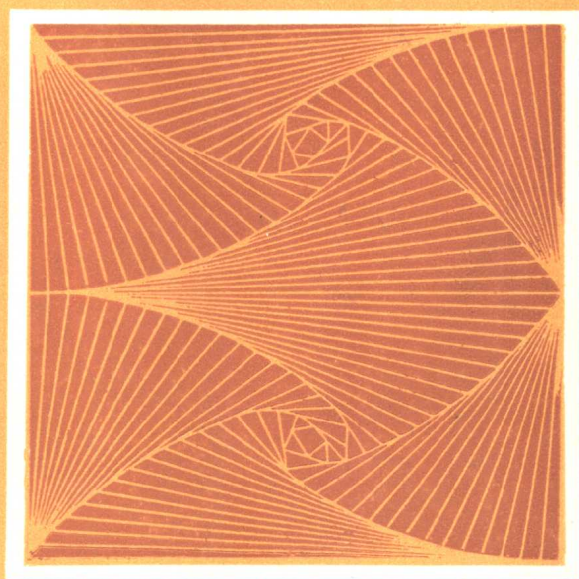


劳动部锅炉压力容器安全监察局审定

压力容器安全技术及事故分析

—压力容器基础知识

王志文 高忠白 邱清宇 编写
张和明 主审



中国劳动出版社

劳动部锅炉压力容器安全监察局 审定

压力容器安全技术及事故分析

——压力容器基础知识——

编写 王志文 高忠白 邱清宇

主审 张和明

江苏工业学院图书馆
藏书章

中国劳动出版社

(京)新登字114号

压力容器

压力容器安全技术及事故分析

——压力容器基础知识——

编写 王志文 高忠白 邱清宇

责任编辑 隋晶 陈泽民

中国劳动出版社出版发行

(北京市朝阳区惠新东街三号)

北京市小店印刷厂印刷装订

新华书店总店科技发行所发行

787×1092毫米 16开 27.625印张 插页1 685千字

1993年12月北京第1版 1993年12月北京第1次印刷

印数：3500册

ISBN 7-5045-1318 0/TQ·017 定价：19.80元

前 言

压力容器是近代工业生产、科学研究的企事业单位和人民生活设施中广泛使用的特种设备，所谓特种设备是由于它的结构形式、操作工艺及具有爆炸危险性而确定的。随着工业的发展和科技的进步，压力容器的应用不仅量大面广、向大型化和组合结构发展，而操作工艺向高温、高压及低温参数发展，其工作介质又具有易燃、易爆、剧毒及强腐蚀的特点。这种设备一旦发生泄漏或爆炸失效事故，就往往给国民经济、人身安全及人民财产造成巨大损失，带来灾难性的恶果。

为确保压力容器的安全经济运行和有效地预防压力容器灾难性失效事故发生，我们各有关方面的人员不仅要给压力容器安全工作给予高度重视，严格执行有关法规、规范及标准，加强安全技术管理；还必须掌握压力容器安全技术，正确分析压力容器破坏形式及其失效因素，以科学的态度采取必要的对策，提高压力容器的安全可靠性能。

《压力容器安全技术及事故分析》一书是劳动部锅炉压力容器安全监察局和锅炉压力容器检测研究中心领导同志提出并组织有较深厚理论知识、又有丰富实践经验的专家编写和审定的。本书主要从压力容器安全分析、使用管理和事故分析的需要出发，阐述了容器的基本结构、受力分析、构造材料等基础知识和设计、制造、使用管理及超压泄放装置的安全技术要求，以及主要破坏形式和事故分析的方法。并对在用压力容器缺陷的安全评定也作了简要介绍。这对进一步提高我国压力容器安全技术水平、作好压力容器安全工作将会起到一定作用。

《压力容器安全技术及事故分析》一书是从事压力容器设计、制造、安装、使用、检验、修理、改造及安全监察等工作常员参阅和人才培训的好教材。

在此，我们向本书的编写及审定者的辛勤劳动表示衷心感谢。

张连海

1993年8月

11003/07
|

目 录

绪论	(1)
第一章 压力容器基础知识	(10)
第一节 容器的基本要求及其分类	(10)
第二节 容器的基本结构与受力形式	(17)
第二章 容器的应力分析	(34)
第一节 薄膜应力与弯曲应力	(34)
第二节 边缘应力与温差应力	(51)
第三节 应力集中与局部载荷	(62)
第四节 法兰、螺栓、垫片系统的受力分析	(74)
第三章 容器材料	(84)
第一节 容器用钢的基本要求	(84)
第二节 影响容器用钢性能的主要因素	(100)
第三节 我国容器常用钢材	(112)
第四节 铸造容器用材料	(135)
第五节 制造容器的有色金属材料	(141)
第四章 容器设计安全技术	(151)
第一节 结构与安全	(151)
第二节 强度设计与安全	(168)
第三节 容器设计的管理	(182)
第五章 容器制造基础	(187)
第一节 容器制造工序简介	(187)
第二节 容器的焊接	(203)
第三节 耐压试验与致密性试验	(213)
第四节 制造缺陷及其防止措施	(217)
第五节 容器制造的管理	(228)
第六章 在用容器的检查与管理	(232)
第一节 容器的安全管理	(232)
第二节 在用容器的定期检验	(236)
第三节 常见缺陷及其检查处理	(240)
第七章 容器超压泄放装置	(258)
第一节 超压泄放装置与安全泄放量	(258)
第二节 安全阀	(266)
第三节 爆破片装置	(285)
第八章 容器的破坏型式	(300)
第一节 容器破坏型式的分类及研究方法	(300)
第二节 容器的韧性破裂	(307)

第三节	压力容器的脆性破裂	(315)
第四节	压力容器的疲劳破裂	(331)
第五节	压力容器的腐蚀破坏与蠕变破坏	(342)
第九章	压力容器破裂事故的诊断与分析导则	(371)
第一节	概述	(371)
第二节	压力容器破裂事故现场的处理与调查	(373)
第三节	压力容器爆炸能量的估算	(377)
第四节	压力容器破坏事故的技术检验与鉴定	(384)
第五节	压力容器破坏事故的综合诊断与分析	(388)
第六节	事故分析实例	(399)
第十章	在用压力容器安全评定	(406)
第一节	压力容器断裂分析概述	(406)
第二节	断裂力学的基本理论	(408)
第三节	压力容器缺陷评定方法	(421)
第四节	压力容器缺陷评定管理及技术发展	(431)

绪 论

压力容器的用途极为广泛,它不仅是近代工业生产和民用生活设施中的常用设备,同时又是一种有潜在爆炸危险的特殊设备。和其它生产装置不同,压力容器发生事故时不仅本身遭到破坏,往往还会破坏周围设备和建筑物,甚至诱发一连串恶性事故,造成人员伤亡,给国民经济造成重大损失。因而压力容器的安全问题,一直受到政府和社会各界的广泛重视,如开展科学研究、制订技术规范、设立专门机构进行安全监督等。本书的重点也就是讨论压力容器的安全问题。

一、压力容器的用途

压力容器广泛应用于工业、农业、军工、民用以及医疗卫生等部门,并在科学研究的许多领域都起着重要的作用。其中又以石油、化学工业应用最为普遍,约占压力容器总数的50%左右。在石油、化学工业和轻工业中,许多化学反应过程都需要在有压力的条件下才能进行,或者要用增高压力的方法来提高反应速度,因此,反应设备多半是压力容器。此外,用以储存、精制、分离、加热或冷却反应介质和反应生成物的各种工艺装置也往往是压力容器。

压力容器可以作为简单的盛装容器,用以储存有压力的气体、蒸气或液化气体,如液氨贮罐,乙烯贮罐等。压力容器也可以作为其它工艺设备的外壳,为化工单元操作(传热、蒸馏、沉降等),纺织品的染整、定型,食品的杀菌消毒等提供必要的压力空间,并将该压力空间与外界大气隔离。这时压力容器不能单独地构成一台设备,它内部必须装入为完成某一工艺操作所需的内件。例如:化肥工业中的氨合成塔、二氧化碳吸收塔、氨分离器、冷热交换器;石油精炼装置中的加氢裂化反应器和各种分馏塔、热交换器;乙烯装置中所用的各种低温压力容器以及聚乙烯装置中的超高压反应釜;漂染工业中的高压染缸;食品工业中的杀菌锅、发酵罐;造纸工业中的烘缸等。这些设备的外壳都是压力容器。

在民用工业中城市居民或企业用的液化石油气罐;工业机械所用的各种蓄能器,如水压机的蓄势器;各种动力机械和制冷机械的辅机——换热器、分离器等都是压力容器。

航天和军事上所用的各类动力火箭的外壳都是高温、高压容器。在海洋和地球物理研究中,为模拟深海和地壳深层的情况需要不同规格的内压和外压容器。如美国在1968年研制了操作压力为70.5MPa的深海试验容器,其内径为3400mm,壁厚为304mm,总重750t,该容器可模拟7000m深海的压力条件。

压力不仅能促进化学反应,还能改变一些物质的物理性能。某些物质经超高压挤压处理,分子间的距离缩小,密度增大,甚至产生分子与原子的变形,使物质的物理性能产生根本的变化。如不导电、无金属光泽的白磷,经1200MPa液压挤压后,就变成能导电、有金属光泽的黑磷。某些金属经超高压处理,其屈服点、导电、导热性能都大大提高。木材经超高压挤压处理,也会具有像金属一样的强度与硬度。总之,超高压技术可以把某些性能低劣

的廉价物质转变为性能优良的昂贵物质，大家所熟知的人造金刚石，人造宝石就是采用超高压技术制成的。

面临世界性的能源危机，许多国家正一方面加紧煤和天然气的开采以代替石油，另一方面则积极发展核能、太阳能等新能源。这些能源装置均需要大量的压力容器。

煤加氢使其气化或液化是能源工业的新分枝。煤加氢装置虽然目前尚处于生产性试验阶段，但是不少煤炭蕴藏量很大的国家——美、苏、澳大利亚等都在大力研究。该装置中的压力容器大多处于高温、高压、氢介质的工作条件下，其设计压力18~25MPa，设计温度450~550℃，个别的温度更高。上述高温高压容器不但工况十分苛刻，由于处理量大其尺寸也大得惊人，其内径可为3000~5000mm，壁厚200~400mm，单机重量可达千吨以上。

近30年来，在发达的工业国家，核能容器获得了迅速的发展。核能容器的出现，标志着压力容器的设计、制造技术达到了一个新的更高的水平。核能容器不仅是同时承受高压高温的厚壁容器（如压水堆容器其工作压力一般为14~16MPa，工作温度250~330℃），而且容器本身还要承受堆芯核裂变时产生的强烈中子流和γ射线辐照，导致材料的冲击韧性和延性的显著下降，使容器发生脆性破坏的可能性增加。此外，为防止容器内的放射性物质泄漏污染环境，对密封结构的可靠性也提出了更为苛刻的要求。总之，核能容器在设计、选材、制造、检验和使用维护等方面都比一般压力容器提出了更高的要求。

蒸汽锅炉也属压力容器，但它是用直接火焰加热的特种受压容器，其设计、选材、运行及维护管理另有专门规定，通常不包括在一般压力容器的范畴之内。

二、压力容器的安全问题

压力容器是国民经济中不可缺少的重要设备，而且也是一种比较容易发生事故的特殊设备。随着工业的发展，压力容器的数量日益增加。并向高参数、大型化和组合结构方向发展。采用厚钢板、深焊缝以及越来越多的采用中、高强度钢制造压力容器，从而增加了容器脆性破坏的危险性。因此，压力容器的安全可靠性问题，也就显得更为重要，并引起了有关方面的密切注意。我国和不少工业国家都设有专门的机构，对它进行安全管理和监督检查，并要求按规定的技术规范进行设计、制造和使用管理。

一般情况下，压力容器的结构并不复杂，承受的又多为静载荷。之所以要对其安全问题特别重视，原因之一是，压力容器内部所容纳的是压缩气体或饱和液体。容器一旦破裂，介质卸压膨胀，瞬间所释放的能量不但会将容器炸飞，还会产生冲击波破坏周围设备和建筑。例如一个压力为1MPa、容积为10m³的压缩空气贮罐发生爆炸，它所产生的冲击波可破坏距其30m之外的门窗玻璃。石油、化工生产中使用的压力容器大多是盛装易燃、易爆或有毒介质，常常还伴随着化学反应。如果发生破坏事故，则不仅容器本身爆炸破裂，还会由于内部介质外泄引起二次爆炸、着火燃烧或毒气弥散的厂毁人亡的恶性事故。如1979年12月，我国某市煤气公司所属液化石油气厂的液化气球罐爆炸，就是先从一只400m³球罐裂纹穿透、破裂开始，液化气泄出，遇明火燃烧。大火使邻近的三台球罐、一台卧式贮罐及五千只液化气瓶温度升高，产生超压爆炸。这次事故使整个罐区遭到破坏，伤亡近百人，直接经济损失数百万元。

压力容器破坏事故率较高的另一原因是，容器上某些局部区域的应力状态复杂而恶劣，

其使用条件和制造要求苛刻。如容器的开孔、接管处和某些结构不连续处的受力状态恶劣，应力水平较高。这些部位常常容易萌生疲劳裂纹成为脆性破坏的发源地。至于使用条件，除承受介质压力外，常伴随着高温、低温或介质腐蚀的联合作用。温度、压力的波动或短期超载又常常是不可避免的。如遇频繁开停工或温度、压力波动则会使容器部件疲劳。

近年来，由于设备大型化而越来越多地采用中、高强度钢制造压力容器。制造中较易产生焊接裂纹，这也是事故率高的又一原因。这些制造时产生并遗留下来的原始裂纹如果再加上疲劳和介质腐蚀等恶劣的操作条件，就会使这些原始裂纹扩展、以致容器破坏。

为提高压力容器的安全可靠，英国原子能局及联合部技术委员会联合进行了事故调查，并于1968年发表调查报告。其调查的对象是使用年限在30年以内，且符合英国压力容器规范的12700台压力容器和大型管道系统。在这12700台容器中有10例事故是在使用前进行水压试验时发生的。这10例事故不包括按工艺规程进行无损探伤，发现缺陷而加以修补的产品。这些容器在100300台·运行年（容器台数和运行年数的乘积）的使用记录中，就记载有132例事故。按事故严重程度可分为损伤事故和灾难性的（指返修工作量很大或要报废的，以及灾难性破坏事故）破坏事故，详见表1。

表 1 英国调查的压力容器破坏率

容 器 数	损伤事故		灾难性事故		总 计	
	次数	破坏率	次数	破坏率	次 数	破 坏 率
12700台 (使用前)	7	5.5×10^{-4}	3	2.3×10^{-4}	10	7.8×10^{-4}
100300台·运行年 (使用后)	125	12.5×10^{-4}	7	0.7×10^{-4}	132	13.2×10^{-4}

表1示出，10000台压力容器在使用过程中每年发生的事故有13.2次，其中灾难性事故为.7次，总的事故儿率为1.32‰。在上述的132件事故中由裂纹而引起的有118件，占总事故的89.3%，其中的一半以上为使用中产生的疲劳裂纹和腐蚀裂纹。在使用后发生的7件灾难性事故中有4件是由于操作不当所引起的。

这个调查以及日本、美国对压力容器和配管事故调查统计都说明按规范设计、制造和检验的压力容器，不论使用前或使用中事故率仍是可观的。如果是粗制滥造或违章操作，破坏率更无法估计。

为提高压力容器的安全可靠，减少事故，各国对断裂力学方面的研究已相当重视。有关压力容器低周疲劳、应力腐蚀、制造材料的正确选择和处理，以及设计、制造、检验、操作控制技术等诸多方面也在进行研究。对压力容器破坏形式及其失效原因剖析，则是从另一角度提出减少事故的措施。综上所述，要提高压力容器的安全可靠牵涉到较多的理论和技巧。而本书仅从压力容器安全分析、使用管理和事故分析的需要出发，阐述容器的基本结构、受力分析、构造材料等基础知识；设计、制造、使用管理中的安全技术要求；安全附件；以及其主要破坏形式和事故分析的方法。对在用压力容器缺陷的安全评定也将作简单介绍。

三、压力容器的安全监察机构

压力容器与锅炉一样，都是具有潜在爆炸危险的受压设备。锅炉及压力容器的安全监察

机构就是为了保障其安全运行而设立的机构，它制定安全监察制度、规程及标准，并保证其执行。

上世纪末及本世纪初，欧美等工业发达国家，由于蒸汽锅炉的爆炸日趋频繁，严重地危及生命财产的安全和企业主的利益。为防止锅炉爆炸，工厂主仍除合资对锅炉设计、制造和材料进行研究外，进行设备检验的专门机构也不断出现。随着工业的发展，这类机构和组织也日益巩固和完善，逐渐成为独立于设备制造厂和用户之外的专业监督检验机构。如美国的“全国锅炉压力容器检验师协会”（NBBI），德国的“技术监督协会”（TÜV），都是国际上较有权威的安全监察机构。

专门监督机构成立以后，其首要任务是立法，统一标准。要让所有的企业都遵守所制定的法规、标准，并必须得到政府部门的支持和认可。因此不少国家的政府部门相继设立了专门机构，以批准这类法规、标准。而有些国家的民间监督机构则经政府部门委托和认可，在某些方面代表政府行使权力。目前，多数国家的监督检验机构已成为既不代表制造厂利益，也不代表用户利益的所谓“第三方”。凡是锅炉、压力容器以及其他有危险的特殊设备（如电梯等）如果未经第三方的检验认可，则不得出厂、不得安装、不得使用、也不许进口。

（一）国外某些安全监察机构简况

目前各工业发达的国家和地区，大都已设立专门的锅炉、压力容器监察管理机构。其中多数为政府部门专设，有些则为政府部门认可并授权的民间技术权威机构。此处仅介绍几个国家的该类机构概况。

1. 美国 各州政府设有监察部门，但权威性的组织是经政府认可的“美国全国锅炉压力容器检验师协会”（NBBI）。它建立于1919年，是由美国各州、市及加拿大部分省的总检验师组成的。NBBI协会的宗旨是通过共同协商以保证承压设备的安全，对锅炉、压力容器设计、制造、安装、检验和修理实行统一管理。该协会的职权包括：编制统一的锅炉、压力容器管理规程和办法；对锅炉、压力容器制造厂进行检查和监督，对按《美国机械工程师学会ASME锅炉及压力容器规范》制造的设备统一颁发钢印；对检查员进行培训，考核，并签发各级检查员证书。

2. 德国“技术监督协会”（TÜV）是由政府认可并受委托的权威性监察机构，它成立于1872年，最初只对锅炉实行技术监督，后来逐步扩大到锅炉、压力容器、升降机、电气装置、可燃气体贮运装置、机车、环境保护等众多方面的安全监督检验。协会除承担具体的检验业务外，还接受政府委托的立法工作和制订规程、标准等工作，对操作人员组织培训、考核以及为制造商、用户和政府部门提供所负责检验、监督范围内的技术咨询。

TÜV协会历史悠久，实力雄厚，其地区性协会分布全国各地，由总部负责监督、鉴定、协调。政府部门对协会的管理，仅限于认可协会章程、工作条例、任免领导和参加某些会议及批准一部分强制性法令、规程、标准，大量的具体工作则委托协会办理。德国的TÜV协会在国际上也享有声誉，它同许多国家的监督检验机构签订有互相承认检验结论的协议。

3. 英国 英国政府设有监察局，而对锅炉压力容器监督、检验的权威组织是“联合部技术委员会”（AOTC）。它是由部分保险公司代表所组成，初建于1905年，1917年改为现名称。该会负责对锅炉、压力容器、电梯等的设计、制造、安装作技术检查和检验，并按某些具体规范（如EEA欧洲自由贸易区规范）的要求检查和鉴定压力容器、运输用槽车、

气瓶等。AOTC委员会还与大多数欧洲国家的监察机构签定了双边监察协定。

4. 日本 劳动省和通产省分别负责锅炉和压力容器的安全监察管理。它主要负责制定法规,颁布政令,批准制造厂。具体监督、检查业务则分别由锅炉协会和高压气体保安协会承担。凡检验不合格的,由行政长官(县官)颁布命令,吊销许可证。这是一种政府机构和民间协会相互配合、补充的管理体制。这两个专业协会的性质,则与美国的NBBI和德国的TüV基本相似。

(二) 我国锅炉压力容器安全监察机构

我国于1956年在原劳动部设立锅炉安全检查局,负责全国的锅炉压力容器安全管理的立法和监督检查工作。现为劳动部锅炉压力容器安全监察局。各省、市、自治区劳动部门也相应地设有锅炉压力容器安全监察机构。它们的主要职权是:(1)制定或参与审定有关锅炉压力容器的安全监察规程、规则、标准;(2)对设计、制造、安装、改造、使用、检验、修理锅炉、压力容器的单位实行监督检查。对合格的设计、制造、安装单位发放许可证,以及对在用压力容器颁发使用证;(3)对检验员、焊工和无损检测人员进行资格考核,并签发证书;(4)参加或进行锅炉、压力容器的事事故调查,提出处理意见。

劳动部门领导的锅炉压力容器检验所,从事具体的监督检验工作,如压力容器产品安全质量监督检验及在用压力容器的定期检验等。

四、压力容器规范简介

(一) 国外某些压力容器规范

1. 美国《NB检查规范》

它是国际上有一定影响的检查规范之一。其主要内容有:美国有权威性的安全监察机构NBBI的职权;督促锅炉、压力容器制造厂建立不低于《ASME锅炉及压力容器规范》技术要求的质量控制制度,检查其质量管理制度的执行情况和产品质量;检查锅炉压力容器的安装质量;对压力容器投产前检查及在用压力容器的定期检查,规定了检查内容和周期;对修理、改造的压力容器验收。此外,对各项检查的内容、程序、人员资格审定及签发各类合格证都有具体规定。

2. 德国技术监督协会《压力容器检查规程》

规程规定的检查督促工作有:对钢材、钢厂的检查;对焊工、无损探伤人员的培训及考核发证;高压容器设计图纸审查;对制造厂质量管理制度的产品的检查;压力容器投产前第一次检验和使用中的定期检验,并规定了检验内容和周期。对经过修理、改造的容器检验内容等也都有规定。

3. 日本《锅炉及压力容器安全规则》

其内容包括:(1)压力容器分类,分为第一种压力容器和第二种压力容器。(2)对制造压力容器的许可,两种压力容器的检查和许可级别有所不同。(3)对容器安装和投产前的检查,获得容器检查证的容器,方可使用,有效期为一年。(4)对在用压力容器的检查,包括定期检查,使用人员培训以及事故报告的有关规定。

4. 美国ASME《锅炉及压力容器规范》

该规范由美国机械工程师学会 (ASME) 和美国国家标准协会 (ANSI) 作为ANSI/ASME出版物联合颁发, 并被确认为美国国家标准。由于它内容较完整, 且修订及时, 在国际上有很大影响。自1914年ASME 锅炉规范问世以来, 经过不断修改、补充、更新和扩大, 至今的1989年版本, 共分十一卷, 其内容包括设计、制造、专用材料、操作方法和维修、检验等。在各卷ASME 规范中, 与压力容器技术关系最为密切的是第Ⅳ卷《压力容器构造规则》。从1968版开始, 第Ⅳ卷分成了两册, 第一册仍称为《压力容器构造规则》, 为原有的“按规则设计”规范, 第二册称为《压力容器构造规则——另一种规则》, 则为“按分析设计”规范。两册规范并存, 都属有效。除此之外, 第Ⅲ卷《核动力装置部件构造规则》。第V卷《无损检验》和第Ⅸ卷《焊接及硬钎焊评定》也都和压力容器技术有关。

5. 英国压力容器规范BS5500

英国标准协会 (BSI) 于1976年颁发了新的压力容器规范BS5500 (1976) 《非直接火加热焊接压力容器规范》, 取代旧版本BS1500《一般用途的熔焊压力容器标准》(1958) 和BS1515《化工及石油工业中应用的熔焊压力容器规范》(1965, 1968)。BS5500 (1982) 是目前英国的一个综合性压力容器技术规范, 其内容包括, 总则、材料、设计、制造及加工工艺, 检查与试验等五章, 并有13个附录。附录中包括应力分析设计方法、受疲劳载荷的容器及低温容器等内容。

6. 日本压力容器规范JIS—B3243和8250

日本的锅炉及压力容器规范多数为日本工业标准JIS, 由主管部门颁发。JIS—B8243《压力容器结构》(1984), 其内容与ASME第Ⅳ卷第一册比较接近, 包括总则、材料、一般压力容器受压元件的设计计算、制造、检验及试验、安全附件等。JIS—B8250《压力容器构造的另一规则》(1983), 是采用以应力分析和疲劳设计为基础的设计计算方法的规范。除此之外, 还有JIS—B3240《冷冻压力容器构造》、JIS—B8249《列管式圆筒形换热器》等规范。

7. 德国AD《受压容器规范》

AD规范是欧洲大陆压力容器规范的典型代表, 由制造厂、用户以及检验部门代表参加的压力容器委员会制订。内容包括, 总纲、材料、设计制造及试验、附件、非金属材料制压力容器、特殊受载情况、操作及检验等。它所包含的许多计算方法不同于ASME《锅炉及压力容器规范》, 而有其独特之处。按AD规范设计的容器壁厚较薄, 材料节省, 设备重量较轻。

(二) 我国压力容器标准及规范

1. 我国压力容器安全监察和管理规程

(1) 我国国务院于1982年2月发布了《锅炉压力容器安全监察暂行条例》(以下简称《条例》), 劳动人事部根据《条例》制订了《锅炉压力容器安全监察暂行条例》实施细则, 并于1982年8月颁布试行。《条例》规定, 各级劳动部门的锅炉压力容器安全监察机构对所有承压锅炉和压力为一个表压以上的各种压力容器实行安全管理和监督检查。监督检查的内容包括锅炉及压力容器的设计、制造、安装、使用、检验、修理、改造等七个方面。

(2) 原国家劳动总局于1981年5月颁发了《压力容器安全监察规程》(以下简称《容

规》),并于1982年4月正式执行。《容规》是一部综合性的压力容器安全监察法规,是从安全技术监督和统一管理方面,对压力容器的材料选用、设计、制造、安装、使用、检验、修理、改造等环节中的主要问题作出基本规定,这些规定是压力容器安全管理最基本的要求,也是一个最低标准。凡是有关压力容器的部颁标准或专业标准,都不得低于《容规》的要求。1990年5月劳动部颁布了经修订的新《容规》,改名为《压力容器安全技术监察规程》。在内容上,保留了原《容规》中行之有效的条款;增加了对有色金属材料、铸、锻压力容器的监督要求;在安全技术监督和管理方面,侧重于安全技术方面的要求,减少管理方面条款;在设计、制造、材料、安全附件等各章,较多的引用已颁布的国家标准的内容,能较好地与现行国家标准协调一致;此外,对适用范围及压力容器分类也作了必要的调整和增添。新《容规》共有九章(共150条)和五个附件,具体内容将在本书的有关章节中阐述。

(3)《在用压力容器检验规程》(以下简称《检规》),于1990年2月由劳动部正式颁布施行。《检规》是我国关于在用压力容器检验的第一个规程,它是《容规》中关于压力容器定期检验的各种要求的完整化和具体化,也是按照最低安全使用即“合乎使用”原则,针对在用压力容器的检验和验收而制订的法规。容器的使用单位、检验单位和检验员都应遵照执行。《检规》共有七章和二附件,其中规定了对在用压力容器的各承压部件和安全附件进行检查和试验的基本要求、内容和程序,以及根据检验结果评定压力容器安全状况等级的界限和基本要求。详细内容将在第六章介绍。

(4)根据《条例》中关于压力容器须经登记注册、取得使用证才能投入运行的规定,我国劳动部制订了《压力容器使用登记管理规则》(以下简称《管规》),并于1989年3月由劳动部正式颁布执行。《管规》对新压力容器和在用压力容器的注册、登记、使用和管理提出了要求;规定了使用登记的条件和程序;并对使用登记工作和使用证的监督管理作了规定。《管规》共有六章、四个附件,更详细的内容将在第六章阐述。

(5)我国劳动部于1990年8月颁发了《压力容器产品安全质量监督检验规则》(以下简称《容器监检规则》),并于1991年7月正式执行。《容器监检规则》是一部关于压力容器产品安全质量监检的法规,它对容器监检工作的适用范围、任务、项目、内容、方法以及监督管理作出了规定,并对监检单位、监检人员和受检单位提出了要求。

2. 国标GB150-89《钢制压力容器》

(1)国家标准GB150-89《钢制压力容器》(以下简称GB150),是全国压力容器标准化技术委员会在国家技术监督局指导下编制的。于1989年2月由国家技术监督局批准,并于同年9月实施。其内容包括压力容器板壳元件设计计算、容器结构要素的确定、密封设计、超压泄放装置的设置,以及容器的制造、检验与验收的要求等;是我国压力容器设计、制造、检验与验收的综合性国家标准;也是确保容器结构强度、结构稳定和结构刚度,以达到安全使用所必须遵循的基本技术法规。共有十章正文和11个附录(其中8个为补充件,3个为参考件)。它的主要特点是:①以理论和实验研究为指导,结合成功的使用经验,并参考可比的外国同类标准,应用近代的分析方法和有限元计算进行校核受压部件作为编制依据。②适用于设计压力为0.1~35MPa,非直接火钢制压力容器的设计、制造、检验和验收。③由压力或其他机械载荷所引起的总体一次薄膜应力,按第一强度理论控制在许用应力以下;对于局部应力(不连续应力、温差应力等),以及它们与总体一次薄膜应力的组

合,则以第三强度理论将其控制在许用值以下。④本标准不强调采用应力分析的方法设计,对容器中存在的一次局部薄膜应力、一次弯曲应力、二次应力以及它们的组合的影响,是通过限制元件结构的某些相关尺寸,或用按分析设计的方法求出的应力增大系数、形状系数等计入算式,而将这些局部应力控制在许用范围内。这种处理方法与美国ASMEⅧ-1和日本JIS B8243等外国同类(按规则设计)标准相同。⑤安全系数值为:当碳钢或低合金钢材料,在蠕变和应力持久破坏温度范围以下时,对常温下的最低抗拉强度取 $n_b \geq 3$;对常温和设计温度下的屈服点取 $n_s \geq 1.6$ 。

在GB150批准并实施之前,我国的压力容器规范是分成设计和制造、检验两类规范,而分别单独出版的。由石油化工总公司、化学工业部、机械工业部联合颁布的《钢制石油化工压力容器设计规定》(以下简称《设计规定》)就是压力容器设计规范,属于制造和检验方面的标准和技术条件则有,JB741-80《钢制焊接压力容器技术条件》,JB754-80《多层压力容器技术条件》,JB2532-80《热套压力容器技术条件》等。GB150就是在这些实施了20多年的标准的基础上,并吸收了国际上同类先进标准的内容而制订的。与《设计规定》相比,有着明显的区别,如①GB150是关于压力容器设计、制造、检验、验收的综合性国家标准,而《设计规定》仅为单一的部级设计规范。②增加了对经营压力容器设计、制造和检验的单位必须经资格认可的规定,并明确规定了各自的职责,这样就可与《容规》中有关的内容协调一致。③除1至9章正文中有程度不同的增删外,另增加了与材料、设计和检验有关的7个附录(均为补充件)正文和补充件皆为必须遵循的规定,如,附录A《材料的补充规定》、附录B《超压泄放装置》、附录D《非圆形截面容器》和附录H《钢制压力容器渗透探伤》等。

(2)对于设计压力高于35MPa至70MPa的压力容器、以及须按应力分析或疲劳分析进行设计的压力容器等则属于《钢制压力容器——另一标准》(在报批中,以下简称《另一标准》)的管辖范围。《另一标准》类似于ASMEⅧ-2《压力容器构造规则——另一种规则》,属于按分析设计的压力容器规范。《另一标准》与GB150是相互独立、共存的,设计者可根据具体情况选用,但不能混同使用。其内容包括压力容器的材料、容器板壳元件设计计算、容器结构要素的确定、法兰连接设计、超压泄放装置的设置、容器的制造、检验及验收,以及分析设计的一般准则、疲劳分析设计方法,实验应力分析等。

3. 国标GB151-89《钢制管壳式换热器》

国标GB151-89《钢制管壳式换热器》(以下简称GB151),是由全国压力容器标准化技术委员会换热器分委员会编制的。1989年2月由国家技术监督局批准,并于同年9月实施。其内容包括,适用范围、结构型式分类、管板等换热器特征性元件的设计计算、换热器各特征性零部件(管束、管箱、浮头等)的结构尺寸的确定,以及制造、检验、验收、安装,试车的要求等;是管壳式换热器设计、制造、检验、验收以及安装、试车的综合性国家标准。共有五章正文和九个附录,其中3个是补充件,6个是参考件,正文和补充件附录是必须遵循的规定,参考件附录是推荐性的。GB151明确规定,换热器的设计、制造、检验与验收除应遵守本标准各项规定外,还必须遵循GB150的要求。这因为管壳式换热器是内部装有传热内件管束的压力容器,因此GB151中对一般压力容器板壳元件的设计、制造等方面,都直接引用GB150标准。

GB151是在实施了多年的《钢制管壳式换热器设计规定》三部标准及JB1147-80《钢制

列管式换热器技术条件》等标准的基础上，并吸收了外国同类先进标准的内容而编制的。与旧标准相比，除各章节的编排和内容有部分变动和增删外，较明显的不同为：（1）不是单一的设计规定，而是包括设计、制造、检验、验收和安装试车的综合标准；（2）GB151将换热器分为I、II两级，I级换热器采用较高级冷拔换热管，适用于容易产生振动的较苛刻工况，II级换热器采用普通级冷拔换热管，适用于一般场合。因此对这两类换热器的管子和管板等的设计、制造就提出了不同的要求。这样就提高了本标准的安全性和经济性；（3）增加了附录C《换热管与管板接头的焊接工艺评定》（补充件）。

4. 国标GB12337-90《钢制球形储罐》

国标GB12337-90《钢制球形储罐》（以下简称GB12337），是由全国压力容器标准化技术委员会提出并归口、由机械电子工业部兰州石油机械研究所起草。1990年5月由国家技术监督局批准，并于1991年2月实施。自该标准实施之日起，原机械工业部、石油工业部、化学工业部标准《球形储罐设计规定》和JB1127-82《钢制焊接球形储罐技术条件》作废。GB12337的内容包括：适用范围、材料、结构（球壳、支柱、拉杆及其相互连接）、球壳及支柱的设计计算、制造、组装、检验与验收的要求等；是钢制球罐设计、制造、组装、检验和验收的综合性国家标准。共有八章和四个附录，其中一个是补充件、三个是参考件。球罐是压力容器，而且是体积较大、制造和组装难度较大的压力容器。因此在GB12337标准的第三章总论的一开始就明确规定，球罐的设计、制造、组装、检验、验收除符合本标准外，还应符合GB150的规定。除此之外，该标准的第二章还列出它所引用的30个国标或行业标准。

5. 其它

除上述外，我国还有不少关于压力容器的行业标准。如：深冷工业中的，JB/TQ711《空气分离设备用有色金属焊接压力容器设计规定》，JB/TQ601《空气分离设备用有色金属焊接压力容器制造规定》；造纸工业中的，ZBY91008《造纸机用铸铁烘缸设计规定》，ZBY91003《造纸机械用铸铁烘缸技术条件》。又如：关于压力容器焊接的最新标准，JB4708—92《钢制压力容器焊接工艺评定》JB/T4709-92《钢制压力容器焊接规程》（取代JBZ/105-73老标准）等。有关压力容器的行业标准多种多样，并不时修订、颁发新的版本，执行时应特别注意。

参 考 资 料

- [1] 全国压力容器标准化技术委员会：GB150-89《钢制压力容器》，学苑出版社，1989。
- [2] 杨海啸编著：压力容器的安全与强度计算，天津科学技术出版社，1985。
- [3] 曹桂馨等编：化工机械技术辞典，华东化工学院出版社，1989。

第一章 压力容器基础知识

第一节 容器的基本要求及其分类

压力容器主要由一个能承受介质压力和其他附加载荷的壳体和必要的附件、连接件和密封件所组成。它可以是没有任何内件而仅作为贮存原料、中间产品或成品的贮存容器,也可以是装有各种不同的内件而分别适合于化学反应、传热或传质等工艺生产过程的容器。但不论是那一种用途的容器,它和其他机器设备一样首先要满足一定的工艺生产要求,即具备一定的生产能力。除此之外,压力容器还要满足以下基本要求,并遵循下述分类规定:

一、容器的基本要求

(一) 运行安全可靠

要使压力容器运行安全可靠,就要从结构上考虑如何满足下列要求:

1. 强度

压力容器的受压元件都应有足够的强度,使其在压力、温度和其他外载荷作用下不发生失效、塑性变形或破裂、爆炸等事故,以确保容器安全运行。但是,若为了保证强度而盲目的增加构件的尺寸或采用高强度的材料也是不合理的,有时甚至是错误的。因为这不但会造成材料的浪费,增加了设备重量或投资,有时还会因构件厚度等尺寸增大而增加了焊接、热处理和产品检验的困难,从而增加了产生制造缺陷的可能性,或造成漏检缺陷。这些漏检缺陷如果在运行中扩大,就会造成容器破裂、爆炸事故。由此可知,盲目增加强度有时反而不安全。

2. 刚度

刚度即构件在外力作用下保持原来形状的能力。有时容器受压元件的设计主要决定于刚度而不是决定于强度。如:容器及管道的法兰,由于刚度不足产生翘曲变形而导致密封失效。

3. 密封

压力容器是一个密闭壳体。其内部有压力的介质又常常是易燃,易爆或有毒物质,其密封是否可靠直接关系到安全生产。压力容器的可拆连接处如产生泄漏,轻则增加原材料及能源的消耗或污染环境,重则引起燃烧、中毒或爆炸,使生产停顿,人员伤亡。

(二) 使用年限

容器的设计使用年限一般为10~12年,对于高压容器等造价高的设备,设计使用年

限常为20年或更长。容器的设计使用年限与其实际使用年限是不同的，如果操作使用和检验、维修得当，则实际使用年限会长得多。一般工业机械的使用寿命决定于金属的磨损和疲劳，而压力容器的使用年限则大多取决于腐蚀。对某些工作温度、压力频繁波动或间歇操作的容器，还取决于疲劳寿命。

(三) 制造、安装、操作、维修及运输方便

压力容器的结构应便于制造、安装和检查，以保证容器质量。在设计时要尽量采用标准化的零部件，以利于提高制造质量和降低成本。容器在结构上还应当考虑到操作方便和便于维修。如：设置尺寸适宜的人孔和检查孔。此外，在容器的外形和尺寸上尚应考虑运输的方便。特别是在采用陆路运输时，设备的直径、长度和重量都要符合铁路或公路运输的规定。

二、压力容器的主要工艺参数

压力容器的工艺参数是根据生产工艺的要求来确定的，也是进行压力容器结构设计和强度设计的主要依据。压力容器的主要工艺参数为压力、温度和直径。下面将分别予以介绍。

(一) 压力

在工程上，习惯于将垂直作用于单位面积上的力称为压力。但是按照物理学的概念，压力只是指垂直作用于物体表面的力，而垂直作用于物体单位面积上的力则应称为压力强度或压强。

压力的单位是由力和面积的单位导出的。在MKS制和SI制中，面积的单位同为平方米，力的单位同为牛顿，所以压力的单位就同为牛顿/米² (N/m²)，或称帕斯卡 (Pa)。它的10⁶倍即兆帕 (MPa=10⁶ Pa=10⁶N/m²) 也较常用。

目前，我国规定采用以国际单位制 (SI制) 为主的国家法定计量单位，其压力单位用帕或兆帕。但工程上尚习惯于MKS制即用公斤力 (kgf) 作为力的单位，用公斤力/厘米² (kgf/cm²) 作为压力的单位，这就常常要进行单位换算。应该注意：力的单位“kgf”和质量的单位“kg”是完全不同的。所谓1kgf就是质量为1kg的物体在纬度为45°的海平面上所受到的重力，其大小为

$$1\text{kgf}=1\text{kg}\times 9.81\text{m/s}^2=9.81\text{N}.$$

因此，1kgf/cm²≈0.1MPa，或10kgf/cm²≈1MPa。此外，工程上还常用大气压和毫米汞柱或米水柱作为压力的单位。1个标准大气压(或物理大气压)等于1.033公斤力/厘米²或760毫米汞柱高或4℃时10.33米水柱高的压力，它是纬度为45°的海平面上的大气压力。工程上为了计算方便常取1工程大气压=1公斤力/厘米²作为压力单位。

容器中的压力是用压力表来测量的，压力表上所指示的压力称为表压力，它是容器中介质的压力和周围大气压力的差值。实际作用于容器器壁的绝对压力应该是表压力值加上容器周围的大气压力。表示绝对压力时，常在压力单位后加“绝对”二字。如压力表上指示的压力为0.6MPa，其绝对压力即近似为0.7MPa(绝对)。

在压力容器的设计、制造、检验的有关规范、标准中经常见到的有最大工作压力、设计压力和公称压力等名称，现将这些压力的定义分述如下。