

城市污水处理厂协同沉淀除磷与后续混凝除磷对比实验研究*

Comparative Study on Synergism Sedimentation and Subsequent Coagulating Sedimentation Phosphorus Removal

马焕春¹, 白少元², 解庆林²

MA Huan-chun¹, BAI Shao-yuan², XIE Qing-lin²

(1. 重庆水利电力职业技术学院, 重庆 402160; 2. 桂林工学院资源与环境工程系, 广西桂林 541004)

(1. Chongqing College of Water Resources and Electric Engineering, Chongqing, 402160, China; 2. Department of Resources and Environmental Engineering, Guilin University of Technology, Guilin, Guangxi, 541004, China)

摘要:在室温条件下,选用氯化铁、明矾、硫酸铝和聚合氯化铝(PAC)4种常见混凝剂,对城市污水处理厂氧化沟出水和二沉池出水进行协同沉淀和后续混凝除磷对比实验;协同沉淀实验的混凝剂投药量为0~40mg/L, pH值为2.36~10.09;后续混凝除磷实验的混凝剂投药量为0~100mg/L, pH值为2.31~10.07。结果表明,协同沉淀除磷时,PAC、明矾、氯化铁以及硫酸铝的适宜投药量分别为15mg/L、20mg/L、30mg/L和25mg/L, pH值适宜范围分别为6.79~8.32、5.82~8.32、6.79~6.92和6.79~6.92;后续混凝除磷时,PAC、明矾、氯化铁以及硫酸铝的适宜投药量分别为30mg/L、70mg/L、50mg/L和40mg/L, pH值适宜范围分别为5.92~10.07、6.92~8.08、6.92~10.07和6.92~8.08。在4种混凝剂中,PAC能够在较小投药量条件下有效地降低出水中的总磷含量,优于其他3种混凝剂的处理效果;在实现相同除磷效果的条件下,后续混凝除磷工艺所需投药量为协同沉淀工艺的1.6~3.5倍,因此建议采用PAC混凝剂和协同沉淀工艺进行总磷去除处理, pH值保持在中性范围内。

关键词:污水 除磷 协同沉淀 混凝沉淀 混凝剂

中图分类号:X703.5 **文献标识码:**A **文章编号:**1002-7378(2008)01-0011-05

Abstract: In this paper, effluent of oxidation channel and secondary sedimentation tank are treated by coagulation sedimentation method with four kinds of coagulant agents, i. e., FeCl_3 , Potash Alum, $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ and polyaluminum chloride (PAC), respectively. The coagulant dosage range of synergism sedimentation experiment is from 0 to 40mg/L, and the pH is between 2.36 and 10.09. The coagulant dosage range of subsequent coagulating sedimentation experiment is between 0 and 100mg/L and the pH is between 2.31 and 10.07. The result shows that the suitable four kinds of coagulant dosages of PAC, Potash Alum, FeCl_3 , $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ are 15mg/L, 20mg/L, 30mg/L, 25mg/L, and the pH scope are 6.79~8.32, 5.82~8.32, 6.79~6.92, 6.79~6.92, respectively. The suitable four kinds of coagulant dosages in subsequent coagulating sedimentation experiment are 30mg/L, 70mg/L, 50mg/L, 40mg/L, and the pH scope are 5.92~10.07, 6.92~8.08, 6.92~10.07, 6.92~8.08, respectively. PAC is better than the other three kinds of coagulant agent due to its small dosage and high efficiency. Furthermore, the

coagulant dosage of subsequent coagulating experiment is about 1.6 to 3.5 times as what is in the synergism sedimentation experiment. So PAC and synergism sedimentation method is suitable to be used for phosphorus removal in neutral

收稿日期:2006-04-29

修回日期:2007-10-09

作者简介:马焕春(1979-),女,硕士,主要从事水污染控制研究。

* 桂林市水环境质量改善与综合示范项目(国家高技术研究发展计划(863计划),编号:2003AA601060-02-01)资助。

condition.

Key words: sewage, phosphorus removal, synergism sedimentation, coagulating sedimentation, coagulant agent

城市污水处理厂出水水量大、水质稳定,如果能将其进一步深度处理并加以回用,将会有效地缓解当前水资源紧张的状况。将城市污水处理厂二级出水用于地表水体补给,最大的问题在于二级出水中氮磷浓度较高,容易造成地表水体富营养化问题,因此开展二级出水中总磷去除研究具有重要意义。

目前国内外化学方法强化一级处理的研究较多^[1-3],但是对于城市污水处理厂化学生物方法协同除磷及尾水除磷较为系统的实验研究还比较少。本实验选用4种常见的混凝剂在常温条件下,对城市污水处理厂氧化沟出水及二沉池出水进行混凝除磷对比实验,以期优选出适宜的混凝剂种类,得到相应的投药量及适宜 pH 值等运行参数,从而在实际应用中指导污水处理厂进行有效的二级出水处理,减少接纳环境的总磷负荷量,实现预防水体富营养化的目的。

1 实验材料与方法

1.1 原水水质

协同沉淀实验原水采用桂林市某污水处理厂氧化沟出水, pH 值为 6.82~6.92, 混合液悬浮固体浓度 (MLSS) 为 370~400 mg/L。静置 2h 后取上清液测得总磷为 1.26~1.75 mg/L。

后续深度混凝除磷原水为该污水处理厂二沉池出水, pH 值为 7.26, 总磷浓度为 0.84~0.94 mg/L。

1.2 仪器和药品

实验采用的仪器有: VIS-7220-G 分光光度计(北京瑞利分析仪器公司生产), MODEL 6010 便携式微电脑型 pH 计(上海任氏电子有限公司生产), SC656 实验搅拌器(湖北省潜江市梅宇仪器有限公司生产)。

使用的聚合氧化铝(PAC)、氯化铁、FeSO₄、硫酸铝、磷酸二氢钾、钼酸铵、抗坏血酸、过硫酸钾、酒石酸锶钾均为分析纯试剂。

1.3 分析测定方法

水中的总磷采用过硫酸钾消解-钼锑抗分光光度法进行测定^[4]。

1.4 实验方法

1.4.1 协同沉淀实验 将泥水混合液混合均匀后取 200ml 于 500ml 烧杯中, 加入混凝剂, 先以 300

r/min 快速搅拌 30s, 再以 200r/min 中速搅拌 3min, 最后以 100r/min 慢速搅拌 5min, 为模拟二沉池停留时间, 静置 2h 后取上清液测定其总磷浓度。混凝剂投药量为 0~40mg/L, pH 值条件为 2.36~10.09。

1.4.2 后续混凝除磷实验 取二沉池出水 200ml 于 500ml 烧杯中, 加入混凝剂, 混凝搅拌方法同协同沉淀实验, 静置 0.5h 后取上清液测定其初始总磷浓度。混凝剂投药量为 0~100mg/L, pH 值条件为 2.31~10.07。

实验在室温 22~24℃ 下进行。处理出水以达到地表水环境质量标准 (GB3838-2002) III 类水质为标准, 即实验目标为总磷浓度 ≤ 0.2 mg/L。

2 结果与分析

2.1 协同沉淀除磷效果

不加混凝剂条件下, 初始时, 氧化沟泥水混合液溶解氧浓度为 0.89~2.89 mg/L, 总磷浓度为 1.67~2.51 mg/L; 静沉 30min 后, 溶解氧浓度为 0.39~0.63 mg/L, 总磷浓度降为 0.81~1.19 mg/L; 静沉 2h 后溶解氧浓度为 0.18~0.35 mg/L, 总磷浓度上升为 1.26~1.75 mg/L。这是由于氧化沟出水位置具有一定的溶解氧, 处于好氧状态, 聚磷菌活性较好, 取出静置 30min 后, 聚磷菌消耗水中的溶解氧继续发挥作用, 使得水中总磷浓度降低; 静置 2h 后, 水中溶解氧浓度较低, 处于厌氧状态, 释磷菌发挥作用, 使得水中总磷浓度略为上升。

2.1.1 不同投药量的混凝剂除磷效果

图 1 结果显示, PAC 投药量由 0mg/L 增加到 25mg/L 时, 总磷浓度由 1.26mg/L 降低到 0.05mg/L, 在投药量为 25mg/L 时, 去除率达到 95.83%, 之后随着投药量进一步增加到 40mg/L 时, 去除率降低到 89.28%。明矾投药量由 0mg/L 增加到 20mg/L 时, 总磷浓度由 1.45mg/L 降低到 0.20mg/L, 在投药量为 20mg/L 时, 去除率为 86.21%; 随着投药量增加到 30mg/L 时, 去除率降低到 78.23%, 当投药量进一步增加到 40mg/L 时, 总磷浓度降低到 0.16mg/L, 去除率升高到 89.01%。氯化铁投药量由 0mg/L 增加到 40mg/L 的过程中, 总磷浓度由 1.75mg/L 降低到 0.10mg/L, 去除率由 73.14% 升高到 94.29%。硫酸铝投药量由 0mg/L 增加到 25mg/L 时, 总磷浓度由 1.70mg/L 降低到 0.20mg/L, 去除

率由77.14%升高到86.95%，随着投药量增加到40mg/L时，去除率降低到83.88%。

4种混凝剂对磷的最高去除率从大到小的顺序是PAC>氯化铁>硫酸铝>明矾。以处理后出水中总磷浓度≤0.2mg/L为实验目标，各混凝剂的适宜投药量分别为：PAC15mg/L、明矾20mg/L、氯化铁30mg/L，硫酸铝25mg/L，投药量由小到大的顺序是：PAC>明矾>硫酸铝>氯化铁。可见，在协同沉淀实验中，与其他3种混凝剂相比，PAC能够在较小投药量的条件下达到较好的除磷效果。

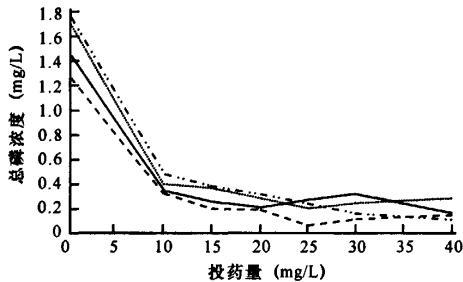


图1 4种混凝剂不同投药量的除磷效果

—：明矾；·····：硫酸铝；- - -：PAC；- · - ·：氯化铁

2.1.2 不同pH值的混凝剂除磷效果

从表1结果可以看出，PAC投药量为15mg/L时，随着pH值的升高到，PAC对磷的去除率不断增大，在8.03~8.32范围内出现极大值，去除率为94.79%，总磷浓度为0.07mg/L，之后随着pH值的进一步增大，去除率降低，pH值为9.97~10.09时，去除率降为7.99%。明矾投药量为20mg/L时，随着pH值的升高，明矾对磷的去除率不断增大，到6.79~6.92时出现极大值，去除率为89.01%，总磷浓度为0.16mg/L，之后随着pH值的进一步增大，去除率降低，pH值为9.97~10.09时，去除率降为-107.11%。氯化铁投药量为30mg/L时，随着pH值的升高，氯化铁对磷的去除率不断增大，到6.79~6.92时出现极大值，去除率为86.86%，总磷浓度为0.19mg/L，之后随着pH值的进一步增大，去除率降低，pH值为9.97~10.09时，去除率降为-79.35%。硫酸铝投药量为25mg/L时，随着pH值的升高，硫酸铝对磷的去除率不断增大，到6.79~6.92时出现极大值，去除率为90.01%，总磷浓度为0.17mg/L，之后随着pH值的进一步增大，去除率降低，pH值为9.97~10.09时，去除率降为-128.74%。

4种混凝剂在中性水环境中，均可以实现较好的除磷效果，其中，PAC适宜pH值为6.79~8.32、明

表1 不同pH值条件下的混凝剂除磷效果

pH值	总磷浓度(mg/L)			
	PAC	明矾	氯化铁	硫酸铝
2.36~2.79	13.43	16.70	11.07	11.46
5.82~6.05	3.33	0.17	4.20	0.38
6.79~6.92	0.08	0.16	0.19	0.17
8.03~8.32	0.07	0.17	0.35	0.31
8.96~9.13	0.32	0.63	0.87	2.75
9.97~10.09	1.16	3.00	3.14	3.89

矾适宜pH值为5.82~8.32、氯化铁适宜pH值为6.79~6.92、硫酸铝适宜pH值为6.79~6.92。

2.2 后续混凝除磷效果

2.2.1 不同投药量的混凝剂除磷效果

由图2结果可知，当PAC投药量由0mg/L增加到30mg/L时，总磷浓度由0.84mg/L降低到0.03mg/L，去除率由32.03%升高到96.03%；继续增加投药量至50mg/L时，去除率呈下降趋势，此时总磷浓度为0.13mg/L；随着投药量进一步增加，去除率再度升高，当投药量为100mg/L时，总磷浓度为0.04mg/L，去除率为95.24%。明矾投药量由0mg/L增加到100mg/L时，总磷浓度由0.94mg/L降低到0.16mg/L，去除率由22.70%升高到82.86%。氯化铁投药量从0mg/L增加到100mg/L的过程中，总磷浓度由0.94mg/L降低到0.04mg/L，去除率由53.35%升高到95.34%。硫酸铝在投药量增加的过程中，去除率出现先增高后降低趋势。当硫酸铝投药量由10mg/L增加到50mg/L时，总磷浓度由0.84mg/L降低到0.20mg/L，去除率相应由14.08%升高到85.79%；当投药量增加为60mg/L时，去除率为58.32%；随着投药量进一步增加，去除率再度升高，当投药量为100mg/L时，总磷浓度为0.08mg/L，去除率出现极值为90.91%。

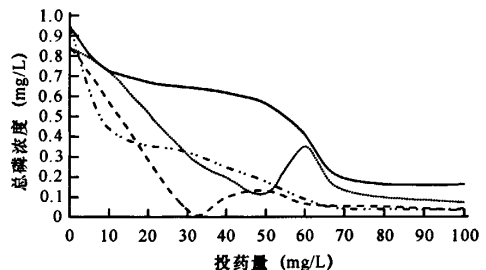


图2 4种混凝剂不同投药量除磷效果

—：明矾；·····：硫酸铝；- - -：PAC；- · - ·：氯化铁

按对磷的最高去除率从大到小的顺序是PAC>氯化铁>硫酸铝>明矾。以处理后出水中总磷浓度≤0.2mg/L为实验目标，4种混凝剂PAC、明矾、

FeCl₃和硫酸铝的适宜投药量分别为30mg/L、70mg/L、50mg/L和40mg/L。以投药量从小到大的顺序是:PAC>硫酸铝>氯化铁>明矾。可见,在后续混凝除磷实验中,PAC能够在较小投药量的条件下实现较高的总磷去除率,优于其他3种混凝剂。

2.2.2 不同 pH 值的混凝剂除磷效果

由表2结果可知,当PAC投药量为30mg/L时,随着pH值的升高,去除率不断增大,在6.92~7.05范围内出现极大值,总磷浓度为0.03mg/L,去除率为96.81%;随着pH值的进一步增大,去除率降低,当pH值为10.02~10.07时,去除率为86.73%,此时总磷浓度为0.12mg/L。当明矾投药量为70mg/L时,随着pH值的升高,去除率不断增大并出现极大值,总磷浓度为0.16mg/L,相应的去除率为82.98%;随着pH值的进一步增大,去除率降低,pH值为10.02~10.07时,去除率为58.51%,此时总磷浓度为0.39mg/L。当氯化铁投药量为50mg/L时,随着pH值的升高,去除率不断增大,到7.99~8.08时出现极大值,此时总磷浓度为0.09mg/L,相应的去除率为90.02%;随着pH值的进一步增大,去除率降低,当pH值为10.02~10.07时,去除率为78.72%,相应的总磷浓度为0.20mg/L。硫酸铝投药量为40mg/L时,随着pH值的增高,去除率出现先增高后降低的趋势,到6.92~7.05时出现极大值,总磷浓度为0.18mg/L,相应的去除率为80.85%;随着pH值的进一步增大,去除率降低,pH值为10.02~10.07时,去除率为61.70%,此时总磷浓度为0.36mg/L。

表2 不同 pH 值的混凝剂除磷效果

pH 值	总磷浓度(mg/L)			
	PAC	氯化铁	明矾	硫酸铝
2.31-2.71	0.69	0.67	0.89	0.88
5.92~6.04	0.19	0.29	0.44	0.24
6.92~7.05	0.03	0.17	0.19	0.18
7.99~8.08	0.05	0.09	0.16	0.20
9.06~9.15	0.08	0.18	0.24	0.25
10.02~10.07	0.12	0.20	0.39	0.36

4种混凝剂PAC、明矾、氯化铁以及硫酸铝的pH值适宜范围分别为5.92~10.07、6.92~8.08、6.92~10.07和6.92~8.08。与协同混凝试验相比,后续混凝实验适宜pH值范围要广,且4种混凝剂中以PVC适宜pH值范围最广。

2.3 协同沉淀与后续混凝实验结果对比

由表3结果可知,后续除磷工艺较协同沉淀工艺

投药量增加1.6~3.5倍,但是pH值范围增大,主要是因为协同沉淀实验原水中含有活性污泥,pH值在较大和较小的条件下都会影响到微生物的生长,从而使得pH值范围变小;相对说来,后续混凝工艺由于MLSS很小,微生物影响可以忽略,因此pH值范围较大。

对于PAC、明矾和硫酸铝混凝剂,在投药量增加的过程中,去除率均出现先升高后降低的趋势,即初始时随着投药量的变大,去除效果增加,到达一定程度时,投药量的增加使得去除效果变差,随着药量的进一步加大去除效果再度升高。这主要是因为随着投药量的增加,出现了4种情况:稳定区、脱稳区、再稳区和卷扫区。稳定区是投药量不足,无明显混凝效果;脱稳区为投药量较稳定区变大,产生脱稳现象并快速凝聚,对总磷的去除效果较好;再稳区中由于药剂的进一步加大出现分散,主要是由于微粒表面覆盖面过高或引起电荷极性的改变而使得凝聚效果恶化;卷扫区为混凝剂剂量过高,大大超过氢氧化铝/氢氧化铁的饱和状态,这些大量的氢氧化物所形成的絮凝体产生快速沉淀将水中的微粒一起卷扫去除^[5]。由于混凝剂种类不同,因此各区出现不同反应,不同反应区的投药量也存在着差异。

表3 协同沉淀与后续混凝除磷效果对比

混凝剂	适宜投药量(mg/L)		适宜pH值	
	协同沉淀	后续混凝	协同沉淀	后续混凝
PAC	15	30	6.79~8.32	5.92~10.07
明矾	20	70	5.82~8.32	6.92~8.08
氯化铁	30	50	6.79~6.92	6.92~10.07
硫酸铝	25	40	6.79~6.92	6.92~8.08

3 结论

采用氯化铁、明矾、硫酸铝和PAC4种混凝剂对氧化沟出水和二沉池出水进行混凝实验研究的结论如下。

(1)在选用的4种混凝剂中,PAC能够在较小投药量条件下有效地降低出水中的总磷含量,优于其他3种混凝剂的处理效果。其处理后出水总磷浓度可达到地表水环境质量标准(GB3838-2002)Ⅲ类的水质标准,即总磷浓度≤0.2mg/L。

(2)在实现相同除磷效果的条件下,后续除磷工艺所需投药量为协同沉淀工艺的1.6~3.5倍,因此若从减少混凝剂投加量的角度考虑,宜采用协同沉淀工艺。但值得注意的是,协同除磷工艺对pH值要

求较为严格,其 pH 值宜保持在中性范围内。

参考文献:

- [1] 朱宝霞,李久义,栾兆坤.城市污水混凝强化一级处理的机理探讨[J].给水排水,2001,27(7):10-14.
- [2] 成官文,吴志超,章非娟,等.化学除磷对沸石强化 A/O 工艺运行的影响[J].中国给水排水.2003,19(13):17-20.
- [3] Maurer M,Boller M. Modelling of phosphorus

pretreatment in wastewater treatment plants with enhanced biological phosphorus removal [J]. Wat Sci Tech,1999,39(1):147-163.

- [4] 国家环保总局.水和废水监测分析方法[M].第4版.北京:中国环境科学出版社,2002.
- [5] 严瑞璋.水处理剂应用手册[M].北京:化学工业出版社,2003.

(责任编辑:韦廷宗 邓大玉)

(上接第10页)

- [2] Jouanolou J P. Equations de pfaff algébriques[M]. Lectures Notes in Mathematics. Berlin:Springer-Verlag, 1979.
- [3] Labrunie S. On the polynomial first integrals of the (a, b, c) Lotka-Volterra system[J]. J Math Phys,1996,37:5539-5550.
- [4] Moulin-ollagnier J. Polynomial first integrals of the Lotka-Volterra system [J]. Bull Sci Math, 1997, 121: 463-476.
- [5] Maciejewski A J,Strelcyn J M. On algebraic non-integrability of the Halphen system [J]. Phys Lett, 1995,201:161-166.
- [6] Forsyth A R. Theory of differential equations[M]. Cambridge:Cambridge University Press,1900.

- [7] Goriely A. Integrability, partial integrability, and nonintegrability for systems of ordinary differential equations[J]. J Math Phys,1996,37:1871-1893.
- [8] Nowicki A. On the nonexistence of rational first integrals for systems of linear differential equations [J]. Linear Algebra and Its Applications,1996,235:107-120.
- [9] Nowicki A. Polynomial derivations and their rings of constants[M]. Torun: Copernicus Univ Press,1994.
- [10] Moulin Ollagnier J, Nowicki A, Strelcyn J M. On the non-existence of constants of derivations: The proof a theorem of Jouanolou and its development [J]. Bull Sci, Math,1995,119:195-233.

(责任编辑:尹 闯)