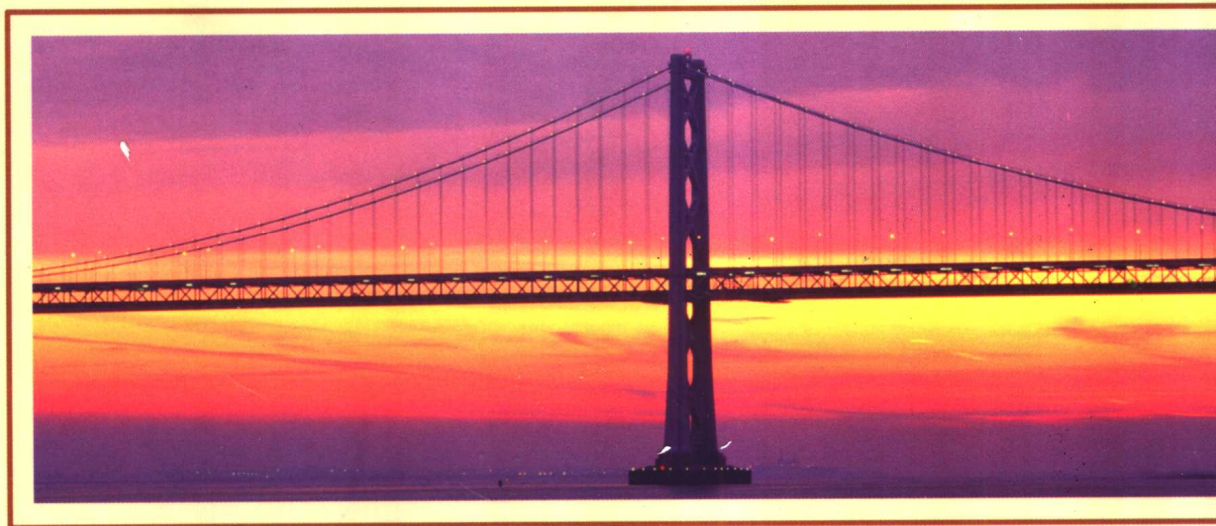


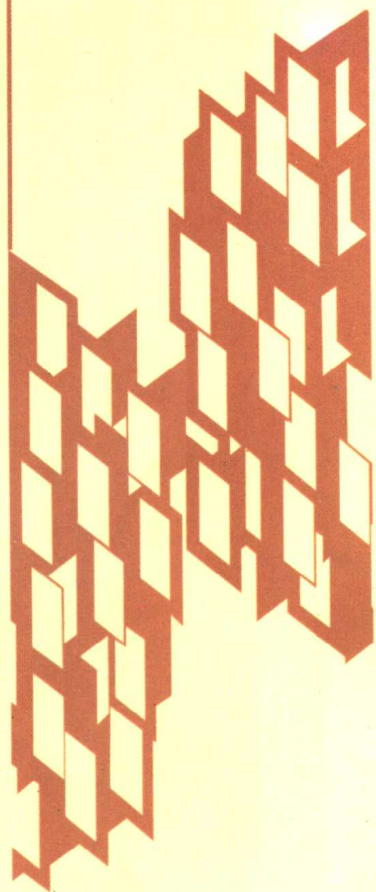
新世纪土木工程专业系列教材



结 构 力 学

J I E G O U L I X U E

单 建 吕令毅 编 著
单炳梓 主 审



东南大学出版社

新世纪土木工程专业系列教材

结 构 力 学

单 建 吕令毅 编著
单炳梓 主审



东南大学出版社

内 容 提 要

本书是根据原国家教委审定的《结构力学课程教学基本要求》(110 学时左右),在充分考虑专业调整后土木工程专业学科领域扩大的情况的基础上编写的。包括了基本要求规定的全部基本内容和部分专题内容,同时也包括了一些加深或拓宽性质的内容,供选学、提高之用。

全书分为 12 章,其中前第 1~10 章即绪论、平面体系的几何组成分析、静定结构的内力计算、静定结构的位移计算、用力法计算超静定结构、位移法、力矩分配法、影响线、矩阵位移法、结构动力响应分析为基本内容,第 11~12 章即结构的稳定计算、结构的极限荷载为专题内容。

本书内容精练,重视基本概念、基本原理的讲授和基本方法的训练,兼顾工程实际应用和本学科发展的新成果和新趋势的介绍,可作为高等学校本科土木工程专业(包括建筑工程、桥梁工程等专业方向)以及水利工程等相近专业的教材,也可供上述专业的工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

结构力学/单建,吕令毅编著. —南京:东南大学出版社,2004.2

(新世纪土木工程专业系列教材)

ISBN 7-81089-414-5

I. 结... II. ①单... ②吕... III. 结构力学—高等学校—教材 IV. TU311

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2004)第 003184 号

东南大学出版社出版发行
(南京四牌楼 2 号 邮编 210096)

出版人:宋增民

江苏省新华书店经销 南京京新印刷厂印刷

开本:787mm×1092mm 1/16 印张:25 字数:624 千字

2004 年 2 月第 1 版 2004 年 2 月第 1 次印刷

印数:1~4000 册 定价:42.00 元

(凡因印装质量问题,可直接向我社发行科调换。电话:025-83795801)

新世纪土木工程专业系列教材编委会

顾 问 丁大钧 容柏生 沙庆林

主 任 吕志涛

副主任 蒋永生 陈荣生 邱洪兴 黄晓明

委 员 (以姓氏笔画为序)

丁大钧 王 炜 冯 健 叶见曙 石名磊 刘松玉 吕志涛

成 虎 李峻利 李爱群 沈 杰 沙庆林 邱洪兴 陆可人

舒赣平 陈荣生 单 建 周明华 胡伍生 唐人卫 郭正兴

钱培舒 曹双寅 黄晓明 龚维明 程建川 容柏生 蒋永生

序

东南大学是教育部直属重点高等学校,在 20 世纪 90 年代后期,作为主持单位开展了国家级“20 世纪土建类专业人才培养方案及教学内容体系改革的研究与实践”课题的研究,提出了由土木工程专业指导委员会采纳的“土木工程专业人才培养的知识结构和能力结构”的建议。在此基础上,根据土木工程专业指导委员会提出的“土木工程专业本科(四年制)培养方案”,修订了土木工程专业教学计划,确立了新的课程体系,明确了教学内容,开展了教学实践,组织了教材编写。这一改革成果,获得了 2000 年教学成果国家级二等奖。

这套新世纪土木工程专业系列教材的编写和出版是教学改革的继续和深化,编写的宗旨是:根据土木工程专业知识结构中关于学科和专业基础知识、专业知识以及相邻学科知识的要求,实现课程体系的整体优化;拓宽专业口径,实现学科和专业基础课程的通用化;将专业课程作为一种载体,使学生获得工程训练和能力的培养。

新世纪土木工程专业系列教材具有下列特色:

1. 符合新世纪对土木工程专业的要求

土木工程专业毕业生应能在房屋建筑、隧道与地下建筑、公路与城市道路、铁道工程、交通工程、桥梁、矿山建筑等的设计、施工、管理、研究、教育、投资和开发部门从事技术或管理工作,这是新世纪对土木工程专业的要求。面对如此宽广的领域,只能从终身教育观念出发,把对学生未来发展起重要作用的基础知识作为优先选择的内容。因此,本系列的专业基础课教材,既打通了工程类各学科基础,又打通了力学、土木工程、交通运输工程、水利工程等大类学科基础,以基本原理为主,实现了通用化、综合化。例如工程结构设计原理教材,既整合了建筑结构和桥梁结构等内容,又将混凝土、钢、砌体等不同材料结构有机地综合在一起。

2. 专业课程教材分为建筑工程类、交通土建类、地下工程类三个系列

由于各校原有基础和条件的不同,按土木工程要求开设专业课程的困难较大。本系列专业课教材从实际出发,与设课群组相结合,将专业课程教材分为建筑工程类、交通土建类、地下工程类三个系列。每一系列包括有工程项目的规划、选型或选线设计、结构设计、施工、检测或试验等专业课系列,使自然科学、工程技术、管理、人文学科乃至艺术交叉综合,并强调了工程综合训练。不同课群组可以交叉选课。专业系列课程十分强调贯彻理论联系实际的教学原则,融知识和能力为一体,避免成为职业的界定,而主要成为能力培养的载体。

3. 教材内容具有现代性,用整合方法大力精减

对本系列教材的内容,本编委会特别要求不仅具有原理性、基础性,还要求具有现代性,纳入最新知识及发展趋向。例如,现代施工技术教材包括了当代最先进的施工技术。

在土木工程专业教学计划中,专业基础课(平台课)及专业课的学时较少。对此,除了少而精的方法外,本系列教材通过整合的方法有效地进行了精减。整合的面较宽,包括了土木工程

各领域共性内容的整合,不同材料在结构、施工等教材中的整合,还包括课堂教学内容与实践环节的整合,可以认为其整合力度在国内是最大的。这样做,不只是为了精减学时,更主要的是可淡化细节了解,强化学习概念和综合思维,有助于知识与能力的协调发展。

4. 发挥东南大学的办学优势

东南大学原有的建筑工程、交通土建专业具有 80 年的历史,有一批国内外著名的专家、教授。他们一贯严谨治学,代代相传。按土木工程专业办学,有土木工程和交通运输工程两个一级学科博士点、土木工程学科博士后流动站及教育部重点实验室的支撑。近十年已编写出版教材及参考书 40 余本,其中 9 本教材获国家和部、省级奖,4 门课程列为江苏省一类优秀课程,5 本教材被列为全国推荐教材。在本系列教材编写过程中,实行了老中青相结合,老教师主要担任主审,有丰富教学经验的中青年教授、教学骨干担任主编,从而保证了原有优势的发挥,继承和发扬了东南大学原有的办学传统。

新世纪土木工程专业系列教材肩负着“教育要面向现代化,面向世界,面向未来”的重任。因此,为了出精品,一方面对整合力度大的教材坚持经过试用修改后出版,另一方面希望大家在积极选用本系列教材中,提出宝贵的意见和建议。

愿广大读者与我们一起把握时代的脉搏,使本系列教材不断充实、更新并适应形势的发展,为培养新世纪土木工程高级专门人才作出贡献。

最后,在这里特别指出,这套系列教材,在编写出版过程中,得到了其他高校教师的大力支持,还受到作为本系列教材顾问的专家、院士的指点。在此,我们向他们一并致以深深的谢意。同时,对东南大学出版社所作出的努力表示感谢。

中国工程院院士

吴志清

2001 年 9 月

前 言

本书是《新世纪土木工程专业系列教材》中的一本教材。

结构力学是土木工程专业的一门主要的技术基础课。本书是依据原国家教委审定的《结构力学课程教学基本要求》(110 学时左右,以下简称《基本要求》),在充分考虑专业调整后土木工程专业学科领域的扩大并吸纳了近十几年来土木工程专业及结构力学课程改革成果的基础上编写的。

全书分为 12 章,其中第 1~10 章包括了《基本要求》规定的基本内容,第 11 章和第 12 章为专题内容。基本内容一般应为必修内容。对于专题内容,各学校可根据自己的具体情况列为选修或必修内容。此外考虑到实行因材施教的需要,书中还写进了一些加深或拓宽性质的内容(书中加星号“*”的部分),供选学、提高之用。

本书以“传授知识、提高能力、培养素质”为主要指导思想,重在基本概念、基本原理的讲授和基本方法的训练,兼顾工程实际应用和学科发展的新成果和新趋势的介绍,目的是为学生学习有关专业课程打下坚实的结构力学基础。各章内容的选编,力图体现精选、贯通、融合、渗透的思路,在我国结构力学教材佳篇如林的现状下编写出自己的一点特色。

本书的第 1、2、3、4、5、8、11、12 章由单建编写,第 6、7、9、10 章由吕令毅编写,全书由单建统稿。

本书由单炳梓教授主审。单炳梓教授对于本书的编写给予了热情的关注、鼓励和指导,并针对书稿中的问题提出了许多具体的修改意见。在此编者谨向单炳梓教授表示衷心的感谢。

本书的错误和不足之处在所难免,热忱欢迎广大读者批评指正。

单建 吕令毅

2004 年 1 月

目 录

1 绪论	(1)
1.1 结构力学的内容	(1)
1.2 结构的计算简图	(1)
1.3 杆系结构的分类	(3)
1.4 荷载的分类	(4)
2 平面体系的几何组成分析	(6)
2.1 引言	(6)
2.2 几何组成分析的基本概念	(6)
2.2.1 几何不变体系和几何可变体系	(6)
2.2.2 自由度和约束	(7)
2.2.3 瞬铰	(9)
2.2.4 瞬变体系	(9)
2.3 平面几何不变体系的基本组成规则及其应用	(10)
2.3.1 平面几何不变体系的基本组成规则	(10)
2.3.2 基本规则的应用	(11)
2.4 平面体系的计算自由度	(14)
2.5 本章小结	(15)
思考题	(16)
习 题	(17)
3 静定结构的内力计算	(19)
3.1 引言	(19)
3.2 静定结构内力计算的基本方法	(19)
3.2.1 隔离体平衡法	(19)
3.2.2 叠加法	(24)
3.3 静定结构内力计算举例	(26)
3.3.1 悬臂式静定结构	(26)
3.3.2 简支式静定结构	(29)
3.3.3 三铰式静定结构	(34)
3.3.4 复合式静定结构	(40)
* 3.3.5 复杂静定结构	(43)
3.4 静定结构的特性	(44)
3.4.1 静定结构的基本特性	(44)
3.4.2 静定结构的其他特性	(45)
* 3.5 零载法	(47)
3.6 各类结构的受力特点	(48)

3.7 本章小结	(51)
思考题	(51)
习 题	(52)
4 静定结构的位移计算	(60)
4.1 结构位移计算概述	(60)
4.2 虚功原理和位移计算的一般公式	(61)
4.2.1 质点系和刚体系的虚功原理	(61)
4.2.2 变形体系的虚功原理	(65)
4.2.3 结构位移计算的一般公式和步骤	(68)
4.3 静定结构在荷载作用下的位移计算	(72)
4.4 图乘法	(77)
4.5 静定结构在温度变化作用下的位移计算	(81)
4.6 线性变形体系的互等定理	(82)
4.7 本章小结	(86)
思考题	(87)
习 题	(88)
5 用力法计算超静定结构	(92)
5.1 超静定结构及其计算方法概述	(92)
5.2 超静定次数的确定	(92)
5.3 力法的基本概念和解题步骤	(94)
5.4 超静定结构在荷载作用下的内力计算	(96)
5.5 超静定结构在温度变化和支座位移作用下的内力计算	(104)
5.6 对称性的利用	(107)
5.7 用力法计算超静定拱	(110)
5.7.1 二铰拱在荷载作用下的计算	(111)
5.7.2 对称无铰拱的计算	(114)
5.8 超静定结构位移的计算和内力计算的校核	(119)
5.8.1 超静定结构位移的计算	(119)
5.8.2 力法计算结果的校核	(121)
5.9 本章小结	(123)
思考题	(124)
习 题	(125)
6 位移法	(130)
6.1 引言	(130)
6.2 等截面直杆的转角位移方程	(131)
6.2.1 转角位移方程通式	(131)
6.2.2 转角位移方程的简化	(133)
6.3 连续梁和无侧移刚架的计算	(135)
6.4 有侧移刚架的计算	(139)

6.5	对称性的利用	(144)
6.6	单跨多层刚架的计算	(146)
6.6.1	基本方程	(146)
6.6.2	解题步骤	(148)
6.7	变温影响的计算	(151)
6.8	本章小结	(155)
	思考题	(155)
	习 题	(156)
7	力矩分配法	(160)
7.1	引言	(160)
7.2	力矩分配法的物理概念	(160)
7.3	力矩分配法的基本要素	(162)
7.3.1	弯矩分配系数	(162)
7.3.2	弯矩传递系数	(164)
7.4	力矩分配法的解题步骤	(165)
7.5	有侧移刚架分析的力矩分配法	(168)
7.6	剪力静定刚架的力矩分配法	(172)
7.7	本章小结	(176)
	思考题	(177)
	习 题	(177)
8	影响线	(180)
8.1	影响线的概念	(180)
8.2	静定梁的影响线	(181)
8.3	其他静定结构的影响线	(187)
8.4	结点荷载作用下的影响线	(190)
8.5	影响线的应用	(192)
8.5.1	集中力系和分布荷载作用下影响量的计算	(192)
8.5.2	移动荷载的最不利位置和最大影响量	(193)
8.6	简支梁的内力包络图和绝对最大弯矩	(198)
8.6.1	简支梁的内力包络图	(198)
8.6.2	简支梁的绝对最大弯矩	(199)
8.7	连续梁的影响线和内力包络图	(201)
8.7.1	连续梁的影响线	(201)
8.7.2	连续梁的内力包络图	(205)
8.8	本章小结	(207)
	思考题	(207)
	习 题	(208)
9	矩阵位移法	(212)
9.1	引言	(212)

9.2 单元分析	(212)
9.2.1 轴力杆件单元	(213)
9.2.2 平面弯曲杆件单元	(213)
9.2.3 一般平面杆件单元	(216)
9.3 整体分析	(218)
9.4 直接刚度法	(220)
9.5 边界支承条件处理	(221)
9.6 非结点荷载的移置	(222)
9.7 连续梁的矩阵分析	(223)
9.8 坐标变换	(226)
9.8.1 杆端力向量间的坐标变换	(226)
9.8.2 杆端位移向量间的坐标变换	(227)
9.8.3 变换矩阵的正交性	(228)
9.8.4 整体坐标系中的单元刚度矩阵	(229)
9.9 平面刚架的矩阵分析	(230)
9.10 平面桁架的矩阵分析	(235)
9.11 边界条件的前处理和后处理	(240)
9.12 本章小结	(243)
思考题	(243)
习 题	(243)
10 结构动力响应分析	(246)
10.1 引言	(246)
10.1.1 结构动力学的任务和目的	(246)
10.1.2 动荷载的分类	(246)
10.1.3 结构的动力自由度和离散化方法	(247)
10.2 单自由度体系的振动方程	(251)
10.2.1 单自由度体系的力学模型	(251)
10.2.2 振动方程的建立	(252)
10.2.3 基底运动的影响	(253)
10.3 单自由度体系的自由振动	(254)
10.3.1 自由振动方程及其试解	(254)
10.3.2 低阻尼和无阻尼体系	(255)
10.3.3 临界阻尼体系	(258)
10.3.4 超阻尼体系	(259)
10.3.5 阻尼比的确定	(259)
10.4 单自由度体系的强迫振动	(263)
10.4.1 强迫振动方程及其解法	(263)
10.4.2 简谐荷载作用下的强迫振动	(264)
10.4.3 冲击荷载作用下的强迫振动	(269)

10.4.4	任意荷载作用下的强迫振动	(273)
10.5	多自由度体系的振动方程	(275)
10.6	多自由度体系的自由振动	(277)
10.6.1	多自由体系的自振频率方程	(277)
10.6.2	多自由度体系的自振频率和振型	(279)
10.6.3	振型的正交性	(280)
10.6.4	振型的标准化	(281)
10.7	自振频率和振型的实用计算法	(286)
10.7.1	求基本频率的瑞雷法	(287)
* 10.7.2	求自振频率和振型的矩阵迭代法	(291)
10.8	多自由度体系的强迫振动	(298)
10.8.1	主坐标的定义和实质	(298)
10.8.2	多自由度无阻尼体系的强迫振动	(299)
10.8.3	多自由度有阻尼体系的强迫振动	(300)
* 10.9	直梁的横向弯曲振动方程	(307)
* 10.10	单跨梁的自由振动	(308)
10.10.1	振动方程的分离变量解法	(308)
10.10.2	自振频率和振型函数	(309)
10.10.3	振型函数的正交性	(314)
10.10.4	广义质量和广义刚度	(315)
* 10.11	单跨梁的强迫振动	(315)
10.11.1	振型分解法	(315)
10.11.2	分布简谐荷载作用下的简支梁	(316)
10.11.3	突加荷载作用下的简支梁	(317)
10.12	本章小结	(319)
	思考题	(320)
	习 题	(320)
11	结构的稳定计算	(326)
11.1	稳定问题的基本概念	(326)
11.1.1	三种不同性质的平衡	(326)
11.1.2	三类不同形式的失稳	(327)
11.1.3	两种不同精度的稳定理论	(329)
11.2	用静力法求临界荷载	(330)
11.3	用能量法求临界荷载	(333)
11.3.1	用能量法求有限自由度体系的临界荷载	(334)
11.3.2	用能量法求无限自由度体系的临界荷载	(335)
* 11.4	组合压杆的稳定	(339)
11.4.1	剪力对临界荷载的影响	(340)
11.4.2	缀条式组合压杆	(341)

11.4.3 缀板式组合压杆.....	(342)
11.5 圆拱及圆环的稳定	(343)
11.5.1 稳定微分方程.....	(343)
11.5.2 特征方程及临界荷载.....	(346)
11.6 刚架的稳定	(347)
11.6.1 压杆单元的屈曲刚度方程.....	(348)
11.6.2 刚架临界荷载的计算.....	(351)
11.7 本章小结.....	(353)
思考题.....	(353)
习 题.....	(355)
12 结构的极限荷载	(359)
12.1 概述.....	(359)
12.2 极限弯矩和塑性铰.....	(360)
12.2.1 极限弯矩.....	(360)
12.2.2 塑性铰的概念.....	(362)
12.3 静定梁的极限荷载.....	(362)
12.4 超静定梁的极限荷载.....	(365)
12.4.1 单跨超静定梁的极限荷载.....	(365)
12.4.2 连续梁的极限荷载.....	(368)
12.5 比例加载的一般定理及其应用.....	(369)
12.5.1 可接受荷载和可破坏荷载.....	(369)
12.5.2 一般定理及其证明.....	(370)
12.5.3 定理的应用.....	(371)
12.6 刚架的极限荷载	(373)
12.7 本章小结.....	(377)
思考题.....	(378)
习 题.....	(378)
参考书目	(381)

1 绪论

1.1 结构力学的内容

结构力学是研究工程结构的力学行为的科学。在土木工程中,所谓结构,就是在建筑物中起骨架作用的物体或体系,其主要功能是承受或传递预定的荷载。在房屋建筑中,作用于屋盖和楼层的荷载(包括屋盖和楼层的自重、风荷载、雪荷载以及施工和使用期间的其他荷载等)通过屋面板或楼板传递到梁,再由梁到柱、由柱到基础并最终传递到地基;在斜拉桥中,车辆和桥梁自身的重量由桥梁传递到拉索,再由拉索到桥塔、由桥塔传递到基础和地基。这里的“板—梁—柱—基础”体系和“梁—索—塔—基础”体系就是结构的两个例子。土木工程中的结构都是直接或间接地连接于地基的。

按照组成结构的构件的几何特点,结构可以分为杆系结构、板壳结构和块体结构三类。杆系结构是由杆件组成的结构,杆件的几何特点是它在一个方向上的尺寸(称为“长度”)比另外两个方向的尺寸大得多;板壳结构的构件是板或壳,与杆件相反,板和壳中总有一个方向的尺寸(称为“厚度”)比另外两个方向的尺寸小得多;块体结构是三个方向的尺寸大致相当(属于同一数量级)的构件。

杆系结构是结构力学的主要研究对象,因而结构力学有时又称为杆系结构力学。材料力学以单个杆件为主要研究对象,而弹性力学则主要研究板壳和块体结构。与这三门力学课程关系密切的还有理论力学,理论力学主要研究质点、质点系和刚体的运动和平衡的规律。在学习这些力学课程的时候,既要看到它们之间的分工,更要注意它们之间的联系。

具体地说,结构力学主要研究杆系结构在荷载、温度变化等因素作用下的强度、刚度和稳定性的分析原理及计算方法。强度(Strength)、刚度(Stiffness)和稳定性(Stability),有人称之为“3S”,是结构的三个重要特性,也是结构力学研究的三项重要课题。进行强度和稳定性分析的主要目的,是保证结构的安全;而刚度分析的主要目的,则是要保证结构不产生过大的变形。除此以外,结构力学还要研究结构的组成规律和合理形式,以及各类杆系结构的受力特点。

1.2 结构的计算简图

如上所述,结构力学的主要研究对象是杆系结构。实际结构(包括杆系结构)一般是很复杂的,完全按照实际情况对结构进行分析是很困难的,甚至是不可能的。因此,在分析之前,必须对实际结构加以简化,用一个抽象的“模型”来代替它,这就是本节所要讨论的计算简图。应该说,我们对这一工作并不陌生。理论力学中将具有一定体积的实际物体简化为质点,将受力时发生变形的实际物体简化为刚体;材料力学中在计算内力时将截面具有一定尺寸的梁简化为没有粗细的线段(轴线)等,都是从实际对象出发建立抽象的计算模型或简图的例子。

选择计算简图必须满足以下两方面的基本要求：

第一，计算简图应能反映结构自身及其所受外部作用的主要特征。

第二，计算简图应能使结构的分析计算得到一定程度的简化。

图 1.1 是一个常见的厂房结构的计算简图。从这个简例不难看出，计算简图对实际结构的简化包括以下几个方面：

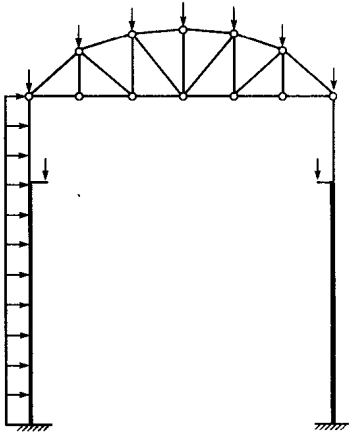


图 1.1

(1) 杆件的简化——所有的杆件均用它们的轴线来代替。在本例中，无论是组成桁架的杆件还是桁架下面的柱都是直杆，因而计算简图中的全部构件均为直线段。图中，柱的上下两部分线段粗细不同，反映了柱截面尺寸的实际变化。

(2) 结点的简化——杆件既然用轴线代替，它们之间的连接区域自然就要用相应轴线的公共点来代替，称为结构的结点。在本例中，组成桁架的杆件之间、桁架杆件与柱之间在它们的连接处不能发生相对移动，但可以发生微小的相对转动，因而这些结点均简化为铰结点；柱的上下两部分（截面不同）之间在它们的连接处既不能发生相对移动，也不能发生相对转动，因而相应的结点简化为刚结点。除了铰结点和刚结点，常见的结点还有组合结点。组合结点是至少三根杆件的公共结点，杆件之间的连接方式既有铰接，又有刚接。

(3) 支座的简化——结构与地基的连接点称为支座。图 1.2 给出了几种常用支座及其计算简图，其中图 1.2a、b、c、d 分别表示可动铰支座（或辊轴支座）、固定铰支座（常简称为铰支座）、定向支座和固定支座。这四种支座对结构的约束情况见表 1.1，其中“√”和“×”分别表示“有”和“无”。从表中可以看出，支座位移的约束与它提供的反力是一一对应的，例如定向支座使结构在支座处的竖向位移和转角受到约束，分别对应于它所提供的竖向反力和反力矩。在图 1.1 中，柱与地基的连接使得柱的下端不能发生任何相对于地基的移动和转动，因此两个支座都是固定支座。

表 1.1 不同支座对结构的约束情况

支 座 类 型	结构在支座处可自由发生的位移			支座提供的反力和反力矩		
	水平位移	竖向位移	转 角	水平反力	竖向反力	反力矩
可动铰支座(图 1.2a)	√	×	√	×	√	×
固定铰支座(图 1.2b)	×	×	√	√	√	×
定向支座(图 1.2c)	√	×	×	×	√	√
固定支座(图 1.2d)	×	×	×	√	√	√

(4) 荷载的简化——在本例中，屋面传递给桁架的荷载以及吊车通过吊车梁传递给柱的荷载简化为集中荷载，分别作用于桁架的结点和下柱的顶部（“牛腿”）；风荷载通过外墙传递给柱，简化为沿柱的高度作用的分布荷载。

除了以上四个方面以外，计算简图对实际结构的简化还包括材料性质的简化和结构体系的简化。所谓材料性质的简化，就是对实际的工程材料作若干理想化的假设，例如连续、均匀、各向同性以及理想的弹性或弹塑性等。关于结构体系的简化，仍以图 1.1 所示的计算简图为例加以说明。

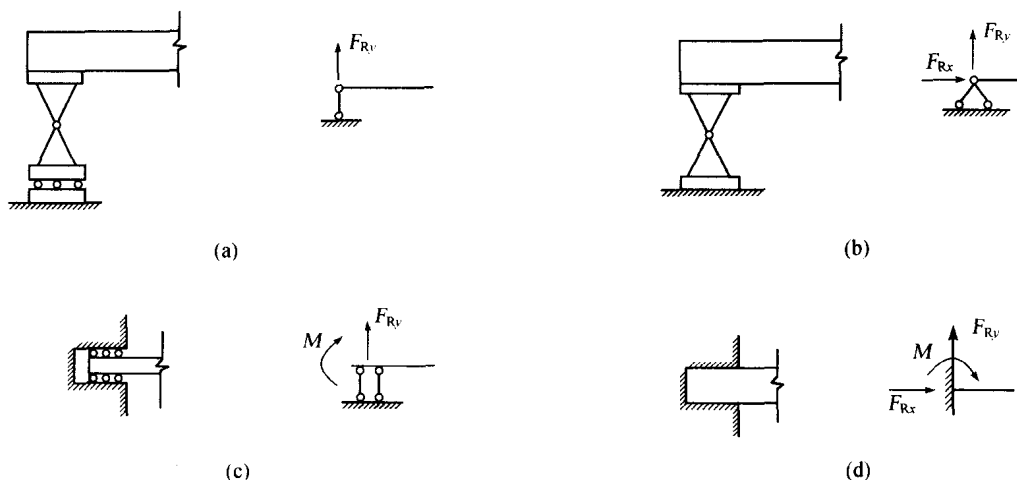


图 1.2

在图 1.1 中,结构的所有杆件以及结构所受的荷载都在同一平面内,这样的结构称为平面结构。实际的厂房结构是一个空间结构,它是由相互平行的一系列这样的平面结构通过屋面结构体系、吊车梁、桁架间以及柱间的支撑体系等沿厂房的纵向(即垂直于纸面的方向)连接而组成的一个整体。空间结构的计算一般要比平面结构复杂得多,因此在结构设计中,总是尽可能地将实际的空间结构简化为平面结构进行计算。在本例中,只要上述各平面结构排列的间距不变,竖向荷载和水平荷载沿纵向都是均匀分布的,则在这些荷载作用下,就可以忽略各平面结构之间的相互作用,将它们当作独立的体系进行计算而取得足够精确的结果。应该指出,实际工程中的很多空间结构是不能分解成平面结构的,对它们必须如实地按空间结构进行计算。随着经济和技术的进步,空间结构正在获得日益广泛的应用,相应的研究也开展得十分活跃。但限于篇幅,本教材只涉及平面结构的力学分析与计算问题。

1.3 杆系结构的分类

对杆系结构可以有多种不同的分类方法。例如,上节所述的将杆系结构分为空间结构和平面结构两类,就是其中的一种。另一种常用的分类方法是按照构件的轴线形式、连接方式和受力特点,将杆系结构分为以下几类(图 1.3)。

(1) 梁(图 1.3a)。梁的轴线通常为直线,也可以是折线或曲线。梁可以是单跨的,也可以是多跨的。梁主要用于承受横向(即垂直于轴线的方向)荷载,因而梁的构件基本上属于受弯构件。

(2) 刚架(图 1.3b)。刚架由多根不全部共线的直杆组成,结构中含有刚结点。在荷载作用下,刚架的杆件一般同时发生弯曲、剪切和轴向变形。

(3) 拱(图 1.3c)。拱通常由曲杆组成。拱的主要力学特征是:在竖直向下的荷载作用下,拱的支座产生向内的水平反力(推力)。某些符合这一特征的结构,并不是由曲杆组成,可以称为拱式结构。例如图 1.3b 中右边由两根折杆与地基形成的三铰刚架,就是一个典型的拱式刚架。

(4) 桁架(图 1.3d)。桁架全部由直杆组成,所有的结点均为铰结点。其主要特征是:当荷载的作用线都通过结点时,桁架的所有杆件都是二力杆,只受轴力作用。

(5) 组合结构(图 1.3e,f)。组合结构的特点是结构中含有组合结点。在荷载作用下,组合结构中既有以受弯为主的杆件(梁式杆),又有只受轴力作用的二力杆。

(6) 索式结构(图 1.3f)。这类结构的主要力学特征是:在竖直向下的荷载作用下,其支座产生向外的水平反力(拉力)。它与悬索结构的受力特点相同,因此称为索式结构。图 1.3f 是一个索式组合结构。

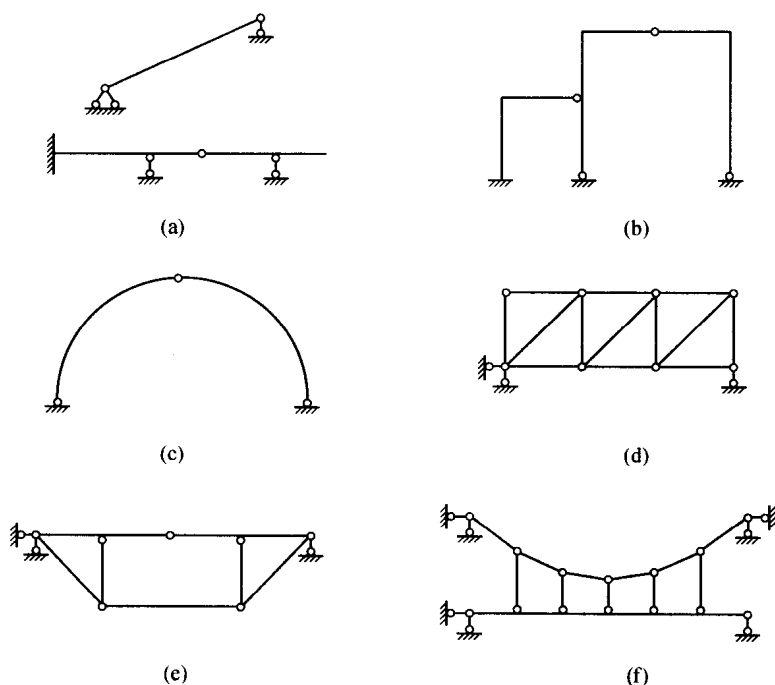


图 1.3

除了以上的分类方法外,还可以按照内力计算时所需要考虑的求解条件的特点,将杆系结构分为静定结构和超静定结构两类。静定结构的内力只要考虑静力平衡条件就可以全部确定;而为了全部确定超静定结构的内力,只考虑静力平衡条件是不够的,还需要同时考虑结构的变形。

1.4 荷载的分类

广义地说,凡是使结构产生内力或变形的因素,包括主动地作用于结构的外力(区别于被动地作用于结构的外力,例如支座反力)、温度变化、支座移动、材料收缩、制造误差等,都可以称为荷载。下面只讨论“狭义”的荷载,即主动地作用于结构的外力的分类。

和结构的分类一样,对荷载也可以按考虑问题的不同角度,用不同方法加以分类。在对图 1.1 所示的结构的讨论中,我们已经看到荷载可以分为集中荷载和分布荷载,这是按照荷载作用的区域进行的分类。下面再介绍几种分类方法。