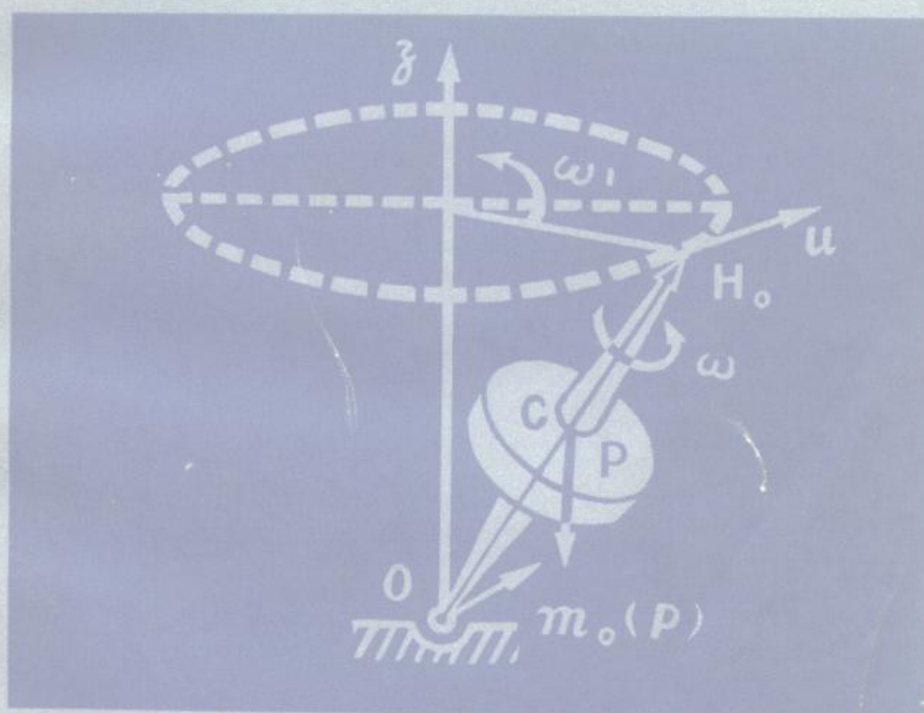


375

理论力学 基础知识



姜衍礼 许本文 编著

科学出版社

52.1
374

理论力学基础知识

姜衍礼 许本文 编著



科学出版社

1982

100529

内 容 简 介

这是一本介绍理论力学基础的通俗理论书籍，全书共分十五章，书中从“理论力学是研究什么问题的”谈到“达朗贝尔原理”，分别向读者介绍了理论力学的主要基础理论和重要定律。

本书的特点是循序渐进、由浅入深；叙述概念通俗明白、详细周密；通篇不用高等数学，只用代数式，每章后还留有思考、练习题，尤其适于具有中等文化程度的工人、农民和知识青年自学参考。

2F64/17

理论力学基础知识

姜衍礼 许本文 编著

责任编辑 姜淑华

科学出版社出版

北京朝阳门内大街 137 号

中国科学院印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

*

1982年5月第一版 开本：787×1092 1/32

1982年5月第一次印刷 印张：10 1/2

印数：24,500 字数：231,000

统一书号：13031·1886

本社书号：2581·13—2

定价：1.10 元

目 录

第一章 引言	(1)
一、从物体的机械运动说起	(1)
二、什么是力?	(2)
三、谈谈人推车子的问题	(3)
四、怎样分析力系对物体的作用	(5)
五、理论力学是研究什么问题的	(6)
六、理论力学的三个基本部分	(7)

静 力 学

第二章 力的基本性质与受力图	(9)
一、力的三要素和矢量表示法	(9)
二、力的可传性	(9)
三、怎样求相交两力的合力	(11)
四、力的分解	(14)
五、二力平衡和三力平衡	(16)
六、约束和约束反力	(20)
七、怎样画受力图	(24)
思考、练习题	(28)
第三章 力矩与力偶	(31)
一、物体的转动与力矩	(31)
二、力矩的平衡	(34)
三、互相平行两力的合成	(35)
四、力偶及其基本性质	(38)
五、力和力偶的合成	(42)
六、力作用线平移定理	(44)

七、力矩与力偶的矢量表示法	(47)
思考、练习题	(49)
第四章 力系的简化	(52)
一、简化的意义和力系分类	(52)
二、平面汇交力系的合成	(52)
三、空间汇交力系的合成	(56)
四、平面任意力系的简化	(60)
五、平面任意力系的合成	(64)
六、平面平行力系的合成	(68)
七、空间任意力系的简化	(72)
思考、练习题	(73)
第五章 力系的平衡	(77)
一、研究平衡问题的意义	(77)
二、汇交力系的平衡	(78)
三、平面任意力系的平衡	(85)
四、平面平行力系的平衡	(90)
五、物体系统的平衡	(93)
六、静不定问题的概念	(97)
七、空间任意力系的平衡	(98)
思考、练习题	(100)
第六章 摩擦	(106)
一、研究摩擦的意义	(106)
二、滑动摩擦规律	(106)
三、考虑摩擦时的平衡问题	(110)
四、摩擦角及其应用	(119)
五、滚动摩擦阻	(123)
思考、练习题	(128)

运 动 学

第七章 点的运动	(132)
----------	-------

一、引言	(132)
二、质点的直线运动	(134)
三、导数求法举例	(139)
四、质点的曲线运动(直角坐标法)	(144)
五、质点的曲线运动(弧坐标法)	(152)
思考、练习题	(160)
第八章 刚体的平动和转动	(164)
一、刚体的平动	(164)
二、刚体的定轴转动	(166)
三、定轴转动刚体上各点的速度、加速度	(170)
四、定轴轮系的传动比	(174)
思考、练习题	(178)
第九章 速度的合成	(181)
一、相对速度	(181)
二、速度合成定理	(183)
三、速度的合成或分解	(188)
思考、练习题	(193)
第十章 刚体的平面运动	(195)
一、什么是刚体的平面运动	(195)
二、刚体平面运动的分解	(196)
三、平面运动刚体上两点速度的关系	(198)
四、速度投影定理	(201)
五、速度瞬心及其应用	(204)
思考、练习题	(209)

动 力 学

第十一章 动力学基本定律	(212)
一、引言	(212)
二、牛顿运动定律	(212)
三、质量、重量和单位制	(215)

四、质点动力学第一类问题	(219)
五、质点动力学第二类问题	(224)
思考、练习题	(235)
第十二章 动量定理	(238)
一、引言	(238)
二、质点的动量定理	(240)
三、质点系的质心与动量	(245)
四、质点系动量定理与质心运动定理	(247)
五、动量守恒定律	(249)
思考、练习题	(253)
第十三章 动量矩定理	(256)
一、动量矩	(256)
二、动量矩定理	(258)
三、动量矩守恒定律	(270)
四、回转仪	(272)
思考、练习题	(275)
第十四章 动能定理	(278)
一、引言	(278)
二、功和功率的计算	(279)
三、动能的计算	(285)
四、动能定理	(287)
五、机械能守恒定律	(293)
思考、练习题	(298)
第十五章 达朗贝尔原理	(302)
一、引言	(302)
二、惯性力与惯性力系	(304)
三、达朗贝尔原理	(307)
思考、练习题	(315)

第一章 引言

一、从物体的机械运动说起

我们知道，物质运动形式中包含着一种最简单最普遍的运动，就是物体位置的改变，称为机械运动。人的劳动和体育活动、车船飞机的行驶、各种机器的运转、天体和人造天体的运行等等，都包含有大量的机械运动问题。物体的机械运动与人们的生产劳动和日常生活的关系是极为密切的。

力学，就是研究物体机械运动的科学。

从远古起，人类就在生产劳动中积累了许多关于机械运动的经验，并逐步形成对一些有关问题的概念和规律性的总结。在我国战国时期出现的著作《墨经》中，就有关于力的概念的记述。它说：“力，形之所以奋也。”“形”指的是物体，“奋”指的是由静止开始运动。这句话的意思就是：使物体由静止开始运动的作用就是力。它表述了当时人们对力的初步认识。

随着人类社会的生产力的发展，力学这门科学也不断向更加深广的领域发展着，并推动生产的进一步发展。

学习力学基本理论，可以帮助我们正确认识很多重要的机械运动，了解各种常见机械的工作原理和合理的使用方法，分析各种工具、机械或建筑物的结构是否合理。这对我们进行科学实验，开展技术革新和学习现代的科学知识都是很重要的。

二、什么是力？

力，是研究物体机械运动十分重要的基本概念之一。那末，力到底是什么呢？

先看两个简单的实例吧：

用手扔石子，总是先使劲挥动手臂，使拿在手里的石子由静止得到一个相当大的速度，然后抛出去。在这个过程中，手对石子施加的作用，是使石子的速度发生一定的变化。或者说，使石子的运动状态发生改变。

我们用双手拿住橡皮筋的两端，使劲向两边拉开时，橡皮筋就被拉长了。在这过程中，手对橡皮筋的作用，是使它的形状发生一定的变化。或者说，使橡皮筋发生变形。

在这两个例子中，人们明显地感觉到手在使劲。使劲的结果，是使别的物体改变运动状态或发生变形。人们就把这种作用叫做“力”。这就是力的概念的最初来源。

但是，随着各种生产工具及动力机的应用和发展，力的概念只用来表示人的肌体对外界物体的作用就不够了，它已经被用来泛指任何物体间的机械作用——即改变物体运动状态或使物体发生变形的作用。

例如，用弹弓打鸟。这时人们并不直接用手扔石子，而是先用力拉长橡皮筋，然后放开，利用橡皮筋恢复它未变形状态的特性，把石子打出去。我们把橡皮筋对石子的这种作用也叫做力（弹性力）。同样，在用步枪射击时，把火药爆炸产生的高压气体对弹头的作用也叫做力（爆炸力）。因为它们的作用效果都是使受力物体的运动状态（速度）发生改变。

又如，用锤打铁。人们先用力把锤抡起来，使它得到很

大的速度，再打在铁件上使它发生变形。我们就把锤对工件的作用也叫做力。同样，用汽锤打铁时，我们把汽锤锤头对工件的作用也叫做力。因为它们的作用效果都是使受力物体发生变形。

这样，“力”这个词便具有了一般的意义——力是物体间的相互作用，其效果是使物体改变运动状态或发生变形。简单地说：力是物体间的相互机械作用。

由此可见，无论什么形式的力，都不可能脱离相互作用的物体而凭空产生或存在。某物体上受到的每一个力，都必定能在它的周围找到来源，即施加该力的另一物体（或物质）——施力体。否则它就是虚构的、不真实的。

还应看到，物体间的作用总是相互的。用手托排球，球受到手的作用力，同时也给手一个反作用力。用锤敲石头，石头受到锤的打击力，同时也给锤一个反作用力。作用力与反作用力，总是相伴产生、同时存在，它们的大小相等、方向相反、沿同一直线分别作用在两个物体上。这就是作用与反作用定律。这一定律是对立统一规律的体现，它有着广泛的应用。例如，我们走路时，脚用力向后蹬地面，地面就给脚一个反作用力，使我们向前走动。飞机的螺旋桨旋转时，对空气有向后的作用力，同时空气对螺旋桨有向前的反作用力，使螺旋桨连同飞机前进。

三、谈谈人推车子的问题

人们常感到有这样的问題：力既看不见又摸不着，在分析一个物体的受力情况时，怎样才能知道它究竟受有哪些力的作用呢？

我们就用一个简单的实例谈谈这个问题吧。

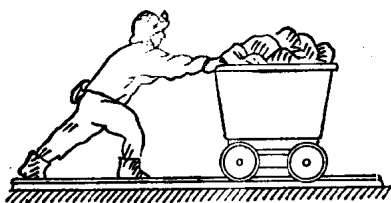


图1-1

图1-1中表示一位矿工正在推动一辆装满煤炭的矿车。那末，人或矿车各受有哪些力的作用呢？

要解决这个问题就要分析一下，人或矿车分别与周围的哪些物体有相互作用，再用适当的力来表示这些作用就行了。

矿车（图1-2b）分别和地球、轨道和推车的人有相互

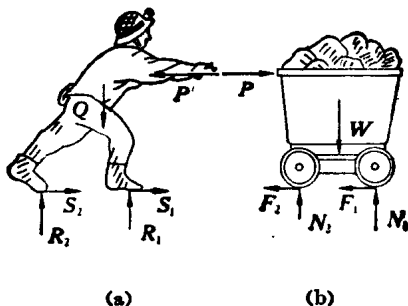


图1-2

作用，这些作用可用以下各力来表示：地球对矿车和煤的吸引作用（重力） W 。轨道对车轮的支持力 N_1 （前轮）和 N_2 （后轮）。同时轨道对车轮还有摩擦力 F_1 、 F_2 。人对车子的推力 P 。

推车的人（图1-2a）所受的力有：车对人手的反作用力 P' ，人的重力 Q ，地面对人的支持力 R_1 、 R_2 和阻止人脚向后滑动的摩擦力 S_1 、 S_2 。

这样，我们就把车子 and 人所受的力都找到并表示出来了。这种全面表示研究对象受力情况的图叫做受力图（或示

力图)。

四、怎样分析力系对物体的作用

在很多实际问题中，我们都会遇到类似矿车的物体，其受力不止一个的情况。我们将物体所受的一群力称做力系。

分析力系对物体的作用，不能单看其中某一力的作用效果，要看所有力的共同作用效果。例如在上例中，只有当推力 P 大于总摩擦阻力 $F_1 + F_2$ 时，车子的速度才会越来越大，反之，若 $P < F_1 + F_2$ ，车子的速度就会越来越小，即作减速运动。

为了研究力系对物体的作用效果，常需要把各力合成，求出它们的合力或合力偶，或者用一个较简单的力系代替原有力系，而不改变它对物体的作用效果。这种问题叫做力系的简化。

力系经过简化后，如果它的合力或合力偶都等于零，说明力系中各力的作用效果恰相抵消，此时物体的运动状态应该保持不变，原来静止的物体仍保持静止，原来以一定速度作直线运动的物体，仍以原速度作匀速直线运动。这种运动状态不变的情况，称为平衡状态。例如，放在桌面上的书本，它的重力和桌子给它的向上支持力如果大小相等、方向相反，其合力为零，书就在原处静止不动。在人推车的例子中，就水平方向来看，如果 $P = F_1 + F_2$ ，则推力与摩擦阻力使车子沿水平方向移动的效果互相抵消，此时车子或留原地不动，或以原有速度作匀速直线运动。

平衡状态是物体运动状态的一种特殊情况。只有当物体上所受各力满足一定的条件时，物体才会处于平衡状态。这些条件，称为力系的平衡条件。

五、理论力学是研究什么问题的

我们已知，力的作用效果有两方面：改变物体的运动状态和使物体发生变形。在力学中，着重研究物体运动与平衡规律的学科，叫做理论力学。着重研究物体受力变形和产生内应力问题的，则有材料力学、弹性力学等学科。

如前面所说，车子所受的力与它的运动状态的关系，就是理论力学要研究的问题。

物体在力的作用下总要产生一定的变形。但是，如果变形很小，在研究物体的运动与平衡规律时，忽略变形并不会带来明显的误差，反而可以使分析计算更加简明。因此在理论力学中，常把物体看作受力时不产生变形的物体，这样的理想模型称为刚体。

如果物体的尺寸比它的运动范围小得多，在研究它的运动时可以忽略它各部分的差别，而把它看作一个具有质量的几何点，称为质点。例如，在研究地球作为一个行星的运动时，就可以把它当作质点。由若干相互有联系的质点组成的系统称为质点系。刚体可以看成是一个质点系，其中任何两质点之间的距离保持不变。流体则可以看成是质点间可作某种相对运动的质点系。

因为在理论力学中，是把物体当作质点、质点系或刚体来进行研究的，所以可以说，理论力学是研究质点、质点系和刚体的运动与平衡规律的学科。

质点和刚体的运动，反映了各种类型的实际物体运动的共性，所以理论力学的一些基本原理（例如力系平衡条件、运动定律等）也是解决各类物体的运动与平衡问题的一般原理。在这个意义上，可以说理论力学是研究物体机械运动一

般规律的学科。很多力学分支学科，都是在理论力学的基础上，结合某种类型物体的运动或变形特点的进一步发展和应用。所以，理论力学是学习其它力学分支学科的重要基础。

六、理论力学的三个基本部分

根据力学发展的历史情况，通常将理论力学分为三个部分，即静力学、运动学和动力学。

静力学研究力的基本性质、力系的简化和力系的平衡条件，它是物体受力分析的基础。因为平衡规律较一般运动规律简单，所以静力学是力学中较浅易的一部分，它主要应用于在静载荷作用下的建筑结构（房屋、桥梁、水坝等）和低速机械、手动工具等的受力分析问题。

运动学研究物体运动的几何性质，即研究物体的位置随时间变化的规律、运动轨迹、速度、加速度等，而暂不考虑物体运动状态的变化与所受力的关系，它是物体运动分析的基础。运动学不仅是学习动力学必需的预备知识，而且在生产中也有很多直接的应用，例如插秧机秧爪运动轨迹的研究、变速箱传动比的计算以及各种较复杂机构的运动分析等。

动力学研究物体的运动与它所受力之间的关系，即已知物体的受力情况求它的运动规律，或者已知物体的运动规律分析它的受力情况，它是物体动力分析的基础。在一般情况下，物体处于非平衡的运动状态，此时物体的受力情况和平衡状态下的受力情况是不同的。例如，从静止状态猛然提起重物，往往会把提它的绳子拉断，就是因为当以很大加速度提起重物时，绳中所受的拉力远大于静止地吊挂重物时绳中的拉力。因此计算绳中的拉力时，不但和重物的重力有关，还和重物的加速度有关。可见，对物体进行动力分析时必须把

受力分析和运动分析结合起来。动力学有很多重要的实际应用，例如研究高速机械的动平衡、机械振动、人造天体运动等等。

本书将按这三部分来介绍理论力学的一些基础知识。

静 力 学

第二章 力的基本性质与受力图

一、力的三要素和矢量表示法

力的大小、方向和作用点，是决定它对物体作用效果的三个重要因素，称为力的三要素。

力的三要素可以用一个带箭头的线段来表示，采用适当的比例尺，就可以用该线段的长度表示力的大小。例如若采用1厘米长度表示10公斤的力，则25公斤的力可以用2.5厘米长的线段来表示。此力线在图中的方位和箭头的指向表示力的方向。其起点或终点表示力的作用点。通过力作用点的力线的延长线，称为力的作用线。在图中用黑体字母来表示力，例如 P 、 W 、 N 、 F 等。

二、力的可传性

力作用于物体时，它的作用点在物体上的位置是确定的。但在分析力对物体的作用效果时，是否可以将力的作用点沿其作用线移到另一点呢？

我们可以看一下图2-1所示的实例。由经验知，如果不改变力 F 的大小和方向，而只是将它的作用点从 A 点沿其作用线移到小车上的 B 点或 C 点，它使小车产生的运动效果是不会改变的。这就说明，当我们研究作用力产生的运动效

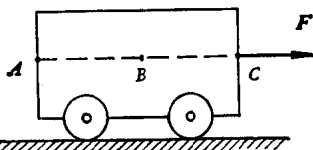
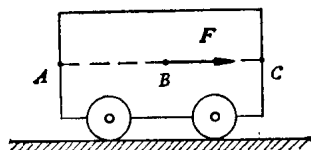
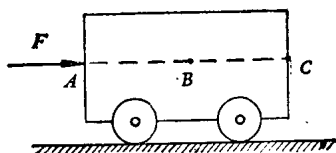


图2-1

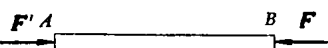
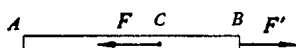


图2-2

果时，可以将力的作用点沿其作用线在物体内任意移动。这一性质称为力的可传性。

但是，力的作用点沿其作用线移动后，将会改变该物体的变形情况和内力分布状态。所谓内力，就是一物体内部各部分之间，或由若干物体组成的系统内部各物体之间的相互作用力。例如一列前进着的火车，以整个列车为研究对象，则它的各车厢连接处相互作用的力就是内力。反之，列车以外的别的物体，对列车的作用力，称为外力。例如轨道对车轮的作用力、地心引力以及空气阻力等都是列车所受的外力。

从图2-2中可以看出，如果在—根细杆的两端A、B受有外力 F 及 F' ，则被杆的任一横截面所分开的两部分，在该截面处相互作用着一定的内力（拉力），同时整个杆子都要产生拉伸变形。如果将外力 F 的作用点沿其作用线移动到C点，则AC段将没有内力也不产生拉伸变形。同样，如果