

完善我国化工压力管道定期检验规范体系的思考研究

王超 霍嘉毅(威海市特种设备检验研究院, 山东 威海 264200)

摘要: 化工压力管道作为化工生产中至关重要的基础设施, 其安全运行直接关系到化工企业的生产效益以及人员和环境的安全。本文首先对现有规范体系的局限性进行详细分析, 提出规范体系优化的方向与实施路径, 以期推动我国化工压力管道定期检验规范体系向“风险预防+寿命管理”模式转型, 形成兼具科学性、经济性与安全性的新型规范框架, 全面提升我国化工管道安全管理水平。

关键词: 化工压力管道; 定期检验; 规范体系; 局限性

中图分类号: TQ055.8 文献标识码: A 文章编号: 1674-5167(2025)022-0166-03

Thoughts and Research on Improving the Regular Inspection Specification System for Chemical Pressure Pipelines in China

Wang Chao, Huo Jiayi(Weihai Special Equipment Inspection Institute, Weihai Shandong 264200, China)

Abstract: As a crucial infrastructure in chemical production, the safe operation of chemical pressure pipelines directly affects the production efficiency of chemical enterprises as well as the safety of personnel and the environment. This article first analyzes in detail the limitations of the existing regulatory system, proposes directions and implementation paths for optimizing the regulatory system, in order to promote the transformation of China's chemical pressure pipeline regular inspection regulatory system to a “risk prevention+life management” model, form a new regulatory framework that combines scientific, economic, and safety, and comprehensively improve the safety management level of China's chemical pipelines.

Keywords: chemical pressure pipeline; Regular inspection; Normative system; limitation

化工压力管道在化工生产过程中承担着输送各种危险介质的重要任务, 其运行环境复杂, 面临着高温、高压、强腐蚀等多种恶劣工况, 一旦发生事故往往会造成严重的人员伤亡、财产损失和环境污染。因此, 对化工压力管道进行定期检验是确保其安全运行的关键措施。我国经过多年的发展, 已经建立了一套较为完善的化工压力管道定期检验规范体系, 但随着化工行业的快速发展以及新材料、新工艺的不断应用, 现有规范体系逐渐暴露出一些不足之处, 需要进行进一步的完善和优化。

1 化工压力管道定期检验现有规范体系的局限性分析

1.1 刚性检验周期与实际需求的矛盾

现行的化工压力管道检验规范对检验周期采用固定年限划分的方式, 如常见的1年、3年、6年等, 这种划分方式虽然在一定程度上便于管理和操作, 但却未充分考虑到管道材料特性、介质腐蚀性、运行环境差异等多种因素。不同的管道材料在不同的介质和运行环境下, 其腐蚀速率、疲劳寿命等性能会有很大的差异, 例如, 一些耐腐蚀性较好的材料在腐蚀性较弱的介质和相对温和的运行环境下, 其性能衰退速度较慢, 按照固定的检验周期进行检验可能会导致过度检验, 造成人力、物力和财力的浪费^[1]。而对于一些

在恶劣环境下运行的管道, 如输送强腐蚀性介质的高温高压管道, 固定的检验周期可能无法及时发现管道存在的安全隐患, 导致检验不足, 增加了管道发生事故的风险, 这种“一刀切”的检验周期模式无法适应化工压力管道实际运行的多样化需求, 不利于资源的合理利用和管道安全的有效保障。

1.2 技术标准滞后于行业发展

随着化工行业的不断发展, 新材料和新型工艺得到了广泛的应用, 例如, 复合材料和耐高温合金等新材料具有更好的性能, 能够满足化工生产对管道更高的要求, 增材制造管道等新型工艺则为管道的制造提供了新的途径。然而, 现有的检验方法在面对这些新材料和新工艺时, 在精度和适用性上存在明显的盲区, 传统的无损检测技术, 如超声检测、射线检测等, 在检测新材料和新型工艺制造的管道时, 可能无法准确检测出一些新型的缺陷或损伤。此外, 针对氢脆、应力腐蚀开裂等新型失效模式, 目前尚未形成标准化的检测流程, 这些新型失效模式在化工压力管道中逐渐显现出来, 对管道的安全运行构成了严重威胁。由于技术标准的滞后, 无法及时有效地检测和评估这些新型失效模式, 使得管道的安全隐患难以被及时发现和消除。

1.3 预防性评估机制缺失

现行的化工压力管道定期检验规范体系偏重于

“缺陷治理”，即主要关注已经发现的管道缺陷，并采取相应的修复或更换措施，然而这种事后处理的方式往往无法提前预防管道事故的发生。管道的失效是一个渐进的过程，在出现明显的缺陷之前，可能已经存在一些潜在的安全隐患。例如，管道的剩余寿命预测、失效概率分析等前瞻性评价方法，可以帮助我们提前了解管道的运行状态和潜在风险，从而采取相应的预防性措施^[2]。但目前这些方法并未纳入核心检验流程，导致安全隐患难以在早期被识别，缺乏预防性评估机制使得我们在管道安全管理上处于被动地位，只能在事故发生后进行补救，无法从根本上保障管道的安全运行。

此外，现有的检验规范更多依赖于人工检查和经验判断，缺乏系统性和科学性，这进一步加剧了对潜在问题的忽视。引入先进的监测技术和数据分析工具，如物联网传感器、大数据分析和人工智能算法，可以显著提升管道安全管理水品，实现对管道状态的实时监控和智能预警，通过建立全面的预防性维护体系，包括定期的风险评估、健康监测和及时的维护保养，可以有效延长管道使用寿命，降低事故发生的概率，确保化工生产过程的安全稳定。

1.4 标准化与区域差异的冲突

我国不同地区对于同类化工压力管道的检验标准是不同的，如对于防腐蚀涂层检验的标准阈值，对管子焊缝的验收标准等等，我国不同地区的一些标准存在着差异，全国统一的监管效能就会被削弱，造成严重的资源浪费。一方面，不同地区的各家企业为了满足不同的检验标准，就需要投入大量的资金，增加了各企业的运营成本，另一方面，由于监管部门对各地区化工压力管道的监管标准并不一致，因此，在对不同地区的压力管道进行监管时，难以进行标准对比并作出公正评判，同时由于地区之间的标准差异，也容易导致部分企业为了节约成本，选择在检验标准相对较低的地区进行生产及运营，增加了管道安全事故发生的可能性。

2 化工压力管道定期检验规范体系优化方向与实施路径

2.1 建立动态检验周期模型

建立基于风险的检验（RBI）理念是协调刚性检验周期和现实需要的有效手段，RBI理念将管道的失效可能性和严重性以量化形式体现出来，基于不同的管道风险程度，制定不同的检验周期。对于输送高温高压、强腐蚀介质等风险较高的管道，其失效可能性和严重性都较大，应缩短检验周期，增加在线检测频率，及时发现管道存在的安全隐患。通过管道的实时状态

监测，如管道压力、温度、流量等，以及通过管道的无损检测等手段定期对管道进行检测，及时掌握管道的健康状态，而对于输送常温常压、惰性介质等风险较低的管道，其失效可能性和严重性均不高，可以延长管道的检验周期，降低企业的运维成本。建立动态检验周期需要综合考虑管道的设计参数、运行工况、管道材质、以往的运行数据等多种因素，以科学的方法进行风险评估，确保检验周期可以在确保管道安全和节约资源之间达到平衡。

2.2 推动检验技术智能化升级

2.2.1 自动化无损检测

推广机器人爬行器、相控阵超声等智能化设备在化工压力管道检验中的运用，是提升检验效率和检验覆盖面的有力途径。机器人爬行器能够在管道内部自行爬行，将不同的检测设备携带至管道内部，对管道进行全方位检测，在不拘泥于管道形状和空间的基础上，检测在部分人工无法到达的位置。相控阵超声检测技术具有检测速度快、精准度高、对缺陷检测越复杂形状越难等特点，对管道的内部缺陷检测越精准^[3]。通过智能化设备的运用，可大大提升检测效率，降低人工检测误差和劳动强度，提升检测的覆盖率，确保管道各个部位都得到有效地检测。

2.2.2 在线监测系统集成

声发射监测、光纤传感等实时数据与检验规范关联，异常工况及时预警是管道安全保障运行的重要手段。声发射监测是管道运行中动态监测管道声发射信号的技术手段，管道在运行过程中，出现缺陷扩展、损伤等情况时，均会伴随着声发射信号的异常变化，通过对声发射信号的监测，可以及时发现管道存在隐患；光纤传感是管道运行中实时监测管道温度、应变等参数的技术手段，当管道温度、应变等参数异常时，管道出现安全问题的概率较大。将声发射、光纤传感等实时监测数据与检验规范关联，当监测数据异常时，及时发出预警信号，提醒运维人员及时采取措施，避免事故进一步发展。

此外，在线监测系统集成还能有效降低管道安全隐患，通过实时监测管道运行中的温度、压力、流量等数据，分析管道内介质流动状态，及时发现管道泄漏、爆管等风险。

2.2.3 强化综合使用评价（FEA）方法

以现有的缺陷分级为基础，补充剩余强度分析、疲劳寿命预计等工程评价方法，更能有效判断管道的安全性和适用性，对于存在局部减薄的管道，通过应力分析判断其是否满足继续使用条件。应力分析可综合考虑管道的几何形状、材料特性、运行压力等因素，

计算出管道在不同工况下的应力，判断管道能否承受目前的运行压力。对历史缺陷进行跟踪评估，建立缺陷扩展速率模型，通过对缺陷长期的跟踪分析，了解缺陷扩展的规律，对缺陷在未来的一个时间段内的扩展情况进行预测，为管道的维修和更换提供依据。强化综合使用评价方法可避免将部分存在轻微缺陷仍可安全使用的管道进行过多的维修甚至更换，同时保障管道在存在严重缺陷时及时进行干预，保证管道的安全运行。

2.3 构建全生命周期管理体系

2.3.1 设计阶段

设计时要要求制造商提供基于失效模式的设计验证报告，以此作为后续的检验依据。设计验证报告应包含管道的设计参数、材料选用、制造工艺、失效模式分析等内容，通过这些内容的验证，确保管道的设计满足相关标准的要求，同时也为后续的检验提供了依据。设计时应考虑管道的运行环境和可能的失效模式，采取先进的设计理念和设计方法，提高管道的安全性和可靠性^[4]。

2.3.2 运维阶段

运维阶段将检验数据、维修记录、运行参数等信息整合形成管道档案数据库，建立管道健康档案数据库，涵盖管道的基本信息、检验报告、维修记录、运行参数等数据，通过对管道健康档案数据库的管理分析，可以掌握管网的运行状况，了解管道的健康状态，利用数据分析技术，对管道进行评估和预测，及时发现管道存在的安全隐患并采取应对措施，利用管道健康档案数据库还可以为管道维修和更换提供参考依据，提升管网运维管理水平。

2.3.3 报废阶段

在报废阶段明确退役的评价标准，避免超期服役，退役评价标准主要包括管道的使用年限、剩余期限、缺陷情况、安全状况等内容，经过评价后可以确定管道是否达到报废的标准。对于达到报废标准的管道应该及时进行报废处理，避免超期服役引发安全事故，在处理时应根据管道的具体情况进行分类和处理，按照相关的标准规定进行环保处理，防止环境污染。

2.4 完善标准协同与监管机制

2.4.1 技术规范统一

协调 GB、TSG 等标准体系，消除标准体系之间的交叉矛盾。目前，我国化工压力管道相关的标准体系较为复杂，不同的标准之间存在一定的交叉和矛盾，导致企业监管部门对标准的掌握存在一定的难度，通过标准体系的协调整合，将相关的技术规范进行统一，提升标准的科学性和实用性，使化工压力管道的设计、

制造、检验等工作有统一的标准作为依据。在对标准体系进行协调的过程中，要充分地考虑到各方面的利益和需求，对相关企业、科研机构、专家意见和建议进行充分的调研，保证标准的合理性和可行性^[5]。

2.4.2 区域协作机制

建立跨地区检验结果互认制度，减少重复检验费用。由于检验机构检验标准的不统一，企业在不同地区开展业务时需要进行重复检验，增加了企业成本，也浪费了大量的资源。建立跨地区检验结果互认制度，不同地区的检验机构之间相互认可检验结果，减少重复检验的次数，降低企业运营成本，同时跨地区检验结果互认制度也可以促进地区间检验机构的交流与合作，提高检验机构的技术水平和服务质量。

3 结语

综上，健全化工压力管道定期检验规范体系是化工发展的必然需要。以往的定期检验规范体系存在着检验周期刚性不足与实际需求的冲突、检验技术手段落后与化工发展进步的冲突、缺乏预防性评估与应对机制以及标准、区域与实践之间的冲突等问题，不利于化工压力管道的安全高效管理。基于上述问题，我们要转变传统“以缺陷为导向”的思路，构建“风险预防+寿命管理”的新模式，建立检验周期动态管理模式、推进检验手段智能化建设，完善与使用评价方法、全寿命管理模式、标准协调配合机制和监管体系，形成科学、经济、安全的化工压力管道定期检验规范体系，未来还要积极推进建立化工压力管道标准走出去，加强检验机构能力建设，增进与国际间先进检验标准的交流与互动，提升我国化工压力管道定期检验规范体系的影响力。同时，不断优化检验机构的技术和管理水平，保证检验的准确度和可靠性，提升我国化工管道安全管理能力，为我国化工行业的发展保驾护航。

参考文献：

- [1] 李家雄. 煤化工压力管道定期检验中壁厚测定工艺要点探讨 [J]. 石化技术, 2023, 30(03):54-56.
- [2] 卢军, 彭泽军, 陈明, 等. 无人机在役压力管道宏观检验中的应用研究 [J]. 西部特种设备, 2022, 5(06):31-38.
- [3] 吕浩, 蔡延彬, 徐诚, 等. 工业管道定期检验方案智能化制定方法研究 [J]. 广州化工, 2022, 50(14):158-160.
- [4] 秦嗣钊, 陈敏, 卢俊文, 等. 煤化工装置压力管道定期检验相关问题分析 [J]. 西部特种设备, 2022, 5(02):25-30+50.
- [5] 聂思皓, 凌俊, 陈忠, 等. 浅谈武汉市液化石油气储配站压力管道的定期检验 [J]. 石化技术, 2022, 29(01):113-114.