

工程力学

主编 韩灵杰 唐华瑞

GONGCHENG LIXUE



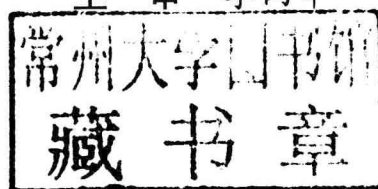
电子科技大学出版社

高职高专规划教材

工程力学

主 编 韩灵杰 唐华瑞

主 审 李丙申



电子科技大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

工程力学 / 韩灵杰, 唐华瑞主编. —成都: 电子科技大学出版社, 2013. 1
ISBN 978-7-5647-1404-8

I. ①工… II. ①韩…②唐… III. ①工程力学—高等职业教育—教材 IV. ①TB12
中国版本图书馆 CIP 数据核字(2012)第 315388 号

内 容 提 要

本书为高职高专土建类工程力学教材。全书共十四章,涵盖了理论力学中的静力学和材料力学两门课程的主要内容。内容有:基本概念与物体的受力分析方法、平面汇交力系与平面力偶系、平面任意力系、空间力系、材料力学基本知识、轴向拉伸与压缩、连接的实用计算、扭转、梁的内力、梁的应力及强度计算、梁的变形及刚度计算、应力状态与强度理论、组合变形、压杆稳定等。每章后附有思考题、习题及答案,便于读者实施教学和读者自学。

本书紧扣高职高专教学基本要求,力求使工程所需基础理论简单明显,具有精简内容、突出重点之特点。本书注重基本概念的阐述,尽量避免冗长的理论推导与繁琐的数学运算;同时注重加强与工程实际的联系,引入了大量的工程实例,以及与工程有关的例题和习题。

本书可作为高等职业技术学院道桥、房建等土建类专业的教材,也可作为各类成人教育相关专业的工程力学课程教材,同时可供有关工程技术人员参考。

高职高专规划教材

工 程 力 学

主编 韩灵杰 唐华瑞

出 版: 电子科技大学出版社(成都市一环路东一段 159 号电子信息产业大厦 邮编:610051)

策划编辑: 谢应成

责任编辑: 谢应成

主 页: www.uestcp.com.cn

电子邮箱: uestcp@uestcp.com.cn

发 行: 新华书店经销

印 刷: 河北永清县晔盛胶印有限公司

成品尺寸: 170mm×240mm 印张 20.75 字数 418 千字

版 次: 2013 年 3 月第一版

印 次: 2013 年 3 月第一次印刷

书 号: ISBN 978-7-5647-1404-8

定 价: 68.00 元

■ 版权所有 侵权必究 ■

◆ 本社发行部电话: 028-83202463; 本社邮购电话: 028-83208003。

◆ 本书如有缺页、破损、装订错误, 请寄回印刷厂调换。

前 言

本教材是依据教育部关于加强《高职高专教育人才培养工作的若干意见》和《面向 21 世纪教育振兴行动计划》以及《国家示范性高等职业技术学院建设》土建类专业教学对工程力学课程基本理论、基本计算方法的要求而编写的。

在内容安排上,本教材以满足教学要求为目的,力争做到够用、简洁;针对社会对土建类专业应用性、技术性人才的要求,对课程体系进行优化和组合;增加工程中常见实例,使其教学更符合专业培养目标的要求,也有利于学生掌握基本知识和工程实际应用。全书分理论力学和材料力学两部分内容,共十四章,每章后都附有思考题和练习题,有利于加强基础理论知识的应用和基本方法的训练,有助于学生学习和掌握相关知识。

本教材适用于高职高专道桥、房建、监理等土建各类专业教学用书,同时也可作为专业技术人员参考用书。

本教材由韩灵杰编写绪论和第二章、第三章、第四章、第九章、第十章;唐华瑞编写第六章、第七章、第十二章、第十三章、第十四章;许龙扬编写第一章;王东亮编写第五章;韩娟编写第八章;高燕编写第十一章;姬程飞编写附录 A;鲁雷编写附录 B;杨宏伟编写附录 C;书中插图主要由韩灵杰完成。

全书由韩灵杰、唐华瑞担任主编,李丙申教授担任主审。在编写过程中,郑州经贸职业学院张启照老师提出了许多宝贵的意见,郑州交通职业学院工程力学教研室和桥梁工程教研室各位老师给予了大量帮助,在此一并表示感谢。

由于编者水平有限,编写时间仓促,书中难免有疏漏之处,恳请读者批评指正。

编 者

目 录

绪 论	(1)
第一章 基本概念与物体受力分析方法	(11)
第一节 基本概念	(11)
第二节 静力学基本公理	(14)
第三节 力对点之矩	(17)
第四节 力偶	(20)
第五节 力的平移定理	(22)
第六节 工程常见约束与约束反力	(23)
第七节 受力分析与受力图	(28)
思考题	(32)
习 题	(32)
第二章 平面汇交力系与平面力偶系	(35)
第一节 力系的分类	(35)
第二节 平面汇交力系合成与平衡的几何法	(37)
第三节 平面汇交力系合成与平衡的解析法	(39)
第四节 平面力偶系的合成与平衡	(43)
思考题	(45)
习 题	(46)
第三章 平面任意力系	(49)
第一节 平面任意力系向作用面内一点简化	(49)
第二节 平面任意力系的平衡条件及平衡方程	(53)
第三节 物体系统的平衡、静定和超静定问题	(59)
第四节 平面简单桁架的内力计算	(63)
思考题	(68)
习 题	(69)
第四章 空间力系	(73)
第一节 概述	(73)
第二节 力在空间直角坐标轴上的投影	(74)
第三节 力对轴的矩	(76)
第四节 空间力系的平衡	(79)
第五节 物体的重心	(82)

思考题	(88)
习 题	(89)
第五章 材料力学的基本知识	(92)
第一节 变形固体及其基本假设	(92)
第二节 内力与应力	(94)
第三节 变形与应变	(97)
第四节 杆件的变形形式	(99)
思考题	(101)
习 题	(102)
第六章 轴向拉伸与压缩	(103)
第一节 轴向拉伸与压缩的概念及工程实例	(1053)
第二节 轴向拉(压)杆的内力与轴力图	(104)
第三节 轴向拉(压)杆截面上的应力	(108)
第四节 轴向拉(压)杆的强度计算	(112)
第五节 轴向拉(压)杆的变形·虎克定律	(116)
第六节 材料在拉伸和压缩时的力学性能	(119)
思考题	(127)
习 题	(128)
第七章 连接的实用计算	(132)
第一节 概述及工程实例	(132)
第二节 连接的强度计算	(133)
第三节 焊接的实用计算	(137)
思考题	(139)
习 题	(140)
第八章 扭转	(142)
第一节 扭转的概念及工程实例	(142)
第二节 扭转时的内力——扭矩	(144)
第三节 扭转的强度计算	(146)
第四节 圆轴扭转的变形和刚度计算	(153)
第五节 矩形截面杆扭转时的应力简介	(155)
思考题	(157)
习 题	(158)
第九章 梁的内力	(160)
第一节 平面弯曲和梁的形式	(160)
第二节 梁的内力	(162)
第三节 剪力方程和弯矩方程、剪力图和弯矩图	(166)

第四节 剪力、弯矩和荷载集度之间的关系	(171)
第五节 用叠加法画弯矩图	(176)
思考题	(179)
习 题	(180)
第十章 梁的应力及强度计算	(183)
第一节 纯弯曲梁横截面的正应力	(183)
第二节 梁横截面的剪应力	(189)
第三节 梁的强度计算	(196)
第四节 提高梁弯曲强度的措施	(202)
思考题	(206)
习 题	(207)
第十一章 梁的变形及刚度计算	(210)
第一节 弯曲变形的概念	(210)
第二节 积分法计算梁的变形	(212)
第三节 叠加法计算梁的变形	(217)
第四节 梁的刚度计算	(220)
思考题	(225)
习 题	(225)
第十二章 应力状态与强度理论	(228)
第一节 应力状态的概念	(228)
第二节 平面应力状态分析	(230)
第三节 主应力迹线的概念	(235)
第四节 强度理论	(236)
思考题	(241)
习 题	(241)
第十三章 组合变形	(243)
第一节 组合变形的概念和工程实例	(243)
第二节 斜弯曲	(244)
第三节 拉伸(压缩)与弯曲的组合变形	(248)
第四节 偏心压缩(拉伸)	(251)
思考题	(256)
习 题	(257)
第十四章 压杆稳定	(260)
第一节 压杆稳定性的概念及工程实例	(260)
第二节 细长压杆的临界力	(262)
第三节 压杆的临界应力	(264)

第四节	压杆的稳定计算	(267)
第五节	提高压杆稳定性的措施	(271)
思考题	.....	(273)
习 题	.....	(274)
附录 A	截面的几何性质	(277)
第一节	静矩和形心	(278)
第二节	惯性矩、极惯性矩和惯性积	(280)
第三节	平行移轴公式	(285)
第四节	转轴定理、主惯性轴和主惯性矩	(288)
思考题	.....	(289)
习 题	.....	(289)
附录 B	力学实验	(291)
第一节	金属拉伸试验	(291)
第二节	金属压缩试验	(294)
第三节	剪切实验	(297)
第四节	圆轴扭转实验	(298)
第五节	梁的弯曲正应力实验	(301)
附录 C	型钢规格表	(304)
热轧等边角钢(GB9787-88)	.....	(304)
热轧不等边角钢(GB9788-88)	.....	(306)
热轧工字钢(GB706-88)	.....	(308)
热轧槽钢(GB707-88)	.....	(3309)
习题答案	.....	(311)
参考文献	.....	(319)

绪 论

工程力学(engineering mechanics)涉及众多的力学学科分支与广泛的工程技术学科。作为高职高专院校的一门课程,工程力学只是其中最基础的部分。它涵盖了原有“理论力学”中的“静力学”和“材料力学”的主要经典内容,同时,适当地增加了面向 21 世纪的新内容。

工程力学课程不仅与力学密切相关,而且紧密联系于广泛的工程实际。

一、工程与工程力学

20 世纪以前,推动近代科学技术与社会进步的蒸汽机、内燃机、铁路、桥梁等,都是在力学知识的累积、应用和完善的基础上逐渐形成和发展起来的。

20 世纪产生的诸多高新技术,如高层建筑的上海浦东京茂大厦(图 0-1)、大跨度桥梁的宜昌长江公路大桥(图 0-2)、城市地铁的北京地铁(图 0-3)、港口码头的大连港口(图 0-4)以及水利水电工程的长江三峡工程(图 0-5)等许多重要工程更是在工程力学指导下得以实现,并不断发展完善的。

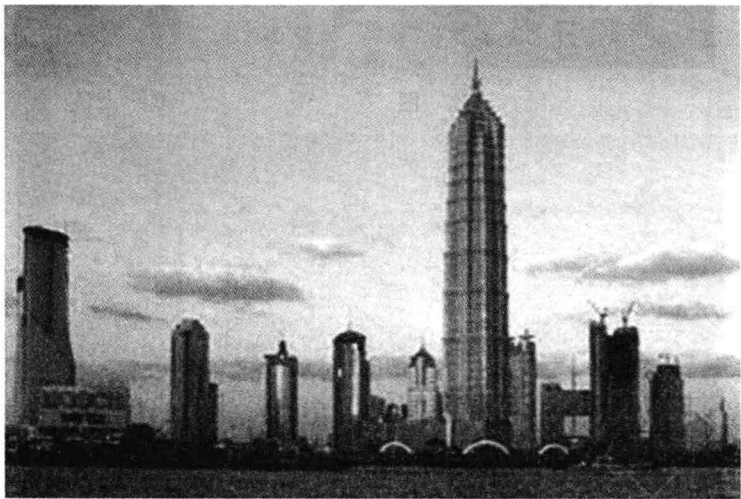


图 0-1



图 0-2



图 0-3



图 0-4

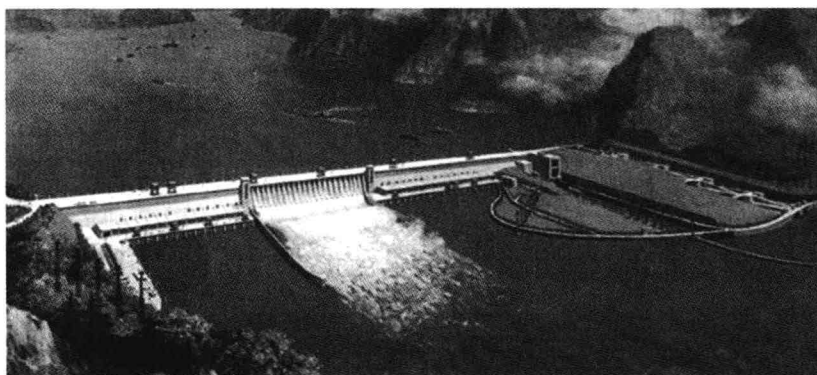


图 0-5

在道路桥梁工程、房屋建筑工程等土建工程中,有大量的建筑物,如桥梁、涵洞、房屋、水工结构物都是由构件(梁、桁架、拱、墙、柱、基础等)所组成的。这些构件在建筑物中互相支承、互相约束,直接地或间接地、单独地或协同地承受各种荷载作用,构成了一个结构整体建筑结构。建筑结构的骨架是建筑物赖以存在的物质基础,它的质量好坏,对于建筑物的适用、安全和使用寿命等具有决定性的作用。

《工程力学》(engineer mechanics)是为建筑结构提供受力分析方法和计算理论依据的一门学科,是道路、桥梁及土建类各专业的一门重要的技术基础课。

二、工程力学的主要内容与分析模型

1. 工程力学的主要内容

工程力学所包含的内容极其广泛,本书所讨论的“工程力学”只包含工程静力学(analysis of engineering statics)和材料力学(mechanics of materials)两部分。

工程静力学研究作用在物体上的力及其相互关系。材料力学研究在外力的作用下工程基本构件内部将产生什么力,这些力是怎样分布的,将发生什么变形,以及这些变形对于工程构件的正常工作将会发生什么影响。

工程力学的基本任务有两个:其一是对处于平衡状态的物体进行静力分析。若物体相对于地球静止或做匀速直线运动,则称为物体处于平衡状态。物体处于平衡状态时,作用于物体上所有的力必须满足一定的条件,称为平衡条件。根据这种平衡条件可以由作用于物体上的已知力求出未知力,这一过程称为静力分析。其二是研究构件的强度、刚度和稳定性。

工程构件(泛指结构元件、机器的零件和部件等)在外力作用下丧失正常功能的现象称为**失效**(failure)或破坏。工程构件的失效形式很多,但工程力学范畴内的失效通常可分为三类:**强度失效**(failure by lost strength)、**刚度失效**(failure of lost rigidity)和**稳定失效**(failure of lost stability)。

工程设计的任务之一就是保证构件在确定的外力作用下正常工作而不发生强度失效、刚度失效和稳定失效,即保证构件有足够的强度(strength)、刚度(rigidi-

ty)与稳定性(stability)。针对上述三种情况,对构件正常工作的要求可以归纳为如下三点:

(1)在荷载作用下构件应不至于被破坏(破裂)或不产生塑性变形,即应具有足够的强度;

(2)在荷载作用下构件所产生的弹性变形应不超过工程上允许的范围,也就是要具有足够的刚度;

(3)承受荷载作用时,构件应保持原有的平衡方式,也就是要满足稳定性的要求。

例如,工业厂房吊车梁(如图 0-6 所示),如果强度不够,就会折断(断裂)或折弯(塑性变形);如果刚度不够,吊车梁即使不发生断裂或者折弯,也会产生过大弹性变形,从而影响吊装的精度,甚至产生振动,影响吊车梁的使用寿命。

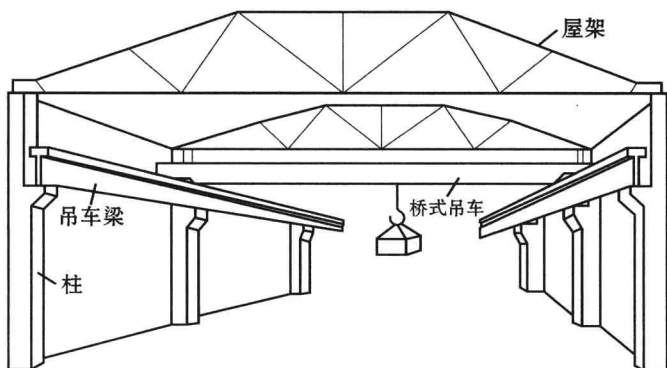


图 0-6

稳定失效的例子多见于承受轴向压力的工程构件。如图 0-7 所示为翻斗货车的液压机构中的顶杆,如果承受的压力过大,或者过于细长,就有可能突然由直变弯,发生稳定失效。

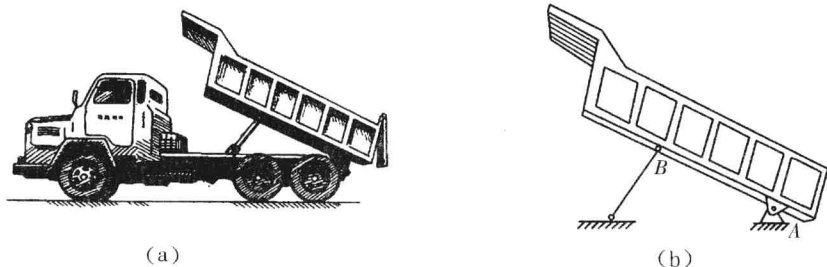


图 0-7

为了完成常规的工程设计任务需要进行以下几个方面的工作:

(1)分析并确定构件所受各种外力的大小和方向。

(2)研究在外力作用下构件的内部受力、变形和失效的规律。

(3) 提出保证构件具有足够强度、刚度和稳定性的设计准则与设计方法。
工程力学课程就是讲授完成这些工作所必需的基础知识。

2. 工程力学的两种分析模型

工程实践中各种各样的物体都是由若干构件按照一定的规律组合而成的,故称为结构(structure),工程结构及其构件都是工程力学的研究对象。

工程力学的研究对象往往比较复杂,在对其进行力学分析时,首先必须根据研究问题的性质,抓住其主要特征,忽略一些次要因素,对其进行合理的简化,科学地抽象出力学模型。

固态物体(固体)在力的作用下都将发生变形,但在大多数工程问题中这种变形是极其微小的。在研究物体的平衡问题时,将它略去不计,而认为物体不发生变形,不会影响计算结果的精确性。这种在力的作用下形状、大小保持不变的物体称为刚体(rigid body),它是一种理想的力学模型。静力学研究的对象就是刚体,静力学一般称为刚体静力学。

当分析强度、刚度和稳定性问题时,由于这些问题都与变形密切相关,因而即使是极其微小的变形也必须加以考虑,这时就必须把物体抽象为变形固体(deformation solid)这一理想的力学模型。这正是材料力学研究的问题。

当研究作用在物体上的力与变形规律时,即使变形很小,也不能忽略。但是在研究变形问题的工程中,当涉及平衡问题时,大部分情况下依然可以沿用刚体模型。

例如,如图 0-8(a)所示之塔式起吊重物后,组成塔吊的各个杆件都要发生变形,这时可以认为塔吊是变形固体;但是,如果仅仅研究保持塔吊平衡时重物重量与配重之间的关系时,又可以将塔吊整体视为刚体,如图 0-8(b)所示。

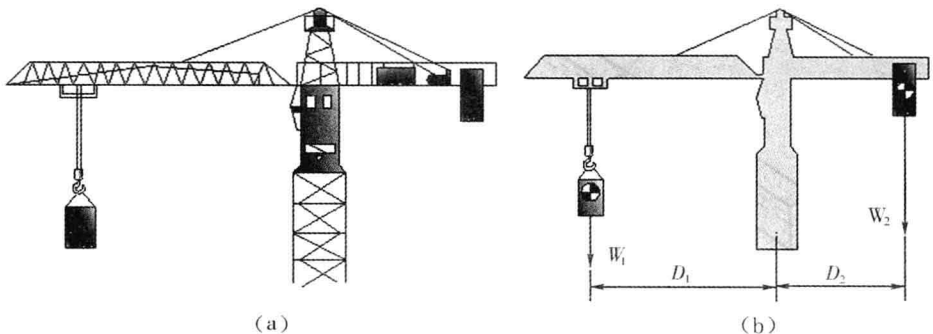


图 0-8

工程构件的形式各式各样,但根据其几何形状和几何尺寸可以大致分为杆、板、壳和块体等几类。

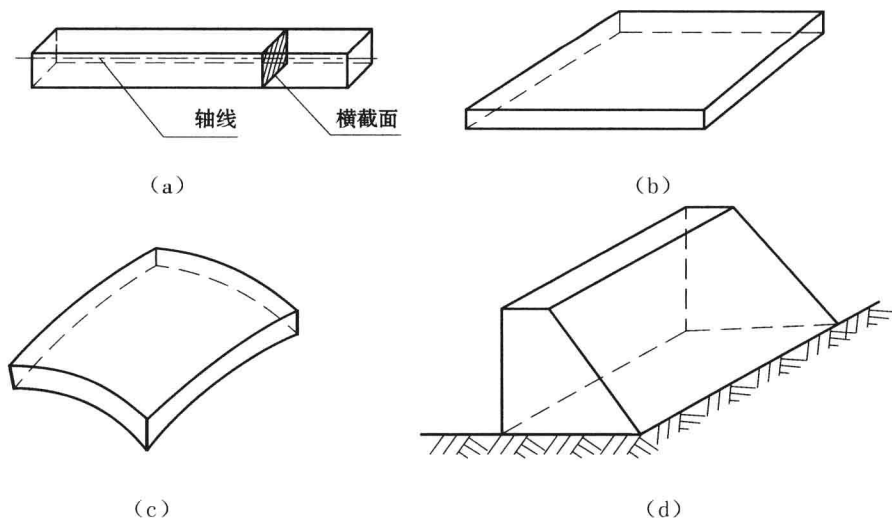


图 0-9

(1) 若构件在某一方向上的尺寸比其余两个方向上的尺寸大得多,则称为杆(bar)(图0-9(a))。梁(beam)、轴(shaft)、柱(column)等均属杆类构件,它们都可抽象为直杆。

直杆有两个主要的几何因素,即横截面和轴线。横截面指的是直杆沿垂直于其长度方向的截面,轴线则为所有横截面形心的连线(图 0-10)。横截面和轴线是相互垂直的。轴线为直线者称为直杆,轴线为曲线者称为曲杆。所有横截面尺寸都相同者称为等截面杆,不同者称为变截面杆。

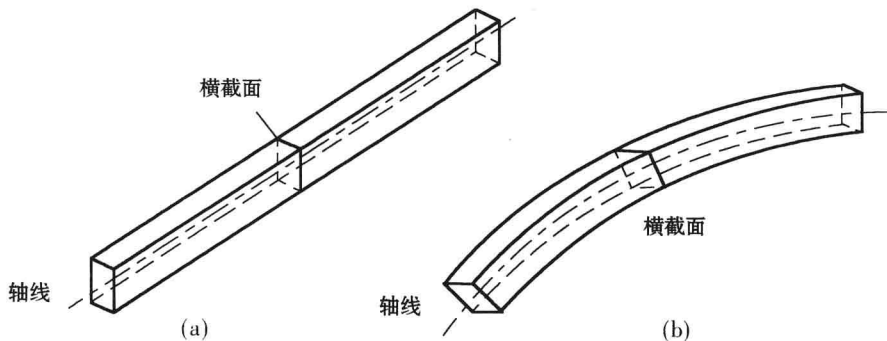


图 0-10

(2) 若杆件在某一方向上的尺寸比其余两个方向上的尺寸小得多,为平面形状者称为板(plane)(图 0-9(b))。为曲面形状者称为壳(shells)(图 0-9(c)),穹形屋顶等均属壳。

(3) 若构件在三个方向上具有同一量级的尺寸,则称为块体(图 0-9(d))。水坝、挡土墙等均属此类。

本课程仅以等截面直杆(简称等直杆)作为研究对象,壳以及块体的研究属于板壳理论和弹性理论学课程的范畴。

三、工程力学的研究方法

传统的力学研究方法有两种,即理论方法和实验方法。

1. 两种不同的理论分析方法

工程力学包含静力学与材料力学两部分,由于所研究的问题各不相同,分析方法也因此而异。

在静力学中,其分析研究的对象是刚体,所要研究的问题是确定构件的受力及其平衡条件,所采用的方法是平衡的方法。因此,必须正确分析各物体之间接触与连接方式,以及不同的方式将产生何种相互作用力。

在材料力学中,其研究对象是变形体,在外力作用下,会产生什么样的变形、什么样的内力,这些变形和内力对构件的正常工作又会产生什么样的影响。因此,在这一类问题中,重要的是学会分析变形,分析内力和应力,并用于解决工程设计中的强度、刚度和稳定问题。

需要指出的是,静力学中所采用的某些原理和方法在材料力学中分析变形问题时是不适用的。例如,如图 0-11(a)所示之作用在刚性圆环上的两个力,可以沿着两者的作用线任意移动,对刚性圆环的平衡没有任何影响。但是,对于图 0-11(b)所示之作用在弹性圆环上的一对力,如果沿着作用线移动,这时虽然对圆环的整体平衡没有影响,但读者不难发现,这对物体变形的影响却是非常明显的。

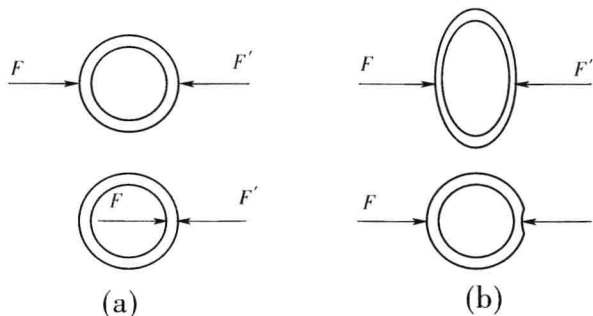


图 0-11

2. 工程力学的实验分析方法

1997 年 9 月钱学森院士在致清华大学工程力学系建系 40 周年的贺信中写道:“20 世纪初,工程设计开始重视理论计算分析,这也是因为新工程技术发展较快,原先主要靠经验的办法跟不上时代了,这就产生了国外所谓的应用力学这门学问……为的是探索新设计、新结构,但当时主要因为计算工具落后,最多只是电动机械式计算器,所以应用力学只能探索发展新途径,具体设计还得靠试验验证。”

工程力学的实验分析方法大致可以分为以下几种类型:

(1)基本力学量的测定实验,包括位移、速度、加速度、角速度、角加速度、频率等的测定。

(2)材料的力学性能实验,通过专门的试验机(图 0-12)测定不同材料的弹性常数(例如杨氏模量)、材料的物性关系(见图 0-13)中的实验材料为硬塑料;如图 0-14 所示中的实验材料为软塑料等。

(3)综合性与研究型实验,一方面,研究工程力学的基本理论应用于实际问题时的正确性与适用范围;另一方面,研究一些基本理论难以解决的实际问题,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。

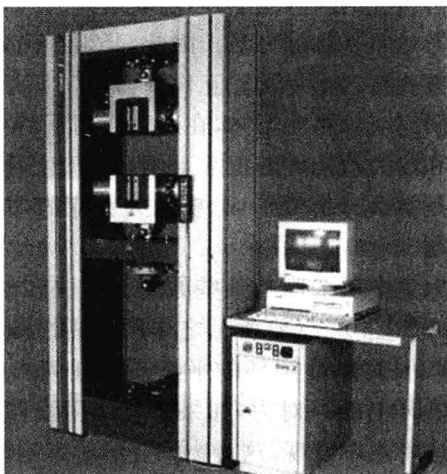


图 0-12

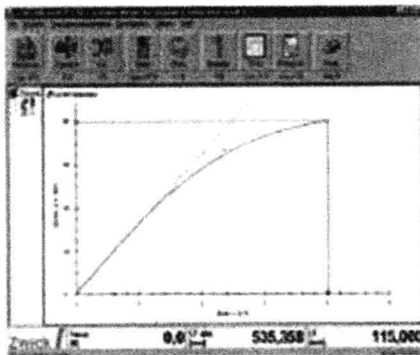
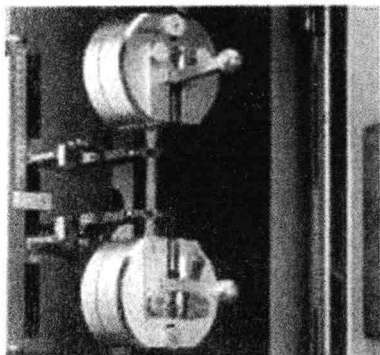


图 0-13

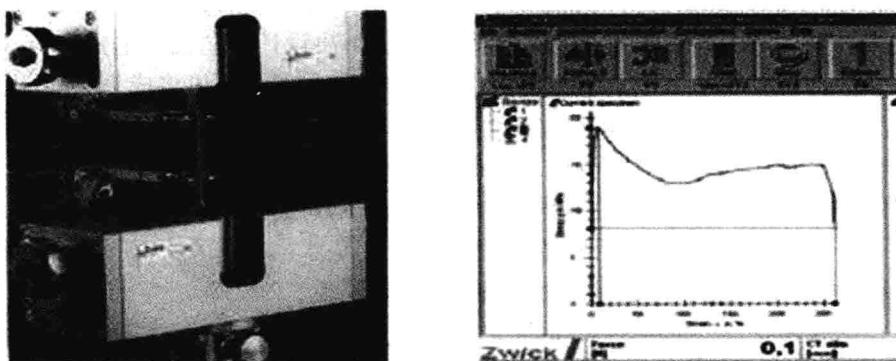


图 0-14

3. 工程力学的计算机分析方法

由于计算机的飞速发展和广泛应用,工程力学又增加了一种分析方法,即计算机分析方法。而且,即使是传统的理论方法和实验方法,也要求助于计算机。在理论分析中,人们可以借助于计算机进行重复、复杂、繁琐的工程计算,从而求得更精确、更适用的分析结果。在实验研究中,计算机不仅可以采集和整理数据、绘制实验曲线、显示图形,而且可以选用最优参数。如图 0-15 所示为采用计算机分析大型桥梁各部分受力结果。

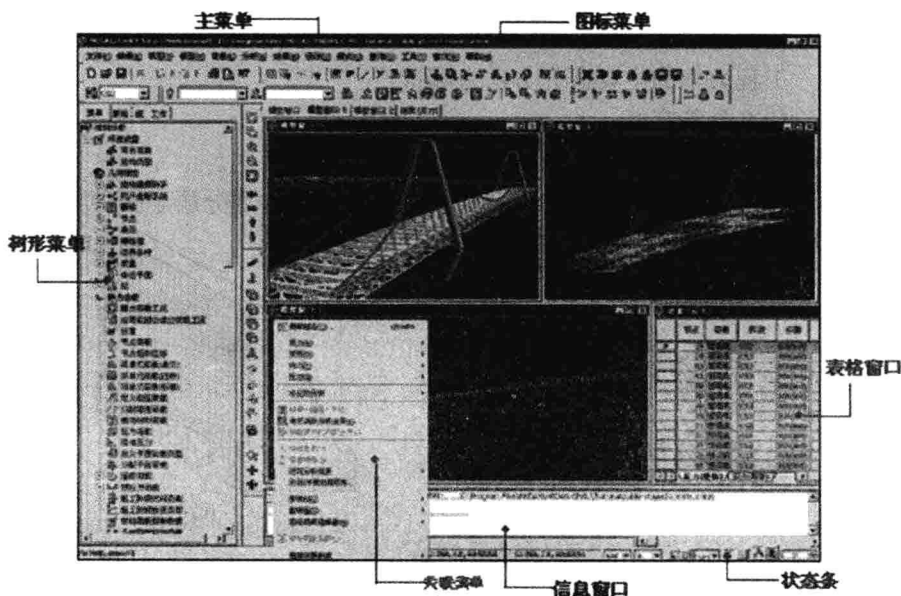


图 0-15

正如钱学森院士所指出的“到了 20 世纪 60 年代,能快速进行计算的芯片计算