

天然气集输管道危险有害因素分析及控制措施研究

王新强（新疆博瑞能源有限公司零散气回收运营管理中心，新疆 库尔勒 841000）

摘要：天然气集输管道作为能源运输的重要基础设施，其安全性直接关系到人民生命财产安全，一旦发生泄漏和爆炸等事故，可能导致严重的人员伤亡和环境污染。针对该问题，本次研究将首先对天然气集输管道危险有害因素进行系统分析，在此基础上，对危险有害因素的控制措施进行研究，为保障天然气集输管道的运行安全奠定基础。研究表明：天然气集输管道运行中的危险有害因素主要可以分为四大类，分别是介质因素、工艺因素、设备因素以及外界因素，因此，需要从加强泄漏监测、加强隐患排查、完善管道设计工艺、加强设备监控以及提高人员素质等角度出发，采取多项有效措施，为减少事故发生和提高管道运行安全性奠定基础。

关键词：天然气；集输管道；危险有害因素；控制措施；隐患排查

0 前言

天然气作为一种清洁且高效的能源，在全球能源结构优化和双碳目标推进的背景下，其开采和运输正快速发展，天然气集输管道作为连接气田与处理场站的重要基础设施，承担着天然气的高效输送任务，其安全性直接关系到能源供应的稳定性和生态环境保护。但是天然气集输管道在运行过程中，受到诸多危险有害因素的影响，若对危险有害因素控制不当，可能引发管道泄漏和爆炸等重大事故，造成严重的经济损失和环境污染^[1]。目前国内外关于管道安全的研究已取得一定进展，为天然气管道的安全运行提供了理论与实践支撑，但在复杂地理环境和长输管道老化等背景下，天然气集输管道仍面临众多的安全问题，现有的安全控制体系仍需不断优化和完善。因此，本文将在对危险有害因素进行系统总结的基础上，提出针对性的控制措施，为降低天然气管道运行的安全风险和提高能源运输的可靠性奠定基础。

1 天然气集输管道危险有害因素分析

1.1 介质因素

天然气具有高度的可燃性，其主要成分是甲烷，此外还含有少量乙烷和丙烷等烷烃类气体，在一定浓度范围与空气混合时，遇明火或高温即可发生燃烧甚至爆炸。如果管道发生泄漏，天然气积聚在低洼处或密闭空间，极易因火源引发火灾或爆炸，造成严重的人员伤亡和财产损失。天然气介质可能具有一定的腐蚀性，主要体现在其含有的腐蚀性气体，如硫化氢、二氧化碳和水蒸气等，这些腐蚀性成分会与管道内壁发生化学反应，形成腐蚀产物，导致管壁减薄，降低管道强度，增加泄漏和破裂风险^[2]。硫化氢与水结合会形成弱酸性溶液，对碳钢管道造成硫化物应力腐蚀，

二氧化碳在含水环境下也会形成碳酸，导致二氧化碳腐蚀，水分的存在还会加剧氧腐蚀和微生物腐蚀，尤其是在管道低洼处或积液点更易形成局部腐蚀。天然气的压力特性也是影响管道安全的重要因素，天然气通常以高压状态输送，以提高输送效率，但高压环境下，一旦管道发生缺陷或损伤，可能导致管道爆裂，引发严重事故。特别是在管道启停或运行波动过程中，气体压力变化可能引发水击，加剧管道的疲劳损伤。

1.2 工艺因素

管道布局与设计缺陷是天然气集输管道安全隐患的主要来源之一，在管道设计过程中，如果未充分考虑地形及运行参数等因素，可能导致管道存在局部应力集中和支撑不合理等问题。在山区或地震带等复杂地质环境中，若管道未采取防护措施，可能因地质灾害导致管道断裂，管道敷设过程中若未充分考虑流体动力学因素，管径选择不当或弯头，可能引起气流扰动及冲刷腐蚀，影响管道寿命。流体流动特性及其影响也是天然气管道工艺设计的重要考虑因素，在管道输送过程中，天然气的流动状态直接影响管道安全。在低流速或非稳态运行时，气体可能发生分层，导致液相积聚，引发液塞问题，使管道承受突发压力冲击，而在高速流动时，气体可能携带固体颗粒，对管道内壁造成冲蚀，导致局部薄弱点的形成。流速变化可能引发湍流或涡流等现象，影响管道的长期运行安全。安全保护装置的配置不足或失效是工艺管理中的重要安全隐患，天然气管道通常需配备安全阀和紧急切断阀等保护装置，以应对异常工况，防止管道超压或泄漏事故发生。但是在实际运行过程中，如果安全装置选型不当或维护不到位，可能导致关键时刻无法有效响应，造成事故扩大。在管道超压或发生泄漏时，如

果未能及时触发安全切断阀，将可能导致大规模天然气泄漏甚至爆炸。

1.3 设备因素

设备材料的质量与选型直接影响管道的安全性，天然气集输管道的设备需要耐高压和抗腐蚀等特性，如果材料选择不当或制造工艺存在缺陷，可能导致设备在高压或腐蚀环境下的耐久性降低。若管道或阀门采用的金属材料未能满足抗硫化氢腐蚀或二氧化碳腐蚀的要求，可能导致设备表面出现应力腐蚀开裂，进而发生泄漏甚至断裂。焊接质量也影响设备安全，焊缝缺陷可能成为应力集中点，在长期运行中引发裂纹扩展和疲劳破坏。设备的老化与腐蚀是影响天然气集输管道安全的重要因素，长期运行的设备会受到介质腐蚀和机械磨损等因素的影响，使材料性能下降。管道和阀门内壁在长期输送含水和含硫天然气时，可能发生腐蚀减薄，导致承压能力降低，增加泄漏风险。压缩机和过滤器等设备内部的密封件和轴承等易损部件，也可能因长期使用出现老化或疲劳损伤，影响设备的密封性和运行稳定性。

密封失效也是天然气集输管道设备运行中的重要隐患，管道系统中的阀门和法兰等部位需要依靠密封材料来防止天然气泄漏。但是在高压或长期运行的环境下，密封件可能因老化或机械损伤而失效，导致天然气泄漏。橡胶密封圈在高温环境下可能发生硬化或变形，影响密封效果，金属垫片可能因压力冲击而变形，导致密封性能下降。

1.4 外界因素

极端气候变化对管道安全的影响也不可忽视，在寒冷地区，冬季低温可能导致管道材料脆化，使其抗冲击能力降低，增加断裂风险，在低温条件下，天然气中的水分可能凝结形成水合物，造成管道堵塞，影响输送安全。在高温地区或夏季，管道可能因温度升高而发生热膨胀，导致焊接部位和密封件受力异常，影响管道的密封性。暴雨或洪水等极端天气可能导致河流冲刷和支撑基础冲毁等问题，增加管道的受损风险。人为破坏是影响管道安全的重要外界因素，非法盗取天然气或蓄意破坏等行为可能导致管道严重受损，引发泄漏或爆炸事故。在一些偏远地区，个别不法分子可能在管道上非法打孔盗气，导致管道结构损伤，并增加泄漏和爆炸风险。个别施工单位或个人未经审批擅自挖掘作业，可能误挖管道，造成管道破裂甚至大规模泄漏事故。在城市和乡村，随着基础设施

建设的增加，道路施工和房地产开发等活动增多，可能对埋地管道造成影响。如果施工单位在作业前未充分了解地下管线分布情况，可能因挖掘或打桩等作业误伤管道，导致天然气泄漏甚至爆炸事故。城市道路扩建可能导致管道负荷增加，长期振动可能加速管道疲劳损伤，而大型机械作业可能直接撞击或挤压管道，造成机械损伤。

2 天然气集输管道危险有害因素控制措施研究

2.1 加强泄漏监测

天然气管道泄漏可能发生在不同部位，具有隐蔽性和突发性，因此需要建立多层次的监测体系，在线监测系统是提高泄漏检测效率的关键，可通过压力和流量等传感器，对管道运行状态进行实时监测。管道发生泄漏时，管内压力会下降，流量会发生异常波动，温度可能发生变化，利用这些参数可快速识别泄漏点。光纤传感技术可通过监测管道周围振动或声波信号的变化，精准探测泄漏位置，该技术具有高灵敏度和远程监测能力强等特点，适用于长输管道的泄漏监测。同时还可以采用无人机巡检和卫星遥感技术，利用红外成像和激光检测等手段，监测管道沿线是否存在异常气体泄漏或地表变化，特别适用于难以到达的区域。传统泄漏监测方式可能会因环境干扰和设备误差等因素导致误报或漏报，因此可以结合人工智能与大数据分析，提高泄漏报警的准确性。利用机器学习算法分析历史监测数据，建立正常运行模式，一旦检测到异常变化，即可迅速判定是否发生泄漏。采用SCADA系统对管道数据进行远程集中管理，结合智能算法分析流量和温度等关键参数，能够在泄漏发生初期即发出预警，减少事故风险。

2.2 加强隐患排查

隐患排查工作应遵循定期检查、动态监测、专项排查相结合的原则，在这一方面，需要制定定期巡检计划，针对不同管道类型和运行环境，设定合理的巡检周期，确保所有管道设施都能定期检查。实施动态监测机制，利用传感器和在线监测系统，实时收集管道运行数据，一旦发现异常波动，立即开展排查。针对高风险区域，定期组织专项排查，通过深入检测和数据分析，精准识别潜在隐患，提高排查的针对性和有效性。对于运行时间较长的管道，应加强金属腐蚀和涂层脱落等方面的检测，并结合智能检测手段，判断是否需要更换或加固。

针对滑坡区和河道冲刷区，应定期开展专项检测，

采用地质雷达和沉降监测仪等设备，监测地质活动对管道的影响，并采取加固和改线等措施。城市地下管道密集，外部施工活动频繁，容易发生误挖和误碰事故，因此，应加强第三方施工监管，要求施工方在作业前获取管道分布信息，并采取防护措施。对于发现的隐患，根据风险等级，制定相应的整改措施，并明确责任部门和整改期限，对于一般性隐患，可安排现场修复或更换相关部件，对于重大隐患，应制定专项维修或改造计划，并组织专家评估整改方案。

2.3 完善管道设计工艺

管道路径设计应综合考虑地理和地质等因素，尽量避开地质灾害易发区以及施工活动频繁的区域。在山区和湿地等地带，地质灾害可能对管道造成严重破坏，设计时应尽可能选择稳定区域，并采取加固措施，如增加抗震支撑和埋设防护墙等。管道穿越公路和河流等时，应采用无损伤穿越技术，避免因地面沉降和冲刷等因素造成管道损伤。在站场和压缩机站等关键节点，应确保管道布置合理，减少弯头和管道交叉，优化管道流体输送效率，降低局部压力损失和腐蚀风险。

管道材料的选择直接影响耐腐蚀和抗机械损伤能力，应根据天然气压力和腐蚀介质等因素选择合适的管材，如高强度低合金钢，既能提高管道承压能力，又能减少管壁厚度，降低工程成本。外防腐层应采用高性能聚乙烯或环氧粉末等涂层，增强耐腐蚀性，内防腐层可采用环氧树脂涂层，降低管道内部腐蚀风险，提高输送效率。焊接材料应与管材匹配，确保焊缝的强度和耐久性，避免因焊接质量问题引发开裂或泄漏。

2.4 加强设备监控

为了提高设备运行的可靠性，应建立设备健康管理，通过长期监测数据分析设备状态，及时预测设备故障并采取预防措施。利用机器学习算法分析压力和温度等监测数据，识别设备老化和疲劳损伤的趋势，预测设备可能的故障时间，提前进行维护或更换，避免突发事故。建立远程故障诊断平台，结合专家系统和历史故障数据库，自动分析设备异常原因，并提供维修建议，减少误判，提高维修效率。根据设备运行状态，将故障预警分为多个不同的等级，针对不同等级采取相应的处置方案，对于轻微异常可以安排定期检修，而紧急事故则需要立即停机处理。在天然气集输系统中，一些关键设备对系统的安全性至关重要，应实施重点监控，阀门是管道系统的重要控制元件，

必须确保其启闭灵活无泄漏，可采用电动阀门状态监测和阀门扭矩传感器，实时监控阀门开关状态，避免阀门失效或误操作。压缩机是天然气输送的核心设备，应加强对轴承温度和振动频率等参数的监测，防止因机械故障导致天然气输送中断或爆炸事故。定期投放清管器可清除管道内壁的积液和杂质，提高输送效率，防止腐蚀加剧，应监控清管器的位置和运行状态，防止卡阻或异常滞留。

2.5 提高人员素质

操作人员的安全意识是防范事故的第一道防线，应定期开展安全培训，增强员工对管道危险有害因素的识别和应对能力至关重要。每位员工在上岗前都应接受系统的安全培训，学习天然气集输管道常见的危险有害因素以及应急处置方法，同时，加强对管道运行过程中可能出现的设备故障和泄漏等应急情况的培训，确保员工在发生突发事故时能够迅速反应。定期组织隐患排查培训，教导员工如何识别和排查管道运行过程中的潜在隐患，并使他们能够通过巡检和监测设备等手段进行有效排查，做到早发现和早处理。定期组织应急演练，使员工在模拟事故环境中，熟练掌握应急处理流程和技能，提高在真实事故中的应急响应能力，通过演练，员工能够更好地理解事故发生的规律，并学会如何快速处置，减少事故损失。随着管道技术的不断进步，智能化技术和人工智能等新兴技术日益应用于天然气集输管道的运营中，应定期组织员工学习新技术，提升他们对新技术的理解和操作能力，同时，可以通过岗位轮换，帮助员工全面了解管道运营的各个环节，培养他们的多技能能力，提高员工的综合素质，减少单一技能带来的风险。

3 结论

综上所述，天然气集输管道在长期运行过程中，受到腐蚀和非法破坏等多种风险的影响导致天然气集输管道出现安全风险的概率相对较高，天然气管道事故不仅会带来直接的经济损失，还可能造成环境污染等间接损失，通过此次全面识别和控制危险有害因素，可以减少事故发生，从而降低经济损失和提高企业经济效益。

参考文献：

- [1] 魏晨亮. 天然气集输管道损害因素分析及治理措施探讨 [J]. 清洗世界 ,2023,39(05):178-180.
- [2] 王小权. 天然气集输管道危险有害因素分析及控制 [J]. 化工设计通讯 ,2020,46(02):96-97.