

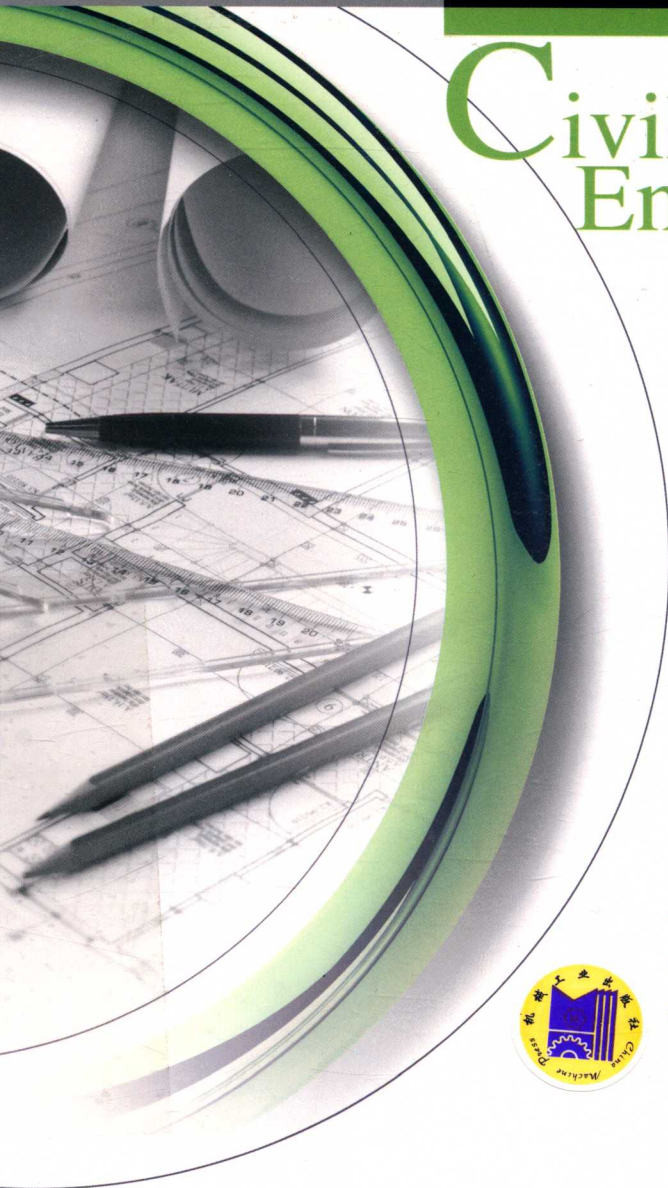


应用型本科土木工程系列规划教材

结构力学

Civil
Engineering

◎ 付向红 主编



- ◆ 与职业资格考试相衔接
- ◆ 与新材料、新技术、新规范同步
- ◆ 提供电子课件和课后习题参考答案



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

应用型本科土木工程系

结 构 力 学

主 编	付向红			
副主编	李 珂	吴 萍		
参 编	牛志强	袁 棫	王志博	
主 审	姜黎黎			

机械工业出版社

本书是应用型本科土木工程系列规划教材之一。全书共十章,包括绪论、平面体系的几何构造分析、静定结构受力分析、结构位移计算、力法、位移法、渐近法和近似法简介、影响线及其应用、结构动力计算基础、结构的稳定性计算。为了满足应用型人才的培养要求,本书对内容进行了精简,并注重与实际紧密结合。每章末尾有小结、思考题和习题。

本书除可作为应用型本科院校土木工程专业的教材外,还可作为土建类其他各专业学生及一般工程技术人员的参考用书。

图书在版编目(CIP)数据

结构力学/付向红主编. —北京:机械工业出版社, 2017. 4

应用型本科土木工程系列规划教材

ISBN 978-7-111-56044-9

I. ①结… II. ①付… III. ①结构力学-高等学校-教材 IV. ①0342

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2017) 第 027768 号

机械工业出版社 (北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

策划编辑: 李宣敏 责任编辑: 李宣敏 于伟蓉 责任校对: 刘秀芝

封面设计: 张 静 责任印制: 李 昂

三河市宏达印刷有限公司印刷

2017 年 6 月第 1 版第 1 次印刷

184mm×260mm·16 印张·419 千字

标准书号: ISBN 978-7-111-56044-9

定价: 40.00 元

凡购本书, 如有缺页、倒页、脱页, 由本社发行部调换

电话服务

网络服务

服务咨询热线: 010-88379833

机工官网: www.cmpbook.com

读者购书热线: 010-88379649

机工官博: weibo.com/cmp1952

教育服务网: www.cmpedu.com

封面无防伪标均为盗版

金书网: www.golden-book.com

前言

我国应用型本科教育正处在全面提升质量与加强内涵建设的重要阶段，为了推动土建类应用型本科教育课程改革和教材的发展，特编写符合应用型本科院校土木工程专业人才培养特点的系列教材。

针对培养应用型人才的特点，本书在编写中体现内容精炼、理论联系实际、学以致用原则，做到重点突出、逻辑性强、通俗易懂、利于教学。结构上遵循循序渐进、承上启下的规律。书中例题选材典型，重在巩固概念，以点带面。每章后有小结，总结本章的重点难点。思考题和习题按讲授内容顺序逐步展开，便于自学。

本书内容包括绪论、平面体系的几何构造分析、静定结构受力分析、结构位移计算、力法、位移法、渐近法和近似法简介、影响线及其应用、结构动力计算基础、结构的稳定性计算，涉及面较广，与相关课程和工程实际联系紧密。

本书第1章、第8章由郑州科技学院袁棣编写；第2章由南昌大学吴萍编写；第3章由安阳工学院李珂编写；第4章、第5章由郑州科技学院牛志强编写；第6章、第10章由河南理工学院万方科技学院王志博编写；第7章、第9章由安阳工学院付向红编写。全书由哈尔滨理工大学姜黎黎审稿。

由于编者水平有限，书中难免存在不足之处，敬请读者、专家指正，提出建议，以便进一步修订完善。

编者

目 录

前言	计算	87
第 1 章 绪论	本章小结	89
1.1 结构力学的研究对象和研究内容	思考题	89
1.2 结构的计算简图及简化要点	习题	90
1.3 杆件结构的分类和荷载分类	第 5 章 力法	91
本章小结	5.1 概述	91
思考题	5.2 力法的基本概念	95
习题	5.3 力法的典型方程	98
第 2 章 平面体系的几何构造分析	5.4 力法举例	101
2.1 几何构造分析的基本概念	5.5 对称性的利用	108
2.2 几何不变体系的简单组成规则	5.6 温度改变和支座移动时超静定结构的计算	114
2.3 几何构造分析示例	5.7 超静定结构的位移计算	118
本章小结	5.8 超静定结构计算的校核	121
思考题	5.9 超静定结构的特性	125
习题	本章小结	125
第 3 章 静定结构受力分析	思考题	126
3.1 截面内力计算及内力图特征	习题	127
3.2 多跨静定梁	第 6 章 位移法	132
3.3 静定平面刚架	6.1 位移法的基本概念	132
3.4 静定平面桁架	6.2 等截面直杆的形常数和载常数	133
3.5 组合结构	6.3 位移法的基本未知量和基本体系	138
3.6 三铰拱	6.4 位移法的典型方程	141
3.7 静定结构的特性	6.5 位移法计算应用举例	144
本章小结	6.6 用直接平衡法建立位移法方程	156
思考题	6.7 对称结构的计算	159
习题	本章小结	162
第 4 章 结构位移计算	思考题	162
4.1 结构位移计算概述	习题	163
4.2 变形体系的虚功原理	第 7 章 渐近法和近似法简介	167
4.3 结构位移计算的一般公式	7.1 力矩分配法	167
4.4 荷载作用下的位移计算	7.2 无剪力分配法	179
4.5 图乘法	7.3 分层法	181
4.6 静定结构支座移动时的位移计算		
4.7 静定结构温度改变时的位移		

7.4 剪力分配法·····	185	9.1 结构动力计算的基本概念·····	214
7.5 反弯点法·····	188	9.2 单自由度体系的自由振动·····	216
本章小结·····	191	9.3 单自由度体系的受迫振动·····	220
思考题·····	191	9.4 两个自由度体系的自由振动·····	226
习题·····	192	9.5 两个自由度体系在简谐荷载 作用下的受迫振动·····	232
第8章 影响线及其应用 ·····	194	本章小结·····	237
8.1 移动荷载和影响线的概念·····	194	思考题·····	238
8.2 静力法作简支梁影响线·····	196	习题·····	238
8.3 机动法作影响线·····	200	第10章 结构的稳定性计算 ·····	240
8.4 影响线的应用·····	202	10.1 稳定的概念及两类稳定问题·····	240
8.5 简支梁的内力包络图和绝对 最大弯矩·····	207	10.2 静力法确定临界荷载·····	244
本章小结·····	211	本章小结·····	246
思考题·····	212	思考题·····	247
习题·····	212	习题·····	247
第9章 结构动力计算基础 ·····	214	参考文献 ·····	248

第1章 绪 论

1.1 结构力学的研究对象和研究内容

1.1.1 结构力学的研究对象

1. 结构的概念

土木工程中的各类建筑物在建造及使用过程中都要承受各种力的作用，工程中习惯把主动作用于建筑物上的外力称为荷载。自重、风压力、水压力、土压力及车辆对桥梁的作用力等都属于荷载。在建筑物中承受和传递荷载而起骨架作用的部分或体系称为结构。最简单的结构可以是一根梁或一根柱，但往往一个结构是由多个简单结构所组成，这些简单结构又称为构件。单层工业厂房的基础、柱、屋架、吊车梁及屋面板等通过相互联结而构成工业厂房的骨架（图 1-1）。民用建筑中的框架（图 1-2）、公路与铁路工程中的桥梁（图 1-3），以及水坝（图 1-4）、挡土墙（图 1-5）等，都是一些典型的结构。

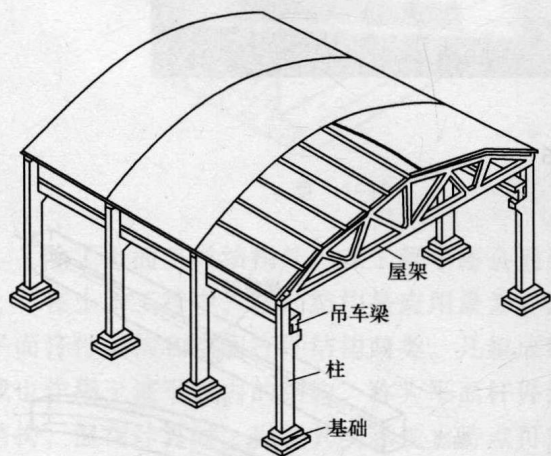


图 1-1



图 1-2

2. 结构的分类

工程中常见的结构按其几何特征一般分为杆件结构、板壳结构和实体结构。其中杆件结构为结构力学的研究对象，另两类结构是弹塑性力学的研究对象。

（1）杆件结构 杆件结构是指由杆件组成的结构，如梁、柱这样的构件即为杆件。杆件的几何特征是：三个方向尺寸中，长度 l 比其横截面的宽度 b 和厚度 h 远远大得多。横截面和轴线是杆件的两个主要几何因素，前者指的是垂直于杆件长度方向的截面，后者则为所有横截面形心的连线（图 1-6）。如果杆件的轴线为直线，则称为直杆（图 1-7a）；若为曲线，则称为曲杆（图 1-7b）。图 1-8 所示钢筋混凝土屋架就是一个杆件结构。

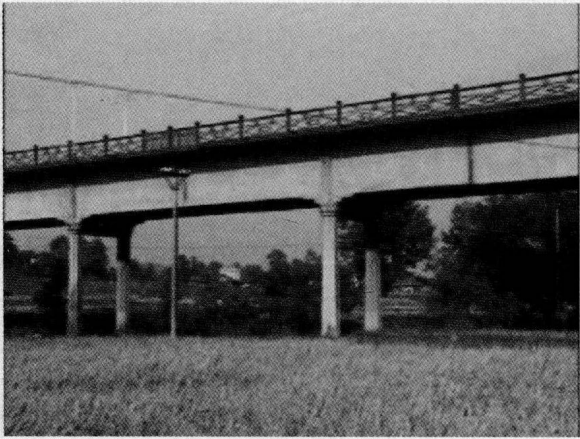


图 1-3

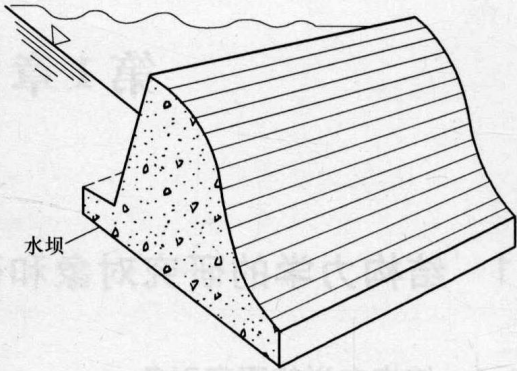


图 1-4

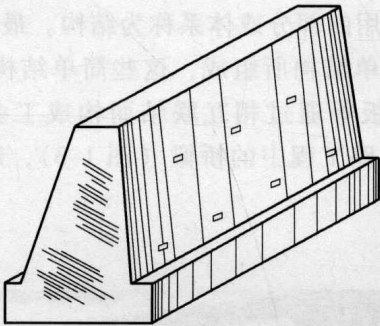


图 1-5

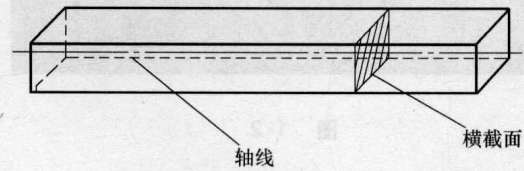


图 1-6

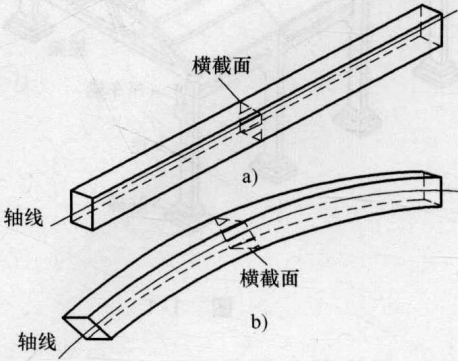


图 1-7

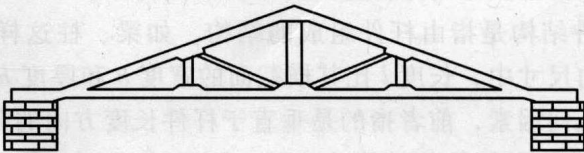


图 1-8

(2) 板壳结构 由薄板或薄壳组成的结构称为板壳结构, 也称为薄壁结构。薄板和薄壳的几何特征是它们的长度 l 和宽度 b 远大于其厚度 h 。当构件为平面状时称为薄板, 如图 1-9a 所示, 由几块平板组合, 可得折板; 当构件为曲面状时称为薄壳, 如图 1-9b 所示。

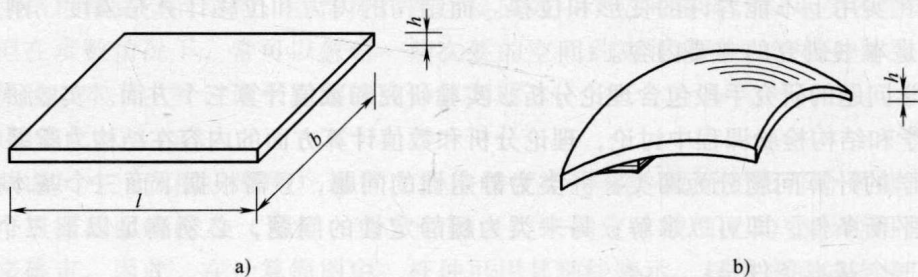


图 1-9

(3) 实体结构 实体结构的几何特征是: 三个方向尺寸中, 长度 l 、宽度 b 和厚度 h 大致相当。挡土墙 (图 1-10)、块形基础 (图 1-11) 等都是实体结构。

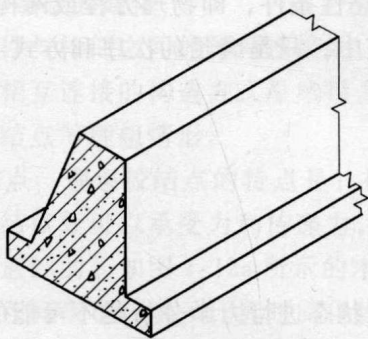


图 1-10

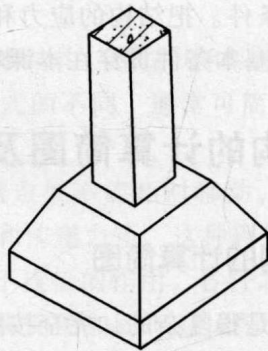


图 1-11

除了上面三类结构外, 在工程中还会遇到悬索结构、充气结构等其他类型的结构。

在土木工程中, 杆件结构是应用最为广泛的结构形式。按照空间特征, 杆件结构又可分为平面杆件结构和空间杆件结构两类。凡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的结构, 称为平面杆件结构, 否则称为空间杆件结构。实际结构多为空间结构, 但在计算时, 根据其实际受力特点可简化为平面结构来处理。

狭义的结构往往指的就是杆件结构, 而通常所说的结构力学就是指杆件结构力学。

结构力学与理论力学、材料力学、弹塑性力学有密切的关系。理论力学着重讨论刚体运动的基本规律, 其余三门力学着重讨论结构及其构件的强度、刚度、稳定性和动力反应等问题。其中材料力学以单个杆件为主要研究对象, 结构力学以杆件结构为主要研究对象, 弹塑性力学以实体结构和板壳结构为主要研究对象。

1.1.2 结构力学的研究内容

结构力学的任务是根据力学原理研究在外力和其他外界因素作用下结构的内力和变形, 结构的强度、刚度、稳定性和动力反应, 以及结构的组成规律。具体地说, 包括以下几个方面:

- 1) 讨论结构的组成规律和合理形式, 以及结构计算简图的合理选择。
- 2) 讨论结构内力和变形的计算方法, 进行结构的强度和刚度的验算。

3) 讨论结构的稳定性以及在动力荷载作用下的结构反应。

研究结构组成规律的目的在于保证结构各部分不致发生相对运动,使之可以承受荷载并维持平衡;研究结构的合理形式是为了有效地利用材料,使其性能得到充分发挥;进行强度和稳定性计算的目的是为了保证结构在外因作用下不致破坏;计算刚度的目的在于保证结构不致发生过大的、在实用上不能容许的变形和位移。而结构的内力和位移计算是强度、刚度计算的主要内容,也是本书研究的主要内容。

结构力学问题的研究手段包含理论分析、实验研究和数值计算三个方面。实验研究方面的内容在实验力学和结构检验课程中讨论,理论分析和数值计算方面的内容在结构力学课程中讨论。

结构力学的计算问题分为两类:一类为静定性的问题,只需根据下面三个基本条件的第一个条件——平衡条件,即可以求解;另一类为超静定性的问题,必须满足以下三个基本条件,方能求解。三个基本条件是:

1) 力系的平衡条件。在一组力系作用下,结构的整体及其中任何一部分都应满足力系的平衡条件。

2) 变形的连续条件(即几何条件)。连续的结构发生变形后,仍是连续的,材料没有重叠或缝隙;同时结构的变形和位移应满足支座和结点的约束条件。

3) 物理条件。把结构的应力和变形联系起来的物性条件,即物理方程或本构方程。

以上三个基本条件贯穿在本课程的全部计算方法中,只是满足的次序和方式不同而已。

1.2 结构的计算简图及简化要点

1.2.1 结构的计算简图

实际结构是很复杂的,完全按照结构的实际工作状态进行力学分析是不可能的,也是不必要的。因此,对实际结构进行力学计算之前,根据要解决的问题对实际结构做某些必要的简化和理想化,略去不重要的细节,用一个能反映其基本受力和变形性能的简化的计算图形来代替实际结构是十分必要的。这种代替实际结构的简化计算图形称为结构的计算简图。结构的受力分析都是在计算简图中进行的。因此,计算简图的选择是结构受力分析的基础。选择不当,则计算结果不能反映结构的实际工作状态,严重的将会引起工程事故。所以,对计算简图的选择应该十分重视。

确定计算简图的原则有两点:

1) 计算简图要能反映实际结构的主要受力性能和变形性能,满足结构设计需要的足够精度。

2) 保留主要因素,略去次要因素,使计算简图便于计算分析。

应当指出,在上述原则指导下,计算简图要根据当时当地的具体要求和条件来选用,并不是一成不变的。如对重要的结构应采用比较精确的计算简图,对不重要的结构可以使用较为简单的计算简图;如在初步设计的方案阶段,可使用较为粗略的计算简图,而在技术设计阶段再使用比较精确的计算简图;如用手算,可采用较为简单的计算简图,而用计算机计算,则可以采用较为复杂的计算简图。

对于工程中常见的结构,已有成熟的计算简图可以利用。对于新型结构,确定其计算简图需要进行实验、实测和理论分析,并要经受多次实践的检验。下面简要说明从实际结构到计算简图的简化要点和结果。

1.2.2 杆件结构的简化

在选取杆件结构的计算简图时,通常对实际结构从以下几个方面进行简化。

1. 结构体系的简化

一般实际结构都是空间结构,各部分相互连接成为一个空间整体,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。本书主要讨论平面结构的计算问题。

2. 杆件的简化

杆件的截面尺寸(宽度、厚度)通常比杆件长度小得多,截面变形符合平截面假设,截面上的应力可根据截面的内力(弯矩、剪力、轴力)来确定,截面上的变形也可根据轴线上的应变分量来确定。因此,在计算简图中,杆件可用其轴线表示,杆件之间的连接区用结点表示,杆长用结点间的距离表示,杆件的自重或作用于杆件上的荷载,一般可近似地按作用在杆件的轴线上去处理。当截面尺寸增大时(例如超过杆长的 $1/4$),杆件用其轴线表示的简化将引起较大的误差。轴线为直线的梁、柱等构件可用直线表示;曲杆、拱等构件的轴线为曲线,则可用相应的曲线表示。

3. 杆件间连接的简化

结构中杆件与杆件之间的相互连接处,可简化为结点。木结构、钢结构和混凝土结构中杆件与杆件之间相互连接的构造方式虽然很多,但根据连接方式的不同,通常可简化为铰结点、刚结点、组合结点等理想情形。

(1) 铰结点 理想铰结点的特点是:被连接的杆件在结点处不能相对移动,但可绕铰自由转动;在铰结点处可以承受力和传递力,但不能承受力矩和传递力矩。这种理想情况,实际结构中是很难遇到的。如图1-12a所示的木屋架端结点,由于连接的作用,各杆之间不能相对移动,但有相互间微小转动,计算时简化为一铰结点,其计算简图如图1-12b所示。木屋架的结点也只是比较接近铰结点。图1-13a所示为一钢桁架的结点,是通过结点板把各杆件焊接在一起的,实际上各杆端是不能相对转动的,但在桁架中各杆主要是承受轴力,因此计算时仍将这种结点简化为铰结点,如图1-13b所示。

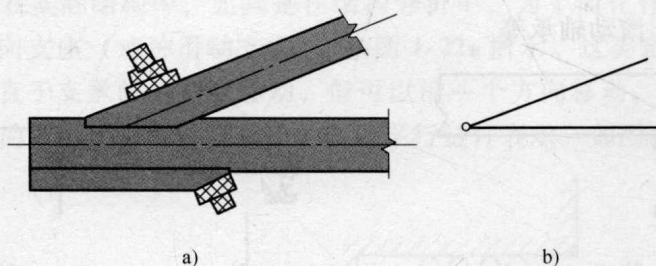


图 1-12

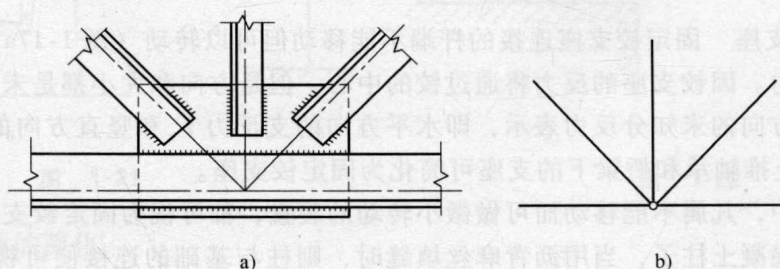


图 1-13

(2) 刚结点 刚结点的特点是:被连接的杆件在结点处不能相对移动,也不能相对转动;在刚结点处不但能承受力和传递力,而且能承受力矩和传递力矩。图 1-14a 所示是一钢筋混凝土框架边柱和梁的结点,由于梁和柱之间的钢筋布置以及混凝土将它们浇筑成整体,使梁和柱不能产生相对移动和转动,计算时简化为一刚结点,其计算简图如图 1-14b 所示。

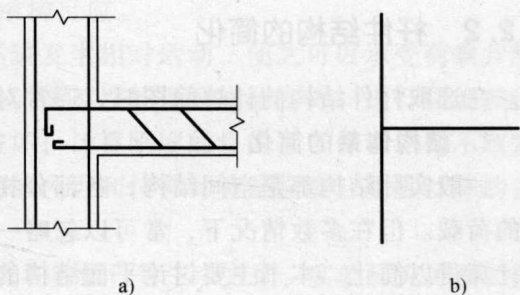


图 1-14

(3) 组合结点 当一个结点同时具有以上两种结点的特征时,称为组合结点,也称为半铰结点,即在结点处有些杆件为铰接,同时也有些杆件为刚性连接。例如,在图 1-15 所示的结构计算简图中, A、B 结点为组合结点。

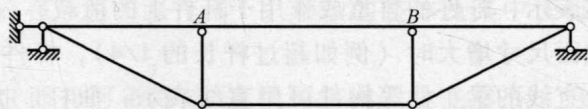


图 1-15

4. 结构与基础间连接的简化

将结构与基础或支承部分连接在一起的装置称为支座。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到基础和地基。支座对结构的反作用力称为支座反力。平面结构的支座根据其支承情况的不同可简化为下面四种情形:可动铰支座、固定铰支座、固定端支座和定向支座。

(1) 可动铰支座 可动铰支座连接的杆端可沿水平方向自由移动,可自由转动,但不能竖向移动,可产生竖向支座反力,其简化形式如图 1-16a 所示。注意:该支座在垂直方向既可承受压力,也可承受拉力。这个支座链杆的上端可绕下端转动,如图 1-16b 中虚线圆弧所示。由于结构受荷载作用后产生的变形很小,支点的移动很小,可把结构的支承端看作只能平行于支承面发生移动和绕支点转动。根据上述特点,这种支座在计算简图上常用一根链杆表示,如图 1-16c 所示。在实际结构中,凡符合或近似符合上述约束条件的支承装置,则可简化为可动铰支座,如滑动轴承、滚动轴承等。

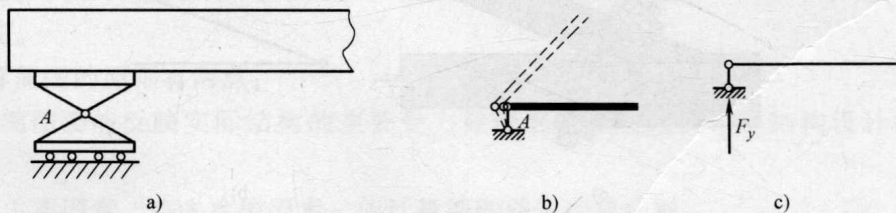


图 1-16

(2) 固定铰支座 固定铰支座连接的杆端不能移动但可以转动(图 1-17a、b),可产生水平和竖向支座反力。因铰支座的反力将通过铰的中心,但是方向和大小都是未知的,所以,可以用两个已确定方向的未知分反力表示,即水平方向的支反力 F_x 和竖直方向的支反力 F_y ,如图 1-17c 所示。止推轴承和桥梁下的支座可简化为固定铰支座。

在实际结构中,凡属不能移动而可做微小转动的装置,都可视作固定铰支座。例如,插入杯形基础的钢筋混凝土柱子,当用沥青麻丝填缝时,则柱与基础的连接便可视作固定铰支座,如图 1-18 所示。

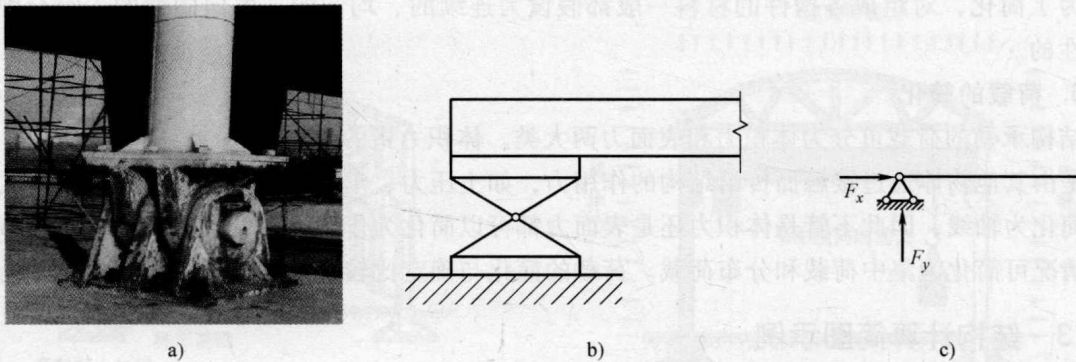


图 1-17

(3) 固定端支座 固定端支座连接的杆端既不能移动也不能转动，它的反力大小、方向和作用点位置都是未知的。通常用支座水平反力 F_x 和支座竖向反力 F_y 及支座反力矩 M 来表示，如图 1-19 所示。

如图 1-20 所示悬臂梁，当梁端插入墙身有相当深度，且与四周有相当好的密实性时，梁端被完全固定，可以视为固定端支座。

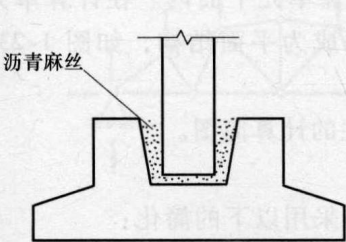


图 1-18

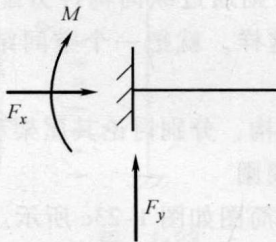


图 1-19

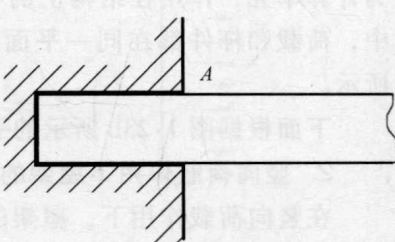
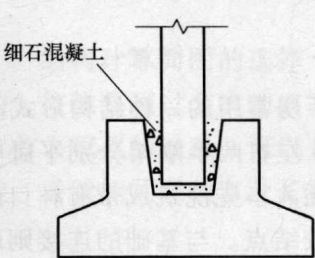


图 1-20

图 1-21a 所示为一预制钢筋混凝土柱插入杯形基础，杯口的空隙用细石混凝土填实。当预制柱插入基础有一定深度时，柱在基础内的移动和转动均被限制，可以简化为固定端支座，如图 1-21b 所示。

(4) 定向支座 在实际结构中，尤其是在结构分析中，为了简化计算而利用结构对称性时，常会用到一种定向支座（或称滑动支座），如图 1-22a 所示。这类定向支座连接的杆端不能转动，也不能沿垂直于支承面的方向移动，但可以沿一个方向移动，可产生支座反力 F_y 和支座反力矩 M ，计算简图可用垂直于支承面的两根平行链杆表示，如图 1-22b 所示。

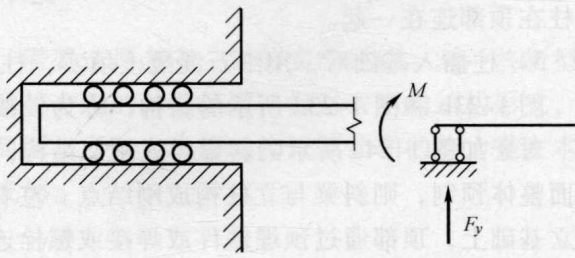


a)

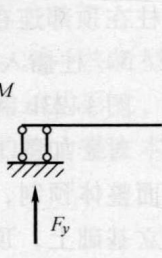


b)

图 1-21



a)



b)

图 1-22

5. 材料性质的简化

在土木工程中结构所用的建筑材料通常为钢材、混凝土、砖、石、木料等。在结构计算

中,为了简化,对组成各构件的材料一般都假设为连续的、均匀的、各向同性的、完全弹性或弹塑性的。

6. 荷载的简化

结构承受的荷载可分为体积力和表面力两大类。体积力指的是结构的重力或惯性力等;表面力则是由其他物体通过接触面传给结构的作用力,如土压力、车辆的轮压力等。在杆件结构中把杆件简化为轴线,因此不管是体积力还是表面力都可以简化为作用在杆件轴线上的力。荷载按其分布情况可简化为集中荷载和分布荷载。荷载的简化与确定比较复杂,下面将进行专门讨论。

1.2.3 结构计算简图示例

在工程实际中,只有根据实际结构的主要受力情况去进行抽象和简化,才能得出它的计算简图。下面以单层工业厂房为例说明结构的简化过程和如何选取其计算简图。

1. 厂房体系的简化

该厂房是由一系列屋架、柱和基础组成的结构。如图 1-23a 中由柱和屋架组成的排架沿厂房的纵向有规律地排列起来,再由屋面板等纵向构件连接组成的空间结构。作用在厂房上的荷载,通常沿纵向是均匀分布的。因此,可以从这个空间结构中,取出柱间距中线之间的部分作为计算单元;作用在结构上的荷载,则通过纵向构件分配到各计算单元平面内。在计算单元中,荷载和杆件都在同一平面内,这样,就把一个空间结构分解成为平面结构,如图 1-23b 所示。

下面根据图 1-23b 所示的平面结构,分别讨论其屋架和厂房柱的计算简图。

2. 竖向荷载作用下屋架的计算简图

在竖向荷载作用下,屋架的计算简图如图 1-23c 所示。这里,采用以下的简化:

- 1) 屋架的杆件用其轴线表示。
- 2) 屋架杆件之间的连接简化为铰结点。
- 3) 屋架的两端通过钢板焊接在柱顶,可将其端点分别简化为固定铰支座和活动铰支座。
- 4) 屋面荷载通过屋面板的四个角点以集中力的形式作用在屋架的上弦上。

3. 横向荷载作用下厂房柱的计算简图

在横向水平荷载(如侧向风荷载)作用下,厂房柱的计算简图如图 1-23d 所示。这里,采用了以下的简化:

- 1) 柱用其轴线表示。
- 2) 屋架在两端均以铰与柱顶连接,计算柱时,屋架的作用如同一个两端为铰的链杆,将两柱在顶部连在一起。
- 3) 柱插入基础后,用细石混凝土填实,柱基础视为固定支座。

图 1-23b 和图 1-23d 所示的结构,称为铰接排架,是单层工业厂房常用的一种结构形式。

对于如图 1-24a 所示的斜梁门式刚架结构,一般为了施工方便,左右两半刚架分别平卧在地面整体预制,则斜梁与立柱构成刚结点。左右两半刚架通过吊装插入事先浇筑成带有杯口的独立基础上,顶部通过预埋铁件或焊接或螺栓连接等构造方式形成铰结点。与基础的连接则取决于设计要求。通常用细石混凝土分两次浇捣密实形成整体,则支座即为固定支座,如图 1-24b 所示;有时设计要求支座能有微小转动,如室内有高温热源的厂房,需考虑受温度影响的温度应力,则基础填塞沥青麻丝于杯口上部,此时支座可简化为铰支座,如图 1-24c 所示。当然,不同的处理结构,所产生的内力分布是不同的,设计的效果也不一样。因此,计算简图的选取必须要与实际要求相一致,否则就会导致设计得不合理、不经济甚至不安全。

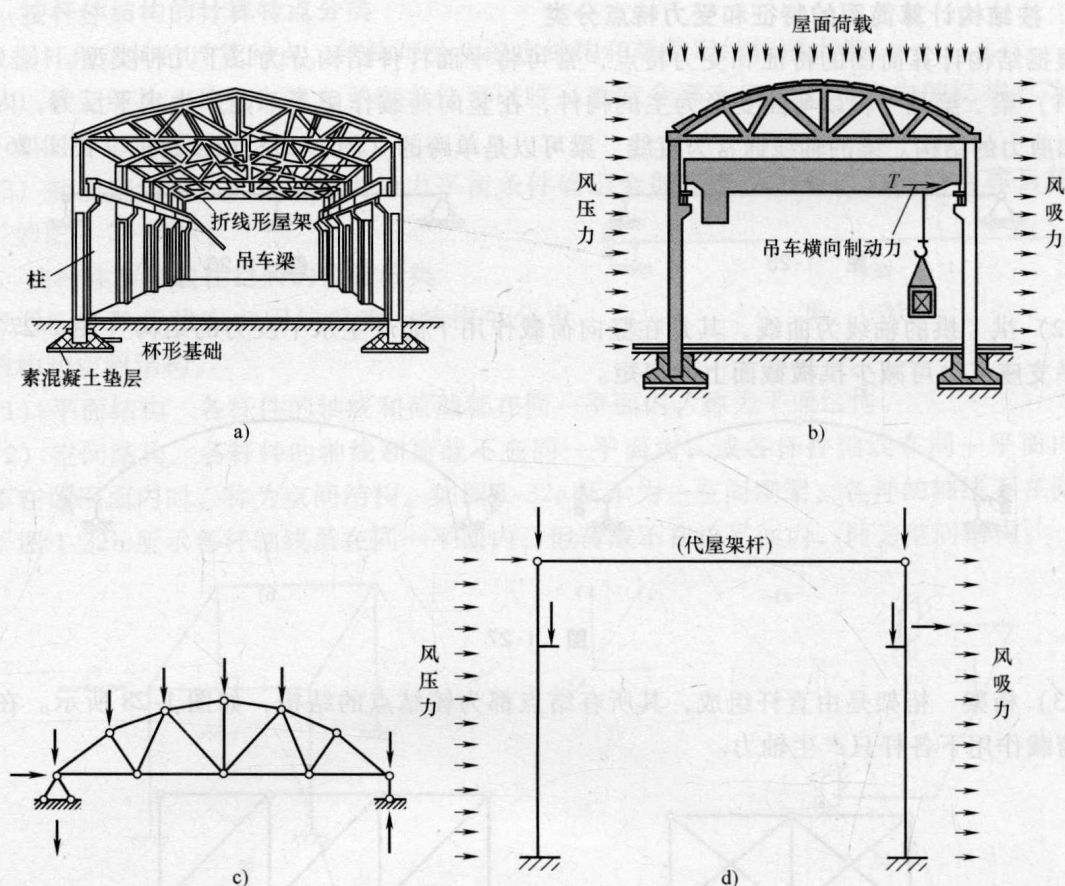


图 1-23

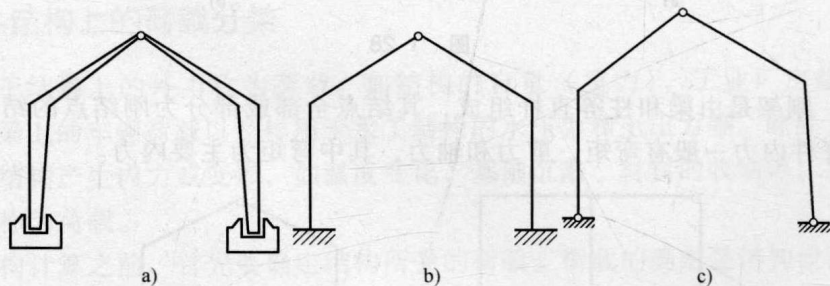


图 1-24

结构计算简图的选择十分重要，又很复杂，需要选择者有一定的实践经验。对一些新型结构，往往要通过多次的实验和实践，才能获得比较合理的计算简图，但对常用的结构形式，已有前人积累的经验，可以直接取其常用的计算简图。所以，选择结构计算简图的能力是在本课程、后续相关课程以及长期工程实践中逐步形成的。

1.3 杆件结构的分类和荷载分类

1.3.1 杆件结构的分类

杆件结构的分类，实际就是计算简图的分类。

1. 按结构计算简图的特征和受力特点分类

根据结构计算简图的特征和受力特点,常可将平面杆件结构分为以下几种类型。

(1) 梁 梁是一种以弯曲变形为主的构件,在竖向荷载作用下不能产生水平反力,内力有弯矩和剪力的结构。梁的轴线通常为直线。梁可以是单跨的(图 1-25)或多跨的(图 1-26)。



图 1-25

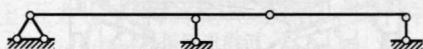
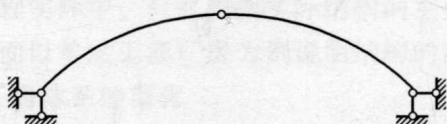


图 1-26

(2) 拱 拱的轴线为曲线,其是在竖向荷载作用下能产生水平反力的结构(图 1-27)。这种水平支座反力可减少拱横截面上的弯矩。



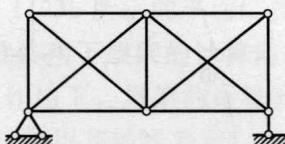
a)



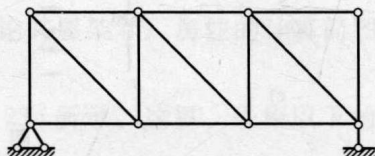
b)

图 1-27

(3) 桁架 桁架是由直杆组成,其所有结点都为铰结点的结构,如图 1-28 所示。在平面结点荷载作用下各杆只产生轴力。



a)



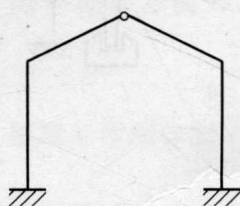
b)

图 1-28

(4) 刚架 刚架是由梁和柱等直杆组成,其结点全部或部分为刚结点的结构,如图 1-29 所示。刚架各杆件内力一般有弯矩、剪力和轴力,其中弯矩为主要内力。



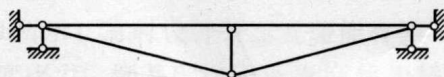
a)



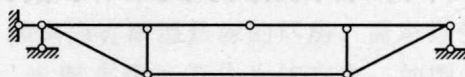
b)

图 1-29

(5) 组合结构 组合结构是由桁架和梁或刚架组合在一起而形成的结构,如图 1-30 所示。其特点是含有组合结点。在此结构中,有些杆件只承受轴力,而另一些杆件同时承受弯矩、剪力和轴力。



a)



b)

图 1-30

2. 按杆件结构的计算特点分类

根据杆件结构的计算特点, 结构可分为静定结构和超静定结构两大类。

(1) 静定结构 凡是由静力平衡条件可以唯一确定全部支座反力和内力的结构称为静定结构, 如图 1-25 所示。

(2) 超静定结构 凡是不能由静力平衡条件确定全部支座反力和内力的结构称为超静定结构, 如图 1-31 所示。

3. 按杆件和荷载在空间的位置分类

根据杆件和荷载在空间的位置, 结构可分为平面结构和空间结构。

(1) 平面结构 各杆件的轴线和荷载都在同一平面内, 称为平面结构。

(2) 空间结构 各杆件的轴线和荷载不在同一平面内, 或各杆件轴线在同一平面内, 但荷载不在该平面内时, 称为空间结构。如图 1-32a 所示为一空间刚架, 各杆的轴线不在同一平面内; 图 1-32b 所示各杆轴线虽在同一平面内, 但荷载不在该平面内, 即为空间结构。

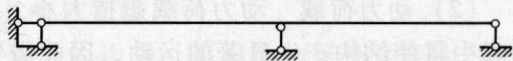


图 1-31

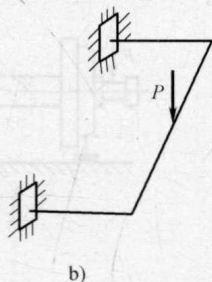
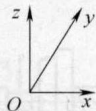
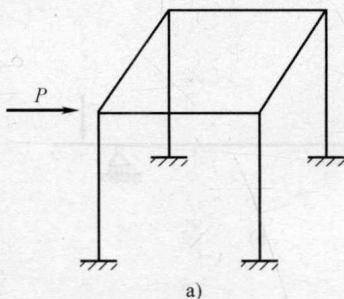


图 1-32

1.3.2 杆件结构上的荷载分类

主动作用于结构上的外力称为荷载。如结构的自重（重力），工业厂房结构上的吊车荷载，行驶在桥梁上的车辆荷载以及作用于水工结构的水压力和土压力等。除外力以外，还有其他因素可以使结构产生内力或变形，如温度变化、基础沉陷、材料的收缩等。从广义来说，这些因素也可以称为荷载。

在进行结构计算之前，首先要确定结构所受的荷载。荷载的确定是结构设计中极为重要的工作。如果将荷载估计得过大，则设计的结构会过于笨重，并造成浪费；反之，若将荷载估计过低，则设计的结构将不能保证安全。因此，荷载的确定在结构设计中是非常重要的工作。荷载规范总结了设计经验和科学研究的成果，供设计时应用。但在不少情况下，设计者需深入现场、结合实际情况调查研究，才能合理确定荷载。

荷载按其不同特征可分类如下。

1. 按荷载作用时间的久暂分类

(1) 恒载 恒载是指永久作用于结构上的荷载，如结构的自重以及固定在结构上的永久性设备的重力等。

(2) 活载 活载是指施工或使用期间临时作用于结构上的荷载，如列车荷载、吊车荷载、人群的重力、风载、雪载等。

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。有些活载如吊车梁上的吊车荷载、公路桥梁上的汽车荷