

高等学校教材

过程设备工程设计概论

——过程装备与控制工程专业
毕业设计指南

陈庆 邵泽波 主编



化学工业出版社

本书可作为高等院校相关专业师生、工程技术人员、从事过程装备与控制工程专业毕业设计的学生参考。本书可作为高等院校相关专业师生、工程技术人员、从事过程装备与控制工程专业毕业设计的学生参考。

高等学校教材

过程设备工程设计概论

——过程装备与控制工程专业毕业设计指南

陈庆 邵泽波 主编

图书在版编目(CIP)数据

过程设备工程设计概论——过程装备与控制工程专业毕业设计指南 / 陈庆, 邵泽波主编. —北京: 化学工业出版社, 2008.1
ISBN 978-7-122-01883-7
I. ①过... II. ①陈... ②邵... III. ①过程设备—设计—指南 IV. ①TQ023.3

中国版本图书馆CIP数据核字(2008)第01238号

责任编辑: 赵海霞
封面设计: 陈金

出版发行: 化学工业出版社(北京) 北京市朝阳区惠新东街8号 邮政编码: 100029
社址: 北京市西城区百万庄大街24号 电话: (010) 61226000
网址: <http://www.cip.com.cn>

定价: 30.00元 (含增值税)



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影响因素，内容丰富而精练，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——过程装备与控制工程专业
毕业设计指南/陈庆, 邵泽波主编. —北京: 化学
工业出版社, 2008.1

高等学校教材

ISBN 978-7-122-01863-2

I. 过… II. ①陈…②邵… III. 化工过程-化工设
备-设计-高等学校-教材 IV. TQ051.02

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2008) 第 002236 号

责任编辑: 程树珍 金玉连

装帧设计: 张 辉

责任校对: 徐贞珍

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: 大厂聚鑫印刷有限责任公司

装 订: 三河市万龙印装有限公司

787mm×1092mm 1/16 印张 15¼ 字数 398 千字 2008 年 6 月北京第 1 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: 29.00 元

版权所有 违者必究

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,中国石油吉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
1.1 绪言	1
1.2 压力容器设计规范标准简介	3
1.3 我国压力容器的质量保证体系及安全监察	6
1.4 压力容器分类	6
2 过程设备设计技术文件的构成及编制	9
2.1 设计文件的组成	9
2.2 设计文件的说明	9
2.3 设计图样的说明	9
2.4 过程设备图样的基本画法	10
3 材料	36
3.1 压力容器用材料的选择原则	36
3.2 压力容器用钢的基本要求	37
3.3 钢板	39
3.4 钢管	45
3.5 锻件	45
3.6 紧固件	46
3.7 许用应力	47
4 结构与焊接	53
4.1 过程设备的结构特点	53
4.2 筒体、封头及其连接	53
4.3 容器法兰、垫片和螺栓	56
4.4 检查孔	72
4.5 钢制管法兰、垫片、紧固件	74
4.6 开孔及开孔补强	82
4.7 液面计、视镜	87
4.8 支座	92
4.9 内件	103
5 焊接结构	105
5.1 焊接结构的基本概念	105
5.2 对接接头的设计	106
5.3 角接焊接接头和 T 形焊接接头	111
5.4 压力容器中焊接接头	113
5.5 焊接结构的设计原则	116
5.6 焊接材料	118
5.7 焊丝	128

5.8	焊剂	129
6	压力容器设计参数的确定	133
6.1	定义	133
6.2	《钢制压力容器》GB 150 适用范围	133
6.3	《钢制压力容器》GB 150 不适用范围	134
6.4	压力容器范围	134
6.5	设计压力的确定	134
6.6	设计温度的确定	136
6.7	设计载荷的确定	136
6.8	壁厚附加量	137
6.9	压力容器最小壁厚	137
6.10	许用应力与安全系数	137
6.11	压力试验	139
6.12	气密性试验	139
7	压力容器典型壳体强度计算	140
7.1	内压圆筒和球壳	140
7.2	内压凸形封头	141
7.3	外压圆筒和外压管子计算	143
7.4	外压球壳和球形封头的厚壁设计	143
7.5	外压圆筒加强圈的设计	143
7.6	等面积补强	144
8	压力容器的监造、检验与验收	146
8.1	项目监造、检验管理规定	146
8.2	无损检测	153
8.3	容器的压力试验	156
9	典型设备强度计算书	159
9.1	填料塔(变径)强度计算	161
9.2	固定管板换热器强度计算	180
9.3	立式夹套搅拌器强度计算	188
9.4	卧式储罐强度计算	192
10	过程设备设计技术问题剖析	199
10.1	压力容器设计管理及条例与规程	199
10.2	基本理论知识	202
10.3	钢制压力容器	205
10.4	钢制管壳式换热器	214
10.5	钢制球形储罐、塔式容器、气瓶	222
10.6	钢制压力容器制造、检验和验收	229
	参考文献	236

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壳体部（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《钢制压力容器》、JB 4732《钢制压力容器—分析设计标准》、JB/T 4735《钢制焊接常压容器》和技术法规《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。

- ① 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。
- ② 满足过程要求 包括功能的要求、寿命的要求。
- ③ 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。
- ④ 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。
- ⑤ 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。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,同时可初步确定贮存容器、反应器等容器的容积等结构参数。

(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),而且还要按相应的法规要求,尽可能选用标准系列。

(11) 制造、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。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 X 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地分析, 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, 是一个到目前为止要求最高的压力容器规范。第 X 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》。与此同时,容标委在GB 150—89基础上,又先后制订GB 151《管壳式换热器》、GB 12337《钢制球形储罐》、JB/T 4710《钢制塔式容器》、JB 4732《钢制压力容器—分析设计标准》及JB/T 4735《钢制焊接常压容器》等。本节将主要介绍一下GB 150《钢制压力容器》和JB 4732《钢制压力容器—分析设计标准》。

(1) GB 150《钢制压力容器》

GB 150《钢制压力容器》的基本思路与ASME VIII-1相同,即“按规则设计”。该标准适用范围是:设计压力在 $0.1\text{MPa} \leq p \leq 35\text{MPa}$,真空度不低于 0.02MPa 。设计温度根据钢材的许用温度及特性确定,从 -196°C 到钢材蠕变限用温度(奥氏体不锈钢可达 700°C)。GB 150只适用于固定的承受恒定载荷的压力容器。标准中指明以下9种情况不属于其适用范围:直接明火加热的容器;核能装置中的容器;旋转或往复运动的机械设备;设计压力低于 0.1MPa 的容器;真空度低于 0.02MPa 的容器;内直径小于 150mm 的容器;经常搬运的容器;需要作疲劳分析的容器;已有其他行业标准的容器等。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,但须经全国压力容器标准化技术委员会评定、认可。

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

GB 150的正文部分共有10章,并有5个标准的附录和4个提示的附录。正文内容为:范围;引用标准;总论;材料;内压圆筒和内压球壳;外压圆筒和外压球壳;封头;开孔补强;法兰;制造、检验与验收;附录A(标准的附录)材料的补充规定;附录B(标准的附录)超压泄放装置;附录C(标准的附录)低温压力容器;附录D(标准的附录)非圆形截面容器;附录E(标准的附录)产品焊接试板的力学性能检验;附录F(提示的附录)钢材高温性能;附录G(提示的附录)密封结构;附录H(提示的附录)材料的指导性规定;附录J(提示的附录)焊接结构。

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 nb ,GB 150中 $nb=3$ 。ASME VIII-1取 $nb=4$ 。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℃)。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的锅炉、压力容器、压力管道等设备称为特种设备。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6月1日起施行的法规——《特种设备安全监察条例》,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《压力容器安全技术监察规程》和《超高压容器安全技术监察规程》。

《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。

《压力容器安全技术监察规程》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 (不含液体静压力);
- ii. 内直径(非圆形截面指其最大尺寸)大于等于 0.1mm,且容积(V)大于等于 0.025m^3 ;
- 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。

这些法规、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 压力容器分类

世界各国规范对压力容器都进行了分类,分类方法各不相同。我国压力容器的分类

主要是按压力等级、容器在生产中的作用、安装方式以及安全技术管理进行分类。这里主要介绍中国《压力容器安全技术监察规程》中的分类方法。压力容器的监督与管理文件中对压力容器进行分类,再按类进行监督管理。所以,设计者在设计图纸上必须标明类别。《压力容器安全技术监察规程》将压力容器分为三类,目的是便于分级进行安全技术管理和监察;按照不同的类别,对压力容器的材料选用、设计、制造、使用管理分别提出不同的要求。

1.4.1 按压力等级分类

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)时称为真空容器。

1.4.2 按安全技术管理分类

其他分类方法仅仅考虑了压力容器的某个设计参数或使用状况,还不能综合反映压力容器面临的整体危害水平。例如储存易燃或毒性程度中度及以上危害介质的压力容器,其危害性要比相同几何尺寸、储存毒性程度轻度或非易燃介质的压力容器大得多。压力容器的危害性还与其设计压力和全容积 V 的乘积有关, pV 值愈大,则容器破裂时爆炸能量愈大,危害性也愈大,对容器的设计、制造、检验、使用和管理的要求愈高。为此,《压力容器安全技术监察规程》采用既考虑容器压力与容积乘积大小,又考虑介质危害程度以及容器品种的综合分类方法,这样才有利于安全技术监督和管理。该方法将压力容器分为三类,如表 1-1 所示。

由此可见,中国的压力容器分类方法综合考虑了设计压力、几何容积、材料强度、应用场所、危害程度等影响因素。例如因盛放的介质特性或容器功能不同,即根据潜在的危险,低压容器可划分为第一类或第二类甚至第三类压力容器。

表 1-1 压力容器分类表

压力容器类别	低压(L) $0.1\text{MPa} \leq p < 1.6\text{MPa}$	中压(M) $1.6\text{MPa} \leq p < 10.0\text{MPa}$	高压(H) $10.0\text{MPa} \leq p < 100.0\text{MPa}$
第一类容器	(1)非易燃、Ⅳ级毒性或无毒介质的低压容器 (2)易燃或Ⅲ级毒性介质的低压分离容器和中压换热容器	—	—
第二类容器	(1)易燃或Ⅲ级毒性介质的低压反应容器和中压贮存容器 (2) $pV < 0.2\text{MPa} \cdot \text{m}^3$, I级和Ⅱ级毒性介质的低压容器 (3)低压管壳式余热锅炉(非烟道式) (4)搪玻璃压力容器	(1)非易燃、Ⅳ级毒性或无毒介质的中压容器 (2)易燃或Ⅲ级毒性介质的中压分离容器和中压换热容器 (3) $pV \geq 0.5\text{MPa} \cdot \text{m}^3$,易燃或Ⅲ级毒性介质的中压反应容器 (4) $pV \geq 10\text{MPa} \cdot \text{m}^3$,易燃或Ⅲ级毒性介质的中压贮存容器	—

续表

压力容器类别	低压(L) $0.1\text{MPa} \leq p < 1.6\text{MPa}$	中压(M) $1.6\text{MPa} \leq p < 10.0\text{MPa}$	高压(H) $10.0\text{MPa} \leq p < 100.0\text{MPa}$
第三类容器	$pV \geq 0.2\text{MPa} \cdot \text{m}^3$, I级和II级毒性介质的低压容器	(1) $pV \geq 0.5\text{MPa} \cdot \text{m}^3$, 易燃或III级毒性介质的中压反应容器 (2) $pV \geq 10\text{MPa} \cdot \text{m}^3$, 易燃或III级毒性介质的中压贮存容器 (3) I级和II级毒性介质的中压容器 (4) 中压管壳式余热锅炉(非烟道式) (5) 搪玻璃压力容器	(1) 高压容器 (2) 高压管壳式余热锅炉(非烟道式)
	(1) 使用 σ_b 的下限值 $\geq 540\text{MPa}$ 材料制造的压力容器 (2) 盛装介质为液化气体或低温液体的移动式压力容器, 包括铁路罐车、罐式汽车、罐式集装箱 (3) 容积 $\geq 50\text{m}^3$ 的球形储罐 (4) 容积 $> 5\text{m}^3$ 的低温液体储存容器		

表 1-1 第三类压力容器

压力容器类别	中压(M) $1.6\text{MPa} \leq p < 10.0\text{MPa}$	高压(H) $10.0\text{MPa} \leq p < 100.0\text{MPa}$	压力容器类别
		(1) 非易燃或III级毒性介质的中压反应容器 (2) 非易燃或III级毒性介质的中压贮存容器	第三类一类
	(1) 易燃或III级毒性介质的中压反应容器 (2) 易燃或III级毒性介质的中压贮存容器 (3) $m \cdot \sigma_b \geq 7.5\text{MPa} \cdot \text{m}$ (4) $m \cdot \sigma_b \geq 10\text{MPa} \cdot \text{m}$ (5) 搪玻璃压力容器	(1) 易燃或III级毒性介质的中压反应容器 (2) 易燃或III级毒性介质的中压贮存容器 (3) $m \cdot \sigma_b \geq 7.5\text{MPa} \cdot \text{m}$ (4) 搪玻璃压力容器 (5) 管壳式余热锅炉(非烟道式)	第三类二类

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

一般工程设计的文件内容包括设计文件和设计图样。

① 设计文件 它包括技术条件、设计计算书（若按分析设计，需提供应力分析报告）、图纸目录、使用说明书。

② 设计图样 它包括总图、装配图、部件图、零件图、表格图、特殊工具图、管口方位图、预焊件图。

图样根据其使用的目的和性质可包括原图及原稿（手工绘图或 CAD 图电子版）、底图和复印图（蓝图）。

2.2 设计文件的说明

(1) 技术条件

它包括设计、制造、检验和验收时应遵循的规范或规定，以及对材料、表面处理及涂饰、润滑、包装、保管、运输及安装等的特殊要求。

(2) 设计计算书

关于设备或零部件的计算文件，采用电子计算机计算时，软件必须经全国锅炉压力容器标准化技术委员会评审鉴定，并在国家质量监督检验检疫总局特种设备局认证备案。打印结果中应有软件程序编号、输入数据和计算结果等内容，可以将输入数据和输出结果作为计算文件。其内容至少包括设计条件、所用规范和标准、材料、腐蚀裕量、名义厚度、计算结果等。装设安全泄放装置的压力容器，还应计算压力容器安全阀排量和爆破片泄放面积。

(3) 图纸目录

它是表示每个设备、通用部件或标准部件全套设计图纸的清单。

(4) 使用说明书

它是关于设备的结构原理、主要参数的选用、材料选择、技术特性、制造、安装、运输、使用、维护保养、检修及其他必须说明的文件。

2.3 设计图样的说明

(1) 总图（装配图）

总图是表示设备的全貌、组成和特性的图样。它应表达设备各主要部分的结构特征，装配和连接关系。设备总图上，至少应注明下列内容：设备名称、类别；设计条件；主要的特征尺寸、外形尺寸及管口表；必要时注明设备使用年限；主要受压元件材料牌号及要求；主要特性参数（如容积、换热器换热面积与程数等）；制造要求；热处理要求；腐蚀要求；无损检测要求；耐压试验和气密性试验要求；安全附件的规格；设备铭牌的位置；包装、运输、现场组焊和安装要求以及其他特殊要求。

(2) 部件图

它是表示可拆或不可拆部件的结构、尺寸、所属部件之间的关系，技术特性和技术要求

等资料的图样。

(3) 零件图

它是表示零件的形状、尺寸、加工、热处理及检验等资料的图样。

(4) 表格图

它是用综合图表表示多个形状相同、尺寸不同的零件、部件或设备的图样。

(5) 特殊工具图

它是表示设备安装、试压和维修时使用的特殊工具图样。

(6) 管口方位图

为了提供设计文件再次选用的可能性，或由于绘制设备施工图时管口方位尚难确定，装配图上的管口方位可不定，此时，应在图纸的技术要求中注明“管口方位见管口方位图；图号见选用表”。根据工程配管需要，由工艺人员编制管口方位图，图号编入工艺安装图中。但设备制造时，应根据提供的管口方位图进行制造，该图样只表示设备的管口方位及管口与支座、地脚螺栓等的相对位置（指在垂直于设备主轴线的视图上的位置），其管口的符号、大小、数量等均应与装配图上管口表中所表示的一致，且必须写明设备名称、设备装配图图号以及该设备在工艺流程图中的位号。管口方位图须经设备设计人员会签。对无再次选用可能且管口方位绘制在施工图中时已能确定的设备，不必另绘管口方位图。此时，在图纸的技术要求中注明“管口方位按本图”。

(7) 预焊件图

是为供设备保温或设置平台等的需要，在制造厂预先焊制的零件、部件图样一般根据工艺安装需要确定，其图号编入工艺安装图中，图纸发到制造厂。

2.4 过程设备图样的基本画法

2.4.1 国家标准《技术制图》和《机械制图》的一般规定

图样是工程技术界的共同语言。为了便于指导生产进行技术交流和图样管理，国家标准《技术制图》、《机械制图》对图样上的有关内容作了统一的规定，每个工程技术人员都应该掌握并严格遵守。

国家标准简称国标，其代号为汉语拼音字母“GB”，字母后的数字为某一具体标准的号码，分隔号后的数字为该标准发布的年代，如“GB/T 4457.4—1984”。标准又分为强制执行标准和推荐执行标准两种，如“GB 3100—1993”和“GB/T 14689—1993”。

本节介绍图幅、比例、字体、图线、尺寸注法等一般规定以供读者查阅。

2.4.1.1 图纸幅面规格 (GB/T 14689—1993)

(1) 图纸幅面

绘制技术图样时，应采用国家规定的图纸幅面。

i. 优先采用基本幅面，其尺寸见表 2-1。

ii. 必要时，也可选用表 2-2、表 2-3 所规定的加长幅面。这些幅面的尺寸是由基本幅面的短边成整数倍地增加后得出的，如图 2-1 所示。在图 2-1 中，粗实线所示为基本幅面（第一选择），细实线所示为表 2-2 所规定的加长幅面（第二选择），虚线所示为表 2-3 所规定的加长幅面（第三选择）。

表 2-1 基本幅面尺寸（第一选择）

/mm×mm

幅面代号	A0	A1	A2	A3	A4
尺寸 B×L	841×1189	594×841	420×594	297×420	210×297

表 2-2 加长幅面尺寸 (第二选择) /mm

幅面代号	A3×3	A3×4	A4×3	A4×4	A4×5
尺寸 B×L	420×891	420×1189	297×630	297×841	297×1051

表 2-3 加长幅面尺寸 (第三选择) /mm

幅面代号	尺寸 B×L	幅面代号	尺寸 B×L	幅面代号	尺寸 B×L
A0×2	1189×1682	A2×4	594×1682	A4×6	297×1261
A0×3	1189×2523	A2×5	594×2102	A4×7	297×1471
A1×3	841×1783	A3×5	420×1486	A4×8	297×1682
A1×4	841×2378	A2×6	420×1783	A4×9	297×1892
A2×3	594×1261	A2×7	420×2080		

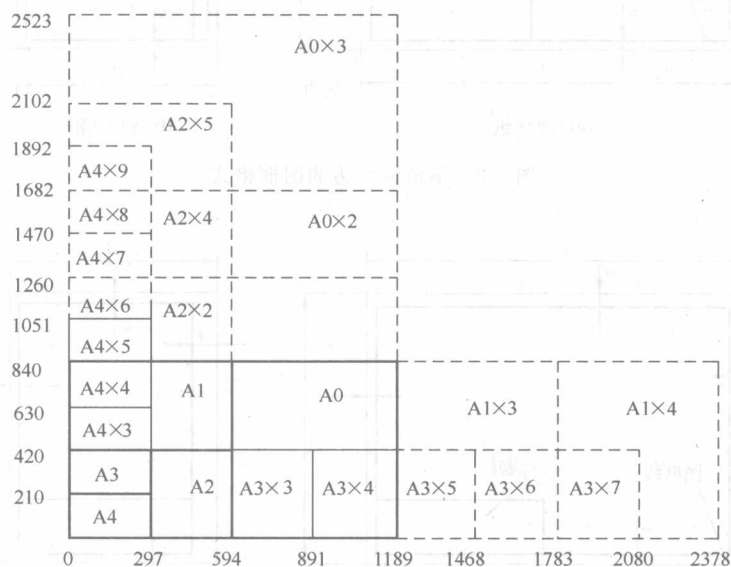


图 2-1 基本幅面与加长幅面

(2) 图框格式

在图纸上, 必须用粗实线画出图框, 其格式分为不留装订边和留装订边两种。

不留装订边的图纸, 其图框格式如图 2-2 所示, 周边尺寸 e 按表 2-4 中的规定绘制。

表 2-4 图纸幅面 /mm

幅面代号	A0	A1	A2	A3	A4
尺寸 B×L	841×1189	594×841	420×594	297×420	210×297
a	25				
c	10			5	
e	20		10		

留有装订边的图纸, 其图框格式如图 2-3 所示, 周边尺寸 a 和 c 按表 2-4 中的规定绘制。

加长幅面的图框尺寸, 按所选用的基本幅面大一号的图框尺寸确定, 如 A2×3 的周边尺寸 e 或 c 就按 A1 的 e 或 c 绘制。

(3) 标题栏的方位和格式