

2011

水处理典型技术

SHUICHULI DIANXING
JISHU ANLI DAQUAN

案例
大全

©水工业市场杂志 编

中国环境科学出版社

2011 水处理典型技术案例大全

水工业市场杂志 编著

中国环境科学出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

2011 水处理典型技术案例大全 / 《水工业市场》杂志社主编. —北京: 中国环境科学出版社, 2012.3

ISBN 978-7-5111-0913-2

I. ①2… II. ①水… III. ①水处理—技术 IV. ①TU991.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2012) 第 030244 号

责任编辑 付江平

责任校对 尹 芳

封面设计 金 喆

出版发行 中国环境科学出版社

(100062 北京市东城区广渠门内大街16号)

网 址: <http://www.cesp.com.cn>

电子邮箱: bjgl@cesp.com.cn

联系电话: 010-67112765 (编辑管理部)

发行热线: 010-67125803, 010-67113405 (传真)

印装质量热线: 010-67113404

印 刷 北京东海印刷有限公司

经 销 各地新华书店

版 次 2012 年 3 月第 1 版

印 次 2012 年 3 月第 1 次印刷

开 本 787×1092 1/16

印 张 22.25

字 数 510 千字

定 价 70.00 元

【版权所有。未经许可, 请勿翻印、转载, 违者必究。】

目 录

城市污水

城镇污水处理厂一级 A 稳定达标的工艺流程分析与建议·····	郑兴灿 尚 巍 孙永利等	1
无锡市城镇污水处理厂升级改造技术路线综述·····	蒋岚岚 吴 伟 沈晓铃等	9
城镇污水处理厂达国家一级排放标准的工艺选择实例·····	林文波 李慧秋 王圣杰	13
城市污水处理厂升级改造的案例分析·····	李伟进	20
污水处理厂水质提标改造技术的工程应用·····	刘海燕 李树苑	28
A ² /O 工艺污水处理厂的运行问题分析及解决方案·····	海 洋 何利平	33
利用活性初沉池改善进水水质与强化生物脱氮研究·····	王佳伟 李 伟 曹祥博等	41
Multiflo [®] 沉淀池、Actiflo [®] 沉淀池和 Biostyr [®] 生物滤池的介绍 及其在污水处理中的组合应用·····	唐孝国 李伟进 平文凯	48
粉末活性炭吸附在城市污水再生利用工程中的应用·····	唐凯峰 郭淑琴 孔大铮	58
污水处理厂曝气控制·····	夏文辉 刘 芬 周 雷	66
ZT 生物交替节能新工艺电耗实例·····	刘章富 张健君 闫智涛等	73
污水处理低碳运行策略与技术导向·····	郝晓地 涂 明 蔡正清等	78
基于 LK 冗余方案的纪庄子污水处理厂自控系统升级改造·····	葛立福 江晓川 于 进	85
双膜法在高阳再生水厂的应用·····	石柳青 黎泽华 王同春	92
“体外透析+生态治理”新型工艺在景观水体综合治理中的应用·····	王吉白 刘 坤	95

工业废水

我国工业废水处理现状及趋势·····	张越群	103
我国工业废水处理存在的问题及建议·····	周宏春	110
工业废水处理现状分析及思考·····	秦树篷	114
重金属废水处理方法综述·····	门 彬 王东升	121
工业废水深度处理回用工程实例·····	贺俊兰 纪 轩 王国栋	128
城市污水回用于火电厂循环冷却水处理方法的研究和工程实例·····	周保卫 周金全	133
印染废水处理工程提标改造与探讨·····	余淦申 陈伟民 陈云霞	141
膜分离技术在冶金废水中的应用·····	张立才	146
钢铁企业循环冷却水处理站总体设计·····	金亚颀	152
面向钢铁厂污水深度处理的压力式 PVDF 膜组件应用案例分析 ·····	闫瑞新 张立新 李克岗等	160

外循环厌氧多级生化工艺处理煤制气废水应用实例	韩洪军 王 伟 袁 敏	166
用于废水再生回用的深度处理技术及工艺探讨	赵 亮 杨 超 陈太师	173
造纸工业废水处理再利用技术路线的探讨	余淦申	180
中空纤维微滤膜及反渗透膜在化工废水回用中的应用	郝文超	187
综合运用超滤和反渗透技术实现燕山石化炼油污水回用	童晓兰	191
废乳化液处理工艺与设备的改进	刘年兰	196

污泥处理

城市污泥堆肥处理及其产业化发展中的几个关键问题	陈同斌 郑国砥 高 定等	201
北京市污水处理厂污泥处理与处置探讨	崔小浩 李五勤 谢文征等	207
天津市中心城区污水处理厂污泥最终处置方式的选择与研究	李晓娟 李玉庆 张 建	213
厦门城市污泥深度脱水处理和资源化处置利用技术	谢小青	219
CTB 自动控制污泥好氧发酵工艺工程实践	陈 俊 陈同斌 高 定	226
污泥干化与水泥窑焚烧协同处置工艺分析与案例	史 骏	231
利用城市污泥生产有机肥的实践	李碧清 唐 瑶 冯 新	240
滚筒式内置动力装置污泥翻抛机技术研究	张兴权 周子义	244
污泥石灰干化作用机理及应用研究	曹秀芹 杨 华 甘一萍	249
圆盘污泥干化技术及工程应用介绍	程 刚 杜 杰 陶国建	258
污泥深度脱水工艺在杭州七格污水处理厂中的应用	陈柏校 张 辰 王国华等	263
油田矿区污泥处置运行管理研究	邹红丽 许贺勇 陈雪洲	267
水厂排泥水处理应用与改造实例	袁 琪 周荣斌	271

海水淡化

海水淡化的一些新进展	高从增	275
关于我国海水淡化产业发展的几点看法	杨尚宝	278
海水淡化技术简介及应用现状	申屠勋玉 孟友国 赵丹青等	286
大唐王滩电厂海水淡化系统两年运行经验	初庆伟 赵敏佳 李思吉	295
低温多效蒸馏法海水淡化技术的应用	孙育文 周 军 莫伟军	301
海水淡化现状分析及投融资模式创新机制探讨	童金忠	306
海水反渗透系统的设计要点	李宏秀	310
海水淡化反渗透膜最新进展及其应用	田 华 尹 华 朱列平	315
唐山海港经济开发区海水淡化技术应用	王金元	322
海水淡化浓盐水处理对环境的影响与零排放技术研究进展	马学虎 兰 忠 王四芳等	327
海水淡化及海岛城市多水源综合利用的规划研究	朱 玲 莫 雁 王 晨	338
VONTRON 反渗透膜在海水淡化项目中的应用	仲惟雷 刘 枫 金 焱	343

城镇污水处理厂一级 A 稳定达标的 工艺流程分析与建议

郑兴灿 尚 巍 孙永利 廖飞凤 游 佳 李鹏峰 黄 鹏 宁 冰
(国家城市给水排水工程技术研究中心, 天津 300074)

摘 要 依据太湖流域多座城镇污水处理厂实际运行情况的调查分析, 特别是进水水质特性和出水达标情况的分析研究, 结合江苏省太湖流域城镇污水处理厂一级 A 提标的除磷脱氮技术改造需求, 总结分析了城镇污水处理厂一级 A 稳定达标所需的代表性工艺操作单元选择。在此基础上, 提出了适合城镇污水处理厂一级 A 稳定达标处理的基本工艺流程和扩展工艺流程, 阐述了工艺流程中工艺单元的组合方式、关键控制参数和设计选择重点。

关键词 城镇污水 除磷脱氮 排放标准 工艺流程 深度处理 太湖流域

国家环境保护总局 2006 年第 21 号公告^[1]提出, 城镇污水处理厂出水排入国家和省确定的重点流域及湖泊、水库等封闭、半封闭水域时, 执行《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB 18918—2002)一级标准的 A 标准。这在一定程度上意味着一级 A 标准在全国范围内的推行, 特别是太湖、巢湖、滇池等重点流域的城镇污水处理厂。在 GB 18918—2002 的制订过程中, 设立“一级标准 A 标准”的目的是, 在国家相关再生水水质标准未出台之前, 此标准可作为再生水水质的过渡性标准与参考基准。某种意义上说, 一级 A 标准的初衷不是作为排放标准, 而是再生水水质的基本要求^[2]。因此, 可以认为, 城镇污水处理厂出水一级 A 达标的工艺流程实际上相当于城镇污水再生处理工艺流程, 是污水二级强化处理、三级处理、高级处理和消毒的不同组合与集成。污水二级强化处理是一级 A 稳定达标的关键工艺单元, 其选取既要考虑二级处理出水中的主要水质指标(TN、NH₃-N、COD、TP)能否达到一级 A 排放标准, 更要考虑后续深度处理对前处理工艺的要求, 前处理和后处理工艺能够相互补充以增强整个工艺流程的总体效能。

1 一级 A 稳定达标的主要工艺单元考虑

从技术可行性和经济合理性角度考虑, 有机物(COD、BOD₅)和氮、磷的达标去除应尽量在污水二级生物处理工艺单元中完成, 特别是 TN 和 NH₃-N 的去除。二级(强化)处理应确保有机物、悬浮固体和氮磷营养物有足够高的去除率, 一般采用生物除磷和生物硝化/反硝化方法, 必要时增加化学协同除磷。特殊(微量)污染物和有毒有害物质应尽量在工业企业源头加以控制, 必要时在深度处理工艺流程中设置针对特定水质指标的处理单元。表 1 汇总了城镇污水处理厂一级 A 稳定达标处理中可供选择采用的代表性工艺操作单元。

二级(强化)处理之后的深度处理应以过滤工艺为核心单元、混凝沉淀为强化手段,起到高效去除悬浮固体和胶体物质的作用,降低处理水的浊度和消除病原体,必要时通过调整混凝剂优选和剂量同步完成化学除磷。高级处理是达标深度处理的选用单元,通过物理、化学或生物方法更充分地去水中某些特定的成分,例如反硝化滤池去除硝态氮,活性炭吸附和臭氧化去除难生物降解有机物及脱色、反渗透法去除溶解性固体。消毒处理是达标的必备单元,也是深度处理流程的最后一个单元,其功能是利用物理、化学或生物的方法去除和灭活水水中的各种病原体。

表 1 城镇污水深度(再生)处理的代表性工艺单元

工艺单元		代表性单元操作
物理分离	沉淀分离	可沉微粒重力沉降：沉砂池、初沉池；悬浮絮体重力沉降：二沉池
	过滤分离	直接过滤或混凝后过滤：砂滤池、其他类型滤池或膜滤
生物处理	好氧处理	常规活性污泥法：曝气池；生物膜法：生物滤池、接触氧化
	除磷脱氮	生物除磷脱氮：通过厌氧、缺氧和好氧反应池的不同组合方式，利用聚磷菌、硝化菌和反硝化菌的生理生化功能，去除污水中的氮、磷营养物；化学协同除磷：投加铝盐和铁盐，增强生物处理系统对磷的去除能力
	其他处理	生物稳定塘，人工湿地，土地处理等
物化处理	化学混凝	二级处理出水化学混凝沉淀、化学混凝过滤及组合方式：实现化学除磷，悬浮物和胶体物质的去除
	石灰处理	二级处理出水的化学沉淀：化学除磷；实现悬浮物、胶体物质、病原体、重金属的去除
	膜过滤	通过膜过滤去除二级处理出水或化学混凝沉淀出水中的微粒和微生物；主要包括微滤、超滤和纳滤
	活性炭	通过活性炭表面的物理吸附作用，去除憎水有机污染物
	离子交换	通过离子交换树脂有效去除阳离子如钙、镁、铁和阴离子氨
	反渗透	通过反渗透压的不同分离水溶液中的离子，去除过滤出水中的无机盐和溶解性物质，并有效去除病原体
消毒		氧化消毒：氯化、臭氧、二氧化氯；射线辐射：紫外线消毒；物理分离：膜过滤；热处理：加热消毒

2 一级 A 稳定达标的工艺单元选择

针对太湖流域城镇污水处理厂的除磷脱氮改造需求,结合代表性城镇污水的水质特点和水质处理要求,以表 1 所列出的工艺单元为基础,按图 1 所示的工艺选择过程组合出适合该区域城镇污水处理厂出水一级 A 稳定达标的基本工艺流程及变化方式。

在城镇污水一级 A 稳定达标处理工艺流程中,粗格栅、细格栅、提升泵站和沉砂池是必备的前处理工艺单元,二级生物处理采用膜生物反应器(MBR)时,还需要在前端设置超细格栅(1mm 间距)。除非进水悬浮物浓度很低或进水 SS/BOD₅ 比值较低,否则,常规初沉池或高负荷沉淀池应该成为必选工艺单元,以尽量去除进水中的无机悬浮固体。后续生物处

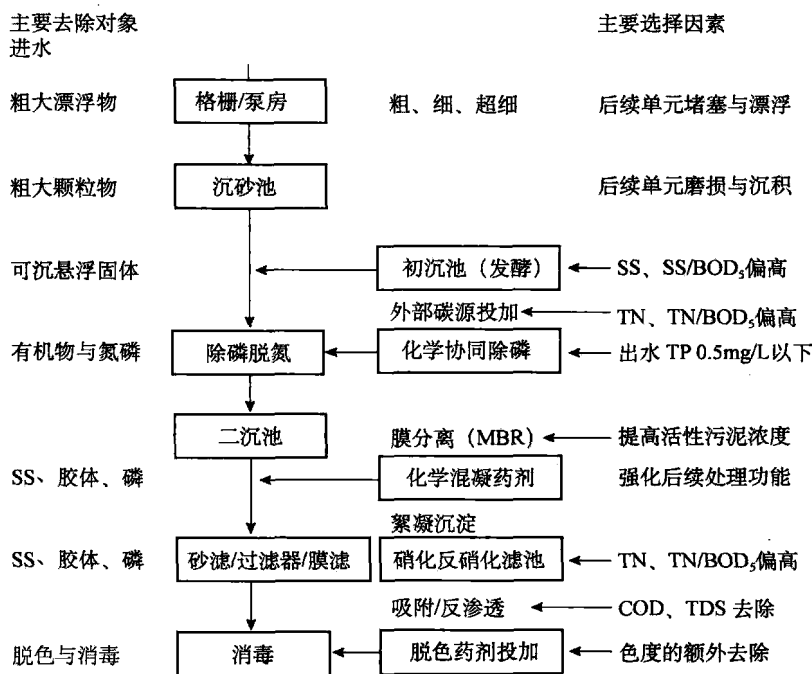


图 1 城镇污水处理厂一级 A 稳定达标的工艺流程及单元组合

理单元存在碳源不足时，可考虑初沉污泥的产酸发酵以补充优质碳源，或者部分时段超越初沉池直接进入生物处理池。

二级生物处理工艺的选择是一级 A 稳定达标的最重要环节，特别是 TN 和 NH₃-N 的稳定达标去除，对于氮磷去除，建议采用回流污泥反硝化生物除磷脱氮(改良 A/O)及其变型工艺作为基本工艺流程，目前已经得到较为广泛的工程应用。可采取的主要工艺控制及改进措施为：

(1) 污水生物处理系统采用 15d 以上的设计泥龄，考虑进水水质水量的变动和运行操作的调节能力限制，实际运行过程中应尽量控制在 12~20d 的范围内，以保障冬季低水温(例如 10℃)条件下生物处理池有足够数量的硝化菌与硝化能力。

(2) 可采用环形沟道生物反应池(氧化沟)池型构造，较高倍率的循环流量形成快速混合作用，加上多个沟道的串联，可以明显减小进水水质水量的时变化峰值系数(由 3~10 倍降低到 1.5 倍左右)，相应降低出水 NH₃-N 浓度的波动，有效发挥硝化菌的作用，有利于 NH₃-N 稳定达标。

(3) 进水水质水量的波动和碳氮比偏低是影响 TN 稳定达标的最主要因素，进水水质水量的波动通过沟道串联布置来缓解，碳源不足可通过初沉污泥发酵进行一定程度的补充；必要时，补充外部碳源(例如甲醇、醋酸钠、醋酸等)强化生物反硝化效果。

(4) 强化前端预处理以去除尽量多的进水无机悬浮固体，降低活性污泥的惰性组分含量，以提高生物池的反硝化速率，缩短反硝化所需时间或提高反硝化总量；部分沟(渠)道可按亏氧方式运行，促进同时硝化反硝化及部分短程硝化反硝化的实现，提高碳源利用效率和 TN 去除总量。

(5) 冬季低温到来之前，在秋季提前逐步提高整个污水生物处理系统的活性污泥总量，

增加实际运行泥龄，系统中累积硝化菌和反硝化菌的总量，以改进和保障冬季的硝化和反硝化效果。

在二级处理出水 TN 和 $\text{NH}_3\text{-N}$ 稳定达到一级 A 排放标准的情况下，可采用直接过滤或者混凝过滤的工艺单元进一步降低出水的 COD、 BOD_5 、SS 和 TP 浓度，使其稳定达标。化学混凝有助于强化 COD、 BOD_5 、SS 和 TP 的去除以及后续过滤单元的稳定运行。过滤方式可以有多种选择，包括砂滤池、机械过滤器和膜过滤系统，主要取决于出水水质的具体要求和达标考核方式、处理出水的出路和用途、工程造价和运行成本、操作管理与运行调整难易等方面。

在二级处理出水 TN 和 $\text{NH}_3\text{-N}$ 不能稳定达到一级 A 标准的情况下，需要采用反硝化滤池和曝气生物滤池系统，将 TN 和 $\text{NH}_3\text{-N}$ 的进一步稳定去除与过滤处理相结合，但这种方式的出水浊度和 SS 含量要高于砂滤、机械过滤和膜滤。另外，反硝化滤池需要投加外部碳源(甲醇)，去除 1mg/L 硝态氮一般需要投加 3mg/L 甲醇。

采用膜生物反应器(MBR)时，生物处理与膜滤结合为一体，占地面积较小，出水感官指标好，适合处理出水的直接再利用，但运行成本和工程投资高，曝气能耗会有明显的升高。

3 一级 A 稳定达标的基本工艺流程建议

3.1 基本工艺流程的构成

一级 A 稳定达标的基本工艺流程为：二级强化处理+化学混凝(沉淀)+介质过滤+消毒。

这一工艺流程选择基于二级强化处理出水的 TN 和 $\text{NH}_3\text{-N}$ 已经能够稳定达到一级 A 标准，COD 稳定达到一级 B 标准，碳源 BOD_5 一般在 12mg/L 以下。

其中，化学混凝(沉淀)过滤工艺包括以下三种主要组合方式：

(1) 混凝沉淀过滤：快速混合+絮凝+沉淀+过滤。在快速混合池或进水管道内完成快速混合，经过絮凝反应过后，在澄清池中沉淀处理，沉淀出水进入滤池过滤。在二级处理出水 SS 不稳定或需要化学除磷的情况下，需要采用该工艺组合，以确保出水的全面稳定达标。

(2) 化学絮凝过滤：快速混合+絮凝+过滤；在快速混合池或进水管道内完成快速混合，经过一定时间的絮凝反应，不经沉淀，直接进入滤池过滤。一般采用聚铝或硫酸铝作为化学除磷药剂。

(3) 微絮凝过滤：管道混合+过滤；通过快速混合器或管道内部混合器完成化学药剂的投加与快速混合，絮凝过程在深床上向流滤池的底部或深床重力流滤池的顶部完成，不设置中间沉淀段。

采用聚铝作为除磷药剂时，需要一定的化学沉淀反应时间，否则除化学磷效果会受到一定影响。

3.2 化学混凝处理

深度处理工艺流程中设置化学混凝剂投加系统，其核心目的是提高后续过滤工艺的颗

粒去除性能，以增强悬浮物、胶体物质、磷酸盐和病原体的去除；混凝剂包括铝盐、铁盐、石灰、复合药剂和聚合物等。

如果深度处理工艺系统在不投加化学药剂的情况下就能稳定达到 TP 去除要求和 3NTU 的浊度，则允许混凝剂投加系统停止运行，但化学药剂投加系统必须每月至少保持运行两次，以保证需要时整个加药系统能够投入正常运行。

如果混凝工艺之后采用粒状滤料滤池工艺，则化学混凝工艺应至少满足：

(1) 连续监测和记录生物处理出水的浊度值，以便后续混凝剂投加设备能依据进水水质的变化自动调整混凝剂的投加量。

(2) 除微絮凝过滤外，设计中应提供包括快速混合和絮凝池在内的化学处理设施，必要时增加中间沉淀设施，以确保所有运行条件下均能达到后续过滤水质的要求。

(3) 深度处理设施的每个处理工艺单元(凝聚或快速搅拌以及絮凝等)应至少设置两套，以确保某一套设备停机维修、保养或反冲洗时，能连续进行再生处理。

(4) 投加混凝剂的同时，提供足够的初期快速混合或等效措施，以确保混凝剂在污水中的有效扩散和高效利用，促进后续絮凝反应的高效完成。

(5) 在絮凝反应池中一般需要提供促进絮体粒子形成的模式。要通过慢速搅拌控制水流的紊流或搅拌强度，既要防止絮体粒子的沉淀，也要防止絮体的破碎与解体。

(6) 工艺控制中不得出现絮凝时间不足，以防过滤出水中继续发生絮凝而影响出水水质。

(7) 投加混凝剂后需要一定的时间才能形成肉眼可见的絮体，根据污水性质以及所选混凝剂的不同，絮体形成的时间也有所不同，可能需要 5min 或更长时间。要提供充足的絮凝反应停留时间，以确保絮体在污水过滤之前全部形成，而不是过滤之后继续形成。絮凝反应停留时间应根据试验测定结果或参照同类工程运行数据。

(8) 不同污水处理厂的生物处理出水水质会有一定程度的不同，每个拟建项目都需要进行前期试验，合理选择混凝剂和聚合物类型，以及相应的设计投加量。

(9) 采用絮凝后直接过滤方式时，建议快速混合单元的停留时间小于 30s，絮凝单元的停留时间为 20~45min。

3.3 过滤处理

过滤处理是一级 A 达标处理的重要组成部分，可以在消毒之前去除固体物质、TP 和浊度，从而能提高后续消毒效果，使病原微生物失活或去除。过滤技术的选择不仅体现在出水水质的好坏，而且也需要考虑操作难易程度、运行的限制条件、系统构件的可靠性以及对流速和负荷变化的适应性问题。粒状滤料过滤是应用时间最长，也是应用效果最好的城市污水过滤处理技术。

浊度是混凝—絮凝—沉淀—过滤工艺处理效果的主要度量参数，虽然不能用于度量病原体的去除程度，但浊度却是出水消毒效果的重要控制指标。滤池可采用双层滤料滤池、单层滤料滤池均质滤料滤池等。

3.4 消毒处理

对于净化处理水的消毒，其卫生学与环境性能目标包括：将微生物病原体的浓度降低到水质标准规定的最低浓度标准值以下，达到国家规定的排入受纳水体的水质要求；不会因处理水的排放而增加用水过程与环境中有毒物质的浓度；消毒效果稳定可靠且经济有效；

消毒剂或副产物的运输、储存或处置过程不会对公众健康或环境造成额外风险。可供应用的消毒方法包括化学消毒(例如氯化或臭氧消毒)、物理消毒(例如紫外消毒)、生物法消毒(例如滞留蓄水塘或生态净化处理)等,膜滤技术也有较好的病原体去除效果。

三种典型消毒技术的特点为:

(1) 氯化消毒:氯对 *E.coli* 等肠道细菌的消毒非常有效,但对其他微生物种属的消毒效果就没有那么好,因此,使用大肠杆菌度量消毒效果时,应考虑不同病原体类群对氯化消毒的敏感度。

氯化消毒效果取决于 pH、氯浓度和接触时间,并受氨和悬浮固体的影响。氯化消毒的不足之处是,余氯对水生生物有毒害作用,还可能形成具有较大毒性、持久性和生物累积性的有机氯衍生物。

(2) 臭氧消毒:与氯化消毒相比,臭氧对病毒和细菌的消毒效果要好得多,但如果条件不理想,灭菌的效果也会出现问题。臭氧在水中的溶解度较低,使其消毒能力明显降低;另外,由于其反应活性高,难以维持残留臭氧,这可能导致微生物的再次生长。

(3) 紫外消毒:UV 消毒的效率主要取决于消毒前净化处理水的物理化学水质特征,水质越好,UV 消毒的效率越高。UV 进行消毒的优势在于消毒速度快,而且不会增加处理水的毒性。与臭氧一样,UV 消毒不会在水中产生持久的残存。需要经长距离和长时间输送或储存时,可能存在微生物再次繁殖的风险。

4 达标排放与再生利用兼顾的工艺流程

考虑到再生水利用的水质可靠性和稳定性要求较高,一级 A 达标排放与再生水生产相结合的基本工艺流程为:二级强化生物处理+膜过滤(多层滤料过滤)+消毒,必要时膜过滤之前增加混凝沉淀预处理。有化学除磷需求,或者生物处理出水 SS 浓度偏高时,应采取混凝沉淀预处理。

4.1 混凝沉淀

可选用铝盐、铁盐、石灰、聚合物等作为化学混凝剂。不同污水处理厂的生物处理出水水质会有一定程度的不同,每个拟建项目都需要进行初期试验研究,以合理选择混凝剂和聚合物类型及设计投加量。

作为 SS 的达标控制措施时,如果进水浊度低于 10NTU,可以不投加化学药剂。作为化学除磷的达标控制措施时,应保持加药系统的运行,除非进水磷浓度已经低于限定的标准值。投加铁盐或铝盐进行化学除磷的摩尔比一般为 2~3,通常通过试验确定。化学除磷和生物除磷均尽量安排在生物处理工序完成,以降低处理成本和药剂消耗量。

在絮凝反应池中一般需要提供某些促进絮体粒子形成的方式。通过慢速搅拌控制水流的紊流或搅拌强度,既要防止絮体粒子的沉淀,也要防止絮体的破碎与解体。要提供一定的絮凝反应停留时间,一般为 10~20min,具体根据试验测定结果或参照同类工程的生产性运行数据。

沉淀工序采用平流沉淀池时,沉淀时间可选用 2.0~4.0h,水平流速可采用 1.0~10.0mm/s。如采用澄清池,上升流速可选用 0.4~0.6mm/s。需要连续监测和记录生物处理出水的浊度值,

以便后续混凝剂投加设备能依据进水水质的变化自动调整混凝剂的投加量。

4.2 膜过滤

经过前端工序处理后进行膜过滤(微滤、纳滤等),采用微滤膜过滤时,主要技术参数为:

(1) 微滤膜孔径宜选择 $0.2\mu\text{m}$ 或 $0.1\sim 0.2\mu\text{m}$ 。

(2) 二级处理出水进入微滤装置前,应投加适量抑菌剂;如果没有混凝沉淀预处理,应进行粗过滤处理($500\mu\text{m}$)。

(3) 微滤系统宜设置在线监测微滤膜完整性的自动测试装置和自动反冲洗系统;可以采用气水反冲系统,也可根据膜材料采用其他冲洗措施。

(4) 微滤系统宜采用自动控制系统,在线监测过膜压力,控制反冲洗过程和化学清洗周期,多数处理系统的技术参数为:反冲洗周期 $30\sim 60\text{min}$,化学清洗周期 $20\sim 40\text{d}$ 。

(5) 要求微滤或其他等效膜过滤的出水浊度不超过 0.5NTU 。

4.3 消毒处理

膜过滤能有效去除微粒、细菌、某些病毒、藻类和原生动物。原生动物一般大于 $0.2\mu\text{m}$,通过微滤可以有效去除,这使得该方法优于其他技术。粒径大于 $0.2\mu\text{m}$ 的病毒(包括多数肠道病毒)也能得到有效去除。但反冲洗液中含有大量的微生物污染。膜滤出水需要进一步消毒处理,可以采用氯化或紫外线消毒,或其他等效方法,要求消毒出水的粪大肠菌群数小于 3MPN/L 。

5 低浓度和高浓度城镇污水的达标工艺流程

5.1 低氮磷生物处理出水的达标处理工艺

部分中低浓度污水和进水水质特性较好的中等浓度污水,其二级处理出水的 TN 、 $\text{NH}_3\text{-N}$ 已经能够达到一级 A 标准, TP 、 COD 和 BOD_5 接近一级 A 标准,只要直接进行过滤处理,出水水质就可以全面达到一级 A 标准的要求,过滤方式包括砂滤池、机械过滤器或膜过滤系统等。

5.2 一级 A 稳定达标工艺流程的功能扩展

在二级强化生物处理+化学混凝(沉淀)+过滤的基本工艺流程的出水水质难以稳定达到一级 A 标准的情况下,需要在基本工艺流程的基础上扩展某些功能。例如:在二级强化生物处理部分,主要包括好氧生物池添加填料提高硝化能力和硝化稳定性,缺氧段投加碳源提高反硝化能力及其稳定性,初沉污泥发酵和剩余污泥破解补充碳源。在二级强化生物处理之后,主要包括去除氨氮的曝气生物滤池,去除 TN 的反硝化滤池,去除 COD 的活性炭吸附,脱除色度的臭氧氧化,脱除盐分的反渗透,以及膜生物反应器的应用,等等。

需要特别注意的是,采用投加外部碳源的方式强化生物脱氮效果时,对于进水总氮浓度高^[5]、碳氮比低的城镇污水处理厂,其工程投资和运行费用可能出现大幅度的增加,使得单位资金投入的减排效果并不显著,此时应该特别加强源头控制:一是降低排入污水管网

的原水总氮浓度；二是适当降低存在优质碳源的工业污水(例如生物发酵行业排水)的 BOD_5 排放要求，以提高城镇污水处理厂进水的碳氮比和优质碳源(可快速生物降解有机物)比例。

参考文献

- [1] 国家环境保护总局. 国家环境保护总局公告 2006 年第 21 号关于发布《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB 18918—2002)修改的公告, 2006 年 5 月.
- [2] 马世豪, 何星海. 城镇污水处理厂污染物排放标准浅释[J]. 给水排水, 2003, 29(9): 89-94.
- [3] 何伶俐. 太湖流域城镇污水处理厂除磷脱氮改造技术[J]. 建设科技, 2007(7): 110-111.
- [4] 郑兴灿. 城市污水生物除磷脱氮工艺方案的选择[J]. 给水排水, 2000, 26(5): 1-4.
- [5] 郑兴灿. 太湖流域城镇污水处理厂执行一级 A 标准的问题讨论[J]. 建设科技, 2008(23): 14-15.

无锡市城镇污水处理厂升级改造技术路线综述

蒋岚岚¹ 吴伟² 沈晓铃¹ 周铭威³ 张万里¹ 梁汀¹ 胡邦¹

(1 无锡市政设计研究院有限公司, 江苏 无锡 214072;

2 无锡市排水总公司, 江苏 无锡 214011;

3 无锡市高新水务有限公司, 江苏 无锡 214028)

摘 要 随着国家和地方对城镇污水处理厂污染物排放标准的提高, 已经建成的很多污水处理厂均面临升级改造, 以无锡市 20 家污水处理厂升级改造工程为例, 综述了相关工程措施和技术路线, 以供周边城镇污水处理厂升级改造工程实践中参考。

关键词 城镇污水处理厂 升级改造 技术路线

2007 年 5 月底太湖无锡段暴发蓝藻, 太湖流域发生水危机, 严重影响了无锡市的城市供水。2007 年 6 月以来, 为贯彻落实国家发改委《太湖流域水环境综合治理总体方案》的要求, 为改善太湖水质, 削减入湖氮磷营养物, 减轻湖泊的营养负荷, 全面提高太湖水质, 无锡市出台了一系列行动纲要, 其中要求全市城镇污水处理厂完成脱氮除磷改造工程, 提高出水标准, 由原来的 GB 18918—2002 一级 B 标准提高到一级 A 标准。

至 2008 年年底, 无锡市的 20 家城镇污水处理厂已全部完成了升级改造工程。

1 城镇污水处理厂概况

无锡市市区包括崇安区、南长区、北塘区、锡山区、惠山区、滨湖区和新区七个行政区, 总面积 1 622km², 人口 245 万。与实际行政区略有不同, 经过多年的努力建设, 无锡市形成了以主城区、滨湖区、新区、锡山区、惠山区为主的五大污水处理区域。

至 2008 年年底, 无锡市全市范围内共建有市政污水处理厂 21 座(其中 1 座为新建, 无需升级改造), 服务范围覆盖全市, 总处理能力达到 81.45×10⁴m³/d, 实际处理量约 67.48×10⁴m³/d, 详见表 1。

在进水水质方面, 无锡市主城区、新区、滨湖区的 8 座及锡山区的东亭、惠山区的惠山等 10 座污水处理厂进水性质基本为市政污水, 污水处理厂进水 B/C 比一般可达 0.3~0.4, 可生化性尚可; 但是部分乡镇污水处理厂(主要是锡山区及惠山区部分镇级污水处理厂)进厂污水工业废水比例较高, 生化性较差。

2008 年以前, 无锡市城镇污水处理厂出水水质标准一般执行 GB 18918—2002 一级 B 标准。在污水处理工艺方面基本采用一级+二级+消毒的处理工艺, 其中一级处理采用粗格栅+进水泵房+细格栅+沉砂池的常规一级处理工艺; 二级处理主要有 A²/O 工艺、Orbal 氧化沟工艺、SBR 工艺及其升级系列(MSBR、CAST、C-TECH)等; 部分进水 B/C 比偏低的污水处理厂增设厌氧水解工艺; 尾水消毒多采用紫外线消毒, 少数水厂采用加氯消毒或二氧化

氯消毒。污水处理厂升级改造前原二级处理工艺汇总如表 1 所示。

2 污水处理厂升级改造的工程措施

2007 年 6 月 11 日无锡市委市政府颁发了《关于举全市之力开展治理太湖保护水源“6699”行动的决定》(以下简称《决定》),《决定》要求到 2008 年年底,全市所有城镇污水处理厂完成提标升级改造工程,达到一级 A 排放标准。因此,2007 年 6 月至 2008 年年底,无锡市全部城镇污水处理厂进行了升级改造。污水处理厂升级改造基本思路为对污水处理厂进出水水质尽心调研测试,仔细分析影响一级 A 标准稳定达标的主要因素,合理选择强化预处理和强化生物处理各措施,再选择深度处理措施,确保处理效果。主要工程措施为生化段强化生物脱氮及 COD 的去除,增设三级深度处理工艺主要采用机械过滤或根据水质采用混凝沉淀过滤的组合工艺,部分污水处理厂采用曝气生物滤池强化脱氮及过滤。污水处理厂具体升级改造处理工艺汇总,如表 1 所示。

表 1 无锡市城镇污水处理厂一览表

序号	所在区	污水处理厂名称	处理规模/ (10 ⁴ m ³ /d)	运行规模/ (10 ⁴ m ³ /d)	原二级处理工艺	升级改造工艺
1	主城区	芦村	20	20	A ² /O 工艺	填料式改良 A ² /O+滤布滤池(膜过滤)
2		城北	15	14	Orbal 氧化沟	按 BNR 工艺改造 Orbal 氧化沟+盘片式微过滤
3		太湖新城	5	5	改良 A ² /O 工艺	改良 A ² /O+V 型滤池(虹吸滤池)
4	滨湖区	度假区	1.25	1.0	C-TECH 工艺	强化生物脱氮 CAST 工艺+盘片式微过滤
5		胡埭	0.7	0.5	CAST 工艺	强化生物脱氮 CAST 工艺+滤布滤池
6	新区	新城	9	8.1	MSBR 工艺	填料式 MSBR+滤布滤池
7		梅村	3	2.6	CAST 工艺	填料式 A ² /O-SBR 工艺+滤布滤池
8		硕放	2	1.5	ICEAS 工艺	填料式 A ² /O-SBR 工艺+滤布滤池
9	锡山区	东亭	5	5	水解酸化+CAST 工艺	水解酸化+强化生物脱氮 CAST+盘片式微过滤
10		鹅湖	1	0.45	A ² /O 工艺	A ² /O 工艺+BAF 反硝化滤池
11		锡北	0.5	0.6	A ² /O 工艺	A ² /O 工艺+BAF 反硝化滤池
12		东港	1	0.8	倒置 A ² /O 工艺	倒置 A ² /O 工艺+BAF 反硝化滤池
13		安镇	2	1.3	水解酸化+CAST 工艺	水解酸化+CAST+BAF 曝气生物滤池
14	惠山区	惠山	2.5	2.2	水解酸化+CAST 工艺	水解酸化+CAST 工艺+絮凝沉淀+盘片式微过滤
15		钱桥	2	1.8	水解酸化+CAST 工艺	水解酸化+CAST 工艺+絮凝沉淀
16		杨市	0.5	0.3	水解酸化+沉淀+接触氧化	水解酸化+沉淀+接触氧化+二沉池+絮凝沉淀

序号	所在区	污水处理 厂名称	处理规模/ (10 ⁴ m ³ /d)	运行规模/ (10 ⁴ m ³ /d)	原二级处理工艺	升级改造工艺
17	惠山区	洛社	4	2.5	厌氧水解+好氧生化+物化沉淀	厌氧水解+好氧生化+物化沉淀+BAF 反硝化滤池
18		玉祁	2.5	1.5	吸附混凝沉淀+厌氧水解+好氧	吸附混凝沉淀+厌氧水解+好氧+曝气生物滤池
19		前洲	1.5	1.0	调节池+A ² /O 工艺+沉淀+物化沉淀	调节池+A ² /O 工艺+沉淀+物化沉淀+曝气生物滤池
20		石塘湾	2	1.8	氧化沟+AO	氧化沟+AO +曝气生物滤池
21		阳山	1	0.35	—(新建)	UASB+缺氧+FENTON+BAF 曝气生物滤池

升级改造的工程措施主要包含以下四个方面，分别是预处理、主体二级生物处理、深度处理和由前三方面改造引起的其他改造。

2.1 预处理单元

以去除进水无机悬浮固体，提高生物池生物活性、反应速率，缩短微生物降解所需的时间，主要有增设超细格栅(度假区厂)、初沉池(城北厂)等。

2.2 主体二级生物处理单元

主体二级生物处理单元改造主要有两大类：分别为处理规模减量和强化生物处理。

2.2.1 处理规模减量

针对部分厂现状量远小于处理能力或近期即将进行扩建工程，改造后的处理水量可以比原设计规模减小的情况下可以降低原生物池的处理水量，相应降低了污染物负荷，保证出水稳定达标。如度假区厂、胡埭厂根据改造前池容和设备，重新核定了处理能力，分别由升级改造前的 $1.5 \times 10^4 \text{m}^3/\text{d}$ 和 $1.0 \times 10^4 \text{m}^3/\text{d}$ 规模减量为 $1.25 \times 10^4 \text{m}^3/\text{d}$ 和 $0.7 \times 10^4 \text{m}^3/\text{d}$ 规模，减少的处理能力待扩建时解决。

2.2.2 强化生物处理

强化生物处理是维持处理规模不变，增加处理系统的有效生物量，立足于最大限度地去除有机物、NH₃-N、TN，并兼顾磷的去除。主要包括：①人工投加生物填料形成活性污泥和生物膜复合生物处理工艺^[1](如芦村厂投加悬浮型生物填料、新城厂安装固定式弹性填料等)；②回流污泥曝气再生提高生物活性(城北厂)；③调整生物池内部分隔(如芦村厂增设了回流污泥的预反硝化段、梅村厂将原 CAST 池改为 A²O-SBR 池，分隔成为厌氧区、缺氧区、过渡区、序批区四个区域等)；④调整运行周期(如胡埭厂将原部分进水曝气时段改为进水缺氧搅拌时段，提高系统的脱氮能力)等。

2.3 深度处理单元

深度处理单元主要有两大类：一是纯物化处理。当二级生物处理效果较好，主要 C、N 类有机污染物已经可稳定达到一级 A 标准时，可以考虑主要针对 SS、TP 的去除，以过滤为核心单元，混凝沉淀为强化手段^[2]，通过投加混凝剂完成化学除磷，主要包括絮凝沉淀(惠

山厂、钱桥厂)、砂滤(太湖厂)、转盘过滤(城北厂、东亭厂等)、滤布过滤(胡埭厂、新城厂等)、膜过滤(芦村厂)。二是生化深度处理。当原有生物处理段采用强化措施后 $\text{NH}_3\text{-N}$ 、 TN 仍然不能达标时,在生物处理段后增加曝气生物滤池、反硝化滤池等设施,在处理构筑物前补充必要的外加碳源,确保 $\text{NH}_3\text{-N}$ 、 TN 稳定达标(安镇厂、前洲厂等)。

2.4 其他改造单元

主要包括空气系统(鼓风机房、曝气设备)改造、污泥系统(脱水机房、污泥处置)改造、加药(除磷加药、碳源投加)系统改造或新增、除臭系统改造或新增以及各处理单元段其他设备方面的升级或更换等^[3]。

3 污水处理厂升级改造的技术路线

无锡市城镇污水处理厂升级改造工程技术路线的选择以稳定达标为前提,针对原有处理工艺进行,优先考虑利用原有处理构筑物,综合无锡市 20 家污水处理厂升级改造情况,主要改造技术路线为:

(1) 直接物化深度处理,采用的污水处理厂有表 1 中的 3、14~16 各厂,主要适用于二级生物处理出水水质较好,针对 SS 、 TP 的进一步去除为主。

(2) 直接生化深度处理,采用的污水处理厂有表 1 中的 10~13、17~19 各厂,主要适用于厂内有预留用地,二级生物处理出水 C 、 N 类有机污染物不能稳定达到一级 A 标准且现有生物段改造困难时,将 C 、 N 类有机污染物进一步稳定去除与过滤处理相结合^[4]。

(3) (强化预处理)+减量二级生物处理+物化深度处理,采用的污水处理厂有表 1 中的 4、5 各厂,主要适用于厂内无预留用地增加生物段池容且近期有扩建计划,通过减量保证有机污染物稳定达标,通过物化深度处理保证 SS 、 TP 稳定达标。并可考虑在二级生物处理减量的同时强化预处理单元。

(4) (强化预处理)+强化二级生物处理+物化深度处理,采用的污水处理厂有表 1 中的 1、2、7~9 各厂,主要适用于厂内无预留用地增加生物段池容,必须通过生物池内部改造实现。也有的考虑在强化二级生物处理的同时强化预处理单元。

通过上述技术手段,无锡市 20 家污水处理厂均已完成升级改造工程,运行效果较好,均能满足一级 A 出水水质要求,为周边城镇污水处理厂的提标改造提供了有效的借鉴作用。

参考文献

- [1] 王翥田,叶亮,张新彦,等. MBBR 工艺用于无锡芦村污水处理厂的升级改造[J]. 中国给水排水, 2010, 26(2):71-73.
- [2] 王阿华. 城镇污水处理厂提标改造的若干问题探讨[J]. 中国给水排水, 2010, 26(2):19-22.
- [3] 夏文辉. 天津开发区第一污水处理厂升级改造工艺的选择与分析 [J]. 中国给水排水, 2010, 26(4):15-18.
- [4] 郑兴灿、尚巍,孙永利,等. 城镇污水处理厂一级 A 稳定达标的工艺流程分析与建议[J]. 给水排水. 2009.35(5): 24-28.