

— 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

82

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
9
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回转仪近似理论、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 $\frac{1}{32}$ 印张9 $\frac{3}{16}$

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 1964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转仪近似理论、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发行。

理 论 力 学

下 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证出字第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 经 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—128,100 定价(6) ¥0.80

1961年8月第1版 1965年6月第2版 1965年1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执笔和完成的，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执笔。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。

哈尔滨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，特别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，加以出版時間仓促，沒有来得及根据兄弟院校的教学經驗多加修改。

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“理論力学”課程的要求。对变質量力学、物体在中心力場中的运动、迴轉仪理論和振動理論等专题只作了簡略的叙述。因此有必要結合学校和专业特点，增删部分內容，指定相应的参考材料。

总之，这本教材無論在体系、篇幅、內容、方法等各个方面都不够成熟，必須随着教育革命的不断深入发展，吸取兄弟教研室的宝贵經驗，大力加以修改，热烈地希望兄弟院校的教師和同学提出批評指正。

这本教材是在党的直接領導和关怀下，由教研室同志集体編写成的，参加的主要成員有童秉綱、鍾宏九、黃文虎、談开孚、叶謀仁等，在整理出版和校对过程中，罗征健同志化了很大劳动。

必須十分感謝苏联友人、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講学时所留下的宝贵經驗。

最后，衷心地感謝兄弟院校的教研室。他們为了促使本教材提高質量、早日出版，对本教材提出了許多宝贵的修改意見，主动地为本教材提供了他們所編講义的个别章节及例題。并承清华大学理論力学教研組有关同志对全书进行了校閱和訂正。

哈尔滨工业大学理論力学教研室

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. 同平面內的力偶等效定理	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. 几个物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	94
§ 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. 节点截制法	103
§ 3. 克林蒙那-麦克斯韦法	104
§ 4. 截面法(李特尔法)	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. 运动学緒論	150
§ 2. 点的运动的給定	152
§ 3. 点在直线运动中的速度和加速度	158
§ 4. 諧振動·直线諧振動的合成	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軸上的投影	175
§ 7. 点的速度和加速度在自然軸上的投影	178
§ 8. 点的速度和加速度在极坐标軸上的投影	188

第十三章 刚体的简单运动

§ 1. 刚体的平动	191
§ 2. 刚体繞固定軸的轉动	193
§ 3. 角速度以矢量表示·以矢积表示点的綫速度、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、牽連运动和絕對运动	205
§ 2. 点的相对、牽連和絕對速度和加速度	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. 在牽連运动是平动的情形下点的加速度合成定理	216
§ 6. 在牽連运动是轉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轉动	228
§ 3. 平面图形内各点的速度分解为平动速度和轉动速度	231
§ 4. 瞬时轉动中心·平面图形内各点的速度及其分布	236
§ 5. 瞬心軌迹的概念	244
§ 6. 速度图解	247
§ 7. 平面图形内各点的加速度	249

第十六章 刚体繞定点运动及刚体的一般运动

§ 1. 欧勒角·刚体繞定点运动方程	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·空間和时间	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. 势力場·势能·机械能量守恒定律·机械能量的消散	328
§ 6 质点动力学基本定理小結	339
§ 7. 质点在有心力場中的运动	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·机械能量守恒定律	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. 慣性力	418
§ 2. 质点的达朗伯原理	419
§ 3. 质点系的达朗伯原理	422
§ 4. 慣性力系的簡化	423
§ 5. 繞固定軸轉动的剛体的支座反力·动平衡的概念	429
第二十六章 可能位移原理	434
§ 1. 約束的分类	434
§ 2. 可能位移	437
§ 3. 理想約束	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

动 力 学

I. 动力学緒論

第十八章 动力学的基本定律

§1. 动力学的研究对象·质点·质点系

现在开始研究理論力学的第三部分——动力学。

靜力学研究作用在物体上的力的平衡条件，而运动学只研究物体机械运动的几何性質，不涉及产生运动变化的原因——力。我們知道，物体的运动变化与作用力存在着不可分割的关系。靜力学和运动学都只研究了物体运动变化过程的特殊方面。动力学对运动作了全面的概括，动力学是研究物体的机械运动和作用在其上的力之間关系的学問。

現代机器逐步向高速、精密等方向发展，建筑結構也愈来愈需要研究动荷的作用，在設計机器和建筑結構中愈来愈广泛地需要进行动力計算。因此作为祖国未来的建設者，牢固地掌握动力学的知識，便有着十分重要的意义。

动力学可以分成质点动力学和质点系动力学两大部分。这种分法除了研究上的方便外，也在很大程度上反映了力学发展的历史进程。在动力学中所謂质点是指几何尺寸可以忽略不計但仍有一定质量的物体。这个概念是从实际物体中抽象化得来的。一般地說，如果某一物体作平动时，因为物体內各点的运动情况完全相同，物体的运动即可抽象为质点的运动来研究。此外，如物体作任

意运动,但我們只研究其中的平动部分时,便可看成物体的质量集中在某一点上,而当作质点处理(詳見第二十一章§2),例如在地球繞太阳的公轉运动中,地球可当作质点看待。由此可見,研究质点动力学不仅为研究质点系动力学提供基础,而且也有其独立的实际意义。

所謂质点系(质点的机械系統)是指有限个或无限个这样的质点的組合,其中每个质点的位置或运动都与其余的质点的位置或运动有关。根据这个定义,一个物体可以看成是一个由无限个质点所組成的质点系。一部机器或一个机构,其中所有的部件都以鉸鏈、杆件、鏈条、皮带等等相联系,这也是质点系。其他如:水流,气流,以至于太阳系(在太阳系中所有星球都以万有引力相联系)都是质点系的例子。

质点系的概念在机械运动的研究中是十分广泛而重要的,因为它是既包括剛体,也包括变形的固体和流体;既包括单个物体,也包括多个物体的組合。因而质点系动力学的研究概括了机械运动中最普遍的現象。

在本书中,动力学的叙述系統并不严格地按质点和质点系来划分,而是主要地按解决动力学問題的基本方法来划分。共分成四个部分:Ⅰ、动力学緒論以及把基本定律写成质点运动微分方程的形式;Ⅱ、质点和质点系动力学的基本定理;Ⅲ、动静法基础和分析力学初步;Ⅳ、动力学的几个問題——振动和碰撞等应用問題。

动力学的全部内容,是以几个基本定律为基础的。牛頓在刻卜勒发现的行星运动定律和伽利略发现的慣性定律等成就的基础上,概括和发展成了力学的这几个基本定律。它們是人类的生产活动达到一定水平后的产物,在很大範圍内正确地揭示了物质机械运动的普遍規律。

§ 2. 第一定律 · 慣性 · 慣性参考系 · 相对性原理

第一定律(慣性定律): 不受力作用的质点将永远保持靜止或作匀速直綫运动。

这个定律的涵意是: 机械运动不可能凭空产生或凭空消灭, 而只有在相互作用中才能发生变化。不受力作用的物体不是处于靜止状态, 就是永远保持其原有运动状态不变。这种保持原有运动状态的特性称为物体的慣性, 故第一定律又称为慣性定律。慣性是物体的一种基本属性。

因为慣性定律討論抽象化了的孤立质点的运动, 一个完全孤立的质点是不可能存在的, 所以它的建立不是通过直接的实验验证, 而是从无数次实践中所获得的經驗的总结。例如設想一个小球在水平面上不受任何干扰地运动, 若水平面愈光滑、空气愈稀薄, 則小球的速度减小也愈慢。因此可以設想, 如果没有空气阻力和接触面的摩擦力, 則小球将永远作直綫运动并且速度保持不变。

我們知道, 如果没有一定的参考系統, 談論物体的靜止和它的速度显然是沒有意义的。慣性定律既然是从实践中抽象总结出来, 并为实践証明是正确的, 那么它所对应的参考系統究竟是什么呢? 为此我們引进“慣性参考系”的概念: 在一定的参考系中, 任何不受力作用的物体都将保持靜止或作匀速直綫运动, 这样的参考系称为慣性参考系。并且不管是从某一个慣性参考系来观察, 或者从相对于此参考系作匀速直綫平动的参考系来观察, 物体的机械运动现象都是一样的。这就是古典力学著名的相对性原理。換句話說, 如果在慣性参考系中观察机械运动现象, 那末观察者将无法分辨自己究竟是处于靜止, 还是作直綫匀速平动。牛頓三定律只对慣性参考系才是正确的。