



21世纪高等学校规划教材

工程力学

GONGCHENG LIXUE

◆ 高潮 原方 主编



中国质检出版社
中国标准出版社



21 世纪高等学校规划教材

工程力学

高潮 原方 主编

中国质检出版社
中国标准出版社

北 京

图书在版编目 (CIP) 数据

工程力学/高潮, 原方主编. —北京: 中国质检出版社, 2015. 1

21 世纪高等学校规划教材

ISBN 978-7-5026-3965-5

I. ①工… II. ①高… ②原… III. ①工程力学 IV. ①TB12

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2013) 第 319719 号

内 容 提 要

本书根据国家教学指导委员会的《工程力学》教材大纲编写, 全书共 15 章, 包括静力学、材料力学和结构力学基础三个组成部分, 在内容上涵盖了结构的平衡分析、杆件及杆件结构的强度、位移计算以及压杆的稳定性分析。在内容选取和安排上力求由浅入深、前后呼应, 注重各部分知识的侧重点及其相互联系。

本书可作为高等院校工程管理专业或相关专业的教学用书, 也可供相关工程技术人员参考。

中国质检出版社 出版发行
中国标准出版社

北京市朝阳区和平里西街甲 2 号 (100029)

北京市西城区三里河北街 16 号 (100045)

网址: www.spc.net.cn

总编室: (010) 64275323 发行中心: (010) 51780235

读者服务部: (010) 68523946

中国标准出版社秦皇岛印刷厂印刷

各地新华书店经销

*

开本 787×1092 1/16 印张 26.25 字数 631 千字

2015 年 1 月第一版 2015 年 1 月第一次印刷

*

定价 49.00 元

如有印装差错 由本社发行中心调换

版权专有 侵权必究

举报电话: (010) 68510107

— 编 审 委 员 会 —

顾 问 赵惠新 (黑龙江大学)

主 任 邓寿昌 (中南林业科技大学)

副主任 薛志成 (黑龙江科技学院)

刘殿忠 (吉林建筑工程学院)

姜连馥 (深圳大学)

高 潮 (大连海洋大学)

邴 伟 (惠州学院)

委 员 (按姓氏笔画排序)

丁 琳 (黑龙江大学)

叶 青 (浙江工业大学)

刘 东 (东北农业大学)

关 萍 (大连大学)

张兆强 (黑龙江八一农垦大学)

张季超 (广州大学)

张燕坤 (北方工业大学)

杨 璐 (沈阳工业大学)

侯 威 (内蒙古工业大学)

赵文军 (黑龙江大学)

郭宗河 (青岛理工大学)

原 方 (河南工业大学)

徐建国 (郑州大学)

— 本 书 编 委 会 —

主 编 高 潮 (大连海洋大学)

原 方 (河南工业大学)

副主编 何 容 (华北水利水电学院)

牛海英 (大连海洋大学)

静 行 (河南工业大学)

刘顺利 (七台河职业学院)

委 员 李荣涛 (大连大学)

张雪珊 (大连交通大学)

杨 杰 (大连海洋大学)

刘晶茹 (大连海洋大学)

王尢平 (大连交通大学)

王 刚 (大连大学)

序 言

伴随着近年来经济的空前发展和社会各项改革的不断深化,建筑业已成为国民经济的支柱产业和重要的经济增长点。该行业的快速发展对整个社会经济起到了良好的推动作用,尤其是房地产业和公路桥梁等各项基础设施建设的深入开展和逐步完善,也进一步促使整个国民经济逐步走上了良性发展的道路。与此同时,建筑行业自身的结构性调整也在不断进行,这种调整使其对本行业的技术水平、知识结构和人才特点提出了更高的要求,因此,近年来教育部对高校土木工程类各专业的发展日益重视,并连年加大投入以提高教育质量,以期向社会提供更加适应经济发展的应用型技术人才。为此,教育部对高等院校土木工程类各专业的具体设置和教材目录也多次进行了相应的调整,使高等教育逐步从偏重于理论的教育模式中脱离出来,真正成为为国家培养生产一线的高级技术应用型人才的教育,“十二五”期间,这种转化将加速推进并最终得以完善。为适应这一特点,编写高等院校土木工程类各专业所需教材势在必行。

针对以上变化与调整,由中国质检出版社(原中国计量出版社)牵头组织了 21 世纪高等学校规划教材的编写与出版工作。该套教材主要适用于高等院校的土木工程、工程监理以及道路与桥梁等相关专业。由于该领域各专业的技术应用性强、知识结构更新快,因此,我们有针对性地组织了中南林业科技

大学、深圳大学、大连水产学院以及北方工业大学等多所相关高校、科研院所以及企业中兼具丰富工程实践和教学经验的专家学者担任各教材的主编与主审，从而为我们成功推出该套框架好、内容新、适应面广的好教材提供了必要的保障，以此来满足土木工程类专业普通高等教育的不断发展和当前全社会范围内建设工程项目安全体系建设的迫切需要；这也对培养素质全面、适应性强、有创新能力的应用型技术人才，进一步提高土木工程类专业高等教育教材的编写水平起到了积极的推动作用。

针对应用型人才培养院校土木工程类各专业的实际教学需要，本系列教材的编写尤其注重理论与实践的深度融合，不仅将建筑领域科技发展的新理论合理融入教材中，使读者通过对教材的学习可以深入把握建筑行业发展的全貌，而且也将建筑行业的新知识、新技术、新工艺、新材料编入教材中，使读者掌握最先进的知识和技能，这对我国新世纪应用型人才的培养大有裨益。相信该套教材的成功推出，必将推动我国土木工程类高等教育教材体系建设的逐步完善和不断发展，从而对国家的新世纪人才培养战略起到积极的促进作用。

教材编审委员会

2014年7月

前言 FOREWORD

为了更好地适应高等学校教育教学改革的需求,按照国家教育教学指导委员会的大纲要求,本书编者综合各院校工程管理等专业的教学特点,并结合多年教学经验编写了本教材。

本书共 15 章,主要包括刚体静力学、材料力学基础部分和结构力学基础部分。基本内容包括:静力学的基本公理;构件与简单结构的受力分析与平衡分析;杆件的基本变形和组合变形;材料的力学性能;应力状态及强度理论;杆件结构的几何组成分析;杆件结构的内力分析和位移分析;受压杆件的稳定性分析。

为使本书内容连贯紧凑,删掉了空间力系部分,将考虑摩擦的平衡问题作为平面任意力系的一个部分;剪切变形作为连接件的实用分析,归纳到第四章轴向拉伸和压缩中;将弯曲变形的内力分析、应力分析和变形分析统一在第六章,其中弯曲的变形分析仅作为后面结构位移分析的一个基础,在此做了简要叙述;静定结构的内力分析和位移分析分别在第十章和第十一章给出;第十二章介绍了移动荷载的影响线及其应用;第十三章和第十四章分别介绍了超静定结构的内力和位移分析的力法和位移法;第十五章介绍了压杆稳定的概念及分析方法。

本书除了对各部分知识做了详尽的叙述和理论推导,还注重各部分知识点的相关性和连贯性,做到前后呼应。同时,针对所分析的理论,各章节都给出了例题和习题,对所学知识加以应用和巩固,并在书后附上答案,已备学生参考。本书对于一些次要内容的处理方法是在章节前加上 * 号,教师和读者可以根据自己的需要取舍。由于各院校、各专业对力学基础的要求或有差异,

因此建议教师在使用本教材时,可以根据本专业的教学要求、学时安排和学生基础自行选用相关章节。

本书的字符和下标尽量保持与我国现行的有关手册和规范相一致。而各个量的单位则主要以国际单位为准。

本书由大连海洋大学、河南工业大学、大连大学、大连交通大学、华北水利水电学院内蒙古大学等联合编写,高潮教授和原方教授担任主编,何容、牛海英和刘顺利担任副主编。其中高潮教授负责编写第一章;李荣涛负责编写第二章、第十五章、附录 I、附录 II;王尢平和牛海英负责编写第三章;杨杰和刘晶茹负责编写第五章;第八章、附录 III;张雪珊负责编写第六章;何容负责编写第七章、第九章、第十二章;王刚负责编写第十章、第十一章;静行负责编写第十三章、第十四章;原方负责编写附录 IV;刘顺利全程参与了该书的编写。

由于编者水平有限,书中难免存在缺点和不足之处,希望广大教师和读者在使用本书后提出宝贵意见,以便我们今后改进!

编 者

2014 年 9 月

目 录 CONTENTS

第一章 绪 论	1
第二章 静力学基本概念和物体的受力分析	4
第一节 静力学基本概念	4
第二节 静力学基本公理	5
第三节 约束和约束力	8
第四节 物体的受力分析	13
小结	18
思考题	18
习题	20
第三章 平面力系	22
第一节 平面汇交力系	22
第二节 平面力对点之矩	29
第三节 平面力偶系	31
第四节 平面任意力系	35
* 第五节 滑动摩擦	48
小结	52
思考题	55
习题	56
第四章 轴向拉伸和压缩	66
第一节 轴向拉伸和压缩的外力和内力	66
第二节 轴力计算和轴力图	67
第三节 轴向拉压的应力计算	69
第四节 材料的力学性能	74
第五节 强度条件	79
第六节 轴向拉伸与压缩时的变形·胡克定律	81

第七节 连接件的强度计算	83
思考题	87
习题	88
第五章 扭 转	92
第一节 扭转变形的外力和内力	92
第二节 薄壁圆管的扭转	95
第三节 圆轴扭转时横截面上的应力和强度计算	97
第四节 圆轴扭转时的变形和刚度计算	101
小结	103
思考题	103
习题	103
第六章 弯曲变形	106
第一节 引言	106
第二节 平面弯曲的内力	109
第三节 梁横截面上的应力	122
第四节 梁的强度计算	133
第五节 提高梁弯曲强度的措施	139
第六节 梁的弯曲变形	141
习题	148
第七章 应力状态和强度理论	154
第一节 概述	154
第二节 平面应力状态的应力分析	154
第三节 空间应力状态与广义胡克定律	159
第四节 强度理论及其相当应力	161
小结	164
思考题	165
习题	166
第八章 组合变形	168
第一节 斜弯曲	168
第二节 拉压与弯曲组合变形	171
小结	182
思考题	183
习题	183

第九章 结构的几何组成分析	187
第一节 结构平面体系的计算自由度	187
第二节 平面几何不变体系的基本组成规则	192
第三节 平面体系几何组成分析示例	195
第四节 体系的几何构造与静定性	198
习题	199
第十章 静定结构的内力计算	202
第一节 多跨静定梁	202
第二节 静定平面刚架	205
第三节 三铰拱	212
第四节 静定平面桁架	217
第五节 静定结构受力特性	225
思考题	227
习题	227
第十一章 结构的位移计算	230
第一节 基本概念	230
第二节 虚功原理	231
第三节 荷载作用下的位移计算公式	235
第四节 图乘法	239
第五节 温度变化和支座沉降情况下的位移计算	244
第六节 互等定理	248
思考题	251
习题	251
第十二章 移动荷载影响线及其应用	254
第一节 移动荷载和影响线的概念	254
第二节 静力作影响线	256
第三节 间接(结点)荷载作用下的影响线	259
第四节 机动法作静定梁影响线的概念	264
第五节 利用影响线计算量值	269
第六节 最不利荷载位置	271
第七节 简支梁的绝对最大弯矩和内力包络图	273
第八节 超静定结构影响线的概念	274
思考题	278

习题	278
第十三章 力法	281
第一节 结构的超静定次数	281
第二节 力法的基本原理	283
第三节 荷载作用下超静定结构的力法计算	288
第四节 结构对称性的应用	296
第五节 广义荷载作用下的力法计算	300
第六节 超静定结构的位移计算	304
第七节 超静定结构最后内力图的校核	305
第八节 超静定结构的特性	306
小结	308
思考题	309
习题	309
第十四章 位移法及渐近法	313
第一节 位移法的基本概念	313
第二节 等截面直杆的转角位移方程	315
第三节 位移法的基本未知量和基本结构	319
第四节 位移法的基本方程	322
第五节 位移法计算示例	325
第六节 直接按平衡条件建立位移法基本方程的解法	335
第七节 力矩分配法的基本概念及原理	336
第八节 用力矩分配法计算连续梁和无侧移刚架	342
小结	348
思考题	349
习题	349
第十五章 压杆稳定	352
第一节 压杆稳定的概念	352
第二节 细长压杆临界力的欧拉公式	354
第三节 欧拉公式的适用范围·临界应力总图	356
第四节 压杆的稳定性计算	361
第五节 提高压杆稳定性的措施	364
小结	365
思考题	366
习题	367

附录 I 截面的几何性质	369
§ I -1 静矩和形心	369
§ I -2 极惯性矩	372
§ I -3 惯性矩和惯性积	373
§ I -4 平行移轴公式	376
小结	377
思考题	378
习题	379
附录 II 常见截面几何性质的计算公式	381
附录 III 型钢规格表	383
附录 IV 简单荷载作用下梁的挠度和转角	394
习题答案	397

第一章 绪 论

一、工程力学的研究对象和研究内容

工程力学是将理论力学的静力学、材料力学、结构力学的主要内容,依据知识的逻辑关联,重新组织形成的知识体系。这一知识体系和工程管理、建筑学等专业的培养目标相适应,满足相关专业对力学基础的要求。

(一) 工程力学的研究对象

工程力学的研究对象是结构或者组成结构的构件。建筑中起承载作用的部分称为结构。组成结构的基本单元一般称为工程构件。工程力学就是研究结构和构件的平衡问题、强度、刚度、稳定性的分析原理及计算方法的学科。

结构一般可按其几何特征分为三种类型:

(1) 杆系结构:组成杆系结构的构件是杆件。杆件的几何特征是其长度远远大于横截面的宽度和高度。

(2) 薄壁结构:组成薄壁结构的主要构件是板和壳。板壳的几何特征是其长度和宽度远远大于厚度。

(3) 块体结构:块体结构的长、宽、高三个方向的尺寸为同一数量级。

本书着重讨论杆系结构的强度、刚度及其稳定性的分析原理及计算方法。

(二) 工程力学的研究任务和研究内容

工程力学的研究任务是:在符合经济要求的前提下,给出保证结构安全、正常工作的计算理论和计算方法。

建筑力学的内容包括:

(1) 静力学部分:研究物体平衡状态下受力条件的科学,包括杆系结构的合理组成规律。此时忽略结构或构件的变形情况,把研究对象假设为刚体——受力不变形的物体。

(2) 材料力学部分:研究杆件在外力作用下的强度、刚度和稳定性问题。此时主要研究构件的变形情况,因此研究对象也叫做变形体。

(3) 结构力学部分:对杆系结构进行受力和变形分析。

所谓强度是指结构或构件抵抗破坏的能力。

所谓刚度是指结构或构件抵抗变形的能力。

所谓稳定性是指结构或杆件在压力作用下,保持原有平衡状态的能力。本书只介绍受压杆件的稳定性问题。

机械结构与建筑结构在工作中通常承受各种外力的作用,例如,车床主轴承受齿轮啮合力和切削力的作用;吊车梁承受吊车和起吊重物的重力;挡土墙、水坝承受土压力、水压力;

建筑结构的梁、板承受自重和结构其他部分传给它的作用力等。机械与结构所承受的这些外力称为荷载。为保证机械或结构能够正常工作,要求每一构件都具有足够的承担荷载的能力。即构件要满足以下三方面的要求:

- (1) 在规定荷载的作用下,构件不能破坏(断裂),应具有足够的强度;
- (2) 在规定荷载的作用下,构件不能产生太大的变形,应具有足够的刚度;
- (3) 当承受规定荷载作用时,构件应保持原有状态下的稳定平衡状态,即能够满足稳定性的要求。

(三) 工程力学的学习目的

工程力学既是一门阐述普遍规律的技术基础课,又是与工程实际问题紧密相联的技术科学,是现代工程技术的重要理论基础。它在基础课与专业课之间起着桥梁作用。它是工程技术人员应当掌握的有关受力分析、强度、刚度、稳定性计算及结构分析方面的基本理论与技能。

二、可变形固体的基本假设

为了对实际结构或者构件进行强度、刚度及稳定性的计算,通常需要略去一些次要因素,将其理想化,以简化分析与计算。对可变形固体所作的基本假设如下:

(1) 连续性假设:认为组成物体的物质密实地充满物体所在空间,毫无空隙。实际上,材料的物质结构均具有不同程度的空隙,并非理想连续体,但当空隙的大小与物体几何尺寸相比极其微小时,其空隙可以忽略不计,认为物体在整个体积内是连续的。于是,可以建立连续的数学模型并进行极限分析。

(2) 均匀性假设:认为物体内部各处的力学性能完全相同。实际工程材料的基本组成部分,如混凝土的石子、沙、水泥或金属的晶体等,其彼此之间、基本组成部分与构件之间的力学性能存在着一定的差别,但由于基本组成部分的尺寸与构件几何尺寸相比极其微小,且材料排列方向的无规则性,故可以按照统计学的观点,假设物体内部各部分的力学性能是均匀的。即物体的力学性能可以用其上任一部位微小单元体的力学性能来体现,同理,通过试样测得的材料性能也适用于构件任何部位。

(3) 各向同性假设:认为组成物体的材料沿各方向的力学性质完全相同。满足此假设的材料称为各向同性材料,否则称为各向异性材料。严格地讲,实际工程中使用的材料均是各向异性材料,如金属材料的晶粒性质是有方向性的。但考虑到构件尺寸比起材料基本组成部分的尺寸大得多,且材料排列方向是随机和无序的,因此,宏观上可以认为是各向同性的。

(4) 小变形假设:认为构件在荷载作用下的变形与构件原始尺寸相比非常小。故对构件进行受力分析时可忽略其变形,采用构件原始尺寸,以使问题得以简化。

三、杆件的基本变形形式

实际构件具有各种不同的几何形状。当构件的长度尺寸远大于其横截面尺寸时,称为杆(杆件)。杆各横截面形心的连线称为轴线。材料力学的主要研究对象为杆件,其基本变形形式主要为以下四种:

(1) 轴向拉伸或压缩

杆件受作用线与杆轴线重合的外力作用,变形为杆件长度的伸长或缩短。

(2) 剪切

杆件受一对大小相等、方向相反、作用线相距很近的横向外力(力作用线垂直于杆轴线)作用,变形为杆件在力作用线间的横截面沿外力方向发生相对错对。

(3) 扭转

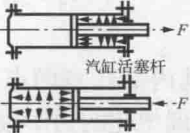
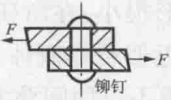
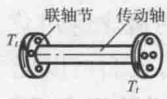
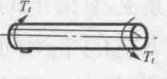
杆件在垂直于杆轴线的平面内受一对大小相等、转向相反的外力偶作用,变形为杆件任意两横截面发生相对转动。

(4) 弯曲

杆件受横向外力或位于杆轴线平面内的外力偶作用,变形为杆件的轴线由直线变为曲线。

杆件基本变形的实例、受力和变形形式见表 1-1。

表 1-1 杆件的基本变形形式

基本变形	工程实例	受力和变形简图
轴向拉伸和轴向压缩		
剪切		
基本变形	工程实例	受力和变形简图
扭转		
弯曲	