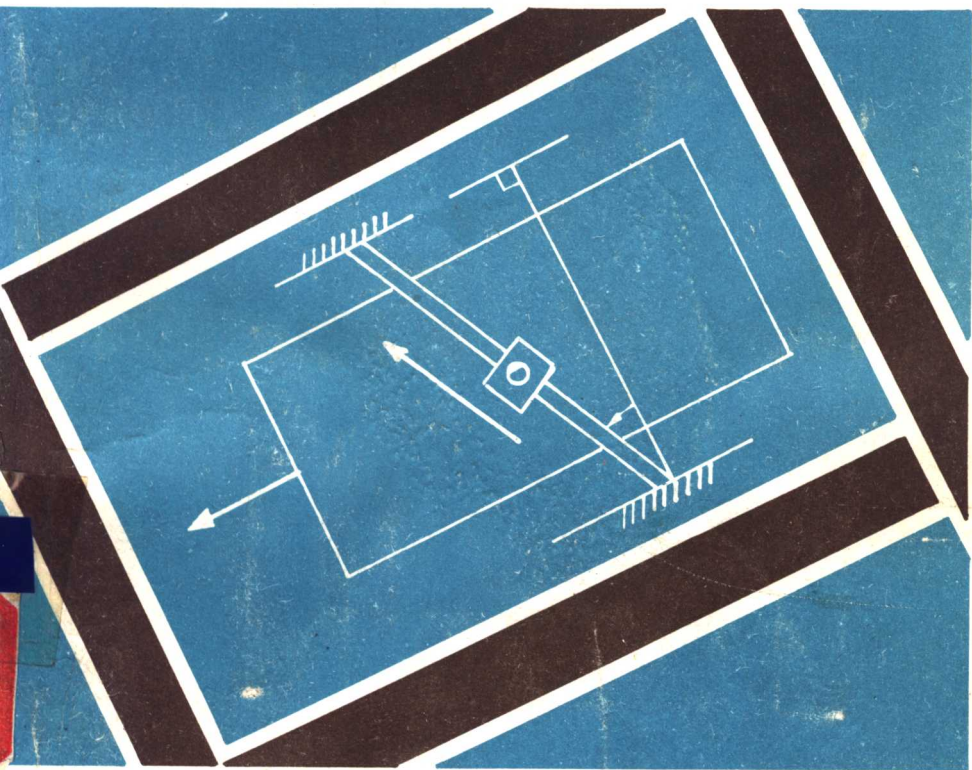


高等学校教材

理论力学

上册

西北工业大学理论力学教研室编



西北工业大学出版社

高等学校教材

理论力学

上册

西北工业大学理论力学教研室编

西北工业大学出版社

1993年9月 西安

(陕) 新登字 009 号

【内容简介】 本书是根据《高等工业学校理论力学课程教学基本要求》进行修订和编写的,可作为机械、航空、土建等专业(100~110学时)的理论力学教材,亦可供有关工程技术人员参考。

本书体系完整,推理严谨,叙述恰当,详简适度,且有通用性。书中附有思考题、习题和答案。

全书分上、下两册,上册包括静力学和运动学,下册为动力学。

高等学校教材 理 论 力 学 上 册

西北工业大学理论力学教研室编

责任编辑 蒋相宗

责任校对 生 力

*

© 1993 西北工业大学出版社出版
(西安市友谊西路 127 号 邮编 710072)

陕西省新华书店发行

西北工业大学出版社印刷厂印装

ISBN 7-5612-0490-6/O·61 (课)

*

开本 850×1168 毫米 1/32 10.75 印张 262 千字

1993 年 9 月第 1 版 1993 年 9 月第 1 次印刷

印数: 1—5 000 册 定价: 5.70 元

编者的话

本书是在西北工业大学历年来编写的多学时类《理论力学》教材的基础上,根据《高等工业学校理论力学课程教学基本要求》进行修订和编写的。

在修订和编写过程中,我们力求保持理论力学体系的完整性和严密性,定理证明和逻辑推理严谨,叙述恰当,详简适度。同时坚持理论联系实际和加强了各专业的通用性。

全书分上、下两册,上册包括静力学和运动学,下册为动力学,每册书末分别附有各章的习题和答案。引申和加选内容用“*”号标出。

此次修订和编写是在西北工业大学理论力学教研室统一规划和组织下完成的。参加修订和编写工作的有吕茂烈(绪论)、董秋泉(第一~七章)、蔡泰信(第八~十三章)、赵惠兰(第十四、十五章及第一~十三章习题)、弋崇义(第十六、十八~二十章)、支希哲(第十七章)、梁工谦(第二十一章)、杜文奎(第二十二~二十三章)。吕茂烈任主编。初稿经试用后由蔡泰信和董秋泉对全书作了统一修改,最后由吕茂烈定稿。和兴锁为全书描绘了插图。

本书承西安交通大学许庆余教授详细审阅,并提出了许多宝贵意见。在修订和编写过程中,西北工业大学理论力学教研室许多老师给予了大力支持,参加讨论和选题,以及对初稿提出修改意见,在此一并表示感谢。

由于编者的水平有限,书中难免有不妥和疏漏之处,敬请读者批评指正。

1993年春节

14A05/06

目 录

绪 论.....	1
----------	---

第一篇 静力学

第一章 静力学的基本概念和公理.....	8
----------------------	---

§ 1-1 刚体.....	8
§ 1-2 力.....	8
§ 1-3 静力学公理	11
§ 1-4 约束和约束反力	15
§ 1-5 受力分析和受力图	20

第二章 平面基本力系	25
------------------	----

§ 2-1 平面力系的基本类型	25
§ 2-2 平面共点力系合成的几何法	25
§ 2-3 平面共点力系平衡的几何条件	27
§ 2-4 力在坐标轴上的投影	30
§ 2-5 平面共点力系合成的解析法	32
§ 2-6 平面共点力系平衡的解析条件	33
§ 2-7 两个平行力的合成	37
§ 2-8 力偶和力偶矩·共面力偶间的等效条件	39
§ 2-9 平面力偶系的合成和平衡条件	42

第三章 平面任意力系	46
§ 3-1 力对点的矩	46
§ 3-2 力线平移定理	48
§ 3-3 平面任意力系向作用面内任一点的简化 · 力系的主矢和主矩	49
§ 3-4 平面力系合成为力偶或单个力的情形	53
§ 3-5 合力矩定理 · 力矩的解析表达式	54
§ 3-6 平面任意力系的平衡条件和平衡方程	56
§ 3-7 平面平行力系的平衡条件	63
§ 3-8 物体系的平衡 · 静不定问题的概念	65
§ 3-9 简单平面桁架的内力计算	74
第四章 摩 擦	80
§ 4-1 摩擦的概念	80
§ 4-2 滑动摩擦定律	81
§ 4-3 考虑滑动摩擦时的平衡问题	84
§ 4-4 滚动摩擦阻的概念	93
第五章 空间基本力系	98
§ 5-1 空间共点力系合成的几何法及其平衡的 几何条件	98
§ 5-2 力在轴上和平面上的投影	100
§ 5-3 空间共点力系合成的解析法及其平衡的 解析条件	104
§ 5-4 力偶作用面的平移 · 力偶矩矢 · 力偶 等效定理	108
§ 5-5 空间力偶系的合成和平衡条件	111

第六章 空间任意力系	115
§ 6-1 力对点的矩.....	115
§ 6-2 力对轴的矩.....	117
§ 6-3 力矩关系定理.....	118
§ 6-4 空间任意力系向任一点的简化·主矢和 主矩.....	121
§ 6-5 空间任意力系的各种合成结果·一般形式的 合力矩定理.....	125
§ 6-6 空间任意力系的平衡条件和平衡方程.....	129
第七章 重 心	135
§ 7-1 重心的概念.....	135
§ 7-2 平行力系中心.....	136
§ 7-3 重心的坐标公式.....	137
§ 7-4 确定重心位置的方法.....	140

第二篇 运动学

第八章 点的运动	148
§ 8-1 确定点的运动的基本方法·点的运动方程.....	148
§ 8-2 点在直线运动中的速度和加速度.....	152
§ 8-3 用矢量法表示点的速度和加速度.....	156
§ 8-4 用直角坐标法表示点的速度和加速度.....	159
§ 8-5 用自然法表示点的速度和加速度.....	163

第九章 刚体的基本运动	175
§ 9-1 概述.....	175
§ 9-2 刚体的平动.....	175
§ 9-3 刚体的定轴转动.....	177
§ 9-4 定轴转动刚体内各点的速度和加速度.....	179
§ 9-5 角速度和角加速度的矢量表达式。 以矢积表示刚体内各点的速度、 切向和法向加速度.....	185
第十章 点的复合运动	189
§ 10-1 基本概念	189
§ 10-2 点的相对运动	191
§ 10-3 点的速度合成定理	192
§ 10-4 牵连运动是平动时点的加速度合成定理	198
§ 10-5 牵连运动是定轴转动时点的加速度 合成定理	201
第十一章 刚体的平面运动	212
§ 11-1 刚体的平面运动方程	212
§ 11-2 平面运动的分解	214
§ 11-3 用基点法求平面图形内各点的速度	215
§ 11-4 用瞬心法求平面图形内各点的速度	219
§ 11-5 平面图形内各点的加速度	225
第十二章 刚体转动的合成	232
§ 12-1 刚体绕平行轴转动的合成	232
§ 12-2 刚体绕相交轴转动的合成	240

*第十三章 刚体的定点运动和一般运动	246
§ 13-1 欧拉角·刚体定点运动方程	246
§ 13-2 达朗伯-欧拉定理·刚体的瞬时转轴 和角速度	248
§ 13-3 角速度矢及其在坐标轴上的投影	249
§ 13-4 定点运动刚体内各点的速度和加速度	252
§ 13-5 刚体的一般运动	256
习 题	260

绪 论

1. 理论力学的内容

在高等工业学校里，理论力学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，它的基本定律早已由伽利略提出，并由牛顿最后精确地归纳为完备的形式。三个世纪的实践证明，经典力学的定律有着极其广泛的适用性。只是到上世纪末，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，从而在本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于用经典力学来研究。

本书按照高等工业学校多学时理论力学的基本要求和教学大纲，系统叙述本课程的基本内容，包括理论力学的基本理论及其典型应用。根据循序渐进的原则，采用传统的体系，本书的内容包括：

第一篇静力学，研究物体机械运动的特殊情形——平衡问题；

第二篇运动学，从几何观点出发描述物体运动的进行方式及其特征；

第三篇动力学，联系物理原因研究物体的运动特点及其相互之间的机械作用。

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. 理论力学的研究方法

在力学发展的过程中，形成了一整套符合科学认识规律的方法。最初，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。

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；等等。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，以便作更深入的研究。这种由简到繁，由粗到精的研究方法，在力学以及其他科学中都是广泛采用的，这是因为当思维从具体的东西上升到概念上的东西时，能更接近真理，更正确、更完全地反映自然。

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），作为整个经典力学的基础。

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。在今天电子计算机的时代，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，力学不只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。

在力学的今后研究中，有必要更广泛地考虑物质对象的复杂性，以便更深入地探索力学现象的物质本质，从而建立起更符合实际的新模型和相应的力学规律。只有这样，力学的内容才能不断地丰富起来。

科学的目的是不只在认识世界，更重要的是在于改造世界。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。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，都必须在它指导实践时加以验证。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。

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实践的认识真理、认识客观现实的辩证的途径。

3. 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（公元前 468~382 年）学说的《墨经》里就有关于力学原理的记载，如“秤”的原理。古希腊学者亚里斯多德（公元前 384~322 年）也曾作过有关力学的研究。杰出的西拉库兹（地中海一岛）学者阿基米德（约公元前 287~212 年）总结了古代的静力学知识，奠定了静力学的基础。在他的《论比重》一书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。约翰·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作出了卓越的贡献。

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(1642~1727 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，将动力学理论作了系统的

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芬（1548～1620年）、德国学者罗伯瓦尔（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。法国学者布安索（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。德国学者莱伯尼兹（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·伯努里（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，法国学者达朗伯（1717～1785年）给出了一个解决动力学问题的普遍原理，即所谓达朗伯原理，从而奠定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。19世纪中，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。

第一篇 静力学

静力学，主要是刚体静力学，要研究的主要问题是：

(1) 作用于刚体的力的性质及其运算（包括合成、分解和简化）的方法；

(2) 刚体在力系作用下维持平衡的条件及其应用。

所谓平衡，是指物体相对于某个惯性参考系的静止。工程上常取地球作为惯性参考系。在本书中，如无特别说明，都作这样的理解。平衡状态排除任何转动。

平衡规律在工程上有广泛的应用，各种建筑物，在设计时就往往首先要通过静力分析。同时，在静力学里关于力的合成、分解和简化等理论，也是研究动力学所需要的。因此，本课程中先叙述静力学。

这里所提到的刚体、力等都是力学最基本的概念，下面将分别说明。

第一章 静力学的基本概念和公理

§ 1-1 刚 体

所谓刚体，是指在外界的任何作用下形状和大小都始终保持不变的物体。或者说，刚体内任意两点间的距离保持不变。实际的物体在受力作用时总会有变形，但只要这种变形不影响物体的平衡或运动特性，仍可以把变形后的物体看作刚体。一个物体能否被看作刚体，不仅取决于变形的大小，而且和问题本身的要求有关。同一个物体，在理论力学里被看作刚体，而在材料力学里，当需要了解力和变形之间的关系时，又被看作弹性体。

§ 1-2 力

人类在长期生活和生产实践中，通过反复的观察、实验和分析，才逐步建立力的科学概念：力是物体相互间的机械作用^①，这种作用使这些物体的形状和运动状态发生改变。

在自然界里可以看到由各种不同的物理原因产生的力，但在理论力学里只研究力所产生的效应，而不研究它的物理来源。力的效应，表现为受力物体的形状和运动状态的改变。我们约定，把引起物体变形的效应称为力的内效应，而使受力物体运动状态改

① 物体间还可以有其他的相互作用；例如电磁作用、化学作用等等。但本书为简便起见，常将机械作用简称为作用。