

超高水充填工作面局部应力集中探测 及解危方法研究与应用

郭廷稳 来敬波 欧阳广臣
山东济宁运河煤矿有限责任公司
DOI:10.12238/ems.v6i9.8964

[摘要] 本研究针对超高水充填工作面局部应力集中问题,以 C5306 工作面为研究对象,开展了应力集中探测及解危方法的研究与应用。通过主动 CT 反演技术探测工作面超前应力分布,识别出两处应力异常区域,并分析了其成因。对应力异常区域,采取了爆破断顶和大直径卸压钻孔两种解危措施,并通过微震监测对解危效果进行评估。结果表明,解危措施有效降低了 C5306 工作面的冲击地压风险,为超高水充填工作面的安全生产提供了技术支持。

[关键词] 应力集中; 主动 CT 反演; 爆破断顶; 冲击地压; 微震监测

Research and application of local stress concentration detection and hazard relief methods for ultra-high water filling working face

Guo Tingwen Lai Jingbo Ouyang Guangchen
Shandong Jining Yunhe Coal Mine Co., Ltd

[Abstract] This study focuses on the local stress concentration problem of ultra-high water filling working face, taking C5306 working face as the research object, and conducts research and application of stress concentration detection and hazard relief methods. By using active CT inversion technology to detect the advanced stress distribution of the working face, two stress anomaly areas were identified and their causes were analyzed. Two measures were taken to address the stress anomaly area, namely blasting to break the roof and large-diameter pressure relief drilling, and the effectiveness of the measures was evaluated through microseismic monitoring. The results indicate that the emergency measures effectively reduced the risk of rockburst in C5306 working face, providing technical support for the safe production of ultra-high water filling working face.

[Keywords] stress concentration; Active CT inversion; Blasting to break the roof; Impact ground pressure; Microseismic monitoring

引言

近年来,国内外学者对冲击地压的监测、预测和防治技术进行了广泛而深入的研究,但对超高水充填工作面局部应力集中探测及解危方法的研究尚处于起步阶段。将主动 CT 技术应用于地质构造勘探,采探对比分析表明,该技术探测精度高,构造线性成像明显。同时窦林名等在兖州济宁 3 号井煤矿 16302C 工作面的研究也证明主动 CT 方法在监测和预警冲击矿压或强矿震危险分布的可行性。主动 CT 反演技术

在探测工作面应力集中区域方面具有很大的潜力,但其在动态应力场探测方面的能力有待进一步提高。爆破断顶和大直径卸压钻孔等解危措施的有效性也需进一步验证。因此,本研究旨在通过主动 CT 反演技术探测超高水充填工作面局部应力集中区域,并采取有效的解危措施,降低冲击地压风险,为超高水充填工作面的安全生产提供技术支持。

1 工程概况

1.1 工作面概况

运河煤矿 C5306 充填工作面南临 5301 综放工作面、5302 综放工作面、5303 综放工作面、C5303 充填工作面。C5306 充填工作面面长 57m, 推采长度为 453.3m (平距), C5306 工作面 3 煤层底板标高-540~-620m, 平均标高-580m, 煤层厚度 7.36~10.16m, 平均厚度 9.5m。

截至 2024 年 3 月 19 日, C5306 工作面推进 284.2m, 距 1#联络巷距离机尾侧为 72.4m, 机头侧为 86.6m, 距皮顺 15# 应力计不足 40m。

C5306 充填工作面掘进期间未揭露断层等地质构造, 但 C5306 切眼东部发育东③正断层 (走向: 170° $\angle 65^{\circ}$ H: 9m), 该断层在 C5306 皮顺 11#导线点东约 6m 处揭露后分支为 G1 正断层 (走向 190° $\angle 60^{\circ}$ H \approx 4m)、G2 正断层 (走向: 215° $\angle 50^{\circ}$ H \approx 2~3m)、G3 正断层 (走向: 178° $\angle 55^{\circ}$ H \approx 3m) 在 C5306 轨顺 7#导线点 28~51m 处揭露。

C5306 工作面直接顶为灰黑色粉砂岩, 厚度 3.9~4.33m, 灰黑色, 裂隙发育, 被方解石及黄铁矿散晶充填, 含丰富的植物化石。f=2~4。基本顶为灰白色中细砂岩, 厚度 6.4~13.87m, 成分以石英、长石暗色矿物组成, 颗粒次棱角状~次圆状, 分选中等, 接触式胶结, 胶结物为钙质, 交错层理发育, 夹炭质条带, 下部裂隙发育, 被方解石填充, 最大裂隙宽度 15mm, f=4~6。

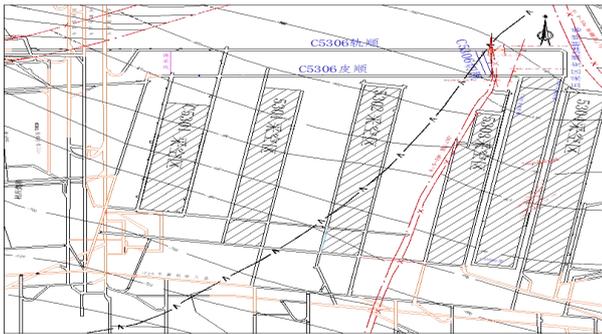


图1 C5306 工作面平面图

1.2 应力计预警

2024 年 3 月 13 日 4 点 29 分, C5306 工作面夜班生产期间监测到皮顺应力计 P15 一小时内增量(瞬时增幅)达到 1MPa。应力在线监测达到应力计预警指标及集团公司冲击地压煤矿冲击危险性指标分级预警值二级预警要求。

P15 应力计位于皮顺采帮, 距工作面 50m; 夜班 4: 25 分 C5306 工作面监测到一个能量为 4445.06J 的能量事件, 位于工作面外 170m, 顶板 18m 位置。4: 37 分 P15 应力计由 7.2MPa 上升至 8.2MPa, 后缓慢降至 8.0MPa。

1.3 应力计预警因素

经询问现场工作人员, 该能量事件发生时现场有煤炮, 震感不明显; 经现场查验, P15 应力计附近巷道无明显变形, 一号联络巷内出现喷浆层掉渣、风门墙体爆皮、脱落现象。

通过微震监测数据可知, 工作面临近 5301 采空区、五采区 1#联络巷生产期间, 受采动影响, 能量事件多集中在巷道、

采空区、工作面切割形成的煤柱区域, 在采动影响下, 受煤柱区域应力释放影响, 5301 工作面上覆岩层运动, 导致应力在线测点压力瞬时上升。

P15 应力计位于工作面超前 50m 处, 该区域受 5301 工作面采空区侧向支撑压力及 C5306 工作面超前支撑压力影响, 处于相对高应力区域; C5306 工作面布置与地应力方向基本垂直, 工作面受侧向压力较大; C5306 工作面已推进至距一号联络巷 95m 处且该联络巷跨度大, 受顶板侧向压力较大, 多种因素叠加是造成该联络巷附近出现压力显现的主要原因。

2 工作面主动CT反演

2.1 主动 CT 反演情况

2.1.1 主动 CT 反演工作开展情况

C5306 工作面处于 5301 采空区区段煤柱影响区段, 通过 CT 反演方式分析掌握动压剧烈影响区应力分布状态, 实现工作面冲击危险区划分, 有针对性的进行卸压工作, 确保 C5306 工作面的安全生产。

2024 年 3 月 15 日, 矿井委托北京安科在 C5306 工作面开展 CT 反演施工。本次探测工作面为 C5306 工作面, 工作面皮带顺槽采用 20 通道进行信号接收, 检波器间距大部分为 8m 左右, 其他介于 7m~10m 之间; 轨道顺槽布置炮孔在 C5306 工作面超前 10~200m 范围内, 共布置 26 个炮孔, 炮孔间距 6m 左右, 共激发 26 炮(放炮顺序从里向外, 轨道顺槽按 1~26 炮孔编号依次实施)。

2.1.2 应力分析

本次 CT 实验于 2024 年 3 月 15 日实施, 信号采样系统采样频率为 2000Hz, 检波器工作频段为 5~1200Hz, 采样长度为 5s, 激发炮孔装药 300g, 采用短断触发方式, 每次激发共有 20 通道接收, 现场实际接收 26 炮, 共接收有效数据 400 道。

根据主动 CT 反演的整体结果, 综合构造、卸压工程等因素的复合影响; C5306 工作面存在 2 处异常区, 分别为轨顺 G1 点向面外 29m~47m、皮顺 3 点向面外 28m~44m。

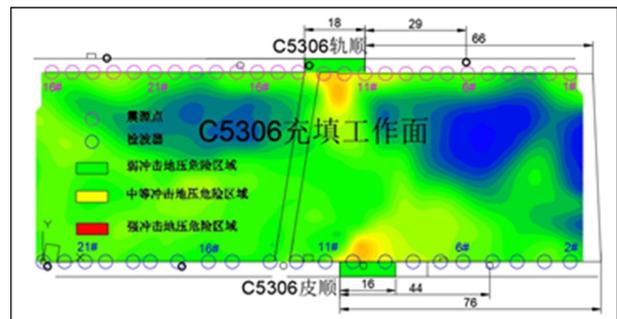


图2 C5306 工作面震动 CT 探测危险区域划分图

2.1.3 主动 CT 反演结论

利用地震 CT 透射技术对 C5306 工作面超前 200m 的范围内进行冲击危险性探测, 对工作面高应力区、高应力差区域进行了划定。得出以下主要结论: 主动式 CT 探测属于静态应力场探测, 工作面应力场随着工作面变化; 因此, 冲击危险

区及等级也可能发生动态变化, 现场须根据 (微震和应力) 实时监测数据分析和钻屑监测, 综合判定危险区动态变化, 并及时调整综合防冲措施。

2.2 主动 CT 反演圈定应力异常区域原因分析

主动 CT 反演后, 通过查看工作面能量事件, 3 月 15 日-21 日 C5306 工作面监测到 93 有效事件 ($E \geq 500J$), 其中能量大于 103J 的 35 个, 能量超过 $2 \times 103J$ 的 17 个, 能量超过 $3 \times 103J$ 的 9 个, 能量超过 $4 \times 103J$ 的 5 个, 最大能量为 $4.78 \times 103J$, 位于 C5306 距工作面 60m, 高层-595.22m。通过分析微震监测情况, 防冲监测数据正常, 判定无冲击危险。

通过防冲监测数据综合分析, 对 C5306 工作面采取煤层爆破卸压、顶板爆破、加密卸压钻孔、降低推进速度等措施后, 微震事件频次、总能量出现明显下降趋势, 尤其是开展爆破断顶卸压措施后, 微震监测出现频次、能量均上升的趋势, 呈现“高频低能”的趋势。

3 局部应力集中区域解危

3.1 爆破断顶

钻孔技术参照: C5306 轨顺 15#点前 18m、C5306 轨顺 15#点前 36m, 分别施工 2 个钻孔, 深度 50m、仰角 40° 、方位角 150° ; C5306 皮顺 1#点处施工 1 个钻孔, 深度 50m、仰角 40° 、方位角 240° 。钻孔装药量为 60.3Kg, 装药段长度 30m, 封孔长度为 20m。

3.2 加密大直径卸压钻孔

(1) 解危区域: 现场监测分析有冲击危险区域, 或现场观测有冲击显现的区域。

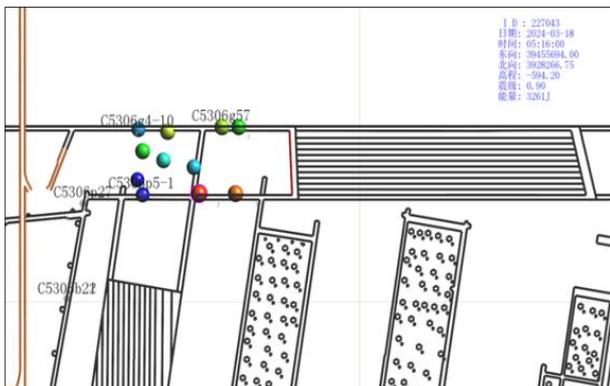
(2) 解危钻孔直径: $\geq 150mm$ 。

(3) 解危钻孔深度: 大于卸压钻孔深度 5-10m。

(4) 解危钻孔间距: 首先以钻孔间距为 1m 进行施工, 若施工完后没有消除冲击危险, 在第一轮钻孔中间补打, 进行第二轮卸压, 若第三轮以上施工后未消除冲击危险, 采取其他解危方法。

(6) 施工原则: 由外向里施工, 距危险区域一侧 10-15m 位置, 按照 5m 间距逐渐向危险区域施工。

3.3 解危结果



(a) 卸压后微震事件能量图



(b) 解危后 C5306 工作面微震事件分布图

通过开展加密卸压钻孔、煤层爆破卸压施工后, C5306 工作面能量事件频次、总能量出现明显下降趋势, 能量事件分布位置未出现积聚的情况, 应力在线、钻屑法监测正常, 分析卸压施工取得的效果较好。

4 结语

通过主动 CT 反演技术探测了 C5306 工作面的应力集中区域, 分析了应力计预警的原因, 提出了采取爆破断顶和大直径卸压钻孔等解危措施降低应力集中程度和冲击地压风险, 并通过微震监测评估了卸压效果。这一思路可以为工作面局部应力集中导致的冲击地压风险防控提供借鉴, 保证工作面的安全生产。

[参考文献]

[1]何满潮, 钱七虎. 深部岩体力学基础[M]. 北京: 科学出版社, 2010. He Manchao, Qian Qihu. The basis of deep rock mechanics[M]. Beijing: Science Press, 2010.

[2]曲效成, 姜福兴, 于正兴, 等. 基于当量钻屑法的冲击地压监测预警技术研究及应用[J]. 岩石力学与工程学报, 2011, 30 (11): 2346-2351.

[3]窦林名, 蔡武, 巩思园, 等. 冲击危险性动态预测的震动波 CT 技术研究[J]. 煤炭学报, 2014, 39 (02): 238-244.

[4]姜福兴, 杨淑华, 成云海, 等. 煤矿冲击地压的微地震监测研究[J]. 地球物理学报, 2006, 49 (5): 1511-1516.

[5]陆菜平, 窦林名, 王耀峰, 等. 坚硬顶板诱发煤体冲击破坏的微震效应[J]. 地球物理学报, 2010, 53 (2): 450-456.

[6]贺虎, 窦林名, 巩思园, 等. 冲击矿压的声发射监测技术研究[J]. 岩土力学, 2011, 32 (4): 1262-1268.

[7]Dou Linming, Chen Tongjun, Gong Siyuan, et al. Rockburst hazard determination by using computed tomography technology in deep workplace[J]. Safety Science, 2011, 50 (4): 736-740.

[8]He Hu, Dou Linming, Li Xuwei, et al. Active velocity tomography for assessing rock burst hazards in a kilometer deep mine[J]. Mining Science and Technology, 2011, 21 (5): 673-676.