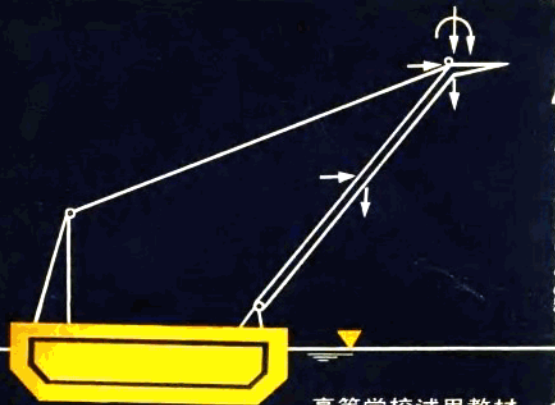




高等学校试用教材

理论力学

上册

西南交通大学 黄安基 主编

人民教育出版社

高等学校试用教材

理论力学

上册

西南交通大学 黄安基

物理阅览室



人民教育出版社

2011/43/13

前 言

本书是根据一九七七年十二月教育部委托召开的高等学校工科基础课力学教材会议讨论的《理论力学》编写大纲编写的，适用于铁道、公路、桥隧、建筑、水利类专业，作为 120—150 学时理论力学课程的试用教材，也可供其它专业和有关工程技术人员参考。

本书静力学部分按质点静力学、刚体静力学分章，与运动学、动力学部分在体系上协调一致。约束的各种类型分在三章内叙述，力的性质和有关定理也相应地分在几章内讲授，适当地分散了概念与难点，以利于学生理解和掌握。运动学部分只讲述了最基本的内容，点的空间曲线运动以及刚体的定点转动和一般运动未作详细介绍。动力学部分除基本内容外，在碰撞部分还讨论了两物体的中心斜碰撞和偏心碰撞。

书中标有“*”号的内容为非基本内容，可根据需要决定取舍。

本书采用国际单位制(SI)。考虑到目前工程规范仍沿用工程单位制，在静力学的有些例题和习题中，采用工程单位制。

本书的公式推导除用矢量运算外，还注意用几何的直观方法，以加强物理概念。为适应不同专业的要求，全书共选用了例题 207 个、习题 676 个，书末附有习题答案。为了便于自学，各章首列有本章重点，章末有小结，有些节的后面附有思考题。

本书由同济大学王兴和余文铎，兰州铁道学院宋华撻和华健清同志主审，清华大学、天津大学、大连工学院、哈尔滨建筑工程学院、重庆建筑工程学院、华东水利学院、武汉水利电力学院、西安公路学院、北方交通大学、上海铁道学院和中国人民解放军后勤工程

学院等院校的同志参加了审稿。

全书由黄安基同志负责主编并执笔，参加讨论并(或)担任制图和习题工作的有张宝珍、方景阳、吕绍棣、季景兰、高淑英、江晓仑、张茂修等同志。徐昭鑫、舒仲周同志看阅了初稿。李怀安同志担任描图工作。

本书在编写中，得到了许多院校和单位的大力帮助，在此一并致谢。

限于编者水平，本书一定还存在不少缺点和错误，恳请读者批评指正。

编 者

一九八〇年四月

目 录

引言	(1)
一、为什么要学习理论力学	(1)
二、理论力学的基本内容 平衡的概念	(2)
三、古典力学的发展过程 我国古代和现代的力学成就	(5)
四、理论力学的研究方法和学习方法	(14)

静 力 学

第一章 力的基本性质 质点静力学	(16)
§ 1-1 力的基本性质	(16)
§ 1-2 平面共点力系的合成	(25)
§ 1-3 约束和约束反力	(33)
§ 1-4 受力图	(39)
§ 1-5 平面共点力系的平衡	(43)
§ 1-6 空间力的表示方法及其投影	(46)
§ 1-7 空间共点力系的合成与平衡	(52)
小结	(56)
习题	(58)
第二章 刚体静力学——平面问题	(68)
§ 2-1 汇交力系化为共点力系	(68)
§ 2-2 支座和轴承约束	(73)
§ 2-3 力矩的概念	(77)
§ 2-4 力偶	(82)
§ 2-5 平面力偶系的合成和平衡	(86)
§ 2-6 平面一般力系的合成	(89)
§ 2-7 分布荷载	(99)
§ 2-8 平面一般力系的平衡	(103)
§ 2-9 超静定问题的概念	(113)

小结.....	(115)
习题.....	(118)
第三章 物体系的平衡	(131)
§ 3-1 物体系的平衡问题.....	(131)
§ 3-2 平面简单桁架.....	(142)
* § 3-3 柔索.....	(154)
小结.....	(167)
习题.....	(169)
第四章 摩擦	(182)
§ 4-1 滑动摩擦的基本规律.....	(182)
§ 4-2 考虑摩擦时的物体平衡问题.....	(190)
* § 4-3 柔韧体的摩擦.....	(200)
§ 4-4 滚动摩擦的概念.....	(204)
小结.....	(208)
习题.....	(210)
第五章 图解静力学基础	(220)
§ 5-1 图解法的基本原理.....	(220)
§ 5-2 平面力系合成的各种情况.....	(225)
§ 5-3 用图解法求支座反力.....	(228)
小结.....	(232)
习题.....	(233)
第六章 刚体静力学——空间问题	(236)
§ 6-1 力对轴的矩和空间问题中力对点的矩.....	(236)
§ 6-2 空间力偶系.....	(244)
§ 6-3 空间一般力系的合成.....	(250)
§ 6-4 空间约束 约束和约束反力综述.....	(260)
§ 6-5 空间一般力系的平衡.....	(266)
小结.....	(275)
习题.....	(278)
第七章 重心	(288)
§ 7-1 重心和形心.....	(288)

§ 7-2 确定重心位置的方法	(293)
§ 7-3 分布荷载与重心	(304)
小结	(309)
习题	(310)

运 动 学

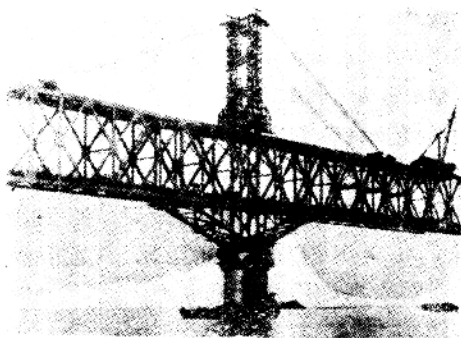
第八章 点的运动学	(319)
§ 8-1 运动学的基本内容 参考系	(319)
§ 8-2 点的直线运动	(321)
§ 8-3 点的平面曲线运动(弧坐标法)	(333)
§ 8-4 点的平面曲线运动(直角坐标法)	(342)
* § 8-5 点的平面曲线运动(极坐标法)	(351)
小结	(356)
习题	(360)
第九章 刚体的移动和定轴转动	(368)
§ 9-1 刚体的移动	(368)
§ 9-2 刚体的定轴转动	(371)
§ 9-3 转动刚体上点的速度和加速度	(377)
小结	(391)
习题	(393)
第十章 点的复合运动	(400)
§ 10-1 绝对运动、相对运动和牵连运动的概念	(400)
§ 10-2 点的速度合成定理	(404)
§ 10-3 点的加速度合成定理(牵连运动为移动)	(408)
§ 10-4 点的加速度合成定理(牵连运动为转动)	(413)
小结	(422)
习题	(424)
第十一章 刚体的平面运动	(433)
§ 11-1 刚体的平面运动分解为移动和转动	(433)
§ 11-2 平面运动刚体上点的速度	(440)

§ 11-3 平面运动刚体上点的加速度·····	(455)
小结·····	(460)
习题·····	(461)
附录 习题答案 ·····	(472)

引 言

一、为什么要学习理论力学

为了把我国建设成为农业、工业、国防和科学技术现代化的伟大的社会主义强国,各条战线都肩负着十分艰巨而光荣的任务。在基本建设方面,我们要多快好省地兴建铁路公路、桥梁隧道、房屋建筑以及水工建筑等,在设计和施工中,就要掌握本专业所必需的基础理论和基本技能,用来解决许多实际问题,其中包括一些力学问题。例如,列车能否以设计要求的速度通过桥梁,而桥梁不会被破坏,也不会有过大的变形;隧道能否承受地层的压力而不致坍毁;房屋的屋架、楼板、梁、墙(柱)、基础等构件,在风力、积雪、人群、设备、机器及构件自身重量作用下能否保证安全;挡土墙在土壤侧压力作用下能否保证不滑动、不倾复、墙底的压力是否在地层承载力的安全限度以内等等。又如,在施工时,用起重机吊运预制构件和



照片 1

建筑材料,用悬索吊装拱肋或拱圈砌块,用吊索塔架提拉钢梁(照片1),用架桥机架设钢筋混凝土梁或钢板梁,钢丝绳、吊机、线路或路面对于起吊重量能否适应。又如,各种建筑物对于可能发生的地震等灾害的袭击能否承受等。

要做到结构设计和施工上的技术先进,经济合理,安全适用,确保质量,需要多方面的工作紧密配合,各门力学其中包括理论力学就是一个重要的方面。理论力学不仅可直接用于解决工程实际问题,还为一系列技术基础课如材料力学、结构力学、弹性力学、流体力学、振动理论、机械原理等以及结构设计提供重要的理论基础。

学好理论力学是从事专业工作、进行科学研究所必需的。此外,力学发展史和理论力学的研究方法还说明:辩证唯物主义世界观是研究力学的唯一正确的思想武器。因此,学习理论力学还有助于培养辩证唯物主义世界观,树立正确的思想方法,提高分析问题和解决问题的能力。

二、理论力学的基本内容 平衡的概念

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。”^① 物体的机械运动,就是指物体在空间所作的位置变动。本书中以后所说的运动,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。

^① 恩格斯:自然辩证法,人民出版社,1971年,第53页。

机械运动是物质运动形式中最简单的一种。任何较高级较复杂的物质运动形式，如物理变化、化学变化以至人类的思维活动等，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，我们将研究力的基本性质，研究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，我们就要先分析屋架、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

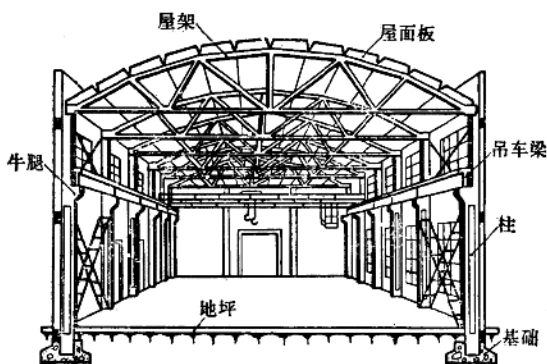


图 1

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。

我们知道,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。

辩证唯物主义指出,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。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”是指相对地球而言。在地球上,处于相对平衡的物体是经常遇到的。因此,研究静力学具有实际意义。

在运动学中,我们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

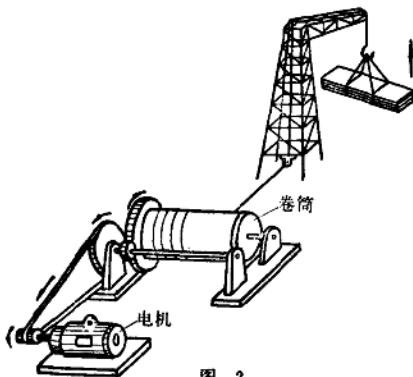


图 2

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。

应用运动学原理对物体进行运动分析,在工程中有其独立意义。另一方面,运动学和静力学一起又为动力学的研究打下基础。

在动力学中,我们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、振动打桩机及蛙式夯土机的工作原理,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。因此,将理论力学分为这样三部分,也是符合从各个侧面到比较全面、从特殊到一般的认识规律的。

三、古典力学的发展过程 我国古代和现代的力学成就

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。恩格斯指出：“科学的发生和发展一开始就是由生产决定的。”^①远古时代，人类在生产活动中就创造了石刀、石斧等原始工具，这实际上就是应用了尖劈可以“用小力发大力”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展，时间量度和天文观测都要求有更大的精确度，当时的仪器设备条件也已经具备，不符合客观实际的地球中心说才被推翻，代之以十六世纪哥白尼（N. Kopernigk，波兰人，1473—1543）的太阳中

① 恩格斯：自然辩证法，人民出版社，1971年，第162页。

心说。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是均匀的学说,对行星运动得出了正确的运动学描述。

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,在运用力学基本定律解决实际问题的过程中,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,生产实践的需要愈益广泛,以理论力学为基础的一些力学也一一诞生,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、化学流体力学、生物力学等。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,历代劳动人民有很多发明创造,在我国很早就发明使用了杠杆、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—前221)已积累了大量的力学经验知识,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31年,东汉时的杜诗创造了水排(图3),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(照片2),这是世界上最早的地震仪。当某一方向地动时,仪

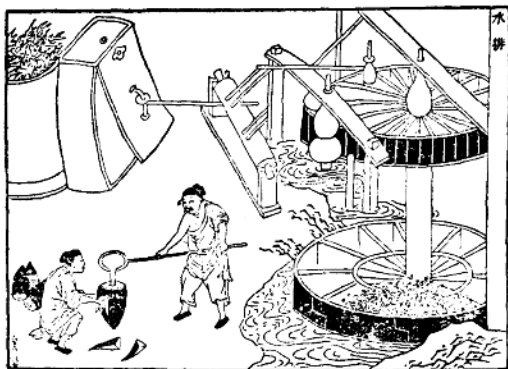
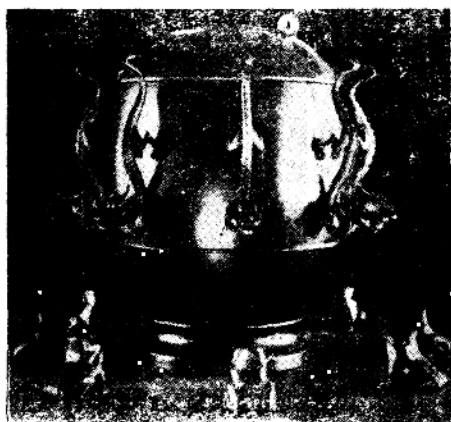


图 3



照片 2

器内的都柱(1)将倾倒如图 4 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

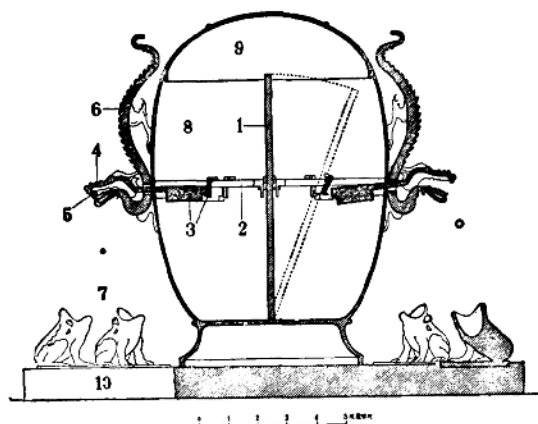


图 4

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，照片 3），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，至今仍然屹立在洹河上，证明李春的设计完全符合力学原



照片 3