

# 太阳能光伏含氟废水深度处理

吴昭东

安徽省通源环境节能股份有限公司, 安徽 合肥 230022

**[摘要]** 太阳能光伏电池生产过程中的废水含氟是一个环境污染问题。针对太阳能光伏电池行业产生的含氟废水, 应进行深度处理以确保排放符合相关法规标准。通过物理或化学方法将含氟废水中的固体和液体部分进行分离, 以减少处理过程中的复杂性。将废水中的氟离子与适当的除氟剂、中和剂反应, 使其转化为无毒无害的化合物。常用的中和剂包括石灰、氢氧化钠等。利用沉淀、吸附、离子交换、膜分离等分离技术, 将废水中的氟离子、溶解物质等分离出来, 从而获得清洁水。文章主要采用化学沉淀耦合专用除氟药剂除氟工艺进行除氟。文中重点阐述了该工艺选择、标准、结果。

**[关键词]** 太阳能光伏; 含氟废水; 废水处理; 水处理工艺

DOI: 10.33142/ec.v7i1.10837

中图分类号: X781

文献标识码: A

## Advanced Treatment of Fluorine-containing Wastewater Using Solar Photovoltaic Technology

WU Zhaodong

Anhui Tongyuan Environmental Energy Conservation Co., Ltd., Hefei, Anhui, 230022, China

**Abstract:** Fluorine in wastewater generated during the production process of solar photovoltaic cells is an environmental pollution problem. For the fluorine-containing wastewater generated in the solar photovoltaic cell industry, deep treatment should be carried out to ensure that the discharge meets relevant regulatory standards. The solid and liquid parts of the fluorine-containing wastewater should be separated by physical or chemical methods to reduce the complexity of the treatment process. React fluoride ions in wastewater with appropriate defluorinators and neutralizers to convert them into non-toxic and harmless compounds. Common neutralizing agents include lime, sodium hydroxide, etc. By using separation techniques such as precipitation, adsorption, ion exchange, and membrane separation, fluoride ions and dissolved substances in wastewater are separated to obtain clean water. The article mainly uses chemical precipitation coupled with specialized defluorination agents for defluorination process. The article focuses on the process selection, standards, and results.

**Keywords:** solar photovoltaic; fluorine-containing wastewater; wastewater treatment; water treatment process

太阳能光伏电池生产过程中会产生含氟废水, 其中的氟化物可能对环境造成污染。通过深度处理, 可以有效去除废水中的氟化物和其他有害物质, 减少对水环境的负面影响。水是宝贵的资源, 需要合理使用和保护。深度处理太阳能光伏含氟废水可以减少废水排放量和对水资源的消耗, 实现可持续发展。根据环境保护法律法规要求, 太阳能光伏企业需要对含氟废水进行合规处理。深度处理废水可以确保企业符合相关法规, 遵守环保要求。深度处理太阳能光伏含氟废水可以提高处理效率和水质达标率, 确保生产出符合质量要求的太阳能光伏产品。同时, 具备环保认证的产品可以提升企业形象和竞争力。然而, 当前太阳能光伏含氟废水深度处理存在一些不足之处: 深度处理技术在某些方面仍然不够成熟和完善, 特别是针对含氟废水的处理方法需要进一步研发和改进; 目前一些深度处理技术需要更高的投资和运营成本, 这对于一些中小型太阳能光伏企业可能是一个挑战。缺乏统一的标准和规范, 使得太阳能光伏含氟废水的深度处理在不同地区和企业之间存在差异, 难以监管和评估。基于此, 本文阐述了化学沉淀耦合专用除氟药剂除氟工艺进行除氟, 以期望为相关

从业者提供参考价值。

### 1 太阳能光伏含氟废水深度处理技术发展背景

在全球常规能源逐步走向枯竭、环保呼声日渐高涨的背景下, 开发利用清洁能源和可再生能源是人类社会必然的选择, 这已成为全球能源界的共识。大力发展可再生能源已成为全球能源转型和应对气候变化的重大战略方向和一项宏大行动。目前, 光伏产业已经成为我国少数具有国际竞争优势的战略性新兴产业之一。

随着光伏行业技术的进步, 光伏发电成本呈下降趋势, 光伏行业市场规模持续扩大。数据显示, 2022 年全球新增光伏装机规模为 230GW, 同比增长率高达 35.30%, 截至 2022 年末全球累计光伏装机规模达到 1156GW。预计 2023 年全球新增光伏装机容量将达 300GW。

太阳能光伏含氟废水深度处理技术的发展旨在更有效地去除废水中的氟化物和其他有害物质, 以确保废水安全排放或回收再利用<sup>[1]</sup>。以下是一些当前和未来可能用于太阳能光伏含氟废水深度处理的技术:

离子交换: 离子交换技术是常见的废水处理方法之一。通过选择性吸附和交换, 离子交换树脂可以去除废水中的

氟离子，并使其质量符合环境排放标准。

膜分离：膜分离技术包括反渗透、纳滤和超滤等。这些技术可以根据溶质的大小和荷电性，通过半透膜将含氟废水中的氟化物和其他杂质分离出来，从而实现废水的净化。

化学沉淀：化学沉淀是通过添加化学药剂使废水中的目标污染物形成沉淀，然后通过固液分离将沉淀物与水体分离。例如，氢氧化钙、氢氧化钠等常用于沉淀氟化物和其他重金属离子。

电化学处理：电化学处理利用电流和电极来去除废水中的有害物质。氟离子可以通过电解法在特定电极上析出或吸附，从而将氟化物从废水中去除。

生物处理：利用生物反应器或生物膜来降解或转化废水中的有机物和无机物质。该技术目前尚处于研究和开发阶段，但被认为具有潜力用于废水处理。

## 2 含氟废水来源及进出水要求

### 2.1 废水来源

太阳能光伏产业中的含氟废水主要来源于光伏电池生产过程中的清洗和蚀刻工序，以及废水处理系统的排放。在这些工序中使用大量的氢氟酸等化学物质会导致废水含有氟化物及其他有机和无机污染物<sup>[2]</sup>。光伏企业需处理排水主要为制绒、蚀刻、包装等车间所排的废水及设备、管道、材料等洗涤水、地面冲洗水以及生产冷却废水等。由于晶体硅太阳能电池板生产过程中大量使用氢氟酸、盐酸、碱、液氨等化学品，从而产生高浓度含氟含氮生产废水，该废水中的有机污染物主要以聚乙二醇为主，附带含有胺碱、渗透剂、醇醚活性剂等，其有机物主要为长链大分子、环状的有机污染物。某经开区污水处理厂主要接纳上游光伏企业排水，其中特征污染物指标氟是以氟离子 F<sup>-1</sup> 形态存在，氟化物质量浓度 6~8mg / L 左右。

### 2.2 废水进出水水质

本项目设计进出水水质详见表 1。

表 1 废水进出水水质

指标	SS	氟化物	pH
进水指标	≤140	≤8	6~9
出水指标	≤10	≤1.5	6~9

对于太阳能光伏含氟废水的进、出水水质要求，具体要求可以根据不同的法规和标准、地区的环保要求进行调整。以下是一些要求：

(1) 氟离子限制：由于含氟废水的主要成分为氟化物，因此氟离子含量是进水和出水要求中的重要参数。法规或标准可能针对溶液中的氟离子含量设定特定的限值。

(2) pH 值控制：废水的 pH 值也是一个重要的控制参数。过高或过低的 pH 值都可能对环境产生负面影响，因此在进出水要求中可能包括对废水 pH 值的控制范围。

(3) 其他污染物限制：除了氟离子，废水中可能还存在其他有机或无机污染物。进出水要求可能还包括对这

些污染物的限制或监管要求，如重金属、有机溶剂等。

(4) 排放标准：针对太阳能光伏产业的含氟废水排放，可能存在特定的排放标准。这包括控制废水的排放浓度、总量和排放方式等方面的要求。

## 3 含氟废水深度处理工艺

### 3.1 处理工艺选择

对氟化物要求比较高的地区或流域，基本上普遍要求出水氟化物小于 1.5mg/L，个别地区要求 1.0mg/L 以下，而电池行业或者化工行业的排放要求，基本上在 8~10mg/L 左右。因此对含氟废水深度处理来说，就存在将氟从 8~10mg/L 处理至 1.5mg/L 以下的深度除氟需求。

目前深度除氟主要有：氟吸附滤池、专用除氟树脂、化学沉淀耦合专用除氟药剂除氟。其中吸附滤池主要用在给水除氟领域；除氟树脂投资高，需要消耗大量的酸碱，运行管理复杂，树脂使用寿命也比较短，但其处理出水含氟可以稳定在 1.0mg/L 以下；化学沉淀耦合专用除氟药剂除氟投资低，运行费用低、操作管理简单。综上所述，本项目采用化学沉淀耦合专用除氟药剂除氟工艺进行除氟。

### 3.2 废水处理工艺流程

废水处理工艺流程见图 1。

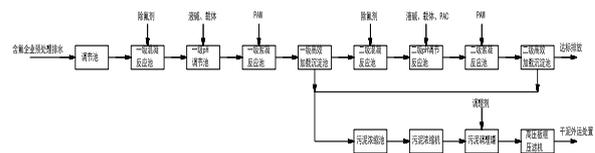


图 1 废水处理流程框图

化学沉淀耦合专用除氟药剂的除氟工艺程序一般包括以下步骤：

(1) 原水处理：将含氟废水进行预处理，如调节 pH 值、去除悬浮物或沉淀物等，以提高后续除氟工艺的效果。

(2) 药剂投加：将专用除氟药剂添加到废水中。这些除氟药剂通常是针对氟离子具有高度选择性吸附和沉淀能力的化学物质，能够与氟离子形成沉淀物。

(3) 搅拌和反应：通过搅拌或混合作用，使药剂充分与废水中的氟离子接触，并发生反应。在此过程中，药剂与氟离子结合生成不溶性沉淀物。

(4) 沉淀和分离：经过反应后，废水中的氟离子会与药剂形成沉淀物。通过重力沉淀或其他分离技术，将沉淀物与废水分离。

(5) 除渣处理：将分离的沉淀物进行适当处理，如固液分离、沉淀物的固化等，以便进行安全处置或资源回收。

(6) 二次处理：为了确保废水达到排放标准，可以进行二次处理。这可能包括进一步的净化、调节 pH 值或其他必要的处理步骤。

## 4 工艺参数及处理效果

### 4.1 工艺运行参数

(1) 调节池：设计处理能力 708.4m<sup>3</sup>/h，水停留时间

4h; (2) 一级混凝反应池: 设计处理能力 708.4m<sup>3</sup>/h, 停留时间 7.5min, 快速混合池速度梯度 318S; (3) 一级 pH 调节池: 设计处理能力 708.4m<sup>3</sup>/h, 停留时间 7.5min, 快速混合池速度梯度 318S; (4) 一级絮凝反应池: 设计处理能力 708.4m<sup>3</sup>/h, 停留时间 18min, 快速混合池速度梯度 174S; (5) 二级高效沉淀池: 设计处理能力 708.4m<sup>3</sup>/h, 斜板区上升流速 7.4m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>·h; (6) 二级混凝反应池: 设计处理能力 708.4m<sup>3</sup>/h, 停留时间 3.5min, 快速混合池速度梯度 433S; (7) 二级 pH 调节反应池: 设计处理能力 708.4m<sup>3</sup>/h, 停留时间 3.5min, 快速混合池速度梯度 433S; (8) 二级絮凝反应池: 设计处理能力 708.4m<sup>3</sup>/h, 停留时间 22min, 快速混合池速度梯度 197S; (9) 二级高效沉淀池: 设计处理能力 708.4m<sup>3</sup>/h, 斜板区上升流速 7.4m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>·h。

#### 4.2 处理效果

化学沉淀耦合专用除氟药剂的除氟处理效果可以根据具体使用的药剂和操作条件而有所差异。一般来说, 这种除氟工艺可以有效地去除废水中的氟离子, 达到降低氟离子浓度的目的。除氟药剂通常具有高度选择性吸附和沉淀能力, 可以与废水中的氟离子发生反应, 并形成不溶性沉淀物。通过这种化学反应和沉淀的过程, 废水中的氟离子就能够被转化为固体形式, 从而实现除氟的效果。然而, 除氟处理效果受到多种因素的影响, 包括药剂选择、药剂投加量、pH 值、搅拌时间和反应温度等<sup>[3]</sup>。这些参数的优化和调整对于实现最佳的除氟处理效果是非常重要的。同时, 除氟工艺并不总是能够去除所有的氟离子。在一些情况下, 特别是当废水中存在其他复杂的离子或污染物时, 除氟工艺的效果可能会受到限制。因此, 在具体应用中需要对废水的特性进行充分的分析和评估, 以确定合适的除氟工艺和药剂。最终, 对于化学沉淀耦合专用除氟药剂的除氟处理效果评估需要进行实际的试验和监测。通过对废水的采样和分析, 可以确定处理前后的氟离子浓度, 从而评估除氟工艺的效果是否符合预期的要求。同时, 持续的监测和调整可以确保除氟工艺的稳定性 and 持续性。各单元处理效果详见表 2。

表 2 各单元处理效果 单位 mg/L pH 除外

项目	SS	氟化物	pH
调节池	进水	100~140	6~8
	出水	120	7
	去除率	—	—
一级高效加载沉淀池	进水	120	7
	出水	18	1.4
	去除率	85%	80%
二级高效加载沉淀池	进水	18	1.4
	出水	9	1.12
	去除率	50%	20%

从表 2 可以看出, 进水水质有一定波动, 但经化学沉淀耦合专用除氟药剂除氟工艺处理后, 氟化物去除率为 84%, SS 的去除率为 92.5%。出水水质达到《地表水环境质量标准》(GB3838-2002) 中 IV 类水标准。

#### 5 除氟工艺未来发展

研发更高效、更经济、更环保的除氟药剂, 以提高除氟工艺的效率和成本效益。这包括针对不同水质特性的定制化药剂, 以及探索新的吸附剂或沉淀剂。通过优化工艺参数、增加反应设备和提高混合效果等措施, 进一步提高除氟工艺的效果和稳定性<sup>[4]</sup>。同时, 结合智能化技术和自动控制系统, 实现工艺的在线监测和调节。改进沉淀物的固液分离过程, 包括采用新型高效过滤器、离心机或膜分离技术, 提高分离效率和废水处理的稳定性。将除氟工艺中产生的沉淀物进行资源化利用, 例如通过固体废弃物的再加工或转化, 将其转化为可回收的材料或能源。探索更加环保和可持续的化学沉淀除氟工艺, 减少对环境的影响。这包括采用低毒、低副产物的药剂, 减少废水排放量, 以及更好地处理废液和固体废弃物。

总的来说, 未来发展的目标是将化学沉淀耦合专用除氟药剂的除氟技术更加高效、经济和环保, 并与其他废水处理技术进行有机结合, 实现废水处理的整体优化和资源回收利用。这将有助于应对水资源短缺和环境污染等挑战, 推动废水处理行业的可持续发展。

#### 6 结论

应用化学沉淀耦合专用除氟药剂除氟工艺处理含氟化物 6~8mg/L 左右、pH 值为 6~9 的废水, 出水水质达到国家排放标准。采用该工艺处理含氟废水, 具有投资少、操作简便、处理效率高等特点, 对于降低水环境中氟化物含量, 具有良好的经济效益和环境效益。

#### [参考文献]

- [1] 蒋捷, 沈艳, 廖晓斌, 等. 太阳能光伏企业含氟废水中氟硅酸含量的测定[J]. 江西化工, 2022, 38(4): 56-58.
  - [2] 吴永. 硅太阳能电池板生产废水处理工艺设计[J]. 工业水处理, 2021, 41(11): 138-142.
  - [3] 张钰卿, 刘佳, 许兵, 等. 含氟废水处理中的除氟吸附技术研究进展[J]. 净水技术, 2022, 41(5): 23-29.
  - [4] 雷晓明. 化学沉淀+吸附除氟组合工艺的模拟及优化[D]. 北京: 北京化工大学, 2022.
- 作者简介: 吴昭东 (1983.11-), 男, 毕业于安徽建筑大学; 环境工程专业, 当前就职于安徽省通源环境节能股份有限公司, 技术工程师。