

“清时捷”供排水企业运行及管理成果专栏

童佳佳, 李纲, 侯宝芹, 等. 老旧水厂工艺升级改造并实现节能增效的探讨[J]. 净水技术, 2022, 41(6): 181-186.

TONG J J, LI G, HOU B Q, et al. Discussion on energy conservation and efficiency improvement through technological upgrading and reconstruction for an old WTP[J]. Water Purification Technology, 2022, 41(6): 181-186.

扫我试试?

老旧水厂工艺升级改造并实现节能增效的探讨

童佳佳, 李纲, 侯宝芹, 戴赵钦

(杭州萧山供水有限公司, 浙江杭州 311203)

摘 要 文章简要介绍了某老旧水厂原制水工艺存在的主要问题, 有针对性地提出了工艺提升改造方案, 详细分析了在改造前后该水厂运行参数、水质、能耗等重要指标的变化。结果表明, 水厂通过更换微阻力管道混合器、增加新型反应池格栅、沉淀池集水槽及加药控制反馈在线仪表等工艺改造措施后, 进水管压力由 0.07 MPa 降低为 0.04 MPa, 电耗下降约为 $12 \times 10^{-3} \text{ kW} \cdot \text{h}/\text{m}^3$, 氯耗较改造前下降 $1.12 \times 10^{-3} \text{ kg}/\text{m}^3$, 实现了节能降耗。沉淀池出水平均浑浊度由 3.11 NTU 降为 1.99 NTU, 出厂水平均浑浊度由 0.14 NTU 降为 0.09 NTU。水厂通过本次提升改造, 有效改善了高峰供水期间混凝效果下降、水质波动、能耗上升等问题, 并产生较好的经济和社会效益。

关键词 老旧水厂 升级改造 节能增效 水质提升 管道混合器

中图分类号: TU991 文献标识码: B 文章编号: 1009-0177(2022)06-0181-06

DOI: 10.15890/j.cnki.jsjs.2022.06.025

Discussion on Energy Conservation and Efficiency Improvement through Technological Upgrading and Reconstruction for an Old WTP

TONG Jiajia, LI Gang, HOU Baoqin, DAI Zhaoqin

(Hangzhou Xiaoshan Water Supply Co., Ltd., Hangzhou 311203, China)

Abstract This paper briefly introduces the main problems in the original process of an old water treatment plant (WTP), and a scheme of technological upgrading and reconstruction is put forward. The changes of operation parameters, water quality, energy consumption and other important indices after transformation are analyzed in detail. The results show that, after the transformation such as replaced the micro-resistance pipeline mixer, added the new reaction cell grid, sedimentation tank collecting tank and the dosing control feedback on-line instrument, the pipe pressure is reduced from 0.07 MPa to 0.04 MPa, the pump energy consumption is saved about $12 \times 10^{-3} \text{ kW} \cdot \text{h}/\text{m}^3$, chlorine consumption is saved about $1.12 \times 10^{-3} \text{ kg}/\text{m}^3$, which can realize energy saving and efficiency. Meanwhile, average turbidity of outflow from sedimentation tank decreases from 3.11 NTU to 1.99 NTU, the average turbidity of outflow of WTP is reduced from 0.14 NTU to 0.09 NTU. Through the upgrading and reconstruction, the WTP has effectively improved the problems such as decline of coagulation effect, fluctuation of water quality and increase of energy consumption during peak water supply, and produced better economic and social benefits.

Keywords old water treatment plant (WTP) upgrading and reconstruction energy conservation and efficiency water quality upgrading pipeline mixer

[收稿日期] 2021-07-17

[作者简介] 童佳佳(1981—), 女, 工程师, 主要从事水处理工艺和水质在线仪表研究工作, E-mail: 370395762@qq.com。

1 水厂概况

某老旧水厂设计规模为 15 万 m^3/d , 水厂建厂距今已有 34 年历史, 生产工艺按照 20 世纪 80 年代设计水平建造, 主要净水工艺采用 5 组网格反应池、

平流沉淀池、移动钟罩虹吸滤池加清水池连体的综合池方式, 清水池在沉淀池、滤池下部。每组综合池原水进水管装有管道混合器及加药管, 工艺流程如图 1 所示。

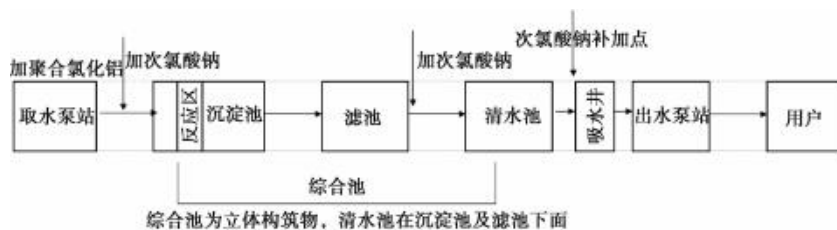


图 1 水厂工艺流程图

Fig. 1 Process Flow Chart of WTP

2 主要问题分析

该水厂无深度水处理单元, 导致水厂生产抗冲击能力差, 当水厂满负荷运行时, 如原水水质平稳, 水质能够得到较好保障, 一旦原水水质突变, 应对手段则相对薄弱, 过程水和出厂水水质容易出现较大波动, 且能耗较高。主要原因有以下几点。

2.1 能耗大、混凝效果差

(1) 水厂原采取传统的管式静态混合器 (图 2), 该工艺管内固定翼片水阻高、水头损失大 (水厂混合器由于设备老化等原因, 水头损失在 3.0 m 左右)、进水量提升困难, 且混凝剂单点投加不够均匀, 混合效果差。

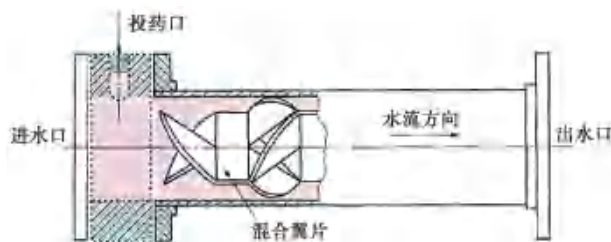


图 2 传统静态混合器示意图

Fig. 2 Schematic Diagram of Traditional Static Mixer

(2) 反应区采用 20 世纪 80 年代安装使用的普通钢制网格栅, 由于长期与原水中投加的消毒剂 (含次氯酸) 进行反应, 腐蚀严重, 影响了聚合氯化铝的混凝反应效果, 所结矾花颗粒较小, 不易沉淀, 沉淀效果不佳。

2.2 沉淀池“跑矾”现象严重, 滤池负担较大

水厂共设有 5 个平流沉淀池, 长为 60 m, 宽为 7

m, 单池设计最大进水量为 1 250 m^3/h , 流速为 15 mm/s, 沉淀时间为 1 h。高峰供水期间, 单池进水量达到 1 600 m^3/h , 超设计最大流量 20% 以上, 沉淀池流速加快至 21 mm/s, 沉淀池停留时间缩减至约 45 min, 沉淀不充分。

水厂沉淀池每组安装 6 条集水槽, $B \times H = 650 \text{ cm} \times 350 \text{ cm}$, $L = 4 \text{ m}$, 设计最大溢流率为 300 $\text{m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$ 。高峰供水期间, 沉淀池集水槽溢流率为 625 $\text{m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$, 负荷过高会造成矾花上浮, 并随着水流带入滤池, 增加滤池负荷, 缩短滤池反冲洗周期。

2.3 滤后水流量变化大, 加氯反馈时间长, 水质波动大

水厂采用虹吸钟罩滤池工艺, 由于结构以及运行方式等, 滤后水流量波动较大 [经观测, 滤后水流量可在 7 min 内, 由满管最大流量 (3 000 m^3/h) 降至最小空管的 (0)], 且未安装在线流量计, 会造成清水池次氯酸钠二次投加不准确。

水厂二次加氯采用出厂水余氯作为投加控制反馈, 投加点与出厂水余氯仪采样点之间的距离过长, 采样点位于出厂水阀门井 (图 3)。监测数据反馈有 1.5 h 的间隔, 容易造成投加操作不精准, 出现余氯波动幅度大的现象。

3 改造方案

为提升水质, 确保优质供水, 需对水厂进行升级改造。改造的目标是在确保供水安全及供水量的前提下, 提升水质和产水率, 同时合理降低运行能耗, 实现节能增效^[1]。另外, 由于水厂位于城区中心位



图3 次氯酸钠投加点示意图

Fig. 3 Schematic Diagram of Disinfectant Dosing Point

置,厂内空间受限,难以进行大规模大投入的工艺改造。改造设计时,采用节地型、“腾笼换鸟”式分阶段实施升级改造^[2-3],在不改变现状净水构筑物池体结构的前提下,采用小规模、见效快的改造模式。通过更换可降低水头损失、提高水质水量的微阻力管道混合器^[4]、安装及更新相关管道阀门、工艺制件、仪表设备等模式^[5],实现了老水厂的升级改造。具体改造方案如下。

3.1 更换管道混合器,减少水头损失

改造水厂更换传统的管式静态混合器,采用微阻力管道混合器(图4)。该设备取消了管内翼片卡阻,改用双层管腔分流,扩散管流压力,旋流混合技术优越,水头损失小;采用喷射式雾状加药,内外腔双层双向、周边均布多层多点喷药,混合效果好。微阻力混合器同时具备管式混合器的结构简单、免维修、免维护以及防堵塞等优点,改造前后混合器设计参数变化如表1所示。

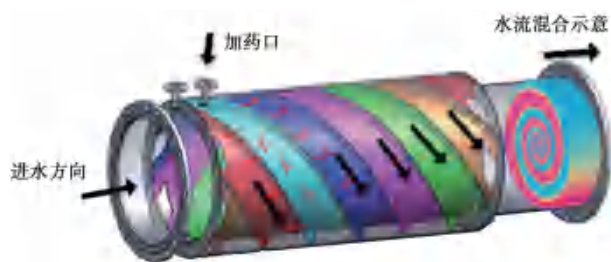


图4 微阻静态混合器示意图

Fig. 4 Schematic Diagram of Micro Resistance Static Mixer

表1 混合器设计参数

Tab. 1 Designed Parameters of Mixer

项目	混合器型号	管径	混合器前表压 /MPa	混合器后表压 /MPa	混合器水头损失 /m
改造前	管式静态混合器	DN600	0.06	0.03	3.0
改造后	微阻力混合器	DN600	0.03	0.03	<0.3

3.2 更换新型格栅,加强絮凝效果

拆除原普通钢格栅,更换为新型的涡旋流反应

器,并适当增加网格数量以增强絮凝强度。更换后的新型涡旋流反应器其材质为丙烯腈-苯乙烯-丁二烯共聚物(ABS),支撑固定件为 SUS304 不锈钢,材质安全,并设有网孔的网格板,网孔至少一侧向外延伸以形成锥状的延伸体,该延伸体具有使水流形成涡流效果的内壁。反应器形成的水流涡旋度大,涡旋效果是传统的微涡旋效果的5倍以上。

3.3 更换集水槽,降低负荷,减少“跑矾”

本次改造将拆除原集水槽,更换为新型不锈钢集水槽,槽体数量及槽体断面不变,将槽体由 4.0 m 增加至 9.0 m,使溢流率由原先的 $625 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$ 降低至 $278 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$ 。同时,在每根槽下增加防矾花上浮装置,减少矾花带出,有效降低滤前水浑浊度,改造前后集水槽设计参数变化如表2所示。

表2 集水槽设计参数

Tab. 2 Designed Parameters of Catch Basin

项目	集水槽规格 /cm	集水槽长度 /m	设计最大溢流率 $/(\text{m}^3 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{h}^{-1})$	实际溢流率 $/(\text{m}^3 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{h}^{-1})$
改造前	$B \times H = 650 \times 350$	4.0	300	625
改造后	$B \times H = 650 \times 350$	9.0	300	278

3.4 增加加氯控制反馈在线仪表

改造水厂增加滤后水流量计、余氯仪等在线仪表,具体位置如图5所示。通过 PLC 采集实时滤后水流量以及滤后水余氯数据,实现二次加氯随流量变化自控投加。另外,投加点与测量点的反馈时间间隔大大缩短,由原来的 1.5 h 缩短至 10 min,帮助水厂加药系统实施精准投加,保证出厂水水质全面优质达标。

4 改造成效

4.1 混合反应效果

混合反应效果提升主要体现在混凝效果充分、反应池形成的矾花大且密实、沉淀后出水及出厂水浑浊度降低、沉淀池末端跑矾现象缓解。

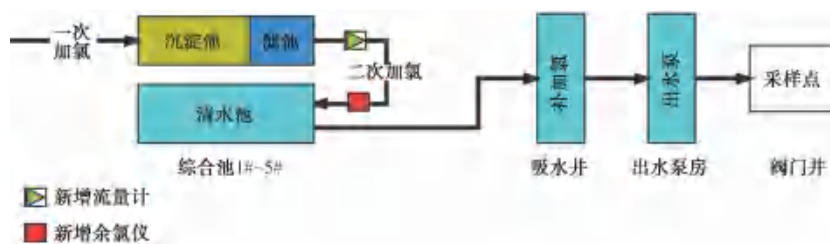


图 5 新增在线仪表位置示意图

Fig. 5 Schematic Diagram of New Online Instruments Location

4.1.1 沉淀池出水效果

水厂改造于 2021 年 1 月 4 日全部完成。改造前后 1 个月内原水浑浊度基本稳定,平均值为 50.00 NTU,矾耗平均约为 $1.9 \times 10^{-3} \text{ kg/m}^3$ 。由于对进水管道混合器及反应区格栅进行更换,药剂与原水反应更充分,改造后沉淀池末端集水槽侧矾花明显减少,滤池负荷减小。

图 6~图 7 为改造前后沉淀池出水浑浊度变化情况,改造前沉淀池出水浑浊度在 1.44~4.00 NTU,平均浑浊度为 3.11 NTU,改造后沉淀池出水浑浊度明显下降,为 1.68~2.43 NTU,平均为 1.99 NTU,相比改造前浑浊度降低了 36%,表明改造完成后混凝效果明显提升,沉淀池末端“跑矾”现象明显得到缓解。

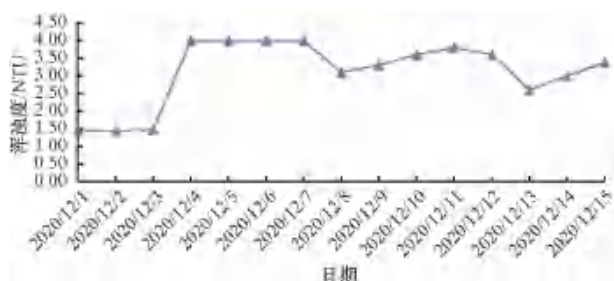


图 6 改造前沉淀池出水浑浊度

Fig. 6 Turbidity of Sedimentation Tank Outflow before Reconstruction

4.1.2 出厂水质效果

经工艺改造后,混凝效果提升,滤池负担减轻,出厂水浑浊度得到有效改善,图 8~图 9 为改造前后出厂水浑浊度变化情况。改造前出厂水浑浊度在 0.09~0.27 NTU,平均值为 0.14 NTU,改造后出厂水浑浊度降低为 0.07~0.12 NTU,平均值为 0.09 NTU,平均降低了 0.05 NTU,基本满足浙江省现代化水厂出厂水浑浊度不高于 0.10 NTU 的要求^[6]。

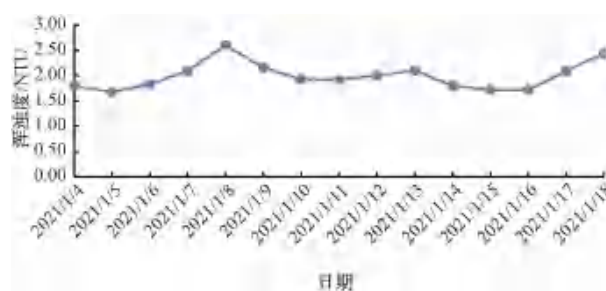


图 7 改造后沉淀池出水浑浊度

Fig. 7 Turbidity of Sedimentation Tank Outflow after Reconstruction

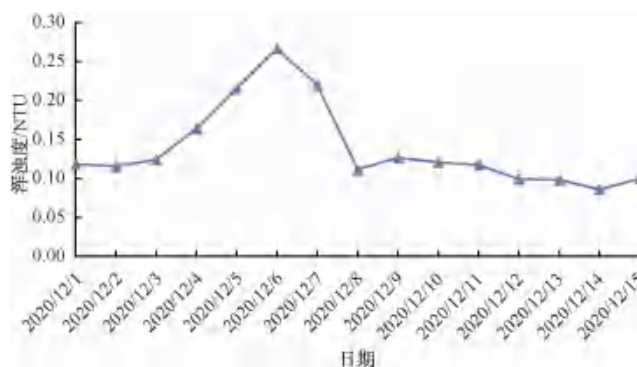


图 8 改造前出厂水浑浊度

Fig. 8 Turbidity of Finished Water before Reconstruction

4.2 出厂水余氯有效可控

水厂采用增加滤后水流量计、浊度仪、余氯仪等在线仪表等措施,缩短了次氯酸钠投加点与测量点的反馈时间间隔,协助水厂加药系统实施精准投加。通过加强过程水水质监测,保证出厂水水质全面优质达标。

图 10 为改造前出厂水余氯变化情况。如图 10 所示,改造前缺少过程水监测仪表,余氯反馈时间长,导致出厂水余氯持续上下波动,波动差值高达约 0.6 mg/L。图 11 为改造后出厂水余氯变化情况,增

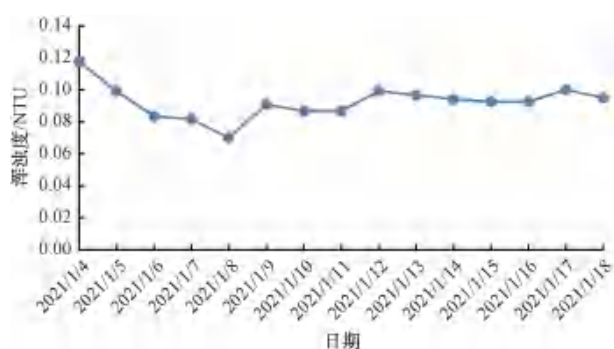


图9 改造后出厂水浑浊度

Fig. 9 Turbidity of Finished Water after Reconstruction

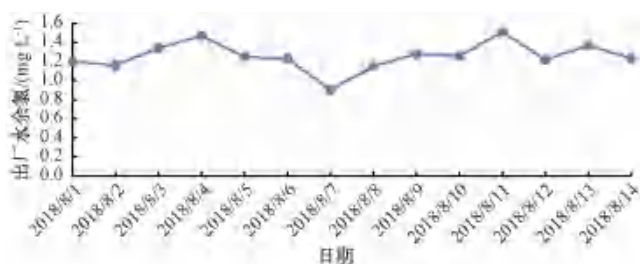


图10 改造前出厂水余氯情况

Fig. 10 Residual Chlorine in Finished Water before Reconstruction

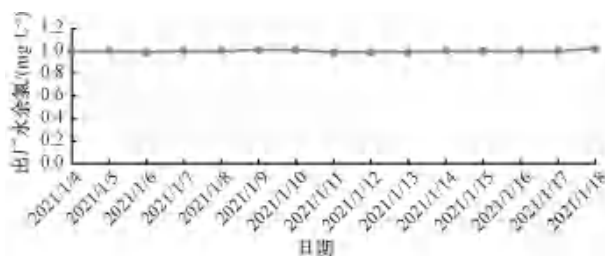


图11 改造后出厂水余氯情况

Fig. 11 Residual Chlorine in Finished Water after Reconstruction

加滤后水余氯仪,水厂加药得到有效精准投加,出厂水余氯基本稳定在 1.0 mg/L,确保出厂水余氯稳定可控。

4.3 节能降耗水平提升

(1) 电耗

改造水厂主供原水管为某取水口泵站 1# DN1400 原水管,供水流量为 4 800~5 300 m³/h。改造后,水厂进水管压力由 0.07 MPa 降低至 0.04 MPa,节省水头损失约为 3.0 m。对应取水泵站原水管压力降低值为 0.03~0.04 MPa(表 3),原水从取

水口到改造水厂管线总长为 13.6 km,可节约 12×10⁻³ kW·h/m³。同时,原水管线由于运行压力降低,管道漏损率大大降低,原水供应更加安全稳定。

表 3 改造前后原水管压变化

Tab. 3 Change of Raw Water Pipe Pressure before and after Renovation

项目	改造水厂进水管 压力/MPa	三江口 1# 总管/MPa	原水流量 /(m ³ ·h ⁻¹)
改造前	0.07	0.26~0.27	5 100~5 300
改造后	0.04	0.23~0.24	5 100~5 300

(2) 药耗

改造水厂药耗的降低主要体现在氯耗的降低,改造水厂通过 PLC 采集实时滤后水流量以及滤后水余氯数据,实现二次加氯随流量变化自控投加,2021 年 3 月氯耗较 2020 年同期下降 1.12×10⁻³ kg/m³(按 10%浓度次氯酸钠计算)。

另外,由于沉淀池以及管道混合器改造主要目的是降低能耗的同时改善加药混凝效果,矾耗改造前后无明显变化,2021 年 3 月以及 2020 年同期矾耗分别为 21.96×10⁻³ kg/m³ 和 21.78×10⁻³ kg/m³(按原液计算),矾耗无明显变化。

5 结论与建议

(1) 沉淀池更换微阻力混合器、反应池更换涡旋反应器后,混凝效果提升明显,沉淀水出水平均浑浊度由 3.11 NTU 降为 1.99 NTU,降低了 36%;

(2) 沉淀池后端更换加长集水槽后,溢流率降低,“跑矾”现象明显缓解,滤池负担有效减轻,出厂水浑浊度由 0.14 NTU 降低为 0.09 NTU,基本满足浙江省现代化水厂浑浊度要求;

(3) 出厂水余氯有效可控,通过增加滤后水流量计、余氯仪在线仪表,水厂二次加氯实现自控投加,滤后水余氯反馈快而准,有效协助厂内精准加氯,氯耗较改造前降低 1.12×10⁻³ kg/m³,同时出水优质更加稳定;

(4) 更换微阻力混合器后,混合器水头损失下降至 0.3 m 以下,水厂原水管管压由 0.07 MPa 降低为 0.04 MPa,节约 12×10⁻³ kW·h/m³,原水管线运行安全稳定。

本文着力探究水厂工艺改造对水厂运行效果的影响,通过采用微阻力管道混合器、更换新型格

栅以及新型不锈钢集水槽等工艺改造措施,加强絮凝效果,降低沉淀池出水和出厂水浑浊度,减少“跑矾”现象,增加加药控制反馈在线仪表,协助水厂加药系统有效精准投加,在节能降耗的同时保障出厂水优质供水,为同行老旧水厂改造提供建议。

参考文献

- [1] 王如华. 现有城镇水厂技术升级改造面临的主要问题及对策[J]. 净水技术, 2020, 31(4): 4-6.

- [2] 陈艳丽. 大型水厂升级改造理念与工程实践[J]. 给水排水, 44(4): 13-16.
[3] 王晏. 城镇给水厂集约化设计实例[J]. 工业用水与废水, 2014, 45(3): 63-67.
[4] 陈国庆. 节能型高效微阻管道混合器新技术介绍[J]. 城镇供水, 2016, 21(1): 89-90.
[5] 岑启航. 小型水厂超负荷供水工艺改造实践[J]. 净水技术, 2020, 39(3): 145-148.
[6] 浙江省城市水业协会. 浙江省城市供水现代化水厂评价标准(2018版)[S]. <http://www.doc88.com/p-66016654985309.html>.

【编辑推荐】水厂工程建设目前的重点普遍聚焦于服务更高供水水质目标的老旧水厂改造方面。老旧水厂的改造需要结合原工艺、原工况的实际问题进行研判,进而提出改造思路和改造措施。文章所介绍的经验侧重探究采用微阻管道混合器、更换新型格栅以及新型不锈钢集水槽等工艺改造措施对水厂运行效果的影响,评价上述改造措施在加强絮凝效果、降低沉淀池出水和出厂水浑浊度、减少“跑矾”现象方面的成效,并分享了增加加药控制反馈在线仪表、协助水厂加药系统有效精准投加的经验,在节能降耗的同时保障出厂水优质供水,为同行老旧水厂改造提供了借鉴。

(上接第 174 页)

结果落在国标中规定的范围内,样品检测结果的准确度可靠,若出现异常需逐步查找原因。结合多年检测的经验,准确测定样品的 BOD_5 不仅需要做到以上关键步骤,而且更需要严读标准,深入理解方法原理,精细操作。这样处理必将得到可靠的数据,对污水检测具有重要的意义。

参考文献

- [1] 张玉. 浅谈水和废水中的生化需氧量[J]. 科技视界, 2016(26): 301-301.
[2] 中华人民共和国环境保护部. 水质 五日生化需氧量(BOD_5)的测定 稀释与接种法: HJ 505—2009[S]. 北京: 中国环境科学出版社, 2009.
[3] 国家环境保护总局,《水和废水监测分析方法》编委会. 水和废水监测分析方法[M]. 4版. 北京: 中国环境科学出版社, 2002.
[4] 张莉萍, 王瑞波, 杨再荣. 稀释与接种法测定水质 BOD_5 质

- 量控制技术及建议[J]. 环境科学导刊, 2019, 37(s1): 98-101.
[5] 张钧, 杨文武. 水和废水中五日生化需氧量测定全程质量控制[J]. 环境科学与管理, 2011, 36(7): 139-145.
[6] 冉毅君. 实验室中准确测定 BOD_5 质量浓度的探讨[J]. 环境研究与监测, 2016(1): 36-38.
[7] 万建红. 污水处理中 BOD_5 与关系的探讨[J]. 中小企业管理与科技旬刊, 2008(3): 110-111.
[8] 杨斌, 刘静, 陈曜. 生化需氧量(BOD_5)接种液的获取方法以及加入量的研究[J]. 环境科学导刊, 2010, 29(1): 93-94.
[9] 李晓曼, 舒丽, 李敏, 等. 稀释与接种法在分析 BOD_5 过程中系列问题探讨[J]. 环境科学导刊, 2018, 37(s1): 164-167.
[10] 江梅, 范云慧, 瑞凤霞. 五日生化需氧量(BOD_5)测定时防止氨氮干扰的方法探讨[J]. 净水技术, 2010, 29(6): 62-65.