

浅谈RBI技术在化工装置的应用前景

华少振 成慧峰

英力士苯领高分子材料(宁波)有限公司 浙江 宁波 315200

摘要: 化工装置面临复杂工况与高风险挑战, RBI技术通过风险评估、损伤机理分析与检验策略优化, 构建差异化设备管理体系。本文从技术原理出发, 剖析其在提升安全性、经济效益与设备寿命中的应用价值, 并针对技术复杂性、变更管理与实施难度提出应对策略。结合物联网、大数据等技术发展趋势, 展望RBI向全生命周期风险管理的深化路径, 为化工行业设备管理转型提供参考。

关键词: RBI技术; 化工装置; 风险评估; 检验策略; 全生命周期管理

引言: 化工装置因介质腐蚀性、高温高压工况及复杂工艺流程, 设备失效风险始终威胁安全生产。传统定期检验模式存在资源浪费、低效重复等问题, 难以适应现代化工对效率与安全的双重需求。基于风险的检验(RBI)技术以风险为核心, 整合多学科知识, 通过动态评估设备失效概率与后果严重性, 优化检验策略, 实现安全与效益的平衡。本文从技术要素、应用优势、挑战对策及发展趋势四方面, 探讨RBI技术在化工行业的实践价值与未来路径。

1 RBI技术的核心要素

1.1 风险评估

风险评估作为RBI技术关键环节, 通过系统化流程识别化工装置潜在风险因素。首先从设备基本属性切入, 考量设备材质特性, 不同材质在特定介质与工况下抗腐蚀、耐磨损能力各异, 直接影响失效可能性。如碳钢材质设备接触含硫介质, 易发生硫化物应力腐蚀开裂, 成为潜在风险源。运行工况同样不容忽视, 高温高压环境加速设备材料性能退化, 频繁启停操作导致设备疲劳损伤, 这些工况参数变化都需纳入评估范围。设备历史运行数据也是重要依据, 曾出现故障的设备区域、维修记录、更换部件情况等, 反映设备健康状况与潜在隐患。结合工艺介质特性分析, 介质的腐蚀性、毒性、易燃易爆性等属性, 决定设备失效后可能造成的后果严重程度。通过多维度因素综合考量, 构建全面的风险因素识别框架, 精准定位化工装置存在的潜在风险。

1.2 损伤机理分析

损伤机理分析旨在探究设备损伤根源。从化学腐蚀角度, 介质与设备材料发生化学反应, 如酸类介质对金属的腐蚀, 造成材料减薄、强度下降。电化学腐蚀在有电解质溶液存在的环境下发生, 形成微电池效应加速设备损坏^[1]。机械损伤方面, 设备长期运行承受机械应力,

导致疲劳裂纹萌生扩展, 管道振动引发的磨损、连接处松动等, 都威胁设备结构完整性。高温环境下, 材料会发生蠕变现象, 在恒定应力作用下缓慢变形, 最终导致设备失效。低温环境则可能使材料韧性降低, 出现冷脆现象。操作不当同样是设备损伤诱因, 超温、超压运行, 介质流量异常波动, 都会对设备造成不可逆损伤。通过深入分析各类损伤机理, 明确设备损伤主要原因, 为后续风险管控提供依据。

1.3 检验策略优化

基于风险评估与损伤机理分析结果, 开展检验策略优化。对高风险设备, 加密检验频次, 采用高精度检测技术, 如超声相控阵检测、射线检测, 确保微小缺陷及时发现。针对低风险设备, 适当延长检验周期, 采用常规目视检查、测厚等方法, 降低检验成本。依据设备损伤机理选择适配检验方法, 对于腐蚀损伤设备, 重点检测壁厚变化; 针对疲劳损伤设备, 运用无损检测技术查找裂纹。结合设备运行工况, 在装置停车检修期间, 对关键设备进行全面深度检验; 在运行过程中, 利用在线监测技术实时掌握设备状态。通过差异化、精准化检验策略制定, 合理分配检验资源, 在保障设备安全运行的同时, 提升检验效率与经济性。

2 RBI技术在化工装置中的应用优势

2.1 提升安全性

化工装置系统复杂, 包含众多设备与管线, 不同区域风险水平差异显著。RBI技术通过全面风险评估, 精准划分装置风险等级, 识别出高风险区域。针对这些区域, 制定严格管控措施, 对存在严重腐蚀风险的管道, 加强壁厚监测频率, 及时更换接近临界壁厚的管段; 对高温高压且介质易燃易爆的反应釜, 采用先进检测技术排查潜在裂纹, 提前消除安全隐患。这种靶向处理方式, 避免风险累积升级, 从源头遏制事故发生。在装置

日常运行中,RBI技术持续跟踪设备风险状态变化。当工艺参数波动、介质特性改变时,系统重新评估风险,及时调整管控策略。例如,装置引入新原料导致介质腐蚀性增强,RBI技术快速识别受影响设备,启动专项防护措施,防止因介质变化引发设备失效,确保装置始终处于安全运行状态,有效降低事故发生率。

2.2 经济效益

传统化工装置检验常采用“一刀切”模式,所有设备按固定周期开展全面检查,这种方式导致资源浪费与成本增加。RBI技术打破这一模式,依据设备风险等级分配检验资源。对低风险设备,适当延长检验周期,减少检测频次;对中风险设备,采用常规检测手段,保证设备状态可控;对高风险设备,投入高精度检测设备与专业技术人员,进行深度检验^[2]。通过差异化检验策略,将有限资源精准投放到关键设备与区域,避免资源闲置与过度投入。在维护环节,RBI技术避免不必要的维护工作。基于设备实际风险状况,仅对存在问题或接近失效临界值的设备进行维修或更换,防止因过度维护导致设备过早损耗,同时减少维护材料、人工成本支出。RBI技术优化设备全生命周期管理,提前规划设备更换、升级时间节点,避免因设备突发故障造成的非计划停车损失,从多维度降低企业运营成本,提升经济效益。

2.3 延长设备寿命

传统固定周期维护模式,不考虑设备个体差异与实际运行状况,可能在设备状态良好时进行过度维护,损伤设备性能;或在设备出现隐患时未能及时处理,加速设备老化。RBI技术以设备实际状态为依据制定维护计划,利用在线监测、无损检测等技术,实时掌握设备材料性能、结构完整性变化。对运行状况良好的设备,适当延长维护间隔;对出现轻微损伤的设备,采取针对性修复措施,防止损伤扩大。例如,对于腐蚀速率较低的设备,根据实际腐蚀程度调整防腐维护周期,避免频繁防腐处理对设备表面造成损伤;对承受交变应力的转动设备,通过振动监测、应力分析,评估设备疲劳状态,在疲劳损伤初期及时进行修复或调整运行参数,延缓设备疲劳失效进程。这种基于设备真实状态的维护方式,使设备始终保持良好运行性能,有效延长设备使用寿命,减少设备更换频次,为企业节省设备更新成本。

3 RBI 技术面临的挑战与对策

3.1 技术复杂性

RBI技术应用需整合材料科学、机械工程、化学工程与数据分析多学科知识。材料科学中,不同材质在特定化工介质下腐蚀特性迥异,如钛合金在强氧化性环境耐

蚀性良好,遇含氟介质却易腐蚀,准确把握材料性能是评估失效风险的关键。机械工程领域,需剖析设备结构力学特性,判断应力集中处疲劳裂纹风险;化学工程知识则用于解析介质反应与传质传热规律对设备腐蚀的影响;数据分析需将多学科信息建模,实现风险量化评估。多学科深度交叉对技术人员要求极高,知识整合难度成为技术推广瓶颈。为此,企业可构建跨学科培养体系,与高校、科研机构合作开发定制课程,邀请专家联合授课,系统讲解多学科知识在RBI技术中的应用。编制标准化知识手册,梳理关键知识点与应用场景,方便员工学习。组建跨学科团队,由材料、机械、工艺工程师协同作业,在项目实践中互补知识,提升团队技术应用能力。

3.2 变更管理

传统化工企业管理流程围绕定期检验构建,部门职责与协同机制与之适配。RBI技术实施后,检验计划与设备维护决策依据彻底改变,需重新梳理流程。设备管理部门要从固定周期任务安排转为基于风险动态调整计划,涉及岗位职能重新界定与工作流程再造^[3]。企业文化层面,员工习惯传统工作模式,对新技术接受度低,风险导向理念与原有管理文化冲突,阻碍技术落地。突破这一困境需系统变革。企业应成立专项小组,由高层牵头制定分阶段变革计划,诊断现有流程,识别与RBI技术不匹配环节,优化并逐步推行。开展企业文化重塑活动,通过案例分享、成果展示呈现技术优势。建立激励机制,将技术应用纳入绩效考核,奖励表现突出的个人与团队,推动企业文化向适应新技术转变。

3.3 实施难度

传统定期检验模式下,企业已形成固定的检验资源配置体系。转向RBI技术需依设备风险重新分配资源,高精度设备向高风险设备倾斜,检测人员需重新培训,资源调配与人员转型难度大。传统检验标准侧重周期与全面检查,RBI技术要求结合风险评估制定差异化指标与准则,新标准制定需兼顾安全与可行性,需反复论证。员工对新检验模式的适应程度也影响实施效果。为保障转型顺利,企业需制定有序策略。制定分阶段资源调整计划,优先保障高风险设备检测资源,逐步更新设备、扩充队伍。与专业机构合作开展定制化培训,设置理论、模拟、实践课程,助检测人员掌握新技术。参考行业经验,结合企业实际开展试点,依据反馈优化标准后全面推广。建立跟踪机制,定期评估新检验模式运行情况,及时解决问题,确保RBI技术落地。

4 RBI 技术未来的发展趋势

4.1 技术集成

RBI技术与物联网的融合将实现设备状态实时感知。在化工装置中,大量传感器可部署于设备关键部位,持续采集温度、压力、振动等运行参数。这些数据通过物联网传输至RBI系统,使风险评估不再局限于周期性检测数据,而是基于设备实时状态动态调整。例如,管道壁面腐蚀速率传感器能实时反馈腐蚀进展,一旦检测到异常加速趋势,系统立即启动预警,为及时采取维护措施争取时间。物联网技术支持设备间互联互通,通过分析不同设备运行参数的关联性,可更精准识别潜在风险,如某台泵的异常振动可能引发相连管道应力变化,系统可提前预判连锁失效风险。大数据分析为RBI技术提供深度决策支持。将海量设备运行历史数据、维护记录、工艺参数纳入分析范畴,通过机器学习算法挖掘数据规律。一方面,优化风险评估模型,使模型能更准确预测设备失效概率。如基于大量相似设备失效案例数据,训练出更贴合实际的腐蚀预测模型。另一方面,通过分析不同工况、操作模式下设备风险变化特征,为工艺优化提供参考。例如发现特定原料配比下设备腐蚀加剧,可指导企业调整工艺参数,从源头降低设备风险,实现RBI技术从被动应对风险向主动预防风险转变。

4.2 标准化与规范化

RBI技术的标准化与规范化发展是行业共识。首先需统一风险评估方法与流程标准。明确不同类型化工设备的风评估指标体系,规范评估流程中数据采集、分析方法、风险等级划分标准。例如,针对反应釜、换热器等常见设备,制定标准化的风险评估模板,确保不同企业采用统一标准开展评估工作,提升评估结果的可比性与可信度^[4]。在检验策略制定方面,建立标准化的检验周期、检验方法选择准则。根据设备风险等级与损伤机理,规定不同风险等级设备的最低检验频次,明确各类检测技术的适用场景。如高风险设备必须采用超声相控阵、射线检测等高精度方法,中低风险设备可结合目视检查与常规无损检测。推动建立统一的RBI技术实施指南,从项目启动、技术应用到成果验收,形成完整的操作规范,降低企业实施难度,促进RBI技术在化工行业的广泛应用与健康发展。

4.3 全生命周期管理

RBI技术向全生命周期管理延伸,将风险管理贯穿化工装置各阶段。在设计阶段,运用RBI理念评估不同设计方案潜在风险。分析设备选材、结构设计对运行风险的影响,如合理选择耐腐蚀材料、优化管道布局减少应力集中,从源头降低设备失效可能性。建造阶段,严格把控施工质量,通过风险评估识别焊接、安装等环节的关键风险点,加强质量检验,确保设备建造符合设计要求,为后续安全运行奠定基础。运行阶段,RBI技术持续优化设备管理策略。根据设备运行数据动态调整维护计划,结合技术集成成果实现智能运维。当设备接近设计寿命或出现严重损伤时,利用RBI评估确定设备是否继续服役或退役。退役阶段,通过风险评估制定合理的拆除方案,对含有危险介质的设备进行安全处置,避免退役过程引发环境与安全问题。全生命周期风险管理实现化工装置风险可控、成本优化,提升企业整体运营效益与可持续发展能力。

结束语

RBI技术已在化工装置的风险管理中展现出显著优势,成为提升安全性与经济性的关键技术手段。面对技术整合难度、管理流程调整和实施落地挑战,需通过人才培养、制度优化与阶段性推进加以解决。未来,随着物联网、数据分析等技术的融合,RBI将实现更精准的风险预测与智能决策。标准化体系的建立将进一步规范技术应用,推动其普及。从设计到退役的全生命周期管理理念也将逐步完善,使RBI技术在化工行业发挥更大价值,助力企业实现高质量可持续发展。

参考文献

- [1]刘鹏.基于RBI技术的压力容器评估应用[J].化工装备技术,2024,45(1):25-28.
- [2]徐小霞.基于风险检验的RBI技术在压力容器检验流程中的应用[J].内蒙古科技与经济,2024(14):111-114.
- [3]刘粉妮.基于风险检验的RBI技术在压力容器检验流程中的应用[J].中国石油和化工标准与质量,2023,43(2):58-60.
- [4]苏宇,江峰.RBI技术在火力发电厂压力管道中的应用[J].石油和化工设备,2024,27(11):176-179.