

高等学校教材

# 过程装备基础

● 朱孝钦 主编



化学工业出版社

高等学校教材

# 过程装备基础

朱孝钦 主编



化学工业出版社

·北京·



“过程装备基础”是高等工科院校过程工艺类专业的重要课程之一。该课程为综合性课程，涉及过程装备的相关基础和专业知 识，包括工程力学、工程材料、机械设计基础、压力容器及管道、过程设备等。

全书内容分为 6 篇：绪论简要地介绍过程装备的基本概念和范畴，是过程装备的共性知识；第 1 篇“过程装备力学基础”主要介绍过程装备中所用到的力学基础知识和基本工程计算；第 2 篇“工程材料”简明扼要地介绍常用材料的性能、牌号和用途等基本知识；第 3 篇“机械设计基础”主要从传递动力的角度介绍了一些常见的机械传动（如带传动、链传动、齿轮传动和蜗杆传动等）的工作原理、标准规范和设计计算方法以及其主要零部件的工作原理、组合设计和选用方法；第 4 篇“压力容器及管道设计基础”主要围绕压力容器及管道的新国家标准进行介绍，重点讲述如何正确应用标准进行一般过程压力容器及管道的设计和零部件选用；第 5 篇“过程设备概论”着重介绍工业生产中较为常见的几类过程设备的类型、结构、工作原理和选用方法，使读者能进行合理选型或结构设计，并借助有关的技术资料进行必要的工程计算，以培养解决工程实际问题的能力。各章后附有相关思考题和习题。

本书可以作为高等院校过程工艺类及相关的非机械专业“过程装备基础”类课程的教材，也可供相关专业的读者和工程技术人员参考。

### 图书在版编目 (CIP) 数据

过程装备基础/朱孝钦主编. —北京：化学工业出版社，2006.7

高等学校教材

ISBN 7-5025-9119-2

I. 过… II. 朱… III. 化工过程-化工设备-高等学校-教材 IV. TQ02

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2006) 第 083915 号

---

高等学校教材

过程装备基础

朱孝钦 主编

责任编辑：程树珍 金玉连

责任校对：王素芹

封面设计：黄金支点

\*

化学工业出版社出版发行

(北京市朝阳区惠新里 3 号 邮政编码 100029)

购书咨询：(010)64982530

(010)64918013

购书传真：(010)64982630

<http://www.cip.com.cn>

\*

新华书店北京发行所经销

北京市彩桥印刷有限责任公司印装

开本 787mm×1092mm 1/16 印张 17½ 字数 441 千字

2006 年 8 月第 1 版 2006 年 8 月北京第 1 次印刷

ISBN 7-5025-9119-2

定 价：29.00 元

---

版权所有 违者必究

该书如有缺页、倒页、脱页者，本社发行部负责退换



主 编 朱孝钦  
副主编 刘俊明 白竞平 李 鸣 高光藩 宋鹏云  
主 审 胡明辅  
参 编 杨玉芬 张 昱 路智敏 谭志洪 李淑兰  
杨培洵 戚冬红

# 前 言

本书根据过程工艺类专业对学习过程装备的基本要求，总结昆明理工大学、太原理工大学、内蒙古工业大学、南昌大学和江苏工业学院五所院校长期教学经验，在参考国内其他高校编写的同类教材的基础上，结合过程装备技术的最新发展，探索加强基础、联系实际和强化能力训练的教学模式，精心编写而成。

本书编写进行了一些尝试：一是注重理论与方法的有机结合，在不破坏基本理论的系统性、严肃性的前提下，着重其实用性；二是力求更全面地介绍过程装备的基础理论和工程应用知识，以拓宽学生的知识面；三是注重介绍有关的标准、规范，且以当前最新版的标准、规范为依据，以适应工程实际的需要；四是注意汲取国外同类教材的一些好的编写方法。此外，鉴于过程装备涉及面广，我们编写的原则是面广而精，努力做到集理论、设计、资料于一体，使读者通俗易懂且便于实际应用。根据不同学科专业的教学要求，教师可以选择讲授其中部分内容。除作为教材外，本书还可供相关工程技术人员参考。

本书由朱孝钦主编，刘俊明、白竞平、李鸣、高光藩、宋鹏云为副主编。具体编写分工如下：宋鹏云编写绪论、第10章~第12章，刘俊明、高光藩编写第1章~第5章，杨玉芬编写第6章，张昱编写第7章，白竞平、路智敏编写第8章、第9章，朱孝钦编写第13章、第14章、第19章、附录，谭志洪、李鸣编写第15章、第16章，李淑兰、杨培洵编写第17章，戚冬红编写第18章。

全书由胡明辅教授主审。在编写过程中，杨明、邓荣群、刘辉等同志对本书例题、习题及插图做了大量工作，内蒙古工业大学张东利教授生前对本书提出了不少宝贵意见，特此一并致谢。

由于编者水平有限，书中难免有不妥之处，敬请读者批评指正。

编 者

2006年5月

# 目 录

绪论	1
<b>第 1 篇 过程装备力学基础</b>	<b>3</b>
<b>第 1 章 静力学</b>	<b>3</b>
1.1 基本概念和公理	3
1.1.1 基本概念	3
1.1.2 静力学公理	4
1.2 约束和约束反力	5
1.2.1 柔索	6
1.2.2 光滑接触面	6
1.2.3 光滑铰链	6
1.2.4 固定端	7
1.3 受力分析和受力图	7
1.4 平面汇交力系的合成和平衡条件	8
1.4.1 力在坐标轴上的投影	9
1.4.2 合力投影定理	9
1.4.3 平面汇交力系的平衡条件	10
1.5 平面一般力系的简化和平衡条件	11
1.5.1 力矩和平面力偶理论	11
1.5.2 平面一般力系的简化	13
1.5.3 平面一般力系的平衡条件	14
思考题	16
习题	16
<b>第 2 章 拉伸与压缩</b>	<b>19</b>
2.1 材料力学引言	19
2.1.1 基本概念	19
2.1.2 内力和应力	19
2.1.3 杆件变形的基本形式	21
2.2 轴向拉伸与压缩	21
2.2.1 直杆受拉伸(压缩)时横截面上的内力与应力	21
2.2.2 直杆轴向拉伸(压缩)时的强度条件	23
2.2.3 直杆轴向拉伸(压缩)时的变形计算	25
2.3 材料的力学性能	26
2.3.1 材料的力学性能及其测试	26
2.3.2 许用应力与安全系数	30
2.4 简单拉压的超静定问题	30
思考题	32



习题 .....	33
<b>第3章 剪切与扭转 .....</b>	<b>35</b>
3.1 剪切的概念与实例 .....	35
3.2 剪切与挤压的实用计算 .....	36
3.2.1 剪切的实用计算 .....	36
3.2.2 挤压的实用计算 .....	36
3.3 扭转的概念与实例 .....	38
3.4 纯剪切 .....	38
3.5 圆轴扭转时的应力及强度条件 .....	39
3.5.1 外力偶矩的计算及横截面上的内力 .....	39
3.5.2 圆轴扭转时横截面上的应力 .....	41
3.5.3 圆轴扭转时的强度条件 .....	43
3.6 圆轴扭转时的变形及刚度条件 .....	45
思考题 .....	46
习题 .....	46
<b>第4章 平面弯曲 .....</b>	<b>48</b>
4.1 平面弯曲的概念和实例 .....	48
4.2 平面弯曲的内力分析 .....	49
4.2.1 剪力和弯矩 .....	49
4.2.2 剪力方程和弯矩方程 剪力图和弯矩图 .....	50
4.3 平面弯曲的正应力计算 .....	53
4.3.1 纯弯曲时梁横截面上的正应力 .....	53
4.3.2 常用截面的惯性矩和抗弯截面模量的计算 .....	56
4.3.3 弯曲正应力强度条件 .....	57
4.3.4 提高梁弯曲强度的措施 .....	58
4.4 平面弯曲的变形计算 .....	59
4.4.1 梁弯曲变形的度量——挠度和转角 .....	59
4.4.2 挠曲线近似微分方程及两次积分法 .....	59
4.4.3 用叠加法求梁的变形 .....	61
4.4.4 梁的刚度条件 .....	62
4.5 简单超静定梁的求解 .....	63
4.6 压杆稳定性简介 .....	63
4.6.1 压杆稳定性的概念 .....	63
4.6.2 提高压杆稳定性的措施 .....	64
思考题 .....	65
习题 .....	65
<b>第5章 复杂应力状态及强度理论 .....</b>	<b>68</b>
5.1 一点处应力状态的概念 .....	68
5.2 二向应力状态分析 .....	69
5.2.1 斜截面上的应力 .....	70
5.2.2 应力状态的分析与讨论 .....	70
5.3 三向应力状态及广义虎克定律简介 .....	72
5.4 强度理论简介 .....	73

5.5 组合变形的强度计算	75
5.5.1 弯曲与拉(压)的组合变形	75
5.5.2 弯曲与扭转的组合变形	76
思考题	77
习题	77
<b>第2篇 工程材料</b>	<b>80</b>
<b>第6章 过程装备材料</b>	<b>80</b>
6.1 过程装备用金属材料	80
6.1.1 金属材料的主要性能	80
6.1.2 金属材料的晶体结构	81
6.1.3 钢的热处理	81
6.1.4 常用金属材料	82
6.2 非金属材料	88
6.2.1 高分子材料	88
6.2.2 陶瓷材料	89
6.2.3 树脂基复合材料(玻璃钢)	90
6.2.4 石墨	90
6.2.5 天然耐酸材料	90
6.2.6 涂料	90
思考题	90
<b>第3篇 机械设计基础</b>	<b>92</b>
<b>第7章 螺纹连接</b>	<b>92</b>
7.1 螺纹连接的基本类型和螺纹连接件	92
7.1.1 螺纹连接的基本类型	92
7.1.2 螺纹连接件	93
7.1.3 螺纹连接件的常用材料和力学性能等级	95
7.2 螺纹连接的预紧和防松	95
7.2.1 螺纹连接的预紧	95
7.2.2 螺纹连接的防松	95
7.3 提高螺栓连接强度的措施	97
7.3.1 改善螺纹牙间的载荷分配不均的现象	97
7.3.2 减小螺栓的应力幅	97
7.3.3 减小应力集中	98
7.3.4 避免附加弯曲应力	98
7.3.5 采用合理的制造工艺	98
思考题	99
<b>第8章 带传动及链传动</b>	<b>100</b>
8.1 带传动概述	100
8.1.1 带传动的工作原理	100
8.1.2 带传动的类型和特点	100
8.1.3 带传动的应用	100

8.2 带传动工作情况分析 .....	101
8.2.1 带传动的受力分析 .....	101
8.2.2 带的应力分析 .....	101
8.2.3 带传动的弹性滑动与失效形式 .....	102
8.3 V带传动及其选用计算 .....	103
8.3.1 V带的结构 .....	103
8.3.2 普通V带规格和基本尺寸 .....	104
8.3.3 普通V带带轮的结构 .....	105
8.3.4 带传动的张紧装置 .....	106
8.3.5 V带传动设计计算 .....	107
8.4 链传动简介 .....	113
8.4.1 链传动的组成 .....	113
8.4.2 链传动的类型 .....	113
8.4.3 链传动的特点与应用 .....	114
思考题 .....	114
习题 .....	114
<b>第9章 齿轮传动及蜗杆传动</b> .....	<b>115</b>
9.1 齿轮传动概述 .....	115
9.2 齿轮啮合的基本定律与渐开线齿廓 .....	116
9.2.1 齿轮啮合的基本定律 .....	116
9.2.2 渐开线齿廓 .....	116
9.3 渐开线标准直齿圆柱齿轮各部分名称及基本尺寸 .....	118
9.3.1 渐开线标准直齿圆柱齿轮各部分的名称 .....	118
9.3.2 渐开线标准直齿圆柱齿轮的基本参数和几何尺寸 .....	118
9.4 渐开线齿轮的正确啮合条件和连续传动条件 .....	120
9.4.1 渐开线齿轮的正确啮合条件 .....	120
9.4.2 渐开线齿轮连续传动条件 .....	121
9.5 齿轮的加工、最少齿数与传动精度等级的选择 .....	121
9.5.1 齿轮的加工方法 .....	121
9.5.2 齿轮的根切与最少齿数 .....	122
9.5.3 齿轮传动精度等级的选择 .....	122
9.6 斜齿圆柱齿轮传动 .....	123
9.6.1 斜齿圆柱齿轮的形成及其传动特点 .....	123
9.6.2 斜齿轮的几何尺寸计算 .....	124
9.7 齿轮传动的失效形式和齿轮材料 .....	126
9.7.1 齿轮传动的失效形式 .....	126
9.7.2 齿轮材料 .....	127
9.8 锥齿轮传动简介 .....	128
9.9 蜗杆传动简介 .....	128
9.9.1 蜗杆传动的特点和应用 .....	128
9.9.2 蜗杆传动的分类 .....	128
9.9.3 蜗杆传动的失效形式与材料选择 .....	129
9.10 齿轮、蜗杆、蜗轮的结构 .....	129

9.10.1 齿轮结构	129
9.10.2 蜗杆与蜗轮的结构	130
思考题	131
习题	131
<b>第10章 轴及其连接</b>	<b>133</b>
10.1 轴的分类及设计要点	133
10.2 轴常用的材料	134
10.2.1 碳素钢	134
10.2.2 合金钢	134
10.2.3 球墨铸铁	134
10.3 轴径的初步计算	135
10.4 轴的结构设计	136
10.4.1 轴上零件的定位与固定	136
10.4.2 轴的加工与轴上零件装拆的要求	137
10.4.3 减少应力集中的措施	137
10.5 轴的工作能力校核计算简介	138
10.5.1 轴的强度校核计算	138
10.5.2 轴的刚度计算	138
10.5.3 轴的振动稳定性概念	139
10.6 轴的连接	139
10.6.1 联轴器	140
10.6.2 离合器	142
思考题	144
习题	144
<b>第11章 轮系及减速器</b>	<b>145</b>
11.1 轮系的分类及功用	145
11.1.1 轮系的分类	145
11.1.2 轮系的功用	146
11.2 定轴轮系的传动比	146
11.3 减速器	148
11.3.1 减速器的主要型式及应用特点	148
11.3.2 减速器的组成、结构和润滑	149
11.3.3 标准减速器	150
思考题	151
习题	151
<b>第12章 轴承</b>	<b>152</b>
12.1 滑动轴承	152
12.1.1 滑动轴承的摩擦状态及特点	152
12.1.2 滑动轴承的结构与材料	153
12.1.3 滑动轴承的润滑	156
12.1.4 非流体润滑滑动轴承的计算	157
12.2 滚动轴承	159
12.2.1 滚动轴承的结构、类型和代号	159

12.2.2	滚动轴承的选择	162
12.2.3	滚动轴承部件的组合设计	163
	思考题	164
	习题	164
<b>第4篇</b>	<b>压力容器及管道设计基础</b>	<b>165</b>
<b>第13章</b>	<b>内压力容器</b>	<b>165</b>
13.1	概述	165
13.1.1	压力容器设计内容及有关规范	165
13.1.2	压力容器的总体结构及其设计特点	165
13.1.3	压力容器的分类	166
13.1.4	压力容器的失效形式与设计准则	167
13.2	内压薄壁容器设计的理论基础	168
13.2.1	无力矩理论的基本概念	168
13.2.2	回转壳体的几何关系	169
13.2.3	无力矩理论的基本方程式	169
13.2.4	无力矩理论在容器应力分析中的应用	171
13.2.5	无力矩理论的应用条件	174
13.3	容器边缘应力及其处理	174
13.3.1	边缘应力的产生	174
13.3.2	边缘应力的特性	175
13.3.3	边缘应力在设计中的处理	175
13.4	内压薄壁容器的设计	176
13.4.1	内压筒体设计	176
13.4.2	内压封头设计	177
13.4.3	设计技术参数的确定	182
13.5	容器的压力试验	184
	思考题	187
	习题	187
<b>第14章</b>	<b>外压力容器</b>	<b>188</b>
14.1	概述	188
14.1.1	外压容器的稳定性	188
14.1.2	外压容器的临界压力	188
14.2	外压圆筒的稳定性计算	188
14.2.1	外压圆筒的分类	189
14.2.2	外压圆筒的临界压力计算	189
14.2.3	外压圆筒的临界长度	190
14.3	外压容器的工程设计	190
14.3.1	外压力容器设计参数	190
14.3.2	外压圆筒设计	191
14.3.3	外压球壳设计	196
14.3.4	外压封头设计	196
14.4	加强圈设计简介	197

思考题	197
习题	198
<b>第 15 章 压力容器通用零部件</b>	199
15.1 概述	199
15.2 公称直径和公称压力	199
15.2.1 公称直径	199
15.2.2 公称压力	200
15.3 法兰连接	201
15.3.1 法兰连接结构	201
15.3.2 法兰标准	204
15.4 容器支座	210
15.4.1 卧式容器支座	210
15.4.2 立式容器支座	213
15.5 容器开孔补强	214
15.5.1 容器主要的开孔装置	214
15.5.2 开孔补强的设计与结构	215
思考题	218
<b>第 16 章 压力管道设计</b>	219
16.1 概述	219
16.1.1 压力管道定义	219
16.1.2 压力管道的分类	219
16.1.3 压力管道的基本组成	219
16.2 管道器材及其选择	220
16.2.1 管子及其选择	220
16.2.2 管件及其选择	223
16.2.3 阀门	225
16.3 管道支吊架及其选用	228
16.3.1 管道支吊架的分类	228
16.3.2 常用管道支吊架的结构特征及其应用	228
16.3.3 管道支吊架的选用	230
16.4 管道设计概论	230
16.4.1 管道的设计程序和主要内容	230
16.4.2 管道设计的一般原则	231
16.4.3 管道的结构设计	232
思考题	232
<b>第 5 篇 过程设备概论</b>	234
<b>第 17 章 传热与传质设备</b>	234
17.1 换热设备	234
17.1.1 概述	234
17.1.2 管壳式换热设备	236
17.1.3 换热设备技术进展概述	238
17.2 塔设备	238

17.2.1	概述	238
17.2.2	塔设备的总体结构	240
17.2.3	塔设备的技术进展概述	240
	思考题	241
<b>第 18 章</b>	<b>化学过程设备</b>	<b>242</b>
18.1	概述	242
18.1.1	化学过程设备的应用及其特性	242
18.1.2	化学过程设备的类型	242
18.2	釜式反应设备	243
18.2.1	釜式反应设备的总体结构	243
18.2.2	釜体	243
18.2.3	传热装置	244
18.2.4	搅拌装置	244
18.2.5	传动装置	245
18.2.6	密封装置	245
	思考题	245
<b>第 19 章</b>	<b>机械过程设备</b>	<b>246</b>
19.1	物料输送设备	246
19.1.1	液体输送设备	246
19.1.2	气体输送设备	247
19.1.3	固体物料输送设备	248
19.2	机械分离设备	249
19.2.1	固液分离设备	249
19.2.2	气固分离设备	251
19.3	粉体加工设备	252
19.3.1	粉体粉碎过程设备	252
19.3.2	粉体分级设备	254
	思考题	256
<b>附录 1</b>	<b>型钢尺寸规格表</b>	<b>257</b>
<b>附录 2</b>	<b>钢板许用应力</b>	<b>259</b>
<b>附录 3</b>	<b>钢管许用应力</b>	<b>261</b>
<b>参考文献</b>		<b>262</b>

# 绪 论

## 0.1 过程工业

过程工业（也称为流程工业）是涉及物质转化过程的工业部门的总称。它是加工制造流程性物料（指以气体、液体、粉粒体等形态为主的材料）的产业，是现代制造业的重要组成部分。过程工业是一个非常巨大的产业，是国民经济发展中重要的基础性支柱产业。

过程工业包括化工、炼油、轻工、冶金、食品、制药、建材、采矿、环保、能源、动力、核能、生物技术等工业行业。这类工业具有如下特点：所使用的原料主要是自然资源，生产过程多半是连续的，物料中的物质在生产过程中经历了许多物理变化和化学变化，产量的增加主要靠扩大工业生产规模，形成成套装置来达到，容易造成环境污染，且治理比较困难。生态化、绿色化是其发展方向。过程工业的范围相当广泛，涉及能源转换、资源利用和环境保护，不仅包括国民经济的一些支柱产业，而且也是一些高新技术产业的基础，如：生物、医药、微电子、纳米材料等。因此，过程工业是一个国家发展生产和增强国防力量的基础，需要应用现代技术和大量投资，其发展水平体现了一个国家的综合国力，在某种程度上是一个国家工业发展水平的重要标志。

## 0.2 过程装备

### 0.2.1 过程装备的基本概念

工业和军事上把装置和设备的总体称为装备，尤其是指技术装备。过程装备主要是指过程工业生产工艺过程中所涉及的典型装置和设备，是实现过程工业生产的硬件设施。从生产工艺的整体性考虑，一般称为装置，如合成氨装置；从局部或具体的情况考虑时，一般称为设备，如塔设备。

工业设备种类繁多，设备的分类也有许多不同的方法。习惯上，设备常按构件运动情况分为动设备和静设备。动设备即设备的构件产生运动或相对运动的设备，也称为机器或机械，如离心机、泵、压缩机等；静设备是指构件不产生运动或相对运动的设备，如塔设备、换热设备、储罐等。

过程装备中，常见的设备有塔类（如精馏塔、吸收塔、萃取塔）、炉类（如锅炉、加热炉、裂解炉）、釜类（如反应釜、聚合釜）、机类（如压缩机、风机、离心机、过滤机、破碎机等）、泵类（如离心泵、往复泵等）、储罐类和各种换热设备（如管壳式换热设备、板式换热设备等）。过程装备还包括用于计量、化验、检测与控制的仪表、自动化辅助装置。

随着过程工业的发展，过程装备不断向装置大型化、结构复杂化、性能高级化和技术综合化的方向发展，对过程装备的要求日益提高。

### 0.2.2 过程装备的基本要求

过程装备是过程工业生产中实现特定工艺过程的典型装置和设备。为满足安全、高效和低成本生产的要求，对过程装备有如下基本要求：



### (1) 安全可靠

由于过程工业生产常常涉及高温、低温、高压、高真空、强腐蚀介质等苛刻条件，为了保证过程装备安全运行，过程装备应具有足够的能力来承受设计寿命内可能遇到的各种载荷和苛刻条件。影响过程装备安全可靠性的因素主要有：材料的强度、韧性和与介质的相容性，设备的刚度、抗失稳能力和密封性能等。由于过程装备所处理的物料很多是易燃、易爆、有毒的气体和液体介质，因此，过程装备的密封性能是否达到要求是一个十分重要的问题。对正压操作的设备，物料的对外泄漏将会造成损失、污染环境，甚至引起火灾、爆炸；对于负压操作的设备，如空气等环境介质的内漏将影响正常的生产过程，也可能引起爆炸事故。

### (2) 满足生产过程的要求

过程装备都有一定的功能要求，以满足生产的需要，如流体输送、热量交换、物料储存、化学反应、物质分离等，若其功能要求得不到满足，必然会影响整个生产过程的生产效率。此外，过程装备还有使用寿命的要求，例如，在石油、化工等行业中，一般要求高压设备的使用寿命不少于20年；塔设备和反应设备的使用寿命不少于15年，其中腐蚀、疲劳、蠕变、磨损等是影响过程装备使用寿命的主要因素。过程装备的零、配件使用寿命也有一定时限的要求，一般为一个大修周期，如三年。

### (3) 综合经济性好

综合经济性是衡量过程装备优劣的重要指标。如果综合经济性差，过程装备就缺乏市场竞争力，最终被淘汰。综合经济性好主要表现在生产效率高、消耗低，结构合理、制造简便，易于运输和安装，操作简单，可维护性和可修理性好，便于控制。

### (4) 优良的环境性能

有害物质的泄漏是过程装备污染环境的主要因素之一，例如，埋地储罐内有害物质的泄漏会污染地下水，化工厂地面设备的“跑、冒、滴、漏”会污染空气和水。泄漏检测是发现泄漏源、控制有害物质浓度和保护环境的有效措施，有的发达国家已制定出强制性的规范标准，要求一些过程装备必须设有在线检测装置。

上述要求很难全部满足，设计、应用时应针对具体情况具体分析。一般来说，满足生产过程的要求、安全可靠是最基本的要求，应该得到保障。

## 0.3 过程装备基础的主要内容

过程装备技术涉及的内容非常广泛，包括过程装备的机械基础、过程装备内进行的各种物理过程和化学过程、保证过程装备正常运行的各种测量控制自动化辅助装置，也包括过程装备的设计、制造、使用、管理与维护等。

本书主要介绍过程装备的机械基础，包括过程装备力学基础、工程材料、机械设计基础、压力容器及管道设计基础、过程设备概论方面的基础知识。