



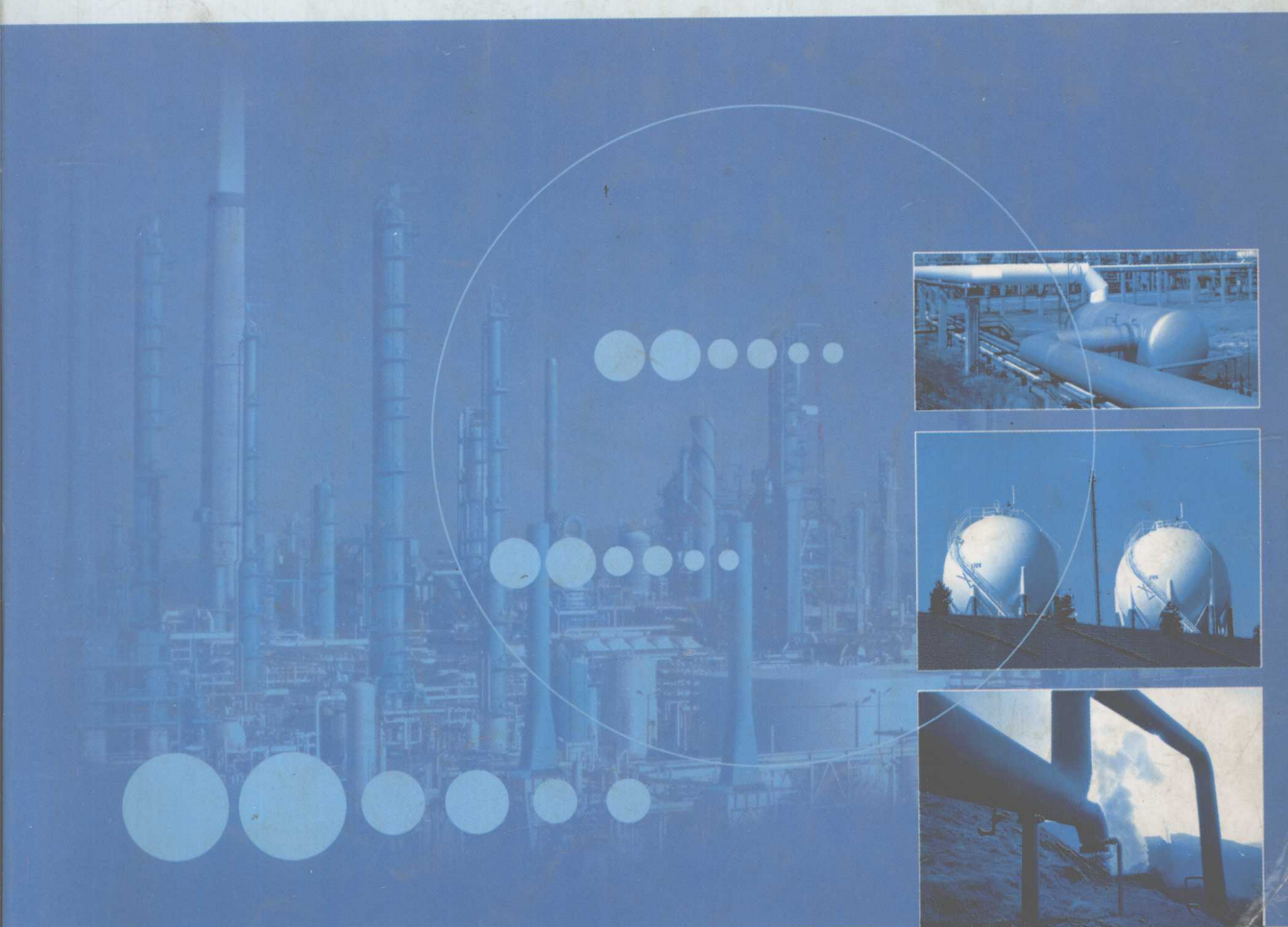
普通高等教育“十五”国家级规划教材

化工设备机械基础

HUAGONG SHEBEI JIXIE JICHU

(第五版)

刁玉玮 王立业◎编著



大连理工大学出版社

TQ050.1
221

普通高等教育“十五”国家级规划教材

化工设备机械基础

(第五版)

刁玉玮 王立业 编著

2007

大连理工大学出版社

© 刁玉玮 2003

图书在版编目(CIP)数据

化工设备机械基础 / 刁玉玮, 王立业编著. — 5 版. — 大连: 大连理工大学出版社, 2003.1(2005.1 重印)

ISBN 7-5611-0715-3

I. 化… II. ①刁… ②王 III. ①化工设备—基础理论—高等学校教材 ②化工机械—基础理论—高等学校—教材 IV. TQ050.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2003)第 002138 号

大连理工大学出版社出版

地址: 大连市凌水河 邮政编码: 116024

电话: 0411-84708842 传真: 0411-84701466 邮购: 0411-84707961

E-mail: dulp@dulp.cn URL: <http://www.dulp.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: 24.25 字数: 568 千字

印数: 75 001 ~ 81 000

1988 年 8 月第 1 版 2003 年 1 月第 5 版

2005 年 1 月第 13 次印刷

责任编辑: 王佳玉 刘新彦 责任校对: 范业婷
封面设计: 孙宝福

定 价: 24.00 元

第 5 版说明

《化工设备机械基础》这类工程性和应用性很强的教材与其他基础理论性教材不同,它必须反映出最新工程应用标准,因而每隔一定时间,随着原有标准的修订和新标准的制订,本教材都要尽可能按最新标准或现行标准予以修改,以保证教材内容能与时俱进。

2002 年本教材经教育部批准,列入教育部十五规划教材。此次根据 2002 年 GB150—1998《钢制压力容器》第 1 号修改单及其他有关标准对有关章节及习题作了适当修改,其中第 2 篇第 2 章“概论”改为“容器设计基本知识”,增加了压力容器安全技术监察和压力容器安全法规、标准等内容。

本次修订工作第 1、3、4、5 章及附录由刁玉玮教授完成,第 2、6 章由喻健良副教授完成,第 7~9 章由王立业副教授完成,全书由刁玉玮教授统稿审定。

伊军高级工程师对本版修订提出了宝贵意见,在此表示谢意。

与教材第 5 版配套,将出版《化工设备机械基础学习指导》一书。

编著者

2003 年 1 月

第 4 版说明

本教材 1996 年 11 月第 3 版之后,又使用了 3 年,已印刷了 8 次。在此期间 1998 年 10 月又颁布了新的国家标准 GB150—1998《钢制压力容器》,该标准与原标准 GB150—89《钢制压力容器》相比有较大改动,同时近年来又有其他一些相关标准出台。《化工设备机械基础》这类工程性和应用性很强的教材与其他基础理论性教材不同,它必须反映出最新工程应用标准。因此,应大连理工大学出版社之邀,对本教材再进行全面修改后作为第 4 版发行。

本次再版工作第 1~5 章及附录由刁玉玮教授修改;第 6 章由侯明博士修改;第 7~9 章由王立业副教授修改;全书由刁玉玮教授统稿审核。

编著者

2000 年 4 月

第 3 版说明

本教材自 1992 年 12 月第 2 版出版,已使用 4 年之久,已 5 次印刷,应大连理工大学出版社之邀进行第 3 版印刷。这次再版根据有关新标准的实施,对 6.2 节“容器支座”内容进行重新编写,对第 8 章“塔设备的机械设计”第 1 节、第 2 节作较大的改动,同时对一些常用名词术语按最新规范进行了修改。6.2 节“容器支座”及相应附录由侯明执笔改编,其余修改工作由刁玉玮教授执笔并统稿审核。

编著者

1996 年 11 月

第 2 版说明

本教材 1989 年 8 月出版,已两次印刷,应大连理工大学出版社之邀进行再版印刷。这次再版根据国标 GB150—89《钢制压力容器》对第 4~6 章作了较大的改动,其他章也作了适当修改,同时考虑到化工工艺类专业的实际需要,删掉了原版第 5 章“压力容器的应力分类及对各类应力的限制”;增加了第 9 章“搅拌器的机械设计”,即“反应设备的机械设计”,原版第 6~9 章依次改为第 5~8 章。

编著者

1992 年 6 月

第 1 版前言

本书可作为高等学校化工工艺类专业学生学习化工容器与设备机械设计基础知识的教材。

本教材在基本理论和基本概念方面较以往同类教材有所加强,同时注重了规范设计与实用方面的要求,采用最新标准。考虑到少学时和多种专业的需要这一特点,有些内容叙述较为详尽,适于自学。本书各章配有适量的例题和内容丰富的复习思考题与习题,并将计算与设计所需的必要数据、标准纳入附录。本书也可供有关工程技术人员参考。

本书采用国际单位制。但考虑到读者由工程单位制向国际单位制过渡的过程,在某些地方仍同时附有工程单位制的数据。

本书第 1~6 章及附录由刁玉玮副教授编写,李荣华绘图;第 7~9 章由王立业副教授编写,李铭绘图。全书由刁玉玮副教授统稿并审核。

由于编者水平有限,加之时间仓促,难免有不妥之处,诚请广大读者批评指正。

编著者

1987 年 10 月

目 录

第 1 篇 化工设备材料

第 1 章 化工设备材料及其选择	1
1.1 概 述	1
1.2 材料的性能	2
1.2.1 力学性能	2
1.2.2 物理性能	7
1.2.3 化学性能	8
1.2.4 加工工艺性能	9
1.3 金属材料的分类及牌号	9
1.3.1 分 类	9
1.3.2 钢铁牌号及表示方法	11
1.4 碳钢与铸铁	15
1.4.1 铁碳合金的组织结构	15
1.4.2 铁碳合金状态图	18
1.4.3 碳 钢	20
1.4.4 钢的热处理	21
1.4.5 铸 铁	23
1.5 低合金钢及化工设备用特种钢	25
1.5.1 合金元素对钢的影响	26
1.5.2 低合金钢	27
1.5.3 锅炉钢与容器钢	27
1.5.4 不锈钢耐酸钢	28
1.5.5 耐热钢	30
1.5.6 低温用钢	31
1.5.7 钢材的品种和规格	32
1.6 有色金属材料	33
1.6.1 铝及其合金	33
1.6.2 铜及其合金	34
1.6.3 铅及其合金	34

1.6.4 钛及其合金	35
1.7 非金属材料	35
1.7.1 无机非金属材料	35
1.7.2 有机非金属材料	36
1.8 化工设备的腐蚀及防腐措施	37
1.8.1 金属的腐蚀	38
1.8.2 晶间腐蚀和应力腐蚀	41
1.8.3 金属腐蚀破坏的形式	43
1.8.4 金属设备的防腐措施	44
1.9 化工设备材料的选择	45
1.9.1 选材的一般原则	45
1.9.2 选材举例	47
习 题	48

第2篇 化工容器设计

第2章 容器设计的基础知识	51
2.1 容器的分类与结构	51
2.1.1 容器的分类	51
2.1.2 容器的结构	55
2.2 容器零部件的标准化	55
2.2.1 标准化的意义	55
2.2.2 容器零部件标准化的基本参数	56
2.3 压力容器的安全监察	57
2.3.1 压力容器安全监察的意义与监察范围	57
2.3.2 压力容器相关的法规和标准	58
2.3.3 我国压力容器常用法规标准简介	59
2.4 容器机械设计的基本要求	60
习 题	61

第3章 内压薄壁容器的应力分析	63
3.1 回转壳体的应力分析——薄膜应力理论	63
3.1.1 薄壁容器及其应力特点	63
3.1.2 基本概念与基本假设	64
3.1.3 经向应力计算公式——区域平衡方程式	65
3.1.4 环向应力计算公式——微体平衡方程式	67
3.1.5 轴对称回转壳体薄膜理论的应用范围	69
3.2 薄膜理论的应用	69
3.2.1 受气体内压的圆筒形壳体	69
3.2.2 受气体内压的球形壳体	70

3.2.3 受气体内压的椭球壳(椭圆形封头).....	71
3.2.4 受气体内压的锥形壳体.....	73
3.2.5 受气体内压的碟形壳(碟形封头).....	74
3.2.6 例 题.....	77
3.3 内压圆筒边缘应力的概念.....	78
3.3.1 边缘应力的概念.....	78
3.3.2 边缘应力的特点.....	79
3.3.3 对边缘应力的处理.....	80
习 题	81
第4章 内压薄壁圆筒与封头的强度设计	84
4.1 强度设计的基本知识.....	84
4.1.1 关于弹性失效的设计准则.....	84
4.1.2 强度理论及其相应的强度条件.....	84
4.2 内压薄壁圆筒壳与球壳的强度设计.....	86
4.2.1 强度计算公式.....	86
4.2.2 设计参数的确定.....	88
4.2.3 容器的厚度和最小厚度.....	95
4.2.4 压力试验及其强度校核.....	95
4.2.5 例 题.....	97
4.3 内压圆筒封头的设计.....	99
4.3.1 半球形封头.....	99
4.3.2 椭圆形封头	100
4.3.3 碟形封头	101
4.3.4 球冠形封头	102
4.3.5 锥形封头	103
4.3.6 平板封头	109
4.3.7 例 题	113
4.3.8 封头的选择	115
习 题.....	118
第5章 外压圆筒与封头的设计.....	121
5.1 概 述	121
5.1.1 外压容器的失稳	121
5.1.2 容器失稳型式的分类	121
5.2 临界压力	122
5.2.1 概 念	122
5.2.2 影响临界压力的因素	122
5.2.3 长圆筒、短圆筒和刚性圆筒.....	124
5.2.4 临界压力的理论计算公式	125

5.2.5 临界长度	126
5.3 外压圆筒的工程设计	126
5.3.1 设计准则	126
5.3.2 外压圆筒壁厚设计的图算法	127
5.3.3 外压容器的试压	135
5.3.4 例 题	135
5.4 外压球壳与凸形封头的设计	136
5.4.1 外压球壳和球形封头的设计	136
5.4.2 凸面受压封头的设计	137
5.4.3 例 题	138
5.5 外压圆筒加强圈的设计	139
5.5.1 加强圈的作用与结构	139
5.5.2 加强圈的间距	139
5.5.3 加强圈尺寸设计	140
5.5.4 加强圈与圆筒间的连接	140
5.5.5 例 题	141
习 题	143
第6章 容器零部件	145
6.1 法兰联接	145
6.1.1 法兰联接结构与密封原理	145
6.1.2 法兰的结构与分类	146
6.1.3 影响法兰密封的因素	148
6.1.4 法兰标准及选用	152
6.2 容器支座	164
6.2.1 卧式容器支座	165
6.2.2 立式容器支座	171
6.3 容器的开孔补强	173
6.3.1 开孔应力集中现象及其原因	173
6.3.2 开孔补强设计的原则与补强结构	175
6.3.3 等面积补强的设计方法	178
6.3.4 例 题	181
6.4 容器附件	182
6.4.1 接 管	182
6.4.2 凸 缘	183
6.4.3 手孔与人孔	183
6.4.4 视 镜	184
6.5 容器设计举例	184
6.5.1 罐体壁厚设计	185
6.5.2 封头壁厚设计	185

6.5.3 鞍 座	186
6.5.4 人 孔	186
6.5.5 人孔补强	188
6.5.6 接 管	189
6.5.7 设备总装配图	189
习 题	192

第 3 篇 典型化工设备的机械设计

第 7 章 管壳式换热器的机械设计	196
7.1 概 述	196
7.1.1 管壳式换热器的结构及主要零部件	196
7.1.2 管壳式换热器的分类	197
7.1.3 管壳式换热器机械设计内容	198
7.2 管子的选用及其与管板的连接	198
7.2.1 管子的选用	198
7.2.2 管子与管板的连接	199
7.3 管板结构	202
7.3.1 换热管排列形式	202
7.3.2 管间距	203
7.3.3 管板受力及其设计方法简介	203
7.3.4 管程的分程及管板与隔板的连接	204
7.3.5 管板与壳体的连接结构	206
7.4 折流板、支承板、旁路挡板及拦液板的作用与结构	207
7.4.1 折流板及支承板	207
7.4.2 旁路挡板	210
7.4.3 拦液板	210
7.5 温差应力	211
7.5.1 管壁与壳壁温度差引起的温差应力	211
7.5.2 管子拉脱力的计算	212
7.5.3 温差应力的补偿	214
7.5.4 膨胀节的结构及设置	217
7.6 管箱与壳程接管	218
7.6.1 管 箱	218
7.6.2 壳程接管	218
7.7 管壳式换热器的机械设计举例	220
习 题	228

第8章 塔设备的机械设计	230
8.1 塔体与裙座的机械设计	231
8.1.1 塔体厚度的计算	231
8.1.2 裙座设计	240
8.2 塔体与裙座的机械设计举例	247
8.2.1 设计条件	247
8.2.2 按计算压力计算塔体和封头厚度	249
8.2.3 塔设备质量载荷计算	249
8.2.4 风载荷和风弯矩计算	251
8.2.5 地震弯矩计算	253
8.2.6 偏心弯矩计算	254
8.2.7 各种载荷引起的轴向应力	254
8.2.8 塔体和裙座危险截面的强度与稳定校核	255
8.2.9 塔体水压试验和吊装时的应力校核	257
8.2.10 基础环设计.....	258
8.2.11 地脚螺栓计算.....	259
8.3 板式塔结构	259
8.3.1 总体结构	259
8.3.2 塔盘结构	261
8.3.3 塔盘的支承	265
8.4 填料塔结构	267
8.4.1 喷淋装置	267
8.4.2 液体再分布器	270
8.4.3 支承结构	271
习 题.....	272
第9章 搅拌器的机械设计	276
9.1 概 述	276
9.2 搅拌器的型式及选型	277
9.3 搅拌器的功率	279
9.3.1 搅拌器功率和搅拌器作业功率	279
9.3.2 影响搅拌器功率的因素	280
9.3.3 从搅拌作业功率的观点决定搅拌过程的功率	280
9.4 搅拌罐结构设计	281
9.4.1 罐体的尺寸确定	281
9.4.2 顶盖的结构	283
9.5 传动装置及搅拌轴	285
9.5.1 传动装置	285
9.5.2 轴的计算	287
9.6 轴 封	288

9.6.1 填料密封	288
9.6.2 机械密封	289
附 录	291
附录 1 常用金属材料的物理性能	291
附录 2 优质碳素结构钢的钢号和化学成分(GB711—88)	293
附录 3 锅炉钢板的力学性能	294
附录 4 容器钢的化学成分和力学性能	295
附录 5 国内常用耐热钢的化学成分、热处理状态、力学性能及用途	298
附录 6 钢板、钢管、锻件和螺栓的高温力学性能	300
附录 7 无缝钢管的尺寸范围及常用系列	306
附录 8 螺栓螺母材料组合及适用温度范围	307
附录 9 钢板、钢管、锻件和螺栓的许用应力	308
附录 10 热轧钢板的尺寸规格(GB709—88)	320
附录 11 图 5-5 和图 5-7~图 5-14 数据表(GB150—1998)	322
附录 12 长颈法兰的最大允许工作压力(JB4700—2000)	329
附录 13 甲型、乙型平焊法兰和长颈法兰螺栓材料的选用	330
附录 14 甲型平焊法兰、乙型平焊法兰尺寸系列	333
附录 15 管法兰标准(HG20592~20593—97)	338
附录 16 双鞍式支座标准(JB/T4712—92)	352
附录 17 耳式支座标准(JB/T4725—92)	362
附录 18 裙座上开设人孔处的断面模数及面积	364
附录 19 裙座标准系列尺寸	365
参考文献	368

第 1 篇

化工设备材料

第 1 章 化工设备材料及其选择

1.1 概 述

化学工业是多品种的基础工业,为了适应化工生产的多种需要,化工设备的种类很多,设备的操作条件也比较复杂。按操作压力来说,有真空、常压、低压、中压以至高压和超高压;按操作温度来说,有低温、常温、中温和高温;处理的介质大多数又有腐蚀性,或为易燃、易爆、有毒、剧毒等。有时对于某种具体设备来说,既有温度、压力要求,又有耐腐蚀要求,而且这些要求有时还是互相矛盾的,有时某些条件又经常变化。

这种多样性的操作特点,给化工设备选用材料造成了复杂性,因此合理选用化工设备材料是设计化工设备的重要环节,在选择材料时,必须根据材料的各种性能及其应用范围综合考虑具体的操作条件,抓住主要矛盾,遵循适用、安全和经济的原则。

选用材料的一般要求是:

- (1)材料品种应符合我国资源和供应情况;
- (2)材质可靠,能保证使用寿命;
- (3)要有足够的强度,良好的塑性和韧性,对腐蚀性介质能耐腐蚀;
- (4)便于制造加工,焊接性能良好;
- (5)经济上合算。

例如,对于压力容器用钢材来说,对中、低压和高压容器,经常处于有腐蚀性介质的条件下工作,除了承受较高的介质内压力(或外压)以外,有时还会受到冲击和疲劳载荷的作用;在制造过程中,还要经过各种冷、热加工(如下料、卷板、焊接、热处理等)使之成型;因此,对压力容器用钢板有较高的要求:除随介质的不同要有耐腐蚀要求以外,还应有较高的强度,良好的塑性、韧性和冷弯性能,缺口敏感性要低,加工和焊接性能良好。对低合金钢板材要注

意是否有分层、夹渣、白点和裂纹等缺陷,尤其白点和裂纹是绝对不允许存在的。对中、高温容器,由于钢材在中、高温的长期作用下,金相组织和力学性能等将发生明显的变化,又由于化工用的中、高温设备往往都要承受一定的介质压力,选择中、高温设备用钢时,还必须考虑到材料的组织稳定性和中、高温的力学性能。对于低温设备用钢,还要着重考虑设备在低温下的脆性断裂问题。

1.2 材料的性能

材料的性能包括力学性能、物理性能、化学性能和工艺性能等。

1.2.1 力学性能

构件在使用过程中受力(载荷)超过某一限度时,就会发生变形,甚至断裂失效。我们把材料在外力(或外加能量)的作用下抵抗外力所表现的行为,包括变形和抗力,即在外力作用下不产生超过允许的变形或不被破坏的能力,叫做材料的力学性能,通常用材料在外力作用下表现出来的弹性、塑性、强度、硬度和韧性等特征指标来衡量。

金属材料在外力作用下所引起的变形和破坏过程,大致可分为三个阶段:(1)弹性变形阶段;(2)弹-塑性变形阶段;(3)断裂。一般的断裂有两种形式:断裂之前没有明显塑性变形阶段的,称为脆性断裂;经过大量塑性变形之后才发生断裂的,称为韧性断裂。

1. 强度

强度是固体材料在外力作用下抵抗产生塑性变形和断裂的特性。常用的强度指标有屈服点和抗拉强度等。

✓ (1) 屈服点(σ_s)

金属材料承受载荷作用,当载荷不再增加或缓慢增加时,仍继续发生明显的塑性变形,这种现象,习惯上称为“屈服”。发生屈服现象时的应力,即开始出现塑性变形时的应力,称为“屈服点”,用 σ_s (MPa)表示。它即代表材料抵抗产生塑性变形的能力。

$$\sigma_s = \frac{P_s}{F_0} \quad (1-1)$$

式中, P_s 是载荷不增加,甚至有所降低时,试件还继续伸长的最小载荷(N); F_0 是试件的横截面积(m^2)。

除退火的或热轧的低碳钢和中碳钢等少数合金有明显的屈服点外,大多数金属合金没有明显的屈服点。因此,工程中规定发生0.2%残余伸长时的应力作为“条件屈服点”,称为屈服强度,以 $\sigma_{0.2}$ (MPa)表示。

$$\sigma_{0.2} = \frac{P_{0.2}}{F_0} \quad (1-2)$$

式中, $P_{0.2}$ 为产生0.2%残余伸长的载荷(N)。 σ_s 和 $\sigma_{0.2}$ 是公认的评定工程材料的重要力学性能指标。

(2) 抗拉强度(σ_b)

金属材料在拉伸条件下,从开始加载到发生断裂所能承受的最大应力值,叫做抗拉强度。由于外力形式的不同,有抗拉强度、抗压强度、抗弯强度和抗剪切强度等。抗拉强度是压