

# 长输油气管道完整性管理研究与应用

张姝慧

国家石油天然气管网集团有限公司甘肃分公司, 甘肃 兰州 730070

**[摘要]**长输油气管道作为我国能源运输的重要基础设施,其安全性、可靠性和经济性对国家经济发展和社会稳定具有非常重要的意义。文中从长输油气管道完整性管理的重要性入手,浅析了完整性管理的关键技术,包括管道检测、管道修复和管道监控等方面,并对国内外完整性管理的研究与应用进行了综述,最后,针对我国长输油气管道完整性管理存在的问题,提出了相应的改进措施和发展方向建议。

**[关键词]**长输油气管道;完整性管理;关键技术;研究应用

DOI: 10.33142/ect.v2i8.13000

中图分类号: TE4

文献标识码: A

## Research and Application of Integrity Management for Long-distance Oil and Gas Pipelines

ZHANG Shuhui

Gansu Shaanxi Gas Transmission Branch of PetrolChina and Natural Gas Pipeline Network Group, Lanzhou, Gansu, 730070, China

**Abstract:** As an important infrastructure for energy transportation in China, the safety, reliability, and economy of long-distance oil and gas pipelines are of great significance for national economic development and social stability. Starting from the importance of integrity management of long-distance oil and gas pipelines, this article analyzes the key technologies of integrity management, including pipeline inspection, pipeline repair, and pipeline monitoring. A review of research and application of integrity management at home and abroad is also presented. Finally, corresponding improvement measures and development direction suggestions are proposed for the integrity management of long-distance oil and gas pipelines in China.

**Keywords:** long-distance oil and gas pipelines; integrity management; key technology; research application

### 引言

长输油气管道是连接油气生产、加工、储存和消费的重要纽带,其安全性、可靠性和经济性对国家经济发展和社会稳定具有重要意义。随着我国对油气资源需求的不断增长,长输油气管道建设规模不断扩大,内外部环境日趋复杂多变,管道完整性管理成为管道安全运行的关键。本文旨在分析长输油气管道完整性管理的关键技术,并对国内外管道完整性管理的研究与应用进行综述,以期为我国长输油气管道完整性管理提供参考。

### 1 长输油气管道完整性管理的重要性

长输油气管道完整性管理是管道安全管理的重要组成部分,是为了保证管道正常运行和维护的重要手段。对于保障国家能源管网安全、降低事故风险、提高管道运行效率和降低运营成本具有重要意义。完整性管理能够确保管道在设计、施工、运行、维护和修复等各个环节的安全性,降低由于管道缺陷、腐蚀、第三方损坏等因素导致的事故风险,提高管道运行的可靠性和经济性。管道完整性管理的重点在于管道本体缺陷、管道本体腐蚀、外部力学损伤以及安装工艺缺陷等问题。我国在完整性管理方面已取得了一定的成果,相关技术和管理方法在国内外长输油气管道工程中得到了广泛应用。例如,董绍华教授提出的完整性管理技术在西气东输、北京燃气、中石油、中石化、

中海油等国内外 200 万公里管线上广泛应用,社会经济效益显著。此外,我国还制定了一系列完整性管理标准和规范,推动了完整性管理在管道工程中的实施。

### 2 管道完整性概述

管道完整性是确保长输油气管道在长期运行中保持结构完整、运行稳定、安全可靠的重要概念,不仅涉及到管道的设计合理性、建设标准、材料质量、施工质量等,还包括对管道运行状态的持续监测和维护<sup>[1]</sup>。管道的功能性要求其在设计压力、温度等极端条件下仍能稳定输送油气资源,而不出现泄漏、断裂等安全隐患。此外,管道控制系统必须能够实时响应各种工况变化,包括自动调节流量、压力,以及紧急关断等关键功能。

为实现管道完整性,建立一套完整的严格管道设计、施工、运营标准和流程,以及定期的检测、评价和修复计划的管理监督体系,通过采用先进的检测技术,如超声波检测、X射线检测、漏磁检测等,通过技术评估和详实的数据分析及时发现管道缺陷。同时,定期实施管道缺陷修复、采取有效的防腐措施等也是保障管道完整性重要部分。

### 3 管道工程管理的运行原则以及管理要点分析

#### 3.1 管道工程管理的运行原则

长输油气管道完整性管理运行原则以及管理要点是保障管道安全平稳运行。首先,长输油气管道完整性管理

应以风险管理为核心。在管道设计、施工、运行、维护等各个阶段,都要对潜在的风险进行识别、评估和控制,确保管道全寿命周期的安全性。具体来说,要建立完善的风险评估体系,对管道沿线水文、地质条件、人为因素等进行全面调查和分析,评估风险等级,制定针对性的风险管控措施。

其次,长输油气管道完整性管理应重视预防性管控。通过对管道进行定期检测、维修,及时发现并处理威胁管道安全的因素,防患于未然,避免威胁管道本体安全的因素发生。预防性管控应包括管道内、外检测、阴极保护、应力监测等方面,确保管道本体的完整性。此外,利用现代信息技术、大数据分析、物联网、人工智能等技术手段,实现管道的智能监控、智能诊断、智能优化,提高管道管理的效率和水平。例如,通过安装智能阀门、传感器等设备,实时监测管道运行状态,及时发现异常情况;通过大数据分析,预测管道故障的发生,制定科学的维修计划。

### 3.2 管道完整性管理要点分析

(1)管道本体完整性。管道结构完整性是确保管道在设计参数范围内安全运行的关键因素,它涉及到管道的气密性、承压能力以及后期运行过程中的稳定性等。管道在设计和施工阶段,需要充分考虑沿线水文地质条件、管道材质、设计运行压力、焊评等诸多因素,以确保管道结构能够承受运行过程中的各种负荷<sup>[2]</sup>。此外,管道运行和控制系统的可靠性也是确保管道结构完整性的重要因素。通过实时监测管道运行状态,及时调整运行参数,可有效减少因超压、超流速等影响管道安全运行的潜在威胁。管壁完整性是管道结构完整性的基础,通过对管道进行定期内检测,及时发现、评估并修复缺陷,可以确保管道的物理完整性,确保管道的安全运行。

(2)管道防腐层完整性。埋地管道阴极保护系统是一种通过在管道外表面施加外电流的方法,使得管道变为阴极保护体系,从而达到抑制管道防腐的目的。通过对阴极保护电位的实时监测,可以了解防腐层是否出现破损,能够实时反映管段外防腐层的状况。皮尔逊或直流脉冲方法则利用专门的测试设备向管道提供脉冲电流,通过测量电流的变化来评估防腐层的完整性。这种方法能够检测到防腐层的小面积破损,对于评估防腐层状况具有较高的准确性。在 PIMP(管道完整性管理计划)中,应详细论述管道减缓腐蚀策略,包括阴极保护系统的优化、防腐层材料的选用、防腐层施工质量的控制,以及定期对防腐层状况进行评估和检测<sup>[3]</sup>。此外,还应根据评估结果,制定相应的维护和修复计划,确保管道在最小允许厚度条件下安全运行。

## 4 我国管道完整性研究存在瓶颈

### 4.1 高级钢与老旧管道焊缝检测技术交叉应用困难

老旧管道在运行过程中,由于受到各种因素的影响,

普遍存在不同程度的腐蚀、裂纹、应力集中等问题。特别是随着 X80 级以上高钢级管道的广泛应用,以及在役老旧管道日益接近失效的高发期,环焊缝开裂已经成为管道失效的主要原因。

施加在管道上的应力长期处于交变载荷环境,使得管道的安全性进一步受到影响。另外,部分管道地处河谷地带、大江大河穿越等复杂区域,对管道的压力和冲击更大,也使得管道的安全性面临更大的挑战。然而,目前高清内检测技术难以有效量化焊缝的面积和裂纹缺陷类型,这无疑给管道的安全带来了多重隐患。而且,受到诸多条件限制,环焊缝裂纹检测问题成为制约管道安全的世界性难题。

### 4.2 油气管道泄漏监测仍存在技术困难

油气管道泄漏监测方法多种多样,然而各方法均有其优势与局限性,整体技术水平仍有待提升。

数据分析法是常见的泄漏监测手段,其依托于 SCADA 系统收集的数据,通过分析流量计、温度、压力等参数,以确定泄漏位置。然而,这种方法的缺点在于定位精度较低,响应速度较慢,可能导致泄漏的及时性和准确性无法得到有效保障;次声原理法是其利用环境中产生的声波信号,以捕捉和分析泄漏所产生的次声波,然而由于环境噪声的干扰,这种方法在提取泄漏信号方面存在一定难度,尤其是在判断和定位小泄漏时,其效果并不理想<sup>[4]</sup>;负压波法需要较大的压力降来实现泄漏的监测和定位,因此更适用于大泄漏或突发性泄漏的情况。然而,这种方法对泄漏的压力变化要求较高,可能在压力变化较小的泄漏情况下无法有效检测;声波声学法是利用声波在介质中的传播特性来监测和定位泄漏的方法。由于其波长短、频率高等特性,使得声波在传播过程中衰减速度较快,这在一定程度上限制了其在长距离泄漏监测中的应用效果。

总的来说,这些方法都有其适用的场景和局限性,而油气管道泄漏监测技术的整体水平还有待进一步提升和完善。

### 4.3 公共服务与防范技术亟待完善

我国拥有庞大的管道网络,在输送油品、天然气等介质时,也承担着巨大的安全风险。然而,我国目前尚未建立国家管道地理信息系统和与之配套的施工挖掘信息查询统一呼叫电话,使得在施工挖掘过程中,当出现问题无法及时得到有效的处理和预警。

目前,我国在预防施工挖掘过程中损坏管道事故的发生方面也力度不足。对打孔盗油和施工挖掘损坏的防范仍以人防为主,技防为辅,这种预防方式效率低下,难以做到全面覆盖,也无法从根本上杜绝此类事故的发生。我国的管道安全问题,已经到了亟待解决的时候,需要建立一套完善的管道安全管理体系,包括统一的挖掘报警系统、管道安全特定施工作业申请与审批程序,以及国家管道地

理信息系统和施工挖掘信息查询统一呼叫电话,可以在施工作业前、作业过程中,对管道安全做到实时监控,及时预警,才能有效防范。同时,也需要加大对打孔盗油和施工挖掘损坏的防范力度,不能主要依赖人防,而应该采用科技手段,提高防范效率。例如,可以利用无人机、红外线探测等技术,对管道进行全天候监控,一旦发现异常,立即启动应急预案,确保管道安全。

#### 4.4 地区等级风险评价和管控面对动态挑战

管道高后果区是指如果管道发生泄漏会影响危及公众安全和(或)造成环境较大破坏的区域。目前,我国在管道高后果区的风险评价标准和管控措施方面尚显不足。政府和企业在面对管道高后果区管控时存在一定的顾虑。制定管控标准后,如何确保企业能够真正落实风险管控目标,无疑是一项巨大的挑战。在管道高后果区升级过程中,我国应借鉴国际先进经验,结合自身实际,尽快建立一套完善的管道高后果区升级风险评价体系和管控措施,不仅有助于提高我国油气管网的安全管理水平,也能为企业提供明确的操作指南,降低管道运行风险。然而,我国目前缺乏管道高后果区升级的风险评价标准和管控措施,政府和企业对高后果区升级管控均有顾虑,出台管控标准后对企业风险管控目标的落实是一个挑战。

#### 5 未来长输油气管道完整性技术发展方向

随着全球能源需求的不断增长,长输油气管道成为了能源运输的重要途径。然而,由于部分管道长期运行在恶劣环境下,管道腐蚀、泄漏等安全问题日益凸显。为了确保管道安全、稳定、高效地运行,完整性技术的研究与发展显得尤为重要。未来长输油气管道完整性技术发展方向主要体现在以下几个方面。

(1) 管道检测技术将更加先进。目前,管道检测技术主要包括内外腐蚀检测、裂纹检测等。未来,新型无损检测技术将不断涌现,如无人机磁测、声发射检测等,这些技术具有更高的检测精度、更快的检测速度和更低的检测成本。此外,智能管道检测技术也将得到广泛应用,通过传感器、物联网和大数据分析等技术手段,实现对管道健康状况的实时监控和预测性维护。

(2) 管道修复技术将更加高效。在管道运行过程中,不可避免地会出现损伤,如腐蚀、磨损等。未来,高效、快速的管道修复技术将成为研究重点。例如,开发新型复合材料用于管道修复,这些材料具有更好的耐腐蚀、耐磨损性能;研究微型机器人辅助的管道内检测与修复技术,提高修复效率和质量;探索原位修复技术,如热塑成型、激光焊接等,以减少管道维修对环境的影响。

(3) 管道防腐技术将更加绿色。传统的管道防腐技术主要采用涂层、阴极保护等方法,但这些方法存在一定

的环境污染和能源消耗。未来,绿色、环保的管道防腐技术将得到推广。例如,开发水性涂料、生物基材料等环保型防腐剂;研究利用纳米技术、生物技术等新型防腐技术,降低防腐剂的使用量,提高防腐效果,减轻对环境的影响。

(4) 管道设计与仿真技术将更加智能化。未来的管道设计将充分考虑运行环境、材料性能、安全风险等多方面因素,实现个性化、定制化的管道设计。同时,利用计算机仿真技术,可以更准确地模拟管道的运行状态,预测潜在的安全风险,为管道运行维护提供科学依据。

(5) 完整性管理技术将更加集成化。完整性管理技术主要包括数据采集、处理、分析和决策支持等方面。未来,完整性管理技术将实现多学科、多领域的交叉融合,形成一套完整的完整性管理体系,例如利用物联网、大数据分析、人工智能等技术,实现对管道运行状态的实时监控和智能分析,为管道安全运行提供有力保障<sup>[5]</sup>。

总之,未来长输油气管道完整性技术发展方向主要包括先进检测技术、高效修复技术、绿色防腐技术、智能化设计仿真技术和集成化的完整性管理技术等。通过不断完善、提升管道完整性管控水平,可进一步提升我国长输油气管道的运行安全水平,为全球能源运输事业做出更大贡献。

## 6 结语

油长输油气管道完整性管理是确保管道安全运行的关键。本文分析了完整性管理的关键技术,并对国内外完整性管理的研究与应用进行了综述。针对我国长输油气管道完整性管理存在的问题,提出了相应的改进措施和发展方向。希望通过本文的研究,能为我国长输油气管道完整性管理提供参考,进一步提高我国长输油气管道安全运行水平。

### [参考文献]

- [1] 纪承祖. 炼油与化工企业长输油气管道完整性管理技术分析[J]. 中国设备工程, 2022(19): 138-141.
  - [2] 董绍华, 袁士义, 张来斌, 等. 长输油气管道安全与完整性管理技术发展战略研究[J]. 石油科学通报, 2022, 7(3): 435-446.
  - [3] 祁庆芳, 吕林林, 郭策, 等. 中澳长输油气管道运行维护及完整性管理标准对标研究[J]. 油气田地面工程, 2022, 41(6): 64-69.
  - [4] 杨强. 长输油气管道完整性管理构建分析及实践[J]. 中国石油和化工标准与质量, 2021, 41(21): 62-63.
  - [5] 张川, 李文忠, 李宝军. 智能化技术在管道完整性管理中的研究与应用[J]. 化工安全与环境, 2022, 35(28): 5-9.
- 作者简介: 张姝慧(1987.12—), 毕业院校: 西南民族大学, 所学专业: 信息管理与信息系统, 当前就职单位: 国家石油天然气管网集团有限公司甘肃分公司, 职称级别: 中级。