

普通高等教育“十三五”规划教材

土木工程类系列教材

结构力学

(上册)



陈建伟 武春廷 主 编
车文鹏 马丽慧 洪学娣 副主编
王兴国 主 审

清华大学出版社



结构力学

(上册)

陈建伟 武春廷 主 编
车文鹏 马丽慧 洪学娣 副主编

清华大学出版社
北京

内 容 简 介

本书适用于普通高等教育土木工程专业多学时结构力学课程,是依据教育部力学教学指导委员会制定的结构力学课程教学基本要求,及20余年的《结构力学》(上、下册)教学讲义,同时融入国内外相关教材中的优质资源改编而成。具有注重基础知识的逻辑过渡、联系实际工程应用、培养创新和工程能力等特点。根据结构力学多课时的教学安排,将全部内容编写成《结构力学》上、下册,各校可以根据实际情况进行遴选。

本书为《结构力学》(上册),共10章,主要内容包括平面体系的几何组成分析、静定结构受力分析、静定结构的计算、力法、位移法、力矩分配法等。与本书配套的可供教师使用的课后习题详细解答和电子教案,可与编者(heuu2010@163.com)或固体力学教学微信平台(微信号:mechanics786)联系获得。

本书可作为高等院校土木工程、交通运输、水力及力学等专业结构力学课程的教材,也可以作为考研、本科自考、卓越工程师计划培养和相关专业工程技术人员的参考书。

版权所有,侵权必究。侵权举报电话:010-62782989 13701121933

图书在版编目(CIP)数据

结构力学.上册/陈建伟,武春廷主编.--北京:清华大学出版社,2016

普通高等教育“十三五”规划教材.土木工程类系列教材

ISBN 978-7-302-43963-9

I. ①结… II. ①陈… ②武… 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117586号

责任编辑:秦娜

封面设计:陈国熙

责任校对:王淑云

责任印制:沈露

出版发行:清华大学出版社

网 址: <http://www.tup.com.cn>, <http://www.wqbook.com>

地 址:北京清华大学学研大厦A座 邮 编:100084

社总机:010-62770175 邮 购:010-62786544

投稿与读者服务:010-62776969, c-service@tup.tsinghua.edu.cn

质量反馈:010-62772015, zhiliang@tup.tsinghua.edu.cn

印装者:清华大学印刷厂

经 销:全国新华书店

开 本:185mm×260mm

印 张:14.25

字 数:343千字

版 次:2016年8月第1版

印 次:2016年8月第1次印刷

印 数:1~2500

定 价:36.00元

产品编号:057311-01

本书是依据教育部力学教学指导委员会制定的结构力学课程教学基本要求,并结合编者 20 余年的《结构力学》(上、下册,共 120 学时)教学讲义改编而成,同时融入了最新的结构力学课程教学改革成果。可作为高等院校土木工程、交通运输、水力及力学等专业结构力学课程的教材,也可作为考研、本科自考、卓越工程师计划培养和相关专业工程技术人员的参考书。

《结构力学》(上册)共 10 章,主要内容包括平面体系的几何组成分析、静定结构的内力分析与计算、静定结构的位移计算、力法、位移法、力矩分配法,教学时数为 64 学时左右。与本书配套的课后习题详细解答和电子教案可供教师使用,如有需求,可以和编者(heuu2010@163.com)联系获得。

为突出理工类普通高等院校应用型人才的培养,本书侧重基本概念、基本原理、基本方法及应用,加强问题提出、模型建立、解题方法的逻辑衔接,并重视学生接受与掌握知识的规律,由浅逐深,有利于培养学生解决实际问题的能力。

本书在知识点的讲解和阐述上,力求通俗易懂、由浅入深、注重逻辑、循序渐进,尽量清晰解释、透彻分析知识点,相信这也将是本书的重要特色,是编者努力实现的目标。

本书由华北理工大学建筑工程学院陈建伟、武春廷主编,各章分工如下:陈建伟编写了第 1、2、8、9 章,武春廷编写了第 3 章,车文鹏编写了第 4~6 章,马丽慧编写了第 7 章,洪学娣对书中附图、文字校对做了大量工作,全书由陈建伟统稿并定稿。

本书承蒙华北理工大学建筑工程学院王兴国教授、杨梅教授审阅并提出了宝贵的意见,在此,我们表示衷心的感谢。限于编者水平,书中不妥甚至错误之处,热忱欢迎使用本书的教师及读者予以批评指正,请将您发现的问题、改进建议及时反馈给我们(编者或固体力学教学微信平台——微信号:mechanics786,二维码如右图所示)。



本书编写过程中借鉴和参考了大量相关书籍和学术期刊文献,在此表示诚挚的谢意。

编 者

2016 年 3 月

第 1 章 绪论	1
1.1 结构力学发展简史	1
1.1.1 结构力学的萌芽与独立	1
1.1.2 结构力学的发展与飞跃	3
1.1.3 结构力学与结构工程	4
1.2 结构与结构的分类	5
1.2.1 结构	5
1.2.2 杆件结构的分类	6
1.3 荷载与荷载的分类	7
1.4 结构力学的基本任务	8
1.5 结构的计算简图与实例	9
1.6 结构力学的学习方法	12
第 2 章 平面体系的几何组成分析	14
2.1 几何不变体系与几何可变体系	14
2.2 几何组成分析的几个概念	15
2.2.1 自由度	15
2.2.2 约束	15
2.2.3 单铰与链杆的约束关系	17
2.2.4 必要约束与多余约束	17
2.3 体系自由度的计算公式	18
2.4 几何不变体系的基本组成规则	19
2.4.1 二元体规则	19
2.4.2 两刚片规则	19
2.4.3 三刚片规则	20
2.5 瞬变体系的概念	21
2.6 体系的几何组成与静定性的关系	23
2.6.1 几何可变体系	23
2.6.2 无多余约束的几何不变体系(静定结构)	24
2.6.3 具有多余联系的几何不变体系	24
2.7 本章小结	25
2.8 本章知识结构图	26

思考题	26
习题	27
第3章 静定梁的受力分析计算	29
3.1 概述	29
3.2 单跨静定梁的受力分析	29
3.2.1 梁的组成和受力性能	29
3.2.2 截面上内力符号的规定	29
3.2.3 弯矩、剪力、荷载集度之间的微分关系	30
3.2.4 绘制单跨静定梁内力图的一般步骤	31
3.2.5 几种典型的弯矩图和剪力图(截面法)	31
3.3 静定单跨梁内力计算——叠加法	33
3.4 多跨静定梁的内力计算	35
3.4.1 对于多跨连续梁层次图的分析	35
3.4.2 多跨静定梁的内力图	36
3.5 简支斜梁的内力计算	38
3.6 本章知识结构图	40
思考题	40
习题	40
第4章 静定刚架的受力分析与计算	42
4.1 概述	42
4.2 刚架的特征与分类	42
4.2.1 刚架的特征及其应用	42
4.2.2 刚架的分类	42
4.3 静定刚架支座反力及杆端截面内力的计算	43
4.3.1 支座反力的求解	43
4.3.2 静定刚架截面内力的求解	45
4.4 静定刚架的受力分析步骤	48
4.5 静定刚架的受力分析举例	52
4.6 三铰刚架的内力计算	55
思考题	57
习题	57
第5章 三铰拱的受力分析与计算	58
5.1 概述	58
5.2 三铰拱的组成与分类	58
5.2.1 拱与曲梁的区别	58
5.2.2 拱的分类及各部位名称	59

5.3	三铰拱的计算	59
5.4	三铰拱的合理拱轴	62
5.5	本章知识结构图	63
	思考题	64
	习题	64
第6章	静定桁架的受力分析与计算	65
6.1	概述	65
6.2	静定桁架的组成与特点	65
6.2.1	桁架的组成与基本假设	65
6.2.2	桁架的特点	66
6.3	静定桁架的分类	66
6.4	静定桁架的内力计算	67
6.4.1	结点法	67
6.4.2	截面法	70
6.4.3	综合法	71
6.5	静定组合结构的内力计算	72
6.6	静定结构小结	74
6.7	本章知识结构图	76
	思考题	76
	习题	76
第7章	虚功原理和结构的位移计算	79
7.1	概述	79
7.2	虚功原理	80
7.2.1	功、实功和虚功	80
7.2.2	变形杆件体系的虚功原理	82
7.2.3	虚功原理的两种应用形式	84
7.3	平面杆件结构位移计算的一般公式——单位荷载法	85
7.4	静定结构在荷载作用下的位移计算	87
7.5	图乘法	90
7.6	静定结构由于温度改变和支座移动引起的位移	96
7.6.1	由于温度改变引起的位移	96
7.6.2	由于支座移动引起的位移	98
7.7	线性变形体系的几个互等定理	99
7.7.1	功的互等定理(虚功互等定理)	99
7.7.2	位移互等定理	100
7.7.3	反力互等定理	101
7.7.4	反力与位移互等定理	101

7.8 本章小结	102
7.8.1 变形体的虚功原理	102
7.8.2 单位荷载法	102
7.8.3 图乘法计算结构的位移	103
7.8.4 互等定理	103
7.9 本章知识结构图	103
思考题	104
习题	104
第8章 用力法计算超静定结构	105
8.1 超静定结构的概念和超静定次数的确定	105
8.1.1 超静定结构的概念	105
8.1.2 超静定次数的确定	106
8.2 力法原理和力法方程	107
8.2.1 力法原理	107
8.2.2 力法方程	109
8.3 用力法计算超静定梁和刚架	110
8.3.1 超静定梁的计算	110
8.3.2 静定刚架的计算	113
8.4 用力法计算超静定桁架和组合结构	116
8.4.1 桁架的计算	116
8.4.2 组合结构的计算	118
8.4.3 排架的计算	119
8.5 对称性的利用	120
8.5.1 对称结构的概念	120
8.5.2 利用对称性可以简化计算	121
8.6 两铰拱的计算	126
8.6.1 两铰拱的计算	126
8.6.2 带拉杆的两铰拱的计算	128
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	129
8.7.1 温度改变时超静定结构的内力计算	129
8.7.2 支座移动时超静定结构的内力计算	131
8.7.3 有制造误差时超静定结构的内力计算	135
8.8 超静定结构的位移计算和最后内力图的校核	136
8.8.1 超静定结构的位移计算	136
8.8.2 单独受温度改变影响时超静定结构的位移计算	139
8.8.3 单独有支座移动时引起的超静定结构的位移计算	139
8.9 超静定结构最后内力图的校核	141
8.10 本章小结	142

8.11 本章知识结构图	143
思考题	144
习题	144
第9章 用位移法计算超静定梁和刚架	146
9.1 位移法的基本概念	146
9.2 等截面直杆的转角位移方程	148
9.2.1 两端固定梁一端发生转动的情况	150
9.2.2 固定梁两端发生相对线位移的受力情况	151
9.2.3 一端固定另一端铰支梁的固定端发生转动的情况	151
9.2.4 一端固定另一端铰支梁的两端发生相对线位移的情况	152
9.2.5 一端固定另一端为定向支座梁固定端发生转动的情况	152
9.2.6 总结以上各种支承形式的梁	152
9.3 基本未知量的确定	154
9.3.1 基本未知量	154
9.3.2 如何确定基本未知量	154
9.4 位移法一般方程的建立	156
9.5 位移法应用举例	160
9.6 建立位移法方程的另一种做法——由原结构取隔离体	
直接建立平衡方程	166
9.7 对称性的利用	169
9.8 本章小结	173
9.9 本章知识结构图	174
思考题	175
习题	175
第10章 用渐进法计算超静定梁和刚架	177
10.1 力矩分配法的基本概念	177
10.1.1 力矩分配法的基本运算	177
10.1.2 力矩分配法的几个基本概念	178
10.2 用力矩分配法计算连续梁和无结点线位移刚架	180
10.3 本章知识结构图	184
思考题	184
习题	184
部分课后思考题及习题参考答案	186
参考文献	215

1.1 结构力学发展简史

1.1.1 结构力学的萌芽与独立

国内外的结构力学教材与辅导资料很多,但很少系统地介绍结构力学发展的历史知识。编者结合教学经验,有意增补该部分内容,也可以在课堂上安排讲授一些力学历史知识,介绍力学家孜孜不倦、勇于探索科学真知的事迹,有助于学生提高学习兴趣,了解各种理论和方法的发展脉络,激发其创新活力。

结构力学诞生至今经历了 100 多年的历史,但人们的工程实践却经历了几千年,随着人类文明与科学技术的发展,人们逐渐认识了结构设计的规律以及结构的强度、刚度和稳定性,并根据经验和试验,从不自觉到自觉地形成了专门的结构力学学科,并广泛应用于工程建设实践。

人类自古以来建造了各种建筑物和构造物,如埃及的金字塔,法国境内的加尔德水道桥,中国的万里长城、成都都江堰、赵州安济桥(图 1.1)、北京故宫,雅典帕特农神庙(图 1.2)等。当然,古代工程结构是根据经验和粗略计算建造的,历尽失败,留存至今的只是少数的成功典范。中国虽然也留下了许多宝贵文献,如东周的《考工记》、北宋的《营造法式》、明代的《鲁班经》,但当时还没有系统的结构分析理论。古埃及人的金字塔和古希腊人的女神庙著称于世,将建筑技术向前推进的同时发展了静力学法则。有伟大建筑师美誉的古罗马人在建筑物中广泛采用半圆拱形,可惜希腊人和罗马人在建筑工程中所积累的许多知识大部分在中古时代失传。

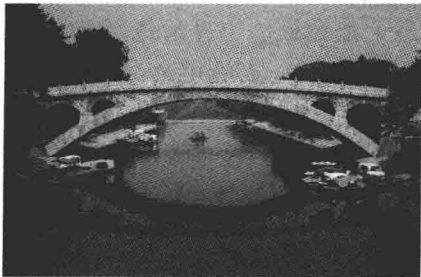


图 1.1 赵州安济桥



图 1.2 雅典帕特农神庙

换句话说,结构力学是一门既古老又年轻的学科。说它古老,是因为它的诞生和萌芽肇始于经典力学的创立时期;说它年轻,是因为它随着力学学科的发展而发展,随着先进工业和尖端技术的成长而兴旺。20 世纪的力学十大进展中,其中就有三大进展与结构力学有关:有限元法的发展直接起源于 Argyris 和 Clough 等对飞机结构的分析,稳定性、分岔和混沌理论以及断裂力学的发展与结构力学间接相关。

就基本原理和方法而言,结构力学是与理论力学、材料力学同时发展起来的,所以结构力学在发展的初期是与理论力学和材料力学融合在一起的。19 世纪初,由于新兴工业的发展,人们开始设计各种大规模的工程结构,对于这些结构的设计,要做较精确的分析和计算。因此,工程结构的分析理论和分析方法开始独立出来,到 19 世纪中叶,结构力学开始成为一门独立的学科。进入 20 世纪以来,由于新材料、新结构、新理论、新方法的不断涌现,结构力学学科的内涵加深、范围扩展,已发展成为包括结构静力学、动力学、稳定理论、计算结构力学、智能材料结构、结构控制和健康监测等分支的学科群,它的应用范围也已经拓展至土木工程、水利工程、航空航天工程、船舶工程、机械工程等领域。事实上,结构力学一直是力学理论与工程实践紧密联系的桥梁和纽带。

15~16 世纪,欧洲文艺复兴时期,科学事业有了转机,力学在欧洲萌芽。文艺复兴时代的杰出代表画家里奥纳多·达·芬奇对力学的贡献鲜为人知。他应用虚位移原理的概念,分析各种用在起重机上的滑轮和杠杆系统,而且已经有了拱产生横向推力的正确概念。他在笔记中画出了结构材料强度试验草图,研究梁的强度时提出了“距支点最远处,弯曲最大”的普遍原理。他在手稿中研究、讨论了柱所能承受的荷载。达·芬奇的成就表明他是最先用试验来决定结构材料强度的人。在他诞辰 550 周年时,中国隆重纪念这位伟人,当然还因他在其他领域的许多成就。可惜他的成就和倡导一直被埋在笔记手稿里,这时期的工程师仍和古罗马时代一样,继续凭经验来决定构件的尺寸。

17 世纪,人们才开始研究材料强度,尝试用解析法来求构件的安全尺寸。伽利略于 1638 年出版的名著《两种新的科学》正式宣布作为弹性变形体力学的材料力学诞生。最早研究的结构元件是梁。伽利略考查了固定端悬臂梁的承载能力问题,雅克比·伯努利关于梁的研究结果就是现今人们常用的伯努利梁理论。18 世纪的工业革命更促进了单根构件强度和稳定性研究。

进入 19 世纪后,随着资本主义经济发展和大型厂房、船舶、堤坝、铁路桥梁的兴建,提出了更为复杂的结构计算问题,促进了板壳理论形成,以及桁架、连续梁、拱、吊桥、弹性地基梁、挡土墙等计算原理的诞生,奠定了结构分析的理论基础。

1850 年克希霍夫(G. R. Kirchhoff)采用虚位移理论推导板的边界条件,纠正了以往的错误,并正确求解了圆板的振动问题,他提出的“直法线假设”一直沿用至今。1888 年拉甫(A. E. H. Love)利用克希霍夫对平板问题的假设推导出了弹性薄壳的平衡方程。

随着近代工业的发展,人们已不满足于单个构件的精确计算,转而研究复杂结构系统内力与变形的分析问题。纳维叶(Navier)在 1825 年就给出连续梁三弯矩方程的雏形,但现用的三弯矩方程却是克拉贝隆(B. P. E. Clapeyron)1949 年在巴黎附近建桥时发展的,8 年后才以论文形式发表。1864 年麦克斯韦(J. C. Maxwell)总结了对桁架的研究,他用简化的图解法求静定桁架的内力;对于超静定桁架,他则从能量法推导出解超静定结构的一般方法,10 年之后,这个方法被后来者莫尔(O. Mohr)整理成目前通用的“力法”。1868 年文克尔

(E. Winkler)将影响线概念应用在拱里,并利用最小功原理研究了拱内压力线。莫尔对拱的理论的贡献是,他在1870年的论文中提供了一个分析拱的图解法。意大利人卡斯提安诺(A. Castigliano, 1847—1884)1873年在他的工程师学位论文中提出了不朽的卡氏定理和单位荷载法等理论成果,提出广义力和广义位移的新概念,构成了经典结构力学的重要内容。他虽然英年早逝,但对于应变能方面的透彻研究,令人赞叹。

19世纪中叶,结构力学(也称结构理论)实际上已从力学中独立出来成为一门学科。

1.1.2 结构力学的发展与飞跃

19世纪末,随着钢结构广泛应用,进一步推动结构分析理论的发展,建立了利用能量原理计算结构位移和应用力法计算超静定结构的一般理论,但主要的发展是桁架分析。假定各结点均为理想铰接,从而使所有结构只承受轴力,得出满意的解析式。

20世纪初,随钢筋混凝土框架结构形式的出现,又诞生了与高次超静定结构相适应的新的计算理论和方法,如位移法和力矩分配法。系统地使用刚性结点转角作为未知量来分析框(刚)架结构,这应归功于本笛克森(A. Bendixen)1914年给出的角变位法。在刚架结构的结点线位移可以忽略时,利用端部力矩方程式求得系统所有杆的杆端弯矩。20世纪30年代初,由克劳斯(H. Cross)提出的逐次渐进法(即力矩分配法),首先在美国得到广泛应用。预应力大师、美籍华人林同炎教授对该法的改进功不可没。

由于建筑工程使用钢筋混凝土,拱的结构形式又被广泛采用,特别是在桥梁工程上采用无铰拱。对于三次超静定体系,库尔曼(K. Culmann)发展了弹性中心法,使力法方程解耦。在具有连接梁的拱中,笛兴格尔(F. Dischiger)建议使用钢缆将它们拉紧,大大降低了由恒载和混凝土收缩所产生的弯矩,这就是目前已在结构中普遍采用的预应力法。

拱坝的大量使用使工程师们遇到了求解变厚度壳的极复杂应力分析问题。1929年,美国科学家提出了一种称为“拱贯梁”的近似法,用一个水平拱系和一个竖立悬臂梁系叠加起来代替拱坝,用试算法分配荷载,使各点挠度的径向分量在拱上和悬臂梁上数值相等,便于得到近似解。该法如同弹性力学中楔形体的李维解答用于重力坝,都曾在历史上起过重要作用,但步入计算机时代后,已被有限元法所取代。

20世纪中期还发展了考虑塑性的结构计算理论、结构稳定计算和结构动力学计算理论。吊桥理论的发展使美国出现了跨千米的巨大吊桥,其中“重力刚度”的发现是一大进步。动荷载作用下铁路钢轨应力分析的弹性基础梁方法,船舰加劲板的压屈以及船舰在波浪中振动的理论研究都是结构力学进入20世纪以来的标志性发展。

1945年电子计算机的问世和广泛应用使结构分析如虎添翼,计算能力跃上一个新的台阶,出现了以计算机为工具的结构矩阵分析法(即杆件系统的有限单元法)。为适应计算机的特点也发展了新的计算方法,形成力学、数学、工程学、计算机科学的交叉学科——计算结构力学。借助计算机还发现了奇怪吸引子与混沌现象。

在适应计算机求解力学等问题方面,最成功的莫过于有限元方法的产生与发展。尽管有限元法的思想可以追溯得更早,甚至与中国东汉刘徽的割圆术相提并论,但不争的事实是,20世纪50年代中期,世界各国有一批学者在思考用电子计算机求解结构力学与连续介质力学问题,除了明确由克劳夫(R. W. Clough)在1960年命名外,很难说有限元法是哪一个人的发明。1963年威尔逊(E. L. Wilson)完成了世界上第一个解决平面弹性力学问题的

通用程序。之后,结构分析的有限元软件迅速发展,新单元和新求解方法的不断出现,以及网格自动剖分等前后处理的研究,大大加强了有限元的解题能力,使有限(单)元法逐渐趋于成熟。

1.1.3 结构力学与结构工程

目前,中国的结构力学正在迅速赶上或超过世界先进水平。结构力学与其他力学学科不同,它与结构工程联系更为紧密,其基本概念、基本理论和基本方法也是预应力结构、钢筋混凝土结构、钢结构、地基基础和结构抗风抗震设计等工程结构理论的基础。当前涌现的各种计算机辅助设计软件,其核心计算部分的基本理论和方法也都以结构力学为基础。结构分析成果作为各类结构的设计依据,正发挥其巨大作用。

中国近年来的结构工程成就举世瞩目。在桥梁结构工程方面,1975年开始的斜拉桥工程,从跨径 76m 的四川云阳桥到跨径 602m 跃居世界第一的上海杨浦斜拉桥,经过 18 年的追赶,终于达到国际领先水平,靠的就是结构理论与工程实践相结合。虽然法国的诺曼底大桥两年后将跨度推进至 865m,紧接着日本的多多罗大桥又将跨度推进至 890m 但是 2010 年苏州兴建的跨度 1088m 的苏通长江公路大桥再次刷新世界纪录,显示中国工程界的实力与水平。悬索桥建设更是突飞猛进,2005 年完工的润扬长江大桥为中国第一大跨径的组合型桥梁,其建设过程中攻克多项世界性技术难题。2003 年建成通车的世界第一钢结构拱桥卢浦大桥(跨径 550m),打破了由澳大利亚悉尼桥和美国新河谷桥相继保持几十年的世界纪录。

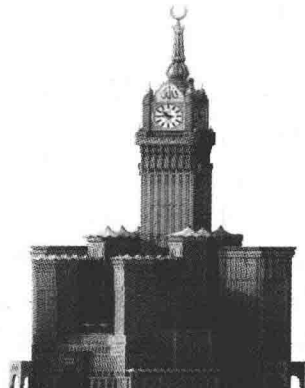
在建筑结构方面,2010 年竣工完成的哈利法塔高 828m,结构高度 601.0m,由三个建筑部分逐渐连贯成一核心体,是世界第一高楼,如图 1.3(a)所示;2015 年完成施工的上海中心大厦,总高为 632m,结构高度为 565.5m,建成后成为中国第一高楼及世界第二高楼,如图 1.3(b)所示;2013 年建成的皇家钟塔酒店,总高为 601m,是世界第三高楼,如图 1.3(c)所示。



(a)



(b)



(c)

图 1.3 全球高度排名前三的摩天大楼(截止 2014 年底建成)

(a) 哈利法塔; (b) 上海中心大厦; (c) 皇家钟塔酒店

1.2 结构与结构的分类

1.2.1 结构

建筑物和工程设施中,由建筑材料制作成构件,按照合理方式联结而成,能够承担荷载、传递力,并起到骨架作用的体系,称为工程结构,通常简称为结构(structure)。

广义的结构指物质“各组成部分的搭配和排列”。房屋建筑中的梁柱体系(图 1.4)、水工结构物中的闸门和大坝(图 1.5)、道路工程中的桥梁(图 1.6)和隧道等,都是工程结构的典型例子。

由于“各组成部分的搭配和排列”的情况不同,结构按构件的几何性质又可分为三大类。

(1) 杆件结构 由杆件通过不同的连接和搭配组成的结构。杆件结构的几何特征是横截面尺寸比长度小得多。梁、拱、桁架、刚架均可视为杆件结构。

(2) 板壳结构 也称薄壁结构,厚度比长度和宽度小得多。房屋建筑中的楼板和壳体屋盖、水工结构中的弧形拱坝均为板壳结构。

(3) 实体结构 此类结构在长、宽、高三个尺度上大小相当。水工结构中的重力坝(大坝)、建筑工程中的块体基础以及挡土墙等均属实体结构。

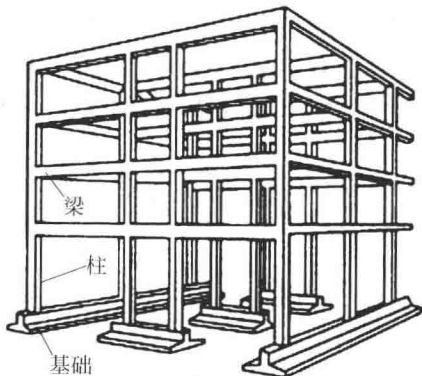


图 1.4 梁柱体系



图 1.5 大坝



图 1.6 桥梁

结构力学(structure mechanics)作为力学学科的一个分支,其研究对象涉及较广,根据所涉及的研究范围的不同,可将结构力学分为狭义结构力学、广义结构力学和现代结构力学。

(1) 狭义结构力学 其研究对象为由杆件所组成的体系,即杆件结构,通常所说的结构力学就是指杆件结构力学,又称为经典结构力学。

(2) 广义结构力学 其研究对象为可变形的结构,除可变形杆件组成的体系外,还包括可变形的连续体(板体、块体、壳体等)。

(3) 现代结构力学 将工程项目中的各类结构从论证到设计、从施工到使用期内维护的整个过程作为大体系结构,研究大体系结构中的各种力学问题,其研究范围更广。

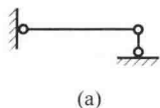
1.2.2 杆件结构的分类

结构力学所研究的是经过简化以后的结构计算简图,因此,所谓杆件结构的分类,实际上就是结构计算简图的分类。

常用的杆件结构按照其组成和受力特点,可分为以下几类。

(1) 梁 梁是一种受弯构件,其轴线通常为直线,水平梁在竖向荷载作用下无水平支座反力,内力有弯矩和剪力。梁分为单跨梁(图 1.7)和多跨梁(图 1.8)。

(2) 拱 拱的轴线通常为曲线,在竖向荷载作用下,支座不仅产生竖向反力,而且还产生水平反力。这种水平反力将使拱内弯矩远小于跨度、荷载及支承情况相同的梁的弯矩。拱有三铰拱、两铰拱及无铰拱三种(图 1.9)。



(a)



(b)

图 1.7 单跨梁

(a) 静定梁; (b) 超静定梁



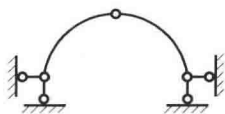
(a)



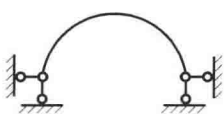
(b)

图 1.8 多跨梁

(a) 静定多跨梁; (b) 连续梁



(a)



(b)



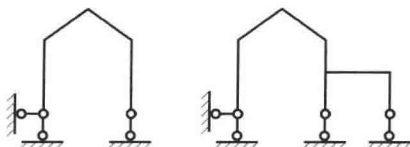
(c)

图 1.9 拱

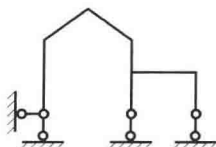
(a) 三铰拱; (b) 两铰拱; (c) 无铰拱

(3) 刚架 刚架是由梁和柱等直杆全部或部分由刚结点连接的结构(图 1.10)。当结构发生变形时,相交于刚结点的各杆端之间的夹角始终保持不变。刚架内力一般有弯矩、剪力和轴力,其中弯矩为主要内力。

(4) 桁架 桁架是由若干杆件在两端用理想铰连接而成的结构(图 1.11)。各杆的轴线一般都是直线,当荷载作用于结点时,各杆只受轴力。



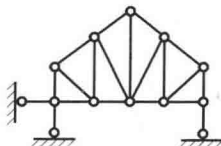
(a)



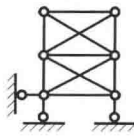
(b)

图 1.10 刚架

(a) 静定刚架; (b) 超静定刚架



(a)



(b)

图 1.11 桁架

(a) 静定桁架; (b) 超静定桁架

(5) 混合结构 混合结构是部分由桁架中的链杆、部分由梁或刚架组合而成的结构,其中既含有刚结点,又含有铰结点(图 1.12)。因此,有些杆件只承受轴力,而另一些杆件还同时承受弯矩和剪力。

按照所用计算方法的特点,结构又可分为静定结构和超静定结构两大类:

(1) 静定结构 若结构在承受任何荷载时,用静力平衡条件可以确定全部支座反力和任一截面上的内力,且其值是确定的,则此结构称为静定结构,如图 1.7(a)~图 1.12(a) 所示。

(2) 超静定结构 若结构的所有支座反力和内力不能仅由静力平衡条件来确定,还必须考虑变形的几何条件才能求得,则此结构称为超静定结构,如图 1.7(b)~图 1.12(b) 所示。

根据杆件和荷载在空间的位置不同,结构又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的结构,称为平面结构。前面所示均为平面结构,是本书讨论的重点。

(2) 空间结构 各杆件的轴线和荷载不在同一平面,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。图 1.13(a) 为一空间刚架,各杆的轴线不在同一平面内;图 1.13(b) 中各杆轴线虽在同一平面内,但荷载不在该平面内,亦为空间结构。

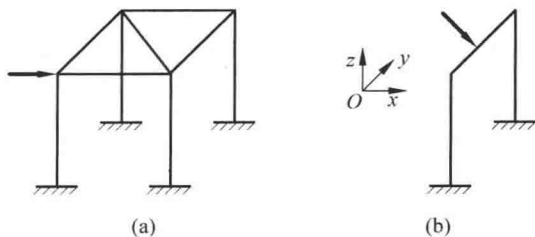


图 1.13 空间结构

1.3 荷载与荷载的分类

荷载是主动作用于结构上的外力。例如,结构的自重(重力)、水压力、风压力、雪压力、人群重量、工业厂房结构上的吊车荷载以及行驶在桥梁上的车辆荷载等。此外,还有其他因素可以使有些结构产生内力和变形,如温度变化、基础沉降、材料收缩等。从广义上说,这些因素也可称为荷载或作用。

确定结构所受的荷载,是进行结构受力分析的前提,必须慎重对待。如果将荷载估计过大,则设计的结构尺寸将偏大,造成浪费;如果将荷载估计得过小,则设计的结构不够安全。

荷载根据其作用时间的长短和作用性质,可作以下分类。

1) 荷载分布的情况

(1) 集中荷载 作用在结构上的荷载,一般总是分布在一定的面积上。当分布面积远小于结构的尺寸时,则可认为此荷载是作用在结构的一点上,称为集中荷载。例如,吊车梁

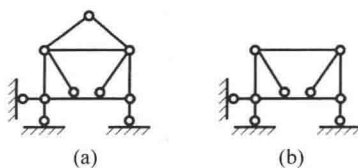


图 1.12 混合结构

(a) 静定混合结构; (b) 超静定混合结构

上的吊车轮压,可看作是吊车梁上的集中荷载。

(2) 分布荷载 指连续分布在结构上的荷载。连续分布在结构内部各点上的力称为体分布荷载,如结构自重及惯性力等;连续分布在结构表面上的力称为面分布荷载。当分布荷载在结构上为均匀分布时,则称为均布荷载。

2) 荷载作用的性质

(1) 静力荷载 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加速度,因而可略去惯性力的影响。结构的恒载都是静力荷载。只考虑位置改变,不考虑动力效应的移动荷载,也定性为静力荷载。

(2) 动力荷载 随时间迅速变化或在短暂时间内突然作用或消失的荷载,可使结构产生显著的加速度,因而惯性力的影响不能忽略。如机械运转时产生的荷载、地震时由于地面运动对结构的动力作用以及爆炸引起的冲击荷载等。

3) 荷载作用时间的长短

(1) 恒载 永久作用在结构上的不变荷载。如结构的自重、固定于结构上的设备重量等。

(2) 活载 暂时作用在结构上的可变荷载。如楼面上的人群重量、吊车荷载、列车荷载、风荷载和雪荷载等。

4) 荷载作用在结构上位置的变化

(1) 可动荷载 能作用于结构上的任意位置的荷载。如恒载和大部分活载(风、雪荷载)。

(2) 移动荷载 一系列互相平行且间距保持不变,能在结构上移动的荷载。如列车荷载和吊车荷载等。

荷载的确定常常比较复杂,通常按有关的荷载规范确定,在荷载规范未包含的某些特殊情况下,技术人员必须深入现场,结合实际情况进行调查 research 才能合理确定荷载。

1.4 结构力学的基本任务

工程中的各类建筑物在使用过程中都要受到各种荷载的作用,在这些建筑物中承担荷载而起骨架作用的部分,称为结构。结构的各个组成部分称为构件。从几何角度来看,结构可分为杆件结构、板壳结构和实体结构三类。本课程是以杆件结构为研究对象的。

一个合理的结构必须是既能安全地承担荷载又最经济地使用材料。结构力学是围绕荷载与结构的承载能力进行研究的。具体任务是:

(1) 研究结构在荷载作用下内力的计算方法,以保证结构有足够的强度。我们知道,结构在过大的荷载作用下可能遭到破坏,例如一根梁当作用在它上面的荷载超过一定限度时,梁就可能断裂。这就是所谓强度不足。进行强度计算的目的是保证结构的安全,同时又使之符合经济的要求。

(2) 研究结构在荷载作用下变形的计算方法,以保证结构有足够的刚度。一个结构在荷载作用下,虽然有了足够的强度,但变形过大,会影响正常使用。例如,屋面檩条的变形过大,屋面会漏水;吊车梁的变形过大,吊车就不能正常行驶。进行刚度计算的目的在于保证结构不发生使用上不能允许的过大变形。