

# 砾间接触氧化+河道人工湿地工艺在中小河流治理中的应用

徐天勇 (安徽省滁州市生态环境局, 安徽滁州 239000)

**摘要** 根据农村地区中小河流的水质状况,结合当地地形、土壤、气候、植物等因素,充分利用生物生态方法,采用砾间接触氧化+河道人工湿地工艺直接对污染河流水质进行净化,处理工艺适应性强,建设周期短,投资和运行费用低,维护管理简便,还美化了环境。砾间接触氧化工艺对生化需氧量、化学需氧量、氨氮的去除率均达到60%~70%,出水再经河道人工湿地处理,对总氮、总磷的去除率均达到70%~80%,水质达到IV类水标准。

**关键词** 砾间接触氧化;河道人工湿地;河流治理;应用

中图分类号 X52 文献标识码 A

文章编号 0517-6611(2020)15-0075-03

doi:10.3969/j.issn.0517-6611.2020.15.022



开放科学(资源服务)标识码(OSID):

## Application of Gravel Contact Oxidation + River Constructed Wetland Process in Small and Medium-sized River Management

XU Tian-yong (Chuzhou Bureau of Ecological Environment, Chuzhou, Anhui 239000)

**Abstract** According to the water quality of small and medium-sized rivers in rural areas, combined with local topography, soil, climate, plants and other factors, the bioecological method is fully used, and the process of gravel contact oxidation + river constructed wetland is adopted to directly purify the water quality of polluted rivers. The treatment process has strong adaptability, short construction period, low investment cost, low operation cost, simple maintenance and management, and beautifies the environment. The removal rate of biochemical oxygen demand, chemical oxygen demand and ammonia nitrogen by gravel contact oxidation process is 60%~70%. The removal rate of total nitrogen and total phosphorus is 70%~80% after the effluent is treated by river constructed wetland, and the water quality is stable to class IV water standard.

**Key words** Gravel contact oxidation; River constructed wetland; River management; Application

随着水污染防治的不断深入,水环境治理已从主要干支流扩大到中小河流,污水处理厂建设、黑臭水体治理已从城镇扩展到农村地区。由于农村污水处理设施不完善,运行不稳定,绝大多数地区未设污水收集系统,部分未经处理的各种污水被混合排入河流,雨季污水直接入河,还有养殖、种植、垃圾等农业面源等还没有得到有效治理,造成许多中小河流污染问题没有得到根本解决,影响了主要干支流水质的提升<sup>[1]</sup>。如何根据河流水质状况、污染特点,结合地形、土壤、气候、植物等因素,充分利用生物生态方法,科学合理开展对中小河流的治理,是当前迫切需要解决的问题。

### 1 农村地区河流污染的特点

**1.1 点源污染** 由于排水系统不完善,部分沿河城镇居民的生活污水无法进行收集、处理;各村污水处理设施也没有全覆盖,部分生活污水直接排入河流;已投运的污水处理厂除磷脱氮效果不好,出水标准不高<sup>[2]</sup>。

**1.2 线源污染** 流经城镇的河流有许多纳污支流,这些支流的污染主要由沿线工农业生产和生活排放污染物造成的,部分支流的水质较差。

**1.3 面源污染** 流域内散布着较多的农田、池塘,农药化肥、畜禽废弃物以及水产养殖等产生污染,城镇地表径流也会造成污染。

### 2 治理技术的要求<sup>[3]</sup>

**2.1 低成本** 主要从处理设施建设方面考虑,使用成本较低的材料、设备和技术,并尽可能就地取材,在满足需要的前提下,以简单实用为原则。

**2.2 少维护** 主要从运行管理方面考虑,复杂的操作和经常性维护很难适应当前乃至今后相当长时间内的农村实际,因此要求治理技术、设备具备操作简单、少维护等特点,对管理人员技术水平和运行维持经费要求较低。

**2.3 生态化** 农村有广泛的的土地、种类繁多的植物,在污水处理技术选择上,应优先考虑采用生物生态化处理方法,并尽可能就地回用,达到污水资源化的目的。

**2.4 效果好** 主要从处理设施的水力负荷、温度适宜性、进出水水质等方面考虑,水处理设备只有具备抗水力负荷和污染负荷冲击能力强、耐低温等特性,才能确保设施稳定运行,出水稳定达标。

### 3 治理技术的新进展

生活污水的处理工艺和工业废水的处理技术都可经过适当改造后用于河流水质的处理中,可将各种技术进行改型和改造,或将多种技术灵活组合,净化后的水再返回河流,以达到高效低耗净化河水的目的<sup>[4]</sup>。这些技术都应结合当地实际,根据河流污染特点,满足河流治理要求,不影响河流功能和河岸环境。在河岸内建设污水处理系统,将河水分流其中进行单独处理,这种技术可保证污染河水得到充分有效的处理,保障河流原有各功能的作用,又不必兴建大规模的管网,是目前值得关注的一种新思路。笔者在实践中作了一些探索,采用砾间接触氧化+河道人工湿地工艺对河流水质进行净化,取得了较好效果。

**3.1 砾间技术** 该技术起源于日本,技术的开发初衷是为了直接改善河川的水质,砾间工程在日本已超过百座。砾间技术也适用于对污水的直接处理,在台湾更多是用于污水处理厂替代作用,也有用于污水处理厂尾水的深度净化。砾间技术的核心是砾间,称之为砾间槽,槽内填充颗粒比较大的

作者简介 徐天勇(1966—),男,安徽滁州人,高级工程师,硕士,从事污染防治技术研究和管理工作。

收稿日期 2019-12-22

砾石,污水从槽中间通过会得到净化,在砾间槽底部铺设曝气管,中间还配置排泥设施,砾间槽设置在地下,冬季不容易受到外界影响。砾间技术的主要原理:一是接触沉淀作用,因砾石与砾石之间的空隙是连续性的,当污水通过时,水体中的悬浮物质因接触砾石表面改变流速而产生沉淀,由于砾石间的空隙小且沉淀距离短,比水体自然沉淀效果更好;二是砾石表面生物膜的附着、吸收、分解作用,设施内所填充的砾石表面,会因微生物自然作用生成的生物膜与水中有机物质附着、吸收,并进行分解作用;三是沉淀物的移动、分解、减量作用,通过曝气控制,使污染物在好氧和厌氧环境条件下移动,分解并减量后,剩余物质与剥落的生物膜等,最终成为堆积在槽底部的污泥<sup>[5]</sup>。

**3.2 湿地技术** 人工湿地技术是通过模拟自然湿地的结构和功能,选择一定的地形,根据人们的需要人为设计和建造的湿地。水生植物是人工湿地的主要组成部分,主要原理是水生植物的根可吸收水中的营养物质及其他元素,可增加水体中氧含量或抑制有害藻类繁殖的能力,遏制底泥营养盐向水中再释放,同时还能水生动物、微生物提供栖息和食物源,维持水岸带物种多样性。人工湿地技术包括生物浮岛、水底草坪、生态护岸等<sup>[6]</sup>。

#### 4 砾间接触氧化工程

以现有河道向下开挖,将工程主体结构直接设置在河道的河床底下,设施顶部沿着河道底部高程设计,使其排洪功能不受影响。工程利用河水重力流方式进入处理设施内,先经拦污网初筛后经挡水闸门进入沉淀槽,其中挡水闸门可在洪水来临时关闭,避免洪水携带大量泥沙和其他悬浮物进入处理设施而保证砾间槽的安全运行。随后沉淀槽中的水通过进流分水渠道进入砾间槽处理,槽内天然砾石以混合粒径不规则排列。为不影响河道正常排水功能,将槽顶部加盖,处理后的出水,经槽出水端的出水孔墙等设施排入河流。在砾间接触氧化槽底部铺设反冲洗曝气管,用鼓风机定期进行反冲洗及排空作业,将老化的生物膜、杂质等排出。当来水超过设计流量时,多余水量将直接由处理设施上方往下游流出<sup>[7]</sup>。

**4.1 沉淀槽** 为减少后续单元污泥处理负荷,保护管线与机械设备,降低砾间接触曝气单元堵塞情形发生,将沉淀槽设置于前段,并设细格栅,以有效拦截较大的固形物和垃圾。沉淀槽可根据地形、河宽等确定,一般长30 m、宽8 m、深1.5 m。

**4.2 砾间槽** 砾间接触氧化槽施工采用连续壁垂直开挖,减少对周边环境的影响,槽底与槽壁为钢筋混凝土结构。河水由沉淀槽分成3股进入砾间接触氧化槽,3座砾间接触氧化槽串联设置,根据地形、河深、河宽、处理量等因素,一般各槽长35.0 m、宽5.0 m、深2.5 m,污水在砾间槽停留时间约6 h,砾间槽体内填充砾石,表面平滑,粒径为10~20 cm,填充空隙率为30%~40%,砾石厚度1.7 m。

**4.3 曝气设施** 砾间槽底部设曝气系统,将槽区分为曝气区和非曝气区,曝气系统埋设后加水测试曝气管水平程度,

在曝气区输入空气增加水中的溶氧量,有益于生物膜上的微生物进行氧化分解作用。而非曝气区作为污泥沉降区,虽然埋设曝气管,但在正常污水处理流程下并不进行曝气,微生物可以进行兼氧或厌氧的分解作用,非曝气区须定期进行反冲洗,这时就会启动曝气设施,曝气搅动沉降污泥,使底部污泥顺利排出。

**4.4 维护管理** 砾间技术可实现自动控制,每日只需检查和清理进出水端是否有污物淤积或漂浮物,观察和记录砾间槽进水端水位及出水渠水位差,作为反冲洗时的依据,检查流量设施是否正常。定期(一般14 d左右)启动反冲洗鼓风机1次,清除空气管线内的淤积物。每月或每季度要对电器设备进行检查维护,并进行设备润滑工作;维护进水端检修孔、沉淀槽、砾间槽及出水渠等,并对淤积物进行清理。当砾间槽进水端水渠内水位增高至一定位置,要及时进行反冲洗工作。在夏秋季节,由于温度适宜生物膜生长,砾石上形成较厚的生物膜,应经常进行反冲洗,防止堵塞孔隙。秋冬季节树叶会落到沉淀槽等设施内,也应及时清理<sup>[8]</sup>。为保证治理的效果能得到长久保持,要制定一套维护管理方案,聘请专业人员进行定期维护,对出水进行定期监测。

#### 5 河道人工湿地工程

进行大规模开挖、拓展河道宽度,形成大面积人工湿地非常困难,应根据现场地形条件,在满足行洪功能的前提下,选择适合的河段,对部分河道的滩地进行适当整治,尽量少开挖土方,保持土方平衡,浅滩一般不深于2 m,主河槽主要用于汛期行洪<sup>[9]</sup>。在河道湿地出口的末端设置可调节水位的控制闸或滚水坝,根据季节、上游来水情况调整河道内水深,形成河道滞留塘,在水体内种植各种水生植物,既增加水生植物的多样性,又可延长水流在河道内的停留时间,达到最大净化效果。满足河道行洪要求时,可设多级滚水坝对水体自然曝气、充氧,在原河道堤坝基础上建设生态护坡工程。

**5.1 水生植物选择** 按照植物耐污性、生长适应能力、根系发达程度和美观价值的原则,根据河道内水深的不同,选择合适的水生植物。尽量选择四季常绿,耐低温、耐盐、耐高温、耐强光的品种;选择净化效果好,去污能力强,对氮、磷等污染物有较高净化率的品种;充分考虑水下空间、层次,实现水下沉水植物景观化;根据当地气候水文特点,选择不同类型的品种搭配,实现水下沉水植物四季的自然更替,保持水生植物的生物多样性;保证生态安全,防止外来物种入侵,以广有种和本地品种为主;方便管理维护,选择的品种要容易管理,减少维护工程量<sup>[10]</sup>。

**5.1.1 沉水植物。**沉水植物对水体中的氮、磷污染物有较高的净化率,可减少再悬浮物,降低河道内源负荷,为浮游动物提供避难所,从而形成稳定、平衡的生态系统。沉水植物是水体生态修复的核心内容之一,是水体生物多样性赖以维持的基础,可种植的品种有:矮型苦草、轮叶黑藻、狐尾藻、金鱼藻、菹草等,适宜水深0.6~1.5 m,种植密度30~100株/m<sup>2</sup>。

**5.1.2 挺水植物。**挺水植物是构成水陆交错带的主要物种

之一,对截留面源污染、减少进入水体污染物总量具有重要作用,还具有较高的景观价值,对提升工程景观效果具有重要地位。挺水植物主要分布在水体周围水陆交错的近水岸边,可种植的品种有:水生美人蕉、梭鱼草、芦苇、菖蒲等,种植于自然驳岸 0~0.5 m 水深范围内,种植密度 2~10 丛/m<sup>2</sup>。

**5.1.3 漂浮植物。**主要种植在沿岸水域,主要品种有:睡莲、浮萍、水鳖等。

**5.2 水生植物栽种** 河道水体流速较快,水体交换量大,部分河道还承担防洪的功能,因此,河道水生植物栽种以沉水植物为主,局部以种植挺水植物和漂浮植物为辅,并根据河道特点,搭配不同的植物群落,提升水体的自净能力,构建优美的水体景观。漂浮植物、挺水植物还可设计为浮床或浮岛进行栽种。湿地植物栽种后即需充水,为促进植物根系发育,初期应进行水位调节;植物系统建立后应保证连续进水,保证水生植物的密度及良性生长。根据植物的生长情况,进行缺苗补种、杂草清除、适时收割以及病虫害防控等管理。

**5.3 维护管理** 为长久的保持河道湿地治理效果,必须有专业的单位和人员进行常年维护,对湿地出水进行定期监测,并根据水质状况和维护管理绩效对运营单位和人员进行考核,才能充分发挥其处理污水及美化环境的功效<sup>[11]</sup>。维护管理应注重以下几个方面:

**5.3.1 水位的控制。**根据暴雨、洪水、干旱、结冰期等各种极端情况,当出现进水端壅水、出水端淹没、湿地断流等现象时,要及时调节水位。

**5.3.2 护堤的维护。**要经常对护堤进行检查,防止水面以下护堤的外部斜坡面出现渗水现象,定期清理护堤和堤面上的杂草,以免杂草蔓延与湿地植物形成竞争。

**5.3.3 植物的管理。**由于沉水植物生长旺盛,在生长季节应及时打捞、清理。挺水植物应在冬季时对枯枝残叶进行修剪,在生长季节也要及时除草、修剪、补种,及时给长势较弱的植物施肥等。另外,一些恶性水草的滋生也会影响水体环境及水生植物生长,要及时控制蔓延。

**5.3.4 动物的控制。**蚊蝇能够传染疾病,可通过在水面边

缘安置曝气设备或加快水的流速等措施,控制蚊蝇生长。鸟类、爬行动物等可形成湿地系统的食物链,有益于维护湿地的处理功能,但也会破坏植物生长,损坏堤坝,要利用生物方法进行控制。

## 6 结论

**6.1 砾间处理效果与特点** 来水水质生化需氧量(BOD<sub>5</sub>) 20~25 mL/L,化学需氧量(COD<sub>Cr</sub>) 50~60 mL/L,氨氮(NH<sub>3</sub>-N) 20~25 mL/L,砾间处理效果:对生化需氧量、化学需氧量、氨氮的去除率均达 60%~70%,其中,BOD<sub>5</sub> 去除率第一槽 45%,第二槽 40%,第三槽 20%;COD<sub>Cr</sub> 去除率第一槽 40%,第二槽 35%,第三槽 10%;NH<sub>3</sub>-N 去除率第一槽 60%,第二槽 40%,第三槽 10%。砾间技术的特点是处理效果好,适应性强,全地下化、占地少,处理效率高、能耗低,运行维护简便,污泥量少,建设周期短、见效快。

**6.2 湿地处理效果与特点** 来水经砾间处理后,水质已明显改善,为进一步提升水质,修复水生态环境,再经湿地处理,水质指标可稳定达到Ⅳ类水标准,绝大多数指标符合Ⅲ类水标准。湿地处理效果:湿地内的微生物、植物能够进一步削减有机物,特别是对总氮(TN)、总磷(TP)的去除效果非常明显,去除率达 70%~80%。人工湿地的特点是投资少、运行费用低、维护管理简便,不仅治理了水污染,还美化了环境。

## 参考文献

- [1] 贾海峰. 城市河流环境修复技术原理及实践[M]. 北京:化学工业出版社,2019.
- [2] 周刚,周军. 污染水体生物治理工程[M]. 北京:化学工业出版社,2011.
- [3] 王敦球,张学洪,黄明,等. 城市小流域水污染控制[M]. 北京:冶金工业出版社,2009.
- [4] 张后虎,祝栋林. 农村生活污水处理技术及太湖流域示范工程案例分析[M]. 北京:中国环境科学出版社,2011.
- [5] 陈天麟. 农村生活污水处理工艺及运行管理[M]. 北京:中国建筑工业出版社,2018.
- [6] 李兵第. 村庄污水处理案例集[M]. 北京:中国建筑工业出版社,2010.
- [7] 刘建伟. 污水生物处理新技术[M]. 北京:中国建筑工业出版社,2016.
- [8] 李仰斌. 农村生活污水处理技术与示范[M]. 北京:中国水利水电出版社,2010.
- [9] 王超,王沛芳. 城市水生态系统建设与管理[M]. 北京:科学出版社,2004.
- [10] 沈士华. 生态水景与湿地景观营造[M]. 北京:中国林业出版社,2016.
- [11] 肖艳. 园林绿化湿地水生植物[M]. 广州:广东科技出版社,2017.