

后置沉淀化学除磷工艺的优化控制研究

庞洪涛^{1,2}, 邱 勇¹, 薛晓飞², 邵彦青², 王佳伟³, 施汉昌¹

(1. 清华大学环境学院 环境模拟与污染控制国家重点联合实验室, 北京 100084; 2. 北控水务
<中国>投资有限公司, 北京 100124; 3. 北京城市排水集团有限公司, 北京 100022)

摘 要: 目前, 化学除磷在污水处理厂被广泛采用。通过小试和中试, 对后置沉淀化学除磷工艺的优化控制进行研究。首先通过烧杯试验考察了加药量、加药位置 and 不同药剂对除磷效果的影响, 为优化控制设定工艺参数, 然后采用中试 AAO 系统对比了恒量加药和优化控制的除磷效果。中试结果表明, 恒量加药的出水磷浓度波动较大, 而经优化控制后的出水正磷浓度稳定维持在 0.3 mg/L 以下, 并减少药剂用量约 18.9%。因此, 对后置沉淀化学除磷工艺进行优化控制, 能够在保证出水总磷浓度稳定达标的同时减少加药量。

关键词: 化学除磷; 后置沉淀; 优化控制

中图分类号: X703 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-4602(2013)13-0038-04

Optimal Control of Post-precipitation Chemical Phosphorus Removal Process

PANG Hong-tao^{1,2}, QIU Yong¹, XUE Xiao-fei², SHAO Yan-qing², WANG Jia-wei³,
SHI Han-chang¹

(1. State Key Joint Laboratory of Environmental Simulation and Pollution Control, School of Environment, Tsinghua University, Beijing 100084, China; 2. Beijing Enterprises Water Group <China> Investment Limited, Beijing 100124, China; 3. Beijing Drainage Group Co. Ltd., Beijing 100022, China)

Abstract: At present, the chemical phosphorus removal process is widely used in WWTP. Based on laboratory and pilot-scale tests, the optimal control of post-precipitation chemical phosphorous removal process was studied. In order to set process parameters, factors such as dosage, dosage points and different chemicals were investigated in jar tests. The phosphorus removal efficiencies with constant dosage and optimal control were compared in a pilot scale AAO system. The results showed that ortho-phosphate (OP) concentration in the effluent varied largely by constant dosing. Dynamic control could maintain OP at less than 0.3 mg/L and save 18.9% of dosage. Optimal control of the post-precipitation process can satisfy the discharge standard stably and save chemicals cost.

Key words: chemical phosphorus removal; post-precipitation; optimal control

为达到《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB 18918—2002) 中一级 A 标准对出水 TP 浓度的要求, 国内大多数污水厂需要采用化学除磷作为生物除磷的补充, 进一步降低出水总磷浓度, 并作为生

基金项目: 国家水体污染控制与治理科技重大专项(2011ZX07316-001); 国家高技术研究发展计划(863)项目(2012AA063406)

物除磷工艺运行不正常情况下的保证措施^[1~3]。

化学除磷按药剂投加点的不同可分为前置沉淀、同步沉淀和后置沉淀三种类型^[4],国内多采用同步除磷。随着一级 A 标准的普遍实施,后置沉淀的应用逐渐增多,虽然比同步沉淀增加了基建费用,但其对生化单元的影响小,药剂使用量少,并且投加的可控性强。然而在实际运行中为保证达标往往过量投加药剂,对药剂投加的优化控制研究还非常少。

化学除磷优化控制的目标不仅在于确保出水磷浓度始终满足排放标准,还要使化学药剂的消耗量和运行费用最小化^[5~8]。笔者通过烧杯试验分析了药剂投加量、加药点和药剂种类对除磷效果的影响,为优化控制提供参数,并通过中试验证了动态优化控制的除磷效果,以期为实际工程应用提供指导。

1 试验装置

1.1 AAO 中试系统

中试系统采用 AAO 工艺,设计处理量为 144 m³/d,分 A、B 两个平行系列。进水取自高碑店污水处理厂曝气沉砂池出水,经自设初沉池后进入生化反应单元。中试系统共有 3 座二沉池,其中 1 号和 2 号二沉池分别被 A、B 平行系列使用,3 号二沉池备用。将 2 号二沉池出水口与 3 号二沉池进水口连接,在 2 号二沉池出水管道中加入除磷药剂,磷酸盐在 3 号二沉池内形成沉淀而被去除(见图 1)。

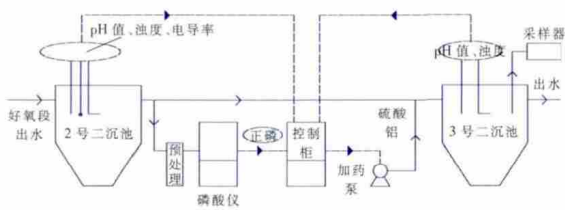


图 1 化学除磷优化控制系统示意
Fig.1 Schematic diagram of chemical phosphorous removal control system

1.2 加药控制系统

化学除磷优化控制的基本原理是根据污水流量和水质特性(pH 值、电导率、浊度、磷浓度等)组成的综合信号自动调节加药量^[9~11]。如图 1 所示,中试控制系统利用多台在线仪表将进水流量、正磷(OP)浓度、pH 值、浊度及出水的 pH 值、浊度数据采集到控制器,通过控制柜中的 PLC 自动计算投药量,输出控制信号,控制加药泵按需投药。控制系统根据烧杯试验结果和调试期间采集的数据率定控制

参数。试验中使用的主要在线仪表及设备见表 1。

表 1 主要仪表及设备
Tab.1 Main instruments and equipment

项 目	规 格	数 量
pH 仪	0 ~ 14	2
SS 监测仪	0.001 ~ 4 000 NTU	2
电导率监测仪	0.05 ~ 2 000 mS/cm	1
正磷监测仪	0 ~ 15 mg/L	1
Filtrax 过滤系统	0 ~ 900 mL/h	1
蠕动泵	0.07 ~ 380 mL/min	1
自动采样器	SIGMA	1

2 结果与讨论

2.1 化学除磷烧杯试验

2.1.1 药剂投加量及影响因素

首先通过烧杯试验确定最佳投药量范围,药剂为硫酸铝溶液,密度为 1.248 g/cm³,Al₂O₃ 质量分数为 6%。试验步骤如下:分别在 1 L 二沉池出水中投加除磷药剂,使用 Kemwater 六联电动搅拌器设定程序,先快速搅拌 1 min,再慢速搅拌 5 min,然后静置沉淀 30 min,最后取滤液测定 OP 浓度,取上清液测试 TP、浊度和 pH 值。

加药量与残留磷浓度、浊度及 pH 值的关系见图 2。随着加药量的增加,TP 和 OP 浓度均逐渐减小,在 OP 曲线上出现两个明显不同的区域,即出水磷浓度较高的“计量反应区”和出水磷浓度低的“平衡反应区”。在计量反应区 OP 的去除与加药量成正比,而在平衡反应区去除相同 OP 所需的药剂明显增加。加药量为 80 μL/L 可视为试验条件下计量区和平衡区的拐点,在出水浓度达标的前提下将药剂投加量控制在计量区内是最经济的投加方式。

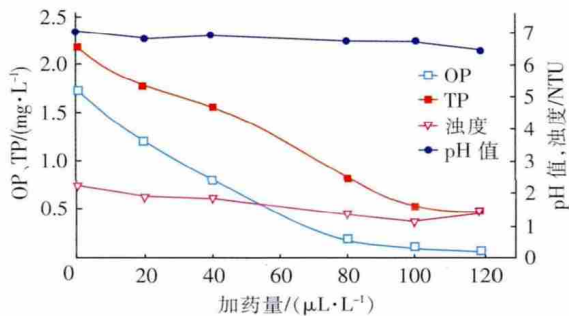


图 2 加药量对残留磷浓度、浊度和 pH 值的影响
Fig.2 Effects of dosage on residual phosphorous , turbidity and pH

硫酸铝溶液中 Al³⁺ 的水解聚合反应受 pH 值的影响较大,去除浊度时,最佳 pH 值在 6.5 ~ 7.5 之

间。随加药量的增加则 pH 值从 7.05 降低到 6.5 , 仍在最佳范围内。由于二沉池的水力停留时间 (11.3 h) 过长,出水悬浮物浓度很低,浊度对除磷的影响较小。

2.1.2 不同加药点的除磷效果

国内污水厂化学除磷的加药点通常设置在曝气池末端,在烧杯试验中比较了曝气池末端泥水混合液和二沉池出水加药的除磷效果。结果见图 3。

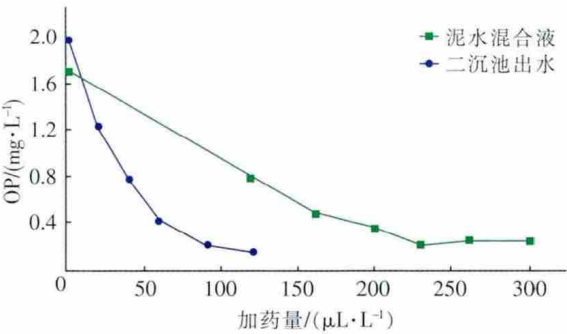


图 3 不同加药点的除磷效果

Fig. 3 Phosphorous removal efficiency at different dosage points

当 OP < 0.8 mg/L 时,二沉池出水和泥水混合液所需的加药量分别为 40、120 μL/L,而 OP < 0.3 mg/L 时,二者所需加药量分别为 90、230 μL/L。因此,若要达到相同的排放标准,在曝气池末端投加药剂的用量将是二沉池出水的 2~3 倍,后置沉淀在实际运行中会比同步沉淀节省大量的药剂费用。

2.1.3 不同药剂的除磷效果

烧杯试验还考察了不同药剂对二沉池出水的除磷效果,其中 PAX-18 和 PAX-XL60 是挪威 Kem-water 公司生产的聚合氯化铝,聚合氯化铝铁为国产药剂,各药剂的成分见表 2。

表 2 不同除磷药剂的特性参数

Tab. 2 Parameters of different chemicals

项 目	Al/%	Fe/%	密度/(g·cm ⁻³)
PAX-18	9.0	<0.01	1.36
PAX-XL60	7.3	<0.01	1.30
聚合氯化铝铁	4.2	2.1	1.24

每组烧杯试验使用一种药剂,加药量分别为 0、20、40、70、100 和 150 μL,由于不同体积药剂的金属离子含量不同,因此以金属离子物质的量比较不同药剂的除磷效果,结果见图 4。在金属离子等量时不同药剂对 OP 的去除效果相差不大,聚合氯化铝铁对 TP 的去除效果略好于其他 2 种聚合氯化铝。

与硫酸铝相比,聚合态的铝盐或铁盐的除磷效果受 pH 值等因素的影响很小,可以将 TP 浓度稳定控制在 0.5 mg/L 以下。对于一级 B 标准,硫酸铝是一种经济可行的选择,若要达到一级 A 标准,应考虑选择聚合态的铝盐或铁盐作为除磷药剂。

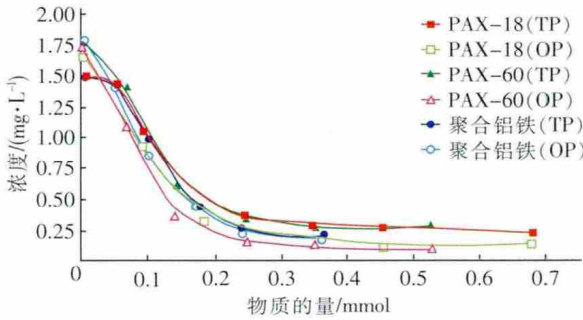


图 4 不同药剂的除磷效果

Fig. 4 Phosphorous removal efficiency of different chemicals

2.2 化学除磷的优化控制

2.2.1 控制目标

试验期间,AAO 中试系统正处于启动期,生化系统对磷的去除率较低,二沉池出水 OP 平均值为 1.6 mg/L。由于进水采用磷酸盐测定仪在线测定,因此将加药后的 OP 浓度作为衡量除磷效果的指标。出水 TP 主要由溶解性的 OP 和悬浮固体中的磷构成,按加药沉淀后出水 SS 为 5.0 mg/L、含磷量为 2% 计算,SS 中的含磷量约为 0.1 mg/L,考虑到测定系统的精度和出现磷回溶现象,增加 0.1 mg/L 保险附加值,因此若要达到一级 A 标准,可将化学除磷出水 OP 的控制目标设定为 0.3 mg/L。

2.2.2 控制效果

中试考察了恒量投加和动态控制两种加药方式的除磷效果,结果见图 5。

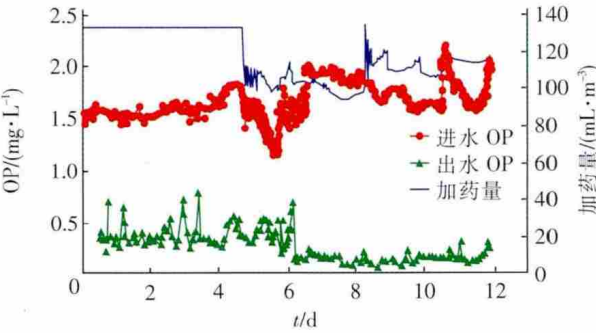


图 5 加药量与进、出水 OP 浓度的变化

Fig. 5 Relationship between dosage and OP concentrations in influent and effluent

加药前的 OP 浓度由在线监测仪测试,测试周期为 10 min,加药后的 OP 浓度由自动采样器取样后化验,采样间隔为 1 h。在恒量加药期间出水 OP 值波动较大,约有 30% 的时间大于 0.3 mg/L,有时 would 超过 0.5 mg/L。从第 5 天开始自动控制加药量,并在第 6 天调整了控制参数,此后出水 OP 值十分稳定,并且一直保持在 0.3 mg/L 以下。

取 1~4 d 和 7~11 d 的试验数据进行对比,恒量投加和动态控制的平均加药量分别为 133 和 108 mL/m³,动态控制可节省药剂用量约 18.9%,且除磷效果更佳。

3 结论

① 烧杯试验结果表明,80 μL/L 是加药计量区与平衡区的分界点;达相同出水标准时,同步沉淀的药剂用量是后置沉淀的 2~3 倍;在金属离子物质的量相同时,国产与进口药剂的除磷效果相差不大。

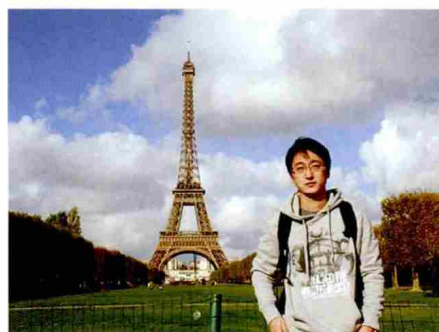
② 中试恒量加药的出水 OP 值波动较大,而动态控制则可将 OP 稳定维持在 0.3 mg/L 以下,并能节省药剂用量约 18.9%。

③ 采用基于水质在线传感器和模型计算的动态控制系统,可以确保出水磷浓度的稳定达标,并减少了投药量。

参考文献:

- [1] 念东,王佳伟,刘立超,等. 城市污水处理厂化学除磷效果及运行成本研究[J]. 给水排水, 2008, 34(5): 7-10.
- [2] 张亚勤. 污水处理厂达到一级 A 排放标准中的化学除磷[J]. 中国市政工程, 2009, (5): 40-41.
- [3] Takacs I, Murthy S, Smith S, *et al.* Chemical phosphorus removal to extremely low levels: experience of two plants in the Washington, DC area [J]. Water Sci Technol, 2006, 53(12): 21-28.
- [4] 李咏梅,孙德翀. 利用正磷酸盐连续监测设备调节铁盐投加量的研究[J]. 中国给水排水, 2012, 28(23): 104-106, 110.

- [5] 施汉昌,柯细勇,徐丽婕. 用化学法强化生物除磷的优化控制[J]. 中国给水排水, 2002, 18(7): 35-38.
- [6] Ingildsen P, Rosen C, Gernaey K V, *et al.* Modeling and control strategy testing of biological and chemical phosphorus removal at Avedore WWTP [J]. Water Sci Technol, 2006, 53(4/5): 105-113.
- [7] Scherrenberg S M, van Nieuwenhuijzen A F, Menkveld H W H, *et al.* Innovative phosphorus distribution method to achieve advanced chemical phosphorus removal [J]. Water Sci Technol, 2008, 58(9): 1727-1733.
- [8] Gustaf O, Nielsen M, Yuan Z, *et al.* Instrumentation, Control and Automation in Wastewater Systems [M]. London: IWA Publishing, 2005.
- [9] Gutierrez O, Park D K, Sharma K R, *et al.* Iron salts dosage for sulfide control in sewers induces chemical phosphorus removal during wastewater treatment [J]. Water Res, 2010, 44(11): 3467-3475.
- [10] Takacs I, Murthy S, Fairlamb P M. Chemical phosphorus removal model based on equilibrium chemistry [J]. Water Sci Technol, 2006, 52(10/11): 549-555.
- [11] Thistleton J, Berry T A, Pearce P, *et al.* Mechanisms of chemical phosphorus removal II: Iron (III) Salts [J]. Process Saf Environ Prot, 2002, 80(5): 265-269.



作者简介: 庞洪涛(1980-), 男, 辽宁大连人, 博士, 高级工程师, 主要从事水污染控制工程技术的研究。

E-mail: panghongtao@bewg. net. cn

收稿日期: 2013-03-01