

北京市某污水厂基于准地表Ⅲ类水体出水标准的工程实践

李 伟¹, 卢东昱¹, 陈永玲², 张 强¹, 麻 倩¹

(1. 北京恩菲环保股份有限公司, 北京 100038; 2. 中国市政工程华北设计研究总院有限公司, 天津 300381)

摘 要: 针对北京市《城镇污水处理厂水污染物排放标准》(DB 11/890—2012)表1的A标准的出水限值,北京市某污水厂采用多段生物法+高密度沉淀池/超滤膜/臭氧氧化消毒深度组合工艺。介绍了各处理构筑物的设计参数及设备配置情况,并对实际运行效果进行了分析。结果表明,多段生物处理工艺可以将TN降到10 mg/L以下,结合多段深度处理组合工艺,使整个处理系统稳定运行,其他出水指标均满足排放标准要求,接近地表水Ⅲ类水质。

关键词: 准地表水Ⅲ类水质; 多段生物处理; 深度处理组合工艺

中图分类号: X703 **文献标识码:** C **文章编号:** 1000-4602(2017)02-0056-05

Engineering Practice of a WWTP in Beijing City Based on Quasi-Class Ⅲ Criteria of Surface Water

LI Wei¹, LU Dong-yu¹, CHEN Yong-ling², ZHANG Qiang¹, MA Qian¹

(1. Beijing ENFI Environmental Protection Co. Ltd., Beijing 100038, China; 2. North China Municipal Engineering Design and Research Institute Co. Ltd., Tianjin 300381, China)

Abstract: Based on the effluent limits in table 1 of the *Discharge Standard of Water Pollutants for Municipal Wastewater Treatment Plants* (DB 11/890-2012), the combined process of multistage biological process, high-density sedimentation, ultrafiltration membrane filtration, ozone oxidation disinfection is adopted in a WWTP in Beijing City. The design parameters of structures and equipment configuration were introduced, and the actual operation effect was analyzed. The results showed that the multistage biological process could reduce TN to below 10 mg/L. Combined with multistage advanced combined treatment process, the whole treatment system had stable operation, and other water quality indexes could meet the requirements of discharge standards, closing to the class Ⅲ criteria in the environmental quality standards for surface water.

Key words: quasi-class Ⅲ criteria of surface water; multistage biological treatment process; combined advanced treatment process

随着国内外对水体中的氮磷浓度以及排放标准限制的日益严格,尤其北京市在2012年颁布了《城镇污水处理厂水污染物排放标准》(DB 11/890—2012),其中新(改、扩)建城镇污水处理厂,如果排入北京市Ⅱ、Ⅲ类水体,则执行表1的A标准,该出水标准的六个常规指标中除总氮以外,其他指标均与地表水Ⅲ类水体相同。为达到该标准,北京市某

污水处理厂二期工程采用了多段生物处理和多段深度处理组合工艺。

1 设计处理水量及水质

北京市某污水处理厂二期工程设计规模为 $4 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$,进水主要由生活污水组成,含有少量的工业废水。由于出水排入北京市Ⅲ类水体,故需执行北京市《城镇污水处理厂水污染物排放标准》(DB

11/890—2012)中表 1 的 A 标准,具体设计进、出水水质见表 1。

表 1 设计进、出水水质

Tab. 1 Design influent and effluent quality

mg · L ⁻¹						
项目	BOD ₅	COD	SS	NH ₄ ⁺ - N	TN	TP
进水	160	300	180	50	60	5.5
出水	4	20	5	1(1.5)	10	0.2

注: 括号外数字为水温 > 12 ℃ 时的控制指标,括号内数字为水温 ≤ 12 ℃ 时的控制指标。

2 工艺流程

根据设计进、出水水质,要求所选二级生物处理工艺必须具备高效除磷脱氮功能,同时为了尽可能节省碳源,本期工程二级生物处理工艺推荐采用五段 Bardenpho 工艺(A/A/O/A/O 工艺),并对其进行改良设计:在厌氧区前增设预缺氧区,回流污泥进入预缺氧区,以消除硝酸盐对生物除磷的不利影响,提高系统的除磷效率;采用多点进水和多点混合液回流,以方便根据进水水质的变化调整系统的运行方式。具体工艺流程见图 1。

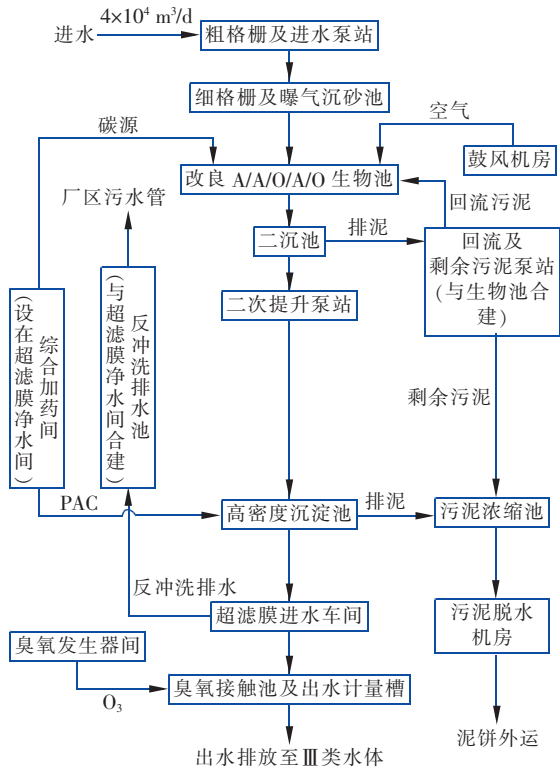


图 1 污水处理系统工艺流程

Fig. 1 Process flow chart of wastewater treatment system

污水经二级生物处理后,出水氨氮和 TN 应能

达到设计要求,在深度处理工艺的选择中无需特殊考虑。因此,三级深度处理重点是去除水中残余的 SS、脱色、除臭;进一步降低 BOD₅、COD;除磷,消除导致水体富营养化的因素;消毒,去除有害微生物。故最终采用“混凝(投加 PAC) + 高密度沉淀池 + 外压式超滤膜 + 臭氧”工艺作为深度处理工艺。

二期工程新建建筑物有超滤膜净水间 1 座、鼓风机房 1 座、加药间 1 座(在超滤膜净水间内)、脱水机房 1 座、臭氧发生器间 1 座,新建建筑物总面积为 4 663 m²。新建构筑物主要有细格栅及曝气沉砂池 1 座、生物池及污泥泵站 1 座、二沉池 2 座、二次提升泵房 1 座、混凝反应沉淀池 1 座、臭氧接触池 1 座、污泥浓缩池 2 座,新建构筑物总占地面积为 11 163 m²。

3 主要处理构筑物及设计参数

① 粗格栅及进水泵站

污水处理厂一期工程粗格栅及进水泵站土建部分已按 8 × 10⁴ m³/d 规模建成,并按 4 × 10⁴ m³/d 规模安装了设备,本期工程仅需安装设备并对无法正常使用的设备进行更换。

设回转式格栅除污机 2 台,格栅宽度为 800 mm,栅条间隙为 20 mm;设潜水离心泵 3 台(2 用 1 备),单台泵流量为 1 083 m³/h,扬程为 145 kPa。

② 细格栅间及曝气沉砂池

细格栅间设 4 条栅渠,选用回转式格栅除污机,格栅后配套无轴螺旋输送压榨机 1 台。细格栅前后均设有渠道闸门,供设备检修时使用。回转式格栅除污机格栅宽度为 1 500 mm,栅条间隙为 3 mm;设 1 台无轴螺旋输送压榨机,处理能力为 5 m³/h,长度为 8 m。

曝气沉砂池 1 座,分 2 池。每池中设一道纵向隔板,将沉砂池分为曝气沉砂区和除油、渣区。在曝气沉砂区一侧设空气扩散管,空气由双段高压离心鼓风机供给。沉砂池上设桥式吸砂机 1 台(配套气提吸砂装置 2 套),泵吸上的砂水经排砂渠流入砂水分离器。浮渣被刮至池端的浮渣槽流入浮渣井。

桥式吸砂机 1 台,跨度为 8 m,气提吸砂装置 2 套,处理能力为 20 m³/h, H = 100 kPa;砂水分离器 2 台,单台处理能力为 20 L/s,双段高压离心鼓风机 3 台(2 用 1 备),单台风量为 5.5 m³/min,压力为 39 kPa。

③ 生物池及污泥泵站

矩形钢筋混凝土生物池1座,分2池,平面尺寸约80 m×75.3 m。生物池每池按预缺氧区/厌氧区/第一缺氧区/第一好氧区/后缺氧区/后好氧区的顺序布置各池体,水流以推流形式依次流经各区域。混合液由第一好氧区回流,为生物脱氮提供 $\text{NO}_3^- - \text{N}$;在预缺氧区、厌氧区和第一缺氧区均设置了进水口,以方便根据进水水质的变化调整系统运行方式;污泥由二沉池回流至预缺氧区,为生物除磷提供富磷污泥,同时消除硝酸盐对厌氧释磷的不利影响;剩余污泥经污泥泵站排除,以保证系统的新陈代谢和物料平衡。

在非曝气区设置水下搅拌器,以保证泥水充分混合;在好氧区设置微孔曝气系统,为微生物提供充足的氧气。因进水碳源不足,为保证生物脱氮除磷效果,在第二缺氧区投加碳源。

该构筑物总有效池容为34 560 m^3 ,设计水深为6.0 m,总水力停留时间为20.74 h,最大供气量为13 600 Nm^3/h ,最大混合液回流比为300%。

曝气采用微孔曝气管,单管供气量为12~15 $\text{Nm}^3/(\text{h} \cdot \text{m})$,共设水下搅拌器12台(每池6台),预缺氧区、厌氧区、缺氧区各设置一台搅拌器,功率为10 kW,后缺氧区设置两台搅拌器,功率为6.5 kW。混合液回流泵(墙洞泵)6台(4用2备),单泵 $Q=1\,250\text{ m}^3/\text{h}$, $H=10\text{ kPa}$ 。

污泥泵站与生物池合建,污泥回流比为100%,回流污泥量为1 667 m^3/h ,最大剩余污泥量为940 m^3/d ,回流污泥泵5台(4用1备),单泵流量为460 m^3/h ,扬程为50~60 kPa;剩余污泥泵2台(1用1备),单泵流量为70 m^3/h ,扬程为120 kPa。

④ 二沉池及配水井

采用辐流式周进周出二沉池2座,单池直径为36 m,最大表面负荷为1.06 $\text{m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$,水力停留时间为4.23 h。

⑤ 二次提升泵站及高密度沉淀池

为满足深度处理及尾水排放的水力要求,在二沉池后设置1座二次提升泵站。二次提升泵站与深度处理的混合池、絮凝池、高密度沉淀池合建。

泵站内设潜水离心泵4台和电动葫芦1台,用于起吊水泵。潜水离心泵4台(3用1备,全部变频),单泵 $Q=722\text{ m}^3/\text{h}$, $H=60\text{ kPa}$ 。

高密度沉淀池1座,分2池,每池前端均设置机械混合池1座、机械絮凝池3座,底泥排放和回流泵

房与高密度沉淀池合建。机械混合池2座(单池1座),混合时间为60 s,混合搅拌速度梯度为300~500 s^{-1} ,机械絮凝池6座(单池3座),总絮凝时间为15.1 min,第一、第二、第三絮凝池速度梯度分别为40~60、25~40、10~25 s^{-1} ,高密度沉淀池1座(分2池),斜管区上升流速为7.93 m/h。

底泥排放及回流泵房1座,污泥螺杆泵6台(4用2备),单泵流量为20~80 m^3/h ,扬程为200 kPa,设计回流污泥比为10%。

⑥ 超滤膜净水间

净水间平面尺寸为54 m×30 m。设置外置式超滤膜8组,超滤膜之前设置自清洗过滤器,其孔径为200 μm ,超滤膜膜孔径为0.03 μm 。为调蓄反冲洗废水流量,设置反冲洗废水池1座;超滤膜出水先进入产水池再进入后续流程。为超滤膜反冲洗服务的空压机房、化学清洗加药间以及膜车间控制室、设备间和综合加药间(化学除磷加药、碳源投加)也设在超滤膜净水间内。

⑦ 臭氧接触池及出水计量槽

臭氧接触池与出水计量槽合建,臭氧接触池为加盖封闭池体,采用曝气方式投加臭氧。出水采用巴氏计量槽计量。臭氧接触池接触时间为30 min,设计臭氧投加浓度为16 mg/L。

⑧ 鼓风机房

鼓风机房平面尺寸为30 m×12 m,与变电站合建。鼓风机房由设备间、风廊、进风塔组成。采用多级离心鼓风机3台(2用1备),全部变频调速,单台风量为6 800 Nm^3/h ,总供气量为13 500 Nm^3/h ,风压为71 kPa。

每台鼓风机出风管上设置出口消音器、逆止阀、手动蝶阀及旁通阀。鼓风机进风口与风廊连接,风廊一侧为进风塔,风廊靠风塔一侧设置空气粗、细过滤器各一道,进风塔上设有进风百叶窗,百叶窗底高于室外地面5 m以上,以尽可能抽取含尘量较低的空气,延长过滤器的更换周期。

鼓风机房设备间内设置5 t电动单梁悬挂起重机一台。为降低噪声,鼓风机房内墙壁做吸音处理。

⑨ 综合加药间

综合加药间设在超滤膜净水间内,包括PAC投加系统和碳源投加系统。

a. PAC投加系统

化学除磷及深度处理絮凝剂采用液体PAC,商

品浓度约为 10% ,投加浓度为 5% 。投药点设置在三级处理高密度沉淀池前端的机械混合池。

b. 碳源投加系统

采用乙酸钠作为补充碳源投加至生物池,投加点为第一缺氧区。根据进水水质及工艺运行情况进行投加。需外加碳源去除的总氮约为 16 ~ 18 mg/L,商品三水乙酸钠固体纯度为 60% ,投加浓度为 10% ,10% 乙酸钠投加量约 1.55 g/L,设气动隔膜计量泵 3 套(2 用 1 备), $Q=1\,000\text{ L/h}$, $H=350\text{ kPa}$ 。

⑩ 臭氧发生器间

臭氧发生器的产量根据水厂中控室提供的流量信号来确定,投加剂量可由操作人员根据水质变化更改设定值,臭氧最大设计投加量为 16 mg/L。臭氧发生器的冷却水采用闭式循环系统,循环水泵采用立式离心泵。

臭氧发生器系统 2 套,单套臭氧额定产量为 20 kg/h。

⑪ 污泥浓缩池及排泥泵房

辐流式浓缩池 2 座,按照 $8\times 10^4\text{ m}^3/\text{d}$ 规模设计。两污泥浓缩池中间设浓缩污泥提升泵房 1 座,平面尺寸为 6.9 m×6.9 m。

浓缩池为中心进泥,上清液由周边环形槽排出,每池上设 1 台耙耙浓缩机。浓缩后的污泥由污泥螺杆泵抽升送入脱水机,上清液排至厂区污水管,回到

粗格栅前的进水井。

主要设计及设备参数:污泥干固量为 9 227 kgDS/d,浓缩前污泥含水率(混合污泥)为 99.5% ,浓缩后污泥含水率为 98% ,污泥固体负荷为 58.74 kgDS/($\text{m}^2\cdot\text{d}$),浓缩池单池直径为 10 m,池边水深为 4.0 m,停留时间为 8.18 h,中心传动耙耙污泥浓缩机 2 台,污泥螺杆泵 3 台(2 用 1 备), $Q=30\text{ m}^3/\text{h}$, $H=250\text{ kPa}$ 。

⑫ 污泥脱水机房

污泥脱水机房 1 座,按照 $8\times 10^4\text{ m}^3/\text{d}$ 规模设计,平面尺寸为 42.6 m×12 m,包括污泥脱水间、值班室、变配电间和污泥卸料间。

主要设计及设备参数:污泥干固量为 9 227 kgDS/d,脱水前污泥含水率为 98% ,脱水后污泥含水率为 80% ,PAM 投加量为 3 ~ 5 kg 干粉/tDS,带式浓缩脱水机系统 2 套,单套处理能力为 30 m^3/h ,污泥产量为 1 tDS/h。絮凝剂制备装置 1 套,制备能力为 10 kg/h (以 PAM 干粉计)。

4 工艺运行效果及经济评价

该污水处理厂于 2014 年 3 月动工,2015 年 8 月通水调试,调试期为 1 个月,2016 年 9 月达标排放。2015 年 9 月—2016 年 9 月的实际运行进、出水水质如表 2 所示。由表 2 可见,六项常规出水水质均满足排放标准要求。

表 2 实际运行进、出水水质

Tab.2 Actual influent and effluent quality

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

项 目	SS		氨氮		TN		BOD ₅		COD		TP	
	进水	出水	进水	出水	进水	出水	进水	出水	进水	出水	进水	出水
2015 年 9 月	113.60	1.70	39.34	0.15	52.99	4.89	173.00	2.00	379.00	11.60	2.89	0.06
2015 年 10 月	109.23	2.29	39.03	0.46	52.06	6.67	164.25	2.50	353.65	13.68	3.90	0.13
2015 年 11 月	119.27	2.83	35.23	0.58	52.41	7.82	172.00	2.50	312.57	10.83	4.66	0.13
2015 年 12 月	125.48	2.74	35.99	0.38	52.77	6.87	167.75	3.25	318.52	12.23	4.93	0.13
2016 年 1 月	127.74	2.32	35.80	0.30	52.43	6.49	170.50	2.75	313.87	11.10	5.18	0.11
2016 年 2 月	122.28	2.07	35.43	0.23	51.74	6.76	166.00	2.25	320.83	12.17	4.80	0.14
2016 年 3 月	120.19	2.13	36.43	0.26	52.79	6.42	171.00	3.00	341.55	13.52	5.14	0.13
2016 年 4 月	117.33	2.50	36.38	0.19	54.69	5.40	167.00	2.50	343.70	13.73	5.76	0.13
2016 年 5 月	115.29	2.81	37.19	0.24	53.11	5.97	167.00	3.25	329.74	13.48	5.68	0.14
2016 年 6 月	122.27	2.73	34.36	0.24	52.54	5.64	169.50	2.75	307.83	15.13	5.21	0.14
2016 年 7 月	119.23	3.00	30.33	0.23	49.09	6.10	168.00	2.50	281.81	13.10	4.67	0.13
2016 年 8 月	112.19	2.77	31.41	0.19	50.39	6.50	162.00	2.80	299.39	12.55	4.05	0.13
2016 年 9 月	113.87	2.97	33.85	0.21	50.78	7.09	166.75	2.00	296.03	13.23	3.66	0.13
平均值	118.30	2.53	35.44	0.28	52.14	6.35	168.06	2.62	322.96	12.80	4.65	0.13

从表 2 可见,进水氨氮月均值在 30 ~ 40 mg/L 之间,出水月均值在 0.1 ~ 0.6 mg/L 之间,平均去除

率在 99% 左右,只要保证充足的溶解氧和污泥浓度,氨氮达标相对比较容易。进水 TN 月均值在 49

~55 mg/L 之间,碳源按照去除 16~18 mg/L 的 TN 投加,出水 TN 月均值在 4~8 mg/L 之间,平均去除率在 88% 左右,能够稳定达标。进水 COD 月均值在 280~380 mg/L 之间,出水月均值在 10~16 mg/L 之间,平均去除率在 96% 左右。进水 TP 月均值在 2~6 mg/L 之间,出水月均值在 0.06~0.14 mg/L 之间,平均去除率在 97% 左右。

从一年的运行效果看,在保证生物脱氮效果的前提下,生物除磷效果较差,必须通过投加 PAC 进行辅助化学除磷。PAC 投加位置为高密度沉淀池之前的混合池,投加浓度为 20 mg/L 左右(有效 Al_2O_3)。

5 结语

采用多段生物法+高密度沉淀池/超滤膜/臭氧氧化消毒深度组合工艺处理市政污水,处理效果好,系统运行稳定,对 COD、氨氮的平均去除率分别达到 96%、99%。通过投加碳源,出水 TN 可以稳定达到 10 mg/L 以下,出水指标均达到北京市《城镇污水处理厂水污染物排放标准》(DB 11/890—2012)表 1 的 A 标准。整个工艺切实可行,为达到类似排放标准的污水厂设计及运行提供了借鉴。

参考文献:

- [1] 杨清,刘琳,郭淑琴. 天津双林污水处理厂设计与Ⅳ类水排放标准改造探讨[J]. 中国给水排水,2016,32(8):59-62.
- [2] 陈小燕. 呼和浩特市某污水处理扩建提标改造工程设计[J]. 中国给水排水,2016,32(16):42-45.



作者简介:李伟(1986—),男,内蒙古乌兰察布人,硕士,工程师,主任工程师,研究方向为污水处理与利用。

E-mail:liwei32466@163.com

收稿日期:2016-11-01

(上接第 55 页)

供样图。

表 2 管道颜色标识

Tab. 2 Pipe color identification

项 目	图例	颜色名称
给水管		绿色 ral 6024
再生水管		蓝色 ral 5017
排水管		蓝色 ral 6027
天然气管道		黄色 ral 1016
热力管道		粉色 ral 4006
消防管道		红色 ral 3001

6 结语

随着管廊建设的大面积铺开,新技术、新工艺的应用,天然气、污水等特殊管道入廊,给管廊设计提出了更高的要求,需要不断探索与研究,完善与改进。

参考文献:

- [1] GB 50838—2015,城市综合管廊工程技术规范[S]. 北

京:中国计划出版社,2015.



作者简介:樊亮亮(1980—),女,湖南临湘人,大学本科,主任工程师,管廊设计所副所长,从事市政及管廊设计工作。

E-mail:7128359@qq.com

收稿日期:2016-07-12