

普通高等教育“十三五”规划教材

理论力学

第3版

曹咏弘 主编



 机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

普通高等教育“十三五”规划教材

理论力学

第3版

主 编 曹咏弘
参 编 常列珍 高经武 关学锋
李海涛 孙东华 薛春霞



机械工业出版社

本书是根据教育部基础力学课程教学指导分委员会制定的《理论力学课程教学基本要求(A类)》编写而成的。本书重视概念的明确和理论的严谨,应用实例丰富,思考题富有趣味性,是一本特色鲜明的教材。

全书共3篇17章,包括静力学基础、力系的简化、力系的平衡条件及其应用、点的运动学、刚体的基本运动、刚体的平面运动、复合运动、刚体的定点运动和一般运动、质点运动微分方程及其应用、动量定理和动量矩定理、动能定理及其应用、达朗贝尔原理、虚位移原理、拉格朗日方程、碰撞、机械振动基础、理论力学问题的计算机分析简介等内容。

本书可作为高等院校机械、土建、水利、航空和力学等专业的理论力学或工程力学课程教材,也可作为有关技术人员的自学用书。

图书在版编目(CIP)数据

理论力学/曹咏弘主编.—3版.—北京:机械工业出版社,2017.8
普通高等教育“十三五”规划教材
ISBN 978-7-111-57545-0

I. ①理… II. ①曹… 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180781号

机械工业出版社(北京市百万庄大街22号 邮政编码100037)

策划编辑:李永联 责任编辑:李永联 姜凤

责任校对:肖琳 封面设计:路恩中

责任印制:孙炜

北京振兴源印务有限公司印刷

2017年8月第3版第1次印刷

169mm×239mm·28.5印张·573千字

标准书号:ISBN 978-7-111-57545-0

定价:48.00元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

电话服务

服务咨询热线:010-88379833

读者购书热线:010-88379649

网络服务

机工官网:www.cmpbook.com

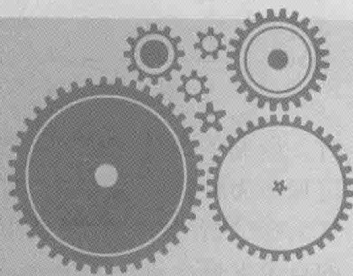
机工官博:weibo.com/cmp1952

教育服务网:www.cmpedu.com

封面防伪标均为盗版

金书网:www.golden-book.com

第3版前言



本书是我们在多年教学研究、改革的基础上，结合中北大学力学学科部的教学经验编写而成的。上一版的出版已经过去多年，随着新技术的不断涌现，将新技术与教学相结合，解决理论力学教学中表现突出的学时少、教学任务重的矛盾，做到既节省授课学时，又不降低课程的基本要求，同时能充分利用碎片时间帮助学生进行有效学习，是我们常年思考的问题。多年的教学实践使我们认识到，对于本科的教学内容，课程体系改革要从整体人才培养目标出发来更新教学内容和优化课程体系。通过研究与实践，我们对第2版教材进行了较大力度的改革，主要表现在以下几个方面：

1. 静力学部分基本保留原书的体系，但将原来的“摩擦”一章改编为“考虑摩擦时的平衡问题”一大节内容，之所以这样改，是考虑到这部分内容的本质仍是在讲平衡问题，只是增加了摩擦力。另外，对一些概念做了修订，比如“平面内力对点之矩”这个概念，上一版说它是代数量，但这是值得商榷的，因为不管是平面内力对点之矩还是空间力对点之矩，都是力对点之矩，而力对点之矩不可能既是矢量又是代数量，所以本书认为平面内力对点之矩也是矢量，只不过在平面力系的特殊情况下，这个矢量始终垂直于力所在的平面，如果规定了正方向，通过投影的正负号就可以知道平面内力对点矢量的方向。这个概念的改写导致了与此相关的静力学内容全部重写，尤其是平面力系的平衡。

2. 运动学部分改动较大。运动学采用了两条主线去研究。一是将矢量方法贯彻到底，将刚体平面运动一章也采用矢量方法描述，而不需要先讲复合运动然后才能讲刚体平面运动。大多数理论力学教材都是采用矢量方法研究点的运动、刚体的定轴转动、刚体的定点运动的，而刚体的平面运动则采用复合运动的方法，对于这一点，我们一直觉得很奇怪，也在多年前就和其他主要作者探讨过，但由于各种原因一直未能动笔去写；二是将复合运动的方法贯彻到底，采用复合运动的方法，不仅研究点的复合运动，还研究刚体的复合运动。先采用矢量方法研究清楚点的运动和刚体运动，在此基础上再研究点的复合运动和刚体的复合运动，学生就能掌握各种运动间的关系，进而更深刻地认识运动。

3. 在动力学部分，将平面运动刚体对某点动量矩的计算提到了概念部分讲授，这样，学生一开始就能够对平面运动刚体对某点的动量矩概念及计算有一个全面的认识，而不是只让学生记公式。这样做也会使动量矩定理的讲授更流畅。但本书并没有引入惯量张量来一般地描述动量矩，而是在动平衡一节稍加涉及，这样做是为了不增加一般院校学生学习的难度而又能满足基本的工程需要。在讲授动量矩定理

时,研究了在惯性系和非惯性系中对任意动点的动量矩定理,而将对质心的动量矩定理作为特例,这样做的好处是使学生可以更灵活地应用。

在分析力学中,将约束进行了更为细致的分类,将完整约束下和非完整约束下的自由度概念进行了统一,即用独立的虚位移个数定义自由度,这样做的好处是可以和后续的课程统一。

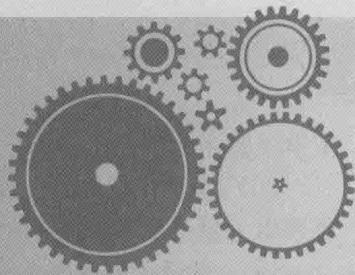
在多年的课程建设中,我们还积累了一些自制的理论力学课程视频和动画,将这些视频和动画上传到网络,可方便学生自学及课后复习;同时为了方便同行教师选用,本书还配有相应的 CAI 课件。

本书由曹咏弘担任主编,并负责总体框架的设计和全书的统稿工作。力学学科部的大部分教师都参加了本书的编写,具体分工为:前言,绪论,第 1~3、6、13、17 章由曹咏弘执笔;第 4、5 章由孙华东执笔;第 7、8 章由李海涛执笔;第 9、12 章由常列珍执笔;第 10、11 章由高经武执笔;第 14、15 章由薛春霞执笔;第 16 章及附录由关学峰执笔,本书全部动画由关学峰负责制作。

限于编者的水平和经验,书中还会有不少缺点和错误,恳请同行专家和广大读者批评指正。

编者

第2版前言



理论力学是高等理工科院校的一门重要的技术基础课，是后续力学课程和其他相关专业课程的基础。随着中国高等教育的发展，不同学校和专业对理论力学课程提出了不同的要求，并且理论力学课程的学时也有所减少；同时，教育技术及手段的发展，使得突破传统的限制，将教学改革深入进行下去成为可能。编写本书的主要目的是适应当前国内教学改革的需要，既用较少的时间讲授理论力学的基本内容，又不降低课程的基本要求；同时，适度地将教学内容深化，以适应学科的发展和工程的需要。为此，多年来，本书作者带领中北大学力学系理论力学课程组的老师们进行了一系列的教学改革，这些改革的内容大多体现在本书中。

本书第1版于2004年出版，经过5年的使用，我们收到不少教师和学生的意见，在本次修订中，我们充分考虑了这些意见，新教材基本保留了第1版的体系，但具体内容有所调整。新教材具有如下一些特点：

(1) 静力学部分基本保留了第1版的体系，全篇分为静力学基础、力系的简化、力系的平衡条件及其应用和考虑摩擦的平衡问题共四章。结合使用的经验及反馈意见，我们将其中部分内容重新进行了改编，第1版教材中力系简化这部分内容过于理论化，新教材将这一部分处理得比较实用和通俗易懂。同时将力偶的概念及性质前移到静力学基础里，更体现其基础性。新教材更加强调通俗易懂，以适应一般工科院校的学生使用。

(2) 运动学部分较好地处理了与大学物理内容的衔接，精简了内容，在运动分析中，真正加强了分析法的应用，使分析法与几何法并重，但由于分析法的应用必须考虑约束方程，所以我们把分析法的应用放到理论力学的数值分析一章去讲，这样做既分解了难点，又不觉得突兀。

(3) 拓宽了内容的深广度。除了保留第1版教材的刚体定点运动、一般运动、陀螺近似理论以外，还增加了理论力学的数值方法一章，这一章内容是我们对2004年以来教改内容的总结，从科研的经验看，这部分是必须教给学生的内容，是解决复杂问题的重要手段。

(4) 动力学部分的处理仍然沿用了第1版的将动量定理和动量矩定理合为一章，利于学生更好地理解动力学理论，但将原来的以矩心为动点的动量矩定理和以矩心为质心的动量矩定理两节内容合为一节，并把以矩心为质心的动量矩定理作为以矩心为动点的动量矩定理的一个特例，这样做节省了篇幅。此外，去掉了动量定理和动量矩定理在定常流体中的应用一节。

(5) 改正了第1版中的一些错误，并对其中的文字及符号进行了处理，以利

于学生将来更好地交流。

(6) 本书不仅强调了学生对于基础知识、基本理论、基本技能的掌握,而且还突出了培养学生利用数值方法解决实际问题的能力。

(7) 本书在内容的选取和章节的划分上,注意了不同层次课程的选用,适于作为高等工科院校机械、土建等专业各个层次的理论力学教材,亦可供其他专业和有关工程技术人员参考。

本书由王月梅、曹咏弘担任主编,并负责全书统稿。本书的绪论及第2章由王月梅执笔,第1、18章由曹咏弘执笔,第4~7、15章由薛春霞执笔,第8、9、13章由李海涛执笔,第10~12章由周义清执笔,第3、14章由高经武执笔,第16、17章及附录由常列珍执笔,其中的第18中静力学和动力学的例题由李海涛编写,介绍非线性问题的例题由高经武编写。

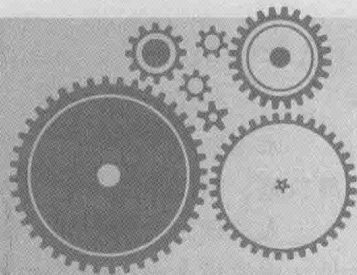
太原理工大学的陈昭怡教授对书稿做了认真细致的审阅,并提出了许多宝贵意见,编者借本书出版之际,向陈教授致以深深的谢意。本书编写过程中汲取了已出版的国内外相关教材的许多宝贵经验,在此表示感谢。

限于编者的水平和经验,书中还会有不少缺点和错误,恳请同行专家和广大读者批评指正。

编者

2009年12月

第1版前言



进入 21 世纪后,科学技术的迅速发展和我国社会主义市场经济发展的不断深入,对高等工科院校人才培养提出了更高的要求。本科的教学内容、课程体系改革要从整体人才培养目标出发,更新教学内容,优化课程体系。多年来我们一直进行理论力学课程改革的探索,最近又承担了山西省 21 世纪高等教育教学改革项目“基础课程教学中加强素质教育和培养创新意识的研究和实践”。通过研究与实践,对原理论力学教材(简称“原教材”——参考文献 [1])进行了大胆的改革,主要表现在以下几个方面:

1. 构建静力学全新体系。原教材虽提高了一些概念的理论讲授起点,但基本上是以力系为体系,即由简单力系到一般力系,研究力系的简化和平衡条件的应用。本书是以内容的理论知识点为体系,全篇分为静力学基础、力系的简化、力系的平衡条件及其应用和摩擦共四章,精炼了内容与体系,但在概念的叙述和例题的选择与分析上力求通俗易懂,以适应一般工科院校学生使用。

2. 在运动学中,利用刚体位形的概念描述刚体的运动,但在刚体运动的分析方法上仍保留了一般教材(如原教材)的分析法,目的是突出质点和刚体两个不同的力学模型,为复合运动中牵连运动的分析奠定基础,又为一般工科院校的学生所适用。

3. 在运动分析中,加强了分析法的应用,使分析法与几何法并重。

4. 拓展了内容的深广度,如增加了刚体定点运动、一般运动、陀螺近似理论等内容,为学有余力的同学创造深入学习的条件。

5. 书中精炼了对质点的运动学、普遍定理等与大学物理有关内容的叙述,加强了应用,较好地处理了与大学物理衔接的问题。

6. 本书在例题的选择和分析上注意了对学生工程意识和科学思维方法的培养,并以一题多解和提问的形式拓展学生的思维,为学生探索新事物、培养创新能力奠定基础。

7. 本书保留了原教材中将动量定理和动量矩定理合为一章的做法,并采用了力系简化和动量系简化相对应的写法。

8. 本书在内容的选取和章节的划分上,注意了不同层次课程的选用,适于作为高等工科院校机械、土建等专业各个层次的理论力学教材,亦可供其他专业和有关工程技术人员参考。

为了激发学生的兴趣,提高学生学习的主动性,本书还配有相应的 CAI 课件,课件中收集了较多的例题、工程实例和趣味题的分析,以方便学生学习。

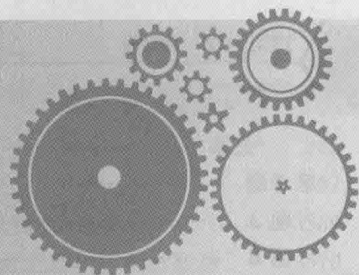
本书的第1~4、7~9章由曹咏弘执笔,第5、6、10、16、17章及附录由薛春霞执笔,第11~15章、绪论由王月梅执笔,全书由王月梅统稿。

太原理工大学的陈昭怡教授对书稿做了认真细致的审阅,并提出了许多宝贵意见,编者借本书出版之际,向他致以衷心的感谢。

限于编者的水平和经验,书中还会有不少缺点和错误,恳请同行专家和广大读者批评指正。

编者

目 录



第 3 版前言	
第 2 版前言	
第 1 版前言	
绪论	1

第 1 篇 静 力 学

第 1 章 静力学基础	4	思考题	39
1.1 静力学的公理体系	4	习题 A	40
1.2 力在坐标轴上的投影	7	习题 B	42
1.3 力矩及其计算	8	第 3 章 力系的平衡条件及其	
1.4 力偶及其性质	13	应用	43
1.5 约束与约束力	14	3.1 空间力系的平衡条件及其应用	43
1.6 物体的受力分析和受力图	17	3.2 平面力系的平衡方程及其应用	47
思考题	19	3.3 静定和静不定问题的概念	52
习题 A	20	3.4 刚体系统的平衡	53
习题 B	23	3.5 平面静定桁架的内力分析	58
第 2 章 力系的简化	24	3.6 考虑摩擦时的平衡问题	63
2.1 汇交力系的简化	24	思考题	76
2.2 力偶系的简化	26	习题 A	77
2.3 空间一般力系的简化	27	习题 B	86
2.4 重心	35		

第 2 篇 运 动 学

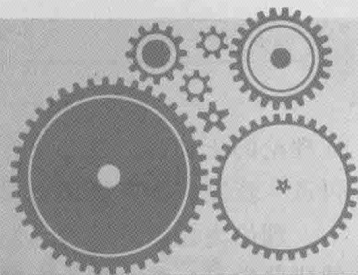
第 4 章 点的运动学	92	5.3 以矢量表示刚体的角速度和角加	
4.1 点的运动的矢量描述法	92	速度 以矢量积表示点的速度	
4.2 点的运动的直角坐标描述法	93	和加速度	112
4.3 点的运动的自然描述法	96	思考题	114
4.4 点的运动的柱坐标描述法	100	习题 A	115
思考题	103	习题 B	117
习题	103	第 6 章 刚体的平面运动	118
第 5 章 刚体的基本运动	106	6.1 刚体的平面运动概述	118
5.1 刚体的平动	106	6.2 平面图形上点的速度分析	121
5.2 刚体的定轴转动	107	6.3 平面图形上两点的加速度	

关系	132	8.1 复合运动的基本概念	151
思考题	136	8.2 动点在静系和动系中其运动方程 之间的关系	152
习题 A	137	8.3 速度合成定理	153
习题 B	140	8.4 牵连运动为平动时的加速度 合成定理	159
第 7 章 刚体的定点运动	143	8.5 牵连运动为转动时的加速度 合成定理	161
* 7.1 刚体绕定点运动的运动方程 欧拉定理	143	8.6 刚体的复合运动	168
* 7.2 刚体绕定点运动的角速度和角 加速度	145	* 8.7 刚体绕相交轴转动的合成	171
* 7.3 绕定点运动的刚体上各点的 速度和加速度	146	* 8.8 刚体的一般运动	172
思考题	149	思考题	174
习题	149	习题 A	175
第 8 章 复合运动	151	习题 B	179

第 3 篇 动 力 学

第 9 章 质点运动微分方程及其 应用	184	11.1 力的功	252
9.1 牛顿运动定律	184	11.2 动能	257
9.2 质点运动微分方程	185	11.3 动能定理	260
9.3 质点动力学的两类基本问题	185	11.4 势力场 势能 机械能守恒 定律	268
9.4 质点在非惯性坐标系中的 运动	193	11.5 功率和功率方程	273
思考题	199	11.6 普遍定理的联合应用	276
习题	199	思考题	281
第 10 章 动量定理和动量矩 定理	203	习题 A	281
10.1 质点系的质量几何性质	203	习题 B	285
10.2 动量和动量矩	208	第 12 章 达朗贝尔原理	288
10.3 动量定理	212	12.1 质点和质点系的达朗贝尔 原理	288
10.4 矩心为定点的动量矩定理	221	12.2 刚体惯性力系的简化	291
10.5 刚体的定轴转动微分方程	225	12.3 绕定轴转动刚体的动约束力 静平衡和动平衡的概念	300
10.6 矩心为动点的动量矩定理	229	思考题	306
10.7 刚体的平面运动微分方程	232	习题 A	308
* 10.8 变质量质点的运动微分 方程	237	习题 B	310
* 10.9 陀螺运动的近似理论	240	第 13 章 虚位移原理	314
思考题	243	13.1 约束和约束方程	314
习题 A	243	13.2 广义坐标	316
习题 B	248	13.3 虚位移和自由度	317
第 11 章 动能定理及其应用	252	13.4 理想约束	319
		13.5 虚位移原理的内涵	319

13.6 以广义坐标表示的质点系的 平衡条件	324	习题 A	365
* 13.7 质点系在势力场中平衡的 稳定性	328	习题 B	367
思考题	330	第 16 章 机械振动基础	369
习题 A	331	16.1 单自由度系统的自由振动	370
习题 B	334	16.2 单自由度系统的衰减振动	377
第 14 章 拉格朗日方程	336	16.3 单自由度系统的强迫振动	380
14.1 动力学普遍方程	336	16.4 隔振理论简介	386
14.2 拉格朗日方程的内涵	337	思考题	389
14.3 拉格朗日方程的首次积分	343	习题 A	390
思考题	347	习题 B	392
习题	347	第 17 章 理论力学问题的计算机 分析简介	393
第 15 章 碰撞	349	17.1 静力学问题的计算机分析	393
15.1 碰撞的特征和恢复因数	349	17.2 运动学问题的计算机分析	398
15.2 研究碰撞运动的动力学普遍 定理	350	17.3 动力学问题的计算机分析	401
15.3 两球的正碰撞 动能损失	352	习题	404
* 15.4 斜碰撞	357	附录	405
15.5 碰撞冲量对绕定轴转动刚体的 作用 撞击中心	358	附录 A 矢量代数和矢量导数	405
15.6 刚体碰撞问题举例	361	附录 B	410
思考题	364	习题答案	414
		索引	433
		参考文献	441



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一门学科。所谓机械运动，是指物体在空间的位置随时间的变化。例如日、月、星辰的运行，车辆、船只的行驶，一切机器的运转等，都是机械运动。平衡是指物体相对于惯性系保持静止或匀速直线运动的状态（如相对地球处于静止状态），是机械运动的一种特殊形式。在多种多样的运动形式中，机械运动是人们在日常生活和生产实践中最常见、最普遍、也是最简单的一种运动。而任何比较复杂的、比较高级的物质运动形式都与机械运动存在着或多或少的联系。所以，理论力学的概念、规律和方法在一定程度上也被应用于自然科学的其他领域中，对它们的发展起了积极的作用。

物体的机械运动都服从某些一般规律，这些规律就是理论力学的研究对象。按照循序渐进的认识规律，本书分为静力学、运动学和动力学三部分。静力学主要研究力的基本性质、力系的简化与力系的平衡条件；运动学主要研究物体机械运动的几何性质，而不涉及引起物体运动的物理原因；动力学则研究物体的机械运动与所受力之间的关系。

理论力学属于以牛顿定律为基础的经典力学范畴。近代物理学的发展说明了经典力学的局限性：经典力学仅适用于低速、宏观物体的运动。当物体的运动速度接近于光速时，其运动应当用相对论力学来研究；当物体的大小接近于微观粒子时，其运动应当用量子力学来研究。而对于速度远低于光速的宏观物体，由经典力学推得的结果具有足够的精确度。工程技术中所处理的对象一般都是宏观物体，而且其速度也远低于光速，因此，其力学问题仍以经典力学的定律为依据。经典力学至今仍有很大的实用意义，并且还在不断地发展着。

2. 理论力学的研究方法

任何一门科学由于研究对象的不同而有不同的研究方法，但是通过实践而发现真理，又通过实践来证实真理和发展真理，这是任何科学技术发展的正确途径。理论力学的发展史也遵循着这一认识规律。再概括地说，理论力学的研究方法是从对事物的观察、实践和科学实验出发，经过分析、综合归纳和抽象化，建立起力学模型，总结出力学的最基本概念和规律，再从基本规律出发，利用数学推理演绎，得出具有物理意义和实用意义的结论和定理，构成力学理论，然后再回到实践中去验

证理论的正确性，并在更高的水平上指导实践，同时从这个过程中获得新的认识，再进一步完善和发展理论力学。

理论力学是伴随着人类生产实践的历史长河发展起来的，现已是一门历史悠久的成熟学科。整个理论力学以为数不多的几条公理、定律和定理为基础，以统一的观点深刻地揭示了力学诸定理之间的内在联系，形成了一定的逻辑系统，便于学习、掌握和运用。值得注意的是，因为理论力学的概念、公理、定律和定理是来自实践的，其中有的是在生活和生产实践中与我们形影不离的，因而它们并不是抽象的和难以理解的。然而，我们已有的一些感性认识，有的可能是片面的，有的甚至可能是一种错觉。这就要求在学习理论力学的过程中，勤于思考，深刻理解基本概念和基本原理，克服片面，避免主观臆断，不断提高自己的理论水平。一般解决力学问题时，所应遵循的方法步骤是：

(1) 将所要研究的问题抽象化为一定的力学模型，这些力学模型既要能反映问题的矛盾主体，又要便于求解。

(2) 应用力学原理把有关的力学问题书写成数学形式。

(3) 运用一定的数学工具求解。

(4) 根据具体问题，对数学解进行分析讨论，甚至确定取舍。

运用力学理论分析和解决工程问题的深度和广度，除了受力学原理运用的灵活程度的影响外，很大程度上还受计算工具的制约。当人们还停留在简单的计算工具上时，把反映工程问题的力学模型尽可能建立得简单些，求解时，有时只分析特定条件下的几个状态量。电子计算机的出现和发展，为计算技术在工程问题中的应用开辟了广阔的道路，大大促进了数学在力学研究中的应用，而且必定会促进力学理论的发展甚至引起理论力学体系、内容和方法的变革。

3. 学习理论力学的目的

理论力学是现代工程技术的理论基础，它的定律和结论被广泛应用于各种工程技术中。各种机械、设备和结构的设计，机器的自动调节和振动的研究，航天技术等等，都要以理论力学的理论为基础。另外，对于工程实际中出现的各种力学现象，也需要利用理论力学的知识去认识，必要时加以利用或消除。因此，一般工程技术人员都必须具备一定的理论力学知识。

理论力学是一门理论性较强的技术基础课。通过学习本课程，要掌握物体机械运动的基本规律，初步学会运用这些规律去分析和解决生产实际中的力学问题，并为学习后续的力学与其他机械设计等课程作好准备。另外，随着现代科学技术的发展，力学与其他学科相互渗透，形成了许多边缘学科，它们也都是以理论力学为基础的。可见，学习理论力学也有助于学习其他的基础理论，掌握新的科学技术。

因为理论力学的研究方法遵循着辩证唯物主义认识论的方法，故通过本课程的学习，有助于培养学生辩证唯物主义的世界观，提高正确分析问题和解决问题的能力，为以后参加生产实践和从事科学研究打下良好的基础。

第1篇 静力学

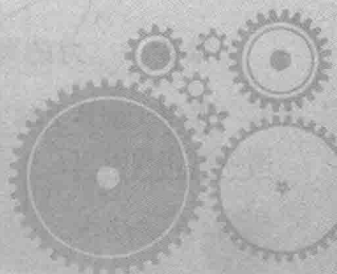
基础力学

静力学研究力系的简化及平衡条件，这是力学的基本内容，其中所涉及的概念及方法，应用广泛，影响深远。

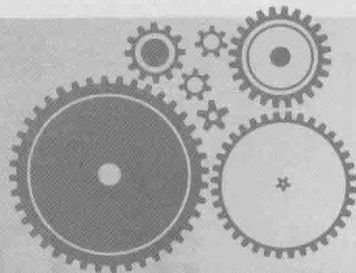
力是物体间的相互机械作用，它的作用效应是改变物体的运动状态（外效应）和使物体变形（内效应）。力的作用效应决定于力的三要素，即力的大小、方向及作用点，通常用矢量 \boldsymbol{F} 表示，在国际单位制（SI）中，力的单位是牛顿（N）。

力系是作用在物体上的一组力，用 $(\boldsymbol{F}_1, \boldsymbol{F}_2, \dots, \boldsymbol{F}_n)$ 表示。若两个力系的作用效应完全相同，则称这两个力系为等效力系。等效的两个力系可以相互替换，称为等效替换。力系的简化是指用一个简单的力系等效替换一个复杂的力系。如果一个力系与零力等效，即 $(\boldsymbol{F}_1, \boldsymbol{F}_2, \dots, \boldsymbol{F}_n) = (\mathbf{0})$ 我们就称之为平衡力系，平衡力系所要满足的条件称为平衡条件。在工程中经常进行静力分析，所谓静力分析就是利用平衡条件计算物体所受的未知力，为此必须先对物体进行受力分析。受力分析、力系简化是静力学研究的重要内容，而且是动力学研究的基础。

静力学的主要研究对象是刚体，故又称为刚体静力学。所谓刚体是指受力作用时大小和形状保持不变的物体，这一特征表现为刚体内任意两点的距离始终保持不变。这是一个理想的力学模型，实际中如果物体受力作用时，变形很小且不影响所要研究的问题的实质，就可以忽略其变形，将其视为刚体，这是一种科学的抽象，可以使计算简化。



第 1 章



静力学基础

1.1 静力学的公理体系

静力学公理

静力学公理是人类经过长期的缜密观察和经验积累而得到的关于力的基本性质，这些性质无需证明而为大家所公认，并可作为证明中的论据，是静力学全部理论的基础。

公理 1 二力平衡公理

作用在刚体上的两个力，使刚体处于平衡的必要与充分条件是：这两力的大小相等，方向相反，作用于同一直线上。

这个公理揭示了作用于刚体上的最简单力系的平衡条件。对于变形体来说，这个条件是必要的，但不是充分的。例如，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。工程上常遇到只受两个力作用而平衡的构件，称为二力构件或二力杆。根据公理 1，作用于二力构件上的两力必沿两力作用点的连线，如图 1-1 所示。

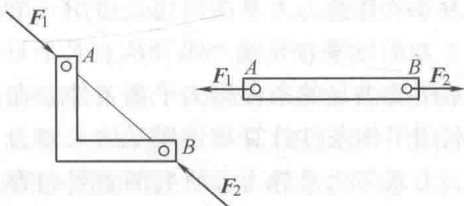


图 1-1

公理 2 加减平衡力系公理

在作用于刚体的已知力系中加上或减去任何平衡力系，并不改变原力系对于刚体的作用效应。

这个公理是力系等效替换的理论依据。

推论 1 力的可传性

作用于刚体上的力可以沿其作用线移至同一刚体内任意一点，并不改变其对于刚体的作用效应。



【证明】 设力 F 作用于刚体上的 A 点，在其作用线上任取一点 B ，在 B 点加上两个相互平衡的力 F_1 和 F_2 ，使得 $F_2 = -F_1 = F$ ，如图 1-2 所示。 F 和 F_1 也是一个平衡力系，根据公理 2，故可以除去，即 $(F) \equiv (F, F_1, F_2) \equiv (F_2)$ ，这样，作用于刚体 B 点的力 F_2 就等效地替换了作用于 A 点的力 F 。因为 $F_2 = F$ ，所以力 F_2 可以看成是力 F 沿其作用线从 A 点移到了 B 点。

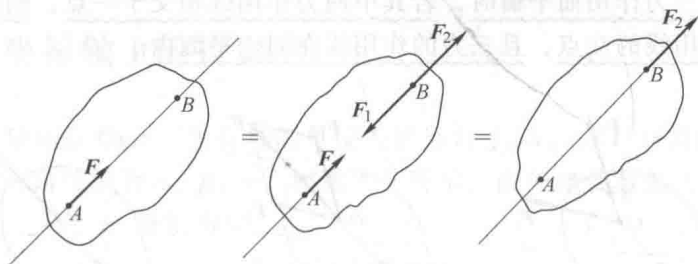


图 1-2

由力的可传性可知，作用于刚体上的力的三要素是：大小、方向和作用线，即对于刚体来说，力是滑动矢量。

应该指出，力的可传性仅适用于刚体，而不适用于变形体。因为当力沿其作用线移动时，将引起变形效应的改变。例如图 1-3 所示的弹性直杆，在两端 A 、 B 处施加大小相等、方向相反、作用线相同的两个力 F_1 、 F_2 ，显然，这时杆件产生拉伸变形（见图 1-3a）。若将力 F_1 沿其作用线移至 B 点，力 F_2 移至 A 点（见图 1-3b），这时杆件则产生压缩变形，这两种变形效应是不同的。

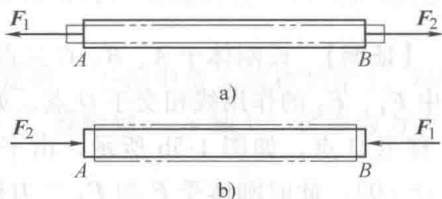


图 1-3

因此，作用于变形体上的力是定位矢量，其作用点不能移动。

公理 3 力的平行四边形法则

作用于物体上某一点的两个力，可以合成为一个合力。合力亦作用于该点，其大小和方向可由这两个力为邻边所构成的平行四边形的对角线确定，这称为力的平行四边形法则。如图 1-4a 所示，合力矢等于这两个分力矢的矢量和，即

$$F = F_1 + F_2$$

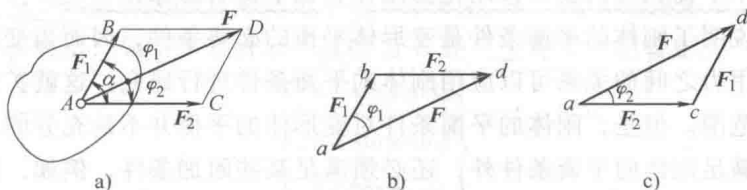


图 1-4