

普通高等教育“十二五”规划教材

工程力学

主 编 何 青

副主编 刘静静

Engineering Mechanics



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

普通高等教育“十二五”规划教材

工 程 力 学

主 编	何 青	
副主编	刘静静	
参 编	李 斌	毛雪平
	张建军	张乃强



机械工业出版社

本书为普通高等教育“十二五”规划教材。本书结合编者多年来从事工程力学教学与改革的经验和体会,以工程应用为背景,在工程力学课程教学内容的系统性、逻辑性和完整性等研究探索的基础上,对工程力学课程的教学内容体系、力学概念、例题和习题选配等方面都作了改革创新,以有效地帮助读者建立力学思维、强化力学建模能力和培养解决工程实际问题的能力。

全书共14章,由静力学和材料力学两部分组成。静力学部分包括静力学基础,力系的简化,力系的平衡;材料力学部分包括材料力学基础,构件的内力分析,轴向拉伸与压缩,扭转与剪切,弯曲,应力状态分析与强度理论,组合变形,压杆稳定,能量法,超静定结构,动应力与交变应力。本书在每章后安排了内容小结、思考题和习题。书后附录包括平面图形的几何性质,简单载荷作用下梁的变形、型钢规格表和习题答案。

本书可作为高等学校工科各专业工程力学课程的教材,也可供高职高专院校师生和工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

工程力学/何青主编. —北京:机械工业出版社,2013.2

普通高等教育“十二五”规划教材

ISBN 978-7-111-46126-5

I. ①工… II. ①何… III. ①工程力学-高等学校-教材

IV. ①TB12

中国版本图书馆CIP数据核字(2014)第048107号

机械工业出版社(北京市百万庄大街22号 邮政编码100037)

策划编辑:姜凤 责任编辑:姜凤 汤嘉

版式设计:霍永明 责任校对:张晓蓉

封面设计:张静 责任印制:李洋

北京振兴源印务有限公司印刷

2014年8月第1版第1次印刷

169mm×239mm · 32印张 · 656千字

标准书号:ISBN 978-7-111-46126-5

定价:49.80元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

电话服务

网络服务

社服务中心:(010) 88361066 教材网:<http://www.cmpedu.com>

销售一部:(010) 68326294 机工官网:<http://www.cmpbook.com>

销售二部:(010) 88379649 机工官博:<http://weibo.com/cmp1952>

读者购书热线:(010) 88379203 封面无防伪标均为盗版

前 言

为了适应高等学校本科生教学改革的需要,编者在总结多年教学实践经验和教学改革体会的基础上,根据教育部最新制定的《工程力学课程教学基本要求》,参考国内外高校工程力学教材编写了本书。本书以工程应用为背景,在工程力学课程教学内容的系统性、逻辑性和完整性等研究探索的基础上,对工程力学课程的教学内容体系、力学概念、例题和习题选配等方面都作了创新改革,以有效地帮助读者建立力学思维,强化力学建模能力和培养解决工程实际问题的能力。

本书的主要内容是教学大纲所要求的基本内容。为了适应不同专业的需要,本书增加了部分加深加宽的内容,可供不同专业选用。加深加宽内容的讲授务必在确保基本内容教学的基础上进行。为便于学习,本书为每章安排了学习指导性的内容小结、多种形式的思考题和大量的习题,以培养学生综合运用工程力学知识的能力。

本书由华北电力大学何青任主编,刘静静任副主编。参加编写的还有李斌、毛雪平、张建军和张乃强。全书由何青统稿。

本书得到了北京市教育委员会共建项目专项支持,得到了华北电力大学教育教学改革重大项目支持,在此一并致谢。

限于编者水平,书中难免不妥或错漏,恳请广大读者批评指正。

编 者

2014年2月于北京

目 录

前言

主要符号表

绪论	1
0.1 工程力学的研究内容	1
0.2 工程力学的研究方法	3

第一篇 静 力 学

第1章 静力学基础	8
1.1 静力学基本概念	8
1.2 静力学基本原理	11
1.3 约束与约束力	14
1.4 受力分析与受力图	20
1.5 力矩与力偶	22
小结	29
思考题	30
习题	31
第2章 力系的简化	34
2.1 力系的主矢与主矩	34
2.2 力系的简化	37
2.3 平行力系的中心与物体的重心	44
小结	47
思考题	48
习题	50
第3章 力系的平衡	54
3.1 力系的平衡条件与平衡方程	54
3.2 物系的平衡	60
3.3 平面桁架的平衡	66
3.4 摩擦平衡问题	71
小结	81
思考题	82
习题	85

第二篇 材料力学

第4章 材料力学基础	94
------------	----

4.1 变形固体的基本假设	94
4.2 外力、内力与截面法	96
4.3 应力与应变	100
4.4 杆件的变形形式	102
小结	107
思考题	107
习题	109

第5章 构件的内力分析	111
5.1 构件横截面上的内力	111
5.2 内力方程与内力图	115
5.3 内力与载荷集度间的关系	122
5.4 刚架和曲杆的内力	129
小结	132
思考题	133
习题	135

第6章 轴向拉伸与压缩	142
6.1 轴向拉压杆的应力	142
6.2 轴向拉压杆的应变	146
6.3 材料在拉压时的力学性能	149
6.4 轴向拉压强度条件	155
6.5 应力集中	160
小结	161
思考题	162
习题	163

第7章 扭转与剪切	169
7.1 薄壁圆筒的扭转	169
7.2 圆轴扭转的应力	172
7.3 圆轴扭转的变形	177
7.4 非圆截面杆的自由扭转	179
7.5 联接的实用计算	185
小结	191
思考题	192
习题	194

第8章 弯曲	200
--------	-----

8.1 弯曲正应力	200	小结	376
8.2 弯曲切应力	211	思考题	378
8.3 弯曲变形	222	习题	380
8.4 提高梁的弯曲强度和刚度的措施	232	第 13 章 超静定结构	385
小结	239	13.1 超静定结构及其分析方法	385
思考题	240	13.2 简单超静定结构	387
习题	241	13.3 力法解超静定结构	397
第 9 章 应力状态分析与强度理论	249	13.4 卡氏定理解超静定结构	410
9.1 点的应力状态	249	小结	412
9.2 应力状态分析	252	思考题	412
9.3 应力圆分析	259	习题	414
9.4 广义胡克定律	266	第 14 章 动应力与交变应力	420
9.5 强度理论	271	14.1 惯性载荷作用下的动应力	420
小结	280	14.2 冲击应力	423
思考题	282	14.3 交变应力及其循环特性	432
习题	285	14.4 疲劳试验与持久极限	435
第 10 章 组合变形	291	14.5 疲劳强度计算	443
10.1 拉压与弯曲组合变形	291	14.6 提高构件疲劳强度的措施	447
10.2 斜弯曲	299	小结	449
10.3 弯曲与扭转组合变形	304	思考题	450
小结	309	习题	453
思考题	310	附录	457
习题	311	附录 A 平面图形的几何性质	457
第 11 章 压杆稳定	317	A.1 静矩和形心	457
11.1 压杆稳定的概念	317	A.2 惯性矩与惯性积	459
11.2 细长压杆的临界压力	320	A.3 平行移轴公式和转轴公式	463
11.3 临界应力图	326	小结	468
11.4 压杆稳定条件与合理设计	332	思考题	469
小结	338	习题	471
思考题	339	附录 B 简单载荷作用下梁的变形	473
习题	341	附录 C 型钢规格表	475
第 12 章 能量法	344	表 C-1 热轧等边角钢	475
12.1 杆件的应变能	344	表 C-2 热轧不等边角钢	480
12.2 应变能密度	351	表 C-3 热轧普通槽钢	484
12.3 互等定理	357	表 C-4 热轧普通工字钢	487
12.4 卡氏定理	360	表 C-5 热轧 L 型钢	490
12.5 虚功原理	364	附录 D 习题答案	491
12.6 莫尔定理与图乘法	366	参考文献	504

主要符号表

a	加速度, 间距	k_d	动荷因数
a_K	冲击韧度	k_σ, k_τ	有效应力集中因数
A	面积	K	应力集中因数, 体积弹性模量
A_{bs}	挤压计算面积	l	长度, 跨度
b	宽度	m	滚阻力偶, 质量, 分布力偶
C	质心	M	力偶, 主矩, 弯矩
d	直径, 距离	M_e	扭矩外力偶
D	直径	M_x, T	扭矩
E	弹性模量, 能量	M_y, M_z	对 y 、 z 轴的力矩, 弯矩
E_k, E_p	动能, 势能	n	安全因数, 转速
f	动摩擦系数, 轴向分布力	n_{st}	压杆工作安全因数
f_s	静摩擦系数	$n_\sigma, n_\tau, n_{\sigma\tau}$	工作安全因数
F	力, 外载荷	N	循环次数, 疲劳寿命
F_{bs}	挤压力	N_0	循环基数
F_{cr}	临界压力	p	全应力, 压力
F_d	动载荷, 动摩擦力	p_α	α 斜截面上全应力
F_N	法向约束力, 轴力	P	重量, 功率
F_S	剪力	P_k	千瓦功率
F_R	合力	q	横向分布力, 剪力流
F'_R	主矢	r	循环特性, 应力比, 半径
F_s	静摩擦力	R	半径
F_I	惯性力	S	面积
g	重力加速度	S_y, S_z	对 y 、 z 轴的静矩
G	切变模量	t	时间
h	高度	u	应变能密度, 应变比能
i	惯性半径	u_d	形状改变应变能密度/比能
i, j, k	x, y, z 轴的单位矢量	u_v	体积改变应变能密度/比能
I_p	极惯性矩	u^*	应变余能密度
I, I_y, I_z	惯性矩, 对 y 、 z 轴的惯性矩	U	应变能
I_{yz}	对 y 、 z 轴的惯性积	U^*	应变余能
k	弹簧刚度系数, 曲率, 自由度	v	速度, 挠度

W	外力功, 重量	$\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$	主应力
W^*	余功	$\varepsilon_1, \varepsilon_2, \varepsilon_3$	主应变
W_p	抗扭截面系数	σ_α	α 斜截面上的正应力
W_z	抗弯截面系数	τ_α	α 斜截面上的切应力
x, y, z	直角坐标	σ_t, σ_c	拉伸、压缩正应力
X_i	多余约束力	σ_a	应力幅值, 名义应力
α	角, 线膨胀系数, 内、外直径比	σ_b	材料强度极限
β	角, 表面质量系数	σ_{bs}	挤压应力
γ	角, 切应变	σ_{cr}	临界应力
θ	角, 单位长度扭转角, 横截面转角, 体积应变	σ_d	动应力
φ	角, 相对扭转角, 折减因数	σ_m	平均应力
φ_m	摩擦角	σ_{max}	最大正应力
δ	滚阻系数, 伸长率	σ_{min}	最小正应力
δ_{ij}	单位载荷引起的广义位移	σ_p	材料比例极限
δr	虚位移	σ_r	循环特征 r 的疲劳极限
δW	元功, 虚功	σ_{ri}	相当应力
Δ	增量, 广义位移	σ_s	材料屈服应力
Δ_d	动变形/位移	σ_{st}	静应力
Δ_{st}	静变形/位移	σ^0	极限应力
ρ	密度, 半径, 曲率半径	σ_{-1}, τ_{-1}	光滑试样对称循环持久极限
ψ	断面收缩率	$\sigma_{-1}^0, \tau_{-1}^0$	构件持久极限
ω	角速度	σ_{-1k}, τ_{-1k}	有应力集中的持久极限
ε	线应变, 正应变	$\sigma_{0.2}$	名义屈服极限
ε_e	弹性应变	$[F]$	许用载荷
ε_p	塑性应变	$[n_{st}]$	许用稳定安全因数
ε_t	横向线应变	$[v]$	许用挠度
$\varepsilon_\sigma, \varepsilon_\tau$	尺寸因数	$[\sigma]$	许用正应力
λ	柔度, 长细比	$[\tau]$	许用切应力
λ_p	对应比例极限 σ_p 的柔度	$[\sigma_{bs}]$	许用挤压应力
λ_s	对应屈服极限 σ_s 的柔度	$[\sigma_{-1}]$	疲劳许用应力
λ_c	对应 $\sigma_s/2$ 的柔度	$[\sigma_t], [\sigma_c]$	拉伸、压缩许用正应力
μ	泊松比, 长度因数	$[\theta]$	许用单位长度扭转角, 许用转角
σ	正应力		
τ	切应力		

绪 论

0.1 工程力学的研究内容

工程力学由静力学和材料力学两部分组成，主要研究物体的受力分析和平衡条件，构件的强度、刚度和稳定性。随着现代科学技术的发展，力学的应用已经渗透到众多的学科领域。作为一般工程专业的技术基础课，工程力学所研究的力学的基本概念、基本理论和基本方法，既可以直接用于解决工程实际问题，又是学习一系列后续课程的重要基础。

静力学是研究物体平衡问题的力学学科，是工程力学的基础部分，主要研究作用在平衡物体上的力的相互关系。主要内容包括：力的基本性质，物体受力的分析方法，力系的简化方法，物体在力系作用下的平衡规律等。

材料力学是研究构件承载能力的力学学科，是工程力学的核心部分，主要研究构件在外力作用下的受力、变形和破坏的规律，为合理设计构件提供强度、刚度和稳定性分析的基础理论和计算方法。主要内容包括：构件的内力分析，基本变形的应力与应变，组合变形，应力状态分析与强度理论，压杆稳定，应变能，超静定结构，动应力与交变应力，疲劳强度等。

力使物体的运动状态发生改变的效应称为**运动效应**，也称为**外效应**，例如物体在力的作用下运动速度或方向发生变化；力使物体的形状发生变化的效应称为**变形效应**，也称为**内效应**，例如物体在力的作用下发生伸长、缩短或弯曲等变形。在静力学部分，只讨论力的外效应，而且只研究处于静止或作匀速直线运动的平衡状态；在材料力学部分，主要研究力的变形效应。

各种机械或工程结构都是由许多零部件或结构元件组成，这些零部件统称为**构件**，如图 0-1a 所示传动机械、图 0-1b 所示电力铁塔。在正常工作时，每一构件都会受到一定的外力作用，这些加载在构件上的外力称为**载荷**。

构件受力时，其内部各点间的相对距离都要发生改变，其结果是使物体的形状和尺寸改变，这种改变称为**变形**。当物体变形很小时，变形对物体的运动和平衡

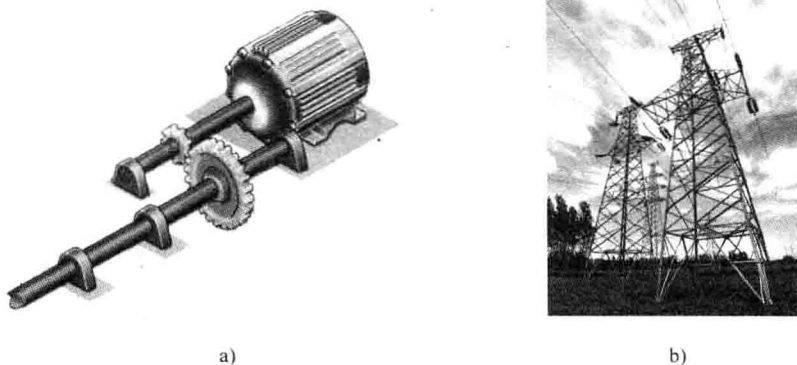


图 0-1

a) 传动机械 b) 电力铁塔

的影响甚微，因而在研究力的作用效应时，可以忽略不计，这时的物体便可抽象为刚体。

当机械或结构承受载荷或传递运动时，构件在载荷作用下发生形状和尺寸的变化。当载荷较小时，变形能够随着载荷的撤去而消失，这样的变形称为弹性变形；而当载荷超过一定限度后，会有一部分变形在外力撤去之后保留下来，这部分变形称为塑性变形。当载荷继续增大，构件就会发生断裂，称之为破坏，如图 0-2a 所示被暴雪压垮的电力铁塔，或者其几何形状不能保持原有的平衡状态，称之为失稳，如图 0-2b 所示失稳的管件。

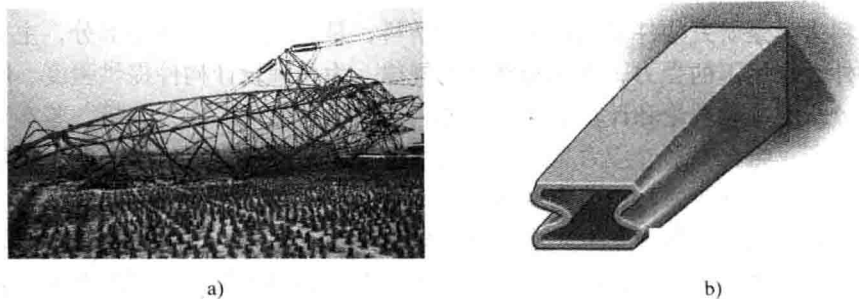


图 0-2

a) 垮塌的电力铁塔 b) 失稳的管件

当构件的变形超过一定的限度时，甚至发生断裂破坏，或发生失稳，都会导致构件失去正常工作的能力，这种现象称为失效。因此，为了保证机械或结构安全可靠地工作而不失效，构件必须具有足够的承受载荷的能力，即应能满足强度、刚度和稳定性三个方面的要求。构件的强度、刚度和稳定性，统称为构件的承载能力。

1. 强度要求 构件抵抗破坏的能力称为**强度**。不同的材料有不同的抵抗破坏的能力及不同的破坏机理。同一种材料在不同环境、不同工作条件下的破坏机理和形式也不尽相同。按不同要求设计的构件,如起重机的吊索,起重臂的桁架,机器、运载车辆和船舶的传动轴,建筑物的梁、柱等,在所处的工作条件和环境下,在规定的使用寿命期间不应该发生断裂破坏。所以构件必须具有足够的抵抗破坏的能力,即必须有足够的强度。

2. 刚度要求 构件抵抗变形的能力称为**刚度**。有些构件虽然满足其强度要求,但由于过大的变形也将使它不能正常工作。例如,图 0-3 所示的两根齿轮传动轴,由于轴抵抗变形的能力不足而引起过大的弯曲变形,导致齿轮之间不正常的啮合及轴与轴承间不正常的配合,从而使机械不能正常运行,并加剧各构件间的磨损。所以还应要求构件的变形在一定的限度内,也就是构件应具有一定的抵抗变形的能力,即必须有足够的刚度。

3. 稳定性要求 构件保持原有平衡状态的能力称为**稳定性**。工程力学主要研究杆的稳定性。细长的杆件在轴向压力作用下的失效,往往是因稳定性起控制作用,即该类构件会产生失稳。所谓**失稳**是指杆件在轴向压力增加到某一数值时,杆件的平衡状态发生突变,使杆件从原来的**稳定平衡状态**,突变到**不稳定平衡状态**,从而使构件失去 ze 常工作的能力。如图 0-4 所示桁架的横梁上有起吊重物的小车行走,支撑横梁的斜杆就是受压杆件,在轴向压力达到临界值时它会失稳,导致整个结构失去承重能力。设计中应使该类杆件具有抵抗失稳的能力,即必须有足够的稳定性。

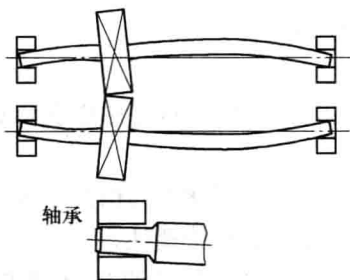


图 0-3

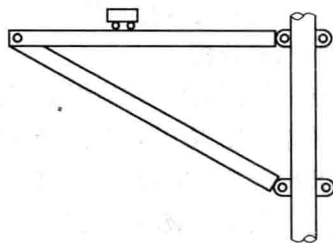


图 0-4

0.2 工程力学的研究方法

工程力学作为一门技术性较强的专业基础课,是许多专业课程的基础。在基本概念、基本理论和基本方法等方面为结构力学、弹性力学等奠定基础;同时也是机械设计、结构设计等课程的先导课程,是工程技术人员必备的基础知识,因此必须

认真学习、深刻领会、融会贯通。

学习工程力学分析问题的基本方法,利用力学原理来分析物体的平衡规律,分析杆、梁、轴等这一类构件或简单结构的内力、变形等力学行为,建立失效准则,并据此对构件进行设计,使它们能满足强度、刚度和稳定性要求。

工程力学的主要研究方法包括:

1. 理论分析方法

在工程力学的研究过程中,贯穿着对杆件及结构的三个核心问题的分析,即力学分析、物理分析和几何分析。

(1) 力学分析

力学分析就是要研究构件中的各个力学要素(包括外力和内力、力和力偶)之间的关系。需要注意的是,当构件整体平衡时,它的任何局部也都是平衡的。在工程力学中,不仅关注构件的整体平衡,同时还要关注构件的局部平衡。这样,在分析过程中,往往会截取平衡构件的一个部分,甚至截取其中的一个微元长度或微元体来进行研究。由于构件总体是平衡的,那么它的一个部分、一个微元长度、一个微元体自然也都是平衡的。从而就可以用平衡条件来研究内力和外力的关系,内力各要素之间的关系等。

(2) 物理分析

由于材料的力学性能显著地影响构件的强度、刚度和稳定性,因此工程力学中必然要研究材料的力学性能,研究构件的力学要素(有时还包括热学要素)与几何要素之间的关系。其中包括载荷与变形量之间的关系、构件内部应力与应变之间的关系,以及温度变化与应力、变形量之间的关系等。

(3) 几何分析

几何分析研究构件和结构中各几何要素之间的关系,包括构件中应变和变形量之间的关系、结构中各构件变形量之间的关系等。

在几何分析中需要注意的是,工程力学只研究处于完好状态的构件和结构,而不研究它们在发生破坏以后的行为。这就要求几何变形具有协调性。

对于构件而言,例如图 0-5a 所示的矩形构件,如果发生了图 0-5b 那样的变形,则构件是协调的;而图 0-5c 的变形,由于出现了裂纹,因而不协调的;图 0-5d 的变形,由于出现了物质的重叠,因而也是不协调的(在固体介质中,一部分物质与另一部分物质重叠起来在物理现实中很难实现,但却有可能出现在不适当的计算中)。

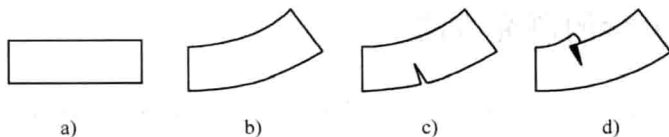


图 0-5

对于结构而言,如图0-6a中的桁架,其下端结点有铅垂向下的力作用。如果发生了如图0-6b那样的变形,则结构是协调的;而如果发生了如图0-6c、d所示的变形,由于三根杆的伸长量之间不满足一定的关系,下端节点由此而解体,因而不协调的。

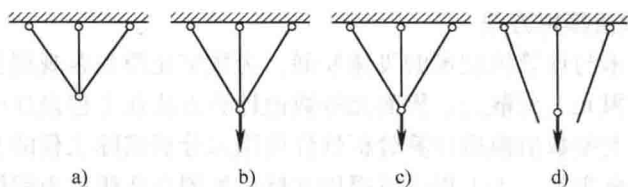


图 0-6

力学分析、物理分析和几何分析的综合,形成了工程力学的基本的和主要的理论分析方法。

2. 试验方法

除了理论分析方法外,试验也是研究材料的力学性能的重要手段。试验可以提供最基本的物理事实,可以提供指定材料有关强度、刚度和稳定性的基本数据,从而为模型的提炼和抽象提供线索,同时也为验证模型的正确性提供最直接的证据。

试验分析是一项针对所研究问题进行力学分析的基础性工作。通过具体试验,采集数据、整理分析数据,为工程实际提供必要的模型参数,并验证理论分析的可靠性。如图0-7是伽利略进行木梁弯曲试验的装置,图0-8是进行飞机静载试验的场景。

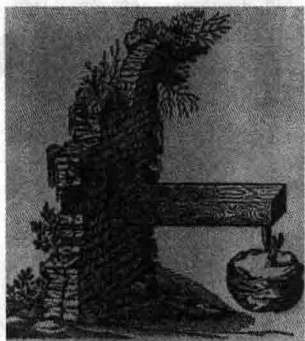


图 0-7

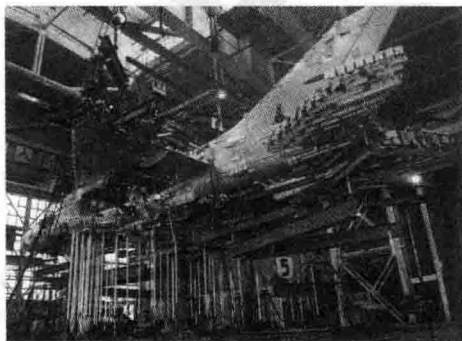


图 0-8

研究构件的强度、刚度和稳定性时,应了解材料在外力作用下表现出的变形和破坏等方面的性能,即材料的力学性能,而力学性能主要由试验来测定。此外,工程力学中的理论推导过程,都是根据试验观测来做出变形情况的假设,再运用数学和力学方法进行推导,最后,还必须由试验验证这些结果的正确性。因此,没有力学试验,不仅不能进行理论推导,也无从验证所得结果的正确性,更不敢应用它

们。显然,没有力学试验,工程力学作为一门重要的工程学科就失去了基础和依据。另外,还有一些尚无理论结果的问题,必须借助试验方法来解决,由此可见,力学试验在工程力学中占有重要的地位。所以,试验分析和理论研究同是工程力学解决问题的方法。

3. 计算机数值模拟方法

现代计算技术与计算机技术的飞速发展,为数字化模拟客观现实提供了可操作平台。目前,有限元、离散元、界面元等数值计算方法在工程设计中所起的作用日益重要。例如,大型数值模拟计算分析软件可用来分析实际工程的变形量、应力应变分布、塑性区分布等,为工程决策提供支持。如图 0-9 所示为钢结构接头应力有限元数值计算结果,图 0-10 为泵转子振动模态的计算机模拟结果。

容易想到,选用较好的材料,或者把构件的尺寸做得粗大些,可以提高构件的强度、刚度和稳定性,有利于保证构件安全正常工作。但是,这将会多用材料,提高造价,造成浪费,违背经济性的原则。反过来说,选用价廉质低的材料,或者减小构件尺寸以减少用料,虽然比较经济,但却可能使构件工作时不安全。可见,安全性与经济性经常是矛盾的。因此,学习工程力学的目的就是要在满足强度、刚度和稳定性的要求下,为设计既经济又安全的构件,提供必要的理论基础和计算方法。

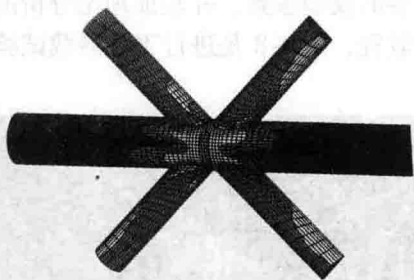


图 0-9

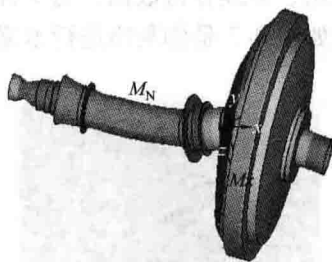


图 0-10

要学好工程力学,还应该特别重视理论与工程实践的结合。由于现代生活已经离不开现代化的生产,工业化的产品已经包围了并渗透到人们生活的各个方面,而力学往往是各类工业产品设计和生产的技术基础,因此,在我们周围出现的许多事物都体现着各类力学概念、原理和方法。即使是纯天然的东西,如我们常见的植物、动物,经过千百万年的自然淘汰,它们的许多方面都体现了力学的合理性,甚至某些方面还值得人们研究和借鉴。所以,在学习工程力学的过程中,应该细致地观察自己周围的事物,把课程知识与观察联系起来,并试着提出若干问题,努力地用课程的知识对它们进行分析。如果你真地这样做了,就会真正掌握本课程的精髓,也就会深切地体会到:工程力学,是我们身边的科学。

第一篇 静力学

静力学是研究物体在力系作用下平衡规律的科学。

静力学研究物体平衡时作用在其上的力系所应满足的条件。静力学的研究对象是刚体，因此，静力学又称为刚体静力学。

本篇包括静力学基础、力系的简化和力系的平衡。静力学基础对静力学的基本概念、基本原理、约束及约束力、受力分析以及力矩与力偶等基本的力学知识进行了归纳介绍。其中，取分离体进行受力分析是研究所有力学问题的最基本的和最重要的基础知识。力系的简化通过引入力系的主矢和主矩等概念，为分析研究复杂力系问题建立了理论基础，在此基础上以最复杂的空间一般力系为研究对象，进行简化分析。力系的平衡运用力系的简化结果，研究力系的平衡条件及其平衡方程，并运用平衡方程对物系、平面桁架以及考虑摩擦时的平衡问题进行分析研究。

第 1 章

静力学基础

静力学的基本概念、基本原理和物体的受力分析是静力学的研究基础。本章将介绍刚体、力、力矩、力偶和平衡等基本概念以及静力学基本原理，分析工程中常见的约束及其约束力，对取分离体进行受力分析的方法进行研究。

1.1 静力学基本概念

1.1.1 质点与刚体

质点是指只有质量而没有大小和形状的理想物体。例如，研究地球绕太阳的公转，由于地球的直径较其公转运动的轨道直径要小得多，因此地球上各点相对于太阳的运动基本上可视为是相同的，也就是说，可以忽视地球的尺度和形状，把地球当作一个质点。但是在研究地球自转时，如果仍然把地球看作一个质点，显然就没有实际意义了。由此可知，一个物体是否可抽象为一个质点，应根据问题的具体性质而定。

一群具有某种联系的质点构成**质点系**。**刚体**是一个不变形的质点系，即在力的作用下，质点间的距离始终保持不变的质点系。实际物体在受力时都会产生不同程度的变形，但如果变形很小，不影响所研究问题的性质，就可以忽略变形，将其视为刚体。因此，刚体是对实际物体的抽象和简化。

刚体可以是一个抽象的物体，也可以是某个具体的物体，可以是单个的工程构件，也可以是工程结构整体。例如图 1-1 所示建筑工地上常见的塔式起重机，当设计其每一部件或零件时，都不能看成刚体，而必须视为变形体，这时的零件或部件就是变形体模型，如图 1-1a 所示。但是，当需要确定保证塔式起重机在各种工作状态下都不发生倾覆所需的配重时，整个塔式起重机又可以视为刚体，如图 1-1b 所示。

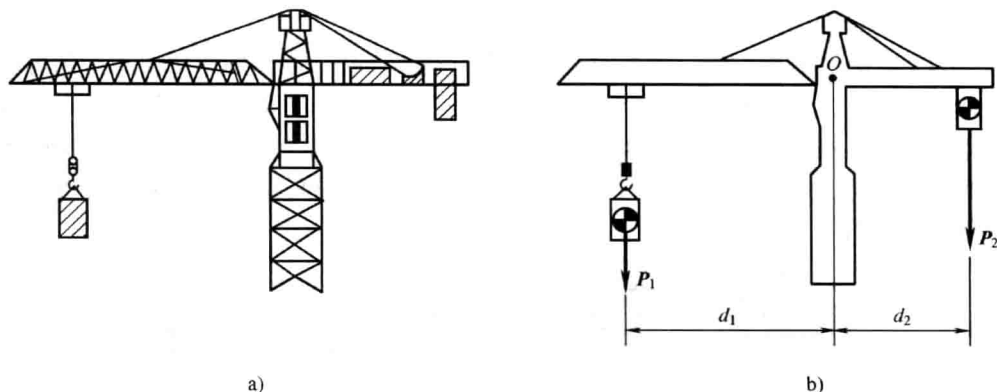


图 1-1

1.1.2 力和力系

力是物体间的相互机械作用，这种作用使物体的运动状态和形状发生改变。例如，人用手推车、蒸汽推动汽缸内的活塞，手与车或蒸汽与活塞之间有相互作用；锻锤压在工件上，其间也有相互作用。引起车、活塞机械运动状态改变和工件变形的这种作用就是力。

物体间力作用的形式很多，因而我们会遇到各种各样的力，但大体上可以分为两类：一类是两个物体直接接触作用，如两物体间的压力和摩擦力；另一类是通过“场”对物体的作用，如引力场对物体的引力，电磁场的电磁力等。

力对物体作用的效应取决于力的三要素：力的大小、方向、作用点，所以力是**矢量**，称为**力矢**。力的方向包括力作用的方位和指向。

度量力的大小的国际单位制（SI）量纲为牛顿（N），亦即使 1kg 质量的物体产生 1m/s^2 加速度的力定义为 1N。

力 F 在直角坐标系中可表示为

$$\mathbf{F} = F_x + F_y + F_z = F_x \mathbf{i} + F_y \mathbf{j} + F_z \mathbf{k} \quad (1-1)$$

式中， $\mathbf{i}$ 、 $\mathbf{j}$ 、 $\mathbf{k}$ 分别为 x 、 y 、 z 轴对应的单位矢量， F_x 、 F_y 、 F_z 分别为力 F 在 x 、 y 、 z 三个坐标轴方向上的分力矢量， F_x 、 F_y 、 F_z 分别为力 F 在 x 、 y 、 z 轴上的投影，为代数量，如图 1-2 所示。

物体受力一般是通过物体间直接或间接接触进行的。在多数情况下接触处不是一个点，而是具有一定尺寸的面积或体积。此时无论是施力体还是受力体，其接触处所受的力都是作用在接触区域上的分布力。在大多

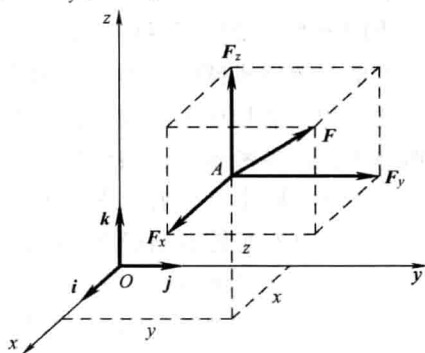


图 1-2