

清华大学土木工程系 组织编写

丛书主编/崔京浩

简明土木工程新技术专题丛书

力学与土木工程

袁鸿 王红 宋德传 编著



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

清华大学土木工程系 组织编写

丛书主编/崔京浩

简明土木工程新技术专题丛书

力学与土木工程

袁鸿 王红 宋德传 编著



中国水利水电出版社

www.waterpub.com.cn

内 容 简 介

本书按我国现行最新建筑规范编写,其主要内容包括静力学基本知识、杆件的基本变形、静定结构的内力计算、超静定结构的内力计算、弹性力学的基本知识、薄板小挠度弯曲问题、全量理论及全量形式的弹塑性边值问题、增量理论及增量形式的弹塑性边值问题、土木工程概论、建筑工程、桥梁工程、隧道工程等。每章小结作为结尾,对所涉及的基本概念、理论、求解方法作归纳性总结,以利读者巩固有关的知识。

本书主要作为土建类的工程造价管理专业、工程测量、给排水、建筑工程、桥梁工程、隧道工程等本科生使用,同时也可作为工程力学等相近专业的高职和成人教育的学生使用,并适于相关工程技术人员和其他人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

力学与土木工程 / 袁鸿, 王红, 宋德传编著. — 北京: 中国水利水电出版社, 2012.8
(简明土木工程新技术专题丛书)
ISBN 978-7-5170-0066-2

I. ①力… II. ①袁… ②王… ③宋… III. ①力学②土木工程 IV. ①03②TU

中国版本图书馆CIP数据核字(2012)第189848号

书 名	简明土木工程新技术专题丛书 力学与土木工程
作 者	清华大学土木工程系 组织编写 丛书主编 崔京浩 袁鸿 王红 宋德传 编著
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	北京嘉恒彩色印刷有限责任公司
规 格	145mm×210mm 32开本 14.75印张 396千字
版 次	2012年8月第1版 2012年8月第1次印刷
印 数	0001—3000册
定 价	30.00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

简明土木工程新技术专题丛书

编 委 会

名誉主编 袁 驷

主 编 崔京浩

副 主 编 石永久 宋二祥

编 委 (按姓氏拼音顺序)

方东平 冯 鹏 韩林海 黄丽艳 李 亮

刘洪玉 陆新征 马智亮 聂建国 郑思齐



国务院学位委员会在学科简介中为土木工程所下的定义是：“土木工程（Civil Engineering）是建造各类工程设施的科学技术的统称。它既指工程建设的对象，即建造在地上、地下、水中的各种工程设施，也指所应用的材料、设备和所进行的勘测、设计、施工、保养、维修等专业技术”。土木工程是一个专业覆盖面极广的一级学科。

英语中“Civil”一词的意义是民间的和民用的。“Civil Engineering”一词最初是对应于军事工程（Military Engineering）而诞生的，它是指除了服务于战争设施以外的一切为了生活和生产所需要的民用工程设施的总称，后来这个界定就不那么明确了。按照学科划分，地下防护工程、航天发射塔井、通讯线路敷设等也都属于土木工程的范畴。

土木工程是国家的基础产业和支柱产业，是开发和吸纳我国劳动力资源的一个重要平台，由于它投入大、带动的行业多，对国民经济的消长具有举足轻重的作用。改革开放后，我国国民经济持续增长，土建行业的贡献率达到1/3；多年来，我国固定资产的投入接近甚至超过GDP总量的50%，其中绝大多数都与土建行业有关。随着城市化的发展，这一趋势还将继续呈现增长的势头。

相对于机械工程等传统学科而言，土木工程诞生得

更早，其发展及演变历史更为古老。同时，它又是一个生命力极强的学科，它强大的生命力源于人类生活乃至生存对它的依赖，可以毫不夸张地说，只要有人类存在，土木工程就有着强大的社会需求和广阔的发展空间。

随着技术的进步和时代的发展，土木工程不断注入新鲜血液，呈现出勃勃生机。其中工程材料的发展和力学理论的进步起着最为重要的推动作用。现代土木工程早已不是传统意义上的砖、瓦、灰、砂、石，而是由新理论、新技术、新材料、新工艺、新方法武装起来的为众多领域和行业不可或缺的大型综合性学科，一个古老而又年轻的学科。

综上所述，土木工程是一个历史悠久、生命力强、投入巨大、对国民经济具有拉动作用、专业覆盖面和行业涉及面极广的一级学科和大型综合性产业，为它编写一套集新颖性、实用性和科学性为一体的“简明专题系列”，既是社会的召唤和需求，也是我们的责任和义务。

清华大学土木工程系是清华大学建校后成立最早的科系之一，历史悠久，实力也比较雄厚，有较强的社会影响和较广泛的社会联系，组编一套“简明土木工程新技术专题丛书”，既是应尽的责任也是一份贡献，但面对土木工程这样一个覆盖面极广的一级学科，我们组编实际起两个作用：其一是组织工作，组织广大兄弟院校及设计施工部门的专家和学者们编写；其二是保证质量的作用，我们有一个较为完善的专家库，必要时请专家审阅、定稿。

简明土木工程新技术专题丛书包括以下几层含义：“简明”，就是避免不必要的理论证明和繁琐的公式推

导，采用简洁明快的表述方法，图文并茂，深入浅出，浅显易懂；“专题”，就是以某个特定内容编辑成册的图书，每本书的内容可以是某种结构的分析与计算，某个设计施工方法，一种安装工艺流程，某种监测判定手段，以及高科技行业基础性建设中的某些非传统性的土木工程业务，如核电站建设、高压输电网塔架以及海上采油平台钢结构等等，均可设定专题独立成册；“丛书”，指不是一本书而是一套书，这套书力争囊括土木工程涵盖的各个次级学科和专业，特别是与现代高科技有关的基础性建设。

这套丛书不称其为“手册”而命名为“专题丛书”，原因之一是一些特定专题不易用手册的方法编写；原因之二是传统的手册往往“大而全”，书厚且涉及的技术领域多，而任何一个工程技术人员在某一个阶段所从事的具体工作又是针对性很强的，将几个专业甚至一个项目的某个阶段集中在一本“大而全”的手册势必造成携带、查阅上的不方便，加之图书的成本过高，编写机构臃肿，组织协调困难，出书及再版周期过长，以致很难反映现代技术飞速发展、标准规范规程更新速度太快的现实。考虑到这些弊端，这套丛书采用小开本，在选题上尽量划分得细一些，视专业、行业、工种甚至流程的不同，能独立成册的绝不合二为一，每本书原则上只讨论一个专题，根据专题的性质和特点有的书名根据有关专业人员的建议仍可冠以“手册”两字。

这套专题丛书的编写严格贯彻“新颖性、实用性、科学性”三大原则。

新颖性，就是充分反映有关新标准、新规程、新规

范、新理论、新技术、新材料、新工艺、新方法，老的、过时的、已退出市场的一律不要。体现强劲的时代风貌。

实用性，就是避免不必要的说理和冗长的论述，尽可能从实用的角度用简洁的语言以及数据、表格、曲线图形来表述；深入浅出，让人一看就懂，一懂能用；不是手册，胜似手册。

科学性，就是编写内容均有出处，参考文献除国家标准、行业标准、地方标准必须列出以外，尚包括引用的论文、专著、手册及教科书。

这套专题丛书的读者对象是比较宽泛的，它包括大专院校师生，土木工程领域的管理、设计、施工人员，以及具有一定阅读能力的建筑工人。它既可作为土建技术人员随身携带及时查阅的手册，又可选作大专院校、高职高专的教材及专题性教辅材料。

崔京浩于清华园

2012年3月

崔京浩，男，山东淄博人。清华大学结构力学研究生毕业，改革开放后赴挪威皇家科学技术委员会做博士后，从事围岩应力分析的研究。先后发表论文180多篇，出版8本专著（其中有与他人合著者），参加并组织编写巨著《中国土木工程指南》，任副主编兼编辑办公室主任，并为该书撰写绪论；主持编写由清华大学土木工程系组编的“土木工程新技术丛书”和“简明土木工程系列专辑”，并任主编。先后任清华大学土木系副系主任、学术委员会副主任、消防协会常务理事、中国力学学会理事，《工程力学》学报主编，享受国务院特殊津贴。



本书是根据普通高等院校土建类的课程教学大纲和基本要求编写的，符合工程管理专业和建筑学专业本科教育培养目标及主干课程基本要求。

本书的编者均有多年从事力学和土木工程专业课程教学和研究的丰富经验。书中结合作者多年的教学经验，集力学与土木工程于一体，在编写过程中，力求做到精心挑选内容，重视概念的更新和拓宽、工程应用的加强及体系的重组，力求前后连接紧凑，简明易懂，使教材内容体现科学性、系统性和先进性，并便于读者的使用。通过学习使学生对力学与土木结构从整体上有一个基本认识。每章小结对所涉及的基本概念、理论、求解方法作归纳性总结，以利读者巩固有关的知识。

本教材参考学时为 80~100 学时。

本书由暨南大学袁鸿主编。本书的编写分工为：广东工业大学王红编写第 1~4 章；暨南大学袁鸿编写第 5~8 章；暨南大学宋德传编写第 9~12 章。在本书编写过程中，得到了许多同行的指教与支持，参考了相关的教材，在此一并表示感谢！

由于编者学识有限等原因，书中难免存在不足之处，恳切希望读者、同行专家批评指正。

编者

2010 年 2 月于暨南大学

目 录

总序

前言

第 1 章 静力学	1
1.1 静力学的基本概念	1
1.2 刚体、变形固体模型及杆件变形的基本形式	4
1.3 静力学公理	6
1.4 结构的计算简图	9
1.5 力对点之矩、力偶概念及基本性质	14
1.6 平面汇交力系和平面力偶系的合成与平衡条件	16
1.7 平面一般力系向一点简化及其平衡条件	21
1.8 物体系统的平衡问题	30
1.9 本章小结	34
第 2 章 杆件的基本变形	37
2.1 应力与应变的概念	37
2.2 轴向拉伸与压缩	40
2.3 杆件的剪切变形	57
2.4 扭转变形	61
2.5 单跨静定梁的弯曲问题	67
2.6 压杆稳定	84
2.7 本章小结	98
第 3 章 静定结构的内力计算	101
3.1 平面体系的几何组成分析	101
3.2 多跨静定梁	107
3.3 静定平面刚架	110

3.4	三铰拱	113
3.5	静定平面桁架	118
3.6	本章小结	126
第4章	超静定结构的内力计算	128
4.1	超静定结构与超静定次数判定	128
4.2	力法计算超静定结构	131
4.3	位移法计算超静定结构	145
4.4	力矩分配法计算超静定结构	160
4.5	本章小结	170
第5章	弹性力学的基本知识	174
5.1	一点的应力状态	174
5.2	应力张量的分解	179
5.3	弹性力学的边值问题	183
5.4	平面问题的直角坐标解法	188
5.5	平面问题的极坐标解法	201
5.6	平面问题中位移用应变或应力的显式表示	218
5.7	本章小结	223
第6章	薄板小挠度弯曲问题	229
6.1	Kirchhoff - Love 假定	230
6.2	基本关系式和基本方程	231
6.3	矩形薄板弯曲问题	247
6.4	圆形薄板的轴对称弯曲问题	256
6.5	本章小结	262
第7章	全量理论及全量形式的弹塑性边值问题	265
7.1	简单加载条件下的弹塑性全量本构关系	268
7.2	全量形式的弹塑性平衡边值问题	269
7.3	全量边值问题的简单举例	270
7.4	理想弹塑性材料的厚壁球壳	281

7.5 本章小结	286
第 8 章 增量理论及增量形式的弹塑性边值问题	288
8.1 Levy - Mises 流动法则	288
8.2 Prandtl - Ruess 流动法则	289
8.3 理想弹塑性材料的本构关系	290
8.4 理想刚塑性材料的本构关系	291
8.5 弹塑性硬化材料的本构关系	292
8.6 增量形式的弹塑性平衡边值问题	297
8.7 全量理论与增量理论的比较	298
8.8 本章小结	300
第 9 章 土木工程概论	303
9.1 土木工程概述	303
9.2 古代土木工程与力学	304
9.3 近代土木工程与力学	312
9.4 现代土木工程与力学	318
9.5 土木工程的未来	325
9.6 土木工程的分类	332
9.7 本章小结	339
第 10 章 建筑工程	341
10.1 建筑工程概述	341
10.2 建筑结构基本类型	342
10.3 荷载及荷载效应组合	347
10.4 建筑结构的基本构件	351
10.5 框架结构设计	366
10.6 本章小结	396
第 11 章 桥梁工程	398
11.1 桥梁工程概述	398
11.2 桥梁的组成和分类	399

11.3	桥梁荷载	407
11.4	简支梁桥的计算	411
11.5	本章小结	427
第 12 章	隧道工程	429
12.1	隧道工程概述	429
12.2	隧道工程的分类	430
12.3	公路隧道的断面形状与衬砌及附属设施	432
12.4	隧道荷载与隧道结构的计算方法	437
12.5	隧道结构计算的结构力学法	443
12.6	本章小结	456
参考文献		458

第 1 章 静 力 学

1.1 静力学的基本概念

静力学是研究物体在力系作用下平衡的普遍规律的科学。

平衡是指物体相对于惯性参考系（如地面）的运动状态不变。它包括静止与匀速直线运动两种情况。

静力学研究三个基本问题：

- (1) 物体的受力分析。
- (2) 力系的等效与简化，即将作用在刚体上的一个力系用另一个与它作用效果相等的简单力系来代替。
- (3) 力系作用下的平衡条件及其应用。

1.1.1 力、力系的概念

力是物体间相互的机械作用，这种作用的效应会使物体产生运动状态变化（运动效应）或者使物体发生形状变化（变形效应）。

力对物体的作用效应取决于力的大小、方向和作用点（作用位置）。在国际单位制中，力的单位是牛顿（N）或千牛顿（kN）。

力是矢量，可以用一带箭头的直线段来表示，如图 1.1 所示。用黑体字母 $\boldsymbol{F}$ 表示力矢量，而普通字母 F 表示力的大小。

力系是指作用于物体上的一群力。若一个力系作用于物体并使其保持平衡，则此力系称为平衡力系。按照力系中各力的作用线是否在同一平面内来分，可将力系

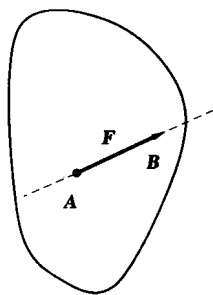


图 1.1 力的表示法

分为平面力系和空间力系两类；按照力系中各力的作用线是否相交来分，可将力系分为汇交力系、平行力系和任意力系三类。各种类型的力系在工程实际中都会遇到。

1.1.2 荷载及其分类

凡使物体产生运动或使物体有运动趋势的力，称为主动力。建筑结构或构件上直接作用的主动力，通称为荷载。结构上的作用是指能使结构产生效应的各种原因的总称。它能使结构产生内力、应力、变形等效应。而结构由于温度的变化、材料的收缩、支座沉陷、地面运动等非荷载因素的作用，也能使结构产生相应的效应。为了区别于荷载的直接作用，把上述非荷载类的其他因素，统称为间接作用。

建筑力学部分，荷载作为已知量给出，工程实际中荷载的形式是多种多样的，需要根据实际情况简化。现对荷载的形式及其分类作如下介绍。

1. 按作用在结构上的时间长短分类

(1) 永久荷载（恒荷载）。在结构使用期间，其值不随时间变化，或变化与平均值相比可以忽略不计的荷载，如结构材料自身重力、土压力等。

(2) 可变荷载（活荷载）。在结构使用期间，其值随时间变化且其变化值与平均值相比可忽略的荷载。例如，楼、屋面上的人群、可移动设备的重力，作用于建筑物上的风荷载、雪荷载与积灰荷载等。

2. 按作用在结构上的荷载性质分类

(1) 静力荷载。静力荷载是指大小、位置和方向不随时间而变化的荷载，如结构的自重和其他恒载。

(2) 动力荷载。动力荷载是指大小、位置和方向随时间而迅速变化的荷载，如动力机械产生的荷载、地震作用、高层建筑的风振作用等。

力的分布实例如图 1.2 所示。

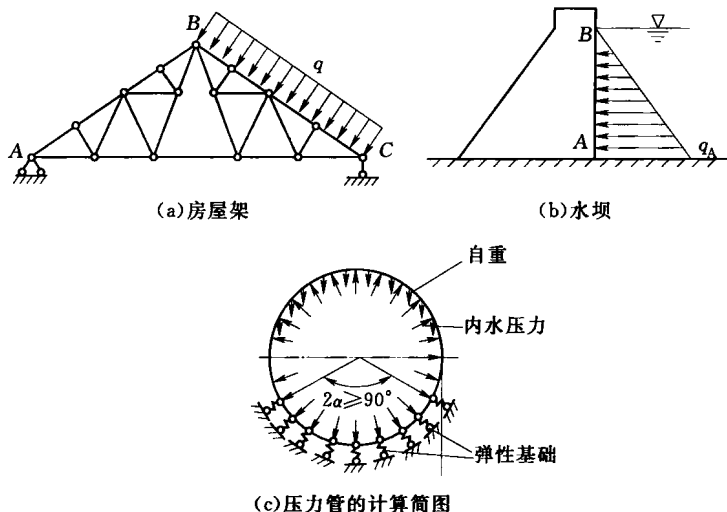


图 1.2 力分布实例

3. 按作用在结构上荷载分布状况分类

(1) 集中荷载。作用于结构上的荷载，当分布面积远小于结构尺寸时，则可以认为此荷载是作用在结构某一点上的集中荷载。

(2) 分布荷载。分布荷载指分布在结构某一表面上的荷载。

1) 体荷载。体荷载是指荷载连续分布于某一体积上，如物体的重力。常以其作用于重心的合力表示。常用单位：牛/立方米 (N/m^3) 或千牛/立方米 (kN/m^3)。

2) 面荷载：当荷载分布在结构某一表面上的某一面积上时，称为面荷载（如风、水、土等对物体的压力），常用单位：牛/平方米 (N/m^2) 或千牛/平方米 (kN/m^2)。

3) 线荷载：当荷载分布于长条形状的体积或面积上时，则可简化为沿其长度方向中心线分布的线荷载，常用单位：牛/米 (N/m) 或千牛/米 (kN/m)。如荷载是均匀分布的则称为均布荷载；否则即为非均布荷载。图 1.2 (a) 所示为沿房屋架均匀分布的风荷载，图 1.2 (b) 所示为作用在单位长度水坝上的水压力，简化为沿 AB 直线分布的三角形分布荷载。图 1.2 (c) 所示为弹性地

基上的压力管道，其上作用有内水压力、管道自重等。

1.2 刚体、变形固体模型及杆件变形的基本形式

1.2.1 刚体、变形固体模型

刚体是指在外力的作用下，其内部任意两点之间的距离不发生变化的物体。实际物体在力的作用下，都会产生程度不同的变形。但是，这些微小的变形，对研究物体的平衡问题不起主要作用时，可以略去不计，物体可以抽象为刚体，从而使问题的研究大为简化。

但当研究的问题与物体的变形密切相关时，就必须考虑物体的变形，这时就要把物体抽象为变形体这一力学模型。变形体是指在外力的作用下，其内部各点之间的距离会发生变化的物体。不应该把刚体和变形体的概念绝对化。实际物体简化为刚体还是变形体，主要取决于所研究问题的性质。例如，研究某个悬臂梁在外力作用下是否安全的固定端约束反力和内力，建立平衡方程时可将梁抽象为刚体。但是在计算梁的变形时，则必须将梁看做变形体。

1.2.2 变形固体的基本假设

工程上使用的固体材料是多种多样的，而且微观结构和力学性质也非常复杂，为了使问题得到简化，通常对变形固体作以下基本假设：

1. 连续性假设

此假设认为变形固体的整个体积内部毫无空隙地充满着物质。这样，构件内有关的物理量（如变形、位移）可表示为坐标的连续函数。

2. 均匀连续性假设

此假设认为变形固体内到处有相同的力学性能。根据这一假设，从构件中截取一部分来分析、试验，不论大小，也不论从何