

# 磁絮凝技术对城市污水的处理效果研究

占强<sup>1</sup>,常素云<sup>1\*</sup>,李楠楠<sup>2</sup>,周丽娜<sup>2</sup>

(1.天津市水利科学研究院,天津300061;2.天津大学环境科学与工程学院,天津300350)

**摘要:**磁絮凝技术在城市污水处理中具有广泛的应用。考察了投药量、搅拌时间和沉淀时间对磁絮凝处理城市污水效果的影响,结果表明,在磁粉质量浓度为100 mg/L、PAC质量浓度为250 mg/L、PAM质量浓度为1 mg/L、搅拌时间为90 s、沉淀时间为2 min时,对实际污水COD的去除率达到65%以上,SS去除率达到75%以上,同时污水的BOD<sub>5</sub>/COD值由开始时的0.55提高到0.65左右,大大提高了污水的可生化性。

**关键词:**磁絮凝;投药量;搅拌时间;沉淀时间

中图分类号:X522

文献标志码:A

文章编号:0253-4320(2018)04-0110-04

DOI:10.16606/j.cnki.issn.0253-4320.2018.04.025

## Research on effect of urban wastewater treatment by magnetic flocculation

ZHAN Qiang<sup>1</sup>, CHANG Su-yun<sup>1\*</sup>, LI Nan-nan<sup>2</sup>, ZHOU Li-na<sup>2</sup>

(1.Tianjin Institute of Water Resource Conservancy, Tianjin 300061, China;

2.School of Environmental Science and Engineering, Tianjin University, Tianjin 300350, China)

**Abstract:** Magnetic flocculation technology has wide applications in urban sewage treatment. The influences of flocculants dosage, stirring time and sedimentation time on the effect of urban sewage treatment by magnetic flocculation technology are investigated. The results show that the removal rate of COD from urban sewage can surpass 65% and the removal rate of SS can exceed 75% when the concentrations of Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>, PAC and PAM are 100 mg·L<sup>-1</sup>, 250 mg·L<sup>-1</sup> and 1 mg·L<sup>-1</sup> respectively, stirring time is 90 s and sedimentation time is 2 min. In addition, the BOD<sub>5</sub>/COD value of the sewage increases from initial 0.55 to 0.65, which improves greatly the biodegradability of sewage.

**Key words:** magnetic flocculation; dosage of flocculants; stirring time; sedimentation time

随着城市污水量的不断增加,高效、节能、经济的城市污水处理方式势在必行。近年来,城市污水强化一级处理已经成为新的热点,是在一级处理的基础上投加絮凝剂以强化去除污染物的方法<sup>[1]</sup>。化学絮凝是国内外应用比较普遍的废水处理方法,在絮凝过程中投加磁粉有助于提升絮凝效果,提高处理效率。为提高污水厂出水水质,在二级处理工艺之后的深度处理工艺中,采用磁絮凝技术对COD、TP、氨氮的去除均有一定的效果<sup>[2]</sup>。

磁絮凝技术是通过投加磁粉(即Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>)、混凝剂和助凝剂,使污染物形成带有磁性的絮凝体,然后通过磁分离技术或者自身沉降以达到去除污染物的目的<sup>[3]</sup>。该技术具有高沉降速度、低水力停留时间和出水效果优良的特点<sup>[4]</sup>。研究表明,磁絮凝技术在缩短絮凝与沉降时间、分离絮体方面具有明显的优势<sup>[5]</sup>。磁絮凝技术在处理生活污水、微污染水、含有重金属的废水以及有机废水等方面都有显著的效果<sup>[6]</sup>。但是磁絮凝工艺的最终处理效果与很多

因素相关,包括絮凝剂、助凝剂类型及投加量、搅拌时间和沉淀时间等。不同的絮凝剂对于不同污水中不同的污染物的去除效果不尽相同,赵敏<sup>[7]</sup>采用单因素静态实验的方法研究了磁絮凝技术在处理城市雨水径流中的最佳参数。在此基础上,笔者研究了磁絮凝技术在处理城市污水中的最佳运行条件,即磁粉、混凝剂和助凝剂的最佳投加量及最佳搅拌时间和沉淀时间。并在最佳运行条件下进行经济性分析。

## 1 试验部分

### 1.1 材料与仪器

试验材料:聚合氯化铁PAC(质量分数≥27%);磁粉Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>(纯度大于98%);聚丙烯酰胺PAM(阴离子);其他试剂主要为测定水质指标所用药剂,测定方法参考各指标相应的国家标准。试验中所用试剂均为分析纯。

试验仪器:JJ-4SA六联电动搅拌器,金坛市成

收稿日期:2017-09-18

基金项目:天津市水务局科技处项目(KY2016-02);水利部“948”引进项目(201515);天津市水务局科技处项目(KY2014-02)

作者简介:占强(1990-),男,硕士,工程师,主要研究方向为城市水污染治理,779870472@qq.com;常素云(1982-),女,博士,高级工程师,主要从事水环境治理方面研究,通讯联系人,csy@tjhr.com。

辉仪器有限公司生产;CPA124S 电子天平,德国 Sartorius 生产;GZ-WXJ-Ⅲ微波闭式消解仪,韶关市广智科技设备有限公司生产;101-1ES 电热鼓风干燥箱,北京市永光明医疗仪器有限公司生产;1 000 mL 量筒;1 000 mL 烧杯;滴定管。

## 1.2 试验水样

水样取自于天津市某典型区域的排水泵站,COD 为 160~190 mg/L,TSS 为 120~140 mg/L, $BOD_5$  为 70~90 mg/L。

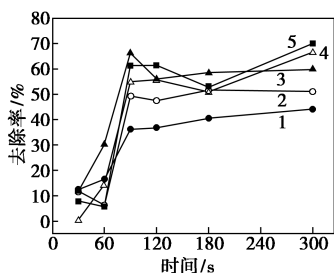
## 1.3 试验方法

采用单因素方法,通过控制药品投加量、搅拌时间与沉淀时间等因素分析磁絮凝效果,根据取得水样的 COD 值来评价磁絮凝技术的最佳工作参数。试验过程采用六联电动搅拌器,每次取 1 L 的原水,依次加入不同量的磁粉、混凝剂与助凝剂,经过定时搅拌后取上清液作为样品,并测定其 COD 值,根据所测样品中 COD 的值进行分析。

## 2 试验结果分析

### 2.1 磁粉投加量对去除结果的影响

在控制其他因素不变的情况下,依次加入 0、50、100、150、200 mg 磁粉和 200 mg PAC、2 mg PAM。以 300 r/min 的转速搅拌 2 min,经沉淀 30、60、90、120、180、300 s 后分别取 5 mL 上清液,测定其 COD 值,磁粉投加量对磁絮凝效果的影响如图 1 所示。



1— $m(\text{磁粉})=0\text{ mg}$ ;2— $m(\text{磁粉})=50\text{ mg}$ ;3— $m(\text{磁粉})=100\text{ mg}$ ;  
4— $m(\text{磁粉})=150\text{ mg}$ ;5— $m(\text{磁粉})=200\text{ mg}$

图 1 磁粉投加量对磁絮凝效果的影响

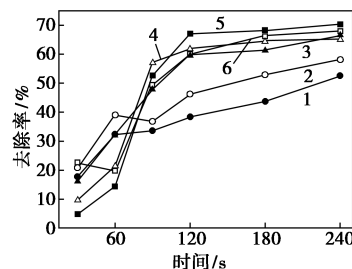
由图 1 可以看出,在磁粉投加量相同的情况下,COD 的去除率随着沉淀时间的增加先快速升高,后缓慢升高且趋于平缓;同时,随着磁粉投加量的增加,COD 的去除率随之升高,当磁粉投加量增加到 100 mg 时,其去除率显著增加;当磁粉投加量继续增加时,其去除率增加不明显,同时出现 COD 去除率降低的现象。出现该现象的原因主要是加入磁粉后,在液体中增加微电场,会加速絮体的形成与沉

降,但是当磁粉投加量增加到一定程度时,由于此时的絮体与沉降速度达到自身的一个限值,所以对去除率的影响并不明显,可能还会因为磁场过强,影响液体中絮体的稳定性,从而使 COD 的去除率降低。

综上所述,从去除率以及经济效益两个方面考虑,确定 100 mg 为最佳磁粉投加量,即当磁粉的投加量为 100 mg/L,沉淀时间为 90 s 时,COD 去除率高达 60% 以上。

### 2.2 PAC 投加量对去除结果的影响

控制磁粉投加量为 100 mg,在 6 瓶 1 L 的原污水中分别加入 50、100、150、200、250、300 mg PAC 和 2 mg PAM。以 300 r/min 的转速搅拌 2 min 后,经沉淀 30、60、90、120、180、300 s 后分别取 5 mL 上清液,测定其 COD 值,PAC 投加量对磁絮凝效果的影响如图 2 所示。



1— $m(\text{PAC})=50\text{ mg}$ ;2— $m(\text{PAC})=100\text{ mg}$ ;3— $m(\text{PAC})=150\text{ mg}$ ;  
4— $m(\text{PAC})=200\text{ mg}$ ;5— $m(\text{PAC})=250\text{ mg}$ ;6— $m(\text{PAC})=300\text{ mg}$

图 2 PAC 投加量对磁絮凝效果的影响

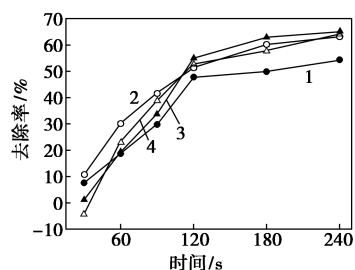
由图 2 可以看出,COD 的去除率随着沉淀时间的增加先迅速升高后缓慢升高,最终趋于平缓;当 PAC 投加量  $\leq 250\text{ mg}$  时,随着 PAC 投加量的增加,COD 的去除率升高;当 PAC 投加量  $> 250\text{ mg}$  时,随着 PAC 投加量的增加,COD 的去除率降低。其原因是刚开始 PAC 的投加量增加会增加液体中污染物与 PAC 的反应速度,从而加速污染物的去除;当 PAC 投加量增加到一定程度时,PAC 浓度过高反而影响污染物的去除,降低 COD 的去除率。

综上所述,考虑到其对去除率的影响,确定 250 mg 为 PAC 的最佳投加量,即当 PAC 的投加量为 250 mg/L,沉淀时间为 120 s 时,COD 去除率达到 65% 以上。

### 2.3 PAM 投加量对去除结果的影响

PAM 能改善絮凝条件与絮体结构,提高絮凝效果,PAM 在絮凝过程中具有去水化作用、电荷有效中和和吸附架桥作用等<sup>[8]</sup>。但是一些研究表明,若 PAM 投加量过多,会导致水中的胶体出现“再稳定”的情况<sup>[9]</sup>,因而,PAM 在投加过程中需要控制用量。

在磁粉投加量为 100 mg, PAC 投加量为 250 mg 的条件下, 分别加入 0.5、1、1.5、2 mg 的 PAM。以 300 r/min 的转速搅拌 2 min 后, 经沉淀 30、60、90、120、180、300 s 后分别取 5 mL 上清液, 测定其 COD 值, PAM 对磁絮凝效果的影响如图 3 所示。



1— $m(\text{PAM}) = 0.5 \text{ mg}$ ; 2— $m(\text{PAM}) = 1.0 \text{ mg}$ ;  
3— $m(\text{PAM}) = 1.5 \text{ mg}$ ; 4— $m(\text{PAM}) = 2.0 \text{ mg}$

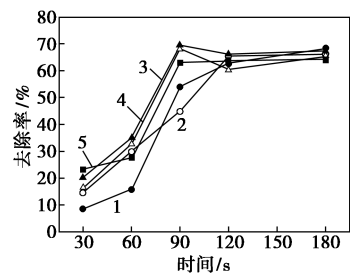
图 3 PAM 对磁絮凝效果的影响

由图 3 可以看出, COD 的去除率随着沉淀时间的增加先迅速升高后缓慢升高, 最终趋于平缓。当 PAM 增加到 1 mg 时, 其去除率相应地升高; 当 PAM 投加量增加到 2 mg 时, 其去除率升高不明显, 反而出现降低的现象。其原因主要是因为适量的 PAM 能改善絮体结构, 同时能更好地去除低浓度的污染物, 但当 PAM 投加过量时, 会使水体中出现再稳定的情况, 且 PAM 本身会贡献水体中的 COD 值, 从而会出现 PAM 投加过量使得 COD 的去除率降低, 甚至出现 COD 去除率为负数的现象。

综上所述, 考虑到去除率的影响, 确定 PAM 的最佳投加量为 1 mg, 即当 PAM 的投加量为 1 mg/L 时, 其 COD 去除率达到 60% 以上。

### 2.4 搅拌时间对去除结果的影响

搅拌时间和搅拌强度对于絮凝效果有显著的影响<sup>[10]</sup>, 搅拌时间过短, 混凝剂不能充分溶解在水里, 而搅拌时间过长, 形成的絮体又会被打碎, 影响处理效果。在最佳投药量的情况下, 取 5 瓶 1 L 的原污水, 分别加入磁粉 100 mg、PAC 250 mg、PAM 1 mg。



1—30 s; 2—60 s; 3—90 s; 4—120 s; 5—150 s

图 4 搅拌时间对磁絮凝效果的影响

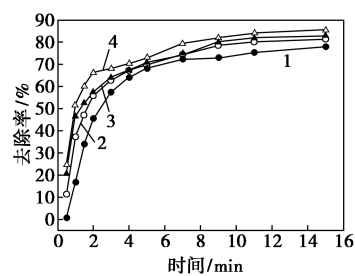
以 300 r/min 的转速分别搅拌 30、60、90、120、150 s。经沉淀 30、60、90、120、180 s 后分别取 5 mL 水样测定其 COD, 搅拌时间对磁絮凝效果的影响如图 4 所示。

由图 4 可以看出, COD 的去除率随着沉淀时间的增加先快速升高后缓慢升高, 最后趋于平缓。当搅拌时间由 30 s 增加到 90 s 时, 其 COD 去除率快速升高; 当搅拌时间继续增加到 150 s 时, 其去除效率出现缓慢下降。其原因是因为刚开始搅拌时间的增加, 会减少浓差极化现象, 从而加快絮凝的反应与沉降速度, 使得 COD 去除率提高; 但是当搅拌时间过长时, 使得絮凝反应生成的絮体难以聚集与沉降, 从而影响着 COD 的去除, 使得其去除率降低。

综上所述, 考虑到其对 COD 的去除效率以及快速去除水中污染物的影响, 确定最佳搅拌时间为 90 s, 此时, COD 的去除率在 70% 左右。

### 3 对比试验研究

通过以上试验确定了磁粉、PAC 与 PAM 的最佳投加量和最佳搅拌时间。本组试验主要考察磁粉与 PAM 的添加与否对絮凝效果产生影响。选用取最佳投加量, 即磁粉 100 mg/L、PAC 250 mg/L、PAM 1 mg/L, 在最佳搅拌时间 90 s 下, 分别研究单独 PAC、PAC+磁粉、PAC+PAM、PAC+磁粉+PAM 这 4 种情况对污水中 COD 的去除效果, 结果如图 5 所示。



1—PAC; 2—PAC+磁粉; 3—磁粉+PAM; 4—磁粉+PAC+PAM

图 5 磁絮凝对比实验结果

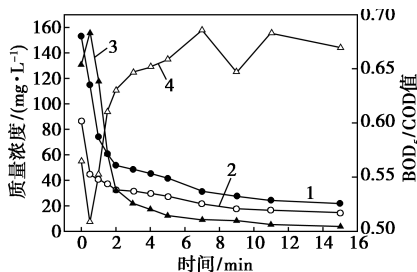
由图 5 可以看出, 在沉淀时间较长的情况下, PAC、PAC+磁粉、PAC+PAM、PAC+磁粉+PAM 对 COD 均有较好的去除效果, 且最终的去除率相当。但沉淀时间在 3 min 之内时, 磁粉及 PAM 的添加与否对 COD 的去除速率影响特别明显, 在添加磁粉的情况下, 其 COD 去除速率会大幅提高, 明显高于其他不添加磁粉的组; 同时, 添加 PAM 也会在一定程

度上增加 COD 的去除效率,但是其效果不如添加磁粉明显。

出现上述现象的主要原因是:添加磁粉后,会在液体中产生电场,而且磁粉本身就是一个核,会大大增加絮凝反应,同时絮凝反应形成的絮体结构更加大与密实。磁絮凝技术会大大缩短反应条件中的沉淀时间,这在实际应用中有非常重要的意义,同时磁絮凝技术对污水净化有明显的效果。

#### 4 实际应用实验研究

在磁粉质量浓度为 100 mg/L, PAC 质量浓度为 250 mg/L, PAM 质量浓度为 1 mg/L, 搅拌时间为 90 s 时,考察磁絮凝技术对污水中 BOD<sub>5</sub> 和 SS 的去除效果,结果如图 6 所示。



1—TSS;2—BOD<sub>5</sub>;3—COD;4—BOD<sub>5</sub>/COD

图6 磁絮凝技术实际应用实验效果

由图6可以看出,磁絮凝技术对污水中的SS、COD以及BOD<sub>5</sub>都有非常好的去除效果。首先,对污水中SS的去除有个快速升高后快速降低的过程,产生这种现象的原因主要是在刚开始产生絮体时,水体中含有大量的磁粉,从而使得SS升高,后面絮体快速沉降,使得SS降低,最后SS去除率达到97%左右;其次,污水中BOD<sub>5</sub>/COD值先快速降低,然后迅速上升的现象,同样是因为刚开始反应时絮体中含有大量的磁粉、PAC、PAM等难降解的物质,随后BOD<sub>5</sub>/COD值快速升高,主要是因为这些难降解的物质得到大量的絮凝沉淀,从而使得BOD<sub>5</sub>/COD值快速上升,最后趋于平缓,污水的BOD<sub>5</sub>/COD值由开始的0.56升高到0.67左右,大大提高了污水的可生化性,为后续的污水净化提供极大地帮助。

常规的污水处理厂一级处理工艺中仅通过沉淀的方法来去除污水中一部分污染物,其处理效率偏低,使得二级生物处理中污染负荷较大,从而会增加整个后续处理工艺投资,且运行费用高<sup>[11]</sup>。而在一级处理工艺的基础上添加磁絮凝技术进行强化处理,对于城市污水中胶体、悬浮物以及很多污染物都

有较好的去除效率。这在很大程度上降低了后续处理设施的基建和运行费用。除此之外,利用磁絮凝技术能显著提高絮体沉降速度,缩短沉淀时间,因此能够降低化学强化一级处理的运行时间,提高处理效率。同时,随着一些廉价磁种的开发和磁分离装置的应用<sup>[12]</sup>,降低了磁粉的成本,扩大了磁絮凝技术的应用范围。

#### 5 结论

通过考察不同药品投加量和搅拌时间对磁絮凝处理污水效果的影响,确定了最佳的投药量和最佳搅拌时间。在1 L原污水中分别投加100 mg磁粉、250 mg PAC、1 mg PAM,在搅拌时间为90 s的情况下,能达到最佳的COD去除效果。磁絮凝技术能显著提高絮体沉降速度,缩短沉淀时间,提高处理效率。同时,试验研究表明,磁絮凝技术对于污水中的BOD<sub>5</sub>、SS等均有较好的去除效果,而且还能够在一定程度上提高污水的可生化性,方便后续处理。

#### 参考文献

- [1] 付立凯.国内外城市污水处理现状及发展趋势[J].石油石化与减排,2012,2(1):34-38.
- [2] 秦建峰.磁絮凝强化城市污水处理的试验研究[D].太原:太原理工大学,2012.
- [3] 庞治邦,姚吉伦,刘波,等.磁絮凝技术在水处理中的应用与前景[J].重庆理工大学学报(自然科学),2015,29(10):99-102.
- [4] 陈瑜,李军,陈旭变,等.磁絮凝强化污水处理的实验研究[J].中国给水排水,2011,27(17):78-81.
- [5] 康小红,杨云龙.磁絮凝法去除工业废水中铜离子的试验研究[J].工业用水与废水,2011,42(3):24-27.
- [6] 郑学海,李思明.磁絮凝法处理DZA有机废水的研究[J].城市环境与生态,1999,12(5):8-10.
- [7] 赵敏.磁絮凝技术处理雨水方法—单因素静态实验研究[J].安徽建筑,2016,23(6):143-144.
- [8] 郑幼松.聚丙烯酰胺类絮凝剂的现状与进展[J].山东化工,2009,38(7):24-27.
- [9] 姚鑫迪,黄金阳,李昭,等.不同助凝剂对地表水的混凝效果的影响研究[J].山东化工,2016,45(12):173-175.
- [10] 周莹,王孙巍,王彦军.快速搅拌对混凝-絮凝最佳处理效果的影响研究[J].北方环境,2000,(2):36-39.
- [11] 周克钊.城市污水化学强化一级处理效果综述[J].西南给排水,2005,(1):18-22.
- [12] 郑学海,刘东方,杨彦涛.廉价磁种及磁絮凝分离装置的开发与应用[J].中国给水排水,2000,16(8):33-35. ■