

— 高等学校教材 —

理 論 力 学

上 册

哈尔滨工业大学理論力学教研室編

人 民 教 育 出 版 社

52.1

9

高等学校教材



理 論 力 学
上 册

哈尔滨工业大学理论力学教研室編

人 民 教 育 出 版 社

52.1
↑
高等学校教材



理 論 力 学
下 册

哈尔滨工业大学理论力学教研室編

高等教育出版社

本书系哈尔滨工业大学理论力学教研室根据高等工业学校机械、动力、电机、土建等类专业“理论力学”课程的教学要求而编写的。

全书分为上、下两册。上册包括静力学和运动学。前者阐述了力系的简化规律和平衡条件，后者分析了点和刚体运动的几何性质。下册为动力学部分，内容包括动力学的普遍定律和解决动力学问题的运动微分方程、基本定理、达朗伯原理、可能位移原理、拉格朗日方程以及振动理论、碰撞理论等。同时也简要地阐述了迴轉仪近似理论、变质量质点的动力学及质点在中心场中的运动。

本书可作为高等工业学校机械、动力、电机、土建等类专业“理论力学”课程的试用教科书，亦可供工程技术人员及其他专业师生参考。

理 论 力 学

上 册

哈尔滨工业大学理论力学教研室编

北京市书刊出版业营业许可出字第2号

人民教育出版社出版(北京景山东街)

人 民 教 育 印 刷 厂 印 装

新华书店北京发行所发行

各 地 新 华 书 店 经 售

统一书号K13010·910 开本850×1168 1/32 印张9 2/11

字数220,000 印数110,001—123,500 定价(6) 0.90

1961年6月第1版 1962年2月第2版 1961年6月北京第3次印刷

本书系哈尔滨工业大学理论力学教研室根据高等工业学校机械、动力、电机、土建等类专业“理论力学”课程的教学要求而编写的。

全书分为上、下两册。上册包括静力学和运动学，前者阐述了力系的简化规律和平衡条件，后者分析了点和刚体运动的几何性质。下册为动力学部分，内容包括动力学的普遍定律和解决动力学问题的运动微分方程、基本定理、达朗伯原理、可能位移原理、拉格朗日方程以及振动理论、碰撞理论等。同时也简要地阐述了迴轉仪近似理论、变质量质点的动力学及质点在中心力场中的运动。

本书可作为高等工业学校机械、动力、电机、土建等类专业“理论力学”课程的试用教科书，亦可供工程技术人员及其他专业师生参考。

本书原由人民教育出版社出版。现经上级决定，自1965年1月1日起，另行成立“高等教育出版社”，本书今后改用高等教育出版社名义继续印行。

理 論 力 学

下 册

哈尔滨工业大学理论力学教研室編

北京市书刊出版业营业许可证书字第119号

高等教育出版社出版(北京景山东街)

人 民 教 育 印 刷 厂 印 装

新华书店北京发行所发行

各 地 新 华 书 店 經 售

统一书号K13010·946 开本 850×1168 $\frac{1}{32}$ 印张 8

字数 186,000 印数 125,001—328,100 定价(5) ¥0.80

1961年8月第1版 1985年6月第2版 1985年3月北京第10次印刷

第二版序

本教材的第一版出版后，我們听取了兄弟院校教师和讀者的意見，对它进行了修改。

在本版中，我們对全书的内容和文句作了必要的增删和修改，更換和增加了某些章节的例题，并改写了一些章节的内容。同时也訂正了第一版中的印刷錯誤。

本版的修改工作是由洪敏謙同志執筆和完成的，修改的内容曾由教研室部分教师参加討論。改写的章节中的第二十章 § 7 和第二十九章 § 10 分別由陈长庚和談开孚同志執筆。最后，由王鐸同志对全书进行了校閱。

为了提高出版質量，本版中的部分附图是由屠良尧等同志重新繪制的。

本书虽經修改，但由于水平所限，缺点和錯誤仍在所难免，衷心地希望大家提出批評和指正。

哈爾濱工业大学理論力学教研室

1962年3月

第一版序

这本教材是根据1959年我教研室所編理論力学讲义經過局部修改而出版的。几年来，特別是在貫徹执行党的教育方針后，在党的领导下，从学习先进經驗結合自己的教学实践中总结了点滴体会，先后編写了一些讲义，供校内同学参考。由于讲义本来只反

映本校的局部情况，加以出版时间仓促，没有来得及根据兄弟院校的教学经验多加修改。

这本教材的篇幅只大体适合于机械、动力、电机、土建类各专业的“理论力学”课程的要求。对变质量力学、物体在中心力场中的运动、迴轉仪理论和振动理论等专题只作了简略的叙述。因此有必要结合学校和专业特点，增删部分内容，指定相应的参考材料。

总之，这本教材无论在体系、篇幅、内容、方法等各个方面都不够成熟，必须随着教育革命的不断深入发展，吸取兄弟教研室的宝贵经验，大力加以修改，热烈地希望兄弟院校的老师和同学提出批评指正。

这本教材是在党的直接领导和关怀下，由教研室同志集体编写成的，参加的主要成员有童秉纲、鍾宏九、黄文虎、谈开孚、叶谋仁等，在整理出版和校对过程中，罗征健同志化了很大劳动。

必须十分感谢苏联友人、副教授 А. В. Крылов 同志，因为在教材的很多地方反映了他在哈尔滨工业大学讲学时所留下的宝贵经验。

最后，衷心地感谢兄弟院校的教研室。他们为了促使本教材提高质量、早日出版，对本教材提出了许多宝贵的修改意见，主动地为本教材提供了他们所编讲义的个别章节及例题。并承清华大学理论力学教研组有关同志对全书进行了校阅和订正。

哈尔滨工业大学理论力学教研室

1961年4月于哈尔滨

上册目录

第二版序	vii
第一版序	vii
緒 論	1

靜 力 学

第一章 静力学的基本概念和公理

§ 1. 静力学的任务	15
§ 2. 静力学的基本概念: 刚体和力	16
§ 3. 静力学的公理	19
§ 4. 約束和約束反力	23
§ 5. 物体受力分析· 受力图	28

第二章 平面汇交力系

§ 1. 平面汇交力系的合成	31
§ 2. 力的分解	34
§ 3. 平面汇交力系平衡的几何条件	35
§ 4. 三力平衡定理	36
§ 5. 解决平面汇交力系平衡問題的几何法	37
§ 6. 求合力的分析法	40
§ 7. 平面汇交力系的平衡方程	41

第三章 力对点的矩和平面力偶理論

§ 1. 力对点的矩· 合力矩定理	44
§ 2. 两个平行力的合成· 力偶	47
§ 3. 同平面内的力偶等效定理	51
§ 4. 平面力偶系的合成及平衡条件	52

第四章 平面任意力系

§ 1. 平面任意力系向一点的簡化	55
§ 2. 平面任意力系簡化为一个合力的情形· 合力矩定理	61
§ 3. 平面任意力系簡化为一个力偶的情形	62
§ 4. 平面任意力系的平衡条件	63
§ 5. 平面平行力系的平衡条件	66
§ 6. 平面任意力系平衡問題的解法	67

§ 7. 几个刚体组成的系统的平衡问题	71
§ 8. 静定与静不定问题的概念	74
第五章 摩擦	
§ 1. 引言	77
§ 2. 滑动摩擦	79
§ 3. 包括摩擦力的平衡问题的解法	85
§ 4. 滚动摩擦	89
第六章 图解静力学	
§ 1. 引言	91
§ 2. 平面任意力系的合力的图解求法	94
§ 3. 平面力系简化为一力偶的情形	96
§ 4. 平面任意力系平衡的情形	97
第七章 平面桁架的内力计算	
§ 1. 桁架的基本概念	100
§ 2. 节点截割法	103
§ 3. 克林蒙那-麦克斯韦法	104
§ 4. 截面法(李特尔夫法)	106
第八章 空间汇交力系	
§ 1. 空间汇交力系的合成	108
§ 2. 空间汇交力系的平衡条件	109
第九章 空间力偶理论	
§ 1. 空间力偶等效定理	112
§ 2. 力偶矩以矢量表示	113
§ 3. 空间力偶的合成定理与平衡条件	114
第十章 空间任意力系	
§ 1. 力对于点的矩用矢量表示	118
§ 2. 力对于轴的矩	119
§ 3. 力对于点的矩与力对于通过该点的轴的矩间的关系	121
§ 4. 空间力系向一点简化, 主矢与主矩	123
§ 5. 空间任意力系简化为一合力的情形, 合力矩定理	124
§ 6. 空间任意力系简化为一合力偶的情形	125
§ 7. 空间任意力系简化为力螺旋的情形	125
§ 8. 空间任意力系的平衡方程	126
§ 9. 具有两固定点的刚体的平衡	130
§ 10. 空间刚体的约束类型	132

第十一章 平行力系中心与重心

§ 1. 平行力系中心	134
§ 2. 物体的重心	136
§ 3. 求重心坐标的几个简易方法	141

运 动 学

第十二章 点的运动学

§ 1. 运动学绪论	150
§ 2. 点的运动的给定	152
§ 3. 点在直线运动中的速度和加速度	158
§ 4. 谐振动, 直线谐振动的合成	166
§ 5. 点在曲线运动中的速度和加速度	172
§ 6. 点的速度和加速度在直角坐标轴上的投影	175
§ 7. 点的速度和加速度在自然轴上的投影	178
§ 8. 点的速度和加速度在极坐标轴上的投影	188

第十三章 刚体的简单运动

§ 1. 刚体的平动	191
§ 2. 刚体绕固定轴的转动	193
§ 3. 角速度以矢量表示, 以矢积表示点的线速度、切向和法向加速度	201

第十四章 点的复合运动

§ 1. 点的相对运动、牵连运动和绝对运动	205
§ 2. 点的相对、牵连和绝对速度和加速度	208
§ 3. 点的速度合成定理	211
§ 4. 应用速度合成定理解题的方法	213
§ 5. 在牵连运动是平动的情形下点的加速度合成定理	216
§ 6. 在牵连运动是转动的情形下点的加速度合成定理	218

第十五章 刚体的平面运动

§ 1. 刚体平面运动的概述	227
§ 2. 平面图形的运动方程, 平面图形的运动分解为平动和转动	228
§ 3. 平面图形内各点的速度分解为平动速度和转动速度	231
§ 4. 瞬时转动中心, 平面图形内各点的速度及其分布	236
§ 5. 瞬心轨迹的概念	241
§ 6. 速度图解	247
§ 7. 平面图形内各点的加速度	249

第十六章 刚体绕定点运动及刚体的一般运动

§ 1. 欧勒角, 刚体绕定点运动方程	254
---------------------	-----

§ 2. 刚体绕定点运动的位移定理(欧勒定理)·瞬时转动轴·····	256
§ 3. 绕定点转动的刚体内各点的速度和加速度·····	259
§ 4. 刚体的一般运动·····	263
第十七章 刚体运动的合成	
§ 1. 刚体绕平行轴的两个转动的合成·····	268
§ 2. 刚体绕相交轴的转动的合成·····	274
§ 3. 刚体的螺旋运动·····	278
§ 4. 当平动速度与转轴成任意角时刚体平动和转动的合成·····	279
〔附录〕 矢量分析基础	
§ 1. 依赖于数性自变量的矢性函数·····	281
§ 2. 矢性函数的导数·····	283
§ 3. 单位矢量的导数·····	285

下册目录

动力学

I. 动力学緒論

第十八章 动力学的基本定律	287
§ 1. 动力学的研究对象·质点·质点系	287
§ 2. 第一定律·惯性·惯性参考系·相对性原理	289
§ 3. 第二定律·力·质量·工程单位制	290
§ 4. 第三定律和第四定律	292
§ 5. 古典力学的适用范围·空间和时间	293
第十九章 质点的运动微分方程	295
§ 1. 质点的运动微分方程的形式	295
§ 2. 质点动力学第一基本問題	296
§ 3. 质点动力学第二基本問題	298

II. 质点和质点系动力学的基本定理

第二十章 质点动力学的基本定理	308
§ 1. 质点的动量定理	308
§ 2. 质点的动量矩定理	313
§ 3. 力的功	317
§ 4. 质点的动能定理	325
§ 5. 势力场·势能·机械能守恒定律·机械能量的消散	328
§ 6. 质点动力学基本定理小结	329
§ 7. 质点在有心力场中的运动	340
第二十一章 质点系的质心运动定理	349
§ 1. 外力与内力·质点系的质量·质量中心	349
§ 2. 质心运动定理	351
§ 3. 质心运动守恒定律	357
第二十二章 质点系的动量定理	360
§ 1. 质点系的动量	360
§ 2. 质点系的动量定理	361

§ 3. 质点系的动量守恒定律	364
§ 4. 变质量质点的运动	365
第二十三章 质点系的动量矩定理	371
§ 1. 质点系的动量矩	371
§ 2. 质点系的动量矩定理	372
§ 3. 质点系的动量矩守恒定律	376
§ 4. 刚体绕定轴转动的微分方程	379
§ 5. 转动惯量的意义及计算	383
§ 6. 刚体平面运动微分方程	389
§ 7. 迴轉仪的近似理論	392
第二十四章 质点系的动能定理	401
§ 1. 质点系的动能	401
§ 2. 质点系的动能定理	403
§ 3. 在某些情况下功的计算	406
§ 4. 质点系动能定理的应用举例	408
§ 5. 质点系的势能·机械能守恒定律	411
§ 6. 质点系动力学基本定理小結	413

Ⅲ. 动静法基础和分析力学初步

第二十五章 达朗伯原理	418
§ 1. 惯性力	418
§ 2. 质点的达朗伯原理	419
§ 3. 质点系的达朗伯原理	422
§ 4. 惯性力系的简化	423
§ 5. 绕固定轴转动的刚体的支座反力·动平衡的概念	429
第二十六章 可能位移原理	434
§ 1. 约束的分类	434
§ 2. 可能位移	437
§ 3. 理想约束	438
§ 4. 可能位移原理	440
§ 5. 自由度和广义坐标	445
§ 6. 以广义坐标表示的可能位移原理	447
第二十七章 动力学普遍方程和拉格朗日方程	451
§ 1. 动力学普遍方程	451
§ 2. 拉格朗日方程	452

IV. 动力学的几个问题

第二十八章 质点相对运动的动力学基本方程	461
第二十九章 振动的基本理论	466
§ 1. 引言	466
§ 2. 一个自由度系统的自由振动	468
§ 3. 计算固有频率的能量法	476
§ 4. 一个自由度系统的阻尼振动	480
§ 5. 一个自由度系统的无阻尼的受迫振动	486
§ 6. 一个自由度系统的有阻尼的受迫振动	491
§ 7. 隔振和消振的概念	495
§ 8. 两个自由度系统的自由振动	499
§ 9. 两个自由度系统的受迫振动	506
§ 10. 自激振动	511
第三十章 碰撞	517
§ 1. 碰撞的特征	518
§ 2. 碰撞的基本方程	519
§ 3. 碰撞冲量对绕定轴转动的刚体的作用	523
§ 4. 恢复系数和碰撞的分类	526
§ 5. 两球的正碰撞	528
§ 6. 两物体碰撞时动能的损失	531

緒 論

一、理論力学的研究对象

理論力学是研究物体机械运动的一般規律的一門科学。

人們在生产实践中經常接触到的問題，是如何研究物体的位置随时间的变化(包括物体对于其他物体的相对平衡)，这称为机械运动，是宇宙中物质运动的一种最簡單的形式。

物质的运动形式是多种多样的，除机械运动外，还有物理变化、化学变化，以至于思維活动等。

物质的各种运动形式間是存在着联系的，在一定条件下运动形式可以互相轉化，并且在高級的运动的同时，往往伴随着簡單的机械运动。但同时又必須注意，各种运动形式之間存在着質的差別，各有自己独特的規律及方法，远非力学所能代替，机械唯物論者企图單純用力学理論去解釋其他复杂的現象，这是錯誤的，当然不会成功。

本課程所要研究的内容是以伽利略、牛頓所总结的几条基本定律为基础的，因此属于古典力学的范疇。在本世紀初，由于近代物理学的巨大成就，产生了相对論力学与量子力学，相对論力学揭示了物质与時間、空間的联系以及質量 and 能量的联系，量子力学揭示了微觀粒子的运动規律，这就指出了古典力学的局限性：不适用于速度接近光速的物体的运动，也不适用于微觀粒子的运动。但是應該肯定，古典力学对于一般的工程技术問題仍保持着独有的实用性：用之于速度远小于光速的宏觀物体的运动，具有足够的准确度。

“古典”力学是区别于相对論力学与量子力学而言的，但是并

不意味着陈旧衰老,相反地它还具有强大的生命力。一方面,它还被广泛地用来正确地解决一般的工程技术问题;另一方面,在它的基础上诞生的各个新的力学分支正在迅速、蓬勃发展(详见力学发展的道路)。

在高等工业院校中理论力学分三部分讲授:静力学、运动学和动力学。这种分法适于解决机械、动力、建筑等工程实际问题的需要,也大体反映了力学的历史发展过程。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并不牵涉到力的作用;而动力学是研究普遍情况,即研究物体的运动和作用力之间的关系。

二、学习理论力学的任务

毛主席教导我们:“……十分重要的问题,不在于懂得了客观世界的规律性,因而能够解释世界,而在于拿了这种对于客观规律性的认识去能动地改造世界。”^①又说:“社会的发展到了今天的时代,正确地认识世界和改造世界的责任,已经历史地落在无产阶级及其政党的肩上。”^②在学校中,我们学习理论的目的就在于掌握客观规律,能动地改造客观世界,推动技术革命,发展我们的社会主义事业。

具体地说,学习理论力学有下述任务。

首先,理论力学是为解决工程实际问题的重要基础理论之一。力学理论,和其他各方面知识融合在一起,可以帮助我们探索技术革命的途径(例如利用两物体的相对撞击的原理所设计的无砧锻锤,利用反推动原理实现外层空间的飞行等);使我们在遇到尚未了解的新情况时,能够辨别和分析问题,预见性地作出论断,合理

① 毛泽东选集,第一卷,人民出版社,1952年,第281页。

② 同上,第284页。

地加以解决(例如当机器发生振动时分析起因,提出消振措施等)。

其次,理論力学不仅可直接用于工程实际,而且还为学习一系列基础技术課和专业課提供基础。例如許多工程专业在以后要学习材料力学、机械原理、水力学或流体力学、建筑力学、彈性力学等課程,很多专业課中也要或多或少地用到理論力学的知識。因此学好理論力学是掌握各工程专业所需的完整知識中的一个重要的組成部分。

另外,学习理論力学还有助于培养辯証唯物主义的世界觀,領会本門科学的研究方法,可以提高对問題的分析能力。社会主义建設要求我們不仅要会运用前人的知識解决实际问题,而且要求我們通过实践发展科学,进一步指导实践,因此必須正确地掌握研究科学的方法。理論力学的研究方法,和某些技术科学的研究方法有不少相同之处。因此充分理解力学的研究方法,不仅可以深刻掌握这門科学,而且有助于学习其他技术理論,有助于培养科学研究能力。

三、理論力学的研究方法

任何科学的研究方法都离不开人类認識客观世界的共同規律,即遵循着毛主席在实践論中所揭示的“实践——理論——实践”的認識过程,理論力学亦毫不例外。但是每門科学研究的内容不同,因此在研究方法上都各自具有不同的特点。

理論力学的研究方法,簡要地說,是:从观察、实验出发,經過抽象化和归納,建立公理,用数学演繹法推导出定理和結論又回到实践中去,解决实际問題并驗證理論。

观察和实验是理論的基础。力学早期建立起来的理論(例如靜力学的二力平衡公理等)是人类从事建筑、农业等劳动中經過直接观察、获得經驗后归納得到的。此后,人們又学会进一步組織有