

应用型本科 机械类专业“十三五”规划教材
合肥学院模块化教学改革系列教材

工 程 力 学

主 编 徐启圣
副主编 纪冬梅

- 内容新颖：新知识、新技术、新工艺
- 特色鲜明：突出“应用、实践、创新”
- 定位准确：面向工程技术型人才培养
- 质量上乘：应用型本科专家全力打造



西安电子科技大学出版社
<http://www.xduph.com>

应用型本科 机械类专业“十三五”规划教材
合肥学院模块化教学改革系列教材

工 程 力 学

主 编 徐启圣
副主编 纪冬梅

西安电子科技大学出版社

内 容 简 介

本书属于合肥学院模块化教学改革的一项内容, 主要包含静力学分析、平面图形的几何性质、拉压、剪切、扭转及弯曲变形的内力、强度、刚度分析, 以及应力状态和强度理论、组合变形等内容。本书通过引入大量的工程构件, 将四大基本变形相近的内容进行知识重构, 同时按照工程模型—力学模型—数学模型—计算模型的思路组织教学, 并且通过编程解决计算问题。

本书可作为普通高等工科院校本科机械、近机类及成人教育等院校的工程力学教材, 同时也可作为相关工程技术人员参考用书。

图书在版编目(CIP)数据

工程力学/徐启圣主编. —西安: 西安电子科技大学出版社, 2017. 10

ISBN 978 - 7 - 5606 - 4541 - 4

I. ① 工… II. ① 徐… III. ① 工程力学 IV. ① TB12

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2017)第 171960 号

策划编辑 高 樱

责任编辑 张 玮

出版发行 西安电子科技大学出版社(西安市太白南路 2 号)

电 话 (029)88242885 88201467 邮 编 710071

网 址 www.xduph.com

电子邮箱 xdupfxb001@163.com

经 销 新华书店

印刷单位 陕西利达印务有限责任公司

版 次 2017 年 10 月第 1 版 2017 年 10 月第 1 次印刷

开 本 787 毫米×1092 毫米 1/16 印张 23

字 数 545 千字

印 数 1~3000 册

定 价 46.00 元

ISBN 978 - 7 - 5606 - 4541 - 4/TB

XDUP 4833001 - 1

*** 如有印装问题可调换 ***

本社图书封面为激光防伪覆膜, 谨防盗版。

应用型本科 机械类专业规划“十三五”教材

编审专家委员会名单

主任：张 杰(南京工程学院 机械工程学院 院长/教授)

副主任：杨龙兴(江苏理工学院 机械工程学院 院长/教授)

张晓东(皖西学院 机电学院 院长/教授)

陈 南(三江学院 机械学院 院长/教授)

花国然(南通大学 机械工程学院 副院长/教授)

杨 莉(常熟理工学院 机械工程学院 副院长/教授)

成 员：(按姓氏拼音排列)

陈劲松(淮海工学院 机械学院 副院长/副教授)

郭兰中(常熟理工学院 机械工程学院 院长/教授)

高 荣(淮阴工学院 机械工程学院 副院长/教授)

胡爱萍(常州大学 机械工程学院 副院长/教授)

刘春节(常州工学院 机电工程学院 副院长/副教授)

刘 平(上海第二工业大学 机电工程学院机械系 系主任/教授)

茅 健(上海工程技术大学 机械工程学院 副院长/副教授)

唐友亮(宿迁学院 机电工程系 副主任/副教授)

王荣林(南理工泰州科技学院 机械工程学院 副院长/副教授)

王树臣(徐州工程学院 机电工程学院 副院长/教授)

王书林(南京工程学院 汽车与轨道交通学院 副院长/副教授)

吴懋亮(上海电力学院 能源与机械工程学院 副院长/副教授)

吴 雁(上海应用技术学院 机械工程学院 副院长/副教授)

许德章(安徽工程大学 机械与汽车工程学院 院长/教授)

许泽银(合肥学院 机械工程系 主任/副教授)

周 海(盐城工学院 机械工程学院 院长/教授)

周扩建(金陵科技学院 机电工程学院 副院长/副教授)

朱龙英(盐城工学院 汽车工程学院 院长/教授)

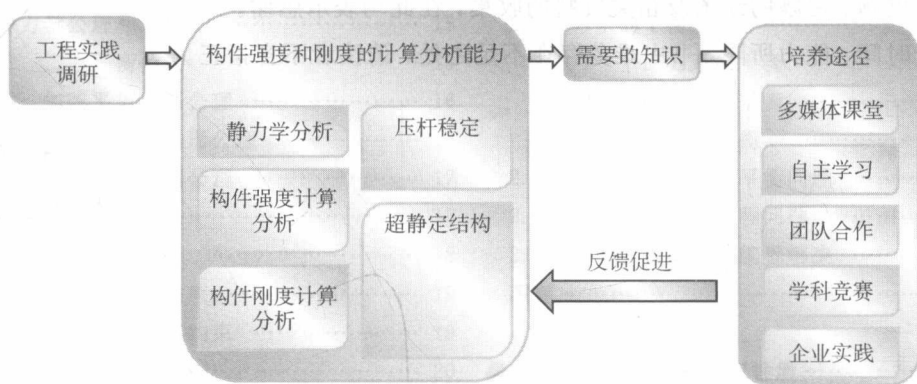
朱协彬(安徽工程大学 机械与汽车工程学院 副院长/教授)

前言

国家中长期教育改革和发展规划纲要(2010—2020年)在高等教育方面做出重要规划,其中一项内容为“教师要把教学作为首要任务,不断提高教育教学水平;加强实验室、校内外实习基地、课程教材等教学基本建设,深化教学改革”。可见,加强课程教材的建设是提高高等教育质量的一个重要方面。

目前,工科工程力学类的教材几乎都是沿用前苏联的力学体系,虽然该体系完整、经典,但教材的形式、内容、方法在几十年内几乎没有什么变化,已经难以适应现代工程力学的需要,尤其对于应用型本科高校,更需要侧重于学生实际问题能力的培养,特别在计算能力及分析能力方面。

2014年合肥学院模块化教学改革获得了国家级教学成果一等奖,也是安徽省高等教育的重大突破。工程力学这个模块,作为机械设计制造及其自动化和材料成型及控制工程专业的模块化培养方案的一个专业基础模块,其教学效果直接关系到后续模块的教学,有着重要的作用。因此,从工程需要的能力出发,对工程力学进行了模块化教学改革,其思路如下图:



为此,通过模块化改革,变知识输出为能力输出,针对原来的静力学和材料力学课程,本书通过知识重构进行了以下改革:

(1) 针对研究对象,引入工程常用构件,包含综合使用的构件,如组合变形杆、连接件、曲杆、刚架及桁架,使学生知道学之所用及如何应用,为学生建立工程模型的概念,以培养学生力学方面的兴趣,增强学习的目的性和目标性。

(2) 在内容方面,从横向比较到纵向深入,将拉压、剪切、扭转及弯曲四大基本变形相近的内容如内力、应力、变形进行重组,先横向比较,再纵向深入,形成单独的三章,即“工程常用构件的变形及其内力分析”、“工程常用杆件的强度分析”、“轴和梁的刚度设计分析”,便于学生通过横向比较,增强学习能力,同时加上实际工程案例进行力学模型、数学模型、算

法模型的分析、解决,有助于加深学生从力学现象到力学本质的认识,并体会到相应知识的应用。

(3) 在教法、学法方面,以学生为本,以解决工程问题为目的,将问题式、讨论式、自主式等教学模式融入教材,突破“老师先讲、学生后学练”的传统式做法。通过工程或生活问题引导,激发学生的兴趣,形成“学生团队先学—教师精讲—学生再学—教师辅导”的循环递进模式,以培养学生的自主学习能力,锻炼合作交流能力。

(4) 在工程图形的处理方面,改变当前的平面式、简化式做法,实行三维式、实景式处理;摒弃简化的平面图模型,以实际三维模型为基础,强化真实感。

(5) 在计算方面,改变传统的手算,通过 Matlab 编程,实现求解过程程式化,将学生从大量繁琐的计算中解放出来,既培养了学生的学习能力,又提高了学生的逻辑思维能力,并且提高了计算准确度和速度,为进行复杂的工程计算打下了基础。

总之,本书以学生为本,从研究对象、内容、教学模式、工程问题的处理以及计算手段方面,进行了一些新的尝试,强化培养学生自主学习的能力及解决工程问题的能力。

参加本书编写的人员有:上海电力学院的纪冬梅(第1章、第2章、第3章),合肥学院的徐启圣(第4章、第5章、第6章),三联学院的王艳梅(第7章、第8章),上海电力学院的袁斌霞(第9章、第10章),上海电力学院的李敏(第11章、第12章)。同时,许泽银教授、赵茂俞教授、张远斌教授、谭敏教授对本书的编写提出了许多宝贵建议,管正华、张哲等同学参与了部分例题、习题的绘图及相关资料的收集,在此均表示感谢。

由于时间、能力所限,书中难免存在不足之处,请读者不吝指正。

编 者

2017年7月于合肥

目 录

绪论	1	1.5.3 力偶等效定理	27
0.1 生活中的力学	1	1.5.4 力偶矩矢的合成	27
0.2 工程中的力学	3	1.6 物体受力及变形分析	27
0.2.1 工程背景	3	1.6.1 三种常见载荷形式	27
0.2.2 工程力学的内容	4	1.6.2 物体的受力分析	27
0.2.3 研究方法	5	1.6.3 变形固体的基本假设	29
0.3 工程力学能力的养成	5	1.6.4 四种基本变形	29
0.3.1 树立工程团队意识	5	1.7 典型工程案例的编程解决	30
0.3.2 用数学建立力学模型	5	1.8 小组合作解决问题	32
0.3.3 勇于尝试、积极应用	6	习题	33
阅读材料——工程力学的昨天、今天和明天	6	第2章 力系及其平衡	36
第1章 静力学基础	14	2.1 主矢·主矩	37
1.1 静力学的基本概念	15	2.2 力系的简化	37
1.1.1 力	15	2.2.1 力线平移定理	37
1.1.2 刚体	15	2.2.2 平面力系的简化	38
1.2 静力学公理和定理	15	2.2.3 空间力系的简化	41
1.2.1 二力平衡公理	15	2.3 力系的平衡	43
1.2.2 加减平衡力系公理	16	2.3.1 平面力系的平衡	44
1.2.3 力的平行四边形公理	16	2.3.2 空间力系的平衡	46
1.2.4 作用和反作用公理	17	2.3.3 干摩擦的平衡	48
1.3 约束和约束力	18	2.4 计算机编程求解平衡问题	54
1.3.1 柔性约束	18	2.5 小组合作解决工程问题	56
1.3.2 光滑接触面约束	19	2.6 典型工程案例的编程解决	57
1.3.3 光滑圆柱铰链约束	19	习题	60
1.3.4 辊轴支座	20	第3章 平面图形的几何性质	68
1.3.5 球铰链	21	3.1 静矩	69
1.3.6 固定端约束	21	3.2 形心	69
1.3.7 轴承约束	22	3.2.1 积分法	69
1.4 力矩	22	3.2.2 组合法	70
1.4.1 力对点之平面矩	22	3.3 惯性矩·惯性积·惯性半径	72
1.4.2 力对点之空间矩	23	3.3.1 惯性矩	72
1.4.3 力对轴之矩	23	3.3.2 惯性积	74
1.4.4 合力矩定理	24	3.3.3 主惯性轴和主惯性矩, 形心主惯性轴和形心主惯性矩	76
1.5 力偶与力偶矩矢	26	3.3.4 平行移轴公式	76
1.5.1 力偶	26	3.4 转轴公式	78
1.5.2 力偶矩矢	26		

习题	80	5.1.3 许用应力及安全系数	154
第4章 工程常用构件的变形及其内力分析	83	5.1.4 横截面应力	156
4.1 工程常用构件	85	5.1.5 斜截面应力	157
4.1.1 拉压杆	86	5.1.6 圣维南原理·应力集中	158
4.1.2 剪切杆	86	5.1.7 强度条件及其应用	160
4.1.3 扭转轴	87	5.2 剪切、挤压及其实用计算	162
4.1.4 弯曲梁	87	5.2.1 剪切及其实用计算	162
4.1.5 拉弯组合杆	89	5.2.2 挤压及其实用计算	163
4.1.6 偏心压弯杆	89	5.3 扭转切应力及强度设计	165
4.1.7 弯扭组合杆	90	5.3.1 纯剪切·切应力互等	165
4.1.8 连接件	91	5.3.2 剪切胡克定律	166
4.1.9 组合杆/多轴杆——曲杆·刚架·桁架	93	5.3.3 扭转的切应力公式	167
4.2 内力的求解方法	96	5.3.4 应力集中	170
4.3 拉压内力——轴力	98	5.4 弯曲正应力及强度设计	172
4.3.1 轴力	98	5.4.1 纯弯曲正应力	173
4.3.2 轴力图	99	5.4.2 细长梁弯曲正应力	176
4.4 扭转内力——扭矩	101	5.4.3 纯弯曲正应力强度设计	177
4.4.1 外力偶矩	101	5.5 弯曲切应力及强度设计	180
4.4.2 扭矩	102	5.5.1 矩形截面梁弯曲切应力	180
4.4.3 扭矩图	103	5.5.2 工字截面梁弯曲切应力	182
4.5 弯曲内力	105	5.5.3 圆形截面梁弯曲切应力	185
4.5.1 剪力·弯矩	105	5.5.4 横力弯曲时梁的强度条件及应用	185
4.5.2 剪力图·弯矩图	108	5.6 提高梁强度的措施	186
4.5.3 剪力、弯矩和载荷集度、集中载荷的微积分关系及应用	113	5.7 典型工程案例的编程解决	190
4.6 组合内力——静定曲杆·刚架·桁架内力	118	5.8 小组合作解决工程问题	190
4.6.1 曲杆内力	118	习题	197
4.6.2 静定平面刚架内力	120	第6章 轴和梁的刚度设计/分析	214
4.6.3 静定桁架内力	122	6.1 轴向拉压杆的刚度设计	215
4.7 典型工程案例的编程解决	129	6.1.1 轴向变形与胡克定律	215
4.7.1 基本原理	129	6.1.2 横向变形与泊松比	216
4.7.2 Matlab 编程计算弯曲内力的原理	131	6.1.3 位移	217
4.8 小组合作解决工程问题	137	6.2 扭转刚度设计	219
习题	137	6.3 弯曲变形	223
第5章 工程常用杆件的强度分析	146	6.3.1 弯曲变形的的基本参数	223
5.1 拉压应力及强度设计	148	6.3.2 用积分法求弯曲变形	224
5.1.1 材料在拉伸时的力学性能	148	6.3.3 求弯曲变形的叠加法	229
5.1.2 材料在压缩时的力学性能	153	6.3.4 弯曲刚度	233
		6.3.5 刚度的合理设计	233
		6.3.6 提高弯曲刚度的措施	234
		6.4 典型工程案例的编程解决	235
		6.5 小组合作解决工程问题	237

习题	242	习题	281
第 7 章 应力状态和强度理论	248	第 9 章 压杆稳定	284
7.1 基本概念	249	9.1 压杆稳定的概念	284
7.1.1 一点处的应力状态	249	9.2 压杆的临界荷载欧拉公式	286
7.1.2 一点处应力状态的表示方法	250	9.2.1 两端铰支细长压杆的临界荷载	286
7.1.3 一般应力状态下强度条件的建立方法	251	9.2.2 其他约束下细长压杆的临界荷载	288
7.2 平面应力状态下的应力分析	251	9.3 欧拉公式的适用范围、经验公式与临界应力总图	290
7.2.1 解析法	251	9.4 压杆的稳定性校核	293
7.2.2 几何法——应力圆法	255	9.5 提高压杆承载能力的措施	296
7.3 空间应力状态下的应力分析	258	习题	297
7.3.1 任意截面上的应力	258	第 10 章 能量法	303
7.3.2 最大切应力及其方位	259	10.1 概述	303
7.4 广义胡克定律	260	10.2 杆件的应变能计算	304
7.4.1 广义胡克定律概述	260	10.3 互等定理	308
7.4.2 总应变能密度	262	10.4 莫尔积分及图乘法	310
7.5 强度理论	263	习题	314
7.5.1 第一强度理论——最大拉应力准则	264	第 11 章 超静定结构	317
7.5.2 第二强度理论——最大拉应变准则	264	11.1 超静定系统概述	318
7.5.3 第三强度理论——最大切应力准则	264	11.2 用力法解超静定结构	320
7.5.4 第四强度理论——畸变能密度准则	264	11.3 对称及反对称性质的利用	325
7.5.5 四种强度理论的适用范围	265	11.4 连续梁及三弯矩方程	328
7.6 典型工程案例的编程解决	266	习题	331
7.7 小组合作解决工程问题	267	第 12 章 交变应力与疲劳强度	334
习题	268	12.1 交变应力与疲劳失效	334
第 8 章 组合变形	271	12.1.1 交变应力	334
8.1 组合变形概述	271	12.1.2 疲劳	337
8.2 斜弯曲	272	12.2 疲劳极限及其影响因素	338
8.3 拉伸(压缩)和弯曲的组合变形	274	12.2.1 疲劳极限	338
8.3.1 轴向荷载与横向荷载同时作用	274	12.2.2 影响疲劳极限的因素	339
8.3.2 偏心加载	275	12.3.3 提高构件疲劳强度的措施	342
8.4 弯曲和扭转的组合变形	276	12.3 构件的疲劳强度计算	343
8.5 典型工程案例的编程解决	279	习题	346
8.6 小组合作解决工程问题	279	附录 常用型钢规格表	349

绪 论

0.1 生活中的力学

众所周知,今天的工程基础,在很大程度上来源于牛顿提出的力学基本原理,而实际上,这又起因于生活中对工具的需要、制造和使用。可见,工程来源于生活,其中,最原始的莫过于人类狩猎中对工具的使用,如图 0-1 中的原始人狩猎时使用树枝削成的树矛,刺杀猎物。

如图 0-2 所示,人类赖以生存的房屋,更是力学应用的典范。其中,用到了多种力学结构,如砖混结构、框架及剪力结构(见图 0-3 和图 0-4),经过逐步改进,提高强度和刚度,起到防风雨、保暖及抗震的作用,从而保护人身和财产安全。



图 0-1 原始人狩猎



图 0-2 河姆渡“干栏式”建筑,类似吊脚楼



图 0-3 砖混结构



图 0-4 框架及剪力结构

此外,生活中最为常见的厨具,如菜刀、剪刀等,如图 0-5~图 0-8 所示,都是借用金属的强度,通过巧妙的结构,使用均布载荷、杠杆原理,达到省力的效果,为生活带来方便。

在教学过程中,粉笔灰在黑板附近飞舞,粉笔灰为什么悬浮于空中而不下落? 一是粉笔

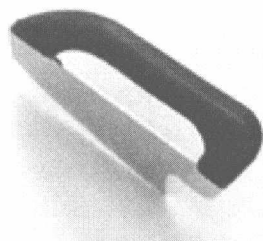


图 0-5 省力菜刀

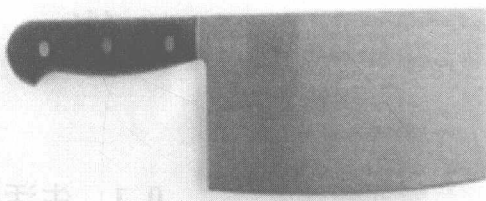


图 0-6 常规菜刀

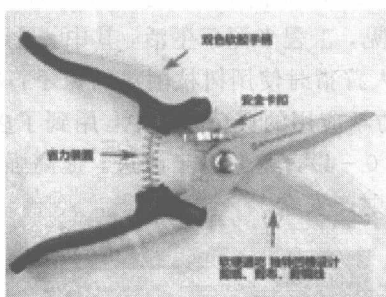


图 0-7 省力剪刀

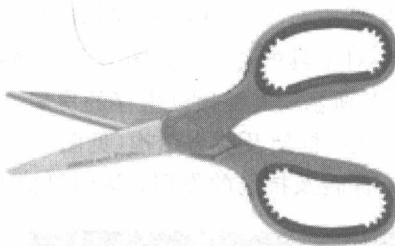


图 0-8 常规剪刀

灰降落速度缓慢(由斯托克斯公式可知,球形物体降落速度与球形物体的半径的平方成正比,即 $v \propto r^2$, 粉笔灰可视为尺寸很小的球形颗粒,所以其降落速度很小);二是粉笔灰易于随气流运动(由动量定理可知, $F\Delta t = mv$, 粉笔灰颗粒质量 $m = \rho \cdot 4\pi r^3/3$, 所以 $\Delta t \propto r$, 即粉笔灰颗粒达到气流速度所需时间与其尺寸成正比,粉笔灰颗粒很细小,可很快达到气流速度)。

类似的例子还有很多,如:

- (1) 塑料包装袋一般都会有个小切口,为什么在切口处能把袋子轻易地撕开?
- (2) 为什么双杠的支柱不在两端,而是离端点有一段距离?
- (3) 一张纸条用手指很容易扯断,也容易撕裂,但为什么用手指剪不断?
- (4) 拿一支长粉笔,开始时容易拉断成两截,再拉断断开的两截,依次类推,发现越来越难拉断,为什么?

(5) 魔术四连环(见图 0-9)中,四个钢环看似无缝,为什么能串在一起?

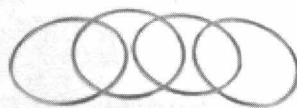


图 0-9 魔术四连环

(6) 民间艺术飘色(见图 0-10),集戏剧、魔术、杂技、音乐、



图 0-10 飘色——“天下第一桌”

舞蹈于一体,其中“天下第一桌”被称为吉尼斯飘色之最。图中,众人不在一个平面上,且都由一张桌子支撑,这是怎么实现的?

0.2 工程中的力学

0.2.1 工程背景

随着制造业的振兴,现代科技日新月异,其中力学起到了无法替代的作用,尤其在 20 世纪前,蒸汽机、内燃机、铁路、桥梁、船舶等的研发和使用,推动了近代科学技术的更新与社会发展,这些助推器都是在力学知识的积累、研究和应用的基础上逐步形成和发展的。

近代出现的高新技术群,如图 0-11~图 0-13 所示,高层建筑、大型桥梁、精密仪器、航空航天器、机器人、高速列车、核反应堆工程、电子工程、计算机工程以及大型水利工程等,更是工程力学成功应用的代表。



图 0-11 鸟巢

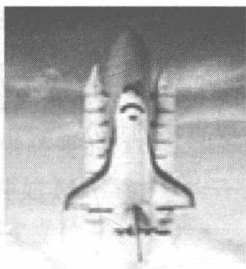


图 0-12 航天飞船

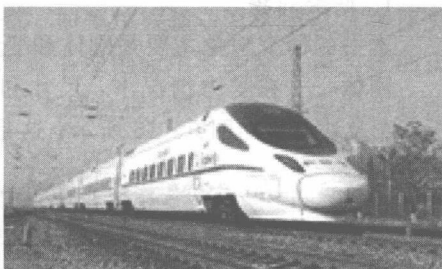


图 0-13 动车

在机械工程方面,工程力学的应用更是广泛,如带轮传动、齿轮传动中的带轮、齿轮(如图 0-14、图 0-15 所示)的结构强度、刚度及其尺寸设计。

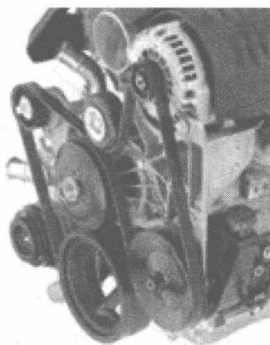


图 0-14 带轮传动

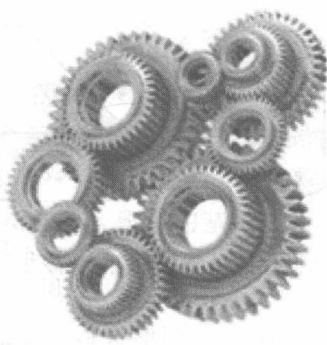


图 0-15 齿轮传动

同样,应当考虑的力学问题如果没有及时关注,将会产生灾难。如 1998 年 6 月 3 号,让德国人引以为豪的快速列车突然出轨,造成 102 人死亡,88 人重伤。为什么会造成这个事故呢?调查发现,定位车轮的卡箍发生了破坏,当火车穿过高速公路桥梁的时候,破坏的卡箍碰到桥梁,产生一个侧向力引起火车出轨,切断了高速公路的桥的桥墩,导致高速公路下塌,压住火车车厢,造成 102 人当场遇难。(卡箍所发生的破坏正是力学中的疲劳断裂。)

1986年1月28号,美国挑战者号航天飞机升空仅仅1分12秒就发生了爆炸。经过美国太空总署的调查发现,导致这起事故的罪魁祸首居然是一个小小的橡皮圈,原来在研制这个橡皮圈的时候,没有考虑到温度对材料力学特性的影响,这个橡皮圈的失效实际上就是其力学性能的失效(材料的力学性能)。

0.2.2 工程力学的内容

由前述可知,工程力学的内容极其广泛,包含刚体力学、固体力学、流体力学等,其中刚体力学又分为静力学和运动动力学,固体力学一般包括材料力学、弹性力学、塑性力学等部分,但本书主要指静力学和材料力学,其中:

静力学(analysis of engineering)——研究物体平衡的一般规律,包括物体的受力分析、力系的简化方法、力系的平衡条件。

材料力学(mechanics of materials)——研究材料在各种外力作用下产生的应变、应力、强度、刚度、稳定和导致各种材料破坏的极限。

1. 研究对象

本书的研究对象主要是刚体和变形体。

刚体——在受力情况下,尺寸和形状都几乎保持不变的工程构件,如杆、梁、轴、柱、板、壳及块等,如图0-16所示。这是理想化的情况。

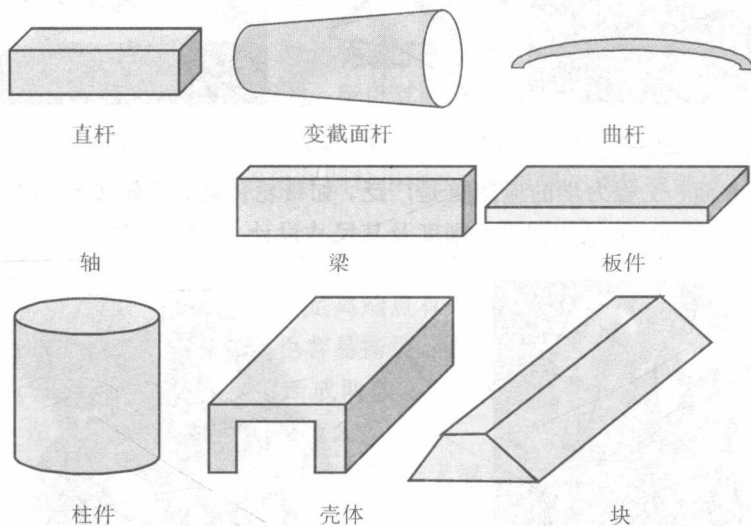


图0-16 工程构件

变形体——受力时,几何形状和尺寸都发生变化的工程构件。当研究力和变形规律时,变形即使很小也不能忽略,但当研究平衡问题时,大部分情形下可将变形体视为刚体进行研究。

2. 研究任务

具体到工程构件,主要通过静力学分析研究其受力状况,再通过材料力学进行由外而内的分析,确定构件的尺寸、形状及最大载荷等,其目的是防止发生失效或破坏。这种失效主要有强度失效、刚度失效、稳定失效或疲劳失效等。

强度失效——在外力作用下,构件发生不可恢复的塑性变形或断裂。

刚度失效——在外力作用下,构件发生过量的弹性变形。

稳定失效——构件在轴向压力作用下,不能恢复其平衡状态。

疲劳失效——在反复载荷作用下,构件没有发生明显的变形而突然断裂的现象。

因此,从构件功能角度来说,工程力学对工程实践的贡献,在于以下三个方面:

- (1) 受力分析,确定构件所受的外部荷载。
- (2) 研究构件在外力作用下引起的内力、变形和失效的规律。
- (3) 确定构件不发生失效,即确保足够强度、刚度和稳定性的准则。

0.2.3 研究方法

目前,研究工程力学的方法主要有三种:理论推导(解析法)、实验分析及计算机仿真。

(1) 理论推导:也就是对构件进行受力平衡分析,由外而内确定其危险面、危险点,再根据失效准则,从理论方面确定许可载荷、截面设计、安全性。

(2) 实验分析:通过专门的仪器测定材料的性能参数,如弹性模量、泊松比以及物性关系等,进行综合性和研究性实验,以验证基本工程力学的基本理论应用于实际工程问题的正确性,确定适用范围。同时,当工程问题模型非常复杂,基本理论难以解决时,可通过实验建立合适的简化模型,为理论分析提供必要的基础。

(3) 计算机仿真:借助仿真软件如 Matlab、ANSYS、Maple 以及 Mathematic 等,对实际工程问题应用工程力学基础理论来建立仿真模型,以确定微观层次的力学特性,如应力、应变等。

0.3 工程力学能力的养成

0.3.1 树立工程团队意识

首先,熟悉工程问题及其力学性能因素分析,以实际工程为背景,从实际工程问题着手,通过调研,忽略次要因素,确定核心影响因素,简化问题,从而确定需解决的关键内容,以及应采用的技术手段。其次,对解决方法进行比较和选择,有时甚至需要发挥创新精神,创造新的力学方法、计算方法来解决老问题。例如:牛顿在前人研究的基础上为解决力学问题而提出了微积分;日本核泄漏除了地震因素外,还有设备老化、力学性能下降等原因,给了我们很多的经验和教训。

0.3.2 用数学建立力学模型

力学和数学的联系无比紧密,这要求我们在分析工程(如机械工程、土木工程)方面的力学问题时,先调研工程背景、提出关键问题,再选用数学相关理论(如微积分)和技术手段(计算机软件),建立力学分析模型。可见,需要掌握必要的力学知识基础,如静力学分析、材料力学、运动力学、动载荷、疲劳失效、稳定性等,在数学工具的帮助下,发挥主动性和创造性,解决问题,并具备力学思维能力,其分析思路如图 0-17 所示。

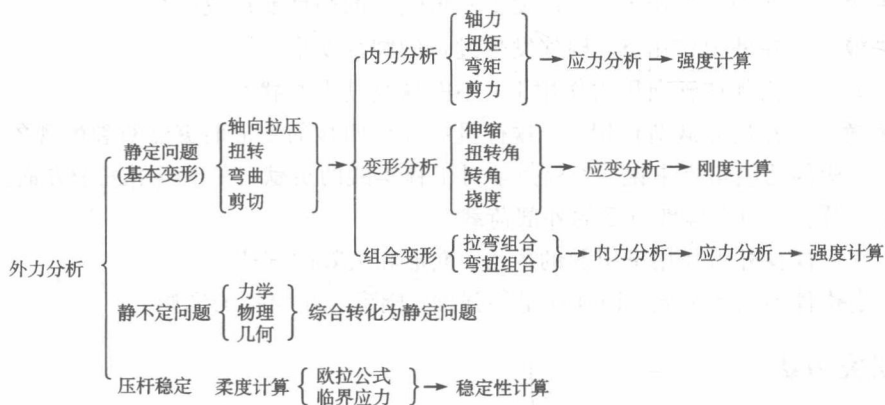


图 0-17 材料力学分析思路

0.3.3 勇于尝试、积极应用

积极思考实际工程问题和理论知识的联系。除了从生活中发现力学应用外，还可从更深层次进行力学实践，如机械小零部件的设计、力学竞赛的参与、实际项目的锻炼等，以实现从理论知识到应用能力的转变。

阅读材料——工程力学的昨天、今天和明天

一、力学及其体系

力学原本是物理学的一个分支，物理学的建立则是从力学开始的。历史上，人们曾用纯粹力学理论解释机械运动以外的各种形式的运动，如热、光、分子和原子内的运动等。当物理学摆脱了这种机械(力学)的自然观而获得健康发展时，力学则在工程技术的推动下按自身逻辑进一步演化，逐渐从物理学中独立出来。

力学被定义为研究物质机械运动规律的科学。通常理解力学以研究宏观的对象为主，但由于科学的相互渗透，有时也涉及宇观和细观甚至微观各层次中的对象以及有关的规律。机械运动亦即力学运动，是物质在时间、空间中的位置变化，包括移动、转动、流动、变形、振动、波动、扩散等，而静止或平衡则是其中的一种特殊情况。机械运动是物质运动的最基本形式。物质运动还有其他形式，如热运动、电磁运动、原子及其内部的运动和化学运动等。机械运动并不能脱离其他运动独立存在，只是在研究力学问题时，突出地考虑机械运动；如果其他运动对机械运动有较大影响，或者需要考虑它们之间的相互作用，便会在力学同其他学科之间形成交叉学科或边缘学科。力是物质之间的一种相互作用，机械运动状态的变化是由这种相互作用引起的。静止和运动状态不变，都意味着各作用力在某种意义上的平衡。

现代力学内容非常丰富，分支众多，如图 0-18 所示。

二、经典力学的起源与建立

在阿基米德生活的年代之前几千年，人们就开始用杠杆、斜面、滑轮、重心等为生产实践服务。如在埃及第十九王朝底比斯伊普伊墓中的壁画中就有桔槔汲水图(见图 0-19)。这种在中国称为桔槔的灌溉器械，整体应用了杠杆知识，尖底水桶应用了重心变化的知识，入

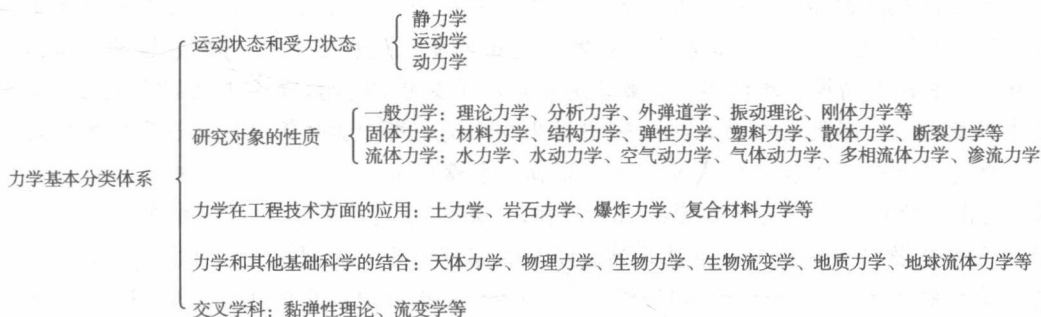


图 0-18 力学基本分类体系

水时自动倾斜，水满时自动垂直。我国西安半坡遗址(公元前 3000 多年)出土的汲水壶也是尖底的形式。在埃及的胡夫金字塔的建造过程中已使用了滑轮组、斜面。和其他科学学科一样，力学中最简单、最基础的知识，最早起源于对自然现象的观察和在生产劳动中的经验。在长期观察和经验积累的基础上，逐渐形成了一些概念，然后对一些现象的规律进行描述。我国的《墨经》(公元前 4—前 3 世纪)中涉及外力的概念、杠杆平衡、浮力、强度和刚度的叙述。在亚里士多德(公元前 384—前 322 年)的著作中有关于杠杆平衡的见解。阿基米德对杠杆平衡、物体重心位置、物体在水中受到的浮力等作了系统的研究，确定了它们的基本规律。他在研究杠杆平衡、平面图形重心位置时，先建立一些公式，而后用数学论证的方法导出一些定理。成果之一是用类似求和再取极限的方法，求出一个抛物线和它们两平行弦(与抛物线斜交)所围成平面图形面积的重心位置。他关于杠杆的结论之一是：不等距的等重不能平衡，杠杆将向距离较大的一侧倾斜，并得出杠杆平衡条件是两臂长度同其上的物体重量成反比。这就是静力平衡的几何学方法的开端，经一千年的发展后演化为力矩表达的平衡条件。

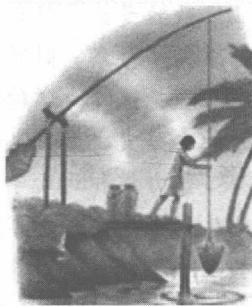


图 0-19 桔槔汲水

古代对机械运动的描述只限于匀速直线和均速圆周运动。亚里士多德认为行星轨道应是圆；托勒密在《天文学大成》(公元 140 年左右)的地心说中认为太阳绕地球作匀速圆周运动，行星又绕太阳作匀速圆周运动。古希腊以后，欧洲和西亚、南亚地区由于农奴制或宗教的束缚，在近 2000 年中生产停滞不前，力学的发展几乎停顿。

文艺复兴给欧洲的科学技术发展带来了勃勃生机。F. 培根所倡导的实验科学开始兴起，技术上工匠传统和学者传统趋于结合。17 世纪中叶，欧洲各国纷纷成立科学院。商业和航海迅速发展，航海需要天文观测，好几个国家悬赏征求解决经度的测定问题，天文观测和对天体运行规律的研究受到重视。哥白尼的《天体运行论》出版(1543 年)后，日心说冲击着托勒密的地心说。从力学学科本身来说，由于天体运动比地上物体的受力和运动更单纯，天文观测比当时地面上实验更便于揭示力和运动之间的关系，因此，力学中的规律往往首先在天体运行研究中被发现。

17 世纪和 18 世纪是经典力学创立和完善的时期。意大利天文学家、力学家、哲学家伽利略(1564 年—1642 年)研究了地面上自由落体、斜面运动、抛射体运动等，建立了加速度的概念并发现了匀加速运动的规律。他采用科学实验和理论分析相结合的方法，指出了亚里士

多德关于运动观点的错误,并竭力宣扬日心说。他在1638年出版的《关于两门新科学的谈话和数学证明》是动力学的第一本著作。他曾非正式地提出过惯性定律和外力作用下物体的运动规律,为牛顿正式提出运动第一、第二定律奠定了基础。因此,在经典力学的创立上,伽利略是牛顿的先驱。惠更斯在动力学研究中提出向心力、离心力,转动惯量、单摆的摆动中心等重要概念。开普勒总结出行星运动的三定律,牛顿(1642年—1727年)继承和发扬了这些成果,提出了物体运动三定律和万有引力定律。牛顿运动定律是就单个自由质点而言的,J. le R. 达郎伯把它推广到受约束质点的运动。J. L. 拉格朗日进一步研究受约束质点的运动,并把结果总结在他的著作《分析力学》(1788年出版)中,分析力学从此创立。此前,L. 欧拉建立了刚体的动力学方程(1758年)。至此,以质点系和刚体的运动规律为主要研究对象的经典力学臻于完善。

欧拉是继牛顿之后对力学贡献最多的学者,他列出了刚体运动的运动方程和动力学方程并求得一些解;同时,他对弹性稳定性作了开创性研究,并开辟了流体力学的理论分析,奠定了理想流体力学的基础,在这一时期经典力学的创立和下一时期弹性力学、流体力学成长为独立分支之间,他起着承上启下的作用。

静力学和运动学可以看做动力学的组成部分,但又具有其独立特征。它们在动力学之前产生,又可看做是动力学产生的前提。直到19世纪,人们才把力学明确分为静力学、运动学和动力学三个部分。

R. 胡克1660年在实验室中发现了弹性体的力和变形之间的关系,建立了弹性体胡克定律。B·帕斯卡指出了不可压缩静止流体各向压力(压强)相同。牛顿在《自然哲学的数学原理》(1687年出版)中指出了流体阻力与速度差成正比,这是黏性流体剪应力与剪应变之间成正比关系的最初形式。1636年M. 梅森测量了声音的速度。R. 波意耳于1662年和E. 马略特于1676年各自独立地建立了气体压力和容积关系的定律。所有这些,为后来的弹性力学、黏性流体力学、气体力学等学科的出现做了准备。与此同时,有关材料力学、水力学的奠基工作亦已开始。马略特在1680年做了梁的弯曲试验,并发现了变形与外力的正比关系。伯努利和欧拉在弹性梁弯曲试验问题中假定弯矩和曲率成正比,伯努利还在流体力学中导出能量关系式,第一次采用水动力学一词。

19世纪,欧洲主要国家相继完成了产业革命,以机器为主体的工厂代替了手工业和工场手工业,大机器生产对力学提出了更高的要求,各国加强了科学研究机构。在建立了经典力学之后,物理学的前缘逐渐移向热力学和电磁学。能量守恒和转换定律的确立开始冲击机械的(即力学的)自然观。客观现实社会环境促进了力学在工程技术和应用方面的发展。同时,一些学者又竭力实现力学体系的完善化,把力学和当时蓬勃发展的数学理论广泛地结合起来,促使力学原理的应用范围从质点系、刚体扩大到可变形的固体和流体,而前一历史时期取得的研究成果则为此准备了条件。弹性固体和黏性流体的基本方程的建立,标志着力学从物理学中走出来。19世纪力学的主要分支都完成了建立过程。

19世纪固体方面的力学发展,除了材料力学更趋完善,随着大型复杂工程结构的出现,逐渐发展出解决杆件系统问题的结构力学之外,主要是数学弹性力学的建立。材料力学、结构力学与当时的土木建筑、机械制造、交通运输等密切相关,而弹性力学在当时很少有直接的应用背景,主要是为探索自然规律而作基础研究。

这一时期内有关流体方面的力学发展情况类似于固体方面,在实践的推动下水力学发展