

基于氨氮减排的氮肥工业废水处理技术评价研究初探

骆其金, 谌建宇, 王振兴, 庞志华, 叶万生 (环境保护部华南环境科学研究所, 广东广州 510655)

摘要 针对国家“十二五”氨氮总量控制和氮肥工业氨氮减排的需求, 将灰色综合评判法与层次分析法有机结合起来, 形成一种基于氨氮减排的工业废水处理技术评价法——层次-灰色关联分析评价法, 给出了该评价法数学模型的建模过程, 并进行实例研究。

关键词 氨氮; 总量控制; 灰色综合评判法; 层次分析法; 综合评价

中图分类号 S181.3 **文献标识码** A **文章编号** 0517-6611(2013)22-09398-03

Preliminary Study on Nitrogen Fertilizer Industry Wastewater Treatment Technology Assessment Based on Emission Reduction of Ammonia

LUO Qi-jin et al (South China Institute of Environmental Sciences, MEP, Guangzhou, Guangdong 510655)

Abstract Through analyzing the request of emission reduction of nitrogen fertilizer industry and total ammonia amount control in the 12th five-year plan period and combing analytic hierarchy process with grey comprehensive evaluation method, a kind of industrial wastewater treatment technology evaluation method, analytic and grey integrated evaluation method, based on emission reduction of ammonia, was developed. The modeling process of the mathematical model of analytic and grey integrated evaluation method was provided with an application example analyzed.

Key words Ammonia nitrogen; Total amount control; Grey comprehensive evaluation method; Analytic hierarchy process; Comprehensive evaluation

氮肥工业是我国重要的工业行业, 同时也是氨氮排放量最大的工业行业之一。根据《2010 环境统计年报》及《氮肥行业“十二五”发展规划》, 2010 年我国氮肥行业氨氮排放量约 6.96 万 t, 约占全国工业氨氮排放量的 25.5%, “十二五”国民经济和社会发展规划纲要明确提出氨氮减排 10% 的目标。废水中氨氮排放标准势必日益严格, 企业如何选择合适的废水处理工艺, 经济有效地去除废水中的氨氮, 完成减排目标, 成为氮肥工业企业在废水处理中亟待解决的问题之一。因此, 需要建立适合氨氮减排需要, 同时符合氮肥工业废水特征的废水处理工艺评价方法。工业废水处理技术评价方法中最主要的是效益评价, 即环境投资收益评价, 目前有层次分析法^[1]、模糊综合评价法^[2]、灰色综合评判法^[3]、费用效益分析法^[4]和技术成本效益评价法^[5]等。笔者通过对层次分析法及灰色综合评判法的深入研究, 将灰色系统理论中的关联分析法用于多层次的综合评价中, 建立层次-灰色关联分析评价法, 并进行实例研究, 以期氮肥行业氨氮减排技术的选择提供技术支持。

1 评价指标体系的建立

根据国内外的研究成果^[6-8], 建立污染防治技术评价指标体系, 主要从环境效益、经济效益、技术性能 3 个方面考虑。指标的选择坚持前瞻性和可操作性的有机统一, 既要立足于当前实际, 使目标具有可行性, 措施具有可操作性, 又要充分考虑发展的需要, 使所选工艺具有一定的超前性, 同时符合氮肥工业废水处理工艺的特点, 并突出氨氮减排(氨氮负荷、氨氮达标稳定性等指标)。以此为原则, 氮肥工业废水处理技术评价指标体系选取了 16 项指标, 形成典型行业污染防治技术的评价指标体系(图 1)。

2 综合评价方法的建立

2.1 评价指标权重计算 采用层次分析法(AHP), 依据判断矩阵定量计算出准则层和方案层中各因素的相对权重^[9], 其权重 $W = (W_1, W_2, \dots, W_k)$ 。

2.2 参考数列与比较数列的选定 通常, 选用诸方案中的最优值(若某一指标取大值为好, 则取该指标在各方案中的最大值; 若取小值为好, 则取各方案中的最小值)作为关联分析的参考数列^[10], 记为 $X_0, X_0 = \{X_0(1), X_0(2), \dots, X_0(m)\}$ 。将决定、影响被评判事物性质的各子因素数据的有序排列作为关联分析的比较数列^[11], 记为 $X_i(k), X_i(k) = \{X_i(1), X_i(2), \dots, X_i(m)\} (i=1, 2, \dots, n)$ 。

2.3 原始数据的标准化处理 根据确定的参考数列, 对某一具体指标的实际数值进行标准化无因次处理。考虑到正向指标与逆向指标的差别, 对各项评价指标的实际数值根据其类别和不同情况分别进行标准化处理。对于正向指标, 标准化处理公式为:

$$x_i(k) = \frac{S_{oi}}{S_{oi}} \quad (1)$$

对于逆向指标, 标准化处理公式为:

$$x_i(k) = \frac{S_{oi}}{S_{oi}} \quad (2)$$

式中, $x_i(k)$ 为第 i 项评价指标的单项标准化评价指数; S_{oi} 为第 i 项评价指标的实际值; S_{oi} 为第 i 项评价指标的参考数列值。

2.4 关联度系数计算 将标准化处理后的参考数列记为 $\{X_0(k)\} (k=1, 2, \dots, m)$, 将标准化处理后的比较数据列记为 $\{X_i(k)\} (i=1, 2, \dots, n; k=1, 2, \dots, m)$, 则关联系数^[12]计算公式为:

$$\xi_i(k) = [\min_i \min_k |X_0(k) - X_i(k)| + \xi \max_i \max_k |X_0(k) - X_i(k)|] / [|X_0(k) - X_i(k)| + \xi \max_i \max_k |X_0(k) - X_i(k)|] \quad (3)$$

基金项目 环保公益性行业科研专项(201007012)。

作者简介 骆其金(1981-), 男, 湖南郴州人, 工程师, 硕士, 从事水污染治理与控制方面的研究, E-mail: luojin@scies.org。

收稿日期 2013-07-24

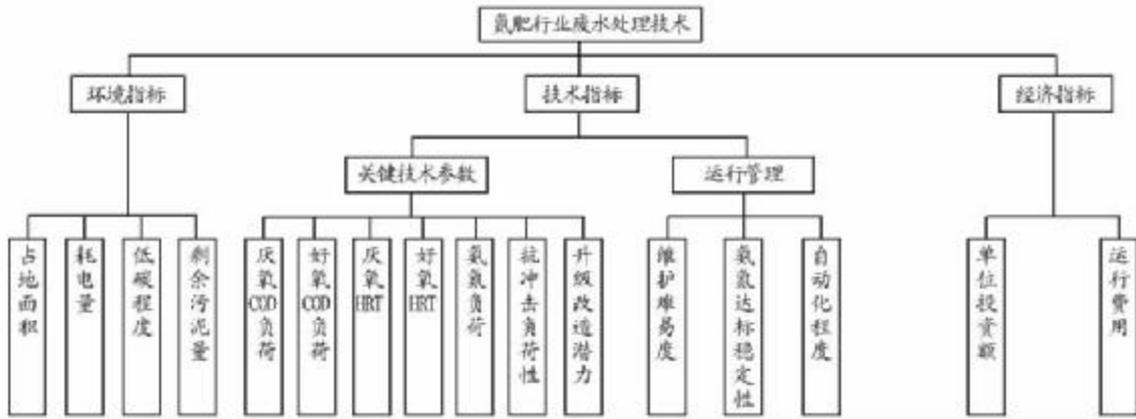


图1 评价指标体系

式中, $\xi_i(k)$ 为第 i 个方案第 k 个指标与第 k 个最优指标的关联系数, $\xi \in [0, 1]$, 一般取 $\xi = 0.5$ 。

2.5 综合关联度计算 各比较数列与参考数列之间的综合关联度^[12]计算公式为:

$$r_i = \sum_{k=1}^n W_k \times \xi_i(k) \quad (4)$$

式中, r_i 为第 i 个参比方案对理想方案的灰色加权关联度; W_k 为第 k 个评价指标的权重; $\xi_i(k)$ 为第 i 个方案第 k 个指标与第 k 个最优指标的关联系数。

2.6 综合评价方法的特点 层次分析法要求决策者对问题有较深入的了解, 对于既含有定性指标, 又含有定量指标, 且有较高定量要求的决策问题, 单纯运用层次分析法不适合。而在关联分析中, 各因素的相关性是一种很好的量化工具, 在计算关联度时对各指标作平权处理, 即各指标或空间视为同等重要, 但实际上却存在许多不平权的情况, 即某些指标更为重要, 因而需作非平权处理^[13]。因此, 结合层次分析和灰色关联分析的特点, 建立层次 - 灰色关联分析评价法, 层次分析可以确定评价指标的权重, 灰色关联分析

可以通过量化分析确定单因素关联度, 进而确定被评价方案的综合关联度, 从而较好地克服关联分析法对各评价元素主次不分的不足, 这点在该研究中特别重要。该研究是基于氨氮减排的废水处理技术的评价, 因此需突出氨氮负荷、氨氮达标稳定性等指标。同时也克服了层次分析法过分依赖评价指标权重的不足, 加强了对评价指标的定量分析。

3 实例研究

选择华南地区的某一氮肥企业为对象, 选取目前我国氮肥企业典型的废水处理工艺 A/O 法^[14-16]、SBR 法^[17]、A²/O² 法^[18] 3 种工艺为备选工艺 (表 1), 采用层次 - 灰色关联分析评价法, 对这 3 种废水处理工艺进行综合评价, 以找到适合该企业的废水处理工艺。选取每项指标中的最优值组成参考数列 X_0 , 则 $X_0 = \{0.7, 0.7, 90, 0.1, 4, 12, 0.7, 90, 90, 90, 90, 1\ 700, 2\}$; 将比较数据列记为 $X_i(k)$ 。对原始数据进行标准化处理, 将标准化处理后的参考数列记为 $\{X_0(k)\} (k = 1, 2, \dots, 16)$, 比较数列记为 $\{X_i(k)\} (i = 1, 2, 3; k = 1, 2, \dots, 16)$ (表 1)。

表 1 氮肥工业废水处理工艺原始参数、指标权重及标准化处理结果

目标层	准则层	指标层	工艺原始参数			权重 W	比较数列 $X_i(k)$			参考数列 $X_0(k)$	
			SBR	A/O	A ² /O ²		SBR	A/O	A ² /O ²		
环境指标		耗电量//°/(d·t)	0.7	1.1	1.3	0.041 3	1.000	0.636	0.538	1.000	
		占地面积//m ² /t	0.7	0.8	1.2	0.041 3	1.000	0.875	0.583	1.000	
		低碳程度	90	80	70	0.041 3	1.000	0.889	0.778	1.000	
		剩余污泥量//kg/(d·t)	0.10	0.12	0.15	0.041 3	1.000	0.833	0.667	1.000	
技术指标	关键技术参数	厌氧 COD 负荷//kg/(d·t)	2.95	3.50	4.00	0.070 8	0.738	0.875	1.000	1.000	
		好氧 COD 负荷//kg/(d·t)	0.85	1.00	1.20	0.070 8	0.708	0.833	1.000	1.000	
		厌氧水力停留时间//h	4	15	11	0.070 8	1.000	0.267	0.364	1.000	
		好氧水力停留时间//h	12.0	30.0	31.5	0.070 8	1.000	0.400	0.381	1.000	
		氨氮负荷//kg/(d·t)	0.5	0.6	0.7	0.118 4	0.714	0.857	1.000	1.000	
		抗冲击负荷性	90	70	80	0.070 8	1.000	0.778	0.889	1.000	
	运行管理	升级改造潜力	70	80	90	0.042 3	0.778	0.889	1.000	1.000	
		维护难易度	70	90	80	0.051 7	0.778	1.000	0.889	1.000	
		自动化程度	90	80	70	0.051 7	1.000	0.889	0.778	1.000	
		氨氮达标稳定性	90	70	80	0.051 7	1.000	0.778	0.889	1.000	
		经济指标	单位投资额//元/t	1 700	2 000	2 300	0.082 6	1.000	0.850	0.739	1.000
			运行费用//元/t	2.59	2.00	2.80	0.082 6	0.772	1.000	0.714	1.000

按照公式(1) ~ (4)进行计算, 可得各工艺综合关联度: $0.821\ 8(\text{SBR}) > 0.705\ 3(\text{A}^2/\text{O}^2) > 0.699\ 7(\text{A/O})$, 说明该企

业更适合应用 SBR 来处理氮肥工业废水。该方法的评价结果只是一个参考值,对于具体条件的考虑还存在欠缺。在实际应用时,应将方法的评价结果与实际经验相结合,挑选出最适合企业的污水处理工艺。

4 结论

随着“十二五”氨氮总量控制目标的确定,对基于氨氮减排的废水处理技术的选择势必成为氮肥工业的难题。层次-灰色关联分析评价法是根据氮肥工业废水处理工艺的实际特点及“十二五”氨氮总量减排要求建立的评价指标体系,将所涉及到的诸多指标,特别突出氨氮减排属性指标,按照某些属性划分为几类,既对各层次指标进行评价,又能在指标评价的基础上进行综合评价,从而得到既量化又较符合实际的评价结果。因此,层次-灰色关联分析评价法适用于氮肥工业废水处理技术的评价。

参考文献

- [1] 李恺. 层次分析法在生态环境综合评价中的应用[J]. 环境科学与技术, 2009, 32(2): 183-185.
- [2] 张秀兰. 基于模糊综合评判法的研究及应用[J]. 科技信息, 2008(14): 423-424.
- [3] 刘方贵, 夏岑岭. 灰色综合评判法在城市防洪规划方案选择中的应用[J]. 山东水利, 2001(2): 32-33.
- [4] HANLEY N, SPASH C. Cost-benefit analysis and the environment [M]. Cheltenham: Edward Elgar Publishing Limited, 1993: 17-20.
- [5] 王蕾, 刘婷. 用交叉列表评价法解决企业技术经济效益评价问题[J]. 技术经济, 2006, 25(10): 36-38.
- [6] MARTA BOTTERO, ELENA COMINO, VINCENZO RIGGIO. Application of the Analytic Hierarchy Process and the Analytic Network Process for the

assessment of different wastewater treatment systems [J]. Environmental Modelling & Software, 2011, 26: 1211-1224.

- [7] 李军红. 城镇污水处理工艺综合效益评价模型的建立[J]. 南开大学学报: 自然科学版, 2007, 40(5): 15-20.
- [8] 王胜男, 杨骞子, 陈昱希. 城市污水处理厂工艺选优综合评价体系的探讨[J]. 山西建筑, 2009, 35(22): 200-201.
- [9] 杜栋, 庞庆华, 吴炎. 现代综合评价方法与案例精选 [M]. 北京: 清华大学出版社, 2008: 111-138.
- [10] 田云丽. 基于模糊综合方法的工业污水环境安全影响评价研究[J]. 中国安全科学学报, 2007, 17(9): 109-112.
- [11] 赵玲萍, 张凤娥, 董良飞, 等. 灰色模糊综合评价法在中水工程中的应用[J]. 节水灌溉, 2009(4): 40-45.
- [12] 慕金波, 杨红红, 姜涛. 灰色综合评判用于工厂废水处理方案的优选[J]. 环境工程, 1992, 10(5): 37-41.
- [13] 李小东. 层次-灰色关联分析法及其在污水处理方案优选中的应用 [D]. 太原: 太原理工大学, 2006.
- [14] 王献平, 李韧. 吹脱 + A/O 工艺处理氮肥企业高氨氮废水的工程实践[J]. 环境工程, 2007, 25(5): 102-104.
- [15] 王奉军. A/O 法处理煤化工废水应用小结[J]. 小氮肥, 2010, 38(1): 1-4.
- [16] 郝祥超, 王良, 张俊华, 等. A/O 工艺在高氨氮废水中的应用[J]. 环境科学与管理, 2010, 35(7): 82-84.
- [17] 金向平, 张明海, 郝国庆. SBR 法氮肥污水处理工艺运行总结[J]. 河南化工, 2008, 25(8): 31-32.
- [18] 高健磊, 张肖静, 李石磊, 等. A²/O² 工艺处理氮肥废水的短程硝化反硝化[J]. 中国给水排水, 2011, 27(17): 15-18.
- [19] 陈彩云, 张倩. 湿式催化氧化法处理高浓度有机废水的现状与展望[J]. 内蒙古农业科技, 2011(5): 15-16.
- [20] 窦艳艳, 陈莉荣. 稀土氨氮废水处理技术研究进展[J]. 宁夏农林科技, 2012, 53(4): 90-91, 93.
- [21] 陈金发, 胡金朝, 朱海峰, 等. 基于 MUASB 不同启动方式处理高浓度废水的比较研究[J]. 西南农业学报, 2012(4): 1439-1443.

(上接第 9369 页)

时间为 3 min, pH = 1.0 为最佳条件进行验证试验, 得出 COD 的去除率达 78.2%, 出水 COD、BOD₅ 分别为 2 616、392 mg/L, B/C 比为 0.150。

2.2 微波诱导催化氧化核苷酸生产废水的可行性分析 在预处理过程中加入氧化剂, 利用氧化剂和微波极强的协同催化氧化作用降解大分子有机污染物。大分子有机物首先被高强氧化基团断链, 然后含碳羟基被氧化成羧基, 最终被氧化成 CO₂ 和水, 降低废水的有机污染物浓度, 提高了废水的可生化性。微波诱导催化氧化处理核苷酸生产废水, 一方面去除了大部分的 COD, 降低了后续生物处理单元的负荷; 另一方面, 与原水相比可生化性得到了提高。该预处理工艺的处理对象是水量较小的工业废水(几十吨至几百吨), 处理后能够进入较大处理水量的生化系统(>4 000 t)进行二次处理。虽然 B/C 比与一般生化处理的 B/C 比(>0.3)有一定的差距, 但进入较大水量的生化系统后, 对废水有一定的稀释作用, 稀释后的 B/C 比可以达到处理要求。

3 结论

(1) 正交试验结果表明, 各因素对核苷酸生产废水 COD 去除率的影响大小顺序为: 复合氧化剂用量、微波功率、微波

时间和 pH。微波诱导催化处理核苷酸生产废水的最佳试验条件为: pH = 1.0, 氧化剂投加量 24.0 g/L, 微波功率 800 W, 微波时间 3 min。在此条件下, 核苷酸生产废水的 COD 去除率达 78.2%, B/C 比由原来的 0.005 升至 0.150, 可生化性提高了 30 倍。

(2) 微波诱导催化氧化技术处理核苷酸废水能够大大提高废水的可生化性, 进入较大处理水量的生化系统后, 稀释后的 B/C 比能够满足后续生化系统的水质处理要求。

参考文献

- [1] 李干禄, 程磊, 袁建锋. 纳滤膜处理核苷酸生产中的碱盐废水[J]. 化工环保, 2010, 3(3): 230-233.
- [2] 王杰, 程志辉, 陈忠林, 等. 微波催化氧化法处理垃圾渗滤液的正交试验[J]. 生态环境, 2008, 17(6): 2212-2214.
- [3] 安莹, 孙力平, 李志伟, 等. 高锰酸钾预氧化处理嘧啶生产废水研究[J]. 中国给水排水, 2009, 25(21): 84-86.
- [4] 丁湛, 关卫省, 刘建, 等. 微波强化 Fenton 氧化处理垃圾渗滤液的研究[J]. 中国给水排水, 2010, 26(3): 90-92.
- [5] 王国媛, 买文宁, 肖珊. 微波诱导活性炭催化处理酸性靛蓝废水[J]. 安徽农业科学, 2012, 40(6): 3518-3520.
- [6] 陈彩云, 张倩. 湿式催化氧化法处理高浓度有机废水的现状与展望[J]. 内蒙古农业科技, 2011(5): 15-16.
- [7] 李云, 袁志文. 催化湿式氧化处理高浓度有机废水的研究进展[J]. 安徽农业科学, 2013, 41(13): 5903-5905.