

承压类特种设备 实用技术

韩树新 盛水平 主编

CHENGYALEI TEZHONG SHEBEI SHIYONG JISHU

 机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS



承压类特种设备实用技术

韩树新 盛水平 主编

附录 (CD) 目录表

附录 (CD) 目录表

附录 (CD) 目录表

附录 (CD) 目录表

附录 (CD) 目录表

附录 (CD) 目录表

附录 (CD) 目录表

附录 (CD) 目录表

附录 (CD) 目录表

附录 (CD) 目录表

附录 (CD) 目录表

附录 (CD) 目录表

附录 (CD) 目录表



机械工业出版社

机械工业出版社
地址：北京市西城区百万庄大街24号
邮编：100037
电话：(010) 68993921
网址：http://www.cmpbook.com

本书包括锅炉、压力容器、压力管道、材料与热处理、焊接、无损检测、法定检验、安全附件、事故分析与预防、质量体系、安全监察等内容。具体介绍金属学基础、常用钢材、材料性能,焊接方法、常用焊接材料及焊接工艺评定、常用无损检测方法及无损检测新技术,承压设备结构、制造、安装、维修、改造及质量控制,承压设备监督检验与定期检验、使用管理等。本书注重理论与实际相结合,概括了承压类特种设备的主要实用技术。

本书适合于从事承压类特种设备设计、制造、安装、维修、改造、使用、检验检测、使用单位技术人员及安全监察机构管理人员,同时也可作为相关专业人员、大专院校师生的参考书。

图书在版编目 (CIP) 数据

承压类特种设备实用技术/韩树新,盛水平主编. —北京:机械工业出版社, 2009. 1

ISBN 978-7-111-25253-5

I. 承… II. ①韩…②盛… III. 压力容器-基本知识 IV. TH49

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2008) 第 153255 号

机械工业出版社 (北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

责任编辑:沈红 版式设计:霍永明 责任校对:陈延翔

封面设计:鞠杨 责任印制:洪汉军

北京汇林印务有限公司印刷

2009年1月第1版第1次印刷

184mm×260mm·32.25印张·859千字

0001-4000册

标准书号: ISBN 978-7-111-25253-5

定价: 66.00元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

销售服务热线电话:(010) 68326294

购书热线电话:(010) 88379639 88379641 88379643

编辑热线电话:(010) 88379778

封面防伪标均为盗版

前 言

锅炉、压力容器、压力管道是国民经济和人民生活的重要基础设施，对国计民生具有重要意义。锅炉、压力容器和压力管道均承载承压介质，通常是高温、高压、有毒、易燃、易爆介质，存在爆炸危险性、（二次）燃烧危险性、有毒介质泄漏及扩散危险性，故将锅炉、压力容器和压力管道归类为承压类特种设备。根据国务院《特种设备安全监察条例》，我国对承压类特种设备从生产（设计、制造、安装、改造维修）到使用、报废的全过程实施监管。

编者参与承压类特种设备全过程监管工作多年，涉及承压类特种设备的设计、制造、安装、维修、改造、使用、检验检测及其监督检查各环节，根据多年经验，特编写《承压类特种设备实用技术》。本书包括锅炉、压力容器、压力管道、金属材料基础知识、焊接、无损检测、法定检验、安全附件、承压设备的失效事故与预防、质量体系、安全监察等内容。主要包括金属学基础，材料性能，承压设备常用钢材、焊接方法，常用焊材及焊接工艺评定，五种常用无损检测方法（RT、UT、PT、MT、ET）及无损检测新技术（AET、TOFD），承压设备结构、生产（制造、安装、维修、改造）及质量控制，承压设备使用管理等，紧扣《特种设备安全监察条例》和锅炉、压力容器及压力管道相关法规、标准，对承压类特种设备的设计、选材、制造、检测及使用等方面进行了深入分析，注重理论与实际相结合。

本书由韩树新、盛水平主编。第1章绪论由韩树新编写，第2章锅炉由盛水平和赵辉编写，第3章压力容器由韩树新、杜清和陈海云编写，第4章压力管道由韩树新和夏福勇编写，第5章金属材料基础知识由李伟忠编写，第6章焊接由韦新华编写，第7章无损检测由夏福勇编写，第8章法定检验由盛水平和杜清编写，第9章安全附件由盛水平编写，第10章承压设备的失效、事故与预防由韩树新和盛水平编写，第11章质量体系由李伟忠编写，第12章安全监察由韩树新和李伟忠编写。全书由盛水平统稿，韩树新审定。

限于编者水平，书中不妥甚至错误之处在所难免，恳请读者批评指正，不胜感激。

编 者

2008.8

目 录

| | |
|---------------------|-----|
| 前言 | 1 |
| 第1章 绪论 | 1 |
| 第2章 锅炉 | 6 |
| 2.1 概述 | 6 |
| 2.1.1 锅炉的工作过程 | 6 |
| 2.1.2 锅炉的发展简史 | 6 |
| 2.1.3 锅炉的分类、型号及参数 | 9 |
| 2.2 锅炉结构 | 12 |
| 2.2.1 锅炉结构的基本要求 | 12 |
| 2.2.2 锅炉的主要承压元件 | 12 |
| 2.2.3 锅炉的结构介绍 | 17 |
| 2.3 锅炉的制造、安装、维修与改造 | 36 |
| 2.3.1 锅炉的制造工艺 | 36 |
| 2.3.2 锅炉的制造质量控制 | 44 |
| 2.3.3 锅炉的安装工艺 | 53 |
| 2.3.4 锅炉的安装质量控制 | 62 |
| 2.3.5 锅炉的维修 | 64 |
| 2.3.6 锅炉的改造 | 69 |
| 2.4 锅炉的使用 | 75 |
| 2.4.1 锅炉的燃烧及传热基础 | 75 |
| 2.4.2 工业锅炉的水处理 | 82 |
| 2.4.3 锅炉的使用管理 | 91 |
| 第3章 压力容器 | 94 |
| 3.1 概述 | 94 |
| 3.1.1 压力容器的定义 | 94 |
| 3.1.2 压力容器的分类 | 94 |
| 3.1.3 压力容器的主要参数 | 97 |
| 3.2 压力容器的典型结构与主要零部件 | 98 |
| 3.2.1 压力容器的典型结构 | 98 |
| 3.2.2 压力容器的主要元件 | 106 |
| 3.3 压力容器的设计 | 115 |
| 3.3.1 压力容器的设计规范及标准 | 116 |
| 3.3.2 压力容器的设计方法简介 | 118 |
| 3.3.3 压力容器的设计要素 | 119 |
| 3.4 压力容器的制造 | 120 |
| 3.4.1 压力容器的制造工艺 | 120 |
| 3.4.2 球形储罐的现场组焊 | 134 |

| | | |
|---------------------|-------------------|-----|
| 3.4.3 | 塔器的现场组焊 | 143 |
| 3.4.4 | 压力容器的制造质量控制 | 148 |
| 3.5 | 压力容器的安装、维修及改造 | 161 |
| 3.5.1 | 压力容器的安装工艺 | 161 |
| 3.5.2 | 压力容器的维修与改造 | 168 |
| 3.5.3 | 压力容器的安装、维修及改造质量控制 | 169 |
| 3.6 | 压力容器的使用 | 171 |
| 3.6.1 | 使用单位的安全管理 | 172 |
| 3.6.2 | 压力容器的安全运行 | 172 |
| 第4章 压力管道 | | 174 |
| 4.1 | 概述 | 174 |
| 4.1.1 | 压力管道的定义与用途 | 174 |
| 4.1.2 | 压力管道的特点 | 174 |
| 4.1.3 | 压力管道的基本术语 | 176 |
| 4.1.4 | 压力管道的分类与组成 | 177 |
| 4.2 | 压力管道设计 | 179 |
| 4.2.1 | 压力管道设计的特点 | 179 |
| 4.2.2 | 压力管道设计的基本要求 | 180 |
| 4.2.3 | 压力管道设计的任务 | 180 |
| 4.2.4 | 管道设计的应用 | 184 |
| 4.3 | 压力管道元件 | 188 |
| 4.3.1 | 管子 | 188 |
| 4.3.2 | 管件 | 192 |
| 4.3.3 | 法兰 | 195 |
| 4.3.4 | 阀门 | 197 |
| 4.3.5 | 垫片 | 213 |
| 4.3.6 | 压力管道其他元件 | 215 |
| 4.4 | 压力管道的安装 | 216 |
| 4.4.1 | 管道施工工艺流程 | 216 |
| 4.4.2 | 压力管道及管件预制、加工 | 218 |
| 4.4.3 | 管道的安装要求 | 221 |
| 4.4.4 | 焊接与无损检测 | 225 |
| 4.4.5 | 强度试验及气密性试验 | 226 |
| 4.4.6 | 系统的清洗、吹扫 | 226 |
| 4.4.7 | 压力管道的防腐 | 227 |
| 4.5 | 压力管道的使用 | 232 |
| 4.5.1 | 使用管理要求 | 232 |
| 4.5.2 | 使用登记 | 232 |
| 第5章 金属材料基础知识 | | 235 |
| 5.1 | 概述 | 235 |
| 5.1.1 | 金属的晶体结构 | 235 |
| 5.1.2 | 金属的强度与金属材料的强化机制 | 236 |
| 5.1.3 | 钢材的金相组织和性能 | 237 |

| | | |
|---------------|------------------------|-----|
| 5.1.4 | 金属结晶 | 239 |
| 5.1.5 | 铁碳合金状态图 | 240 |
| 5.2 | 钢的表示方法 | 241 |
| 5.2.1 | 碳素结构钢的表示方法 | 242 |
| 5.2.2 | 优质碳素结构钢和优质碳素弹簧钢的牌号表示方法 | 242 |
| 5.2.3 | 合金结构钢和合金弹簧钢的牌号表示方法 | 242 |
| 5.2.4 | 不锈钢和耐热钢 | 243 |
| 5.3 | 金属材料的力学性能 | 243 |
| 5.3.1 | 金属材料的强度指标 | 243 |
| 5.3.2 | 金属材料的塑性指标 | 245 |
| 5.3.3 | 金属材料的韧性指标 | 245 |
| 5.3.4 | 主要合金元素对钢材料性能的影响 | 246 |
| 5.4 | 金属材料的其他性能 | 247 |
| 5.4.1 | 耐腐蚀性能 | 247 |
| 5.4.2 | 加工工艺性能 | 249 |
| 5.5 | 金属热处理的基础 | 250 |
| 5.5.1 | 热处理的一般过程 | 250 |
| 5.5.2 | 常用的热处理工艺 | 252 |
| 5.5.3 | 常用热处理方法的应用 | 254 |
| 5.5.4 | 热处理状态对钢的性能的影响 | 255 |
| 5.5.5 | 热处理的质量检验方法 | 256 |
| 5.6 | 承压类特种设备的常用钢材 | 257 |
| 5.6.1 | 承压设备钢材的基本要求 | 257 |
| 5.6.2 | 常用钢材的牌号及特性 | 257 |
| 5.7 | 有色金属 | 260 |
| 5.7.1 | 铝合金 | 260 |
| 5.7.2 | 铜及铜合金 | 261 |
| 5.8 | 铸铁和铸钢 | 263 |
| 5.8.1 | 铸铁 | 263 |
| 5.8.2 | 铸钢 | 264 |
| 5.8.3 | 相关规定 | 264 |
| 5.9 | 承压设备原材料的常见缺陷及其产生原因 | 265 |
| 5.9.1 | 铸件中常见缺陷及其产生原因 | 265 |
| 5.9.2 | 锻件中常见缺陷及其产生原因 | 265 |
| 5.9.3 | 轧材中常见缺陷及其产生原因 | 266 |
| 第6章 焊接 | | 267 |
| 6.1 | 概述 | 267 |
| 6.2 | 常用焊接方法 | 267 |
| 6.2.1 | 焊条电弧焊 | 268 |
| 6.2.2 | 埋弧焊 | 271 |
| 6.2.3 | 氩弧焊 | 273 |
| 6.2.4 | 二氧化碳气体保护焊 | 274 |
| 6.2.5 | 等离子弧焊 | 274 |

| | | |
|------------|----------------|------------|
| 6.3 | 焊接接头 | 275 |
| 6.3.1 | 焊接接头的组成 | 275 |
| 6.3.2 | 焊接接头的形式 | 276 |
| 6.3.3 | 焊接接头的组织和性能 | 277 |
| 6.4 | 常用钢材的焊接 | 280 |
| 6.4.1 | 钢材的焊接性 | 280 |
| 6.4.2 | 低碳钢的焊接 | 282 |
| 6.4.3 | 低合金钢的焊接 | 283 |
| 6.4.4 | 奥氏体不锈钢的焊接 | 286 |
| 6.5 | 焊接应力与变形 | 288 |
| 6.5.1 | 焊接应力及变形的概念 | 288 |
| 6.5.2 | 焊接变形和应力的形成 | 289 |
| 6.5.3 | 焊接应力的控制措施 | 290 |
| 6.5.4 | 消除焊接应力的方法 | 290 |
| 6.6 | 常见焊接缺陷 | 290 |
| 6.7 | 焊工 | 296 |
| 6.8 | 焊接工艺评定 | 299 |
| 6.8.1 | 焊接工艺评定目的与过程 | 299 |
| 6.8.2 | 焊接工艺评定规则 | 299 |
| 第7章 | 无损检测 | 307 |
| 7.1 | 射线检测 | 307 |
| 7.1.1 | 射线检测原理 | 308 |
| 7.1.2 | 射线检测设备 | 310 |
| 7.1.3 | 射线照相工艺要点 | 311 |
| 7.1.4 | 射线的安全防护 | 313 |
| 7.1.5 | 射线检测优点和局限性 | 314 |
| 7.2 | 超声波检测 | 315 |
| 7.2.1 | 超声波检测原理 | 315 |
| 7.2.2 | 试块 | 321 |
| 7.2.3 | 超声波检测工艺要点 | 322 |
| 7.2.4 | 超声波检测优点和局限性 | 323 |
| 7.3 | 磁粉检测 | 325 |
| 7.3.1 | 磁粉检测原理 | 325 |
| 7.3.2 | 磁粉检测设备器材 | 327 |
| 7.3.3 | 磁粉检测工艺要点 | 328 |
| 7.3.4 | 磁粉检测优点和局限性 | 329 |
| 7.4 | 渗透检测 | 329 |
| 7.4.1 | 渗透检测原理、分类及特点 | 329 |
| 7.4.2 | 渗透检测工艺要点 | 331 |
| 7.4.3 | 渗透检测的优点和局限性 | 332 |
| 7.5 | 涡流检测 | 333 |
| 7.5.1 | 涡流检测原理 | 333 |
| 7.5.2 | 涡流检测仪器、探头和对比试样 | 334 |

| | | |
|--------------|-----------------------|------------|
| 7.5.3 | 涡流检测工艺要点 | 335 |
| 7.5.4 | 涡流检测优点和局限性 | 335 |
| 7.6 | 声发射检测 | 336 |
| 7.6.1 | 声发射检测原理 | 336 |
| 7.6.2 | 声发射检测仪器 | 336 |
| 7.7 | 无损检测新技术介绍 | 337 |
| 7.7.1 | 高能射线照相 | 337 |
| 7.7.2 | 射线实时成像检测技术 | 338 |
| 7.7.3 | 数字化射线成像技术 | 339 |
| 7.7.4 | 磁记忆检测 (MMT) | 341 |
| 7.7.5 | 超声导波检测技术 | 341 |
| 7.7.6 | 相控阵、TOFD 超声检测技术 | 342 |
| 7.8 | 无损检测方法的选择 | 345 |
| 第 8 章 | 法定检验 | 348 |
| 8.1 | 概述 | 348 |
| 8.1.1 | 监督检验的一般规定 | 348 |
| 8.1.2 | 质量保证体系监督检查 | 349 |
| 8.1.3 | 定期检验的要求 | 351 |
| 8.2 | 制造监督检验 | 351 |
| 8.2.1 | 锅炉制造监督检验 | 351 |
| 8.2.2 | 压力容器制造监督检验 | 355 |
| 8.2.3 | 压力管道元件制造监督检验 | 359 |
| 8.3 | 安装维修改造监督检验 | 363 |
| 8.3.1 | 锅炉安装、维修、改造监督检验 | 363 |
| 8.3.2 | 压力容器安装、维修、改造监督检验 | 366 |
| 8.3.3 | 压力管道安装的监督检验 | 370 |
| 8.4 | 定期检验 | 375 |
| 8.4.1 | 锅炉定期检验 | 375 |
| 8.4.2 | 压力容器定期检验 | 387 |
| 8.4.3 | 压力管道定期检验 | 398 |
| 第 9 章 | 安全附件 | 405 |
| 9.1 | 安全阀 | 405 |
| 9.1.1 | 安全阀的作用 | 405 |
| 9.1.2 | 安全阀的分类及其结构 | 406 |
| 9.1.3 | 安全阀的选用 | 406 |
| 9.1.4 | 安全阀的安装、调试及维护 | 408 |
| 9.2 | 压力表 | 411 |
| 9.2.1 | 压力表的分类及其结构 | 411 |
| 9.2.2 | 压力表的选用 | 412 |
| 9.2.3 | 压力表的安装与维护 | 413 |
| 9.3 | 液面计 (水位表) | 414 |
| 9.3.1 | 液面计 (水位表) 的工作原理、结构和形式 | 414 |
| 9.3.2 | 液面计 (水位表) 的安全技术要求 | 415 |

| | | |
|---------------------------|-------------------|-----|
| 9.3.3 | 锅炉水位表常见的故障原因及对策 | 416 |
| 9.4 | 爆破片 | 416 |
| 9.4.1 | 爆破片的结构形式 | 417 |
| 9.4.2 | 爆破片装置的选用 | 417 |
| 9.4.3 | 爆破片的安装、维护和试验 | 418 |
| 9.5 | 温度计(测温仪表) | 420 |
| 9.6 | 紧急切断装置 | 422 |
| 9.7 | 减温减压装置 | 424 |
| 9.8 | 快开门安全联锁装置 | 426 |
| 第10章 承压设备的失效、事故与预防 | | 428 |
| 10.1 | 概述 | 428 |
| 10.2 | 事故案例 | 429 |
| 10.3 | 爆炸能量与爆炸冲击波 | 433 |
| 10.3.1 | 爆炸能量计算 | 433 |
| 10.3.2 | 爆炸冲击波及其伤害、破坏作用 | 435 |
| 10.4 | 承压设备的常见破裂形式 | 437 |
| 10.4.1 | 延性破裂 | 437 |
| 10.4.2 | 脆性破裂 | 439 |
| 10.4.3 | 疲劳破裂 | 440 |
| 10.4.4 | 应力腐蚀破裂 | 443 |
| 10.4.5 | 腐蚀疲劳破裂 | 447 |
| 10.4.6 | 氢损伤(氢脆断裂等) | 449 |
| 10.4.7 | 晶间腐蚀断裂 | 450 |
| 10.4.8 | 蠕变断裂 | 452 |
| 10.5 | 承压设备的其他失效形式 | 454 |
| 10.5.1 | 炉膛爆炸 | 454 |
| 10.5.2 | 失稳破坏 | 455 |
| 10.5.3 | 快开门事故 | 456 |
| 10.6 | 承压设备的事故(失效)分析一般方法 | 457 |
| 10.6.1 | 事故分类 | 457 |
| 10.6.2 | 事故现场检查 | 457 |
| 10.6.3 | 事故过程调查及设备历史调查 | 458 |
| 10.6.4 | 技术检验和鉴定工作 | 459 |
| 10.6.5 | 承压设备的事故综合分析 | 461 |
| 10.7 | 防止承压设备爆炸事故的措施 | 464 |
| 10.7.1 | 设计方面 | 464 |
| 10.7.2 | 制造(安装、修理、改造)方面 | 466 |
| 10.7.3 | 使用方面 | 468 |
| 10.7.4 | 检验方面 | 470 |
| 10.8 | 承压设备检验自身安全 | 471 |
| 10.8.1 | 常见危险及表现形式 | 471 |
| 10.8.2 | 危险程度划分 | 472 |
| 10.8.3 | 预防措施与对策 | 473 |

| | | |
|---------------|----------------------|------------|
| 10.8.4 | 风险控制与应急预案 | 474 |
| 第 11 章 | 质量体系 | 475 |
| 11.1 | 特种设备生产质量保证体系 | 475 |
| 11.1.1 | 建立质量保证体系的原则 | 475 |
| 11.1.2 | 质量保证体系文件 | 475 |
| 11.1.3 | 管理职责 | 476 |
| 11.1.4 | 质量体系要素控制 | 476 |
| 11.1.5 | 执行特种设备许可制度 | 480 |
| 11.2 | 特种设备检验检测机构质量体系 | 480 |
| 11.2.1 | 质量管理体系总的要求 | 480 |
| 11.2.2 | 质量管理体系文件 | 481 |
| 11.2.3 | 管理职责 | 482 |
| 11.2.4 | 资源配置、管理及技术支持 | 483 |
| 11.2.5 | 检验检测实施 | 484 |
| 11.2.6 | 质量管理体系分析与改进 | 487 |
| 第 12 章 | 安全监察 | 489 |
| 12.1 | 特种设备安全监察体系 | 489 |
| 12.1.1 | 我国特种设备安全监察历史 | 489 |
| 12.1.2 | 我国特种设备法规标准体系 | 490 |
| 12.2 | 特种设备安全监察手段 | 493 |
| 12.2.1 | 设计环节 | 493 |
| 12.2.2 | 制造环节 | 494 |
| 12.2.3 | 安装、改造、维修环节 | 496 |
| 12.2.4 | 使用环节 | 497 |
| 12.2.5 | 气瓶充装环节 | 499 |
| 12.2.6 | 检验环节 | 499 |
| | 参考文献 | 501 |

第1章 绪论

特种设备广泛使用于经济建设和人民生活的各个领域，已成为社会生产和人民生活中不可缺少的生产装置和生活设施。特种设备是生产和生活中具有潜在危险的设备，有的在高温、高压下工作，有的盛装易燃、易爆、有毒介质，有的在高空、高速下运转，一旦发生事故，会造成严重人身伤亡及重大财产损失。《特种设备安全监察条例》（以下简称《条例》）规定特种设备，是指涉及生命安全、危险性较大的锅炉、压力容器（含气瓶，下同）、压力管道、电梯、起重机械、客运索道、大型游乐设施、场（厂）内机动车辆等八类特种设备，其中锅炉、压力容器和压力管道均为承受一定压力的设备，统称为承压特种设备。它们的介质常为高温、高压、或/和有毒、易燃、易爆介质，且存在爆炸危险性、（二次）燃烧危险性、有毒介质泄漏及扩散危险性，是一类可能会发生爆炸事故的特种设备。《条例》规定的锅炉、压力容器、压力管道定义如下。

1) 锅炉是指利用各种燃料、电或者其他能源，将所盛装的液体加热到一定的参数，并承载一定压力的密闭设备。其范围规定为容积大于或者等于30L的承压蒸汽锅炉；出口水压大于或者等于0.1MPa（表压），且额定功率大于或者等于0.1MW的承压热水锅炉；有机热载体锅炉。

2) 压力容器是指盛装气体或者液体，承载一定压力的密闭设备，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，以及最高工作温度高于或者等于标准沸点的液体的固定式容器和移动式容器；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、液化气体标准沸点等于或者低于 60°C 液体的气瓶、氧舱等。

3) 压力管道是指利用一定的压力，用于输送气体或者液体的管状设备。其范围规定为最高工作压力大于或者等于0.1MPa（表压）的气体、液化气体、蒸汽介质，以及可燃、易爆、有毒、有腐蚀性，最高工作温度高于或者等于标准沸点的液体介质，且公称直径大 25mm 的管道。

1. 承压特种设备在国民经济建设中的作用

在人类文明发展史上，锅炉是最早被使用的大型工业设备之一。锅炉是一种把煤炭、石油或天然气等能源所储藏的化学能，转变为中间载热体（水、蒸汽或有机热载体）的热能的重要设备，是一种能源转换设备。一次能源（燃料）的化学贮藏能通过燃烧过程，转化为燃烧产物（烟气和灰渣）所载有的热能，然后又通过传热过程将热量传递给中间载热体，依靠它将热量输送到用热设备中去。锅炉是国民经济中重要的热能供应设备，使用面广，需求量大，包括工业用蒸汽锅炉、热电联产工业锅炉、集中供暖热水锅炉、民用生活锅炉、特种用途（热风、热油）锅炉以及余热锅炉等，广泛地应用于电力、机械、冶金、化工、纺织、造纸、食品等行业以及工业和民用供暖等。物质生产的飞速发展，能源的消耗量日益增加，人类社会就需要更多、更先进的能源转换设备，锅炉逐渐成为人类社会生产和生活各个领域不可缺少的动力机械，我国是当今世界锅炉生产和使用最多的国家。

工业锅炉主要为工业（石油、化工、化肥、冶金、造纸等）的工艺流程提供热能，为公用和民用建筑提供采暖和热水，电站锅炉是火力发电的“心脏”，目前我国火力发电占到电力75%左右，锅炉设备的发展必将制约国民经济、城市化和工业化的发展。发达国家国民经济发展模式和我国改革开放30年的发展历程证明，发电量的增长速度是国家GDP增长的一个重要因素，目

前国外工业锅炉的涵义已从每小时蒸发量几百公斤到几吨的锅炉,发展到每小时蒸发量 200t 的锅炉;电站锅炉已由高压、超高压锅炉,发展到大量生产亚临界压力与超临界压力锅炉,单台容量达 130 万 kW。“锅炉”不仅是一般火力发电厂的锅炉,还包括一切动力工业中用以产生蒸汽的换热设备,如核反应堆蒸汽发生器及太阳能锅炉等,随着国民经济的高速发展,锅炉工业将在我国经济建设中发挥越来越重要的作用。

压力容器的用途也极为广泛,主要分布在石油、化工、化肥、冶金、能源、储运、印染、食品/饮料等工业领域,是这些产业生存发展必备的基础性设施,并在工业、民用及军工等许多部门,在科学研究的许多领域都起着重要作用。其中以石油化学工业中应用最为普遍,约占压力容器总使用量的 50% 左右,石油是重要能源,在当今世界的能源中占有相当的比例。石油、化工行业是我国国民经济的支柱产业之一,主要包括化肥、农药、医药、炼油、无机化工和有机合成等行业,在国民经济发展中起着举足轻重的作用,向社会提供燃气、汽油、煤油、润滑油、化工原料、合成树脂、合成橡胶、合成纤维、化肥等三千多种产品,而压力容器是石油化工工业的“命脉”。

压力容器在其他工业部门也获得广泛应用,例如各城市、企业所用的煤气或液化气贮槽,大型储罐是我国能源战略储备和城市燃气供应的基础性必备设施。工程机械所用的各种蓄能器,各种动力机械的辅机,例如:空气压缩机的冷却器、油水分离器及贮气罐等;氨制冷系统氨储罐、换热器和油分离器;造纸所用的各种蒸煮釜、铸铁烘缸;快开门压力容器有建材用的蒸压釜、橡胶行业硫化罐、医用消毒柜等。

众所周知,在核电设备中的压力容器制造难度大,要求极高。我国已成功地建设了秦山和大亚湾两座核电站,其中一些关键的压力容器核心设备就是我国自行设计和制造的。这标志着我国在核电压力容器制造方面已经有了相当成熟的经验和技能,已经步入世界压力容器制造行业先进行列。

压力管道作为一种特种设备在国民经济中占有重要战略地位,已越来越广泛应用于石油、化工、冶金、电力行业及城市燃气和供热系统中,截至 2006 年底,压力管道一共有约 75 万 km。工业管道是石油化工工业的“命脉”,长输管道和公用管道主要用于燃油、燃气、蒸汽和工业用危险介质的输送。在一些发达国家,管道输送的油气的数量已经超过了油气输送总量的三分之二,管道输送已成为与铁路、公路、水运、航运并列的五大输送行业之一。据 2006 年我国特种设备安全监察统计年报报导,我国长输管道和公用管道数量已经达到近 25 万 km,涉及到城市发展、能源供应、石油化工的基础设施和人民生活的基础条件等,是国家重大生命线。

2. 《承压特种设备实用技术》内容

鉴于特种设备危险性的特点和在经济、社会生活中特殊的重要性,其安全受到各国政府的高度重视,几乎所有的工业国家都将其作为特殊的设备而进行专门的监察管理。我国对特种设备实施强制性安全监察,是参考欧美发达国家的有益经验,是我国几十年来的一贯做法。多年实践表明,特种设备安全涉及生产(设计、制造、安装、修理和改造)、使用、检验检测全过程,对涉及安全的各个环节,实施全过程监察是保证特种设备安全行之有效的手段。本书根据承压特种设备全过程的各个环节,并结合其共性问题进行论述。

第 2 章锅炉,介绍了锅炉的发展、分类、结构及主要受压元件。锅炉结构分别按工业蒸汽锅炉、热水锅炉、铸铁锅炉、有机热载体锅炉、余热锅炉及电站锅炉进行介绍。主要受压元件包括锅筒(锅壳)、炉胆、封头(管板)、集箱和受热面管子。根据锅炉制造、安装、修理、改造这一主线,分别介绍了其工艺过程和质量控制点,例如:锅炉钢架、锅筒、水冷壁、过热器、省煤器的安装;修理包括腐蚀和裂纹的修理、变形复位修理、挖补和管子的更换;还介绍了锅炉的使

用管理。

第3章压力容器，介绍了压力容器的分类、典型结构、主要零部件、设计方法和设计要素。压力容器制造工艺包括划线与下料、筒节成形、封头成形、坡口加工、组对、焊接、热处理等，结合球形储罐和塔器两类设备，介绍了压力容器现场组焊要求。压力容器制造质量控制包括设计图样审核、材料及零部件控制、过程检验、焊接、无损检测、热处理、耐压试验和出厂（竣工）资料等，同时还介绍了压力容器安装、修理、改造工艺及质量控制和压力容器的使用。

第4章压力管道，介绍了压力管道的分类、组成、设计，压力管道元件，压力管道元件包括管子、管件、法兰、阀门、垫片、膨胀节、过滤器等。压力管道安装工艺和安装要求，包括施工准备、管件预制及加工、组对焊接、支吊架及附件的安装、管线吹扫、压力管道防腐，以及安装过程中的检验要求，压力管道的使用管理。

金属材料是承压设备制造的原材料，一般以低碳钢、低合金钢和不锈钢等金属材料为主。第5章金属材料基础知识，先介绍了金属的晶体结构、钢的表示方法、金属力学性能、金属热处理等基础，重点介绍了承压特种设备常用钢材和基本要求，还介绍了有色金属、铸铁、铸钢以及承压设备原材料常见缺陷。

焊接在承压设备制造中占有重要地位，焊条电弧焊、埋弧焊和氩弧焊等是承压设备的主要焊接方式。第6章焊接，在介绍了常用焊接方法、焊接接头的基础上，着重介绍了常用钢材的焊接、焊接应力与变形、常见的焊接缺陷，还介绍了焊工资格和管理、焊接工艺评定的要求。

第7章无损检测，分别介绍了射线、超声、磁粉、渗透和涡流五种常规无损检测方法的原理、工艺要点、优点和局限性，还介绍了声发射检测技术、相控阵及超声衍射时差法（TOFD等）、磁记忆检测、超声导波检测等新技术，同时还介绍了无损检测方法的选择与应用特点。

第8章法定检验，介绍了锅炉、压力容器及压力管道元件产品制造监督检验，锅炉、压力容器及压力管道安装、维修、改造监督检验，包括制造、安装、维修、改造单位质量保证体系监督检查，在用锅炉、压力容器及压力管道的定期检验。

安全附件是确保承压设备安全的补救措施，属于《条例》的监管范围。第9章安全附件介绍了安全阀、压力表、液面计、爆破片、温度计的结构、选用、安装、维护及调试，并介绍了紧急切断装置、减温减压装置和快开门安全连锁保护装置。

第10章承压设备失效、事故与预防，介绍了爆炸能量的计算、爆炸冲击波的伤害与破坏作用、承压设备常见破裂形式、承压设备事故分析和防止承压设备事故的措施。承压设备常见破裂形式有延性破裂、脆性破裂、疲劳破裂、应力腐蚀破裂、腐蚀疲劳破裂、氢损伤、晶间腐蚀断裂及蠕变破裂等，其他失效形式还包括炉膛爆炸、失稳破坏、快开门事故等内容。

第11章质量体系，介绍了特种设备生产质量保证体系原则、管理职责、质量保证体系文件等内容，还介绍了特种设备检验检测机构质量管理体系要求。

第12章安全监察体制，介绍了我国特种设备法规标准体系，重点从设计、制造、安装、改造、维修、使用等环节介绍了安全监察手段。

3. 承压特种设备技术展望

锅炉、压力容器与压力管道既是一种需接受政府安全监察的特种设备，其技术又是涉及到冶金、机械加工、腐蚀与防腐、无损检测、计算机、安全等众多行业，或者说它是在多项新材料、新技术、新工艺综合开发的基础上发展的工业产品。随着冶金、机械加工、焊接和无损检测等技术的不断进步，特别是计算机技术的飞速发展，且计算机技术的应用已经渗透到每一个领域，传统的设计、制造、焊接和检验方法已经和正在不同程度地被新技术、新产品所代替。承压特种设备的发展趋势是更高效、更节能、更环保、更人性化，具体地说：石化承压装置已向大型

化、高参数、长周期方向发展；电站锅炉向超超临界清洁煤发电技术发展；工业锅炉向大容量、高参数、高效率、低排放方向发展；城市燃气系统向应用清洁能源发展；油气长输管道向高效、长距离输送方向发展；埋地管道即将向形成网络体系方向发展。

大型高参数、复杂结构承压设备（如大开孔，不连续结构和超高压厚壁容器等），一般已离不开三维有限元应力分析。当代压力容器综合科技水平较高的核电站一回路反应堆容器、加氢裂化装置中的加氢反应器、深冷流程中的真空绝热超低温容器以及高温脉动循环载荷的疲劳容器等，都是通过各种基于电脑辅助的现代先进设计手段才得以完成其总体和细部设计。现代的承压设备结构设计正在逐步摆脱传统观念的束缚，体现真正满足工艺要求的设计理念，追求实效性、安全性和经济性的和谐统一，弹塑性失效机理中的安定性分析及塑性失效机理中的极限载荷分析，以及循环载荷下的抗棘齿效应分析等已经研究并应用。随着各种复合型钢材，材料多功能表面工程和非匀质功能性梯度材料的出现，在设计过程中材料的力学性能参数不再是静态值，而是随设计计算应力的变化不断调整的动态值，对于某些承压部件，如大型旋压封头，已应用计算机辅助设计和计算机辅助制造（CAD与CAM）等。

近年来，压力容器产品大型化、高参数化的趋势日益明显，千吨级的加氢反应器、1万 m^3 的天然气球罐等已经在我国大量应用，压力容器在石油化工、核工业、煤化工等领域中的应用场合也日益苛刻。耐高温、耐高压和耐腐蚀的压力容器用材料的研制与开发，一直是压力容器行业所面临的重大课题，例如：针对高温蠕变、回火脆化、低温脆断所进行的研究，准确地给出材料的应用范围；当前令人关注的是抗氢钢种、耐腐蚀不锈钢种、耐深冷低温钢种和耐高温抗氧化钢种等。我国开发了能防止低温脆断的耐低温低合金钢；国内外对Cr-Mo系抗氢钢种正在积极开发，这类钢种主要能防止氢脆、氢腐蚀、氢剥离等氢致缺陷，又有良好的可焊性和长期的组织稳定性。为了满足不同介质的相容性要求，覆有不同材料复层或堆焊层的复合钢板正在迅速进入市场，在选用这类复合钢板时，必须与相应的加工工艺规程、焊接工艺指导书、热处理要求及检测试验方法等配套进行。随着国家节能降耗产业政策推动，不锈钢以及铝、钛、铜、镍及其合金等有色金属容器轻型化技术正在开发并应用，数量正在逐渐增多，被一些产业广泛选用。

循环流化床燃烧技术显示出其优良的环境排放特性，其污染控制成本是目前其他技术无法比拟的，循环流化床锅炉向大型化发展，提高蒸汽的压力和温度到超临界并增加其容量已成广泛的共识。我国十一五期间每年平均装机容量将在4000万kW左右，这些机组以大容量、超临界或超超临界机组为主，其材质70%以上是ASME标准T、P系列材质，其钢管的外径和壁厚随着机组容量的增大和蒸汽压力参数的提高而增大，同时对钢管室温和高温综合力学性能、抗氧化、抗腐蚀性、焊接性，以及工艺性能等提出更高的要求。T91/P91、不锈钢TP347H等产品我国只能小批量供应；外径大于 $\phi 460\text{mm}$ 厚壁钢管国内也只少量供应；对超临界和超超临界用高压锅炉管T92/P92、T23/P23、T122/P122、TP347H拟在开发中。

传统的计算机辅助设计（CAD）已逐步向计算机辅助工程（CAE）的方向发展；制造——计算机辅助制造（CAM）技术正在逐步改变压力容器制造厂传统的工艺卡方式，质量管理意识和生产方式已经发生了深刻的变革；焊接——计算机控制的仿形焊机、激光焊机和全位置自动焊机的应用以及药芯焊丝的普遍应用，极大地提高了生产效率和产品质量。其中尤以焊接（含现场组焊）和热处理两个环节是保证产品质量的关键，当前国内、外都着眼于电脑自动化，特别是自动控制式焊接设备和热处理设备的改进创新更是发展神速，一些便携式自动焊接和热处理设备也已在大型球罐和塔设备等现场组焊中得到推广应用。无损检测——计算机射线实时成像、超声扫描模拟成像、多通道声发射和相控阵、TOFD超声检测等技术的应用，再配以专门研制的专家系统，使检测的结果更加准确和客观，特别是超声扫描模拟成像缺陷探察技术已经成

功地用于核设备、加氢反应器等厚度大于 100mm 的重型容器。火力发电厂锅炉管道积极研究、开发和推广电磁超声检测技术、蒸汽管道泄漏检测技术和无损检测自动化技术,以满足我国电力工业发展的需要。

有必要在承压设备产业推广“先进制造技术”理念,它是一项集具体制造技术与经营管理技术两个层面于一体的系统工程。作为承压设备的生产模式,主体技术群如备料、滚卷、锻压、成形、组装、焊接、热处理、检验测试和压力试验、爆破试验、疲劳试验等;支撑技术群如自动控制技术、信息处理技术、生产物流技术和标准化规范化技术等;管理技术群如质量控制、人员培训、市场电子商务技术和售后服务等。国际承压设备产业的大型企业,高度资本化、集约化、信息化、自动化的系统管理技术,将市场、技术、经济、管理融为一体以追求最佳技术经济效益。

经过标准化工作者的几十年的不懈努力,我国已经颁布并实施了以 GB 150—1998《钢制压力容器》、JB/T 4730—2005《承压设备无损检测》等为核心的一系列承压设备产品标准、基础标准和零部件标准,并以此构成了承压设备标准体系的基本框架。近几年来,国家相继又颁布了 60 多部 TSG 特种设备安全技术规范,使承压特种设备标准与法规同步实施,两者相辅相成,构成了我国完整的承压设备产品质量标准体系和安全监察法规体系。

第2章 锅 炉

2.1 概述

2.1.1 锅炉的工作过程

锅炉是国民经济中重要的热能供应设备，电力、机械、冶金、化工、纺织、造纸、食品等行业都需要锅炉供给大量的热能。

锅炉是一种利用燃料燃烧后释放的热能或工业生产中的余热，传递给容器内的水，使水达到所需要的温度（热水）或一定压力蒸汽的热力设备。它是由“锅”（即锅炉本体水压部分）、“炉”（即燃烧设备部分）、附件仪表及附属设备构成的一个完整体。水进入“锅”以后，在汽水系统中，“锅”受热面将吸收的热量传递给水，使水加热成一定温度和压力的热水或生成蒸汽，被引出应用。在燃烧设备“炉”部分，燃料燃烧不断放出热量，燃烧产生的高温烟气通过热的传播，将热量传递给“锅”的受热面，最后由烟囱排出。“锅”与“炉”一个吸热，一个放热，是密切联系的一个整体设备。

在锅炉中进行着三个主要过程：燃料在炉内燃烧，其化学贮藏能以热能的形式释放出来，使火焰和燃烧产物（烟气和灰渣）具有高温；高温火焰和烟气通过“受热面”向工质传递热量；工质被加热，其温度升高，或者汽化为饱和蒸汽，或再进一步被加热成为过热蒸汽。

以上三个过程是互相关联并且同时进行的，实现着能量的转换和传递，并伴随着物质的流动和变化：工质，例如给水（或回水）进入“锅”，最后以蒸汽（或热水）的形式供出；燃料，例如煤进入“炉”内燃烧，其可燃部分燃烧后连同原含水分转化为烟气，其原含灰分则残存为灰渣；空气送入炉内，其中氧气参加燃烧反应，过剩的空气和反应剩余的惰性气体混在烟气中排出。水-汽系统、煤-灰系统和风-烟系统是锅炉的三大主要系统，这三个系统的工作是同时进行的。通常将燃料和烟气这一侧所进行的过程（包括燃烧、放热、排渣、气体流动等）总称为“炉内过程”；把水和汽这一侧所进行的过程（水和蒸汽流动、吸热、汽化、汽水分离、热化学过程等）总称为“锅内过程”。

锅炉在运行中由于水的循环流动，不断地将受热面吸收的热量全部带走，不仅使水升温或汽化成蒸汽，而且使受热面得到良好的冷却，从而保证了锅炉受热面在高温条件下安全地工作。

2.1.2 锅炉的发展简史

锅炉的发展分“锅”和“炉”两个方面。18世纪上半叶，英国煤矿使用的蒸汽机包括瓦特的初期蒸汽机在内，所用的蒸汽压力等于大气压力。18世纪后半叶改用高于大气压力的蒸汽。19世纪，常用的蒸汽压力提高到0.8MPa左右。与此相适应，最早的蒸汽锅炉是1765年俄国机械师波尔祖诺夫制造的圆筒形锅炉，后来改用卧式锅壳锅炉，在锅壳下方砖砌炉体中烧火。随着生产力的发展，需要更大的蒸发量来满足要求，增加受热面积是提高蒸发量的有效途径之一。

1. 火管锅炉

为了增加受热面积，在锅壳中加装火筒，在火筒前端烧火，烟气从火筒后面出来，通过砖砌