

污水处理厂设备更新设计案例

姚枝良

[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: 污水处理领域经历近20年的快速发展后,部分早期建设的污水处理厂已经出现设备老化严重,维修频繁,设备效能明显下降,药耗电耗明显增加等情况,污水厂的运行安全存在隐患,同时早期建设的污水厂智慧化程度低,增加了运行管控人员的操作难度,亟待对污水处理设备进行更新升级。对污水厂进行设备更新符合国家政策导向,有助于提升污水厂运行安全与智能化水平,降低能耗及人员操作强度。结合工程实例介绍污水处理厂设备更新的设计要点,为类似污水处理设备更新设计提供借鉴意义。

关键词: 污水处理厂;设备更新;升级改造;节能;智慧水务

中图分类号: TU991.35

文献标志码: B

文章编号: 1009-7716(2026)08-0263-05

Renewal Design of Equipment for Wastewater Treatment Plant

YAO Zhiliang

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

Abstract: After nearly two decades of rapid development in the field of wastewater treatment, some early-constructed wastewater treatment plants (WWTPs) have experienced severe equipment aging, frequent maintenance, significant declines in equipment efficiency, and notable increases in chemical and electricity consumption. There are potential safety hazards in the operation of WWTPs. Additionally, the level of intelligence in early-constructed WWTPs is low, which increases the operational difficulty for management and control personnel, urgently necessitating the upgrading and renewal of wastewater treatment equipment. Updating the equipment in WWTPs aligns with the national policy directives, helping to enhance the operational safety and intelligence level of WWTPs, and reduce the energy consumption and personnel operational intensity. Combined with the engineering cases, the design essentials for equipment renewal in WWTPs are introduced, providing valuable insights for the renewal design of similar wastewater treatment equipment.

Keywords: wastewater treatment plant (WWTP); equipment renewal; upgrade and reconstruction; energy saving; smart water affairs

0 引言

自2024年3月7日,国务院印发《推动大规模设备更新和消费品以旧换新行动方案》通知以来,龙游县结合住房和城乡建设部、浙江省、衢州市的相关要求,于2024年8月14日,印发《龙游县推动大规模设备更新和消费品以旧换新若干举措》的通知,明确提出将污水处理厂设备更新作为龙游县的具体设备更新举措之一。

龙游某城市污水处理厂总处理规模为6万 m^3/d ,分三期建设,其中一二三期处理规模各2万 m^3/d ,出水

执行浙江省地方标准《城镇污水处理厂污染物排放标准》(DB 33/2169—2018)表1限值。污泥处理设施规模为7 tDS/d ,经隔膜压滤机深度脱水后外运处置,出泥含水率不大于60%。

该污水厂一二期工程已运行十几年,存在多处设备老化、技术落后等问题。部分生产性设备如生反池曝气盘、推流器、高效沉淀池斜板、加药系统设备、检测仪表等出现了较为严重的腐蚀、老化、故障频发等情况,给生产运行带来了显著风险,部分设备功能已无法满足日常需求,部分设备维修成本高昂、价值有限,亟须更新迭代。

为提升污水处理厂运行安全性、降低能耗与人员操作强度,并响应政策要求,本次拟对一二期构筑物及设备进行针对性地更新改造。

收稿日期: 2026-03-03

作者简介: 姚枝良(1981—),男,硕士,高级工程师,从事排水工程设计与咨询工作。

1 污水处理厂现状及更新改造要求

1.1 现状规模、进出水水质及工艺流程

该污水厂的服务范围包括县城城区及城南开发区,服务面积约1 387.9 hm²,现状总处理规模6 万 m³/d,一二三期处理规模各2 万 m³/d,其中三期处理应对片区内部分工业企业污水,进水水质与一二期略有

不同,设计进出水水质见表1。

表1 设计进出水水质						单位:mg/L
项目/名称	COD	BOD ₅	SS	NH ₃ -N	TN	TP
一二期进水水质	330	140	190	30	40	3.5
三期进水水质	500	220	200	30	45	2.5
设计出水水质	40	10	10	2(4)	12(15)	0.3

注:括号内的值为经验值。
污水厂一二期与三期工艺流程分别见图1和图2。

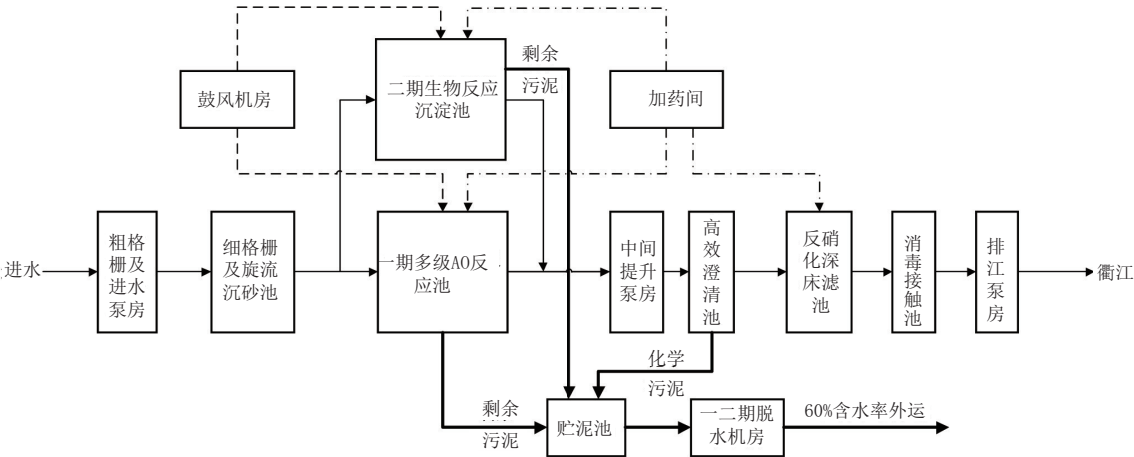


图1 一、二期工程工艺流程示意图

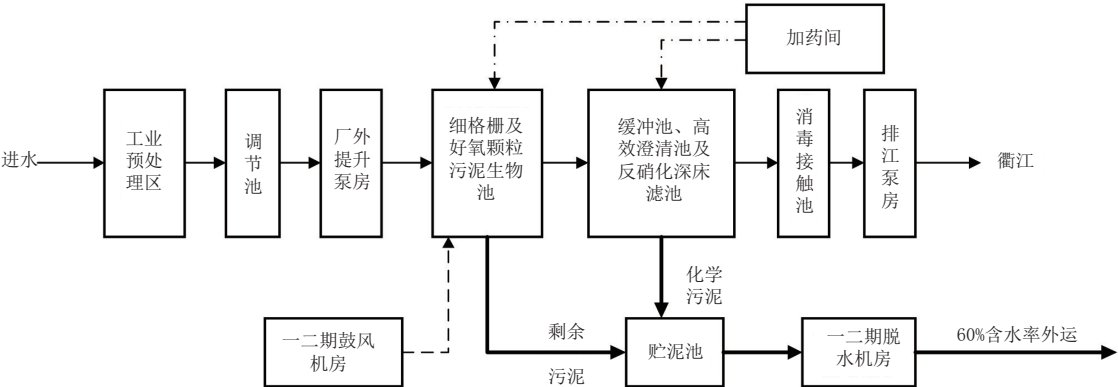


图2 三期工程工艺流程示意图

1.2 原有工艺运行状况分析

污水厂现状出水水质可达到设计排放标准,但经现场调研沟通后,存在以下问题:

- (1)部分设施设备由于使用年限等原因,运行故障频发,给污水厂运行带来很大的风险;
- (2)部分设施设备建设年代较久,技术落后,效率较低,运行电耗、药耗较高;
- (3)现状仅有简单的自控系统,现场操作强度较大,对员工运营经验要求较高;
- (4)结合环保等部门意见,排放河道的考核断面有从严的趋势,对污水厂总氮出水提出更高要求。

1.3 污水处理厂设备更新原则

为了实现污水处理厂高效、稳定、经济的运行,并优化工程投资,在本次设备更新的设计中,主要

- 遵循以下原则:
- (1)根据中国水协发布的《水务行业设备更新推荐目录》,以符合政策导向、满足年限约束、坚持标准引领、强化风险防控、推进技术革新、确保经济合理为原则进行设备更新。
 - (2)充分考虑设备更新项目的实施方案,尽量减少对土建的改造量,避免对污水厂的正常运行造成影响。
- 1.4 更新改造目标
- 结合污水处理厂现状情况及设备更新的原则,本次提出具体更新改造目标如下:
- (1)对常规老旧设备进行更新,包括水泵、搅拌机、格栅、鼓风机、闸堰门、加药系统、仪表设备等。
 - (2)复核并完善设备处理能力,包括增加细格

栅,增加污泥脱水系统,确保污水厂运行安全。

(3)对高效沉淀池进行设备更新并提升效能,将一二期传统高效沉淀池改造为磁混凝高效沉淀池,进一步提升处理效果并降低药耗。

(4)对反硝化滤池进行设备更新及改造,增加高效菌种投加系统,提升污水厂深度处理的脱氮能力。

(5)对全厂进行智能化控制和节能降耗方面的设备更新及改造,增加精确曝气控制系统、除磷加药智能控制系统、碳源智能控制系统等。

2 污水处理厂设备更新工程设计

2.1 预处理设备更新

本工程污水经厂外泵站提升后输送至污水处理厂,其中一二期预处理位于厂内,采用细格栅及旋流沉砂池,三期预处理设施单独设于厂外。

2.1.1 厂外泵站

厂外泵站包括1#及2#两座泵站,两座泵站进水闸门均损坏严重,无法满足检修切断的要求,本次拆除更换。2#泵站规模为4万 m^3/d ,现有6台水泵,其中4台水泵运行较久,故障率较高,本次对这4台水泵进行更换,同时结合运行情况,需要加强泵站低水量的调节能力,故本次增加2套变频。

2.1.2 细格栅及旋流沉砂池

本工程一二期预处理采用细格栅及旋流沉砂池,现状规模为4万 m^3/d ,结合规划要求,三期厂外预处理设施功能将进行调整,厂外泵站输送过来的6万 m^3/d 污水均需要利用厂内细格栅及旋流沉砂池完成预处理,因此本次设备更新需同步提升细格栅及旋流沉砂池的处理能力。

现状预处理采用回转式格栅除污机2套,渠宽1 m,栅条间隙6 mm。现状设备拦截能力较差,尤其是纤维状杂质等。为减少栅渣对后续设施的影响,同时降低单台设备维护时对过水能力的影响,本次工程拟同步调整格栅类型,并增加处理能力。

受现状渠道限制,本次拟采用回转式孔板格栅除污机,孔径6 mm,倾角 45° ,同时为提升设备检修维护时的过流能力,充分利用一体化设备实施的便捷性,在已建细格栅井旁并联一套一体式回转孔板细格栅,自带钢结构栅井,同时采用钢制渠道与已建格栅井连接。一体化格栅设备规模为2万 m^3/d ,改造后3套回转式孔板格栅除污机同时运行,实现6万 m^3/d 的处理规模,提升处理能力和处理效果。

沉砂池排出的砂水现状采用砂水分离器处理,

本次更新拟采用先进的洗砂分砂一体机,将砂水高效分离的同时,可以同步进行洗砂,将砂表面的有机物分离出来,再进入厂区污水系统,增加污水中的有机物,作为碳源用于后续生物反应池的脱氮处理,同时清洗的砂石为清洁砂,也便于后续的分类处置。

2.2 生物处理设备更新

污水厂现有一期和二期生物反应沉淀池各一座,均为生物反应池与二沉池合建,其中一期采用的是多级AO工艺,二期采用的是AAO工艺,沉淀池均采用平流式二沉池,规模均是2万 m^3/d 。

2.2.1 一期多级AO生物反应沉淀池

结合现场调研情况,针对故障率较高的6套厌氧区潜水推流器进行更换,对二沉池12套液压套筒阀进行更换,同时对好氧池盘式微孔曝气器进行更换,拟采用可提升式微孔曝气管系统,以利于后续的检修维护^[1],单只曝气管气量不小于8.0 m^3/h ,另结合全厂的智慧化控制,新增精确曝气控制系统1套。

2.2.2 二期生物反应沉淀池

二期生物反应池主要对污泥渠的6套不锈钢调节堰门进行更换,同时更换1套剩余污泥泵,好氧区更换为可提升式微孔曝气管系统,并新增精确曝气控制系统1套。

为了充分利用系统内的碳源,本次在二期生物反应池中设置一套外回流电脉冲调质系统,通过特有的电场技术,破坏外回流污泥絮体结构,剥离微生物胞外聚合物(EPS),破坏细胞壁和细胞膜以释放胞内营养物质^[2]。这些释放的有机质作为反硝化过程中的有机碳源,强化脱氮^[3],通过这一措施可降低外加碳源15%~20%的使用量,从而降低运行药耗成本。

2.2.3 鼓风机房

本工程现状建有鼓风机房1座,包括一期和二期的鼓风机,结合现场使用情况,对其中1台悬浮离心鼓风机进行更新。为增加供气调配的灵活性,新增2套小流量鼓风机,均为变频控制。

2.3 深度处理设备更新

现状一二期深度处理设施包括中间提升泵房、高效沉淀池、反硝化深床滤池、加氯消毒池各1座,处理规模为4万 m^3/d ,为一二期合用。

2.3.1 高效沉淀池

高效沉淀池现状斜管、搅拌器、污泥泵等设备均存在损坏或故障率较高的问题,同时现状处理效果易受污水厂进水量波动的冲击影响。

为提升现状高效沉淀池的处理效果,降低处理药剂的药耗,本次对高效沉淀池的设备更新时,拟应用磁混凝高效沉淀池系统^[4]。拆除原有搅拌机、刮泥机、污泥泵等设备,现状絮凝池内拆除搅拌机和导流筒,并封堵底部中心进水管,同时拆除部分推流区挡墙,在此空间内新建隔墙,将原区域分隔成混凝池、加载池、絮凝池和污泥暂存池等主要功能区,原共用混凝池、配水井等利旧,改造示意图3。各个反应池内配置专用搅拌机,沉淀区刮泥机更换成磁混凝专用刮泥机。同时在回流的素混腔内新埋设PE污泥管道至泵房。增加斜管曝气冲洗系统用于斜管的定期冲洗。经过改造后,可进一步提升出水TP、SS的处理效果,提升抗冲击负荷能力^[5],并降低除磷药剂投加量^[6]。

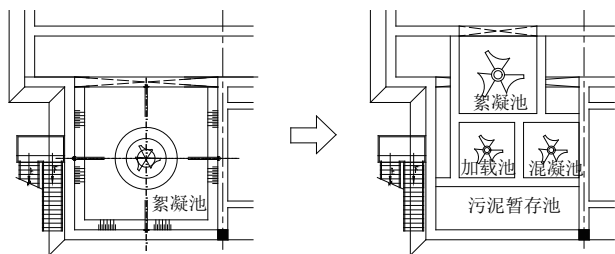


图3 混凝絮凝区改造示意图

2.3.2 反硝化深床滤池

污水厂现状一二期采用反硝化深床滤池,目前污水处理厂的TN出水标准为12(15)mg/L,结合环保部门意见,本项目排放河道断面对TN有进一步提标的要求。本次除了对反硝化滤池的反洗水泵和滤料进行更新外,针对远期TN指标进一步提升也进行了设计。

反硝化深床滤池是利用投加碳源,将生物脱氮(反硝化)与深度过滤功能高效集成于一体的污水深度处理工艺,在生物处理后进一步去除水中的硝酸盐氮和悬浮物^[7]。本次考虑新增一套优质菌种生产投加装置,补充相对优质菌种,既能提高滤池脱氮效率提高负荷,同时可减少碳源消耗,起到节能降耗的目的^[8]。

菌种在线生产投加装置的出水自流进入高效澄清池,菌种在线生产投加装置的菌种泵送至反硝化深床滤池,为反硝化深床滤池提供充足的高活性反硝化菌种,污水在反硝化深床滤池进行强化反硝化处理,进一步去除硝态氮,实现污水处理厂出水TN≤5 mg/L,工作原理见图4。

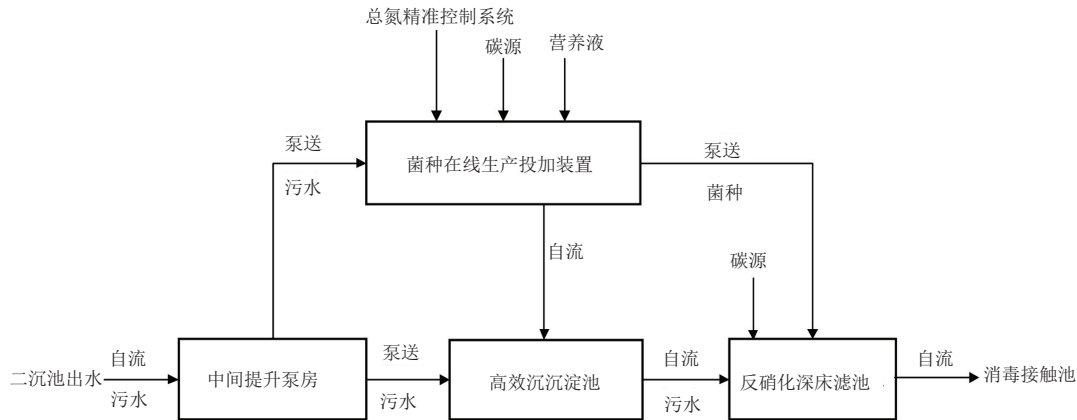


图4 菌种投加工作原理图

2.3.3 加氯消毒池

一二期加氯消毒池为原紫外消毒池改造,厂内现状采用池顶上设临时次氯酸钠储罐及投加泵,在消毒池内投加次氯酸钠进行消毒,而临时设施存在漏液现象,设备腐蚀严重。

本次对消毒系统整体进行升级更新,在消毒池东侧增设次氯酸钠成品药剂储罐、投加泵、进药泵等,投加泵采用数字泵形式以提高智能化控制水平,同时在消毒池前端分别设置静态混合矩阵,增加药剂混合均匀性,提升消毒效果,节约次氯酸钠药剂投加量。

2.3.4 加药间

本工程现有一二期加药系统储罐和投加泵等损

坏较严重,本次对混凝剂投加系统、絮凝剂投加系统以及碳源投加系统均进行原位更新,同时新增精确加药控制系统,提升污水厂的智慧化水平,并降低药耗^[9]。

2.4 污泥处理设备更新

本工程现有污泥脱水车间一座,采用污泥浓缩+隔膜压滤机工艺,均为1套设备。因此在污泥设备检修维护时,会影响污水厂正常出泥,带来一定的生产安全隐患。故本工程除了对老旧脱水系统更换滤布、污泥泵外,另新增一套污泥压滤机,同时为降低传统板框压滤机泥饼粘结、滤布需人工干预的问题,本次拟采用滤布行走式全自动隔膜压滤机。滤

布压滤后一次性松开所有滤板,通过滤布行走实现所有滤饼一次性脱落,节省卸饼时间,提高生产效率,降低人工运维强度^[10]。

2.5 智慧系统的应用

2.5.1 智慧水务管控平台的应用

智慧水务管控系统是在传统的自动化控制系统的基础上,通过大量的生产数据对生产的过程和结果进行深入分析,运用多种人工智能算法建立相应的计算模型,为运行管理提供支持的系统平台。污水处理厂的智慧水务管控系统可以从生产过程远程监控、巡检管理、设备管理、绩效管理、大数据分析决策、精确控制等方面,建立标准、科学、精细化的污水处理智能化运行管理模式^[11]。同时可以降低能耗,提升设备运行的安全性,提升智能决策的科学性和抗干扰能力^[12]。

本工程所属管理单位的排水资产涵盖 2 座污水处理厂、3 座泵站及配套管网等,现状已有一座污水厂配置智慧水务管控系统,但泵站及本厂数据并未上传至智慧水务系统,无法进行统一管理与调度。本次拟将泵站及本厂数据上传至已有水厂智慧水务系统,并对原智慧水务系统进行扩容改造,实现建设单位管理的所有排水设施的统一监控,智慧管理。

2.5.2 精确曝气控制系统应用

本工程对一二期生物反应池增加精确曝气控制系统,通过在生物反应池设置过程仪表,检测生反池各段的 COD、氨氮等污染物指标,以及 DO、MLSS、液位等指标,通过控制系统的模型计算出各好氧段的需气量,以此作为鼓风机风量的控制依据。同时通过线性空气调节阀,对各段反应区的气量进行精准调配,通过上述措施在满足生反池正常需气量的基础上,降低鼓风机的运行能耗^[13]。

2.5.3 精确加药控制系统应用

本工程同步增设除磷药剂的精确控制系统,通过测定进入磁混凝高效沉淀池的流量、正磷酸盐/总磷浓度等数据,以出水 TP 浓度为目标值,利用化学除磷的动力学模型实时计算出当前工况下满足 TP 目标值所需的混凝剂投加量^[14],以此作为加药量的设定值信号,通过变频调节加药泵的流量,提供所需的药量,通过精确控制,在达标处理的同时可避免药剂过量投加,从而实现降耗的目的^[15]。

3 工程设计中需要考虑的问题

本工程是设备更新工程,虽然是在现状设施的

基础上开展,但绝非简单的“拆旧换新”。在前期需要充分调研现状设施情况,对老旧设备进行更新的同时,尽可能的解决现状存在的一些问题。

3.1 设备能力的复核

随着多年的运行,污水厂峰值流量等基本趋于定值,对于一些原本设计能力略有不足的设备,如水泵、格栅等,要根据现状工况进行详细复核,在设备更新时同步调整设备的参数。

3.2 检测仪表的复核

如生反池的一些仪表原先布置的位置存在问题,或存在缺失,无法给运行操作提供数据支撑,在设备更新时应同步优化调整仪表的布置方案,满足运行控制的要求。

3.3 增加运行的灵活性

通过增设超越管路和变频器等,使系统灵活切换,提升抗风险能力,节约能耗。如本工程对滤池清水池增设超越管以便于后续的运行维护;对厂外泵站的水泵加装变频器、对鼓风机配置大小机型的方式应对复杂的运行工况,优化设备的调节性能,实现节能降耗等。

3.4 项目建设的前瞻性

在工程实施前,应充分了解上位规划及相关政策,项目远期是否需要扩建或提标。在设计中要结合地区特点做好超前考量,在选择设备参数和形式时要预留接口和能力空间,便于未来功能扩展或技术升级。

4 结 语

随着我国大量早期建设的污水处理厂设备陆续达到设计寿命或面临技术迭代,设备更新改造已成为保障行业安全稳定运行、推动节能降碳与智慧化升级的关键举措。

基于本项目的工程实践表明,设备更新是一项系统性工程,绝非简单的“拆旧换新”,必须对全厂的工艺流程、设备工况、能耗药耗及潜在风险进行全面、深入的调研与分析诊断;在此基础上,结合政策导向与技术发展,统筹制定兼顾安全性、效能提升、经济性与前瞻性的综合性更新方案。

通过本工程的实施,不仅整体提升了污水厂的运行安全性与处理效能,更实现了能耗与药耗的显著降低,以及运营管理智慧化水平的跃升,充分体现了“一次投资、长期受益”的可持续发展理念。

(下转第 283 页)