

高等学校教材

过程设备工程 设计概论

陈庆 甘树坤 祝明威 主编

第2版



化学工业出版社

高等学校教材

过程设备工程设计概论

第2版

陈庆 甘树坤 祝明威 主编



化学工业出版社

·北京·

本书着重介绍过程设备工程设计的基本指导思想、方法、步骤、主要内容和所要考虑的各方面影响因素。内容丰富而精炼,对指导学生从事典型过程设备设计工作,方便实用。

本书分为 10 章,包括:①过程设备设计概论;②过程设备设计技术文件的构成及编制;③材料;④结构设计及焊接;⑤焊接结构;⑥压力容器设计参数的确定;⑦压力容器典型壳体强度计算;⑧压力容器的监造、检验与验收;⑨典型设备强度计算书;⑩过程设备设计技术问题剖析。

本书所采用的概念、公式、标准、规范力求最新、最近,简洁明了。其中心思想是以内容精炼、适用性强、理论与实践相结合、使用方便的原则。因此该书可作为“过程装备与控制工程”专业的教材、学生毕业设计指南或教学参考资料,也可供工程技术人员在设备管理工作中参考。

图书在版编目(CIP)数据

过程设备工程设计概论/陈庆,甘树坤,祝明威主编. —2 版.
北京:化学工业出版社,2015.12
高等学校教材
ISBN 978-7-122-25707-9

I. ①过… II. ①陈…②甘…③祝… III. ①化工过程-化工设备-
设计-高等学校-教材 IV. ①TQ051.02

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2015)第 282220 号

责任编辑:程树珍
责任校对:王素芹

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 刷:北京永鑫印刷有限责任公司

装 订:三河市宇新装订厂

787mm×1092mm 1/16 印张 15 $\frac{1}{2}$ 插页 4 字数 401 千字 2016 年 1 月北京第 2 版第 1 次印刷

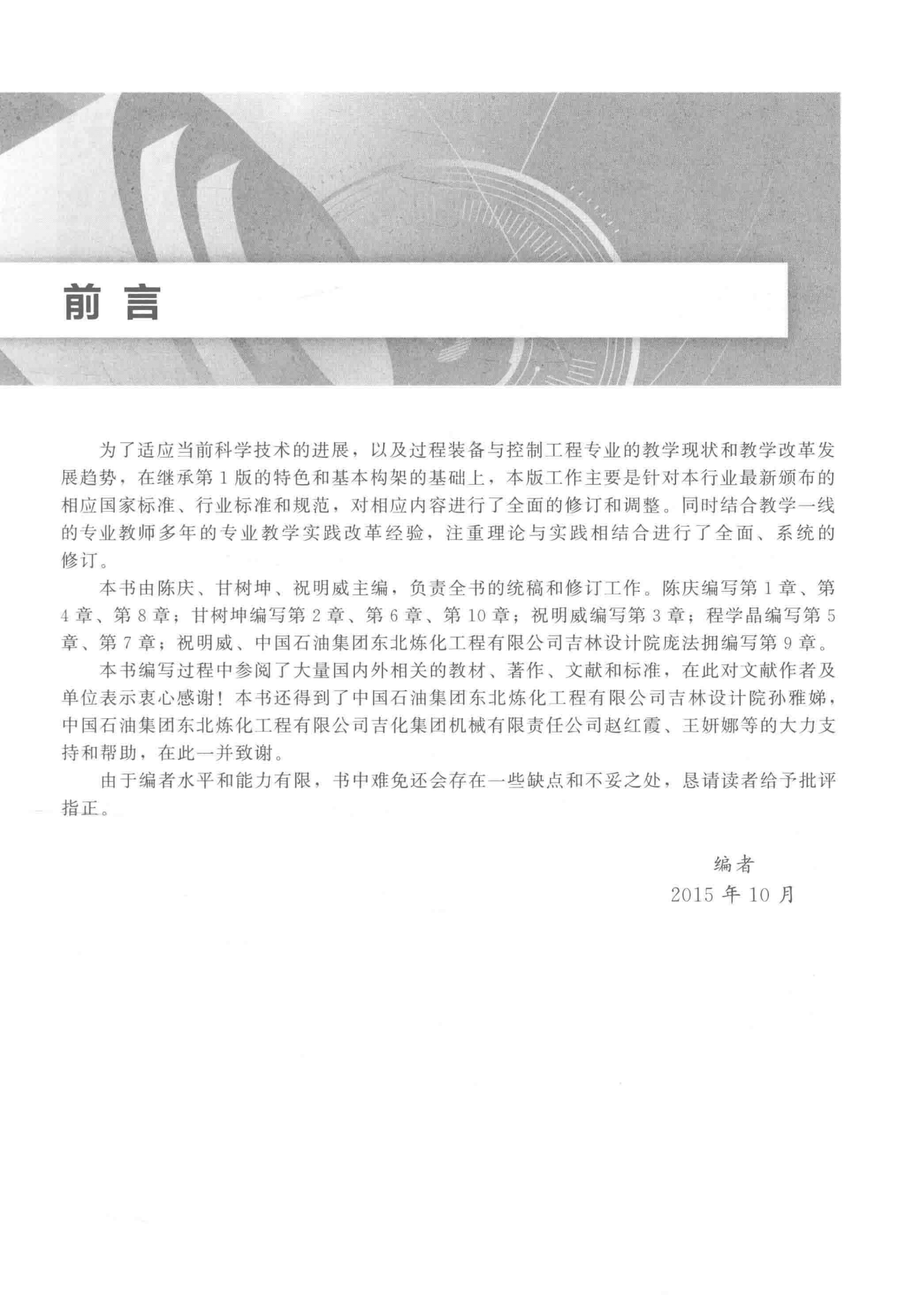
购书咨询:010-64518888(传真:010-64519686) 售后服务:010-64518899

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: 35.00 元

版权所有 违者必究



前言

为了适应当前科学技术的进展,以及过程装备与控制工程专业的教学现状和教学改革发展趋势,在继承第1版的特色和基本构架的基础上,本版工作主要是针对本行业最新颁布的相应国家标准、行业标准和规范,对相应内容进行了全面的修订和调整。同时结合教学一线的专业教师多年的专业教学实践改革经验,注重理论与实践相结合进行了全面、系统的修订。

本书由陈庆、甘树坤、祝明威主编,负责全书的统稿和修订工作。陈庆编写第1章、第4章、第8章;甘树坤编写第2章、第6章、第10章;祝明威编写第3章;程学晶编写第5章、第7章;祝明威、中国石油集团东北炼化工程有限公司吉林设计院庞法拥编写第9章。

本书编写过程中参阅了大量国内外相关的教材、著作、文献和标准,在此对文献作者及单位表示衷心感谢!本书还得到了中国石油集团东北炼化工程有限公司吉林设计院孙雅娣,中国石油集团东北炼化工程有限公司吉化集团机械有限责任公司赵红霞、王妍娜等的大力支持和帮助,在此一并致谢。

由于编者水平和能力有限,书中难免还会存在一些缺点和不妥之处,恳请读者给予批评指正。

编者

2015年10月

第1版前言

本书根据“过程装备与控制工程”专业规范的要求,以及本专业毕业生适应市场的需求,应获得的工程设计、制造和管理等训练的基本要求和以培养学生的素质、知识与能力为目标而编写的。旨在使本专业本科毕业生通过毕业设计环节的综合训练较为全面地了解工程设计的基本思路、方法和过程,培养学生综合运用所学基础知识、专业知识分析和解决工程实际问题的能力。通过对典型设备的设计,使学生了解和熟悉这些典型设备的基本工作原理、结构、用途、性能、特性以及表征其生产能力的技术指标,达到本科毕业生在从事专业工作前所应有的全面、系统的工程概念和指导思想。

本书针对过程装备与控制工程专业毕业设计的内容和要求,主要介绍过程设备的工程设计方法、技术要领和设计程序以及管理过程,在理论教学的基础上,着重过程设备的工程设计的实践知识。本书也是将学校的基础理论学习与工程实践有机结合的良好过渡,是学生从事毕业设计的指导性参考资料,也可供工程技术人员在工程设计、加工制造以及设备使用管理等方面参考。内容包括:1 过程设备设计概论;2 过程设备设计技术文件的构成及编制;3 材料;4 结构与焊接;5 焊接结构;6 压力容器设计参数的确定;7 压力容器典型壳体强度计算;8 压力容器的监造、检验与验收;9 典型设备强度计算书;10 过程设备设计技术问题剖析。本书所采用的概念、公式、标准、规范力求最新。编写本书是以内容精炼、适用性强、理论和实践相结合、使用方便为中心思想。

本书由陈庆、邵泽波主编。陈庆、甘树坤负责全书的统稿和修改工作。参加编写的有吉林化工学院陈庆(第1、3、4、5章、第10章10.6.1~10.6.15节)、吉林化工学院邵泽波(第7章7.1~7.4节、第8章8.1~8.2节、第9章)、吉林化工学院甘树坤(第2章)、燕山大学由立臣(第10章10.1~10.5节)、东北电力大学刘焱(第6章、第7章7.5~7.6节、第8章8.3节、第10章10.6.16~10.6.30节)。

本书还得到了中国石油集团工程设计有限公司东北分公司孙雅娣、庞法拥,中国石油石化集团机械有限责任公司赵红霞、梁文元等同志的大力支持和帮助,在此表示感谢。

由于编者水平和能力有限,编写时间仓促,存在不妥之处在所难免,恳请读者给予批评指正。

编者

2007年10月

目 录

1	过程设备设计概论	○
1.1	绪言	1
1.2	压力容器设计规范标准简介	4
1.3	我国压力容器的质量保证体系及安全监察	6
1.4	压力容器类别及压力等级、品种的划分	7
2	过程设备设计技术文件的构成及编制	○
2.1	设计文件的组成	10
2.2	设计文件的说明	10
2.3	设计图样的说明	10
2.4	过程设备图样的基本画法	11
3	材料	○
3.1	压力容器用材料的选择原则	37
3.2	压力容器用钢的基本要求	38
3.3	钢板	40
3.4	钢管	47
3.5	锻件	47
3.6	紧固件	49
3.7	许用应力	49
3.8	高合金钢钢板近似对照	56
4	结构与焊接	○
4.1	过程设备的结构特点	57
4.2	筒体、封头及其连接	57
4.3	容器法兰、垫片和螺栓	60

4.4	检查孔	76
4.5	钢制管法兰、垫片、紧固件	78
4.6	开孔及开孔补强	86
4.7	液面计、视镜	91
4.8	支座	96
4.9	内件	106

5 焊接结构

5.1	焊接结构的基本概念	108
5.2	对接接头的设计	109
5.3	角接焊接接头和 T 形焊接接头	114
5.4	压力容器焊接接头	116
5.5	焊接结构的设计原则	119
5.6	焊接材料	121
5.7	焊丝	131
5.8	焊剂	132

6 压力容器设计参数的确定

6.1	定义	136
6.2	GB 150 适用范围	136
6.3	GB 150 不适用范围	137
6.4	压力容器范围	137
6.5	设计压力的确定	137
6.6	设计温度的确定	139
6.7	设计载荷的确定	139
6.8	壁厚附加量	140
6.9	压力容器最小壁厚	140
6.10	许用应力与安全系数	140
6.11	压力试验	142
6.12	气密性试验	142

7 压力容器典型壳体强度计算

7.1	内压圆筒和球壳	143
7.2	内压凸形封头	144
7.3	外压圆筒和外压管子计算	146
7.4	外压球壳和球形封头的厚壁设计	146
7.5	外压圆筒加强圈的设计	146
7.6	等面积补强	147

8 压力容器的监造、检验与验收

8.1	项目监造、检验管理规定	149
8.2	无损检测	156
8.3	容器的压力试验	159

9 典型设备强度计算书

9.1	填料塔（变径）强度计算	164
9.2	固定管板换热器强度计算	183
9.3	立式夹套搅拌器强度计算	191
9.4	卧式储罐强度计算	195

10 过程设备设计技术问题剖析

10.1	压力容器设计管理及条例与规程	202
10.2	基本理论知识	204
10.3	压力容器	207
10.4	热交换器	216
10.5	钢制球形储罐、塔式容器、气瓶	224
10.6	钢制压力容器制造、检验和验收	231

参考文献

1 过程设备设计概论

1.1 绪言

在过程工业中,从原料到成品,往往需要许多道工序,这些工序就称为工艺过程。一个先进的工艺过程的实现,是由各操作单元所组成的,而一个工艺过程的实现,往往需要这样或那样的设备,所以说过程设备是工艺过程得以实现的载体(硬件)。过程设备的先进与否直接影响生产的工艺过程。过程设备的组成主要由其外壳(压力容器)和内部为完成指定的工艺目的的内部元件(如塔板、塔填料、换热器管板、换热管等)所组成。过程设备设计的主要内容是流体储存、传热、传质和反应设备的设计。

1.1.1 生产应用中对过程设备的基本要求

过程设备的壳体是一种容器,某些机器的部件,例如压缩机的气缸,也是一种容器。容器的应用遍及各行各业,诸如石油、化工、冶金、发电、轻工、纺织、航空、航天、航海、机械制造、动力以及核能等行业。然而,在很多场合下,容器都是承受一定介质压力的,这就是压力容器的基本载荷,有内压容器、外压或者真空容器。压力容器的失效形式主要有强度失效、刚度失效、稳定性失效和密封失效。内压容器按设计压力的大小可分为低压容器($0.1\text{MPa} \leq p < 1.6\text{MPa}$)、中压容器($1.6\text{MPa} \leq p < 10.0\text{MPa}$)、高压容器($10.0\text{MPa} \leq p < 100\text{MPa}$)、超高压容器($100\text{MPa} \leq p$)。受内压的容器其主要的失效形式是弹塑性失效,而外压容器的失效形式则主要是整体失稳。泄漏也是容器失效的一种形式,尤其是在石油、化工等某些领域所使用的压力容器。因高温、高压、低温、真空、易燃、易爆、有毒、有害、强腐蚀介质以及高流速等工况条件的作用,对其要求更为严格。为确保压力容器安全运行,许多国家都结合本国的国情制定了强制性或推荐性的压力容器规范标准,如中国的GB 150《压力容器》、JB 4732《钢制压力容器——分析设计标准》、JB/T 4735《钢制焊接压力容器》和技术法规《固定式压力容器安全技术监察规程》等,对其材料、设计、制造、安装、使用、检验和修理改造提出相应的要求。

- i. 安全可靠性能要求,包括强度、刚度、稳定性、紧密性和材料与介质相容性。
- ii. 满足过程要求,包括功能的要求、寿命的要求。
- iii. 综合经济性好,包括单位生产能力高、生产效率高、消耗系数低、结构合理、制造简便、易于运输和安装。
- iv. 运转性能好,包括运转方便、操作简单、噪声和振动小、能连续进行操作、自动化程度高、易于维修、装拆检修方便、能进行试验和监控、标准零部件互换性好。

V. 优良的环境性能。

以上这些都是在使用过程中应该注意的问题，在设计时必须加以考虑。例如压缩机的缓冲容器及有蒸汽通入的设备，操作时往往由于流体脉冲及流体诱导而引起剧烈的振动。设计时必须考虑消除这种振动，或者在基础上设吸振装置以吸收振动。对一个具体的过程设备的设计，包括对壳体容器及内件的设计，就其设计方法而言，可包括结构设计、常规设计与分析设计计算等计算方法，并且对同一个设计任务也可以有不同的设计方案。好的设计方案既不违背标准法规，又能做到安全性与经济性统一的最基本要求，它往往建立在先进的理论和丰富的实践经验基础之上。

为了使设计的过程设备能安全使用，并且生产能力高，操作运转性能好，从各个方面提出了上述这些要求，这些要求有些是互相联系补充的，有些要求则是相矛盾、不协调的。前者可以充分满足；后者则要作具体分析，找出主要矛盾以及矛盾的主要方面，满足主要要求，略去次要要求，采取辩证的方法解决。

1.1.2 过程设备设计者的任务

过程设备设计的最基本的要求是安全性与经济性的统一，安全是核心问题。要在充分保证安全的前提下尽可能做到经济性。经济性包括材料的节约、经济的制造过程、经济的安装维修，而容器的长期安全运行本身就是最大的经济性。对于大型化、连续化的操作，如果某一工艺过程的设备出现问题，就将直接影响后续工艺过程的正常操作，例如发电厂的动力锅炉。它生产各种压力的蒸汽，如果它的安全出现问题（例如炉管破裂）而造成停车，那么需要伴随传热的其他设备将直接受到影响。如果造成工厂停产一天，带来的直接和间接的经济损失是十分惊人的。当然，安全操作还要靠其他措施来协调。应当指出，充分保证容器的安全不等于设计过程要偏于保守。例如，不必要地采用过厚的器壁，不仅造成材料浪费，而且厚板材料的力学性能比薄板要差，容器沿壁厚的应力分布状态也不如薄壁均匀，热应力沿壁厚有所增大。再如近代特别重要的压力容器（如核容器）由于采用了“分析设计”法，不仅提高了安全可靠，也节约了材料，降低了制造成本。

压力容器通常由筒体、封头、接管、密封件、加强件、支座等各部件组成。在外载荷（如内压等）作用下，在各部件中将产生各不相同的应力，设计者的任务就是要根据外载荷，经计算后对结构进行合理设计以使其应力分布合理，并综合考虑材料行为、制造过程、检验方法、运行与维修等各方面因素，经合理设计提交出施工图纸和必要的设计文件。

1.1.3 过程设备设计的基本步骤

（1）物料衡算

物料衡算是设计的基础。对某些非定型的设备需经必要的工艺计算来确定主要结构参数，如塔设备的塔径、塔高、塔板数，换热设备的换热面积等。通过物料衡算可确定原料、成品、半成品、副产品及废料损耗等的数量关系。由此可以确定流程中每一设备（或机器）的处理量或管道的输送能力，同时可初步确定储存容器、反应器等容积等结构参数。

（2）热量衡算

通过热量衡算可找出流程中设备的热负荷及热损失，由此设计传热面积、设备保温层厚度等。同时对设备的热补偿装置的选用及温差应力的计算提供原始的依据。进行热量衡算的基础数据由工艺要求提供。

（3）设备的类型选择

设备的类型选择必须满足化学工艺及过程操作对设备的要求。因此应该考虑处理量的大小、操作的特点（压力、温度、连续或间歇）、介质的特点（易燃、易爆、毒性、腐蚀性、介质的相态、黏度、热导率、易挥发性等）。在充分了解了这些特性后，确定设备的类型或主要部件的结

构。在设备结构的考虑上必须保证既要结构合理,满足工艺操作的需要,便于制造、维修等,又要使其内部的应力分布尽可能地均匀。要在充分论证的基础上进行,绝不能生搬硬套。

(4) 设备工艺尺寸的确定

工艺尺寸的确定是以工艺计算为基础,但计算结果不一定就是设备的主要结构尺寸。确定设备的主要工艺尺寸在依据工艺计算结果的同时,还要考虑到公称尺寸系列、公称容积系列及工程压力等。这样在进行一些标准件选用上大为有利,可避免太多的非标准件的设计,如法兰、封头、支座、接管等。另外还要考虑制造、安装、维修、运输、空间布置等问题。

(5) 设备部件的受力分析

设备部件设计的第一步是确定载荷,包括静载荷和动载荷。在载荷分析中要充分考虑各种载荷的危险组合或最不利的情形。只有这样才能得到经济合理的结构尺寸,既不造成材料的浪费,又充分利用材料的性能,确保安全。受力分析要全面、细致,因为它直接关系到部件的安全可靠性,所以不能马虎。

(6) 材料的选择

设计中正确地选择材料,直接影响设备的使用寿命和设备的成本。过程设备的设计应尽可能选用标准、规范推荐的容器使用材料,因为这些材料的使用有成熟的实践经验,化学成分及性能指标都能受到严格控制。应用贵重金属要合理,能采用复合材料的就不要采用贵重金属,或合理选用非金属材料。材料的选择要考虑到如下几个方面:材料的化学成分、材料的力学性能、材料的耐蚀性、材料的加工性能、材料的可焊性、材料的使用经验、材料的综合经济性和标准规范等。合理选择材料既关系到设备的安全可靠性,又关系到设备的成本。

(7) 设备初步设计

初步设计是结构设计的一个重要的准备阶段,也是结构设计的一贯做法。可由设计者自由发挥,用草图的形式记录自己的思考结果。初步设计图也要按比例进行绘制,以便有实物的真实感,节点图可不按比例,注明必要的尺寸,以便对各构件之间的位置关系了解透彻。即使有近似的蓝图作参考,也要对主要的结构进行初步设计,以确定重要的结构尺寸。在设备的初步设计尺寸的确定中应尽可能靠近标准系列,以利于标准件的配用。

(8) 施工图设计

施工图是满足施工需要的主要设计文件。施工图主要包括设备总图、装配图、部件图、零件图、特殊工具图(如打压工具)、管口及支座方位图、预焊件图等。

(9) 设备设计中附件的选择

设备上有许多附件,如人孔、手孔、视孔、液位计、温度计、压力计、安全阀、放空阀等。这些附件的配用与选择必须满足工艺及设备制作、安装、检修、监视、操作和控制的需要。在附件的选用上应根据公称压力、尺寸按标准选取。接口法兰的选用要与管道间取得统一。

(10) 设备设计中安全附件的配用

要保障生产安全,首先就必须保障人身的安全,只有这样才能使生产任务圆满地完成。除了在车间、工段工艺上采取总的措施外,在设备上必须配备安全装置。对过程设备来讲,设备要防止超温、超压、超载,在容器设备上要设置超压泄放或爆破装置(如安全阀、爆破片),对温度监视的温度计、液位计等。安全装置(附件)的选用必须经严格的计算(如安全阀、爆破片按《压力容器安全技术监察规程》的标准计算),而且要按相应的法规要求,尽可能选用标准系列。

(11) 制造、检验、验收与装配的技术条件

这些技术条件是设备设计的文字说明文件,可以标注在图纸上,也可单独编制,但必须符合相关标准规范的要求。对重要的工艺环节、特殊材料、检验等必要的说明是不可少的。

1.2 压力容器设计规范标准简介

为了确保压力容器在设计寿命内安全可靠地运行, 世界各工业国家都制定了一系列压力容器规范标准, 给出材料、设计、制造、检验、合格评估等方面的基本要求。压力容器的设计必须满足这些要求, 否则就要承担相应的后果。然而规范不可能包罗万象, 提供压力容器设计的各种细节。设计师需要创造性地使用规范标准, 集思广益, 根据具体设计要求, 在满足规范标准基本要求的前提下, 做出最佳的设计方案。

随着科学技术的不断进步, 国际贸易的不断增加, 各国压力容器规范标准的内容和形式不断更新, 以适应新形势的需要。新规范实施后, 老规范便在以后的设计中自动作废。由于一些按老规范设计的压力容器仍在服役, 一些配件的标准仍是老规范的, 所以, 一些老规范仍然在一个时期内发挥作用。但是旧的标准、规范中很多设计方法已经过时, 因此, 设计工程师应及时了解规范变动情况, 采用最新规范标准进行。

1.2.1 ASME 规范

美国是世界上最早制定压力容器规范的国家。19 世纪末到 20 世纪初, 锅炉和压力容器事故发生频繁, 造成了严重的人员伤亡和财产损失。1911 年, 美国机械工程师学会 (ASME) 成立锅炉和压力容器委员会, 负责制定和解释锅炉和压力容器设计、制造、检验规范。1915 年春出现了世界上第一部压力容器规范, 即《锅炉建造规范·1914 版》。这是 ASME 锅炉和压力容器规范 (以下简称 ASME 规范) 各卷的开始, 后来成为 ASME 规范第 I 卷《动力锅炉》。目前 ASME 规范共有十二卷, 包括锅炉、压力容器、核动力装置、焊接、材料、无损检测等内容, 篇幅庞大, 内容丰富, 且修订更新及时, 全面包括了锅炉和压力容器质量保证的要求。ASME 规范每三年出版一个新的版本, 每年有两次增补。在形式上, ASME 规范分为 4 个层次, 即规范 (Code)、规范案例 (Code Case)、条款解释 (Interpretation) 及规范增补 (Addenda)。

ASME 规范中与压力容器设计有关的主要是第 VIII 篇《压力容器》、第 IX 篇《玻璃纤维增强塑料压力容器》和第 VII 篇《移动式容器建造和连续使用规则》。第 VIII 篇又分为 3 册: 第 1 册《压力容器》, 第 2 册《压力容器另一规则》和第 3 册《高压容器另一规则》, 以下简称 ASME VIII-1、ASME VIII-2 和 ASME VIII-3。1925 年首次颁布的 ASME VIII-1 为常规设计标准, 适用压力小于等于 20MPa; 它以弹性失效准则为依据, 根据经验确定材料的许用应力, 并对零部件尺寸做出一些具体规定。由于它具有较强的经验性, 故许用应力较低。ASME VIII-1 不包括疲劳设计, 但包括静载下进入高温蠕变范围的容器设计。ASME VIII-2 为分析设计标准, 于 1968 年首次颁布, 它要求对压力容器各区域的应力进行详细的分析, 并根据应力对容器失效的危害程度进行应力分类, 再按不同的安全准则分别予以限制。与 ASME VIII-1 相比, ASME VIII-2 对结构的规定更细, 对材料、设计、制造、检验和验收的要求更高, 允许采用较高的许用应力, 所设计出的容器壁厚较薄。ASME VIII-2 包括了疲劳设计, 但设计温度限制在蠕变温度以内。为解决高温压力容器的分析设计, 在 1974 年后又补充了一份《规范案例 N-47》。1997 年首次颁布的 ASME VIII-3 主要适用于设计压力不小于 70MPa 的高压容器, 它不仅要求对容器各零部件做详细的应力分析和分类评定, 而且要做疲劳分析或断裂力学评估, 是一个目前要求最高的压力容器规范。第 IX 篇《玻璃纤维增强塑料压力容器》是现有 ASME 规范中唯一的非金属材料篇。该篇对玻璃纤维增强塑料压力容器的材料、设计、检验等提出了要求。第 VII 篇《移动式容器建造和连续使用规则》于 2004 年首次颁布, 适用于便携式容器、汽车槽车和铁路槽车的设计。

1.2.2 我国压力容器设计规范简介

我国第一本规范是 1959 年颁布的《多层高压容器设计与检验规程》, 它是四部联合颁布

的标准。1960 年原化工部等颁布了适用中低压容器的《石油过程设备零部件标准》。20 世纪 60 年代开始,我国工程界开始着手进行较为完整的设计规范的制订工作,从 1967 年完成第一版《钢制石油化工压力容器设计规定》(草案),在此规定的基础上,经过两次修订,并经 1984 年成立的全国压力容器标准化委员会(简称容标委)的充实、完善和提高,于 1989 年颁布了第一版的国家标准,GB 150—89《钢制压力容器》。1998 年颁布了第一版全面修订后的新版 GB 150—1998《钢制压力容器》。经过十几年的科技创新和技术积累以及与相关规范(如 TSG R0004—2009:《固定式压力容器安全技术监察规程》)的一致性要求,中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局和中国国家标准化管理委员会联合于 2011 年颁布了最新版的 GB 150.1~150.4—2011《压力容器》,并于 2012 年 3 月 1 日正式开始实施。与此同时,容标委在 GB 150.1~150.4—2011,又先后制订 GB 151—2014《热交换器》、GB 12337—2014《钢制球形储罐》、NB/T 47041—2014《塔式容器》、NB/T 4731—2014《卧式容器》等。本节将主要介绍一下 GB 150《压力容器》和 JB 4732《钢制压力容器——分析设计标准》。

(1) GB 150《压力容器》

GB 150《压力容器》主要的基本思路与 ASME VIII-1 相同,即“按规则设计”。该标准是全国锅炉压力容器标准化技术委员会负责制定和归口的压力容器大型通用技术标准之一,用以规范在中国境内建造或使用的压力容器设计、制造、检验和验收的相关技术要求。该标准共分为四个部分,即 GB 150.1—2011《压力容器》第一部分:通用要求;GB 150.1—2011《压力容器》第二部分:材料;GB 150.1—2011《压力容器》第三部分:设计;GB 150.1—2011《压力容器》第四部分:制造、检验和验收。

本标准规定了金属制压力容器(以下简称容器)的建造要求。

本标准适用的设计压力:钢制压力容器不大于 35MPa;其他金属材料制容器按相应引用标准确定。

本标准适用的设计温度范围: $-269\sim 900^{\circ}\text{C}$ 。

钢制容器不得超过 GB 150.2 中列入材料的允许使用温度范围。

其他金属材料制容器按相应引用标准中列入的材料允许使用温度确定。

下列标准不在本标准的适用范围内:

设计压力低于 0.1MPa 的容器且真空度低于 0.02MPa 的容器;

《移动式压力容器安全技术监察规程》管辖的容器;

旋转或往复运动的机械设备中自成整体或作为部件的受压器室(如泵壳、压缩机外壳、涡轮机外壳、液压缸等);

核能装置中存在中子辐射损伤失效风险的容器;

直接火加热的容器;

内直径(对于非圆形截面,指截面内边界的最大几何尺寸,如矩形为对角线,椭圆为长轴)小于 150mm 的容器;

搪玻璃容器和制冷空调行业中另有国家标准或行业标准的容器。

本标准不限制实际工程设计方法和建造中采用先进的技术方法,但工程技术人员采用先进的技术方法时应能做出可靠的判断,确保其满足本标准规定,特别是关于强制的设计规定(如强度或稳定性设计公式等)。

本标准既不要求也不禁止设计人员使用计算机程序实现压力容器的分析或设计,但采用计算机程序进行分析或设计时,除满足本标准外,还应确认:

所采用的程序中技术假定的合理性;

所采用的程序对设计内容的适应性;

所采用程序输入参数及输出结果用于工程设计的正确性。

对于不能用本标准来确定结构尺寸的受压元件,允许用以下方法设计,但须经全国锅炉压力容器标准化技术委员会评定、认可。

- 包括有限元法在内的应力分析;
- 验证性实验分析(如实验应力分析,验证性液压试验);
- 用可比的已投入使用的结构进行对比经验设计。

GB 150 中以第一强度理论为设计准则,将最大主应力限制在许用应力以内,这是与 ASME VIII-1 相同的一个基本点。不同的是,以极限强度为基准的安全系数 n_b , GB 150 中 $n_b = 2.7$ 。ASME VIII-1 取 $n_b = 4$ 。这是根据我国工业生产几十年来的经验而定的。另一个不同点是 GB 150 对局部应力参照 ASME VIII-2 作了适当处理,采用第三强度理论,对凸形封头转角及开孔处的局部应力允许其超过材料的屈服极限。

(2) JB 4732《钢制压力容器——分析标准》

鉴于我国工业生产对高要求的压力容器的需要在不断增加,按常规设计的 GB 150 不能完全满足某些特定设备的设计要求,特别是核容器。因此,同时颁布了一部压力容器的“专业标准”,作为与 GB 150 平行的另一种规范。根据用户的要求,设计者可从其中选择一种作为所遵循的规范,但不允许将两种规范混用。

JB 4732 标准与 GB 150 标准不同的是:它既包含按常规设计内容,又包含按分析设计(应力分析、疲劳分析、稳定性分析等)的内容。分析设计中采用第三强度理论计算应力强度。制订 JB 4732 标准的基础是弹性与塑性力学分析、应力分类,其对材料、制造、检验有更严格的要求,并进行严格的质量控制。JB 4732 标准中的设计压力限制在 $0.1\text{MPa} \leq p < 100\text{MPa}$ 之间,设计温度低于以钢材蠕变控制其设计应力强度的相应温度(最高温度为 475°C)。与 GB 150 比较,在相同条件下,容器的厚度可以减薄,重量可以减轻。但是由于设计计算工作量大,选材、制造、检验及验收等方面的要求较严,有时综合经济效益不一定高,一般推荐用于重量大、结构复杂、操作参数较高的压力容器设计。当然,凡不能按常规设计的结构,必须用分析方法进行设计(如疲劳分析等)。

另外,设计压力在 $-0.02\text{MPa} \leq p \leq 0.1\text{MPa}$ 之间的压力容器为常压容器,应采用标准 JB/T 4735《钢制焊接常压容器》进行设计、制造、检验与验收。

1.3 我国压力容器的质量保证体系及安全监察

我国的设计规范 GB 150 或 JB 4732 主体上是设计遵循的规范。不像 AMSE 规范那样包含全部容器质量保证体系。我国质量保证体系的特点是多标准组合的体系(国标、部标、专业标准)。

我国系采取以设计规范为中心,在设计规范中同时规定材料、制造、检验与验收所必须遵守的国家标准或部颁标准及法规。我国压力容器设计的相关标准甚多,有材料标准、设计标准、检验标准、制造标准、零部件标准等,虽未编入设计规范(如 GB 150),但在规范中需要遵守的地方都注明了标准号和名称,这样设计中就必须遵守。这样,在我国就形成了一个由设计规范统率的压力容器质量保证体系。

除此之外,还必须接受政府部门的安全监督。其中包括法规、行政规章和安全技术规范。在我国,锅炉与压力容器安全监督的职权由国务院领导的国家质量监督检验检疫总局负责。中国将涉及生命安全、危险性较大的锅炉、压力容器、压力管道、电梯、起重机械、客运索道、大型游乐设施和场(厂)内专用机动车辆等 8 大类设备称为特种设备。安全监察是负责特种设备安全的政府行政机关为实现安全目标而从事的决策、组织、管理、控制和监督检查等活动的总和。2003 年我国首次颁布实施《特种设备安全监察条例》,后重新修订于

2009年5月1日实施,由国家质量监督检验检疫总局特种设备安全监察局负责全国特种设备的安全监察工作。《特种设备安全监察条例》适用于同时具备下列条件的压力容器。

- i. 最高工作压力大于等于 0.1MPa (表压);
- ii. 压力与容积的乘积大于或者等于 $2.5\text{MPa} \cdot \text{L}$;
- iii. 盛装介质为气体、液化气体或者最高工作温度高于等于标准沸点的液体。

安全技术规范是政府对特种设备安全性能和相应的设计、制造、安装、修理、改造、使用和检验检测等环节所提出的一系列安全基本要求、许可、考核条件、程序的一系列具有行政强制力的规范性文件。其作用是把法规和行政规章的原则规定具体化。压力容器基本安全技术规范为 TSG R0004—2009《固定式压力容器安全技术监察规程》、TSG R0005—2011《移动式压力容器安全技术监察规程》、TSG R0002—2005《超高压容器安全技术监察规程》、TSG R0001—2004《非金属压力容器安全技术监察规程》和 TSG R0003—2007《简单压力容器安全技术监察规程》。

《固定式压力容器安全技术监察规程》对压力容器的材料、设计、使用、制造、检验、修理、改造七个环节中的主要问题提出了基本规定。

《固定式压力容器安全技术监察规程》适用于同时具备的条件与《特种设备安全监察条例》相同。

另外,《中华人民共和国特种设备安全法》由第 12 届全国人民代表大会常务委员会第 3 次会议于 2013 年 6 月 29 日通过,2013 年 6 月 29 日中华人民共和国主席令第 4 号公布。自 2014 年 1 月 1 日起施行。特种设备和百姓的生命财产安全息息相关。这些法律、法规、行政规章和安全技术规范的颁布,大大促进了我国压力容器的管理与监督工作,使我国压力容器的管理工作规范化,使得压力容器的安全事故大为减少。

1.4 压力容器类别及压力等级、品种的划分

1.4.1 压力容器类别划分

1.4.1.1 介质分组

压力容器的介质分为以下两组:

- i. 第一组介质,毒性程度为极度危害、高度危害的化学介质,易爆介质,液化气体;
- ii. 第二组介质,除第一组以外的介质。

1.4.1.2 介质危害性

介质危害性指压力容器在生产过程中因事故致使介质与人体大量接触,发生爆炸或者因经常泄漏引起职业性慢性危害的严重程度,用介质毒性程度和爆炸危害程度表示。

(1) 毒性程度

综合考虑急性毒性、最高容许浓度和职业性慢性危害等因素,极度危害最高容许浓度小于 $0.1 \sim 1.0\text{mg}/\text{m}^3$; 中度危害最高容许浓度 $1.0 \sim 10.0\text{mg}/\text{m}^3$; 轻度危害最高容许浓度大于或者等于 $10.0\text{mg}/\text{m}^3$ 。

(2) 易爆介质

指气体或者液体的蒸汽、薄雾与空气混合形成的爆炸混合物,并且其爆炸下限小于 10%,或者爆炸上限和爆炸下限的差值大于或者等于 20% 的介质。

(3) 介质毒性危害程度和爆炸危险程度的确定

按照 HG 20660《压力容器中化学介质毒性危害和爆炸危险程度分类》确定。HG 20660 没有规定的,由压力容器设计单位参照 GB 5044《职业性接触毒物危害程度分级》的原则,确定介质组别。

1.4.1.3 压力容器类别划分方法

压力容器类别的划分应当根据介质特性，按照以下要求选择类别划分图，再根据设计压力 p （单位 MPa）和容积 V （单位 L），标出坐标点，确定压力容器类别：

第一组介质，压力容器类别的划分见图 1-1；

第二组介质，压力容器类别的划分见图 1-2。

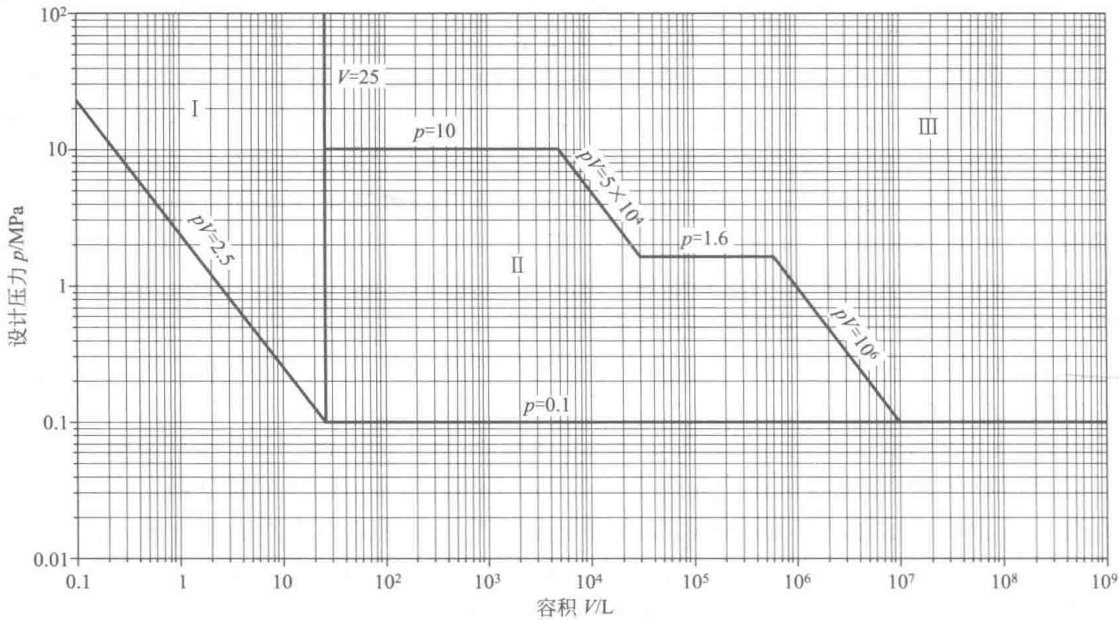


图 1-1 压力容器类别划分图——第一组介质

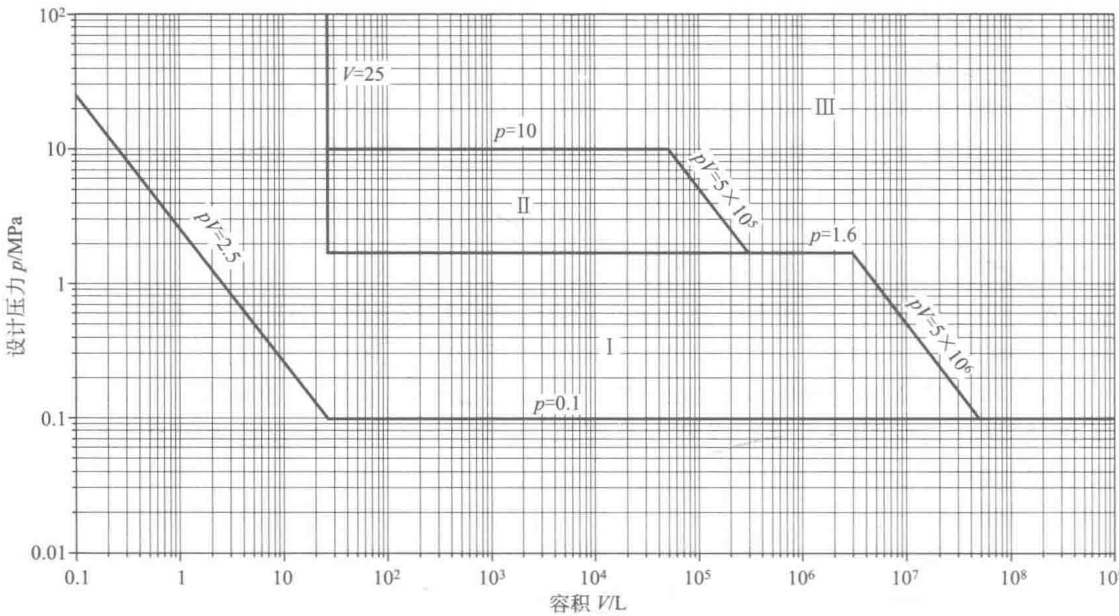


图 1-2 压力容器类别划分图——第二组介质

① 多腔压力容器类别划分 多腔压力容器（如换热器的管程和壳程、夹套容器等）按照类别高的压力腔作为该容器的类别并且按照该类别进行使用管理。但是应当按照每个压力

腔各自的类别分别提出设计、制造技术要求。对各压力腔进行类别划定时,设计压力取本压力腔的设计压力,容积取本压力腔的容积。

② 同腔多种介质压力容器类别划分 一个压力腔内有多种介质时,按照组别高的介质划分类别。

③ 介质含量极小的压力容器类别划分 当某一危害性物质在介质中含量极小时,应当根据其危害程度及其含量综合考虑,按照压力容器设计单位确定的介质组别划分类别。

④ 特殊情况的类别划分 坐标点位于图 1-1 或者图 1-2 的分类线上时,按照较高的类别划分其类别。

符合《固定式压力容器安全技术监察规程》中 1.4 条范围内的压力容器统一划分为第 I 类压力容器。

1.4.2 压力等级划分

按承压方式分类,压力容器可分为内压容器与外压容器。内压容器又可按设计压力(p)大小分为四个压力等级,具体划分如下:

低压(代号 L)容器 $0.1\text{MPa} \leq p < 1.6\text{MPa}$;

中压(代号 M)容器 $1.6\text{MPa} \leq p < 10.0\text{MPa}$;

高压(代号 H)容器 $10.0\text{MPa} \leq p < 100.0\text{MPa}$;

超高压(代号 U)容器 $p \geq 100.0\text{MPa}$ 。

外压容器中,当容器的内压力小于一个绝对大气压(约 0.1MPa)时又称为真空容器。

1.4.3 压力容器品种划分

压力容器按照在生产工艺过程中的作用原理,划分为反应压力容器,换热压力容器、分离压力容器、储存压力容器。具体划分如下:

① 反应压力容器(代号 R),主要是用于完成介质的物理、化学反应的压力容器,例如各种反应器、反应釜、聚合釜、合成塔、变换炉、煤气发生炉等;

② 换热压力容器(代号 E),主要是用于完成介质的热量交换的压力容器,例如各种热交换器、冷却器、冷凝器、蒸发器等;

③ 分离压力容器(代号 S),主要是用于完成介质的流体压力平衡缓冲和气体净化分离的压力容器,例如各种分离器、过滤器、集油器、洗涤器、吸收塔、铜洗塔、干燥塔、汽提塔、分汽缸、除氧器等;

④ 储存压力容器(代号 C,其中球罐代号 B),主要是用于储存或者盛装气体、液体、液化气体等介质的压力容器,例如各种型式的储罐。

在一种压力容器中,如同时具备两个以上的工艺作用原理时,应按照工艺过程中的主要作用来划分品种。