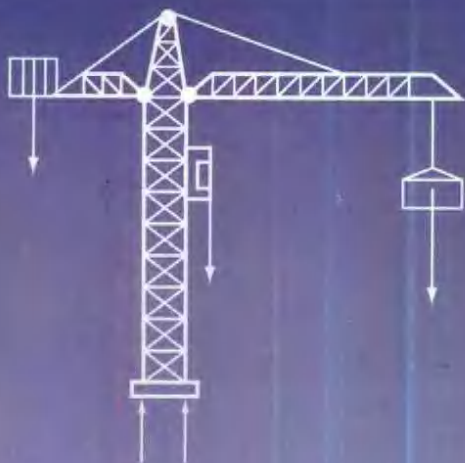


# 工程力学

下 册

吴英龙 主编



高等职业教育教材

# 工 程 力 学

下 册

主编 吴英龙

主审 郝 昕

编者 刘兰城 陈锻兰 王新芸



A1057838

西南交通大学出版社

· 成 都 ·

## 内 容 简 介

本书是根据 1992 年铁道部教育司审定的《工程力学》教学大纲(150 学时)编写的。1994 年首版,试用数年后,现修订再版。全书分上、下两册。上册为理论力学,下册为材料力学。下册内容包括绪论、拉伸和压缩、剪切和挤压、扭转、弯曲、组合变形、压杆稳定、动荷应力和交变应力等。

全书理论叙述简明扼要,分析问题层次分明,可作为高等职业学校和职工中专机械类、近机类专业的工程力学教材,也可供自学者阅读。

本书采用国际单位制(SI),每章后附有思考题和练习题,书后附有练习题答案。

---

### 图书在版编目(CIP)数据

工程力学/吴英龙主编.——成都:西南交通大学出版社,2002.1

高等职业教育教材  
ISBN 7-81057-580-5

I. 工... II. 吴... III. 工程力学—高等学校:技术学校—教材 IV. TB12

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2001)第 098471 号

---

## 工 程 力 学

下 册

吴英龙 主编

\*

出 版 人 宋绍南

责任编辑 李彤梅

封面设计 肖 勤

西南交通大学出版社出版发行

(成都二环路北一段 111 号 邮政编码:610031 发行科电话:7600564)

四川森林印务有限责任公司印刷

\*

开本:850mm×1168mm 1/32 印张:21.5

字数:506千字 印数:1—3000册

2002 年 1 月第 1 版 2002 年 1 月第 1 次印刷

ISBN 7-81057-580-5/TP·274

定价:26.00 元

(上册:15.00 元;下册:11.00 元)

## 出版前言

随着我国高等专科教育、高等职业教育、成人高等教育的迅猛发展,为配合培养高等技术应用型专门人才,本着以“应用”为主旨及特征构建课程和教学内容体系之目的,我们对土建类、机械类专业四门力学课程(静力学、结构力学、材料力学、工程力学)教材修订版进行重新组合编辑出版。

本套教材立足铁路、面向全国,有关编审人员注意吸收大多数授课教师历年积累的教学试验,改正了原版本尚存的错漏。

本套教材力求在传授知识的同时注重基本力学原理与创新能力的培养,在阐述本学科知识的同时注意与相关学科的贯通、渗透和融合,重组课程体系,妥善处理本学科基本原理与现代科技成果的关系。

书中的例题及练习题、思考题内容丰富,概念清晰,解题严谨、难易适中,突出原理与工程实践的融会贯通。

随着教学改革的不深入,恳请读者对书中存在的问题和不足之处提出批评指正。

2002年1月

## 再 版 前 言

本教材的第一版是根据 1992 年铁道部教育司审定的铁路中等专业学校力学教学大纲(理论力学 80 学时、材料力学 70 学时)编写的。通过几年来的使用,考虑到各专业教学改革对本课程要求的变化,需要进行修订再版。

在铁路中专力学课程组的主持下,于 1996 年 12 月在无锡召开了修订工作会议。会议对教材逐章逐节地进行了讨论,提出了许多宝贵意见。会后作者根据会议的要求作了认真的修改:对章节作了适当的调整;对章节内容、例题、思考题、练习题与答案等作了适当的增删和修订。

应教材编审小组的邀请,太原铁路机械学校唐文梅、柳州铁路运输学校秦崇庄、武汉铁路运输学校王接侯等同志都审阅了第一版教材,并分别提出了不少修改意见,对本书的及时定稿起了很大作用。此外,使用本书第一版的很多学校的教师陆续提出过一些修改建议,对修订工作都起了有益的作用。谨此一并致谢。

参加这次修订工作的有吴英龙、郝昕、宋世樟、刘兰城、陈锻兰、王新芸、王艳芬、徐广民等同志,仍由吴英龙担任主编,西南交通大学出版社给予了很大支持。

限于编者水平,修订后的教材难免还有不妥之处,希望广大教师和读者批评指正。

编 者

1997 年 2 月

# 前 言

本书是根据 1992 年铁道部教育司审定的《工程力学》教学大纲(理论力学 80 学时,材料力学 70 学时)编写的。在编写过程中,我们注意了讲清基本概念、基本理论、基本方法的基础上精选教材内容,力求做到理论联系实际、深入浅出,并在贯彻启发式教学原则和重视对学生能力的培养方面,作了一点尝试。

本教材采用国际单位制(SI)——我国法定计量单位制的基础。个别非国际单位制的单位,书中作了说明。

本书分上、下两册,上册为理论力学,下册为材料力学。与本教材配套的还有练习题册(上、下册)和材料力学实验指导书。

本教材适用于中等专业学校机械类(多学时)各专业,对某些少学时专业和职工中专的一些专业,亦可根据教学大纲要求酌情使用。

本书由沈阳铁路机械学校吴英龙主编,武汉铁路运输学校宋世樟、太原铁路机械学校郝昕主审。参加编写的有沈阳铁路机械学校吴英龙(上册绪论及第一章至第四章)、北京铁路第二机械学校李祝云(上册第五章、第六章)、太原铁路机械学校郝昕(上册第七章至第十四章)、株洲铁路机械学校刘兰城(下册绪论、第一章至第二章)、乌鲁木齐铁路运输学校陈锻兰(下册第三章、第四章)、郑州铁路机械学校王新芸(下册第五章至第七章)。参加练习题册编写的有昆明铁路机械学校王艳芬(上册第一章至第四章)、南京铁路运输学校赵孝英(上册第五章、第六章)、苏州铁路机械学校黄怀庆(上册第七章至第十章)、南昌铁路机械学校朱成九(上册第十一

章至第十四章)、广州铁路机械学校李先武(下册第一章、第二章)、北京铁路电气化学校张佩丽(下册第三章、第四章)、郑州铁路机械学校徐广民(下册第五章至第七章)。全部练习题及练习题册由王艳芬(上册)、徐广民(下册)负责统一整理。材料力学实验指导书由徐广民编写。

参加审稿会议的除上述编审人员外,还有内江铁路机械学校张美植、常州铁路机械学校楼纪国、兰州铁路机械学校陈德道和太原铁路机械学校唐文梅等同志,他们都对书稿提出了许多宝贵意见。在本书的编写过程中,我们还得到株洲铁路机械学校、广州铁路机械学校的大力支持,对此我们表示衷心的感谢!

由于编者业务水平有限,加之教学工作繁重,时间仓促,书中难免存在不少缺点和疏漏,诚恳希望有关专家和使用本书的同志们批评指正。

**编 者**

1994年3月

# 目 录

|                       |    |
|-----------------------|----|
| 绪 论                   | 1  |
| § 0-1 材料力学的任务         | 1  |
| § 0-2 变形固体及其基本假设      | 3  |
| § 0-3 杆件变形的基本形式       | 4  |
| 第一章 拉伸和压缩             | 7  |
| § 1-1 拉伸和压缩的概念        | 7  |
| § 1-2 内力 截面法          | 8  |
| § 1-3 拉伸(或压缩)时横截面上的应力 | 12 |
| § 1-4 斜截面上的应力分析       | 16 |
| § 1-5 拉伸(或压缩)时的变形     | 18 |
| § 1-6 材料拉伸、压缩时的力学性能   | 23 |
| § 1-7 许用应力与安全系数       | 29 |
| § 1-8 拉、压杆的强度计算       | 30 |
| § 1-9 拉、压杆超静定问题       | 33 |
| 小 结                   | 36 |
| 思考题                   | 38 |
| 练习题                   | 40 |
| 第二章 剪切和挤压             | 45 |
| § 2-1 基本概念            | 45 |
| § 2-2 剪切和挤压的实用计算      | 46 |
| § 2-3 剪切变形、剪切虎克定律     | 52 |

|                            |           |
|----------------------------|-----------|
| 小 结 .....                  | 53        |
| 思考题 .....                  | 53        |
| 练习题 .....                  | 55        |
| <b>第三章 扭 转</b> .....       | <b>58</b> |
| § 3-1 扭转的概念 .....          | 58        |
| § 3-2 扭矩 扭矩图 .....         | 59        |
| § 3-3 圆轴扭转时横截面上的应力 .....   | 64        |
| § 3-4 圆轴扭转时的变形 .....       | 68        |
| § 3-5 截面极惯性矩和抗扭截面系数 .....  | 69        |
| § 3-6 扭转时的强度和刚度计算 .....    | 72        |
| 小 结 .....                  | 79        |
| 思考题 .....                  | 81        |
| 练习题 .....                  | 84        |
| <b>第四章 弯 曲</b> .....       | <b>88</b> |
| § 4-1 梁弯曲的概念 .....         | 88        |
| § 4-2 剪力和弯矩 .....          | 91        |
| § 4-3 剪力图和弯矩图 .....        | 96        |
| § 4-4 弯矩、剪力与载荷集度的关系 .....  | 103       |
| § 4-5 弯曲时的正应力 .....        | 111       |
| § 4-6 截面的轴惯性矩及抗弯截面系数 ..... | 117       |
| § 4-7 梁的弯曲强度计算 .....       | 124       |
| § 4-8 弯曲时的剪应力 .....        | 130       |
| § 4-9 提高梁弯曲强度的途径 .....     | 135       |
| § 4-10 弯曲变形 .....          | 140       |
| § 4-11 梁的刚度计算 .....        | 151       |
| § 4-12 超静定梁* .....         | 154       |

---

\* 可根据不同专业和学时,选学、选讲。

|                                       |            |
|---------------------------------------|------------|
| 小 结 .....                             | 157        |
| 思考题 .....                             | 160        |
| 练习题 .....                             | 167        |
| <b>第五章 组合变形 .....</b>                 | <b>178</b> |
| § 5-1 概 述 .....                       | 178        |
| § 5-2 拉伸(压缩)与弯曲组合时的强度计算 .....         | 179        |
| § 5-3 弯曲与扭转组合时的应力分析 .....             | 185        |
| § 5-4 应力状态分析 .....                    | 187        |
| § 5-5 强度理论 .....                      | 195        |
| § 5-6 弯曲与扭转组合时的强度计算 .....             | 200        |
| 小 结 .....                             | 206        |
| 思考题 .....                             | 207        |
| 练习题 .....                             | 211        |
| <b>第六章 压杆稳定 .....</b>                 | <b>216</b> |
| § 6-1 压杆稳定的概念 .....                   | 216        |
| § 6-2 细长压杆的临界力 .....                  | 218        |
| § 6-3 压杆的临界应力 .....                   | 220        |
| § 6-4 压杆的稳定计算 .....                   | 226        |
| § 6-5 提高压杆稳定性的措施 .....                | 230        |
| 小 结 .....                             | 231        |
| 思考题 .....                             | 233        |
| 练习题 .....                             | 234        |
| <b>第七章 动荷应力和交变应力 .....</b>            | <b>238</b> |
| § 7-1 动载荷和动荷应力的概念 .....               | 238        |
| § 7-2 构件作匀加速直线运动和匀速转动时<br>的应力计算 ..... | 238        |
| § 7-3 交变应力的概念 .....                   | 243        |

|                           |         |
|---------------------------|---------|
| § 7-4 材料的疲劳极限及其影响因素 ..... | 246     |
| § 7-5 构件在交变应力下的强度条件 ..... | 250     |
| § 7-6 提高构件疲劳强度的措施 .....   | 252     |
| 小 结 .....                 | 253     |
| 思考题 .....                 | 254     |
| · 练习题 .....               | 255     |
| <br>附录 I 单位及单位换算表 .....   | <br>257 |
| 附录 II 型钢表 .....           | 259     |
| 附录 III 练习题答案 .....        | 280     |
| 参考文献 .....                | 286     |

# 绪 论

## § 0-1 材料力学的任务

机械及工程结构中的基本组成部分，统称为构件。在载荷作用下，构件都会发生变形。随着载荷的继续增加，有些构件可能突然断裂，有些构件则将发生过大变形直至破坏。为了保证构件正常工作，每一构件都要有足够的承受载荷作用的能力，简称为承载能力。

构件的承载能力，通常由下列三个方面来衡量：

1. 强度 构件抵抗破坏的能力叫作强度。构件必须具有足够的强度，这是保证其正常工作最基本的要求。例如，吊起重物的钢丝绳不允许断裂，齿轮的轮齿在传动过程中不允许破损，机器中的轴不允许折断或扭坏等。

2. 刚度 构件抵抗变形的能力叫作刚度。有时构件在载荷作用下虽然不发生破坏，但如果变形过大，也会导致构件不能正常工作。例如当齿轮轴发生过大变形时，会影响轮齿的啮合状况，使轮齿局部受力(图 0-1, a)；当机床主轴发生过大变形时，会影响机床对工件的加工精度(图 0-1, b)。因此，对于某些构件，除了要有足够的强度外，还要求具有足够的刚度。

3. 稳定性 构件保持原有平衡状态的能力叫作稳定性。对于中心受压的细长直杆，例如内燃机中的挺杆(图 0-2, a)、千斤顶中的顶杆(图 0-2, b)，当压力较小时，受压杆件能保持其直线平衡状态，但随着压力的增加，压杆会由原来直线形状的平衡突然

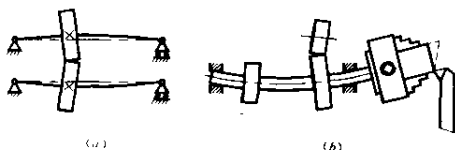


图 0-1

变弯而丧失工作能力,这种现象称为丧失稳定,简称失稳。对于这类细长压杆,必须要求它们在工作中始终保持原有的直线平衡状态,即具有足够的稳定性。

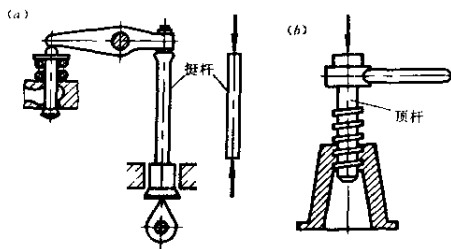


图 0-2

为了满足构件在强度、刚度、稳定性三个方面的要求,达到安全可靠的目的,必须为构件选择适当的材料、合理的截面形状和尺寸,同时还必须尽可能地降低材料的消耗量,以符合经济的原则。显然,过分地强调安全,将会导致材料用量的无谓增加,或者不适当地使用优质材料,造成不经济;反之,如果片面地追求经济,就会降低构件的安全可靠性。可见安全与经济之间是有矛盾的,这一矛盾促进了材料力学的产生和发展。材料力学的任务是:研究构件的强度、刚度和稳定性,为构件选择适当的材料、确定合理的截面形状和尺寸提供必要的计算方法和实验技术,以达到既安全又

经济的目的。

构件的强度、刚度和稳定性均与其材料的力学性能有关,而材料的力学性能只有通过试验才能测定。此外,对于现有理论还不足以解决的某些问题,也需借助试验来解决。因此,试验研究和理论分析都是完成材料力学任务所必需的重要手段。

## § 0-2 变形固体及其基本假设

### 一、变形固体

在理论力学中,曾把固体(物体)看作刚体,也就是假定固体在外力作用下,其形状和尺寸大小都是绝对不变的。实际上,在自然界中,绝对的刚体是不存在的,只是固体的微小变形对研究平衡问题影响很小,可以忽略。但是在材料力学中,物体的变形却是一个不可忽略的重要因素。因此,必须把构件如实地视为变形固体。

### 二、变形固体的基本假设

为了便于对构件进行强度、刚度和稳定性方面的研究,对性质复杂的变形体作了如下假设:

1. 连续均匀假设 假设变形固体在其整个体积内完全充满了物质,毫无间隙存在,而且各处的物理性质相同。
2. 各向同性假设 假设变形固体沿不同方向的物理性质完全相同。

上述假设,显然与固体的微观结构和性能并不相符。因为固体是由许多微粒或晶体所组成,各微粒或晶体之间是有间隙的,且各微粒或晶体彼此性质并不完全相同。但是,材料力学是从宏观的角度研究问题,由于固体内部的间隙与材料力学所研究的构件尺寸相比极其微小,且微粒和晶体的数目极多,排列很不规则,固

体的物理性质实际上是这些微粒或晶体物理性质的平均值,因而,可以认为固体的结构是密实的,力学性能是均匀的,且各向同性。实验结果表明,根据上述假设得出的理论基本是正确的,说明上述假设是符合实际的。

工程中使用的绝大多数材料,如钢、铜、铸铁、玻璃等,基本上都符合上述假设,称为各向同性材料。但也有一些材料,如轧制钢、竹、木材等,其力学性能都具有方向性,称为各向异性材料。材料力学所研究的物体,仅限于各向同性的变形固体。在这种情况下得到的结论,用于某些各向异性材料,有时也可以得到较满意的近似结果,但必须有条件地使用。

此外,材料力学只限于研究物体的小变形和弹性变形。所谓小变形,是指构件在外力作用下所产生的变形与构件本身的尺寸相比一般都非常微小,因此,在研究构件的强度和刚度等问题时,均按构件原来的尺寸和形状进行计算,这便是小变形理论。小变形理论在材料力学的计算和分析中有着重要意义。弹性变形是指引起构件变形的外载荷撤除以后能够完全消失的变形。工程中构件的变形,一般都属于弹性范围以内的小变形。

总之,材料力学是将构件的材料看作均匀、连续、各向同性的变形固体,而且主要是按小变形理论在材料的弹性范围以内进行研究。

## § 0-3 杆件变形的形式

工程实际中的构件形状是多种多样的,但多数为杆件。所谓杆件,是指长度尺寸远大于其他两个方向尺寸的构件。例如丝杠、轴、连杆等均可简化为杆件。杆件的几何特征可用其轴线(杆件横截面形心的连线)和垂直于轴线的横截面来表示。轴线为直线的杆件称直杆;横截面的大小和形状完全相同的杆件称为等截面杆。

材料力学研究的对象主要是等截面直杆,简称等直杆。

杆件在外力作用下发生的基本变形有下列四种:

1. **拉伸与压缩** 这种变形的特点是,杆件在轴线方向发生伸长或缩短,例如汽缸的活塞杆(图 0-3)、起吊重物的绳索、千斤顶的顶杆等

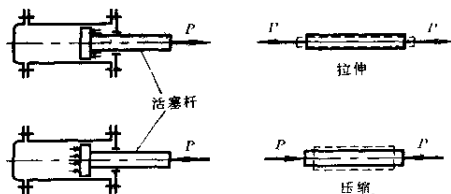


图 0-3

2. **剪切** 这种变形的特点是,杆件的横截面间发生相对错动。例如铆钉(图 0-4)、销钉、键等。



图 0-4

3. **扭转** 这种变形的特点是,杆件的横截面绕其轴线发生相对转动,例如汽车方向盘的转向轴(图 0-5)、机器中的各种传动轴等。

4. **弯曲** 这种变形的特点是,原为直线的轴线变成曲线,例如车辆的车轴(图 0-6)、起重机大梁、机器中的某些轴等。

构件的其他各种复杂变形形式,都可以看作是上述几种基本变形的组合。在以后的各章中,将先研究构件的几种基本变形,然后再讨论构件的组合变形问题。

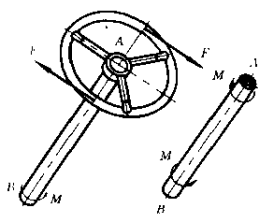


图 0-5

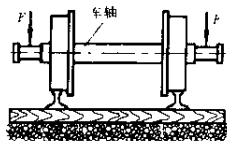


图 0-6