

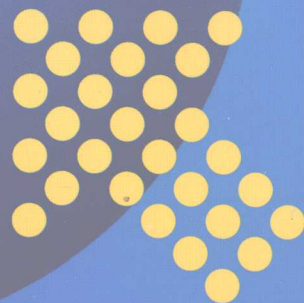
21世纪高等学校规划教材



GONGCHENG LIXUE

# 工程力学

孙 艳 何署廷 主 编  
姚 敏 副主编



中国电力出版社  
<http://jc.cepp.com.cn>

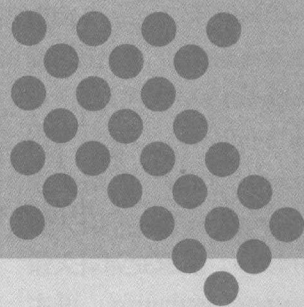
21世纪高等学校规划教材



GONGCHENG LIXUE

# 工程力学

主 编 孙 艳 何署廷  
副主编 姚 敏  
编 写 赵福明  
主 审 刘恩济



中国电力出版社

<http://jc.cepp.com.cn>

## 内 容 提 要

本书为 21 世纪高等学校规划教材。

本书为工程力学课程的教材,包括静力学、材料力学、运动学和动力学四大部分,十八章。第一篇静力学包括静力学公理及受力分析,力系的简化与平衡,摩擦;第二篇材料力学包括四种基本变形及其强度条件、刚度条件,应力状态和强度理论,组合变形,压杆稳定,动荷载与交变能力能量法及其应用;第三篇运动学包括点的运动学,刚体的简单运动及点的合成运动,刚体的平面运动;第四篇动力学包括质点动力学基本方程,动量定理,动量矩定理和动能定理。各章附有小结、思考题和习题,便于读者明确重点,使理论内容更为精炼。增加了例题,以加强启发性和独立思考能力的培养,有利于自学和课堂讨论。适合 60~160 学时选用。

本书可作为普通高等工科院校四年制勘察、给水、资源、水利和动力等专业的教材,也可作为其他专业的教材选用,或作为自学、函授教材。

## 图书在版编目(CIP)数据

工程力学/孙艳,何署廷主编. —北京:中国电力出版社, 2009

21 世纪高等学校规划教材

ISBN 978 - 7 - 5083 - 9054 - 3

I. 工… II. ①孙…②何… 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(2009)第 125184 号

中国电力出版社出版、发行

(北京三里河路 6 号 100044 <http://jc.cepp.com.cn>)

汇鑫印务有限公司印刷

各地新华书店经售

\*

2009 年 8 月第一版 2009 年 8 月北京第一次印刷

787 毫米×1092 毫米 16 开本 33 印张 809 千字

定价 52.00 元

## 敬告读者

本书封面贴有防伪标签,加热后中心图案消失  
本书如有印装质量问题,我社发行部负责退换

版 权 专 有 翻 印 必 究

# 前 言

工程力学是普通高等工科院校本科生必修的专业基础课,是各门后续力学课程的理论基础,也是一门体系完整的独立学科。随着科学技术的发展,作为基础学科的理论力学,其体系和内容也必须进行相应的调整。近几年由于专业基础课的学时减少,原来的理论力学、材料力学两门专业基础课,很多专业已改为工程力学一门课,由于专业较多,课程设置不一,为了能满足多专业的课程需求,编写了这本工程力学这本教材,本教材内容全面,习题较多,能满足教学的需求及学生自学的要求,课后习题包含的内容全面,便于学生巩固课上的学习内容及课后复习,本书还增加有难度的习题,便于学生独立思考和拓宽知识面和视野。在编写本教材时,为使理论内容更为精炼,增加了例题和思考题,以加强启发性和独立思考能力的培养,有利于自学和课堂讨论。

本书采用贯通式的编写思路,涵盖了原有工科的理论力学、材料力学教学内容,包括静力学、材料力学、运动学和动力学四大部分,各章附有小结、思考题和习题,便于读者明确重点,适合 60~160 学时选用。

本书由孙艳、何署廷主编,参加本教材编写工作的有:孙艳(第一~三章、第十二~十四章),何署廷(绪论,第五、六章,第十五~十八章),姚敏(第四章、第七~九章),赵福明(第十、十一章),全书由刘恩济教授主审。

本书在编写过程中得到了很多同志的指教和支持,参考了不少相关教材,在此深表感谢。

由于编者水平有限,书中难免存在一些缺点和错误,敬请广大教师和读者批评指正。

编 者

2009 年 4 月

## 主 要 符 号 表

|          |                   |                 |                   |
|----------|-------------------|-----------------|-------------------|
| $a$      | 加速度               | $L$             | 拉格朗日函数            |
| $a_n$    | 法向加速度             | $L_O$           | 刚体对点 $O$ 的动量矩     |
| $a_t$    | 切向加速度             | $L_C$           | 刚体对质心的动量矩         |
| $a_a$    | 绝对加速度             | $m$             | 质量                |
| $a_r$    | 相对加速度             | $M$             | 力偶矩, 主矩           |
| $a_e$    | 牵连加速度             | $M_O(F)$        | 力 $F$ 对点 $O$ 的矩   |
| $a_C$    | 科氏加速度             | $M_I$           | 惯性力的主矩            |
| $A$      | 面积, 自由振动振幅        | $M_x, M_y, M_z$ | 力对 $x, y, z$ 轴的力矩 |
| $d, D$   | 直径                | $n$             | 质点数目              |
| $e$      | 偏心距, 恢复因数         | $[n_{st}]$      | 稳定安全因数            |
| $E$      | 弹性模量              | $O$             | 参考坐标系的原点          |
| $f$      | 动摩擦因数, 频率         | $p$             | 动量                |
| $f_s$    | 静摩擦因数             | $P$             | 重量, 功率            |
| $F$      | 力                 | $q$             | 载荷集度, 广义坐标        |
| $F_{cr}$ | 临界力               | $Q$             | 广义力               |
| $F_R$    | 主矢                | $r, R$          | 半径                |
| $F_S$    | 静滑动摩擦力, 剪力        | $r$             | 矢径                |
| $F_N$    | 法向约束力, 轴力         | $r_O$           | 点 $O$ 的矢径         |
| $F_{le}$ | 牵连惯性力             | $r_C$           | 质心的矢径             |
| $F_{IC}$ | 科氏惯性力             | $s$             | 弧坐标, 频率比          |
| $F_I$    | 惯性力               | $t$             | 时间, 摄氏温度          |
| $g$      | 重力加速度             | $T$             | 动能, 周期, 扭矩        |
| $G$      | 切变模量              | $v$             | 速度                |
| $h$      | 高度                | $v_a$           | 绝对速度              |
| $i$      | $x$ 轴的基矢量         | $v_r$           | 相对速度              |
| $I$      | 冲量                | $v_e$           | 牵连速度              |
| $I$      | 惯性矩               | $v_C$           | 质心速度              |
| $I_p$    | 极惯性矩              | $V$             | 势能, 体积            |
| $I_{yz}$ | 惯性积               | $V_e$           | 应变能               |
| $j$      | $y$ 轴的基矢量         | $w$             | 挠度                |
| $J_z$    | 刚体对 $z$ 轴的转动惯量    | $W$             | 功                 |
| $J_{xy}$ | 刚体对 $x, y$ 轴的转动惯量 | $W, W_x$        | 抗弯截面模量            |
| $J_C$    | 刚体对质心的转动惯量        | $W_I$           | 抗扭截面模量            |
| $k$      | 弹簧刚度系数            | $x, y, z$       | 直角坐标              |
| $k$      | $z$ 轴的基矢量         | $\alpha$        | 角加速度, 线膨胀系数       |
| $l$      | 长度                | $\beta$         | 角度坐标              |

|               |                 |                 |          |
|---------------|-----------------|-----------------|----------|
| $\delta$      | 滚阻因数，阻尼因数       | $\lambda$       | 柔度，长细比   |
| $\zeta$       | 阻尼比             | $\mu$           | 长度系数，泊松比 |
| $\rho$        | 密度，曲率半径         | $\sigma$        | 正应力      |
| $\varphi$     | 角度坐标，相对扭转角，稳定因数 | $\sigma_t$      | 拉应力      |
| $\varphi'$    | 单位长度相对扭转角       | $\sigma_c$      | 压应力      |
| $\varphi_f$   | 摩擦角             | $[\sigma]$      | 许用应力     |
| $\gamma$      | 切应变             | $[\sigma_t]$    | 许用拉应力    |
| $\psi$        | 角度坐标            | $[\sigma_c]$    | 许用压应力    |
| $\omega_0$    | 固有角频率           | $[\sigma_{cr}]$ | 临界应力     |
| $\omega$      | 角速度             | $\sigma_e$      | 弹性极限     |
| $\omega_a$    | 绝对角速度           | $\sigma_p$      | 比例极限     |
| $\omega_r$    | 相对角速度           | $\sigma_s$      | 屈服极限     |
| $\omega_e$    | 牵连角速度           | $\tau$          | 切应力      |
| $\varepsilon$ | 线应变，尺寸系数        | $[\tau]$        | 许用切应力    |

## 目 录

前言

主要符号表

|                   |   |
|-------------------|---|
| 绪论                | 1 |
| 第一节 工程力学课程的主要内容   | 1 |
| 第二节 工程力学研究模型与研究方法 | 2 |
| 第三节 工程力学发展过程与成就   | 3 |

## 第一篇 静 力 学

|                  |    |
|------------------|----|
| 引言               | 5  |
| 第一章 静力学公理及受力分析   | 5  |
| 第一节 静力学公理        | 6  |
| 第二节 约束和约束力       | 8  |
| 第三节 物体的受力分析和受力图  | 11 |
| 小结               | 15 |
| 习题               | 16 |
| 第二章 力系的简化与平衡     | 18 |
| 第一节 平面汇交力系的简化与平衡 | 18 |
| 第二节 平面力偶系的简化与平衡  | 21 |
| 第三节 平面任意力系的简化与平衡 | 24 |
| 第四节 桁架           | 34 |
| 第五节 空间力系         | 37 |
| 第六节 重心           | 54 |
| 小结               | 58 |
| 思考题              | 61 |
| 习题               | 63 |
| 第三章 摩擦           | 75 |
| 第一节 滑动摩擦         | 75 |
| 第二节 摩擦角和自锁现象     | 77 |
| 第三节 考虑摩擦时物体的平衡问题 | 79 |
| 第四节 滚动摩阻的概念      | 86 |
| 小结               | 88 |
| 思考题              | 88 |

|          |    |
|----------|----|
| 习题 ..... | 89 |
|----------|----|

## 第二篇 材 料 力 学

|                               |     |
|-------------------------------|-----|
| 引言 .....                      | 94  |
| 第四章 轴向拉伸和压缩 .....             | 97  |
| 第一节 轴向拉伸和压缩的概念与实例 .....       | 97  |
| 第二节 内力、轴力、轴力图 .....           | 97  |
| 第三节 拉(压)杆内的应力 .....           | 99  |
| 第四节 拉(压)杆的变形 .....            | 102 |
| 第五节 拉(压)杆内的应变能 .....          | 105 |
| 第六节 材料在拉伸和压缩时的机械性质 .....      | 107 |
| 第七节 许用应力 安全因数 强度条件 .....      | 112 |
| 第八节 拉(压)超静定问题 .....           | 116 |
| 第九节 应力集中的概念 .....             | 121 |
| 第十节 剪切与挤压的实用计算 .....          | 122 |
| 小结 .....                      | 127 |
| 思考题 .....                     | 128 |
| 习题 .....                      | 129 |
| 第五章 扭转 .....                  | 140 |
| 第一节 扭转的基本概念 .....             | 140 |
| 第二节 扭矩 扭矩图 .....              | 140 |
| 第三节 纯剪切 切应力互等定理 .....         | 143 |
| 第四节 圆轴扭转时的应力与变形 .....         | 145 |
| 第五节 矩形截面杆自由扭转简介 .....         | 155 |
| 小结 .....                      | 156 |
| 思考题 .....                     | 156 |
| 习题 .....                      | 157 |
| 第六章 弯曲 .....                  | 161 |
| 第一节 弯曲的基本概念 .....             | 161 |
| 第二节 梁的剪力、弯矩和剪力图、弯矩图 .....     | 162 |
| 第三节 梁横截面上的正应力和梁的正应力强度条件 ..... | 178 |
| 第四节 梁横截面上的切应力和梁的切应力强度条件 ..... | 186 |
| 第五节 梁的变形和梁的刚度条件 .....         | 196 |
| 小结 .....                      | 210 |
| 思考题 .....                     | 211 |
| 习题 .....                      | 213 |
| 第七章 应力状态和强度理论 .....           | 229 |
| 第一节 应力状态概述 .....              | 229 |



|             |                     |            |
|-------------|---------------------|------------|
| 第二节         | 平面应力状态分析            | 230        |
| 第三节         | 三向应力状态的应力圆          | 237        |
| 第四节         | 广义胡克定律              | 240        |
| 第五节         | 空间应力状态下的应变能密度       | 242        |
| 第六节         | 强度理论及其应用            | 244        |
| 小结          |                     | 249        |
| 思考题         |                     | 250        |
| 习题          |                     | 251        |
| <b>第八章</b>  | <b>组合变形</b>         | <b>257</b> |
| 第一节         | 组合变形概述              | 257        |
| 第二节         | 斜弯曲                 | 257        |
| 第三节         | 拉伸(压缩)与弯曲的组合        | 260        |
| 第四节         | 弯曲与扭转的组合            | 265        |
| 小结          |                     | 269        |
| 思考题         |                     | 269        |
| 习题          |                     | 271        |
| <b>第九章</b>  | <b>压杆稳定</b>         | <b>277</b> |
| 第一节         | 压杆稳定的概念             | 277        |
| 第二节         | 两端铰支细长压杆的临界力        | 278        |
| 第三节         | 其他杆端约束情况下细长压杆的临界力   | 281        |
| 第四节         | 欧拉公式的适用范围和临界应力总图    | 284        |
| 第五节         | 压杆的稳定性计算            | 287        |
| 第六节         | 提高压杆稳定性的措施          | 293        |
| 小结          |                     | 294        |
| 思考题         |                     | 295        |
| 习题          |                     | 295        |
| <b>第十章</b>  | <b>动荷载与交变应力</b>     | <b>300</b> |
| 第一节         | 动荷载和交变应力的概念         | 300        |
| 第二节         | 动应力的计算              | 300        |
| 第三节         | 材料持久极限及其测定和构件的持久极限  | 307        |
| 第四节         | 提高构件抗冲击能力和构件疲劳强度的措施 | 314        |
| 小结          |                     | 315        |
| 思考题         |                     | 315        |
| 习题          |                     | 315        |
| <b>第十一章</b> | <b>能量法及其应用</b>      | <b>319</b> |
| 第一节         | 各种基本变形的应变能计算        | 319        |
| 第二节         | 卡氏定理及其应用            | 322        |
| 第三节         | 用能量法解超静定结构          | 328        |
| 小结          |                     | 330        |

|          |     |
|----------|-----|
| 思考题..... | 330 |
| 习题.....  | 330 |

## 第三篇 运 动 学

|                                      |     |
|--------------------------------------|-----|
| 引言.....                              | 333 |
| 第十二章 点的运动学.....                      | 333 |
| 第一节 向量法.....                         | 333 |
| 第二节 直角坐标法.....                       | 334 |
| 第三节 自然法.....                         | 339 |
| 小结.....                              | 345 |
| 思考题.....                             | 346 |
| 习题.....                              | 347 |
| 第十三章 刚体的简单运动及点的合成运动.....             | 350 |
| 第一节 刚体的平行移动.....                     | 350 |
| 第二节 刚体绕定轴的转动.....                    | 351 |
| 第三节 转动刚体内各点的速度和加速度.....              | 352 |
| 第四节 轮系的传动比.....                      | 354 |
| 第五节 以矢量表示角速度和角加速度、以矢积表示点的速度和加速度..... | 356 |
| 第六节 相对运动、牵连运动、绝对运动.....              | 358 |
| 第七节 点的速度合成定理.....                    | 361 |
| 第八节 点的加速度合成定理.....                   | 365 |
| 小结.....                              | 372 |
| 思考题.....                             | 373 |
| 习题.....                              | 375 |
| 第十四章 刚体的平面运动.....                    | 383 |
| 第一节 刚体平面运动的概述和运动分解.....              | 383 |
| 第二节 求平面图形内各点速度的基点法.....              | 385 |
| 第三节 求平面图形内各点速度的瞬心法.....              | 392 |
| 第四节 用基点法求平面图形内各点的加速度.....            | 396 |
| 小结.....                              | 399 |
| 思考题.....                             | 399 |
| 习题.....                              | 401 |

## 第四篇 动 力 学

|                     |     |
|---------------------|-----|
| 引言.....             | 409 |
| 第十五章 质点动力学基本方程..... | 410 |
| 第一节 动力学的基本定律.....   | 410 |

|                                  |     |
|----------------------------------|-----|
| 第二节 惯性系中的质点运动微分方程·····           | 411 |
| 小结·····                          | 415 |
| 思考题·····                         | 416 |
| 习题·····                          | 416 |
| <b>第十六章 动量定理</b> ·····           | 419 |
| 第一节 动力学普遍方程·····                 | 419 |
| 第二节 动量定理及其应用·····                | 419 |
| 第三节 质心运动定理·····                  | 424 |
| 小结·····                          | 429 |
| 思考题·····                         | 430 |
| 习题·····                          | 430 |
| <b>第十七章 动量矩定理</b> ·····          | 435 |
| 第一节 动量矩定理与动量矩守恒定律·····           | 435 |
| 第二节 刚体对轴的转动惯量·····               | 438 |
| 第三节 刚体定轴转动微分方程·····              | 442 |
| 小结·····                          | 444 |
| 思考题·····                         | 444 |
| 习题·····                          | 445 |
| <b>第十八章 动能定理</b> ·····           | 450 |
| 第一节 功和动能的计算·····                 | 450 |
| 第二节 动能定理及其应用·····                | 454 |
| 第三节 机械能守恒·····                   | 462 |
| 小结·····                          | 464 |
| 思考题·····                         | 465 |
| 习题·····                          | 465 |
| <b>附录 A 截面的几何性质</b> ·····        | 469 |
| 第一节 截面的静矩和形心位置·····              | 469 |
| 第二节 惯性矩、惯性积和极惯性矩·····            | 470 |
| 第三节 惯性矩、惯性积的平行移轴和转轴公式·····       | 471 |
| 思考题·····                         | 473 |
| 习题·····                          | 474 |
| <b>附录 B 简单荷载作用下梁的挠度与转角</b> ····· | 476 |
| <b>附录 C 型钢表</b> ·····            | 478 |
| <b>参考答案</b> ·····                | 491 |
| <b>索引</b> ·····                  | 510 |
| <b>参考文献</b> ·····                | 516 |

## 绪 论

工程力学是一门研究物体运动一般规律和有关构件的强度、刚度、稳定性理论的科学。它通过研究物体机械运动的一般规律来对工程构件进行相关的力学分析和设计,工程力学涉及众多的力学学科分支与广泛的工程技术领域,本书所讨论的是工程力学最基本的部分。它主要包括静力学、材料力学、运动学和动力学。它是很多工程专业的最重要的基础课程之一,同时它也广泛应用于工程实践。

### 第一节 工程力学课程的主要内容

工程力学主要包括静力学、材料力学、运动学和动力学四个部分。

**机械运动**是人们在日常生活和生产实践中最常见的一种运动形式,是物体的空间位置随时间的变化规律。

**静力学**研究物体的平衡规律,同时也研究力的一般性质及其合成法则。静力学是机械运动的特殊情况,即物体在外力作用下的平衡问题,包括对工程物体的受力分析,对作用在工程物体上的复杂力系进行简化,总结力系的平衡条件和平衡方程,从而找出平衡物体上所受的力与力之间的关系。

**构件**是工程上的机械、设备、结构的组成元素。

**材料力学**是研究工程构件在外力作用下,其内部产生的力,这些力的分布以及将要发生的变形,这些变形中有些在外力解除后是可以恢复的,称为**弹性变形**;而另一些不可恢复的变形,则称为**塑性变形**。

为保证工程机械和结构的正常工作,其构件必须有足够的承载能力,即必须具有足够的**强度、刚度和稳定性**。

足够的**强度**,是保证工程构件在外力作用下不发生断裂和过大的塑性变形。

足够的**刚度**,是保证工程构件在外力作用下不发生过大的弹性变形。

足够的**稳定性**,是保证工程构件在外力作用下不失稳,即不改变其本来的平衡状态。

**运动学**研究物体运动的几何性质,而不考虑物体运动的原因。如研究物体运动轨迹、速度和加速度等,而不考虑引起运动的物理原因。

**动力学**研究物体的运动变化与其所受的力之间的关系。动力学分析系统的运动与作用于系统的力系之间的关系。

本书所研究的内容是以伽利略和牛顿所建立的基本定律为基础,其速度远小于光速的机械运动,属于古典力学的范畴。有关速度接近光速的物体和基本粒子的运动,需运用爱因斯坦的相对论等理论来研究。对于宏观物体,一般速度远小于光速,工程中的物体也远小于光速,所以,工程实际中主要应用古典力学。

## 第二节 工程力学研究模型与研究方法

### 一、工程力学的研究模型

在自然界中的实际工程构件受力后，几何形状和几何尺寸都要发生改变，这种改变称为**变形**，这些构件都称为**变形体**。变形可以分为弹性变形和塑性变形。**弹性变形**是卸除荷载后能完全消失的那一部分变形；**塑性变形**是卸除荷载后不能完全消失而残留下来的那部分变形。一般，在材料力学部分，为了研究构件的内力和变形，采用变形体这种模型。

当研究构件的受力时，在绝大多数情况下变形都比较小，忽略这种变形对构件的受力分析不会产生什么影响。因此，在静力学、运动学和动力学中可以将变形体简化为不变形的**刚体**。

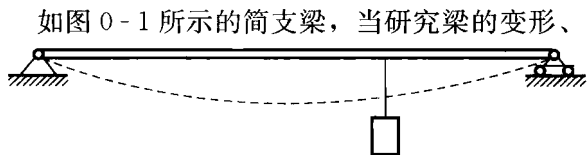


图 0-1 简支梁

如图 0-1 所示的简支梁，当研究梁的变形、内力等材料力学问题时，就必须将其看成变形体。但是，如果仅研究支座反力时，就可以将其看成刚体。因为，实际结构一般是小变形，而这种变形对求支座反力影响不大，可以忽略。

### 二、工程力学的研究方法

工程力学中各部分，由于所研究的问题不同，理论分析的方法也不同。

(1) 静力学、运动学和动力学的研究对象是刚体，在建立研究对象力学模型的基础上，根据物体机械运动的基本概念与基本理论，应用数学推导的方法，确定物体在外力作用下会产生什么样的运动，或产生给定的运动需要施加什么样的力等。

(2) 材料力学的研究对象是变形体，研究物体在外力作用下，会产生什么样的变形、什么样的内力，这些变形和内力对构件的正常工作又会产生什么样的影响。因此，在这一类问题中，是通过平衡、变形协调以及力和变形之间的物理关系研究物体的变形规律以及内力分布规律。

除了理论分析以外，工程力学离不开实验分析。实验分析包括测定一些参数（如速度、摩擦因数等）和通过实验建立或验证一些力学理论。

近三十年随着计算机技术的普及，工程力学的计算机分析方法也很普遍，限于篇幅本书不在此作介绍了。

### 三、学习工程力学的目的

工程力学的主要研究对象是实际工程的力学模型，例如静力学中的屋架结构、运动学中的平面机构、动力学中的振动系统、材料力学中各种杆件的应力和变形等。运用工程力学可以直接解决许多工程实际问题。

工程力学又是工科专业一些后继课程的基础，例如结构力学、弹性力学、流体力学、振动学、土力学、混凝土结构、机械设计等都以工程力学原理为基础。在建立这些课程的基本理论时可以直接应用工程力学的定理和公式。

### 第三节 工程力学发展过程与成就

中国很早就可以利用经验建造了世界上著名的建筑,如 1400 年前的赵州桥(见图 0-2),建于辽代(1056 年)的山西应县佛宫寺释迦塔(见图 0-3)等。中国古代还有很多这样的建筑奇迹,虽然当时人们不知道工程力学的知识,但我国古代工匠们的这些建筑经验,正好满足了现代的力学理论,所以这些建筑千百年来依然不倒。20 世纪随着西方的工业革命,产生了很多高新技术,利用这些技术建造的建筑如高层建筑中央电视台新楼(见图 0-4)、大型体育场馆鸟巢(见图 0-5)、大型桥梁南京长江二桥(见图 0-6)等。航天飞机发射(见图 0-7)、高速列车(见图 0-8)以及大型水利枢纽三峡大坝(见图 0-9)等许多重要工程更是在工程力学指导下得以实现,并不断发展完善的。

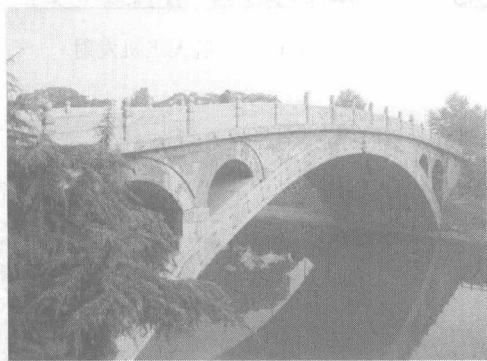


图 0-2 赵州桥



图 0-3 应县佛宫寺释迦塔

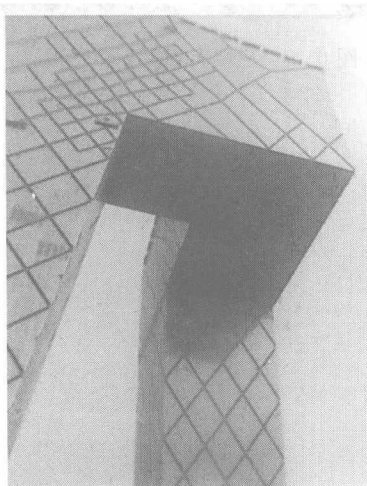


图 0-4 中央电视台新楼



图 0-5 鸟巢

需要指出的是,除了工业部门的工程外,还有一些非工业工程也都与工程力学有密切关系,如体育运动工程、赛车结构等。总之工程力学在工业、工程等领域都有广泛的应用。

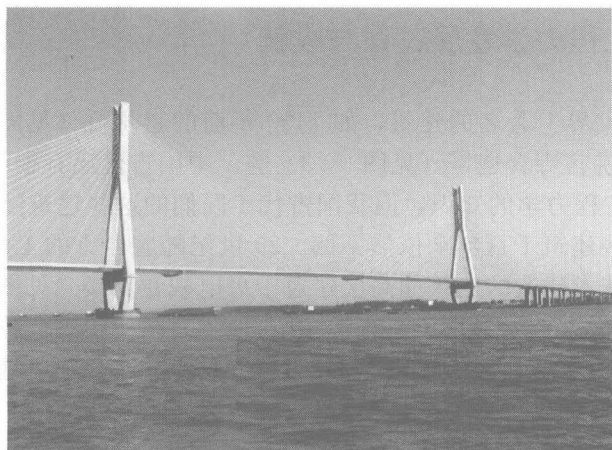


图 0-6 南京长江二桥

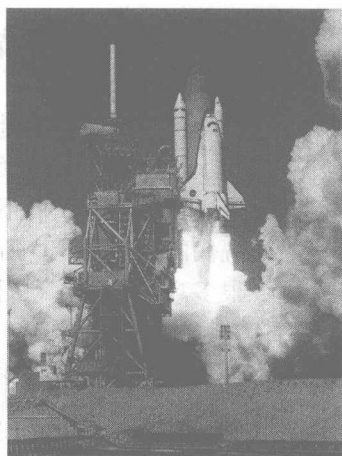


图 0-7 航天飞机发射

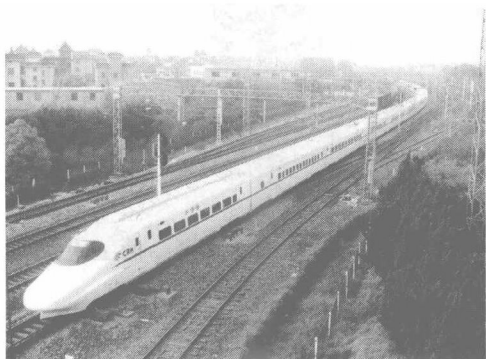


图 0-8 和谐号高速列车

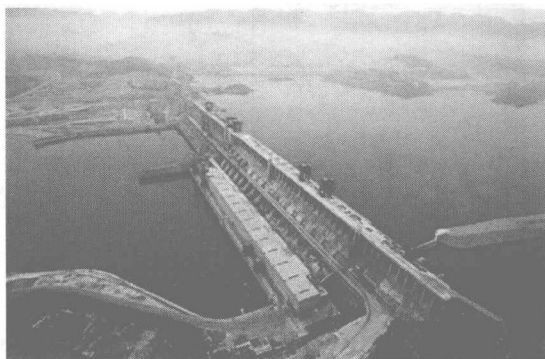


图 0-9 三峡大坝



# 第一篇 静 力 学

## 引 言

静力学的任务是研究力系的简化与平衡条件。力系指作用在物体上的一组力，所谓简化是指用一组最简单的力系代替给定的力系，同时保持对物体的作用不变。或者说，用简单的等效力系代替给定力系。平衡条件指在物体平衡时作用于物体上的力所应满足的条件。显然，力系简化是寻找力系平衡条件的简洁途径，但力系简化的应用绝不仅限于静力学。在动力学中，当研究在给定力系作用下物体如何运动时，力系简化同样重要。

在物理课程中，已经接触过静力学，并建立了一些有关概念。

(1) 力。力是物体之间相互的机械作用，它的效应是改变物体的运动状态（外效应）或是物体变形（内效应）。

(2) 平衡。物体静止或作匀速直线运动时称物体处于平衡状态。静止、运动都是相对某一参考系而言的。在静力学中，将与地球相固结的坐标系取作参考坐标系。

(3) 质点。如果不计物体的大小，只考虑其质量，则称之为质点。质点是为研究物体运动规律而作的一种简化，一组有联系的质点构成质点系。

(4) 刚体。一种特殊的质点系，其中各质点间的距离保持不变，亦即刚体是不变形的，所以，刚体又称为不变质点系。刚体也是实际物体的一种经过简化与抽象的物理模型。实际物体都有变形，是变形体，但为保持结构物的坚固性，通常都设计得使结构物各部件的变形很小，在研究某些问题时就可以忽略这些微小的变形而把物体看成刚体。静力学的研究对象主要是刚体。

在静力学中，研究以下三个问题：

### 1. 物体的受力分析

分析物体共受几个力，以及每个力的作用位置和方向。

### 2. 力系的简化（力系的等效代换）

研究力系的简化并不限于静力学问题，也为动力学提供基础。

### 3. 建立各种力系的平衡条件

研究作用在物体上的各种力系所需满足的平衡条件。力系的平衡条件在工程中有着十分重要的意义，是设计结构、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。

## 第一章 静力学公理及受力分析

本章介绍力及它的性质，对物体进行受力分析。画出物体的受力图是研究物体平衡与运动的基础。



## 第一节 静力学公理

人类对力的认识最初来自自身的体力，经过长期的实践，才认识力的规律。力是物体之间相互的机械作用，其效应是改变物体运动状态或是物体变形。对不变形的刚体，力只改变其运动状态。力具有下列性质：

力对物体的效果取决于三个因素：大小、方向和作用点，即力的三要素。力是有方向的量，在数学上可以用矢量  $\boldsymbol{F}$  表示。力可表示为一个有方向带箭头的线段，线段的长度表示力的大小，线段所在直线及箭头表示力的方向，线段的始端（有时用末端）表示力的作用点。在国际单位制中，力的单位是牛顿，符号是 N， $1\text{N} = 1\text{kg} \cdot \text{m}/\text{s}^2$ 。

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。

### 一、公理 1 力的平行四边形法则

作用在物体上同一点的两个力，可以合成为一个合力。合力的作用点也在该点，合力的大小和方向，由这两个力为边构成的平行四边形的对角线确定，如图 1-1 (a) 所示。或者说，合力矢等于这两个力矢的几何和，即

$$\boldsymbol{F} = \boldsymbol{F}_1 + \boldsymbol{F}_2$$

亦可另作一力三角形，求两汇交力合力的大小和方向（即合力矢），如图 1-1 (b) 所示。

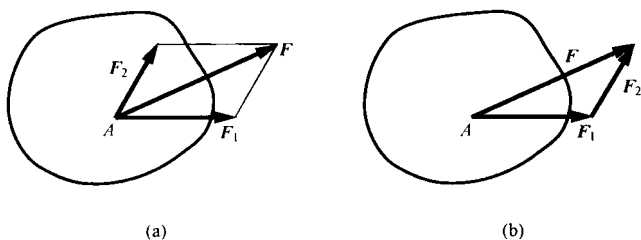


图 1-1 求合力

(a) 力的平行四边形法则；(b) 力的三角形法则

### 二、公理 2 二力平衡条件

作用在同一刚体上的两个力（如  $\boldsymbol{F}_1$  与  $\boldsymbol{F}_2$ ），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，且作用在同一直线上。这个公理表明了作用于刚体上最简单力系平衡时所必须满足的条件。

### 三、公理 3 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。这个公理是研究力系等效替换的重要依据。根据上述公理可以导出下列推理。

#### 1. 推理 1 力的可传性

作用于刚体上某点的力，可以沿着它的作用线移动到刚体内任意一点，并不改变该力对刚体的作用。

**证明** 在刚体上的点 A 作用力  $\boldsymbol{F}$ ，如图 1-2 (a) 所示。根据加减平衡力系原理，可在力的作用线上任取一点 B，并加上两个相互平衡的力  $\boldsymbol{F}_1$  和  $\boldsymbol{F}_2$ ，使  $\boldsymbol{F}_2 = \boldsymbol{F} = -\boldsymbol{F}_1$ ，如图 1-2 (b) 所示。由于力  $\boldsymbol{F}$  和  $\boldsymbol{F}_1$  也是一个

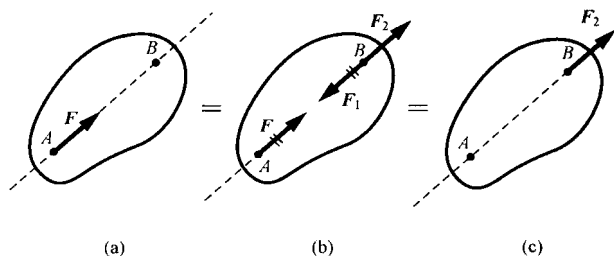


图 1-2 力的可传性

(a) 在刚体上的点 A 作用力  $\boldsymbol{F}$ ；(b) 加上一对平衡力；  
(c) 力  $\boldsymbol{F}$  沿其作用线移到了点 B