

工程力学

杨晓翔 史云沛 编



哈尔滨工程大学出版社

TB12

Y-6

459329

工程力学

杨晓翔 史云沛 编



00459329

哈尔滨工程大学出版社

内 容 提 要

本书是根据国家教委审订的高等工业学校《工程力学课程函授教学基本要求》编写的。内容包括静力学和材料力学的基本部分,共有:静力学的基本概念和物体的受力分析、汇交力系、力矩及力偶系、平面任意力系、空间任意力系、材料力学的基本概念、轴向拉伸与压缩、剪切、扭转、弯曲、应力状态分析与强度理论、组合变形、压杆稳定和交变应力。

本书主要是针对高等工业学校各专业函授学生编写的。但由于工程力学是所有高等工业学校专科生的技术基础课,而且无论对在校生还是函授生,其基本要求并无本质差别。因此,本书也完全可以作为在校专科生的教材。同时也可供其它专业及有关工程技术人员参考。

工 程 力 学

GONGCHENG LIXUE

杨晓翔 史云沛 编

责任编辑 张植朴

*

哈尔滨工程大学出版社出版发行

(哈尔滨文庙街11号楼 邮编:150001)

新华书店经销

哈尔滨理工大学印刷厂

*

开本 850mm×1168mm 1/32 印张 14 字数 350千字

1998年4月第1版 1998年4月第1次印刷

印数:1~1500册

ISBN 7-81007-844-5
O·57 定价:19.80元

前 言

本书是根据国家教委审订的高等工业学校《工程力学课程函授教学基本要求》编写的。

在本书的编写过程中,编者力求贯彻“打好基础、精选内容、重视实践、培养能力”的原则,努力体现函授教学以自学为主的特点。

本书在每章开头都有简短提要,使读者明确要讲的主要内容。每章后都有学习指导和思考题,以深化读者对教学内容的理解和掌握程度。在内容讲述上,力求作到“深入浅出,说理详尽”,便于自学,这对以自学为主的函授生掌握本课程知识会大有好处,而且对课程门数较多、工程力学课学时较少的在校生而言也很有现实意义。

书中标有“*”的节次为加深和加宽内容,可按照教学要求选学;较难的习题标有“*”号。

参加本书编写工作的有:杨晓翔(第一、二、三、四、五章),史云沛(第六、七、八、九、十、十一、十二、十三、十四章)。全书由杨晓翔和史云沛共同主编。

编者虽然从事多年在校生的各种力学课的教学工作,但编写此类教材尚属首次,加之编写时间较紧,书中缺欠和不足之处在所难免,热切希望使用本书的师生和读者给予批评指正。

编 者

1998年1月

目 录

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	1
第一节 静力学的基本概念.....	1
第二节 静力学基本公理.....	4
第三节 约束和约束反力.....	8
第四节 物体的受力分析和受力图	13
学习指导	18
思考题	20
习 题	22
第二章 汇交力系	26
第一节 汇交力系合成的几何法及平衡的几何条件	26
第二节 汇交力系合成的解析法	31
第三节 汇交力系的平衡方程及其应用	34
学习指导	39
思考题	40
习 题	41
第三章 力矩及力偶系	46
第一节 力对点之矩及合力矩定理	46
第二节 力对轴之矩	49
第三节 力偶及其性质	52
第四节 平面力偶系的合成和平衡	57
学习指导	61
思考题	63
习 题	64

第四章 平面任意力系	68
第一节 力的平移定理	69
第二节 平面任意力系向一点的简化及简化结果的分析 ...	71
第三节 平面任意力系的平衡条件和平衡方程	75
第四节 平面平行力系的平衡方程	80
第五节 物体系统的平衡、静定和静不定的概念	82
第六节 平面桁架的内力计算	88
第七节 摩 擦	93
学习指导	104
思考题	107
习 题	110
第五章 空间任意力系	119
第一节 空间任意力系的平衡方程	120
第二节 空间问题转化成平面问题求解	127
第三节 重心的概念	129
第四节 重心的坐标公式	129
第五节 确定重心位置的方法	132
学习指导	140
思考题	142
习 题	143

第二篇 材料力学

第六章 材料力学的基本概念	147
第一节 材料力学的任务	147
第二节 变形体的基本假设	148
第三节 杆件变形的基本形式	150
思考题	151
第七章 轴向拉伸与压缩	152

第一节	轴向拉伸与压缩的实例及其特点	152
第二节	轴向拉伸或压缩时横截面上的内力	154
第三节	轴向拉伸或压缩时横截面上的应力	156
第四节	轴向拉伸或压缩时的变形	159
第五节	材料在拉伸或压缩时的机械性质	161
第六节	轴向拉伸或压缩时的强度计算	167
	学习指导	172
	思考题	173
	习 题	174
第八章	剪 切	180
第一节	剪切的实例及其特点	180
第二节	剪切的实用计算	182
	学习指导	188
	思考题	190
	习 题	190
第九章	扭 转	194
第一节	扭转的实例及其特点	194
第二节	圆轴扭转时的外力和内力	195
第三节	薄壁圆筒的扭转	199
第四节	圆轴扭转时的应力和变形	201
第五节	圆轴扭转时的强度和刚度计算	206
	学习指导	211
	思考题	213
	习 题	213
第十章	弯 曲	217
第一节	弯曲的实例及其特点	217
第二节	梁的力学简化模型	218
第三节	梁在平面弯曲时的内力	221

第四节	剪力图和弯矩图	224
第五节	梁的弯曲正应力	230
第六节	截面惯性矩的计算	236
第七节	梁弯曲正应力的强度计算	242
第八节	梁在横力弯曲时的剪应力及其强度条件	248
第九节	弯曲变形	254
第十节	用积分法求弯曲变形	256
第十一节	用叠加法求弯曲变形	262
第十二节	梁的刚度校核	268
	学习指导	270
	思考题	273
	习 题	276
第十一章	应力状态分析和强度理论	284
第一节	应力状态的概念	284
第二节	二向应力状态分析	288
第三节	广义虎克定律	298
第四节	强度理论概述	301
	学习指导	310
	思考题	314
	习 题	315
第十二章	组合变形	319
第一节	组合变形的概念及实例	319
第二节	拉伸(或压缩)与弯曲的组合变形	320
第三节	扭转与弯曲的组合变形	329
	学习指导	337
	思考题	339
	习 题	340
第十三章	压杆稳定	344

第一节	压杆稳定的概念	344
第二节	细长压杆临界力的确定	347
第三节	欧拉公式的适用范围及中长压杆的经验公式	351
第四节	压杆的稳定性计算	358
	学习指导	366
	思考题	369
	习 题	370
第十四章	交变应力	375
第一节	交变应力的概念	375
第二节	材料的疲劳极限及其测定	380
第三节	影响构件疲劳极限的主要因素	383
第四节	对称循环下构件的疲劳强度计算	390
第五节	非对称循环下构件的疲劳强度计算	393
第六节	弯曲与扭转组合交变应力下构件的疲劳 强度计算	394
	学习指导	397
	思考题	399
	习 题	400
附录 I	型钢表	404
附录 I	单位及单位换算表	422
	习题答案	424
	参考文献	435

第一篇 静力学

静力学是研究物体在力系作用下的平衡条件的科学。在静力学中我们主要研究三方面问题：物体的受力分析，力系的简化和建立各种力系的平衡条件。静力学是工程力学的基础部分，在工程技术中有着广泛的应用。

第一章 静力学的基本概念和 物体的受力分析

本章首先介绍两个常用的基本概念——力和刚体，以及静力学基本公理，它们是静力学的基础，然后介绍典型的约束形式和约束反力，在此基础上对物体进行受力分析。

第一节 静力学的基本概念

一、力

人们在长期的生产和生活实践中，逐渐认识到力的存在，并从中抽象出力的概念。所谓力是指物体之间的相互机械作用，这种作用的结果将使物体的运动状态发生变化，或使物体的形状发生变化。如果使物体的运动状态发生变化，则称力的外效应或称力的运动效应，它属于理论力学的研究范畴；如果使物体的形状发生变化，则称力的内效应或称力的变形效应，它属于材料力学的研究

范畴。

力是物体间的相互作用。在实际中,物体间的作用方式是多种多样、千变万化的。但是可以归纳成两种类型:一种是两个物体直接接触,如摩擦力、水流对坝体的压力等;另一种是通过场间接作用,如万有引力场中的万有引力(重力)及电磁场中的电磁力等。

既然力是物体间的相互作用,那么力必须是成对出现的。例如人用力推小车(图 1-1),人给小车一个作用力,那么小车必然给人一个反作用力。作用力与反作用力是相互依存、同时出现、共同消失的。一般我们称所要研究的物体为受力体,这里小车可看成是受力体;称对受力体施加机械作用的物体为施力体,这里人就是施力

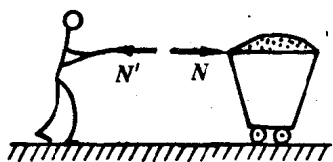


图 1-1

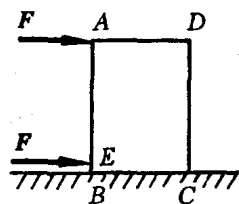


图 1-2

体。实践表明,力对物体的作用效果取决于三个要素:(1)力的大小;(2)力的方向;(3)力的作用点,即力的三要素。力的大小和方向对物体的作用效果的影响是显而易见的,下面简单说明力的作用点对物体作用效果的影响。如图 1-2 所示的物体,若力 F 作用于 E 点,则物体将向前运动;若力 F 的大小和方向均不变,但作用于 A 点,则物体将绕 C 点转动(摩擦力要足够大)。力的三要素可用一个定位矢量来表示,所谓定位矢量是指矢量的始端或末端固定于空间内某一点的矢量。因此,可用矢量的大小和方向表示力的大小和方向,用矢量的始端或末端表示力的作用点,即力是一个定位矢量。这样力也可以用一个起始点或终止点固定的有向线段来表示,如图 1-3 所示。本书采用斜黑体字母 $\boldsymbol{F}$ 表示力矢量;用普通字母 F 表示力的大小,即力矢量的模 $F = |\boldsymbol{F}|$ 。通过力的作用点,并沿着

力的方位的直线称为力的作用线。力的大小可以通过选择不同的单位来度量。在国际单位制(SI)中,力的单位是牛顿(N)或千牛顿(kN)。在工程单位制中,力的单位是公斤力(kgf)或吨力(tf)。两种单位制之间的换算关系为

$$1\text{kgf} = 9.8\text{N}$$

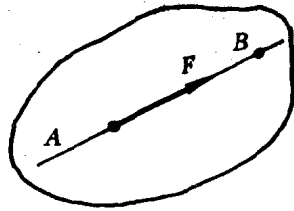


图 1-3

二、刚体

在静力学中另一个常用的概念就是刚体。所谓刚体是指在力的作用下其内部任意两点之间的距离始终保持不变的物体,也可以说是受力后不变形的物体。它是从实际中抽象出来的理想化的力学模型。实际上任何物体在力的作用下都或大或小地发生变形,但是当这些微小的变形对所研究的问题属于次要因素时,就可忽略不计,将该物体视为刚体。

刚体的概念是相对的、有条件的,在某些情况下可视为刚体,但是在其它情况下又得看成是变形体。如当两个人抬一根钢管时,两个人所受的压力与钢管的变形无关,可把钢管看成刚体。但是当三个人抬一根钢管时,虽然钢管的变形很小,但三个人所受的压力分配却与钢管的变形有关,因此要计算出三个人分别受到的压力就必须把钢管看成是变形体。在理论力学的静力学中,所研究的对象只限于刚体,所以又称为刚体静力学。

下面再简单地介绍几个静力学中所要用到的概念。

1. 平衡 平衡是指物体相对于惯性参考系处于静止或匀速直线运动状态。在工程问题中,一般选取惯性参考系为地面。

2. 力系 作用在物体上的一群力称为力系。如果物体在一力系作用下保持平衡状态,则称该力系为平衡力系。作用于刚体上的一个力系用另外一个力系代替,如果两个力系对刚体的作用效果相同,那么称这两个力系为等效力系。

3. 合力和分力 如果一个力系和一个力等效,那么就称这个力为该力系的合力,而称力系中的每个力为这个力的分力。

第二节 静力学基本公理

静力学公理是研究静力学的基础。它主要涉及两个力的合成和平衡,以及两个物体间相互作用等最基本的力学规律。静力学的定理、公式和结论基本上是在静力学公理的基础上推导的。

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和充分条件是:这两个力大小相等,方向相反,且作用在同一直线上。如图 1-4

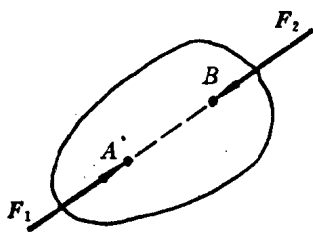


图 1-4

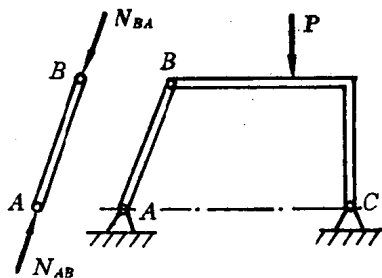


图 1-5

所示,即 $F_1 = -F_2$ 。此公理只适用于刚体而不适用于变形体。在工程实际中,我们把在两个力作用下处于平衡的构件称为二力构件,如构件的几何形状是杆,则称为二力杆。如图 1-5 中的 AB 杆(忽略其自重)即为二力杆。

二、加减平衡力系公理

在任意一力系中,加上或减去任何一个平衡力系,并不改变原力系对刚体的作用效果。此公理只适用于刚体,它经常被用于力系的简化中。由此公理可得出如下推论:

推论 1 力的可传性原理

作用在刚体上某点的力,可沿着它的作用线移动到刚体内的任意一点,并不改变它对刚体的作用效果。

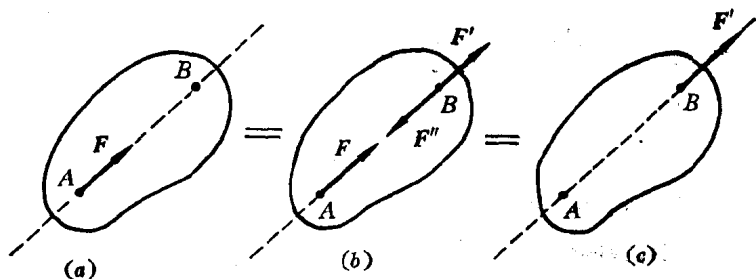


图 1-6

证明 设力 F 作用于刚体的 A 点,如图 1-6(a) 所示。在力 F 的作用线上任取一点 B ,根据加减平衡力系公理,在 B 点加上一对平衡力 F' 、 F'' ,使得 $F = -F'' = F'$,则对刚体的作用效果不变,如图 1-6(b) 所示。显然力 F 和 F'' 也构成一对平衡力,再根据加减平衡力系公理减去一对平衡力 F 、 F'' ,同样不改变对刚体的作用效果,如图 1-6(c) 所示。这样就相当于力 F 的作用点沿其作用线移动到任意一点 B 了。(证毕)

例如,一力 F 作用在料车的前面拉车或作用在料车的后面推车,对料车的作用效果是一样的。但应注意,力的可传性原理只适用于刚体,而不适用于变形体。例如一根变形杆 AB 的两端受一对平衡力 $F_1 = -F_2$ 的作用,使杆受拉而伸长,如图 1-7(a) 所示。如果按力的可传性原理把力 F_1 和 F_2 的作用点分别移动到杆的另一端,则杆受压而缩短,如图 1-7(b) 所示,这就改变了原力系对杆 AB 的作用效果。此外还应注意,力的可传性原理只适用于力在一个刚体上传递,而不能把作用在某个刚体上的力传递到另外的刚体上去。

从上述分析可以看出,作用于刚体上力的三要素变成:(1)力的大小;(2)力的方向;(3)力的作用线。因此,我们称作用于刚体上的力矢量为**滑移矢量**。

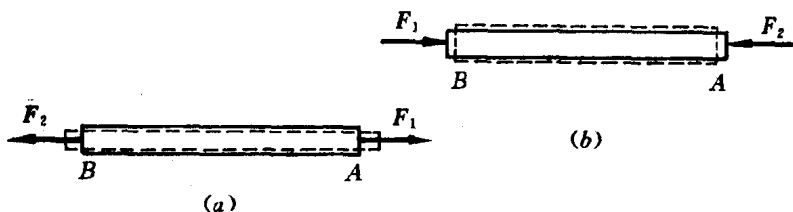


图 1-7

三、力的平行四边形法则

作用在物体上同一点的两个力,可以合成为一个合力。合力的作用点仍在该点,合力的大小和方向则由这两个力为边构成的平

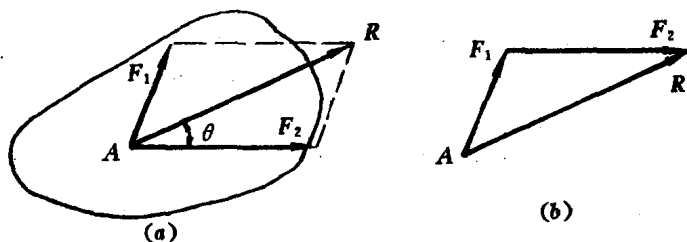


图 1-8

行四边形的对角线确定,如图 1-8(a)所示。因为力是矢量,所以也应符合矢量加法,即合力矢等于两分力矢的矢量和,即

$$R = F_1 + F_2 \quad (1-1)$$

要注意(1-1)式是矢量和,不能同代数和相混淆。在用矢量加法求和时,也可将两个分力矢量首尾相接,然后从第一个矢量的始端到第二个矢量的末端连一矢量即为合力矢量,如图 1-8(b)所示。这种求合力的方法称为力的三角形法则。力的平行四边形法则既适用于刚体又适用于变形体,它给出了最简单力系的简化规律,是复杂力系简化的基础和依据。由此公理和二力平衡公理可得如下推论:

推论 2 三力平衡汇交定理

若刚体在三个力的作用下处于平衡,且其中二力相交于一点

时,则第三个力的作用线必通过同一点,且三力在同一平面内。

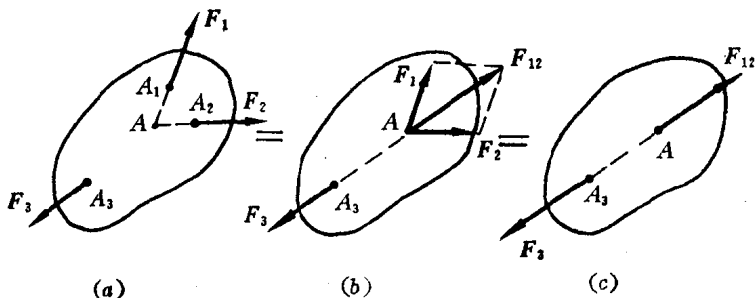


图 1-9

证明 如图 1-9 所示,刚体在三个力 F_1 、 F_2 、 F_3 作用下处于平衡,且 F_1 、 F_2 的作用线相交于 A 点。根据力的可传性原理,把 F_1 、 F_2 的作用点移动到 A 点,根据力的平行四边形法则,将 F_1 、 F_2 合成为一个合力 F_{12} ,则刚体在 F_3 、 F_{12} 作用下与原力系等效。再由二力平衡公理可知,刚体在 F_3 、 F_{12} 作用下平衡,则 F_3 、 F_{12} 必定大小相等、方向相反且作用在同一直线上,所以 F_3 必然过 A 点且与 F_1 、 F_2 在同一平面内。(证毕)

四、作用与反作用定律

两个物体间的相互作用力,即作用力和反作用力总是同时存在,两力的大小相等、方向相反,沿着同一直线,分别作用在两个相互作用的物体上。

作用力和反作用力总是成对出现的,有作用力必然有反作用力。如前所述,有施力体必然有受力体,有受力体必然有施力体,二者相互依存。如图 1-10 所示的简易滑轮提升系统,绳索给重物一个拉力 T ,那么重物同样给绳索一个反作用力 T' 。应该注意,作用力和反作用力虽然大小相等方向相反,但是分别作用在两个物体上,所以不是一对平衡力,不要与二力平衡公理相混淆。如上例,力 T 和 T' 是一对作用力和反作用力,而力 T 和 P 是一对平衡力。

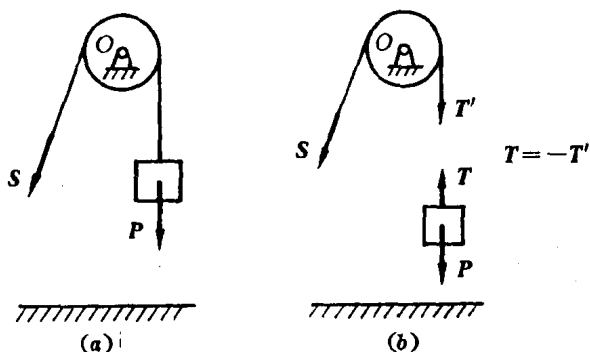


图 1-10

无论物体处于静止状态还是运动状态；无论是刚体还是变形体，作用与反作用定律均适用。此定律是对物体系统进行受力分析的重要依据。

第三节 约束和约束反力

当物体在空间不受限制，可以沿任意方向运动时，我们称其为**自由体**，如飞行中的人造卫星、飞机和炮弹等。当物体受到其它物体的限制，在某些方向上不能运动时，我们称其为**非自由体**。例如，放置在桌面上的物体就受到桌面的限制而不能向桌面内运动；起重機提升重物时，重物受到钢丝绳的限制而不能下落；电动机转子受到轴承的限制只能绕中心轴转动。所以桌面上的物体、被提升的重物和电动机转子等均属于非自由体。由此看出，非自由体在某些方向上不能运动是因为受到了其周围其它物体的限制，我们称能够阻碍非自由体运动的周围物体为非自由体的**约束**。约束是一个实实在在的物体，如前所述的桌面就是桌面上物体的约束，钢丝绳就是被提升重物的约束，轴承就是转子的约束等。

约束所以能够阻碍非自由体的运动，是通过给非自由体一个