

# 松软煤层注水防尘技术参数优化设计

王培亮 周强

(山东能源鲁西矿业单县能源有限责任公司 山东 菏泽 274333)

**摘要:** 本文以某煤矿2#煤层11240工作面为研究对象,通过FLAC3D数值仿真模拟软件构建煤层注水数值仿真模型,并以此为基础,分析不同注水压力 and 不同注水时间对煤层湿润特性的影响,根据数值仿真模拟结果合理确定煤层注水参数测试方案,实施松软煤层注水防尘技术参数优化设计。为验证优化设计的应用成效,将优化设计应用于工程实践,最终确认优化设计可实现松软煤层注水降尘效果较为明显。该优化设计为后续此工作面煤层注水防尘技术工艺应用提供参考的同时,也为其他煤矿生产给予适当支持。

**关键词:** 松软煤层; 注水防尘; 技术参数优化; 数值仿真模拟

## 0 引言

煤尘爆炸作为煤矿主要灾害之一,其防治多采用煤层注水降尘等工艺,相关工作可实现煤体开采前湿润效果,以降低煤体容尘量和煤炭开采时的粉尘浓度,所以对煤层注水防尘技术进行研究分析具有极为重要的现实意义。某煤矿2#煤层属于极松软煤层,其煤体在采动影响下易产生大量粉尘,并且煤体亲水性较差,实际煤层注水降尘技术应用难度较高。针对此种情况,以某煤矿2#煤层11240工作面为研究对象,根据煤层孔隙、裂隙发育情况合理优化煤层注水方式、注水参数以及注水工艺,以此提升松软煤层注水防尘效果。

## 1 注水压力及时间对煤层湿润特性的影响仿真分析

### 1.1 数值仿真模型构建

以某煤矿2#煤层11240工作面为研究对象,通过FLAC3D软件构建数值仿真模型。此工作面煤层平均埋深约451m、平均倾角为 $6^\circ$ 、煤层厚度为2.5~3.5m,工作面倾斜长度约为134~156m。

数值仿真模型尺寸为 $3\text{m} \times 160\text{m} \times 3\text{m}$ ,钻孔直径和长度分别为30cm和10m。在钻孔水平方向每间隔40mm布置一个监测点,用于检测模型水压变化。约束设置为四个边角施加水平约束,底部施加位移约束,顶部施加均匀分布载荷约束,模型埋深设置为451m,综合计算后为模型施加12.2MPa的应力。对模型进行网格划分,划分后的模型共形成18432

个单元和78368个节点。

为模型配置基本参数值,其中体积模型和切变模量分别为0.3GPa和0.4GPa;内聚力为0.45MPa;内摩擦角为 $27.5^\circ$ ;抗拉强度为0.437MPa;材料密度为 $1160\text{kg}/\text{m}^3$ ;孔隙率和等方向渗透性分别为0.6和 $1.0 \times 10^{-7}$ ;流体单元体密度为 $1000\text{kg}/\text{m}^3$ ;流体体积模量为0.2MPa。

数值仿真模拟中根据注水压力和注水时间的不同分别设置10种注水模拟方案,具体方案内容如下:方案一~方案六中注水压力均设定为6MPa,注水时间分别设定为5min、10min、15min、20min、25min、30min;方案七~方案十注水压力设定为7~10MPa,注水时间均设定为20min<sup>[1]</sup>。

### 1.2 注水压力的影响

在注水时间保持一定情况下,基于模拟方案四、方案七~方案十分析不同注水压力对煤层湿润特性的影响。

根据数值仿真模拟结果可知,注水压力与钻孔中心孔隙水压力之间存在直接相关性。具体表现为随着注水压力的持续增加,钻孔中心孔隙水水压也随之加大。同时,根据水压分布情况来看,在距离钻孔中心较近时,水分向四周以均匀速度进行扩散,实际扩散速度并不会随着方向的变化而发生改变;但在距离钻孔中心较远时,水分在水平方向和垂直方向上的扩散速度大于其他方向上的扩散速度。不同注水压力下孔隙压力变化曲线规律如图1所示。

随着注水压力的持续加大,水分沿钻孔向外扩散范围持续加大,实际扩散速度显著提升,距离钻孔

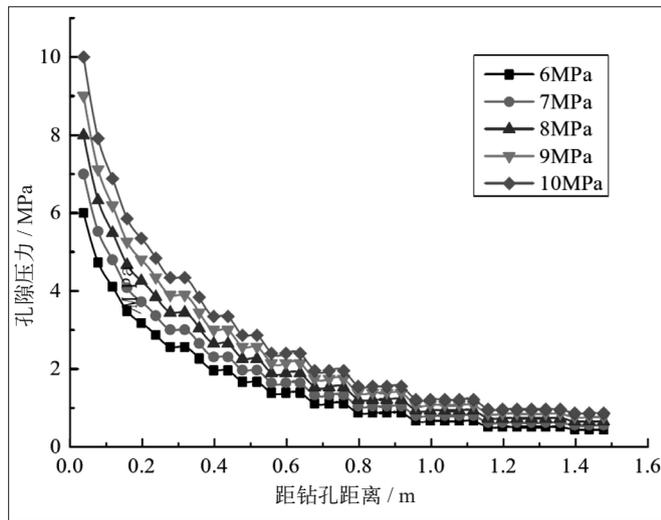


图1 不同注水压力下孔隙压力变化曲线规律

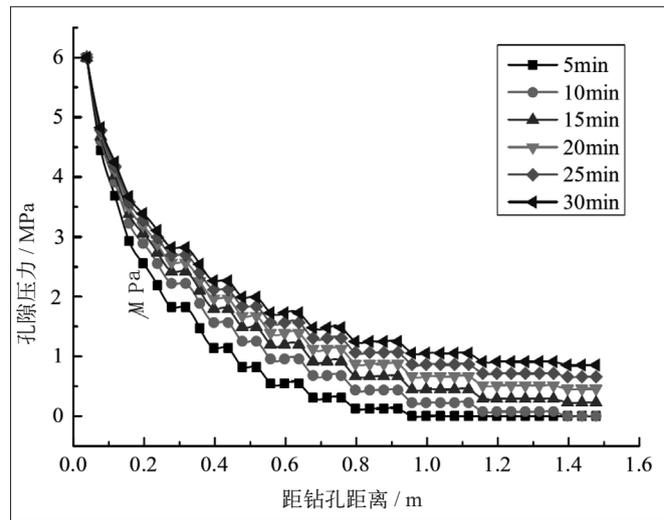


图2 不同注水时间下孔隙压力变化曲线规律

相同区域的孔隙压力明显增加。具体来说，方案四、方案七~方案十数值仿真模拟结果中水分扩散外圈直径分别为1.55m、1.77m、1.93m、2.13m、2.33m。

另外，根据数值仿真模拟可知，在距离钻孔中心0.3m以内区域中，随着距离钻孔距离的持续加大，注水压力增加的同时，孔隙水压下降速率也持续加大；在距离钻孔中心0.3m以外区域中，随着注水压力的持续增加，孔隙水压逐步趋于稳定。

### 1.3 注水时间的影响

在注水压力保持一定情况下，基于模拟方案一~方案六分析不同注水时间对煤层湿润特性的影响。

根据数值仿真模拟结果可知，注水时间与钻孔中心孔隙水压力之间存在直接相关性。具体表现为随着注水时间的持续加大，水分沿钻孔向外扩散范围持续加大，实际扩散速度显著提升，距离钻孔相同区域的孔隙压力明显增加。不同注水时间下孔隙压力变化曲线规律如图2所示。具体来说，方案一~方案六数值仿真模拟结果中水分扩散外圈直径分别为0.9m、1.18m、1.38m、1.55m、1.85m、2.25m。

对不同注水压力和注水时间数值仿真模拟结果综合分析后确认，在注水压力为10MPa、注水时间为20min时，水分将实现煤层垂直方向完全覆盖。

## 2 松软煤层注水防尘技术参数优化设计

### 2.1 注水测试孔布置

某煤矿2#煤层属于极软煤层，其煤体在采动影响下易产生大量粉尘，并且煤体亲水性较差，实际煤层注水降尘技术应用难度较高。为增强11240工

作面注水防尘效果，需在现有注水防尘技术的基础上实施参数优化设计。

具体煤层注水防尘技术参数优化试验钻孔布置方案如图3所示。钻孔布置时考虑到注水试验可能对工作面生产造成影响，所以将首个注水钻孔位置设置在距离工作面迎头30m区域。试验分别采用静压注水和动压注水两种试验方法，对应的注水孔分别为1#和7#注水孔；静压试验中2#~6#、动压试验中8#~12#钻孔为注水后考察钻孔，钻孔深度设计为100mm，布置位置与注水孔平行，间距设定为2m。

静压试验和动压试验中，待注水孔施工完成后，

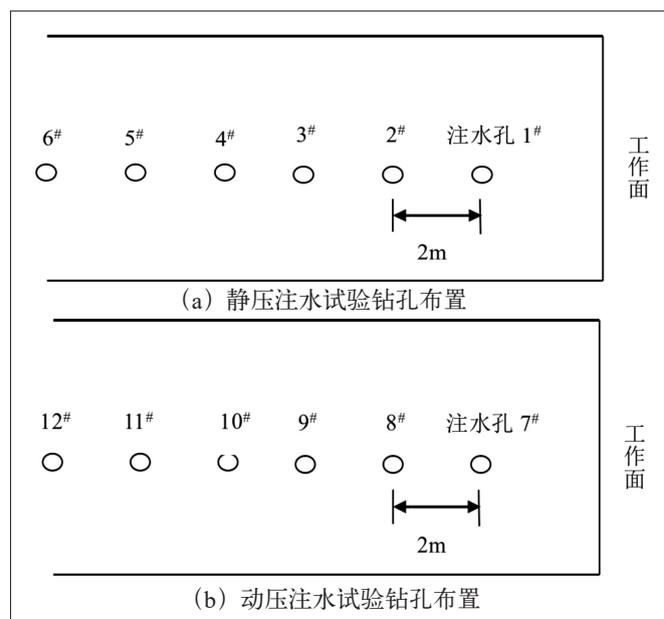


图3 煤层动压和静压注水试验钻孔布置

通过注水套管接头与注浆封孔泵相连,通过水泥砂浆进行封孔处理。为进一步提高注水孔封孔效率,可在封孔用的水泥砂浆中掺入一定量的水玻璃材料<sup>[2]</sup>。待封孔水泥凝固以后,再对注水孔进行注水加压。

## 2.2 注水及测试方法

(1) 注水方法:开启注浆泵实施注水后,通过缓慢调节回水阀开度,将注水压力控制在8MPa,持续实施煤层注水作业,直至煤壁以及邻近注水孔出水或者注水孔水压下降至初始注水压力30%时停止向注水孔注水<sup>[3]</sup>。具体注水过程中,若是实际注水时间处于10~15min时,煤壁或者邻近钻孔出水,则废弃该注水孔,并通过合理选择注水孔位置、增强封孔效果来重新开展注水试验;若是注水时间超过30min,并且注水过程注水流量变化较小,则说明当前采用的注水压力过小,应提高试验中注水压力。

(2) 测试方法:在注水压力为8MPa条件下记录注水孔、煤壁以及邻近孔出水时间;利用注水管上连接的监控装置获取注水压力和注水量参数;在煤体注水前通过压风排渣方式获取注水孔钻进时,每米钻孔煤屑,依次编号记录后,测量煤屑含水量作为煤体初始含水量参数;在煤体注水后分析各测试孔煤屑含水量相较于注水前含水量变化,以钻孔煤屑含水量增加量1.5%作为湿润判断标准<sup>[4]</sup>。

## 2.3 注水参数优化

静压注水试验和动压注水试验结果分别如表1、表2所示。

表1 静压注水试验结果

项目	1#	2#	3#	4#	5#	6#
与注水孔间距/m	0	2	3	4	5	6
注水前含水量/%	0.96	0.96	0.96	0.96	0.96	0.96
注水后含水量/%	—	3.86	3.48	2.98	2.36	2.03
注水后含水量增加量/%	—	2.90	2.52	2.02	1.40	1.07

表2 动压注水试验结果

项目	1#	2#	3#	4#	5#	6#
与注水孔间距/m	0	2	3	4	5	6
注水前含水量/%	0.96	0.96	0.96	0.96	0.96	0.96
注水后含水量/%	—	4.14	3.68	3.26	2.69	2.26
注水后含水量增加量/%	—	3.18	2.72	2.30	1.73	1.30

根据注水试验结果可知,随着与注水孔距离的持续加大,注水防尘技术对煤层的湿润效果也在持续减弱,在超过一定间距后,注水后将不会产生明

显的煤层湿润效果<sup>[5]</sup>。另外,采用动压注入情况下,煤层的实际湿润半径约为5.7m;在静压注入情况下,煤层的实际湿润半径约5.1m。相较于静压注水,动压注水效果提升约11.76%,所以在实际煤层注水时应优先采用动压注水。

## 3 工程应用实践

### 3.1 工程概况

某煤矿2#煤层的整体结构较为简单,实际煤层以亮煤为主,暗煤为辅,煤层中存在大量灰黑色粉类,属于极松软煤层。煤层倾角为6°~9°,煤层稳定性较高,绝对瓦斯排放量小于4.79m<sup>3</sup>/mm,实际瓦斯压力约为2MPa,煤自燃性约6个月,属于不易自燃型煤层。

### 3.2 注水工艺选择

(1) 注水巷道选择:为降低注水防尘对工作面生产的影响,注水试验区域设置为回风巷区域。

(2) 注水泵站选择:工作面采用钻孔动压注水,其他两个班组采用静压注水。注水泵选用BPW200/31.5注水泵,实际注水中采用泵站外接高压水管到回风巷注水<sup>[6]</sup>。

(3) 煤层动压注水系统:主要包含高压泵站、自动添加装置、注水装置、注水监控装置、风控装置、注水管路以及其他零部件。

### 3.3 钻孔布置及注水工艺参数

(1) 煤层注水设计:距离工作面钻场6m范围内的注水孔设置在距离地板2.2m高度处;距离工作面钻场6~12m范围内的注水孔设置在距离地板2.0m高度处;其他区域煤层注水孔设置在距离地板1.8m高度处<sup>[7]</sup>。

(2) 注水孔封孔设计:注水孔封孔方法采用二次套管密封。具体实施中先设置直径为113mm的套管,布设深度为0.5m,再插入10m直径为108mm的二级套管。套管安装浆盖的配合比为1:15,泥浆材料采用水泥+水玻璃,比例为1:0.3。

(3) 注水工艺参数设计:单孔注水流量为1.2m<sup>3</sup>/h,入口注水压力为8MPa,注水时间为4d,超前注水距离为30m,同时注水钻孔数量为4个。

### 3.4 应用成效分析

根据《煤矿井下粉尘综合防治技术规范》(AQ 1020-2006)中的规定要求,具体工作面煤层测试点分别为采煤机司机位置、机组下方侧10m位置。测

试设备包括3台AZF-02型呼吸性粉尘采样器(其中1台粉尘采样器作为备用设备),30个滤膜盒,1盒滤膜,2个电工包。测试中每个测试位置设置5个测试点,通过测试设备采集粉尘浓度数据<sup>[8]</sup>。

根据工程应用试验确认,应用注水防尘技术前11240综采工作面司机处粉尘浓度处于475~620mg/m<sup>3</sup>区间,而在应用注水防尘技术后,司机处粉尘浓度下降至225~405mg/m<sup>3</sup>区间;采煤机下风侧10m处粉尘浓度处于590~785mg/m<sup>3</sup>区间,而在应用注水防尘技术后,采煤机下风侧10m处粉尘浓度下降至285~550mg/m<sup>3</sup>区间。

#### 4 结语

综上所述,本文以某煤矿2#煤层11240工作面为研究对象,通过数值仿真模拟和现场试验分析两种方法共同获取煤层注水防尘技术在松软煤层中的应用时的技术参数优化设计方案。通过工程应用测试确认,煤层注水防尘技术参数优化设计可有效控制综采工作面司机处和采煤机下风侧10m处分层浓度,可确认具有较强的应用价值,所以可在后续松

软煤层注水防尘技术应用时合理参考应用。

#### 参考文献:

- [1] 郭海军. 深孔动压注水防尘技术在N101工作面的应用[J]. 江西煤炭科技, 2021(03):171-173.
- [2] 邓健, 王迪. 基于湿润剂添加的煤层注水防尘实验与应用研究[J]. 煤矿机械, 2022, 43(12):149-152.
- [3] 霍文. 采煤工作面煤层注水防尘施工参数优化及应用[J]. 中国矿山工程, 2021, 50(04):47-49.
- [4] 张阳. 综放工作面综合防尘技术应用分析[J]. 机械管理开发, 2022, 37(03):191-192.
- [5] 李岗. 煤层分段注水及高压喷雾综合防尘技术应用[J]. 山东煤炭科技, 2022, 40(08):123-126.
- [6] 贾文杰. 庞庞塔矿9-301综放工作面高压注水防尘技术研究与应用[J]. 煤矿现代化, 2021, 30(04):59-61.
- [7] 田野. 泰山隆安煤矿综采工作面高压注水防尘技术应用[J]. 煤矿现代化, 2022, 31(03):50-53.
- [8] 尹站稳, 赵耀, 袁瑞明. 泉店煤矿倾斜三软煤层长孔低压注水防尘技术及工程实践[J]. 煤, 2022, 31(01):39-42+78.

