

高等学校教材

理论力学

主编 赵景山 关尚军



 吉林科学技术出版社

高等学校教材

理论力学

主 编 赵景山 关尚军

副主编 杨 克 孙丽霞 王向东

吉林科学技术出版社

内 容 提 要

本书内容包括静力学、运动学和动力学三部分。与同类教材相比,体系有所变动,注重理论的简化分析和理论的应用,适当增加了概念题、思考题以及综合题的数量,以培养学生综合运用知识的能力。本教材主要适用于高等学校工科机械类少学时、电类各专业,也可供其他专业的师生和有关技术人员作为参考用书。

理论力学

赵景山 关尚军 主编

责任编辑:李红梅

装帧设计:郑 丽

出版 吉林科学技术出版社 880×1230 毫米 32 开本 9 印张 252 000 字
发行 2001 年 12 月第 1 版 2001 年 12 月第 1 次印刷
印刷 吉新月历公司印刷分公司 ISBN 7-5384-2553-5/O·94 定价:19.50 元

社址 长春市人民大街 124 号 邮编 130021 传真 5635185
电子信箱 JLKJCBS @ public.cc.jl.cn 电话 5635183

前 言

为了适应教学的需要，我们在总结多年教学实践的基础上，依据国家教委颁布的《理论力学》课程教学基本要求（1995年修订版）编写了《理论力学》教材。

本书与同类教材相比，体系有所变动，注重理论的简化分析和理论的应用，适当增加了概念题、思考题以及综合题的数量，以培养学生综合运用知识的能力。本教材主要适用于高等学校工科机械类少学时、电类专业，也可供其他专业的师生和有关技术人员作为参考用书。

参加本书编写工作的有：赵景山、关尚军、杨克、孙丽霞、王向东、乔焰辉。并由赵景山、关尚军担任主编。

本书由北华大学机械工程学院张常德副教授主审。

由于编者水平有限，书中可能出现缺点和错误，诚恳希望读者批评指正。

编者
2001年8月

目 录

绪 论	(1)
-----------	-------

第一篇 静力学

第一章 静力学的基本概念和物体的受力分析	(5)
第一节 静力学基本概念	(5)
第二节 静力学公理	(6)
第三节 约束和约束反力	(8)
第四节 受力分析和受力图	(11)
第二章 汇交力系	(16)
第一节 汇交力系的合成与平衡——几何法	(16)
第二节 力在坐标轴上的投影和力沿坐标轴分解	(17)
第三节 汇交力系的合成与平衡——解析法	(21)
第三章 力矩和力偶	(28)
第一节 力对点之矩	(28)
第二节 力偶·力偶矩	(30)
第三节 力偶的性质	(32)
第四节 平面力偶系的合成与平衡	(34)
第四章 平面力系	(38)
第一节 力向一点平移	(38)
第二节 平面任意力系向一点简化·主矢与主矩	(39)
第三节 平面任意力系的平衡方程	(41)
第四节 平面任意力系最终简化结果·二矩式和三矩式平衡 方程	(43)
第五节 平面平行力系的平衡方程	(46)
第六节 静定和静不定问题·刚体系统的平衡	(48)
第五章 摩擦	(54)

第一节	滑动摩擦	(54)
第二节	摩擦角和自锁现象	(56)
第三节	考虑摩擦时的物体平衡问题	(58)
第四节	滚动摩阻	(63)
第六章	空间力系和重心	(66)
第一节	力对轴之矩	(66)
第二节	空间任意力系的平衡方程	(69)
第三节	空间平行力系的平衡方程	(70)
第四节	物体的重心	(72)
第二篇 运动学		
第七章	点的运动学	(83)
第一节	点的速度和加速度	(83)
第二节	点的速度和加速度在直角坐标轴上的投影	(85)
第三节	点的速度和加速度在自然轴上的投影	(89)
第八章	刚体运动	(97)
第一节	刚体的平行移动	(97)
第二节	刚体定轴转动	(98)
第三节	转动刚体内各点的速度和加速度	(101)
第四节	定轴轮系的传动比	(105)
第五节	刚体平面运动	(107)
第六节	刚体的平面运动分解为平动与转动·刚体平面 运动方程	(108)
第七节	平面图形上各点的速度	(111)
第九章	点的合成运动	(121)
第一节	绝对运动·相对运动和牵连运动	(121)
第二节	绝对速度和绝对加速度·相对速度和相对加速度·牵连速度 和牵连加速度	(122)
第三节	点的速度合成定理	(125)
第四节	牵连运动为平动时点的加速度合成定理	(128)
第五节	平面图形上各点的加速度	(131)

第六节 牵连运动为转动时点的加速度合成定理	(134)
-----------------------------	-------

第三篇 动力学

第十章 质点运动微分方程	(141)
第一节 质点运动微分方程	(141)
第二节 质点动力学的两类基本问题	(142)
第十一章 动量定理	(146)
第一节 质心运动定理	(146)
第二节 质心运动守恒	(149)
第三节 质点系动量定理	(150)
第十二章 动量矩定理	(154)
第一节 质点动量矩定理	(154)
第二节 质点系动量矩定理	(156)
第三节 定轴转动刚体对轴的动量矩·转动惯量	(158)
第四节 刚体绕定轴转动的微分方程	(162)
第十三章 动能定理	(167)
第一节 力的功	(167)
第二节 质点系动能定理	(170)
第三节 功率·功率方程	(177)
第十四章 达朗伯原理	(181)
第一节 惯性力的概念·质点达朗伯原理	(181)
第二节 质点系达朗伯原理	(183)
第三节 刚体惯性力系的简化	(184)
第四节 刚体平面运动微分方程	(190)
第五节 定轴转动刚体的附加动反力·静平衡和动平衡的概念	(192)
第十五章 振动理论基础	(194)
第一节 机械振动	(194)
第二节 单自由度系统的振动	(196)
第三节 阻尼对自由振动的影响	(202)
第四节 单自由度系统的受迫振动·共振	(203)

第五节 减振与隔振的措施	(208)
--------------------	-------

习题答案

静力学习题及答案

第一章	(213)
第二章	(216)
第三章	(220)
第四章	(222)
第五章	(229)
第六章	(234)

运动学习题及答案

第七章	(239)
第八章	(242)
第九章	(248)

动力学习题及答案

第十章	(255)
第十一章	(257)
第十二章	(261)
第十三章	(267)
第十四章	(274)
第十五章	(278)

绪 论

一、理论力学研究的对象和内容

理论力学是研究物体机械运动一般规律的科学。

所谓机械运动是指物体在空间的位置随时间的变化。

理论力学所研究的内容是以伽利略和牛顿所建立的基本定律为基础的,属于古典力学的范畴。由于近代物理的重大发展,指出了古典力学的局限性:不适用于高速运动的物体,这里所说的高速是指速度接近光速;也不适用于微观粒子的运动。但是,对于速度远小于光速的宏观物体的运动,古典力学是适用的,它具有非常高的精确度。在实际生活和一般工程技术问题中,古典力学并没有丧失其重要意义,因此,古典力学仍然是研究机械运动的既准确又方便的工具。

本课程的内容包括以下三部分:

静力学——主要研究受力物体平衡时作用在物体上的力所应满足的条件;同时研究力的一般性质以及力系的简化方法等。

运动学——只是从几何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、学习理论力学的目的

理论力学是一门理论性较强的技术基础课。学习理论力学的目的在于掌握机械运动的客观规律,解决工程实际问题;另一方面是为学习一系列后继课程,如材料力学、流体力学、机械零件、机械原理等及其它有关专业课程提供重要的理论基础。

第一篇 静力学

第一章 静力学的基本概念 和物体的受力分析

第一节 静力学基本概念

在静力学中,经常用到几个概念,现在分述如下

一、力的概念

力是物体间的相互机械作用。所谓机械作用就是使物体运动状态发生变化或者变形的作用。物体受力作用后,其运动状态发生变化即改变了运动速度,同时也改变了物体的原有形状即发生了变形。力使物体运动状态发生变化的效应称为力的外效应;而使物体发生变形的效应称为力的内效应。在理论力学中主要研究力的外效应。

力对物体的作用效应决定于力的大小、方向和作用点,通常称为力的三要素。

力具备矢量所具备的条件,所以力是矢量。如图 1-1 所示,力可用有向线段表示,线段的长度按比例表示力的大小,线段的方位和箭头表示力的方向,线段的起点或终点表示力的作用点。与线段重合的直线 $N-N$ 称为力的作用线。

在国际单位制中,力的单位是牛顿或千牛顿,其代号为牛(N)或千牛(kN)。

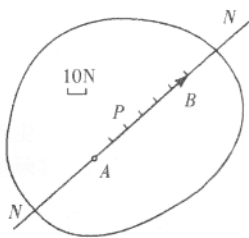


图 1-1

二、刚体的概念

在任何情况下永不变形的物体称为刚体。

刚体是一个理想化的力学模型,实际中的物体在力的作用下总是产生不同程度的变形,但当变形很微小时,对研究物体平衡问题不起主要作用,可以略去不计,这样可使问题的研究大为简化。

在静力学中,所研究的物体只限于刚体。

三、物体的平衡概念

平衡是相对而言的,如果物体相对周围物体静止或匀速直线运动,我们就说该物体相对周围物体处于平衡状态。

在工程技术中,如果物体相对地面静止或匀速直线运动,我们就称物体处于平衡状态。在静力学中的物体平衡就是指这种平衡状态。

四、力系的概念

作用在物体上的一群力称为力系。若力系中各力对物体的作用彼此抵消而使物体处于平衡,则该力系称为平衡力系。若两力系对同一物体作用效果相同,则两力系称为等效力系。若力系与一力等效,则此力称为力系的合力。

五、力系的平衡条件

当物体处于平衡状态时,作用在物体上的一群力必须满足一定的条件,这个条件称为力系的平衡条件。

第二节 静力学公理

所谓公理,是人们在生产和生活的长期活动中积累的经验总结,并经过实践验证,证明符合实际规律。现分述静力学中的几个公理。

一、二力平衡公理

作用在刚体上的两个力,使刚体处于平衡的必要且充分条件是:这两个力的大小相等,方向相反,力作用线共线。

请注意,这个条件对刚体来讲是必要的又是充分的;对于变形体来讲,这个条件就不是充分的,例如软绳两端受等值反向压力就不能处于平衡。

二、加减平衡力系公理

在作用于刚体的任意一个力系上加上或减去一个平衡力系,并不改变原力系对刚体的作用效果。

由上述公理可以导出下列推论:

【推论 1】力的可传性

作用于刚体上某点的力,可沿着力的作用线移到刚体内任一点,并不改变力对刚体的作用效果。

证明:如图 1-2 所示,力 F 的作用点是 A 。在力作用线上任选一点 B ,

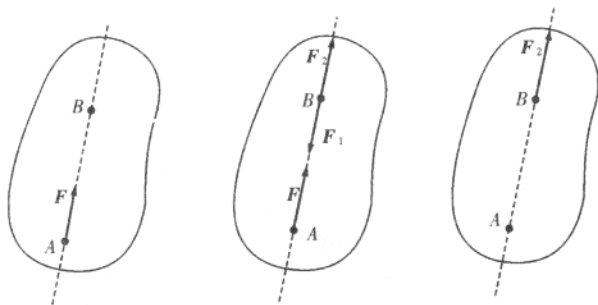


图 1-2

并加上一对平衡力 F_1 和 F_2 ,并使 $F_1 = F_2 = F$ 。根据公理 2

可知,加一对平衡力后,并不改变原力 F 对刚体的作用效果。同理, F 与 F_1 也是一对平衡力,可以去掉。这样力 F 就沿其作用线由作用点 A 移至作用点 B 。

通过上面分析可知,力矢量可沿力作用线移动,并不改变对刚体的作用效果,所以力矢量是滑动矢量。

【推论 2】三力平衡汇交定理

当刚体受三个力作用而平衡时,若其中任何两个力的作用线相交于一点,则其余一力的作用线必交于同一点,且三个力的作用线在同一平面内。

证明:如图 1-3 所示,刚体在 F_1 、 F_2 、 F_3 三个互不平行力作用下处于平衡。 F_1 和 F_2 交于 O 点,利用力的可传性求二力的合力为 R ,即刚体在

F_3 和 R 作用下平衡。由二力平衡公理可知, F_3 必在 F_1 和 F_2 所确定的平面内, 且 F_3 作用线通过 O 点。

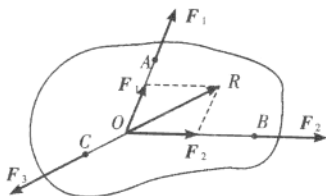


图 1-3

第三节 约束和约束反力

有些物体, 沿空间任何方向的位移都不受限制, 例如飞行的飞机、炮弹等。位移在任何方向不受限制的物体称为自由体。然而实际中的大多数物体, 其位移在某些方向上受到限制, 例如吊在钢绳上的重物受到钢绳限制, 不能下落; 轨道上运行的机车受到轨道的限制, 只能沿轨道运行。位移在某些方向受到限制的物体称为非自由体。对于非自由体某些方向上的位移起限制作用的其它物体称为约束。例如钢绳是重物的约束; 轨道是机车的约束。而约束对非自由体的作用力称为约束反力。因为约束限制非自由体在某些方向上的位移, 所以约束反力必然和所限制的方向相反。作用在非自由体上的力具体分为主动力和约束反力, 所谓主动力就是约束反力以外的力。当物体平衡时, 主动力和约束反力构成平衡力系。

下面我们把工程中常见到的约束理想化, 归纳出几种典型约束, 并根据约束的特点介绍各种约束的约束反力。

一、柔性约束

工程中常见的绳索、链条、胶带等都是柔性约束。这类约束只能承受拉力, 而不能承受压力。

如图 1-4 所示, 绳索对重物的作用力 T 就是约束反力, 其作用点在

接触点,方向沿着绳索背离物体。

如图 1-5 所示,链条或皮带是轮的约束,其约束反力沿着轮缘的切线方向。

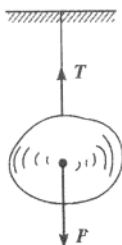


图 1-4

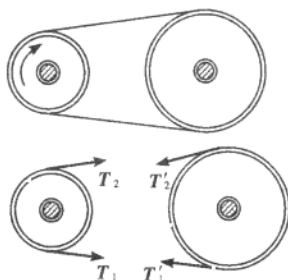


图 1-5

二、光滑面约束

当支持物体是平面(如图 1-6(a))或曲面(图 1-5(c))时,忽略接触处的摩擦,这类约束称为光滑面约束。

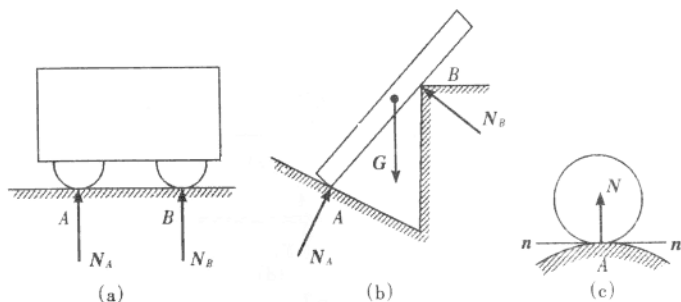


图 1-6

光滑面对物体的作用力即约束反力,其作用点在接触处,方向沿接触表面的公法线,并指向被约束物体。这种约束反力称为法向反力,常用 N 表示。如 1-6 中的 N_A 、 N_B 、 N 。