

# 三软不稳定煤层深孔注水防尘与注浆防片帮技术

杨治国, 田建辉, 张力友, 乔军伟, 欧亚伟

(郑州煤炭工业(集团)有限公司白坪煤业公司, 河南新密 452481)

**摘要:** 为降低综放工作面煤尘浓度及控制煤壁片帮, 针对白坪煤矿三软煤层情况, 对工作面煤层进行了深孔注水防尘与注浆加固煤壁。首先采用 ZDY-3200 钻机施工 60~80 m 深的注水孔; 然后在注水孔周围 6 m 内使用 ZBQ-6/2.5 型钻机施工深 9 m、间距 0.6~1.2 m、排距 0.8~1.0 m 的煤壁注浆孔; 选用 MRB125/31.5 型注水泵用 12~14 MPa 压力对煤层注水压裂, 再用 5~8 MPa 压力反复间歇式注水。现场应用效果表明, 采用该技术能够使煤层水分由 4% 增至 5%~6%, 回风巷煤尘平均质量浓度 269 mg/m<sup>3</sup> 降至 108 mg/m<sup>3</sup>; 工作面煤壁片帮范围由占煤壁总长的 50%~70% 减少到 10%~30%, 有效地解决了煤壁片帮问题。

**关键词:** 三软煤层; 深孔注水; 降尘; 片帮防治

**中图分类号:** TD714.4 **文献标志码:** A **文章编号:** 0253-2336(2012)09-0060-04

## Dust Prevention with Deep Borehole Water Injection and Spalling Prevention with Grouting in Unstable Seam with Soft Roof, Coal and Floor

YANG Zhi-guo, TIAN Jian-hui, ZHANG Li-you, QIAO Jun-wei, OU Ya-wei

(Baiping Coal Mining Company Ltd., Zhengzhou Coal Industrial (Group) Corporation Ltd., Xinmi 452481, China)

**Abstract:** In order to reduce the high coal dust density and serious coal wall spalling in the fully mechanized top coal caving mining face, according to the seam conditions with soft roof, coal and floor in Baiping Mine, the deep borehole water injection for dust control and the grouting for the coal wall reinforcement were conducted in the seam of the coal mining face. ZDY-3200 drilling rig was firstly applied to drill a water borehole with a depth of 60~80 m. ZBQ-6/2.5 mode drilling rig was applied about 6 m near the water injection borehole to drill a grouting borehole on the coal wall with a depth of 9 m. The MRB125/31.5 mode water injection pump was applied to the seam hydraulic fracturing with a pressure of 12~14 MPa and after the seam fracturing, an intermittent water injection with a pressure of 5~8 MPa were repeatedly conducted. The site application effect showed that the technology applied could make the seam water content increased from 4% to 5%~6% and the average dust content in the air returning gateway was reduced from 269 mg/m<sup>3</sup> to 108 mg/m<sup>3</sup>. The coal wall spalling scope of the coal mining face was reduced from 50%~70% to 10%~30% and the spalling problem was effectively controlled.

**Key words:** seam with soft roof, coal and floor; deep borehole water injection; dust reduce; spalling prevention and control

采用煤层注水降尘及防止片帮的作用机理主要表现为<sup>[1-2]</sup>: 水注入煤体后, 有效地包裹了煤体的每一个细小部分水进入煤体各类裂隙和层理中, 微孔隙中吸入毛细水, 使整个煤体有效地被水包裹起来, 当煤体由于开采而受到破碎时, 因绝大多数的破碎面均有水的存在, 从而消除了细微煤尘的飞扬, 达到预防浮游煤尘产生的目的; 改变了煤体的

物理力学性质。水进入煤体后, 能使煤体的塑性增加, 脆性减弱, 当煤体因开采而破碎时, 煤层由脆性破坏变为塑性破坏, 因而减少了产尘量; 煤体脆性减弱, 塑性增强, 应力集中向深部转移, 减少了上覆岩层对工作面煤墙的影响, 整体性增强, 有效防止了工作面煤壁片帮、冒顶事故。

白坪煤业公司井田位于登封煤田颍阳~芦店向

收稿日期: 2012-04-18; 责任编辑: 曾康生

作者简介: 杨治国(1963—), 男, 河南新密人, 高级工程师。联系人: 张力友, Tel: 15238359515, E-mail: zlyadd@163.com

网络出版时间: 2012-09-17 10:33:18; 网络出版地址: [http://www.cnki.net/kcms/detail/11.2402.TD.20120917.1033.201209.60\\_017.html](http://www.cnki.net/kcms/detail/11.2402.TD.20120917.1033.201209.60_017.html)

引用格式: 杨治国, 田建辉, 张力友, 等. 三软不稳定煤层深孔注水防尘与注浆防片帮技术[J]. 煤炭科学技术, 2012, 40(9): 60-63.

斜的南翼东段, 主要回采二<sub>1</sub>煤层, 属于典型的三软煤层, 由于受多期不同形式区域构造的影响, 导致二<sub>1</sub>煤层顶、底板不协调褶曲, 煤厚局部突变, 原生结构、构造被破坏, 形成碎粒状、粉粒状、磷片状的构造煤, 普氏系数 0.15 ~ 0.25, 煤体松软、渗透性差, 属于较难注水煤层。11211 综放工作面平均煤厚 5 m, 倾斜长 150 m, 走向长 704 m, 浅孔注水效果差, 回采时产尘量大, 在工作面实施外喷雾等降尘措施后, 其煤尘质量浓度仍可达 230 ~ 330 mg/m<sup>3</sup>, 并且在回采过程中煤壁片帮严重, 容易造成冒顶事故, 需人工支护, 劳动强度大, 严重困扰矿井安全生产。

## 1 注水工艺

### 1.1 深孔中压注水参数

1) 注水压力。深孔注水过程可分为 2 个阶段, 这 2 个阶段对水压的要求是不同的。前期为压裂造成煤体破坏, 促使煤体原生节理裂隙和层理宽度变大, 产生新的裂隙, 断裂出新的水流通道, 扩大煤体湿润软化范围, 要求注水压力大于上覆岩层压力  $P_c$  [3], 即水力疏松煤体的压力  $P_H > P_c = \gamma H$ , 得  $P_H > 12$  MPa, 其中:  $\gamma$  为上覆岩层平均容重, 取 24 kN/m<sup>3</sup>;  $H$  为煤层埋深, 取 500 m。

第 2 阶段为渗透方式湿润软化煤体, 凭借水压和煤体孔隙将水注入煤体内部, 做到均匀湿润煤体, 要求水压低于上覆岩层的静水压力, 大于煤层瓦斯压力  $P_r$  即可。根据经验, 湿润煤体过程中注水压力  $P$  取值为:  $0.75P_H > P > 1.5P_r$ , 其中:  $P_r$  为该矿瓦斯最大压力, 取 1.47 MPa, 则注水压力  $P$  为 2.5 ~ 8.0 MPa。

2) 注水量。煤体注水量少, 起不到降尘的效果, 注水量过高会影响煤质和煤发热量, 所以要控制注水量, 达到能降尘及粘结煤体的作用即可。根据经验得出, 当煤体的含水率提高 1% ~ 2% 时, 能起到比较好的降尘效果 [4]。经测定, 11211 工作面煤的原始含水量 4%, 要使含水量提高到 5% ~ 6%, 吨煤注水量  $q = 10 \sim 20$  L。理论单孔需注水量  $Q = KLBhpq$ , 其中:  $K$  为注水损失及不均衡系数, 取 1.2;  $L$  为钻孔深度, m;  $B$  为钻孔间距, m;  $h$  为煤厚, 取平均煤厚 5 m;  $\rho$  为煤的密度, 取 1.38 g/cm<sup>3</sup>。

3) 单孔注水流量。单孔注水流量  $V$ , 不但与

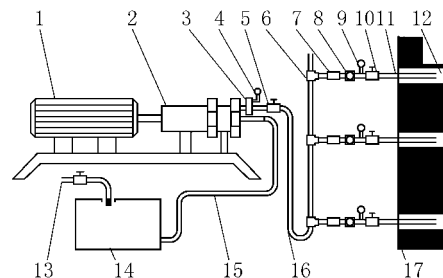
煤的孔隙率、吸水性、注水压力、钻孔长度有关, 在注水的不同阶段也不一样 [5]。孔隙率、吸水性属煤的物理性质, 同一地区的煤层变化不大 [6]。在高压水压裂煤体阶段, 注水流量的变化比较大, 当煤体产生新的裂隙, 进入渗透吸收阶段后, 单孔注水流量与注水压力成正比, 单位注水速度  $v$  为单位时间内每米钻孔注水量,  $v = V / (L - L')$ , 其中,  $L'$  为封孔长度, m。

注水压力  $P$  与注水速度  $v$  的关系大致可表示为  $v = P/k$ , 其中:  $k$  为煤层吸水性系数, 与煤的普氏系数、孔隙率、吸水性有关, 分析注水试验数据分析得出,  $k = 14$ 。当注水压力  $P > 8$  MPa 时, 注水流速并没有增大, 维持在 0.5 ~ 0.6 L/min, 说明煤体正常注水时, 单位注水速度有最大值  $v_{\max}$ , 由此根据 [7]  $V = v_{\max} (L - L')$  可确定单孔注水流量最大值, 再由高压水泵的额定流量确定合适的联网注水孔数  $N$ 。如水泵额定流量为 125 L/min, 钻孔平均孔深  $L = 70$  m, 封孔深度  $L' = 16$  m, 则  $V = 32.4$  L/min。即可得到联网注水孔数  $N = 4$ 。

### 1.2 注水设备

选用 MRB125/31.5 型专用注水泵, 上平巷铺设  $\phi 32$  mm 的钢丝编织高压胶管作为专用注水管路, 支路采用  $\phi 25$  mm 钢丝编织高压胶管连接封孔钢管进行注水。主要设备有: ① MRB125/31.5 型专用注水泵; ② 分流器, 其工作压力 0 ~ 18 MPa, 分流误差  $\pm 15\%$ ; ③ 注水表, 其流量为 4.0 ~ 8.0 m<sup>3</sup>/h, 额定压力不小于 20 MPa; ④ 压力表, 其量程 0 ~ 40 MPa, 精度 1.5 级; ⑤ 高压阀门, 耐压不小于 30 MPa。

多孔动压注水系统如图 1 所示。



1—电机; 2—泵体; 3—安全阀; 4、9—压力表; 5、10—截止阀;  
6—三通; 7—分流器; 8—高压水表; 11—注水钢管; 12—注  
水钻孔; 13—静压注水; 14—水箱; 15—进水管;  
16—高压胶管; 17—煤层

图1 多孔动压注水系统示意

### 1.3 注水渗透半径的确定

为了确定注水渗透半径,在距注水孔不同位置采集煤样,测定煤样含水率,按提高 1% 煤样范围确定有效渗透半径。先用静压水注水,再改用动压水注水,分别测定渗透半径,两者差值即高压水压裂煤体范围<sup>[8]</sup>。经测定,2.5 MPa 静压水在煤体中的有效渗透半径为 2~3 m,12 MPa 动压水在煤体中的有效渗透半径为 6~8 m,可确定高压压裂煤体半径为 3~5 m。

### 1.4 注水孔布置

深部注水孔应布置在回采工作面上下平巷整条巷内,根据工作面长度、煤层厚度及倾角确定钻孔的深度,如 11211 综采工作面开切眼长度为 150 m,就可分别从上下平巷各打 80 m 长的钻孔,以保证上下平巷注水钻孔能相互压茬<sup>[9]</sup>。注水孔布置间距的确定可通过在距钻孔不同位置采集煤样来测量煤的含水率,若含水率增加 1% 即达到了有效渗透半径,测得注水渗透半径为 6~8 m,确定注水孔间距  $B = 10 \sim 15 \text{ m}$ <sup>[10]</sup>。钻孔布置如图 2 所示。

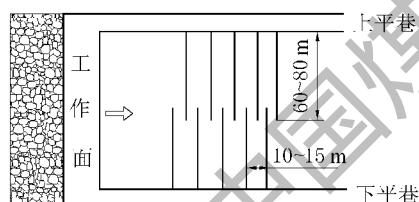


图 2 钻孔布置示意

### 1.5 注水工艺

采用多孔并联反复注水,超前工作面开切眼 30~50 m,使煤层有充分的时间进行锈结。注水开始时将泵站卸压压力调整至 8 MPa 进行试压,观察流量计或泵站水箱水位,若流量较小,煤壁无异常,则将卸压压力上调至 10 MPa,以此类推,待卸压压力调整至 12~14 MPa,注水孔内会出现煤炮声,流量会突然升高,泵站压力表短时间为“0”,说明煤体被高压水压裂,产生新的裂隙,高压压裂煤体即完成。继续注水 0.5~1.0 h 后,压力表压力回升,将卸压压力调整至 5~8 MPa 进行第 2 阶段的注水,2 h 后暂停注水,停停 2~4 h 后,继续注水 2 h,以此方法,反复进行注水,直到单孔注水总量达到单孔所需注水量,或者以煤壁淋水为最终结束注水标准。若注水期间,煤壁抗压

效果不好,巷道煤壁渗水严重,注水时间过短,采取煤壁注浆加固及补孔措施<sup>[11-12]</sup>。

## 2 注浆钻孔施工工艺

为增强煤壁抗片帮能力,提高注水压力,改善注水效果,钻孔施工前,利用 ZBQ-6/2.5 型气动钻机在钻孔施工点前后 6 m 范围内,进行煤壁注浆工作,注浆孔深度 9 m,使用钢管封孔,封孔长度不小于 5 m,全部用聚氨酯材料封堵,采用速凝水泥与水按质量比 1:3 的比例对孔内进行高压注浆,注浆以煤壁跑浆为止。注浆孔间距为 0.6~1.2 m,排距为 0.8~1.0 m。钻孔采用 ZDY-3200 钻机,压风排粉打钻工艺施工,距巷道底板 1.0~1.5 m,钻孔开始用  $\phi 89 \text{ mm}$  钻头开孔施工 15~20 m 后,更换  $\phi 75 \text{ mm}$  钻头继续施工。钻孔倾角根据煤层倾角与煤层厚度调整,与煤层倾角基本一致。注水孔封孔使用  $\phi 51 \text{ mm}$  套管,注浆、排浆使用  $\phi 13.3 \text{ mm}$  的镀锌管,封孔长度不小于 16 m。套管两端采用聚氨酯封孔材料进行封孔,钻孔 2 道聚氨酯封孔之间用速凝水泥与水按 1:3 的比例进行注浆封堵,如图 3 所示。

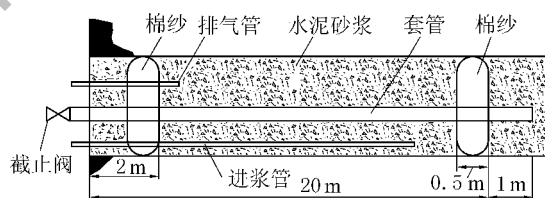


图 3 注浆封孔工艺示意

## 3 效果分析

### 3.1 注水量

选取 10 个孔,计算使煤体含水率增加 1.5% 所需的注水量,与实际注水量做对比分析,见图 4 和表 1。

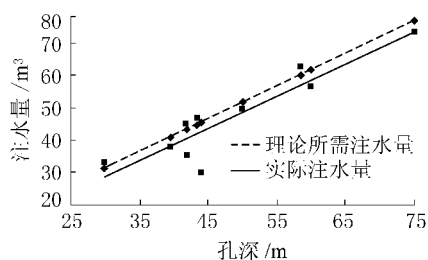


图 4 实际注水量与理论所需注水量对比

表 1 单孔注水量分析

孔深/m	封孔深度/m	预测需注水量/m <sup>3</sup>	实际注水量 /m <sup>3</sup>
30.0	14	31.50	33.20
39.5	14	41.47	38.70
42.0	15	44.10	35.75
42.0	15	44.10	45.30
43.5	13	45.70	47.10
44.0	12	46.20	30.50
50.0	13	52.50	51.00
58.5	12	61.50	64.30
60.0	14	63.00	57.90
75.0	18	78.70	75.00

由图 4 可知,单孔注水量与孔深基本呈线性关系,且实际注水量基本能达到煤含水率增加 1.5% 所需,证明采用的注水工艺在三软不稳定煤层是成功可行的。有些孔在未达到理论注水量前,出现巷道煤帮漏水严重、注水孔周围漏水等情况。分析原因如下:①钻孔附近煤体破坏严重,煤壁注浆加固效果不理想;②钻孔开口为破碎的岩石,封孔效果不好,造成注水时间短。

3.2 降尘效果

为了观测工作面降尘效果,在工作面回采期间,注水前后工作面在割煤、拉架、放煤时,回风巷的煤尘质量浓度进行记录与对比,见表 2。

表 2 煤尘质量浓度

距离/m	至工作面注水前煤尘浓度/(mg·m <sup>-3</sup> )			注水后煤尘浓度/(mg·m <sup>-3</sup> )		
	拉架	割煤	放煤	拉架	割煤	放煤
10	286	302	275	108	129	108
20	252	292	268	112	108	103
30	272	268	254	122	112	101
40	248	296	269	115	101	98
50	237	268	246	101	95	107

从表 2 可以看出,在工作面推进过程中,至工作面 10~50 m 选 5 个点进行检测,回风巷测点煤尘通过注水后平均质量浓度由 269 mg/m<sup>3</sup> 降至 108 mg/m<sup>3</sup>,降尘效率达到 60%。

3.3 防止片帮冒顶效果

由于工作面煤壁前方塑性区域有次生裂隙的发育,煤体的松散度高,以往开采时煤壁极易片帮,并且经常发生冒顶事故;若采用工作面浅孔注水,不能超前湿润前方煤体,防止片帮效果不佳。若采取深孔中压注水后,超前增加了煤体中的水分,增加煤体整体性及抗压能力,同时使松散的煤体固结

在一起,充分锈结,增强了煤体整体黏结性。片帮的区域及强度大幅度减少,实施深孔注水前后,煤壁片帮范围由占工作面总煤壁的 50%~70% 减少到 10%~30%,片帮深度由 300~600 mm 减少到 100~300 mm,正常回采过程中顶板得到了很好的控制,煤壁基本不用支护,提高工作面开机率 and 生产效率。

4 结 论

煤层注水降尘与注浆加固煤壁技术作为当今煤矿井下较为成熟的技术,白坪煤业公司选用了反复间隙式深孔注水工艺,注水效果显著,煤层水分平均增量为 1%~2% 时,回风巷全尘降尘效率大于 60%,取得了较好的降尘效果,并且有效控制了片帮及冒顶,大幅改善了工作面劳动条件,减轻工人劳动强度,提高安全性,同时节约工作面支护材料。说明针对煤体松软、渗透性差的特殊煤层深孔中压注水工艺技术确实可行。

参考文献:

[1] 李德文. 粉尘防治技术的最新进展 [J]. 矿业安全与环保, 2000, 27 (1): 10-12.

[2] 秦文贵. 放顶煤综采工作面的煤层注水 [J]. 工业安全与防尘, 1993 (10): 16-18.

[3] 张延松. 综放工作面煤层注水技术的研究 [J]. 煤炭科学技术, 2001, 29 (1): 33-35.

[4] 李林辉. 煤层注水在“三软”不稳定厚煤层生产中的应用 [J]. 中州煤炭, 2006 (4): 52-53.

[5] 秦书玉. 煤层注水参数的正交试验优化法 [J]. 煤炭工程师, 1992 (3): 24-27.

[6] 孙庆润. 松软煤层注水降尘 [J]. 煤炭工程师, 1993 (4): 25-34.

[7] 王士栋, 王书奎, 周恩显. 三软煤层防煤壁片帮中压深孔注水技术 [J]. 中州煤矿, 2011 (9): 45-48.

[8] 孙文标, 刘 辉, 赵宏伟. 煤层注水在煤矿安全中的应用及效果浅析 [J]. 煤矿安全, 2004, 33 (12): 12-16.

[9] 高海宾. 采煤工作面深孔煤层注水技术研究 [D]. 淮南: 安徽理工大学, 2007.

[10] 马植胜, 王宇锋, 张 磊. 煤层长孔注水在长沟峪煤矿的试验研究 [J]. 辽宁工程技术大学学报: 自然科学版, 2009, 28 (6): 34-38.

[11] 周大为, 王佰顺, 胡祖祥, 等. 新庄孜矿 63103 炮采工作面浅孔注水降尘技术研究 [J]. 矿业安全与环保, 2009, 36 (2): 44-46.

[12] 杨 磊. 煤层注水治理煤尘灾害的粉体力学分析 [J]. 工业安全与环保, 2008 (5): 76-80.