



面向21世纪课程教材

# 机械基础

陈国桓 主编



化学工业出版社  
教材出版中心



面向 21 世纪课程教材

# 机 械 基 础

陈国桓 主编

化 学 工 业 出 版 社  
教 材 出 版 中 心  
· 北 京 ·

(京) 新登字 039 号

图书在版编目(CIP)数据

机械基础/陈国桓主编. —北京: 化学工业出版社,  
2001.8  
面向 21 世纪课程教材  
ISBN 7-5025-3210-2

I. 机… II. 陈… III. 机械学-高等学校-教材  
IV. TH11

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2001) 第 20395 号

---

面向 21 世纪课程教材  
**机 械 基 础**

陈国桓 主编

责任编辑: 孙世斌 高 钰

责任校对: 郑 捷

封面设计: 田彦文

\*

化学工业出版社 出版发行  
教材出版中心

(北京市朝阳区惠新里 3 号 邮政编码 100029)

发行电话: (010) 64918013

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

\*

新华书店北京发行所经销

北京市彩桥印刷厂印刷

三河市前程装订厂装订

开本 787×960 毫米 1/16 印张 25¼ 字数 453 千字

2001 年 8 月第 1 版 2001 年 8 月北京第 1 次印刷

印 数: 1—5000

ISBN 7-5025-3210-2/G·819

定 价: 35.00 元

---

版权所有 违者必究

该书如有缺页、倒页、脱页者, 本社发行部负责退换

## 序

《化工类专业人才培养方案及教学内容体系改革的研究与实践》为教育部（原国家教委）《高等教育面向 21 世纪教学内容和课程体系改革计划》的 03-31 项目，于 1996 年 6 月立项进行。本项目牵头单位为天津大学，主持单位为华东理工大学、浙江大学、北京化工大学，参加单位为大连理工大学、四川大学、华南理工大学。

项目组以邓小平同志提出的“教育要面向现代化，面向世界，面向未来”为指针，认真学习国家关于教育工作的各项方针、政策，在广泛调查研究的基础上，分析了国内外化工高等教育的现状、存在问题和未来发展。四年多来项目组共召开了由 7 校化工学院、系领导亲自参加的 10 次全体会议进行交流，形成了一个化工专业教育改革的总体方案，主要包括：

——制定《高等教育面向 21 世纪“化学工程与工艺”专业人才培养方案》；

——组织编写高等教育面向 21 世纪化工专业课与选修课系列教材；

——建设化工专业实验、设计、实习样板基地；

——开发与使用现代化教学手段。

《高等教育面向 21 世纪“化学工程与工艺”专业人才培养方案》从转变传统教育思想出发，拓宽专业范围，包括了过去的各类化工专业，以培养学生的素质、知识与能力为目标，重组课程体系，在加强基础理论与实践环节的同时，增加人文社科课和选修课的比例，适当削减专业课分量，并强调采取启发性教学与使用现代化教学手段，因而可以较大幅度地减少授课时数，以增加学生自学与自由探讨的时间，这就有利于逐步树立学生勇于思考与走向创新的精神。项目组所在各校对培养方案进行了初步试行与教学试点，结果表明是可行的，并收到了良好效果。

化学工程与工艺专业教育改革总体方案的另一主要内容是组织编写高等教育面向 21 世纪课程教材。高质量的教材是培养高素质人才的重要基础。项目组要求教材作者以教改精神为指导，力求新教材从认识规律出发，阐述本门课程的基本理论与应用及其现代进展，并采用现代化教学手段，做到新体系、厚基础、重实践、易自学、引思考。每门教材采取自由申请及择优选定的原则。项目组拟定了比较严格的项目申请书，包括对本门课程目前国内外教材的评述、拟编写教材的特点、配套的现代化教学手段（例如提供教师

EAA05/08

在课堂上使用的多媒体教学软件, 附于教材的辅助学生自学用的光盘等)、教材编写大纲以及交稿日期。申请书在项目组各校评审, 经项目组会议择优选取立项, 并适时对样章在各校同行中进行评议。全书编写完成后, 经专家审定是否符合高等教育面向 21 世纪课程教材的要求。项目组、教学指导委员会、出版社签署意见后, 报教育部审批批准方可正式出版。

项目组按此程序组织编写了一套化学工程与工艺专业高等教育面向 21 世纪课程教材, 共计 25 种, 将陆续推荐出版, 其中包括专业课教材、选修课教材、实验课教材、设计课教材以及计算机仿真实验与仿真实习教材等。本教材就是其中的一种。

按教育部要求, 本套教材在内容和体系上体现创新精神、注重拓宽基础、强调能力培养, 力求适应高等教育面向 21 世纪人才培养的需要, 但由于受到我们目前对教学改革的研究深度和认识水平所限, 仍然会有不妥之处, 尚请广大读者予以指正。

化学工程与工艺专业的教学改革是一项长期的任务, 本项目的全部工作仅仅是一个开端。作为项目组的总负责人, 我衷心地对多年来给予本项目大力支持的各校和为本项目贡献力量的人们表示最诚挚的敬意!

中国科学院院士、天津大学教授

余国琮

2000 年 4 月于天津

# 前 言

为了适应培养跨世纪高级化工专业人员的需要，以“面向 21 世纪的教学内容和课程体系改革”为主导思想，以“面向 21 世纪对化工类专门人员的知识、能力、综合素质培养目标”为宗旨，贯彻“加强基础，拓宽专业知识，联系实际，提高能力，便于自学”的原则，在原有《化工设备机械基础》课程教材的基础上，删去了与《化工原理》有重复的，如塔设备结构、换热器结构及搅拌反应器结构等典型化工设备内容，增加了机械传动和焊接技术的介绍，这些都是工程技术人员应具备的机械基础知识。

本教材内容的组成方面，始终贯穿这样的思路：对于某一设备或零部件，分析它的载荷及受力情况，计算它的应力，然后进行强度、刚度或稳定性校核，同时解决安全与经济的矛盾。

教材中尽量引用国家或部委颁布的最新标准、规范的数据，以此引导学生了解标准、规范，遵循规范。在使用标准规范中，往往可以获得事半功倍的效果。

在编写中力求做到理论联系实际，由浅入深。概念的引出、例题、习题，尽量针对化工装置及其零部件，期望增加学生学习兴趣，把理论学得更扎实。

本书可作为高等院校化学工程与工艺专业以及相关专业的教材，也可供有关部门的科研、设计和生产单位的科技人员参考。

本教材的编写人：第一篇陈旭；第二篇的第八章谭蔚，第九章陈国桓；第三篇陈国桓；第四篇谭蔚。主编陈国桓。

作者十分感谢涂善东教授和贾春厚教授为本书审阅并提出了许多宝贵意见。

中国科学院院士余国琮教授自始至终都在关心和指导本书的编写工作，并为本书作序。朱宏吉、许莉、高红为本书的编写提供了许多资料，安柯、高翔、赵翠伶、于欣为本书的出版做了大量的具体工作。天津大学化工学院为本书的出版给予大力支持，特在此一并致谢。

由于水平有限，书中不完善甚至缺点错误在所难免，敬请同行及读者指正，对此不胜感激。

编者

2000 年 11 月

## 内 容 提 要

本教材是依据面向 21 世纪对化工类专门人才的培养目标，以及“加强基础，拓宽专业知识，联系实际，提高能力，便于自学”原则，而编写本教材。全书共分四篇：第一篇工程力学，其中包括物体受力分析与平衡、杆的拉伸和压缩、梁的弯曲、剪切、轴的扭转、组合变形和强度、压杆稳定；第二篇材料与焊接，化工设备用材料（金属与非金属材料、选用、腐蚀与防护），焊接（形式、材料、质检）；第三篇机械传动与减速器，内容有带传动、链传动、齿轮传动、蜗杆传动、减速器等；第四篇容器设计，内容为设计基础、容器零部件设计、塔设备强度计算、容器设计举例。书后还有附录。

本书作为高等学校化学工程与工艺专业及相近专业（石化、生化、制药、冶金、环保、能源等）的教材，也可供有关部门科研、设计和生产单位的工程技术人员参考。

# 目 录

## 第一篇 工程力学

|                                |    |
|--------------------------------|----|
| <b>第一章 物体的受力分析及其平衡条件</b> ..... | 1  |
| 第一节 力的概念和基本性质.....             | 1  |
| 第二节 力矩与力偶.....                 | 5  |
| 第三节 物体的受力分析及受力图.....           | 9  |
| 第四节 平面力系的平衡方程式 .....           | 15 |
| 思考题 .....                      | 20 |
| <b>第二章 直杆的拉伸和压缩</b> .....      | 22 |
| 第一节 直杆的拉伸和压缩 .....             | 23 |
| 第二节 拉伸和压缩时材料的力学性能 .....        | 27 |
| 第三节 拉伸和压缩的强度条件 .....           | 35 |
| 思考题 .....                      | 39 |
| <b>第三章 直梁的弯曲</b> .....         | 41 |
| 第一节 梁的弯曲实例与概念 .....            | 41 |
| 第二节 梁横截面上的内力——剪力与弯矩 .....      | 42 |
| 第三节 弯矩方程与弯矩图 .....             | 45 |
| 第四节 弯曲时横截面上的正应力及其分布规律 .....    | 51 |
| 第五节 梁弯曲时的强度条件 .....            | 55 |
| 第六节 梁截面合理形状的选择 .....           | 58 |
| 第七节 梁的弯曲变形 .....               | 60 |
| 思考题 .....                      | 62 |
| <b>第四章 剪切</b> .....            | 64 |
| 第一节 剪切变形的概念 .....              | 64 |
| 第二节 剪力、剪应力与剪切强度条件 .....        | 64 |
| 第三节 挤压的概念和强度条件 .....           | 66 |
| 第四节 剪切变形和剪切虎克定律 .....          | 67 |
| 思考题 .....                      | 67 |
| <b>第五章 圆轴的扭转</b> .....         | 68 |
| 第一节 圆轴扭转的实例与概念 .....           | 68 |



|            |                      |            |
|------------|----------------------|------------|
| 第二节        | 扭转时的外力和内力 .....      | 69         |
| 第三节        | 扭转时横截面上的应力 .....     | 72         |
| 第四节        | 扭转的强度条件 .....        | 76         |
| 第五节        | 圆轴的扭转变形与刚度条件 .....   | 77         |
| 思考题        | .....                | 79         |
| <b>第六章</b> | <b>组合变形和强度</b> ..... | <b>80</b>  |
| 第一节        | 基本变形小结 .....         | 80         |
| 第二节        | 复杂应力状态 .....         | 82         |
| 第三节        | 强度理论 .....           | 92         |
| 第四节        | 弯曲和拉压的组合作用 .....     | 97         |
| 第五节        | 圆轴弯曲和扭转的组合作用 .....   | 99         |
| 思考题        | .....                | 102        |
| <b>第七章</b> | <b>压杆稳定</b> .....    | <b>103</b> |
| 第一节        | 压杆稳定的基本概念 .....      | 103        |
| 第二节        | 临界力和欧拉公式 .....       | 104        |
| 第三节        | 压杆的稳定计算 .....        | 106        |
| 思考题        | .....                | 108        |
| 习题         | .....                | 108        |
| 主要参考文献     | .....                | 116        |

## 第二篇 材料与焊接

|            |                     |            |
|------------|---------------------|------------|
| <b>第八章</b> | <b>化工设备材料</b> ..... | <b>117</b> |
| 第一节        | 概述 .....            | 117        |
| 第二节        | 材料的性能 .....         | 117        |
| 第三节        | 碳钢与铸铁 .....         | 122        |
| 第四节        | 合金钢 .....           | 133        |
| 第五节        | 有色金属材料 .....        | 139        |
| 第六节        | 非金属材料 .....         | 142        |
| 第七节        | 化工设备的腐蚀及防腐措施 .....  | 146        |
| 第八节        | 化工设备材料选择 .....      | 154        |
| 思考题        | .....               | 155        |
| <b>第九章</b> | <b>焊接</b> .....     | <b>157</b> |
| 第一节        | 电弧焊 .....           | 157        |
| 第二节        | 焊接接头和坡口形式 .....     | 162        |
| 第三节        | 焊接材料 .....          | 167        |

|     |             |     |
|-----|-------------|-----|
| 第四节 | 焊接缺陷与焊接质量检验 | 174 |
|     | 思考题         | 177 |
|     | 主要参考文献      | 178 |

### 第三篇 机械传动与减速器

|             |                      |     |
|-------------|----------------------|-----|
| <b>第十章</b>  | <b>带传动</b>           | 180 |
| 第一节         | 概述                   | 180 |
| 第二节         | 带传动的工作原理及工作情况分析      | 182 |
| 第三节         | V形带传动的设计计算           | 184 |
| 第四节         | V形带轮                 | 190 |
| 第五节         | V形带的布置、使用和维修         | 192 |
| 第六节         | 同步齿形带传动简介            | 193 |
|             | 思考题                  | 195 |
| <b>第十一章</b> | <b>链传动</b>           | 197 |
| 第一节         | 链条                   | 197 |
| 第二节         | 链轮                   | 199 |
| 第三节         | 链传动的运动特性             | 200 |
| 第四节         | 链传动的设计计算             | 201 |
| 第五节         | 链传动的布置和张紧装置          | 206 |
|             | 思考题                  | 209 |
| <b>第十二章</b> | <b>齿轮传动</b>          | 210 |
| 第一节         | 概述                   | 210 |
| 第二节         | 齿廓啮合的基本定律            | 210 |
| 第三节         | 渐开线和渐开线齿廓的啮合特性       | 212 |
| 第四节         | 渐开线标准直齿圆柱齿轮部分名称和基本尺寸 | 214 |
| 第五节         | 一对渐开线齿轮的啮合传动         | 216 |
| 第六节         | 齿轮的加工方法及变位齿轮         | 217 |
| 第七节         | 齿轮轮齿的失效形式            | 221 |
| 第八节         | 直齿圆柱齿轮传动的强度计算        | 222 |
| 第九节         | 齿轮材料与许用应力            | 228 |
| 第十节         | 齿轮的构造                | 229 |
|             | 思考题                  | 233 |
| <b>第十三章</b> | <b>蜗杆传动</b>          | 234 |
| 第一节         | 概述                   | 234 |
| 第二节         | 蜗杆传动的主要参数和几何尺寸       | 234 |

|             |               |     |
|-------------|---------------|-----|
| 第三节         | 蜗杆传动的滑动速度与效率  | 237 |
| 第四节         | 蜗杆传动的强度计算     | 238 |
| 第五节         | 材料与许用应力       | 240 |
| 第六节         | 蜗杆传动的热平衡计算    | 241 |
| 第七节         | 蜗杆和蜗轮的结构      | 242 |
| 第八节         | 几种传动形式的比较     | 244 |
|             | 思考题           | 245 |
| <b>第十四章</b> | <b>轮系与减速器</b> | 246 |
| 第一节         | 轮系            | 246 |
| 第二节         | 定轴轮系及其传动比     | 246 |
| 第三节         | 周转轮系及其传动比     | 247 |
| 第四节         | 普通减速器的类型和特点   | 250 |
| 第五节         | 普通减速器的基本结构与润滑 | 252 |
| 第六节         | 摆线针轮行星减速器     | 254 |
| 第七节         | 谐波传动减速器       | 257 |
|             | 思考题           | 259 |
|             | 习题            | 259 |
|             | 主要参考文献        | 260 |

## 第四篇 容器设计

|             |                  |     |
|-------------|------------------|-----|
| <b>第十五章</b> | <b>容器设计基础</b>    | 261 |
| 第一节         | 概论               | 261 |
| 第二节         | 内压薄壁容器设计         | 268 |
| 第三节         | 外压圆筒设计           | 281 |
| 第四节         | 封头的设计            | 293 |
|             | 思考题              | 305 |
|             | 习题               | 306 |
| <b>第十六章</b> | <b>容器零部件设计</b>   | 308 |
| 第一节         | 法兰联接             | 308 |
| 第二节         | 容器支座             | 319 |
| 第三节         | 容器的开孔与附件         | 325 |
|             | 思考题              | 330 |
|             | 习题               | 331 |
| <b>第十七章</b> | <b>塔设备强度设计计算</b> | 332 |
|             | 思考题              | 348 |

|   |     |
|---|-----|
| <b>第十八章 容器设计举例</b> .....                              | 349 |
| 主要参考文献.....   | 355 |
| <b>附录</b> .....                                       | 356 |
| 1. 国内部分标准代号 .....                                     | 356 |
| 2. 国外部分标准代号 .....                                     | 356 |
| 3. 常用钢材的使用温度范围 .....                                  | 356 |
| 4. 我国不锈钢与国外不锈钢牌号对照 .....                              | 357 |
| 5. 钢材弹性模量 .....                                       | 358 |
| 6. 钢材许用应力 (包括碳素钢、低合金钢、高合金钢)<br>(摘自 GB 150—1998) ..... | 359 |
| 7. 钢管许用应力 (摘自 GB 150—1998) .....                      | 362 |
| 8. 热轧工字钢规格及截面特性参数 (摘自 GB 706—88) .....                | 363 |
| 9. 热轧槽钢规格及截面特性参数 (摘自 GB 707—88) .....                 | 365 |
| 10. 热轧等边角钢规格及截面特性参数 (摘自 GB 9787—88) .....             | 367 |
| 11. 热轧不等边角钢规格及截面特性参数 (摘自 GB 9788—88) .....            | 370 |
| 12. 输送流体用无缝钢管规格 (摘自 GB 8163—87) .....                 | 373 |
| 13. 流体输送用不锈钢无缝钢管规格 (摘自 GB /T 14976—94) .....          | 375 |
| 14. 钢制压力容器用甲型平焊法兰的结构型式和系列尺寸<br>(摘自 JB 4701—92) .....  | 376 |
| 15. 突面、凹凸面、榫槽面管法兰的密封面尺寸<br>(摘自 HG 20592—97) .....     | 379 |
| 16. 板式平焊钢制管法兰参数 (摘自 HG 20592—97) .....                | 380 |
| 17. 突面管法兰垫片尺寸 (摘自 HG 20592—97) .....                  | 385 |
| 18. 有关紧固件螺栓螺母的选用 .....                                | 386 |
| 19. 有关筒体和封头数据 .....                                   | 387 |

# 第一篇 工程力学

生产中使用的任何机器或设备的构件，应该满足适用、安全和经济三个基本要求。任何机器或设备在工作时，都要受到各种各样外力的作用，而机器或设备的构件在外力作用下都要产生一定程度的变形。如果构件材料选择不当或尺寸设计不合理，则在外力的作用下是不安全的。构件可能产生过大的变形，使设备不能正常工作；也可能使构件发生破坏，从而使整个设备毁坏；有的构件当外力达到某一定值时，也可能突然失去原来的形状，而使设备毁坏。因此，为了使机器或设备能安全而正常地工作，在设计时必须使构件满足下述要求：

- (1) 要有足够的强度，以保证构件在外力作用下不致破坏；
- (2) 要有足够的刚度，以保证在外力作用下构件的变形应在工程允许的范围以内；
- (3) 要有足够的稳定性，以保证构件在外力作用下不至突然失去原来的形状。

工程力学的任务就是研究构件在外力作用下变形和破坏的规律，为设计构件选择适当材料和尺寸，以保证能够达到强度、刚度和稳定性的要求。本篇的主要内容，可以归纳为两个方面：一是研究构件受力的情况，进行受力大小的计算；二是研究材料的力学性能和构件受力变形与破坏的规律，进行构件强度、刚度或稳定性的计算。

在强度计算上，化工机械设备构件的几何形状，既有杆件也有平板和回转壳体。杆件的变形与应力分析比较简单，但它却是分析平板与回转壳体的基础，所以作为力学问题中的基础内容，在本篇中将介绍等截面直杆的应力分析、强度计算与变形计算问题，以便为平板、回转壳体及传动零件的强度计算准备必须的理论基础。

## 第一章 物体的受力分析及其平衡条件

### 第一节 力的概念和基本性质

#### 一、力的概念

物体与物体之间的相互作用会引起物体运动状态改变，也会引起物体变

形，其程度都与物体间相互作用的强弱有关。为了度量物体间相互作用所产生的效果，就把这种物体间的相互作用称之为力。

力是通过物体间相互作用所产生的效果体现出来的。因此，分析和研究力都应该着眼于力的作用效果。力使物体运动状态发生改变，称其为是力的外效应。而力使物体发生变形，则被称为是力的内效应。

单个力作用于物体时，既会引起物体运动状态改变，又会引起物体变形。两个或两个以上的力作用于同一物体时，则有可能不改变物体的运动状态而只引起物体变形。当出现这种情况时，称物体处于平衡。这表明作用于该物体上的几个力的外效应彼此抵消。

力作用于物体时，总会引起物体变形。但在正常情况下，工程用的构件在力的作用下变形都很小。这种微小的变形对力的外效应影响很小，可以忽略。这样一来，在讨论力的外效应时，就可以把实际变了形的物体，看成是不发生变形的刚体。所以，当考虑物体为刚体时，就意味着不去考虑力对它的内效应。在这一章，研究的对象都是刚体，讨论的是力的外效应。

对力的概念的理解应注意两点：(1)力是物体之间的相互作用，离开了物体，力是不能存在的；(2)力既然是物体之间的相互作用，因此，力总是成对地出现于物体之间。相互作用的方式可以是直接接触，如人推小车；也可以不直接接触而相互吸引或排斥，如地球对物体的引力（即重力）。因此，在分析力时，必须明确以哪一个物体为研究对象，分析其他物体对该物体的作用。

实践证明，对物体作用的效果取决于以下三个要素：(1)力的大小；(2)力的方向；(3)力的作用点。其中任何一个有了改变，力的作用效果也必然改变。力的大小表明物体间机械作用的强烈程度。

力有集中力和分布力之分。按照国际单位制，集中力的单位用“牛顿”(N)、“千牛顿”(kN)；分布力的单位是“牛顿/米<sup>2</sup>”(N/m<sup>2</sup>)或牛顿/米(N/m)。

力是具有大小和方向的物理量，这种量叫做矢量，与常见的仅用数量大小就可以表达的物理量如体积、温度、时间等不同。只有大小而无方向的量叫做标量。力是矢量，用黑体字或字上加一箭头表示，例如  $\mathbf{F}$  或  $\vec{F}$ 。在图示中通常用带箭头的线段来表示力，线段的长度表示力的大小，箭头所指的方向表示力的方向，线段的起点或终点画在力的作用点上，如图 1-1 中作用在小车上的重力  $P$  与拉力  $T$ 。

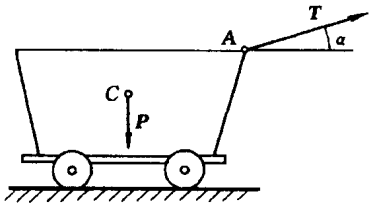


图 1-1 小车受力图

## 二、力的基本性质

### 1. 作用与反作用定律

物体间的作用是相互的。作用与反作

用定律反映了两个物体之间相互作用力的客观规律。如图 1-2 所示,起吊重物时,重物对钢丝绳的作用力  $T$  与绳对重物的反作用力  $T$  是同时产生的,并且大小相等、方向相反、作用在同一条直线上。力既然是两个物体之间的相互机械作用,

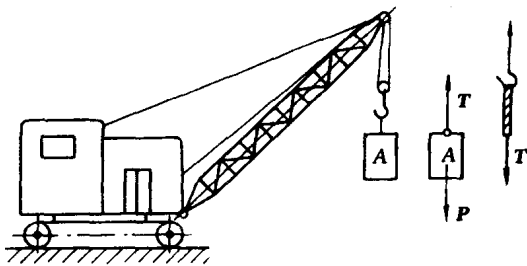


图 1-2 起吊重物受力图

所以就两个物体来看,作用力与反作用力必然永远是同时产生,同时消失,而且一旦产生,它们的大小必相等,方向必相反,而作用线必相同。这就是力的作用与反作用定律。成对出现的这两个力分别作用在两个物体上,因而它们对各自物体的作用效应不能相互抵消。

## 2. 二力平衡定律

任何事物的运动是绝对的,静止是相对的、暂时的、有条件的。在力学分析中,把物体相对于地球表面处于静止或匀速直线运动称为平衡状态。当物体上只作用有两个外力而处于平衡时,这两个外力一定是大小相等,方向相反,并且作用在同一直线上。

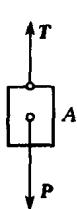


图 1-3

起吊重物受力分析

仍以起吊重物为例,重物  $A$  受两个力作用,向下的重力  $P$  和向上的拉力  $T$ ,它们的方向相反,沿同一直线,如图 1-3 所示。当物体停止在半空中或作匀速直线运动时,这时物体处于平衡,即  $T = P$ 。由此可以知道,作用于同一物体上的两个力处于平衡时,这两个力总是大小相等、方向相反并且作用在同一直线上。这就是二力平衡定律。

应当注意,在分析物体受力时,不要把二力平衡与作用反作用混淆起来,前者是同一物体上的两个力的作用,后者是分别作用在两个物体上的两个力。它们的效果不能互相抵消。

## 3. 力的平行四边形法则

力的平行四边形法则反映同一物体上力的合成与分解的基本规则。作用在同一物体上的相交的两个力,可以合成为一个合力,合力的大小和方向由以这两个力的大小为边长所构成的平行四边形的对角线确定,即

$$R = F_1 + F_2 \quad (1-1)$$

这个规则叫做力的平行四边形法则,如图 1-4 所示。

从力的平行四边形法则中不难看出,一般情况下,合力的大小不等于两个分力大小的代数和。它可以大于分力,也可以小于分力,有时合力还可以等于零。

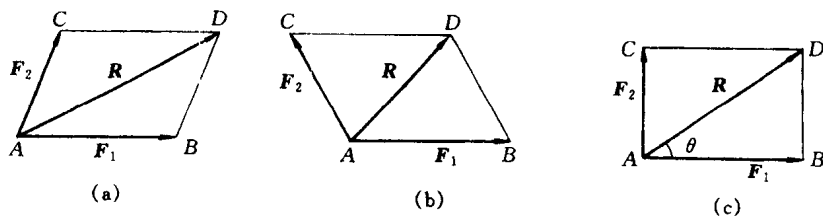


图 1-4 力的平行四边形法则

作用于同一物体上的若干个力叫做力系。力系中各个力的作用线汇交于一点的叫做汇交力系。对于汇交力系求合力，平行四边形法则依然能够适用，只要依次两两合成就可以求得最后的合力  $R$ 。现假设作用于某物体  $A$  点上有三个力  $F_1$ 、 $F_2$  与  $F_3$ ，可以先求得  $F_1$  与  $F_2$  的合力  $R_1$ ，然后再将  $R_1$  与  $F_3$  合成为合力  $R$ ，如图 1-5。

力不但可以合成，根据实际问题的需要还可以把一个力分解为两个分力。分解的方法仍是应用力的平行四边形法则。例如搁置在斜面上的重物，它的重力  $P$  就可以分解为与斜面平行的下滑力  $P_x$  与垂直于斜面的正压力  $P_y$ ，如图 1-6。正是这个下滑力  $P_x$  使得物体有向下滑动的趋势。

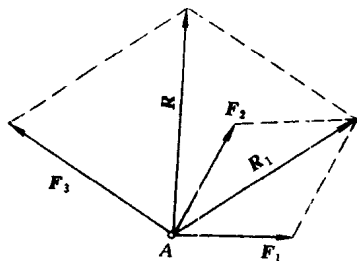


图 1-5 力的合成

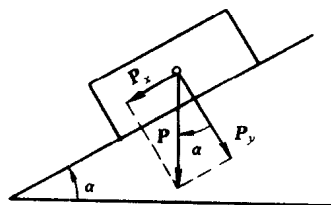


图 1-6 力的分解

对于多个力的合成，用矢量加法作图求解不很方便，如果应用力在直角坐标轴上投影的方法，将矢量运算转化为代数运算，则可较方便地求出合成的结果。下面介绍力在直角坐标轴上的投影，即解析法。

图 1-7 表示物体上  $A$  点受  $F$  力的作用， $xOy$  是任意选取的直角坐标系。设力  $F$  与  $x$  轴的正向夹角为  $\alpha$ 。由图可以看出，力  $F$  在  $x$  轴与  $y$  轴上的投影分别为

$$\left. \begin{aligned} F_x &= F \cos \alpha \\ F_y &= F \sin \alpha \end{aligned} \right\} \quad (1-2)$$

力在  $x$  坐标轴上的投影等于力的大小乘以力与投影轴所夹锐角的余弦，如果投影的方向与坐标轴的正向相同，投影为正；反之为负。力的投影是代



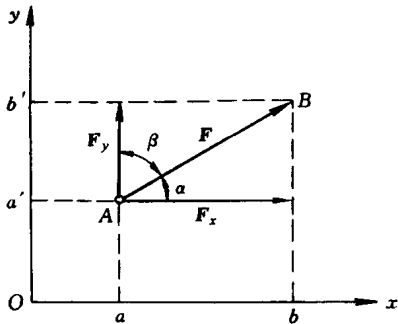


图 1-7 力的投影

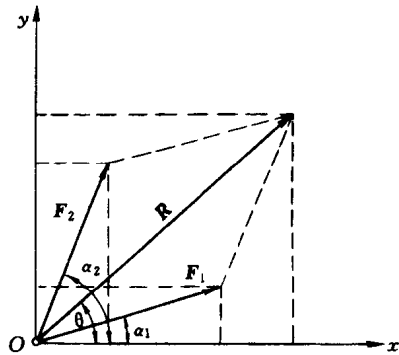


图 1-8 两力的合成

数量。显然，当  $\alpha=0^\circ$  或  $180^\circ$  时，力  $F$  与  $x$  轴平行，则力  $F$  在  $x$  轴上的投影  $F_x=F$  或  $F_x=-F$ ；当  $\alpha=90^\circ$  时，力  $F$  与  $x$  轴垂直， $F_x=0$ 。

设物体上某点  $A$  受两个力  $F_1$ 、 $F_2$  作用，如图 1-8。为了求它的合力，可以先分别求出它们在某一坐标轴上的投影，然后代数相加，就可以得到合力在坐标轴上的投影

$$\left. \begin{aligned} R_x &= \sum F_x = F_{1x} + F_{2x} = F_1 \cos \alpha_1 + F_2 \cos \alpha_2 \\ R_y &= \sum F_y = F_{1y} + F_{2y} = F_1 \sin \alpha_1 + F_2 \sin \alpha_2 \end{aligned} \right\} \quad (1-3)$$

合力在某一坐标轴上的投影等于所有分力在同一坐标轴上的代数和。这个规律称为合力的投影定理，对于多个力的合成仍然是适用的。有了合力在坐标轴上的投影，就不难求出合力的大小和方向

$$\left. \begin{aligned} R &= \sqrt{R_x^2 + R_y^2} = \sqrt{(\sum F_x)^2 + (\sum F_y)^2} \\ \tan \theta &= \frac{R_y}{R_x} = \frac{|\sum F_y|}{|\sum F_x|} \end{aligned} \right\} \quad (1-4)$$

## 第二节 力矩与力偶

### 一、力矩的概念

在生产实践中，人们利用了各式各样的杠杆，如撬动重物的撬杠、称东西的秤等，这些不同的杠杆都利用了力矩的作用。由实践经验知道，用扳手拧螺母时，扳手和螺母一起绕螺栓的中心线转动。因此，力使物体转动的效果，不仅取决于力的大小，而且与力的作用线到  $O$  点的距离  $d$  有关，如图 1-9 所示。力矩定义为力矢的模与力臂的乘积，是一个代数量。 $O$  点称为力矩中心；力的作用线到  $O$  点的垂直距离  $d$  叫做力臂，力矩可以用下式表示

$$M_O(F) = \pm F \cdot d \quad (1-5)$$

式中正负号表示力矩转动的方向，一般规定：逆时针转动的力矩取正