

加油站埋地储罐泄漏在线监测与自动预警系统研究

范玉霞 (河南省华威化工咨询服务有限公司, 河南 郑州 450000)

摘要: 受地质环境、使用年限、人为失误等因素, 加油站埋地储罐泄漏不仅产生油品损耗, 更是直接威胁到土壤、地下水环境安全及加油站运营安全。近年来, 随着我国环保法规趋严和安全管理要求提升, 加油站埋地储罐泄漏的“早发现、早预警、早处置”成是避免安全环保事故, 规避经营风险的有效措施。在线监测与自动预警系统作为关键技术手段, 已成为研究与应用的重点领域。本文将分析在线监测与自动预警系统核心技术原理、系统架构设计、关键问题与优化, 全面剖析该系统的技术逻辑与应用价值。

关键词: 加油站; 埋地储罐; 储罐泄漏; 在线监测; 自动预警系统

中图分类号: TE88 **文献标识码:** A **文章编号:** 1674-5167 (2025) 030-0130-03

Research on Online Monitoring and Automatic Warning System for Leakage of Underground Storage Tanks in Gas Stations

Fan Yuxia (Henan Huawei Chemical Consulting Services Co., Ltd., Zhengzhou Henan 450000, China)

Abstract: Due to factors such as geological environment, service life, and human error, the leakage of buried storage tanks in gas stations not only causes oil loss, but also directly threatens the safety of soil, groundwater environment, and gas station operation. In recent years, with the tightening of environmental regulations and the improvement of safety management requirements in China, “early detection, early warning, and early disposal” of underground storage tank leaks at gas stations have become effective measures to avoid safety and environmental accidents and mitigate business risks. Online monitoring and automatic warning systems, as key technological means, have become a key area of research and application. This article will analyze the core technical principles, system architecture design, key issues, and optimization of online monitoring and automatic warning systems, and comprehensively analyze the technical logic and application value of the system.

Keywords: gas station; Buried storage tanks; Tank leakage; Online monitoring; Automatic warning system

储罐内部油品含硫成分侵蚀、外部土壤电化学腐蚀, 管道使用年限、焊接缺陷或人为操作失误等因素, 可能导致加油站埋地储罐泄漏^[1]。因为储罐埋地特性, 泄漏具有隐蔽性、滞后性特征。泄漏的油品不仅产生油品损耗, 长期渗漏地下可能破坏土壤和植被, 进一步渗透至水层, 污染饮用水, 危害群众生命安全^[2], 环境修复成本高昂且修复周期可能长达数十年, 且油气在土壤中积聚, 达到爆炸极限后, 遇明火、静电易引发爆炸或火灾, 严重威胁加油站运营安全与周边居民安全。

随着我国环保法规趋严和安全管理要求提升, 依赖人工巡检和经验判断的传统监测方式已经难以满足现代安全管理时效性、连续性、准确性要求。在此背景下, 分析加油站埋地储罐在线监测与自动预警系统核心技术原理、系统架构设计、关键问题与优化能够为加油站安全管理有效赋能, 助力实现风险的精准感知、智慧防控和科学决策。

1 在线监测与自动预警系统核心技术原理

目前在线监测主流技术可以分为针对泄漏介质的直接监测法和针对泄漏引发的物理/化学变化的间接监测法两大类。

1.1 直接监测法

直接监测法是通过传感器直接接触或检测泄漏的油品/油气的监测方法, 这一方法准确性高, 是目前主流技术方向。

①光纤传感监测技术。光纤传感监测技术是沿储罐外壁或管道铺设光纤, 利用光纤传感的布里渊散射效应, 通过泄漏油气与光纤发生相关作用改变光线局部折射率, 引起散射光谱发生位移产生的变化规律, 光信号的衰减等, 来定位具体泄漏点并量化泄漏量^[3]。这一技术具有监测范围广, 定位精度高, 灵敏度高、响应速度快、抗电磁干扰, 耐腐蚀的优点, 适用于双层罐夹层泄漏、埋地管道泄漏, 尤其是长距离输油管道。②油气浓度传感器监测技术。油气浓度传感器监测技术是在在储罐夹层、罐区土壤中布设“催化燃烧式”或“半导体式”油气浓度传感器, 当油气泄漏被传感器感知后, 传感器通过催化燃烧或油气改变半导体电阻两种方式, 将浓度信号转化为电信号。这一技术具有响应速度快、成本较低、安装便捷的优势, 也有监测范围有限、易受土壤湿度、温度影响的应用局限, 适用于单层罐罐区土壤泄漏、双层罐内层泄漏监测。③液位差监测技术。液位差监测技术主要针对双

层罐,通过在夹层顶部和底部安装液位传感器来感知油品进入夹层并挤压乙二醇溶液等特定介质产生的液位变化来判断是否泄漏^[4]。这一技术具有结构简单、成本低、兼容性强的优势,但仅适用于双层罐,无法监测管道泄漏,且灵敏度较低,泄漏量较小时液位变化不明显。

1.2 间接监测法

间接监测法是通过监测泄漏导致的土壤物理/化学性质变化,如介电常数、温度等,间接判断泄漏,适用于情况复杂的土壤环境。

①土壤介电常数监测技术。土壤介电常数监测技术通过埋地电容传感器或探地雷达,监测到土壤介电常数介于2.0~2.5之间,或远低于正常值8~30时,即间接判断油品泄漏。这一技术具有可监测深层土壤泄漏的优势,局限在于电容式传感器易受土壤盐分干扰,且探地雷达需要移动扫描,无法实时监测。②温度监测技术。油品泄漏后会与土壤发生热交换导致局部土壤温度下降,温度监测技术通过分布式温度传感器监测土壤温度异常,间接判断泄漏。这一技术能够与光纤传感技术结合应用,缺点在于温度变化受环境影响大,如降雨、日照等,需排除较多干扰信号,仅能够作为辅助监测手段。

目前泄漏监测已经是多学科多技术的集成^[5],特别是随着传感器技术、模式识别技术、通信技术、信号处理技术、神经网络等人工智能技术的发展,为泄漏检测发展带来了新的契机。

2 加油站埋地储罐在线监测与自动预警系统架构设计

传统的加油站安全管理模式主要依赖人工巡检和定期检测,而人工巡检往往无法实现全天候、全方位的风险监测,特别是对埋地储罐泄漏极易出现监测滞后和遗漏问题,预防和预警能力不足,科学性和精准性有限,急需建立一套完善的在线监测与自动预警系统。加油站埋地储罐在线监测与自动预警系统的设计,其架构可分为感知层、传输层、数据层、应用层四层,各层功能协同,共同运作实现“数据采集-传输-分析-预警-处置”的监测处理闭环,以确保系统稳定运行,加油站安全运营。

2.1 感知层

感知层是系统的数据采集端,负责采集泄漏相关的原始数据,其核心组件主要包括传感器组合、数据采集模块以及现场控制单元等。其中,传感器组合是根据监测需求布置的传感器阵列,部署多元异构传感器,全面感知油气泄漏、火灾隐患等关键风险因素,实现多目标多维度监测功能,避免了单一传感器故障

或功能单一导致的漏检;数据采集模块是将传感器输出的模拟信号或是数字信号转换为标准数字信号,并进行初步滤波,去除高频干扰信号的组件;现场控制单元是接受数据采集模块实时数据并进行控制分析处理的组件,当数据超过预设阈值,则触发现场声光报警,如罐区红色警报灯、蜂鸣器等,同时启动应急阀门,如切断储罐出油阀。

2.2 传输层

传输层负责将感知层获取的数据传输至数据层,传输应该满足实时性、可靠性、安全性要求。主要传输方式可以分为有线传输和无线传输。其中,有线传输采用以太网TCP/IP协议和工业总线Modbus-RTU,能够在加油站埋地储罐区至控制室稳定固定设备,传输稳定、抗干扰强;无线传输主要采用LoRa(远距离、低功耗)、NB-IoT(窄带物联网)和5G的方式,特别是对于传感器点位分散或不便布线的场景,如罐区外围土壤传感器,优点是安装灵活、成本低,缺点是需考虑信号覆盖,在地下罐区额外加装信号放大器。

2.3 数据层

数据层是系统的关键部分,负责数据的存储、分析与处理,其核心组件包括数据库和数据处理引擎。其中,数据库一般分为实时数据库和历史数据库,前者一般用来储存短时间内的数据,如液位、浓度实时值,后者一般用来储存历史数据,比如趋势分析、泄漏溯源记录等。数据处理引擎是负责数据的分析处理。针对加油站埋地储罐多源异构传感器复杂性,构建自适应加权数据融合方法,该方法首先采用小波变换对原始异构数据实施预处理,通过提取多尺度、多频段特征,有效抑制噪声干扰;其次基于主成分分析算法对多源特征进行压缩降维,消除数据冗余与相关性;之后,依据不同传感器数据的可信度动态调整权重系数,从而抑制低质数据的影响;最后通过一致性校验进一步提升融合数据的精度。对于数据判断,一般采用预设安全阈值或是利用机器学习算法,构建融合卷积神经网络和长短期记忆网络,通过历史数据训练模型,识别异常波动,刻画安全风险的动态演化趋势,并在识别波动后结合传感器分布位置与数据衰减时间差判断泄漏坐标,通过液位变化速率或油气浓度扩散模型,估算泄漏量。

2.4 应用层

应用层面加油站管理人员、环保监管部门工作人员,能够提供可视化界面与最常用的便捷功能模块,一般包括实时监控界面、自动预警模块、历史数据分析模块以及应急联动模块等。在实时监控界面,管理人员能够通过电脑终端或是移动终端APP等显示罐区

各监测点的实时数据,如油气浓度、液位、温度等,以仪表盘、热力图的形式直观呈现,并支持点击查看单个传感器详情;自动预警模块功能为当监测到油气泄漏时,自动通过短信、APP推送、邮件等方式向管理人员发送预警信息,内容包括泄漏位置、泄漏类型、当前浓度/液位、建议处置措施等;历史数据分析模块的功能包括支持查询历史数据,如近7天油气浓度变化曲线,生成报表,如月度泄漏风险评估报告,辅助管理人员优化维护计划,如根据腐蚀速率提前更换管道等;应急联动模块根据风险的严重程度和紧急程度,预警级别划分为多个等级,每个等级对应预设的预警策略和应急预案。当安全风险分析模型识别出潜在风险时,系统自动触发与风险级别相匹配的预警流程。当识别出较大风险时,系统自动推送预警信息至云端,上传数据至当地环保监管平台,同时联动消防部门和现场作业人员,实现“监测-预警-处置”闭环,最大限度降低事故发生概率和危害程度。

3 加油站埋地储罐在线监测与自动预警系统关键问题与优化方向

目前在线监测与自动预警系统在实际应用中仍面临部分技术瓶颈,未来需以下方向进一步优化。

3.1 降低误报率与漏报率

在应用单一类型传感器容易受到外部环境干扰,如土壤湿度变化导致油气浓度传感器误报、暴雨导致液位传感器异常等,产生较高误报率;同时,微小泄漏,如0.01L/h,因为信号弱,易被外部噪声掩盖,导致漏报。针对这一问题,在未来应用中应注意使用多类型传感器融合组件,可以感知光纤传感、油气浓度、温度等多维度数据,继而采用D-S证据理论等数据融合算法,综合判断泄漏情况,降低误判。对应微小泄漏,则应在实践中进入人工智能机器学习算法,实时调整安全阈值,如雨天自动提高油气浓度阈值,避免湿度干扰等,提升对微小泄漏的灵敏度。

3.2 提升复杂环境适应性

加油站土壤类型,如黏土、砂土、地下水埋深、温度变化等环境因素,会影响传感器性能,如砂土中油气扩散快,传感器响应快;黏土中油气扩散慢,易滞后。应用实践中应注意针对土壤类型设计适宜的专用传感器,如黏土中采用长探针式油气传感器,增加接触面积,或是在数据处理中加入环境参数,如土壤湿度、温度补偿模型,修正监测数据,如湿度每增加10%,对油气浓度检测值进行-5%的修正,以提高监测精度。

3.3 降低系统成本与运维难度

分布式光纤等高端传感器成本较高,单公里光纤

成本约2万元,且系统运维,如传感器校准、光纤故障排查等,均需要专业技术人员,中小加油站难以承担。未来应该大力推动光纤技术国产化,推动光纤传感器、专用芯片的国产化替代,降低硬件成本,同时开发运维APP,支持远程校准传感器,如通过APP发送校准指令、故障自诊断,如光纤断裂时自动定位故障点,减少现场运维工作量。

3.4 强化数据安全与合规性

系统涉及加油站运营数据,如油品库存量、环境监测数据,存在数据泄露风险;同时,需满足环保部门的数据上报要求,如实时上传泄漏数据至监管平台。这要求系统建设完善和维护中,应注意采用SSL/TLS协议加密传输数据,数据库采用加密存储,如AES-256加密,防止数据泄露,同时按照《排污单位自动监控管理办法》要求,开发标准化数据接口,确保数据可直接对接环保监管平台,避免二次数据录入。

4 结语

加油站埋地储罐泄漏在线监测与自动预警系统,是解决传统监测滞后、低效问题的关键技术,其核心价值在于通过“监测-预警-处置”闭环,实现泄漏的“实时发现、精准定位、快速处置”,从而保护土壤地下水环境、降低加油站运营和周边居民安全风险。该系统的应用,不仅融合多源异构传感器,机器学习算法,多级联动预警,更能推动加油站从“被动应急”向“主动预防”的管理模式转变,具有重要的经济、社会与环境价值。未来,智能检测预警系统还应进一步构建区域级监测网络,让多个加油站共享监测数据,实现泄漏扩散的跨站点预警,提升区域环境安全保障能力。

参考文献:

- [1] 周浩青.基于腐蚀泄漏的储罐常态化监测研究与应用[J].设备管理与维修,2023(07):139-141.
- [2] 何炜等.加油站埋地储罐渗漏检测与地下水污染监测[J].环境科学与技术,2012,35(S1):198-202.
- [3] 张水平,张祖昆.基于光纤传感技术对天然气储罐泄漏温度场变化的监测[J].江西理工大学学报,2017,38(03):97-102.
- [4] 王银峰.加油站埋地双层罐液媒监测系统的应用前景[J].石油库与加油站,2015,24(01):1-4+10.
- [5] 徐彪,郑志.加油站埋地管线渗漏监测技术探析[J].化工管理,2016(29):220.

作者简介:

范玉霞(1978-),女,汉族,河南郑州人,本科,注册安全工程师,一级评价师,研究方向:加油站电气自动化。