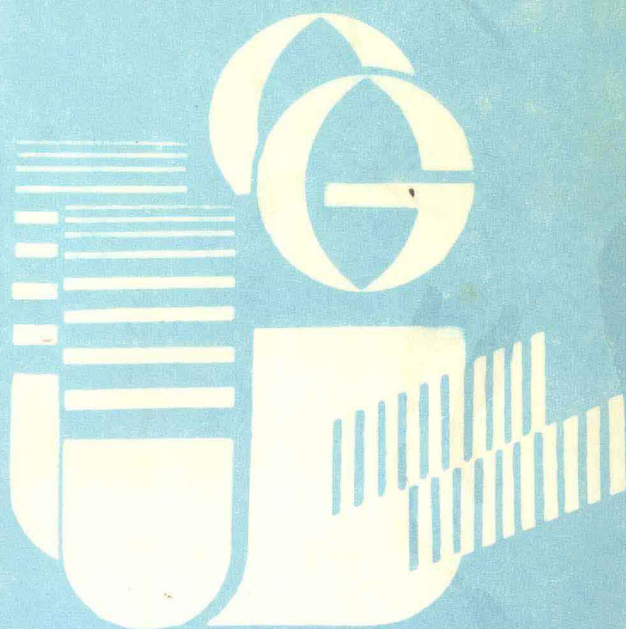




全国技工学校机械类  
通用教材

# 工程力学

第二版



中国劳动出版社

全国技工学校机械类通用教材

# 工 程 力 学

(第 二 版)

劳动部培训司组织编写

中国劳动出版社

本书是根据劳动部培训司制订的全国技工学校机械类《工程力学教学大纲》修订,供技工学校招收初中毕业生使用的统编教材。

本书共分两篇。第一篇为理论力学,内容包括静力学基础、平面汇交力系、力矩和力偶、平面任意力系、摩擦、空间力系基础、刚体的定轴转动等;第二篇为材料力学,内容包括材料力学基础、拉伸与压缩、剪切与挤压、圆轴扭转、直梁弯曲及材料力学其它常用知识等。各章后附有小结、思考题和习题。

本书也可供青工培训和自学使用。

此书这次修订,删去了偏难的部分,例题和习题作了较大调整,使第一版中存在的主要问题获得解决。在修订过程中得到航空部南方动力机械公司工学院武汉钢铁公司第一技工学校和武汉锅炉厂技工学校的大力支持,特此表示感谢!

本书第一版由徐克家编写,张宗良、范仲梅、施聘贤审稿,张宗良主审;第二版由徐克家修订,童腾蛟、刘璧归审稿,童腾蛟主审。

## 工 程 力 学

(第二版)

劳动部培训司组织编写

责任编辑 张文梁

中国劳动出版社出版

(北京市惠新东街1号)

北京京安印刷厂印刷

新华书店总店北京发行所发行

787×1092毫米 16开本 10.75印张 261千字

1984年11月北京第1版 1990年2月北京第2版

1995年3月北京第18次印刷 印数170000册

ISBN 7-5045-0452-1/BT·010(课) 定价:6.40元

# 绪 论

## 一、为什么要学习工程力学

工程力学是一门与工程实际密切联系的技术基础课。在现代生产的各个部门中，没有哪一项工程技术能离开工程力学。例如，机床、内燃机、起重机等各种各样的机械，它们都是由许多不同构件组成的，当机械工作时，这些构件将受到外力（通常称为载荷）的作用。因此，对机械的研究、制造和使用都是以力学理论为基础的，如要分析构件受力情况，了解力系（即作用于同一物体上的一群力）简化方法，掌握构件运动和平衡的规律等。由于受力的作用，构件还可能破坏或产生过大的变形，以致使机械不能正常工作。为了保证机械及其构件具有足够的承受载荷的能力，就要根据构件受力情况，合理地设计或选用构件截面尺寸，使机械安全、可靠地工作。这些就是工程力学课程要研究的主要问题。

工程力学所阐述的是力学中最普遍最基本的规律，这些基础知识具有很大的实用性。作为一名机械技术工人，在工作中必然遇到很多与力学有关的问题。掌握一定的工程力学基础知识，可以帮助我们正确地使用、操作、安装、维护和革新机械，提高操作技术水平和生产技术上的应变能力，分析和解决生产实际中有关力学的简单问题。工程力学知识还为学习其它课程（例如机械基础）打好基础。此外学习工程力学还有助于培养正确的思维方法。

## 二、工程力学包含哪些内容

工程力学共分两篇。第一篇为理论力学，重点学习静力学，即学习物体受力分析方法和物体平衡的一般规律；第二篇为材料力学，研究工程构件在载荷作用下变形和破坏的规律，在保证构件既安全又经济的前提下，为构件选用合适的材料，确定合理的截面形状和尺寸，提供有关的基础知识和基本计算方法。

## 三、如何学好工程力学

力学与其它科学一样，是人类认识和改造自然的结晶。力学的基本规律，是人们通过长期生产实践和无数次科学实验，经过综合、分析和归纳而总结出来的。力学的产生和发展，从一开始就与生产实践密切结合，并深深扎根于人类生产活动的许多领域。生产的需要促进了力学的发展，同时，力学理论又反过来推动生产不断发展。所以，学习工程力学必须注意理论密切联系实际。在生活和生产实践中，观察和实验是学习工程力学的基础。要注意将感性认识上升为理性认识，并将理论应用到实践中去加以检验和指导实践，这是学好工程力学的一个重要方法。要注意掌握工程力学课程中的基本概念、基础理论和基本运算方法。学习时还要注意掌握和应用合理的假定，准确的概括与抽象，严密的推理等科学方法。要注意理论力学和材料力学两篇及各章之间的内在联系，应用数学、物理等基础知识及运算方法来分析、解决工程力学中提出的一些问题。每章以后的小结、思考题和习题，有助于复习、深入思考和掌握这一章所学的内容。完成一定数量的练习题，可以巩固基础知识和提高学用结合的技能，培养综合分析及解决问题的能力，这样才能取得较好的学习效果。

## 第 一 版 前 言

为了适应全国技工学校逐步转向以招收初中毕业生为主的教学要求,我局于一九八三年七月委托部分省、市劳动人事厅(劳动局),分别组织编写了适合初中毕业生使用的全国技工学校机械类通用工种各课程所需的教材。这次组织编写的有语文、数学、物理、化学、工程力学、机械基础、金属材料与热处理、电工学、机械制图(配套使用的有机械制图习题集)、车工工艺学(配套使用的有车工工艺学习题集)、车工生产实习、钳工工艺学、钳工生产实习、铸工工艺学、铸工生产实习、铆工工艺学、机械制造工艺基础等十七种。其中语文、数学、物理、化学非机械类工种也可以选用。其他课程的教材,以后将陆续组织编写。

上述十七种教材,是按照党的教育方针,本着改革的精神组织编写的。在内容上,力求做到理论与实际相结合,符合循序渐进的要求,从打好基础入手,突出机械类技工学校生产实习教学的特点,密切联系我国机械工业的生产实际,并且尽量反映工业生产中采用新材料、新设备、新技术、新工艺的成就,以便使培养出来的学生,能够具有一定的文化知识,比较系统地掌握专业技术理论和一定操作技能,为今后的进一步提高打下基础。

这次组织编写教材的工作,由于时间比较紧促,经验不足,缺点和错误在所难免,希望使用教材的同志提出批评和改进意见,以便再版时修订。

劳动人事部培训就业局

一九八四年

## 第 二 版 说 明

全国技工学校机械类通用教材和配套使用的习题集,自1984年相继问世以来,对技工学校的教学 and 企业的工人培训发挥了重要作用,受到了广大读者的欢迎。但是通过教学实践,也反映出教材中有些内容偏多、偏深、偏难,联系生产实际不够;教材之间分工、配合与协调不够;还有某些差错。为了进一步提高教学质量,适应技工学校和职业培训的需要,我司会同劳动人事出版社组织原编审人员和有关人员教材进行了修订。

这次修订教材,强调要准确把握培养目标的基本业务技术要求;注意结合实际,精心选材;努力协调各门教材的关系,力争分工更为合理,衔接配合更为紧密;尽量减少差错。

组织修订教材的工作,和前段组织编审教材的工作一样,得到了北京、上海、天津、辽宁、黑龙江、吉林、陕西、四川、山东、江苏、湖南、湖北、广东、广西、新疆等省市劳动局(厅)的大力支持和协助,我们表示感谢。

修订后的教材还可能存在缺点和不足,欢迎使用教材的同志和读者提出意见。

劳动部培训司

1989年8月



# 目 录

## 绪 论

## 第一篇 理论力学

|                     |    |
|---------------------|----|
| 引 言                 | 1  |
| 第一章 静力学基础           | 1  |
| § 1.1 静力学基本概念       | 1  |
| § 1.2 静力学公理         | 2  |
| § 1.3 约束与约束反作用力     | 5  |
| § 1.4 物体的受力分析和受力图   | 8  |
| 本章小结                | 10 |
| 思考题                 | 11 |
| 习 题                 | 13 |
| 第二章 平面汇交力系          | 16 |
| § 2.1 平面汇交力系合成的几何法  | 16 |
| § 2.2 平面汇交力系平衡的几何条件 | 17 |
| § 2.3 平面汇交力系合成的解析法  | 20 |
| § 2.4 平面汇交力系平衡的解析条件 | 23 |
| 本章小结                | 25 |
| 思考题                 | 26 |
| 习 题                 | 27 |
| 第三章 力矩和力偶           | 30 |
| § 3.1 力矩概念及其计算      | 30 |
| § 3.2 力 偶           | 34 |
| § 3.3 平面力偶系的合成及平衡条件 | 37 |
| § 3.4 力的平移定理        | 38 |
| 本章小结                | 39 |
| 思考题                 | 40 |
| 习 题                 | 41 |
| 第四章 平面任意力系          | 44 |
| § 4.1 平面任意力系的平衡     | 44 |
| § 4.2 平面平行力系的平衡方程   | 48 |
| 本章小结                | 51 |
| 思考题                 | 51 |
| 习 题                 | 52 |
| 第五章 摩 擦             | 55 |

|                             |    |
|-----------------------------|----|
| § 5.1 滑动摩擦 .....            | 55 |
| § 5.2 摩擦角与自锁 .....          | 56 |
| § 5.3 考虑摩擦时的平衡问题 .....      | 59 |
| § 5.4 滚动摩阻概述 .....          | 61 |
| 本章小结 .....                  | 63 |
| 思考题 .....                   | 63 |
| 习 题 .....                   | 65 |
| 第六章 空间力系基础 .....            | 68 |
| § 6.1 交于一点且互相垂直的三力的合成 ..... | 68 |
| § 6.2 力沿空间直角坐标轴的分解 .....    | 69 |
| § 6.3 齿轮受力分析 .....          | 71 |
| § 6.4 轴的受力分析 .....          | 72 |
| 本章小结 .....                  | 73 |
| 思考题 .....                   | 74 |
| 习 题 .....                   | 74 |
| 第七章 刚体的定轴转动 .....           | 75 |
| § 7.1 转速和线速度 .....          | 75 |
| § 7.2 转动惯量概念 .....          | 77 |
| § 7.3 刚体变速转动与转动动力学方程 .....  | 79 |
| § 7.4 转矩的功率 机械效率 .....      | 80 |
| 本章小结 .....                  | 81 |
| 思考题 .....                   | 82 |
| 习 题 .....                   | 83 |

## 第二篇 材料力学

|                            |     |
|----------------------------|-----|
| 引 言 .....                  | 85  |
| 第八章 材料力学基础 .....           | 85  |
| § 8.1 构件的承载能力 .....        | 85  |
| § 8.2 材料力学的任务 .....        | 86  |
| § 8.3 杆件变形的基本形式 .....      | 87  |
| 第九章 拉伸与压缩 .....            | 88  |
| § 9.1 拉伸与压缩的概念和实例 .....    | 88  |
| § 9.2 用截面法求拉伸与压缩时的内力 ..... | 89  |
| § 9.3 横截面上的正应力 .....       | 91  |
| § 9.4 拉压变形和胡克定律 .....      | 93  |
| § 9.5 拉伸和压缩时材料的力学性能 .....  | 95  |
| § 9.6 许用应力和安全系数 .....      | 100 |
| § 9.7 拉伸或压缩的强度计算 .....     | 101 |
| 本章小结 .....                 | 104 |



|                          |     |
|--------------------------|-----|
| 思考题.....                 | 104 |
| 习    题.....              | 105 |
| 第十章 剪切与挤压.....           | 108 |
| § 10.1 剪    切.....       | 108 |
| § 10.2 挤    压.....       | 110 |
| § 10.3 剪切和挤压的强度计算.....   | 111 |
| 本章小结.....                | 113 |
| 思考题.....                 | 114 |
| 习    题.....              | 114 |
| 第十一章 圆轴扭转.....           | 116 |
| § 11.1 扭转的概念和实例.....     | 116 |
| § 11.2 扭矩和扭矩图.....       | 117 |
| § 11.3 圆轴扭转时横截面上的应力..... | 119 |
| § 11.4 圆轴扭转的强度计算.....    | 121 |
| § 11.5 圆轴扭转刚度概述.....     | 123 |
| 本章小结.....                | 124 |
| 思考题.....                 | 124 |
| 习    题.....              | 125 |
| 第十二章 直梁弯曲.....           | 127 |
| § 12.1 平面弯曲的概念和实例.....   | 127 |
| § 12.2 梁弯曲时的内力.....      | 128 |
| § 12.3 弯曲正应力.....        | 132 |
| § 12.4 梁的弯曲强度计算.....     | 136 |
| § 12.5 提高弯曲强度的主要措施.....  | 138 |
| § 12.6 弯曲刚度概述.....       | 142 |
| 本章小结.....                | 145 |
| 思考题.....                 | 146 |
| 习    题.....              | 147 |
| 第十三章 材料力学其它常用知识.....     | 149 |
| § 13.1 组合变形概述.....       | 149 |
| § 13.2 压杆稳定性知识.....      | 152 |
| § 13.3 应力集中问题.....       | 154 |
| § 13.4 动荷应力和交变应力概述.....  | 155 |
| 本章小结.....                | 157 |
| 思考题.....                 | 158 |

## 附    录

|                    |     |
|--------------------|-----|
| 附录1 力学单位表.....     | 159 |
| 附录2 型钢表 (摘录) ..... | 160 |

# 第一篇 理论力学

## 引言

理论力学是研究物体机械运动的规律及其应用的科学。所谓机械运动，是指物体在空间的位置随时间的变化，这是宇宙间物质运动的一种最简单的形式。例如星球的运行，飞机、轮船、汽车的行驶，机器的运转等，都是机械运动。若物体相对于地球处于静止状态或作匀速直线运动时，我们称其为平衡，这是机械运动的特殊情形，即物体受力后其运动状态不发生变化。

理论力学包括静力学、运动学和动力学三个部分，本书着重讨论静力学。静力学研究物体受力分析方法和物体在力系作用下处于平衡的条件。平衡规律较运动状态发生变化的规律要简单一些，所以静力学是理论力学中较浅易的部分。

物体受力分析方法和力系平衡条件在工程中应用很广。例如在静载荷作用下的工程结构（如桥梁、房屋、起重机、水坝等），常见的机械零件（如轴、齿轮、螺栓等），以及手动工具和低速机械。它们在工作时大多处于平衡状态，或者可以近似地看作平衡状态。为了合理地设计或选择这些结构物和零件的形状、尺寸，保证构件安全可靠地工作，必须首先运用静力学知识，对构件进行受力分析，并根据平衡条件求出未知力，所以静力学是学习材料力学的基础。此外，静力学知识还可直接用来解决工程技术中的许多力学问题。

本篇还将对刚体定轴转动的运动学及动力学常用基本知识作初步介绍。

## 第一章 静力学基础

### § 1.1 静力学基本概念

#### 一、力的概念

力的概念是人们在长期生产劳动和生活实践中逐步建立起来的。例如挑担、推车、抛物、拧螺母都要用力。同样，机车牵引列车由静止到运动，拉伸试验机将试件拉长等，也是力的作用。这些都说明：力是物体间相互的机械作用，力的作用效应是使物体运动状态发生变化，也可使物体发生变形。因此，力不能脱离物体而存在。当某一物体受到力的作用时，一定有另一物体对它施加这种作用。在分析物体受力情况时，必须注意区分哪个是受力物体，哪个是施力物体。

力使物体运动状态发生变化的效应称为力的外效应，而力使物体产生变形的效应称为

力的内效应。静力学只研究力的外效应，材料力学将研究力的内效应。

由实践经验可知，力对物体的作用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。这三个要素中有任何一个改变时，力对物体作用的效果也随之改变。

为了度量力的大小，必须确定其度量单位。本书采用我国统一实行的法定计量单位（以国际单位制SI为基础），力的单位为牛顿（N），或千牛顿（kN）。目前在工程中，暂时与国际单位制并用的还有工程单位制，它使用的力的单位是公斤力（即千克力，其代号为kgf），或千公斤力（即吨力，其代号为tf）。牛顿和公斤力的换算关系为

$$1(\text{kgf}) = 9.807(\text{N}) \approx 10(\text{N})$$

力是具有大小和方向的量，所以力是矢量。力的三要素可用带箭头的有向线段（矢线）示于物体作用点上（图1.1），线段的长度（按一定比例尺画）表示力的大小，箭头的指向表

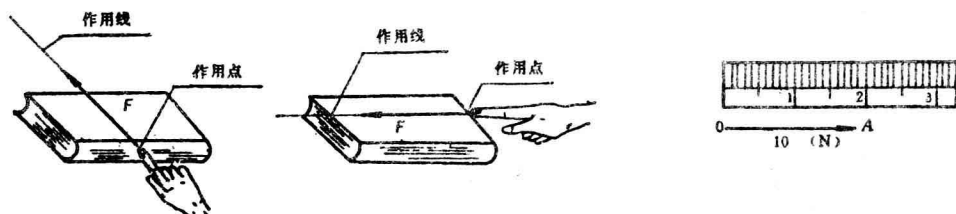


图 1.1

示力的方向，线段的起点或终点表示力的作用点。通过力的作用点，沿力的方向所画直线，称为力的作用线。本书用黑体字母表示矢量（例如 $\mathbf{F}$ ），手写时也可在字母上方加一横线（如 $\overline{F}$ ）。 $F$ 表示力 $\mathbf{F}$ 的大小。

## 二、平衡概念

静力学研究物体机械运动的特殊情况，即物体的平衡问题。所谓物体的平衡，是指物体相对于地球保持静止或作匀速直线运动的状态。事实上，任何物质皆处于永恒的运动中，平衡只是相对的。例如在地面上看来是静止的桥梁房屋，实际上仍随着地球的自转和公转在太阳系中高速运动。以后如不加说明，静止或平衡总是相对地球而言的。

## 三、刚体的概念

在力作用下形状和大小都保持不变的物体称为刚体。在静力学中，常把研究的物体抽象为刚体。实际上，任何物体在力的作用下都将产生不同程度的变形。不过工程实际中构件的变形都很微小，略去变形不会对静力学研究的结果有显著影响，但却会使研究的问题大大简化。这种从具体事物的复杂因素中找出起决定作用的主要因素，舍去次要因素的方法，也是科学研究中常用的抽象化方法。在解决工程力学问题时，常常将实际物体抽象为力学模型，使研究的问题大为简化，同时也更合理地反映了客观事物的本质。

然而，当物体的变形在所研究的问题中成为主要因素时（例如在材料力学中），就不能再将物体看成刚体，即使变形很小也应考虑，不能忽略不计。

## § 1.2 静力学公理

静力学公理是人类经过长期的观察和实验所积累的经验加以概括和总结而得到的结论，

它的正确性可以在实践中得到验证。静力学公理概括了力的一些基本性质，是建立静力学全部理论的基础。

**公理1：力的平行四边形公理** 作用于物体上同一点的两个力，可以合成为一个合力。合力也作用于该点上。合力的大小和方向，用这两个力为邻边所构成的平行四边形的对角线确定。

如图1.2a所示， $F_1$ 、 $F_2$ 为作用于O点的两力，以这两力为邻边作出平行四边形OABC，则从O点作出的对角线OB，就是 $F_1$ 与 $F_2$ 的合力 $R$ 。

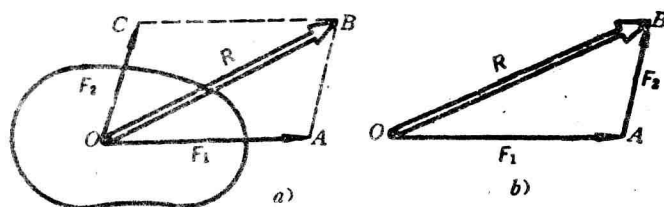


图 1.2

实际上，在求合力 $R$ 时，不一定要作出整个平行四边形OABC。因为平行四边形的对边平行且相等，所以只要作出对角线一侧的一个三角形（ $\triangle OAB$ 或 $\triangle OCB$ ）就可以了。如图1.2b所示，只要将力矢 $F_1$ 、 $F_2$ 首尾相接，成一折线OAB，再用直线OB将其封闭构成一个三角形，那么矢量OB就代表合力 $R$ 。显然在作折线时，两力的先后次序是可以任选的。这一力的合成方法称为力的三角形法则。它从平行四边形公理演变而来，应用更加简便。但要注意图1.2b中力矢 $F_2$ 只表示力 $F_2$ 的大小和方向，实际上 $F_2$ 并不作用于A点，而仍作用于O点。

求 $F_1$ 和 $F_2$ 两力的合力 $R$ ，可以用一个矢量式表示如下：

$$R = F_1 + F_2 \quad (1.1)$$

读作：合力 $R$ 等于力 $F_1$ 和 $F_2$ 的矢量和（又称几何和）。式（1.1）与代数相加式 $R = F_1 + F_2$ 完全不同，不能混淆。只有当两力共线时，其合力才等于两力的代数和（见§2.1）。

力的平行四边形公理总结了最简单的力系简化的规律，它是力的合成和分解的依据，也是较复杂力系简化的基础。

**公理2：二力平衡公理** 刚体只受两个力作用而处于平衡状态时，必须也只需这两个力的大小相等，方向相反，且作用在同一直线上。

如图1.3a所示的刚体，当 $F_1 = -F_2$ （负号说明 $F_2$ 的方向与 $F_1$ 相反），则刚体平衡。

需要强调的是，二力平衡公理只适用于刚体。二力等值、反向、共线是刚体平衡的必要与充分条件。对于非刚体，二力平衡条件只是必要的，而非充分的。例如绳索两端受等值、反向、共线的拉力作用可以平衡，而受等值、反向、共线的两个压力就不能平衡。

只有两个着力点而处于平衡的构件，称为二力构件。当构件呈杆状时，则称为二力杆。二力构件的受力特点是：所受二力必沿作用点的连线。图1.3b中的杆CD，若自重不计，就是一个二力杆。这时 $F_c$ 和 $F_d$ 的作用线必在二力作用点的连线上，且等值、反向。

**公理3：作用与反作用公理** 两个物体间的作用力与反作用力总是成对出现，且大小相

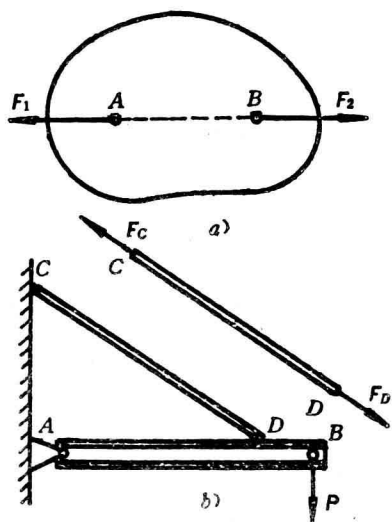


图 1.3

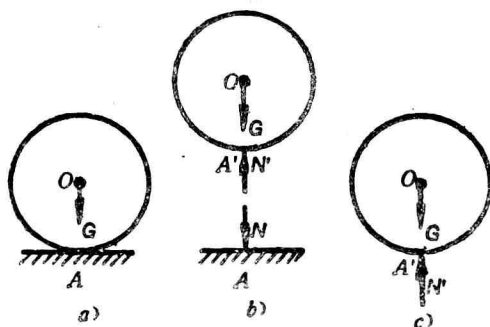


图 1.4

等，方向相反，沿着同一直线，但分别作用在这两个物体上。

作用力和反作用力是力学中普遍存在的一对矛盾，它们互相对立，互相依存，同时出现，同时消失，这是矛盾同一性的体现。

这里应注意公理2和公理3的区别，公理2是叙述作用在同一物体上两力的平衡条件，公理3是描述两物体间的相互作用关系。必须指出，虽然作用力和反作用力等值、反向、共线，但分别作用在两个不同物体上。因此，对于每一物体，不能认为作用力与反作用力相互平衡，组成平衡力系。例如将重量为 $G$ 的球放在桌面上（图1.4a），球对桌面有一作用力 $N$ ，桌面对球即有一反作用力 $N'$ ，前者作用于桌面，而后者作用于球上（图1.4b），不能认为是二力平衡。如果再分析球的受力情况，可知球受重力 $G$ 和桌面给球的反作用力 $N'$ 作用，这两个力使球形成二力平衡（图1.4c）。

**公理4：加减平衡力系公理** 在作用着已知力系的刚体上，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。

这个公理常被用来简化已知力系，在以后推导许多定理时要用到它。

**推论：力的可传性原理** 作用于刚体上某点的力，可以沿其作用线移到刚体上任意一点，而不会改变该力对刚体的作用效果。

**证明：**设有力 $F$ 作用于小车上的 $A$ 点（图1.5a）。在力 $F$ 的作用线上任取一点 $B$ ，并在 $B$ 点

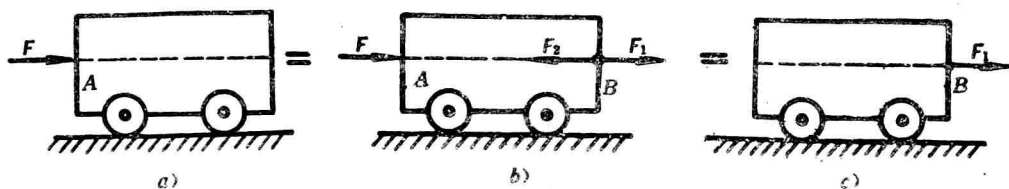


图 1.5

加一平衡力系 $F_1$ 与 $F_2$ , 使 $F_1 = -F_2 = F$  (图1.5b)。根据公理2和公理4可知, 力系 $F$ 、 $F_1$ 、 $F_2$ 对刚体的作用, 与力 $F$ 单独作用的效果相同。由于 $F_2$ 与 $F$ 等值、反向、共线, 根据公理2, 可以将它们从刚体上取消 (图1.5c)。于是, 刚体上就只剩下力 $F_1$ ,  $F_1$ 的大小、方向和 $F$ 相同, 这就相当于力 $F$ 沿着作用线移到了 $B$ 点。经验也告诉我们, 用力 $F$ 在 $A$ 点推小车, 与用力 $F_1 (=F)$ 在 $B$ 点拉小车, 两者的作用效果是相同的, 但应注意, 这个推论只适用于刚体而不适用于变形体。

### § 1.3 约束与约束反作用力

研究物体的平衡或运动问题时, 首先必须分析物体受到哪些力的作用 (简称受力分析), 并确定物体所受每个力的大小、方向和作用点位置, 这是学习理论力学的任务之一。

自然界一切事物总是以各种形式与周围事物互相联系而又互相制约的。在机械或工程结构中, 每个构件的运动都被与它相联系的其它构件所限制。例如, 用钢索悬吊的重物受到钢索限制, 不能下落; 列车受钢轨限制, 只能沿轨道运动; 门受铰链限制, 只能绕铰链轴线转动等。一个物体的运动受到周围物体的限制时, 这些周围物体就称为约束。例如, 钢索就是重物的约束, 轨道就是列车的约束, 铰链就是门的约束。

既然约束阻碍着物体的运动, 所以约束必然对物体有力的作用, 这种力称为约束反作用力, 简称为约束反力或反力。约束反力是阻碍物体运动的力, 所以属于被动力。促使物体运动的力 (如地球引力、拉力、压力等), 称为主动力。主动力和被动力都是作用于物体上的外力 (即载荷)。

约束反力作用点位置和约束反力的方向一般是已知的, 其确定准则是:

- (1) 约束反力的作用点就是约束与被约束物体的相互接触点;
- (2) 约束反力的方向总是与约束所能限制的被约束物体的运动方向相反。

至于约束反力的大小, 一般是未知的。在静力学问题中, 主动力和约束反力组成平衡力系, 因此可利用平衡条件来定量计算约束反力。

下面介绍工程中常见的几种约束和定性确定约束反力的方法。

#### 一、柔体约束

由柔软的绳索、链条、皮带等所形成的约束称为柔体约束。柔体约束只能承受拉力, 不能承受压力, 其约束反力作用于联接点, 方向沿着绳索而背离物体。通常用 $T$ 或 $S$ 表示这类约束反力。例如用联接于铁环 $A$ 的钢丝绳, 吊起一减速箱盖 (图1.6a), 箱盖的重力 $G$ 是主动力, 根据柔体约束反力的特点, 可以确定钢丝绳给铁环 $A$ 的力一定是拉力 (图中的 $T_1$ 、 $T_2$ 和 $T$ )。钢丝绳给箱盖的力也是拉力 ( $T'_1$ 、 $T'_2$ )。图1.6b所示带传动中, 传动带给两个带轮的力都是拉力, 并沿传动带与轮缘相切的方向, 如图所示。

#### 二、光滑面约束

两个互相接触的物体, 如接触面上的摩擦力很小, 可略去不计时, 这种光滑接触面所构成的约束, 称为光滑面约束。物体可以沿光滑的支承面自由滑动, 也可向离开支承面的方向运动, 但是支承面能限制物体沿接触面法线, 并朝向支承面方向的运动。所以, 光滑面约束的反作用力通过接触点, 方向总是沿接触表面的公法线而指向受力物体, 使物体受一法向压力作用。这种约束反力又称为法向反力, 通常以符号 $N$ 表示。图1.7a所示为一停在光滑地面



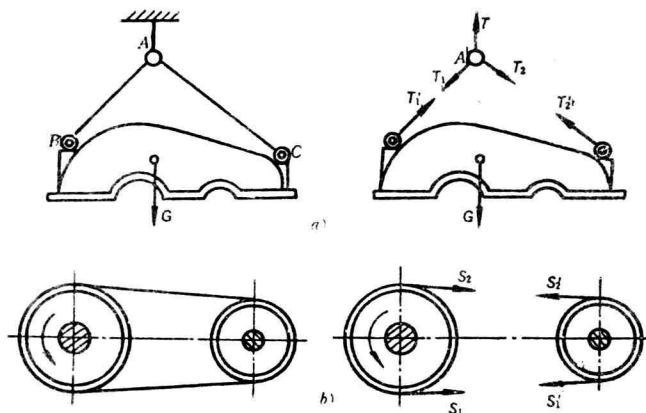


图 1.6

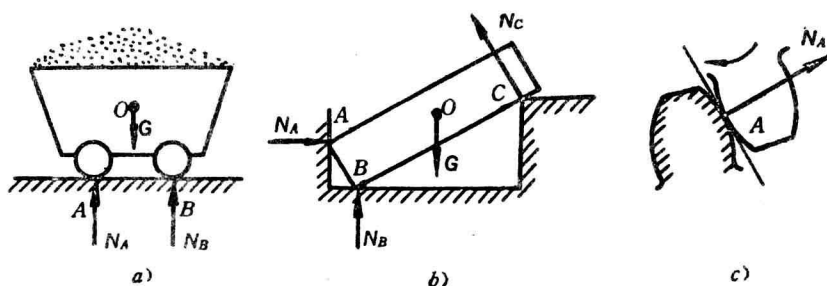


图 1.7

上的小车。地面对小车A、B二轮的约束反力 $N_A$ 和 $N_B$ 都沿着接触表面（轮缘与地面）的公法线方向，指向车轮。图1.7b所示为另一种光滑面约束，物体与约束在A、B、C三处均为点与直线（或直线与平面）接触，约束反力沿接触处的公法线而指向被约束物体。图1.7c所示为齿轮传动时，相啮合的一对轮齿以它们的齿廓曲面相接触，齿轮传递的作用力通过接触点A，并沿齿廓公法线指向被研究的齿轮。

### 三、铰链约束

由铰链构成的约束，称为铰链约束。这种约束是采用圆柱销C插入构件A和B的圆孔内而构成（图1.8a、b）。其接触面是光滑的。这种约束使构件A和B相互限制了彼此的相对移动，

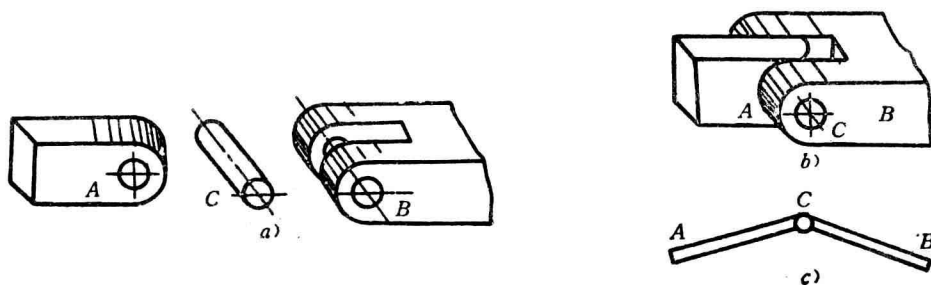


图 1.8

而只能绕圆柱销C的轴线自由转动。铰链约束简图如图1.8c所示。铰链的应用很广,例如门窗的铰链(又称合叶),内燃机的曲柄连杆机构中,曲柄与连杆用曲柄销联接(图1.9中的A处),连杆与活塞用活塞销联接(图1.9中的B处),都是铰链约束的实例。

工程上常用铰链将桥梁、起重机的起重臂等结构与支承面或机架联接起来,这就构成了铰链支座。下面介绍两种常见的铰链支座约束。

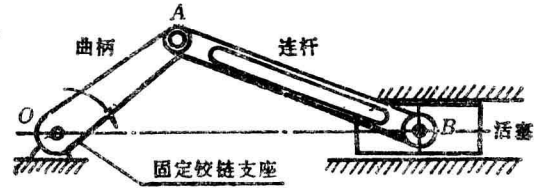


图 1.9

1. 固定铰链支座 用圆柱销联接的两构件中,有一个是固定件,称为支座,其构造如图1.10a所示,圆柱销3固连于支座1上,构件2可绕圆柱销的轴线旋转。图1.10c和图1.9的O处是固定铰链支座的简图。

固定铰链支座约束能限制物体(构件2)沿圆柱销半径方向的移动,但不能限制其转动,其约束反力作用线必定通过圆柱销的中心,但其大小 $R$ 及方向 $\alpha$ 均为未知(图1.10b),需根据

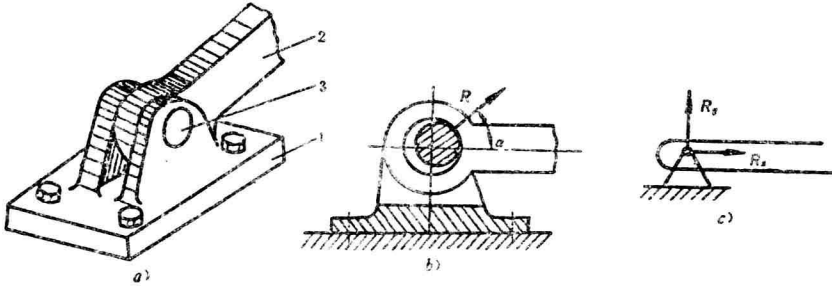


图 1.10

构件受力情况才能确定。在画图和计算时,这个方向待定的支座约束反力,常用相互垂直的两个分力 $R_x$ 和 $R_y$ 来代替,如图1.10c所示。

2. 活动铰链支座 工程中常将桥梁,屋架等结构用铰链联接在有几个圆柱形滚子的活动支座上,支座在滚子上可以任意左右作相对运动,允许两支座间距离稍有变化,这种约束称为活动铰链支座。活动铰链支座结构示意图如图1.11a所示,图1.11b、c、d是它的简图。

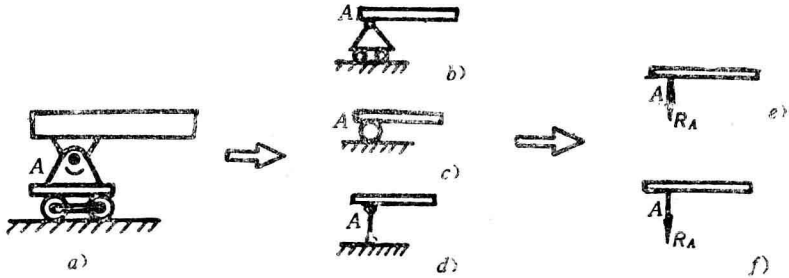


图 1.11

在不计摩擦的情况下,这种支座能够限制被联接构件沿着支承面的法线方向上下运动,所以它是一种双面约束。活动铰链支座的约束反力的作用线必通过铰链中心,并垂直于支承面,其指向随受载荷情况不同,有两种可能(图1.11e、f)。

桥梁一端用固定铰链支座,另一端则要用活动铰链支座,当桥梁因热胀冷缩而长度稍有变化时,活动支座可相应地沿支承面移动。

#### 四、固定端约束

地面对电杆的约束,车床上的刀架对车刀的约束(图1.12a),三爪卡盘对圆柱工件的约束(图1.12b)都是固定端约束。这种约束的简图(力学模型)如图1.12c所示,它可阻止被约束的物体发生任何移动和转动。关于固定端约束反力的受力分析,将在第四章平面任意力系中补充说明。

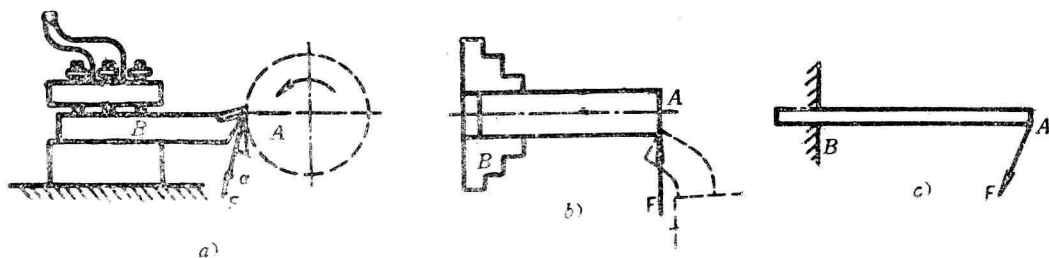


图 1.12

### § 1.4 物体的受力分析和受力图

为了清楚地表示物体的受力情况,需要把所研究的物体(称为研究对象)从所受的约束中分离出来,单独画出它的简图,然后在它上面画上它所受的全部主动力和约束反力。由于已将研究对象的约束解除,因此应以约束反力来代替原有的约束作用。

解除约束后的物体,称为分离体。画出分离体上所有作用力的图,称为物体的受力图。

画物体受力图是解决静力学平衡问题的第一步,也是学好静力学的关键,必须正确无误,否则以后的分析计算不可能得到正确的结果。

对物体进行受力分析和画受力图时应注意以下几点:

(1) 首先确定研究对象,并分析哪些物体(约束)对它有力的作用。

(2) 画出作用在研究对象上的全部力,包括主动力和约束反力。画约束反力时,应取消约束,而用约束反力来代替它的作用。

(3) 研究对象对约束的作用力或其他物体上受的力,在受力图中不应画出。

下面举例说明物体受力分析及画受力图的方法。

**例1.1** 匀质球重 $G$ ,用绳系住,并靠于光滑的斜面上,如图1.13a所示,试分析球的受力情况,并画受力图。

**解** (1) 确定球为研究对象;

(2) 作用在球上的力有三个:即球的重力 $G$ (作用于球心,铅直向下),绳的拉力 $T$