

化工原材料检测中化学分析技术的应用及经济性分析

韩朝阳 (西乌珠穆沁旗银漫矿业有限责任公司, 内蒙古 锡林郭勒 026000)

摘要: 化工原材料质量管控已成为影响生产安全与产品性能的关键环节, 本文以化学分析技术在原材料检测领域的实际应用为切入点, 对传统化学分析法、仪器分析法及联用技术的检测性能进行系统研究, 深入分析检测流程优化、设备升级配置、经济效益评估等核心问题, 提出标准化流程建设、技术选型平衡、供应链协同优化策略, 为化工企业提升原材料检测水平、降低质量风险提供参考。

关键词: 化工原材料; 化学分析技术; 检测流程优化; 经济性分析

中图分类号: TQ014

文献标识码: A

文章编号: 1674-5167 (2026) 010-0067-03

Application and Economic Analysis of Chemical Analysis Technology in Chemical Raw Material Testing

Han Chaoyang (Xiwuzhumuqin Banner Yinman Mining Co., Ltd., Xilingol Inner Mongolia 026000, China)

Abstract: Quality control of chemical raw materials has become a key link affecting production safety and product performance. This article takes the practical application of chemical analysis technology in the field of raw material testing as the starting point, systematically studies the detection performance of traditional chemical analysis methods, instrument analysis methods, and combined technologies, deeply analyzes core issues such as testing process optimization, equipment upgrade configuration, and economic benefit evaluation, and proposes optimization strategies such as standardized process construction, technology selection balance, and supply chain collaboration, in order to provide theoretical reference for chemical enterprises to improve raw material testing level and reduce quality risks.

Keywords: chemical raw materials; Chemical analysis techniques; Optimization of detection process; Economic analysis

化工生产链条中原材料质量直接决定终端产品的性能稳定性, 任何微量杂质、组分偏差都可能引发批次报废甚至安全事故。随着下游应用领域对原料纯度要求不断提高, 传统检测手段在精度、效率方面的局限性日益凸显。化学分析技术体系的持续演进为原材料质量监控提供了更精准、高效的解决方案, 深入探讨其应用策略与经济价值具有重要现实意义。

1 化学分析技术分类与核心优势

1.1 传统化学分析法

化工原材料检测领域中, 传统化学分析法凭借其经典的反应机理仍占据重要地位。滴定分析依托酸碱中和、氧化还原等反应原理完成定量测定, 重量分析则借助沉淀反应将待测组分转化为可称量形式。实验室只需配备基础玻璃仪器、标准溶液及分析天平即可开展检测, 设备投入成本往往控制在万元级别, 远低于大型仪器设备的采购支出。滴定过程中指示剂的颜色突变为终点判定提供了直观依据, 重量法的烘干、灼烧步骤虽耗时但准确性较高, 适用于常量组分的含量测定。

基础化工原料的纯度鉴定、工业盐中氯离子浓度检测等场景中, 该类方法展现出稳定的应用价值, 检测结果的相对偏差可控制在 0.2% 以内, 满足原料入厂验收的标准要求。

1.2 仪器化学分析法

仪器化学分析法突破了传统方法在检测限与精度上的瓶颈。X 射线荧光光谱仪利用特征 X 射线激发样品原子, 元素含量可通过荧光强度直接换算, 检测下限达到 $\mu\text{g/g}$ 量级, 特别适合金属杂质的快速筛查。气相色谱系统将挥发性组分在色谱柱中分离, 热导检测器或氢火焰离子化检测器捕捉各组分信号, 有机溶剂纯度分析中能够分辨出含量低于 10mg/kg 的杂质峰。质谱分析仪则将离子化后的分子碎片按质荷比分离, 分子结构信息的解析精度提升至原子级别, 未知杂质的定性鉴别效率显著加快。表 1 所示, 不同仪器分析法在检测性能参数上存在明显差异; 实验室需根据原材料特性选配设备。仪器自动化程度的提高使单次检测周期压缩至 30min 以内, 批量样品的处理能力较传统方法提升 3 倍以上。

表 1 常用仪器化学分析法性能对比

分析方法	检测下限	分析时间	适用对象	定性能力
X 射线荧光光谱	1-10 $\mu\text{g/g}$	5-15min	无机元素	中等
气相色谱	0.01-1mg/kg	15-30min	挥发性有机物	较强
质谱分析	0.001-0.1 $\mu\text{g/g}$	20-40min	有机 / 无机化合物	极强

1.3 联用技术

联用技术将分离系统与检测系统串联整合，形成复杂样品分析的综合解决方案。气相色谱-质谱联用装置先在色谱柱中完成混合物的时间维度分离，随后质谱检测器对逐个流出的组分进行质谱扫描，既获得保留时间信息又明确分子结构特征^[1]。液相色谱-质谱联用系统则针对热不稳定、极性较强的化合物开辟了检测路径，电喷雾离子源在常压下实现样品离子化，避免了高温裂解带来的结构破坏。某些化工原料中存在数十种结构相似的同系物，单一检测手段难以完成全组分解析，联用技术能够在一次进样中同步完成定性定量双重任务。检测数据的二维矩阵特征使微量杂质不再被基质效应掩盖，农药残留、增塑剂迁移等痕量污染物的识别限可达 ng/g 级别，为原材料质量安全提供更严格的监控手段，检测通量较单一仪器方法提升 40% 以上。

2 化工原材料检测中化学分析技术的应用策略

2.1 检测流程优化策略

检测工作的规范化执行需要建立起系统性的操作框架，实验室首先要根据待测原材料的化学性质、物理形态来安排具备相应专业背景的检测人员承担任务，比如有机溶剂类样品应由熟悉色谱分析的技术人员负责，无机盐类样品则交给擅长滴定分析的人员处理。标准操作程序的制定要覆盖从样品接收登记、预处理研磨到上机检测、数据记录的每个环节，将每一步的操作时间、试剂用量、仪器参数都用文字明确下来，形成可供所有检测人员遵循的统一规范^[2]。空白试验的安排直接关系到检测数据的可靠性，实验室需要在每批次样品分析前先用纯试剂跑一遍完整流程，记录下仪器显示的背景信号值，当样品数量较少、每批只有十几个时，至少每 20 个样品就要插入一次空白测定，用空白值去扣除样品测定值中的系统误差部分。不同类型化工原材料对空白试验的频次要求存在差异，具体标准见表 2。取样环节容易被忽视却影响重大，液体原料要在储罐上中下三个位置分别取样后混合均匀，粉状固体则要采用四分法反复缩分至所需量，取样点的选择应当避开容器边角、液面表层等易发生成分偏析的区域。

表 2 不同类型化工原材料的空白试验频次要求

样品类型	单批样品量	空白试验频次	空白值允许范围
有机溶剂	≤ 20 个	1 次 / 批	≤ 检测限的 30%
有机溶剂	>20 个	1 次 / 20 个样品	≤ 检测限的 30%
无机盐	≤ 20 个	1 次 / 批	≤ 检测限的 50%
无机盐	>20 个	1 次 / 20 个样品	≤ 检测限的 50%
高分子材料	不限	1 次 / 批	≤ 检测限的 20%

2.2 设备升级与技术创新策略

痕量元素检测能力的提升依赖于高性能仪器设备的配置，电感耦合等离子体质谱仪的引入能够将检测下限推进到 ng/L 级别。采购设备时需要重点考察仪器的质量分辨率指标，中端型号质量分辨率应达到 0.7amu 以上才能有效分离相邻质量数的干扰离子，配套的样品引入系统要选择耐酸碱材质避免腐蚀导致的金属沾污，配置自动进样器后单日检测通量可从人工进样的 30 个样品提高到 200 个以上。

复杂基体样品的分析难题促使联用技术成为检测实验室的标准配置，气相色谱-质谱联用系统的搭建需要注意色谱柱与质谱接口的匹配性。色谱柱流出端要直接插入质谱离子源内部，接口温度设定值需比色谱柱最高使用温度高 20℃，以防止组分冷凝，质谱扫描速度要跟色谱峰宽相匹配，窄峰化合物每个峰至少采集 15 个数据点才能准确还原峰形。液相色谱-质谱联用时离子源的选择更为关键，挥发性小的热敏化合物适合选用电喷雾离子源，强极性物质则选配大气压化学电离源，流动相组成会直接影响离子化效率，需要在保证分离度的前提下将有机相比比例控制在合理区间。

仪器设备的长期稳定运行建立在科学管理的基础上，全生命周期管理系统需要为每台仪器建立电子档案记录采购信息、验收数据、历次校准结果。校准周期的设定要参考仪器使用频率，高负荷运转的光谱仪每季度需进行波长准确度校验，质谱仪每半年要做质量数校正，天平则要求每月送检或现场校准^[3]。维护预警功能依托于设备运行参数的持续监测，系统自动记录每次开机时的基线噪声、灵敏度指标，当数值偏离正常范围超过 15% 时触发维护提醒，提示操作人员更换进样针、清洗离子透镜或检查真空泵油位。

2.3 人员能力建设策略

检测人员的专业水平直接影响分析结果的准确性，实验室需要先对在岗人员的学历背景、工作经验进行摸底调查，将新入职员工、转岗人员、资深技术骨干分成不同培训层级。新员工培训应当从化学基础理论讲起，用至少两周时间系统讲解酸碱平衡、氧化还原反应等核心概念，再安排一个月的操作规范训练，让学员熟悉移液管校准、滴定终点判断、天平使用等基本技能，资深人员的培训重点则放在数据统计分析、方法开发验证等进阶内容上，每个培训模块结束后要布置实际案例让学员独立完成并提交分析报告。能力认证体系的建立能够客观评价检测人员的实际水平，理论考试环节要覆盖检测原理、质量控制、安全规范等知识点，试卷难度设置需要区分基础岗位与专业岗

位的不同要求,只有规定环节全部合格才能获得上岗资格证书。

3 化工原材料检测中化学分析技术的经济性分析

3.1 直接经济效益

化学分析技术的经济价值首先体现在成本控制环节,标准化操作流程配合高精度仪器能够将检测数据的准确性稳定在较高水平,检测人员因操作失误导致的数据异常、需要重新取样分析的情况明显减少,原本因返工消耗的样品量、试剂费用得以节省下来。联用技术将色谱分离与质谱鉴定整合在一条分析线路中,同一份样品注入仪器后能够同时获得多种组分的定性定量结果,检测人员无需针对每个目标成分单独配制试剂、重复进样,试剂采购支出直接降低,仪器的开机时长也相应缩短。定期校准维护让设备始终保持最佳工作状态,关键部件的磨损速度放缓,原本三年需要大修的仪器使用寿命能够延长至五年以上。自动化分析系统将原本需要 8h 才能完成的批次检测压缩到 4h 以内,检测报告更快交付给生产部门,车间能根据原料质量数据及时调整工艺参数,避免因原料指标偏差引发的批次报废、生产线停机等经济损失。

3.2 间接经济效益

化学分析技术在隐性成本控制方面同样创造显著价值,高精度检测设备能够在原材料入库环节就识别出超标的重金属杂质、异常的官能团结构等质量隐患,质检部门据此拒收问题批次,生产线避免了因使用不合格原料导致的产品性能波动、批次召回等质量事故,企业无需支付客户索赔款项,法律诉讼风险也随之消除。产品质量的稳定性在市场端转化为品牌溢价能力。下游客户基于长期合作中积累的信任,愿意接受更高的采购价格,企业得以进入对原料纯度要求严苛的高端应用领域,利润空间明显优于普通市场^[4]。环保部门抽检时企业能够拿出完整的原材料检测档案证明污染物排放源头受控,安全生产监管中详实的化学成分数据也能说明危险化学品管理符合规范,监管机构的处罚概率大幅下降,企业避免了停产整改、罚款等合规成本支出。

3.3 经济性优化方向

设备投资决策需要建立在实际检测需求的精准评估基础上,实验室应当统计过去一年内各类检测项目的频次分布,对于每月只出现几次的痕量元素分析任务没有必要购置价格高昂的专用仪器,选择委托第三方检测机构或者与同行业企业共享设备更为经济,常规的纯度检测、主成分含量测定等高频项目则应当配备可靠耐用的中端设备,这样既满足精度要求又控制采购成本,仪器选型时还要考察后期的耗材价格、维

修配件供应周期等隐性支出因素,避免因贪图设备便宜而陷入使用成本高企的困境。

供应链检测资源的整合能够消除重复劳动造成的浪费,企业与主要原料供应商协商建立检测数据互认机制,供应商在发货前按照双方约定的检测标准完成质量检验,将加盖公章的检测报告随货同行,采购方收货后重点核查关键指标、抽检部分样品验证数据真实性即可,无需对每批原料进行全项目检测,数据共享平台应当设置权限管理功能防止商业信息泄露,同时记录每次数据调用的时间、人员等日志信息以便追溯。

检测方法的绿色化改造能降低环境成本,也能减轻企业经济负担,传统滴定分析中大量使用的有机溶剂,既增加试剂采购费用,又产生危险废液处置成本,实验室应当优先选用水溶液体系的分析方法,或者将有机溶剂用量从原来几十毫升缩减到几毫升的微量分析技术,仪器分析领域的微波消解技术可将样品前处理时间从数小时压缩到半小时,电能消耗仅为传统电热板加热方式的 $\frac{1}{3}$,设备运行成本明显下降,废液减量化还能降低环保部门监管的合规压力^[5]。

4 结束语

化学分析技术在化工原材料检测领域的应用已从单一手段向多技术集成方向演变,检测精度、分析效率的提升为企业构建起更加可靠的质量防控体系。实际应用中需要综合考量检测需求、成本投入、人员能力等多重因素,在技术先进性与经济合理性之间寻求最优平衡点。未来,智能化、微型化分析设备的普及,检测成本将进一步降低,数据处理效率持续提高,化学分析技术必将在保障化工原材料质量安全、推动产业高质量发展中发挥更重要的作用,相关研究仍需持续深化以应对不断变化的检测挑战。

参考文献:

- [1] 戴立红,吴少青,黄浩峰.化工原材料检测中化学分析技术的应用探讨[J].中国质量监管,2024(11):80-81.
- [2] 俞学荣.化学分析在化工材料检测中的应用探析[J].中国石油和化工标准与质量,2021,41(18):29-30.
- [3] 盛正红.化工原材料检测中化学分析技术的应用探讨[J].现代盐化工,2021,48(01):39-40.
- [4] 夏鸣梓.化工原材料检测中化学分析技术应用探析[J].化工设计通讯,2020,46(03):90-91.
- [5] 王亚健.化学分析在化工材料检测中的应用分析[J].山东工业技术,2018(11).

作者简介:

韩朝阳(1986.09—),男,汉族,内蒙古赤峰市科什克腾旗人,本科,助理工程师,研究方向:化工工程金属元素化验分析。