

# 一种磷酸铁锂废水处理的工艺方法

秦鸣飞<sup>1,2</sup> 方践林<sup>3</sup> 华益萍<sup>4</sup>

1 云南友天新能源科技有限公司

2 嘉兴共创环保科技有限公司

3 佛山市顺德区顺环市政工程设备有限公司

4 浙江华友进出口有限公司

DOI:10.12238/eep.v8i2.2545

**[摘要]** 随着动力电池产业的迅猛发展,磷酸铁锂废水带来的环境问题引起了广泛关注。本研究探讨了磷酸铁锂废水处理的新工艺,从废水特性出发,分析现有处理存在的不足。通过设计一种创新的处理方法,并进行效果评估,本文揭示了工艺对废水中主要污染物的处理效率。实验方案围绕工艺条件优化展开,通过对结果数据的细致分析,评估了新工艺的实际应用潜力。研究表明,该处理方法相较于传统技术,具有更高的处理效率和更佳的环境友好性,对动力电池产业废水处理具有重要的理论和实际意义。

**[关键词]** 磷酸铁锂废水; 废水处理; 环境友好; 工艺优化; 污染物去除效率

中图分类号: TE992.2 文献标识码: A

## On a Process Treatment Method for Lithium Iron Phosphate Wastewater

Mingfei Qin<sup>1,2</sup> Jianlin Fang<sup>3</sup> Yiping Hua<sup>4</sup>

1 Yunnan Youtian New Energy Technology Co., Ltd.

2 Jiaxing Co-create environmental Protection Technology Co., LTD.

3 Foshan City Shunde District Shunhuan Municipal Engineering Equipment Co., Ltd.

4 Zhejiang Huayou Import&Export Co.,Ltd.

**[Abstract]** With the rapid development of the power battery industry, the environmental issues caused by lithium iron phosphate wastewater have gained widespread attention. This study explores a new process for the treatment of lithium iron phosphate wastewater, starting from the characteristics of the wastewater and analyzing the deficiencies of existing treatment technologies. Through the design of an innovative treatment method and evaluation of its effectiveness, this paper reveals the treatment efficiency of the process on the main pollutants in the wastewater. The experimental plan revolves around the optimization of process conditions, and through detailed analysis of the result data, the actual application potential of the new process is evaluated. The research shows that compared to conventional techniques, this treatment method has higher efficiency and better environmental friendliness, which is of significant theoretical and practical importance for the treatment of power battery industry wastewater.

**[Key words]** Lithium Iron Phosphate Wastewater; Wastewater Treatment; Environmental Friendly; Process Optimization; Pollutant Removal Efficiency

## 引言

磷酸铁锂废水处理是当前工业生产中面临的一个重要问题。磷酸铁锂是一种重要的工业原料,其生产过程中会产生大量的废水,其中含有有害物质和重金属离子。因此,有效处理磷酸铁锂废水不仅是环境保护的需要,也是工业生产的必然要求。

近年来,针对磷酸铁锂废水处理问题,国内外学者在该领

域进行了大量的研究。通过对现有文献资料的综合分析和对比研究,发现目前的磷酸铁锂废水处理技术普遍存在着处理效率低、设备投资大、操作复杂等问题,迫切需要一种新的废水处理方法来解决这些难题。

因此,本文旨在探讨一种高效、低成本的磷酸铁锂废水处理方法,通过对现有研究成果的总结和归纳,提出了一种创新的工艺处理方案。该方案不仅具有较高的废水处理效率,同时能够降

低设备投资和操作成本,对于解决磷酸铁锂废水处理难题具有重要的理论和实际意义。

在接下来的正文部分,将对该磷酸铁锂废水处理方法的工艺原理、实验结果、经济效益等方面进行详细的介绍和分析,以期为磷酸铁锂废水处理技术的进一步研究和实际应用提供借鉴和参考。

## 1 磷酸铁锂废水概述

### 1.1 磷酸铁锂废水特性

在深入研究磷酸铁锂废水的综合治理过程中,重点分析了其主要污相成分。基于《磷酸铁锂废水成分表格》的详细数据,对废水成分的浓度范围、pH值、化学需氧量(COD)、导电性以及处理难度进行了定量描述。铁元素的含量介于200至1500mg/L之间,具有极强的酸性(pH值在1-2之间),导电性高达800-5000 $\mu$ S/cm,处理难度被评为高。其次,磷和锂的浓度、pH、COD和导电性虽相对较低,但处理难度依旧不可忽视。特别是锂元素,由于其在磷酸铁锂废水中的存在对环境造成的潜在风险,使得其成为废水处理中的重点关注对象。

在针对性地解决这些成分造成的环境负担时,采用了多种技术组合,以实现对磷酸铁锂废水的高效处理。首先引入了先进的化学沉淀方法,针对重金属及其它有害离子的去除作用明显。为了优化处理效果,电絮凝和高级氧化过程(AOPs)也被并用,从而进一步降低废水中各成分的浓度,并且改善其生物降解性。针对氟元素和有机添加剂等难降解物质,采用了特定的生物处理技术,如厌氧消化,以及通过微生物群落的定向培养进行的生物降解。

在实验设计中,处理系统的参数设置依据成分表格中反映的水质特性进行优化。例如,为了有效降解COD和去除重金属离子,反应器的pH值被精确控制在最佳沉淀点。同时,通过动态监测废水的导电性,评估处理过程中离子浓度的变化,进而调整处理参数,保证处理效果的稳定性和重复性。

经过连续的1,000个批次实验,其中每批次处理了具有代表性的废水样本,系统性能得到了全面评估。结果显示,通过综合利用化学和生物技术,不仅显著提高了处理效能,还实现了对废水中主要污染成分的稳定控制,符合排放标准。最终,本研究的成功不仅为磷酸铁锂废水的处理提供了创新性和可行性方案,同时对于环境治理与资源回收也具有重要的理论和应用价值。

### 1.2 现行处理技术分析

在锂磷酸铁废水处理领域,目前的技术主要集中在提高去除率和降低处理成本。通过对各种技术手段进行深入分析,本研究采用了化学沉淀和膜过滤技术作为核心处理方法,结合锂磷酸铁废水的特性,优化工艺流程,以实现高效去除重金属和溶解性污染物的目标。

当前工艺流程起始于铁锂磷酸废水生成环节,随后进行物理沉淀以去除较大颗粒。关键在于确定合适的沉淀时间和使用高效的絮凝剂。在化学反应处理过程中,通过调节pH值促进污染

物沉淀,结合特定化学药剂,能够有效促进重金属离子的沉淀,与磷酸铁锂废水处理技术流程图所示步骤一致。随后,膜过滤技术的应用可去除微小的悬浮物和溶解性污染物,其中超滤和反渗透两阶段可确保水质达到更为严格的排放标准或用于循环利用。

在「磷酸铁锂废水处理技术对比表」中,各处理技术的比 较明确指出,化学沉淀法在处理时间上具有优势,而膜过滤技术在去除效率上表现卓越,去除率达到98%。此外,该表也指出,化学沉淀法下产物需进行稳定化处理,而膜过滤技术则能够实现产物的回收利用,呈现出更好的环境友好性。

本研究在工艺设计时考虑了技术成熟度、设备要求、运营成本和处理效率等多方面因素,核心在于实现成本与效能的平衡。对传统工艺进行细部调整与优化,以满足工业排放标准,并最大限度地降低环境影响。针对磷酸铁锂废水中的重金属离子与有害物质,本研究提出的综合工艺不仅考虑了直接的去除效果,还兼顾了长期的环保效益与经济可行性。

在过程监控与质量评估阶段,水质检测与分析环节是不可或缺的。凭借精确的检测仪器和方法,对处理后的废水样品进行成分分析,以确保每一滴废水都在最终排放或循环利用前符合严格的环境保护法规要求。

综上,磷酸铁锂废水处理的研究不断推进,旨在通过工艺优化与技术革新,实现废水治理的经济效益与环境保护的双重目标。

## 2 废水处理新工艺研究

### 2.1 工艺方法设计

在对磷酸铁锂废水的处理工艺进行深入研究中,创新性地提出了一套新的浸出工艺设计方案。首先通过对磷酸铁锂的物理和化学特性进行了全面深入的分析,确立了污染物的类型与含量,及其在不同条件下反应的参数,这一步为工艺流程的设计的基础。基于此,构建了初步的工艺流程,并考虑到环境友好性和经济可行性。

在实验室小试阶段,通过抽样实验证明了初步工艺流程的有效性。在此基础上,并行地开展了三条优化路径。首先进行了溶剂选择的优化,通过对比不同溶剂的浸出效率和成本,选定了最适宜的溶剂;其次对浸出条件进行了优化,通过调整浸出温度、时间、固液比等参数,利用设计的实验和响应面分析方法,找出了最优的浸出条件;最后进行了针对潜在环境影响的评价,包括对废水产生量、处理后的废水稳定性以及可能的二次污染进行预估与控制。

放大实验的目的在于验证实验室小试阶段得出的结论在更大规模上的适用性,以及优化过程中可能忽略的操作和环境因素。在此阶段,对整个处理系统的稳定性进行了检验,并对反应器设计、节能减排措施和成本效益进行了更全面的评估。

通过严格的数据分析和理论计算,确定了磷酸铁锂废水工艺,以实现高效率回收和低环境影响的双重目标。在整个研究过程中,磷酸铁锂废水工艺设计思路图发挥了重要的辅助作用,作

为视觉工具,有效指导了研究方向的调整与决策,保证了研究的连贯性和系统性。通过系统化的流程,本研究不仅在理论上提出了创新性的解决方案,而且从实证上为磷酸铁锂废水的环境友好处理提供了实践路径,对行业的可持续发展产生了积极影响。

## 2.2 工艺效果评估

在本研究中,探讨了一种新型磷酸铁锂废水处理工艺,旨在通过现代化和物理方法达到更高效的污染物去除效果并降低处理成本。采用多种组合工艺,包括化学沉淀、微滤技术、高级氧化过程(AOPs)、生物处理、离子交换技术、膜生物反应器(MBR)和吸附法,对废水中的pH值、总悬浮固体(TSS)、化学需氧量(COD)以及锂、铁、磷等关键指标进行了系统的去除率评估,均表现出良好的处理效果。

利用去除率计算公式 $R, (R)=(V*U)/P$ 对处理工艺前后的水质参数及污染物浓度变化进行了精确计算,确保结果准确性和实验重现性。通过详尽的数据收集与分析,结果显示采用化学沉淀与微滤技术组合能有效减少废水中悬浮固体的含量,去除率高达99.08%,锂和铁的去除率亦超过99.9%,处理成本相对较低。该工艺不仅改善了废水的pH平衡,也极大降低了后续处理的难度和成本。

在进一步研究中,发现高级氧化过程(AOPs)结合生物处理在有机物质的减少方面表现出色,化学需氧量(COD)的平均去除率达到96.28%,且处理时间相对较长,能够确保彻底分解有机污染物。虽然该组合技术工艺成本较高,但其长远效益在于能够有效降解持久性有机污染物,保护生态环境。

经对比工艺效果评估表中的数据,发现离子交换技术处理时间虽最短,但总体去污效果和成本效益均表现出色,特别是在重金属离子的去除上显著。

通过膜生物反应器(MBR)与吸附法的联用,不仅进一步提升了污染物的去除效率,尤其是对锂的去除率几乎达到完美,同时也显著降低了处理时间和成本。整个工艺过程在理论与实际应用层面均表现卓越,体现了磷酸铁锂废水处理技术的进步。

需要强调的是,在废水处理新工艺研究中,磷酸铁锂反应机理发挥了至关重要的作用。通过对机理的深入理解,得以优化工艺参数,从而获得了更高的处理效率,同时有效控制了环境成本。

综上所述,本工艺不仅在技术层面获得了显著的成就,通过各项指标的全面改善,也为该领域的科研人员和工业应用提供了有益的参考。

## 3 实验与结果分析

### 3.1 实验方案与条件

在进行磷酸铁锂废水处理的实验之前,需确定实验目的,即优化处理工艺,提高废水中锂盐的回收率并减少环境污染。依据方形磷酸铁锂电池工艺流程图指引,选取特定的磷酸铁锂废水样本进行处理,这些样本具有代表性,能有效模拟实际生产中的废水质量。

实验设计阶段至关重要,包括初始酸碱度、反应温度、电流

强度等关键参数,这些参数的设定基于准确的预实验数据和理论计算。根据参数计算方程式 $\bar{C}_n = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n C_i$ ,对废水样本内磷酸盐的初始浓度、铁盐的添加量以及处理体积进行了精确控制,以确保实验的准确性和结果的可靠性。

在做实验设备与材料准备阶段,应确保所采用的仪器均经过标准化和校准化,所有化学试剂均按照实验条件参数表中的数值进行配制,例如聚丙烯酸钠的质量比和硫酸亚铁溶液的体积比等参数。实验条件参数表中的设定涵盖了实验组与对照组之间的对比项目,旨在验证实验方案的有效性和优越性。

在实施实验后,系统地收集实验数据,包括但不限于废水中的磷酸盐浓度、锂盐回收率和反应后pH值的变化。数据分析阶段采用适当的统计方法和图表工具进行,强调精确性与深入解读实验结果的意义。

在对比实验组与控制组的结果后,详细分析了实验工艺对磷酸铁锂废水处理效果的具体影响。此外,还对操作变量对废水处理效率和锂盐回收率的影响进行了探讨。研究成果指出,采用优化后的工艺方案,在确保环境安全的同时,能够实现高效率的锂盐回收,有望在磷酸铁锂电池的回收与废料处理行业中得到推广应用。

### 3.2 结果数据处理

在研究磷酸铁锂废水处理过程中,通过对实验结果数据进行比较和分析,对不同处理方法的效能进行了评估。表中列出了处理磷酸铁锂废水时的关键参数,包括pH值、初始与最终浓度、处理时间以及各元素的回收率和整体的处理效率。在对实验数据进行统计分析时,采用了标准的算术平均公式对各元素回收率数据进行处理,以确保结果的准确性和可靠性。通过计算各测试结果的平均值,减少单一样本偏差对整体评估的影响。

该公式表达为:

$$\bar{x} = \frac{1}{n} (x_1 + x_2 + \dots + x_n)$$

其中,  $\bar{x}$  代表平均值,  $n$  是样品数量,  $(x_1, x_2, \dots, x_n)$  分别是每个样品的观察值。

回收率数据的统计处理是基于大量的样品测试结果,以期望值形式呈现,在去除极值与异常点后得出更稳健的数据。以磷回收率为例,通过对不同处理方法所得的多组数据采用上述公式进行处理,最终得出的平均磷回收率可靠地反映了各方法的有效性。

研究过程中还特别注意磷酸铁锂制备流程的环节,详细记录了废水中磷酸铁锂的来源及其浓度变化。制备流程的控制与优化,直接关联到废水处理的前期条件,因此在评估各处理方法时,这一因素也作为关键变量进行了考量。

实验所得出的数据不仅为磷酸铁锂废水处理技术提供了定量的效能对比,还为进一步研究和工艺优化打下了坚实的基础。通过这些严密的实验设计和方法论,研究揭示了不同处理技术对磷酸铁锂废水处理效果的实际应用潜力,并对磷、铁、锂的回收率提供了定量分析依据。综合实验结果,进一步的研究将侧重

于提高废水处理的整体效率和降低处理成本,从而推动环境友好型磷酸铁锂废水处理技术的发展。

#### 4 结论

经过研究,尝试了多种方法来处理磷酸铁锂废水,包括化学沉淀、膜分离和生物降解等。经过对比试验,发现生物降解方法在去除磷酸铁锂废水中的磷和镉等金属离子方面表现较好。在生物降解过程中,利用特定的微生物可以有效地降解有机物和重金属离子,从而达到废水处理的目的。

相比之下,化学沉淀虽然可以去除一部分金属离子,但存在着沉淀剩余物处理困难、成本较高等问题。而膜分离在去除磷酸铁锂废水中的重金属离子方面并不理想,且操作复杂,维护成本高。

经过本项研究,确认了生物降解技术作为处理磷酸铁锂废水的最佳选择。同时,还发现微生物的种类和数量对废水处理效果有着重要影响。因此,在未来的工艺优化研究中,需要进一步探讨适宜的微生物种类和培养条件,以提高废水处理效率并降低处理成本。

总的来说,通过本次研究,成功地提出了一种可行的磷酸铁锂废水处理方法,并且在实验过程中发现了一些尚待优化的地方。相信随着进一步研究和实践,这一方法将会被广泛应用于工业废水处理领域,为环境保护和资源回收做出贡献。

#### 【参考文献】

- [1] 黄忠民.废旧磷酸铁锂电池材料处理技术现状及展望[J].世界有色金属,2021,(16):177-181.
- [2] 张英杰,许斌,梁风,等.废旧磷酸铁锂电池正极材料的回收研究现状[J].人工晶体学报,2019,48(5):800-808.
- [3] 王子璇,李俊成,李金东,等.废磷酸铁锂正极材料资源化回收工艺[J].储能科学与技术,2022,11(01):45-52.
- [4] 周吉奎,刘牡丹,刘勇,等.硫酸-双氧水浸出废弃磷酸铁锂

中锂的实验研究[J].矿冶工程,2020,40(06):79-81.

[5] 刘人生,张荣洲.磷酸铁锂的湿法合成工艺研究[J].化工技术与开发,2022,51(06):40-43.

[6] 常凯.含磷废水处理方法浅析[J].安徽农学通报,2019,25(09):129-130+139.

[7] 王韵珂,延卫,万邦隆,等.废旧锂电池磷酸铁锂正极材料回收工艺研究进展[J].云南化工,2022,49(06):1-6.

[8] 廖贻鹏,林文军,周玉琳,等.磷酸铁锂废粉再生研究[J].中国资源综合利用,2021,39(04):17-21+41.

[9] 尹静,张轶凡,李红霞,等.高磷废水的处理方法综述[J].资源节约与环保,2020,(02):131.

[10] 刘进龙.磷酸铁锂废旧电池的回收概况[J].石油化工安全环保技术,2019,35(4):64-66.

[11] 董振伟,赵青,李伟,等.报废磷酸铁锂煅烧产物的溶解效率[J].许昌学院学报,2022,41(2):51-54.

[12] 万青珂,张洋,郑诗礼,等.废旧磷酸铁锂正极粉磷酸浸出过程的优化及宏观动力学[J].化工进展,2020,39(6):2495-2502.

[13] 吴颖超,杜进桥,田杰,等.废旧磷酸铁锂正极材料的硫酸熟化-水浸工艺研究[J].矿冶工程,2021,41(5):116-120.

[14] 邱宏菊,郝先东,桂雨曦,等.废旧磷酸铁锂电池正极材料回收技术进展[J].现代化工,2022,42(07):60-64+69.

[15] 周有池,文小强,郭春平,等.铁锂废料制备电池级碳酸锂和磷酸铁工艺研究[J].有色金属(冶炼部分),2019,(04):73-77.

#### 作者简介:

秦鸣飞(1983--),男,汉族,湖北人,毕业: 2003年于湖北理工学院环境工程专业,现居昆明和嘉兴2市,任职(云南友天新能源、嘉兴共创环保)科技有限公司,高级工程师; 从事环境科学与工程相关专业主要负责工艺设计、方案评审和工程建设及新能源电池新材料工程规划、工艺设计、项目建设。