

可拓方法在低温污水回用中的应用

赫俊国, 王丹, 吕炳南

(哈尔滨工业大学 市政环境工程学院, 哈尔滨 150090, E-mail: danniywang@gmail.com)

摘要: 针对低温生活污水不易处理, 较难达到回收利用这一水处理科学界和工程界的难点, 首次应用可拓学中发散树、分合链及相关网的分析方法来分析低温污水回用中的问题, 并用可拓变换的方法指导, 设计低温污水处理试验, 使污水达到回用标准。结果表明: 可拓方法的应用利于快速有效地解决低温污水回用问题。

关键词: 可拓分析方法; 可拓变换; 低温污水; 回用

中图分类号: X702

文献标识码: A

文章编号: 0367-6234(2006)07-1188-04

Applying the extension method on low temperature wastewater reuse

HE Jun-guo, WANG Dan, LU Bing-nan

(School of Municipal and Environmental Engineering, Harbin Institute of Technology, Harbin 150090, China,

E-mail: danniywang@gmail.com)

Abstract: In the cold climate area, the low temperature wastewater is not easy to be reused. Facing this difficulty in the water processing field, it is the first time to apply the divergent tree, chain of resolving and combining, and correlative net methods to analyze the problems of low temperature wastewater reuse, and to apply extension transformation method to design cold wastewater treatment experiments to let wastewater return to reuse standard. The result indicates that extension methods are convenient and efficient to solve low temperature wastewater reuse problem.

Key words: extensional analytic method; transformation method; low temperature wastewater; reuse

寒冷地区低温条件下污水处理及回用是目前水处理科学界和工程界的难点。在低温条件下, 因生物与底物间的亲和力和较低^[1], 所以污水处理常用的活性污泥法和生物膜法这两种生物处理方法的净化效能都较差, 很难达到国家规定的污水排放标准^[2], 要回收利用这些低温污水就更为困难了。而且在污水处理中, 涉及众多复杂的事、物、量, 这些事、物、量通常难于协调。在可拓学中发散树、分合链及相关网的分析方法^[3,4]的指导下, 分析了重点事、物、量的相关关系, 以此设计出的水处理试验方案分别解决了低温污水达标排放、达标回用及确定最佳运行工况这三大问题。

1 发散树分析及置换变换求解低温污水达标排放问题

在北方寒冷地区, 生活污水处理厂常采用活性污泥法或生物膜法。本试验分别选择活性污泥法和生物膜法来处理低温污水。结果表明: 对水质污染物指标 COD、氨氮、和总磷质量浓度分别为 325.39 mg/L、41.27 mg/L、4.23 mg/L 的原水进行处理后, 其出水污染物浓度远高于国家污水综合排放标准 (标准中污水的 COD、氨氮、总磷质量浓度分别为 60 mg/L、15 mg/L、0.5 mg/L 以下), 为不达标排放污水, 由此可见这单独应用两种方法都不能满足污水回用的要求。若污水需回用, 应先满足达标排放的要求, 然后在经深度处理后回用。

针对低温生活污水如何达标排放这一求行问题: 对给定事物 (处理后污水 N), 使它的已知特征 (污染物浓度 c) 的值在给定范围 (国家污水综

收稿日期: 2006-04-01.

基金项目: 黑龙江省科委 2005 年重大科技攻关资助项目 (GB05C202-02).

作者简介: 赫俊国 (1970—), 男, 博士, 副教授;

吕炳南 (1940—), 男, 教授, 博士生导师。

合排放标准 V_0) 之内,应利用可拓分析中的发散树方法分析了水处理的试验.

对于处理后污水 N ,使它的特征污染物浓度 c_i (c_1 :COD 浓度, V_{c_2} :氨氮浓度, c_3 :总磷浓度, ..., c_n :第 n 种特征污染物浓度) 的值分别达到污水排放标准,即要在给定范围 V_0 之内,问题就解决了. 由此该问题的目的是:给定事物 N 和它的特征 c 的量域值 V_0 ,求使 $R = (N, c, v) @, v \in V_0$.

可利用发散树方法来分析此问题. 本问题需要考察在排放标准监测范围内的处理后污水的各项污染物浓度值 v_i 是否满足排放标准的量值域 V_0 ,即当 $c = c_0$,若 $v_i \in V_0$,则问题解决;若不满足,根据物元的发散性,对给定物元 $R = (N, c, v)$ 中的某一要素进行发散^[5],例如对事物 N 进行发散,找到 N_1 ,使其特征值 v_i 满足排放标准的量值域 V_0 ,从而找到解决矛盾的路径.

经发散树分析问题后,由于活性污泥法处理后的污水污染物浓度 c 的值 $v \in V_0$,这就要求必须找到另外的事物 N_1 使其特征值 v_i 满足排放标准的量值域 V_0 . 利用置换变换,要变换事物 N 则需要改变低温污水的处理方法. 所以试验考虑在活性污泥法中加入填料,即利用泥膜共生的方法来处理低温污水,这样,事物由活性污泥的出水 N 被泥膜共生法的出水 N_1 置换.

改变方法后,排出污水的污染物的浓度有所下降,但仍未达到排放标准, $v_1 \in V_0$. 需继续调整处理方法,变换 N_1 为 N_2 . 决定在泥膜共生系统中投加耐冷菌群,以求 $v_2 \in V_0$. 经过两次事物变换,最终排出的污水对水质污染物指标 COD、氨氮、和总磷质量浓度分别为 53.67 mg/L、9.32 mg/L、0.42 mg/L,达到了国家排放标准.

2 分合链分析方法及增删变换求解低温污水达标回用问题

如图1所示,在利用发散树分析方法对低温污水达标排放问题分析的基础上,进行了两次事物置换变换,从而解决了该问题. 其中 c_{a_i} 为第 i 项污染物指标名称; V_{a_0} 为污水排放标准量域; $v_i = c_{a_i}(N)$,表示为在事物 N 状态下,第 i 项污染物浓度数值.

经由发散树分析方法设计的投菌泥膜共生系统保证了污水的达标排放,但仍未达到城市杂用水水质标准,不能回用.

如何使得达到排放标准的污水可以回用,这仍是一求行问题:对给定事物(处理工艺 N'),使它的已知特征(工艺去除了的污染物浓度 c') 的

值在给定范围(大于原水污染物浓度与城市杂用水水质标准中污染物浓度的差值 V_{a_0}') 之内. 使 $R' = (N', c_i', c_i'(N')) @, c_i'(N') \in V_{a_0}'$.

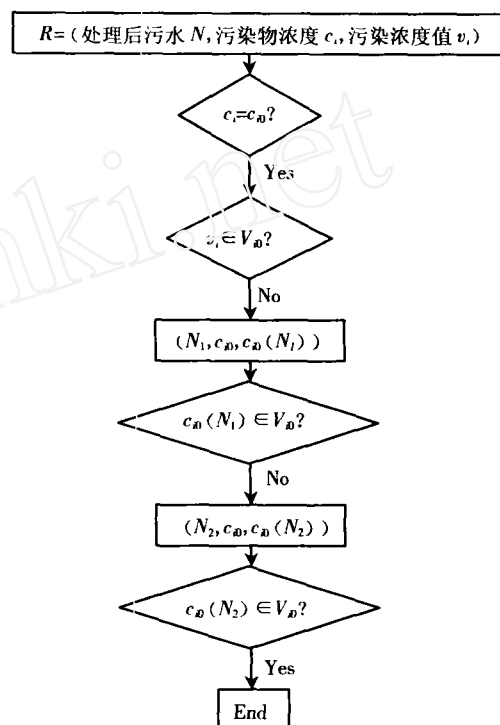


图1 利用发散树及置换变换求解低温污水达标排放问题其中

$$R' = (N', c_i', c_i'(N')) = \begin{bmatrix} \text{处理工艺,} & \text{去除 BOD 能力,} & c'_1 \\ & \text{去除氨氮能力,} & c'_2 \\ & \text{去除浊度能力,} & c'_3 \\ & \dots & \dots \end{bmatrix}$$

$$(c_i, V_{a_0}') = \begin{bmatrix} \text{去除 BOD 能力,} & \geq 153 \text{ mg/L} \\ \text{去除氨氮能力,} & \geq 30.27 \text{ mg/L} \\ \text{去除浊度能力,} & \geq 12 \text{ NTU} \\ \dots & \dots \end{bmatrix}$$

根据事物的可扩性:若 $N' = N'_1 \oplus N'_2 \oplus N'_3$,则存在 $c_i'(N') = c_i'(N'_1) \oplus c_i'(N'_2) \oplus c_i'(N'_3)$,从而达到回用标准^[6]. 所以尝试通过组合的方法来增加去除了的污染物浓度,使 $c_i'(N') \in V_{a_0}'$. 为此进行增删变换,在投菌泥膜共生工艺(N'_1)后选用的生物过滤(N'_2)和加氯消毒(N'_3)这两道后续工艺来处理污水,试验结果表明:

$$R' = \begin{bmatrix} N'_1 \oplus N'_2 \oplus N'_3, & \text{去除 BOD 能力,} & 155 \text{ mg/L} \\ & \text{去除氨氮能力,} & 31 \text{ mg/L} \\ & \text{去除浊度能力,} & 14 \text{ NTU} \\ & \dots & \dots \end{bmatrix}$$

这样连续的3道工艺保证了排放的污水达到

城市杂用水水质标准, $c_i'(N') \in V_0'$. 过程为

$$R_1' \vdash R_1' \oplus R_2' \vdash R_1' \oplus R_2' \oplus R_3'.$$

3 相关网分析方法及优度评价法确定最佳工况

基于以上分析及可拓变换, 低温生活污水经由系统 N' 处理后可以达到城市杂用水水质标准. 此时, 如何兼顾效率与效益, 即确定系统运行最佳工况这一问题上升成为污水回用中主要矛盾. 这一矛盾同样可以利用可拓分析、评价方法的知识来分析筛选最优解.

由物元相关网的性质, 对一物元的某要素的变换, 会引起其相关要素的改变. 在污水处理中, 污水在系统内的停留时间为主要的设计参数, 当污水的停留时间改变时, 系统派出水的污染物浓度、系统的占地面积及系统的建设投资费用都随之变换, 其物元 R_1'' 的受迫变换可以表示如下:

$$R_1'' = \begin{bmatrix} \text{低温污水处理系统,} & \text{污水停留时间} & \nu_{11}'' \\ & \text{派出水的污染物浓度} & \nu_{12}'' \\ & \text{占地面积} & \nu_{13}'' \\ & \text{建设投资费用} & \nu_{14}'' \\ & \dots & \dots \end{bmatrix} =$$

$$(N'', c_{1i}'', \nu_{1i}''),$$

作

$$\varphi(\nu_{11}'') = \nu_{11}'''$$

则

$$T_\varphi(\nu_{1i}'') = \nu_{1i}''', \quad \text{其中 } i = 2, 3, 4, \dots$$

$$R_2'' = \begin{bmatrix} \text{低温污水处理系统,} & \text{系统溶解氧浓度} & \nu_{21}'' \\ & \text{系统派出水的污染物浓度} & \nu_{22}'' \\ & \text{系统好氧曝气量} & \nu_{23}'' \\ & \text{系统运行费用} & \nu_{24}'' \\ & \dots & \dots \end{bmatrix} = (N'', c_{2i}'', \nu_{2i}'').$$

因此, 在相关网分析方法及优度评价方法的指导下, 通过一系列试验找到在满足派出水污染物浓度满足市政杂用水水质标准的最佳工况 c_{11}'' (污水的水利停留时间 $c_{11}'' = 9$ h, 系统溶解氧浓度 $c_{21}'' = 2.8$ mg/L), 从而达到效率与效益的兼顾, 即在满足指达到市政杂用水水质标准的条件下, 系统建设投资费用及运行费用最低.

4 结论与展望

1) 首次以可拓方法来指导低温污水回用试验, 并有效地解决了低温污水达标排放、达标回用

它描述了不同的 ν_{11}'' 下对应于不同的 ν_{12}'' , ν_{13}'' , ν_{14}'' . 要得到最佳的污水停留时间需要进行优度评价. 首先确定衡量条件, 对于该例子来说, 衡量条件集为 $V = (V_1, V_2, V_3)$, 其中 V_1 是系统派出水的污染物浓度满足市政杂用水水质标准 $\nu_{12}'' \in V_0'$, 为非满足不可的条件, 权系数记为 Λ ; V_2 是占地面积越小越好, 因占地面积的大小可以用系统建设投资费用来表征, 因此其权系数记为 0 ; V_3 是系统建设投资费用越小越好, 权系数记为 1 .

分别对 ν_{11}'' 取 $(4, 5, 8, 9, 10, 12, 16, 18)$ h 进行了试验, 结果表明当 ν_{11}'' 取 $4, 6, 8$ h 时不满足衡量条件 V_1 , 全部舍去. 首次评价后, 衡量条件变为 $V' = V_3$, 系统的建设费用随停留时间的缩短而减少, 当 ν_{11}'' 由 18 h 减为 9 h 时: 系统排出的污染物浓度值 ν_{12}'' 增大, 但仍旧满足市政杂用水水质标准; 系统的占地面积 ν_{13}'' 减小一倍; 系统建设投资费用 ν_{14}'' 缩减了 30% . 因此最优方案为 $\nu_{11}'' = 9$ h 时的方案.

对于另一组, 当特征值系统溶解氧浓度值 ν_{21}'' 发生变化时, 另几个特征值的量 ν_{22}'' , ν_{23}'' , ν_{24}'' 也随之改变. 衡量条件集为 $V' = (V_1', V_2', V_3')$, 其中 V_1' 是系统派出水的污染物浓度满足市政杂用水水质标准 $\nu_{22}'' \in V_0'$, 为非满足不可的条件, 权系数记为 Λ ; V_2' 是好氧曝气量越小越好, 因曝气量的大小可以用系统运行费用来表征, 因此其权系数记为 0 ; V_3' 是系统运行费用越小越好, 权系数记为 1 . 同理, 经评价后, 最优方案是 $c_{21}'' = 2.8$ mg/L 的方案.

及确定最佳运行工况这三大问题.

2) 利用发散树的分析方法, 通过置换变换, 对物元 R 中的事物 N 进行了变换, 从而确定了使低温污水达标排放的工艺——投加耐冷菌群的泥膜共生工艺. 该工艺的出水 COD、氨氮、和总磷质量浓度分别为 53.67 mg/L、 9.32 mg/L、 0.42 mg/L, 全部达到了国家污水排放标准.

3) 通过分合链和相关网的方法进行一系列的理论分析, 并经由增删变换及优度评价, 试验验证得到增加生物滤池、加氯消毒两道后续处理工艺可使污水达到市政杂用水水质标准, 且确定了

污水回用的最佳工况(污水的水利停留时间 $c_{11}'' = 9\text{ h}$, 系统溶解氧浓度 $c_{21}'' = 2.8\text{ mg/L}$).

4)在试验的设计过程中,几种可拓分析方法并不是孤立存在的,通常是相互交叉应用,本文为描述方便,在每一阶段仅对一种主要方法进行分析说明,今后将阐述几种可拓分析方法的交叉运用.

参考文献:

[1] NEDWELL D B. Effect of low temperature on microbial growth: lowered affinity for substrates limits growth at low temperature[J]. Microbiology Ecology. 1999, 30: 101 - 111.

[2] 张素荣,丁卫华,王成,等. 水温及污泥龄对生物处理系统运行的影响[J]. 工业安全与环保. 2002, 28 (5): 22 - 24.
[3] 蔡文,杨春燕,林伟初. 可拓工程方法[M]. 北京: 科学出版社, 2000.
[4] 蔡文,杨春燕,何斌. 可拓逻辑初步[M]. 北京: 科学出版社, 2002.
[5] 杨春燕,张拥军. 基于可拓方法的策划研究[J]. 工业工程, 2001, 4(2): 29 - 33
[6] 金兆丰,徐竟成. 城市污水回用技术手册[M]. 北京: 化学工业出版社, 2004.

(编辑 姚向红)

(上接第 1159 页)

练,其中活化函数的形状因子都为 $\lambda = 1$,学习率都为 $\eta = 1$,动量因子都为 $\delta = 0.9$. 训练结果见表 1,可见可拓神经网络模型具有很快的收敛速度.

例 2 Wine 问题

Wine 问题取自 UCI 机器学习数据集,解决的是酒的种类识别问题. 样本集是通过对意大利同一地区 3 种不同的植物分别提炼出来的 3 种酒进行化学分析,得出每种酒的 13 种组成成分含量而得到的. 样本集中共有 178 个样本,13 个输入特征属性,1 个输出属性. 取 5 的整数倍共 35 个样本组成测试样本集,其余 143 个样本组成训练样本集. 可拓神经网络模型网络结构选为 13 - 10 - 2, BP 网络结构选为 13 - 10 - 1,学习率都为 $\eta =$

1,动量因子都为 $\delta = 0.9$,分别用这两种模型对问题进行训练,并用测试样本集进行实际分类,训练和识别结果见表 2. 可以看出可拓神经网络模型的训练速度明显快于 BP 算法,并且具有很高的识别率.

表 1 XOR 问题训练结果

	隐层节点数	迭代次数	误差
可拓神经网络模型	3	109	0
	4	52	0
	8	49	0
BP 网络	4	2 175	1.0e - 4
	6	183	1.0e - 4
	8	206	1.0e - 4

表 2 Wine 问题训练和识别结果

	迭代次数	误差	测试样本识别率/%	拒识样本个数
可拓神经网络模型	363	0	97.142 8	1
BP 网络	457	2.128 68E - 05	—	—
	20 000	1.234 31E - 05	88.571 4	4

4 结 论

本文采用可拓学的可拓变换思想,通过集合的扩缩变换,在输出空间中用一个特定区域(称作教师区域)来代替教师信号,彻底解决了网络训练和实际分类准则不一致的问题,极大地提高了可拓神经网络模型的训练速度,应用效果理想.

参考文献:

[1] 刘巍. 物元神经网络[C]//从物元分析到可拓学. 北京: 科学技术文献出版社, 1995: 311 - 317.
[2] 蔡国梁,罗伟,康丙欣. 可拓学与人工神经网络[J].

天中学刊, 1998, 13(5): 9 - 12.

[3] 王鸿洁,常国岑. 可拓神经网络在可拓专家系统中的研究与应用[J]. 系统工程与电子技术, 2005, 27 (2): 264 - 266.
[4] 周鸣争,杨益民. 菱形思维的可拓神经网络实现[J]. 系统工程理论与实践, 2000(6): 123 - 130.
[5] 杨国为. 模式可拓识别[C]//香山科学会议第 271 次学术讨论会文集. 北京: 香山科学会议办公室, 2005: 51 - 54.
[6] 蔡文. 可拓学的科学意义与未来发展[C]//香山科学会议第 271 次学术讨论会文集. 北京: 香山科学会议办公室, 2005: 5 - 18.

(编辑 杨波)