

石化行业检维修与技改项目管理的协同优化： 以多类设备为例

王涛

珠海裕珑石化有限公司，广东 珠海 519000

DOI:10.61369/ETQM.2025100007

摘要： 阐述石化行业设备管理特征，包括不同设备分类管理及难点。介绍 PDCA 循环与 RCM 理论结合的集成管理模型，以及项目组合管理相关评估体系。还涉及多种设备维护、改造及风险管控方法，强调协同管理的重要性与不足，展望数字孪生技术应用前景。

关键词： 石化设备管理；协同管理；PDCA 循环

Synergistic Optimization of Inspection-Maintenance and Technical Renovation Project Management in Petrochemical Industry: A Multi-Equipment Case Study

Wang Tao

Zhuhai Yulong Petrochemical Co., Ltd., Zhuhai, Guangdong 519000

Abstract： This paper elaborates on the characteristics of equipment management in the petrochemical industry, covering classification-specific management approaches and associated challenges. It introduces an integrated management model combining the PDCA cycle with Reliability-Centered Maintenance (RCM) theory, alongside an evaluation system for project portfolio management. The study also addresses diverse equipment maintenance, renovation, and risk control methodologies, emphasizing both the significance and existing gaps in collaborative management. Future applications of digital twin technology are also discussed.

Keywords： petrochemical equipment management; collaborative management; PDCA cycle

引言

石化行业设备管理至关重要，其涵盖动设备、静设备及特种设备等多种类型，各有独特管理需求，增加了管理复杂性。2023年发布的相关行业政策强调了设备管理的规范化与高效化。在此背景下，设备项目管理协同工作存在痛点，如项目优先级冲突、信息壁垒及特种设备监管合规性问题。PDCA 循环和 RCM 理论为设备管理提供思路，项目组合管理理论有助于构建评估体系。同时，针对不同设备的维护模型及风险管控方法不断发展，旨在实现设备全生命周期的高效管理，提升石化行业的生产效益与安全性。

一、石化行业设备项目管理现状与问题分析

（一）石化行业设备管理基本特征

石化行业设备管理具有独特的基本特征。动设备、静设备及特种设备需分类管理，形成各自的管理体系^[1]。动设备如压缩机、泵等，运行过程中涉及复杂的机械运动，其管理重点在于维护机械部件的正常运转，确保动力传输的稳定性。静设备如储罐、反应器等，主要承受压力和介质的腐蚀等作用，管理侧重于结构完整性和防腐措施。特种设备如锅炉、压力容器等，因其具有特殊的危险性，管理更为严格，需遵循专门的法规和标准。这

些不同类型设备的管理要求差异大，增加了管理的复杂性和难度，同时也为后续的检维修与技改项目管理带来了挑战。

（二）协同管理现存痛点

在石化行业设备项目管理的协同工作中，存在诸多痛点。项目优先级冲突是一大制约因素，不同部门或项目对于资源和时间的需求优先级不同，导致协同困难^[2]。设备状态信息壁垒也严重影响协同，各部门之间缺乏有效的信息共享机制，关于设备的运行状况、维护历史等关键信息无法及时准确传递，阻碍了协同决策。此外，特种设备监管合规性要求增加了协同的复杂性，不同地区和项目对于特种设备的监管标准存在差异，需要耗费大量精

力去协调和满足合规要求，影响了协同管理的效率和效果。

二、设备综合管理理论框架

（一）设备全生命周期管理理论

PDCA循环是一种质量管理方法，包括计划（Plan）、执行（Do）、检查（Check）和处理（Act）四个阶段。在石化设备管理中，计划阶段可制定设备管理目标和计划；执行阶段实施相关措施；检查阶段评估执行效果；处理阶段对问题进行改进。RCM理论以可靠性为中心，通过确定设备的功能、故障模式及其影响，制定针对性的维护策略^[3]。结合两者，构建包含购置-运行-维护-改造的集成管理模型。购置阶段需考虑设备的可靠性和适用性；运行阶段监测设备状态；维护阶段依据PDCA循环和RCM理论实施维护；改造阶段根据设备运行情况和企业需求进行优化，以实现石化设备全生命周期的高效管理。

（二）项目组合管理理论

在项目组合管理理论中，对于石化行业多类设备的检维修与技改项目，建立合理的评估体系至关重要。资源约束矩阵可明确各项目在资源方面的限制与需求，有助于筛选出符合实际资源条件的项目。风险关联树则能系统地分析项目可能面临的风险及其相互关系，为风险评估提供全面视角。通过这两者构建的项目优先级评估体系，能够科学地确定项目的优先级顺序。在此基础上，提出项目群动态协调方法论，以适应项目实施过程中的动态变化，确保项目之间的协同优化，提高整体管理效率^[4]。

三、检维修与技改协同优化模型构建

（一）多类设备特征建模

1. 动设备维护周期模型

对于动设备维护周期模型，基于振动频谱分析至关重要。通过对设备振动频谱的监测和分析，可以获取设备运行状态的关键信息。不同的频谱特征对应着设备不同的运行状况和潜在故障。根据这些频谱数据，可以建立起设备维护周期与频谱变化之间的关联模型。当频谱出现特定的变化模式时，预示着设备可能即将出现故障或性能下降，此时需要安排相应的维护措施。这种基于振动频谱分析的维护周期模型能够更加精准地确定维护时间窗，避免过早或过晚维护带来的不利影响，提高设备的可靠性和运行效率^[5]。

2. 压力容器技改机会识别

压力容器作为石化行业的关键设备，其技术改造机会的识别至关重要。基于剩余强度评价的窗口期决策树模型在此过程中具有重要应用价值。该模型通过对压力容器的剩余强度进行评估，结合设备的运行状况、历史维修记录以及行业相关标准规范等多方面因素构建决策树。例如，通过分析设备的运行时间、压力波动情况以及介质腐蚀性等因素对剩余强度的影响，确定合理的检维修与技改窗口期。在模型构建过程中，需充分考虑不同工况下压力容器的受力特点和失效模式，以准确识别技改机会，提高设备的可靠性和运行效率，保障石化生产的安全稳定进行^[6]。

（二）协同优化机制设计

1. 资源协同配置算法

考虑设备类型差异构建多目标整数规划模型，以实现检维修与技改的协同优化。模型需综合考虑成本、时间、质量等多方面因素，同时兼顾不同设备类型的特点及要求。对于设备类型的区分，可依据其功能、结构、运行环境等进行分类^[7]。在成本方面，涵盖检维修费用和技改投入；时间上，考虑维修时长和技改实施周期对生产的影响；质量则包括维修后设备的可靠性和技改提升的性能指标。通过合理设置目标函数和约束条件，使模型能够准确反映实际情况，为后续的协同优化机制设计和资源协同配置算法提供有效的数学基础。

2. 风险耦合控制策略

在石化行业中，构建HAZOP-LOPA与项目管理集成的风险管控矩阵是实现风险耦合控制的关键。HAZOP用于系统地识别潜在危险与可操作性问题，LOPA则进一步评估风险并确定必要的防护措施^[8]。将其与项目管理集成，可确保在检维修与技改过程中全面考虑风险因素。通过该矩阵，能够明确不同风险场景下的管控措施及责任主体，实现对风险的精准定位和有效控制。同时，在协同优化机制下，促进各部门之间的信息共享与协作，使风险管控措施能够及时、有效地实施，保障项目的顺利进行，降低因风险耦合带来的潜在损失。

四、实证分析与应用验证

（一）特种设备协同管理案例

1. 压力管道检验与改造联动方案

基于在线检验数据，实施压力管道的检验与改造联动方案。通过先进的检测技术获取管道实时数据，包括壁厚、腐蚀情况等关键指标^[9]。依据这些数据进行风险评估，精准定位需要改造的部位。对于腐蚀严重区域，制定针对性的改造措施，如局部更换管道、采用防腐涂层等技术。同时，在改造过程中，持续监测相关数据，确保改造效果符合安全标准。利用数字化管理系统，实现检验与改造数据的实时共享和追溯，为后续的维护和管理提供有力支持，提高压力管道的运行安全性和可靠性。

2. 安全阀校验与工艺改进衔接

在石化行业中，以安全阀为例，校验工作作为工艺改进提供了关键数据支撑。通过对安全阀的校验，可以精准获取其性能参数及潜在风险点^[10]。基于这些数据，利用先进的数据分析技术和算法，开发PSV性能预测模型。该模型能够模拟安全阀在不同工况下的运行状态，预测其可能出现的故障及性能变化趋势。这为预防性技改决策提供了科学依据，使工艺改进更具针对性和前瞻性。例如，当模型预测到安全阀在特定工艺条件下可能出现密封不严的情况时，可提前规划工艺改进措施，如调整操作参数或对安全阀密封结构进行优化，从而确保设备的安全稳定运行，提高石化生产的整体效率和可靠性。

（二）典型设备集群实施效果

1. 压缩机组群协同优化效果

在石化行业中，对压缩机组群进行协同优化后取得了显著效

果。通过预防性维护与大修技改同步实施，生产连续性得到了极大提升。具体数据表明，设备故障停机时间大幅减少，维修成本也随之降低。同时，机组的运行效率提高，能源消耗降低，这不仅有助于企业降低生产成本，还提升了产品质量和市场竞争能力。在实际应用中，通过优化维护和技改计划，合理安排资源，确保了压缩机组群在整个生产过程中的稳定运行，为石化企业的高效生产提供了有力保障。

2. 反应器系统综合改进效益

石化行业中，反应器系统综合改进效益显著。在量化机械完整性维护与催化剂升级联动方面，能效改善指标得以明确体现。通过对反应器系统的优化，设备运行更加稳定高效。机械完整性维护确保了设备的可靠性，减少了故障发生的概率，降低了维修成本。同时，催化剂升级提高了反应效率，增加了产品产量和质量。两者的联动作用，使得整个反应器系统的能源利用效率得到提升，减少了能源浪费，降低了生产成本，提高了企业的经济效益和市场竞争能力，为石化行业的可持续发展提供了有力支持。

（三）管理效能提升分析

1. 资源节约系数测算

通过曼哈顿距离法评估人力、备件等资源的协同利用效率，首先需确定各项资源在不同项目阶段的实际使用量和理论最优使用量。以人力为例，收集不同设备检维修与技改项目中各个环节所需的人工工时数据，以及理想状态下的工时标准。对于备件，统计其实际消耗数量和根据设备运行状况及维护计划预估的合理消耗数量。然后，根据曼哈顿距离公式，计算各项资源实际使用情况与最优情况之间的距离。将这些距离综合起来，通过特定的权重分配方法（可根据资源的重要性和成本等因素确定权重），

得出资源节约系数。该系数能够直观反映出在人力和备件等资源协同利用方面的管理效能提升程度，为进一步优化管理提供量化依据。

2. 合规性风险量化

通过蒙特卡洛模拟来验证特种设备双重预防机制的有效性。基于相关数据构建蒙特卡洛模型，考虑多种不确定性因素，如设备故障概率、检测误差、人员操作失误等。模拟不同场景下双重预防机制的运行情况，分析其对合规性风险的影响。通过大量模拟实验，获取风险量化结果，如风险发生的概率分布、可能造成的损失范围等。将模拟结果与实际数据进行对比验证，评估双重预防机制在实际应用中的效能，为进一步优化机制提供依据，同时也为石化行业检维修与技改项目管理中的合规性风险控制提供量化参考。

五、总结

多类设备协同管理方法论在石化行业检维修与技改项目管理中具有重要实践价值。它有效提升了资源利用率，通过合理配置人力、物力等资源，避免了浪费，提高了工作效率。同时，在降低非计划停机方面表现出色，减少了因设备故障导致的生产中断，保障了生产的连续性和稳定性。然而，该模型在智能化决策支持方面存在改进空间，需要进一步优化算法和数据处理能力，以提供更准确、及时的决策依据。展望未来，数字孪生技术的融合应用前景广阔。它可以为设备管理提供更真实、精确的虚拟模型，实现对设备全生命周期的实时监测和优化，进一步提升协同管理的效果，推动石化行业检维修与技改项目管理向更高水平发展。

参考文献

- [1] 刘世奎. B公司火电技改类 EPC 项目风险管理研究 —— 以 A 项目为例 [D]. 西南石油大学, 2022.
- [2] 童建翔. EPC 项目参建方协作机制优化研究 —— 以 KA 项目为例 [D]. 华南理工大学, 2022.
- [3] 苏言海. 技改类环保设备采购决策研究 —— 以声波吹灰器为例 [D]. 中国科学院大学, 2022.
- [4] 程金. “双一流”建设视角下高校基建项目协同管理研究 —— 以 N 大学科研楼为例 [D]. 东北林业大学, 2021.
- [5] 储巍. 基于多目标优化的软件研发项目群协同管理研究 [D]. 西南财经大学, 2023.
- [6] 张正华, 段树乔, 刘昕. 基于协同演化模型的电力产业链系统协同管理研究 —— 以云南水电系统为例 [J]. 数学的实践与认识, 2022, 52(2): 90-100.
- [7] 王辉, 王生. 浅谈设备管理模块在石化企业检维修作业中的实际应用 [J]. 中国设备工程, 2021(14): 3.
- [8] 王亦斌, 钟碧蓉. 基于 BIM 项目协同管理平台研究 [J]. 山西建筑, 2021, 047(8): 186-188.
- [9] 赵颢. 协同管理在建筑项目管理中的应用分析 [J]. 大众标准化, 2023(14): 161-163.
- [10] 王敦, 张凯虹, 陆坚, 等. 基于技术开发多项目协同管理策略优化及实施研究 [J]. 项目管理技术, 2021, 019(008): 89-94.