

综合除尘技术在矿井掘进作业中的应用实践

刘创 贺鹏非 李志明

禹州枣园煤业有限公司 河南 禹州 461670

摘要：本文探讨了矿井掘进作业中粉尘的产生机理、来源及危害，详细阐述了综合除尘技术的构成与应用实践。通风排尘、喷雾降尘、高压水射流除尘、粉尘监测与预警以及个体防护技术共同构成了一个高效的除尘体系。针对不同掘进工艺（综掘与炮掘），提出相应的除尘措施。通过工程案例分析，验证了综合除尘技术在降低粉尘浓度、改善作业环境、保障作业人员健康及安全生产方面的显著效果。该技术体系的实施对于矿井掘进作业的安全与可持续发展具有重要意义。

关键词：矿井掘进；综合除尘技术；粉尘防治；应用实践

1 矿井掘进作业粉尘的产生与危害

1.1 粉尘的产生机理与来源

矿井掘进作业中粉尘的产生与掘进工艺、地质条件等因素密切相关。在综掘作业中，掘进机切割煤岩时，刀具与煤岩的剧烈摩擦和碰撞会产生大量粉尘，这是综掘工作面粉尘的主要来源，约占总粉尘量的70%-80%。切割过程中，煤岩被破碎成细小颗粒，在机械力和气流的作用下飞扬到空气中。炮掘作业中，爆破产生的冲击波会将煤岩破碎并形成大量粉尘，爆破瞬间产生的粉尘浓度极高，是炮掘工作面粉尘的主要来源。此外，爆破后的装岩、运输等环节也会产生一定量的粉尘。除了掘进工艺，地质条件也影响粉尘的产生量。在硬度较低、节理发育的煤岩层中掘进时，更容易产生粉尘；而在坚硬的煤岩层中，粉尘产生量相对较少，但粉尘颗粒更细小，危害更大。

1.2 粉尘的危害

1.2.1 对人体健康的危害

作业人员长期吸入矿井粉尘，会导致肺部组织发生纤维化病变，引发尘肺病。尘肺病是一种不可逆的职业病，早期症状不明显，随着病情的发展，会出现咳嗽、胸闷、呼吸困难等症状，严重影响患者的生活质量和劳动能力，甚至危及生命。据统计，煤矿行业是尘肺病的高发领域，掘进工作面的作业人员因接触粉尘浓度高、时间长，患尘肺病的风险更高。

1.2.2 对安全生产的威胁

煤尘具有可燃性，当空气中的煤尘浓度达到爆炸极限（45-2000g/m³）时，遇到明火、电火花等火源会发生爆炸。粉尘爆炸会产生高温、高压和有毒气体，造成人员伤亡和设备损坏，同时可能引发二次爆炸，扩大事故范围。另外，粉尘附着在设备表面，会影响设备的散热

和正常运行，增加设备的故障率^[1]。

1.2.3 对作业环境的影响

高浓度的粉尘会降低作业场所的能见度，影响作业人员的视线，增加操作失误的风险。同时，粉尘会污染作业环境，加速设备的磨损和腐蚀，增加矿井的维护成本。

2 综合除尘技术的构成与协同作用

2.1 通风排尘技术

通风排尘技术是利用矿井通风系统，将掘进工作面产生的粉尘排出至井下回风道或地面，是控制粉尘浓度的基础技术。其原理是通过风机产生的气流，将新鲜空气送入掘进工作面，携带粉尘向回风道流动，从而降低工作面的粉尘浓度；在掘进工作面，通常采用局部通风机通风，根据通风方式的不同，可分为压入式、抽出式和混合式。压入式通风是将新鲜空气通过风筒压入掘进工作面，将粉尘压向回风道，具有设备简单、通风效果快的特点，但粉尘易在工作面附近积聚。抽出式通风是通过风筒将掘进工作面的含尘空气抽出，新鲜空气从巷道进入工作面，能有效降低工作面的粉尘浓度，但风筒末端需靠近工作面，影响掘进作业。混合式通风结合了压入式和抽出式的优点，通过压入式风机送入新鲜空气，抽出式风机抽出含尘空气，通风排尘效果更佳，适用于长距离掘进工作面。

2.2 喷雾降尘技术

喷雾降尘技术是利用喷雾装置将水雾化成细小的水滴，与空气中的粉尘颗粒碰撞、接触，使粉尘颗粒湿润、凝聚，从而达到降尘的目的。喷雾降尘技术具有设备简单、成本低、降尘效果好等特点，在矿井掘进作业中应用广泛。根据喷雾装置的安装位置和用途，可分为掘进机喷雾、支架喷雾、巷道喷雾等。掘进机喷雾安装在掘进机的切割头附近，能在粉尘产生的源头进行降

尘，降尘效率可达60%-70%。支架喷雾安装在掘进工作面的支架上，用于抑制掘进过程中飞扬的粉尘。巷道喷雾安装在掘进巷道的两侧，能对空气中的粉尘进行二次降尘；为提高喷雾降尘效果，可采用高压喷雾技术，通过提高水压，使水滴更细小，与粉尘的接触面积更大，降尘效率可提升20%-30%。此外，在喷雾水中添加降尘剂，能降低水的表面张力，提高水对粉尘的湿润性，进一步增强降尘效果。

2.3 高压水射流除尘技术

高压水射流除尘技术是一种高效、先进的矿井掘进作业粉尘防治手段。该技术借助高压水泵生成的高压水，经由特别设计的喷嘴，转化为高速水射流，这股强大的水流直接冲击掘进工作面的煤岩。在这一过程中，粉尘被迅速湿润，其飞扬能力受到极大抑制，从而有效降低空气中的粉尘浓度。值得注意的是，高压水射流除尘技术的核心在于高压水泵与喷嘴的精心选择。高压水泵通常能提供10-30MPa的高压水，这是形成高效水射流的基础。而喷嘴的类型与孔径则直接决定了水射流的形态与降尘效果。扇形喷嘴以其宽广的覆盖范围，在大面积降尘场景中表现突出；圆形喷嘴则因其集中且强劲的水流，更适合局部除尘任务。两种喷嘴的应用，使得高压水射流除尘技术能够灵活应对各种掘进作业环境，确保粉尘防治效果的最大化。

2.4 粉尘监测与预警技术

粉尘监测与预警技术是矿井掘进作业中不可或缺的一环，它通过在掘进工作面及巷道的关键位置安装高精度的粉尘浓度传感器，实现了对粉尘浓度的实时监测。这些传感器如同矿井的“呼吸监测仪”，能够敏锐地捕捉空气中的粉尘含量变化，并将精确的监测数据传输至中央监控中心。一旦粉尘浓度超过预设的安全阈值，系统会自动触发预警机制，通过声光报警等方式迅速提醒作业人员注意，并敦促他们立即采取降尘措施，以防止粉尘浓度继续攀升，确保作业环境的安全。粉尘监测技术涵盖了多种方法，其中激光散射法和 β 射线法因其独特的优势而被广泛应用^[2]。激光散射法利用激光束精准照射粉尘颗粒，通过精密测量散射光的强度，能够迅速、准确地计算出粉尘的浓度，其响应速度快、测量精度高，非常适合对粉尘浓度进行快速监测。而 β 射线法则是利用 β 射线穿过含尘空气时的衰减特性来间接测量粉尘浓度，该方法适用于需要长期、连续监测粉尘浓度的场景，能够提供稳定可靠的监测数据，为矿井的安全管理提供有力支持。

2.5 个体防护技术

个体防护技术是保障矿井掘进作业人员免受粉尘危害的最后一道关键防线，其核心在于提供高效的呼吸防护。防尘口罩和防尘面罩作为个体防护的主要用品，通过精密的过滤材料有效拦截空气中的粉尘颗粒，显著降低作业人员吸入的粉尘量。在选择防尘口罩或面罩时，需充分考虑作业环境的粉尘浓度以及粉尘颗粒的大小，确保所选防护用品的适用性。例如，在高浓度粉尘环境下，应优先选用N95级或更高级别的防尘口罩，这些口罩对非油性粉尘的过滤效率高达95%以上，能为作业人员提供更为可靠的呼吸保护。此外，作业人员必须接受正确的佩戴和使用方法培训，确保防护用品的有效利用，并养成定期更换过滤元件的习惯，以保持其最佳的防护性能，从而全方位守护作业人员的呼吸健康。

2.6 协同作用机制

综合防尘技术的协同作用机制是实现高效降尘的核心策略，它强调各单项防尘技术间的相互配合与补充，共同构建一个高效、协同的防尘体系。通风排尘技术作为该体系的基础，通过合理组织气流，为其他防尘技术如喷雾降尘和高压水射流除尘提供了良好的工作环境，有助于及时排出湿润后的粉尘，减轻后续处理的压力。喷雾降尘和高压水射流除尘技术则在粉尘产生的源头进行有效控制，通过精准喷洒，迅速湿润并沉降粉尘，大幅度减少粉尘的飞扬，进而降低了通风排尘系统的负担。粉尘监测与预警技术作为体系的“眼睛”，能够实时、准确地监测粉尘浓度的变化，为各项防尘技术的调整提供科学依据。当其他防尘技术因各种原因效果受限时，个体防护技术便发挥关键作用，为作业人员提供最后的呼吸防护屏障。通过这些技术的协同作用，掘进工作面的粉尘浓度得以大幅度降低，作业环境得到显著改善，为矿井的安全生产奠定了坚实基础。

3 综合防尘技术在不同掘进工艺中的应用实践

3.1 在综掘作业中的应用

综掘作业具有掘进速度快、粉尘产生量大且集中的特点，综合防尘技术的应用需以控制掘进机切割产生的粉尘为重点。在通风排尘方面，采用“长压短抽”的混合式通风方式，压入式风筒出风口距工作面不超过5m，确保新鲜空气直达工作面；抽出式风筒吸风口距工作面1-2m，及时抽出含尘空气。通风机的风量应根据掘进断面和粉尘产生量确定，通常每平方米断面的风量不小于4m³/min。喷雾降尘方面，在掘进机切割头上方安装高压喷雾装置，喷雾压力不低于8MPa，喷嘴数量不少于8个，形成水幕覆盖切割区域，抑制粉尘飞扬。同时，在掘进机机身上安装随动喷雾装置，根据切割头的旋转角度自

动调整喷雾方向，提高降尘效果；高压水射流除尘方面，在掘进机切割头两侧安装高压水喷嘴，喷射压力15-20MPa，在切割煤岩的同时，利用高压水射流湿润粉尘，减少粉尘的产生；粉尘监测方面，在距工作面5m和10m处各安装一台粉尘浓度传感器，实时监测粉尘浓度。当粉尘浓度超过 $3\text{mg}/\text{m}^3$ 时，自动启动喷雾装置；当浓度超过 $5\text{mg}/\text{m}^3$ 时，发出警报并停止掘进作业，直至粉尘浓度降至安全范围；个体防护方面，作业人员必须佩戴N95级防尘口罩，定期进行检查和更换^[3]。

3.2 在炮掘作业中的应用

炮掘作业的粉尘主要产生于爆破瞬间，粉尘浓度高且扩散快，综合防尘技术的应用需注重爆破前后的防尘措施。爆破前，对掘进工作面及周围20m范围内的巷道进行洒水湿润，降低煤岩的含水率，减少爆破时的粉尘产生量。可采用人工洒水或自动洒水装置，确保煤岩表面湿润；爆破时，在掘进工作面设置水幕，水幕距工作面不超过30m，通过爆破产生的冲击波触发水幕开启，捕捉爆破产生的粉尘。水幕的喷雾密度应足够大，能有效阻挡粉尘的扩散；爆破后，立即启动通风机进行通风排尘，通风时间不少于15min，待粉尘浓度降至安全范围后，作业人员方可进入工作面。同时，开启巷道内的喷雾装置，对空气中的残留粉尘进行降尘；装岩和运输过程中，在装岩机上方安装喷雾装置，随装岩机的作业进行喷雾降尘；在运输巷道的转载点安装喷雾装置，抑制物料下落时产生的粉尘。

4 工程案例分析

4.1 案例一：某煤矿综掘工作面综合防尘技术应用

某煤矿3201综掘工作面，掘进煤层为3号煤层，平均厚度2.5m，煤层硬度f=2-3，掘进断面面积12m²。该工作面采用综合防尘技术前，粉尘浓度高达 $30\text{-}50\text{mg}/\text{m}^3$ ，严重影响作业人员的健康和安全生产。应用的综合防尘技术包括：采用“长压短抽”混合式通风，压入式通风机功率11kW，风量200m³/min；抽出式通风机功率7.5kW，风量150m³/min。在掘进机切割头安装8个高压喷雾喷嘴，喷雾压力10MPa；在距工作面5m和10m处安装粉尘浓度传感

器，与喷雾装置联动。应用后，通过现场监测，综掘工作面的总粉尘浓度降至 $2.5\text{-}3.5\text{mg}/\text{m}^3$ ，呼吸性粉尘浓度降至 $1.2\text{-}1.8\text{mg}/\text{m}^3$ ，达到国家规定的粉尘浓度限值。作业人员的作业环境得到显著改善，尘肺病发病率明显降低^[4]。

4.2 案例二：某金属矿炮掘工作面综合防尘技术应用

某金属矿2101炮掘工作面，掘进岩石为花岗岩，硬度f=8-10，掘进断面面积8m²。该工作面采用综合防尘技术前，爆破后粉尘浓度高达 $80\text{-}100\text{mg}/\text{m}^3$ ，通风排尘后仍有 $10\text{-}15\text{mg}/\text{m}^3$ 。应用的综合防尘技术包括：爆破前对工作面进行洒水湿润，使用自动洒水装置，洒水时间不少于30min；爆破时设置两道水幕，分别距工作面20m和30m；爆破后启动通风机通风，风量150m³/min，通风时间20min；在装岩机和运输转载点安装喷雾装置。应用后，爆破后通风20min，粉尘浓度降至 $4\text{-}6\text{mg}/\text{m}^3$ ，装岩和运输过程中粉尘浓度控制在 $3\text{-}5\text{mg}/\text{m}^3$ ，满足安全生产要求。

结束语

综上所述，矿井掘进作业中的粉尘问题不容忽视，其对人体健康、安全生产及作业环境均构成严重威胁。综合防尘技术的有效应用，不仅大幅降低了粉尘浓度，还显著改善了作业条件，为矿井的安全生产提供有力保障。未来，随着技术的不断进步和创新，矿井防尘工作将更加智能化、高效化，为作业人员创造更加安全、健康的工作环境。同时，应持续加强粉尘防治的宣传教育，提高作业人员的防尘意识，共同推动矿井防尘工作的深入开展。

参考文献

- [1]姚林.鹏担任.裴晓东.综采工作面煤层注水研究[J].湖南科技大学学报,2022,19(4):10—13.
- [2]巩雨昆.煤矿掘进工作面综合防尘技术的实践与应用研究[J].百科论坛电子杂志,2020(12):65-66.
- [3]成鹏.掘进工作面综合防尘技术的实践与应用[J].山西化工,2023,43(03):139-140+143.
- [4]张科.煤矿掘进工作面综合防尘技术分析[J].内蒙古煤炭经济,2022,No.360(19):40-42.