

石灰石矿开采过程中的粉尘污染控制方法探讨

李明

本溪钢铁（集团）矿业有限责任公司，辽宁本溪，117000；

摘要：石灰石矿开采中粉尘污染控制难度大，穿孔作业有随机性，湿式凿岩水量难控；爆破瞬间粉尘扩散快、粒径细，水袋爆破等措施效果有限；露天环境下粉尘扩散还受气象条件影响。为解决这些问题，本文提出穿孔作业采用智能湿式凿岩与高效捕尘结合，爆破作业运用多屏障协同抑制技术，运输环节采取全流程闭环管理模式，有效控制了粉尘污染。

关键词：石灰石矿；开采；粉尘污染；控制方法

DOI：10.64216/3080-1508.25.04.026

1 石灰石矿开采过程中的粉尘污染控制难点分析

石灰石矿开采过程中的粉尘污染控制存在较多问题，具体来说，石灰石开采涉及穿孔、爆破、运输、破碎等环节，各环节产生的粉尘具有突发性、移动性、高浓度等特点，导致控制难度显著；其中穿孔作业存在一定随机性，固定储存装置难以适配，而湿式凿岩虽能够降低粉尘量，但需要精准控制水量——如水量不足则会导致降尘失败，过量则会影响钻孔效率，同时也会存在大量水分浪费的情况。

此外，在作业中也会存在爆破操作，爆破瞬间会释放高压冲击波，将岩体破碎产生的粉尘剧烈抛射从而形成大范围的粉尘云，且粉尘粒径细，多为PM10级及以下，扩散速度快，冲击波可扩散至数百米，尽管采用水袋爆破、湿式掩体等措施，但因爆破能量集中、瞬时性强，难以完全抑制粉尘扩散。

在露天环境下，粉尘扩散易受气象条件的直接影响，该因素为人为难以干预的，如风速与风向、温度与湿度均会影响粉尘的扩散，会进一步降低粉尘控制效果。

2 石灰石矿开采过程中粉尘污染控制方法

2.1 穿孔作业粉尘控制：智能湿式凿岩与高效捕尘结合

在石灰石矿开采过程中，穿孔作业是难以避免的，期间会产生大量粉尘，此时相关单位需要推动湿式作业的开展，引进智能湿式凿岩技术；这些环节相关单位需要对凿岩设备进行智能化改造，需安装高精度流量传感器与压力传感器于供水系统关键节点，以实时监测水流量与压力数据，并将这些数据通过无线传输模块反馈至

中央控制系统，确保系统能够根据不同地质条件下的岩石硬度、孔深等参数自动调节供水流量至最佳范围，使水以均匀且适宜的流速喷射至凿岩钻头与岩石接触部分，从而形成稳定的水膜层，借此有效抑制粉尘的产生。

2.1.1 设备设计与改造

相关单位还需要尝试对凿岩机进行自动化改造升级，引进智能润滑系统，该系统与供水系统联动，可根据凿岩机的工作时长、转速等参数精准控制润滑油的供给量，保证钻头在湿润环境下仍然保持良好的润滑状态，减少因摩擦产生的热量，避免因局部温度过高导致水分蒸发过快而降低湿式作业效果，进而保证整个穿孔作业过程中的粉尘产生源头得到有效控制。

例如，某露天石灰石矿在穿孔作业中，针对传统凿岩设备粉尘控制不足的问题，对现有KQG150型潜孔钻机进行智能化升级；该设备在供水系统的进水口与钻头连接处分别安装了精度为 $\pm 0.5\text{L/min}$ 的电磁流量传感器和量程0-2MPa的压力变送器，传感器数据通过4G无线传输模块实时上传至型号为S7-1200的中央控制系统，系统内预存了不同岩石硬度对应的最佳水量参数库——当钻孔过程中岩石单轴抗压强度检测值为80MPa时，系统自动将供水流量调节至15L/min，压力稳定在0.8MPa；当岩石硬度升至120MPa时，流量自动提升至20L/min，压力调至1.2MPa，以此保证水膜层形成效果。

2.1.2 高效捕尘装置

工程师在完成智能湿式凿岩技术基础设置之后，便需要围绕着传统作业区域合理布局高效捕尘装置，可选用大风量、高静压特性的轴流风机作为补充动力源，将其安装在距离穿孔中心点一定距离且通风良好的位置，确保风机能够产生足够的风压和风量，将作业区域产生

的含尘空气有效吸入补偿系统；同时在风机前方还需要设置高效过滤装置，该装置采用多层复合滤料，包括初效过滤层、中效过滤层和高效过滤层三个结构，其中初效过滤层用于拦截大颗粒粉尘，中效过滤层主要进一步过滤中等颗粒的粉尘，而高效过滤层则对细微粉尘进行深度过滤，确保排出空气的粉尘浓度符合环保标准。

例如，在完成设备改造后，该矿围绕直径 12 米的穿孔作业区域布局了高效捕尘系统；选用型号为 T35-1 1 的轴流风机作为动力源，其额定风量为 35000m³/h、静压 600Pa，安装在距离穿孔中心点 12 米的上风向位置，风机进风口通过直径 800mm 的镀锌钢板风管连接至环形集气罩，集气罩采用“360 度环绕式”设计，由 6 个可调节角度的吸气口组成，每个吸气口的有效抽吸半径为 3 米，确保覆盖整个穿孔作业面；在风机出风口依次设置三级过滤装置，初级过滤采用“80 目不锈钢丝网”拦截粒径 $\geq 100\mu\text{m}$ 的粉尘颗粒，中级过滤选用“MERV13 级玻璃纤维滤料”过滤 10–100 μm 的粉尘，高级过滤采用“HEPA 高效滤网”捕捉 $\leq 10\mu\text{m}$ 的细微粉尘，过滤后的空气经检测粉尘浓度稳定在 0.5mg/m³ 以下，符合《大气污染物综合排放标准》要求。

2.2 爆破作业粉尘控制：多屏障协同抑制技术

2.2.1 多屏障协同

在石灰石矿爆破作业粉尘抑制过程中，相关单位需引进多屏障协同抑制技术，构建一个完整的管控循环；在此期间工作人员需要在爆破前构建预湿润屏障，需精确计算待爆破区域的面积和岩石含水率，依据石灰石矿的地质特性以及过往爆破经验数据，确定预湿润所需水量和水雾覆盖范围。期间，相关单位可采用高压喷雾系统，将水通过特制的雾化喷头转化为微米级水雾颗粒，这些喷头应按照一定的间距和角度均匀布置在爆破区域周边，计算并确保水雾能够全面覆盖待爆破的岩石表面；同时，为保障水雾的均匀性和持续性，相关单位需要对高压喷雾系统的压力、流量进行精准调控，通过安装在系统中的压力传感器和流量计实时监测数据并反馈至中央控制系统，根据实时数据自动调整水泵的转速和喷头的开启数量，使水雾以稳定的速率和均匀的分布喷洒在岩石上，使岩石表面形成一层均匀的水膜，进而增加岩石的湿润度和粘性，以此在爆破瞬间有效抑制粉尘扬起，为后续粉尘控制奠定基础，起到有效屏障作用。

例如，某露天石灰石矿在爆破作业中，针对 2000

平方米的矩形爆破区域实施多屏障协同抑制措施；该矿先通过地质探测仪测定待爆破岩石的含水率为 3.2%，结合过往同等地质条件下的爆破数据，计算得出预湿润需水量为每平方米 8 升，水雾覆盖范围需超出爆破区域边缘 5 米；随后启用型号为 GPZ-80 的高压柱塞泵喷雾系统，该系统配备“扇形雾化喷头”，喷头孔径 1.2 毫米，按照 2 米间距、45 度仰角均匀布置在爆破区域周边的环形管道上，单只喷头的雾化颗粒直径稳定在 50–80 微米；系统进水口安装量程 0–10MPa 的压力传感器和精度 $\pm 1\%$ 的涡轮流量计，数据实时传输至 MCGS 触摸屏控制系统，当监测到管道压力低于 3MPa 时，系统自动提升水泵转速至 1450r/min，当流量超过预设值 15% 时，自动关闭边缘区域 2 只喷头，使水雾以每分钟 0.5 升/平方米的速率均匀覆盖岩石表面，持续喷雾 30 分钟后，岩石表面形成 0.3 毫米厚的水膜，经检测其含水率升至 6.8%；此时停止喷雾，确保爆破前岩石既达到湿润标准，又不会因水分过多影响爆破效果。

2.2.2 局部密封与负压抽吸系统

在爆破过程中，为了进一步控制粉尘扩散，工程师需构建局部密封与负压抽吸系统屏障，可在爆破区域周边迅速搭建可移动的封闭围挡，该围挡应采用高强度、封闭性好的材料制成，如特制的塑料板材或金属板材，围挡之间须通过密封条紧密连接，保证无缝隙，从而形成一个相对封闭的空间，有效限制粉尘外泄；而在封闭的围挡上还需要合理设置负压抽吸口，该吸口的数量和位置应根据爆破区域的大小和形状进行科学布局，保证能够覆盖整个爆破区域。紧接着，工作人员需要将吸口与高压负压风机相连，通过负压风机产生强大的吸力，使密封空间内形成负压环境，从而促使爆破产生的粉尘向抽吸口方向流动。

在负压抽吸过程中，工作人员需要对负压风机的风速和风量进行精确控制，根据爆破产生的粉尘浓度和密封空间的大小，结合变频器调节风机转速，使风速和风量始终保持在能够有效抽吸粉尘的最佳状态；并且在负压风机的出口处设置高效过滤装置，对抽吸出来的含尘空气进行过滤处理，确保排出的空气达到环保标准，从而实现爆破过程中粉尘的有效控制和收集。

例如，在完成预湿润后，该矿立即在爆破区域周边搭建可移动封闭围挡，围挡采用厚度 5 毫米的 PVC 复合板材，单块板材尺寸为 2 米 $\times$ 1.5 米，板材之间通过“丁腈橡胶密封条”嵌合连接，并用 M8 螺栓加固，确保接

缝处密封性能达到 0.1MPa 气压下无泄漏；围挡总高度设置为 4 米，沿爆破区域边缘形成周长 80 米的封闭空间，根据区域形状在东、南、西、北四个方向各设置 2 个直径 300 毫米的负压抽吸口，吸口中心距离地面 1.5 米，相邻吸口间距 10 米，确保抽吸范围无死角；每个吸口通过法兰连接至直径 350 毫米的螺旋风管，风管汇总后与 2 台型号为 Y5-47 的高压负压风机相连，风机额定风量为 20000m³/h，风压 1200Pa；风机进风口安装变频器，可根据密封空间内粉尘浓度传感器（量程 0-100 0mg/m³）的实时数据调节转速，当浓度超过 300mg/m³ 时，转速提升至 1480r/min，低于 100mg/m³ 时降至 960 r/min；风机出风口依次设置“活性炭吸附层”和“HEP A 高效滤网”，其中活性炭层厚度为 10 厘米，滤网等级达到 H13 级，经第三方检测，处理后的排气粉尘浓度稳定在 0.3mg/m³ 以下，符合国家《环境空气质量标准》二级限值要求。

2.3 运输环节粉尘控制：全流程闭环管理

在石灰石矿运输环节进行粉尘控制，要求相关单位采取全流程闭环管理模式；工程师在运输前需做好源头管控与设备准备，需要对矿石堆场进行严格的覆盖管理，选用高强度防风化的覆盖材料，如聚乙烯防尘网，依据堆场的形状和面积进行精准裁剪与铺设，确保覆盖材料完全覆盖矿石表面；而对于边缘部分则可通过重物压实或者采用专用的固定装置进行固定，防止大风下覆盖材料被吹起，以此来从源头上减少矿石在装载前的粉尘扬起量。

紧接着，工作人员需要对运输车辆进行全方位的防尘改装，可在车身顶部安装自动开合防尘罩，该防尘罩应具备良好的密封性，且具备开启灵活的特点，通过液压或电动装置控制其开合，在装载矿石时打开，装载完成后迅速关闭，从而有效阻止运输过程中矿石粉尘从车厢顶部溢出；此外工作人员还需要在车厢底部和侧壁铺设防粘材料，如橡胶板或高分子涂层，减少矿石与车厢的粘连，避免在卸料过程中因矿石粘连车厢而产生额外的粉尘。

例如，某大型石灰石矿针对运输环节的粉尘污染，构建了从矿石堆场到卸料点的全流程闭环管理体系；相关单位需对矿石堆场进行分区覆盖，选用“HDPE 高密度聚乙烯防尘网”，该网规格为 20 米×50 米、厚度 1.2

毫米、密度 1200 目/平方厘米，具有抗紫外线老化等级 UV5，可耐受-30℃至 60℃的温度范围；覆盖前，需根据堆场实际尺寸（长 100 米、宽 80 米）裁剪为 5 块 20 米×40 米的网片，采用“鱼鳞式搭接”方式铺设，即后一块网片需覆盖前一块网片边缘 50 厘米，并用直径 8 毫米的尼龙绳将搭接处每米间隔绑扎固定；边缘部分除用混凝土压块（每块重 30 公斤，间隔 1.5 米放置）压实外，还需在四周设置“L 型角钢固定架”，角钢规格 50×50×5 毫米，通过膨胀螺栓与地面连接，将网片边缘夹持固定，经测试可抵御 8 级阵风；同时，堆场出入口设置“车辆冲洗平台”，平台长 12 米、宽 3.5 米，配备 4 组“高压旋转喷头”，每组喷头流量 50L/min、压力 0.8MPa，能对车辆轮胎、底盘进行全方位冲洗，冲洗废水经格栅沉淀池处理后循环利用，悬浮物去除率达 90%以上。

3 结束语

总体来说，石灰石矿开采粉尘污染控制意义重大，通过实践可知，穿孔作业采用智能湿式凿岩与高效捕尘结合，能精准控制水量，有效抑制粉尘；爆破作业运用多屏障协同抑制技术，可降低粉尘扩散；运输环节采取全流程闭环管理，能从源头减少粉尘。这些方法为石灰石矿开采粉尘污染控制提供了可行方案，未来还需不断优化，以实现更好的环保效果。

参考文献

- [1] 黄立宁, 郑磊. 大采高工作面截割粉尘时空运移规律研究[J]. 煤矿机械, 2025, 46(07): 95-100. DOI: 10.13436/j.mkjx.202507026.
- [2] 吴桐, 杨卓, 周国驰, 等. 粉尘沉降下内蒙露天矿复垦草本光合特性与生长响应变化[J/OL]. 生态学报, 2025, (16): 1-14[2025-07-05]. <https://doi.org/10.20103/j.stxb.202411082741>.
- [3] 公冶明. 煤炭储装运过程中的污染控制方法探析[J]. 清洗世界, 2025, 41(05): 187-189.

作者简介：李明，1983 年 1 月 13 日，男，汉族，辽宁省辽阳市，硕士研究生，中级环保工程师，中级经济师，本溪钢铁（集团）矿业有限责任公司，研究方向：环保工程管理。