

• 城镇给排水 •

城市污水处理厂化学除磷效果及运行成本研究

念 东 王佳伟 刘立超 周 军 甘一萍 王洪臣

(北京城市排水集团有限责任公司, 北京 100022)

摘要 通过对硫酸亚铁、氯化铁、硫酸铝、聚氯化铝和聚氯化铝铁的小试研究,以及对北京城市排水集团下属三座污水处理厂在沉砂池、曝气池的生产性试验研究,详细论述了化学除磷的除磷效果与化学药剂投加量、运行成本和磷削减成本的关系,用于指导和控制城市污水处理厂除磷的直接成本,并保证城市污水处理厂高效、稳定的处理效果。试验表明,当出水总磷要求小于 1 mg/L 和 0.5 mg/L 时,药剂中金属元素与去除磷元素的物质的量之比(Me/P)、运行成本、磷削减成本分别为:2~2.5、0.1~0.13 元/m³、4.5 万~5.5 万元/t 和 3~6、0.13~0.2 元/m³、5 万~15 万元/t。

关键词 城市污水处理厂 化学除磷 除磷效果 成本

Research on efficiency and operating cost of chemical phosphorus removal

Nian Dong, Wang Jiawei, Liu Lichao, Zhou Jun, Gan Yiping, Wang Hongchen

(Beijing Drainage Group Co., Ltd., Beijing 100022, China)

Abstract: Based on laboratory test with FeSO_4 , FeCl_3 , $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$, PAC and PAFC, as well as full scale experiment in three WWTs in Beijing Drainage Group, this paper analyzed the relation between chemical phosphorus removal efficiency and chemical dosage, specific operating costs and specific phosphorus removal costs. The results can be used to guide wastewater treatment plants to control phosphorus removal costs, and to ensure that municipal wastewater treatment plants meet discharge standards efficiently and stably. The experimental results showed that when the effluent TP concentrations are required to be less than 1 mg/L and 0.5 mg/L, the Mol ratio of chemical metal element to removed P element (Me/P), operation costs and phosphorus removal costs are: 2~2.5, 0.1~0.13 Yuan RMB per cubic meter of wastewater, 45~55 thousands Yuan RMB per cubic meter of phosphorus and 3~6, 0.13~0.2 Yuan RMB per cubic meter of wastewater, 50~150 thousands Yuan RMB per ton of phosphorus respectively.

Keywords: WWTs; Chemical phosphorus removal; Phosphorus removal efficiency; Operating costs

近年来,各地政府投入大量资金建设城市污水处理厂,而城市污水处理厂的良好建设及运行达标是改善水环境的保证,运行成本高低直接关系到污水处理厂的运行费用和经济保障^[1]。因此,研究确定污染物削减效果与运行成本的关系用于指导城市污水处理厂的直接成本,保证城市污水处理厂高效、达标运行非常必要。

近年来城市污水处理的主要目标已经由对有机物的去除转向对氮、磷的去除。我国《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB 18918—2002)中对总氮和总磷均作了更为严格的规定。生物除磷虽然通过强化可以得到较好的除磷效果,但是由于其本身所具有的局限性,使出水中磷的含量很难稳定达标。而通过化学除磷则可以保证出水中磷的稳定达标,通常化学除磷药剂采用铁盐和铝盐作混凝剂,药剂选用既需考虑混凝沉淀效果又要兼顾经济性^[2,3]。本研究选用硫

国家高技术研究发展计划(863)项目(2004AA601010)。

酸亚铁、三氯化铁、聚氯化铝(PAC)、硫酸铝和聚氯化铝铁(PAFC)作为除磷药剂。通过小试初步确定混凝剂的去除效果和处理成本,再在此基础上进行生产性试验,分析化学除磷的除磷效果与化学药剂投加量、运行成本和磷削减成本的关系。

1 小试研究

可用于化学除磷的金属盐主要有三种:钙盐、铁盐和铝盐,最常用的是石灰、硫酸铝、三氯化铁、PAFC、硫酸铁、硫酸亚铁。由于污水处理厂的进水水质和工艺各不相同,在化学除磷设计中,药剂的种类、投加量和投加点宜通过试验确定,化学除磷小试简单易行,对各厂的生产性投加有直接指导意义。通过分别对污水处理厂沉砂池和曝气池出水投加硫酸铝、PAFC、PAC、PAC+PAM、三氯化铁、硫酸亚铁进行小试,确定污水处理厂化学除磷的最佳投药点和最佳投药量,评价 pH、COD_{Cr}、色度、总磷等指标的变化情况,并初步确定各种药剂所需要的除磷成本。

表 1 污水处理厂沉砂池出水化学除磷试验结果

药剂	Me/P	药剂浓度/mg/L	总磷/mg/L	总磷去除率/%	COD _{Cr} /mg/L	COD _{Cr} 去除率/%	pH	色度/倍
硫酸铝	0	0	5.15	0	208.0	0	7.92	
	0.9	7.40	2.31	55.15	97.7	53.0	7.80	
	1.8	14.81	1.28	75.15	105.0	49.5	7.78	
	2.6	22.21	0.74	85.59	90.2	56.6	7.56	
	3.5	29.61	0.52	85.98	88.0	58.9	7.27	
PAFC	0	0	5.15	0	208.0	0	7.92	30
	0.9	16.23	3.13	39.22	107.0	48.6	7.94	30
	1.7	32.45	2.00	61.17	84.2	59.5	7.97	28
	2.6	48.68	1.18	77.09	79.7	61.7	7.99	28
	3.5	64.90	0.87	83.18	75.2	63.8	7.77	28
PAC	0	0	5.15	0	208.0	0	7.92	
	0.9	7.40	3.53	31.46	128.0	38.5	7.99	
	1.7	14.81	2.14	58.45	91.7	55.9	7.97	
	2.6	22.21	1.30	74.76	82.7	60.2	7.86	
	3.5	29.61	0.87	83.18	75.2	63.8	7.81	
PAC+PAM	0	0	5.15	0	208.0	0	7.92	28
	0.9	16.23	2.95	42.72	108.0	48.1	7.88	28
	1.7	32.45	2.00	61.17	79.7	61.7	7.89	27
	2.6	48.68	1.13	78.06	84.2	59.5	7.75	27
	3.5	64.90	0.72	85.98	75.2	63.8	7.66	26
三氯化铁	0	0	5.15	0	208.0	0	7.92	30
	0.9	23.59	2.08	59.61	114.0	45.2	7.79	30
	1.7	47.18	0.87	83.18	97.7	53.0	7.58	28
	2.6	70.77	0.60	88.39	90.2	56.6	7.43	28
	3.5	94.35	0.36	85.18	89.0	57.2	7.23	26

1.1 小试方法

测定水样的 pH、温度,并取样用于测定初始 TP 和 COD_{Cr};在反应器中加 1 L 水样,每个水样做两个平行样;根据历史数据估算 TP 含量,按投加药剂中金属元素与去除磷元素的物质的量之比(Me/P)为 0.5、1.0、1.5、2.0、2.5 加入相应的化学试剂;开始搅拌。混合时快速搅拌(200 r/min)1.5 min,反应时先慢速搅拌(100 r/min)15 min,再缓慢搅拌(50 r/min)5 min,最后静止沉淀 30 min 后取上清液检测分析;当测定 FeSO₄ 时预先曝气 30 min 进行氧化。

1.2 结果及其分析

污水处理厂沉砂池和曝气池化学除磷试验结果见表 1 和表 2。

表 1 数据表明,前沉析时,硫酸铝、PAFC、PAC、PAC+PAM、三氯化铁、硫酸亚铁对磷均有很好的去除效果,当 Me/P 大于 2.5 时,磷可以降到 1 mg/L 左

表 2 污水处理厂曝气池出水化学除磷试验结果

药剂	Me/P	药剂浓度/mg/L	总磷/mg/L	总磷去除率/%	pH	色度/倍
硫酸铝	0	0	2.97	0	7.92	
	0.7	3.29	2.31	22.22	7.90	
	1.3	6.58	1.59	46.46	7.85	
	2.0	9.87	1.11	62.63	7.80	
	2.7	13.16	0.93	68.75	7.86	
PAFC	0	0	2.97	0	7.92	32
	0.7	7.21	2.91	2.02	7.95	32
	1.3	14.42	1.96	34.01	7.92	30
	2.0	21.63	1.65	44.44	7.90	30
	2.7	28.85	1.28	56.90	7.87	30
PAC	0	0	2.97	0	7.92	
	0.7	3.29	2.37	20.20	8.02	
	1.3	6.58	2.29	22.90	8.12	
	2.0	9.87	1.90	36.03	7.90	
	2.7	13.16	1.71	42.42	7.87	
硫酸亚铁	0	0	2.97	0	7.92	40
	0.7	9.81	1.67	43.77	8.16	40
	1.3	19.61	0.95	68.08	7.97	35
	2.0	29.42	0.84	71.55	8.11	33
	2.7	39.23	0.39	86.80	8.00	33
三氯化铁	0	0	2.97	0	7.92	40
	0.7	10.48	2.02	31.99	7.80	40
	1.3	20.97	1.18	60.27	7.82	37
	2.0	31.45	0.70	76.40	7.71	37
	2.7	41.94	0.64	78.48	7.74	37

右, COD_{Cr} 降到 100 mg/L 以下。随着药剂投加量增加, pH 变化不大, 稳定在 7.5 左右。表 2 数据表明, 同步沉析时, 随着药剂投加量增加, 磷浓度逐渐降低, 能够达到良好的处理效果。当 Me/P 为 2 时, 磷可以降到 1 mg/L 左右。随着药剂投加量增加, pH 变化不大, 稳定在 7.9 左右。前沉析和同步沉析时, 投加各种药剂后, 出水的色度都有一定的减少, 投加铁盐过程中, 在目前的投加量的条件下没有发现色度增高的问题, 相反色度有所降低。

沉砂池和曝气池出水加药费用与加药后 TP 的关系见图 1、图 2。由图可见, 当加药后出水总磷达到 1 mg/L 时, 沉砂池出水高于曝气池出水投药的药剂费用, 分别为 0.1~0.3 元/ m^3 和 0.04~0.2 元/ m^3 。费用由高到低的排序为 PAC>PAFC>三氯化铁>硫酸铝>硫酸亚铁。

2 生产性试验

在北京城市排水集团下属的三座污水处理厂(编号 1、2、3)中进行生产性试验, 比较不同加药条件下的除磷成本, 结果见表 3。

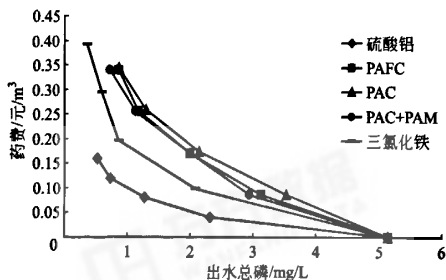


图 1 沉砂池出水加药费用与加药后 TP 关系

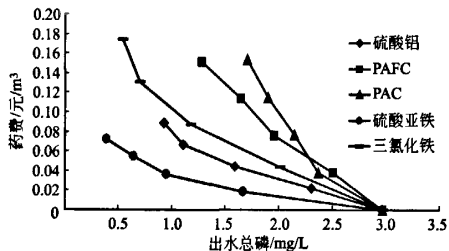


图 2 曝气池出水加药费用与加药后 TP 关系

各污水处理厂出水总磷与化学除磷成本的关系如图 3 所示, 可见当出水总磷低于 1 mg/L 时, 化学

表 3 各污水处理厂的生产性试验结果

编号	日期	水量/ m^3/d	投加药剂	投加位置	投加量/ mg/L	Me/P	加药前出水 TP/ mg/L	加药后出水 TP/ mg/L	运行成本/ $元/m^3$	磷削减成本/ $万元/t$
1	0214~0220	10	硫酸铝	四系列曝气出水渠	15	2.5	4.2	0.6	0.16	4.44
	0406~0407	22	硫酸亚铁	二系列沉砂池进水管	20	5.1	4.6	3.8	0.04	4.89
	0408~0409	22	硫酸亚铁	二系列沉砂池进水管	30	5.6	4.6	3.5	0.06	5.50
	0410~0413	22	硫酸亚铁	二系列沉砂池进水管	40	3.1	4.6	2.0	0.08	3.09
2	0119~0130	15	PAFC	B 系列初沉池配水井	12	2.0	3.3	0.6	0.13	4.76
	0127~0201	15	PAFC	D 系列曝气池出水	12	2.0	3.3	0.7	0.13	5.00
	0205~0214	15	PAFC	B 系列初沉池配水井	10	2.1	3.3	1.2	0.11	5.16
	0206~0214	15	PAFC	D 系列曝气池出水	10	2.1	3.3	0.6	0.11	4.02
3	0124~0206	10	PAC	二期北系列曝气池	15	15.2	0.9	0.30	0.20	33.33
	0206~0214	10	PAC	二期北系列曝气池	10	11.1	0.9	0.35	0.13	21.67

除磷成本为 0.1~0.13 元/m³。当出水总磷低于 0.5 mg/L 时,化学除磷的成本为 0.13~0.2 元/m³。

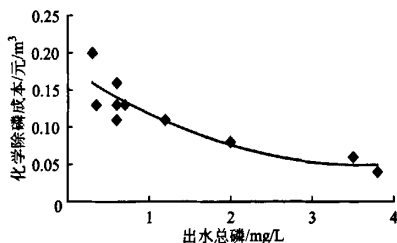


图3 出水总磷与化学除磷成本的关系

由表3可知,因3号污水处理厂化学除磷前的出水总磷已小于1 mg/L,而投加化学除磷药剂后出水总磷小于0.3 mg/L,加药 Me/P 已经大于10,说明有大量的化学药剂没有参与除磷反应,使磷的削减成本远远高于其他污水处理厂。图4为出水总磷与磷削减成本之间的关系,从图4中可以估算,当出水磷达到一级A标准(0.5 mg/L)时,磷的削减成本约为5万~15万元/t。当出水总磷大于1 mg/L时,磷的削减成本随出水总磷的变化较小,为4.5万~5.5万元/t。

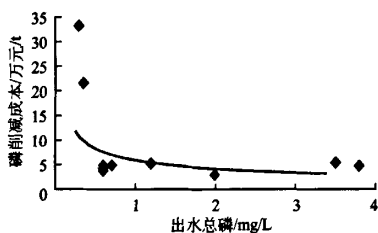


图4 出水总磷与磷削减成本的关系

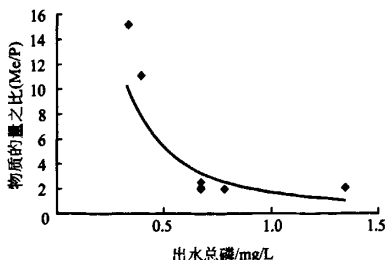


图5 出水总磷与加药量关系

投加药剂中 Me/P 与出水总磷的关系如图5所示,因1号污水处理厂的硫酸亚铁投加于曝气沉砂池,没有充分氧化为三价铁,形成的 Fe(OH)₂ 在水中的溶解度很大,而 Fe²⁺ 只能形成简单的络合物,

混凝效果较差,因此图5没有包括这3个点。由图5可见,当出水总磷小于1 mg/L时,Me/P为2~2.5。当出水总磷小于0.5 mg/L时,估算 Me/P 为3~6。

生产性试验结果表明,化学除磷能够达到明显的除磷效果,并且投加药剂后1~2 d出水总磷基本稳定达到1 mg/L以下。1号污水处理厂的生产性试验中因硫酸亚铁投加在沉砂池进渠道,不能充分氧化,因此出水总磷未能达到1 mg/L以下。

3 结论

(1) 生产性试验结果表明,化学除磷能够达到明显的除磷效果,并且投加药剂后1~2 d出水总磷基本稳定达到1 mg/L以下,投加混凝剂对总氮的影响不明显,下一步的研究方向是如何结合化学除磷进一步提高总氮的去除效果。

(2) 各种药剂投加过程中,pH变化不大,稳定在7.5左右,而出水的色度都有一定的减少(包括三氯化铁)。

(3) 结合小试和生产性试验的结果,硫酸亚铁的加药费用最低,约为0.08元/m³,但投加位置受到限制,一般需投加在曝气池中,硫酸铝和PAFC都能达到较好的出水水质和较低的成本,其药剂成本约为0.11~0.16元/m³。药剂费用 PAC>PAFC>三氯化铁>硫酸铝>硫酸亚铁。

(4) 从总体上看,当出水总磷要求小于1 mg/L和0.5 mg/L时,Me/P、运行成本、磷削减成本分别为:2~2.5、0.1~0.13元/m³、4.5万~5.5万元/t和3~6、0.13~0.2元/m³、5万~15万元/t。

(5) 从生产性试验可以看出,化学药剂与水的充分混合,是除磷的关键。所以,投药点的水力条件要满足药剂与水的充分混合的要求。

参考文献

- 1 邱维,张智.城市污水化学除磷的探讨.重庆环境科学,2002,24(2):81~84
- 2 赵恩海,朱文亭.我国污水处理的发展趋势.城市环境与城市生态,2000,13(4):39~41
- 3 Henze M,Harremoës P.污水生物处理与化学处理技术.国家城市给水排水工程技术研究中心(译).北京:中国建筑工业出版社,1999

✉ 通讯处:100022北京朝阳高碑店甲1号

收稿日期:2007-07-03