

特厚煤层综放工作面区段煤柱合理宽度的微地震监测

孔令海^{1,2}, 姜福兴^{1,2}, 刘杰³, 叶根喜^{1,2}, 王存文^{1,2}, 宋广东^{1,2}

(1. 北京科技大学 金属矿山高效开采教育部重点实验室, 北京 100083; 2. 北京科技大学 土木与环境工程学院, 北京 100083; 3. 大同煤矿集团有限责任公司 大唐塔山煤矿, 山西 大同 037003)

摘要: 采用高精度微地震监测系统对塔山煤矿采高 15 m 以上特厚煤层综放工作面岩层运动进行了监测, 将监测结果与岩石力学计算和岩层运动分析相结合进行分析, 得到了区段煤柱支承压力高峰区距离巷帮的距离. 将微地震监测与数值计算的结果进行对比, 二者基本一致, 证明了微地震监测结果的正确性和可靠性. 综合考虑多种因素, 确定区段煤柱的合理宽度为 20~25 m.

关键词: 特厚煤层; 综放开采; 煤柱宽度; 高精度微地震监测系统; 矿山压力

中图分类号: P631.4 文献标识码: A

High-precision microseismic monitoring system to reasonable width of segment coal pillar in extra-thick coal seam fully mechanized top-coal caving mining

KONG Ling-hai^{1,2}, JIANG Fu-xing^{1,2}, LIU Jie³, YE Gen-xi^{1,2}, WANG Cun-wen^{1,2}, SONG Guang-dong^{1,2}

(1. State Key Laboratory of High-efficient Mining and Safety of Metal Mines, Ministry of Education, University of Science and Technology Beijing, Beijing 100083, China; 2. School of Civil and Environmental Engineering, University of Science and Technology Beijing, Beijing 100083, China; 3. Datangtashan Colliery, Datong Coal Mine Group, Datong 037003, China)

Abstract: By using the underground high-precision microseismic monitoring system, studied the strata movement in full-seam mining over 15 m thick in fully mechanized top-coal caving mining workface. Distance was obtained between high stress zone and the entry rib by combining rock mechanics calculating with strata movement consequence analysis. By comparing with numerical simulation results, the inferred result by MS was proved right. Result shows the reasonable width of segment coal pillar is 20~25 m, considering many factors.

Key words: extra-thick coal seam; fully mechanized top-coal caving mining; coal pillar width; high-precision microseismic monitoring system; mine pressure

特厚煤层的综合机械化放顶煤开采技术是国际上近年来发展起来的一项新的开采技术, 尤其是中国众多科技工作者的研究, 大大推进了特厚煤层综放开采技术的进步. 但是, 对特厚煤层综放工作面的开采设计、区段煤柱宽度的留设等一直未进行过系统的研究, 类似大同矿区塔山煤矿留设 38 m 的煤柱, 也只是仅凭经验和理论得出, 没有经过实践的检验. 因此, 如何合理确定特厚煤层综放工作面区段煤柱宽度, 实现沿空巷道的安全正常使用, 同时尽可能减小煤柱宽度, 提高资源回收率, 是我国今后一段时间特厚煤层综放开采需要解决的关键问题之一. 对一次采出厚度大于 15 m 的煤柱附近覆岩层的运动规律、现场观测、理论研究以及实践经验等方面的文献很少, 文献 [1-3] 分别对特厚煤层综放工作面的矿压显现规律进行了研究. 近年来微地震监测技术在多个领域的研究与实践证明^[4-9], 微地震监测技术是用于监测扰动岩

层的活动的有效手段. 本文基于高精度微地震监测技术, 对 15 m 以上特厚煤层综放工作面区段煤柱合理宽度进行了研究.

1 高精度微地震监测方案的确定

塔山煤矿主采煤层平均厚 15 m, 为特厚近水平煤层, 首采工作面为低位综放开采一次采全厚. 三分量检波器为区域内集中式布置 (图 1). 在回风巷距切眼 250 ~ 680 m 范围内布置 20 组检波器, 顶底板岩层内每组检波器间距如图 1 所示, 每组检波器距巷道底板垂深 30 ~ 50 m. 其中, 顶板钻孔分为深孔 (1, 5, 7, 11, 13, 17, 19 号) 和一般深度钻孔 (2, 4, 8, 10, 14, 16, 20 号), 钻孔口部位于巷帮上角, 垂直于巷帮打设, 与水平面成 60°, 深度 60 (检波器与巷道底板垂直距离 30 m) 和 40 m (检波器与巷道底板垂直距离 20 m); 底板钻孔 3, 6, 9, 12, 15, 18 号为浅钻孔, 深 15 m (检波器与巷道底板垂直距离 10.6 m), 钻孔口部位于巷帮下角, 垂直于巷帮打设, 与水平面呈 45°.

所谓高精度微地震监测技术, 指利用三维高密度检波器测区布置、数据高速采集和实时高精度定位软件于一体的微地震监测技术. 定位结果的高准确性是高精度微地震监测技术与普通微地震监测技术的根本区别. 本次微地震监测控制区域可以覆盖走向 800 m、巷道两侧各 300 m 的区域, 包括监测工作面正常推进期间的前方岩层的破裂. 经标定, 定位精度达到 10 m 以内, 适合采掘工程尺度.

2 高精度微地震监测揭示的煤柱附近覆岩层结构及支承压力分布

为说明正常推进阶段特厚煤层综放工作面区段煤柱附近覆岩运动规律, 选取 2007 - 11 - 18—11 - 29 的监测结果作为研究区段煤柱附近覆岩运动规律的基础数据, 期间工作面共推进 83.08 m.

图 2 为沿煤层倾向的剖面图, 图中的圆点代表发生微地震事件的位置, 顶板岩层距离煤层的距离为正, 底板岩层距离煤层的距离为负, 图中相邻 2 个网格的间距为 50 m. 由采空区向煤柱方向, 微震事件发生的动态演化过程可以划分为 3 个阶段: ① 低位直接顶破裂阶段. 受开采影响的小范围破裂区, 此过程中岩体破裂主要集中在高度 40 m、倾向 10 m 的范围内, 称为“低位直接顶破裂区”; ② 低位老顶破裂阶段. 随工作面的推进, 距离工作面较远的低位岩层持续破裂并逐渐压实, 区段煤柱支承压力逐渐向煤柱深部转移, 微震事件持续密集发生. 此过程中岩体破裂主要集中在高度 75 m、倾向 40 m 的范围内, 称为“低位老顶破裂区”; ③ 高位岩层破裂阶段. 低位岩层沉降趋于稳定, 煤柱支承压力继续向煤柱深部转移, 老顶上方的高位岩层发生沉降, 微震事件主要分布在高度 75 m 以上、倾向 85 m 的范围内, 称为“高位岩层破裂区”.

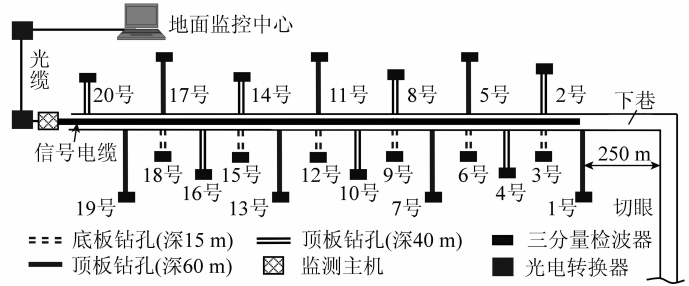


图 1 高精度微地震监测系统组成及检波器

Fig. 1 Composition of high-precision microseismic system and detectors layout

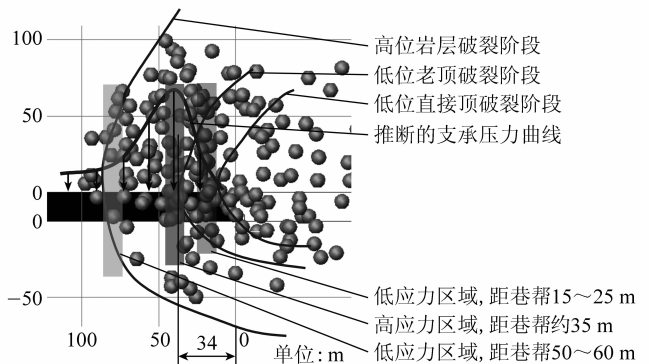


图 2 煤柱附近覆岩层破裂动态发展规律和煤柱支承压力分布规律
Fig. 2 Dynamic developing rule of overburden strata near the coal pillar and support pressure distribution rule of coal pillar

按采高 15 m 计算，特厚煤层综放工作面的直接顶实际厚度（2~3 倍采高）约为 50 m；老顶岩层厚度（2~3 倍采高）为 30~45 m。结合煤柱附近覆岩层微震事件分布规律、工作面综合地质柱状图和岩层运动理论进行分析可知，煤柱附近覆岩层微震事件的分布具有明显的分区性，直接顶岩层厚度约为 50 m，0~50 m 层位的微震事件密集发生；老顶岩层的厚度为 25 m 左右，50~75 m 层位的老顶岩层微震事件比较密集。根据微震事件数量分布曲线可推断区段煤柱上的支承压力分布规律，推断的支承压力曲线如图 2 所示。由图 2 可知，在水平方向上，煤柱支承压力峰值区距离巷帮约 35 m。

3 区段煤柱合理宽度的确定

3.1 高精度微地震监测得到的区段煤柱合理宽度

随工作面的推进，煤柱附近覆岩层沉降断裂并趋于稳定，低位破裂区、高位破裂区范围的微震事件逐渐减少，直至稳定。岩体进入塑性阶段后，区段煤柱应满足：巷道处于弹塑性低应力区，周围煤岩体相对完整，避免临空区残煤自燃及杜绝瓦斯溢出通道与巷道联通，保证巷道支护能够满足矿压控制要求。根据煤柱支承压力分布规律（图 2），煤柱宽度的确定有 3 种选择：① 大煤柱，处于低应力区，距离巷帮 50~60 m；② 小煤柱，处于低应力区；③ 煤柱处于高应力区，即支承压力峰值区，距离巷帮 35 m。考虑到煤柱的安全性和经济性，合理区段煤柱宽度的确定既要保证煤柱的安全正常使用，又要提高资源回收率。因此，合理区段煤柱的宽度应为 20~25 m，而实际留设的 38 m 煤柱正处于支承压力峰值区域。

3.2 支承压力峰值区煤体受力估算

煤层厚度大，煤体结构复杂，单轴抗压强度为 10~26 MPa。应力峰值区煤体实际支承压力为 $Q = k\gamma gh = 2 \times 2.5 \times 10^3 \times 10 \times 450 = 22.5 \text{ MPa}$ ，其中， k 为应力集中系数，取 2； γ 为覆岩层平均密度， kg/m^3 ，取 2.5×10^3 ； g 为重力加速度， m/s^2 ，取 10； h 为煤层埋深，取 450 m。煤体强度与支承压力基本接近，实际留设的 38 m 煤柱处于煤体的弹塑性极限平衡状态。在采动初期，煤柱完整性较好，变形量较小。但当沿空留设时，将受下一工作面超前支承压力的作用，煤柱可能出现大变形和动压。

3.3 数值计算与高精度微地震监测结果的对比

采用 FLAC 二维有限差分软件进行数值模拟计算得到的区段煤柱支承压力分布如图 3 所示，从图 3 可知，受工作面采动影响，区段煤柱支承压力分布可分为 3 个区域：① 距离巷帮约 36 m 范围的应力峰值区，压力为 20 MPa，应力集中系数为 1.6；② 距离巷帮约 56 m 范围的低应力区，压力为 17.5 MPa，应力集中系数为 1.4；③ 距离工作面巷道约 97 m 范围的支承压力影响区，压力为 15 MPa，应力集中系数为 1.2。其中原岩应力为 12.5 MPa。因此可确定煤柱支承压力峰值区距离巷帮约 36 m，靠近采空区一侧的低应力区距离巷帮约 18 m，远离采空区一侧的低应力区距离巷帮约 56 m，采动影响范围约 97 m。

3.4 区段煤柱合理宽度的确定

数值计算结果表明，二者所得区段煤柱支承压力分布规律基本上是一致的（图 4），区段煤柱应力峰值区距离巷帮约 35（微地震监测结果）和 36 m（数值计算结果）。合理的巷道位置有 2 种方案可供选择，即大煤

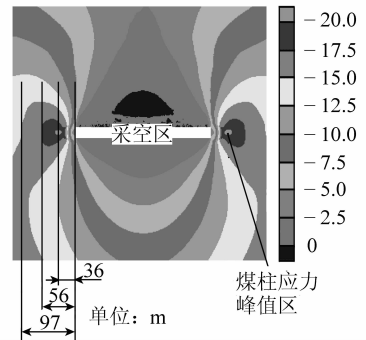


图 3 FLAC^{2D} 揭示的峰值应力位置
Fig. 3 Peak stress position by FLAC^{2D}

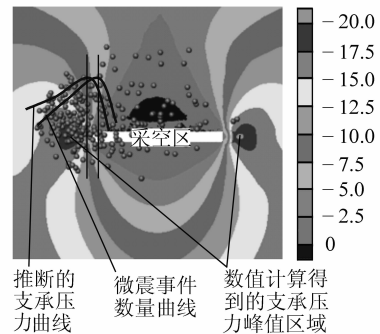


图 4 微震监测结果与数值计算结果的对比
Fig. 4 Comparison of results between MS and FLAC^{2D}

柱方案和小煤柱方案。根据高精度微地震监测结果和力学理论计算结果,考虑经济因素,采取小煤柱的方案是合适的。综合上述研究结果,考虑到煤柱的完整性和巷道的支护要求,避免临空区残煤自燃、瓦斯溢出通道与巷道联通,区段煤柱的宽度可取 20~25 m。至于小煤柱时的巷道支护,需另做详细研究。

4 结 论

一次采出 15 m 以上特厚煤层综放工作面区段煤柱附近覆岩层破裂动态发展分 3 个阶段:低位直接顶覆岩破裂阶段、低位老顶覆岩破裂阶段和高位岩层的破裂阶段;将微地震监测结果结合岩石力学和岩层运动理论,推断得到煤柱支承压力的分布规律和支承压力的峰值区距离巷帮的距离;数值计算结果表明,微地震监测结果是正确可靠的;综合多种因素,确定区段煤柱的合理宽度为 20~25 m。

在现场监测期间,得到了大同煤矿集团有限责任公司于斌副总工程师、周建峰高级工程师及塔山煤矿徐振茂副总工程师、宋金旺副总工程师和技术部高润平部长、胡岗、崔俊峰副部长的全力协助,还得到了同煤集团及塔山煤矿多个部门的关心和帮助,在此一并表示感谢!

参考文献:

- [1] 康天合,柴肇云,李义宝,等. 底层大采高综放开采 20 m 特厚中硬煤层的物理模拟研究 [J]. 岩石力学与工程学报, 2007, 26 (5): 1 065-1 072.
Kang Tianhe, Chai Zhaoyun, Li Yibao, et al. Study on physical simulation of full-seam mining for a 20 m very thick and medium hard seam by sub-level caving mining with high bottom cutting height [J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2007, 26 (5): 1 065-1 072.
- [2] 王吉生,柴肇云,康天合,等. 综放全厚开采 20 m 特厚中硬煤层数值模拟研究 [J]. 太原理工大学学报, 2007, 38 (2): 175-179.
Wang Jisheng, Chai Zhaoyun, Kang Tianhe, et al. Numerical simulation of full-seam mining for a 20 m very thick and medium hard seam by fully mechanized sublevel caving [J]. Journal of Taiyuan University of Technology, 2007, 38 (2): 175-179.
- [3] 吴永平. 大同矿区特厚煤层综放采场矿压显现规律研究 [J]. 煤炭科学技术, 2008, 36 (1): 8-10.
Wu Yongping. Research on strata behaviour law of fully mechanized longwall caving mining face in extra thick seam in Datong Mine Area [J]. Coal Science and Technology, 2008, 36 (1): 8-10.
- [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): 1 511-1 516.
Jiang Fuxing, Yang Shuhua, Cheng Yunhai, et al. A study on microseismic monitoring of rock burst in coal mine [J]. Chinese Journal of Geophysics, 2006, 49 (5): 1 511-1 516.
- [5] 姜福兴, XUN Luo, 杨淑华. 采场覆岩空间破裂与采动应力场的微震探测研究 [J]. 岩土工程学报, 2003, 25 (1): 23-25.
Jiang Fuxing, Xun LUN, Yang Shuhua. Microseismic monitoring study on spatial structure of overlying strata and mining pressure field in longwall face [J]. Chinese Journal of Geotechnical Engineering, 2003, 25 (1): 23-25.
- [6] 姜福兴,杨淑华, XUN Luo. 微地震监测揭示的采场围岩空间破裂形态 [J]. 煤炭学报, 2003, 28 (4): 357-360.
Jiang Fuxing, Yang Shuhua, XUN Luo. Spatial fracturing progress of surrounding rock masses in longwall face monitored by microseismic monitoring techniques [J]. Journal of China Coal Society, 2003, 28 (4): 357-360.
- [7] Luo X, Hatherly P. Understanding of high gas emissions at Appin Colliery through microseismic monitoring [A]. Proc. Int. Mining Tech. '98 Symp. Chingqing [C]. China, 1998: 74-79.
- [8] Cai M, Kaiser P K, Martin C D, et al. Quantification of rock mass damage in underground excavations from microseismic event monitoring [J]. International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences, 2001, 38 (8): 1 135-1 145.
- [9] Le Calvez J H, Tanner. Using induced microseismicity to monitor hydraulic fracture treatment: A tool to improve completion techniques and reservoir management [A]. SPE Eastern Regional Meeting [C]. Revitalizing Appalachia, 2006: 234-242.