

# 水泥厂处置废弃物过程中颗粒物排放特性及控制技术研究

刘畅

天津金隅振兴环保科技有限公司 天津 300400

**摘要:** 本文聚焦水泥厂处置废弃物过程中的颗粒物排放特性与控制技术。先阐述协同处置工艺流程及颗粒物排放源分类,接着研究颗粒物采样分析方法、不同废弃物处置及时间空间分布特性。随后介绍源头、过程、末端控制技术,通过应用效果评估指标与案例分析,评估技术效果并提出优化建议。研究表明,组合控制技术可有效降低颗粒物排放,兼顾减排与经济性,对水泥厂废弃物处置的环保工作具有重要指导意义。

**关键词:** 水泥厂; 废弃物处置; 颗粒物排放; 控制技术

引言: 随着环保要求日益严格,水泥厂废弃物处置中的颗粒物排放问题备受关注。水泥厂多采用协同处置工艺实现资源回收与减量化,但此过程会产生大量颗粒物,危害环境与人体健康。颗粒物排放源分为有组织与无组织两大类,其排放特性受多种因素影响。深入研究颗粒物排放特性并开发有效控制技术,对水泥厂实现绿色生产、满足环保标准至关重要,本文将围绕此展开探讨。

## 1 水泥厂处置废弃物的工艺流程及颗粒物排放源分析

### 1.1 水泥厂处置废弃物的主要工艺流程

水泥厂处置废弃物多采用协同处置工艺,以实现资源回收与减量化目标,核心流程涵盖预处理、协同煅烧及残渣利用三大环节。首先对接收的废弃物进行分类筛选,去除金属、玻璃等不可燃杂质,再通过破碎、均化处理,使废弃物粒度与成分满足入窑要求,避免影响水泥熟料质量。预处理后的废弃物按比例与石灰石、黏土等原料混合,送入预热器预热至800-900℃,随后进入回转窑,在1450℃以上高温下煅烧,废弃物中的有机物充分燃烧分解,无机成分参与熟料矿物合成。煅烧产生的熟料经冷却机冷却后,与石膏等混合粉磨为水泥成品,煅烧尾气则经除尘、脱硫等处理后达标排放<sup>[1]</sup>。整个流程依托水泥厂现有生产系统,无需大规模新增设备,兼具经济性与环保性,是当前废弃物处置的主流模式之一。

### 1.2 颗粒物排放源识别与分类

水泥厂处置废弃物过程中,颗粒物排放源可按生产环节精准识别并分类,主要分为无组织排放源与有组织排放源两大类。有组织排放源集中于尾气排放节点,包括回转窑尾、预热器出口及烘干机、粉磨机排气筒,排放颗粒物以煅烧产生的粉尘、未燃尽炭粒及原料碎屑为主,排放浓度受燃烧效率与设备密封性影响显著。无组织排放源分布较广,涵盖废弃物预处理车间、原料堆存场、输送廊道及熟料储存区,其中预处理环节的破碎、筛

分过程易产生大量粉尘,堆存场及廊道因风力作用和物料转运散落形成扬尘。按颗粒物粒径可分为总悬浮颗粒物、可吸入颗粒物(PM<sub>10</sub>)及细颗粒物(PM<sub>2.5</sub>),细颗粒物因粒径小、吸附性强,对环境与人体健康危害更大。不同排放源的颗粒物成分与粒径分布存在差异,为后续针对性控制提供依据。

## 2 水泥厂处置废弃物过程中颗粒物排放特性研究

### 2.1 颗粒物采样与分析方法

颗粒物采样与分析是一项严谨且科学的工作,必须紧密结合排放源特性,采用标准化方法,以此确保所获取数据的准确性与可比性,为环境管理和污染防控提供可靠依据。对于有组织排放源,采样严格依据《固定污染源排气中颗粒物测定与气态污染物采样方法》开展。在排气筒指定断面精心设置采样点,运用自动烟尘采样器采集颗粒物样本。采样过程中,同步精准记录烟气温度、压力、流速等关键参数,为后续精确计算排放浓度与排放量奠定基础。无组织排放源的采样则采用降尘缸法与便携式采样器相结合的方式。在敏感点合理设置监测点位,进行连续24小时以上的采集,如此才能全面捕捉扬尘扩散规律,掌握其动态变化。进入样品分析阶段,运用多种先进技术。通过重量法精确测定颗粒物总量;利用激光粒度分析仪检测粒径分布,清晰了解颗粒物大小特征;采用X射线荧光光谱法分析颗粒物化学成分,明确硅、钙、铁等主要元素含量。同时结合离子色谱法测定可溶性离子,综合评估颗粒物的环境影响潜能<sup>[2]</sup>。另外,采样过程中要严格控制采样时间与频次,保证平行样偏差控制在5%以内,只有这样,才能确保分析结果真实、准确地反映颗粒物排放特性,为科学决策提供有力支撑。

### 2.2 不同废弃物处置过程中颗粒物排放特性

不同类型废弃物处置过程中,颗粒物排放特性存在明显差异,核心受废弃物成分、热值及处置方式影响。处

置生活垃圾焚烧飞灰时,因飞灰本身含大量细小颗粒,预处理破碎环节无组织排放浓度较高,且颗粒物中重金属含量偏高,PM<sub>2.5</sub>占比可达30%以上。处置工业固废如冶炼废渣时,因废渣硬度大、粒径不均,粉磨及煅烧环节颗粒物排放量增加,且颗粒物以硅、钙氧化物为主,粒径相对较大,PM<sub>10</sub>占比超60%。处置生物质废弃物如秸秆时,因生物质热值较低,需增加投料量,导致煅烧不完全,颗粒物中未燃尽炭粒占比上升,有组织排放浓度波动较大。废弃物混合处置时,颗粒物排放特性呈叠加效应,排放浓度与粒径分布受混合比例调控,合理配比可降低颗粒物排放强度,兼顾处置效率与环保要求。

### 2.3 颗粒物排放的时间和空间分布特性

颗粒物排放的时间与空间分布呈现出极为显著且具有规律性的特征,这一特征深受生产工况与环境条件的双重影响。从时间分布来看,季节变化对颗粒物排放也有着不可忽视的影响。冬季时,气温低且空气干燥,物料含水率降低,颗粒物更容易飘散,排放浓度相较于夏季会高出20%~30%;而夏季降雨量较大,扬尘能够得到有效抑制,无组织排放显著降低。在空间分布方面,有组织排放源的颗粒物会沿着排气筒高度进行扩散,下风向的浓度会随着距离的增加而逐渐降低,在500米范围内浓度相对较高。无组织排放源则以车间及堆存场为中心,呈辐射状向四周扩散,其受风向影响十分明显,上风向的浓度仅为下风向的1/3,而且近地面的PM<sub>10</sub>浓度显著高于高空,对厂区及周边环境的影响较为集中。

## 3 水泥厂处置废弃物过程中颗粒物控制技术

### 3.1 源头控制技术

源头控制作为颗粒物减排的基石,其核心在于借助优化原料与工艺设计,从根源上遏制颗粒物的产生。在废弃物预处理阶段,采用湿式破碎技术替代传统的干式破碎方式。通过精准喷水增湿,将物料含水率稳定控制在15%~20%,这一举措可显著降低破碎环节的无组织扬尘,减排幅度高达60%以上。对于堆存场,实施密闭式储存策略,并配备先进的喷淋降尘系统,定时定量喷水保湿,有效抑制风力引发的扬尘问题<sup>[3]</sup>。在工艺优化方面,合理调整废弃物与原料的混合比例至关重要,严格控制废弃物投料量不超过总物料的10%,避免因投料过量导致煅烧不完全,进而减少颗粒物的生成。选用低尘型输送设备,如以密闭式皮带输送机取代开放式输送设备,在转运节点设置密封罩,全方位阻断颗粒物的扩散路径。强化原料与废弃物的均化处理,通过科学手段确保入窑物料成分与粒度均匀,稳定煅烧工况,减少因工况波动引发的颗粒物突发排放,从源头上降低控制压力,为后续

的减排工作奠定坚实基础。

### 3.2 过程控制技术

过程控制主要聚焦于生产环节中的颗粒物捕集与抑制,通过设备升级与工况调控,降低颗粒物扩散风险。在预处理车间、粉磨机等关键岗位,安装局部通风除尘装置,采用侧吸式集气罩精准捕捉粉尘,再结合管道输送至高效的除尘设备,捕集效率可达95%以上,有效减少粉尘外溢。回转窑与预热器系统是颗粒物产生的重要源头,优化其密封结构,更换耐高温密封材料,可大幅减少窑体漏风,避免冷风渗入导致颗粒物夹带量增加。同时优化煅烧参数,提高燃烧效率,减少未燃尽颗粒物的生成。在物料输送过程中,在皮带输送机头部与尾部设置缓冲装置,降低物料落差,减少冲击性扬尘;对输送廊道进行密闭改造,配备负压吸尘系统,及时清除散落粉尘。建立工况实时监测系统,对颗粒物排放浓度、设备运行参数等进行动态监控,一旦发现异常,能够及时调整,确保过程控制的稳定性与有效性,保障生产过程中的颗粒物排放始终处于可控范围。

### 3.3 末端治理技术

末端治理是确保颗粒物达标排放的最后一道防线,针对不同排放源特性选用适配技术,确保排放浓度符合国家标准。对于有组织排放源,主流采用袋式除尘器,它利用滤袋过滤颗粒物,对PM<sub>2.5</sub>的去除效率可达99%以上,且能适应不同粒径颗粒物,运行稳定性强,广泛应用于窑尾、磨尾排气处理。部分水泥厂采用电袋复合除尘器,该技术结合电除尘与袋式除尘的优势,先通过电场去除大颗粒,再经滤袋捕捉细颗粒,兼顾处理效率与能耗,实现高效除尘。对于无组织排放源,末端治理采用雾炮机、喷淋系统联合作用。雾炮机产生微米级水雾,与空气中颗粒物碰撞后使其沉降;喷淋系统对地面及物料表面进行保湿,抑制二次扬尘。另外,对排气筒出口颗粒物进行深度处理,部分企业加装湿式电除尘器,进一步去除细颗粒物与重金属,确保排放浓度低于10mg/m<sup>3</sup>,满足超低排放要求。通过这些末端治理技术的综合应用,为颗粒物达标排放提供了可靠保障,实现环保与生产的和谐共生。

## 4 颗粒物控制技术的应用效果评估与优化

### 4.1 应用效果评估指标与方法

在颗粒物控制技术应用效果评估工作中,建立一套科学、全面的多维度指标体系至关重要,需结合定量与定性方法进行综合判定。核心评估指标方面,颗粒物去除效率、排放浓度、能耗及运行成本是关键。其中,去除效率需区分有组织与无组织排放分别计算。有组织排

放去除效率通过公式(处理前浓度-处理后浓度)/处理前浓度×100%精确算出;无组织排放则借助监测点在不同时段的浓度变化来评估。排放浓度直观反映颗粒物排放水平,能耗和运行成本则体现技术应用的经济性。辅助指标也不容忽视,涵盖设备运行稳定性、维护周期、二次污染风险等。这些指标从不同角度反映技术应用的整体状况。评估方法上,采用现场监测法与数据分析法相结合。现场监测需连续72小时采集颗粒物浓度数据,同步记录设备运行参数;数据分析法则对比技术应用前后的排放数据、能耗成本,运用统计学方法深入分析减排效果。还需严格参考《水泥工业大气污染物排放标准》,判断是否达到达标排放及超低排放要求。最终形成综合评估报告,为技术的进一步优化提供详实、可靠的数据支撑。

#### 4.2 实际应用案例分析

大型水泥厂针对废弃物协同处置过程颗粒物排放问题,采用“源头+过程+末端”组合控制技术,应用效果显著。源头通过湿式破碎与密闭堆存,预处理环节无组织扬尘浓度从80mg/m<sup>3</sup>降至25mg/m<sup>3</sup>,减排率68.75%;过程优化窑体密封结构,安装局部通风除尘装置,煅烧与输送环节颗粒物排放量减少40%;末端采用电袋复合除尘器与湿式电除尘器串联,有组织排放浓度从50mg/m<sup>3</sup>降至8mg/m<sup>3</sup>,达到超低排放标准。该案例中,控制技术运行能耗较传统工艺增加12%,但通过废弃物资源化利用获得补贴,综合成本降低8%,设备维护周期为3个月,运行稳定性良好。另一中小型水泥厂仅采用袋式除尘器末端治理,虽有组织排放达标,但无组织排放控制不足,颗粒物总减排率仅55%,表明单一技术难以满足全面减排需求,组合技术应用优势明显。

#### 4.3 控制技术优化建议

结合实际应用效果,针对颗粒物控制技术提出针对

性优化建议,兼顾减排效果与经济性。优化组合控制方案,中小型水泥厂可采用“密闭储存+局部除尘+袋式除尘”简化组合,降低设备投入成本;大型水泥厂推广“电袋复合除尘+湿式电除尘”深度处理技术,进一步去除细颗粒物<sup>[4]</sup>。引入智能化调控系统,结合工况监测数据自动调整喷淋量、除尘设备运行参数,实现精准减排,降低能耗。定期对滤袋、密封件等易损部件进行检测更换,建立维护档案,延长设备使用寿命,避免因设备故障导致颗粒物超标排放。加强废弃物分类预处理,对高尘、高重金属废弃物单独处置,优化混合配比,减少对颗粒物排放特性的不利影响,推动控制技术与生产工艺深度融合,实现环保与效益双赢。

#### 结束语

水泥厂处置废弃物过程中的颗粒物排放控制是环保工作重点。通过研究排放特性,采用“源头+过程+末端”组合控制技术,并评估应用效果,可有效降低颗粒物排放。实际应用中,不同规模水泥厂应结合自身情况优化技术方案,兼顾减排与经济性。未来,还需持续创新控制技术,加强智能化调控,推动水泥厂废弃物处置向更环保、高效的方向发展,实现经济效益与环境效益的双赢。

#### 参考文献

- [1]周晓东,耿力奇,杨金彪,等.协同处置水泥窑系统的能耗核算兼谈生活垃圾焚烧炉的选择[J].水泥,2024(11):17-19.
- [2]马强,杨廷臣,刘雄才,等.冀东油田含油污泥水泥窑协同处置技术研究[J].油气田环境保护,2023,33(3):33-38.
- [3]梅向阳,卿华,刘群星,等.水泥厂污染物排污系数及治理技术研究[J].四川环境,2022,41(6):294-298.
- [4]李养萍,李科,吴玉娥,等.水泥窑尾袋收尘器超低排放改造关键技术分析[J].水泥,2022(1):21-24.