在各种荷载及环境作用下应具有安全性、适用性及耐久性。

工程师设计、建造完成的一结构体系，应具有以上能力，如何才能使结构体系具有所述能力呢？有以下问题需要解决。

问题 1：不同的结构体系上荷载都有哪些？各有什么特点？如何计算？

问题 2：在确定的荷载作用下具体的工程结构有何响应（即结构是在弹性状态下？弹塑性状态下？结构产生损伤了吗？会倒塌吗？它的变形是怎样的、内力又是怎样的？结构是如何将这些荷载承受下来并传到地基深处的？）。

问题 3：怎样设计结构才能使结构体系完成它的功能？

对问题 1，将在本章 14.6 节进行探讨；问题 2 的一部分解答，即求出荷载作用下工程结构处于弹性状态时的响应，具体通过建立结构分析模型，并求出荷载作用下结构的响

应,通常称为结构分析,是本课程中探讨的重点内容。结构是如何将这些荷载承受下来并传到地基深处的,将在地基基础课程中学习;结构损伤及倒塌问题是目前工程研究的热点。

对问题 3,需要学习相应其他课程才能解决,如混凝土结构、钢结构、可靠度理论等。

14.3 土木工程结构的几何构成特点

在一般情况下,都要求建筑物固定在地基上,在荷载的作用下不会发生倾覆或相对地基的移动,并保证结构各部分不会发生相对运动,能够承受、传递荷载并保持平衡。

在 4.3 节讨论刚体静力平衡问题中,土木工程结构一般是完全被约束住的物体或物体系统,并指明当将土木工程结构中所有构件看成刚体,土木工程结构在外力作用下将不会发生运动。

以上描述说明了土木工程结构的几何构成特点,即当把地基和土木工程结构中所有构件看成刚体时,二者形成的新体系从几何构成上来说一般情况下应该是几何不变体系。具体的讨论将在第 15 章展开。

14.4 土木工程结构的组成及类型

14.4.1 基本结构单元

所有工程结构都由结构用建材制成的单个基本结构单元构成或由多个基本结构单元连接而成。基本的结构单元有:轴向受力构件——拉杆、拉索;轴向受压构件——柱;弯剪构件——梁,所有构件都是轴心受力杆——平面桁架;横向荷载作用下受拉的柔性构件——悬索;弯曲的受压构件——拱;梁和柱以刚性连接成的体系——框架;主要通过受弯传递荷载的平面构件——板;轴心拉、压杆通过铰接连接成的体系——桁架等。

14.4.2 土木工程结构的类型

工程结构的类型很多,可以按照不同的特征分类。

1. 按几何特征分类

(1) 杆件结构。这类结构由杆件组成。杆件的几何特征是其长度远大于截面的宽度和高度,如图 14.4 所示的框架。

(2) 板壳结构。板壳结构也称为薄壁结构,它的几何特征是其厚度远小于它的长度和宽度。当它为一平板状物体时,称为薄板;当其具有曲面外形时,称为薄壳。由薄板和薄壳可组成各种薄壁结构,如图 14.2 所示的蓄水池、图 14.4 所示的



图 14.4

楼盖、图 14.5 所示的冷却塔。

(3) 实体结构。它的几何特征是长、宽、厚 3 个方向尺寸约为同一数量级。常见的如堤坝、块式基础，如图 14.6 所示的大坝。



图 14.5

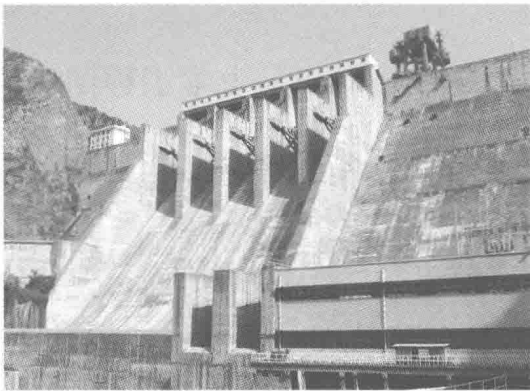


图 14.6

2. 按空间特征分类

(1) 空间结构。组成结构杆件的轴线及外力不在同一平面内。一般结构实际上都是空间结构，各部分互相连接成为一个空间整体，用来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因素将实际结构分解成平面结构。

(2) 平面结构。组成结构的所有杆件的轴线及荷载都在同一平面内。

3. 按静力特征分类

按照静力特征，结构可分为**静定结构**和**超静定结构**。这一分类在理论上具有重要意义。若在任意荷载作用下，结构的全部反力和内力都可以由静力平衡条件确定，这样的结构便称为静定结构；若只靠平衡条件还不能确定全部反力和内力，还必须考虑变形条件才能确定，这样的结构便称为超静定结构。

本书主要研究平面杆件结构的组成及平面杆件结构的弹性分析，想要进一步了解结构的弹塑性分析及薄壁及实体结构的分析，可参阅相关文献。

14.4.3 杆件结构的类型

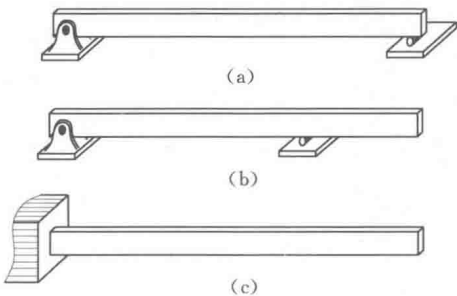


图 14.7

本书研究的对象主要是杆件结构。杆件结构按其受力特性不同又可分为以下几种：

(1) 梁。梁是一种受弯杆件，其轴线通常为直线。梁有单跨和多跨。图 14.7 所示为 3 种单跨梁。

(2) 拱。拱的轴线为曲线且在竖向荷载作用下会产生水平反力，这使得拱内弯矩比跨度、荷载相同的梁的弯矩小。图 14.8 所示的几种拱桥就是拱结构。



图 14.8

(3) 刚架。刚架又称为框架，由梁和柱以刚性连接而成的平面体系。图 14.9 所示为水闸闸门提升设施。

(4) 桁架。桁架也由直杆组成，但所有节点均为铰节点，当仅受到作用于节点的集中荷载时，各杆只产生轴力，如图 14.10 所示。



图 14.9

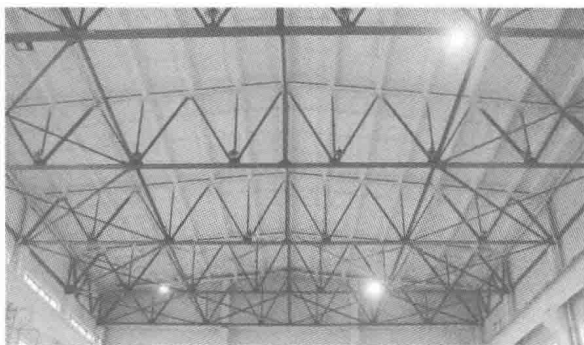


图 14.10

(5) 组合结构。这是指由桁架和梁或桁架与刚架组合在一起的结构，其中有些杆件只承受轴力，另一些杆件则同时还承受弯矩和剪力。

14.5 工程结构的计算简图

14.5.1 结构计算简图与计算模型的概念

科学研究是对考察体通过科学抽象与合理简化，略去次要因素并抓住其本质特征而建立近似写照模型来进行分析的。土木工程结构的力学分析也是按照这样的道理建立力学模型进行的，即利用力学、工程结构知识和实践经验，根据结构实际的受力、变形的情形，对结构进行合理的简化及抽象；经简化后可以用作分析计算的模型，称为结构的计算简图或力学模型。为了便于画出，计算简图用简单图形表示，一般用构件的轴线（单线条

或双线条)表示结构构件位置及长度,构件截面尺寸及形状在计算简图中没有表示(构件截面形状及尺寸画在旁边或用文字说明),构件间连接构造、支座构造也用简单的图形表示。以力学模型为基础,依据相应的力学及物理原理建立的表示作用于结构上外力与结构的力学响应各个量之间的数学结构,称为结构的**计算模型**。

对工程结构的力学分析都是在计算简图上进行的。计算简图的选择,直接影响计算的工作量和精确度。如果所选择的计算简图不能反映结构的实际受力情况,就会使计算工程结构产生差错,甚至造成工程事故。

14.5.2 结构计算简图的简化原则

一般而言,将一个实际的工程结构建成计算简图应依照以下原则。

1. 可靠性原则

建立计算简图要从建筑结构的实际出发,建成的计算简图应正确地反映实际结构的主要受力特征,并保证后面的计算模型能够建成,且从计算模型中求出的结果能够达到工程设计检验的要求。可靠性原则应该是做成计算简图的基本原则,是结构的力学分析在工程应用中得以认可的基础。

2. 可行性及经济性原则

做计算简图要分清主次,略去次要因素,使计算简化,以保证计算模型的可行性及经济性。简化的目的有二:其一是使结构分析能够进行,即能够应用数学工具进行描述、处理和有效地量化计算;其二是在对应的目的下所需的时间、设备及人力等最少。采用不同的计算简图,相应的计算模型、计算设备、计算手段将有可能不同。采用手工计算方法,一般情况只能采用平面结构计算简图;采用电算,就可以任意采用平面、空间或实体结构模型。逼近实际结构的计算简图,越是精细,对计算设备、计算手段的要求越高,相应地计算出的结果也会越逼近结构实际的力学响应。

应该指出,以上两原则在一定程度上是矛盾的,对具体的情况要根据结构受力特点在保证可行性及经济性的条件下,争取获得较为可靠的结果。

14.5.3 实际杆件结构简化成计算简图的内容

可以利用一些原理,如圣维南原理、结构的对称与反对称原理等结合工程经验对实际的结构从下面几个方面进行假设及简化。

1. 对杆件、节点及支座的假设及简化

(1) 杆件。杆件用其轴线表示,直杆为直线段,曲杆为曲线段。

(2) 节点。杆件结构中各杆件间相互连接处称为节点。节点一般可以简化为以下几种类型。

1) 铰节点,其特点是节点所连接的各杆都可以绕节点在杆件平面内转动,如图 14.11 (a) 所示。刚性结构的变形一般很小,故当连节点允许有微小的转动时,也视作铰节点,如图 14.11 (b) 所示,钢梁和柱子间用螺栓连接,梁的上下边缘处没有进行焊接,故而梁可以绕柱子做微小的转动,在进行结构分析时,将其简化为铰节点。

2) 刚节点,其特点是节点所连接的各杆都不能绕节点做相对转动,即各杆之间的夹角在变形前后保持不变。图 14.12 (a) 所示钢柱和基础之间先通过螺栓连接定位后浇筑