

Experimental Research on COD Removal Effect Based on the Technology of Strengthening River Basin Ecological Activity

Yongming Chen^{1,2}, Shiguo Xu^{1*}, Jianwei Dong², Xiaohui Zhang², Tianyi Zhang²

¹Dalian University of Technology, Dalian Liaoning

²Jilin Institute of Hydraulic Research, Changchun Jilin

Email: 1076342346@qq.com, *sgxu@dlut.edu.cn

Received: Oct. 14th, 2020; accepted: Nov. 12th, 2020; published: Dec. 22nd, 2020

Abstract

An ecologically active technology based on strengthening river sediments was proposed to improve the water quality of rivers. Three indoor comparative simulation experiments were done to verify this technology's purification effect (COD) that used economical and affordable sintered clay minerals as raw materials. The results showed that after 33 days of monitoring and analysis in the first stage, the average removal rate of COD reached more than 85%, which had significant purification effect; and after 27 days of monitoring in the second stage, the continuous effectiveness of the technology was tested, and the removal rate of COD also reached 82%. Through the comparison of the two groups of experiments, it was found that the filling material with a particle size of 25 - 31.5 cm had the best purification effect, and average removal rate of COD could reach more than 92%. The research results showed that the ecologically active technology had a significant effect on the removal of organic pollutants in river water bodies.

Keywords

River, Water Purification, Sintered Clay Minerals, COD, Ecologically Active Technology

基于强化河道底质生态活性技术的COD去除效果实验研究

陈永明^{1,2}, 许士国^{1*}, 董建伟², 张晓辉², 张天翼²

¹大连理工大学, 辽宁 大连

²吉林省水利科学研究院, 吉林 长春

Email: 1076342346@qq.com, *sgxu@dlut.edu.cn

作者简介: 陈永明(1981-), 男, 江苏盐城人, 硕士研究生, 毕业于扬州大学水利水电工程专业, 现主要从事水生态、水环境、水工新材料研究及水利水电工程设计推广工作。

*通讯作者。

文章引用: 陈永明, 许士国, 董建伟, 张晓辉, 张天翼. 基于强化河道底质生态活性技术的 COD 去除效果实验研究[J]. 水资源研究, 2020, 9(6): 618-624. DOI: 10.12677/jwrr.2020.96067

收稿日期: 2020年10月14日; 录用日期: 2020年11月12日; 发布日期: 2020年12月22日

摘要

提出一种基于强化河道底质的生态活性技术用于河流水质净化处理。以烧结粘土矿物为生态填料, 通过3组室内对比模拟实验验证了该技术对于化学需氧量(COD)的净化效果。经过第一阶段33天的监测分析, COD的平均去除率达到了85%以上, 证明净化效果良好; 经过第二阶段27天的监测, COD的去除率达到82%以上, 证明该技术具有持续有效性; 通过对比研究可知, 粒径25~31.5 cm的填充材料净化效果最好, 均达到92%以上。研究结果表明: 强化河道底质的生态活性技术对水体有机污染物去除效果显著, 具有取用方便、费用低、工艺简单等优点。

关键词

河流, 水质净化, 烧结粘土矿物, COD, 生态活性技术

Copyright © 2020 by author(s) and Wuhan University.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

改善水质和生态状况是经济社会可持续发展的重要基础。研究显示, 我国有超过 40%的河流被严重污染, 正面临水环境保护和治理的严峻挑战[1]。其中, 化学需氧量(COD)是评价水体污染程度的重要指标。

目前, 去除水体中 COD 的方法主要包括物理方法(引水稀释、底泥疏浚、人工复氧等) [2] [3] [4] [5]、化学方法(化学除藻、絮凝沉淀、重金属的化学固定等) [6] [7] [8] [9]和生态法(菌剂投加、生物膜、水生植物、稳定塘、人工湿地等) [10] [11] [12]。已有研究显示人工复氧虽可改善河流污染现状, 但是投资成本较高; 引水稀释和底泥疏浚只是短时间内达到降低 COD 的方法, 无法从根本上减缓有机污染物的二次污染; 化学方法是通过向受污染河流里投加化学药品, 达到短期内减少污染物质含量的目的, 但化学药品是否会产生二次污染仍有待进一步研究; 生态方法是目前国际研究热点, 主要是经过微生物、滤料、植物等的共同作用, 以达到提高水体的自净能力目的, 该方法具有一次性投资并长期运行的特点, 且能得到良好的去除效果[5]。

本研究提出的强化河道底质生态活性技术即属于生态方法范畴。该技术是指将河床作为水质净化设施, 沿河床人工布设既具有一定抗冲刷能力、对污染物又具有隔离、吸收、分解、降解功能的防护结构物, 实现防护河床和净化河道水质的目的。然而, 强化河道底质生态活性技术对水体 COD 的去除效果如何仍有待进一步研究。因此, 本研究选择了经济实惠的烧结型粘土矿物材料作为生态填料, 构建了实验模型, 进行了多项室内模型实验, 对 COD 去除效果进行了定期监测和评价, 以期在实际工程中的运用提供理论依据和技术支撑。

2. 材料与方法

2.1. 改性生态填料的选择

1) 基质填料的选取

学术界对于多孔性材料的吸附性能的研究较多, 已广泛应用在国内人工湿地等生物自然净化技术中。多孔粘土矿物是自然界中广泛分布的一类非金属矿藏资源, 具有比表面积大, 孔隙多和极性等优点, 特殊的胶体性能和晶体结构又使其具备优良的表面吸附性能和离子交换性能。正是因为具有这些优异的性能, 粘土矿物已逐渐成为新型高效吸附材料, 在水环境治理中发挥独特的作用。本研究选取烧结粘土矿物材料($\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3 = 1:1$

型)作为改性生态填料[9]。

2) 改性生态填料的理化指标

根据对改性生态填料进行 X 射线衍射分析及红外光谱分析, 测试结果可见, 该矿物主要依次由伊蒙混层、钾长石、石英、斜长石、黑云母及有机质组成, 其中以伊蒙混层为主, 含量约占 62%。

通过实验室测定, 填料干密度为 1.92 g/cm³。

随机采样 3 组进行孔隙率测定, 结果如表 1 所示。

Table 1. Results of porosity determination of modified ecological filler

表 1. 改性生态填料孔隙率测定结果表

样品编号	1 号	2 号	3 号	均值
孔隙率(%)	20.82	33.68	39.04	31.18

2.2. 试验装置研制

1) 试验模型的选择

为避免受装置自身材料性质影响, 本次选择有机玻璃缸作为装置主体, 采用 4 座串联结构, 单个缸体尺寸为 60 cm × 30 cm × 50 cm (长 × 宽 × 高), 单体总容积 90 L, 单体内可填充不同粒径、不同孔隙率的改性填料、砾石等填充物。单体之间采用直径为 10 mm 的塑料软管连接, 管间布设三通及阀门, 可以各向控制, 使每一反应体可以独立使用或者串、并联使用, 同时保证每一单体可独立进行取样。

2) 模型动力选择

本试验采用有动力循环方式。由于试验流量小, 因此需要可调节功能, 经过对不同动力设备的比选, 本次模型拟采用电磁隔膜计量泵作为循环动力设备。计量泵是一种可以满足各种严格的工艺流程需要, 流量可以在 0%~100%范围内无级调节, 用来输送液体(特别是腐蚀性液体)的一种特殊容积泵。本次试验选择 TN-1202-I 型电磁隔膜计量泵, 最大流量为 12 L/H, 具有可接受外部自动控制功能。

3) 试验模型布置

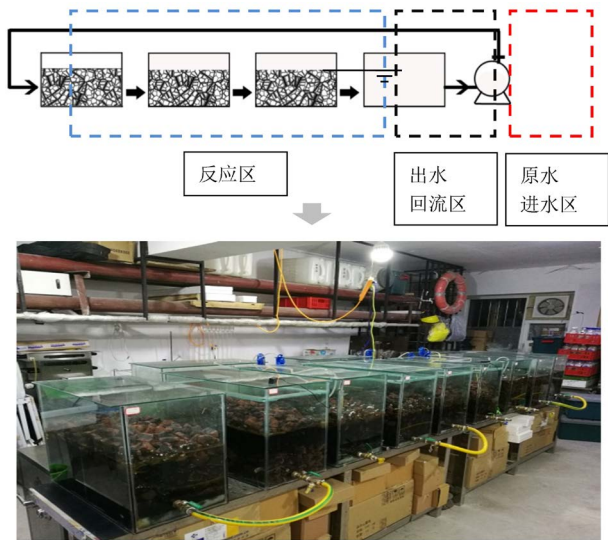


Figure 1. Schematic diagram of test apparatus

图 1. 试验装置示意图

① 装置布置

每组试验模型主体部分分为原水进水区、反应区、出水回流区三部分，反应区由 3 个单体组成，采用串联形式连接；出水回流区由 1 个单体组成，主要用于回流单次循环后的出水，对于流速和水质进行调节。原水进水区由电磁隔膜计量泵组成。试验装置示意图如图 1 所示。

根据单个缸体的体积及堆积填料的孔隙等，确定单组装置内添加试验原水 144 L。单组模型设计流量：
单组模型设计流量：

$$Q = L/T \tag{1}$$

式中：Q 为单组模型设计流量，mL/min；L 为实验装置中总水量，本试验中为 144 L；T 为装置中水样循环一次所需时间，为取样方便取 24 h。计算得 $Q = 6 \text{ L/h} = 100 \text{ mL/min}$ 。

② 试验方法

在其他条件相同的条件下，按照填料粒径的不同，进行了三组平行试验。其中：1 号反应器内填料的粒径为 20~25 cm，2 号反应器内填料的粒径为 25~31.5 cm，3 号反应器内填料的粒径为 31.5~40 cm。运行初期进行间歇式进水以培养适宜菌群，稳定一段时间后在设计流速或加大流速条件下进行连续流培养。

试验原水：取长春市区内伊通河典型支流现有污水作为原水。试验原水的本底值见表 2。

Table 2. Laboratory test of raw water quality indicators

表 2. 室内试验原水水质指标

项目	COD	氨氮	硝酸盐氮	亚硝酸盐氮
单位(mg/L)	95.4	2.42	0.635	0.54

试验周期：

第一阶段：4 月 19 日~5 月 22 日，计 33 天；

第二阶段：9 月 28 日~10 月 24 日，计 27 天。

3. 实验结果与分析

3.1. 第一阶段实验 COD 去除效果分析

第一阶段实验历时 33 天，不同时段检测结果如图 2 所示。原水经过不同粒径的滤料过滤 33 天后，COD 值均有非常显著的下降，下降幅度达到 85%~92%。

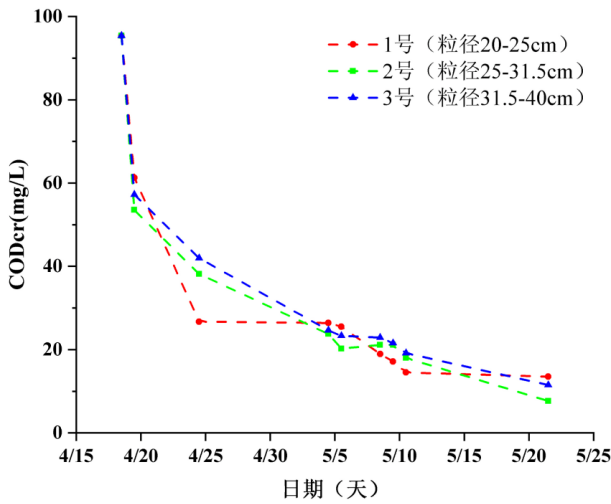


Figure 2. COD purification effect of experiments in the first stage
图 2. 第一阶段三组平行实验 COD 净化效果图

从表 3 可以看出, 实验前 16 天, 三组平行实验 COD 去除率平均达 72%以上, 此后净化效率逐渐趋于稳定 (表 3)。整体上, 1 号填充材料(粒径 20~25 cm)净化效果最弱, 2 号填充材料(粒径 25~31.5 cm)净化效果最好。

Table 3. COD purification effect of different reaction time in the first stage
表 3. 第一阶段不同反应时间 COD 去除效果表

累计反应时间	1 号(粒径 20~25 cm)	2 号(粒径 25~31.5 cm)	3 号(粒径 31.5~40 cm)
3	35.79	43.89	40.01
6	72.00	60.00	56.00
16	72.33	75.09	74.17
17	73.25	78.78	75.56
20	80.17	77.86	76.02
21	82.01	77.86	77.40
22	84.78	81.13	79.92
33	85.85	91.97	87.97

3.2. 第二阶段 COD 去除效果分析

为检验滤料对水体 COD 净化作用的持续有效性, 在保证试验条件不变(原水采样点与第一次相同)的情况下, 在第一阶段试验的基础上又进行了第二次试验。此次实验结果与第一阶段实验效果大致相同, 三种粒径情景下 COD 值均有非常显著的下降趋势, 净化效果达 83%~93%, 见下图 3。

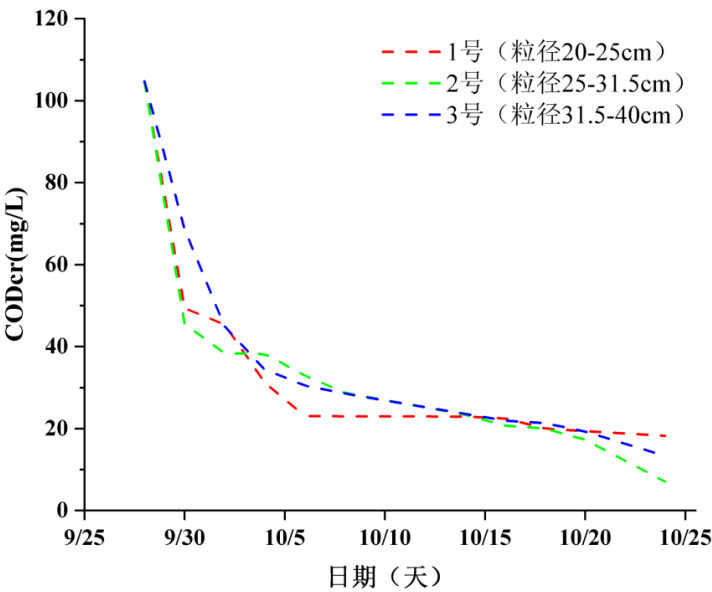


Figure 3. COD purification effect of experiments in the second stage
图 3. 第二阶段三组平行实验 COD 净化效果图

从表 4 可以看出, 实验前 13 天, 三组平行实验 COD 去除率平均达 77%以上, 此后净化效率逐渐趋于稳定 (表 3)。与第一阶段实验效果一致, 整体上, 1 号填充材料(粒径 20~25 cm)净化效果最弱, 为 83%; 2 号填充材料(粒径 25~31.5 cm)净化效果最好, 达 93%。

Table 4. COD purification effect of different reaction time in the second stage
表 4. 第二阶段不同反应时间 COD 去除效果表

累计反应时间	1 号(粒径 20~25 cm)	2 号(粒径 25~31.5 cm)	3 号(粒径 31.5~40 cm)
3	52.85	56.54	34.52
5	56.67	63.38	57.09
7	70.22	63.51	67.14
9	77.99	68.54	70.88
11	78.06	72.58	72.74
16	78.12	77.65	77.51
19	78.55	80.23	79.04
21	80.91	80.91	79.65
23	81.48	83.48	81.58
27	82.61	93.28	87.30

4. 生态填料性能对比分析

生态填料按来源分为天然材料及合成材料。其中，对 COD 有较好净化的天然材料有砾石、卵石、功能填料(废砖块、废陶或沸石)、天然纯棉绳、植物杆；合成材料有塑料、人工填料(粒状、细线状、垫子状、波板状填料)等。本研究选取烧结粘土矿物材料($\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3 = 1:1$ 型)作为改性生态填料，现从材料取用、净化效果、应用范围等方面对其进行对比分析。

1) 天然材料

天然材料如砾石、卵石，具有取用方便、花费少、净化效果较好的特点，COD 的净化率可达 70%，早在上世纪便广泛应用于日本、韩国等地地表水净化处理中，目前在地表水净化处理领域应用最为广泛。

2) 合成材料

合成材料有塑料、玻璃钢、尼龙、人工填料(粒状、细线状、垫子状、波板状填料)等，具有净化效果好、针对性强、应用领域广的特点，但其也具有制作工艺及后期运行管理稍显复杂、成本较高的特点。

3) 本研究烧结粘土矿物材料($\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3 = 1:1$ 型)

烧结粘土矿物材料花费少，可大量生产，净化效果好，实验室 COD 的净化率可高达 90%，今后大面积实际水体应用及整个水域系统自我恢复能力提高效果有待后续研究。

5. 结语

通过室内实验对强化河道底质生态活性技术的水质净化效果评价与分析，本研究主要得出以下结论：

- 1) 强化河道底质生态活性技术对水体有机污染物去除效果显著，是一种经济、实惠和有效的河流污染修复技术。
- 2) 强化河道底质生态活性技术可高达 85%以上，且持续效果显著，处于 25~31.5 cm 粒径的填充材料对 COD 净化效果最为显著，可达 92%以上。
- 3) 烧结粘土矿物材料可作为有效的河道底质材料。

基金项目

国家科技重大专项专题项目：《排污明渠治理技术集成与工程示范》，课题编号(2012ZX07201-001)。

参考文献

- [1] MIAO, X., TANG, Y., WONG, C. W. Y. and ZANG, H. The latent causal chain of industrial water pollution in China. *Environmental Pollution*, 2015, 196: 473-477. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2014.11.010>
- [2] 宋德生. 原位生态净化集成系统对微污染河水净化效果研究[D]: [硕士学位论文]. 郑州: 郑州大学, 2019.
SONG Desheng. Study on the purification effect of *in-situ* integrated ecological purification technology for micro-polluted river water. Zhengzhou: Zhengzhou University, 2019. (in Chinese)
- [3] 肖乐, 周琪. 受污染河流水质修复技术研究进展综述[J]. *净水技术*, 2015, 34(1): 9-13, 28.
XIAO Le, ZHOU Qi. General review of research advance on water quality restoration technology for polluted river. *Water Purification Technology*, 2015, 34(1): 9-13, 28. (in Chinese)
- [4] 袁兴程. 平原河网区河流水质改善关键技术与水环境治理方案研究[D]: [博士学位论文]. 南京: 南京大学, 2012.
YUAN Xingcheng. Study on technology of water quality improvement and water environmental governance program for river in plain river network region. Nanjing: Nanjing University, 2012. (in Chinese)
- [5] 肖璐. 水平潜流人工湿地净化府河水的试验研究[D]: [硕士学位论文]. 保定: 河北农业大学, 2019.
XIAO Lu. Experimental study on purification of Fuhe river by horizontal subsurface flow constructed wetland. Baoding: Agricultural University of Hebei, 2012. (in Chinese)
- [6] 张建平. 河流水质净化技术及生态修复[J]. *河南水利与南水北调*, 2009(10): 26-27.
ZHANG Jianping. River water quality purification technology and ecological restoration. *Henan Water Resources & South-to-North Water Diversion*, 2009(10): 26-27. (in Chinese)
- [7] XU, Q., SIRACUSA, G., DI GREGORIO, S. and YUAN, Q. COD removal from biologically stabilized landfill leachate using advanced oxidation processes (AOPs). *Process Safety and Environmental Protection*, 2018, 120(2018): 278-285.
<https://doi.org/10.1016/j.psep.2018.09.014>
- [8] WANG, Z., LI, J. B., TAN, W. H., WU, X. G., LIN, H. and ZHANG, H. Removal of COD from landfill leachate by advanced fenton process combined with electrolysis. *Separation and Purification Technology*, 2019, 208: 3-11.
<https://doi.org/10.1016/j.seppur.2018.06.048>
- [9] ZHOU, Z. Q., YU, T., DONG, H. L., HUANG, L. Q., CHU, R. K., TOLIC, N., WANG, X. and ZENG, Q. Chemical oxygen demand (COD) removal from bio-treated coking wastewater by hydroxyl radicals produced from a reduced clay mineral. *Applied Clay Science*, 2019, 180: 10-20. <https://doi.org/10.1016/j.clay.2019.105199>
- [10] 杜良梅, 张丽, 和丽萍, 陈静. 利用人工湿地处理云南高原湖泊入湖河水的净化效果分析[J]. *环境科学导刊*, 2013, 32(6): 44-47.
DU Liangmei, ZHANG Li, HE Liping and CHEN Jing. Purification effect of inflows of plateau lakes by constructed wetland in Yunnan. *Environmental Science Survey*, 2013, 32(6): 44-47. (in Chinese)
- [11] 李东亚. 工业聚集区面源污染特征及人工湿地控制机理研究[D]: [博士学位论文]. 广州: 华南理工大学, 2015.
LI Dongya. Characteristic of nonpoint pollution in industrial cluster area and its control by constructed wetland. Guangzhou: South China University of Technology, 2015. (in Chinese)
- [12] 张晏. 人工湿地水体净化方法研究——空港经济区人工湿地为例[D]: [硕士学位论文]. 天津: 天津大学, 2018.
ZHANG Yan. Study on water purification method of constructed wetland (artificial wetland in Airport Economic Zone). Tianjin: Tianjin University, 2018. (in Chinese)