

多级 AO + 双层沉淀 + 磁混凝澄清工艺用于污水处理

杨祝平

(天津市市政工程设计研究院 天津市基础设施耐久性企业重点实验室, 天津 300392)

摘要: 在大连春柳河污水处理厂一期升级扩建工程设计中,通过采用集约化的污水处理工艺、新颖集成的处理单元组合,达到了用地面积减少($10.5\text{ hm}^2 \rightarrow 3.27\text{ hm}^2$)、处理水量提升($8 \times 10^4\text{ m}^3/\text{d} \rightarrow 12 \times 10^4\text{ m}^3/\text{d}$)、处理出水标准提高(二级 \rightarrow 一级 A)的要求。工程设计规模为 $12 \times 10^4\text{ m}^3/\text{d}$,占地面积为 $32\,692\text{ m}^2$ (折合单位占地为 $0.232\text{ m}^2/\text{m}^3$)。污水处理采用“曝气沉砂 + 多级 AO + 双层平流沉淀 + 磁混凝澄清 + 纤维转盘过滤 + 紫外消毒”主体工艺,污泥处理采用机械浓缩脱水工艺,处理出水水质达到一级 A 排放标准,工程现已通过环保验收进入试运行。项目实际总投资为 2.21 亿元,污水处理成本为 $0.62\text{ 元}/\text{m}^3$ 。

关键词: 升级改造工程; 多级 AO; 双层平流沉淀; 磁混凝澄清

中图分类号: TU992.3 **文献标识码:** B **文章编号:** 1000-4602(2019)08-0053-05

Application of Step-feed AO + Double Layer Precipitation + Magnetic Coagulation Clarification Process in Municipal Sewage Treatment

YANG Zhu-ping

(Tianjin Enterprise Key Laboratory of Infrastructure Durability, Tianjin Municipal Engineering Design & Research Institute, Tianjin 300392, China)

Abstract: In the design of the first phase upgrading and expansion project of Dalian Chunliuhe Sewage Treatment Plant, through the intensive covering process, a novel integrated treatment unit combination, it had achieved three purposes such as land area reduction (10.5 hm^2 to 3.27 hm^2), increasing of treated water flow ($8 \times 10^4\text{ m}^3/\text{d}$ to $12 \times 10^4\text{ m}^3/\text{d}$), and improvement of effluent quality standards (level 2 to level 1-A). The treatment capacity of this project was $12 \times 10^4\text{ m}^3/\text{d}$, with land occupation as $32\,692\text{ m}^2$ (equivalent to $0.232\text{ m}^2/\text{m}^3$). Sewage treatment process was combination of “aeration grit chamber + step-feed AO + double layer precipitation + magnetic coagulation clarification + rotary fibre disk filtration + UV disinfection”. Sludge treatment process adopted the “mechanical concentration and dehydration” process. The effluent reached the first class A discharge standard. The project had passed environmental acceptance into trial operation. Actual total investment of the project was 221 million yuan, unit cost of wastewater was $0.62\text{ yuan}/\text{m}^3$.

Key words: upgrading and expansion project; step-feed AO; double layer precipitation; magnetic coagulation clarification

1 工程背景

大连市春柳河污水处理厂一期工程是东北地区最早建成的城市二级污水处理厂,始建于 1982 年,

始建规模为 $6 \times 10^4\text{ m}^3/\text{d}$,于 1986 年投入运行;1998 年—2000 年间进行扩容改造后处理能力达到 $8 \times 10^4\text{ m}^3/\text{d}$,出水水质标准为二级。鉴于春柳河一期

土建池容有限,且采用 Linpor 工艺改造后已很难通过投加填料提高处理能力,此外升级扩建工程不能停产运行,故此次对春柳河污水处理厂一期升级扩建工程采用新建方式。

一期升级扩建工程新址位于现状一期东南侧,现状一期污泥处理区至三中明沟北岸范围内,工程设计总规模为 $12 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 。

升级扩建工程污水处理采用“曝气沉砂→多级 AO→双层平流沉淀→磁混凝澄清→纤维转盘过滤→紫外消毒”主体工艺,污泥处理采用机械浓缩脱水工艺。

工程服务范围:春柳河污水处理厂(含一期、二期)服务范围为春柳及青泥排水区,服务总面积约 50.18 km^2 。

工程建设目标:

表1 设计进、出水指标

Tab.1 Design influent and effluent quality

项 目	BOD ₅ / (mg · L ⁻¹)	COD/ (mg · L ⁻¹)	SS/ (mg · L ⁻¹)	TN/ (mg · L ⁻¹)	NH ₃ - N/ (mg · L ⁻¹)	TP/ (mg · L ⁻¹)	粪大肠菌群/ (个 · L ⁻¹)	pH 值
进水	180	350	220	45	30	4.5	—	6~9
出水	10	50	10	15	5(8)	0.5	1 000	6~9

3 集约化占地处理工艺

本工程需在 3.27 hm^2 土地上建设 $12 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 规模的半地下全覆盖模式污水处理厂,考虑春光街城市绿地 20 m 及规划道路 5 m 以上退线后,实际可用地进一步压缩,因此,用地受限是本工程主要限制因素;同时,本工程建设工期短,因此选用的处理工艺流程尽量简洁、方便集约建设、施工难度低、施工周期短,同时还要兼顾本工程 PPP 项目建设成本低、运行费用省、处理效果稳定的要求。

污水预处理选用除砂、除油效率及有机物分离效率较高的曝气沉砂池型,可有效减少小粒径砂粒进入后续构筑物导致的清通维修困难及安全隐患。根据近几年实测进水水质,本工程进水 SS 浓度不高,同时存在碳源不足,故流程中未设初沉池,以尽可能保留进水中有限碳源于后续脱氮除磷。

3.1 二级生物处理

项目立项阶段针对二级生化工艺进行了优选,分别为:活性污泥法中的多级 AO(SF-AO)、生物膜法中的 BAF、膜分离法与活性污泥法工艺结合的 MBR,三种工艺均属于集约化占地工艺,处理效果均能有效保证处理达标,但又各有特点,各有侧重,

① 处理规模: $12 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 的污水、污泥处理系统,出水标准:国标一级 A,出泥含水率 $\leq 80\%$ 。

② 建造模式:半地下全覆盖模式。

③ 出水中 $4 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 送至大连石化七厂和大连海兴热电厂作为中水使用,其余作为河道景观供水,尾水排入春柳河,最终进入梭鱼湾海域。

④ 环境空气质量执行二类功能区标准,噪声执行 3 类标准,尾水排放春柳河(执行地表水 V 类标准),处理出泥外运至夏家河污泥处理厂。

2 设计水质

设计进水指标参照春柳河一、二期工程多年统计值保证率选取。设计出水水质执行《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB 18918—2002)中的一级 A 标准。

设计进、出水水质见表 1。

在工程特点、适用范围上存在一定差异。

MBR 方案属膜厂家专利技术,缺乏设计规范支撑,设备投资高,膜组件使用寿命短,更换频率及费用高,泥水分离需要抽吸辅助、膜擦洗需用较大气量、膜需要定期药剂清洗等,故电耗、药耗巨大,运行成本高。BAF 方案需要在生化池前端增加一级强化沉淀(如 MULTIFLO 初沉池),控制进入生化系统的 SS,同时去除了 BOD,导致后续脱氮除磷碳源不足;生物处理系统采用 CN 滤池+后置 DN 滤池,后续反硝化过程需要补充更多的碳源,从而大大提高了运行成本,三级深度处理系统一般采用高效混凝沉淀池型(如 Actiflo 加砂沉淀池);BAF 也存在厂家专利技术问题,自主设计能力较低,同时,单体土建结构复杂,施工精度要求高,施工周期长,国内应用案例不多,国产化程度不高。多级 AO 方案虽然在土建投资、处理流程长度、占地面积方面不占优,但其具备工艺成熟可靠,核心设备材料国产化程度高,设备投资低且使用延年,设备更换费用低,装机容量低,内碳源利用充分,电耗、药耗量、运行模式可根据水质变化调节,且具有运行经验丰富、风险低等巨大的后期运营优势。

受用地限制,将生化池与污水处理车间贴建,生化池采用顶部加盖覆土模式(无操作层),二沉池及三级处理工段采用上覆顶全封闭建造模式(有操作层),二沉池选用占地最省的双层平流沉淀池池型。

综上,选用多级AO及双层沉淀池,两者组合很适合本工程半地下顶部加盖的集成建设形式。

3.2 三级深度处理

选用上升流速较大、综合投资省、运行稳定的CoMag磁混凝澄清池池型与节地、水损小的纤维转盘滤池组合作为三级深度处理工艺池型。

3.3 工艺流程

污水、污泥处理工艺流程见图1。

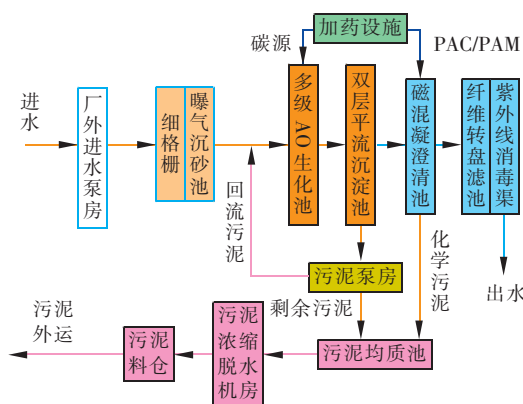


图1 污水、污泥处理工艺流程

Fig. 1 Flow chart of sewage and sludge treatment process

4 新颖集成的处理单元组合

全厂功能分区考虑夏季主导风向,按处理流程进行划分,大致分为四个区域:厂前区、预处理车间、污水主处理区、污泥处理车间。

工程总平面图见图2。

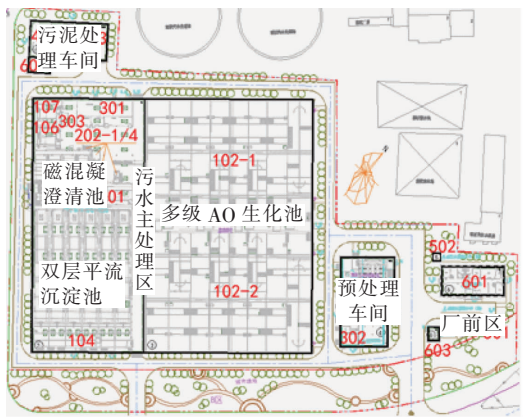


图2 工程总平面布置

Fig. 2 General layout of WWTTP

厂前区位于厂区东部,包括综合楼、传达室门卫、进出水计量等,通过绿化带与生产区分隔,换热站考虑与厂外管线衔接因素而设置在西北角,并与污泥设施联建。

预处理车间内则集成了细格栅及曝气沉砂池(含除臭间)、进水仪表间及控制室。

污水主处理区位于厂区中西部,由生化池与污水处理车间组成;多级AO生化池采用顶部密闭加盖方式,上部设置池顶绿化,改善厂区环境;污水处理车间则由双层平流沉淀池、污泥回流泵房、磁混凝澄清池、纤维转盘滤池、紫外消毒渠整体共壁联建,布置紧凑,流程顺畅,水处理工艺单元之间采用渠道相连,减少损失;车间内中部、北端分别设置鼓风机房和总变配电间并在车间适当位置就近分散布置各类加药设施,分别用于储存PAC原液,制备投加PAC、乙酸钠、PAM等;多级AO生化池与双层平流沉淀池之间的污水、污泥集散均采用渠道连接方式,有效解决了管渠延年问题并减少了水损;另外,污水处理车间内东侧设置贯穿南北的室内车行检修通道,便于设备、设施、药剂等出入。

污泥处理车间位于污水处理厂厂区西北角,内设污泥均质池、污泥浓缩脱水机房、污泥料仓等,污泥设施相邻集中布置有利于臭气的收集及统一集中处理。

春柳河一期升级扩建工程总规模为 $12 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$,工程总占地为 3.27 hm^2 ,实际用地仅 2.785 hm^2 ,折合单位用地为 $0.232 \text{ m}^2/\text{m}^3$,大大低于一般该类(Ⅲ类)二级处理污水厂建设用地标准($0.60 \sim 0.70 \text{ m}^2/\text{m}^3$)。

在总体布置时考虑规划用地面积要求极低的限制,采用了高效集约处理工艺的同时,将整个水区处理构筑物合建设置,在保证节约占地的同时,水处理工艺流程衔接顺畅。泥区构筑物综合考虑了污泥处理车间与污水处理车间之间的防火间距、与围墙之间的间距及污泥处理车间运泥车进出的间距要求。全厂布置密集紧凑、整洁有序。厂区南侧设置预留 20 m 宽城市绿化带,各功能区之间设置绿化隔离带,创造整洁紧凑、集成美观的厂域环境,全厂绿化率约29%。

5 核心处理单元

5.1 多级AO(SF-AO)

多级AO工艺流程见图3。

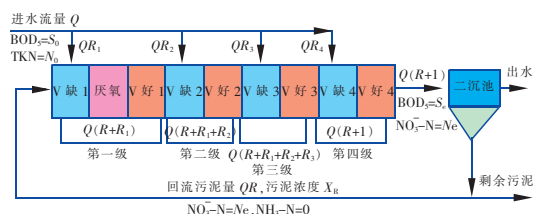


图3 多级AO工艺流程

Fig. 3 Flow chart of step-feed AO process

工艺特点:

① 多段配水,充分合理利用碳源;硝化、反硝化交替进行,生物系统中碱度变化较小,避免或减少碳源和碱度的投加。

② 污泥前端进入,污水多段进入,形成由高到低污泥浓度梯度,生物池内平均MLSS高,生物池池容小,抗冲击负荷能力强。

③ 采用多级好氧/缺氧段,上一级的硝化液全部进入到下一级缺氧区,无内回流。

④ 污水经多级缺氧/好氧的环境,较好地抑制污泥膨胀的发生,污泥沉降性能好。

⑤ 属后置反硝化,污水碳源利用率高^[1-2]。

⑥ 污水分多段不同比例配入,运行控制灵活。雨季时,加大生物池后段的配水量,可有效防止池内污泥的流失。

功能描述:多级AO由四段AO组成。缺氧段1:反硝化去掉回流污泥中硝态氮,增强除磷效果;厌氧段:生物除磷;缺氧段2~4:利用污水中碳源将上一级好氧段处理后的硝态氮还原成氮气,完成脱氮,同时,BOD₅下降;好氧段1~4:氧化有机物,硝化。

主要设计参数: $Q_{\max} = 12 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$,2系列共用管廊; $V_{\text{总}} = 71\ 000 \text{ m}^3$; $V_{\text{单池}} = 35\ 500 \text{ m}^3$;单座内尺寸为77.1 m × 55.9 m × 10.15 m;有效水深为8.5 m;反应泥龄为11.925 d,总泥龄为13.336 d;设计水温为10℃;MLSS平均浓度为4 442 mg/L;MLSS梯度为5 600→4 667→4 000→3 500 mg/L;污泥负荷为0.087 kgBOD₅/(kgMLSS·d);剩余污泥产率为1.017 kgDS/kgBOD₅;剩余污泥量为20.75 t/d(均日);回流比:外回流50%~100%,内回流100%(好氧区4至缺氧区4);设计停留时间为14.2 h,厌氧区1.5 h(10.6%),缺氧区1~4分别为0.5、0.7、0.8、1.0 h(21.1%),好氧区1~4分别为1.9、2.2、2.6、3.0 h(68.3%);实际需氧量(AOR):1 190.7 kgO₂/h;标准需氧量(SOR):2 381.5 kgO₂/h;供气

量:30 929 m³/h,气水比为5.623:1。

5.2 双层沉淀池

双层沉淀池共6个系列,分上、下两层。对生化处理后混合液进行泥水分离,并起污泥浓缩作用。

设计参数: $Q_{\max} = 12 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$,变化系数为1.3,高日高时表面负荷 $q_{\max} = 1.52 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$;上层平流沉淀池 $q_{\text{AVE}} = 1.21 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$, $t = 3.3 \text{ h}$, $v = 4.6 \text{ mm/s}$,上层沉淀池内尺寸为55.0 m × 7.2 m × 4.0 m(有效水深);下层平流沉淀池 $q_{\text{AVE}} = 1.13 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$, $t = 3.5 \text{ h}$, $v = 4.0 \text{ mm/s}$,下层内尺寸为51.2 m × 7.2 m × 4.0 m。

5.3 CoMag 磁混凝澄清池

工艺特点:出水水质优异,SS < 5.0 mg/L;表面负荷高,可达到20 m/h以上;高效除磷,TP < 0.05 mg/L;耐高冲击负荷;磁粉损耗很低,磁粉回收率达99%以上;运行费用低。

功能描述:磁混凝澄清池由快混池、絮凝反应池及高密度斜管澄清池组成。快混区T1:进水与混凝剂快速混合;絮凝反应区T2~T3:使微絮粒间相互接触碰撞,以磁粉为晶核形成更大絮粒,加快沉降速度;预沉-浓缩池:絮体进入预沉区(斜管以下部分)时,矾花流动速度减缓,可避免矾花破裂及涡流形成,绝大部分的悬浮固体在此沉淀浓缩,回流部分浓缩污泥至反应池入口,进行返混,剩余污泥则抽送到污泥储池中;斜管分离区:在斜管沉淀区除去剩余的矾花,斜管区的配水均匀,水流顺畅,沉淀在最佳状态下完成。

主要设计参数: $Q_{\max} = 12 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$,变化系数为1.3,共2个系列;快混池T1共2座,单格 $V_{\text{T1}} = 66 \text{ m}^3$,停留时间为1.33 min;絮凝反应池T2、T3分别为2座, $V_{\text{T2}} = 65 \text{ m}^3$, $V_{\text{T3}} = 112 \text{ m}^3$, $t_2 = 1.31 \text{ min}$, $t_3 = 2.07 \text{ min}$;高密度斜管澄清池2座,单池斜管面积为169 m²,斜管最大上升流速为24.8 m³/(m²·h),平均日表面负荷为19.1 m³/(m²·h)。

6 工程验收与运行

本工程于2017年12月底完成单序列 $6 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 通水任务,2018年5月25日污水处理系统主体工程全部完工,6月1日完成调试,6月22日确定竣工环保验收合格。

污水处理监测结果见表2。可见,出水各项指标都达到了一级A标准要求。机械浓缩脱水出泥

泥饼含水率为78.9%~79.1%。

表2 实际进、出水水质

Tab.2 Actual influent and effluent quality

项目	进水均值	出水均值	一级A
pH 值	7.48	7.14	6~9
BOD ₅ /(mg·L ⁻¹)	152	7.03	10
SS/(mg·L ⁻¹)	220	7.8	10
COD/(mg·L ⁻¹)	288	22.4	50
NH ₃ -N/(mg·L ⁻¹)	39.8	0.72	5(8)
总氮/(mg·L ⁻¹)	49	12.7	15
总磷/(mg·L ⁻¹)	4.24	0.22	0.5
石油类/(mg·L ⁻¹)	0.66	0.15	1
动植物油/(mg·L ⁻¹)	1.42	0.21	1
LAS/(mg·L ⁻¹)	0.69	0.175	0.5
粪大肠菌群/(个·L ⁻¹)	2.4×10 ⁶	747	1 000
总汞/(mg·L ⁻¹)	6.4×10 ⁻⁴	2.4×10 ⁻⁴	0.001
总镉/(mg·L ⁻¹)	2.68×10 ⁻³	<1.0×10 ⁻⁴	0.01
总铬/(mg·L ⁻¹)	0.05	<0.03	0.1
总砷/(mg·L ⁻¹)	1.99×10 ⁻³	4.78×10 ⁻⁴	0.1
总铅/(mg·L ⁻¹)	<1.0×10 ⁻³	<1.0×10 ⁻³	0.1
总铜/(mg·L ⁻¹)	<0.05	<0.05	0.5
总锌/(mg·L ⁻¹)	0.112 5	0.11	1.0
挥发酚/(mg·L ⁻¹)	0.001 6	0.000 85	0.5
总氰化物/(mg·L ⁻¹)	<0.004	<0.004	0.5
硫化物/(mg·L ⁻¹)	0.110 75	<0.005	1.0
六价铬/(mg·L ⁻¹)	0.012	0.007	0.05

7 经济分析

工程总投资为2.21亿元,一类工程费为1.75亿元。污水处理成本为0.62元/m³,运行成本为0.35元/m³。污水处理单位电耗为0.149kW·h/m³(进水泵房不在厂内,电耗未计入),去除单位BOD₅能耗为0.876kW·h/kgBOD₅。

污水处理各类药剂消耗:PAC 1 314 t/a,阴离子PAM 21.9 t/a,乙酸钠 36.5 t/a,磁粉 131.4 t/a,污泥处理用阳离子 PAM 38 t/a。

8 结论

实际运行表明,本工程采用的“曝气沉砂→多级AO→双层平流沉淀→磁混凝澄清→纤维转盘过滤→紫外消毒”主体处理工艺具有良好处理效果,剩余污泥经机械浓缩脱水后达到含水率低于

80%的预期效果。

该工程用地极省,单位用地仅为0.232 m²/m³,大大低于该类污水厂0.60~0.70 m²/m³的用地标准。

参考文献:

[1] 邱慎初,丁堂堂.分段进水的生物除磷脱氮工艺[J].中国给水排水,2003,19(4):32-36.
Qiu Shenchu, Ding Tangtang. Biological phosphorus and nitrogen removal process by step-feed[J]. China Water & Wastewater, 2003, 19(4): 32-36 (in Chinese).
[2] 王舜和,郭淑琴,魏新庆.分段进水多级A/O工艺计算与探讨[J].中国给水排水,2014,30(18):81-85.
Wang Shunhe, Guo Shuqin, Wei Xinqing. Discussion on step-feed multi-stage A/O process calculation[J]. China Water & Wastewater, 2014, 30(18): 81-85 (in Chinese).



作者简介:杨祝平(1981-),男,江苏南京人,大学本科,高级工程师,工艺设计室主任,天津市土木工程学会理事,从事水处理、水环境治理等设计工作,完成各类水专业工程设计项目百余项,获得全国优秀工程勘察设计奖二等奖一项,省部级优秀勘察设计奖一等奖一项、二等奖三项、三等奖三项,优秀工程咨询成果三等奖一项。

E-mail:13571793@qq.com

收稿日期:2018-11-26