

设计经验

DOI: 10. 19853/j. zgjsps. 1000-4602. 2025. 04. 010

# 长期低温高水质浓度污水处理厂设计探讨

高伟楠<sup>1</sup>, 田萌<sup>1</sup>, 李伟<sup>2</sup>, 程树辉<sup>1</sup>, 纪海霞<sup>1</sup>

(1. 北京市市政工程设计研究总院有限公司, 北京 100082; 2. 锡林浩特市给排水有限责任公司, 内蒙古 锡林浩特 027300)

**摘要:** 为缓解区域污水处理压力,某高寒地区新建一座污水处理厂,设计规模 $2.0\times 10^4\text{ m}^3/\text{d}$ ,设计出水质执行《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB 18918—2002)一级A标准。该污水处理厂面临长期低温、进水浓度高、出水回用稳定性要求高等难题,采用水解酸化+多段 $\text{A}^2/\text{O}$ 生物池+二沉池+混凝沉淀+反硝化深床滤池+超滤膜的工艺路线,实现了污水的达标处理和稳定回用;通过为水解酸化单元及超滤膜单元设置超越条件,提高污水处理厂的运营灵活性,降低了运行费用。结果表明,经过该组合工艺处理后,各出水指标稳定达标,在冬季依然具有良好的运行效果,且超滤膜多数时间处于超越工况。该工程概算总投资约27 493.20万元,处理成本为5.28元/ $\text{m}^3$ ,该工艺路线及措施可为类似工程设计提供参考。

**关键词:** 污水处理厂; 高寒地区; 多段 $\text{A}^2/\text{O}$ ; 超滤膜; 反硝化深床滤池; 水解酸化; BioWin软件

**中图分类号:** TU992 **文献标识码:** B **文章编号:** 1000-4602(2025)04-0062-07

## Discussion on Design of Wastewater Treatment Plant with High Concentration Wastewater in a Long-term Low Temperature Region

GAO Wei-nan<sup>1</sup>, TIAN Meng<sup>1</sup>, LI Wei<sup>2</sup>, CHENG Shu-hui<sup>1</sup>, JI Hai-xia<sup>1</sup>

(1. Beijing General Municipal Engineering Design & Research Institute Co. Ltd., Beijing 100082, China; 2. Xilinhot Water Supply and Drainage Co. Ltd., Xilinhot 027300, China)

**Abstract:** To alleviate the pressure of regional wastewater treatment, a new wastewater treatment plant with a design capacity of  $2.0\times 10^4\text{ m}^3/\text{d}$  was built in a severe cold region, and the effluent quality need to meet the first level A limit specified in *Discharge Standard of Pollutants for Municipal Wastewater Treatment Plant* (GB 18918-2002). Confronted with the challenges of long-term low temperatures, elevated influent concentrations, and stringent effluent stability requirements for reuse, the wastewater treatment plant implemented a process comprising hydrolytic acidification, multi-stage  $\text{A}^2/\text{O}$  bioreactor, secondary sedimentation tank, coagulation-sedimentation tank, denitrifying deep bed filter, and ultrafiltration to meet the discharge standard and achieve consistent reuse of wastewater. By establishing crossover conditions for the hydrolytic acidification unit and the ultrafiltration unit, the operational flexibility of the wastewater treatment plant was enhanced, leading to a reduction in operating costs. After the combined process treatment, each effluent parameter consistently met the discharge standard. The

operational performance remained effective even in winter, and the ultrafiltration remained inactive for the majority of the time. The total estimated investment for the project is approximately 274.932 million yuan, with a unit wastewater treatment cost of 5.28 yuan/m<sup>3</sup>. The process route and measures outlined can serve as a reference for similar engineering design.

**Key words:** wastewater treatment plant; severe cold region; multi-stage A<sup>2</sup>/O; ultrafiltration membrane; denitrifying deep bed filter; hydrolytic acidification; BioWin software

温度对硝化和反硝化影响较为显著,污水厂出水氨氮不稳定多由冬季低温造成。《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB 18918—2002)一级A标准中的氨氮指标以12℃为分界,水温≤12℃时出水限值为8 mg/L,高于12℃时为5 mg/L,也是充分考虑了低温的不利影响。我国污水厂设计水温多高于10℃,对于南方,长江沿线存在冬季水温<10℃的情况,持续时间通常少于2周,极端情况不超过4周,低温具有一定的影响;对于北方,尤其是内蒙古、山西、陕北等部分地区,存在冬季水温<10℃且持续时间超过3个月的情况,因此低温始终是高寒地区污水处理的最大难点。与此同时,若进水水质浓度高、冲击性强,该类污水厂的设计则面临更为严峻的挑战。

以高寒地区某高水质浓度新建污水处理厂为例,分析以水解酸化+多段A<sup>2</sup>/O生物池+二沉池+混凝沉淀+反硝化深床滤池+超滤膜为核心的工艺设计思路和应用效果,以期为类似污水处理厂的工程设计提供技术参考。

## 1 工程概况

为缓解区域污水处理压力,新建该污水厂,设计规模为2.0×10<sup>4</sup> m<sup>3</sup>/d,出水水质执行《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB 18918—2002)一级A标准,出水可作为再生水供工业企业使用。当地为高寒牧区,进水中还包含少量工业废水,主要类型为奶制品制造和生物制肽废水。当地以奶制品和肉类食物为主,即使是居民生活污水,其浓度也高于《污水排入城镇下水道水质标准》(GB/T 31962—2015)中A级限值。为使设计更为合理,对当地现有污水厂2018年—2019年的实际水质进行了涵盖率分析,同时对该工程的实际污水进行了为期1个月的检测,最终确定设计进水水质。

该污水处理厂的设计进、出水水质如表1所示。

表1 设计进、出水水质

Tab.1 Design influent and effluent quality

mg·L<sup>-1</sup>

项目	BOD <sub>5</sub>	COD	SS	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> -N	TN	TP
设计进水水质 (90%涵盖率)	359.2	852.2	874.2	79.1	110.8	14.3
2019年12月实测平均值	219	740	245	63.2	84.5	6.38
GB/T 31962—2015的 A级限值	350	500	400	45	70	8
设计二级出水水质	10	50	20	5(8)	15~20	3
设计出水水质	10	50	10	5(8)	15	0.5

注: 括号内数值为水温≤12℃时的控制指标。

## 2 调研、设计重难点分析及解决思路

### 2.1 周边类似工程调研分析

当地现有污水厂1座,设计规模4×10<sup>4</sup> m<sup>3</sup>/d,其进水水质与该工程类似,出水水质执行一级A标准,部分出水进行回用。工程经多次改造,采用隔油沉淀池+气浮池+A/A/O-MBBR+A/O+高效沉淀池+连续砂滤池+超滤膜工艺。目前,该工程在实际运行中冬季达标压力较大,特别是总氮,需投加大量碳源。生物段总停留时间为31.7 h, A/A/O-MBBR的HRT=19.5 h,厌氧区、缺氧区、好氧区的停留时间分别为2、5、12.5 h,设计污泥浓度4 000 mg/L,在缺氧区和好氧区投加MBBR填料,填料投加量分别为2 917、6 250 m<sup>3</sup>,填料比表面积为500 m<sup>2</sup>/m<sup>3</sup>,填充比分别为35%和30%;A/O的HRT=12.2 h,其中二段缺氧区、二段好氧区的停留时间均为6.1 h。

分析此现有污水厂2018年—2019年的监测数据,其生物池冬季水温多介于8~10℃,低于8℃情况共出现8次,天数占比仅为1%。对此污水厂2018年—2019年的实际处理情况进行分析,可知TN、TP、SS达标面临巨大压力。

### 2.2 设计重难点分析

与一般工程相比,该工程需重点关注以下问题:

① 低温时间长。工程地处内蒙古自治区东北部,最冷月平均气温低于 $-20^{\circ}\text{C}$ ,年结冻期长达5个月,需对冬季低温进行重点考虑<sup>[1]</sup>。通过对现有工程的调研,确定设计最低温度为 $8^{\circ}\text{C}$ 。污水水温维持在 $8^{\circ}\text{C}$ 水平的时间长达3个月,需充分考虑保温和生化工艺的选择以应对长期低温的情况。

② 进水水质浓度高。污水厂正常来水条件下,COD、SS、TN、 $\text{NH}_3\text{-N}$ 、TP分别为GB/T 31962—2015中A级限值的170%、219%、158%、176%、179%,在工艺流程和设计参数的选取上应重点考虑。

③ 进水水质特殊性。该工程所在地为牧区,进水毛发、纤维类物质含量较高,需要重点去除以防止对主要处理单元造成污堵。2019年12月实测进水平均 $\text{BOD}_5/\text{COD}(\text{B/C})$ 为0.29,需采用合适的处理工艺提高进水可生化性。

④ 出水全部回用。该工程建设地点远离河道,未规划排水口,出水主要作为电厂冷却水原水,全部进行回用,需确保出水水质的稳定性。

### 2.3 预处理及生物处理前处理工艺的选择

该工程各主要污染物指标均较高,为提高后续生物处理工艺的稳定性,预处理及生物处理前处理需针对SS、纤维类物质进行设置;实际进水可生化性较低( $\text{B/C}=0.29$ ),需通过生物处理前处理提高进水可生化性,降低后续生物处理的难度。

水解酸化池是目前普遍用于提高污水可生化性的工艺。周传庭<sup>[2]</sup>针对上海某工业聚集区的污水进行处理,设置水解酸化池的停留时间为8 h,废水 $\text{B/C}$ 由0.25提高至0.40左右;呼和浩特市某污水厂采用水解酸化工艺,运行效果显示,废水 $\text{B/C}$ 虽无明显提升,但COD、TN、TP均得到一定去除,平均去除率分别为50%、44%、30%。因此,通过设置水解酸化池,能够降低后续生物池的处理压力及运行成本。目前,应用较多的水解酸化工艺包括升流式和完全混合式,升流式具有更好的处理效果和SS去除能力,但因采用大阻力配水系统,容易堵塞,需要更为精细的前处理,对毛发、纤维类物质进行去除。综合考虑,在常规预处理工艺的基础上增加了“精细格栅+升流式水解酸化池”,通过1 mm的精细格栅对纤维类物质进行有效去除,保护水解酸化池布水器和后续单元;采用升流式水解酸化池,提高进水的可生化性,并部分去除SS、碳、氮、磷;当地饮食

以奶制品、肉制品为主,同时服务范围内有奶制品制造和生物制肽产业,因此预处理段增加设置隔油池。

### 2.4 生物处理工艺的选择

工程主要在生物处理段完成对污染物的去除,特别是总氮,因此生物处理单元是污水处理厂设计的核心单元。该项目TN去除率 $>86\%$ ,若按传统 $\text{A}^2/\text{O}$ 设计,则总回流比超过600%,内回流比需达到500%。过高的内回流比一方面会携带更多的DO,影响缺氧环境,浪费碳源;另一方面会改变推流效果,导致系统内基质梯度降低,不利于污泥膨胀控制。设计时,一般总回流比不超过400%,内回流比不超过300%。

传统 $\text{A}^2/\text{O}$ 工艺中,由于受到硝化液回流比的限制,理论上总氮的极限去除率为80%。Bardenpho为AAOAO结构,通过推流将好氧区硝化产生的硝酸盐氮送至后置缺氧区进行处理,从而提高总氮去除率(可达到90%以上),后置好氧区对剩余的有机物进一步把关。该项目若采用Bardenpho工艺,因进水TN较高,需要在后置缺氧区大量投加碳源,并不经济。考虑该项目的高水质浓度特点,采用分段进水-多级 $\text{A}/\text{O}$ 模式,即一部分进水直接进入后置缺氧区,作为反硝化碳源,从而降低总回流比,提高碳源利用效率。天津市宁河区城市污水处理厂两期工程分别采用了多段 $\text{A}^2/\text{O}$ 和 $\text{A}^2/\text{O}$ 工艺,在总停留时间小于 $\text{A}^2/\text{O}$ 工艺的前提下,多段 $\text{A}^2/\text{O}$ 实际出水效果更优<sup>[3]</sup>。

该工程进水污染物浓度高,共需去除总氮95.8 mg/L,去除率超过86%,因此生物处理采用多段 $\text{A}^2/\text{O}$ 工艺,同时在深度处理段预留TN进一步去除能力,以应对水质波动。有研究表明,在运行效果相当的前提下,辐流式二沉池较矩形二沉池投资更低<sup>[4]</sup>,因此工程选用成熟低耗的辐流式中进周出二沉池。

根据《室外排水设计标准》(GB 50014—2021)对生物池容积进行初步计算。该工程生物池设计停留时间为45 h,其中厌氧区、缺氧区、好氧区分别为2、16、27 h;对比现有污水厂( $\text{HRT}=31.7\text{ h}$ ),存在较大差距。为更好地验证工艺参数及方案的可行性,采用BioWin仿真模拟软件对工艺流程进行模拟,进一步优化生物池容积和分段参数<sup>[5]</sup>,多段 $\text{A}^2/\text{O}$ 工艺仿真模拟结果见图1。选择45、31.7、39.5 h(近似于上述两值的均值)分别进行模拟,得到不同HRT下的模拟出水水质,如表2所示。可知,HRT对



BOD<sub>5</sub>和COD影响不大,对氨氮、TN和汽水比影响较大。当HRT=45 h时,处理效果与HRT=39.5 h基本相当,但汽水比最高,占地也较大;当HRT=31.7 h时,出水氨氮偏高,若要TN稳定达标,碳源投加量偏大,且如果未来要求氨氮进一步提标,则可能面临池容严重不足的情况;当HRT=39.5 h时,可以兼顾安全性和经济性。进一步地,在HRT=39.5 h工况下,对多段A<sup>2</sup>/O和Bardenpho分别进行模拟,结果显示,前者的处理效果更优,碳源投加量和产泥量更小。这是由于分段进水充分利用了原水碳源,同时降低了回流量,减少了回流携带的DO,提高了碳源利用率。从工艺机理上分析,当限制回流比不超过400%时,第一段A<sup>2</sup>/O的TN去除率最高为80%,原水碳源完全满足回流硝酸盐全部脱氮的要求,且

部分原水碳源未能在缺氧区得到有效利用,随后进入好氧区被氧化浪费;而当采用分段进水时,根据最大回流量约束条件设置配水比,多余的碳源直接进入后置反硝化区,从而减少碳源浪费。但在进行分段进水设计时,应注意控制后置A/O进水比,防止出水氨氮出现穿透。

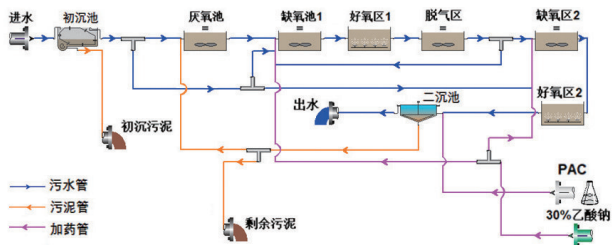


图1 多段A<sup>2</sup>/O工艺仿真模拟  
Fig.1 Simulation of multi-stage A<sup>2</sup>/O process

表2 不同HRT下模拟出水水质  
Tab.2 Simulated effluent quality under different HRT

项目	BOD <sub>5</sub> / (mg·L <sup>-1</sup> )	COD/ (mg·L <sup>-1</sup> )	SS/ (mg·L <sup>-1</sup> )	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> -N/ (mg·L <sup>-1</sup> )	TN/ (mg·L <sup>-1</sup> )	TP/ (mg·L <sup>-1</sup> )	汽水比	碳源投加量/ (t·d <sup>-1</sup> )	污泥量/ (tDS·d <sup>-1</sup> )
HRT=45 h	1.97	38.90	7.60	0.60	13.79	0.41	11.3	4.5	16.4
HRT=39.5 h(多段A <sup>2</sup> /O)	1.92	38.82	7.84	0.22	13.14	0.41	11.0	5.5	16.9
HRT=39.5 h(Bardenpho)	1.72	38.18	8.39	0.22	13.77	0.35	11.2	9.0	18.1
HRT=31.7 h(现况污水厂)	2.96	40.41	7.36	4.25	13.31	0.40	10.9	9.5	16.6

有研究<sup>[6-9]</sup>表明,MBBR在低温时具有较好的运行效果。该新建污水处理厂地处高寒地区且水质浓度高,在生物池第一好氧区内预留MBBR投加条件,既为了防止冬季水温进一步降低影响出水效果,也为生物池预留提标空间,为将来出水水质的提升做好准备。该工程设计进水BOD<sub>5</sub>/TN=3.24,基本满足脱氮需求,但考虑到工程进水水质存在一定的波动性,预留碳源投加条件。

2.5 深度处理工艺的选择

按照设计进水水质,采用已有生化工艺可使TN稳定达标,但该项目进水水质冲击较强,仍有部分时段进水TN高于设计值,且波动较大。模拟显示,当进水总氮为设计总氮的110%以上时,出水总氮存在超标风险。若因此提高设计进水水质,投资将大幅提高,故考虑在深度处理段设置脱氮单元,常规处理时作为SS和TP的保障工艺,遇到冲击时可作为TN的有效削减手段。

深度处理段采用较多的脱氮单元主要为生物滤池、深床滤池,综合比较可知,深床滤池具有出水稳定、运营成本低、对TP及SS处理效果好的优点,

且南北方均有较多的成功应用案例,因此采用深床滤池作为主要深度处理单元。考虑到进水波动性,设计采用机械絮凝+斜板沉淀工艺对SS和TP进行去除,并设置于深床滤池前端,降低反硝化深床滤池冲洗频次,提高运行稳定性。

该工程无排水口,出水全部作为再生水回用,用作电厂冷却水原水以及城市杂用水,因此需确保出水稳定性。综合考虑,设置压力式超滤膜作为保障工艺,同时预留超越条件,当前序处理不能满足要求时,对出水水质进行把关;当前序处理能够达到出水要求时,则超越超滤膜工艺段,降低实际运行成本。

该工程工艺路线如图2所示。

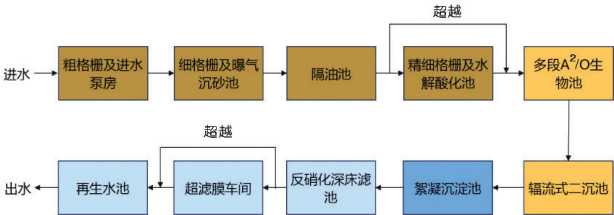


图2 工程工艺流程  
Fig.2 Process flow of the project

各工段预测出水水质如表3所示。

表3 各工段预测出水水质

Tab.3 Predicted effluent quality for each section

mg·L<sup>-1</sup>

项目	BOD <sub>5</sub>	COD	SS	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> -N	TN	TP
设计进水水质	359.2	852.2	874.2	79.1	110.8	14.3
水解酸化池出水	290	680	450	75	100	13
二沉池出水	10	50	20	5	20	3
絮凝沉淀池出水	10	50	10~15	5	20	0.5
反硝化深床滤池	6	30~50	10	5	15	0.5
超滤膜出水	6	30~50	5	5	15	0.5
设计出水水质	10	50	10	5	15	0.5

### 3 工艺设计

#### 3.1 隔油池

采用平流隔油池,分为2格,设计停留时间2 h,隔油池单格尺寸为35.2 m×6 m×4.2 m,池底设1%坡度坡向污泥斗,污泥经刮油刮泥机送至污泥斗内,并通过污泥泵排至厂区浓缩池。

#### 3.2 精细格栅、提升水池及水解酸化池

精细格栅、提升水池及水解酸化池合建。精细格栅采用1 mm内进流孔板格栅,设置格栅渠道3条,2用1备,单渠宽度为1 400 mm,配套中高压冲洗系统。为降低水解酸化池埋深,在池前设置提升水池。提升水池容积为76 m<sup>3</sup>,池内设置提升水泵3台,2用1备,单台 $Q=625\text{ m}^3/\text{h}$ 、 $H=90\text{ kPa}$ 、 $N=22.5\text{ kW}$ ,为便于冬季运行维护,精细格栅、提升水池外部进行加房设计。水解酸化池采用升流式,分为4格,单池净空尺寸为22 m×11 m,单池面积242 m<sup>2</sup>,峰值上升流速1.30 m/h,有效水深6.8 m,停留时间7.9 h,水解酸化池中部污泥管廊平面尺寸为45.03 m×6.0 m。

#### 3.3 生物池及污泥泵房

生物池及污泥泵房合建,生物池分为2组,采用分段进水-多级A<sup>2</sup>/O生物池,有效水深7.2 m,设计总停留时间为39.5 h,其中厌氧区、第一缺氧区、第一好氧区、脱气区、后置缺氧区、后置好氧区分别为2、12.5、16.5、0.5、4.5和3.5 h;设计污泥浓度为4 000~5 000 mg/L,设计污泥龄为20.3 d,污泥产率系数为0.6 kgVSS/(kgBOD<sub>5</sub>·d),反硝化速率为0.035 kgNO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N/(kgMLSS·d),污泥负荷为0.063 kgBOD<sub>5</sub>/(kgMLSS·d),生物池最大气水比为12:1,污泥回流比为50%~100%,混合液回流比为300%。污泥泵房设置回流

污泥泵3台,2用1备,单台 $Q=420\text{ m}^3/\text{h}$ 、 $H=100\text{ kPa}$ 、 $N=30\text{ kW}$ ;设置剩余污泥排放泵2台,1用1备,单台 $Q=50\text{ m}^3/\text{h}$ 、 $H=100\text{ kPa}$ 、 $N=5.5\text{ kW}$ 。生物池设置分段进水装置,可实现厌氧区、第一缺氧区和后置缺氧区不同的进水比例,其中后置缺氧区配水比为10%~20%;在生物池第一缺氧区及后置缺氧区前端均预留碳源投加点,在每组生物池出水位置设置混合井及PAC投加管道。

#### 3.4 二沉池及集配水井

采用辐流式中进周出沉淀池,共2座,单池直径27 m,池边水深4 m,平均表面负荷0.73 m<sup>3</sup>/(m<sup>2</sup>·h),停留时间为4.07 h;两座二沉池共用1座集配水井,集配水井直径12.6 m,共4环,从内到外依次为进水区、配水区、污泥回流区和出水区。

#### 3.5 絮凝沉淀池及反硝化深床滤池

絮凝沉淀池及反硝化深床滤池合建。采用机械絮凝池,其前端设置2格串联的机械混合井,单格混合时间为30 s。絮凝池分为2个系列,每系列分为3格,单格尺寸为3.8 m×3.8 m,设计外缘线速度依次为0.5、0.35、0.2 m/s,有效水深5.5 m,总停留时间15 min。沉淀池分为2个系列,采用斜板沉淀池,单系列斜板沉淀池平面尺寸为9.4 m×9.45 m,设计峰值水力负荷7.08 m<sup>3</sup>/(m<sup>2</sup>·h),清水区有效水深1.29 m,布水沉泥区有效水深1.7 m。反硝化深床滤池共4格,单格尺寸为14.2 m×2.9 m,滤池采用恒水位过滤,砂层厚度为1.83 m,采用粒径2~3 mm的石英砂,设计峰值水力负荷7.59 m<sup>3</sup>/(m<sup>2</sup>·h);承托层厚度0.45 m,采用粒径3~38 mm的天然鹅卵石;承托层下部为布水布气系统,滤砖材质为HDPE,布气系统材质为304不锈钢;设置冲洗用清水池,内部设置反冲洗潜水泵2台,1用1备,单台 $Q=605\text{ m}^3/\text{h}$ 、 $H=95\text{ kPa}$ 、 $N=44\text{ kW}$ ;设置气洗鼓风机2台,1用1备,单台 $Q=3\,908\text{ m}^3/\text{h}$ 、 $H=69\text{ kPa}$ 、 $N=90\text{ kW}$ 。

#### 3.6 超滤膜车间

采用压力式超滤膜,设置超滤膜车间1座,由超滤膜进水池、自清洗过滤器、精密过滤器及膜组件和阀堆、反洗水池(产水池)、化学清洗间、配套的设备管路系统组成。超滤系统共分为10组,每组包含进水泵、自清洗过滤器、精密过滤器及压力式超滤膜组件各1台,单组处理能力2 000 m<sup>3</sup>/d,名义膜通量为40 L/(m<sup>2</sup>·h)。10组超滤系统共用反洗系统及化学清洗系统,化学清洗后的废液进入中和池暂

存,经处理后排入厂区污水系统。

### 3.7 其他建(构)筑物

① 粗格栅及进水泵房:土建设计规模为 $4 \times 10^4$   $\text{m}^3/\text{d}$ ,设备安装规模为 $2 \times 10^4$   $\text{m}^3/\text{d}$ 。设计格栅渠道2条,渠道宽度1200 mm,每条渠道安装粗格栅2台,栅条间隙分别为30和10 mm,均采用回转式格栅;进水泵房分为2格,共6个泵位,该期安装3台,2用1备,2台变频,1台定速,单台 $Q=625$   $\text{m}^3/\text{h}$ 、 $H=170$  kPa、 $N=45$  kW。

② 细格栅及曝气沉砂池:土建设计规模为 $4 \times 10^4$   $\text{m}^3/\text{d}$ ,设备安装规模为 $2 \times 10^4$   $\text{m}^3/\text{d}$ 。设计细格栅渠道2条,渠道宽度1400 mm,每条渠道安装3 mm内进流孔板格栅1台;曝气沉砂池分为2格,峰值停留时间8 min,每格尺寸为18.00 m $\times$ 3.50 m,池深4.95 m,有效水深3.60 m,2格共用跨度为7.85 m的桥式吸砂机1台。

③ 再生水池及再生水泵房:再生水池分为2个系列,总容积约2000  $\text{m}^3$ ,总水深5.45 m,调蓄时间约2 h,消毒剂采用二氧化氯。再生水泵房采用半地下干式,平面尺寸为28.0 m $\times$ 8.2 m,泵房内设置再生水泵及厂区自用水泵,其中近期设置再生水泵3台,2用1备,采用卧式离心泵,自灌式启动,单台 $Q=625$   $\text{m}^3/\text{h}$ 、 $H=800$  kPa、 $N=220$  kW,并预留2台泵位;设置2台厂区自用水泵,采用管式离心泵,单台 $Q=88$   $\text{m}^3/\text{h}$ 、 $H=440$  kPa、 $N=15$  kW。

④ 污泥脱水系统:包括储泥池、转鼓浓缩机、调质池及板框脱水系统,出泥含水率为60%,设计干泥量约20 tDS/d,板框脱水设计时间为4 h/批次,每天处理5个批次。设置储泥池1座,分为2格,单格尺寸为5.5 m $\times$ 5.5 m,有效水深4.7 m,有效容积142  $\text{m}^3$ ;采用转鼓浓缩机,共2台,单台处理量为180  $\text{m}^3/\text{h}$ ;出泥进入调质池,采用石灰+铁盐进行调理,调质池共设置2座,单池直径8 m,有效水深4.5 m;调质后污泥进入板框脱水机进行脱水,设置板框脱水机3台,单台过滤面积为400  $\text{m}^2$ ,滤室容积7  $\text{m}^3$ 。

### 4 主要经济参数

该工程总投资为27493.20万元,工程费用为23468.01万元,其中,污水厂部分投资18747.17万元(含中水回用单元4200万元),厂外管线4720.84万元,不考虑厂外管线及中水回用单元费用,折合工程费为7273.59万元/ $\text{m}^3$ 。由于该工程进水污染

物浓度较高,且实际 $\text{BOD}_5/\text{TN}$ 较低,污水处理成本较高,为5.28元/ $\text{m}^3$ ,经营成本3.62元/ $\text{m}^3$ ;去除厂外管线和中水回用部分折旧后,污水处理成本为4.49元/ $\text{m}^3$ ,经营成本3.12元/ $\text{m}^3$ 。

### 5 运行效果

该工程于2023年建设完成,同年9月开始通水试运行,至今已近一年时间,基本满负荷运行,出水水质满足设计预期。冬季11月一次年3月,污水厂进水水温基本处于设计水温8℃水平,其间进、出水水质如表4所示。

表4 实际进、出水水质

Tab.4 Actual influent and effluent quality

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

项目	$\text{BOD}_5$	COD	SS	$\text{NH}_4^+-\text{N}$	TN	TP
进水	45~289.4 (170.3)	80.2~ 553.8 (310.5)	44~940 (285)	29.2~ 78.7 (50.5)	30.3~ 100.8 (58.1)	4.9~15.0 (8.6)
出水	0.4~5.8 (3.2)	7.9~41.7 (32.5)	2~7 (4)	0.4~4.5 (3.2)	1.26~14.8 (11.8)	0.09~0.4 (0.31)

注: 括号内数值为平均值。

目前,该工程实际运行中乙酸钠投加量约为33  $\text{mg/L}$ (纯品计,下同),而现有污水厂全年平均碳源投加量约58  $\text{mg/L}$ ,可见分段进水可以在一定程度上降低碳源消耗量。经实际验证,该工程单系列最大处理水量可达到 $1.5 \times 10^4$   $\text{m}^3/\text{d}$ 以上,出水水质能够满足设计预期;超滤膜使用频次较低,多数时间处于超越工况,降低了实际运行成本。

### 6 结语

高寒地区污水处理厂采用水解酸化+多段 $\text{A}^2/\text{O}$ 生物池+二沉池+混凝沉淀+反硝化深床滤池+超滤膜的工艺路线,有效解决了低温时间长、进水浓度高等难题。实际运行效果显示,出水各指标可以稳定达到《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB 18918—2002)一级A标准,且较对照污水厂节约43%的碳源,保留了进一步提标的可能性;出水回用作电厂冷却水和市政杂用水;通过设置多处超越,便于厂区的灵活运行,在确保出水效果的情况下兼顾工程经济性,实际运行显示,多数情况下可超越超滤膜工艺。该工艺路线及措施可为类似工程设计提供参考。

### 参考文献:

[1] 滕文民,张爱华,王凤翔,等. 高寒地区城市污水处理



- 厂的建设与运行[J]. 中国给水排水, 2010, 26(24): 100-104.
- TENG Wenmin, ZHANG Aihua, WANG Fengxiang, *et al.* Construction and operation of municipal sewage treatment plant in severe cold region [J]. *China Water & Wastewater*, 2010, 26(24): 100-104(in Chinese).
- [2] 周传庭. 上海某工业聚集区污水处理工艺设计及运行效果[J]. 工业水处理, 2021, 41(4): 130-133.
- ZHOU Chuanting. Sewage treatment process design and operation effect of an industrial cluster in Shanghai [J]. *Industrial Water Treatment*, 2021, 41(4): 130-133 (in Chinese).
- [3] 王舜和, 李朦, 郭淑琴. 多级AO与多模式AAO工艺在污水厂的应用对比[J]. 中国给水排水, 2018, 34(10): 48-51.
- WANG Shunhe, LI Meng, GUO Shuqin. Application and comparison between multistage AO and multi-mode AAO in wastewater treatment plant [J]. *China Water & Wastewater*, 2018, 34(10): 48-51(in Chinese).
- [4] 周家中, 宋平周, 张爽, 等. 占地受限下北方某高标准新建污水厂工程设计[J]. 中国给水排水, 2021, 37(12): 76-82.
- ZHOU Jiazhong, SONG Pingzhou, ZHANG Shuang, *et al.* Engineering design of a new high-standard wastewater treatment plant with limited footprint area in North China [J]. *China Water & Wastewater*, 2021, 37(12): 76-82(in Chinese).
- [5] 陈浩林, 彭轶, 安东, 等. 基于BioWin软件对多级A/O工艺的运行优化[J]. 中国给水排水, 2020, 36(19): 60-66.
- CHEN Haolin, PENY Yi, AN Dong, *et al.* Operation optimization of multi-stage A/O process based on BioWin software [J]. *China Water & Wastewater*, 2020, 36(19): 60-66(in Chinese).
- [6] 李志超, 肖宁, 林蔓, 等. MBBR耦合MBR用于东北某低温高排放标准污水厂[J]. 中国给水排水, 2022, 38(14): 77-83.
- LI Zhichao, XIAO Ning, LIN Man, *et al.* Application of MBBR coupled with MBR process in a stringent discharge standard wastewater treatment plant in Northeast China at low temperature [J]. *China Water & Wastewater*, 2022, 38(14): 77-83(in Chinese).
- [7] 周家中, 韩文杰, 吴迪, 等. MBBR工艺应用于市政污水处理的系列解决方案探讨[J]. 中国给水排水, 2023, 39(12): 1-12.
- ZHOU Jiazhong, HAN Wenjie, WU Di, *et al.* Discussion on series solutions of MBBR process applied to municipal sewage treatment [J]. *China Water & Wastewater*, 2023, 39(12): 1-12(in Chinese).
- [8] 郑志佳, 白华清, 孟涛, 等. 低温下MBBR强化硝化原理分析和应用[J]. 中国给水排水, 2019, 35(23): 6-11.
- ZHENG Zhijia, BAI Huaqing, MENG Tao, *et al.* Principle analysis and application of MBBR enhanced nitrification at low temperature [J]. *China Water & Wastewater*, 2019, 35(23): 6-11(in Chinese).
- [9] 吴迪. MBBR在国内的工程应用与发展前景[J]. 中国给水排水, 2018, 34(16): 22-31.
- WU Di. Application and development prospect of MBBR in China [J]. *China Water & Wastewater*, 2018, 34(16): 22-31(in Chinese).

**作者简介:**高伟楠(1989-),男,内蒙古锡林浩特人,硕士,高级工程师,注册公用设备工程师(给水排水),主要从事给排水工程设计及水环境恢复研究等工作。

**E-mail:**494780017@qq.com

**收稿日期:**2024-07-26

**修回日期:**2024-08-18

(编辑:沈靖怡)