

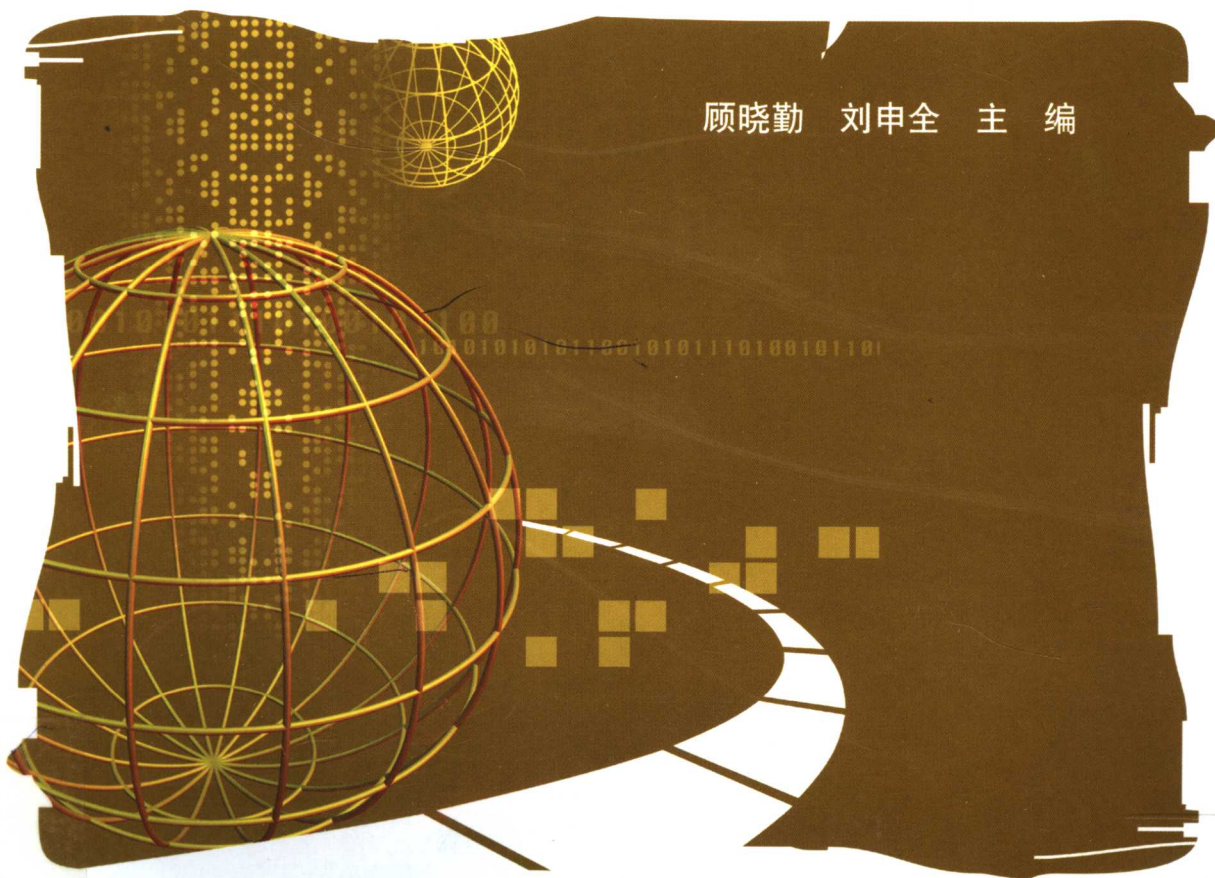


21世纪高校机电类规划教材

# 工程力学 I

ENGINEERING MECHANICS

顾晓勤 刘申全 主 编



机械工业出版社  
CHINA MACHINE PRESS



TB12  
89  
:1

21 世纪高校机电类规划教材

# 工 程 力 学 I

主 编 顾晓勤 刘申全  
副主编 杜 韧  
参 编 谭朝阳  
主 审 刘守圭



机 械 工 业 出 版 社

本书分工程力学I和工程力学II两册,为应用型本科机械类教材。

本教材针对当前应用型本科学生的数学物理基础,面对信息化带来的机械专业课程改革,考虑到各校工程力学学时大幅度减少的实际情况,在保证工程力学基本理论教学内容的同时,突出应用性和时代性,适当简化推导过程,同时引入悬索桥、输电线等工程绳索的内力计算,介绍聚合物、复合材料和工业陶瓷等新材料的力学行为。

《工程力学I》内容包括:质点和刚体静力学的受力分析,力系简化,摩擦,平衡方程及应用,杆件的基本变形即拉伸和压缩,剪切和挤压、扭转、弯曲,以及压杆稳定,强度理论,组合变形和绳索的内力计算等。

《工程力学II》内容包括:点的合成运动,刚体的平面运动,动量定理,动量矩定理,动能定理,惯性力,动载荷和交变应力,材料持久极限和疲劳理论,杆件的塑性变形,聚合物的粘弹性行为,陶瓷材料的力学性能,复合材料的力学性能等。

本书章节的安排考虑到不同高校、不同专业的需要,《工程力学I》可作为少学时课程教材(推荐学时数为52~64);《工程力学I、II》的第1~5篇可作为中学时课程教材(推荐学时数为72~84);《工程力学I、II》全书可作为多学时课程教材(推荐学时数为84~96)。书中带\*的章节为选学内容,带\*的习题为选作题目。本书读者对象为应用型本科机械类学生,以及其他类型高校近机类、非机类专业学生。

## 图书在版编目(CIP)数据

工程力学I/顾晓勤,刘申全主编. —北京:机械工业出版社,2006.1  
21世纪高校机电类规划教材  
ISBN 7-111-18164-6

I.工… II.①顾…②刘… III.工程力学-高等学校-教材 IV.TB12

中国版本图书馆CIP数据核字(2005)第152380号

机械工业出版社(北京市百万庄大街22号 邮政编码100037)  
责任编辑:高文龙 版式设计:冉晓华 责任校对:程俊巧  
封面设计:陈沛 责任印制:洪汉军  
保定市印刷厂印刷  
2006年2月第1版·第1次印刷  
787mm×1092mm<sup>1</sup>/<sub>16</sub>·19印张·408千字  
定价:26.00元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换  
本社购书热线电话(010)68326294  
封面无防伪标均为盗版

## 21 世纪高校机电类规划教材

### 编 审 委 员 会

顾 问：李培根 华中科技大学

主 任：左健民 南京工程学院

副主任：童幸生 江汉大学

徐格宁 太原科技大学

党新安 陕西科技大学

刘全良 浙江海洋学院

张世亮 广东海洋大学

邓海平 机械工业出版社

郑 堤 宁波大学

陈 明 北华航天工业学院

胡 琳 深圳大学

马 光 温州大学

方庆瑄 安徽工业大学

高文龙 机械工业出版社

委 员：(按姓氏笔画排序)

王卫平 东莞理工学院

仝基斌 安徽工业大学

刘小慧 机械工业出版社

刘镇昌 山东大学

李子琼 厦门理工学院

李洪智 黑龙江工程学院

赵先仲 北华航天工业学院

王 华 长春工程学院

朱志宏 福建工程学院

刘申全 华北工学院分院

张 茂 西南石油学院

李建华 中原工学院

陈廉清 宁波工程学院

夏凤芳 上海电机技术高等专科学校

顾晓勤 电子科技大学(中山)

倪少秋 机械工业出版社

# 序

为了适应我国制造业迅速发展的需要,培养大批素质高、应用能力与实践能力强的应用综合型人才已成为当务之急。这同时对高等教育的办学理念、体制、模式、机制和人才培养等方面提出了全新的要求。

为了打通新形势下高等教育和社会需求之间的瓶颈,中国机械工业教育协会机电类学科教学委员会和机械工业出版社联合成立了“21世纪高校机电类规划教材”编审委员会,本着“重基本理论、基本概念、淡化过程推导,突出工程应用”的原则,组织教材编写工作,并力求使本套教材突出以下特点:

(1) 科学定位。本套教材主要面向应用的综合型人才的培养,既不同于培养研究型人才的教材,也不同于一般应用型本科的教材;在保持高学术水准的基础上,突出工程应用,强调创新思维。

(2) 品种齐全。这套教材设有“力学”、“制图”、“设计”、“数控”、“控制”、“实训”、“材料”、“双语”等模块,方便学校选用。

(3) 立体化程度高。教材均要求配备CAI课件和相关的教辅材料,并在网站上为本套教材开设研讨专栏。

机械工业出版社是我国成立最早、规模最大的科技出版社之一,是国家级优秀出版社,是国家高等教育的教材出版基地之一,在机电类教材出版领域具有很高的地位。相信这套教材在中国机械工业教育协会机电类学科委员会和机械工业出版社的精心组织下,通过全国几十所学校老师的仔细认真的编写,一定能够为我国高等教育应用综合型人才的培养提供更好用、更实用的教材。

教育部·机械工程及自动化专业分教学指导委员会·主任  
中国机械工业教育协会·高等学校机械工程及自动化学科教学委员会·主任  
李培根 院士  
于华中科技大学

# 前 言

随着高等教育大众化、普及化的进程,应用型本科学生越来越多,他们对工程力学的要求与研究型大学学生的要求有所不同。针对上述情况,作者结合多年的教学实践,在机械工业出版社的帮助下,编写了本教材。

本教材充分考虑当前应用型本科学生的生源特点和实际情况,在保持基本理论、基本概念的同时,突出应用性和时代先进性,借鉴国外同类教材及联系国内外机械工程实际,除了介绍传统工程材料即钢铁等金属的力学特性,还简要介绍聚合物、复合材料和工业陶瓷等新材料的力学行为,介绍悬索桥、传输线等工程绳索的内力计算。考虑到各校工程力学学时大幅度减少的实际情况,编写本教材的目的是在有限的时间内,使学生掌握基本的质点和刚体静力学、运动学和动力学内容,熟悉变形体受力时的强度、刚度和稳定性问题,了解新型工程材料力学行为,为专业课程学习打好基础。

本书可作为应用型本科工程力学课程的教材,对于学时数在 60 左右的专业,可以使用《工程力学 I》作为课程教材;对于学时数在 80 左右的专业,可以使用《工程力学 I、II》的第 1~5 篇作为课程教材;对于学时数在 90 左右的专业,可将《工程力学 I、II》全书作为课程教材。在目录标题前加了“\*”号的为选学内容。习题前面加“\*”号的表示难度较大的题目。

参加《工程力学 I》编写工作的有电子科技大学中山学院顾晓勤、华北工学院分院刘申全、北华航天工业学院杜韧、电子科技大学中山学院谭朝阳;参加《工程力学 II》编写工作的有电子科技大学中山学院顾晓勤、华北工学院分院刘申全、陕西科技大学张功学、华北工学院分院黄璟。具体章节如下:

绪论、第一至四章:顾晓勤;第五章:谭朝阳;第六章:顾晓勤;第七章:杜韧;第八章第一至七节:刘申全,第八节:顾晓勤;第九至十章:刘申全;第十一至十二章:顾晓勤;第十三至十五章:张功学;第十六至十九章:顾晓勤;第二十章:黄璟;第二十一章:刘申全;第二十二章:黄璟;第二十三至二十五章:张功学。全书的统稿工作由顾晓勤完成。

主审中山大学刘守圭教授详细审阅了本书,并提出了许多宝贵意见,在此表示衷心的感谢。

应用型本科教材建设是一项新兴的事业,目前仍处于探索阶段。由于水平所限,书中会有不少缺点不足之处,恳请读者批评指正。

主编顾晓勤 E-mail: guxiaoqinguyan@tom.com

编 者  
2006 年 1 月

# 目 录

## 序 前言

|                          |   |
|--------------------------|---|
| 绪论 .....                 | 1 |
| 第一节 质点、刚体及变形体概念 .....    | 2 |
| 第二节 工程力学课程的内容和学习方法 ..... | 2 |

## 第一篇 刚体静力学

|                       |    |
|-----------------------|----|
| 第一章 刚体的受力分析 .....     | 5  |
| 第一节 基本概念 .....        | 5  |
| 第二节 静力学公理 .....       | 7  |
| 第三节 力在直角坐标轴上的投影 ..... | 9  |
| 第四节 力对点的矩 .....       | 12 |
| 第五节 力对轴的矩 .....       | 16 |
| 第六节 约束和约束反力 .....     | 18 |
| 第七节 物体的受力分析和受力图 ..... | 23 |
| 习题 .....              | 27 |

|                      |    |
|----------------------|----|
| 第二章 力系的简化和平衡方程 ..... | 32 |
| 第一节 平面汇交力系 .....     | 32 |
| 第二节 力偶和力偶系 .....     | 38 |
| 第三节 平面一般力系 .....     | 40 |
| 第四节 空间一般力系简介 .....   | 51 |
| 第五节 物体的重心 .....      | 54 |
| 习题 .....             | 59 |

|                       |    |
|-----------------------|----|
| 第三章 平衡方程的应用 .....     | 62 |
| 第一节 静定问题及刚体系统平衡 ..... | 62 |
| 第二节 平面静定桁架的内力计算 ..... | 70 |
| 习题 .....              | 76 |

|                |    |
|----------------|----|
| 第四章 摩擦 .....   | 81 |
| 第一节 滑动摩擦 ..... | 81 |

|                        |    |
|------------------------|----|
| 第二节 摩擦角和自锁现象 .....     | 82 |
| 第三节 滚动摩阻 .....         | 84 |
| 第四节 考虑摩擦时物体的平衡问题 ..... | 87 |
| 习题 .....               | 91 |

## 第二篇 弹性静力学 I (杆件的基本变形)

|                             |     |
|-----------------------------|-----|
| 第五章 轴向拉伸和压缩 .....           | 96  |
| 第一节 轴向拉伸(压缩)时杆的内力和应力 .....  | 96  |
| 第二节 轴向拉伸(压缩)时杆的变形 .....     | 99  |
| 第三节 材料在轴向拉伸和压缩时的力学性能 .....  | 102 |
| 第四节 许用应力·安全系数·强度条件 .....    | 107 |
| 第五节 简单拉压超静定问题 .....         | 111 |
| 第六节 应力集中的概念 .....           | 115 |
| 习题 .....                    | 116 |
| 第六章 剪切 .....                | 120 |
| 第一节 剪切的概念 .....             | 120 |
| 第二节 剪切的实用计算 .....           | 121 |
| 第三节 挤压的实用计算 .....           | 124 |
| 习题 .....                    | 129 |
| 第七章 扭转 .....                | 132 |
| 第一节 外力偶矩的计算 .....           | 132 |
| 第二节 扭矩和扭矩图 .....            | 133 |
| 第三节 圆轴扭转时的应力和强度计算 .....     | 135 |
| 第四节 圆轴扭转时的变形和刚度计算 .....     | 140 |
| * 第五节 圆柱形密圈螺旋弹簧的应力和变形 ..... | 142 |
| * 第六节 非圆截面杆扭转的概念 .....      | 145 |
| 习题 .....                    | 147 |
| 第八章 梁弯曲时内力和应力 .....         | 150 |
| 第一节 梁的计算简图 .....            | 151 |
| 第二节 弯曲时的内力 .....            | 152 |
| 第三节 剪力图和弯矩图 .....           | 155 |
| 第四节 纯弯曲时的正应力 .....          | 162 |
| 第五节 剪切弯曲时的正应力强度计算 .....     | 165 |
| 第六节 弯曲切应力 .....             | 168 |
| 第七节 提高梁弯曲强度的一些措施 .....      | 176 |
| * 第八节 悬索 .....              | 179 |

|                                      |     |
|--------------------------------------|-----|
| 习题                                   | 187 |
| <b>第九章 梁的弯曲变形</b>                    | 193 |
| 第一节 工程中的弯曲变形                         | 193 |
| 第二节 梁变形的基本方程                         | 194 |
| 第三节 用叠加法求梁的变形                        | 199 |
| 第四节 简单静不定梁                           | 205 |
| 第五节 梁的刚度校核 提高梁弯曲刚度的措施                | 209 |
| 习题                                   | 211 |
| <b>第三篇 弹性静力学 II (压杆稳定、强度理论和组合变形)</b> |     |
| <b>第十章 压杆稳定与压杆设计</b>                 | 215 |
| 第一节 压杆稳定的概念                          | 215 |
| 第二节 细长压杆的临界载荷                        | 217 |
| 第三节 欧拉公式及经验公式                        | 220 |
| 第四节 压杆稳定条件                           | 223 |
| 第五节 提高压杆稳定性的措施                       | 226 |
| 习题                                   | 228 |
| <b>第十一章 复杂应力状态和强度理论</b>              | 230 |
| 第一节 应力状态的概念                          | 230 |
| 第二节 二向应力状态分析                         | 233 |
| 第三节 三向应力状态分析                         | 238 |
| 第四节 广义胡克定律                           | 239 |
| 第五节 强度理论                             | 240 |
| 习题                                   | 246 |
| <b>第十二章 组合变形的强度计算</b>                | 249 |
| 第一节 组合变形的概念                          | 249 |
| 第二节 拉伸(压缩)与弯曲的组合变形                   | 250 |
| 第三节 弯曲与扭转的组合变形                       | 254 |
| 习题                                   | 258 |
| <b>附录</b>                            | 262 |
| 附录 A 单位制及数值精度                        | 262 |
| 附录 B 截面的几何性质                         | 263 |
| 第一节 截面的面积矩和形心位置                      | 263 |
| 第二节 截面的惯性矩、惯性积和惯性半径                  | 265 |
| 第三节 惯性矩的平行移轴公式                       | 269 |

---

|                  |     |
|------------------|-----|
| 习题 .....         | 271 |
| 附录 C 型钢规格表 ..... | 273 |
| 习题答案 .....       | 284 |
| 参考文献 .....       | 291 |

# 绪 论

固体的移动、旋转和变形，气体和液体的流动等都属于**机械运动**。力学是研究物体机械运动的科学。机械运动是最简单的一种运动形式，此外物质还有发热、发光、发生电磁现象、化学过程，以及更高级的人类思维活动等各种不同的运动形式。力学分为三个部分：**质点和刚体力学**、**固体力学**和**流体力学**。质点和刚体力学不具有某些工程学科的经验基础，即不依赖于经验和独立观测；力学严谨、强调演绎，看上去更像是数学，但是力学不是抽象的纯理论学科。力学研究物理现象，其目的是解释和预测物理现象，并以此作为工程应用的基础。

力使物体运动状态发生改变的效应称为**力的外效应**，主要在质点和刚体力学中讨论；而力使物体形状发生改变（即变形）的效应称为**力的内效应**，属于固体力学范畴。本课程将研究力的外效应和力的内效应。当讨论力的内效应时，主要在物体受到平衡力系状态下进行分析。工程力学学科涉及众多的力学分支及广泛的工程技术内容，本课程只是其中最基础的部分，它涵盖了原有理论力学和材料力学两门课程的基本内容，同时增加了非金属材料力学基础。

力学可以追述到古代希腊亚里斯多得和阿基米德时代，我国古代也有关于力学研究的文献记载。到了17世纪，牛顿提出三定律和万有引力定律，后来达朗贝尔、拉格朗日和哈密顿给出了这些原理的其他形式。20世纪初，爱因斯坦建立了相对论，对牛顿经典力学提出挑战。本教材所研究的运动是速度远小于光速的宏观物体的机械运动，属于经典力学的范畴。经典力学以牛顿定理为基础，采用了与物质运动无关的所谓“绝对”空间、时间和质量的概念，应用范围有一定的局限性。对于速度接近光速的物体和基本粒子的运动，则必须用相对论和量子力学的方法加以研究。但是，经过长期的实践证明，现代一般工程中所遇到的大量力学问题，用经典力学来解决，不仅方便简捷，而且能够保持足够的精确度，所以经典力学至今仍有很大的实用意义，并且还在不断地发展。

讨论固体材料的力学起源于17世纪，当时研究的对象主要是木材和石料，伽利略研究了梁横截面上的正应力分布规律。到了19世纪中叶，研究对象转变为以钢材为主体的金属材料。钢材的特点，使连续均匀、各向同性等基本假设以及线弹性问题的胡克定律成为当今变形体材料力学的基础。固体力学包括材料力学、弹性力学、塑性力学等课程。到了20世纪，材料力学形成两大流派：欧美材料力学体系，其代表为美国斯坦福大学铁木辛柯教授1930年所著的《材料力学》；前苏联工科院校材料力学体系，其代表为列宁格勒铁道学院别辽耶夫教授1932年所著的《材料力学》。

20世纪50年代开始，计算机技术飞速发展，应用不断普及，这对于工程力学的发展

展起到了巨大的推动作用。在力学理论分析中,人们可以借助计算机推导复杂公式,从而求得复杂的解析解;在实验研究中,计算机不仅可以采集和整理数据、绘制实验曲线、显示图形,还可以帮助人们选用最优参数。

近几十年来,先进制造技术不断出现,工程中除了使用钢铁等金属材料外,聚合物、复合材料和工业陶瓷等材料越来越多地被采用,工程力学研究对象进一步扩展,非金属材料力学成为工程力学课程的一个组成部分。

## 第一节 质点、刚体及变形体概念

工程中涉及机械运动的物体有时十分复杂,在研究物体的机械运动时,必须忽略一些次要因素的影响,对其进行合理的简化,抽象出力学模型。

当所研究物体的运动范围远远超过其本身的几何尺度时,物体的形状和大小对运动的影响很小,这时可将其抽象为只有质量而没有体积的质点。由若干质点组成的系统,称为**质点系**。质点系中质点之间的联系如果是刚性的,这样的质点系称为**刚体**;如果联系是弹性的,质点系就是**弹性体**或**变形体**;如果质点系中的质点都是自由的,这时质点系便是**自由质点系**。

实际物体在力的作用下都将发生变形。但对于那些受力后变形极小,或者虽有变形但对整体运动的影响微乎其微,则可以略去变形,将物体简化为刚体。同时需要强调,当研究作用在物体上的力所产生的变形,以及由变形而在物体内部产生相互作用力时,即使变形很小,也不能将物体简化为刚体,而应是变形体。

质点、刚体与变形体都是实际物体的抽象力学模型,不是绝对的。例如对于一个航天器,当讨论轨道运动时,视航天器为质点;当讨论姿态运动时,视航天器本体为刚体,附加天线等为弹性体。又如当讨论地球绕太阳运动时,视地球为质点;当讨论地球自转时,视地球为刚体;当讨论地震时,必须将地球看作变形体。

## 第二节 工程力学课程的内容和学习方法

工程力学课程作为大学生的一门技术基础课,只讨论工程力学学科中最基础的内容,主要涉及质点和刚体力学、固体材料力学,涵盖了理论力学和材料力学两门课程的主要经典内容,同时适当增加了当前制造业中常用的聚合物、复合材料和工业陶瓷等非金属材料的力学行为。

**静止**是机械运动的一种特殊形式。工程中把物体相对于地球静止或匀速直线运动的状态称为物体的**平衡状态**。**刚体静力学**研究物体在外力作用下的平衡规律;**运动学**是从几何观点研究点和刚体的运动,而不考虑作用于点和刚体上的力;**动力学**研究作用于物体上的力与物体运动之间的关系。

机械或工程结构的各个组成部分,如机床的轴、建筑物的梁和柱等,统称为**构件**。

当机械或工程结构工作时,构件将受到载荷的作用,例如数控车床主轴受齿轮啮合力和切削力的作用。在外力作用下,构件的尺寸和形状将发生变化,称为变形。为保证机械或工程结构的正常工作,构件应当满足下列要求:

(1) **强度要求** 在规定载荷作用下构件不应破坏。例如液化气罐不应爆破;飞机降落轮子触地时,起落架不能被折断;冲床曲轴工作中不能发生断裂。强度要求即指构件应有足够的抵抗破坏的能力。

(2) **刚度要求** 在载荷作用下,构件变形不能超过允许值。例如图 0-1 所示为车床主轴箱简图,如果切削力使机床主轴产生过大的变形,这样使加工出来的零件不能达到预定的精度,同时齿轮的啮合情况变坏,加速磨损。所以刚度要求是指构件应有足够的抵抗变形的能力。

另外对受压力作用的细长杆,如千斤顶的螺杆、内燃机的挺杆等,应始终维持原有的直线平衡状态,保证不被压弯。即构件应有足够的保持原有平衡状态的**稳定性**能力。

一般来说,工程中构件应有足够的强度、刚度和稳定性,但是对某些特殊构件有相反的要求,例如当载荷超过某一极限时,安全销应立即破坏,起到保护作用。为发挥缓冲作用,车辆的缓冲弹簧应有较大的变形。

为了提高构件的强度、刚度和稳定性,一般是采用加大构件的尺寸或选用质量好的材料。但是构件的尺寸过大、材料过好,就会造成结构笨重和浪费。因此本课程将分析、计算构件的强度和刚度,为设计既经济又安全的构件,提供必要的理论基础和计算方法。

除了金属材料外,当前复合材料、高分子材料、结构陶瓷等在工业部门广泛应用,如汽车制造业所采用的非金属材料已经超过总体积的 70% 以上,家用电器中塑料件的比例很高,用复合材料制成的运动器械深受欢迎。这些材料的力学特性也是工程力学所讨论的内容。聚合物、复合材料和工业陶瓷等材料的力学性能,是传统工程力学课程内容的进一步扩展,非金属材料力学已经成为工程力学课程的一个组成部分。

工程力学的研究方法有理论方法、实验方法和计算机数值分析方法。在解决工程实际中的力学问题时,首先从实践出发,经过抽象化、综合、归纳,运用数学推演得到定理和结论,对于复杂的工程问题往往借助计算机进行数值分析和公式推导,最后通过实验验证理论和计算结果的正确性。

在学习工程力学过程中,要注意观察实际机械设备工作情况,以及日常生活中的力学现象,对力学理论要勤于思考、多做练习题,做到熟能生巧。通过掌握领会本课程的内容,为学习机械后继课程打好基础,并能初步运用力学理论和方法解决工程实际中的技术问题。

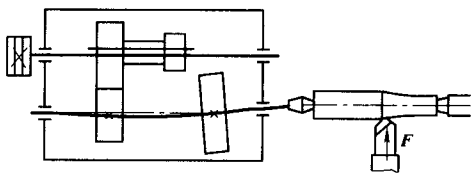


图 0-1 车床主轴箱

# 第一篇 刚体静力学

静力学研究物体在力系作用下平衡的普遍规律,即研究物体平衡时作用在物体上的力应该满足的条件。在本篇的静力学分析中,我们将物体视为刚体。刚体静力学主要研究三方面的问题:(1)刚体的受力分析;(2)力系的等效与简化;(3)力系的平衡条件及应用。

刚体静力学的理论和方法在工程中有着广泛的应用,许多机器零件和结构件,如机器的机架、传动轴、起重机的起重臂、车间天车的横梁等,正常工作时处于平衡状态或可以近似地看作平衡状态。为了合理地设计这些零件或构件的形状、尺寸,选用合理的材料,往往需要首先进行静力学分析计算,然后对它们进行强度、刚度和稳定性计算。所以静力学的理论和计算方法是机器零件和结构件静力设计的基础。

# 第一章 刚体的受力分析

## 第一节 基本概念

### 一、力的概念

人用手拉悬挂着的静止弹簧，人手和弹簧之间有了相互作用，这种作用引起弹簧运动和变形。运动员踢球，脚对足球的力使足球的运动状态和形状都发生变化。太阳对地球的引力使地球不断改变运动方向而绕着太阳运转。锻锤对工件的冲击力使工件改变形状。人们在长期的生产实践中，通过观察分析，逐步形成和建立了力的科学概念：力是物体之间的相互机械作用，这种作用使物体的运动状态发生变化或使物体形状发生改变。物体运动状态的改变是力的外效应，物体形状的改变是力的内效应。

实践证明，力对物体的内外效应决定于三个要素：（1）力的大小；（2）力的方向；（3）力的作用点。

力的作用点表示力对物体作用的位置。力的作用位置，实际中一般不是一个点，而往往是物体的某一部分面积或体积。例如人脚踩地，脚与地之间的相互压力分布在接触面上；物体的重力则分布在整个物体的体积上。这种分布作用的力称为分布力。但有时力的作用面积不大，例如钢索吊起机器设备，当忽略钢索的粗细时，可以认为二者连接处是一个点，这时钢索拉力可以简化为集中作用在这个点上的一个力，这样的力称为集中力。由此可见，力的作用点是力的作用位置的抽象化。

为了度量力的大小必须首先确定力的单位，本书采用法定计量单位，力的大小以牛顿为单位。牛顿简称牛（N），1000 牛顿简称千牛（kN）。

在力学中要区分两类量：标量和矢量。在确定某种量时，只需一个数就可以确定的量称为标量。例如长度、时间、质量等都是标量。在确定某种量时，不但要考虑它的大小，还要考虑它的方向，这类量称为矢量，也称向量。力、速度和加速度等都是矢量。矢量可用一具有方向的线段来表示。如图 1-1 所示，线段的起点  $A$ （或终点  $B$ ）表示力的作用点，沿力矢顺着箭头的指向表示力的方向；线段的长度（按一定的比例尺）表示力的大小。本书中用黑体字母表示矢量，而以普通字母表示该矢量的模（即大小）。图 1-1 中  $\mathbf{F}$  表示力矢量， $F$  表示该力的大小（ $F = 600\text{N}$ ）。

力系是指作用在物体上的一组力。作用在物体上的一个力系如果可以用另一个力系来代替而效应相

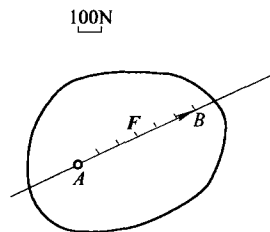


图 1-1 力的表示

同,那么这两个力系互为**等效力系**。若一个力与一个力系等效,则这个力称为该力系的合力。

## 二、质点和刚体的概念

如果我们仔细地考虑物体的机械运动,则运动情况总是比较复杂的。例如物体的落体运动,一方面物体受到重力作用,另一方面它还受到空气的阻力,而空气阻力又与落体的几何形状、大小及下降速度有关。但是在许多情况下,阻力所起的作用很小,运动的情况主要取决于重力,因而可以忽略空气阻力,这样物体的运动就可看作与几何形状、大小等无关。类似的例子很多,概括这些事实,我们可以看到,在某些问题中,物体的形状和大小与研究的问题无关或者起的作用很小,是次要因素。为了首先抓住主要的因素和掌握它的基本运动规律,我们有必要忽略物体的形状和大小。这样在研究问题中,不计物体形状、大小,只考虑质量并将物体视为一个点,即**质点**。质点在空间占有确定的位置,常用直角坐标系中  $x$ 、 $y$ 、 $z$  值表示。

力对物体的外效应是使物体的运动状态发生变化,力对物体的内效应是使物体发生变形。在通常情况下,机械零件、工程中的结构件在工作时,受力产生的变形是很微小的,往往只有专门的仪器才能测量出来。在很多工程问题中,这种微小的变形对于研究物体的平衡问题影响极小,可以忽略不计。这样忽略了物体微小的变形后便可把物体看作刚体。我们把**刚体**定义为由无穷多个点组成的不变形的几何形体,它在力的作用下保持其形状和大小不变。刚体是对物体加以抽象后得到的一种理想模型,在研究平衡问题时,将物体看成刚体会大大简化问题的研究。

同一个物体在不同的问题中,有时可看作质点,有时要看作刚体,有时则必须看作变形体。例如当研究月球运行轨道时,月球可看作质点;当研究月球自转时,月球要看作刚体。同样,当研究车辆离出发点距离时,车辆可看作质点;当研究车辆转弯时,车辆可看作刚体;当研究车辆振动时,车辆的一些部件则要看作变形体。

## 三、平衡的概念

物体相对于地面保持静止或匀速直线运动的状态称为物体的平衡状态。例如桥梁、机床的床身、高速公路上匀速直线行驶的汽车等,都处于平衡状态。物体的平衡是物体机械运动的特殊形式。平衡规律远比一般的运动规律简单。

如果刚体在某一个力系作用下处于平衡,则此力系称为**平衡力系**。力系平衡时所满足的条件称为**力系的平衡条件**。力系的平衡条件,在工程中有十分重要的意义。在设计工程结构的构件或作匀速运动的机械零件时,需要先分析物体的受力情况,再运用平衡条件计算所受的未知力,最后按照材料的力学性能确定几何尺寸或选择适当的材料品种。有时对低速转动或直线运动加速度较小的机械零件,也可近似地应用平衡条件进行计算。人们在设计各种机械零件或结构物时,常常需要静力分析和计算,平衡规律在工程中有广泛的应用。

## 第二节 静力学公理

人们在长期的生活和生产活动中,经过实践、认识、再实践、再认识的过程,不仅建立了力的概念,而且总结出力所遵循的许多规律,其中最基本的规律可归纳为以下五条。

### 一、二力平衡原理

受两力作用的刚体,其平衡的充分必要条件是:这两个力大小相等,方向相反,并且作用在同一直线上(见图 1-2)。简称此两力等值、反向、共线。即:

$$F_1 = -F_2$$

上述条件对于刚体来说,既是必要又是充分的;但是对于变形体来说,仅仅是必要条件。例如,绳索受两个等值反向的拉力作用时可以平衡,而两端受一对等值反向的压力作用时就不能平衡。

在两个力作用下处于平衡的刚体称为二力体。如果物体是某种杆件或构件,有时也称为二力杆或二力构件。

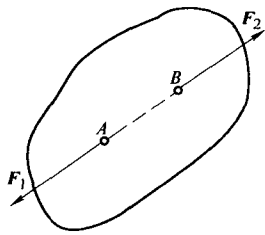


图 1-2 二力平衡

### 二、加减平衡力系原理

在作用于刚体上的任何一个力系上,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效果。

由二力平衡原理和加减平衡力系原理这两条力的基本规律,可以得到下面的推论:作用在刚体上的一个力,可沿其作用线任意移动作用点而不改变此力对刚体的效应。这个性质称为力的可传性,说明力是滑移矢量。在图 1-3 中,作用在刚体 A 点的力  $F$ ,将它的作用点移到其作用线上的任意一点 B,而力对刚体的作用效果不变。特别需要强调的是,当必须考虑物体的变形时,这个性质不再适用。例如图 1-4 所示拉伸弹簧,力  $F$  作用于 A 处与作用于 B 处效果完全不同。

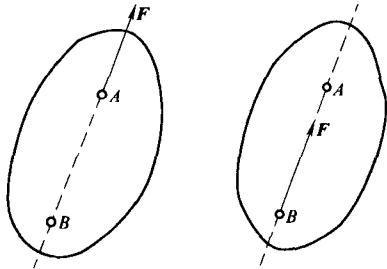


图 1-3 力的滑移

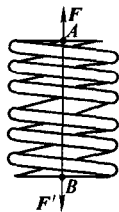


图 1-4 拉伸弹簧

根据力的可传性,作用在刚体上的力其三要素成为大小、方向和作用线的位置。这样力矢就可以从它作用线上的任一点画出。