

21世纪职业院校土木建筑工程专业系列教材  
中国土木工程学会教育工作委员会推荐教材  
北京市教委立项“职业院校土建专业实践教学研究”成果

# 工程力学

吴宝瀛 编著

清华大学出版社

# 工程力学

第2版

机械工业出版社

21世纪职业院校土木建筑工程专业系列教材  
中国土木工程学会教育工作委员会推荐教材  
北京市教委立项“职业院校土建专业实践教学研究”成果

# 工程力学

吴宝瀛 编著

清华大学出版社  
北京

## 内 容 简 介

本书是土木工程学会教育工作委员会推荐的 21 世纪职业院校土木建筑工程专业系列教材之一,是根据职业院校土木工程专业的培养目标和教学大纲编写的。全书由平面静力学和材料力学两部分组成,共 17 章。为适应职业教育的特点,其中增加了“课程实训”和“本门课程求职面试可能遇到的典型问题应对”两章。

本书可作为职业院校、高等专科学校、高等成人教育学校等土建类专业的教材,亦是土建类工程技术人员的参考读物。

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

工程力学/吴宝瀛编著.--北京:清华大学出版社,2012.8

(21 世纪职业院校土木建筑工程专业系列教材)

ISBN 978-7-302-29428-3

I. ①工… II. ①吴… III. ①工程力学—高等职业教育—教材 IV. ①TB12

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2012)第 161063 号

责任编辑:秦娜

封面设计:常雪影

责任校对:王淑云

责任印制:李红英

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](mailto:c-service@tup.tsinghua.edu.cn)

质 量 反 馈:010-62772015, [zhiliang@tup.tsinghua.edu.cn](mailto:zhiliang@tup.tsinghua.edu.cn)

印 刷 者:北京富博印刷有限公司

装 订 者:北京市密云县京文制本装订厂

经 销:全国新华书店

开 本:185mm×260mm 印 张:16.25 字 数:387 千字

版 次:2012 年 8 月第 1 版 印 次:2012 年 8 月第 1 次印刷

印 数:1~3000

定 价:36.00 元

---

产品编号:046395-01

21 世纪职业院校土木建筑工程专业系列教材

## 编 委 会

名誉主编：袁 驹

主 编：崔京浩

副 主 编：陈培荣

编 委(按姓名拼音排序)：

傅裕寿 韩林海 金荣耀 李崇智 李 锐

刘全义 刘琮昕 刘世奎 石永久 宋二祥

苏 乾 王嵩明 吴宝瀛 张正威 周 坚

我国中长期教育和发展规划纲要中明确提出加强职业教育、扩大院校自主权、办出专业特色,本套教材遵循规划纲要的精神编写,为土木建筑类专业的领导和任课老师提供更为准确和宽泛的自主选择空间。本套教材是北京市教委立项“职业院校土建专业实践教学研究”的成果之一,由于具有突出的针对性、实用性、实践性、应对性和兼容性,受到中国土木工程学会教育工作委员会的好评,被列为“中国土木工程学会教育工作委员会推荐教材”。

当前我国面临严峻的就业形势,主要表现为人才结构失衡:一方面职业技术人才严重不足,另一方面普通本科毕业生又出现过剩的局面,因此,职业院校得到迅猛发展。

现代职业院校既不同于师傅带徒弟的个体技艺传授,也不同于企业招工所进行的单一技能操作性短期培训,而是知识和技能的综合教育,它遵循一般教育的授业方式,以课堂教学为主,所不同的是在教学内容上必须具有鲜明的职业和专业特色,这里首当其冲的是教材的编写和选取。

土木建筑业属于劳动密集型行业,我国农村 2.6 亿富余劳动力约有一半在建筑业打工,这部分劳动者技术素质偏低,迫切需要充实第一线技术指导人员,即通常简称为“施工技术人员”,这就是职业院校土木建筑工程专业的培养目标。鉴于我国传统的中专和近年来兴办的高职高专培养目标大体上是一致的,本套教材兼顾了这两个层次的需要。

本套教材的编写人员是一批具有高级职称又在职业院校任教多年且具有丰富教学经验的教师。整套教材贯彻了如下的原则和要求:

(1) 突出针对性——职业院校的培养目标是生产第一线的技术人才,即“施工技术人员”。因此,在编写时有针对性地删减了烦琐的理论推导和冗长的分析计算,增加生产第一线的专业知识和技能;做到既要充分体现职业院校的培养目的,又要兼顾本门课程理论上和专业上的系统性和完整性。

(2) 突出实用性——大幅度地增加“施工技术人员”需要的专业知识和职业技能,特别是“照图施工”的知识和技能,解决过去那种到工地上看不懂图的问题。为此,所有专业课均增加了识图的培训。

(3) 突出实践性——大力改进实践环节,加强职业技能的培训。第一,除《土木工程概论》和《毕业综合实训指导》外,每本专业书均增加一章“课程实训”,授课时可配合必要的参观和现场讲解。第二,强化“毕业综合实训”,围绕学生毕业后到生产第一线需要的知识和技能进行综合性的实训,为此本套教材专门编写了一本《毕业综合实训指导》,供教师在最后的实训环节参考。

(4) 突出应对性——现代求职一个重要的环节是面试,面试效果对求职的成败有重要影响,因此,本套教材的每本专业书都专门讨论应对面试的内容、能力和职业素质,归纳为

“本门课程求职面试可能遇到的典型问题应对”，作为最后一章。

(5) 突出兼容性——鉴于我国当前土木建筑专业的中、高职教育在培养目标上没有明确的界定，本套教材考虑了高、中职教育两个层次的需要，在图书品种和授课内容上为学院和任课老师提供了较宽泛的选择空间。

虽然经过反复讨论和修改并经过数轮教学实践，本套教材仍不可避免地存在不足乃至错误，请广大读者和同行不吝赐教。

主编：肖岩浩 于清华园

本书是根据职业院校(高等和中等)土木建筑工程专业的培养目标和教学大纲,以及作者多年从事职业院校教学的教学经验并吸收了现有教材中的长处编写的。

工程力学包容广博的力学知识。本教材根据职业院校土木工程专业的教学需要,在第一篇理论力学部分中,只选编了平面静力学部分。这部分内容和第二篇材料力学部分的内容既相对独立,又相互融会贯通。

根据职业院校是培养应用型人才的教學目的,在编写中概念力求准确、清晰,文字叙述力求简练、明确,符号和术语力求表述规范。减少理论推导,论证简明清晰,突出重点,精选例题。在例题的编写中,强调分析、思路和作题步骤,对有些典型例题,解题后进行讨论。

本书以掌握概念,强化应用为教学目的。以平衡、强度、刚度、稳定为主线,既坚持“少而精”的原则,又注重教学内容的完整性。略去了与当前材料力学教学要求不相符的内容,增加了与职业教育有关的“课程实训”和“本门课程求职面试可能遇到的典型问题应对”两章。

在“压杆稳定”这一章中,略去了与当前教学不相符的内容,增加了“实际钢压杆的稳定计算”一节。本节采用了当前工程设计中以概率论为基础的极限状态设计法。

本书选用了书后所列参考文献中的部分例题、习题,在此向文献的诸位作者表示衷心感谢。

限于编者的水平,书中难免有错误和不妥之处,恳请广大读者批评指正。

编者

2012年4月



## 第一篇 静 力 学

<b>第 1 章 静力学分析基础</b> .....	3
1.1 力的概念 .....	3
1.2 刚体的概念 .....	4
1.3 静力学公理 .....	5
1.4 约束和约束反力 .....	6
1.5 物体的受力分析和受力图 .....	8
习题 .....	10
<b>第 2 章 力对点之矩与平面力偶</b> .....	12
2.1 力对点之矩.....	12
2.2 力偶的概念与性质.....	13
2.2.1 力偶与力偶的性质 .....	13
2.2.2 力偶矩与力偶的等效 .....	14
2.3 平面力偶系的合成与平衡.....	15
2.3.1 平面力偶系的合成 .....	15
2.3.2 平面力偶系的平衡条件 .....	15
习题 .....	18
<b>第 3 章 平面汇交力系</b> .....	19
3.1 平面汇交力系合成与平衡的几何法.....	19
3.1.1 平面汇交力系合成的几何法 .....	19
3.1.2 平面汇交力系平衡的几何条件 .....	20
3.1.3 平面汇交力系几何法计算例 .....	20
3.2 平面汇交力系合成与平衡的解析法.....	21
3.2.1 平面汇交力系合成的解析法 .....	21
3.2.2 平面汇交力系平衡的解析法 .....	23
3.2.3 平面汇交力系解析法计算例 .....	23
习题 .....	26

<b>第 4 章 平面一般力系</b> .....	28
4.1 平面一般力系的简化 .....	28
4.1.1 力的平移定理 .....	28
4.1.2 平面一般力系向一点简化 .....	29
4.1.3 平面一般力系简化的结果 .....	30
4.1.4 应用 .....	31
4.2 平面一般力系的平衡 .....	33
4.2.1 平面一般力系的平衡条件及平衡方程 .....	33
4.2.2 平面一般力系平衡方程的其他形式 .....	34
4.2.3 平衡方程的应用 .....	35
习题 .....	40

## 第二篇 材料力学

<b>第 5 章 绪论</b> .....	45
5.1 材料力学的任务 .....	45
5.2 变形固体的基本假设 .....	45
5.3 外力、内力及截面法 .....	46
5.4 杆件的应力、应变 .....	47
5.5 杆件变形的基本形式 .....	48
<b>第 6 章 轴向拉伸和压缩</b> .....	50
6.1 工程中的拉(压)杆件 .....	50
6.2 拉(压)杆的轴力和轴力图 .....	50
6.3 拉(压)杆的应力 .....	52
6.4 拉(压)杆的强度计算 .....	54
6.5 拉(压)杆的变形及胡克定律 .....	56
6.6 拉(压)超静定问题 .....	58
6.7 材料拉(压)时的力学性能 .....	59
6.8 应力集中的概念 .....	64
习题 .....	64
<b>第 7 章 剪切和扭转</b> .....	67
7.1 工程中的剪切问题及计算 .....	67
7.1.1 工程中的剪切问题 .....	67
7.1.2 剪切问题的实用计算 .....	68
7.2 工程中的扭转实例 .....	72
7.3 外力偶矩、扭矩和扭矩图 .....	72

7.4	切应力互等定理及剪切胡克定律·····	75
7.5	等直圆轴扭转时的应力和强度计算·····	76
7.5.1	圆杆扭转时横截面上的切应力计算公式·····	76
7.5.2	圆杆扭转时强度计算·····	79
7.6	圆轴扭转时的变形及刚度计算·····	80
7.7	非圆截面扭转简介·····	84
	习题·····	85
<b>第8章</b>	<b>梁的内力</b> ·····	<b>87</b>
8.1	概述·····	87
8.2	梁的内力——剪力和弯矩·····	88
8.3	剪力图和弯矩图·····	91
8.3.1	剪力图、弯矩图的一般规定·····	91
8.3.2	剪力、弯矩与荷载集度的关系·····	95
8.3.3	直梁的剪力图、弯矩图与荷载三者间的关系·····	96
8.4	叠加法作弯矩图·····	96
	习题·····	104
<b>第9章</b>	<b>平面图形的几何性质</b> ·····	<b>106</b>
9.1	静矩和形心·····	106
9.2	极惯性矩、惯性矩、惯性积及惯性半径·····	108
9.3	平行移轴公式·····	109
9.4	主轴、主惯性矩、形心主轴、形心主惯性矩·····	111
	习题·····	111
<b>第10章</b>	<b>梁的应力</b> ·····	<b>113</b>
10.1	梁的弯曲正应力·····	113
10.1.1	受纯弯曲时梁横截面上的正应力·····	113
10.1.2	横向荷载作用下梁的正应力·····	116
10.1.3	梁的正应力强度条件·····	117
10.2	提高梁的抗弯强度的措施·····	121
10.3	梁的切应力及强度条件·····	123
10.4	弯曲中心的概念·····	130
	习题·····	131
<b>第11章</b>	<b>梁的弯曲变形</b> ·····	<b>134</b>
11.1	梁的变形·····	134
11.2	梁挠曲线近似微分方程·····	134
11.3	积分法求梁的变形·····	135

11.4	叠加法求梁的位移 .....	138
11.5	梁的刚度条件及提高梁刚度的措施 .....	142
	习题 .....	143
<b>第 12 章</b>	<b>应力状态和强度理论 .....</b>	<b>144</b>
12.1	点的应力状态 .....	144
12.2	平面应力状态分析 .....	146
12.2.1	解析法 .....	146
12.2.2	应力圆法(图解法) .....	153
12.3	广义胡克定律 .....	160
12.4	强度理论 .....	164
12.4.1	简单应力状态下的强度条件 .....	164
12.4.2	复杂应力状态下的强度条件 .....	165
12.4.3	常用的四种强度理论 .....	165
12.4.4	强度理论的应用 .....	167
	习题 .....	169
<b>第 13 章</b>	<b>组合变形 .....</b>	<b>172</b>
13.1	概述 .....	172
13.2	斜弯曲 .....	172
13.3	拉(压)与弯曲组合 .....	175
13.3.1	拉(压)弯组合 .....	175
13.3.2	偏心压缩(拉伸) .....	177
13.4	弯扭组合 .....	182
	习题 .....	186
<b>第 14 章</b>	<b>压杆稳定 .....</b>	<b>188</b>
14.1	压杆失稳的概念 .....	188
14.2	细长压杆的临界力 .....	188
14.2.1	两端铰支细长压杆的临界力 .....	188
14.2.2	对欧拉公式的一些认识 .....	190
14.2.3	例题 .....	191
14.3	弹性极限后的临界力 .....	195
14.4	实际钢压杆的稳定极限承载力 .....	196
14.4.1	初始缺陷对轴心受压杆的影响 .....	196
14.4.2	实际钢压杆的稳定极限承载力 .....	199
	习题 .....	205

---

<b>第 15 章 动应力</b> .....	208
15.1 概述 .....	208
15.2 构件受冲击时的动应力计算 .....	208
15.3 提高构件抗冲击能力的措施 .....	211
习题 .....	211
<b>第 16 章 课程实训</b> .....	213
16.1 实训题目 .....	213
16.2 分析和计算 .....	213
16.3 实训练习题 .....	219
<b>第 17 章 本课程求职面试可能遇到的典型问题应对</b> .....	220
17.1 静力学方面的问题 .....	220
17.2 材料和轴向拉(压)问题 .....	222
17.3 圆直杆的扭转问题 .....	224
17.4 快速确定简支梁的弯矩图、剪力图的大致形状 .....	226
17.5 梁的强度及其他问题 .....	229
<b>附录 型钢表</b> .....	236
<b>参考文献</b> .....	245

# 第一篇 静力学





## 静力学分析基础

学习要点：力系和刚体的概念，静力学公理，约束与约束反力，物体受力图的绘制。

### 1.1 力的概念

#### 1. 力的定义

人们在生活和生产实践中早就认识了力，也有了力的概念，但是有关力的科学定义却来自18世纪的牛顿力学定律。根据牛顿定律，可以将力定义为：力是物体之间的相互作用。由此可知，力是成对出现的，并互为作用力和反作用力。

力是无形的，但力对物体作用的效果是可见的，力对物体的作用效果可分为两类：一类是使物体的运动状态发生改变，称为力的外效应；一类是使物体的形状发生改变，称为力的内效应。静力学就是研究物体在力的作用下的外效应。实践证明，力对物体的作用效果取决于力的大小、方向和作用点，称为力的三要素。

#### 2. 力的单位

力的单位是牛(N)，来自牛顿的力学定律。用质量和它获得的加速度的乘积来作为力的度量，即  $1\text{N}=1\text{kg}\cdot\text{m}/\text{s}^2$ 。

在建筑工程中，牛的单位太小，通常用千牛(kN)来度量。工程中将力称为荷载。有些作用力的作用范围可以不计，抽象化为一个点，称为集中力或称集中荷载，其单位是kN；有些力作用的体积或面积不能忽略，称为分布力或称为分布荷载。对于分布于体积上的荷载，用体荷载集度来度量，其单位是  $\text{kN}/\text{m}^3$ ；对于分布于面积上的荷载，用面荷载集度来度量，其单位是  $\text{kN}/\text{m}^2$ ；沿杆件轴线分布的荷载，称为线荷载，用线荷载集度来度量，其单位是  $\text{kN}/\text{m}$ 。

图1-1所示为单层厂房桥式吊车梁的受力图，小车对梁的压为 $P$ 。可视为集中荷载，其单位是kN；吊车梁受地球的作用力分布于其体积上，称为体荷载，其度量单位是  $\text{kN}/\text{m}^3$ ；如果将体荷载乘以梁的高度，就变为面荷载，其度量单位是  $\text{kN}/\text{m}^2$ ；如果将面荷载再乘以梁的宽度，就变为沿轴线分布的线荷载，其线荷载集度用 $q$ 表示，其单位是  $\text{kN}/\text{m}$ (见图1-1(b))。

建筑结构中所受的重力通常是恒量，因为重力加速度可视为恒量。

力是矢量，方向和加速度矢量一致。由力的三要素可知，力可用沿力作用线的有向线段来表示，见图1-2。



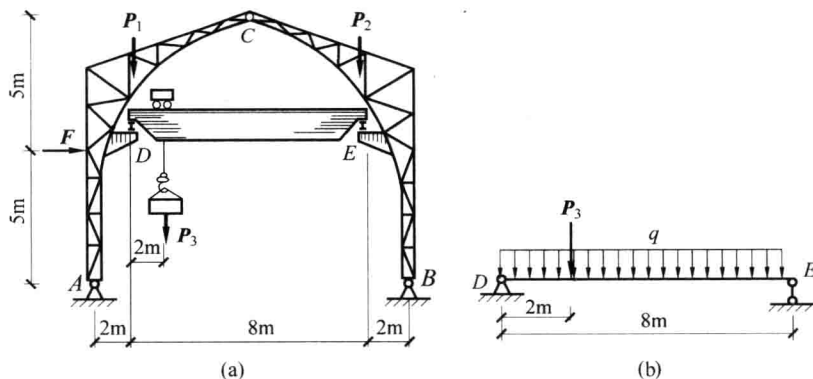


图 1-1 单厂桥式吊车大梁受力简图

(a) 单厂横截面图,  $DE$  为桥式吊车大梁; (b)  $DE$  梁的计算简图

### 3. 力系与力系的简化

#### 1) 力系

作用于物体上的多个力称为力系。所有力的作用线都在同一个平面内,叫做平面力系。如果平面力系中的各力的作用线都汇交于一点,叫做平面汇交力系;如果平面力系中各力都相互平行,叫做平面平行力系;如果平面力系中各力作用线既不全平行也不汇交于一点,叫做平面一般力系。

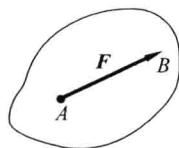


图 1-2 力矢量

#### 2) 力系的简化

如果两个力系对物体在某方面的作用效果相同,就称这两个力系在这方面是等效力系;两个等效力系,相互代换,以达到简化的目的,称为等效代换。

如果一个力和一个力系等效,就称这个力为这个力系的合力,力系中的各个力就是合力的分力。为达到简化的目的,合力与其分力也可相互等效代换。

如果作用于某物体上的力系使物体处于平衡状态,就称这个力系为平衡力系。研究力系的平衡条件是静力学的主要内容。

## 1.2 刚体的概念

力作用于物体,都会引起物体的变形。如果研究的物体变形很小,对研究的问题影响甚微,或没有影响,就可以将研究的物体视为不变形的物体——刚体。刚体就是受力后内部任意两点之间的距离始终保持不变的物体。

刚体是一个理想化的力学模型,即在研究物体的平衡时,不考虑物体的变形。在研究物体某一局部的平衡时,将该局部视为刚体,称为局部刚化原理。

是否将物体视为刚体,要视研究的问题而定,当研究的问题和变形相关时,即使很微小的变形也必须考虑,这时物体就是变形体。