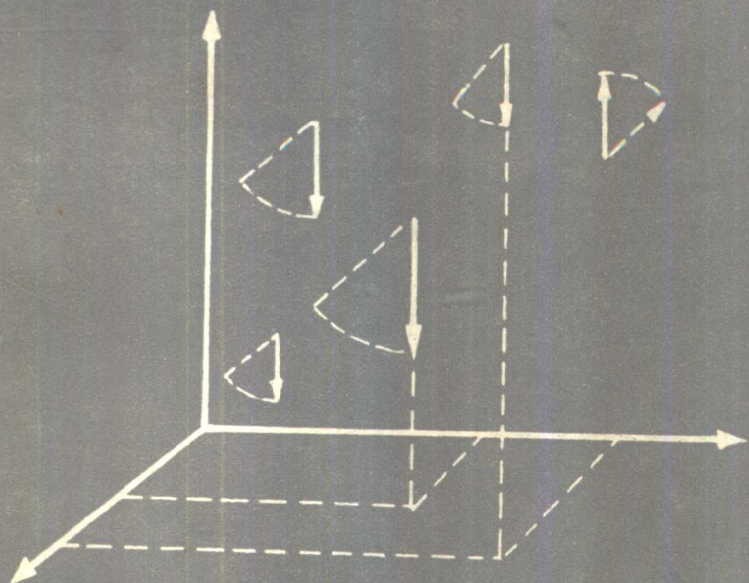


理论力学

西北工业大学理论力学教研室编



陕西科学技术出版社

LILUNLIXUE

附 表

· 还回

理 论 力 学

西北工业大学理论力学教研室 第

陕西科学技术出版社出版

(西安北大街 131 号)

陕西省新华书店发行 西安新华印刷厂印刷

开本 850×1168 1/32 印张·17 字数 370,000

1983 年 8 月第 1 版 1984 年 1 月第 1 次印刷

印数 1— 10,400

统一书号: 13202·41 定价: 2.30 元

327465

编 者 的 话

本书是西北工业大学多年来采用的中、少学时类“理论力学”教材，这次出版前又作了进一步的修订。

在修订中根据教育部新订大学工科理论力学中、少学时类教学大纲的要求，广泛征求了意见，综合了各方面的教学经验，特别注意了内容叙述恰当和详简适度要求的特点；同时，坚持理论联系实际，在例题和习题的选择方面，加强了通用性。

本书由吕茂烈主编。参加编写工作的有孙国锟、弋崇义、白振林、董秋泉、刘生培等，李瑛参加了习题的编选工作，附图全部由赵惠兰设计、绘制。全书经孙海润审阅。

限于编者水平，加之这次修订时间比较仓促，因而书中一定存在不妥之处，希望读者批评指正。

1981年9月

绪 论

在高等工业学校里理论力学是一门技术基础课，它在经典力学的范围内研究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和牛顿精确地归纳为完备的形式。三个世纪的实践表明，经典力学的定律有着极其广泛的适用性。只是到上世纪末，物理学的一些重大新成就揭示出经典力学不适用于接近光速的运动，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。

本书是按照中等学时教学大纲的要求来系统地叙述理论力学的基本理论及其典型应用的。根据循序渐进的原则，采用传统的体系，内容包括：

第一部分静力学，研究物体机械运动的特殊情况——平衡问题；

第二部分运动学，从几何观点出发描述物体运动的进行方式及其特征；

第三部分动力学，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和通过学习培养的分析问题、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、机械零件等的基础。同时也是一般工程技术人员为掌握科技新成

就和从事研究所必须具备的。因此，在学习本书时，务必重视理论与实践相结合的原则。同时，要结合理力学自然科学特点，注意培养辩证唯物主义世界观。

在力学的发展过程中，形成了一整套符合科学认识规律的方法。最初力学基本概念和基本定律的建立是以对自然的直接观察以及从生活、生产中取得的经验作为出发点的。系统地组织实验，也是研究的重要一环。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下解决后，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，在力学以及其它科学中都是广泛采用的。列宁指出：“当思维从具体的东西上升到抽象的东西时，它不是离开——如果它是正确的……——真理，而是接近真理。物质的抽象，自然规律的抽象，价值的抽象及其它等等，一句话，那一切科学的（正确的、郑重的、不是荒唐的）抽象，都是更深刻、更正确、更完全地反映着自然”^①。

此后通过分析、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力学公理（或定律、原理），来作为整个经典力学的基础。

^①列宁：“黑格尔《逻辑学》一书摘要”见列宁《哲学笔记》人民出版社，1956年版，第155页。

建立起力学公理后，就可据以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的概念，这些概念反映了人们对事物的新的认识。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问题。自然，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。

今后在力学的研究中，还必须和物质对象更加深入地联系起来，以便更深入地探索力学现象的物理本质，进一步发掘事物的特征，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于认识世界，更重要的是在于改造世界。从实践到理论是认识过程的一个飞跃，而由理论到实践则是更重要的一个飞跃。实践既是认识的唯一目的，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就是“从生动的直观到抽象的思维，并从抽象的思维到实践”的“认识真理、认识客观实在的辩证的途径”^①。

^①列宁：“黑格尔《逻辑学》一书摘要”，见列宁《哲学笔记》，人民出版社，1956年版，第155页。

力学是最早发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）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）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（公元前287~212）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，以及平行力合成、分解的理论与重心的学说。此后，直到公元十四世纪的漫长时期中，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。

十五世纪后半期，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）就是这个时代的杰出代表。他曾研究过物体沿斜面的运动和滑动摩擦。得出了滑动摩擦力与物体间接触面大小无关的结论。还在研究秤杆的平衡时引入了力矩的概念。

不久以后，波兰学者哥白尼（1473~1543）在总结前人天文观测的基础上，创立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”^①。约翰·开普勒（1571~1630）根据哥白尼的学说，

^①恩格斯：《自然辩证法》，见马克思、恩格斯选集第三卷，人民出版社，1972年版第446页。

以及大量的天文观测，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）首先在力学中应用了有计划的科学实验，创立了科学研究方法。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，他对建立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者经过法国学者笛卡儿（1596~1650）、荷兰学者惠更斯（1629~1695）等人的努力，后来由英国物理学、数学家伊萨克·牛顿（1642~1727）完成。牛顿在其名著《自然哲学的数学原理》（1687）中完备地建立了古典力学的基本定律，并从这些定律出发，将动力学理论作了系统的叙述。牛顿运动定律是整个古典力学的基础。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，这个定律给后来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，十七世纪被看成是动力学的奠基时期，与此同时，在十七世纪到十九世纪初，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）、德国学者罗伯瓦尔（1602~1675）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) 发展, 最后建成完整的力矩定理。法国学者布安索 (1777~1859) 创立了完整的力偶理论, 他制定了静力学的现代形式, 并使力学中的几何法得到巨大进展。

十八世纪转入动力学的发展时期。德国学者莱伯尼兹 (1646~1716) 与牛顿彼此独立地发明的微积分原理, 对十八世纪力学朝分析方向的发展提供了基础。不久法国学者达朗伯 (1717~1785) 给出了一个解决动力学问题的普遍原理即所谓的达朗伯原理, 从而奠定非自由质点系动力学的基础。此后法国数学、力学家拉格朗日 (1736~1813) 等人奠定了分析力学。

十九世纪初到中叶, 因大量使用机器而引进的效率问题, 促使“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, 而且在力学和其它科学之间, 在物质运动的各种方式之间, 起了沟通作用, 使力学的发展在许多方面和理论物理紧密地交织在一起。

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获得了很大的进展, 力学中形成了一系列专门学科, 如图解力学、机器与机构理论、振动理论。运动学也开始成为理论力学的一个独立部分。

二十世纪以来, 与航空工业及其它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。二十世纪中叶以后, 航天工程的兴起又给力学提出了许多新的极为复杂的理论问题。依靠快速电子计算机的协助, 已解决了宇宙火箭的发射、人造卫星轨道的计算、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。

二十世纪的特点是出现了大批新的边缘科学，力学正在越来越多地渗入其它有关科学中。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，能够更多地考虑各种物理因素。这样，就使得力学的领域不断扩大从而形成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。

目 录

绪论	(1)
----	-----

第一部分 静 力 学

第一章 静力学的基本概念与公理

§ 1—1 静力学的任务	(2)
§ 1—2 刚体	(2)
§ 1—3 力 矢量	(3)
§ 1—4 静力学公理	(7)
§ 1—5 约束和约束反作用力	(12)
§ 1—6 受力分析和受力图	(17)

第二章 平面基本力系

§ 2—1 平面问题	(21)
§ 2—2 共点力系合成的几何法及其平衡的几何条件	(22)
§ 2—3 力的分解	(29)
§ 2—4 力在坐标轴上的投影	(32)
§ 2—5 共点力系合成的解析法及其平衡的解析条件	(33)
§ 2—6 平行力的合成	(37)
§ 2—7 力偶 力偶矩	(41)
§ 2—8 平面内力偶的等效变换	(43)

§ 2—9	平面力偶系的合成及其平衡条件·····	(44)
-------	---------------------	------

第三章 平面任意力系

§ 3—1	力对点的矩·····	(48)
§ 3—2	力线平移定理·····	(50)
§ 3—3	平面任意力系向作用面内任一点简化 力系的主矢和主矩·····	(51)
§ 3—4	平面力系合成为一个力偶或一个力的 情形·····	(53)
§ 3—5	合力之矩定理 力矩的解析表达式·····	(55)
§ 3—6	平面任意力系的平衡和平衡方程·····	(59)
§ 3—7	平面平行力系的平衡·····	(67)
§ 3—8	物体系的平衡 静不定问题的概念·····	(69)
§ 3—9	简单平面桁架的内力计算·····	(78)

第四章 摩 擦

§ 4—1	摩擦现象·····	(84)
§ 4—2	滑动摩擦定律·····	(85)
§ 4—3	考虑摩擦时平衡问题举例·····	(89)
§ 4—4	滚动摩阻的概念·····	(96)

第五章 空间基本力系

§ 5—1	空间问题·····	(102)
§ 5—2	空间共点力系合成的几何法及其平衡 的几何条件·····	(102)
§ 5—3	力在一轴上和在一平面上的投影 力 沿坐标轴的分解·····	(105)
§ 5—4	空间共点力系合成的解析法及其平衡 的解析条件·····	(109)

§ 5—5	力偶作用面的平移 力偶矩矢和力偶 等效定理·····	(113)
-------	-------------------------------	-------

§ 5—6	空间力偶系的合成及其平衡条件·····	(116)
-------	---------------------	-------

第六章 空间任意力系

§ 6—1	力对点的矩和对轴的矩·····	(119)
-------	-----------------	-------

§ 6—2	力矩关系定理 力对坐标轴的矩·····	(122)
-------	---------------------	-------

§ 6—3	空间任意力系向任一点的简化 主矢 和主矩·····	(127)
-------	------------------------------	-------

§ 6—4	空间任意力系的各种合成结果 一般 形式的合力矩定理·····	(130)
-------	-----------------------------------	-------

§ 6—5	空间力系的平衡及其平衡方程·····	(134)
-------	--------------------	-------

第二部分 运 动 学

第七章 点的运动

§ 7—1	运动学的任务和基本概念·····	(142)
-------	------------------	-------

§ 7—2	给定点运动的基本方法 点的运动方 程和轨迹方程·····	(144)
-------	---------------------------------	-------

§ 7—3	点在直线运动中的速度和加速度·····	(150)
-------	---------------------	-------

§ 7—4	点在曲线运动中的速度和加速度表示 成矢导数·····	(156)
-------	-------------------------------	-------

§ 7—5	点的速度和加速度在直角坐标轴上的 投影·····	(160)
-------	-----------------------------	-------

§ 7—6	切向加速度和法向加速度·····	(164)
-------	------------------	-------

第八章 刚体的基本运动

§ 8—1	概述·····	(176)
-------	---------	-------

§ 8—2	刚体的平动·····	(176)
-------	------------	-------

§ 8—3	刚体的定轴转动·····	(178)
§ 8—4	转动刚体内各点的速度和加速度·····	(181)
§ 8—5	把角速度看作矢量 用矢积表示点的 速度、切向和法向加速度·····	(188)

第九章 点的复合运动

§ 9—1	基本概念·····	(191)
§ 9—2	点的相对运动·····	(193)
§ 9—3	点的速度合成定理·····	(196)
§ 9—4	牵连运动是平动时点的加速度合成定 理·····	(200)
§ 9—5	牵连运动是定轴转动时点的加速度合 成定理·····	(203)

第十章 刚体的平面运动

§ 10—1	刚体的平面运动方程 平面运动的分 解·····	(214)
§ 10—2	平面图形内各点的速度·····	(217)
§ 10—3	平面图形的速度瞬心·····	(223)
§ 10—4	平面图形内各点的加速度·····	(231)
§ 10—5	刚体绕平行轴转动的合成·····	(234)

第三部分 动 力 学

第十一章 质点动力学基础

§ 11—1	动力学的任务·····	(242)
§ 11—2	动力学基本定律·····	(243)
§ 11—3	质点运动微分方程·····	(247)
§ 11—4	质点的两类动力学问题·····	(249)

§ 11—5	求质点直线运动微分方程积分的若干 典型例子·····	(257)
--------	-------------------------------	-------

第十二章 动能定理

§ 12—1	动力学普遍定理概述·····	(265)
§ 12—2	力的功 元功的表达式·····	(266)
§ 12—3	质点动能定理·····	(272)
§ 12—4	质点系所受力的功·····	(279)
§ 12—5	质点系和刚体的动能·····	(283)
§ 12—6	质点系动能定理·····	(286)
§ 12—7	动能定理的其它应用·····	(291)
§ 12—8	势力场 势能 机械能守恒定理·····	(297)

第十三章 动量定理和动量矩定理

§ 13—1	动量定理·····	(304)
§ 13—2	力的冲量和冲量定理·····	(309)
§ 13—3	质心运动定理·····	(312)
§ 13—4	质点动量矩定理·····	(318)
§ 13—5	质点系动量矩定理·····	(322)
§ 13—6	碰撞·····	(331)
§ 13—7	普遍定理的综合应用·····	(337)

第十四章 达朗伯原理和动静法

§ 14—1	达朗伯原理·····	(340)
§ 14—2	惯性力的简化·····	(342)
§ 14—3	动静法及其应用举例·····	(345)

第十五章 振动·····

§ 15—1	自由振动·····	(358)
§ 15—2	衰减振动·····	(366)

§ 15—3 强迫振动·····	(376)
附录 I 重心	
I—1 重心的概念·····	(391)
I—2 平行力系中心的坐标公式·····	(392)
I—3 重心的坐标公式·····	(394)
I—4 确定重心位置的几种方法·····	(396)
附录 I 转动惯量	
I—1 转动惯量的概念·····	(405)
I—2 简单形状匀质刚体的转动惯量 回转半 径·····	(406)
I—3 转动惯量的平行轴定理·····	(410)
习 题 ·····	(419)

第一部分 静力学