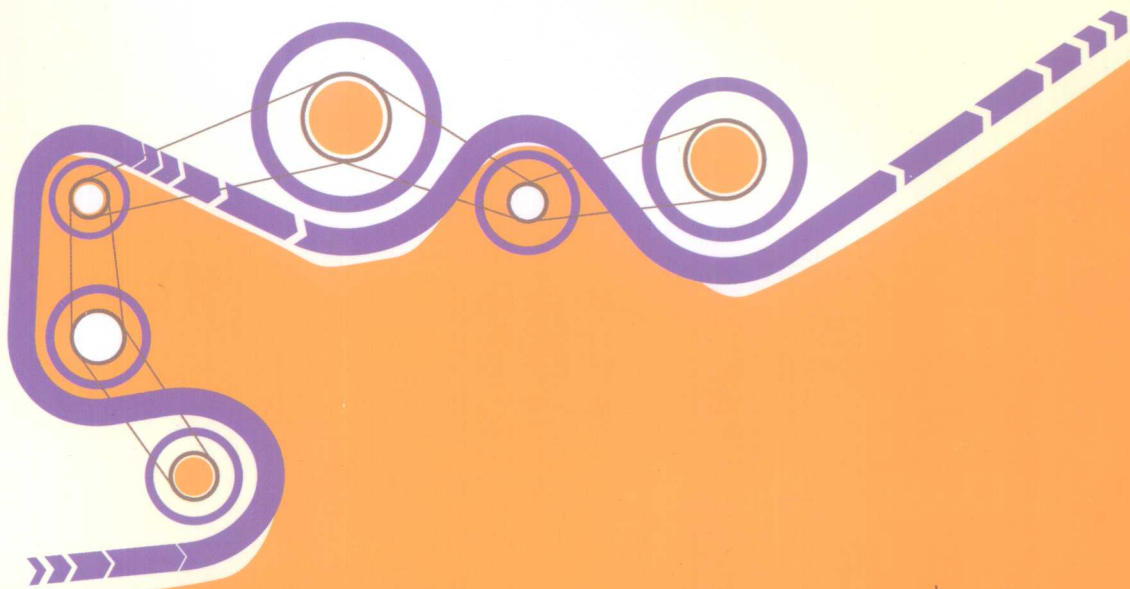


高职高专机电类工学结合模式教材

# 工程力学

王亚辉 主编  
王长昕 郑晓利 副主编  
孙利民 主审

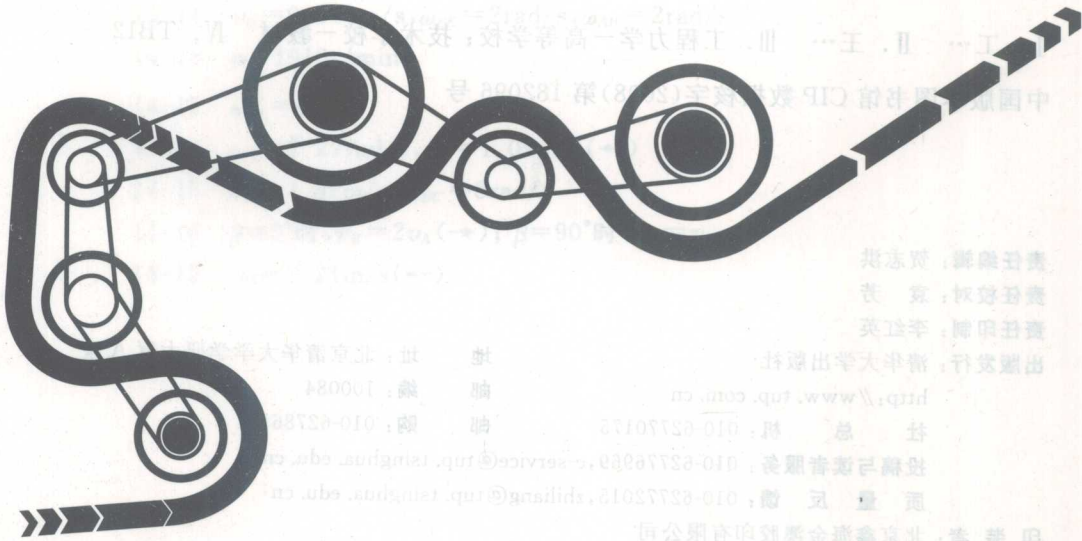


清华大学出版社

# 高职高专机电类工学结合模式教材

# 工程力学

王亚辉 主编  
王长昕 郑晓利 副主编  
孙利民 主审



责任编辑：贾志贤  
文字编辑：李红英  
封面设计：李红英  
出版发行：清华大学出版社

地址：北京清华大学学研大厦A座  
邮编：100084  
电话：(010) 62770175  
http://www.tup.com.cn  
投稿及联系：(010) 62776969  
地址：北京海淀区中关村  
邮编：100084  
电话：(010) 62776969  
印刷：北京鑫鑫源印刷有限公司  
开本：185×260 1/32  
印张：18  
字数：410千字  
版次：2009年1月第1版  
印次：2009年1月第1次印刷  
印数：1-4000  
定价：38.00元

清华大学出版社  
北京

## 内 容 简 介

本书依据教育部最新制定的“高职高专教育机械类专业力学类课程教学基本要求”和近几年来高职高专教育发展的实际需求编写而成。本书在内容的选排上,既充分吸收高职高专教育力学课程改革的成果,又渗透了作者长期教学积累的经验与体会。

本书注重力学基本概念、基本原理、基本方法的理解和掌握,注重理论在工程实践中的应用,以利于培养学生分析问题、解决问题的能力。全书共三篇 14 章。第一篇“刚体静力学”包括:刚体静力学基础、平面力系、空间力系和重心。第二篇“材料力学”包括:轴向拉伸与压缩、剪切和挤压、圆轴的扭转、直梁的弯曲、组合变形的强度计算、压杆稳定性、动荷应力与交变应力。第三篇“工程运动力学”包括:质点的动力分析与计算、基本运动刚体的动力分析与计算、动能定理、点和刚体的复合运动分析。每章后均有思考题和习题。

本书可作为高职高专学校、成人高校及本科院校二级职业技术学院和民办高校机械类和近机械类专业力学课程的教材,也可供相关的工程技术人员参考。

本书封面贴有清华大学出版社防伪标签,无标签者不得销售。

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/王亚辉主编. —北京:清华大学出版社,2009.1

高职高专机电类工学结合模式教材

ISBN 978-7-302-18938-1

I. 工… II. 王… 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(2008)第 182096 号

责任编辑:贺志洪

责任校对:袁芳

责任印制:李红英

出版发行:清华大学出版社

地 址:北京清华大学学研大厦 A 座

<http://www.tup.com.cn>

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:北京鑫海金澳胶印有限公司

经 销:全国新华书店

开 本:185×260 印 张:18 字 数:410 千字

版 次:2009 年 1 月第 1 版 印 次:2009 年 1 月第 1 次印刷

印 数:1~4000

定 价:28.00 元

本书如存在文字不清、漏印、缺页、倒页、脱页等印装质量问题,请与清华大学出版社出版部联系调换。联系电话:(010)62770177 转 3103 产品编号:031156-01





“工程力学”是高等工科院校许多专业必修的技术基础课,属于古典力学的范畴。“工程力学”作为工科教育中重要的技术基础课,是系统地引导学生结合工程实际的一门理论课程,在学生能力和素质的培养中占有重要地位。由于科技的发展,高校的教学结构做了调整,随着一些前沿、时尚学科的增加,“工程力学”的授课时间普遍减少。但由于专业的需要,“工程力学”基本理论又是不可缺少的,这就对教材提出了新的要求。本书正是基于此而为高等职业教育“工程力学”课程编写的教材。

本书在编写过程中,编者本着高等职业教育的特色和“必需够用”的原则,对诸多力学教材进行借鉴,结合编者的教学及实践经验,对教材内容作了精心的选择和编排,并吸收了高职高专学校最新教学改革成果。烦琐的推导过程和没有实用价值的内容尽可能省略,增加了与实践结合的工程示例,注重强化学生的工程意识,注意培养学生解决工程实际问题的能力,尽量将抽象的力学理论具体化,深入浅出、简明易懂,进一步突出了实用性,为学生后续专业的学习打好基础。本书可作为工科类高等职业学校和大专院校机械类与近机械类各专业工程力学课程的试用教材,也可供夜大、函授大学、职工大学相应专业的教材及工程技术人员参考。

本书注重知识更新,尽可能将国内外与力学相关的最新知识、成果或经验引入教材,在专业术语、名词的表达上力求规范、统一。本书内容涵盖“工程力学”课程的基本要求。全书共14章,内容如下:刚体静力学基础、平面力系、空间力系和重心、轴向拉伸与压缩、剪切和挤压、圆轴的扭转、直梁的弯曲、组合变形的强度计算、压杆稳定性、动荷应力与交变应力、质点的动力分析与计算、基本运动刚体的动力分析与计算、动能定理、点和刚体的复合运动分析。编者本着加强力学基本概念、基本理论、基本解题方法训练的指导思想,力求在100学时内使学生掌握高职高专学生应掌握的力学知识。每章后附有思考题与习题,在加强系统性理论学习的同时,突出对基本理论、基本概念的理解。

本书由王亚辉任主编,王长昕、郑晓利任副主编。参加编写本教材的有:濮阳职业技术学院王亚辉老师(第11~14章)、洛阳理工学院王长昕老师(第7~10章)、濮阳职业技术学院郑晓利老师(第4~6章)、河南机电高等专科学校李伟老师(绪论、第1章、附录)、河南机电高等专科学校王文堂

老师(第2、3章)。本书由郑州大学孙利民教授通审全稿,并提出许多宝贵的修改意见。

由于编者水平有限,且编写时间仓促,书中难免有疏漏或不妥之处,竭诚希望读者批评指正。

编者

2009年1月



|          |   |
|----------|---|
| 绪论 ..... | 1 |
|----------|---|

## 第一篇 刚体静力学

|                               |    |
|-------------------------------|----|
| <b>第 1 章 刚体静力学基础</b> .....    | 4  |
| 1.1 静力学的基本概念 .....            | 4  |
| 1.1.1 刚体 .....                | 4  |
| 1.1.2 力 .....                 | 4  |
| 1.1.3 力系与平衡 .....             | 5  |
| 1.1.4 静力学公理 .....             | 5  |
| 1.2 力的表示方法 .....              | 7  |
| 1.3 力对点的矩 .....               | 8  |
| 1.3.1 力对点的矩(力矩) .....         | 9  |
| 1.3.2 力矩的性质 .....             | 9  |
| 1.3.3 合力矩定理 .....             | 9  |
| 1.3.4 空间力对点的矩(力矩)的矢量表示 .....  | 10 |
| 1.4 力偶 .....                  | 10 |
| 1.4.1 力偶与力偶矩 .....            | 10 |
| 1.4.2 力偶的性质 .....             | 11 |
| 1.4.3 平面力偶的等效定理 .....         | 12 |
| 1.4.4 平面力偶系的合成 .....          | 12 |
| 1.5 力的平移定理 .....              | 13 |
| 1.6 约束与约束反力 .....             | 14 |
| 1.6.1 约束的概念 .....             | 14 |
| 1.6.2 工程中几种经常遇到的简单的约束类型 ..... | 14 |
| 1.7 受力图与受力分析 .....            | 19 |
| 思考题 .....                     | 22 |
| 习题 .....                      | 22 |
| <b>第 2 章 平面力系</b> .....       | 25 |
| 2.1 平面力系的简化 .....             | 25 |
| 2.1.1 平面力系向作用面内一点的简化 .....    | 25 |

|            |                      |           |
|------------|----------------------|-----------|
| 2.1.2      | 简化结果的讨论 .....        | 27        |
| 2.2        | 平面力系的平衡方程及应用 .....   | 28        |
| 2.2.1      | 平衡条件和平衡方程 .....      | 28        |
| 2.2.2      | 几种平面特殊力系的平衡方程 .....  | 31        |
| 2.3        | 物体系统的平衡问题 .....      | 34        |
| 2.4        | 考虑摩擦时的平衡问题 .....     | 38        |
| 2.4.1      | 滑动摩擦 .....           | 38        |
| 2.4.2      | 摩擦角和自锁现象 .....       | 40        |
| 2.4.3      | 考虑摩擦时物体的平衡问题 .....   | 42        |
| 2.4.4      | 滚动摩擦的概念 .....        | 44        |
|            | 思考题 .....            | 45        |
|            | 习题 .....             | 47        |
| <b>第3章</b> | <b>空间力系和重心</b> ..... | <b>51</b> |
| 3.1        | 力在空间直角坐标轴上的投影 .....  | 51        |
| 3.1.1      | 直接投影法 .....          | 51        |
| 3.1.2      | 二次投影法 .....          | 51        |
| 3.2        | 力对轴的矩 .....          | 53        |
| 3.3        | 空间力系的平衡方程 .....      | 54        |
| 3.3.1      | 空间力系的简化 .....        | 54        |
| 3.3.2      | 空间力系的平衡方程 .....      | 55        |
| 3.3.3      | 空间特殊力系的平衡方程 .....    | 56        |
| 3.4        | 轮轴类零件平衡问题的平面解法 ..... | 58        |
| 3.5        | 重心 .....             | 61        |
| 3.5.1      | 重心的概念 .....          | 61        |
| 3.5.2      | 重心坐标公式 .....         | 61        |
| 3.5.3      | 确定物体重心的方法 .....      | 63        |
|            | 思考题 .....            | 65        |
|            | 习题 .....             | 65        |

## 第二篇 材料力学

|            |                           |           |
|------------|---------------------------|-----------|
| <b>第4章</b> | <b>轴向拉伸与压缩</b> .....      | <b>72</b> |
| 4.1        | 轴向拉伸与压缩的概念 .....          | 72        |
| 4.2        | 轴向拉伸与压缩时横截面上的内力——轴力 ..... | 73        |
| 4.2.1      | 内力的概念 .....               | 73        |
| 4.2.2      | 截面法 .....                 | 73        |
| 4.2.3      | 轴力与轴力图 .....              | 73        |
| 4.3        | 轴向拉伸与压缩时横截面上的应力 .....     | 75        |

|              |                           |            |
|--------------|---------------------------|------------|
| 4.3.1        | 应力的概念 .....               | 75         |
| 4.3.2        | 轴向拉伸与压缩时杆横截面上的正应力计算 ..... | 76         |
| 4.4          | 轴向拉伸与压缩时的变形 胡克定律 .....    | 77         |
| 4.4.1        | 纵向线应变和横向线应变、泊松比 .....     | 77         |
| 4.4.2        | 胡克定律 .....                | 78         |
| 4.5          | 材料在轴向拉伸与压缩时的力学性能 .....    | 79         |
| 4.5.1        | 拉伸试验和应力—应变曲线 .....        | 79         |
| 4.5.2        | 低碳钢拉伸时的力学性能 .....         | 80         |
| 4.5.3        | 材料的塑性 .....               | 81         |
| 4.5.4        | 冷作硬化 .....                | 82         |
| 4.5.5        | 低碳钢压缩时的力学性能 .....         | 82         |
| 4.5.6        | 铸铁拉伸与压缩时的力学性能 .....       | 82         |
| 4.5.7        | 其他常用材料的力学性能简介 .....       | 83         |
| 4.6          | 轴向拉伸与压缩时杆件的强度计算 .....     | 85         |
| 4.6.1        | 极限应力、许用应力、安全因数 .....      | 85         |
| 4.6.2        | 拉(压)杆的强度条件 .....          | 85         |
| 4.7          | 应力集中的概念 .....             | 88         |
| 4.7.1        | 应力集中的概念 .....             | 88         |
| 4.7.2        | 应力集中对构件强度的影响 .....        | 89         |
| 4.8          | 超静定问题简介 .....             | 89         |
| 4.8.1        | 超静定问题 .....               | 89         |
| 4.8.2        | 装配应力与温度应力简介 .....         | 90         |
|              | 思考题 .....                 | 91         |
|              | 习题 .....                  | 92         |
| <b>第 5 章</b> | <b>剪切和挤压</b> .....        | <b>94</b>  |
| 5.1          | 剪切的概念和实用计算 .....          | 94         |
| 5.1.1        | 剪切的概念与实例 .....            | 94         |
| 5.1.2        | 剪切的实用计算 .....             | 95         |
| 5.2          | 挤压的概念和实用计算 .....          | 96         |
| 5.2.1        | 挤压的概念与实例 .....            | 96         |
| 5.2.2        | 挤压的实用计算 .....             | 96         |
| 5.3          | 剪切胡克定律 .....              | 99         |
|              | 思考题 .....                 | 100        |
|              | 习题 .....                  | 101        |
| <b>第 6 章</b> | <b>圆轴的扭转</b> .....        | <b>102</b> |
| 6.1          | 圆轴扭转的概念 .....             | 102        |
| 6.2          | 圆轴扭转时横截面上的内力——扭矩 .....    | 103        |



|            |                     |            |
|------------|---------------------|------------|
| 6.2.1      | 外力偶矩的计算             | 103        |
| 6.2.2      | 扭矩的计算               | 103        |
| 6.2.3      | 扭矩图                 | 104        |
| 6.3        | 圆轴扭转时横截面上的应力与变形     | 105        |
| 6.3.1      | 圆轴扭转时横截面上的应力        | 105        |
| 6.3.2      | 圆轴扭转时的变形            | 108        |
| 6.3.3      | 极惯性矩和抗扭截面系数         | 108        |
| 6.4        | 圆轴扭转时的强度和刚度计算       | 110        |
| 6.4.1      | 圆轴扭转时的强度计算          | 110        |
| 6.4.2      | 刚度计算                | 111        |
| 6.5        | 提高圆轴扭转强度和刚度的措施      | 112        |
|            | 思考题                 | 113        |
|            | 习题                  | 113        |
| <b>第7章</b> | <b>直梁的弯曲</b>        | <b>116</b> |
| 7.1        | 平面弯曲的概念             | 116        |
| 7.1.1      | 弯曲的概念与工程实例          | 116        |
| 7.1.2      | 梁的简化及分类             | 117        |
| 7.2        | 直梁弯曲时横截面上的内力——剪力和弯矩 | 118        |
| 7.3        | 剪力图与弯矩图             | 120        |
| 7.3.1      | 剪力方程和弯矩方程           | 120        |
| 7.3.2      | 剪力图与弯矩图             | 121        |
| 7.4        | 剪力、弯矩与分布载荷集度间的微分关系  | 124        |
| 7.5        | 纯弯曲时梁横截面上的正应力       | 127        |
| 7.5.1      | 纯弯曲试验               | 127        |
| 7.5.2      | 纯弯曲时横截面上的正应力        | 128        |
| 7.5.3      | 截面惯性矩 平行移轴公式        | 131        |
| 7.6        | 梁的正应力强度计算           | 133        |
| 7.7        | 梁的剪应力概念及其强度计算       | 135        |
| 7.8        | 梁的弯曲变形              | 136        |
| 7.8.1      | 梁弯曲变形的概念            | 137        |
| 7.8.2      | 用叠加法求梁的变形           | 137        |
| 7.8.3      | 梁的刚度条件              | 139        |
| 7.9        | 提高梁的强度和刚度的措施        | 140        |
| 7.9.1      | 提高梁强度的措施            | 140        |
| 7.9.2      | 提高梁刚度的措施            | 143        |
|            | 思考题                 | 143        |
|            | 习题                  | 144        |

|                               |     |
|-------------------------------|-----|
| <b>第 8 章 组合变形的强度计算</b> .....  | 147 |
| 8.1 组合变形的概念 .....             | 147 |
| 8.2 拉伸(压缩)与弯曲组合变形的强度计算 .....  | 148 |
| 8.3 应力状态分析 .....              | 150 |
| 8.3.1 应力状态的概念 .....           | 150 |
| 8.3.2 主平面、主应力 .....           | 151 |
| 8.3.3 应力状态的分类 .....           | 151 |
| 8.3.4 二向应力(平面应力)状态分析简介 .....  | 151 |
| 8.4 强度理论 .....                | 153 |
| 8.4.1 最大拉应力理论(第一强度理论) .....   | 153 |
| 8.4.2 最大拉应变理论(第二强度理论) .....   | 154 |
| 8.4.3 最大切应力理论(第三强度理论) .....   | 154 |
| 8.4.4 形状改变比能理论(第四强度理论) .....  | 154 |
| 8.5 圆轴弯曲与扭转组合变形的强度计算 .....    | 155 |
| 8.5.1 外力分析 .....              | 156 |
| 8.5.2 内力分析 .....              | 156 |
| 8.5.3 应力分析 .....              | 156 |
| 8.5.4 强度分析 .....              | 156 |
| 思考题 .....                     | 159 |
| 习题 .....                      | 160 |
| <b>第 9 章 压杆稳定性</b> .....      | 161 |
| 9.1 压杆稳定的概念 .....             | 161 |
| 9.2 压杆的临界载荷和临界应力 .....        | 162 |
| 9.2.1 临界载荷的欧拉公式 .....         | 162 |
| 9.2.2 临界应力的欧拉公式 .....         | 163 |
| 9.3 欧拉公式的适用范围与经验公式 .....      | 164 |
| 9.3.1 欧拉公式的适用范围 .....         | 164 |
| 9.3.2 压杆按柔度分类及临界载荷的计算 .....   | 165 |
| 9.4 压杆稳定性计算及校核 .....          | 166 |
| 9.5 提高压杆稳定性的措施 .....          | 167 |
| 9.5.1 减小压杆长度 .....            | 167 |
| 9.5.2 合理选择压杆截面形状 .....        | 167 |
| 9.5.3 改变压杆约束条件 .....          | 168 |
| 9.5.4 选用弹性模量大的材料 .....        | 168 |
| 思考题 .....                     | 168 |
| 习题 .....                      | 169 |
| <b>第 10 章 动荷应力与交变应力</b> ..... | 171 |
| 10.1 动荷应力 .....               | 171 |

|        |                    |     |
|--------|--------------------|-----|
| 10.1.1 | 构件受到惯性力作用时的动荷应力与变形 | 171 |
| 10.1.2 | 构件受冲击时的动荷应力        | 173 |
| 10.2   | 交变应力               | 174 |
| 10.2.1 | 交变应力的概念            | 174 |
| 10.2.2 | 交变应力的要素及类型         | 175 |
| 10.2.3 | 疲劳破坏的特点及原因         | 176 |
| 10.2.4 | 材料的持久极限            | 177 |
| 10.3   | 构件的持久极限 疲劳强度计算     | 178 |
| 10.3.1 | 构件外形的影响            | 178 |
| 10.3.2 | 构件尺寸的影响            | 178 |
| 10.3.3 | 构件表面加工质量的影响        | 179 |
|        | 思考题                | 179 |
|        | 习题                 | 180 |

### 第三篇 工程运动力学

|        |                 |     |
|--------|-----------------|-----|
| 第 11 章 | 质点的动力分析与计算      | 184 |
| 11.1   | 点的运动            | 184 |
| 11.1.1 | 自然法描述点的平面曲线运动   | 184 |
| 11.1.2 | 直角坐标法描述点的平面曲线运动 | 187 |
| 11.2   | 质点的运动微分方程       | 191 |
| 11.2.1 | 自然坐标式           | 191 |
| 11.2.2 | 直角坐标式           | 192 |
| 11.2.3 | 质点动力学的两类基本问题    | 192 |
| 11.3   | 质点的动静法          | 195 |
| 11.3.1 | 惯性力的概念          | 195 |
| 11.3.2 | 质点的达朗伯原理        | 196 |
|        | 思考题             | 198 |
|        | 习题              | 199 |
| 第 12 章 | 基本运动刚体的动力分析与计算  | 202 |
| 12.1   | 刚体的基本运动         | 202 |
| 12.1.1 | 刚体的平行移动         | 202 |
| 12.1.2 | 刚体的定轴转动         | 203 |
| 12.1.3 | 转动刚体上各点的速度和加速度  | 204 |
| 12.2   | 刚体动力学基础         | 208 |
| 12.2.1 | 平动刚体的动力学方程      | 208 |
| 12.2.2 | 刚体绕定轴转动的微分方程    | 208 |
| 12.2.3 | 转动惯量            | 210 |

|               |                          |            |
|---------------|--------------------------|------------|
| 12.2.4        | 刚体绕定轴转动微分方程的应用 .....     | 213        |
| 12.3          | 刚体做基本运动时惯性力系的简化 .....    | 216        |
| 12.3.1        | 刚体做平动时惯性力系的简化 .....      | 216        |
| 12.3.2        | 刚体绕定轴转动时惯性力系的简化 .....    | 216        |
|               | 思考题 .....                | 221        |
|               | 习题 .....                 | 222        |
| <b>第 13 章</b> | <b>动能定理</b> .....        | <b>226</b> |
| 13.1          | 功和功率 .....               | 226        |
| 13.1.1        | 功的概念 .....               | 226        |
| 13.1.2        | 常见力的功 .....              | 227        |
| 13.1.3        | 功率 .....                 | 229        |
| 13.2          | 动能 .....                 | 231        |
| 13.2.1        | 平动刚体的动能 .....            | 232        |
| 13.2.2        | 绕定轴转动刚体的动能 .....         | 232        |
| 13.3          | 动能定理 .....               | 232        |
| 13.3.1        | 质点的动能定理 .....            | 232        |
| 13.3.2        | 质点系的功能定理 .....           | 234        |
|               | 思考题 .....                | 236        |
|               | 习题 .....                 | 237        |
| <b>第 14 章</b> | <b>点和刚体的复合运动分析</b> ..... | <b>239</b> |
| 14.1          | 点的复合运动 速度合成定理 .....      | 239        |
| 14.1.1        | 点的绝对运动、相对运动和牵连运动 .....   | 240        |
| 14.1.2        | 绝对速度、相对速度和牵连速度 .....     | 240        |
| 14.1.3        | 点的速度合成定理 .....           | 241        |
| 14.2          | 刚体的平面运动 .....            | 244        |
| 14.2.1        | 刚体平面运动的概念 .....          | 244        |
| 14.2.2        | 平面运动分解为平动和转动 .....       | 245        |
| 14.2.3        | 平面图形上各点的速度分析 .....       | 246        |
|               | 思考题 .....                | 251        |
|               | 习题 .....                 | 252        |
| <b>附录 A</b>   | <b>主要符号表</b> .....       | <b>256</b> |
| <b>附录 B</b>   | <b>型钢表</b> .....         | <b>258</b> |
| <b>附录 C</b>   | <b>习题参考答案</b> .....      | <b>270</b> |
| <b>参考文献</b>   | .....                    | <b>276</b> |



### 1. 工程力学的研究对象及主要内容

工程力学是研究物体机械运动一般规律以及构件承载能力的一门学科。所谓机械运动,是指物体在空间的位置随时间的变化,而构件承载能力则指机械零件和结构部件在工作时安全可靠地承担外载荷的能力。

例如,工程中常见的起重机,设计时要对各构件在静力平衡状态下进行受力分析,确定构件的受力情况,研究作用力必须满足的条件。当起重机工作时,各构件处于运动状态,对构件进行运动和动力分析,这些问题均属于研究物体机械运动所涉及的内容。为保证起重机安全正常工作,要求各构件不发生断裂或产生过大变形,则必须根据构件的受力情况,为构件选择适当的材料、设计合理的截面形状和尺寸,这些问题则是属于研究构件承载能力方面的内容。

工程力学有其自身的科学系统,本课程包括刚体静力学、材料力学和工程运动力学三部分。刚体静力学主要研究力系的简化及物体的平衡规律;材料力学主要研究构件在外力作用下的强度、刚度和稳定性的基本理论和计算方法;工程运动力学是从几何角度来研究物体运动的规律,以及物体的运动与其所受力之间的关系。

### 2. 工程力学在工程技术中的地位和作用

工程力学是工科各类专业中一门必不可少的技术基础课,在基础课和专业课中起着承前启后的作用,是基础科学与工程技术的综合。掌握工程力学知识,不仅为了学习后继课程具备设计或验算构件承载能力的初步能力,而且还有助于从事设备安装、运行和检修等方面的实际工作。因此,工程力学在专业技术教育中有极其重要的地位。

力学理论的建立来源于实践,它是以对自然现象的观察和生产实践经验为主要依据,揭示了唯物辩证法的基本规律。因此,工程力学对于今后研究问题、分析问题、解决问题有很大帮助,促进我们学会用辩证的观点考察问题,用唯物主义的认识观去理解世界。

### 3. 学习工程力学的要求和方法

工程力学来源于实践又服务于实践。在研究工程力学时,现场观察和实验是认识力学规律的重要实践环节。在学习本课程时,观察实际生活中的力学现象,学会用力学的基本知识去解释这些现象;通过实验验证理论的正确性,并提供测试数据资料作为理论分析、简化计算的依据。

工程实际问题往往比较复杂,为了使研究的问题简单化,通常抓住问题

的本质,忽略次要因素,将所研究的对象抽象化为力学模型。如研究物体平衡时,用抽象化的刚体这一理想模型取代实际物体;研究物体的受力与变形规律时,用变形固体模型取代实际物体;对构件进行计算时,将实际问题抽象化为计算简图等。所以,根据不同的研究目的,将实际物体抽象化为不同的力学模型是工程力学研究中的一种重要方法。

工程力学有较强的系统性,各部分内容之间联系较紧密,学习中要循序渐进,要认真理解基本概念、基本理论和基本方法。要注意所学概念的来源、含义、力学意义及其应用;要注意有关公式的根据、适用条件;要注意分析问题的思路,解决问题的方法。在学习中,一定要认真研究,独立完成一定数量的思考题和习题,以巩固和加深对所学概念、理论、公式的理解、记忆和应用。



# 第一篇 刚体静力学

## 引 言

静力学研究的是刚体在力系作用下的平衡。平衡是指物体相对于地面处于静止或匀速直线运动的状态。比如,地面上的房屋、桥梁、高压输电塔、工厂中的各种固定设备以及机械零件运动速度很低或加速度很小时,都可视为处于平衡状态。静力学主要研究三个问题。

(1) 物体的受力分析。即分析物体受哪些力的作用,以及这些力的大小、方向、作用点的位置。

(2) 力系的简化。即将作用于物体上的力系化为最简单的形式。

(3) 建立各种力系的平衡条件。即研究作用在物体上的各种力系所需满足的平衡条件。利用平衡条件,确定各个力的大小,是各类工程问题中力的计算的最主要部分,是设计机构、构件和机械零件时静力计算的基础。因此,静力学在工程中有着广泛的应用。

# 刚体静力学基础

静力学的基本概念、公理及物体的受力分析是研究静力学的基础。本章将介绍刚体与力的概念及静力学公理,力的表示方法,力矩、力偶及力的平移定理,并阐述工程中常见的约束和约束反力的分析。最后介绍物体的受力分析及受力图,它是解决力学问题的重要环节。

## 1.1 静力学的基本概念

### 1.1.1 刚体

所谓刚体是指这样的物体,在力的作用下,其内部任意两点之间的距离始终保持不变。这是一个理想化的力学模型。实际物体在力的作用下,都会产生不同程度的变形,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,可以略去不计,这样可使问题的研究大为简化。静力学研究的物体只限于刚体,故又称刚体静力学。

### 1.1.2 力

#### 1. 力的定义

力是物体间相互的机械作用,这种作用产生的效应一般表现在两个方面:一是物体运动状态的改变,另一个是物体形状的改变。通常把前者称为力的运动效应,后者称为力的变形效应。力对刚体的作用只有运动效应,力的变形效应将在研究变形体的材料力学中讨论。

#### 2. 力的三要素

实践表明,力对物体的作用效果应决定于三个要素:力的大小、方向和作用点。在这三个要素中,如果改变其中任何一个,也就改变了力对物体的作用效应。

可用一个矢量来表示力的三个要素,如图 1-1 所示。这矢量的长度( $AB$ )按一定的比例尺表示力的大小,矢量的方向表示力的方向,矢量的始端(点  $A$ )表示力的作用点,矢量  $AB$  所沿着的直线(图 1-1 上的虚线)表示力

的作用线。常用黑体字母  $\mathbf{F}$  表示力是矢量, 而用普通字母  $F$  表示力的大小。

若以  $\mathbf{F}^0$  表示沿矢量  $\mathbf{F}$  方向的单位矢(图 1-2), 则力矢  $\mathbf{F}$  可写成

$$\mathbf{F} = F\mathbf{F}^0$$

即力的矢量可以用它的模(即力的矢量大小)和单位矢量的乘积表示。

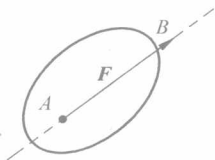


图 1-1 力矢

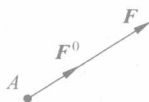


图 1-2 单位力矢

在国际单位制(SI)中, 以 N 作为力的单位符号, 称为牛顿。在工程中有时也以 kN 作为力的单位符号, 称作千牛。

### 1.1.3 力系与平衡

所谓力系, 是指作用于物体上的一群力。力系按作用线分布情况的不同可分为下列几种: 当所有力的作用线在同一平面内时, 称为平面力系; 否则称为空间力系。当所有力的作用线汇交于一点时, 称为汇交力系; 而所有力的作用线都相互平行时, 称为平行力系; 否则称为一般力系。

平衡是指物体相对于惯性参考系(如地面)保持静止或匀速直线运动状态。如桥梁、机床的床身、作匀速直线飞行的飞机等, 都处于平衡状态。平衡是物体运动的一种特殊形式。如果一个力系作用于物体上而不改变物体的原有运动状态, 则称该力系为平衡力系。如果两个力系对同一物体的作用效应完全相同, 则称这两个力系为等效力系。如果一个力对物体的作用效应和一个力系对同一物体的作用效应完全相同, 则该力称为力系的合力, 力系中的每一个力称为该合力的分力。求力系的合力的过程称为力系的简化, 是静力学的一个重点。

### 1.1.4 静力学公理

公理是人们在生活和生产实践中长期积累的经验总结, 又经过实践反复检验, 被确认是符合客观实际的最普遍、最一般的规律, 是进行逻辑推理计算的基础与准则。

#### 1. 二力平衡条件

作用在刚体上的两个力, 使刚体保持平衡的必要和充分条件是这两个力的大小相等, 方向相反, 且在同一直线上, 如图 1-3 所示, 即

$$\mathbf{F}_1 = -\mathbf{F}_2 \quad (1-1)$$

这个公理表明了作用于刚体上的最简单的力系平衡时必须满足的条件。

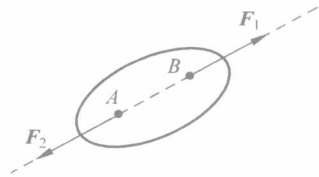


图 1-3 二力平衡

#### 2. 加减平衡力系原理

在已知力系上加上或减去任意的平衡力系, 并不改变原力系对刚体的作用。就是说, 如