

编者按:水体污染控制与治理科技重大专项(水专项)是根据《国家中长期科学和技术发展规划纲要(2006—2020 年)》设立的 16 个重大科技专项之一。将通过六大主题的技术研发与综合示范,实现示范区域水环境质量改善和饮用水安全的目标,有效提高我国流域水污染防治和管理技术水平。河流水污染控制综合整治技术示范主题组于 2009 年 11 月 30 日—12 月 1 日在辽宁省沈阳市组织召开了“河流主题‘流域重污染行业水污染控制技术’研讨会”。研讨会收到了大量论文,经过水专项河流主题专家组的精心优选和审查,现以专刊形式登载论文 21 篇,包括节水减排清洁生产、废水物化和化学预处理、废水生物处理、废水处理与回用等研究成果,在强调难降解工业废水的预处理与生物强化处理技术的同时,也重视节水减排和废水回用技术,反映了河流点源水污染治理“源头—过程—末端”全过程控制、污染治理与资源化回用相结合的技术思想。希望该专刊的出版能够为水专项河流水污染控制技术研发与示范,为我国河流水环境改善的技术进步起到积极的推动作用。

工业废水污染治理途径与技术研究发展需求

胡洪营¹, 赵文玉^{1,2}, 吴乾元¹

1. 清华大学环境科学与工程系,环境模拟与污染控制国家重点联合实验室,北京 100084
2. 桂林理工大学环境科学与工程学院,广西 桂林 541004

摘要:根据工业废水的特点,构建科学合理的废水处理模式,不断完善和发展废水处理技术及水质安全评价与管理技术是水污染防治领域的重要课题。在分析工业废水特点和阐述废水污染治理基本策略与途径的基础上,重点介绍了工业废水处理特性评价、工艺优选方法、水质安全管理等方面的研究进展,并探讨了废水污染治理思路和技术的发展方向。指出工业废水污染治理应实现以下 5 个方面的转变和发展,即处理模式从不同种类废水混合收集集中处理向分类收集分别处理优先转变;研究开发从重视废水处理单一技术研发向同时重视废水处理技术集成与处理工艺优化方法研究转变;水质有机污染评价从重视综合浓度指标向同时关注和重视“有机物特征指标”转变;废水排放控制指标从重视常规指标向同时关注和重视水质安全和综合生物毒性指标转变;工艺设计理念从“处理工艺”向“生产工艺”转变。

关键词:废水处理特性评价;废水处理模式;生物处理特性;化学氧化处理特性;废水综合生物毒性控制;处理工艺优化

中图分类号: X505 文献标志码: A 文章编号: 1001-6929(2010)07-0861-08

Basic Strategies and Technology Requirements for Industrial Wastewater Pollution Control

HU Hong-ying¹, ZHAO Wen-yu^{1,2}, WU Qian-yuan¹

1. Environmental Simulation and Pollution Control State Key Joint Laboratory, Department of Environmental Science and Engineering, Tsinghua University, Beijing 100084, China
2. College of Environmental Science and Engineering, Guilin University of Technology, Guilin 541004, China

Abstract: Development of advanced strategies and approaches, new treatment technologies and water quality safety evaluation and management methods for industrial wastewater are important issues in the field of water environment pollution prevention. Based on analysis of the characteristics of industrial wastewater, the basic strategies and approaches for industrial wastewater pollution control, recent research concerning industrial wastewater treatability evaluation methods, treatment process selection methods and concept of water quality safety management are introduced, and the future needs for methodology and technology development for industrial wastewater pollution control are discussed. The following five aspects of change and development should be achieved in the field of

industrial wastewater pollution control: the mode of centralized treatment after combining different kinds of wastewater should be changed to individual treatments based on categorized collections; research concerning wastewater treatment technologies should not only focus on the development of single technologies, but also on the integration of treatment technologies and the optimization of treatment processes; in addition to

收稿日期: 2010-04-08 修订日期: 2010-05-04

基金项目: 国家水体污染控制与治理科技重大专项(2008ZX07313-002)

作者简介: 胡洪营(1963-),男,山东鄄城人,教授,博士,博导,主要研究环境生物技术、污水再生处理与安全回用、再生水水质安全评价与保障技术等,hyhu@tsinghua.edu.cn.

quantitative integrated indexes such as chemical oxygen demand (COD_{Cr}) concentration, “characteristic indexes” such as chemical and bio-impact characteristics of organic pollutants in wastewater should be taken into consideration for water quality evaluation and treatment process optimization; wastewater controlling indexes for discharge standards should include not only conventional water quality indexes but also indexes concerning water quality safety and bio-toxicity; and, the design concept of wastewater pollution control processes should be transformed from “design as treatment processes” into “design as production processes”.

Key words: wastewater treatability evaluation; wastewater treatment mode; biological treatability; chemical oxidation treatability; wastewater general bio-toxicity control; treatment process optimization

工业废水是造成水环境污染的重要污染源。2008年,我国工业废水排放量为 $241.7 \times 10^8 \text{ t}$,占废水排放总量的 42.3%^[1]。据环境保护部通报,2009年 3 486 家国家重点监控企业的废水化学需氧量部分测次超标的占 24%,全年监测超标的占 12%^[2]。在全年监测超标企业中,化学需氧量最高超标倍数达 614.8 倍,我国工业废水污染治理仍然面临严峻的挑战。针对工业废水的特点,构建科学合理的废水处理模式,不断完善和发展废水处理技术及水质安全评价与管理技术等成为水污染防治领域的重要课题。

工业废水中的污染物成分和性质与城市生活污水相比有显著的差异,且具有以下突出特点:①污染物成分复杂、差异大。不同城市和地区生活污水中的污染物成分和性质类似,但是不同行业之间的工业废水,其成分和性质存在显著差异。特别值得注意的是,同一行业,不同企业之间的废水,其成分差别也很大。即使是同一企业或工厂,不同生产工艺间的废水组分也存在较大差异^[3]。很多情况下,同一生产工艺,在不同的时期或不同的操作条件下,废水的组分也会发生很大的变化^[4]。如同一印染厂产生的废水,在 1 d 之内就会呈现出多种颜色,这导致管理措施不好的印染废水处理厂出水的颜色也时常发生变化。②污染物浓度范围宽、波动大。工业废水中的污染物质量浓度分布范围宽,低的几 mg/L ,高时会达几十万 mg/L ,同一种废水的质量浓度随时间的变化幅度较大,这就给处理工艺设计和日常运行管理带来了难度,同时也对保障处理水水质稳定带来了挑战。③难生物降解性和毒性污染物种类多、浓度大。工业废水中往往含有较多种类或较高浓度的难生物降解有机污染物、毒性物质等,利用单一的技术原理难以保证处理水质,往往需要多种技术原理和处理单元组合,形成比城市生活污水更加复杂的处理工艺。④处理目标多样、水质标准差别大。工业废水处理后的回用或排放途径,即处理出水的去向多样,包括工艺内回用、厂内杂用、厂间回用、区域

回用、市政管网排放和直接排放等。去向不同,水质要求不同,处理工艺选择和处理目标也不同。

工业废水的以上突出特点,决定了不能简单模仿城市生活污水的处理模式和处理工艺,也不能简单照搬同类企业或同类工厂的废水处理工艺和运行管理。因此,建立基于工业废水特点的处理工艺优选和设计方法,是工业废水污染治理研究需要重点解决的科学问题。掌握废水的处理特性,针对不同的工业废水选择适宜的工艺,确定最佳的工艺参数和运行操作管理模式,是废水处理工程中需要遵循的基本原则之一。但是,这一基本原则,在工业废水污染治理实践中往往被忽视,导致工艺选择不合理、处理效果不达标现象时常发生。

科学、系统评价和客观掌握废水的处理特性、现有处理技术和工艺的适用性(适用对象、废水种类和浓度等)、处理能力、能源效率以及经济性等是工业废水处理工艺选择的前提。

我国废水治理领域的研究,大多集中在单项技术的开发或改进,针对废水处理特性评价方法和工艺优选方法的研究较少,有待加强。新技术的开发无疑会带来废水处理领域的发展,但是新技术和工艺的应用需要一定的过程和较长的时间。通过选择适宜的工艺、确定最佳运行操作模式和条件,来提高废水污染治理的效果,是应首先开展的工作,这样对保证废水处理效果更合理、也更现实。

笔者在介绍工业废水污染治理基本技术策略与途径的基础上,重点探讨工业废水处理特性评价、工艺优选方法方面的研究进展,并提出了在废水处理模式、水质评价、控制指标、工艺设计和技术研发等方面的研究课题。

1 工业废水污染防治的基本策略与途径

生产工艺减排、废水循环利用和废水处理系统优化是工业废水污染治理的基本途径^[5](见图 1)。

生产工艺减排的具体措施很多,也有许多科研成果和资料。这里特别强调的是,应重视生产原料和生产辅料的选择,从生产工艺的“源头”,即原材

料选择阶段采取科学、合理措施,减少污染物的产生隐患。在满足生产要求的前提下,尽可能采用产污少、处理性好的原材料。这就要求企业环保部门和采购部门密切合作,建立有效机制,制定切实有效的程序和方法。在选择和购置生产材料阶段,就从环境保

护的角度,系统评价水溶性原材料的处理性,对难处理的原材料要寻求替代产品,或强化管理,限制使用。也就是说企业要赋予环保部门参与生产决策的权利。FUJIE 等^[6]报道了日本某汽车公司实施的基于环境保护和废水处理性评价的生产材料采购评估程序。

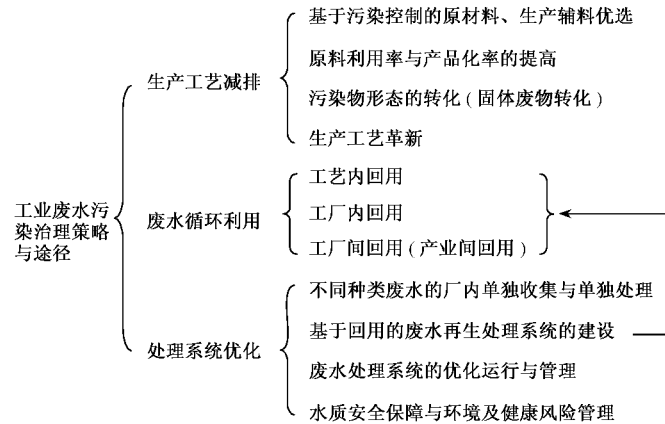


图 1 工业废水污染防治的基本策略和途径

Fig. 1 Basic strategies and approaches for industrial wastewater pollution control

废水循环利用和废水处理系统优化运行与管理密不可分,后者是前者实施的前提和保障。不同的回用途径,对废水处理系统的处理水质和优化运行提出不同的要求。关于废水的处理模式,厂内不同种类的废水混合收集、集中处理模式,给运行管理带来很大的难度。不同企业间的废水集中处理、工业

废水和生活污水混合处理带来的问题会更大,在实践中也确实遇到很多的运行管理问题^[7-8]。因此,转变工业废水的处理模式,实施废水的“分类收集和分别处理”可以大大降低废水处理的技术难度和运行管理难度,也有利于实现废水的循环利用^[9](见图 2)。

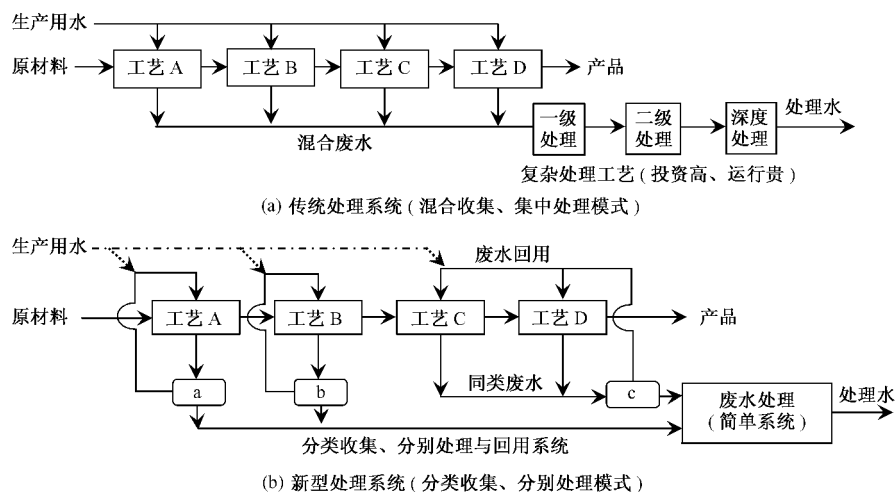


图 2 基于分类收集分别处理回用的工业废水处理模式

Fig. 2 Industrial wastewater treatment mode based on categorized collections and recycling treatments

2 工业废水处理特性评价与最佳工艺选择

2.1 处理特性评价方法

生物处理特性、化学氧化处理特性、混凝沉淀特

性和活性炭吸附处理特性等是评价废水处理特性的重要指标。这里重点介绍生物处理特性和化学氧化处理特性评价方法的研究进展。

2.1.1 生物处理特性评价

废水生物处理特性的评价,在废水处理工艺选择中,往往简单利用废水的生物降解性指标,即 $\rho(\text{BOD}_5)$ 和其他有机污染物综合指标的比值来判断,如 $\rho(\text{BOD}_5)/\rho(\text{COD}_{\text{Cr}})$ 、 $\rho(\text{BOD}_5)/\rho(\text{TOD})$ 、 $\rho(\text{BOD}_5)/\rho(\text{DOC})$ 等(见表 1),但是,这种判断方式在很多情况下并不能对废水的生物处理特性进行科学、客观的评价,不能很好地指导废水处理工艺的确定和运行优化。

由于废水中存在多种多样的有机污染物, $\rho(\text{BOD}_5)/\rho(\text{DOC})$ 的总体指标 $\{\rho(\text{BOD}_5)/\rho(\text{DOC})\}_{\text{总}}$ 是各污染物的 $\{\rho(\text{BOD}_5)/\rho(\text{DOC})\}_i$ 之和,即使 $\{\rho(\text{BOD}_5)/\rho(\text{DOC})\}_{\text{总}}$ 大于 1.2,也会存在 $\{\rho(\text{BOD}_5)/\rho(\text{DOC})\}_i$ 小于 1.2 的污染物,即存在不适用于生物处理的污染物。这些难生物处理的污染物,往往是造成处理效果不理想和水质不达标的重要原因。

表 1 废水生物处理特性简易判断指标
Table 1 Simple evaluation indexes of biological treatability of wastewater

指标	数值	生物处理特性
$\rho(\text{BOD}_5)/\rho(\text{DOC})$	>1.2	适于生物处理
	$0.4 \sim 0.6$	适于生物处理
$\rho(\text{BOD}_5)/\rho(\text{COD}_{\text{Cr}})$	$0.2 \sim 0.4$	废水中存在难生物降解性污染物
	<0.1	不适于生物处理

图 3 为各种焦化废水和金属加工废水在 $\rho(\text{BOD}_5)$ 测定过程中,培养 5 d 后的 DOC 去除率,该去除率在一定程度上反映了生物处理系统中的 DOC 去除潜力。 $\rho(\text{BOD}_5)/\rho(\text{DOC})$ 数值相同的废水,在 $\rho(\text{BOD}_5)$ 测定过程中 DOC 去除率差别很大,如 $\rho(\text{BOD}_5)/\rho(\text{DOC})$ 为 1.2 的废水,DOC 去除率在 30% ~ 80% 间变化。

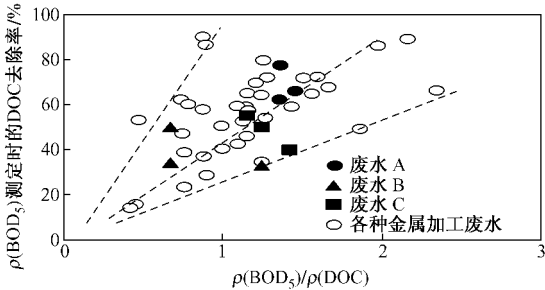


图 3 几种工业废水的生物处理特性评价(示例)

Fig. 3 Examples of biological treatability evaluation of industrial wastewater

鉴于以上情况,有研究提出了更加系统的废水

生物处理特性评价方法^[5-6],即“DOC 去除效率图”评价法,如图 4 所示。

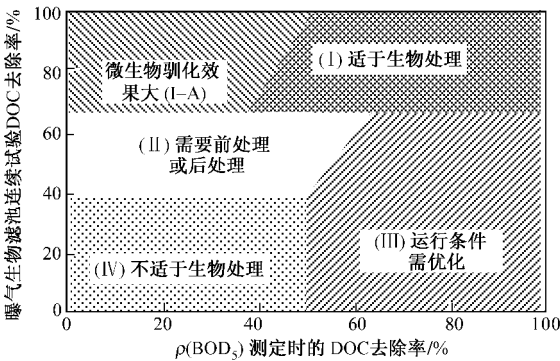


图 4 用于废水生物处理特性评价的“DOC 去除效率图”

Fig. 4 The “DOC removal efficiency figure” used for biological treatability evaluation of industrial wastewater

图 4 的横坐标是 $\rho(\text{BOD}_5)$ 测定时的 DOC 去除率,可以理解为利用间歇生物降解试验测得的 5 d 的 DOC 去除率。在 $\rho(\text{BOD}_5)$ 测定时,通过试验前后的 $\rho(\text{DOC})$ 可简单地获得 DOC 的去除率。纵坐标是利用实验室小型曝气生物滤池连续处理试验,在一定操作条件(如 DOC 负荷、水力停留时间等)下测得的 DOC 去除率。

根据图 4 可以比较全面地评价废水的生物处理特性,包括生物处理可达到的处理效果、是否需要预处理或后处理、如何优化生物处理工艺操作等(见表 2)。

2.1.2 化学氧化处理特性

化学氧化(包括臭氧氧化、Fenton 氧化和湿式氧化等)是工业废水预处理和深度处理常用的技术,特别是在难生物降解废水的处理中发挥着重要作用^[10-14]。化学氧化处理的目不同,其评价指标也不尽相同(见表 3)。

对于作为生物处理预处理的情况,废水化学氧化处理特性的评价,不仅要关注废水生物处理性指标的改善,如 $\rho(\text{BOD}_5)/\rho(\text{DOC})$ 值的改善,还需要重点评价生物可降解性有机碳(Biodegradable Organic Carbon, BOC)的转化率(R_b)。 R_b 值越高,化学氧化预处理的技术可行性就越大。生物降解性改善潜力(Biodegradability Improvement Potential, BIP)是优化化学氧化预处理单元工艺设计及评价其经济性的重要指标。Fenton 氧化预处理的 BIP 可以根据下式计算:

$$BIP = \frac{\Delta\rho(\text{BOD}_5)}{W_o - \Delta\rho(\text{DOC}) \frac{ThOD}{\rho(\text{DOC})} \frac{34}{16}} \quad (1)$$

表 2 基于“DOC 去除效率图”的废水生物处理特性评价

Table 2 Evaluation of industrial wastewater biological treatability based on the “DOC removal efficiency figure”

区域	$\rho(\text{BOD}_5)$ 测定时的 DOC 去除率 (RE_b) / %	连续处理试验的 DOC 去除率 (RE_c) / %	生物处理特性
I		> 65 ~ 70	连续处理试验的 DOC 去除率高, 适于生物处理 I - A 区: $\rho(\text{BOD}_5)$ 测定时的 DOC 去除率很低, 但连续处理试验的 DOC 去除率很高, 说明生物驯化的效果大, 在实际运行, 特别是在启动阶段应注意驯化操作
II	< 50	40 ~ 65	适于生物处理, 但去除效率较低, 有时需要增设前处理或后处理单元, 以保证出水水质
III	> 50	< 65	$\rho(\text{BOD}_5)$ 测定时的 DOC 去除率较高, 生物降解性好, 但连续处理试验的 DOC 去除率却很低, 说明操作条件有待优化
IV	< 50	< 40	$\rho(\text{BOD}_5)$ 测定时的 DOC 去除率和连续处理试验的 DOC 去除率均很低, 不适于生物处理

表 3 废水化学氧化处理特性评价指标

Table 3 Evaluation indexes of wastewater chemical oxidation treatability

化学氧化处理的目的	废水化学氧化处理特性评价指标
生物处理工艺的预处理	生物降解性变化: $\Delta [\rho(\text{BOD}_5) / \rho(\text{DOC})]$ 生物可降解性有机碳转化率 (R_b): $\Delta [\rho(\text{BOC}) / \rho(\text{DOC})_0]$ 有机物去除率 (R_m): $\Delta [\rho(\text{DOC}) / \rho(\text{DOC}_0)]$ 或 $\Delta [\rho(\text{COD}_{Cr}) / \rho(\text{COD}_{Cr})_0]$ 生物降解性改善潜力 (BIP): 单位氧化剂添加量所获得的 BOD_5 增加量 中间产物对微生物的抑制性
深度处理	有机物去除率 (R_m): $\Delta [\rho(\text{DOC}) / \rho(\text{DOC}_0)]$ 或 $\Delta [\rho(\text{COD}_{Cr}) / \rho(\text{COD}_{Cr})_0]$ 副产物的生物毒性

注: BOC 为可降解性有机碳; DOC_0 为初始 DOC.

式中: W_0 为 H_2O_2 投加量, mg/L ; $ThOD$ 为理论需氧量 (Theoretical Oxygen Demands).

对于作为深度处理的情况, 除关注有机物的去除率外, 还应关注化学氧化处理后废水生物毒性的变化, 因为在一些情况下, 化学氧化处理后, 有机物含量虽然有所降低, 但常出现生物毒性升高的现象^[15-16], 因此需要关注和评价处理水生物毒性的变化.

2.2 基于分子质量和生物降解性的处理工艺选择

溶解性有机污染物的分子质量对废水的处理有很大影响^[17-18], 系统评价和掌握废水中有机污染物的分子质量及分布情况, 对选择处理工艺十分重要. 不同生物降解性和不同分子质量的污染物适宜的处理方法如图 5 所示^[5]. 由图 5 可以看出, 对于分子质量为 $10^3 \sim 10^4 \text{ u}$ 的难生物降解性污染物不易被活性炭吸附, 也不易用絮凝处理, 膜过滤去除效果也不理想, 是废水处理中的难点. 如何有效去除该部分污染物, 是技术研发需要关注的重点之一.

2.3 生物处理工艺的有机物去除性能与能耗评价

生物处理是工业废水处理中应用最为广泛的技术, 系统掌握和评价各种生物处理工艺的技术性和经济性, 是选择和优化废水处理工艺的重要依据, 特

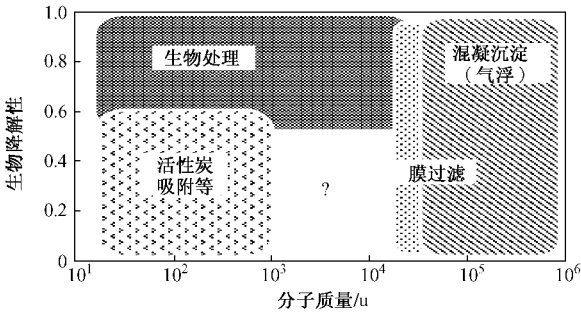


图 5 基于分子质量和生物降解性的处理工艺选择方法
Fig. 5 Selection method for treatment processes based upon biodegradability and molecular weights of pollutants

别是在资源能源危机日益加重的今天, 在选择处理工艺时应特别关注生物处理系统的能源消耗效率.

图 6 是各种生物处理系统的处理效果和能源效率的比较^[5]. 从图 6 可以看出, 提高生物处理系统单位占地面积的 BOD_5 处理速率往往以牺牲能源效率为代价. BOD_5 处理速率增加, 单位电力消耗能够去除的 BOD_5 量减少, 即能源效率降低. 曝气生物滤池具有较高的 BOD_5 去除能力和较高的能源效率, 是一个“性价比”较高的处理技术.

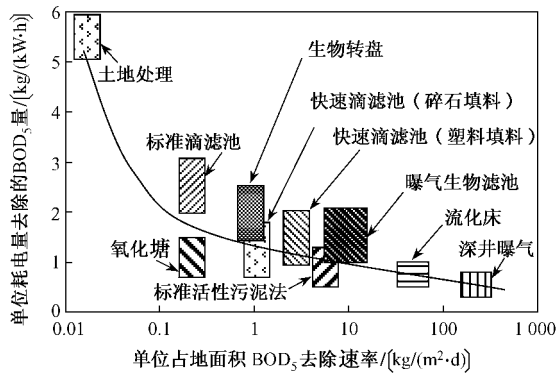


图 6 各种生物处理系统的 BOD_5 处理效果和能源效率比较

Fig. 6 Comparison of different biological treatment processes in terms of the efficiencies of BOD_5 removal and energy consumption

3 废水处理系统诊断与难处理污染物识别

对现有处理系统的运行状况进行全面评价,客观掌握其存在的问题,识别问题产生的原因,对制定科学、可行的改善措施,提高工业废水处理效果有重要作用。在废水处理系统运行性能诊断中,识别难处理组分及其产生原因是关键环节,图 7 给出了废水中难处理组分的识别与鉴别方法。首先根据分子量分布、极性、酸碱性等对处理出水中的有机物组分进行分离,评价和表征处理水中的溶解性组分特性,

识别在处理水中残留的、难处理的组分特征^[19-20]。之后,调研和评价生产工艺中使用的主要水溶性原料的组分,通过与处理出水中的残留组分比较,追溯难处理组分的产生原因。在此基础上,提出工艺和操作优化措施以及在生产工艺中的应用限制。对于现有的处理技术难以去除的污染物,要优先考虑替代产品的使用。

4 基于毒性减排的水质安全评价与管理方法

目前常用的水质指标可分为综合指标(如 BOD_5 , COD_{Cr} , DOC , TP , TN 等)和单一化合物指标,但这些指标均具有其局限性。 COD_{Cr} 和 DOC 等指标能较好地评价废水中有机污染物的含量,但不能给出有机物种类的信息,更不能给出这些污染物的危害性和危害程度。相同的 COD_{Cr} ,不同的废水,其污染物组成差异大,毒性差异也很大。比如污水消毒以后, COD_{Cr} 等有机物综合指标一般不会发生大的变化,但发光细菌毒性、遗传毒性和抗雌激素活性会明显上升^[21-23]。不难理解,仅用 COD_{Cr} , DOC 等评价不同的工业废水,就像仅仅用人口数量评价一个国家、用身高等评价一个人一样,显然不能客观、全面地评价其特性。因此,在重视浓度等定量指标的同时,关注和重视废水中有机物组分的化学性质和生物效应,即“有机污染物特征指标”十分必要。

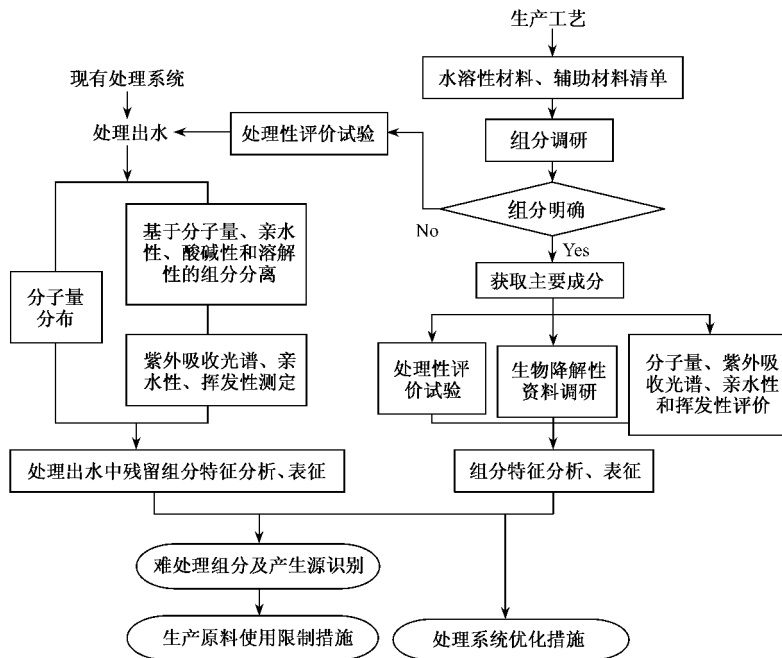


图 7 废水中难处理组分的识别方法与应对措施

Fig. 7 Identification methods and countermeasures of refractory fractions in wastewater

单一指标往往是具有毒性的污染物,一般是根据有毒有害化学物质对环境的污染状况和其毒性来制定的。但是,随着人类活动范围的扩展、强度的增加与形式的多样化,生产制造和使用的化学物质的种类也日趋增加。在日常生活和工业生产中经常使用的化学物质也多达 $6 \times 10^4 \sim 8 \times 10^4$ 种^[24],而且还在继续增加,这使得环境中积累的化学物质越来越多。

环境中积累的化学物质逐渐增多使得水质环境中单一物质的控制指标也逐年增加^[25-26],这种增加单一物质控制指标的方法存在许多不足^[27]:①单一指标一般是依据化学物质对人类的健康影响来制定的,较少考虑对生态系统的影响;②化学物质的毒性数据不足,在很多情况下从浓度无法判断其毒性的大小;③对毒性数据不足,或其毒性没有被认识到的化学物质难以进行控制;④不能反映化学物质间的联合作用(协同、叠加、拮抗等作用);⑤随着新的有毒有害化学物质的出现,单一指标将越来越多,由于新的有毒有害化学物质在环境中的浓度非常低,这会大大增加分析技术的难度和分析费用;⑥单一指标的建立往往是滞后的。

所有的化学物质在一定的条件下都会产生这样那样的毒性^[27]。废水中存在的多种污染物,可能引起各种综合污染和复合毒性。因此,为了保护水生生态和保证人类的可持续生存,转变固有的水环境保护观念,在控制废水中污染物浓度的同时,重视废水生物毒性管理和排放削减,对保障水质安全,保护水生生态系统有重要意义^[28-29]。美国、加拿大、德国等发达国家早在1970—1980年代就已经开始实施废水综合毒性控制,日本、韩国等国家也正在探讨废水毒性控制的技术和政策问题。急待研究、制定适合我国国情的工业废水毒性控制指标、评价方法和毒性标准。

生物检测(Bioassay)技术在水质安全评价和废水综合毒性控制中将起到重大作用。它不仅可以核定未知化学物质的影响,也可以反映化学物质间的相互作用和化学物质的生物可利用性,生物毒性检测技术可用于寻求某种化学物质或工业废水对水生生物的安全浓度,为制定合理的水质标准和废水排放标准提供科学依据,也可用于测试水体的污染程度,检查废水处理的有效程度,比较不同化学物质的毒性高低^[30]。

5 面向资源能源生产的废水处理技术与工艺

目前的废水处理系统,在净化水质、防治水环境

污染方面发挥着不可替代的作用,但是从资源能源与全球环境问题的侧面来看,该系统也可以说是一个“高投入、高产污、低效率”的“污染转嫁”系统。如现在的废水生物处理系统,利用大量的能源和处理药剂,把污水中的有机污染物转化成更难处理的污泥和温室气体二氧化碳。

未来的废水净化系统,不应把它作为废水“处理工艺”来设计,而应该把它作为一个以废水为原料,以最小的资源能源消耗,生产可利用的产品的“生产工艺”来设计,即废水污染治理的思路和技术研发,要实现从“处理工艺”到“生产工艺”的理念革新和转变。

“处理工艺”和“生产工艺”的最大区别在于目的截然不同。前者的目的是处理废水,目标仅关注水质本身的达标排放,很少关注处理出水是否能利用、去除的水中污染物的去向如何等。后者的目的是生产产品,水质目标不是达标排放而是达到相应的回用水质要求,同时还应关注水中碳、氮、磷等主要元素的资源能源转化与利用。以“生产工艺”理念为指导,开展技术研发、工艺设计和运行管理,将带来废水污染治理领域的革命性变革。

基于“生产工艺”理念,未来的处理工艺不是优先考虑将有机污染物转化成污泥和二氧化碳,而是首先考虑将废水中的有机物分离、浓缩,并充分利用有机物自身的能源价值(如利用厌氧发酵生产生物燃气等)。因此,废水中有机污染物的直接分离与利用技术将有广阔的前景。与有机物不同,水中的氮磷等营养物质则不宜优先考虑将其分离,而是首先考虑利用其植物营养物质的特点,生产高质量的生物物质或能源。在条件允许的情况下,利用微藻对氮磷的吸收作用处理废水,不仅可以得到良好的氮磷去除效果,还可以生产高利用价值(如作为生物柴油的原料等)的藻细胞,处理过程中还可以吸收温室气体二氧化碳,可谓一举多得,是一个值得关注的前瞻性技术^[31-32]。

6 结语

国家水体污染控制与治理科技重大专项的实施,为我国废水污染治理技术研究和 development 带来了前所未有的机遇,同时也对废水污染治理研究提出了更高的要求。识别工业废水污染治理中需要解决的关键科学问题和技术瓶颈,不断凝炼和正确把握工业废水污染治理思路和技术重点发展方向,对突破废水处理关键技术,有效控制工业废水污染有重

要的意义。

根据发达国家工业废水污染治理的成功经验和先进思想以及我国目前工业废水污染治理的实际需求及废水处理实践和技术研发过程中存在的问题,结合工业废水污染治理的最新研究进展,应该在工业废水处理模式、研究开发目标、水质评价、控制指标以及处理工艺设计理念等方面,实现以下5个方面的转变和发展:处理模式从不同种类废水混合收集集中处理向分类收集分别处理优先转变;研究开发从重视废水处理单一技术研发向同时重视废水处理技术集成与处理工艺优化方法研究转变;水质有机污染评价从重视综合浓度指标向同时关注和重视“有机物特征指标”转变;废水排放控制指标从重视常规指标向同时关注和重视水质安全和综合生物毒性指标转变;工艺设计理念从“处理工艺”向“生产工艺”转变。

参考文献 (References):

- [1] 环境保护部. 2008 年全国环境统计公报 [N]. 中国环境报, 2009-09-30(5).
- [2] 环境保护部. 关于 2009 年国家重点监控企业及污水处理厂主要污染物全年排放超标情况的通报 [EB/OL]. 北京: 环境保护部 2010 [2010-05-01]. http://www.mep.gov.cn/gkml/hbb/bgt/201003/t20100326_187445.htm.
- [3] 施新花, 邢瑞乐. 印染生产工艺废水特性浅析 [J]. 污染防治技术, 2006, 19(4): 50-52.
- [4] 杨期勇, 陈季华. 涤纶仿真丝碱减量废水处理技术 [J]. 印染, 2004, 30(20): 23-26.
- [5] HU H Y, GOTO N, FUJIE K. Concepts and methodologies to minimize pollutant discharge for zero-emission production [J]. Water Sci Technol, 1999, 39(10/11): 9-16.
- [6] FUJIE K, HU H Y. Pollutants discharge analysis and control with pre-evaluation systems of raw materials and wastewaters for zero-emission production process [C]//Proceeding of IAWQ Specialised Conference on Chemical Process Industries and Environmental Management. South Africa: [s. n.], 1997: No. 1.3.
- [7] 谢仁杰, 王昭, 张秀华. 泰兴市污水处理厂工程设计与运行管理总结 [J]. 给水排水, 2008, 34(1): 24-28.
- [8] 王素兰, 邢传宏. 混合型城市污水处理技术研究进展 [C]//国家科技重大专项“水体污染控制与治理”河流主题“流域行业点源水污染控制技术”研讨会. 北京: 中国环境科学研究院, 2009: 443-446.
- [9] 後藤尚弘, 胡洪营, 藤江幸一. 産業排水の削減対策と最適処理 [J]. 用水と廃水, 2000, 42(10): 870-875.
- [10] 蒋进元, 李勇, 周岳溪, 等. Fenton 法处理腈纶聚合单元生产废水 [J]. 环境科学研究, 2010, 23(7): 897-901.
- [11] 秦伟伟, 肖书虎, 宋永会, 等. UV/O₃ 高级氧化处理黄连素废水的研究 [J]. 环境科学研究, 2010, 23(7): 877-880.
- [12] 乔世俊, 赵爱平, 徐小莲, 等. 高级催化氧化法降解有机工业废水的研究 [J]. 环境科学研究, 2005, 18(5): 104-107.
- [13] 张丽, 朱晓东, 张燕峰, 等. 微波强化 Fenton 氧化处理邻氨基苯甲酸废水 [J]. 环境科学研究, 2009, 22(5): 516-520.
- [14] SOMENSI C A, SIMIONATTO E L, BERTOLI S L, et al. Use of ozone in a pilot-scale plant for textile wastewater pre-treatment: physico-chemical efficiency, degradation by-products identification and environmental toxicity of treated wastewater [J]. J Hazard Mater, 2010, 175(1/2/3): 235-240.
- [15] STALTER D, MAGDEBURG A, WEIL M, et al. Toxication or detoxication? in vivo toxicity assessment of ozonation as advanced wastewater treatment with the rainbow trout [J]. Water Res, 2010, 44(2): 439-448.
- [16] 王小毛, 黄霞, 左晨燕, 等. O₃/UV 降解喹啉过程中的毒性变化 [J]. 环境化学, 2003, 22(4): 324-328.
- [17] LEVINE A D, TCHOBANOGLOUS G, ASANO T. Characterization of the size distribution of contaminants in wastewater: treatment and reuse implications [J]. JWPFCF, 1985, 57(7): 805-816.
- [18] SHON H K, VIGNESWARAN S, SNYDER S A. Effluent organic matter (EfOM) in wastewater: constituents, effects, and treatments [J]. Critical Reviews in Environmental Science and Technology, 2006, 36(4): 327-373.
- [19] 赵文涛, 黄霞, 李笃中, 等. 无排泥条件下的膜生物反应器系统处理焦化废水可行性研究 [J]. 环境科学, 2009, 30(11): 3316-3323.
- [20] IMAI A, FUKUSHIMA T, MATSUSHIGE K, et al. Characterization of dissolved organic matter in effluents from wastewater treatment plants [J]. Water Res, 2002, 36(4): 859-870.
- [21] WANG L S, HU H Y, WANG C. Effect of ammonia nitrogen and dissolved organic matter fractions on the genotoxicity of wastewater effluent during chlorine disinfection [J]. Environ Sci Technol, 2007, 41(1): 160-165.
- [22] WANG L S, WEI D B, WEI J, et al. Screening and estimating of toxicity formation with photobacterium bioassay during chlorine disinfection of wastewater [J]. J Hazard Mater, 2007, 141(1): 289-294.
- [23] WU Q Y, HU H Y, ZHAO X, et al. Effect of chlorination on the estrogenic/antiestrogenic activities of biologically treated wastewater [J]. Environ Sci Technol, 2009, 43(13): 4940-4945.
- [24] URANO K. State of the art and futuristic method for risk management of chemicals [C]//Japan Society on Water Environment. Proceedings of the 9th Japan-Korean Symposium on Water Environment, Toyohashi: [s. n.], 2000: 82-87.
- [25] OKADA M, PETERSON S A. Water pollution control policy and management: the Japanese experience [M]. Tokyo: Gyosei, 2000.
- [26] NAGASAKA Y. New water environmental quality standards for human health [J]. Environmental Management (Japan), 1999, 35(9): 861-866.
- [27] KUSUI T. Role of bioassay in environmental management [J]. Journal of Japan Society for Safety Engineering, 2000, 39(4): 247-255.
- [28] 魏东斌, 胡洪营. 污水再生回用的水质安全指标体系 [J]. 中国给水排水, 2004, 20(1): 36-39.
- [29] 胡洪营, 魏东斌, 董春宏. 污/废水的水质安全性评价与管理 [J]. 环境保护, 2002, 301(11): 37-38.
- [30] FISHER D J, KNOTT M H, TURLEY B S, et al. Acute and chronic toxicity of industrial and municipal effluents in Maryland, U. S. [J]. Water Environ Res, 1998, 70(1): 101-107.
- [31] 胡洪营, 李鑫, 杨佳. 基于微藻细胞培养的水质深度净化与高价值生物质生产耦合技术 [J]. 生态环境学报, 2009, 18(3): 1122-1127.
- [32] 胡洪营, 李鑫. 利用污水资源生产微藻生物柴油的关键技术及潜力分析 [J]. 生态环境学报, 2010, 19(3): 739-744.

(责任编辑: 孔 欣)