

# GONGCHENG

# 工程力学

*Gongcheng Lixue*

陈天富 冯贤桂 编 著



重庆大学出版社

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

# 工程力学

*Gongcheng Lixue*

陈天富 冯贤桂 编著

重庆大学出版社

## 内 容 提 要

本书是根据教育部高等学校工科学课程教学基本要求编写的。

全书分为两篇,第1篇是静力学,第2篇是材料力学。全书共15章,静力学部分的内容包括:绪论、静力学基本概念与基本原理、力系的简化与合成、力系的平衡;材料力学部分的内容包括:材料力学的一般概念、轴向拉伸和压缩、剪切、平面图形的几何性质、扭转、弯曲内力、弯曲应力、弯曲变形、应力状态分析和强度理论、组合变形、压杆的稳定性、交变应力和冲击应力。各章都附有习题,书末附有部分习题答案。

本书还附有可以直接用于课堂教学的多媒体光盘。光盘覆盖了本书的全部内容,图文并茂,生动形象,有利于读者学习、掌握工程力学的基本内容。

本书主要适用于高等工科院校机械制造、机械生产自动化、采矿、材料加工、冶金机械、电机、动力工程等专业的力学课程,还能作为高职、高专各专业的工程力学多学时和中学时课程教材,同时可供有关工程技术人员参考使用。

## 图书在版编目(CIP)数据

工程力学/陈天富,冯贤桂编著. —重庆:重庆大学出版社,2008.6

ISBN 978-7-5624-4419-0

I. 工… II. ①陈…②冯… 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(2008)第 018503 号

## 工 程 力 学

陈天富 冯贤桂 编著

责任编辑:梁 涛 文 雯 版式设计:梁 涛

责任校对:谢 芳 责任印制:赵 晟

\*

重庆大学出版社出版发行

出版人:张鸽盛

社址:重庆市沙坪坝正街174号重庆大学(A区)内

邮编:400030

电话:(023) 65102378 65105781

传真:(023) 65103686 65105565

网址:<http://www.cqup.com.cn>

邮箱:[fxk@cqup.com.cn](mailto:fxk@cqup.com.cn) (市场营销部)

全国新华书店经销

重庆现代彩色书报印务有限公司印刷

\*

开本:787×1092 1/16 印张:21 字数:524千

2008年6月第1版 2008年6月第1次印刷

印数:1—3 000

ISBN 978-7-5624-4419-0 定价:32.00元

本书如有印刷、装订等质量问题,本社负责调换

版权所有,请勿擅自翻印和用本书

制作各类出版物及配套用书,违者必究

# 前言

本书是根据教学改革新思想,在传统工程力学教材的基础上,按教育部高等学校工科力学课程教学基本要求编写的,内容和体系作了较大的调整和更新。全书分为两篇,第1篇是静力学,第2篇是材料力学。

作者根据多年来在工程力学教学中积累的基本经验,注意吸取各类教材的精华,尽力争取编写一本融合我国传统教材,具有理论性强、简明扼要特点的工程力学教材,以适应现代教学改革的要求。教材的内容安排由一般到特殊,避免了工程力学自身的繁杂以及与大学物理课程相关部分的重复。本书中静力学与材料力学内容相互协调、体系连贯,并且注意引进新的知识点。物理概念准确,数学推导过程精练,并且精心制作了与教学配套的教学课件,在教学应用中非常方便。

本书突出了以下几个方面的特点:

(1)在参考各种版本工程力学教材的基础上,融入了编者多年的教学经验与体会;

(2)合理组合教学内容,避免不必要的内容重复,在满足基本理论要求的基础上,突出重点,实现教学内容的相互贯通和综合;

(3)采用从一般到特殊的内容体系,尽量能够全面、准确地阐述基本概念和基本定理;

(4)力求做到教材的文字内容简练,理论部分容易理解;

(5)各章节的例题难度适当,有利于读者加深对内容的理解与掌握,讲透重点问题,简化处理难点问题;

(6)配套的教学课件具有图文并茂、生动形象的特点,可以直接用于课堂教学。

第1篇静力学的安排上,首先介绍有关力的一些重要基本概念,力的基本性质、力的投影、力矩、力偶、约束及约束力和物体的受力分析等。随后在力系的简化、合成和平衡这些内容中,公式推导从空间一般力系出发,将平面问题作为空间力系的特例处理,但在平衡方程的应用方面,又以平面力系作用下物体系的平衡为重点,例题讲解和作业的重点仍放在平面力系上,这就使论证过程简练,重点突出。这样可以减少内容重复及公式推导过程,减少教学时数。考虑到当前高中教学中已经引入了许多现代数学知识,并且理工科大学学生已经学过高等数学,对矢量知识已有相当基础,所以本书努力将矢量方法运用于公式推导和定理证明。例如,力的分解与合成、力对点的矩、

平行力系的中心、各种力系的简化等都运用了矢量方法,证明过程简单明了。

第2篇材料力学包含了材料力学课程基本要求的全部内容:从拉伸、压缩、剪切、扭转、弯曲,到应力状态与强度理论、组合变形、压杆稳定、交变应力的基本理论和方法都作了较为详尽的阐述。内容的编写与安排尽量做到理论联系实际,注重工程应用,为读者从事工程设计提供必要的理论基础。在材料的力学性能中,按最新国标规定,取消了弹性极限概念,用“规定非比例伸长应力”代替“比例极限”定义;在扭转变形中,去掉了薄壁圆筒扭转这一节,直接从圆轴扭转来建立剪应力的计算表达式,节省了教材篇幅;弯曲剪应力的计算公式,也采用了新的推导方法;利用虚功原理,简洁地证明了计算弯曲变形的“莫尔定理”;对强度理论概念提出了新的定义方法;在压杆稳定方面,提出了压杆稳定的物理实质。

本书由重庆大学陈天富担任主编,陈天富、冯贤桂共同编写,陈天富编写“静力学”部分的绪论、第1章,“材料力学”部分的第5章、第12章、第13章、第14章、第15章;冯贤桂编写“静力学”部分的第2章、第3章,“材料力学”部分的第4章、第6章、第7章、第8章、第9章、第10章、第11章。与教材配套的多媒体教学课件,由陈天富、冯贤桂和重庆市巴蜀中学陈肖共同制作完成。

本书主要适用于高等工科院校机械制造、机械生产自动化、采矿、材料加工、冶金机械、电机、动力工程等专业的力学课程,也可以供有关工程技术人员参考使用。

限于编者的水平,书中难免有不少缺点错误与疏漏之处,希望使用本书的广大师生和读者批评指正。

本书得到重庆大学教材建设基金资助。

编 者

2007年12月于重庆大学

# 主要符号表

| 符 号                | 量的含义               |
|--------------------|--------------------|
| $A$                | 面积                 |
| $a$                | 间距                 |
| $b$                | 宽度                 |
| $d$                | 直径、距离、力偶臂          |
| $D$                | 直径                 |
| $e$                | 偏心距                |
| $E$                | 弹性模量(杨氏模量)         |
| $f_s$              | 静摩擦系数              |
| $F_{Ax}, F_{Ay}$   | $A$ 处铰约束力          |
| $F_N$              | 法向约束力、轴力           |
| $F_P$              | 荷载                 |
| $F_{Per}$          | 临界荷载               |
| $F_Q$              | 剪力                 |
| $F_R$              | 合力、主矢              |
| $F_S$              | 牵引力、拉力             |
| $F_T$              | 拉力                 |
| $F_x, F_y, F_z$    | 力在 $x, y, z$ 方向的分量 |
| $F_{Pe}$           | 挤压力                |
| $G$                | 剪切弹性模量             |
| $h$                | 高度                 |
| $I$                | 惯性矩                |
| $I_P$              | 极惯性矩               |
| $I_{yz}$           | 惯性积                |
| $k$                | 弹簧刚度系数             |
| $K_\sigma, K_\tau$ | 有效应力集中系数           |
| $K_t$              | 理论应力集中系数           |
| $l$                | 长度、跨度              |
| $M, M_y, M_z$      | 弯矩                 |
| $M_e$              | 外力偶矩               |

|                 |                   |
|-----------------|-------------------|
| $M_x$           | 扭矩                |
| $m$             | 质量                |
| $M_0$           | 力系对点 $O$ 的主矩      |
| $M_0(F)$        | 力 $F$ 对点 $O$ 之矩   |
| $M$             | 力偶矩               |
| $M_x, M_y, M_z$ | 力对 $x, y, z$ 轴之矩  |
| $M_f$           | 滚动阻力偶             |
| $n$             | 转速                |
| $[n]_{st}$      | 稳定安全系数            |
| $p$             | 内压力               |
| $P$             | 功率                |
| $q$             | 均布荷载集度            |
| $R, r$          | 半径                |
| $r$             | 矢径                |
| $s$             | 路程、弧长             |
| $u$             | 比能                |
| $u_v$           | 体积改变比能            |
| $u_f$           | 形状改变比能            |
| $W$             | 功、重量、抗弯截面模量       |
| $W_p$           | 抗扭截面模量            |
| $\alpha$        | 倾角、线膨胀系数          |
| $\beta$         | 角、表面加工质量系数        |
| $\theta$        | 角梁横截面转角、单位长度相对扭转角 |
| $\varphi$       | 相对扭转角             |
| $\gamma$        | 剪应变               |
| $\Delta$        | 变形、位移             |
| $\delta$        | 厚度                |
| $\varepsilon$   | 线应变               |
| $\lambda$       | 柔度、长细比            |
| $\mu$           | 泊松比、长度系数          |
| $\rho$          | 曲率半径              |
| $\sigma$        | 正应力               |
| $\sigma^+$      | 拉应力               |
| $\sigma^-$      | 压应力               |
| $\sigma_m$      | 平均应力              |
| $\sigma_b$      | 强度极限              |
| $\sigma_c$      | 挤压应力              |

|                |            |
|----------------|------------|
| $[\sigma_c]$   | 许用挤压应力     |
| $[\sigma]^+$   | 许用拉应力      |
| $[\sigma]^-$   | 许用压应力      |
| $[\sigma]$     | 许用应力       |
| $\sigma_{cr}$  | 临界应力       |
| $\sigma_{0.2}$ | 条件屈服极限     |
| $\sigma_s$     | 屈服极限       |
| $\sigma_u$     | 极限正应力      |
| $\sigma_{-1}$  | 对称循环时的疲劳极限 |
| $\tau$         | 剪应力        |
| $\tau_b$       | 剪切强度极限     |
| $[\tau]$       | 许用剪应力      |
| $\tau_u$       | 极限剪应力      |

# 目 录

|                             |   |
|-----------------------------|---|
| 绪论 .....                    | 1 |
| 0.1 工程力学的研究任务及内容 .....      | 1 |
| 0.2 工程力学的研究方法 .....         | 2 |
| 0.3 工程力学在机电类专业中的地位和作用 ..... | 2 |

## 第 1 篇 静力学

|                          |    |
|--------------------------|----|
| 第 1 章 静力学基本概念与基本原理 ..... | 4  |
| 1.1 力与力系的概念 .....        | 4  |
| 1.2 静力学基本公理 .....        | 6  |
| 1.3 力的分解与投影 .....        | 8  |
| 1.4 力矩与力偶 .....          | 9  |
| 1.5 约束与约束力 .....         | 15 |
| 1.6 受力分析与受力图 .....       | 17 |
| 习题 .....                 | 21 |
| 第 2 章 力系的简化与合成 .....     | 23 |
| 2.1 力的平移定理 .....         | 23 |
| 2.2 力系的简化 .....          | 24 |
| 2.3 物体的重心 .....          | 33 |
| 习题 .....                 | 37 |
| 第 3 章 力系的平衡 .....        | 40 |
| 3.1 汇交力系的平衡方程 .....      | 40 |
| 3.2 力偶系的平衡方程 .....       | 41 |
| 3.3 任意力系的平衡方程 .....      | 42 |
| 3.4 平衡方程的应用 .....        | 44 |
| 3.5 平面静定桁架 .....         | 55 |
| 3.6 考虑摩擦时的平衡问题 .....     | 59 |
| 习题 .....                 | 65 |

## 第 2 篇 材料力学

|                       |    |
|-----------------------|----|
| 第 4 章 材料力学的一般概念 ..... | 71 |
| 4.1 材料力学的任务 .....     | 71 |

|            |                        |            |
|------------|------------------------|------------|
| 4.2        | 可变形固体及其基本假设 .....      | 72         |
| 4.3        | 杆件变形的基本形式 .....        | 73         |
| <b>第5章</b> | <b>轴向拉伸和压缩 .....</b>   | <b>75</b>  |
| 5.1        | 轴向拉伸和压缩的概念 .....       | 75         |
| 5.2        | 内力和截面法 轴力和轴力图 .....    | 75         |
| 5.3        | 拉压杆应力 .....            | 78         |
| 5.4        | 轴向拉伸或压缩时的变形 .....      | 81         |
| 5.5        | 材料在拉伸和压缩时的力学性能 .....   | 85         |
| 5.6        | 轴向拉伸和压缩时的强度计算 .....    | 92         |
| 5.7        | 拉伸和压缩静不定问题 .....       | 95         |
|            | 习题 .....               | 101        |
| <b>第6章</b> | <b>剪切 .....</b>        | <b>108</b> |
| 6.1        | 概述 .....               | 108        |
| 6.2        | 剪切强度计算 .....           | 109        |
| 6.3        | 挤压强度计算 .....           | 110        |
| 6.4        | 计算实例 .....             | 110        |
|            | 习题 .....               | 114        |
| <b>第7章</b> | <b>平面图形的几何性质 .....</b> | <b>117</b> |
| 7.1        | 概述 .....               | 117        |
| 7.2        | 静矩和形心 .....            | 117        |
| 7.3        | 惯性矩和惯性积 .....          | 120        |
| 7.4        | 平行移轴公式 .....           | 122        |
|            | 习题 .....               | 124        |
| <b>第8章</b> | <b>扭转 .....</b>        | <b>126</b> |
| 8.1        | 扭转的概念和实例 .....         | 126        |
| 8.2        | 外力偶矩的计算 扭矩和扭矩图 .....   | 127        |
| 8.3        | 纯剪切 .....              | 129        |
| 8.4        | 圆轴扭转时的应力和变形 .....      | 130        |
| 8.5        | 圆轴扭转时的强度和刚度计算 .....    | 135        |
| 8.6        | 扭转静不定问题 .....          | 138        |
| 8.7        | 非圆截面杆扭转简介 .....        | 139        |
|            | 习题 .....               | 141        |
| <b>第9章</b> | <b>弯曲内力 .....</b>      | <b>144</b> |
| 9.1        | 平面弯曲的概念 .....          | 144        |
| 9.2        | 梁的计算简图 .....           | 145        |
| 9.3        | 剪力和弯矩 .....            | 147        |
| 9.4        | 剪力图和弯矩图 .....          | 149        |
| 9.5        | 用叠加法作弯矩图 .....         | 153        |

|                               |     |
|-------------------------------|-----|
| 9.6 剪力、弯矩和荷载集度间的关系 .....      | 154 |
| 习题 .....                      | 157 |
| <b>第10章 弯曲应力</b> .....        | 162 |
| 10.1 梁弯曲时的正应力 .....           | 162 |
| 10.2 弯曲正应力强度计算 .....          | 167 |
| 10.3 非对称梁的弯曲 .....            | 170 |
| 10.4 梁弯曲时的剪应力 .....           | 171 |
| 10.5 提高梁弯曲强度的措施 .....         | 178 |
| 习题 .....                      | 181 |
| <b>第11章 弯曲变形</b> .....        | 185 |
| 11.1 工程中的弯曲变形问题 .....         | 185 |
| 11.2 梁的挠曲线近似微分方程 .....        | 185 |
| 11.3 用积分法求梁的弯曲变形 .....        | 187 |
| 11.4 用叠加法求弯曲变形 .....          | 193 |
| 11.5 梁的刚度计算 .....             | 195 |
| 11.6 静不定梁 .....               | 199 |
| 11.7 用莫尔定理计算梁的弯曲变形 .....      | 202 |
| 习题 .....                      | 208 |
| <b>第12章 应力状态分析和强度理论</b> ..... | 213 |
| 12.1 应力状态概述 .....             | 213 |
| 12.2 二向应力状态分析——解析法 .....      | 215 |
| 12.3 二向应力状态分析——图解法 .....      | 218 |
| 12.4 三向应力状态 .....             | 222 |
| 12.5 广义胡克定律 体积应变 .....        | 225 |
| 12.6 三向应力状态下的弹性比能 .....       | 228 |
| 12.7 强度理论的概念 .....            | 230 |
| 12.8 4个常用的强度理论 .....          | 231 |
| 12.9 莫尔强度理论 .....             | 235 |
| 习题 .....                      | 238 |
| <b>第13章 组合变形</b> .....        | 242 |
| 13.1 组合变形概念和应力叠加法 .....       | 242 |
| 13.2 斜弯曲 .....                | 243 |
| 13.3 拉伸(压缩)与弯曲的组合 .....       | 247 |
| 13.4 弯曲与扭转的组合 .....           | 250 |
| 习题 .....                      | 254 |
| <b>第14章 压杆的稳定性</b> .....      | 260 |
| 14.1 压杆稳定的概念 .....            | 260 |
| 14.2 细长压杆的临界力 欧拉公式 .....      | 262 |
| 14.3 其他约束条件下细长压杆的临界力 .....    | 265 |

|                                 |     |
|---------------------------------|-----|
| 14.4 欧拉公式适用范围 中、小柔度杆的临界应力 ..... | 269 |
| 14.5 压杆的稳定性计算 .....             | 274 |
| 14.6 提高压杆稳定性的措施 .....           | 279 |
| 习题 .....                        | 279 |
| <b>第 15 章 交变应力和冲击应力</b> .....   | 284 |
| 15.1 交变应力和疲劳破坏 .....            | 284 |
| 15.2 循环特征、平均应力和应力幅 .....        | 286 |
| 15.3 材料的持久极限及其测定 .....          | 287 |
| 15.4 影响构件持久极限的主要因素 .....        | 288 |
| 15.5 对称循环下构件的疲劳强度校核 .....       | 292 |
| 15.6 冲击应力 .....                 | 294 |
| 习题 .....                        | 298 |
| <b>附录 型钢表</b> .....             | 300 |
| <b>习题答案</b> .....               | 311 |
| <b>参考文献</b> .....               | 321 |

# 绪 论

---

## 0.1 工程力学的研究任务及内容

工程力学是一门研究物体机械运动和构件强度、刚度及稳定性的学科,它主要包括刚体静力学与材料力学两部分。

静力学是刚体力学的一个分支,它主要研究物体在力的作用下处于平衡状态的规律,以及各种力系的平衡条件。平衡是物体机械运动的特殊形式,即物体相对于地球表面处于静止或作匀速直线运动的状态。静力学还研究力系的简化和物体受力分析的基本方法。作用于物体上的诸力必须满足一定的条件,物体才能处于平衡状态。根据平衡条件,由作用于物体上的已知力可以求出未知的力,这一过程称为静力分析。对处于平衡状态的物体进行静力分析是工程力学的一项任务。

材料力学是固体力学的一个分支,它是研究结构构件和机械零件承载能力的基础学科。材料力学的研究范畴通常包括两大部分:一部分是材料的力学性能的研究,另一部分是对构件进行力学分析,为保证各构件或机械零件能正常工作,提供设计理论依据和计算方法。工程结构和构件受力作用而丧失正常功能的现象,称为失效。在工程中,要求构件有足够的承载能力,即不发生失效而能安全正常工作。承载能力衡量的标准主要有以下3个方面:①不发生破坏(屈服或断裂),即具有足够的强度;②发生的变形在工程容许的范围内,即具有足够的刚度;③不丧失原来形状下的平衡状态,即具有足够的稳定性。工程力学的另一项任务正是研究构件的强度、刚度和稳定性问题,为合理确定构件的材料和形状尺寸,使其达到安全、经济和美观的要求,创建有关的理论方法和试验技术。

综上所述,工程力学的任务就是为设计工程构件或机械零件提供行之有效的基础理论及分析方法和计算方法,从而使构件具有足够的承载能力。为完成上述任务,要对构件进行受力分析、平衡分析和承载能力分析 with 计算。

### 0.2 工程力学的研究方法

对工程结构进行现场观察和部分实验是认识力学规律的重要实践性环节。将实践过程中所得结果,利用抽象化的方法加以分析、归纳、综合,可得到一些最普遍的公理或定律,再通过严格的逻辑推理和数学演绎,可得到运用于工程的力学公式。

自然界与各种工程中涉及机械运动的物体有时是很复杂的,工程力学在研究其机械运动、对物体进行力学分析时,首先必须根据研究问题的性质,抓住其主要特征,忽略一些次要因素,对其进行合理的简化,科学地抽象出力学模型。物体在受力后都要发生变形,但在大多数工程问题中这种变形是极其微小的。当分析物体的运动和平衡规律时,这种微小变形的影响很小,可略去不计,而认为物体不发生变形。这种在受力时保持形状、大小不变的力学模型称为刚体。由若干个刚体组成的系统称为刚体系。当分析强度、刚度和稳定性问题时,由于这些问题都与变形密切相关,因而即使是极其微小的变形也必须加以考虑,这时就必须把物体抽象为变形体这一力学模型。

理论分析、试验分析和计算机分析是工程力学中三种主要的研究方法。理论分析是以基本概念和定理为基础,经过严密的数学推演,得到问题的解析解答,是广泛使用的一种方法。材料的力学性能是材料在力的作用下,抵抗变形和破坏等表现出来的性能,它必须通过材料试验来测定;另外,对于现有理论还不能解决的某些复杂的工程力学问题,有时也要依靠试验来解决,因此试验方法在工程力学中占有重要的地位。随着计算机的出现和飞速发展,又增加了一种新的研究方法,即计算机分析方法。对于一些较为复杂的力学问题,在理论分析中,可以利用计算机得到难于导出的公式;在试验过程中,利用计算机整理数据、绘制实验曲线、显示图形、选用最优参数等。计算机的应用使工程力学的计算手段发生了根本性变化,用计算机可以解决许多手算无法解决的问题。计算机分析已成为一种独特的研究方法,其地位将越来越重要,由此可以展望,力学加电子计算机将成为工程设计的新的主要手段。

应该指出,上述工程力学的三种研究方法是相辅相成、互为补充、互相促进的。在学习工程力学经典内容的同时,掌握传统的理论分析与试验分析方法是很重要的;因为它是进一步学习工程力学其他内容以及掌握计算机分析方法的基础。

学习工程力学,要求深刻理解工程力学中已被实践证明是正确的基本概念和基本定律,这些是力学知识的基础;因此由基本概念和基本定律导出的工程力学定理和公式,必须熟练掌握。为了巩固和加深理解所学知识,演算一定数量的习题,把学到的理论知识不断用到实践中去,这也是很重要的一方面。

### 0.3 工程力学在机电类专业中的地位和作用

工程力学是机电类专业和其他工科类专业的重要技术基础课,具有较强的理论性和实践性。工程力学中讲述的基础理论和基本知识,在基础课与专业课之间起桥梁作用,是机械设计基础等后继课程的基础课。它为各种设备及机器的机械零件受力分析和强度计算提供必要的

理论基础。

一些日常生活中的现象和工程技术问题,可直接运用工程力学的基本知识去分析研究。比较复杂的问题,则需要用工程力学知识结合其他专业知识进行研究。所以学好工程力学知识,能对一般的受力物体进行力学分析与计算,可为解决工程实际问题打下基础。

工程力学的理论既抽象而又紧密结合实际,研究的问题涉及面广,系统性、逻辑性强,这些特点能够培养逻辑思维和分析问题的能力,对于培养辩证唯物主义世界观,也起着重要作用。

# 第 1 篇 静力学

## 第 1 章

### 静力学基本概念与基本原理

力与力偶是力学中两个基本物理量,力与力偶使物体产生的运动效应和变形效应是力学分析的基本知识。本章所述的力、力偶、约束等基本概念以及静力学的几个公理,是静力学的基础。而研究工程中常见的约束及产生的约束力,研究如何将工程中的实际问题简化成便于分析计算的力学模型则是本章的重要内容。

#### 1.1 力与力系的概念

##### 1.1.1 力的概念

力是物体间的相互作用,这种作用使物体的运动状态发生变化,或使物体的形状发生改变。即力的作用结果产生两种作用效应,分别称为运动效应(外效应)和变形效应(内效应)。在刚体静力学中,只讨论力的运动效应,力的变形效应将在材料力学中考虑。

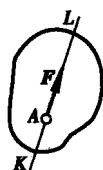


图 1.1

力对物体作用的效应取决于力的三要素:力的大小、方向和作用点。所以力是矢量,应符合矢量运算法则。

度量力的大小通常采用国际单位制(SI),力的单位是 N 或 kN。力的方向是指它在空间的方位和指向,力的作用点是指力在物体上的作用位置。力矢量可以用带箭头的线段表示,如图 1.1 所示,与力矢量重合的直线 KL 称为力的作用线。

力作用的理想化情况可分为集中力或分布力:当力的作用面积小到可以不计其大小时,就抽象为一个点,这个点就是力的作用点,而这种作用于一点的力则称为集中力;当作用力分布在有限面积上或体积内时,称为分布力。分布力的分布规律一般比较复杂,需要作简化处理,然后再进行分析计算。作用在一条线段上的分布力,其单位是 N/m 或 kN/m。

## 1.1.2 力系

作用在物体上的所有力的集合,称为力系。

## (1) 力系的分类

1) 空间任意力系 各力的作用线不在同一平面内的力系。空间力系是最一般的力系。如图 1.2 所示。

2) 空间汇交力系 空间力系中各力的作用线汇交于一点。如图 1.3 所示。

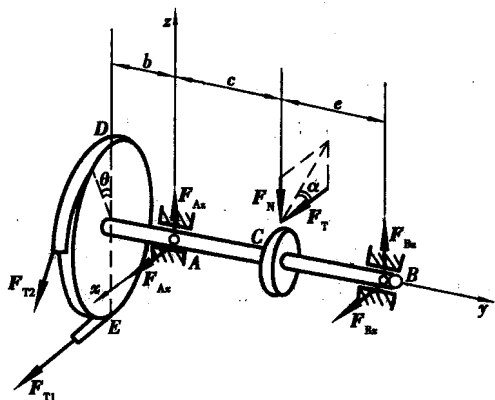


图 1.2

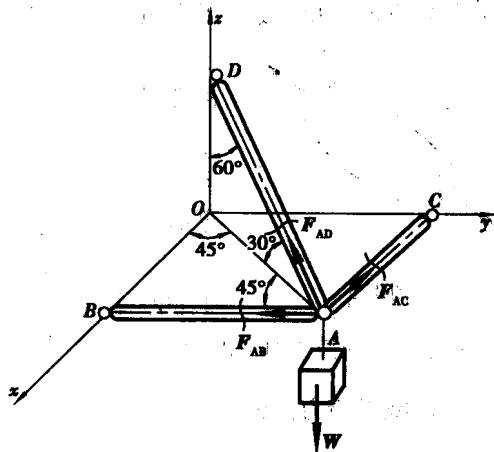


图 1.3

3) 空间平行力系 各力的作用线互相平行。

4) 平面任意力系 力系中各力的作用线在同一平面内。如图 1.4 所示。

5) 平面汇交力系 平面力系中各力的作用线汇交于一点。

6) 平面平行力系 各力的作用线在同一平面内且互相平行。

除了以上几种力系外,工程应用中还会遇到空间力偶系和平面力偶系,这两种力偶系将在本章的 1.4.2 中讲述。

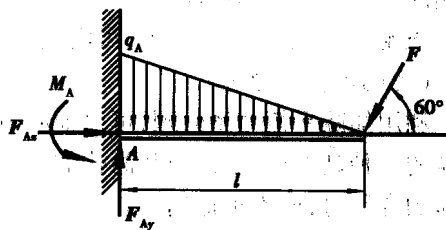


图 1.4

## (2) 力系的有关概念

1) 等效力系 当研究力对物体的外效应时,如果两个力系对同一物体的作用效果相同,则这两个力系可以相互替代,互称等效力系。

2) 简化力系 当研究力对物体的外效应时,用一个简单力系等效地替代复杂力系,此简单力系称为复杂力系的简化力系。

3) 力系合成 当研究力对物体的外效应时,用一个力与一个力系等效,这一过程即为力系的合成,此力称为力系的合力。

4) 平衡力系 物体在力系作用下,能够保持平衡状态,这一力系就称为平衡力系。