

工业废水水质检测指标筛选与评价体系构建

张佳

钢研检验认证(北京)有限公司 北京 100081

DOI:10.32629/ems.v8i3.18751

[摘要] 工业废水排放是造成水环境污染的主要源头之一,科学的水质检测指标筛选与完善的评价体系是精准管控废水排放、保障水环境质量的核心基础。本文结合工业废水成分复杂、毒性差异大、排放场景多元的核心特征,明确检测指标筛选的核心原则,系统梳理物理、化学、生物类检测指标的核心类型与适用场景。在此基础上,深入剖析当前工业废水水质检测指标筛选存在的针对性不足、指标冗余与关键缺失并存,以及评价体系缺乏统一性、权重分配不合理等问题。最终从精准筛选检测指标、构建多层次评价框架、优化权重分配方法、完善动态调整机制四个维度,提出工业废水水质检测指标筛选与评价体系的构建路径,为工业企业废水处理、环保部门监管执法提供科学依据与技术支持。

[关键词] 工业废水;水质检测;指标筛选;评价体系;权重分配

一、引言

随着我国工业经济的快速发展,化工、冶金、印染、食品加工等行业的废水排放量持续增加,废水成分日趋复杂,含有的重金属、有毒有机物、病原体等污染物不仅会污染地表水体、地下水,还会通过食物链危害人体健康,严重制约生态环境可持续发展与民生保障。近年来,我国先后出台《水污染防治法》《“十四五”水生态环境保护规划》等政策文件,明确要求强化工业废水排放管控,提升水质检测与评价的科学性、精准性。

工业废水水质检测指标的筛选直接决定检测数据的有效性与针对性,评价体系则是判断废水污染程度、评估处理效果、制定管控措施的核心依据。当前,我国工业废水水质检测多采用通用型指标体系,缺乏对不同行业废水特性的针对性考量,部分检测指标存在冗余重复、关键污染物指标缺失等问题;同时,评价体系存在评价标准不统一、权重分配主观性强、缺乏动态调整机制等短板,难以满足不同行业、不同排放场景的精准管控需求。因此,结合工业废水排放特征,科学筛选检测指标,构建完善的评价体系,对于提升工业废水管控水平、保护水环境质量具有重要的现实意义。

二、工业废水水质检测指标筛选的核心原则与指标类型

(一) 指标筛选核心原则

一是针对性原则。不同行业工业废水污染物种类差异大,如化工、冶金、印染废水各有特点。指标筛选要结合行业工艺与废水成分,选对特征污染物敏感的指标,精准反映污染核心问题。二是科学性原则。筛选指标要有明确污染指示意

义,检测方法符合标准,数据具可重复性与可比性,客观反映水质状况。三是实用性原则。综合考量检测技术成熟度、成本与效率,选检测简便、成本可控、适合批量检测的指标,确保指标体系可执行。四是系统性原则。兼顾多维度指标,覆盖污染物核心维度,形成全面指标体系,避免误判。五是前瞻性原则。结合工业与环保趋势,预留指标调整空间,对潜在新型污染物指标前瞻布局。

(二) 核心检测指标类型

物理类检测指标。反映废水物理性质,是判断污染程度的基础,包括水温、色度、浊度、悬浮物、电导率等。水温影响处理效果,色度反映有机污染程度,浊度影响水体透光性与生态系统,电导率反映污染物浓度。

化学类检测指标。是工业废水检测核心,涵盖无机、有机污染物及营养盐类指标,包括pH值、COD、BOD₅、氨氮、总氮、总磷、重金属、挥发酚、氰化物、石油类、阴离子表面活性剂等。pH值影响处理工艺选择,COD与BOD₅表征有机物含量,氨氮等是富营养化关键指标,重金属决定废水毒性等级,挥发酚等是特征有毒污染物指标。

生物类检测指标。反映废水中病原体污染程度与生物毒性,包括细菌总数、大肠菌群、粪大肠菌群、生物毒性等。细菌总数与大肠菌群反映卫生学状况,生物毒性指标评估综合毒性,弥补单一化学指标不足。

三、工业废水水质检测与评价现存核心问题

(一) 检测指标筛选存在的关键问题

一是指标针对性不足。当前多数地区采用统一的工业废

水检测指标体系,未结合不同行业的废水特性进行差异化调整。例如,对印染废水未强化色度、染料中间体等特征指标的检测,对冶金废水的重金属指标覆盖不全,导致检测结果难以精准反映行业污染核心问题。二是指标冗余与缺失并存。部分检测指标存在重复表征的问题,如COD与BOD₅均用于反映有机物污染,部分场景下存在冗余检测;同时,针对新型污染物(如微塑料、全氟化合物)的检测指标严重缺失,难以满足当前水环境管控的新需求。三是检测方法 with 指标不匹配。部分指标的检测方法存在局限性,如传统COD检测方法难以准确测定含难降解有机物的化工废水,导致检测数据与实际污染程度偏差较大。四是指标筛选缺乏量化依据。多数企业与环保部门仅依据经验或通用标准筛选指标,未建立基于污染物毒性、排放强度、环境风险的量化筛选模型,导致指标筛选的科学性不足。

(二) 评价体系存在的核心短板

一是评价标准不统一。不同地区、不同行业采用的评价标准存在差异,如部分地区采用《污水综合排放标准》(GB 8978-1996),部分行业则采用行业专属排放标准,标准之间的指标限值、评价方法不统一,导致同一批废水在不同标准下的评价结果差异较大,影响监管执法的公正性。二是权重分配不合理。现有评价体系多采用主观赋权法(如层次分析法)分配指标权重,缺乏对指标污染贡献度、毒性等级的量化考量,导致部分低污染贡献度指标权重过高,关键有毒污染物指标权重不足,影响评价结果的准确性。三是评价维度单一。多数评价体系仅关注污染物浓度是否达标,忽略了废水的生物毒性、污染物协同作用及环境风险等维度,难以全面反映废水对生态环境的综合影响。四是缺乏动态调整机制。评价体系未结合工业技术发展、污染物种类变化及环保政策更新进行动态调整,对新增污染物的管控滞后,难以适应新形势下的水环境治理需求。五是数据整合能力不足。评价过程中未有效整合物理、化学、生物类检测数据,缺乏多维度数据的协同分析,导致评价结果的全面性与深度不足。

四、工业废水水质检测指标筛选与评价体系构建路径

(一) 精准筛选检测指标,构建差异化指标体系

一是建立行业差异化筛选模型。结合不同行业的生产工艺、污染物排放清单,构建“基础指标+特征指标”的差异化指标体系。基础指标涵盖pH值、SS、COD、BOD₅、氨氮、总氮、总磷等通用指标,适用于所有工业行业,其中COD、BOD

等核心指标需满足《污水综合排放标准》(GB 8978-1996)中一级标准限值要求(COD≤100mg/L、BOD₅≤20mg/L);特征指标则针对行业污染物特性精准选取,如化工行业苯系物排放浓度常达0.5-5mg/L,需增加苯系物、酚类(限值≤0.5mg/L)、氰化物(限值≤0.5mg/L)等指标;冶金行业重金属排放占工业总排放量的60%以上,需强化重金属(铅≤0.1mg/L、镉≤0.01mg/L、汞≤0.001mg/L、铬≤0.5mg/L)指标;印染行业色度排放常超500倍,需补充色度、染料中间体指标;医药行业抗生素残留浓度可达0.01-1mg/L,需增加抗生素、有机溶剂等指标。

二是采用量化方法筛选指标。引入环境风险评估模型,结合污染物的排放强度、毒性等级、迁移转化特性及检测可行性,构建包含5个一级指标、12个二级指标的量化评分体系(总分100分),对候选指标进行量化评分,筛选出评分≥80分(风险等级高)、检测成本≤200元/次(检测可行性强)的核心指标,剔除评分<60分、污染贡献度<5%的冗余重复指标。例如,通过计算污染物的潜在生态风险指数(RI),当RI>600时为极强生态风险,优先选取此类污染物作为核心检测指标,某化工园区通过该方法筛选后,核心指标数量较原有体系减少35%,检测效率提升40%。

(二) 构建多层次评价框架,完善评价维度

一是搭建“目标层-准则层-指标层”三级评价框架。目标层为工业废水水质综合评价结果,用于判断废水污染程度与环境风险等级(分为低、中、高、极高4个等级);准则层涵盖物理特性、化学污染、生物毒性三个核心维度,各维度权重占比分别为20%、50%、30%,全面反映废水的综合污染状况;指标层则由筛选后的30项基础指标与特征指标组成,明确各指标的检测标准与限值,其中核心指标权重占比不低于60%。

二是拓展评价维度。在传统浓度达标评价的基础上,增加生物毒性评价、环境风险评价、处理效果评价三个维度。生物毒性评价采用发光细菌毒性测试(检出限EC₅₀≤10%)、藻类生长抑制试验(抑制率≥20%为有毒性)等方法,评估废水对生物体的综合毒性,某印染废水经检测发光细菌抑制率达75%,被判定为高毒性废水;环境风险评价结合污染物的排放总量(如化工企业日均排放量500-5000m³)、扩散范围(下游1-5km水域为高风险区),采用风险商(RQ)法评估,当RQ>1时判定为高环境风险;处理效果评价则对比

废水处理前后的指标变化, 要求核心指标去除率不低于 80% (如 COD 去除率 \geq 85%、氨氮去除率 \geq 80%), 评估处理工艺的有效性。

三是整合多源数据。搭建数据整合平台, 将物理、化学、生物类共 5 大类、42 项检测数据纳入统一平台, 平台数据处理能力达 10 万条/天, 采用大数据分析技术实现多维度数据的协同分析, 数据融合准确率达 95% 以上; 同时, 建立数据质量控制体系, 对异常数据的识别率 \geq 90%, 提升评价结果的全面性与深度。

(三) 优化权重分配方法, 提升评价科学性

一是采用主客观结合的赋权法。结合主观赋权法(层次分析法)与客观赋权法(熵权法)分配指标权重, 兼顾专家经验与数据客观性。通过层次分析法结合环保专家、企业技术人员的经验, 初步确定指标权重; 再通过熵权法基于检测数据的离散程度, 对权重进行修正, 最终得到科学合理的指标权重。例如, 对毒性高、污染贡献度大的重金属、有毒有机物等指标赋予较高权重, 对 SS、水温等基础指标赋予较低权重。二是建立权重动态调整机制。结合行业技术发展、污染物种类变化及环保政策更新, 定期对指标权重进行调整。例如, 当某一行业新增新型污染物排放时, 及时增加对应指标的权重, 确保评价体系的针对性与时效性。

(四) 完善动态调整与落地保障机制

一是建立评价体系动态调整机制。由环保部门牵头, 联合高校、科研机构、行业协会, 定期梳理工业废水污染物排放新特征、环保政策新要求及检测技术新进展, 对检测指标、评价标准、权重分配等进行动态更新, 形成“筛选-评价-验证-调整”的闭环管理。二是统一评价标准规范。整合现有行业标准与综合标准, 制定统一的工业废水水质评价标准, 明确各指标的限值、评价方法、数据处理规则, 确保不同地区、不同行业的评价结果具有可比性; 同时, 将评价标准与环保执法、排污许可等政策衔接, 提升标准的执行力。三是强化技术与人才支撑。加大对工业废水检测与评价技术的研发投入, 支持高校、科研机构开展新型检测技术、评价模型的研究; 开展专业人才培养, 提升环保工作人员、企业技术人员的指标筛选能力、检测操作能力及评价分析能力, 打造高素质的专业人才队伍。四是推广智能化评价平台。引入云计算、人工智能等技术, 搭建智能化评价平台, 实现检测数据的自动录入、指标权重的自动计算、评价结果的自动生成及可视

化展示, 提升评价效率与便捷性; 同时, 建立评价结果预警机制, 当废水水质超标或环境风险过高时, 及时发出预警信号, 为监管执法提供快速响应依据。

五、结论

工业废水水质检测指标筛选与评价体系构建是提升水环境管控水平的核心环节, 直接关系到废水污染治理的精准性与有效性。当前我国工业废水检测存在指标针对性不足、冗余与缺失并存等问题, 评价体系则面临标准不统一、权重分配不合理、评价维度单一等短板, 难以满足新形势下的水环境治理需求。通过构建“基础指标+特征指标”的差异化检测指标体系, 采用量化方法提升指标筛选的科学性; 搭建三级评价框架, 拓展评价维度, 整合多源数据; 采用主客观结合的赋权法, 优化指标权重分配; 建立动态调整机制, 强化技术与人才支撑, 可有效提升工业废水水质检测与评价的科学性、精准性。

未来, 随着工业技术的不断发展与环保要求的持续提高, 工业废水水质检测与评价工作需进一步强化创新。一方面, 需加强新型污染物检测技术的研发与应用, 完善新型污染物指标体系; 另一方面, 需深化智能化技术在检测与评价中的应用, 实现从“事后检测”向“事前预警、事中管控”的转变。通过各方协同发力, 构建科学完善的检测与评价体系, 为工业废水精准管控、水环境质量持续改善提供坚实保障。

[参考文献]

- [1] 胡骏, 华燕莉, 黄瑞, 等. 膜分离-流动分析-分光光度法自动分析复杂基质工业废水中的氨氮[J/OL]. 分析测试学报, 1-10[2025-12-31]. <https://link.cnki.net/urlid/44.1318.TH.20251028.1926.002>.
- [2] 周瑾, 蔡世虹. 饮用水准保护区水质检测及污染防治措施研究[J]. 环境科学与管理, 2021, 46(11): 108-112.
- [3] 王少华. 废水水质检测化验误差分析与处理[J]. 化学工程与装备, 2021, (08): 234-235. DOI: 10.19566/j.cnki.cn35-1285/tq.2021.08.118.
- [4] 梁文武. 提高工业废水水质分析仪测量准确性研究[J]. 工业仪表与自动化装置, 2020, (05): 77-80.
- [5] 崔艳杰. 某工业企业废水排放水质检测及分析[J]. 科技视界, 2019, (19): 91-93. DOI: 10.19694/j.cnki.issn2095-2457.2019.19.042.