

高等学校教材

化工设备设计基础

第2版

方书起 魏新利 主编



化学工业出版社

高等学校教材

化工设备设计基础

第2版

方书起 魏新利 主编



化学工业出版社

·北京·

本书主要阐述工程力学基础、薄壁容器应力分析以及典型化工设备设计的机械基础知识。第1篇工程力学基础,主要讨论构件的受力分析、变形与破坏的规律,构件的强度、刚度和稳定性计算;第2篇薄壁容器设计,主要介绍化工设备常用材料,压力容器筒体与封头的类型、特点、设计计算方法及常用零部件;第3篇典型化工设备,主要介绍过程生产中三种常用设备——换热设备、塔设备、搅拌反应设备的结构特点、选型和机械设计方法;附录列出了热轧型钢规格表和压力容器材料许用应力表。

本书可作为高等院校化工类、轻工类等相关专业少学时(48~64学时)本科专业教材、函授或自学教材,也可供相关工程技术人员学习和参考。



图书在版编目(CIP)数据

化工设备设计基础/方书起,魏新利主编. —2版

北京:化学工业出版社,2015.6

高等学校教材

ISBN 978-7-122-23488-9

I. ①化… II. ①方… ②魏… III. ①化工设备-
设计-高等学校-教材 IV. ①TQ051

中国版本图书馆CIP数据核字(2015)第065666号

责任编辑:程树珍 李玉晖
责任校对:边涛

装帧设计:张辉

出版发行:化学工业出版社(北京市东城区青年湖南街13号 邮政编码100011)

印装:高教社(天津)印务有限公司

787mm×1092mm 1/16 印张17½ 字数434千字 2015年8月北京第2版第1次印刷

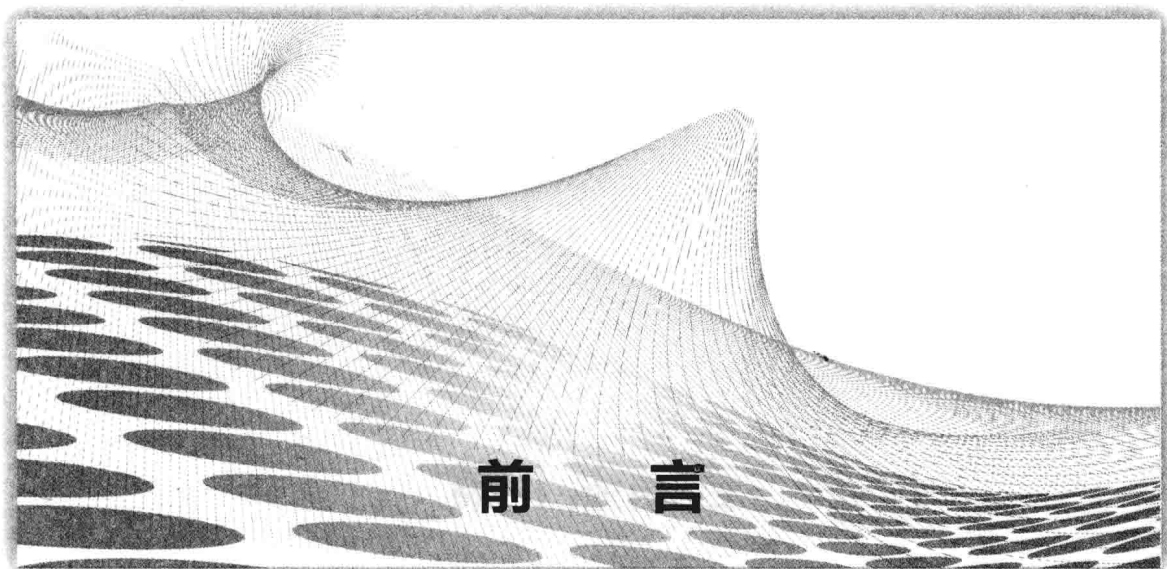
购书咨询:010-64518888(传真:010-64519686) 售后服务:010-64518899

网 址: <http://www.cip.com.cn>

凡购买本书,如有缺损质量问题,本社销售中心负责调换。

定 价:39.00元

版权所有 违者必究



前言

由于课程教学计划的变更和国家标准的更新，第一版教材已远远不能满足目前的教学需要。本书为修订版，仍保持原书的编写框架和内容安排，同时采纳了主讲教师对教材建设的建议，并对教材在使用过程暴露出的问题进行了改进。本次修编重点主要在于：一是适应少学时（48~60 学时左右）的教学需要，将教材内容进行了压缩和删节；二是根据教师和学生教材的建设建议补充了部分内容；三是采用了国家最新规范和标准，以适应设计、制造、检验和使用等的要求。

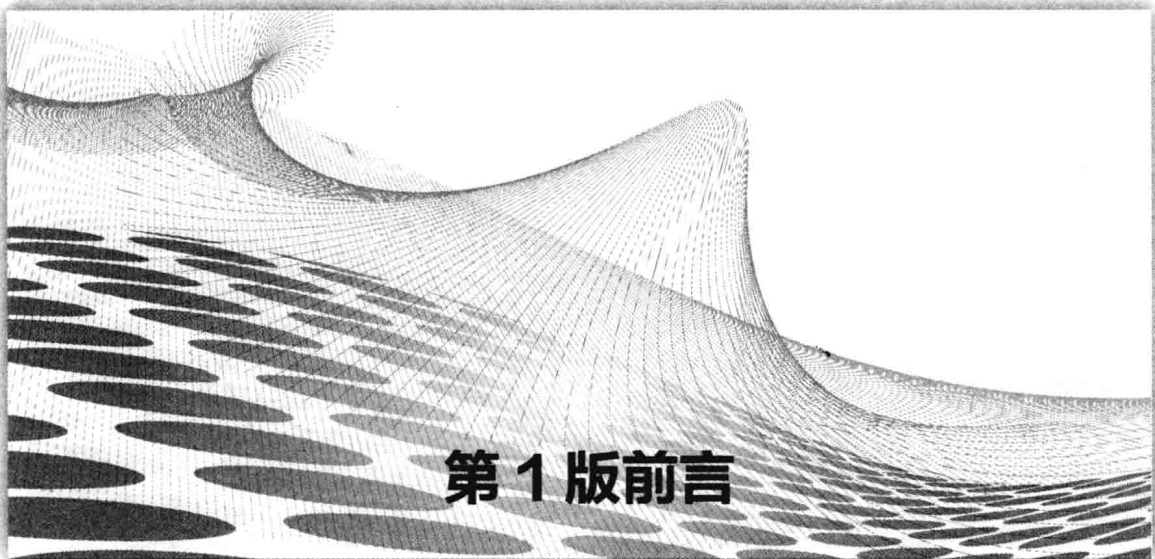
由于本书内容涉及理论力学、材料力学、压力容器、过程设备及其常用材料等多方面的知识，与其他教材相比，本书内容显得零散。因此根据少学时要求的特点，在教材内容安排上有所侧重。根据化工类专业对学习化工设备的基本要求，按照“少而精”的原则进行编写。其目的是使学生获得必要的工程力学基础、薄壁容器应力分析以及典型化工设备结构和设计等知识，具有压力容器和化工设备的初步设计和管理能力。内容注重加强基础、联系实际和设计能力的训练，力求符合专业培养要求。

与本教材配套的有《化工设备课程设计指导》（方书起主编），以满足综合课程设计的需要。

本书由方书起、魏新利主编，负责全书的构架编写和统稿；参加修订工作的有：刘宏（第一篇）、李洪亮（第二篇），方书起（第三篇）。

本书由于编写时间仓促和水平所限，书中不妥甚至错误之处在所难免，敬请批评指正。

编 者
2015 年 5 月



第1版前言

本书是根据化工工艺类专业对学习化工设备的基本要求,按照“少而精”的原则编写而成。其目的是使学生获得必要的机械基础知识,初步具有压力容器和化工设备的设计能力。内容注重加强基础、联系实际和设计能力的训练,力求符合专业培养目标的要求,适应当前教育改革的需要。

本书在精选内容上进行了大胆尝试,突破了现有同类教材的体系。全书分为工程力学基础、薄壁容器设计和典型化工设备设计三篇,与常规教材相比,删去了机械传动,而增加了典型化工设备设计内容。但机械传动部分又不是简单地删除,而是将其内容与第三篇中反应设备的传动装置部分紧密结合起来,按选型需要,予以简要介绍。根据我们多年来的教学实践表明,这样处理教材内容,有利于学生进行课程设计,培养工程设计能力,而且可以大大压缩篇幅,解决当前高等工科院校实行学分制后,课时少与现有教材内容多的矛盾。

本书理论联系实际,实用性强。每一章节在理论叙述之后,都有较多的例题和习题,以帮助学生理解基本概念与基本理论,培养学生分析问题和解决问题的能力。学完此课后,应安排一次典型化工设备的课程设计。该设计最好与化工原理课程设计结合起来,以便综合运用所学知识,起到学以致用用的效果。

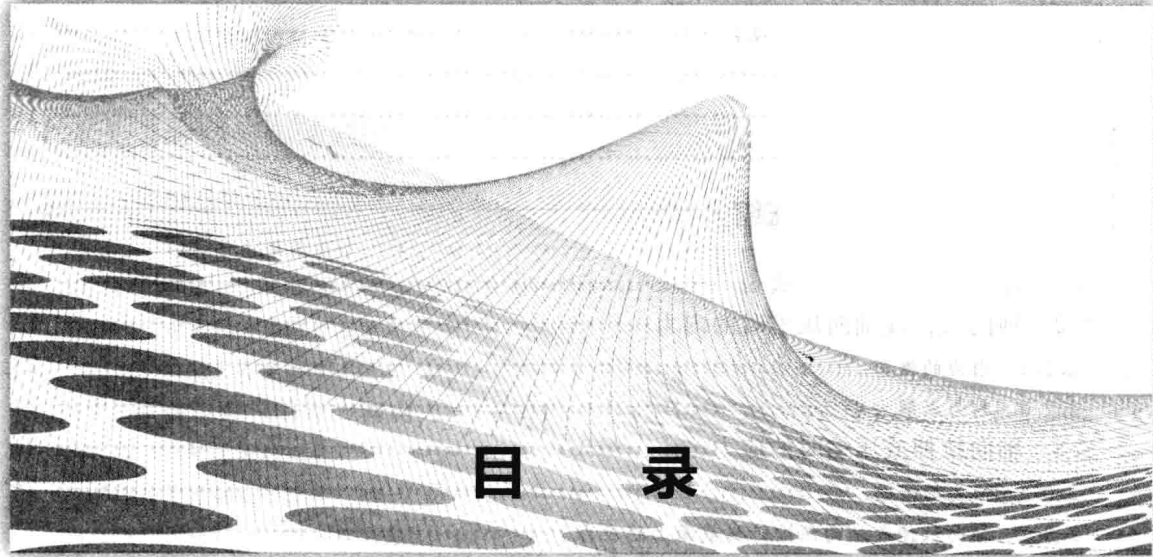
本书内容简明扼要,深入浅出,便于自学。考虑到不同层次的教学需要,本书对一些内容打了“*”,作为选学和自学内容。

本书采用国际单位制(SI)。书中所引用的标准和规范采用最新颁布的国家标准、行业标准和部颁标准。

本书第一篇由周志安编写,第二篇由尹华杰编写,第三篇由魏新利编写。另外,刘宏、张彩云、王学生、王定标、闫乃威、樊光福、郭涛、王艳明、杨建州、郭茶秀、刘丽萍、马文峥等参加了部分章节例题、习题的编写及有关资料的收集。在分篇审校的基础上,全书由周志安统稿。

由于编者水平有限,书中不妥和错误之处在所难免,望读者批评指正。

编者
1995年8月



目 录

第 1 篇 工程力学基础

第 1 章 构件的受力分析

1.1 力的概念及性质	3
1.1.1 力的概念	3
1.1.2 力的基本性质	4
1.2 约束与约束反力	6
1.2.1 柔软体约束	6
1.2.2 光滑面约束	6
1.2.3 光滑铰链约束	7
1.2.4 固定端约束	8
1.3 受力图	8
1.4 平面汇交力系的合成与平衡条件	9
1.4.1 平面汇交力系的几何法与平衡条件	10
1.4.2 平面汇交力系合成的解析法与平衡条件	10
1.5 平面力偶系的合成与平衡条件	12
1.5.1 力矩	12
1.5.2 力偶与力偶矩	13
1.5.3 平面力偶系的合成与平衡条件	14
1.6 平面一般力系的合成与平衡条件	15
1.6.1 力的平移定理	15
1.6.2 平面一般力系的简化	15
1.6.3 平面一般力系的平衡条件	17

1.7 空间力系	18
1.7.1 力在直角坐标轴上的投影	18
1.7.2 力对轴的矩	19
1.7.3 空间力系的平衡方程	19
习题	20

第2章 直杆的拉伸和压缩

2.1 杆件变形的基本形式	22
2.2 轴向拉伸或轴向压缩时的内力	23
2.2.1 内力的概念	23
2.2.2 内力求解方法	24
2.3 轴向拉伸或压缩时的应力	24
2.3.1 应力的概念	24
2.3.2 轴向拉伸或轴向压缩时横截面上的应力	25
2.3.3 轴向拉伸或轴向压缩时斜截面上的应力	25
2.4 轴向拉伸或轴向压缩时的变形及虎克定律	26
2.4.1 纵向变形	26
2.4.2 横向变形	27
2.4.3 虎克定律	27
2.5 轴向拉伸或压缩时材料的力学性能	29
2.5.1 低碳钢拉伸时的力学性能	29
2.5.2 其他材料拉伸时的力学性能	31
2.5.3 材料在压缩时的力学性能	32
2.5.4 材料的许用应力	32
2.6 轴向拉伸或轴向压缩时的强度计算	33
习题	34

第3章 直梁的弯曲

3.1 平面弯曲的概念及梁的分类	36
3.1.1 平面弯曲的概念	37
3.1.2 梁的分类	37
3.2 直梁弯曲时的内力分析	37
3.2.1 剪力和弯矩	37
3.2.2 剪力图和弯矩图	39
3.3 纯弯曲时梁横截面上的正应力和弯曲强度计算	41
3.3.1 纯弯曲时梁横截面上的正应力	41
3.3.2 梁的弯曲强度计算	45
3.3.3 提高梁弯曲强度的主要途径	47
3.4 梁的弯曲变形与刚度校核	49
3.4.1 挠度和转角	49
3.4.2 梁的挠曲线近似方程	50

3.4.3 用叠加法求梁的变形	51
3.4.4 梁弯曲时的刚度校核	52
习题	52

第4章 剪切与圆轴的扭转

4.1 剪切与挤压	54
4.1.1 切应力及强度条件	54
4.1.2 挤压应力及强度条件	55
4.1.3 纯剪切与切应力互等定理	57
4.1.4 切应变与剪切虎克定律	57
4.2 圆轴扭转时的外力和内力	58
4.2.1 扭转变形的概念	58
4.2.2 外力偶矩的计算	58
4.2.3 扭转时横截面上的内力	59
4.3 圆轴扭转时横截面上的应力	59
4.3.1 轴的扭转变形实验及假设	59
4.3.2 圆轴扭转时横截面上的应力计算	60
4.4 圆轴扭转时的强度和刚度条件	62
4.4.1 圆轴扭转时的强度条件	62
4.4.2 圆轴扭转时的刚度条件	63
习题	64

第5章 复杂应力状态下的强度计算

5.1 应力状态的概念	66
5.2 广义的虎克定律	68
5.3 强度理论	69
5.3.1 材料破坏的主要形式	69
5.3.2 四种常用的强度理论	69
5.4 组合变形时杆件的强度计算	70
5.4.1 弯曲与拉伸或压缩组合变形的强度计算	70
5.4.2 弯曲与扭转组合变形的强度计算	71
习题	74

第6章 压杆的稳定性

6.1 压杆稳定性的概念	76
6.2 压杆的临界力及临界应力	77
6.2.1 压杆的临界力	77
6.2.2 压杆的临界应力	78
6.3 压杆的稳定性计算	80
习题	82

第2篇 薄壁容器设计

第7章 概述

7.1 压力容器的结构和特点	86
7.2 压力容器的分类	87
7.3 容器机械设计的基本要求	89
7.4 容器的零部件标准化	90
习题	91

第8章 化工设备常用材料

8.1 金属材料的基本性能	92
8.1.1 化学成分	92
8.1.2 金属材料的基本性能	93
8.2 碳素钢	95
8.2.1 碳素钢的分类	96
8.2.2 碳素钢的性能和使用	97
8.3 合金钢	97
8.3.1 合金钢的分类	97
8.3.2 低合金钢	98
8.3.3 不锈钢和耐热钢	98
8.4 压力容器用钢	99
8.4.1 钢板	100
8.4.2 钢管	100
8.4.3 锻件	100
8.5 铸铁	101
8.5.1 铸铁分类	101
8.5.2 压力容器用铸铁	102
8.6 有色金属	102
8.6.1 铝及铝合金	102
8.6.2 铜及铜合金	102
8.6.3 钛及钛合金	103
8.6.4 镍及镍合金	104
8.6.5 铅及铅合金	104
8.7 非金属材料	105
8.7.1 有机非金属材料	105
8.7.2 无机非金属材料	106
8.7.3 复合材料	106
习题	107

第9章 内压薄壁容器的应力分析

9.1 回转薄壁的薄膜应力分析	108
9.1.1 回转壳体的几何特性	108
9.1.2 回转薄壁的无力矩与有力矩概念	109
9.1.3 回转薄壁的薄膜应力分析	110
9.2 回转薄壁的薄膜应力计算	111
9.2.1 承受气体压力的壳体	111
9.2.2 承受液体静压力的壳体	114
9.3 边缘应力及其特点	114
9.3.1 边缘应力的产生	114
9.3.2 边缘应力的特性	115
9.3.3 设计中对边缘应力的处理	116
9.4 压力容器应力分类及分析设计简介	116
9.4.1 压力容器的应力分类	117
9.4.2 应力强度及其基本许用应力	118
9.4.3 分析设计法对各类应力强度的限制	118
习题	118

第10章 内压容器设计

10.1 内压圆筒的强度计算	120
10.2 内压球壳的强度计算	121
10.3 设计参数的确定	122
10.3.1 设计压力和计算压力	122
10.3.2 设计温度	122
10.3.3 焊接接头系数	122
10.3.4 厚度附加量	123
10.3.5 许用应力和安全系数	123
10.3.6 最小厚度	123
10.4 压力试验	124
10.5 凸形封头的强度计算	125
10.5.1 半球形封头	125
10.5.2 椭圆形封头	126
10.5.3 碟形封头	126
10.5.4 球冠形封头	127
10.6 锥形封头的强度计算	128
10.6.1 锥壳厚度	128
10.6.2 受内压无折边锥壳	129
10.6.3 受内压折边锥壳	131
10.7 平板封头的强度计算	132
习题	134

第 11 章 外压容器设计

11.1 外压容器的稳定性	136
11.1.1 外压圆筒的失稳	136
11.1.2 临界压力	137
11.1.3 外压圆筒设计准则	138
11.2 外压圆筒的公式设计法	138
11.2.1 临界压力	138
11.2.2 临界长度	139
11.2.3 外压圆筒的公式设计法	140
11.3 外压圆筒和球壳的图算设计法	140
11.3.1 算图的绘制原理	140
11.3.2 外压圆筒设计	141
11.3.3 外压容器设计参数的确定	145
11.3.4 压力试验	145
11.3.5 外压球壳设计	146
11.4 外压圆筒加强圈的设计	146
11.4.1 加强圈的作用与结构	146
11.4.2 加强圈的计算	146
11.5 外压封头设计	149
11.5.1 凸形封头	149
11.5.2 锥形封头	150
习题	151

第 12 章 压力容器零部件

12.1 法兰	153
12.1.1 密封原理和影响密封的因素	153
12.1.2 法兰类型	155
12.1.3 法兰密封面	156
12.1.4 法兰垫片	156
12.1.5 法兰标准	157
12.1.6 法兰连接的设计步骤	161
12.2 支座	162
12.2.1 卧式容器支座	162
12.2.2 立式容器支座	165
12.3 开孔与接管	168
12.3.1 开孔与开孔补强设计	168
12.3.2 接管与凸缘	172
12.3.3 人孔和手孔	174
12.3.4 视镜	176
12.4 超压泄放装置	176

12.4.1 安全阀	177
12.4.2 爆破片	177
12.4.3 安全阀和爆破片装置的适用条件	178
习题	178

第3篇 典型化工设备

第13章 管壳式换热设备

13.1 概述	182
13.2 固定管板式换热器的结构设计	185
13.2.1 换热管与管板的连接	185
13.2.2 管板的结构	186
13.2.3 其他零部件的结构	189
13.3 管壳式换热器的强度计算	194
13.3.1 筒体和管箱壁厚计算	194
13.3.2 管板受力及其设计方法简介	194
13.3.3 温差应力及其补偿	196
13.4 管壳式换热器设计内容与选型	197
13.4.1 管壳式换热器设计内容与选型步骤	197
13.4.2 热交换器标准	198
习题	202

第14章 塔设备

14.1 概述	203
14.1.1 塔设备的分类及基本结构	203
14.1.2 化工生产对塔设备的基本要求	204
14.1.3 塔设备的选型	205
14.2 填料塔	206
14.2.1 液体分布器	206
14.2.2 填料	208
14.2.3 填料支承	209
14.2.4 液体再分布器	210
14.2.5 填料的压紧和限位装置	211
14.3 板式塔	212
14.3.1 常用板式塔的类型	212
14.3.2 塔盘的结构	212
14.4 塔设备其他零部件	219
14.4.1 裙座	219
14.4.2 除沫器	219
14.4.3 塔底液体出料管	220
14.4.4 检查孔	221

14.4.5 塔顶吊柱	221
14.5 塔设备的强度和稳定性计算	222
14.5.1 塔设备承受的载荷分类和计算	222
14.5.2 塔体壁厚计算	229
14.5.3 裙座设计计算	230
14.5.4 裙座与塔体的连接焊缝强度计算	233
习题	233

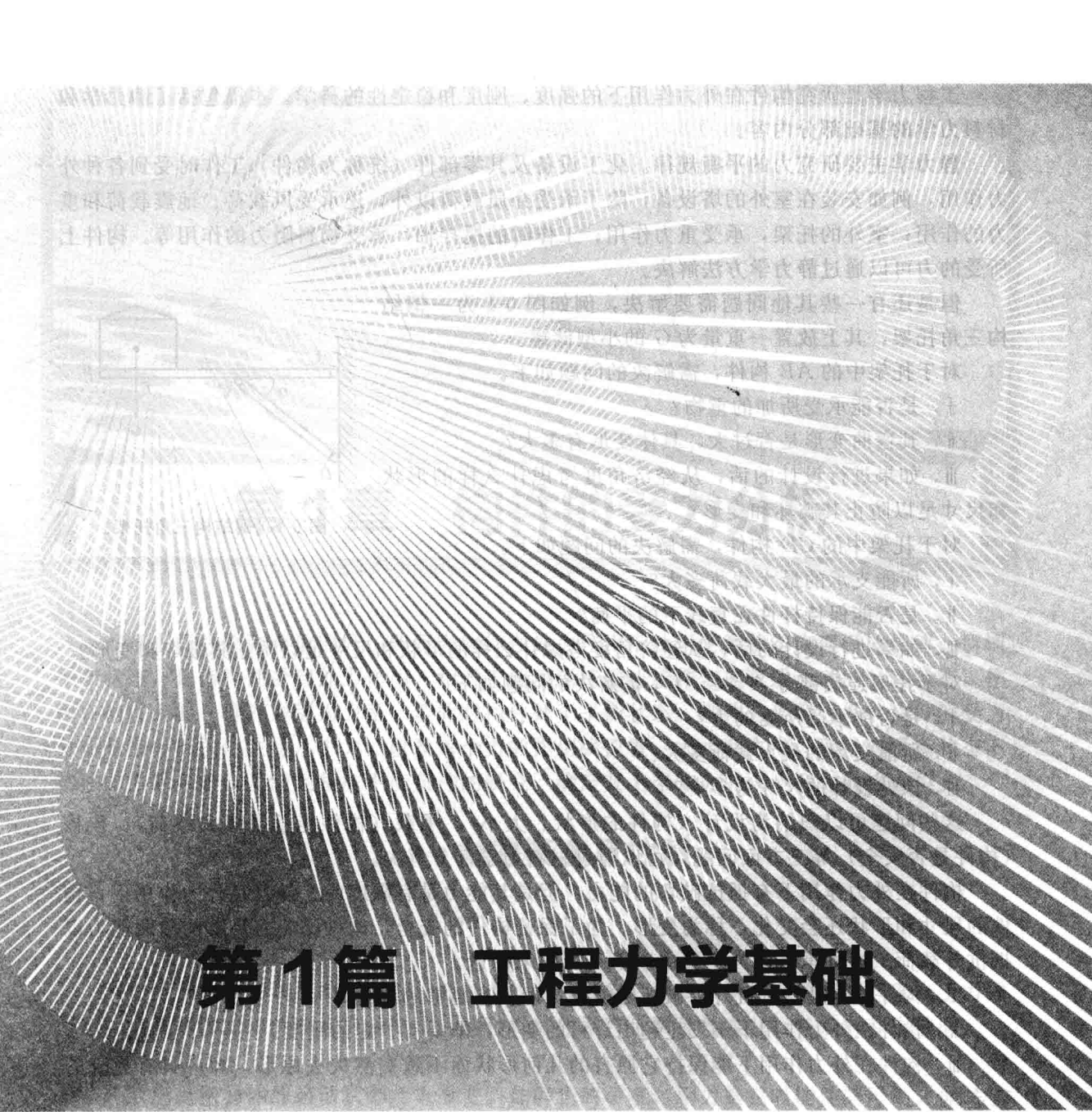
第 15 章 机械搅拌反应设备

15.1 概述	235
15.2 罐体设计	236
15.2.1 罐体内筒设计	236
15.2.2 传热元件设计	237
15.2.3 工艺接管	240
15.3 搅拌器及附件	241
15.3.1 流型	241
15.3.2 搅拌器型式	242
15.3.3 搅拌附件	244
15.3.4 搅拌器选型	244
15.3.5 搅拌功率计算	245
15.4 搅拌轴的支承及设计	246
15.4.1 搅拌轴支承	246
15.4.2 搅拌轴设计	247
15.5 搅拌轴的轴封	249
15.5.1 填料密封	249
15.5.2 机械密封	250
15.6 传动装置	252
15.6.1 机械传动的的基本参数和分类	252
15.6.2 减速器	253
15.6.3 联轴器	253
15.6.4 机架与底座	254
习题	255

附录

附录 A 热轧型钢规格表	256
附录 B 压力容器材料许用应力表	263

参考文献



第1篇 工程力学基础

工程力学是研究构件在外力作用下的强度、刚度和稳定性的科学。本篇包括了静力学和材料力学的基础部分内容。

静力学主要研究力的平衡规律。化工设备及其零部件（统称为构件）工作时受到各种外力作用，例如安装在室外的塔设备，除了承受介质载荷以外，还承受风载荷、地震载荷和重力的作用；室外的托架，承受重力作用；工作时的搅拌轴，承受物料阻力的作用等。构件上所受的力可以通过静力学方法解决。

但是还有一些其他问题需要解决，例如图 0-1 为一钢结构三角托架，其上放置一重量为 G 的小型储罐。

对于托架中的 AB 构件，需解决的问题如下。

- i. 是否能承受所加的重物？
- ii. 其弯曲变形是否过大，具体变形有多大？
- iii. 如果进行设计的话，从经济角度考虑什么样的形状

和尺寸足以防止其破坏和变形？

对于托架中的 CD 构件，需解决的问题如下。

- i. 所能支承的最大载荷多大？
- ii. 是否能保持杆件在直线下的平衡？
- iii. 如果进行设计的话，从经济角度考虑什么样的形状和尺寸足以防止其破坏和变形？

对于托架连接部分 A 、 C 、 D ，需解决的问题如下。

- i. 是否能承受所受的力？
- ii. 所能支承的最大载荷多大？
- iii. 该处设计的尺寸为多少？

这些问题可以归纳为设计（构件的形状、大小）、承载（构件能承受多大载荷）、校核（构件是否安全）等三方面问题，可以通过材料力学部分解决。

构件在外力作用下有抵抗破坏的能力，但是其能力是有限度的。而且在外力作用下，构件的尺寸和形状还会变化，称为变形。为了保证构件的安全，构件都应有足够的承载能力以抵抗外载荷。这种承载能力主要由以下三方面来衡量。

- i. 构件要有足够抵抗外力破坏的能力，即要有足够的强度。
- ii. 构件在外力作用下不发生超出许可的变形，即要有一定的刚度。
- iii. 构件在外力作用下能保持它原有的几何形状而不致突然失去原形，即应具有充分的稳定性。

实际工程问题中，构件都应有足够的强度、刚度和稳定性。但就一个具体构件而言，各有侧重点，例如储气罐主要是保证其具有足够的强度；受压的细长杆是保证其具有足够的稳定性；而板式塔塔板则是保证其具有一定的刚度。本篇重点讨论构件的强度问题。

本课程的研究对象是化工设备。其构件形状各有不同，经过简化可以看成杆件、平板和回转壳体。杆件是指构件的长度远大于横截面尺寸；平板是指构件的厚度比长度或宽度小得多；回转壳体是指几何形状为曲面的板。杆件的变形及分析方法简单，易于理解，是分析板、回转壳体问题的基础。材料力学就是研究杆件在满足强度、刚度和稳定性的要求下，以最经济的方式，确定构件合理的形状和尺寸，选择适宜的材料，为构件设计和校核提供必要的理论基础和计算方法。

本篇研究思路是：首先研究构件上所受外力的大小、方向，然后根据外力，确定杆件内部产生的内力以及内力在截面上的分布，最后建立杆件发生破坏的强度条件。

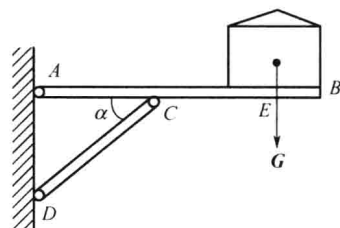


图 0-1 钢结构三角托架



第1章 构件的受力分析

本章主要讨论静力学部分，即研究构件在外力作用下处于平衡状态应遵循的规律。所谓平衡状态，是指构件受到外力作用，相对于地面保持静止或作匀速直线运动的一种状态。作用在构件上的一群外力称为力系，若此时构件处于平衡状态，则称为平衡力系。构件的受力分析是指分析构件共受几个力，以及每个力的作用线位置、大小和方向。通过对平衡状态下构件的力系分析以及满足相应平衡条件的研究，确定其上未知力的大小和方向或方位。

1.1 力的概念及性质

1.1.1 力的概念

人们从长期生产和生活实践中，透过力的各种现象，逐步认识了力的本质，建立了力的概念。力是物体之间的相互机械作用。这种机械作用产生两种效应——外效应和内效应。

(1) 外效应

外效应是指物体的运动状态发生改变。如静止的小车，用力推它时能使其运动。但是当施加的力较小时，物体有可能保持静止，好像力并不能改变运动状态。其实此时作用在物体上的力系处于平衡状态，每个力产生的运动效果总体抵消了。

作用在物体上的一个力系用另一个与它等效的力系来代替，称这两个力系互为等效力系。如果用一个简单力系等效的代替一个复杂力系，则称为力系的简化。

(2) 内效应

内效应是指物体产生变形。如弹簧受拉力作用伸长。

实验结果表明，如外力不超过一定限度，绝大多数材料在外力作用下发生变形，在外力解除后又恢复原状，称此变形为弹性变形。但如外力过大，超过一定限度，则外力解除后只能部分复原，而遗留下一部分不能消失的变形，称此变形为塑性变形。一般情况下，要求构件只发生弹性变形，而不希望发生塑性变形。

外效应和内效应总是同时产生的。但在一般情况下，工程上用的构件大都是用金属材料

制成的，其具有足够的抵抗变形的能力，即在外力作用下，产生的变形很微小。因此在研究构件的平衡时，就可忽略构件的变形，而按变形前的原始尺寸进行分析计算。这种忽略变形的物体称为刚体。显然刚体是指在力的作用下其内部任意两点之间的距离始终保持不变，是一种抽象化模型，不能把刚体绝对化。如果在研究的问题中，构件变形为主要研究对象，就不能把它看成刚体，而应看成变形体。本章的研究都是基于小变形的概念，研究刚体的外效应。

力对构件的作用效果决定于三要素：力的大小、力的方向和力的作用点。

力是矢量，常用黑体字母 $\mathbf{F}$ 作记号，用一个带箭头的有向线段表示，如图 1-1 所示的矢量 $\mathbf{AB}$ 。线段的长度按一定比例画出，表示力的大小；线段的方位和箭头所指的方向表示力的方向；线段的起点 A 或终点 B 表示力的作用点；过力的作用点沿力的方向的直线称为力的作用线。

按照国际单位制，力的单位为“牛顿”(N)，或“千牛顿”(kN)。

作用在构件上的力按作用方式，可分为体积力和表面力。体积力是指作用在构件内部各点的力，如重力；而表面力是指作用在构件表面上的力，如作用在塔侧面的风力。表面力又可分为集中力和分布力。当力的作用面积远小于物体的表面尺寸时，可看作是作用于一点的集中力 [图 1-2 (a)]，而分布力是连续分布于物体表面的力。有些分布力是沿杆件的轴线分布的 [图 1-2 (b)]。其大小常用单位长度作用的力来表示，记作分布力集度 $q(x)$ ，单位为牛/米 (N/m)。当 $q(x)$ 为常数时称其为均布力或均布载荷 [图 1-2 (c)]。

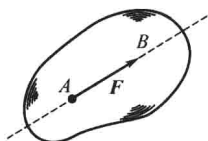


图 1-1 力的表示

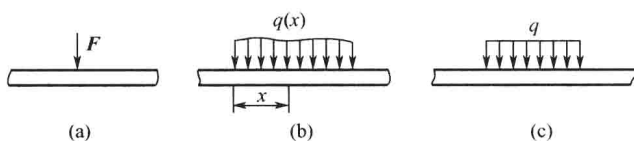


图 1-2 集中力和分布力

1.1.2 力的基本性质

(1) 力的成对性

力是由两个物体相互作用产生的，所以作用力和反作用力总是同时存在，两力的大小相等、方向相反，沿着同一直线，分别作用在两个相互作用的物体上。如用手推小车时，手对小车施加力，同时手必受到小车的反作用力。这两力大小相等、方向相反，分别作用在小车和手上。在进行受力分析时，必须注意作用力与反作用力分别作用在两个不同物体上，不能认为这两力相互平衡，组成平衡力系。作用力和反作用力常用同一个字母表示，但在其中之一字母（多为表示反作用力的字母）的右上角加一“撇”，如 $\mathbf{F}'$ ，加以区分。

(2) 二力平衡条件

若刚体只受两个力的作用而处于平衡状态，其必要和充分条件是：这两个力的大小相等、方向相反，且作用在同一直线上。如图 1-3 所示，物体受到两个力 $\mathbf{F}_A$ 和 $\mathbf{F}_B$ 并处于平衡状态，则一定有 $\mathbf{F}_A = -\mathbf{F}_B$ 。此时， $\mathbf{F}_A$ 和 $\mathbf{F}_B$ 称为一对平衡力。

只受两个力作用而处于平衡的构件称为二力构件。根据二力平衡条件可以确定，这两个力的方位就是这两个作用点的连线（图 1-4）。

(3) 力的可合性与可分性

若一个力与一个力系等效，则这个力是该力系的合力，而该力系中的各个力为其合力的