

高压电解除磷产品化应用研究

刘 羿, 孙 竟, 何京钟

(中建环能科技股份有限公司, 四川 成都 610000)

摘要 高压电解除磷装置是为一体化污水处理设备除磷需求而研发的产品, 为解决电解除磷产品化小型化、稳定化而展开研究。本实验研究了在进水水量为 $1\text{m}^3/\text{d}$, 电解除磷停留时间为 4min , 电导率 $<200\mu\text{s}/\text{c}$, 源水经过电解、曝气、沉淀后出水的电解除磷数据; 经实验表明, 进水总磷分别为 $3\text{mg}/\text{L}$ 、 $5\text{mg}/\text{L}$ 、 $7\text{mg}/\text{L}$, 对应电压分别为 70V 、 90V 、 100V 情况下出水总磷 $<0.5\text{mg}/\text{L}$, 满足《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB 18918-2002) 中一级 A 总磷排放标准, 本研究对一体化水处理设备除磷提出了一种新的方法。

关键词 电解除磷; 高压; 一体化水处理

中图分类号: TM8

文献标识码: A

文章编号: 2097-3365(2023)12-0112-03

我国农村污水处理设备目前市场需求高速增长, 技术水平渐趋定型, 行业竞争状况及用户特点已比较明朗, 企业水处理产品竞争越来越激烈, 一方面农村污水处理标准有所降低, 另一方面总磷要求依然严格, 这要求企业在保证处理效果的同时降低生产成本和运行成本^[1-4]。

现有的除磷方式分为生物除磷、化学除磷(沉淀、结晶)、物理化学除磷(吸附)^[5], 但分别存在着消化液会影响除磷, 消耗 BOD, 除磷不稳定、产泥量较多、处理费较高, 脱磷量少等问题, 而电解法具有产泥量少, 处理费用低的优点^[6], 是近几年各大院校、企业的研究对象之一。目前大部分电解除磷实验都处于非持续进水且电解时间 30min 至 90min 不等^[7], 但在实际污水处理设备运行中污水是连续进出水, 并且生化段总停留时间在 10h 至 14h ^[8] 不等(MBBR 工艺为例); 电解除磷反应时间长, 过多占用生化段时间显然不符合实际应用要求, 所以一种反应时间短、能够连续运行的电解除磷设备有了实际研发需求。

本研究以高敏的铁电除磷为原理^[9], 在欧阳超等验证了曝气促进除磷反应的基础上^[10] 深入研究高压电解除磷; 在高压电解上有王银华等研究中高压铝电解除磷^[11], 而中高压电解除磷国内的研究还较少, 本实验的目的在于通过中高压电解除磷缩短电解反应时间, 从而使设备体积缩小, 便于集成于一体化污水处理设备, 在固定了进水水量、工艺流程、pH 值、设备连续 24 小时运行 60 天, 找到 3 种典型水质的情况下, 满足“《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB 18918-2002) 中

一级 A 总磷排放标准”(以下为国标一级 A 总磷排放标准)所需的电压, 为高压电解除磷设备产品应用化提供数据支持。

1 实验部分

1.1 实验水质

测试污水来自某办公大楼化粪池污水, 总磷 $8\sim 9\text{mg}/\text{L}$, 环境温度 $18^\circ\text{C}\sim 25^\circ\text{C}$, 每次抽 5m^3 水至调节桶, 调节桶内源水采用清水稀释总磷至 $3\text{mg}/\text{L}$ 、 $5\text{mg}/\text{L}$ 、 $7\text{mg}/\text{L}$ 不等, 以满足实验需求, 调节桶内有潜污泵, 按 $1\text{m}^3/\text{d}$ 抽至电解反应槽, 用于给实验装置提供连续、稳定的源水。

1.2 设备原理和方法

实验设备介绍: 高压电解设备为中建环能科技股份有限公司自制, 设备材质 PP 箱体, 外形尺寸为 $220*280*380$ (长*宽*高 mm), PP 箱体为长方形, 中间位置有 8 个钢板插槽, 每个插槽间距 $20\text{mm}\sim 30\text{mm}$, 通过改变钢板之间的距离可以实现反应时间在 $0\text{min}\sim 10\text{min}$ 内调整; 实验共 4 块 $5\text{mm}*250\text{mm}*150\text{mm}$ 钢板, 左右两侧钢板的主电极连接直流电源, 中间两块钢板为反应极板, 不连接电源, 主电极通 $0\text{V}\sim 150\text{V}$ 直流电源(任意可调)且电流可以换向以防止极板钝化^[12], 电流换向时间为 $30\text{s}\sim 120\text{s}$ 不等。

因电解长时间反应容易在极板上形成钝化膜^[13], 钝化膜是在电解条件下通过强阳极极化使得金属材料表面形成一层非常薄的保护层, 达到了阻碍电解的一种状态, 它的产生会影响铁离子释放, 从而影响除磷反应, 所以高压电解除磷设置有钛合金超声波装置,

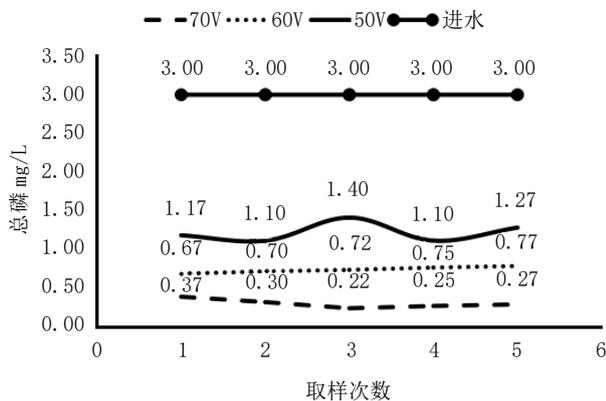


图 1 3mg/L 进水各电压除磷效果

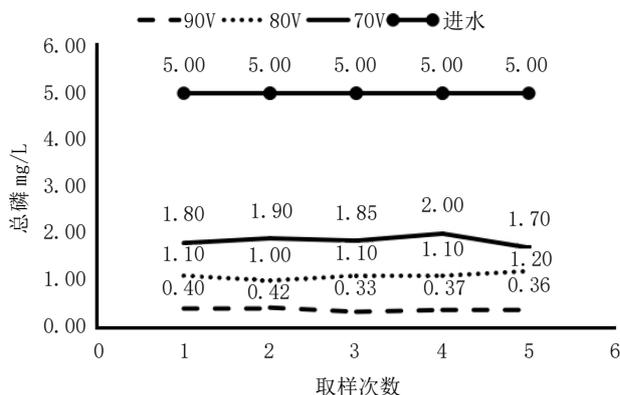


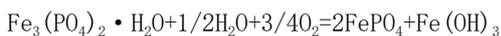
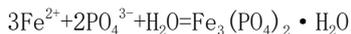
图 2 5mg/L 进水各电压除磷效果

超声波的主要目的是为钢板除钝^[14]。

实验原理：由电解法^[15]可知，在极板之间施加电场时，铁电解产生二价铁离子，与污水中的 PO_4^{3-} 反应生成稳定的磷酸铁和氢氧化铁沉淀物，通过固液分离将其去除，从而达到除磷的目的。

阳极： $Fe-2e^-=Fe^{2+}$ 阴极： $2H^++2e^-=H_2\uparrow$

除磷反应公式：



根据公式可知：电压、电流越大，释放出的铁离子越多，除磷效果越好。

高压电解除磷装置整体工艺流程为：

(1) 调节桶源水，通过潜污泵抽入电解除磷设备中，进水管设计有回水装置，可以将多余进水反回至调节桶；(2) 源水从自下而上穿过电解反应槽，经过充分经过后自流进水前置处理罐中；(3) 前置处理罐曝气 3h~5h、沉淀 3h~4h 后出水；(4) 以 5 天为一个周期换水一次，这样可以保持相同水质便于实验。

1.3 测量方法

总磷 (TP) 采用钼酸铵分光光度法测定，COD 采用重铬酸钾氧化法测定。

2 实验过程与结果讨论

2.1 除磷最佳反应时间

本项实验的目的在于测量除磷反应有效反应时间，为设备设计参数做验证工作。实验条件为：在电压 100V 下电解 5L 总磷 = 7mg/L ± 0.5 的源水，电导率为 100~200 μ s/c，pH=6~7，极板间距 25mm，隔 2min 取样 0.5L 源水，共取样 5 次；每个样品曝气 3h，沉淀 3h 后测总磷。

根据结果可知：当反应时间 0min~4min 时总磷迅速

由 7mg/L 降低至 0.45mg/L，当反应时间 4min~10min 时总磷从 0.45mg/L 下降至 0.25mg/L，由此可知，在 100V 电压下 0min~4min 除磷反应效果最佳，进一步电解反应时间可设计为 4min。

2.2 超声波除钝实验

本项实验目的在于验证超声波除钝效果，实验参数为：进水量为 1m³/d，其余参数沿用 2.1 实验参数；实验分为 2 组，A 组有超声波，超声波有效工作面积与电解槽钢板面积相同，超声波为间隙工作，每 30min 工作 3min；B 组没有超声波，设备分别运行 5 天，通过观测电流变化以及极板外观判定钝化情况。

由实验结果可知：A 组初始电流为 2.8A，实验 5 天后电流为 2.7A，极板表面钢板清晰可见，未见钝化层；B 组初始电流为 2.8A，实验 5 天后电流为 2.1A 极板电阻明显变大，若要获得 2.8A 电流需要进一步提高直流电压并且极板表面附着一层约 5mm 厚的黑色物质，钝化层清晰可见；由 A、B 组对照可知超声波对于除钝有明显效果。

2.3 进水总磷 3mg/L 最优电压

实验条件：在进水量为 1m³/d 时，进水总磷 3mg/L ± 0.5，电导率为 100~200 μ s/c，pH=6~7，电解反应时间 4min，超声波间隙运行，极板间距 25mm，电解后曝气时间为 3h，取样间隔 1 天 / 次，沉淀时间为 3h，分别取 50V、60V、70V 电压，查看各自除磷效果。

实验结果：当电压为 50V 时出水总磷在 1.1mg/L~1.28mg/L，当 60V 时出水总磷在 0.67mg/L~0.77mg/L，当 70V 时出水总磷稳定在 0.22mg/L~0.37mg/L，由于是连续进出水 pH 维持在 6~7 基本无变化，在满足国标一级 A 总磷排放标准要求下该组实验最佳电压为 70V。

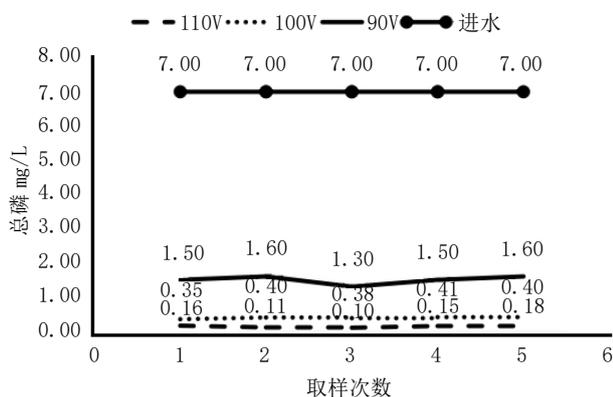


图3 7mg/L 进水各电压除磷效果

2.4 进水总磷 5mg/L 最优电压

实验条件：在进水总磷为 5mg/L \pm 0.5 时，其余参数沿用 2.3 实验参数，分别取 70V、80V、90V 电压。

实验结果：当电压为 70V 时出水总磷在 1.7mg/L~2mg/L，当 80V 时出水总磷在 1.1mg/L~1.2mg/L，当 90V 时出水总磷在 0.33mg/L~0.37mg/L，在满足国标一级 A 总磷排放标准要求下该组实验最佳电压为 90V。

2.5 进水总磷 7mg/L 最优电压

实验条件：在进水总磷 7mg/L \pm 0.5，其余参数沿用 2.3 实验参数，分别取 90V、100V、110V 电压。

实验结果：当电压为 90V 时出水总磷在 1.5mg/L~1.6mg/L，当 100V 时出水总磷在 0.35mg/L~0.41mg/L，当 110V 时出水总磷在 0.16mg/L~0.18mg/L，在满足国标一级 A 总磷排放标准要求下该组实验最佳电压为 100V。

2.6 电压对 COD 去除率

实验条件：在进水 COD 为 200mg/L~250mg/L 时，进水量为 1m³/d，电解反应时间 4min，电导率为 100~200 μ s/c，pH=6~7，电解反应时间 4min，极板间距 25mm，电解后曝气时间为 3h，取样间隔 1 天/次，沉淀时间为 3h 条件下测量 150V 电解进出水 COD。

实验结果：电解对 COD 去除率为 1.5%~3.6%。

3 结论

1. 通过以上实验可知，在 100V 电压下最佳电解反应为 4min，超声波对于极板除钝效果明显，在 150V 电压下电解反应对 COD 去除率 < 4%，消耗 COD 有限，对生化段影响可忽略不计。

2. 进水总磷分别为 3mg/L、5mg/L、7mg/L 的情况下满足国标一级 A 总磷排放标准要求，对应最佳电压分别为 70V、90V、100V；进一步可知，在提高电压，缩小电解反应时间路线可行，但在实际使用中需要注意

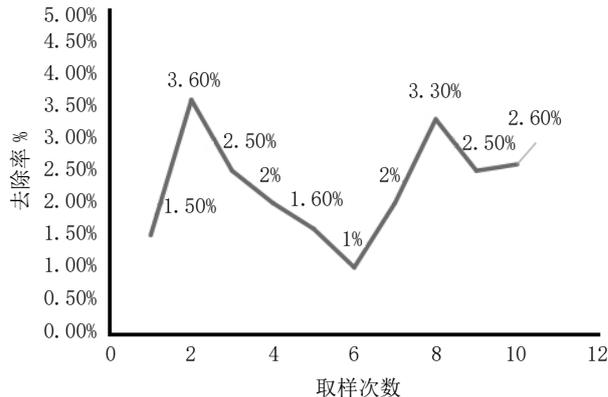


图4 电解对 COD 去除率

触电保护，可在结构上增加塑料把手、盖板、漏电保护等措施。

参考文献:

- [1] 张玮,刘玮,熊峰,等.我国农村污水治理技术与发展模式展望[J].应用化工,2022,51(05):1396-1402.
- [2] 张静,侯红勋,王淦,等.小型一体化污水处理设备工艺研究[J].工业用水与废水,2014,45(01):60-64.
- [3] Ikematsu M,Kaneda K,Takaoka D,et al.LABORATORY STUDIES ON NITROGEN AND PHOSPHORUS REMOVAL FROM SWINE WASTEWATER BY IRON ELECTROLYSIS[J].Environmental Technology,2007,28(05):521-528.
- [4] 马世豪,何星海,王凯军,等.城镇污水处理厂污染物排放标准(GB18918-2002)[Z].北京市环境保护科学研究院,2004.
- [5] 张毅昕.一体化污水处理设备的除磷工艺研究[J].清洗世界,2022,38(07):49-51.
- [6] Mollah M,Schennach R,Parga J R,et al.Electrocoagulation (EC)-science and applications[J].Journal of Hazardous Materials,2001,84(01):29-41.
- [7] 刘振江,崔玉川.城市污水厂处理设施设计计算(第三版)[M].北京:化学工业出版社,2018.
- [8] 崔明虎,孙国强,徐斌,等.电解除磷在净化槽设备中的应用研究[J].水处理技术,2017,43(06):116-119,122.
- [9] 高敏,张艺荣,赵景龙,等.双铁电极电解除磷技术初探[J].水处理技术,2014,40(06):39-42.
- [10] 欧阳超,尚晓,王欣泽,等.曝气对电解除磷的影响研究[J].环境污染与治,2009,31(07):30-33.
- [11] 王银华,杜国栋,许金强,等.中高压铝电解电容器阳极箔研究进展[J].电子元件与材料,2006,25(06):1-5.
- [12] 林辉,甘复兴,田芳.脉冲电絮凝法处理餐饮废水的研究[J].武汉大学学报(理学版),2003,49(06):720-724.
- [13] 同[9].
- [14] 王凯杰.Q235 碳钢脉冲激光除锈工艺研究[D].湖北:华中科技大学,2017.
- [15] 同[8].