

中等专业学校教学参考书

化工机器及设备设计计算

(例题和习题)

M.Φ.米哈列夫 主编

化学工业出版社

中等专业学校教学参考书

化工机器及设备设计计算

(例题和习题)

M. Ф. 米哈列夫 主编

龚 斌 译

薛继良 主校

化学工业出版社

(京)新登字039号

М. Ф. Михалев, Н. П. Третьяков, А. И. Мильченко,
В. В. Зобнин

Под общ. ред. М. Ф. Михалева

РАСЧЕТ И КОНСТРУИРОВАНИЕ МАШИН
И АППАРАТОВ ХИМИЧЕСКИХ ПРОИЗВОДСТВ
ПРОМЕРЫ И ЗАДАЧИ

《Машиностроение》, Ленингр. отд-ние, 1984

中等专业学校教学参考书
化工机器及设备设计计算
(例题和习题)

龚 斌 译

薛继良 主校

责任编辑: 孙世斌

封面设计: 任 辉

*

化学工业出版社 出版

(北京朝阳区惠新里3号)

三河科教印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行

*

开本850×1168 $1/32$ 印张12 字数339千字
1992年10月第1版 1994年10月北京第2次印刷

印 数 2001~4100

ISBN 7-5025-1032-X/G·280

定 价 11.90 元

内 容 提 要

本书译自原苏联高等和中等教育部批准的专业教材，内容共分三章，即为薄壁容器及设备（内压容器、外压容器、边缘问题、补强等），厚壁容器及设备（厚壁筒身、顶底盖、密封及密封件等），机器及设备的回转元件（轴、盘、回转圆筒、填料箱等）。

书中主要介绍上述内容的简明的理论知识，也就是工程设计的基础知识，同时还通过例题和习题的演练以达到比较熟悉所学习的理论知识的目的，更好的用于实践。

本书适用于化工机械专业教学参考，并可供从事化工机械、通用机械工程技术人員参考。

译者 话

本书的翻译出版，提供了前苏联在教学改革中的一个重要信息，它必将对我国广大热心于教学改革的同志们有一个较大的启迪。过去苏联教科书一直只注重内容的科学性和思想性，而对教科书的结构形式及其结构的研究比较轻视。但是，最近已认识到教科书不仅是知识的源泉，也是教学的手段，尤其使学生能自主地掌握知识，授与创造性思维的学习活动方法方面，教科书应起着重要作用。这一点认识在理论上较易被人们接受，但在实施过程中会来自各方面的阻力。为此，1984年原苏联在《改革普通教育学校和职业学校的基本方针》中规定完善现行的各学科教科书和教学参考书。随后，编著出版了许多新的教科书和教学参考书。在这一基本方针指引下，原苏联注意编著出版例题和习题的书，指定专家教授编著，成稿后必须经教育部审定才可出版发行，本书即其中之一本。因为该类书能对学生的学习活动起组织作用，并且是学习活动的基础，保证培养把知识运用于实践中去所必备的技巧，养成学生能独立获取知识的能力。

该书的特色是：将公共技术基础课的基础知识、基本理论和基本技能与专业课工程应用的基本训练有机地结合起来，并使其系统化、条理化。大量运用化学生产中典型机器及设备实例和图表，演示了各种不同的简易解题方法，对工程应用很有价值，使学生能学以致用。此外还编写了大量的自练习题，习题分两大类：巩固型和综合应用型。该书图文并茂，很有特色，风格新颖。

纵观全书，该书在教学过程中已具备以下三个方面的功能：

1. 授与学生以科学系统方法的系统功能；
2. 谋求知识与技能巩固的巩固功能；
3. 培养学生自学活动的自我教育功能。

该书可供大、中专院校化工机械专业师生们的参考教材，也可作

从事于化工机械行业中工程技术人员的参考读物。

全书由浙江大学薛继良教授负责主审校，具体分工：薛继良教授审校第一章、徐崇嗣教授审校第二章，寿子明副教授审校第三章。余引璋同志曾参与本书的翻译工作。在翻译过程中曾得到罗爱华、陈金娥、张雪琴等同志们大力支持，特表感谢。

由于译者翻译水平有限，不足之处，祈请读者指正。

龚 斌

一九八九年金秋于杭州

序 言

《化学生产机器和设备的计算及设计》简称《化工机器设备设计计算》是一门由公共工程课和专业课相结合的课程，它形成统一的理论体系，是培养化学生产中机械工程师的重要环节。近年来在课程大纲上有进一步的发展，此大纲已由原苏联高等教育部教学法管理部门批准。

在学习这门应用性教材的过程中，演习起到重要作用。采用例题的解演和独立完成作业的方法，培养大学生学会对化工装备计算及设计方法的能力，这些装备应满足刚度、防震、强度和密封性等工作性能的主要指标。

为此，原列宁格勒伦索维特工学院《化工机器及设备》教研室提供了这本书，其中包括简明的理论知识，这些知识是工程计算方法的基础；例题的计算依赖于采用插图和典型元部件结构，并有不同任务的习题。

本书具有将计算与工程应用密切相关的特点。在叙述中主要注意到：被研究元部件的正确计算方案的选择，实际工况下结构材料的考虑，许用应力的选定，满足规定生产能力的横断面面积的确定，允许载荷的计算以及在研究化工装备结构和设计时发生的其他问题。

在解演例题和习题时，作者考虑到要引用规范参考书，可以帮助大学生熟练地查阅到具体的计算方法和有关的手册数据，本书企图使手册资料系统化。

前 言

高速发展化学工业是国家向工业和建设部门的科学家，工人和工程技术人员提出的最重要的任务之一。现在，化学工业已经能够向国民经济各部门提供所需的工业材料。我们亦预计到今后化学工业的迅猛发展。然而，要完成发展化学工业的宏伟纲领，则要求继续发展设计和制造工作，以制造出高速率、高效率的设备。

一般说来，设计工作，其中包括化工过程的设计，作为一个独立的工程部门还是不久的事，这是由于设计工作范围扩大的结果。近年来，设计部门的职责范围不断地扩大，设计部门担负着监督所设计产品的制造，安装，编制定型设备的订货说明书，依照机械制造厂的要求绘制非定型设备的图纸，参与生产调试等任务。

设计工作的主要目的是编制建造工业设施必需的技术文件，以保证生产国民经济所需的一定规模的，一定质量的工业产品，并能在必要的卫生——保健劳动条件下，在规定的期限内达到最佳的技术——经济指标。

在化工生产的设计工作中起主导作用的是工艺工程师和机械工程师。工艺工程师是设计生产的工艺流程，而机械工程师则是选择定型的设备和设计非定型的设备。化工生产中的一些化工设备和机器是用来实现某一化学、物理、或者物化过程，或者同时实现几个化学、物理、物化过程（化学反应、蒸发、冷凝、结晶、蒸发、精馏、吸收、吸附、干燥、搅拌、破碎等）。

根据设备的用途，往往根据设备内部所进行的工艺过程，把设备分为：反应釜、结晶器、干燥器、搅拌机、破碎机等。机器和设备所处理的物料可以是各种聚集态（固体、液体、气体），也可能具有各种不同化学活性（例如：在结构材料方面，有惰性材料，易腐蚀材料；对操作人员而言，有无害物料，有毒物料；从使用过程来看，有

安全物料，爆炸性——易燃物料)。

工艺过程对设备的要求条件是各各相殊的。例如，有些设备的工作温度为250℃，而有些设备的工作温度则在900℃以上。除大气压外，大量的设备之工作压力还应在300兆帕以上。有些设备则应在高真空下工作（内部剩余压力只为 10^{-2} 帕之下）。设备的工作性质可以是连续性的或间歇性的。

在化工设备制造过程中必需尽可能使用标准化和定型化的元部件，因为这些元部件在制造时经过检验，而且在使用上的优点得到肯定。

设备上的某些单独的元部件，以及机器或者整个设备的制造在工艺上应当规范化，使之便于装配、拆卸、使用、也便于运输和修理。设备之造型应当简单，最好是流线型，同时又符合工艺美学要求。设备上采用的法兰、螺纹接头和其它拆卸接头应当尽可能避免，因为这种接头比起非螺纹接头（电焊、铆焊）在制造上要复杂，造价昂贵，使用又不可靠。如若工艺流程要求（如需要定期加载或卸载荷）以及需要经常观察设备内部情况，或者当涉及设备的特殊使用条件时，设备上的顶盖、人孔及其它元部件之连接应当考虑用可拆卸连接。

研制设备的结构，或者机器的结构应以对设备的主要技术要求、设备的使用条件为依据。主要技术要求包括设备的用途和工作介质，技术特性（生产率、容量、热交换表面、所需功率、转子的回转频率等等），工艺过程参数（压力、温度）以及设备的可靠性和安全性。

设备、机器的制造应当在详细了解技术要求及专利和其它资料，以及研究了相类似的机器和设备在使用条件下的工况之后，开始选择主要结构材料。这些结构材料应符合工艺流程的主要条件，诸如介质、压力、温度等特点。此外，在不影响设备使用的可靠性和安全性的前提下，应力求节省结构材料，减小元部件及整个设备或机器的体积。腐蚀性介质，设备的壳体应采用两层金属结构或者设备内部的主要金属面衬以化学稳定性的金属材料或者非金属材料作为保护层。在许多情况下这样做是合理的，在经济上也是合算的，有时也许唯一可行的。

选定结构材料之后，审核元部件组成部分的计算示意图。根据其生产能力的主要指标进行计算，并尽量考虑其运行情况下（当工作、开工、停工、各种测试等），可能出现的不利因素，以确定其主要外型尺寸。

本书所讨论的许多元部件，不论设备、机器的外型、类型如何，在化学生产装备上都能通用的。设备上被讨论的通用元部体有：筒体，底盖，法兰连接，壳体上开孔补强，壳体汇交结点，密封装置、轴、转盘、高速回转筒体，低速回转圆筒等。

本书按章讨论到单元，每节所述的材料顺序为：理论，例题，习题。

主要符号名称

A ——面积, 米 ² (m ²);	Q ——横向作用力, 牛(N), 兆牛(MN);
b ——宽度, 毫米(mm), 米(m);	q ——线性载荷, 牛/米(N/m);
c ——计算壁厚附加量, 毫米(mm), 米(m);	R, r ——半径, 毫米(mm), 米(m);
D, d ——直径, 毫米(mm), 米(m), 忽米(0.01mm)	R_A, R_B ——支座反力, 牛(N), 兆牛(MN);
E ——弹性模量, 帕(Pa), 兆帕(MPa);	s ——厚度, 毫米(mm), 米(m);
F ——力, 牛(N), 兆牛(MN);	t ——温度, °C;
f ——摩擦系数	V ——体积, 容积, 米 ³ (m ³);
g ——重力加速度, 米/秒(m/s ²);	v ——线速度, 米/秒(m/s);
H, h ——高度, 毫米(mm), 米(m);	W ——抗弯截面模量, 米 ³ (m ³);
I ——横截面对中性轴的惯性矩, 米 ⁴ (m ⁴);	δ_{II} ——在元件固定处, 由单位横向力所引起在该点截面上轴的挠度, 毫米(mm), 米(m);
J ——回转质量惯性矩, 公斤/米 ² (kg m ²);	δ_{II} ——同上, 着力点在 f 截面轴的挠度, 毫米(mm), 米(m);
L, l ——长度, 毫米(mm), 米(m);	μ ——泊桑系数;
M ——力矩, 牛·米(N·m), 千牛·米(kN·m);	ρ ——密度, 公斤/米 ³ (kg/m ³);
m ——质量, 公斤(kg)吨(t);	σ ——应力, 帕(Pa), 兆帕(MPa);
N ——功率, 瓦(W);	τ ——切应力, 帕(Pa), 兆帕(MPa);
n ——转速, 秒 ⁻¹ (s ⁻¹), 转/分(r/min);	τ_s ——时, 秒(s), 年(a);
p ——压力, 帕(Pa), 兆帕(MPa);	

ω ——角速度, 弧度/秒(rad/s);

注 $\sigma_{\text{纵}}$ ——经(纵)向应力, 帕(Pa), 兆

帕(MPa);

$\sigma_{\text{环}}$ ——环(切、周)向应力, 帕(Pa), 兆帕(MPa)。

目 录

序言

前言

主要符号名称

第一章 薄壁容器及设备	1
第一节 概论	1
第二节 受内压设备的元部件	10
一、薄壁(膜)壳体无力矩理论的基本方程式	10
二、圆形平板强度计算的基本方程式	11
三、圆柱形筒体强度计算	13
四、圆锥形筒体强度计算	13
五、球形壳体强度计算	13
六、标准椭圆形壳体强度计算	14
七、圆平板顶和底盖强度计算	14
例题	18
习题	24
第三节 受外压、轴向压缩力和弯矩的设备元部件	28
一、薄壁壳体的失稳	28
二、薄壁壳体的稳定性条件	28
三、长短圆筒的划分	30
四、刚性圈计算	31
五、圆柱形筒体稳定性计算	32
六、圆锥形筒体稳定性计算	37
七、标准椭圆形壳体稳定性计算	39
例题	39
习题	51
第四节 壳体连结点	56
一、边缘(载荷)应力产生的原因及其特点	56

二、边缘处位移、力和力矩计算	59
三、边缘应力计算	67
四、边缘处强度条件	68
例题	68
习题	77
第五节 壳体开孔补强	82
一、概述	82
二、补强方法	82
三、单独开孔补强条件	87
四、相互影响的开孔补强条件	89
例题	90
习题	96
第六节 设备法兰连接	100
一、应用和分类	100
二、法兰连接计算程序	103
例题	115
习题	124
第七节 设备壳体在受内压时的最佳尺寸	127
一、决定最佳尺寸的原则和方法	127
例题	130
习题	132
第二章 厚壁容器及设备	135
第一节 概论	135
第二节 厚壁圆柱形筒体	140
一、筒体应力计算	140
二、筒体许用压力计算	146
三、带热载荷的筒体温度应力计算	147
四、筒体壁厚计算	149
例题	151
习题	156
第三节 底和顶盖	157
一、概述	157
二、带折边平的和蝶形底盖强度计算	158

三、凸形底盖强度计算	159
四、平顶盖强度计算	160
五、凸形球状顶盖强度计算	161
例题	162
习题	166
第四节 密封装置	166
一、概述	166
二、密封压紧力计算	168
三、双头螺栓计算	171
四、设备壳体端头法兰计算	173
例题	176
习题	178
第三章 机器及设备的回转元部件	179
第一节 概论	179
第二节 轴	180
一、概述	180
二、等截面轴的转子振动稳定性和临界角速度计算	183
三、各种因素对轴临界角速度的影响	186
四、变截面轴的振动稳定性、刚性和强度计算	197
例题	213
习题	229
第三节 圆盘	238
一、应用和分类	238
二、等厚度圆盘应力计算	238
三、圆锥形圆盘应力计算	243
四、双曲线形圆盘的应力计算	243
五、复杂外形圆盘的应力计算	244
例题	258
习题	265
第四节 高速回转筒体	267
一、应用和筒体受力分析	267
二、筒体计算公式中的有关参数	269
三、筒体壁厚计算	270

四、筒体许用角速度计算	271
五、筒体边缘应力计算	271
六、平板构件(拦液板, 底盘)边缘正应力的计算上表面用(+)号, 下表面用(-)号.....	279
七、筒体边缘段和与其相连接平板构件厚度计算	279
例题	280
习题	290
第五节 低速回转圆筒	294
一、概述	294
二、圆筒强度计算	294
三、圆筒刚度计算	296
四、滚圈的弯曲力矩计算	297
五、滚圈、支承托轮和止推托轮的几何尺寸	300
六、滚圈由于温度影响而产生的应力	302
七、滚圈的疲劳计算	303
例题	306
习题	313
第六节 装有软填料的填料箱	315
一、填料箱密封的工作原理	315
二、填料箱结构尺寸	317
三、锁紧螺栓计算	319
四、克服填料箱中摩擦力所消耗的功率	320
例题	325
习题	338
附录	340
1. 不同温度下各种材料的机械性能	340
2. 确定厚壁设备顶盖法兰盘高度与顶盖球形部分的关系	351
3. 带夹套设备的计算例题	353
主要参考文献	363

第一章 薄壁容器及设备

第一节 概 论

容器及设备广泛应用于化学、石油化学、石油瓦斯加工、食品及其相毗邻的其他工业部门。通常认为薄壁的厚度不超过其内径的10%；同样容器及设备的压力一般不超过10MPa。

容器及设备的主要元部件是壳体，它决定了它们的形状、大小、容积、制造能力和成本。加工的介质能在壳体中起化学反应，壳体能承受机械的、热的载荷。所以设备要进行生产，多数要依赖于它的壳体。

设备壳体是由薄板和筒体彼此进行各种不同配置连接而成的，有不可拆连接（焊接，钎焊等），也有可拆连接（法兰等）。壳体工作条件，一般在承受内压，真空或外压等静载荷，有时同样也会承受轴向或横向力和弯矩。

工作压力 p 进行正常生产过程中的最大内压或外压，忽略介质的静液压和忽略短时间作用在安全阀或相似安全器装置上的许可上升压力^[7]。

计算压力 p_p 确定^① 按下公式

$$p_p = p + p_r,$$

式中 p_r ——介质的静液压力，如果 $(p_r/p)100\% \leq 5\%$ ，则 $p_p = p$ 。

铸钢容器及设备的工作压力不应超过0.2MPa，计算压力根据^[11]采用值为0.2MPa。

试验压力 p_n 水(气)压试验的最高压力，其大小由国家城市技术监察机构^[20]规定和按表1.1指令执行。当容器及其元部件工作

①：如果当设备内能打开安全装置最大的压力 $p_{\max} > 1.1p$ 则 $p_p = 0.9p_{\max}$ 。