

工程实例

DOI:10.19853/j.zgjsps.1000-4602.2020.12.022

快速污水处理技术(RPIR)用于深圳水环境治理

林佩斌¹, 李小江¹, 李辉², 唐华清², 张健建², 张飞飞², 刘淑杰²

(1. 深圳市广汇源环境水务有限公司, 广东 深圳 518011; 2. 深圳市清研环境科技有限公司, 广东 深圳 518057)

摘要: 为解决深圳沙湾河黑臭水体治理中污水处理能力不足、缺乏补水的问题,设计采用快速污水处理技术(RPIR),在短期内新建一座 $1 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 的应急污水处理站,实现就地处理就地补水。运行结果显示,该工艺具有占地省、投资低、启动快、出水稳定等特点,出水指标可稳定达到一级A标准,可为其他地区实现污水处理快速建设快速达产、就地实现生态补水提供借鉴。

关键词: 黑臭水体; 水环境治理; 快速生化处理; 反应沉淀一体化; 河道补水

中图分类号: TU992 **文献标识码:** B **文章编号:** 1000-4602(2020)12-0117-05

Application of Rapid Wastewater Treatment Technology(RPIR) in Water Environment Improvement in Shenzhen

LIN Pei-bin¹, LI Xiao-jiang¹, LI Hui², TANG Hua-qing², ZHANG Jian-jian²,
ZHANG Fei-fei², LIU Shu-jie²

(1. Shenzhen Guanghuiyuan Environment Water Co. Ltd., Shenzhen 518011, China; 2. Shenzhen Qingyan Environmental Technology Co. Ltd., Shenzhen 518057, China)

Abstract: Rapid wastewater treatment technology using sedimentation integrated rectangular airlift loop reactor (RPIR) is a new type of rapid biochemical sewage treatment technology. For the solution of the inadequate sewage treatment capacity and lack of water replenishment in the water bodies of the Shawan River in Shenzhen, a new $10\,000 \text{ m}^3/\text{d}$ emergency sewage treatment station was designed with RPIR to achieve on-site treatment and in-place water replenishment. The results showed that RPIR had the characteristics of small occupation, low investment, fast start-up, and stable effluent, and the effluent index could stably reach the first-level A standard. It demonstrated that RPIR could be a promising technology to apply in worldwide for the efficient treatment of polluted water and ecological on-site water supply.

Key words: black and odorous water body; water environment improvement; RPIR; integrated reaction and sedimentation; river water supplement

由于地形地貌限制和历史建设的原因,深圳地区存在排水管网不完善、片区污水处理能力不足、可利用的土地资源匮乏、水环境容量小、河道生态补水缺口大等问题和不足,制约着深圳水环境治理工作的快速推进。因此,深圳提出了“分散处理、就地补

水”的治水新思路,即在多个污水管网不完善或污水处理能力存在缺口的区域,就地快速兴建集约式的一体化污水处理厂(站),将片区污水通过就地处理,尾水达标后就近补给河道,快速实现了厂站扩容、污水管网降水位和河道生态补水的多重目标,为

所在区域水体达标打下了坚实基础,也为管网建设赢得了时间^[1]。

基于深圳现实的用地条件和考核的紧迫性,对集约式的一体化污水处理工艺提出了较高的要求,必须具备占地省、易于施工安装、启动速度快、运行成本低、出水稳定等特点方能满足要求,这使得诸多常规污水处理工艺因此而受限。

作为一种新型污水处理技术,快速生化污水处理技术(RPIR)是在原有活性污泥法的基础上,通过反应器结构设计,增加导流模块,提高氧传质效率,促进空气、微生物(活性污泥)和水体三相的接触反应,人为创造污泥自动回流环境,在不需要利用动力进行污泥回流的情况下,形成了等同MBR膜的微生物截留作用,使得反应器中始终保持较高的活性污泥浓度。RPIR装备在高效去除COD的同时,可去除氨氮、总氮及总磷,实现同步硝化反硝化和脱氮除磷,省去了常规工艺在后端设置的二沉池,在功能与运行效果上均可与MBR相媲美^[2-3]。该反应器原理如图1所示^[3]。

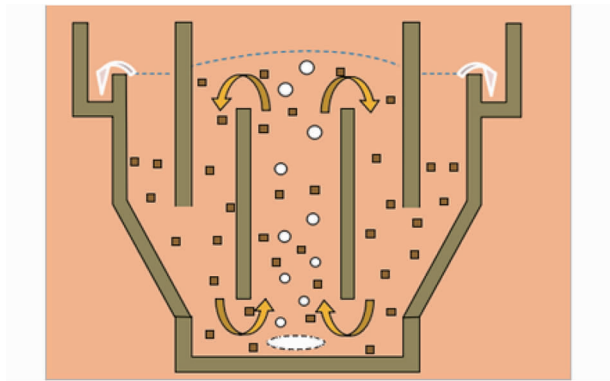


图1 RPIR生物反应器示意图

Fig.1 RPIR biological reactor

该技术很好地适应了上述要求,在深圳的多个项目中得到了运用,其中深圳沙湾河丹竹头污水处理站的建设就是一个很好的范例。

1 项目背景

沙湾河位于深圳市龙岗区,为深圳河的一级支流,周边片区管网不完善,污水处理能力严重不足,污水直排入河现象比较突出,河道常年处于黑臭状态。根据沙湾河水环境整治要求,为解决近期污水收集及处理能力不足的问题,需在沙湾河中游丹竹头附近新建一座应急污水处理站(丹竹头处理站),实现附近片区的污水进行就地处理就地补水,规模为 $1 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$,出水标准不低于《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB 18918—2002)一级B标准(总氮除外),设计进、出水水质如表1所示。可利用土地不规整且面积不足 $1\,200 \text{ m}^2$,总工期(设计、施工、达标出水)为90 d。

表1 设计进、出水水质

Tab.1 Design influent and effluent quality

$\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$

项 目	COD	BOD ₅	SS	NH ₃ -N	TP(以P计)
设计进水浓度	250	150	250	26	5
设计出水浓度	60	20	20	8	1

2 工艺比选

通过现场踏勘和实际调研可知:①该项目占地太小且不规则,整体呈单边梯形,远小于常规污水处理设施所需的建设用地指标;②该项目建设周期短,属于应急项目,整个工程建设加出水达标工期只有3个月,远少于常规污水处理设施建设和调试周期;③该项目建设费用低,根据招投标的要求,用于建设投资的费用不足1 500万元。

根据上述条件,如果采用常规工艺和土建形式进行建设,无论是从用地、工期和造价来说都满足不了要求,必须采用集成度较高的一体化污水处理装置。设计将深圳市场上常用的一体化处理工艺如磁分离+曝气生物滤池(BAF)、膜生物反应池(MBR)、生物接触氧化以及RPIR等工艺进行了比选,如表2所示。

表2 污水处理工艺比选

Tab.2 Comparison and selection of sewage treatment processes

工艺类型	占地/ $(\text{m}^2 \cdot \text{m}^{-3})$	出水水质	建设成本/ $(\text{元} \cdot \text{m}^{-3})$	建设周期/d	调试周期/d
磁分离+BAF	0.10	一级A,不稳定	1 200	60	45
MBR	0.15	一级A,稳定	2 500	30	45
生物接触氧化	0.20	一级A,较稳定	2 000	60	45
RPIR	0.10	一级A,稳定	1 400	60	15

通过对上述工艺的比选发现,RPIR快速污水处

理技术具有占地省、造价低、建设调试快等特点,十

分符合本项目需求,因此丹竹头污水处理站最终选用该工艺作为主体工艺。

3 工程设计与建设

鉴于项目建设用地为不规则用地,设计因地制宜,采用了RPIR的圆形主反应池;同时,为了节约工期,采用现土建圆底基础+焊钢制罐体形式,大大节省了施工工期和养护期;设计主反应池直径为26.5 m,池高6 m,设计总停留时间仅7.2 h,设计污泥浓度为5 500 mg/L。

工艺流程见图2。

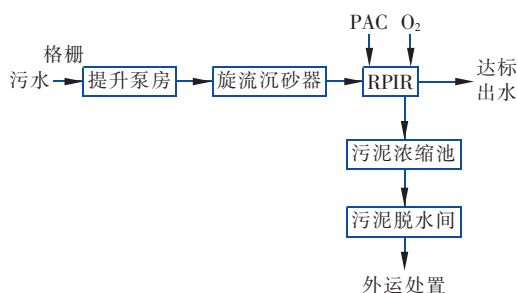


图2 污水处理工艺流程

Fig. 2 Flow chart of sewage treatment process

4 实际运行效果及分析

该工程从2017年10月运行至今,出水水质稳定达到一级A标准。实际运行的水力负荷为0.8 m/h,水力停留时间为7.2 h,污泥龄为13 d,温度为25℃,固体混凝剂(PAC)投加量为0.12 t/10⁴ m³。现截取本项目运行以来近半年的数据进行分析。随着运行时间的推移,丹竹头处理站的污泥浓度从初始接种的1 000 mg/L逐渐提升,最终稳定在5 500~6 000 mg/L。若采用传统污泥法,污泥浓度稳定在3 000 mg/L左右^[4]。与传统活性污泥法相比,RPIR可保留较高的微生物量在反应器区,从而提高污染物的去除率,并提高污泥系统抗环境冲击的能力。由于RPIR独特的结构优势实现的高生物量截留,使得RPIR虽不用膜组件,依然可以在高污泥浓度范围内实现污水处理系统的稳定运行。结合污泥的沉降性能判断,本工艺污泥的SV₃₀稳定在30%~40%,SVI<80 mL/g,表明该工艺污泥沉降速度快,污泥沉降性能优越,高污泥量运行并不会对污泥沉降造成不利影响。

4.1 对COD的去除

该工程的COD去除效果见图3。进水COD为60~350 mg/L,平均值为152.04 mg/L,经过RPIR

处理过后,出水COD降至6~20 mg/L,COD去除率达到了69.78%~98.17%。该项目进水COD最大时超300 mg/L,高于设计进水COD(300 mg/L),波动较大,但出水COD能稳定在50 mg/L以下,低于设计出水COD(60 mg/L),稳定达到设计出水水质要求,去除率达到(82.50±6.7)%。一般来说,污泥负荷低于0.5 kgBOD₅/(kgMLSS·d)时,COD去除效果较好。该项目的污泥负荷仅为0.118 kgBOD₅/(kgMLSS·d),表明污泥系统仍有较大空间可处理更加复杂、负荷更高的污水;同时也说明该工艺内污泥浓度高,抗冲击能力强。

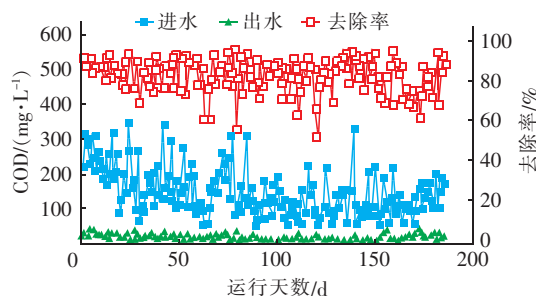


图3 COD的去除情况

Fig. 3 Removal effect of COD

4.2 对NH₃-N的去除

对NH₃-N的去除效果见图4。

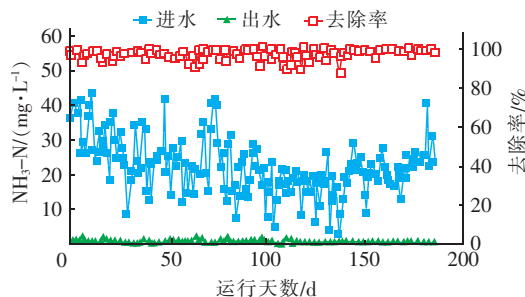


图4 对氨氮的去除效果

Fig. 4 Removal effect of NH₃-N

进水NH₃-N为2~45 mg/L,平均值为22.41 mg/L,经过RPIR处理后,出水NH₃-N降至0.01~1.95 mg/L,NH₃-N处理率达到了95.37%~99.54%。设计进水NH₃-N为26 mg/L,实际上有40%以上的进水NH₃-N超过设计值,进水波动较大。从长期监测结果可知,出水NH₃-N始终稳定在2 mg/L以下,远低于设计出水NH₃-N(8 mg/L),去除率达到(97.41±1.79)%。该工艺去除NH₃-N的机理主要是通过硝化菌的硝化作用和微

生物同化作用,较高的溶氧环境有利于硝化菌生长繁殖。在运行期间,生物池内保持较高的溶氧(>2 mg/L),可为提高 NH_3-N 去除率带来较大帮助。

4.3 对TP的去除

对TP的去除效果如图5所示。

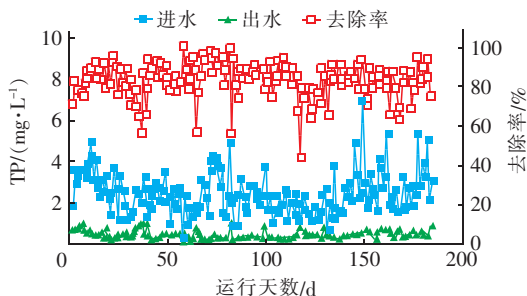


图5 总磷的去除效果

Fig.5 Removal effect of TP

进水TP为 $0.38 \sim 7$ mg/L,平均值为 2.40 mg/L,经过RPIR处理后,出水TP降至 $0.01 \sim 0.95$ mg/L,处理率达到 $44.83\% \sim 99.80\%$ 。进水TP较为稳定,大部分在设计进水浓度范围之内,出水TP稳定低于设计标准(1 mg/L),去除率为 $(83.78 \pm 6.53)\%$ 。一般而言,污水除磷机理分为两类:一是化学除磷,通过向污水中加入聚合氯化铝铁形成不溶性磷酸盐沉淀物,然后通过固液分离去除;二是生物除磷,依靠聚磷菌完成,聚磷菌在好氧条件下,能够过量从外部环境中摄取磷,将磷以聚合态贮存在菌体内形成高磷污泥,通过排泥而除磷^[4]。通过理论计算可知,如果完全依靠化学除磷,药剂投加量应为 $1.5 \text{ t}/10^4 \text{ m}^3$,但实际除磷药剂投加量约为 $1.0 \text{ t}/10^4 \text{ m}^3$ 。由此可知,该工艺除了化学除磷外,还有约33%的总磷通过生物作用实现去除,即RPIR可以很好地结合并应用化学除磷和生物除磷,达到了高效稳定的除磷效果。

4.4 对SS的去除

对SS的去除效果见图6。进水SS为 $5 \sim 450$ mg/L,平均值为 102 mg/L,经过RPIR处理后,出水SS降至 $1 \sim 19$ mg/L,处理率达到 $71.11\% \sim 99.26\%$ 。进水SS波动较大,出水SS降到 20 mg/L以下,去除率达到 $(89.03 \pm 6.30)\%$ 。该工艺去除SS主要是通过投加絮凝剂,以及利用污泥的吸附和团聚作用。相比传统活性污泥法,该项目在保持高污泥浓度($5\,500 \sim 6\,000$ mg/L)的情况下,仍能稳定

运行;并且,所采用的RPIR无需在生化处理单元后设置二沉池,较传统工艺大幅减少了占地面积。

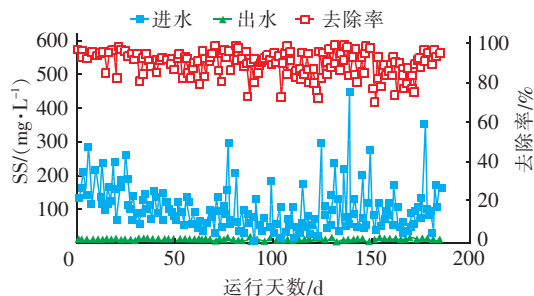


图6 对SS的去除效果

Fig.6 Removal effect of SS

5 结论

深圳市沙湾河丹竹头项目采用的RPIR对污水具有较好处理能力,出水COD、氨氮、总磷、SS平均浓度分别为 23.23 、 0.47 、 0.23 、 8 mg/L,均达到了一级A排放标准。该项目在面对高于设计水质浓度的复杂进水时,仍能达到很好的处理效果,出水稳定达标,表明该系统运行稳定,抗冲击负荷能力强。更重要的是,丹竹头处理站的水力停留时间只有 7.2 h,说明该技术快速高效,可显著降低污水处理过程中的能耗。

RPIR将反应区和沉淀区巧妙地结合在一起,利用环流效应省去了污泥回流泵和二沉池,可高效截留微生物,高效去除各类污染物,同时大幅缩减处理设施的占地面积,具有占地省、施工周期短、启动速度快、耐冲击负荷能力强以及建设运营成本低等特点,可在污水厂扩容提标改造、河道水环境治理以及一体化分散式污水处理设施等推广应用。

参考文献:

- [1] 胡嘉东,秦华鹏. 深圳河湾水系生态需水的污水资源化[J]. 水资源保护,2008,24(3):20-23.
Hu Jiadong, Qin Huapeng. Wastewater recycling for ecological water demand of Shenzhen River-Bay system [J]. Water Resources Protection, 2008, 24(3): 20-23 (in Chinese).
- [2] 王丹丹,刘淑杰,陈福明,等. 反应沉淀一体式矩形环流反应器处理城市污水的影响因素研究[J]. 环境工程学报,2010,4(10):2244-2248.
Wang Dandan, Liu Shujie, Chen Fuming, et al. Study on effect for municipal wastewater treatment using reaction-

(下转第137页)