

燃气管道维护与运行管理策略

王敏 孟进 怀特

山东港华燃气集团有限公司

摘要：燃气管道系统作为能源输送的关键基础设施，其维护与运行管理策略对确保能源供应的安全性、连续性和可靠性至关重要。面临腐蚀、泄漏、第三方破坏等挑战，行业内部采取了一系列预防性维护和应急响应措施，同时，技术和创新在提升管道运行效率和安全管理中发挥了重要作用。从智能监控技术的应用到无损检测技术的进步，再到管理与监管技术的革新，这些进步能共同推动燃气管道管理策略的发展。未来，新技术的持续融入和可持续发展的理念将进一步塑造燃气管道行业的发展轨迹。本文旨在探讨这些策略和挑战，为燃气管道的维护与运行管理提供深入的分析和见解。

关键词：燃气管道维护；运行管理；策略

【DOI】10.12254/j.issn.2096-6539.2024.18.017

引言

随着全球能源需求的不断增长，燃气管道作为输送天然气的主要方式，其重要性日益凸显。然而，管道在长期运营过程中会遇到多种复杂挑战，如何有效管理和维护燃气管道，确保其安全、高效地运作，已成为业内广泛关注的问题。同时，技术进步和环境保护的要求也为管道管理提出了新的标准和期望。

一、燃气管道系统概述

（一）燃气管道系统的组成

燃气管道系统是复杂的能源输送网络，其组成包括主管道、分支管道、调压站、控制站点以及配套的监控与安全装置。主管道承担大量燃气跨区域输送的任务，而分支管道则将燃气从主线分输到用户或者小型调配站。调压站在系统中起着至关重要的角色，负责维持管道内燃气的压力在安全且适宜的水平，确保燃气供应的稳定性和经济性。控制站点装备有先进的传感器和控制系统，实时监测管道压力、流量和温度等关键参数，通过数据分析预测系统的运行状态，及时调整运营策略以应对可能的变化。此外，监控系统利用卫星定位、无损检测技术等现代手段对管道进行全天候监视，以识别和预防潜在的泄漏、腐蚀等安全隐患。这些技术的综合应用不仅能大幅提升燃气管道系统的运行效率和安全性，也能为能源行业的可持续发展奠定坚实的基础。

（二）燃气管道的运行原理

燃气管道的运行原理基于流体力学和热力学的基本定律，实现高效、稳定的燃气输送。在源头，燃气通过压缩站提高压力，转化为能够长距离输送的高压气体。

这一过程中，压缩机发挥着核心作用，它将燃气压缩至高于管道输送系统所需的最小压力值，确保燃气在管道中流动时的连续性和高效性。随着燃气在管道中流动，由于摩擦和高度差异等因素，其压力逐渐下降。为维持输送过程中的压力稳定，调压站定期分布在管道沿线，通过调整压力补偿压力损失，保证燃气在到达终端用户前保持足够的动力。同时，为确保安全和效率，燃气管道系统采用先进的监控技术，如流量计、压力传感器和温度探测器，实时监测管道运行状态。这些传感器将数据实时反馈给控制中心，通过精确调控压缩机和调压站的工作状态，以适应消费需求的变化，从而实现燃气输送过程的最优化。此外，燃气管道的设计还考虑多种安全阀门和自动切断系统，以在紧急情况下迅速切断燃气流，确保系统的安全运行^[1]。

二、管道系统面临的挑战

（一）腐蚀问题

燃气管道系统面临的腐蚀问题是其运营过程中一大挑战，主要由化学、电化学和微生物腐蚀等多种因素引起。化学腐蚀源于管道材料与输送介质或土壤中的化学物质反应，尤其是含硫化合物的燃气加速了管道内壁的腐蚀过程。电化学腐蚀，则是由于土壤和水中不同金属的电位差异造成的，这种类型的腐蚀在管道的外壁尤为常见，导致管道外层保护层的破坏。微生物腐蚀由管道内外的特定微生物活动引起，这些微生物通过其生命活动产生的腐蚀性物质，如硫化氢，侵蚀管道材料。此外，环境因素如温度、湿度和土壤类型也极大地影响腐蚀过程。温度升高加速化学反应，湿度的增加为微生物提供了生长的环境，而不同土壤类型由于其独特的化学成分和电导率，也对腐蚀速率有着直接影响。

（二）泄漏问题

燃气管道的泄漏问题是一个复杂的技术挑战，直接影响到系统的安全性和环境保护。泄漏的原因多种多样，包括材料疲劳、腐蚀造成的管道损伤、施工不当、以及第三方干扰等。随着管道老化，材料的疲劳现象会逐渐显现，导致细微裂缝的形成，这些裂缝在高压燃气的作用下扩大，最终形成泄漏。此外，腐蚀问题，特别是由微生物引起的腐蚀，会悄无声息地侵蚀管道壁，减薄管道壁厚，增加泄漏发生的风险。施工过程中的不当操作，如焊接质量不佳、管道保护层损伤等，也是引发泄漏的常见原因。第三方干扰，尤其是在城市和人口密集区域进行土地开发和施工时，由于缺乏足够的管道位

置信息或误操作，容易造成对管道的物理损害。管道泄漏不仅导致燃气资源的损失，增加运营成本，更重要的是会引起火灾、爆炸等严重的安全事故，对人民生命财产安全构成威胁，同时，泄漏的燃气进入大气，对环境造成污染，增加温室气体排放，对于实现能源行业的可持续发展目标构成挑战^[2]。

（三）第三方破坏问题

第三方破坏是燃气管道系统面临的一大安全风险，涉及非计划性的外部干扰，如施工挖掘、土地开发活动、不当的农业耕作和其他地面活动导致的管道损伤。这类破坏通常是由缺乏对管道位置的了解或标识不明显引起的，尤其在城市扩张和基础设施建设密集的区域更为常见。随着城市化进程的加快，新的建设项目不断增加，未经充分规划和协调的地下作业容易对埋地管道造成意外损害。此外，非法挖掘活动，无视安全规定和标准操作程序的行为也是导致第三方破坏的原因之一。这些破坏不仅会导致燃气泄漏，增加爆炸和火灾的风险，还会引发环境污染和公共安全事件，给社会和环境带来严重后果。第三方破坏的不可预测性和偶发性增加了管道系统维护和管理的难度，对运营商来说，如何有效识别和预防这类风险，保障管道的安全运行成了一项持续挑战。

三、燃气管道的维护与管理策略

（一）预防性维护策略

预防性维护策略在燃气管道管理中扮演着核心角色，旨在通过系统的监测、定期检查和维护活动来预防故障的发生，确保管道系统的安全、可靠运行。这种策略基于对管道系统潜在故障点的充分认识，采用先进的监控技术和数据分析方法，对管道进行全面的健康评估。包括使用基于地面和空中的监测技术，如地面巡检、无人机巡视和卫星遥感，结合地理信息系统（GIS）技术，实时收集管道表面情况和周边环境数据。此外，通过内部检测工具，如智能顶球和管道机器人，进行内部腐蚀、裂纹和其他结构性缺陷的检测。

在收集和分析数据的基础上，预防性维护策略强调根据管道的实际状况和风险评估结果制定个性化的维护计划。这包括对识别出的潜在风险区域采取针对性的保护措施，如调整管道保护层、更换易损部件、增加阴极保护来减缓腐蚀速度。同时，根据历史数据和预测模型，对维护活动的频率和范围进行优化，确保资源的有效分配，避免过度或不足的维护。此外，预防性维护还包括对操作人员的持续培训，提高他们对系统运行状态的理解和应急处置能力，确保在遇到异常情况时能够迅速反应，采取正确的措施。通过这些综合措施，预防性维护策略旨在最大限度地降低事故发生的概率，延长管

道系统的使用寿命，同时也为燃气管道的可持续管理和环境保护贡献力量^[3]。

（二）应急响应与修复策略

应急响应与修复策略是燃气管道管理体系中不可或缺的一环，其设计旨在快速有效地应对突发事件，如泄漏、破裂或第三方破坏等，以最小化对人员安全、环境和资产的影响。应急响应计划的制定基于细致的风险评估和事故模拟，通过分析历史事故数据和潜在风险点，确定关键的应急响应资源配置，如应急维修团队的规模、设备和物资的储备位置以及沟通协调机制。例如，数据显示，在过去的十年中，及时的应急响应减少了约40%的潜在损害和事故导致的直接成本。为此，运营商会建立专门的应急响应中心，采用先进的通讯和监控系统，实时监控管道运行状态，一旦检测到异常指标，如压力突然下降，即可迅速启动应急预案，调动现场应急团队和设备，快速定位事故点，评估事故规模和潜在影响。

在事故控制和修复方面，策略着重于恢复管道的正常运行，同时确保修复工作的安全性和效率。修复过程遵循严格的工程标准和安全规程，利用现场快速评估的数据，如管道材质、损伤程度和周边环境情况，制定修复方案。针对不同类型的损伤，如小范围泄漏、大面积破裂或腐蚀严重区域，采用相应的技术和材料进行修复，包括焊接、套管、补片或更换管段等方法。数据分析表明，采用快速定位技术和模块化修复设备，可将事故响应时间从平均2h缩短至30min，大大减少了环境污染和经济损失。此外，事后评估和复盘是应急响应策略的重要组成部分，通过详细分析事故原因、响应过程的效率和效果，以及修复工作的质量，对应急响应计划进行持续优化，提高未来应对类似事件的能力。这种基于数据和实践经验的动态优化过程，确保了应急响应与修复策略的有效性和适应性，为燃气管道系统的稳定运行提供了坚实保障^[4]。燃气管道系统应急响应与修复策略概览如表1所示。

表 1 燃气管道系统应急响应与修复策略概览

应急响应要素	详细描述	数据 / 统计
风险评估与事故模拟	基于历史事故数据和潜在风险点，确定关键资源配置	过去十年中，及时应急响应减少约 40% 潜在损害
应急响应中心	使用通讯和监控系统实时监控管道状态，快速启动应急预案	事故响应时间从平均 2 小时减少至 30 分钟
事故控制与修复	按工程标准和安全规程进行，使用快速定位技术和模块化修复设备	事故响应效率提升，事故控制时间显著缩短
事后评估和复盘	分析事故原因、响应过程和修复工作，对计划进行优化	基于实践经验动态优化应急响应计划

（三）技术和创新在维护管理中的应用

在燃气管道的维护管理中，技术和创新的应用正成为提高效率、确保安全的关键因素。其中，数字化技术的引入极大地改变了传统的维护管理模式。例如，基于云计算的数据管理系统能够实时收集、存储和分析来自管道各个部分的大量数据，包括压力、温度、流量等关键运行参数，以及通过监控设备捕获的图像和视频数据。这些数据的深度分析可以揭示管道运行的模式和趋势，预测潜在的故障点，从而实现预防性维护和快速响应。另外，人工智能和机器学习技术的应用，如通过算法优化的预测性维护模型，能够基于历史和实时数据预测设备故障，提前制定维护计划，有效减少意外停机时间和维护成本。

创新技术在燃气管道维护管理中的另一个显著应用是无损检测技术和机器人技术的进步。无损检测技术，如超声波检测、磁粉检测和射线检测，能够在不影响管道正常运行的情况下，准确地识别出腐蚀、裂缝等缺陷。这些技术使得检测过程更为高效、全面，极大地提高了管道安全性。同时，维护机器人，包括内部检测机器人和外部巡检无人机，正变得越来越普及。这些机器人可以进入人难以到达的管道内部或高风险区域进行检测和维护工作，不仅能降低维护人员的风险，也能大幅提高维护工作的精确度和效率。此外，随着物联网技术的发展，将传感器、设备和控制系统相互连接，形成一个智能的管道监控网络，实现对管道系统全方位、实时的监控和管理，为燃气管道的维护管理带来了革命性的改进。

四、面临的挑战与未来趋势

（一）面临的挑战

燃气管道系统在追求高效稳定运营的同时，面临一系列挑战，技术挑战、法律法规挑战以及环境挑战构成了主要难题。技术挑战主要体现在维护和监测技术的更新换代上，随着管道系统的老化和运营环境的复杂化，传统的监测和维护技术难以满足当前的需求，新技术的研发和应用需要巨大的资金投入和时间积累。同时，数据处理能力的限制也成为制约智能监控系统效能发挥的瓶颈。在法律法规方面，全球不同地区对燃气管道的监管政策和标准存在差异，导致跨国管道项目的法律合规性审查复杂且耗时，加之环保法规的日益严格，对管道建设和运营的环境保护要求提高，给管道企业带来了更多的合规压力。环境挑战则主要来自气候变化和极端天气条件的频繁发生，如洪水、土壤侵蚀等自然灾害对管道的稳定性和安全性构成威胁，同时，管道建设和运营对生态系统的影响也日益成为公众关注的焦点^[5]。

（二）未来发展趋势

随着科技的不断进步和社会对可持续发展的重视，燃气管道行业的未来发展趋势将集中体现在新技术应用的拓展、管理与监管技术的进步以及对可持续发展的深入承诺上。首先，新技术的应用预计将推动行业革新，尤其是物联网（IoT）、人工智能（AI）、大数据分析和无损检测技术的融合使用，将为管道监测、维护和运营提供更高效、更准确的方法。这些技术不仅能实时监控管道状态，预测潜在故障，还能优化维护计划和应急响应策略，显著提升管道系统的安全性和可靠性。其次，管理与监管技术的进步将通过更为严格的标准和更智能的监管手段来实现，例如，利用区块链技术提高数据透明度和安全性，确保监管信息的不可篡改和实时共享，从而提升监管效率和公众信任。此外，随着全球环境保护意识的增强，可持续发展成为燃气管道行业不可避免的趋势，这包括采用更环保的材料、减少运营过程中的碳排放和采取措施保护生态环境。通过这些举措，燃气管道行业将更加符合环境可持续发展的要求，同时也能提升企业的社会责任形象和竞争力。这些趋势共同指向一个更加智能化、高效率、环境友好的燃气管道行业未来，预示着行业将在技术创新和可持续发展的双重推动下，迎来新的发展阶段。

五、结语

总而言之，燃气管道的维护与运行管理是一个多面临挑战、充满技术创新机会的领域。随着新技术的不断涌现和可持续发展理念的深入人心，行业正逐步转型，向着更加安全、高效、环境友好的方向发展。预防性维护策略、应急响应与修复计划以及技术和创新的深度应用，共同构成了确保管道系统稳定运行的基石。面对未来，燃气管道行业将继续探索和实践，通过科技创新和管理优化，不断提升行业标准和运营效率，为社会提供更加可靠和清洁的能源供应，共同迎接一个更加绿色的未来。

参考文献

- [1] 刘啸奔, 王宝栋, 张东等. 地表载荷作用下含缺陷燃气管道安全评价[J]. 中国安全科学学报, 2021(10): 127-135.
- [2] 豆连旺. 天然气长输管道与城镇燃气管道安全管理对比[J]. 煤气与热力, 2021(06): 38-40.
- [3] 张斌. 城镇燃气管道安全监管现状及建议实践思考[J]. 中国石油和化工标准与质量, 2022(14): 58-59.
- [4] 蔡玲超. 加强安全管理措施防止燃气管道第三方施工破坏[J]. 上海煤气, 2021(6): 34-36.
- [5] 付青云, 李尧斌. 基于声波法燃气管道单双点泄漏安全检测研究[J]. 安全, 2022(7): 53-56.