

基于生产联动的船厂喷砂车间除尘系统智能化 管理思路

林茂盛

大连船舶重工集团有限公司, 辽宁 大连 116083

DOI: 10.61369/SSSD.2026050039

摘 要 : 船厂涂装作业中的喷砂环节是保障涂层质量的关键,但其产生的大量粉尘和高湿度环境对质量、设备、健康及环保构成严峻挑战。当前船厂喷砂车间的除尘系统普遍存在能耗高、响应滞后、管理分散等问题。本文针对这些问题,旨在介绍一套喷砂车间智能化联动控制系统。该系统通过分析喷砂车间的生产、环境与设备系统特性,明确了产尘、自然环境和除尘系统本身的运行规律与能耗关系。在此基础上,构建了一个数据驱动的智能控制系统,通过集成传感器网络,实时采集多源数据,并利用核心算法模型,实现对除尘风机频率、脉冲清灰周期等关键参数的自适应精细化调节。该系统旨在构建一个按需动态节能、智能自动控制、数据驱动管理的智能化平台,以推动船厂生产模式的绿色高效转型。

关 键 词 : 喷砂车间; 除尘系统; 智能化控制; 节能降耗

Intelligent Management Approach for Shipyard Sandblasting Workshop Dust Collection Systems Based on Production Integration

Lin Maosheng

Dalian Shipbuilding Industry Group Co., Ltd. Dalian, Liaoning 116083

Abstract : The sandblasting process in shipyard coating operations is critical to ensuring coating quality. However, the substantial dust generated and high-humidity environment pose severe challenges to quality, equipment, health, and environmental protection. Current dust collection systems in shipyard sandblasting workshops commonly suffer from high energy consumption, slow response times, and fragmented management. This paper addresses these issues by introducing an intelligent interlinked control system for sandblasting workshops. By analyzing the production, environmental, and equipment characteristics of these workshops, the system identifies the operational patterns and energy consumption relationships between dust generation, natural conditions, and the dust collection system itself. Building upon this foundation, a data-driven intelligent control system has been developed. By integrating a sensor network to collect real-time multi-source data and applying core algorithmic models, the system achieves adaptive, fine-grained regulation of critical parameters such as dust collector fan frequency and pulse cleaning cycles. This system aims to establish an intelligent platform featuring on-demand dynamic energy conservation, smart automated control, and data-driven management, thereby advancing the green and efficient transformation of shipyard production models.

Keywords : sandblasting workshop; dust collection system; intelligent control; energy conservation and consumption reduction

一、前言

在船厂涂装作业中,喷砂是保障涂层质量的关键环节,但其产生的大量粉尘与高湿度环境,对钢材处理质量、设备寿命、人员健康及环境保护构成了严峻挑战^[1]。当前,大多数船厂喷砂车间的除尘系统普遍存在以下问题:系统能耗高,除尘风机常以固定功率或凭经验运行,在非高峰时段空转导致浪费;响应滞后,依赖人工传达和经验值,导致工况不稳与能源空耗;管理分散,除尘与生产调度分属不同环节,缺乏协同而形成信息孤岛。针对上

述问题,本文旨在通过智能化联动控制系统,实现节能降耗、提升自动化水平、构建集中智能管理平台三大核心价值,为推动船厂绿色、高效生产提供关键解决方案。

二、喷砂车间生产-环境-设备系统特性分析

(一) 喷砂生产工艺流程与产尘特性分析

喷砂工艺是粉尘产生的源头,船厂喷砂作业的情况先基本靠人工传达和传统人工记录方式(如填报喷枪数量、作业面积),

而喷砂作业的动态性和复杂性使其难以实现实时、精准的反馈。

产尘规律分析：不同喷砂设备其初始粉尘捕集效率差异显著。同时，工件的尺寸与形状复杂度影响粉尘的扩散与沉降空间；而不同的除锈等级则直接决定了单位面积上的喷砂时长与强度。这些因素共同导致产尘速率和作业区粉尘浓度呈现非线性波动规律。

生产强度量化：生产强度可综合同时作业的喷枪数量、单位时间处理面积等核心参数，实时反映总产尘量的综合变量，为除尘风量和脉冲喷吹系统的精准调控提供直接依据。

（二）自然环境因素影响分析

自然环境，特别是气象条件，是影响车间内部环境质量和运行安全的关键外部变量。

温度与湿度：环境温湿度直接决定了进入车间的空气含湿量及露点温度。当钢材表面温度低于空气露点温度时，将发生表面结露，严重破坏喷砂后的钢材清洁度与涂层附着力^[2]。

风速与风向：自然风会影响车间门窗处的渗透风，改变车间内外的气压平衡。维持车间内稳定的微负压是防止粉尘向外逸散的关键。

（三）除尘系统运行特性分析

除尘系统是车间的能耗主体之一，其运行特性直接关联控制系统的能耗与效能。

系统运行与能耗关系：除尘系统主要消耗能耗的设备是风机，风机风量与电机运行频率成正比关系^[3]，对风机进行变频调节，是除尘系统节能调控的主要方法；系统过滤阻力随粉尘在滤料上附着而增加，会导致风量下降与能耗攀升，因此根据实际生产情况优化脉冲清灰周期至关重要。

三、喷砂车间智能化联动控制

构建一个数据驱动、智能决策的喷砂车间联动控制系统，该系统通过集成传感器网络，实时采集生产工况、除尘系统状态及环境天气等多源数据，并输入至优化后的核心算法模型，最终实现对除尘设备（如风机变频器、脉冲喷吹周期）运行参数的自适应与精细化调节，以达到节能降耗与智能管控的目标^[4]，如图1所示。

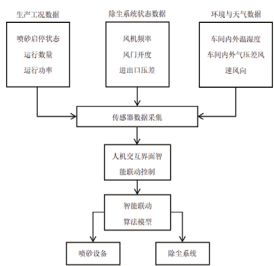


图1 喷砂车间智能化联动控制系统框图

四、预期效益

本系统的实施旨在通过多系统融合，推动船厂喷砂车间的运营模式实现从传统人工操作向智能联动的转型，并在此过程中创造多维度显著效益^[5]。

（一）节能降耗与设备优化：从“粗放耗能”到“精准节能”

通过使除尘系统从“连续恒速运行”转变为“按需动态运行”，实现了“产能大风强，产能小风弱”的精确匹配，从而大幅降低电能消耗。同时，通过引入基于实时压差的智能清灰策略，有效减少压缩空气的消耗与滤筒的机械磨损，在保障除尘效果的同时，延长设备使用寿命，实现双重的成本节约。

（二）自动化与智能化提升：从“依赖人力”到“自主智能”

除尘系统运行的自动化水平将显著提升，能够自动根据生产工况变化进行即时响应，消除因人工操作带来的延迟、误判与经验依赖。通过采用前馈-反馈复合控制算法，系统能提前预测并抵消扰动，确保车间粉尘浓度在任何工况下都能稳定维持在标准范围以内，实现可靠的达标保障。

（三）系统化管理与决策支持：从“经验驱动”到“数据驱动”

喷砂车间智能化联动控制系统构建了工厂的“智慧大脑”。集中监控平台可实现关键数据的全局可视化与透明化管理。系统能基于历史数据进行深度能效分析与运行报告生成，为管理部门的预测性维护、生产排程优化等决策提供科学依据。

五、结论与展望

本文针对船厂喷砂车间除尘系统存在的能耗高、响应滞后与管理分散等核心问题，提出了一套数据驱动的智能化联动控制方案；通过系统分析生产、环境与设备的特性，介绍了该系统通过集成传感网络，实现风机与清灰设备的按需精准调控在技术路径上的可行性，其应用不仅能达成节能降耗与设备优化的直接经济目标，更能显著提升车间的自动化水平与决策管理能力，是推动船厂向绿色、高效生产模式转型的有效解决方案。

本系统在设计与预期上展现出显著优势，但在实际船厂环境中的大规模应用仍面临挑战，可积极探索更加稳定可靠的传感器，或基于机器视觉的喷枪作业状态自动识别、基于设备电流等间接参数的生产强度推断等数据采集技术，推动该系统与全厂信息管理系统深度融合，将是实现其全面落地与持续优化的关键方向。

参考文献

[1] 刘可卿. 造船企业粉尘污染及治理[J]. 造船技术, 2016(6):7.
[2] Prasanna R. Effect of Humidity on Surface Preparation and Coating Application[J]. Materials Performance, 2015, 54(9).
[3] Neise W, Barsikow B. Acoustic similarity law for centrifugal fans[J]. unknown, 1980.
[4] 顾平江. 建筑电气智能化系统联动控制技术分析[J]. 前卫, 2024(25):0111-0113.
[5] Stump B, Badurdeen F. Integrating lean and other strategies for mass customization manufacturing: a case study[J]. Journal of Intelligent Manufacturing, 2012, 23(1):109-124.
[6] 刘洪伟, 杨佳, 张丽, 等. 一种过滤及除尘设备和过滤及除尘方法: CN202211028161.2[P]. CN115430212A[2026-01-16].
[7] 丁朝芳, 李应彬, 游敬国, 等. 一种铸造车间除尘系统: CN202221330835.X[P]. CN217369567U[2026-01-16].
[8] 王敏, 张涛, 匡俊. 一种船舶船舷外冷却器安装支架及安装方法[Z]. 芜湖造船厂有限公司. 2022.
[9] 江华. 船厂喷砂涂装车间电气控制系统的设计与开发[D]. 上海: 上海交通大学, 2005.
[10] 刘军. 船舶智能涂装生产线研究[D]. 镇江: 江苏大学, 2017. (涂装/喷砂车间智能控制系统设计与生产联动机制)