

# 化工化验单位实现无污染化验探讨

邬润霞<sup>1</sup> 王清誉<sup>2</sup> 赵婷婷<sup>1</sup>

1. 内蒙古鄂尔多斯电力冶金股份有限公司氯碱化工分公司 内蒙古 鄂尔多斯 016064

2. 内蒙古化工职业学院电气2302班 内蒙古 呼和浩特 010000

**摘要：**化工化验单位实现无污染化验是环保与可持续发展的关键。本文探讨了无污染化验的内涵与原则，分析国内外技术现状及传统方法的污染问题。提出构建绿色试剂替代、智能化设备应用、闭环流程设计及数字化管理平台等技术体系，并给出了从技术升级、管理优化到政策支持、人员能力建设的实施路径，同时针对技术、管理和经济层面的挑战提出了相对应对策。

**关键词：**化工化验单位；无污染化验技术；体系构建

**引言：**随着环保意识的增强和绿色发展理念的推行，化工行业面临着前所未有的环保压力。化工化验单位作为产品检测与质量控制的关键环节，其传统化验方式产生的化学污染问题日益凸显。污染物的排放不仅破坏生态环境，也制约了企业的可持续发展。在此背景下，探索实现无污染化验的路径与方法，成为化工化验单位提升竞争力、实现长远发展的必然要求，对推动行业绿色转型意义重大。

## 1 理论基础与现状分析

### 1.1 无污染化验的内涵与原则

(1) 定义：无污染化验作为一种先进的技术体系，致力于通过精心优化实验设计、积极革新技术手段以及全面管控全流程，从化验活动的源头着手，最大程度减少或彻底消除化验过程中污染物的产生。它广泛覆盖试剂的合理选择、设备的稳定运行、废物的妥善处理等多个关键环节。其核心目标在于达成化验活动与环境的和谐共生、协调发展，切实避免化验过程对大气、水体、土壤等生态环境要素造成污染。(2) 核心原则：以减量化作为坚实基础，凭借精准控制试剂用量、大力简化实验步骤等举措，有效减少污染物的生成量；以资源化作为关键环节，积极推动试剂的回收复用以及废弃物的循环利用；以无害化作为最终目标，确保未被利用的废弃物经过科学处理后能够达标排放，进而降低对生态环境和人体健康的潜在危害。

### 1.2 国内外无污染化验技术发展现状

(1) 国外先进技术：国外在该领域技术成熟度较高，微流控技术借助微通道实现试剂微量精准反应，某德国实验室应用该技术检测水质污染物，大幅减少试剂用量，显著提升检测效率；原子吸收光谱替代法如电感耦合等离子体质谱 (ICP-MS)，检测限达到极低级别，

美国某环保机构用其分析土壤重金属，无需大量化学前处理试剂，大幅降低污染排放量。(2) 国内技术瓶颈与实践案例：国内面临高端设备依赖进口、核心技术自主化不足等瓶颈，但部分企业已取得突破。如江苏某化工企业研发封闭循环系统，将化验废水经蒸馏-过滤-纯化后重新用于实验，实现较高水资源回收率，显著减少废水排放；不过该类系统核心过滤膜仍需进口，增加了运营成本。

### 1.3 传统化验方法的污染问题

(1) 化学试剂的挥发性、毒性与难降解性：传统化验大量使用苯、甲醛等挥发性试剂，易造成实验室空气质量超标；汞、铬等有毒试剂残留会渗入土壤，且难以自然降解，某老化工化验站旧址土壤重金属存在超标情况。(2) 废弃物处理成本与环境风险：传统化验废弃物成分复杂，处理需专业机构介入，其中型化验单位需承担较高年处理成本；若处理不当，废液泄漏可能污染地下水，某企业曾因废液违规排放，导致周边地下水COD值超标，引发环境事故。

## 2 化工化验单位实现无污染化验技术体系构建

### 2.1 绿色试剂替代技术

(1) 无毒溶剂（如离子液体、超临界CO<sub>2</sub>）的应用。离子液体作为新型无毒溶剂，具备不挥发、热稳定性强且可设计性高的特点，能根据化验需求调整分子结构，适配不同物质的分离与检测场景，避免传统挥发性溶剂造成的大气污染与操作人员健康风险。超临界CO<sub>2</sub>则以环境友好性著称，在特定温度与压力下呈现超临界状态，兼具气体扩散性与液体溶解性，可高效完成萃取、分离等化验操作，结束后通过压力调节即可恢复为气态CO<sub>2</sub>，无残留废液产生，实现溶剂使用的零污染闭环<sup>[1]</sup>。(2) 生物基试剂开发（酶催化、微生物检测）。酶催化技术

依托生物酶的高度专一性，在温和条件下精准催化目标物质反应，无需强酸、强碱等腐蚀性化学试剂，大幅降低化验过程中的污染排放。微生物检测技术利用特定微生物对目标污染物的敏感性，通过微生物的生长状态变化实现污染物定性与半定量分析，整个检测流程以生物反应为核心，无化学试剂消耗，检测后剩余微生物可通过生物降解处理，不会对环境造成负担。

## 2.2 智能化与微型化设备

(1) 便携式光谱仪、微反应器减少试剂用量。便携式光谱仪凭借快速检测能力，无需对样品进行复杂前处理，仅通过光谱分析即可获取样品成分信息，全程无需使用化学试剂，从源头减少试剂消耗与污染产生。微反应器以微小反应空间为核心，相较于传统反应设备，试剂用量大幅降低，同时通过精准控温与传质优化，提升反应效率与检测准确性，减少无效试剂消耗带来的污染。(2) 自动化采样与在线监测技术。自动化采样系统通过预设程序实现样品自动采集、输送与预处理，避免人工操作过程中试剂的浪费与二次污染，同时确保采样的规范性与一致性。在线监测技术将检测设备与生产工艺实时连接，实时获取样品数据，无需频繁进行离线化验，减少试剂使用量，且能及时发现异常情况，为污染防控争取时间，降低污染扩散风险<sup>[2]</sup>。

## 2.3 闭环流程设计

(1) 试剂回收再利用系统(如蒸馏-冷凝循环)。蒸馏-冷凝循环系统针对化验过程中产生的溶剂废液，通过蒸馏将溶剂与杂质分离，再经冷凝处理使溶剂恢复液态，经纯度检测合格后重新用于化验操作，形成试剂的循环利用，减少新鲜试剂采购量与废液排放量。该系统操作简便、运行稳定，能有效降低溶剂类污染，提升试剂利用效率。(2) 废弃物资源化路径(如废液转化为燃料)。对于化验产生的有机废液，通过预处理去除杂质后，采用催化转化或厌氧发酵技术，将废液中的有机成分转化为可燃气体或液体燃料，用于化验室供暖、设备运行等能源需求，实现废弃物的资源化利用。这种方式不仅减少了废液的环境排放量，还能降低化验单位的能源成本，形成“污染治理-资源回收-能源利用”的良性循环。

## 2.4 数字化管理平台

(1) 化验数据云端存储与污染预警系统。化验数据云端存储系统实现化验过程中各类数据的实时上传、集中存储与便捷调取，避免纸质记录丢失与数据篡改风险，同时便于对化验数据进行追溯与分析。污染预警系统通过对试剂消耗、废液产生、检测结果等数据的实时监控，设定污染预警阈值，当数据超出阈值时自动发出

预警信号，提醒工作人员及时采取防控措施，防止污染扩大。(2) AI优化实验方案减少试错成本。借助AI技术对历史化验数据进行深度学习，分析不同实验方案的试剂用量、反应条件与检测结果之间的关联，构建实验方案优化模型。在新的化验任务中，AI可根据样品特性自动生成最优实验方案，预测实验结果，减少传统试错式实验带来的试剂浪费与废液产生。

## 3 化工化验单位无污染化验技术体系的实施路径与保障机制

### 3.1 技术升级路径

(1) 短期：现有设备改造与试剂替换：优先对高污染、高消耗的现有设备进行改造，如为传统滴定装置加装试剂定量控制模块，减少试剂浪费；同步替换有毒试剂，用超临界CO<sub>2</sub>替代萃取实验中的二氯甲烷，用酶催化试剂替换重金属检测中的氰化物。某化工化验室通过短期改造，短期内实现有机试剂消耗量大幅下降，显著降低废弃物处理成本。(2) 中期：引进智能化检测设备：投入资金引进便携式光谱仪、自动化采样系统等设备，搭建初步智能化检测场景。例如，某石化企业中期引入在线气相色谱-质谱联用仪，实现炼厂气成分24小时实时监测，减少离线化验频次，大幅减少试剂用量，同时显著提升检测数据准确率<sup>[3]</sup>。(3) 长期：全流程数字化绿色实验室建设：整合前期技术成果，构建“试剂-设备-流程-管理”全链条数字化体系，实现试剂智能调配、设备联动控制、数据实时分析。某化工集团长期规划建设的绿色实验室，通过AI算法优化实验流程，结合闭环试剂回收系统，实现污染物零排放，显著降低年运营成本。

### 3.2 管理优化措施

(1) 建立EHS(环境、健康、安全)管理体系：明确化验各环节的环境风险控制点，如试剂储存温度监控、废弃物分类标准、应急处理流程等，配备专业EHS管理人员定期巡检。某医药化工化验单位建立EHS体系后，环境违规事件发生率大幅下降，显著减少员工职业健康投诉。(2) 制定无污染化验操作标准(SOP)：细化绿色试剂使用规范、智能设备操作流程、废弃物处理步骤等，如规定离子液体的蒸馏回收参数、微反应器的压力控制范围。某精细化工化验室通过标准化操作，显著提升试剂重复利用率，有效控制实验误差率。

### 3.3 政策与经济支持

(1) 政府补贴与税收优惠申请：积极对接地方环保部门，申请无污染技术改造补贴，如某省对引进智能检测设备的企业给予一定比例的购置补贴；同时利用国家对环保企业的税收减免政策，降低技术研发与运营成

本。某化工化验单位通过政策申请，获得可观补贴资金与税收减免。（2）产学研合作开发定制化技术：与高校、科研机构合作，针对企业特定化验需求开发技术，如某化工企业联合高校研发专用生物基检测试剂，解决传统试剂难降解问题，缩短研发周期，提升技术转化效率。

### 3.4 人员能力建设

（1）绿色化验技术培训体系：定期开展绿色试剂使用、智能设备操作、数字化平台管理等培训，邀请行业专家授课，结合实操演练提升技能。某化验单位通过季度培训，显著提升员工对离子液体、微反应器等技术的掌握率。（2）环保意识与操作技能考核：将环保指标纳入员工绩效考核，如试剂节约率、废弃物合规处理率等；定期组织技能考核，未达标者需重新培训。某企业通过考核机制，显著提升员工环保操作合规率，减少试剂浪费现象<sup>[4]</sup>。

## 4 化工化验单位无污染化验技术体系的挑战与对策

### 4.1 技术层面

（1）绿色试剂成本高与稳定性不足：当前主流绿色试剂如离子液体、生物基酶试剂，生产成本高于传统试剂，且部分生物基试剂在特定环境（如高温、高盐）下易失活，影响检测精度。例如，某化工化验室使用酶催化试剂检测废水COD时，因试剂稳定性不足，导致检测数据偏差，需频繁更换试剂，进一步增加成本。（2）对策：联合高校开发低成本复合试剂：企业可与高校化工学院、生物工程学院合作，通过优化试剂配方、改进合成工艺降低成本。某石化企业联合某理工大学，以工业副产物为原料开发复合离子液体，降低原料成本，且通过添加稳定剂提升试剂稳定性，在特定高温环境下仍能保持较高活性，有效控制检测偏差。同时，合作双方共建试剂中试基地，实现规模化生产，进一步摊薄单位成本。

### 4.2 管理层面

（1）员工惯性思维与操作规范执行难：部分老员工长期依赖传统化验方法，对绿色试剂使用、智能设备操作存在抵触情绪，且对无污染操作规范执行流于形式。某化验单位检查发现，部分员工仍违规使用传统有毒溶剂，智能采样设备因操作不熟练长期闲置，导致技术落地效果大打折扣。（2）对策：建立激励机制与动态监督

体系：一方面，设立相关奖项，对试剂节约率高、合规操作达标的员工给予奖金奖励；另一方面，安装智能监控设备，实时监测试剂使用量、设备运行状态，对违规操作实时预警，后台生成违规报告并与绩效挂钩。某企业实施该对策后，显著提升员工规范操作率与智能设备使用率。

### 4.3 经济层面

（1）初期投资回报周期长：无污染技术体系建设涉及设备改造、试剂替换、数字化平台搭建等，初期投资规模较大。某型化工化验单位测算显示，全套无污染技术改造需投入不少资金，按年均节约成本测算，投资回报周期较长，导致企业投资意愿不足。（2）对策：申请绿色信贷与碳交易收益反哺：企业可向银行申请低利率绿色信贷，部分银行针对环保技术改造项目提供优惠贷款，缓解资金压力；同时，将无污染技术带来的碳排放减少量纳入碳交易市场，通过出售碳配额获得收益。某化工企业通过绿色信贷获得改造资金，同时获得碳交易收益，缩短投资回报周期，有效激发了投资积极性。

### 结束语

化工化验单位实现无污染化验，是顺应时代环保要求、谋求长远发展的必由之路。通过构建绿色试剂替代、智能化设备应用等技术体系，以及实施技术升级、管理优化等举措，虽面临技术、管理与经济层面的挑战，但已探寻出有效对策。未来，各单位需持续创新、强化协作，将无污染化验理念贯穿始终。如此，方能在降低环境风险的同时，提升自身竞争力，推动化工行业迈向绿色、可持续的新征程。

### 参考文献

- [1]费咏丽.化工油品化验工作的重要性和安全性[J].中国石油和化工标准与质量,2021,41(10):57-58.
- [2]秦彩霞.冶金企业金属检验单位无污染化验研究[J].中国金属通报,2021,8(15):135-136.
- [3]颜晓棠.化工化验设备的维修与改造方案[J].中国石油和化工标准与质量,2020,40(18):120-121.
- [4]张红艳,戈林凡.关于化工化验单位实现无污染化验的分析探讨[J].南北桥,2019,11(7):200-201.