

露天矿山开采粉尘污染治理

牛立洲

中国建筑材料工业建设西安工程有限公司桃江分公司 湖南 益阳 413000

摘要：露天矿山粉尘污染治理是保障生态、健康与资源可持续利用的关键。本文系统梳理了源头抑制、过程喷雾、末端捕获及新型智能协同降尘技术，通过多环节协同控制粉尘扩散。技术实施可有效降低空气中粉尘浓度，减少对植被、水体及大气的污染，降低作业人员尘肺病风险，延缓设备损耗，为露天矿山绿色开采提供技术支撑，推动行业可持续发展。

关键词：露天矿山；粉尘污染治理；智能协同降尘技术

引言：露天矿山开采规模持续扩大，粉尘污染问题日益凸显，成为制约绿色发展的关键瓶颈。粉尘扩散破坏周边植被、水体等生态环境，加剧作业人员尘肺病等健康风险，同时加速设备磨损，降低开采效率与稳定性。探索高效、精准的粉尘治理技术，可为矿山绿色转型提供科学支撑，推动行业向更环保、更可持续的方向发展。

1 露天矿山开采粉尘污染治理的重要性

露天矿山开采是资源开发的关键方式，为经济社会发展输送着各类必需资源，在推动经济增长、满足工业与生活需求上作用巨大。但随着开采规模扩大、活动深入，粉尘污染问题愈发严峻，已成为亟待解决的重要环境与社会问题，治理工作意义非凡。（1）从生态环境层面看：露天矿山开采时，大量粉尘随风扩散至周边区域。它们像无形“杀手”，覆盖在植被表面，形成厚“灰衣”，严重阻碍植物的光合作用与呼吸作用，使植物养分和能量交换受阻，影响正常生长发育，许多植物因此生长迟缓、枯萎甚至死亡。长此以往，区域生态系统平衡与稳定被破坏，生物多样性锐减。而且，粉尘沉降会改变土壤结构，破坏土壤孔隙度和透气性，降低土壤肥力，让原本肥沃的土地逐渐沙化、贫瘠，对区域生态环境造成长期且难以修复的损害。（2）对作业人员健康来说：长期在高浓度粉尘环境作业，健康风险巨大。粉尘通过呼吸道进入人体，在肺部等器官沉积，会引发尘肺病、慢性支气管炎等严重呼吸系统疾病^[1]。这些疾病不仅威胁作业人员身体健康，还降低其生活质量与劳动能力，给个人和家庭带来沉重经济与精神负担。（3）从资源可持续利用角度：有效治理粉尘污染能减少资源开采损耗。粉尘中夹杂着大量有用矿物颗粒，不加控制就会散失。治理后可提高资源回收率，实现更高效利用，保障资源长期稳定供应，为经济社会持续发展提供有力

支撑。所以，露天矿山开采粉尘污染治理刻不容缓，是保障生态、健康与资源可持续利用的关键。

2 露天矿山开采粉尘的产生与污染影响

2.1 露天矿山开采各环节粉尘产生机理

露天矿山开采粉尘污染贯穿穿孔、爆破、采装、运输、排土、破碎及筛分等核心环节。穿孔作业中，牙轮钻机或凿岩机通过冲击、挤压破碎岩层，岩土颗粒脱离母体形成粉尘，钻头与岩层摩擦产生的高温加速水分蒸发，增强粉尘悬浮性。爆破作业瞬间，炸药爆炸冲击波破碎岩体并掀起地表粉尘，形成高浓度粉尘云，虽定向起爆减少残留，但瞬时产生量仍极高。采装环节，电铲挖掘矿岩时，机械振动与摩擦导致物料表面粉尘二次扬起；铲斗卸料时，落差冲击力促使粉尘扩散；推土机清扫爆堆或台阶浮煤时，铲齿与岩土碰撞直接产生粉尘。运输阶段，卡车满载行驶，轮胎与地面挤压、振动结合行车气流形成二次扬尘。排土场作业中，岩石滑落、摩擦及推土机作业因落差大、排放量高，产生持续性二次扬尘。破碎机工作时，矿石挤压导致内部空气猛烈排出，携带粉尘通过加料口外溢；筛分过程物料振动产生垂直扬尘。各环节粉尘产生相互叠加，形成多维度、持续性的粉尘污染链，对空气质量、生态平衡及设备运行构成显著威胁。

2.2 粉尘污染的核心特征分析

露天矿山开采产生的粉尘污染具有显著的空间扩散性、成分复杂性与动态波动性特征。空间上，粉尘颗粒随气流运动形成扩散场，受地形、风向及开采强度影响，污染范围可从作业面延伸至数公里外的周边区域，形成大面积覆盖的污染层。成分方面，粉尘包含岩石碎屑、矿物微粒及爆破残留物，部分矿山因开采金属矿或含硫矿物，粉尘中还混有重金属氧化物或硫化物，长期吸入可能对人体呼吸系统及器官造成损害。动态波动性体现在粉尘浓度随

作业环节变化显著,爆破瞬间产生的高浓度粉尘云可在短时间内达到峰值,而采装、运输等环节则因机械持续作业形成持续性低浓度污染。此外,气候条件对粉尘扩散影响突出,干燥、多风天气会加剧扬尘,而湿润环境可通过吸附作用降低粉尘浓度。粉尘颗粒的粒径分布广泛,粗颗粒易沉降,但细颗粒(PM_{2.5}及以下)可长期悬浮于空气中,穿透人体防御系统,增加健康风险^[2]。其污染特征还表现为累积效应,长期暴露于低浓度粉尘环境,仍可能导致尘肺病等职业病的发生。

2.3 粉尘对生态环境的危害

露天矿山开采产生的粉尘对生态环境造成多层次、持续性的破坏。土壤生态系统首当其冲,粉尘沉降会覆盖地表植被,阻断阳光照射,抑制植物光合作用,导致生长迟缓甚至枯萎。粉尘中的重金属元素如铅、锌等,会随雨水渗入土壤,改变土壤化学性质,破坏微生物群落平衡,降低土壤肥力与保水能力,使原本适宜植被生长的区域逐渐荒漠化。水体环境同样深受其害,粉尘携带的硫化物、氮氧化物等污染物,经雨水冲刷流入河流湖泊,引发水体酸化或富营养化,威胁鱼类、贝类等水生生物的生存。悬浮于水中的粉尘颗粒还会降低水体透明度,阻碍水生植物光合作用,破坏食物链基础环节,导致整个水生态系统功能退化。大气环境方面,粉尘作为颗粒物污染源,会降低空气质量,形成雾霾天气,削弱区域气候调节能力。细颗粒物(PM_{2.5})可深入人体呼吸系统,携带的有毒物质通过血液循环扩散至全身,长期暴露会引发呼吸道疾病、心血管疾病等健康问题。粉尘沉降会覆盖周边植被叶片,堵塞气孔,影响气体交换,进一步削弱生态系统的自我修复能力,形成恶性循环。

2.4 粉尘对开采设备的损耗影响

粉尘对露天矿山开采设备的损耗贯穿设备运行全周期,主要危害体现在三方面。(1)表面沉积方面:粉尘强附着性使其在设备表面及关键部件缝隙堆积,形成厚重积尘层。这不仅改变设备外观,更会干扰运行,例如散热片被粉尘覆盖后,热量散发受阻,设备温度异常升高,加速内部元件老化,缩短使用寿命。(2)机械磨损层面:挖掘、运输等作业中,粉尘中的硬质颗粒持续摩擦设备关键部位。齿轮、轴承、链条等频繁接触粉尘的部件,因粉尘的“微型磨料”作用产生微观划痕与磨损,长期积累导致部件精度下降、间隙增大,甚至引发断裂或卡滞故障,影响设备正常运转。(3)系统侵入方面:粉尘可侵入液压系统,堵塞油路、磨损阀芯,降低液压传动效率;电气系统中,粉尘附着于电路板、传感器等精密元件,易引发短路、接触不良,潮湿环境下粉

尘吸湿后导电性增强,进一步威胁电气安全,增加设备故障风险^[3]。这些损耗不仅提高维修频次与成本,更降低设备运行效率,对矿山开采的连续性与稳定性产生显著影响。

3 露天矿山开采粉尘污染的治理技术

3.1 源头粉尘抑制技术

露天矿山开采中,源头粉尘抑制技术是降低粉尘污染的首要防线,对改善作业环境、保护生态环境意义重大。(1)在穿孔作业环节:湿式凿岩技术能有效抑制粉尘产生,通过向钻头与岩石接触部位注入高压水,使凿岩过程中产生的岩粉与水混合成泥浆,避免岩粉飞扬形成粉尘。同时,采用带有收尘装置的钻机,可在钻孔口设置吸尘罩,利用负压原理将产生的粉尘及时收集,防止其扩散到空气中。(2)爆破作业时:水封爆破技术是关键源头控尘手段,在炸药包周围填充适量的水袋,爆破瞬间高温高压使水迅速汽化,形成水雾屏障,将爆破产生的粉尘包裹并使其沉降,显著减少粉尘的逸散量。此外,合理设计爆破参数,如优化炸药类型、装药结构和起爆方式,也能降低爆破过程中的粉尘产生强度。(3)铲装作业前:对物料进行预湿润处理十分必要,利用洒水车或喷淋系统,在物料表面均匀喷洒适量水分,增加物料的湿度,使铲装过程中不易产生粉尘。通过这些源头粉尘抑制技术,可从粉尘产生的初始阶段进行有效控制,为后续的粉尘治理工作奠定良好基础。

3.2 过程喷雾降尘技术

在露天矿山开采里,过程喷雾降尘技术高效实用,是控制粉尘扩散、改善作业环境的关键,在多个作业环节作用重大。破碎环节中,破碎机是粉尘主要产生源,在破碎机进料口和出料口精准安装喷雾装置,物料进入时,喷雾装置瞬间喷出细密均匀水雾,这些水雾像细密“防护网”,均匀覆盖物料表面,让物料湿润;如此,物料破碎时因碰撞、挤压产生的粉尘量大幅降低。而且,水雾能快速捕捉已产生的粉尘,使粉尘颗粒附着在水珠上,重量增加后快速沉降,避免粉尘随风飘散到周围环境。筛分作业区域粉尘弥漫,此处设置多组高压喷雾喷头;筛分时,物料在筛面剧烈跳动、翻滚,产生大量粉尘。高压喷雾喷头喷出的水雾形成严密水幕,笼罩整个筛分区域。水雾与粉尘充分接触、激烈碰撞,促使粉尘凝聚成较大颗粒并迅速沉降,显著降低空气中粉尘浓度。运输道路也是粉尘重要源头,在道路两侧安装自动喷雾系统,它能根据车辆行驶情况自动精准控制喷雾^[4]。运输车辆经过时,喷雾系统立即启动,喷出的水雾有效抑制车辆行驶扬起的粉尘,为运输作业营造相对清洁

的环境。

3.3 末端粉尘捕获净化技术

在露天矿山粉尘治理中，末端粉尘捕获净化技术作为最后一道防线，对已扩散粉尘进行精准拦截与无害化处理，是保障环境质量与作业安全的核心手段。布袋除尘器通过滤袋表面形成的粉尘层实现高效过滤，滤袋采用耐高温、耐腐蚀的合成纤维材质，可适应矿山复杂工况；含尘气体经滤袋时，粉尘被拦截于外表面，洁净气体从内部排出，形成气固分离。定期采用脉冲喷吹技术清灰，通过瞬间高压气流振落粉尘层，恢复滤袋通透性，确保设备长期稳定运行，除尘效率可达99%以上。湿式除尘器利用水雾与粉尘的惯性碰撞实现捕获，含尘气体进入设备后，与喷淋水雾充分混合，粉尘颗粒被水膜包裹并沉降，随水流进入沉淀池。沉淀池采用多层过滤结构，清水经处理后循环使用，减少水资源消耗；沉淀的泥浆通过脱水处理，实现粉尘的无害化处置，避免二次污染。电除尘器通过高压电场使粉尘颗粒带电，在电场力作用下向电极板移动并沉积。该技术适用于高浓度粉尘环境，除尘效率高，且设备维护成本低，为露天矿山提供持续稳定的净化保障。

3.4 新型智能协同降尘技术

新型智能协同降尘技术作为露天矿山粉尘污染治理的创新方案，通过“感知-分析-决策-执行”的闭环架构实现精准控尘。其智能传感器网络在穿孔、运输、破碎等关键区域密集布设，实时监测粉尘浓度、颗粒物粒径、风速、温度等参数，数据通过低延迟通信网络传输至智能控制系统。控制系统基于机器学习算法对多维度数据进行深度挖掘，自动识别粉尘污染时空分布特征，并动态生成最优降尘策略。在设备协同层面，系统可智能调度高压喷雾、泡沫抑尘、干雾抑尘等多类型设备。

例如，在粉尘浓度超标的作业面，高压喷雾装置会以特定角度和压力喷出微米级水雾，通过碰撞捕获粉尘颗粒；当风速超过阈值时，系统自动调整喷雾方向并启动挡风屏障，防止水雾被吹散。同时，通风设备与喷雾系统联动，通过气流导引将粉尘引至集中收集区^[5]。该技术还具备自优化功能，通过持续记录运行数据并分析降尘效果，自动调整设备参数与协同逻辑，形成适应不同作业场景的动态策略库，确保系统始终处于高效运行状态，最终实现矿山作业环境的长期清洁与安全。

结束语：未来，随着智能传感器、大数据、人工智能等前沿技术的深度融合，粉尘治理将实现从“被动应对”到“主动预防”的转型。通过实时监测、动态调整与智能决策，治理系统能精准识别粉尘扩散规律，优化喷雾参数与设备协同策略，显著提升降尘效率。这一进程不仅推动露天矿山绿色开采水平提升，更将为区域生态修复、碳减排目标实现及生态文明建设提供可持续的技术支撑与示范效应。

参考文献

- [1]罗怀廷,时旭阳,刘宇,覃怀锐.露天矿山非扰动区粉尘治理试验研究[J].煤炭工程,2020,52(S02):91-95.
- [2]汪澍.露天矿山开采爆破过程中粉尘治理技术探索[J].中国水泥,2022(1):107-109.
- [3]侯志飞.浅谈大型露天矿山治理粉尘措施[J].中国科技期刊数据库工业A,2021(12):258-260.
- [4]盖俊鹏,楚长青,黄贵臣.露天矿山爆破粉尘危害与防控分析[J].中文科技期刊数据库(全文版)工程技术,2023(7):187-190.
- [5]官永吉.露天采矿开采工艺过程粉尘污染与防治策略[J].中国金属通报,2021(10):37-38.