

中国锅炉压力容器安全工程进展

首届全国锅炉压力容器安全技术学术会议优秀论文集



劳动部锅炉压力容器安全技术鉴定委员会

劳动部锅炉压力容器安全杂志社

中国锅炉压力容器 安全工程进展

首届全国锅炉压力容器安全技术学术会议
优秀论文集

劳动部锅炉压力容器安全技术鉴定委员会
劳动部锅炉压力容器安全杂志社

编者的话

随着改革开放的深入，经济建设迅速发展，锅炉压力容器数量逐年增加，这些特种承压设备的安全已成为国民经济发展中的一件大事。在这种形势下，劳动部锅炉压力容器安全技术鉴定委员会和锅炉压力容器安全监察局于1988年10月主持召开了首届全国锅炉压力容器安全技术学术会议，并评选出79篇优秀论文。这些论文渗透着作者坚实的理论基础和多年的工作经验。我们将这些论文汇集出版，必将促进锅炉压力容器安全技术进步，提高锅炉压力容器安全监察和检测技术水平。

本文集共分五个部分。

第一部分，是几位专家在大会上的发言，都有很高的学术价值和指导意义。

第二部分，安全管理与检验。介绍了有关锅炉压力容器安全监察、安全检验、安全科学管理和质量保证方面的研究成果与实践经验。

第三部分，安全评定与设计计算。介绍了锅炉压力容器的安全评定、失效分析的研究，并有多篇论文在设计计算和新材料的安全性能方面作了探讨。

第四部分，应用技术。这一部分的论文最多，是作者多年工作的总结，包括新工艺、新技术、缺陷处理、节能改造、在役监控、检测手段，防垢防腐和水处理等的研究成果。

第五部分，事故与分析。论文针对具体实例进行了深入的分析，对预防事故的发生，及早发现隐患提供了有益的经验。

限于我们的水平和时间，在出版中难免会出现一些错误。本集出版后，希广大读者多提宝贵意见，以促进我们今后的工作。

一九八九.三.

前 言

1988年10月劳动部锅炉压力容器安全技术鉴定委员会在大连召开了全国首届锅炉压力容器安全技术学术会议。这次会议共收到论文326篇，内容十分丰富，涉及锅炉压力容器的安全理论、性能试验与分析研究、材料、焊接、热处理、无损检测、质量控制、事故调查和分析等诸方面，几乎覆盖了锅炉压力容器的设计、制造、安装、运行、检验、修理和改造等安全工作的全过程。会议评选出79篇优秀论文，这本《中国锅炉压力容器安全工程进展》，就是由优秀论文和大会发言材料汇集而成，它反映了我国锅炉压力容器的安全技术水平，具有一定的学术性和实用性。

这次学术活动是我国锅炉压力容器安全技术力量的大检阅，活跃了学术气氛，推动了技术进步，为广大锅炉压力容器安全工作者提供了展示水平的机会。安全工作是否有成效，在很大程度上取决于从事此项工作的人的素质，而在职人员的素质提高，在于通过工作实践，不断吸收新知识，用以整理、总结和提高，使之上升到理论，再指导实践，这样就能既做好了本职工作，又增长了才干。

在《中国锅炉压力容器安全工程进展》问世之际，让我们广大锅炉压力容器安全工作者共同努力，为把我国的安全技术提高到一个新水平而奋斗！

江才寿 1989年元月

目 录

编者的话

前言

一、大会发言

我国锅炉压力容器安全工程发展预测.....	李学仁 (1)
谈压力容器的标准与缺陷评定.....	柳曾典 (17)
我国工业锅炉行业存在的问题及今后努力方向.....	李之光 (24)
我国电站锅炉产品概况.....	吕 翔 (28)
模糊数学与统计试验法在压力容器可靠性分析中的应用.....	戴树和 (53)
试论机械失效分析、预测和预防.....	钟群鹏 (67)

二、安全管理与检验

浅论具有中国特色的锅炉压力容器安全监察制度.....	王国祥 (70)
锅炉压力容器事故直接经济损失计算方法分析.....	陈少文 (72)
吉林省在用压力容器整治情况和今后设想.....	梁存让 (78)
关于液化石油气钢瓶批量生产中监检质量抽查方法的研究.....	葛 新 (81)
科学管理出效益, 铸铁锅炉获新生.....	劳嘉寿 (88)
概率论在批量性压力容器监检中的应用初探.....	王亚斌 (93)
铸铁烘缸的制造和监督检验.....	杨经建 (99)
提高压力容器产品质量的有力措施.....	沈开达 (104)
进口锅炉压力容器检验问题浅析.....	刘 俊 (126)
产品监督检验质量控制.....	方宗通 (137)
超厚板焊缝的超声波探伤焊缝质量验收标准的制定.....	孙呈等 (146)
硬度测试在进口锅炉压力容器检验中的对比分析及实用性研究.....	麦 年 (151)
球罐大型化发展趋势和安全性的研究.....	朱振玉 等 (159)

三、安全评定与设计计算

调峰机组锅炉汽包的热应力分析及低周疲劳设计.....	郑思定 (175)
热水锅炉水冷壁管内安全水速的试验研究系统及方法.....	卓宁 等 (185)
工业锅炉烟管的安全性评价.....	包于浚 (190)
关于压力容器设备的失效分析.....	石钟珣 (198)
试探 BASIC 语言在《JB2194》上的应用.....	李秀中 (207)
热缩型集箱封头强度的研究.....	董芑 等 (221)
加热管的最小壁厚及孔桥最小宽度公式推导及计算.....	杨造锁 (227)
确定气体介质条件下门限应力强度因子 K_{ISCC} 的 WOL 试样法.....	陈宪禧 等 (233)

压力容器用钢的韧性要求	秦晓钟 (242)
断裂力学在压力容器设计与安全分析中的现状及进展	郝苏 等 (251)
16MnR钢在不同原始状态下的 CO ₂ 试验	麻启承 等 (256)
压力容器安全评定的研究与实践	琚定一 (261)
内压斜接容器结构局部应力分析与强度设计	宋方鹏 (270)
液化石油气钢瓶判废试验研究	丁霖果 等 (291)
加压变换炉超温区失效分析与安全评定	杨芳毓 (299)
压力容器结构设计值得注意的几个问题	詹尚贤 (304)
蒸压釜温差应力的弹性力学分析	沈元定 (310)
锅炉压力容器用 BHW35、13MnNiMoNb 厚板冷裂纹、再热裂纹敏感性 评定研究	王鹏展 (317)
论计算锅炉爆炸能量的几个问题	周生龙 (332)
可燃气体的燃爆强度	毕明树 等 (341)
关于炉胆壁厚计算公式中几个技术问题的探讨	冯维君 (355)

四、应用技术

465 千瓦立式介质油加热炉	郭子谦 (365)
高温对锅炉钢材的损坏	李正华 等 (370)
热管在工业锅炉上的应用	陈开忠 等 (379)
40Mn2 钢的强韧化处理及气瓶的低温爆破	由宏新 (390)
溶解乙炔气瓶阀座的新焊接结构及工艺的研究	王学琪 (397)
取消液氯气瓶易溶合金塞可能性的探讨	张志毅 等 (402)
溶解乙炔气钢瓶回火试验论述	张燕飞 (409)
焊接质量控制	邱长忠 (414)
锅炉压力容器焊工实际操作技能考试中出现的焊接缺陷分析	黄彬敏 (418)
浅谈焊接接头的冷弯试验	胡 军 (431)
焊后局部热处理工艺及传热过程探讨	吴忠福 等 (436)
声发射技术在高压气瓶中的监测	毛增滇 等 (451)
带衬垫中薄焊缝根部收缩沟的射线探伤及试验	蒋泽斌 等 (460)
提高单向 x 射线机透照 YSP-15 型钢瓶的速度及其影响探伤质量 因素分析	梁启涵 (467)
对 x 射线探伤中某些缺陷在投影方向上的尺寸的判断方法的探索	李齐雨 (475)
应用 Ir ¹⁹² γ 射线透照法对锅炉管内壁结生水垢厚度的检测	杨大衡 (484)
低压锅炉水处理应注意的几个问题	陈 迅 (492)
层燃炉尾部烟道发生二次燃烧的原因及预防措施	罗章烈 (496)
工业锅炉存在的问题和应采取的措施	李同德 执笔 (499)
锅壳式快装热水锅炉合理操作是减缓或避免管板裂纹的一项重要措施	许永平 (512)
工业锅炉防垢防腐几则实例的分析	林国康 等 (517)
KZ 型快装锅炉的损坏和修理	陆绪常 (526)
散垢的堆积及其水动力	邵志祥 (535)

HG-410/100-6型锅炉汽包大直径下降管角焊缝的返修处理·····	王立群 (538)
上海市工业锅炉的节能和改造决策咨询报告·····	施强孙 等 (552)
对大容量燃油(或燃气)热水锅炉安全阀设置的商榷·····	李竞武 等 (560)
提高离子交换水处理经济效益的几种方法·····	周 英 (565)
低温热水锅炉防腐——结垢与腐蚀的关系·····	周丕显 (569)
KZL 型蒸汽锅炉改为热水锅炉后的运行调查报告·····	张 滨 (572)
广东遂溪北坡糖厂 SHS35-39/450蔗渣炉超出力改造的几点体会·····	邹宗赛 (576)
石灰沉淀软化法是小型锅炉水处理的一种重要方法·····	河南省劳动厅锅炉处 (585)
铝镁合金储罐横缝和管道固定口的焊接·····	武润身 等 (592)
大庆乙稀工程9%Ni钢1500m ³ 球罐水压试验泄漏处及其它超标缺陷返修补 焊材料及工艺试验研究报告·····	曹廷武 等 (598)
大庆30万吨/年乙稀脱甲烷塔修复与检验·····	于海波 等 (612)
热裂化反应塔的检验和缺陷处理·····	于印亭 等 (628)
关于延长蒸压釜使用寿命问题的探讨·····	佟 军 (637)

五、事故与分析

电站锅炉汽包裂纹原因及处理措施探讨·····	雷中黎 (646)
火力发电厂汽包锅炉的水冷壁故障·····	郑长绪 (651)
新安装35吨/时中压电站锅炉爆管事故分析·····	杜景泉 (666)
下锅筒受热问题不应忽视——对一次下锅筒裂纹事故原因的探讨·····	李昌荫 (673)
烧碱蒸发罐爆炸事故分析·····	俞秀民 (679)
自制10m ³ /h 乙炔发生器爆炸事故分析·····	郑文龙 (686)
安全工程学的具体应用——水城钢铁公司乙炔气贮罐爆炸事故的分析研究 与对策·····	刘崇寿 (693)
1万吨/年再制盐Ⅱ效加热室泄露原因分析·····	唐志昂 等 (700)



我国锅炉压力容器 安全工程发展预测

李学仁

一、前言

锅炉和压力容器广泛用于电力、石油、化工、机械、轻工、纺织、冶金、交通、食品、医药、建筑、海洋、国防等各个工业部门的生产装置和机关、企业、学校、医院、旅馆、剧场、商店、部队等各个单位的生活设施。随着液化石油气的广泛应用和乡镇工业的发展，锅炉压力容器又已遍及城市的普通家庭和广大农村。

锅炉压力容器是具有爆炸危险的特种承压设备，它承受着高温（可达 1000°C 以上）、低温（可低于 -196°C ）、易燃、易爆、剧毒、强腐蚀工作介质的高压力（可达 300MPa ），一旦发生爆炸或泄漏，往往并发火灾或中毒，摧毁生产装置和供电设施，危及相关企业和邻近居民，导致灾难性事故，严重破坏社会生产、生活和经济活动的正常进行，给人民的生命财产带来巨大损失，对社会的安定造成巨大影响。

例如，1905年美国某鞋厂锅炉爆炸，死亡58人，受伤117人，损失25万美元；1944年美国一液化天然气贮罐泄漏，引起爆炸和火灾，死亡128人，损失680万美元；1973年日本一套乙稀装置因泄漏引起爆炸，直接损失150亿日元；1984年墨西哥一液化石油气站爆炸，引起火灾，死亡500多人，伤5000多人，下落不明者1000多人。

在我国，1955年4月，天津棉纺厂发生锅炉爆炸，死亡8人，受伤69人，直接经济损失37万元，因而在劳动部内成立了锅炉安全监察局；1979年，浙江温州电化厂发生液氯钢瓶爆炸，死亡59人，严重中毒779人，直接经济损失63万元，紧急疏散达8万人；同年，天津大港电厂一台进口锅炉炉膛爆炸，直接损失50万元，因停止发电达6个月，损失达21.6亿元；年底，吉林市液化气厂的一台大型球罐突然开裂泄漏，导致火灾和数台液化石油气贮罐及3000多只液化石油气钢瓶相继连续爆炸，大火持续达23小时，死亡32人，受伤54人，使造价600多万元的企业毁于一旦；1981年，辽宁清河电厂20万瓩机组的除氧器发生爆炸，机房倒塌死亡9人，受伤5人，直接损失500多万元，少发电7亿度；1984年元旦，大连石油七厂一台压力容器连接接管焊口断裂，导致爆炸和火灾，死亡7人，受伤300余人，相当于里氏1.2级震级的爆炸力和大火摧毁了两套生产装置，造成全厂短期停产，直接损失近1000万元，使大连市居民的液化石油气供应告急；1988年4月，天津一液化气站因一只钢瓶超装起火，导致3000多只液化石油气钢瓶和一台 50m^3 液化石油气贮罐相继爆炸，大火和放空燃烧持续68小时，烧毁了厂房和用37万美元进口的自动灌装装置，烧掉液化石油气118吨，伤7人，直接损失约200万元，几个月未能恢复生产。

鉴于锅炉压力容器在人们的社会和经济活动中有着特殊的重要性和危险性，它的安全问题，历来受到特殊重视。二百多年来，锅炉压力容器的发展史，是一部安全工程发展史。锅炉压力容器安全工程作为一门系统工程，它的发展取决于多种学科和多方面技术的发展，从根本上说来则有赖于整个科学技术的进步、国民经济的发展和良好的社会环境。当今世界，科学技术的发展日新月异，锅炉压力容器安全工程的发展也十分迅速。随着整个工业和科学技术的发展，随着电子计算机技术的日益广泛应用和发展，锅炉压力容器安全工程中许多传统的方法、技术、工艺和管理等，也正在发生着巨大的变革。从现在起至二〇〇〇年的十多年，是我国经济和社会发展的一个重要时期，也是我国锅炉压力容器安全工程发展的重要时期。当前，深入地研究我国锅炉压力容器安全工程的现状和国外的发展动向，分析我国锅炉压力容器安全工程所存在的主要问题和与国外的主要差距，预测我国锅炉压力容器安全工程的发展趋势和发展目标，并制定相应的发展对策以迅速提高我国锅炉压力容器安全水平和努力赶上世界新技术发展潮流，无疑是摆在我们锅炉压力容器安全工程工作者面前的一项重大课题。

二、我国锅炉压力容器安全工程发展状况

1. 锅炉压力容器数量发展状况

数量和能力，在一定程度上是发展水平、实力或潜力的体现。

——在制造厂数量上，我国现有锅炉压力容器制造厂共 2149 家（颁发制造许可证 2289 件）。其中，锅炉制造厂 570 家（140 家兼产压力容器），压力容器（含气瓶）制造厂 1719 家（140 家兼产锅炉，223 家自制自用）。我国的锅炉压力容器制造厂数量仅略少于美国，而大大超过了英国、西德和日本（参见表 1）。

表 1 我国与国外锅炉压力容器制造厂数量

数量 分类		中 国 (1988年)				美 国 (1985)	加 拿 大 (1985)	英 国 (1970)	西 德 (1970)	日 本 (1970)
专业 厂	锅 炉	430								
	锅炉兼容器	140 (280)	1822 (1982)	1926 (2088)	2149 (2289)	2400 (5100)	178 (230)	300	400	334
	压力容器	1262								
	单一气瓶	104								
压力容器自制自用		223								

注：表中括号内数字为发放许可证件数，不带括号者为厂家数（也是许可证发放件数）。

——在产品产量上，我国1987年共生产锅炉约 6 万台、压力容器约 20~25 万台，各类气瓶约 700 万只，锅炉、压力容器的年产台数约为美国（含加拿大）的一半（参见表 2）。

——锅炉压力容器在役数量，据不完全统计我国1987年已拥有在役锅炉 35.7 万台，是日本

的3倍、在役压力容器96.5万台、在役各类气瓶2118.6万只,在役锅炉压力容器总数达2250.8万台(只), (参见表3)。近三年,我国在役锅炉台数平均年增长率为7% (参见图1), 压力容器为9%、各类气瓶为18%, 其中1987年的增长速度较快, 锅炉为8.2%、压力容器为16%、气瓶为24%, 在役锅炉压力容器数量还处于较快增长阶段。而日本, 在役锅炉台数自1978年后已逐年减少, 在役压力容器(以第一种为例)近几年的年增长率也只为1.3~3%, 平均2.1%。

表 2 我国和美国锅炉压力容器产量
万台(只)

分类	中 国		美国(*) (含加拿大)	
	1985年	1987年	1985年	1986年
锅 炉	4	6	11	10.9
压力容器	~25	20~25	52.3	58.3
气 瓶	450	700		

[*]: 为美国 NBBI 注册数。

表 3 我国1987年锅炉压力容器在役数量 万台(只)

锅 炉		压力容器	气 瓶			
蒸汽	热水		液化石油气瓶	无缝气瓶	焊接气瓶	溶解乙炔气瓶
23.8	11.9	96.5	1695.8	324.5	45.3	53
35.7			2118.6			
			2215.1			
2250.8						

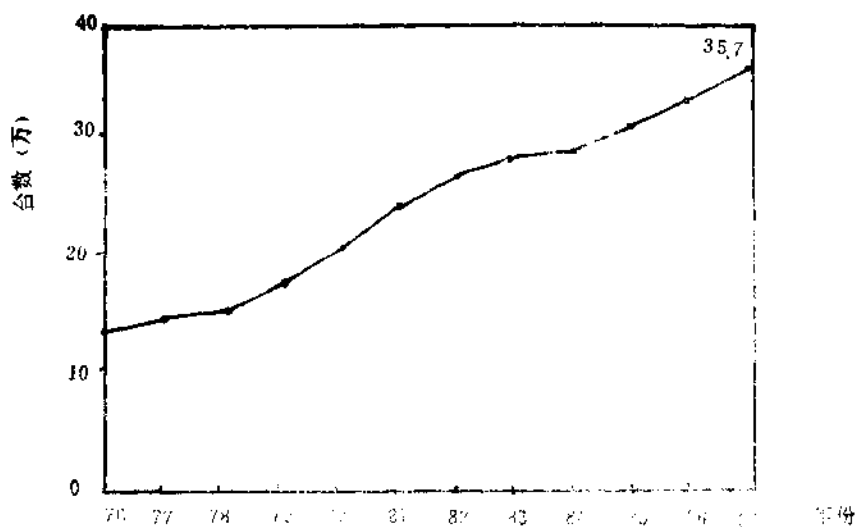


图1 我国在役锅炉数量增长情况

2. 锅炉压力容器事故状况

事故情况是锅炉压力容器安全工程发展水平的综合和集中体现, 是安全状况的定量衡量, 并通常以事故率(或失效率)来表示。

锅炉压力容器事故, 在我国目前分为爆炸事故、重大事故和一般事故三大类, 在国外一般分为灾难性事故(或失效)、潜在性事故(或失效)和事件。

——十多年来, 我国锅炉压力容器爆炸事故已明显下降。据不完全统计, 从1976~1987

这十二年间，我国发生锅炉压力容器爆炸事故2710起、死亡1532人，受伤5754人。万台锅炉的年均爆炸事故率，在《五五》期间高达6.8，《六五》期间已下降至2.42，《七五》头两年则下降至1.19；万台压力容器（不含气瓶）的年均爆炸事故率，也由《六五》期间的2.03下降至《七五》头两年的1.4；至1987年，我国锅炉爆炸事故率为万分之0.96，压力容器（不含气瓶）的爆炸事故率为万分之1.36，平均为万分之1.16，比1979年降低了80%（参见图2和表4）。

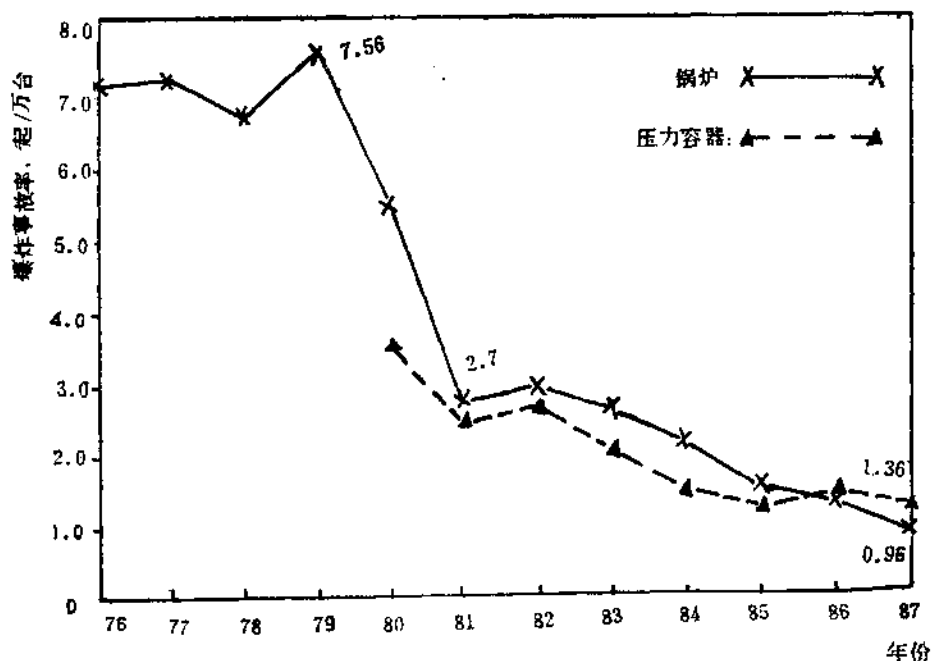


图2 我国锅炉压力容器万台爆炸事故率

表4 我国与国外锅炉压力容器爆炸事故率比较

事故率， 起/万台	项 目	锅炉爆炸事故率		锅炉重大事故率		压力容器爆炸事故率		
		中 国	日 本	中 国	日 本	中 国	英 国	美 国
1961~1965			2.52		2.78			
1966~1970			1.26		1.44		0.7	
1971~1975			0.52		1.32		0.38	0.26
1976~1980		6.8	<0.20	20.5	1.43		0.2	
1981~1985		2.42		20.8		2.03		
1986~1987		1.19		15		1.40		

——与世界发达国家相比，日、英、美等国的锅炉压力容器年均爆炸事故率在七十年代后期已下降至万分之0.2左右（参见表4）。我国的锅炉压力容器爆炸事故实属相当严重，大约是目前世界发达国家的10倍以上，或相当于它们二十年前的水平（参见表4和图3）。

——就我国锅炉的重大事故（指受压部件或附件严重损坏和炉膛爆炸等而导致被迫停炉修理的事故）而言，十多年来没有明显降低，一直保持在万分之15至20的高事故率上，相当于日本二十年前的10倍。

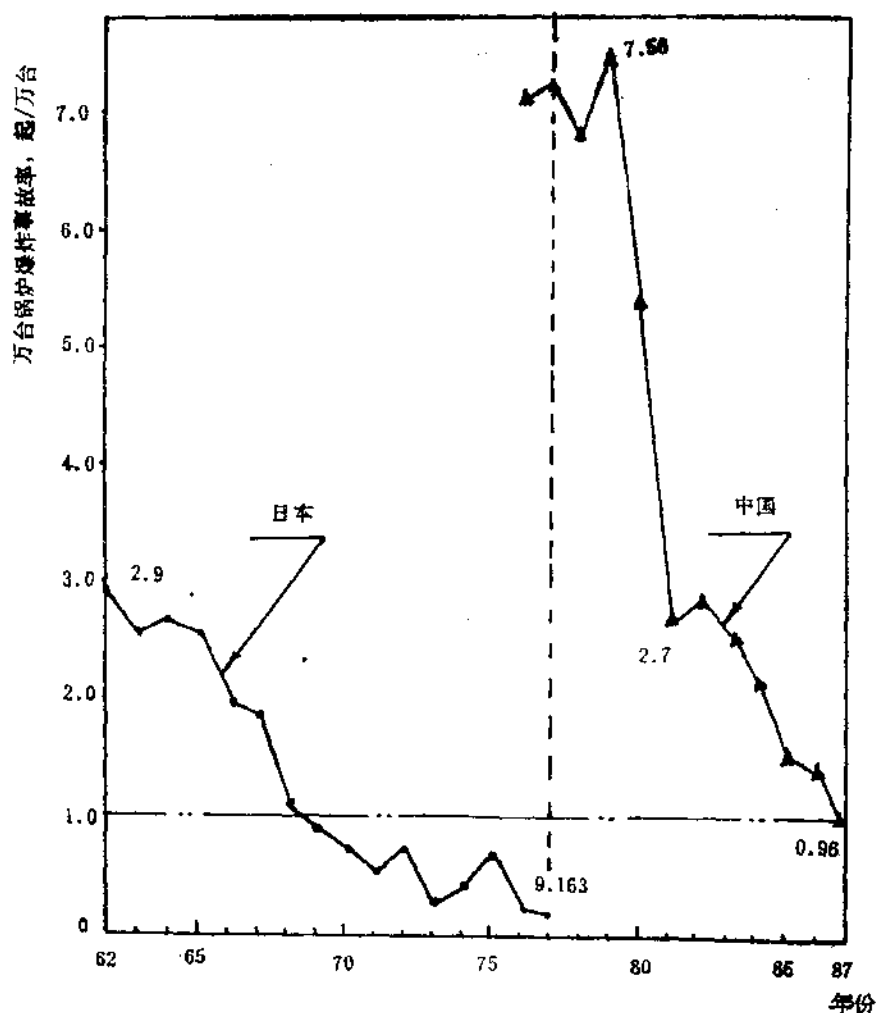


图3 中国、日本锅炉爆炸事故率比较

3. 锅炉压力容器安全管理状况

由于众所周知的原因，多年来我国在役锅炉压力容器（尤其压力容器）几乎谈不上什么安全科学管理。八十年代以来，虽有明显改善，在一些系统和不少企业实行了锅炉压力容器一台一档、定期检修、无事故、无泄漏的文明科学管理，全国的爆炸事故亦有明显下降，但各系统、各企业的安全管理很不平衡，事故隐患仍相当严重。总的基本情况仍然是缺乏严格的科学管理。突出表现在：

——登记发证率低。目前，在役锅炉除少数“漏网”者外，基本实现登记、发证；但量大面广的压力容器，至今登记发证率还不足20%，致使大量不合格的压力容器也投入使用。

——定检率低。目前，在役锅炉的定检率已达80%左右，而压力容器仅为20%左右。大

量压力容器长期不检不修、盲目使用情况相当严重，尤以中、小企业和乡镇企业为甚，甚至已报废或退役的还继续“上山下乡”和“发挥余热”。

——完好率低。据1986年对全国21.86万台锅炉的定期检验结果，需报废者9450台，占4.4%，需修理或降压使用者13100台，占6%，压力容器正在开展全面检验，据部分先行地区的检验结果，安全状况良好并可以立即补予发使用证的约占20%左右，应予立即报废者约占10%，其余70%左右是有待于进行较大修复或作进一步的安全评定。

——管理不善。据对1981~1987年这七年间所发生的3800多起锅炉爆炸和重大事故的直接原因分析，由于缺水、结垢、操作错误等忽视安全和管理不善而导致的占65.6~83.6%，平均占74.7%（参见表5）。在1979年发生的188起压力容器爆炸事故中，由于违章作业、无章可循、长期不检不修、附件失灵和蛮干等忽视安全和管理不善而导致的也占68.1%。

表 5 3800起锅炉爆炸事故和重大事故原因分析

% 年份		1981		1982		1983		1984		1985		1986		1987		七年平均	
项目	缺水		51.4		45.1		54.9		43.6		56.3		52.6		51.8		50.8
	结垢	72.4	15.2	65.6	14.6	83.6	20.0	71.2	14.0	81.0	13.5	72.3	13.8	74.8	18.0	74.7	15.6
	误操作		7.6		5.9		8.7		13.6		11.2		6.1		5.0		8.3
	设计、制造、安装		16.0		13.4		12.9		8.6		6.7		13.0		6.0		10.9
其 它			11.6		21.0		3.5		20.2		12.3		14.7		19.2		14.4

近几年来，随着改革、开放、搞活，一方面许多企业通过引进先进的管理科学、技术和手段，如状态监测监控、设备诊断、声发射在线监测、电子计算机管理和加强定期检验等，使锅炉压力容器安全管理向科学化迈进了一大步。另一方面大量缺乏技术和管理落后的乡镇企业、个体工业的崛起和在许多企业中盲目追求短期经济效益而出现的忽视安全和蛮干现象也使锅炉压力容器的安全面临着更为严峻的局面。

4. 锅炉压力容器安全技术发展状况

(1) 设计技术

我国锅炉压力容器目前所采用的设计方法，仍属传统的薄膜应力弹性失效准则，即所谓常规规范设计。这种方法简单，有长期实践经验，有较高的安全系数，因而有较高的安全可靠。在锅炉压力容器的事故统计中有5%左右属“设计不合理”，主要是未按规范设计所致。但这种方法在结构特殊、应力复杂或承受疲劳载荷等时，只能依赖于经验或应力测定。自八十年代初起，随着电子计算机在我国的发展和消化吸收国外先进设计技术，锅炉压力容器的设计技术也从上述传统、经验、手工的设计时代，开始进入更加精确、科学、可靠的分析设计、计算机辅助设计时代，并已制定了压力容器分析设计、疲劳设计规范，开发了相应的设计软件包。推广、应用、普及新的设计技术，并进而沿着设计的电脑化、动态化、最优化方向发展，必将对锅炉压力容器安全工程的发展产生深远意义。

(2) 材料工程

在锅炉压力容器向着大型化、高参数、多用途方向发展的今天，材料在锅炉压力容器安全工程中有着更为重要的作用和地位。

多年来，材料问题一直是我国锅炉压力容器发展和安全工程的一大难题。当前的主要问题是：

品种缺、规格少，设计、制造无多大选择余地，代材情况相当普遍，尤其低温高温、高强度、抗氢和耐特殊介质腐蚀材料。

标准低，质量不稳定，性能不合格的情况多有发生。

供不应求，且板、管、锻、焊材料往往不配套。

材料的应用研究基础薄弱，尤其缺乏母材与焊接材料最优匹配，环境（如高温、低温、介质情况、载荷性质等）对材料及焊接接头性能影响，以及断裂韧性，裂纹扩展阻力，材料性能退化特性等研究。

(3) 焊接技术与焊接质量控制

锅炉压力容器爆炸事故大多发生在焊缝区，尤其位于高应力应变区的焊接缺陷部位，因而焊接技术与焊缝质量仍是锅炉压力容器质量与安全的关键。

以往我国锅炉压力容器的焊接技术比较落后，焊接质量较差，尤其在十年动乱期间，多数工厂取消了焊工的定期考试发证，砍掉了产品焊接检验试板，削弱了焊接工艺和技术试验研究工作，破掉了正常的焊接控制程序，造成了现役几十万台压力容器存在着严重的焊接缺陷而成为今天我国压力容器安全工程中必须集中整治的最突出问题。

一九八二年后，通过对文化大革命的彻底否定，通过劳动部门强化安全监察和实行制造厂审定发证，各厂恢复了焊工培训、考试、发证、严格了焊接检验试板，实行了焊材的科学管理，建立了焊接试验研究室、推行了焊前工艺评定，更新了一批老旧焊接设备，扩大了自动焊和保护焊技术，强化了焊接全过程的控制和检验，使焊接质量大幅度提高，返修率大幅度减少，产品出厂焊缝质量合格率比“文革”时提高三倍以上。同时，开发了焊接过程微机控制，大厚板窄间隙焊接，电子束焊接等先进技术和装备，缩小了与发达国家的差距。

当前主要问题是焊接力量不足，小厂更加奇缺，先进焊接方法和设备不普及，手工焊仍占较大比例，焊接质量控制不巩固。

(4) 无损检测技术

无损检测是产品质量检验和安全监察人员的“眼睛”。无损检测结果的可靠性，不仅反映了无损检测技术的水平，而且直接关系到锅炉压力容器的安全可靠性能。

多年来，我国锅炉压力容器的无损检测方法主要是靠 X 射线照相和超声波探伤，但无损检测人员总的素质较低，技术和装备的发展较缓慢，检测结果的可靠性较差。一九八二年以来劳动部门第一次对锅炉压力容器无损检测人员进行较广泛、系统的技术培训和资格考核，有效地提高了无损检测队伍的技术素质和检测结果的可靠度，缺陷的检出率和评定的准确率也大大提高。

近几年来，鉴于人们对采用无损检测技术发现制造缺陷寄予特殊的期望和对传统的 X 射线、超声波探伤方法本身各自的局限性和不可靠性的越来越深刻的认识，围绕提高无损检测可靠性和检测效率问题，锅炉压力容器制造和检验在开发应用周向透照、工业电视、 γ 射线照相、加速器、自动洗片等射线探伤新技术和装置的同时，B 超检测、声发射检测、计算机

用于超声检测数据处理等声学 and 激光检测新技术和装备,也迅速得到了开发和应用。

当前存在的主要问题是:无损检测人员数量不足,素质偏低,无损检测的不可靠性问题尚未根本解决;“不可检区”还多有存在。总之,人员、技术和装备还不能完全适应生产和安全的需要。

(5) 质量管理

先进的技术、良好的装备、优质的材料、健全的法规、还得有合格的人才和严格科学的质量管理,才能保证始终稳定、可靠的产品质量。

我国锅炉压力容器制造的质量管理工作,以往主要依靠产品的最终检验,实质是种“事后控制”的方法,产品质量得不到应有的保证。

七十年代末,部分企业开始学习、移植国外锅炉压力容器制造的先进管理办法。此后,在试点的基础上,一九八二年劳动人事部明确提出锅炉压力容器制造厂在申请制造许可证时必须建立健全制造质量保证体系。从此,各厂建立了相应的质量保证体系,制定了工厂质量保证法规,对锅炉压力容器制造的全过程和各个系统、环节、控制点的人、机、料、法、环五大因素实行严格的质量控制,一变过去以最终检验为主要特征的“重产品”的质量管理为以事前控制、过程控制、系统控制为主要特征的“重体系”的质量管理。促进了锅炉压力容器制造行业人的素质和技术、装备、管理、质量水平的提高,使锅炉压力容器安全工程在产品制造质量保证方面迈出了可喜的一步。

(6) 大型化技术

在大型化发展方面,电站锅炉已从五十年代的6万千瓦、六十年代的5~10万千瓦、七十年代的20~30万千瓦,发展到目前可为60万千瓦火电机组生产配套,但距130万千瓦机组的世界先进水平尚有较大差距;合成氨成套装备技术已从五十年代的6万吨/年迅速发展到目前的30万吨/年;乙稀装置也从六十年代的小型试验装置,发展到已能自己设计、制造大型30万吨/年成套装置;压力容器的单台最大制造重量也从七十年代中的220吨(炼油加氢反应器)、八十年代初的300吨(尿素合成塔),发展到目前正在制造的560吨(炼油加氢反应器),而目前国际先进水平是1200吨;大型球罐的现场组焊安装最大容积也从六十年代的1000m³、七十年代的8000m³,发展到目前的20000m³。

(7) 锅炉压力容器的失效分析、预防与可靠性研究

锅炉压力容器安全工程,自锅炉压力容器问世之日起,一直不断地致力于最大限度地提高锅炉压力容器的安全性,尽可能地降低事故率。

锅炉压力容器的安全性,从定量来度量就是它的可靠性或失效率。

对锅炉压力容器使用中的事故进行失效分析,分析失效原因和规律,进而对失效机制、失效模型、退化参量、失效概率等进行深入的研究,提出安全使用剩余寿命估算方法和预防失效的对策,是锅炉压力容器安全工程尤其是安全监察工作的十分重要课题。

从统计、分析使用中的失效案例,可以得到以往使用的锅炉压力容器的失效率,也可以从分析导致失效的各个因素(诸如材料、设计、制造、焊接、探伤、使用、以及管理等等)中找到某些规律,进而改进这些因素,以提高锅炉压力容器的可靠性,降低失效率。但如想对导致失效的各因素进行定量分析,进而按所要求的可靠性(或失效率)指标予以切实保证,即所谓进行安全性或可靠性或失效率的目标管理,在以往显然是不可能的。因为决不可能按照规定的标准制造大量的锅炉压力容器并使用多年来获得相当大量的数据。

近几年来,随着可靠性工程学的发展和概率断裂力学的兴起,提供了对影响锅炉压力容器可靠性各个因素进行定量分析的可靠性。设备诊断和状态监控技术的进步,也使人们能够科学地建立排障程序,并按照锅炉压力容器所要求的可靠性指标给予切实保证,无疑,这也是我国锅炉压力容器安全工程的方向。

可靠性研究首先要进行失效原因分析,为可靠性设计(又称概率设计)和可靠性预测提供基础。其次需建立失效物理模型,即用统计分析的方法使失效的机制模型化,提出可供计算的物理模型,并可用这种模型进行可靠性预测。还要进行可靠性设计,将载荷、材料强度等随机变量用分布函数来描述,用概率统计方法求解,并把失效概率控制在允许范围之内。

概率断裂力学是在传统断裂力学分析的基础上,采用概率统计方法,即引入可靠性理论,探索结构存在的不确定因素(裂纹尺寸、载荷性质或频率、材料特性、裂纹扩展速率等)及其概率分布规律,去代替传统断裂力学中对上述那些实际上不确定的因素所作的确定性假设。使断裂力学在进行结构的安全评定中发挥更大作用。也是可靠性工程的一种特定情况。

包括状态监控技术和识别理论在内的设备诊断技术,是通过监控或监测设备运行过程中所发生的现象(如裂纹、腐蚀、过烧等)并根据设备运行状态,按照所建立的诊断理论来预测异常或故障的原因及对将来的影响,寻求必要的对策。是可靠性工程学在工程上具体实施的重要内容。

我国从六十年代起曾对压力容器的低温脆性断裂进行过大量研究。七十年代中后期以来,又以断裂力学理论为基础对在役带缺陷锅炉压力容器的安全性开展一系列的研究。其中,以七十年代末由机械部合肥通用机械研究所等二十多个单位开展的“压力容器缺陷评定规范”课题组的研究工作为其代表。该研究于八十年代初完成,并以压力容器和化工机械两个学会的指导性文件方式公布在工程上开始了局部应用。在此期间,随着国际上断裂研究、失效预防技术、可靠性工程技术、电子计算机技术等的发展和工程实际需要,锅炉压力容器的失效分析预防、寿命预测、在线监控和可靠性研究在我国许多单位也正在蓬勃开展起来。

5. 锅炉压力容器安全监察工作状况

对锅炉压力容器实行安全监察,世界各国尽管在方式、体制、范围和作法上有所区别,但其原则、性质和内容基本一致。

我国锅炉压力容器的安全监察,是由国务院授权劳动部门锅炉压力容器安全监察机构,并依据国务院颁发的《锅炉压力容器安全监察暂行条例》对锅炉压力容器的设计、制造、安装、使用、检验、修理和改造等环节实施具体的资格认可、监督检查和安全监察的,同时归口管理并负责实施进出口锅炉压力容器的安全性能监督检验。

我国锅炉压力容器安全监察机构作为政府的一个职能部门始建于一九五六年,历经二次“下马”后于一九七八年再次恢复。一九八一年起又在劳动部门内建立若干锅炉压力容器检验所和检测中心。劳动部门的检验所和检测中心,是专门从事锅炉压力容器检验工作的事业单位,并根据锅炉压力容器安全监察机构的授权专门承担监督检验工作。在劳动部门内建立这种性质检验所和检测中心,是我国的一个创造。

一九八七年,我国锅炉压力容器安全监察机构共有1780人,其中技术人员1550人,占87%。劳动部门的检验所和检测中心有516个,共6100人,其中技术人员占70%。

我国的锅炉压力容器安全监察工作主要是依据《锅炉压力容器安全监察暂行条例》及其

实施细则制定具体的安全监察法规；审定锅炉压力容器设计、制造、安装、检验和修理单位的资格；对锅炉压力容器焊工、无损检测人员、检验员和司炉人员进行考核和发证；对锅炉和压力容器设计、制造、安装、使用、检修实施监督检查（包括审批锅炉设计图纸、对产品出厂和安装质量实施监督检查、对在役设备的安全使用进行监督等）；调查、分析、处理锅炉压力容器事故，以及对进出口锅炉压力容器实施监督检查等。

当前的状况是，锅炉压力容器安全监察基本上有人有法有模式，也做了大量工作，积累了一定经验，呈现出新的局面，有力地促进了锅炉压力容器安全状况的好转和安全工程的发展。但总的来说还属处于起步或初级阶段。尤其整个监察和检验队伍比较年轻，技术水平偏低，中级以上技术人员仅占技术人员总数的20%，经验不足，监察与检测手段落后，活动经费缺乏，不少检验所条件较差。对国内外安全状况、安全技术、安全法规、失效分析与预防、安全预测与对策、安全系统工程理论和新型安全监察检测手段与系统的研究更为薄弱。基本上处于应付局面、经验决策的状态。

三、国外锅炉压力容器安全控制 与失效预防技术发展动向

随着经济的发展，尤其是生产装置大型化、现代化水平的提高，对锅炉压力容器的安全可靠也提出了更高、更为严格的要求。七十年代以来，国外锅炉压力容器安全工程的突出发展趋势是，竞相采用现代科学技术和现代化管理的最新成果，在设计、制造、检验、使用、管理和安全监察各个方面广泛应用电子计算机技术，致力于提高锅炉压力容器的安全可靠，使传统的方法和技术发生了巨大变革，使锅炉压力容器安全工程正由经验、定性、规范、静态和单机安全向着分析、定量、优化、动态和系统安全的方向发展。

1. 在设计技术上

——计算机辅助设计已普遍采用。以应力分析为基础的精确的设计方法日益普及。以防止特定失效形式为目的的特殊设计方法，如疲劳分析设计、抗震设计、蠕变疲劳设计迅速发展。

——开发了设计的专家系统。使设计内容向着电脑化、动态化、最优化方向发展。例如美国西屋公司研究中心近年来开发的“压力容器疲劳设计综合评价决策软件系统”就具有数据库功能和分析、判断、评价、决策等能力，并可进行优化设计。

——为满足工程需要，国外锅炉压力容器设计的计算机软件工程正在向着工程化、标准化、套装化和易用化的方向发展，并编制了大量的“通用软件程序”和“专用软件程序”。

——预测，随着电子计算机技术的发展，锅炉压力容器的现代设计将向着更多地建立在依赖于时间的非线性分析的基础上，凭借应力准则和决策准则，由“专家系统”进行复杂的计算分析和方案选择，最终完成和评价设计。

2. 在材料工程上

为适应锅炉压力容器向大型化、高参数、多用途和长期使用可靠的需要，在发展低合金高强度钢和大厚板生产的同时，主要着重于提高钢材的质量，严格对冶炼、轧制工艺和钢中