



*PRESSURE
VESSEL HANDBOOK*

压力容器手册

(修订本)

主编 张康达 洪起超

中国劳动社会保障出版社

压力容器手册

(修 订 本)

主 编

张康达 洪起超

中国劳动社会保障出版社

版权所有 翻印必究

图书在版编目(CIP)数据

压力容器手册/张版达, 洪起超主编. —北京: 中国劳动社会保障出版社, 1999.7
ISBN 7-5045-2277-5

I. 压…

II. ①张… ②洪…

III. 压力容器-手册

IV. TH49-62

中国版本图书馆 CIP 数据核字(1999)第 101428 号

中国劳动社会保障出版社出版发行

(北京市惠新东街 1 号 邮政编码: 100029)

出 版 人: 唐云岐

*

国防工业出版社印刷厂印刷 新华书店经销

787×1092 毫米 16 开本 44.25 印张 1100 千字

2000 年 2 月第 1 版 2000 年 2 月第 1 次印刷

印数: 3000 册

定价: 60.00 元

前 言

随着国民经济的迅速发展, 压力容器的应用日益广泛, 技术要求也更加严格。如何在确保其安全运行的前提下, 使其具有更好的经济性, 已成为设计、制造、检验、管理的重要课题。特别是现代压力容器技术的发展具有综合应用多学科先进技术的特点, 涉及的专业面比技广, 对压力容器工作者的要求更高。对于各部门中从事压力容器设计、制造、检验、管理和使用的人员来说, 就非常迫切地需要一套数据资料比较齐全、查阅使用又方便的工具书。为此, 1987 年出版了《压力容器手册》。

十多年来, 我国压力容器的设计、制造、检验、管理和使用都有许多新的进展, 在科研方面也有不少新的成果, 技术标准和规范也有新的补充和修订。1987 年出版的《压力容器手册》显然已不能适应当前的需要, 为此, 我们在中国劳动出版社的大力支持和帮助下, 决定对 1987 年出版的《压力容器手册》作一次全面地修订。

为便于读者查阅和使用本手册, 在多次修订时对内容作了调整、删节和充实, 将 1987 年出版的《压力容器手册》上、下两册合并为一册。

修订时各章的编者如下: 张秉淑 (第一、第九章); 吕忠良 (第二、第三、第八章); 刘红 (第二、第三章); 张展达、全杰 (第四章); 陈龙根、任伟 (第五章); 高增樑 (第五、第十章); 方德明 (第六章); 钱逸、卢志明 (第七章)。全书的主编和统稿为张展达、洪起超。经杨秉喜等多人审稿。

由于水平有限, 调查研究工作也还不够充分, 手册中难免存在疏漏和缺点, 恳请广大读者批评指正。

编者

一九九七年十一月

目 录

第一章 总 论	(1)
第一节 压力容器的基本要求与主要技术参数	(4)
第二节 压力容器技术管理与资格认定	(11)
第二章 常用数据和计算公式	(29)
第一节 常用资料和数据	(29)
第二节 平板的弯曲计算	(66)
第三节 容器封头标准	(74)
第三章 压力容器的应力与变形	(121)
第一节 旋转薄壳的薄膜解	(121)
第二节 旋转薄壳的边缘弯曲解	(132)
第三节 局部应力计算	(146)
第四节 压力容器应力数值分析	(171)
第四章 压力容器的结构材料	(175)
第一节 概述	(175)
第二节 常用性能指标及其术语含义	(184)
第三节 压力容器用碳素钢	(191)
第四节 压力容器用低合金钢	(203)
第五节 压力容器用高合金钢	(239)
第六节 压力容器用有色金属材料	(254)
第五章 压力容器结构与设计	(266)
第一节 设计准则	(266)
第二节 内压圆筒与封头的设计	(267)
第三节 外压圆筒与封头的设计	(283)
第四节 开孔与补强	(301)
第五节 法兰设计	(316)
第六节 管壳式换热器管板设计	(348)
第七节 U形膨胀节	(372)
第八节 直立设备的设计	(383)
第九节 卧式设备的设计	(396)

	第十节 压力容器的分析设计	(407)
第六章	球形容器	(437)
	第一节 球形容器概况	(437)
	第二节 结构设计	(444)
	第三节 设计计算	(457)
	第四节 球形容器的制造	(482)
第七章	超高压容器	(491)
	第一节 超高压容器的结构和材料	(491)
	第二节 超高压圆筒的强度计算	(503)
	第三节 超高压容器的密封设计	(524)
	第四节 超高压容器的安全检验	(531)
第八章	罐车、气瓶	(536)
	第一节 液化石油气汽车罐车	(536)
	第二节 气瓶	(552)
第九章	压力容器的安全附件	(565)
	第一节 安全阀	(566)
	第二节 爆破片	(578)
	第三节 液面计	(588)
第十章	压力容器的检验与安全评定	(595)
	第一节 压力容器的破坏型式	(595)
	第二节 压力容器存在的缺陷	(596)
	第三节 压力容器的检验方法	(601)
	第四节 压力容器的定期检验	(635)
	第五节 缺陷的安全评定与修复	(645)

第一章 总 论

压力容器广泛应用于化工、石油、机械、动力、轻工、纺织、冶金、核能、运输、国防、医药、电子、航空、航天、海洋等 20 多个工业部门。它是生产过程中必不可少的重要设备。如化工生产中的反应装置、换热装置、分离装置的外壳、流体贮罐、核动力反应堆的压力壳、电厂锅炉系统中的汽包等都是压力容器。随着国民经济的发展，压力容器在解决人民的衣食住行等方面也起着极为重要的作用，如液化气钢瓶广泛用于饮食、旅馆、饭店及居民家中。所以说压力容器不仅与工业生产，而且与人民生活有着十分密切的关系。

随着科学技术的不断发展和工业生产规模的扩大，压力容器的尺寸越来越大，操作压力越来越高，操作温度越来越高（或低），结构形式越来越复杂。而且，压力容器（尤其是化工压力容器）在生产中所处理的介质往往是易燃、易爆、有毒、有腐蚀等，一旦发生泄漏、爆炸等事故，将会释放出巨大的能量，它的破坏威力大，波及面广，将会给国家财产和人民生命带来不可估量的损失，而且还会污染环境。因此，压力容器的设计、制造、检验、监察管理等各个环节，必须十分重视其质量及安全问题，确保压力容器的安全运行。

世界各个国家，如美国、英国、德国、原苏联、法国、日本等国对压力容器的安全使用都很重视，都制订了自己国家的一些法规和标准，以作为压力容器设计、制造、监察的依据。并实行一套严格的安全技术监督制度，由政府部门或技术权威组织来实施监督。我国也很重视这个问题，制订了与压力容器有关的法规和标准近 300 个，望各单位严格遵照执行。下面列出了我国有关的主要法规和标准，供参考。

我国压力容器有关的主要法规有：

1. 《锅炉压力容器安全监察暂行条例》及其《实施细则》；
2. 《压力容器安全技术监察规程》；
3. 《压力容器产品安全质量监督检验规则》；
4. 《压力容器设计单位资格管理与监督规则》；
5. 《超高压容器安全监察规程》；
6. 《压力容器使用登记管理规则》；
7. 《在用压力容器检验规程》；
8. 《进口锅炉压力容器安全质量许可制度实施办法》；
9. 《进出口锅炉压力容器监督管理办法》；
10. 《气瓶安全监察规程》；
11. 《溶解乙炔气瓶安全监察规程》；
12. 《液化石油气汽车槽车安全管理规定》；
13. 《气瓶产品安全质量监督检验规则》；
14. 《锅炉压力容器焊工考试规则》；

15. 《锅炉压力容器检验员资格鉴定考核规则》;
16. 《锅炉压力容器检验单位监督考核办法》;
17. 《锅炉压力容器事故报告办法》;
18. 《压力容器制造单位资格认可与管理规则》。

常用的标准共有四大部分, 即: 压力容器标准 (产品、基础、零部件、工艺标准); 气瓶标准; 试验与检验标准; 材料标准。

压力容器产品标准主要有:

1. GB 150 《锅制压力容器》;
2. GB 150 《钢制管壳式换热器》;
3. JB 1172 《钢制焊接球形储罐技术条件》;
4. GB J94 《球形储罐施工及验收规范》;
5. HG J208 《高压化工设备施工及验收规范》;
6. HG J209 《中、低压化工设备施工及检验规范》;
7. JB 1149 《扁平钢带压力容器技术条件》;
8. JB 1580 《铝制焊接容器技术条件》;
9. ZB J74001 《可拆卸板式换热器技术条件》;
10. JB 4732 《钢制压力容器—分析设计标准》;
11. JB 4710 《钢制塔式容器》;
12. JB 4726 《压力容器用碳素钢和低合金钢锻件》;
13. JB 4727 《低温压力容器用碳素钢和低合金钢锻件》;
14. JB 4728 《压力容器用不锈钢锻件》;
15. JB 4700~4707 《压力容器法兰》;
16. JB 4708 《钢制压力容器焊接工艺评定》;
17. GB 12337 《锅制球形储罐》。

压力容器的工艺标准主要有:

1. JB 2536 《压力容器油漆、包装和运输》;
2. JB/Z 105 《钢制压力容器焊接规程》;
3. JB 3964 《压力容器焊接工艺评定》。

气瓶标准主要有:

1. GB 5099 《钢制无缝气瓶》;
2. GB 5100 《钢质焊接气瓶》;
3. GB 5842 《液化石油气钢瓶》;
4. GB 6653 《焊接气瓶用钢板》;
5. GB 7144 《气瓶颜色标记》;
6. GB 7512 《液化石油气瓶阀》;
7. GB 8334 《液化石油气瓶定期检验与评定》;
8. GB 11638 《溶解乙炔气瓶》;
9. GB 11640 《铝合金无缝气瓶》;
10. GB 12135 《气瓶定期检验站技术条件》;

11. GB 12136《溶解乙炔气瓶用回火防止器》;
12. GB 12137《气瓶气密性试验方法》。

试验与检验标准主要有:

1. GB 2106《金属夏比 V 形缺口冲击试验方法》;
2. GB 2653《焊接接头弯曲及压扁试验法》;
3. GB 2654《焊接接头及堆焊金属硬度试验法》;
4. GB 2651《焊接接头拉伸试验法》;
5. GB 2650《焊接接头冲击试验法》;
6. GB 228《金属拉伸试验方法》;
7. GB 232《金属弯曲试验方法》;
8. ZBJ 74003《压力容器用钢板超声波探伤》;
9. JB 4730《压力容器无损检验》。

GB 150《钢制压力容器》与 JB 4732《钢制压力容器—分析设计标准》简介:

目前我国关于压力容器设计、制造、检验与验收方面的主要标准有两部,一部是中华人民共和国国家标准 GB 150《钢制压力容器》,以下简称 GB 150 标准;另一部是中华人民共和国行业标准 JB 4732《钢制压力容器—分析设计标准》以下简称,JB 4732 标准。这两部标准同时实施,在满足各自要求的条件下,可选择其中之一使用。下面将这两部标准的简单情况介绍如下:

GB 150 标准是我国压力容器设计、制造、检验与验收的综合性国家标准,它是属于规则设计的钢制压力容器标准,它基于弹性失效准则,认为结构中某最大应力点一旦进入塑性,结构就丧失了纯弹性状态,即为失效。本标准适用范围为:

1. 设计压力大于等于 0.1 MPa,且小于等于 35 MPa 的容器;
2. 设计温度根据钢材允许的使用温度确定;
3. 真空度 ≥ 0.02 MPa 的容器。

本标准不适用于下列容器:

1. 直接火焰加热的容器;
2. 受辐射作用的容器;
3. 经常搬运的容器;
4. 公称容积 < 450 L 的容器;
5. 要求作疲劳分析的容器;
6. 已有其他行业标准管辖的压力容器。

本标准所管辖的范围:

本标准所管辖的范围是容器本体及与其连为整体的连通受压零部件,具体划定范围为:

1. 容器与外管道连接;
2. 容器开孔的承压封头、平盖及其紧固件;

3. 非受压元件与容器的连接焊缝。焊缝以外的元件,如支座、支耳、裙座和加强圈等也应符合本标准的有关规定。

4. 直接连在容器上的超压泄放装置应符合本标准附录 B 的规定。连接在容器上的仪表等附件应按有关标准选用。

JB 4732 标准是原机械工业部、原化学工业部、原劳动部和原中国石油化工总公司联合颁发的一部行业标准，它是以分析设计为基础的钢制压力容器标准，提供了以弹性应力分析和塑性失效、弹塑性失效为基础的设计方法。它认为如果结构是稳定与安定的，则允许结构出现局部塑性区，局部区按有限寿命设计，而结构整体要求无限寿命。

本标准适用范围：

1. 设计压力大于等于 0.1 MPa 且小于 100 MPa 的容器；
2. 真空度高于或等于 0.02 MPa 的容器；
3. 设计温度应是低于以钢材蠕变控制其许用应力强度的相应温度。

本标准不适用于下列容器：

1. 核能装置中的容器；
2. 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；
3. 经常搬运的容器；
4. 内直径（对非圆形截面，指宽度、高度或对角线）小于 150 mm 的任何长度的容器。

本标准所管辖的范围：

本标准所管辖的范围是容器本体及与其连为整体的连通受压零部件，具体划定范围为：

1. 容器与外管道连接；
2. 接管、人孔、手孔等的承压封头、平盖及其紧固件；
3. 非受压元件与容器内、外表面的连接焊缝。焊缝以外的元件，如加强圈、支座、支耳、裙座等应符合本标准或相应标准的规定。
4. 直接连在容器上的超压泄放装置应符合本标准附录 E 的规定。连接在容器上的仪表等附件应符合有关标准。

第一节 压力容器的基本要求与主要技术参数

一、基本要求

压力容器除了确保安全运行外，还应满足生产工艺、结构方面的要求，使生产工艺过程得以顺利进行。一般应考虑下列几个基本方面：

（一）选择合适的结构形式

设计容器的第一步往往是确定形式，使之既能完成预定的生产任务，又有较好的经济效益。在选型时，应考虑容器的功用、操作条件（压力、温度、介质特性等）、结构材料、容器的大小、加工制造方法、空间位置等多种因素。对反应容器、换热容器和分离容器等，一般选用圆柱形筒身，两端配以凸形、圆锥形端盖或平盖。对容量较大的贮罐，往往采用球形容器，也可用串接球形容器。贮运容器有时采用椭圆截面的筒身。根据需要，有时也可能选用其他非圆截面（如矩形、马蹄形等）的容器。

（二）合理选择结构材料

选择压力容器用钢材，必须考虑容器的操作条件（如设计温度、设计压力、介质特性等）、材料的力学性能与物理性能、耐腐蚀性能、制造工艺性能（如焊接性能、冷热加工工

艺性能等)、材料的组织与成分。同时还要注意到材料的价格与来源,以保证经济上的合理性。

压力容器受压元件用钢应由平炉、电炉或氧气转炉冶炼。钢材的质量及规格应符合相应国家标准、专业标准(部标)或有关技术条件,并应附有钢厂的钢材质量证明书(或其复印件)。钢材的适用条件(如温度上下限、压力、钢板厚度等)应符合有关规定。设计中,如对钢材有特殊要求时,应在图样或相应技术文件上注明。易燃或有毒介质的容器的受压元件,不得选用沸腾钢制造。

对钢材的检验也应符合有关规定。用于制造高压容器和使用温度 $\leq -40^{\circ}\text{C}$ 的低温容器的钢板,当厚度大于20 mm时,应逐张进行超声波探伤。用于制造使用温度 $> -40^{\circ}\text{C}$ 的低温容器钢板,当厚度超过20 mm时,应进行超声波抽查,抽查数量不应少于所用钢板的20%,且不少于一张。探伤质量应符合有关规定。对用于制造压力容器受压元件的新材料,须经技术鉴定合格。对焊接钢制受压元件所用的焊条、焊丝应符合有关规定。焊接二、三类容器的焊条药皮和焊剂应选用低氢碱性型。

(三) 满足结构强度的要求

压力容器应满足下列各项结构强度的要求:

1. 强度

压力容器的所有零部件(筒体、封头、法兰、支座、开孔补强等)都应按有关规定计算,决定尺寸,以保证有足够的强度。但是,为了保证强度而盲目地增加结构尺寸也是不合理的,这样会造成材料的很大浪费,也使设备显得很笨重。在设计时,通常将各个部件做成等强度,这样最省材料。但是,为安全起见,有时故意使容器中的某一受压元件的强度特别低一些,当容器一旦超载时,这个部件首先损坏,从而可避免整台设备的破坏,这个部件叫超压防护装置。爆破片就是一个实例。

2. 刚度

刚度即构件在外力作用下保持原来形状的能力。若刚度不足,就有可能出现失稳现象。因此,有些构件的尺寸主要决定于刚度而不是决定于强度。在压力容器中有这样的情况,如外压容器、真空容器,其结构尺寸往往决定于刚度。另外,为满足刚度要求,保证容器在运输、安装过程中能保持原来形状,选取最小壁厚必须遵守有关设计规定。

3. 耐久性

压力容器的耐久性,是压力容器设计和使用中一直被注意的问题。耐久性一般指要求的使用年限。一般设计中,预定使用年限为10~15年。对高压容器,因制造成本高,故使用年限一般预定为20~25年,但实际使用年限往往超过这个数字。耐久性往往决定于腐蚀情况。设计时,要根据预定的使用年限和腐蚀速度,给壁厚附加一定的腐蚀裕量。有时压力容器在一定的腐蚀介质条件下,还可能产生应力腐蚀,从而引起压力容器的失效,因此,在设计和使用中应尽量设法避免。在某些情况下,其耐久性(即寿命)还可能决定于压力容器的抗疲劳性能。当压力容器的压力载荷和工作温度呈现周期性变化,或承受周期性的强迫振动时,就要考虑疲劳失效的问题。设计时,要保证在预计的载荷循环次数内,压力容器能安全运行,不出现疲劳破坏。当压力容器的工作温度达到材料的蠕变温度时,则要从蠕变角度进行设计。当压力容器在高温下承受交变载荷时,还要考虑疲劳与蠕变的相互作用。综上所述,根据使用年限(或实际操作循环次数)和腐蚀情况等条件,正确地选用材料,是保证容

器耐久性的重要措施。

4. 密封性

压力容器的密封性能也是关系到能否保证安全运行的一个十分重要的问题。因为压力容器内的物料，很多是易燃、易爆或有毒的物质，如果泄漏出来，不仅造成物料浪费，更重要的是会使操作人员中毒，甚至引起爆炸，造成财产和生命的巨大损失，因此，必须十分重视密封问题。为此，设计时要正确决定密封结构，合理选择密封材料，以保证其密封性能良好。

另外，在压力容器的设计中，还需注意制造、操作和运输等问题。

二、主要技术参数

(一) 最大工作压力与设计压力

1. 最大工作压力 系指在正常工作情况下，容器顶部可能出现的最高压力，用 p_w 表示。

2. 设计压力 系指在相应的设计温度下用以确定容器壳体厚度的压力，亦即标在铭牌上容器的设计压力，用 p 表示。其值不得小于最大工作压力。在我国 GB 150 标准中针对某些具体场合，对设计压力作了如下规定：

(1) 对于盛装液化气体的容器，在规定的充装系数范围内，设计压力应根据操作条件下允许达到的最高金属温度确定。一般对于有保温设施的容器，设计压力不低于在其试验实例的最高温度下的饱和蒸气压力；对于无保温装置的容器，设计压力不低于所装液化气体在 50℃ 时的饱和蒸气压力。

(2) 当容器各部位或受压元件所承受的液柱静压力达到 5% 设计压力时，则应取设计压力和液柱静压力之和进行该部位或元件的设计计算。

(3) 外压容器的设计压力，应取在正常操作情况下可能出现的最大内外压力差。

(4) 真空容器按承受外压设计，当装有安全装置时，设计压力取 1.25 倍的最大内外压力差与 0.1 MPa 两者中较小值；当没有安全控制装置时，取 0.1 MPa。

(5) 由两室或更多室组成的压力容器，如夹套容器，确定设计压力时，应考虑在正常操作情况下各室之间可能出现的最大压力差。

(6) 容器上装有安全泄放装置时，应根据不同泄放装置确定容器的设计压力。

1) 当容器上装有安全阀时，容器的设计压力应不小于安全阀的开启压力，即 $p \geq p_z$ ， p_z ——安全阀的开启压力。

2) 当容器上装有爆破片时，容器的设计压力按下列步骤计算：

① 确定爆破片的最低标定爆破压力 p_{smin} ；其值可根据第九章表 9—6 选取，或由设计者根据成熟经验或可靠数据确定；

② 选定爆破片的制造范围；

③ 计算爆破片的设计爆破压力 p_b

$$p_b = p_{smin} + \text{制造范围负偏差；}$$

④ 计算容器的设计压力 p

$$p \geq p_b + \text{制造范围正偏差。}$$

爆破片的制造范围由各个制造厂自己确定。对于拱形爆破片的制造范围可参考表 9—8。

JB 4732 标准对设计压力的规定与 GB 150 标准基本相同。对安全阀的开启压力规定:

$$p_z = (1.05 \sim 1.1) p_w$$

式中 p_z ——安全阀的开启压力, MPa;

p_w ——容器的最大工作压力, MPa。

当最大工作压力 $p_w < 1.8$ MPa 时, 可适当提高 p_z 相对于 p_w 的比值。

(二) 设计温度

容器的设计温度系指容器在正常工作过程中, 在相应的设计压力下, 设定的受压元件的金属温度 (沿元件金属截面厚度的温度平均值), 即标在铭牌上的设计温度。用 t 表示。

确定容器的设计温度时应注意以下几点:

1. 对常温或高温操作的容器, 其设计温度不得低于元件金属可能达到的最高金属温度。
2. 对 0°C 以下操作的容器, 其设计温度不得高于元件金属可能达到的最低金属温度。
3. 在任何情况下, 元件金属的表面温度不得超过材料的允许使用温度。
4. 安装在室外而且器壁无保温装置的容器, 壁温受环境温度的影响而可能小于或等于 -20°C , 其设计温度一般应按容器使用地区在历年各月、日最低温度月平均值的最小值确定其最低设计温度。

JB 4732 标准, 对设计温度除提出 GB 150 标准中 1、2、3 条要求外, 还指出: 当容器各部分在工作状态下的金属温度不同时, 可分别确定各部分的设计温度。

确定容器设计温度的方法:

1. 对于不被加热或冷却的壁面, 常取介质的最高或最低温度作为设计温度。
2. 对于用蒸汽、热水或其他液体介质加热或冷却的壁面, 应取加热介质的最高温度或冷却介质的最低温度作为设计温度。
3. 对于用可燃气体加热或电加热的器壁, 设计温度应不小于 250°C , 若容器器壁裸露在大气中, 设计温度取 $t = t_m + 20^\circ\text{C}$, 对直接受影响的器壁取 $t \geq t_m + 50^\circ\text{C}$ 。 t_m 为介质的温度。
4. 若热载体温度超过 600°C , 则取 $t \geq t_m + 100^\circ\text{C}$, 但不得低于 250°C 。

(三) 许用应力

许用应力是用材料的各项强度指标分别除以相应的安全系数而得, 并取其中最小值。即

$$[\sigma] = \frac{\text{强度指标}}{\text{安全系数}}$$

常温或中温时:

$$\begin{aligned} [\sigma] &= \frac{\sigma_b}{n_b} & [\sigma] &= \frac{\sigma_b^t}{n_b} \\ [\sigma] &= \frac{\sigma_s}{n_s} & [\sigma] &= \frac{\sigma_s'}{n_s} \end{aligned}$$

式中 $[\sigma]$ ——许用应力, MPa;

σ_b ——常温下材料的抗拉强度, MPa;

σ_s ——常温下材料的屈服点, MPa;

σ_b^t ——设计温度下材料的抗拉强度, MPa;

σ_s ——设计温度下材料的屈服点, MPa;

n_b ——抗拉强度的安全系数;

n_s ——屈服点的安全系数。

当碳素钢或低合金钢的设计温度超过 420℃, 合金钢 (如 Cr—Mo) 超过 450℃, 奥氏体不锈钢超过 550℃ 时, 还必须考虑高温持久强度或蠕变强度的许用应力, 即:

$$[\sigma] = \frac{\sigma_D^t}{n_D} \quad [\sigma] = \frac{\sigma_n^t}{n_n}$$

式中 σ_D^t ——设计温度下材料的持久强度, MPa;

σ_n^t ——设计温度下材料的蠕变极限, MPa;

n_D ——持久强度的安全系数;

n_n ——蠕变极限的安全系数。

我国 GB 150 标准中给出的压力容器钢材的安全系数见表 1—1, 螺栓的安全系数见表 1—2。

表 1—1

钢材安全系数

材 料	强 度 性 能 系 数	常温下最低抗 拉强度 σ_b	常温或设计温 度下的屈服点 σ_s 或 σ_s^t	设计温度下经 10 万小 时断裂的持久强度 σ_D^t		设计温度下经 10 万小时蠕变率为 1% 的蠕变极限 σ_n^t
		n_b	n_s	平均值	最小值	n_n
				n_D		
碳素钢、低合金钢、 铁素体高合金钢		≥ 3.0	≥ 1.6	≥ 1.5	≥ 1.25	≥ 1.0
奥氏体高合金钢		—	$\geq 1.5^{\text{①}}$	≥ 1.5	≥ 1.25	≥ 1.0

①当部件的设计温度不到蠕变温度范围, 且允许有微量的永久变形时, 可适当提高许用应力, 但不超过 $0.9\sigma_s^t$ 。此规定不适用于法兰或其他有微量永久变形就产生泄漏或故障的场合。

表 1—2

螺栓安全系数

材 料	螺栓直径 d/mm	热处理状态	设计温度下屈服点 σ_s 的 n_s	设计温度下经 10 万小时断裂的持久强度 σ_D^t 平均值的 n_D
碳素钢	$\leq M22$	热轧、正火	2.7	1.5
	M24~M48		2.5	
低合金钢、马氏体高合金钢	$\leq M22$	调 质	3.5	
	M24~M48		3.0	
	$\geq M52$		2.7	
奥氏体高合金钢	$\leq M22$	固 溶	1.6	
	M24~M48		1.5	

而 JB 4732 标准中所给出的设计应力强度是总体一次薄膜应力的许用值, 它是根据使用已经成熟材料的短时拉伸性能 (σ_b 、 σ_s) 除以相应的安全系数 (n_b 、 n_s) 而得, 其安全系数如表 1—3 所示:

表 1—3 设计应力强度的安全系数

材 料	常温下最低抗拉强度 σ_b 的 n_b	常温下最低屈服点 σ_s 的 n_s	设计温度下最低屈服点 σ'_s 的 n_s
碳素钢、低合金钢	≥ 2.6	≥ 1.5	≥ 1.5
奥氏体不锈钢	~	≥ 1.5	≥ 1.5 或 $\geq 1.11^*$

* 用于允许有较大变形的容器。

螺栓的设计应力强度为螺栓材料设计温度下的屈服点或 0.2% 屈服强度 σ'_s 除以相应的安全系数 n_s 而得，其安全系数与 GB 150 相同，如表 1—4 所示：

表 1—4 螺栓设计应力强度的安全系数

材 料	螺栓直径 d/mm	热处理状态	设计温度低于蠕变范围
碳素钢	$\leq M22$	热轧、正火	2.7
	M24~M48		2.5
低合金钢 马氏体高合金钢	$\leq M22$	调 质	3.5
	M24~M48		3.0
	$\geq M52$		2.7
奥氏体高合金钢	$\leq M22$	固 溶	1.6
	M24~M48		1.5

(四) 焊缝系数

在焊缝区，由于焊接时可能产生诸如气孔、夹渣、未焊透、咬边、裂纹等缺陷；同时，焊接热影响区往往形成粗大晶粒区而使强度或塑性下降；由于结构的刚性约束，也往往造成粒大的焊接内应力。因此，容器上的焊缝区是强度较弱的地方，为了表示焊缝区材料强度被削弱的程度，所以引进了焊缝系数。焊缝系数是以焊缝强度与母材强度之比值 ϕ 表示的。它与焊缝位置、焊接方法以及检验要求等因素有关。GB 150 标准中规定的焊缝系数选取原则如下：

1. 双面焊或相当于双面焊的全焊透对接焊缝

100% 无损探伤 $\phi = 1.00$

局部无损探伤 $\phi = 0.85$

不作无损探伤 $\phi = 0.70$

2. 单面焊的对接焊缝，沿焊缝根部全长有紧贴基本金属的垫板

100% 无损探伤 $\phi = 0.90$

局部无损探伤 $\phi = 0.80$

3. 单面焊的环向对接焊缝（无垫板）

局部无损探伤 $\phi = 0.70$

不作无损探伤 $\phi = 0.60$

$\phi = 0.60$ 这个系数仅适用于厚度不超过 16 mm，直径不超过 600 mm 的壳体环向焊缝。

有关焊缝开设的位置、坡口形式、焊接方法以及检验等可参阅国家有关规定。

JB 4732 标准中要求受压元件焊缝必须 100% 探伤，取焊缝系数为 1.00，故公式中取消

了焊缝系数。

(五) 厚度附加量

厚度附加量包括两部分，即厚度负偏差和腐蚀裕量，用以下公式表示：

$$C = C_1 + C_2$$

式中 C ——厚度附加量，mm；

C_1 ——钢板或钢管的厚度负偏差，按相应钢板或钢管标准选取，mm；

表1—5和表1—6列出了常用规格钢板和钢管的负偏差，当钢板或钢管的负偏差不大于0.25 mm，且不超过名义厚度的6%时，可取 $C_1=0$ 。

C_2 ——腐蚀裕量，mm。

表 1—5 钢板厚度负偏差 C_1 值

钢板厚度/mm	2.0	2.2	2.5	2.8~3.0	3.2~3.5	3.8~4.0	4.5~5.5
负偏差 C_1 /mm	0.18	0.19	0.20	0.22	0.25	0.3	0.5
钢板厚度/mm	6~7	8~25	26~30	32~34	36~40	42~50	52~60
负偏差 C_1 /mm	0.6	0.8	0.9	1.0	1.1	1.2	1.3

表 1—6 钢管厚度负偏差 C_1 值

钢管种类	壁厚/mm	负偏差/%
碳素钢	≤ 20	15
低合金钢	> 20	12.5
不锈钢	≤ 10	15
	$> 10 \sim 25$	20

对于碳素钢和低合金钢，当介质为空气、水或水蒸气时，取 C_2 不小于 1 mm；对于不锈钢，当介质的腐蚀性极微时，取 $C_2=0$ 。

腐蚀裕量也可以根据介质对材料的均匀腐蚀速率与容器的设计寿命决定：

$$C_2 = K_a B$$

式中 K_a ——腐蚀速率，mm/a；

B ——容器设计寿命，通常取 10~15 年。

也可以根据腐蚀速率直接选取 C_2 ；当材料的腐蚀速率为 0.05~0.1 mm/a 时，单面腐蚀取 $C_2=1 \sim 2$ mm，双面腐蚀取 $C_2=2 \sim 4$ mm；当材料的腐蚀速率小于或等于 0.05 mm/a 时，单面腐蚀取 $C_2=1$ mm，双面腐蚀取 $C_2=2$ mm。

(六) 壁厚

1. 最小厚度

由于常压和低压容器按照强度公式计算出的壁厚较小，给制造和运输带来了困难。为了满足制造工艺要求以及运输和安装过程的刚度要求，对壳体规定了不包括腐蚀裕量的最小厚度。

圆筒的最小厚度 $\delta_{\min}$ 按下列规定确定：

(1) 对于碳素钢和低合金钢

当内径 $D_i \leq 3\,800\text{ mm}$ 时, $\delta_{\min} = \frac{2D_i}{1\,000}\text{ mm}$, 且不小于 3 mm ;

当内径 $D_i > 3\,800\text{ mm}$ 时, $\delta_{\min}$ 按运输和现场制造、安装条件确定。

(2) 对于不锈钢容器, $\delta_{\min} = 2\text{ mm}$ 。

2. 计算厚度 计算厚度是按公式计算得到的厚度, 不包括厚度附加量。

3. 设计厚度 设计厚度是指计算厚度与腐蚀裕量之和。

4. 名义厚度 名义厚度是将设计厚度加上钢材厚度负偏差后向上圆整至钢材标准规格的厚度, 即是图样上标注的厚度。

5. 有效厚度 有效厚度是指名义厚度减去厚度附加量。

第二节 压力容器技术管理与资格认定

一、压力容器的技术管理

压力容器都是在受压状态下工作的, 其工作介质多是易燃、易爆、有腐蚀、有毒的气体或液体, 这就增加了压力容器发生事故甚至灾难性事故的可能性。为确保压力容器的安全运行, 压力容器的技术管理则是一项极为重要的课题。许多工业发达国家都把压力容器(包括锅炉)作为一种特殊设备, 并设立专门的安全监察机构, 对压力容器的设计、制造、安装和使用进行安全监察。

压力容器的技术管理包括压力容器安全监察体制、压力容器设计管理、压力容器制造管理和压力容器的使用管理等四部分。

(一) 压力容器安全监察体制

为保证压力容器的安全生产, 各个国家或地区的压力容器安全管理工作都有一整套的法规和标准体系, 并由政府部门或技术权威的民间组织来实施监督。根据实施者的不同, 大体上可分为三类: 第一类是国家设立统一的监督机构, 把制订规程、设计、制造、使用及检验方面的资格审查等工作统管起来; 第二类是国家设置监督机构, 负责批准标准、设计、制造单位资格审查, 面检验工作由行业性检验机构来完成; 第三类是国家设立专门的监察机构, 由国家承认并有技术权威的机构来承担规程制订和检验工作。

我国对于压力容器的安全监督工作是国家责成质量技术监督部门全权负责, 《锅炉压力容器安全监察暂行条例》是我国实行压力容器安全监察制度的基本法规, 该法规对监察工作的性质、责任和机构等方面作了明确规定。压力容器安全监察机构一般设置到地、市一级, 按照《锅炉压力容器监察暂行条例》有关规定, 除设置压力容器监察机构之外, 还实行监察员制度。县一级虽没有专门的监察机构, 但可以由省级质量技术监督部门任命监察员。监察员与监察机构间的关系是个人与组织的关系, 监察员的工作必须服从监察机构的指示。此外, 监察员只有在质量技术监督部门及监察机构内才享有监察权, 若调离本岗位, 其监察权也将被取消。

安全监察机构的职责是: