



普通高等教育“十二五”规划教材（高职高专教育）

工程力学（第二版）

■ 张 斌 陈德俊 主编



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS



普通高等教育“十二五”规划教材（高职高专教育）

工 程 力 学（第二版）

主 编 张 斌 陈德俊
编 写 党宏伟
主 审 韩小平



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

内 容 提 要

本书为普通高等教育“十二五”规划教材（高职高专教育）。

本书分为两部分，四篇，24章，第一部分中静力学篇包括静力学基础、平面汇交力系、力矩与力偶、平面任意力系、摩擦、空间力系、重心与形心，运动学篇包括点的曲线运动、刚体的基本运动、点的合成运动、刚体的平面运动，动力学篇包括质点动力学基本方程、刚体绕定轴转动的动力学基本方程、动静法、动能定理、动量定理、机械振动基础；第二部分中材料力学篇包括轴向拉伸和压缩、剪切和挤压、圆轴的扭转、梁的弯曲、应力状态、强度理论及组合变形时的强度计算，压杆稳定，综合练习题；附录部分为型钢规格表。此外，每章末都附有小结并给出了题量、难度适当的习题，书后给出了部分习题答案，便于教学与自学。

本书可作为高职高专院校电厂热能动力装置专业、发电厂及电力系统专业、高压输配电专业、供用电专业的教材，也可作为土建类、水利类专业的教材，还可作为相关工程技术人员参考用书。

图书在版编目（CIP）数据

工程力学/张斌，陈德俊主编. —2版. —北京：中国电力出版社，2011.7

普通高等教育“十二五”规划教材·高职高专教育

ISBN 978-7-5123-1950-9

I. ①工… II. ①张…②陈… III. ①工程力学—高等职业教育—教材 IV. ①TB12

中国版本图书馆 CIP 数据核字（2011）第 150466 号

中国电力出版社出版、发行

（北京市东城区北京站西街 19 号 100005 <http://www.cepp.sgcc.com.cn>）

汇鑫印务有限公司印刷

各地新华书店经售

*

2008 年 11 月第一版

2011 年 9 月第二版 2011 年 9 月北京第二次印刷

787 毫米×1092 毫米 16 开本 22 印张 534 千字

定价 37.50 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

本书是一本适用性强、实用性好、贴近现场实际、可以满足教学要求的好教材。

随着高等教育管理体制改革的深入和高等教育规模的扩大，高等职业教育蓬勃发展。本书是根据高等职业技术教育发展的要求及读者使用第一版教材后提出的建议而进行修订的。修订后仍保持了第一版教材的特点，即内容精练简明、突出应用、联系实际、方便教学、实用性强等。本次修订对各章的部分例题进行了替换和更新，对部分章节进行了删减，对重要的部分进行了重点阐明和论述，以便更加结合工程实际状况。并且每章末都附有小结并给出了题量、难度适当的习题，书后给出了习题答案，这样即方便教学又利于自学。

本书由西安电力高等专科学校张斌、河南电力技师学院陈德俊担任主编。张斌编写了第一～五章、第八～十五章，陈德俊编写了第十八～二十四章及附录，党宏伟（西安电力高等专科学校）编写了第六～七章、第十六～十七章。张斌负责全书的统稿。

西北工业大学教授、博士生导师韩小平担任本书主审，并提出了许多宝贵的意见。同时本书还参考了许多专家学者的文献资料。在此一并致谢。

限于编者水平，书中难免存在一些不妥之处，恳请读者批评指正。

编 者

2011 年 5 月

第一版前言

本教材是为了适应电力类高职、高专学校教学需要，考虑到高职、高专学校学生的实际水平和培养目标，根据多年来的教学实践，并依照全国高职、高专学校“工程力学教学大纲”编写的。可作为电厂热能动力装置专业（108学时）工程力学通用教材。可作为发电厂及电力系统专业、高压输配电专业、供用电专业的教学用书和工程技术人员的参考书。

本书内容包括两大部分：理论力学和材料力学。理论力学由静力学、运动学和动力学三部分组成。材料力学包括杆件的基本变形（拉伸和压缩、剪切和挤压、扭转、弯曲），应力状态和强度理论，杆件的组合变形，压杆稳定等部分。为了提高学用结合能力，培养综合分析和解决问题的能力，我们在最后一章增加了综合练习。

本书在阐述工程力学基本原理的基础上，注意从工程实际提出问题，重点介绍了工程力学的基本概念、基本理论和基本计算方法。并尽可能结合电力生产实际，选择了较多的应用型例题，并详细介绍了分析问题、解决问题的思路和方法。每章末都附有小结并给出了题量、难度适当的习题，书后给出了习题答案，这样既方便教学又利于自学。

本教材理论力学部分由西安电力高等专科学校张斌编写；材料力学部分由河南电力技师学院陈德俊编写。由张斌负责全书的统稿，修改和定稿。

全书由西北工业大学教授、博士生导师韩小平主审。在本书的编写过程中，西安电力高等专科学校退休教师夏成炎、刘明远、陶春然、李赋荣、吴绍莲等同志提供了大量编写素材并提出了许多宝贵意见。在此一并表示衷心感谢。

限于编者水平，书中难免存在一些不妥之处，恳请读者批评指正。

编者

2008年6月

目 录

前言

第一版前言



第一部分 理论力学

第一篇 静力学

第一章 静力学基础	2
第一节 静力学基本概念	2
第二节 静力学基本公理	3
第三节 约束与约束反力	6
第四节 受力分析与受力图	9
小结	12
思考题与习题	13
第二章 平面汇交力系	16
第一节 平面汇交力系合成与平衡的几何法	16
第二节 平面汇交力系合成与平衡的解析法	19
小结	23
思考题与习题	24
第三章 力矩与力偶	27
第一节 力矩的概念和计算	27
第二节 合力矩定理	29
第三节 力偶的概念	30
第四节 力偶的基本性质	30
第五节 平面力偶系的合成与平衡	32
小结	34
思考题与习题	34
第四章 平面任意力系	38
第一节 力的平移定理	38
第二节 平面任意力系向已知点简化	39
第三节 平面任意力系的平衡方程	43
第四节 物体系统的平衡、静定和静不定问题的概念	48
小结	52
思考题与习题	52

第五章 摩擦	57
第一节 滑动摩擦	57
第二节 摩擦角和自锁	59
第三节 考虑摩擦时的平衡问题	61
第四节 滚动摩擦的概念	63
小结	65
思考题与习题	66
第六章 空间力系	70
第一节 垂直汇交三力的合成, 力沿空间直角坐标轴的分解和投影	71
第二节 空间汇交力系的合成与平衡方程	73
第三节 力对轴之矩	75
第四节 空间任意力系的平衡方程	77
小结	78
思考题与习题	79
第七章 重心与形心	83
第一节 平行力系中心	83
第二节 重心和形心	85
第三节 物体重心位置的求法	86
小结	90
思考题与习题	91

第二篇 运 动 学

第八章 点的曲线运动	93
第一节 用自然法研究点的曲线运动	94
第二节 用直角坐标法研究点的曲线运动	98
小结	102
思考题与习题	103
第九章 刚体的基本运动	105
第一节 刚体的平行移动	105
第二节 刚体的定轴转动	106
第三节 转动刚体上各点的速度和加速度	109
小结	112
思考题与习题	113
第十章 点的合成运动	116
第一节 绝对运动、相对运动和牵连运动	116
第二节 速度合成定理	117
小结	121
思考题与习题	122

第十一章 刚体的平面运动..... 125

第一节 平面运动的概念 125

第二节 平面运动分解为平动和转动 126

第三节 平面图形上各点的速度 127

第四节 瞬时速度中心 129

小结 132

思考题与习题 133

第三篇 动 力 学

第十二章 质点动力学基本方程..... 138

第一节 动力学基本定律 138

第二节 质点运动微分方程 140

第三节 质点动力学两类问题 141

小结 145

思考题与习题 145

第十三章 刚体绕定轴转动的动力学基本方程..... 148

第一节 质点系的质心、外力与内力 148

第二节 刚体绕定轴转动的动力学基本方程 149

第三节 转动惯量 150

第四节 刚体绕定轴转动的动力学基本方程的应用 153

小结 157

思考题与习题 157

第十四章 动静法..... 160

第一节 质点的惯性力和达朗伯原理 160

第二节 质点系的达朗伯原理 162

第三节 刚体惯性力系的简化 163

第四节 转子的静平衡和动平衡 167

小结 169

思考题与习题 169

第十五章 动能定理..... 172

第一节 力的功..... 172

第二节 功率、机械效率 177

第三节 质点动能定理 178

第四节 质点系动能定理 180

小结 185

思考题与习题 186

第十六章 动量定理..... 189

第一节 质点动量定理 189

第二节 质点系动量定理	192
第三节 质心运动定理	196
小结	197
思考题与习题	198
第十七章 机械振动基础	200
第一节 质点的自由振动	200
第二节 阻尼对自由振动的影响——衰减振动	205
第三节 强迫振动	206
第四节 隔振与减振概念	210
小结	211
思考题与习题	212

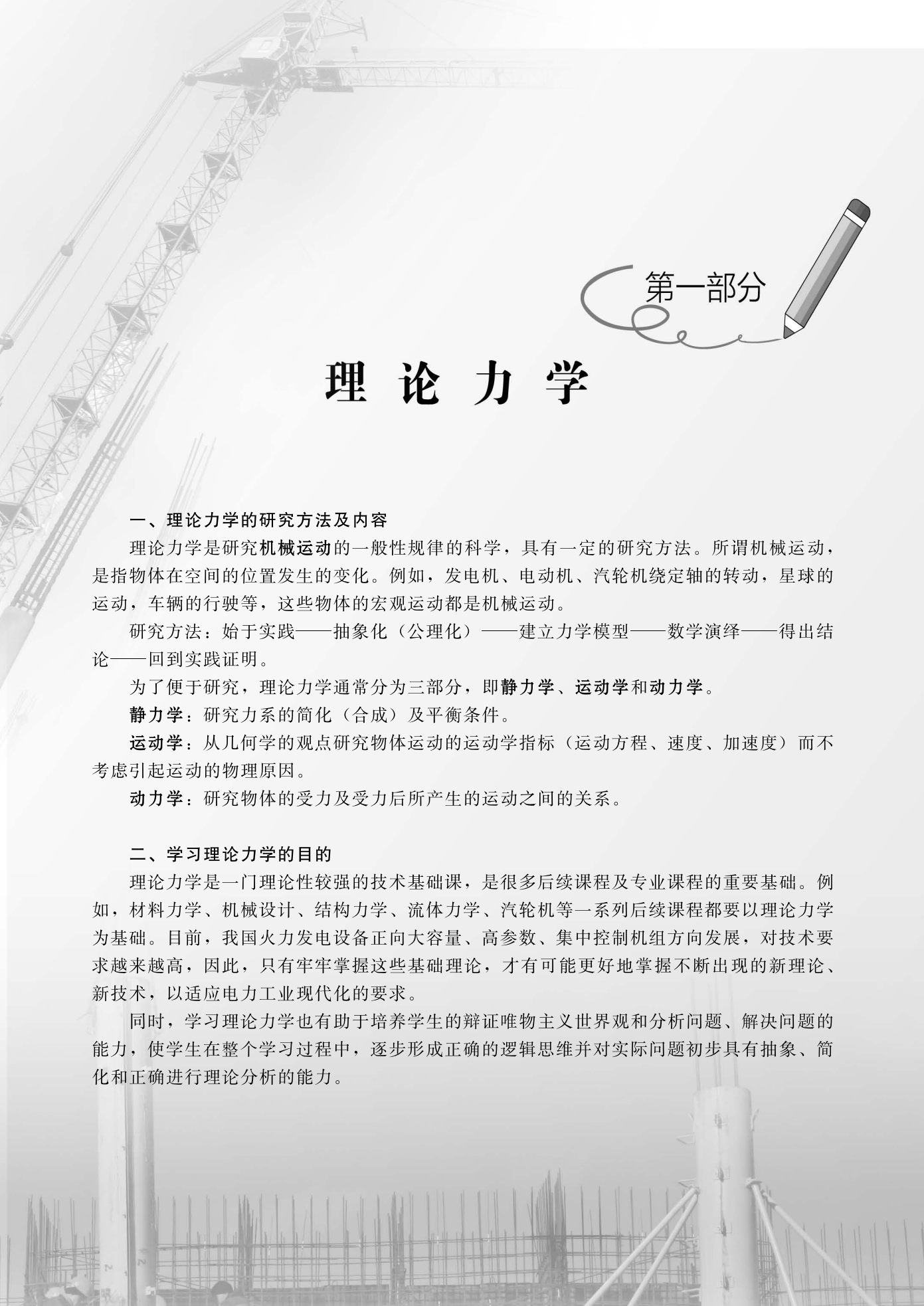


第二部分 材料力学

第四篇 材料力学

第十八章 轴向拉伸和压缩	215
第一节 轴向拉伸和压缩的概念	215
第二节 拉（压）杆横截面上的内力和应力	215
第三节 斜截面上的应力分析	220
第四节 拉（压）杆的变形和胡克定律	221
第五节 材料在拉伸和压缩时的力学性能	224
第六节 拉（压）杆的强度计算	227
第七节 轴向拉伸（压缩）杆的静不定问题	230
第八节 应力集中的概念	233
小结	234
思考题与习题	234
第十九章 剪切和挤压	239
第一节 剪切的实用计算	239
第二节 挤压的实用计算	241
第三节 剪切胡克定律	243
小结	244
思考题与习题	244
第二十章 圆轴的扭转	247
第一节 扭转的概念	247
第二节 圆轴扭转时横截面上的内力	247
第三节 圆轴扭转时横截面上的应力	249
第四节 圆轴扭转时的强度计算	253
第五节 圆轴扭转时的变形和刚度计算	256
小结	259

思考题与习题	260
第二十一章 梁的弯曲	262
第一节 梁弯曲的概念	262
第二节 梁弯曲时横截面上的内力	262
第三节 梁纯弯曲时横截面上的正应力	271
第四节 梁弯曲时的强度计算	275
第五节 提高梁抗弯能力的措施	279
第六节 梁的变形及刚度计算	282
小结	285
思考题与习题	286
第二十二章 应力状态、强度理论及组合变形时的强度计算	291
第一节 应力状态	291
第二节 强度理论	296
第三节 组合变形时的强度计算	300
小结	307
思考题与习题	308
第二十三章 压杆稳定	312
第一节 压杆稳定的概念	312
第二节 确定临界力的欧拉公式	313
第三节 临界应力、欧拉公式的适用范围及经验公式	313
第四节 压杆稳定计算	315
第五节 提高压杆稳定性的措施	317
小结	319
思考题与习题	319
第二十四章 综合练习题	321
第一节 联轴器的强度计算	321
第二节 传动轴的强度计算	321
第三节 结构的强度和稳定性计算	322
第四节 起重机强度计算	323
附录 型钢规格表	325
部分习题答案	332
参考文献	340



第一部分

理论力学

一、理论力学的研究方法及内容

理论力学是研究**机械运动**的一般性规律的科学，具有一定的研究方法。所谓机械运动，是指物体在空间的位置发生的变化。例如，发电机、电动机、汽轮机绕定轴的转动，星球的运动，车辆的行驶等，这些物体的宏观运动都是机械运动。

研究方法：始于实践——抽象化（公理化）——建立力学模型——数学演绎——得出结论——回到实践证明。

为了便于研究，理论力学通常分为三部分，即**静力学**、**运动学**和**动力学**。

静力学：研究力系的简化（合成）及平衡条件。

运动学：从几何学的观点研究物体运动的运动学指标（运动方程、速度、加速度）而不考虑引起运动的物理原因。

动力学：研究物体的受力及受力后所产生的运动之间的关系。

二、学习理论力学的目的

理论力学是一门理论性较强的技术基础课，是很多后续课程及专业课程的重要基础。例如，材料力学、机械设计、结构力学、流体力学、汽轮机等一系列后续课程都要以理论力学为基础。目前，我国火力发电设备正向大容量、高参数、集中控制机组方向发展，对技术要求越来越高，因此，只有牢牢掌握这些基础理论，才有可能更好地掌握不断出现的新理论、新技术，以适应电力工业现代化的要求。

同时，学习理论力学也有助于培养学生的辩证唯物主义世界观和分析问题、解决问题的能力，使学生在整个学习过程中，逐步形成正确的逻辑思维并对实际问题初步具有抽象、简化和正确进行理论分析的能力。

第一篇 静 力 学

静力学研究物体在力作用下的平衡规律。

所谓**平衡**，是物体机械运动的一种特殊形式。在工程上是指物体相对于地球静止或作匀速直线运动。应注意，运动是绝对的，而平衡、静止则是相对的。例如，地面上的房屋相对于地球是静止的，但它随着地球的自转和公转又在运动着。

在工程实际中，有些物体总是同时受到许多力的作用而处于平衡状态，我们把同时作用于同一物体上的一群力，称为**力系**。静力学就是研究物体在力系作用下处于平衡状态时，这些力应满足的条件。因此，在静力学中将主要研究两类问题。

(1) **力系的简化**。它是指把作用在物体上的较复杂的力系，用一个最为简单的与其作用效应相等的力系来代替。

(2) **力系的平衡条件**。它是指物体处于平衡状态时，作用于物体上的力系所应满足的条件。

其中，以研究力系的平衡条件为静力学的主要问题。当然，研究力系的简化，不仅仅是为了在静力学中导出力系的平衡条件，也是为动力学的研究打下基础。

第一章 静 力 学 基 础

第一节 静力学基本概念

一、力的概念

力的概念是人们在长期的生产劳动和生活实践中逐步形成的。例如，我们用手推、举、掷物体时，由于肌肉的紧张收缩，感到了对物体施加了“力”，因而使物体的运动状态发生变化。随着生产的发展，实践的丰富，人们逐步又认识到物体间互相作用的结果，也会使物体产生运动状态的改变或使物体变形。例如，机车牵引车厢由静止进入运动，锻锤对锻件的冲击力使锻件改变形状等。这样人们对力的感性认识，通过归纳、概括和科学的抽象，上升到理性认识的阶段，形成了力的科学概念，即：**力是物体之间的相互机械作用，这种作用使物体的运动状态发生改变，或使物体变形**。力使物体运动状态发生改变的效应，称为力的**外效应**。而力使物体发生变形的效应，称为力的**内效应**。理论力学只研究力的外效应，力的内效应将在材料力学中研究。

由实践可知，力对物体作用的效应取决于以下三个因素。

(1) **力的大小**：指物体间相互作用的强弱程度。度量力的大小的单位，在国际法定计量单位制中，力的单位用牛顿，简称为牛（N）；或千牛顿，简称为千牛（kN）。

(2) **力的方向**：通常包括力的作用线方位和力箭头的指向两个含义。例如，说重力的方向是“铅垂朝下”，“铅垂”是力作用线的方位，“朝下”是力箭头的指向。

(3) **力的作用点**：指物体受力作用的地方，它实际上不是一个点而是一块面积，不过当

作用面积很小时就可以近似地看成一个点，而作用在这个点上的力称为**集中力**，这个点称为力的**作用点**。

如果改变以上力的三要素中的任一因素，也就改变了力对物体作用的效应。所以，要确定一个力，必须说明它的大小、方向和作用点。力既然是一个有大小和方向的量，那么显然力是**矢量**。它可以用一条带箭头的直线段来表示，如图 1-1 所示。其中线段的长度按一定的比例尺（即单位长度代表多少牛顿）表示力的大小，线段的方位（例如与水平线成夹角 θ ）和箭头的指向表示力的方向，线段的起点或终点表示力的作用点（见图 1-1 中 A 点）。通过力的作用点沿力矢画出的直线（见图 1-1 中 KL），称为力的**作用线**。

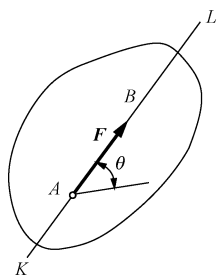


图 1-1 力的图示

在本书中，凡是矢量都用在字母均用黑斜体（如 $\mathbf{F}$ ）来表示，书写时为了方便采用 $\mathbf{F}$ 等来表示。

二、平衡的概念

对于一般的工程问题，**平衡**指的是机械运动的一种特殊运动状态：若物体相对于惯性参考系（地面或地球）保持静止或作匀速直线运动。

三、刚体的概念

在工程实际中的许多物体，在力的作用下，它们的变形一般都非常微小，因此，在很多情况下，物体这些微小的变形，对于平衡问题的研究影响很小，可以忽略不计，而把物体视为**刚体**。所谓刚体，就是在外力作用下，大小和形状始终保持不变的物体。在理论力学中，所研究的物体都是刚体。

显然，在自然界中，任何物体受力作用后都将发生变形，刚体实际上是不存在的，它只是对实际物体抽象化得到的理想力学模型。这样的抽象化，将使静力学问题的研究大为简化。但是，在所研究的问题中，当变形占主要地位时（例如在材料力学中），就不能再把物体视为刚体了。

如果一个力系作用在刚体上，使物体处于平衡状态，这种力系称为**平衡力系**。

若一个力系对物体的作用，能用另一个力系来代替，而不改变对物体的作用效果，则这两个力系互为**等效力系**。

若一个力与一个力系等效，则这个力称为这个力系的**合力**，力系中每一个力称为这个合力的**分力**。

第二节 静力学基本公理

静力学公理，是人类在长期的生活和生产实践中所积累起来的经验加以抽象、归纳总结而建立的，它概括了力的一些基本性质，是静力学全部理论的基础。

一、二力平衡公理

作用在同一刚体上的两个力，使刚体平衡的必要和充分条件是：这两个力的大小相等、方向相反、作用在同一直线上（简称等值、反向、共线）。

图 1-2 所示为一刚体 AB 受到两个力作用并满足本公理的两情况。其中图 1-2 (a) 所示为刚体直杆受拉力；图 1-2 (b) 所示为刚体直杆受压力，而图 1-2 (c) 所示刚体为曲杆。

这个公理对于刚体是必要和充分的，但对于变形体只是必要条件而非充分条件。例如，软绳的两端如果受的是大小相等、方向相反的拉力可以平衡；如果是压力则不能平衡。

在两个力作用下并处于平衡状态的物体称为二力体，如果物体是个杆件，也称二力杆件，简称二力杆。图 1-2 所示各杆均为二力杆。

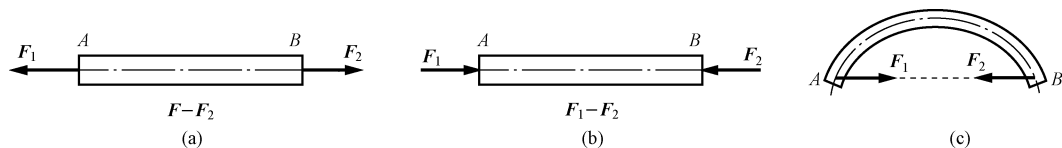


图 1-2 二力杆

(a) 直杆受拉力；(b) 直杆受压力；(c) 曲杆二力杆

此公理揭示了最简单的力系平衡条件。它是处理复杂力系平衡的基础。

二、加减平衡力系公理

在作用于刚体上的任意一个力系中，加上或去掉任何一个平衡力系，并不改变原力系对刚体的作用。

推论 1 力的可传性原理

作用在刚体上的力可沿其作用线在刚体内或刚体的延伸部分移动，而不改变该力对刚体的作用。

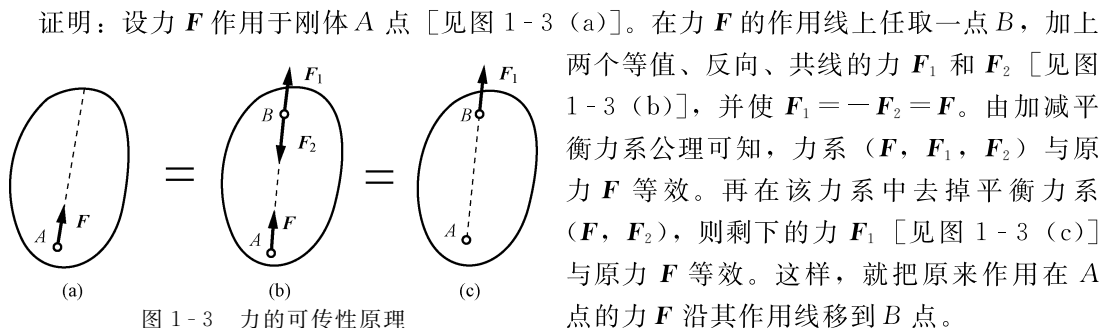


图 1-3 力的可传性原理

(a) 力 F 作用于刚体 A 点；(b) 力 F_1 和 F_2 ；

(c) 去掉平衡力系

证明：设力 F 作用于刚体 A 点 [见图 1-3 (a)]。在力 F 的作用线上任取一点 B ，加上两个等值、反向、共线的力 F_1 和 F_2 [见图 1-3 (b)]，并使 $F_1 = -F_2 = F$ 。由加减平衡力系公理可知，力系 (F, F_1, F_2) 与原力 F 等效。再在该力系中去掉平衡力系 (F, F_2) ，则剩下的力 F_1 [见图 1-3 (c)] 与原力 F 等效。这样，就把原来作用在 A 点的力 F 沿其作用线移到 B 点。

必须指出，力的可传性原理只适用于刚体，而不适用于变形体。由此可知，作用于

刚体上的力的三要素又可表示为：力的大小、方向和作用线。因此，力矢是滑移矢量。

此公理是研究力系等效的重要依据。

三、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作用于该点的一个合力，它的大小和方向由这两个力的矢量为邻边所构成的平行四边形的对角线来表示 [见图 1-4 (a)]。

以 F_R 表示力 F_1 和 F_2 的合力，则按平行四边形法则相加，这个公理可表示为

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

即，作用于物体上同一点两个力的合力，等于这两个力的矢量和。

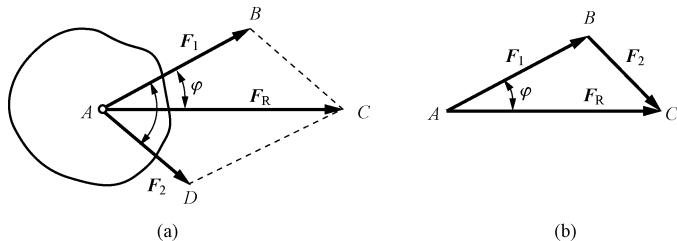


图 1-4 力的平行四边形公理

(a) 力的平行四边形；(b) 力的三角形

从图 1-4 (a) 可以看出, 在求共点两个力的合力时, 只要作出力的平行四边形的一半就可以了。从力 F_1 的矢量 $\overrightarrow{AB}$ 的终点 B , 作力 F_2 的矢量 $\overrightarrow{BC}$ [见图 1-4 (b)], 连接 A 、 C 两点, 即得合力 F_R 的矢量 $\overrightarrow{AC}$, 三角形 ABC 称为力三角形; 而这种求共点两个力的合力的方法称为力三角形法则。合力 F_R 的大小和方向可由图 1-4 上量得。如需精确解, 则可应用余弦定理计算。

推论 2 三力平衡汇交定理

如一刚体在三个共面而又互不平行的力作用下处于平衡状态, 则此三力的作用线或作用线的延长线必汇交于一点。

证明: 设刚体上 A 、 B 、 C 三点作用有共面力 F_1 、 F_2 、 F_3 (见图 1-5)。根据力的可传性原理, 将 F_1 、 F_2 移至汇交点 O , 并根据力的平行四边形公理, 将 F_1 、 F_2 合成为合力 F_R 。现在刚体上只有两个力 F_3 与 F_R 的作用; 而 F_R 必须与 F_3 平衡。由二力平衡公理可知, F_R 与 F_3 必在同一直线上, 所以 F_3 作用线必通过 O 点。于是, F_1 、 F_2 、 F_3 均汇交于 O 点。

根据推论 2, 若三个力中已知两个力的汇交点及第三个力的作用点, 即可判断定出第三个力作用线的方位。

此公理给出了力系简化的基本方法。

另外, 平行四边形公理是力的合成法则, 也是力的分解法则。

四、作用与反作用公理

一个物体对另一物体有一作用力时, 另一物体对此物体必有一反作用力。这两个力大小相等, 方向相反, 沿同一直线, 而分别作用在这两个物体上。

这个公理概括了任何两物体间相互作用的关系。不论物体是静止的或者运动着, 该公理都成立。只要有作用力, 必定有反作用力; 没有反作用力, 必定也没有作用力。两者总是同时存在, 又同时消失。

应该注意, 尽管作用力与反作用力大小相等, 方向相反, 沿同一直线, 但它们并不互成平衡力, 更不能把这个公理与二力平衡公理混淆起来。因为作用力与反作用力分别作用在两个相互作用的物体上; 而二力平衡公理中的两个力是作用在同一物体上的。

此公理概括了物体间相互作用的关系, 表明作用力与反作用力成对出现, 并分别作用在不同的物体上。

【例 1-1】一物体重 W , 用绳子吊在天花板上 [见图 1-6 (a)]。试分析:

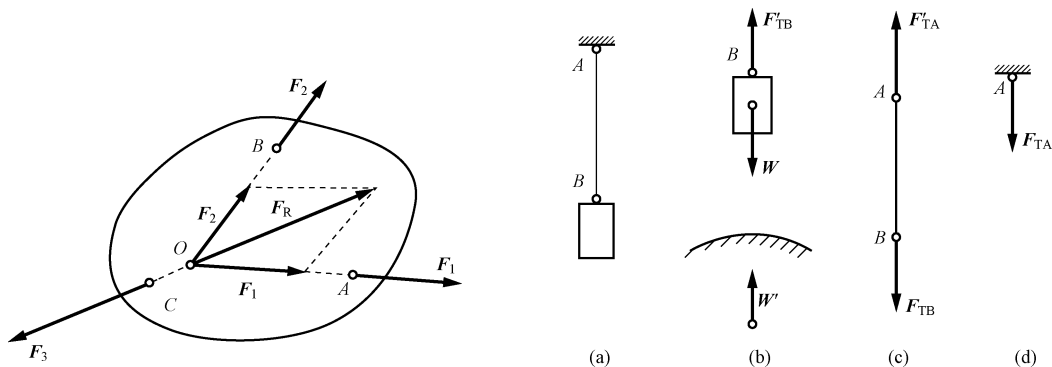


图 1-5 三力平衡汇交定理

图 1-6 重物、地球、绳子、天花板之间相互作用

(a) 重物、绳子及天花板; (b) 重物及地球受力;
(c) 绳子受力; (d) 天花板受力

(1) 各相互作用物体的作用力和反作用力。

(2) 指出哪些是平衡力。

【解】 重物与地球、重物与绳子以及绳子与天花板之间都互相作用。

(1) 重物与绳子有作用力 F_{TB} ，作用在绳子的端点 B [见图 1-6 (c)]；同时绳子对重物有一个反作用力 F'_{TB} ，作用在重物的 B 点 [见图 1-6 (b)]，且 $F_{TB} = F'_{TB}$ ，其方向相反。另外重物还受到地球的引力 W （即重力）的作用，这是地球对重物的作用力；同时重物也对地球有一个反作用力 W' ，作用在地球的中心 [见图 1-6 (b)]，且 $W = W'$ ，其方向相反。同样，绳子对天花板也有作用力 F_{TA} ，作用在天花板的 A 点 [见图 1-6 (d)]，其反作用力 F'_{TA} ，作用在绳子的 A 点 [见图 1-6 (c)]，且 $F_{TA} = F'_{TA}$ ，其方向相反。

(2) F'_{TB} 与 W ， F'_{TA} 与 F_{TB} 为平衡力。

第三节 约束与约束反力

用绳索悬挂的重物、沿钢轨运行的火车等，因为受到绳索和钢轨的限制，使其在某些方向的运动成为不可能，则重物和火车都称为非自由体，而阻碍非自由体运动的限制物称为约束。上述绳索是重物的约束，钢轨是火车的约束。约束通常是通过物体间的直接接触形成的。

既然约束限制着物体的运动，那么，当物体沿着约束所能限制的方向有运动或运动趋势时，约束对物体必然有力的作用，以阻碍物体的运动，这种力称为约束反力，简称反力。约束反力的方向总是与约束所能阻止的物体的运动或运动趋势的方向相反，它的作用点就在约束与被约束物体的接触点，它的大小可以通过计算求得。

在物体上，除约束反力以外，还有主动力。凡能主动引起物体运动或使物体有运动趋势的力，称为主动力。例如，重力、风力、水压力和物体受到的推力、拉力等。主动力在工程中也称为载荷。通常主动力是已知的，约束反力是未知的。

在静力学中，我们经常需要求出约束反力，这些约束反力的确定，一方面与主动力的情况有关，同时也与约束的类型有关。所以，下面介绍在工程中常见的几种约束类型及其约束反力的特性 [重点说明如何确定约束反力的作用线、方向（箭头指向），约束力的大小由后面平衡方程求解]。

一、柔体约束

由柔软的绳索、链条或皮带等所形成的约束，称为柔体约束。由于柔体的约束只能限制物体沿着柔体的中心线伸长方向的运动，而不能限制物体其他方向的运动，所以它们的约束反力是作用在接触点，作用线沿柔性体轴线，方向（箭头指向）背离被约束物体，是离点而去的力，即柔体的约束反力恒为拉力。

例如用钢绳吊起一汽轮机盖（见图 1-7），钢绳对汽轮机盖的约束反力为 F_{TB} 及 F_{TC} ，它们分别沿钢绳中心线而背离汽轮机盖。

同理，可以确定在皮带传动中皮带加于皮带轮的约束反力都是拉力。如图 1-8 (b) 所示，皮带对Ⅰ轮的约束反力为 F_{T1} 及 F_{T2} ，皮带对Ⅱ轮的约束反力为 F'_{T1} 及 F'_{T2} 。

二、光滑接触面（刚性约束）

物体与光滑支承面接触时，不论接触面是平面还是曲面，这种约束只能限制物体沿着接

触面的公法线而指向支承面的运动,但不能限制物体沿着支承面或离开支承面的运动。因此,约束反力作用在接触点处,作用线沿公法线,方向(箭头指向)指向被约束的物体,是向点而来的力。约束反力如图 1-9 (a) 所示的 F_N 和图 1-9 (b) 所示的 F_{NA} 。

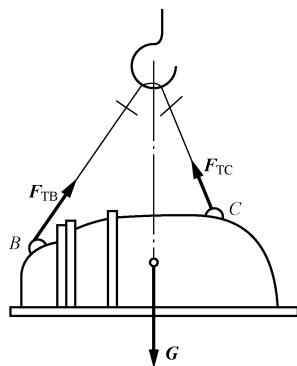


图 1-7 汽轮机盖受力

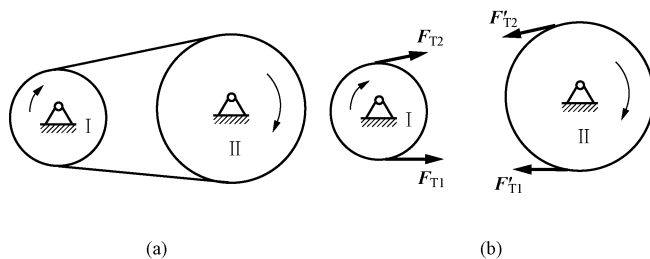


图 1-8 皮带传动

(a) 皮带传动示意图; (b) 皮带传动受力图

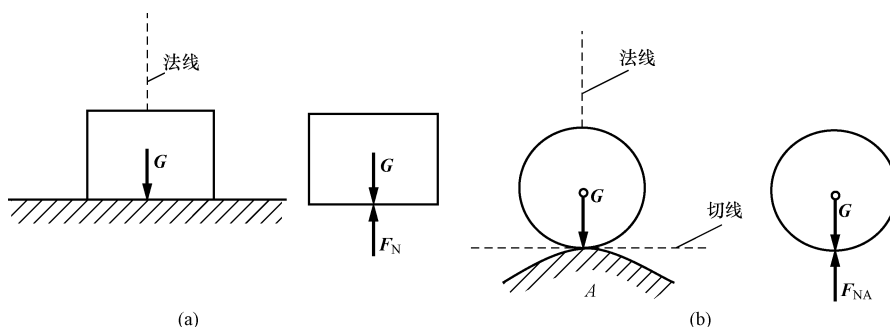


图 1-9 光滑接触面约束

(a) 重物受光滑接触面约束; (b) 球在 A 点受光滑接触面约束

三、圆柱铰链和铰链支座

圆柱铰链亦称**铰链**,在工程中常用以连接构件或零部件。它是由一个圆柱形销钉插入物体两个圆孔中构成的,其简图如图 1-10 (a)、(b)、(c) 所示。

如果销钉是光滑的,那么销钉只限制 A、B 两构件的相对移动,而不能限制两构件绕销钉的转动,工程中常称其为**中间铰链**。因此,中间铰链的约束反力作用在圆孔和销钉的接触点,垂直于销钉轴线,并通过销钉中心,而方向待定,通常将其表示为大小未知的两个正交分力,或者一个大小和方向均未知的力。即正交分解,箭头指向假定。

如图 1-10 (d) 所示的 F_{NC} ,这种约束反力有两个未知量(大小和方向)。在实际应用中,常用两个互相垂直且通过铰链中心的分力 F_{NCx} 、 F_{NCy} 来代替 [见图 1-10 (e)]。

如果用销钉将一构件与支座连接,就构成了**铰链支座**。若支座在支承面上是固定不动的,称**固定铰链支座** [见图 1-11 (a)],其简图如图 1-11 (b) 所示。铰链允许物体 A 绕球心 O 转动,不能沿半径移动。则约束反力通过销钉中心 O,方向不能预先确定,通常用两个正交分力 F_{NAx} 、 F_{NAy} 来表示。即正交分解,箭头指向假定 [见图 1-11 (c)]。