

高等教育机械类自学考试教材

理论力学

党锡淇(主编) 徐青萍 刘力行

郑丽芬 朱因远 李锦临

西安交通大学出版社
光明日报出版社

高等教育机械类自学考试教材

理 论 力 学

西安交通大学自学教材编写组

党锡淇(主编) 徐青萍 刘力行

郑丽芬 朱因远 李锦临

西安交通大学出版社

光明日报出版社

内 容 简 介

本书是根据1980年8月颁布的高等工业学校机械等类专业120学时理论力学教学大纲的要求,编写的自学教材。

全书包括静力学,运动学,动力学三部分。编写时力求适合于自学的特点和要求,每章都有提要、自学指导、小结、习题,必要时还有解题指导,书末附有单位表和习题参考答案,以帮助读者系统地掌握内容的基本理论、基本技能及其应用。

本书可供中专或高中毕业生继续深造,以及有志于自修机械类专业,并希望获取大学本科毕业证书的读者使用,也可以作为一般工科院校、师范院校、电视大学、职工大学等的理论力学教材和教学参考书。

理 论 力 学

西安交通大学自学教材编写组

党锡洪(主编) 徐青萍 刘力行

郑丽芬 朱因远 李锦临

责任编辑: 刘 力 行

西安交通大学出版社 联合出版
光明日报出版社

西安交通大学出版社印刷厂印装
陕西省新华书店发行·各地新华书店经售

开本: 787×1092 1/16 印张: 23.125 字数: 574千字

1984年9月第一版 1984年9月第一次印刷

印数: 1—20,000

统一书号: 15340·008

定价: 2.86元

高等教育机械类自学考试教材

序 言

《中华人民共和国宪法》中明确规定国家鼓励自学成才。为此，教育部制订了一项崭新的高等教育自学考试制度，它为有志学习而没有机会进大学的人开辟了广阔的学习途径，也为造就和选拔社会主义现代化建设的合格人才开辟了广阔的途径。

一九八三年，教育部决定成立全国高等教育自学考试指导委员会机械类专业委员会，机械类专业的自学考试工作即将在全国广泛展开。为此，首先需要有一套适合于自学的教材。这套高等教育机械类自学考试教材，就是适应这个需要而编写的，它适合于机械类专业自学使用。作为第一步，我们先编出《高等数学》、《物理学》、《普通化学》、《理论力学》四门课的教材，其他课程的自学考试教材也将陆续组织编写和出版。

本丛书各本教材的内容都按照高等学校机械类专业的教学大纲编写，同时根据这套教材的性质，努力在便于自学方面下功夫。和目前高等学校使用的教材相比，它除了有必要的指导自学的内容之外，基本概念의阐述更为细致、说明更为详尽，例题数量较多，还编入了丰富的复习思考题和作业。

这套教材中各本书的编者，我们都约请有较高学术水平并长期从事该课程教学，有丰富实践经验的同志担任。希望它的出版对广大有志于在机械类专业方面自学和深造的同志能有一定的帮助，祝愿这些同志循序渐进、锲而不舍，早日掌握先进的科学知识，为社会主义现代化建设作出更大的贡献。

全国高等教育机械类自学考试指导委员会主任

史 维 祥

一九八四年六月

DRA 10/01

目 录

前 言	(1)
绪 论	(3)
一、理论力学的研究对象与本课程的任务	(3)
二、力学发展简史和研究方法	(3)

静 力 学

第一章 静力学的基本概念和公理	(5)
自学指导	(5)
§ 1-1 静力学的任务 平衡和刚体的概念	(5)
§ 1-2 力的概念	(6)
§ 1-3 静力学的公理	(7)
§ 1-4 约束和约束反力	(9)
§ 1-5 受力图	(12)
小 结	(13)
习 题	(14)
第二章 汇交力系	(17)
自学指导	(17)
§ 2-1 汇交力系合成的几何法	(17)
§ 2-2 汇交力系平衡的几何条件	(19)
§ 2-3 力的分解	(23)
§ 2-4 力在轴上和平面上的投影 力的分析表示式	(23)
§ 2-5 汇交力系合成的分析法	(25)
§ 2-6 汇交力系平衡的分析条件	(26)
§ 2-7 汇交力系解题基本步骤	(29)
小 结	(30)
习 题	(31)
第三章 力偶的基本性质	(34)
自学指导	(34)
§ 3-1 力偶和力偶矩	(34)
§ 3-2 力偶的性质和等效条件	(35)
§ 3-3 力偶矩的矢量表示法	(36)
§ 3-4 力偶系的合成和平衡条件	(37)
小 结	(40)
习 题	(40)
第四章 平面力系	(42)
自学指导	(42)
§ 4-1 力对点之矩	(42)

§ 4-2	力的平移定理	(43)
§ 4-3	平面力系向已知点简化 主矢和主矩	(44)
§ 4-4	平面力系合成为一个力偶或一个力的情形 合力矩定理	(45)
§ 4-5	平面力系的平衡条件	(47)
§ 4-6	静不定问题	(51)
§ 4-7	几个物体组成的系统的平衡	(52)
§ 4-8	桁架	(55)
小 结		(58)
习 题		(59)
第五章 摩 擦		(66)
自学指导		(66)
§ 5-1	滑动摩擦 库伦摩擦的近似定律	(66)
§ 5-2	摩擦角 自锁现象	(68)
§ 5-3	考虑滑动摩擦力时的平衡问题	(70)
§ 5-4	滚动摩擦的概念	(75)
小 结		(77)
习 题		(78)
第六章 空间力系		(81)
自学指导		(81)
§ 6-1	力对点之矩的矢量表示法	(82)
§ 6-2	力对轴之矩	(83)
§ 6-3	力对已知点之矩与对通过此点的轴之矩间的关系	(84)
§ 6-4	空间力系向已知点简化 主矢和主矩	(85)
§ 6-5	空间力系合成结果	(87)
§ 6-6	空间力系的平衡条件	(88)
小 结		(93)
习 题		(95)
第七章 重 心		(98)
自学指导		(98)
§ 7-1	平行力系中心与重心	(98)
§ 7-2	常见几何形体重心的计算	(100)
§ 7-3	确定重心位置的其它方法	(103)
小 结		(105)
习 题		(106)

运 动 学

第八章 点的运动	(108)
自学指导	(108)
§ 8-1 运动学导言	(109)
§ 8-2 点的位置确定法 运动方程	(110)
§ 8-3 点的速度和加速度	(111)
§ 8-4 自然法表示点的速度和加速度	(114)
小 结	(120)
习 题	(121)

第九章 刚体运动的基本形式	(125)
自学指导.....	(125)
§ 9-1 平动.....	(125)
§ 9-2 转动.....	(126)
§ 9-3 转动刚体内各点的速度和加速度.....	(128)
§ 9-4 角速度、角加速度矢量 用矢积表示点的速度、加速度.....	(129)
小 结	(131)
习 题	(131)
第十章 点的复合运动	(135)
自学指导.....	(135)
§ 10-1 点的复合运动的概念.....	(136)
§ 10-2 速度合成定理.....	(137)
§ 10-3 牵连运动为平动时加速度合成定理.....	(139)
§ 10-4 牵连运动为转动时加速度合成定理.....	(141)
小 结	(147)
习 题	(147)
第十一章 刚体平面运动	(152)
自学指导.....	(152)
§ 11-1 刚体平面运动方程.....	(152)
§ 11-2 平面运动分解为平动与转动.....	(153)
§ 11-3 平面图形内各点的速度.....	(154)
§ 11-4 平面图形内各点的加速度.....	(158)
§ 11-5 刚体绕平行轴转动的合成.....	(163)
小 结	(166)
习 题	(167)

动 力 学

第十二章 动力学基本方程	(172)
自学指导.....	(172)
§ 12-1 动力学的任务.....	(172)
§ 12-2 动力学基本定律.....	(173)
§ 12-3 力学的单位制与量纲.....	(174)
§ 12-4 牛顿定律的适用范围和惯性坐标系.....	(175)
§ 12-5 质点运动微分方程.....	(176)
小 结	(184)
习 题	(185)
第十三章 动量定理	(189)
自学指导.....	(189)
§ 13-1 质点动量定理.....	(189)
§ 13-2 质点系动量定理.....	(192)
§ 13-3 质点系质心运动定理.....	(197)
* § 13-4 变质量质点动力学基本方程.....	(202)
小 结	(204)
习 题	(204)

第十四章 动量矩定理	(208)
自学指导.....	(208)
§ 14-1 质点动量矩定理.....	(208)
§ 14-2 质点系动量矩定理.....	(211)
§ 14-3 刚体定轴转动微分方程.....	(216)
§ 14-4 转动惯量 平行轴定理.....	(218)
§ 14-5 相对于质心的动量矩定理.....	(223)
§ 14-6 刚体平面运动微分方程.....	(225)
小 结	(227)
习 题	(228)
第十五章 动能定理	(233)
自学指导.....	(233)
§ 15-1 力的功.....	(233)
§ 15-2 质点动能定理.....	(237)
§ 15-3 质点系动能定理.....	(239)
§ 15-4 功率和功率方程.....	(246)
§ 15-5 势力场 机械能守恒定律.....	(248)
§ 15-6 动力学普遍定理及其解题方法综述.....	(253)
小 结	(256)
习 题	(257)
第十六章 碰 撞	(263)
自学指导.....	(263)
§ 16-1 碰撞现象 碰撞过程计算中的两点简化.....	(263)
§ 16-2 碰撞时的动量定理和动量矩定理.....	(264)
§ 16-3 两个物体的对心正碰撞 恢复系数.....	(267)
§ 16-4 碰撞冲量对绕定轴转动刚体的作用 撞击中心.....	(271)
小 结	(273)
习 题	(274)
第十七章 达朗伯原理	(276)
自学指导.....	(276)
§ 17-1 达朗伯原理.....	(276)
§ 17-2 刚体的惯性力系的简化.....	(279)
§ 17-3 刚体绕定轴转动时轴承的动反力 惯性主轴.....	(285)
§ 17-4 转子的静平衡和动平衡.....	(289)
小 结	(290)
习题及动力学综合习题.....	(291)
第十八章 振动的基本理论	(296)
自学指导.....	(296)
§ 18-1 自由振动.....	(296)
§ 18-2 阻尼对自由振动的影响——衰减振动.....	(302)
§ 18-3 受迫振动 共振现象.....	(304)
§ 18-4 阻尼对受迫振动的影响.....	(307)
§ 18-5 消除和抑制振动的基本途径.....	(310)
小 结	(311)
习 题	(312)

第十九章 虚位移原理	(315)
自学指导	(315)
§ 19-1 约束 自由度	(315)
§ 19-2 虚位移	(317)
§ 19-3 理想约束	(318)
§ 19-4 虚位移原理	(319)
小 结	(325)
习 题	(325)
*第二十章 动力学普遍方程和拉格朗日方程	(328)
自学指导	(328)
§ 20-1 广义坐标 广义力	(328)
§ 20-2 以广义力表示的质点系平衡条件	(332)
§ 20-3 动力学普遍方程	(334)
§ 20-4 拉格朗日方程	(337)
小 结	(345)
习 题	(345)
附 录	(348)
中华人民共和国法定计量单位	(348)
习题参考答案	(351)

前 言

——自学《理论力学》时应注意之点

一、理论力学的性质与任务

理论力学课程对工科院校的学生，特别是工科机械制造类、动力机械类专业的学生是一门理论性较强的技术基础课。它的任务是通过学习本课程掌握物体作机械运动的基本规律及其研究方法，学会运用这些规律分析、解决生产实际中比较简单的力学问题。由于理论力学研究机械运动的基本规律，所以它对学习一系列有关力学的后续课程，如材料力学，机械原理和设计，振动，流体力学，弹塑性力学等以及各种与力学有关的专业课程起到奠基作用，是学好这些课程的必要前提。

二、与物理学中的力学相比，理论力学侧重于工程应用

理论力学与物理学中的力学部分，尽管在理论上有所重复之处（这些重复之处在教学中应妥善处理），但这二者的要求是不同的。物理学是一门基础课，作为整体它研究物质世界中最普遍最基本的运动形式及其规律。它的任务是使学生对物理学的基本概念、基本原理和基本规律有比较全面而系统的认识，了解各种运动形式之间的联系；并使学生在科学实验、运算和抽象思维等方面的能力受到初步而严格的训练。

而在理论力学课程中，则要对学偏重于力学在工程中的应用训练。从这个意义上说，理论力学可以认为是工科院校学生联系并要求解决工程实际问题的第一门课程。

三、关于“理论容易解题难”的分析

理论力学是一门古老而又具有新的生命力的科学。它具有严密、完整的理论体系，理论的高度抽象性和联系实际的极其广泛性是它的一个显著的特点。理论力学习题——联系实际力学问题之初步，包括的面非常广泛。机械、电机、电器、动力、建筑、航天中的各种装置，固体、流体的各种力学现象，各种各样的工程实际问题以及自然界的力学现象，一句话，只要是机械运动，它无不包括。学习理论力学就要求学会分析、解决和解释那些比较简单、常见的力学问题及力学现象。

在学习理论力学课程时，往往会发生这样的现象，就是理论似乎不难懂得，而要应用这些理论去分析、解决和解释有关力学的具体问题并不那么容易。学生中经常流传的一句话是：理论容易解题难。

其实，要深刻地领会理论也不大容易，而真正懂得了理论，解题也就不那么难了。分析“解题难”的原因，主要还是对理论本身以及使用理论结论所要求的条件等的理解不完全、不深刻，因而在解题时不会正确应用理论，自然也就得不到正确的答案。

实际上，深刻、准确地理解力学的每一个概念以及理论结论需要一个反复训练的过程。解题则是最有效的方法。通过解题练习，可以提高和深化对于力学理论的认识，而反过来又

提高了解题能力。在解题中很重要的一点是要求掌握正确的力学分析方法和一定的解题技巧。这也只有通过实际的练习才能学到。如果只是学习力学的一般概念和理论，而不去联系实际，那么必然收效甚微。所以，一定要重视解题练习。本课程的大纲规定，每个学生解题数量不得少于 300 道，就是基于上述原因。

本教材在例题的解法中，力求阐明正确的分析方法和解题技巧，有些题并不复杂，结论也容易得到，但着重点是注意解题时的分析方法。因此，在解题之前必须很好地弄清书中的例题，切勿轻易放过。

准确理解每一个力学概念，弄清严格的理论推演、理论结论及其使用条件；注意力学的分析方法；解每一道题都要求有严格的理论依据并提高到理论的高度加以认识。这样，你就会感到，真正学好理论并不那么容易，但只要按照正确的方法一步一步去做，就能逐步掌握，越钻越深。而且能够在解决各种各样的力学问题中找到乐趣。

本教材通过课文讲解、例题、思考题、习题、问题解答等环节进行教学，每章前面有提要 and 自学指导，每章后面有小结，使读者对每章要解决的问题、方法、重点和难点做到心中有数，学完后对问题有一个明确的结论。

学习中请注意对带 * 的内容和习题的处理：书中不带 * 的内容为基本内容，是教学大纲要求必须掌握的内容；带 * 的内容，可以根据自学者情况选取。这些内容对预备报考硕士研究生自学者是需要的。不带 * 的习题是基本题；带 * 的习题往往更为繁、难或技巧性更强，如果自学者时间不够，可以不去解这些题。

绪 论

一、理论力学的研究对象与本课程的任务

理论力学是研究物体机械运动一般规律的科学。物质和运动是不可分割地联系着的。在我们周围的物质世界里，从极微小的“基本”粒子起，到巨大的行星和星系为止，一切都在运动、变化。没有也不可能有运动的物质。物质和运动是分不开的。换句话说，运动是物质存在的形式，是物质不可分割的属性。宇宙中物质运动的形式是多种多样的。不仅有物体在空间的位置变动，而且还有物理的、化学的、生物的和社会的运动形式。恩格斯写道：“就最一般的意义来说，运动是物质的存在形式、物质的固有属性，它包括宇宙中所发生的一切变化和过程，从简单的位移起直到思维止。”（自然辩证法，人民出版社1957年版，第46页）理论力学所研究的是物体在空间的位置随时间而改变的一种运动形式——机械运动。这是物质运动的各种形式中最简单和最初级的形式，又是自然界和工程技术中最常遇到的运动形式。

在物质运动的各种不同形式之间是存在着联系的，而且在一定条件下，一种形式可以转化为另一种形式，同时在较高级的物质运动形式中往往伴随着较简单的机械运动，所以理论力学中的基本规律和研究方法在某种程度上也渗透到其他自然科学的领域中去。

理论力学所研究的内容属于经典力学的范围。这门力学以伽利略、牛顿所总结的基本规律为基础。在十九世纪末和本世纪初由于近代物理的巨大发展，产生了相对论力学，表述了时间、空间与运动物质之间以及质量与能量之间的联系，并指出了经典力学的局限性：它不适用于速度接近光速时的物体运动，也不适用于微观粒子的运动。但是应该指出，经典力学并没有失去它的实际意义，因为，经典力学本身是在不断的生产斗争和科学实验中发展起来的，应用它来研究速度远小于光速时宏观物体的运动，特别是对于一般工程上的力学问题，已具有足够的准确度，因此在一般工程问题中我们仍然以经典力学的定律为依据。

本课程的任务是要使学生了解和掌握机械运动的基本规律，并能初步运用这些规律解决工程实际问题，由于理论力学所阐述的内容反映了客观世界机械运动的规律，因而它能解释许多自然现象。然而对于一个工程技术人员来讲，不仅要懂得客观世界的规律性，因而能够解释世界，而且还要拿了这种对于客观规律性的认识去能动地改造世界。因此，学习理论力学更重要的任务是（当然要与其它专门知识相配合）为了解决我国社会主义建设事业中的一系列工程技术问题。在现代工程技术的各个领域里，存在着大量的力学问题。要解决这些问题，必须具备广博而深厚的力学理论知识。力学是现代工程技术的重要基础之一。此外，学习理论力学也为一系列后续课程（如材料力学、机械原理、机械设计以及有关力学的专业课程）准备了条件。

二、力学发展简史和研究方法

理论来自实践，人类的生产活动是最基本的实践活动。所以生产是力学发生、形成与发展的源泉。力学发展的历史过程证明了恩格斯的话：“科学之有赖于生产，更甚于生产之有赖于科学”。在奴隶社会，生产力是很低的，但是人们在从事农业生产和建造建筑物中已经积累了相当丰富的力学知识。远在我国黄帝时代（距今四千多年前），手工业和建筑技术相当发达，劳动人民已开始制作舟、车和耕作机械，建筑宫室。到战国时代，已经在机械制造

和建筑结构上有了巨大的成就。我国古老的科学著作《墨经》，记载了当时劳动人民在生产斗争中获得的丰富经验，书中力学九条叙述了力的定义和杠杆平衡原理等。可见，力学的发展从一开始就是密切地依赖着生产实践的。在后来的发展中也是一样。在封建社会，因生产停滞不前，力学的发展也差不多陷于停顿。直到十五世纪资本主义兴起，贸易、航海发展起来，建筑、航海、军事等的迅速发展向力学提出了新的刻不容缓的任务，实践要求更完整的理论来指导。因而，力学就随之而有了空前的发展。当时哥白尼(1473—1543)在总结了前人对天文观测的大量资料的基础上，创立了太阳中心说，在科学界引起了宇宙观大革命。刻卜勒(1571—1630)根据哥白尼的发现，并继承了第谷·勃拉格(1546—1601)对行星绕日运动多年的观测研究，得出了著名的行星运行三大定律，这三大定律后来又成为牛顿发现万有引力的基础。此后伽利略(1564—1642)从观察落体运动中提出了加速度的概念，又在对物体沿斜面运动的研究中确立了惯性定律，因而奠定了动力学的初步基础。后来，牛顿(1643—1727)总结了前人的成就，确立了若干基本定律，创立了经典力学。

人们在长期的生产实践中，以及在生产实践的基础上运用观察和实验，经过抽象思维、分析综合，将大量的有关机械运动的感性材料加以整理和改造，造成了有关机械运动的概念，并从而建立一些最基本的定律，作为这门科学的基础。再通过推理，得出各种运用于不同情况的定理和结论。人们在生产活动所观察到的现象是复杂和多样的，要掌握事物的本质，就必须抓住主要的矛盾，而暂时撇开其余次要的因素。力学中抽象化方法也正是如此。例如，本来物体的质量与运动速度是有关的，但对速度远小于光速的宏观物体的机械运动而言，我们可以认为质量是与物体运动速度无关的物理量。又如我们为了研究方便，把作机械运动的各种物体归结为几个力学的理想模型。在本课程中遇到的有质点(具有质量的几何点)、质点系(相互间有某种联系的一群质点)和刚体(各质点间距离保持不变的质点系)。这些力学模型都是在一定条件下，从实际物体抽象而来的。当然，如果问题的性质变了，事物的主要矛盾就会转化，必须考虑新的因素，建立新的模型。例如，在研究行星绕日运动的轨道问题时，可忽略行星的大小而视作质点。但是，如果要考虑行星的自转问题，就需要用刚体的模型来代替质点。总之，正确的抽象不是脱离实际，而是更深刻地反映实际。

人们为了更好地改造自然，需要进一步对自然界有定量的认识，也就是说把客观规律中的变化能够定量的表达出来。人们对于机械运动规律的认识也是这样的。因此，在理论力学的研究中，经常借助于数学推导以进一步理解各力学量之间的内在联系和变化规律。事实上，数学本来是人们在生产实践的基础上形成和发展起来的一门研究现实世界的量的关系和空间形式的科学。力学与其他科学一起常常为数学提供了各种有关量的关系的资料，从而推动了数学的发展。而反过来，数学的发展又常常促进了力学与其他科学的发展。在近代的工程技术中，许多复杂的力学问题如航天问题和各种大型结构的力学分析问题等，借助于适当的数学计算方法和高效能的电子计算机，往往可以得到完满的解决。但是，我们在学习理论力学时，仍然不可仅仅满足于了解数学推演，而忽视了深入理解力学规律的实质。

为了便于学习，通常把理论力学分为三部分，即静力学、运动学和动力学。静力学研究力的合成规律和在许多力作用下刚体的平衡条件；运动学从几何的观点来研究点和刚体的机械运动，而不考虑作用于其上的力；动力学研究力的作用和机械运动的变化之间的关系。

静 力 学

第一章 静力学的基本概念和公理

本章指明静力学的任务, 阐述平衡、刚体和力等基本概念, 介绍静力学的公理, 最后讨论约束的概念和受力分析的方法。本章是整个静力学的基础。

自 学 指 导

通过学习本章, 要求读者明确静力学的任务, 掌握平衡、刚体、力等基本概念和静力学公理。会按约束的不同类型正确画出相应的约束反作用力。

静力学研究力系的合成规律和在力系作用下刚体的平衡条件, 而以研究刚体的平衡条件为主。这是因为大多数静力学问题是通过刚体的平衡条件来求未知量的。

静力学的五条公理是静力学各章理论的基础。要逐条加以准确地理解。当然, 按字面理解每一条公理是不困难的。但在学习中要注意如何从公理出发建立静力学各章的理论。等学完第四章(平面力系)之后, 再把前面几章复习一下, 那时就能比较全面地理解静力学的理论体系和作为公理的基础性质。

受力分析是静力学乃至整个理论力学学习中的基本训练之一。初学者往往不能正确地画出研究对象的受力图, 也就是不会进行正确的受力分析。主要易犯以下两条错误:

1. 凭空画出不作用在研究对象上的力 例如凭主观想像有某个约束力“顶住”某个主动以保持物体平衡, 或者把不作用在研究对象上的力画在研究对象上。这里一定要明确研究对象的受力分析是画出其他物体作用在该研究对象上的力, 而且每一个力必须有明确的施力物体, 不可凭空想像, 无中生有。

2. 画错约束力的方向 约束力的方向应该按约束类型确定, 有些约束类型能预知方向(例如柔绳, 光滑平面), 有些则仅能预知作用线通过某已知点(如铰链), 约束力的方向还要借助平衡条件来确定。要严格按例题中的每个步骤进行受力分析的训练。且每取一个研究对象, 要进行一次受力分析, 要有一个受力图, 这三者须严格一致。不要把不同物体的受力图画在一起, 要分开画。

§ 1—1 静力学的任务 平衡和刚体的概念

在绪论中已经提到, 静力学研究力的合成规律和在许多力作用下刚体的平衡条件。当然, 研究刚体的平衡条件是静力学的主要问题。但是, 为了解决这一问题, 要先知道力的合成规律, 而且, 力在物体平衡时所表现出来的基本性质包括它所遵守的合成规律, 也同样适用于

物体作一般运动时的情形，因之，对静力学的研究也为今后研究动力学的问题提供了基础。

在静力学中，可以把物体处于平衡状态理解为所考虑的物体相对于地球保持静止或作匀速直线平动。关于平衡的更完备的定义留在动力学中阐述。物体的平衡只是运动的特殊情形。平衡规律远比一般的运动规律来得简单，人们在设计各种机器的部件和建筑物的构件时，最初碰到的力学问题属于静力的分析和计算，根据计算结果确定选用材料和几何尺寸。因此平衡规律最先为人们所掌握，另一方面，也可见静力学在工程技术上的重要性。

上面提到的刚体是指什么样的物体呢？由经验知道，任何物体在受到力的作用时，都将发生不同程度的变形（这种物体称为变形体）。例如列车驶过铁桥，桥墩发生压缩变形，桥梁发生弯曲变形，等等。有时候变形非常微小，以至于只有用精密的仪器来测量才能发现。例如机床在高速切削时，主轴以及其他各传动轴的最大挠度不允许超过轴间距离的 0.0002，最大扭角在 20~25 倍直径的长度内不超过 1 度，轴承处的最大倾角不超过 0.06 度。由于在很多情况下物体的变形对于研究平衡问题的影响甚小，成为次要因素，在研究这类物体的平衡时，变形就可略去不计。因此，在静力学中引入刚体的概念。所谓刚体是指无论受到怎么样的力的作用，形状都不会改变的物体。换句话说，刚体是指在任何情况下，物体内任意两点间距离都不会改变的物体。必须强调指出，刚体是根据物体变形时对所研究的平衡问题影响很小这一客观事实经抽象化得出的概念（力学的理想模型）。如果在所研究的问题中，变形确是次要因素可以略去不计，则将物体看成刚体会大大地简化刚体平衡条件等问题的研究。以后我们将会看到，对变形体平衡问题的研究，也都是以刚体静力学为基础的，不过再加上某些补充条件而已。

§ 1—2 力的概念

当人们推动某一物体使它的运动状态发生改变时，由本身筋肉的紧张感觉而产生了最初的力的概念。继而人们在自然界观察到一系列现象，例如行星绕太阳运动，物体向地面坠落等等。这行星和物体的运动状态也发生改变，推究其原因，是由于物体间存在着相互的机械作用的缘故。物体间相互的机械作用，其结果使这些物体的运动状态发生改变（包括变形），这种机械作用在力学中称为力。例如：太阳与行星之间的相互的机械作用称为万有引力；地球吸引地面物体的机械作用称为重力；蒸汽机的活塞上作用着蒸汽的压力等等。

我国古代科学家墨翟就曾对力的概念作了比较深入的探讨。在叙述墨子学说的《墨经》里有一处写道：“力，形之所以奋也”。意思是说力是物体由静止进入运动的原因。现在看来，这个定义虽然并不完备，但是在二千多年前就能这样正确地反映了力与物体运动间的联系，的确是难能可贵的了。

理论力学研究力的作用以及由于力的作用而产生的对于物体的效应时，并不考虑力的物理来源。在理论力学中，凡是提到力的效果或效应，都是就力对于物体平衡或运动的影响而说的，这种效应称为力的外效应。至于力对物体变形的影响，则称为力的内效应，将在材料力学等书中讨论。

由观察及试验得知，力对物体的作用，完全决定于下述三个要素：(1)力的作用点；(2)力的方向；(3)力的大小。因而力是一个有大小和方向的物理量。在下一节中将说明力的加法是服从矢量相加法则的，所以力是矢量。和一切矢量一样，力矢可用一帶有箭头的有向线段

AB 或 F 表示(图 1-1)。一般以力矢的起点 A (或终点 B) 表示力的作用点, 力矢的方向表示力的方向, 力矢的长短按照选定的比例尺表示力的大小。

在国际单位制中, 力的单位是牛顿(N)。工程上还采用工程单位制, 力的单位是公斤力(kgf)。牛顿和公斤力的换算关系是

$$1(\text{kgf}) = 9.80665(\text{N}) \approx 9.8(\text{N})$$

通常, 物体会受到一群力的同时作用, 这种作用于物体的一群力称为**力系**。如果作用在某一刚体上的力系可用另一力系来代替, 而不改变刚体在原力系作用下的运动状态, 则此二力系称为**等效力系**。如果一个力与一个力系等效, 这个力就称为这个力系的**合力**。一般说来, 一个物体在某力系作用下不一定处于平衡状态。在特殊情形下, 物体在某一力系作用下能保持平衡状态不变, 则这一力系称为**平衡力系**。平衡力系中任一力对于力系中其余的力来说称为**平衡力**。

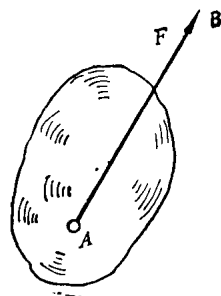


图 1-1

§ 1-3 静力学的公理

静力学是以下述五个公理为基础的。这些公理是人们在实践中对处于平衡和运动的物体进行了无数次观察和实验后得出的关于力的基本性质的概括和总结。公理的正确性已由客观实践所证实。

公理 1 (两力平衡公理) 如果一个刚体只受到两个力作用, 当而且仅当这两个力大小相等、沿同一直线、指向相反, 刚体处于平衡。

公理 1 确定了最简单的平衡力系, 因为经验表明, 刚体在一个力作用下是不可能处于平衡的。公理 1 只适用刚体, 是论证刚体平衡条件的基础。

公理 2 (加减平衡力系公理) 可以在作用于刚体的力系上添加或取去平衡力系, 而不改变原力系对刚体的作用。

此公理表明, 彼此相差平衡力系的两个力系是等效的。其次, 注意: 公理 2 只是对刚体而言的, 对于变形体, 增减平衡力系, 就会影响物体的变形, 甚至会引起物体的破坏。

应用公理 2 可以推论出作用在刚体上之力的一项重要性质——**力的可传性**。

[推论] 一个力可沿其作用线在刚体内(或在刚体延拓部分)任意移动, 而不改变此力对刚体的作用。

证明 设力 F 作用于刚体上 A 点(图 1-2), 在刚体内(或在刚体延拓部分)沿此力作用线 LL' 上任取一点 B 。今在 B 点加两个沿 LL' 线而方向相反的力 F_1, F_2 , 且令 $F_1 = F_2 = F$ 。根据公理 1 知, F_1, F_2 为平衡力系, 再按公理 2 得知, 力系 (F_1, F_2, F) 与力 F 等效, 另一方面, 按公理 1, (F_2, F) 亦为平衡力系, 再按公理 2, 力系 (F_1, F_2, F) 与 F_1 等效。由此可知, F 与 F_1 等效, 即可用 F_1 代替 F 而不改变对刚体的作用。这样, 力 F 的作用点已由点 A 在刚体内(或在刚体的延拓部分)沿其作用线移到点 B , 而不

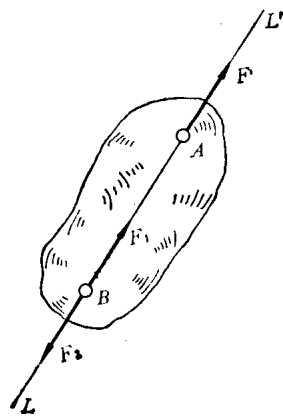


图 1-2

改变力对刚体的作用。

公理 3 (力的平行四边形公理) 作用于物体上同一点 A 的两个力 F_1 和 F_2 的合力 R 也作用在 A 点, 其大小与方向可以由 F_1 和 F_2 为边所作的平行四边形的对角线表示(图 1-3), 即

$$R = F_1 + F_2$$

公理 2 及公理 3 是解决静力学中力系的合成和力的分解问题的基础。

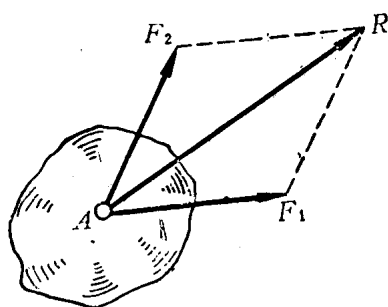


图 1-3

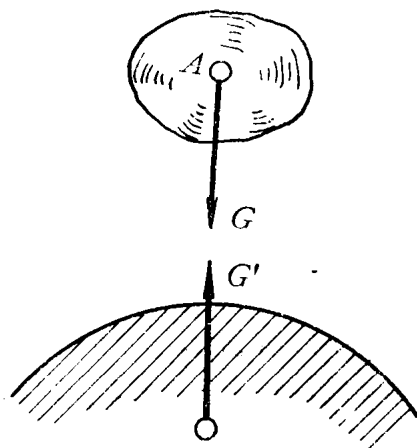


图 1-4

公理 4 (作用与反作用公理) 当甲物体对乙物体作用的同时, 甲物体也受到来自乙物体的相反作用, 作用与反作用大小相等、沿同一直线, 且方向相反。

例如, 物体 A 受到地球的引力 G (图 1-4), 则公理 4 告诉我们: 与此同时, 物体 A 也必定以与 G 大小相等, 沿同一直线而方向相反的力 G' 吸引地球。

应该注意, 作用力与反作用力是作用在不同物体上的两个力。因此, 不可错误地引用公理 1, 认为作用力与反作用力是互成平衡的力系。

公理 4 是从研究一个物体的平衡问题过渡到研究几个物体组成的所谓系统平衡问题的桥梁。

公理 5 (刚化公理) 当变形体在力系作用下处于平衡状态时, 如假想这变形体为刚体, 则此假想刚体在原力系作用下, 仍将保持平衡。

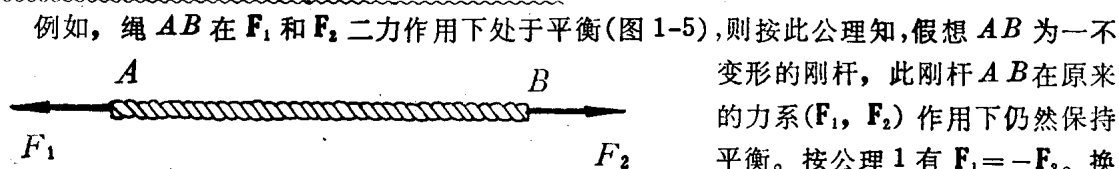


图 1-5

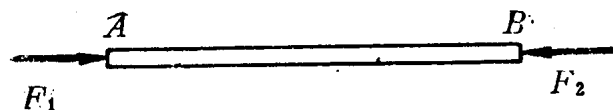


图 1-6

例如, 绳 AB 在 F_1 和 F_2 二力作用下处于平衡(图 1-5), 则按此公理知, 假想 AB 为一不变形的刚杆, 此刚杆 AB 在原来的力系(F_1, F_2) 作用下仍然保持平衡。按公理 1 有 $F_1 = -F_2$ 。换言之, 刚体平衡所需满足的条件, 对处于平衡的变形体来说也必定满足。但须注意, 仅满足刚体的平衡条件, 变形体并不一定平衡。这一点很明显, 例如, 刚杆

AB 在 F_1, F_2 两力作用下处于平衡(图 1-6), 但是, 若 AB 是可变形的绳, 就不能平衡了。由此得出结论: 刚体的平衡条件是变形体平衡的必要条件, 但不是充分条件^[1]。

(1) 充分条件: 甲、乙二事物, 如甲成立时, 乙必定成立, 称甲为乙的充分条件。但甲不成立, 乙却不一定不成立。

必要条件: 甲不成立时, 乙必定不成立, 称甲为乙的必要条件。但甲成立时, 乙却未必一定能成立。

根据充分条件和必要条件的涵义, 读者可自行论证: 若甲为乙的必要条件, 则乙必为甲的充分条件。