

石油输送管道运行安全管理

万 义（辽宁油田物资产品经销有限公司，辽宁 沈阳 110121）

摘要：石油输送管道运行安全管理至关重要。本文首先分析了管道面临的腐蚀、压力、外力破坏、设备故障等风险。接着阐述了关键措施，包括腐蚀防护管理、压力控制管理、泄漏检测与预防管理、应急管理体系建设、管道安全保护系统构建、信息共享与协同管理机制完善以及公众参与和社会监督机制建立。还探讨了技术创新，如智能监测技术应用、管道材料创新升级、风险评估模型优化完善等，以提升管道安全性与可靠性，保障能源运输。

关键词：石油输送管道；安全管理；风险；技术与创新

0 引言

石油输送管道是能源运输的关键纽带，其安全稳定运行意义重大。随着经济发展和能源需求增长，管道建设不断推进，但面临诸多风险。为保障管道安全，需深入研究安全管理措施，从多方面入手防范风险。同时，借助技术进步，不断提升管道安全水平，确保能源供应稳定。

1 石油输送管道面临的主要安全风险

1.1 腐蚀风险

石油输送管道长期处于复杂的土壤环境中，容易受到各种腐蚀因素的影响。土壤中的微生物代谢活动会产生酸性物质，加速管道金属的腐蚀。此外，管道在输送含有腐蚀性成分的石油时，内部介质也会对管道内壁造成腐蚀。腐蚀会削弱管道的强度和密封性，增加泄漏的风险。

1.2 压力风险

石油输送过程中需要保持一定的压力以确保石油的正常流动。然而，过高的压力可能会超过管道的设计承受极限，导致管道破裂。压力波动也是常见的问题之一，如泵的启停、流量的突然变化等都可能引起压力波动，对管道的安全运行构成威胁^[1]。

1.3 外力破坏风险

在管道沿线的建设活动、自然灾害以及人为破坏等因素都可能对管道造成外力破坏。例如，施工机械的挖掘可能误伤管道，地震、滑坡等自然灾害会使管道遭受挤压、拉伸等变形，而不法分子的打孔盗油行为则会直接导致管道泄漏。

1.4 设备故障风险

管道系统的各类设备，如阀门、泵、压缩机等，是保障石油正常输送的关键部件。然而，这些设备长期运行后会出现磨损、老化、故障等问题，影响管道

的正常运行。例如，阀门密封不严会导致泄漏，泵的故障会影响输送压力和流量，压缩机故障则可能导致管道内压力异常。

2 石油输送管道运行安全管理的关键措施

2.1 腐蚀防护管理

第一，防腐材料的选择与应用：选用合适的防腐材料是抵御管道腐蚀的第一道防线。对于埋地管道，常采用三层聚乙烯（3PE）防腐涂层，这种涂层具有良好的耐化学腐蚀性能、抗水渗透性和机械强度，能够有效隔离土壤与管道金属，减缓腐蚀速度。同时，在管道接口处使用高质量的密封材料，防止电解质溶液渗入，引发电化学腐蚀^[2]。第二，阴极保护技术的实施：阴极保护是一种通过牺牲阳极来保护管道阴极（即管道金属）免受腐蚀的技术。常用的方法有外加电流阴极保护和牺牲阳极阴极保护。在实际应用中，根据管道的具体情况选择合适的阴极保护方式。通过合理布置阳极和监测阴极保护参数，如保护电位、输出电流等，可以确保管道处于有效的保护状态，降低腐蚀风险。

2.2 压力控制管理

第一，精确的压力监测系统：建立完善的压力监测系统是实现压力有效控制的基础。在管道沿线设置多个压力监测点，采用高精度的压力传感器实时采集管道内的压力数据。这些数据通过通信网络传输至中央控制室，操作人员可以通过监控软件对压力变化进行实时监控和分析。当压力出现异常波动时，系统能够及时发出警报，提醒操作人员采取相应的措施。第二，压力调节设备的优化与维护：安装合适的压力调节设备，如压力调节阀、安全阀等，并根据管道的实际运行情况进行调整和优化。定期对这些设备进行维护和检修，确保其性能可靠、动作灵敏。例如，检查

压力调节阀的阀芯是否磨损、弹簧是否失效等，保证其在压力变化时能够准确地调节管道内的压力，避免因压力过高或过低引发的安全事故^[3]。

2.3 泄漏检测与预防管理

第一，先进的泄漏检测技术：采用多种泄漏检测技术相结合的方法，提高泄漏检测的准确性和及时性。目前常用的泄漏检测技术包括声波检测、压力梯度法、光纤传感技术等。声波检测通过捕捉管道泄漏时产生的声波信号来确定泄漏位置；压力梯度法利用管道内压力沿程的变化规律来判断是否存在泄漏；光纤传感技术则通过监测光纤中光的传输特性变化来感知管道的泄漏情况。综合运用这些技术，可以在不同的工况下及时发现潜在的泄漏隐患。第二，管道的日常巡检与维护：加强管道的日常巡检工作，制定详细的巡检计划和标准。巡检人员应定期对管道的外观进行检查，包括检查管道的防腐层是否有破损、管道是否有变形等情况。同时，利用无损检测技术对管道的内部状况进行检测，如超声波检测、射线检测等，及时发现管道内部的缺陷和损伤。在巡检过程中，发现问题应及时记录并采取相应的维修措施，防止问题进一步恶化导致泄漏事故的发生^[4]。

2.4 应急管理体系建设

第一，应急预案的制定与完善：制定全面、科学、实用的应急预案是应对石油输送管道突发事件的关键。应急预案应包括应急响应程序、应急处置措施、应急救援队伍的组织与协调等内容。针对不同的事故类型，如泄漏、火灾、爆炸等，制定相应的应急处置流程和措施。同时，定期对应急预案进行评估和修订，根据实际情况不断完善预案内容，确保其有效性和可操作性。第二，应急救援队伍的建设与培训：组建专业的应急救援队伍，包括抢险抢修人员、消防人员、医疗救护人员等。加强对应急救援队伍的培训和演练，提高其应急处置能力和协同作战能力。培训内容包括应急救援知识、技能培训以及模拟演练等。通过定期组织演练，检验应急救援队伍的反应速度、装备的使用情况以及各部门之间的协调配合能力，及时发现问题并进行改进，确保在突发事件发生时能够迅速、有效地开展救援工作^[5]。

2.5 管道安全保护系统的构建

构建融合物理、电子与智能多层级的管道安全防护系统，为管道安全筑牢坚实防线。物理防护层面，设置坚固且醒目的防护栏，划定安全边界；张贴警示

标识，提醒周边人员注意。安排专人定期巡检，及时修复防护栏的损坏部分，确保其能有效抵御人为破坏与意外碰撞风险。电子监控方面，安装高清摄像头与灵敏红外感应器等设备，对管道沿线周边环境进行全方位、实时监测。智能预警系统借助先进的人工智能算法，深度剖析收集到的各类数据，精准预测潜在风险并迅速发出警报。

2.6 信息共享与协同管理机制的完善

建立跨部门的信息共享平台是关键，实现石油企业、政府监管机构、应急救援单位间的信息实时互通。通过定期联席会议，各方共同研讨管道安全管理问题，联合演练提升应急协同作战能力。明确各部门职责分工，形成紧密合作的强大合力，携手应对管道安全问题。

2.7 公众参与和社会监督机制的建立

开展形式多样的管道安全知识宣传活动，如社区宣传、学校讲座等，切实提高公众对石油输送管道重要性的认识以及保护管道的意识。设立具吸引力的举报奖励机制，鼓励公众积极参与管道安全监督工作。通过多种渠道普及管道安全知识，营造全社会共同关注和支持管道安全管理的良好氛围。

3 石油输送管道运行安全管理的技术与创新

3.1 智能监测技术的发展与应用

第一，智能传感器网络的构建：在石油输送管道系统中，构建全面且高效的智能传感器网络是实现实时安全监测的关键。这些传感器能够高精度地采集管道沿线的多种关键参数，如温度、压力、流量以及振动等信息。一旦这些数据被采集上来，它们会通过先进的物联网技术迅速传输至中央监控中心。在监控中心，借助强大的大数据分析工具和人工智能算法，对海量数据进行深度挖掘和分析。通过对历史数据的学习和实时数据的趋势判断，智能系统能够精准地评估管道的实际运行状态，并预测可能出现的故障和安全隐患。例如，当分析数据显示管道某一路段的流量出现异常波动且伴随轻微压力下降时，系统可以提前预警，提示管理人员该处可能存在轻微的泄漏隐患，从而实现从传统的被动应对管理模式向主动预防模式的转变。第二，基于智能监测的应急响应优化：智能监测技术不仅能够实现早期预警，还能在应急事件发生时发挥重要的决策支持作用。通过实时监测数据，系统可以快速确定事故的位置、严重程度以及可能的影响范围。结合地理信息系统（GIS）技术，能够在电

子地图上直观地展示事故现场情况和周边环境信息，为应急救援人员提供最佳的救援路线和方案。同时，利用人工智能算法对事故发生趋势进行模拟预测，帮助救援人员提前做好应对准备，提高应急响应的速度和效率，最大限度地减少事故造成的损失^[6]。

3.2 管道材料的创新与升级

第一，高性能复合材料的应用拓展：新型管道材料的研发和应用是提升石油输送管道安全性能的重要途径。高性能复合材料以其卓越的性能在管道建设中展现出巨大优势。除了纤维增强复合材料（FRP）管道在耐腐蚀和轻量化方面的突出表现外，纳米改性材料也开始应用于管道制造。这些纳米材料能够填充到管道基材的微观孔隙中，显著提高管道的强度、韧性和耐磨性。例如，添加纳米碳化硅颗粒的聚乙烯管道，其抗压能力和耐磨损性能得到了大幅提升，能够更好地适应复杂的地质条件和恶劣的输送环境，有效降低管道因外部因素导致的损坏风险，进一步延长管道的使用寿命。第二，自修复材料的研发潜力：自修复材料是管道材料领域的一项前沿创新技术。这种材料内部含有微胶囊结构，每个微胶囊中都储存着修复剂和催化剂。当管道受到损伤时，微胶囊会自动破裂，释放出修复剂和催化剂，在损伤部位发生聚合反应，实现对微小裂纹和孔洞的自动修复。自修复材料的应用可以大大减少因管道损伤积累导致的安全事故，提高管道的可靠性和运行安全性^[7]。目前，虽然自修复材料还处于研究和试验阶段，但其在未来石油输送管道中的应用前景非常广阔。

3.3 风险评估模型的优化与完善

第一，多源数据融合的风险评估方法：为了更全面、准确地评估石油输送管道的风险水平，采用多源数据融合的风险评估方法是当前的一个重要发展方向。这种方法不仅整合了管道自身的运行数据，还纳入了外部环境数据，如气象数据（包括气温、降水、风速等）、地质数据（如土壤类型、地震活动、地质灾害等）以及周边人类活动数据（如施工建设、采矿作业等）。通过建立统一的数据平台，将这些多源数据进行融合分析和处理，能够更精准地识别出管道面临的各种潜在风险因素，并综合评估其对管道安全的影响程度。例如，在雨季来临前，根据气象数据预测降雨量和降雨时长，结合管道所处区域的地质条件，提前评估该地区管道遭受水毁的风险概率，以便采取相应的防范措施。第二，基于机器学习的动态风险评

估模型：随着机器学习技术的不断发展，将其应用于石油输送管道的风险评估中能够实现动态的风险评估和预测。通过收集大量的历史管道事故数据和运行状态数据^[8]，利用机器学习算法训练模型，使模型能够自动学习到不同工况下管道风险的变化规律和特征。这种基于机器学习的动态风险评估模型可以根据实时监测数据不断更新模型参数，实现对管道风险的实时动态评估。例如，采用深度学习算法中的循环神经网络（RNN）对管道的运行时间序列数据进行分析，能够捕捉到管道运行状态的微小变化趋势，及时发现潜在的风险隐患，并为制定个性化的安全管理策略提供科学依据。

4 结语

石油输送管道运行安全管理是一项系统工程。通过实施一系列关键措施和技术与创新举措，能有效应对各种风险，提升管道安全性和可靠性。这不仅关乎能源供应的稳定，也关系到经济社会稳定发展。未来，应持续加强安全管理，推动技术创新，不断完善管道安全保护体系，为能源运输保驾护航。

参考文献：

- [1] 寇健.长输油气管道安全管理探讨[J].现代职业安全,2021(05):94-96.
- [2] 张金.油田石油输送管道运行安全管理研究[J].科技创新导报,2020,17(07):159-160.
- [3] 邢绪涛,朱少军.关于加强石油管道安全管理的探讨[J].石油化工物资采购,2023(3):148-150.
- [4] 张传滨.石油输送管道泄漏应急处置思考[J].中国化工贸易,2023,15(7):76-78.
- [5] 向尚.原油管道安全运行管理及事故预防探讨[J].石油化工物资采购,2024(1):121-123.
- [6] 韦文冰.长输油气管道安全隐患及管理措施探讨[J].石油化工物资采购,2023(3):67-69.
- [7] 代爱印,汪圣博,闫然,等.长输油气管道运行路线的智能化管理研究[J].石油化工建设,2024,46(7):130-132.
- [8] 孙伟强,周林海,许伟,等.安全管理在油气管道检测工作中的作用与对策优化[J].化工管理,2023(28):100-102.

作者简介：

万义（1987-），女，满族，辽宁抚顺人，本科，中级工程师，研究方向：石油化工、安全。