

光纤传感技术在燃气工程管理中的应用

黄钦晨

上海五号沟液化天然气有限公司 上海 201209

摘要: 燃气工程安全关系公共安全与社会稳定,传统监测技术存在精度低、抗干扰弱、覆盖有限等弊端。本文阐述光纤传感技术的核心原理、常用类型及核心优势,分析其在燃气管道施工、运行、场站管理及应急处置全流程的具体应用,指出当前应用中存在的成本、信号干扰、系统集成及人才短缺等问题,提出针对性优化策略,为光纤传感技术在燃气工程管理中的规模化、规范化应用提供参考,助力提升燃气工程管理智能化与安全水平。

关键词: 光纤传感技术;燃气工程管理;应用

引言: 随着城市化进程加快,燃气工程规模持续扩大,管道敷设环境日趋复杂,第三方破坏、腐蚀老化等隐患频发,对工程管理的精准性、实时性提出更高要求。传统人工巡检与点式监测模式已难以满足全流程安全管控需求。光纤传感技术凭借高精度、抗干扰、长距离实时监测等优势,成为破解燃气工程管理难题的重要手段。基于此,本文系统探讨其在燃气工程管理中的应用,为行业安全管控升级提供理论与实践支撑。

1 光纤传感技术核心原理与相关类型

1.1 光纤传感技术基本原理

(1) 光的传输特性与传感机制: 光纤传感技术以光为信息载体,依托光纤的光传输特性,利用光的反射、折射、散射及偏振等物理现象,将燃气工程中需监测的温度、振动、压力等物理量,转化为光信号的强度、相位、波长等参数变化。其核心是通过被测物理量对光信号的调制作用,实现被测参数的精准感知与转化,为后续信号解析提供基础。(2) 光纤传感系统的基本组成: 整套系统由四大核心部分构成,分别是光源、光纤传感器、光探测器和信号处理单元。光源提供稳定、连续的人射光,作为传感的信号基础;光纤传感器是感知核心,直接与被测环境接触;光探测器负责将变化后的光信号转换为可处理的电信号;信号处理单元对电信号进行放大、滤波、解析,最终输出直观的监测数据^[1]。

1.2 燃气工程中常用光纤传感技术类型

(1) 分布式光纤振动传感技术: 适用于燃气管道长距离监测,可实现沿线全方位振动感知,能精准捕捉管道周边挖掘、碰撞、沉降等异常振动,快速定位异常位置,及时预警管道破损风险,保障管道敷设安全。(2) 分布式光纤温度传感技术: 通过监测光纤沿线温度场变化,精准识别燃气管道泄漏点——燃气泄漏时会伴随温度异常波动,同时可监测管道周边火灾、高温等隐患,

为燃气输送安全提供全天候温度监测支撑。(3) 光纤光栅传感技术: 具备高灵敏度、高稳定性的特点,可定点精准监测燃气场站、阀室等重点区域的管道压力、温度等关键参数,数据传输稳定,能为设备运维、风险预判提供精准的数据支撑。

1.3 光纤传感技术的核心优势

(1) 监测精度与灵敏度优势: 监测精度可达毫摄氏度级、微米级,能捕捉微小的物理量变化,可精准识别燃气工程中管道轻微泄漏、细微振动等潜在隐患,优于传统传感技术。(2) 抗干扰与环境适应性优势: 光纤具有绝缘、抗电磁干扰、耐腐蚀的特性,可在地下、高温、潮湿、强腐蚀等复杂环境中稳定工作,适配燃气工程多样化的监测场景。(3) 长距离与实时监测优势: 单根光纤监测距离可达数十公里,无需频繁布设监测点,可实现24小时不间断实时监测,大幅减少人工巡检工作量,提升管理效率。(4) 经济性与长效性优势: 光纤使用寿命长、故障率低,后期维护成本低廉,且可实现多参数同步监测,相比传统传感技术,能显著降低燃气工程监测的整体投入,实现长效稳定监测。

2 光纤传感技术在燃气工程管理中的具体应用

2.1 燃气管道施工阶段的应用

(1) 管道铺设精度监测: 在燃气管道铺设过程中,将光纤与管道同步敷设,利用光纤传感技术可实时监测管道的埋深、坡度、走向及偏移量,精准捕捉管道敷设过程中出现的沉降、偏移等问题。通过信号处理单元解析监测数据,实时反馈管道铺设偏差,及时指导施工人员调整作业,避免因铺设精度不足导致管道应力集中、接口密封不严等隐患,确保管道铺设完全符合工程设计标准,为后续安全运行奠定基础。(2) 施工过程外力干扰监测: 施工期间,光纤传感系统可实现管道周边全方位、无死角的外力干扰监测,重点捕捉施工机械碰撞、

挖掘作业、土方沉降及车辆碾压等各类干扰。当监测到超出安全阈值的振动或位移信号时,系统会立即发出声光预警,并精准定位干扰位置,提醒施工人员及时停工排查,采取防护措施,避免外力破坏管道本体,降低施工过程中的安全风险,保障施工安全有序推进^[2]。(3)施工质量验收辅助监测:在施工质量验收阶段,光纤传感技术可作为传统验收方式的补充,对管道接口密封性、管道整体连续性及敷设质量进行全面检测。通过监测管道周边温度、振动及应力变化,精准判断接口是否存在泄漏隐患、管道是否存在变形或破损等问题,提高验收精度,确保工程质量达标后投入使用,从源头规避施工遗留隐患。

2.2 燃气管道运行阶段的应用

(1)管道泄漏精准监测与定位:依托分布式光纤温度传感和光纤光栅传感技术,可实现燃气管道泄漏的精准监测与定位。当管道发生泄漏时,燃气扩散会引发周边温度异常波动,光纤传感器快速捕捉这一变化,通过信号处理单元解析数据,精准定位泄漏点,误差可控制在米级以内,同时判断泄漏程度,为工作人员快速处置泄漏隐患提供精准指引,最大限度减少泄漏造成的安全事故、环境污染和经济损失。(2)管道腐蚀与老化状态监测:将光纤传感器附着于管道内壁或外壁,可实时监测管道的腐蚀程度和老化状态。通过持续监测管道周边的温度、湿度、应力及介质浓度变化,反推管道腐蚀速率和老化程度,及时发现管道变薄、破损、裂纹等潜在隐患,提前制定针对性维护方案,开展防腐、修复作业,避免管道因腐蚀、老化导致的泄漏事故,有效延长管道使用寿命。(3)管道周边环境监测:针对燃气管道户外、地下、穿越河流等复杂敷设环境,光纤传感技术可实现24小时不间断监测。温度监测可及时预警火灾、高温烘烤、低温冻裂等隐患;振动监测可捕捉周边施工、车辆撞击、地质沉降等干扰,一旦出现异常,立即发出预警信号,提醒工作人员及时处置,防范环境因素对管道运行造成的影响,保障管道长期稳定运行^[3]。

2.3 燃气场站与附属设施的应用

(1)场站设备运行状态监测:在燃气场站,光纤传感技术可广泛应用于压缩机、换热器、储气瓶组、输气泵等核心设备的运行状态监测。通过实时监测设备运行过程中的温度、振动、压力等关键参数,精准判断设备是否存在异常磨损、过载运行、部件松动等问题,提前预警设备故障,为设备定期维护、检修提供科学数据支撑,避免设备故障引发的场站安全事故,保障场站正常运转。(2)调压站、阀室安全监测:调压站、阀室是燃气输送的关键

节点,安全风险较高。光纤传感系统可对其进行全方位安全监测,实时监测调压站的燃气压力、温度变化,防范压力过高、温度异常引发的设备损坏、燃气泄漏等事故;同时监测阀室阀门的开关状态、密封性能,及时发现阀门泄漏、卡涩、失灵等隐患,确保调压站、阀室稳定运行,保障燃气输送的安全性和连续性^[4]。(3)附属管线隐患监测:燃气管道的附属管线、阀门及接口是易发生隐患的薄弱部位,光纤传感技术可实现定点精准监测。通过这些关键部位布设光纤传感器,实时监测其密封性能和运行状态,及时发现泄漏、松动、老化等隐患,快速处置,避免因附属设施故障引发的燃气泄漏事故,完善燃气工程全流程安全防护体系。

2.4 燃气工程应急处置中的应用

(1)泄漏事故快速预警与响应:当发生燃气泄漏事故时,光纤传感系统可在第一时间捕捉到温度、振动等异常信号,快速发出预警,并精准定位泄漏位置、泄漏范围及泄漏程度,为应急处置人员提供精准、全面的现场信息。工作人员可根据预警信息快速抵达现场,采取关闭阀门、疏散周边人员、设置警戒区域等措施,缩短应急响应时间,降低事故扩大的风险。(2)应急处置过程实时监测:在应急处置过程中,光纤传感技术可实时监测泄漏点周边的温度、振动、燃气浓度等关键参数,实时反馈处置效果,及时发现处置过程中出现的异常情况,避免因操作不当引发二次事故。同时,为应急处置方案的调整优化提供数据支撑,确保应急处置工作科学、高效推进,最大限度降低事故损失。(3)事故后管道状态评估:燃气泄漏事故处置完成后,光纤传感技术可对管道受损部位进行全面、细致的监测,评估管道的破损程度、腐蚀情况及修复质量,判断管道是否具备重新投入运行的条件。同时,通过分析监测数据,总结事故发生的原因,优化后续燃气工程安全管理措施,防范同类事故再次发生,提升燃气工程安全管理水平^[5]。

3 光纤传感技术在燃气工程管理应用中的问题与优化策略

3.1 应用过程中存在的主要问题

(1)技术应用成本较高:光纤传感技术的应用成本集中在设备采购、铺设安装及后期维护。光纤传感器、光源等核心硬件价格偏高,长距离燃气管道敷设需大量光纤及配套设备,初期投入远高于传统传感技术;且光纤铺设工艺复杂,人工成本较高,后期设备校准、故障维修需专业技术和资金支持,增加了燃气工程管理整体成本,制约其规模化推广。(2)信号干扰与误报率控制难题:燃气管道多数设于地下、户外等复杂环境,

光纤传感系统易受外界干扰。地下地质沉降、土壤湿度变化影响光纤传输,户外雷电、电磁辐射、温度剧烈波动干扰光信号,导致系统误报、漏报;此外,管道自身振动、周边施工干扰也可能被误判为隐患,增加巡检负担,影响监测效率和预警准确性。(3)系统集成与现有管理体系适配性不足:部分燃气企业现有管理体系以传统监测模式为主,光纤传感系统多独立部署,难以与现有监控平台、运维管理系统、数据统计系统有效集成。系统间数据无法互通共享,形成信息孤岛,监测数据难以充分发挥作用,需人工手动整合数据,增加管理工作量,降低燃气工程管理智能化水平。(4)专业运维人才短缺:光纤传感技术融合光学、电子、计算机、燃气工程等多学科知识,对运维人员专业素养要求高。目前多数燃气企业缺乏专业运维人才,现有工作人员虽熟悉燃气工程管理,但对光纤传感设备调试、故障排查、信号解析等技能掌握不足,导致系统运行中的技术问题无法及时解决,影响系统稳定运行,限制技术应用效果。

3.2 针对性优化策略

(1)成本优化:技术选型与规模化应用。结合燃气工程实际需求精准选型,优先选用性价比高、适配性强的光纤传感设备,避免盲目追求高端设备造成浪费;推动技术规模化应用,通过批量采购设备、集中铺设施工,降低设备采购成本和施工成本;探索政企合作模式,争取政策资金扶持,减轻企业投入压力,同时鼓励设备厂商研发低成本、高性能的专用设备,进一步降低应用门槛。(2)技术优化:信号处理与抗干扰改进。优化信号处理算法,采用滤波、降噪等技术,剔除环境干扰带来的无效信号,提升信号识别精度,降低误报率;对光纤敷设进行防护优化,采用抗干扰套管、合理规划敷设路径,避开强电磁、高频振动区域;定期对设备进行校准调试,建立信号基线数据库,通过对比分析减少误报,确保监测数据的准确性和可靠性。(3)体系优化:系统集成与管理流程适配。推动光纤传感系统与燃

气工程现有管理系统、数据平台的无缝对接,建立统一的数据共享机制,实现监测数据、运维记录、隐患信息的协同管理;优化现有管理流程,将光纤传感监测纳入日常运维体系,明确监测数据的分析、反馈、处置流程,确保监测结果能够快速转化为运维行动,充分发挥技术的监测预警作用。(4)人才优化:专业培养与技术培训。与高校、职业院校合作,开设相关专业课程,定向培养兼具光学、电子及燃气工程知识的复合型人才,充实运维队伍;建立常态化培训机制,定期组织现有运维人员开展技术培训,邀请行业专家讲解设备操作、故障排查、信号解析等技能,提升人员专业素养;建立考核激励机制,鼓励运维人员主动学习新技术,提升业务能力,保障系统稳定高效运行。

结束语

光纤传感技术为燃气工程管理全流程安全管控提供了高效解决方案,有效弥补了传统监测技术的不足,在施工精度把控、运行隐患预警、应急高效处置等方面发挥着重要作用。尽管目前其应用仍面临成本、技术、人才等层面的挑战,但通过科学优化策略,可逐步突破应用瓶颈。未来,随着技术迭代与系统集成升级,该技术将推动燃气工程管理向更智能、更高效、更安全的方向发展,助力燃气行业高质量发展。

参考文献

- [1]张浩.智慧城市背景下城市燃气存在问题及发展方向[J].煤气与热力.2022,42(9):126-129.
- [2]甘露勋.网络环境下燃气工程管理难点及信息化管理平台的建设[J].化工管理.2021,15(31):241-243.
- [3]薄肖琛.燃气信息化建设中管道的信息化管理[J].化学工程与装备.2023,8(6):89-92.
- [4]孙永鑫.城市燃气GIS信息化的工程建设[J].化学工程与装备.2023,12(7):180-183.
- [5]祝钺煜.基于企业信息化转型优化燃气工程质量管理的研究[J].城市燃气.2021,35(S1):231-236.