

气相色谱法测定非甲烷总烃准确度影响因素及优化措施研究

丁 双 肖其武 柳思云

中能建葛洲坝工程科技有限公司 湖北 宜昌 443000

摘 要：非甲烷总烃是环境空气与废气监测的核心指标，气相色谱法是其定量检测的主流技术，检测结果的准确度直接决定组分分析与数据研判的有效性。本文系统剖析仪器设备、样品预处理、实验操作、环境条件等维度对检测准确度的干扰机制，针对性梳理各类误差来源的作用机理，结合色谱检测核心原理提出精细化优化调控方案，为提升非甲烷总烃检测数据的稳定性与精准度提供技术支撑。

关键词：气相色谱法；非甲烷总烃；检测准确度；误差因素；优化策略

引言：非甲烷总烃泛指除甲烷外所有挥发性碳氢化合物及其衍生物，其浓度表征直接反映气体介质中挥发性有机物的污染负荷。气相色谱法凭借分离效能高、选择性强、灵敏度优异的技术优势，成为非甲烷总烃定性定量检测的核心方法。实际检测过程中，多维度隐性干扰因素易引发基线漂移、组分分离不完全、定量偏差等问题，导致检测准确度下降。基于色谱检测技术原理，精准识别各类干扰因素并构建系统化优化体系，是保障检测数据可靠性的关键。

1 气相色谱法测定非甲烷总烃的技术原理

气相色谱法检测非甲烷总烃的核心依托色谱分离与氢火焰离子化检测协同作用机制，整体检测流程分为分离、响应、定量三个核心环节。待测气体样品经进样系统匀速导入色谱柱后，依据甲烷与非甲烷烃类组分在固定相、流动相中的吸附、溶解分配系数差异，实现不同组分的时序性分离。率先分离出的甲烷组分与后续洗脱的非甲烷烃类组分，依次进入氢火焰离子化检测器，组分分子在氢火焰中发生离子化反应，生成的离子流信号经放大转化为电信号，形成完整色谱峰。检测过程中通过分别测定总烃与甲烷的色谱峰响应值，以二者数值差值作为非甲烷总烃的定量依据。该技术的检测准确度核心取决于组分分离完整性、检测器响应稳定性及系统基线平稳性，任一环节出现波动均会引发定量误差，这也是各类干扰因素影响检测结果的核心切入点^[1]。

2 气相色谱法测定非甲烷总烃准确度核心影响因素

2.1 仪器设备性能因素

仪器核心组件的运行状态是决定检测准确度的基础，色谱柱、检测器、气路系统的性能衰减与参数失衡均会直接引发检测偏差。色谱柱作为组分分离的核心部件，长期使用会出现固定相流失、柱体污染、孔径堵塞

等问题，导致烃类组分分离效率下降，甲烷与非甲烷组分峰形重叠、拖尾现象频发，无法实现精准分区定量。氢火焰离子化检测器的喷嘴污染、极化电压不稳定、收集极积碳，会造成离子化效率波动，引发检测器响应灵敏度漂移，同等浓度样品的响应峰面积出现系统性偏差。气路系统存在微量漏气、管路老化、稳压稳流模块精度下降等问题时，载气、氢气、空气的流速无法保持恒定，会改变组分在色谱柱内的保留时间与分离状态，同时干扰火焰燃烧稳定性，造成基线无序波动，大幅降低检测重复性与准确度。

2.2 样品采集与预处理因素

样品采集与预处理环节的不规范操作，会引入系统性前期误差，且该类误差具有不可逆性，直接影响最终检测数据。采样容器的洁净度不足、容器壁残留烃类杂质，或容器材质吸附性过强，会导致待测样品组分损耗、杂质混入，造成检测结果偏高或偏低。采样过程中流速控制不均、采样时长不规范，会引发样品浓度分层、气体混合不均匀，破坏样品的原始组分结构。样品储存阶段，温度、压力波动会诱发烃类组分的微量吸附与解析，样品存放超时还会导致轻质烃类组分挥发损失，改变样品原始浓度。预处理过程中脱水、除杂操作过度或不足，会造成目标组分损耗或干扰组分残留，进一步加剧定量检测误差^[2]。

2.3 实验操作与参数设置因素

人为操作偏差与仪器参数设置不合理，是日常检测中准确度误差的主要诱因。进样操作的匀速性、进样量一致性无法精准把控，会导致进入色谱系统的样品体量存在差异，直接影响峰面积积分结果。仪器温控参数设置不当，柱箱温度过高或过低，会改变色谱柱的分配平衡，温度过高会造成轻组分快速洗脱、分离不彻底，

温度过低会引发组分滞留、峰形展宽。气流参数配比失衡是核心误差来源,氢气、空气、载气的流量配比偏离最优区间,会直接影响氢火焰的燃烧状态,火焰过弱会导致离子化不充分、响应值偏低,火焰过强会引发基线噪声增大,降低检测灵敏度。此外,积分参数设置不合理,会造成色谱峰起止点识别偏差、杂峰误积分,进一步放大定量误差。

2.4 实验环境干扰因素

检测环境的温湿度、洁净度及气流稳定性,会间接影响仪器运行状态与样品稳定性,进而干扰检测准确度。环境温度大幅波动会导致仪器温控系统频繁校正,引发色谱柱、检测器工作温度小幅偏移,破坏组分分离与离子化平衡。环境湿度过高会造成仪器内部电路受潮、气路管路凝结微量水汽,干扰火焰燃烧与信号传输,同时水汽会吸附部分烃类组分,降低样品有效浓度。实验区域空气中残留挥发性有机物,会通过微量渗透进入仪器气路,造成基线抬升、空白值偏高,形成系统本底误差。此外,环境振动、电磁干扰会影响检测器信号放大精度,引发色谱基线无序抖动,降低检测数据的精准性与稳定性。

3 提升气相色谱法测定非甲烷总烃准确度的优化措施

3.1 仪器设备精细化运维与性能校准优化

仪器设备的稳定运行是保障检测准确度的核心前提,需建立常态化、精细化的设备运维体系,从组件维护、性能校准、状态调控三个维度实现误差源头管控。针对色谱柱,需制定周期性养护机制,定期开展老化处理,清除柱内残留杂质与积碳,缓解固定相流失问题,根据检测频次及时更换老化、失效色谱柱,从根本上保障甲烷与非甲烷烃类组分的分离效果,杜绝峰重叠、峰拖尾等问题。针对氢火焰离子化检测器,需定期拆解清洗喷嘴、收集极、极化极等核心部件,彻底清除积碳与污染物,保障离子化反应的充分性与稳定性,同时定期校准极化电压,确保电压输出恒定,维持检测器响应灵敏度的一致性。

气路系统的运维需重点把控密封性与气流稳定性,定期采用气密性检测手段排查管路接头、阀门、进样口的漏气隐患,及时更换老化、破损管路与密封配件。搭载高精度稳压稳流装置,精准调控载气、氢气、空气的输出压力与流速,规避气流波动引发的检测误差。同时建立仪器定期校准机制,采用标准气体梯度校准模式,定期完成检测器响应校准、保留时间校准与峰面积积分校准,修正仪器系统性偏差,保障不同检测批次、不同时间段仪器运行状态的稳定性。日常检测前需完成仪器

空载预热与基线平稳性核查,待基线稳定、无杂峰干扰后方可开展样品检测,从设备层面筑牢检测准确度基础^[3]。

3.2 样品采集、储存与预处理标准化管控

样品前期处理流程容易产生固定检测误差,这类误差大多无法通过后续操作修正,因此,样品采样、储存及预处理全过程都需要落实标准化操作模式,以此从源头减少数据偏差。检测所用采样器具需要挑选吸附能力较弱的惰性材质容器,容器在投入使用前,可通过高温烘烤配合高纯气体吹扫的方式完成净化处理;这类处理方式能够有效清除容器内壁附着的烃类残留杂质,容器净化结束后,还需要开展空白检测校验,以此排除器具本底干扰对检测结果的影响。样品采集过程中,可采用匀速采集的方式,严格把控采样流速和采样时间,平稳的采样状态能够避免高速气流冲击造成的气体组分分层、样品性质失真等问题;采样工作结束后,需要及时封闭容器端口,以此减少轻质烃类组分的挥发损耗,同时阻挡外界杂质进入容器内部污染样品。样品存放阶段需要稳定储存环境,样品可在恒温避光的环境中放置,环境温度波动、强光照射都会改变烃类组分的存在状态,容易引发组分解析、挥发等现象;样品存放时间需要严格管控,样品采集后可优先完成检测工作,最大程度保留样品原始组分特性。样品预处理阶段需要优化脱水、除杂的操作方式,惰性干燥介质可用于样品脱水处理,能够有效避免干燥材料吸附目标检测组分;除杂操作力度需要合理把控,可在完全去除粉尘、水汽等干扰物质的基础上,保证非甲烷总烃组分不出现损耗。每一批次样品都可设置平行试样,平行样品的检测数据能够直观反映制备阶段存在的操作偏差,有效保障样品基底的统一性与代表性,进一步降低源头检测误差。

3.3 实验操作与仪器参数精准化调控

人为操作偏差与参数设置失衡是日常检测的主要误差来源,需通过标准化操作规范与参数精细化调控,实现检测过程的精准化管控。进样操作需统一标准,保持进样速度、进样深度、进样量高度一致,规避人为操作差异引发的峰面积偏差,进样前充分置换进样管路气体,杜绝管路残留样品干扰本次检测结果。结合非甲烷总烃的组分特征,优化仪器温控参数,确定最优柱箱温度区间,在保障所有烃类组分完全分离、无峰重叠的前提下,缩短组分保留时间,避免组分滞留造成的峰形畸变。

气流参数的配比优化是提升检测准确度的关键,通过梯度试验确定氢气、空气、载气的最优流量配比,保障氢火焰燃烧充分、状态稳定,既规避火焰过弱导致的

离子化效率不足、响应值偏低问题,也杜绝火焰过强引发的基线噪声超标、灵敏度下降问题。同时优化色谱积分参数,统一峰识别阈值、起止点判定标准,规避杂峰误积分、主峰漏积分现象,提升峰面积积分的精准度。建立操作复核机制,关键参数设置、进样操作、积分处理等核心环节完成后,进行二次核查,及时修正操作偏差与参数失误,实现检测过程的标准化、精准化管控,大幅降低人为因素引发的随机误差与系统误差^[4]。

3.4 检测环境条件规范化优化调控

基于环境因素对检测系统的间接干扰机制,需搭建标准化检测实验环境,实现环境参数的稳定化、规范化管控。实验区域需配备恒温恒湿调控设备,将环境温度、湿度稳定控制在仪器最优运行区间,规避温湿度大幅波动引发的仪器温控校正、水汽干扰、组分吸附等问题,保障仪器运行状态与样品组分的稳定性。严格把控实验环境洁净度,实验区域独立封闭设置,定期完成环境净化处理,杜绝空气中挥发性有机物、粉尘等杂质干扰检测体系,降低实验本底空白值,减少基线抬升、杂峰干扰等环境性误差。

同时规避环境振动与电磁干扰,将色谱仪器放置于平稳减震台面,远离高频电气设备、振动设备,杜绝振动引发的进样偏差、信号抖动问题,降低电磁干扰对检测器信号传输、放大精度的影响。检测过程中保持实验环境密闭、气流稳定,避免人员流动、门窗开合引发的气流扰动与温度波动,保障整个检测周期内环境条件恒定。通过全方位的环境管控,消除外部隐性干扰因素,为仪器稳定运行、样品精准检测提供恒定的环境基础,进一步提升检测数据的重复性与准确度。

3.5 检测质量控制体系系统化完善

为全方位保障检测准确度,需构建覆盖检测全流程的质量控制体系,实现误差的提前预判、精准管控与有效修正。建立空白对照、平行样检测、标准样质控三重质控机制,每批次检测均设置实验室空白与全程空白,通过空白检测排查环境、器皿、试剂带来的本底干扰,及时扣除系统空白误差。批量样品检测过程中,按比例设置平行双样,通过平行样相对偏差校核检测重复性,

对偏差超阈值的批次重新检测,杜绝随机误差导致的数值失真。定期采用梯度标准气体开展质控检测,校验仪器响应精度与检测体系稳定性,修正系统性定量偏差。

同时建立设备、操作、环境的全流程溯源管控机制,详细记录每批次检测的仪器运行参数、环境条件、操作流程、样品信息,实现误差问题的可溯源、可整改。针对检测过程中出现的基线异常、峰形畸变、数据偏差等问题,建立快速排查与整改机制,精准定位误差来源,及时优化设备状态、操作流程与环境条件。常态化开展检测体系稳定性验证,定期完成方法精密度、准确度核验,持续优化质控流程,逐步降低各类误差的干扰程度,形成常态化、标准化的质量管控体系,从体系层面保障非甲烷总烃检测数据的精准性、稳定性与可靠性^[5]。

结束语:本文系统梳理仪器性能、样品处理、操作参数、实验环境四类核心干扰因素对非甲烷总烃色谱检测准确度的影响机制,明确各类误差的形成原理与作用特征。结合气相色谱检测核心技术逻辑,针对性提出设备精细化运维、样品全流程管控、参数精准调控、环境标准化优化及质量体系完善的全方位优化方案。研究结论可有效规避检测过程中的各类系统误差与随机误差,提升非甲烷总烃检测数据的精准度与重复性,为相关色谱检测工作的标准化开展提供可靠技术参考。

参考文献

- [1]胡柱均.加热温度对气相色谱法测定非甲烷总烃的影响[J].山西化工,2024,44(7):96-97+100.
- [2]张爱娣.有组织废气非甲烷总烃检测质量控制分析[J].花炮科技与市场,2026,33(4):137-139.
- [3]杨占旗,郭帅,范亚君,等.VOCs在线监测气相色谱仪不确定度评定[J].电子质量,2026,(3):81-85.
- [4]耿冬梅,王丽敏,葛福玲,等.提高实验室气相色谱法测试非甲烷总烃准确度研究[J].首都师范大学学报(自然科学版),2023,44(4):36-40.
- [5]葛璇,陈燕朋,魏征,等.罐采样-加压进样-气相色谱法测定环境空气中非甲烷总烃研究[J].中国环境监测,2023,39(2):177-186.