

# Hard Thick Coal Seam Injection Fracturing Test of the Jurassic Shallow in Northern Shaanxi

Wei qian Gao<sup>1</sup>, Xinmin Ren<sup>1</sup>, Xinqing Jiang<sup>1</sup>, Haihong Li<sup>2</sup>, Xin'an Fan<sup>2</sup>, Bo Lu<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Shaanxi Hancheng Day Long Grouting Exploration Co. Ltd., Hancheng, Shaanxi

<sup>2</sup>God South Red Liulin Mining Co. Ltd., Shenmu County, Shaanxi

Email: [hcgwq@163.com](mailto:hcgwq@163.com)

Received: Aug. 3<sup>rd</sup>, 2014; revised: Sep. 2<sup>nd</sup>, 2014; accepted: Sep. 10<sup>th</sup>, 2014

Copyright © 2014 by authors and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

---

## Abstract

The God South Red Liulin Mining Co. Company mainly mines Jurassic shallow 5<sup>-2</sup> coal mining section of hard cutting and much coal dust. The borehole coal static pressure injection technology is adopted to reduce the dust and the strength of coal body. Sampling test and analysis about the change rule of the moisture content and intensity of the 5<sup>-2</sup> coal injection and after injection are done, and the direction for further efforts is discussed.

## Keywords

Hard Thick Coal Seam Water Injection of the Jurassic Shallow, Static Pressure Water Injection, Dynamic Pressure Water Injection, Dust Reduction, Strength Reduction

---

# 陕北侏罗纪浅埋坚硬厚煤层注水致裂试验研究

高卫乾<sup>1</sup>, 任新民<sup>1</sup>, 蒋新青<sup>1</sup>, 李海宏<sup>2</sup>, 范新安<sup>2</sup>, 路波<sup>2</sup>

<sup>1</sup>陕西韩城天久注浆勘探有限责任公司, 陕西韩城

<sup>2</sup>神南红柳林矿业有限公司, 陕西神木

Email: [hcgwq@163.com](mailto:hcgwq@163.com)

收稿日期: 2014年8月3日; 修回日期: 2014年9月2日; 录用日期: 2014年9月10日

## 摘要

神南红柳林矿业有限公司主要开采的侏罗纪浅埋5<sup>-2</sup>煤工作面首采段坚硬难割且煤尘大,采用煤体钻孔动静压注水技术工艺达到降尘及降低煤体强度目的,对5<sup>-2</sup>煤体注水可注性和注水后煤含水率变化规律及强度变化规律进行采样测试和分析总结,对进一步努力方向进行了展望。

## 关键词

侏罗纪浅埋坚硬厚煤层注水, 静压注水, 动压注水, 降尘, 降强

## 1. 引言

神南红柳林矿业有限公司主要开采的侏罗纪5<sup>-2</sup>煤埋藏浅、煤质坚硬致密、韧性大、抗碎强度高。工作面初采段采煤机割煤故障多、速度慢、截齿耗量高、粉尘大,既制约该矿高效安全环保开采,又对作业人员健康造成较大危害。

为有效解决上述难题,联合实施了“神南矿区侏罗纪浅埋坚硬厚煤层注水致裂暨5<sup>-2</sup>煤体注水试验研究项目”。拟对工作面首采段(400~500 m)通过采用煤体超前钻孔注水扩散浸透原生裂隙并渗透到裂隙周边煤层中,实现工作面降尘和降低煤体强度,进而改善作业环境和提高工效降低成本的目的。并对5<sup>-2</sup>煤体注水可注性和注水后煤体强度变化规律进行分析总结。

5<sup>-2</sup>煤层处于延安组第一段(J<sub>2</sub>Y<sub>1</sub>)第二沉积旋回顶部,煤层不具粘结性,抗碎强度高,化学反应性较强~强,具高热稳定性,为中等可磨~较难磨的富油~高油煤。5<sup>-2</sup>煤顶板以细粒砂岩为主,岩石单轴饱和状态下抗压强度小于30 MPa,属软弱岩石,岩体完整性中等~较完整,属不稳定性顶板。5<sup>-2</sup>煤层内生裂隙不甚发育,外生裂隙常被方解石脉及黄铁矿薄膜充填。煤的视密度1.29 t/m<sup>3</sup>,原煤水分变化在1.77%~11.34%之间,其综合平均值在6.55%~7.72%之间。基本反映了低变质阶段烟煤水分变化的规律。落煤仓取样测试全水分为9.10%~15.5%,属中高全水分煤。硬度系数f为1.7~3.0。

5<sup>-2</sup>煤工作面回风顺槽长度3000 m,宽度6 m,高度3.95 m,切眼长度300~348 m、宽度10 m。煤层厚度6.5~7.3 m,工作面首采段可采储量约87~138万吨。

## 2. 煤层注水工艺及机理

煤层注水工艺一般分为静压注水和动压注水。

静压注水:通过钻孔利用井下供水管道中水的静压力持续将水注入煤层中,充填原生裂隙并渗透入裂隙周边煤体。动压注水:通过钻孔利用注水泵提供的脉动压力将水注入煤层中。静压注水同动压注水就像大雨和小雨一样:大雨易产生径流,渗透不多,而小雨不易产生径流,但利于渗透。静压注水充填原生裂隙,利于裂隙中快速储水,在需要产生次生裂隙时无法达到要求,动压注水为利用注水泵的脉动冲击作用,以“水刃效应”为主使煤体中原生裂隙进一步扩展,产生次生裂隙,增大裂隙密度和范围,利于水的均匀扩散和加密,达到增强水渗透均匀度目的。必要时可以强力产生次生裂隙,利于注水。当脉动压力有明显降低时,可认为脉动压力水已在相当程度上强制沟通煤层原有裂隙网或在一定范围的煤层内部形成新的裂隙网,关闭脉动泵,进行静压注水,在静压注水流量明显降低或注不进水时,再次开启脉动式煤层注水泵如此反复,直至煤层注水达到预定充水率。

煤层注水的除尘机理包括以下3个方面:

- 1) 湿润煤体内的原生煤尘，使其失去飞扬的能力；
- 2) 有效地包裹煤体的每个细小部分，当煤体在开采中破碎时，避免细粒煤尘的飞扬；
- 3) 水的湿润作用使煤体塑性增强，脆性减弱。当煤体受外力作用时，许多脆性破碎变为塑性形变，因而大量减少了煤体被破碎为尘粒的可能性，降低了煤尘的产生量。

煤层注水还可以：降低煤的硬度，软化煤体，降低切割和破碎能量，降低截齿的能耗和自身损耗，提高生产效率，减少设备的破坏，进而降低机械化采煤综合成本。

### 3. 煤层注水试验工程设计及施工技术要求

#### 3.1. 注水试验工程分两个阶段在 25204、15206、25205 三个工作面首采段进行

注水试验钻孔结构参数设计[1]：

- 1) 25204 工作面共布孔 6 个，注水 7 段。孔间距 7.5~15 m。孔深 150 m。
- 2) 钻孔倾角按下式确定：

$$\alpha = \arcsin (h/l_g)$$

式中： $\alpha$ ——钻孔倾角(°)； $h$ ——钻孔位置进回风巷对应点的高差，m； $l_g$ ——钻孔位置对应工作面长度，m。

- 3) 钻孔方位角按钻孔轴线平行于工作面确定。钻孔施工采用地质罗盘仪测定钻孔方位和倾角。

- 4) 15206 和 25205 工作面钻孔间距：15206 设计间距 10 m(前 20 个孔)、15 m(后 13 个孔)。

25205 工作面注水钻孔间距设计计算为：

$$B = 2.5Rh = 2.5 \times 2 \times 4 = 20 \text{ m}$$

式中： $B$ ——钻孔间距 20 m； $R$ ——钻孔注水期间的均匀湿润半径，依据 25204 工作面注水后取芯观测结果，取 2 m； $H$ ——巷道净高(注水工作面，回风巷)4 m。

- 5) 注水钻孔深度：15206 工作面设计为 150 m；25205 工作面 180 m(13 个孔)，230 m(10 个孔)。

孔深计算式如下

$$L = L_1 - M = 345 - 1/2 \times 348 = 174 \text{ m} \quad \text{或} \quad L = L_1 - M = 345 - 1/3 \times 348 = 230 \text{ m}$$

式中： $L$ ——钻孔长度 m； $L_1$ ——工作面长度 m； $M$ ——与煤层透水性和钻孔方向有关的参数，本工程(下向孔且煤层裂隙发育)取  $1/2L_1 \sim 1/3L_1$  m。

- 6) 孔内注水管：采用 1 寸塑料管(3 MPa)4 m，必要时改用高压胶管(25 MPa)5 m。

#### 3.2. 钻孔施工技术要求

1) 回风巷钻孔采用 ZDY4000LF 履带式全液压钻机钻孔(功率 55 KW/台，1 台)。采用坡度仪确定施工钻孔倾角。采用钢尺挂线确保钻机垂直顺槽巷壁。

- 2) 采用“满眼保直钻具”和“相应的钻孔工艺”确保钻孔轨迹沿设计倾角成孔。

3) 注水试验钻孔用  $\Phi 91$  mm 金刚石复合片钻头一径钻进(取样并注水)。钻孔排粉方式：采用水泵压水冲洗钻孔。

- 4) 封孔：采用速凝浆液固管。封孔深度塑料管 3 m，高压管 4 m。

#### 3.3. 注水施工技术要求

1) 注水工艺：先采用大流量、大压力的注水泵进行动压注水，对煤体微细裂隙进行压裂，注水过程中对于煤体中渗漏较大的裂缝及时进行封堵。大压力动压注水后，采用静压或交替进行动静压间歇性注水工艺。

- 2) 单孔注水流量：动压注水时控制在  $1.5 \sim 20 \text{ m}^3/\text{h}$ ，静压注水可以不控制注水流量。

3) 注水压力: 在可能的情况下, 应采用较大的动压注水压力。一般 0.5~8 MPa, 最大可达到 18 MPa 以上。静压注水压力一般不做要求, 由现场管路水压力决定。

4) 吨煤注水量及单孔注水量: 确保注水后吨煤注水量接近  $0.02 \text{ m}^3/\text{t}$ , 单孔注水量达到  $600\sim 700 \text{ m}^3$  以上, 注水后孔内监测压力达到 0.05 MPa 以上。

#### 4. 试验工程完成情况

25204 工作面注水试验一个孔分两段钻进, 注水试验随钻孔的加深自浅而深的用单栓塞分段进行, 试验段长度分别为 32 m、98 m, 共压水 2 段, 其余孔按全孔段一段试验。每个孔段注水时相邻孔打开观测透水情况。8 个孔段共完成注水量  $3186 \text{ m}^3$ , 其中动压注水  $323.76 \text{ m}^3$ , 动压注水最大流量( $Z_4$ 孔) $37.5 \text{ L}/\text{min}$  ( $2.25 \text{ m}^3/\text{h}$ ), 最小流量( $Z_3$ ) $14.6 \text{ L}/\text{min}$  ( $0.88 \text{ m}^3/\text{h}$ ), 平均流量  $26.3 \text{ L}/\text{min}$  ( $1.58 \text{ m}^3/\text{h}$ )。静压注水  $2862.24 \text{ m}^3$ , 静压注水最大流量( $Z_4$ 孔) $174.2 \text{ L}/\text{min}$  ( $10.45 \text{ m}^3/\text{h}$ ), 最小流量( $Z_3$ ) $16 \text{ L}/\text{min}$  ( $0.96 \text{ m}^3/\text{h}$ ), 平均流量  $55.7 \text{ L}/\text{min}$  ( $3.34 \text{ m}^3/\text{h}$ )。目标注水区吨煤注水量为:  $0.01 \text{ m}^3/\text{t}$  (1%)。

15206 工作面一期钻孔间距 10 m, 孔深 150 m, 总进尺 3000 m, 二期完成注水钻孔 13 个, 钻孔间距 15 m, 12 个钻孔深 150 m, 一个钻孔深 202.5 m, 总进尺 2002.5 m, 钻孔注水煤量 170.23 万吨, 注水量  $24,757 \text{ m}^3$ , 静压注水  $20,022 \text{ m}^3$ , 动压注水  $4735 \text{ m}^3$ 。平均吨煤注水量为  $0.0145 \text{ m}^3/\text{t}$  (1.45%)。

25205 工作面完成注水钻孔 30 个, 钻孔间距 20~25 m, 孔深 103 m、180 m、230 m, 总进尺 5349.5 m, 完成总注水量:  $31,946 \text{ m}^3$ 。其中静压注水  $23,417 \text{ m}^3$ , 动压注水  $8529 \text{ m}^3$ 。平均单位注水量  $5.97 \text{ m}^3/\text{m}$ , 工作面处理段长 500 m。钻孔注水区煤量约 93.51 万吨, 注水扩散区煤量约 95.48 万吨(注水期间观察可见扩散到 650 m 处), 合计处理煤量为 189 万吨, 吨煤注水量为  $0.017 \text{ m}^3/\text{t}$  (1.7%)。

煤体注水前后 RQD 值对比图 1、图 2 和煤壁挂汗情况图 3。

### 5. 主要成果

#### 5.1. 注水前后煤样全水和内水变化规律[2]

注水后煤体全水增加 1.1%, 而内水仅增加 0.11%, 揭示了注水后煤体原生较大裂隙和孔隙充水较多, 而注水后水在微细裂隙和小孔隙中的(毛细运动和分子运动)渗透扩散相对较少。

#### 5.2. 注水后孔内静水压监测

其范围 0.04~0.12 MPa, 且中段压力大(0.09 MPa), 两端压力逐渐变小(前端 0.04 MPa, 后端 0.8 MPa),



Figure 1. Before injection hole by fetching coal core graph  $Z_3$   
图 1. 注水前  $Z_3$  孔所取煤芯图



Figure 2.  $Z_3$  after injection of 40 - 44.5 32 - 40 m hole in m by fetching coal core diagram (2013-YL-296)  
图 2.  $Z_3$  孔 32~40 m 注水后在 40~44.5 m 所取煤芯图(2013-YL-296)

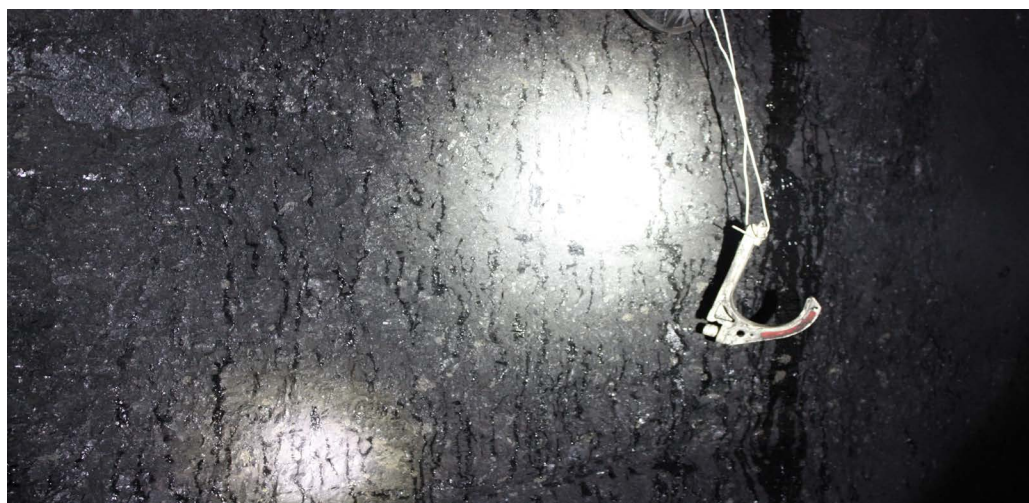


Figure 3. Cut coal wall hung sweat situation of water injection in the west  
图 3. 切眼西部煤壁注水后挂汗情况

揭示了注水到达钻孔位置以上 4~12 m，即已到煤层顶板、充满煤层已沟通的裂隙且充水高度呈中段高，两端低。

### 5.3. 注水过程流量、压力和注水率变化规律(见表 1、表 2)

静压注水流量多低于 100 L/min，个别时段大于 100 L/min，最大 238.1 L/min，呈波浪起伏和有逐渐降低趋势。这揭示了注水裂隙渗流演化经历扩展、加密、再扩展和再加密的过程。静压注水压力 0.1~1.2 MPa。静压注水率 4.39 m<sup>3</sup>/m，占总注水率 73.4%；动压注水流量多大于 100 L/min，最大流量 318.07 L/min，对应压力 2 MPa；最大压力 4 MPa，对应流量 146.08 L/min。动压注水率 1.59 m<sup>3</sup>/m，占总注水率 26.6%。

### 5.4. 注水前后煤芯 RQD 值对比

注水前煤芯 RQD 值为 72.5%~84%，注水后 RQD 值为 32%~56%，RQD 值降低 28%~40.5%。这揭示了通过注水煤体强度显著降低而易于破碎。

### 5.5. 煤体含水率及发热量变化规律

煤体注水后含水率增加 1.1%~1.91%，强度降低 3.86%~29.95%，低位发热量降低 1.4%(表 3)。这揭示

**Table 1.** 5<sup>-2</sup> coal seam deep hole static pressure injection test statistics (part)  
**表 1.** 5<sup>-2</sup> 煤层深孔静压注水试验统计表(部分)

注水日期	孔径(mm)	注水压力(Mpa)	注水量(m <sup>3</sup> )	注水流量(L/min)	持续时间(h)	备注
2014.04.15	Φ75	0.60	12.00	38.219	5.233	20:30~01:44
2014.04.15	Φ75	0.70	13.00	40.370	5.367	01:44~07:06
2014.04.16	Φ75	0.40	23.00	32.167	11.917	07:06~19:01
2014.04.16	Φ75	0.80	36.00	49.249	12.183	19:01~07:12
2014.04.17	Φ75	0.50	13.00	34.212	6.333	07:12~13:32
2014.04.17	Φ75	0.40	16.00	45.977	5.800	13:32~19:20

工作面编号: 25205; 孔段编号: z<sub>5</sub>; 段长: 178.0 m; 钻孔深 183.0 m; 止水位置: 5.0 m。

**Table 2.** 5<sup>-2</sup> deep hole coal seam water injection test statistics of dynamic pressure  
**表 2.** 5<sup>-2</sup> 煤层深孔动压注水试验统计表

序号	注水日期	孔径(mm)	注水压力(Mpa)	注水量(m <sup>3</sup> )	注水流量(L/min)	持续时间(h)	备注
1	2014.04.21	Φ75	2.00	125.00	318.066	6.550	20:27~03:00
2	2014.04.22	Φ75	1.00	78.00	311.975	4.167	14:46~18:56
3	2014.04.22	Φ75	1.50	219.00	317.861	11.483	19:31~07:00
合计				422.00	316.817	22.200	

工作面编号: 25205; 孔段编号: z<sub>4</sub>; 段长: 178.0 m; 钻孔深 183.0 m; 止水位置: 5.0 m。

**Table 3.** The total sample screening results  
**表 3.** 筛分总样化验结果表

煤样	全水 (Mt)%	内水 (Mad)%	灰分 (Ad)%	挥发分 (Vd)%	高位发热量 (Q <sub>gr, d</sub> ) MJ/kg	低位发热量 (Q <sub>net, ar</sub> ) cal/g	筛分前煤样总质量: kg	发热量降低率%	备注
毛煤	12.7	3.34	7.47	34.37		6137	2359.26	1.4	注水后煤大样
毛煤	11.6	3.23	7.21	35.27	30.99	6226	2204.92		注水前煤大样

了通过注水煤体强度显著降低, 发热量也有所降低。

## 6. 结论

采用煤体超前钻孔注水技术措施实现工作面降尘 5.8%~41%, 降低强度 3.86%~29.95%, 降低截齿消耗 0.73%~34.5%和降低采煤综合成本 16.83%。

## 7. 存在问题与建议

15205 工作面钻孔注水后煤体全水增加 1.1%, 而内水仅增加 0.11%, 25205 工作面注水后煤体全水达到 16.9%, 而内水仅为 4.78%(3.24%~4.44%)。这揭示了煤体注水增加的水分大多为煤体原生裂隙表面水, 即注水后煤体原生较大裂隙和较大孔隙充水较多, 多数水分还未来得及通过毛细运动和分子扩散运动渗透进微细裂隙和小孔隙中用于湿润原生和次生煤尘, 这也再次证明陕北矿区侏罗纪中厚层坚硬煤层煤体具有弱透水性[3], 与化验室测试结果相一致。为了达到较均匀渗透进而提高降尘率[4], 在不提高煤体含水率的情况下尽量提高内水将是进一步工作应努力的方向。

通过对煤层注水影响因素的分析建议采取以下两种技术工艺途径进行后续改进: 第一种技术工艺途径为钻孔注水时间大幅提前, 即必须有较长的注水后水物理化学渗透运动作用时间(注水后到采煤前留有

1~2 个月的持续监测补水期)。第二种技术工艺途径为采用在引水或注水系统中加设磁化装置以生成磁化水,降低水的表面张力,提升水的渗透能力,达到提高煤体内水进而降尘的目的。

### 基金项目

神南矿业有限公司 2014 年科研项目。

### 参考文献 (References)

- [1] 中华人民共和国煤炭工业部 (1996) MT 501-1996 长钻孔煤层注水方法. 中华人民共和国煤炭工业部, 北京.
- [2] 国家安全生产监督管理总局 (2006) MT/T1023-2006 煤层注水可注性鉴定方法. 国家安全生产监督管理总局, 北京.
- [3] 索永录, 李德玺 (1999) 综采面坚硬煤体爆破和注水预处理试验. *煤炭科学技术*, **9**, 30-31.
- [4] 姚金林, 等 (2004) 综采工作面注水防尘研究. *湖南科技大学学报(自然科学版)*, **4**, 10-13.