

# Comparison of Phosphorus Removal Processes by Ferrous Salts, Ferric Salts, Polyferric Sulfate and Poly Aluminum Chloride

Ziwei Chen\*, Ruoxia Ma, Bin Yang

SPIC Yuan Da Environmental Protection Co. Ltd., Chongqing Science and Technology Branch, Chongqing  
Email: \*chenziweibnu@163.com

Received: Dec. 1<sup>st</sup>, 2018; accepted: Dec. 17<sup>th</sup>, 2018; published: Dec. 27<sup>th</sup>, 2018

---

## Abstract

The phosphate wastewater of 1 mg/L was treated by ferrous salts, ferric salts, polyferric sulfate and poly aluminum chloride under different iron/phosphorus ratio and aluminum/phosphorus ratio, to find the best treated dosage. The experimental results show that poly aluminum chloride with 1.5 aluminum/phosphorus ratio has the best phosphorus removal performance and is the most economical and practical.

## Keywords

Chemical Phosphorus Removal, Wastewater Treatment

---

# 亚铁盐、铁盐、聚合铁盐和聚合铝除磷工艺的对比实验研究

陈子惟\*, 马若霞, 杨彬

国家电投集团远达环保工程有限公司重庆科技分公司, 重庆  
Email: \*chenziweibnu@163.com

收稿日期: 2018年12月1日; 录用日期: 2018年12月17日; 发布日期: 2018年12月27日

---

## 摘要

本文在前期调研及实际应用的基础上, 通过对初始磷浓度为1 mg/L (《城镇污水排放标准》  
\*通讯作者。

(GB18918-2002)》中一级B标准)的模拟废水在不同铁磷比(摩尔比)、铝磷比(摩尔比)的亚铁盐、铁盐、聚合铁盐和聚合氯化铝(PAC)去除效果的实验研究,得出能达到出水磷浓度0.5 mg/L(《城镇污水排放标准(GB18918-2002)》中一级A标准)的最佳药剂投加量。实验结果表明:采用铝磷比(摩尔比) 1.5投加量的聚合铝(PAC)处理效果最好,最为经济实用。

## 关键词

化学除磷, 污水处理

Copyright © 2019 by authors and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

## 1. 引言

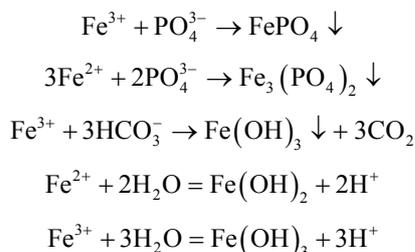
磷是导致水体富营养化的主要原因之一,废水除磷是防止水体富营养化的有效途径(Smith *et al.*, 1999; Wang *et al.*, 2010; Li and Brett, 2012)。废水除磷技术主要分为化学法和生物法两大类。化学除磷法因其经济高效、操作简便、效果可靠,且不易受废水水质影响等优点而被推广应用(de-Bashan and Bashan, 2004; Parsons and Smith, 2008; Zhang *et al.*, 2014)。

化学除磷主要通过向废水中投加化学药剂形成不溶性磷酸盐沉淀物,然后经过固液分离将磷从污水中去除(Rittmann and McCarty, 2001; 郝晓地, 2011)。目前实际废水处理中应用较多的除磷药剂有铁系絮凝剂(包括亚铁盐、铁盐和聚合铁盐等)、铝系絮凝剂(聚合氯化铝(PAC))和铁铝混合絮凝剂(聚合氯化铝铁(PAEC))等。本文在前期调研及实际应用的基础上,通过对初始磷浓度为 1 mg/L(《城镇污水排放标准(GB18918-2002)》中一级 B 标准)的模拟废水在不同铁磷比(摩尔比)、铝磷比(摩尔比)的亚铁盐、铁盐、聚合铁盐和聚合氯化铝(PAC)去除效果的实验研究,得出能达到出水磷浓度 0.5 mg/L(《城镇污水排放标准(GB18918-2002)》中一级 A 标准)的最佳药剂投加量[1] [2]。

## 2. 实验原理[3]

### 2.1. 铁盐除磷实验原理

铁盐除磷反应式可以表示为:



铁盐除磷的机理主要是以混凝为主,即吸附絮凝沉淀的过程。反应过程如下:铁盐溶于水后,Fe<sup>3+</sup>一方面与磷酸根形成难溶性的盐,一方面通过溶解和吸水发生强烈水解,并在水解的同时发生各个聚合反应,生长具有较长线形结构的多核羟基络合物,如Fe<sub>2</sub>(OH)<sub>2</sub><sup>4+</sup>、Fe<sub>3</sub>(OH)<sub>4</sub><sup>5+</sup>、Fe<sub>5</sub>(OH)<sub>9</sub><sup>6+</sup>、Fe<sub>5</sub>(OH)<sub>8</sub><sup>7+</sup>、Fe<sub>5</sub>(OH)<sub>7</sub><sup>8+</sup>、Fe<sub>6</sub>(OH)<sub>12</sub><sup>6+</sup>、Fe<sub>7</sub>(OH)<sub>12</sub><sup>9+</sup>、Fe<sub>7</sub>(OH)<sub>11</sub><sup>10+</sup>、Fe<sub>9</sub>(OH)<sub>20</sub><sup>7+</sup>和Fe<sub>12</sub>(OH)<sub>34</sub><sup>2+</sup>等。这些含铁的羟基络

合物能有效地降低或消除水体中胶体的  $\xi$  电位, 通过电中和、吸附架桥及絮体的卷扫作用使胶体凝聚, 再通过沉淀分离将磷去除。

## 2.2. 铝盐除磷实验原理

铝盐除磷的机理与铁盐一样, 主要是以混凝为主, 即吸附絮凝沉淀的过程。铝盐(常用的铝盐有聚合铝(PAC)、硫酸铝( $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ )、三氯化铝( $\text{AlCl}_3$ )等)在废水中水解, 生成  $\text{Al}(\text{OH})_3$  与其他氢氧化物质, 氢氧化物质与水中的溶解性磷酸盐进行反应, 形成非溶解性的磷酸盐沉淀, 再用提取污泥的方法将废水与泥分离开来达到除磷的目的。

因此, 铁盐和铝盐除磷的实验原理基本上是一致的, 都是通过向污水中投加无机金属盐药剂与污水中溶解性的磷酸盐类发生化学沉析、化学絮凝等作用, 形成非溶解状物质, 最后通过沉淀去除的方法达到除磷的目的。

## 3. 实验方法

### 3.1. 配置含磷废水

用磷酸二氢钾( $\text{KH}_2\text{PO}_4$ )和去离子水制备模拟废水, 配置浓度为 5.0 g/L (以 P 计)的浓液 250 ml, 实验时再将其稀释到 1.0 mg/L (以 P 计)。

### 3.2. 确定铁磷比、铝磷比

根据查阅文献的结果确定各药剂投加量为(表 1):

**Table 1.** The mole ration form between reagent and phosphorus

**表 1.** 药剂投加量摩尔比表

药剂名称	药剂与磷摩尔比
亚铁盐( $\text{FeSO}_4$ )	0.5、1.0、1.5、2.0、2.25、3.0
铁盐( $\text{Fe}_3(\text{SO}_4)_2$ )	0.5、0.75、1.0、1.5、2.0、3.0
聚合铁盐	0.5、0.75、1.0、1.5、2.0、3.0
聚合氯化铝(PAC)	0.5、1.0、1.5、2.0、2.25、3.0

### 3.3. 配置铁盐和铝盐浓缩液

用  $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  和去离子水配制亚铁盐浓缩液 250 ml, 浓度为 5.6 g/L (以 Fe(II)计), 实验时再稀释到 56 mg/L (以 Fe(II)计); 用  $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$  和去离子水配制铁盐浓缩液 1000 ml, 浓度为 5.6 g/L (以 Fe(III)计), 实验时再稀释到 56 mg/L (以 Fe(III)计); 用聚合硫酸铁和去离子水配制聚合铁盐浓缩液 1000 ml, 浓度为 5.6 g/L (以 Fe(III)计), 实验时再稀释到 56 mg/L (以 Fe(III)计); 用 PAC 和去离子水配制聚合铝盐浓缩液 250 ml, 浓度为 2.7 g/L (以 Al(III)计), 实验时再稀释到 27 mg/L (以 Al(III)计)(表 2)。

### 3.4. 实验物资

实验物资如表 3。

### 3.5. 实验步骤

取已稀释至指定浓度的模拟废水 150 ml 于 250 ml 烧杯中, 按不同的摩尔比添加一定量的除磷剂; 快速搅拌 1 min 后, 慢速搅拌 15 min, 静置 30 min 后取上清液过 0.45  $\mu\text{m}$  膜, 测定磷含量。

**Table 2.** The reagent preparation form  
**表 2.** 药剂配置记录表

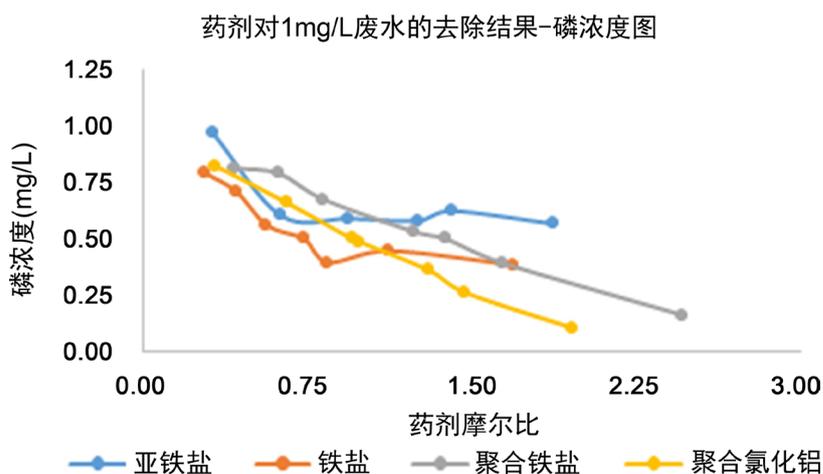
药品名称	溶液名称	理论称量质量(g)	实际称量质量(g)	体积(ml)
KH <sub>2</sub> PO <sub>4</sub>	废水浓缩液	5.4839	5.4849	250
FeSO <sub>4</sub> ·7H <sub>2</sub> O	亚铁盐浓缩液	6.95	6.9497	250
Fe <sub>2</sub> (SO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub>	铁盐浓缩液	5	5.0015	1000
聚合硫酸铁	聚合铁盐浓缩液	28	28.0005	1000
PAC	聚合铝盐浓缩液	4.7222	4.7225	250

**Table 3.** List of experimental materials  
**表 3.** 实验物资清单

序号	物资名称
1	1000 ml 容量瓶
2	250 ml 容量瓶
3	移液枪
4	实验室用耐酸碱乳胶手套
5	磁力搅拌器
6	250 ml 烧杯

#### 4. 实验结果

按不同摩尔比添加除磷剂后溶液中磷的浓度和去除率如图 1、图 2 所示。



**Figure 1.** Phosphorus concentration

**图 1.** 磷的浓度

#### 5. 结论及分析

由图 1 和图 2 可知, 亚铁盐对含磷废水的去磷均随着铁磷比的升高而增加, 当铁磷比高于 1.0 后均趋于近似, 但没有将总磷含量去除至 0.5 mg/L 以下, 不能达到一级 A 标的出水要求; 铁盐对含磷废水的处理效果明显好于亚铁盐, 能在铁磷比(摩尔比) 1.5 左右将废水中的磷浓度处理至 0.5 mg/L 以下, 满足一

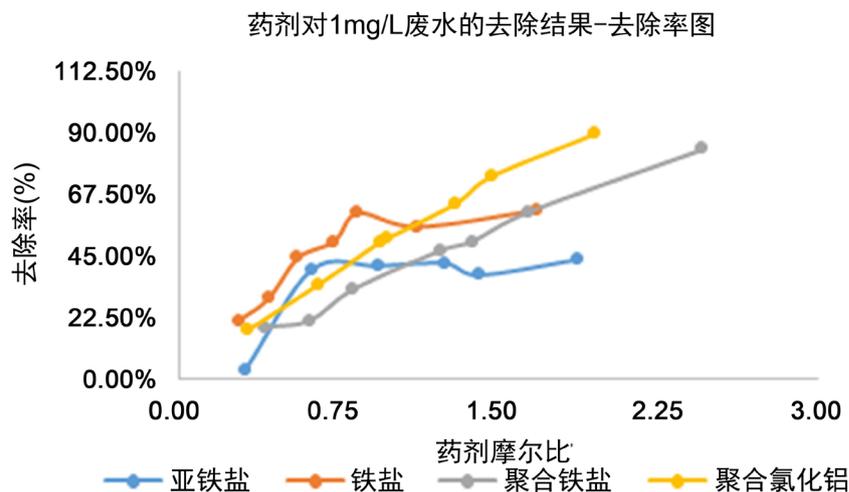


Figure 2. Phosphorus removal rate

图 2. 磷的去除率

级 A 标的出水要求。虽然随着摩尔比的增加, 去除率呈现上升趋势, 但从经济角度考虑, 建议采用铁磷比(摩尔比) 1.5 作为实际工程中的投加量。聚合硫酸铁对含磷废水的去除效果同样随着铁磷比的增加而增大, 且同样在铁磷比(摩尔比)约为 1.5 时, 即可使出水中总磷浓度低于 0.5 mg/L。聚合铝对磷的去除效率随着铝磷比的增加而增大, 在铝磷比 1.3 左右时即可将磷浓度处理至 0.5 mg/L 以下, 最大去除率可达 90% 左右。

综上可得, 为确保出水中总磷浓度低于 0.5 mg/L, 采用 1.5 的铁(铝)磷比作为投加量时, 聚合铝对低浓度含磷废水(1 mg/L)的去除率最高, 铁盐和聚合铁盐去除率相近。

目前, 三种盐类的市场价分别为硫酸铁 1600 元/吨, 聚合硫酸铁 1050 元/吨, 聚合铝 1000 元/吨, 则处理每吨总磷, 三种盐类的消耗量分别为硫酸铁 9.67 t, 聚合硫酸铁 13.55 t, 聚合铝 2.47 t。因此, 处理每吨总磷三种盐类的成本分别为硫酸铁 1.5 万元, 聚合硫酸铁 1.42 万元, 聚合铝 0.25 万元。因此, 采用铝磷比 1.5 投加量的聚合铝(PAC)最为经济实用。

## 参考文献

- [1] 张萌, 邱琳, 于晓晴, 等. 亚铁盐与高铁盐除磷工艺的对比研究[J]. 高校化学工程学报, 2013(3): 519-525.
- [2] 邢伟, 黄文敏, 李敦海, 等. 铁盐除磷技术机理及铁盐混凝剂的研究进展[J]. 给水排水, 2006, 32(2): 88-91.
- [3] 谢经良, 刘娥清, 赵新, 等. 不同形态铁盐的除磷效果[J]. 环境工程学报, 2012, 6(10): 3429-3432.

### 知网检索的两种方式:

1. 打开知网页面 <http://kns.cnki.net/kns/brief/result.aspx?dbPrefix=WWJD>  
下拉列表框选择: [ISSN], 输入期刊 ISSN: 2332-8010, 即可查询
2. 打开知网首页 <http://cnki.net/>  
左侧“国际文献总库”进入, 输入文章标题, 即可查询

投稿请点击: <http://www.hanspub.org/Submission.aspx>

期刊邮箱: [wpt@hanspub.org](mailto:wpt@hanspub.org)