

单一煤层浅孔注水湿润煤体有效影响半径研究与应用

尹斌斌

河南能源焦煤集团九里山矿, 河南 焦作 454171

[摘要]煤层注水措施可作为采掘工作面过地质构造、应力集中区期间的局部强化防突措施,也可以作为回采工作面综合防尘措施。裂隙发育、孔隙发育、煤层的埋藏深度与地压的集中程度、煤层内的瓦斯压力都对煤层注水有着至关重要的作用,通过对单一煤层浅孔注水湿润煤体前、后水分值增加度来对比确认注水润煤体有效影响半径,从而为突出矿井工作面回采期间执行局部综合防突措施和开展相关设计提供有力依据,实现矿井“煤层零突出、瓦斯零超限”目标。

[关键词]浅孔注水;影响半径;润湿煤体

DOI: 10.33142/aem.v5i9.9726

中图分类号: TD713

文献标识码: A

Research and Application of Effective Influence Radius of Single Coal Seam Shallow Hole Water Injection for Wetting Coal Body

YIN Binbin

Jiulishan Mine of He'nan Energy Coking Coal Group, Jiaozuo, He'nan, 454171, China

Abstract: Coal seam water injection measures can be used as local strengthening measures for outburst prevention during geological structures and stress concentration areas in mining faces, and can also be used as comprehensive dust prevention measures for mining faces. The development of cracks and pores, the burial depth of coal seams and the concentration of ground pressure, as well as the gas pressure inside coal seams, all play a crucial role in coal seam water injection. By comparing the increase in water scores before and after water injection into a single shallow hole in a coal seam to confirm the effective influence radius of water injection to wet the coal body, which provides a strong basis for implementing local comprehensive outburst prevention measures and carrying out relevant design during the mining period of the outburst mine working face, and achieves the goal of "zero coal seam outburst and zero gas exceeding limit" in the mine.

Keywords: shallow hole water injection; influence radius; wetting coal body

引言

大量研究表明,水进入煤后,对瓦斯的物理影响极其复杂。由于煤层瓦斯含量、瓦斯压力和煤层透气性等参数的差异,水对瓦斯的影响也不同。水可以从煤体的裂缝和孔隙中排出游离气体,占据裂缝通道,延缓吸附气体的释放。煤层中的游离气体在开采前提前释放,吸附气体的释放得到抑制,从而减少了开采过程中的气体排放量和瓦斯超限量。

2 煤层注水湿润煤体原理

煤层注水后润湿范围、润湿程度和润湿分布状态是衡量注水效果的关键指标,也是调整注水参数的重要依据。水分分布状态主要是指注水后煤体的水分含量增加的分布和分布,以及分布随时间的变化。一般认为,在注水力和毛细作用力的作用下,水不断地挤压和连通煤层裂隙,形成一个不断膨胀的渗流通道,从而使煤体的水分膨胀,这些裂缝往往趋于饱和。

3 影响煤层注水湿润煤体难易程度的因素

3.1 裂隙发育程度对注水难易的影响

煤层裂隙系统的渗透率比煤块孔隙的透水性高一个数量级。煤层的透水性主要由裂隙系统的透水性性能决定,

因此裂隙发育程度是影响煤层透水性的主要因素。裂隙发育的煤层透水性优于注水,所需注水压力较低。然而,在碳质致密、化合物不发育的碳层中,透水性较差,即使在高注水压力下,也无法达到预期效果。

3.2 孔隙发育程度对注水难易的影响

孔隙率直接影响注水的难度。煤层的孔隙率是确定注水难度的可靠通用标准,因为煤层的充水程度和煤层裂隙的透水程度直接决定了注水的难度和润湿效果。当将水注入透水性差的煤层时,水只沿着少量裂缝流动,或者在水力压裂的煤层新裂缝中流动,这些裂缝不能均匀地湿润煤体的孔隙。

3.3 煤层的埋藏深度与地压的集中程度

随着埋藏深度的增加,煤层上的压力也会增加。煤层中的裂缝和微孔受到煤的压缩变形的影响,导致裂缝凝结,孔隙体积减小,透水性系数降低,注水压力相应增加。因此,一般来说,挖掘深度越大,注入压力就越高。然而,当向具有高地面压力的煤层注水时,它是潮湿和均匀的,使其不太容易泄漏和损失

3.4 煤层内的瓦斯压力

煤层内部的气压是注水的附加阻力,水克服气压阻力

后的剩余压力是注水的有效压力。显然，在瓦斯压力较高的煤层中，需要提高注水压力以达到相同的注水速度，从而增加了注水难度。如果工作面中的残余瓦斯含量和残余瓦斯压力较小，则可以忽略瓦斯压力的影响。

4 技术方案

4.1 试验区概况

15091 工作面采用穿层钻孔预抽煤巷条带煤层瓦斯+顺层钻孔预抽回区域煤层的综合区域防突措施。工作面煤层厚度在 4.5m~8.0m 之间，平均厚度 6.5m，煤层平均倾角 12°。15091 工作面范围内煤层最大原始瓦斯含量为 28.67m³/t，煤层最大瓦斯压力为 1.64MPa。

4.2 试验方案

由于浅孔注水措施对润湿煤体的有效性主要与注水压力和碳层结构性质有关，在检查平孔注水措施对碳质体润湿的有效影响半径时，应收集注水压力、煤体坚固系数和煤层埋深等详细技术参数，系统地分析了该矿不同煤层条件和埋深处的注水参数及影响范围，避免重复调查。具体方案如下：

(1) 测定煤层原始水分

浅孔注水湿润煤体的最直接结果是煤体水分提高，因此判断影响范围的主要依据应是对比不同位置同深度处煤体水分是否提高。在工作面选择合适的位置，按照设计的注水钻孔深度打钻，分别采取不同深度处的煤样测定水分作为煤层的原始水分 W_0 。

(2) 浅孔注水湿润煤体措施的记录

在进行浅孔注水湿润煤体时，准确记录注入压力 P 和注入时间 t 。在注水过程中，观察注水孔周围是否有煤体出水点，检测出水现象，准确记录出水点与注水孔的距离。另一种是在不同位置钻与注水孔深度相同的孔，在不同位置 L_n 采集煤样，并测量煤层水分 W_{Ln} 。做好煤层素描。

(3) 浅孔注水湿润煤体有效影响半径的确定

将不同位置 L_n 处的煤层水分值 W_{Ln} 与 W_0 进行比较，注水后煤体水分 W_{Ln} 比 W_0 大于 1% 的，可视为处于注水钻孔影响范围之内。考虑测试误差因素，暂以煤体水分增加 1% 作为判断标准，即认为 $(W_{Ln}-W_0) > 1\%$ 的点在注水影响范围内。由于煤层存在层理、节理且各个方向、位置的发育程度不同，在注水钻孔上下左右各不同距离布点测试水分，以同一方向影响范围内的 L_n 最大值作为该方向的有效影响半径 r ，以不同方向最小值作为浅孔注水湿润煤体钻孔的有效影响半径 r 。

4.3 试验仪器

FKSS-63/4 型水力自动封孔煤层注水器，是配合煤层中高压注水的仪器，可用于采掘工作面进行煤层注水防突，也可应用作为煤层注水防尘。该仪器由注水封孔胶囊、联结件组成，胶囊直径 $\Phi 63\text{mm}$ ，可满足封孔直径 $\Phi 90\text{mm}$ ，正常工作压力 8~16MPa，最高破坏压力 20MPa。联结件分为钢管、高压胶管两种，长度 1m，主要通过工作面注液

枪与高压管路、注水泵相联。

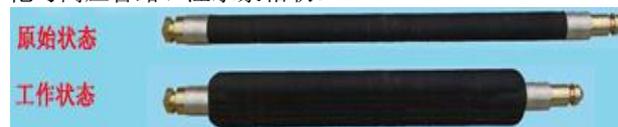


图 1 仪器实物图

5 现场工业性试验

所有考察孔和注水孔直径 $\Phi 42\text{mm}$ ，深度均为 15m，用注水封孔器封孔，封孔深度 2m。注水时间 10min，注水压力 8MPa。

5.1 考察注水孔水平方向两侧影响半径

在 15091 工作面运输巷向上 30m 处垂直于煤墙处施工注水孔 A，测定注水孔与煤层倾角方向一致两侧的影响半径，注水孔 A 距架顶 1.5m 位置。施工钻孔期间，自第 3m 开始每 2m 取煤样装密封袋，升井后测试煤体原始水分。

注水结束后，在注水孔 A 周围不同距离处施工 6 个与煤层倾角(12°)一致垂直于煤墙考察孔 A1-A6，孔深 15m，分别位于注水孔 A 两侧各施工 3 个，距注水孔 A 间距分别为 4m、5m、6m 考察孔 A1-A6 自第 3m 开始每 2m 取煤样装密封袋，测试水分。孔 A 注水期间周边现场有 2 个出水点，出水点 1 位于注水孔 A 下侧倾斜方向 3.2m、倾斜水平高度以上 0.4m 处，出水点 2 位于注水孔 A 上侧倾斜方向 2.6m，倾斜水平高度以下 0.5m，具体注水孔 A 位置及参数见图 2。

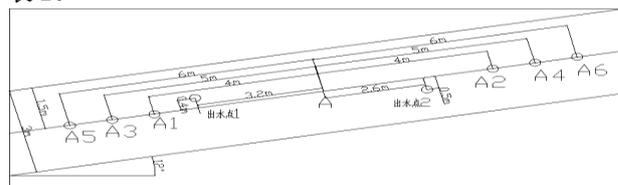


图 2 试验注水孔 A 布置示意图

表 1 数据对照表

孔号	孔 A 注水 10min、封孔 2m，压力 8MPa，不同深度水分%							与注水孔法向距离 X(m)	是否影响到(水分增加值 > 1%)
	3m	5m	7m	9m	11m	13m	15m		
A	2.89	3.12	3.17	2.6	3.13	2.67	2.28		
A1	5.16	5.26	5.19	4.75	4.33	4.29	4.34	4	是
A3	4.87	5.07	4.91	4.56	4.52	4.23	4.13	5	是
A5	4.91	5.35	4.90	4.48	4.46	4.31	4.27	6	是
A2	4.83	5.03	4.86	4.37	4.23	4.1	4.06	4	是
A4	4.78	5.89	4.59	4.33	4.67	3.96	4.05	5	是
A6	4.68	5.18	4.50	4.44	4.56	3.92	3.94	6	是

从表 1 可知：注水后通过数据分析，考察孔 A1-A6 每个孔在相同深度下水分较注水孔 A 原始水分均不同程度增大，相对应深度测定水分增加值均大于 1%，说明考察范围内水分均受到注水孔 A 影响；经过计算，A5、A6 距离注水孔 A 最短水平距离 5.74m，所以注水孔 A 水平方

向两侧影响半径约为 5.7m。

5.2 考察注水孔下部影响半径

在 15091 工作面运输巷向上 55m 处垂直于煤墙施工注水孔 B，测定注水孔下部影响半径，注水孔距顶板 0.5m 位置。施工钻孔期间，自第 3m 开始每 2m 取煤样装密封袋，升井后测试煤体原始水分。

注水结束后，在注水孔 B 下部 1m 施工 4 个考察孔 B1-B4，孔深 15m，垂直于煤墙下扎 -15°、-18°、-20°、-22° 方向施工，具体位置如图 3 所示。考察孔 B1-B4 自第 3m 开始每 2m 取煤样装密封袋，升井后测试煤体原始水分。现场无出水点，具体注水孔 B 位置及参数见图表 2。

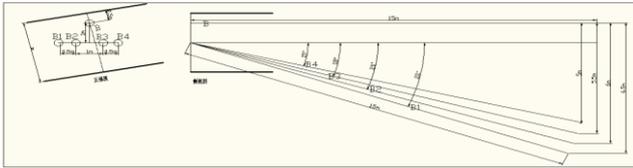


图 3 注水孔 B 布置示意图

表 2 数据对照表

孔号	孔 B 注水 10min、封孔 2m，压力 8MPa，不同深度水分%						与注水孔倾斜距离 X(m)	是否影响到 (水分增加值 >1%)
	3m	5m	7m	9m	11m	13m		
B	2.89	2.85	2.52	2.79	2.96	2.84	2.64	
B4	4.79	4.96	5.13	4.68	4.74	4.58	4.84	正下 1m 左侧 0.5m 是
B3	4.96	5.23	5.26	4.59	4.82	4.48	4.37	正下 1m 左侧 1m 是
B2	4.69	5.17	5.16	4.46	4.32	4.33	4.74	正下 1m 右侧 0.5m 是
B1	4.89	5.06	5.09	4.43	4.17	3.97	3.48	正下 1m 右侧 1m 15m 影响较小

从表 2 可知：注水后，考察孔 B1-B4 每个孔在相同深度下水分较注水孔 B 原始水分增加值均有增加，说明考察孔 B1-B4 取样的各个深度水分均受到不同程度的影响，但 B1 孔第 15m 深度水分增加值不大于 1%，所以注水孔 B 未影响到。根据计算注水孔影响到 B1 孔 13m 处最短距离为 5.84m，所以注水孔 B 对下部影响半径为 5.8m。

5.3 考察注水孔上部影响半径

在 15091 工作面运输巷向上 80m 处施工注水孔 C，测定注水孔上部影响半径，注水孔 C 布置在距底板 0.5m 位置，垂直于煤墙下扎 -15° 施工。自第 3m 开始每 2m 取煤样装密封袋，升井后测试煤体原始水分。

注水结束后，在注水孔 C 上部 2m 施工 3 个考察孔 C1-C3，孔深 15m，垂直于煤墙水平方向施工，C1、C3 位于中线两侧 1m 处，C2 位于注水孔 C 垂直煤墙方向上部，具体位置如图 4 所示。考察孔 C1-C3 自第 3m 开始每 2m 取煤样装密封袋，升井后测试煤体原始水分。现场无出水点，具体注水孔 C 位置及参数见图表 3。

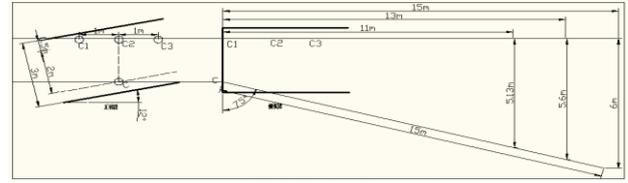


图 4 试验注水孔 C 布置示意图

表 3 数据对照表

孔号	孔 C 注水 10min、封孔 2m，压力 8MPa，不同深度水分%						与注水孔倾斜距离 X(m)	是否影响到 (水分增加值 >1%)
	3m	5m	7m	9m	11m	13m		
C	2.68	2.82	2.93	2.86	2.79	2.91	2.74	
C1	4.96	5.16	4.43	4.58	4.34	4.18	3.84	正上 2m 左侧 1m 13m、15m 未影响到
C2	4.86	4.23	4.26	4.19	4.22	4.01	3.57	正上 2m 中线处 15m 未影响到
C3	5.09	4.67	4.36	4.26	3.82	3.63	3.34	正上 2m 右侧 1m 13m、15m 未影响到

从图表 3 可知：注水后通过数据分析，考察孔 C1-C3 整个孔 1-11m 段测定水分增加值均不同程度大于 1%，说明考察此范围内均受到注水孔 C 影响，但 C1-C3 的第 15m、C1 和 C3 的第 13m 测定水分与注水孔 C 原始水分相比有所增加变化不大，说明注水孔 C 对此范围影响不大。经过计算，C1、C3 第 11m 位置距离注水孔 C 最短距离 5.23m，所以注水孔 C 对上部影响半径约为 5.2m。

5.4 考察结果

通过注水孔 A、B、C 三组数据，分析得到：当注水孔深 13~15m，注水压力 8.0MPa、封孔深度 2m、注水时间 10min 时，注水孔对其上部影响半径为 5.2m、下部影响半径大于 5.8m、水平方向影响半径为 5.7m。综上所述，注水孔对其周围有效影响半径为 5.2m。

5.5 优化结论

结合焦作矿区煤层注水压力、煤层赋存、煤体结构综合确定考察结论，为有效保证注水效果，对上述考察结果进行优化，矿井可参照孔径 $\Phi 42\sim 72\text{mm}$ 、注水孔深 13~15m、注水压力 8.0~10.0MPa、封孔深度 2~4m、注水时间不少于 12min（发现水由煤壁或者相邻注水钻孔流出时，即可停止注水）、注水影响半径为 5m 的相关参数采取浅孔注水湿润煤体防突措施和开展相关设计。

6 煤层注水湿润煤体防治瓦斯目的与意义

6.1 消除煤与瓦斯突出危险

注水措施可使煤的力学性质发生明显变化，煤的弹性和强度减小，塑性增大，从而使巷道前方的压力分布发生变化，通过煤层注水将煤体压酥、压裂，使工作面超前应力向深部移动，大大降低了煤与瓦斯突出可能性，起到了消突作用。

6.2 打破煤—瓦斯体系的平衡，瓦斯提前涌出

实施高压注水后，卸压范围扩大，加速工作面煤体瓦

斯超前排放,减少采掘期间瓦斯涌出量,湿润煤体中的水分对瓦斯的运动起阻碍作用,使一部分瓦斯在煤体破坏后不涌入采掘空间而是随煤体被运出工作面,打孔破坏了煤体内原有的煤—瓦斯体系的平衡,注水前后则形成了新的煤—瓦斯—水三相体系平衡,体系的这些变化都会导致瓦斯提前涌出。

6.3 提供理论依据,实现矿井“双零”目标

通过对单一煤层注水湿润煤体有效影响半径考察研究,从而为回采工作面采取浅孔注水湿润煤体及相关设计作为矿井局部综合防突措施提供理论依据。从而避免了瓦斯超限,实现矿井“煤层零突出、瓦斯零超限”目标。

【参考文献】

- [1]李向东,刘建喜.煤层浅孔注水防突有效影响半径的测定[J].煤炭科学技术,2012,40(1):4.
 - [2]戴扬.浅孔注水有效影响半径的测定及效果研究[J].技术与市场,2021,28(7):2.
 - [3]张延松.煤层注水湿润煤体的研究[J].煤炭学报,1995,20(1):7.
 - [4]方永亮.松软煤层煤壁浅孔注水防片帮技术研究与应用[J].煤炭与化工,2014,37(12):3.
- 作者简介:尹斌斌(1987.1—),男,毕业院校:河南理工大学,专业:安全工程,学历:本科,职称:工程师,现河南能源焦煤集团九里山矿通防科主任师。