

全生命周期视角下化工储罐静设备预防性维保优化策略研究

姜 维

湖南长炼兴长集团有限责任公司 湖南 岳阳 414010

摘 要：化工储罐静设备是化工生产储存体系的核心设施，长期静态承压与介质侵蚀会造成结构性能渐进衰减，传统维保模式难以适配设备长期服役的动态变化。本文结合全生命周期理论与预防性维保理念，梳理储罐设备结构属性、阶段运行特征及损伤演化规律，系统剖析传统维保在周期适配、内容设计、作业模式、阶段协同及资源配置方面的各类短板。依托设备全服役阶段的损耗特点，从分层维保周期、差异化内容架构、动态维保体系、全周期协同机制及资源统筹角度提出优化路径，可有效提升化工储罐维保精细化水平与设备运行稳定性。

关键词：化工储罐；静设备；全生命周期；预防性维保；运维优化

引言：化工储罐静设备长期承担各类化工介质的储存与承压工作，设备服役周期长、工况环境复杂，结构损伤多呈现缓慢累积、渐进发展的特征。设备运行稳定性直接关系化工生产的连续性与安全性，粗放的维保管理模式容易引发结构老化、密封失效、腐蚀变形等各类隐患。传统维保多采用固定周期、统一标准的作业形式，忽略设备不同服役阶段的性能差异与损伤规律，维保针对性与系统性普遍不足。落实全周期精细化维保思维，优化预防性维保体系，能够有效改善设备运维短板，筑牢储罐设备安全运行基础。

1 化工储罐静设备全生命周期运行体系与维保逻辑

1.1 全生命周期理论与预防性维保理论内涵

全生命周期理论聚焦设备完整的服役全过程，覆盖设备从投入使用到最终退役的完整时间跨度。这套理论以设备阶段性状态变化规律为核心，结合不同服役阶段的独有特征建立系统化、连贯化的管理思维，打破传统设备管理局限于单一阶段的片面性^[1]。预防性维保理念不同于传统故障后的被动维修模式，依托设备状态演变的客观规律开展前置化管理工作。核心思路针对设备尚未爆发的潜在隐患提前介入处理，通过常态化的状态管控与养护安排，延缓设备非正常损耗进程，稳固设备运行状态，为长期稳定运行提供基础保障。

1.2 化工储罐静设备结构构成与运行属性

化工储罐静设备整体结构可划分为主体承压结构与配套辅助结构两大模块。主体结构由罐底、罐壁、罐顶核心构件组成，主要承担化工介质储存与静态承压的核心功能。辅助结构包含防腐防护层、密封构件、支撑体

系及各类安全配套部件，为主体结构稳定运行提供全方位保障。这类设备运行过程无高速转动、往复运动等动态工况，长期处于静态承压、静置储存的工作模式。运行荷载整体稳定恒定，介质侵蚀、外界环境风化等因素会持续作用于设备结构。设备服役周期长、运行工况波动小，对运行稳定性要求严苛，结构损耗以缓慢累积、渐进发展为主要特征。

1.3 化工储罐全生命周期阶段划分与阶段特征

参照化工储罐实际服役规律，可将设备全生命周期划分为投用初期、稳定服役期、性能衰减期、服役末期四个阶段。投用初期设备整体结构完好，损耗程度轻微，结构性能逐步适配现场实际运行工况。稳定服役期是设备服役的核心阶段，各项结构性能保持平稳，损耗发展速度处于可控范围。进入性能衰减期后，材质老化、结构疲劳等问题逐步凸显，设备整体性能稳步下滑，运行可靠程度逐步降低。服役末期设备各类结构缺陷不断叠加积累，基础性能无法满足既定运行标准，设备服役价值持续衰减，逐步丧失正常运行能力。

1.4 储罐设备典型损伤形式与演化机理

化工储罐在长期服役过程中会产生多种典型结构性损伤，主要分为材质腐蚀、结构变形、密封失效、表层老化四类常见类型。介质与外界环境的持续侵蚀会引发结构腐蚀，破坏材质完整性，削弱整体承压性能。长期静态荷载、环境温差变化、地基不均匀沉降会造成罐体结构形变，改变设备固有受力形态。密封构件老化、微小形变长期积累会引发密封失效，破坏储罐密闭运行条件。各类损伤均存在渐进式发展特点，初期仅表现为细

微缺陷, 会随服役时间逐步扩张为结构性问题, 损伤危害程度持续加深。

1.5 全生命周期视角下预防性维保适配原则

基于全生命周期理念开展预防性维保工作, 需要遵循多项基础适配准则。阶段适配准则要求维保内容、维保强度贴合设备不同服役阶段的性能状态与损伤发展规律。全程贯通准则要求维保工作覆盖完整服役周期, 形成连续完整的设备养护体系。风险前置准则聚焦各类潜在设备隐患, 通过提前养护干预, 阻断缺陷持续发展恶化^[2]。状态匹配准则根据设备实时性能变化调整维保侧重点, 让维保工作精准适配各阶段运行需求, 搭建适配储罐静态运行特征的科学化维保体系。

2 化工储罐静设备传统预防性维保现存问题及成因

2.1 维保周期与设备生命周期阶段适配性不足

传统化工储罐预防性维保大多采用固定周期的作业模式, 维保时间统一划定, 不会随设备实际服役状态灵活调整。设备投用初期整体结构完好, 损耗发展速度较慢, 刻板的定期维保会产生大量无用作业。设备进入性能衰减阶段后, 材质老化、结构缺陷不断累积, 设备运行风险逐步上升, 固定的维保间隔难以覆盖阶段性新增的隐患。这种僵化的周期设置脱离了设备全生命周期的性能变化规律, 无法适配不同服役阶段的损耗特点, 大幅降低了维保工作的精准度。

2.2 维保内容体系缺乏分层化、阶段化设计

当前储罐维保普遍套用统一的标准化作业内容, 没有针对设备结构部位、服役时长做出差异化规划。罐体承压构件、密封组件、防腐防护层的损耗成因和失效形式各不相同, 常规维保并未区分不同构件的养护重点。设备稳定运行阶段与性能衰退阶段的养护需求存在明显区别, 通用化的维保内容无法适配设备阶段性的性能变化。同质化的维保设计难以精准排查和处理各类潜在隐患, 无法搭建起分层、分阶段的精细化维保体系。

2.3 维保作业模式固化, 动态适配能力缺失

传统储罐维保长期沿用固化的作业流程和运维思路, 整体作业模式缺乏灵活性。现场维保工作多依托人员固有经验开展, 作业标准常年保持不变, 不会根据现场工况波动、设备老化速率调整维保方案。储罐长期服役过程中, 运行环境、储存介质状态、结构损耗程度都会持续发生变化, 一成不变的作业模式难以适配设备动态变化的运行状态。作业流程缺少可调可控的优化空间, 运维工作长期处于被动应对问题的状态, 不具备动态适配设备工况的运维能力。

2.4 全生命周期维保各环节协同衔接性较差

化工储罐维保工作多采用分段式管理模式, 各服役阶段的运维工作相互独立, 缺乏有效联动。设备投用初期的养护数据、运行状态记录, 无法有效传递至中期运维环节, 后期的老化修复工作也无法参考前期设备基础参数。各阶段维保工作独立开展, 前期作业中遗留的细微结构隐患, 无法在后续运维工作中得到持续跟踪与处理^[3]。这种碎片化的管理模式割裂了全生命周期维保链条, 导致维保工作出现多处衔接断层, 难以形成连贯完整的设备养护管控体系。

2.5 维保资源配置与运维管理体系存在短板

多数化工企业对储罐维保的资源调配方式较为粗放, 人力储备、物资供给、技术支撑等资源分配缺少科学统筹。设备常规稳定运行阶段, 各类维保资源投入较为充裕, 而设备老化衰减阶段所需的专项维保资源储备不足, 资源分配不均衡的问题较为突出。企业运维管理重心多集中于现场维保作业落地, 忽视维保全流程的长效管控与体系迭代优化。现有管理制度仅规范基础作业流程, 缺少适配设备全生命周期的整体统筹机制。资源利用不充分、管理体系不完善的问题, 直接限制了储罐维保工作质量与运维水平的提升。

3 全生命周期视角下化工储罐静设备预防性维保优化策略

3.1 依托生命周期阶段特性, 优化分层维保周期体系

传统固定维保周期难以适配设备长期服役中的动态性能变化, 可结合化工储罐不同服役阶段的运行状态与损耗速率, 搭建分层可调的维保周期体系。设备刚投入使用时整体结构完好, 材料损耗速度较慢, 可适度放宽基础维保间隔, 精简重复性养护工作, 减少不必要的运维投入。设备进入稳定运行阶段后, 工况条件趋于平稳, 可设置规范的常规维保节奏, 重点做好日常状态核查与细微隐患排查。设备累积一定服役时长后, 会逐步出现材质老化、结构损伤加剧等问题, 需压缩维保间隔, 提升状态检查与专项养护的频次。设备进入服役末期, 结构稳定性持续下降, 隐患发生概率显著提升, 可采用高频次排查模式, 灵活调整维保节奏。分层设置的维保周期能够适配设备不同阶段的损耗特征, 贴合设备真实运行状态, 切实提升维保工作的精准程度与实际价值。

3.2 结合损伤演化规律, 完善阶段性维保内容架构

储罐设备结构损伤均存在循序渐进的发展特点, 可依托损伤演化规律, 搭建分阶段、分部位的差异化维保

内容体系,改善传统维保内容同质化的问题。设备投产初期的维保工作以结构完整性核查为核心,重点检查防腐层完整程度与密封构件工作状态,及时发现投产阶段遗留的微小施工缺陷与装配问题。设备稳定运行阶段以常态化防护为主,做好罐体防腐养护、介质接触面防护处理以及密封系统常规检查,持续维持设备良好运行状态。设备性能衰减阶段需针对性调整维保重点,针对腐蚀加深、轻微形变、密封老化等常见问题,增加壁厚检测、形态观测、老化部件养护等专项工作内容^[4]。设备服役末期聚焦整体结构性能核验,深度排查隐蔽性缺陷,重点判断结构承载水平与运行安全条件,形成贴合阶段损耗特征的精细化维保内容体系。

3.3 革新固有作业模式,搭建动态主动维保体系

传统维保作业多依靠现场经验开展,作业流程僵化固定,难以适配设备长期运行的状态变化。可对固有作业模式进行革新升级,构建以设备状态为导向的主动维保运行体系。结合储罐现场工况、服役年限、结构损耗变化情况,建立可灵活调整的作业标准,打破固化流程带来的运维局限。通过长期跟踪设备运行状态,总结性能衰退与缺陷发展的变化规律,提前判断潜在故障发展趋势,提前落实对应的养护干预措施。转变传统故障处置的被动运维思维,将维保工作重心前移,以常态化状态监测和前置养护为核心,持续弱化设备缺陷恶化风险。全新的动态维保模式能够根据设备实际运行情况灵活调整作业方向,让维保工作始终适配设备实时运行状态。

3.4 贯通各阶段运维流程,构建全周期维保协同机制

针对各服役阶段维保工作相互割裂的问题,可打通分段管理壁垒,建立贯穿设备全服役周期的维保协同机制。梳理设备投用、运行、老化、退役各阶段的维保工作逻辑,建立前后衔接的运维工作链条。完善维保资料常态化留存机制,将设备初期验收数据、日常运维记录、老化阶段整改信息统一归档留存,为后续维保方案调整提供数据支撑。强化各运维环节的工作衔接,对前期排查出的轻微缺陷、养护重点、状态变化趋势进行持续跟进,在后续维保工作中延续整改与跟踪流程。消除

各阶段维保工作的管理断点,让每一次维保作业都可以衔接前期设备状态、铺垫后期养护工作,形成连贯闭环的全周期维保管理链条。

3.5 统筹资源配置,完善常态化维保管理体系

结合储罐全生命周期维保的差异化需求,重新统筹各类运维资源排布方式,改善传统资源分配粗放、重点模糊的管理问题。根据设备不同服役阶段的维保强度与工作重点,合理调配人力、物资、技术资源,补足设备老化衰减阶段的专项维保资源储备,均衡各阶段资源投入比例。优化日常维保管理制度,细化各岗位运维职责、作业规范与工作标准,让现场维保作业有序落地。建立常态化的维保复盘与优化机制,结合设备状态变化与维保工作开展情况,持续调整资源配置方案与管理细则。通过资源统筹与制度完善,夯实全周期维保工作的运行基础,全面提升化工储罐静设备预防性维保的整体管理水平。

结束语

化工储罐静设备的结构损耗与性能衰减具备明显的阶段性特征,传统固化的维保模式无法适配设备全生命周期的运行变化规律。通过贴合设备服役阶段特性优化维保周期与养护内容,革新静态作业模式、打通各阶段运维衔接壁垒、统筹维保资源配置,能够构建更加科学完善的预防性维保体系。精细化、阶段化、协同化的维保管理方式,可有效规避储罐设备各类结构性隐患,持续提升设备运维质量,保障化工储罐长期平稳、安全服役。

参考文献

- [1] 陈晓琳,李喆.化工行业压力容器储罐的风险因素及预防措施[J].设备管理与维修,2025(10):97-99.
- [2] 马龙,杜亚君.化工储罐区氮封装置失效模式识别及安全联锁控制参数优化[J].流程工业,2025(9):16-19.
- [3] 彭翠君.化工设备压力容器储罐破坏分析及预防措施[J].中国化工贸易,2023(1):145-147.
- [4] 李瑛.化工设备压力容器储罐破坏研究及预防方法研究[J].中国化工贸易,2022(32):187-189.