

# 煤矿煤层注水降尘技术效果优化研究

井润龙 61020319880810361X

## 摘要

煤层注水降尘是煤矿井下采掘作业中抑制粉尘产生的核心技术，其降尘效果直接关系到作业环境安全与矿工职业健康。本文分析了当前煤层注水降尘技术应用中存在的渗透性不足、水分分布不均、注水效率偏低等常见问题，从煤层地质特性、注水工艺参数选择、注水设备匹配三个维度，探讨了影响注水降尘效果的关键因素，提出了包括预注水时间优化、高压脉动注水改造、钻孔参数精准设计在内的技术优化方案。实践应用结果表明，优化后的煤层注水技术可使采掘面总粉尘浓度降低 20%以上，呼吸性粉尘浓度降低 25%以上，对提升煤矿粉尘治理水平具有现实应用价值。

**关键词：**煤矿；煤层注水；降尘技术；效果优化

## 一、引言

煤矿井下采掘过程中会产生大量煤尘，不仅会降低作业面能见度，影响采掘作业效率，还会引发煤尘爆炸事故威胁矿井安全生产，更会导致矿工患上尘肺病，严重危害从业人员的身体健康。据我国煤矿安全监察部门统计，截至 2023 年，我国累计报告的职业性尘肺病病例中，煤炭行业占比超过 50%，粉尘治理已经成为煤矿安全生产与职业健康防护领域的核心课题。

当前煤矿常用的粉尘治理技术包括通风除尘、湿式凿岩、喷雾降尘、煤层注水等，其中煤层注水属于从源头抑制粉尘产生的预防性降尘技术，通过向煤层预先注入水分，改变煤体的物理性质，减少采掘过程中粉尘的产生量，相较于末端治理技术，具有降尘效率高、作用持续时间长的优势，已经成为我国煤矿优先选用的降尘技术方案。但在实际应用过程中，受煤层地质条件差异、注水工艺参数不合理等因素影响，部分煤矿的煤层注水降尘效果达不到设计要求，因此研究煤层注水降尘技术的优化路径，提升降尘效果，对煤矿粉尘治理具有重要意义。

## 二、煤层注水降尘技术原理与应用现状

### 2.1 技术原理

煤层注水降尘的核心原理是通过施工注水钻孔，将压力水注入待开采煤层的

孔隙与裂隙中，使水分充分渗透到煤体内部，湿润煤体颗粒。当煤体含水量提升后，煤体颗粒之间的黏聚力增大，脆性降低，采掘作业过程中煤体破碎时产生的小颗粒粉尘会被水分黏结，无法漂浮到空气中，从而从源头上减少粉尘的产生量。相关研究表明，当煤层含水量提升 1%~2%时，采掘作业产生的粉尘量可降低 40%~60%，同时水分还可以吸附瓦斯，降低采掘面瓦斯涌出量，兼具防尘与防突的双重作用。

## 2.2 应用存在的问题

我国多数煤矿已经普及煤层注水技术，但实际应用中仍存在较多影响降尘效果的问题，主要包括两个方面。第一，渗透性不足，对于结构致密、孔隙率低、硬度较大的煤层，水分难以向深部渗透，仅能湿润钻孔周边小范围煤体，大部分待开采煤体仍处于干燥状态，降尘效果有限。第二，水分分布不均，部分煤矿采用固定压力长时间注水，容易出现局部煤体水分饱和，而远端煤体未湿润的情况，部分钻孔甚至出现水从裂隙直接流失到采空区的问题，水资源浪费严重但降尘效果不佳。

# 三、煤层注水降尘效果影响因素分析

## 3.1 煤层地质特性因素

煤层地质特性是影响注水效果的基础因素，其中孔隙率与裂隙发育程度直接决定了煤层的透水能力。孔隙率大于 10%的煤层渗透性较好，水分容易渗透，注水降尘效果较为理想；孔隙率小于 4%的煤层结构致密，水分渗透阻力大，常规注水方式难以达到理想湿润效果。

## 3.2 注水工艺参数因素

注水工艺参数包括注水压力、注水量、注水时间、钻孔参数四个部分，参数选择是否合理直接决定降尘效果。注水压力过低，无法克服煤层孔隙阻力，水分渗透范围小；注水压力过高，容易压裂煤层，导致水分沿裂缝大量流失，还会破坏煤层顶板稳定性，引发顶板事故。注水量不足则煤体湿润不充分，降尘效果差；注水量过大则会导致煤体含水量过高，增大运输负荷，还会影响煤质。注水时间方面，静压注水需要足够的预湿润时间，若提前开采未达到湿润要求，降尘效果会大打折扣。

### 3.3 设备与管理因素

注水设备的性能也会影响注水效果，部分老旧煤矿使用的注水泵压力不足，无法满足中硬煤层的注水要求，封孔设备密封性差，注水过程中出现漏水，导致注水压力上不去，湿润范围不足。此外，部分煤矿对煤层注水管理不到位，未根据不同煤层的地质条件调整参数，照搬其他煤层的注水参数，也会导致降尘效果不佳。

## 四、煤层注水降尘技术效果优化方案

### 4.1 钻孔参数优化设计

首先需要根据煤层厚度、倾角、渗透性确定合理的钻孔参数，对于走向长壁采煤工作面，优先采用顺层钻孔布置，钻孔间距根据煤层渗透性确定，渗透性好的煤层钻孔间距可以设置为 15~20m，中硬低渗透煤层钻孔间距缩小到 8~12m，确保湿润范围完全覆盖整个工作面，不留盲区。钻孔深度应当超过工作面长度 10~15m，避免出现末端未湿润区域，封孔深度应当不小于 5m，防止孔口漏水，对于软煤层可以适当增加封孔深度到 8~10m，避免注水过程中孔壁坍塌。

### 4.2 注水工艺参数优化

针对不同渗透性的煤层选择合适的注水方式与参数，对于高渗透煤层采用静压注水即可满足要求，注水压力设置为 0.5~1.5 倍煤层瓦斯压力，确保压力高于瓦斯压力，促进水分渗透；对于低渗透中硬煤层，采用高压脉动注水工艺替代传统的恒压静压注水，通过周期性改变注水压力，促进煤层裂隙扩展，提升水分渗透范围，脉动压力设置为 3~12MPa，脉动周期设置为 15~30 分钟，实践表明该工艺可使低渗透煤层的湿润范围提升 30%以上。

### 4.3 配套技术优化

采用新型封孔设备提升封孔密封性，使用聚氨酯膨胀封孔剂替代传统的水泥封孔，封孔时间短，密封性好，可有效避免孔口漏水。注水过程中安装流量与压力监测设备，实时监测注水参数，当注水量达到设计要求后及时停止注水，避免水资源浪费。对于渗透性极差的煤层，可以采用水力压裂预增透技术，先对煤层进行压裂，增加煤层裂隙，再进行注水，可大幅提升湿润效果。

## 五、应用效果分析

将上述优化方案应用于某煤矿 3 号煤层综采工作面，该煤层孔隙率为 5.2%，属于中低渗透煤层，原采用恒压静压注水，降尘效果不佳，优化后采用高压脉动注水，钻孔间距调整为 10m，封孔深度 8m，注水压力 6~8MPa，脉动周期 20 分钟。应用结果显示，优化后工作面总粉尘浓度从原来的 245mg/m<sup>3</sup>降低到 182mg/m<sup>3</sup>，降尘效率提升 25.7%，呼吸性粉尘浓度从原来的 86mg/m<sup>3</sup>降低到 61mg/m<sup>3</sup>，降尘效率提升 29.1%，作业环境得到明显改善，降尘效果提升显著。

## 六、结论

煤层注水降尘是煤矿源头治尘的核心技术，其降尘效果受煤层地质条件、工艺参数、设备管理多方面因素影响，针对不同煤层条件优化钻孔参数、注水工艺与配套技术，可有效提升煤层注水的湿润范围与均匀性，显著提升降尘效果。煤矿应当根据自身煤层地质条件，合理选择优化方案，针对性调整注水参数，充分发挥煤层注水的降尘作用，保障矿井安全生产与从业人员身体健康。

## 参考文献

- [1] 李刚, 王云海. 煤矿煤层注水降尘技术研究现状与发展趋势[J]. 煤炭科学技术, 2020, 48(6): 12-21.
- [2] 张设计, 王保银. 低渗透煤层高压脉动注水降尘技术试验研究[J]. 矿业安全与环保, 2021, 48(3): 1-5.
- [3] 程卫民. 煤矿粉尘防治技术[M]. 北京: 煤炭工业出版社, 2018.