

石油管道维护作业的安全风险识别与防控措施研究

薛 惠 杨 欣 (陕西延长石油(集团)有限责任公司管道运输第三分公司, 陕西 延安 716000)

摘要: 石油管道维护作业的目标在于保证管道结构的完整性, 石油管道的运维养护部门在定期保养并修复管道基础设施的前提下, 可以起到延长输油管道使用寿命、降低管道老化与腐蚀损耗、提升输油品质以及效率的作用。目前随着石油管道建设里程的增加, 石油管道维护作业实施中的安全风险也更加复杂。石油管道的维护作业人员应通过精准识别管道使用阶段常见的安全隐患因素, 为石油管道的安全风险防控提供有益的借鉴。基于此, 本研究探讨石油管道维护作业过程中的安全风险识别与防控措施要点。

关键词: 石油管道维护作业; 安全风险识别; 防控措施

中图分类号: TE973.6 **文献标识码:** A **文章编号:** 1674-5167 (2026) 007-0166-03

Research on Safety Risk Identification and Prevention Measures in Oil Pipeline Maintenance Operations

Xue Hui, Yang Xin (Pipeline Transportation Third Branch, Shaanxi Yanchang Petroleum (Group) Co., Ltd., Yan'an Shanxi 716000, China)

Abstract: The goal of oil pipeline maintenance operations is to ensure the integrity of pipeline structures. The operation and maintenance departments of oil pipelines, by regularly maintaining and repairing pipeline infrastructure, can help extend the service life of pipelines, reduce aging and corrosion losses, and improve oil transportation quality and efficiency. With the increase in the construction mileage of oil pipelines, the safety risks involved in maintenance operations have become more complex. Maintenance personnel of oil pipelines should accurately identify common safety hazard factors at different stages of pipeline use, providing valuable reference for safety risk prevention and control. Based on this, this study explores key points of safety risk identification and prevention measures in the process of oil pipeline maintenance operations.

Keywords: Oil pipeline maintenance operations; Safety risk identification; Prevention and control measures

石油管道所在的使用环境具有特殊性, 埋藏于地下土层之中的石油管道经过长时间的运行, 通常无法避免管道设备出现结构老化、损坏、渗漏等问题。管道维护部门若要在根源上解决此类问题, 那么最好借助专门仪器来分析、判断输油管道的潜在运行隐患, 从而能够为运维管理人员提供科学决策的保障。因此在石油管道设备的全寿命周期内, 如何精准识别管道维护风险并采取有效的防控措施, 应成为石油管道发挥使用价值的关键。

1 石油管道维护作业中常见的风险因素

1.1 地质环境因素

石油管道处于地下运行环境, 管道所在区域的土壤结构比较复杂, 其中存在很大面积的湿陷性土层、粉质黏土层、砂质土层等, 易造成石油管道的腐蚀进程明显加快。位于强腐蚀土壤环境中的石油管道经过长时间的使用, 则会加剧管道本体结构的老化, 还有可能引发石油管道的失效后果^[1]。

除了强腐蚀性的土壤环境影响因素之外, 石油管道很容易受到地下水的缓慢侵蚀作用, 或者由于地表水频繁渗入而造成管道设备破裂, 或造成管道表面的应力不均衡。

1.2 自然灾害因素

引发石油管道维护作业风险的自然灾害集中体现在极端气候、火灾、地震等方面, 具有极端性的外部气候条件易造成石油管道的大规模破裂, 极端降雪或者降雨还有可能引发管道所在区域的山体结构滑坡、泥石流、强烈地震等。例如在山体滑坡的作用机制下, 埋设石油管道的地层深部就会遭遇急剧的震荡, 因此很容易导致石油管道在输送油液的过程中发生破裂, 引发油液渗漏的严重事故^[2]。一部分石油管道在输油过程中还可能发生空气混入的情况, 从而在环境温度升高的状态下引发管道爆炸, 直接威胁到附近居民、管道运维人员的人身安全。

1.3 人为操作因素

在目前的现状下, 一部分石油管道本身存在结构设计方面的问题, 存在结构设计缺陷的石油管道往往就会缩短使用寿命, 造成管道加速老化的后果形成。部分石油管道的安装施工人员没有妥善焊接管道的接口部位, 导致管道设备的连接处呈现出大量的焊缝, 那么具有强腐蚀性的液态石油或者地下水就会沿着上述裂缝而直接侵入管线本体, 引发管道设备的大面积破裂。另有一些石油管道的管理部门忽视针对管道设备采取定期运维的

措施,那么在缺乏管道保护措施的状态下,石油输送管道的老化、腐蚀进程就会显著加快^[3]。

2 石油管道维护作业的安全风险识别

2.1 采集原始数据

石油管道的维护管理部门如果要确保管道设备的正常使用,那么管道运维人员最好高度重视原始数据的采集,并通过采集、分析原始数据来评定石油管道的运行风险。现阶段的石油管道维护作业人员可利用自动传感器作为辅助,在全天候的时间段内采集管道运行风险相关的原始数据,将上述数据视为管道运维决策的制定依据^[4]。建立在人工智能原理之上的管道运行风险自动识别系统,指的是利用物联网仪器针对石油管道的常见安全隐患展开动态化的监测,从而方便石油管道的运维、养护人员制定行之有效的管道保养方案。具体在采集管道运维原始数据的过程中,管道运维人员还应当重视智能传感器与现场勘察手段的有机结合,确保采集得出的原始数据贴合石油管道的真实运行状态。

2.2 评估风险等级

石油管道的安全风险等级评定主要依据目前通用的行业监管规范,管道运维部门需严格执行“石油管道安全风险评级”的相关规定。在此前提下,评定石油管道的安全风险等级既要考虑管道所在的实际运行环境,而且还不能够忽视了石油管道在设计、安装施工、运行维护等阶段的人为操作缺陷。基于此,管道运维人员应当全面识别自然灾害、人为操作缺陷、生态污染、设备本体故障等多个方面的潜在隐患,健全针对石油管道设备全生命周期的风险评级指标体系。石油管道的运维养护机构还应当打破僵化的专业局限,增进相关专业人员在管道运维方面的协调沟通。建立合理的石油管道腐蚀预警指标体系,其中的重要前提就是精确划分石油管道腐蚀的风险等级。通过采取上述的可行性措施,有益于管道运维人员全面了解管道所处的风险状态,以此判断是否应当采取相应的防范措施。具体有必要将石油管道的腐蚀或老化风险等级合理分成“低风险关注类防范区、中风险可疑类警戒区、高风险障碍类危险区、特高风险类区域”等^[5]。基于以上的风险等级划分标准,管道运维部门就可以根据将预警信号分别设定为绿灯、黄灯、橙灯、红灯的四个不同级别,从而采取针对性的管道维护处理方案。石油输送管道的运维部门应高度重视可疑性的管道风险来源因素,将此作为切入点,进一步分析并归纳得出石油管道的风险预测结论。

2.3 建构预警体系

石油管道运维安全隐患的人工智能预警模型,主

要基于管道运维风险的自动识别与检测数据结果,建构动态化与全天候的管道风险预警模型。该模型可以基于计算机软件予以自动形成,并可以在石油管道的安全隐患超出最大阈值的状态下发出报警提示音,从而提醒管道运维人员采取妥善的处理对策。建构针对石油管道整个生命周期的风险预警体系,还应当体现在精准获取管道设备的所在位置;并通过判断管道设备的位移风险,为设备运维部门提供决策支撑,充分体现“防患于未然”理念。现阶段的石油管道运维部门,可借助GIS的输油管道安全隐患自动检测设备,建构针对特定区域输油管道的安全预警模型,在根源上避免石油管道发生重大的使用故障。在人工智能的建模工具辅助下,石油输送管道的运维管理人员就可以建构实时性的管道运行隐患预测模型,从而方便了管道运维人员采取行之有效的应对做法,从源头入手降低管道发生重大输油故障的概率。

3 石油管道维护作业的风险防控措施

石油管道在石油资源的输送过程中扮演了重要的角色,然而在管道投入使用达到一定期限之后,很多石油管道就会由于油液侵入、地下水与土壤腐蚀等因素而导致渗漏,严重威胁石油资源的稳定传输。近些年来,国内研究人员正在探索石油管道维护与管理中的风险防控手段,并提出采用埋地管道阴极防腐等先进技术方法进行解决。管道维护部门还需要健全现有的规章制度,明确管道运维机构需承担的职责,妥善解决石油管道维护与管理方面的职能交叉问题。基于此,全面加大针对石油管道维护作业的风险防控力度应体现在如下要点:

3.1 健全管道运维与管理规定

石油管道的维护作业部门应建立全面、完善的管道运维与保养规定,充分发挥管道运维与养护规章制度的功能。加大针对石油管道在整个生命周期内的监督保护力度,最根本的就是要健全现有规定,并应当增进各机构的衔接。具体有必要突破僵化的机构边界,在增进部门协同的基础上做到定期更换腐蚀或者损坏的管道结构件,同时还需要安排专业人员负责定期紧固石油输送管道的设备连接处。当前时期的管道运维人员应具备良好的数字化素养,做到准确理解石油管道运维管理方面的有关规定。管道腐蚀风险的精准识别,应当成为管道运维养护的前提基础。基于此,管道运维人员应体现出良好的信息技术应用能力,并善于利用人工智能的建模辅助工具,针对石油管道的全生命周期建构动态化的腐蚀程度评估模型。具体在判断或识别石油输送管道的风险来源时,管道运维人员通常可以采用故障树的决策模型予以实现,或者综合

利用有限元分析模型等方法。例如在建构故障树模型的过程中,管道运维人员最好准确把握管道运行失效的内在逻辑路径,如此才能够确保管道运维人员沿着正确的逻辑路径展开全面的分析。

对于石油管道的运维管理工作而言,监管部门需加大针对管道运维人员的培训力度,并应当明确各机构人员的具体权限与责任。石油管道的维护人员在间隔一定时间的情况下,应当自觉执行管道设备的外观检查工作。并需要结合采用目测与仪器检测的两种常用方法,准确界定石油管道潜在的风险点。妥善做好针对石油管道的绝缘层防腐保护工作,延缓管道防腐层与绝缘层的老化进程,最终就可以延长管道的寿命。

3.2 创新石油管道的维护手段

创新石油管道的维护、保养技术方法,应集中体现在管道运维方式的改进,充分发挥传统管道检测技术以及现代检测技术相结合的最大化功能。尤其是对于埋藏于砂质土层、沼泽地区、湿陷性黄土区域的埋地输油管线设备而言,创新管道维护技术具有显著的必要性。创新针对石油输送管道的维护技术形式,监管部门最好高度重视管道运行风险的预警,从而结合管道使用的实际情况打造一体化的风险预警指标。

例如近些年来,一部分国内地区的石油管道运维作业人员已开始尝试采用“埋地管道的阴极保护方法”,并通过合理设计埋地管道的阴极保护参数加以完善。管道运维人员针对埋藏于地下的输油管道应采取阴极保护的创新做法,充分依靠极化反应的作用,降低强腐蚀性电流给管道设备造成的不利影响。技术人员通过全面排查石油输送管道出现腐蚀的根源因素,可有效减轻外界因素给管道本体结构带来的破坏强度,有益于石油管道的寿命延长。针对石油管道采取阴极保护技术,其基本原理就是利用金属在腐蚀溶液中的极化特性,达到抑制金属腐蚀的效果。在目前的现状下,针对石油输送管道通常可以采取外加电流保护或者阴极保护的两种技术手段。为进一步发挥管道设备安全防护方案的作用,则监管部门就需要安排相关负责人员采集、记录石油管道的事故风险数据,然后将原始数据转化成可视化的风险评估模型。只有如此,石油管道常见的风险因素才会得到更加精准的识别,并可以提供有力的决策支持。

如表1,为石油管道维护作业中的管道阴极保护参数设计。

表1 石油管道维护作业中的管道阴极保护参数设计

参数指标	最小保护电流	最小保护电位	绝缘接头的性能
设计要点	确定管道阴极保护最小电流的关键参照物,在于管道金属层的腐蚀严重等级	管道处于“完全保护”状态下的临界电位	管道绝缘接头的连接部位是否有高强度的电流经过

3.3 改进管道结构的防腐方案

石油管道处于地下运行的环境当中,监管部门由于疏忽管道保养而引发安全事故的事件仍然时有发生,充分体现了加大运维保养力度的必要性。除此以外,石油管道的运维人员还要进一步探索管道结构的保护方案,为埋地石油运输管道增加厚度适中的防腐层,延缓管道“衰老”的速度。管道运维人员最好认识到,石油管道构成了地下输送石油的关键设备或载体,那么就需要加大针对管道设备的抗腐蚀与抗静电保护力度,改善管道的抗氧化性能。

提升石油管道防腐的技术等级,监管部门需积极借鉴域外既有的可行性经验,结合实际情况采取高温出油方法、喷抛丸去除管道锈迹方法等。全面改进针对石油输送管道的防腐保护手段,可有效延长设备寿命,还能够避免管道在地震、火灾等自然灾害的作用下快速失效。创新管道外观防腐处理的手段,应着眼于长输、埋地石油管道的使用性能改善,减轻管道腐蚀事故的危害性。

4 结束语

综上所述,石油管道维护作业中的安全风险不可避免,造成石油管道维护安全风险的因素包括特殊地质环境、油液腐蚀、缺乏运维与管护等。近些年来,石油管道维护、管理方面的技术手段日趋完善,然而总体上仍然存在管道维护以及保养方面的若干漏洞。为更好发挥石油管道维护作业的最大化保障功能,那么管道运维人员最好借助自动仪器展开全天候的管道故障监测,做到准确排查石油输送管道的常见安全隐患。并应当着眼于石油管道的防腐力度加大,在根源上降低石油管道的老化与失效发生率,保障石油运输安全。

参考文献:

- [1] 王凤生,张春雨,王鹏.油田管道防腐层检测技术及管道维护探讨[J].全面腐蚀控制,2024,38(06):197-202.
- [2] 强整齐.增产增效背景下石油管道运输安全管理水平提升策略研究[J].现代盐化工,2021,48(05):125-126.
- [3] 胡炜杰,熊碧波,蔡冲冲等.油气输送管道泄漏风险识别技术发展概况[J].广州化工,2021,49(12):27-32.
- [4] 詹鹏.石油天然气管道的防腐维护[J].当代化工研究,2020(23):21-22.
- [5] 柳元华.增产增效前提下如何提高石油管道运输安全管理水平[J].化工管理,2020(33):84-85.