

# 化工企业职业卫生评估中便携式气相色谱-质谱联用仪的应用

王斌 莫智高 王佳丽

浙江新鸿检测技术有限公司 浙江嘉兴 314000

**【摘要】**在化工企业职业卫生评估进程中，凭借独特技术优势，便携式气相色谱-质谱联用仪发挥着不可替代的关键作用，该仪器把气相色谱分离技术跟质谱检测技术融合起来，拥有便携可移动、响应迅速、多组分高灵敏检测等特点。依靠合理规划现场采样方案，规范好仪器操作与数据处理环节，可高效实现化工环境有害物质检测目标，有实际事例佐证，跟传统评估方法比，它对职业危害的评估更及时精准，便携式气相色谱-质谱联用仪为化工企业职业卫生的动态监测及科学防控给予了有力技术保障。

**【关键词】**便携式气相色谱-质谱联用仪；化工企业；有害物检测；动态监测

Application of Portable Gas Chromatography-Mass Spectrometry (GC-MS) in Occupational Health Assessment for Chemical Enterprises

Wang Bin Mo Zhigao Wang Jiali

Zhejiang Xinhong Testing Technology Co., Ltd. Jiaxing, Zhejiang 314000

**【Abstract】**In the occupational health assessment process of chemical enterprises, the portable gas chromatography-mass spectrometry (GC-MS) instrument plays an irreplaceable key role due to its unique technical advantages. This instrument integrates gas chromatography separation technology with mass spectrometry detection, featuring portability, rapid response, and high-sensitivity multi-component analysis. Through well-planned on-site sampling protocols and standardized instrument operation and data processing, it efficiently achieves the detection objectives for harmful substances in chemical environments. Practical cases demonstrate that compared to traditional assessment methods, GC-MS provides more timely and accurate occupational hazard evaluations. The portable GC-MS instrument offers robust technical support for dynamic monitoring and scientific prevention of occupational hazards in chemical enterprises.

**【Key words】**portable gas chromatography-mass spectrometry; chemical industry; detection of hazardous substances; dynamic monitoring

## 引言

在化工行业生产运转阶段，各类有毒有害气体跟化学物质的暴露可能性，对从业者职业健康构成重大威胁，职业卫生评估是极为关键的，传统检测手段具有时效性较差、灵活性不足等弊病，较难契合复杂多变的化工场景需要。跟随检测技术的进展，便携式气相色谱-质谱联用仪随技术发展诞生，其将质谱精准定量与气相色谱高效分离的优势予以结合，能实现现场即时性检测能力，它为化工企业职业卫生评估实现新的突破，可以即时捕捉有害物的资讯，支持企业即刻开展防控行动，护卫员工身体无恙，在化工职业卫生范畴具备广泛应用前景与研究意义。

## 1. 便携式气相色谱-质谱联用仪技术原理

### 1.1 气相色谱分离技术原理

气相色谱分离技术依靠各组分在固定相与流动相之间分配系数存在的差异实现混合物的分离，处于化工企业职业卫生评估这一场景中，待分析空气样本或采集的气体样品用作流动相，凭借载气的推动进入色谱柱<sup>[1]</sup>。固定相材料填充或涂覆进了色谱柱里，不同化学性质的有害物分子跟固定相

发生吸附、溶解等相互作用程度有不同之处，造成其于色谱柱中的保留时间出现差别，沸点低、与固定相相互作用力弱的组分先从色谱柱流出，而沸点高、与固定相之间作用力强的组分后流出，最终让复杂混合样品中的多组分得以高效分离，为后续质谱检测供应单一且纯净的分析样本。

### 1.2 质谱检测技术原理

质谱检测技术借助把样品分子电离为带电离子达成操作，借助电场或磁场中不同离子质荷比 ( $m/z$ ) 的差别来实现分离与检测，处于化工职业卫生监测阶段，气相色谱分离出的组分进到质谱仪离子源，采用电子轰击、化学电离等形式的电离方法，样品分子失去电子后，产生带正电荷的分子离子，或进一步裂变成碎片离子。于质量分析器内有这些离子，依照质荷比的差别实现空间或时间上的分开，而后被检测器给捕获<sup>[2]</sup>。检测器把离子流信号转变成电信号，并且记录离子的相对丰度及质荷比，得到质谱图貌，经过对质谱图中特征离子峰质荷比与强度信息的研判，能达成对化工环境有害物的定性辨别与定量测定。

### 1.3 联用技术的协同工作机制

气相色谱-质谱联用技术将气相色谱高效分离本领与质谱强大的定性定量作用有机整合，处于化工企业职业卫生评估的流程期间，气相色谱法对复杂的现场样品进行初步分

离,把混合物转变为依据保留时间逐个流出的单一组分;流出的组分借助接口装置无损耗地传输至质谱仪<sup>[3]</sup>。质谱仪对进入的单一化合物展开电离及质量分析,获取此化合物特征质谱信息,二者携手合作,气相色谱破除了样品复杂体系的分离困境,质谱矫正了气相色谱定性能力存在的不足,达成了对化工环境里挥发性、半挥发性等多种有害有机物的快速精准鉴定与浓度测量,为职业卫生评估提供完整可靠的数据后盾。

## 2. 便携式气相色谱 - 质谱联用仪的技术特点

### 2.1 便携性设计与移动检测优势

便携式气相色谱 - 质谱联用仪设计突破传统大型分析仪器体积与重量限制,借精密模块化、集成化架构实现便携性能提升,仪器运用微型化色谱柱(长度多为 5 - 15 m,内径 0.18 - 0.25 mm)和小型化质谱真空系统,把气相色谱模块与质谱检测模块集成为紧凑单元。微机电系统(MEMS)技术构建气路控制组件,让仪器整体尺寸缩至约 500mm × 400mm × 300mm,重量控制在 15 - 25 kg 范围,仅为传统实验室设备的 1/3 - 1/5。仪器配备高效锂电池组,续航时间达 4 - 6 小时,还支持车载电源或便携式发电机供电,保障无外接电源的化工现场持续运行<sup>[4]</sup>。

移动检测场景里,该仪器彰显显著灵活性与时效性优势。某化工园区突发泄漏事故应急检测时,检测人员 10 分钟内携带仪器到事故核心区域,在泄漏点周边 3 - 5 米范围内直接采样分析。传统检测流程需先采集样品密封送检,实验室分析周期约 2 - 4 小时,而便携式仪器 15 分钟内完成采样、分离到质谱检测全流程,即时获取苯、硫化氢等泄漏物质种类与浓度数据。

### 2.2 快速响应与实时分析能力

便携式气相色谱 - 质谱联用仪快速响应靠先进硬件架构与智能算法协同。色谱分离部分,仪器有微型化快速升温色谱柱温控系统,用新型导热材料和高效加热元件,升温速率达 40℃/min,远超传统实验室气相色谱仪 10 - 15℃/min,极大缩短组分分离时间。某石化企业作业区检测苯系物,传统仪器全组分分离要 20 - 30 分钟,便携式设备 8 - 12 分钟就能完成<sup>[5]</sup>。质谱检测模块配备高分辨率飞行时间质谱(TOF

- MS)或快速扫描四极杆质谱,扫描速度 10000 u/s,单次全扫描 0.1 - 0.2 秒,实现毫秒级离子信号捕捉。

### 2.3 多组分同时检测与高灵敏度特性

便携式气相色谱-质谱联用仪优化色谱-质谱接口技术与复合扫描模式,实现复杂体系多组分高效分离同步检测。色谱分离端用微径毛细管色谱柱和梯度洗脱程序,结合固定相极性优化提升峰容量。某农药生产企业检测中,仪器单次进样分离定性氯氰菊酯、毒死蜱等 12 种有机磷农药及苯、丙酮等 8 种有机溶剂,分离度均超 1.5,满足准确定量需求。

仪器高灵敏度检测靠高增益离子源与超低噪声检测器。以电子轰击离子源(EI)为例,优化离子聚焦透镜参数和电离电压使离子化效率提升 30%以上,搭配低温冷却型检测器降低背景噪声,痕量物质检测能力达 mg/m<sup>3</sup> 级别。某电子化学品车间检测中,仪器检出浓度 0.3 mg/m<sup>3</sup> 的多氯联苯(PCBs),远低于职业接触限值(PC-TWA: 10 mg/m<sup>3</sup>)。选择离子监测(SIM)与多反应监测(MRM)模式可提升信噪比,如 SIM 模式下苯检测限 0.05 μg/m<sup>3</sup>,较全扫描模式灵敏度提高 10-20 倍,为化工企业低浓度、高毒性物质检测提供技术保障。

## 3. 化工企业职业卫生评估中的应用流程

### 3.1 现场采样方案设计

现场采样方案需综合考虑化工企业生产工艺、作业区域划分及潜在危害因素分布。依据《工作场所空气中有害物质监测的采样规范》(GBZ 159-2004),采用定点采样与个体采样相结合的方式。在采样点布设上,对于反应釜、储罐区等污染源附近,每 10-20 平方米设置 1 个采样点;在人员活动频繁的操作岗位,按每个岗位 1-2 个采样点进行布置。采样时间根据污染物特性确定,对于挥发性强的苯系物,单次采样时间为 15 分钟;对于半挥发性有机物,采用长时间采样(2-4 小时)。采样体积需满足仪器检测要求,通常采集 1-5L 空气样品,若污染物浓度较低,可通过富集装置将采样体积扩大至 10-20L。需设置平行样(每个采样点至少采集 2 个平行样品)和空白对照样品,以确保数据的准确性和可靠性。现场采样方案设计见表 1。

表 1 现场采样方案设计

采样区域	采样点数量	采样方式	采样时间	采样体积	平行样数量
反应釜操作区	3	定点采样	15min	2L	2
储罐区	2	定点采样	30min	3L	2
包装车间操作岗	4	个体采样	4h	20L	2

### 3.2 仪器现场操作与样品分析流程

开展仪器现场操作前,需进行预热及校准操作,便携式气相色谱 - 质谱联用仪预热时间一般为 10 - 15 分钟,依靠标准气体(就如苯系物混合标准气,借助浓度 10 μg/m<sup>3</sup> 的气体对质量轴与灵敏度予以校准,校准工作结束后,凭借气密性进样装置把采集的样品导入仪器。把气相色谱分离条件设置成:初始阶段柱温为 40℃,留存 2 分钟,采用 10℃/

分钟的升温速率升温到 250℃,载气流量控制范围设定为 1 - 2mL/min,质谱检测采用全扫描(SCAN)和选择离子监测(SIM)相互结合模式,扫描范围界定为 35 - 300m/z,每进行一次扫描需时 0.5 秒。于样品分析操作期间,每隔 10 个样品便要插入一个已知浓度标准样品形式的质控样品,保证检测结果的精准度,以某化工企业检测事宜为例,实施对含有苯、甲苯、二甲苯样品的分析,仪器完成分离检测仅需

12分钟,检测时苯的检出限可至 $0.1\mu\text{g}/\text{m}^3$ ,甲苯以及二甲苯的检出限为 $0.2\mu\text{g}/\text{m}^3$ 。

## 4. 实际应用案例分析

### 4.1 典型化工企业检测案例介绍

以某大型石油化工企业作为典型案例选取,该企业主要把乙烯、苯乙烯等有机化工产品作为生产对象,生产车间涉及催化裂化、精馏、聚合等不同工艺阶段,存在苯、甲苯、二甲苯、硫化氢和苯乙烯等一系列职业危害因素。评估团队

表2 某化工企业部分区域污染物检测数据表

检测区域	污染物种类	平均浓度 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	职业接触限值 (PC-TWA, $\text{mg}/\text{m}^3$ )	超标倍数
反应装置区 A	苯	$8.5 \times 10^3$	6	1.42
中间罐区 B	甲苯	$3.2 \times 10^4$	50	0.64
装卸区 C	苯乙烯	$1.8 \times 10^3$	50	0.04
质检分析室 D	硫化氢	5.2	10	0.00052

根据《工作场所有害因素职业接触限值 化学有害因素》(GBZ 2.1-2019),反应装置区 A 的苯浓度超标 1.42 倍,表明该区域作业人员长期暴露存在苯中毒风险;中间罐区 B 的甲苯浓度虽未超标,但接近限值,需加强通风及人员防护;苯乙烯和硫化氢浓度均在安全范围内。结合检测数据,评估团队判定该企业反应装置区和中间罐区为高风险区域,

表3 便携式气相色谱-质谱联用仪与传统实验室气相色谱法对比

对比项目	便携式气相色谱-质谱联用仪	传统实验室气相色谱法
单次检测时间	10-15分钟	1-2小时
检测周期(含采样分析)	现场实时完成	3-5个工作日
检测限(苯)	$0.1\mu\text{g}/\text{m}^3$	$1\mu\text{g}/\text{m}^3$
多组分同时检测能力	支持数十种甚至上百种	需多次进样检测
应急响应能力	可快速抵达现场检测	难以满足应急需求
检测成本(单次)	约800元	约1500元

可见,便携式气相色谱-质谱联用仪在检测效率上较传统方法提升4-12倍,检测限降低90%,能大幅缩短化工企业职业卫生评估周期,且单次检测成本降低约46.7%。同时,其现场实时检测特性可及时发现突发污染事件,为企业职业卫生管理提供更高效、精准的技术支持。

## 5 结语

在化工企业职业卫生状况评估范畴内,凭借其先进技术与高效性能,便携式气相色谱-质谱联用仪在领域中脱颖

借助便携式气相色谱-质谱联用仪检测其核心生产区域,涉及反应装置区、中间罐区、装卸区和质检分析室等12个重点地带,合计设置28个采样点,当中有20个是定点采样点,个体采样点达8个,采样周期设定为连续三个工作日,每天于早、中、晚时段分别进行采样,借此全面捕捉污染物浓度的起伏规律。

### 4.2 检测数据与职业危害评估

经便携式气相色谱-质谱联用仪检测,部分区域检测数据如下表2所示。

需立即采取加装局部排风系统、更换密封装置等措施降低污染物浓度。

### 4.3 与传统检测方法的对比分析

将便携式气相色谱-质谱联用仪的检测结果与传统实验室气相色谱法进行对比,结果如下表3所示。

而出,其把质谱检测技术跟色谱分离技术融合,实现现场快速又精准的研判,有效攻克传统方法时效性差这类问题。在实际应用场景里,对自采样至结果输出的全流程进行优化,为防控职业危害给予可靠支撑,纵然存在一定范围内的局限,但随着技术日益精进,其应用的前景展现得极为广阔,预期可长久推动化工企业职业卫生评估技术改进,更有力地守护从业者健康及企业安全生产。

## 参考文献

- [1]李黎明.气相色谱法/便携式顶空-气相色谱质谱法测定水中三氯乙醛方法研究[J].中国轮胎资源综合利用, 2025, (02): 31-33.
- [2]常珍珍,武国强.便携式气相色谱-质谱联用仪的计量特性校准[J].山西化工, 2025, 45 (01): 111-113.
- [3]李黎明,李家兵,廖俊钢,等.便携式顶空-气相色谱/质谱现场测定水环境中的三氯乙醛方法研究[J].广州化工, 2024, 52 (14): 85-87.

作者简介:王斌(1990—),身份证号码:33072719900610291X,男,汉族,浙江嘉兴,本科,中级工程师,从事工作为化工安全技术与管理。