

化工园区泄漏气体智能监测预警体系研究

郑爱华^{1,2*}, 许晓龙^{1,2}, 郑立金^{1,2}, 吕亚成^{1,2}, 冯 时³, 邹修玮³

(1. 江苏淮安工业园区安全生产监督管理局, 江苏 淮安 223200;

2. 江苏巴德聚氨酯股份有限公司, 江苏 淮安 223200;

3. 南京智谱科技有限公司, 江苏 南京 210000)

摘要:传统以点式气体探测器为主的监测模式在空间覆盖、气云识别和定量分析方面存在明显不足,难以支撑大范围园区的本质安全需求。围绕这一问题,研究在分析点式、线式与面式泄漏气体监测技术特点及适用边界的基础上,构建适用于化工园区的多源监测与智能预警体系。体系由园区高点位大范围扫描监测、重大风险源点位光谱成像监测以及企业既有泄漏监测系统 3 部分组成,以协同监测的方式实现泄漏气团的可视化发现、组分识别与浓度估算,并在统一平台上接入多源数据,开展时空融合、泄漏溯源与风险分级预警。工程化设计与应用表明,该多源监测体系可显著提升泄漏气体监测的空间覆盖和可视化水平,降低漏报与误报风险,为化工园区安全监管和应急指挥提供有效技术支撑。

关键词:化工园区;泄漏气体监测;光谱气体成像;多源监测体系;智能预警

中图分类号:TQ086

文献标志码:A

文章编号:0253-4320(2026)S1-0024-06

DOI: 10.16606/j.cnki.issn0253-4320.2026.S1.005

Research on an intelligent monitoring and early-warning system for gas leaks in chemical industrial parks

ZHENG Ai-hua^{1,2*}, XU Xiao-long^{1,2}, ZHENG Li-jin^{1,2}, LV Ya-cheng^{1,2},
FENG Shi³, ZOU Xiu-wei³

(1. Jiangsu Huai'an Industrial Park Administration of Work Safety, Huai'an 223200, China;

2. Jiangsu Bud Polyurethane Co., Ltd., Huai'an 223200, China;

3. Nanjing Zhipu Technology Co., Ltd., Nanjing 210000, China)

Abstract: Conventional monitoring schemes dominated by point gas detectors exhibit clear limitations in spatial coverage, gas cloud identification, and quantitative assessment, and are therefore insufficient to satisfy the intrinsic safety requirements of large-scale parks. To address this problem, a multi-source monitoring and intelligent early-warning system tailored to chemical industrial parks is developed on the basis of a systematic analysis of the characteristics and applicability boundaries of point-, line-, and area-based gas leak monitoring technologies. The proposed system consists of three coordinated components: wide-area rapid scanning from elevated viewpoints across the park, spectral imaging-based monitoring at key locations around major risk sources, and the integration of existing enterprise leak monitoring systems. Through cooperative monitoring, the system enables visual detection of gas plumes, identification of gas components, and estimation of gas concentrations, while multi-source data are ingested into a unified platform to support spatiotemporal data fusion, leak source tracing, and risk-grade early warning. Engineering design and practical deployment demonstrate that the proposed multi-source monitoring system can substantially enhance the spatial coverage and visualization capability of gas leak monitoring, reduce the risk of missed and false alarms, and provide effective technical support for safety supervision and emergency command in chemical industrial parks.

Key words: chemical industrial park; gas leak monitoring; spectral gas imaging; multi-source monitoring system; intelligent early warning

化工园区集中了大量易燃易爆及有毒有害物质,工艺流程长、装置耦合度高,一旦发生气体泄漏,易诱发爆炸、中毒、火灾等连锁事故,对人员生命安全和周边环境造成严重影响^[1]。2022年,应急管理部发布《化工园区安全风险智能化管控平台建设指南(试行)》^[2],明确提出依托数字化、智能化手段强化安全风险防控,鼓励有条件的园区部署光谱气云成像等视频化监测手段,实现大范围泄漏气体的在

线探测与预警。

围绕泄漏气体监测与预警需求,国内外已形成点式、线式和面式 3 类主要技术路径。点式探测器基于电化学、红外吸收等原理,具有灵敏度高、响应快等特点,是目前应用最广泛的手段^[3];线式监测沿光路获取积分浓度信息,适用于厂界和管廊等条带区域^[4-6];面式监测依托红外光学气体成像及光谱成像技术,实现泄漏气团的远距离可视化识别和

收稿日期:2025-12-16;修回日期:2026-04-07

作者简介:郑爱华(1988-),男,硕士,高级工程师,研究方向为化工园区安全管理、精细化工工艺安全,通讯联系人,zhengaihua1016@163.com。

定量反演,推动园区气体监测由“有无报警”向“可视化与量化”演进^[7-8]。

但现有研究多围绕单一技术或局部场景展开,难以兼顾园区整体、重大危险源及关键设备的协同覆盖;点式报警数据与成像信息之间缺乏有效融合,监测结果与园区安全环保平台、应急预案衔接不足,尚未形成可工程化的智能预警闭环。针对上述问题,本文以典型化工园区为对象,在梳理点式、线式与面式监测技术特点及适用边界的基础上,构建由园区高点位大范围速扫监测、重大风险源点位光谱成像监测以及企业既有泄漏监测系统组成的多源监测与智能预警体系,设计多源数据接入与时空融合方案及泄漏气团可视化识别、组分与浓度研判、泄漏溯源与风险分级预警等业务流程,旨在提升园区泄漏气体监测的空间覆盖与态势感知能力,为安全监管和应急指挥提供可推广的技术路径。

1 气体监测技术现状分析

1.1 点式监测技术

点式气体检测是化工行业中应用最广泛且经验最为成熟的监测方式。该技术通过将非分散红外吸收法(NDIR)、火焰光度法(FID)、光离子化检测法(PID)、电化学、催化燃烧等传感器布设在潜在泄漏源附近,实时监测局部空间的气体浓度^[9]。随着智能化技术的发展,点式探测器逐渐由传统的模拟报警装置发展为具备自诊断、地址编码和多种通信接口的智能终端,能够与集散控制系统(DCS)、紧急停车系统(ESD)、安全仪表系统(SIS)等系统联动。

1.2 线式监测技术

线式气体监测采用可调谐二极管激光吸收光谱(TDLAS)或开路傅里叶变换红外等技术,测量气体对特定波段光的吸收强度,获取沿光路方向的积分浓度信息^[10]。该技术适用于厂界围栏、长距离管廊等场景,可以在不增加探测器数量的情况下扩展监测覆盖范围。随着光源稳定性和信号处理技术的进步,线式监测的精度、抗干扰能力及自动化程度持续提升,并已逐步与报警系统和气象监测系统实现联动。然而,线式技术对通视条件和安装环境要求较高,尤其在设备密集的区域,布设困难;且其获取的是积分浓度数据,难以提供气云的空间分布和泄漏位置,限制了在复杂环境下的精细监测能力。

1.3 面式监测技术

面式监测结合红外成像和光谱成像技术,利用

传感器对气体泄漏进行面阵观测,是近年来泄漏监测领域的重要发展方向^[11-12]。通过特定波段的红外成像,将气体对背景辐射的吸收差异转化为可视化的“气云”,实现远距离非接触式的泄漏检测;进一步地,可利用光谱指纹信息对气体种类和浓度进行反演分析。

相较于点式和线式监测,面式监测具有显著的远程探测、广覆盖和可视化优势,适用于园区高点对大型储罐区和复杂装置的全范围巡视。2007年,美国FLIR公司推出基于气体泄漏热成像技术的GasFindIR™系列,采用制冷型InSb焦平面探测器,用于多种挥发性有机化合物(VOC)和烃类气体的可视化检测,随后又研发用于SF₆监测的长波型号GasFindIR™ LW以及高灵敏度GasFindIR™ HSX^[13-15]。法国Bertin公司Second Sight系列气体热像仪结合双宽带滤光片与辐射差分技术,实现气云提取及气体种类和浓度范围判别^[16-17]。美国PAT公司基于IMSS技术研制Sherlock系列成像光谱仪,用于泄漏成像和废气监测^[18]。Rebellion Photonics公司推出的GCI气体成像仪在高空间分辨率和视频帧率下实现烃类气体泄漏的实时可视化监测^[19-20]。

然而,该系统的硬件成本较高,并且对环境背景和算法模型依赖较大,数据量和计算量较大,因此通常需要与点式监测系统配合使用,以兼顾经济性和可靠性。

1.4 技术对比与分析

从表1可见,点式、线式与面式3类技术在探测原理与应用特征上各有侧重。点式以NDIR/FID/PID、电化学、催化燃烧等为代表,属“空间离散点”

表1 技术对比表

技术类型	点式	线式	面式
代表技术	NDIR/FID/PID/ 电化学、催化燃烧	TDLAS/FT-IR	光谱成像
可测物质	可燃、有害气体 单种传感器仅能 检测单种气体	可燃、有害 气体 可检测多种 气体	可燃、有 害气体 可同时监测 多种气体
响应时间	秒级	秒级	秒级
探测距离	0 m 接触式	≤200 m (TDLAS)	≥500 m
重复性	需定期维护	需定期校准	无需校准
结果呈现	数值	数值	图像

探测;线式主要采用 TDLAS、开路傅里叶变换红外光谱 (FT-IR) 等开路吸收技术,沿光路线获取积分信息;面式则依托光谱成像,以面阵像元实现视场内多点同时观测。3 者均可用于可燃和有毒有害气体监测,但面式技术更适合在同一视场内实现多组分同步识别。

在性能与工程属性方面,3 类技术响应时间均为秒级,但检出限和覆盖尺度存在明显差异:点式和线式以浓度单位 mol/L 为主要表征指标;面式凭借高灵敏探测能力,探测距离可达数百米以上,单次测量可获得大量空间采样点。3 类设备均可满足相应防爆、防护等级要求,其中面式系统可在提供图像化结果的同时叠加定量信息和告警标识。

综上,点式适合作为关键设备和作业点的近场报警手段,线式适用于厂界及通道的条带监控,面式则承担园区高点远距离可视化监测功能。化工园区泄漏气体安全管控不宜依赖单一技术,而应在上述特性基础上进行分层配置与优势互补,为构建多源融合的智能监测预警体系奠定技术基础^[21]。

2 需求分析

化工园区重大危险源高度集聚、工艺耦合程度高,泄漏事故具有突发性和联动性。既往事故表明,园区在泄漏早期普遍存在发现不及时、泄漏位置和影响范围判定不准确等问题,难以满足安全生产和环境保护法规对园区级风险预警和统一指挥的要求,因此需要在园区整体尺度上提升泄漏气体的实时感知与态势认知能力^[22-23]。

从功能上看,监测体系应实现多尺度空间覆盖与多气体种类监测:一方面兼顾园区高点远距离巡视与重点装置、储罐、装车等部位的近场高灵敏报警;另一方面覆盖主要可燃气体和有毒有害气体,在“有无泄漏”判断基础上,进一步提供泄漏位置、扩散方向和影响范围等可视化信息,为警戒区划定和应急决策提供依据。

从系统层面看,监测体系需与园区现有安全环保一体化平台及企业气体检测报警系统兼容,支持多品牌点式探测器及高点成像设备的统一接入与管理,实现多源异构数据的时空融合、分级预警与联动处置;同时在防爆、防护、抗干扰和运行维护成本方面具有工程可行性和扩展空间,为后续多源监测体系构建奠定基础。

3 泄漏气体智能监测预警体系构建

结合园区风险分布特征和监测需求,泄漏气体智能监测预警体系总体遵循“分区分级布设、点面协同感知、多源统一接入、平台智能研判”的建设思路。体系自下而上可划分为现场监测层、通信与接入层、监测预警平台层和业务应用层,其中现场监测层由高点位大范围速扫监测子系统、重大风险源周界成像监测子系统以及企业既有泄漏监测系统融合子系统构成,形成自外向内、由粗到细的立体监测防线。

在空间布局上,以园区风险评估结果为基础,将园区划分为重大风险区、较大风险区和一般风险区,同时标注规划建设企业、危化品停车场、危化品码头以及穿园天然气管道等敏感目标;在此基础上,按照“优先覆盖重大风险源及其下风向公共区域、兼顾管道及道路走廊、统筹考虑环境敏感点”的原则确定监测区域和视场范围。技术选型方面,综合介质光谱特性、泄漏形式和视距条件,采用高光谱气体泄漏监测光谱摄像机、气体泄漏监测光谱摄像机、傅里叶变换红外光谱等面式监测设备,与各企业既有的点式可燃/有毒气体报警器形成互补。

3.1 高点位大范围速扫监测子系统

高点位监测子系统依托园区现有通信铁塔、厂区高层建筑等制高点布设监测单元,高点高度一般为 40~50 m,配置非防爆型高光谱气体泄漏监测光谱摄像机,并预留与傅里叶红外气体分析模块联接的接口。根据视野条件,每个高点可覆盖半径约 1~2 km 的区域,将多个企业以及园区道路、河道、天然气管道沿线等一并纳入监测视场,实现园区尺度的远距离巡查。

运行方式上,高点设备采用预设扇区轮巡与重点方向定向监测相结合的模式:一方面对主导风向下游、重大危险源集中区等区域进行高频扫描,保证对可能泄漏通道的持续关注;另一方面以较低频率覆盖整个可视区域,避免出现长期“盲区”。当系统识别到异常光谱特征或明显气团图像时,自动标记疑似泄漏区域,给出初步气体种类研判和柱浓度估算结果,并将告警及位置信息推送至平台,为后续周界精细监测和现场核查提供方向指引。

3.2 重大风险源周界成像监测子系统

重大风险源周界成像监测子系统围绕储量大、毒性强或易燃易爆的罐区、装卸区、危化品停车场等

部署防爆型气体泄漏监测光谱摄像机。设备一般通过厂区楼顶、对面建筑立杆或厂外绿化带高杆等方式安装,监测距离约 200~500 m,可覆盖罐区本体及厂界附近下风向区域。通过合理配置视场方向,使监测视线尽可能与潜在泄漏羽流的主要扩散路径一致。

与高点位速扫监测相比,周界成像更接近泄漏源,空间分辨率更高,可对小规模泄漏、间歇性放空以及低高度扩散过程实现连续成像观测。多机位交叉布设后,可利用不同视角对同一气团进行几何反演,提高泄漏源定位精度,并为后续扩散模拟和影响评估提供边界条件。对于氨、环氧乙烷、环氧丙烷等高风险介质,周界成像监测构成储罐周边和厂界方向的“重点防线”,在高点监测和企业点式报警之间形成有效过渡。

3.3 企业既有泄漏监测系统融合子系统

园区内各企业已广泛配置可燃气体、有毒有害气体检测报警系统,在储罐、反应设备、泵阀及作业点附近布设大量点式探测器。融合子系统通过采集终端或协议转换网关,在不改变原有安全仪表功能和报警逻辑的前提下,将各企业 GDS 系统中的浓度数据和报警事件统一采集到园区级平台,实现多品牌、多协议点式监测设备的集中接入和统一编码管理。

点式监测在整体体系中承担“近场高灵敏报警”的基础作用:一方面构成设备层面的第一道防线,能够在尚未形成明显气团图像前发出预警;另一方面,其报警信息与高点、周界成像监测结果进行交叉验证,可有效降低单一技术可能出现的误报、漏报风险。

3.4 监测预警平台与多源融合机制

监测预警平台通过专用数据接入服务器和标准通信协议,将高点位光谱成像、重大风险源周界成像以及企业点式监测数据统一汇聚,并与气象监测、工艺运行、罐区液位等辅助信息同步管理。平台基于设备位置、视场范围和时间戳信息,对多源数据进行时空配准,叠加园区电子地图、风险分区图和天然气管道走向,形成统一的泄漏风险态势底图。

在分析研判环节,平台对成像数据执行气云目标检测、轮廓提取和运动轨迹分析,利用光谱指纹进行气体种类识别和柱浓度估算;同时,将这些结果与点式浓度数据、主导风向和下风向敏感目标等信息进行综合比对,形成对泄漏位置、扩散方向和潜在影

响范围的综合判定。根据气体种类、浓度水平、持续时间以及受影响区域等情况,设置多级预警阈值,实现不同等级的自动告警和联动响应。

3.5 业务应用与运行机制

在业务应用层面,监测预警平台通过大屏、Web 端和移动终端等方式,为园区管委会、安全监管部門和企业值守人员提供统一的监测界面。系统可实时展示各类监测设备状态、监测覆盖范围、告警点位以及气云扩散态势,并支持历史回溯和事件重放,用于事故分析和管理评估。

运行机制方面,通过制定监测设备巡检维护制度和数据质量控制规范,保证高点设备、周界成像设备和点式探测器长期稳定运行;同时预留扩展接口,便于根据园区发展和风险变化情况增设新的监测点位或接入走航、无人机等临时监测手段。通过上述体系构建,实现了从单点报警向园区尺度、全时空的泄漏气体智能监测预警的转变,为后续典型园区应用提供了可执行的技术路线。

4 实例分析

以某化工园区为例,对前述监测预警体系进行工程化布设。根据园区行业布局、介质种类和重大危险源评估结果,将实联化工、富强新材、巴德、晨化新材等罐区密集、危险度较高企业划定为重大风险区域,将其周边部分企业及公共区域划分为较大风险区域,其余区域划分为一般风险区域;同时标注了危化品停车场、规划建设企业、危化品码头以及穿园天然气管道和环保兼顾走廊,为监测点位优化提供空间约束。

在高点监测层面,设置两个高点位监测单元:高点 1 利用实联大道晨化新材东侧现有通信铁塔安装非防爆型高光谱气体泄漏监测光谱摄像机,监测半径约 50 m~2 km,可覆盖晨化新材、实联化工、新东风等企业群及其下风向公共区域;高点 2 利用盐都路与西环路交叉口通信铁塔安装同类设备,重点覆盖富强新材、双阳化工等企业及园区西部道路走廊。两处高点视场在园区中部形成交叠,实现对主要危险源集中区和交通要道的宏观巡视。

在重大风险源周界成像监测层面,将 11 处重点监测企业及高点位纳入统一配置:例如,在富强新材实联大道一侧通信铁塔上安装制冷型非防爆光谱摄像机,对苯和甲醇储罐进行 500 m 量级监视;在富强新材厂区内部新建 7~10 m 高立杆安装防爆型光谱

摄像机,监测丙烯、环氧丙烷和液氨球罐;在巴德、斯德瑞克、禾裕泰、利宏科技等环氧乙烷相关企业,则利用厂房楼顶或对面建筑加装立杆布设防爆型光谱摄像机,对环氧乙烷罐区及其下风向区域进行 200 m 量级成像监测;在实联化工、晨化新材、艾科维等涉及氨和液氨的企业,则分别在现有铁塔或厂外道路绿化带新建高杆,重点关注氨气储存和装卸区域的泄漏风险。

同时,通过采集终端将各企业原有的可燃/有毒气体报警系统统一接入园区安全环保平台,使点式报警数据与上述高点、周界成像结果进行叠加显示。实际运行中,一旦高点或周界成像设备识别到疑似气团,平台可立即检查对应区域点式探测器的浓度变化情况,并结合实时风向风速,推演可能的泄漏源和影响范围;反之,当某企业点式报警器触发报警时,系统也会自动调取相关高点或周界成像画面,辅助值守人员进行核实。

图 1 给出了所构建泄漏气体智能监测预警体系在典型工况下的监测结果,包括装卸区、球罐、拱顶罐及管道等多种装置结构与泄漏形态。监测系统能够在复杂工业背景下自动识别泄漏气团区域,并以伪彩色气云叠加形式对其空间分布进行可视化表征,同时在图像上实时标注柱浓度等关键定量指标,完成泄漏位置、外延范围与浓度水平的一体化展示。装卸作业、罐区及管道场景的结果表明,系统对不同高度、不同尺度及不同流向的泄漏羽流均保持较高的空间分辨能力和轮廓跟踪稳定性,体现出较好的场景适应性和工程应用可靠性。

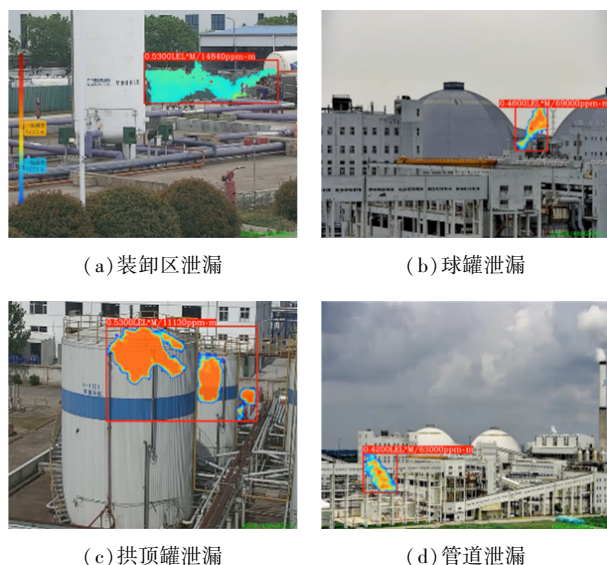


图 1 泄漏气体智能监测预警体系监测结果

该实例表明,在不大幅增加企业端改造工作量的前提下,园区通过合理选取高点位置和重点企业布点,实现了对重大危险源和关键公共区域的点-面一体化覆盖,验证了多源融合监测预警体系在复杂化工园区中的工程可行性和推广价值。

5 结论

围绕化工园区泄漏气体安全管控需求,本文在分析点式、线式与面式监测技术特点及适用边界的基础上,构建了由园区高点位大范围速扫监测、重大风险源周界成像监测以及企业既有泄漏监测系统融合组成的多源协同监测预警体系。工程应用表明,该体系能够在园区尺度上形成“高点巡视一周界成像—近场报警”的分层监测格局,实现对罐区、装卸区、管道走廊及公共区域的较为完整覆盖,相比传统以点式探测器为主的模式,有效缩小了监测盲区,提升了泄漏事件的发现效率和空间定位精度。

依托光谱成像与定量反演算法,监测系统可同步给出泄漏气团的空间分布、扩散路径及浓度水平,实现泄漏形态与风险量化的一体化表达;结合园区级安全环保平台的多源数据接入与时空融合能力,建立了跨企业的联动预警机制,在综合研判和应急指挥支撑方面优于传统“各自为战”的监测模式。与此同时,当前工作在复杂气象条件、多组分混合泄漏工况下的定量精度验证,以及预警阈值与联动策略对极端场景的适应性方面仍存在不足。后续将结合更多园区实测数据,引入数据驱动的智能识别与风险评估方法,加强与应急演练、隐患治理等业务的协同应用,以持续完善化工园区泄漏气体智能监测预警体系。

参考文献

- [1] 中国环境科学学会.T/CSES 98—2023 化工园区有毒有害气体健康风险监控预警技术指南[S].北京:中国环境科学学会,2023.
- [2] 应急管理部.化工园区安全风险智能化管控平台建设指南(试行)[R].2022.
- [3] Hong T, Culp J T, Kim K J, *et al.* State-of-the-art of methane sensing materials: A review and perspectives[J]. *TrAC Trends in Analytical Chemistry*, 2020, 125: 115820.
- [4] Yang H, Bu X, Song Y, *et al.* Methane concentration measurement method in rain and fog coexisting weather based on TDLAS[J]. *Measurement*, 2022, 204: 112091.
- [5] Shu S, Liu J, Xu L, *et al.* Real-time simulation of clear sky background radiation in gas infrared remote sensing monitoring[J]. *Pho-*

- tonics, 2024, 11(10):904.
- [6] Hu Y, Xu L, Shen X, *et al.* Reconstruction of a leaking gas cloud from a passive FT-IR scanning remote-sensing imaging system[J]. *Applied Optics*, 2021, 60(30):9396-9403.
- [7] Hagen N. Survey of autonomous gas leak detection and quantification with snapshot infrared spectral imaging[J]. *Journal of Optics*, 2020, 22(10):103001.
- [8] Kang R, Liatsis P, Kyritsis D C. Emission quantification via passive infrared optical gas imaging: A review[J]. *Energies*, 2022, 15(9):3304.
- [9] 张志浩, 王荣翔, 杨豪杰. 化工生产中有毒有害气体泄漏监测技术研究[J]. *石化技术*, 2025, 32(8):77-79.
- [10] Schill S R. Real-world application of open-path UV-DOAS, TDL, and FT-IR spectroscopy for air quality monitoring at industrial facilities[J]. *Spectroscopy*, 2022, 37(10):10-15.
- [11] Sjunnebo J. Hyperspectral imaging for gas detection[D]. Stockholm: KTH Royal Institute of Technology, 2015.
- [12] Cai L, Shi Z, Zi C, *et al.* Concentration-aware real-time 3D reconstruction of leaking gas clouds based on two-view bandpass optical gas imaging[J]. *Optics Express*, 2025, 33(3):5310-5327.
- [13] Lisowska-Lis A, Siudut P. Detection of ammonia leak in laboratory conditions using a FLIR 306 camera and a portable gas detector[J]. *Science, Technology and Innovation*, 2020, 8(1):35-41.
- [14] Watremez X, Marblé A, Baron T, *et al.* Remote sensing technologies for detecting, visualizing and quantifying gas leaks[C]. *SPE International Conference and Exhibition on Health, Safety, Environment, and Sustainability*. SPE, 2018; D021S006R003.
- [15] Barber R, Rodríguez-Conejo M A, Melendez J, *et al.* Design of an infrared imaging system for robotic inspection of gas leaks in industrial environments[J]. *International Journal of Advanced Robotic Systems*, 2015, 12(3):23.
- [16] Bernascolle P F, Elichabe A, Fervel F, *et al.* Stand-off CWA imaging system; Second sight MS[C]. *Chemical, Biological, Radiological, Nuclear, and Explosives (CBRNE) Sensing XIII*. SPIE, 2012, 8358:333-339.
- [17] Naranjo E, Baliga S, Park J, *et al.* IR gas cloud imaging in oil and gas applications; Immunity to false stimuli[C]. *Thermosense; Thermal Infrared Applications XXXIII*. SPIE, 2011, 8013:91-100.
- [18] Hinnrichs M. Infrared hyperspectral tunable filter imaging spectrometer for remote leak detection, chemical speciation, and stack/vent analysis applications[C]. *Instrumentation for Air Pollution and Global Atmospheric Monitoring*. SPIE, 2002, 4574:144-152.
- [19] Ondrey G. Capture realtime images of gas leaks with this technology[J]. *Chemical Engineering*, 2013, 120(11):10-11.
- [20] Kester R T, Walker C, Hagen N. A real-time gas cloud imaging camera for fugitive emission detection and monitoring[C]. *Applied Industrial Optics; Spectroscopy, Imaging and Metrology*. Optica Publishing Group, 2012; AW1B.1.
- [21] Zimmerle D, Vaughn T, Bell C S, *et al.* Detection limits of optical gas imaging for natural gas leak detection in realistic controlled conditions[J]. *Environmental Science and Technology*, 2020, 54(18):11506-11514.
- [22] Li K, Duan S, Pang L, *et al.* Chemical gas telemetry system based on multispectral infrared imaging[J]. *Toxics*, 2023, 11(1):83.
- [23] Buckland K N, Gålfalk M, Olofsson G, *et al.* Tracking and quantification of gaseous chemical plumes from anthropogenic emission sources with airborne hyperspectral LWIR imaging[J]. *Remote Sensing of Environment*, 2017, 191:81-94. ■

中化塑料完成首船万吨乙醇散水出口越南

近日,中化塑料首船万吨乙醇完成装运,正式启航出口越南。此次交付实现了中国对越南乙醇散水出口“零的突破”,为国内大宗商品国际化开辟了新路径。

精准的市场研判是此次出口突破的关键。2025年上半年,中化塑料敏锐捕捉到越南将于2026年4月在该国推广乙醇的政策机遇。经调研,当地年乙醇需求高达100万t,而有效产能仅30万t,供需缺口巨大;同时,美国

乙醇需缴纳5%进口关税,为中国产品创造有利竞争优势。

面对当地市场壁垒,中化塑料充分发挥产业链协同优势:渠道端,对接东亚大型乙醇分销商与生产企业,依托其在东南亚地区的长包罐储运资源及成熟的本地销售网络,打通流通链路;供应端,联动国内头部生产商,优先调配产能、稳定货源,高效保障首单万吨订单如期履约。

(中化塑料)