

# 特种设备定期检验与在线监测技术融合模式研究

王睿 宋鑫

湖北特种设备检验检测研究院随州分院, 湖北随州, 441300;

**摘要:** 随着工业智能化发展, 传统以周期性停机检验为主的特种设备安全管理模式面临效率低、成本高、风险预警滞后等挑战。将定期检验与在线监测技术深度融合, 构建“动静结合、长短互补”的新型安全监管模式, 已成为提升特种设备本质安全水平的重要方向。本文探讨了定期检验与在线监测技术融合的必要性与可行性, 分析了数据共享、状态评估、风险预警与检验策略优化等关键融合环节。研究表明, 通过建立统一的数据平台, 实现在线监测实时数据与定期检验历史数据的关联分析, 可精准识别设备劣化趋势, 动态调整检验周期与内容, 推动检验模式由“计划性”向“预测性”转变, 有效提升检验的针对性与有效性, 为特种设备全生命周期安全管理提供智能化支撑。

**关键词:** 特种设备; 定期检验; 在线监测; 融合模式; 状态评估; 预测性检验

**DOI:** 10. 64216/3080-1508. 25. 10. 050

## 引言

特种设备(如锅炉、压力容器、管道、起重机械等)是能源、化工、交通等国民经济关键领域的核心承压或承载装置, 其安全运行直接关系到人民生命财产和社会稳定。长期以来, 我国对特种设备实行以《特种设备安全法》为依据的定期检验制度, 即在设备运行一定周期后强制停机, 由专业检验机构进行包括宏观检查、无损检测、安全附件校验等在内的全面检验。该模式在保障设备安全方面发挥了重要作用。

然而, 随着设备大型化、复杂化、连续化运行趋势日益明显, 传统定期检验模式的局限性逐渐凸显: 一是“一刀切”的检验周期可能导致部分状态良好的设备过度检验, 增加企业非计划停机损失和检验成本; 二是检验间隔期内的设备运行状态处于“黑箱”状态, 难以及时发现突发性或快速发展的缺陷, 存在安全监管盲区; 三是检验资源难以精准投向高风险设备, 资源配置效率有待提升。因此, 如何将定期检验的全面性和权威性与在线监测的实时性、连续性有机结合, 在线监测的实时性、连续性构建优势互补、协同高效的融合模式, 已成为特种设备安全科技领域亟待研究和突破的关键课题。本文旨在探讨二者融合的技术路径、核心要素与应用前景, 为推动特种设备安全监管模式的智能化转型提供理论参考与实践思路。

## 1 特种设备定期检验与在线监测技术概述

### 1.1 特种设备的定义

依据《中华人民共和国特种设备安全法》, 特种设备是指对人身和财产安全有较大危险性的锅炉、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, 以及法律、行政法规规定适用本法的其他特种设备。该定义强调了特种设备在运行过程中因潜在的高风险特性, 需通过法律强制监管保障安全。其核心特征表现为: 一是设备运行涉及高温、高压、高速等复杂工况; 二是一旦发生故障或事故, 可能造成群死群伤、重大财产损失及环境破坏; 三是设备结构、操作及维护具有专业性, 需专业人员与技术保障安全运行。

### 1.2 特种设备定期检验与在线监测技术的关联性

**目标一致性:** 特种设备定期检验与在线监测技术均以保障设备安全稳定运行为核心目标。定期检验通过周期性对设备进行全面检查、检测与评估, 及时发现潜在缺陷和安全隐患, 预防事故发生; 在线监测技术借助传感器、物联网等先进技术, 实时采集设备运行参数和状态信息, 实现对设备运行状况的动态监控。二者协同作用, 能够全面掌握设备安全状况, 降低设备故障率, 避免因设备故障引发的安全事故和经济损失。**功能互补性:** 定期检验侧重于对设备进行离线的深度检查和性能测试, 可对设备内部结构、关键部件进行拆解检查, 获取设备在特定时间节点的静态安全信息; 在线监测技术则

侧重于设备运行过程中的实时监测,能够及时捕捉设备运行参数的异常变化,如温度、压力、振动等,为设备故障预警提供动态数据支持。定期检验结果可为在线监测技术的参数设置和模型优化提供参考,在线监测数据能够辅助定期检验更精准地确定检验重点和周期,二者功能互补,提升设备安全管理水平。

## 2 融合模式的关键技术

### 2.1 高精度传感器技术

高精度传感器技术依托微电子、材料科学等前沿领域的创新成果,通过对物理、化学、生物等信号的精准捕捉与转换,实现对特种设备运行参数的高精度测量。以光纤光栅传感器为例,其基于光纤的光弹效应,能够将温度、应变等物理量的变化转化为光波长的漂移,凭借波长编码的特性,具有抗电磁干扰能力强、精度可达微米级等优势;而 MEMS(微机电系统)传感器则利用微纳加工技术,将传感器与信号处理电路集成在微小芯片上,具备体积小、功耗低、响应速度快的特点,可实时监测设备的振动、压力等参数。这些传感器的高精度特性,为获取特种设备运行过程中的细微变化提供了可靠支撑,是实现设备状态精准感知的基础。

### 2.2 网络通信与数据传输技术

网络通信与数据传输技术打破了特种设备定期检验与在线监测之间的时空限制,实现了数据的实时共享与协同。在线监测系统采集的设备运行数据,通过高速稳定的网络传输至数据中心,检验人员可远程获取设备实时状态信息,结合历史检验数据和行业标准,利用大数据分析和人工智能算法,对设备安全状况进行动态评估,提前制定个性化的定期检验方案。例如,当在线监测数据显示某压力容器的压力波动频繁且接近临界值时,系统自动将相关数据推送至检验机构,检验人员可及时安排专项检验,缩短故障诊断和处理时间。此外,基于区块链技术的数据传输,保证了监测数据的不可篡改和可追溯性,增强了数据的可信度,为定期检验结论的准确性和权威性提供有力支持,推动特种设备安全管理向智能化、数字化方向发展。

## 3 融合模式的实施策略与建议

### 3.1 政策法规与标准体系建设

当前,我国围绕特种设备安全已形成较为完善的政策法规体系,《中华人民共和国特种设备安全法》作为核心法律,明确了特种设备生产、经营、使用、检验、检测等环节的责任与义务,为定期检验和在线监测技术的开展奠定了法律基础。《特种设备安全监察条例》进一步细化了安全监察制度,对检验周期、检验内容等作出规定。然而,在定期检验与在线监测技术融合方面,相关政策法规存在一定滞后性。例如,对于在线监测数据在定期检验中的法律效力、数据共享机制等缺乏明确规定,导致实践中数据应用存在障碍,各参与主体责任界定模糊。构建统一的融合技术标准体系是推动二者协同发展的关键。首先,需制定设备数据采集标准,规范不同类型特种设备传感器数据的采集频率、精度、格式等,确保数据的一致性和兼容性;其次,建立数据传输与存储标准,明确数据加密、传输协议、存储周期等要求,保障数据安全与可追溯性;再者,完善设备状态评估标准,将在线监测数据纳入定期检验评估指标体系,制定基于实时数据的设备风险评估模型与判定准则。此外,积极参与国际标准制定,借鉴欧盟、美国等先进经验,推动我国特种设备检验监测标准与国际接轨,提升行业国际竞争力。

### 3.2 技术与人才培养

加大对融合关键技术的研发投入,鼓励高校、科研机构与企业联合攻关。在数据处理技术方面,研发适用于特种设备监测数据的人工智能算法,如基于深度学习的故障预测模型,提高设备故障诊断的准确性和及时性;在系统集成技术方面,开发具备数据融合、智能分析、远程控制功能的一体化平台,实现定期检验与在线监测业务流程的无缝衔接。同时,建立技术推广应用机制,通过试点示范工程,展示新技术的应用效果,引导企业采用先进技术,推动行业整体技术升级。建立多层次的专业人才培养体系,满足融合发展需求。在学历教育层面,支持高校开设特种设备安全与智能监测相关专业或课程,培养掌握机械工程、电子信息、数据分析等多学科知识的复合型人才;在职业培训层面,定期组织检验检测人员参加在线监测技术培训,更新其知识结构,提升数字化、智能化检验能力;在行业认证层面,制定融合技术相关的职业资格认证标准,规范人才评价体系,吸引更多人才投身特种设备检验监测领域。此外,通过

建立行业人才交流平台、举办技术竞赛等活动，促进人才间的经验交流与技术创新。

## 4 融合模式的效果评估与优化

### 4.1 效果指标体系构建

安全性能是评估融合模式的核心指标。设置特种设备事故发生率作为关键指标，通过对比融合前后设备因故障引发的事故数量变化，直观反映模式对降低事故风险的作用；设备故障预警准确率指标，衡量在线监测系统预测设备故障的精准程度，该指标可通过统计预警成功次数与实际故障次数的比例得出；隐患排查及时率则关注定期检验与在线监测协同发现并处理安全隐患的效率，计算按时处理隐患数量占总隐患数量的比例，确保设备安全运行。

### 4.2 融合模式效果评估方法

采用层次分析法（AHP）确定各评估指标的权重，通过构建判断矩阵，将复杂的多指标问题分解为层次结构，结合专家打分确定不同指标在评估体系中的重要程度。在此基础上，运用灰色关联分析法，将融合模式实施后的实际指标数据与理想指标数据进行对比，计算各指标与理想值的关联度，得出综合定量评估结果，客观反映融合模式的实施效果。同时，引入数据包络分析（DEA）方法，对不同应用场景下的融合模式进行效率评价，找出投入产出最优的实践案例，为模式优化提供数据支持。组织行业专家、企业管理人员、一线检验检测人员等开展座谈会和问卷调查，收集各方对融合模式在实际应用中的体验与反馈。通过专家打分法，对融合模式在提升管理规范性、增强技术协同性等难以量化的方面进行评分；运用德尔菲法，经过多轮专家意见征询与反馈，逐步达成共识，形成对融合模式定性评价的综合结论。此外，开展典型案例分析，选取不同类型特种设备应用融合模式的成功与失败案例，深入剖析其经验教训，从实际应用角度补充完善定性评估结果，为融合模式的持续改进提供参考。

## 5 结论

特种设备定期检验与在线监测技术的融合，是提升特种设备安全管理水平、推动行业智能化发展的必然趋

势。本研究通过对特种设备定义分类的梳理，明确了不同类型设备的安全管理重点，为技术融合奠定了基础；深入剖析定期检验与在线监测技术的关联性，证实二者在目标、功能和数据上的协同互补特性，凸显了融合的必要性与可行性。在技术支撑层面，高精度传感器技术实现了设备运行参数的精准采集，网络通信与数据传输技术打破了数据交互的时空壁垒，二者共同构建起实时、高效的监测体系。政策法规与标准体系建设的完善，为融合模式提供了制度保障，明确了各方权责与技术规范；技术与人才培养的推进，则为融合模式注入持续发展动力，确保新技术的研发应用与专业人才储备。然而，当前融合模式仍面临数据安全与隐私保护、跨部门数据共享机制不完善等挑战。未来，需进一步加强技术创新，深化人工智能、区块链等技术在融合模式中的应用；持续优化政策法规，推动形成统一的数据标准与管理规范；加强国际合作与经验交流，共同探索更高效、更智能的特种设备安全管理模式，为经济社会的稳定发展筑牢安全防线。

### 参考文献

- [1] 刘福涛. 特种设备检验检测的安全管理[J]. 安全, 2010, 31(04): 19-20.
- [2] 檀昊, 张贞贞. 关于大数据运用在特种设备检验中的思考[J]. 工程技术研究, 2017, (01): 82-84+86. DOI: 10.19537/j.cnki.2096-2789.2017.01.380.
- [3] 何双娟, 孟凡昊, 刘毅, 等. 全面质量管理在特种设备检验检测机构中的应用[J]. 中国电梯, 2022, 33(22): 38-40.
- [4] 胡卫朋. 目视检测技术在特种设备检验中的应用[J]. 无损检测, 2013, 35(08): 70-72.
- [5] 谢浪涛. 特种设备安全及检验工作管理平台开发应用[D]. 吉林大学, 2014.

作者简介：王睿（1989.08.06—），男，汉族，湖北贯，湖北特种设备检验检测研究院随州分院，本科，工程师，特种设备检验检测。

宋鑫（1989.05.07—），男，汉族，湖北贯，湖北特种设备检验检测研究院随州分院，本科，工程师，特种设备检验检测。