

# 锅炉压力容器安全

GUOLU  
YALI RONGQI  
ANQUAN

全国高校安全工程专业本科规划教材

高等学校安全工程学科教学指导委员会组织编写

全国高校安全工程专业本科规划教材

# 锅炉压力容器安全

高等学校安全工程学科教学指导委员会组织编写

主 编 孟燕华

副主编 程乃伟

主 审 吴粤燊

中国劳动社会保障出版社

**图书在版编目(CIP)数据**

锅炉压力容器安全/孟燕华主编. —北京:中国劳动社会保障出版社, 2008

全国高校安全工程专业本科规划教材

ISBN 978-7-5045-7181-6

I. 锅… II. 孟… III. ①锅炉-安全技术-高等学校-教材 ②压力容器-安全技术-高等学校-教材 IV. TK223.6 TH490.8

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 086487 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:张梦欣

\*

北京隆昌伟业印刷有限公司印刷装订 新华书店经销

787毫米×960毫米 16开本 17.25印张 301千字

2008年6月第1版 2008年6月第1次印刷

定价:38.00元

读者服务部电话:010-64929211

发行部电话:010-64927085

出版社网址: <http://www.class.com.cn>

版权专有 侵权必究

举报电话:010-64954652

## 高等学校安全工程学科教学指导委员会

主任委员 孙华山

副主任委员 黄玉治 范维澄 周世宁 宋振琪 谢和平

沈忠厚 冯长根 王继仁 宋守信

委 员 张平远 王 生 钮英建 张来斌 林柏泉

刘泽功 蔡嗣经 傅 贵 吴 超 吴 穹

杨庚宇 许开立 程卫民 张殿业 景国勋

蒋军成 赵云胜 姜德义 黄卫星 刘玉存

李树刚 吴宗之 伊 烈 崔慕晶 李永红

李生盛 杨书宏

秘 书 杨书宏 (兼)

## 内容简介

本书系统地介绍了锅炉压力容器设计、制造、使用、检验、事故调查处理等环节的安全技术要求和安全管理方法。全书共分七章，主要内容有：锅炉压力容器基础知识，锅炉的工作原理，锅炉压力容器应力分析，锅炉压力容器强度设计及制造要求，锅炉压力容器安全装置，锅炉压力容器安全运行与管理，锅炉压力容器事故分析。

本书是由高等学校安全工程学科教学指导委员会组织编写的全国高校安全工程专业本科规划教材。除作为高等院校安全工程及相关专业的教材外，还可作为锅炉压力容器安全监察人员及安全工程技术人员、企业安全管理人员的参考用书。

## 序 言

党的十六届五中全会确立了“安全发展”的指导原则，极大地促进了我国安全科学事业的发展，同时为安全工程学科提供了良好的发展机遇。据初步统计，到目前为止，全国开设安全工程专业的高校已达百余所，安全工程专业已成为我国高等教育中重要的新兴专业之一。

加强教材建设，是促进我国安全工程专业健康发展的重要基础工作。本届（2004—2008年）高等学校安全工程学科教学指导委员会在充分吸收现有教材成果和借鉴上届教指委安全工程专业教材成功编写经验的基础上，于2006年启动了“全国高校安全工程专业本科规划教材”的组织编写和出版工作。第一批安全工程专业本科规划教材包括《安全学原理》《安全管理学》《安全人机工程学》《安全系统工程》《职业卫生概论》《工业通风与除尘》《化工安全》《工业防毒技术》《机械安全工程》《电气安全工程》《防火防爆技术》《锅炉压力容器安全》《安全经济学》《安全心理学》《风险管理与保险》等15种。

本套规划教材的编写力求满足安全工程专业课程体系和课程教学的新发展，立足现实，反映前沿，力求创新，既包括已经成熟并被公认的理论与学术思想，又反映安全工程学科领域具有前瞻性与代表性的最新理论、技术和方法，并借鉴吸收世界上发达国家的先进理论、理念与方法。

在本套教材开发过程中，全国30余所高等学校、科研院所的近百名专家和学者积极参与了教材的编写和审订工作，教指委秘书处、教材开发分委会和

中国劳动社会保障出版社做了大量的组织工作，在此向他们表示衷心的感谢！

本套教材的编写和出版，是我国安全工程学科在教材建设方面又迈出的重要一步。虽然我们尽了最大努力，但仍有不足，恳请安全工程领域的专家学者和广大师生提出宝贵意见。

## 高等学校安全工程学科教学指导委员会

2007年7月

## 前 言

锅炉压力容器是工业生产和人民生活中必不可少的设备。作为承压类特种设备，锅炉压力容器容易发生事故，且事故的后果非常严重。当前，国家越来越重视对特种设备的安全监察和管理，并将一些事故后果严重的锅炉压力容器（如承受高压，盛装有毒或易燃易爆介质等）列为重大危险源，对其进行安全评价和严格监控。

随着我国经济建设的快速发展，锅炉压力容器使用越来越广泛，数量越来越庞大，且不断有新工艺、新技术出现，国家相继制定和修订了一系列锅炉压力容器的规程、规范 and 标准。因此在高校教学上，有必要依据现行的法规、规程、规范及标准，结合锅炉压力容器安全管理中的实际问题，编写符合学生专业学习要求并符合锅炉压力容器安全监察和管理要求的教材。

大量的事故统计表明，造成锅炉压力容器事故的主要原因是违章操作，对设备维护保养不善，不按规定期检验等，而由于设备本身设计、制造不良导致的事故所占比例较小，这说明加强对锅炉压力容器使用过程中的安全管理是防止事故发生的重要手段。因此，教材编写从两方面入手，不仅对锅炉压力容器设计、制造环节的安全技术要求加以介绍，而且对锅炉压力容器的使用、检验环节的安全管理要求进行介绍，即介绍如何加强锅炉压力容器的操作管理，对常见的缺陷如何进行检查和维修。教材中还着重分析导致锅炉压力容器失效的原因，介绍锅炉压力容器常见事故的处理方法、预防措施，介绍事故调查、分析、处理的方法。可以说，结合锅炉压力容器使用过程中存在的现实问题，理论与实际并举，技术和管理并重，是本教材的一个特色。

锅炉压力容器是安全工程专业必修课之一，是学生掌握安全技术专业知识的重要课程。学生通过本课程的学习，能够了解和掌握锅炉压力容器设计、制造、使用、检验等环节的技术要求和管理方法，熟悉锅炉压力容器失效原因的分析方法以及常见事故的预防措施，以便于将来在工作实践中加以应用。



本教材的编写工作是在高等学校安全工程学科教学指导委员会的直接指导下进行的。教材编写大纲的确定,是在广泛征求国内有关专家意见的基础上,反复斟酌、修改,最后通过审定。参编者按照大纲的内容要求,依据锅炉压力容器现行的规范、标准及管理规定,参考锅炉压力容器安全技术发展的新动向和相关著作,并结合近年来教学实践和研究成果完成编写。

全书共分七章。第一章、第二章、第五章由首都经济贸易大学岳忠编写,第三章、第四章(第一节~第五节)由沈阳航空大学程乃伟编写,第四章(第六节~第七节)、第六章(第五节)、第七章由中国劳动关系学院孟燕华编写,第六章(第一节~第四节)由中国地质大学裴晶晶编写。孟燕华负责全书的统稿工作,吴粤燊主审。

本书在编写过程中参阅了大量的有关资料,在此,谨对原作者表示诚挚的谢意。

由于编者水平有限,书中难免有疏漏和错误,希望得到指正。

**编者**

2008年6月

# 目 录

第一章 锅炉压力容器基础知识 .....	( 1 )
第一节 概述 .....	( 1 )
一、锅炉压力容器的应用 .....	( 1 )
二、锅炉压力容器的工作特性 .....	( 2 )
三、锅炉压力容器事故的危害 .....	( 2 )
第二节 锅炉压力容器安全监察 .....	( 3 )
一、锅炉压力容器安全监察体制 .....	( 3 )
二、锅炉压力容器法规标准简介 .....	( 5 )
第三节 锅炉压力容器分类 .....	( 6 )
一、锅炉的分类 .....	( 6 )
二、压力容器的分类 .....	( 9 )
第四节 锅炉的结构与型号 .....	( 12 )
一、锅壳式锅炉结构 .....	( 12 )
二、水管锅炉结构 .....	( 16 )
三、锅炉工作过程 .....	( 26 )
四、工业锅炉型号 .....	( 27 )
第五节 压力容器基本结构 .....	( 30 )
一、中、低压容器的结构 .....	( 30 )
二、高压容器的结构 .....	( 33 )
第二章 锅炉的工作原理 .....	( 38 )
第一节 锅炉中的传热与热平衡 .....	( 38 )
一、锅炉中的传热 .....	( 38 )
二、锅炉热平衡 .....	( 39 )

<b>第二节 锅炉水循环</b> .....	( 41 )
一、水循环的概念 .....	( 41 )
二、影响自然循环的因素 .....	( 42 )
三、常见的水循环故障 .....	( 43 )
<b>第三节 锅炉水处理</b> .....	( 45 )
一、锅炉水质指标及水处理要求 .....	( 45 )
二、常用水处理方法 .....	( 47 )
三、给水除氧 .....	( 50 )
<b>第三章 锅炉压力容器应力分析</b> .....	( 53 )
<b>第一节 受内压薄壁壳体的应力分析</b> .....	( 53 )
一、无力矩理论及基本方程 .....	( 53 )
二、无力矩理论在旋转薄壳中的应用 .....	( 58 )
<b>第二节 受内压厚壁壳体的应力分析</b> .....	( 64 )
一、厚壁壳体的应力特点 .....	( 64 )
二、轴向应力分析 .....	( 65 )
三、径向应力与环向应力分析 .....	( 66 )
四、厚壁与薄壁圆筒应力公式的比较 .....	( 70 )
<b>第三节 平板的应力分析</b> .....	( 72 )
一、圆平板的应力特点 .....	( 72 )
二、方程分析和挠度分析 .....	( 73 )
三、周边固支圆平板的应力分析 .....	( 75 )
四、周边铰支圆平板的应力分析 .....	( 77 )
<b>第四节 薄壁壳体边缘应力分析</b> .....	( 79 )
一、边缘应力概念 .....	( 79 )
二、方程分析 .....	( 80 )
三、边界条件的确定 .....	( 82 )
四、边缘效应分析 .....	( 83 )
五、关于边缘效应的一般性结论 .....	( 87 )
<b>第五节 开孔的安全性</b> .....	( 88 )
一、应力集中的概念 .....	( 88 )
二、开孔附近的应力集中 .....	( 89 )

第六节 热应力 .....	( 92 )
一、厚壁圆筒中的热应力 .....	( 92 )
二、关于热应力的讨论 .....	( 94 )
第四章 锅炉压力容器强度设计及制造要求 .....	( 97 )
第一节 强度设计概述 .....	( 97 )
一、强度理论 .....	( 97 )
二、设计准则 .....	( 98 )
三、应力分类与分析设计 .....	( 99 )
第二节 锅炉压力容器用钢材 .....	( 101 )
一、金属材料的常温力学性能 .....	( 101 )
二、温度对材料力学性能的影响 .....	( 102 )
三、钢材的脆性 .....	( 104 )
四、钢材的腐蚀 .....	( 105 )
五、对锅炉压力容器用钢的要求 .....	( 106 )
六、锅炉压力容器常用钢材 .....	( 108 )
第三节 筒体与封头强度设计 .....	( 109 )
一、主要设计参数 .....	( 109 )
二、内压筒体与封头设计 .....	( 118 )
第四节 开孔补强 .....	( 126 )
一、不需补强的最大孔径 .....	( 126 )
二、补强的有关要求 .....	( 127 )
三、补强面积 ( $A_e$ ) .....	( 129 )
四、补强形式与结构 .....	( 130 )
五、补强面积的分布 .....	( 130 )
第五节 锅炉压力容器结构设计的安全问题 .....	( 132 )
一、结构设计应遵循的原则 .....	( 132 )
二、对封头及法兰结构的要求 .....	( 133 )
三、对开孔的要求 .....	( 134 )
四、对焊接结构的要求 .....	( 135 )
第六节 锅炉压力容器制造质量控制 .....	( 137 )
一、锅炉压力容器制造的主要工序 .....	( 137 )

二、	焊接缺陷对安全的影响及质量要求	(141)
三、	成形与组装缺陷对安全的影响及质量要求	(152)
四、	对制造质量的检查与控制	(156)
<b>第七节</b>	<b>锅炉压力容器制造管理</b>	(162)
一、	锅炉压力容器制造单位的资格	(162)
二、	制造过程的质量管理	(162)
三、	质量保证系统和质量保证手册	(163)
<b>第五章</b>	<b>锅炉压力容器安全装置</b>	(167)
<b>第一节</b>	<b>概述</b>	(167)
一、	安全装置种类及设置原则	(167)
二、	安全泄压装置分类	(169)
三、	锅炉压力容器的安全泄放量	(170)
<b>第二节</b>	<b>安全阀</b>	(172)
一、	安全阀的种类与特点	(173)
二、	安全阀的排量	(175)
三、	安全阀的安装、调试与维护	(178)
四、	安全阀常见故障及处理	(181)
五、	安全阀的安全技术要求	(182)
<b>第三节</b>	<b>爆破片</b>	(185)
一、	爆破片的种类与特点	(185)
二、	爆破片的选用、安装与更换	(186)
<b>第四节</b>	<b>压力表</b>	(191)
一、	压力表的分类和工作原理	(191)
二、	压力表的选用与装设	(191)
三、	压力表的维护与校验	(192)
<b>第五节</b>	<b>水位表</b>	(193)
一、	水位表的种类及适用范围	(193)
二、	水位表的安全技术要求	(195)
三、	水位表的维护	(195)
<b>第六节</b>	<b>其他安全装置</b>	(195)
一、	温度测量仪表	(195)

二、排污装置 .....	(197)
三、锅炉保护装置 .....	(198)
四、液面计 .....	(198)
<b>第六章 锅炉压力容器安全运行与管理 .....</b>	<b>(201)</b>
<b>第一节 锅炉压力容器使用管理基础工作 .....</b>	<b>(201)</b>
一、锅炉压力容器选购与验收 .....	(201)
二、锅炉压力容器安装 .....	(202)
三、锅炉压力容器使用登记 .....	(203)
四、锅炉压力容器技术档案 .....	(203)
五、锅炉压力容器统计报表 .....	(204)
<b>第二节 锅炉安全运行与管理 .....</b>	<b>(204)</b>
一、锅炉的启动 .....	(204)
二、锅炉运行中的监督调整与管理 .....	(209)
三、停炉及停炉后的保养 .....	(211)
四、锅炉房的综合管理 .....	(214)
<b>第三节 压力容器安全运行与管理 .....</b>	<b>(216)</b>
一、压力容器的投用 .....	(216)
二、运行中工艺参数的控制 .....	(217)
三、压力容器的停运 .....	(218)
四、压力容器的维护保养 .....	(220)
<b>第四节 气瓶安全 .....</b>	<b>(221)</b>
一、气瓶基础知识 .....	(221)
二、气瓶充装安全 .....	(222)
三、气瓶储存与运输安全 .....	(225)
四、气瓶使用安全 .....	(226)
<b>第五节 锅炉压力容器定期检验 .....</b>	<b>(227)</b>
一、定期检验的内容与要求 .....	(227)
二、常用的检验方法 .....	(231)
三、常见缺陷的检查与处理 .....	(235)
四、检验中的安全问题 .....	(238)

<b>第七章 锅炉压力容器事故分析</b> .....	(242)
<b>第一节 锅炉压力容器的断裂形式</b> .....	(242)
一、延性断裂 .....	(242)
二、脆性断裂 .....	(244)
三、疲劳断裂 .....	(246)
四、应力腐蚀断裂 .....	(247)
五、蠕变断裂 .....	(249)
<b>第二节 锅炉常见事故</b> .....	(250)
一、锅炉事故与故障 .....	(250)
二、锅炉爆炸事故 .....	(251)
三、锅炉重大事故 .....	(251)
<b>第三节 锅炉压力容器事故调查、分析与处理</b> .....	(255)
一、锅炉压力容器事故调查程序 .....	(255)
二、锅炉压力容器事故分析方法 .....	(257)
三、事故处理的有关规定 .....	(259)
<b>参考文献</b> .....	(261)

# 第一章 锅炉压力容器基础知识

## 本章学习目标

1. 了解锅炉压力容器的应用及其安全特性。
2. 了解锅炉压力容器安全监察体制，熟悉有关锅炉压力容器的法规与标准体系。
3. 熟悉锅炉压力容器的分类。
4. 掌握锅炉压力容器的结构及主要承压部件的作用。

## 第一节 概 述

### 一、锅炉压力容器的应用

锅炉广泛应用于电力、机械、化工、轻工、纺织、交通运输等部门及日常生活中。电站锅炉是火力发电系统的主要设备之一，其特点是蒸发量大、蒸汽压力和温度高。工业锅炉应用于工业生产及供暖，此类锅炉蒸发量或供热量较小，压力、温度较低，但数量众多。此外，还有些锅炉应用于人们日常生活和机车船舶上，通常把它们分别称为生活锅炉和机车船舶锅炉。

压力容器广泛应用于石油化工、能源、冶金、轻工、纺织、机械、航空航天、交通、采矿、医药等行业领域及日常生活中，如与压气机配套的储气罐，储运永久气体或液化气体的气瓶、槽车、储罐，提供介质反应密闭空间的聚合釜、合成塔，加热或冷却介质的蒸煮锅、冷却器，用以分离不同介质的分离器、过滤器等，都是常见的压力容器。在化学工业和石化工业中，几乎每一个工艺过程都离不开压力容器，而且压力容器是生产中的主要设备。



## 二、锅炉压力容器的工作特性

锅炉压力容器的工作条件恶劣，容易发生事故。

### 1. 爆炸特性

压力容器的工作介质往往是高压、高温（或低温）、易燃、易爆、有毒的气体或液化气体，一旦使用不当或容器存在缺陷，就有可能发生爆炸和介质泄漏事故。锅炉的汽水系统长期运行在高温和高压的恶劣工况下，因而经常出现局部缺陷或整体超压问题，造成锅炉本体或部件损坏。燃油、燃气和燃煤粉的锅炉还存在燃烧系统的爆炸问题。

### 2. 接触腐蚀性介质

压力容器的介质常常对其材质有较强的腐蚀性，如氧腐蚀、硫腐蚀、硫化氢腐蚀以及各种浓度的酸、碱、盐腐蚀等。锅炉金属表面一侧接触烟气、灰尘，另一侧接触水及水蒸气，也会造成磨损和腐蚀。

### 3. 维持连续运行

锅炉压力容器一旦投入使用，一般要求连续运行，不能随意停机，否则会影响一条生产线、一个工厂，甚至一个地区的生活和生产，有时还会造成恶劣的后果。由于不便随时停运检查，常常因缺陷扩展而导致破裂。

## 三、锅炉压力容器事故的危害

锅炉压力容器一旦发生爆炸和介质泄漏事故，不仅损坏设备，危害操作人员的安全，而且还会引发更为严重的灾难事件，如易燃易爆介质导致二次爆炸，有毒介质扩散污染环境，高温（或低温）介质泄漏对人员造成伤害等等。

### 1. 爆炸冲击波的危害

锅炉压力容器内的介质一般是具有较高压力的气体、液化气体或高温液体，承压部件一旦破裂，介质即泄压膨胀或瞬时汽（气）化，瞬间释放出很大的能量。其中，85%的能量用以产生冲击波，向周围快速传播，破坏设备、建筑物，危及人身安全。

### 2. 爆炸碎片的危害

锅炉压力容器破裂时，飞出的部件或爆炸碎片会击穿或撞坏其他设备或建筑，有时会直接伤人。

### 3. 泄漏介质的危害

压力容器爆炸或泄漏，容器内易燃易爆介质外逸，与空气混合，可能产生二次