

企业设备全生命周期安全管理实践与创新

田凯 顾志健

天纳克（常州）减振系统有限公司 213000

DOI:10.12238/ems.v7i7.14247

[摘要] 工业 4.0 与数字化转型的深入推进，企业设备安全管理已从单一环节管控转向全生命周期协同管理。本文系统分析了设备安全管理模式的重要性，并基于设备“规划与采购-安装与调试-运行与维护-技术升级与改造-报废与处置”全流程，提出以企业设备全生命周期为核心的闭环安全管理体系，实现设备安全管理的降本增效与创新突破。

[关键词] 企业设备；全生命；周期；安全管理

引言：

设备安全是企业生产经营的基石。据统计，70%以上的工业事故与设备管理缺陷相关，传统“事后处理”模式已难以适应复杂生产环境的需求。全生命周期安全管理（Total Lifecycle Safety Management, TLSM）理念应运而生，其核心在于将安全管控贯穿设备全寿命周期，本文结合行业实践，探索 TLSM 的实施框架与创新路径，为企业设备安全管理转型提供参考^[1]。

一、企业设备安全管理重要性

（一）预防潜在风险，保障生产连续性

设备安全管理是维护企业稳定运行的第一道防线。现代生产流程高度依赖各类机械设备、电气装置与自动化系统，任何设备的异常状态都可能引发连锁反应。生产设备突发故障会导致生产线停滞，直接影响订单交付周期，造成直接经济损失；精密仪器参数偏差可能引发产品质量问题，威胁企业市场信誉；特种设备操作不当更可能酿成安全事故，危及人员生命并产生法律风险。通过建立设备全生命周期管理机制，企业能在采购、安装、使用、维护各环节提前识别风险点，例如采用预防性维护策略可降低突发性停机概率达 60% 以上，有效避免“小隐患演变为大事故”的恶性循环^[2]。

（二）优化资源配置，提升运营效率

科学的设备管理能显著改善企业的资源利用率，完善的设备档案与状态监测系统可精准掌握每台设备的性能衰减曲线，避免过早更换造成的资源浪费或超期使用引发的效率下降。通过物联网传感器实时采集设备运行数据，企业能将维护周期从固定间隔调整为按需执行，使设备利用率提升 15%-30%。标准化操作流程的推行可减少人为操作失误导致的

设备损耗，延长关键设备使用寿命。在能源管理层面，定期校准动力设备能效参数可降低单位能耗，某制造企业通过设备能效优化实现年度电力成本缩减 12%。这些精细化管控措施共同构成企业降本增效的核心竞争力。

（三）塑造核心竞争力，支撑持续发展

在工业 4.0 时代，设备安全能力已成为企业可持续发展的重要指标。从生产维度看，德国弗劳恩霍夫研究所数据显示，设备安全等级每提升 1 级，整体生产效率可提高 8%-15%。某医疗器械企业通过设备安全改造，使无菌车间洁净度达标率从 89% 提升至 99.99%，获得欧盟 GMP 认证。从市场维度看，苹果公司要求供应商必须通过设备安全星级评定，安全等级直接影响订单份额。从创新维度看，设备安全管理系统积累的 20 万余条故障数据，可反向优化产品设计，三一重工基于设备运行大数据研制的智能挖掘机，液压系统故障率降低至 0.003%，这种安全与发展的正反馈机制，使设备管理成为企业转型升级的核心驱动力^[3]。

二、企业设备全生命周期安全管理创新实践

（一）规划与采购阶段安全管控

设备安全管理始于源头控制阶段，在规划选型环节，企业需建立多维度选型评估模型，综合考虑生产工艺特性、作业环境风险、能耗效率指标等核心要素，例如化工设备需重点评估防爆等级与防腐性能，精密加工设备则需关注振动抑制与温控精度，通过引入设备安全系数计算工具，量化评估不同型号设备的安全裕度，确保选型决策既满足生产需求又符合本质安全要求。供应商管理体系的构建直接影响设备安全基因。企业应建立包含资质审查、现场验厂、样机测试的三级评估机制，重点核查供应商的 ISO 认证有效性、质量追

溯体系完备性以及售后响应时效性，通过动态更新的合格供应商名录，将发生过重大质量事故或服务违约的供应商列入黑名单，从准入环节降低安全风险。合同条款的精细化设计是保障后续管理的关键，除常规性能参数外，需明确设备安全防护装置配置标准、关键部件质保期限、数据接口开放要求等特殊条款，特别应约定供应商的培训义务，要求其提供不少于 40 课时的操作维护培训，确保使用人员掌握设备安全操作规范。某制造企业在采购合同中增设安全性能违约金条款后，供应商交付设备的防护装置完整率从 82% 提升至 97%^[4]。

（二）安装与调试阶段安全控制

设备安装过程的安全管控需实施全过程监理，企业应组建由设备工程师、安全专员、施工方构成的三方监督小组，对照安装图纸与施工方案进行节点验证。重点监控地基承载力测试、动力线路绝缘检测、安全联锁装置调试等关键工序，建立每日施工安全日志制度。对于大型成套设备，采用激光对中仪、三维扫描仪等精密仪器进行安装精度检测，将同轴度偏差控制在 0.05mm 以内。调试阶段的系统性验证是安全投产的前提，空载试运行需连续运转 72 小时以上，监测轴承温升、振动幅度、噪声等级等基础参数。负载试验应分级加载至 120% 额定负荷，验证过载保护装置、急停系统的响应有效性，某水泥企业通过引入智能调试系统，自动生成包含 328 项检测指标的综合调试报告，将调试周期压缩 40% 的同时发现隐蔽缺陷 23 处。安全验收的标准化执行筑牢最后防线，验收小组需依据 GB/T 15706 机械安全标准，采用红外热成像检测电气连接点，使用超声波探伤仪核查焊接质量，验收文档除常规技术参数外，应包含安全装置测试记录、应急功能验证视频等可视化证据。通过建立电子化验收档案库，实现设备安全数据的全生命周期可追溯^[5]。

（三）运行与维护阶段安全管理

智能化巡检体系的构建提升风险识别能力，企业通过部署物联网传感器网络，对设备振动频谱、润滑油金属颗粒度、电机绕组温度等 142 项参数进行实时采集。结合专家诊断系统，自动识别皮带跑偏早期征兆、轴承疲劳裂纹等 23 类潜在故障，某炼油厂应用智能巡检系统后，隐患发现时效从 48 小时提升至即时预警，避免非计划停机损失超 800 万元/年。预防性维护策略的实施延长设备安全周期，基于可靠性为中心的维修 (RCM) 理论，建立设备关键度评估矩阵，将维护资

源优先配置于 A 类重点设备。通过油液光谱分析、振动趋势预测等技术手段，动态调整大修周期，相关造纸企业应用预测性维护模型后，传动系统故障率下降 65%，设备综合效率 (OEE) 提升 12 个百分点。故障应急机制的完善保障快速处置能力，建立分级响应预案库，明确轻微异常、局部故障、重大事故三类情况的处置流程与时限要求。通过移动工单系统实现报修、审批、维修、验收的全流程数字化管理，将平均故障修复时间 (MTTR) 控制在 4 小时以内，部分半导体工厂设置的应急专家会诊平台，可在线调用设备三维拆解模型，指导现场人员 45 分钟内完成复杂故障定位。

（四）技术升级与改造阶段安全管控

改造前的风险评估是防控新增风险的关键，企业应组建跨部门评估团队，运用 HAZOP 分析方法系统识别改造可能引发的连锁反应。重点评估控制系统兼容性、机械结构强度变化、安全防护覆盖盲区等要素，有些化工厂在反应釜改造前通过模拟仿真发现搅拌器共振风险，避免改造后可能引发的结构性坍塌事故。改造过程的安全监管需要建立立体防控体系。实行作业许可制度，对动火作业、高空作业等特殊工序进行双人复核审批。通过布设智能监控摄像头与气体检测探头，实时监测作业环境中的有毒气体浓度、氧气含量等指标。某钢铁企业应用改造过程管理系统后，违规作业发生率下降 78%，施工事故归零。改造后的综合验证确保本质安全达标，除常规性能测试外，需进行 72 小时连续运行稳定性试验，模拟极端工况下的设备表现。安全验收重点核查改造部位与原有系统的兼容性，特别是涉及控制逻辑变更时，需进行全流程安全联锁测试，某发电机组改造后通过新增的轴向位移保护装置，成功阻断转子碰撞风险 3 次，验证改造方案的有效性。

（五）报废与处置阶段安全管理

科学制定报废标准是设备退出的决策基础，企业需建立包含技术寿命、经济寿命、安全寿命的三维评估模型，当设备故障频次超过阈值、主要性能指标劣化率达 30%、或存在不可修复的结构性损伤时，启动强制报废程序。某石化企业应用剩余寿命预测算法，精准判定 18 台压力容器报废节点，避免超期使用导致的安全风险。规范化拆除作业流程防控次生风险，编制包含能量隔离方案、吊装受力分析、有害物质处理等要素的专项拆除计划。采用激光切割替代传统气割工

艺,减少动火作业风险;使用模块化拆解技术,将设备分解为可回收单元,相关制药企业通过专业拆除团队作业,将设备拆除事故率从1.2%降至零记录。环保化处置践行可持续发展责任,建立含重金属部件、危化品残留、放射性元件的分类处置流程。与持有危废经营许可证的单位签订处置协议,实现含铅轴承、汞开关等危险部件的合规转移,一些电子制造企业通过贵金属回收技术,从报废设备中提取金、钯等稀有金属2.3吨,创造循环经济价值超5000万元。设备全生命周期安全管理体系的构建,需要贯穿“源头防控、过程监管、末端治理”的管理逻辑,通过建立各阶段的标准作业程序(SOP)、实施数字化监控手段、培育专业队伍,企业可系统性地控制设备风险。这种管理实践不仅能降低30%以上的安全事故率,更推动设备管理从成本中心向价值创造中心转型,为智能制造发展提供坚实保障。

三、企业设备安全管理创新保障措施

(一) 技术融合创新

以数字技术重构设备安全防护体系,通过5G+AR技术实现远程专家协同运维,构建设备故障的实时可视化诊断网络,使维修响应效率提升50%以上。区块链技术的深度应用形成不可篡改的设备全生命周期数据链,确保维护记录、部件更换等信息的永久可追溯性。开发智能安全联锁系统,在设备异常时自动触发停机保护,结合数字孪生技术建立虚拟调试平台,提前验证安全防护方案有效性。物联网传感器网络的全面部署实现设备健康状态的分钟级监测,通过机器学习模型预测故障发生概率,将事故预防窗口期提前至72小时。

(二) 制度体系重构

建立全链条标准化管控机制,制定《设备安全准入白皮书》,明确防爆等级、能耗标准等18项技术门槛,从采购源头消除安全隐患。推行设备安全指数评价体系,构建包含运行稳定性、维护及时性等维度的量化评估模型,实现安全绩效与部门考核的直接挂钩。创新实施动态分级管理制度,对高危设备实行电子围栏隔离与双人操作制,中风险设备配置智能急停装置,低风险设备采用数字化巡检流程。完善事故根因追溯机制,建立包含200余个标准化处置预案的应急知识库,通过PDCA循环持续优化管理流程。

(三) 文化培育升级

安全文化建构正在重塑企业组织行为模式,“设备安全月”活动的常态化开展,通过情景模拟、案例研讨等沉浸式培训,将“预防为主”理念植入员工意识。企业实施“安全行为积分”制度,将规范操作、隐患识别等行为转化为可视化工时奖励,促使一线人员主动参与安全管理。文化培育更注重长效机制的建立,通过设立“设备安全创新基金”鼓励技术改造提案,某汽车厂员工提出的设备防护罩改进方案,成功将机械伤害事故降低90%。这种文化浸润使设备管理从制度遵守升华为价值认同。技术、制度、文化的三维协同构建起新型保障体系,5G+区块链技术筑牢数据可信基座,准入清单与绩效考核形成制度闭环,安全文化培育激活组织内生动力。这种立体化保障模式推动设备安全管理从被动应对转向主动防御,实现故障率下降与运营效率提升的协同效应。

结语:

全生命周期安全管理是企业数字化转型的必然选择,可显著提升设备本质安全水平,本文构建的闭环安全管理体系,通过技术赋能、制度革新与文化浸润的三维协同,实现了设备安全风险的全流程覆盖,探索出一条从“被动应对”向“主动防御”转型的创新路径,企业需持续投入技术创新与人才培养,方能在安全与效率的双重赛道上占据先机。

[参考文献]

- [1]李庚波. 化工企业防爆电气设备安全管理探讨[J]. 电气开关, 2025, 63 (02): 108-110+113.
- [2]夏新陆. 石油企业特种设备安全管理问题研究[J]. 模具制造, 2024, 24 (10): 230-232.
- [3]黄东生, 王昌海, 王绍凯. 石油化工企业工艺技术与设备安全管理的实践与探索[J]. 辽宁化工, 2024, 53 (07): 1122-1125.
- [4]范宏宇, 段军伟. 化工企业特种设备安全管理存在的风险及对策分析[J]. 中国石油和化工标准与质量, 2024, 44 (13): 63-65.
- [5]李瑞亭. 钢铁企业设备检修“四个必须”安全管理模式探究[J]. 山西冶金, 2024, 47 (04): 132-134.