



21世纪全国本科院校土木建筑类**创新型**应用人才培养规划教材

结构力学

主 编 何春保

提供电子课件



北京大学出版社
PEKING UNIVERSITY PRESS

21 世纪全国本科院校土木建筑类创新型应用人才培养规划教材

结 构 力 学

主 编 何春保

副主编 张 磊 唐贵和 韦 未 陈方竹

参 编 金仁和 卢锦钟 曾律弦



北京大学出版社
PEKING UNIVERSITY PRESS

内 容 简 介

本书按照应用型人才和卓越工程师培养计划要求,介绍结构力学的基本概念、基本理论和方法,培养学生的分析能力。除绪论外,本书还有11章,包括平面体系的几何组成分析、静定结构受力分析、虚功原理和静定结构位移计算、力法、位移法、渐进法、矩阵位移法、影响线及其应用、结构动力学、结构弹性稳定、结构塑性分析及极限荷载。

本书可作为土木工程专业、水利水电工程等相关专业的本科教材,也可供土建类其他专业及有关工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

结构力学/何春保主编. —北京:北京大学出版社, 2016.6

(21世纪全国本科院校土木建筑类创新型应用人才培养规划教材)

ISBN 978-7-301-27053-0

I. ①结… II. ①何… III. ①结构力学—高等学校—教材 IV. ①O342

中国版本图书馆CIP数据核字(2016)第079094号

书 名 结构力学

Jiegou Lixue

著作责任者 何春保 主编

责任编辑 刘翥

标准书号 ISBN 978-7-301-27053-0

出版发行 北京大学出版社

地 址 北京市海淀区成府路205号 100871

网 址 <http://www.pup.cn> 新浪微博: @北京大学出版社

电子信箱 pup_6@163.com

电 话 邮购部 62752015 发行部 62750672 编辑部 62750667

印刷者 北京溢漾印刷有限公司

经 销 者 新华书店

787毫米×1092毫米 16开本 21.5印张 516千字

2016年6月第1版 2016年6月第1次印刷

定 价 45.00元

未经许可,不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。

版权所有,侵权必究

举报电话: 010-62752024 电子信箱: fd@pup.pku.edu.cn

图书如有印装质量问题,请与出版部联系,电话: 010-62756370

前 言

本教材是根据 2011 年颁布的《高等学校土木工程专业指导性专业规范》中有关培养应用型人才的要求,并结合教育部卓越工程师培养计划的要求而编写的,适应于应用型多学时结构力学课程教学的需要,可作为土木工程专业、水利水电工程等相关专业本科生的教材,也可供土建类其他专业及有关工程技术人员参考。

本书的编写反映了参编院校多年积累的教学经验,吸取了其他兄弟院校同类教材的优点,加强了基本概念及理论的阐述,力图保持结构力学在理论上的系统性、内容的先进性,并恰当考虑内容的深度和广度,注意培养学生的解题能力并努力方便于教学。本书在编写时,注重理论联系实际,遵循课程教学规律,由浅入深、循序渐进,每章设定了知识目标,并设置了思考题和练习题,让学生能够对相关概念、计算原理、计算方法和综合应用有一个更深入的理解,让学习成果得到巩固和加强。

本书第 1、2 章由华南农业大学何春保编写,第 3 章由华南农业大学何春保、佛山科学技术学院卢锦钟、湖南理工学院曾律弦编写,第 4、5 章由华南农业大学陈方竹编写,第 6、8 章由华南农业大学韦未编写,第 7、11、12 章由华南农业大学唐贵和编写,第 9、10 章由广东石油化工学院张磊、金仁和编写。全书由何春保统稿。

本书在编写过程中吸取了目前流行的结构力学教材中适合一般院校特点的内容,在此对相关教材的作者表示衷心的感谢。在本书完成之际,衷心感谢北京大学出版社相关编辑,由于他们的支持和不断督促,本书才得以完善和与读者见面。

由于编者水平所限,书中难免存在一些疏漏,请读者批评指正。

编 者

2016 年 3 月

目 录

第1章 绪论	1	3.1.1 杆件截面内力及正负号 规定	26
1.1 结构力学的研究对象和任务	2	3.1.2 截面法	26
1.2 结构的计算简图	3	3.1.3 荷载与内力之间的微分 关系	28
1.2.1 计算简图	3	3.1.4 作梁内力图简便方法	29
1.2.2 杆件及结点的简化与 分类	3	3.1.5 区段叠加法绘制直杆 内力图	30
1.2.3 支座的简化与分类	4	3.1.6 斜简支梁的内力图	31
1.2.4 材料性质的简化	5	3.1.7 多跨静定梁	33
1.2.5 结构计算简图示例	5	3.2 静定平面刚架及其受力分析	37
1.3 杆件结构的分类	6	3.3 三铰拱	43
1.4 荷载的分类	8	3.3.1 三铰拱支座反力计算	44
本章小结	8	3.3.2 三铰拱内力计算	46
思考题	9	3.3.3 三铰拱的合理拱轴线	48
第2章 平面体系的几何组成分析	10	3.4 静定平面桁架	50
2.1 几何组成分析的基本概念	11	3.4.1 静定平面桁架的特点及 组成	50
2.1.1 平面杆件结构体系的 分类	11	3.4.2 结点法	52
2.1.2 刚片	11	3.4.3 截面法	54
2.1.3 自由度与约束	11	3.4.4 联合法	56
2.2 平面体系的自由度计算	13	3.4.5 各类平面梁式桁架比较	57
2.3 平面体系的几何组成分析	15	3.5 静定组合结构	58
2.3.1 三刚片规则	15	3.6 静定结构总论	62
2.3.2 两刚片规则	16	本章小结	64
2.3.3 二元体规则	17	思考题	64
2.3.4 虚铰在无穷远处情况	17	习题	64
2.4 平面机动分析实例	18	第4章 虚功原理和静定结构位移 计算	71
本章小结	21	4.1 概述	72
思考题	22	4.2 虚功原理	73
习题	22	4.2.1 实功与虚功	73
第3章 静定结构受力分析	25	4.2.2 虚功原理	75
3.1 静定梁	26		

4.3 位移计算的一般公式——单位荷载法	78	5.6.1 对称结构的概念	118
4.3.1 单位荷载法	78	5.6.2 对称结构的荷载	118
4.3.2 广义力与广义位移	79	5.6.3 对称结构的受力特点	119
4.4 静定结构在荷载作用下的位移计算	80	5.6.4 对称性的利用	121
4.4.1 单位荷载法计算荷载作用下的位移	80	5.7 超静定结构的位移计算	125
4.4.2 各种杆件结构的位移计算公式	81	5.8 超静定结构计算结果的校核	126
4.5 图乘法	84	5.9 支座位移作用下超静定结构的计算	127
4.5.1 图乘法公式推导及适用条件	84	5.10 温度变化作用下超静定结构的计算	129
4.5.2 几种常见弯矩图的面积和形心位置	85	5.11 超静定结构的特性	131
4.5.3 图乘法应用时的几种特殊情况	86	本章小结	132
4.6 静定结构支座移动引起的位移计算	89	思考题	133
4.7 静定结构温度变化、制作误差等引起的位移计算	90	习题	133
4.8 线弹性体系的互等定理	92	第6章 位移法	138
4.8.1 功的互等定理	92	6.1 等截面直杆的转角位移方程	139
4.8.2 位移互等定理	93	6.2 位移法的基本未知量和基本结构	145
4.8.3 反力互等定理	94	6.3 位移法的典型方程及计算步骤	147
4.8.4 反力位移互等定理	95	6.4 直接由平衡条件建立位移法基本方程	155
本章小结	95	6.5 对称性的利用	157
思考题	96	本章小结	160
习题	96	思考题	160
第5章 力法	100	习题	160
5.1 概述	101	第7章 渐近法	164
5.1.1 超静定结构的概念	101	7.1 概述	164
5.1.2 超静定结构的计算方法	101	7.2 弯矩分配法	165
5.2 力法的基本概念	102	7.2.1 基本概念	165
5.3 力法基本结构和超静定次数的确定	105	7.2.2 弯矩分配法基本原理和应用	168
5.4 力法的典型方程	109	7.3 无剪力分配法	171
5.5 力法的计算步骤与示例	110	本章小结	176
5.6 对称性的利用	118	思考题	176
		习题	177
		第8章 矩阵位移法	181
		8.1 单元刚度矩阵	182

8.2 单元刚度矩阵的坐标转换	186	习题	242
8.3 结构的整体刚度矩阵	189	第 10 章 结构动力学	246
8.4 约束条件的处理	195	10.1 概述	247
8.5 结点荷载列阵	196	10.2 结构振动的自由度	248
8.6 矩阵位移法的计算步骤 及示例	198	10.3 单自由度结构的自由振动	249
8.7 几点补充说明	207	10.4 单自由度结构的强迫振动	253
本章小结	212	10.5 阻尼对振动的影响	256
思考题	212	10.5.1 有阻尼的自由振动	257
习题	212	10.5.2 有阻尼的强迫振动	260
第 9 章 影响线及其应用	215	10.6 多自由度结构的自由振动	262
9.1 静力法作梁的影响线	216	10.6.1 刚度法	262
9.1.1 简支梁的影响线	216	10.6.2 柔度法	271
9.1.2 伸臂梁的影响线	218	10.6.3 主振型的正交性	274
9.2 间接荷载作用下的影响线	220	10.7 多自由度结构在简谐荷载 作用下的强迫振动	276
9.2.1 间接荷载的概念	220	10.7.1 刚度法	276
9.2.2 作图原理与作图方法	221	10.7.2 柔度法	279
9.3 机动法作梁的影响线	223	10.8 多自由度体系在任意荷载作用下 的受迫振动——振型分解法	282
9.3.1 机动法作图的原理	223	10.8.1 正则坐标与主振型 矩阵	282
9.3.2 机动法作单跨静定梁 的影响线	223	10.8.2 振型分解法	283
9.3.3 机动法作静定多跨梁 的影响线	224	本章小结	286
9.4 静力法作桁架的影响线	225	思考题	287
9.5 影响线的应用	228	习题	287
9.5.1 集中荷载的作用	228	第 11 章 结构弹性稳定	292
9.5.2 分布荷载作用	229	11.1 概述	293
9.6 公路和铁路标准荷载制	231	11.2 用静力法确定临界荷载	294
9.6.1 公路标准荷载	231	11.3 具有弹性支座压杆的稳定	298
9.6.2 铁路标准荷载	231	11.4 用能量法确定临界荷载	302
9.7 最不利荷载位置	232	11.5 变截面压杆的稳定	308
9.7.1 简单荷载作用	232	11.6 剪力对临界荷载的影响	312
9.7.2 行列荷载作用	233	本章小结	313
9.8 简支梁的绝对最大荷载	238	思考题	313
9.9 简支梁的内力包络图	240	习题	314
9.9.1 包络图的概念	240	第 12 章 结构塑性分析及极限荷载	317
9.9.2 包络图的绘制	240	12.1 概述	318
本章小结	242		
思考题	242		

12.2	极限弯矩和塑性铰·破坏机构·静定梁的计算	319	12.7	刚架的极限荷载	328
12.3	单跨超静定梁的极限荷载	321	12.8	矩阵位移法求刚架极限荷载的概念	330
12.4	比例加载时有关极限荷载的几个定理	324		本章小结	331
12.5	计算权限荷载的穷举法和试算法	325		思考题	331
12.6	连续梁的极限荷载	327		习题	331
				参考文献	334

第1章

绪论

教学目标

主要讲述结构的定义及分类、结构力学的研究任务、结构的计算简图、杆件结构的分类、荷载的分类。通过本章的学习，应达到以下目标：

- (1) 掌握结构计算简图的简化要点。
- (2) 掌握杆件结构和荷载分类方法。
- (3) 理解结构、计算简图、结点、支座、荷载的概念。
- (4) 了解结构力学的研究任务。

教学要求

知识要点	能力要求	相关知识
结构及其分类	(1) 理解结构的概念； (2) 了解结构的分类	杆件结构内力，板壳结构，实体结构
结构计算简图	(1) 理解计算简图的概念； (2) 掌握杆件、结点、支座简化要点； (3) 理解材料性质简化要点	(1) 铰结点，刚结点； (2) 铰支座，固定支座，滑动支座，定向支座
杆件结构的分类	(1) 理解各类杆件结构的概念； (2) 掌握杆件结构的分类	梁，刚架，桁架，组合结构，悬索结构
荷载分类	(1) 理解荷载的概念； (2) 掌握荷载的分类	(1) 恒荷载，活荷载； (2) 集中荷载，分布荷载



基本概念

结构、计算简图、结点、支座、荷载。



引言

在人类发展历程中，供人类生产、生活的建筑结构形式多种多样，法国的埃菲尔铁塔，中国的万里长城、三峡大坝、香港的青马大桥，无不体现了结构设计的重要成果和优越性能。结构力学作为一门独立的学科，其研究内容相当广泛和深入，在土木工程专业的学习中发挥着承上启下的重要作用。

1.1 结构力学的研究对象和任务

在土木工程中，由建筑材料按照一定的方式组成并能够承受荷载作用的物体或体系，称为工程结构，简称结构。屋架、梁、板、柱、桥梁、隧道、塔架、挡土墙、水池、水坝等都是结构的典型例子，如图 1.1 所示。

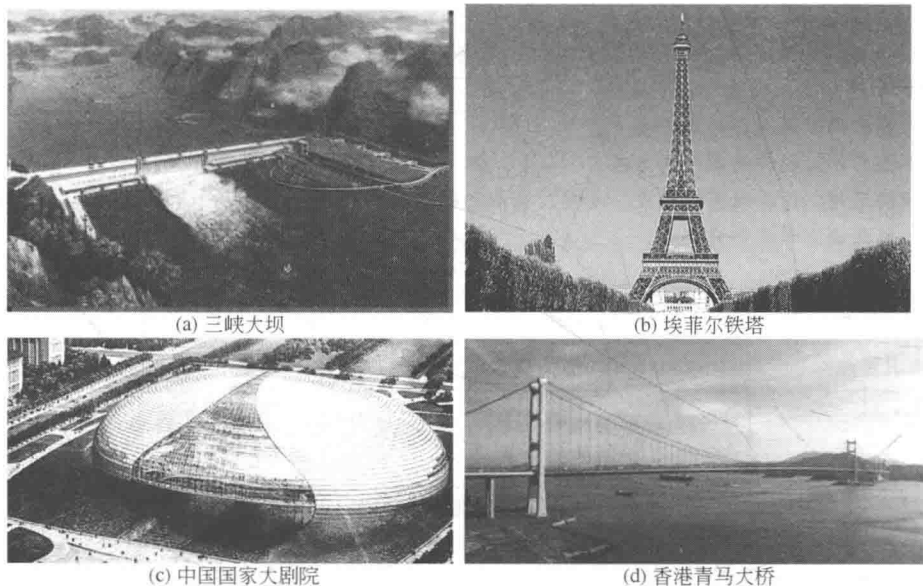


图 1.1 工程结构实例

结构按其几何特征，可以分为以下三类。

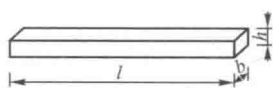


图 1.2 杆件结构

1. 杆件结构

指由杆件或若干杆件相互连接组成的结构，如图 1.2 所示。杆件的几何特征是长度尺寸 l 远大于截面宽度 b 和厚度 h 。本书讨论的梁、拱、桁架、刚架都是杆件结构。

2. 板壳结构(薄壁结构)

指由薄板或薄壳组成的结构，如图 1.3、图 1.4 所示。板壳结构的几何特征是厚度 h 远小于长度尺寸 l 和截面宽度 b 。

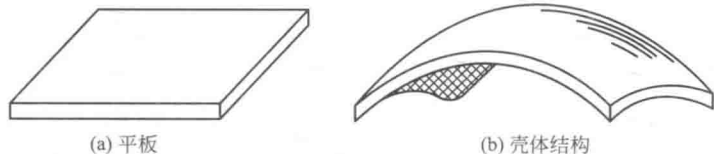


图 1.3 板壳结构

3. 实体结构

如图 1.4 所示, 实体结构的几何特征三个方向的尺寸 l 、 b 、 h 大致相当, 如墩台基础等。

结构力学的任务包括以下三个方面:

- (1) 研究结构的组成规则和合理形式等问题;
- (2) 研究结构在外界因素(如荷载、温度变化及支座移动)的影响下, 结构的反力、内力和位移的计算原理和方法;
- (3) 研究结构的稳定性, 以保证其不会失稳破坏, 如分析讨论柱子细长状态以及在动力荷载作用下的结构反应。

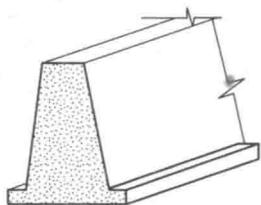


图 1.4 实体结构

1.2 结构的计算简图

1.2.1 计算简图

实际研究中, 常对结构加以简化, 略去一些次要细节, 用一个简化的图形来代替实际结构。这种代替实际结构的简化图形, 称为结构的计算简图。计算简图的选择原则是:

- (1) 能反映实际结构的主要受力和变形性能;
- (2) 保留主要因素, 略去次要因素, 使相关内容便于计算。

1.2.2 杆件及结点的简化与分类

杆件的截面尺寸通常比杆件长度小得多, 其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, 杆件用其轴线来表示, 杆件之间的连接用结点表示, 杆长用结点间的距离表示, 荷载的作用点转移到轴线上。

结点通常可简化为以下两种理想情形。

1. 铰结点

铰结点的基本特点是: 被连接的杆件在结点处不能相对移动, 但可绕该点自由转动; 在铰结点处可以承受和传递力, 但不能承受和传递力矩。图 1.5(a)所示为木屋架结点, 其

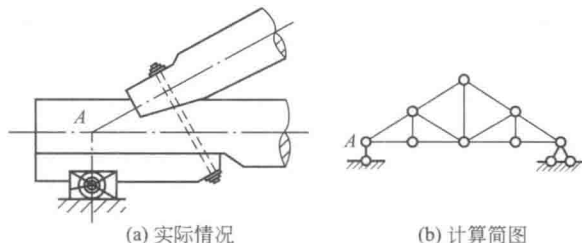
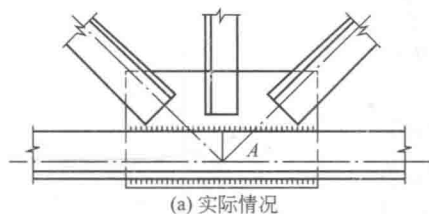


图 1.5 木屋架结点

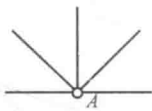
计算简图如图 1.5(b)所示。钢桁架的结点是通过结点板把各杆件焊接在一起,各杆端不能相对转动,各杆主要承受轴力,如图 1.6(a)所示,计算时简化为图 1.6(b)所示的铰结点。

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;在刚结点处既可以传递力,也可以传递力矩。钢筋混凝土框架梁柱结点,由于梁和柱之间的钢筋布置及混凝土将它们浇筑成为整体,通常可简化为一刚结点,如图 1.7 所示。

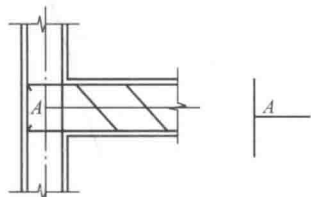


(a) 实际情况



(b) 计算简图

图 1.6 钢桁架结点



(a) 实际情况



(b) 计算简图

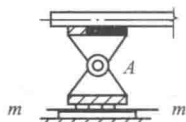
图 1.7 钢筋混凝土梁柱结点

1.2.3 支座的简化与分类

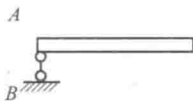
将结构与基础连接起来以固定结构位置的装置,即为支座。根据支座的构造和所起作用的不同,平面结构的支座一般可以简化为以下四种情况。

1. 活动铰支座

这种支座的构造如图 1.8(a)所示,它容许结构在支承处绕铰 A 转动和沿平行于支承平面 $m-m$ 的方向移动,但 A 点不能沿垂直于支承面的方向移动。当不考虑摩擦力时,这种支座的反力 F_{Ay} 将通过铰 A 的中心并与支承平面 $m-m$ 垂直,即反力的作用点和方向都是确定的,只有它的大小是一个未知量。根据活动铰支座的位移和受力特点,其计算简图如图 1.8(b)所示,此时结构可绕铰 A 转动,链杆又可绕 B 点转动;支座反力如图 1.8(c)所示。



(a) 构造简图



(b) 计算简图



(c) 反力图

图 1.8 活动铰支座

2. 固定铰支座

这种支座的构造如图 1.9(a)所示,它容许结构在支承处绕铰 A 转动,但是却不能作水平运动和竖向移动;支座反力将通过铰链中心,但其大小和方向都是未知的。计算简图如图 1.9(b)所示,支座反力可以用图 1.9(c)所示的沿着两个确定方向的反力 F_{Ax} 和 F_{Ay} 来表示。

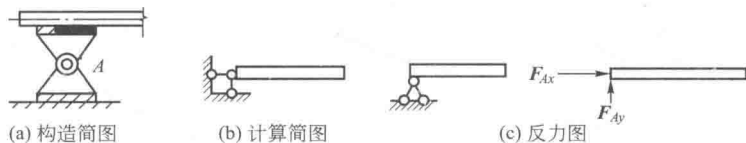


图 1.9 固定铰支座

3. 固定支座

这种支座的构造如图 1.10(a)所示,不容许结构发生任何转动和位移;它的反力的大小、方向和作用点都是未知的,因此可以用水平反力、竖向反力和力偶矩来表示。其计算简图和反力图如图 1.10 (b)、(c)所示。

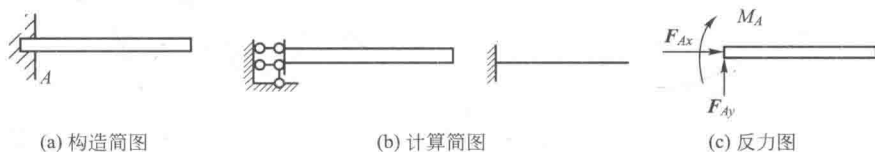


图 1.10 固定支座

4. 定向支座

这种支座的构造如图 1.11(a)所示,又称滑动支座,结构在支承处不能转动,不能沿垂直于支承面的方向移动,但可以沿支承面方向滑动。其计算简图可以用垂直于支承面的两根平行链杆来表示,其反力为一个垂直于支承面的力和一个力偶,如图 1.11 (b)、(c)所示。

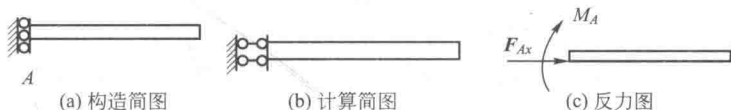


图 1.11 滑动支座

1.2.4 材料性质的简化

土木工程中常用的材料,主要包括钢、混凝土、砖、石、木材等。为了简化计算,对组成构件的材料一般都假设其为均匀、连续、各向同性、完全弹性或弹塑性。这种假定对钢等金属材料是符合实际情况的,但是对混凝土、砖、石、木材等材料就带有一定程度的近似性,应用这些假设时应有所注意。

1.2.5 结构计算简图示例

以单层厂房屋架为例来讨论计算简图。屋架的计算简图一般做如下的简化:

(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。

图 1.12(a)所示厂房结构是一系列由屋架、柱、基础及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，通常沿纵向均匀分布。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了，如图 1.12(b)所示。通过以上简化，就可以得到单层厂房屋架结构在竖向荷载作用下的计算简图，如图 1.12(c)所示。

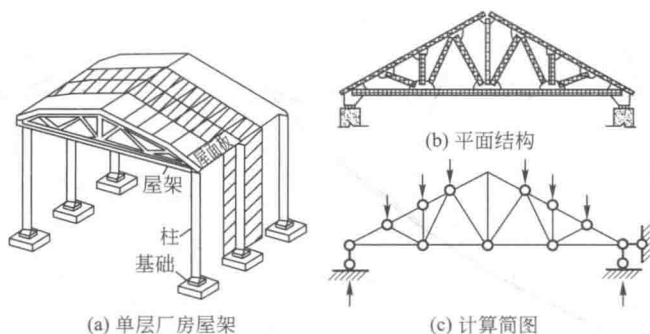


图 1.12 单层厂房屋架结构的计算简图

1.3 杆件结构的分类

结构力学的研究对象主要为平面杆件结构。按照受力特点，实际工程中的杆件结构又分为以下类型：

1. 梁

梁是一种受弯构件，轴线通常为直线，在竖向荷载作用下无水平支座反力，可以是单跨的，如图 1.13(a)、(b)所示，也可以是多跨的，如图 1.13(c)、(d)所示。

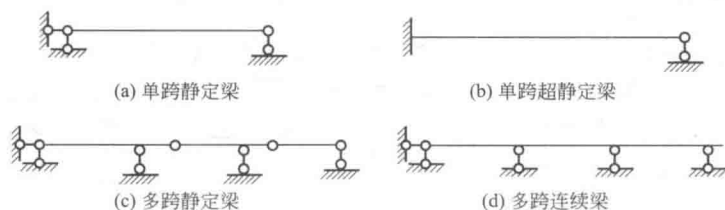


图 1.13 梁

2. 拱

拱的轴线为曲线，在竖向荷载作用下产生水平推力，这种水平推力将使拱内弯矩远小于跨度和支承情况相同的梁的弯矩，如图 1.14 所示。

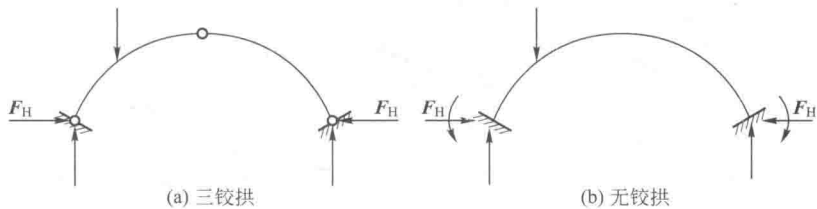


图 1.14 拱

3. 刚架

刚架是由梁和柱组成的结构，具有刚结点，如图 1.15 所示。刚架各杆件承受弯矩、剪力和轴力，其中弯矩是刚架的主要内力。

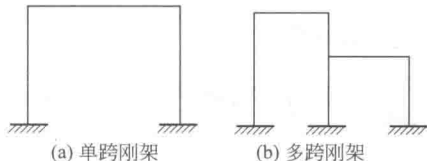


图 1.15 刚架

4. 桁架

桁架是由若干直杆在两端经铰链铰接而成的结构，如图 1.16 所示。各杆的轴线都是直线，当只受到作用于结点的荷载时，各杆只产生轴力。

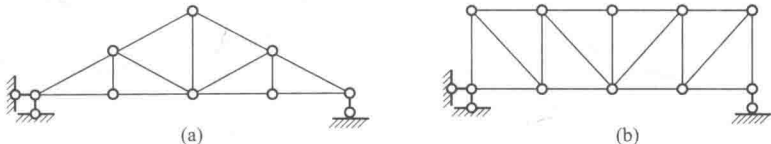


图 1.16 桁架

5. 组合结构

组合结构是由桁架、梁或刚架组合而成的结构，如图 1.17 所示。其中含有组合的特点，即有些构件只承受轴力，有些杆件同时承受弯矩、剪力和轴力。

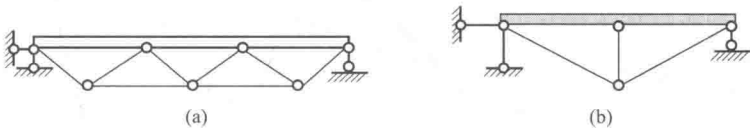


图 1.17 组合结构

6. 悬索结构

主要承重结构为悬挂于塔、柱上的缆索，索只受轴向拉力，可以充分发挥钢材的强度，由于自重轻，因此可以跨越连接很大的跨度，如悬索桥、斜拉桥等，如图 1.18 所示。

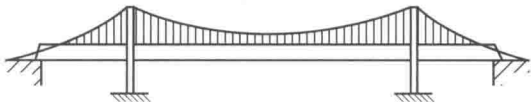


图 1.18 悬索结构

根据杆件结构的计算特点,可分为静定结构和超静定结构两大类。

(1) 静定结构:凡用静力平衡条件可以确定全部支座反力和内力的结构称为静定结构,如图 1.13(a)、(c)所示。

(2) 超静定结构:凡不能用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 1.13(b)、(d)所示。

1.4 荷载的分类

荷载是指结构所承受的外力,如结构的自重、地震荷载、风荷载等。荷载可作以下分类。

(1) 按其作用在建筑物上时间的长短,荷载可分为:

① 恒荷载。长期作用在结构上的不变荷载,如结构的自重,永久设备、土的重力等。

② 活荷载。在建筑物施工和使用期间暂时作用在结构上的可变荷载,如车辆荷载、风荷载、雪荷载等。

(2) 按其作用位置的变化情况,荷载可分为:

① 固定荷载。恒荷载和大部分活荷载,其在结构上的作用位置可以认为是固定的,如结构自重、风荷载和雪荷载等。

② 移动荷载。有些荷载在结构上的作用位置是移动的,如列车荷载和吊车荷载等。

(3) 按其作用在结构上的性质,荷载可分为:

① 静力荷载。静力荷载的大小、方向和位置不随时间变化或变化极为缓慢,不会使结构产生显著的振动与冲击,因而可略去惯性力的影响。结构的自重都是静力荷载。

② 动力荷载。动力荷载是随时间迅速变化的荷载,使结构产生显著的振动,因而惯性力的影响不能忽略。如地震荷载、打桩机产生的冲击荷载等。

(4) 按其作用在结构上的范围,荷载可分为:

① 分布荷载。分布作用在体积、面积和线段上的荷载,又可称为体荷载、面荷载、线荷载。连续分布在结构内部各点的重力属于体荷载,而风荷载、雪荷载属于面荷载,作用于杆件上的分布荷载可视为线荷载。

② 集中荷载。荷载的作用范围与物体的尺寸相比十分微小,可认为集中作用于一点。

除荷载外,还有其他一些因素也可以使结构产生内力或位移,如温度变化、支座沉陷、制造误差、材料收缩以及松弛、徐变等。从广义上来说,这些因素也可视为某种荷载。

本章小结

本章讲述了结构的定义及分类、结构力学的研究任务、结构的计算简图、杆件结构的分类及荷载分类。从基本概念入手,分析如何对实际结构进行简化,要点是突出原结构最基本、最主要的受力特征和变形特点,完成杆件简化、结点简化、支座简化,最后得到结构的计算简图。

本章的重点是合理选取结构的计算简图,掌握实际工程中杆件结构和荷载的分类。

思 考 题

- 1.1 什么是结构的计算简图？它与实际结构有什么不同？为什么要将实际结构简化为计算简图？
- 1.2 平面杆件结构的支座有哪几种类型？各种支座类型有什么特点？
- 1.3 平面杆件结构的结点有哪几种类型？各种结点类型有什么特点？
- 1.4 常见的结构有哪几种类型？
- 1.5 作用在结构上的荷载可以分为哪几类？