

理论力学

刘思汉 主编

ILUNLIXUE

上

等学校函授教材
(作高等教育自学用书)

高等学校函授教材

(兼作高等教育自学用书)

理论力学

(上)

刘思汉 郭福纯 郭万镇 编
刘秀云 李景正 殷汝珍

刘思汉 主编

辽宁科学技术出版社

一九八五年·沈阳

理论力学

Lilun Lixue

(上)

刘思汉 主编

辽宁科学技术出版社出版 (沈阳市南京街6段1里2号)

辽宁省新华书店发行 朝阳六六七厂印刷

开本: $787 \times 1092 \frac{1}{32}$ 印张: $18\frac{5}{8}$ 字数: 437,000

1985年3月第1版

1985年3月第1次印刷

责任编辑: 王静一

责任校对: 王 莉

封面设计: 李文章

印数: 1—15,000

统一书号: 7288·47

定价: 3.35元

前 言

本书是在我院1960年编写的、由人民教育出版社出版的《理论力学》函授教材的基础上，并按照1981年12月教育部召开的高等工业学校函授教育工作会议审订的教学大纲（草案）（机械类）的要求，而重新编写的。它可作为机械类各专业的理论力学函授教材，也可供工程技术人员、电视大学、业余大学和自学等师生参考。

编写本书时，曾参考了有关的理论力学教学大纲和其它院校的教材。我们保留了原有教材的体系，但还吸取了国外教材中的一些特点。为了便于自学，采取了教材、小结与自学方法指导、思考题、习题等几部分合一的教材形式。

编写本书时，我们注意到：1. 加强基础概念。在概念的叙述、原理的论证、公式的推导以及解题的方法和步骤等方面，都写得较为详细，这对帮助学生理解基本概念与基本理论及其应用是很有益的。2. 联系工程实际。每一章节在理论叙述之后，都有较多的例题、思考题、习题等，这些都紧密联系工程实际。全书共有例题190个、思考题169个、习题531个，这对函授生接触工程实际、提高学习兴趣，是有帮助的。特别是有利于培养学生分析问题和解决问题的能力。

3. 坚持循序渐进，由浅入深的原则。有些问题还结合各章节的有关内容反复讲述。每章之前有提要，每章之后有小结与自学方法指导，并指出重点、难点、注意点以及基本习

题。4. 注意精选内容、少而精和因材施教的原则。一些内容力求作到主次分明, 详略恰当。此外还附加了一些加深加宽的“*”号内容, 供不同的专业选用。

本书由刘思汉主编、李景正主审。参加编写的有刘思汉(前言, 绪论, 学习方法指导, 各篇引言, 附录, 第一, 三, 廿四章), 郭福纯(第二, 四, 十一, 十五章), 郭万镇(第五, 十四, 十七, 十八, 十九章), 刘秀云(第六, 七, 八, 九, 十, 十二章), 李景正(第十三, 十六章), 殷汝珍(第廿, 廿一, 廿二, 廿三章)。

限于编者水平, 又由于编写时间仓促, 缺点和错误是难免的, 希望读者提出批评指正。

编 者

1984. 2

目 录

前 言

绪 论

学习方法指导

第一篇 静 力 学

引 言10

第一章 静力学的基本概念和公理12

§ 1—1 力的概念.....12

§ 1—2 刚体的概念.....14

§ 1—3 静力学公理.....15

§ 1—4 约束与约束反力.....21

§ 1—5 物体的受力分析 受力图.....28

小结及自学指导34

思考题35

习 题38

第二章 平面汇交力系43

§ 2—1 平面汇交力系实例.....43

§ 2—2 平面汇交力系合成的几何法.....44

§ 2—3 平面汇交力系平衡的几何条件.....46

§ 2—4 三力平衡汇交定理.....49

§ 2—5 平面汇交力系合成的解析法.....51

§ 2—6 平面汇交力系的平衡方程.....55

小结及自学指导	64
思考题	66
习 题	68
第三章 力矩 平面力偶系	80
§ 3—1 力对点的矩 合力矩定理	80
§ 3—2 力偶与力偶矩	84
§ 3—3 力偶的等效	87
§ 3—4 平面力偶系的合成和平衡条件	90
小结及自学指导	94
思考题	95
习 题	97
第四章 平面一般力系	106
§ 4—1 平面一般力系实例	106
§ 4—2 力线平移定理	109
§ 4—3 平面一般力系向一点简化 主矢与主矩	112
§ 4—4 平面一般力系简化结果的讨论 合力矩定理	114
§ 4—5 平面一般力系的平衡条件和平衡方程	119
§ 4—6 平面平行力系的平衡方程	127
§ 4—7 静定和静不定问题	131
§ 4—8 物体系的平衡	132
§ 4—9 平面桁架中杆件内力计算	143
小结及自学指导	149
思考题	153
习 题	155
第五章 摩擦	179
§ 5—1 工程中的摩擦问题	179
§ 5—2 滑动摩擦	180
§ 5—3 摩擦角和自锁现象	184

§ 5—4	考虑摩擦时物体的平衡问题	188
* § 5—5	摩擦圆	198
§ 5—6	滚动摩擦	201
	小结及自学指导	206
	思考题	208
	习 题	209
第六章 空间汇交力系		225
§ 6—1	空间汇交力系的合成	225
§ 6—2	空间汇交力系的平衡条件与平衡方程	231
	小结及自学指导	234
	思考题	236
	习 题	236
第七章 空间力偶系		242
§ 7—1	空间力偶的等效	242
§ 7—2	力偶矩以矢量表示	244
§ 7—3	空间力偶系的合成与平衡	245
	小结及自学指导	249
	思考题	250
	习 题	251
第八章 空间一般力系 重心		254
§ 8—1	力对轴之矩	254
§ 8—2	力对点之矩以矢量表示	257
§ 8—3	力对点之矩与力对通过该点的轴之矩的关系	259
§ 8—4	空间一般力系向一点简化 主矢与主矩	262
§ 8—5	空间一般力系简化结果的讨论 合力矩定理	265
§ 8—6	空间一般力系的平衡方程	268
§ 8—7	平行力系中心	278

§ 8—8	重心的概念、重心的坐标公式·····	281
§ 8—9	几种求重心位置的方法·····	286
小结及自学指导	·····	298
思考题	·····	305
习 题	·····	306

第二篇 运 动 学

引 言	·····	321
第九章 点的运动	·····	323
§ 9—1	点的位置的确定法·····	323
§ 9—2	点的速度与加速度·····	329
§ 9—3	由直角坐标法求点的速度和加速度·····	332
§ 9—4	自然轴系·····	346
§ 9—5	由自然法求点的速度和加速度·····	348
小结及自学指导	·····	360
思考题	·····	363
习 题	·····	363
第十章 刚体的基本运动	·····	373
§ 10—1	刚体的平动·····	373
§ 10—2	刚体绕固定轴的转动·····	376
§ 10—3	转动刚体上各点的速度和加速度·····	386
§ 10—4	定轴轮系的传动比·····	392
§ 10—5	角速度及角加速度的矢量表示法 以矢量积 表示转动刚体内点的速度与加速度·····	397
小结及自学指导	·····	401
思考题	·····	402
习 题	·····	404
第十一章 点的合成运动	·····	412

§ 11—1	点的绝对运动、相对运动与牵连运动·····	412
§ 11—2	点的速度合成定理·····	417
§ 11—3	牵连运动为平动时点的加速度合成定理·····	423
§ 11—4	牵连运动为转动时点的加速度合成定理的简 要证明·····	429
• § 11—5	牵连运动为转动时点的加速度合成定理的一 般证明·····	436
小结及自学指导	·····	444
思考题	·····	446
习 题	·····	447
第十二章	刚体的平面运动 ·····	458
§ 12—1	刚体平面运动的概述·····	458
§ 12—2	平面运动分解为平动和转动·····	461
§ 12—3	平面图形内各点的速度·····	463
§ 12—4	平面图形内各点的加速度 * 加速度瞬心的 概念·····	480
§ 12—5	刚体绕平行轴转动的合成·····	489
小结及自学指导	·····	497
思考题	·····	499
习 题	·····	501
*第十三章	刚体绕定点运动与刚体一般运动 ·····	518
§ 13—1	欧拉角 刚体绕定点运动方程·····	518
§ 13—2	绕相交轴的两个转动的合成·····	520
§ 13—3	刚体绕定点运动的瞬时轴、角速度、角加速度·····	526
§ 13—4	绕定点运动刚体上各点的速度与加速度·····	532
§ 13—5	刚体的一般运动及其分解为平动与绕 定点运动·····	538
§ 13—6	一般运动刚体上各点的速度与加速度·····	540

小结及自学指导	544
思考题	546
习 题	547
附录一 数学选题	554
•附录二 例 4 —11 电子计算机程序	564
•附录三 例12—10 电子计算机程序	566
附录四 习题答案	568

绪 论

一、理论力学的研究对象与内容

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，就是物体在空间的位置随时间的变化（包括物体对于其他物体的相对静止）。例如：天体的运行；车辆、船只的行驶；各种机器的运转；空气、河水的流动等等都是机械运动。它是物质运动的最简单的形式。

恩格斯在《自然辩证法》中曾经指出：“就最一般的意义来说，运动是物质存在的形式，物质的固有属性，它包括宇宙中所发生的一切变化和过程，从简单的位置变动起直到思维止。”由此可见，物质运动的形式，是多种多样、十分复杂的。例如物理中热、电、光等都是物质运动的较为复杂的形式。这些物质运动的形式之间存在着本质上的差别，因此，研究它们的方法也就有很大的不同，这就形成了不同的科学，如理论力学、物理学、化学、生物学及社会科学等。

理论力学所研究的内容是以牛顿所建立的基本定律为基础的古典力学。科学技术的进一步发展表明，只有当研究宏观物体的运动而且它的速度远小于光速（ $3 \times 10^8 \text{Km/s}$ ）时，古典力学才是正确的。如果物体运动的速度接近于光速，或者研究的是微观粒子的运动，古典力学就不适用了，而是其他力学所研究的问题。

应该指出，“古典力学”是相对于近代力学而言的，但是并不意味着它已经陈旧衰老，在工程实际问题中，古典力学的规律，仍然是十分重要的。这是因为在工程中，我们所遇到的机械运动一般都是宏观物体的运动，而且物体运动速度远小于光速。因此，应用古典力学的规律去解决工程问题是足够精确的，其计算也比较简单。

为了便于研究，理论力学通常分为三部分，即静力学，运动学和动力学。

静力学研究物体平衡时作用力之间的关系。

运动学研究物体运动的几何性质，而不考虑作用于物体上的力。

动力学研究作用于物体上的力与运动变化之间的关系。

二、理论力学的任务

既然机械运动是自然界和最常见到的一种运动，因而，不难理解，理论力学对现代自然科学和工程技术应该起着何等重要的作用。我们掌握了物体机械运动的规律，就可以解决在工程上所遇到的有关问题。因为在各种建筑工程中，在机械设计中，以及其他的工程计算都是以理论力学的规律为基础的，所以理论力学是自然科学和工程技术的理论基础之一。

由于理论力学是现代工程技术的基础，所以它是工科院校各专业的教学计划中的一门重要的技术基础课。它是学习一系列后继的技术基础课和专业课程的基础。例如材料力学、机械原理、机械设计、结构力学、弹性力学、流体力学等等，都要以理论力学为基础。如果不掌握理论力学中的基

本概念、基本理论和基本方法，是很难学好这些课程的。

此外，理论力学的分析和研究方法在科学研究中有一定的典型性，有助于培养学生对待工程实际问题具有抽象、简化和正确地进行分析的能力；有助于培养学生的辩证唯物主义世界观，树立正确的思想方法，并能自觉的运用科学规律来改造自然，为四个现代化建设服务。

三、理论力学的研究方法

任何一门科学的研究方法，都不能离开认识过程的客观规律，即实践——理论——实践的认识过程。但是每门科学由于研究的对象不同，因此在研究方法上都具有不同的特点。在力学中，研究的出发点是生产实践。但是实际的力学现象是极其复杂的。如何去接近实际问题，则必须应用抽象化的方法，忽略掉实际问题的次要因素，而用一理想的模型来反映客观事物的主要性质。例如，在静力学中，我们撇开物体改变本身形状的性质，就得到“刚体”这一简化了的模型。问题经过简化而初步解决之后，必须进一步去接近实际情况。这时我们就必须考虑那些在初步近似研究中被忽略掉的某些因素。例如只有在讨论了刚体的平衡后，才能进一步研究变形体的平衡问题。

抽象化的方法必须与大量的观察实验相配合才能得到符合客观实际的普遍规律，也就是说，只有通过观察与实验，才能抽象出现象的本质，并找出其中的规律。

根据大量的实验观察得到的一些普遍规律就是定律或公理，例如静力学公理，牛顿定律等。这些公理或定律，反映了物体机械运动的一些最基本的规律。人们根据这些基本规

律，再通过演绎推理的方法，考虑到问题的具体条件，从而得出各种形式的定理和结论。

数学与力学有着极其密切的关系。数学不仅是推理的工具，同时还是计算的工具。力学现象之间的关系总是通过数量表示的。因此，计算技术对力学的应用有巨大的作用。特别是电子计算机的出现，为计算技术在工程技术问题中的应用开辟了广阔的远景。

必须指出，应用数学的方法所得出的结论是否正确，还必须在实践中验证，因为理论必须靠实践来考验，实践是检验真理的唯一标准。从实践得到理论，再由理论回到实践。理论只有符合客观实践，才是正确的；也只有这样的理论，才有指导实践的作用。

* 四、力学的发展情况简介

力学和数学既是科学发展史上的两支先锋队，又始终是科学发展史上的两支主力军，它们是物理学的两根主要支柱。

早在公元前三百年，阿基米德的“静力学”和欧基里德的“几何学”，就迅速地发展起来了。但是两者后来都停滞不前、无所进展达两千年之久。直到十七世纪，牛顿创立了古典力学，才实现了人类对自然界认识的巨大飞跃。

以牛顿三大运动定律为基础的古典力学体系，它决定了三百多年的力学发展方向与范畴。毫无疑问，它今后还将继续指导力学这门学科的发展。

但应该指出的是牛顿在叙述这些运动定律时，曾引入了所谓“绝对空间”和“绝对时间”观念，他将时间、空间理

解为与物质和物质运动都无关的绝对标准，这显然是错误的。

牛顿另一个最大成就，在于他发现了表达因果性物理定律的必要工具，即数学方法。关于这一点，爱因斯坦曾作过如下的论述：“为了给予他的体系以数学的形式，牛顿首先发现微积分的概念，并用微分方程的形式来表达他的运动定律——这或许是有史以来一个人所能迈出的一个最大的理智步伐。”

从十八世纪到十九世纪末，力学的发展，主要在于把牛顿的古典体力学系，向深度和广度两方面推进。

在向深度推进方面，一是哈密顿原理的出现，把力学的基础，建立在能量组合（拉格朗日函数）的积分极值原理上。对从牛顿力学通向广义相对论，量子 and 波动力学它起到了桥梁的作用。二是统计力学的出现，把牛顿力学推进到了微观世界。

在向广度推进方面，则表现为牛顿基本运动规律和具体物性的结合。即把不同介质作为具有不同特性的质点组处理，从而出现了刚体力学、弹性力学、流体力学和气动力学等。

二十世纪出现了两门新兴力学，即描述微观世界物质运动规律的量子力学和描述宏观高速物质运动规律的相对论力学。在形式上它们和古典力学截然不同，但当两者趋于常规状态时，都自动向古典力学转化，这就是玻尔的“对应准则”。和古典力学相比，两者都需要用远较复杂的数学工具来表达。量子力学用抽象的函数空间，相对论力学用抽象的几何空间表述。离开了数学语言，要给它们以轮廓清晰的描绘，是很困难的。

由于量子力学和相对论的出现，牛顿古典力学体系的一统世界，似乎发生了动摇，牛顿力学似乎不能再作为自然界的真理了。但真理总是相对的。新力学的兴起，与其说是对牛顿力学体系的否定，倒不如说是对牛顿力学体系的扩展，使力学的范畴向大小两端的延伸。

因此，作为新的力学概念，牛顿对于“力”的定义，即改变物体运动的原因，可以完全保留下来。力学的基本定律，在常规情况下，保留为牛顿的力学体系。在微观世界，“力”表现为粒子之间的“相互作用场”；在宏观世界，“力”表现为时——空四度结构的曲率。由微观到常规到宏观世界，力学的统一性表现为“对应准则”的存在。量子力学、古典力学、相对论力学，各具有其适应的范畴，在各自的领域内，都表达了相对的真理。

可以预见，随着工程技术的不断发展，今后力学还将获得更大的成就。

*参阅光明日报：“谈谈力学”，谈镐生，1978.8.11.