

文章编号:1674-991X(2013)03-0202-06

畜禽粪便沼液絮凝预处理及 MAP 法磷回收技术

马泉智^{1,2}, 向连城¹, 宋永会^{1*}, 冯传平², 钱锋¹

1. 中国环境科学研究院城市水环境科技创新基地, 北京 100012

2. 中国地质大学(北京)水资源与环境学院, 北京 100083

摘要:分别选用无机絮凝剂聚合氯化铝(PAC)、硫酸铁[$\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$], 有机絮凝剂非离子聚丙烯酰胺(PAM)、阴离子聚丙烯酰胺(APAM)、阳离子聚丙烯酰胺(CPAM)对畜禽粪便沼液进行预处理, 考察各物质投加量对悬浮物(SS)的去除效果。结果表明, CPAM对SS的去除效果最好, 当沼液中的SS浓度为13 500 mg/L时, 投加1.02 g/L(210 mL)的CPAM絮凝后, 沼液中的SS浓度降为148 mg/L, SS去除率达98.9%。对絮凝后的水样(PO_4^{3-} -P浓度为35 mg/L左右)进行磷酸铵镁(MAP)结晶处理, 结果发现, 当Mg与P摩尔比为1:1, pH为9.5时 PO_4^{3-} -P去除率最高; 而当Mg与P摩尔比为1.5~2:1, pH为10.0时 PO_4^{3-} -P去除率最高。扫描电镜(SEM)和X-射线衍射(XRD)分析表明, 结晶产物为MAP。

关键词: 畜禽粪便沼液; 絮凝; 磷回收; 磷酸铵镁(MAP)

中图分类号: X703.1

文献标识码: A

doi: 10.3969/j.issn.1674-991X.2013.03.033

Technology Development of Flocculating Pretreatment of Livestock and Poultry Manure Slurry and of Phosphorus Recovery by MAP Crystallization

MA Quan-zhi^{1,2}, XIANG Lian-cheng¹, SONG Yong-hui¹, FENG Chuan-ping², QIAN Feng¹

1. Innovation Base of Urban Water Environmental Research, Chinese Research Academy of Environmental Sciences, Beijing 100012, China

2. School of Water Resources and Environment, China University of Geosciences Beijing, Beijing 100083, China

Abstract: Flocculation was applied to the pretreatment of livestock and poultry manure fermenting slurry. Inorganic flocculants such as aluminium polychloride (PAC) and ferric sulfate ($\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$), organic flocculants such as nonionic polyacrylamide (PAM), anionic polyacrylamide (APAM) and polyacrylamide (CPAM) were tested to remove suspended solid (SS) from the liquor. The results showed that CPAM was more efficient for SS removal than other flocculants. At SS of 13 500 mg/L, a CPAM dosage of 1.02 g/L could lower the SS to 148 mg/L, reaching a removal efficiency of 98.9%. After the flocculating pretreatment, the PO_4^{3-} -P concentration was around 35 mg/L, and magnesium ammonium phosphate (MAP) crystallization process was used to recover phosphorus. It showed that at Mg:P molar ratio of 1:1, the optimum pH was 9.5, at which the phosphate removal efficiency was the highest; while at Mg:P molar ratios of 1.5-2:1, the optimum pH was 10.0. Scanning electron microscope (SEM) and X-ray diffraction (XRD) were employed to detect and analyze the crystallized product, and it showed that the product was MAP.

Key words: livestock and poultry manure fermenting slurry; flocculation; phosphorus recovery; magnesium ammonium phosphate (MAP)

收稿日期: 2012-10-22

基金项目: 国家自然科学基金项目(51078339); “十一五”国家科技支撑计划重大项目(2009BADC2B)

作者简介: 马泉智(1988—), 男, 硕士, 主要从事污水处理方面的研究, male912@sina.com

*责任作者: 宋永会(1967—), 男, 研究员, 博士, 主要从事水污染控制技术的研究, songyh@craes.org.cn

我国畜禽养殖业发展迅猛,集约化、规模化发展程度越来越大,畜禽养殖业大发展所带来的环境污染问题日益严重^[1]。未经处理的畜禽粪便和废水直接排入环境,会对地表水、地下水、土壤和空气造成严重的污染,特别是粪便中的氮、磷会造成水体的富营养化。目前养殖废水普遍采用的处理技术为厌氧发酵产沼气处理工艺,畜禽粪便经过厌氧发酵后仍然含高浓度有机污染物^[2]、氨氮和磷^[3]。

磷是引起水体富营养化的重要影响因素,是一种不可再生的资源。目前,磷的可持续利用,以及从生产和生活各环节中实现磷的再循环,已成为资源与环境管理方面的热点研究课题^[4]。如果将污水中磷的去除与回收同时考虑,那么磷的去除可以用回收目标产物的方式予以实现^[5]。目前,磷回收的主要工艺是磷酸铵镁(magnesium ammonium phosphate, MAP)和羟基磷灰石(hydroxylapatite, HAP)沉淀结晶工艺^[6],该工艺被认为是最具前景的磷回收途径^[7]。MAP法的基本原理是溶液中 Mg^{2+} 、 NH_4^+ 、 PO_4^{3-} 的浓度积大于溶度积常数(K_{sp})时,会自发形成沉淀,实现 NH_4^+ -N和 PO_4^{3-} -P的同时去除和回收^[8]。

目前国内外对于MAP法回收磷的研究较多,Suzuki等^[9]设计了一套中试结晶反应器和收集装置用于回收猪场废水中的磷;Hirasawa等^[10]研究了流化床结晶反应器中MAP的结晶现象;董滨等^[11]对猪场污水膜生物反应器出水进行了MAP结晶试验;邹安华等^[12]用污水处理厂回流液进行MAP沉淀试验,研究化学沉淀法回收MAP的适宜条件。

畜禽粪便沼液中含有大量的悬浮物(SS),较高的SS浓度可能会影响MAP的结晶沉淀速度,降低回收率,并且影响回收产物的纯度^[13],使生成的结晶产物与悬浮物结合在一起,难以分离。因此要想从畜禽粪便沼液中回收磷,必须要进行预处理去除畜禽粪便沼液中的悬浮物。物理化学絮凝沉淀是一种较为有效且成本较低的预处理方法^[14]。絮凝剂可分为有机、无机、复合和微生物絮凝剂四类。有机絮凝剂目前使用较多的是聚丙烯酰胺,其分为非离子型、阳离子型、阴离子型和两性型四类;无机絮凝剂可分为低分子絮凝剂和高分子絮凝剂,常用的有铁盐类和铝盐类。

笔者分别用无机和有机絮凝剂预处理去除畜禽粪便沼液中的SS,考察不同絮凝剂及不同药剂投加量对SS的去除效果。选取去除效果较好的水样用MAP进行磷回收试验,考察pH和Mg与P摩尔比的影响,并利用扫描电镜(SEM)和X-射线衍射(XRD)对回收产物进行了表征,以期为畜禽养殖废水的处理及其营养物的资源化探索简便易行的技术途径。

1 材料和方法

1.1 设备与药剂

试验仪器和设备:ZR4-6 混凝试验搅拌机(深圳中润水工业技术发展有限公司);UV-6100 分光光度计(上海元析仪器有限公司);STARTER3C pH计(美国奥豪斯 OHAUS);JSM-6330LV 扫描电镜(日本电子株式会社);DMAX-RB 12KW 旋转阳极 X-射线衍射仪(日本 Rigaku 公司);GZX-9030MBE 数显鼓风干燥机(上海博迅实业有限公司);JJ-1 精密增力电动搅拌器(宏华仪器厂)。

主要试剂:非离子聚丙烯酰胺(PAM, 国药集团)、阴离子聚丙烯酰胺(APAM, 北京康普汇维科技有限公司)、阳离子聚丙烯酰胺(CPAM, 北京康普汇维科技有限公司)、聚合氯化铝(PAC)、硫酸铁(FS)。

$PAC[[Al_m(OH)_n(H_2O)_x] \cdot Cl_{3m-n} (n \leq 3m)]$ 是一种无机高分子絮凝剂,使用成本低,絮体形成快,沉淀性能好。FS也是常用的无机絮凝剂,其溶于水后生成水合离子,通过一系列水解反应,最终生成难溶沉淀物吸附悬浮物,共同沉淀。

1.2 分析方法

NH_4^+ -N 浓度采用纳氏试剂光度法测定, PO_4^{3-} -P浓度采用钼锑抗分光光度法测定, Mg^{2+} 和 Ca^{2+} 浓度采用火焰原子吸收法测定,SS浓度采用重量法测定^[15]。

1.3 试验方法

试验用水取自辽宁某畜禽养殖沼气工程的发酵沼液回流液,该厂所用发酵工艺为升流式固体厌氧反应器(USR),发酵用的粪便主要是牛粪和鸡粪的混合物,产生的畜禽粪便沼液水质指标见表1。

1.3.1 聚丙烯酰胺溶液的制备

表1 畜禽粪便沼液水质指标

Table 1 Water quality of the livestock and poultry manure fermenting slurry

mg/L

pH	SS 浓度	COD _{Cr}	PO ₄ ³⁻ -P 浓度	Mg ²⁺ 浓度	Ca ²⁺ 浓度	TP 浓度	NH ₄ ⁺ -N 浓度	总碱度(以 CaCO ₃ 计)
7.5 ~ 8.5	10 000 ~ 14 250	15 000 ~ 29 500	70 ~ 190	10 ~ 12	350 ~ 390	180 ~ 550	2 500 ~ 3 600	15 000 ~ 16 500

注:pH 无单位。

称取一定量的聚丙烯酰胺(APAM 和 PAM 为 1 g, CPAM 为 2 g), 加入到 800 mL 蒸馏水中, 250 r/min 搅拌 30 min, 定容到 1 L。

1.3.2 絮凝试验

取 200 mL 水样, 加入一定量的絮凝剂, 混凝搅拌, 无机絮凝剂为 400 r/min 高速搅拌 2 min, 200 r/min 中速搅拌 5 min, 40 r/min 慢速搅拌 10 min, 静置 15 min; 有机絮凝剂为 400 r/min 高速搅拌 30 s, 200 r/min 中速搅拌 2 min, 40 r/min 慢速搅拌 5 min, 静置 15 min^[16]。取上清液测定 SS 浓度。

1.3.3 MAP 结晶试验

取 3 L 絮凝后的水样于 5 L 水桶中, 测定其 PO₄³⁻-P 浓度。按照 Mg 与 P 摩尔比为 1:1、1.5:1 和 2:1 投加 MgCl₂·6H₂O, 用 10 mol/L 的 NaOH 溶液分别调节 pH 为 9.0、9.5 和 10.0, 定速搅拌 1 h, 静置 1 h^[17]。取上清液测定 PO₄³⁻-P 浓度。收集到的晶体用蒸馏水洗净后, 在 40 °C 下烘干 24 h, 用 SEM 和 XRD 分析晶体形态和成分。

2 结果与讨论

2.1 畜禽粪便沼液絮凝试验

2.1.1 无机絮凝剂对 SS 的去除

分别考察了 PAC 和 FS 投加量对 SS 的去除效果, 结果如图 1 所示。

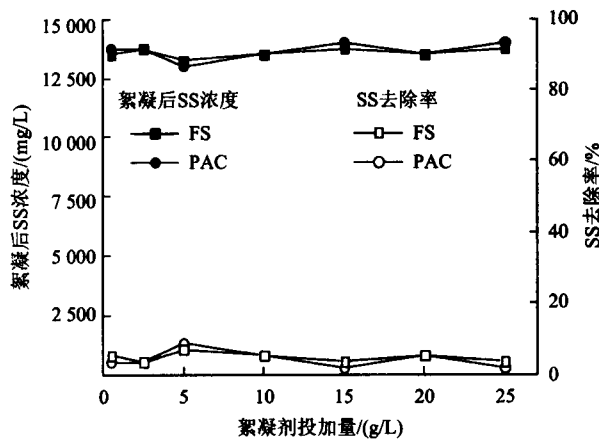


图1 无机絮凝剂对沼液 SS 的去除

Fig. 1 Effects of inorganic flocculants on SS removal

从图 1 可以看出, PAC 和 FS 对 SS 的去除基本没有效果, 最大去除率不到 10%。可能是这两种絮凝剂在目前的投加量下电中和作用较弱^[18-19], 絮凝作用不明显。

2.1.2 有机絮凝剂对 SS 的去除

由于 APAM 和 PAM 分子量较大, 黏度较大, 故 APAM 和 PAM 配比浓度标准定为 0.1%, 而 CPAM 较 APAM 分子量低, 因而黏度也较小, 故 CPAM 配比浓度标准定为 0.2%。各水样中分别加入 0.1% 的 PAM、0.1% 的 APAM 和 0.2% 的 CPAM, 投加量为 50、100、150、200、250 mL, 试验结果如图 2 和图 3 所示。

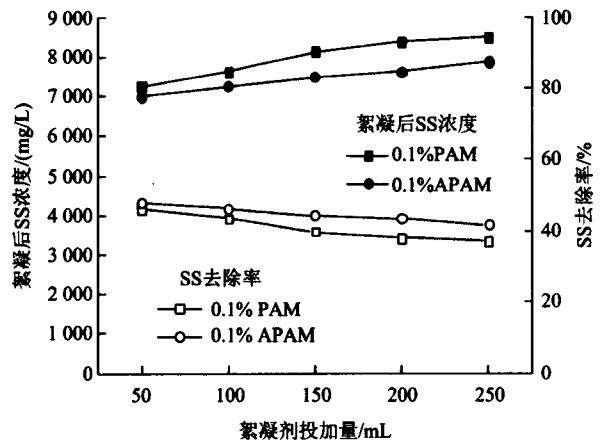


图2 PAM 和 APAM 对沼液 SS 的去除

Fig. 2 Effects of PAM and APAM on SS removal

从图 2 可以看出, SS 去除率随着 PAM 和 APAM 投加量的增加略有下降, 并且 PAM 和 APAM 对 SS 的去除效果较差, 最大去除率均低于 50%。从图 3 可以看出, CPAM 对 SS 的去除效果较好, 当 CPAM 投加量为 200 mL 时, SS 去除率达 98.8%。原因是畜禽粪便沼液中胶体带负电, CPAM 能中和颗粒的负电荷, 使颗粒脱稳, 因此处理效果较好^[20]。投加 CPAM 絮凝后的水样呈暗黄色, 形成了大的团状絮体。在 CPAM 投加量为 200 mL 时 SS 去除率最高, 继续增加投加量, 去除率反而有所下降, 其可能是由于投加过量导致“再稳”现象发生^[21]。

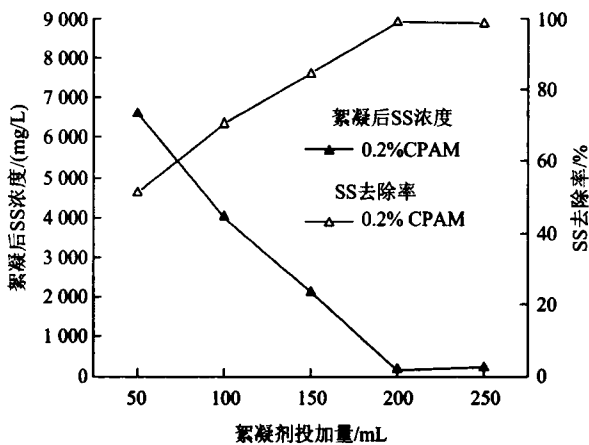


图3 CPAM对沼液SS的去除

Fig. 3 Effects of CPAM on SS removal

分别向水样中投加不同量的 CPAM (160、170、180、190、200、210、220、230、240 mL) 确定最佳投加量, 结果如图 4 所示。由图 4 可以看出, CPAM 投加量为 210 mL 时, SS 浓度为 148 mg/L, 去除率达 98.9%, 此时继续增大投加量, 对 SS 去除影响不明显, 而且过量的絮凝剂会造成絮凝后水样黏度变大,

影响后续的结晶试验, 因此 CPAM 最佳投加量在 210 mL 左右。

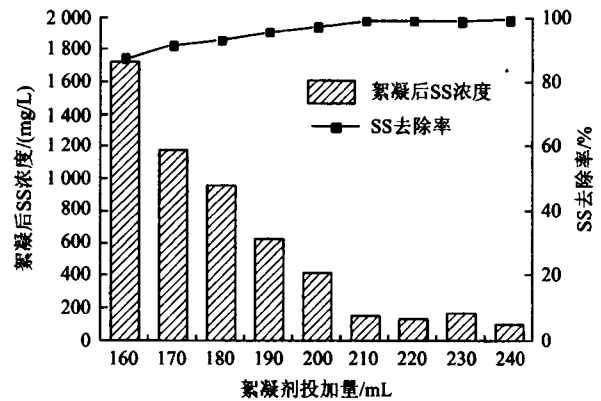


图4 CPAM最佳投加量的确定

Fig. 4 Determination of optimal dosage for CPAM

2.2 絮凝后水样的 MAP 结晶试验

絮凝后水样水质指标测试结果如表 2 所示。从表 2 可知, 絮凝后 $PO_4^{3-}-P$ 浓度为 37.5 mg/L, 可以进行磷回收试验, Mg^{2+} 浓度则较少, 需要投加镁盐。

表2 絮凝后水样水质指标

Table 2 Water quality of sample after flocculation

mg/L

pH	SS 浓度	COD_{Cr}	$PO_4^{3-}-P$ 浓度	Mg^{2+} 浓度	Ca^{2+} 浓度	TP 浓度	NH_4^+-N 浓度	总碱度(以 $CaCO_3$ 计)
8.42	148	9 055	37.5	0.91	48.25	42.5	1 746	7 391

注:pH无单位。

2.2.1 絮凝预处理对 MAP 反应的影响

在 Mg 与 P 摩尔比为 2:1, 反应时间为 30 min, 搅拌速度为 250 r/min, 1 L 水样条件下, 研究不同 pH 下原水 ($PO_4^{3-}-P$ 浓度为 80 mg/L) 和絮凝后 ($PO_4^{3-}-P$ 浓度为 35 mg/L) 的 MAP 反应, 结果如图 5 所示。

从图 5 可以看出, 在 pH 为 8.0 时, 原水和絮凝后水样的 $PO_4^{3-}-P$ 去除率均较低。对于原水水样, 随着 pH 升高, $PO_4^{3-}-P$ 去除率逐渐增加, 当 pH 为 9.5 时, $PO_4^{3-}-P$ 去除率最高, 为 43.7%, 继续提升 pH 到 10.0, 去除率反而下降; 对于絮凝后水样, pH 为 10.0 时, $PO_4^{3-}-P$ 去除率最高, 达 81.4%。由此可见, 对于原水和絮凝后的水样, MAP 的最佳反应 pH 不同, 絮凝后水样的 MAP 反应效率更高, 可见 SS 的去除明显提高了 MAP 反应效率。

2.2.2 Mg 与 P 摩尔比和 pH 对絮凝处理后水样 MAP 反应的影响

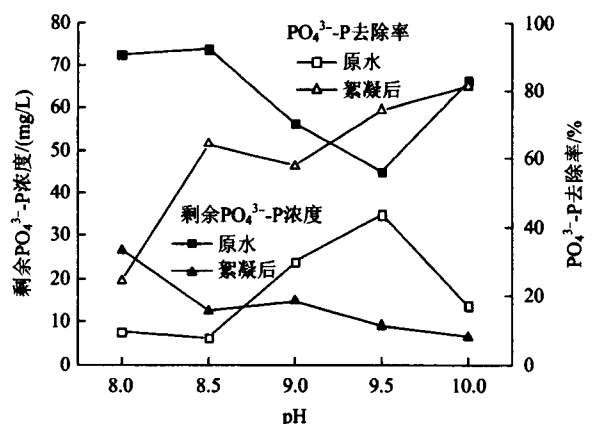


图5 不同 pH 下原水和絮凝后水样 MAP 反应对比

Fig. 5 Comparison of MAP reactions of the raw water and the flocculation treated water at different pH

pH 是控制 MAP 形成的重要参数, 不仅影响 MAP 的产生量, 也影响其成分^[22]。除 pH 外, 镁盐

的用量是 MAP 结晶的另一个关键参数,但是并不是镁盐用量越高越好,过量的沉淀剂会浪费药剂^[23]。采用氯化镁作为沉淀剂,分别考察了 Mg 与 P 摩尔比为 1:1、1.5:1 和 2:1, pH 在 9.0、9.5 和 10.0 条件下的结晶反应情况(图 6)。相对于 PO_4^{3-} -P 浓度而言,由于 NH_4^+ -N 浓度的过量, Mg^{2+} 成为制约反应进程的控制元素^[24]。絮凝后水样的初始 PO_4^{3-} -P 浓度在 35 mg/L 左右, MAP 反应期间 pH 基本保持稳定,这是因为水样中碱度较高,起到了很好的缓冲作用。

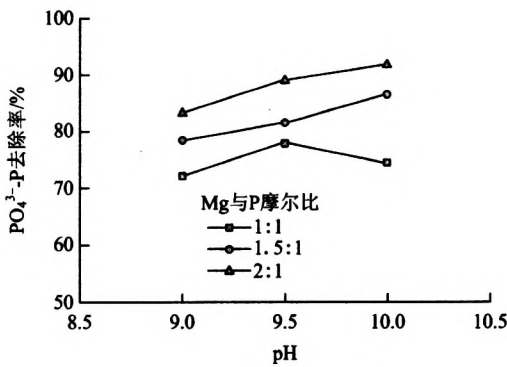


图 6 Mg 与 P 摩尔比和 pH 对 MAP 反应效率的影响

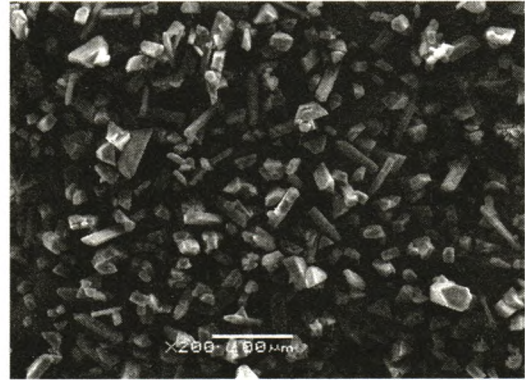
Fig. 6 Effect of Mg:P and pH on the MAP reaction efficiency

从图 6 可以看出, pH 相同时,随着 Mg 盐投加量的增加, PO_4^{3-} -P 去除率逐渐升高,当 Mg 与 P 摩尔比从 1.5:1 增加到 2:1 时, PO_4^{3-} -P 去除率提高不明显,说明 PO_4^{3-} -P 浓度逐渐成为制约 MAP 结晶的限制因素,再投加 Mg 盐对提高废水中磷的去除意义不大^[25]。在 Mg 与 P 摩尔比为 1:1 条件下, pH 为 9.5 时 PO_4^{3-} -P 去除率最高,为 78%;而在 Mg 与 P 摩尔比为 1.5:1 和 2:1, pH 为 10.0 时, PO_4^{3-} -P 去除率最高,分别为 86.6% 和 91.9%。可见不同 Mg 与 P 摩尔比下, MAP 最佳反应 pH 也不相同。

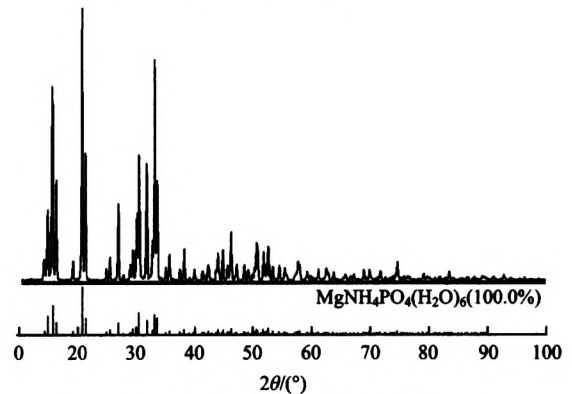
2.2.3 结晶产物的表征分析

在 Mg 与 P 摩尔比为 1.5:1, pH 为 9.5 条件下(其他反应条件下结晶产物的 SEM 和 XRD 分析结果与该反应条件下的分析结果无明显差异),对 MAP 结晶产物进行了 SEM 和 XRD 表征(图 7)。由图 7(a)可以看出,晶体大小不一,大部分呈斜方晶状,与 Parsons 等^[26]的研究结果(MAP 晶体属于斜方晶系)相同。从图 7(b)可以看出,晶体的衍射谱图和标准谱图基本吻合,可知该晶体主要成分为 MAP,但由于废水成分复杂,沉淀物成分也较复杂,

难以确定沉淀物中 MAP 的确切浓度^[27]。废水中的 Ca^{2+} 以及 pH 和 Mg 与 P 摩尔比对结晶产物的晶形和纯度影响不大。此外, MAP 的纯度受初始 NH_4^+ -N 浓度的影响,纯度随反应后溶液中剩余 NH_4^+ -N 浓度的增加而提高^[28]。



(a) 结晶产物扫描电镜照片



(b) 结晶产物与标准谱图的 XRD 对照

图 7 絮凝处理后 MAP 法回收结晶产物

Fig. 7 Crystallized product by MAP process after flocculation treatment

3 结论

(1) 投加阳离子聚丙烯酰胺可以有效去除畜禽粪便沼液中的悬浮物,当投加量为 1.02 g/L, SS 浓度降为 148 mg/L,去除率达 98.9%,但药剂投加量较大。

(2) 絮凝后的水样 PO_4^{3-} -P 浓度在 35 mg/L 左右,可以进行磷回收,在 Mg 与 P 摩尔比为 1:1、1.5:1 和 2:1, pH 为 9.0、9.5 和 10.0 条件下,均可发生 MAP 反应,随着 Mg 与 P 摩尔比和 pH 增加, PO_4^{3-} -P 去除率越高, SEM 和 XRD 分析表明,结晶产物主要为 MAP。

参考文献

- [1] 陈蕊,高怀友,傅学起,等. 畜禽养殖废水处理技术的研究与应用[J]. 农业环境科学学报,2006,25(增刊):374-377.
- [2] 邓良伟,蔡昌达,陈铭铭,等. 猪场废水厌氧消化液后处理技术研究及工程应用[J]. 农业工程学报,2002,18(3):92-94.
- [3] 梁仁礼,张衍林,田茂盛,等. 规模化猪场废水厌氧处理工艺及现存问题分析[J]. 可再生能源,2006(5):79-82.
- [4] 袁芳,汪莉,宋永会,等. 污水中磷的回收和利用途径[J]. 环境污染与防治,2006,28(7):548-551.
- [5] 郝晓地,衣兰凯,王崇臣,等. 磷回收技术的研发现状及发展趋势[J]. 环境科学学报,2010,30(5):897-907.
- [6] 袁鹏,宋永会,袁芳,等. 磷酸铵镁结晶法去除和回收养猪废水中营养元素的实验研究[J]. 环境科学学报,2007,27(7):1127-1134.
- [7] 郝晓地,甘一萍. 排水研究新热点:从污水处理过程中回收磷[J]. 给水排水,2003,29(1):20-24.
- [8] DOYLE J D, PARSON S A. Struvite formation, control and recovery[J]. Water Res,2002,36(16):3925-3940.
- [9] SUZUKI K, TANAKA Y, KURODA K, et al. Removal and recovery of phosphorous from swine wastewater by demonstration crystallization reactor and struvite accumulation device [J]. Bioresource Technology,2007,98:1573-1578.
- [10] HIRASAWA I, KANEKO S, KANAI Y, et al. Crystallization phenomena of magnesium ammonium phosphate (MAP) in a fluidized-bed-type crystallizer [J]. Journal of Crystal Growth, 2002,237/238/239:2183-2187.
- [11] 董滨,段娜妮,陈洪斌,等. 猪场污水回收磷酸铵镁结晶形态及方式研究[J]. 水处理技术,2009,35(9):22-25.
- [12] 邹安华,孙体昌,宋存义,等. 污水处理厂回流液中回收磷酸铵镁的实验研究[J]. 给水排水,2006,32(增刊):115-118.
- [13] 李亮,王德汉,邹璇,等. 畜禽废水沼气发酵液中磷回收的影响因素[J]. 农业工程学报,2010,26(8):265-271.
- [14] 熊焕嘉,刘峙嵘. 絮凝剂的开发及其应用进展[J]. 油气田环境保护,2011,21(2):30-33.
- [15] 国家环境保护总局. 水和废水监测分析方法[M]. 4版. 北京: 中国环境科学出版社,2002:246-248,413-415.
- [16] 陈曦. 聚丙烯酰胺处理黄磷废水的研究[J]. 广东化工,2010,37(6):221-222.
- [17] 邱光磊,宋永会,曾萍,等. 湿式氧化-磷酸盐固定化组合工艺处理磷霉素制药废水及其资源化[J]. 环境科学学报,2011,31(7):1431-1439.
- [18] 樊畅,赵娜,吕瑞滨. 聚合氯化铝在污水处理中的应用[J]. 中国资源综合利用,2011,29(9):51-53.
- [19] 陈怡. 硫酸铁絮凝剂对细毛废水净化效果研究[J]. 环境科技,2010,23(2):1-3.
- [20] 唐李琪,朱洪光,陈杰,等. 混凝工艺去除鸡粪厌氧消化液有机物及条件优化研究[J]. 中国沼气,2010,28(6):7-12.
- [21] 信欣,夏丽荣,李虹江,等. 复合型絮凝剂处理景观水体[J]. 环境工程学报,2012,6(4):1263-1266.
- [22] 佟娟,陈银广,顾国维. 鸟粪石除磷工艺研究进展[J]. 化工进展,2007,26(4):526-530.
- [23] 霍守亮,席北斗,刘鸿亮,等. 磷酸铵镁沉淀法去除与回收废水中氮磷的应用研究进展[J]. 化工进展,2007,26(3):371-376.
- [24] SONG Y H, HAHN H H, HOFFMANN E. Effects of solution condition on the precipitation of phosphate for recovery: a thermodynamic evaluation [J]. Chemosphere, 2002, 48(10):1029-1034.
- [25] 彭剑锋,宋永会,袁鹏,等. SPRR 工艺回收养猪废水营养成分研究[J]. 农业环境科学学报,2007,26(6):2173-2178.
- [26] PARSONS S A, WALL F, DOYLE J D, et al. Assessing the potential for struvite recovery at sewage treatment works [J]. Environ Technol,2001,22(11):1279-1286.
- [27] 王崇臣,郝晓地. 鸟粪石分析与表征技术综述[J]. 环境科学与管理,2009,34(12):88-91.
- [28] STRATFUL I, SCRIMSHAW M D, LESTER J N. Conditions influencing the precipitation of magnesium ammonium phosphate [J]. Water Res,2001,35(17):4191-4199. ○

作者: [马泉智](#), [向连城](#), [宋永会](#), [冯传平](#), [钱锋](#), [MA Quan-zhi](#), [XIANG Lian-cheng](#), [SONG Yong-hui](#), [FENG Chuan-ping](#), [QIAN Feng](#)

作者单位: [马泉智, MA Quan-zhi \(中国环境科学研究院城市水环境科技创新基地, 北京100012; 中国地质大学\(北京\)水资源与环境学院, 北京100083\)](#), [向连城, 宋永会, 钱锋, XIANG Lian-cheng, SONG Yong-hui, QIAN Feng \(中国环境科学研究院城市水环境科技创新基地, 北京, 100012\)](#), [冯传平, FENG Chuan-ping \(中国地质大学\(北京\)水资源与环境学院, 北京, 100083\)](#)

刊名: [环境工程技术学报](#)

英文刊名: [Journal of Environmental Engineering Technology](#)

年, 卷(期): 2013, 3(3)

参考文献(28条)

- 陈蕊;高怀友;傅学起 畜禽养殖废水处理技术的研究与应用[期刊论文]-[农业环境科学学报](#) 2006(增刊)
- 邓良伟;蔡昌达;陈铭铭 猪场废水厌氧消化液后处理技术研究及工程应用[期刊论文]-[农业工程学报](#) 2002(03)
- 梁仁礼;张衍林;田茂盛 规模化猪场废水厌氧处理工艺及现存问题分析[期刊论文]-[可再生能源](#) 2006(05)
- 袁芳;汪莉;宋永会 污水中磷的回收和利用途径[期刊论文]-[环境污染与防治](#) 2006(07)
- 郝晓地;衣兰凯;王崇臣 磷回收技术的研发现状及发展趋势[期刊论文]-[环境科学学报](#) 2010(05)
- 袁鹏;宋永会;袁芳 磷酸铵镁结晶法去除和回收养猪废水中营养元素的实验研究[期刊论文]-[环境科学学报](#) 2007(07)
- 郝晓地;甘一萍 排水研究新热点:从污水处理过程中回收磷[期刊论文]-[给水排水](#) 2003(01)
- DOYLE J D;PARSON S A Struvite formation, control and recovery 2002(16)
- SUZUKI K;TANAKA Y;KURODA K Removal and recovery of phosphorous from swine wastewater by demonstration crystallization reactor and struvite accumulation device[外文期刊] 2007(8)
- HIRASAWA I;KANEKO S;KANAI Y Crystallization phenomena of magnesium ammonium phosphate (MAP) in a fluidized-bed-type crystallizer[外文期刊] 2002(Pt. 3)
- 董滨;段娜妮;陈洪斌 猪场污水回收磷酸铵镁结晶形态及方式研究[期刊论文]-[水处理技术](#) 2009(09)
- 邹安华;孙体昌;宋存义 污水处理厂回流液中回收磷酸铵镁的实验研究[期刊论文]-[给水排水](#) 2006(增刊)
- 李亮;王德汉;邹璇 畜禽废水沼气发酵液中磷回收的影响因素[期刊论文]-[农业工程学报](#) 2010(08)
- 熊焕嘉;刘峙嵘 絮凝剂的开发及其应用进展[期刊论文]-[油气田环境保护](#) 2011(02)
- 国家环境保护总局 [水和废水监测分析方法](#) 2002
- 陈曦 聚丙烯酰胺处理黄磷废水的研究[期刊论文]-[广东化工](#) 2010(06)
- 邱光磊;宋永会;曾萍 湿式氧化-磷酸盐固定化组合工艺处理磷霉素制药废水及其资源化[期刊论文]-[环境科学学报](#) 2011(07)
- 樊畅;赵娜;吕瑞滨 聚合氯化铝在污水处理中的应用[期刊论文]-[中国资源综合利用](#) 2011(09)
- 陈怡 硫酸铁絮凝剂对细毛废水净化效果研究[期刊论文]-[环境科技](#) 2010(02)
- 唐李琪;朱洪光;陈杰 混凝工艺去除鸡粪厌氧消化液有机物及条件优化研究[期刊论文]-[中国沼气](#) 2010(06)
- 信欣;夏丽荣;李虹江 复合型絮凝剂处理景观水体[期刊论文]-[环境工程学报](#) 2012(04)
- 佟娟;陈银广;顾国维 鸟粪石除磷工艺研究进展[期刊论文]-[化工进展](#) 2007(04)
- 霍守亮;席北斗;刘鸿亮 磷酸铵镁沉淀法去除与回收废水中氮磷的应用研究进展[期刊论文]-[化工进展](#) 2007(03)
- SONG Y H;HAHN H H;HOFFMANN E Effects of solution condition on the precipitation of phosphate for recovery:a thermodynamic evaluation[外文期刊] 2002(10)
- 彭剑锋;宋永会;袁鹏 SPRR工艺回收养猪废水营养元素研究[期刊论文]-[农业环境科学学报](#) 2007(06)
- PARSONS S A;WALL F;DOYLE J D Assessing the potential for struvite recovery at sewage treatment works 2001(11)
- 王崇臣;郝晓地 鸟粪石分析与表征技术综述[期刊论文]-[环境科学与管理](#) 2009(12)
- STRATFUL I;SCRIMSHAW M D;LESTER J N Conditions influencing the precipitation of magnesium ammonium phosphate[外文期刊] 2001(17)

引用本文格式：马泉智, 向连城, 宋永会, 冯传平, 钱锋, MA Quan-zhi, XIANG Lian-cheng, SONG Yong-hui, FENG Chuan-ping, QIAN Feng
畜禽粪便沼液絮凝预处理及MAP法磷回收技术[期刊论文]-环境工程技术学报 2013(3)