

气体泄漏智能检测技术在化工安全领域的应用策略分析

王青 牛高

西安瑞联新材料股份有限公司, 陕西渭南, 714000;

摘要: 化工生产过程中, 气体泄漏事故频发, 严重威胁人员生命安全与环境生态。智能检测技术作为化工安全保障的关键手段, 其应用对于提升化工企业安全管理水平意义重大。本文深入剖析气体泄漏智能检测技术在化工安全领域的应用策略, 详细介绍多种先进检测技术, 并探讨其实施路径与效果, 旨在为化工企业构建高效、可靠的气体泄漏智能检测体系提供理论与实践指导, 助力化工行业安全生产。

关键词: 化工安全; 气体泄漏; 智能检测技术; 应用

DOI: 10. 64216/3080-1508. 25. 06. 014

引言

化工产业作为国民经济的支柱性产业, 在推动经济发展中发挥着重要作用。然而, 化工生产涉及众多危险化学品, 气体泄漏事故时有发生, 给生命、财产和环境带来了巨大损失。传统的气体检测手段, 如人工巡检和点式检测仪, 存在检测盲区大、效率低、响应慢等问题, 已难以满足化工安全生产的需求。在此背景下, 智能检测技术凭借其高精度、高灵敏度、实时监测和快速响应等优势, 逐渐成为化工安全领域气体泄漏检测的核心技术, 对预防和控制气体泄漏事故、保障化工生产安全具有重要意义。

1 化工安全生产中气体泄漏的危害

1.1 火灾与爆炸

一是泄漏出来的各种可燃性气体(如乙醇蒸气, 丙烷)遇上明火或加热到一定温度时就会着火燃烧; 火灾会危及人身安全, 并会造成生产设备的毁坏以及巨大的直接损失。另外火灾产生大量浓烟、毒害物质会对大气和生态环境带来长期的危害^[1]。

二是当可燃气体与空气按一定的比例混在一起后形成一种爆炸性的混合物, 在此范围内的可燃气体被点燃就可能发生爆炸。爆炸所产生的巨大压力波和强光辐射会对周围的装置和人畜构成严重的破坏作用。储存于容器中的液态烃类由于其本身特性, 在受到火焰烘烤而达到闪点以下时会发生爆炸。

1.2 中毒与窒息

化工生产的危险因素之一就是由于气体的泄漏造成的中毒和窒息伤害。许多化学工业生产过程所使用的各种原料、中间体以及各种废料中含有一定量的有毒品或者窒息剂, 如果发生了泄漏, 在现场就会很快地向周围的空間里进行扩散, 并且会在很短的时间内就达到

很高的浓度, 使人们处于一个高度有害的气体环境中。当人长期处在这样的环境下时会直接造成人们的中毒现象, 比如会出现头痛、恶心、呕吐的症状; 或者是引起神经系统的麻痹、呼吸系统的衰竭以及其他各脏器的功能不全等一系列严重的后果, 有时甚至是致命性的结果。

1.3 环境污染

气体泄漏不仅直接威胁人体安全, 还会对环境造成严重破坏, 极大损害整个生态系统。像硫化氢(H_2S)、氨气(NH_3)等化学物质一旦泄漏, 会迅速扩散到空气中, 导致空气质量急剧下降, 对人体的呼吸器官产生强烈刺激, 同时干扰植物的光合作用。若这些有害气体溶解于水中, 会毒害水生生物, 致使物种数量锐减, 破坏水体生态平衡, 污染饮用水源, 给人类生命健康带来巨大隐患。

泄漏的气体还会污染土壤, 使其出现酸化或碱化现象, 影响农作物的正常生长发育, 造成减产, 破坏农业生产环境。此外, 地下深层是各类矿物资源的主要储存场所, 一旦泄漏物渗入, 清除难度极大, 会在相当长的时间内持续对周边地区环境产生负面影响^[2]。

2 气体泄漏检测技术

2.1 红外吸收法

红外吸收法是目前比较常用的气体泄漏检测方法之一, 它以气体分子选择性地吸收一定频率的红外线为理论基础。当发生气体泄漏后, 由于泄漏物质自身或者其燃烧产物会发出一定的热量, 并且随着温度的变化产生相应的电磁波(主要是红外线), 因此可以通过红外探测器来捕获这种信号, 从而达到对泄漏点位置及气体浓度进行判断的目的。

红外吸收法是根据各种可燃气体(如 CH_4)及有毒

有害物质,对不同频率的红外辐射有其独特的选择性吸收特性,利用这种特性采用红外热成像仪或专用的气体分析仪器把不为人们所察觉的气体泄漏变成可以观察到的红外图像或者给出准确的气体浓度值的方法。由于红外探测元件是一个窄带滤光片,只允许某一波长范围内的红外辐射透过,因此可以有效地提高图像的反差与精度。

2.2 电化学法

电化学传感器作为电化学法中的关键部分,其基本原理就是利用待测气体本身所具备的还原或者氧化特性来完成一系列化学反应,并在此过程之中产生一定数量的电子流,最终使得形成的电流呈现出一定的规律和特点,而这种由被测物质所产生的电流值则与其自身的含量之间存在着一定的线性关系。当检测到的信号发生改变的时候,就可以判断出相应的气体种类并得到其中各组分的具体浓度数值。

2.3 大数据分析在气体泄漏检测中的应用

基于大数据分析的技术手段是气体泄漏监控的重要方法之一。从物联感知层获取的大量历史数据经过数据分析处理后可获得生产装置的工艺流程图、关键设备及仪表的位置分布图、重要参数的历史曲线、各主要工况下重要的控制变量(如压力)的变化趋势等相关信息;并综合考虑装置周边地理特征、气象条件等因素,在此基础上应用数据挖掘(Datamining)、机器学习(Machine Learning)等算法构建气体泄漏预报模型。该模型能够根据已知的气体泄漏先兆信号来判定泄露位置,进而推断出气体泄漏的发展方向及其影响范围,并通过报警器向相关工作人员发送告警消息以提醒其注意防范可能存在的安全隐患,避免或减少人员伤亡和财产损失的发生概率。例如,通过分析一段时间内某区域气体浓度的波动情况、温度变化与气体浓度的相关性等数据,模型可以判断该区域是否存在泄漏隐患,以及泄漏发生的可能性和大致时间,为企业采取预防性措施提供科学依据。同时,大数据分析还可用于对气体泄漏事故的原因进行追溯和分析,总结经验教训,优化检测系统和安全管理策略^[3]。

2.4 物联网气体监测系统

利用大量分布于环境中的气体传感器、数据采集器、通信模块以及智能终端构成大规模的网状结构,构建面向化工生产过程的多维度气体感知与监测体系;同时基于互联网协议(Internet Protocol, IP)构建了以 Wi-Fi/Bluetooth/Lora/NB-IoT 等为载体的数据接入层架构,

从而实现了针对复杂工况下各类气体物质的大规模、高精度、低功耗感知及监测。传感器实时采集气体浓度、温度、湿度等数据,并通过无线通信技术(如 Wi-Fi、蓝牙、LoRa、NB-IoT 等)将数据传输至数据采集器,再由数据采集器将数据上传至云端服务器或企业内部的监控平台。在监控平台上,管理人员可以实时查看各个监测点的气体数据,实现远程监控和管理。该系统具有部署灵活、扩展性强、数据传输及时等优点,能够有效提高气体监测的覆盖范围和效率。

3 气体泄漏检测技术在化工安全生产中的应用核心思路

3.1 实时监测与预警

化工安全中应用最为广泛的便是气体泄漏检测技术,尤其是针对现场环境中的在线式连续检测以及事故前后的应急检测。而随着工业的发展,由于生产工艺的要求或操作不当等原因导致气体泄漏的现象屡见不鲜。如果这些可燃性或者有毒有害性的气体发生泄漏后不能得到有效的防范措施的话将会造成不可估量的危害:例如污染空气和土壤水源、破坏生态环境;更严重的还会引起火灾甚至爆炸并伴随有大量人员伤亡事件的发生等。其中半导体型气体泄漏检测器作为众多气体检测手段中最常用的一种便携式仪器设备之一,在化工生产的各个场合都有广泛应用。它利用某些金属氧化物(如二氧化锡)的电阻随周围空气中所含有的某种特定气体分子的含量多少发生变化来测定气体的存在与否及浓度大小的原理进行工作的,即当某一气体存在时会改变半导体表面的电子状态使其阻抗降低从而使电流增大产生电压信号的变化^[4]。通过对这种电信号的变化就可以直接反映出当时所在区域是否含有相应的气体以及它的浓度高低情况以便于采取相关防护措施。

另外,在实现上述目标的同时,本课题还将引入当今比较成熟的气体泄漏检测系统的各种先进技术:如高精度的数据采集、快速而可靠的信号预处理方法及数字滤波器的设计等;利用多种信息融合的方法对气体泄漏进行判别并给出相应的报警等级,并且采用先进的故障诊断算法,从而有效地消除由于外界环境干扰造成的假报警和漏报,提高预警的准确性和可靠性。同时,系统还具备历史数据记录与分析功能,为化工企业的安全生产管理提供科学依据和决策支持。

3.2 巡检与应急响应

气体泄漏检测技术是保障化工企业安全生产的重要手段之一,在巡线及事故处置时起到重要作用。其工

作原理是采用具有较高灵敏度的多种类型传感器(例如:催化燃烧式、电化学式、热导式)组成传感器阵列,配合先进的传感信号采集电路以及各种智能算法,对工业环境中的有毒有害气体(包括氨气、硫化氢、一氧化碳等等),可燃气体(包括甲烷、氢气等),实现在线连续监测。在巡检工作中,通过对预先设定好的巡检路径上各检测点的气体含量进行测量来判断是否存在泄漏隐患;当系统探测到有气体浓度过高的情况发生后,会立刻发出警报并把相关信息传输给中心控制室并通过声音、灯光等方式提示工作人员;而在事故发生后的应急响应期间,可以快速确定出泄漏位置并将相关数据传送给现场抢险队员作为参考依据;另外还可以同自动化控制系统相连接以达到切断阀门等功能从而减少损失程度。

3.3 数据分析与决策支持

气体泄漏检测技术是实现化工安全生产的数据支撑手段之一,在数据分析与决策支持上发挥重要作用。该技术主要是在各生产车间安装具有较高灵敏度的多类气体传感器,通过对生产环境中各种可能存在的危险源(如可燃气体、毒害气体)的浓度值进行连续测量和在线采集,及时向计算机控制系统传输所测得的各种气体的浓度信息;针对获取的大量气体浓度数据采用先进算法对其进行深度分析,发现气体浓度的变化趋势,提前预知可能出现的气体泄漏现象或隐患点位置;通过对以往历史数据以及当前采集到的气体浓度数值进行综合分析,构建适合本企业的气体泄漏风险模型,生成气体泄漏风险评估报告供企业管理人员参考使用;结合大数据分析技术从时间、空间两个维度去研究各个车间内的气体泄漏发生的概率,进而确定最佳巡检线路、最合理的巡检频次;最后以数据分析的结果为基础来指导后续的决策行为:当出现气体浓度异常时,迅速发出警报提示现场工作人员注意避让,并且联动相关设备按照既定程序执行相应动作应对突发事件的发生;同时结合不同类型的气体泄漏事故特征、影响范围大小、造成损失严重程度等因素给出不同的应急响应方案,例如逃生通道的选择、周边区域封锁、救援力量调派等,尽可能减少由于气体泄漏造成的人员伤亡和财产损失。

3.4 系统集成与智能化

在系统集成上:工业环境中的可燃气体泄漏检测系统一般和工厂的核心控制平台(如 DCS, SIS, EPC, EMS)等相连接,在这些平台上可以及时看到气体泄漏检测系统的测量结果;同时也可以把 DAS 的其他相关参数传送到气体泄漏检测系统中来,这样就实现了系统之间的相互融合,从而提高了整个系统的自动化程度及运行可靠性。智能化的应用也是这个系统的一个重要的特点^[5]。通过对所测得的数据进行分析,判断是否有危险性出现,采用 AI(Artificial Intelligence),神经网络等方法建立数学模型,以达到对各种异常情况做出预测的目的。利用机器学习的方法使系统具有自我适应的能力,即随着时间的推移不断提高自身的运算能力并改进计算方式,最终使得检测效果更好。而当发生事故的时候,则会启动相应的预案,比如当某个点上的某一种气体超过一定的含量则发出声光或者其他形式的报警信号,并通过短信、邮件或即时通讯工具等方式,将警报信息迅速传达给相关人员。

4 结束语

综上所述,气体泄漏检测技术在化工安全生产中的应用核心思路分析至此已接近尾声。通过深入剖析不难发现,该技术的引入不仅是对传统安全管理手段的有效补充,更是推动化工行业向智能化、预防型安全管理模式转型的关键驱动力。它凭借高精度、实时性的监测能力,实现了对潜在泄漏风险的早期预警与精准定位,为化工企业构筑起一道坚不可摧的安全防线。

参考文献

- [1] 曹伟洋,王涛,马宏莉,等.基于STM32单片机的便携式室内空气质量检测仪[J].传感器与微系统,2022,41(11):101-104.
- [2] 田忠,常敏,金海勇,等.GIS设备内SF₆气体泄漏检测技术创新研究[J].粘接,2023(1):192-196.
- [3] 徐海洋.气体泄漏检测技术在化工安全生产的应用[J].化工安全与环境,2025,38(03):23-26.
- [4] 林融.智能光谱气体检测技术赋能石化工业安全低碳高端发展[J].自动化仪表,2024,45(04):1-8+13.
- [5] 曹江涛,李泉成,班铭,等.基于红外光谱成像的危险气体泄漏检测技术综述[J].科学技术与工程,2023,23(19):8050-8060.