

工科力学课程教学基地教材

工程力学系列教程之三

材 料 力 学

徐道远 黄孟生 朱为玄 王向东

河海大学出版社

内 容 提 要

本书为河海大学面向 21 世纪力学系列课程——《工程力学教程》之三。内容按系列课程的改革思路作了若干调整。

本教材内容包括拉压杆件、扭转杆件、平面弯曲杆件的应力和变形,应力状态和应变状态分析,杆件的强度和刚度计算,组合变形,剪切变形和联结件的强度计算,压杆稳定,动荷载和交变应力,杆件变形计算的能量法和强度计算的近代方法等 5 章和若干附录。

本教材可作为高等院校土建、水利类材料力学课程教材,也可作为其它专业教材和有关工程技术人员的参考书。

摇图书在版编目 (CIP) 数据

摇材料力学 徐道远,黄孟生等编—南京:河海大学出版社,1999.11

摇 ISBN 7-5631-1444-3

摇 I ①材②徐③黄④黄⑤黄⑥黄⑦黄⑧黄⑨黄⑩黄⑪黄⑫黄⑬黄⑭黄⑮黄⑯黄⑰黄⑱黄⑲黄⑳黄㉑黄㉒黄㉓黄㉔黄㉕黄㉖黄㉗黄㉘黄㉙黄㉚黄㉛黄㉜黄㉝黄㉞黄㉟黄㊱黄㊲黄㊳黄㊴黄㊵黄㊶黄㊷黄㊸黄㊹黄㊺黄㊻黄㊼黄㊽黄㊾黄㊿黄
学校—教材摇 IV ①材料力学—高等学校—教材摇 IV ②材料力学—高等学校—教材

摇中国版本图书馆 CIP 数据核字 99011111 号

出 版 社 河海大学出版社

地 址 南京市西康路 1 号 邮编 210028

电 话 025-83333333 (总编室)

025-83333333 (发行部)

经 销 江苏省新华书店

印 刷 扬州市教育印刷厂

开 本 787 毫米 1092 毫米 1/16

印 张 10

字 数 200 千字

版 次 1999 年 11 月第 1 版

印 次 1999 年 11 月第 1 次印刷

定 价 10.00 元 (册)

前 言

本书为河海大学面向 21 世纪力学系列课程教材——《工程力学教程》之三,是在按河海大学“面向 21 世纪力学系列课程改革小组”和河海大学“国家工科基础课程(力学)教学基地”审定的“《材料力学》编写大纲”编写的校内教材的基础上修改、补充而成。该校内教材承东南大学胡增强教授、南京航空航天大学王新伟教授和河海大学赵光恒教授进行了评审,并已在校内正式试用。这次编写充分考虑和采纳了专家和校内师生的诸多意见。在此特向他们致谢。

按照我校面向 21 世纪力学系列课程改革和系列教程编写的总体思路,本书着重内容体系的改革,已将杆件的内力、部分超静定问题、能量法的一部分和振动应力等内容有机地并入其它课程教材,因此本书不再包含这些内容,这是本书与传统的材料力学教材的重要不同点之一。其次,为了突出杆件的应力和变形分析,并对应力状态、强度和刚度问题有统一的认识,本书分别将杆件在基本变形下的应力状态分析、强度和刚度计算分别加以集中,并将基本变形杆件的强度问题与强度理论合并于一章。为了补充按“容许应力法”进行杆件强度计算的不足,又将工程中广泛应用的“极限荷载法”和基于可靠度理论的“概率极限状态法”两种强度计算近代方法合并于一章。鉴于能量法计算杆件变形仍是材料力学的基本要求之一,因此将基本变形杆件变形能的计算和基于虚力原理的卡氏定理和莫尔积分保留作为一章,而图乘法等已并入其它课程教材的内容,不再重复。本书还加强了土木、水利专业常用材料的力学性质的有关内容,在压杆稳定和疲劳计算中,也突出了土木、水利类工程中采用的计算方法。本书的附录则包括平面图形几何性质、概率统计基本知识等内容。为加强应用计算机进行材料力学有关内容计算的能力和力学分析问题程序设计能力的培养和提高,在附录中还给出了一些材料力学计算问题的程序并已制作成光盘,以供学生训练和上机操作。

参加本书编写工作的有 徐道远 第一、六、十二章和附录 月、黄孟生 第七、八、九、十、十一章)、朱为玄 第二、三章和附录 粤、王向东 第四、五章和附录 阅。本书由徐道远统稿。

本书的编写,主要选材于我校出版教材《材料力学》钱济成、徐道远、刘丽丽、符晓陵合编,河海大学出版社,1998 年 1 月),并参阅了国内外一些材料力学教材和大纲,特别是一些教改试点的教材和大纲,注意吸收了它们的许多长处。作为系列教材之一,本书编写还充分注意到与系列教材中前、后内容的衔接和描述的一致性。尽管如此,限于编者水平,本书仍难免有不妥或疏漏之处,欢迎读者指正。

编 撰 者
2000 年 远月

目摇摇录

第一章 绪论 · 基本概念	员
员 材料力学的任务	员
圆 变形固体的概念及其基本假设	圆
猿 杆件及其变形形式	猿
源 外力及其分类	源
缘 内力和应力	缘
远 位移和应变	远
苑 材料力学的特点	苑
思考题	愿
习题	愿
第二章 轴向拉压杆件的应力和变形	园
员 概述	园
圆 拉压杆件横截面上的正应力	圆
猿 应力集中的概念	猿
源 拉压杆件的变形	源
缘 材料在拉伸和压缩时的力学性质	缘
思考题	苑
习题	苑
第三章 扭转杆件的应力和变形	猿
员 概述	猿
圆 圆杆扭转时的应力	圆
猿 圆杆扭转时的变形	猿
源 薄壁圆筒的扭转试验	源
缘 非圆截面杆的扭转	源
思考题	源
习题	源
第四章 平面弯曲杆件的应力和变形	源
员 概述	源
圆 梁的正应力	缘
猿 梁的切应力	缘
源 非对称截面梁的平面弯曲 · 开口薄壁截面的弯曲中心	远
缘 梁的挠度和转角	远

异源 远摇梁的挠曲线近似微分方程	远源
异源 苑摇用积分法计算梁的变形	远愿
异源 愿摇用叠加法计算梁的变形	远园
异源 怨摇用变形比较法求解简单超静定梁	苑
思考题	苑
习摇题	苑
 第五章摇应力状态和应变状态分析	 愿
异缘 员摇应力状态的概念	愿
异缘 圆摇平面应力状态分析	愿
异缘 猿摇基本变形杆件的应力状态分析	愿
异缘 源摇三向应力状态下的最大应力	愿
异缘 缘摇广义虎克定律·体积应变	愿
异缘 远摇应变能和比能	愿
异缘 苑摇弹性常数 耘 郧 _孕 的关系	愿
异缘 愿摇平面应力状态下的应变分析	愿
思考题	愿
习摇题	愿
 第六章摇杆件的强度和刚度计算	 员源
异远 员摇概摇述	员源
异远 圆摇基本变形杆件的强度计算	员苑
异远 猿摇强度理论	员
异远 源摇基本变形杆件的刚度计算	员
思考题	员
习摇题	员
 第七章摇组合变形	 员
异苑 员摇概摇述	员
异苑 圆摇斜弯曲	员
异苑 猿摇拉伸(压缩)与弯曲的组合	员
异苑 源摇偏心压缩(拉伸)	员
异苑 缘摇截面核心	员
异苑 远摇弯曲与扭转的组合	员
思考题	员
习摇题	员
 第八章摇剪切变形和联接件的强度计算	 员
异愿 员摇概摇述	员

§1-1 铆接强度计算	15
§1-2 其它联接件和联接的计算	16
思考题	16
习题	16
第九章 压杆稳定	17
§9-1 压杆稳定性的概念	17
§9-2 细长压杆的临界荷载	18
§9-3 欧拉公式的适用范围和非弹性失稳的压杆	19
§9-4 压杆的稳定计算	20
§9-5 提高压杆稳定性的措施	21
思考题	21
习题	21
第十章 动荷载和交变应力	22
§10-1 概述	22
§10-2 构件作匀加速直线运动和匀速转动时的应力	23
§10-3 构件受冲击时的应力和变形	24
§10-4 交变应力和疲劳破坏	25
§10-5 交变应力的特性和疲劳极限	26
§10-6 构件的疲劳计算	27
思考题	27
习题	27
第十一章 杆件变形计算的能量法	28
§11-1 概述	28
§11-2 弹性体应变能的计算	29
§11-3 虚力原理	30
§11-4 卡氏定理	31
§11-5 莫尔定理	32
思考题	32
习题	32
第十二章 强度计算的近代方法	33
§12-1 极限荷载法	33
§12-2 可靠度理论及其在强度计算中的应用	34
思考题	34
习题	34

附录 弯扭平面图形几何性质	圆环
习 题	圆环
附录 扭转概率统计基本知识	圆环
附录 扭转型钢表	圆环
附录 扭转材料力学电算程序	圆环
习题答案	圆环
参考文献	圆环

序

本教程是河海大学承担教育部《面向 21 世纪力学系列课程内容和课程体系改革的研究与实践》教改项目和《国家级力学教学基地》建设项目研究的成果。该教程以优化高校工科土木水利类专业的系列力学课程知识结构体系为目标,按照“重组基础、反映现代、融入前沿、综合交叉”原则,建立由系列模块组成有机联系的一体化力学课程新体系。原有土木水利类专业设立的三门力学课程(即理论力学、材料力学、结构力学、弹性力学、水力学与流体力学以及土力学),由于自成系统各自为政,缺乏沟通和整合,存在知识结构中不该有的割裂或不必要的重复现象,现代信息和应用实践也较薄弱,不利于进行完整的力学素质教育和创造性思维的培养。本教程按新组建的课程体系分为两册:静力学基础、动力学基础、材料力学、结构静力学、结构动力学、弹性力学基础、计算力学基础、工程流体力学和土力学等,依序编为高校工科教材——工程力学教程之一到之九,其中一到七属于固体力学范畴,它们也为之八的工程流体力学和之九的土力学提供了力学分析的基本概念、原理和方法。

由新体系组建的工程力学新教程具有以下一些特点:

员 本教程体系采用了小型模块化和分层系列化的结构,精化了基础,增加了组合的灵活性,便于适应不同专业、不同层次的要求。

本教程涵盖了固体、流体、土体等不同性质物体的力学分析问题,加强了不同研究对象的各门课程之间的共性联系,又突出了各自的个性差异,有利于学生整体力学素质的提高和创新能力的培养。

本教程以基础力学为主体内容,这部分内容通过反复精选,力求突出基础力学的精华,可以保持内容的相对稳定性。另一些内容则是根据水利土木类专业的需求而编写的应用性基础内容。这部分内容着眼于加强力学素质教育和应用能力的培养,力求融入现代信息、扩大视野、预留思维空间。因此,根据不同教学要求,可由本教程各模块适当组合,得到合适的课程体系教材。

圆 本教程内容的选取和组织体现了整体力学知识的融会贯通和整合优化,既强化了力学知识的完整性,又达到了精减篇幅、提高效率的目的。

新教程中对于力学中一些重要的概念、原理和方法的论述按照其内涵的完整性和外延的逻辑性进行有机的贯通连接、交叉融会和整合优化。例如书中将考察体的平衡概念、平衡条件以及静定问题的求解等内容统一在本教程之一《静力学基础》中作严密完整的阐述,实现了刚体和变形体(含固体、流体和土体等)平衡问题的连贯以及各类静定问题求解条件和方法的统一。又如结构分析理论的平衡律、协调律和本构律等三大定律的提出、相应方程的建立和应用等始终贯穿于不同形体结构(从杆件、杆系到块体结构)问题的分析求解全过程,既突出了工程力学中这一最重要、最基本的理论工具,又强化了对工程力学问题的求解能力和正确思维方法的培训。本教程中有关虚位移原理、质量几何与面积几何以及静、动力学等内容也体现了贯通性和统一化。

此外本教程将静力问题和动力问题分别设置模块,集中论述,使得教材内容紧凑,重点突出,避免不必要的重复;同时又将静定问题、超静定问题设置在不同模块,以便循序渐进地

安排教学内容,使得该教程的层次分明,条理清晰,前后连贯通顺自然,易为读者掌握。

猿本教程中内容的阐述方法不囿于一种模式。对于基本概念_{的提出和分析计算模型的建立}等一类不易理解的内容采用从特殊到一般的方法展开论述;对于有关力学的理论分析和推导公式等一类比较严密的数学性较强的内容则是采用从一般到特殊的方法展开演示,并留下一些内容给读者练习。这种因问题不同而采用不同的叙述、展开方式既体现了认识论规律,又有利于培养抽象思维、逻辑推理的能力,还可提高授课的质量和效率。这与过去传统教材相比,新教程的起点是提高了。

源本教程刻意加强了工程概念、实验和上机计算等实践性内容,并增添了一些现代知识和实验技术,以便强化学生的工程应用、创造性思维和动手能力。

本教程的编写工作是由河海大学国家力学教学基地的众多教师合作分工完成的,并由主编统一协调定稿的。各模块的编者分别为:《静力学基础》为武清玺和陆晓敏,《动力学基础》为武清玺、许庆春和赵引,《材料力学》为徐道远、黄孟生、朱为玄、王向东和符晓陵,《结构静力学》为蔡新和孙文俊,《结构动力学》为张子明、杜成斌和江泉,《计算力学基础》为杨海霞、章青和邵国建,《弹性力学基础》为陈国荣,《工程流体力学》为王惠明和赵振兴,《土力学》为卢廷浩。本教程由卓家寿和孙文俊任主编。

本教程之一到之五书稿已由教育部基础力学课程指导小组组织专家评审,他们是胡增强教授、王鑫伟教授、赵光恒教授。胡增强教授主持了审稿会,经讨论综合给出了宝贵的审稿意见,为本书的修改起了重要的指导作用。特别要提出的是教育部基础力学课程指导小组组长范钦珊教授多次审阅了本书稿,提出了很多关键性的意见,为本书的定稿起了很大的指导作用。在此特向他们至以诚挚的谢意。

由于水平所限、时间匆忙,书中肯定存在不少缺陷和差错,敬请读者不吝指正。

卓家寿摇孙文俊摇张子明摇摇
摇摇摇圆园园年愿月摇摇摇摇摇

摇摇作为绪论,本章将介绍材料力学的任务、研究范畴、研究对象、研究的基本方法以及材料力学课程的特点。

在材料力学中,是将物体作为变形固体,因此,本章还介绍变形固体的基本假设、杆件变形的基本形式、杆件所受的外力形式和分类等内容。此外,继静力学基础中介绍过的内力之后,本章再介绍受力杆件中的应力、变形位移和应变等重要的概念。

摇摇 绪论 · 基本概念

摇摇 异员 摇摇材料力学的任务

异员 圆瑶变形固体的概念及其基本假设

异员 猿瑶杆件及其变形形式

异员 源瑶外力及其分类

异员 缘瑶内力和应力

摇摇一、内力的回顾

摇摇二、应力

异员 远瑶位移和应变

摇摇一、位移

摇摇二、应变

异员 苑瑶材料力学的特点

摇摇摇摇思考题

摇摇摇摇练习题

异员 一 摇摇材料力学的任务

摇摇建筑物、机器等是由许多部件组成的,例如建筑物的组成部件有梁、板、柱和承重墙等,机器的组成部件有齿轮、传动轴等。这些部件统称为构件。为了使建筑物和机器能正常工作,必须对构件进行设计,即选择合适的尺寸和材料,使之满足一定的要求。这些要求是:

摇摇强度 摇摇要求摇构件抵抗破坏的能力称为强度。构件在外力作用下必须具有足够的强度才不致发生破坏,即不发生强度失效。

摇摇刚度 摇摇要求摇构件抵抗变形的能力称为刚度。在某些情况下,构件虽有足够的强度,但若刚度不够,即受力后产生的变形过大,也会影响正常工作。因此设计时,必须使构件具有足够的刚度,使其变形限制在工程允许的范围内,即不发生刚度失效。

摇摇稳定性 摇摇要求摇构件在外力作用下保持原有形状下的平衡的能力称为稳定性。例如受压力作用的细长直杆,当压力较小时,其直线形状的平衡是稳定的;但当压力过

大时,直杆会弯,这时,直杆就失去了原有形状下的平衡,称为失稳。这类构件须具有足够的稳定性,即不发生稳定失效。

一般说来,强度要求是基本的,只是在某些情况下,才对构件提出刚度要求。至于稳定性问题,只在一定受力情况下的某些构件才会出现。

为了满足上述要求,一方面必须从理论上分析和计算构件受外力作用产生的内力、应力和变形,建立强度、刚度和稳定性计算的方法;另一方面,构件的强度、刚度和稳定性与材料的力学性质有关,而材料的力学性质需要通过试验确定。此外,由于理论分析要根据对实际现象的观察进行抽象简化,对所得结果的可靠性也要用试验来检验。材料力学的任务就是从理论和试验两方面,研究构件的内力、应力和变形,在此基础上进行强度、刚度和稳定性计算,以便合理地选择构件的尺寸和材料。必须指出,要完全解决这些问题,还应考虑工程上的其它问题,材料力学只是提供基本的理论和方法。

在选择构件的尺寸和材料时,还要考虑经济要求,即尽量降低材料的消耗和使用成本低廉的材料,但为了安全,又希望构件尺寸大些,材料质量高些。这两者之间存在着一定的矛盾,材料力学则正是在解决这些矛盾中产生并不断发展的。

材料力学作为一门科学,一般认为是在17世纪开始建立的。此后,随着生产的发展,各国科学家对与构件有关的力学问题,进行了广泛深入的研究,使材料力学这门学科得到了长足的发展。长期以来,材料力学的概念、理论和方法已广泛应用于土木、水利、船舶与海洋、机械、化工、冶金、航空与航天等工程领域。计算机以及实验方法和设备的飞速发展和广泛应用,为材料力学的工程应用提供了强有力的手段。

第1章 变形固体的概念及其基本假设

物体在外力作用下所产生的物理现象是各种各样的,而每门学科仅从自身的特定目的出发去研究某一方面的问题。为了研究方便,常常需要舍弃那些与所研究的问题无关或关系不大的特征,而只保留主要的特征,将研究对象抽象成一种理想的模型。例如在刚体静力学和动力学中,为了从宏观上研究物体的平衡和机械运动的规律,可将物体看作刚体。在材料力学中,所研究的是构件的强度、刚度和稳定性问题,这就必须考虑物体的变形,不能把物体看作刚体。研究变形固体的力学称为固体力学或变形体力学。材料力学是固体力学中的一个分支。

变形固体的组织构造及其物理性质是十分复杂的,为了抽象成理想的模型,通常对变形固体作出下列基本假设:

1.1 连续性假设 假设物体内部充满了物质,没有任何空隙。而实际的物体内当然存在着空隙,而且随着外力或其它外部条件的变化,这些空隙的大小会发生变化。但从宏观方面研究,只要这些空隙的大小比物体的尺寸小得多,就可不考虑空隙的存在,而认为物体是连续的。

1.2 均匀性假设 假设物体内部各处的力学性质是完全相同的。实际上,工程材料的力学性质都有一定程度的非均匀性。例如金属材料由晶粒组成,各

晶粒的性质不尽相同,晶粒与晶粒交界处的性质与晶粒本身的性质也不同;又如混凝土材料由水泥、砂和碎石组成,它们的性质也各不相同。但由于这些组成物质的大小和物体尺寸相比很小,而且是随机排列的,因此,从宏观上看,可以将物体的性质看作各组成部分性质的统计平均量,而认为物体的性质是均匀的。

猿 各向同性假设 假设材料在各个方向的力学性质均相同。金属材料由晶粒组成,单个晶粒的性质有方向性,但由于晶粒交错排列,从统计观点看,金属材料的力学性质可认为是各个方向相同的。例如铸钢、铸铁、铸铜等均可认为是各向同性材料。同样,像玻璃、塑料、混凝土等非金属材料也可认为是各向同性材料。但是,有些材料在不同方向具有不同的力学性质,如经过辗压的钢材、纤维整齐的木材以及冷扭的钢丝等,这些材料是各向异性材料。在材料力学中主要研究各向同性的材料。

变形固体受外力作用后将产生变形。如果变形的大小较之物体原始尺寸小得多,这种变形称为小变形。材料力学所研究的构件,受力后所产生的变形大多是小变形。在小变形情况下,研究构件的平衡以及内部受力等问题时,均可不计这种小变形,而按构件的原始尺寸计算。

当变形固体所受外力不超过某一范围时,若除去外力,则变形可以完全消失,并恢复原有的形状和尺寸,这种性质称为弹性。若外力超过某一范围,则除去外力后,变形不会全部消失,其中能消失的变形称为弹性变形,不能消失的变形称为塑性变形,或残余变形、永久变形。对大多数的工程材料,当外力在一定的范围内时,所产生的变形完全是弹性的。对多数构件,要求在工作时只产生弹性变形。因此,在材料力学中,主要研究构件产生弹性变形的问题,即弹性范围内的问题。

第 1 章 杆件及其变形形式

根据几何形状的不同,构件可分为杆、板和壳、块体三类。材料力学主要研究杆(或称杆件),其它几类构件的分析需用弹性力学的方法。

杆在各种形式的外力作用下,其变形形式是多种多样的。但不外乎是某一种基本变形或几种基本变形的组合。杆的基本变形可分为:

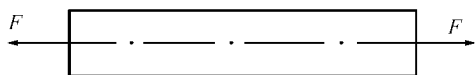
轴向拉伸或压缩 直杆受到与轴线重合的外力作用时,杆的变形主要是轴线方向的伸长或缩短。这种变形称为轴向拉伸或压缩,如图 1-1 所示。

扭转 直杆在垂直于轴线的平面内,受到大小相等、方向相反的力偶作用时,各横截面相互发生转动。这种变形称为扭转,如图 1-2 所示。

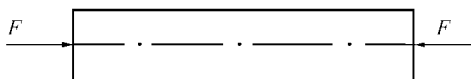
弯曲 直杆受到垂直于轴线的外力或在包含轴线的平面内的力偶作用时,杆的轴线发生弯曲。这种变形称为弯曲,如图 1-3 所示。

杆在外力作用下,若同时发生两种或两种以上的基本变形,则称为组合变形。

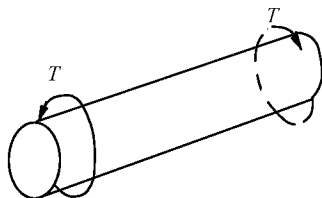
本书先研究杆的基本变形问题,然后再研究杆的组合变形问题。



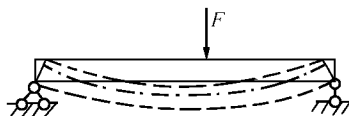
(a)



(b)



(c)



(d)

图 1-1 杆件的几种基本变形

第 1 章 外力及其分类

杆件所受到的外力包括荷载和约束反力。外力可从不同的角度分类如下：

按外力的分布状况分类

1. 体积力 作用在杆件每个质点上的力称为体积力。例如杆件的自重和惯性力。

2. 表面力 作用在杆件表面的力称为表面力。它又可分为：

① **集中力** 作用在杆件表面上一点处的力称为集中力。当外力作用的面积与杆件的尺寸相比很小时,可以认为这样的外力是集中力。例如火车车轮作用在钢轨上的力。

② **分布力** 作用在物体表面某面积上的力称为分布力。当分布力的集度均匀时称为均布力,否则为非均布力。例如屋面上的积雪可看作是均布力,冰坝迎水面所受的水压力是非均布力。对于杆件,有时可将杆的自重及表面上所受的力简化成沿杆的长度分布的线分布力。

按外力作用的性质分类

1. 静荷载 由零缓慢地增加至最终值,以后即保持不变的荷载称为静荷载。例如挡土墙所受的土压力,屋面所受的雪荷载,缓慢放置于楼板上的重物等。在静荷载作用的过程中,可认为杆件不产生加速度。

2. 动荷载 随时间作急剧变化的荷载称为动荷载。例如冲击荷载、振动荷载以及内燃机连杆上受到的随时间作周期性变化的交变荷载等。

按外力作用的时间分类

1. 恒荷载 长期作用在物体上并保持不变的荷载称为恒荷载。例如杆件的自重便是恒荷载。

活荷载指短时间作用的荷载称为活荷载。例如风雪荷载、吊车荷载等。

第5章 内力和应力

一、内力的回顾

在静力学基础中已经介绍了内力的概念。杆件在外力作用下发生变形的同时,引起了内力,而内力又力图使变形消失,因此内力是一种抗力。当外力增加使内力超过某一限度时,材料将发生破坏。

对于杆件,最有意义的是横截面上的内力。为了显示和计算杆件的内力,需用截面法。各种基本变形杆件横截面上的内力和内力图的有关问题,在《静力学基础》第六章中均已作了详述。

二、应力

实际的物体总是从某些点处开始破坏的,因此只按静力学中所述方法求出截面上分布内力的合力(力和力偶)是不够的,必须进一步确定截面上各点处分布内力的集度(即分布内力集中的程度)。为此,必须引入应力的概念。

在图 1-1 中,取一部分的截面上某点 M 处的周围取一微面积 ΔA , 设其上分布内力的合力为 ΔF , ΔF 的大小和指向随 ΔA 的大小而变。 ΔF 称为面积 ΔA 上分布内力的平均集度,称为平均应力。如令 $\Delta A \rightarrow 0$, 则比值 $\frac{\Delta F}{\Delta A}$ 的极限值为

$$\lim_{\Delta A \rightarrow 0} \frac{\Delta F}{\Delta A} = \sigma$$

它表示一点处分布内力的集度,称为一点处的总应力。由此可见,应力是截面上一点处分布内力的集度。有了应力这个量,就可以进一步确定截面上的应力分布情况,并确定哪些点处于危险状态。为了使应力具有更明确的物理意义,可以将一点处的总应力 σ 分解为两个分量:一个是垂直于截面的应力,称为正应力(或法向应力,用 σ 表示);另一个是位于截面内的应力,称为切应力(或切向应力,用 τ 表示,如图 1-2 所示。物体的破坏现象表明,拉断破坏和正应力有关,剪切错动破坏和切应力有关。今后将只计算正应力和切应力而不计算总应力。

应力的量纲是 $\frac{力}{面积}$ 。在国际单位制中,应力的单位名称是帕斯卡,符号为 Pa ,也可以用兆帕 MPa 或吉帕 GPa 表示,其关系为 $1GPa = 10^3MPa = 10^9Pa$ 。

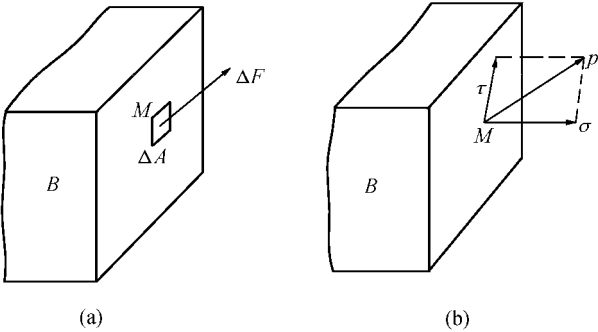


图 1-1 一点处的应力

物体受力后,其形状和尺寸都要发生变化,即发生变形。为了描述变形,现引入位移和应变的概念。

一、位移

线位移 物体中一点相对于原来位置所移动的直线距离称为线位移。例如图 6-1 所示直杆,受外力作用弯曲后,杆的轴线上任一点 B 的线位移为 BB' 。

角位移 物体中某一直线或平面相对于原来位置所转过的角度称为角位移。例如图 6-1 中,杆的右端截面的角位移为 θ_0 。

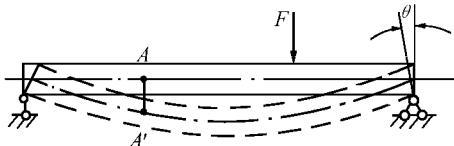


图 6-1 杆件的变形位移

上述两种位移,是变形过程中物体内各点作相对运动所产生的,称为变形位移。变形位移可以表示物体的变形程度,例如图 6-1 所示的直杆,由杆的轴线上各点的线位移和各截面的角位移就可以描述杆的弯曲变形。

但是,物体受力后,其中不发生变形的部分,即任意两点间的相对位置没有改变的部分也可能产生刚体位移。

本书仅讨论物体的变形位移。物体的刚体位移已在动力学中讨论过,本书将直接引用。

一般来说,受力物体内各点处的变形是不均匀的。为了说明受力物体内各点处的变形程度,还须引入应变的概念。

二、应变

设想在物体内一点 A 处取出一微小的长方体,它在 xy 平面内的边长为 Δx 和 Δy 如图 6-2 所示 (图中未画出厚度)。物体受力后, A 点位移至 A' , 且长方体的尺寸和形状都发生了改变,如边长 Δx 和 Δy 变为 $\Delta x'$ 和 $\Delta y'$ 直角变为锐角 (或钝角),从而引出下面两种表示该长方体变形的量:

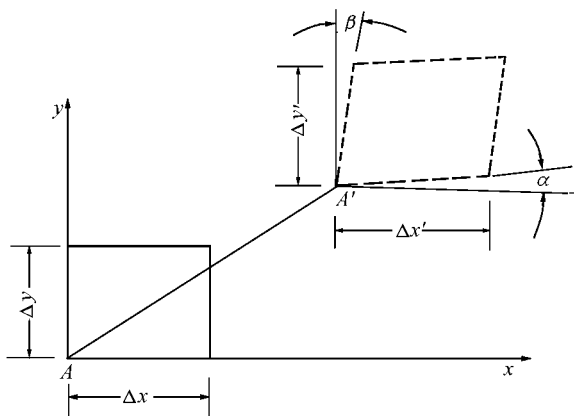


图 6-2 一点处的应变

线应变 线段长度的改变称为线变形,如图 6-2 中的

$\Delta x' - \Delta x$ 和 $\Delta y' - \Delta y$ 但是,线段长度的改变显然随线段原长的不同而变化。为避免线段原长的影响,现引入线应变 (即相对变形) 的概念。设线应变用 ε 表示,类似于应力的定义,线应变定义为

$$\varepsilon = \frac{\Delta x' - \Delta x}{\Delta x} \quad \Delta y' - \Delta y \quad \Delta y$$

力学中有不少公式但基本的公式并不多。只要能正确理解基本公式,用前后联系、互相对比的方法,并多做习题,就能够熟练地运用这些公式。

了解材料力学的特点后,只要认真学习、多思、善思、多发现问题,并注意培养自己分析问题、解决问题和创新思维的能力,同时注意培养计算能力及实验能力,就一定能学好这门课程。

思考题

1. 何谓强度?何谓刚度?何谓稳定性?

2. 材料力学的研究对象是什么?对它们作了哪些假设和哪些研究范围的规定?

3. 杆件变形的的基本形式有哪几种?它们的外力特征和变形特征各是什么?

4. 何谓应力?应力与内力有何区别?又有何联系?

5. 何谓变形位移?它与刚体位移有何区别?

6. 何谓应变?它与变形位移有何关系?

7. 在静力学和动力学中,将研究的对象看作是刚体,而在材料力学中,又将研究的对象看作是变形固体,是何原因?

习题

1. 图示一厂房结构的示意图,试分析桥式吊车、吊车梁、屋架弦杆及柱会产生怎样的变形?

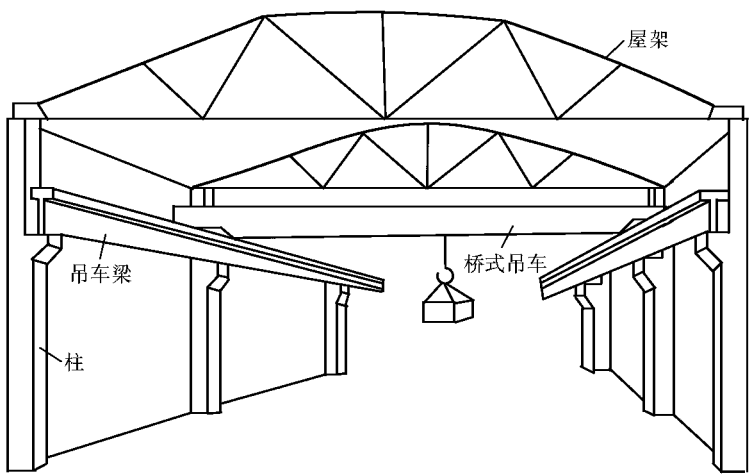


图 1-1

2. 图 1-2 中的杆、右端的力偶 M 是否能搬移到图 1-3 中的位置?图 1-4 中的杆上的均布荷载能否用图 1-5 中作用在杆中点的等效集中力代替?