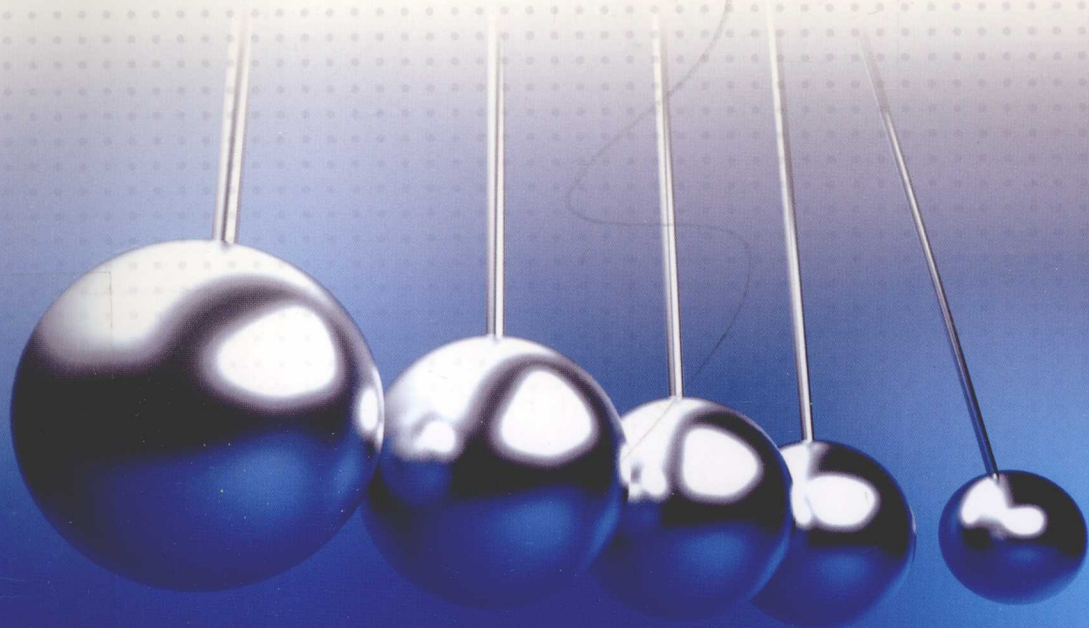


普通高等教育规划教材

理论力学

◎ 王青春 主编



 机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS



免费电子课件

普通高等教育规划教材

理论力学

主 编 王青春

副主编 钱双彬 祝乐梅 王安

参 编 方秀珍 刘玉丽 武 颖 刘美龄

机械工业出版社

本书从工程实际问题出发,阐述本课程的基本理论知识。在编写过程中,特别注意理论的介绍和结论的应用与工程实践相结合。全书除绪论外共3篇17章。第1篇为静力学,包括静力学的基本概念和物体的受力分析、平面汇交力系、平面力偶系、平面任意力系、空间力系与重心、摩擦。第2篇为运动学,包括点的运动学、刚体的基本运动、点的合成运动、刚体的平面运动。第3篇为动力学,包括动力学基本方程、动量定理、动量矩定理、动能定理、动静法、虚位移原理、机械振动基础。

本书可作为高等学校工科土木工程、机械工程、采矿工程、材料成形及控制工程等各专业的“理论力学”课程教材,也可供有关工程技术人员参考。鉴于目前各专业“理论力学”课程所安排的学时不同,任课教师可根据教学时数及后续专业课程的教学需要对本书内容做适当的取舍。

图书在版编目(CIP)数据

理论力学/王青春主编. —北京:机械工业出版社, 2017.1
普通高等教育规划教材
ISBN 978-7-111-54518-7

I. ①理… II. ①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(2016)第186992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:林辉 责任编辑:林辉 李乐

责任校对:刘怡丹 封面设计:马精明

责任印制:常天培

河北新华第二印刷有限责任公司印刷

2016年10月第1版第1次印刷

169mm×239mm·20.5印张·415千字

0001—3000册

标准书号:ISBN 978-7-111-54518-7

定价:39.80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

封面无防伪标均为盗版

网络服务

机工官网: www.cmpbook.com

机工微博: weibo.com/cmp1952

教育服务网: www.cmpedu.com

金书网: www.golden-book.com

前言

“理论力学”课程是高等工科院校中普遍开设的一门学科基础课，是后续力学课程和其他相关专业课程的基础课程。在我国高等教育的发展与改革中，学校的层次和类型不断增加。不同学校和专业对“理论力学”课程提出了不同的要求，而“理论力学”课程的学时也有所减少。同时，随着高等教育的普及和高校的扩招，学生的情况也有所变化。而教材是保证和提高教学质量的重要支柱和基础，在当前培养应用型人才中起到重要的作用。但是，适合新建本科应用型人才培养的优秀教材还很少。目前，教材建设中存在着很多问题，如大而全、难而偏，对新建本科院校来说，存在起点较高、难度较大、内容较多，对学生的既往知识与后续学习能力的要求苛刻，这与应用型目标的定位有较大差距，难以适应一般院校的实际教学需要，与新建本科院校日益强化学生实践能力的培养要求相矛盾。因此，我校力学教研室充分吸收已有的优秀教材的改革成果，并结合实际教学经验，认真研讨教学内容和课程体系，组织学术水平高、教学经验丰富、实践能力强的教师编写本教材，以满足应用型人才培养的需要。

本书在保证传统教学体系相对稳定的前提下，力求做到：理论分析严密、逻辑性强，在概念的引出、理论的叙述及结论的应用中特别注意与工程实际的结合与联系；在例题的分析及解题过程中突出解题思路、方法、步骤与技巧，注意理论在题目中的应用并对重要的概念进行深入的研究和讨论。为便于学生学习，本书每章都有重点和难点介绍。

全书除绪论外共3篇17章。第1篇为静力学，包括静力学的基本概念和物体的受力分析、平面汇交力系、平面力偶系、平面任意力系、空间力系与重心、摩擦。第2篇为运动学，包括点的运动学、刚体的基本运动、点的合成运动、刚体的平面运动。第3篇为动力学，包括动力学基本方程、动量定理、动量矩定理、动能定理、动静法、虚位移原理、机械振动基础。为了帮助学生深刻理解概念，大部分章有思考题，其中汇集了编者在长期教学中遇到的学生容易误解的问题；并精选了习题，题量适中，类型较全。

本书可作为高等学校工科各专业的理论力学课程教材，也可供有关工程技术人员参考。鉴于目前各专业理论力学学时的不同，任课教师可根据教学时数及后续专业课程的教学需要对本书内容做适当的取舍。

本书主编王青春, 副主编钱双彬、祝乐梅和王国安。参加本书编写工作的人员均是工作在力学教学第一线的教师, 他们具有丰富的教学经验, 长期致力于教学改革。其中静力学引言、第1、5、6、13章及各篇引言由王青春编写; 第2、3、4章由钱双彬编写; 第7、8、14章由王国安编写; 第9章由方秀珍编写; 第10、11、12章由刘玉丽编写; 第15、16、17章由祝乐梅编写; 绪论由武颖和刘美龄编写。全书由主编王青春统稿。

本书是华北科技学院力学教研室十余年教学改革与课程建设的成果反映, 又是编者们的长期教学经验的积累和结晶, 并在编写过程中, 参考吸收了许多国内外力学名著的思想和内容, 非常感谢众多专家学者的精彩成果。

由于编者水平有限, 书中难免有疏漏与欠妥之处, 恳请广大读者批评指正。

编 者

目录

绪论	1
----------	---

第1篇 静力学

引言	5	习题	42
第1章 静力学的基本概念和物体的 受力分析	8	习题答案	44
1.1 导学	8	第4章 平面任意力系	45
1.2 静力学公理	8	4.1 导学	45
1.3 常见的约束类型及其约束力	11	4.2 平面任意力系向一点的简化	45
1.4 物体的受力分析和受力图	16	4.3 平面任意力系的平衡条件 (平衡方程)	51
小结	20	4.4 物体系统的平衡	56
思考题	20	4.5 平面桁架的内力分析	62
习题	22	小结	65
习题答案	24	思考题	67
第2章 平面汇交力系	25	习题	67
2.1 导学	25	习题答案	70
2.2 平面汇交力系合成与平衡的 几何法	25	第5章 空间力系与重心	72
2.3 平面汇交力系合成与平衡的 解析法	29	5.1 导学	72
小结	31	5.2 空间汇交力系	72
思考题	32	5.3 力对点之矩和力对轴之矩	75
习题	32	5.4 空间力偶	78
习题答案	33	5.5 空间任意力系的简化与平衡	82
第3章 平面力偶系	34	5.6 重心	88
3.1 导学	34	小结	94
3.2 平面力对点之矩	34	思考题	96
3.3 平面力偶系	37	习题	97
小结	41	习题答案	99
思考题	42	第6章 摩擦	101
		6.1 导学	101
		6.2 滑动摩擦	101

6.3 考虑摩擦时物体的平衡问题	106
6.4 滚动摩擦阻的概念	108
小结	110

思考题	110
习题	110
习题答案	113

第2篇 运 动 学

引言	114
第7章 点的运动学	115
7.1 导学	115
7.2 点的运动方程	115
7.3 速度与加速度的矢径表示法	115
7.4 速度与加速度的直角坐标表示法	116
7.5 自然坐标轴系	120
7.6 速度与加速度的自然坐标表示法	121
小结	125
思考题	126
习题	126
习题答案	128
第8章 刚体的基本运动	130
8.1 导学	130
8.2 刚体的平行移动	131
8.3 刚体的定轴转动	132
8.4 转动刚体内各点的速度与加速度	133
8.5 绕定轴转动刚体的传动问题	134
8.6 角速度及角加速度的矢量表示 以矢量积表示转动刚体内点的 速度与加速度	135
小结	137
思考题	137

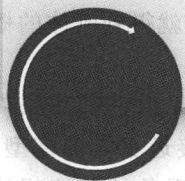
习题	138
习题答案	140
第9章 点的合成运动	141
9.1 导学	141
9.2 点的合成运动的概念	141
9.3 绝对运动、相对运动和牵连运动 的速度与加速度	142
9.4 点的速度合成定理	144
9.5 牵连运动为平动时点的加速度 合成定理	148
9.6 牵连运动为转动时点的加速度 合成定理	154
小结	162
思考题	164
习题	165
习题答案	171
第10章 刚体的平面运动	173
10.1 导学	173
10.2 刚体平面运动的概述	174
10.3 平面运动分解为平动与转动	175
10.4 平面图形内各点的速度	177
10.5 平面图形内各点的加速度	186
小结	189
思考题	189
习题	191
习题答案	193

第3篇 动 力 学

引言	195
第11章 动力学基本方程	196
11.1 导学	196
11.2 动力学基本定律	196
11.3 质点运动微分方程	197
11.4 质点动力学的两类基本问题	199

小结	201
思考题	202
习题	203
习题答案	205
第12章 动量定理	206
12.1 导学	206

12.2 动量与冲量	206	第 15 章 动静法	275
12.3 动量定理	209	15.1 导学	275
12.4 质心运动定理	215	15.2 质点的达朗贝尔原理	275
小结	221	15.3 质点系的达朗贝尔原理	277
思考题	222	15.4 刚体惯性力系的简化	278
习题	222	15.5 动静法的应用举例	283
习题答案	225	小结	288
第 13 章 动量矩定理	227	思考题	288
13.1 导学	227	习题	289
13.2 质点和质点系动量矩	227	习题答案	292
13.3 质点和质点系动量矩定理	229	第 16 章 虚位移原理	293
13.4 刚体定轴转动微分方程	235	16.1 导学	293
13.5 质点系相对质心的动量矩 定理	243	16.2 约束·约束方程·广义坐标· 自由度	294
13.6 刚体平面运动微分方程	244	16.3 虚位移 虚功 理想约束	297
小结	247	16.4 虚位移原理	299
思考题	250	小结	303
习题	251	思考题	304
习题答案	255	习题	305
第 14 章 动能定理	257	习题答案	306
14.1 导学	257	第 17 章 机械振动基础	308
14.2 力的功	257	17.1 导学	308
14.3 动能	261	17.2 振动的基本概念	309
14.4 质点与质点系的动能定理	262	17.3 单自由度系统的自由振动	310
14.5 功率定理	264	小结	315
14.6 势力场机械能守恒定律	264	思考题	315
14.7 动力学普遍定理及综合应用	266	习题	316
小结	269	习题答案	317
思考题	270	参考文献	318
习题	270		
习题答案	273		



绪论

1. 理论力学研究的对象和内容

理论力学是研究物体机械运动一般规律的科学。所谓机械运动就是物体空间位置随时间而变化,是人们生活、生产中最常见的一种运动,是物质各种运动形式中最简单的一种。但热运动、电磁运动、化学反应、生命过程等都不属于机械运动。

在培养应用型人才的高等工科学学校里,“理论力学”课程是一门理论性较强的技术基础课,它在经典力学的范围内研究宏观物体机械运动的普遍规律及其在一般工程中的应用。

经典力学是一门成熟的科学,它的基本定律由伽利略提出,并由牛顿精确地归纳为完备的形式。实践证明,经典力学的定律具有极其广泛的适用性。只是到19世纪末,物理学上的一些重大新成就揭示出经典力学不适用于物体接近光速时的运动,从而在20世纪初出现了较经典力学更为精确的相对论力学。但是,在一般工程技术中宏观物体的速度远小于光速,因此这里所遇到的力学问题仍宜采用经典力学来研究。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。

理论力学包括静力学、运动学、动力学三个主要部分。静力学 研究物体在力系作用下平衡的规律。运动学 只从几何角度来研究物体的运动而不考虑引起运动的原因,如轨迹、速度、加速度等,不涉及作用于物体上的力。动力学 研究物体运动与作用力之间的关系。

理论力学的系统知识以及运用这些知识分析问题、解决问题的能力,是学习一系列后继课程,如材料力学、机械原理、机械设计等课程的重要基础。这个基础也是一般工程技术人员掌握科技新成就并从事更深入的研究工作所需要的。学生在学习本课程时,务必重视理论与实践相结合的原则。同时,要结合理论力学的学科特点,注意培养辩证唯物主义世界观。

2. 理论力学研究的方法

(1) 通过观察和实验,分析、归纳总结出力学最基本的规律 力学基本概念的形成和基本定律的建立是以对自然界的直接观察以及从生活、生产中的直接经验作为出发点的。以后,系统地组织实验,成为研究工作的重要一环。在了解事物和现象的内部联系后,就需要而且可能撇开次要的东西抽象出最主要的特征来加以研

究,这种方法称为抽象化方法。

(2) 通过抽象化方法建立力学模型,形成概念 通过抽象化方法,使我们得以建立物质对象的一些初步近似的模型。例如,撇开物体的变形,就得到刚体的概念;撇开物体的尺寸大小,就得到质点的概念。

(3) 经过逻辑推理和数学演绎,建立理论体系 当问题在所采取的简化条件解决后,可以重新考虑那些在初步近似中舍掉的因素,建立起更接近真实的模型,以便做更深入的研究。以后通过分析、综合、归纳,找出了力学现象的普遍规律性,从而建立起一些最基本的公理(或定律、原理)。

建立起力学公理后,就可据此通过推理而得出反映力学现象规律性各个侧面的定理和各种适用于特殊情形的推论。当然,在推理过程中往往需要引入一些新概念,这些概念反映了人们对事物本质的新的认识。

理论力学里的推理工作广泛地利用数学这种有效工具。这就是数学演绎的方法,它有助于我们更深入地理解力学规律的实质,从而发掘出隐藏其间的内在联系。与此同时,数学还是计算的手段,它是力学走向工程应用所不可缺少的。

因此,计算技术对力学的应用有着十分巨大的作用。在今天计算机的时代,由于计算技术的巨大威力,使得有可能解决越来越复杂的力学问题。显然,力学不单方面地受惠于数学,它反过来也对数学的发展有很大的促进。

(4) 将理论用于实践,又在实践中验证和发展理论 实践是认识的唯一目的,同时又是认识的唯一标准。任何科学理论,包括力学,都必须在其指导实践的过程中加以验证。只有当它足够精确地符合客观实际时,才能被认为正确可靠,也只有这样的理论才有实际意义。从实践到理论是认识的一个飞跃,而从理论到实践则更是重要的一个飞跃。

这样,理论力学的研究方法概括起来就是从生动的直观到抽象的思维,并从抽象的思维返回到实践的认识真理、认识客观现实的辩证途径。

3. 学习理论力学的目的

(1) 工科专业一般都要接触机械运动问题 有些问题要用理论力学知识来解决,或联合其他专业知识共同解决。所以,学习理论力学是为工程实践打基础。

(2) 理论力学是一些工程专业课的基础 例如,材料力学、机械原理、机械零件、结构力学、弹性力学、塑性力学、流体力学、飞行力学、振动力学、断裂力学、生物力学,以及许多专业课,而随着现代技术的发展,力学已渗入生物力学等其他科学。

理论力学研究方法与许多学科的研究方法有不少相同之处。因此,掌握这些方法对其他课程的学习有很多好处,并为以后解决生产实际问题、从事科学研究工作打下基础。

4. 力学发展史简明要点

力学是最早产生并获得发展的科学之一。早在叙述我国古代伟大学者墨子

(生卒年不详)学说的《墨经》里就有关于力学原理的记载,如“秤”的原理。古希腊学者亚里士多德(公元前384—公元前322年)也曾作过有关力学的研究。杰出的古希腊学者阿基米德(约公元前287—公元前212年)总结了古代的静力学知识,奠定了静力学的基础。在他的物理学方面的著作中给出了杠杆平衡问题的正确解答,还有平行力合成、分解的理论以及重心等学说。此后,直到14世纪的漫长时期中,由于封建与神权的统治,生产力受到束缚,一切科学(包括力学)都陷于停顿状态。

15世纪后半期,欧洲进入了文艺复兴时期。当时由于商业资本的兴起,手工业、城市建筑、航海造船和军事技术等各方面所提出的许多迫切问题,激励了科学的迅速发展。多才多艺和学识渊博的意大利艺术家、物理学家和工程师达·芬奇(1452—1519年)就是这个时代的杰出代表。他曾作过有关新型城市建设的工程设计,还研究过物体沿斜面的运动和滑动摩擦。

不久以后波兰学者哥白尼(1473—1543年)在总结前人天文观察的基础上,创造了宇宙的太阳中心学说。这学说推翻了托勒密的陈旧的地球中心学说,引起了人们宇宙观的根本变革,严重地打击了神权统治,从此自然科学便开始从神权中解放出来。开普勒(1571—1630年)根据哥白尼学说及大量的天文观测,发现了行星运动三定律。这些定律是后来牛顿发现万有引力定律的基础。

意大利学者伽利略(1564—1642年)首先在力学中应用了有计划的科学实验,创立了科学的研究方法。他根据实验明确地提出了惯性定律的内容,得出了真空中落体运动的正确结论,引进了加速度的概念并解决了真空弹道问题。他把抛射体的运动看成是水平匀速运动和铅直匀变速运动的合成,由此可以看到力的独立作用定律的萌芽。伽利略的工作开辟了科学史上的新时代,他对奠定动力学基础做出了卓越的贡献。

由伽利略开始的动力学奠基工作,经过法国学者笛卡尔(1596—1650年)、荷兰学者惠更斯(1629—1695年)等人的努力,后来由英国的物理学家、数学家牛顿(1643—1727年)完成;牛顿在其名著《自然哲学的数学原理》(1687年)中完备地建立了经典力学的基本定律,并从这些定律出发,将动力学理论做了系统的叙述。牛顿运动定律是经典力学的基础,为了建立质量的概念,牛顿曾利用单摆做过大量的精密实验。他还把关于“力”的各个分散、互相矛盾的概念统一起来,加以普遍化,从而建立了力的科学概念。牛顿发现了万有引力定律,这个定律后来给天体力学的发展奠定了基础。牛顿解决了许多新的数学和力学的问题,创立了物体在阻尼介质中运动的理论。

在力学史上,17世纪被看成是动力学的奠基时期,与此同时,在17世纪到19世纪初,静力学也获得了进一步的成熟。曾由达·芬奇研究过的力平行四边形定律经过荷兰学者斯蒂文(1548—1620年)、德国学者罗伯威尔(1602—1675年)的工作最后形成。达·芬奇引入的力矩概念,经法国学者伐里农(1654—1722年)发展,

最后形成完整的力矩定理。法国学者潘索（1777—1859年）创立了完整的力偶理论，他制定了静力学的现代形式，他还使力学中的几何方法得到了巨大的进展。

18世纪转入动力学的发展时期。德国学者莱布尼茨（1646—1716年）与牛顿彼此独立地发明了微积分原理，对18世纪力学朝着分析方向的发展提供了基础。瑞士学者约翰·伯努利（1667—1748年）最先提出了以普遍形式表示的静力学基本原理，即虚位移原理。数学力学家欧拉（1707—1783年）首先把牛顿第二定律表示为分析形式，并开始建立刚体动力学理论，他所导出的理想流体动力学基本方程奠定了流体力学的基础。不久，法国学者达朗贝尔（1717—1783年）给出了一个解决动力学问题的普遍原理，即所谓达朗贝尔原理，从而奠定了非自由质点动力学的基础。此后，法国数学家、力学家拉格朗日（1736—1813年）等人奠定并发展了分析力学。

拉格朗日于1783年发表的《分析力学》一书是牛顿以来力学发展的新的里程碑。从而建立了拉格朗日力学体系。后来，英国学者哈密顿（1805—1865年）又建立了哈密顿力学。

19世纪初到19世纪中叶，因大量使用机器而引进的效率问题，促进“功”的概念形成。“能”的概念也逐渐在物理学、工程学中普遍形成。在这时期发现了能量守恒和转化定律，这个定律不仅对技术应用有着特别重大的意义，而且在力学和其他科学之间，在物质运动的各种形式之间，起了沟通作用，使力学的发展在许多方面和物理学紧密地交织在一起。

由于机器的大量使用，技术的迅速进步，促使了工程力学的形成和发展。相应地，力学的几何方法也获得了很大的发展和应用。

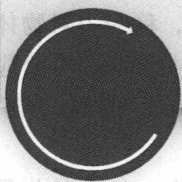
在19世纪，先后形成了一系列力学专门学科，如图解力学、机器与机构理论、振动理论。运动学成为理论力学的一个独立部分也是在这个时期形成的。

20世纪以来，与航空工业及其他技术的发展紧密相关，力学的许多专门分支如弹塑性理论、流体与气体动力学、非线性振动理论、自动控制、运动稳定性理论、陀螺仪理论、变质量力学和飞行力学等各方面都取得了迅速发展和巨大成就。特别是20世纪中叶以后，航天工程的兴起又向力学提出了许多新的极为复杂的理论和技术问题。依靠电子数字计算机的协助，已解决了宇宙火箭的发射、人造卫星、航天飞机的轨道计算、稳定性与控制等一系列重大问题。所有这些都充分说明了现代力学的高度发展水平。

20世纪的特点是出现了大批新的边缘学科，力学正在越来越多地渗入到其他有关学科中。由于生产需要的促进和研究手段的改善，力学的模型也越来越复杂，能够更全面地考虑各种物理因素，并进行更为复杂的实验、计算等的综合研究。这样，力学的领域还在继续扩大，形成了一系列新的力学学科，如化学流体力学、电磁流体力学、物理力学、生物力学，以及系统力学等。力学的发展史内容极为丰富，更详细的叙述，可参阅有关力学史的专门著作。

第1篇

静力学



引言

静力学是研究物体在力系作用下平衡条件的科学。

在实际问题中，力学的研究对象（物体）往往是十分复杂的，因此在研究问题时，需要抓住那些带有本质性的主要因素，而略去影响不大的次要因素，引入一些理想化的模型来代替实际的物体，这个理想化的模型就是力学模型。理论力学中的力学模型有质点、质点系、刚体和刚体系。

静力学研究的物体只限于刚体，又称刚体静力学。所谓刚体就是指物体在力的作用下，其内部任意两点之间的距离始终保持不变。它是一个理想化的力学模型，这种模型使问题的研究得以简化。

应该指出，是否可将所研究的物体抽象为刚体，取决于所研究问题的内容和条件。当变形这一因素在所研究的问题中不起主要作用时，可将物体视为刚体；当变形这一因素在所研究的问题中起主要作用时，就必须采用另一种模型——**变形体**。变形体力学问题将用材料力学进行研究。

实际物体在力的作用下，都会产生不同程度的变形。但是，这些微小的变形，对研究物体的平衡问题不起主要作用，可以略去不计，这样可使问题的研究大为简化。

所谓**质点**，是指具有一定质量但其形状、大小可以忽略不计的物体。是否可将所研究的物体视为质点，也取决于所研究问题的内容与条件。如在研究行星绕太阳

的运动时,行星和它的运动范围相比是很小的,可将其视为质点;而在研究行星的自转时,就不能将其视为质点了。

所谓质点系,是指由有限或无限个有一定联系的质点组成的质点系统。如果质点系中质点的距离保持不变,则这种质点系称为不变质点系。刚体就是由无限个质点组成的不变质点系。由若干个有一定联系的刚体组成的系统称为物体系统(简称为物系)。

力是物体间相互的机械作用,这种作用使物体的机械运动状态发生改变。力是人们从长期的生产实践中抽象而得到的一个科学概念。例如,当人们用手拿、举、抓、掷物体时,由于肌肉收缩逐渐产生了对力的感性认识。随着生产的发展,人们逐渐认识到,物体运动状态及形状的改变,都是其他物体对其施加作用的结果。这样,由感性到理性建立了力的概念。

力不能脱离物体而存在,物体若受到力的作用,则必有施力物体。明确这一点,对以后的受力分析是很重要的。

实践表明,力的效应有两种:一种是使物体运动状态发生改变,称为力对物体的外效应(运动效应);另一种是使物体形状发生改变,称为力对物体的内效应(变形效应)。在静力学部分将物体视为刚体,只考虑其外效应;而在“材料力学”课程中则将物体视为变形体,需考虑力的内效应。

力对物体的作用效果决定于三个要素:①力的大小;②力的方向;③力的作用点。可用一个矢量表示力,常用黑体字母 $\boldsymbol{F}$ 表示力的矢量,普通字母 F 表示力的大小,如图 0-1 所示。

矢量的模——力的大小;

矢量的方向——力的方向;

矢量的始端(或终端)——力的作用点。

在国际单位制中,力的单位是牛顿(N)或千牛顿(kN)。

依据力的作用范围可将力分为集中力和分布力。

(1) 集中力(集中载荷) 当力的作用面面积相对于结构或构件尺寸很小时,可视为作用于结构或构件某一点的力,称其为集中力。例如,汽车通过轮胎作用在桥面上的力可视为集中力,如图 0-2 所示。

(2) 分布力(分布载荷) 分布于物体上某一范围内的力称为分布力。分布力用载荷集度 q 来表示。在一定体积范围内分布的力称为体分布力,其单位为 N/m^3 ;在一定面积范围内分布的力称为面分布力,其单位为 N/m^2 。工程设计中,常将体、面分布力简化为连续分布在某一段长度范围内的力,称为线分布力,其单位为 N/m 。例如,桥面板作用在钢梁上的力可视为分布力,如图 0-3 所示。

力系是指作用于物体上的一群力。

平衡是指物体相对于惯性参考系(如地面)保持静止或做匀速直线运动。例如,桥梁、房屋、机床床身、匀速直线飞行的飞机等。平衡是物体运动的一种特殊形式。



图 0-1 力

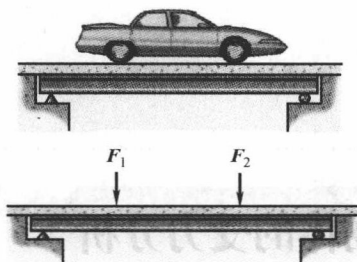


图 0-2 集中力

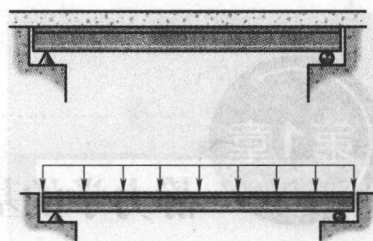


图 0-3 分布力

如果物体在一个力系作用下处于平衡状态，则该力系称为平衡力系，该力系中任意一力对其他各力的合力来说都称为平衡力。

合力是指如果一个力与一个力系等效，则称这个力为该力系的合力，而该力系中的每个力称为合力的分力。

在静力学中主要研究以下三个问题：

(1) 物体的受力分析 分析物体共受几个力作用，每个力的大小、方向和作用线的位置。

(2) 力系的等效替换 如果作用在物体上的两个力系的作用效果是相同的，则这两个力系互称为**等效力系**。用一个简单力系等效地替换一个复杂力系的过程称为力系的简化。力系简化的目的是简化物体受力情况，以便于进一步分析和研究。研究力系的等效替换并不限于分析静力学，它也是动力学的分析基础。

(3) 建立各种力系的平衡条件，求解平衡问题 刚体处于平衡状态时，作用于刚体上的力系应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**。力系平衡条件在工程上有着特别重要的意义，是设计结构、构件和零件的力学基础。



第1章

静力学的基本概念和物体的受力分析

1.1 导学

本章将阐述静力学公理及其推理,并介绍工程中常见的几种约束及其性质,同时介绍简单物体系统的受力分析和受力图的绘制。

1.2 静力学公理

为研究力学的简化和平衡条件,首先研究两个力的合成和平衡,以及两个物体间的相互作用等最基本的力学规律。这些规律是人们在长期的实践中总结出来并经实践反复验证,符合客观实际,被称为静力学公理。

公理1 二力平衡条件

作用在刚体上的两个力,使刚体保持平衡的充分和必要条件是这两个力的大小相等、方向相反,且在同一直线上,如图1-1a所示。用公式表述为 $F_1 = -F_2$ 。

这个公理是作用于刚体上的最简单的力系平衡时所必须满足的条件,但对变形体是必要条件,并非充分条件。例如,图1-1b所示的软绳,在一对等值反向的拉力作用下可以平衡,但若受一对等值反向的压力作用,则不能平衡。

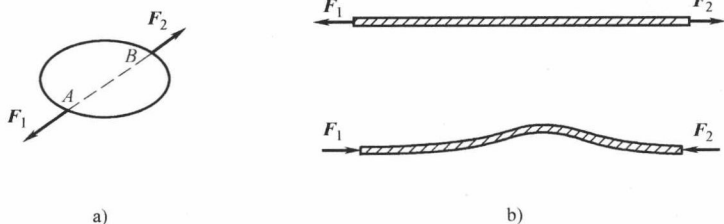


图1-1 二力平衡示意

由公理1可知,若某构件受力平衡,自重不计,当只在两点受力时,则这两个

力必等值、反向、共线。这类构件称为二力构件。例如，图 1-2 所示三铰拱桥，各拱自重不计，在力 F 作用下，拱 BC 为二力构件。

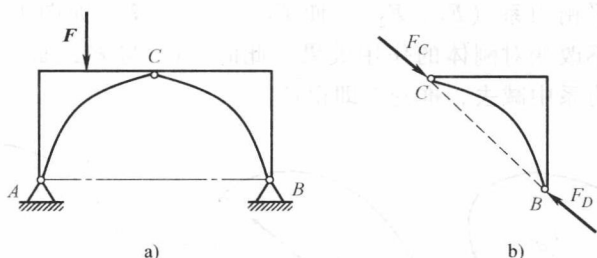


图 1-2 三铰拱桥

公理 2 力的平行四边形法则

作用在物体上同一点的两个力可以合成为一个力，此合力的作用点也在该点，此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。

设在物体的 A 点作用有力 F_1 和 F_2 ，如图 1-3a 所示，则它们的合力矢等于这两个分力矢的矢量和，即

$$F = F_1 + F_2$$

合力也可用力的三角形确定，两分力首尾相接，合力沿反方向构成封闭边。如图 1-3b 所示。这种求合力的方法称为力三角形法则。但应注意，这一方法只能用来求合力的大小和方向，力三角形中各力矢量的起点（或终点）并不表示力的作用点。

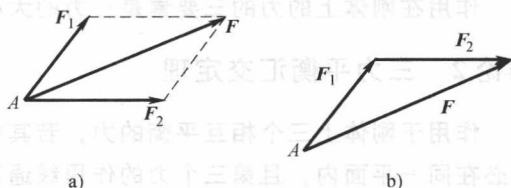


图 1-3 平行四边形法则

两个共点的力可以合成为一个合力，反过来，一个的合力也可以

按公理 3 分解为两个分力。但如果不附加任何条件，将有无穷多组解。在工程上，常将力沿指定方向分解为两个互相垂直的分力。

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 3 加减平衡力系公理

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作用。这个公理是研究力系等效变换的重要依据。

根据上述公理可以导出下列推论：

推论 1 力的可传性

作用于刚体上某点的力，可以沿着它的作用线移到刚体内任意一点，并不改变