

化工设备机械基础.



高等学校教材

# 化工设备机械基础

河北工学院 合编  
浙江工学院

董大勤 主编

化学工业出版社



(京)新登字039号

编委会主任

### 内 容 提 要

本书是为化工系各工艺类专业编写的综合性的机械课程教材,全书分为四篇:一、力学基础。包括理论力学和材料力学的基础内容以及平板、壳体的应力分析基础理论。二、材料。介绍化工厂机械设备常用金属和非金属材料的性能、应用以及金属材料的防腐蚀知识。三、机械传动。介绍带传动、齿轮传动的原理、应用和基本计算方法,介绍轴承的类型、结构、选择和使用方法,并讨论轴的设计。四、容器设计。讲述有关容器设计、制造、管理方面的标准、规范,结合实例讲述容器的设计计算方法。

本书讲解详细,语言通俗易懂,便于自学。本书不仅可作为高等院校有关专业的《化工设备机械基础》课程教材,还可供其他有关工程技术人员参考。

## 工 程 地 质

### 高 等 学 校 教 材

#### 化工设备机械基础

河北工学院  
浙江工学院  
董大勤 主编

责任编辑:李建斌  
封面设计:季玉芳

化学工业出版社出版

(北京和平里七区十六号楼)

通县马驹桥印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行

开本787×1092<sup>1</sup>/<sub>16</sub>,印张33<sup>1</sup>/<sub>4</sub>, 字数797千字

1987年11月第1版 1992年5月北京第3次印刷

印 数 32,171—50,270

ISBN 7-5025-0628-4/G·116 (课)

定 价 8.51 元

## 重 印 前 言

“化工设备机械基础”是为工科院校化工系工艺类专业开设的一门综合性的机械类课程。本课程的目的使学习化工工艺专业的学生获得必要的机械基础知识，具有设计常、低压化工设备的初步能力，并能够对通用的传动零件进行简单的选型、核算和正常的维护使用。根据这一要求，教材的内容分为力学基础、化工材料、机械传动和容器设计四部分。对这四部分内容，既要尊重它们原学科的体系，保证相对的独立性，同时又必须在认真分析这几部分内容内在联系的基础上，探讨改变某些传统讲法的可能性，使本课逐步形成自己的课程体系。在这方面我们仅仅是作了一点初步的尝试，更多的探索还要依靠广大任课教师的不断实践，我们希望听到广大读者的意见。

考虑这门课程涉及的内容较广泛，学习本课程的学生先修基础课较少，并且各学校对这门课的教学要求差异还比较大这三个特点，我们在编写时有针对性地考虑了三条原则：

1. 内容的选取着眼于加强基础和学以致用。

2. 讲述的方法要适应化工工艺专业学生的特点，内容要有一定深度，但讲解要深入浅出，并且有相当部分内容应适于自学。

3. 具备一定弹性，使教学时数在90~130之间均可使用本教材。

这本教材主要供理论教学使用，考虑课程设计的需要，选编了少量容器设计资料作为附录列于书后。

为了对夹套设备、塔设备和换热设备的典型结构作进一步介绍和分析，以适应一些院校扩大课程设计选题范围的需要，编者曾另册编写了《化工设备机械基础课程设计》作为本教材的参考用书。现拟将该参考书作适当修改后重印，并在书中补充大量复习思考题，以反映本课对工艺专业学员掌握机械基础与专业知识的深、广度要求，并通过一些问题将理论知识和实际应用联系起来，以便于学以致用。该参考书暂定名为《化工设备机械基础课程设计与复习思考题集》。

1978年原石油化学工业出版社曾出版过《化工设备机械基础》教材，后来不少院校又编写了多种自用教材。本书的编写是根据1984年11月在西安召开的《化工设备机械基础》教材会议的决定确定的。其中董大勤编写第一、二、四篇，浙江工学院张莉珍编写第三篇九、十章，王孚川编写第三篇十一至十四章。编写中除书末所列文献外，还参阅了大连工学院等院校编写的教材。此外，天津化工设计院的郭昕亚同志、吉林化工学院的王素琴老师、太原工业大学的陈绪老师以及化工部第二设计院的赵修武、王凯同志都热心为本教材提供了图纸、资料，对教材编写提供了支持和帮助，教材的初稿曾请华东化工学院朱思明老师审阅。编者谨向这些同志致以衷心感谢。

由于编者水平有限，错误及不妥之处在所难免，望读者提出意见以便改正。

河北工学院（天津）董大勤

1989年4月



# 目 录

## 第一篇 力学基础

<b>第一章 刚体的受力分析及其平衡规律</b> .....	2
<b>第一节 力的概念及其性质</b> .....	2
一、力的概念.....	2
二、力的基本性质.....	3
<b>第二节 刚体的受力分析</b> .....	6
一、约束和约束反力.....	6
二、刚体受力分析.....	10
<b>第三节 平面汇交力系的简化与平衡</b> .....	12
一、平面汇交力系的简化.....	12
二、平面汇交力系的平衡条件.....	13
<b>第四节 力矩、力偶、力的平移定理</b> .....	16
一、力矩的概念.....	16
二、力偶.....	16
三、力的平移定理——力与力偶的联系.....	18
<b>第五节 平面一般力系的简化与平衡</b> .....	19
一、平面一般力系的简化.....	19
二、平面一般力系简化结果的分析.....	20
三、平面一般力系和平面平行力系的平衡方程.....	22
四、固定端约束的受力分析.....	24
五、静定与静不定问题的概念.....	25
习题.....	25
<b>第二章 金属在外力作用下所显示的机械性能</b> .....	31
<b>第一节 弹性体的变形与内力</b> .....	31
<b>第二节 直杆在轴向外力作用下的变形与内力</b> .....	32
一、线应变.....	32
二、轴力.....	32
三、应力.....	34
四、简单拉伸时横截面上的应力.....	35
五、简单拉伸和压缩时斜截面上的应力.....	35
<b>第三节 金属在拉伸和压缩时的机械性能</b> .....	37
一、低碳钢的拉伸试验及其机械性能.....	37
二、其它材料的拉伸曲线.....	43

三、压缩时材料的机械性质	43
四、温度对材料机械性能的影响	44
习题	46
第三章 受拉(压)直杆的强度计算和拉压中的静不定问题	48
第一节 受拉(压)直杆的强度计算	48
第二节 拉压中的静不定问题	52
习题	55
第四章 剪切	57
第一节 剪切近似计算	57
第二节 应用实例	58
一、键的计算	58
二、焊接计算	59
习题	60
第五章 弯曲	62
第一节 弯曲的概念及梁所受的外力	62
一、弯曲的概念与实例	62
二、梁的几何形状和名称	63
三、梁上的外力、梁的支座及分类	64
第二节 梁的内力分析	66
一、从力的平衡看梁中的内力	66
二、从弯曲变形看梁横截面上的弯矩	67
第三节 剪力与弯矩的计算	68
一、剪力	69
二、弯矩	70
三、剪力图和弯矩图	71
第四节 纯弯曲时梁的正应力及正应力强度条件	75
一、变形分析(问题的几何方面)	75
二、正应力分布规律(问题的物理方面)	76
三、曲率的计算	77
四、正应力的计算公式	78
五、截面的 $I_z$ 与 $W_z$	79
六、正应力的强度条件	80
七、梁的合理截面	85
第五节 直梁弯曲时的剪应力	86
一、矩形截面梁	86
二、工字形截面梁	88
三、环形截面梁	89
四、实心圆截面梁	89
第六节 梁的变形	89



一、梁的挠度和转角	90
二、梁的弹性曲线	90
三、梁的刚度校核	92
四、弯曲中最简单的静不定问题	93
习题	95
<b>第六章 扭转</b>	99
第一节 圆轴扭转时所受外力的分析与计算	99
第二节 纯剪切 剪切虎克定律	101
一、纯剪切	101
二、角变形 (剪应变)	102
三、剪切虎克定律	103
第三节 圆轴扭转时的变形与内力	103
一、变形分析	103
二、应力分布	104
三、内力矩——扭矩	104
四、剪应力的计算公式	105
五、扭转角的计算	106
第四节 圆轴扭转时的强度条件与刚度条件	107
一、圆轴扭转时的强度条件	107
二、圆轴扭转时的刚度条件	107
第五节 拉伸、弯曲、扭转的比较	110
习题	111
<b>第七章 复杂应力状态及强度理论</b>	114
第一节 应力状态	115
一、一点处的应力状态	115
二、三种应力状态	116
第二节 二向应力状态分析	117
一、二向应力状态下斜截面上的应力	117
二、应力圆	119
三、主应力的数值和主平面的位置	122
四、最大剪应力	124
第三节 强度理论	124
一、强度理论的概念	125
二、材料的两类破坏形式	125
三、三个基本的强度理论	125
第四节 强度理论的应用	129
一、扭弯组合的强度计算	129
二、许用剪应力的确定	131
习题	132

## 第二篇 材 料

第八章 化工设备材料	135
第一节 金属材料的一般性能	135
一、材料的物理性能	135
二、材料的机械性能	136
三、材料的化学性能	137
四、材料的工艺性能	138
第二节 金属的晶体结构	139
一、金属原子结构的特点与金属键	139
二、金属的晶体结构	140
第三节 碳钢和铸铁	141
一、碳钢与铸铁的化学成分和组织结构	141
二、铁碳平衡状态图	142
三、过冷奥氏体的恒温转变	144
四、钢的热处理	146
五、碳钢的分类、牌号、规格与品种	148
六、碳钢的性能和用途	149
七、铸铁	151
第四节 合金钢	154
一、概述	154
二、普通低合金钢	154
三、合金结构钢 (YB6—71)	155
四、不锈钢与不锈钢耐酸钢	156
五、耐热钢 (GB1221—75)	158
第五节 有色金属及其合金	158
一、铜及其合金	158
二、铝及其合金	159
三、铅	160
第六节 非金属材料	160
一、有机非金属材料	160
二、无机非金属材料	164
第七节 金属的腐蚀与防护	165
一、腐蚀的定义及分类	165
二、常见的几种腐蚀及其控制方法	166
习题	171

## 第三篇 机 械 传 动

第九章 带传动	175
---------	-----



第一节 概述	175
一、平型带	175
二、三角带	175
三、同步齿形带	176
第二节 带传动工作情况的分析	176
一、带的受力分析	176
二、带的弹性滑动和打滑	177
三、带的应力分析	179
第三节 三角胶带传动的设计	180
一、设计准则和单根三角胶带的许用功率值	180
二、原始数据及设计内容	180
三、设计步骤和方法	180
第四节 三角带带轮设计	186
一、一般要求	186
二、带轮的材料	186
三、带轮的结构	186
第五节 三角带传动的使用和维护	190
习题	191
<b>第十章 齿轮传动</b>	192
第一节 圆柱齿轮传动	192
一、齿廓啮合基本定律	192
二、渐开线的形成及其特性	193
三、渐开线齿廓能保证定传动比传动	193
四、渐开线齿廓啮合的几个性质	194
五、直齿圆柱齿轮各部分名称及标准直齿圆柱齿轮的基本尺寸的确定	195
六、渐开线齿轮正确啮合的条件和连续传动的条件	197
七、轮齿的失效形式	198
八、齿轮材料	200
九、直齿圆柱齿轮的强度计算	202
十、变位齿轮简介	210
十一、标准斜齿圆柱齿轮传动介绍	213
十二、圆弧齿轮传动简介	215
第二节 圆锥齿轮传动	216
一、直齿圆锥齿轮的齿廓曲线和当量齿数	216
二、直齿圆锥齿轮传动的几何参数和尺寸计算	218
第三节 蜗杆传动	219
一、阿基米德蜗杆传动	219
二、蜗杆传动的正确啮合条件	220
三、蜗杆传动的主要几何关系	220

四、蜗杆传动的滑动速度	222
<b>第四节 减速器</b>	223
一、普通减速器的主要类型	223
二、圆柱齿轮减速器的标准系列	225
三、普通圆柱蜗杆减速器 (Q/ZB125-73)	226
四、减速器的选择	227
习题	229
<b>第十一章 滑动轴承</b>	231
<b>第一节 概述</b>	231
<b>第二节 滑动轴承的结构</b>	231
一、向心滑动轴承的主要结构类型	231
二、推力滑动轴承的结构	232
<b>第三节 轴瓦的材料和结构</b>	233
一、轴瓦的材料	233
二、轴瓦的结构	234
<b>第四节 非液体摩擦滑动轴承的校核计算</b>	236
一、向心滑动轴承的校核计算	236
二、推力滑动轴承的校核计算	237
<b>第五节 滑动轴承的润滑</b>	238
一、润滑剂的种类和性能	238
二、润滑剂的选择	239
三、润滑方式	239
<b>第六节 液体摩擦滑动轴承简介</b>	240
一、动压轴承	240
二、静压轴承	240
<b>第七节 气体润滑轴承简介</b>	240
习题	241
<b>第十二章 滚动轴承</b>	242
<b>第一节 滚动轴承的结构、类型及其代号</b>	242
一、滚动轴承的结构	242
二、滚动轴承的类型	242
三、滚动轴承的代号	244
<b>第二节 滚动轴承的选择</b>	246
一、滚动轴承类型的选择	246
二、滚动轴承尺寸的选择	247
<b>第三节 滚动轴承的组合设计</b>	253
一、轴承的安装和固定	253
二、保证支承部分的刚度和同心度	254
三、滚动轴承的配合	254



四、润滑和密封.....	255
第四节 特殊工作条件下的滚动轴承简介.....	256
一、高速轴承.....	256
二、高温轴承.....	256
习题.....	259
<b>第十三章 联轴器和离合器</b> .....	<b>260</b>
第一节 概述.....	260
第二节 联轴器.....	260
一、固定式刚性联轴器.....	260
二、可移式刚性联轴器.....	261
三、弹性联轴器.....	264
第三节 离合器.....	266
一、牙嵌离合器.....	266
二、摩擦离合器.....	267
三、具有特殊功用的离合器.....	269
习题.....	270
<b>第十四章 轴</b> .....	<b>271</b>
第一节 概述.....	271
一、轴的分类.....	271
二、轴的材料.....	271
三、轴的设计中所要解决的主要问题.....	272
第二节 轴的结构设计.....	272
一、零件在轴上的周向固定.....	272
二、零件在轴上的轴向固定.....	273
三、轴的结构工艺性.....	273
四、提高轴强度的一些结构措施.....	274
第三节 轴的强度计算.....	275
一、按扭转强度条件计算.....	275
二、按弯扭组合强度条件计算.....	276
第四节 轴的刚度计算.....	281
一、轴的弯曲刚度校核计算.....	281
二、轴的扭转刚度校核计算.....	281
习题.....	281

## 第四篇 容器设计

<b>第十五章 容器概述</b> .....	<b>283</b>
第一节 容器的结构.....	283
第二节 容器的分类.....	283
一、容器形状.....	283

二、承压性质.....	285
三、结构材料.....	285
四、监督管理.....	285
第三节 容器机械设计的基本要求.....	285
第四节 容器标准.....	286
一、标准的分类.....	286
二、公称直径和公称压力.....	287
<b>第十六章 回转壳体的薄膜应力理论</b> .....	289
第一节 回转薄壳的几何概念.....	289
第二节 回转薄壳的薄膜应力分析.....	290
一、经向薄膜应力分析.....	290
二、环向薄膜应力分析.....	291
第三节 薄膜应力理论的应用.....	293
一、圆柱壳.....	293
二、球壳.....	293
三、椭球壳.....	293
四、锥形壳.....	296
第四节 承受液体介质压力壳体的薄膜应力.....	298
一、安放在地面上的盛有液体的圆柱形壳体.....	298
二、吊装在立柱上的盛有液体的圆柱形壳体.....	299
第五节 无力矩理论与有力矩理论.....	300
习题.....	300
<b>第十七章 内压圆筒与球壳的设计</b> .....	302
第一节 内压圆筒的强度计算.....	302
第二节 球壳的强度计算.....	304
第三节 设计参数的确定.....	304
一、设计压力.....	304
二、设计温度.....	305
三、钢板的选用及其许用应力的确定.....	305
四、焊缝系数.....	308
五、壁厚附加量.....	308
第四节 内压圆筒的边界应力.....	310
第五节 容器的最小壁厚.....	311
习题.....	312
<b>第十八章 压力容器的应力分类及对各类应力的限制</b> .....	313
第一节 压力容器的应力分类.....	313
一、一次应力.....	313
二、二次应力.....	314
三、峰值应力.....	315

第二节 极限设计法	315
一、极限载荷、极限应力和极限设计法的概念	315
二、极限弯矩与极限应力的计算	315
三、塑性失效准则	317
第三节 安定准则	317
一、问题的提出	317
二、安定的概念	318
三、保持安定的极限应力及二次应力的强度条件	320
第四节 峰值应力的限制问题	321
习题	322
<b>第十九章 内压容器的封头设计</b>	<b>324</b>
第一节 凸形封头	324
一、半球形封头	324
二、半椭球封头(又称椭圆形封头)	326
三、碟形封头	328
四、无折边球形封头	329
五、凸形封头的选用	332
第二节 锥形封头	335
一、不带折边的锥形封头	335
二、带折边的锥形封头	342
第三节 平板封头	347
一、承受均布载荷圆形平板的内力分析	347
二、平板形封头	349
习题	351
<b>第二十章 压力容器开孔与接管附近的应力计算</b>	<b>353</b>
第一节 受拉平板上小孔边缘处的应力	353
一、开有小圆孔的平板	353
二、开有椭圆孔的平板	355
第二节 容器壳体上开小孔时所造成的应力集中	356
一、球壳上开小圆孔	356
二、圆柱壳体上开小圆孔	356
三、壳体上开小椭圆孔	357
第三节 开孔接管处应力集中系数的计算	357
一、壳体曲率半径与壳体上安装接管对应力集中系数的影响	357
二、应力集中系数曲线	359
第四节 开孔补强设计	363
一、补强结构	363
二、补强准则及其计算方法	365
三、允许不另行补强的最大孔径	368



习题.....	372
<b>第二十一章 热应力</b> .....	374
第一节 热变形受到完全限制时产生的热应力.....	375
一、化工管路中的热应力.....	375
二、矩形平板中的热应力.....	375
第二节 刚性连接的两个构件之间存在温差时产生的热应力.....	376
一、固定管板列管式换热器中的热应力.....	376
二、法兰连接中螺栓内的热应力.....	379
第三节 处于非均匀温度场中的热应力.....	380
习题.....	381
<b>第二十二章 压力容器零部件标准的选用</b> .....	382
第一节 法兰.....	382
一、法兰联接的密封原理.....	382
二、法兰密封面的型式.....	382
三、法兰联接受力分析.....	383
四、法兰标准.....	385
第二节 支座.....	397
一、卧式容器的支座.....	397
二、立式容器的支座.....	399
第三节 接口管与凸缘.....	403
一、物料的进出口接管.....	403
二、自控测量仪表接口.....	408
三、凸缘.....	409
第四节 人孔与手孔.....	410
第五节 视镜与液面计.....	412
一、视镜.....	412
二、液面计.....	412
第六节 安全阀与防爆装置.....	413
一、安全阀.....	413
二、爆破片.....	415
习题.....	417
<b>第二十三章 压力容器中的焊接结构</b> .....	418
第一节 焊缝的基本型式.....	418
一、对接接头.....	418
二、角接头和T形接头.....	419
三、搭接接头.....	420
第二节 焊接应力与变形.....	420
一、压力容器纵焊缝与环焊缝中的残余应力.....	420
二、压力容器管接头处的残余应力.....	422

第三节 容器的焊接结构设计	422
习题	424
<b>第二十四章 压杆稳定与外压容器</b>	425
第一节 关于稳定的概念	425
一、问题的提出	425
二、压杆稳定性的概念	425
三、外压容器的稳定问题	426
第二节 压杆的临界载荷	427
一、理想压杆的临界载荷	427
二、临界应力 欧拉公式的适用范围	428
三、柔度 $<\lambda_p$ 的压杆临界应力的计算	430
第三节 压杆稳定的实用计算	431
第四节 外压圆筒的临界压力	435
一、影响临界压力的因素	435
二、临界压力的数学表达式	436
第五节 外压圆筒的设计方法	437
一、为什么采用图算与计算相结合的方法	437
二、算图的由来	437
三、外压圆筒的壁厚计算方法	441
四、圆筒的轴向稳定校核	445
第六节 加强圈设计	447
一、加强圈间距	447
二、加强圈尺寸	448
三、加强圈与筒体的联接	453
第七节 外压封头设计	453
一、外压凸形封头	453
二、外压锥形封头	455
三、内压凸形封头的失稳	456
习题	457
<b>第二十五章 容器设计举例及容器的压力试验</b>	459
第一节 容器设计举例	459
一、罐体	459
二、封头	459
三、鞍座	459
四、人孔	460
五、人孔补强	460
六、接口管	462
七、设备总装配图	464
第二节 容器的压力试验	464

<b>第二十六章 典型化工设备图例</b> .....	467
一、反应釜.....	467
二、板式精馏塔.....	471
三、填料吸收塔.....	473
四、余热蒸汽发生器.....	476
五、冷凝器.....	479
<b>附录</b> .....	480
一、型钢规格表.....	480
二、管法兰的结构图及数据表.....	486
三、鞍式支座.....	498
四、焊缝的有关规定.....	503
五、封头尺寸.....	505
六、钢板的其它参数.....	508
<b>习题答案</b> .....	509
<b>主要参考文献</b> .....	515



# 第一篇 力学基础

化工厂中使用的机器设备大都是在各种载荷下工作，为了使它们安全可靠地工作，从力学角度，一般要提出三方面的要求：

1. 能抵抗载荷对它的破坏，即要有一定的强度。
2. 不发生超出许可的变形，即要有一定的刚度。
3. 能维持构件自身的几何形状，即具有充分的稳定性。

因此，强度问题、刚度问题和稳定问题，都属于本课程的力学基础内容。但从教学方便的角度考虑，我们先集中讨论强度与刚度问题，而把稳定问题——压杆的稳定计算与外压力容器设计，放到第四篇去研究。对于强度与刚度这两个方面的问题，我们把讨论的重点放在强度计算上。

化工机械设备构件的几何形状，既有杆件，也有平板和回转壳体。杆件的变形与应力分析比较简单，但它却是分析平板与回转壳体的基础，所以作为力学问题中的基础内容，我们在本篇中将讨论等截面直杆的应力分析、强度计算与变形计算问题。关于平板与回转薄壳中的力学基础，我们把它安排到第四篇，结合压力容器设计一并讨论。所以，本篇所讨论的实际上只是一些基础性的力学问题。

本篇共包括七章。第一章讨论刚体的受力分析和它的平衡规律，以解决刚体所受的外力问题。第二章研究外力对材料所产生的内效应问题，结合金属的晶体结构，探讨材料在外力作用下的种种“表现”。第三章到第六章研究杆件的四种基本变形（拉压、剪切、弯曲、扭转）的应力与变形计算，以解决这类构件的强度设计与刚度设计问题。第七章讨论怎样处理在复杂应力状态下工作的构件的强度问题，以便为平板、壳体和传动零件的强度计算准备必需的理论基础。