

仙女河污水处理厂升级改造中脱氮除磷的中试研究

Pilot Plant Study on Denitrification and Dephosphorization in Xiannvhe Wastewater Treatment Plant Upgrading

江树志, 白莹, 周娜, 张男, 杨巍

(沈阳振兴环保产业集团有限公司仙女河污水处理厂 沈阳 110141)

摘要 对该污水厂所面临的一级 A 升级改造任务, 设计日处理水量 2 t 的中试装置, 分别进行化学除磷和以甲醇为碳源的后置反硝化试验研究, 得出化学除磷工艺最佳药剂投加量以及后置反硝化工艺最佳运行参数。

关键词 日处理水量 曝气生物滤池 化学除磷

Abstract Studies were done on the chemical dephosphorization and postposition denitrification adding carbinol as carbon source to achieve the GB code first - level of wastewater upgrade transformation by 2t/d pilot plant. The optimal dosage for chemical dephosphorization and optimal operating parameters for postposition denitrification were obtained.

Key words Daily Treating Quantity Biological Aerated Filter Chemical Dephosphorization

沈阳市仙女河污水处理厂日处理水量 40 万 t, 设计排放标准为二级标准, 采用高密度沉淀池和曝气生物滤池的组的工艺^[1-4], 见图 1。高密度沉淀池主要对污水中的泥沙、固体悬浮物的无机颗粒进行去除, 两级曝气生物滤池对水中的有机污染物和氨氮进行去除, 其常年进出水水质见表 1。

出水基本达到国家二级排放标准。根据辽宁省环保局与辽宁省质量技术监督局联合颁布的《辽宁省污水综合排放标准》(DB21/1627 - 2008) 的要求^[5], 市级以上污水处理厂出水 COD、NH₃ - N 和 TN 等指标要达到国家一级 A 排放标准, 故水厂目前亟需结合现有处理工艺进行升级改造。

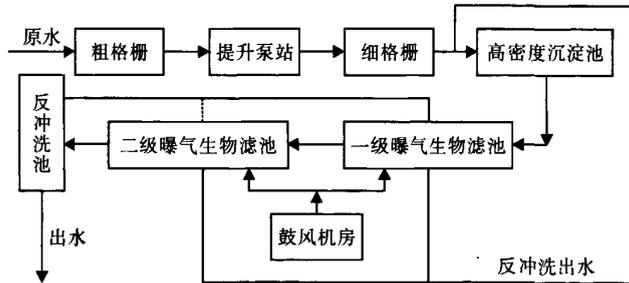


图 1 污水处理厂现有工艺流程

表 1 污水处理厂进出水水质指标

mg·L⁻¹

水质指标	进水水质	出水水质	二级标准	一级 A 标准
COD	200 ~ 1000	50 ~ 100	< 100	< 50
BOD ₅	50 ~ 200	20 ~ 30	< 30	< 10
SS	100 ~ 300	10 ~ 30	< 30	< 10
NH ₃ - N	20 ~ 50	10 ~ 25	< 25	< 5
TN	40 ~ 60	30 ~ 60	—	< 15
TP	1 ~ 5	1 ~ 5	< 3	< 0.5

收稿日期: 2010 - 09 - 02

作者简介: 江树志 (1971 -), 男, 工程师。研究方向: 环境管理。

从污水处理厂的进水各项指标来看,有机污染物和固体悬浮物浓度都比较高,经过水厂现有的处理工艺,出水能够达到国家二级排放标准,但对比一级 A 标准,一方面需要进一步去除水中的 COD 和 SS,另一方面还需要增加脱氮除磷的工艺。基于这两方面考虑,我们在反应沉淀池区域增加化学除磷工艺,同时混凝过程还具有去除水中 SS 的功能;而在脱氮方面,现有的工艺对氨氮具有较好的去除能力,但并不能去除水中的 TN,又由于水厂厂区面积有限,故考虑在二级曝气生物滤池后增加后置反硝化脱氮滤池。

1 化学除磷试验研究

1.1 试验装置与试验方法

化学除磷装置见图 2。

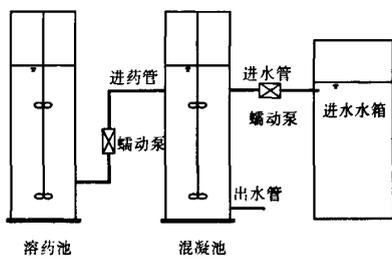


图 2 化学除磷中试装置

由图 2 可见,柱高 0.8 m,直径 0.3 m,模拟水厂现有反应沉淀池,原水和混凝剂溶液均从距底部 0.6 m 处注入,内设 JJ-1 大功率电动搅拌器,使原水和混凝剂充分混合,将污泥沉淀于混凝池底部排出,以去除原水中的 SS 和 TP,清水由出水管排出;溶药池同样使用搅拌器使固体混凝剂充分溶解为液状,并由蠕动泵注入混凝池。化学除磷试验中首先对混凝剂的种类进行优选,并对投药量和搅拌时间两个参数进行优化。

1.2 混凝剂的筛选

试验选用硫酸铝 $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ 、聚合氯化铝 PAC、硫化铁 FeCl_3 和聚合硫酸铁 PFS 4 种常用的混凝剂^[6],在搅拌转速 100 r/min,搅拌时间 30 min 的实验条件下,对各个混凝剂在不同投药量下出水的 TP 和 SS 的浓度进行考察,优选出最佳的混凝剂见图 3、图 4。

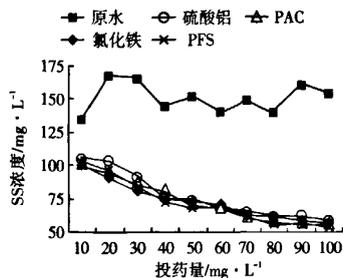


图 3 不同混凝剂进出水 SS 浓度

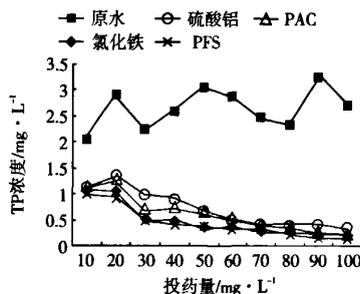


图 4 不同混凝剂进出水 TP 浓度

从图 3 中可以看出,随着混凝剂投药量的增加,出水 SS 的浓度不断降低,但 4 种混凝剂对 SS 的去除效果基本相同。而从对 TP 的去除效果来看(图 4),氯化铁 FeCl_3 和聚合硫酸铁 PFS 这两种铁盐混凝剂要优于硫酸铝 $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ 和聚合氯化铝 PAC 这两种铝盐混凝剂,当投药量增加到 30 mg/L 以上时,投加铁盐混凝剂的出水 TP 的浓度都降到 0.5 mg/L 以下,达到国家一级 A 排放标准对 TP 浓度的要求。这是由于铁盐在水解后产生三价的铁离子与水中的正磷酸盐反应生成 FePO_4 ,而 FePO_4 的溶解度又很小,因此 FePO_4 随污泥一同沉淀与污水分离,获得了理想的除磷效果。此时,SS 的出水浓度也基本保持在 40 mg/L 以下,去除率在 50% 以上。

除了具有良好的除磷效果,PFS 在价格方面也占有一定的优势,市售 PFS 为 700 元/t,市售氯化铁为 1100 元/t。所以,无论是 TP 的去除效果还是经济性方面,PFS 均为理想的药剂,从实际生产技术经济方面考虑,最终选择 PFS 为化学除磷的混凝剂。

1.3 运行参数优化

在确定使用聚合硫酸铁 PFS 为化学除磷试验的混凝剂后,对投药量^[7]和搅拌时间两个参数进

行优化,见图 5。

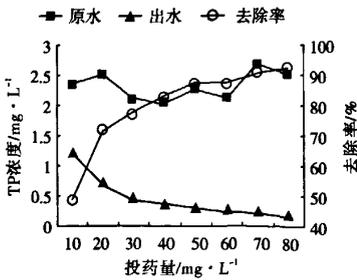


图 5 不同投药量进出水 TP 浓度及去除率

从图 5 中可以看到,随着混凝剂 PFS 投加量的增加,水中 TP 的浓度不断减少。当投药量达到 30 mg/L 时,水中 TP 的浓度已低于 0.5 mg/L,去除率达到 75% 以上。根据铁盐除磷的化学方程式可知,每去除 1 mg 的磷,需要 1.8 mg 的铁^[8]。原水中 TP 的浓度在 1 mg/L 至 4 mg/L,若使出水 TP 浓度小于 0.5 mg/L,最多需要 12 mg/L 的硫酸铁,以至少 40% 有效成分计算,需要 30 mg/L。考虑水解等因素,最终选定投药量为 40 mg/L,此时的出水 TP 浓度为 0.3 mg/L。可以保证出水水质符合一级 A 排放标准的要求。

确定 PFS 的投药量后,对搅拌时间进行了优化。在投药量 40 mg/L 条件下,改变搅拌时间,测定出水 TP 浓度。不同搅拌时间进出水 TP 浓度和去除率,见图 6。

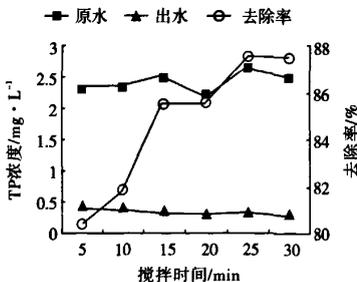


图 6 不同搅拌时间进出水 TP 浓度及去除率

从图 6 中可以看到,随着搅拌时间的增长,水中 TP 的浓度不断减少。时间从 5 min 增加到 15 min,水中 TP 的去除率提高了 5.1%,而从 15 min 增加到 30 min,去除率仅提高了 2.0%,故过长的搅拌时间对 TP 的去除并无显著的效果,反而会增加额外的能源消耗和构筑物的建筑体积。由于出水 TP 浓度均小于国家一级 A 标准要求的 0.5 mg/L,故从运行成本上考虑,确定最佳搅拌时间为 15 min。

2 后置反硝化脱氮试验研究

2.1 试验装置与试验方法

后置反硝化脱氮试验采用三级生物滤柱^[9,10],见图 7,前两级模拟仙女河污水处理厂现有的两级生物滤池,第三级为新增反硝化池。使用柱高 4.3 m,直径 0.5 m 的有机玻璃滤柱填装火山岩滤料,其中承托层高 0.3 m,滤料高 3.0 m,水面超高 1.0 m。设计三级滤柱分别为氧化硝化 CN 池、硝化 N 池和反硝化 DN 池,并同时向 DN 池中投加甲醇作为外加碳源,即分别进行氧化反应、硝化反应和反硝化,对污水中的 COD、 $\text{NH}_3 - \text{N}$ 和 TN 进行生化去除。其中 CN 池和 N 池使用空压机进行曝气。三级滤柱均采用上向流方式,使用高压隔膜泵从底部注水,滤柱中的火山岩滤料粒径分别为 6~8、4~6、3~5 mm。

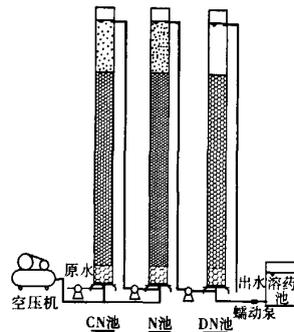


图 7 后置反硝化脱氮中试装置

2.2 运行参数优化

进水中的 COD 和 $\text{NH}_3 - \text{N}$ 分别在 CN 池和 N 池中进行去除,出水进入 DN 池后,需要在外加碳源条件下,将水中的 TN 予以去除。碳源的投加量将决定 TN 的去除效果,投加不足将没有足够的碳源供反硝化反应的进行,投加过量一方面会增加额外的经济费用,一方面还会增加出水 COD 的浓度,故中试对后置反硝化的碳源投加量进行了重点考察,并选择易于生物降解和被反硝化细菌利用的甲醇作为碳源^[11,12]。

随着甲醇投加量的增加,进水中可供反硝化利用的碳源不断增加,出水的 TN 浓度也随之下降,当投加量增加到 25 mg/L 时,出水 TN 浓度已达到一级 A 排放标准以下,但当继续投加到 35 mg/L 时,随着进水中可被利用的硝酸盐和亚硝

酸盐浓度的降低,即使继续增加甲醇投加量也难以加快反硝化反应的速率,出水的 TN 浓度趋于平缓,见图 8。

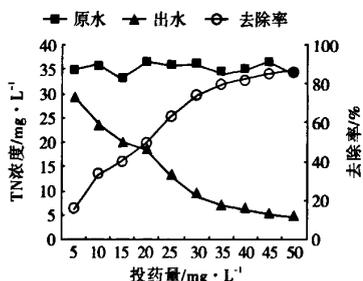


图 8 不同甲醇投加量 DN 池进出水 TN 浓度

考察投加甲醇过程中进出水的 COD 浓度变化趋势,见图 9,当甲醇投加量在 535 mg/L 之间时,出水 COD 浓度变化并不大,但继续增加 40 mg/L 时,投加的甲醇已不能完全被反硝化反应作为碳源所利用,反而会影响到出水的 COD 浓度。综合投加甲醇对进出水 TN 和 COD 变化趋势,确定后置反硝化的甲醇碳源投加量为 30 mg/L,此时出水 TN 浓度为 9.46 mg/L, COD 浓度为 33 mg/L,均符合国家一级 A 排放标准。

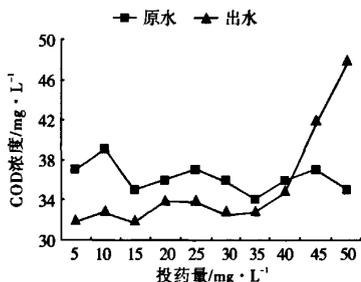


图 9 不同甲醇投加量 DN 池进出水 COD 浓度

水力停留时间 HRT 是指污水与滤池内微生物作用的平均反应时间,是工艺中另一重要控制参数。见图 10,随着水力停留时间的增长,出水 TN 的浓度也随之不断下降。但从 45 min 开始,出水

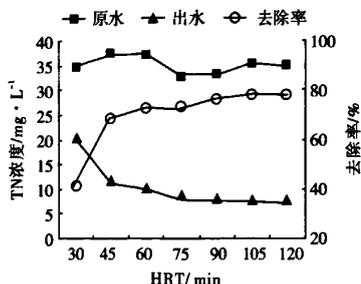


图 10 不同的 HRT 条件下进出水 TN 浓度及去除率

TN 下降的速率便开始变得平缓,通常反应时间越长,微生物对基质的去除率越高,则在流量一定的条件下,对构筑物的容积要求越大。因此,结合建设费用,确定水力停留时间为 45 min。

3 结论

(1)污水处理厂升级改造选择化学除磷进行深度处理,选用聚合硫酸铁 PFS 为混凝剂,在投药量为 40 mg/L、搅拌时间为 15 min 的条件下,使出水 TP 浓度保持在 0.5 mg/L 以下。

(2)在水厂现有两级曝气生物滤池工艺基础上,增加后置反硝化工艺进行水厂深度脱氮的升级改造,可使用甲醇作为外加碳源,其投加量为 30 mg/L,使出水 TN 及 COD 指标均能够达到一级 A 排放标准。

(3)采用后置反硝化工艺进行深度脱氮的升级改造,单池水力停留时间为 45 min 的条件下,出水 TN 浓度保持在 15 mg/L 以下,实现一级 A 达标排放。

参考文献

- [1] 龚云华, 高廷耀. 混合化工废水处理的工艺试验研究[J]. 给水排水, 2003, 29(8): 46-51.
- [2] 魏新庆. 曝气生物滤池的研究发展动态[J]. 环境工程, 2004, 10(4): 25-29.
- [3] Payaudeau M, Pearce A R. Experiment on biological Aerated upflow filter for tertiary treatment from pilot to full scale test[J]. Wat Sci Tech, 2007, 44(-3): 63-68.
- [4] 马 军, 邱立平. 曝气生物滤池及其研究进展[J]. 环境工程, 2006, 20(6): 7-12.
- [5] 杨 维, 孙炳双, 周玉文. 辽河流域辽宁省水污染防治规划及治理措施[J]. 给水排水, 2001, (09): 37-40.
- [6] 邱 维, 张 智. 城市污水化学除磷的探讨[J]. 重庆环境科学, 2002, 24(2): 81-84.
- [7] 徐乐中. 生活污水化学除磷投药量的计算[J]. 苏州城建环保学院学报, 2001, 7(2): 60-76.
- [8] 唐建国, 林洁梅. 化学除磷的设计计算[J]. 给水排水, 2000, 26(9): 17-21.
- [9] Gerber A, Villiers R H, Mostert E S, et al. The Phenomenon of Simultaneous Phosphorus Uptake and Release and Its Importance in Biological Nutrient Removal in: Biological Phosphate Removal from Wastewaters[M]. Oxford: Pergamon Press, 2007: 123-134.
- [10] Sinha B, Annachhatre A P. Assessment of Partial Nitrification Reactor Performance through Microbial Population Shift Using Quinone Profile, FISH and SEM[J]. Bioresource Technology, 2007, 98(18): 3602-3610.
- [11] 章非娟. 生物脱氮技术[M]. 北京:环境科学出版社, 1992.
- [12] 张 杰. 曝气生物滤池的研究进展[J]. 中国给排水, 2002, 18: 77-78.