

松软突出煤层瓦斯治理及片帮控制技术研究

何国贤

平顶山大庄矿实业有限公司

DOI:10.12238/gmsm.v7i6.1836

[摘要] 方山煤矿主要开采煤资源,且是在无保护性回采措施下进行的。在实际生产过程中,煤体塑性会逐渐降低,这极易引起煤壁片帮现象。因此,研究和寻找一种适用于水力冲孔的卸压增透效应,具有重要意义。

[关键词] 冲孔; 卸压增透; 应力监测; 煤壁片帮; 注浆

中图分类号: P641.4+61 **文献标识码:** A

Study on gas control and slope control technology of soft outburst coal seam

Guoxian He

Pingdingshan Dazhuang Mining Industry Co., Ltd

[Abstract] Fangshan Coal mine is mainly mining coal resources, and without protective mining measures. In the actual production process, the plasticity of coal body will gradually decrease, which is very easy to cause the phenomenon of coal wall sheet. Therefore, it is of great significance to study and find a kind of pressure relief and reflection enhancement effect suitable for hydraulic punching.

[Key words] punching; Relieve pressure and increase transparency; Stress monitoring; Coal wall panel; Grouting

引言

本文针对山西方山煤矿二1煤层的开采难题,采用室内试验、理论分析、数值模拟和野外测试相结合的方法,进行了系统性研究。本研究为方山煤矿二1煤层的安全、高效开采提供了重要理论依据和技术支持。

1 研究背景与目的

1.1 研究背景及意义

1.1.1 研究背景

随着中国经济的快速发展,对能源的需求不断增长,煤炭作为主要的能源之一,其需求量将持续增加。然而,煤矿开采面临着瓦斯突出等安全问题,这是由于煤炭资源日益枯竭,开采深度逐渐增加,导致井下瓦斯压力升高。瓦斯过剩会导致煤矿开采中的作业工人被压塌、瓦斯爆炸、起火等事故,对煤矿安全生产构成重大威胁。

平禹煤矿方山煤矿二1煤新井位于河南省禹州市方山镇,以二叠系山西组二1层为主要开采层,年处理能力90万吨。目前,该煤矿以11061为主体开采,其顶板厚一般为4米左右,平均倾向为15°。通过室内测试,确定了其初始瓦斯浓度在12.68~23.9m³/t之间,初始的瓦斯压力在0.48~0.62MPa之间,而在实验中,强度因子的平均值是0.16。

综上所述,方山煤矿二1煤新井所采二1煤质疏松,其瓦斯分布特征是高瓦斯含量,其瓦斯浓度与瓦斯浓度呈正相关。因此,

迫切需要进行相关的瓦斯防治工作,并制订出相应的瓦斯防治对策,确保煤矿瓦斯的有效控制和安全高效^[1]。

1.1.2 研究的重要性

防护性采煤法虽在煤矿实践中对预防和控制突出具有明显的作用,但是它也具有一些不适应性,在没有防护层的时候,需要找到一种能够有效地去除煤与瓦斯突出的方法。

针对方山煤矿二1煤新井二1煤层无保护层,瓦斯含量高,瓦斯含量高的特点,提出了一种新型的瓦斯治理措施。

为此,采用底抽巷布设穿层井与液压冲击工艺相结合的方法,对其进行了预处理。采用此项工艺抽取该区域部分的瓦斯,可使煤质性能发生变化,增加煤的渗透率,并强化煤的强度。在抽采空压下,原有的吸附态变为自由态,由孔隙排放,从而减小了煤与瓦斯突出的危险性^[2]。提高了瓦斯抽采的效能,有效地解决了突出问题。

以山西方山煤矿二1煤新井为研究对象,并根据煤矿的具体情况,制定了防治煤壁片帮的对策。本文的研究工作紧密结合了实际情况,对于实验矿井中的气体问题有着较高的实际应用价值。这对煤矿瓦斯防治具有一定的参考价值。

1.2 煤系岩石特性及水力冲孔研究(研究目的)

本研究旨在深入研究煤系岩石的机械特性和气体的吸收特性,以及水力冲孔卸压增透过程的数值仿真、水力冲孔的减压法和增透剂的工业性能测试与评价,以及煤壁断顶的防治对策。通

过室内试验获取煤体基本物理力学参数和煤岩基本力学参数,为后续研究奠定基础。

利用COMSOL Multiphysics软件进行水力冲孔卸压增透过程的数值仿真,研究不同工艺参数下的煤岩压力和瓦斯运移规律,优化水力冲孔工艺参数。

通过“应力-气体流动”方法研究水力冲孔的减压法和增透剂的工业性能,并验证液冲冲击处理的控制作用。针对液冲冲击钻进后煤岩塑性下降和煤壁易板裂问题,采用COMSOL Multiphysics软件进行注浆加固模拟的研究,找出最佳注浆工艺参数,并进行煤壁断顶防治对策研究。本研究为煤矿的安全生产和高效开采提供了重要的理论依据和技术支持。

2 试验矿井煤岩力学及瓦斯特征参数测定

2.1 矿井及试验工作面简介

2.1.1 矿山概况

河南方山煤矿二1煤新井位于禹州市以西约30公里处,隶属于方山镇管辖。煤矿采用竖井向下开采,共有三条竖井。井田车站为+90m,矿区为下山采区,采用双水平掘进方式,一水平-120米,二水平到井田深层-340米,设计产能为90万吨/年。矿区以二1号煤为主,浅、深层各有不同。虽然煤层存在明显的厚薄差别,但岩层稳定性和构造相对较好,是一种较为稳定的煤。

2.1.2 试验工作面概况

1-11061综合机械化开采工程位于方山煤矿二1煤新井下山采区北侧,环境复杂。工程核心区域采用胶带下行带防护煤柱设计,可以确保安全与顶板稳定。开采范围界定明确,北邻落水塘断裂及其防护煤柱,地质复杂。下方为未采实煤,煤层赋存良好,顶板为厚煤层,资源丰富。规划开采路径长610米,倾向152米,采深461-570米,底板深度-18至-53米。煤层分布复杂,需实时监测调整厚度、倾角等参数。顶板以砂泥岩为主,底板多为泥质岩,底部为砂泥岩。实验数据显示,最大初始气体压力0.62MPa,最大初始瓦斯浓度23.9m³/t,均超河南省“双6”标准。

2.2 煤的渗透及吸附特征参数测定

2.2.1 煤的孔隙率及渗透率测定

煤的渗透性,作为衡量瓦斯在煤体中运移情况的关键指标,是煤矿开采和安全领域中一项极为重要的研究内容。

以方山煤矿二1号煤为例,其孔隙度和渗透率的测定结果为我们提供了宝贵的研究资料。数据显示,二1煤的孔隙度为5.09%,渗透率仅为 $0.014 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 。这一低渗透率意味着瓦斯在二1煤中的运移难度较大,抽采效率也相应较低。

2.2.2 煤的吸附特征参数测定

煤体中的瓦斯含量与其对煤体的吸附性能紧密相连,这一关系在煤体内部的气体运移过程中起着至关重要的作用。

在本次实验中,我们选择了重量不低于1000克的煤样,试样尺寸控制在60-80目之间,测试温度为30℃,测试压力范围在0-8MPa之间。通过使用煤体瓦斯吸收量测试仪和湿度干燥箱,测量煤体的瓦斯吸附量和其他相关参数。

通过室内测试,我们得到了二1煤的水分含量为1.33%,灰分

为15.91%,挥发份为12.6%等关键数据。同时,从实验结果可以看出,瓦斯吸附曲线在实验的初始阶段随实验温度的升高而迅速变化,但在达到一定的压力条件(如3MPa)后,瓦斯吸收率曲线逐渐趋于平稳。之后经过精确的测试和计算,我们得出二1煤在煤层中的吸附系数 $a=15\text{cm}^3/\text{g}$, $b=5.88\text{Pa}/\text{g}$,抗压强度为2.2MPa,弹性模量为1.2GPa,泊松比为0.33,内聚力为1.5MPa,内摩擦角度为20°^[1]。

2.3 煤岩力学性质参数测定

煤岩层在外部荷载下的抗力是反映其力学特性的一个重要指标,通过对煤岩体基础机械特性的测试,可以了解煤岩的煤岩物性,为后续开采工作的开展奠定基础。为此,本文采用野外采集的煤岩试件,制成标样,对其进行了力学性能测试。

2.4 煤层坚固性系数测定

我们利用落锤试验对方山煤矿二1煤的坚硬程度进行了测量。室内三个试验数据的平均值为0.16。根据这一结果,我们可以判断该煤层的坚硬程度为“软”。

通过落锤试验,我们可以提高煤矿生产的效率和安全性,还有助于优化煤质评估体系,促进煤炭资源的合理利用。

3 穿层钻孔水力冲孔卸压增透机理

二1煤是一种软弱煤层,采用液压冲击法对其进行处理是一种行之有效的方法。在水压冲击下,煤体内部的应力、瓦斯含量和渗透性都有很大的改变。受水压冲击影响,煤体渗透率显著提高,煤体气体渗流强度随之增大,受应力场、瓦斯场和裂隙场三者之间的相互影响,深入研究这三场的空间分布特征和演变机制具有重要的科学价值。

3.1 水力冲孔卸压增透机理

水压冲击是利用高压水将煤岩击碎,在高压水流的冲击下产生大孔径的井眼,在地应力的作用下,周边煤体向孔穴运动,在煤岩内部裂纹扩展,构成瓦斯运移通道,释放出大量的瓦斯,大大降低了煤层突出的动态危险性,同时也会改变煤体的物性^[1]。

液压冲击可通过改善煤岩力学状态、扩大卸压区面积和改善含气性等方式增强瓦斯抽采能力,在工程实践中得到了较大的推广,特别是对软弱、低渗的煤层。

3.2 水力冲孔孔洞周围应力分析

冲孔桩周边区域有卸压区、应力集中区和原岩应力区的应力分布特征。卸压区中,煤体受水力作用释放瓦斯压力,降低地应力,改善透气性和提高瓦斯抽采效率。应力集中区中,煤体结构改变和应力重新分布导致应力集中,易发生变形和破坏,对煤体稳定性构成潜在威胁。原岩应力区受冲孔过程影响较小,应力状态基本保持不变,作为参考基准有助于理解和分析冲孔桩周边应力变化规律。

4 水力冲孔卸压增透技术影响因素模拟分析

为更好地分析水力冲孔卸压增透作用,在水力冲孔前后分别进行煤层瓦斯抽采物理模拟试验。通过对比抽采过程中煤层瓦斯压力演化,评价水力冲孔卸压增透效果^[3]。

4.1 模型构建及参数

COMSOL Multiphysics 是一款能够处理许多科研和实际问题的软件。使用 COMSOL Multiphysics 建立 PDE 模型, 可以便利的进行多物理场的耦合计算。

在使用水力撞击处理后, 当保持 1t/m^2 时, 离水力冲切部位越近, 破坏程度就越大, 裂纹也就越大; 如果继续开采六十多日, 离破洞越近, 伤口就越严重, 裂纹也就越大。

4.2 煤壁片帮灌浆过程的数值模拟

4.2.1 本构关系式的计算机仿真

使用 COMSOL Multiphysics 软件, 对达西方程中的物理场以及稀薄材料转移的物理过程进行详尽的分析得到, 在相同的渗透率条件下, 浆料浓度的变化和动态粘性的大小将直接影响浆体速度。同时, 渗透率作为煤层的固有属性, 其大小反映了煤层的孔隙结构和连通性, 对于评价煤层的渗透性能具有重要意义以及稀薄材料的传输速度不仅受到对流作用的影响, 还受到扩散作用的制约。

4.2.2 模式的建立和参数化

为了研究具有丰富性与复杂性特点的方山煤矿二1煤新井煤层, 我们建立了一个高度为10米、宽度为4米的灌浆模型。这个模型的基本原理是模拟实际煤层在受到灌浆压力时的反应。

在建立模型的过程中, 我们利用了矿山提供的灌浆泥浆有关参数。通过综合运用这些参数和数据, 我们成功地得出了该数值模型的计算结果。

4.3 灌浆效应的影响因子的数值仿真(因子累积效应)

4.3.1 灌浆压力对灌浆影响的仿真

在钻孔直径 94mm 条件下, 分别研究在 $3, 5, 8\text{MPa}$ 下的灌浆压力。研究发现, 浆液弥散范围随灌浆压力、灌浆持续时间增加而增加, 可以达到较好的灌浆效果。在相同注浆时间条件下, $3, 5, 8\text{MPa}$ 压力条件下, 煤体注浆扩展半径增幅不显著, 并呈下降趋势; 在相同注浆压力下, 提高注浆时间, 煤体注浆扩展半径增加, 但增幅不显著, 并有所减小。由于二1层较软, 过高灌浆压力可能导致煤体损伤、冒浆, 并增加成本。因此, 从工程安全性及成本效益角度, 建议将注浆压力控制在 5MPa 以内, 注浆时间控制在30分钟以内。

4.3.2 孔径对灌浆影响的仿真

为了考察钻孔直径对灌浆效率的影响, 在设定钻孔直径为 75mm 、 94mm 和 113mm 个钻孔深度的基础上, 通过对钻孔直径为 75mm 、 94mm 和 113mm 的钻孔直径进行分析, 得到了以下结论。

当灌浆压力 5MPa 时, 浆液的弥散范围随孔径的增加而增加,

浆液的弥散范围也会随之提高, 但提高的幅度并不明显。另外, 如果开孔太大, 则会增加钻井的成本和建设的难度。所以, 考虑到工程的安全性与经济性, 确定了 94mm 的钻孔直径就可以了。

4.4 煤层板帮灌浆和加固施工的场地应用

4.4.1 灌浆工艺

在总结了目前国内外防治煤壁片帮的工艺基础上, 认为防治煤壁片帮的方法是以改善煤壁应力状态、改善煤质结构为主, 而改善煤壁的方法以灌浆为主。针对该煤矿的具体情况, 并与马丽散矿用支护材料的费用进行比较, 决定采用注浆, 采用 $425\#$ 普通硅酸盐水泥, 粉煤灰, 白石灰, 清洁无酸水配制成防片帮的有效方法。

4.4.2 钻孔灌浆法

在 11061 面机巷, 中瓦斯抽采巷, 风巷, 各打设一个灌浆孔, 按照水泥: 粉煤灰: 白色石灰 = $1:4:0.25$ 的配比进行灌浆, 浆料水灰比为 $0.8:1-0.6:1$ ^[1], 经地表泵站输送配制的灌浆料, 经地表泵站输送到灌浆孔中, 经现场实测, 这种注浆加固措施可以实现对煤体的有效粘结, 煤层塑性大幅增强, 煤壁片帮次数明显减少, 现场应用效果显著^[1]。

4.4.3 野外试验结果

经过上述处理措施, 我们成功地改善了煤岩的粘结性和塑性, 降低了煤壁断帮的发生率, 从而有效地改善了工作面的生产状况, 保证了煤矿的安全生产。这些成果不仅提高了煤矿的经济效益, 还为煤矿工人的生命安全提供了有力保障。

5 结束语

方山煤矿二1煤具有软、低渗透、高的特点, 对其进行有效的防治是十分必要的。本项目依托方山煤矿二1煤矿新井, 采用室内试验、理论分析、数值模拟和野外测试相结合的方法, 对该矿井进行了系统的研究。

[参考文献]

[1] 高地发. 松软突出煤层工作面瓦斯治理及片帮控制技术研究[D]. 中国矿业大学, 2023.

[2] 韩旭. 钻孔与煤层夹角对水力冲孔效果影响规律研究及应用[D]. 徐州: 中国矿业大学, 2020.

[3] 陶云奇, 冯丹, 马耕, 等. 水力冲孔物理模拟试验及其卸压增透效果研究[J]. 煤炭科学技术, 2017, (6): 11.

作者简介:

何国贤(1989--), 男, 汉族, 河南省平顶山市人, 本科, 研究方向: 地测防治水, 煤矿开采技术。