

高职高专“十二五”规划教材

GONGCHENG LIXUE

工程力学

(土建类)(第2版)

张美元 主编



黄河水利出版社

高职高专“十二五”规划教材

工 程 力 学

(土建类)

(第2版)

主 编 张美元

副主编 闫雪莲 徐宏广 杨 光

黄 河 水 利 出 版 社

· 郑 州 ·

内 容 提 要

工程力学是土木建筑类各专业的一门十分重要的技术基础课程,主要阐述该课程的重要基础理论知识和对受力物体及结构进行受力与变形分析的基础方法。本书共分为力学基础(第1、2、3章)、杆件承载能力计算(第4、5、6、7章)、杆件结构受力分析(第8、9、10章)三部分。每章由学习内容、学习要求及学习重点提示、知识讲授、学习指导、复习思考题、习题等组成。

本教材适用于高职院校的水利水电、工业与民用建筑、给排水、市政工程、道路桥涵等土建类专业和近土建类专业的工程力学课程的教学,也可作为各土建类工程技术人员参考用书。

图书在版编目(CIP)数据

工程力学:土建类/张美元主编. —2版. —郑州:黄河水利出版社, 2010.9

高职高专“十二五”规划教材

ISBN 978-7-80734-854-2

I. ①工… II. ①张… III. ①工程力学-高等学校:技术学校-教材 IV. ①TB12

中国版本图书馆CIP数据核字(2010)第124790号

策划组稿:马广州 电话:0371-66023343 E-mail: magz@yahoo.cn

出版社:黄河水利出版社

地址:河南省郑州市顺河路黄委会综合楼14层 邮政编码:450003

发行单位:黄河水利出版社

发行部电话:0371-66026940、66020550、66028024、66022620(传真)

E-mail:hhslebs@126.com

承印单位:黄河水利委员会印刷厂

开本:787 mm × 1 092 mm 1/16

印张:22.75

字数:526千字

印数:3 101—6 200

版次:2007年9月第1版

印次:2010年9月第2次印刷

2010年9月第2版

定价:43.00元

再版前言

本书是根据高职高专水利水电工程和工业与民用建筑工程等专业的专业教学计划及工程力学教学大纲的基本要求,结合我国高职教育特点和对高等职业技术人才的培养目标要求而编写的。

本书第1版采取淡化理论的系统性,强调专业技术基础知识的实用性,将过去共几十章的工程力学教材内容,经精减、淡化、综合归类后,缩编成10章。第1版在多个院校近十个专业中经过连续三届学生的力学课程教学实践,收到良好的教学效果,得到使用者的高度评价。为体现高等职业技术教育的新特点,按照培养符合我国国情的高等级实用型工程技术人才的基本要求,本书在第1版的基础上,根据不同专业培养要求和学习知识的渐进性以及不同专业对力学知识应用需求的特殊性,对第1版中的内容配置做了必要的修改和补充。对于理论知识,着重强调其结论和应用。一般公式不推导,注重从实用出发,培养学生分析和解决实际问题的能力。

本书内容简练,叙述通俗,例题典型且更加贴近工程实际,利于教师教学和学生自学。另外,为方便读者,已将本书的电子教案、授课计划和教学大纲、教学课件等教学资料,全部在网上公开发布。读者可登录 <http://www.yrep.com> 或 <http://jwc.hbsy.cn/ec/C4/zcr-1.htm> 查阅。编者制作的《平面直杆结构内力与位移计算》软件,也可以从此处下载。

本书编写分工如下:第1、3章由长春工程学院闫雪莲编写;第4、6章及第2、9章分别由湖北水利水电职业技术学院徐宏广、杨光编写;第7章及附录由郑州黄河工程有限公司吕军奇编写;湖北水利水电职业技术学院张美元编写其余各章及全书各章的学习指导,并负责全书统稿。

本书在编写过程中得到了相关院校领导和同行们的大力支持,在此,向关心和支持本教材建设的领导及同行表示诚挚的谢意。

由于编者水平所限,书中难免存在错漏和欠妥之处,诚请各位同行和广大读者批评指正,以便日后对本教材再作修改,使之不断完善。

编 者

2010年5月

前 言

本套书是根据高职高专水利工程和工业与民用建筑工程等专业的专业教学计划及工程力学教学大纲的基本要求,结合我国高职教育特点和对高等职业技术人才的培养目标要求而编写的,分《工程力学》和《工程力学学习指导》两册。

为体现高等职业技术教育的特点,按照培养符合我国国情的高等级实用型工程技术人才的基本要求,本套书采取不淡化理论的系统性,强调专业技术基础知识的实用性,将过去共几十章的工程力学教材内容,经精减、淡化、综合归类后,缩编成 11 章。

本套书内容简练,叙述通俗,例题典型且贴近工程实际。对于理论知识,着重强调其结论和应用。一般公式不推导,注重从实用出发,培养学生分析和解决实际问题的能力。每章末附有习题。《工程力学学习指导》是为帮助学生更好地学习和掌握教材内容。另外,为方便读者,已将本套书的电子教案、授课计划和教学大纲、教学课件等教学资料,全部在网上公开发布,读者可登录 <http://www.yrep.com> 或 <http://jwc.hbsy.cn/ec/C4/zcr-1.htm> 查阅。编者制作的《平面直杆结构内力与位移计算》软件,也可以从此处下载。

本教材及学习指导的编写分工如下:《工程力学》的第 2、3、10 章由王正君编写,第 4、5、7 章由吕军奇编写,第 6、8、9 章由杨帆编写;《工程力学学习指导》的第 3、4、5、6 章由王红梅编写,第 7、8、9 章由田春竹编写。其他章节由张美元编写。《工程力学》和《工程力学学习指导》均由张美元最后统稿。

在此向关心和支持本教材建设的领导及同行表示诚挚的谢意。由于本人水平所限,书中也难免存在错漏和欠妥之处,诚请各位同行和广大读者批评指正,以便日后对本教材再作修改,使之不断完善。

编 者

2007 年 5 月

主要符号表 (Main symbol table)

- F ——广义集中力 (Generalized concentrated force)
 W ——物体的自重 (Object dead weight)
 q ——广义分布力 (Generalized distributed force)
 m ——广义外力偶矩, 剪切构件中的剪切面个数 (The generalized external force moment of couple, cuts in component's shear plane integer)
 F_K ——临界荷载 (Critical load)
 P ——传输功率 (Transmission power)
 $\bar{F}$ ——广义单位力 (Generalized unit force)
 F_R ——力系的合力, 接触面全反力 (System of forces joint effort, contact face entire reaction)
 M_R ——合力偶矩 (With joint forces moment of couple)
 F_T ——柔性体约束反力 (Flexible body constraint reaction)
 F_N ——光滑面约束力、杆件轴力 (Smooth surface binding force, member axle strength)
 R ——支座反力, 半径 (Reaction of support, radius)
 F_{Rx}, F_{Ry} ——支座反力在 x, y 方向的分量 (F_{Rx}, F_{Ry} reaction of support in x, y direction component)
 F_f ——滑动摩擦力 (Glide friction force)
 X ——广义的多余未知力 (Generalized unnecessary unknown strength)
 F_Q ——剪力 (截面上的切向内力) (Shearing force (on section tangential endogenic force))
 M ——弯矩 (弯曲构件横截面上的内力偶矩) (Bending moment (in curving component lateral section endogenic force moment of couple))
 M_n ——扭矩 (扭转构件横截面上的内力偶矩) (Torque (in reverse component lateral section endogenic force moment of couple))
 σ ——正应力 (法向应力) (Normal stress (normal stress))
 σ_s ——屈服极限 (Yield strength)
 σ_b ——强度极限 (Ultimate strength)
 τ ——切应力 (切向应力) (Shear stress (tangential stress))
 τ_b ——剪切强度极限 (Shearing strength limit)
 F_{cr}, σ_{cr} ——压杆的临界力、临界应力 (Strut bracing's critical force, critical stress)
 $[\sigma]$ ——许用正应力 (Permits with the normal stress)
 $[\tau]$ ——许用切应力 (Permits with the shear stress)
 K ——任意截面或某指定点的位置, 安全系数 (Random section or some office of destination position, safety coefficient)
 f ——梁的挠度, 静摩擦系数 (Liang's amount of deflection, coefficient of friction of rest)

- $[f]$ ——许可挠度 (Permits the amount of deflection)
- $[\theta]$ ——许可单位长度转角 (Permits the unit length corner)
- θ ——角度, 单位长度扭转角 (Angle, unit length angle of torsion)
- φ ——角度, 扭转角, 角位移, 截面法线倾斜角 (Angle, angle of torsion, angular displacement, section normal angle of bank)
- α ——角度, 材料的线膨胀系数, 圆管 (筒) 的内径与外径之比 (Angle, material linear expansion coefficient, circular pipe (tube) inside diameter and the outer diameter ratio of)
- γ ——角度, 切应变 (剪应变), 材料的容重 (Angle, shear strain (shearing strain), material bulk specific gravity)
- ε ——纵向线应变 (Longitudinal linear strain)
- ε' ——横向线应变 (Crosswise linear strain)
- μ ——泊松系数, 压杆的长度系数, 力矩分配系数 (Poisson's modulus, strut bracing's coefficient of length, moment distribution coefficient)
- Δ ——广义位移, 微小间距 (Generalized displacement, small spacing)
- Δ_H, Δ_V ——水平线位移、竖向线位移 (Horizontal linear displacement, vertical linear displacement)
- δ ——单位力作用下的位移, 伸长率 (Under unit action of force displacement, elongation ratio)
- C ——支座位移, 截面形心位置, 物体的重心或形心位置 (Support displacement, section centroid position, object center of gravity or centroid position)
- O ——坐标原点, 转动中心 (矩心)、力系的简化中心位置, 虚铰位置 (Origin of coordinates, pivoting point (center of moment), system of forces simplification central place, imaginary hinge position)
- l ——杆件长度 (纵向尺寸) (Member length (longitudinal size))
- h ——截面高度 (Section altitude)
- b ——截面宽度 (Section width)
- e ——偏心距 (Eccentricity)
- d ——直径, 力臂、力偶臂长度, 工字钢和槽钢的腹板厚度 (Diameter, arm of force, arm of couple length, I-steel and channel steel web plate thickness)
- A ——平面 (截面) 面积 (Plane (section) area)
- ω ——弯矩图面积 (Bending - moment diagram area)
- S_y, S_z ——截面对 y, z 轴的静面矩 (面积矩) (Section to y, z axis static surface moment (surface product - moment))
- E ——拉压弹性模量 (Pulls presses the elasticity coefficient)
- G ——剪切弹性模量 (Ehear elasticity)
- I_p, ρ ——极惯性矩、极半径或惯性半径 (Polar moment of inertia, polar radius or radius of gyration)

I_{xy} ——惯性积 (Products of inertia)

I_y, I_z ——截面对中性轴 y, z 的主惯性矩 (Section to neutral axis y, z principal moment of inertia)

W_y, W_z ——对中性轴 y, z 的抗弯截面模量 (To neutral axis y, z anti-curved section modulus)

t ——温度, 板的厚度 (Temperature, board thickness)

n ——转速 (r/min), 物件 (连接件) 个数 (Rotational speed (r/min), thing (bridge piece) integer)

目 录

再版前言

前 言

主要符号表

第1章 绪 论	(1)
1.1 工程力学的研究对象和主要任务	(1)
1.2 变形固体的基本假设	(3)
1.3 杆件变形的基本形式	(4)
学习指导	(5)
复习思考题	(6)
第2章 工程力学基本知识	(7)
2.1 杆件和杆件结构的计算简图	(7)
2.2 力的相关概念	(14)
2.3 静力学公理	(16)
2.4 力在坐标轴上的投影	(19)
2.5 力对点之矩	(21)
2.6 力 偶	(24)
2.7 受力图	(25)
学习指导	(30)
习 题	(32)
复习思考题	(35)
第3章 力系的合成与平衡	(37)
3.1 概 述	(37)
3.2 平面汇交力系的合成与平衡	(38)
3.3 平面力偶系的合成与平衡	(44)
3.4 平面一般力系的合成与平衡	(45)
3.5 考虑滑动摩擦时物体的平衡问题	(58)
3.6 空间力系简介	(62)
3.7 物体重心与截面的几何性质	(67)
学习指导	(75)
习 题	(78)
复习思考题	(84)
第4章 等截面直杆的内力分析	(87)
4.1 概 述	(87)

4.2 轴向拉压杆的内力与内力图	(91)
4.3 圆轴扭转时的内力与内力图	(94)
4.4 平面弯曲梁的内力与内力图	(95)
4.5 移动荷载作用下简支梁的弯矩包络图	(112)
学习指导	(120)
习 题	(123)
复习思考题	(126)
第5章 杆件的应力分析与强度计算	(128)
5.1 概 述	(128)
5.2 轴向拉伸和压缩时材料的力学性能	(131)
5.3 轴向拉压杆的应力与强度计算	(137)
5.4 连接件的实用计算	(143)
5.5 圆轴扭转时的应力与强度计算	(146)
5.6 平面弯曲梁的应力与强度计算	(148)
5.7 偏心压杆的应力分析	(157)
5.8 应力状态与强度理论简介	(161)
学习指导	(168)
习 题	(171)
复习思考题	(176)
第6章 杆件的变形计算与刚度校核	(181)
6.1 概 述	(181)
6.2 轴向拉压杆的变形计算	(183)
6.3 梁的变形计算和刚度校核	(186)
6.4 杆件变形的测量*	(201)
6.5 弹性结构的互等定理	(203)
学习指导	(204)
习 题	(206)
复习思考题	(208)
第7章 压杆稳定	(210)
7.1 概 述	(210)
7.2 压杆的临界力和临界应力	(211)
7.3 压杆的稳定计算	(214)
学习指导	(219)
习 题	(221)
复习思考题	(222)
第8章 平面体系的几何组成分析	(224)
8.1 几何组成分析中的几个重要概念	(224)
8.2 几何不变体系的组成规则	(226)

8.3 结构的几何特性	(233)
学习指导	(233)
习 题	(234)
复习思考题	(236)
第9章 静定平面结构的内力和位移计算	(237)
9.1 静定平面结构的特征及基本类型	(237)
9.2 静定多跨梁的内力计算	(239)
9.3 静定平面刚架的内力计算	(242)
9.4 静定平面桁架的内力计算	(247)
9.5 三铰拱的内力计算	(253)
9.6 静定结构的位移计算	(256)
学习指导	(262)
习 题	(265)
复习思考题	(272)
第10章 静不定结构计算方法	(273)
10.1 概 述	(273)
10.2 力 法	(276)
10.3 位移法*	(288)
10.4 力矩分配法	(294)
10.5 结构计算软件的应用	(301)
学习指导	(316)
习 题	(320)
复习思考题	(331)
附录 型钢规格表	(333)
参考文献	(348)

第1章 绪论

本章主要阐述了工程力学的研究对象和主要任务,简要介绍了变形固体的基本假设和杆件变形的基本形式。

学习本章的基本要求是:

(1)了解建筑物、结构、构件三者的含义及其相互关系,明确工程力学课程的研究对象。

(2)了解杆件和杆件结构的强度、刚度、稳定性的含义,明确工程力学的主要任务。

(3)了解变形固体和基本假设及杆件变形的基本形式,以及每种变形的受力与主要变形特征。

1.1 工程力学的研究对象和主要任务

在土木工程的桥、涵、闸、坝、房屋等各种建筑物中承受荷载且起骨架作用的部分,称为结构。例如在图 1-1 ~ 图 1-4 所示建筑物中承受荷载并起骨架作用的部分,都称为该建筑物的结构。

工程结构中的任何一个基本部件都称为构件。板、梁、柱(墩)是土木工程结构中最常见的构件。工程结构构件的基本类型有三种:杆件(长度远大于横向尺寸,如图 1-5 中(a)、(b)、(c));板和壳(厚度远小于长度和宽度,如图 1-5 中(d)、(e));块体(三个方向的尺寸相差不大,如图 1-5 中(f))。



图 1-1 广州广电大厦

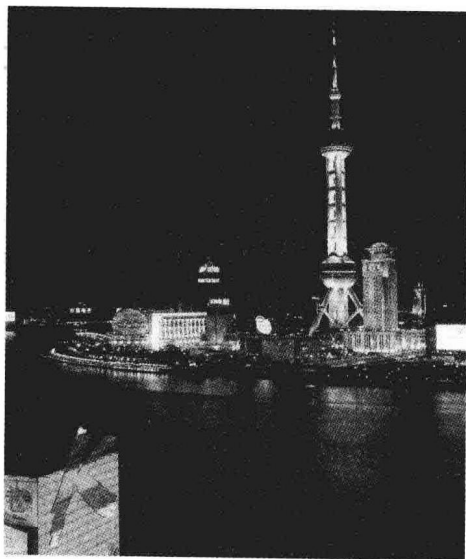


图 1-2 上海东方明珠



图 1-3 某河口的水位控制闸

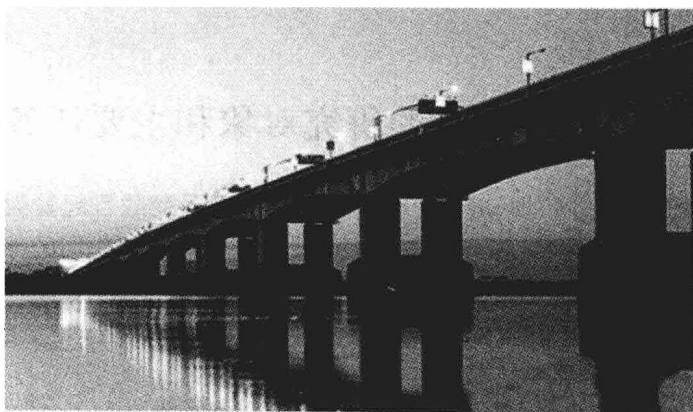


图 1-4 松花江公路大桥

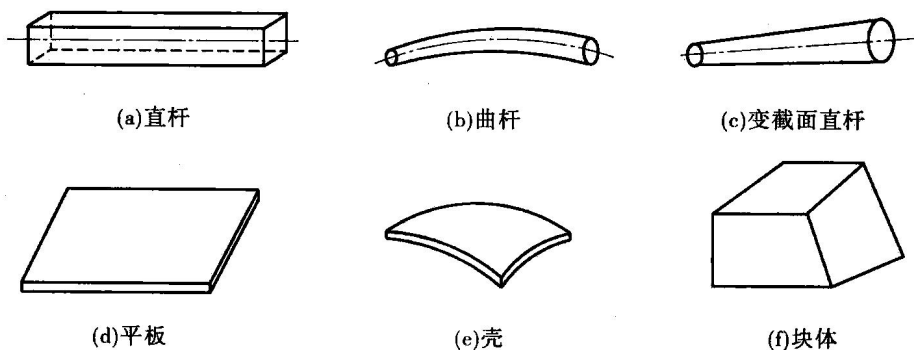


图 1-5 构件的基本类型

在建筑物中由杆件构成骨架的结构,称为杆件结构。例如图 1-1 ~ 图 1-4 中各种建筑物的结构,都是杆件结构。工程力学研究的主要对象是杆件和平面杆件结构。

结构中的每个构件在外力作用下都会产生内力和变形,当这种内力和变形达到或超过某一限度(即构件或结构的承载能力)时,构件及结构就会丧失工作能力甚至破坏。工程力学中将作用于结构或构件上的主动力称为荷载。结构或构件对荷载的承受能力(简

称为承载能力),体现在该结构或构件的强度、刚度、稳定性三个方面。其中:

强度主要反映结构或构件在确定的外力作用下,不至于发生断裂、破碎或产生过大塑性变形的能力。

刚度反映结构或构件对外因作用产生变形的抵抗能力。

稳定性主要指轴向受压杆件在外力作用下,保持其原有直线平衡状态的能力。

工程力学的主要任务是研究杆件与杆件结构在荷载作用下的平衡条件和承载能力,即研究和解决杆件与杆件结构的强度、刚度及稳定性问题。但本课程主要是提供解决这些问题的基本理论知识和方法。要使问题得到真正解决,还需要学习和掌握相关的专业理论知识并具有一定实践经验。

1.2 变形固体的基本假设

如前所述,工程力学主要研究和解决工程结构或构件的强度、刚度和稳定性问题。构件和由构件组成的结构在外力(或温度变化等其他因素)作用下都会产生变形。工程力学中将这种构件称为**变形固体**。

实际工程中,工程结构或构件所使用的材料是多种多样的,各种材料的物质结构和物理性能也各不相同。我们在研究结构和构件时,不可能将其有影响的所有因素都考虑进去,考虑的因素越多,就会使所研究的问题越复杂,甚至无法找到正确的答案。忽略那些对所研究的问题影响很小的次要因素,不仅便于问题的研究,而且不会影响工程计算的精度。为此,我们对工程构件及其所使用的材料提出了以下三个基本假设。

1.2.1 均匀性、连续性假设

均匀性假设 假设组成构件的固体分子或晶粒排列整齐、分布均匀且无杂质。符合这一假设的材料称为均质材料。工程中将金属或合金材料、混凝土、砖、石、橡胶、塑料等常用的建筑材料,都视为均质材料。

连续性假设 假设组成构件的固体分子或晶粒排列紧密而无间隙。从宏观上讲,是指构件中没有任何的裂隙或破损。

1.2.2 各向同性假设

假设构件各个方向的物理力学性质相同。在实际工程中,除木材、竹材,以及一些复合材料属于各向异性材料外,其他如钢、铁、铜、铝、合金材料、混凝土、砖、石材、工程塑料等大多数建筑材料,都视为各向同性材料。即认为,由这些各向同性材料所构成的构件,其各个方向上承受外力和抵抗变形的能力都相同。

1.2.3 小变形假设

假设构件的变形量与构件的原始尺寸相比十分微小。对于建筑工程所要求的必须处于弹性变形范围的工程构件或结构而言,这种假设是与实际相符合的。

在工程力学中所研究的构件和所使用的材料均被认为符合以上假设。

1.3 杆件变形的基本形式

尽管实际工程结构及构件的受力情况和变形状态多种多样,但就其基本变形而言,无外乎图 1-6 所示的四种形式。

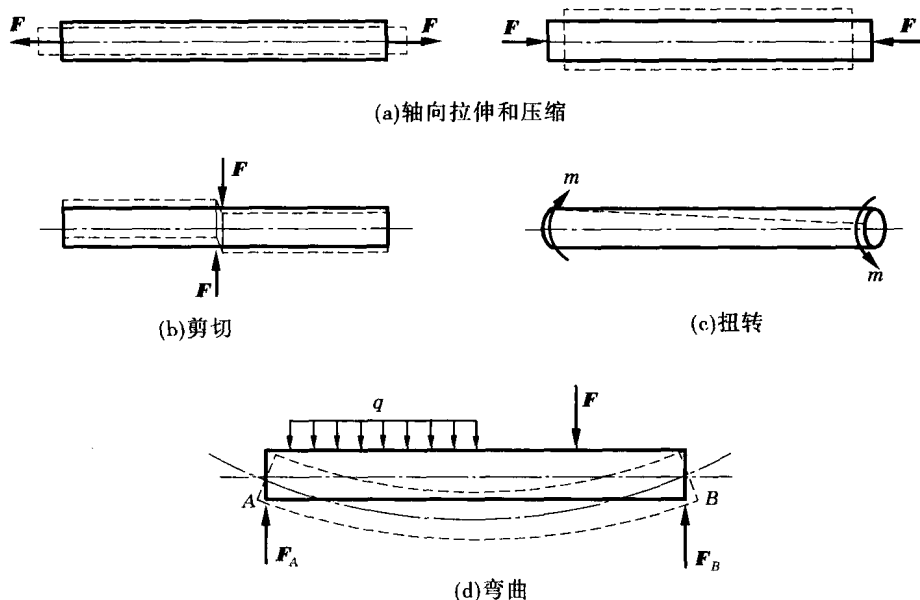


图 1-6 杆件变形的基本形式

1.3.1 轴向拉伸或压缩

当杆件受到与杆轴线重合的拉力或压力作用时,杆件的纵向会产生伸长或缩短的变形(见图 1-6(a)),这种变形形式称为轴向拉伸或压缩。

1.3.2 剪切

当杆件受到一对大小相等、方向相反、作用线平行但相距很近的外力作用时,会使这二力作用线之间的截面产生相对错动(见图 1-6(b)),这种变形形式称为剪切。

1.3.3 扭转

当杆件受到一对大小相等、转向相反、作用面平行的外力偶作用时,会使此二力偶作用面间的横截面产生绕杆轴线的相对转动(见图 1-6(c)),这种变形形式称为扭转。

1.3.4 弯曲

当杆件受到与杆轴线垂直的集中力或分布力作用时,杆件的轴线及与该轴线平行的任意一根纤维都会发生弯曲(见图 1-6(d)),这种变形形式称为弯曲。

实际工程中的受力杆件除可能产生上述四种基本变形形式外,还有可能产生以上任

意两种或几种基本变形形式组合而形成的组合变形形式,例如弯压(拉)组合变形、弯扭组合变形、斜弯曲、偏心压缩等。

学习指导

1. 杆件和杆件结构的承载能力

工程力学的研究对象是杆件和杆件结构。

杆件是指长度远远大于横向尺寸的杆件。轴线是直线的杆件称为直杆,轴线是曲线的杆件称为曲杆。

杆件结构是指由杆件(或杆件系统)与基础相联而构成。杆件结构有多种形式,常见的杆件结构有梁、刚架、桁架、拱等基本形式,以及由基本形式结构组成的组合结构。最简单的杆件结构是由一根杆件与支座联结而成的结构,如单跨梁。

工程力学的任务是研究杆件或杆件结构自身的承载能力。而对于结构的基础,其承载能力将在有关的专业课程中研究。因此,工程力学中所讲述的承载能力,主要是指杆件承受外力的能力。这种能力具体体现在强度、刚度和稳定性三个方面。

强度反映杆件抵抗破坏的能力。强度问题就是当杆件受外力后,会不会产生断裂、破碎等问题。

刚度反映杆件抵抗变形的能力。刚度问题就是杆件受力后产生的变形会不会超出允许范围的问题。因为当杆件变形超过允许范围时,虽然结构不至于破坏,但却不能正常使用,即同样失去了承载能力。

稳定性反映轴向压杆保持原有直线平衡状态的能力。研究证明,对于细而长的轴向压杆,其承载能力突出地反映在稳定性问题上。如果稳定性满足要求,则该杆件的强度和刚度都会满足要求。当然,某些不是轴向压缩的杆件也会存在稳定性问题,只是本教材不对它进行讨论而已。

杆件的强度、刚度和稳定性,不仅与作用于杆件上的外力有关,还与杆件的几何尺寸、横截面形状、杆件材料的性质等因素密切相关。关于这一点,读者在学习时要注意。

2. 变形固体的三个假设

实际物体的物理性质是比较复杂的,当我们分析物体的受力和变形时,如果把所有影响的因素都考虑进来,不仅会使问题变得非常复杂,而且可能得不出正确的结论。其实,在分析问题时只要抓住主要的影响因素,就可使分析结果满足计算精度要求,而且还可以使分析过程和解决问题的表达形式十分简捷。基于此点,工程力学对变形固体材料作出了三点假设,即均匀连续性假设、各向同性假设和小变形假设。

3. 杆件的四种基本变形

实际工程结构中的杆件在外力或其他各种因素作用下的变形形式有很多种,但经分析表明,无论杆件的变形形式如何复杂,其基本的变形形式只有四种,即轴向拉伸或压缩、

剪切、扭转、弯曲。其他任何变形形式都是这四种基本形式的不同组合。

轴向拉伸或压缩:轴向即杆件的轴线方向,拉或压是指沿杆件的轴线方向作用的拉力或压力,伸和缩是指杆件的变形为轴向的伸长或缩短。

剪切:是指杆件(或构件)受一对等值、反向、作用线平行但相距很近的外力作用时,杆件位于此二力作用线之间横截面会产生沿各自作用力方向平行错动的变形或破坏。工程中的剪切构件主要是结构或机构中的连接件,如铆钉、螺栓、销钉等物件。

扭转:杆件受到与横截面平行且绕杆件的轴线转动的外力偶作用时,杆件在外力偶作用面之间的各横截面均绕杆件轴线产生相对转动。工程中的扭转杆件主要是机械(机器)的传动轴。

弯曲:当杆件受到与杆轴线垂直的外力作用时,杆件的轴线会由原来的直线变为曲线(称为曲轴线)。这时,杆件轴线一侧的纤维相对伸长,另一侧的纤维则相对缩短。弯曲变形是工程结构中梁和刚架的主要变形形式。

复习思考题

1. 工程力学的学科性质是什么?
2. 何谓结构? 何谓杆件结构?
3. 杆件的几何特征是什么?
4. 强度、刚度、稳定性分别反映了杆件哪个(或哪些)方面的能力?
5. 假设工程材料符合均匀连续性、各向同性和小变形的目的是什么?
6. 作用于四种基本变形杆件上的外力各有什么特征?