



“十三五”普通高等教育本科规划教材
高等院校机械类专业“互联网+”创新规划教材

理论力学

刘 军 阎海鹏 主编

教材预览、申请样书



北京大学出版社
PEKING UNIVERSITY PRESS

“十三五”普通高等教育本科规划教材
高等院校机械类专业“互联网+”创新规划教材

理论力学

主 编	刘 军	阎海鹏	
副主编	李跃宇	葛 藤	
参 编	张会霞	戴红娟	王振华



北京大学出版社
PEKING UNIVERSITY PRESS

内 容 简 介

本书是按照教育部关于工科理论力学的教学基本要求编写的。全书分为三篇：静力学、运动学和动力学。静力学部分主要讲述物体受力分析的方法和力系的简化与平衡，运动学部分主要从几何的观点论述质点和刚体的运动规律，动力学部分讨论物体的运动及受力的关系。本书内容涵盖了理论力学课程的基本要求，共 13 章，包括静力学公理及物体的受力分析、平面基本力系、平面任意力系、空间力系、摩擦、运动学基础、点的合成运动、刚体的平面运动、质点动力学的基本方程、刚体绕定轴转动的基本方程、质心运动定理与刚体平面运动的微分方程、动能定理、达朗贝尔原理。书后附有各章习题(计算题)部分答案。

本书可以作为工程力学课程中理论力学部分的教材，也可以作为中职 + 本科(3 + 4) 50 ~ 80 学时的理论力学课程的教材，还可作为相关专业的电大、夜大和函授的自学教材，并可供相关技术人员参考使用。

图书在版编目(CIP)数据

理论力学/刘军, 阎海鹏主编. —北京: 北京大学出版社, 2018. 1
(高等院校机械类专业“互联网+”创新规划教材)
ISBN 978-7-301-29087-3

I. ①理… II. ①刘… ②阎… 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(2017)第 328570 号

书 名	理论力学 Lilun Lixue
著作责任者	刘 军 阎海鹏 主编
策 划 编 辑	童君鑫
责 任 编 辑	黄红珍
数 字 编 辑	刘 蓉
标 准 书 号	ISBN 978-7-301-29087-3
出 版 发 行	北京大学出版社
地 址	北京市海淀区成府路 205 号 100871
网 址	http://www.pup.cn 新浪微博: @北京大学出版社
电 子 信 箱	pup_6@163.com
电 话	邮购部 62752015 发行部 62750672 编辑部 62750667
印 刷 者	北京大学印刷厂
经 销 者	新华书店
	787 毫米 × 1092 毫米 16 开本 17.5 印张 408 千字
	2018 年 1 月第 1 版 2018 年 1 月第 1 次印刷
定 价	45.00 元

未经许可，不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。

版权所有，侵权必究

举报电话：010-62752024 电子信箱：fd@pup.pku.edu.cn

图书如有印装质量问题，请与出版部联系，电话：010-62756370

前 言

本书是按照教育部关于工科理论力学的教学基本要求编写的。全书分为三篇：静力学、运动学和动力学。静力学部分主要讲述物体受力分析的方法和力系的简化与平衡，运动学部分主要从几何的观点论述质点和刚体的运动规律，动力学部分讨论物体的运动及受力的关系。本书内容涵盖了理论力学课程的基本要求，共 13 章，包括静力学公理及物体的受力分析、平面基本力系、平面任意力系、空间力系、摩擦、运动学基础、点的合成运动、刚体的平面运动、质点动力学的基本方程、刚体绕定轴转动的基本方程、质心运动定理与刚体平面运动的微分方程、动能定理、达朗贝尔原理。

理论力学是工科类专业一门重要的专业基础课。由于它的理论性强，逻辑严密，使得学生在学习本课程时感觉有一定的难度，因而在编写本书的过程中，我们强调基础知识，注意由浅入深，遵循由概念到理论的过程。本书力求简明实用，面向实际，突出应用性和适用性、易读易懂、便于自学的风格，重视教材运用的整合创新，摒弃无用的、归并重复的、删减多余的、更新过时的、整合相近的、增补先进的内容，有利于培养学生掌握基本理论和应用工程方法解决实际问题的能力。为了使学生更好地掌握本书的基本知识，每章安排了大量的练习题，包括思考题、判断题、填空题、选择题和计算题。这些练习题的安排注重基础性，同时又不失普遍性、典型性和新颖性。学生通过练习基本概念题，可以及时巩固学过的知识，理解书中的基本概念和定理；通过对计算题（书后附有部分计算题答案）的解答运算，可以提高应用知识解决实际问题的能力。

在本书的编写过程中，我们得到了淮海工学院机械工程学院和教务处领导，以及船舶工程系力学教师的大力支持，在此表示衷心感谢。

本书由刘军老师和阎海鹏老师担任主编，李跃宇老师和葛藤老师担任副主编，具体编写分工如下：第 1 章由张会霞编写；第 2 章由戴红娟编写；第 3 章由李跃宇编写；第 4、5、6、8、10、11 章由刘军编写；第 7 章由葛藤编写；第 9 章由王振华编写；第 12、13 章由阎海鹏编写；书中部分插图由程玉芹完成。

本书可以作为工程力学课程中理论力学部分的教材，也可以作为中职 + 本科（3 + 4）50 ~ 80 学时的理论力学课程的教材，还可作为相关专业的电大、夜大和函授的自学教材，并可供相关技术人员参考使用。

由于编者水平所限，书中难免存在不妥之处，敬请读者批评指正。

编 者

2017 年 11 月

目 录

绪论	1
----------	---

第一篇 静力学部分

第1章 静力学公理及物体的

受力分析

1.1 静力学的基本概念	7
1.1.1 刚体	7
1.1.2 平衡	7
1.1.3 力	7
1.2 静力学公理	8
1.3 约束与约束反力	10
1.3.1 柔性体约束(柔索约束)	10
1.3.2 光滑接触面约束	11
1.3.3 光滑铰链约束	12
1.4 物体受力分析和受力图	14
小结	18
思考题	19
习题	19

第2章 平面基本力系

2.1 平面汇交力系合成与平衡的 几何法	26
2.1.1 平面汇交力系合成的 几何法	27
2.1.2 平面汇交力系平衡的 几何条件	28
2.2 平面汇交力系合成与平衡的 解析法	30
2.2.1 力在轴上的投影	30
2.2.2 力在平面直角坐标系中的 投影与分解	31
2.2.3 平面汇交力系合成的 解析法	31
2.2.4 平面汇交力系平衡的 解析条件	32
2.3 平面力对点之矩	34

2.4 平面力偶系	35
2.4.1 力偶的概念	35
2.4.2 力偶的性质	35
2.4.3 平面力偶系的合成	36
2.4.4 平面力偶系的平衡	37
小结	38
思考题	39
习题	39

第3章 平面任意力系

3.1 力线平移定理	46
3.2 平面任意力系的简化	48
3.2.1 主矢与主矩	48
3.2.2 平面任意力系的简化结果 分析	49
3.2.3 合力矩定理	50
3.3 平面任意力系的平衡条件和 平衡方程	51
3.4 物体系统的平衡静定和静不定 问题	53
小结	57
思考题	58
习题	58

第4章 空间力系

4.1 空间汇交力系	66
4.1.1 力在直角坐标轴上的 投影	66
4.1.2 空间汇交力系的合成	67
4.1.3 空间汇交力系的平衡 条件	68
4.2 力对点之矩和力对轴之矩	68
4.2.1 力对点之矩	68
4.2.2 力对轴之矩	69



4.2.3	力对点之矩和力对过该点的轴之矩间的关系	70
4.2.4	合力矩定理	70
4.3	空间力偶	71
4.3.1	力偶矩以矢量表示——力偶矩矢	71
4.3.2	空间力偶系的合成与平衡条件	71
4.4	空间任意力系向一点简化——主矢和主矩	73
4.4.1	空间任意力系向一点简化	73
4.4.2	空间任意力系的简化结果分析	73
4.5	空间任意力系平衡方程	74
4.6	平行力系的中心与重心	77
4.6.1	平行力系的中心	77
4.6.2	重心	78
4.6.3	确定物体重心的方法	79
	小结	81

思考题	82
习题	82

第5章	摩擦	88
5.1	摩擦及其分类	90
5.1.1	摩擦现象	90
5.1.2	摩擦分类	90
5.2	滑动摩擦	90
5.2.1	静滑动摩擦力及最大滑动摩擦力	91
5.2.2	动滑动摩擦力	91
5.3	摩擦角和自锁现象	91
5.3.1	摩擦角	91
5.3.2	自锁现象	92
5.4	考虑摩擦时物体的平衡问题	93
5.5	滚动摩擦阻力的概念	97
	小结	98
	思考题	99
	习题	99

第二篇 运动学部分

第6章	运动学基础	107
6.1	运动学的基本概念	108
6.2	点的运动学	109
6.2.1	点的运动矢量表示法	110
6.2.2	点的运动直角坐标表示法	111
6.2.3	点的运动自然坐标表示法	112
6.3	刚体的平动	118
6.3.1	刚体的平动定义	118
6.3.2	刚体平动的运动特征	119
6.4	刚体绕定轴的转动	120
6.4.1	定轴转动刚体的转动方程、角速度和角加速度	120
6.4.2	定轴转动刚体内各点的速度和加速度	122
6.4.3	角速度及角加速度的矢量表示, 以矢积表示点的速度和加速度	125
	小结	127
	思考题	128

习题	129
章 点的合成运动	139
7.1 点的合成运动的基本概念	140
7.1.1 绝对运动、相对运动和 牵连运动	140
7.1.2 三种速度及加速度的 概念	141
7.1.3 合成运动的解析关系	142
7.2 点的速度合成定理	143
7.3 牵连运动为平动时点的 加速度合成定理	144
7.4 牵连运动为转动时点的 加速度合成定理	146
小结	151
思考题	151
习题	152

第8章	刚体的平面运动	157
8.1	平面运动概述	158
8.1.1	刚体平面运动的特征	158
8.1.2	刚体平面运动的简化	159

8.1.3 刚体平面运动方程	159	8.3.1 平面图形上速度瞬心	162
8.1.4 平面运动的分解	160	8.3.2 平面图形上速度瞬心的 求法	163
8.2 用基点法求平面图形内各点 速度	160	8.4 用基点法求平面图形内各点的 加速度	165
8.2.1 用基点法求平面图形内 一点的速度	160	8.5 运动学综合应用举例	168
8.2.2 速度投影定理	162	小结	170
8.3 用瞬心法求平面图形内各点 速度	162	思考题	171
		习题	171

第三篇 动力学部分

第9章 质点动力学的基本方程	181	第11章 质心运动定理与刚体平面 运动的微分方程	206
9.1 动力学的任务	182	11.1 质心及质心运动定理	207
9.2 动力学的基本定律	183	11.1.1 质量中心	207
9.3 质点运动微分方程	184	11.1.2 质心运动定理	207
9.3.1 质点运动微分方程三种 表示法	184	11.1.3 质心运动守恒定律	209
9.3.2 质点动力学的两类基本 问题	185	11.2 刚体平面运动微分方程	211
小结	189	小结	214
思考题	189	思考题	214
习题	190	习题	214
第10章 刚体绕定轴转动的 基本方程	193	第12章 动能定理	219
10.1 刚体绕定轴转动的动力学 基本方程	194	12.1 力的功	221
10.2 转动惯量	195	12.1.1 常力的功	221
10.2.1 转动惯量的概念	195	12.1.2 变力的功	221
10.2.2 均质简单形体的转动 惯量	196	12.1.3 常见力的功	221
10.2.3 回转半径	197	12.2 质点和质点系的动能	223
10.2.4 平行移轴公式	197	12.2.1 质点的动能	223
10.3 刚体转动动力学基本方程的 应用	198	12.2.2 质点系的动能	223
10.3.1 已知转动情况求力矩 (或力)	198	12.3 动能定理	225
10.3.2 已知力矩(或力)求转动 情况	200	12.3.1 质点的动能定理	225
小结	200	12.3.2 质点系的动能定理	225
思考题	201	12.3.3 理想约束及内力的功	226
习题	201	12.4 功率、功率方程及机械效率	230
		12.4.1 功率	230
		12.4.2 功率方程	230
		12.4.3 机械效率	230
		12.5 势力场、位能及机械能守恒 定律	231
		12.5.1 势力场	231
		12.5.2 位能	231
		12.5.3 机械能守恒定律	232



12.6 动力学普遍定理的综合应用	232	13.3.1 刚体作平动	249
小结	235	13.3.2 刚体作定轴转动	249
思考题	236	13.3.3 刚体作平面运动	251
习题	237	小结	254
第13章 达朗贝尔原理	243	思考题	254
13.1 惯性力及质点的达朗贝尔原理 ...	244	习题	254
13.1.1 惯性力的概念	244	各章习题(计算题)部分答案	260
13.1.2 质点的达朗贝尔原理 ...	245	参考文献	269
13.2 质点系的达朗贝尔原理	247		
13.3 刚体惯性力系的简化	248		

绪 论

1. 理论力学的研究对象

理论力学是研究物体机械运动一般规律的科学。

物体在空间的位置随时间而改变，称为机械运动。机械运动是人们生活和生产实践中最常见的一种运动。平衡是机械运动的特殊情况。

本课程研究速度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。理论力学研究的是这种运动中最一般、最普遍的规律，是各门力学分支的基础。

2. 研究内容

(1) 静力学——研究物体在力系作用下平衡的规律。

(2) 运动学——从几何角度研究物体的运动（如轨迹、速度、加速度等，不涉及作用于物体上的力）。

(3) 动力学——研究受力物体的运动与作用力之间的关系。

3. 研究方法

(1) 通过观察和实验，分析、归纳总结力学最基本的规律。

(2) 经过抽象化建立力学模型，形成概念。

(3) 经过逻辑推理和数学演绎，建立理论体系。

(4) 将理论用于实践，并在实践中验证和发展理论。

4. 学习目的

(1) 为解决工程问题打下一定的基础。工程专业一般都要接触机械运动问题。

(2) 为后续课程（如材料力学、机械原理、机械设计等）打下基础。

(3) 理论力学的研究方法有助于培养正确的分析、解决问题的能力。

5. 学习理论力学课程应注意的问题

(1) 本课程与物理学相比，理论力学的基本概念深化了，基本理论系统了，基本方法实用了。因此，同样的定理，用理论力学方法可以解决物理学中的力学问题，但反之未必。

(2) 理论力学系统性强，各部分环环相扣，学习时应循序渐进，及时拾遗补阙，要注



意正确理解有关力学概念的来源、含义和用途；注意有关理论公式推导的根据和关键，公式的物理意义及应用条件和范围；注意各章节的主次内容及在处理问题的区别和联系；注意温故知新，及时复习和常作小结。

(3) 有意识培养分析和解决问题的能力，要特别注意从工程实际中抽象力学问题，应用理论力学知识对提炼出的力学问题进行数学描述，并求解相应的数学问题，在分析中，既要定性的分析，又要做定量的计算，并能校核结果的正误。

(4) 对理论力学基本概念的理解和理论应用能力的提高是通过大量习题的求解逐步加深的。因此做一定量的习题是学好理论力学的重要环节。必须指出，习题应当在理解的基础上做，切忌不看书、不复习、为完成任务而埋头做题；有些习题要精做，一道题用多种方法做，这比用一种方法做多道题有收获，切忌贪多求快，不求甚解；要能从错题中吸取教训，不要放过一些似是而非的模糊概念，学会剖析、抓错和认错；习题书写要规范，要会用简练的工程语言解决实际问题。

第一篇

静力学部分



静力学是研究力系的简化及物体在力系作用下平衡条件的科学。

“平衡”是物体相对于惯性参考系保持静止或作匀速直线运动。平衡是物体运动的一种特殊形式。因此，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。

在静力学中，主要研究三个方面的问题：

(1) 物体的受力分析，即分析物体共受多少力及每个力的大小、方向和作用位置，以便对所研究的力系作初步了解。

(2) 力系的简化，即用一个简单的力系来等效替换一个复杂的力系，从而抓住不同力系的共同本质，明确力系对物体的总效果。

(3) 建立力系的平衡条件，即研究物体平衡时，作用在物体上的各种力系所需满足的条件。

静力学知识不仅是研究动力学和材料力学的基础，而且在工程技术中得到广泛的应用。因此，学习静力学有着十分重要的意义。

第1章

静力学公理及物体的受力分析



学习目标

通过本章的学习，掌握静力学的基本概念和静力学公理，能应用约束和约束反力的概念及约束的性质正确地分析物体的受力，能正确地画出物体的受力图。



学习要求

本章要求学生熟练掌握平衡、刚体和力的基本概念及力的性质，掌握静力学公理（包括推论），掌握约束的概念及常见约束的约束反力的特点，能够熟练地取出隔离体并正确地画出其受力图。



引例

力学是什么？力学是物理、化学和工程的根本。力学对科学和技术的贡献是巨大的。可是要对一个个具体的力学方面的成果进行估价，却是很困难的。譬如评价稻米，你可以对它的果实定价，说一斤米几块钱。稻的秆是稻草，也可以说一捆稻草几角钱。那么，根呢？它长在泥巴里。稻子割了，根没人要，只好翻转来，让它烂掉，做下一代的养料。力学对于工程就像是根，它的作用就是给技术输送养料，使新的技术出芽，生长，结出果实，可是它本身却卖不出钱来。力学对于科技的作用，又有点像普天下的母亲，孕育子女，这是不能用价格来衡量的。

力学是研究物质机械运动规律的科学。什么是物体的机械运动呢？一般来说，机械运动指物体位置和形状随时间而变化。它既包括物体的移动、转动、流动和变形，也包括静止（静止是运动的一种特殊情况）。“力学”在英语中叫 Mechanics，有机械和工具的意义；汉语中的“力学”一词字面上是力的科学，已没有机械的意义了。

人们对力的认识，最初是与人们在劳动中的推、拉、压等活动中的肌肉紧张、疲劳的主观感觉联系在一起的，随后又由实践和推理，逐渐认识到物体之间也存在力的作用。

两千多年以前的春秋时期，我国有位叫墨翟的著名学者，他有一部有名的著作，叫作《墨经》。他指出“力，刑之所奋也”。这里，“刑”同“形”，指人体或物体，而“奋”



字表示物体由静到动、由慢到快的过程。由此可见，墨家已将力与运动联系起来了，并初步认识到力是使物体运动状态发生变化的原因。这个认识与后来牛顿在他的名著《自然哲学的数学原理》中总结的力学第二定律是相吻合的。

静力学是从公元前3世纪开始发展，到公元16世纪伽利略奠定动力学基础为止。这期间因农业、建筑业的要求，以及同贸易发展有关的精密衡量的需要，推动了力学的发展。阿基米德（约前287—前212）可认为是静力学奠基人之一。在他的关于平面图形的平衡和重心的著作中，创立了杠杆理论，并且奠定了静力学的主要原理。著名的意大利艺术家、物理学家和工程师达·芬奇（1452—1519）应用力矩法解释了滑轮的工作原理；应用虚位移原理的概念来分析起重机构中的滑轮和杠杆系统。荷兰物理学家斯蒂文（1548—1620）于1586年出版了《静力学原理》，论证了力合成的平行四边形法则，对力的分解、合成与平衡有了比较系统的认识。法国力学家伐里农（1654—1722）在1687年出版的著作《新力学大纲》中，第一次对力矩的概念和运算规则做出科学的说明，静力学才真正完备起来。法国力学家潘索（1777—1859）发展了几何静力学，于1803年写成《静力学原理》，首次提出力偶的概念，提出了任意力系的简化和平衡理论，以及约束的定义及解除约束原理。从而建立了静力学的体系。

万丈高楼平地起，世界上任何一种建筑物、结构、机械都是在基础上建成的，而这种基础就是力学中的约束。但实际结构是很复杂的，完全按照结构的实际工作状态进行力学分析是不可能的，也是不必要的。因此，对实际结构进行力学计算以前，必须加以简化。简化应遵循的原则：结构应能反映实际结构的受力和变形性能；同时又要方便计算，即保留主要因素，略去次要因素。本章讨论的约束就是将工程的实际支撑情况进行简化，它为后续章节提供了必要的力学分析平台。

学完本章后，可以将图1.01所示的支座进行合理的简化。

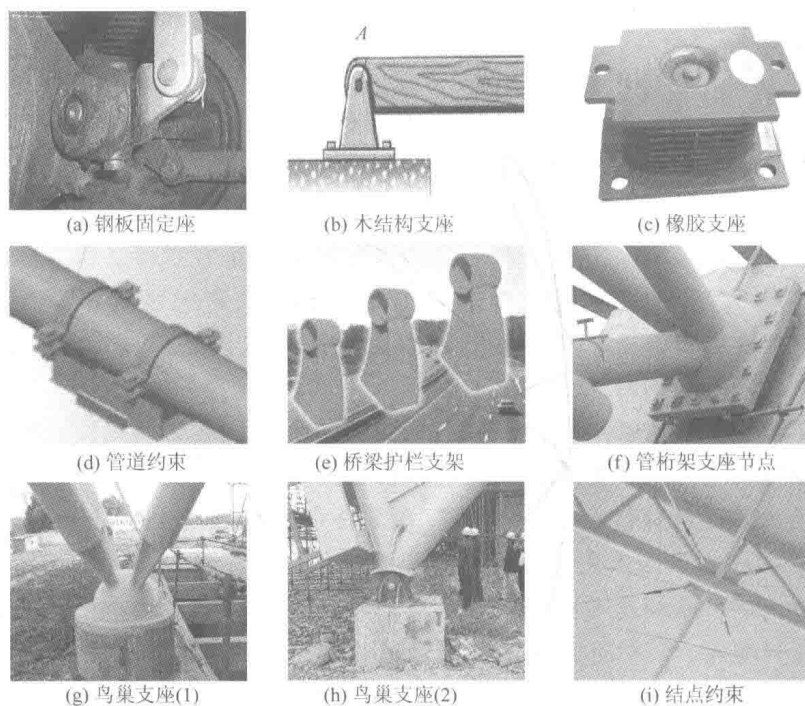


图 1.01

1.1 静力学的基本概念

静力学研究物体在力系作用下的平衡规律。它包括物体的受力分析、力系简化、各种力系的平衡条件等内容。

力系是指作用在物体上的一群力。在保持力系对物体作用效果不变的条件下,用另一个力系代替原力系,称为力系的等效替换。这两个力系互为等效力系。若一个力与一个力系等效,则称此力为该力系的合力,而该力系的各力称为此力的分力。

用一个简单力系等效替换一个复杂力系,称为力系的简化。通过力系的简化可以容易地了解力系对物体总的的作用效果。在一般情况下,物体在力系的作用下未必处于平衡状态,只有当作用在物体上的力系满足一定的条件时,物体才能平衡。物体平衡时作用在物体上的力系所满足的条件,称为力系的平衡条件。满足平衡条件的力系称为平衡力系。力系的简化是建立平衡条件的基础。平衡力系可以简化,非平衡力系也可以简化。因此,力系简化方法在动力学中也得到了应用。

1.1.1 刚体

刚体是指在任意力(或力系)作用下不变形的物体。其特点表现为物体受力后内部任意两点的距离始终保持不变。这是一种理想化的力学模型。实际上,物体受力后均会产生不同程度的变形。但当变形十分微小,对所研究的问题不起主要作用时,可以略去不计,这样可使问题大为简化。在静力学中,所研究的物体只限于刚体,故又称为刚体静力学。

1.1.2 平衡

平衡是指物体相对惯性参考系静止或作匀速直线平移。它是物体机械运动的一种特殊状态。凡对牛顿运动定律成立的参考系称为惯性参考系,在工程技术问题中,常把固连于地球上的参考系视为惯性参考系。这样,平衡是指物体相对地球静止或作匀速直线平移的状态。

1.1.3 力

力是物体间相互的机械作用,这种作用对物体产生两种效应,即引起物体机械运动状态的变化和使物体产生变形,前者称为力的外效应或运动效应,后者称为力的内效应或变形效应。物体对物体的施力方式有两种:一种是通过物体间的直接接触而施力;另一种是通过力场对物体施力。

实践表明,力对物体的作用效果取决于力的大小、方向和作用点三个要素,简称力的三要素。力的大小指物体之间机械作用的强度。在国际单位制中,力的单位是N(牛顿)或kN(千牛顿)。力的方向表示物体的机械作用具有方向性。力的方向包括力的作用线方位和力沿作用线的指向。力的作用点是指物体间机械作用的位置。物体相互接触发生机械作用时,力总是分布在一定的面上。如果力作用的面积较大,这种力称为分布力。反之,如果力作用的面积很小,可以近似地看成作用在一个点上,这种力称为集中力,此点称为力的作用点。用通过力的作用点表示力的方位的直线称为力的作用线。

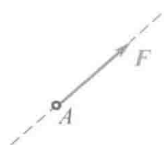


图 1.1

力的三要素表明力是矢量，并且为定位矢量。它可以用一条具有方向的线段表示。如图 1.1 所示：线段的长度按一定的比例尺表示力的大小，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，而与线段重合的直线表示力的作用线。本书中矢量的符号用粗斜体表示，如图 1.1 中作用于 A 点的力用矢量 $\boldsymbol{F}$ 表示。

1.2 静力学公理

静力学公理是人们关于力的基本性质的概括和总结，它们是静力学理论的基础。公理是人们在生活和生产活动中长期积累的经验总结，又经过实践的反复检验，证明是符合客观实际的最普遍、最一般的规律。

公理 1 力的平行四边形公理

作用在物体上同一点的两个力，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为边构成的平行四边形的对角线确定，如图 1.2(a) 所示。或者说，合力矢等于两个分力矢的矢量和，即

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

力的平行四边形也可演变成为力三角形，由它能更简便地确定合力的大小和方向，如图 1.2(b) 或图 1.2(c) 所示，而合力作用点仍在汇交点 A 。

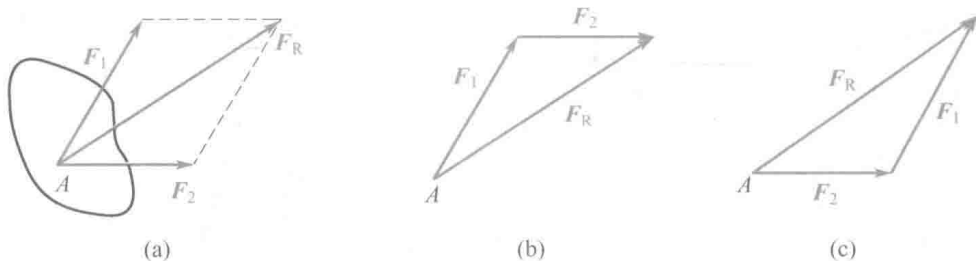


图 1.2

这个公理表明了最简单力系的简化规律，它是复杂力系简化的基础。

公理 2 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与充分条件是：这两个力大小相等，方向相反，且作用在同一条直线上。如图 1.3 所示的刚体在力 $\boldsymbol{F}_1$ 和 $\boldsymbol{F}_2$ 作用下平衡，则有 $\boldsymbol{F}_1 = -\boldsymbol{F}_2$ 。

该公理给出了作用在刚体上的最简单的力系平衡时所必须满足的条件，它是以后推证平衡条件的基础。这个条件对于刚体是充分必要的；对于变形体只是必要而不是充分的。

只在两个力作用下平衡的构件，称为二力构件（简称二力杆）。由二力平衡公理可知，二力杆所受的两个力必定沿两力作用点的连线，且等值、反向。在工程实际中经常遇到二力杆，比如不考虑自重而只在两端受约束反力而平衡的构件就是二力杆。

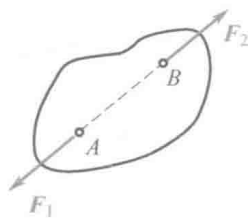


图 1.3

公理3 加减平衡力系公理

在同一刚体已知力系上加上或减去任意的平衡力系，并不会改变原力系对刚体的作用效果。该公理提供了力系简化的重要理论基础。

根据公理3可以导出下列推论：

推论1 力的可传性定理

作用在同一刚体上的力，可以沿其作用线移到刚体内任意一点，而不改变该力对刚体的作用效果。

证明：如图1.4(a)所示的刚体，在点A受力 F 作用。若在力 F 的作用线上任一点B加上一平衡力系 F' 、 F'' ，且使 $F'' = -F' = F$ ，如图1.4(b)所示。由于 F 与 F' 构成一平衡力系，将此平衡力系去掉后，可得到作用于B点的力 F'' ，如图1.4(c)所示。由于 $F'' = F$ ，所以原作用于A点的力 F 可以沿其作用线移到B点。推论证毕。

由此可见，作用在刚体上的力的三要素可表示为力的大小、方向和作用线。作用于刚体上的力可以沿着作用线移动，这种矢量称为滑动矢量。

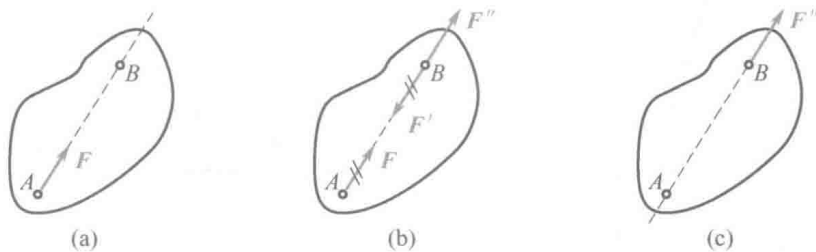


图1.4

推论2 三力平衡汇交定理

当刚体在三个力作用下处于平衡时，若其中任何两个力的作用线相交于一点，则第三个力的作用线也必交于同一点，且三个力的作用线共面。

证明：设有三个互相平衡的力 F_1 、 F_2 、 F_3 分别作用于刚体上的三个点A、B、C。已知 F_1 和 F_2 的作用线交于点O，根据力的可传性，将力 F_1 和 F_2 移到汇交点O。根据力的平行四边形法则，得 F_1 和 F_2 的合力 F_{12} ，则 F_3 应与 F_{12} 平衡。由于两力平衡必需共线，所以，力 F_3 必定与力 F_1 和 F_2 共面，且通过力 F_1 和 F_2 的汇交点O。推论证毕。

三力平衡汇交定理说明了不平行的三个力平衡的必要条件。在画物体的受力图时，若已知两个力的作用线，可用此定理来确定第三个力的作用线的方位。但是，值得注意的是，三力汇交是刚体平衡的必要条件，但非充分条件。

公理4 作用与反作用公理

作用力和反作用力总是同时存在，两力的大小相等，方向相反，沿同一直线分别作用在两个相互作用的物体上。由于作用力和反作用力分别作用在两个不同的物体上，这两个力并不能构成平衡力系，所以必须把作用与反作用公理与二力平衡公理区别开来。

这个公理概括了自然界物体间相互作用的关系。它表明作用力与反作用力总是成对出现。在对两个相互作用的物体分别进行受力分析时，必须遵循该公理。

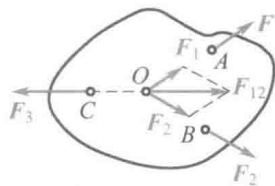


图1.5