

速分生化技术处理城市生活污水工程实例

邓妍¹, 刘兴静², 杨迪³, 杨宗政⁴, 王洁⁴, 武莉娅⁴

(1. 天津科技大学 海洋与环境学院, 天津 300457; 2. 天津环科环境咨询有限公司, 天津 300191;
3. 天津市庆安环境检测有限公司, 天津 300450; 4. 天津科技大学 化工与材料学院, 天津 300457)

摘要: 天津市滨海新区某雨水泵站污水临时处理工程采用速分生化工艺,介绍了工艺概况、操作流程、设计参数、处理效果和运行成本等。该工程处理规模为 500 m³/d,进水 COD、BOD₅、NH₄⁺-N、TN、TP、SS 平均浓度分别为 123.6、74.2、26.5、33.6、1.90、234.5 mg/L,相应的出水指标分别为 22.8、4.3、0.8、6.9、0.26、3.2 mg/L,稳定达到了天津市《城镇污水处理厂污染物排放标准》(DB 12/599—2015)A 标准。该工艺处理效果好、运行成本低、污泥产量少、操作方便,可应用于城镇污水集中处理工程。

关键词: 生活污水; 速分生化; 速分球

中图分类号: TU992 **文献标识码:** B **文章编号:** 1000-4602(2019)02-0092-05

Case Study on Urban Domestic Sewage Treatment Project by Rapid Separation Biochemical Technology

DENG Yan¹, LIU Xing-jing², YANG Di³, YANG Zong-zheng⁴, WANG Jie⁴,
WU Li-ya⁴

(1. College of Marine and Environmental Sciences, Tianjin University of Science & Technology, Tianjin 300457, China; 2. Tianjin Huanke Environmental Consulting Co. Ltd., Tianjin 300191, China; 3. Tianjin Qingan Environmental Testing Co. Ltd., Tianjin 300450, China; 4. College of Chemical Engineering and Materials Science, Tianjin University of Science & Technology, Tianjin 300457, China)

Abstract: The technological overview, operational process, design parameters, treatment effect, as well as investment and operation cost of the rapid separation biochemical process of a temporary sewage treatment project at a rainwater pumping station in Tianjin Binhai New Area were introduced. The treatment capacity was 500 m³/d. The average concentrations of influent COD, BOD₅, NH₄⁺-N, TN, TP and SS were 123.6 mg/L, 74.2 mg/L, 26.5 mg/L, 33.6 mg/L, 1.90 mg/L and 234.5 mg/L respectively, and the corresponding effluent concentrations were 22.8 mg/L, 4.3 mg/L, 0.8 mg/L, 6.9 mg/L, 0.26 mg/L and 3.2 mg/L respectively. The effluent quality reached level A criteria in Discharge Standard of Pollutants for Municipal Wastewater Treatment Plant (DB 12/599 - 2015). This process had the advantages of good treatment effect, low operating costs, less sludge production and convenient operation management, which could be applied in urban sewage central treatment project.

Key words: domestic sewage; rapid separation biochemical process; rapid separation ball

基金项目: 天津市科技计划项目(16ZXHLSF00150)

通信作者: 杨宗政 E-mail: yzz320@tust.edu.cn

由于原排污泵站雨污混流,加上污水截排系统仍不完善,降低了水环境自净能力,进一步加剧了河流水污染程度。为了改善河道水环境,满足天津市中心城区河道水质排放标准,从源头解决入河污染问题,在入河排放口处设置临时污水处理装置,要求对直排污水经应急装置处理达标后才能排放。非汛期主要处理生活污水和渗入的地下水,汛期主要处理雨水,尤其是初期雨水,以便削减对河道的污染。该临时废水处理工程位于海河南雨水泵站附近的空地上,设计处理水量为 $500 \text{ m}^3/\text{d}$,总投资为 234 万元,主要采用速分生化技术,出水水质执行天津市《城镇污水处理厂污染物排放标准》(DB 12/599—2015) A 标准。

针对生活污水的水质特点,本工程选择了速分生化处理技术。与传统污水处理方法相比,其最大的优势在于将生物处理与固液分离结合在一起,使用速分球填料,在分离固液两相的同时,还为微生物提供生长环境,将污水中的有机污染物降解,此工艺具有流程简单、启动快、处理效果好、出水水质稳定、操作管理方便、污泥产量少、占地面积少等优点,近来已逐渐为业内所重视并得以推广应用^[1-2]。

1 速分生化技术

速分生化技术就是将流体力学中流离原理与生物接触氧化机理相结合并应用到污水处理领域的一种新型生物膜法处理技术,采用速分球作生物膜载体,通过流离聚集和多相生物反应,完成固液分离、污水净化和污泥消解的目的^[3]。

速分生化法采用具有特殊结构的速分生化球作为生物膜载体,池内固定排列着一定数量的速分球,通过生物接触氧化和微生物食物链的分级捕食,将池内的有机物及含氮污染物去除^[4]。

速分生化处理技术的核心是“速分生化球”,图 1 为常见速分生化球结构示意图。主要采用特殊陶土、植物纤维及加入紫砂泥材料通过高温烧结而成的多孔隙生物速分球,再通过外部加装 PP 多面空心球体,最后在球体内加入配重砾石,使速分球体密度接近于水,悬浮于水体中。速分球直径一般为 $10 \sim 12 \text{ cm}$,孔隙率约为 0.6。速分球填充在速分生化池内,作为微生物生长的载体和形成微环境的动因,它直接影响生物膜的生长、繁殖和脱落,影响厌氧、缺氧、好氧等生物环境的分布与变化,影响固液分离的效果。速分生化法在实际运行中基本不排泥

或少量排泥,故其污泥龄(SRT)较长,为了确保出水氮、磷达标,采用强化生物脱氮模式确保出水 TN 达标,并通过生物除磷方式去除一部分磷,剩余部分辅以化学沉淀方式去除^[5]。目前,强化脱氮速分生化池主要有两种型式:第一种按活性污泥法脱氮工艺设置速分池,即反应池按水流方向设缺氧区和好氧区 2 个单元,并设置一套混合液回流系统;第二种为合理布置曝气系统,调整曝气量,使生化池按水流方向形成厌氧、缺氧、好氧单元,以获得理想的生物脱氮效果^[6]。



图 1 速分生化球

Fig. 1 Rapid separation biochemical ball

2 水量与水质

污水自原泵池中经提升泵送入污水处理系统进行处理,经过现场取样分析,确定设计进水水质见表 1,最终出水水质需满足天津市《城镇污水处理厂污染物排放标准》(DB 12/599—2015) A 标准。

表 1 进水水质及排放标准

Tab. 1 Influent quality and discharge standard

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

项目	COD	BOD ₅	NH ₄ ⁺ - N	SS	TN	TP
实际进水	53 ~ 200	32 ~ 100	5.4 ~ 35	120 ~ 400	11 ~ 40	1.0 ~ 3.0
设计进水	≤200	≤100	≤35	≤400	≤40	≤3
排放标准	≤30	≤6	≤1.5 (3.0)	≤5	≤10	≤0.3
注: 每年从 11 月 1 日到次年 3 月 31 日,执行括号内的排放限值。						

3 工艺设计及设备

3.1 工艺流程

根据进水水质可知,BOD₅/COD 约 0.4,属可生化污水,又因为排放水 TN 和 TP 要求比较高,所以除了考虑有机物降解以外,还要考虑脱氮及除磷。通过考察雨水泵站周围的实际情况,从投资、运行费

用、管理技术、处理效果等方面进行分析,最终确定了如图2所示的污水处理工艺流程。

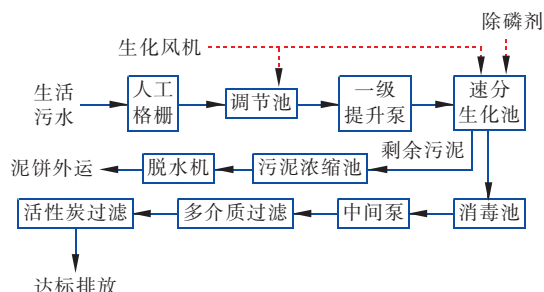


图2 临时污水处理工艺流程

Fig.2 Flow chart of temporary sewage treatment process

该工艺流程简单,操作管理方便,基本上可实现无专人管理,运行过程中可不排泥或少量排泥,出水水质稳定。根据进水水量和水质特点,在污水处理前设置一套人工格栅,用以去除大颗粒的悬浮物和漂浮物。污水重力流入预曝气调节池,为后续生化处理提供保证。经调节池均衡水质的污水由一级提升泵提升后以推流形式进入后续速分生化池。速分球以一定的方式排列在池内,池内布设曝气系统,一方面通过外置的曝气机进行污水扰动,避免沉淀物淤积,另一方面进行曝气充氧以维持微生物代谢活动的需要。速分生化池出水进入折流式消毒池,向池内投加一定量的次氯酸钠,杀死有害病菌,再通过多介质过滤器和石英砂过滤池进一步去除悬浮物、胶体、细小颗粒等杂质,保证出水达标排放或回用。本工艺运行过程中,速分生化池内剩余污泥直接排入污泥浓缩池,再由污泥泵定期输送到脱水机脱水,泥饼外运由有资质单位进行资源化处理。

3.2 主要构筑物及设备参数

① 人工格栅。由不锈钢栅条组成的框式结构,尺寸为 $0.8\text{ m}\times 0.8\text{ m}\times 1\text{ m}$ 。运行时污水进入细栅框,栅条直径为 6 mm ,栅隙为 3 mm ,粒径 $>3\text{ mm}$ 的杂质被截留在格栅框内。细格栅约 $7\sim 15\text{ d}$ 清理一次,通过提升链条提升,格栅沿导杆上滑,栅渣定期外运。该装置安装在调节池内,用于清除污水中大颗粒的悬浮物及漂浮物,以防止后续管道及水泵堵塞,同时有利于保护膜组件。

② 调节池。内部净尺寸为 $8\text{ m}\times 5\text{ m}\times 5\text{ m}$,有效容积为 180 m^3 ,有效水深为 4.5 m ,水力停留时间为 8 h 。调节池内设2台潜污泵(1用1备),单台流量为 $21\text{ m}^3/\text{h}$,扬程为 100 kPa ,电机功率为 0.75

kW ,2台水泵 12 h 自动切换工作,故障时声光报警,备用泵自动投入运行。池内设穿孔管进行少量曝气,空气搅拌强度为 $1\text{ m}^3/(\text{m}^2\cdot\text{h})$,曝气管面积为 40 m^2 。本单元用于经格栅处理后污水的收集,起调节水量及均化水质作用,以保证进入后续系统的水量及水质的均匀性。

③ 速分生化池。速分生化池是本工艺的核心,采用分段式结构,分格设置,每格间设过渡水池,用于水流的再分配及运行多年后污泥的收集。收集的污泥基本上是无机污泥,可临时提升排至污泥池。生化池包括进水区、反应区和出水区,尺寸分别为 $13.5\text{ m}\times 3\text{ m}\times 3\text{ m}$ (4箱)和 $11\text{ m}\times 3\text{ m}\times 3\text{ m}$ (1箱),有效容积为 328 m^3 。池底铺设环形穿孔管进行曝气充氧,曝气管面积为 121.5 m^2 ,主管流速为 $8\sim 12\text{ m/s}$,支管流速为 $4\sim 6\text{ m/s}$ 。为了提高布水的均匀性,在池子进出口设置配水墙多孔配水。填料为速分生化球($\varnothing 110\text{ mm}$),骨架材质PP,球内填充 $\varnothing 30\sim 50\text{ mm}$ 陶料滤料,总共 720 m^3 ,空隙率为 90% ,填料高度为 2.7 m 。为确保速分生化池出水磷能稳定达标,在此池内设置除磷装置(间歇运行),根据设计流量,配套除磷剂加药装置,材质为PE,有效容积为 0.5 m^3 ,选用2台计量泵,流量为 $0\sim 15\text{ L/h}$,扬程为 1 MPa ,功率为 28 W 。速分球通常分层平铺于反应区内,这有利于减小填料的水平角度,使配水更均匀,促进微生物和污染物充分接触,有利于有机物去除。速分生化法通常不需单独另设二沉池和污泥回流设施,也不需反冲洗设施,在污水生物处理的整个过程中,如进水、曝气、生物净化、污泥稳定消化、固液分离和出水全部都集中在速分生化池一个单元中完成。

④ 生化风机。为调节池和速分生化池提供氧气,以供池内微生物生长。设置3台生化风机,2用1备,风量为 $5.25\text{ m}^3/\text{min}$,转速为 420 r/min ,风压为 0.03 MPa ,功率为 7.5 W ,风机 24 h 连续运行,与调节池液位联锁运行,低液位风机停止工作,中液位风机启动工作,保证生化处理装置正常进行。同时配消声器及止回阀,有效降低振动和噪声。

⑤ 二沉池。1座,尺寸为 $6\text{ m}\times 3\text{ m}\times 3\text{ m}$,有效水深为 2.6 m ,水力停留时间为 2 h ,其主要作用是实现泥水分离。

⑥ 消毒池。采用折流式混合反应,尺寸为 $1.5\text{ m}\times 3\text{ m}\times 3\text{ m}$,有效水深为 2.5 m 。采用次氯酸

钠消毒,水力停留时间为0.5 h。配套次氯酸钠加药装置,有效容积为 0.1 m^3 ,选用2台计量泵,流量为 $0\sim 25\text{ L/h}$,扬程为1 MPa,功率为60 W。

⑦ 中间泵。潜水泵2台(1用1备),单台流量为 $21\text{ m}^3/\text{h}$,扬程为220 kPa,电机功率为4 kW。

⑧ 多介质过滤。采用立式圆形容设备,1台,规格为 $\varnothing 1.8\text{ m}\times 3.95\text{ m}$,流速为 $8\sim 10\text{ m/h}$,处理水量为 $20\sim 25\text{ m}^3/\text{h}$,试验压力为0.75 MPa。滤层由上而下排列分别为:无烟煤 $d=0.8\sim 1.8\text{ mm}$, $H=0.4\text{ m}$;石英砂滤料 $d=0.5\sim 1.2\text{ mm}$, $H=0.8\text{ m}$;砾石层 $d=1.0\sim 2.0\text{ mm}$, $H=0.2\text{ m}$, $d=2.0\sim 4.0\text{ mm}$, $H=0.15\text{ m}$, $d=4.0\sim 8.0\text{ mm}$, $H=0.1\text{ m}$, $d=8.0\sim 16.0\text{ mm}$, $H=0.15\text{ m}$, $d=16\sim 32\text{ mm}$, $H=0.25\text{ m}$ 。同时采用水及气进行反洗,水反洗强度为 $12\text{ L}/(\text{m}^2\cdot\text{s})$,反洗水为反渗透浓水,水反洗流量为 $164\text{ m}^3/\text{h}$,水反洗时间为 $5\sim 6\text{ min}$;气反洗强度为 $20\text{ L}/(\text{m}^2\cdot\text{s})$,气反洗量为 $4.56\text{ m}^3/\text{min}$,反洗膨胀高度为0.6 m。污水经过多种过滤介质处理后,浊度较高的水在一定的压力下通过一定厚度的粒状或非粒材料,从而有效地去除悬浮杂质并使水澄清。

⑨ 活性炭过滤。采用立式圆形容设备,1台,规格为 $\varnothing 1.8\text{ m}\times 4.35\text{ m}$,流速为 $8\sim 10\text{ m/h}$,处理水量为 $20\sim 25\text{ m}^3/\text{h}$,试验压力为0.75 MPa。滤层由上而下排列分别为:活性炭滤料 $d=0.8\sim 1.5\text{ mm}$, $H=1.5\text{ m}$;砾石层 $d=1.0\sim 2.0\text{ mm}$, $H=0.2\text{ m}$, $d=2.0\sim 4.0\text{ mm}$, $H=0.15\text{ m}$, $d=4.0\sim 8.0\text{ mm}$, $H=0.1\text{ m}$, $d=8.0\sim 16.0\text{ mm}$, $H=0.15\text{ m}$, $d=16\sim 32\text{ mm}$, $H=0.25\text{ m}$ 。反冲洗技术参数同⑧。过滤时由于其多孔性可吸附各种微细物质,常用于脱色,脱臭,去除有机物、细菌、病毒等,也常用于废水的三级处理。

⑩ 污泥池。1座,尺寸为 $3.5\text{ m}\times 3\text{ m}\times 3\text{ m}$,有效水深为2.7 m,设临时排泥泵1台,流量为 $5\text{ m}^3/\text{h}$,扬程为70 kPa,电机功率为0.55 kW。当系统出水SS $>20\text{ mg/L}$ 时,用于配水池污泥的临时排放,约在2年后每年提升2次污泥。同时配备叠螺式污泥脱水机1台,处理量为 $3\sim 300\text{ kgDS/h}$,冲洗水量为 $24\sim 216\text{ L/h}$,污泥脱水后含水率为80%。

4 工程调试、运行效果和达标情况

4.1 工程调试

① 培养阶段。启动进水泵,充满污水后投加接种污泥于速分生化池内,控制MLSS在 $7\ 500\sim$

$9\ 500\text{ mg/L}$ 。开启鼓风机,从底部曝气,控制DO在 $2\sim 4\text{ mg/L}$,对速分生化池内的填料连续曝气培养,其间逐步提高微生物营养物质的投加量。

② 驯化阶段。采用低负荷间歇性的方式,通过进水泵向池内适当进水和接种污泥,每隔6 h排出池内污水并补充新的污水和营养物质,经过连续10 d的曝气培养后,发现填料表面已经附着了一层橙黄色的生物膜,形成了生物膜和生物污泥的混合体。经过监测各项水质指标和镜检填料表面的生物膜,发现进口处以菌胶团、丝状菌为主,呈厌氧状态;接着出现草履虫、鞭毛虫等原生动物,呈厌氧、好氧状态;出口处有钟虫、太阳虫、轮虫、线虫等后生动物,呈好氧状态,表明生物膜基本适应污水水质。此时,应停止接种污泥,逐步提高污水加入量,初始流量控制在设计正常流量的10%~20%,根据出水水质检测污染物去除率,逐步提升至设计水量的30%~40%,直到满负荷连续进水^[7]。

③ 正常运行。污水从速分生化池进口处流入,污水中的有机物和悬浮物聚集到球体内部,球内外反复交替进行好氧、厌氧和兼氧作用,有机污染物、N、P等作为营养物质,被微生物所吸附和分解,最后使污水处理达到较好的效果,实现无污泥排放^[8]。

4.2 运行效果和达标情况

临时污水处理工程经过几个月稳定运行测试,处理效果稳定,出水水质良好,并对进、出水水质各项指标进行监测,运行效果(平均值)如表2所示。

表2 污水的处理效果

Tab.2 Effect of wastewater treatment

项 目	COD	BOD ₅	NH ₄ ⁺ -N	TN	TP	SS
进水/(mg·L ⁻¹)	123.6	74.2	26.5	33.6	1.90	234.5
出水/(mg·L ⁻¹)	22.8	4.3	0.8	6.9	0.26	3.2
去除率/%	81.5	94.2	96.9	79.4	86.30	98.6

由表2可以看出,采用预处理、生物处理(速分生化池)及深度处理组合工艺处理城镇综合污水,对各污染物指标都具有较高的去除率,出水水质达到了天津市《城镇污水处理厂污染物排放标准》(DB 12/599—2015)A标准。

5 结论

采用速分生化工艺可以有效处理城镇生活污水,获得较好的去除效果,对COD、BOD₅、NH₄⁺-N、TN、TP、SS平均去除率分别为81.5%、94.2%、

96.9%、79.4%、86.3%以及98.6%,平均出水浓度分别为22.8、4.3、0.8、6.9、0.26、3.2 mg/L,达到了天津市《城镇污水处理厂污染物排放标准》(DB 12/599—2015)A标准。速分生化法作为一种新型高效生物膜处理技术,工艺流程简单,处理效果稳定,出水水质良好,运行操作简单,占地面积小,运行费用低,是一种很有发展前途的工艺,适合于城镇生活污水的集中处理。

参考文献:

- [1] 连广宇. 大型居住小区的中水系统设计[J]. 给水排水, 2013, 39(6): 77-79.
Lian Guangyu. Design of medium water system in large residential quarters [J]. Water & Wastewater Engineering, 2013, 39(6): 77-79 (in Chinese).
- [2] 时玉龙, 王三反, 陈霞. 速分球生物滤柱处理低C/N比废水脱氮除磷研究[J]. 环境科学与技术, 2012(11): 137-140.
Shi Yulong, Wang Sanfang, Chen Xia. Biological phosphorus and nitrogen removal in low C/N ratio domestic sewage treatment by velocity discrete biofilter [J]. Environmental Science & Technology, 2012(11): 137-140 (in Chinese).
- [3] 吴小苏, 廖日红, 何刚. 速分生化+NAR交换集成技术处理京郊新农村污水[J]. 中国给水排水, 2014, 30(2): 69-71.
Wu Xiaosu, Liao Rihong, He Gang. Integration of rapid separation biochemistry process and NAR exchange for treatment of rural sewage in suburbs of Beijing [J]. China Water & Wastewater, 2014, 30(2): 69-71 (in Chinese).
- [4] 王秀荣. 流离生化技术在生活废水处理中的应用[J]. 环境工程, 2009(S1): 106-108.
Wang Xiurong. The application of flow-separating biochemical technology in domestic wastewater treatment [J]. Environmental Engineering, 2009(S1): 106-108 (in Chinese).
- [5] 景长勇, 李国会, 凌绍华. 流离生化工艺处理沙棘生产废水[J]. 中国给水排水, 2016, 32(12): 117-119.
Jing Changyong, Li Guohui, Ling Shaohua. Flow separate bed bioreactor for treatment of seabuckthorn wastewater [J]. China Water & Wastewater, 2016, 32(12): 117-119 (in Chinese).
- [6] 黄谦, 孔刚. 流离生化法在污水处理中的应用[J]. 市政技术, 2011, 29(4): 100-104.
Huang Qian, Kong Gang. Application of flow-separation biological treatment technology in sewage treatment [J]. Municipal Engineering Technology, 2011, 29(4): 100-104 (in Chinese).
- [7] 卢国满, 尹曙辉, 尹志强, 等. 垃圾渗滤液流离生化处理工艺的中试研究[J]. 科技资讯, 2012(3): 77-78.
Lu Guoman, Yin Shuhui, Yin Zhiqiang, et al. Pilot study on biochemical treatment of landfill leachate [J]. Science & Technology Information, 2012(3): 77-78 (in Chinese).
- [8] 吴主光. 基于流离处理技术的一体化生活污水处理工艺探究[D]. 杭州: 浙江大学, 2018.
Wu Zhuguang. Research on Integrated Domestic Sewage Treatment Process Based on Discharge Treatment Technology [D]. Hangzhou: Zhejiang University, 2018 (in Chinese).



作者简介: 邓妍(1990-), 女, 天津人, 硕士研究生, 主要研究方向为污水处理及其资源化利用。

E-mail: iamdengyan@163.com

收稿日期: 2018-08-28