

化工分析与检验常见难题的应对策略及经济性分析

余卫昌 (中海油惠州石化有限公司, 广东 惠州 516086)

摘要: 化工分析与检验是保障化工产品质量、安全生产及合规运营的核心环节, 但其过程中常面临检验误差控制、复杂基质干扰、痕量组分检测、时效性不足等难题, 这些难题影响检验结果可靠性, 还可能引发质量风险, 可能带来经济损失, 本文系统梳理化工分析与检验中的常见难题, 针对性提出应对策略, 并从成本投入与效益产出角度进行经济性分析, 为化工企业平衡检验质量与经济成本提供实践指导, 提升检验工作的科学性与经济性。

关键词: 化工分析与检验; 常见难题; 经济性分析

中图分类号: TQ014 **文献标识码:** A **文章编号:** 1674-5167 (2025) 032-0058-03

Strategies and Cost-Effectiveness Analysis for Common Challenges in Chemical Analysis and Testing by

Yu Weichang (CNOOC Huizhou Petrochemical Co., Ltd., Huizhou Guangdong 516086, China)

Abstract: As a critical component ensuring product quality, safe production, and regulatory compliance in the chemical industry, chemical analysis and testing frequently confront challenges including control of measurement errors, complex matrix interference, trace component detection, and time-sensitive requirements. These issues not only compromise test result reliability but may also trigger quality risks and economic losses. This paper systematically identifies common challenges in chemical analysis and testing, proposes targeted solutions, and conducts cost-benefit analyses from both input-output perspectives. The study provides practical guidance for chemical enterprises to balance testing quality with economic costs, thereby enhancing the scientific rigor and cost-effectiveness of analytical practices.

Keywords: Chemical analysis and testing; Common challenges; Cost-effectiveness analysis

化工分析检验为生产调控、质量判定和风险防控提供数据支撑, 通过对原料、中间体、成品及生产过程中的物料进行成分分析、性能测定和安全指标检测等, 随着化工行业向精细化、高端化发展, 对分析检查的精度、效率、范围等要求也越来越高, 环保、安全法规要求也越来越严格。但在实际操作中, 由于样品特性、技术手段、人员能力等因素的制约, 检验工作常常遇到困难, 如果处理不好会造成产品不合格流入市场, 生产过程出现错误调整, 合规风险加剧等后果, 也会间接提高企业的经营成本, 因此, 对常见疑难问题的成因进行分析, 提出科学的应对策略, 并对其经济性进行评估以及化工企业降本增效、优质发展具有重要意义。

1 化工分析与检验常见难题

1.1 检验误差控制难题

化学检验中的误差来源具有多样性和复杂性, 主要可分为系统误差、随机误差、人为误差三大类, 在检验过程中各种误差交织在一起, 共同影响最终检验数据的准确性, 因此, 其核心原因在于检验设备保养不到位, 执行标准操作规程不严, 人员技能参差不齐, 误差追溯机制不够有效等^[1]。

1.2 复杂基质干扰难题

化学样品往往成分复杂, 含有多种共存物质, 可

能与目标成分发生化学反应、竞争吸附或光谱重叠, 干扰检验结果的。如对工业废水中重金属离子进行测试时, 会出现共存的有机化合物与金属离子络合的现象, 造成原子吸收光谱法检测结果偏低; 高分子材料中的添加剂可能掩盖主成分的色谱峰, 影响定量准确性等, 这样的困难源于样品基质的多样性和复杂性, 传统的前处理方式净化效果有限, 干扰很难彻底排除。

1.3 痕量组分检测难题

随着环保要求的升级和产品品质的精致化与日俱增, 对痕量有害物质的检测需求一般低至每千克微克, 甚至更低, 传统检测方式灵敏度不足, 检测极限要求难以满足, 而高精度仪器操作复杂, 费用较高, 且易受基质作用的影响, 造成检测结果稳定性差, 低浓度组分的信号容易被背景噪音所掩盖, 容易丢失或污染。

1.4 检验时效性不足难题

化工生产具有连续性, 需要对工艺调整进行快速检验数据指导, 但传统的检验过程需要较长的时间, 如气相色谱法对一个样品进行 30-60min 的分析, 对实时调控的需求难以满足, 检验结果滞后会造成生产过程中对最优参数的偏离, 使能源消耗增加、产量增加。究其原因, 离线检验过程冗长, 前置处理步骤繁琐, 在线实时检测技术应用不足。

2 化工分析与检验常见难题的应对策略

2.1 以设备精度与方法可靠性为核心

建立涵盖从采购、安装、校准、使用、维修到报废全仪器全生命周期管理体系,明确管理责任和各环节技术要求,在仪器采购阶段,为保证设备性能符合检测标准,需要制定详细的技术参数指标,以满足检测项目的精度需求,安装调试时,确保仪器处于符合要求的运行环境中,现场布局规划和性能验证由专业技术人员负责。根据仪器类型和使用频率制定校准计划,如天平、PH计等基础计量器具每月校准1次,色谱仪、光谱仪等复杂仪器每季度校准,校准过程需严格按照国家计量检定规程,记录校准数据和结果判定,校准合格后方可继续使用,校准过程中需严格按照国家计量检定规程,期间校验需要在两次正式校验之间进行,如发现偏差超过允许范围,应立即暂停使用,并通过对比标准品和质控样品的重复测定进行维修校验^[2]。

验证内容包含精确度、精密度、检出限、定量限、线性范围和选择性等指标,以确保方法的可靠性和适用性,采用“方法验证+平行实验”的组合方案,对于重点检查项目,通过计算相对偏差评估测定结果的精密性,至少需要进行3次平行测定,一般要求控制在3%以内,若超出偏差范围的平行测定结果,在排除异常因素后重新测定,需要对操作过程、仪器状态、试剂纯度等进行重新检查。

2.2 以标准化操作与双重核查为保障

制定详细的标准操作规程,配有图文并茂的操作指引,明确检查项目的操作步骤、使用的试剂和仪器、环境参数、资料记录等要求,保证不同时间操作时能做到始终如一,具体到滴定分析、色谱运算等重点环节,要对运算要点进行细致的叙述。同时,SOP需要及时根据标准更新、仪器更新换代等情况进行相应的修订,这样才能保证它的及时性和适用性,还要完善化验室信息管理系统,实现检验资料的自动采集、存储、整理、分析,按照预先设定好的格式,避免因人工记录资料、系统存储、归类等方面的遗漏、错误、篡改等问题,形成检验资料的完整档案,提高出具检验报告的效率和准确性。

引入“双人核对”机制,在完成各自的测定后,检测员和复核员各自独立检测比对结果的一致性,检查内容包括样品信息、试剂批号、仪器参数、测定数据和计算结果等,出具检查报告前需两人的检查结果相符,并达到误差要求。如果结果有出入,则需要一起分析原因,重新测定,直到一致后才能确定,此外,还需要建立样品流转台账,对样品接收、编号、前处理、

检测、贮存等环节进行详细记录,做到有问题时便于追溯分析,确保样品可追溯^[3]。

2.3 以能力提升与责任强化为重点

开展分层培训,新员工需接受岗前培训,培训必须系统化,培训后需通过理论、实操模拟考核,通过后才能上岗,在岗员工需定期培训,培训内容为技能更新,及时传达新检测标准,介绍新技术方法,传授新仪器使用技巧,确保掌握行业动态,定期组织技能比武,开展误差分析研讨会,可强化误差控制意识,技能比武设置项目,比如精密仪器操作,还有复杂样品分析,通过竞争激发积极性,误差分析研讨会要深入,针对检验误差案例,分析误差产生原因,探讨改进措施,总结经验教训,全员共享成果,将误差率纳入考核,建立激励机制,与薪酬晋升挂钩,奖励误差控制好的员工,问责导致重大误差的员工,增强责任心,提升严谨性。

企业应确定关键风险指标,检验误差可能引发风险,如仪器校准合格率(目标 $\geq 98\%$)、数据复核通过率(目标 $\geq 99\%$)、客户投诉中检验相关占比(目标 $\leq 1\%$)、检验方法验证合格率等,对这些指标实时监控,设定预警阈值,指标超出阈值时发出预警,提醒相关部门干预,企业应建立分析制度,定期分析指标变化趋势,识别潜在风险隐患,提前采取防控措施,降低风险概率。制定应急预案,明确质量事故等级标准,规定应急响应流程,明确部门职责分工,确定损失核算标准,检验误差引发质量事故时,企业能迅速启动预案,各部门按职责工作,及时组织产品召回,与客户有效沟通,核算损失金额,将影响降至最低,定期组织预案演练,发现问题及时修订,提高应急处置能力。

2.4 以提高选择性与信号解析能力为标准

选择高选择性的检测手段,如液相色谱-质谱联用技术,它具有高灵敏度和高选择性,该技术应用广泛,用于复杂基质样品检测,先用液相色谱分离样品,再用质谱分析目标组分,可定性定量分析,采用多反应监测模式,可以只检测目标组分的离子对,能排除杂质干扰信号,气相色谱适用于某些样品,如检测环境空气中的挥发性有机物,使用气相色谱-三重四极杆质谱技术,采用选择反应监测模式,也可实现高选择性检测^[4]。

光谱分析中,运用化学计量学方法很有用,它能解析重叠光谱,可以提取目标组分信号,在紫外-可见分光光度法中,当样品中多种组分的吸收光谱相互重叠时,传统的单波长测定方法会产生较大误差,而采用偏最小二乘回归、主成分回归等化学计量学方法,

可通过对多波长下的吸光度数据进行多元统计分析,分离各组分的贡献,实现对目标组分的准确定量,另外,红外光谱分析中,利用差谱技术能消除干扰,二阶导数光谱也行,这些方法可提高检测灵敏度。

2.5 以提高目标组分浓度为目的

常用的痕量组分富集技术有固相微萃取和搅拌棒吸附萃取。固相微萃取是通过涂覆在纤维头上的吸附剂吸附富集样品中的目标组分,然后直接将纤维头插入色谱仪的进样口进行解吸检测,该技术无需溶剂,操作简便,富集倍数可达10-1000倍,适用于对水、空气等样品进行挥发性有机物的痕量检测过程中不需使用溶剂,搅拌棒吸附萃取将吸附剂涂覆在搅拌棒表面,通过搅拌增强样品与吸附剂的接触,提高富集效率,其吸附容量比固相微萃取更大,富集倍数更高,适用于检测浓度更低的组分,通过搅拌增强样品与吸附剂的接触,使吸附剂具有更高的吸附力。

液体样品可用旋转蒸发浓缩或者氮吹浓缩,这样可以减少溶剂体积,提高目标组分含量,旋转蒸发利用减压原理,溶剂沸点降低,通过旋转烧瓶增加蒸发面积,快速蒸除溶剂,氮吹浓缩用氮气吹扫,加速溶剂挥发,适合小体积样品。

浓缩时要控制温度和压力,避免目标组分分解,固体样品如土壤、沉积物中痕量重金属检测,可用酸消解-共沉淀富集技术,加入沉淀剂分离目标金属离子,与基体离子分离,然后溶解沉淀,进行检测,提高检测灵敏度^[5]。

3 应对策略的经济性分析

3.1 成本投入分析

高精度仪器的费用初期采购约为50万-100万元,在线检测系统的费用约为30万-80万元,但检测效率和精度都能得到显著提高,而前置处理设备(如自动固相萃取仪)的费用约为10万-20万元,在降低人工费用的同时提高重复效率。每年人均2000-5000元左右的技能培训投入,虽然增加了短期成本,却可以减少因操作失误造成的返工和报废损失,而引入“双人查岗”机制会使人力投入增加10%-20%,却可以避免因单一重大误差而损失数万元,仪器校准与维护年成本约为设备原值的5%-10%,但可延长设备寿命(从5年延长至8年),降低长期更换成本,先进前处理耗材单价较高,但用量减少且净化效果提升,综合成本持平或略降。

3.2 效益产出分析

①直接经济效益。错误控制策略可以降低不合格产品的误判率,某化肥企业应用后将产品不费率从原来的3%降低到0.5%,每年可节省200万元左右的原

料费用;在线检测技术使生产流程调整的响应时间由原来的2h缩短到10min,使一家精细化工企业的能耗降低了15%,每年可节省150万元左右的能源费用。

②间接经济效益。检验可靠性增强客户信赖度,某涂料企业产品抽查合格率稳定在99.5%以上,市场占有率扩大5%,年新增销售500万元左右,研发周期缩短(如新药中间体分析时间减少30%),在解决复杂的基质干扰后,产品上市速度加快,抢占市场先机。

3.3 投入产出比评估

综合来看,先进设备和技术在短期内的投入可能会带来成本的上升,但长期将会获得显著的收益,如投入80万元在线检测系统,每年节省150万元费用,7个月左右的投资回收期,投入50万元(包括培训和设备校准)用于误差控制系统的建设,每年减少亏损200万元,3年的净收益达到550万元。对于中小企业来说,可以优先考虑先优化流程和人员培训(低成本、高收益),再逐步引进平衡短期成本和长期效益的高端设备,然后再采取“分步实施”的策略。

4 结论

化工分析与检验的常见难题本质上是技术能力、流程管理与样品特性之间的矛盾,通过针对性的策略优化可有效解决。从经济性角度看,应对策略的投入虽增加短期成本,但能通过减少质量损失、提升生产效率、规避合规风险产生显著的长期效益。化工企业应根据自身规模、产品特性和检验需求,选择“技术+流程+人员”协同的解决方案,优先实施投入产出比高的措施,逐步推进高端设备与在线技术应用,实现分析检验目标,目标要精准、高效、经济,为企业发展提供保障,推动高质量发展。

参考文献:

- [1] 雷利娜,赵梅梅.化工分析化验中误差来源及精准控制策略探讨[J].当代化工研究,2025(14):51-53.
- [2] 丁佐纯.化工分析检验中的安全风险及防范措施[J].化纤与纺织技术,2025(03):118-120.
- [3] 魏绍宗,郭媛媛,石玲.石油化工分析检验质量控制方法研究[J].中国石油和化工标准与质量,2025,45(10):65-67.
- [4] 何祥,张燕,江海波等.化工分析在化工生产过程中的作用[J].化学工程与装备,2021(04):216-217.
- [5] 庄俊杰.石油化工分析与检验质量管理[J].现代工业经济和信息化,2022(12):243-244.

作者简介:

余卫昌(1987-),男,汉族,广东惠州人,本科,工程师,研究方向:化验分析与检验。