



高等院校“十一五”规划教材

压力容器安全工程

戴 光 魏安安 李 伟 李晓红 编著

中国石化出版社

[HTTP://WWW.SINOPEC-PRESS.COM](http://www.sinopec-press.com)

高等院校“十一五”规划教材

压力容器安全工程

戴 光 魏安安 李 伟 李晓红 编著

中国石化出版社

内 容 提 要

本书以压力容器的安全分析理论和方法为基础,系统介绍了国内外的相关规范、条例和标准,阐述了压力容器的破坏形式和不安全因素,以及防止事故发生的具体措施,重点介绍压力容器缺陷评定的基本原则和方法、压力容器风险分析及预案。全面深入地介绍了压力容器的无损检测技术的原理、适用范围及检测程序,并给出了应用实例。

本书突出了压力容器安全管理与检测、评价的相关性、实用性和科学性,可作为高等院校过程装备与控制工程、安全、化工及相关工程类专业的教材,也可供压力容器安全管理及无损检测人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

压力容器安全工程 / 戴光等编著. —北京:
中国石化出版社, 2010. 7
高等院校“十一五”规划教材
ISBN 978 - 7 - 5114 - 0455 - 8

I. ①压… II. ①戴… III. ①压力容器 - 安全技术 -
高等学校 - 教材 IV. ①TH490. 8

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2010)第 123214 号

未经本社书面授权,本书任何部分不得被复制、抄袭,或者以任何形式或任何方式传播。版权所有,侵权必究。

中国石化出版社出版发行

地址:北京市东城区安定门外大街 58 号

邮编:100011 电话:(010)84271850

读者服务部电话:(010)84289074

<http://www.sinopec-press.com>

E-mail:press@sinopec.com.cn

北京科信印刷厂印刷

全国各地新华书店经销

*

787 × 1092 毫米 16 开本 12.25 印张 302 千字

2010 年 8 月第 1 版 2010 年 8 月第 1 次印刷

定价:24.00 元

前 言

现代科学和工业生产的迅速发展,一方面为人类提供了更多更好的物质生活条件,另一方面现代化大生产又隐藏着极为严重的灾害隐患,而压力容器则是可能发生这种灾害的特殊设备。因此,国家相关部门对压力容器实行强制的安全管理,颁布了一系列规范、条列和标准,形成了具有中国特色的安全监察和管理体系。

压力容器的安全运行有它的客观规律,只要在压力容器设计、制造和运行的各个阶段都注重它的安全问题,加强安全管理和提高操作人员的安全意识,掌握它的客观规律,了解它是怎样发生破坏及防止事故发生的措施,就会避免或减少压力容器事故的发生。

压力容器安全工程包含的内容很多,为了突出教学的重点和实用性,本书在编写体系、内容和方法上做了一些新的尝试。书中不偏重阐述很深的理论和过多的公式推导,但突出压力容器安全工程的实用知识,并介绍一些安全管理、检测和缺陷分析等技术的新成果。书中重点介绍了国内外新的的相关规范、条例和标准,阐述了压力容器的破坏形式和不安全因素,以及防止事故发生的具体措施。深入地介绍了压力容器缺陷评定的基本原则和方法、压力容器风险分析及预案。突出了压力容器新的无损检测技术的原理、适用范围及检测程序,并给出了应用实例。

本书共分9章,戴光教授编写第1章绪论,第5章压力容器的超压泄压装置,第7章压力容器声发射检测与应用;魏安安教授编写第4章压力容器爆破危害与防止,第8章压力容器缺陷安全评定,第9章压力容器应急预案与事故原因分析;李伟教授编写第3章压力容器缺陷与破坏形式,第6章在用压力容器的安全管理与定期检验;李晓红副教授编写第2章压力容器的应力分析与安全设计。

本书可作为高等院校过程装备与控制工程、安全、化工及相关工程类专业的教材,也可供安全管理及检测人员参考。

由于编著者水平有限和时间仓促,书中难免有不妥之处,恳请读者指正!

编 者

2010年7月

目 录

第一章 绪论	(1)
第一节 压力容器安全的重要性	(1)
第二节 压力容器安全工程的任务	(5)
第三节 压力容器的安全技术监察与规范	(6)
第二章 压力容器应力分析与安全设计	(14)
第一节 压力容器应力分析和变形特点	(14)
第二节 压力容器的安全设计	(22)
第三章 压力容器缺陷与破坏形式	(30)
第一节 压力容器制造缺陷的主要类型	(30)
第二节 压力容器使用过程中产生的缺陷	(34)
第三节 压力容器的破坏形式与预防	(36)
第四章 压力容器爆破危害与防止	(43)
第一节 爆炸分类及压力容器爆破的特点	(43)
第二节 压力容器爆破能量的估算	(44)
第三节 压力容器爆炸的危害	(47)
第五章 压力容器的超压泄放装置	(55)
第一节 超压泄放装置与安全泄放量	(55)
第二节 超压泄放装置——安全阀	(59)
第三节 爆破片	(65)
第四节 爆破片和安全阀的组合使用	(69)
第六章 在用压力容器的安全管理与定期检验	(71)
第一节 压力容器的使用管理	(71)
第二节 压力容器的定期检验	(82)
第三节 压力容器的常规无损检测	(88)
第七章 压力容器声发射检测及应用	(92)
第一节 概述	(92)
第二节 声发射表征参量与源定位	(95)
第三节 声发射检测仪器	(103)
第四节 压力容器声发射检测方法	(105)
第五节 典型压力容器和常压储罐声发射检测应用实例	(112)
第八章 压力容器缺陷安全评定	(120)
第一节 断裂力学理论基础	(120)
第二节 在用压力容器缺陷评定方法	(139)
第九章 压力容器应急预案与事故原因分析	(156)
第一节 事故预防措施与应急准备	(156)

第二节 应急处置及救援 (158)

第三节 警报解除与事故调查 (162)

第四节 压力容器失效分析的目的、意义和要求 (163)

第五节 压力容器常见失效形式及原因 (164)

第六节 压力的失效分析试验和检测技术 (178)

第七节 失效分析方法 (181)

第八节 失效分析主要步骤 (183)

第九节 压力容器失效分析案例 (184)

第一章 绪 论

第一节 压力容器安全的重要性

一、压力容器定义及其分类

1. 压力容器定义

压力容器是内部或外部承受气体或液体压力，并对安全性有较高要求的密闭容器。一般泛指在工业生产中用于完成反应、传质、传热、分离和储存等生产工艺过程的设备。

在《特种设备安全监察条例》中，压力容器其范围规定为最高工作压力大于或者等于 0.1MPa(表压)，且压力与容积的乘积大于或者等于 $2.5\text{MPa} \cdot \text{L}$ 的气体、液化气体和最高工作温度高于或者等于标准沸点的液体的固定式压力容器和移动式压力容器；盛装公称工作压力大于或者等于 0.2MPa(表压)，且压力与容积的乘积大于或者等于 $1.0\text{MPa} \cdot \text{L}$ 的气体、液化气体和标准沸点等于或者低于 60°C 液体的气瓶、氧舱等。

2. 压力容器分类

压力容器的分类方法有很多种，主要按压力等级、在生产中的作用、安装方式和安全技术管理等方面进行分类。

1) 按压力等级分类

根据我国《固定式压力容器安全技术监察规程》可将这类压力容器分为四个压力等级：

低压(设计压力为 $0.1 \sim 1.6\text{MPa}$ ，代号 L)；

中压(设计压力为 $1.6 \sim 10\text{MPa}$ ，代号 M)；

高压(设计压力为 $10 \sim 100\text{MPa}$ ，代号 H)；

超高压(设计压力大于 100MPa ，代号 U)。

2) 按在生产中的作用分类

压力容器按用途分为反应压力容器(R)、传热压力容器(E)、分离压力容器(S)和储运压力容器(C，球罐代号为 B)。

(1) 反应压力容器：主要用来完成工作介质的物理、化学反应的压力容器称为反应压力容器，如反应器、发生器、聚合釜、合成塔、变换炉等；

(2) 传热压力容器：主要用来完成介质的热量交换的压力容器称为传热压力容器，如热交换器、冷却器、加热器等；

(3) 分离压力容器：主要用来完成介质的流体压力平衡、气体净化、分离等的压力容器称为分离压力容器，如分离器、过滤器、集油器、缓冲器、洗涤塔等；

(4) 储存压力容器：主要用来盛装生产和生活用的原料气体、液体、液化气体的压力容器称为储存压力容器，如储槽、储罐等。

3) 按安装方式分类

压力容器按安装方式可分为固定式压力容器和移动式压力容器。

固定式压力容器是指安装在固定位置使用的压力容器。这类压力容器有固定的安装地点和使用地点，工艺条件和操作人员比较固定，压力容器一般是用管道与其他设备相连。因此，在石油和石化企业的生产装置中使用的是固定式压力容器，这类压力容器也是本书的主要研究对象。

移动式压力容器是指与走行装置(铁路罐车)、定型底盘或半挂行走机构(汽车罐车、长管拖车、管束集装箱)、框架(罐式集装箱)为永久性连接的适用于铁路、公路、水路或其联运的运输设备中的压力容器罐体。

4) 压力容器的安全管理

为了有区别地对安全要求不同的压力容器进行技术管理和监督检查，包括设计图纸的备案与审批、压力容器制造厂资格的审查、日常使用中的检验与上报以及某些技术条件要求的差别，我国根据压力容器工作压力的高低、介质的危害程度以及在生产过程中的重要作用，将压力容器分为三大类，即一类压力容器、二类压力容器、三类压力容器。其中三类压力容器最为重要，安全性要求也最为严格。具体分类条件如下：

(1) 压力容器(下列第 2、3 款规定的除外)为第一类压力容器。

(2) 下列情况之一者为第二类压力容器：

- ① 中压压力容器(下列第 3 款规定的除外)；
- ② 易燃介质或毒性程度为中度危害介质的低压反应压力容器和储存压力容器；
- ③ 毒性程度为极度和高度危害介质的低压压力容器；
- ④ 低压管壳式余热锅炉；
- ⑤ 搪玻璃压力容器。

(3) 属于下列情况之一者为第三类压力容器：

① 毒性程度为极度和高度危害介质的中压压力容器及 $P \cdot V \geq 0.2 \text{ MPa} \cdot \text{m}^3$ 的低压压力容器；

② 易燃或毒性程度为中度危害且 $P \cdot V \geq 0.5 \text{ MPa} \cdot \text{m}^3$ 的中压反应压力容器及 $P \cdot V \geq 10 \text{ MPa} \cdot \text{m}^3$ 的中压储存压力容器；

③ 高压、中压管壳式余热锅炉；

④ 高压压力容器。

上述分类中的所谓极度危害(Ⅰ级)指最高容许浓度 $< 0.1 \text{ mg/m}^3$ ；高度危害(Ⅱ级)为 $0.1 \sim 1.0 \text{ mg/m}^3$ ；中度危害(Ⅲ级)为 $1.0 \sim < 10 \text{ mg/m}^3$ ；轻度危害(Ⅳ级)为 $\geq 10 \text{ mg/m}^3$ 。易燃介质是指与空气混合的爆炸下限 $< 10\%$ ，或爆炸上限和下限之差值 $> 20\%$ 的气体，如甲胺、三甲胺、甲烷、乙烷、丙烷、丁烷、氯甲烷、环氧乙烷、环丙烷、乙烯、丙烯、丁烯、丁二烯、氢等。

总之，各种不同的分类方法都是从各个不同需要的角度来考虑的。但从使用的角度考虑，常把压力容器分为两大类，即固定式压力容器和移动式压力容器。这两类压力容器由于使用情况不同，对它们的技术和安全管理要求也不一样，如移动式压力容器使用时不仅承受内压或外压载荷，搬运过程中还会受到由于内部介质晃动引起的冲击力，以及运输过程带来的外部撞击和振动载荷，因而在结构、使用和安全方面均有其特殊的要求。我国和国外许多国家对这两类压力容器都分别制定有不同的管理章程和技术标准、规范等。

二、压力容器事故

压力容器是国民经济各个部门和人民生活中广泛使用的一类特种设备。它们大多数是在高温、高压、低温、疲劳及腐蚀性介质等苛刻工况下运行。压力容器由于失效而造成严重后果的称为压力容器事故，事故的后果包括人员伤亡、设备和厂房破坏等。

压力容器事故是根据事故造成的人员伤亡、直接经济损失、中断运行时间、受事故影响人数等情况，划分为特重大事故、重大事故、较大事故和一般事故四级：

1. 压力容器特别重大事故

有下列情形之一的，为特别重大事故：

(1) 事故造成 30 人以上死亡，或者 100 人以上重伤(包括急性工业中毒，下同)，或者 1 亿元以上的直接经济损失的；

(2) 压力容器有毒介质泄漏，造成 15 万人以上转移的。

2. 压力容器重大事故

有下列情形之一的，为重大事故：

(1) 事故造成 10 人以上 30 人以下死亡，或者 50 人以上 100 人以下重伤，或者 5000 万元以上 1 亿元以下直接经济损失；

(2) 压力容器有毒介质泄漏，造成 5 万人以上 15 万人以下转移的。

3. 压力容器较大事故

有下列情形之一的，为较大事故：

(1) 事故造成 3 人以上 10 人以下死亡的，或者 10 人以上 50 人以下重伤的，或者 1000 万元以上 5000 万元以下的直接经济损失的；

(2) 压力容器发生爆炸的；

(3) 压力容器有毒介质泄漏，造成 1 万人以上 5 万人以下转移的；

4. 压力容器一般事故

有下列情形之一的，为一般事故：

(1) 事故造成 3 人以下死亡，或者 10 人以下重伤，或者 1 万元以上 1000 万元以下直接经济损失的；

(2) 压力容器有毒介质泄漏，造成 500 人以上 1 万人以下转移的；

除上述规定外，国务院特种设备安全监督管理部门可以对一般事故的其他情形做出补充规定。

按照压力容器损失的程度，也有文献将事故分为爆炸事故、重大事故和一般事故三类：

(1) 爆炸事故。压力容器在使用中发生破裂，使压力瞬间降为大气压的事故。事故发生时，设备中所蕴藏着的巨大能量瞬间释放完毕的过程即为爆炸。

爆炸事故不但事故设备被毁，而且还波及周围的设备、建筑和人群。其爆炸所直接产生的碎片能飞出数百米远，并能产生巨大的冲击波，其破坏力与杀伤力极大。

(2) 重大事故。压力容器的受压部件或其他主要部件严重损坏，被迫停止运行，需进行大修的事故属于重大事故。其与爆炸事故的重要区别就是：压力不是瞬间降到大气压，而是存在一个泄压过程。

压力容器的重大事故发生后，工作介质外溢又可能造成大量的伤亡。如压力容器中的有毒物质的大量外溢(液氯、液氨等)，变成毒气迅速扩散，会造成大量人畜中毒的恶性事故。

而可燃性物质的大量泄溢，还会引起重大的火灾和二次爆炸事故，后果也十分严重。

(3) 一般事故。部件有损坏但不严重。一般不需要停止运行进行修理的事故。这与重大事故的主要区别在于：受压元件或其他主要部件是否损坏，是否需要立即进行大修。

随着我国持续加强对压力容器设计、制造和运行过程的严格管理，压力容器爆炸事故从 20 世纪 70 年代的 200 起/年，降低到 20 世纪 90 年代初期的 90 起/年，但安全形势仍不容乐观。近几年爆炸事故再度上升，恶性爆炸和毒气泄漏事故时有发生。

据不完全统计，2000 ~ 2005 年期间，我国发生了数百起压力容器爆炸事故。在这些事故中，由于设计方面原因的占 22.1%，由于制造方面原因的占 27.8%，由于失检失修原因的占 20.8%，由于超负荷使用原因的占 14.3%，由于错误操作原因的占 8.8%，其他方面原因占 6.1% 左右。2000 ~ 2005 年的压力容器爆炸事故中，由于设计、制造及安装质量低劣的原因占二分之一左右，其中大部分是 1985 年以前的产品，先天性的缺陷比较严重。提高、保证压力容器的设计、制造及安装质量，这是解决先天性缺陷、降低事故、保证安全使用的关键。

三、压力容器事故产生的原因

压力容器一般承受静止而比较稳定的载荷，不像转动机械那样容易因磨损而失效，也不像高速发动机那样承受高周反复载荷，但为什么它的故事率比较高呢？从技术和安全管理角度分析，主要有以下几方面的原因：

1. 工作条件恶劣

压力容器一般在较高的压力下工作，有时还处于高温或低温下工作，有的压力容器还盛有毒、易燃、易爆或腐蚀性介质，这些介质对压力容器的安全运行和使用寿命影响很大，如压力容器的晶间腐蚀和应力腐蚀等。一旦压力容器在运行过程中损坏或泄漏，除了造成爆炸事故外，还可能发生由于内部介质向外扩散，引起化学爆炸、着火燃烧、有毒气体污染环境。如果发生爆炸等事故，将在瞬间猛烈地释放出巨大的能量，其摧毁力是惊人的，后果不堪设想。

2. 局部应力比较复杂

压力容器的结构虽然简单，但受力情况较复杂，特别是设备开孔附近和结构不合理处，会引起各种不同的附加应力，有的甚至会引起应力集中。此外，还受到循环应力作用，产生低周疲劳。另外由于高、中、低压设备的高温或深冷压力容器，在设计、选材、制造、检验及使用管理上存在问题，容易隐藏危险性的缺陷，在一定条件下会发生爆炸事故。

3. 容易产生超压

压力容器在运行过程中超载，主要有以下几方面的原因：

(1) 自身不产生压力的压力容器，由于以下情况可能产生超压：

- ① 输入气量大于输出气量；
- ② 管道被异物堵塞(包括腐蚀产物)；
- ③ 阀门操作失误。

(2) 较高压力系统的介质进入较低压力系统，使压力容器形成超压。

(3) 压力容器装料过量产生超压。装液过量可能会使器内在较低的温度时即被液体所充满。随着环境温度升高，不仅使饱和蒸汽压增大，而且因液体体积增大，挤占气相空间，形成满液并引起超压。

(4) 反应器中产物的化学反应剧烈，当操作失控时可能产生超压。

4. 管理方面的原因

(1) 压力容器管理操作不符合要求。企业不配备或缺乏懂得压力容器专业知识和了解国家对压力容器的有关法规、标准的技术管理人员。压力容器操作人员未经必要的专业培训和考核，无证上岗，极易造成操作事故。

(2) 压力容器管理处于“四无”状态。即一无安全操作规程，二无压力容器技术档案，三无压力容器持证上岗人员和相关管理人员，四无定期检验管理，使压力容器和安全附件处于盲目使用、盲目管理的失控状态。

(3) 擅自改变使用条件，擅自修理改造。经营者无视压力容器安全，为了适应某种工艺的需要而随意改变压力容器的用途和使用条件，甚至带“病”操作，违规超负荷超压生产等造成严重后果。

(4) 地方政府的安全监察管理部门和相关行政执法部门管理不到位。安全监察管理部门和相关行政执法部门的工作未能适应经济的发展，特别是规模小、分布广的民营和私营企业的急增，使压力容器的安全监察管理存在盲区和管理不到位的现象，助长了压力容器的违规使用和违规管理。

四、压力容器事故的危害性

压力容器的用途十分广泛，它是在石油化学工业、能源工业、科研和军工等国民经济的各个部门都起着重要作用的设备。压力容器一般由筒体、封头、法兰、密封元件、开孔和接管、支座等部分构成容器本体。此外，还配有安全装置、控制仪表及完成不同生产工艺作用的内件。压力容器由于密封、承压及介质等原因，容易发生爆炸、燃烧起火而危及人员、设备和财产的安全及污染环境事故。压力容器爆炸时，可能造成以下严重后果：

- (1) 冲击波破坏建筑物、设备或直接伤人；
- (2) 碎片伤人或击穿设备；
- (3) 器内介质外溢，产生连锁反应，造成环境污染。

压力容器事故造成的破坏，不仅使工厂停产、污染环境和影响社会安定，而且还会使国家和人民的生命财产造成难以估量的损失。因此，对压力容器安全问题的研究具有重要的意义。

第二节 压力容器安全工程的任务

现代科学和工业生产的迅速发展，一方面为人类提供了更多更好的物质生活条件，另一方面现代化大生产又隐藏着极为严重的灾害，而压力容器则是容易发生这种灾害的特殊设备。因此，必须针对压力容器的全寿命过程采取科学而有效的安全措施，如图 1-1 所示。在压力容器全寿命过程中，特别要防止它在运行过程中发生爆炸事故。这主要是因为压力容器常含有易燃易爆介质，在操作状态下，不仅承受较高的压力，同时还经常处于高温或低温状态。在这样苛刻的工况条件下，压力容器一旦发生爆炸，瞬间猛烈地释放出巨大的能量，其摧毁力是惊人的。

压力容器的事故率虽然比较高，但这并不是说压力容器发生事故是不可避免的。压力容器的安全运行有它的客观规律，只要在压力容器全寿命过程的各个阶段都注重它的安全问

题，加强安全管理和提高操作人员的安全意识，掌握它的客观规律，了解它是怎样发生破坏及防止事故发生的措施，就会避免或减少压力容器事故的发生。

压力容器安全工程的任务就是要了解国内外的相关规范和标准，以压力容器的安全分析为中心，研究它的各种破坏形式和不安全因素，以及防止事故发生的具体措施和现代化的检测、评价方法。

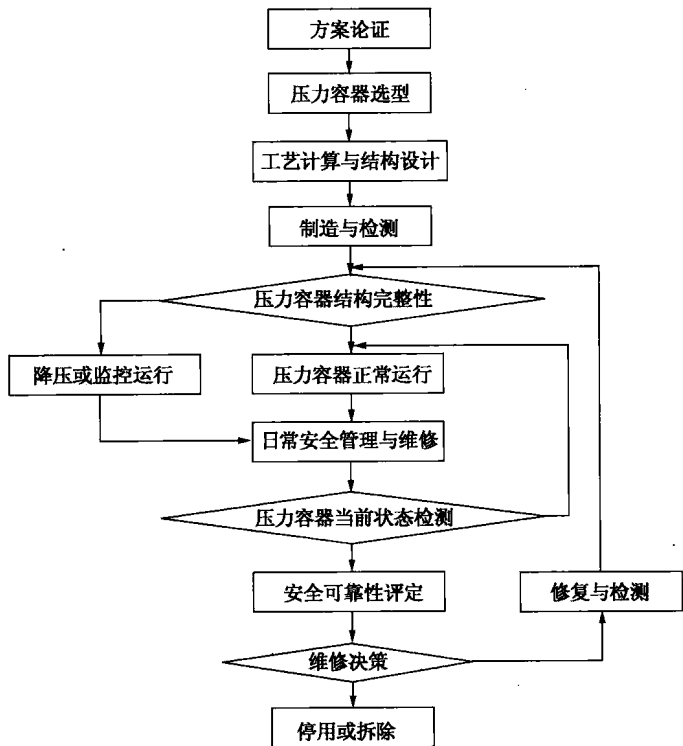


图 1-1 压力容器全寿命过程图

第三节 压力容器的安全技术监察与规范

一、压力容器安全技术监察

1. 国外情况

由于压力容器是工业中广泛使用的特殊设备，一旦使用不当或压力容器有害缺陷未做及时处理，就有可能发生爆炸和介质泄漏事故，造成巨大的财产、环境损失和人员伤亡，如印度博帕尔毒气泄漏事故和英国的弗利克斯巴勒化工厂的大爆炸事故等。重大恶性事故的不断发生，使人们对压力容器的安全问题倍加关注，美国、加拿大、日本、欧盟及其成员国德国、法国和英国等工业发达国家都将压力容器作为特种设备进行专门的监察管理，制定了专项法律和有关法规，并设立专门机构进行行政监督管理，形成了基本相同的管理模式。

由于各国在政治体制、管理历史和文化背景上的差异，因而负责特种设备管理的机构也各不相同，大部分国家把特种设备集中在一个部门进行统一的监督管理，少数国家分散在几个部门进行管理。

承压设备是压力容器、压力管道、承压附件、压力锅炉等以流体压力为基本载荷的设备总称,广泛应用于石油、化工、食品、制药、航空航天、能源等领域。为建立欧盟统一的承压设备市场,消除承压设备在欧盟各成员国之间的技术性贸易壁垒,提高欧盟产品在国际上的竞争力,欧盟颁布了一系列与承压设备有关的指令和标准,如《简单压力容器指令》、《承压设备指令》、《非火焰接触压力容器》等。这些指令和标准是继 ASME 锅炉压力容器规范后又一在世界上有重要影响的承压设备规范标准。欧盟承压设备法规体系是由 EC 指令(EC Directives)和协调标准(Harmonised Standards)共同构成的。EC 指令是欧盟各成员国制定相关法律的指南。EC 指令颁布后,成员国必须在一定时间内把指令中规定的内容转化为本国的法律或法规,并在指令规定的期限内执行。

在美国,锅炉、压力容器如何监管完全由各个州立法机关自行决定。当地立法机关通过立法规定用于监管锅炉与压力容器制造、安装、使用、检查、修理和改造的管理要求和基本安全标准,并授权成立专门的监管机构强制执行。

美国最早的是马萨诸塞州于 1907 年 8 月 30 日有了管理锅炉的法规。各州监管的锅炉主要分为高压和低压两种,最大允许工作压力大于 15psi^① 为高压锅炉,否则为低压锅炉。不管是高压锅炉还是低压锅炉,通常都是在各州法规监管的范围之内,但监管程度不同。压力容器通常则是最大允许工作压力大于等于 15psi 才属于监管的范围。

承压设备定期检查周期在各个州是不同的,取决于各地法规的规定。压力容器的定期检查周期从 1 年一次到 5 年一次不等,也可申请延长检查周期。

由于历史性原因,锅炉、压力容器的安全性能始终依靠锅炉、压力容器监管机构来保证。美国各州通用的锅炉、压力容器标准是 ASME 锅炉与压力容器规范,ASME 规范包含了控制锅炉与压力容器在设计、制造、检查等方面安全标准。

美国锅炉、压力容器事故统计是从 1991 年开始进行的。美国国家锅炉压力容器检查协会(NB)在每年夏季公报上公布上一年度事故统计报告。这些数据是从各成员单位的监管机构以及制造检查机构填报的锅炉、压力容器事故报告中统计整理得到的。根据事故产生的原因,从设计、制造、安装、修理、使用、维护保养各环节到设备的安全阀、控制装置、锅炉燃烧器等主要附件原因进行分类。

从 1992 年至 2002 年的 11 年时间,美国锅炉、压力容器事故总计发生了 25001 起。平均每年大约 2273 起。锅炉、压力容器事故中的死亡人数共 132 人,平均每年 12 人;受伤人数共 739 人,平均每年大约 67 人。这 11 年的事故统计中,不管是从事故发生宗数,还是从锅炉、压力容器事故受伤或死亡的人数来看,2002 年都是最少的,共死亡 5 人,受伤 22 人,事故 1663 起。发生锅炉、压力容器事故宗数最多的一年是 2000 年,共发生锅炉、压力容器事故 2686 宗。锅炉、压力容器事故中死亡人数最多的一年是 1999 年,死亡 21 人。

2. 国内情况

我国在研究国际上工业发达国家特种设备的法律、法规和规范标准体系的基础上,并结合我国特种设备安全技术法规和标准体系的实际情况,建立了我们国家的特种设备安全监察规范标准体系。

特种设备是指涉及生命安全、危险性较大的承压和载人设备、设施。压力容器是一种应用面广和重要的特种设备,因此,也在特种设备安全规范标准体系的监督之中。

^①1 psi = 6895 Pa。

为了防止事故的发生，我国设立了特种设备安全监察机构，并相继颁布了一系列特种设备安全监察法规。1955 年，在原劳动部设立锅炉安全检查总局，开展了对锅炉、压力容器、起重机械等特种设备的监督管理工作。1960 年制定了第一个特种设备安全监察规范，即第一版的《蒸汽锅炉安全监察规程》。1982 年，国务院颁布了《锅炉压力容器安全监察暂行条例》。2003 年，国务院公布了《特种设备安全监察条例》。2009 年，国务院通过关于修改《特种设备安全监察条例》的决定，并于 2009 年 5 月 1 日起施行。

对于锅炉压力容器等特种设备的安全法规，我国目前主要是依据《特种设备安全监察条例》。此外，省、自治区、直辖市人大常委会按照《立法法》，根据本行政区域的特种设备安全的具体情况和实际需要，在不与宪法、法律、行政法规相抵触的前提下，制定地方性特种设备安全监察法规。特种设备安全监督管理部门根据法律和国务院的行政法规、决定、命令，在本部门的权限范围内，制定规章。

目前，在《特种设备安全监察条例》框架体系下，已形成了 4 个层次的特种设备安全监察规范标准体系结构。

(1) 行政法规

包括国务院《特种设备安全监察条例》和省、自治区、直辖市、地级市人大通过的条例。

(2) 部门规章

按照《立法法》，以部门首长签署部门令予以公布的并经过一定方式向社会公告的“办法”、“规定”等等。目前以“部门令”形式发布的特种设备规章有 7 个，如《特种设备质量监督与安全监察规定》、《特种设备作业人员监督管理办法》等。另外，还有以省、自治区、直辖市政府行政首长签署命令予以公布的“办法”、“规定”等。

(3) 安全技术规范

安全技术规范是指《特种设备安全监察条例》所规定的、国务院特种设备安全监督管理部门制定并公布的安全技术规范。它包括规定强制执行的特种设备安全性能和相应的设计、制造、安装、修理、改造、使用管理规定和检验检测方法，以及许可、考核条件、程序的一系列规范性文件，包括有关的管理规则、核准规则、考核规则及程序规定和有关的安全技术监察规程、技术检验规则、审查评定细则、人员考核大纲等。目前已有《蒸汽锅炉安全技术监察规程》、《固定式压力容器安全技术监察规程》等特种设备安全技术规范 80 余项。

(4) 引用的相关标准

引用的相关标准是指一系列与特种设备有关的经法规、规章或安全技术规范引用的国家标准和行业标准。这些被安全技术规范所引用的标准，具有与安全技术规范同等的法律效力，具有强制属性，并成为安全技术规范的组成部分。因此，可以说引用标准是特种设备安全技术规范的技术基础。如 GB150《钢制压力容器》、GB/T12241《安全阀一般要求》、GB5306《特种作业人员安全技术考核管理规则》等。目前，与特种设备有关的标准，包括特种设备产品标准、材料标准、性能标准、检测方法标准等共有 2000 余项。

二、我国压力容器常用法规和标准简介

在市场经济体制和国际形势以及 WTO 规则的要求下，通过吸取国际上工业发达国家的经验，以及对特种设备的法律、法规和标准体系进行系统研究，并结合我国特种设备安全技术法规和标准体系的实际情况，建立“以法律法规为依据、以安全技术规范为主要内容、以技术标准为基础”的特种设备安全监察规范标准体系已初步形成。

1.《特种设备安全监察条例》

在《特种设备安全监察条例》中，纳入我国特种设备安全监察范围的有锅炉、压力容器、压力管道、电梯、起重机械、客运索道、游乐设施、场(厂)内机动车辆。

《特种设备安全监察条例》是我国第一部关于特种设备安全监督管理的专门法规。这部条例规定了特种设备设计、制造、安装、改造、维修、使用、检验检测全过程安全监察的基本制度。自2003年起施行以来，这部条例对于加强特种设备的安全管理，防止和减少事故，保障人民群众生命、财产安全发挥了重要作用。

但是，随着我国经济社会的发展，锅炉、电梯、客运索道、大型游乐设施等特种设备数量急速增长，其节能管理和安全管理问题日益突出，需要对《特种设备安全监察条例》进行修改，明确特种设备事故调查处理的相关制度，落实并加强特种设备节能减排的措施和相关制度。

根据节能减排的要求，2009版《特种设备安全监察条例》增加高耗能特种设备节能管理的规定。为了满足特种设备节能减排工作的实际需要，条例在特种设备设计、制造、使用、检验检测等环节，增加了有关特种设备节能管理的相关规定：

(1) 规定特种设备生产、使用单位应当建立健全特种设备安全、节能管理制度和岗位安全、节能责任制度。同时，明确特种设备生产、使用单位的主要负责人应当对本单位特种设备的安全和节能全面负责；

(2) 根据节能减排需要技术和资金支持的特点，明确提出国家鼓励特种设备节能技术的研究、开发、示范和推广，促进特种设备节能技术创新和应用，并规定特种设备生产、使用单位和特种设备检验检测机构保证必要的安全和节能投入；

(3) 从特种设备生产环节强化对特种设备能效的管理，规定特种设备生产单位对其生产的特种设备的安全性能和能效指标负责，不得生产不符合能效指标的特种设备；

(4) 从使用环节严格对特种设备使用单位和作业人员的管理，规定特种设备使用单位应当对特种设备作业人员进行特种设备安全、节能教育和培训，保证特种设备作业人员具备必要的特种设备安全、节能知识；

(5) 加强对特种设备的检验检测和日常安全监察，规定特种设备检验检测机构进行特种设备检验检测，发现能耗严重超标的，应当及时告知特种设备使用单位，并立即向特种设备安全监督管理部门报告；特种设备安全监督管理部门发现在用的特种设备不符合能效指标的，应当发出特种设备安全监察指令责令使用单位及时予以纠正。

在特种设备事故的预防和调查处理方面也有相关的规定：

(1) 根据特种设备事故所造成的人员伤亡、直接经济损失、中断运行时间、受事故影响人数等情形，将特种设备事故分为特别重大事故、重大事故、较大事故和一般事故4级；

(2) 根据特种设备事故的特点，规定应急预案、应急演练和事故分析及评估制度，规定特种设备使用单位应当制定事故应急专项预案，并定期进行事故应急演练。同时，特种设备安全监督管理部门应当对发生事故的原因进行分析，并根据特种设备的管理和技术特点、事故情况对相关安全技术规范进行评估；需要制定或者修订的，应当及时予以制定或者修订；

(3) 完善事故报告制度，规定县级以上特种设备安全监督管理部门接到事故报告，应当尽快核实有关情况，立即向所在地人民政府报告，并逐级上报事故情况，必要时可以越级上报事故情况；

(4) 明确事故调查主体，特别重大事故由国务院或者国务院授权有关部门组织事故调查

组进行调查，重大事故由国务院特种设备安全监督管理部门会同有关部门组织事故调查组进行调查，较大事故由省、自治区、直辖市特种设备安全监督管理部门会同有关部门组织事故调查组进行调查，一般事故由设区的市的特种设备安全监督管理部门会同有关部门组织事故调查组进行调查；

(5) 规定事故调查报告应当由负责组织事故调查的特种设备安全监督管理部门的所在地人民政府批复，并报上一级特种设备安全监督管理部门备案。有关机关应当按照批复，依照法律、行政法规规定的权限和程序，对事故责任单位和有关人员进行行政处罚，对负有事故责任的国家工作人员进行处分。

2. 《固定式压力容器安全技术监察规程》

在原 1999 版《压力容器安全技术监察规程》(以下简称《容规》)的基础上，2009 年颁布了《固定式压力容器安全技术监察规程》(TSG R0004—2009)(以下简称《固定容规》)。

在充分吸收事故教训的基础上，《固定容规》中提出基本安全要求，强化使用管理和应急救援预案。《固定容规》体现节能原则，促进和方便企业生产。这些新的修订有利于技术进步、科学发展；兼顾国际发展，具有中国特色，并使规范与标准协调一致。

《固定容规》在设计、制造、安装维修改造、使用、检验等方面提出基本安全要求，对压力容器进行分类监管，突出本质安全思想，符合当前节能减排降耗的基本国策。

《固定容规》充分考虑了压力容器行业的现状和国际接轨的要求，考虑了技术进步和发展趋势，体现节能减排思想，继承了原容规行之有效的安全监察与管理模式。对材料复验、焊接试板、无损检测等进行合理调整，同时明确监察范围，科学划分类别。充分吸收先进科技成果，引入风险检验技术(RBI)、无损检测(TOFD)方法、缺陷评定方法等成熟科技成果。所有这些改变，进一步加强压力容器的安全监察与管理，突出企业安全主体责任，降低企业成本，提高国际竞争能力。

3. 《超高压压力容器安全技术监察规程》

1994 年正式执行《超高压压力容器安全监察规程(试行)》(以下简称原《规程》)是我国关于超高压压力容器的一项主要技术法规，也是超高压压力容器安全监察和监督检验的重要依据。2006 年开始执行修订版《超高压压力容器安全技术监察规程》(TSG R0002—2005)(以下简称新《规程》)。

原《规程》对最高工作压力范围为 100 ~ 1000MPa 的超高压压力容器的材料、设计、制造、使用、管理、检验和安全附件等问题，从安全方面提出了明确要求和规定，是关于超高压压力容器设计等各环节中必须严格遵守的主要技术法规。原《规程》贯彻执行 10 余年来，得到了广泛的应用，对于强化超高压压力容器使用管理监控、提高超高压压力容器制造质量水平、减少爆炸事故等起到了积极的作用，是超高压压力容器安全监察和监督检验的重要依据。

随着现代科技的发展，超高压压力容器应用领域的日益广泛，原《规程》的一些条款已难以适应超高压压力容器生产、安全监察、监督检验和贸易的需要。因此，在超高压压力容器共性问题和关键问题研究的基础上，深入研究美国、日本、欧盟有关超高压压力容器法规和标准，调查研究我国超高压压力容器设计、制造、使用和管理的现状，对原《规程》进行修订。

新《规程》考虑了《特种设备安全监察条例》颁布后由于国家机构调整导致行政主体的变化；近 10 余年来超高压压力容器技术、使用、检验等方面的发展；以及我国超高压压力容

器设计、制造和使用等方面的实际情况，保留了原《规程》中已有成熟使用经验，吸收了国内外超高压压力容器的最新研究成果，对原《规程》进行了补充和完善，修订了其中一些不合理的或与现行标准法规不一致的部分，具有一定的技术先进性和较强的可操作性。

4.《简单压力容器安全技术监察规程》

随着生产技术的发展，生产特点的变化，一些结构简单、危险性较小的压力容器已经形成了规模化生产，制造工艺成熟，产品质量稳定。按照 1999 版《压力容器安全技术监察规程》对这类产品进行制造检验时，已经遇到了影响生产效率等问题。因此，国家质检总局于 2007 年颁布了《简单压力容器安全技术监察规程》(TSG R0003—2007)(以下简称《简规》)。

《简规》适用的压力下限与《特种设备安全监察条例》(以下简称《条例》)相一致，为 0.1MPa。简单压力容器只能采用单腔结构型式；壳体之间采用焊接或法兰连接；筒体形状只限于圆筒形；封头型式只限于平封头、凸形封头(不包括球冠形封头和锥形封头)。《简规》的主要特点有：

(1) 先进性和实用性的统一。《简规》既体现技术上的先进性，又适合我国简单压力容器设计、制造、检测和使用管理的实际情况。考虑到我国已成为简单压力容器生产的大国，相当多的简单压力容器用于出口，为使我国的简单压力容器产品具有国际竞争力，减少技术文件准备过程中不必要的重复劳动，应使符合《简规》要求的简单压力容器，其安全性能也尽可能满足国外规范的要求。

(2) 规定推荐使用年限。简单压力容器量大面广，使用登记和定期检验的工作量非常大，在实际工作中即使作了规定，由于压力容器结构(往往与整机配套)、使用地点流动、价格等因素的限制，也很难做到。因此，采用分类监管的原则，通过规定推荐使用年限，确保寿命周期内的安全，而不强制要求定期检验和使用登记。明确达到推荐使用年限后，简单压力容器原则上应报废。

(3) 以批代台。简单压力容器的产量很大，如果逐台进行局部无损检测，逐台提供设计图样，不仅工作量大，而且难以实施。应通过提高生产工艺的稳定性来确保产品的质量，即严格控制生产过程的稳定性，在逐台进行外观检查和耐压试验的同时，按批抽检产品质量。

(4) 允许气压试验。小容积简单压力容器的进、出口孔的直径很小，采用水压试验的时间长，难以适应大批量生产的要求。考虑到简单压力容器的爆炸危险小，允许在确保安全的前提下，用空气、氮气或者其他惰性气体进行气压试验。

一些压力比较低、介质比较单一、结构比较简单的压力容器如果仍然按照《容规》来管理，对于制造厂生产以及使用单位的管理和压力容器的监督检验和定期检验都是很大的负担。按照《简规》来做的压力容器，其标准在很大程度上要求制造厂能够稳定的保持其生产水平，提高简单压力容器的安全。

5.《压力容器定期检验规则》

1990 年，原劳动部颁布的《在用压力容器检验规程》(以下简称《检规》)执行 10 多年来，对规范在用压力容器检验，保证其安全运行，起到了重要的保障作用。但是随着条件的改变和技术的进步，《检规》在执行过程中也存在一些问题，不利于操作、监管和加入 WTO 后的国际竞争。

2004 年颁布并实施的《压力容器定期检验规则》(TSG R7001—2004)(以下简称《容检规》)，对《检规》有了较大的修改。这些修改的目的在于，适应社会主义市场经济和科学技术不断进步的大环境，提高在用压力容器安全管理与检验水平，更好地保障在用压力容器的