

天然气管道运行中常见设备故障及处理对策

周 鑫（国家管网集团北方管道有限责任公司秦皇岛输油气分公司，河北 秦皇岛 066000）

摘 要：天然气管道作为输送天然气的重要设施，其稳定运行对保障能源供应至关重要，然而，在长期运行中，设备故障时有发生，严重影响了管道的安全和效率。本文系统总结了天然气管道运行过程中常见的设备故障类型，包括泄漏、堵塞、腐蚀等，并深入分析了这些故障的成因。针对不同类型的故障，提出了相应的检测与诊断方法，以及处理对策。文章强调了预防性维护的重要性，并探讨了提升管道系统可靠性的策略，如应用在线监测技术、优化应急响应流程及加强操作人员培训，通过这些措施，可以有效降低故障发生率，确保天然气供应的稳定性和安全性。

关键词：天然气管道；安全运行；维护策略；故障诊断

0 引言

随着全球能源结构的调整，天然气因其清洁、高效的特点成为重要的能源形式，天然气管道作为连接生产、储存与消费各环节的关键基础设施，其安全稳定运行对于保障国家能源安全和经济发展具有重大意义。然而，由于自然环境、材料老化、操作失误等多种因素的影响，管道系统中的设备可能会出现各种故障，不仅增加了运营成本，还可能引发安全事故。因此，研究天然气管道运行中的常见设备故障及其处理对策，对于提高管道运行的安全性和可靠性具有重要价值。

1 常见设备故障类型及其成因

1.1 泄漏故障分析

泄漏故障是管道系统中最常见的故障类型之一，通常由于材料疲劳、腐蚀、焊缝质量、操作不当等因素所致，管道泄漏不仅会造成介质损失，还可能导致环境污染、人员伤亡等严重后果，因此，及时发现和修复泄漏点至关重要。常见的检测方法包括目视检查、压力监测、声学检测等。对于已发现的泄漏点，需根据情况采取修补或更换管段等措施，此外，选用合适的管材、优化管路布置、加强防腐保护等措施也有助于降低泄漏风险。

1.2 管道堵塞与流量下降问题

管道堵塞和流量下降往往是由于积垢、杂质、化学沉淀物等阻塞所致，这不仅影响流体输送效率，还可能加剧管壁磨损、局部过热等问题，及时清理管道是解决这一问题的关键措施。根据堵塞物性质，可采用机械清理、化学冲洗、高压水射流等多种方法，优化管路布置、加装过滤装置、控制工艺参数等措施也有助于减少堵塞发生。此外，定期检测流量、压力等参数，及时发现异常情况并采取应对措施也十分重要。

1.3 腐蚀与材料老化现象

管道腐蚀和材料老化是导致设备失效的主要原因之一，腐蚀可能由于介质性质、工况条件、保护措施不当等因素引发，常见的类型包括均匀腐蚀、局部腐蚀、应力腐蚀开裂等。材料老化则与热循环、辐照等长期作用有关，会导致材料机械性能下降。防止腐蚀和材料老化的关键在于选择合适的材质、优化工艺条件、采取有效的保护措施，定期检测壁厚、无损检测等手段也有助于及时发现问题，一旦发生严重腐蚀或材料劣化，则需更换管线或设备。

2 设备故障的检测与诊断技术

2.1 在线监测技术的应用

及时发现设备运行异常是防患于未然的关键环节，随着自动化和信息化技术的发展，各种在线监测技术在管道系统中得到了广泛应用，典型的监测参数包括压力、温度、流量、介质成分等，通过安装相应的传感器和数据采集系统实现实时监控。此外，声发射检测、红外热像仪等技术也可用于检测泄漏、堵塞等故障，通过大数据分析和人工智能算法，可及时发现异常情况并预判故障类型，为故障诊断和预防性维护提供依据。

2.2 定期巡检与预防性维护

除了在线监测外，定期现场巡检和预防性维护也是不可或缺的重要环节，通过目视检查、超声波检测、液压试验等手段，可发现管线腐蚀、变形等缺陷，评估管线健康状态。基于检测结果，需及时采取更换、维修等措施，避免故障扩大。与此同时，按照既定计划对设备进行保养、检修、更新也是预防性维护的重要内容，可最大限度延长设备使用寿命，制定科学合理的预防性维护策略并严格执行，是确保设备可靠运

行的重要保障。

2.3 故障诊断方法与技术进展

准确高效的故障诊断对于快速查明问题根源、制定纠正措施至关重要。目前,被动声学检测、压力波监测、泄漏检测系统等技术可用于准确定位泄漏点。通过数值模拟、反演算法等方法分析检测数据,可诊断堵塞位置及程度。此外,耦合多种检测手段并结合人工智能算法进行综合分析的智能诊断系统也日益成熟,能够高效诊断复杂故障,为维修决策提供支持。随着技术不断进步,故障诊断的能力将持续提升。

3 处理设备故障的具体策略

3.1 应急响应与事故处置流程

当完善的应急响应和事故处置流程是确保事故得到控制和处置的基础,首先,需要明确各参与方的职责分工,建立高效的指挥体系,应急指挥部门负责统一指挥协调,各职能部门分工负责,如生产部门负责控制生产状态,安全环保部门负责监测现场环境,设备部门负责抢修抢险等。同时要确保信息畅通,实现精准高效的指挥决策。其次,根据具体情况制定切实可行的应急预案至关重要。预案需涵盖多个环节,如事故控制和扩大预防、人员紧急疏散、救援队伍到位、抢修作业开展、后勤保障等,对每个环节的具体操作要求、注意事项等进行明确规定。预案内容需结合实际情况制定,切忌生搬硬套。同时,预案也要分级分类,不同级别事故对应不同预案,以确保行之有效。

除了预案之外,充足的应急物资储备和抢修力量也是应对突发事故的重要保障,企业需根据风险评估,配备足够的应急装备和物资,包括防护用品、检测仪器、堵漏材料、备件备品等,同时要建立应急队伍,对成员进行严格培训和演练,确保其熟练掌握各类抢险技能。

3.2 维修与更换设备的决策标准

对于发生故障的设备,需要根据具体情况果断作出维修还是更换的决策,合理的决策不仅关乎设备修复的效果,更影响着经济效益和生产安全。首先,当故障原因可查且修复成本较低、设备使用年限尚短时,优先考虑维修。通常可以采取更换易损件、局部维修等方式,快速恢复设备功能。但前提是要彻底排查并消除故障根源,避免重复发生同类故障。相比之下,当故障原因难以查明、修复成本过高或设备使用年限较长时,则更应考虑整体更换设备为佳。虽然前期投资较大,但从长远来看,换新设备不仅可以根治故障

隐患,还可带来更高的效率和可靠性,总体经济效益更佳,特别是对于安全风险较大、关键设备故障时,为了彻底杜绝安全隐患,应优先选择设备更新。制定明确的决策标准和流程对于科学决策至关重要。需要从安全、经济、环境等多方面建立量化的评估体系,对设备的健康状态、故障原因、维修可行性和效果等进行综合打分,为决策提供依据。同时也要建立设备状态数据库,完整记录设备运维历史,为评估决策提供支撑。

除此之外,高度重视设备老化管理也是决策的重中之重,通过持续监测设备健康数据,及时发现老化隐患,并针对性制定预防维护措施,可最大限度延长设备寿命。但当老化程度突破阈值时,果断更新设备则是唯一之选,良好的设备寿命管理将有力支撑决策的科学性。

3.3 增强系统冗余与备份方案设计

设备故障虽然难以根本避免,但通过增强系统冗余和制定完备的备份方案,可以大幅降低对整体生产的影响。在系统设计阶段,就需要充分考虑冗余设计,具体措施包括并联布置多条主管线、合理设置旁路和倒灌管线、配备关键备用设备等,这样一旦某处发生故障,可及时切换至其他管线或设备,确保生产不间断。当然,冗余设计也需要与实际需求和成本相平衡,避免过度冗余带来不必要的投资。除了系统本身的冗余外,制定科学完备的生产组织备份方案也是必不可少的。首先需要储备多套工艺路线,当某条主线发生故障时,可快速切换至其他备用路线。其次,合理规划原料和产品库存水平,确保故障期间有足够的缓冲。

冗余设计和备份预案是企业抵御设备故障的最后一道防线。只有在系统层面和组织层面同时具备冗余备份,才能真正做到故障发生后生产不停摆、供货不中断,同时,冗余设计和备份预案也需要根据实际情况制定和调整优化,并通过演练检验其可行性和效果,持续完善,为可靠生产保驾护航。

4 提高管道系统可靠性的方法

4.1 高级维护策略和技术应用

提高管道系统可靠性的关键在于采用先进的维护策略和技术,基于风险的维护策略(RBM)正是一种行之有效的方式。该策略的核心是对设备进行风险评估,根据风险等级制定相应的维护计划,从而实现精准高效的维护。风险评估需要综合考虑设备的重要性、失效模式、后果严重性等多个因素,对每台设备进行量

化评分。对于高风险设备，采取更为严格的预防性维护措施，确保其可靠运行；对于低风险设备，则可适当减少维护频次，避免过度维护带来的浪费。除了合理的维护策略，先进的监测和检测技术也是提高可靠性的重要手段。通过安装各类传感器，对设备的运行状态进行全程在线监测，可及时发现异常情况。此外，还可借助红外热像仪、声发射检测等先进手段，对泄漏、腐蚀等隐患进行无损检测，大数据分析和机器学习算法的应用，使得从海量监测数据中智能识别故障模式成为可能，为预防性维护提供了有力支持。

近年来，数字孪生技术在管道系统中的应用也日益普及，数字孪生是利用物理模型、数据驱动等方法，构建管道系统的虚拟模型与其映射，从而模拟系统的真实运行状态，通过数字孪生，可以预测故障发生的时间和位置，从而制定有针对性的维护措施。同时，也可以对不同的维护策略进行模拟，从多个角度评估并优化维护方案。数字孪生技术为提高管道系统可靠性提供了全新的解决途径。

4.2 操作人员培训与技能提升

管道系统的可靠运行与否，很大程度上取决于操作人员的专业素质，因此，加强人员培训，提升专业技能，对于确保系统的高效安全运行至关重要。培训内容应当涵盖多个方面的知识和技能，包括设备原理、故障诊断、维护保养、安全操作等，确保人员掌握全面的专业素养。在设备原理方面，需要使人员熟悉管道系统及装置的工作原理、关键部件的作用，了解正常运行状态下的各项参数。在故障诊断方面，要培训常见故障的成因及表现特征，掌握各种检测诊断方法的基本原理和操作流程。在维护保养方面，需要传授设备的日常保养项目、大修理作业的具体操作步骤，以及耗材更换、润滑系统维护等专业技能。此外，还需要加强安全生产知识的培训，包括安全操作规程、事故应急处置等，确保人员时刻树立安全意识。

除了理论知识的传授，实践操作训练也必不可少。可以采取现场教学、模拟机训练等多种形式，让人员在实战环境中锻炼技能，同时，也要重视理论与实践的结合，将培训与日常工作相结合，促进知识内化，还需要定期开展技能考核，对人员的操作水平进行评估，确保满足岗位要求。对于考核不合格人员，需要及时组织再培训。通过系统的培训，操作人员的专业技能将得到全面提升，为管道系统的安全可靠运行奠定坚实的人力基础。

4.3 法规标准与安全文化建设

完善的法规标准和安全文化建设，是保障管道系统可靠运行的重要基石，在法规标准方面，政府和行业主管部门应当制定严格的安全管理制度和技术规范，对管道系统的全生命周期进行规范和约束，比如在设计环节，对管道介质、压力等级提出明确要求，规定设计安全系数和防护等级。在材料选择方面，应当明确不同工况下的合格材质。在施工验收环节，需要对焊缝质量、保温防腐、阀门性能等进行严格把关。在运维阶段，还应该对巡检频次、在线监测项目、维修作业流程等做出明确规定，相关法规还应针对事故应急处置、人员培训考核等提出具体要求，确保全过程的合规运作。此外，法规也需要与时俱进，及时吸收新技术新规范，并定期评审修订，与实际相适应。政府和行业协会制定科学合理的标准，为企业提供了明确的指引和约束，从源头上为管道系统的可靠性提供了保障。在企业内部，加强安全文化建设则是确保可靠运行的重要保障。企业领导层首先要高度重视安全问题，将安全理念融入企业发展战略，体现在日常管理和生产实践中。

另外，企业需加大安全培训投入，将安全教育深度渗透到各个层级，通过开展各种形式的培训，如课堂授课、实战演练、经验分享等，让安全知识和技能在员工中内化，提高其防范意识和处置能力，与此同时，还要加强宣传教育，营造浓厚的安全文化氛围，使安全理念深入人心，成为自觉遵循的行为准则。

5 结束语

针对天然气管道运行中的设备故障，采取有效的预防、检测、诊断和应对措施是确保管道安全、稳定运行的关键，通过实施先进的维护策略、提高操作人员的专业技能以及遵守相关法规标准，可以显著降低故障发生的风险，提升管道系统的可靠性。未来，随着技术的不断进步，更加智能化、自动化的监测和维护体系有望进一步提高管道运行的效率和安全性。

参考文献：

- [1] 邓俊超,戴智勇.天然气管道运行中常见设备故障及处理对策[J].化工设计通讯,2024,50(02):34-37.
- [2] 王立国.天然气管道运行中常见设备故障及处理对策[J].现代工业经济和信息化,2022,12(08):324-326.
- [3] 蔡智,王竞辉.天然气管道运行中常见设备故障及处理对策[J].中国石油和化工标准与质量,2020,40(05):36-37.