

# 薄煤层长短钻孔联合注水技术的应用

张文, 刘荣华, 王鹏飞, 汤梦, 桂哲

(湖南科技大学 能源与安全工程学院, 湖南 湘潭 411201)

**摘要:** 为了控制煤炭开采过程中产生的煤尘, 采用煤层注水降尘技术这种相对主动的、积极有效的降尘措施, 应用于煤矿生产实践中, 改善工人的作业环境及保障矿井的安全生产. 通过分析煤层注水机理及注水效果影响因素, 结合坨城煤矿 92103 综采工作面煤层硬度大、注水困难等复杂条件, 选择长、短钻孔联合注水方式确定注水参数后进行试验研究, 考察煤层注水降尘效果. 结果表明: 煤层注水后煤样全水分平均为 4.10%, 煤层新增水分 1.32%, 工作面主要工作场所降尘率超过 65%, 同时工作面回风隅角瓦斯浓度下降约 20%, 后期钻孔煤粉量明显减少, 降尘效果显著.

**关键词:** 煤层注水降尘; 长短孔联合注水; 效果分析

中图分类号: TD714.4

文献标志码: A

文章编号: 1672-9102(2015)03-0032-05

## Application of long and short hole coal seam water injection technology

ZHANG Wen, LIU Ronghua, WANG Pengfei, TANG Meng, GUI Zhe

(School of Energy and Safety Engineering, Hunan University of Science and Technology, Xiangtan 411201, China)

**Abstract:** This paper is to introduce a relatively active and positive as well as effective measure to reduce the coal dust produced in the process of coal mining by taking the technology of injecting water to the coal seams used in the coal mine production practice, so as to improve the worker's working environment and guarantee the safe production of coal mines. For this purpose, this paper analyzes the mechanism of injecting water to coal seams and the effect factors of water flooding, combined with the difficult and complex working conditions of 92103's fully mechanized coal mining face in Chacheng Coal Mine. It designs the method of long and short hole joint water injection, layout of hole, and water injecting parameters. It also investigates the dust-decreasing effect of coal injection after choosing the parameters with long borehole in coal injection. Results show that the injected-coal sample's average moisture content is 4.10%, and the new moisture is 1.32%. The workplace's dust decrease rate of major working face is up to more than 65%, and the number of gas in the angle of up corner of working face goes down 20%. The pulverized coal volume of the drill hole in the later period decreases significantly, and the dust-decreasing effect is remarkable.

**Key words:** coal seam water injection; long and short hole joint water injection; effect analysis

综采工作面在生产过程中会产生大量的煤尘, 不仅危害工人身体健康, 还会加速磨损采煤机械, 严重时可能发生煤尘爆炸造成重大事故<sup>[1]</sup>, 而煤层注水技术能从根本上减少煤尘的产生, 降低工作面的粉尘浓度, 改善作业环境. 煤层注水降尘技术是采煤工作面最有效的防尘措施之一, 其工艺经济简单, 在矿井生产中便于操作, 不影响正常生产, 已在煤矿煤尘治理方面得到广泛的应用; 此外, 煤层注水后对于抑制工作面瓦斯涌出、减少冲击地压危害、降低矿井高温热害等也都能起到一定的积极作用<sup>[2-5]</sup>, 是保证矿井安全

收稿日期: 2015-01-30

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(50674060)

通信作者: 刘荣华(1964-), 男, 湖南邵阳人, 教授, 研究方向: 南方煤矿灾害预防与控制. E-mail: rhliu2008@sina.com

生产的有效途径.注水工艺、注水参数会直接影响注水效果<sup>[6]</sup>,本文以坨城煤矿 92103 综采工作面的复杂条件为背景,对注水工艺优化设计和试验,通过比较工作面煤层注水前后煤样全水分及粉尘浓度的变化<sup>[7]</sup>,验证煤层注水降尘技术获得了良好的效果,为薄煤层、煤层硬度大等地质条件的煤层注水研究提供参考.

## 1 煤层注水作用机理及影响因素

### 1.1 煤层注水降尘的原理

煤层注水是在采煤工作面回采之前在煤层中沿煤层走向打若干钻孔,利用钻孔注入含压防尘水,增加煤岩含水量,在开采过程中减少或者基本消除浮游煤尘的一种防尘技术.其作用机理主要为:一是将水注入煤层后能在开采前预先润湿煤体,使得原生煤尘无法在开采时悬浮于空气中,丧失了飞扬能力,从而消除了原生尘源;二是开采割煤过程中煤体被破坏后,由于水分原因,破碎的微粒煤体无法飞扬;三是水能改变煤体的物理性质,增加其可塑性,降低脆性,从而减少煤尘的产生<sup>[8]</sup>.煤层注水的实质是预先湿润煤体能够在产生煤尘之前将其消除,和其他捕集或者稀释等防尘方法相比,这是一种最为积极有效的防尘技术.

### 1.2 煤层注水效果的影响因素

影响煤层注水效果的因素主要有 2 方面.一是煤层的自然因素的影响,包括孔隙率、普氏系数  $f$  值、裂隙发育程度以及所含瓦斯压力、煤层受压情况等.二是煤层的注水工艺的影响,包括注水方式、注水参数、超前距离、添加湿润剂<sup>[9]</sup>等.当煤层厚度小于 0.6m 或者煤层孔隙率小于 4% 时,不宜采用煤层注水<sup>[10]</sup>.

## 2 煤层注水参数确定

### 2.1 工作面概况

坨城煤矿 92103 工作面采用倾斜长壁采煤法,上行开采,工作面走向长  $S = 560$  m,倾向长  $L = 125$  m.煤层为小湖系 9 号煤层,煤层厚度 0.4 ~ 2.8 m,平均厚度  $h = 1.2$  m,煤层倾角  $24^\circ \sim 34^\circ$ ,平均  $\alpha = 28^\circ$ ,煤层普氏系数  $f = 5.8$ ;煤层自燃发火期 3 ~ 6 个月,9 煤挥发份为 34.87%,煤尘爆炸指数大于 30%,有易燃易爆危险性,煤层原生水分为 2.78%.

### 2.2 注水参数选择

合适的注水方式<sup>[11]</sup>直接影响煤层注水的效率.煤层注水有长钻孔注水、短钻孔注水、深孔注水和巷道注水 4 种方式.

表 1 煤层注水方式

注水方式	工艺	耗时	生产作业	注水效果	适用煤层
长孔注水	钻孔长、工艺高、经济	低流速、长时间	不影响	湿润半径大、效果好	赋存稳定、构造简单
短孔注水	工艺简单、数量多	短时间	交差作业	易跑水、效果一般	适用广
深孔注水	高压钻孔难、封孔难、技术复杂	高压、中时间	交差作业	不易跑水、效果好	不常用
巷道注水	岩石钻孔难、数量多、不够经济	中时间	不影响	受邻层巷道影响、效果差	上下需要现成的巷道

薄煤层注水遇到的问题主要有 2 个方面:一方面由于 92103 工作面受煤层硬度较大、存在断层等因素影响,长钻孔施工过程遇到卡钻等现象,钻孔的长度往往达不到设计要求,湿润范围大大缩小,形成了注水盲区;另一方面 9 号煤层空隙率低、渗透性差等地质构造条件,使得注水较为困难,湿润的效果不理想.因此,在煤层注水时必须选择湿润半径大、润湿效果好的注水方式,且同时从劳动量、作业时间以及经济角度等方面出发,结合表 1,最终选择长、短钻孔相结合的联合注水方式.

长、短钻孔联合注水(图 1)即在工作面回风巷常压带中利用 MK-4 型钻机长孔单向高压注水;利用检修班时在工作面卸压带采取 ZM 型煤电钻短孔低压注水.注水过程中利用深部矿区矿井防尘水源及压力控制阀,采取小流量长时间进行注水.

回采工作面受采场地压作用,在工作面前方煤体形成了卸压带、集中应力带和常压带.卸压带煤体受动压作用后应力降低,次生裂隙发育完全,透水性显著提高,钻孔施工简单、注水压力要求小.短钻孔注水弥补了薄煤层钻孔卡钻及打钻困难导致的注水盲区的问题,长钻孔高压注水解决了渗透性差及注水困难等导致注水效果差的问题.

长、短钻孔联合注水方式充分利用了 2 种注水方式的优点,又对各自的缺点进行互补,使得水分能够大面积的充分润湿煤体,发挥出了煤层注水最大的降尘效果.

根据现有的工具及工作面的特性参考《长钻孔煤层注水方法 MT501 - 1996》<sup>[12]</sup> 计算得到注水参数(表 2 和表 3).

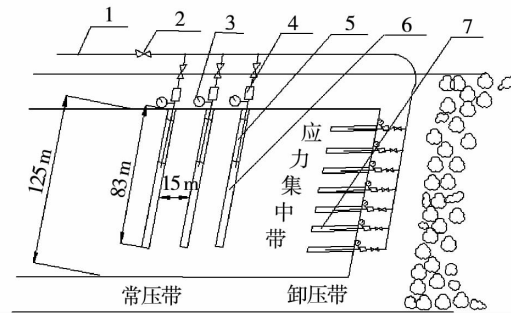


图 1 92103 工作面长、短孔联合注水示意图  
1 - 高压软管; 2 - 阀门; 3 - 压力表; 4 - 分流器;  
5 - 封孔器; 6 - 长钻孔; 7 - 短钻孔

图 1 92103 工作面长、短孔联合注水示意图

表 2 长孔注水参数

序号	项目	符号	计算参数	实际施工
1	钻孔直径	$\varphi$	63.5 mm	64 ~ 68 mm
2	钻孔角度	$\gamma$	27°42'	27° ~ 28°
3	钻孔长度	$l$	83 m	70 ~ 95 m
4	钻孔间距	$B$	15 m	15 m
5	注水压力	$p$	5.8 MPa(静压)	3.0 ~ 6.0 MPa
6	单孔注水量	$Q$	55.5 m <sup>3</sup>	55 ~ 60 m <sup>3</sup>
7	单孔注水时间	$T$	247.5 h	10 d
8	周期注水孔数	$n$	2.2	3
9	注水超前距离	$l_c$	39 m	40 m

表 3 短孔注水参数

序号	项目	符号	计算参数	实际施工
1	钻孔直径	$\varphi$	38 mm	38 ~ 45 mm
2	钻孔长度	$l$	5 m	5 m
3	钻孔间距	$B$	10 m	10 m
4	注水压力	$p$	2 MPa(静压)	1.0 ~ 3.0 MPa
5	单孔注水量	$Q$	2.02 m <sup>3</sup>	2 ~ 4 m <sup>3</sup>
6	单孔注水时间	$T$	2.4 h	2 h
7	周期注水孔数	$n$	11	11

### 2.3 封孔工艺

封孔好坏影响煤层注水压力及质量,且注水孔漏水影响工作环境.合理的封孔长度应超过煤邦煤体的破碎带,使得钻孔口周围煤壁不发生跑水<sup>[13]</sup>.长钻孔的封孔长度为 8 m,短钻孔的封孔长度为 1.5 m,外部使用封孔器封孔.注水后当注水孔两侧的煤壁或煤邦有水渗出时,暂停对该孔注水.

## 3 煤层注水实践效果分析

### 3.1 煤层全水分检验

92103 工作面煤层注水后,采用钻屑法化验取样煤层全水分.考虑到钻孔间距为 15 m,因此分别在距工作面上出口 5, 20, 30, 45 m 处各打 1 个钻孔,钻孔深度约为 25 m,钻深每隔 5 m 取一次样,测出煤样含水率如表 4.

表4 煤层注水全水分

钻孔编号	注水后水分/%				原生水分/%
	钻孔深度 5 m	钻孔深度 10 m	钻孔深度 15 m	钻孔深度 20 m	
1#	3.87	3.91	4.22	4.54	2.78
2#	2.76	2.68	3.04	2.70	
3#	3.88	4.01	4.13	4.45	
4#	3.86	3.96	4.00	4.31	

通过表4对注水后煤层样品全水分测定,可用看出2#钻孔基本没有得到湿润,即不在湿润半径内.而在湿润半径内煤层的水分含量平均为4.10%,新增水分平均为1.32%,效果显著.

### 3.2 煤层注水减尘效果

92103工作面在注水前选取4个测尘点进行了2个班次的粉尘质量浓度测定.注水后测定了3个班次,取其平均值作为该班该测尘点的粉尘质量浓度.4个测尘点分别是采煤机司机处、采煤机司机下风20m处、移架司机处、移架司机下风20m处.煤尘注水降尘率可按式<sup>[8]</sup>计算:

$$C = \frac{(c_2 - c_1) - (c'_2 - c'_1)}{c_2 - c_1} \times 100\% \quad (1)$$

式中, $C$ :降尘率,%; $c_2, c_1$ :煤层注水前,产尘点上、下风侧风流中的煤尘浓度, $\text{mg}/\text{m}^3$ ; $c'_2, c'_1$ :煤层注水后,产尘点上、下风侧风流中的煤尘浓度, $\text{mg}/\text{m}^3$ .

各测点的数据及降尘率可见图2.

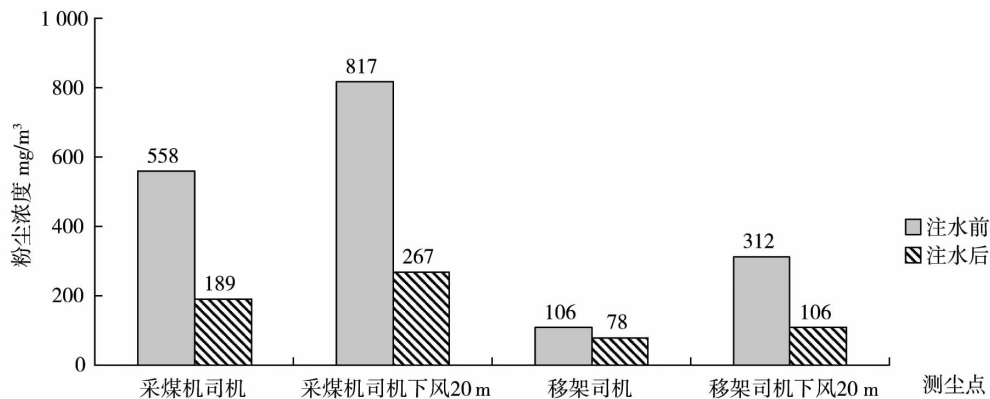


图2 4个测尘点注水前后粉尘浓度对比

通过图2对比可知采用煤层注水降尘技术后,综采工作面的平均降尘率均超过65%,产尘点降尘率最高,煤层注水减尘效果显著.

### 3.3 煤层注水有助于抑制工作面瓦斯涌出

煤体润湿后,一是水分变了煤体的物理性质,增加了煤的可塑性,使应力分布均匀,降低煤层透气性;二是水分驱替和溶解孔、裂隙中的瓦斯,消除了瓦斯压力产生的块间分离作用力的影响,阻碍瓦斯的运动,从而降低了煤层瓦斯的涌出量.经测得92103工作面回采期间回风隅角瓦斯平均浓度为0.6%,回风流中瓦斯平均浓度为0.4%,对比煤层注水前瓦斯浓度下降了约20%,煤层注水抑制对工作面瓦斯涌出作用显著.

### 3.4 煤层注水有助于防止冲击地压

煤层注水后,增加煤体含水量,裂隙中靠水分子的表面吸附力在裂隙面中间形成水膜粘着力和水本身的粘滞作用使块体间粘性结合,大大提高了发生煤爆冲击所需要的能量(发生的难度加大).使得其强度和冲击指数随之降低,从而降低了冲击地压的强度和发生冲击地压的可能性.在工作面煤层注水几个循环后,发现后期钻孔的煤粉量明显降低,说明冲击地压的危险得到了控制.

### 3.5 煤层注水有助于降低工作面温度

煤层注水将温度较低的冷水注入煤体后,由于水有较大的比热容和汽化潜热,有利高温工作面的降温,特别是深部开采工作面效果尤为显著.92103工作面属于深部开采,煤层注水后平均温度下降了2~3℃,改善了工作面作业环境.

## 4 结论

1)煤层注水后使煤体全水分达4%以上,对综采工作面降尘效果能达到65%以上,大大降低了工作面粉尘浓度,改善了工作环境,降低了发生煤尘爆炸事故的可能性.

2)煤层注水在矿井瓦斯防治、防冲击地压以及降低工作面温度等方面有一定的作用.

3)长、短钻孔联合注水方式充分利用了2种注水方式的优点,又对各自的缺点进行互补,使得水分能够大面积的充分润湿煤体,发挥出了煤层注水最大的降尘效果,特别适用于薄煤层、硬度大等复杂条件的工作面,在煤矿安全生产中有较高的安全和经济效益.

4)煤层注水参数优化应用非常复杂,目前对于参数的优化选择方面的数学模型和软件模拟研究较少,这方面发展的应用价值却逐年升高,因此在该领域还需进一步的加强研究.

### 参考文献:

- [1] 国家安全生产监督管理总局. 煤矿井下粉尘防治技术规范(AQ1020-2006)[M]. 北京:煤炭工业出版社,2007.
- [2] 肖知国,王兆丰. 煤层注水防治煤与瓦斯突出机理的研究现状与进展[J]. 中国安全科学学报,2009,19(10):150-158.
- [3] 高夕,侯成波,魏敬喜. 基于灌浆作业实践角度分析煤层防火措施[J]. 内蒙古煤炭经济,2014(1):193-197.
- [4] 章梦涛,宋维源,潘一山. 煤层注水预防冲击地压的研究[J]. 中国安全科学学报,2003,13(10):69-72.
- [5] 程卫民,曹森,周刚,等. 混合式注水防尘降温技术[J]. 煤矿安全,2013,44(1):64-67.
- [6] 刘新河,刘波. 煤层注水降尘效果探讨[J]. 矿业安全与环保,2006,33(5):81-82.
- [7] 张永吉,李占德,秦伟瀚. 煤层注水技术[M]. 北京:煤炭工业出版社,2001.
- [8] 张国枢. 通风安全学[M]. 徐州:中国矿业大学出版社,2011.
- [9] 张廷松. 湿润剂提高煤层注水效果及其应用[J]. 力学与实践,1999,45(5):15-18.
- [10] 周刚,程卫民,陈连军. 矿井粉尘控制关键理论及其技术工艺的研究与实践[M]. 北京:煤炭工业出版社,2011.
- [11] 莫樊. 贵州煤矿煤层注水技术的应用分析[J]. 煤,2013,22(4):11-14.
- [12] 中华人民共和国煤炭工业部. 长钻孔煤层注水方法 MT501-1996[M]. 北京:中国标准出版社,1996.
- [13] 张茂增,陈学习,马尚权,等. 综采工作面深孔注水防治煤尘技术的应用[J]. 煤炭科学技术,2010(1):42-44.