

天然气管道泄漏事故与对策分析

钱文振 李春奇 马晓宇（山东省天然气管道有限责任公司，山东 济南 250014）

郑 瑞（中石化石油工程地球物理有限公司江汉分公司，湖北 武汉 430223）

摘要：天然气管道作为能源输送设施，广泛应用于城市燃气、工业生产等领域，但目前管道网络的扩展和运行压力的增加，天然气管道泄漏事故的风险也随之上升，泄漏事故会对人员安全和环境造成严重威胁，还容易引发火灾、爆炸等重大次生灾害，给社会和经济带来巨大的损失。如何预防和应对管道泄漏事故已成为能源行业和安全管理的重要课题。本文通过分析天然气管道泄漏事故的主要原因，研究了天然气管道泄漏事故的检测与定位技术，最后探讨了当前的防范对策。

关键词：天然气管道；泄漏事故；对策

0 引言

天然气作为一种能源，在现代社会中得到广泛应用，但是天然气管道在运输和分配过程中面临着各种潜在的安全风险，其中最为严重的便是管道泄漏事故。管道泄漏容易造成巨大的经济损失，还会带来严重的环境污染及人员伤亡。天然气管道建设的扩展和使用频率的增加，管道泄漏事故的发生频率逐渐增高，且事故处理的难度也加大。因此预防天然气管道泄漏事故，并在事故发生时采取及时、有效的应对措施，成为了保障能源供应安全和公共安全的关键。

1 天然气管道泄漏事故的主要原因

1.1 腐蚀泄漏

管道在运行过程中，长期与气体、水分、氧气介质接触，受到外界环境变化的影响，容易发生不同程度的腐蚀，这种腐蚀可以是电化学腐蚀，也可以是化学腐蚀和微生物腐蚀。电化学腐蚀是最常见的一种腐蚀形式，主要发生在金属管道与土壤或水介质之间，当管道与周围的电解质接触时，电流便在管道表面产生，从而让管道表面金属离子氧化，逐渐形成腐蚀坑，严重时还会引发管道破裂，特别是在管道的埋地部分，因电流的作用和湿气的侵蚀，腐蚀速度更为加快^[1]。而化学腐蚀主要源于天然气管道内外介质的化学反应，天然气中含有的硫化氢、二氧化碳等气体，若管道防腐措施不充分，长时间存在气体与金属表面的反应，就会导致管道表面发生氧化反应，形成腐蚀点，严重影响管道的结构完整性。

微生物腐蚀较为隐蔽，它是在管道周围土壤中的某些细菌和微生物与管道材料发生生物反应，消耗管道的金属元素，形成腐蚀性物质，这类腐蚀需要较长时间才能显现出来，但它的危害性不容小觑，特别是

在管道使用多年后，微生物腐蚀常常成为漏气的隐患。由于腐蚀过程的缓慢性，一旦发现管道有明显腐蚀迹象，通常已经造成了较大程度的损伤。腐蚀严重时管道会出现孔洞、裂缝或厚度减薄，导致气体泄漏，甚至引发更为严重的事故。

1.2 变形泄漏

天然气管道在安装和长期使用过程中时常会遭遇地质沉降、周围建筑物荷载、外部机械力撞击等力学作用，这些外部因素会让管道发生变形，进而引发局部泄漏。地质沉降是因为在地下敷设的管道，随着地层的沉降或不均匀压缩，会对管道产生过大的压力或拉伸力，从而使管道发生变形，沉降的地面如果出现不均匀变化会导致管道出现弯曲、压扁或错位的现象，进而造成管道局部的接缝处松动，气体泄漏。在城市建设和发展过程中还会对管道线路产生外部的负面影响，像施工机械的操作、道路交通的负荷都会给地下管道带来额外压力，尤其在管道外部没有设置充分的防护措施时，外力撞击容易导致管道变形或破损。管道变形造成的泄漏难以通过外观检测及时发现，且泄漏点通常位于变形最为严重的部位，一旦未能及时修复，泄漏迅速扩大，最终形成较大的安全隐患^[2]。

1.3 管材质量问题

天然气管道会使用钢材作为主要材料，钢材的原料质量差或者在生产过程中存在冶炼缺陷如材质中的杂质含量过高，管道的强度和抗腐蚀性能都会大大降低。这种情况就会让管道在使用过程中出现断裂、裂缝等问题，从而引发气体泄漏。同时，管道在生产过程中要是没有严格控制质量，就会出现厚度不均、表面光滑度差等问题。这些问题容易影响管道的结构强度，还会造成管道表面出现微小裂缝或孔洞，增加泄

漏的风险。

1.4 开裂泄漏

管道的开裂一般与管道承受的内外压力相关，天然气管道在工作过程中，内部气体的压力变化会造成管道壁的应力分布不均，长期在高压条件下运行，管道容易发生脆性开裂，特别是在管道壁薄弱、材料劣化的情况下，裂缝一旦形成就会迅速扩大，进而造成泄漏。因为天然气的流动会带来温度波动，尤其在气温急剧变化时，管道内外温差较大，会让金属材料的热膨胀和收缩，造成管道局部应力集中的现象，长时间的温差变化会加剧金属的疲劳，最终导致裂纹的形成与扩展。

2 天然气管道泄漏事故的检测与定位技术

2.1 气体传感器技术

气体传感器技术的主要原理是通过检测天然气中的各种成分，尤其是甲烷等可燃气体的浓度变化来识别泄漏的发生，气体传感器能在不同的环境条件下对管道泄漏进行实时监测，具有较高的灵敏度和较快的反应时间。气体传感器技术的应用通常有三种类型，每种传感器技术都有其特点。半导体传感器广泛应用于气体检测领域，它利用半导体材料在不同气体分子作用下的电阻变化来检测气体的浓度变化，半导体传感器的优势在于其价格较为低廉，且能快速响应气体浓度变化，因此适合用于大范围的泄漏检测，但还是半导体传感器对环境温湿度变化较为敏感，这会影响其检测精度。而电化学传感器是基于电化学反应原理，通过气体与电极的反应生成电流来确定气体浓度，电化学传感器所具有的优点是较高的灵敏度和较宽的检测范围，特别适合用于低浓度气体的检测。相较于半导体传感器，电化学传感器对环境变化的适应性更强，但其成本较高且需要定期校准^[3]。

2.2 声学技术

声学技术是通过在管道外部或内部布设传感器，检测气体泄漏产生的声波信号，从而判断泄漏的位置和泄漏的规模，声学技术特别适用于检测管道发生的泄漏声波，能在管道沿线及时发现异常。声学检测的原理基于泄漏点周围气体流动产生的声波信号。当天然气从管道中泄漏出来时，由于压力差的作用，气体会迅速流向低压区域。泄漏产生的气体流动会引发一系列的声波振动，这些振动信号通过管道的材料传播，并通过外部安装的传感器进行捕捉和分析，通过分析这些声波信号的特征判断泄漏的发生、泄漏的规模以

及泄漏的位置。

2.3 光纤技术

光纤传感器具有高灵敏度、抗电磁干扰、实时监测的优点，尤其适合用于长距离和高精度的泄漏检测。光纤传感器的工作原理是基于布里渊散射和拉曼散射效应。在天然气管道泄漏时，管道压力、温度等物理条件的变化会让光纤传输的光信号会发生相应的变化，布里渊散射效应和拉曼散射效应能反映出管道中不同点的温度、压力的信息，因此分析光信号的变化就能准确判断泄漏的发生。光纤技术可以对管道沿线的多个点进行实时监控，并且光纤不受电磁干扰，所以更加适用于电磁环境较复杂的区域，而且光纤传感器具有较强的抗腐蚀能力，它在恶劣的环境中也能长时间稳定工作^[4]。

3 强化天然气管道泄漏事故的防范对策

3.1 加强定期巡检和监测

定期巡检可以及时发现管道隐患、消除安全风险，巡检帮助检查管道的物理状况，及时发现腐蚀、损伤、裂纹的问题，在人为操作或自然灾害造成的异常情况下尽早发现导致泄漏的隐患，巡检的频次和范围需要根据管道的实际情况来制定，特别是对于老化、腐蚀严重或者经过极端气候区域的管道，巡检的周期应适当缩短，增加巡检的力度与频率。在强化定期巡检方面，因为管道网络的复杂性增加，巡检更多的是需要结合先进的技术手段和工具来实施，对巡检人员进行定期培训，提高其对潜在风险的识别能力，同时对于长距离、复杂地形的管道网络，要认识到单一的巡检方式无法做到全面监测，因此需要结合不同的巡检方式如人工巡检与光纤预警系统、无人机巡检融合，让管道的每一段都能得到检查，对于无法实现全天候巡检的区域，定期巡检可以与远程监测技术相结合，利用实时数据传输来及时了解管道的运行状况，为巡检人员提供精准的参考数据^[5]。

3.2 加快对先进材料的应用

加快先进材料的研发、推广和应用，特别是对于埋地管道、跨越山区、湿地这类型的特殊地段的天然气管道，应该选择先进材料能够有效减少因管道老化、腐蚀、开裂问题引发的泄漏风险。目前天然气管道常用的材料多为钢管，虽然钢管具有很好的承压能力，但在长期使用过程中容易受到外界环境的腐蚀影响，尤其是在地下埋设的环境中，因此在选择管道材料时，除了关注其机械性能外，还要考虑其抗腐蚀能力，近

年来耐腐蚀钢管、复合材料管道等新型材料逐渐走向市场。耐腐蚀钢管利用特殊合金元素的添加，在保证机械性能的同时，大大提高了钢管表面的抗腐蚀性能。与传统钢管相比，这些新型材料的使用寿命更长，管道在腐蚀环境中的表现更为稳定。

在天然气管道系统中，可以将新型合金材料和复合材料逐渐应用到管道制造中，尤其是具有耐高温和耐腐蚀双重性能的合金钢管可以承受更高的温度，还能抵御长期的腐蚀作用，延长管道的使用寿命，复合材料管道在重量上较传统钢管更为轻便，安装更加便捷，同时具备较高的耐压能力和较低的热膨胀系数，适合在高温、高压这类型的极端条件下使用。

值得注意的是，加快先进材料的应用不仅需要在选择管道材料时注重性能的提升，还需要加强对这些新型材料的研发与试验，在新材料的应用过程中，研发人员应当注重材料的综合性能，考虑其在复合环境下的适应性，特别是许多新型合金材料、复合材料和高分子材料虽然在某些单一性能上表现优越，但在长时间暴露于实际使用环境中出现不同程度的老化、变形或性能退化，因此要加强对新材料长期运行的可靠性评估和抗老化性能的研究，帮助确定其在天然气管道领域的长期稳定性，相关部门和企业应建立完善的技术标准和测试体系，推动先进材料的标准化应用。

3.3 构建紧急切断系统

紧急切断系统可以在泄漏事故发生的第一时间内迅速关闭管道，切断泄漏源，从而避免气体继续泄漏和扩散，降低事故对人员安全、环境和财产的危害，构建紧急切断系统要先进的技术支持，同时要求系统具备高灵敏度、快速反应能力和高度的可靠性，在实际应用中，切断系统必须具备足够的承压能力和稳定性才能应对高压、高流速的气体流动，为了实现快速切断，系统的阀门和控制设备需要根据管道的不同段落特性进行合理部署。

对于长距离的天然气管道会跨越多个地形和气候环境，因此紧急切断系统需要结合自动化控制与手动操作两种方式，以此保障在不同情况下都能实现快速、准确的响应。现代紧急切断系统普遍采用电动或气动阀门，这些阀门的控制系统通过远程监控平台实时接收指令，在泄漏发生的瞬间迅速关闭，电动阀门可以根据泄漏的类型和规模进行精细化控制，而气动阀门则具有较强的可靠性和抗干扰能力，可以在复杂环境中保证快速、稳定的切断。为了做好紧急切断系统在

发生事故时的正常工作，阀门的密封性和抗腐蚀性也需要进行严格考量，因此应该采用耐腐蚀材料制作的阀门，在长期暴露于天然气环境中时依旧可以保持良好的密封性能，避免由于外部腐蚀造成阀门失效。

此外，构建紧急切断系统时，要求让系统的冗余性和自动化程度应得到保障，因为冗余设计是保证紧急切断系统高可用性的关键措施。在构建紧急切断系统时应该采取双重或多层控制系统，即便某一控制系统出现故障，备用系统依然能够及时响应，保障管道的安全运行。

4 结语

综上所述，天然气管道泄漏事故的防范与应对是保障能源安全和公共安全的关键环节，重视对泄漏事故原因分析，采用先进的检测技术、强化管道巡检以及构建高效的应急切断系统，可以降低事故发生的概率并减少其带来的危害。同时科技的进步，让相关技术手段和管理模式也在不断更新，因此也提供更加精准和高效的解决方案。显然，今后的天然气管道的安全运行将依赖于更智能的监控系统、更强的技术支持以及更加完善的安全管理措施。

参考文献：

- [1] 宋晓俊, 梁龙贵, 陈庆国, 郭旭, 马超, 李维亚. 埋地天然气管道泄漏失效分析 [J]. 石油管材与仪器, 2024, 10(02):76-80.
- [2] 魏星. 埋地天然气管道泄漏检测技术与策略研究 [J]. 上海煤气, 2023(06):18-20.
- [3] 杜超, 胡庆勇. 天然气管道泄漏事故的原因分析与防范措施探讨 [J]. 现代职业安全, 2023(12):37-39.
- [4] 孟森. 无人值守天然气站场管道泄露监测及预警研究 [D]. 贵州大学, 2023.
- [5] 王晓霞, 沈恒坤. 天然气输送管道安全运行及质量管[J]. 化学工程与装备, 2023(01):96-98.

作者简介：

钱文振 (1985-) 男, 汉, 山东省济南市, 硕士研究生, 高级工程师, 研究方向: 管道完整性管理、管道保护等。
李春奇 (1989-) 男, 汉, 辽宁铁岭人, 本科, 技师, 研究方向: 管道保护。

马晓宇 (1996-) 男, 汉, 山西大同人, 硕士, 工程师, 研究方向: 管道完整性管理。

郑瑞 (1987-) 男, 汉, 湖北省潜江市, 本科, 高级工程师, 研究方向: 管道完整性管理、管道保护等。