



同济大学本科教材出版基金资助

同 济 大 学 工 程 力 学 系 列 教 材

LI LUN LI XUE

# 理论力学

(第3版)

同济大学航空航天与力学学院基础力学教学研究部 编



同济大学出版社  
TONGJI UNIVERSITY PRESS

教材  
基金资助

# 理论力学

(第3版)

同济大学航空航天与力学学院  
基础力学教学研究部 编



同济大学出版社  
TONGJI UNIVERSITY PRESS

## 内 容 提 要

本书是按理论力学课程基本内容编写,保持了同济大学航空航天与力学学院基础力学教学研究部 2012 年《理论力学(第 2 版)》的风格,但将力的概念和基本原理以及力系的简化内容独立于静力学篇。

本书以土木、桥梁、汽车、机械等工程为背景,注重物理概念的阐述和力学建模能力的培养,通过对课程内容与体系的整合与提升,努力做到理论与应用并重。配置的例题与练习题有明显的工程与生活实际背景,通过学习能够达到熟练掌握基本理论、基本方法和计算技能的教学要求。

本书主要用作普通工科院校土建、桥梁、机械、汽车等专业的教材,也可供有关工程技术人员参考。本教材配套的导学电子资料请扫封底二维码登陆网站下载,供学习者使用。

### 图书在版编目(CIP)数据

理论力学/同济大学航空航天与力学学院基础力学  
教学研究部编. —3 版. —上海:同济大学出版社,2018.7  
同济大学工程力学系列教材  
ISBN 978-7-5608-7819-5

I. ①理… II. ①同… III. ①理论力学—高等学校—  
教材 IV. ①O31

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2018)第 075796 号

---

同济大学工程力学系列教材

### 理论力学(第 3 版)

同济大学航空航天与力学学院基础力学教学研究部 编  
责任编辑 胡晗欣 责任校对 徐春莲 封面设计 潘向葵

---

出版发行 同济大学出版社 [www.tongjipress.com.cn](http://www.tongjipress.com.cn)  
(地址:上海市四平路 1239 号 邮编:200092 电话:021-65985622)  
经 销 全国各地新华书店  
印 刷 大丰科星印刷有限责任公司  
开 本 787mm×960mm 1/16  
印 张 27.25  
字 数 545 000  
版 次 2018 年 7 月第 3 版 2018 年 7 月第 1 次印刷  
书 号 ISBN 978-7-5608-7819-5

---

定 价 62.00 元

---

本书若有印装质量问题,请向本社发行部调换 版权所有 侵权必究

## 第3版 前言

为使理论力学教材内容安排更加合理,修订教材中出现的各种错误,特对《理论力学(第2版)》教材进行局部的重新编写和全部内容的修订。具体修订说明如下:

(1) 对第2版教材第1章至第4章内容重新整合和编写。

(2) 将力的基本概念、基本公理、力的投影、力矩和力偶整合为第1章,着重介绍力的基本概念和基本计算。

(3) 将力系的简化、重心、约束与约束力、物体的受力分析整合为第2章,先介绍力系简化和结果,再进行约束力简化和物体受力分析,从力系简化的角度解释约束力的简化。

(4) 力系的平衡整合为第3章,首先导出空间任意力系的平衡方程,然后作为特例给出其他特殊力系的平衡方程。

(5) 将第1章和第2章内容独立于静力学篇之外,作为课程的基础内容。

(6) 在点的合成运动中修订了速度与加速度合成定理的推导。

(7) 在达朗贝尔原理中给出质点系向任一动点进行惯性力系简化过程和结果。

(8) 修改第2版全书中的错误与不合适论述。

其中第1章由孙杰编写,第2章由蒋丰编写,第3章由温建明编写,第4—8章由王华宁修订,第9—12章由汤可可修订,第13—16章由方明霞修订,全书由王华宁统稿。

由于编者和修订者的水平有限,书中难免还有不妥之处,恳请读者指正。

编者

2018年3月

## 第2版 前言

按照教育部力学基础课程教学指导委员会最新制定的“理论力学课程教学基本要求(A类)”,本书的第1版内容基本能覆盖A类中主要的知识点。

本次改版除保留了原有特点外,在突出学习力学原理的同时,还加强了分析问题能力的培养。基于此目的,本书做了以下六个方面的重点修改:

1. 将自由度与广义坐标的概念移到运动学部分(见9.4节)。自由度与广义坐标的概念是运动学的基本概念,是描述物体位形空间的独立变量。所有动力学问题的独立未知量一般是运动学独立未知量和未知力(约束力)的总和。因此,将自由度与广义坐标移至运动学部分,使动力学的问题分析都可以明确其中的运动学独立变量,从而在全局上把握对所研究问题的分析。

2. 在动量定理章节中,调整动量定理与质心运动定理的次序,突出动量定理。

3. 在动量矩定理章节中,在推出质点系对任意点动量矩的计算公式后,讨论运动刚体对任意点的动量矩计算,并指明从动力学角度能将空间问题化为平面问题的条件。

4. 在动能定理中,将弹簧力、万有引力这样的“成对力”(对系统而言是内力),归入到质点系内力功中去,使读者了解内力做功的条件;这样有利于读者对理想约束的约束力不做功的理解。同时,通过对刚体上外力功的推导,得到力矩功的表达式,避免了力矩做功只能从定轴转动刚体推出的情况。这样不但使力学模型更加一般化,而且使读者的思维更加开拓。

5. 在碰撞章节中,为了避免与大学物理的简单重复,特别注意到,在一般的工程问题中主要研究的对象不是质点,也很少有两个自由物体的对心碰撞,所以,在碰撞这一章中着重研究受约束物体的偏心碰撞。

6. 本书配置了光盘。光盘中每章设有“内容提要”、“基本要求”、“典型例题”和“补充习题”,起到归纳、提示和拓展的功能。特别是典型例题依照《理论力学练习册》(修订版)的题型来配置,方便学生对照学习和做作业。光盘中内容第1至第5章,第10至第13章,由温建明老师负责制作。第6至第9章,第14至第18章由王斌耀老师负责制作。

此外,在所有的例题中,将题图与分析图分开,明确受力分析、运动分析不是题给条件,而是读者自己要学习、掌握的。另外,还统一了重力的符号并对第1版的错误作了修正。

在本教材第 2 版的修改工作中,温建明老师负责修改第 10 至 13 章,王斌耀老师负责修改第 14 章,并对全书进行统稿。

在教材编写和修改过程中得到了各方面的鼓励和支持,在此表示深深的谢意。

由于编者水平有限,若有错误与不妥之处,敬请读者批评指正。

编 者

2012 年 6 月

# 前 言

本书是近年来我校理论力学教学实践的总结。我校原理论力学教研室编写的1990年版的《理论力学》教材凝聚了众多老教师历年来的教学经验和成果,一直受到广大师生和兄弟院校同行的好评,被许多学校的土建、交通、桥梁、水利、机械等专业所选用。为此,本书作者力求保持我校教材的基本体系和风格。考虑到近年来课时有所减少的事实,作者对1990年版的《理论力学》内容和习题作了部分调整,并删除了多年来在教学中长期不选用的部分内容。

本教材适宜教学时数为70~90学时。

作者根据多年来在理论力学教学中积累的经验,并注意汲取各类教材的精华,特别注意汲取欧美同类教材的优点,编写了一套既能融合我国传统教材理论性强、内容系统和全面,又能融合欧美教材的起点高、内容广、简洁扼要等特点的新型教材,以适应现代教学改革的要求。

本书注意吸取德国同类教材的优点,并结合我国高等教育的实际情况,在以下几方面作了探索性的改革。

1. 提高起点。考虑到现今高中教学中已经引入了许多现代数学知识,并经过高等数学的学习,学生对矢量知识已有相当基础,作者努力将矢量方法运用于公式推导和定理证明中。特别在动量矩定理中动矩心等公式的推导,运用了矢量方法,证明过程简捷,与原教材相比有较大的变化。

2. 静力学部分的内容作了较大幅度的整合和调整。尽管还是把汇交力系、力矩和力偶理论、任意力系分为3章,但空间任意力系不再单独成为一章,而桁架、摩擦和悬索作为静力学的应用问题放在一章里。公式推导都从空间问题出发,将平面问题作为空间力系的特例来处理,但解题重点仍放在平面力系上,这样就收到减少内容重复、减少公式推导、减少教学时数、减少教材篇幅的效果。

3. 本书注重以工程实际为背景,加深物理概念的阐述和工程建模能力的培养。

4. 本书继承了理论力学课程理论严谨、逻辑性强的特点,同时附有大量的例题和习题供教师选用和学生练习。

5. 本书注意加强与相关课程的融合和贯通,增加了工程构件的概念,力求使质点、质点系、刚体物理概念的叙述更加完整。

本书由周松鹤编写第1章至第5章,第10章至第14章;由王斌耀编写第6章至第9章,第15章至第18章及附录。

冯国屏教授认真、细致地审阅了全书,并在本书编写的整个过程中提出了许多宝贵意见和建议,在此表示衷心的感谢。

本书得到了同济大学出版社的大力支持,在编写过程中,还得到了唐寿高教授、徐鉴教授以及基础力学教学研究部各位同仁的热情帮助和支持,在此一并致谢。

由于本书在诸多方面作了改革和探索,同时限于编者的水平,如书中有不妥之处,敬请广大读者批评指正。

编 者

2004 年 6 月

# 目 录

第 3 版前言

第 2 版前言

前言

|                      |      |
|----------------------|------|
| 0 绪 论 .....          | (1)  |
| 1 基本概念与基本原理 .....    | (3)  |
| 1.1 基本概念 .....       | (3)  |
| 1.2 基本原理 .....       | (4)  |
| 1.3 力的分解与力的投影 .....  | (6)  |
| 1.4 力矩理论 .....       | (8)  |
| 1.5 力偶的概念 .....      | (10) |
| 思考题 .....            | (12) |
| 习题 .....             | (13) |
| 2 力系的简化 .....        | (15) |
| 2.1 力系的分类 .....      | (15) |
| 2.2 力的平移定理 .....     | (15) |
| 2.3 汇交力系的简化 .....    | (16) |
| 2.4 力偶系的简化 .....     | (19) |
| 2.5 任意力系的简化 .....    | (21) |
| 2.6 平行力系的简化与应用 ..... | (26) |
| 2.7 约束与约束力 .....     | (31) |
| 2.8 受约束物体的受力分析 ..... | (36) |
| 思考题 .....            | (39) |
| 习题 .....             | (41) |

## 第 1 篇 静力学

|                     |      |
|---------------------|------|
| 3 力系的平衡 .....       | (47) |
| 3.1 力系的平衡条件 .....   | (47) |
| 3.2 静定与超静定概念 .....  | (57) |
| 3.3 平面刚体系统的平衡 ..... | (58) |

|                        |      |
|------------------------|------|
| 思考题 .....              | (63) |
| 习题 .....               | (65) |
| <b>4 静力学应用问题</b> ..... | (73) |
| 4.1 平面桁架 .....         | (73) |
| 4.2 悬索 .....           | (78) |
| 4.3 摩擦 .....           | (85) |
| 思考题 .....              | (96) |
| 习 题 .....              | (98) |

## 第 2 篇 运动学

|                                  |       |
|----------------------------------|-------|
| <b>5 点的运动</b> .....              | (103) |
| 5.1 点的运动的矢量法 .....               | (104) |
| 5.2 点的运动的直角坐标法 .....             | (105) |
| 5.3 点的运动的自然坐标法 .....             | (113) |
| * 5.4 点的运动的极坐标法 .....            | (119) |
| 思考题 .....                        | (123) |
| 习题 .....                         | (124) |
| <b>6 刚体的基本运动</b> .....           | (126) |
| 6.1 刚体的移动 .....                  | (126) |
| 6.2 刚体的定轴转动 .....                | (127) |
| 思考题 .....                        | (133) |
| 习题 .....                         | (134) |
| <b>7 刚体的平面运动</b> .....           | (136) |
| 7.1 刚体的平面运动描述 .....              | (136) |
| 7.2 平面图形上任意两点之间的速度关系 .....       | (137) |
| 7.3 平面图形上任意两点之间的加速度关系 .....      | (145) |
| 7.4 刚体绕平行轴转动的合成 .....            | (149) |
| 思考题 .....                        | (152) |
| 习题 .....                         | (154) |
| <b>8 点的合成运动</b> .....            | (157) |
| 8.1 点的合成运动的概念 .....              | (157) |
| 8.2 速度合成定理 .....                 | (161) |
| 8.3 加速度合成定理 .....                | (165) |
| 8.4 约束的运动学描述、运动系统的自由度与广义坐标 ..... | (175) |
| 思考题 .....                        | (177) |

|    |       |
|----|-------|
| 习题 | (178) |
|----|-------|

## 第3篇 动力学

|                    |       |
|--------------------|-------|
| 9 动力学基本定律 质点运动微分方程 | (184) |
| 9.1 牛顿定律 惯性坐标系     | (185) |
| 9.2 质点运动微分方程       | (186) |
| 9.3 质点在非惯性坐标系中的运动  | (192) |
| 思考题                | (196) |
| 习题                 | (197) |
| 10 动量定理            | (202) |
| 10.1 动量和冲量         | (202) |
| 10.2 动量定理          | (205) |
| 10.3 质心运动定理        | (211) |
| 思考题                | (214) |
| 习题                 | (215) |
| 11 动量矩定理           | (220) |
| 11.1 转动惯量          | (220) |
| 11.2 质点系的动量矩       | (228) |
| 11.3 质点系动量矩定理      | (232) |
| 11.4 刚体定轴转动微分方程    | (237) |
| 11.5 刚体平面运动微分方程    | (241) |
| 思考题                | (244) |
| 习题                 | (247) |
| 12 动能定理            | (253) |
| 12.1 力与力偶的功        | (253) |
| 12.2 动能            | (260) |
| 12.3 质点系动能定理       | (262) |
| 12.4 功率方程          | (268) |
| 12.5 势力场与势能        | (271) |
| 12.6 机械能守恒定律       | (274) |
| 12.7 动力学普遍定理的综合运用  | (277) |
| 思考题                | (281) |
| 习题                 | (285) |
| 13 碰撞              | (290) |
| 13.1 碰撞现象及其基本假设    | (290) |

|           |                            |       |
|-----------|----------------------------|-------|
| 13.2      | 恢复因数                       | (291) |
| 13.3      | 研究碰撞的矢量力学方法                | (292) |
| 13.4      | 碰撞中心                       | (229) |
|           | 思考题                        | (300) |
|           | 习题                         | (300) |
| <b>14</b> | <b>达朗贝尔原理</b>              | (304) |
| 14.1      | 惯性力的概念                     | (304) |
| 14.2      | 达朗贝尔原理                     | (305) |
| 14.3      | 质点系惯性力系的简化                 | (309) |
| 14.4      | 一般转动刚体的轴承动约束力              | (318) |
|           | 思考题                        | (322) |
|           | 习题                         | (323) |
| <b>15</b> | <b>虚位移原理</b>               | (328) |
| 15.1      | 虚位移的概念与分析方法                | (328) |
| 15.2      | 虚位移原理                      | (331) |
| 15.3      | 广义力及以广义力表示的质点系平衡条件         | (339) |
| 15.4      | 势力场中质点系的平衡条件及平衡稳定性         | (342) |
|           | 思考题                        | (349) |
|           | 习题                         | (349) |
| <b>16</b> | <b>动力学普遍方程和拉格朗日方程(第二类)</b> | (353) |
| 16.1      | 动力学普遍方程                    | (353) |
| 16.2      | 拉格朗日方程(第二类)                | (357) |
| 16.3      | 拉格朗日方程的初积分                 | (362) |
| *16.4     | 哈密顿原理                      | (370) |
|           | 思考题                        | (378) |
|           | 习题                         | (378) |
| <b>17</b> | <b>线性振动的基本理论</b>           | (382) |
| 17.1      | 单自由度系统的自由振动                | (382) |
| 17.2      | 单自由度系统的受迫振动                | (394) |
| 17.3      | 振动的隔离                      | (400) |
| 17.4      | 两自由度系统无阻尼自由振动              | (401) |
| 17.5      | 两自由度系统无阻尼受迫振动 动力减振器        | (412) |
|           | 思考题                        | (416) |
|           | 习题                         | (416) |
|           | 附录 A 矢量的运算                 | (420) |
|           | 参考文献                       | (424) |

# 0 绪 论

## 0.1 理论力学的研究内容

理论力学是一门研究物体机械运动一般规律的科学。作为高等工科院校的课程,理论力学只是其中最基础的部分。

所谓“机械运动”是指物体在空间的位置随时间的变化。机械运动是物质运动最简单、最基本的形式。

平衡(例如物体相对于地球处于静止的状态)是机械运动的特殊情况。

理论力学研究的内容是远小于光速的宏观物体的机械运动。它以伽利略和牛顿总结的基本定律为基础,属于古典力学的范畴。古典力学的规律不适用于接近光速的宏观物体的运动,也不适用于微观粒子的运动(前者可用相对论力学,而后者可用量子力学来研究),这说明古典力学有其局限性。但是,在一般工程技术问题中所研究的物体,都是运动速度远小于光速的宏观物体,因此,用古典力学来解决,不仅方便,而且能够保证足够的精确性,所以,古典力学至今仍有很大的实用意义。目前,古典力学的分支,如分析力学、振动理论、运动稳定性、多刚体动力学等正在迅速发展。

理论力学起源于物理学的一个分支,它的内容密切联系工程实际和应用。理论力学不仅建立了与力学有关的各种基本概念和理论,而且要求能运用理论知识对于从实际问题中抽象出来的力学模型进行分析和计算。

研究物体机械运动的普遍规律有两种基本方法,从而形成理论力学的两大体系:一是用矢量的方法研究物体机械运动的普遍规律,称为矢量力学;二是用数学分析的方法进行研究,称为分析力学。本书以矢量研究方法为主。

## 0.2 学习理论力学的任务

与一切科学相同,对力学基本规律的研究源于对实际现象的观察和归纳。在生产活动中,人类很早就开始积累经验并逐渐形成初步的力学知识。理论力学是一门理论性很强的技术基础课。在日常生活和工程技术问题中,广泛存在着机械运动。学习理论力学,掌握机械运动的客观规律,就能够理解机械运动现象,把这些规律应用到生产实践中去,为祖国建设服务。

在土木、水利、机械的许多工程实际问题中,都可以直接应用理论力学的基本理论去解决,如土木、水利工程中的平衡问题、传动机械的运动分析、机器和机械设计中的振动问题等。至于一些比较复杂的工程实际问题,则需要用书本中的理论和其他专门的知识共同解决。在许多尖端科学技术问题中,如人造地球卫星和载人航天器的发射、运行等,更包含了许多动力学问题。理论力学的知识,是研究、解决这些复杂

问题的不可缺少的基础。

理论力学研究力学中最普遍、最基本的规律。很多工程类其他专业的课程,如材料力学、结构力学、流体力学、振动理论、机械原理等课程,都是理论力学的后继课程,都要用到理论力学的知识,所以,理论力学是学习一系列后继课程的基础。

### 0.3 理论力学的研究方法

进行现场观察和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,再通过严格的数学推演,可得到运用于工程的力学公式。学习理论力学,并不要求去重复经历力学的发展过程,而是要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,由基本概念和基本定律导出的理论力学定理和公式,必须熟练地掌握。演算一定数量的习题,把学到的理论知识不断地运用到实践中去,是巩固和加深理解所学知识的重要途径。

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,理论力学研究其机械运动时,必须忽略一些次要因素的影响,对其进行合理的简化,抽象出研究模型。研究不同的问题,采用不同的力学模型,是研究工程力学问题的重要方法。

由于计算机的飞速发展和广泛应用,除传统的力学研究方法(理论方法和实验方法)外,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,人们可以借助计算机推导那些难以导出的公式,利用计算机整理数据、绘制实验曲线、显示图形等。可以展望,力学加电子计算机将成为工程新设计的主要手段。

### 0.4 理论力学在工科各专业中的地位和作用

“理论力学”是工科各类专业的重要技术基础课,对于建筑工程、桥梁、航天、机械、汽车等专业尤为重要。理论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。它为建筑和各类机械的设计、专业设备及机器的机械运动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,可直接运用理论力学的基本知识去分析研究。比较复杂的问题,则需要用理论力学知识结合其他专业知识进行研究,所以学好理论力学知识,可为解决工程实际问题打下基础。

理论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。

理论力学的主要内容有静力学、运动学和动力学三部分组成。静力学物体在力系作用下的平衡规律。运动学从几何学的观点研究物体的运动。动力学则研究物体的运动与作用于物体的力之间的关系。静力学中所讨论的静止和平衡是运动的一种特殊形态,因此,也可以认为静力学是动力学的一种特殊情况。不过由于工程技术发展的需要,静力学已积累了丰富的内容而成为一个相对独立的部分。

# 1 基本概念与基本原理

本章所述的基本概念、基本原理以及一些基本运算是理论力学课程的基础。

## 1.1 基本概念

### 1.1.1 力的概念

力是物体间的相互机械作用。力的作用有两种效应：使物体产生运动状态变化和形状变化，分别称为运动效应和变形效应。在理论力学中，只讨论力的运动效应，力的变形效应将在材料力学中讨论。

应当指出，既然力是物体间的相互作用，所以力不能脱离物体而存在。有一个力，就必然有一个施力体和一个受力体，离开了物体间的相互作用是不能进行受力分析的。

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。力的方向是指它在空间的方位和指向两个意思。力的作用点是指力在物体上的作用位置。力矢量  $\mathbf{F}$  可以用带箭头的线段  $\overrightarrow{AB}$  表示，过力的作用点沿力的矢量方向画出的直线（图 1-1 中的  $KL$ ），称为力的作用线。

度量力的大小通常采用国际单位（SI）制，力的单位是牛顿（N）或千牛顿（kN）。使 1 千克质量的物体产生  $1 \text{ m/s}^2$  加速度的力定义为 1 N。

力作用的理想化情况可视为集中力或分布力。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称为集中力；当作用力分布在有限范围（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，也需要简化。实际上，集中力是分布力的理想化模型。

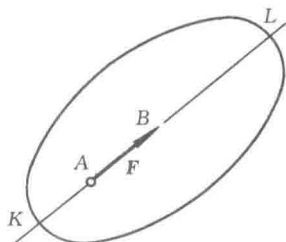


图 1-1 力的作用线

### 1.1.2 力学模型

一般来讲，工程实际中所研究的物体有时是相当复杂的。为了便于进行力学分析和计算，我们常根据所研究问题的不同，找到研究对象的某些共性和影响研究结果的某些主要因素，而将某些次要因素忽略不计，从而把复杂的工程实际问题简化为合理的力学模型，这一过程称为“建模”。然后，再在该数学力学模型基础上进行求解。建模并不是一项很容易的工作，往往需要进行多次反复和修改才能完成。力学模型的合理

性直接决定计算结果的正确与否。建模能力只有在不断实践的过程中才能得到提高。这里仅介绍在工程力学中常见的质点、刚体和质点系三种简单的理想模型。

(1) 质点。当物体的大小和形状对所讨论的问题无关紧要时,可以忽略不计,而只需计其质量,就可将该物体视为只有质量而不计大小的点,称为质点。

(2) 刚体。在任何外力作用下都不变形的物体称为刚体。对所讨论的问题而言,刚体的大小和形状不能忽略,而仅仅忽略了它的变形。自然界中绝对不变形的物体实际上是不存在的,刚体只是理想化了的力学模型。这样的力学模型只考虑了物体的运动效应,而不考虑物体的变形效应,既简化了计算过程,又符合工程精度的要求。

(3) 质点系。它是相互间有一定联系的有限或无限多质点的总称,有时也称为机械系统。刚体可视为由无限多质点组成的不变形的质点系。由若干个刚体组成的系统称为刚体系统,也称为物体系统。

上述几种力学模型,只要不考虑变形,在研究它们的平衡或运动时,并不特指某些具体物体,即既不考虑其材质,也不考虑其在工程中的实际用途,而只是客观存在的实际物体的科学抽象。

## 1.2 基本原理

这些基本原理,有的就是牛顿运动定律本身的内容;有的则可由牛顿运动定律导出。作为经过反复观察和实践总结出来的客观规律,这些原理正确地反映了作用于物体上的力的基本性质。在这里,我们不加证明地讲述这几个原理。

### 1.2.1 二力平衡原理

同一刚体上只有两个力作用时,使刚体平衡的必要和充分条件是:这两个力等值、反向、共线。

例如,在图 1-2 中,若各物体均在力  $F_1$  及  $F_2$  的作用下保持平衡,则此两力必等值、反向,并沿着其作用点  $A, B$  的连线,作用在同一物体上。否则,该物体就不能平衡。

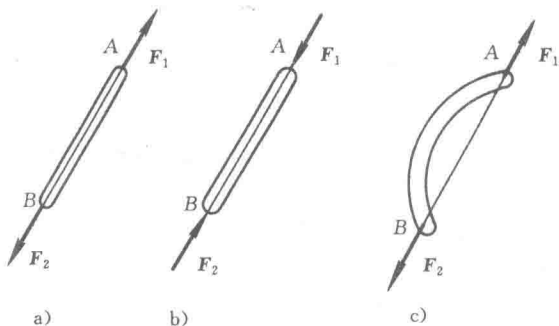


图 1-2 二力平衡

在机械及土建结构中,常有仅在两端各受一力作用而平衡的直杆或构件。通常称为二力杆(图 1-2a、b)) 或二力构件(图 1-2c))。

二力平衡原理是论证刚体平衡条件的基础。二力平衡原理对于刚体是必要和充分的,但对于变形体是不充分的。

### 1.2.2 加减平衡力系原理

在作用于刚体上的任一力系中,再加上或减去一个平衡力系,所得新力系与原力系对刚体的运动效应相同。

这个原理不适用于变形体。

应用公理一和公理二可以得出一个重要推论:作用于刚体的力可沿其作用线移动而不改变其对刚体的运动效应。例如,为使小车运动,在车后 A 点用力  $F$  推车与在车前 B 点用同样的力  $F$  拉车,可达到一样的效果。力的这一性质称为力的可传性原理。当然,力的可传性只适用于刚体。

因为力对于刚体具有可传性,所以力矢  $F$  相对于刚体是滑移矢量。这样,对于刚体力的三要素又可表述为:力的大小、方向和作用线。

### 1.2.3 力的平行四边形法则

作用于物体上同一点的两个力可以合成为作用于该点的一个合力,合力的大小和方向由以这两个力矢量为邻边所构成的平行四边形的对角线表示。这一矢量和的运算法则称为力的平行四边形法则,如图 1-3a) 所示。以矢量方程表示为

$$\mathbf{F}_R = \mathbf{F}_1 + \mathbf{F}_2 \quad (1-1)$$

有时,我们也用三角形法则求合力的大小和方向:作  $\overrightarrow{AB}$  矢量代表分力  $F_1$ ,再从  $F_1$  的终点 B 作矢量  $\overrightarrow{BC}$  代表分力  $F_2$ ,最后从点 A 指向终点 C 的矢量  $\overrightarrow{AC}$  就代表了合力  $F_R$ ,如图 1-3b) 所示。

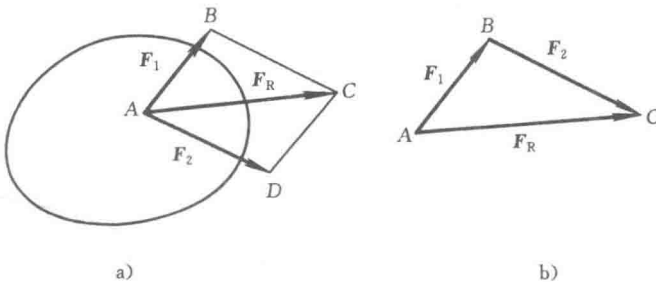


图 1-3 力的平行四边形法则与三角形法则

三角形法则与分力的次序无关。即也可先作  $F_2$ ,再从  $F_2$  的终点作  $F_1$ ,所得合力相同。但应注意,力三角形只表明力的大小和方向,并不表示力的作用点或作用线。