

装修垃圾资源化利用工程预处理生产线粉尘控制分析

张晓星^{1, 2}

1.上海跃昕环保科技有限公司, 上海 201800

2.上海科频再生能源有限公司, 上海 201800

DOI:10.61369/ME.2025010036

摘要 : 粉尘污染控制是装修垃圾资源化利用工程的环保难点, 是影响职工职业健康安全的关键因素。采取有效措施提高粉尘控制效果, 提升作业环境是新建和已建项目运营面临的共性问题。本文研究以上海市某装修垃圾资源化利用工程为依托, 分析了粉尘来源与特点, 对比项目装修垃圾预处理生产线技改前后粉尘控制效果, 提出粉尘控制运营优化建议, 为城市新建该类项目或已建项目运营提供参考。研究表明: 装修垃圾预处理生产线采用设施设备密封+负压收尘相结合系统。起尘点均应设置收尘罩, 收尘罩位置宜设在粉尘集中扩散路径1.5m以内, 收尘罩罩口平均风速不宜超过2.0m/s, 罩口负压不宜超过0.35Pa; 根据粉尘特点相近原则采用半集中式袋式除尘器布置方式; 通过除尘器风机控制、总排管主风管设增压风机, 有效实现净化前、后的排放支管、总管阻力平衡, 避免短流等现象, 使得每个抽尘点维持有效负压, 起到有效的收尘、除尘效果, 保证车间粉尘控制效果。

关键词 : 装修垃圾资源化; 粉尘来源与特点; 预处理生产线粉尘控制; 设施设备密封; 负压收尘

Analysis of Dust Control in Pre treatment Production Line of Decoration Waste Resource Utilization Project

Zhang Xiaoxing^{1, 2}

1.Shanghai Yuexin Environmental Protection Technology Co., Ltd. Shanghai 201800

2.Shanghai Kepin Renewable Energy Co., Ltd. Shanghai 201800

Abstract : Dust pollution control is an environmental protection challenge in decoration waste resource utilization projects and a key factor affecting the occupational health and safety of workers. Taking effective measures to improve dust control efficiency and enhance the working environment is a common issue faced by both new and existing project operations. The article based on a decoration waste resource utilization project in Shanghai, analyzes the sources and characteristics of dust, compares the dust control effects before and after the technical transformation of the decoration waste pretreatment production line, and proposes optimization suggestions for dust control operations to provide references for the construction of new urban projects of this type or the operation of existing projects. The study shows that the decoration waste pretreatment production line adopts a system combining facility and equipment sealing with negative pressure dust collection. Dust collection hoods should be installed at all dust-generating points, preferably within 1.5 meters of the concentrated dust diffusion path. The average air velocity at the hood opening should not exceed 2.0 m/s, and the negative pressure at the hood opening should not exceed 0.35 Pa. A semi-centralized bag filter arrangement is adopted based on the principle of similar dust characteristics. Through the control of the dust collector fan and the installation of a booster fan in the main duct of the total exhaust pipe, the resistance balance of the exhaust branch and main pipes before and after purification is effectively achieved, avoiding phenomena such as short-circuit flow. This ensures that each dust extraction point maintains effective negative pressure, achieving efficient dust collection and removal, and ensuring the dust control effect in the workshop.

Keywords : resource utilization of decoration waste; sources and characteristics of dust; dust control in pre-processing production line; facility and equipment sealing; negative pressure dust collection

引言

随着城市进程的加快，建筑垃圾的产量逐年增加，高达数十亿吨级，但建筑垃圾资源化利用发展缓慢，综合资源化利用率低，除少量用于工程回填和再生利用外，大部分仍简单堆放处理^[1-2]。《上海市建筑垃圾处理管理规定》（2017年9月18日上海市人民政府令第57号公布）中指出，“建筑垃圾包括建设工程垃圾和装修垃圾。建筑建设工程垃圾是指建设工程的新建、改建、扩建、修缮或者拆除等过程中，产生的弃土、弃料和其他废弃物。装修垃圾是指按照国家规定无需实施施工许可管理的房屋装饰装修过程中，产生的弃料和其他废弃物。”^[3]

为响应“‘十四五’大宗固体废弃物综合利用规划”建设及《中华人民共和国固体废物污染环境防治法（2020修订）》，上海、江苏、深圳等城市逐步开始投资建设建筑垃圾资源化利用项目^[4-5]。近期围绕装修垃圾特性及处置工艺开始展开一系列研究，主要聚焦装修垃圾资源化厂设计^[6-7]，研究过程重点研究了装修垃圾的预处理生产工艺，但对该类工程粉尘控制的研究非常有限^[8]。装修垃圾资源化处理过程中，无论是振动筛、破碎机还是风选机、给料机都会在工作中产生大量粉尘，粉尘对人体、生产过程、环境和生态平衡等诸多方面均会产生不良影响。根据《中华人民共和国环境保护法》^[9]、《中华人民共和国大气污染防治法》^[10]以及上海市《大气污染物综合排放标准》（DB31/933-2015）^[11]、《工作场所有害因素职业接触限值 第部分：化学有害因素》（GBZ2.1-2019）^[12]中的要求，对装修垃圾预处理生产线产生的粉尘颗粒物的控制，为大气污染物的控制和改善厂房环境状况起着重要作用。

现有实际工程案例运行表明，粉尘污染控制仍是装修垃圾资源化利用工程的环保难点，是影响职工职业健康安全的关键因素。采取有效措施提高粉尘控制效果，提升作业环境是新建和已建项目运营面临的共性问题。本文研究以上海市某装修垃圾资源化利用工程为依托，分析了粉尘来源与特点，对比项目装修垃圾预处理生产线技改前后粉尘控制效果，提出粉尘控制运营优化建议，为城市新建该类项目或已建项目运营提供参考。

一、工程概况

上海市某装修垃圾资源化利用项目设计处理规模1500吨/天，年处理50万吨，以装修垃圾为主，兼顾拆除垃圾。项目占地73亩，主要包括一体化车间（含卸料车间、堆放车间、预处理车间、制砖车间、产品车间等）、生产辅助车间、电业开关站、消防水池及泵房等。项目总平布置见图1。

预处理生产线采用“粗分选+三级筛分+两级分选+两级破碎，辅以磁选和光选”的处理工艺，设两条生产线，每条线处理能力为65吨/小时，12小时工作制；同时设置一条每天消耗约200t骨料的制砖生产线。主要产品为再生骨料、再生砖、木材等，不可利用的可燃物外运焚烧处置。



图1 某建筑垃圾资源化利用项目实景图

注：引用2024年1月上海某区建筑垃圾资源化利用项目现场照片

二、粉尘来源与特性

（一）粉尘来源分析

装修垃圾的来料倾倒、上料、输送、破碎、筛分、分选、产

品装载等工序中均会产生不同影响程度的粉尘，以尘土和石料微细颗粒为主。根据装修垃圾资源化处理工艺，主要起尘点如下：

1. 卸料堆放区：垃圾从运输车卸料至堆放区的过程中因高度落差易产生扬尘。粉尘产生与运输车次相关（1500t/d约300车次左右），属于无组织粉尘；倾倒瞬时粉尘浓度高，容易扩散至空间。

2. 上料环节：装载机装料过程因高度差易产生扬尘，具有集中、瞬时、高浓度及不易密封的特点，属于无组织粉尘。

3. 皮带输送系统：主要发生在皮带转接处，因落差产生冲击造成扬尘，粉尘浓度高、集中、易密封、物料转运速度快、物料转运高度落差大等，可通过有效收集形成有组织粉尘。

4. 破碎类设备：如反击式破碎机、颚式破碎机等。当垂直进料口与出料口高度差 $H > 2000\text{mm}$ 时，上部产生的粉尘主要是物料动诱导的空气流动、剪切气流作用引起的；下部产生的粉尘主要是经过破碎机的冲击而产生新的干燥面与细小颗粒物料，在下降过程中由于剪切气流作用和下降到皮带机冲击震荡扬起的粉尘。破碎类设备是生产线的重要环节，可通过有效收集形成有组织粉尘。

5. 分选及筛分设备，如风选机、振动筛等。因工艺物料自身携带的粉尘通过筛面上的低幅高频振动以及物料间的碰撞而产生粉尘飘散；筛下物到输送带因落差产生冲击造成扬尘。通过有效收集形成有组织粉尘。分选及筛分设备是生产线的重要环节，可通过有效收集形成有组织粉尘。

6. 其它堆料区域：骨料堆放区，辅料堆放区、成品堆放区等的物料扬尘高、堆积容积大。由于扬尘高，所以受到气流剪切力比较明显，如果是细微颗粒物料，在此处的粉尘漂浮量将大大增

加；堆积大面积的物料在高温风化作用下使物料表面积产生细微粉尘，微风或震动作用引起大面积的无序、不规则粉尘漂浮。属于无组织粉尘。

本文聚焦于预处理生产线粉尘控制，因此1、6的粉尘暂不讨论。

（二）粉尘特性分析

国际标准化组织规定，粒径小于75 μm的固体悬浮物定义为粉尘。如表1所示，除采样点16外，其余采样点灰尘的中值粒径均小于75 μm，即均为粉尘。根据《环境空气质量标准(GB3095-1996)》中的定义，将粒径在10 μm以下的颗粒物称为可吸入颗粒物。可吸入颗粒物可经过呼吸系统进入人体并沉积在肺部，甚至可以进入肺泡、血液，进而引起慢性鼻咽炎、慢性支气管炎等疾病。如表1所示，采样点6和采样点10灰尘的中值粒径分别为9.35 μm、10.8 μm，需要引起重视，并增加除尘强度。

表1 各采样点中值粒径分布表

采样点序号	设备编号	中值粒径, μm	采样点序号	设备编号	中值粒径, μm
1	96-4A	19.2	13	东风选 14.4	23.7
2	72A	18.1	14	西 4.3 4.4	17.9
3	96A	22.0	15	西风选 14.1	28.3
4	96-4B	19.6	16	西 16-31.5	82.7
5	96-6C	20.1	17	东风选 14.3	63.0
6	96-6D	9.35	18	西风选 14.2	27.9
7	96-4C	16.6	19	东 34 35	30.5
8	96-6A	17.3	20	0-10	27.0
9	32-4A	10.8	21	96-6B	26.0
10	32-6B	12.4	22	32-4B	25.4
11	64A	36.4	23	72C	19.1
12	32-6A	19.8			

三、预处理生产线粉尘控制

预处理生产线粉尘控制采用“设施设备密封+负压收尘相结合系统”工艺。根据袋式除尘器的布置方式，可分为分散式、集中式两种方式。

（一）分散式收集

分散式粉尘收集方式是指除尘设施与产生设备就近分散布置，每台除尘设施服务的产生设备较少。它的优点是除尘设施与产生设备间距离短，阻力小，收集效果好；缺点是除尘设施数量较多、布置分散、占地较大、且每个除尘设施产生的粉尘实现集中收集外运的难度较大。

（二）集中式收集

集中式粉尘收集方式是指除尘设施集中布置，每台除尘设施服务一个区域的生产设备，除尘设施与产生设备距离较远。它的优点是除尘设施数量较少、集中布置、占地较小、每个除尘设施产生的粉尘容易实现集中收集外运。缺点是除尘设施与产生设备间距离长，阻力大且分布不均匀，容易产生短流，收集效果较差。

分散式收集与集中式收集方式各有优缺点，且在实际工程中

均得到广泛应用。不管采用哪种收集方式，最核心的是保证收集过程系统各点阻力平衡，不出现短流等现象，使得每个抽尘点维持有效负压，起到有效的收尘效果，收集后的粉尘进入除尘器进行除尘，保证车间粉尘控制效果。

（三）技改前预处理生产线粉尘控制现状

上海市某装修垃圾资源化利用项目预处理生产线主要包括破碎设备（鄂式破碎机、反击式破碎机、剪切式破碎机）、筛分设备（进口双层振动筛、单层振动筛、双层振动筛）、分选设备（两相风选机、折板风选机）、金属分选设备（除铁器、涡电流）和输送设备（皮带输送机、链板输送机）等。装修垃圾进入生产线后随着破碎、输送、分选等设备，因撞击、碰撞、跌落等产生各种粉尘，须采取有效的粉尘控制整体方案，以实现良好的粉尘控制效果。

考虑到厂房面积大，设备多，且不同设备粉尘源强不一致，如反击破设备粉尘产生量大，落差较小的皮带转接口粉尘产生量较小，因此，在没有成熟经验可借鉴的前提下，建设过程采用分散收集方式。预处理生产线共设置21台袋式除尘器，总风量为354500 m³/h，分散布置于预处理生产线各工艺设备附近。根据2021年12月份除尘系统运行测试数据结果显示（表2和表3），吸尘点实际吸风量及除尘器实际处理风量普遍低于原设计要求；车间现场粉尘控制效果仍存在较大提升空间。

表2 现状袋式除尘器实测参数表

序号	除尘器型号	设计风量 (m ³ /h)	实测风量 (m ³ /h)	阻力 (Pa)	备注
1	QMC64B	5470	4799	2146	
2	QMC84A	7180	4416		除尘器进口静压 -2595Pa, 出口无法测试
3	MC96-6A	42000	29512	1027	管网设计不合理，导致除尘器处理风量不足。
4	QMC96-4A	26000	17300	1045	管网设计不合理，导致除尘器处理风量不足。
5	MC72A	6150	4702		除尘器进口静压 -2315 Pa, 出口无法测试
6	MC32-4B	8200	6040		除尘器进口静压 -1992 Pa, 出口无法测试

表3 现状部分吸尘点实测风量

序号	吸尘点名称	设计风量 (m ³ /h)	实测风量 (m ³ /h)	测点静压 (Pa)	备注
1	两相风选机 14.1出口	13000	13505	-896	QMC96-4C 除尘器
2	88BC 受料点	4105	2567	-4155	MC96C 除尘器
3	8BC 受料点	4105	2979	-3635	MC96C 除尘器
4	12BC 受料点	4105	2206	-919	MC96D 除尘器

项目运营后，预处理生产线收尘和除尘效果不够理想，主要原因是：①部分起尘点缺少收尘罩。装修垃圾物料在转运、破碎、筛分、分离等过程中与空气摩擦而产生大量扬尘，且粉尘中含有一定量纤维，产尘量比预期大。根据国家超低排放要求吸尘罩应设尽设原则，应设置吸尘罩共122个，但目前实际设置仅99个，部分未设收尘设施的扬尘点处于无组织状态，导致粉尘外溢。②收尘罩设置位置不合理，吸尘罩罩口风速太大。例如皮带转运速度快，物料转运高度落差大、皮带转接方向变化大，粉尘收集罩宜设在粉尘集中扩散路径1.5m以内，如果收集点距离太远，则密闭空间内局部粉尘压力太大，容易导致粉尘外溢。现有吸尘罩罩口风速高达5~20m/s，极易将混杂在物料中的塑料、泡膜、无机纤维等轻物质吸入除尘管道并进入除尘器中，堵塞除尘器下灰装置。③现场粉尘实际情况比预计更大，导致阻力增加，袋式除尘器分散布置导致现有除尘系统各点阻力不平衡，排风互相干扰形成短流，导致粉尘外溢。④部分除尘器配置的回转式星型卸灰阀虽然具备锁气功能，但流道尺寸太小，潮湿的除尘灰很容易被堵塞在卸灰阀中。⑤部分除尘器配置的配重式翻板卸灰阀无锁气功能，卸灰时室外空气从卸灰阀倒灌入除尘器中，从而减少了吸尘点的风量。4台除尘器无卸灰阀，室外空气从卸灰阀倒灌入除尘器中，大大减少了吸尘点的风量。

(四) 改造后预处理生产线粉尘控制效果

1. 粉尘控制技改方案

(1) 吸尘点技改

吸尘点技改实现吸尘罩全覆盖设置、位置合理、风速合理。

主要措施如下：

①增设吸尘罩23个，总吸尘罩122个，各皮带机受料点、破碎机、振动筛、风选机等预处理生产线所有可能产生粉尘的设施设备均设置吸尘罩，总风量为354500m³/h，与原风量相同。

②调整已有吸尘罩位置，根据每个设施设备产生点的特点，吸尘罩设置在粉尘产生并集中扩散路径1.5m内。

③采用计算机仿真技术，合理设计吸尘罩结构，调整除尘器风机风量，使得吸尘罩罩口风速均匀，且平均风速不超过2.0m/s，罩口负压不超过0.35Pa。

(2) 除尘器布置技改

①根据生产线各设施设备粉尘产生强度，按“半集中式”袋式除尘器布置方式把21台除尘器进行重新布置。其中搬迁利旧改造MC64A、MC84A、MC72A共3台除尘器，合并为8-10#除尘器，布置于预处理车间西侧反击式破碎机附近；搬迁利旧改造MC72B、C、MC96A、B、C、D及MC64B共8台除尘器，合并为11-17#除尘器，布置于预处理车间东侧反击式破碎机附近。对8#~17#除尘器，由于搬迁后重新进行组合，为改善除尘器内含尘气体的流动状况并防止局部滤袋磨损过快，各除尘器灰斗上口设置气流分布装置，这些气流分布装置均采用计算机仿真技术设计，除尘器布置改造见表4。

表4 除尘系统配置表

除尘系统编号	处理的吸尘点数量(个)	总处理风量(m ³ /h)	备注
1#	15	41500	利旧改造 MC96-6C 除尘器
2#	14	34500	22、23、24、25与26、27、28、29切换吸尘，故实际吸尘点共计10个，利旧改造 MC96-6D 除尘器
3#	16	41500	利旧改造 MC96-6A 除尘器
4#	24	45000	52、53、54、55、56、57与65、66、67、68、69、70切换吸尘，故实际吸尘点共计18个，利旧改造 MC96-6B 除尘器
5#	4	25500	利旧改造 MC96-4A 除尘器
6#	2	26000	利旧改造 MC96-4B 除尘器
7#	2	26000	利旧改造 MC96-4C 除尘器
8#~10#	6	17000	搬迁利旧改造 MC64A、MC84A、MC72A 共3台除尘器
11#~17#	19	49500	搬迁利旧改造 MC72B、C、MC96A、B、C、D及MC64B共8台除尘器
18#	4	9000	利旧改造 QMC32-4B 除尘器
19#	6	15000	搬迁利旧改造 MC32-6B 除尘器
20#	6	15000	搬迁利旧改造 MC32-6A 除尘器
21#	4	9000	利旧改造 QMC32-4A 除尘器
合计	122	354500	

②对利旧除尘器，全部采用口径DN250×250的电动回转卸灰阀卸灰。为使除尘器下灰顺畅，1#~7#系统除尘器各加设2台振动电机，单台功率90W；8#~21#系统除尘器各加设1台振动电机，单台功率90W。

(3) 风管及排气筒技改

①除尘器进出口管道全部采用钢制管道，按管径不同，壁厚选取4~8mm。改造后将含尘废气管道风速控制在18m/s左右，净化后的管道风速控制在8m/s左右。如表3所示，改造前含尘废气管道风速在14~24m/s之间，净化后管道风速在8~14m/s之间，管道内风速波动比较大。

表5 除尘器净化前后管道风速情况一览表

系统编号	净化前			净化后		
	管径(m)	管道风量(m ³ /h)	管道风速(m/s)	管径(m)	管道风量(m ³ /h)	管道风速(m/s)
QMC32-6	0.28	4560	20.58	1	13680	4.84
	0.4	9120	20.17			
	0.5	13680	19.36			
QMC32-4	0.175	1500	17.33	0.5	8200	11.60
	0.15	1350	21.23			
	0.25	2850	16.13			
	0.32	5300	18.31			
	0.42	8150	16.35			
MC96	0.28	4100	18.50	0.6	8210	8.07
	0.4	8200	18.13			

系统编号	净化前			净化后		
	管径 (m)	管道风量 (m ³ /h)	管道风速 (m/s)	管径 (m)	管道风量 (m ³ /h)	管道风速 (m/s)
MC96	0.32	4100	14.17	0.6	8210	8.07
	0.4	8200	18.13			
MC72	0.32	6150	21.25	0.4	6150	13.60
QMC96-4	0.45	12500	21.84	0.8	26000	14.37
	0.65	26000	21.77			
MC72	0.25	3080	17.44	0.5	6150	8.70
	0.32	6150	21.25			
QMC96-4	0.45	15000	26.21	0.8	26000	14.37
	0.3	5000	19.66			
	0.65	26000	21.77			
MC96	0.28	3280	14.80	0.5	8210	11.62
	0.4	8210	18.16			
MC64	0.32	5470	18.90			
MC84	0.25	3590	20.32			
	0.32	7180	24.81			
MC 96-6	0.8	42000	23.22	1	42000	14.86
MC 96-6	0.8	42000	23.22			
	1.1	84000	24.56			

②将风速过高部分连接的支管直接接入集合箱内，与主管道均接入集合箱后再进入排气筒，集合箱的断面风速控制在2.5m/s左右，这样的好处是可有效降低总管压力，改善排气筒负压不足的现象。

原设计及运营过程，除尘器进出口多个系统净化后的风管直接接入主管道，主管道直径1.5m，净化后风速在8-14m/s之间。接入排气筒的主管道风速如表6所示。

表6接入排气筒的主管道风速情况一览表

序号	总风量 (m ³ /h)	管径 (m)	风速 (m/s)
#7-#8	12300	1.5	1.93
#5-#8	28720	1.5	4.51
#1-#8	72480	1.5	11.40
#10	26000	1.5	4.09
#9-#11	58150	1.5	9.14
#9-#14	100570	1.5	15.81

参考文献

- [1] 蒋燕. 市政建筑垃圾资源化利用发展的挑战和机遇 [J]. 交通科技与管理, 2023, 4(8): 183-185.
- [2] 李治宏. 上海市建筑垃圾资源化利用现状及发展前景 [J]. 环境卫生工程, 2020, 28(3): 49-54.
- [3] 上海市人民政府令第57号, 上海市建筑垃圾处理管理规定 [Z]. 2017年9月18日.
- [4] 周峻. 装修垃圾典型处理工艺改进及经济效益分析 [J]. 环境工程, 2023, 41(2): 181-187.
- [5] 程文, 耿震, 蒋岚. 太湖流域某装修垃圾资源化利用工程设计 [J]. 环境卫生工程, 2022, 30(5): 94-97.
- [6] 郭青, 冯晓兰. 拆除垃圾及装修垃圾处置工艺浅析 [J]. 砖瓦, 2024, (11): 28-30.
- [7] 张惠林. 建筑垃圾分选与资源化利用工程设计研究 [J]. 环境保护与循环经济, 2022, 4-7.
- [8] 施庆燕, 余毅, 周可人. 装修垃圾资源化利用的工艺分析与展望 [J]. 环境卫生工程, 2024, 32(3): 36-41.
- [9] 全国人民代表大会常务委员会, 《中华人民共和国环境保护法》, 2015年1月1日实施.
- [10] 全国人民代表大会常务委员会, 《中华人民共和国大气污染防治法》, 2016年1月1日实施.
- [11] 上海市环境保护局, 上海市质量技术监督局. 大气污染物综合排放标准 (DB31/933-2015) [S], 2015年12月1日.
- [12] 国家卫生健康委员会, 工作场所有害因素职业接触限值 第1部分: 化学有害因素 (GBZ2.1-2019) [S], 2019年8月27日.

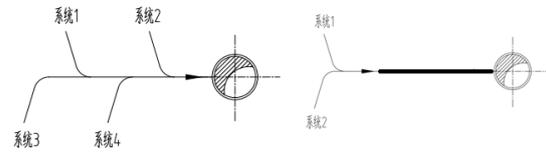


图2 (a) 现有管道示意图和 (b) 改造后管道示意图

③在主风管上新增增压风机，进一步克服总管压力，改善排气筒负压不足的现象。增压风机采用轴流风机，全压约400Pa。

四、结论

预处理生产线粉尘控制采用“设施设备密封+负压收尘相结合系统”工艺。根据袋式除尘器的布置方式1、改造前预处理生产线粉尘控制

(1) 装修垃圾预处理生产线采用设施设备密封+负压收尘相结合系统。

(2) 起尘点均应设置收尘罩，收尘罩位置宜设在粉尘集中扩散路径1.5m以内，收尘罩罩口平均风速不宜超过2.0m/s，罩口负压不宜超过0.35Pa。

(3) 根据粉尘特点相近原则袋式除尘器采用半集中式布置方式。

(4) 通过除尘器风机控制、总排管主风管设增压风机，有效实现净化前、后的排放支管、总管阻力平衡，避免短流等现象，使得每个抽尘点维持有效负压，起到有效的收尘、除尘效果，保证车间粉尘控制效果。