

水尺清洗装置在潮汐泵站中的应用研究

苏睿,包界,卢沈煜,张益

(江苏省太湖地区水利工程管理处,江苏苏州 215000)

摘要:长江下游感潮河段受径流与潮汐耦合作用,每日水位呈现规律性波动,为精确监测这一复杂动态水位,沿江枢纽在长江侧挡墙外设置了总长近10 m的直立式搪瓷水尺。作为枢纽高效运行的基础支撑,其刻度可读性直接关系到水文数据的准确度与时效性,水尺清洗相关研究与技术创新进一步提升了监测数据的可靠性及工程调度的精准性。

关键词:水文观测;潮汐泵站;水尺清洗;电磁铁

中图分类号:TV675 **文献标识码:**A **文章编号:**1007-7839(2026)03-0061-0004

Research on application of a staff gauge cleaning device in tidal pumping stations

SU Rui, BAO Jie, LU Shenyu, SHANG Yi

(Water Conservancy Engineering Management Office of Taihu Region of Jiangsu Province, Suzhou 215000, China)

Abstract: The tidal reach of the lower Yangtze River is affected by the coupling of runoff and tide, and the daily water level fluctuates regularly. To accurately monitor this complex dynamic water level, a vertical enamel staff gauge with a total length of nearly 10 m is installed outside the retaining wall on the Yangtze River side of the river-side water control hub. As the basic guarantee for the efficient operation of the hub, its scale readability is directly related to the accuracy and timeliness of hydrological data. Staff gauge cleaning related research and technological innovation further improve the reliability of monitoring data and the precision of engineering operation and dispatch.

Key words: hydrological observation; tidal pumping station; staff gauge cleaning; electromagnet

1 研究意义与背景

分布于沿江城市河口地带的泵站设施,面临长江富营养化水体与湍急流态共同催化的生物附着难题。高营养盐负荷与水文动力条件,为贻贝、藻类及苔藓等生物提供了优势繁殖环境。由于潮汐

冲刷及温度变化催生附着物指数级增殖(短期内即可模糊刻度),因此水尺清洗^[1]是直接关系到监测数据可靠性、工程调度精准性的重要环节。尤其在春夏水温回升期,水尺^[2]表面生物附着呈现爆发性增长,短短数周即可形成致密覆盖层,严重遮蔽刻度标识。传统人工船载擦洗作业在枢纽调度期间遭

收稿日期:2026-01-13

作者简介:苏睿(1994—),男,工程师,本科,主要从事水利泵站运行管理工作。E-mail:471856454@qq.com

遇严峻挑战,在枢纽长时间开闸引水或泄洪排涝期间,闸门附近水域流速剧增,流态紊乱,形成强力涡旋与吸拽水流。小型作业船舶在此环境中操控也较为困难,因此研发免人工作业的高效水尺清洗技术,已成为突破枢纽精细化运维瓶颈的迫切需求,主要内容包括水文监测数据可信度、工程调度决策精准性与人员作业安全保障。

2 传统清洗方法的局限性

乘船下水作业在枢纽运行的核心时段(开闸引排水)较为危险,此外岸基清洁效能也较低。

(1) 杠杆效应致压力耗散:作业人员于高档墙顶端操纵加长杆件(8~10 m)时,杆体自重与挠曲变形引发显著压力衰减。实测表明,水尺表面有效压力不足初始施力的20%,难以克服生物黏性强度。

(2) 贴合度差,接触不均匀:长杆微幅振动或水尺表面形变(生物覆层、结构破损),导致刷头与水尺产生非均匀接触。此局部点式接触状态仅能实现片段清洁,无法保障全尺度覆盖。

(3) 静态刷洗,剥离力不足:传统固定毛刷仅依靠人力往复推拉进行清洗,其作用机理以摩擦刮擦为主。对于已形成坚硬钙质外壳的贝类(如藤壶、贻贝),或深入水尺细微孔隙的藻类根系,这种静态、低强度的机械作用力难以实现有效剥离。

3 研究路径与相关装置

基于对传统方法缺陷的认识和对现场工况的精准把握,项目摒弃了单纯延长杆件或改进刷具的思路,确立了“岸基操作、自动贴合、高效剥离”的核心设计原则,创造性提出并实现了一种水尺清洗装置^[3]基于电磁吸附与动态滚刷的集成化解决方案。

3.1 电磁吸附稳定固定系统

系统由防水电磁铁模块(IP68防护等级)、高可靠性直流电源(岸上供电,低压电缆传输)组成。装置接触水尺表面后通电,电磁铁产生强大吸附磁场(设计吸附力 ≥ 800 N),瞬间将整个清洗装置牢固“锁定”在钢铁框架上,形成刚性连接基础,此方式彻底克服了超长杆件下压力不足的物理限制。电磁铁模块底面采用柔性耐磨密封层(如聚氨酯),确保在轻微不平整表面也能实现良好密封与最大化吸附。

3.2 角度自适应动态滚刷清洁单元

清洁单元由防水减速电机(12/24VDC)、高强度

尼龙/不锈钢丝复合桶型滚刷(直径150~200 mm)、万向角度调节机构(核心创新点)、高性能压缩弹簧等部件组成,装置示意图见图1。通过减速电机驱动桶型滚刷高速旋转(转速设计范围:200~500 r/min)。滚刷材质针对不同类型附着物优化(尼龙毛束去藻苔,不锈钢丝刮贝类)。

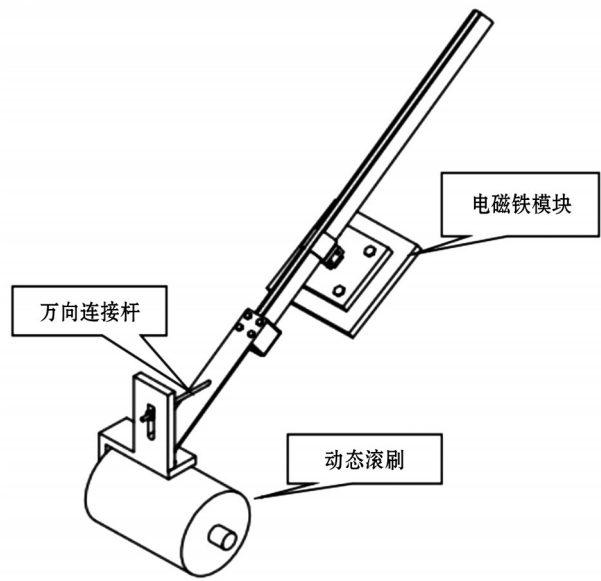


图1 清洗装置示意

核心创新点为角度自适应万向连接杆,在电磁铁基座与滚刷支架之间,通过一组特殊设计的万向铰链连接,并在连接轴线上集成高性能耐腐蚀压缩弹簧。弹簧提供初始预压力,使滚刷自然压向水尺表面。当装置被电磁铁吸附固定后,无论水尺表面存在局部凹陷、凸起或不绝对垂直,弹簧都能通过伸缩自动补偿高低差,确保滚刷全长范围均匀、紧密贴合尺面,消除“虚接触”。

弹簧的弹性特性使得即使在滚刷磨损或遇到硬性附着物时,施加在水尺上的压力也能保持相对恒定,避免压力不足或过大损伤搪瓷面。作业过程中的轻微震动或水流冲击被弹簧有效吸收,保护电机传动机构并维持稳定的清洁接触。

3.3 集成式水力协同冲洗系统

在滚刷旋转进行机械剥离的同时,在滚刷上方或侧后方设置高压水管持续喷射水流(压力建议0.5~1.5 MPa)可视水源压力增设小型增压泵。将滚刷剥离下来的生物残骸、泥沙、藻类碎片瞬间冲离清洁区域和滚刷毛束,避免二次附着或堵塞滚刷,极大提升单次清洁效率。同时,水流对顽固附

着物(尤其藻类)有湿润软化作用,降低其与基底的黏附力,有利于滚刷后续剥离,并且持续的水流冲刷能够降低滚刷与尺面摩擦产生的热量,减少磨损。

3.4 操作控制系统

集成加长杆操作手柄,主要包含电磁铁启停开关、电机调速旋钮、水泵、水阀开关、吸附力、工作状态指示灯,实现单人即可在地面安全、便捷地完成所有操作。

4 关键技术创新点

该技术不同于传统的依赖人力下压模式,而是利用电磁铁强磁吸力提供稳定可靠的作业平台基础,解决了超长作业距离下“力量传递失效”这一核心物理瓶颈。作为本研究最核心的创新点之一,“万向铰链+压缩弹簧”的连接机构较好地解决了实际应用中的以下问题。

(1)贴合难题:确保滚刷能够自适应水尺表面微观不规则形变,实现全尺长范围内的紧密、均匀接触,这是实现高效清洁的前提。

(2)磁力固定的“刚柔并济”:纯刚性磁力吸附在不平整表面时会因接触面点过小从而导致吸附失效,采用电磁铁时可根据物体表面情况自由选择吸附位置,确保得到足够的吸附力。弹簧机构提供了必要的柔性自由度,允许装置在保持整体吸附稳定的同时,局部适应形变,显著提升了系统在真实复杂工况下的可靠性与有效性。

创新使用动态旋转滚刷替代静态擦洗,以电机驱动的桶型滚刷提供持续、高速的旋转刮擦力,其机械效能远超人力往复推拉。针对不同附着物特性优化设计的刷毛(软硬复合),能高效剥离柔软的藻类及坚硬的贝类外壳。利用机械剥离与水动力冲刷的协同增效,将机械刷洗与水力冲洗2种手段在时间和空间上有机结合,实现了“剥离-清除”的同步化与无缝衔接,大幅提升了单次作业清洁度和效率,从而获得单一手段无法比拟的协同效应。在安全性方面,整套系统完全由岸上人员操作,彻底消除了人员乘船下水或高处攀爬作业的安全风险,尤其适用于闸门运行期间或上下游水位差过大等高风险工况。

5 应用效果分析

该专用工具在江阴水利枢纽现场经过多轮实测与应用,取得了较好的应用效果。

5.1 清洁效能提升

对水尺表面顽固生物附着物(特别是贻贝、藤壶、钙化藻类)的清除率由传统方法的不足40%提升至95%以上,水尺黑黄刻度恢复鲜明对比,清晰度达到新尺标准的90%以上。完成单根10 m长水尺的全面清洁时间从传统方式的3~4 h(含前期准备,效果不佳反复操作)大幅缩短至仅需1~1.5 h(单人操作)。

5.2 人力与安全保障

由原来需要至少3人(船上操作、岸上协助、安全监护)减少至仅需1人在地面安全区域即可独立高效完成全部操作,并且完全规避了水上作业的高风险。作业不再受枢纽开关闸运行状态的限制,可随时根据水尺污染情况灵活安排清洗,保障了水文数据的连续性和准确性。

5.3 管理效益提升

大幅减少人工投入、船只租赁费用、高危作业保险费用。保障水文数据的准确性和及时性,优化枢纽调度决策,提升防洪、挡潮、水资源利用效率。同时,延长水尺本身的使用寿命,减少因粗暴清洗或长期覆盖导致的腐蚀损坏,清洗工作也变得安全规范,显著提升了设施维护管理的精细化、标准化水平。

6 应用评价与展望

水尺清洗装置的研究与应用,是改进高效安全作业方式的成功实践。此研究精准把握了长江潮汐环境下水尺维护的特殊挑战,创造性地融合了电磁吸附、机械传动、角度自适应机构、水力协同等多项技术,成功研发出具有显著创新性、实用性和安全性的专用装备。不仅有效解决了水尺清洗的特定难题,更在于提供了一种解决类似高空、深水、危险区域表面清洁问题的技术思路和模块化方案(如船闸闸门、桥墩、大坝迎水面等场景),在未来的研究应用中可针对以下几个方面进一步予以升级完善。

(1)轻量化与模块化升级:进一步优化结构和材料(如碳纤维杆件),减轻整体重量,提升便携性,设计更便捷的快拆接口,实现电磁铁模组、滚刷模组、杆件的快速更换组合,适应不同尺寸或类型(如斜坡式)水尺。

(2)智能化监控:探索集成摄像头与照明系统,实现对清洁过程的实时可视监控和清洁效果的远程初步评估,研究加装压力、转速传感器,实现工作

参数的数字化记录与智能反馈调节。

(3)清洁剂精准施加系统:研究在特定季节(如附着物爆发期)或针对特别顽固污渍,在冲洗水中安全、可控地添加环保型生物降解清洗剂^[4]的可能性,通过微流量控制系统实现精准施加,进一步提升清洁效能。

(4)应用场景拓展验证:将该工具的核心技术模块(磁吸稳定+自适应动态清洁)推广应用于枢纽内其他需要高空或临水清洁的场景,如船闸闸墙、泵站流道检修门槽等的表面维护,优化技术成果效益。

参考文献:

- [1] 王长亮,项明洋,杜威.南水北调泗洪站水尺自动清洗装置研制与应用[J].中国水能及电气化,2023(10):53-58.
- [2] 湖州市水文中心.水文监测管理规范:DB3305/T 298—2024[S].湖州:湖州市市场监督管理局,2024.
- [3] 苏睿.一种水尺清洗专用工具:中国,202322359686.0[P].2024-04-09.
- [4] 张雪峰.环保型水基清洗剂的应用[J].化纤与纺织技术,2024,53(9):23-25.

(上接第50页)

技术,为类似水文地质条件下的内河航道防护工程提供了可借鉴的范例,具有较高的推广价值。

参考文献:

- [1] 刘建华,王建国,张宏伟.内河航道拦船设施抗撞性能研究进展[J].水运工程,2020(5):45-50.
- [2] 尚振兰.柴米闸灌注桩拦船设施改造维护应用研究[J].中国水运,2022(23):120-122.
- [3] 国家能源局.港口工程桩基规范:JTS 167-4—2012[S].北京:人民交通出版社,2012.
- [4] 交通运输部水运科学研究院.船闸水工建筑物设计规范:JTJ 307—2001[S].北京:人民交通出版社,2001.
- [5] 张强,刘洋,陈静.基于m法的灌注桩水平承载力计算与实测对比分析[J].岩土力学,2020,41(7):245-252.
- [6] 陈志刚,李伟,赵磊.钻孔灌注桩在船舶防撞结构中的应用与分析[J].水利水电技术,2019,50(3):112-117.
- [7] 黄建军,周涛.高分子材料在水工防撞结构中的应用与耐久性研究[J].材料科学与工程,2018,36(2):56-61.
- [8] 王晓东,孙立军,杨帆.大流量条件下浮筒式拦船设施动力响应试验研究[J].船舶力学,2021,25(4):78-85.