

基于风险的化工压力管道检验周期动态调整策略研究

刘文荣 魏传有 (鲁西科安特种设备检测有限公司, 山东 聊城 252000)

摘要:文章聚焦化工压力管道,指出传统依法规、标准及经验设定固定检验周期的方法,难以适应管道个体、运行环境及管理维护差异,无法准确评估风险。为此,从这三方面构建基于风险的动态调整策略,如考量个体特性建评估体系、利用监测与数据分析应对环境变化、纳入管理维护因素建关联模型。还构建综合模型,确定风险权重、划分等级并制定调整规则。该策略与模型能精准调整检验周期,提升运行安全,避免资源浪费。

关键词:承压类特种设备;检验周期;风险评估;动态调整

中图分类号: TH49 文献标识码: A 文章编号: 1674-5167 (2025) 012-0163-03

Research on Dynamic Adjustment Strategy of Inspection Cycle for Chemical Pressure Pipelines Based on Risk

Liu Wenrong, Wei Chuanyou

(Luxi Ke' an Special Equipment Inspection Co., Ltd., Liaocheng Shandong 252000, China)

Abstract: This article focuses on chemical pressure pipelines, pointing out that traditional methods of setting fixed inspection cycles based on regulations, standards, and experience are unable to adapt to the differences in pipeline characteristics, operating environments, and management and maintenance practices, making it difficult to accurately assess risks. To address this, a risk-based dynamic adjustment strategy is proposed, which includes building an evaluation system considering individual characteristics, utilizing monitoring and data analysis to respond to environmental changes, and incorporating management and maintenance factors to establish correlation models. Additionally, a comprehensive model is constructed to determine risk weights, classify risk levels, and formulate adjustment rules. This strategy and model can precisely adjust inspection cycles, enhance operational safety, and avoid resource waste.

Keywords: Pressure Equipment; Inspection Cycle; Risk Assessment; Dynamic Adjustment

在化工领域,化工压力管道是确保生产安全与稳定运行的关键基础,是化工生产中物料输送的重要设施。其在化工生产的反应、储存与输送环节作用重大,为化学反应提供物料输送支持,保障物料流转。然而,这类管道存在爆炸、泄漏等潜在风险,一旦发生事故,将对人员安全、经济及环境造成严重负面影响。传统检验周期确定方法主要基于法规、标准及经验,设定固定检验周期,难以适应管道个体差异、运行环境变化以及管理维护水平差异,导致检验存在过度或不足的问题,无法准确评估管道实际风险状况。因此,研究基于风险的化工压力管道检验周期动态调整策略具有重要的现实意义。

1 承压类特种设备概述

在化工领域,化工压力管道是保障生产安全与稳定运行的关键基础设施。它主要负责物料输送,连接化工生产中的各个设备单元。

化工压力管道有明确的分类方式。从设计压力来看,可分为低压、中压、高压和超高压管道。按用途,有用于输送反应原料、产品及中间产物等不同用途的管道。依据输送介质特性,又可分为输送易燃、易爆、有毒及腐蚀性介质的管道^[1]。

化工压力管道在化工行业应用极为广泛。化工生产的众多化学反应,需在特定压力和温度下进行。压力管道确保物料准确输送至反应装置,为反应提供适宜条件,保障生产连续性。在物料储存与后续运输环节,它同样不可或缺,使化工产品能顺利从生产过渡到储存和运输阶段。不过,化工压力管道存在潜在风险。常见事故类型包括爆炸和泄漏。一旦发生爆炸,瞬间释放的巨大能量,会对周边设施造成严重破坏。泄漏则可能致使有毒、易燃介质扩散,进而引发中毒、火灾等次生灾害。这些事故不仅危及人员生命安全,还会造成巨大经济损失,对周边环境产生长期且严重的负面影响。

2 承压类特种设备传统检验周期确定方法的局限性

化工压力管道传统检验周期的确定,主要依据相关法规、标准以及过往经验。法规和标准综合考虑管道类型、设计参数等因素,针对不同化工压力管道,设定了固定的检验周期。

2.1 难以适应管道个体差异

化工压力管道制造工艺复杂多样。不同厂家的焊接工艺、热处理流程不同,这会影响管道微观结构和性能。在材质选用上,不同合金钢、复合材料的物理

性能、耐腐蚀性也有差异。由于制造工艺与材质不同，即便使用条件相同，管道性能劣化的速度和程度也不一样。统一的传统检验周期，无法兼顾每根管道的个体特性。这可能导致部分管道因检验间隔过长，潜在安全隐患难以及时发现；部分管道因检验频率过高，造成人力、物力资源浪费。

2.2 无法应对运行环境变化

化工生产环境复杂多变。运行环境中的温度、湿度、介质腐蚀性等，时刻影响着管道性能。高温下，管道材料可能蠕变，强度和稳定性降低；高湿度易引发管道表面腐蚀，加速材料损耗；强腐蚀性介质会侵蚀管道内部结构，缩短使用寿命^[2]。传统固定周期检验方式，难以随这些环境因素动态变化及时调整。当环境因素使管道风险增加时，固定周期检验可能无法及时察觉潜在问题，错过隐患排查与处理的最佳时机。

2.3 未充分考量管理维护水平差异

管理维护水平对化工压力管道安全状况至关重要。操作人员技能水平影响管道操作规范性，熟练专业的操作人员能避免操作不当造成的管道损伤。维护保养制度的执行情况也很关键，定期规范的维护保养能及时发现并处理管道潜在问题。然而，传统检验周期确定方法，未充分考虑管理维护水平差异。这使得风险评估难以准确反映管道实际安全状况。可能导致管理维护不善的管道，仍按固定周期检验，使其处于不安全运行状态却未被及时发现。

3 基于风险的化工压力管道检验周期动态调整策略

3.1 考虑设备个体差异的风险评估

为解决传统检验周期难以契合化工压力管道个体差异的问题，需要构建一套基于管道个体特性的风险评估体系。

化工压力管道的制造工艺繁杂。在焊接环节，埋弧焊、氩弧焊等方法广泛应用。埋弧焊熔深大，效率较高，但容易出现未焊透的缺陷。氩弧焊热影响区小，焊缝质量较好，不过对操作环境要求严苛，稍有不慎就会产生气孔。我们需要深入分析这些焊接工艺的特点，明确各类缺陷对应的风险因子，评估其对管道安全性能的潜在威胁。例如，未焊透缺陷会降低管道的强度，在高压工况下，管道稳定性可能受到严重影响。

热处理工艺对化工压力管道也极为关键。经过淬火、回火等处理，管道材料性能得以改善。但如果回火温度过高或者保温时间不足，材料的硬度、韧性就无法达到标准。所以，要分析热处理工艺参数与材料性能变化的关联，确定相关风险因子，进而评估其对管道长期运行安全性的影响^[3]。

化工压力管道常使用多种合金钢与复合材料。不

同合金钢在抗腐蚀、耐高温等方面性能有别，复合材料因基体与增强体组合的差异，力学性能和化学稳定性也各不相同。依据这些物理与化学特性，建立材质风险评估模型很有必要。在强腐蚀、高温高压等不同工况下，考量材质性能的变化规律，以此评估材质对管道风险的影响。

收集管道制造过程的详细资料，如原材料质量证明、工艺记录等，能为风险评估提供基础数据。同时，结合先进无损检测技术，如相控阵超声检测、声发射检测，可以获取管道内部结构信息。相控阵超声检测能够精准检测管道内部缺陷的位置与大小，声发射检测则能实时监测管道在运行过程中的异常状况。综合这些信息，便能全面评估管道个体的初始风险状况，为后续动态调整检验周期奠定坚实基础。

通过这样全面且细致的风险评估方式，充分考虑化工压力管道的个体差异，有助于制定更科学、合理的检验策略，保障化工压力管道的安全稳定运行，降低因个体差异导致的安全风险，提升化工生产的整体安全性与可靠性。

3.2 适应运行环境变化的动态监测与评估

化工生产中，化工压力管道的运行环境复杂多变。温度、湿度、介质腐蚀性等因素，显著影响着管道的性能。为应对这一挑战，构建一套完善的、适应运行环境变化的动态监测与评估策略十分必要。

首要任务是搭建实时动态监测系统。化工压力管道有其独特之处，在易受环境影响的关键部位，比如管道的弯头处、连接不同设备的过渡段，精准安装温度、湿度、腐蚀监测传感器。这些传感器必须具备高灵敏度和稳定性，能够实时、准确地采集环境数据。随后，借助高速数据传输网络，将采集到的数据快速传输至中央数据处理单元。如此一来，便能及时掌握管道所处环境的动态变化。

接下来，运用大数据分析技术，深入挖掘环境因素与管道性能变化之间的潜在关系。一方面，分析温度、湿度的长期变化，对管道金属材料腐蚀速率产生的影响。温度升高，化学反应速率加快，可能加速管道腐蚀；湿度增大，在有电解质存在的情况下，会形成电化学腐蚀环境。另一方面，研究不同介质成分、浓度及流速与管道腐蚀、磨损的关联。例如，对于输送含有氯离子化工介质的管道，氯离子浓度的变化，会对不锈钢材质管道的应力腐蚀开裂倾向产生显著影响。综合各类环境因素，建立起全面、精细的环境因素与管道性能劣化的量化模型。这个模型能够清晰地展现出不同环境条件下，管道性能的变化趋势。

最后，依据实时监测数据和量化模型的分析结果，

动态评估管道在当前运行环境下的风险状况。科学合理地设定风险阈值至关重要。当环境因素致使管道风险超过阈值时,表明管道面临较大安全隐患,此时应及时缩短检验周期,增加检验频次与深度。通过更为频繁和细致的检验,及时发现潜在问题并加以解决。相反,若环境相对稳定,且管道风险在可控范围内,则可以适当延长检验周期,避免不必要的资源浪费。通过这种方式,实现检验周期与运行环境变化的动态、精准匹配,有力确保化工压力管道的安全稳定运行。这样的动态监测与评估策略,能够根据管道实际运行环境的变化,灵活调整检验措施,为化工生产的安全持续进行提供坚实保障。

3.3 结合管理维护水平的综合考量

为全面评估化工压力管道风险,弥补传统检验周期确定方法的缺陷,企业应把管理维护因素纳入风险评估体系。

化工压力管道操作复杂,输送高温、高压及危险化学品,对操作人员技能要求极高。企业要对操作人员技能水平进行量化评估。其一,依据培训经历,判断培训内容是否涵盖化工工艺、管道原理等专业知识。例如,了解操作人员是否接受过压力管道压力调控、介质特性相关培训。其二,按操作资质划分等级,查看是否具备特种作业资格。同时,结合工作经验年限,考量其应对突发状况的能力。通过设定这些技能指标,评估操作规范性对管道风险的影响。规范操作能降低因操作失误引发泄漏、爆炸等风险的概率。

维护保养制度执行情况也是评估重点。维护计划制定要契合化工压力管道特性。以输送腐蚀性介质的管道为例,需考虑介质腐蚀性、输送温度等因素,明确维护重点与周期。执行频率要严格遵循管道使用手册和行业标准,确保及时排查管道隐患。维护记录完整性同样重要,详细记录维护内容、发现的问题及处理结果,为分析管道运行状况提供依据。完整的维护记录有助于追溯管道历史维护情况,更准确判断管道当前安全状态。

在此基础上,构建管理维护水平与管道风险的关联模型。通过数据分析,明确及时、规范的维护保养与管道风险增长速率的关系。定期评估管理维护水平,结合管道实时运行参数,综合确定风险等级。比如,若管道运行参数显示压力、温度波动异常,且维护保养不及时,需提高风险等级评估。根据评估得出的风险等级,合理调整检验周期,使检验工作更贴合管道实际安全需求,保障化工压力管道稳定、安全运行。

3.4 构建综合风险评估与检验周期调整模型

为实现基于风险的化工压力管道检验周期动态、

精准调整,构建综合风险评估与检验周期调整模型十分必要。

先整合多方面风险评估结果。化工压力管道个体差异体现在制造工艺和材质上。不同焊接工艺、热处理流程,以及选用不同的合金钢、复合材料,都会影响管道性能。运行环境复杂,存在高温、高压、强腐蚀等状况。管理维护水平涉及人员操作技能和保养制度执行情况。把管道个体风险、环境风险、管理维护风险作为输入参数。然后,运用层次分析法、模糊综合评价法等数学方法,确定各风险因素权重。比如,对于在高温高压且介质腐蚀性强环境下运行的管道,环境风险权重可适当提高。若管道操作复杂、维护难度大,管理维护风险权重相应加大。通过计算,得出管道综合风险指数。依据综合风险指数,划分高、中、低不同风险等级区间。针对各风险等级,制定具体检验周期调整规则。高风险等级管道,因安全隐患大,将检验周期缩短至最短安全间隔时长。低风险等级管道,在连续稳定运行一定时长且各项监测指标正常时,适当延长检验周期。最后,建立模型动态更新机制。随着化工压力管道运行数据不断积累,运行环境改变,管理维护水平调整,实时修正模型参数。确保检验周期调整始终科学、准确,契合化工压力管道实际运行状况,保障其安全稳定运行。

4 结语

本文深入探讨了化工压力管道传统检验周期确定方法的局限。从管道个体差异、运行环境变化以及管理维护水平等维度,构建了基于风险的检验周期动态调整策略,还建立了综合风险评估与检验周期调整模型。通过该策略与模型,能动态、精准调整化工压力管道检验周期。既充分考量管道个体特性、运行环境及管理维护实际,又有效提升管道运行安全性,避免检验资源浪费,为化工压力管道安全稳定运行提供有力保障。

参考文献:

- [1] 王永亮.石油化工压力管道设计中相关安全问题分析[J].当代化工研究,2024,(20):109-111.
- [2] 曹嘉峰.石油化工压力管道的柔性设计研究[J].中国设备工程,2025,(03):79-81.
- [3] 张敏,潘玉梅.石油化工设计中的管道应力分析研究[J].天津化工,2025,39(01):134-136.

作者简介:

刘文荣(1984-),男,汉族,山东泰安人,大学本科,主要研究方向:特种设备检验检测。

魏传有(1993-),男,汉族,山东聊城人,大学本科,主要研究特种设备检验检测及特种设备基于风险的评估。