

阶梯式跌水与微孔曝气一体化氧化沟性能研究

刘祖文¹, 黄家胜¹, 宋存义²

(1. 江西理工大学资源与环境工程学院, 江西 赣州 341000; 2. 北京科技大学土木与环境工程学院, 北京 100083)

摘要 :为解决我国丘陵地带中小城镇生活污水处理厂的建设和运行费用偏高等实际问题,利用丘陵地势条件,将阶梯式跌水曝气装置、微孔曝气器、潜水推进器等节能技术应用到一体化氧化沟工艺中,设计出一种新型污水处理工艺。小试和中试结果均表明,该工艺具有良好的充氧性能,在处理污水能达标排放的同时取得了很好的节能效果。结合混合液流态和阶梯式跌水装置复氧过程等方面的节能机理分析,导出的阶梯式跌水曝气装置复氧过程中氧亏比的数学计算模型为该工艺指导实践提供了理论依据。

关键词 :阶梯式跌水;微孔曝气;氧化沟;节能

中图分类号 :X703 **文献标识码** :A **文章编号** :1004-693X(2008)05-0062-04

Performance of integrated oxidation ditch with stepwise drop device and microporous aerators

LIU Zu-wen¹, HUANG Jia-sheng¹, SONG Cun-yi²

(1. School of Resources and Environmental Engineering, Jiangxi University of Science and Technology, Ganzhou 341000, China; 2. Civil & Environmental Engineering School, University of Science and Technology Beijing, Beijing 100083, China)

Abstract :To reduce the high costs of construction and operation of sewage treatment plants for towns in hilly areas, the integrated oxidation ditch process is presented. This new energy conservation process for wastewater treatment includes a stepwise drop device, microporous aerators, and a submersible motor. The results from small-scale and mid-scale experiments show that the oxidation ditch has a high aeration rate and energy conservation efficiency besides satisfying treatment efficiency. The energy-conservation mechanisms are analyzed in terms of the flow pattern of the mixed liquid and the stepwise drop aeration process. A numerical model of the oxygen deficit during the aeration process is developed. This will provide guidance for the treatment process.

Key words :stepwise drop; microporous aeration; oxidation ditch; energy conservation

北京市原普遍采用修建节制闸或橡胶坝的技术来治理河道水体,结果出现河流水质不断恶化现象,后经改修建为多处小型石材跌水,在河道中形成深潭、浅滩等不同水流形态的变化,利用跌水形成多级曝气,结果大大改善了水体水质^[1]。姜湘山^[2]采用跌水曝气处理废水技术取得了很好的节能效果。微孔曝气氧化沟和一体化氧化沟均具有独特的节能优势^[3-4]。因此结合以上节能技术,开发一种阶梯式跌

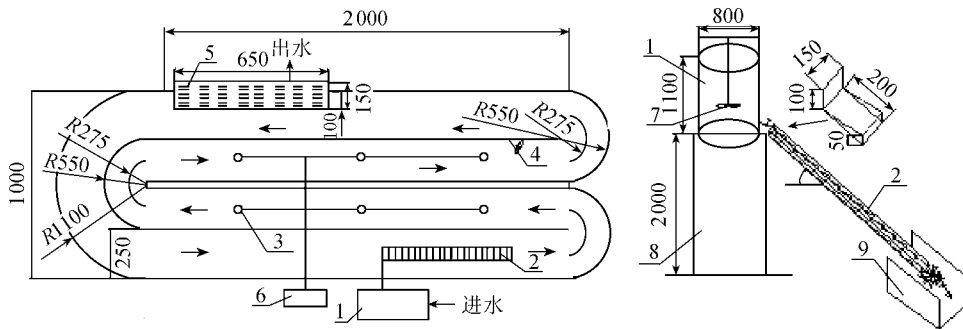
水与微孔曝气一体化氧化沟工艺(IODSM)来解决我国丘陵地带中小城镇生活污水处理问题,具有节约建设成本和节省能耗的意义。

1 工艺试验装置优化设计

阶梯式跌水曝气装置采用一定厚度有机玻璃板制作, IODSM 试验本体采用混凝土浇注(图1),尺寸为 3 000 mm × 1 000 mm × 600 mm,有效水深 0.5 m。

基金项目 :江西省教育厅科技项目(赣教技字[2005]1155号)

作者简介 :刘祖文(1969—),男,江西吉安人,副教授,博士,主要从事水处理技术教学和科研工作。E-mail :liuzw@mail.jxust.cn



1—厌氧池 2—跌水装置 3—微孔曝气器 4—潜水推进器 5—斜板沉淀池 6—微孔曝气器 7—搅拌器 8—支架 9—氧化沟渠道

图1 阶梯式跌水与微孔曝气一体化氧化沟试验装置

1.1 跌水装置最佳安装角度试验

分别取有代表性的 30°、45°、60°等角度 测试经脱氧的水流经阶梯式跌水曝气装置的复氧效果 结果见图 2 根据其曝气效果发现其最佳安装角度为 45°。

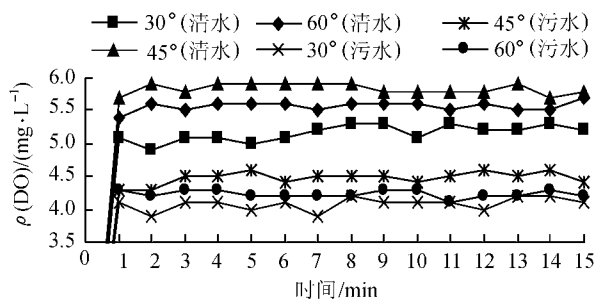


图2 阶梯式跌水装置不同安装角度充氧效果

1.2 最佳曝气污水量

由图 3 可见 ,在 45°安装角和水温 $t = 25.1^{\circ}\text{C}$, 1 个标准大气压下 测试出经脱氧后的生活污水流经该跌水装置的最佳流量为 $3.0\text{ m}^3/\text{d}$ 。

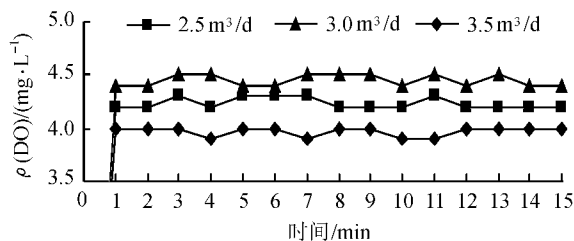


图3 阶梯式跌水装置充氧时最佳污水流量试验

2 试验工艺性能测试与分析

2.1 原理

2.1.1 测试原理

根据双膜理论 ,分别推导出试验工艺在清水、生活污水及活性污泥混合液条件下氧的总转移系数^[5]。

$$K_{La} = \frac{2.303}{t_2 - t_1} \log \left(\frac{\rho_s - \rho_1}{\rho_s - \rho_2} \right) \quad (1)$$

$$K_{La'} = \frac{2.303}{t_2 - t_1} \lg \left(\frac{\rho'_s - \rho_1}{\rho'_s - \rho_2} \right) \quad (2)$$

$$\alpha = \frac{K_{La'}}{K_{La}} \quad (3)$$

$$\beta = \frac{\rho'_s}{\rho_s} \quad (4)$$

$$K = 1.024^{20-t} \quad (5)$$

$$K_{La}(20) = KK_{La} \quad (6)$$

式中 : K_{La} 为氧的总传质系数 , L/s ,当温度为 20°C 、1 个标准大气压时的 K_{La} 为 $K_{La}(20)$; ρ_s 、 ρ'_s 分别为清水和试验水饱和溶解氧的质量浓度 , 20°C 时均为 9.17 mg/L ; ρ_1 、 ρ_2 分别为曝气时间为 t_1 和 t_2 时的清水中溶解氧的质量浓度 , mg/L ; t 为水温 , $^{\circ}\text{C}$; α 为氧的总转移系数比 ; β 为溶解氧质量浓度比 ; K 为测定温度为 t 时的修正参数。

2.1.2 性能分析原理

充氧能力是指单位时间内生物反应器的充氧量 动力效率是考察曝气器充氧能力和能量利用率的一个综合性的重要经济参数。其相应计算公式为^[5]

$$C_0 = K_{La}(20)\rho_s V \quad (7)$$

$$S_{AE} = C_0/N \quad (8)$$

式中 : C_0 为清水的充氧能力 , kg/h ; V 为试验工艺氧化沟的容积 , L ; S_{AE} 为动力效率 , $\text{kg/(kW}\cdot\text{h)}$; N 为曝气器总功率(含潜水推进器功率) , kW 。

2.2 测试结果与性能评价

2.2.1 测试数据统计

根据测试原理 ,对比各种工况条件 , K_{La} 及工艺曝气性能测试数据统计结果见表 1。

表1 试验工艺在不同工况下氧的总转移系数(K_{La})测试数据

介质	$K_{La}/(\text{L}\cdot\text{s}^{-1})$	$K_{La}(20)/(\text{L}\cdot\text{s}^{-1})$	N/kW	$C_0/(\text{kg}\cdot\text{h}^{-1})$	$S_{AE}/(\text{kg}\cdot\text{kW}\cdot\text{h}^{-1})$	联合设施运转工况(一个标准大气压下)
1号清水	0.143	0.119	0.87	1419	1631	A
2号清水	0.082	0.068	0.87	810	931	B
1号生活污水	0.126	0.105	0.87	1252	1439	A
2号生活污水	0.086	0.072	0.87	858	986	B
1号混合液	0.063	0.075	0.87	894	1128	A
2号混合液	0.042	0.050	0.87	596	685	B

注 :A 为跌水装置、1 组微孔曝气器与 1 台潜水推进器 ;B 为 1 组微孔曝气器与 1 台潜水推进器。

2.2.1 曝气性能评价

试验结果表明:阶梯式跌水曝气装置具有明显的充氧作用,在不同水质条件下,单独启用阶梯式跌水曝气装置其充氧能力达到 369 ~ 465 mg/h;同时启动阶梯式跌水曝气装置、1 组微孔曝气器时,其充氧能力可提高至 858 ~ 1 419 mg/h。

在 1 号清水、1 号生活污水和 1 号活性污泥混合液等 3 种工况条件下的 S_{AE} 值最大。该值反映出工艺使用了阶梯式跌水曝气装置后,在相同动力功率前提下其动力效率依然最高,从而节省了处理系统的能耗,提高了曝气设备的动力效率,获得了很好的曝气性能参数。

3 污水处理试验效果

3.1 试验工艺处理效果

污水处理试验历时 9 个月,根据设计要求,试验期间氧化沟好氧沟道和缺氧沟道的 DO 质量浓度分别控制在 2.5mg/L 和 0.4mg/L 左右,混合液的循环流速平均为 0.23 m/s,未出现污泥沉积现象,污水处理量为 3.0m³/d, HRT(水力停留时间)为 15 h, SRT(细菌停留时间)为 24 d, MLSS(活性污泥)质量浓度为 3 000 ~ 4 500 mg/L, BOD 的污泥负荷为 0.3 ~ 0.5 kg/d。

经不定期测定试验工艺处理后出水,其水质均能满足国家污水排放标准要求,污水的 COD、BOD₅、NH₃-N 及 TN 等指标的去除率达 80% ~ 90%^[6],表明试验工艺具有较高的处理效果和能

3.2 阶梯式跌水曝气装置中试效果

南方某市垃圾填埋厂位于城东丘陵地带,收集的垃圾渗滤也由排污管由高处自流至低处的氧化沟污水处理工艺中。为了充分利用地理优势,根据阶梯式跌水曝气装置在氧化沟试验工艺中的设计参数,把渗滤液排污管改建为阶梯式跌水曝气装置,经跌水曝气充氧后的垃圾渗滤液直接进入氧化沟中。根据污水流量和特点,设计阶梯式跌水曝气装置垂直高差为 3 000 mm,角度为 45°,跌水流程为 4 250 mm,跌水宽度为 2 500 mm。跌水流量为 50 m³/d。

改建后的氧化沟调试运行 3 个月后,经测试计算发现,垃圾渗滤液流在经阶梯式跌水曝气装置复氧过程中的氧亏比为 2.45 ~ 3.65 mg/L,氧化沟内的溶解氧量提高了 3% ~ 3.5%。在出水达到原来污水处理效果的基础上,能缩短曝气时间 1.8 ~ 2.3 h/d,同比节省电机运转能耗约 14% ~ 16%。

4 节能机理分析

4.1 混合液流态节能分析

大量的研究和工程设计规范认为,在传统一体化氧化沟工艺(IOD)中,混合液保持悬浮状态而循环流

动时,直沟道流速 v 的临界值 $v_{int} \approx 0.3 \text{ m/s}$ ^[67]。而 IODSM 工艺混合液在特有的微孔曝气器搅动和阶梯式跌水曝气装置、潜水推进器的推流作用下,在 IODSM 试验工艺长时间试验运行中,其平均流速为 0.23 m/s 时,就能满足流体悬浮流动的要求和沟道混合液流体在弯道区域呈现湍流的条件。

据 Argmar^[8]的研究,可导出 IODSM 工艺中混合液流速 v 与微孔曝气器和潜水推进器所需电机功率 P 的关系为

$$P = K^* v^3 \tag{9}$$

式中: K^* 为常数。

设 IOD 流速的临界值 $v_{int} = 0.3 \text{ m/s}$,相应电机功率为 P_{int} ; IODSM 工艺中流速的临界值 $v_1 = 0.23 \text{ m/s}$,相应电机功率为 P_1 ,则:

$$\frac{P_1}{P_{int}} = \frac{K^* v_1^3}{K^* v_{int}^3} = \left(\frac{0.23^3}{0.30^3} \right) = 0.451\% \tag{10}$$

即相同处理条件下,理论上 IODSM 工艺的能耗为 IOD 工艺的 45.1%,节省能耗 54.9%。

4.2 阶梯式跌水曝气原理

据跌水装置复氧机理分析,阶梯式跌水曝气装置复氧过程(图 4)可分为上部溢流复氧过程和底部出水口挑射流复氧两部分。

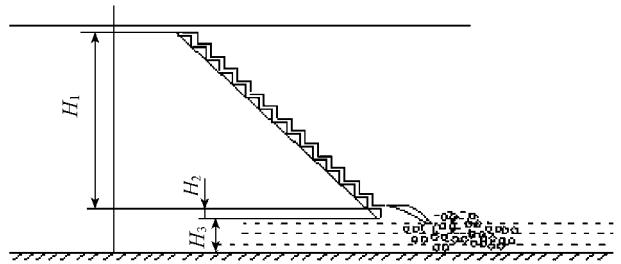


图 4 阶梯式跌水曝气装置溢流和挑射流复氧过程

根据文献^[9-10]可以推导出阶梯式跌水曝气装置上部和底部出水口复氧过程中的氧亏比 r_1 、 r_2 数学计算式分别为

$$r_1 = 1 + 0.38 ab H_1 (1 - 0.11 H_1) (1 + 0.046 t) \tag{11}$$

$$r_2 = 27 580 H_2^{1.25} \left[mb \epsilon \sqrt{2g \left(H_1 + \frac{v_0^2}{2g} \right)^{3/2}} \right]^{-1.35} \cdot \left(1 + 0.67 \gamma \frac{H_3}{p_{atm}} \right) \tag{12}$$

从而导出阶梯式跌水曝气装置复氧过程中的氧亏比为

$$r' = k \left\{ 1 + 0.38 ab H_1 (1 - 0.11 H_1) (1 + 0.046 t) + 27 580 H_2^{1.25} \left[mb \epsilon \sqrt{2g \left(H_1 + \frac{v_0^2}{2g} \right)^{3/2}} \right]^{-1.35} \cdot \left(1 + 0.67 \gamma \frac{H_3}{p_{atm}} \right) \right\} \tag{13}$$

式中: a 为水质参数 城市生活污水取 0.7 ; b 为阶梯式跌水曝气参数 ,取 1.3 ; H_1 为阶梯式跌水装置垂直落差高度 , m ; H_2 为阶梯式跌水装置落水高差 , m ; H_3 为水体深度 , m ; m 为流量系数 ; ε 为侧收缩系数 ; t 为水温 , $^{\circ}\text{C}$; v_0 为跌水出口水流速度 , m/s ; γ 为液流比重(水取 9.8) ; P_{atm} 为自由表面大气压 ; k 为氧亏比修正系数(经试验数据计算及验证 :其在清水为 0.80~0.90 ,在一般污染水体为 0.65~0.75 ,在严重污染水体为 0.50~0.60)。

根据式(11)和相关数据 ,计算得 IODSM 工艺的阶梯式跌水曝气装置在不同水质中氧亏比 r' 为 3.8~5.8 mg/L ,与测定数据吻合。

5 结 论

试验结果表明 :利用南方丘陵地势特点所开发的阶梯式跌水与微孔曝气一体化氧化沟工艺 ,既能有效地处理城市生活污水 ,又能节约污水处理设施基建费用 ,且同比节能约 15% ,达到了节能降耗的效果。其节能机理分析表明 :导出阶梯式跌水曝气装置复氧过程中的氧亏比及相关参数可作为该工艺工业试验的相应依据。

(上接第 61 页)

适合布井的范围见图 4。为减小井间干扰 ,井间距按 300 m 考虑 ,这样可布设开采井 11 眼 ,其中 2 眼为备用井 ,9 眼正常开采 ,可获得开采量 5 400 m^3/d 。

根据流水壕泉域地下水库范围内大气降水入渗补给量计算成果 ,区内多年平均补给量为 8 164.38 m^3/d , $P=75\%$ 的补给量为 6 790.21 m^3/d ,远大于允许开采量 5 400 m^3/d ,考虑到地下水库的调节作用 ,说明是有补给保证的。人工地下水库在 5 400 m^3/d 的开采量作用下 ,抽水井井壁水位降深为 5 m ,仅占取水点处含水层厚度的 1/4。考虑到地下水库无补给的极端情况下 ,需消耗地下水库中的库容(地下水储存量)来维持地下水库的正常供水 ,根据储存量计算结果 ,地下水库内萨拉乌苏组砂层的单位储存量为 150 万 m^3 ,即地下水位平均下降 1 m ,可维持地下水库正常供水 277 d ,说明开采量为 5 400 m^3/d 时 ,利用地下水库库容可以进行以丰补歉、调节开采。因而 ,流水壕泉域人工地下水库条件下 5 400 m^3/d 的允许开采量是有保证的 ,可以很好地解决该地区的水资源短缺问题。

4 结 论

a. 由于独特的水文地质特点 ,流水壕泉域有着

参考文献 :

[1] 董哲仁. 保护与恢复河流形态的多样性[J]. 中国水利, 2003(6): 34-36.

[2] 姜湘山. 跌水曝气-改进型填料(滤料)排水系统处理屠宰废水的设计[J]. 环境工程, 2002, 23(2): 85-87.

[3] 汪永红. 采用微孔曝气器的氧化沟实例分析[J]. 中国给水排水, 2003, 33(3): 23-25.

[4] 邓荣森. 四川省城市污水处理示范工程:一体化氧化沟[J]. 给水排水, 2001, 27(4): 1-3.

[5] 张自杰. 废水处理理论与设计[M]. 北京:中国工业出版社, 2003:108-115.

[6] 刘祖文. 微孔曝气器一体化氧化沟处理生活污水试验研究[J]. 环境污染与防治, 2005, 27(9): 791-800.

[7] MAYABHATE S P, GUPTA S K, JOSHI S G. Biological treatment of pharmaceut-ical wastewater[J]. Water, Air and Soil Pollution, 1988, 38(1-2): 189-197.

[8] ARGAMAN Y. Single sludge nitrogen removal in an oxidation ditch[J]. Water Research, 1984, 18(12): 1493-1500.

[9] 廖文根. 水工泄水建筑物泄流及河流的大气复氧[D]. 北京:清华大学, 1991.

[10] NAKASONE H. Study of aeration at weirs and caseakes[J]. J of Environ Eng, 1997, 113(1): 83-85.

(收稿日期 2007-09-06 编辑 徐 娟)

构建地下水库有利条件 ,采用帷幕灌浆建立地下截渗墙 ,可在流水壕泉域内形成人工地下水库。

b. 经分析计算 ,地下水库修建后 ,在古洼槽分布区布设开采井群抽取地下水 ,实现地下水库集中供水 ,可获得开采量 5 400 m^3/d 。根据大气降水入渗补给量计算结果 ,5 400 m^3/d 的允许开采量是有保证的 ,可以很好地解决该地区煤矿不合理开采导致的水资源短缺问题。

参考文献 :

[1] 赵天石. 关于地下水库几个问题的探讨[J]. 水文地质工程地质, 2003(5): 65-67.

[2] 袁传芳, 张运区, 遯志强. 从明水泉的成因谈采煤与保泉的关系[J]. 水资源保护, 2003, 19(4): 10-12.

[3] 畅俊斌, 王玮, 马思锦, 等. 陕西省神木县考考乌素沟流域地下水资源勘查报告[R]. 西安:地质矿产部地质工程勘察院, 2005.

[4] 付晓刚, 万伟锋, 毛正君. 地下水库及其在水资源开发和保护中的应用[J]. 地下水, 2007, 29(1): 65-67.

[5] GB 50027—2001, 供水水文地质勘察规范[S].

(收稿日期 2007-03-30 编辑 高渭文)