

文章编号:1673-9469(2010)01-0051-04

不同混凝剂除磷效果的研究

李思敏¹,王 俊¹,宋晓娟²

(1.河北工程大学 城市建设学院,河北 邯郸 056038;2.北华建筑设计有限公司,河北 邯郸 056000)

摘要:通过烧杯试验,分别对聚合氯化铝(PAC),硫酸铝($\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$),硫酸亚铁($\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$)和氯化铁($\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$)的除磷效果进行了研究,并协同考察了去除污水中SS和 COD_Cr 的情况。结果表明:在投加量为80mg/L时,4种混凝剂对TP的去除率按由高到低顺序是 $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O} > \text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O} > \text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O} > \text{PAC}$;TP、SS和 COD_Cr 的去除率均随着药剂投加量的增加而提高。

关键词:去除率;烧杯试验;混凝剂;化学除磷

中图分类号: X703

文献标识码: A

Research on phosphorus removal by different coagulants

LI Si-min¹, WANG Jun¹, SONG Xiao-juan²

(1. School of Urban Construction, Hebei University of Engineering, Hebei Handan 056038, China; 2. Architectural Design Co., Ltd, Hebei Handan 056000, China)

Abstract: The poly aluminum chloride (PAC), aluminum sulfate ($\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$), ferrous sulfate ($\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$) and ferric chloride ($\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$) were chosen as coagulants, the phosphorus removal effect for municipal wastewater by beaker test were carried out. The removal of suspended solids (SS) and chemical oxygen demand (COD_Cr) were also compared. The results show that, when the dosage was 80mg/L, the removal of TP by four kinds of coagulants from high to low was $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O} > \text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O} > \text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O} > \text{PAC}$; the removal of TP, SS and COD_Cr were increased with coagulant dosage.

Key words: removal; beaker tests; coagulant; chemical phosphorus removal

水体富营养化是由于人们大量的使用了农药、化肥及含磷洗涤剂,造成水体中的氮、磷含量增加,藻类大量繁殖,水体中的溶解氧被消耗殆尽,致使鱼类等水生生物死亡,水质恶化,严重危害了人类健康^[1-4]。近年来,世界各地的水体富营养化现象时有发生,引起了人们的广泛关注。而水体中的氮可由固氮生物获得,因此,只有降低排入水体中的磷含量才是解决水体富营养化的有效途径。

污水的除磷方法有化学沉淀法、O-R法、电解法、物理吸附法、回转载留式活性污泥法、生物处理法等,其中生物处理法和化学沉淀法应用较多。单独采用生物处理法除磷时对工艺要求

较高,一般较难满足出水含磷量低于1.0mg/L的排放要求^[3]。化学沉淀除磷法早在18世纪的英国就已得到应用,在19世纪后期被英、美等国广泛采用,随后因引入了新的化学物质、药剂消耗量大等原因,被生物处理方法所代替^[5-7]。近年来,为进一步提高污水中磷的去除程度,化学沉淀法又被重新重视。

本文通过烧杯试验分别考察了聚合氯化铝(PAC),硫酸铝($\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$),硫酸亚铁($\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$)和氯化铁($\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$)四种混凝剂对城市污水中TP的去除效果,并对协同去除SS和 COD_Cr 的情况进行了比较,旨在为化学辅助除磷工艺提供参考依据。

收稿日期:2009-10-27

基金项目:河北省重大科技攻关项目(07276713D);2009年中韩国际合作项目

作者简介:李思敏(1968-),男,陕西乾县人,教授,从事水处理技术方面的研究。

1 试验材料与方法

1.1 试验水质

试验用水为经曝气沉砂池预处理后的城市污水,水质参数见表1。

表1 原水水质
Tab.1 Quality of raw water $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$

检测项目	检测结果	平均值
COD_{Cr}	219.30 ~ 243.70	230.05
TP	3.29 ~ 4.49	4.01
SS	128.15 ~ 153.43	140.37

1.2 试验仪器及药剂

试验仪器包括 721 型分光光度计, pH 计, COD 快速测定仪, 电子天平, MY-3000K 型六联电动搅拌机。

试验药剂为 PAC、 $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$ 、 $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ 、 $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$, 其中除 PAC 为工业产品外, 其余均为分析纯。试验时, 将上述药剂均配置成 10g/L 进行投加。

1.3 试验方法

取原水水样测定其 TP、SS、 COD_{Cr} 值, 然后分别取 1 000mL 水样置于 6 个烧杯中, 投加 0mg/L、20mg/L、40mg/L、60mg/L、80mg/L、100mg/L、120mg/L 的混凝剂; 搅拌机先后以 300r/min 快速搅拌 1min, 以 100r/min 中速搅拌 10min, 以 50r/min 慢速搅拌 5min; 静沉 30min 后取上清液 100mL, 测定其 TP、SS、 COD_{Cr} 值。为减小因原水水质而产生的误差, 每种混凝剂做 5 次试验, 求其平均值。

1.4 分析方法

COD 值的测定: 水样经 5B-X 消解器消解后, 用 30mm 光程的比色皿在 610nm 波长处采用 5B-3 型快速 COD 测定仪测定。

其余水质指标根据《水和废水监测分析方法》(第 4 版)中提供的标准方法进行监测^[8]。

2 结果与讨论

2.1 PAC 除磷效果分析

PAC 投加量超过 60mg/L 时, 水样开始出现矾

花, 沉淀后上清液较为浑浊, 且絮体的沉降性能较差; TP 的去除率随 PAC 投加量的增加而逐渐升高, 在 PAC 投加量为 120mg/L 时, 上清液中 TP 可降到 1.0mg/L 以下, 去除率为 79.10% (图 1); PAC 对 COD_{Cr} 和 SS 去除率在投加量由 0 增加到 100mg/L 时增加较快, 此时, 上清液中 COD_{Cr} 可降至 35mg/L 以下, SS 可降至 10mg/L 以下, 去除率分别为 86.10% 和 94.48% (图 2)。

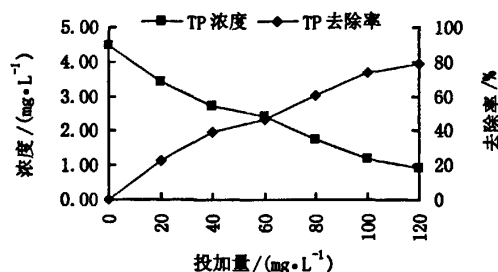


图1 PAC对TP的去除效果

Fig.1 Removal of TP by PAC

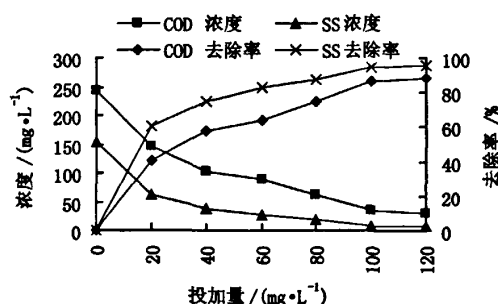


图2 PAC对 COD_{Cr} 和SS的去除效果

Fig.2 Removal of COD_{Cr} and SS by PAC

由此可以看出, PAC 对 TP 的去除效果较差, 去除率最高仅为 79.10%, 单独使用 PAC 除磷时, 所需的药剂量较大, 费用较高。但其对 COD_{Cr} 和 SS 的去除率较高, 在投加量为 100mg/L 时, 去除率均在 85% 以上, 这是因为 PAC 为高分子絮凝剂, 分子链较长, 其上有许多官能团, 在中和粒子表面电荷的同时, 能使粒子间牢固结合, 从而形成稳定的絮凝体, 可以大大提高 COD_{Cr} 和 SS 的去除。

2.2 $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ 除磷效果分析

$\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ 的投加量超过 80mg/L 时, 水样逐渐产生细小絮凝体, 且不易沉淀, 沉淀后上清液呈淡黄色。在 $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ 投加量由 0 增加到 80mg/L 的过程中, TP 去除率增加较快 (图 3), 此时, TP

去除率为 78.18%, 上清液中 TP 浓度为 0.72mg/L; 投加量由 80mg/L 增加到 120mg/L 时, TP 去除率曲线略微下降后又缓慢上升, 原因可能是投加 $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ 过量, 致使絮凝体脱稳后又复稳; COD_Cr 和 SS 的去除率变化幅度较小, 在 $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ 投加量为 120mg/L 时, 上清液中 COD_Cr 和 SS 的浓度分别为 160.84mg/L 和 40.08mg/L, 去除率分别为 31.73% 和 70.23% (图 4)。

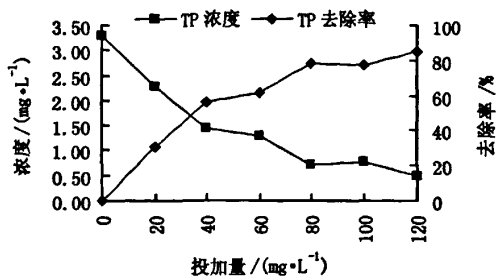


图3 $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ 对TP的去除效果
Fig. 3 Removal of TP by $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$

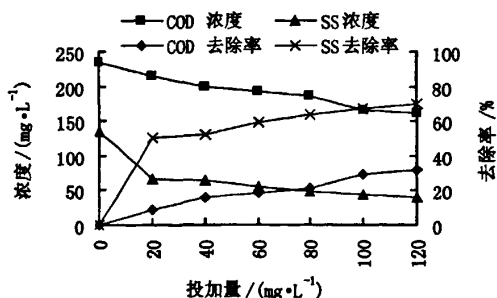


图4 $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ 对 COD_Cr 和SS的去除效果
Fig. 4 Removal of COD_Cr and SS by $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$

可见, $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ 对 TP、SS 和 COD_Cr 的去除效果均较差, 原因是 $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ 水解后只能形成简单的络合物, 需进一步氧化成三价铁才能形成多核羟基络合物, 这些羟基络合物能有效降低或消除胶体的 ξ 电位, 使胶体凝聚。在使用 $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ 进行除磷时, 可考虑将硫酸亚铁投加在曝气池中, 进行氧化后除磷, 以节省药剂的投加量。

2.3 $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ 除磷效果分析

$\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ 投加量为 20mg/L 时, 水样产生微小的絮体; 当 $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ 投加量超过 40mg/L 时, 水样产生硕大密实的絮体, 且沉降性能较好, 沉淀后上清液较为清澈。在 $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ 投加量由 0 增加到 80mg/L 的过程中, TP 去除率迅速增加, 继续

增加药剂剂量, TP 的去除率变化不大; $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ 投加量为 120mg/L 时, 去除率略微下降, 原因可能是氯化铁投加过量使絮凝体复稳, 在 $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ 投加量为 80mg/L 时, TP 去除率为 91.28%, 上清液 TP 浓度为 0.36mg/L (图 5)。 COD_Cr 和 SS 的去除率也随着加药量的增加而增加, 投加量为 80mg/L 时, 上清液中 COD_Cr 和 SS 的浓度分别为 120.37mg/L 和 10.03mg/L, 去除率分别为 45.68% 和 92.17% (图 6)。

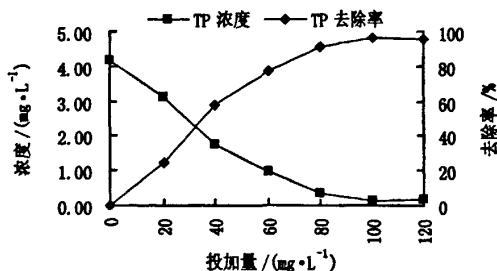


图5 $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ 对TP的去除效果
Fig. 5 Removal effect of TP by $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$

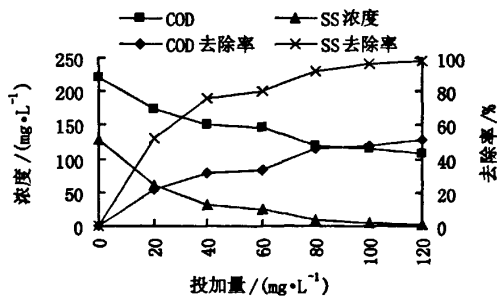


图6 $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ 对 COD_Cr 和SS的去除效果
Fig. 6 Removal of COD_Cr and SS by $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$

以上结果表明, 当投加 80mg/L 的 $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ 时, TP 和 SS 的去除率均在 90% 以上, 而 COD_Cr 的去除率仅为 45.68%, 原因是氯化铁加入水样后, 能快速水解生成长线型多核羟基络合物, 这些络合物能吸附水中大量的磷酸根和胶体物质, 而污水中胶体状有机物含量较低, 所以氯化铁对 TP 和 SS 的去除率高而对 COD_Cr 的去除率较低。

2.4 $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$ 除磷效果分析

试验中观察到投加 $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$ 后产生的絮体较为密实, 但沉淀后上清液的清澈度不如投加 $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ 的好。当 $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$ 投加量由 0 增加到 80mg/L 时, TP 去除率增加较快, 此

时,TP去除率为88.67%,上清液TP浓度为0.46 mg/L;投加量由80mg/L增加到120mg/L时,TP去除率增加缓慢,在 $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$ 投加量为120mg/L时,也出现轻微的下降(图7)。COD_{Cr}和SS的去除率增加幅度较小, $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$ 投加量为80mg/L时,上清液中COD_{Cr}和SS的浓度分别为156.51mg/L和44.57mg/L,去除率分别为28.63%和69.32%(图8)。

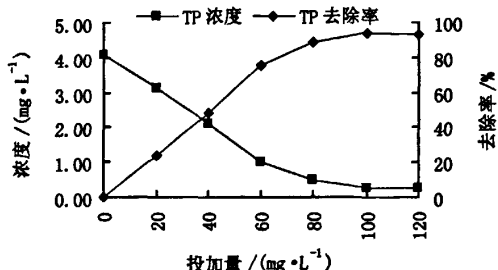


图7 $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$ 对TP的去除效果
Fig.7 Removal of TP by $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$

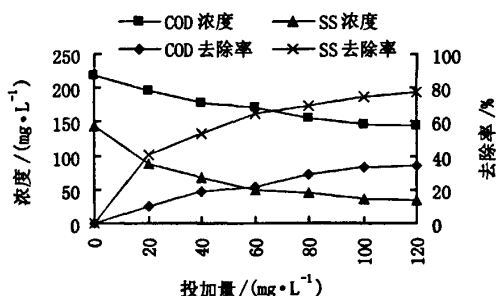


图8 $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$ 对COD_{Cr}和SS的去除效果
Fig.8 Removal of COD_{Cr} and SS by $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$

由此可见, $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$ 在投加量为80mg/L时,TP去除效果较好,去除率可达到88.67%,而COD_{Cr}和SS的去除效果较差。有研究表明在废水处理过程中,采用混凝法与生化法结合的流程时,水中残余的铝盐对微生物的生长有一定的抑制作用。近代医学也表明过量摄入铝会引起老年性痴呆症、记忆力减退等症状,对体细胞及生殖细胞有致突变的作用^[9]。因此,在污水采用化学除磷后排入水体时,不建议使用铝盐。

3 结论

1) 在投加量为80mg/L时,四种混凝剂对TP的去除率按由高到低顺序是 $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O} > \text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O} > \text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O} > \text{PAC}$,投加 $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ 、 $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ 和 $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$ 的污水,TP浓度分别可降至0.72mg/L、0.36mg/L和0.46mg/L;PAC的投加量为120mg/L时,TP浓度可降至1.0 mg/L以下。

2) TP、SS和COD_{Cr}的去除率均随着药剂投加量的增加而提高, $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ 和PAC对COD_{Cr}和SS的去除效果较好,而 $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ 和 $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$ 对COD_{Cr}和SS的去除效果较差。

3) $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$ 虽具有较好的除磷效果,但铝盐投加过量时,会对水中微生物产生毒害作用,并对人体有危害,因此,在污水采用化学除磷后排入水体时,不建议使用铝盐。

参考文献:

- [1] QUINTANA M, COLMENAREJO M F, BARRERA J, *et al.* Removal of phosphorus through struvite precipitation using a byproduct of magnesium oxide production (BMP): effect of the mode of BMP preparation [J]. Chemical Engineering Journal, 2008(136): 204-209.
- [2] 邱维,张智.城市污水化学除磷的探讨[J].重庆环境科学,2002,24(2):81-84.
- [3] 邱慎初.化学强化一级处理(CEPT)技术[J].中国给水排水,2000,16(1):26-29.
- [4] 白峰青,李冲,朱文敏,等.秋冬季节复合人工湿地系统对污水净化效果研究[J].河北工程大学学报(自然科学版)2009,26(2):45-47.
- [5] 吴燕,安树林.废水除磷方法的现状与展望[J].天津工业大学学报,2001,20(1):20-21.
- [6] 于晓洁,陈银广,顾国维.城市污水除磷技术研究-化学强化一级除磷与生物除磷[J].环境科学与技术,2008,31(11):82-85.
- [7] 宋志伟,张芙蓉.污泥浓度对膜生物反应器处理焦化废水的影响[J].黑龙江科技学院学报,2009,19(6):423-426.
- [8] 国家环保总局.《水和废水监测分析方法》编委会.水和废水分析监测方法(第4版)[M].北京:中国环境科学出版社,2002.
- [9] 赵立新,王其侠.混凝剂对水中残余铝的影响研究[J].佳木斯大学学报(自然科学版),2001,19(2):187-189.

(责任编辑 马立)

作者：[李思敏](#), [王俊](#), [宋晓娟](#), [LI Si-min](#), [WANG Jun](#), [SONG Xiao-juan](#)
作者单位：[李思敏, 王俊, LI Si-min, WANG Jun \(河北工程大学城市建设学院, 河北, 邯郸, 056038\)](#), [宋晓娟, SONG Xiao-juan \(北华建筑设计有限公司, 河北, 邯郸, 056000\)](#)
刊名：[河北工程大学学报 \(自然科学版\)](#) 
英文刊名：[JOURNAL OF HEBEI UNIVERSITY OF ENGINEERING \(NATURAL SCIENCE EDITION\)](#)
年, 卷(期): 2010, 27 (1)
被引用次数: 2次

参考文献(9条)

1. [QUINTANA M;COLMENAREJO M F;BARRERA J Removal of phosphorus through struvite precipitation using a byproduct of magnesium oxide production \(BMP\):effect of the mode d BMP Preatation](#)[外文期刊] 2008 (136)
2. [邱维;张智 城市污水化学除磷的探讨](#)[期刊论文]-[重庆环境科学](#) 2002 (02)
3. [邱慎初 化学强化一级处理\(CEPT\)技术](#)[期刊论文]-[中国给水排水](#) 2000 (01)
4. [白峰青;李冲;朱文敏 秋冬季节复合人工湿地系统对污水净化效果研究](#)[期刊论文]-[河北工程大学学报\(自然科学版\)](#) 2009 (02)
5. [吴燕;安树林 废水除磷方法的现状与展望](#)[期刊论文]-[天津工业大学学报](#) 2001 (01)
6. [于晓洁;陈银广;顾国维 城市污水除磷技术研究-化学强化一级除磷与生物除磷](#)[期刊论文]-[环境科学与技术](#) 2008 (11)
7. [宋志伟;张芙蓉 污泥浓度对膜生物反应器处理焦化废水的影响](#)[期刊论文]-[黑龙江科技学院学报](#) 2009 (06)
8. [国家环境保护总局;<水和废水监测分析方法>编委会 水和废水分析监测方法](#) 2002
9. [赵立新;王其侠 混凝剂对水中残余铝的影响研究](#)[期刊论文]-[佳木斯大学学报\(自然科学版\)](#) 2001 (02)

本文读者也读过(9条)

1. [鲍林林. 程庆锋. 李冬. 樊静. 张杰 污水深度处理工艺化学强化除磷单元药剂选择及优化](#)[期刊论文]-[给水排水](#) 2010, 36 (z1)
2. [王文超. 张华. 张欣. WANG Wen-chao. ZHANG Hua. ZHANG Xin 化学除磷在城市污水处理中的应用](#)[期刊论文]-[水科学与工程技术](#) 2008 (1)
3. [汪恩. WANG Zhi 亚铁盐化学除磷在昆山港东污水处理厂的应用](#)[期刊论文]-[中国给水排水](#) 2008, 24 (4)
4. [于丹. 卢钢. 连小英. 关卫省. YU Dan. LU Gang. LIAN Xiao-ying. GUAN Wei-sheng 化学强化生物除磷工艺系统优化](#)[期刊论文]-[中国给水排水](#) 2011, 27 (1)
5. [吴馥萍. 黎松强. 林穗云. WU Fu-ping. LI Song-qiang. LIN Sui-yun 城市污水生物膜法处理化学除磷研究](#)[期刊论文]-[广州化工](#) 2006, 34 (6)
6. [刘秀娥. 杨庆. 曾立云. Liu Xiue. Yang Qing. Zeng Liyun 某铁路车辆厂含油废水混凝预处理试验研究](#)[期刊论文]-[广东化工](#) 2011, 38 (3)
7. [林明波 生化-物化组合工艺处理丝绸厂汰头废水试验研究](#)[期刊论文]-[海峡科学](#) 2009 (10)
8. [邹联沛. 薛昱. 王宝贞 膜生物反应器中化学除磷的研究](#)[期刊论文]-[中国给水排水](#) 2002, 18 (11)
9. [徐宝军 油田污水电解微泡处理技术](#)[会议论文]-2010

引证文献(3条)

1. [于世华. 董晓乐. 宫红. 姜恒. 刘治刚. 苗壮 氢氧化钡及其焙烧产物对磷酸盐的吸附](#)[期刊论文]-[盐业与化工](#) 2011 (5)

2. [李思敏](#), [赵南南](#), [付民](#), [赵博](#) [O/A两级生物砂滤池的二次启动及其脱氮除碳效果](#)[期刊论文]-[河北工程大学学报（自然科学版）](#) 2010(4)
3. [李思敏](#), [赵南南](#), [付民](#), [赵博](#) [O/A两级生物砂滤池的二次启动及其脱氮除碳效果](#)[期刊论文]-[河北工程大学学报（自然科学版）](#) 2010(4)

本文链接: http://d.wanfangdata.com.cn/Periodical_hbjzkjxyxb201001013.aspx