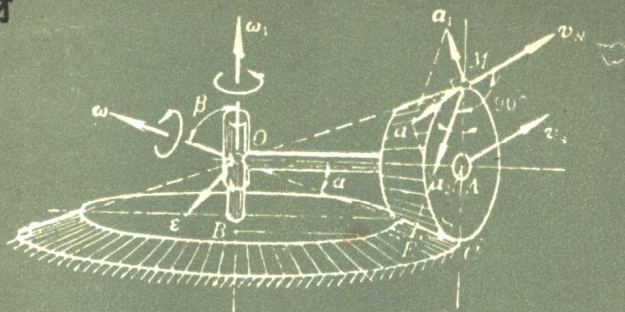


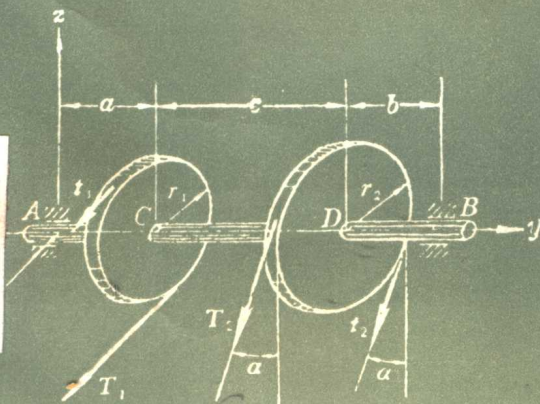
高等学校教材



哈尔滨工业大学理论力学教研室 编

# 理论力学

## 上册



高等教育出版社

高等学校教材

# 理论力学

上册  
(第四版)

哈尔滨工业大学理论力学教研室编

高等教育出版社

本书为第四版。初版于一九六一年出版，一九六二年和一九六五年经过修订，出版了第二版上、下册和第三版上册，第三版下册因故未能正式出版。

第四版是为适应社会主义现代化建设的需要，根据多年来的教学实践，按照一九八〇年审订的高等工业学校《理论力学教学大纲》(草案)(四年制机械、土建、水利、航空等类专业试用)的要求，在前三版的基础上进行修订而成的。本书对以前各版的章节作了适当的调整，对各章的内容、例题作了增删和修订；为便于自学，在各章末增加了小结、思考题和习题，并在书末附有习题答案。

本书采用国际单位制。

本书基本内容课内为 120 学时。附有“\*”号的章节，不是 120 学时内的基本内容，可根据专业需要选取。

本书分上、下两册。上册内容为静力学和运动学，下册内容为动力学。

本书可作为高等工业学校机械、土建、水利、航空等类专业理论力学课程的教材，也可供其他专业和有关工程技术人员参考。

高等学校教材  
**理 论 力 学**  
上 册

(第四版)

哈尔滨工业大学理论力学教研室编

高等教育出版社出版  
新华书店北京发行所发行  
北京第二新华印刷厂印装

开本 850×1168 1/32 印张 14.5 字数 340 000

1981 年 11 月第 4 版 1991 年 1 月第 29 次印刷

印数 695 851—729 363

ISBN 7-04-001449-1/TB·60

定价 4.70 元

## 第四版序

本书初版于一九六一年出版。一九六二年和一九六五年经过修订,出版了第二版上、下册和第三版上册,第三版下册因故未能正式出版。

为了适应社会主义现代化建设的需要,我们根据多年来的教学实践并按照高等学校工科力学教材编审委员会理论力学编审小组一九八〇年审订的高等工业学校《理论力学教学大纲》(草案)(四年制机械、土建、水利、航空等类专业试用)的要求,对本书在前三版的基础上进行了修订,作为第四版出版。本版对以前各版的章节作了适当的调整,对各章的内容、例题作了增删和修订;为便于自学,在各章末增加了小结、思考题和习题,并在书末附有习题答案。

本版采用国际单位制。

本版基本内容课内为120学时。附有“\*”号的章节,不是120学时内的基本内容,可根据专业需要选取。绪论的内容不必在第一次课上全部讲授,例如关于理论力学的研究方法可在课程结束时加以总结。

本版的修订由王铎同志主编,修订方案经过教材修订小组讨论,由王宏钰(第一章至第八章)、洪敏谦(绪论和第九章至第二十章)、邹经湘(第二十一章至第二十四章)、杨英烈(静力学习题)、于永德(运动学和动力学习题)同志执笔,并由洪敏谦同志统稿,最后由王铎同志校阅。

本版上册插图部分底图由冯年寿同志重新绘制。

本版由北京航空学院黄克累和张大源同志审阅,并提出了很

好的意见,特此致谢。

本书虽经多次修订,但限于我们的水平,还会有不少缺点和错误,衷心希望读者批评指正。

哈尔滨工业大学理论力学教研室

一九八一年六月

## 第一版序

本书是根据一九五九年我教研室所编理论力学讲义经过局部修改而出版的。几年来，特别是在贯彻党的教育方针以后，在党的领导下，学习先进经验，并结合我们的教学实践，总结了点滴体会，先后编写了一些讲义，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。

本书的篇幅只大体适合于机械、动力、电机、土建等类专业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、回转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，指定相应的参考资料。

总之，本书无论在体系、篇幅、内容、教学方法等各个方面都不够成熟，必须随着教育改革的不深入发展，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。

本书是在党的直接领导和关怀下，由教研室同志集体编写的，参加的主要成员有童秉纲、钟宏九、黄文虎、谈开孚、叶谋仁等。

最后，衷心地感谢兄弟院校的理论力学教研室，他们为了促使本书提高质量，早日出版，对本书提出了许多宝贵的修改意见，主动地为本书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

一九六一年四月于哈尔滨

## 第二版序

本书的第一版出版后，我们听取了兄弟院校教师和读者的意见，对它进行了修改。

在本版中，我们对全书的内容和文句作了必要的增删和修改，也订正了第一版中的印刷错误。

本版的修改工作是由洪敏谦同志执笔和完成的，修改的内容曾由教研室部分教师参加讨论。改写的章节中的第二十章 § 7 和第二十九章 § 10 分别由陈长庚和谈开孚同志执笔。最后，由王铎同志对全书进行了校阅。

为了提高出版质量，本版中的部分附图是由屠良尧等同志重新绘制的。

本书虽经修改，但由于水平所限，缺点和错误仍在所难免，衷心地希望大家提出批评和指正。

哈尔滨工业大学理论力学教研室

一九六二年三月

### 第三版序

为了适应当前教学改革的形势，我们对本书第二版作了较全面的修订。在修订中，注意了贯彻“理论联系实际”的方针和“少而精”的原则。

修订时，注意了工科院校的特点，删去了不适合一般专业需要的部分，精简了次要内容，合并了一些章节；在内容叙述和定理推证方面力求物理概念清晰；各章问题尽量从工程实际引出，并增加了联系实际的例子。

本修订版在修订前，经过教研室全体同志讨论，然后分工执笔修改，最后由王铎同志统一校订。本版全部插图都系重新绘制。

本修订版由北京航空学院黄克累同志审阅，并提出了很多宝贵的意见。

由于我们对教学改革精神领会不够，并受政治和业务水平所限，错误和缺点在所难免，衷心地希望大家批评指正。

哈尔滨工业大学理论力学教研室

一九六五年八月



# 上册目录

|    |   |
|----|---|
| 绪论 | 1 |
|----|---|

## 静力学

|    |   |
|----|---|
| 引言 | 6 |
|----|---|

### 第一章 静力学的基本概念和物体的受力分析

|                     |    |
|---------------------|----|
| § 1-1 静力学的基本概念·刚体和力 | 7  |
| § 1-2 静力学公理         | 9  |
| § 1-3 约束和约束反力       | 13 |
| § 1-4 物体的受力分析和受力图   | 18 |
| 小结                  | 24 |
| 思考题                 | 25 |
| 习题                  | 27 |

### 第二章 平面汇交力系

|                      |    |
|----------------------|----|
| § 2-1 平面汇交力系合成的几何法   | 34 |
| § 2-2 平面汇交力系平衡的几何条件  | 38 |
| § 2-3 力的分解           | 42 |
| § 2-4 力在轴上的投影·合力投影定理 | 44 |
| § 2-5 平面汇交力系合成的解析法   | 46 |
| § 2-6 平面汇交力系的平衡方程    | 49 |
| 小结                   | 52 |
| 思考题                  | 53 |
| 习题                   | 54 |

### 第三章 力对点的矩·平面力偶理论

|                     |    |
|---------------------|----|
| § 3-1 力对点的矩·合力矩定理   | 62 |
| § 3-2 两个平行力的合成      | 67 |
| § 3-3 平面力偶理论        | 69 |
| § 3-4 平面力偶系的合成和平衡条件 | 73 |

|          |    |
|----------|----|
| 小结.....  | 75 |
| 思考题..... | 76 |
| 习题.....  | 78 |

## 第四章 平面任意力系

|                              |     |
|------------------------------|-----|
| • § 4-1 平面任意力系向作用面内一点简化..... | 85  |
| § 4-2 平面任意力系的简化结果.....       | 90  |
| § 4-3 平面任意力系的平衡条件和平衡方程.....  | 94  |
| § 4-4 平面平行力系的平衡方程.....       | 98  |
| § 4-5 物体系的平衡·静定和静不定问题.....   | 101 |
| § 4-6 平面简单桁架的内力计算.....       | 107 |
| 小结.....                      | 113 |
| 思考题.....                     | 116 |
| 习题.....                      | 120 |

## 第五章 摩擦

|                         |     |
|-------------------------|-----|
| § 5-1 滑动摩擦.....         | 137 |
| § 5-2 摩擦角和自锁现象.....     | 140 |
| § 5-3 考虑摩擦时的平衡问题举例..... | 144 |
| § 5-4 滚动摩擦阻的概念.....     | 151 |
| 小结.....                 | 155 |
| 思考题.....                | 156 |
| 习题.....                 | 159 |

## 第六章 图解静力学基础

|                          |     |
|--------------------------|-----|
| § 6-1 平面任意力系合成的图解求法..... | 168 |
| § 6-2 平面任意力系平衡的情形.....   | 173 |
| 小结.....                  | 176 |
| 思考题.....                 | 177 |
| 习题.....                  | 177 |

## 第七章 空间力系

|                        |     |
|------------------------|-----|
| § 7-1 空间汇交力系.....      | 180 |
| § 7-2 空间力偶理论.....      | 187 |
| § 7-3 力对轴的矩和力对点的矩..... | 193 |

|                          |     |
|--------------------------|-----|
| § 7-4 空间任意力系向一点的简化·主矢和主矩 | 199 |
| § 7-5 空间任意力系的简化结果        | 202 |
| § 7-6 空间任意力系的平衡方程        | 205 |
| § 7-7 空间约束的类型举例          | 206 |
| § 7-8 空间力系平衡问题举例         | 208 |
| 小结                       | 214 |
| 思考题                      | 218 |
| 习题                       | 219 |

## 第八章 平行力系中心和重心

|                    |     |
|--------------------|-----|
| § 8-1 平行力系中心       | 231 |
| § 8-2 物体重心的坐标公式    | 234 |
| § 8-3 用组合法求重心      | 242 |
| § 8-4 用实验方法测定重心的位置 | 243 |
| 小结                 | 246 |
| 思考题                | 246 |
| 习题                 | 247 |

## 运 动 学

|    |     |
|----|-----|
| 引言 | 250 |
|----|-----|

## 第九章 点的运动学

|                              |     |
|------------------------------|-----|
| § 9-1 点的运动方程                 | 252 |
| § 9-2 点的速度和加速度               | 260 |
| § 9-3 点的速度和加速度在直角坐标轴上的投影     | 263 |
| § 9-4 点的切向加速度和法向加速度          | 272 |
| * § 9-5 点的速度和加速度在柱坐标和极坐标中的投影 | 279 |
| * § 9-6 点的速度和加速度在球坐标中的投影     | 282 |
| 小结                           | 285 |
| 思考题                          | 287 |
| 习题                           | 288 |

## 第十章 刚体的简单运动

|                |     |
|----------------|-----|
| § 10-1 刚体的平行移动 | 299 |
|----------------|-----|

• • •

|                                             |     |
|---------------------------------------------|-----|
| § 10-2 刚体绕定轴的转动·····                        | 302 |
| § 10-3 转动刚体内各点的速度和加速度·····                  | 305 |
| § 10-4 轮系的传动比·····                          | 309 |
| § 10-5 以矢量表示角速度和角加速度·以矢积表<br>示点的速度和加速度····· | 313 |
| 小结·····                                     | 316 |
| 思考题·····                                    | 318 |
| 习题·····                                     | 319 |
| <b>第十一章 点的合成运动</b>                          |     |
| § 11-1 相对运动·牵连运动·绝对运动·····                  | 324 |
| § 11-2 点的速度合成定理·····                        | 328 |
| § 11-3 牵连运动是平动时点的加速度合成定理·····               | 334 |
| § 11-4 牵连运动是转动时点的加速度合成定理·科氏<br>加速度·····     | 339 |
| 小结·····                                     | 351 |
| 思考题·····                                    | 352 |
| 习题·····                                     | 354 |
| <b>第十二章 刚体的平面运动</b>                         |     |
| § 12-1 刚体平面运动的概述和运动分解·····                  | 364 |
| § 12-2 求平面图形内各点速度的基点法·····                  | 368 |
| § 12-3 求平面图形内各点速度的瞬心法·····                  | 375 |
| § 12-4 用基点法求平面图形内各点的加速度·····                | 382 |
| 小结·····                                     | 387 |
| 思考题·····                                    | 388 |
| 习题·····                                     | 391 |
| <b>*第十三章 刚体绕定点运动和自由刚体的运动</b>                |     |
| § 13-1 刚体绕定点运动的运动方程·····                    | 402 |
| § 13-2 欧拉定理·····                            | 404 |
| § 13-3 刚体的瞬时转动轴·角速度·角加速度·····               | 405 |
| § 13-4 绕定点运动的刚体内各点的速度和加速度·····              | 406 |
| § 13-5 自由刚体的运动·····                         | 409 |
| 小结·····                                     | 411 |

## 第十四章 刚体运动的合成

|                           |     |
|---------------------------|-----|
| § 14-1 刚体平动与平动的合成.....    | 413 |
| § 14-2 刚体绕两个平行轴转动的合成..... | 414 |
| § 14-3 刚体绕相交轴转动的合成.....   | 421 |
| * § 14-4 刚体平动与转动的合成.....  | 426 |
| 小结.....                   | 428 |
| 习题.....                   | 429 |
| 附录 习题答案 .....             | 434 |

# 绪 论

## 一、理论力学的研究对象和内容

理论力学是研究物体机械运动一般规律的科学。

物体在空间的位置随时间的改变，称为机械运动。机械运动是人们生活和生产实践中最常见的一种运动。平衡是机械运动的特殊情况。

在客观世界中，存在各种各样的物质运动，例如发热、发光和发生电磁场等物理现象，化合和分解等化学变化，以及人的思维活动等。在物质的各种运动形式中，机械运动是最简单的一种。物质的各种运动形式在一定的条件下可能相互转化，而且在高级和复杂的运动中，往往存在着简单的机械运动。

本课程研究的内容是速度远小于光速的宏观物体的机械运动，它以伽里略和牛顿总结的基本定律为基础，属于古典力学的范畴。至于速度接近于光速的物体和基本粒子的运动，则必须用相对论和量子力学的观点才能完善地予以解释，这说明古典力学的应用范围是有局限性的。但是，经过长期的实践证明，即使到现代，一般工程中所遇到的大量的力学问题，用古典力学来解决，不仅方便，而且能够保证足够的精确性，所以古典力学至今仍有很大的实用意义，并且还在不断地发展。

本课程的内容包括以下三个部分：

静力学——主要研究受力物体平衡时作用力所应满足的条件；同时也研究物体受力的分析方法，以及力系简化的方法等。

运动学——只从几何的角度来研究物体的运动（如轨迹、速度

和加速度等),而不研究引起物体运动的物理原因。

动力学——研究受力物体的运动与作用力之间的关系。

## 二、理论力学的研究方法

研究科学的过程,就是认识客观世界的过程,任何正确的科学研究方法,一定要符合辩证唯物主义的认识论。理论力学也必须遵循这个正确的认识规律进行研究和发展的。

1. 通过观察生活和生产实践中的各种现象,进行多次的科学实验,经过分析、综合和归纳,总结出力学的最基本的规律。

远在古代,人们为了提水,制造了辘轳;为了搬运重物,使用了杠杆、斜面和滑轮;为了长距离运输,制造了简单的运输机械;为了利用风力和水力,制造了风车和水车,等等。制造和使用这些生活和生产工具,使人类对于机械运动有了初步的认识,并积累了大量的经验,经过分析、综合和归纳,逐渐形成了如“力”和“力矩”等基本概念,以及如“二力平衡”、“杠杆原理”、“力的平行四边形规则”和“万有引力定律”等力学的基本规律,并总结于科学著作中。我国的墨翟(公元前468—382年)所著的《墨经》,是一部最早记述有关力学理论的著作。

人们为了认识客观规律,不仅在生活和生产实践中进行了观察和分析,而且还进行了实验。实验可以从复杂的自然现象中,人为地创造一些条件来突出影响事物发展的主要因素,并且能够定量地测定各个因素间的关系,因此实验也是形成理论的重要基础。例如伽利略(公元1564—1642年)对自由落体和物体在斜面上的运动做了多次实验,从而彻底推翻了统治多年的错误观点,并引出了“加速度”的概念。此外,如摩擦定律、动力学三定律等都是建立在大量实验的基础上的。从近代力学的研究和发展的来看,实验更是重要的研究方法之一。

总之,在大量分析、综合和归纳了各个具体的特殊规律的基础上,逐步总结和形成了普遍的基本规律。因此,在生活和生产实践中的观察和实验是理论力学发展的基础。

2. 在对事物观察和实验的基础上,经过抽象化建立力学模型。

不断地观察和实验的结果,使人们对于事物的感觉产生了多次的反复,再经过“去粗取精、去伪存真、由此及彼、由表及里”的思考分析过程,就形成了概念,这个过程就是抽象化的过程。理论力学中的力、刚体、质点和质点系等概念,都是经过抽象化而形成的理想模型。

抽象化的方法就是在研究复杂的客观事物的过程中,抓住起决定作用的主要因素,舍弃次要的、局部的和偶然的因素,深入现象的本质,明确事物间的内在联系。例如,在研究物体的机械运动时,忽略物体受力要变形的性质,得到刚体的模型;忽略摩擦对物体运动的影响,得到理想约束的模型;忽略物体的几何尺寸,得到质点的模型;等等。这种抽象化的方法,一方面简化了所研究的问题,另一方面也更深刻地反映了事物的本质。正如列宁所指出的:“物质的抽象,自然规律的抽象,价值的抽象等等,一句话,那一切科学的(正确的、郑重的、不是荒唐的)抽象,都更深刻、更正确、更完全地反映着自然。”但是,任何抽象化的模型都是有条件的、相对的,当研究问题的条件改变了,原来的模型就不一定适用,必须再考虑影响问题的新的因素,建立新的模型。例如在研究物体受外力作用下的平衡问题时,应用刚体模型,可以得到满意的结果;但要研究物体内部的受力情况和它的变形时,再用刚体的模型就会得出非常荒谬的结果,这时需要建立材料力学所研究的理想弹性体的模型。

3. 在建立力学模型的基础上,从基本规律出发,用数学演绎和逻辑推理的方法,得出正确的具有物理意义和实用价值的定理



和结论,在更高的水平上指导实践,推动生产的发展。

生产实践中的问题是复杂的,往往不是几条基本规律所能直接解决的。这就要求理论进一步地完善起来,更好地指导实践。人们在积累指导生产实践的规律时就开始注意到数学演绎和逻辑推理的方法。理论力学中的基本规律是根据大量的事实,经过分析、综合和归纳而建立起来的。人们又从这些基本规律出发,结合生产实践或自然界的物理现象,用数学演绎和逻辑推理的方法建立了它们之间的相互关系,并进一步得出了某些具有深刻的物理意义和便于应用的定理和结论。因此,在理论力学这门课程中,数学这一有效的科学工具不但广泛地运用在推理方面,而且也运用于量的计算方面。通过数学表达式,有助于更进一步揭示物理量间的内在联系,使力学理论能够更直接地解决复杂的实际问题。但是,如果认为单靠数学推导就可以发展新的理论则是完全错误的。因为理论是否正确,需要通过实践来检验。实践是检验理论的唯一标准,指导实践又是发展理论的目的。

理论力学的内容,适用于速度远小于光速的宏观物体,已为人类长期的生产实践所证实。而理论力学的基本理论应用到生产实践中去,又使这门学科得到了不断的丰富和发展。

从实践到理论,再由理论回到实践,通过实践进一步补充和发展理论,然后再回到实践,如此循环往复,每一循环都在原来的基础上提高一步。象所有的科学一样,理论力学也是沿着这条道路不断向前发展的。

力学在发展过程中,由于研究的对象不同,从而形成许多分支,如刚体力学、弹性力学、塑性力学、流体力学等等,每个分支建立了各自的模型,运用数学演绎、逻辑推理的方法,各自形成了完整的理论体系和科学的实验方法。近年来,有人又从力学各分支的特殊规律中,概括、归纳了它们的共性,提炼出称为“公理”的最