

选煤厂粉尘污染特征及综合防治关键技术研究

——以某选煤厂为例

王玉刚

甘肃万胜矿业有限公司 甘肃 庆阳 745713

【摘要】：为解决选煤厂转运、筛分破碎及输送环节粉尘浓度高、扩散范围广、治理协同性不足等问题，以某选煤厂为对象，采用现场调研、粉尘理化性质测试、尘源浓度测定、数值模拟、技术研发与工业示范相结合的方法，系统研究选煤厂粉尘污染特征及综合防治关键技术。研究表明：该厂粉尘游离二氧化硅含量为1.2%，粉尘粒径总体较细，筛分破碎车间和入洗胶带机区域呼吸性粉尘占比较高；筛分破碎车间二层236D皮带机区域为高浓度污染区，全尘浓度为11.17~52.92 mg/m³、呼尘浓度为5.33~20.17 mg/m³。基于尘源特征与气流组织规律，构建了“源头封控-协同除尘-分区净化-监测控制”一体化技术体系，形成了导料槽密闭与软帘/风幕协同密封负压抽排、破碎筛分多源均一负压抽排、落料转运无动力减尘、车间环境分区净化及除尘系统监测控制等关键技术。示范应用结果表明，236导料槽典型测点粉尘浓度明显下降，2024年3月、8月、9—10月第三方检测各区域均达到时间加权平均总尘浓度≤4 mg/m³、时间加权平均呼尘浓度≤2.5 mg/m³的控制指标。研究成果可为选煤厂粉尘系统治理与智能化防尘提供参考。

【关键词】：选煤厂；粉尘污染；综合防治；呼吸性粉尘；工程应用

DOI:10.12417/2811-0528.26.11.084

选煤厂转运落料、破碎筛分、皮带输送和刮板运输等环节扬尘强，粉尘具有粒径细、扩散快、持续时间长等特征。由于空间相对封闭、设备密集、气流扰动复杂，其治理呈现点源多、面源广、二次扬尘明显等特点，有必要开展尘源识别、扩散规律及综合治理研究

现有选煤厂粉尘治理多侧重单机设备或单一工艺，缺乏尘源封控、过程除尘、环境净化与运行控制的整体协同。为此，本文以某选煤厂为对象，开展污染特征识别、致尘机理分析、技术研发与工业示范，形成可推广的综合防治技术体系。

表1 某选煤厂主要粉尘特征摘要

指标	结果	治理启示
游离二氧化硅含量	1.2%	职业健康风险需重点关注
呼吸性粉尘占比	原煤仓 28.16%；筛分破碎 40.39%；入洗胶带机 53.08%	筛分破碎及输送末端需优先治理
高浓度区域	筛分破碎车间二层236D皮带机	应优先配置密封、抽排与协同抑尘措施
典型浓度范围	全尘 11.17~52.92 mg/m ³ ；呼尘 5.33~20.17 mg/m ³	单一措施难以稳定达标，需系统治理

1 选煤厂粉尘污染特征与治理需求

某选煤厂承担原煤洗选装运任务，原设计规模为10.0 Mt/a，扩产后实际能力达到14.0 Mt/a。现场调研表明，粉尘问题主要集中在皮带转运、回程皮带及拉紧滚筒、破碎筛分、刮板机及各类观察口、导料槽和溜槽密封不严部位。其中，诱导气流、冲击气流、设备振动扰动及密封失效逸散，是粉尘持续弥漫的主要原因。

粉尘理化性质测试结果显示，该厂粉尘游离二氧化硅含量为1.2%，SEM观察表明粉尘微观结构复杂，粒径总体较小，基本在10μm以下。粒径分布分析表明，原煤仓、筛分破碎车间和入洗胶带机区域呼吸性粉尘占比分别约为28.16%、40.39%和53.08%，说明筛分破碎及输送末端区域对呼吸性粉尘控制提出了更高要求。润湿性测试表明，煤粉初始接触角为100.8°，10s时降至77.1°，说明粉尘初始疏水性较强，但随着接触时间延长，可润湿性逐步改善，这为湿式捕尘和喷雾参数优化提供了依据。

浓度测定结果进一步揭示了典型区域的污染等级差异。筛分破碎车间二层236D皮带机区域全尘浓度为11.17~52.92 mg/m³、呼尘浓度为5.33~20.17 mg/m³，属于高浓度区域；筛分破碎车间一层601D和292D皮带机区域全尘浓度为5.25~14.50 mg/m³、呼尘浓度为2.25~8.75 mg/m³，属于中浓度区域；原煤仓下、廊道及车间三层以上区域全尘浓度为1.08~3.33 mg/m³、呼尘浓度为0.42~1.83 mg/m³，属于低浓度区域。筛分

破碎车间二层转载与受料位置是重点治理对象。

对转载点开展的数值模拟表明,转载段内粉尘存在明显分层分布特征:细颗粒粉尘随气流性强,是造成空间污染的主要来源;低速回流区粉尘浓度较高,而入口风速增加有利于降低沉积量;输送带上部大粒径粉尘沉积较重,是需要重点密封与抽排的区域。上述结果说明,选煤厂粉尘治理不能仅依赖末端除尘,而应针对“物流-气流-设备结构-环境空间”耦合关系实施系统治理。

2 综合防治关键技术体系

针对选煤厂尘源多样、空间复杂和污染层级分化的特点,本研究构建了“源头封控、过程除尘、环境净化、监测控制”四位一体技术体系。

在源头封控方面,围绕导料槽、给煤机、破碎机、筛分机、刮板机和观察窗等易逸尘部位,系统开展了密封材料与封闭结构优化。导料槽采用挡煤裙边、软帘/风幕协同密封及负压抽排相结合的方案,在兼顾密封性、耐磨性和维护便利性的同时,削弱落料点正压外溢。针对给煤机和破碎机,优化密封材料及安装方式,提升振动条件下的贴合与耐久性;针对刮板机盖板变形、观察窗缝隙逸尘等问题,通过盖板更新、U型橡胶密封条及机械门锁等措施提高密封完整性。对落料转运环节,研发无动力减尘技术及新型导料装置,降低诱导风和冲击扬尘强度。

在过程除尘方面,根据不同尘源强度和特征实施差异化协同治理。给煤机采用导料槽与观察窗密封基础上的负压抽排方案,配合负压诱导除尘风机与负压诱导喷雾总成形成协同降尘;分级筛采用软密封并配置负压诱导除尘风机和负压诱导喷雾总成;破碎机主要采用软密封与负压诱导喷雾治理;对于高浓度粉尘环境,则开发了气液卷吸洗涤器、轮壳同心旋流湿式除尘、金属基湿滤和喷雾荷电除尘等技术。其中,气液卷吸洗涤器试验表明,在适宜液位条件下全尘效率和呼尘效率均可达到99%以上,现场测试其出口全尘浓度为 0.42 mg/m^3 、呼尘浓度为 0.37 mg/m^3 ,满足室内排放要求。

在环境净化方面,基于粉尘浓度分布规律首次提出车间环境呼吸性粉尘高、中、低浓度区域分区源净化思路。针对高浓度区域,以源头封控与高效抽排为主;针对中浓度区域,强化设备密封、局部抽排与喷雾协同;针对低浓度区域,则通过环境净化设备维持整体空气质量。这一分区治理模式有助于将有限治理能力优先配置到关键区域,提升系统运行的经济性与针对性。

在监测控制方面,研发了除尘系统监测与控制综合集成系统,形成现场设备层、现场传输层、CPU处理层和控制应用层

的总体架构。系统能够实现除尘设备运行状态监测、启停控制、车间粉尘数据采集、超限预警及联动控制,并可为智能化选煤厂提供接入端口。由此,选煤厂粉尘治理从传统的分散治理转向了“可监测、可联动、可优化”的集成治理模式。

3 工程应用与效果验证

研究成果在某选煤厂进行了工业示范,示范时间超过3个月,覆盖原煤仓、筛分破碎车间、入洗胶带机及相关生产系统密封完善等多个场景。示范应用中,围绕236胶带机导料槽、振动筛、破碎机、刮板机、观察窗等关键部位实施了综合治理,并对区域粉尘浓度变化开展持续测试与第三方评价。

以236导料槽为例,在导料槽上布设4个测点,对“设备未开启、负压诱导除尘风机开启、负压诱导喷雾开启、风机与喷雾协同开启”4种工况进行对比。结果表明,除尘设备未启动时,236-22和236-27位置粉尘浓度较高,236-7位置最低;单独开启风机或喷雾后,各测点浓度均明显下降,其中236-22和236-27位置下降尤为显著;在风机与喷雾协同工况下,236-7测点粉尘浓度由 12.78 mg/m^3 进一步降至 8.33 mg/m^3 ,表明协同工艺对局部复杂流场具有更好的抑尘效果。

第三方检测结果验证了技术体系的有效性。2024年3月检测中,236试验区域最高全尘浓度为 3.6 mg/m^3 、最高呼尘浓度为 2.0 mg/m^3 ;2024年8月检测中,原煤仓、筛分破碎车间和入洗胶带机等区域最高全尘浓度分别为 3.70 mg/m^3 、 3.90 mg/m^3 和 3.90 mg/m^3 ,最高呼尘浓度分别为 2.43 mg/m^3 、 2.47 mg/m^3 和 1.76 mg/m^3 ;2024年9—10月检测中,原煤仓、筛分破碎车间和入洗胶带机最高时间加权平均总尘浓度分别为 1.80 mg/m^3 、 1.70 mg/m^3 和 2.40 mg/m^3 ,最高时间加权平均呼尘浓度分别为 0.97 mg/m^3 、 0.87 mg/m^3 和 1.05 mg/m^3 。各采样点均达到时间加权平均总尘浓度 $\leq 4\text{ mg/m}^3$ 、时间加权平均呼尘浓度 $\leq 2.5\text{ mg/m}^3$ 的控制指标。

综合来看,本研究形成的技术体系兼顾源头抑尘、过程控制和系统优化。通过密封优化、风机喷雾、湿式净化及监测控制,有效减少粉尘外逸,削弱高浓度尘源,提升治理运行的实时性和稳定性。工程示范表明,该技术体系具有较好的现场适应性和推广价值。

4 结论

(1) 某选煤厂粉尘污染具有典型的多源耦合特征。皮带转运、破碎筛分、刮板运输及密封失效部位是主要产尘环节,筛分破碎车间二层236D皮带机区域为高浓度污染区,呼吸性粉尘控制需求突出。

(2) 基于粉尘理化性质、浓度分布和数值模拟结果,构建了“源头封控—协同除尘—分区净化—监测控制”一体化技

术体系,形成了导料槽密闭与软帘/风幕协同密封负压抽排、落料转运无动力减尘、分区分源净化和集成控制等关键技术。

(3) 某选煤厂示范应用结果表明,典型导料槽测点粉尘浓度显著下降,第三方检测各区域均达到时间加权平均总尘浓度 $\leq 4 \text{ mg/m}^3$ 、时间加权平均呼尘浓度 $\leq 2.5 \text{ mg/m}^3$ 的指标,验证了该技术体系的工程有效性。

(4) 后续可围绕不同煤质条件下的参数优化、智能联动控制策略和长周期运维效果进一步研究。

表2 第三方检测结果摘要

检测时段	区域	最高总尘浓度 (mg/m^3)	最高呼尘浓度 (mg/m^3)
------	----	-------------------------------	-------------------------------

2024年3月	236 试验区域	3.60	2.00
2024年8月	原煤仓	3.70	2.43
2024年8月	筛分破碎车间	3.90	2.47
2024年8月	入洗胶带机	3.90	1.76
2024年9—10月	原煤仓	1.80	0.97
2024年9—10月	筛分破碎车间	1.70	0.87
2024年9—10月	入洗胶带机	2.40	1.05

注:各采样点均达到时间加权平均总尘浓度 $\leq 4 \text{ mg/m}^3$ 、时间加权平均呼尘浓度 $\leq 2.5 \text{ mg/m}^3$ 的控制指标。

参考文献:

- [1] 国家卫生健康委员会.工作场所空气中粉尘测定第1部分:总粉尘浓度:GBZ/T 192.1—2007[S].
- [2] 马云东,郭昭华,赵二夫.选煤厂粉尘产出机理及综合治理方案研究[J].辽宁工程技术大学学报,2002,21(04):507-510.
- [3] 杨桐.储煤仓下给料机煤尘污染机理和控制技术[D].阜新:辽宁工程技术大学,2012.
- [4] 贾惠艳,马云东.选煤厂输煤系统转载点粉尘产出控制技术[J].环境污染与防治,2007,29(10):767-769.
- [5] 武芳冰.选煤厂粉尘运动规律与关键控制技术[D].辽宁工程技术大学,2010.