

试验研究

化学除磷投加系数及其应用技术

李光亮,胡 舒,颜 颀,贾含帅

(成都市排水有限责任公司第九污水处理厂,四川成都 610000)

摘要:为实现化学除磷的精确控制,避免药剂过量投加,成都市某污水处理厂开展了生产性试验,从化学药剂投加系数方面进行了研究。结果表明,化学除磷量 ΔC_{TP} 与 PAC 投加浓度 C_{PAC} 之间存在显著的线性相关关系,两者关系式为: $y = 164.05x - 26.932, R^2 = 0.8605$ 。投加系数 β 值在一定程度上反映了化学药剂的除磷效率。本次试验中 β 值为 5.16–6.83,均值为 6.11。投加系数 β 与 PAC 投加浓度 C_{PAC} 之间存在显著的线性相关关系,两者关系式为: $y = 0.0659x + 3.2565, R^2 = 0.8066$ 。由此可知,过量投加的药剂越多,药剂除磷效率越低。通过公式 $C_{PAC} = \beta \times (\Delta C_{TP} / 31) \times (27 / (0.1 \times (54 / 102)))$,可模拟出不同生化池末端投药前 TP 值(C_{TP1})情况下对应 PAC 投加浓度 C_{PAC} 。此方法可实现 PAC 除磷药剂的精确控制,避免过量投加,保证出水 TP 稳定,对实际生产有着重要的指导意义。

关键词:化学除磷;PAC;投加系数;应用

中图分类号:X703

文献标识码:A

文章编号:1006-8759(2017)05-0027-04

RESEARCH ON DOSING-COEFFICIENT OF CHEMICAL PHOSPHORUS REMOVAL AND APPLICATION TECHNOLOGY

LI Guang-liang, HU Shu, YAN Min, JIA Han-shuai

(Ninth Wastewater Treatment Plant of Chengdu Drainage Limited Liability Company, Chengdu 610000, China)

Abstract:To achieve precise control of chemical phosphorus dosing and avoiding excessive dosing, through production test in a sewage treatment plant in Chengdu, we study on the dosing-coefficient of Chemical Phosphorus Removal. The results indicated that there is a significant linear correlation between the removal of total phosphorus ΔC_{TP} and the PAC dosage C_{PAC} , $y = 164.05x - 26.932, R^2 = 0.8605$. The dosing-coefficient β indicated the efficiency of phosphorus removal reagent to some extent. The result of β is 5.16–6.83 and mean value is 6.11. in this research. There is a linear correlation between the dosing-coefficient β and the PAC dosage C_{PAC} , $y = 0.0659x + 3.2565, R^2 = 0.8066$. The results show that the more reagent excess dose, the lower the efficiency of phosphorus removal is. Through the formula $C_{PAC} = \beta \times (\Delta C_{TP} / 31) \times (27 / (0.1 \times (54 / 102)))$, we simulate the PAC dosage C_{PAC} under different C_{TP1} . This method can achieve precise control of PAC, avoid excessive dosing, ensure the stability of TP of effluent, having the important guiding significance for actual production.

Key words: chemical phosphorus removal; PAC; dosing-coefficient; application

成都市某污水处理厂采用多模式 A²/O 工艺,处理规模 100 万 m³/d。当生化池采用优化除磷运行模式时,系统生物除磷率可达 70%~80%,并在此基础上辅以同步化学除磷,除磷药剂采用聚合氯化铝(PAC),出水 TP 浓度为 0.1 mg/L~0.5 mg/L,可达设计要求《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB18918-2002)中一级 A 标。但由于该厂处理规模大,长期采用定量或过量投药的方式不仅造成药剂浪费,同时导致药剂成本巨大,运行成本高等问题。

为解决上述问题,该厂从化学药剂投加系数角度,对化学除磷过程中药剂的除磷效果进行了生产性试验研究,得到除磷药剂的实际投加系数,并利用投加系数对实际生产中化学除磷精确控制的技术方法进行了研究。

1 材料及方法

1.1 试验材料

除磷药剂采用聚合氯化铝(PAC),有效成分 Al₂O₃ 含量 10%,密度 1.24 g/mL。

1.2 试验方法

该厂共四条处理工艺相同的生产线,选取其中一条生产线作为研究对象,化学除磷采用同步投加方式,连续投加 PAC,并进行了十次采样。每次采样同步采集生化池末端投药前水样及对应二沉池出水口处水样,测定其清液中 TP 浓度分别为 C_{TP1} 和 C_{TP2},同时记录每次采样时 PAC 投加浓度 C_{PAC}。

1.3 分析方法

对每次采样的化学除磷量 ΔC_{TP} 和 PAC 投加系数 β 进行计算,通过回归分析研究化学除磷量 ΔC_{TP} 与 PAC 投加浓度 C_{PAC}、PAC 投加系数 β 与 PAC 投加浓度 C_{PAC} 之间的关系,同时得到在该试验条件下的 PAC 投加系数 β 均值,并利用投加系数 β 对实际生产中化学除磷精确控制的应用方法进行研究。

化学除磷量 ΔC_{TP} 和 PAC 投加系数 β 计算公式如下:

$$\Delta C_{TP} = C_{TP1} - C_{TP2}, \beta = n_{Me} / n_{Tp}$$

其中: n_{Me} 表示加入的 PAC 中 Al³⁺ 物质量, mol; n_{Tp} 表示去除的 P 物质量, mol。

2 结果与讨论

2.1 化学除磷量 ΔC_{TP} 、PAC 投加浓度 C_{PAC} 关系

通过对十次采集水样中 TP 浓度进行测定,并对化学除磷量 ΔC_{TP} 和 PAC 投加系数 β 进行计算,得到结果如表 1 所示:

表 1 十次采样测定及计算结果

采样次数	C _{TP1} (mg/L)	C _{TP2} (mg/L)	ΔC_{TP} (mg/L)	C _{PAC} (mg/L)	β
第 1 次	0.511	0.140	0.371	34	5.57
第 2 次	1.28	0.895	0.385	38	6.00
第 3 次	0.514	0.125	0.389	33	5.16
第 4 次	1.05	0.648	0.402	39	5.90
第 5 次	0.557	0.144	0.413	43	6.33
第 6 次	0.83	0.403	0.427	48	6.83
第 7 次	0.91	0.473	0.437	39	5.42
第 8 次	0.792	0.328	0.464	50	6.55
第 9 次	0.817	0.332	0.485	53	6.64
第 10 次	0.78	0.272	0.508	56	6.70

在十次采样中,由于受进水水质、水量、温度等因素影响,生化池末端 PAC 投加前水样上清液中 TP 浓度介于 0.511 mg/L~1.28 mg/L 之间,PAC 投加浓度范围为 33 mg/L~56 mg/L,二沉池出水 TP 浓度为 0.125 mg/L~0.895 mg/L。由此可以看出,除磷药剂的投加在未进行精确控制情况下,会出现投药量不足导致出水 TP>0.5 mg/L,或过量投药造成药剂浪费,出水 TP 值波动较大甚至超标。通过测定生化池末端 PAC 投加前 TP 浓度,结合出水 TP 排放标准,可得到化学除磷量。对化学除磷量与 PAC 投加浓度之间关系进行研究,则可通过精确控制 PAC 投加浓度,使出水 TP 稳定达标排放。因此,对十次采样的化学除磷量 ΔC_{TP} 和 PAC 投加浓度 C_{PAC} 之间进行相关性分析,如图 1 所示:

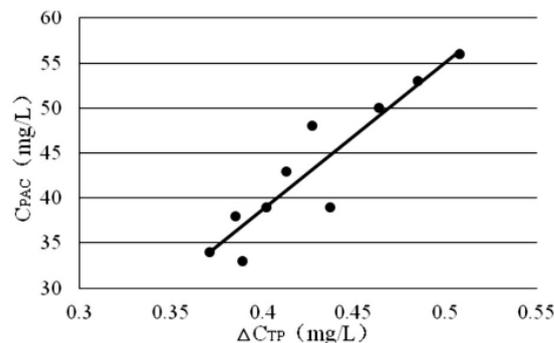


图 1 化学除磷量 ΔC_{TP} 和 PAC 投加浓度 C_{PAC} 关系

通过分析可以看出,在十次采样中,化学除磷量 ΔC_{TP} 和 PAC 投加浓度 C_{PAC} 之间存在显著线性相关性,两者关系式为: $y = 164.05x - 26.932, R^2 =$

0.8605, 其中: x 表示化学除磷量 ΔC_{TP} , x 的取值范围为 0.371 mg/L~0.508 mg/L, y 表示 PAC 投加浓度 C_{PAC} 。

由此可知, 当化学除磷量 ΔC_{TP} 在 0.371 mg/L~0.508 mg/L 范围时, 化学去除的 TP 浓度越大, 需要投加的 PAC 浓度越高, 两者呈线性相关关系。

2.2 投加系数 β

根据定义, 投加系数 β 值表示去除单位质量的 P 需要金属离子的物质质量, 在一定程度上可反映化学除磷药剂的除磷效率情况: β 值越大, 药剂除磷效率越低; β 值越小, 药剂除磷效率越高。对 PAC 投加系数 β 进行计算, 本次试验中 β 值介于 5.16~6.83 之间波动。Hermanowis 等^[1]给出了现场和实验室规模数据验证 β 值的范围在 1.0~10.0 之间。李子富等^[2]选取好氧池出水端为药剂投加点进行现场生产性试验, 测得投加系数 β 为 4.22。影响投加系数 β 的因素较多, 包括污水中磷元素的含量、化学药剂的投加量、氢氧化物沉淀的形成时间、搅拌强度和时间的等^[3, 4, 5]。实际投加时, 投加系数受污水水质、投加点、混合条件、温度等多种因素的影响。Salah Jellali^[6], Yuqiu Wang^[7], Yongzhen Peng^[8] 通过研究表明除磷药剂在不同 pH 值时的混凝除磷效果存在较大差异。

为研究本次试验中投加系数 β 与 PAC 投加浓度 C_{PAC} 之间的关系, 对两者进行相关性分析如图 2 所示:

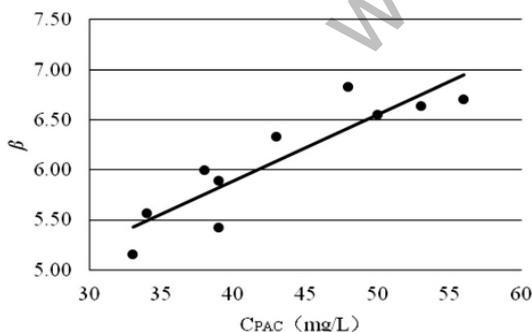


图 2 PAC 投加浓度 C_{PAC} 与投加系数 β 关系

经分析发现, 投加系数 β 与 PAC 投加浓度 C_{PAC} 之间存在显著线性相关性, 两者关系式为: $y=0.0659x+3.2565$, $R^2=0.8066$, 其中: x 表示 PAC 投加浓度 C_{PAC} , x 的取值范围为 33 mg/L~56 mg/L, y 表示投加系数 β 。

由此可知, 当 PAC 投加浓度 C_{PAC} 在 33 mg/L~56 mg/L 范围内时, 随着 PAC 投加浓度 C_{PAC} 的增大, 投加系数 β 也逐渐增大, PAC 除磷效率逐步降低。在实际生产中, 应根据化学除磷量 ΔC_{TP} , 精确控制 PAC 的投加量浓度 C_{PAC} , 避免过量投加。过量投加的药剂越多, 药剂除磷效率越低, 造成的药剂浪费越大。

2.3 投加系数 β 在实际生产中应用

投加系数大小代表着除磷药剂的实际除磷效率高, 对指导实际生产有着重要意义。

为判断本次试验中十次采样的 β 值差异大小, 对 10 个 β 的变异系数 (CV %) 进行计算, 计算公式如下:

$$\sigma = \sqrt{\frac{(\beta_1 - \mu)^2 + (\beta_2 - \mu)^2 + \dots + (\beta_{10} - \mu)^2}{10}}$$

$$\mu = (\beta_1 + \beta_2 + \dots + \beta_{10}) / 10$$

$$CV \% = \sigma / \mu$$

变异系数 (CV %) 表征了一组数据间离散程度和稳定性, 其值越大, 表示数据间离散程度越高, 波动越大; 值越小, 表示数据间波动越小, 越稳定。

经计算, 标准差 $\sigma=0.5589$, 平均值 $\mu=6.11$, 变异系数 $CV \% = 9.14 \% < 10 \%$ 。由此可知十次投加系数 β 间离散程度较弱, 药剂除磷效率稳定无较大波动。在本次试验中, 可取投加系数 β 平均值为 6.11。

在实际生产中, 为确保出水 TP 在控制范围内, 投加系数 β 的取值保守上浮 5% 取 6.42。通过测定生化池末端 PAC 投加前 TP 浓度 C_{TP1} , 并设置需控制的出水 TP 浓度 C_{TP2} , 则可得到此时需控制的 PAC 投加浓度 C_{PAC} , 计算公式如下:

$$C_{PAC} = \beta \times (\Delta C_{TP} / 31) \times (27 / (0.1 \times (54 / 102)))$$

$$\Delta C_{TP} = C_{TP1} - C_{TP2}$$

取 PAC 投加系数 β 值 6.42, 化学除磷量 ΔC_{TP} 取本次试验范围内 0.375 mg/L~0.505 mg/L, 该厂出水排放标准为《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB18918-2002) 中一级 A 标, 假设出水 TP 控制值为 0.3 mg/L, 则通过上述公式, 可模拟出在不同生化池末端 PAC 投加前 TP 浓度 C_{TP1} 情况下, 对应需控制的 PAC 投加浓度 C_{PAC} , 模拟结果如表 2:

根据表 2, 当生化池末端 PAC 投加前 TP 浓度 C_{TP1} 为 0.675 mg/L~0.805 mg/L 之间任意值时, 通过查询此表, 将 PAC 投加浓度 C_{PAC} 控制在对应

表2 不同 C_{TP1} 情况下 PAC 投加浓度 CPAC 模拟

β	C _{TP2}	ΔC_{TP}	C _{TP1}	C _{PAC}
6.42	0.3	0.375	0.675	39.61
		0.385	0.685	40.66
		0.395	0.695	41.72
		0.405	0.705	42.78
		0.415	0.715	43.83
		0.425	0.725	44.89
		0.435	0.735	45.94
		0.445	0.745	47.00
		0.455	0.755	48.06
		0.465	0.765	49.11
		0.475	0.775	50.17
		0.485	0.785	51.23
		0.495	0.795	52.28
		0.505	0.805	53.34

值,则可保证出水 TP 在控制值 0.3 mg/L。

该方法通过确定生产中实际 PAC 投加系数 β , 计算出在不同生化池末端 PAC 投加前 TP 浓度 C_{TP1} 时对应的 PAC 投加浓度 C_{PAC}, 可实现 PAC 除磷药剂的精确控制, 避免过量投加造成浪费, 同时保证出水 TP 在控制值。在实际生产中, 仅需查询模拟表则可确定 PAC 投加浓度, 简单方便, 对实际生产有着重要的指导意义。

3 结论

通过生产性试验研究表明, 化学除磷量 ΔC_{TP} 与 PAC 投加浓度 C_{PAC} 之间存在显著的线性相关关系, 两者关系式为: $y=164.05x-26.932, R^2=0.8605$ 。由此可知, 当化学除磷量在 0.371 mg/L~0.508 mg/L 范围时, 化学去除的 TP 浓度越大, 需要投加的 PAC 浓度越高。

投加系数 β 值在一定程度上可反映化学除磷药剂的除磷效率情况: β 值越大, 药剂除磷效率越低; β 值越小, 药剂除磷效率越高。本次试验中 β 值介于 5.16~6.83 之间波动。

经研究发现, 投加系数 β 与 PAC 投加浓度 C_{PAC} 之间存在显著线性相关性, 两者关系式为: $y=$

$0.0659x+3.2565, R^2=0.8066$ 。由此可知, 当 PAC 投加浓度 C_{PAC} 在 33 mg/L~56 mg/L 范围内时, 随着 PAC 投加浓度 CPAC 的增大, 投加系数 β 也逐渐增大, PAC 除磷效率逐步降低。在实际生产中, 应避免过量投加。过量投加的药剂越多, 药剂除磷效率越低, 造成的药剂浪费越大。

在本次生产性试验中, 投加系数 β 稳定, 可取平均值 6.11。由公式 $C_{PAC}=\beta*(\Delta C_{TP}/31)*(27/(0.1*(54/102)))$, 可得到不同 C_{TP1} 情况下 PAC 投加浓度 C_{PAC} 模拟表, 利用该模拟表可实现 PAC 除磷药剂的精确控制, 避免过量投加造成浪费, 同时保证出水 TP 在控制值, 对实际生产有着重要的指导意义。

参考文献

- [1] Hermanowicz. Proceedings of WERF Nutrient removal workshop: Washington DC.2006.
- [2] 李子富, 云玉攀, 曾灏等. 城市污水处理厂化学强化生物除磷的试验研究[J]. 中国环境科学, 2014, 34(12): 3070-3077.
- [3] Szabo A., Takács I. and Murthy S. Significance of design and operational variables in chemical phosphorus removal. Water Environment Research, 2008, 80(5): 407-416.
- [4] de Haas D.W., Wentzel M.C. and Ekama G.A. The use of simultaneous chemical. Precipitation in modified activated sludge systems exhibiting biological excess phosphate. Water SA, 2000: 439-451.
- [5] Yang Y., Zhao Y.Q. and Babatunde A. Characteristics and mechanisms of phosphate adsorption on dewatered aluminum sludge. Separation and Purification Technology, 2006, 51: 193-200.
- [6] Salah Jellali, Mohamed Ali Wahab, Makram Anane, et al. Phosphate mine wastes reuse for phosphorus removal from aqueous solutions under dynamic conditions [J]. Journal of Hazardous Materials, 2010, 184(1-3): 226-233.
- [7] Yuqiu Wang, Tianwei Han, Ze Xu, et al. Optimization of phosphorus removal from secondary effluent using simplex method in Tianjin, China [J]. Journal of Hazardous Materials, 2005, 121(1-3): 183-186.
- [8] Yongzhen Peng, Tom Stephenson. Effect of influent nutrient ratios and hydraulic retention time (HRT) on simultaneous phosphorus and nitrogen removal in a two-sludge sequencing batch reactor process [J]. Bioresource Technology, 2009, 100(14): 3506-3512.