

冲砂除尘设备的精细化运营管理模式应用

章宇轩

(上海振华重工(集团)股份有限公司长兴分公司, 上海 201913)

摘要 本文基于冲砂除尘设备系统构成及运行特性, 提出以精细化运营管理为核心的系统解决方案, 包括工况分级控制、全生命周期运维、数据驱动能耗排放协同、岗位职责标准化及绩效持续改进机制, 结合运行数据采集、关键指标动态管控、预防性维护与环保联动管理等技术手段, 构建精细化运营管理模式, 以期有效提升设备运行效率、降低能耗与排放波动, 并为工业除尘系统的安全、稳定及环保运营提供可推广的技术路径与管理参考。

关键词 冲砂除尘; 精细化运营管理; 运行参数控制; 预防性维护; 能耗排放管理

中图分类号: TB4

文献标志码: A

DOI:10.3969/j.issn.2097-3365.2026.05.005

0 引言

冲砂除尘设备作为工业粉尘治理的核心装备, 其运行效率和排放控制直接影响生产安全、能源消耗及环保合规性。传统管理模式多依赖经验操作和定期巡检, 存在参数调节不精细、维护滞后、能耗及排放控制不稳定等问题。随着工业自动化、物联网及数据分析技术的发展, 基于实时监测与数据驱动的精细化运营管理模式逐渐成为提升冲砂除尘设备运行效率、降低能耗及实现环保目标的有效手段。本文在分析冲砂除尘设备系统组成与运行特性的基础上, 提出包括工况分级控制、全生命周期运维、能耗排放协同管理及岗位职责标准化的精细化管理框架, 为设备高效、安全及环保运营提供系统解决方案。

1 冲砂除尘设备系统组成与运行特性分析

冲砂除尘系统主要由高压风机、旋风分离器、布袋除尘器、输送管道及控制系统组成, 运行特性体现为高负荷连续作业、粉尘颗粒细、风量波动大及设备负荷随砂量变化呈非线性特征。

典型工况下, 布袋除尘器处理风量可达 $12\ 000 \sim 18\ 000\ \text{m}^3/\text{h}$, 入口粉尘浓度约为 $250 \sim 400\ \text{mg}/\text{m}^3$, 出口排放浓度要求控制在 $\leq 50\ \text{mg}/\text{m}^3$, 同时风机功率约为 $45 \sim 75\ \text{kW}$, 系统能效因风量调节策略会有 $15\% \sim 20\%$ 的波动^[1]。旋风分离器和布袋除尘器联合作业时, 压差一般保持在 $250 \sim 400\ \text{Pa}$, 压差变动直接体现滤袋堵塞状况与风机负荷, 风机和除尘器联动控制是精细化管理基础。此外, 系统启停频繁, 滤袋寿命在 $3\ 500 \sim 5\ 000\ \text{h}$ 之间, 设备维护周期和生产节奏关联紧密, 要

对运行工况与设备状态做实时监测和动态调节。

2 冲砂除尘设备精细化运营管理模式构建

2.1 精细化运营管理的总体目标与原则

冲砂除尘设备精细化运营管理旨在通过动态运行参数调节、数据驱动运维决策、岗位职责标准化及绩效持续改进, 实现设备高效、低能耗、稳定运行及环保排放合规。总体原则含工况适配性, 依据砂料粒径、湿度及进料量自动匹配风量、压差及排灰频率; 全生命周期管理, 把安装调试、日常巡检、预防性维护及报废更新归入统一体系; 数据联动驱动, 通过风机功率、滤袋压差、粉尘浓度及能耗数据优化运行参数; 责任界面清晰化, 确定生产、运维及环保岗位职责, 形成跨部门协同机制; 量化考核标准化, 设定单位砂料能耗 $\leq 1.5\ \text{kW} \cdot \text{h}/\text{t}$ 、排放浓度 $\leq 50\ \text{mg}/\text{m}^3$ 、滤袋压差 $300 \sim 350\ \text{Pa}$ 、运维响应时间 $\leq 2\ \text{h}$, 实现运行、维护及环保管理的闭环状态。

2.2 基于工况分级的运行参数精细化控制模式

冲砂作业可依据砂料进料量、粒径及含水率划分为轻、中、重三类工况, 每类工况对应不同的风量、风机功率、压差及排灰周期, 实现针对性控制。如表 1 所示, 轻工况条件下, 风量设定为 $12\ 000\ \text{m}^3/\text{h}$, 风机功率 $45\ \text{kW}$, 排灰周期每 120 分钟一次, 滤袋压差控制在 $300 \sim 320\ \text{Pa}$; 中工况风量 $15\ 000\ \text{m}^3/\text{h}$, 风机功率 $60\ \text{kW}$, 排灰周期 $90\ \text{min}$ 一次, 压差维持在 $320 \sim 340\ \text{Pa}$; 重工况风量 $18\ 000\ \text{m}^3/\text{h}$, 风机功率 $75\ \text{kW}$, 排灰周期 $60\ \text{min}$ 一次, 压差保持在 $340 \sim 360\ \text{Pa}$ ^[2]。借助压差传感器采集实时数据, 滤袋压差超设定值 $10\ \text{Pa}$ 时,

作者简介: 章宇轩 (1993-), 男, 本科, 助理工程师, 研究方向: 环保设备管理。

PLC系统自动触发增压或排灰操作,并调整风机频率,实现风量与除尘器的协同匹配。

表1 冲砂除尘设备不同工况下运行参数设定

工况等级	风量 (m ³ /h)	风机功率 (kW)	排灰周期 (min)	滤袋压差 (Pa)
轻工况	12 000	45	120	300 ~ 320
中工况	15 000	60	90	320 ~ 340
重工况	18 000	75	60	340 ~ 360

在实施过程中,系统要建立工况判别算法,把砂料进料量传感器、粒径在线分析仪及湿度计数据实时传输至DCS或PLC系统,通过边缘计算判别当下工况等级,自动调节风机频率与排灰周期。例如:进料量从5 t/h升至8 t/h时,湿度从2%升高到5%,系统自动从轻工况切换成中工况模式,把风机频率从45 Hz升至55 Hz,同一时间压差控制范围从300 ~ 320 Pa调整至320 ~ 340 Pa。

2.3 基于设备全生命周期的运维管理机制

精细化管理以设备全生命周期管理为核心,包含安装调试、日常巡检、状态监测、预防性维护、备件管理及报废更新,关键部件像滤袋、风机轴承及密封件需建立运行小时数与压差、振动阈值对应的维护计划,如滤袋运行3 500 h或压差 ≥ 400 Pa时安排更换,风机轴承运行5 000 h或振动幅值 ≥ 2 mm/s时执行检修。系统经PLC采集压差、振动及温度数据并记录累计运行时间,实现按部件状态及工况制定维护周期,减少非计划停机。

同时,构建维护数据管理平台,把巡检结果、故障记录、备件使用情况及压差波动趋势进行结构化存储,通过定期生成运行报告,为维护决策提供依据,比如每月汇总滤袋压差超阈值次数、风机振动超标时长及轴承温升曲线,且自动生成报警列表。在备件管理方面,系统设立库存阈值,滤袋库存不少于100套,轴承和密封件库存能满足未来30天运行需要,保证预防性维护按时开展,同时处于报废更新阶段,记载设备累计运行时长、磨损程度及维修历史,为寿命预测和更新决策提供数据支持。

2.4 数据驱动的能耗与排放协同管理体系

精细化管理借助物联网传感器实时收集风量、压差、粉尘浓度、风机功率及环境温湿度数据,把原始数据传输至边缘计算节点进行分析和工况匹配判定,在重工况下,系统靠压差反馈调节风机频率,将风量控制到目标值 $18\ 000\ \text{m}^3/\text{h} \pm 5\%$,滤袋压差保持在340 ~ 360 Pa,单位砂料能耗精确控制在 $1.8\ \text{kW} \cdot \text{h}/\text{t}$ 左右,

同时粉尘排放波动在 $\pm 2\ \text{mg}/\text{m}^3$ 范围内^[3]。边缘计算依照进料量和湿度数据自动生成调节指令,实现风机、排灰机构同除尘器协同。

数据分析模型依据历史运行数据构建压差、风量与功率的多维映射表,压差超过设定阈值时,系统自动触发风机频率调整或排灰操作,传感器数据采集频率设置为每5秒一次,DCS实时计算单位砂料能耗、压差梯度及风机负荷指数,并生成趋势图。异常数据像风机功率超过75 kW或压差波动超过 $\pm 15\ \text{Pa}$ 时,借报警系统告知操作员实施人工干预,系统记录异常时段及参数,给后续优化及精细化控制提供量化依据,实现能耗、排放及设备负荷的统一管理。

2.5 岗位职责细分与流程标准化管理设计

精细化管理细化了生产操作、设备巡检、环保监测、数据分析及维护计划岗位职责,明确了操作界限和责任链条,生产操作员负责进料量调节、风机启停及手动阀门操作;维护人员依照状态监测数据开展预防性检修,包含滤袋更换、轴承润滑和密封件维护;环保岗位负责粉尘排放数据采集与分析、异常排放报警及排灰周期调整。通过岗位分工,保证操作、维护和环保管理构成闭环,实现跨岗位数据共享。

标准化流程包含操作规程、巡检计划、维护计划及异常处理流程,如巡检表规定每日三次压差测量、振动传感器数据上传及异常记录,维护计划写明滤袋、轴承及密封件更换时机及步骤,环保流程把排放峰值超 $50\ \text{mg}/\text{m}^3$ 的事件纳入自动记录与报警。流程执行状况通过管理信息系统实时记录,并与DCS、PLC数据联动,形成操作、维护与环保三方协作的闭环体系,保证信息流、物料流和工作流同步管理。

2.6 精细化绩效评价与持续改进机制构建

建立多维量化绩效体系,将单位砂料能耗、粉尘排放浓度、滤袋压差波动率、故障响应时间、备件使用效率及维护成本等纳入定量考核指标,系统借由DCS与管理信息平台每月自动汇总数据并生成趋势分析报告,列出各指标超出标准次数、平均偏离数值及波动比率。例如:单位砂料能耗偏离目标 $1.5\ \text{kW} \cdot \text{h}/\text{t}$ 的次数、滤袋压差偏离300 ~ 350 Pa范围的累计时长、故障响应时间超过2 h的事件。

绩效数据可用于识别设备或操作环节瓶颈,通过参数调整、维护计划优化及巡检频率调整进行持续改进,系统把每月指标变化记进绩效数据库,将各岗位和工况做对比分析,形成“监测—分析—优化—验证”的闭环机制。例如:通过分析压差波动频率与风机功率关系,优化风机调速策略;结合滤袋使用期限与排

灰频次数据,更新维护周期。绩效评价体系和持续改进机制结合,实现数据驱动的精细管理闭环。

3 精细化运营管理模式的实施路径与技术支持

3.1 运行数据采集与监测系统建设

在冲砂除尘设备中,要布设多个点位传感器收集关键运行参数,有风量流速传感器、压差传感器、粉尘浓度监测仪、风机功率计及振动传感器,布设密度每 50 m² 安排一组,保证涵盖滤袋室、进出口风道及旋风分离器。传感器数据采集频率设置为每 5 秒一次,经工业以太网或无线工业协议(WirelessHART)传至边缘网关,边缘计算节点实时处理数据,计算单位砂料能耗、压差梯度及风机负荷指数,同时引发异常告警,系统用冗余存储和双路采集方式确保数据完整性及可靠性,构建历史数据库用于工况分析、参数优化及维护计划生成,给精细化运营方式提供实时监测和数据支持。

3.2 关键运行指标(风量、压差、能耗等)动态管控

借助 PLC 或 DCS 系统把风机频率、风阀开度及排灰机构自动化控制,实现关键运行指标动态匹配,压差目标设定为 300 ~ 350 Pa,压差偏离 ± 5 Pa 时,系统自动调节风机频率 ± 5 Hz 或缩短/延长排灰周期 5 ~ 15 分钟,保证风量与除尘器负荷匹配。单位砂料能耗实时计算公式为 $\text{kW} \cdot \text{h}/\text{t} = \text{风机功率}(\text{kW}) \times \text{运行时间}(\text{h}) / \text{砂料处理量}(\text{t})$,并和历史工况数据做比对,识别异常功率和过载状态,动态控制策略结合工况判别模型,能针对轻、中、重工况自动调节风机频率 45 ~ 75 Hz、风量 12 000 ~ 18 000 m³/h 及排灰周期 60 ~ 120 min,实现指标实时可控^[4]。

3.3 预防性维护与状态检修技术应用

建立关键部件状态数据库,包含滤袋、风机轴承、皮带及旋风分离器磨损值、振动值及压差数据,和预设阈值对应生成维护计划,滤袋达到 3 500 h 或压差 ≥ 400 Pa 提前更换,风机轴承运行 5 000 h 或振动幅值 ≥ 2 mm/s 检修,皮带磨损超 10% 要调整或更换。状态检修结合红外热成像温度监测与振动分析,每小时采集轴承温升与振动幅值,用边缘计算判定异常趋势,实现故障预先判断并将停机响应时间缩短至 1 ~ 2 h,同时,维护计划能动态调整,依据实时工况及运行负荷自动更新滤袋、轴承及密封件更换周期,实现按状态维护而非固定时间维护。

3.4 环保合规与设备运行联动管理机制

构建粉尘排放、压差、风量及能耗联动管理机制,把粉尘监测点数据实时接入 DCS,排放浓度超 50 mg/m³

时自动触发风机增压 5 ~ 10 kPa 及排灰加速,给操作员发送报警信息^[5]。系统把排放数据和砂料进料量、湿度及粒径信息关联分析,依据工况判断自动调节风机频率 45 ~ 75 Hz、风量 12 000 ~ 18 000 m³/h 及排灰周期 60 ~ 120 分钟,实现排放控制与设备负荷匹配,历史排放和运行数据构成数据库,用来优化控制策略及排放趋势分析,保证环保监测和生产运行参数动态关联,建成排放峰值可控、设备参数可调、数据互通的管理机制。

3.5 管理制度、操作规程与人员培训协同推进

制订统一操作章程、巡查规划、保养步骤及应急处置制度,把关键操作步骤、岗位职责及安全规范固化为制度文件,操作规程包括风机启停顺序、风阀调节策略、压差及粉尘异常处理步骤,巡检计划规定每日 3 次压差测量与振动监测。依照实际工作状况开展针对性培训,涵盖数据收集、运行参数调整、故障应对及预防性维护操作,培训涵盖边缘计算报警处理、DCS 数据分析和排放联动控制操作,保证操作员、维护人员和环保监测人员技能互补,形成标准、协同作业体系,给精细化运营管理落地提供制度保障及人员技术支持。

4 结束语

冲砂除尘设备精细化运营管理模式通过工况分级控制、全生命周期运维、数据驱动的能耗排放协同、岗位职责标准化及绩效持续改进,实现了从粗放管理向精准控制、从事后维护向预防性维护、从经验决策向数据驱动的转变。该模式通过传感器数据实时采集、动态参数控制、预防性检修及环保联动管理等技术手段,为冲砂除尘系统的高效、安全与环保运营提供了完整的技术路径和管理框架。

参考文献:

- [1] 程鑫祥. 基于全流程平台控制的转炉干法除尘泄爆分析[J]. 山西冶金, 2025, 48(01): 232-236.
- [2] 郭许亮. 连续油管冲砂报废工艺技术现场试验[J]. 化学工程与装备, 2025(02): 64-67.
- [3] 王冠. 钢铁工业除尘系统智能诊断技术与工程应用[J]. 环境工程, 2024, 42(01): 72-75.
- [4] 陈小云. 隔离式冲砂技术工艺在低压漏失煤层气井的应用[J]. 煤炭技术, 2025, 44(02): 91-94.
- [5] 习兰. 原料场除尘智能化管理及调控[J]. 低碳世界, 2023, 13(11): 28-32.