

# 全不锈钢吸泥机在高腐蚀性废水处理中的耐久性研究

金锡平

金剑环保集团有限公司 浙江温州 325000

**【摘要】**全不锈钢吸泥机因结构强度、抗污性和易维护性好，广泛用于化工、冶金等行业的高腐蚀性废水处理工程，其耐久性影响废水处理系统的运行能力、效率和成本。高腐蚀性废水含有的介质易导致不锈钢构件出现腐蚀失效等问题，制约吸泥机长期稳定运行。本文基于多学科理论，以理论分析和逻辑推演剖析吸泥机在高腐蚀性废水环境下的腐蚀机理和耐久性影响因素，探讨提升耐久性的机制，构建四维耐久性保障体系。研究表明，合理选型、设计、处理及管理可抑制腐蚀风险、延长使用寿命。本文为吸泥机优化应用提供理论支撑，也为同类设备研发与应用提供参考。

**【关键词】**全不锈钢吸泥机；高腐蚀性废水；耐久性；腐蚀机理；防护策略

Durability Study of All-Stainless Steel Sludge Absorbers in High-Corrosive Wastewater Treatment

Jin Jinping

Jinjian Environmental Protection Group Co., Ltd., Wenzhou, Zhejiang 325000

**【Abstract】**All-stainless steel sludge absorbers, renowned for their structural strength, anti-fouling properties, and ease of maintenance, are extensively utilized in high-corrosive wastewater treatment projects across industries such as chemical and metallurgical sectors. Their durability critically impacts the operational capacity, efficiency, and cost-effectiveness of wastewater treatment systems. The corrosive media present in high-corrosive wastewater often lead to corrosion failure in stainless steel components, thereby compromising the long-term stable operation of sludge absorbers. This study employs multidisciplinary theories to analyze the corrosion mechanisms and durability influencing factors of sludge absorbers in high-corrosive environments through theoretical analysis and logical deduction. It explores mechanisms to enhance durability and establishes a four-dimensional durability assurance system. The research demonstrates that rational selection, design, treatment, and management can effectively mitigate corrosion risks and prolong service life. This work provides theoretical support for optimizing sludge absorber applications and offers valuable references for the development and implementation of similar equipment.

**【Key words】**all-stainless steel sludge suction machine; highly corrosive wastewater; durability; corrosion mechanism; protective strategy

## 一、引言

化工等行业产生的高腐蚀性废水对废水处理设备耐腐蚀性能要求严苛。吸泥机是废水处理沉淀环节的核心机电设备，负责清除沉淀池底部污泥，其运行稳定性影响废水处理效果和系统连续运行能力。全不锈钢材质因良好的耐腐蚀等性能，成为高腐蚀性废水处理吸泥机主流选择。

然而，在复杂工况下，全不锈钢吸泥机仍有耐久性问题。不锈钢构件易出现点蚀等失效形式，导致厚度减薄等，严重时引发设备故障甚至报废，增加成本、造成环保风险和经济损失。

当前，全不锈钢吸泥机研究多聚焦结构优化和运行效率提升，对高腐蚀性废水环境下的耐久性设计与防护技术研究不足。现有研究局限于单一腐蚀类型或局部构件防护，缺乏对整体耐久性影响机制的系统剖析，未形成完整技术体系。同时，各因素相互作用规律未厘清，难以精准调控提升耐久性。

本文基于相关理论，系统分析全不锈钢吸泥机的腐蚀机理与耐久性衰减路径，从材质选型等四个维度构建耐久性保

障机制与实现策略。通过理论推演明确耐久性提升核心逻辑，为其在高腐蚀性废水处理工程的优化应用提供理论指导，助力废水处理系统高效、稳定、低耗运行。

## 二、全不锈钢吸泥机的结构组成与高腐蚀环境特性

### 2.1 全不锈钢吸泥机的核心结构与功能特性

全不锈钢吸泥机由机械、驱动、吸排泥及控制四大核心系统组成，协同实现污泥清除与输送。机械系统含主梁、端梁等不锈钢构件，承担承重、刮泥等作用，其强度与耐腐蚀性决定设备耐久性，主梁承重，端梁助设备移动。驱动系统由电机等部件构成，为吸泥机提供动力，暴露部件需防腐处理。吸排泥系统通过负压或重力吸排污泥，吸泥口与刮泥板配合影响效率，吸泥管需抗堵塞与腐蚀。控制系统监测状态，保障设备精准运行。吸泥机功能依赖部件协同，耐久性衰减始于局部腐蚀，各部件耐腐蚀设计是提升整体耐久性的关键。

### 2.2 高腐蚀性废水的介质特性与腐蚀类型

高腐蚀性废水的腐蚀特性由介质成分等参数决定，不同

行业废水特性有差异,但核心腐蚀因子威胁不锈钢。化工废水含强酸与活性离子,破坏钝化膜;冶金废水含重金属等,加速腐蚀;电镀废水含高浓度氯离子,引发点蚀等;制药废水含有机酸等,破坏防护层。此外,温度波动等加剧腐蚀,形成复合失效模式。基于腐蚀机理,腐蚀类型主要有点蚀、缝隙腐蚀等五类,点蚀与缝隙腐蚀常见。

### 2.3 腐蚀环境对吸泥机耐久性的核心影响规律

高腐蚀性环境从材质性能衰减、结构功能退化、运行精度下降三方面影响吸泥机耐久性,且相互叠加加速失效。材质性能衰减表现为机械指标下降,破坏晶格,降低承载能力,形成腐蚀恶性循环。结构功能退化源于局部构件腐蚀,如吸泥管穿孔、刮泥板磨损等,影响吸排泥与刮泥效果,驱动部件腐蚀增加故障概率,密封件失效使废水渗入,加剧核心部件损坏,局部失效蔓延致吸泥机整体功能衰减,无法满足废水处理需求。运行精度下降是耐久性衰减的重要表现,腐蚀使构件尺寸偏差、配合间隙变大,导致吸泥机行走轨迹偏移、刮泥板与池底贴合度降低,既影响吸泥效率,又可能加剧构件磨损与振动冲击,缩短设备寿命。此外,腐蚀产物脱落会堵塞吸泥口与管道,引发设备停机,增加运维成本与环保风险。

## 三、全不锈钢吸泥机的腐蚀机理与耐久性衰减机制

### 3.1 不锈钢的钝化膜形成与腐蚀失效机理

不锈钢耐腐蚀源于表面致密氧化钝化膜,主要由铬氧化物组成,能隔离腐蚀介质与金属基体。其形成依赖铬元素,铬含量达一定比例时,在氧气或氧化性介质中金属表面快速形成薄且具自我修复能力的钝化膜。

高腐蚀性废水环境中的活性离子、强酸介质及高温会破坏钝化膜。氯离子是破坏核心因子,吸附渗透后降低膜稳定性并导致局部溶解形成点蚀;强酸介质加速溶解,酸度超范围时钝化膜无法形成与修复;温度升高、外力作用会削弱钝化膜稳定性,钝化膜破坏是吸泥机腐蚀耐久性衰减初始环节。

### 3.2 典型腐蚀类型的发生机制与扩展路径

点蚀常见于吸泥管、刮泥板等,由活性离子聚集使钝化膜局部溶解形成坑点,坑内形成闭塞电池加速扩展,初期难察,破坏构件完整性。

缝隙腐蚀发生于构件连接部位,因积聚介质形成缝隙环境,介质交换受阻致局部腐蚀,沿缝隙深入破坏连接强度。

应力腐蚀开裂发生于受力构件,在腐蚀介质与机械应力协同下,介质渗透应力集中区引发腐蚀,应力加速裂纹扩展,隐蔽性强威胁运行安全。

晶间腐蚀源于热处理不当,晶粒边界铬含量降低形成贫铬区,优先腐蚀破坏晶粒结合力,影响结构稳定性。

### 3.3 多因素协同作用下的耐久性衰减机制

全不锈钢吸泥机耐久性衰减是腐蚀介质、机械应力、温度波动、污泥磨损等多因素协同作用结果。腐蚀介质与机械应力协同显著,形成“腐蚀 - 应力强化 - 进一步腐蚀”循

环;温度波动与腐蚀介质协同加速腐蚀,高温提升速率,低温加剧局部腐蚀,工况使构件表面反复经历钝化与腐蚀,钝化膜难以稳定形成,显著提高腐蚀速率。污泥颗粒的机械磨损和腐蚀介质协同作用,破坏构件表面钝化膜与防护层,磨损产生的金属碎屑会引发电偶腐蚀,加速构件损坏。此外,设备结构设计缺陷如连接缝隙大、排水不畅、应力集中等,会加剧局部介质聚集与应力集中,利于腐蚀失效;运维不当如未及时清污泥、未定期检腐蚀等,会扩大腐蚀隐患,缩短设备寿命。多因素协同,使全不锈钢吸泥机耐久性衰减机制更复杂,对耐久性保障技术要求更高。

## 四、全不锈钢吸泥机耐久性提升的关键策略与实现路径

### 4.1 不锈钢材质的优化选型与配比设计

材质选型是提升耐久性基础,要根据高腐蚀性废水介质特性选适配不锈钢牌号并优化配比。含高浓度氯离子废水,优先选含钼、氮的奥氏体不锈钢;强酸、高温环境选双相不锈钢;腐蚀性极强的特殊废水,关键构件用哈氏合金等。材质配比要优化合金元素含量,合理控制铬、镍等比例,平衡耐腐蚀与加工性能,严格控制碳、硫等杂质含量。

### 4.2 抗腐蚀结构的优化设计

结构设计优化可抑制腐蚀失效风险。构件设计避免易产生应力集中形式,采用圆角过渡等;受力构件进行强度校核。连接结构减少缝隙腐蚀隐患,焊接优先,若用螺栓连接需选耐腐蚀螺栓并密封。管道设计优化管径与坡度,吸泥口为可拆卸结构。整体结构考虑排水与防积污,设备表面倾斜,构件底部预留排水孔,优化运行轨迹与刮泥力度。

### 4.3 表面改性 with 防护涂层技术应用

表面改性技术提升钝化膜稳定性与耐腐蚀性能,常用钝化处理、电解抛光、离子注入等。钝化处理形成致密稳定钝化膜,需选适配工艺与钝化剂;电解抛光使表面光滑,提升钝化膜质量;离子注入适用于易磨损腐蚀构件。防护涂层技术形成额外防护屏障,常用聚四氟乙烯等涂层,施工严格控制参数,定期检查修补。

### 4.4 科学运维与腐蚀状态监测管控

科学的运维管理是延长全不锈钢吸泥机使用寿命 建立完善的运维体系是保障耐久性的重要环节,涵盖日常维护、定期检修与腐蚀监测。日常维护要及时清除构件表面污泥、腐蚀产物与杂质,避免介质聚集引发腐蚀;定期检查设备运行状态,调整系统配合精度,减少机械应力与磨损;保持设备表面干燥清洁,避免干湿交替加剧腐蚀。定期检修需按周期全面检查设备构件,重点排查易腐蚀区域,检测构件厚度、表面腐蚀状态与连接强度,及时更换严重腐蚀构件;对螺栓连接部位除锈、润滑,更换老化密封垫,消除缝隙腐蚀隐患;定期对不锈钢构件钝化或修补涂层,恢复防护性能。腐蚀状态监测采用在线与离线相结合的方式,在线监测通过安装设备实时监测腐蚀速率等参数并预警;离线检测定期取样分析,评估耐久性衰减趋势。基于监测数据制定针对性运维策略,精准管控腐蚀风险,避免突发性腐蚀失效。

## 五、工程适配性分析与理论案例参考

### 5.1 不同高腐蚀废水场景的适配原则

全不锈钢吸泥机耐久性保障要结合废水介质特性制定适配策略,兼顾有效性与经济性。化工高浓度酸性废水场景,优先选双相不锈钢,优化焊接工艺,用离子注入技术强化表面,控制运行温度,定期检测钝化膜并再生处理。电镀高氯离子废水场景,选用含钼、氮的奥氏体不锈钢,采用连续焊接工艺,对构件进行聚四氟乙烯涂层防护,加强污泥清理,在线监测并动态调整运维策略。冶金含重金属离子废水场景,选择耐重金属腐蚀的不锈钢,优化结构设计,采用环氧树脂涂层防护驱动部件,定期清除腐蚀产物。制药有机腐蚀性废水场景,选用抗有机溶剂腐蚀的不锈钢,电解抛光处理,优化密封结构,定期检查并修补涂层。适配原则要兼顾耐久性、经济性与运行效率,避免过度设计。

### 5.2 理论案例参考与效果分析

某电镀废水处理工程中,原304不锈钢吸泥机运行半年出现问题。基于耐久性提升策略改造:换为含钼的316L奥氏体不锈钢,连续焊并钝化处理焊接接头,离子注入钼改性吸泥管与刮泥板,加装密封垫,建立定期运维体系。改造后运行两年无明显腐蚀,构件状态良好,运行精度与效率稳定,运维成本降低超60%,验证了协同作用的有效性。另一化工酸性废水处理工程中,双相不锈钢吸泥机优化结构、涂刷涂层,结合监测与运维,连续运行三年无腐蚀与功能衰减,耐久性优于传统方案。这些案例表明,四维耐久性保障体系可抑制腐蚀失效风险,延长设备寿命,提升连续运行能力,有良好工程应用价值。

## 六、关键技术瓶颈与未来发展趋势

### 6.1 当前核心技术瓶颈

尽管全不锈钢吸泥机耐久性提升技术有进展,但在高腐蚀性废水处理工程应用中仍有核心技术瓶颈。一是极端腐蚀环境下耐久性不足,特殊废水含高浓度氟离子、高温强酸,现有不锈钢材质与防护技术难长期稳定运行,构件腐蚀失效风险高,缺针对性防护方案;二是材质性能与成本难平衡,高级耐腐蚀合金成本高,普通不锈钢耐久性有限,保障耐久性与控制成本是核心矛盾;三是多因素协同腐蚀精准防控难,腐蚀介质、机械应力、温度波动等协同作用机制复杂,现有监测技术难全维度、高精度监测,防控策略针对性不足;

## 参考文献

- [1]白树扬. 污水处理厂桁架式吸泥机升级改造研究[J]. 现代制造技术与装备, 2025, 61(6): 154-156.
- [2]冯浩起, 秦登毅. 中心传动管式吸泥机调试问题分析及解决方法[J]. 机电信息, 2024, (5).
- [3]杨琰嘉, 王雪峰, 宋延达, 等. 炼厂污水臭氧处理系统中奥氏体不锈钢的腐蚀行为[J]. 工业水处理, 2024, 44(11): 122-131.
- [4]刘国伟, 应琦琰, 邹婷, 等. 不锈钢在水处理设备中的应用及其酸洗废水处理工艺[J]. 净水技术, 2021, 40(4): 96-100, 148.
- [5]李玉, 刘光明, 李富天, 等. 2507双相不锈钢在酸性高氯环境下的腐蚀行为[J]. 中国表面工程, 2024, 37(2): 91-100.

四是结构与耐腐蚀性能协同优化不足,部分抗腐蚀结构设计影响设备运行效率与加工工艺性,缺一体化设计方法,耐久性提升与功能优化难协同。

### 6.2 未来技术发展趋势

随着材料科学、机电工程与监测技术发展,全不锈钢吸泥机耐久性技术将向高性能、低成本、智能、一体化方向发展。材质技术上,研发新型耐腐蚀不锈钢材料成热点,通过精准配比合金元素、采用新型制备工艺,开发兼具耐腐蚀与经济性的材质以替代部分高级合金,降成本;纳米复合不锈钢材料逐步应用,通过纳米颗粒掺杂强化钝化膜与表面硬度,提升抗腐蚀与抗磨损力。

智能化监测与防控技术广泛应用,结合物联网等技术构建全生命周期腐蚀状态监测体系,实现腐蚀风险精准预警等;开发自适应防护技术,通过传感器感知环境变化自动启动防护修复机制,提升耐久性保障智能化水平。

一体化设计技术逐步成熟,采用有限元分析等技术实现结构设计等协同优化,兼顾多方面要求;模块化设计推广,易腐蚀构件用模块化结构,便于更换维护,降运维成本。此外,绿色防护技术成主流,开发环保型钝化剂等替代传统高污染防护产品,实现耐久性与环保协同统一。

## 七、结论

本文基于多学科理论,经理论分析与推演,探讨全不锈钢吸泥机在高腐蚀性废水处理中的腐蚀机理、耐久性衰减机制与提升策略,构建四维耐久性保障体系,得出结论:全不锈钢吸泥机耐久性核心取决于材质、结构、防护技术与运维管理;高腐蚀性废水破坏不锈钢钝化膜,引发多种腐蚀,多因素协同致设备耐久性衰减。钝化膜破坏是腐蚀耐久性衰减初始环节,介质因子与其他因素协同加速构件腐蚀与功能退化。不同废水场景介质特性差异大,需针对性适配,结合多方面协同作用精准提升耐久性。构建的四维保障体系可抑制腐蚀风险,通过多举措延长设备寿命、提升稳定性。当前技术面临耐久性不足、成本平衡难、防控难度大等问题,未来需向高性能、低成本、智能、一体化方向发展。本文提出的机制与策略为设备优化应用提供理论支撑,也为同类设备研发与应用提供参考。后续可结合实验与案例验证策略有效性,研究协同腐蚀机制与新型防护技术,优化设计与调控模型,推动设备高质量应用。