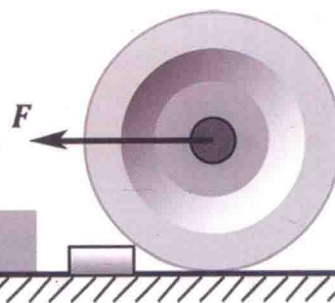




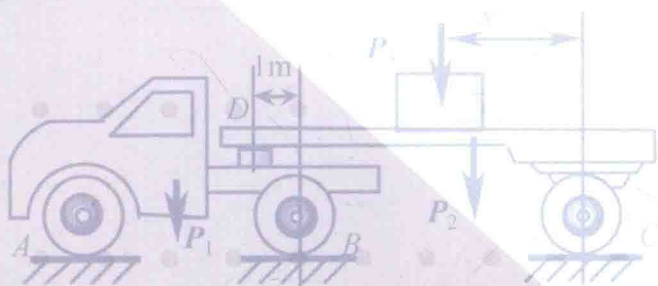
普通高等教育农业部“十二五”规划教材
全国高等农林院校“十二五”规划教材

理论力学

LILUN LIXUE



任述光 王业成 主编



 中国农业出版社

普通高等教育农业部“十二五”规划教材
全国高等农林院校“十二五”规划教材

理论力学

任述光 王业成 主编

中国农业出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

理论力学 / 任述光, 王业成主编. —北京: 中国农业出版社, 2014. 8

普通高等教育农业部“十二五”规划教材 全国高等农林院校“十二五”规划教材

ISBN 978-7-109-19200-3

I. ①理… II. ①任… ②王… 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 (2014) 第 164270 号

中国农业出版社出版

(北京市朝阳区麦子店街 18 号楼)

(邮政编码 100125)

策划编辑 薛波

文字编辑 马颀晨

北京中科印刷有限公司印刷 新华书店北京发行所发行
2014 年 8 月第 1 版 2014 年 8 月北京第 1 次印刷

开本: 787mm×1092mm 1/16 印张: 19.25

字数: 455 千字

定价: 34.50 元

(凡本版图书出现印刷、装订错误, 请向出版社发行部调换)

内 容 简 介

本教材根据高等农林院校学生特点，注重内容的编排和素材的选取，着眼基本概念及基本理论的理解与应用，培养学生利用理论力学的基本原理分析和解决工程实际问题的能力。内容包括静力学（含静力学公理及物体的受力分析、平面汇交力系、平面任意力系、空间力系、摩擦等）、运动学（含点的运动学、刚体的基本运动、点的复合运动、刚体的平面运动等）及动力学（含质点动力学的基本方程、动量定理、动量矩定理、动能定理、达朗贝尔原理、虚位移原理等）。讲授全书内容约需 70 学时，其中加 * 的章节，各校可根据专业需要选取。

教材编写过程中力求做到概念表达准确，理论推导严谨，语言精练，结构编排紧凑，叙述深入浅出，逻辑严密。例题的编排由浅入深，分析做到举一反三，既阐明了解题的思路和步骤，又有启迪和较为典型的代表性。每章后有与正确理解本章基本概念相关的思考题及强化定理、定律、公式理解应用的练习题。

本书可作为高等院校工科类专业理论力学课程的教材，也可供有关工程技术人员参考和作为高等教育自学教材。

主 编 任述光 王业成

副主编 吴明亮 刘中华

编 委 (按姓名笔画排序)

王业成 (东北农业大学)

王新忠 (黑龙江八一农垦大学)

冯辉荣 (福建农林大学)

乔金丽 (河北工业大学)

任述光 (湖南农业大学)

刘中华 (山西农业大学)

闫志琴 (晋中学院)

杨 晶 (山西大学)

吴明亮 (湖南农业大学)

张 岚 (湖南农业大学)

陈 霖 (四川农业大学)

薛晋霞 (山西农业大学)

魏 刚 (湖南农业大学)

前 言

理论力学是高等院校理工科专业必修的专业基础课，其中的理论和方法既可以解决工程实际问题，又是学习其他相关专业课程的基础。理论力学涵盖面广，内容包罗万象，不同专业所讲授的内容和深度相去甚远。高等农林院校中工科专业的理论力学课程教学又有其区别于其他类型院校的要求。同时，随着教学改革不断深入，理论力学教学课时普遍减少，而对提高大学生综合素质方面的要求越来越高。这些都是本教材编写的推动力。本书在编写过程中，始终以适应教学形势、满足上述教学需求为宗旨，不仅力求理论严谨，而且注重理论联系实际，做到逻辑清晰、内容精练、深入浅出，符合学生的认知规律。

全书由静力学、运动学、动力学三篇组成，重点阐述基本概念、基本理论，着眼于解决工程实际问题，培养学生逻辑思维能力和将所学知识应用于工程实际问题的能力。

讲授完全部内容约需 70 学时，书中带 * 号的内容，教师可根据本校、本专业的实际情况决定取舍。

本书可作为高等院校工科类专业理论力学课程的教材，也可供有关工程技术人员参考和作为高等教育自学教材。

本书编委会由湖南农业大学、东北农业大学、山西农业大学、黑龙江八一农垦大学、河北工业大学、福建农林大学、四川农业大学、山西大学、晋中学院等高等院校从事理论力学教学的一线骨干教师组成。具体分工是魏刚编写第一章，乔金丽编写第二章，冯辉荣编写第三章，杨晶编写第四章，陈霖编写第五章，刘中华编写第六章，张岚编写第七章，闫志琴编写第八章、第九章，吴明亮编写第十章，王新忠编写第十一章，王业成编写第十二章、第十五章，任述光编写第十三章，薛晋霞编写第十四章。全书由任述光负责

统稿，并对部分章节进行了补充和删减。

感谢湖南农业大学教务处和中国农业出版社对本教材出版给予的支持！

由于编者水平有限，加上时间仓促，书中难免有疏漏和不足之处，恳请各位同行专家和读者批评指正。

编者

2014年3月

目 录

前言

第一篇 静力学

第一章 静力学公理和物体的受力分析	3
第一节 静力学公理	3
一、静力学基本概念	3
二、静力学基本公理	5
第二节 约束和约束反力	8
第三节 物体的受力分析和受力图	12
思考题	16
习题	16
第二章 平面汇交力系与平面力偶系	19
第一节 平面汇交力系	19
一、平面汇交力系合成与平衡的几何法	19
二、平面汇交力系合成与平衡的解析法	21
三、平面力对点之矩的概念及计算	24
第二节 平面力偶理论	25
一、力偶与力偶矩	25
二、力偶的性质	26
三、平面力偶的合成和平衡条件	28
思考题	30
习题	31
第三章 平面任意力系	35
第一节 平面任意力系向作用面内一点的简化	35
一、力的平移定理	35
二、力系的主矢及向一点简化的主矩	36
第二节 平面任意力系的平衡条件和平衡方程	39

* 第三节 静定和超静定问题的概念	42
第四节 物体系统的平衡	43
* 第五节 平面桁架	47
一、桁架的基本概念	47
二、桁架内力的计算	48
思考题	51
习题	52
第四章 空间力系	56
第一节 空间汇交力系	56
一、力在空间直角坐标轴上的投影	56
二、空间汇交力系的简化和平衡	58
第二节 力对点之矩与力对轴之矩	60
一、力对点之矩	60
二、力对轴之矩	61
三、空间力对点之矩和力对轴之矩的关系	62
第三节 空间力偶	63
一、空间力偶的概念	63
二、空间力偶系的合成和平衡	63
第四节 空间任意力系向一点的简化主矢和主矩	65
一、空间任意力系向已知点的简化	65
二、简化结果分析	66
第五节 空间任意力系的平衡方程	69
第六节 重心	73
一、重心的概念	73
二、重心坐标公式	73
三、确定物体重心位置的方法	74
思考题	77
习题	78
第五章 摩擦	82
第一节 滑动摩擦	82
一、静滑动摩擦	82
二、动滑动摩擦	83
第二节 摩擦角和自锁	84
一、摩擦角	84
二、自锁	84
第三节 考虑摩擦时物体的平衡问题	86
第四节 滚动摩阻的概念	90
第五节 静力学综合	93
思考题	96

习题	97
第二篇 运动学	
第六章 点的运动学	103
第一节 运动学的基本介绍	103
第二节 矢量法	103
第三节 直角坐标法	105
第四节 自然法	107
思考题	112
习题	113
第七章 刚体的简单运动	116
第一节 刚体的平行移动	116
第二节 刚体绕定轴的转动	118
第三节 转动刚体内各点的速度和加速度	119
第四节 轮系的传动比	122
第五节 角速度和角加速度及速度和加速度的矢量表示	124
思考题	126
习题	126
第八章 点的合成运动	130
第一节 相对运动 牵连运动 绝对运动	130
第二节 点的速度合成定理	135
第三节 动参考系做平动时点的加速度合成定理	138
第四节 动参考系做定轴转动时点的加速度合成定理	143
思考题	148
习题	149
第九章 刚体的平面运动	155
第一节 刚体平面运动的概述和运动分解	155
一、刚体平面运动方程	155
二、平面运动分解为平动和转动	157
第二节 求平面图形内各点速度的基点法	158
第三节 求平面图形内各点速度的瞬心法	161
第四节 用基点法求平面图形内各点的加速度	165
第五节 运动学综合应用举例	170
思考题	173
习题	174

第三篇 动力学

第十章 质点动力学的基本方程	181
第一节 动力学的基本定律	181
第二节 质点的运动微分方程	184
第三节 质点动力学的两类基本问题	185
思考题	188
习题	189
第十一章 动量定理	193
第一节 动量与冲量	193
一、动量	193
二、冲量	193
第二节 动量定理	194
一、质点的动量定理	194
二、质点系的动量定理	194
三、质点系的动量守恒定律	196
第三节 质心运动定理	199
一、质量中心	199
二、质心运动定理	199
三、质心运动守恒定律	201
思考题	203
习题	205
第十二章 动量矩定理	209
第一节 质点和质点系的动量矩	209
第二节 动量矩定理	210
一、质点的动量矩定理	210
二、质点系的动量矩定理	211
三、动量矩守恒定律	212
第三节 刚体绕定轴转动微分方程	213
第四节 刚体对轴的转动惯量	214
*第五节 质点系相对质心的动量矩定理	219
一、质点系相对于质心的动量矩	219
二、相对于质心的动量矩定理	220
第六节 刚体平面运动微分方程	221
思考题	223
习题	224

第十三章 动能定理	229
第一节 力的功	229
一、常力在直线路程中的功	229
二、变力的功	230
三、常见力的功	231
第二节 质点和质点系的动能	234
第三节 动能定理	236
一、质点和质点系的动能定理	237
二、理想约束及内力做功	238
第四节 功率 功率方程 机械效率	242
一、功率	242
二、功率方程	242
三、机械效率	243
第五节 机械能守恒定律	244
第六节 普遍定理综合应用	247
思考题	256
习题	257
第十四章 达朗贝尔原理	263
第一节 惯性力 质点的达朗贝尔原理	263
第二节 质点系的达朗贝尔原理	265
第三节 刚体惯性力系的简化	265
一、惯性力系的主矢	266
二、惯性力系对简化中心的主矩	266
第四节 绕定轴转动刚体的轴承动约束力	271
思考题	274
习题	275
第十五章 虚位移原理	278
第一节 约束 虚位移 虚功	278
一、约束及其分类	278
二、自由度及广义坐标	280
三、虚位移与虚功	281
第二节 虚位移原理	282
思考题	287
习题	288
主要参考文献	292

第一篇

静力学

第一章 静力学公理和物体的受力分析

【内容提要】了解质点、质点系、刚体的概念。理解力、力系及平衡的概念以及合力与分力的概念。了解力系的等效替换。理解静力学的公理。掌握物体的受力分析步骤并能正确地画出物体受力分析图。掌握工程中常见的约束和约束反力的特点。掌握物体系统的受力分析并能正确地画出物体及各部分的受力图。

第一节 静力学公理

一、静力学基本概念

1. 质点、质点系与刚体 静力学研究的是物体机械运动的特殊形式，即物体的平衡。平衡是指物体相对于惯性参考系保持静止或做匀速直线运动的状态，平衡是机械运动的一种特殊形式。

在研究物体的机械运动时，如果物体大小和形状对于所研究的问题的影响可以不计，则可以把物体抽象为具有一定质量的点，称为质点。质点是抽象的力学概念，是实际物体的简化模型。如图 1-1 所示，当物体平衡时，若求绳索的拉力，物体可视为质点。物体能否抽象为质点主要取决于所研究问题的目标，如当研究卫星的轨道动力学时，卫星也可视为质点。

具有一定联系的若干个质点的集合称为质点系。质点系既可能是由有限个离散质点组成，如一堆沙子（将每粒沙子视为一个质点），也可能是由无穷多连续分布的质点组成的无穷质点系，如一般物体或物体组成的系统、运动的机构等。

实际的物体在力的作用下，都会产生程度不同的变形，因此一般的物体我们称之为可变形体或弹性体。但如果变形微小，对所研究物体的机械运动影响很小，为研究问题简单起见，我们可以忽略这些微小的变形，认为其没有发生变形。我们称这种受力作用后大小和形状保持不变的物体为刚体，其特征是物体内任意两点的距离始终保持不变。刚体是一个理想化的力学模型，是一种特殊的质点系，称为不变质点系。但是不应该把刚体的概念绝对化，例如，在研究飞机的平衡问题或飞行规律时，我们可以把飞机看作刚体，可是在研究飞机的颤振问题时，机翼等的变形虽然非常微小，但其变形对问题的研究是不能忽略的，必须把飞机看作弹性体。如图 1-2 所示，研究航天器轨道问题时，航天器可视为质点，当研究航天器姿态问题时，看作刚体，如研究其颤振，则需视为弹性体。

还有，在计算某些工程结构时，如果不考虑它们的变形，而仍使用刚体的概念，则问题将成为不可解的。理论力学中，静力学研究的物体只限于刚体，故又称刚体静力学，它是研究变形体力学的基础。

实际上，我们对工程实际中的物体进行力学分析的时候，通常都要忽略一些与所研究的

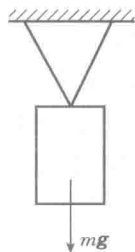


图 1-1



图 1-2

问题关系不大的次要因素，把握其主要因素，抽象出合理的力学模型，在满足工程精度要求的前提下尽量简化计算。

2. 力和力系 力的概念是从劳动中产生的。人们在生活和生产中，由于肌肉紧张收缩的感觉，逐渐产生了对力的感性认识。随着生产的发展，又逐渐认识到：物体的机械运动状态的改变（包括变形），都是由于其他物体对该物体作用的结果。这样，逐步由感性到理性，形成了力的概念。

力是物体间的相互机械作用，这种作用可使物体的运动状态发生改变，或使物体发生变形。力改变物体运动状态的效应称外效应，也称运动效应，使物体变形的效应称内效应，也称变形效应。

力对物体的作用效应决定于三个要素：力的大小、方向和作用点。在国际单位制（SI）中，力的单位是牛顿（N）或千牛顿（kN）。力的方向包括方位和指向，比如重力方向铅垂向下，“铅垂”是力的方位，“向下”是指向。力的作用点是指物体受力作用的点。相互接触的可变形物体，力实际上是作用在一小块面积上的，当作用面积很小时可近似看作一个点，而作用在这个点上的力称为集中力。点接触的刚体，其接触点就是力的作用点。

因为力是一个有大小和方向的量，所以是矢量。可以用一段带箭头的线段来表示力，如图 1-3 所示。其中线段的长度按一定的比例表示力的大小，线段的方位（例如与水平线所成的角度 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。过力的作用点沿力的矢量方位画出的直线（如图 1-3 中 KL），称为力的作用线。

作用在物体上的一组力称为力系。力系按作用线分布情况的不同可分为下列几种：当所有力的作用线在同一平面内时，称为平面力系；否则称为空间力系。当所有力的作用线汇交于同一点时，称为汇交力系；而所有力的作用线都相互平行时，称为平行力系；否则称为任意力系。

若两个力系对同一刚体的效应完全相同，则称这两个力系为等效力系，等效的两个力系可以相互代替，称为力系的等效替换。用一个简单的力系等效替换一个复杂的力系称为力系的简化。如果一个力同一个力系等效，则称这个力为力系的合力，力系中各力称为这个力的分力。能够使刚体保持平衡的力系称为平衡力系。但不能说不能使刚体保持平衡的力系就一定非平衡力系，因为刚体的平衡除与其受力有关外，还与其初始状态有关。

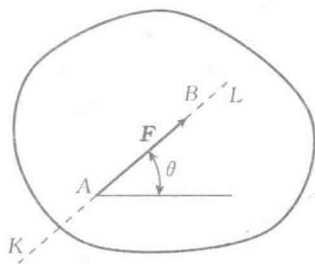


图 1-3

二、静力学基本公理

静力学公理是人们在长期的生活和生产实践中总结出来的力的基本性质，它们又经过实践的反复检验，被确认是符合客观实际的最普遍、最一般的规律。这些性质无需证明而为人们所公认，并可作为证明中的论据，是静力学的理论基础。

公理 1 二力平衡公理

作用在刚体上的两个力，使刚体保持平衡的必要和充分条件是这两个力的大小相等，方向相反，并作用于同一条直线上，称为二力平衡公理。如图 1-4 所示，即平衡的两个力 F_A 、 F_B 满足 $F_A = -F_B$ 且两力作用线共线。注意，这里的充分性是指对保持刚体平衡而言是充分的，也就是初始平衡的刚体，只受等值、反向、共线的两个力作用，一定可以维持刚体的平衡。对本教材中静力学平衡的充分性都要这样理解。

这个公理表明了作用于刚体上的最简单的力系平衡时所必须满足的条件。对于变形体来说，这个条件是必要的，但不是充分的。如图 1-5 所示，软绳受两个等值反向共线的拉力作用可以平衡，但若将拉力改变为压力就不能平衡了。

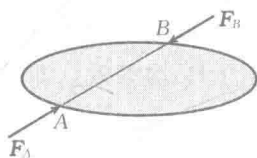


图 1-4



图 1-5

工程上常遇到只在两个力作用下处于平衡的构件，称为二力构件或二力杆。二力构件的受力特点是两力必沿作用点的连线，且等值反向，如图 1-6 中不计自重的 BC 杆。

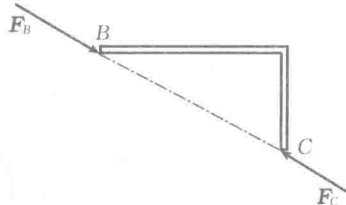
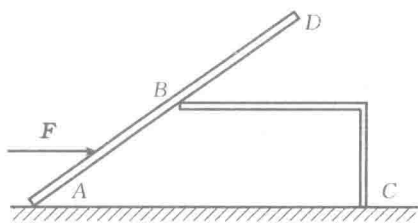


图 1-6

公理 2 加减平衡力系原理

在已知力系上加上或减去任意的平衡力系，并不改变原力系对刚体的效应。就是说，如果两个力系只相差一个或几个平衡力系，则它们对刚体的作用是相同的，因此可以等效替换。这个公理是研究力系简化及等效替换的重要依据。

公理 3 力的平行四边形法则

作用在物体同一点上的两个力，可以合成为一个合力。合力的作用点也在该点，合力的大小和方向，由这两个力矢量为邻边构成的平行四边形的对角线矢量确定，如图 1-7 所

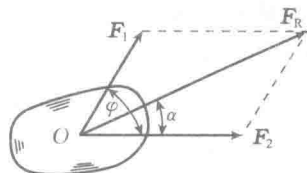


图 1-7