

安徽黟县改扩建项目工程案例

黄鸽黎

北京博汇特环保科技股份有限公司, 中国·北京 100102

摘要: 黟县污水处理厂位于县城城南漳河下游良种场南侧, 一期工程规模 1.0 万 m³/d, 改造前采用“一级处理 + 卡鲁塞尔氧化沟 + 絮凝沉淀 + 活性砂滤池 + 紫外线消毒”工艺; 二期扩建规模 1.0 万 m³/d, 采用“一级处理 + AO 生化处理 + 高效沉淀池 + 活性砂滤池 + 次氯酸钠消毒”工艺。一期改造将氧化沟曝气系统更换为 BioDopp 微孔曝气系统, 二期新建生化池同样采用该系统。改造后全厂出水可达 GB18198-2002 一级 A 标准。本文从工程设计、占地、能耗及运行效果等方面进行分析。

关键词: 改扩建; BioDopp 生化池; 工程设计

Anhui Yixian Expansion and Renovation Project Case

Huang Geli

Beijing BHT Environmental Technology Co., Ltd., China Beijing 100102

Abstract: Yixian sewage treatment plant site is located in the south of the lower reaches of the Zhanghe River in the county seat, the scale of the first phase of the project is 10,000 m³/d, before the transformation, the "primary treatment + Carrousel oxidation ditch secondary treatment + flocculation precipitation, activated sand filter tertiary treatment + ultraviolet disinfection" process, the scale of the second phase expansion project is 10,000 m³/d, and the sewage adopts the process combination of "primary treatment + AO secondary biochemical treatment + high-efficiency sedimentation tank + activated sand filter + sodium hypochlorite contact disinfection". The idea of the first phase of the renovation is to replace the aeration system of the Carrousel oxidation ditch, adopt the BioDopp microporous aeration system to increase the treatment scale of the sewage plant during the renovation, and similarly, the second phase of the new biochemical tank also adopts the BioDopp microporous aeration system. After transformation, the total effluent discharge limit of the whole site can reach the first-class A standard of the "Urban Sewage Treatment Plant Pollutant Discharge Standard" (GB18198-2002). This paper analyzes the design, land occupation, energy consumption, operation effect and carbon emissions of the first and second phase water plant renovation projects.

Keywords: Renovation and expansion projects; BioDopp biochemical tank; Engineering design

1 工程概况

黟县污水处理厂选址位于黟县县城城南漳河下游良种场南侧, 一期工程占地约 2.0 公顷。本次改扩建工程位于现状污水处理厂内, 利用厂区现状空置土地进行建设, 不需新增建设用地。本项目设计总规模为 20000m³/d, 分为一期 10000m³/d 氧化沟改造生化池和二期新建 10000m³/d BioDopp 生化池。氧化沟改造生化池设计为双线, 单线处理规模 5000m³/d; 二期新建 BioDopp 生化池设计为单线, 处理规模为 10000m³/d。

2 设计条件

2.1 设计水质

本方案设计进水水质和出水水质如表 1 所示。

表1 设计进出水水质

处理单元	CODCr	BOD5	NH3-N	TN	TP	SS	pH
	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	——
进水水质	300	150	30	35	4	200	6~9
出水水质	50	10	5 (8)	15	1.0	20	6~9

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

2.2 工艺流程

污水经粗格栅去除漂浮物后进入提升泵房, 经潜污泵提升后通过细格栅和旋流沉砂池进行预处理, 去除细小悬浮物及砂粒。预处理后的污水与回流污泥进入一期氧化沟及二期 A²O 生化组合池, 通过微生物代谢降解污染物; 混合液经二沉池泥水分离后, 上清液进入深度处理单元, 经

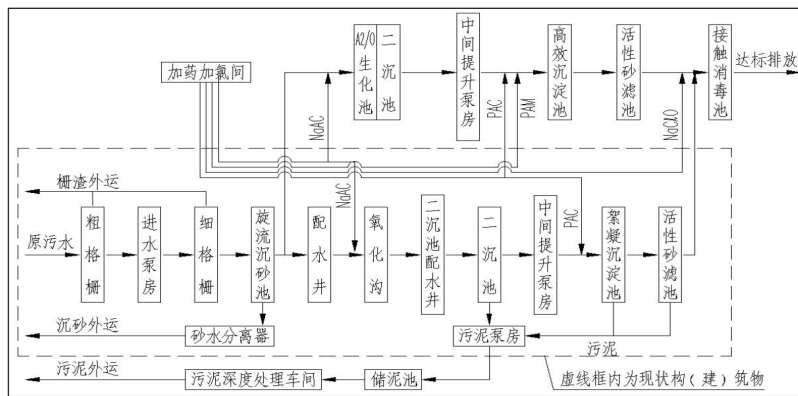


图1

混凝沉淀、过滤和接触消毒后，排入漳河。

栅渣经螺旋输送压实后与沉砂一并外运处置。剩余污泥经机械浓缩、深度脱水 and 好氧发酵后外运。污泥处理产生的滤后液、冲洗废水及生活污水汇集至进水泵房，随市政污水一并处理。

工艺流程详见图 1。

3 工艺设计

3.1 粗格栅及进水泵房（构筑物利旧，设备更新）

原有粗格栅设备老化严重，拟更换为钢丝牵引式格栅除污机。一期进水泵房设离心式潜污泵 3 台（2 用 1 备，1 台变频）， $Q=350\text{m}^3/\text{h}$ ， $H=12.3\text{m}$ 。扩建后总规模达 2.0 万 m^3/d ，新增潜污泵 2 台，与一期合计 5 台（4 用 1 备），型号保持一致。

主要设备：钢丝绳牵引式格栅除污机 2 台，格栅渠 $B=900\text{mm}$ ，栅条间隙 $b=20\text{mm}$ ，安装角度 75° ，栅前水深 $H=900\text{mm}$ 。

3.2 细格栅及旋流沉砂池（构筑物利旧，设备更新）

原有细格栅渠 2 条，与旋流沉砂池合建，拟更换为孔板式格栅除污机。细格栅除污机 2 套，设计流量 $Q_s=625.0\text{m}^3/\text{h}$ ，孔隙直径 $=5\text{mm}$ ，安装角度 65° ，栅前水深 $H=1050\text{mm}$ ，格栅宽度 $B=800\text{mm}$ ，过栅流速 $V=0.7\sim 1.0\text{m}/\text{s}$ ，含配套溜槽、冲洗及控制系统。

旋流沉砂池设备：沉砂池搅拌机 2 台， $n=12\sim 20\text{r}/\text{min}$ ；罗茨鼓风机 2 台， $Q=2.0\text{m}^3/\text{h}$ ， $P=39.2\text{kPa}$ ；砂水分离器 1 台。

3.3 氧化沟改造（构筑物利旧，设备更新）

一期工程采用改良型卡鲁塞尔氧化沟，曝气设备为倒伞型表面曝气机，共 2 座，单座处理能力 0.5 万 m^3/d 。倒伞型表面曝气机充氧效率低、曝气量控制精度差，本工程将其改造为可提升微孔曝气软管。

(1) 好氧池曝气系统：

设备类型：微孔曝气软管。

设计参数：曝气量 $0.8\text{ m}^3/\text{h}\cdot\text{m}$ ，6m 水深氧利用率（清水）不低于 50%，本项目在污水按 $\geq 22\%$ 考虑。单池总曝气服务面积： 775.0m^2 ，曝气管总长 3710m，配套相应的固定装置、阀门组件及水平、上下调节装置等。

(2) 混合液回流系统（空气推提系统）：

设备数量：共计 4 套（单池 2 套），其中小气提 1 套，大气提 1 套。

3.4 2# 二沉池刮泥机更换

一期设中心进水、周边出水圆形辐流式二沉池 2 座，单池池径 24.0m，处理能力 0.5 万 m^3/d ，池内设周边传动全桥式刮泥机，本次整体更换。刮泥机 1 套， $D=24.0\text{m}$ ，周边线速度 $1\sim 2\text{m}/\text{min}$ ，含中心稳流筒、浮渣挡板、撇渣斗等。

3.5 二沉池配水井及污泥泵房设备更换

回流污泥泵：无堵塞可提升离心式潜污泵 2 台（1 用 1 备，变频）， $Q=416.7\text{m}^3/\text{h}$ ， $H=5.4\text{m}$ 。剩余污泥泵：无堵塞可提升离心式潜污泵 2 台， $Q=15\text{m}^3/\text{h}$ ， $H=10\text{m}$ 。

3.6 A²O 生化组合池

二期扩建生化处理采用一体式组合 A²O 生化反应池，集低通气量曝气、新型泥水分离、好氧气提循环推流及精确溶氧控制等技术优势于一体。

(1) 构筑物：

设计流量： $Q=416.7\text{m}^3/\text{h}$ 类型：钢筋砼结构数量：1 座；

平面尺寸： $46.00\times 34.00\text{m}$ ；

池深： $H=7.0\text{m}$ （有效水深 6.0m）。

总有效池容： 8330.1 m^3 ，分区情况如下：厌氧选择区： 206.4m^3 ；厌氧区： 825.6m^3 ；缺氧区： 1947.0m^3 ；好氧区： 2794.5m^3 ；沉淀区： 2556.6m^3 。

水力停留时间： $t=13.86\text{h}$ ，分区情况如下：厌氧选

择区: 0.50h; 厌氧区: 1.98h; 缺氧区: 4.67h; 好氧区: 6.71h。

设计参数: 泥龄 $\theta_c \approx 18.95d$ 混合液浓度: $MLSS=4500mg/l$ (最高可按 $5000\sim 6000mg/l$ 运行) 污泥回流比: $20\sim 150\%$; 硝化液回流比: $200\sim 500\%$, 沉淀区设计参数: 沉淀池表面负荷 $0.945m^3/m^2 \cdot h$ 。

(2) 主要设备:

A^2O 生化池曝气系统:

设备类型: 复合材料分散曝气管设备数量: 1套。

设计参数: 曝气量 $0.8 m^3/h \cdot m$, 氧利用率(清水)不低于 50% , 本项目在污水按 35% 考虑。单池总曝气服务面积: $1440m^2$, 曝气管总长 $1836m$, 配套相应的固定装置、阀门组件及水平、上下调节装置等。

沉淀池: 采用周进周出矩形沉淀池, 使用布水器和一定的布水间距保证布水均匀, 1套双跨的桁车式吸刮泥机, 桁车桥架上安装污泥回流泵, 设计参数: 流量 $Q=100m^3/h$, 扬程 $H=4.0m$; 设备数量: 4台。

混合液回流系统(空气提推系统):

设备数量: 2套(其中小气提1套, 用于硝化液回流; 大气提1套, 用于好氧区内循环)。

3.7 中间提升泵房

中间提升泵房将二级处理出水提升至深度处理构筑物, 满足全厂水力高程要求。因一期中间泵房需拆除用于二期高效沉淀池建设, 设计一、二期合用, 与 A^2O 生化组合池合建以节省用地。

(1) 构筑物:

设计流量: $Q=1250.0m^3/h$, 类型: 半地下式泵站, 地下钢筋混凝土结构、地上单层框架结构数量: 1座, 平面尺寸: $8.6 \times 6.4m$ (含阀门井) 池深: $5.3m$ (不含上部建筑)。

(2) 主要设备:

①潜污泵, 设备类型: 无堵塞、可提升离心式潜污泵设备数量: 4台(变频, 3用1备), 流量: $Q=420m^3/h$, 扬程: $H=7.0m$, ②电动葫芦, 设备类型: 单轨电动葫芦设备台数: 1套, 设计参数: 起重量 $2T$, $H=10.0m$ 。

3.8 高效沉淀池

混凝沉淀采用集加药、混合、絮凝、沉淀于一体的高效沉淀池, 具有管理便利、效率高、产水量大、适应性强、抗冲击负荷强等优点。设2组合建。

(1) 构筑物:

设计流量: $Q=625.0m^3/h$, 类型: 半地下式钢筋砼

结构数量: 1座(分为2组), 平面尺寸: $L \times B=16.60 \times 13.05m$ (高效沉淀池 $\Phi=6.0m$) 池深: $H=7.00m$ (高效沉淀池有效水深 $5.70m$)。

设计参数: 混合区反应时间最高时 $1.73min$, 平均时 $2.59min$; 絮凝区反应时间最高时 $10.00min$, 平均时 $15.00min$; 沉淀区水力负荷最高时 $10.11m^3/(m^2 \cdot h)$, 平均时 $6.74m^3/(m^2 \cdot h)$ 。

(2) 主要设备:

①快速混合器搅拌机, 设备类型: 折板桨叶搅拌机数量: 2台, 设计参数: 桨叶直径 $\Phi=673mm$, 转速 $60rpm$; ②絮凝反应搅拌机, 设备类型: 折板桨叶搅拌机数量: 2台, 设计参数: 桨叶直径 $\Phi=1430mm$, 转速 $36rpm$; ③刮泥机, 设备类型: 中心传动污泥浓缩机数量: 2台, 设计参数: $\Phi=6.0m$, 周边线速度 $2.5 \sim 5m/min$; ④斜管填料, 设备类型: 蜂窝斜管, 设备数量: 面积 $61.8m^2$ (单组 $30.9m^2$), 设计参数: 斜管管径: $\phi=80mm$, PP材质, 壁厚 $\delta=0.8\sim 1mm$, $a=60^\circ$, 斜长 $L=1.0m$; ⑤集水槽, 设备类型: 成品不锈钢出水槽(含出水三角堰)设备数量: 16套, 设备规格: $L \times B \times H=2400 \times 300 \times 400$; ⑥回流污泥泵; 设备类型: 螺杆泵, 数量: 3台(2用1备, 变频), 设计参数: $Q=15m^3/h$, $P=3bar$; ⑦剩余污泥泵, 设备类型: 螺杆泵, 数量: 2台(互为备用)设计参数: $Q=15m^3/h$, $P=3bar$; ⑧电动葫芦, 设备类型: 单轨电动葫芦, 设备台数: 1套, 设计参数: 起重量 $1T$, $H=10.0m$ 。

3.9 活性砂滤池及接触消毒池

受用地条件限制, 深度处理活性砂滤池与接触消毒池合建, 巴氏计量槽设于消毒池内, 多池共壁节省占地。

(1) 构筑物:

活性砂滤池(含碳源投加混合池), 功能: 通过过滤进一步去除污水中的 SS 、 TP , 另投加碳源在混合池内通过机械搅拌充分混合后在反硝化菌的作用下进一步脱除总氮。设计流量: $Q_{max}=625.0m^3/h$, 类型: 半地下式钢筋砼结构, 数量: 1座(滤池部分分为2格)平面尺寸: $L \times B=15.15 \times 11.00m$, 池深: 混合池 $H=4.40m$ (有效水深 $3.75m$), 活性砂滤池 $H=6.50m$ (有效水深 $5.70m$), 砂床高度: $2.5m$, 有效过滤面积: $6.0m^2 \times 16=96.0m^2$ (单组有效过滤面积 $6.0m^2$), 有效砂床体积: $96.0m^2 \times 2.5m=240.0m^3$, 水力负荷: 平均时 $4.34m^3/m^2 \cdot h$, 最大时 $6.51m^3/m^2 \cdot h$, 砂滤反洗水发生量: $29.17\sim 41.67m^3/h$ (平均流量, 反洗水量 $7\%\sim 10\%$)。

接触消毒池, 功能: 滤池出水在消毒池中与投加

的消毒剂充分混合接触,以杀死污水中的致病微生物和粪大肠菌群,消毒后的污水达标排放。设计流量: $Q_{\max}=1250.0\text{m}^3/\text{h}$ 类型:半地下式钢筋砼结构,数量:1座,平面净尺寸: $L\times B=12.80\times 11.00\text{m}$ (含巴氏计量槽)池深: $H=5.60\text{m}$ (有效水深 5.05m),设计参数:接触停留时间 30.01min (含尾水排放管内流行时间)。

(2) 主要设备:

活性砂滤池,①快速混合搅拌机,设备类型:折板桨叶搅拌机设备数量:2套,设计参数:叶片 $D=650\text{mm}$,转速 132rpm ,②连续砂滤器,设备类型:一体化布水、气提装置设备数量:16套,设计参数:单套过滤面积 6.0m^2 ,有效高度 2.5m 。

接触消毒池:

①巴氏计量槽,设备类型:标准巴歇尔计量槽(含明渠流量计)设备数量:1套,设计参数:流量范围: $45\sim 3060\text{m}^3/\text{h}$ 。

3.10 鼓风机房

建设用地不足,鼓风机房与二期 A^2O 生化组合池合建(置于池顶),节约占地和造价。

(1)建筑物,型式:单层框架结构,数量:1座(与 A^2O 生化组合池),平面尺寸: $19.20\times 7.40\text{m}$ (建筑面积: 142.08m^2)。

(2) 主要设备:

①离心鼓风机A(用于二期新建 A^2O 生化池曝气)设备类型:悬浮式离心风机,设备数量:3台(2用1备,带变频)设计参数:风量 $Q=25\text{m}^3/\text{min}$,风压 $P=75\text{kPa}$,②离心鼓风机B(用于一期工程氧化沟改造后曝气),设备类型:悬浮式离心风机,设备数量:3台(2用1备,带变频)设计参数:风量 $Q=28.0\text{m}^3/\text{min}$,风压 $P=45\text{kPa}$ 。

4 电耗药耗分析

电耗和药耗是衡量污水处理厂运行效能的核心指标。本项目通过氧化沟曝气系统改造及新建 A^2O 生化池优化了处理工艺,基于设备选型与运行参数分析能耗物耗如下:

4.1 电耗

全厂电耗分三阶段:主处理阶段(生化系统)为主要耗能单元,鼓风机占44%(持续曝气动力),潜水搅拌机及推流设备占13%;预处理阶段占21%(粗细格栅、沉砂设备及潜污泵);后处理阶段(污泥处理)电耗占比较低。

改造前后对比:改扩建后,全厂吨水电耗由改造前的 $0.13\text{kW}\cdot\text{h}/\text{m}^3$ 上升至 $0.16\text{kW}\cdot\text{h}/\text{m}^3$,增幅约为23%。

原因分析:虽然二期新建 A^2O 池采用了高效的BioDopp

微孔曝气系统,但为了满足一级A排放标准对总氮(TN)的去除要求(设计出水 $\text{TN}\leq 15\text{mg}/\text{L}$),生化段的曝气量和水力停留时间有所增加;同时,深度处理段新增了中间提升泵房和高效沉淀池的回流泵等设备,导致整体电耗较改造前有所上升。

4.2 药耗

本项目主要投加药剂包括外加碳源(葡萄糖)、混凝剂(聚合氯化铝PAC+聚丙烯酰胺PAM)及消毒剂(次氯酸钠)。

得益于工艺优化,改扩建后药耗显著降低。吨水药剂总用量由 $0.6\text{kg}/\text{m}^3$ 降至 $0.3\text{kg}/\text{m}^3$,节省了50%。

碳源投加量减少:二期 A^2O 生化池及活性砂滤池具备良好反硝化脱氮环境,活性砂滤池在深度去除SS的同时强化反硝化作用,提高总氮去除率,降低对外加碳源依赖。

除磷药剂减少: $\text{A}^2\text{O}+$ 高效沉淀池对磷的去除效率提升,降低出水磷负荷,减少后续化学除磷对混凝剂的需求。

5 工程投资及成本分析

本项目作为改扩建工程,充分利用了现状厂区的空置土地及部分利旧构建筑物,有效控制了征地与土建成本。

作为改扩建工程,本项目充分利用现状厂区空置土地及利旧构建筑物,有效控制征地与土建成本。工程投资主要包括设备购置费(鼓风机、微孔曝气管、高效沉淀池设备、脱水机等)、土建工程费(二期生化池、高效沉淀池、滤池等新建构建筑物)及安装工程费。

工程投资主要包括设备购置费(鼓风机、微孔曝气管、高效沉淀池设备、脱水机等)、土建工程费(二期生化池、高效沉淀池、滤池等新建构建筑物)及安装工程费。

电费成本:虽然吨水电耗有所上升($0.16\text{kW}\cdot\text{h}/\text{m}^3$),但通过采用悬浮离心鼓风机等高效节能设备,一定程度上平衡了能耗成本。

药剂成本:得益于药耗的大幅下降(节省50%),药剂成本显著降低。

6 结语

工艺可行性:一期氧化沟微孔曝气改造+二期新建 A^2O 生化池组合工艺,结合高效沉淀池与活性砂滤池深度处理,解决了用地紧张难题,实现全厂 $2.0\text{万}\text{m}^3/\text{d}$ 处理规模及一级A出水标准。

运行效能:工艺运行稳定,抗冲击负荷能力强。虽因高标准脱氮除磷要求导致吨水电耗略升(至 $0.16\text{kW}\cdot\text{h}/\text{m}^3$),但高效设备控制了能耗增幅。

经济与环境效益：提升出水水质的同时，药剂消耗节省 50%，降低运行成本，减少药剂生产与投加环节的碳足迹。

示范意义：在用地受限的改扩建项目中，通过精准曝气控制与工艺组合，可在满足高标准排放的同时实现节能降耗与低碳运行。

参考文献：

[1] 陈娟琴. 污水处理厂改扩建工程施工技术要点[J].

石材, 2024(06): 126-128.

[2] 张融. 污水处理厂存量项目改扩建工程 PPP 咨询案例浅析[J]. 中国工程咨询, 2018(09): 100-102.

[3] 马利英. H 市污水处理厂改扩建项目可行性研究[D]. 青岛: 山东科技大学, 2018.

作者简介：黄鸽黎（1992-），女，汉族，山西省运城市人，硕士，环境保护中级，研究方向：环境工程。