

松软低透煤层水力冲孔抽采半径时效特征及增透提效研究

王操

淮北矿业股份有限公司 青东煤矿

DOI:10.32629/pe.v4i3.21066

[摘要] 本研究以青东煤矿七采区8煤层为工程背景,采用现场压降法与COMSOL多场耦合数值模拟相结合的综合考察方法,系统对比了普通穿层钻孔与水力冲孔钻孔的有效抽采半径时空演化规律,并通过综合对比验证了考察结果的可靠性,为松软低透煤层瓦斯抽采钻孔参数的精准设计提供了定量依据。

[关键词] 松软煤层; 瓦斯抽采; 水力冲孔; 抽采半径; 时效特征

中图分类号: TD712 **文献标识码:** A

Time-dependent Evolution of Gas Extraction Radius and Permeability Enhancement by Hydraulic Punching in Low-permeability Coal Seams

Cao Wang

Huaibei Mining Co., Ltd.

[Abstract] Taking the No.8 coal seam in the 7th mining area of Qingdong Coal Mine as the engineering background, this study adopts field pressure drop method and COMSOL multi-field coupling numerical simulation to compare the spatiotemporal evolution of effective drainage radius of conventional and hydraulic flushing cross-layer boreholes. The verified results can provide a quantitative reference for the precise design of gas drainage parameters in soft and low-permeability coal seams.

[Key words] soft coal seam; gas drainage; hydraulic flushing; drainage radius; time-dependent characteristic

引言

松软低透煤层透气性差、瓦斯抽采效率低,常规钻孔抽采效果难以满足安全生产需求。水力冲孔可有效实现煤层增透,但抽采半径时效演化规律尚不明确。本文结合青东煤矿8煤层工程条件,探究其抽采半径时效特征与增透提效机制,为瓦斯抽采参数优化提供依据。

1 引言: 工程背景

青东煤矿七采区8煤层平均厚度5.24 m,煤种以焦煤为主。试验区埋深约-620 m,实测瓦斯压力0.56~0.95 MPa,瓦斯含量2.54~5.74 m³/t。煤体破坏类型为IV~V类,光泽暗淡,煤质松软破碎。按照《煤层透气性系数测定方法——径向流量法》(MT/T 1173—2019)在七采区走向瓦斯参数测定巷布置穿层钻孔。待钻孔瓦斯压力稳定后卸压排放,连续17 d监测自然瓦斯流量,流量最终稳定在154 mL/min(约0.222 m³/d)。经计算,煤层透气性系数 $\lambda=0.0524 \text{ m}^2/(\text{MPa}^2 \cdot \text{d})$,属于较难抽放类型。综上,青东煤矿七采区8煤层属于低透气性松软破碎煤层,使用普通钻孔瓦斯抽采效率低,严重影响正常工作,为高效抽采煤层瓦斯,拟采用水力冲孔的卸压增透措施。

2 抽采半径现场试验与数值模拟

2.1 钻孔布置与考察方案

在七采区走向瓦斯参数测定巷垂直82煤层施工2组钻孔。第一组为普通钻孔组,其中1#孔为抽采孔,1-1#、1-2#、1-3#、1-4#和1-5#孔为观测孔。第二组为水力冲孔组,其中2#孔为抽采孔,2-1#、2-2#、2-3#和2-4#孔为观测孔。所有观测孔均需安装压力表,同时进行钻孔保压。在此期间需每天观测并记录钻孔瓦斯压力,直到压力稳定不变后即可停止观测。同时每天观察并记录抽采孔的抽采参数,为期30天。

2.2 钻孔抽采半径数值模拟

采用适用于多场耦合计算的有限元软件COMSOL Multiphysics进行解算,利用了固体力学模块和PDE模块分别对应应力场和瓦斯流场进行耦合求解。在煤层中设置1组抽采钻孔,根据水力冲孔条件分别设置钻孔直径为0.094m和0.679m。在流动模块中,钻孔周围及模型煤体四周采用了恒压边界。

3 抽采效果对比与时效特征分析

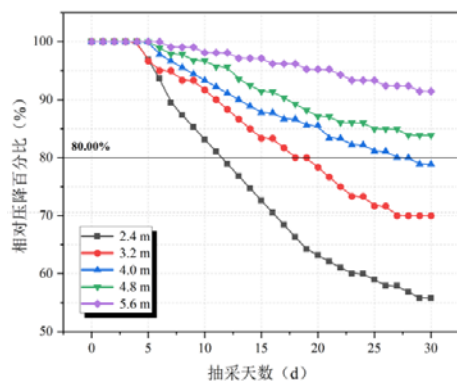
3.1 钻孔瓦斯压降特征

3.1.1 钻孔瓦斯压力测试结果。待所有观测孔的瓦斯压力稳定后对1#和2#钻孔进行接抽,观察并记录普通钻孔组1-5#、1-1#、1-2#、1-3#和1-4#钻孔与水力冲孔组2-1#、2-2#、2-3#和2-4#钻孔的瓦斯压力。普通钻孔组中观测孔与抽采的距离分别为2.4m、3.2m、4.0m、4.8m和5.6m。水力冲孔组中观测孔与

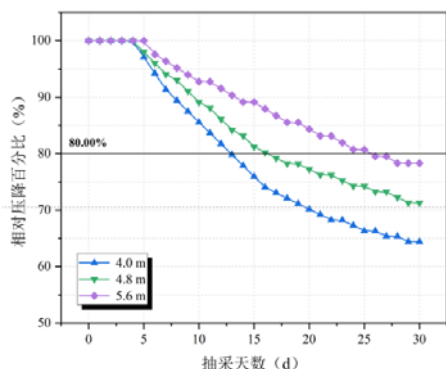
抽采的距离分别为3.2m、4.0m、4.8m和5.6m。

抽采初期(前4~6d)各观测孔压力未发生明显下降,随抽采持续,各观测孔压力均呈下降趋势,但下降速率随抽采时间增加而逐渐减缓,随孔距增大而逐渐减弱,反映出压降过程的时空衰减特征。对比两组数据,水力冲孔组各观测孔的压力降幅明显大于普通钻孔组,表明水力冲孔有效促进了煤层瓦斯流动,提高了抽采效率。

3.1.2 钻孔瓦斯压力相对压降分析。对压力数据进行归一化处理,各观测孔相对压降百分比随抽采时间的变化如图1所示:



(a) 普通钻孔组观测孔相对压降百分比

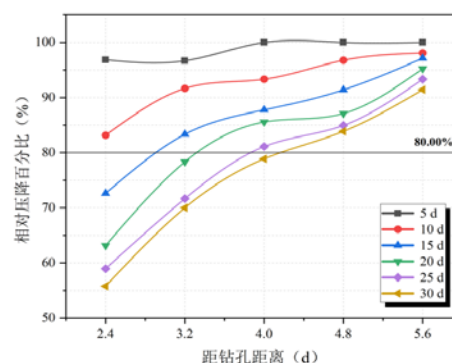


(b) 水力冲孔组观测孔相对压降百分比

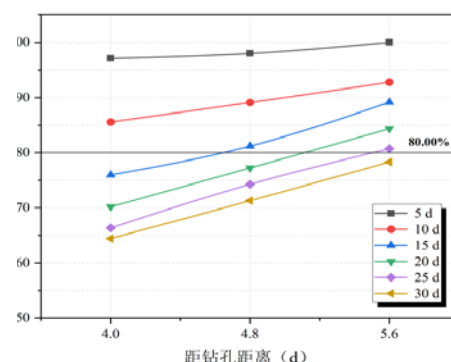
图1 不同钻孔距离的相对压降及抽采达标情况

可以看出,随孔距增加,相同时刻的相对压降百分比升高,下降速率明显变慢,说明距抽采孔越远,压力响应越滞后、衰减越平缓。相同抽采时间内,水力冲孔组的相对压降百分比显著大于普通钻孔组。以8个观测孔中实测最大绝对瓦斯压力1.05MPa为基准,按有效抽采半径临界值0.74MPa折算,抽采达标对应的相对压降百分比为80.00%。抽采30d时,普通钻孔组2.4m、3.2m和4.0m处的钻孔均已位于达标线以下;水力冲孔组4.0m、4.8m和5.6m处的钻孔同样满足达标要求。

图2进一步给出了不同抽采天数下相对压降百分比随孔距的变化。随孔距增大,同一抽采天数的相对压降百分比呈上升趋势;随抽采天数增加,相同孔距处的相对压降百分比逐渐降低,且孔距越大,降幅衰减越显著。相同抽采时间下,水力冲孔组的压降幅度和变化梯度均优于普通钻孔组,且随抽采时间延长,两组间的压降差异愈加明显。

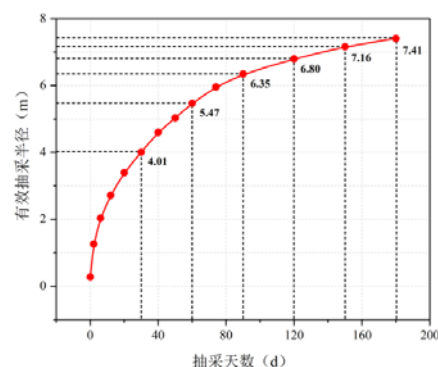


(a) 普通钻孔组观测孔相对压降百分比

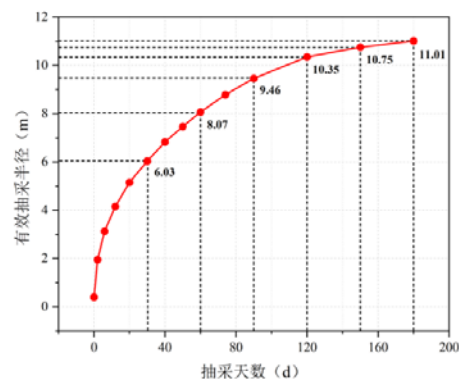


(b) 水力冲孔组观测孔相对压降百分比

图2 不同抽采天数的相对压降及瓦斯抽采达标情况



(a) 普通钻孔模拟抽采有效半径



(b) 水力冲孔钻孔模拟抽采有效半径

图3 基于模拟的钻孔抽采有效半径变化规律

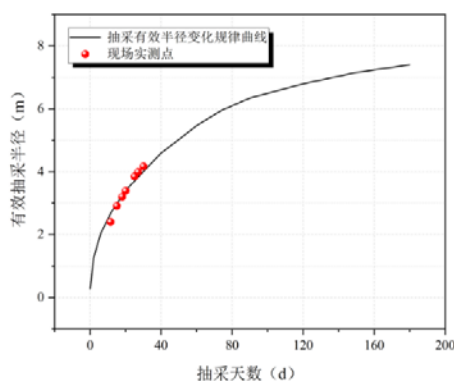
3.2 有效抽采半径时效特征

为了进一步研究不同钻孔方式抽采半径的时效特征, 基于钻孔抽采有效半径临界指标, 由模拟所得压力分布提取不同抽采时间对应的有效半径, 结果如图3所示。

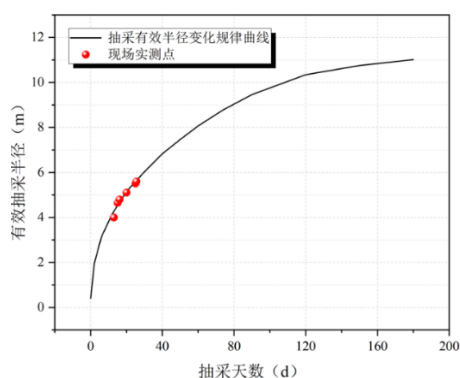
对于普通钻孔组, 普通钻孔组在抽采30d、60d、90d和180d时的有效半径分别为4.01m、5.47m、6.35m和7.41m; 对于水力冲孔组, 其对应值分别为6.03m、8.07m、9.46m和11.01m。相同抽采时间内, 水力冲孔钻孔的有效半径均显著大于普通钻孔, 反映出水力冲孔对瓦斯抽采效率的显著提升作用。两类钻孔的有效半径均随抽采时间增加而逐渐增大, 但增长速率呈明显减缓趋势, 进一步印证了抽采半径的时效衰减特征。

3.3 钻孔抽采半径综合考察与布孔间距优化

3.3.1 钻孔抽采有效半径综合考察结果。基于抽采达标所对应的相对压降百分比, 得到现场考察条件下10~30d对应的抽采半径变化规律。随着抽采时间增加, 有效半径持续增大, 但增长速率逐渐减缓。水力冲孔后的有效半径明显大于普通钻孔, 与前述模拟结果趋势一致。具体而言, 普通钻孔组在抽采15d、20d、25d和30d时的有效半径分别为2.91m、3.39m、3.86m和4.18m; 水力冲孔组对应值分别为4.65m、5.11m和5.51m(25d), 30d时有效半径已超出本次现场观测孔的最大布置间距。



(a) 普通钻孔模拟抽采有效半径



(b) 水力冲孔钻孔模拟抽采有效半径

图4 钻孔抽采有效半径实测点及模拟曲线

图4进一步对比了有效半径的现场实测点与模拟曲线。实测

结果与模拟曲线吻合良好, 验证了两种方法的一致性。为保证工程应用的安全性, 对两种结果取小值作为最终推荐值。综合现场实测与数值模拟得出: 普通钻孔组在抽采30d、60d、90d和180d时的有效半径分别为4.01m、5.47m、6.35m和7.41m; 水力冲孔组对应值分别为6.03m、8.07m、9.46m和11.01m。

3.3.2 布孔间距优化建议。抽采钻孔具有多种布置方式, 不合理的瓦斯抽采钻孔布置可能会导致抽采效果不佳, 从而形成抽采盲区。通过建立对应的几何模型, 从而分别求得布孔间距和钻孔有效抽采半径 r 的关系分别为矩形布孔间距为 $1.414r$ 和三角布孔间距为 $1.732r$ 。前文对钻孔有效抽采半径的综合分析结果显示, 对于普通钻孔组, 在抽采时间为30d时, 钻孔抽采有效半径达到4.01m; 对于水力冲孔组, 在抽采时间为30d时, 钻孔抽采有效半径达到6.03m。计算获得在30d的抽采时间下, 普通钻孔组的钻孔布孔间距分别为5.67m和6.94m; 水力冲孔组的钻孔布孔间距分别为8.52m和10.44m。

4 结论

(1) 水力冲孔通过卸压增透显著扩大了单孔有效抽采范围。综合现场实测与数值模拟结果取小值, 抽采30d时有效抽采半径达6.03m, 较普通钻孔(4.01m)提升50.4%; 抽采180d时半径增至11.01m, 较普通钻孔(7.41m)提升48.6%, 增透提效效果显著。

(2) 两类钻孔的抽采半径随时间演化均呈现“初期增长快、后期增速缓”的时效衰减特征。普通钻孔前30d半径增长至4.01m, 后30d仅增长1.46m; 水力冲孔钻孔增速同样逐渐放缓。现场应结合工程进度与边际效益合理确定抽采周期。

(3) 基于综合考察所得有效抽采半径, 按无盲区布孔几何关系, 以30d抽采达标为基准, 优化了布孔间距: 普通钻孔建议间距为5.67~6.94m, 水力冲孔钻孔建议间距为8.52~10.44m。采用水力冲孔后钻孔工程量可减少约30%~40%, 为青东煤矿七采区8煤层区域防突措施的精准设计提供了定量依据。

【参考文献】

- [1] 顾北方, 靳晓华, 余超, 等. 煤巷掘进工作面瓦斯预抽防突措施及效果研究[J]. 煤炭技术, 2014, 33(08): 15-7.
- [2] 赵泓超, 王秦生. 高突矿井未开采保护层区域瓦斯治理研究[J]. 矿业安全与环保, 2024, 51(03): 56-64.
- [3] 冯文军, 苏现波, 王建伟, 等. “三软”单一煤层水力冲孔卸压增透机理及现场试验[J]. 煤田地质与勘探, 2015, 43(01): 100-3.
- [4] 曹焱林. 水力化技术防治煤与瓦斯突出研究现状及展望[J]. 煤矿安全, 2020, 51(10): 60-6.
- [5] 袁亮, 薛俊华, 张农, 等. 煤层气抽采和煤与瓦斯共采关键技术现状与展望[J]. 煤炭科学技术, 2013, 41(09): 6-11+7.

作者简介:

王操(1987—), 男, 汉族, 安徽省宿州市萧县人, 中共党员, 本科, 工程师, 防突副总, 研究方向是煤矿瓦斯治理现就职于淮北矿业青东煤矿。