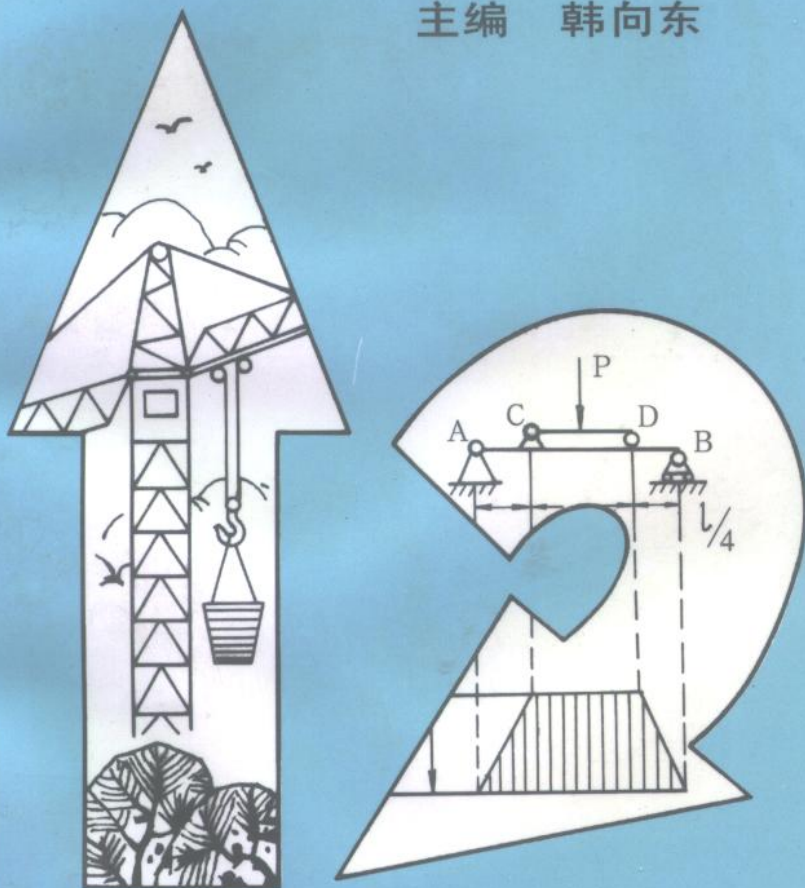


工程力学

主编 韩向东



机械工业出版社

TB12
H140

414741

工 程 力 学

主 编 韩向东
副主编 张福顺 张小亮 夏策芳 王志刚
编 者 徐海丽 谷京云 何 力 欧雅玲
王乐群 康 阳 牛 慧 陈文霞
马 陵



00414741



机 械 工 业 出 版 社

本书共分三篇。第一篇静力分析,内容包括静力分析基础,平面力系的简化与合成,平面力系的平衡,空间力系和重心。第二篇运动及动力分析,内容包括质点的运动及动力分析,刚体基本运动时的运动及动力分析,动能定理。第三篇构件的承载能力分析,内容包括轴向拉伸和压缩、剪切、圆轴扭转、弯曲、组合变形、压杆稳定,交变应力;专题部分为复合运动分析。

本书可作为中等专业学校工科机类、近机类专业工程力学课程的教材,也可供其它专业和成人教育、职工中专、职业中专、技工学校等相关专业参考使用。

图书在版编目(CIP)数据

工程力学 / 韩向东主编. — 北京:机械工业出版社,
1998.8

ISBN 7-111-06613-8

I. 工… I. 韩… II. 工程力学 N. TB12

中国版本图书馆 CIP 数据核字(98)第 20592 号

出版人:马九荣(北京市百万庄南街1号 邮政编码 100037)

责任编辑:曲彩云 版式设计:李悦 责任校对:李忠敏

封面设计:钟洵 责任印制:侯新民

永清第一胶印厂印刷·新华书店北京发行所发行

1998年8月第1版·1998年8月第1次印刷

850mm×1168mm¹/₃₂·12³/₁₆印张·323千字

0 001—6 000册

定价:16.80元

前 言

为适应中等专业学校教学改革的需要,贯彻教育部有关精神,根据教学需要,我们组织编写本书。本书可作为招收初中毕业学生入学的四年制中等专业学校工科机类、近机类工程力学课程的教材。

全书内容:静力分析部分包括静力分析基础,平面力系的简化与合成,平面力系的平衡,空间力系和重心。运动及动力分析部分包括质点的运动及动力分析,刚体基本运动时的运动及动力分析,动能定理。构件的承载能力分析部分包括轴向拉伸和压缩,剪切,圆轴扭转,弯曲,组合变形,压杆稳定,交变应力。专题部分为复合运动分析。

本书体现教学改革的思想,省去了繁琐的数学推导,力求简明扼要,贯彻“够用”和适度的原则,使学生获得工程力学最基本的知识和训练。

本书采用国际单位制,力学名词、术语及符号等均采用最新国家标准;本书习题为适应不同专业可以有所选择取舍,故习题量较大,不要求学生在学习时完成全部习题。

本书由刘森、钟洵、陈小宁同志主审,编写过程中得到了各有关部门的关心与支持,在此表示感谢。

限于编者的水平,书中可能存在不少缺点和错误,希望读者批评指正。

编 者

1998年6月

目 录

前言

绪论	1
----------	---

第一篇 静 力 分 析

第一章 静力分析基础	7
第一节 力的概念	7
第二节 力的基本性质	9
第三节 约束与约束反力	11
第四节 物体的受力分析 受力图	16
小结	22
思考题	23
习题	25
第二章 平面力系的简化与合成	27
第一节 平面汇交力系的合成	27
第二节 力对点之矩	33
第三节 力偶 平面力偶系的合成	36
第四节 平面任意力系的简化	39
小结	44
思考题	46
习题	47
第三章 平面力系的平衡	51
第一节 平面任意力系的平衡	51
第二节 平面特殊力系的平衡	55
第三节 物体系统的平衡	60
第四节 考虑摩擦时物体的平衡	67
小结	81
思考题	83
习题	84

第四章	空间力系和重心	91
第一节	力在空间直角坐标轴的投影及分解	93
第二节	力对轴之矩	95
第三节	轮轴类零件平衡问题的平面解法	96
第四节	重心和形心	100
小结		106
思考题		108
习题		108

第二篇 运动及动力分析

第五章	质点的运动及动力分析	115
第一节	用自然法求点的速度、加速度	115
第二节	用直角坐标法求点的速度、加速度	123
第三节	质点动力学基本定律	127
第四节	质点运动微分方程及其应用	129
第五节	质点的动静法	135
小结		139
思考题		142
习题		143
第六章	刚体基本运动时的运动及动力分析	147
第一节	刚体的平行移动	147
第二节	刚体绕定轴转动	149
第三节	定轴转动刚体内各点的速度和加速度	153
第四节	刚体绕定轴转动的动力学方程	158
第五节	转动惯量	159
第六节	刚体定轴转动动力学方程的应用	162
第七节	刚体作基本运动时的动静法	166
小结		172
思考题		173
习题		174
第七章	动能定理	179
第一节	功	179
第二节	功率和机械效率	185

第三节 动能定理	188
小结	194
思考题	195
习题	196
 第三篇 构件的承载能力分析	
引言	200
第八章 轴向拉伸和压缩	204
第一节 轴向拉伸和压缩的概念	204
第二节 轴向拉伸和压缩时横截面上的内力	205
第三节 轴向拉伸和压缩时横截面上的应力	209
第四节 轴向拉伸和压缩时的变形	211
第五节 材料在拉伸和压缩时的力学性能	214
第六节 轴向拉伸和压缩时的强度计算	226
小结	230
思考题	232
习题	232
第九章 剪切	236
第一节 剪切的概念及其实用计算	236
第二节 挤压的概念及其实用计算	238
第三节 切应变 剪切虎克定律及切应力互等定理	244
小结	245
思考题	246
习题	247
第十章 圆轴扭转	249
第一节 扭转的概念	249
第二节 圆轴扭转时横截面上的内力	250
第三节 圆轴扭转时横截面上的应力	254
第四节 圆轴扭转时的变形	257
第五节 圆轴扭转时的强度和刚度计算	258
小结	262
思考题	263
习题	265

第十一章 弯曲	267
第一节 平面弯曲梁的计算简图	267
第二节 平面弯曲时横截面上的内力	269
第三节 剪力图 弯矩图	274
第四节 纯弯曲时横截面上的应力	283
第五节 梁的正应力强度计算	287
第六节 提高弯曲强度的主要措施	292
第七节 梁的变形及计算	297
第八节 梁的刚度计算及提高弯曲刚度的主要措施	305
小结	308
思考题	309
习题	311
第十二章 组合变形	316
第一节 概述	316
第二节 弯曲与拉伸(压缩)组合变形的强度计算	317
第三节 圆轴弯曲与扭转组合变形的强度计算	322
小结	326
思考题	326
习题	328
第十三章 压杆稳定	330
第一节 压杆稳定的概念	330
第二节 临界力和临界应力	333
第三节 压杆稳定校核与提高压杆稳定性的措施	337
小结	341
思考题	343
习题	343
第十四章 交变应力	346
第一节 交变应力的概念	346
第二节 材料在交变应力下的疲劳破坏	349
第三节 材料的持久极限及构件的持久极限	350
小结	354
思考题	354

习题	354
※专题	
第十五章 复合运动分析	356
第一节 点的合成运动	356
第二节 刚体的平面运动简介	362
小结	367
思考题	368
习题	369
附录、型钢表	374

绪 论

一、工程力学的研究对象及主要内容

工程力学是一门研究物体的机械运动以及构件的强度、刚度和稳定性的科学。它包括静力分析、运动及动力分析和构件承载能力分析三部分。

机械运动是指物体在空间的位置随时间而变化的一种运动，它是人们生活及生产实践中最常见的运动形式。宇宙间的万物都按自己的规律运动，运动的形式又是多种多样的。例如，光、电、热的运动，物理变化、化学变化以至人脑的思维活动等都是运动，而机械

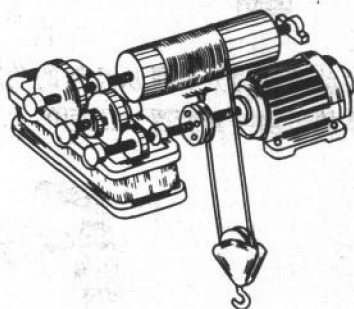


图 1

运动是一切运动形式中最简单的一种。在一些较高级、复杂形式的运动中，也包含或伴随着机械运动。天体的运动、车辆的运行、水的流动、机器的转动等，都是机械运动。

静力分析主要研究力系的简化以及物体在力系作用下平衡的规律。

在结构的设计与施工中，经常要用到静力分析知识。例如，图 1 所示的起重绞车，为了合理地确定轴、齿轮等零件的尺寸，就必须分析它们在工作时的受力情况。又如图 2 所示，在设计一个厂房时，我们要先对屋架、吊车梁、柱、基础等构件进行受力分析，再应用力系的平衡条件求出这些力中的未知量，进而设计这些构件的断面尺寸及钢筋配置等。这些都属于静力分析问题。

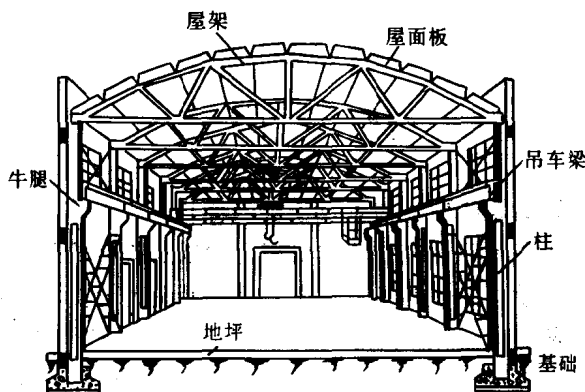


图 2

运动及动力分析是从几何的角度来研究物体运动的规律，以及物体的运动与其所受力之间的关系。

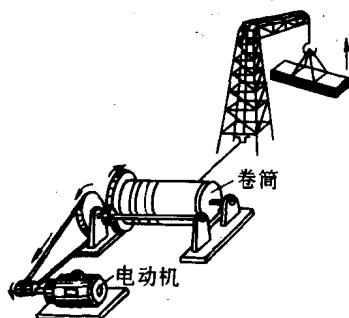


图 3

在机械传动设计时，要分析各部分之间的运动传递与转换，研究某些点的轨迹、速度和加速度。例如，在卷扬机作业时（图 3），电动机启动后，通过减速机构使卷筒转动，钢丝绳便将重物提升。已知电动机的转速，求重物的提升速度，这就属于运动分析问题。起重机开始起吊或重物下降时突然刹车所发生的超重现象，属于动力分析问题。

建筑物、设备和机器等都是由构件组成的。构件在工作时，总要受到外力的作用。为了使构件在外力的作用下能正常工作而不损坏、也不发生过度的变形、不丧失稳定，就要求构件具有一定的强度（外力作用下构件抵抗破坏的能力）、刚度（构件抵抗变形的能力）和稳定性（保持原有平衡状态的能力）。

构件的承载能力就是研究构件在外力作用下的强度、刚度和稳定性等基本理论和计算方法。

二、工程力学在工程技术中的地位和作用

工程力学是工科各类专业中一门重要的技术基础课程，在基础课及专业课中起桥梁作用，是后继课程（如机械原理、机械零件、结构力学、建筑结构等）的重要基础。

在进行课程设计时，首先要运用静力分析知识对机构整体及各零部件进行受力分析；用运动分析知识进行转速计算；用动力分析知识进行轴的转矩与转速、功率的计算；在选择材料、确定截面形状及尺寸时，则需要用构件的承载能力分析知识。

力学理论的建立是以对自然现象的观察和生产实践的经验为主要依据的，它来源于实践，经过科学的抽象和归纳又回到实践，服务于实践，揭示了唯物辩证法的基本规律。因此，工程力学对于我们今后研究问题、分析问题、解决问题有很大帮助，促进我们学会用辩证的观点分析问题，用唯物主义的认识论去理解世界。

三、学习工程力学的基本要求及方法

工程力学来源于实践又服务于实践。因此，进行现场观察和实验是认识力学规律的重要的实践环节。要求在学习本课程时必须大量地观察实际生活中的力学现象，并学会用力学的基本知识去解释这些现象，还要尽量利用我们原有的直接经验，根据感性认识对所学的理论进行对照、检验、分析。

①工程力学系统性较强，各部分有较紧密的联系，学习中要循序渐进，及时解决不清楚的问题，以免在以后章节的学习中失去信心。

②要注意深入体会和理解基本概念、基本理论和基本方法，不能满足于背公式、记结论。要注意有关概念的来源、含义和用途；注意有关公式的意义及适用范围；注意分析问题的思路和解决问题的方法。总之要善于思考，善于发现问题，并加以解决。

③课前应预习，做到心中有数去听课，预习中记下难以理解的内容。课后应及时复习，加深对新学内容的理解。在复习理解

以后，再做一定量的练习。练习是运用基本理论解决实际问题的
一种基本训练，是回到实践的第一步。因此，一定要在理解概念、
掌握公式的基础上进行。

第一篇 静力分析

静力分析是工程力学的基础。工程实际中存在着大量静力分析问题。例如图 I-1 所示的油压夹紧装置，为了使压板始终夹紧而不松脱，就必须分析压板的受力情况。又如桥式吊车（图 I-2），它由桥架、横梁、吊车和钢丝绳等构件所组成。为了保证吊车能正常工作，设计时必须分析各构件所受的力，并根据平衡条件计算出这些力的大小，然后才能进一步考虑选择什么样的材料，并设计构件的尺寸。

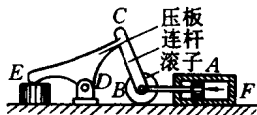


图 I-1

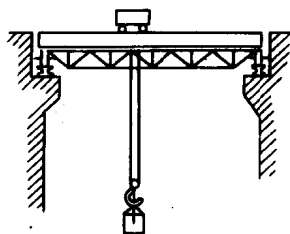


图 I-2

静力分析是研究物体在力的作用下平衡规律的科学。

所谓平衡，是指物体相对于地面处于静止或匀速直线运动的状态。一方面，平衡是相对的，例如，地面上的机床、桥梁、房屋等看起来是静止的，但它们随着地球的自转和公转而不断地运动着；另一方面，平衡又是暂时的，如在直线轨道上运动的列车，当牵引力等于阻力时作匀速直线运动，而这种时刻很难长久维持下去，因此，平衡不会是持久的。静止和匀速直线运动的共同特点是运动状态没有变化。

在静力分析里，我们将所研究的物体看成是刚体。所谓刚体

是在外力作用下几何尺寸和形状都不发生变化的物体。事实上,任何物体在外力作用下都会发生或多或少、或大或小的变形,我们称之为变形体。建筑物、机械中的构件在力的作用下都有变形,但是这些变形对于所研究的平衡计算问题影响很小。在讨论物体受力分析及平衡问题时,这些变形是次要的,可以忽略不计,将物体看成是刚体。刚体在现实中是不存在的,是理想化了的模型。

在构件的承载能力分析中,讨论物体受力时的变形以及破坏情况时,变形就成为一个主要的因素。这时绝不能将物体看成是刚体,而应该作为变形体。静力分析关于刚体的平衡条件,对于变形体来说也是必要的。

第一章 静力分析基础

第一节 力的概念

一、力

力是物体间的相互机械作用。这种作用使物体的运动状态发生改变或形状发生改变。力使物体的运动状态发生变化，称为力的外效应。例如，重力作用下物体加速下落；行驶中的汽车刹车时，靠摩擦力慢慢停下来；人造地球卫星在地球引力作用下不断改变运动方向而绕着地球运行等都属运动状态发生变化。力使物体的几何尺寸和形状发生变化，称为力的内效应。例如，弹簧受拉后伸长；机器的轴在力的作用下变弯；混凝土在压力机的压力下被压碎等都属于力的内效应。

既然力是物体间相互的机械作用，所以力不能脱离周围物体而存在。谈到力，必同时存在施力物体及受力物体。

力对物体的作用效果取决于三个要素：力的大小、力的方向、力的作用点。这三个要素中，有任何一个要素改变，力的作用效果就会改变。

力是矢量，用有向线段表示。有向线段（按一定比例尺）的长度表示力的大小，箭头指向表示力的方向，矢量的始端或终端，表示力的作用点，如图 1-1 所示。本书中用黑体字母表示矢量，如 $\mathbf{F}$ 、 $\mathbf{G}$ ；用普通字母表示该矢量的大小，如 F 、 G ；书写时则可在符号上加个箭头表示矢量，如 $\vec{F}$ 、 $\vec{G}$ 。

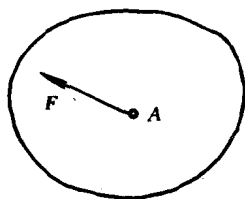


图 1-1

力的单位是牛 (N) 或千牛 (kN)， $1\text{kN}=1000\text{N}$ 。

二、力偶

力学中,把作用在同一物体上,大小相等、方向相反,但不共线的一对平行力,称为力偶,它使物体转动例如,用两个手指拧动水龙头,开门锁所施加的都是力偶。有关内容将在第二章详述。

三、力系

作用在物体上的一群力称为力系。

如果一个力系的作用能用另一个力系来代替,而不改变对物体的作用效果,则说这两个力系是等效的,它们互为等效力系;否则,即是非等效力系。如果一个力系的作用等效于一个力的作用,则这个力称为原力系的合力。力系中的每一个力都是其合力的分力。

物体在力系作用下处于平衡状态,该力系称为平衡力系。如吊车横梁上的力系就为平衡力系。力系使物体处于平衡状态就必须满足一定条件,此条件即是力系的平衡条件。

依据力的作用线相互位置,力系可分为空间力系与平面力系;也可分为汇交力系、平行力系与任意力系。力的作用线在一个平面上的力系为平面力系;力的作用线不共面,则为空间力系。作用线相互平行的力系为平行力系。如屋面板所受重力即为平行力系;力的作用线相互交于一点的力系是汇交力系(或共点力系),如起吊重物时吊钩的受力,力的作用线既不相互交于一点也不相互平行的力系叫作任意力系,如行驶中列车的受力和机器转动中轴的受力。

各种力系的计算将在后续章节中介绍。

以前经常提到的力都是集中力(集中载荷)。当力的作用面积相对于结构或构件的尺寸很小时,可以将其简化为作用在结构或构件某一点上,即集中力。

连续分布在物体上的力叫作分布力(分布载荷)。分布在整个构件内部各点上的力是体分布力,如重力;分布在构件表面上的力是面分布力,如土、水、风雪压力等。分布载荷有些是均匀分布的,称为均布载荷,如工字梁自重(图 1-2);有些则是非均匀