

特种设备安全科技现状与展望

林树青[†]

(中国特种设备检测研究院 北京 100013)

摘要 从法规标准、信息化、安全检测监测技术、安全评定、寿命预测与风险评估、事故应急决策及抢险技术等方面分析了我国特种设备安全科技面临的形势,提出了特种设备安全科技中长期发展思路、发展目标和主要任务,介绍了“十一五”国家科技支撑计划项目《生命线工程和特种设备安全保障关键技术与工程示范》的总体目标、研究内容、课题设置方案、技术难点和创新点及技术路线。

关键词 特种设备, 安全, 十一五攻关

Special equipment safety technology situations

LIN Shu-Qing

(China Special Equipment Inspection and Research Institute, Beijing 100013)

Abstract This paper analyzes the situation and gives an outlook of China Special equipment safety technology from the points of view of codes, standards, information, inspection, assessment, life prediction, risk evaluation and emergency response, and suggests the route, objective and main task of its medium and long-term development. Presents an outline of the National 11th Five-Year Plan major technological item, i. e. Lifeline Engineering and Special Equipment Safety Ensuring Key Technology and Engineering Demonstration.

Key words Special Equipment, Safety, National 11th Five-Year Plan major technological item

1 引言

特种设备包括锅炉、压力容器、压力管道、电梯、起重机械、游乐设施、客运索道和场(厂)内机动车辆,其量大面广,涉及到生产生活的方方面面,是国民经济和人民生活的重要基础设施。特种设备危险性较大,其安全关系到人民生命财产安全、国家经济运行安全和社会稳定,是公共安全的重要组成部分。特种设备安全涉及到特种设备的设计、制造、安装、使

用、检验、改造等诸多环节,是技术性很强的系统工程,必需依靠科技进步。

2 特种设备安全科技面临的形势

由于长期以来我国在特种设备安全科技方面的投入不足,导致特种设备安全科技整体水平不高;随着特种设备快速发展,我国特种设备安全科技又面临很多新情况、新问题、新挑战和新要求,科技创新任务十分艰巨。

2008-03-11 收稿; 2008-07-02 定稿

作者简介:林树青(1958 -),男,北京市人,硕士研究生,研究方向:特种设备安全。

[†] 通信联系人 E-mail: lin_shuqing@csei.org.cn

2.1 特种设备安全法规标准建设

工业发达国家对特种设备管理都建立有协调一致、系统完整的法规标准体系。我国也正在致力于建设特种设备安全法规标准体系,但目前仍存在三大突出问题:一是内容覆盖不全、缺口极大,尤其是在寿命预测、安全评定、风险评估、应急救援、事故处理、信息化管理等方面几乎是空白;二是缺乏系统性和协调性,有些规定甚至相互矛盾,而且技术含量低,尤其是机电类特种设备更加薄弱;三是安全性与经济性的关系未解决,许多安全技术要求与我国特种设备和技术经济的发展不适应。因此,依靠理论创新和科技进步,加强我国特种设备安全法规标准体系的研究、尽快建立起与国际接轨、适应我国技术经济发展水平的特种设备法规标准体系已刻不容缓。

2.2 特种设备安全信息化建设

工业发达国家已陆续将信息化技术应用于特种设备安全管理的各个层面,利用现代网络技术和信息处理技术建立了先进的信息管理系统,实现了动态监管、统一管理和资源共享。近几年来,我国也特别重视特种设备安全监察信息化建设工作,但尚不完善,主要存在两大技术问题:一是现有基础数据的全面性、准确性远远不能满足特种设备安全监察动态监管的基本要求;二是数据流的规范化工作薄弱,远远不能满足建立格式统一、层次分明、传递流畅、分级管理、规范协调的数据库的基本要求。因此,以网络技术为平台的数据规范化、数据流规范化和相应的统一软件系统是迫切需要解决的技术问题。

2.3 特种设备安全检测监测技术

近年来,随着技术进步,尤其是计算机技术、数字化技术和信号分析处理技术和新材料的发展,国外特种设备安全检测监测技术围绕满足特种设备的发展和安全运行的需要,着力提高检测效率和可靠性、降低检测成本,涌现出了一系列高新技术及检测设备,如漏磁检

测、脉冲涡流检测、超声导波检测、自动扫查超声成像检测、射线数字成像、聚乙烯管道熔接质量检测、埋地管线不开挖检测等等。我国特种设备安全检测监测技术远远落后于工业发达国家,很难满足企业和社会对特种设备安全检验的需求。对于锅炉、压力容器、工业管道而言,适应锅炉和石化成套装置日趋大型化、高参数、长周期、高风险的趋势,急需的检测技术有:厚钢板焊缝缺陷现场检测技术、大型储油罐安全检测技术、大型关键容器不开罐或部分开罐检验技术、角焊缝缺陷检测技术、管道焊缝缺陷检测高技术、不拆保温层管道局部减薄快速检测技术、不拆保温层承压设备壁厚和焊缝缺陷检测技术、电站锅炉泄漏和寿命损耗在线监测和膜式壁焊缝缺陷快速检测技术等;对于公用和长输管道(埋地管道)而言,急需研发介质泄漏检测监测技术、管道外覆盖层状况、阴保状况的不开挖检测技术、管道本体腐蚀状况检测技术、聚乙烯管道熔接质量现场检测技术、管道位置走向准确检测技术及检测设备;对于电梯、起重机械、客运索道、大型游乐设施而言,我国的检测手段和仪器都比较原始,需要在电梯导轨安装质量的检测、轿厢失速情况下制停性能的准确测量、加速度的准确测量、大轴不拆卸检验等方面,加快技术更新。

2.4 特种设备安全评定、寿命预测与风险评估

特种设备安全评定、寿命预测和风险评估技术是特种设备运行管理中科学、合理地协调、解决安全性与经济性关系问题的技术基础,工业发达国家对其研究应用高度重视,纷纷建立了各自的基于合于使用原则的安全评定、寿命预测、风险评估技术规范标准和大量的基础数据库。相比之下,我国在此方面的投入和研究应用工作,显得相当薄弱,需要尽快建立起特种设备常用材料的高温、腐蚀、疲劳等数据和特种设备事故数据等基础数据库,加强安全评定、寿命预测和延寿技术、风险评估技术等研究和应用。

2.5 特种设备事故应急决策及抢险技术

工业发达国家针对大型承压设备、穿越人员密集区或政治敏感区的长输危险介质管道和埋地燃气管道等特种设备,都普遍建立了比较完整的突发事件监控预警系统、应急救援抢险机制和体系及有效的应急救援装备,事故原因诊断和事故仿真重构技术的研究应用也非常活跃。我国在此方面,长期处于被动局面,事故救援机制、抢险技术和装备较为落后,必须加快研究建立适合我国国情的特种设备事故应急救援机制,加强特种设备事故预警和应急救援技术和装备研发,建立事故预警和应急救援技术保障体系。

3 特种设备安全科技中长期发展思路和目标任务

3.1 发展思路

以科学发展观统领特种设备安全科技工作,以防止和减少事故为目的,以建立特种设备安全动态监管长效机制为手段,坚持安全科技为政府立法执法提供技术支撑,为特种设备安全运行提供技术保障。加强特种设备安全管理理论和技术研究,促进特种设备安全监察和管理体制创新;开展系统、集成的共性、关键性的检验检测监测与安全风险寿命评价技术和监控预警应急救援技术重大科技攻关,建立特种设备安全技术创新、人才培养、成果转化机制,提高特种设备安全技术水平;通过社会资源的优化组合和特种设备安全科技平台(法规标准、试验基地、基础数据等)的研究建设,实现管理体制和共性技术创新,保障特种设备安全。

3.2 发展目标

为实现我国特种设备“杜绝特重大事故、遏制重大事故、减少一般事故”和“将特种设备事故率控制在0.5起/万台以下”的目标,提供技术支撑和保障。

(1)建立和完善与《特种设备安全监察条例》配套、与我国特种设备发展和安全运行需求、检验技术水平和综合能力状况以及全球经济一体化相适应的特种设备安全法规标准体系,建立特种设备安全评价体系,建立特种设备安全动态监管体系。

(2)加强特种设备共性、关键性技术的研究开发和工程应用,在特种设备检测监测监控新技术、新方法以及大型、关键特种设备安全评价、风险评估、寿命预测、仿真重构等事故防范技术方面取得重大进展。

(3)初步建立特大或重大特种设备事故减灾救灾、风险分解机制和应急救援技术保障体系。

(4)初步建立以法规标准、试验基地和基础数据库为核心的特种设备安全科技平台。

3.3 主要任务

(1)以安全基础理论和管理综合技术研究为突破,加强特种设备安全监察与管理体制创新。开展以正确处理特种设备安全与国民经济建设协调发展为核心的安全经济学和安全管理系统工程技术研究;开展以量化分析和危险源分级为核心的特种设备安全和风险状况评价体系研究;开展以互联网和安全监察基础数据库为平台的特种设备安全和风险状况动态监管体系研究;开展以风险防范为核心的特种设备安全责任体系和保险机制研究。

(2)以特种设备安全领域中共性、关键性的检测监测监控与风险寿命可靠性评价技术研究开发为核心,提高特种设备事故防范技术水平。主要开展:埋地管道位置走向、安全状况检测技术研究 with 关键设备研制;承压设备介质泄漏检测、监测技术研究 with 装置研制;特种设备安全检测、监测技术可靠性研究;大型、关键特种设备安全高效检测技术研究 with 装置研制;大型、关键特种设备安全在线检测、监测、监控技术研究 with 装置研制;大型、关键特种设备安全评估、寿命预测技术与方法研究和基础

数据库建立;大型、关键特种设备风险评估和基于风险的检验技术与方法研究及基础数据库建立;大型、关键特种设备状况仿真重构技术研究和工况监测、监控设备开发;特种设备安全关键部件、安全附件可靠性研究。

(3)以特种设备事故预警和应急救援技术与装置研究开发为重点,形成应急救援技术保障能力。主要任务:特种设备事故应急救援机制研究和体系建立;大型、关键特种设备事故应急预案研究制定;大型、关键特种设备事故仿真重构技术研究和基础数据库建立;大型塔式起重机、电梯、游乐设施、客运索道突发事件应急救援技术研究开发;压力容器与油气管道泄漏和突发事件抢险、抢修技术研究开发;盛装危险介质移动式压力容器突发事件应急决策系统和堵漏装置研制。

(4)以法规标准、试验基地和基础数据库建设为基础,初步建立特种设备安全科技平台。重点是:以安全技术规范和技术壁垒为核心的特种设备法规标准体系和核心规范标准研究建立;特种设备安全监察数据采集体系和动态监管数据库及管理系统研究建立;大型、关键特种设备常用、重要材料基础数据采集系统和动态数据库研究建立;埋地管道和重大危险源 3S(GIS、GPS、GRS)数据采集体系和动态监管数据库及管理系统研究建立;埋地管道(典型结构、材质、环境、腐蚀防护措施等)模拟实验设施设计建设;重大装备典型工况(高温、高压、腐蚀介质)模拟实验装置设计建设;重大装备及其安全附件型式试验装置设计建设;特种设备安全检测技术研究及可靠性试验基地建设。

4 特种设备安全科技“十一五”重点攻关内容

“十一五”期间,科技部将《生命线工程和特种设备安全保障关键技术与工程示范》确定

为国家科技支撑计划项目,围绕我国特种设备安全共性、突出、关键、紧迫的事故预防技术问题,重点开展安全风险寿命评价、检验检测监测技术与装备以及动态监管长效机制科技攻关。

4.1 总体目标

(1)建立关键承压类特种设备安全评定和寿命预测技术体系,建立大型成套装置、生命线工程风险评估技术体系,建立机电类特种设备安全状况等级评价技术体系。

(2)建立生命线工程安全检测监测技术体系,形成大型成套装置安全在线、高效、可靠检测技术能力,形成机电类特种设备安全检测诊断技术能力。

(3)完善特种设备法规标准体系,研究建立特种设备安全评价及动态监管技术支撑体系和决策支持系统以及配套的基础数据库及数据流管理系统。

(4)建立以国家级特种设备检测研究机构为基础,相关企业、高校、研究所、检验单位广泛参与的特种设备安全技术研发基地和实验研究基地。

4.2 主要研究内容

围绕生命线工程(长输管线、城市管网以及战略储备用大型储油罐)、大型高参数高危险性成套装置和电站锅炉长周期运行以及典型机电类特种设备事故预防技术体系的建立与完善,重点研究开发检测监测新技术、新方法以及安全评定、风险评估、寿命预测等关键技术,并进行工程应用;围绕特种设备安全动态监管长效机制的建立,重点研究法规标准体系、安全评价体系和动态监管体系建立的关键技术。

4.3 需要研究的主要问题

问题一:生命线工程安全保障关键技术研究及工程示范。主要有以下 8 个具体问题:

- (1)埋地钢质管道材料性能基础数据库建立;
- (2)埋地管道制造及安装过程缺陷检测关键

技术研究及装置研制;(3)管线探测雷达成套技术研究及装备研制;(4)在用埋地管道缺陷内检测关键技术试验研究;(5)在用埋地钢质管道外腐蚀检测(不开挖)评价关键技术研究;(6)埋地管道安全综合评价关键技术研究及工程应用;(7)埋地管道泄漏检测监测关键技术与系统研制;(8)大型储油罐群基于风险的检验与综合安全评价技术研究。

重点研究埋地钢质管道外腐蚀综合评价、典型复杂工况和不良地质条件下输油输气和城市燃气管道安全评定、聚乙烯管道安全评定、埋地钢质管道风险评估、埋地管道完整性管理、大型储罐群基于风险的检验与综合安全评价。重点开发基于平板探测器的管道焊缝射线成像检测系统、基于柔性成像板的焊缝计算机射线成像检测系统、聚乙烯管接头超声检测系统、埋地管道地质雷达探测系统、埋地燃气管道泄漏点定位实时检测仪,并重点开展城市燃气管道瞬态模拟仿真技术预研究,实现检测设备的自主研发,提交城市燃气管道瞬态模拟软件。

问题二:大型高参数高危险性成套装置长周期运行安全保障关键技术研究及工程示范。主要有以下7个具体问题:(1)基于风险和可靠性的成套装置安全诊断评价技术研究;(2)腐蚀与高温环境下承压设备安全保障关键技术与工程应用;(3)承压结构运行损伤与安全工作载荷研究;(4)承压设备不停机检测关键技术研究;(5)成套装置动设备以可靠性为中心的智能维修系统研究;(6)石化过程安全控制装置的完整性技术及在用限流阀风险评估关键技术研究;(7)成套装置长周期运行的综合安全风险评估技术研究及工程示范应用。

重点研究典型石化成套装置失效模式、基于风险的检验技术和安全状况综合评价方法、高温腐蚀环境下承压设备剩余寿命预测方法、承压结构强化极限分析准则及典型结构强化

极限载荷工程计算方法、承压结构的金属磁记忆检测评价方法、早期疲劳微损伤的无损检测及定量评价方法、结构微损的在役设备材料性能测试技术方法、高温损伤及氢损伤的早期诊断技术方法、基于故障概率和装备运行状态的动态维修决策方法(含软件)、石化过程安全控制装置的完整性技术及在用限流阀风险评估方法。开发大壁厚压力容器多通道自动超声成像检测装置、不拆保温层或覆盖层脉冲涡流金属蚀失量检测装置、关键转动机组的网络化在线状态监测系统、针对机泵群的智能巡检系统。

问题三:电站锅炉长周期运行安全保障关键技术研究及工程示范。主要有以下5个具体问题:(1)电站锅炉承压部件典型耐热金属材料性能评价及基础数据库建立;(2)复杂服役环境电站锅炉热交换管主要失效原因分析和对策;(3)电站锅炉高效高可靠性检测与监测关键技术研究及设备研制;(4)电站锅炉主要承压部件安全评价与剩余寿命评估技术研究;(5)基于风险的电站锅炉长周期运行安全综合评价技术与工程示范。

重点研究超临界、超超临界电站锅炉承压部件典型耐热金属材料性能综合评价方法;复杂服役环境电站锅炉热交换管失效预警与预防方法;电站锅炉热交换管安全等级分类和风险评估方法;电站锅炉再热器与过热器剩余寿命评估方法。重点开发带保温层管道腐蚀电磁导波检测装置、水冷壁管腐蚀多通道低频涡流检测装置、过热器和再热器管子高可靠性寿命在线监测系统。

问题四:大型机电类特种设备安全保障关键技术研究及工程示范。有以下5个具体问题:(1)大型游乐设施与起重机械剩余寿命评估方法研究;(2)基于虚拟现实技术的机电类特种设备安全评价方法研究;(3)机电类特种设备在线检测监测技术与系统研究;(4)基于网络技术的设备运行实时监控与预警系统研

究;(5)机电类特种设备安全状况综合评价方法研究与工程应用。

重点针对不同设备的特点和突出问题的紧迫程度,研究安全状况等级评价技术、模拟仿真分析技术、寿命可靠性分析技术以及起重机械声发射检测方法。开发游乐设施运行状态测试与监测系统、电梯门机系统在线监控系统、车载防滚翻防碰撞监测预警装置、客运索道关键部件(钢丝绳等)在线遥测与监控系统、施工升降机和塔机在线无线远程监测网络系统。

问题五:特种设备安全动态监管长效机制及技术平台研究。有以下3个具体问题:(1)特种设备安全法规标准体系研究;(2)特种设备安全评价体系研究;(3)特种设备安全动态监管数据资源平台建设。

在国内外法规标准比较分析的基础上,研究提出完善、协调我国特种设备法规标准体系的前瞻性、战略性建议,研究提出特种设备安全评价体系、安全监察体制和机制、安全责任体系的完善建议,研究提出特种设备信息化数据规范、特种设备信息化安全规范,建立特种设备常用金属材料性能数据库和特种设备安全人员资格管理数据库。

4.4 技术难点和创新点

该项研究内容多,系统性和相关性强,涉及的技术具有多学科、多领域、公益性的突出

特点,具有以下特点:

(1)共性技术。多因素交互作用下特种设备失效模式与机理;工况导致材料损伤对承压设备失效可能性的影响评价;超声波相控阵技术以及厚钢板、特殊部位、特殊结构超声检测技术;工业射线高对比度、高空间分辨率成像技术与快速重构算法;适应不同工况、不同类型缺陷的组合检测技术及特征信号提取与分析;特种设备动态监管数据流规范化和数据资源平台结构设计与实现技术;特种设备安全管理与经济发展定性、定量关系;法规标准体系和核心法规标准的宽严程度对于保障安全与经济发展正(负)向贡献关系。

(2)特色技术。材质劣化表征及材料性能损伤检测评价;高温高压与腐蚀交互作用下承压设备安全性判别准则;安全寿命影响因素分析与寿命预测模型;低频远场涡流多通道腐蚀三维成像检测技术;不拆保温层高温管道在线层析成像检测技术及超声导波信号分析;埋地管道外腐蚀不开挖检测技术及检测信号与腐蚀防护状况的关系;复杂环境条件下,埋地管道位置雷达探测技术及信号识别分析;在线监测与远程网络传输模式分析;多模式运行状态记录技术;机电类特种设备虚拟仿真与动力学评价;机电类特种设备系统可靠性分析与关键部件评价。