

流程工业设备完整性管理体系的构建与评估方法

罗 陈

九江检安石化工程有限公司 江西九江 332001

摘要：本文旨在构建并评估一套适用于流程工业的设备完整性管理体系。首先，界定了以风险驱动、全生命周期管理为核心的设备完整性概念，并确立了风险管理、全生命周期、持续改进及全员参与四大基本原则。在此基础上，构建了包含目标层、要素层和支撑层的三层体系总体框架，并详细阐述了管理组织、技术标准、数据信息及绩效评价四大核心要素的具体构建路径。为检验体系效能，提出了一套涵盖过程符合性、绩效指标和持续改进机制的三维评估方法，并结合文件审查、现场访谈、数据分析与对标管理等手段进行综合评估。某化工企业的应用案例验证了该体系与评估方法在识别管理短板、优化资源配置、提升设备可靠性与降低运维成本方面的显著成效。

关键词：设备完整性；管理体系；流程工业；风险评估

引言

流程工业具有高温高压、易燃易爆、连续化生产的特点，其设备的安全稳定运行是企业生产安全、经济效益与可持续发展的核心保障。传统的设备维修管理模式多侧重于故障后的被动响应，难以系统性预防和控制设备风险，导致非计划停机、安全事故及高昂维护成本等问题频发。为应对这一挑战，设备完整性管理作为一种以风险为驱动、贯穿设备全生命周期的先进管理理念应运而生。然而，如何将这一理念系统化地构建为可落地、可评估的管理体系，并科学衡量其运行效能，是当前流程工业面临的关键课题。因此，本研究聚焦于设备完整性管理体系的科学构建与评估方法，旨在为企业提供一套从理论框架到实践评估的完整解决方案，以实现设备管理的主动化、精细化和最优化。

一、设备完整性管理的理论基础与内涵

(一) 设备完整性的核心概念

设备完整性是指设备在预期的服役环境和服役周期内，能够持续、安全、可靠、高效地执行其预定功能的状态。该概念不仅涵盖设备物理结构的完好性，还包括其功能性能、安全性能及环境适应性等多维度的综合表现。与传统设备维修管理相比，设备完整性管理不再局限于故障后的被动修复，而是强调在设备全生命周期内实施主动预防与控制；与可靠性管理相比，设备完整性管理更注重基于风险的系统性决策，追求在保障安全与功能的前提下实现最优成本效益。设备完整性管理的核心特征体现为：以风险为驱动，通过风险识别、评估与

控制，合理配置管理资源；以全生命周期为主线，将管理活动贯穿于设计选型、制造安装、运行维护、检验检测、变更管理直至报废处置的各个阶段；以数据为支撑，通过状态监测、失效分析、绩效评估等手段，实现管理决策的科学化与精准化。这种系统化的管理理念，不仅提升了设备运行的安全性与可靠性，也为企业的可持续发展提供了重要保障^[1]。

(二) 设备完整性管理的基本原则

构建设备完整性管理体系需遵循若干基本原则，这些原则是体系科学性、系统性与可操作性的根本保障。风险管理原则要求所有管理活动均以设备风险的识别、评估与控制为核心，通过建立风险矩阵、失效模式与影响分析（FMEA）、风险等级划分等方法，明确关键设备与薄弱环节，并制定针对性的控制措施，确保高风险设备得到优先关注与资源倾斜。全生命周期原则强调管理活动必须覆盖设备从设计、制造、安装、调试、运行、维护、检验、变更到报废的全过程，各阶段之间需建立有效的信息传递与反馈机制，形成闭环管理，避免因阶段割裂导致的管理盲区或信息断层。持续改进原则要求管理体系通过PDCA（计划-执行-检查-处理）循环不断优化，定期开展体系审核、管理评审与绩效评估，识别管理不足，推动技术升级与制度完善，实现管理水平的螺旋式上升。全员参与原则则强调设备完整性管理不仅是专业部门的责任，更需要从企业高层到一线操作人员的共同参与，通过明确职责分工、加强培训教育、建立激励机制，形成全员重视、全员参与、全员负责的管理文化。这些原则的贯彻实施，能够有效提升设备完整

性管理的科学性与实效性，为流程工业的安全稳定运行奠定坚实基础^[2]。

二、流程工业设备完整性管理体系的构建

(一) 体系构建的总体框架

流程工业设备完整性管理体系的构建应基于科学、系统的总体框架，该框架由目标层、要素层和支撑层三个层次构成，形成逻辑清晰、层次分明的结构体系。目标层位于框架的顶层，明确体系建设的战略导向，即通过系统化的管理手段，实现设备风险可控、性能可靠、成本最优的综合目标。风险可控要求体系能够有效识别、评估并控制设备在全生命周期内的各类风险，避免因设备失效导致的安全事故或生产中断；性能可靠强调设备在运行过程中能够持续满足设计功能要求，保障生产过程的稳定性与连续性；成本最优则要求在确保安全与可靠的前提下，通过优化资源配置与维修策略，降低设备全生命周期的总成本。要素层是体系的核心部分，包含管理组织、技术标准、数据信息、绩效评价等关键模块，这些模块相互关联、相互作用，共同支撑体系的有效运行。管理组织模块负责明确各级职责与权限，确保管理活动的有序开展；技术标准模块提供技术规范与操作指南，为管理决策提供依据；数据信息模块实现设备相关数据的采集、存储、分析与共享，为管理活动提供数据支撑；绩效评价模块通过量化指标评估体系运行效果，为持续改进提供方向。支撑层位于框架的底层，包括企业文化、资源配置、人员能力等基础条件，这些条件为体系的建立与运行提供必要的保障。企业文化通过塑造重视设备完整性的价值观，推动全员参与管理活动；资源配置确保体系运行所需的人力、物力与财力支持；人员能力则通过培训与考核，提升管理团队的专业素养与执行能力。该框架的构建不仅为设备完整性管理提供了系统化的指导，也为后续的体系评估与优化奠定了基础^[3]。

(二) 体系核心要素的构建

体系核心要素的构建是设备完整性管理体系建设的关键环节，其内容涵盖管理组织、技术标准、数据信息、绩效评价四个方面，每个要素的构建均需结合流程工业的实际需求，确保体系的科学性与可操作性。在管理组织方面，需建立层次分明、职责明确的组织架构，明确从企业高层到一线操作人员的职责分工与决策流程。企业高层负责制定设备完整性管理的战略目标与政策，确保资源投入；中层管理部门负责制定具体的管理制度与技术标准，监督执行情况；基层操作人员则负责设备的

日常操作、维护与数据采集，确保管理措施的落地实施。同时，需建立跨部门的协调机制，确保生产、维修、安全等部门之间的信息共享与协作，避免因职责不清导致的管理漏洞。在技术标准方面，需整合风险评估、检验检测、维修策略等技术规范，形成统一的技术标准体系。风险评估标准应包括风险识别方法、风险评估模型、风险等级划分等内容，为风险控制提供依据；检验检测标准应明确检验周期、检验方法、验收标准等要求，确保设备状态的准确评估；维修策略标准则需基于风险与可靠性分析，制定预防性维修、预测性维修或纠正性维修的具体方案，优化维修资源配置。在数据信息方面，需构建集成化的设备信息管理平台，实现数据的有效采集、存储与应用。该平台应涵盖设备基础信息、运行数据、检验记录、维修历史、失效分析等内容，通过数据采集与监控系统（SCADA）、企业资源计划（ERP）等系统的集成，实现数据的实时更新与共享。同时，需引入大数据分析与人工智能技术，对设备数据进行深度挖掘，识别潜在风险与优化机会，提升管理决策的科学性。在绩效评价方面，需设定与目标一致的量化指标，用于衡量体系运行的有效性。这些指标应包括设备可靠性指标（如平均无故障时间 MTBF）、维修效率指标（如平均修复时间 MTTR）、成本控制指标（如单位产量维修成本）等，通过定期统计与分析，评估体系运行效果，识别改进空间。此外，需建立绩效反馈机制，将评价结果与管理考核、资源分配挂钩，推动体系的持续优化。核心要素的构建不仅为设备完整性管理体系提供了具体实施路径，也为体系的评估与改进奠定了基础^[4]。

三、设备完整性管理体系的评估方法

(一) 评估的目的与基本原则

体系评估核心目的是通过结构化检验明确流程工业设备完整性管理体系实际运行适配性、覆盖度与效用，为体系迭代提供精准方向。具体目标有三：一是检验适宜性，判断体系设计是否与企业生产规模、设备类型、工艺复杂度及风险等级匹配，避免管理脱节；二是验证充分性，核查体系是否覆盖设备全生命周期管理要素，有无要素缺失或衔接断层；三是评估有效性，衡量体系能否降低设备故障风险、减少非计划停机，达成预设管理目标，识别薄弱环节，保障生产连续性、安全性与经济性。

评估需遵循三大核心原则：系统性原则要求评估范围覆盖体系所有构成要素，包括核心流程与支撑性要素，避免评估结论片面；客观性原则强调评估基于可追溯事

实与数据，确保结果可复现、可验证；过程与结果相结合原则要求审查管理过程规范性与最终绩效成果，避免片面判断，全面反映体系实际运行状态。

(二) 评估的主要内容与方法

体系评估主要内容围绕“过程合规-绩效达标-持续改进”构建三维评估框架，覆盖体系运行全链条。

过程符合性评估聚焦设备全生命周期各阶段管理活动与既定程序、标准的一致性。规划阶段看是否依工艺需求与风险评估制定设备技术规格书；采购阶段查是否按规格书评审供应商与验收设备；安装阶段核是否执行安装质量验收标准；运维阶段检是否按周期监测与维修设备、记录运行参数；报废阶段审是否执行处置流程与资产核销程序、留存档案。通过核查各阶段操作记录等，判断管理过程是否规范。

绩效指标评估以量化数据为核心，结合流程工业特点设定目标值与统计口径。关键指标包括设备故障率（统计关键生产设备，目标值≤2%，区分故障类型）、非计划停机时间（统计因设备故障的停机，目标值≤8小时/月，按设备重要度加权计算）、维修费用占比（统计维修总费用与资产总值比值，目标值≤3%，分析费用结构）、设备平均无故障工作时间（MTBF，关键设备目标值高于行业平均）。通过对比实际指标与目标值并结合趋势分析，判断体系在成本控制与设备可靠性提升方面的成效。

持续改进机制评估重点审查问题闭环管理的有效性。涵盖问题发现（是否建立多渠道上报机制）、问题分析（是否用根本原因分析方法定位根源）、纠正与预防（是否制定可执行改进措施、明确责任与时限）、效果验证（跟进措施实施后的设备状态）、反馈（是否将改进经验纳入制度）环节。通过核查相关记录，判断机制是否闭环、能否避免同类问题重复发生。

评估方法采用多维度组合确保结果全面准确：文件审查收集核查体系相关管理制度、记录表单、信息化系统数据，判断文件完整性、规范性与现行有效性；现场访谈选取不同岗位人员，通过结构化提问了解体系流程认知、执行情况及困难，补充“纸面流程与实际操作是否一致”信息；数据分析运用统计工具对设备运行、成本数据量化分析，识别趋势或异常，为评估结论提供数据支撑；对标管理将企业绩效指标与行业标杆企业或标准对比，找出差距，明确改进方向。

2021年，江苏省南京市某大型化工企业采用上述评估方法开展设备完整性管理体系评估。文件审查发现《设备采购验收规程》未明确特种设备的复检要求；现场访谈发现20%的操作人员未完全掌握设备异常工况的上报流程；数据分析显示关键设备非计划停机时间未达目标值；对标发现预防性维修费用占比低于标杆企业。基于评估结果，企业修订规程、开展专项培训、优化维修策略。2021年底报告显示，关键设备非计划停机时间缩短，设备故障率、维修费用占比降低，验证了评估方法在识别体系薄弱环节、推动体系优化及提升设备管理绩效方面的有效性，为流程工业企业提供了可借鉴的实践路径^[5]。

结语

流程工业设备完整性管理体系的构建与评估是一项复杂而系统的工作，其核心在于确保设备在整个生命周期内的可靠性、安全性和经济性。通过体系的科学构建与严谨评估，企业能够有效降低设备故障风险，减少非计划停机时间，从而保障生产的连续性与安全性，同时实现成本的合理控制。然而，这一体系的成功实施离不开多方面的协同努力，包括管理机制的优化、技术标准的统一、数据信息的集成化应用以及绩效评价的科学设计。这些要素共同构成了设备完整性管理的坚实基础，为企业的可持续发展提供了有力支撑。未来，随着智能化技术的不断进步，设备完整性管理体系将进一步融合大数据分析、人工智能等先进手段，提升管理效率与决策水平，助力企业在日益激烈的市场竞争中占据优势地位。

参考文献

- [1] 高尚建.油气行业设备设施完整性管理数据仓库建设研究[J].现代工业经济和信息化, 2020, 10 (5): 2.DOI: 10.16525/j.cnki.14-1362/n.2020.05.44.
- [2] 李岳栋, 刘梨.二维码系统在设备完整性管理中的应用[J].中国科技期刊数据库 工业A, 2022 (5): 3.
- [3] 杨晓丹.天津石化设备完整性管理护航安全生产[J].中国石化, 2022 (7): 62-63.
- [4] 任泓圩.鞍山钢铁厂工业遗产群的保护与再利用研究[D].华侨大学, 2022.
- [5] 无.创新设备信息管理方法助力企业智能化发展[J].中国设备工程, 2020 (S1): 243-246.