

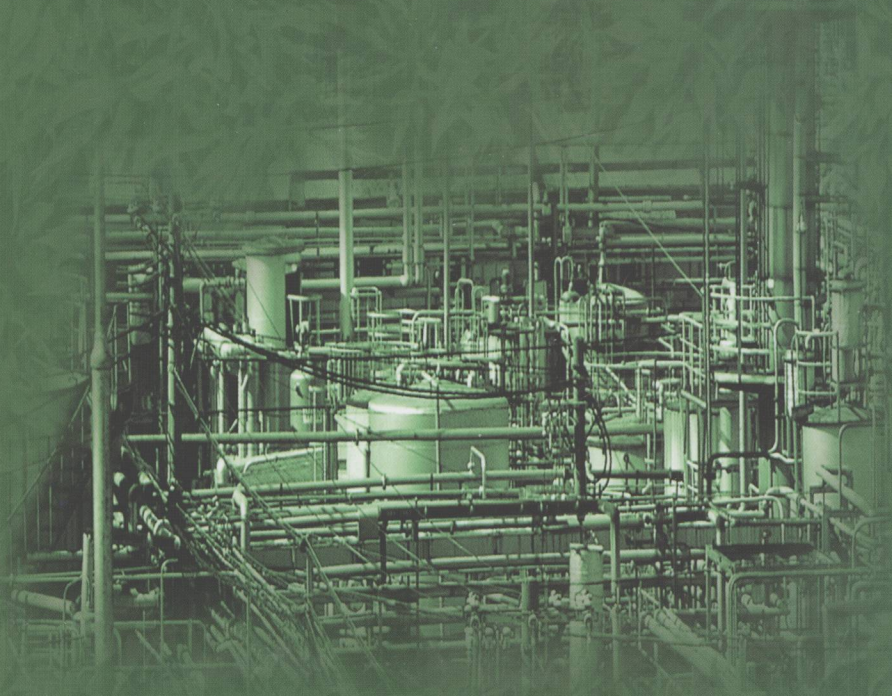
■ 高等学校理工科化学化工类规划教材

国家精品课程教材

化工设备机械基础

FUNDAMENTAL CHEMICAL PROCESS EQUIPMENT

喻健良 主编



大连理工大学出版社
DALIAN UNIVERSITY OF TECHNOLOGY PRESS

■ 高等学校理工科化学化工类规划教材

国家精品课程教材

化工设备机械基础

FUNDAMENTAL CHEMICAL PROCESS EQUIPMENT

主编 喻健良

编著 喻健良 马 源

银建中 刁玉玮



大连理工大学出版社
DALIAN UNIVERSITY OF TECHNOLOGY PRESS

图书在版编目(CIP)数据

化工设备机械基础 / 喻健良主编. —大连: 大连理工大学出版社, 2009. 7

ISBN 978-7-5611-4625-5

I. 化… II. 喻… III. ①化工机械 ②化工设备 IV. TQ05

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2009)第 122571 号

大连理工大学出版社出版

地址: 大连市软件园路 80 号 邮政编码: 116023

发行: 0411-84708842 传真: 0411-84701466 邮购: 0411-84703636

E-mail: dutp@dutp.cn URL: <http://www.dutp.cn>

大连理工印刷有限公司印刷 大连理工大学出版社发行

幅面尺寸: 185mm×260mm	印张: 30.5	字数: 690 千字
2009 年 7 月第 1 版	2009 年 7 月第 1 次印刷	

责任编辑: 刘新彦 于建辉	责任校对: 欣 宇
封面设计: 宋 蕾	

ISBN 978-7-5611-4625-5

定价: 45.00 元

前言

随着教学改革的不深入,不同学校对过程机械相关专业的教学提出了不同的要求。考虑化学工程、应用化学、制药工程、高分子材料、环境科学、生物化学等专业的课程设置,结合近年来的教学实践,将“化工设备机械基础”和“工程力学”内容进行整合,编写了本书。

本书的主要特点体现在如下几个方面:

(1)通过相互渗透、融会贯通、精选特色等保持了原系列教材的特点

由刁玉玮教授主编的《化工设备机械基础》一直是国内许多院校化工工艺类专业的首选教材,已经再版6次,作为“十五”和“十一五”规划教材,深受广大师生的欢迎。本书的“化工设备材料”“化工容器设计”篇按照《化工设备机械基础》一书的基本构架编写,主要内容保持不变;“典型化工设备的机械设计”篇重新进行编写。由银建中副教授主编的《工程力学》作为高等学校理工科规划教材一直是化工工艺类学生的力学基础教材。本书的“工程力学基础”篇保留了《工程力学》一书的特色内容。

(2)在内容和表达方面,尽可能反映学科的最新发展趋势,保证教材与时俱进

根据最新国家标准、行业标准和工程规范,在“化工设备材料”篇中,将最新材料标准、材料牌号等进行了较大幅度的调整,有助于教师和学生对新标准的了解。“典型化工设备的机械设计”篇中塔设备设计内容完全符合最新标准的设计要求,便于学生在掌握基本设计理论的同时,适应国家标准对典型设备的设计要求。

(3)注重解决工程实际问题的能力和自主学习能力的培养

在典型压力容器结构应力分析时,注重与工程实际问题紧密结合,以典型结构的应力分布、设计要点、工程意义为重点,对典型结构进行应力分析与讨论,提高解决工程实际问题的能力,把复杂的推导和理论分析留给学生通过查阅文献和资料自主学习解决。

本书提供了适量的习题,通过精选习题,让学生有问题可思考,有问题可研究。

参加本书编写工作的有:喻健良、马源、银建中、夏远景、刘学武、李岳、伊军。全书由喻健良教授统稿并最终定稿。

在本书编写过程中,伊军高级工程师提出了关于适应新标准和工程规范要求的宝贵建议。

在本书编写过程中,参考借鉴了许多优秀教材和工程设计资料,使编者受益匪浅,在此表示衷心的感谢!

限于编者的学识和水平,书中缺点和错误之处在所难免,恳请读者指正。

编者

2009年7月

目 录

第 1 篇 工程力学基础

第 1 章 引 言 /3

- 1.1 构 件 /3
- 1.2 强度、刚度与稳定性 /3
- 1.3 基本变形形式 /4

第 2 章 轴向拉伸与压缩 /5

- 2.1 拉伸与压缩的基本概念 /5
 - 2.2 物体的内力 截面法 /6
 - 2.2.1 内力的概念 /6
 - 2.2.2 截面法求内力 /6
 - 2.3 拉伸与压缩时的应力分析 /8
 - 2.3.1 应力的概念 /8
 - 2.3.2 轴向拉压时横截面上的应力 /9
 - 2.4 拉伸与压缩变形 胡克定律 /11
 - 2.4.1 纵向变形 /11
 - 2.4.2 横向变形 /12
 - 2.4.3 胡克定律 /12
 - 2.5 轴向拉伸与压缩时的强度计算 /14
 - 2.5.1 许用应力与安全系数 /14
 - 2.5.2 轴向拉伸与压缩时的强度条件 /15
 - 2.6 热应力的概念 /18
 - 2.7 应力集中的概念 /19
- 习 题 /20

第 3 章 剪切与圆轴扭转 /23

- 3.1 剪切与挤压 /23
 - 3.1.1 剪 切 /23
 - 3.1.2 挤 压 /25

- 3.1.3 剪切与挤压的强度计算 /26

- 3.1.4 剪应变与剪切胡克定律
简介 /30

3.2 扭 转 /31

- 3.2.1 扭转的基本概念 /31
- 3.2.2 扭转时外力的计算 /32
- 3.2.3 扭转时内力的计算 /33

3.3 圆轴扭转时的应力及强度条件 /37

- 3.3.1 剪应变分布规律 /37
- 3.3.2 剪应力分布规律 /38
- 3.3.3 以静力平衡求剪应力 /39
- 3.3.4 截面的几何性质、强度条件 /40

3.4 圆轴扭转时的变形及刚度条件 /42

- 3.4.1 圆轴扭转时的变形分析 /42
- 3.4.2 圆轴扭转时的刚度条件 /42

习 题 /48

第 4 章 梁的弯曲 /52

- 4.1 基本概念 /52
- 4.2 弯曲时的内力分析 /54
 - 4.2.1 弯曲内力 /54
 - 4.2.2 剪力和弯矩符号规则 /55
- 4.3 弯矩图 /56
- 4.4 弯曲时的应力和强度计算 /61
 - 4.4.1 平面假设与变形的几何关系 /61
 - 4.4.2 物理方程与应力分布 /63
 - 4.4.3 静力平衡方程 /63

- 4.4.4 弯曲正应力公式适用范围
范围的讨论 /64
- 4.5 截面几何性质 /65
 - 4.5.1 常用截面的几何性质 /66
 - 4.5.2 组合截面的几何性质 /67
- 4.6 弯曲正应力的强度条件 /69
- 4.7 梁的优化设计 /73
 - 4.7.1 支承的合理安排 /73
 - 4.7.2 载荷的合理布置 /74
 - 4.7.3 截面形状的合理设计 /75
- 4.8 梁的弯曲变形 /77
 - 4.8.1 梁的弹性曲线、挠度和转角 /77
 - 4.8.2 弹性曲线的近似微分方程 /78
 - 4.8.3 用叠加法求梁的变形 /82
 - 4.8.4 梁的刚度校核 提高抗弯
刚度的措施 /82
- 习 题 /83

第5章 强度理论与组合变形 /88

- 5.1 强度理论简介 /88
- 5.2 组合变形的概念 /89
- 5.3 拉伸(压缩)与弯曲组合变形 /90
- 5.4 扭转与弯曲组合变形 /94

- 5.4.1 扭转与弯曲组合变形时的
应力分析 /95
- 5.4.2 扭转与弯曲时的强度计算 /95
- 习 题 /98

第6章 压杆稳定 /101

- 6.1 工程中的稳定性问题 /101
- 6.2 两端球铰支细长压杆的临界力 /103
- 6.3 杆端不同约束条件下细长压杆的
临界力 /104
- 6.4 压杆临界应力与欧拉公式的
适用范围 /107
 - 6.4.1 临界应力和柔度 /107
 - 6.4.2 欧拉公式的适用范围 /108
 - 6.4.3 中柔度压杆的临界应力
公式 /108
- 6.5 压杆稳定性校核 /110
 - 6.5.1 压杆稳定性安全准则 /110
 - 6.5.2 压杆稳定性校核的
安全系数法 /111
- 6.6 工程中提高压杆稳定性的措施 /112
- 6.7 其他构件稳定问题简介 /113
- 习 题 /115

第2篇 化工设备材料

第7章 材料基础知识 /119

- 7.1 钢材生产基本知识 /119
 - 7.1.1 炼钢炉 /119
 - 7.1.2 炉外精炼 /120
 - 7.1.3 脱氧工艺 /120
 - 7.1.4 几个基本术语 /121
 - 7.1.5 钢材分类 /121
 - 7.1.6 钢铁牌号及表示方法 /123
 - 7.1.7 钢材的热处理 /124
- 7.2 材料的性能 /126
 - 7.2.1 力学性能 /126
 - 7.2.2 物理性能 /131

- 7.2.3 化学性能 /132
- 7.2.4 工艺性能 /133

第8章 化工设备材料及其选择 /135

- 8.1 碳 钢 /135
- 8.2 低合金钢及化工设备用特种钢 /136
 - 8.2.1 合金元素对钢性能的
影响 /136
 - 8.2.2 低合金钢 /138
 - 8.2.3 锅炉和压力容器用钢板 /138
 - 8.2.4 不锈钢 /139
 - 8.2.5 耐热钢 /141
 - 8.2.6 低温用钢 /141

- 8.2.7 钢材的品种和规格 /142
- 8.2.8 化工设备用钢的选材原则 /143
- 8.3 有色金属材料 /145
 - 8.3.1 铝及其合金 /145
 - 8.3.2 铜及其合金 /146
 - 8.3.3 铅及其合金 /146
 - 8.3.4 钛及其合金 /147
- 8.4 非金属材料 /147
 - 8.4.1 无机非金属材料 /147
 - 8.4.2 有机非金属材料 /148

第9章 化工设备的腐蚀及防腐措施 /150

- 9.1 金属的腐蚀 /150
 - 9.1.1 金属腐蚀的评定方法 /150
 - 9.1.2 化学腐蚀 /151
 - 9.1.3 电化学腐蚀 /153
- 9.2 晶间腐蚀和应力腐蚀 /154
- 9.3 金属腐蚀破坏的形式 /156
- 9.4 金属设备的防腐措施 /156
- 习 题 /157

第3篇 化工容器设计

第10章 容器设计的基本知识 /163

- 10.1 容器的分类与结构 /163
 - 10.1.1 容器的分类 /163
 - 10.1.2 容器的结构 /166
- 10.2 容器零部件的标准化 /166
 - 10.2.1 标准化的意义 /166
 - 10.2.2 标准化的基本参数 /167
- 10.3 压力容器的安全监察 /168
 - 10.3.1 我国压力容器的基本状况 /168
 - 10.3.2 我国压力容器安全监察体制 /169
- 10.4 现行压力容器安全监察法规、规范介绍 /170
- 10.5 压力容器建造标准规范 /174
 - 10.5.1 压力容器建造标准的基本内容 /174
 - 10.5.2 压力容器标准化体系 /175
- 10.6 压力容器国内外标准简介 /176
 - 10.6.1 各国主要压力容器标准的性质和地位 /176
 - 10.6.2 各国压力容器分类的原则 /176
 - 10.6.3 各国主要标准的压力适用范围 /177

- 10.6.4 在标准中及时体现先进技术的应用 /177
- 10.6.5 我国主要压力容器建造标准简介 /178
- 10.7 《钢制压力容器》简介 /179
 - 10.7.1 适用范围 /179
 - 10.7.2 不适用范围 /179
 - 10.7.3 超出标准规定范围的设计问题 /180
- 10.8 设计载荷条件 /180
- 10.9 压力容器设计寿命 /181
- 10.10 容器机械设计的基本要求 /182
- 习 题 /183

第11章 内压薄壁容器的应力分析 /185

- 11.1 回转壳体的应力分析——薄膜应力理论 /185
 - 11.1.1 薄壁容器及其应力特点 /185
 - 11.1.2 基本概念与基本假设 /186
 - 11.1.3 经向应力计算公式——区域平衡方程式 /187
 - 11.1.4 环向应力计算公式——微体平衡方程式 /189
 - 11.1.5 轴对称回转壳体薄膜理论的应用范围 /191
- 11.2 薄膜理论的应用 /191

- 11.2.1 受气体内压的圆筒形壳体 /191
- 11.2.2 受气体内压的球形壳体 /192
- 11.2.3 受气体内压的椭球壳体 (椭圆形封头) /193
- 11.2.4 受气体内压的锥形壳体 /195
- 11.2.5 受气体内压的碟形壳体 (碟形封头) /196
- 11.2.6 例题 /199
- 11.3 内压圆筒边缘应力 /200
 - 11.3.1 边缘应力的概念 /200
 - 11.3.2 边缘应力的特点 /201
 - 11.3.3 对边缘应力的处理 /202
- 习题 /203

第12章 内压薄壁圆筒与封头的强度设计/206

- 12.1 强度设计的基本知识 /206
 - 12.1.1 关于弹性失效的设计准则 /206
 - 12.1.2 强度理论及其相应的强度条件 /207
- 12.2 内压薄壁圆筒壳与球壳的强度设计 /208
 - 12.2.1 强度计算公式 /208
 - 12.2.2 设计参数的确定 /210
 - 12.2.3 容器的厚度和最小厚度 /219
 - 12.2.4 压力试验及其强度校核 /220
 - 12.2.5 例题 /225
- 12.3 内压圆筒封头的设计 /227
 - 12.3.1 半球形封头 /228
 - 12.3.2 椭圆形封头 /228
 - 12.3.3 碟形封头 /229
 - 12.3.4 球冠形封头 /230
 - 12.3.5 锥形封头 /232
 - 12.3.6 平板封头 /237
 - 12.3.7 例题 /241
 - 12.3.8 封头的选择 /243
- 习题 /246

第13章 外压圆筒与封头的设计 /249

- 13.1 概述 /249

- 13.1.1 外压容器的失稳 /249
- 13.1.2 容器失稳型式的分类 /249
- 13.2 临界压力 /250
 - 13.2.1 临界压力的概念 /250
 - 13.2.2 影响临界压力的因素 /250
 - 13.2.3 弹性失稳的理论计算方法 /252
 - 13.2.4 长圆筒、短圆筒和刚性圆筒 /253
 - 13.2.5 临界压力的理论计算 /254
 - 13.2.6 临界长度 /255
- 13.3 外压圆筒的工程设计 /255
 - 13.3.1 设计准则 /255
 - 13.3.2 外压圆筒壁厚设计的图算法 /256
 - 13.3.3 外压容器的试压 /264
 - 13.3.4 例题 /264
- 13.4 轴向受压圆筒失稳计算 /265
- 13.5 外压球壳与凸形封头的设计 /266
 - 13.5.1 外压球壳和球形封头的设计 /266
 - 13.5.2 凸面受压封头的设计 /267
 - 13.5.3 例题 /267
- 13.6 外压圆筒加强圈的设计 /268
 - 13.6.1 加强圈的作用与结构 /268
 - 13.6.2 加强圈的间距 /269
 - 13.6.3 加强圈的尺寸设计 /269
 - 13.6.4 加强圈与圆筒间的连接 /270
 - 13.6.5 例题 /271

习题 /272

第14章 容器零部件 /275

- 14.1 法兰连接 /275
 - 14.1.1 法兰连接结构与密封原理 /275
 - 14.1.2 法兰的结构与分类 /276
 - 14.1.3 影响法兰密封的因素 /278
 - 14.1.4 法兰标准及选用 /285
- 14.2 容器支座 /296
 - 14.2.1 卧式容器支座 /296

14.2.2	立式容器支座	/303
14.3	容器的开孔补强	/304
14.3.1	开孔应力集中现象 及其原因	/304
14.3.2	开孔补强设计原则、 形式与结构	/306
14.3.3	等面积补强设计方法	/309
14.3.4	例 题	/315
14.4	容器附件	/316
14.4.1	接 管	/316
14.4.2	凸 缘	/316

14.4.3	手孔与人孔	/317
14.4.4	视 镜	/318
14.5	容器设计举例	/318
14.5.1	罐体壁厚设计	/318
14.5.2	封头厚度设计	/319
14.5.3	鞍 座	/319
14.5.4	人 孔	/320
14.5.5	人孔补强	/322
14.5.6	接 管	/322
14.5.7	设备总装配图	/323
	习 题	/325

第4篇 典型化工设备的机械设计

第15章 管壳式换热器的机械设计 /331

15.1	概 述	/331
15.1.1	换热器的类型	/331
15.1.2	换热器的选型	/332
15.2	管壳式换热器	/334
15.2.1	基本类型	/334
15.2.2	总体设计	/336
15.3	管壳式换热器的主要部件与 结构设计	/337
15.3.1	管 板	/337
15.3.2	管 束	/338
15.3.3	管子与管板的连接	/340
15.3.4	管 箱	/342
15.3.5	管板与壳体的连接	/343
15.3.6	管板与管箱的连接	/344
15.3.7	管束分程	/345
15.3.8	折流板和支承板	/346
15.3.9	拉杆和定距管	/348
15.3.10	进、出口接管	/349
15.3.11	防冲和导流	/349
15.3.12	排液口和排气口	/350
15.3.13	支 座	/350
15.4	管板的计算与校核	/350
15.4.1	基本假设	/350

15.4.2	影响管板应力的因素	/351
15.4.3	计算与校核	/352
15.5	温差应力及膨胀节设置	/352
15.5.1	温差引起的应力计算	/352
15.5.2	管子拉脱力计算及 校核	/353
15.5.3	温差应力的补偿	/354
15.5.4	膨胀节结构及设置	/355
15.6	热管及热管换热器	/357
15.6.1	热 管	/357
15.6.2	热管换热器	/359

第16章 塔设备设计 /363

16.1	概 述	/363
16.1.1	塔设备的作用和类型	/363
16.1.2	塔类型选择	/363
16.1.3	对塔设备的要求	/364
16.2	板式塔	/364
16.2.1	设计内容	/364
16.2.2	总体结构及分类	/365
16.2.3	塔盘结构	/365
16.3	填料塔	/377
16.3.1	设计内容	/377
16.3.2	总体结构	/378
16.3.3	填料类型及选用	/378

16.3.4	液体的分布装置和再分布装置	/382	附录5	螺栓、螺母材料组合及适用温度范围	/427
16.3.5	填料的支承装置	/387	附录6	钢板、钢管、锻件和螺栓的许用应力	/428
16.3.6	填料压板和床层限制板	/388	附录7	图13-6和图13-8~图13-15数据表(GB 150—1998)	/438
16.4	辅装置及附件	/389	附录8	长颈法兰的最大允许工作压力(JB/T 4700—2000)	/444
16.4.1	裙座	/389	附录9	甲型、乙型平焊法兰和长颈法兰螺柱材料的选用	/445
16.4.2	除沫器	/390	附录10	甲型平焊法兰、乙型平焊法兰尺寸系列	/448
16.4.3	接管	/391	附录11	管法兰标准(HG 20592—97)	/451
16.4.4	吊柱	/395	附录12	双鞍式支座标准(JB/T 4712—92)	/462
16.5	塔设备的机械设计	/396	附录13	耳式支座标准(JB/T 4725—92)	/472
16.5.1	塔体的机械设计	/396	附录14	裙座上开设检查孔处的断面模数及面积	/474
16.5.2	裙座的机械设计	/407	附录15	裙座标准系列尺寸	/475
16.6	塔体与裙座的机械设计举例	/415	参考文献		/478
	习 题	/421			
附 录		/422			
附录1	常用金属材料的物理性能	/422			
附录2	优质碳素结构钢的钢号和化学成分(GB 711—88)	/423			
附录3	碳素结构钢的钢号、化学成分及力学性能	/424			
附录4	锅炉和压力容器用钢板(GB 713—2008)	/425			

第 1 篇

工程力学基础

本篇是学习“化工设备机械基础”的先修内容。

工程力学是研究构件在满足强度、刚度和稳定性的前提下，以最经济的代价，选择最适宜的材料，确定合理的形状和尺寸，为设计构件提供必要的理论基础和计算方法。

本篇以等截面直杆为主要研究对象，分析了四种基本变形形式（拉伸与压缩、剪切、扭转、弯曲）下构件的强度、刚度问题，以及压杆的稳定性问题，给出了构件设计的强度、刚度及稳定性条件。

引言

1.1 构件

工程结构、机器或设备中每一个基本组成部分称为构件。工程中的构件可归纳为：杆件、壳体、板、块体等。

当构件在某一方向上的尺寸比另两个方向上的尺寸大很多时，力学上称之为杆件，例如：梁、传动轴、连杆、支柱等。杆件横截面中心的连线称为轴线，轴线为直线的杆件称为直杆。本篇主要以等截面直杆为研究对象。

当构件在某一方向上的尺寸比另两个方向上的尺寸小很多时，力学上称之为板或壳体。其中，形状为平面的称为板，形状为曲面的称为壳体。化工容器就是典型的壳体结构。

当构件在三个方向上的尺寸具有相同的数量级时，力学上称之为块体。例如：水坝、房屋的基础。

1.2 强度、刚度与稳定性

强度是指构件在外力作用下抵抗显著塑性变形或断裂的能力。构件在外力作用下可能断裂，也可能发生不可恢复的塑性变形，这两种情况都属于强度破坏或强度失效。构件正常工作需具备足够的强度，这类条件称为强度条件。

刚度是指构件在外力作用下抵抗发生过大弹性变形或弹性位移的能力。刚度失效是指构件在外力作用下发生过量的弹性变形或弹性位移。

在静力学中，我们把构件视为刚体，而在工程实际中，刚体是不存在的。构件在外力作用下会发生变形，构件的变形分为两种：一种是除去外力后可自行消失的变形，称为弹性变形；另一种是除去外力后不能消失的变形，称为塑性变形。构件在正常工作时是不允许发生塑性变形的。很多构件在工作时对弹性变形也有一定的要求，如机床主轴变形过大会降低加工精度，车辆减震器弹簧变形过小起不到缓冲作用等。这类构件除了应满足强度条件外，还应具有一定的刚度，把变形控制在要求范围内，这类条件称为刚度条件。

稳定性是指构件在外力作用下保持其原有平衡形式的能力。在一定外力作用下，构件突然发生不能保持其原有平衡形式的现象，称为稳定性失效，简称失稳。构件工作时产生失稳会导致结构或机械的整体或局部坍塌，这在工程实际中是不允许的。确定稳定平衡需要满足的条件，称为稳定性条件。

设计构件时，首先必须保证构件的安全性，即保证构件具有一定的强度、刚度和稳定性。

同时,又要考虑经济性,以最经济、合理的办法保证构件的安全性。因此,材料力学的任务是:研究构件受力、变形的规律以及材料的机械性能,进而建立构件强度、刚度和稳定性所需的条件,在保证构件具有足够的强度、刚度和稳定性的条件下,为设计既安全又经济的构件提供必要的理论基础和科学的计算方法。

1.3 基本变形形式

构件在不同外力的作用下,会产生不同的变形,其基本变形形式有轴向拉伸与压缩、剪切、扭转和弯曲四种。复杂的变形可以看成是这四种基本变形的组合,称为组合变形。下面来讨论基本变形和组合变形时强度和刚度的计算问题。

轴向拉伸与压缩

2.1 拉伸与压缩的基本概念

在工程实际中,有很多构件在外力作用下产生轴向拉伸或压缩变形。例如图 2-1(a)所示的悬臂吊车,杆 AB 是承受拉伸的构件,杆 AC 是承受压缩的构件。又如化工厂压力容器支架的立柱[图 2-1(b)],曲柄连杆机构中的连杆[图 2-1(c)],油压千斤顶的顶杆[图 2-1(d)],液压传动机构中油缸的活塞杆[图 2-1(e)]等,都可以看做是受轴向拉伸或压缩的直杆。

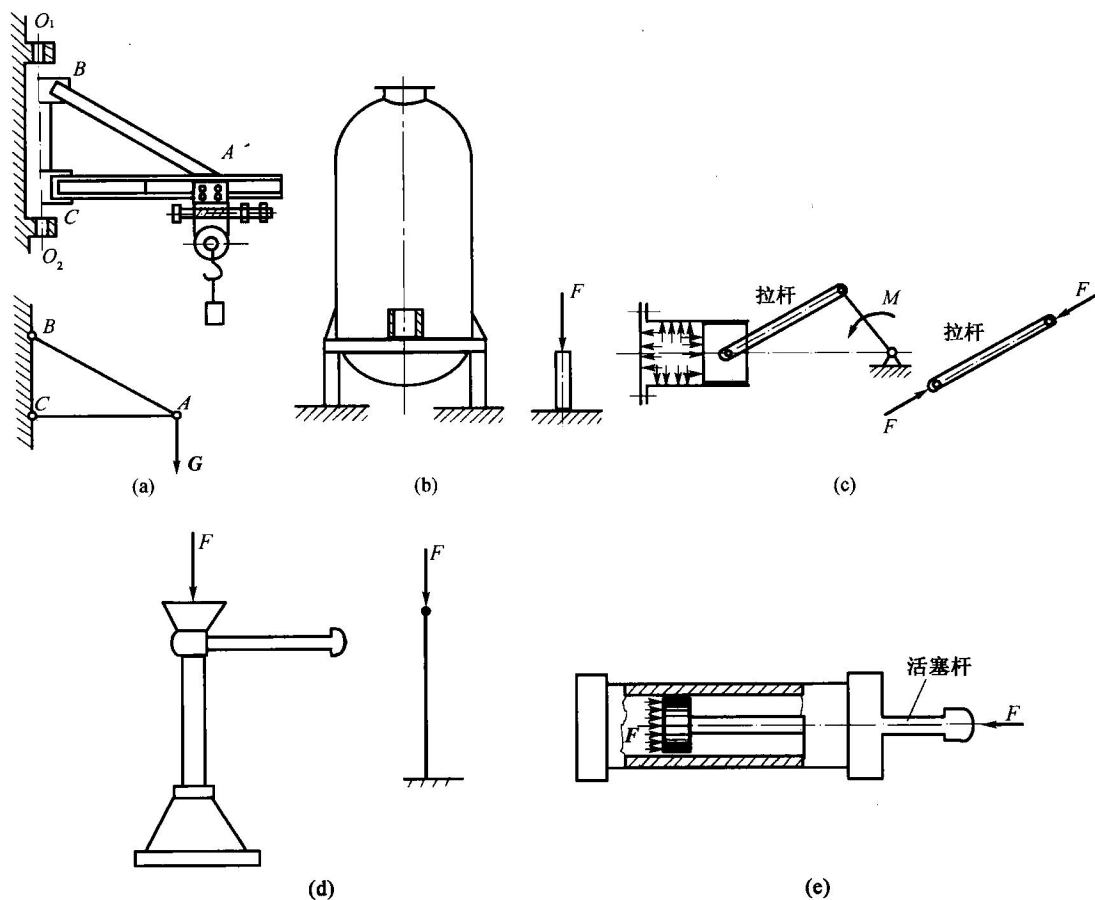


图 2-1

这些受拉伸或受压缩的杆件虽然外形各有差异,加载方式也不尽相同,但它们的共同特点是:作用于杆件上外力合力的作用线与杆件的轴线重合,杆件的变形是沿轴线方向的伸长或缩短。杆件的这种变形形式称为轴向拉伸或轴向压缩。受轴向拉伸或轴向压缩的杆件都可以简化为如图 2-2 所示的力学模型,图中虚线表示变形前的形状。通常将承受轴向拉伸的杆称为拉杆,将承受轴向压缩的杆称为压杆。

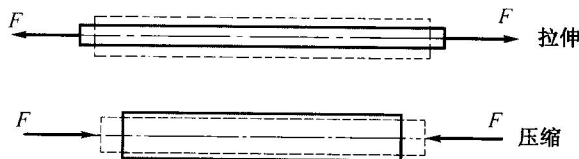


图 2-2

2.2 物体的内力 截面法

2.2.1 内力的概念

为了对拉压杆进行强度计算,首先介绍内力的概念及其计算方法。构件在不受外力作用时,其内部各质点间存在相互作用的力,也就是构件内部本来就有内力存在。当构件在外力作用下发生变形时,其内部各质点间的相对位置要发生改变(即质点被迫离开其原来的平衡位置),伴随这种改变,各质点间原有的相互作用力也必然发生变化。这种由于外力作用而引起的各质点间相互作用力的改变量,称为“附加内力”,简称内力。显然,内力总是伴随着构件的变形而产生,同时也具有抵抗外力、阻止其使构件进一步变形,而且在外力去除后使构件变形消失的特性。构件的内力是由外力引起的,并随外力的增加而增加。对某一材料来说,内力的增大是有一定限度的,如果超过了这个限度,构件就要破坏,可见,内力与构件的强度密切相关。为了保证构件在外力作用下能安全、正常地工作,就必须研究构件的内力,并计算由外力引起的内力。内力分析是解决构件强度、刚度和稳定性问题的基础。

2.2.2 截面法求内力

通常用截面法计算杆件的内力。现以轴向拉伸为例,具体说明如何用截面法求拉(压)杆的内力。

设有一拉杆如图 2-3(a)所示。为了确定其横截面 $m-m$ 上的内力,可假想沿横截面 $m-m$ 将杆截成两段。若弃去右段,取左段为研究对象,如图 2-3(b)所示。由于此时左段仍保持平衡,所以在横截面上必然有一个力 F_N 作用,它代表了杆右段对左段的作用,是一个内力。由于内力实际上是分布在整個横截面上的,所以力 F_N 表示内力的合力,其大小可由平衡方程

$$\sum X = 0, \quad F_N - F = 0$$

求得

$$F_N = F$$

同样,若以右段为研究对象,可求得杆左段对右段的作用力,其大小与 F_N 相同,方向与

F_N 相反。在材料力学中,将该对相互作用的力以同一字母命名,如图 2-3(c)所示。因此在求内力时,可取截面两侧的任一段来研究。同时不难看出,如改换横截面的位置,求得的结果都相同,可见此杆各横截面上的内力是相同的。

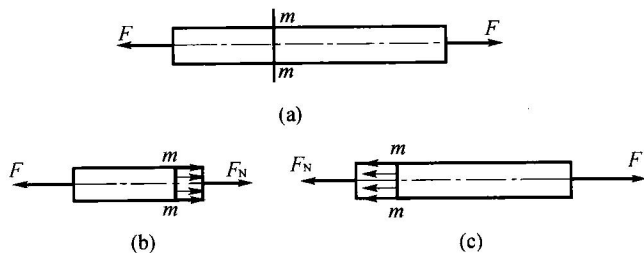


图 2-3

由于外力的作用线与杆的轴线重合,内力与外力平衡,所以内力的合力 F_N 的作用线也与杆的轴线重合,即通过截面的形心垂直于横截面,我们称其为轴力。为了区别拉伸和压缩,我们对轴力 F_N 作符号规定,即轴力的方向背向所作用的截面时为正号,也称为拉力;轴力的方向朝向所作用的截面时为负号,也称为压力。

上述求内力的方法称为截面法,它是求内力的普遍方法,在其他各种基本变形中也可应用截面法来求内力。

截面法求内力的主要步骤可概括如下:

- ①在欲求内力的截面处,用一假想平面(即截面)将杆切割为两段;
- ②取任一段为研究对象,把另一段对该段的作用以内力代替并画在截面上,使其与作用在该段上的外力相平衡;
- ③由静力平衡方程求内力。

以上讨论的是杆件在沿轴线方向仅有两个外力作用时的情形,两外力作用点之间的各横截面上的轴力处处相等,即轴力不随横截面位置的变化而变化,是常量。当杆件沿轴线作用的外力多于两个时,轴力的求解应分段进行,在不同段内,轴力是不同的。为了形象地表示杆件的轴力与横截面位置的关系,可选定一个力的比例尺,用平行于杆轴线的坐标表示横截面的位置,用垂直于杆轴线的坐标表示横截面上轴力的数值,从而画出表示轴力与截面位置关系的图,此图称为轴力图。下面举例说明轴力的具体求法及轴力图的绘制方法。

【例 2-1】 如图 2-4(a)所示为一厂房的立柱,其上作用有屋架传来的力 $F_1 = 200 \text{ kN}$,以及两边吊车梁传来的力 $F_2 = 100 \text{ kN}$ 。求立柱在横截面 1—1、2—2 上的轴力,并作立柱的轴力图。

解 (1)用截面法求 1—1、2—2 截面上的轴力

先求横截面 1—1 上的轴力。为此,用截面法将立柱沿 1—1 横截面截成两段。取上段为分离体,受力图如图 2-4(c) 所示,由平衡方程 $\sum Y = 0$,得

$$-F_{N1} - F_1 = 0$$

即

$$F_{N1} = -F_1 = -200 \text{ kN}$$

显然,在立柱的 AB 段各截面上的内力相同,均为 -200 kN ,为压力。

同理,求横截面 2—2 上的轴力,用截面将立柱沿 2—2 横截面截开,仍取上段为研究对