

机械工设备运维风险评估与应对策略

罗栋

南京中联水泥有限公司, 江苏省南京市, 210000;

摘要: 本文通过剖析技术、管理、环境等多维度风险来源, 结合失效模式与影响分析(FMEA)、风险矩阵等工具构建评估体系。基于行业案例与统计数据, 提出预防性维护、智能监测、供应链弹性保障等分层应对策略, 并进一步细化具体建议, 旨在为工业领域设备运维管理提供理论支撑与实践指导, 助力企业降低故障率、控制成本并提升生产安全性。

关键词: 机械工设备; 运维风险评估; 应对策略; 预防性维护; 智能监测

DOI: 10.69979/3060-8767.26.03.064

引言

机械工设备作为现代工业生产的核心载体, 其稳定运行直接关乎生产效率、产品质量及作业安全。据国家安全生产统计数据, 工程机械相关事故占施工安全事故的比重约为15%-25%, 其中起重机械、挖掘机械和混凝土机械事故发生率较高。随着设备智能化、精密化程度提升, 运维复杂性显著增加, 单一故障可能引发连锁反应, 导致非计划停机、产品报废甚至重大安全事故。因此, 构建科学的风险评估与应对体系, 成为企业实现降本增效、保障可持续发展的关键环节。

1 机械工设备运维风险的多维解析

1.1 技术维度风险

技术风险贯穿设备全生命周期, 在设计、制造、安装及运行各阶段均有体现。设计缺陷是根源性问题, 易引发后续一系列故障, 有数据显示, 因设计不合理导致的设备问题占比约达25%。制造工艺瑕疵直接影响设备可靠性, 部分项目中因工艺验证不足, 焊缝缺陷率可达5%左右, 大幅增加返工成本。设备老化与磨损是运行阶段典型风险, 服役超10年的设备故障概率较新设备提升30%, 因未及时更换部件引发安全事故的情况并不少见。

1.2 管理维度风险

管理漏洞会放大技术与环境风险。维护计划失效问题普遍, 约30%的企业存在巡检周期与实际劣化规律不匹配的情况, 导致非计划停机时间延长40%。责任机制模糊引发决策延迟, 在供应链协同管理中, 约20%的项目因责任不清出现延误。人员技能不足加剧风险,

新员工误操作导致设备损坏的情况时有发生, 相关损失可达数万元甚至更高。

1.3 环境维度风险

环境因素对设备性能的侵蚀隐蔽且长期。极端工况加速设备劣化, 如受盐雾侵蚀的设备故障率较正常环境高50%。环境监测缺失导致风险失控, 约15%的数据中心因温湿度超标未预警, 引发服务器宕机, 业务中断损失巨大。政策与标准变化也需重视, 约10%的环保设备项目因标准升级需追加投资改造, 导致项目延期。

1.4 供应链维度风险

供应链中断影响设备可用性。备件供应延迟是主要痛点, 约25%的盾构机项目因进口备件采购周期延长, 导致掘进停滞, 每日损失超千万元。服务商响应不足放大风险, 偏远地区约30%的矿山设备故障后, 原厂维护团队技术支持滞后, 造成生产中断。

2 机械工设备运维风险评估方法体系

2.1 失效模式与影响分析(FMEA)

FMEA通过量化“严重度(S)、发生频率(O)、探测度(D)”三要素, 计算风险优先级数($RPN=S \times O \times D$), 识别高风险环节。例如, 某汽车零部件项目引入新焊接工艺时, 通过FMEA发现温度曲线未验证可能导致焊缝强度不达标, RPN值达120($S=9, O=4, D=3.33$), 遂优先开展工艺验证, 避免批量返工。

2.2 风险矩阵法

风险矩阵将发生概率(低/中/高)与影响程度(轻微/中等/严重)组合, 划分风险等级(红/黄/绿)。某地

铁集团通过风险矩阵识别出信号系统备用电源切换风险（高概率+高后果），针对性升级UPS冗余设计，将故障率从0.5次/年降至0.1次/年。

2.3 数字孪生与实时监测

数字孪生技术通过构建设备全生命周期模型，模拟不同工况下的应力分布与能耗变化，提前优化设计缺陷。例如，某车企通过数字孪生发现冲压机模具应力集中，提前3个月更换，避免停产损失。实时监测系统则集成振动、温度、电流等传感器，结合AI算法预测故障趋势。

2.4 故障树分析（FTA）

FTA从“顶事件”（如生产线停机）反向推导底层诱因，通过逻辑门（与/或门）梳理因果关系。如某电子厂通过FTA发现，贴片设备停机的80%诱因是“吸嘴堵塞+供料器卡料”的组合故障，据此优化换型前清洁流程，停机时间减少60%。

3 分层递进的运维风险应对策略及具体建议

3.1 预防性策略：从被动维修到主动维护

全周期维护体系作为预防性策略的核心，对于保障设备稳定运行、提升生产效能起着关键作用。一套完备的全周期维护体系通常涵盖日常点检、定期保养与预防性检修等多个环节。日常点检是设备维护的基础工作。操作人员需在班前对设备的油位、有无异响、紧固件状态等进行细致检查，并精准记录相关数据；班中每隔2小时进行一次巡检，着重留意运行参数的波动情况；班后则要清理设备表面的油污与杂物，认真填写点检表并及时上传至设备管理系统，以便对设备状态进行实时跟踪与分析。定期保养是维持设备性能的重要手段。依据设备运行时长，制定科学合理的保养计划。例如，每运行500小时需更换空气滤芯，更换前要用压缩空气吹扫滤芯表面灰尘；每运行2000小时则要更换液压油，更换时要彻底清洗油箱与油管，防止杂质混入新油，影响设备正常运行。预防性检修能提前消除设备潜在隐患。对于关键部件，要按照规定周期进行强制更换。如每2年强制更换数控机床主轴轴承，更换前需对轴承进行预紧力检测，确保安装精度，同时检查主轴箱密封件，若有老化或磨损现象及时更换。状态监测技术的应用可极大提升维护的针对性与精准性。通过在设备关键部位安装振动传感器，实时采集振动信号并传输至监测系统，

利用频谱分析识别故障特征频率，当振动值超阈值时自动报警。采用红外热成像仪或温度传感器监测设备表面温度，重点关注电机、变压器等部位，设置温度报警阈值，及时排查温度异常原因。定期采集设备润滑油样本进行颗粒计数、水分分析等，通过油液分析判断设备磨损状态，提前发现潜在故障。

3.2 应急性策略：故障发生时的快速响应

在预案编制方面，要依据设备的类型、可能出现的故障模式以及故障产生的影响程度来精心编制应急预案。明确应急指挥机构的组织架构与具体职责，确定应急救援队伍的人员构成和分工安排，同时详细规划应急物资储备的种类、数量等关键内容。有数据表明，经过定期演练与修订的预案，其在实际应用中的有效性和可操作性能够提升35%以上。所以，预案务必定期进行演练，并根据演练结果和实际情况及时进行修订完善。应急演练是检验和提升应急能力的重要环节。定期组织模拟设备故障场景的演练活动，能够全面检验应急预案的可行性以及员工的应急响应能力。相关调研显示，经过多次演练的团队，应急响应时间平均可缩短30%。演练结束后，要认真开展总结评估工作，针对演练过程中暴露出的问题，迅速制定改进措施并加以落实。应急物资管理同样不容忽视。建立详细的应急物资台账，定期对物资的数量和质量进行检查，确保物资的完好率达到90%以上，始终处于良好的备用状态。对应急物资进行科学分类存放，可使物资的取用时间缩短50%，便于在紧急情况下能够快速取用。备件保障体系可通过ABC分类管理来优化库存。依据备件的重要性、采购周期以及使用频率，将备件精准划分为A、B、C三类。A类备件作为关键备件，价值高且采购周期长，需保持较高的库存水平，一般库存占比在30%-40%；B类备件是重要备件，价值和采购周期适中，可适当控制库存，库存占比约20%-30%；C类备件为一般备件，价值低且采购周期短，可减少库存，库存占比控制在10%-20%。此外，要与关键备件供应商建立长期稳定的合作关系，签订框架协议，明确供货价格、交货期和质量标准，并要求供应商建立安全库存，这样在紧急情况下能够快速供货，将响应时间缩短60%以上。对于偏远地区或交通不便的企业，可在当地设立备件仓库或与当地供应商合作，储备常用备件，有效缩短备件供应时间，使供应时间缩短70%左右。

3.3 优化性策略：持续改进与本质安全

技术升级能大幅降低风险、提升效能。设备改造上，对老旧设备采用新技术、新工艺、新材料。如传统机械式控制升级为 PLC 控制，可提高设备自动化程度与控制精度，使设备性能与可靠性提升 30%以上。安全装置升级方面，为设备加装限位开关等防护装置，能防止人员误操作。定期检查确保其有效性，可降低事故发生率 40%左右。智能化升级引入物联网等技术，实现远程监控与预测性维护。安装智能传感器与边缘计算设备，实时分析运行数据，提前发现潜在故障，使设备故障停机时间减少 50%。管理机制创新中，RACI 矩阵明确权责，任务分解后根据人员能力分配责任人等角色，避免职责不清。建立定期沟通机制并用项目管理软件跟踪，任务按时完成率可提高 35%。知识管理建立“故障案例库”，鼓励员工记录故障信息并分类整理。定期组织案例分享会，通过内部培训等推广。引入 AR 技术实现远程协助，专家实时指导现场维修，新人故障处置效率能提升 40%，故障处理准确率提高 30%。

3.4 供应链弹性策略：保障备件与服务连续性

双源供应与安全库存策略是降低断供风险的有效手段。双源供应方面，针对关键备件与原材料，应选择两家或以上供应商，以此分散供应风险。与供应商签订长期合作协议，明确供货价格、交货期及质量标准，可降低采购成本波动风险约 20%，确保供应稳定性。同时，定期对供应商进行评估与考核，淘汰不合格者，保障供应商整体质量，使供应中断风险降低 30%以上。安全库存设置上，需依据备件重要性、采购周期与使用频率确定库存水平，还要考虑市场需求波动、供应商交货期变化等因素。合理设置安全库存，能在供应中断时满足约 15 - 30 天的生产需求，避免生产停滞。区域维修中心建设可在设备使用集中区域设立，储备常用备件与维修工

具，培训本地维修工程师。这能使设备故障响应时间缩短 70% - 80%，显著减少设备停机时间。服务商生态共建可通过契约绑定利益。签订详细合作协议，明确服务各项内容，保障双方权益。建立绩效评估体系，根据服务质量等评估结果奖惩，可提升服务提供商服务水平约 25%。搭建信息共享平台，实时共享设备等信息，能提高设备运维效率与质量约 30%。

4 结论

机械工设备运维要构建“技术—管理—环境—供应链”四维协同体系，用 FMEA、风险矩阵等工具量化评估风险，借助数字孪生、智能监测实现精准预警，降低故障率与维护成本。未来研究可推动跨学科融合，综合多学科开发自适应安全控制系统；加快标准化与法规建设，规范评估技术、完善行业风险库；实现智能化升级，依托 5G 与工业互联网达成设备全生命周期数据互联，构建预测性维护生态。企业应以“预防为主、动态调整、持续改进”为原则，将风险管理融入战略决策，保障运维安全经济，实现可持续发展。

参考文献

- [1] 庄静怡. QZ 供电公司变电设备运维一体化风险管理研究[D]. 华侨大学, 2020.
- [2] 汪汛, 王云. 基于 FMEA 的高空机械设备故障模式识别与风险评估研究[J]. 产品可靠性报告, 2025, (10): 208-209.
- [3] 邱泽阳, 王雪, 张明敏, 等. 石化机械设备风险评价方法研究综述[J]. 化工机械, 2022, 49(01): 1-4.
- [4] 赵环宇. 工程机械设备维护与故障预防策略研究[J]. 中国设备工程, 2025, (20): 12-14.
- [5] 杨阿华, 孙卫萍. 自动化机械设备研发设计及制造的流程、要点及风险评估[J]. 数字通信世界, 2021, (11): 130-132.