

沈阳市某大型污水处理厂提标设计及经验总结

汪启光

[上海市市政工程设计研究总院(集团)有限公司, 上海市 200092]

摘要: 沈阳市某污水处理厂现状规模达40万 m^3/d ,生物处理工艺采用二级曝气生物滤池,出水水质达到国家二级排放标准。为满足环境保护要求,该污水处理厂拟进行原址提标改造,将出水水质提高至一级A标准,同时,改造过程中须实现不停水施工。提标改造工程对现状生物滤池进行改造,建成三级生物滤池,深度处理工艺选用加砂高效沉淀池。项目采用分阶段实施方式,先期建设应急处理系统,保障总体工艺系统改造期间的进水处理,从而实现不停水施工。提标改造后,污水处理厂的出水水质能够稳定达标。项目总投资为64 727.29万元,单位处理成本为1.64元/ m^3 ,吨水用地指标为0.18 $\text{m}^2/(\text{m}^3\cdot\text{d}^{-1})$ 。

关键词: 污水处理厂;提标改造工程;生物滤池;加砂高效沉淀池;不停水施工

中图分类号: TU992.3

文献标志码: B

文章编号: 1009-7716(2026)05-0300-05

Upgrading Design and Experience Summary of a Large WWTP in Shenyang City

WANG Qiguang

[Shanghai Municipal Engineering Design Institute (Group) Co., Ltd., Shanghai 200092, China]

Abstract: In Shenyang City, the current scale of a wastewater treatment plant (WWTP) is 400 000 m^3/d , which adopts two-stages aerated bio-filter as biological treatment process, and its effluent quality meets the national secondary discharge standard. In order to meet the environmental protection requirements, it is proposed to carry out the upgrading and reconstruction at the original site to improve the effluent quality to the first-level A standard. At the same time, the construction must be carried out without water supply interruption during the reconstruction. In the upgrading and reconstruction project, the existing bio-filters are reconstructed to three-stages bio-filters, and the high efficiency settling tank with micro-sand is adopted as advanced treatment process. This project is implemented in stages. The emergency treatment system is built in advance to ensure the sewage treatment during the overall process system reconstruction so as to achieve the construction without water supply interruption. After the upgrading and reconstruction, the effluent quality of WWTP can meet the standard stably. The total investment of the project is 647. 272 9 million yuan, the unit treating cost is 1. 64 yuan/ m^3 , and the land use index per ton of water is 0. 18 $\text{m}^2/(\text{m}^3\cdot\text{d}^{-1})$.

Keywords: wastewater treatment plant (WWTP); upgrading reconstruction project; bio-filter; high efficiency settling tank with micro-sand; construction without water supply interruption

0 引言

生物滤池是污水处理中的一种膜法处理工艺^[1],它将生物接触氧化与过滤原理相结合^[2],以颗粒状填料及其附着生长的生物膜为处理介质^[3],在同一个反应器内实现生物氧化与固液分离功能^[4]。该工艺具有有机负荷高、抗冲击能力强、占地面积小、投资少等诸多优点^[5],特别适用于用地条件紧张的污水处理厂。近年来在污水处理厂提标改造项目

中,无论是单独应用曝气生物滤池^[6-7],还是组合应用“曝气生物滤池+反硝化滤池”^[8-9],都取得了预期效果。

沈阳某污水处理厂由于建设用地受限,采用生物滤池工艺作为其生物处理工艺,建成后处理规模达到40万 m^3/d ,为北方首个大型生物滤池污水处理厂^[10]。该厂建设年代较早,出水采用国家二级排放标准进行设计,拟进行原址提标改造,将出水水质提高至一级A标准。

本文总结该提标改造工程设计及实施过程中的经验,为采用类似工艺,或同样用地条件紧张且不具备停产、减产条件的污水处理厂提供参考。

收稿日期: 2025-12-19

作者简介: 汪启光(1982—),男,硕士,高级工程师,主要从事市政排水规划设计及研究工作。

1 项目概况

1.1 原厂概况

沈阳市某污水处理厂现状规模达 40 万 m³/d,分一期、二期建设,每期规模为 20 万 m³/d。该厂现状实际进水量为 37.6 万 ~ 40.5 万 m³/d,基本处于满负荷运行状态。

污水处理厂现状处理工艺为“进水—粗格栅及进水泵房—细格栅—高密度沉淀池—二级曝气生物滤池—消毒池—排放河道”。污泥经离心脱水后,外运至污泥处理厂进行进一步处理。

污水处理厂原出水水质按国家二级排放标准设计,且在实际运行中能够稳定达标。但根据国家和地方环境保护要求,须对该厂出水标准进行提标,使之达到一级 A 标准。实际进、出水水质及各项污染物指标的标准限值如表 1 所示。

表 1 工程实施前进出水水质及标准限值 单位:mg/L

指标	进水	出水	二级标准	一级 A 标准
化学需氧量(COD _{Cr})	166 ~ 251	35 ~ 73	≤100	≤50
五日生化需氧量(BOD ₅)	67 ~ 115	14 ~ 23	≤30	≤10
悬浮物(SS)	93 ~ 202	12 ~ 23	≤30	≤10
总氮(TN)	25.8 ~ 51.4	18.1 ~ 27.6	—	≤15
氨氮(NH ₃ -N)	18.2 ~ 42.0	2.79 ~ 17.70	≤25(30)	≤5(8)
总磷(TP)	3.04 ~ 4.71	1.94 ~ 2.71	≤3	≤0.5

注:括号内数值为水温≤12℃时的控制指标。

1.2 项目建设难点

1.2.1 现状处理工艺制约

污水处理厂现状生物处理工艺为二级曝气生物滤池,不具备反硝化功能,同时,受建设条件限制,也不具备大拆大建、对现状工艺进行颠覆性调整的可能。因此,提标改造工程需充分保留现状生物滤池基本的土建结构,并通过适当的改造,实现反硝化生物脱氮^[11]。

1.2.2 现场实施条件复杂

本工程须在污水处理厂原址进行,改造过程中需要增设大量的工艺管道。考虑到现状厂区内构(建)筑物间的距离较小,厂区道路下方工艺管线及附属配套管线密布,部分管道需要在原管位翻排。

1.2.3 不停水施工的要求

根据沈阳市污水收集与处理系统的整体布局,在工程建设期间,无法将须该厂处理的污水量转输至其他污水处理厂处理。因此,改造工程必须分步实施,合理安排污水处理的衔接^[12],先期建设 1 套应急处理系统,保障该厂在提标改造期间正常运行^[13]。

1.2.4 用地条件的限制

污水处理厂现状厂区占地面积为 6.59 hm²,规划新增用地面积 0.62 hm²,作为本项目的配套设施用地。因此,总用地面积为 7.21 hm²,吨水用地指标折合为 0.18 m²/(m³·d⁻¹),远低于污水处理厂建设用地的常规指标。考虑到污水处理厂现状厂区已充分利用,根据改造需要,须拆除厂前区部分现状构(建)筑物,并对用地进行置换,从而为新建构(建)筑物提供实施条件。

2 技术路线

2.1 总体工艺技术路线

2.1.1 生物处理工艺

作为一个污水处理厂改造项目,该厂在选择生物处理工艺时,需要充分利用厂区现有的设施,以减少工程投资。因此,设计基本保留现状生物滤池处理工艺,并通过合理改造,建成由前置反硝化滤池、曝气生物滤池和后置反硝化滤池组成的组合生物滤池,使其具备反硝化脱氮功能。

2.1.2 深度处理工艺

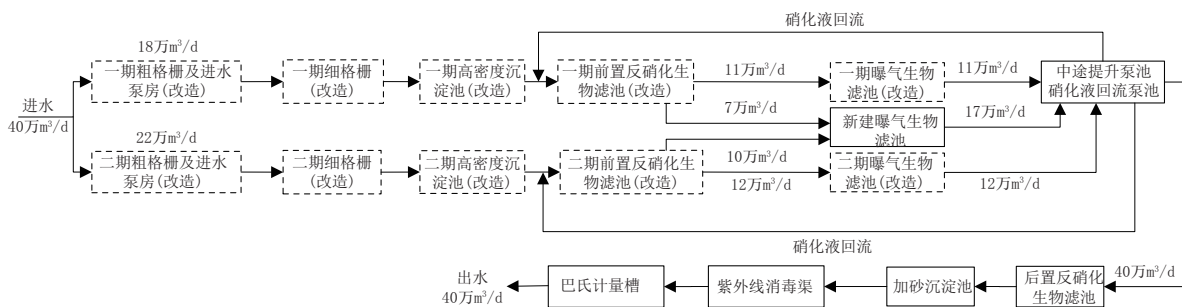
现有污水处理厂一级处理采用高密度沉淀池,能够通过沉淀,去除一部分 TP。但该类型池体缺少混凝区,加药除磷效果不佳,且在生化处理过程前加药的药耗偏高。本工程生物处理系统采用三级生物滤池工艺,如果在生化处理过程中加药,可能造成严重的滤料堵塞情况。因此,考虑在生物处理系统之后增设深度处理系统,主要用于去除污水中的 TP 和部分 SS。

在进行深度处理工艺选择时,为适应本工程用地紧张的特点,改造设计采用加介质混凝沉淀工艺^[14]。在常用的加介质混凝沉淀工艺中,磁混凝高效沉淀池的应用较多^[15]。但这种工艺在运行过程中,如果出现磁粉泄漏,可能对后续污泥处理单元造成一定影响。加砂高效沉淀池最早由威立雅引进国内^[16],目前已广泛应用于污水处理厂^[17]、CSO 处理^[18]、微污染河水处理^[19]等领域。它可以做到更高的负荷,目前已有一体化成套设备供应。因此,本工程中的深度处理采用加砂高效沉淀池。

总体工艺改造流程如图 1 所示。

2.2 应急处理技术路线

本工程需建设应急处理系统,对提标改造期间的污水进行处理。应急处理系统规模为 40 万 m³/d,出水达到国家二级排放标准。



由于应急处理系统先于总体工艺系统改造建设,且在建设过程中,原厂须保持运行,因此,应急处理系统建设用地限定于新增用地范围内,面积仅为0.62 hm²。为保证污水处理效果,同时实现便于生产管理和节约用地的目标,应急处理系统主要由预处理和混凝沉淀工艺组成:预处理包含粗格栅井、进水泵房、细格栅渠和曝气沉砂池;混凝沉淀工艺采用加砂高效沉淀池。

图2 应急处理工艺流程

3 主要构筑物的工艺设计

3.1 现状预处理系统改造

现状预处理系统由粗格栅井、进水泵房、细格栅渠和高密度沉淀池组成,改造设计基本保留并利用现有设备,仅对其中无法满足提标要求的工艺设备进行更换。主要改造内容包括:将现状10 mm回转式细格栅更换为8 mm回转式细格栅;将现状高密度沉淀池出水端转鼓式格栅更换为3 mm孔板式格栅;高密度沉淀池排泥泵、刮泥机及配套设备,根据提标后增加的污泥量,相应增大规格。

3.2 现状生物滤池改造

3.2.1 一期生物滤池改造

已建一期生物滤池共有2座,每座生物滤池由一级滤池和二级滤池组成,共24格,单格面积为73 m²。本工程取消一级滤池曝气工艺,将其改造为反硝化滤池,将二级滤池作为曝气生物滤池保留利用。

一期生物滤池分配水量如图1所示,保证一期与二期前置段滤池水力负荷基本一致,一期、二期生物滤池与新建曝气滤池的水力负荷基本一致。

3.2.2 二期生物滤池改造

已建二期生物滤池 1 座,由一级滤池和二级滤池组成,共 32 格,单格面积为 132 m²。本工程取消一级

滤池曝气工艺,将其改造为反硝化滤池,将二级滤池作为曝气生物滤池保留利用。

二期生物滤池分配水量如图1所示,保证一期与二期前置段滤池水力负荷基本一致,一期、二期生物滤池与新建曝气滤池的水力负荷基本一致。

为满足提标要求,一期和二期生物滤池需进行适当的土木建筑工程改造和设备更换,主要改造内容为更换池内的滤料及承托层,拆除并重建滤池内的滤梁和滤板。

3.3 新建曝气生物滤池

本工程新建合建式曝气生物滤池1座,上部为滤池层,下部为调蓄池,用于存储经滤池处理后的出水。

为保证一期、二期生物滤池与新建曝气滤池的水力负荷基本一致,新建曝气生物滤池分配水量为 17 万 m^3/d 。滤池层包含 24 格曝气生物滤池,单格面积为 132 m^2 ,分为 3 组,每组 8 格,分 2 列对称布置。改造设计在管廊内设置 24 台曝气鼓风机,每台风机为单格滤池曝气系统供气,单台鼓风机供气量为 $1\,650 \text{ m}^3/\text{h}$ 。

经滤池处理后的出水接入下部的调蓄池。改造设计在调蓄池的一端设置二级提升及回流泵房,并设置功能不同的水泵,具体安排如下。

(1)二级提升泵组:共设置二级提升泵5台,4用1备,单台水泵流量为4 500 m³/h,扬程为9 m。

(2)一期硝化液回流泵组:共设置硝化液回流泵3台,2用1备,单台水泵流量为3 800 m³/h,扬程为8.5 m。

(3)二期硝化液回流泵组:共设置硝化液回流泵3台,2用1备,单台水泵流量为4 600 m³/h,扬程为8.5 m。

(4)反冲洗泵组:共设反冲洗水泵6台,4用2备,单台水泵流量为1 320 m³/h,扬程为8 m。

3.4 新建后置反硝化生物滤池

本工程新建合建式后置反硝化生物滤池1座,上

部为滤池层,下部为滤池反冲洗废水池。

滤池层包含 14 格反硝化生物滤池,分 2 列对称布置,单格面积为 132 m²。

改造设计在滤池反冲洗废水池内设置潜水搅拌机 7 台,以减少污泥在池内的沉积;在该池的一端设置反冲洗废水提升泵房,在泵房内设置 6 台反冲洗排水泵(4 用 2 备),单台水泵流量为 1 500 m³/h。

现状改造生物滤池和新建生物滤池设计参数如表 2 所示。

表 2 生物滤池设计参数

参数	一期滤池 (改造)		二期滤池 (改造)		新建 曝气	新建后置 反硝化
	前置反 硝化	曝气	前置反 硝化	曝气		
滤料厚度/m	4	4.5	3.7	3.7	4.5	4.5
空床停留时间/ min	28.01	51.58	25.57	46.89	60.38	29.93
水力负荷/ (m ³ ·m ⁻² ·h ⁻¹)	8.57	5.23	8.68	4.73	4.47	9.02
BOD ₅ 容积负荷/ (kg·m ⁻³ ·d ⁻¹)	—	0.63	—	0.69	0.54	—
硝化容积负荷/ (kg·m ⁻³ ·d ⁻¹)	—	0.36	—	0.40	0.31	—
反硝化容积负荷/ (kg·m ⁻³ ·d ⁻¹)	0.60	—	0.64	—	—	0.48

3.5 加砂高效沉淀池

在本工程方案中,深度处理工艺新建加砂高效沉淀池一座,共分为 4 组,每组规模为 10 万 m³/d,每组包含快混池、絮凝池和斜管沉淀池。

快混池平面尺寸为 5 m×5 m,有效水深为 7.55 m,停留时间为 2.7 min;絮凝池平面尺寸为 7.5 m×7.5 m,有效水深为 7.45 m,停留时间为 6 min;斜管沉淀池为圆形,直径为 14 m,有效水深为 7.15 m,斜管面积为 570 m²,表面负荷为 27.1 m³·m⁻²·h⁻¹。

3.6 应急处理系统

3.6.1 预处理

在本工程方案中,应急处理系统新建应急预处理构筑物 1 座,设计规模为 40 万 m³/d,由粗格栅井、进水泵房、细格栅渠和曝气沉砂池合建而成。

在粗格栅井内设置 5 台回转式格栅,栅宽 B=1.6 m,间隙为 20 mm。

在进水泵房内设 6 台进水泵,5 用 1 备,单台水泵流量为 3 833 m³/h,扬程为 13 m。

细格栅渠共设置 6 条格栅渠道,在渠道中共设置 6 台转鼓式格栅,栅宽 B=2 m,间隙为 6 mm。

曝气沉砂池分为 4 槽,单槽宽度为 3.5 m,长度为

13.4 m,有效水深为 3 m。在沉砂池内设置移动桥式吸砂机,池内沉砂由吸砂泵提升进入排砂槽,经砂水分离器分离后外运。在细格栅渠下的机器间内设置罗茨鼓风机 4 台,3 用 1 备,单台风量为 1 300 m³/h,通过空气管道系统为曝气沉砂池供气。

3.6.2 加砂高效沉淀池(应急)

新建加砂高效沉淀池 1 座,其布置方案与深度处理区加砂高效沉淀池基本一致。

4 不停水实施方案

本次污水处理厂改造和新增构(建)筑物,结合原功能分区布置,避免对周边环境造成不利影响^[20]。

在整个工程建设期间,污水处理厂维持原有 40 万 m³/d 的处理规模,处理后出水达到二级标准,实现全过程不停水施工。工程分为 3 个阶段。

4.1 第一阶段:应急处理系统建设

为维持原厂区的正常运行,需在新增用地上建设应急处理系统;同时,对进水总管进行局部改造,并建设应急处理系统进水管。该应急处理系统建成后,可独立于原厂区运行。

4.2 第二阶段:总体工艺系统改造建设

通过总管阀门的切换,将进水全部转由应急处理系统处理。原厂区进行总体工艺系统改造建设,拆除现状厂前区的部分构(建)筑物,一期和二期生物滤池基本保留利用,对不符合要求的构筑物实施改造,并启动新建构筑物的建设。

4.3 第三阶段:总体工艺系统通水调试

通过总管阀门的切换,进水转由原厂区总体工艺系统处理,实现总体工艺系统全流程通水,此时,污水处理厂进入全厂调试阶段。

5 提标改造效果

本工程通过合理组织和分期建设,成功实现了不停水施工的目标。项目自 2021 年 6 月通过验收至今,出水水质稳定达标(见表 3)。

本工程总投资为 64 727.29 万元,项目建成后,单位处理成本为 1.64 元/m³,全厂吨水用地指标为 0.18 m²/(m³·d⁻¹)。

6 设计总结

6.1 生物滤池工艺提标改造的思考

生物滤池工艺作为节地型生物处理工艺的典型代表,在国内的污水处理厂中已得到广泛应用。对

表3 提标改造完成后实际出水水质 单位:mg/L

指标	出水	一级A标准
COD _{Cr}	6.5~24	≤50
BOD ₅	4~8	≤10
SS	2~8	≤10
TN	8.7~13.8	≤15
NH ₃ -N	0.36~2.5	≤5(8)
TP	0.07~0.35	≤0.5

注:括号内数值为水温≤12℃时的控制指标。

于建设年代较早的生物滤池污水处理厂,其出水水质普遍按国家二级排放标准设计,不考核出水TN指标,因此,多采用不具备反硝化功能的曝气生物滤池。

本工程实现了现状曝气生物滤池的反硝化改造。项目的成功实施,可为采用类似工艺的污水处理厂的提标改造提供参考。

6.2 加砂高效沉淀池的多模式应用

本工程共新建2座加砂高效沉淀池,单座设计规模均为40万m³/d,为该工艺在国内应用规模最大的工程案例。其中一座用于设置深度处理工艺,主要目的是去除生物滤池出水中的TP和部分SS,确保最终出水达标;另一座用于布置应急处理系统,目的是对提标改造期间的污水进行一级强化处理。通过强化加药措施,确保污水处理厂在改造过程中维持二级排放标准。

为方便运行和管理,2座加砂高效沉淀池在布置形式和设计参数上基本保持一致。在这2种处理条件差别很大的运行模式下,处理效果均符合预期目标,证明该工艺对于不同运行模式和不同应用场景具有广泛的适应性。

6.3 “永临结合”的应急处理系统

本工程通过建设应急处理系统,实现了不停水施工,而在提标改造工程结束后,通过对厂区管道的合理改造,灵活地将应急处理系统转变为生物滤池反冲洗废水处理系统。

该系统采用旁路模式,有效避免了反冲洗废水对主处理系统的水量及水质造成冲击。

6.4 不同类型构筑物合建的探索

该污水处理厂全厂吨水用地指标仅为0.18m²/(m³·d⁻¹),远低于污水处理厂建设用地的常规指标。为了在有限的用地条件下合理布置提标改造所需的构筑物,本工程就不同类型构筑物的合建方式开展了多项探索。

6.4.1 对工艺流程中相邻环节的单体进行合建

设计将曝气生物滤池与二级提升泵房、反硝化回流泵房、滤池反冲洗泵房合建;将后置反硝化生物滤池与滤池反冲洗废水泵房合建;将巴氏计量槽与回用水泵池合建。

6.4.2 对布置区域相邻的单体进行合建

在应急处理系统片区内,设计将预处理单元与应急处理系统所需的除臭间、变电所合建;在新建片区内,将加药间、换热站、反冲洗鼓风机房、深井泵房、除臭间合建。

7 结 语

在沈阳市某污水处理厂提标改造工程中,设计人员对现状生物滤池进行改造,将其建成三级生物滤池。其中,深度处理工艺选用加砂高效沉淀池,使得出水水质提高至一级A标准。应急处理系统的建设,保障了提标改造期间的进水处理,实现了不停水施工。

参考文献:

- [1] 游卫强,胡斌,陈浩.曝气生物滤池在污水处理厂运营中的常见问题分析及改造优化[J].给水排水,2020,46(增刊1):422-425.
- [2] 刘镇江,崔玉川.城市污水厂处理设施设计计算[M].3版.北京:化学工业出版社,2017.
- [3] 张文艺,翟建平,郑俊,等.曝气生物滤池污水处理工艺与设计[J].环境工程,2006,24(1):9-13.
- [4] 马军,邱立平.曝气生物滤池及其研究进展[J].环境工程,2002,20(3):7-11.
- [5] 张岩.BAF工艺在污水处理厂提标改造中的应用[J].工程建设与设计,2020,68(12):156-158.
- [6] 张子潇,魏屹,顾鑫,等.BAF工艺在污水厂提标改造中的应用[J].中国给水排水,2021,37(14):124-127.
- [7] 张昌明.曝气生物滤池工艺用于污水厂准Ⅳ类出水提标[J].城市道桥与防洪,2021(11):114-116.
- [8] 杜敬,潘磊,吴俊峰,等.生物滤池工艺在污水处理厂升级改造中的应用[J].水处理技术,2018,44(8):136-138.
- [9] 何伟,贺超.组合生物滤池用于污水处理厂提标类Ⅳ类标准工程[J].中国给水排水,2021,37(8):74-77.
- [10] 高欣,高梦国,周丹丹,等.前置反硝化-曝气生物滤池低温脱氮效能中试研究[J].水处理技术,2018,44(6):76-79.
- [11] 刘建威,叶昌明.后置反硝化生物滤池用于某市政污水厂提标改造[J].中国给水排水,2018,34(8):76-79.
- [12] 李亮,汪德金,杨雪,等.大型污水处理厂采用MBR工艺不停产扩能提标改造[J].中国给水排水,2019,35(14):52-28.
- [13] 李明亮.污水处理厂不停产改造工程的管理[J].中国市政工程,2007(5):46-47.
- [14] 郭建东,王智超.加载絮凝在水处理中的应用进展[J].能源环境保护,2011,25(5):40-43.
- [15] 盖鑫.芜湖市某污水处理厂二期提标扩容工程设计[J].中国给水排水,2023,39(14):80-84.

(下转第339页)