

DOI:10.19853/j.zgjsps.1000-4602.2021.18.021

多点进水倒置 A^2/O + 浸没式超滤用于某半地下污水厂

刘建明

(中铁二院工程集团有限责任公司, 四川 成都 610031)

摘要: 某半地下式污水处理厂采用多点进水倒置 A^2/O + 浸没式超滤工艺,其设计规模为 $10 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 。自投入运营以来,该工艺运行稳定,污染物去除效果显著,出水 COD、氨氮、总氮、总磷分别为 25~31、1.0~1.3、8.2~9.8、0.21~0.31 mg/L,稳定优于《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB 18918—2002)的一级 A 标准,年均运营成本为 0.548 元/ m^3 ,具有处理工艺先进、防腐新材料高效、厂区设计园林式和运行成本经济等特点。

关键词: 半地下式污水处理厂; 多点进水倒置 A^2/O 工艺; 超滤

中图分类号: TU992.3 **文献标识码:** B **文章编号:** 1000-4602(2021)18-0111-05

Application of Multi-point Influent Reversed A^2/O and Submerged Ultrafiltration Process in a Semi-underground WWTP

LIU Jian-ming

(China Railway Eryuan Engineering Group Co. Ltd., Chengdu 610031, China)

Abstract: The combined process of multi-point influent reversed A^2/O and submerged ultrafiltration is used in a semi-underground wastewater treatment plant with design capability of $10 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$. Since it was put into operation, the process has a remarkable effect on pollutant removal, such as the effluent concentrations of COD, ammonia nitrogen, TN, and TP were 25–31, 1.0–1.3, 8.2–9.8, and 0.21–0.31 mg/L respectively, which are stably superior to the first level A criteria of *Discharge Standard of Pollutants for Municipal Wastewater Treatment Plant* (GB 18918–2002). The average annual operating cost was 0.548 yuan/ m^3 . The process had the characteristics such as advanced treatment technology, new efficient anticorrosive materials, garden-like plant design and economic operation.

Key words: semi-underground wastewater treatment plant; multi-point influent reversed A^2/O process; ultrafiltration

1 工程概况

某市现有污水处理厂均为地上式,实际运行中存在噪声、恶臭、占用土地资源、与自然景观不协调等弊端,而地下式污水厂不但有效解决了地上式污水厂存在的问题,还具有占用空间少、温度较恒定及美观等优点,加之现代科技的发展为地下污水处理厂的建设和运行提供了强大的技术保障,国外地下污水处理厂在技术上已经相当成熟,在土地资源短缺或气温变化幅度较大的寒冷地区应用也已相当广泛,因

此地下污水处理厂在技术上也完全可行。依据该市的环境需求,从建设的安全性、经济性、景观环境要求等角度,选择复合式建设模式,地下部分为污水处理设施,上部为市政休闲公园,即主要处理单元选择全地下单层覆盖、附属设施及部分需常开的构筑物选择半地下单层厂房加盖并覆土绿化的建设模式,在高度上满足规划条件“建(构)筑物不得影响城市通风及行车瞭望”的建设要求,占地 4.90 hm^2 ,设计污水处理规模为 $10 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 。

2 工艺设计

2.1 设计进、出水水质

设计进水水质主要依据居民用水特点、片区分区规划及控制性详细规划相关的工业企业排水性质确定,还需考虑该市已建污水处理厂实际进水水质等情况。由于受纳水体为季节性河流,基本失去了净化稀释能力,为了基本消除城区污水对受纳水体及地下水的污染,污水厂出水应满足景观水体要求,不应考虑污水厂排水后的水体自净能力,因此,本项目的设计出水水质应优于该市已建污水处理厂现行排放水体的指标要求。另外,结合京津冀一体化进程加快及该市发展规划,考虑地下式污水处理厂后期升级改造的难度较大,本着设计适度超前的原则,该项目出水要求适度高于《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB 18918—2002)的一级A标准。污水处理厂设计进、出水水质见表1。

表1 污水处理厂设计进、出水水质

Tab.1 Design influent and effluent quality of the WWTP

mg · L⁻¹

项目	COD	BOD ₅	SS	TN	NH ₃ -N	TP
进水	400	150	250	60	50	5
出水	40	10	5	15	2 (3.5)	0.4

注: 每年11月1日一次年3月31日执行括号内的排放限值。

2.2 污水处理工艺流程

由于本工程对脱氮除磷要求较高,占地面积受限,且地下式污水处理厂存在后续升级难度大等技术难题,因此采用多点进水倒置A²/O+浸没式超滤处理工艺(见图1)。

多点进水倒置A²/O工艺将缺氧段前置,进水按一定比例分配至缺氧段和厌氧段^[1],目的是通过合理分配利用进水有机碳源进一步提高生物脱氮除磷能力。该工艺具有以下特点:

① 有效避免回流液中硝酸盐氮影响释磷菌厌氧释磷的问题,有利于增强生物除磷效果^[2-3]。

② 使得缺氧反硝化过程优先获得充足进水碳源,加之较大的污泥内回流比可提供足够电子受体,有利于提高缺氧反硝化脱氮能力^[2-3]。

③ 可灵活调节进水比例、内回流比和污泥外回流比,有效应对水质波动变化以保证生物脱氮除磷效果的稳定和高效^[4]。

④ 厌氧段对COD的去除能在一定程度上降低污水内能,降低好氧COD负荷,减少曝气充氧能

耗,对物料分配和能量流向两方面的合理优化可在一定程度上降低运行能耗成本^[5]。

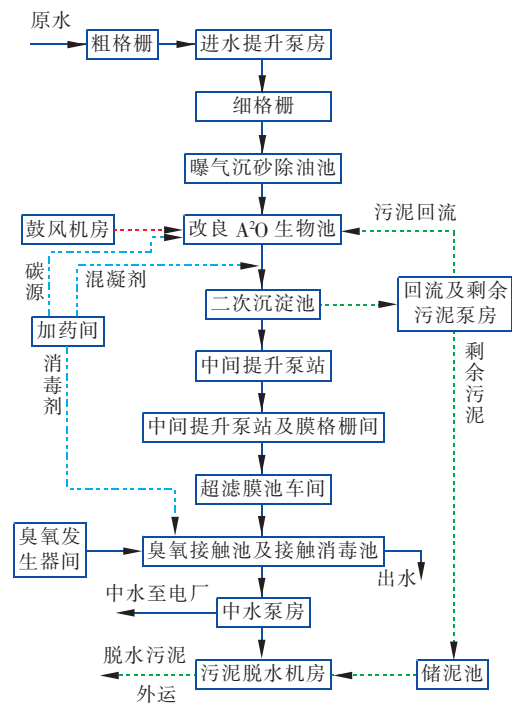


图1 污水处理厂工艺流程

Fig.1 Flow chart of wastewater treatment process

因此,多点进水倒置A²/O工艺具有稳定高效的脱氮除磷能力及在一定程度上实现节能降耗等技术优势。由此可见,该工艺满足本项目出水水质要求高的需求,也解决了工艺后续升级难度大等技术难题。

3 主要构筑物设计

3.1 格栅及曝气沉砂池

粗格栅、曝气沉砂池及提升泵站全部合建,上部设置单层覆盖厂房并覆土,池体及设备封闭加盖,集中除臭。设3条粗格栅渠道,采用机械回转式格栅,其对应的栅渠宽、栅条间隙及过栅流量分别为1 500 mm、20 mm、0.87 m³/s。设3条细格栅渠道,采用螺旋式格栅,其对应的栅渠宽、栅条间隙及过栅流量分别为1 800 mm、6 mm、0.9 m³/s。设1座曝气沉砂池(分为2格),其对应的水平流速、停留时间及曝气量分别为0.1 m/s、10 min、0.2 m³/m³。

3.2 多点进水倒置A²O生化池

1座,分2组,每组尺寸(L×B×H)为130 m×45 m×8.5 m,有效水深7 m,每组设计流量为208.34 m³/h,总变化系数为1.1,总污泥龄为15 d,

污泥浓度为 4.0 g/L, 污泥负荷为 0.075 kgBOD₅/(kgMLSS · d), 产泥率为 0.91 kgDS/kgBOD₅, 好氧池 DO 为 3 mg/L, 总水力停留时间为 19.45 h, 其中缺氧池 8.08 h、厌氧池 1.5 h、好氧池 9.87 h, 污泥回流比为 100%, 混合液回流比为 400%。在非曝气区设置潜水搅拌机, 形成完全混合型的区域; 在好氧区设纳米曝气系统以提高氧传质效率, 节约曝气运行成本。沉砂池出水分两点分别进入缺氧池[(50% ~ 70%)Q, 可调]和厌氧池[(30% ~ 50%)Q, 可调]。

3.3 二沉池

二沉池采用周边进水、周边出水形式, 出水采用单面三角齿形堰。设 1 座(共 2 组, 每组 5 格), 单格流量为 451.4 m³/h, 表面负荷为 1.27 m³/(m² · h), 单格尺寸(L × B × H)为 41 m × 8.5 m × 6.15 m, 有效水深为 4.9 m, 水力停留时间为 4.0 h。该池型具有占地节省、布局规整、出水水质稳定、抗冲击负荷能力强、回流污泥浓度高等优点。主要设备包括非金属链条刮泥机、电动旋转撇渣管、可调式套筒排泥阀、不锈钢集水槽等。

为确保 TP 达标排放, 决定采用生化除磷和化学除磷相结合的除磷方式, 即在生化池出水口处设混凝剂投加点 1 个, 使出水 TP 浓度稳定低于 0.4 mg/L。由此产生的磷酸盐沉淀通过后续二沉池分离去除。

3.4 浸没式超滤池

设超滤膜车间 1 座, 包括: 浸没式超滤膜池 10 组, 设备间 1 座, 化学清洗加药间 1 座, 电控间 1 座, 反冲洗水池 1 座, 反冲洗排水池 1 座, 化学清洗中和池 1 座, 离线清洗池 2 座。

浸没式超滤膜池: 膜组件总数 76 组, 膜丝材质为聚偏氟乙烯(PVDF), 膜孔径为 0.02 ~ 0.04 μm, 平均膜通量为 30.19 L/h, 反冲洗频率为 1 次/h, 维护性清洗频率为 1 次/(3 ~ 7) d, 恢复性清洗频率为 1 ~ 3 次/月。

反冲洗系统: 采用气 + 水联合反冲洗方式, 反冲洗水强度为 34 L/(m² · h), 反冲洗水泵流量为 490 m³/h, 扬程为 150 kPa; 反冲洗气强度为 90 m³/(m² · h), 采用罗茨风机作反冲洗风机, 流量 13.02 m³/min, 压力 45 kPa。

化学清洗、中和系统: 化学清洗药剂采用次氯酸钠和柠檬酸, 中和试剂采用亚硫酸氢钠和氢氧化钠溶液。

3.5 臭氧接触池

为深度处理 COD 并保证出水色度达标, 在超滤膜后设置 1 座臭氧接触池, 尺寸(L × B × H)为 46 m × 9 m × 7 m, 有效水深为 6 m, 接触时间为 25.4 min。臭氧发生器 3 套(2 用 1 备), 制备能力为 25 kgO₃/h, 质量分数为 10%, 臭氧最大投加量 12 mg/L。另外, 附属设备有臭氧尾气破坏器、臭氧分配投加装置等。

3.6 综合加药间

为保障全厂各工艺稳定运行并节约占地, 设置综合加药间 1 座以兼顾除磷药剂、外加碳源和消毒药剂等设施。在生化池出水口设一个化学除磷投药点, 聚合氯化铝(PAC)设计最大投加量为 8 200 kg/d(10% PAC 原液)。为确保出水总氮达标, 在每组缺氧区入口处设有一处有机碳源(乙酸钠)备用投加点, 采用隔膜计量泵投加, 加药量为 0 ~ 1 150 L/h, 投加浓度为 40 mg/L。为保证出水细菌、病毒等指标持续稳定, 使出水在到达指定回用水用水点时粪大肠菌群数 < 1 000 个/L, 必须保证管网末梢余氯 ≥ 0.05 mg/L。因此, 工艺出水在进入中水管网前须采用次氯酸钠进行消毒处理。采用隔膜计量泵投加次氯酸钠, 加药量为 0 ~ 500 L/h。

3.7 污泥处理系统

污泥处理系统采用卧式离心式浓缩脱水一体化设备, 包括贮泥池、污泥脱水区、聚丙烯酰胺(PAM)加药区和污泥料仓, 整套系统由 PLC 控制。

脱水区及 PAM 加药区位于一层, 房间尺寸为 47 m × 20 m × 5.6 m(含配电室、排烟机房、楼梯间、水质分析间等), 共设离心脱水机 3 台(2 用 1 备), 单台脱泥量为 55 m³/h, 进泥含水率为 98.88%, 出泥含水率为 75% ~ 80%。进泥量为 2 562 m³/d, 出泥量为 119 m³/d。PAM 药液浓度为 0.1% ~ 0.5%, 投加量为 8 kg/h, 采用 4 台(3 用 1 备)隔膜式加药泵投加。

3.8 生物除臭及通风设计

除臭及通风设计依据《工业建筑供暖通风与空气调节设计规范》(GB 50019—2015)和《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB 18918—2002)。采用全密封式生物除臭技术, 根据前处理、生化处理、深度处理、污泥处理等不同功能进行分区臭气收集。其中, 粗格栅、进水泵房、细格栅和曝气沉砂池为前处理区; 多点进水倒置 A²/O 生化池和浸没式超滤

池为生化区;臭氧接触池为深度处理区;污泥处理系统和剩余污泥泵房为污泥处理区。不同分区除臭设计风量均为 $60\,000\text{ m}^3/\text{h}$ 。除臭生物滤池布设在生化池及初沉池顶部以节省占地及集气管道,处理后尾气通过通风塔排放至地面 15 m 以上高空。从景观美化角度出发,将通风塔布设在尽量远离建筑边缘的位置。

采用侧墙式轴流风机进行通风设计,换气频率为 $6\sim 12\text{ 次/h}$,其中需散热能力或运转功率较大的鼓风机房、配电间等换气频率为 12 次/h 。

3.9 消防和抗震设计

消防设计遵循《建筑设计防火规范》(GB 50016—2014),对各工艺段进行严格的消防分区,每个消防分区独立布设自动喷淋系统和人员疏散系

统,并布设灭火器及室内消火栓。每个消防分区布置 $2\sim 3$ 个消防栓,并保证从自来水管和中水管上分别引出一个,以保证供水的可靠性。结合运用火灾动力学智能模拟软件(FDS)对车间的不同火灾状况及蔓延情况进行模拟分析,根据模拟结果指导疏散口位置及车间分区的优化设计。本工程建(构)筑物的耐火等级皆不低于二级,各部承重构件均符合二级耐火的要求。

另外,本工程区域的地震基本烈度为 7 度,各类设施均按 7 度设防,建(构)筑物抗震设计均按《建筑抗震设计规范》(GB 50011—2010)进行。

4 运行效果及成本分析

实际运行出水水质稳定,各项指标全面优于一级 A 标准(见表 2)。

表 2 实际进、出水水质

Tab. 2 Actual influent and effluent quality

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

项目	COD	BOD ₅	SS	TN	NH ₃ -N	TP
进水	270~610	66.3~133.7	197~255	44.5~71.6	36.2~62.7	4.3~5.2
出水	25~31	4.2~6.6	2.4~4.7	8.2~9.8	1.0~1.3	0.21~0.31
出水平均值	29	5.6	3.6	9.2	1.2	0.29

污水处理厂年运行成本见表 3,低于其他类似规模的地下污水厂^[6]。

表 3 污水厂年运行成本

Tab. 3 Annual operating cost of the WWTP

项 目	数值	备注
药剂费/(万元·a ⁻¹)	401.5	PAC、PAM、液氧、乙酸钠、次氯酸钠
动力费/(万元·a ⁻¹)	766.5	电价 0.640 3 元/(kW·h), 23.3 元/(kVA·月)
膜更换费/(万元·a ⁻¹)	73.2	膜成本 366 万元,每年更换费按 20% 计
污泥处置费/(万元·a ⁻¹)	302	77 元/t,污泥量 107.6 t/d
工资福利费/(万元·a ⁻¹)	180	45 人,4 万元/(人·a)
折旧费/(万元·a ⁻¹)	187	
维修费/(万元·a ⁻¹)	90	
总成本/(万元·a ⁻¹)	2 000.2	
制水量/(10 ⁴ m ³ ·a ⁻¹)	3 650	
单位制水成本/(元·m ⁻³)	0.548	电费 0.21 元/m ³ , 药剂费 0.11 元/m ³ , 日常维护、折旧、人工及其他成本为 0.228 元/m ³

5 工艺设计特点及创新

① 先进的处理工艺

生化处理采用多点进水倒置 A²/O 工艺,通过调节进水比、硝化内回流比和污泥外回流比,优化电子受体和电子供体配比,强化脱氮除磷能力,提高有机物去除率,达到出水水质稳定的目的。该工艺对水质、水量的耐冲击负荷能力强。此外,结合好氧区设置的纳米曝气系统以及后续增设的浸没式超滤+臭氧接触氧化处理工艺,可使出水水质稳定优于一级 A 标准。

② 园林式的厂区设计

该工程整体用地仅 4.90 hm^2 ,单位占地仅为 $0.49\text{ m}^2/\text{m}^3$ 。污水处理厂顶部整体加盖为市政休闲公园,覆土 1.5 m 。顶部为钢筋混凝土框架结构,用以支撑的承重柱布设要求为既不能影响下部污水处理构筑物正常运行,方便人工日常维护,又能够满足上盖结构体系的经济性和安全性。另外,根据厂区不同的功能分区采取各有侧重的绿化方式。例如在地下管线较密集区域,植被尽量选用浅根系品种,以避免相应设施。

③ 高效的防腐材料

为保证半地下式污水处理设备长期正常运行,减少日常维修维护成本,根据各工艺段特点,针对所需不同类型设备采用了不同特点的防腐新材料。如

液相防腐采用环氧沥青材料,气、液两相交替环境防腐采用鳞片涂料,气相环境防腐采用聚氯乙烯涂料。

④ 经济的运行成本

为进一步降低运行成本,分别从工艺重力流设计、高效节能设备选用和处理水厂区回用等方面进行了优化。其中,工艺重力流设计是根据排放口水体水位,合理设计污水处理厂水力流程标高,尽量利用重力排放,并降低水泵扬程。高效节能设备选用则是采用进口高效节能型鼓风机和变频水泵等设备,并采用精确化曝气系统。污水处理厂区回用则是部分出水用于厂内部设备冲洗、厂区绿化等,以进一步减少新鲜水用量。另外,厂区各工艺整体采用高精度自控系统,以进一步提高节能效果。

6 问题及建议

受客观条件的限制,该污水处理厂还存在以下不足:

① 虽然运营成本为 $0.548 \text{ 元}/\text{m}^3$,但是电费约占 38.3% ,单位电耗为 $0.32 \text{ kW} \cdot \text{h}/\text{m}^3$,偏高。由于现状处理量小于设计规模,随着未来污水处理量增加,单位水量电耗会有一定的下降空间。

② 由于现状处理量小于设计规模,且原设计除磷加药泵参数按最不利情况设计,造成实际投加量小于设计投加量,使得加药计量误差大,建议加药泵采用变频装置并进行合理配置。

7 结论

该半地下式生活污水处理工程已投用并稳定运行,结果表明多点进水倒置 A^2/O + 浸没式超滤工艺具有污染物去除效果好、出水水质稳定、运行成本低等优点,极大地控制和削减了污染物排放量,改善了周边生态环境,可为相近处理规模污水厂的工艺设计和运行提供参考。

参考文献:

- [1] 张倬玮,张会宁,李志丽,等. 北方某城市污水处理厂节能降耗改造及运行[J]. 中国给水排水,2016,32(24):133-138.
- ZHANG Zhuowei, ZHANG Huining, LI Zhili, et al. Reconstruction for energy saving and consumption reducing and actual operation of a WWTP in North China [J]. China Water & Wastewater, 2016, 32(24): 133-138 (in Chinese).
- [2] 刘加强,张建昆,李莹,等. 倒置 A^2/O + A/O 工艺用于

某城市污水厂二期扩建工程[J]. 中国给水排水, 2018, 34(22): 55-58.

LIU Jiaqiang, ZHANG Jiankun, LI Ying, et al. Application of reversed A^2/O + A/O process in the second-phase extension project of a municipal wastewater treatment plant[J]. China Water & Wastewater, 2018, 34(22): 55-58 (in Chinese).

- [3] 薛良森. 悬挂链曝气倒置 A^2/O /生物流化床处理纺织工业园废水[J]. 中国给水排水, 2019, 35(14): 59-62, 66.

XUE Liangsen. Industrial park textile wastewater treatment by combination process of suspension chain aeration inversion A^2/O /biological fluidized tank [J]. China Water & Wastewater, 2019, 35(14): 59-62, 66 (in Chinese).

- [4] 朱易春,冯秀娟,杜茂安. 多点进水倒置 A^2/O 工艺处理某工业园污水[J]. 工业水处理, 2011, 31(3): 77-80.

ZHU Yichun, FENG Xiujuan, DU Mao'an. Application of multi-site influent inverted A^2/O process to the wastewater treatment in an industrial park[J]. Industrial Water Treatment, 2011, 31(3): 77-80 (in Chinese).

- [5] 张安龙,谢飞,罗清,等. 中国城镇污水处理厂节能降耗研究进展[J]. 环境科学与技术, 2018, 41(增刊): 116-119.

ZHANG Anlong, XIE Fei, LUO Qing, et al. Research progress on energy saving and consumption reduction of urban sewage treatment plant in China [J]. Environmental Science & Technology, 2018, 41(S1): 116-119 (in Chinese).

- [6] 王雪,戴仲怡,张晓临,等. A^2/O + MBR 工艺用于集约化高排放标准半地下式污水厂[J]. 中国给水排水, 2020, 36(4): 47-50.

WANG Xue, DAI Zhongyi, ZHANG Xiaolin, et al. Application of A^2/O + MBR process in intensive high discharge standard semi-underground wastewater treatment plant[J]. China Water & Wastewater, 2020, 36(4): 47-50 (in Chinese).

作者简介:刘建明(1980-),男,吉林蛟河人,本科,高级工程师,主要从事铁路生活污水/高浓度污水处理工作。

E-mail: 381079232@qq.com

收稿日期: 2021-01-17

修回日期: 2021-03-05

(编辑:衣春敏)