

试验研究

基于层次分析法的氧化沟曝气方式研究

向阳¹, 左涛², 蔡昌凤¹, 陈锦如², 杨根权²

(1. 安徽工程大学生物与化学工程学院, 安徽芜湖 241000;

2. 煤炭工业合肥设计研究院, 安徽合肥 230041)

摘要: 本文结合调研介绍了当前城镇污水处理厂氧化沟工艺中常用的曝气组合方式并进行比较分析, 从工艺成熟度、经济效益及系统运行稳定性等角度出发, 采用层次分析法建立评价模型体系。根据模型计算最终得出结论: 倒伞表曝+水下推流为最佳曝气组合方式。

关键词: 层次分析法; 曝气方式; 吨水电耗

中图分类号: X703

文献标识码: A

文章编号: 1006-8759(2011)06-0012-05

THE RESEARCH ON THE AERATION MODE OF THE OXIDATION DITCH BASED ON THE ANALYTIC HIERARCHY PROCESS

XIANG Yang, ZUO Tao, CAI Chang-feng, CHEN Jin-ru, YANG Gen-quan

(Anhui Polytechnic University, Wuhu 241000; Hefei Design and
Research Institute of Ministry of Coal Industry, Hefei 230041)

Abstract: This paper introduces the aeration combinations used in the urban sewage treatment plant oxidation ditch process combining with investigation and makes comparative analysis, from some angles containing maturity of process, economic benefits and the operation stability of the system. According to the calculation of the model it draws the conclusion: the surface aerator of down-umbrella and underwater-push is the best aeration combination.

Keywords: analytic hierarchy process (AHP); aeration mode; power consumption of per ton water

0 引言

氧化沟处理工艺法属于活性污泥法中的延时曝气法, 具有工艺流程简单、管理方便、出水水质稳定、耐冲击负荷、曝气设备充氧效率高、污泥产量少、投资运行费用低等优点^[1], 主要适用于中小城镇的污水处理工程。其中, 曝气方式是氧化沟工艺中的关键环节, 对整个系统的污水处理效率及稳定性有着至关重要的影响。

污水处理过程中常用的曝气方式主要分为鼓风曝气和机械曝气两大类, 但在污水处理厂工艺

设计中, 曝气方式的进一步选择缺乏相应模型依据。由于城镇污水处理厂曝气方式的选择涉及到的定性及定量因子较多, 很难运用一般的数学方法进行判断。因此, 建立较为系统的分析模型体系就显得十分必要。在对无法采用定量表述的问题进行分析评价时, 国内外常用的方法有模糊数学分析法、灰色

关联法、层次分析法等^[2]。其中, 运用最多的为层次分析法, 该法是由美国匹茨堡大学运筹学专家 T.L.Saaty 在 20 世纪 70 年代提出的, 用于处理结构复杂、难以完全采用定量方法来分析的、决策准则较多且不易量化的决策问题^[3]。

本文通过对蚌埠、定远、合肥、巢湖等地污水

处理厂的实地调研,选择较为典型的三种曝气组合方式进行分析研究,分别为:微孔曝气+水下推流、曝气转碟+水下推流、倒伞表面曝气+水下推流,依据调研结果,采用层次分析法建立曝气方式

表 1 各污水处理厂运行概况

	厂	厂	厂	厂	厂
建成时间	2007.6	2005.9	2009.2	2002.9	2004.1
处理规模 (万吨)	1.8~2.5	1.5~2.5	1.5~3.0	5.6~6.1	18 左右
处理工艺	一体化氧化沟	Orbal	Carrousel	Carrousel	Carrousel
曝气方式	微孔曝气	曝气转碟	倒伞表曝	曝气转碟	曝气转刷
进水 COD (mg·L ⁻¹)	200~350	200~300	150~180	150 300	50~350
出水 COD (mg·L ⁻¹)	25~45	20~40	20~30	20~45	10~40
出水 NH ₃ -N (mg·L ⁻¹)	0.5~2.5	0.5~2.0	0.8~2.0	0.5~3.0	0.2~2.0

评价模型体系。

1 污水处理厂调研情况及运行分析

自 2010 年 8 月起,笔者连续对相关的 5 座污水处理厂进行现场调研,各厂基本概况如表 1 所示。

5 座污水处理厂中, 厂及 厂的处理规模相对其他厂差别较大,为使采用的层次分析法进行曝气方式选择具备可比性,特将规模相近、出水水质要求基本一致的、厂作为研究重点,且三厂的曝气方式具有一定的代表性,分别为:微孔曝气+水下推流、曝气转碟+水下推流、倒伞表曝+水下推流。

对选取的三家污水处理厂各处理阶段能耗进行统计分析,得到如下饼状图 1,其中生化段曝气

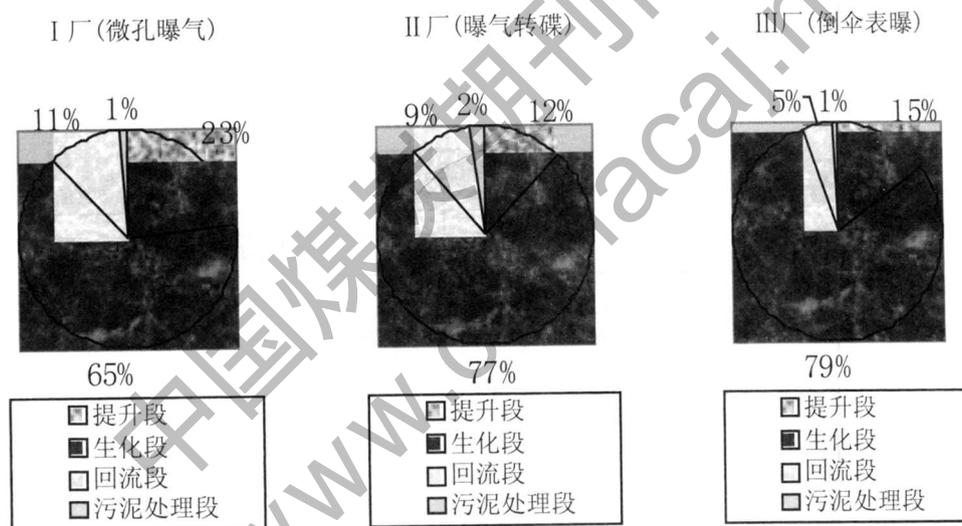


图 1 各厂处理段能耗分布饼状图

能耗所占比重最大,分别为 65、77、79%。

2 曝气方式层次分析模型

2.1 模型建立的基本步骤

用于评估技术的层次模型往往分为 3 个层次(目标层、指标层和措施层)或 4 个层次(目标层、准则层、指标层和措施层)。

运用层次分析法进行评价分析时一般分为 4 个步骤[4]:

- (1)分析系统中各要素之间的关系,建立系统的递阶层次结构。
- (2)对于同一层次各元素关于上一层次中某一准则的重要性进行两两比较(比较标度方法见表 2),

构造判断矩阵。

- (3)由判断矩阵计算被比较要素的相对权重,并做一致性检验。

表 2 层次分析法比例标度

元素 A 同等 较元素 B 重要	稍微 重要	较强 重要	强烈 重要	极端 重要	判断 间值	
相应量 化值	1	3	5	7	9	2,4,6,8

- (4)根据分析结果得出评价结论。

2.2 曝气方式层次结构模型的建立

2.2.1 曝气方式

现阶段国内城镇氧化沟处理工艺中,常用曝气方式主要采用微孔曝气+水下推流、曝气转碟+

水下推流、倒伞表面曝气+水下推流等几种组合型式。

微孔曝气属于鼓风曝气方式中的一种,其最大的优点是均匀曝气,充氧效率高,缺点是微孔曝气设备易堵塞且维修过程复杂,一般需清空池体。对于堵塞问题,可通过对曝气器设备零件的优化选择并对运行状态进行严格管理来解决;而为了微孔曝气器检修方便,可采用平行两组的方式或增设提升装置来解决^[5,6]。

曝气转碟(又称曝气转盘)主要应用于Orbal氧化沟,具有充氧效率高、组装灵活、结构简单、使用寿命长、安装维修方便等优点。但采用转碟曝气时,设备台数较多,导致维护工作量大,设备投资略高。另外,曝气转碟在运行时也存在防治气溶胶的问题。

倒伞表面曝气机又称立式低速表曝机,结构简单、运行方便,具有较强的混合搅拌与耐冲击负荷的能力,可通过调节叶轮高度达到最佳浸没深度以提高充氧效率^[7]。由于设备数量少,氧化沟内

混合液自由流程较长,流速不均会导致污泥沉淀;另外,倒伞表曝机动力效率相对较低,仅为2.1kgO₂/kwh左右。

目前,各种型式氧化沟中基本都设置水下推流器,其作用是增加沟底流速,保持污泥悬浮并可提高曝气效率,具有结构紧凑,安装简单,操作方便,易于维修,动力消耗小等优点。

2.2.2 评价因子选择

要建立层次结构模型,首先要确定各影响因素,评价因子主要结合工艺成熟度、经济效益、运行稳定性等方面进行选择。其中,有关工艺成熟度的相关因子包括设备寿命、操作管理难易程度、维修难易程度;经济效益相关因子包括去除单位COD能耗、吨水电耗、单位污泥量处理能耗;运行稳定性相关因子包括出水水质稳定性、设备运行稳定性。

2.2.3 曝气方式层次分析模型

根据前面论述,可以建立氧化沟工艺最佳曝气组合方式层次分析模型,层次结构图如图2所示

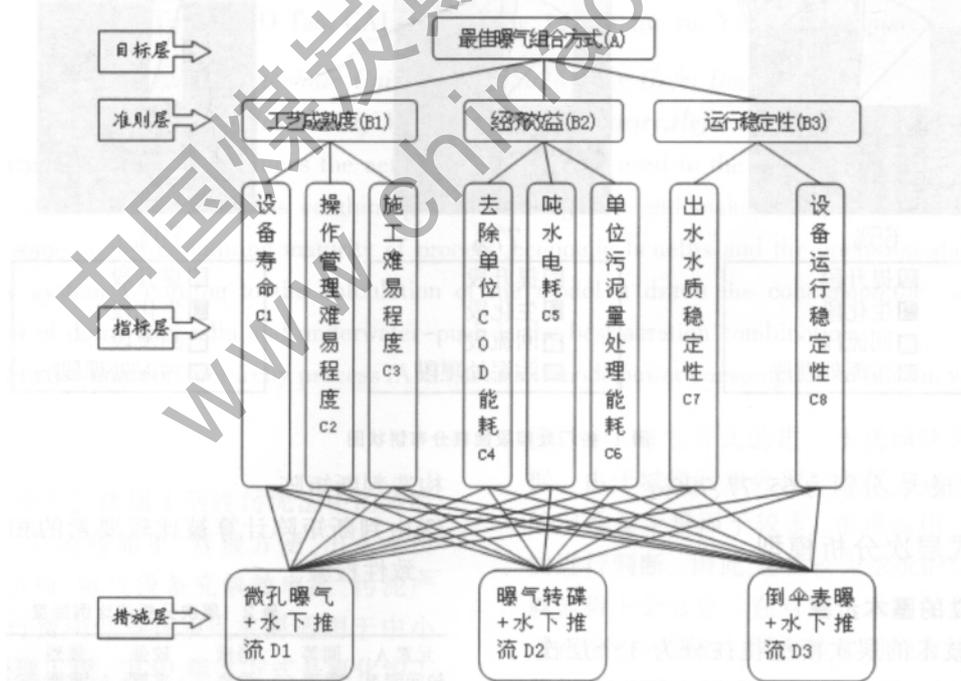


图2 最佳曝气组合方式层次结构示意图

示。

2.2.4 构造判断矩阵并求解模型

根据建立的层次分析模型,综合专家意见,对同一层次各元素相对于上一层准则层重要性给出量化比值,建立各体系相应的判断矩阵。采用特征值法计算出各层影响因素的相对权重,并计算

最大特征根 λ_{max} 、一致性指标 CI、平均一致性指标 RI 和检验系数 CR 等指标检验判断矩阵的一致性,经计算若 $CR < 0.1$,则该判断矩阵符合一致性要求,具体计算公式如下:

$$\text{一致性指标: } CI = \frac{\lambda_{max} - n}{n - 1}$$

$$\text{最大特征根: } \Lambda_{max} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n Q_i,$$

$$Q_i = \frac{\sum_{j=1}^n \omega_j a_{ij}}{\omega_i} \quad (i=1,2,\dots,n)$$

检验系数:

判断矩阵过程及计算结果分别见表 3-表 8。

表 3 判断矩阵阶数与 RI 的关系

阶数	3	4	5	6	7	8	9	10
RI	0.52	0.89	1.12	1.26	1.36	1.41	1.46	1.49

表 4 A-Bi 判断矩阵及权重计算

A	B ₁	B ₂	B ₃	权重
B ₁	1	1/3	1/5	0.1 047
B ₂	3	1	1/3	0.2 583
B ₃	5	3	1	0.6 370
$\Lambda_{max}=3.0 382 \quad CI=0.0191 \quad RI=0.52 \quad CR=0.03673<0.1$				

表 5 B1-Ci 判断矩阵及权重计算

B ₁	C ₁	C ₂	C ₃	权重
C ₁	1	3	5	0.6370
C ₂	1/3	1	3	0.2583
C ₃	1/5	1/3	1	0.1047
$\Lambda_{max}=3.0385 \quad CI=0.01925 \quad RI=0.52 \quad CR=0.037<0.1$				

表 6 B2-Ci 判断矩阵及权重计算

B ₂	C ₄	C ₅	C ₆	权重
C ₄	1	1/3	3	0.2427
C ₅	3	1	7	0.6695
C ₆	1/3	1/7	1	0.0878
$\Lambda_{max}=3.0057 \quad CI=0.00285 \quad RI=0.52 \quad CR=0.00548<0.1$				

表 7 B3-Ci 判断矩阵及权重计算

B ₃	C ₇	C ₈	权重
C ₇	1	5	0.8334
C ₈	1/5	1	0.1666
$\Lambda_{max}=2 \quad CI=0 \quad RI=0$			

表 8 各指标层权重值排序表

项目	C ₁	C ₂	C ₃	C ₄	C ₅	C ₆	C ₇	C ₈
总权重	0.0667	0.0270	0.0110	0.0627	0.1729	0.0227	0.5309	0.1061

由表 8 可知,影响曝气方式选择的各指标排序为:出水水质稳定性>吨水电耗>设备运行稳定性>设备寿命>去除单位 COD 能耗>操作管理难度>单位污泥量处理能耗>施工难度。

3 曝气方式优化比较分析

对所研究的三种曝气方式进行比较分析,根

据各厂相关统计数据(见表 9)及专家的评定建议制定相应评分标准(见表 10),并对指标层中的各项指标逐一进行评分,同时将部分定性指标定量化,评分结果见表 11。其中倒伞表曝机+水下推流器组合综合评分最高,为最佳曝气组合方式。

表 9 部分指标层统计数据表

指 标	类 型	微孔曝气 曝气转碟 倒伞表曝机		
		(厂)	(厂)	(厂)
曝气设备基建费用(万元)		1204.3	693.57	704.75
出水水质稳定性	出水 COD	6.6887	8.3445	5.9887
(标准差表示)	出水 NH ₃ -N	0.5981	0.2434	0.9189
吨水电耗 (kw·h·t ⁻¹)		0.316	0.463	0.390
去除单位 COD 能耗 (kw·h·kg ⁻¹)		2.259	4.228	2.784
处理单位污泥能耗(kw·h·t ³ DS)		16.25	12.30	13.00

注:出水水质稳定性以出水 COD、NH₃-N 的标准差值表示

表 10 指标层评分标准

指 标	0~ 20%~ 40%~ 60%~ 80%~ 100%				
	20%	40%	60%	80%	100%
曝气设备投资(元·d ⁻¹)	0.40 以上	0.30~ 0.40	0.20~ 0.30	0.10~ 0.20	0~0.10
操作管理难易程度	难	较容易	中等	较难	容易
施工难易程度	难	较容易	中等	较难	容易
去除单位 COD 能耗 (kwh·kg ⁻¹)	5.0 以上	4.0~5.0	3.0~ 4.0	2.0~3.0	0~2.0
吨水电耗(kwh·t ⁻¹)	0.40 以上	0.30~ 0.40	0.25~ 0.30	0.20~ 0.25	0~0.2
单位干污泥量处理能耗 (kwh·t ⁻¹ DS)	30 以上	20~30	15~20	10~15	0~10
出水水质稳定性	不稳定	较不稳定	中等	较稳定	稳定
设备运行稳定性	不稳定	较不稳定	中等	较稳定	稳定

表 11 不同曝气方式评分

指标	权重	D1(微孔)	D2(转碟)	D3(倒伞)
曝气设备投资(元·d ⁻¹)	0.0667	0.18	0.84	0.92
操作管理难易程度	0.0270	0.38	0.54	0.67
施工难易程度	0.0110	0.37	0.58	0.76
去除单位 COD 能耗 (kw·h·kg ⁻¹)	0.0627	0.75	0.36	0.64
吨水电耗 (kwh·t ⁻¹)	0.1729	0.39	0.17	0.22
单位污泥量处理能耗 (kw·h·t ³ DS)	0.0227	0.53	0.71	0.68
出水水质稳定性	0.5309	0.73	0.69	0.86
设备运行稳定性	0.1061	0.52	0.46	0.64
综合评分	1.0000	0.596	0.560	0.706

4 结语

本文采用层次分析法对当前小城镇常用的几种氧化沟污水处理工艺曝气方式进行优化选择,建立了 4 层次 8 指标 3 方案综合评价体系,根据

研究结果,可以得出以下结论:

(1) 污水处理厂、
、
的生化段曝气能耗所占比重分别为 65%、77%、79%,超过污水处理厂运行能耗的一半以上,该阶段将是节能研究的重点。

(2) 污水处理厂 采用的倒伞表曝机+水下推流器组合为最佳曝气组合方式。

(3) 指标层中出水水质稳定性指标权重最高,为 0.5 309;吨水电耗指标次之,为 0.1 729,而后依次为设备运行稳定性、设备寿命、去除单位 COD 能耗、操作管理难度、单位污泥量处理能耗、施工难度。

上述结论有助于我们在污水处理厂设计过程中结合实际处理规模及进水水质,在保证出水水质稳定达标的前提下,综合考虑选择耗能较低的曝气方式。

(上接第 11 页)

论体系和评估体系。本文仅从目前国内外有关城市发展评价的研究成果出发,对低碳城市评价指标体系设计做了基于城市碳源/汇角度的探索性研究,因此还不能全面、充分得反映低碳城市的整体功能、结构关系、状态水平以及发展趋势,其指标的选择以及标准值的确定都需要在今后研究中不断调整并加以完善。

参考文献

[1]金石.WWF启动中国低碳城市发展项目[J].环境保护,2008(2A):22.

[2]夏堃堡.发展低碳经济,实现城市可持续发展[J].环境保护,2008(3):33~35.

[3]龙惟定,白玮,梁浩等.低碳城市的城市形态和能源愿景[J].建筑科学,2010,26(2):13~18.

[4]付允,江云林,李丁.低碳城市的发展路径研究[J].科学对社会的影响,2008(2):5~10.

[5]岸边.低碳城市:城市发展的新亮点[J].环境保护与循环经济.

参考文献

[1]邓荣森,王涛.氧化沟污水处理理论与技术[M].化学工业出版社,2006.

[2]卢丽娟,陈洁等.层次分析法在工业污水处理厂收水体选择中的应用[J].北方环境,2011,23(3):106.

[3]马春燕,吴惠彪,奚旦立.应用层次分析法评价印染废水深度处理技术[J].环境科学与技术,2011,34(4):135~139.

[4]张伟,朱明琪.应用层次分析法确定城市生活污水排放量影响因素的权值[J].环境科学与管理,2010,35(3):54~57.

[5]汪永红,何睦盈,区岳州.采用微孔曝气器的氧化沟实例分析[J].中国给水排水,2003,19(2):75~76.

[6]杨根权.低能耗污水处理技术的应用[J].能源环境保护,2010,24(2):22~26.

[7]张鑫珩.倒伞型复合叶轮曝气机特点及应用[J].给水排水动态2006年8月:14~15.

[8]原培胜.氧化沟表曝设备运行故障分析与安装维护[J].西南给排水,2006,28(3):32~34.

[6]谷永新,李洪欣.“低碳城市”的思考[J].建筑节能.2008(8):24~25.

[7]龙惟定,白玮,梁浩等.低碳城市的能源系统[J].暖通空调HV&AC.2009(8):79~85.

[8]付允,刘怡君,汪云林.低碳城市的评价方法与支撑体系研究[J].中国人口·资源与环境,2010,20(8):44~47.

[9]薛蒙.低碳城市评价指标体系[J].采购与供应链,2010(11):121~123.

[10]张乃明,史静.浅谈低碳城市经济指标体系构建[J].中国人口·资源与环境,2010(20):286~260.

[11]邵超峰,鞠美庭.基于DPSIR模型的低碳城市指标体系研究[J].生态经济,2010(10):95~99.

[12]董祚继.低碳概念下的国土规划[J].低碳生态城市,2010(7):1~5.

[13]吴琼,王如松,李宏卿等.生态城市指标体系与评价方法[J].生态学报,2005,25(8):2090~2095.

[14]庄贵阳.低碳经济:气候变化背景下中国的发展之路[M].北京:气象出版社,2007,11.

[15]赵荣钦,刘英,郝仕龙等.低碳土地利用模式研究[J].水土保持研究,2010,17(5):190~194.