

设计经验

DOI: 10. 19853/j. zgjsps. 1000-4602. 2025. 06. 007

工业污水处理厂集约式工程设计

刘冰玉, 石兰兰, 王艳, 刘伟, 吴云生, 黄文涛
(北控水务<中国>投资有限公司, 北京 100102)

摘要: 广东省某以处理印刷线路板为主的工业园区污水处理厂包括含镍废水处理系统和综合废水处理系统,主要污水处理工艺均为“前物化反应+水解酸化+二级AO+MBR+后物化反应”。在用地面积紧张、用地红线进一步缩小的条件下,对处理构筑物进行平面合建以及竖向叠建,最终形成综合废水处理系统(事故池、调节池、前物化反应池、生化反应池、后物化反应池),含镍废水处理系统为一体式处理构筑物的布局。地上式工业污水处理厂的拼叠式设计,在满足复杂处理系统和工艺流程的前提下,大大缩减了用地面积;工程布局便于日常运行维护,可为污水处理厂尤其是工业污水处理厂的集约式布局提供借鉴。

关键词: 工业污水处理厂; 集约式; 合建; 叠建; 一体式处理构筑物

中图分类号: TU992 **文献标识码:** B **文章编号:** 1000-4602(2025)06-0046-07

Intensive Engineering Design for Industrial Wastewater Treatment Plant

LIU Bing-yu, SHI Lan-lan, WANG Yan, LIU Wei, WU Yun-sheng, HUANG Wen-tao
(Beijing Enterprises Water <China> Investment Co. Ltd., Beijing 100102, China)

Abstract: The wastewater treatment system of an industrial park wastewater treatment plant in Guangdong Province comprises two subsystems: one for nickel-containing wastewater and another for comprehensive wastewater. The primary treatment process employed is pre-physicochemical reaction, hydrolytic acidification, secondary AO, MBR and post-physicochemical reaction. Given the constraints of limited footprint area and the further reduction of the boundary line, the treatment structures were co-constructed in both planar and vertical configurations. The comprehensive wastewater treatment system comprises five water treatment structures: emergency tank, regulation tank, pre-physicochemical reaction tank, biochemical tank, and post-physicochemical reaction tank. The nickel-containing wastewater treatment system was designed as an integrated treatment structure. The innovative layered design of the above-ground industrial wastewater treatment facility significantly reduced footprint area while accommodating the complex treatment system and technical flow process. The project layout facilitates daily operation and maintenance, and serves as a valuable reference for the intensive design of wastewater treatment plants, particularly those dedicated to industrial wastewater treatment.

Key words: industrial wastewater treatment plant; intensive form; co-construction; layered construction; integrated treatment structure

基金项目: 国家重点研发计划项目(2016YFC0401103)

通信作者: 石兰兰 E-mail: shilanlan@bewg.net.cn

随着国家对环保的重视,尤其是对工业企业生产废水污染水环境的重视,工业污水处理厂的建设数量越来越多。《城市排水工程规划规范》(GB 50318—2017)规定了城市污水处理厂规划用地指标,但越来越高的出水水质要求使得污水处理厂较难满足此用地指标,城市污水集中处理需求与城市用地紧张的矛盾亟需通过推动污水处理厂集约化建设来解决。

当前水处理领域已有一些用地集约的思路^[1-5],如地下式污水处理厂具备集约、占地面积小、环境友好等特点,但存在建设和运维成本高、安全风险较大等不足^[6-10],且基于工业废水污染因子复杂、部分介质甚至易燃易爆等实际情况,其处理流程、运营管理较生活污水处理厂复杂,安全隐患也更大,这些因素导致地下式污水处理厂无法在工业污水处理领域进行推广。

广东省某工业园区以印刷线路板企业为主,园区污水处理厂设计规模为 $3.5 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$,接收的生产废水中含镍、铜、铬、锌等重金属络合物以及难降解COD物质,且水质、水量存在一定波动。该污水厂水质复杂,可用地面积小,且在项目落地过程中用地红线进一步缩小,使得实际用地指标仅为 $0.89 \text{ m}^2/(\text{m}^3 \cdot \text{d}^{-1})$ 。为满足污水处理要求并确保尾水达标,在常规地上污水处理厂布置形式的基础上,积极汲取地下污水处理厂布置紧凑等优点,大胆尝试建(构)筑物集约设计,将综合废水处理系统和含镍废水处理系统平面布局合建、竖向高程叠建,最大限度地节省用地,以期为其他工艺复杂的地上式污水处理厂设计提供参考。

1 工程概况

该工程按照进水中一类污染物浓度将污水处理系统分为含镍废水处理系统和综合废水处理系统,前者设计规模 $1\,000 \text{ m}^3/\text{d}$,收集工业园区内镍浓度较高的废水(含镍废水);后者设计规模 $35\,000 \text{ m}^3/\text{d}$ (粗格栅及提升泵房、事故池、细格栅、调节池、前物化处理系统为 $34\,000 \text{ m}^3/\text{d}$,其他处理构筑物为 $35\,000 \text{ m}^3/\text{d}$),接收工业园区内其他废水及含镍废水预处理出水。

该工程出水水质常规污染物执行《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB 18918—2002)的一级A标准和广东省《水污染物排放限值》(DB 44/26—

2001)的较严值,重金属执行广东省《电镀水污染物排放标准》(DB 44/1597—2015)表2中珠三角排放限值。

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 ⁻¹ | | | | | | | | | | |
|--------------------|-----|------------------|-----|----|-----|------|------|------|------|------|
| 项目 | COD | BOD ₅ | SS | 氨氮 | TN | TP | 总镍 | 总铜 | 总铬 | 总锌 |
| 综合废水 | 320 | 80 | 200 | 45 | 60 | 8 | 0.1 | 2 | 1.5 | 6~9 |
| 含镍废水 | 320 | | 200 | 45 | 60 | 8 | 0.5 | | | |
| 出水 | ≤40 | ≤10 | ≤10 | ≤5 | ≤15 | ≤0.5 | ≤0.1 | ≤0.3 | ≤0.5 | ≤1.0 |

2 工艺方案选择

分析进水水质可知,园区生产废水中含有一定浓度的重金属、难降解有机物、次磷酸盐等难处理污染物,同时也存在氮、正磷酸盐等常规有机污染物,因此该工程拟采用“预处理+生化处理+深度处理”的工艺流程。设置预处理系统,保证废水进入生化系统时重金属离子浓度低于生物最高承受限值;设置生化处理系统,去除有机物、氮、磷污染物;设置深度处理系统,保证有机物、磷、SS、重金属等污染物达标排放。

2.1 预处理工艺

该工程来水主要是线路板企业废水,此类废水中的重金属离子主要为铜、镍、铬、锌,其存在形式主要为离子态、络合或螯合态。针对重金属污染物,可采用化学沉淀法、高级氧化法(如芬顿氧化、臭氧氧化等)及离子交换法等工艺相结合的方式去除,以减少对后续生化系统的冲击。

预处理若采用臭氧氧化+离子交换组合工艺,则需要增大臭氧投加量,而且臭氧设备维护难度较高,离子交换树脂更换频繁;若单独采用离子交换工艺,因其缺少氧化作用,无法完成破络反应,难以对络合物进行有效去除,且前端设置离子交换工艺,树脂易饱和,更换频繁;若采用芬顿氧化+混凝沉淀组合工艺,则能够灵活应对多种来源的污染物,设备简单、维护方便,且项目所在地污泥的接收能力可以消纳其预处理产泥量。另外,根据现场调研,企业生产废水大多为间歇排放,存在事故排水的可能,为保证正常运营期间进入处理工艺段的水质、水量基本稳定,同时能够从容应对突发事件的

发生,预处理区域设置调节池、事故应急池。综上,该工程预处理工艺采用“调节池+芬顿反应池+混凝沉淀池”。

2.2 生化处理工艺

设计进水 $BOD_5/COD < 0.3$, 属于较难生化的范畴,为了提高废水的可生化性,设置水解酸化工艺;进水 $COD/TN < 1.35$, 进水 TN 较高,为确保 TN 去除率不低于 75% 且尽可能降低碳源投加量,采用二级 AO 生化池;MBR 工艺在处理线路板废水中具有良好的应用实践^[11-12],故在二级 AO 生化池后设置 MBR 工艺,可以强化对有机物和重金属等污染物的去除效果。因此,该工程生化处理工艺选择“水解酸化+二级 AO+MBR”。

2.3 深度处理工艺

二级生化处理出水仍可能含有超标的难降解有机物、磷和少量重金属,需在生化系统后设置深度处理,使络合物释放重金属离子、氧化次磷酸盐并转化为正磷酸盐、将难溶解物质转化为可生物降解物质。深度处理高级氧化工艺的选择同预处理段,同时设置超越管,根据污染物去除情况灵活运行。芬顿反应后设置高效沉淀池+纤维转盘滤池+紫外消毒池,保证出水的 COD 、 SS 、 TP 、微生物等指标达标,因此,该工程综合废水处理系统深度处理工艺为“芬顿反应池+高效沉淀池+pH 调节池+纤维转盘滤池”。

因含镍废水处理系统出水进入综合废水处理系统水解酸化池,故含镍废水处理系统不再设置纤维转盘滤池,其深度处理工艺为“芬顿反应池+混凝沉淀池+pH 调节池”。含镍废水处理系统工艺流程如图 1 所示。

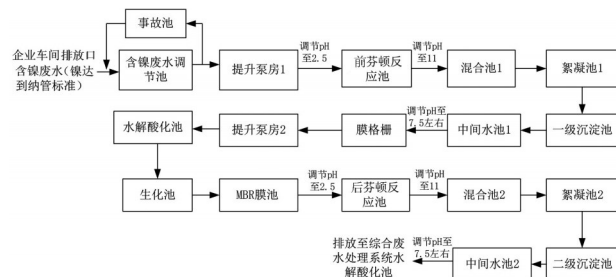


图1 含镍废水处理系统工艺流程

Fig.1 Process flow of nickel-containing wastewater treatment system

综合废水处理系统以及污泥处理的工艺流程分别如图 2、3 所示。

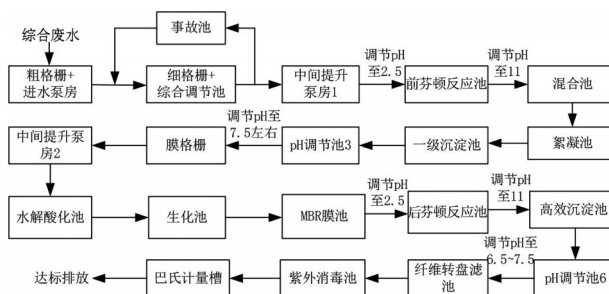


图2 综合废水处理系统工艺流程

Fig.2 Process flow of comprehensive wastewater treatment system

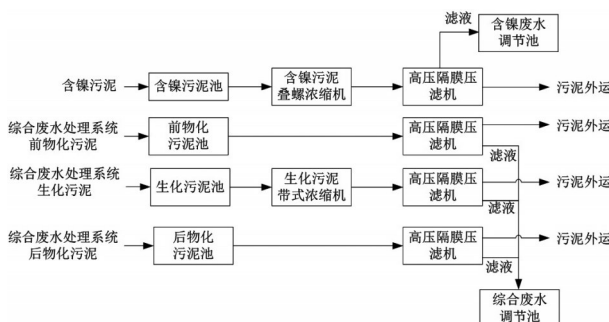


图3 污泥处理工艺流程

Fig.3 Process flow of sludge treatment

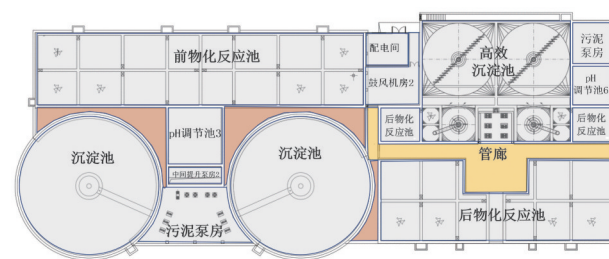
3 项目空间布局

该工程处理工艺流程较长,再加上附属生产用房(综合楼、配电间、加药间、鼓风机房等),用地紧张。若按照常规设计,无法在有限面积内完成布置,因此摒弃传统设计理念,充分利用平面、竖向空间,将建(构)筑物平面上合建,部分构筑物竖向向上叠建,最终实现布局优化,满足工程要求。

3.1 综合废水处理系统

① 平面布局组合

将综合废水处理系统中的前芬顿反应池、pH 调节池 3、一级沉淀池、后芬顿反应池、配电间、鼓风机房 2、高效沉淀池、pH 调节池 6、纤维转盘滤池、紫外消毒池、巴氏计量槽、尾水及回用水泵房等合建为综合处理 A 区,具体见图 4(a)、(b),两组一级沉淀池中间形成的空间放置中间提升泵与污泥排放泵。



a. A区西段

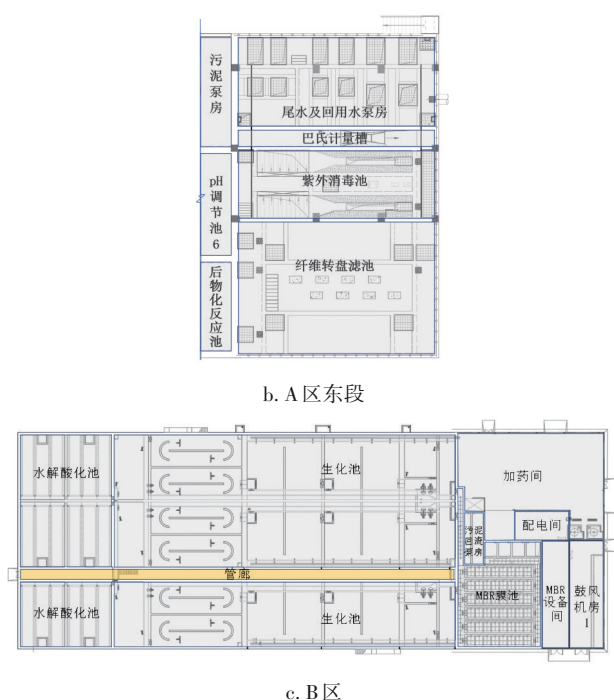


图4 综合处理A、B区平面示意

Fig.4 Schematic diagram of the plan of comprehensive treatment area A and B

将水解酸化池、生化池、MBR膜池、MBR设备间、普通加药间、鼓风机房1合建为综合处理B区,具体如图4(c)所示。

② 竖向高程叠建

综合调节池上部叠建细格栅、鼓风机房3,具体见图5。综合处理A区中间提升泵房2的提升泵池上部叠建膜格栅。

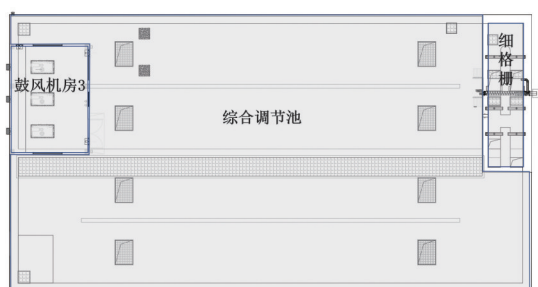


图5 综合调节池平面示意

Fig.5 Schematic plan of comprehensive regulation tank

③ 方便运行与检修

为降低全厂建设成本,该工程构筑物高程均高于地面3.5~6.65 m。为方便污水厂正常运行以及设备检修时的通行,设计主要从以下3个方面考虑:在综合楼、调节池、综合处理A区、综合处理B区之间设计连廊,可通过连廊通行,不必反复上下池体;

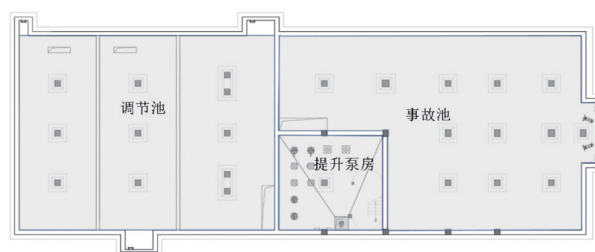
在综合处理B区,利用池间的通道作为放空廊道,方便水池检修;在综合处理A区,利用高效沉淀池与后芬顿反应池中间的通道作为加药管廊,保证厂区的美观和安全性。

3.2 含镍废水处理系统

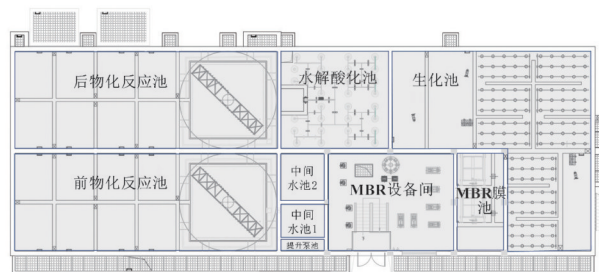
该工程将含镍废水处理系统所有的建(构)筑物进行平面组合以及竖向叠建,设计为一体化的处理单元。

含镍废水处理系统共分为上、中、下3层设计,顶层包括鼓风机房、配电间、MBR设备间;中层包括前芬顿反应池、一级沉淀池、后芬顿反应池、二级沉淀池、生化池、MBR膜池、MBR设备间;底层包括镍系统调节池、镍系统事故池、提升泵房(含镍系统调节池提升泵、镍系统事故池提升泵、沉淀池排泥泵、水解酸化池排泥泵)。调节池置于芬顿反应池之下;事故池置于水解酸化池、生化池、MBR设备间之下;提升泵房置于MBR设备间之下。含镍废水处理系统各层平面示意图见图6。

前物化反应池(含前芬顿反应池、混凝池、一级沉淀池)、后物化反应池(含后芬顿反应池、混凝池、二级沉淀池)、中间水池1以及中间水池2的池顶标高统一为7.9 m,池顶设计走廊;生化系统(含水解酸化池、生化池、MBR膜池)池顶标高和膜设备间、配电间、鼓风机房的地面标高统一为9.1 m,池顶设计走廊;高程衔接处设计楼梯通行,方便工作人员进行巡视。



a. 底层



b. 中层

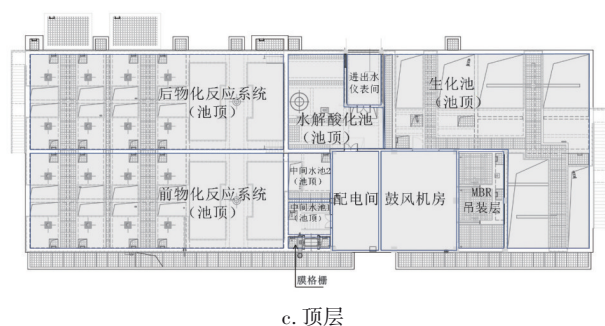


图6 含镍废水处理系统各层平面示意

Fig.6 Schematic plan of nickel-containing treatment system

4 主要建(构)筑物设计

4.1 综合废水处理系统

① 粗格栅及进水泵房。设计规模 $3.4 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$, 变化系数 1.5, 粗格栅 1 座 2 组, 过栅流速 0.6 m/s , 格栅间隙 15 mm , 格栅宽度 1 m ; 进水泵房 1 座, 配有提升泵 4 台 (3 用 1 备)。粗格栅及进水泵房尺寸为 $12.5 \text{ m} \times 9 \text{ m} \times 12.8 \text{ m}$ 。

② 细格栅与综合调节池。细格栅设计规模 $3.4 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$, 变化系数 1.5, 1 座 2 组, 过栅流速 0.8 m/s , 格栅间隙 5 mm , 格栅宽度 1.2 m ; 综合调节池设计规模 $3.4 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$, 变化系数 1.1, 1 座 2 组, 停留时间 8.7 h 。细格栅与综合调节池尺寸为 $52 \text{ m} \times 26.7 \text{ m} \times 9.8 \text{ m}$ 。

③ 事故池与提升泵房。事故池设计规模 $3.4 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$, 变化系数 1.1, 1 座 3 格, 停留时间 5.59 h 。事故池提升泵与调节池提升泵共用提升泵房, 提升泵共 9 台, 其中 6 台用于调节池排水 (4 用 2 备), 单台 $Q=390 \text{ m}^3/\text{h}$, $H=60 \sim 120 \text{ kPa}$; 3 台用于事故池排水, 变频, 单台 $Q=200 \text{ m}^3/\text{h}$, $H=60 \sim 120 \text{ kPa}$ 。事故池与提升泵房尺寸为 $59 \text{ m} \times 32.5 \text{ m} \times 6 \text{ m}$ 。

④ 综合处理 A 区。含前芬顿反应池、一级沉淀池、膜格栅、后芬顿反应池、高效沉淀池、纤维转盘滤池、紫外消毒渠、巴氏计量槽、尾水及回用水泵房、鼓风机房 2、配电间。前物化反应池设计规模 $3.4 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$, 其他处理段设计规模 $3.5 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$, 变化系数 1.1。前芬顿反应池总停留时间 118.08 min , 芬顿反应前调节 pH 至 2.5, 芬顿反应后调节 pH 至 11。混合池停留时间 22.2 min , 絮凝池停留时间 22.2 min , pH 调节池 3 停留时间 19.8 min , 调节 pH 至 7.5 左右。一级沉淀池 2 座, 采用周进周出圆形辐流沉淀池, 池体直径 25 m , 设计停留时间 2.84 h ,

表面负荷 $1.44 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$, 周边水深 3.7 m 。膜格栅 1 座 2 组, 采用内进流膜格栅, 格栅间隙 1 mm 。后芬顿反应池总停留时间 124.44 min , 芬顿反应前调节 pH 至 2.5, 芬顿反应后调节 pH 至 11。高效沉淀池共分 2 个系列, 每系列包括混合池 2 格、絮凝池 1 格、沉淀池 1 格, 混合时间 2 min , 絮凝时间 16 min , 沉淀区表面负荷 $6.0 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$ 。pH 调节池 6 停留时间 12 min , 调节 pH 至 $6.5 \sim 7.5$ 。纤维转盘滤池设计滤速 7.0 m/h , 有效过滤面积 208 m^2 。鼓风机房 2 向前芬顿反应池、后芬顿反应池、混合池、絮凝池、pH 调节池 1~6 供气, 用于搅拌。综合处理 A 区尺寸为 $40.55 \text{ m} \times 107.5 \text{ m} \times 6.5 \text{ m} + 22.2 \text{ m} \times 14 \text{ m} \times 4.42 \text{ m}$ (构筑物高度局部 2.6 或 3.6 m)。

⑤ 综合处理 B 区。设计规模 $3.5 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$, 变化系数 1.1, 含水解酸化池、生化池、MBR 膜池、MBR 设备间、鼓风机房 1、加药间。水解酸化池共 3 座, 每座 2 组, 设计停留时间 5.8 h , 设计上升流速 1.38 m/h 。生化池 3 组, 含厌氧区、一级缺氧区、一级好氧区、二级缺氧区、二级好氧区, 总停留时间 20.8 h 。MBR 膜池共 6 列, 每列包括 7 个膜箱和 1 个空位, 设计水力停留时间 0.7 h , MBR 膜通量 $16.7 \text{ L}/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$ 。鼓风机房 1 中风机向生化池和 MBR 系统供气。普通加药间中药品种类包括石灰、聚丙烯酰胺 (PAM)、硫酸亚铁 (FeSO_4)、聚合氯化铝 (PAC)、葡萄糖、纯碱、MBR 加药系统中的柠檬酸及次氯酸钠。MBR 设备间包括膜池产水泵、膜池反洗水泵、剩余污泥泵和膜池排空泵。综合处理 B 区的尺寸为 $53.5 \text{ m} \times 144.2 \text{ m} \times 9.1 \text{ m}$ (生化池高度 9.1 m , 水解酸化池高 9.8 m , 膜池高 4.5 m , MBR 设备间、鼓风机房 1 及加药间高 8.4 m)。

⑥ 危化加药间。为保证厂区安全, 危险化学品 (包括硫酸、氢氧化钠、硫化钠、次氯酸钠、双氧水) 均单独安排房间存放。危化加药间总尺寸 $35.1 \text{ m} \times 18.6 \text{ m} \times 8 \text{ m}$ 。危化加药间与周围建筑物的防火间距为 15 m , 双氧水加药间设置泄压天窗用于防爆。

⑦ 脱水机房。全厂污泥分为 4 条线单独处理, 包括含镍污泥、前物化污泥、生化污泥、后物化污泥处理系统。4 条污泥处理线的污泥储池停留时间均为 6 h , 设置于脱水机房下部。含镍污泥池分 2 格, 单格尺寸为 $3 \text{ m} \times 2.9 \text{ m} \times 3.0 \text{ m}$, 前物化污泥池分 2 格, 单格尺寸为 $2.9 \text{ m} \times 4.75 \text{ m} \times 3.0 \text{ m}$, 后物化污泥

池分2格,单格尺寸为 $4.7\text{ m}\times 4.75\text{ m}\times 3.0\text{ m}$,生化污泥池分2格,单格尺寸为 $5.85\text{ m}\times 4.75\text{ m}\times 3.0\text{ m}$ 。2座生化污泥池采用2台带式浓缩机,含镍污泥池采用1台叠螺浓缩机,4条污泥处理线均采用高压隔膜压滤机。

4.2 含镍废水处理系统

含镍废水处理系统设计规模 $1\,000\text{ m}^3/\text{d}$,为一体化处理构筑物,整体尺寸为 $50.4\text{ m}\times 19.12\text{ m}\times 10.7\text{ m}$ 。

含镍废水调节池1座分3格,总停留时间为 27.8 h ,池深 3.6 m (局部 2.9 m);含镍废水事故池1座,停留时间为 28.0 h ,池深 3.6 m 。前物化处理系统包括pH调节池1、反应池1~4、pH调节池2各1座,停留时间分别为 1.22 、 1.21 、 1.21 、 1.21 、 1.21 、 1.20 h ,池深 5.6 m 。pH调节池1调节pH至 2.5 ,pH调节池2调节pH至 11 。混合池1和絮凝池1各1座,停留时间均为 1.20 h ,池深 5.6 m 。一级沉淀池1座,停留时间 4.9 h ,表面水力负荷 $0.7\text{ m}^3/(\text{m}^2\cdot\text{h})$,直径为 8.5 m ,池深 6.3 m ,有效水深 5.1 m 。中间水池1为1座,停留时间 0.92 h ,池深 5.6 m ,调节pH至 7.5 左右。膜格栅1座,渠道尺寸 $3.8\text{ m}\times 1.0\text{ m}\times 2.3\text{ m}$ 。

生化系统包括水解酸化池、生化池和MBR膜池。水解酸化池1座,停留时间 11.41 h ,污泥浓度 $5\sim 10\text{ g/L}$,污染物容积负荷 $0.41\text{ kgCOD}/(\text{m}^3\cdot\text{d})$ 、表面水力负荷 $0.56\text{ m}^3/(\text{m}^2\cdot\text{h})$,池深 6.7 m 。生化池1座,总停留时间 25.09 h ,池深 6.7 m ,污泥浓度 5 g/L ,气水比 $11:1$ 。MBR膜池1座分2格,停留时间 1.21 h ,池深 4.3 m ,污泥浓度 $8\sim 10\text{ g/L}$,MBR膜通量 $14.8\text{ L}/(\text{m}^2\cdot\text{h})$ 。

后物化处理系统包括pH调节池3、反应池5~8、pH调节池4各1座,停留时间分别为 1.22 、 1.21 、 1.21 、 1.21 、 1.21 、 1.20 h ,池深 5.6 m 。pH调节池3调节pH至 2.5 ,pH调节池4调节pH至 11 。混合池2和絮凝池2各1座,停留时间均为 1.2 h ,池深 5.6 m 。二级沉淀池1座,池深 6.3 m ,有效水深 5.1 m ,停留时间 4.9 h ,表面水力负荷 $0.7\text{ m}^3/(\text{m}^2\cdot\text{h})$;中间水池2为1座,停留时间 1.30 h ,池深 5.6 m ,调节pH至 7.5 左右。

5 设计特点

① 《城市排水工程规划规范》(GB 50318—

2017)中规定了城市污水处理厂规划用地指标:在建设规模为 $(1\sim 5)\times 10^4\text{ m}^3/\text{d}$ 时,全厂规划用地指标为 $1.7\sim 2.15\text{ m}^2/(\text{m}^3\cdot\text{d}^{-1})$ 。该工程用地 $30\,990.60\text{ m}^2$,实际用地指标仅为 $0.89\text{ m}^2/(\text{m}^3\cdot\text{d}^{-1})$,相较于规划用地指标,全厂至少节省用地面积 $28\,509\text{ m}^2$ 。

② 根据实际工艺流程,优先将功能相近的处理构筑物进行拼叠,将综合废水处理系统中的生化处理单元及附属单元,如水解酸化池、生化池、MBR膜池、MBR设备间及鼓风机房优先组合;将综合废水处理系统中的物化处理单元,如前芬顿反应池、沉淀池、后芬顿反应池、高效沉淀池进行组合,组合后更有利于加药系统、曝气搅拌系统的加药和供气。

③ 运行检修便利、节能降耗,含镍废水处理系统的事故池和调节池日常无需进行大量的设备检修,故设置于底层;为尽量在高程上节约能耗,避免多次提升,含镍废水处理系统的污水反应池设置于次底层;鼓风机房和配电间对污水处理系统影响最小,放置于顶层。

6 结论及建议

① 在用地紧张和工艺流程复杂的情况下,工业园区污水处理厂通过将建(构)筑物以平面拼合、竖向叠建的方式进行组合,可大大节省用地。

② 工业废水处理涉及多种化学药剂投加,布置加药间前需准确分析其存放介质的危险性、腐蚀性,以保证处理效果,并确保消防、安全满足规定。

③ 在进行类似厂区的布置时需统筹分析、整体考虑,需在投资较省、处理效率可靠及运维便利的前提下,通过建(构)筑物组合等技术手段节省用地,确保工程目标的顺利实现。

参考文献:

- [1] 陈世金,孙理密,刘圣东,等. 用地紧张条件下工业污水处理工程集约化低碳化设计案例[J]. 工业水处理, 2023,43(9): 195-200.
CHEN Shijin, SUN Limi, LIU Shengdong, et al. Case of industrial sewage treatment project for intensive and low-carbon design under land tension [J]. Industrial Water Treatment, 2023,43(9): 195-200 (in Chinese).
- [2] 张彪,赵健,周昕怡. 某多效能全地下式污水厂集约化设计方案[J]. 净水技术, 2023, 42(1): 160-167.
ZHANG Biao, ZHAO Jian, ZHOU Xinyi. Integrated

- design scheme of a multifunctional full-underground WWTP [J]. *Water Purification Technology*, 2023, 42 (1): 160-167 (in Chinese).
- [3] 刘金星, 胡邦, 程明涛. 紧凑用地的污水处理厂工艺设计[J]. *中国给水排水*, 2024, 40(22): 58-62.
- LIU Jinxing, HU Bang, CHENG Mingtao. Process design of wastewater treatment plant under land constraint [J]. *China Water & Wastewater*, 2024, 40 (22): 58-62 (in Chinese).
- [4] 楼洪海, 楼朝刚, 陈伟, 等. 立体集约式组合工艺用于印染废水处理及回用[J]. *中国给水排水*, 2024, 40 (2): 115-119.
- LOU Honghai, LOU Chaogang, CHEN Wei, *et al.* Application of three-dimensional intensive combined technology in the treatment and reuse of printing and dyeing wastewater [J]. *China Water & Wastewater*, 2024, 40(2): 115-119 (in Chinese).
- [5] 唐章程, 杨坤, 贾建伟, 等. 广东某污水厂二期工程集约化设计[J]. *中国给水排水*, 2024, 40(2): 60-64.
- TANG Zhangcheng, YANG Kun, JIA Jianwei, *et al.* Intensive design of the phase II project of a sewage treatment plant in Guangdong [J]. *China Water & Wastewater*, 2024, 40(2): 60-64 (in Chinese).
- [6] 段友丽, 陈浩宇, 李雨时. 国内地下式污水处理厂筹建模式及发展前景[J]. *净水技术*, 2020, 39(s2): 34-39.
- DUAN Youli, CHEN Haoyu, LI Yushi. Construction mode and prospect analysis of domestic underground wastewater treatment plants [J]. *Water Purification Technology*, 2020, 39(s2): 34-39 (in Chinese).
- [7] 张超, 刘成军, 陈力子, 等. 西安某地下式污水处理厂的设计特点与应用[J]. *净水技术*, 2024, 43(4): 161-168.
- ZHANG Chao, LIU Chengjun, CHEN Lizi, *et al.* Design characteristics and application of an underground WWTP in Xi'an [J]. *Water Purification Technology*, 2024, 43(4): 161-168 (in Chinese).
- [8] 董磊, 张欣, 杨一烽. 《城镇地下式污水处理厂技术规范》要点简析[J]. *中国给水排水*, 2023, 39(16): 14-20.
- DONG Lei, ZHANG Xin, YANG Yifeng. Synopsis of key points for *Technical Specification for Urban Underground Wastewater Treatment Plant* [J]. *China Water & Wastewater*, 2023, 39 (16): 14-20 (in Chinese).
- [9] 魏海娟. 大型地下式污水处理厂工艺设计与运行效果分析[J]. *中国给水排水*, 2024, 40(8): 60-65.
- WEI Haijuan. Design of a large underground wastewater treatment plant and its operation performance analysis [J]. *China Water & Wastewater*, 2024, 40(8): 60-65 (in Chinese).
- [10] 仲崇军, 代世宇, 王曼, 等. 地下式污水处理厂“双降一增”设计案例[J]. *中国给水排水*, 2024, 40(4): 59-65.
- ZHONG Chongjun, DAI Shiyu, WANG Man, *et al.* “Double reduction and one increase” of underground sewage treatment plant: a design case [J]. *China Water & Wastewater*, 2024, 40(4): 59-65 (in Chinese).
- [11] 董佳, 彭丽花. 某线路板废水处理工艺技术改造的实践与探索[J]. *水处理技术*, 2015, 41(8): 125-135.
- DONG Jia, PENG Lihua. Practice and discussion on the improvement of the process for PCB wastewater treatment [J]. *Technology of Water Treatment*, 2015, 41 (8): 125-135 (in Chinese).
- [12] 巫世文. MBR工艺在PCB线路板废水处理中的运用[J]. *环境工程*, 2008, 26(5): 68-69.
- WU Shiwen. Application of MBR technology in treatment of PCB's wastewater [J]. *Environmental Engineering*, 2008, 26(5): 68-69 (in Chinese).

作者简介: 刘冰玉(1989—), 女, 河南驻马店人, 硕士, 高级工程师, 主要研究方向为城市供水与污水处理技术。

E-mail: 405258405@qq.com

收稿日期: 2023-04-22

修回日期: 2023-11-28

(编辑: 沈靖怡)