

理论力学

■ 高等学校教材 [上册]

■ 西南交通大学 黄安基 主编



高 等 学 校 教 材

理 论 力 学

(上册)

西南交通大学 黄安基 主编

中 国 铁 道 出 版 社

1991年·北京

内 容 简 介

本教材是根据高等学校工科各专业1987年制订的《理论力学课程教学基本要求》(100~110学时),在1981年出版的《理论力学》教材的基础上进行修订的。

本教材分上、下两册,本书为上册,主要包括静力学和运动学两部分。内容有:静力学、平面力系的图解法、物体系的平衡、摩擦、重心、点的运动学、刚体的平动和定轴转动、点的运动合成、刚体的平面运动、刚体的定点运动与一般运动。

本书可作为高等学校工科各专业理论力学的教材,也可供职工大学的教学以及有关工程技术人员参考。

高等学校教材 理 论 力 学 (上册)

西南交通大学 黄安基 主编

中国铁道出版社出版、发行
(北京市东单三条14号)

责任编辑 程东海 封面设计 王毓平
各地新华书店经售
中国铁道出版社印刷厂印

开本: 850×1168mm 1/32 印张: 15.5 字数: 396 千

1991年5月 第1版 第1次印刷

印数: 1—5000 册

ISBN7-113-00923-9/O·33 定价: 3.85 元

前 言

本教材是在1981年人民教育出版社出版的《理论力学》教材的基础上，参照1987年国家教委高等学校工科力学课程教学指导委员会理论力学课程教学领导小组制订的《理论力学课程教学基本要求》进行修订的。

原《理论力学》教材出版后，经八年多来各兄弟院校使用，一致认为，选材是合理的，在教学上起到了积极作用。为了广泛适用高等学校工科土建、水利及机械类各专业的教学要求，并便于因材施教，这次修订中，兼顾了各方面的需要，包括了课程教学基本要求中提出的可以考虑增加的全部内容，并标以“*”号，使用时可根据学生具体情况和专业要求取舍。

本版力求保持第一版的特点，并结合当前教学发展情况，适当提高了起点，避免与物理课内容不必要的重复，在体系方面也作了相应调整。主要的有：（1）采用了静力学公理体系；（2）将平面问题中的各类约束集中在一起叙述；（3）将质点静力学与刚体静力学合并在一起讲授，分为平面问题与空间问题两章；（4）点的运动学从矢量法的基本公式推出其它方法的相应公式，从一般到特殊，增加了密切面内容；（5）将动力学普遍定理分成三章讲授，每章均包括质点与质点系的相应定理，在动能定理一章中较详细地论述了势力场与势能；（6）略去了柔韧体的摩擦及哈密顿原理，增加了加速度瞬心、刚体转动的合成、刚体定点运动与一般运动及回转仪近似理论等内容，将第二类拉格朗日方程列入基本内容；（7）取消了结构过繁的例题，增加了一题多解的例题和综合性的例题和习题及机械类的例题、习题，对第一版中的例题和习题进行了更新，数目也略有增加；（8）

增加了振动实验的内容；（9）全书采用国际单位制。

本版修订仍由黄安基主编并执笔，参加讨论并担任制图或习题工作的有张宝珍、方景阳、江晓仑、曹登庆、张茂修，振动实验由刘尚举执笔。

修订稿由兰州铁道学院华健清主审，同济大学余文铎及长沙铁道学院谢柳辉参加了审稿。他们对原稿提出了许多宝贵意见。谨向他们及在第一版使用中对我们提出过宝贵意见的同志们致以衷心的感谢。

编 者

1989年4月

目 录

引 言	1
-----------	---

静 力 学

第一章 静力学的基本概念及公理	12
第一节 力的两种作用效果、刚体、质点和质点系	12
第二节 静力学公理	14
第三节 约束与约束反力	20
第四节 力学计算简图与受力图	32
习 题	37
第二章 质点与刚体静力学 (一) —— 平面问题	43
第一节 平面共点力系的合成	43
第二节 平面汇交力系的平衡	49
第三节 力矩、力偶与力偶矩	54
第四节 平面力偶系的合成与平衡	62
第五节 力的平移定理	65
第六节 平面一般力系的合成	67
第七节 分布荷载与固定端约束	75
第八节 平面一般力系的平衡	79
第九节 静定和静不定问题的概念	86
习 题	88
*第三章 平面力系的图解法	102
第一节 图解法的基本原理	102
第二节 平面力系合成的各种情况	106
第三节 用图解法求支座反力	109
习 题	111
第四章 物体系的平衡	115

第一节	物体系的平衡问题	115
第二节	平面简单桁架	129
*第三节	柔索	140
习 题		153
第五章 摩 擦		167
第一节	滑动摩擦的基本规律	167
第二节	摩擦角与自锁现象	173
第三节	考虑摩擦时的物体平衡问题	180
第四节	滚阻的概念	185
习 题		189
第六章 质点与刚体静力学 (二) —— 空间问题		202
第一节	空间汇交力系的合成与平衡	202
第二节	力对点的矩与力对轴的矩	210
第三节	空间力偶系的合成与平衡	217
第四节	空间一般力系的合成	224
第五节	空间约束	233
第六节	空间一般力系的平衡	237
习 题		245
第七章 重心		261
第一节	平行力系中心、重心与形心	261
第二节	确定重心位置的方法	265
第三节	分布荷载与荷载集度图形心间的联系	272
习 题		278

运 动 学

第八章 点的运动学		287
第一节	运动学的基本内容	287
第二节	描述点的运动的矢量法	289
第三节	描述点的运动的直角坐标法	292
第四节	描述点的运动的弧坐标法	304
*第五节	描述点的运动的极坐标法	311
习 题		315

第九章 刚体的平动和定轴转动	325
第一节 刚体的平动	325
第二节 刚体的定轴转动	328
第三节 定轴转动刚体上点的速度和加速度	333
习 题	346
第十章 点的运动合成	353
第一节 绝对运动、相对运动与牵连运动	353
第二节 点的速度合成定理	357
第三节 点的加速度合成定理 (牵连运动为平动)	363
第四节 点的加速度合成定理 (牵连运动为定轴转动)	368
习 题	380
第十一章 刚体的平面运动	391
第一节 刚体的平面运动分解为平动和转动	391
第二节 平面运动刚体上点的速度	397
第三节 平面运动刚体上点的加速度	411
习 题	418
*第十二章 刚体的定点运动与一般运动	432
第一节 定点运动刚体在空间位置的表示法	432
第二节 刚体定点运动的位移定理	434
第三节 刚体转动的合成	435
第四节 定点运动刚体的角速度矢与角加速度矢	445
第五节 定点运动刚体上点的速度与加速度	447
第六节 刚体的一般运动	452
习 题	455
附 录	461
表 1 常用材料的摩擦系数	461
表 2 滚阻系数	461
表 3 各种约束类型和约束反力	462
表 4 常用图形和物体的形心	464
习题答案	468

引 言

一、学习理论力学的目的

在我国的四化建设中，我们要兴建铁路、公路、桥梁、隧道、房屋建筑及水工建筑，要制造先进的机器设备和各类交通运输工具，还要研究和发射运载火箭及人造卫星、宇宙飞船等。在这些设计和施工中，就要掌握本专业所需的基础理论和基本技能，用来解决许多实际问题。这些问题的解决，有的可以直接应用理论力学的基本理论，而有的则需用到理论力学和以它为基础的其它学科以及有关的专门知识。

理论力学是一门理论性较强的技术基础课。它为一系列后继课程如材料力学、结构力学、弹性力学、流体力学、机械原理、飞行力学、振动理论等提供重要的理论基础。

理论力学是科技人员从事专业工作、进行科学研究所必需的基础知识。

二、理论力学的基本内容

理论力学是研究物体的机械运动规律的一门学科。

自然界中存在的各种各样的物质，都处在永恒不停的运动中。物质运动的形式是多种多样、极其复杂的。正如恩格斯所说：“运动，就最一般的意义来说，就它被理解为存在的方式、被理解为物质的固有属性来说，它包括宇宙中发生的一切变化和过程，从单纯的位置移动起直到思维。”物体的机械运动，就是指物体在空间所作的位置变动。本书中所说的运动，只是指机械运动。物质的其它运动形式，则是别的学科研究的对象。

机械运动是物质形式中最简单的一种。任何较高级较复杂的

物质运动形式也可伴随有位置的变动，即与机械运动有一定的联系。但是，它们与机械运动又有本质的不同，不能用机械运动来概括所有的运动形式。

为了便于解决工程实际问题及根据循序渐进的认识规律，本书分为三部分，即静力学、运动学和动力学。

在静力学中，将研究力的基本性质、物体受力分析的基本方法以及物体在力的作用下处于平衡的条件。

在结构的设计与施工中，经常要用到静力学的知识。例如，在设计一个厂房时，就要先分析屋架、吊车梁、柱、基础等构件受到哪些力的作用（图1），对它们分别进行受力分析。这些力中的某些力可能是未知的，但这些构件是在所有这些力的作用下处于平衡的，应用力系的平衡条件，就可求出这一部分未知力。而要知道力系的平衡条件，就要研究力的基本性质，研究力系的合成规律。只有应用静力学原理对构件进行受力分析并算出这些力，才能进一步设计这些构件的断面尺寸及钢筋配置情况等。

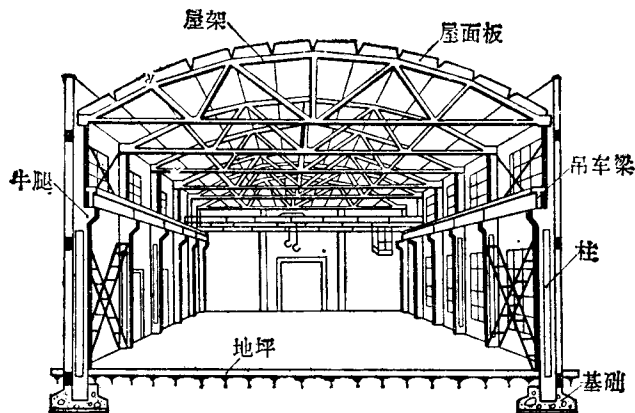


图 1

无论什么事物的运动都可以有两种状态：相对地静止的状态或显著地变动的状态。在力学中，通常把物体运动状态不变的情况称为平衡。例如，桥梁相对于地面静止不动，火车在直线轨道

上匀速行驶，物体被起重机匀速吊起等等。都属平衡状态。

运动或不平衡是绝对的，而静止或平衡则是相对的、有条件的。例如，桥梁只是相对于地球处于静止状态，即处于平衡。而实际上，桥梁随着地球自转，并同时以约 30km/s 的速度绕太阳公转，而整个太阳系相对于附近的恒星又以大约 20km/s 的速度向某一方向疾驶。宇宙间不存在绝对静止的物体。以后如不特加说明，“平衡”或“静止”是指相对于地球而言的。

在运动学中，将从几何学的观点来研究物体的运动规律，而不考虑影响物体运动的物理因素如力和质量等。

在设计传动机构或操作机器时，要分析各部分之间运动的传递与转变，研究某些点的轨迹、速度和加速度，看能否符合要求。例如，在卷扬机作业时（图2），电机启动后，通过减速机构使卷筒转动，钢丝绳便将重物提升；已知电机的转速，求重物的提升速度，这就是属于运动学的问题。这里不需要考虑电机的功率及重物的质量。

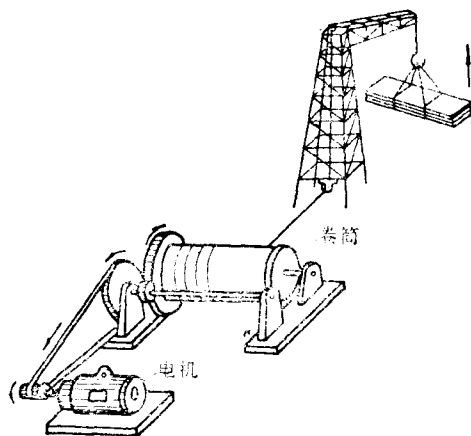


图 2

运动学和静力学是研究动力学的基础。另一方面，应用运动学原理对物体进行运动分析，在工程中还有其独特的意义。

在动力学中，将研究物体的运动变化与它所受的力及它的质量等因素之间的关系。

在上述的卷扬机中，若已知重物的质量及提升速度，要考虑选用多大功率的电机，这就是属于动力学的问题。工程实际中还有很多动力学问题，例如，当起重机开始起吊或重物下降时突然刹车所发生的超载现象，在公路转弯处的超高坡度（或铁路弯道上的外轨超高），混凝土振动捣固器及振动打桩机的工作原理，建筑物的抗震问题，高速转动的转子有偏心时所引起的剧烈振动和轴承磨损现象，机车车辆的振动问题等。

综上所述，静力学无需考虑物体运动状态的变化，只侧重于研究力，运动学则不考虑力，只研究物体的运动，动力学把物体所受的力与它的运动结合起来研究。

三、古典力学的发展过程及我国的成就

理论力学以伽利略（G. Galilei, 1564—1642）和牛顿（I. Newton, 1642—1727）所总结的关于机械运动的基本定律为基础，称为古典力学。它的科学体系主要是在十五至十七世纪中逐步形成，后来又不断得到完善并有所发展。在本世纪初，由于物理学的重大发展，产生了相对论力学和量子力学，证明古典力学的规律不适用于物体运动速度接近于光速的情况，也不适用于微观粒子的运动。但在一般工程实际问题中，即使是一些尖端科学技术如火箭、宇宙航行等，我们研究的也还是宏观物体的低速（与光速比较）运动，古典力学仍然是既方便又足够准确，一直未失去其应用价值。

古典力学原理是社会生产和科学实践长期发展的产物。远古时代的人类已应用了尖劈的原理。随着古代建筑技术的发展，斜面和杠杆也被应用了。在实践的基础上，我国的墨翟（约公元前468—前382）初步提出了力矩的概念；在欧洲，古希腊的阿基米

德 (Archimedes, 公元前287—前212) 提出了杠杆平衡的条件。但最完善地提出力矩概念及有关的计算公式, 则是在生产力得到较充分发展的十七世纪时才完成。静力学就是从一些最简单的起重运输机械的应用而发展完善起来的。

由于当时生产力水平的限制, 缺乏力学研究的物质技术条件, 在古代, 人类对于运动学和动力学的知识是极为贫乏的, 而且有很多错误的认识。例如, 亚里士多德 (Aristotle, 古希腊人, 公元前384—前322) 认为落体速度与其重量成正比, 他又以存在一个不变的向前推动力来解释抛出物体的自由运动。直到十七世纪, 意大利人伽利略通过实践才推翻了这些错误的认识。又如, 地球中心学说曾经在很长时间内被认为是正确的。随着商业和航海事业的发达, 时间量度和天文观测仪器设备条件也已经具备, 到十六世纪哥白尼 (N. Kopperrnigk, 波兰人, 1473—1543) 的太阳中心说才得到确认。后来德国人刻卜勒 (J. Kepler, 1571—1630) 经过长期观测研究, 又进一步修正了哥白尼认为行星轨道是圆形而且运行速度为均匀的学说。

伽利略在前人研究的基础上创立了惯性定律, 首先提出了加速度的概念。英国人牛顿全面总结并发展了前人研究成果, 在《自然哲学之数学原理》(1687年) 一书中, 明确地总结出了机械运动的基本定律, 奠定了古典力学的基础。他并从这些规律出发, 研究了刻卜勒的行星运动三定律, 得出了普遍的万有引力定律, 对行星运动作出了定量的、动力学的解释。

古典力学在十七世纪奠定基础后, 由于数学分析工具的不断完善, 十八世纪末又产生了分析力学。从十九世纪直到二十世纪, 工程技术问题日趋复杂, 以理论力学为基础的一些力学也随之诞生, 并且生长出介乎两门不同学科之间的更新的边缘学科如地质力学、电磁流体力学、生物力学、爆炸力学、物理力学等。古典力学本身也没有失去其生命力, 仍在不断地发展着。

我国历史悠久, 很早就发明了杠杆、斜面与滑轮等简单机械, 据考证分析, 后两者以我国为最早。春秋战国时期 (公元前722

一前221)，墨家的著作《墨经》中关于力学的论述就有：力的定义，重心和力矩的概念，柔索不能抵抗弯曲等。这些都是世界上最早的资料记载。公元前250年，在秦国蜀郡守李冰领导下建成了至今仍闻名中外的都江堰。这一十分艰巨的工程，以及宏伟壮观的万里长城，说明那时我国的力学水平已经相当高，公元前104年，西汉的落下闳（约公元前156—前87）等编造了《太初历》，落下闳比古希腊的托勒密（C.Ptolemaeus，约90—168）早200多年就制定出了精密完整的天文历法系统，并创立了浑天说。公元31年，东汉时的杜诗创造了水排，这是世界上最早的水力机械。公元132年，东汉的张衡（78—139年）发明了精密度很高的候风地动仪（图3），这是世界上最早的地震仪。当某一方向地动时，仪器内的都柱1将倾倒如图5中虚线所示，带动八道2、牙机3等机构，使龙头4口中含的铜丸5落入下面蟾蜍7口中，这是符合相对运动的动力学原理的。公元138年，在洛阳曾用它测到了陇西（今甘肃南部）的地震。此外，在汉代已利用齿轮传动系统制造了记里鼓车和指南车。在建筑方面，隋代工匠李春建造的赵州桥（在河北赵县，图4），拱券净跨度达37.4m，券高只有7m，拱极平缓。桥两端还做了小券拱，既节省材料，减轻自重，增加美观，还可渲泄洪水，增加桥的安全。桥宽从两端向中间逐渐减小，使两旁各券向内倾斜，大大加强了桥的稳定性。经过一千三百多年的考验，至今仍然屹立在洺河上，证明李春的设计完全符合力学原理。在欧洲，类似形式的拱桥在本世纪初才出现。又最晚在公元三世纪，我国已出现了铁索桥。大渡河上的泸定铁索桥（图6），建于十七世纪末，净长百米，至今完好无损。建筑技术方面的重要著作有北宋初年木工喻皓的《木经》（已失传）以及李诫于1110年主编写成的《营造法式》。后者费时三十多年，是宋代建筑业的法典，也是世界上最早最完备的建筑学专著，它总结了结构的力学分析和计算，统一了建筑规范。有些古代木结构一直保存到现在，如山西应县的木塔，高67m，建于1056年，塔中有五十多种形式的斗拱。斗拱（图7）是

我国木工创造的，它可以增大支点接触面积，并减小木梁的跨度。

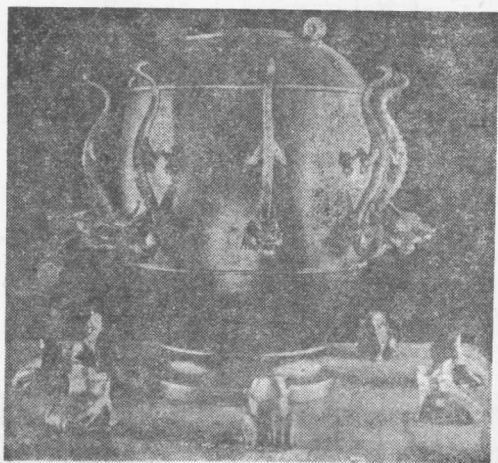


图 3



图 4

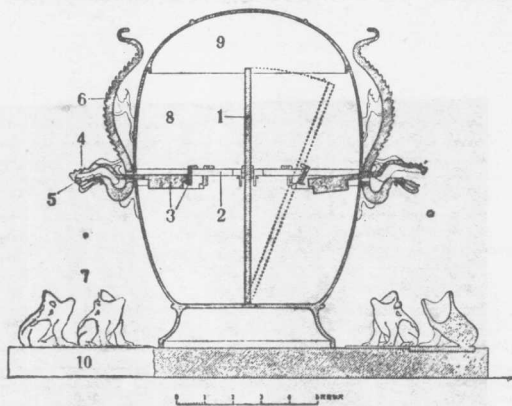


图 5



图 6

历史表明，我国的力学水平在十四世纪以前一直属于世界最前列。但由于封建制度的长期统治以及近百年来帝国主义的侵略压迫，我国科学技术，其中包括力学的发展，遭到了严重阻碍。中华人民共和国成立后，各项社会主义建设与力学相互促进。长隧道、高桥墩及著名的南京长江大桥等，说明我国铁路工程技术

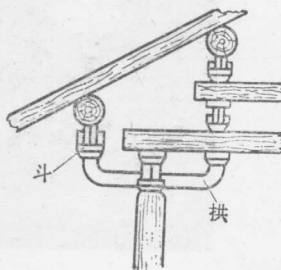


图 7

已达到相当高的水平。在公路建设方面，建成了川藏、青藏、新藏公路；用高空吊装法架设了乌江上的箱形拱桥（图8），中孔净跨度105m，高62.5m；架设了嘉陵江上跨度近200m的双链吊桥（图9）及跨度达230m的斜拉桥。在房屋建筑方面，有各项大型建筑及高达160m的50层以上的高层建筑。在水利水电建设方面，有荆江分洪工程以及遍布在新安江、大渡河及黄河、长江等大小河流上的水电站（图10）等。此外，我国的现代机械电机工业、汽车工业、造船工业、航空工业等也都从无到有地逐步建立起来。

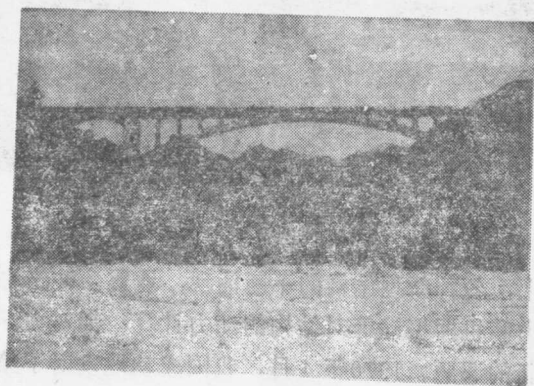


图 8

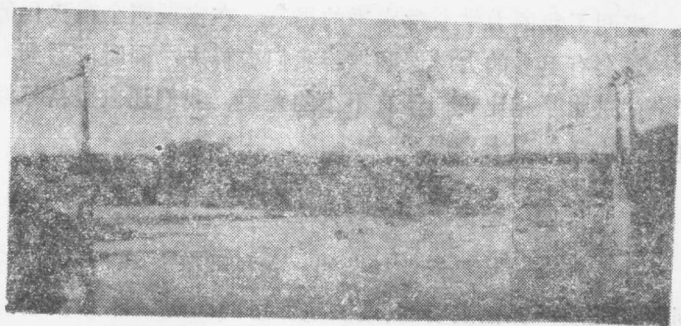


图 9