



第七届全国压力容器学术会议

# 压力容器先进技术

中国机械工程学会压力容器分会 编  
合肥通用机械研究院



化学工业出版社



第七届全国压力容器学术会议

# 压力容器先进技术

中国机械工程学会压力容器分会 编  
合肥通用机械研究院



化学工业出版社

· 北 京 ·

本书适用于从事压力容器研究、设计、制造、使用、检验、安全监察等的工程技术人员以及高等学校的专业教师与研究人员。

版权所有 违者必究

# 序

压力容器是广泛应用于石油、化工、化肥、电力、核能、冶金、农药、食品、运输、医药、军工等各行各业的一种特种设备。与通用设备相比，特种设备具有如下特殊性：地位“特别”重要、作用“特别”关键、功效“特别”重大、介质“特别”危险、分布“特别”广泛、生活“特别”密切、学科“特别”交叉、发展“特别”迅速等。特种设备的特点是：密封容器、承压设备、受力元件、关键构件、运行装置和连续系统等。特种设备正是基于上述特殊性和特点，形成了独特的核心价值理念：保障安全，促进发展；实现高效，创造价值；达到舒适，享受欢乐；构建体系，科学持续。

我国自“八五”以来投入大量资金，在原劳动部、原国家质量技术监督局、国家质量检验检疫总局和国家安全生产监督管理总局等有关部门的领导下，集中国内的优势力量联合攻关，至今已经取得了多项重大研究成果，产生了巨大的经济效益和社会效益。

特种设备是一个专业技术面广、工程应用性强、涵盖学科多的交叉融合型学科。它与机械工程、化学工程与技术、轻工技术与工程、食品科学与工程、材料科学与工程、环境科学与工程等学科相互渗透、交叉与融合。

压力容器学会利用其跨部门、跨行业、跨地区的特点和人才荟萃的优势，针对国家的重点课题和行业发展需要，主办了近百次学术交流活动。其中包括国内外压力容器学术会议，在传播先进技术、交流科技成果、引导学科发展和培养造就人才等方面效果十分显著。

本届学术会议论文集共收录专题报告 11 篇和交流论文 161 篇，从不同方面论述了当前国内外压力容器技术发展的新动向和研究进展，集中反映了近年来我国在压力容器研究、设计、材料、制造、使用管理、检验和标准化等方面的研究成果，对今后我国压力容器技术发展有重要的指导意义。论文集的出版必将对我国压力容器有关的理论、技术、管理和安全可靠应用起到积极的推动作用。

中国工程院院士



2009 年 10 月



# 序

压力容器是具有爆炸危险的特种承压设备，广泛应用于石化、化工、化肥、炼油、燃气、电力、冶金、交通、轻工、食品、医药、军工等各行各业以及城乡居民生活，在国民经济建设和人民社会生活中起着重要的作用。

改革开放以来，我国压力容器行业发展迅速，取得特种设备制造许可证的压力容器企业超过 3000 家，已成为压力容器制造和使用大国。压力容器的设计制造工艺、检验检测水平、成套技术和自主创新能力等都有长足的发展，现已能够制造大型炼油、大型乙烯、大型化肥等成套装置设备以及大型加氢反应器、百万千瓦的核电压力容器、大型汽化炉、大型球罐储罐、大型换热器等关键设备，标志着我国将从压力容器制造大国走向制造强国。与此同时，我国压力容器行业的科技工作也取得巨大进步和重大突破，在国家科技部的支持下，经过“七五”至“十一五”的连续攻关，在压力容器和压力管道完整性技术方面获得了一系列重大科技成果，我国压力容器的科技水平已跻身于世界先进行列。

由于压力容器通常在高温、高压等特殊使用环境和易燃、易爆、剧毒、强腐蚀等介质环境下运行，一旦失效或发生事故，必将影响国家建设和危及人民生活安定，其安全性极为重要。多年来，国家高度重视压力的安全，制定了一系列政策、措施和相关的安全技术规范，2003 年 3 月，国务院正式颁布《特种设备安全监察条例》，2009 年 1 月再次进行了修订，进一步强化压力的安全监察，落实压力容器使用单位的主体责任，充分发挥科技支撑作用，保障特种设备安全。

在这个发展过程中，压力容器学会发挥了桥梁和纽带作用，学会利用跨行业跨部门的特点和人才荟萃的优势，积极开展学术交流，引导学科发展，成效显著。今年十月召开的第七届全国压力容器学术会议，将全面交流四年来我国压力容器研究、设计、材料、制造、使用、检验检测和安全监察等方面的科技成果，并使之应用于相关工作实践中。此次会议，对提高我国压力容器行业整体水平，促进特种设备安全监察工作的技术进步，具有十分重要的意义。

衷心预祝第七届全国压力容器学术会议圆满成功。

何东钢

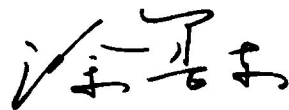
2009 年 9 月

# 序

18 世纪蒸汽机的发明催生了锅炉与压力容器技术。为了提高热机的效率，相关设备的压力和温度不断提升。随着 19 世纪下半叶大规模制造化学产品生产过程的的发展，压力设备的使用更加普遍。但是在 19 世纪和 20 世纪初也出现了大量的锅炉与压力容器的爆炸事故，这促使人们高度重视压力设备失效机理与规律的研究。进而在二次世界大战后催生了断裂力学及相关的疲劳与蠕变的理论基础，它们在压力容器领域的应用促进了设计和制造方法的改进，以及安全检验与维修技术水平的提高，有效地降低了事故概率，保障了 20 世纪相关制造业的高速发展。

进入 21 世纪以后，无论是节约能源、减少二氧化碳排放，还是高技术产业的发展均需要压力容器技术进一步的创新。自 2005 年以来，随着《国家中长期科学和技术发展规划纲要(2006~2020 年)》的发布实施，压力容器技术得到了高度重视，诸多项目已在国家科技支撑计划、国家自然科学基金、国际合作项目以及国家 863 高技术发展计划的多个领域得到体现，特别是“极端条件下重大承压设备的设计、制造与维护”得到我国 863 先进制造技术领域的重点支持，说明压力容器技术已成为我国高技术计划的重要组成部分，体现了压力容器技术在国民经济发展中所具有的重要战略地位。同时，我国压力容器技术领域的产学研联盟在政府的支持下日益走向成熟，许多技术难题不断被攻克，风险工程技术、寿命预测技术等得到了广泛应用，产生了重要的经济与社会效益。

今天，促进一个更清洁、更健康、更安全的可持续发展的世界已成为人类共同的追求，压力容器技术如何进一步造福人类又成为新的议题。可以预期，只要我国压力容器技术工作者在设计、制造、材料、使用管理、检验维修和标准化等方面坚持创新、致力科学发展，就可以为我国建设社会主义和谐社会做出新的贡献。



2009 年 9 月 21 日

# 前 言

在庆祝新中国 60 周年华诞的喜庆氛围中，我们隆重集会，召开第七届全国压力容器学术会议，这是我国压力容器技术工作者的一个盛大节日。本次会议由中国机械工程学会压力容器分会及其挂靠单位合肥通用机械研究院共同主办，得到了江苏大明金属制品有限公司等企业和十多家学会、协会、标委会等行业组织的大力支持。

压力容器是广泛应用于化肥、化工、石化、燃气、冶金、电力等过程工业领域的重要承压设备。新中国的压力容器技术与其他领域的科学技术一样，经历了从无到有、从弱到强、从“拿来主义”到自主创新的发展历程。合肥通用机械研究院是国内最早从事压力容器设计开发与技术研究的单位之一，业已历经五十三年风雨岁月。从二十世纪五六十年代的化肥高压设备到七八十年代的石油化工加氢反应器，再到九十年代的高耐蚀性特种材料制化工设备和大型高参数球罐；从二十世纪八十年代断裂力学在压力容器上的应用到九十年代高温及腐蚀等特殊环境下压力容器安全性评估，再到二十一世纪初的石化装置风险评价与控制技术，合肥通用机械研究院通过中国机械工程学会压力容器分会、国家压力容器与管道安全工程技术研究中心等学术交流与技术创新平台，广泛团结压力容器技术界同仁，始终奋战在压力容器技术领域的前沿。

中国机械工程学会压力容器分会成立于 1980 年，经过近三十年发展壮大，现已成为拥有近两百名个人会员和一百多个单位会员、代表我国加入国际压力容器组织、与国内外压力容器技术工作者建立了广泛联系的重要学术组织。全国压力容器学术会议迄今已举办过六届，分别如下：

|        |     |      |
|--------|-----|------|
| 1980 年 | 第一届 | 广西南宁 |
| 1987 年 | 第二届 | 江苏南京 |
| 1992 年 | 第三届 | 安徽合肥 |
| 1997 年 | 第四届 | 江苏无锡 |
| 2001 年 | 第五届 | 江苏南京 |
| 2005 年 | 第六届 | 浙江杭州 |

作为第七届会议的本次会议，共收到大会专题报告 11 篇，征集论文 320 多篇。2009 年 6 月，中国机械工程学会压力容器分会组织专家评审，在 320 篇应征论文中录用了 161 篇提交会议交流，并编入本论文集。这些论文全面展示了近四年来我国在压力容器重大技术装备研发和在用设备安全保障两大领域所取得的先进技术成果和工程应用业绩，对促进行业技术进步、服务处于全球金融危机背景下的行业企业发挥了十分重要的作用，并对今后的压力容器技术创新工作具有突出的借鉴与指导意义。

当前，我国压力容器技术发展正处在由传统的设计与制造技术向基于寿命与风险的设计与制造技术的深刻转变中，为国家重大工程建设提供长寿命高可靠性的国产化装备和保障在用重要压力容器长周期安全运行两大国家任务，对我国压力容器技术工作者提出了新的更高的要求。让我们积极行动起来，投身自主创新实践，为我国压力容器技术进步做出新的更大的贡献！

中国机械工程学会压力容器分会  
合肥通用机械研究院  
2009 年 10 月



# 目 录

## A 专题报告

|     |                                                                     |                                 |
|-----|---------------------------------------------------------------------|---------------------------------|
| A1  | 特种设备安全发展的若干问题和建议 .....                                              | 钟群鹏 张峥 骆红云 有移亮 (2)              |
| A2  | 压力容器焊接新技术及其应用 .....                                                 | 林尚扬 于丹 于静伟 (8)                  |
| A3  | Developments in UK Structural Integrity Assessment Procedures ..... | R A Ainsworth (14)              |
| A4  | 当代过程装置技术管理的三个课题: 融入六西格码理念、强化风险控制措施<br>和实现低碳经济的目标要求 .....            | 戴树和 (24)                        |
| A5  | 特种设备法规标准体系战略研究 .....                                                | 宋继红 谢铁军 石家骏 (35)                |
| A6  | 核电及石化承压设备合乎使用评定规程技术进展 .....                                         | 李培宁 (46)                        |
| A7  | 重大装备的寿命预测与监测技术 .....                                                | 涂善东 (57)                        |
| A8  | 我国承压设备事故调查分析及基于风险的设计制造与维护<br>.....                                  | 陈学东 艾志斌 范志超 王冰 窦万波 杨铁成 关卫和 (65) |
| A9  | 压力容器技术进展 .....                                                      | 寿比南 (74)                        |
| A10 | 极端承压设备 .....                                                        | 郑津洋 (80)                        |
| A11 | 压力容器用不锈钢材料的现状及发展趋势 .....                                            | 柴志勇 (85)                        |

## B 材 料

|     |                                                          |                                  |
|-----|----------------------------------------------------------|----------------------------------|
| B1  | 提高 3.5Ni 厚钢板低温冲击韧性的研究 .....                              | 庞辉勇 谢良法 李经涛 (90)                 |
| B2  | 舞钢大厚度临氢 12Cr2Mo1R (H) 钢板的开发 .....                        | 吴艳阳 谢良法 龙杰 袁锦程 (95)              |
| B3  | 鞍钢原油储罐用 08MnNiVR 钢板的性能 .....                             | 王旭 张禄林 梁福鸿 胡昕明 黄松 (103)          |
| B4  | 宝钢大型原油储罐用高强度钢板的开发和工程应用 .....                             | 倪志军 刘孝荣 张汉谦 侯洪 宋金玲 (108)         |
| B5  | -50℃B610CF—L2 调质钢板在 2000m <sup>3</sup> 丙烯和乙烯球罐上的应用 ..... | 张汉谦 刘孝荣 侯洪 屈朝霞 (112)             |
| B6  | 低焊接裂纹敏感性 WDL690D 钢的组织及性能 .....                           | 张开广 习天辉 刘文斌 芮晓龙 童明伟 (116)        |
| B7  | Ti 微合金化对核电承压设备用 WHD355 钢组织和性能的影响 .....                   | 刘文斌 习天辉 芮晓龙 丁庆丰 张开广 (120)        |
| B8  | 小冲孔试验技术研究若干进展 .....                                      | 凌祥 周志祥 郑杨艳 (126)                 |
| B9  | SA387 Gr22 CL2 钢铁素体+珠光体组织的消除 .....                       | 王文鼎 李名浩 赵瑞晋 马家平 (132)            |
| B10 | 长期服役后乙烯裂解炉管 KHR 45A 高温氧化现象研究 .....                       | 陈涛 陈学东 艾志斌 王华 (136)              |
| B11 | 16MnR 压力容器用钢疲劳裂纹萌生寿命及其分布研究 .....                         | 段权 (140)                         |
| B12 | 应力作用下 2.25Cr-1Mo 钢的回火脆化试验研究 .....                        | 李高生 周昌玉 张喜亮 朱兵 (144)             |
| B13 | 16MnR 钢韧脆转变解理机理的研究 .....                                 | 严志刚 俞树荣 梁瑞 李淑欣 陈剑虹 (148)         |
| B14 | 制氢转化炉 HP40Nb 炉管材料微观组织特征研究 .....                          | 刘长军 陈艺 王卫泽 (152)                 |
| B15 | 压力容器用典型材料高温环烷酸静态腐蚀数据库的建立 .....                           | 方舟 陈志平 王雷 蒋家玲 陈学东 (158)          |
| B16 | Cr5Mo 的 A302 和 Ni 基焊接接头在湿硫化氢环境下的应力腐蚀开裂<br>.....          | 姜勇 巩建鸣 耿鲁阳 余正刚 荣冬松 (163)         |
| B17 | 蠕变对涂层结构中残余应力的影响 .....                                    | 陈清琦 轩福贞 涂善东 (168)                |
| B18 | 灭菌器内腔开裂与焊接残余应力 .....                                     | 刘金艳 张亦良 赵尔冰 徐学东 程红伟 (174)        |
| B19 | P92 钢管道焊接残余应力场研究 .....                                   | 姜运建 荆洪阳 徐连勇 张剑利 李剑 (181)         |
| B20 | 避免 Q245 钢厚壁高压管应变时效脆化的试验研究 .....                          | 李梦丽 王威强 李爱菊 崔好选 徐书根 刘华东 (186)    |
| B21 | 消除 Q245 钢应变时效脆化的理论分析及<br>试验研究 .....                      | 崔好选 王威强 李爱菊 刘燕 李梦丽 徐书根 刘华东 (190) |
| B22 | 考虑材料应变强化效应的应力应变关系双线性表征方法的研究 .....                        | 徐彤 孙亮 陈钢 (195)                   |
| B23 | 典型压力容器材料剪切与拉伸等效应力应变关系的测定与分析 .....                        | 王晶 张亦良 姜公峰 (202)                 |

B24 氢和应力对 304 不锈钢在酸性氯离子溶液中活化溶解的影响.....黄毓晖 轩福贞 涂善东 (208)

B25 ASME 与 RCC-M 核电材料标准对比分析的初步探讨.....宁冬 王永东 李辉 包章根 (212)

B26 应用于压力容器和其他工业用途的高性能合金.....陈恭珉 Paul Manning (218)

B27 过烧对 C-276 管与管板焊接接头耐蚀性能的影响.....周超 王正助 (225)

B28 316L 不锈钢应力控制模式下的低周疲劳行为试验研究.....江慧丰 陈学东 范志超 董杰 姜恒 (230)

B29 载荷历程效应对 316L 钢疲劳蠕变行为的影响.....董杰 陈学东 范志超 江慧丰 姜恒 (234)

B30 316L 不锈钢扩散焊接头的微观疲劳特性实验研究.....李煜佳 轩福贞 涂善东 李淑欣 (238)

B31 加氢反应器堆焊层表面裂纹疲劳扩展的形貌与速率的研究.....沈士明 刘斌 (243)

B32 监测研究高酸原油加工中的腐蚀规律.....梁春雷 王建军 高俊峰 陈学东 艾志斌 (248)

B33 2024-T4 铝合金多轴疲劳.....王丽梅 高增梁 蒋炎尧 王效贵 (255)

B34 运行 16 万小时后 2.25Cr1Mo 钢制加氢反应器出口管材质冲击韧性研究.....侯峰 徐宏 张莉 潘春锋 (258)

B35 压水堆堆内构件异种材料螺纹连接件在热循环载荷下的疲劳试验研究.....梁星筠 任欣 张可丰 谢永诚 高雷 (263)

B36 高温疲劳损伤过程中镍基合金 GH4145/SQ 的剩余力学性能变化特征.....叶笃毅 查海波 徐元东 许好好 徐长威 (267)

B37 缺陷结构极限承载能力确定的宏微观方法研究.....姜公锋 张亦良 孙亮 张振海 (272)

B38 X80 管线钢断裂韧性与夏比冲击功经验关系研究.....张广利 赵新伟 罗金恒 张奕 张华 张良 (278)

B39 X80 管线钢断裂韧性及失效评估图研究.....张华 赵新伟 罗金恒 张广利 李丽锋 (283)

B40 反应堆压力容器堆芯段断裂力学分析.....孙英学 (287)

B41 ASME 规范关于管道焊缝缺陷评定的应用.....黄庆 张万平 曹明 贺寅彪 (290)

B42 550℃ 下 0Cr18Ni9 的蠕变行为及蠕变裂纹扩展规律研究.....陈立杰 陈勃 刘建中 胡本润 (294)

B43 高镍合金钢在压力容器中的应用.....福井 勤 小林 裕 西微 (299)

C 设计

C1 圆柱壳开孔接管在内压与接管外载作用下的分析设计方法.....薛明德 杜青海 黄克智 (302)

C2 圆形筒体小间距大开孔结构应力分布研究.....李俊 陈杰富 袁继禹 (313)

C3 容器开孔支管连接结构的极限分析.....吴本华 桑芝富 (318)

C4 薄壁容器大开孔的新型补强结构.....苏文献 马宁 (325)

C5 爆炸容器研究及应用最新进展评述.....胡八一 周刚 郑津洋 谷岩 董奇 (329)

C6 柱形爆炸容器的几种设计方法.....王定贤 李文杰 曹钧 王万鹏 胡昊 (334)

C7 压力容器应力分析设计方法的进展和评述.....陆明万 寿比南 杨国义 (340)

C8 ASME 外压设计新方法探讨.....包士毅 高增梁 陈冰冰 张康达 (347)

C9 从失效案例对 2007 版 ASME VIII—1 附录 26 应力评定的探讨.....蔡善祥 王焕庆 王友刚 (350)

C10 对我国压力容器和换热器标准的一些想法.....丁伯民 (355)

C11 Waters 法兰设计方法与 ASME 法兰设计刚度计算法的分析比较.....段瑞 桑如芭 (359)

C12 中国油罐设计标准与欧美日标准比较.....陈志平 余维麟 曹明 孙博 (362)

C13 加氢裂化装置新型换热器管板的有限元分析.....陈永东 吴晓红 张中清 黄金国 李永泰 (367)

C14 余热回收换热器薄管板强度的有限元分析计算.....潘建华 陈学东 秦宗川 (373)

C15 筒锥组合外压容器的有限元失稳分析.....邵昌哲 陈冰冰 高增梁 (377)

C16 非等距四鞍座大型压力水罐的有限元分析.....顾玉钢 姚佐权 (381)

C17 变径虾米弯结构的有限元分析.....朱金花 董杰 (386)

C18 球罐设计中基于 VB 的 ANSYS 二次开发.....李准 尹侠 (389)

C19 随动强化结构安定下限分析的无单元 Galerkin 法.....陈莘莘 刘应华 陈钢 (394)

C20 复杂结构塑性极限分析的修正弹性补偿法.....刘应华 陈立杰 徐秉业 (399)

C21 地震载荷下球罐的动力学响应分析.....杨智荣 寿比南 孙亮 王军 (406)

C22 塔器的风诱导振动分析研究.....陈志伟 吴德飞 王为国 张迎恺 寿比南 杨国义 (410)

C23 小倾角离散多层爆炸容器失效模式研究.....邓贵德 郑津洋 陈勇军 马利 赵隆茂 孙亮 (414)

C24 曲面弓形折流板换热器壳程压力降的数值模拟.....高宏宇 钱才富 (418)

C25 自转液轮机换热管流阻研究.....林清宇 冯振飞 林榕端 (422)

C26 换热管内自旋纽带转速的数值计算.....冯振飞 林清宇 王军 林榕端 (426)

|     |                           |                                       |       |
|-----|---------------------------|---------------------------------------|-------|
| C27 | 螺旋折流板换热器壳程侧传热与流动研究        | 郝振良 赵巧 盛晔 茅陆荣                         | (430) |
| C28 | 汽车罐车内部分介质晃动数值模拟研究         | 陈志伟 寿比南                               | (435) |
| C29 | 制冷装置蒸发器壳程流体流动的数值模拟        | 金如聪 贺小华                               | (440) |
| C30 | LNG 沉浸式气化器壳程流场三维数值模拟      | 于国杰 毕明树 窦兴华                           | (444) |
| C31 | 壳体中的轴对称模态和非轴对称模态          | 董奇 郑津洋 胡八一                            | (448) |
| C32 | 考虑端部影响的超高压绕丝圆筒预紧状态变形研究    | 陆怡 颜惠庚 沈士明                            | (451) |
| C33 | 杭州湾海底管道临界管跨分析模型研究         | 赵建平 王学超                               | (455) |
| C34 | 大口径高压天然气长输管道分段水压试验优化研究    | 程光旭 丁海明 张早校                           | (459) |
| C35 | 提高设计系数对天然气管道安全可靠性影响及可行性分析 | 赵新伟 张广利 罗金恒 庄传晶 张华                    | (465) |
| C36 | 安全系数降低对容器可靠度的影响分析         | 马连骥 赵建平                               | (472) |
| C37 | 对偶变数法在球罐失效概率中的应用          | 刘长虹 轩福贞 王正东                           | (475) |
| C38 | 中压汽包筒体强度的可靠性分析            | 梁基照 杨伟春                               | (478) |
| C39 | 基于扩散效应的膜/基传感器弯曲分析         | 邵珊珊 轩福贞 王正东 涂善东                       | (481) |
| C40 | 湿式气柜钟罩拱顶及立柱屈曲分析           | 高炳军 赵毅 陆宏伟                            | (485) |
| C41 | 蒸汽发生器接管管道系统分析及管嘴强度评定      | 陈银强 桂春 王先元 陶钧 魏文斌                     | (489) |
| C42 | 燃料运输管道的应力分析               | 钱浩 徐定耿 谢永诚 姚伟达                        | (493) |
| C43 | 脉冲激光渗氮工艺传热传质分析            | 曹丽琴 轩福贞 王正东 涂善东                       | (498) |
| C44 | 内压弯管在面内循环弯曲载荷作用下棘轮效应的研究   | 陈旭 高炳军                                | (504) |
| C45 | 钢丝缠绕增强塑料复合管蠕变行为研究         | 李翔 郑津洋 施建峰 秦永泉 王飞 郝宇杰 邵泰清 邵汉增 李广忠 何晓莲 | (510) |
| C46 | 奥氏体不锈钢压力容器应变强化安全裕度分析      | 邓阳春 陈钢 杨笑峰 徐彤                         | (517) |

## D 制 造

|     |                                    |                                |       |
|-----|------------------------------------|--------------------------------|-------|
| D1  | 我国大型乙烯球罐国产化进展                      | 刘国庆 窦万波                        | (522) |
| D2  | 焦炭塔建造技术的探讨                         | 季伟明                            | (527) |
| D3  | Φ4650mm 大型反应器的制造                   | 李艳 金燕                          | (535) |
| D4  | 醋酸乙烯合成反应器焊接试验与制造工艺研究               | 王传志 刘玉华                        | (539) |
| D5  | 铝复合板设备设计制造                         | 高虎贤 张兴辉                        | (545) |
| D6  | 气/气换热器的焊接制造                        | 李玉虎 张文勇 郭慧                     | (550) |
| D7  | 20 万吨/年甲醇合成塔制造                     | 周俊鹏 崔淑芬 李民                     | (554) |
| D8  | DN3950×42 大直径厚壁合成反应器膨胀节的设计与制造      | 王焕庆 王友刚 蔡善祥                    | (560) |
| D9  | 双管板换热器的制造要点                        | 刘保富 马伟敬                        | (563) |
| D10 | 低温高压氮气缓冲罐的开发设计制造                   | 姚佐权 王冰 顾玉钢                     | (567) |
| D11 | SA335/6-P22/F22 高能量合金钢管及管件的制造与质量控制 | 董家祥 张祖水 何有斌 程世清 刘长安 黄文 黄国洪 郭顺显 | (573) |
| D12 | 稳压器下封头与加热套管的焊接工艺试验及应用              | 唐俐                             | (577) |
| D13 | 小直径管子/管板内孔填丝对接焊试验与应用               | 周兵风 王平                         | (580) |
| D14 | 国内带极堆焊技术的现状及展望                     | 徐锴 胡希海 廖永平 陈绍维 王纯              | (583) |
| D15 | 16Mn 低合金堆焊 B30 的工艺研究               | 王晓辉 黑鹏辉 杨战胜                    | (587) |
| D16 | 不锈钢单层电渣带极堆焊                        | 董安霞 吴汉中                        | (590) |
| D17 | 锆 R60702 和哈氏合金材料管件制作的焊接工艺和质量控制     | 刘京东 仲文明                        | (594) |
| D18 | 610U2L 钢制乙烯球罐的焊接技术措施               | 张清明 程勇                         | (597) |
| D19 | SAFUREX 双相不锈钢焊接技术措施                | 孙光磊 张清明                        | (601) |
| D20 | 焊接热输入对 07MnCrMoVR 钢接头组织和性能的影响      | 许良红 章军 陈延清 鞠建斌 张永强 董线春 金茹      | (605) |
| D21 | 焊后热处理对 BHW35 钢焊接接头组织性能的影响          | 王香云                            | (611) |
| D22 | LNG 储罐用 9%Ni 钢镍基焊条的研制              | 吴智武 王移山 李少华 李箕福                | (617) |
| D23 | 核电设备不锈钢堆焊层铁素体含量研究                  | 左波 余燕 张茂龙 钱旭辉                  | (621) |
| D24 | 爆炸焊接场地地基结构研究与优化维护                  | 周景蓉 李勇 陈寿军                     | (625) |
| D25 | 有色金属材料与设备的无损检测                     | 薛东                             | (629) |



|     |                                    |                          |
|-----|------------------------------------|--------------------------|
| D26 | 一种大型钛复合板设备的热气循环试验方法                | 陈杰 王槐伟 (635)             |
| D27 | 球形容器局部热处理的热源特征研究                   | 王泽军 陆金明 刘宏臣 (639)        |
| D28 | 切削参数对高压加热器管板深孔钻孔质量的影响              | 郭光强 吴勇 钟力 胡亮 (643)       |
| D29 | 特殊结构换热器的结构特点及质量控制要点                | 李波 (647)                 |
| D30 | 用于高温燃料电池-微型燃气轮机混合发电系统的高温换热器        | 武法森 周帼彦 涂善东 (651)        |
| D31 | 兼具轴向及横向补偿能力的压力平衡型金属波纹补偿器           | 李水章 (657)                |
| D32 | 具有在线检测报警功能的金属波纹补偿器                 | 李水章 (660)                |
| D33 | 冲压松套钢制管法兰研究                        | 苏政 费宏伟 陆炜 朱海清 (664)      |
| D34 | 固定式高压储氢用钢带错绕式容器                    | 刘贤信 郑津洋 徐平 魏春华 叶晓茹 (668) |
| D35 | 整体多层夹紧式高压容器夹紧力研究                   | 甄亮 江楠 (673)              |
| D36 | 异地迁建球罐的安装施工                        | 章子勋 苏传才 (678)            |
| D37 | 从成形后热处理的规定看 GB150 与 RCC-M 对成形控制的差异 | 陈春雄 (682)                |

## E 使用管理

|     |                               |                                             |
|-----|-------------------------------|---------------------------------------------|
| E1  | 《固定式压力容器安全技术监察规程》压力容器分类       | 郑津洋 吴琳琳 寿比南 谢铁军 陈朝晖 (686)                   |
| E2  | 在用热壁加氢反应器的损伤及其检验检测            | 杜护军 (691)                                   |
| E3  | 在用加氢反应器堆焊层缺陷及对策               | 黄卫民 奚东兴 孙正毅 胡猛 (695)                        |
| E4  | 在用粗成气管道焊接超标缺陷的分析与处理           | 俞松柏 蒋利强 (700)                               |
| E5  | 在用蒸汽发生器开裂原因分析及对策              | 薛拥军 郑灵研 (704)                               |
| E6  | 新能源汽车车载承压储气系统安全问题             | 关凯书 刘晶 王志文 (708)                            |
| E7  | 厚壁压力容器声发射技术声源定位研究             | 刘富君 胡东明 丁守宝 孔帅 郭小联 (713)                    |
| E8  | 超声时差衍射技术在中国的应用进展              | 丁守宝 刘富君 胡东明 郭小联 孔帅 (719)                    |
| E9  | PT-IE 法——小径压力容器及接管内表面检测新方法    | 富阳 郭潮群 (725)                                |
| E10 | 基于模态参数的管道损伤检测方法               | 杨智荣 孙亮 胡军 赵云峰 李鸿雁 徐忠成 (727)                 |
| E11 | 带翅片焊接超声波导波杆在高温管道壁厚在线检测中的应用    | 高炳军 董俊华 孙艳 张婷婷 (733)                        |
| E12 | PFC-2000 管道射线检测仪的技术改进及应用      | 单洪翔 吴万志 刘效东 (736)                           |
| E13 | 管系应力计算在工业管道检验检测中的应用           | 查克勇 杨绪运 何仁洋 顾素兰 杨镇 李敬坤 刘长征 (740)            |
| E14 | 直流电位梯度检测技术的研究与应用              | 巢栗革 (744)                                   |
| E15 | 电厂承压设备寿命实时监测和评估技术             | 贺寅彪 邓晶晶 李煜 姚伟达 杨红鸣 张明 贺天荣 郭安吉 吴如松 徐南洪 (748) |
| E16 | 加氢装置技术改造后新出现问题风险分析            | 林筱华 (752)                                   |
| E17 | 换热器的风险检测技术研究                  | 施哲雄 薛利杰 王祖悦 (757)                           |
| E18 | 液化石油气球罐的风险分析与控制               | 沈建成 (761)                                   |
| E19 | 催化反应再生系统的防磨损技术改进措施            | 杨锦明 (768)                                   |
| E20 | 电子束焊乙烯裂解炉管开裂分析                | 路宝玺 尤兆宏 关凯书 (773)                           |
| E21 | 氧气管道破裂失效分析                    | 顾素兰 韦林 查克勇 童辉 (777)                         |
| E22 | 制氢转化炉 Incoloy800H 集气管开裂失效分析研究 | 杨惠谷 (781)                                   |
| E23 | 基于交流电流衰减法的防腐层分级方法探讨           | 李东升 何仁洋 (785)                               |
| E24 | PTA 第一、二结晶器局部腐蚀情况分析           | 王耀明 徐坡 陈燕玲 (788)                            |
| E25 | 在线腐蚀监测技术在乙二醇装置的应用             | 杨峰 (791)                                    |
| E26 | 常压塔腐蚀分析和防护                    | 李刚 邵锋 刘相 陈兴华 (796)                          |
| E27 | 核电厂二回路管道流动加速腐蚀管理              | 赵亮 胡建群 吴志刚 王欣 (800)                         |
| E28 | 聚乙烯管道电熔接头冷焊的判定方法              | 施建峰 郑津洋 郭伟灿 李翔 秦永泉 王非 (804)                 |
| E29 | 埋地消防水管线变形开裂原因分析               | 李建宏 孙国豪 赵立凡 张雪涛 王立坤 李敏 (809)                |
| E30 | 安全阀在线测试技术和校验装置的研制             | 刘海浪 杨楠林 顾张丽 李智斌 包士毅 (815)                   |
| E31 | 安全阀离线校验整定压力的自动测量与数据处理技术研究     | 费宏伟 朱海清 (820)                               |
| E32 | 石化企业中安全阀的系统化管理                | 郭兴建 赵立凡 李海华 李明 (823)                        |
| E33 | 盘管泄漏原因分析                      | 陈文婕 (827)                                   |
| E34 | 甲胺反应器严重开裂原因分析                 | 刘华东 王威强 李梦丽 徐书根 崔好选 (831)                   |
| E35 | 石化装置可接受风险水平的分析                | 李漾 沈士明 (835)                                |

\_\_\_\_\_

# 特种设备安全发展的若干问题和建议

钟群鹏 张峰 骆红云 有移亮  
(北京航空航天大学 北京 100191)

**摘 要** 本文首先对特种设备的种类、特殊性、特点及其核心价值观的措施和目标等问题进行了叙述; 然后就特种设备的科学范围归属及科研的主要内容、科技特点等问题进行讨论; 在上述基础上, 对特种设备安全发展的几个具体的问题, 包括其安全发展和节约发展、清洁发展的有效结合问题、其“软科学”研究与“硬科学”研究相结合问题、其动态监管与科学检测的结合问题、其安全监察工作的闭环管理模式和质量的螺旋式上升模型以及对特种设备的事故统计分析和安全发展规律的研究问题等进行了探讨; 最后对如何深化特种设备安全发展问题提出几点粗略的建议。本文对有关科技人员和管理人员有一定的参考价值。

**关键词** 特种设备 安全发展 动态监管 科学检测

## Issues and Recommendations on Safety Development of Special Equipments

Zhong Qunpeng Zhang Zheng Luo Hongyun You Yiliang  
(Beihang University Beijing 100191)

**Abstract** In this paper, the types, particularities, characteristics, the measures and targets of core values of special equipments were narrated. And the attribution of scientific scope, the main elements of scientific research and the characteristics of science and technology of special equipments were discussed. On that basis, several specific issues on safety development such as the effective integration of safety development, economy development and clean development, the integration of “Soft Science” research and “Hard Science” research, the integration of dynamic monitoring and scientific detection, closed-loop management model of safety supervision and spiral model of quality, and accidents statistical analysis and study on laws of safety development were discussed. Finally, some rough recommendations on how to deepen safety development of special equipments were proposed. This article had certain reference value to scientific and technical fellows and managers.

**Keywords** Special Equipments Safety Development Dynamic Monitoring Scientific Detection

### 1 特种设备的特殊性和核心价值理念

特种设备包括锅炉、压力容器(含气瓶)、压力管道、电梯、起重机械、客运索道、大型游乐设施、场(厂)内专用机动车辆等八类设备。与通用设备相比, 特种设备具有如下特殊性(八个“特别”): 作用“特别”关键、介质“特别”危险、分布“特别”广泛、生活“特别”密切、功效“特别”重大、学科“特别”交叉、发展“特别”迅速、地位“特别”重要。特种设备的特点通常有如下六点: 密封

容器、承压设备、受力元件、关键构件、运行装置和连续系统。

特种设备正是基于上述特殊性和特点, 形成了独特的核心价值理念: 保障安全, 促进发展; 实现高效, 创造价值; 达到舒适, 享受欢乐; 构建体系, 科学持续。实现特种设备核心价值观的措施和目标如表 1 所示。

表 1 实现特种设备核心价值观的措施和目标

| 措 施       | 目 标      |
|-----------|----------|
| 设计可靠、工艺稳定 | 提高新品固有安全 |
| 反复论证、充分试验 | 保证产品投运安全 |

续表

| 措 施            | 目 标           |
|----------------|---------------|
| 系统分析、可靠检验      | 保障装置连续运行      |
| 治理隐患、预防维修      | 延长特设安全寿命      |
| 科学检验、动态监管、科学检测 | 实现全寿命安全管理     |
| 对症下药、应急救援      | 降低事故风险水平      |
| 逐级把关、事故归零      | 达到安全良性循环      |
| 节能减排、提高效能      | 使安全发展与节约发展相结合 |
| 建成体系、完善法规      | 实现可持续科学发展     |
| 造就人才、强化科技      | 实现特设的长治久安     |

2 特种设备的学科范围和科技工作的特点

2.1 特种设备的学科范围归属、科研主要内容和特点

特种设备在教育部《授予博士、硕士学位和培养研究生的学科专业简介》(高等教育出版社, 1999, 以下称“《简介》”)中属于 08 工学科学门类、0807 “动力工程与工程热物理”一级学科中的 080706 “化工过程机械”二级学科。本学科是一个专业面广、为国民经济多个行业服务的涵盖多个学科的交叉型学科。它与机械工程、化学工程与技术、轻工技术与工程、食品科学与工程、材料科学与工程、环境科学与工程等学科相互交叉与渗透。它的科学研究主要内容有: 过程工业中的传热设备及节能与监控; 压力容器及管道的设计、制造和安全保障的技术研究; 过程设备的腐蚀、损伤与延寿技术的研究; 金属材料成型加工技术与设备研究。

2.2 特种设备的科技范围

特种设备包括八类产品, 其范围比传统的 080706 “化工过程机械”还要大, 除压力容器、锅炉、压力管道三类产品一致以外, 其他的五类设备[电梯、起重机械、客运索道、大型游乐设施和场(厂)内专用机动车辆]基本上不属于“化工过程机械”的范畴, 因此特种设备的专业面更广、交叉的学科更多、综合性更强。其科学研究更广, 其创新的难度也就更大。

2.3 特种设备的科技的特点——交叉性、综合性和边缘性

特种设备科技的一个重要特点是交叉性、综合性和边缘性。特种设备科技与机械工程、力学、材料科学与工程等一级学科相交叉, 发展特种设备的设计、制造技术; 与仪器科学与技术、流体机械与工程(二级学科)等学科交叉, 发展特种设备的检测控制技术; 与材料科学与工程、化学工程与技术、

环境科学与工程以及力学等学科交叉, 发展特种设备的安全科学与工程; 与化学、燃烧学、传热学等学科交叉, 发展特种设备(特别是锅炉)的节能减排技术; 与管理科学与工程、工商管理学、经济学、法学等学科交叉发展特种设备的安全“软科学”等等。

特种设备的科技工作要在交叉综合新兴边缘中求生存、求发展、求开拓、求创新。高度重视其理论基础和应用理论的研究, 并且要从学科交叉综合新兴边缘的角度培养和造就人才。

因此, 特种设备的科技发展任重而道远!

3 特种设备安全发展的几个具体问题

3.1 关于特种设备的安全发展和节约(节能)发展及清洁(减排)发展的有效结合问题

(1) 在《简介》的 080706 “化工过程机械”二级学科的研究范围中明确提出包括“各种过程工业设备与机器的设计、节能、增效……”。这就是说, 安全、节能、增效、减排原本就是本学科的科学研究的范围之内的内容。在《条例》的第八条中明确规定“特种设备生产、使用单位和特种设备检验检测机构, 应当保证必要的安全和节能投入”, “不得生产不符合安全性能要求和能效指标的特种设备”。这样就将学科研究范围和政府监管内容统一起来, 将安全发展和节约发展、清洁发展紧密联系起来, 从而开创了安全节约发展的新方向, 这是十分必要的跨学科、跨行业的新的领域。

(2) 特种设备的安全发展和节约清洁发展不仅是必要而且是有可能的和具有重要科学前景的。据统计, 2006 年我国煤炭产量为 23.3 亿吨, 其中锅炉用煤达 19 亿吨(火力发电锅炉用煤约 13 亿吨, 工业锅炉用煤约 6 亿吨)。据抽样调查, 我国燃煤工业锅炉的平均实际热效率仅为 68.72%, 而发达国家平均水平为 80%以上。如果采取切实有效的措施, 使其热效率提高 10%, 每年就可以节煤 6000 万吨以上。同样对 56 万台换热式压力容器, 一年提高其回收热效率 5%, 即可多回收热量折合标准煤 3000 万吨以上。因此, 可以认为有较大的节能减排的空间, 应该实行安全监管与节能监管相结合的制度。

(3) 但是要从科研上达到特种设备的安全发展和节约清洁发展有机而紧密地结合起来的目標是困难的。因为这两者的理论基础、应用基础和工程应用的内涵、方向和目标均不相同。因此要尽可能地做到同一监管(察)机构(国家各级特种设备安全



监察机构)对同一监管(察)对象(特种设备)采用统一的监管(察)模式,同时达到安全发展和节约发展的双重目的。在学科建设和科学研究上,要重视安全科学与技术研究的同时,加强和重视节能和减排方面的科研工作,并努力把这两类科研成果推广应用在各类特种设备上。

### 3.2 关于特种设备“软科学”研究与“硬科学”研究相结合的问题

(1)关于“特种设备”有关“软科学”的研究和发展问题。根据《软科学大辞典》(杨斌主编,中国社会科学出版社,1991年)，“软科学是门新兴的高度综合性的科学,它综合应用自然科学、社会科学和思维科学的理论和方法,吸收现代交叉学科的最新成果,解决由于现代科学、技术和生产的发展而带来的各种复杂问题,分析和研究经济科学、技术管理和教育等社会环节之间的内在联系及其发展规律,使决策科学化、理性化,从而充分发挥科学技术的社会功能,推动人类社会的文明进步,所以软科学不仅具有科学属性,而且具有社会属性。同时它具有战略性、系统性和综合性三个基本的特征,因此它不仅需要严格的科学理论和方法,而且需要高度的辩证思维能力和智慧才能。”可见“软科学”是一门十分重要的新兴科学。“软科学”的社会功能有三个:一是深化知识的功能;二是咨询服务的功能;三是决策管理的功能。

(2)特种设备的“软科学”研究应该包括特种设备发展(包括节约发展、清洁发展和安全发展等)的理念、方针、政策、规律、体系、内容、重点和措施八个方面的内容。其内涵是十分重要的,任务是十分艰巨的,责任是十分重大的,作用也将是十分巨大的。因此,特种设备的科学研究=“硬科学”研究+“软科学”研究。

(3)特种设备的发展取决于规划的制定和执行、机构的理顺和管理、人才的培养和造就、科研(包括“硬科学”与“软科学”的研究)的组织和实施、法规的制定和贯彻、市场的开放竞争和监管等方面的有成效的工作。

### 3.3 关于特种设备的动态监管与科学检测的结合问题

(1)胡锦涛同志最近指出,“装备的研制和科学使用,要处理好装备的先进性与稳定性、可靠性和安全性之间的关系”,这一指示也适用于特种设备。基于特种设备的安全风险要素是随时间和空间因素的变化而动态变化的,因此对特种设备的监管也必须是适时的和动态的。特种设备的动态监管的目的

是对其安全使用,动态监管的重点是对缺陷(不符合项)和使用工况动态适时的认识和控制。因此动态监管的技术基础是科学检测。科学检测要达到“四化”和“五性”的要求,即在达到科学化、规范化、专业化和系统化的“四化”的同时,也要达到实时性、适度性、合理性、有效性和连续性的“五性”。

(2)特种设备的安全使用取决于对其科学检验及其监控处理,包括:①用有效的方法检出存在的各类缺陷;②对缺陷进行必要的分析和评估;③对各种缺陷的安全容限作出规定;④对超标缺陷和动态扩展缺陷进行必要的治理;⑤对其检修周期安全寿命使用工况或报废期限等提出建议。因此特种设备的动态监管与其科学检测及其监控处理之间的关系十分密切。

(3)特种设备的科学检测及其正确处理要防止两种倾向,一种是欠检测,一种是过检测,即一种过松,一种过严,过松可能造成安全事故,而过严也会造成不必要的经济损失,都是不符合科学检测及其正确处理的要求的。

(4)特种设备是一个系统设备、装置,它是由各零部件组成的,虽然各零部件都按强度原则、刚度原则或损度原则设计的,但一般并不按某强度、某刚度或某损度的要求配置。而且由于各自的功能不同、受力不同、环境不同,其安全使用寿命不相同,其失效率也不相同,因此整个特种设备按最弱环境原则确定的大修期时,对其各个零部件进行统一的检测检修或更换,是缺乏科学依据的,是没有必要的,会造成浪费的,是事倍功半的。

(5)从可靠性工程的角度来看,各零部件的最佳预知性维修周期时间点是该零部件的浴盆曲线的“上拐点”(图1)。这就是基于可靠性的检验(RBI)的方法基础。因此,要对某种特种设备的各零件的失效率进行统计,得到失效率与时间的关系曲线(即浴盆曲线),根据该“浴盆曲线”确定其最佳的预知检修点。有时为了安全起见,将从该“浴盆曲线”上得到的最佳预知检修时间点除一个“安全系数”,得到实际的预知检修时间点来安排检修的可靠性会更高一些。

(6)因此,特种设备的安全使用首先取决于制造的质量,即制造新品的固有安全度(或可靠度),其次取决于对其使用过程的动态科学检测及其正确的处理,而后者基础是对该设备各零部件失效率的演化规律的掌握和分析决策。

(7)特种设备的报废理想状态是该特种设备的各个零部件同时都达到失效状态,即达到某一个规定的失效率指标。但是实际上往往并非如此,特种设备的报废往往是根据其主功能零部件达到了或可

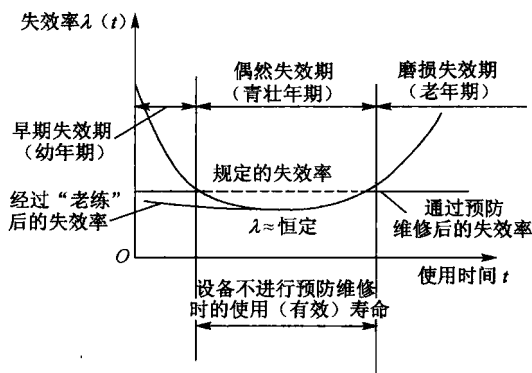


图1 设备不进行预防维修时的典型失效率曲线-浴盆曲线

能达到失效状态，或根据某一安全隐患的发展可能危及整台特种设备的安全运行这些事实做出的。这就是说，一台报废了的特种设备的各个零部件不是都失效了不可再用了。这就为特种设备的再制造提供了可能。特种设备的再制造只要更换和修理已经失效了的零部件就可以调试再使用。再制造虽然符合“节约发展”的模式，但在具体运用时要有大量数据积累和实际的工程经验，应采取慎重的态度。

(8) 同样，为了降低耗材对特种设备新品的强度设计采取降低安全系数的做法，应该采取具体问题具体分析的态度。“安全系数”在未知影响因素采取的“模糊的系数”，是一种有效的安全措施。但是正如前面所指出的那样，某一种特种设备的各个零部件材料不同，受力不同，按其强度—应力干涉模型，各自的失效率也是不同的。因此，强度均值/应力均值为其安全系数与失效率之间的关系是十分复杂和非线性的。这就是说，安全系数应该按什么原则降低需要有大量数据的支持，而且进行认真的研究后才能做出科学的决策的。

### 3.4 关于特种设备安全监察工作的闭环管理模式和质量螺旋式上升模型

(1) 根据中华人民共和国国务院令(第549号)于2009年5月1日起施行的“特种设备安全监察条例”(以下简称“条例”)第六章“事故预防和调查处理”中首先将事故分为特别重大事故、重大事故、较大事故和一般事故四类。第六十七条规定特别重大事故由国务院或国务院授权有关部门组织事故调查组进行调查。重大事故以下的事故，由国务院特种设备安全监察管理部门，或由省、自治区、直辖市或设区的特种设备监督管理部门会同有关部门组织事故调查组进行调查。第七十条规定，“特种设备安全监察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，需要制订或修订相关安全技术规范的，应当及时制订或者修订。”就是说“条例”规定国家质检总局特种设备安全监察局及省、自治区、直辖市等各级安全监察部门将事故调查、预防和处理权纳入其监察范围。并且使特种设备安全监察工作成为闭环的监管模式。

(2) 事故调查又可称为失效分析。从认识论的角度来看，失效的认识论上的原因是人的主观认识与客观事物的本质相脱离的结果。因为人的认识是相对真理，而客观事物的本质是绝对真理，人的认识过程是人认识的相对真理不断逼近客观事物本质的绝对真理的过程，因此人的认识总是相对的，而客观事物是绝对的，失效是不可避免的，是人类认识客观真理过程中永恒的主题。

(3) 科学技术发展的过程乃至人类社会进化的过程，都是进步、失效及失效分析、改进和提高、再失效和分析、再进步和上升……不断循环、螺旋式上升，这就是产品质量，包括特种设备的安全发展的质量螺旋式上升模型。

(4) 事故调查的作用和重要性主要有：分析事故原因，防止同类事故的再次重复发生；举一反三，深化客观事物的本质和认识；寻找科技差距，强化安全科技攻关重点；暴露法规不足，完善法规治理体系；明确监管的缺陷，建设监管的闭式管理模式；指明质量漏洞，达到质量螺旋上升过程。

(5) 事故调查或失效分析的重要原则(八大原则)有：高一级组织主持分析的原则；专家为主参加分析的原则；第三者专家客观分析的原则；物证为主的分析原则；最终要综合客观分析的原则；举一反三，寻找隐患的原则；分析结果要反馈到最高管理层面的原则。大量的事故调查表明，凡是按照上述八个原则进行的，就会成功，否则会导致失败。

### 3.5 关于特种设备事故的统计分析和安全发展规律的研究问题

(1) 历年特种设备事故统计分析可以反映其安全发展的进程。

(2) 根据对英国、美国和日本事故死亡人均GDP收入和年代之间呈非对称倒抛物线关系(图2、图3)，安全生产的整个历程可以分为四个阶段，即死亡人数上升的事故易发期(I期)、死亡人数波动的高位波动期(II期)、死亡人数快速下降的快速下降期(III期)和死亡人数平稳下降的平稳下降期(IV期)。它们分别与GDP收入的关系如表2所示。

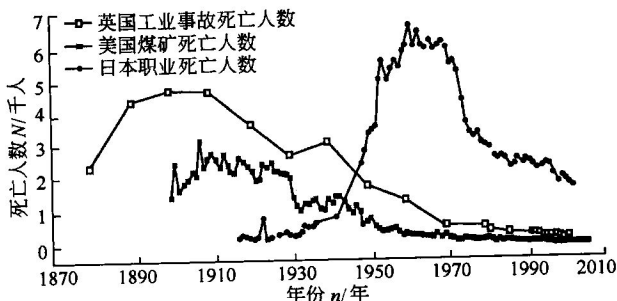


图2 英国工业事故、美国煤矿和日本职业死亡人数的发展变化

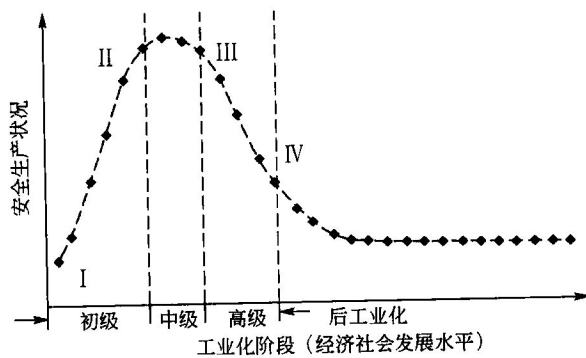


图3 安全生产与经济社会发展阶段变化关系

要有监管、经济、法规、科技、人文等因素，并且这些因素对安全生产各个阶段的作用也不相同，但大致可以认为在事故易发期和高位波动期（即Ⅰ期和Ⅱ期），起主要作用的是监管和经济方面的因素，在快速下降期和平稳下降期（即Ⅲ期和Ⅳ期）起主要作用的则是法规、科技和人文方面深层次的因素。因此，在我国在重视监管和经济因素的同时，高度重视法规、科技和人文的因素是十分必要的。

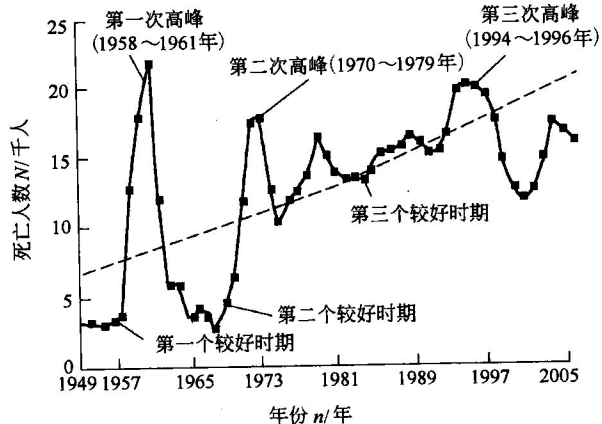


图4 1953~2005年我国工矿企业事故死亡人数

表2 事故死亡人数与人均GDP之间的关系

|                    | Ⅰ期<br>事故易发期       | Ⅱ期<br>高位波动期       | Ⅲ期<br>快速下降期       | Ⅳ期<br>平稳下降期 |
|--------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------|
| 人均GDP<br>收入<br>/美元 | <10000            | 10000~<br>20000   | 20000~35000       | >35000      |
| 英国                 | 1880~1950<br>(70) | 1950~1970<br>(20) |                   | 1970以后      |
| 美国                 | 1900~1960<br>(60) | 1960~1980<br>(20) |                   | 1980以后      |
| 日本                 | 1948~1974<br>(26) |                   | 1974~1988<br>(14) | 1988以后      |

(3) 我国的事故死亡人数与年代的关系至今还没有人划分发展阶段，初步统计表明（图4），从1949~1979年（30年）为事故易发期，1979~1994年（15年）年为事故高位波动期，1994年以后进入快速下降期。安全生产的监管力度虽不断有所提高，但我国的人均GDP大约还只有3000美元（北京已达到9000美元），还处在较低的水平。政府的监管、科技投入、科技水平和企业主体地位还有一个不小的差距。因此，对我国安全生产发展的水平和所处的阶段不能估价过高。

(4) 研究表明，影响安全生产的因素很多，主

(5) 特种设备的安全处在什么阶段？它的规律是什么？什么因素最为有效？如何促进特种设备安全水平在我国领先发展这一系列的问题是值得我们关注和研究的。

#### 4 深化特种设备安全发展的几点建议

- (1) 加强特种设备安全发展与节约（节能）发展及清洁（减排）发展的有效结合研究。
- (2) 加强特种设备的“软科学”与“硬科学”的有机结合研究。
- (3) 加强特种设备的动态监管与科学检测的结合研究。
- (4) 加强特种设备安全监察工作的闭环管理模式与其质量的螺旋式上升模型的结合研究。
- (5) 加强特种设备事故的统计分析与其安全发展规律的研究。
- (6) 加强特种设备交叉学科前沿基础创新与工程应用的有机结合研究。

#### 参考文献

[1] 特种设备安全监察条例. 中国标准出版社, 2009年2月第二版.