

# 中白工业园一期起步区污水处理站设计

王文相<sup>1</sup> 李涛<sup>2</sup>

1 中国市政工程华北设计研究总院有限公司 2 石家庄污水处理有限公司

DOI:10.12238/jpm.v2i2.3850

**[摘要]** 中白工业园一期起步区污水处理站位于白俄罗斯共和国明斯克州的中国—白俄罗斯工业园内。其进水组成较为复杂,各项水质指标远超国内常规污水处理厂;其出水排入乌沙河,须达到白俄罗斯渔业用水标准。设计结合水质特点,生物处理采用了分段进水多级A/O工艺,深度处理采用了机械混合+机械反应+斜管沉淀+深床滤池的工艺。投产运行后,出水水质达到设计标准。对工艺设计进行了详细阐述,旨在供类似工程参考。

**[关键词]** 白俄罗斯渔业用水标准;分段进水多级AO;深床滤池

中图分类号: TU113 文献标识码: A

## Design of Sewage Treatment Station in the Starting Area of Zhongbai Industrial Park Phase I

Wenxiang Wang<sup>1</sup>, Tao Li<sup>2</sup>

1 China Municipal Engineering North China Design and Research Institute Co., Ltd

2 Shijiazhuang Sewage Treatment Co., Ltd

**[Abstract]** The sewage treatment station of the first phase of the Sino-Belarusian Industrial Park is located in the China-Belarus Industrial Park in the Minsk Region of the Republic of Belarus. Its influent water composition is relatively complicated, and its various water quality indicators far exceed those of conventional domestic sewage treatment plants; its effluent is discharged into the Wusha River and must meet the Belarusian fishery water standard. The design combines the characteristics of water quality, the biological treatment adopts the staged water inflow multi-stage A/O process, and the advanced treatment adopts the process of mechanical mixing + mechanical reaction + inclined tube precipitation + deep bed filter. After being put into operation, the effluent quality reached the design standard. The process design is elaborated in detail, and it is intended to be a reference for similar projects.

**[Key words]** Belarusian fishery water standard; multi-stage AO for sub-inflow; deep-bed filter

## 引言

“一带一路”提出以来,沿线的工程项目陆续开工,此类工程项目与国内情况有所差别。对于我国工程技术人员来说,想要做好“一带一路”项目,须了解工程项目所在地的具体要求,并选取对应的先进的工艺技术。本文以中白工业园一期起步区污水处理站为例,对其工艺设计进行了详细阐述,旨在供污水处理领域类似工程参考。

## 1 工程概况

中白工业园(great stone),全称中国—白俄罗斯工业园,坐落于丝绸之路经济带中贯通欧亚的重要枢纽—白俄罗

斯明斯克州。它是中白合作共建丝绸之路经济带的标志性工程。

园区选址于白俄罗斯共和国明斯克州斯莫列维奇区,距离白俄罗斯首都明斯克市25公里,毗邻国际机场、铁路、柏林—莫斯科的公路干线(E30欧洲高速公路、E28欧洲高速公路),园区定位是以机械制造、电子信息、精细化工、生物医药、新材料、仓储物流为主的高新技术产业园区。

根据园区规划,园区开发公司首先启动了园区市政基础设施的建设。中白工业园一期起步区污水处理站作为园区市政基础设施的重要组成部分,于2016年5月开始建设,2017年5月建设完成投

入运行。该污水处理站总占地面积3公顷,处理能力为 $1.32 \times 10^4 \text{m}^3/\text{d}$ 。<sup>[1]</sup>

## 2 设计水质

根据园区规划,充分考虑污水处理站服务范围包括了中白工业园的工业区和居住区,结合白俄罗斯城镇污水的设计水质标准及经验,经与白俄罗斯公共设施设计院商榷,确定其设计进出水质,见表1。

污水处理站的出水就近排入园区毗邻的乌沙河。依据明斯克州自然资源与环境保护委员会的评定,乌沙河的河道功能定义为渔业养殖,现已无生态容量,因此污水处理站的出水必须达到白俄罗斯渔业用水标准,见表1。

从进水水质可以看出,该污水处理站的设计进水属于典型的高浓度污水,其有机物、无机物、氮磷的含量均非常高,处理难度较大。

从出水水质可以看出,该污水处理站的设计出水标准较高,除COD外,其它指标的排放要求均已比国内现行的《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB18918-2002)的一级A标准严格,已类似国内的地表水环境质量的IV类,其中TN指标 $\leq 5\text{mg/l}$ 已基本达到国内污水处理厂出水的最高要求。

### 3 处理工艺

#### 3.1 水质特性分析

该污水处理站的进水水质配比指标分析如下。

①BOD<sub>5</sub>/COD为0.47,可生化性较好。如何提高BOD<sub>5</sub>、COD的去除率,则需将去除BOD<sub>5</sub>、COD的生物过程与除磷脱氮的生物过程有机统一,选择合适的工艺设计参数。

②BOD<sub>5</sub>/TN为6.4,基本有足够的碳源供反硝化菌利用。如何实现对于TN较高去除率的目标,需选择合适的生物处理工艺模式。考虑进水碳氮比的波动性以及出水TN $\leq 5\text{mg/l}$ 的高标要求,仍需设碳源投加系统,并可在深度处理选择合适的工艺,增强出水达标的保障性。

③BOD<sub>5</sub>/TP为22.5,基本满足生物除磷对碳源的要求。如何实现出水TP $\leq 0.2\text{mg/l}$ 的高标要求,需选择合适的深度处理工艺。

根据水质特点,工艺设计中应将NH<sub>3</sub>-N、TN、TP作为本项目重点考虑的污染物去除指标。加强生物处理工艺能力,适当加长停留时间,增大曝气量,且需采取合理的工艺形式,保证碳源的合理利用和污染物的有效去除。所选深度处理工艺应采取切实有效的措施保证TP的稳定去除。<sup>[2]</sup>

#### 3.2 生物处理工艺

传统意义上的A/A/O工艺即厌氧—缺氧—好氧活性污泥法,即通过厌氧和好氧、缺氧和好氧交替变化的环境完成除磷脱氮反应。该工艺70年代由美国专家在A/O除磷工艺的基础上开发而来,

表1 设计进出水水质

水质指标	COD	BOD <sub>5</sub>	SS	NH <sub>3</sub> -N	TN	TP
进水水质 (mg/l)	960	450	500	56	70	20
出水水质 (mg/l)	70	6	7	0.39	5	0.2
去除率	92.7%	98.7%	98.6%	99.3%	92.9%	99%

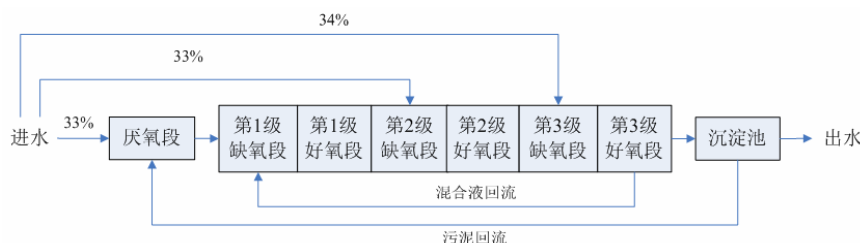


图1 分段进水多级AO工艺流程。

是目前国内外应用最为广泛除磷脱氮工艺。

在这个工艺中,厌氧段用于生物除磷,缺氧段用于生物脱氮,原污水中的碳源物质先进入厌氧段,聚磷菌优先利用污水中的易生物降解物质成为优势菌种,为除磷创造了条件,污水然后进入缺氧段,反硝化菌利用其他可能利用的碳源将回流到缺氧段的硝态氮还原成氮气,达到脱氮的目的。

其特点是厌氧、缺氧和好氧三段功能明确,界线分明,可根据进水条件和出水要求,人为地创造和控制三段的时空比例和运转条件,只要碳源充足,便可根据需要进行,达到比较高的除磷和脱氮效果。

根据设计进水水质和渔业用水标准,本工程进水的TN较高,且去除率也高达92.9%。因此,需选择合适的生物处理工艺模式,从而实现对于TN较高去除率的目标。

目前,多级A/O工艺是使用较多的,针对于进水TN较高或者工程要求TN去除率较高而采用的一种工艺。该工艺共由多级A/O脱氮系统组成,进水分多路分别进入厌氧段和后续多个缺氧段。

本工程选择了3级A/O工艺,最前段设置厌氧段,后续设置3个连续A/O脱氮系统。

约33%进水首先在厌氧段与外回流污泥充分混合,污泥在厌氧段进行释磷反应后,进入第1级缺氧段,利用污水中的碳源对内回流中的硝态氮进行反硝化,然后进入第1级好氧段进行有机物降解、硝化和磷的吸收;约33%的进水直接进入

第2级缺氧段,与来自第1级好氧段的污水混合,为反硝化提供碳源,完成上一级进水产生的硝态氮的反硝化,然后进入第2级好氧段进行处理;剩余的34%的进水直接进入第3级缺氧段,与来自第2级好氧硝化段的污水混合,完成上一级进水产生的硝态氮的反硝化,然后进入第3级好氧段进行处理,第3级好氧段出水部分内回流至第1级缺氧段。

本工程分段进水多级AO工艺流程见图1。

#### 3.3 深度处理工艺

要完全达到渔业用水标准,在生物处理的基础上,还要增加深度处理工艺才能达到出水要求。污水深度处理工艺的目的是进一步去除污水中经生物处理后剩余的污染物质,工艺的选择取决于生物处理出水的水质和所需达到的水质标准。生物处理出水中污染物质为有机物和无机物的混合物,有机物包括细菌、病菌、藻类及原始生物等。不论是有机物还是无机物,根据它们存在于污水中的颗粒的大小又可分为悬浮物( $>1\mu\text{m}$ )、胶体( $1\mu\text{m}\sim 1\text{nm}$ )和溶解物( $<1\text{nm}$ ),一般来说通过混凝沉淀过滤等常规工艺可以去除悬浮物和胶体粒子。溶解性杂质必须通过某些非常规手段才能去除。

从本工程深度处理单元的进、出水水质来看,在碳源充足的条件下,生物处理的过程中NH<sub>3</sub>-N、TN的去除要求基本已经达到,在深度处理工艺的选择中无需特殊考虑,去除的重点是形成SS、BOD<sub>5</sub>、COD以及TP的颗粒状和胶体状杂质。为保证出水稳定达标,推荐采用目前被广泛

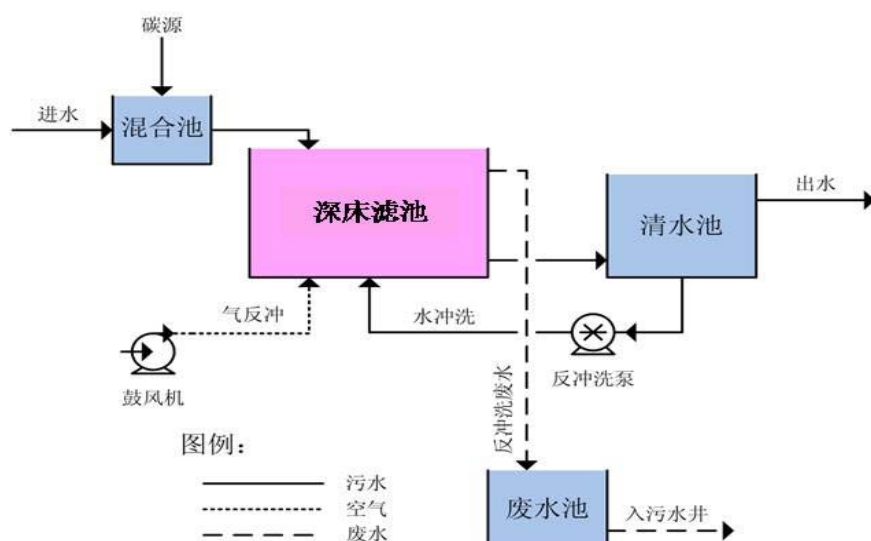


图2 深床滤池工艺流程

认同、且应用较为广泛的混凝沉淀过滤全流程工艺。<sup>[3]</sup>

(1) 混凝沉淀系统。混凝沉淀系统,本工程选择机械混合、机械反应、斜管沉淀的工艺,该工艺目前已经广泛应用于污水的深度处理工程中。

该工艺的混合、反应区域都采用机械搅拌器进行加药混合,并逐级降低搅拌器转速,以保证充分形成大颗粒矾花并使其在进入沉淀池之前不被再次破碎。

为取得更好的沉淀效果,在沉淀区内设置异向流斜管,并在集水区内的每个集水槽底部设有隔板,把斜管部分分成了几个单独的水力区,保证了在斜管下面的水力平衡。沉淀污泥通过刮泥机排出沉淀池。

(2) 过滤。过滤是污水深度处理工艺中最为重要的一道工序,用以除去原水经沉淀后的残留絮体和杂质。在本工程中,由于进水TN较高,过滤工艺不仅需考虑出水悬浮物低于7mg/L、TP低于0.2mg/L的要求,同时需考虑如何利用深度处理构筑物微量去除TN。因此过滤工艺中选择具有反硝化脱氮功能的深床滤池。

深床滤池为降流式重力过滤池,采用2-3毫米粒径的石英砂,其比表面积较大。其滤料深为1.83米,这样深介质的滤床可以避免窜流或穿透现象。介质有很好的悬浮物截留功效,固体物负荷高的特性也延长了滤池工作时间,减少了反

冲洗次数。悬浮物不断的被截留会增加水头损失,因此需要反冲洗来去除截留的固体物。由于固体物负荷高、床体深,因此需要高强度的反冲洗。反硝化滤池采用气、水协同进行反冲洗。反冲洗污水一般返回到前段生物处理单元。

深床滤池在稍作调整后,可以兼有生物脱氮及过滤功能。在冬季反硝化速率降低时,此滤池可兼有把关出水TN的作用。此时深床滤池作为反硝化固定生物膜反应器,采用特殊规格及形状的颗粒介质作为反硝化生物的挂膜介质,同时深床又是硝酸盐( $\text{NO}_3\text{-N}$ )及悬浮物很好的去除构筑物。反硝化反应期间,氮气在反应池内聚集,污水被迫在介质空隙中的气泡周围绕行,缩小了介质的表面尺寸,增强了微生物与污水的接触,提高了处理效果。

深床滤池结构简单实用,集多种污染物去除功能于一个处理单元,包括对悬浮物、TN和TP均有相当好的去除效果。

去除SS及TP: 出水中固体悬浮物含有氮、磷及其他重金属物质,去除固体悬浮物通常能降低1mg/L以上的上述杂质。配合适当的化学处理,能使出水TP稳定降至0.2mg/L以下。深床滤池能轻松满足SS的出水要求。

去除TN: 利用适量优质碳源,附着生长在石英砂表面上的反硝化细菌把 $\text{NO}_x\text{-N}$ 转换成 $\text{N}_2$ 完成脱氮反应过程,经过工程经验和长久的历史数据表明,在前

端硝化反应较完全的情况下,深床滤池的技术可稳定做到出水 $\text{TN} \leq 5\text{mg/L}$ 。在反硝化过程中,由于硝酸盐不断被还原为氮气,深床滤池中会集聚大量的氮气,这些气体会使污水绕窜介质之间,这样增强了微生物与水流的接触,同时也提高了过滤效率。<sup>[4]</sup>

### 3.4 工艺优化措施

分段进水多级AO工艺具有以下优点:①缺氧池—好氧池顺序排列,混合液回流量较传统的AAO工艺小很多,节省能源,降低运行成本;②混合液回流的稀释作用被推迟了,只有最后一级缺氧池的混合液浓度与传统的AAO工艺相同,其余各级缺氧池的混合液浓度均高于此浓度,从而提高了处理效率,节省了生物池池容;③各级缺氧池分别进水,可充分的将进水中的碳源用于硝酸盐的反硝化,提高脱氮率及碳源的利用率,在碳源充足的条件下,理论上脱氮率可高于90%。

该工艺也存在一定的缺点:①缺氧池—好氧池阶段交替存在,缺氧池的空气量的控制较为重要,如不能形成缺氧池,则不能实现预设的脱氮功能;②操作相对于传统的AAO工艺复杂,由于分段进水,进水点较多,因而控制点较多,增加了操作系统的复杂性和调控的难度。

为了尽量克服分段进水多级AO工艺本身的缺点,充分发挥该工艺的优势,本次设计结合国内外的相关研究成果及已采用此工艺的污水处理厂的运行实践,针对影响该工艺处理效果的关键因素,分别提出相应的优化措施如下:

(1) 容积分配比。容积分配比确定的原则是保证每段有足够的硝化和反硝化容量,以合理利用现有的池容。理论上,不同的进水分配比例应采用相应的容积分配比以实现池容的有效利用。根据本工程设计的各级流量分配比例,计算确定各级AO系统的池容,保证每级有足够的硝化和反硝化能力。为提高系统抗水质波动的能力和运行的灵活性,在各级缺氧池末端设置了过渡区,安装搅拌器和曝气设施,可根据需要作为缺氧池或好氧池使用。

(2) 曝气量。在满足硝化反应完成和

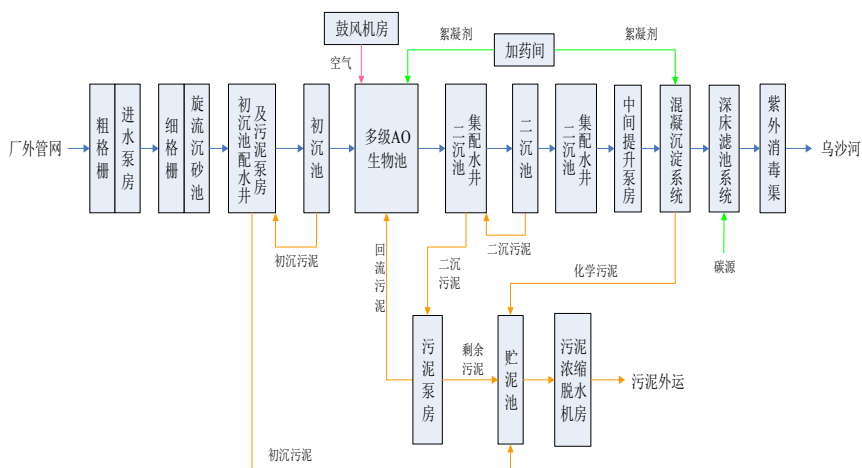


图3 污水处理站工艺流程

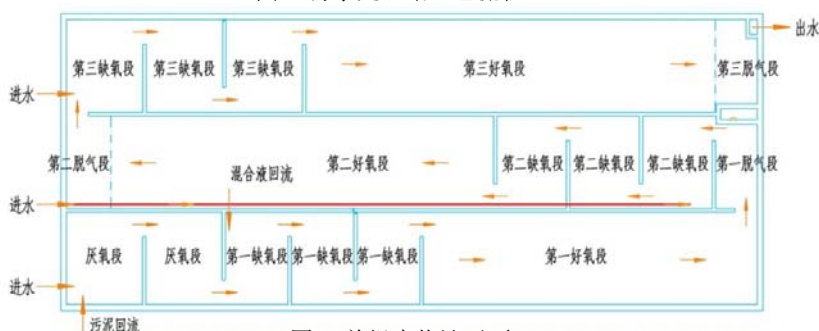


图4 单组生物池平面

剩余有机物去除的情况下,最大程度降低曝气量可使得由好氧池到缺氧池DO的携带量明显减少,可以为反硝化提供良好的缺氧环境并减少缺氧池可快速降解有机碳源的消耗。为了减少由好氧池到缺氧池DO的携带量,各级好氧池曝气头均渐减布置,在好氧池的末端设置脱氧区,即不曝气或少量曝气区域,控制进入到下一级缺氧池首端的DO低于1mg/l,好氧池主体控制DO不低于2mg/l。在各级好氧池内设溶解氧监测,空气支管设空气流量检测和自动调节装置。

(3)污泥回流。污泥回流比的大小直接影响着第一级缺氧池反硝化容量的充分利用及系统出水总氮浓度,同时,也会影响二沉池的沉淀效果和生物池内污泥浓度。污泥回流比过大或过小都会影响到系统的处理效果,本工程控制污泥回流比为100%。

(4)混合液回流。本工程若采用标准的AAO工艺,若要使出水TN达标,混合液回流太高,而此工艺采用三级缺氧池—好氧池顺序排列,大大降低了混合液内

流量,经计算,本工程控制混合液内回流比为100%~200%。

#### 4 设计参数

中白工业园一期起步区污水处理站工艺流程见图3。

核心处理单元设计参数如下。

(1)初沉池。初沉池设计为室外半地下式圆形钢筋混凝土池体,设置有2座,直径为20米。表面负荷为1.11m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>.h,有效水深为4米,沉淀时间为2.8小时。

用中心传动刮泥机去除沉积物,每座初沉池设置1台,其直径为20米,电机功率1.1千瓦。

(2)多级AO生物池。生物池设计为室外半地下式矩形钢筋混凝土池体,设置有1座分为2组,总池容13750m<sup>3</sup>,总停留时间25小时,有效水深5米,MLSS为4000mg/l。生物池分为10个工段,厌氧段、第一缺氧段、第一好氧段、第一脱气段、第二缺氧段、第二好氧段、第二脱气段、第三缺氧段、第三好氧段、第三脱气段。二沉池至厌氧段污泥外回流比为100%,第三脱气段至第一缺氧段混

合液回流比为100%~200%。

厌氧段进水流量比例33%,总池容1100m<sup>3</sup>,停留时间2小时。每组设2台潜水搅拌机,N=3.5kW,D=0.5m。

第一缺氧段进水自厌氧段,总池容1265m<sup>3</sup>,停留时间2.3小时。每组设3台潜水搅拌机,N=3.5kW,D=0.5m。

第一好氧段进水自第一缺氧段,总池容2255m<sup>3</sup>,停留时间4.1小时。标准状况下空气量2081Nm<sup>3</sup>/h,设860个盘式曝气器。

第一脱气段进水自第一好氧段,总池容275m<sup>3</sup>,停留时间0.5小时。每组设1台潜水搅拌机,N=3.5kW,D=0.5m。

第二缺氧段进水流量比例33%和第一脱气段出水,总池容1430m<sup>3</sup>,停留时间2.6小时。每组设3台潜水搅拌机,N=3.5kW,D=0.5m。

第二好氧段进水自第二缺氧段,总池容2585m<sup>3</sup>,停留时间4.7小时。标准状况下空气量2342Nm<sup>3</sup>/h,设968个盘式曝气器。

第二脱气段进水自第二好氧段,总池容275m<sup>3</sup>,停留时间0.5小时。每组设1台潜水搅拌机,N=3.5kW,D=0.5m。

第三缺氧段进水流量比例34%和第二脱气段出水,总池容1540m<sup>3</sup>,停留时间2.8小时。每组设3台潜水搅拌机,N=3.5kW,D=0.5m。

第三好氧段进水自第三缺氧段,总池容2750m<sup>3</sup>,停留时间5小时。标准状况下空气量2507Nm<sup>3</sup>/h,设1036个盘式曝气器。

第三脱气段进水自第三好氧段,总池容275m<sup>3</sup>,停留时间0.5小时。每组设1台潜水搅拌机,N=3.5kW,D=0.5m。

(3)二沉池。二沉池设计为室外半地下式圆形钢筋混凝土池体,设置有4座,直径为20米。表面负荷为0.88m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>.h,有效水深为4米,沉淀时间为4小时。

用中心传动刮泥机去除沉积物,每座初沉池设置1台,其直径为20米,电机功率1.1千瓦。

(4)混凝沉淀系统。混合絮凝沉淀池设计为室内半地下式矩形钢筋混凝土池体,设置有1座分为2组。每组设1格机械混



合池,停留时间为1分钟;机械絮凝池分3级,每组设3格,总停留时间为15分钟;每组设1格斜板沉淀池,板内上升流速为 $2.05\text{mm/s}$ ,液面负荷为 $6.41\text{m}^3/\text{m}^2\cdot\text{h}$ 。

每格机械混合池设悬挂式搅拌器1台, $N=4\text{kW}$ ;每格机械絮凝池设浆叶式搅拌器1台,3级搅拌器功率递减,分别为 $N=0.3\text{kW}$ 、 $N=0.12\text{kW}$ 、 $N=0.02\text{kW}$ ,且均为变频;每格斜板沉淀池设钢丝绳刮泥机1台,斜板1组。

(5)深床滤池系统。深床滤池设计为室内半地下式矩形钢筋混凝土池体,包括4格滤池、1个管廊间、1个清水池、1个反冲洗废水池、1个反冲洗鼓风机房。滤池过滤面积为 $141.52\text{m}^2$ ;清水池为滤池反冲洗提供清水,容积为 $240\text{m}^3$ ,水冲强度为 $15\text{m}^3/\text{m}^2\cdot\text{h}$ ;反冲洗废水池接收反冲洗废水,容积为 $210\text{m}^3$ ;反冲洗鼓风机房位于清水池上方,为滤池反冲洗提供空气,气冲强度为 $90\text{m}^3/\text{m}^2\cdot\text{h}$ 。

每座滤池设滤料1套,承托层1套,滤砖1套,气水反洗系统1套,阀门系统1套;清水池内设潜水离心泵2台,1用1备, $Q=518\text{m}^3/\text{h}$ , $H=9.14\text{m}$ , $N=22\text{kW}$ ;废水池内设潜水离心泵2台,1用1备, $Q=86\text{m}^3/\text{h}$ , $H=7.6\text{m}$ ,

$N=3\text{kW}$ ,并设潜水搅拌器1台,防止废水沉积;反冲洗鼓风机房设鼓风机3台,2用1备, $Q=27\text{m}^3/\text{min}$ , $P=65.5\text{kPa}$ , $N=45\text{kW}$ ,并设空压机2套,1用1备,为气动阀门提供气源。

## 5 总结

中白工业园一期起步区污水处理站于2017年5月投入试运行,2018年完成了验收,作为中白工业园一期起步区市政基础设施建设项目的重要组成部分,荣获了“白俄罗斯杰出工程奖”。近年来,其出水水质完全能够达到白俄罗斯渔业用水标准。总结如下:

(1)污水处理站的设计进水属于典型高浓度污水,其有机物、无机物、氮磷的含量均非常高。设计出水须达到白俄罗斯渔业用水标准,超国内现行污水排放标准,类似国内的地表水环境质量标准的IV类,其中TN指标 $\leq 5$ 已达到国内污水处理厂出水的最高要求。

(2)结合本工程进出水去除率非常高的要求,二级生物处理选择了3级A/O工艺,对高有机物、高TN的污水处理具有显著效果,且工程投资非常可控。

(3)深度处理选择了“机械混合+机

械反应+斜管沉淀+深床滤池”的全过程流线,占地较少,处理效果较优。其中深床滤池不仅能够满足出水悬浮物低于 $7\text{mg/l}$ 、TP低于 $0.2\text{mg/l}$ 的要求,同时能够微量去除TN,对最终的出水达标具有非常好的保障性。

## [参考文献]

[1]王文相.石家庄市桥西污水处理厂一期升级改造工程设计[J].中国给水排水,2016,32(16):50-54.

[2]王姣等.基于ATV标准的分段进水多级A/O工艺设计优化[J].中国给水排水,2012,28(20):39-42.

[3]王文相,胡淳良,徐峥,等.芦村污水处理厂升级改造及四期工程深度处理工艺设计[J].中国给水排水,2010,26(22):30-34.

[4]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.

## 作者简介:

王文相(1983—),男,汉族,河南安阳人,硕士,高级工程师,注册公用设备工程师(给水排水),主要从事给排水设计等工作,参与设计的工程曾在国家级以及天津市级的勘察设计评选中获奖。